www.viserdata.com

工程建设

ENGINEERING CONSTRUCTION

月刊

■ 主办单位：Viser Technology Pte.Ltd.　■ ISSN 2630-5283(online) 2717-5375(print)

万方数据库收录

RCCSE权威核心学术期刊

2025 4

第 8 卷　总第 74 期

COMPANY INTRODUCTION

公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越–融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.

工程建设

Engineering Construction

2025年·第8卷·第4期（总第74期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.
I S S N：2630-5283 (online)
2717-5375 (print)
发行周期：月刊
出版时间：4月
数据库收录：万方数据库收录
RCCSE权威核心学术期刊
期刊网址：www.viserdata.com
投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com
地　　址：111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza, Singapore 179098
学术主编：吴　萌
责任编辑：张健美
学术编委：严心军　王志甲　程俊儒
高　昱　初士俊　张高德
刘庆功　张　宽　张迪军
李江宇　史宗亮　肖　泳

美工编辑：李　亚　Anson Chee
印　　制：北京建宏印刷有限公司
定　　价：SGD 20.00

本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点；作者文图责任自负，如有侵犯他人版权或者其他权利的行为，本刊概不负连带责任。

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人：稿件凡经本刊使用，如无电子版或书面的特殊声明，即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

目　录

CONTENTS

工程管理

建筑工程管理影响因素及应对策略研究..... 田双庆 1
PPP 模式下建筑工程项目管理的风险分担机制研究 .... 胡康旗 4
基于全生命周期的工业建筑成本管理与效益分析..... ..... 秦雅杰 7
浅析 BIM 应用下建筑工程造价精细化管理策略..... ..... 郝　琳 10
EPC 项目的建筑工程造价管理控制措施研究 .. 钱碧云 13
基于 BIM 的机电工程协同管理平台构建与应用..... ..... 郭重阳 16
建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略探讨..... ..... 孙建红 19
论建筑工程管理的重要性与创新方法探讨.... 蔡兴勇 22
建筑工程质量管理问题及对策研究..... 刘建设 25
建筑工程管理的现状分析及控制策略探究.... 刘　钥 28

建筑工程

防水防渗技术在工民建施工中的有效运用探讨..... ..... 李　强 31
爬架施工过程中质量控制要点及管理措施探讨..... ..... 刘凯华 34
民建项目中结构缝设置对整体稳定性的影响分析..... ..... 杨晓刚 37
土木工程建筑施工技术及创新的研究..... 王志国 40
高层建筑消防监督及设备管理的措施探讨.... 程　刚 43

市政工程

海积平原区盾构隧道基底加固数值模拟分析.. 陆　跃 46
市政道路施工中水稳基层裂缝防治技术..... 刘　涛 50
球墨铸铁管非开挖施工材料供应与技术管理.. 赵光桦 53
市政房屋建筑施工技术与质量控制探讨..... 徐　兵 57

机械工程

高温高压工况下化工塔器的设计与应力分析.. 倪　佳 60

自动化技术在机械包装中的应用..... 张　煜 64
食品冷链机电安装工程施工安全管理研究.... 杨　博 67
某型充气救生筏承载能力仿真计算分析.....
..... 安傲坤　周　昊　代绍晓 71
电气工程及其自动化技术的智能化应用探究.. 杜胜飞 75
工程施工机械设备管理及其信息技术研究.... 王学仁 78

石油工程

探析化工生产技术管理措施与化工安全的关系.....
..... 任继龙 81
天然气管道高后果区识别与安全管理实践.....
..... 尤旭东　张　振 84
石油化工装置中的自动控制系统优化与安全性分析....
..... 彭　钿 88
工业区化工企业的安全生产监管探讨..... 杨寻护 91

矿山工程

露天煤矿剥离工艺优化与资源综合利用研究.....
..... 蒲应录　王质彬　郭卫东 94
煤矿爆破震动对地表生态环境的影响及治理.....
..... 祁瑞祥　傅永和　王质彬 98
复杂地质条件下的精确爆破控制技术研究.....
..... 王质彬　郭卫东　傅永和 101
煤矿深孔爆破技术优化与应用研究.....
..... 傅永和　祁瑞祥　王质彬 104

路桥交通

道桥施工中的沥青混凝土摊铺技术优化研究.....
..... 余海明 107
公路工程施工标准化的应用与改进措施..... 李泽军 110
面向隧道设备管理的嵌入式智能联动系统设计与实现..
.. 罗玉波　黄纯峰　杨璨祎　胡馨予　李仕奇　贾　一
马　林 113
高速公路预制梁施工工艺及质量管控研究... 赵成学 116
高速公路桥梁大直径桩基施工关键技术与质量控制....
..... 胡　刚 119
畸形道路交叉口优化改造研究..... 马囡囡 122
公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决方法.....
..... 张儒远 127

勘察测绘

粗颗粒盐渍土的溶陷性及其简便判别方法.....
..... 胡义生　贾亦斌　马文艳 130
北斗导航系统在工程测量中的定位精度与误差修正研究
..... 寇永涛 134
车载无人机在测绘应急保障中的应用..... 赵克明 137

施工技术

钢结构建筑的设计特点与施工技术研究..... 刘鹏飞 140
建筑工程施工技术质量控制措施分析..... 雷亚辉 143
建筑工程施工中的绿色施工技术应用探究... 乔永平 146
城市地铁施工渗漏水原因与防水策略分析... 李刚刚 149
道路桥梁沉降段路基路面施工技术探析..... 武玉凤 152
土木工程施工中的节能绿色环保技术研究... 李增志 156
高原寒冷环境下大体积混凝土水化热控制技术研究....
..... 王玉宝 160
公共建筑室内装饰精细化施工技术探究..... 仲　斌 163

建筑设计

地域性文化在建筑设计中的实践研究..... 崔轶伦 167
绿色建筑技术与建筑造型设计探索..... 余君进 170
基于 BIM 的土木工程结构设计全过程优化研究.....
..... 刘旺峰 173
关于新形势下的建筑设计与城市规划研究... 李煜昊 176
建筑设计与城市规划的相关性研究..... 王晓宁 179
建筑室内排水横支管坡度设计对排水顺畅性的影响研究
..... 吴　昊 182
BIM 技术在建筑设计的应用探究 ..... 孟繁钰 185
既有建筑物内部精装设计阶段工作关键要点.....
..... 曹腾飞　姚丽丽 188
高层建筑消防系统设计关键要点分析..... 郭　勇 192
绿色建筑技术在建筑设计中的原则与运用... 孟繁钰 195

材料科学

高性能混凝土配合比优化设计及性能影响因素分析....
..... 赵贵健　李增志 198

建筑工程管理影响因素及应对策略研究

田双庆
河北建工集团国际工程有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着建筑规模的拓展与复杂性的提升，建筑行业管理遭遇众多挑战。通过分析了建筑工程管理的关键影响因素，涵盖项目规模、资金运作、人力资源、技术执行等维度，探讨了其实际运作中的具体体现及引发的管理挑战。针对这些议题，提出了一系列对策，优化项目规划、强化资金监管、提升人员素质与技术应用等。通过深入剖析建筑工程管理领域各相关因素，旨在为建筑企业提供管理优化的思路，提升工程管理的整体效率，保障项目的顺利实施与质量安全。

[关键词]建筑项目管理；相关因素；应对措施；计划编制；财务管理
DOI：10.33142/ec.v8i4.16344　　中图分类号：TU71　　文献标识码：A

Research on the Influencing Factors and Coping Strategies of Construction Project Management

TIAN Shuangqing
Hebei Construction Engineering Group International Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the expansion of building scale and the increase of complexity, the management of the construction industry has encountered numerous challenges. By analyzing the key influencing factors of construction project management, covering dimensions such as project scale, capital operation, human resources, and technical execution, this paper explores the specific manifestations and management challenges in its actual operation. A series of measures have been proposed to address these issues, including optimizing project planning, strengthening fund supervision, improving personnel quality and technology application, etc. Through in-depth analysis of various relevant factors in the field of construction project management, the aim is to provide management optimization ideas for construction enterprises, improve the overall efficiency of project management, and ensure the smooth implementation and quality safety of projects.

Keywords: construction project management; related factors; response measures; plan preparation; financial management

引言

建筑项目管理构成确保建筑项目顺利推进的关键要素，涉及资金、技术、人员等多领域协调与管控。伴随着建筑业的迅猛进步，建筑项目复杂性及多样性持续上升，工程管理所遭遇的难题亦日渐繁复。如何有效识别并应对这些管理中的影响因素，提升工程管理的整体效率和质量，是当前建筑行业急需解决的问题。本文力图分析建筑工程管理领域的关键制约因素，提出相应的对策，为建筑业企业制定实用性的管理策略。

1 建筑工程管理的概述

建筑项目全生命周期管理，对项目各阶段（如组织、规划、设计、施工、监理、验收等）的管理进行全程监控，保障项目准时、达标、在预算范围内圆满完成。建筑工程管理不仅涵盖项目实施实务，还涵盖对资源、技术、人力、财力等多领域的配置与监管。伴随着建筑项目规模的持续增大，管理挑战持续增强，探讨管理挑战的有效应对策略，确保达成项目目标，是建筑企业提升竞争力的关键议题。在土木工程领域，管理活动通常划分为若干层次，涵盖项目管控、现场管控、品质管控、成本管控等领域，每个管理阶段均可能对项目的推进与最终成效产生作用。因此，建筑工程管理亟须实现全方位且精确的协调与监管，保障各项任务依照预定计划稳步实施[1]。

2 建筑工程管理的影响因素

2.1 项目规模与复杂性

项目规模与工程管理难度呈正相关。大型工程项目往往伴随更复杂的资源配置、更长的建设周期以及更广泛的参与者（诸如众多分包商、供货商等）。此要求项目管理者需拥有更卓越的协调及组织技能，资源合理配置，保障项目进展顺畅。较大的项目通常遭遇更繁杂的工期规划、资金投入及技术挑战，故需实施更为精细和严谨的管控。

2.2 资金管理与预算控制

资金管控系建筑工程管理之核心要素之一。建筑项目往往需巨额资金投入，自项目启程至竣工，资金流转与监管贯穿始终。若财务管理不当，可能引发项目延期与品质恶化，甚至导致资金链断裂。预算管控构成资金管理的核心要素，预算一旦逾额，项目的总体费用将显著提升，甚至波及项目的盈利状况。因此，精确的成本预估与严格的资金管控极为关键。

2.3 人员管理与团队协作

建筑项目通常需多方协作，涵盖设计队伍、施工队伍、

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

监理队伍等。该团队的合作度对项目实施成效产生直接影响，人员管理不仅是对人力资源合理配置的管理活动，还涵盖团队间的交流与合作。项目团队可能遭遇技术能力分歧、交流不畅等挑战，项目管理者须迅速识别并处理这些问题，保障各项工作的顺利实施[2]。

2.4 技术实施与设备使用

伴随着建筑技术的进步，新兴的施工技术、装备与材料层出不穷，此举措为建筑项目增添了技术保障。然而，新技术实施可能引发管理挑战，技术实施阶段可能遭遇操作失误、设备故障等挑战。如何有效整合新技术与施工实践，是建筑项目管理所面临的一项重大难题。管理者亟须对技术人员进行及时培训，改进施工设备，保障技术实施顺畅。

3 建筑工程管理中的问题

3.1 项目进度滞后

在建筑领域，进度管理是决定项目成败的关键要素之一。鉴于诸多因素（诸如气候、人力、设备故障等），众多建筑工程常遭遇工期延误现象。项目进度延误不仅对整体完成期限产生负面影响，还可能导致费用超支及资源耗费。因此，如何精确预测项目时间安排，实施恰当策略以应对突发事件，管理者所遭遇的关键挑战。

3.2 资金控制困难

资金管理的繁复性亦导致资金监管成为持续性的难题。众多项目面临资金预算超额及资金流转受阻等困境，特别是在项目启动阶段，资金往往难以迅速落实。随着项目实施，资金需求持续上升，确保资金按时发放与高效运用，是制约项目推进的核心要素[3]。

3.3 人员素质参差不齐

在建筑工程中，人员的素质直接影响到施工质量与进度。然而，由于施工现场人员流动性大，且一些操作工人的技术水平参差不齐，往往会出现施工质量不稳定等问题。因此，提高现场人员的素质和技术能力，是提升项目质量和效率的必要条件。

3.4 技术难题与质量问题

建筑领域常见技术挑战，诸如设计调整、施工策略失当等情况，这些问题往往诱发质量缺陷的产生。此外，施工所采用的物料与设施品质亦对项目最终成效产生直接影响，保障技术实施的可能性与施工品质，系建筑工程管理之难点。

4 建筑工程管理的应对策略

4.1 优化项目计划与进度管理

项目进度管理是确保建筑工程顺利完工的核心步骤之一。项目进展延迟可能引发工期延期，引发资金损耗、资源配置不当等诸多难题，工程质量与交付成效的影响。项目经理需借助恰当的规划部署以预判潜在进度障碍。在项目启动阶段，运用科学的项目管理手段，例如甘特图与项目管理应用程序，有助于项目经理直观呈现项目整体进展、各项任务具体部署及其相互间的关联。采用甘特图，项目经理能明确掌握各阶段的时间节点，及时对进度滞后进行动态调整，减少大规模时间消耗。在项目执行阶段，尽早发现潜在进度风险并实施相应对策极为关键，管理者需定期举办项目进度审查会议，核实各分承包商、施工团队及工程师的进度状况。项目关键阶段实施中期评审，确保各项任务按期完成，及时识别潜在的进度障碍。例如，工程推进迟缓时，项目经理可对资源优先级进行调优，确保核心任务按时落实，防止全面规划延期。

此外，借助当代的数字化管理手段，例如建筑信息模型（BIM）技术，可高效实施虚拟仿真、进度预测与监管。基于 BIM 模型，管理者可实时追踪项目进展与资源消耗状况，实施虚拟仿真，及时识别潜在的设计与施工缺陷，及时作出调整，降低现场问题导致的时间滞后。进度管理的成功也离不开有效的沟通与协调。项目管理团队需定期与承包商、设计单位、施工团队、供货商等关联方展开沟通，保障信息流通无障碍。基于多方面协商，迅速解决争端与难题，保障项目按预定进度有效实施，改进项目规划与进度调控远超不仅对时间安排的调整，更是依托于高效的资源配置、动态监督与机动调整，确保项目按时高效达标[4]。

4.2 加强资金监管与预算控制

建筑项目的资金管理是项目成功的另一关键因素。资金控制不当可能导致项目超预算、资金链断裂或流动性不足，进而影响项目进展。因此，项目管理者需要建立严格的资金监管机制，确保资金使用的合理性与高效性。资金的细致规划是预算控制的基础。在项目启动之初，项目经理需要和财务部门一起制定详细的预算，明确每一阶段的资金需求。这一预算应该覆盖所有预期费用，包括直接成本（如人工、材料、设备）和间接费用（如管理费、风险预备金）。合理的预算安排能够确保资金的合理分配，避免某一部分超支，影响其他部分的资金使用。

在项目执行阶段，需设置专门的资金监管机构以监控每一笔资金的运用状况。该监管体系涵盖周期性财务审核、关键支出审批管理等内容，项目经理可通过项目管理工具对资金动态进行实时监管，确保每笔资金支出均有明确凭证，有效遏制预算超支及资金挪用问题。为了提升资金运用效能，项目管理者宜实施分阶段支付机制，将资金拨付与项目推进阶段紧密对接。在每一步骤完成后，按实情分阶段支付部分资金，非一次性支付，亦即分期支付。该措施确保施工方按期完成工程，可保障资金依项目需求合理分配，规避资金沉淀或停滞[5]。

除了资金支付的管理，项目管理者还需要关注资金的安全性，特别是在面对外部经济波动或项目中断时，要有充足的资金准备以应对风险。例如，构建紧急资金储备机制，确保突发状况下资金高效调配，防止项目搁置或物资

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

短缺，构建多元资金监管体系同样关键，项目经理应与金融机构、投资者及政府部门保持紧密沟通，保障资金来源的持续性。此外，定期举办多边财务分析交流会，适时调整资金运用策略，确保资金处于有效监管之下。加强资金监管与预算管理对规避财务风险具有重要意义，亦能增强项目整体收益。采用精准的预算管理、严密的资金流动监管及分阶段支付机制，有效规避资金难题对建筑项目的干扰。

4.3 提升人员素质与团队协作

在建筑工程中，人员素质直接决定了项目的施工质量与进度。探讨人员专业能力提升与团队协作能力加强之策略，是建筑工程项目管理的关键环节。通过提高人员素质与团队协作，能够有效减少施工中的问题，提高整体工作效率。提高员工素质是确保施工质量的核心途径。建筑项目普遍包含众多施工人员，其中包含管理人员及技术人员，涵盖操作人员。为确保项目顺利推进，务必持续提升施工人员的技术水平，项目管理者需定期举办培训活动，促进工人对新施工技术、操作规程及质量控制标准的认知与掌握。通过强化教育培训，劳动者不仅能够提升技能水平，还能培育团队协作精神与担当感，降低因能力欠缺引发的施工失误，团队配合是项目顺利完成的要害。在大型建筑工程中，各方协作紧密，保障各项任务流畅过渡，项目经理需重视团队间交流与合作，定期召开项目会议，保障信息互通、职责明确。特别是在多主体合作情境中，如何优化团队互动与协作，规避信息时滞与交流阻碍，项目成功的关键要素[6]。

在集体合作中，项目管理者需构建适宜的激励机制，激发员工工作热情。通过建立恰当的奖惩机制，对业绩突出的团队成员实施表彰，唤起他们的职业激情。同时，优化人力资源配置与岗位设定有助于提升团队作业效能，项目经理需参照各成员的专业资质与工作负担，科学规划工作内容，确保各职位运作效率。

现代项目管理软件的运用亦能增强团队协作效能。例如，利用协作办公工具或项目监管系统，团队成员可及时掌握项目进展、职责分配、施工图等相关资讯，防止信息时滞或缺失。这种举措有助于提升团队协作效率，保障各项目标依序实施，增强员工素质与团队协作效能乃是建筑项目管理的关键步骤。通过强化培训、提升团队交流效率、构建激励体系及运用现代管理手段，可显著增强项目实施效能与品质。

4.4 应用先进技术提升管理能力

BIM 技术是目前建筑项目中应用最广泛的技术之一。BIM 技术通过将项目的设计、施工和运营过程中的各项信息整合成三维数字模型，帮助项目团队提前发现潜在的设计或施工问题。在建筑项目设计过程中，BIM 模型适用于模拟施工环节，辨识设计矛盾，规避施工阶段因设计失误或信息缺失导致的资源损耗及工期拖延。施工阶段，BIM 有助于实施施工现场管理、进度监控、成本预算等活动，有效提升施工精度与作业效率。3D 打印技术在建筑领域中的应用正逐渐革新传统施工模式。3D 打印可依据设计图直接制造建筑部件，显著提升了施工效率与准确度，降低劳动力成本，更有效地满足定制化设计需求。某些复杂构造或高风险地带，3D 打印技术可缩短人员暴露于危险环境中的时长，提升施工安全水平。

智能建造技术在建筑行业得到广泛运用。例如，运用无人机技术执行工地监控、借助传感器实施即时监控等，显著提升施工管理智能化程度。这些技术的运用，可显著提高施工效率，提升施工安全性及精确度，降低人为失误发生率。技术实施需项目管理主体拥有较强的管理技巧与专业素质，项目经理不仅须具备坚实的工程管理功底，还需深入理解并熟练掌握相关新兴技术的运行机制及实际应用领域，确保实践层面中技术与管理融合的实效性[7]。

5 结语

建筑工程管理是一个复杂的系统工程，涉及项目的各个方面。通过识别管理中的影响因素，并采取相应的应对策略，可以显著提高工程管理的效率，确保项目按时、按质、按预算完成。随着技术的发展，建筑工程管理也将不断创新和优化，未来的建筑管理将更加智能化、高效化。

[参考文献]

[1]黄舒.建筑工程财务管理影响因素及应对措施探究[J].中国市场,2024(22):145-148.
[2]张红梅.建筑工程造价管理工作中预算编制的影响因素及应对策略[J].住宅与房地产,2024(17):111-113.
[3]胡敏.高层住宅建筑工程管理的影响因素和解决策略分析[J].居舍,2024(17):157-160.
[4]吴优.影响建筑工程管理的主要因素与优化策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(9):34-36.
[5]王颖.建筑工程造价影响因素评估及应对策略研究[J].工程建设与设计,2023(22):218-220.
[6]陈杰.浅析建筑工程管理影响因素及应对策略[J].中国住宅设施,2023(9):163-165.
[7]杨晖.影响建筑工程管理的主要因素与优化策略研究[J].房地产世界,2023(18):103-105.

作者简介：田双庆（1972.5—），毕业学校：广东开放大学，工作单位：河北建工集团国际工程有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

PPP 模式下建筑工程项目管理的风险分担机制研究

胡康旗
新疆维吾尔自治区阿克苏地区政府投资代理建设服务中心，新疆 阿克苏 843000

[摘要]随着新型城镇化进程加速，PPP 模式在基础设施建设领域发挥着日益重要的作用。该模式通过整合公共部门的政策优势与社会资本的专业能力，实现风险共担与效率提升的双重目标。然而，建筑工程项目的长周期、高复杂度特征导致传统风险管理体系面临严峻挑战，风险分配失衡引发的合同纠纷、项目停滞等问题频发。文章基于风险管理理论与契约经济学框架，聚焦 PPP 模式下建筑工程项目的风险传导机理与治理逻辑，构建全生命周期风险配置模型，探索兼顾效率与公平的优化路径，为完善公私合作制度提供理论支撑与实践指引。

[关键词]PPP 模式；风险管理；契约治理；风险配置；协同机制
DOI：10.33142/ec.v8i4.16340　　中图分类号：F283　　文献标识码：A

Research on Risk Sharing Mechanism of Construction Project Management under PPP Mode

HU Kangqi
Government Investment Agency Construction Service Center of Aksu Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Aksu, Xinjiang, 843000, China

Abstract: With the acceleration of the new urbanization process, the PPP model is playing an increasingly important role in the field of infrastructure construction. This model achieves the dual goals of risk sharing and efficiency improvement by integrating the policy advantages of the public sector with the professional capabilities of social capital. However, the long cycle and high complexity of construction projects pose severe challenges to traditional risk management systems, with frequent contract disputes and project delays caused by imbalanced risk allocation. Based on risk management theory and contract economics framework, this article focuses on the risk transmission mechanism and governance logic of construction projects under the PPP model, constructs a full life cycle risk allocation model, explores optimization paths that balance efficiency and fairness, and provides theoretical support and practical guidance for improving the public-private partnership system.

Keywords: PPP mode; risk management; contract governance; risk allocation; cooperative mechanism

引言

我国自 2014 年推行 PPP 改革以来，该模式在轨道交通、市政工程等领域广泛应用，截至 2022 年底已纳入财政部项目管理库的项目投资额超 16 万亿元。建筑工程领域 PPP 项目具有资产专用性强、资本密集度高等特点，在提升公共服务供给效率的同时，也面临复杂的风险治理挑战。政策层面，《关于规范政府和社会资本合作（PPP）综合信息平台项目库管理的通知》等文件虽明确了风险分配原则，但操作性指引仍待细化。

1 PPP 模式与建筑工程风险管理特征

1.1 项目全周期风险传导特征

建筑工程项目在 PPP 模式下呈现显著的全生命周期风险传导特性。规划阶段政策变动风险通过立项审批程序向融资环节传递，形成信用风险溢价；建设阶段技术缺陷可能转化为运营期的质量风险，导致服务收益衰减；移交阶段资产估值偏差则引发权属争议风险。这种跨阶段风险传导要求建立覆盖项目立项、实施、运维的全过程监测体系，通过风险溯源机制阻断负面效应的链式扩散。

1.2 多主体协作风险特性

政府部门、社会资本、金融机构等参与方构成复杂风险责任网络。公共部门的政策制定者角色使其天然承担制度变迁风险，而社会资本作为建设运营主体需管控技术实施与市场运营风险。金融机构在资金供给环节面临信用评估风险，咨询机构则对风险量化精度负有专业责任。多元主体间的信息不对称导致风险责任推诿，需通过契约设计明确风险归属矩阵。

1.3 风险敞口动态演变规律

项目风险敞口随实施阶段呈现非线性变化特征。建设期风险集中表现为技术实施不确定性，运营期转向市场需求波动与服务质量风险，移交期则凸显资产处置风险。这种动态演变要求风险分担机制具备阶段适应性，建立与项目进度联动的风险再评估制度，实现责任分配的动态优化。

2 PPP 模式风险分担机制设计原则

2.1 风险收益对等配置原则

风险收益对等配置是 PPP 项目风险分担的核心逻辑，其本质在于通过风险责任与收益权利的动态平衡实现合作关系的可持续性。在契约设计层面，需构建与风险等级

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

联动的收益调节机制，例如在特许经营协议中嵌入风险补偿系数，使社会资本承担的额外风险可通过调整服务定价或延长特许期获得补偿。针对政府方承担的公共属性风险，可探索设立风险调节基金，依据项目运营绩效动态拨付补贴资金。对于跨区域大型项目，可引入风险溢价分层模型，根据风险敞口差异划定不同层级的收益率浮动区间[1]。此外，需建立风险责任追溯机制，当风险事件源于某一方的主观过失时，通过履约保函或违约金制度实现风险成本内部化。这种双向调节机制既避免了风险承担者的单边损失，又抑制了投机性风险转嫁行为，使风险配置回归市场化契约本质。

2.2 动态弹性调整原则

PPP 项目长周期特征要求风险分担机制具备动态响应能力。在初始协议中需预设风险重分配触发条件，例如当建设成本波动超过基准价 5%、市场需求偏离预测值 10%或政策法规发生实质性变更时，自动启动风险再谈判程序。调整过程中应建立多维度评估体系，综合考量风险事件的影响范围、持续时间和可控程度，通过第三方专业机构出具风险评估报告作为协商依据。对于技术迭代引发的风险形态变化，可设置技术适应性条款，要求社会资本定期提交技术升级方案并重新核定风险责任边界。在极端情形下，可通过设立临时共管账户暂存争议风险对应的资金，待风险处置方案确定后进行定向划转。这种弹性机制不仅增强了风险应对的时效性，更通过制度化协商框架降低了合作破裂风险，确保项目在不确定性环境中保持稳定运行。

2.3 风险阈值控制原则

科学设定风险责任上限是维持合作主体财务可持续的关键保障。需根据主体的资产负债率、现金流覆盖率等财务指标，量化确定各方的最大风险承载能力。对于超限额风险，可通过结构化融资工具进行分层处理，优先级风险由实力较强的运营主体承担，次级风险通过保险证券化转移至资本市场。在操作层面，应建立风险储备金计提制度，要求参与方按风险暴露规模提取专项风险准备金，并实行共管账户监管。针对不可抗力等极端风险，可借鉴国际通行的“风险走廊”机制，当损失超过预设阈值时，启动政府临时接管程序或引入战略投资者进行风险分摊。同时需完善风险对冲工具应用，鼓励采用汇率掉期、大宗商品期货等金融衍生品管理市场波动风险。通过构建多层次风险吸收体系，既能避免单一主体陷入系统性风险困境，又能优化社会资本参与 PPP 项目的风险收益结构。

3 风险分担机制实施的影响要素

3.1 制度环境约束

政策法规体系的完备程度是风险分担机制有效运行的基础性前提。当前我国尚未出台 PPP 专门立法，风险分配主要依赖《政府采购法》《招标投标法》等通用法律及部门规章，导致权责界定缺乏统一标准。例如，《基础设施和公用事业特许经营管理办法》虽规定风险分配原则，但未明确政府支付责任违约的司法救济路径，影响社会资本信心[2]。监管框架的碎片化问题突出，发改、财政、住建等部门监管权责交叉，项目审批中涉及的环评、用地等许可流程缺乏协同，延缓风险应对时效。税收政策的稳定性亦影响风险分配结构，如增值税留抵退税政策调整可能改变项目现金流预测模型，需在协议中嵌入税收中性条款进行风险缓释。对此，可借鉴加拿大《联邦 PPP 框架》经验，通过专项立法确立风险分配基准规则，并建立跨部门政策协调机制以增强制度供给的系统性。

3.2 市场成熟度影响

社会资本的风险管理能力差异显著制约机制运行效率。部分地方平台公司转型企业缺乏市场化风险管理经验，难以准确评估技术实施风险敞口；而国际工程承包商虽具备专业技术能力，却对国内政策风险敏感性不足。专业服务机构发展不均衡问题突出，国内咨询机构在风险量化建模、保险方案设计等领域与 AECOM、麦肯锡等国际机构存在代际差距。金融市场工具创新滞后导致风险转移渠道受限，目前国内 PPP 项目险种仍以建工一切险为主，针对绩效付费风险、市场需求风险的专属保险产品供给不足。信用评级体系的不完善加剧风险定价偏差，部分项目可行性研究报告中的风险折现率设定缺乏科学依据。破解这些困境需参照英国基础设施局（IUK）模式，建立政府背书的风险管理能力认证体系，强制要求重大项目引入持证专业机构参与风险评估。

3.3 项目特性制约

工程物理属性深度塑造风险分配模式。地下综合管廊、超高层建筑等特殊结构工程面临地质条件不确定、施工工艺复杂等风险，需在协议中设立技术风险共担池，参照 FIDIC 银皮书条款设定风险分配矩阵。收益机制差异导致风险偏好分化，使用者付费项目需建立需求风险调节机制，如地铁项目常采用“客流保底+超额分成”模式；政府付费项目则应严格遵循《政府和社会资本合作项目财政承受能力论证指引》，设置一般公共预算支出 10%的红线约束。项目融资结构亦影响风险传导路径，资本金比例过低可能引发财务杠杆风险放大效应，需参照《关于规范金融企业对地方政府和国有企业投融资行为有关问题的通知》，建立与项目现金流匹配的动态资本金监管机制。

3.4 组织协同效能

跨组织协作障碍显著抬升风险治理成本。政府部门内部决策链条过长导致风险响应迟滞，某跨省高铁项目曾因环保审批部门意见冲突延误开工 18 个月。社会资本与设计单位的技术标准认知差异引发实施风险，如 BIM 模型交付标准不统一造成的设计变更风险。信息孤岛现象普遍存在，部分项目各参与方使用独立管理系统，无法实现风险数据的实时共享。文化理念冲突加剧协同难度，公共部门的风险厌恶倾向与社会资本的创新偏好形成价值张力[3]。破解这些困境可借鉴雄安新区数字孪生城市建设经验，搭建基于区块链技术的协同管理平台，将风险监测指标、处置进度等数据上链存证，利用智能合约自动触发应急预案。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

同时推行 IPD 模式，通过风险收益共享机制重塑组织关系，促进各方形成风险共治共同体。

4 风险分担机制优化路径

4.1 完善制度保障体系

构建系统化制度框架是优化风险分担机制的基础支撑。需加快推进 PPP 专项立法进程，在《基础设施和公用事业特许经营管理办法》基础上，明确风险分配条款的法律效力层级，规定政府履约担保、社会资本退出补偿等核心条款的强制约束力。建议参照联合国国际贸易法委员会《PPP 立法指南》，建立覆盖风险识别、评估、分配的全流程法律规范，将风险清单管理、动态调整程序等关键机制纳入法定程序。同时，应制定全国统一的风险责任认定标准，出台《PPP 项目风险分配操作指引》，明确不可抗力、政策变更等典型风险的归属判定规则，避免因责任模糊引发的争议。在争议解决层面，可借鉴英国基础设施局经验，设立 PPP 专业仲裁法庭，组建由工程、法律、金融专家构成的调解委员会，推行“争议评审委员会”前置机制，将风险纠纷化解在协商阶段。此外，需强化信用约束机制，将政府履约情况纳入政务诚信考核体系，对社会资本建立黑名单制度，通过跨部门联合惩戒提高违约成本，形成制度刚性威慑。

4.2 培育专业服务市场

专业化服务供给能力直接决定风险管理的精细化水平。应重点扶持具备国际视野的风险咨询机构发展，鼓励普华永道、德勤等专业机构开发适用于建筑工程项目的风险评估模型，参照《项目管理知识体系指南》建立风险量化标准体系。在保险领域，推动保险机构与行业协会合作，研发覆盖设计缺陷、工程延误、性能担保等特殊风险的组合型保险产品，如参照法国 CARINA 模式推出工程质量潜在缺陷保险。加快建立国家级 PPP 风险数据库，整合住建部“全国建筑市场监管公共服务平台”数据资源，构建包含风险事件类型、发生概率、处置方案等要素的案例库，为风险定价提供历史参数支撑。人才培养方面，支持高校设立 PPP 风险管理交叉学科，联合国际项目管理协会开展注册风险分析师认证，培养既懂工程技术又精于金融法律分析的复合型人才梯队，从根本上解决专业能力供给不足问题。

4.3 创新技术应用路径

数字化转型为风险治理提供新的技术范式。应深化建筑信息模型技术在风险管理中的应用，参照新加坡“虚拟设计与施工”经验，构建五维风险预警系统，通过进度、成本、质量、安全、环保数据的实时集成，自动识别偏离基准计划的潜在风险。利用机器学习算法对历史项目数据进行训练，建立风险传导路径预测模型，如在伦敦横贯铁路项目中应用的“风险热力图”技术，可动态评估不同风险因子的影响权重。区块链技术的引入可重构契约执行机制，参照迪拜“智能迪拜 2021”战略，将风险分配条款编码为智能合约，通过以太坊平台实现风险事件触发条件下的自动赔付结算。数字孪生技术的应用可提升决策科学性，如香港国际机场扩建工程中建立的数字孪生体，能模拟不同风险处置方案对项目现金流、工期进度影响，为优化风险应对策略提供可视化支持。

4.4 构建协同治理网络

风险治理效能提升依赖于多方协同机制的完善。建议参照欧盟“PPP 知识实验室”模式，建立跨部门联席会议制度，整合发改、财政、住建等部门监管职能，形成风险信息共享与联合处置机制。在操作层面，可借鉴日本“PFI 推进委员会”经验，设立由政府部门、社会资本、金融机构、行业协会代表组成的风险共治平台，制定《风险应急协同处置规程》，明确各方在风险事件中的联动职责与响应流程。标准化建设方面，应推动中国工程建设标准化协会制定《PPP 项目风险管理规范》，细化风险识别、评估、监控等环节的技术标准，建立与 ISO31000 风险管理体系接轨的认证制度[4]。独立监督机制的构建同样关键，可引入国际知名监理机构如必维国际检验集团，对风险防控措施实施全过程审计，参照世界银行“PPP 项目准备工具包”开展风险管理成熟度评估，确保风险治理体系的有效性。

5 结语

本研究系统揭示了 PPP 模式下建筑工程项目风险分担的内在逻辑与实践困境，创新性地提出“制度-市场-技术”三维优化框架。研究表明，有效的风险治理需要突破传统静态分配思维，建立与项目生命周期匹配的动态调整机制，并通过立法完善、专业服务市场培育和技术赋能形成治理合力。实践层面，建议参照《政府和社会资本合作项目通用合同指南》修订风险分配条款，在示范文本中增加风险再谈判触发机制，同时推动建立全国性 PPP 风险数据共享平台。理论层面，本文构建的风险传导模型为后续研究提供了新的分析工具。未来研究可重点关注人工智能在风险预警中的应用、ESG 标准与风险评价体系的融合创新，以及突发公共卫生事件等新型风险的分担机制设计，持续提升 PPP 模式在新型基础设施建设中的风险治理效能。

[参考文献]

[1]谭帅.建筑工程项目 EPC 总承包模式下总承包企业工程造价的控制[J].中国集体经济,2023(8):58-61.
[2]孟允.工程项目 EPC 总承包模式下建筑经济管理分析[J].经济管理文摘,2021(14):93-94.
[3]李琦琪.EPC 模式下建筑工程项目合同柔性对项目绩效的影响研究[D].成都:西南财经大学,2024.
[4]高荣,张锋.EPC 总承包模式下的建筑工程项目研究[J].工程建设与设计,2023(18):226-228.

作者简介：胡康旗（1974.7—），毕业院校：新疆大学，所学专业：经济地理，当前就职单位名称：新疆维吾尔自治区阿克苏地区政府投资代理建设服务中心，就职单位职务：阿克苏地区政府投资代理建设服务中心主任，职称级别：正高。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于全生命周期的工业建筑成本管理与效益分析

秦雅杰
北京凯盛建材工程有限公司，北京 100024

[摘要]全生命周期工程造价管理旨在对建筑项目的各个阶段进行全面有效的管理，涵盖从施工前期、施工期、施工后期，到使用期、翻新期、拆除期等全过程。这一管理模式的核心目标是通过对项目各阶段造价的有效控制，最大程度地实现成本最小化，同时提升建筑企业的经济效益，实现建筑成本的节约。因此，文章对全生命周期工程造价管理的构建策略进行深入分析，旨在推动我国建筑行业在工程造价管理方面的提升和发展。

[关键词]全生命周期；建筑成本；成本管理；效益分析
DOI：10.33142/ec.v8i4.16334　　中图分类号：TU11　　文献标识码：A

Cost Management and Benefit Analysis of Industrial Buildings Based on the Whole Life Cycle

QIN Yajie
Beijing Triumph International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100024, China

Abstract: Full life cycle engineering cost management aims to comprehensively and effectively manage all stages of a construction project, covering the entire process from pre construction, construction period, post construction, to use period, renovation period, demolition period, etc. The core goal of this management model is to achieve maximum cost minimization through effective cost control of each stage of the project, while improving the economic benefits of the construction enterprise and achieving cost savings in construction. Therefore, the article conducts an in-depth analysis of the construction strategy of full life cycle engineering cost management, aiming to promote the improvement and development of Chinese construction industry in engineering cost management.

Keywords: full life cycle; construction cost; cost management; benefit analysis

引言

随着工业建筑项目规模的不断扩大以及技术要求的日益提升，如何有效控制项目成本，特别是在水泥厂、车间和骨料线等领域，已成为建筑行业所面临的一项重要挑战。传统的成本管理通常局限于项目某一特定阶段，如设计、施工或结算，未能充分考虑整个项目生命周期中各个环节的管理需求。而全生命周期成本管理则强调，在设计、施工、结算直至退役的每个阶段，都应实施全面的成本控制与效益分析，从而确保项目整体成本的合理优化。在工业建筑项目中，由于涉及的技术复杂性、工期较长以及巨大的资金投入，如何在确保质量的前提下，控制各阶段的成本并提升经济效益，已显得尤为重要。通过全生命周期成本管理，项目管理者能够及时识别潜在风险，并采取相应措施进行应对，确保每个阶段都能实现成本控制与效益的最大化目标。本文将重点探讨工业建筑项目设计、施工与结算阶段的成本控制方法，并分析通过优化设计、提高施工效率以及合理结算等策略，如何实现项目成本效益的最大化，从而确保项目的顺利完成并促进其可持续发展。

1 全生命周期工程造价管理特点

全生命周期工程造价管理的核心理念在于尽量减少工程项目整个生命周期内的使用成本，具有极强的完整性、综合性和复杂性。除了施工阶段的基本管理外，成本控制还需贯穿于决策阶段、设计阶段、施工阶段以及完工后的维护和使用阶段。全生命周期工程造价管理主要包括两个方面：一是对整个工程项目生命周期的成本进行分析，二是对工程项目在各阶段的使用成本进行有效管理。在成本分析过程中，需基于项目的全生命周期来合理预算各项费用。在成本管理方面，造价管理应在工程项目的每个建设流程中有效控制，确保各环节的使用成本最小化。因此，这两个方面的管理需密切协调与配合，通过对建筑工程项目各个环节的细致审查，确保在全生命周期内对每个阶段的成本进行细化分析与有效管理。全生命周期工程造价管理的主要特点在于，它作为工程项目成本管理系统中的重要审计线索，发挥着至关重要的作用。

2 工业建筑各阶段造价控制与管理

2.1 设计阶段的工程造价控制

在工程设计阶段，控制工程造价的首要任务是进行初步造价估算，为项目的后续设计提供一个合理的成本框架。作为决定整体造价的关键环节，设计的合理性直接影响项目预算、施工过程以及结算的成本。因此，在此阶段，为有效控制工程造价，设计方案的可行性与经济性必须得到确保，确保设计不仅满足项目的功能需求，还能在预算范围内完成。设计团队应与造价工程师密切配合，对建筑材料、施工工艺、结构布局等每一个细节进行全面的成本评

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

估。控制设计阶段造价的另一个重要措施是，通过技术经济比选，评估不同设计方案的优劣，最终选择既能降低成本又能满足效益最大化要求，同时施工难度适中的方案。此外，设计变更的管理也至关重要[1]。由于设计变更往往会引起成本上升，设计阶段应尽量减少不必要的变动。每一次变更，都应经过充分的成本影响评估，以确保其对项目总成本的影响在可控范围内。

2.2 施工阶段的工程造价控制

施工阶段的工程造价控制在整个建筑项目成本管理中占据核心地位。此阶段的主要任务是确保项目在预算内顺利完成，并合理控制施工过程中的各项费用，以避免成本超支。造价控制应从项目开工前的详细预算开始，确保在施工合同中，对材料、人工、设备等各项费用有明确的约定，并通过有效的合同管理与成本控制措施，保障施工单位严格按照预算执行。随着施工进展，项目可能面临材料价格波动、人工成本上升以及工程变更等因素，这些因素都会影响最终造价。因此，实施定期成本跟踪与实时监控显得尤为重要。施工过程中，造价工程师应持续关注成本变化，及时识别潜在风险，并采取措施防止预算超支。特别是工程变更和追加工作，常常会引起额外的费用增加，这时，需要进行详细的成本评估，确保变更的合理性与必要性，并与相关各方进行有效沟通与协调。此外，施工现场的材料浪费、施工进度延误以及不合理的施工工艺等问题，也都是影响成本的重要因素。针对这些问题，优化施工组织设计、提升施工效率、强化精细化管理以及加强现场监督等手段，应被采取。

2.3 结算阶段工程造价控制

在工业建筑项目的结算阶段，工程造价控制的核心任务是合理解决已完成工程项目的费用与预算之间的差异。通常，涉及到对实际发生的费用进行详细核算、审查和确认，以确保费用项目与初步预算或合同约定的一致性。全面审核施工、材料、人工、设备、运输、管理等各项费用，项目经理与造价工程师需逐项与合同文件及施工记录进行对比，以确认是否存在超支或节约的情况。对于设计变更、工程追加或修改内容，相关费用必须重新核算，确保变更的合理性与必要性，并在结算时明确其费用影响。供应商提供的费用单据和合同条款亦需重点审查，确认支付依据是否符合合同规定，以避免重复支付或遗漏支付的情况。质量检查和验收相关费用的确认，亦为结算阶段的重要内容，确保项目完成后，所有费用能够按照规定进行结算，最终确保造价准确反映实际支出。顺利完成这一过程，有助于确保建筑项目能够按预期的财务目标完成。

3 工业建筑造价管理中的风险控制与效益分析

3.1 工程造价管理中的主要风险因素

在工业建筑项目中，工程造价管理面临着多种风险因素，这些风险可能导致项目成本的超支或效益的下降。设计变更是项目过程中常见的风险之一，随着项目的推进，设计调整可能会打破原有预算，进而带来额外的费用和工期延误。此外，材料价格的波动也是一个重要的风险，尤其对于需要大量特殊材料或进口材料的工业建筑项目而言，价格的不稳定性可能显著影响预算的准确性。施工过程中，某些不可预见的因素，如进度延误、工人罢工、设备故障等，也可能导致项目延期，并增加额外成本。同时，外部环境因素，包括政策变化、市场需求波动及自然灾害等，也可能对项目造价产生深远影响。例如，政策调整可能导致某些建筑材料或施工工艺费用的上涨，甚至可能影响项目的审批流程和实施进度。此外，项目管理过程中存在的一些问题，如沟通不畅、合同履行不到位、资金管理不当等，也会影响项目的成本控制与资源调配，从而导致项目总造价的增加。

3.2 风险控制方法与技术

在工业建筑项目的造价管理中，应用风险控制方法与技术至关重要，以确保项目能够在预算内顺利完成并实现预期的经济效益。风险识别是管理过程中的关键环节，通过深入分析项目各阶段，潜在的风险因素，如设计变更、材料价格波动以及施工延误等，得以识别。定期进行风险评估并实施动态监控，项目管理团队应及时发现问题并采取应对措施[2]。为了有效应对风险，风险转移或分担策略可被采取。例如，通过合同条款明确规定风险的分配，或通过引入保险机制，将一部分风险转嫁给第三方。此外，构建完善的预警系统，施工过程中风险变化得以实时监控，确保在风险初期就能采取适当的措施，防止风险蔓延。在技术层面，现代风险管理软件与工具能够协助项目团队进行风险预测与模拟，从而为决策提供数据支持，提升应对风险的科学性与精确性。通过这些方法与技术的应用，造价管理中的不确定性可大幅度降低，确保项目能够按计划推进，最大化成本效益。同时，项目各方，包括供应商、承包商及其他利益相关者，需加强沟通与合作，确保在实施过程中，各方对潜在风险有充分的认识，并采取一致的应对措施。

3.3 工程造价效益分析的指标体系

在工业建筑项目的造价管理中，效益分析的指标体系是评估项目经济效益的重要工具，涵盖了多个关键方面。成本控制指标是其中的重要内容，通过预算与实际支出的对比分析，项目各阶段的成本控制情况得以有效评估，从而判断是否达成了预期的成本目标。施工效率指标则侧重于项目进度、工期管理以及人力资源的合理配置，反映了施工过程中资源利用的效率以及对工期的把控能力。质量控制指标也是评估项目效益的关键，它涉及建筑质量的保障措施，确保项目的长期使用效益，避免由于质量问题而引发的额外维修费用。同时，安全管理指标也不容忽视，重点在于施工过程中安全事故的发生率以及安全投入与

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

产出的比值。较低的事故发生率通常意味着更高的效益与更少的安全隐患，从而为项目的顺利进行创造了有利条件。

3.4 工业建筑全生命周期的成本效益综合评价模型

在工业建筑项目中，采用全生命周期的成本效益综合评价模型，可以为设计、施工及结算各阶段提供系统的成本控制与效益分析支持。在设计阶段，模型通过对不同设计方案的详细分析，结合功能需求和预算约束，优化设计选择，确保设计方案的经济性和可行性，从而为后续施工阶段的成本控制打下了坚实基础。在施工阶段，重点关注施工过程中的各项费用，模型包括材料、人工、设备等方面的支出，实时监控潜在的风险因素，如材料价格波动、工期延误及变更带来的额外成本。通过科学的资源调配与技术手段，这些风险得以有效降低，确保项目能够在预算范围内顺利进行[3]。结算阶段，项目的实际支出进行审查与调整，模型则分析设计与施工阶段产生的差异，确保各项费用的合理性，并通过对最终成本的评估，验证了项目的经济效益。在整个项目周期内，全生命周期的成本效益综合评价模型能够全面掌握项目的经济动态，及时发现潜在的风险，为决策提供了有力的数据支持，从而在设计、施工及结算各阶段实现了最佳的成本控制与效益优化。

3.5 造价效益分析与优化策略

在工业建筑项目的造价管理中，造价效益分析与优化策略贯穿于设计、施工及结算各个阶段，对于确保项目按计划完成并实现预期经济效益具有重要作用。在设计阶段，造价效益分析的重点是通过多方案对比，结合技术经济评估，选取性价比最高的设计方案。这不仅能减少初期投入，还能提升项目的长期运行效益。设计方案需要在满足功能需求的基础上，综合考虑材料选择、施工工艺的可行性以及后期维护成本，避免因设计缺陷带来的额外支出。此外，设计阶段应尽量减少变更次数，频繁的设计调整通常会导致成本增加，从而加大项目的经济负担。因此，优化策略应集中于确保设计方案的经济性和可行性上，尽量减少后期调整需求。在施工阶段，造价效益分析与优化策略着重于强化成本控制与资源配置管理。由于施工阶段通常是项目成本消耗的主要环节，如何有效利用人力、物力和财力，提高施工效率，减少浪费，降低因工程变更、施工延期、材料价格波动等因素引起的超支，已成为施工管理的核心任务。通过精细化管理，建立完善的成本预算与监督机制，施工材料、人工费用、设备使用等得以严格把控，确保各项开支都在预算内。同时，施工进度的控制也直接影响总成本，工期延误通常会带来额外费用，进而提高项目的总造价。因此，按计划进度执行并及时解决可能导致延误的问题，至关重要于控制成本。在结算阶段，造价效益分析主要体现在对工程款项的准确核算与结算成本的控制[4]。作为整个项目造价的总结与落实阶段，结算过程需要通过合理审计与评估，确保所有费用支出有依据，避免因结算错误或疏漏产生额外费用。同时，根据实际施工情况、设计变更及不可预见因素进行调整，确保项目最终结算在合理范围内，防止因结算问题引发不必要的经济纠纷。

4 结语

本文探讨了全生命周期成本管理在工业建筑中的关键作用，尤其是在造价控制及效益分析方面的影响。通过在设计、施工、结算等各个阶段实施精细化的成本控制，成本得以在不同阶段有效把握，从而避免了资源浪费和不必要的开支。借助科学的成本分析方法与管理手段，项目预算被实时监控与调整，整体成本得以显著降低，同时资源利用效率也得到了提高。项目的顺利推进，得益于合理的风险管理与效益分析，这为项目提供了坚实的保障，确保了在造价控制的同时，预期效益能够顺利实现。随着建筑行业的持续发展，全面推广全生命周期成本管理理念，将为工业建筑项目的可持续发展提供强有力的支持。未来，建筑行业应更加重视全生命周期成本管理的实施，特别是在造价控制的精细化与精准化方面，从而推动行业的创新与进步。

[参考文献]

[1]张晓珂.基于全生命周期的绿色建筑成本影响因素研究[D].河南:中原工学院,2024.
[2]陈叔可.全生命周期工程造价管理分析[J].山西农经,2017,11(3):90-91.
[3]李辉山,张浩浩,李小雪.基于全生命周期的被动式建筑成本控制评价[J].建筑节能,2019,47(8):130-134.
[4]林惠玲.建筑施工企业供应商全生命周期管理[J].合作经济与科技,2025,12(5):102-104.

作者简介：秦雅杰（1990.6—），毕业院校：兰州理工大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：北京凯盛建材工程有限公司，职务：造价工程师，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

浅析 BIM 应用下建筑工程造价精细化管理策略

郝 琳
新疆双河勘测设计有限公司，新疆 双河 833408

[摘要]近年来，我国建筑行业发展迅速，随着城市化进程的加快，建筑工程项目数量不断增加，规模日益扩大。建筑行业在国民经济中的地位愈发重要，已成为推动经济增长的重要力量。然而，在建筑行业蓬勃发展的同时，建筑工程造价管理方面却面临着诸多问题。因此，将 BIM 技术应用于建筑工程造价精细化管理具有重要的理论与实践意义。实践中，能够帮助建筑企业提高造价管理水平，实现工程造价的精准控制，降低工程成本，提高企业的经济效益和市场竞争力。

[关键词]BIM 应用；建筑工程造价；精细化管理
DOI：10.33142/ec.v8i4.16326 中图分类号：TU723.3 文献标识码：A

Brief Analysis of Fine Management Strategies for Construction Cost under BIM Application

HAO Lin
Xinjiang Shuanghe Survey and Design Co., Ltd., Shuanghe, Xinjiang, 833408, China

Abstract: In recent years, China's construction industry has developed rapidly. With the acceleration of urbanization, the number and scale of construction projects continue to increase. The construction industry has become increasingly important in the national economy and has become a significant force driving economic growth. However, while the construction industry is flourishing, there are many problems facing cost management in construction projects. Therefore, applying BIM technology to fine management of construction project costs has important theoretical and practical significance. In practice, it can help construction enterprises improve their cost management level, achieve precise control of engineering costs, reduce engineering costs, and enhance their economic benefits and market competitiveness.

Keywords: BIM application; construction project cost; refined management

1 BIM 技术在建筑工程造价管理各阶段的应用

1.1 决策阶段

在项目决策阶段，投资估算的准确性对项目的可行性与投资决策至关重要。传统投资估算主要依据经验指标与类似项目数据，准确性较低。基于 BIM 技术，可建立投资估算模型。首先，收集大量已建类似项目的 BIM 模型数据，包括项目规模、建筑类型、结构形式、造价信息等。利用大数据分析技术，对这些数据进行整理与分析，建立各类建筑参数与造价之间的关联模型。在新项目投资估算时，根据项目的初步设计方案，构建简单的 BIM 模型，输入项目的关键参数，如建筑面积、层数、结构类型等。投资估算模型即可根据已建立的关联关系，快速准确地估算出项目的投资总额。同时，BIM 模型还能直观展示项目的初步设计效果，为决策者提供更全面的信息支持，使其能够做出更科学的投资决策。

决策阶段往往需要对多个设计方案进行比选与优化。借助 BIM 技术的可视化与模拟功能，能够对不同设计方案进行全方位的分析评估。通过构建各方案的 BIM 模型，可直观展示方案的建筑外观、内部空间布局以及功能分区等，使决策者能够更直观地感受不同方案的差异。同时，利用 BIM 模型的模拟功能，对各方案的能耗、采光、通风等性能进行模拟分析，评估方案的可持续性。在造价方面，基于 BIM 模型自动计算各方案的工程量与工程造价，对比不同方案的成本差异。通过综合考虑技术、经济、环境等多方面因素，对设计方案进行优化，选择最优方案，实现项目投资效益的最大化。

1.2 设计阶段

设计阶段是控制工程造价的关键环节。传统设计过程中，设计人员往往更关注建筑的功能与美观，对造价控制的重视不足，容易导致设计变更与造价超支。引入 BIM 技术后，可实现限额设计与造价控制的有效结合。在设计初期，根据项目投资估算确定各专业的造价限额，并将其输入到 BIM 模型中。设计人员在进行设计时，通过 BIM 模型实时查看设计方案的造价情况，当造价接近或超出限额时，系统会发出预警。设计人员可根据预警信息，及时调整设计方案，如优化建筑结构、选用更经济的建筑材料等，确保设计方案在造价限额内。同时，BIM 技术的协同设计功能，使各专业设计人员能够实时沟通协作，避免因专业冲突导致的设计变更与造价增加。

在建筑设计过程中，各专业设计之间的冲突与碰撞是导致设计变更与施工延误的重要原因。BIM 技术的碰撞检查功能能够有效解决这一问题。通过将建筑、结构、给排水、电气等各专业的 BIM 模型整合到一起，利用专门的碰撞检查软件进行碰撞检测。软件能够快速准确地找出各专业设计之间的碰撞点，如管道与结构梁的碰撞、电气桥架与通风管道的碰撞等。设计人员根据碰撞检查结果，及时

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

对设计方案进行调整优化，避免在施工阶段因碰撞问题进行返工，从而降低工程造价。此外，BIM 技术还可对设计方案进行虚拟施工模拟，提前发现施工过程中可能存在的问题，进一步优化设计方案，提高施工的可行性与效率。

1.3 招投标阶段

工程量清单是招投标阶段的重要文件，其准确性直接影响到招投标的公平性与工程造价的控制。传统工程量清单编制主要依靠人工计算，工作量大、效率低且容易出错。基于 BIM 技术，可实现工程量清单的自动编制。在 BIM 模型中，每个建筑构件都具有明确的几何尺寸与属性信息，通过专门的算量软件，能够根据模型信息自动生成准确的工程量清单。同时，BIM 模型中的信息与工程量清单实时关联，当模型发生变更时，工程量清单也会自动更新，确保了清单的准确性与一致性。在工程量清单审核方面，利用 BIM 模型可对清单中的工程量进行快速核对，提高审核效率与准确性，减少因工程量计算错误导致的纠纷与造价风险。

对于投标单位而言，准确的投标报价是中标的关键。借助 BIM 技术，投标单位能够获取更全面准确的项目信息。通过对招标项目的 BIM 模型进行分析，投标单位可以清晰了解项目的工程内容、施工工艺以及潜在的风险因素。结合自身的施工经验与成本数据，利用 BIM 模型进行成本测算，制定合理的投标报价。同时，BIM 技术的可视化功能有助于投标单位向评标专家展示其施工方案与技术优势，提高投标文件的竞争力。此外，投标单位还可利用 BIM 技术对不同投标策略进行模拟分析，如不同的资源配置方案、施工进度安排等对成本与利润的影响，从而制定出最优的投标策略，提高中标概率。

1.4 施工阶段

施工阶段是建筑工程造价控制的核心阶段，成本控制的好坏直接影响项目的最终效益。基于 BIM 技术，可实现施工成本的实时监控与动态管理。在施工过程中，将施工进度计划与 BIM 模型进行关联，形成 4D（三维模型+时间维度）施工进度模型。通过实时采集施工现场的进度、质量、资源消耗等数据，并将其反馈到 BIM 模型中，与计划数据进行对比分析。当发现实际成本与计划成本出现偏差时，系统能够及时发出预警，并分析偏差产生的原因，如施工进度延误、材料浪费、设计变更等。项目管理人员可根据预警信息，采取针对性的措施进行调整，如优化施工方案、加强材料管理、合理安排资源等，确保施工成本始终处于可控状态。

工程变更在施工过程中难以避免，但不合理的工程变更往往会导致工程造价大幅增加。利用 BIM 技术可对工程变更进行有效的管理。当发生工程变更时，首先在 BIM 模型中对变更内容进行模拟分析，评估变更对项目进度、质量、成本以及其他相关专业的影响。通过可视化的模型展示，使项目各参与方能够清晰了解变更的必要性与影响范围。同时，根据 BIM 模型自动计算变更后的工程量与造价，为变更决策提供准确的数据支持。在变更实施过程中，利用 BIM 模型对变更内容的执行情况进行跟踪监控，确保变更按照既定方案实施，避免因变更执行不到位导致的成本增加与工期延误。

1.5 竣工阶段

竣工结算是确定项目最终造价的重要环节，其准确性直接关系到项目各方的经济利益。传统竣工结算审核主要依靠人工查阅图纸、核对工程量与计价文件，工作量大、效率低且容易出现漏项与错算。基于 BIM 技术的竣工结算审核，以竣工 BIM 模型为基础，模型中包含了项目全生命周期的所有信息，包括设计变更、工程签证、实际施工进度等。通过将竣工结算文件与 BIM 模型进行对比分析，能够快速准确地核对工程量与造价，避免因人为因素导致的错漏。同时，BIM 模型的可视化功能有助于审核人员直观了解项目的实际施工情况，对一些争议问题能够更清晰地判断，提高竣工结算审核的效率与准确性。

在竣工阶段，利用 BIM 技术对项目造价进行全面分析与总结具有重要意义。通过对 BIM 模型中积累的项目全生命周期造价数据进行整理与分析，能够清晰了解项目在各个阶段的成本构成、成本变化趋势以及影响造价的关键因素。

2 BIM 应用下建筑工程造价精细化管理策略

2.1 建立完善的 BIM 模型体系

为确保 BIM 技术在建筑工程造价精细化管理中的有效应用，建立统一的 BIM 模型构建标准与流程至关重要。在模型构建标准方面，应明确规定模型的精度要求、信息分类与编码规则、数据交换格式等。例如，根据项目不同阶段的需求，确定模型的 LOD（Level of Development，发展程度）等级，如在设计阶段初期，模型 LOD 等级可设定为 200，主要体现建筑的大致轮廓与布局；随着设计的深入，逐步提高 LOD 等级至 300 甚至更高，使模型包含详细的构件信息与施工工艺信息。在信息分类与编码方面，采用国际通用的标准，如 OmniClass 或 Uniclass，对建筑构件、材料、设备等进行分类编码，确保模型信息的一致性与可识别性。同时，统一数据交换格式，如 IFC（Industry Foundation Classes，工业基础类），便于不同软件之间的数据共享与协同作业。

在模型构建流程上，制定详细的操作指南。从项目启动阶段的模型规划，到设计阶段的模型建立与深化，再到施工阶段的模型应用与维护，以及竣工阶段的模型验收与交付，每个环节都应有明确的操作规范与责任分工。在项目启动阶段，项目团队应根据项目特点与需求，制定 BIM 模型应用规划，确定模型的范围、深度以及参与各方的职责。设计阶段，设计单位按照既定标准与流程，利用专业的 BIM 建模软件构建建筑、结构、给排水、电气等各专业模型，并进行协同设计与碰撞检查，不断优化模型。施工阶段，施工单位在设计模型的基础上，添加施工进度、资源配置、质量安全等信息，形成 4D 甚至 5D（三维模型+时间维度+成本维度）模型，用于指导施工过程管理。竣

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工阶段，对模型进行全面审核与验收，确保模型准确反映项目实际建设情况，并将其交付给业主用于项目运维管理。

建立有效的模型维护与更新机制是保证 BIM 模型持续发挥作用的关键。随着项目的推进，设计变更、施工进度调整、材料设备变更等情况不可避免，这些变化都需要及时反映在 BIM 模型中。为此，应明确模型维护与更新的责任主体与流程。一般来说，设计变更由设计单位负责在模型中进行更新，施工单位及时反馈施工过程中的实际情况，如实际完成的工程量、施工工艺的调整等，由相应的技术人员对模型进行更新。同时，建立模型版本管理机制，对每次模型更新进行记录与版本标识，便于追溯与查询。定期对模型进行检查与审核，确保模型信息的准确性与完整性。

2.2 培养专业的 BIM 造价管理人才

在 BIM 应用下，建筑工程造价管理人才需要具备多方面的能力。首先，应熟练掌握 BIM 技术相关知识与技能，包括 BIM 建模软件的操作、模型信息的提取与分析、BIM 与造价管理软件的集成应用等。其次，要具备扎实的工程造价管理专业知识，熟悉工程量计算规则、造价计价方法、合同管理、成本控制等专业内容。此外，还需具备良好的沟通协作能力与团队合作精神，能够与项目各参与方进行有效的沟通与协作，共同推进项目的顺利进行。基于以上能力要求，培养目标应定位于造就一批既懂 BIM 技术又精通工程造价管理的复合型专业人才。这些人才能够在建筑项目全生命周期中，充分利用 BIM 技术进行工程造价的精细化管理，能够准确运用 BIM 模型进行工程量计算、造价分析、成本控制以及参与项目决策等工作，为建筑企业的发展提供有力的人才支撑。

为实现上述培养目标，可通过多种途径与方法进行人才培养。在高校教育方面，优化工程造价管理专业课程设置，增加 BIM 技术相关课程，如 BIM 原理与应用、BIM 建模技术、BIM 与工程造价管理软件集成应用等。通过理论教学与实践操作相结合的方式，使学生在校期间就能掌握 BIM 技术在造价管理中的基本应用。同时，鼓励高校与建筑企业开展产学研合作，建立实习实训基地，让学生有机会参与实际项目的 BIM 应用实践，提高学生的实际操作能力与解决问题的能力。

对于在职人员，可通过组织专业培训进行人才培养。培训内容应根据在职人员的实际需求与技术水平进行分层设计，包括 BIM 基础培训、BIM 高级应用培训以及 BIM 与造价管理深度融合培训等。培训方式可采用线上线下相结合的方式，线上通过网络课程进行理论知识学习，线下通过集中授课、案例分析、模拟项目实践等方式进行技能训练。

2.3 加强 BIM 技术与造价管理的协同

建筑工程项目涉及建设单位、设计单位、施工单位、造价咨询单位等多个参与方，实现各参与方基于 BIM 技术的协同管理是提升造价精细化管理水平的关键。建立以 BIM 模型为核心的协同管理平台，各参与方在该平台上进行信息共享与协同作业。

建设单位作为项目的发起者与主导者，应在项目前期明确 BIM 技术应用目标与要求，协调各方关系，确保 BIM 技术在项目中的顺利实施。设计单位在设计阶段，利用 BIM 技术进行协同设计，及时与建设单位、施工单位等沟通设计方案，通过碰撞检查等功能优化设计，减少设计变更。施工单位在施工过程中，基于 BIM 模型进行施工进度管理、资源调配、质量安全控制等，并及时将施工过程中的实际情况反馈到 BIM 模型中。造价咨询单位则利用 BIM 模型进行工程量计算、造价分析、成本控制等工作，为项目各阶段造价管理提供专业服务。通过各参与方在协同管理平台上的紧密协作，实现信息的实时共享与交互，有效避免因信息不畅导致的造价失控问题。

为保障各参与方在 BIM 协同管理模式下的有效沟通与信息共享，建立完善的信息共享与沟通机制至关重要。首先，明确信息共享的内容与标准，规定哪些信息需要在 BIM 协同管理平台上共享，以及信息的格式、精度、更新频率等要求。例如，设计变更信息应在变更发生后的 24 小时内上传至平台，并详细说明变更原因、变更内容以及对造价的影响。其次，建立规范的沟通流程与反馈机制。确定各参与方在不同阶段的沟通方式、沟通时间以及沟通责任人。对于重要问题，应建立专门的沟通渠道，确保及时解决。同时，建立信息反馈机制，对各方提出的问题与建议，相关责任人应在规定时间内给予反馈与处理结果，保证信息沟通的有效性与及时性。

3 结语

本研究深入探讨了 BIM 技术在建筑工程造价精细化管理中的应用，全面阐述了 BIM 技术在建筑工程造价管理各阶段的应用价值、策略以及面临的挑战和解决方案。未来还需要进一步加强 BIM 技术应用的标准化和规范化研究。目前，虽然 BIM 技术在建筑工程造价管理中得到了广泛应用，但在应用过程中仍存在标准不统一、数据格式不一致等问题，影响了 BIM 技术的推广和应用效果。因此，需要加强行业标准的制定和完善，建立统一的数据标准和信息交换机制，促进 BIM 技术在建筑工程造价管理中的标准化和规范化应用。还需要加强对 BIM 技术应用效果的评估和监测，建立科学的评估指标体系，对 BIM 技术在建筑工程造价管理中的应用效果进行量化评估，为 BIM 技术的持续改进和优化提供依据。

[参考文献]

[1]宋扬,孟瑞娟.基于 BIM 的工程造价精细化管理研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(6):60-62.
[2]常亚军.基于 BIM 技术的建设工程监理精细化管理研究[J].建设监理,2024(S01):7-9.
[3]吴洁.浅议建筑工程管理中创新模式的应用及发展[J].工程建设与设计,2024(7):276-278.

作者简介：郝琳（1986.10—），女，毕业院校：南昌交通学院，学历：本科，所学专业：土木工程，在职年限：14 年，职称级别：中级，当前就职单位：新疆双河勘测设计有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

EPC 项目的建筑工程造价管理控制措施研究

钱碧云
中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司，河北 石家庄 050031

[摘要]伴随建筑行业的稳步成长，EPC 项目模式渐渐成为一种主导的工程总承包模式，尤其是在大型建筑工程相关项目中得以广泛应用。在 EPC 模式下，总承包商承担了从设计、采购到施工的全程责任，确保项目的质量、进度、成本等各项目标的实现。建筑工程造价管理是 EPC 项目管理的核心组成，关乎项目的经费预算、把控和调整。文中为研究 EPC 项目中的建筑工程造价管理控制措施而开展，分析在该模式推进阶段典型的造价管理问题，并提出解决策略。考察了现今 EPC 项目中造价控制现存的具体问题，结合实际案例，拟定了一些切实可行的管理手段，意在增进 EPC 项目的造价管理水平，保障项目的顺利实施提供理论支撑和实践指引。

[关键词]EPC 模式；建筑工程；造价管理；控制措施；项目管理；成本控制
DOI：10.33142/ec.v8i4.16347　　中图分类号：F42　　文献标识码：A

Research on Cost Management and Control Measures for Construction Engineering in EPC Projects

QIAN Biyun
PowerChina Hebei Electric Power Survey, design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050031, China

Abstract: With the steady growth of the construction industry, the EPC project model has gradually become a dominant engineering general contracting model, especially widely used in large-scale construction projects. In the EPC mode, the general contractor bears the full responsibility from design, procurement to construction, ensuring the achievement of various goals such as project quality, schedule, and cost. Construction cost management is the core component of EPC project management, which is related to project budget, control, and adjustment. The article aims to study the cost management and control measures for construction projects in EPC projects, analyze typical cost management problems during the promotion stage of this model, and propose solutions. We have investigated the specific problems of cost control in current EPC projects and developed some practical management methods based on actual cases, aiming to enhance the cost management level of EPC projects and provide theoretical support and practical guidance to ensure the smooth implementation of the projects.

Keywords: EPC mode; architectural engineering; cost management; control measures; project management; cost control

引言

EPC（设计、采购、施工一体化）模式身为建筑行业中渐趋流行的项目管理模式，因其明确的责任划分和高效的项目管理方式，在全球范围内的建筑工程项目中得到了广泛应用。在 EPC 项目设计阶段起，总承包商由项目设计阶段的起头时刻起，直至施工终结并交付投产，对项目的质量、进度、成本和安全管理全面把控。作为实现工程项目成功结果的关键因素之一，建筑工程造价管理的合理把控直接关系到项目的经济收益和成功交付。在 EPC 项目开展中，因为总承包商要承担整个工程周期里的各类工作，这使造价管理面临更高要求。怎样在守护质量规范性的基础上，恰当把握工程造价，减低项目后期花销，成为当前建筑工程管理的一大障碍。现阶段，在 EPC 项目中存在一些造价管理上的问题，如预算制定不精确、变更管理不到位、供应链管理不善等，这些问题多造成项目超预算、工期出现拖后，危及项目整体效益与业主的满意度。

1 EPC 项目模式的基本概述

EPC 前沿项目模式（Engineering, Construction），实际上是设计、采购、施工一体化模式，是建筑工程项目当中一种前沿型的总承包管理模式。在这种模式下，总承包商掌管项目从设计、设备采购至施工建设的全阶段，还对项目的质量、进度、成本等各方面实施系统把握，直至项目交割给业主。这种模式普遍称作“交钥匙工程”，即业主仅需工程结束后领取最终交付的成果，不用介入细致建设、管理工作[1]。

2 建筑工程造价管理的重要性

在工程项目起步阶段，项目的预算方案对整个项目的成本控制起着极为关键的影响力。采取科学的造价管理模式，可协助业主和总承包商清楚掌握项目所需的所有成本，恰当分配资源，杜绝预算审核失误或者设计变更所引发的成本超支，合适的预算能推动项目在规定的时间里完成，防止成本问题引发项目不良后果延期。建筑工程造价管理对增进工程项目综合效益规模有作用。依靠精准的造价管控，能使项目在保障质量、兼顾安全的基础上，恰当整合资源，减少冗余的费用消耗总值，进而增加项目的经济创收[2]。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3 EPC项目中间建筑工程造价管理常见问题情形

3.1 设计变更对工程造价的影响

在 EPC 项目工程开展阶段，设计变更是平常出现的现象，往往鉴于业主需求有所调整、设计人员疏漏或者技术升级等缘由，引起设计出现改变。这些设计变更既会对工程造价引起直接影响，也可能牵累项目施工的进度与质量。例如，在水利施工阶段，设计变更也引起原材料采购、施工方法以及人员安排等方面的调整，由此引起额外的资金支出。

此外，设计变更也许会诱发一系列连锁反应，比如材料成本攀升、设备采购的时长变长、施工技术难度增大等，这都要求造价管理团队持续跟进相关事宜，及时调整预算额度，项目经理与造价人员需全面熟知设计变更的缘由、情形及其影响，并与业主及设计团队开展合理交流，以此实现工程成本合理调整。

3.2 材料价格波动对造价控制的挑战

EPC 项目中的材料采购是一个关乎巨额资金的阶段，尤其是建筑项目中，材料占据了一大部分的成本比重。然而，材料价格的起伏让造价管理面临棘手挑战，因为全球市场的波动、供应链的整合难题以及其他外部因素，材料价格屡次出现变动，如此情形对已定预算的精准度和工程造价的把控造成风险[3]。

例如，钢材、水泥等建筑材料的价格也许会因市场供求形势的变动而显著起伏。置身 EPC 项目里，项目经理和造价工程师应借助与供应商加紧强化长期合作关系、运用灵活的采购策略、及时调整采购效果等办法来应对价格波动。此外，项目团队同样要实施风险预测，探求价格浮动范围，防止因市场供需波动引起的成本超支。

3.3 工程复杂性跟施工难度引发的成本失控

EPC 项目一般涉及复杂的建筑和工程施工，尤其是特定的某些专业施工领域范畴如地下工程、大型结构、高风险工程等，施工难度不低。施工的复杂难度和工程的错综程度让成本控制难度升级，往往出现计划和实际成本的明显偏差。

此外，复杂工程的统筹协同挑战颇大，项目经理在控制造价时也许碰到较大的窘迫感，若前期的设计与预算没有充分评估施工的复杂性，或者未针对工程可行性做全面分析，那么在施工阶段推进的时候，造价超支局面极易出现。

3.4 资金管理和现金流问题

EPC 项目在施工推进的瞬间需要庞大的资金支持，特别是在设备采购、材料供应、劳务的费用诸方面。然而，资金集中管理不善或现金流出现短缺，往往会引发工程的进度耽搁或成本失范。鉴于 EPC 模式下，承包商得扛起项目全生命周期的资金需求，倘若现金流步入断裂阶段，大概会干扰到各类施工计划的有序开展节奏[4]。

资金管理的问题集中反映到两个方面：一方面要实现资金按时下拨，另一方面是资金的恰当安排。从资金拨付的审批流程，要是项目资金未按时抵达，或许引起材料采购及设备安装的推迟，由此拖慢施工进度；另一方面正确调配资金对于保障项目每个阶段顺利开展也必不可少。

3.5 工程进度滞后导致的成本增加

在 EPC 项目运作阶段，项目进度的拖后一般会直接引发成本的增多，尤其是在大规模投资里，任何时期分层的耽搁都会引发巨大的成本重担。进度滞后的缘由或许涵盖施工设备的失灵、人力短缺、极端天气影响、设计不完备等多方面因素，项目若未按照预设的计划完成，除要支付额外的人工费用、机械使用费用之外。还可能碰到材料价格飞涨、资源浪费等情形。

因此，项目经理跟造价管理人员在项目各阶段须密切监测工程进度，保证各个环节都依照既定准则开展。针对有造成进度延误风险的那些因素，应预先给出预警说明，并采取措施防止进度滞后。

4 EPC项目实施中建筑工程造价管理的控制措施

4.1 加强前期预算与可行性分析

在 EPC 项目实施期间，前期预算跟可行性分析是进行工程造价控制的基础。举例某光伏电站，此光伏电站施工总成本为 4.48 亿元，而光伏区施工成本为 2 亿元，占总体的 45%。项目启动的前期阶段，承包方对建材市场进行了周全的调研，发现当地建筑材料价钱比预想得高，比预算编制时既定的信息价更高，可能会造成施工阶段造价失控情况。

此外，项目管理团队采取 ABC 材料管理法，对关键物资（以光伏板、电缆为例）进行严格监控，保障高价值物料合理采购且做好库存管理工作。同时，项目组采用经济批量订货（EOQ）模式来开展工作，改进材料供应链体系。

4.2 建立动态成本监控与调整机制

动态成本监控及调整机制是保障工程造价能被有效控制的关键举措。在建设某光伏电站期间，项目团队采用实时数据监控系统开展工作，利用定期更新材料、人工及机械使用费数据这一手段，对实际支出和预算的偏差进行分析，从而可及时调整成本管理的相关策略。例如，处于施工进行阶段，鉴于光伏板价格出现了变动，项目团队依据实时数据对采购的批次与数量加以调整，以实现将成本控制在预算范围的目标。

同时，项目团队安排了关键节点的里程碑，且借助甘特图对任务进度做可视化管理。采用关键线路法，项目团队筛选出关键任务，进而对浮动时间做出合理安排，进而提高资源的利用水平。进度报告按一定时间间隔生成，以及实时针对风险展开评估，使项目能及时针对成本变化采取措施，做到精准的造价把控。

4.3 加强设计变更控制与审批流程

设计变更乃是影响工程造价的重要因素之一。针对

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

EPC 项目而言，若在设计变更管理上处理不好，会引起成本超预算和工期延后。以某光伏电站相关项目为例，由于当地的地质状况特殊，原设计方案得进行部分的调整。为避免设计变更波及成本，项目团队建立起严格的变更审批体系，保证每次变更前都开展成本评估与可行性分析。

同时，项目团队借助 BIM 技术对设计方案做仿真分析，事先识别会影响造价的设计缺陷，而且在施工进行前把方案优化好。此外，项目团队实施责任追踪制度，对因不合理变更让成本增加的责任人实施追责，提升设计变更的管控水平，进而切实降低因设计变更产生的额外成本。

4.4 优化材料采购与供应链管理

建筑工程造价中，材料费占据着关键比例，以某光伏电站项目当作例子，光伏区施工成本里，材料费占比达 74%之高。因此，优化材料采购及供应链管理对控制工程造价意义重大。

项目团队采用的是 ABC 管理法，对材料采用分类管理手段。A 类物品（像光伏板、电缆这类）占了库存总价值的 70%～80%，管理策略采用严格管控手段、进行精准需求预测、实施低库存管理模式，进而优先采用 JIT（准时制）的订货方式。库存总价值里，B 类物品（如支架配件）占了 15%-20%的份额，采用定期查验、合理库存与经济批量（EOQ）订货策略，C 类物品（如低价值的辅助材料）占了库存总价值的 5%～10%，实施简化管理措施、批量采购且减少盘点频次的策略。此外，项目团队跟供应商打造长期合作关系，采取集中采购模式降低采购成本，同时借助信息化系统对材料供应链实施智能化管理，增强采购的工作效率。

4.5 提升项目进度管理跟成本控制的协同性

项目进度管理跟成本控制的关系十分紧密，恰当的进度管理可有效缩短工期，还能对工程造价起到降低效果。在某光伏电站项目之内，项目团队借助工作分解结构（WBS）把项目拆分成多个任务，进而借助甘特图拟定详细的施工方案，保障各个任务安排合理。

关键线路法（CPM）对进度管理的重要作用不可忽视。对任务依赖关系加以分析，项目团队辨认出了关键任务，进而对资源进行了恰当安排，保障关键任务按既定时间完成。同时，在关键节点设置缓冲时段，以便应对预料不到的延误，防止局部问题干扰整体施工进度。

项目团队采用实时监控进度的手段，包括定时产出进度报告、实施里程碑检查项目等，让施工进度与预算同步推进得以实现。针对机械运用状况，项目团队实施调度优化举措，加大设备的利用效率，防止因机械闲置或过度使用而造成成本上升。依靠这些协同管理手段，项目团队高效实现了进度跟成本的双重优化，保障项目按计划推进，把成本控制在预算范围之内。

4.6 催发全员成本意识，夯实成本文化支撑体系

在 EPC 项目推进的操作阶段里，造价管理并非仅是造价工程师担起的责任，同样离不开全体项目成员的联合出力。项目管理团队要采用培训、宣传等途径，增强全员对成本意识的把握，引导各个团队成员都有机会关注项目的成本把控，防止因无意识的消耗和不合理支出而提升项目成本[7]。

以增进成本文化建设为途径，构建全员全面齐心参与的成本控制机制，项目管理团队能够更顺利地实施成本控制措施的全面落实。各位参加者都应掌握项目造价的基本情形，并积极落实成本控制的要求，以此为项目的恰当完成提供有力支持。

5 结语

总之，EPC（设计、采购、施工一体化）模式作为一种新凸显出来的建筑工程总承包管理模式，其长处是对设计、采购和施工各环节加以集成，增加了项目的管理效率，并切实缩短了项目的工期时长。然而，在 EPC 项目操作阶段，怎样切实把控建筑工程的造价，实现项目的经济效益，仍旧碰到大量难题。借助对 EPC 项目模式的透彻剖析，本阐释归纳出该模式下常见的造价管理问题，并提出了相应的控制措施。

[参考文献]

[1]刘宇华.EPC 项目的建筑工程造价管理控制措施研究[J].四川建材,2025,51(2):220-223.
[2]刘发友.工程造价管理在建筑工程项目全过程中的应用——以深圳市某商业项目为例[J].房地产世界,2024(13):107-109.
[3]孙英连.浅析 EPC 模式下加强装配式建筑工程造价管理工作的要点[J].房地产世界,2024(11):89-91.
[4]李富尧,卢万龙,杜卫恒,等.建筑项目 EPC 总承包模式下工程造价控制措施[J].建筑技术开发,2024,51(4):92-94.
[5]王文俊.EPC 总承包项目建筑安装工程造价控制措施[J].居业,2023(5):92-94.
[6]吴柱栩.建筑项目 EPC 总承包模式下工程造价控制措施[J].中华建设,2020(11):38-39.
[7]危以明.EPC 总承包项目建筑安装工程造价控制措施[J].化工设计,2019,29(5):47-50.

作者简介：钱碧云（1980.8—），毕业院校：西班牙加迪斯大学，所学专业：经济与区域管理专业，当前就职单位：中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司，职务：设计师，职称级别：高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于 BIM 的机电工程协同管理平台构建与应用

郭重阳
华商国际工程有限公司，北京 100069

[摘要]随着建筑行业的数字化发展，BIM（建筑信息模型）技术在机电工程中的应用逐渐增多。传统的机电工程管理方式存在信息不流通、设计冲突、进度滞后等问题，影响了项目的效率和质量。为了解决这些问题，基于 BIM 的机电工程协同管理平台开始得到应用，旨在提高各专业之间的协同和管理效率。

[关键词]BIM 技术；机电工程；协同管理；平台构建；技术应用
DOI：10.33142/ec.v8i4.16317　　中图分类号：TU741.2　　文献标识码：A

Construction and Application of BIM based Collaborative Management Platform for Mechanical and Electrical Engineering

GUO Chongyang
Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

Abstract: With the digital development of the construction industry, the application of BIM (Building Information Modeling) technology in mechanical and electrical engineering is gradually increasing. The traditional management method of mechanical and electrical engineering has problems such as lack of information flow, design conflicts, and delayed progress, which affect the efficiency and quality of projects. In order to address these issues, BIM based collaborative management platforms for mechanical and electrical engineering have begun to be applied, aiming to improve collaboration and management efficiency among various disciplines.

Keywords: BIM technology; mechanical and electrical engineering; collaborative management; platform construction; technical application

引言

随着建筑行业技术的不断进步，BIM（建筑信息模型）技术在各类工程项目中的应用日益增多，尤其是在机电工程领域，已得到了广泛的关注与应用。机电工程作为建筑项目中的核心组成部分，涉及电气、暖通、给排水等多个专业领域的协调合作。传统的机电工程管理方法往往存在信息孤岛、沟通不畅、进度滞后以及质量控制难度大的问题，这些问题在项目实施过程中增加了许多难度与风险，尤其是在大型项目中。不同专业之间的协作，常常面临着复杂的管理与沟通挑战，严重影响着工程的顺利推进和最终质量。为了解决这些问题，提高机电工程的施工效率、质量控制以及成本管理，基于 BIM 技术的机电工程协同管理平台应运而生。该平台通过 BIM 技术，整合了设计、施工、运维等各阶段的信息，实现了信息共享，促进了各专业人员之间的实时协作。借助精准的三维建模与数据管理，平台能够帮助项目团队及时获取最新的工程数据，有效避免了设计冲突，提升了施工精度，优化了资源配置，从而提高了项目管理的透明度与协同性。此外，平台还融入了云计算、大数据分析与物联网等先进技术，支持了工程管理中数据的实时更新、动态监控及智能决策功能。通过这些技术的应用，确保了项目能够在规定的时间内高质量地完成。本文将重点探讨基于 BIM 的机电工程协同管理平台的构建与应用，分析该平台在设计、施工与运维各阶段的实际效果，并探讨它对管理模式带来的深刻变革。

1 BIM 技术的应用优势

1.1 有助于协同作业的落实

BIM 技术的应用显著提升了机电工程协同作业的效率，促进了各参建方在施工过程中的高效配合。在传统的机电施工过程中，由于涉及多个专业领域，不同施工单位之间的信息传递常常存在滞后或不完整的情况，进而导致了施工中的错漏碰缺、返工及工期延误等问题。通过建立统一的三维信息模型，BIM 技术将设计、施工及管理等各个环节的信息进行了整合与共享，使得各施工单位能够在同一数据平台上协同工作，减少了因信息不对称而导致的施工冲突。此外，BIM 技术还支持了可视化的碰撞检查与施工模拟分析，潜在问题得以在施工前被发现并进行调整优化，从而提高了施工组织管理的科学性，确保了各个工序的顺利衔接。最终，机电工程的高效且精准的协同作业得以通过 BIM 技术实现，推动了整个施工过程的顺畅进行。

1.2 有助于提高现场管控的效果

机电施工由于涉及多个专业领域，通常需要由不同的施工单位负责，这往往导致施工现场的管理面临一定的困难。当前，分包已成为施工单位在执行大规模项目时的主要方式。然而，分包的实施也使得施工单位难以有效地控制现场情况，且往往由于各分包单位的利益驱动，导致各自为政的现象发生。为了解决这一问题，BIM 技术的应用显得尤为重要。借助 BIM 技术，施工单位可以实现对各分包单位的统一管理，并通过科学合理的分包方式，确保机

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电施工的顺利进行，同时提升对各分包单位的管控效果。

1.3 有助于提升三维模型的直观性

BIM 技术的应用显著增强了三维模型的直观性，使得机电工程的设计、施工及运维过程变得更加清晰易懂。在传统的二维图纸模式中，设计信息通常依赖于平面图示表达，施工人员需将图纸转换为空间概念，这一过程常常引发理解偏差，从而导致施工错误和返工[1]。相比之下，BIM 技术通过构建精细的三维数字模型，能够直观展示建筑及机电系统的空间布局、结构方式及管线排布，帮助设计、施工及管理人员更加准确地理解工程细节。此外，BIM 技术还支持了多视角漫游及可视化分析，使得施工方案的审查与优化变得更加直观。这一功能使得各方能更方便地进行协同决策，有效减少了设计变更与施工冲突，从而进一步提高了施工效率与工程质量。

2 BIM 技术在机电工程中的应用现状

目前，BIM 技术在机电工程中的应用逐步推广，在设计、施工及运维管理等多个环节发挥了重要作用，但仍面临一定的局限性。在设计阶段，BIM 技术被广泛应用于机电系统的三维建模、碰撞检测与布置优化，有效减少了管线冲突，使得系统布局更加合理。然而，在实际操作中，不同专业之间的协作仍然存在困难，部分机电设计单位对 BIM 的应用深度不足，通常仅限于建模阶段，未能充分利用其在数据分析与优化方面的潜力。在施工阶段，BIM 的可视化与施工模拟功能提高了施工精度，并有效支持了现场管理，如进度控制、质量检查及材料管理等。但由于施工人员的技术水平有限，且传统施工管理模式的惯性存在，BIM 的应用在不同项目中存在差异，部分项目依然依赖传统施工方法，未能全面发挥 BIM 技术的优势。在运维管理阶段，BIM 技术能够与运维管理系统结合，支持设备信息管理、维护计划编制以及能耗分析等功能。然而，由于数据更新得不及时，且 BIM 与其他信息系统的整合存在较大难度，使得 BIM 在机电运维管理中的应用尚未成熟。此外，BIM 技术的推广受到软件成本较高、专业人才短缺以及行业标准不完善等因素的限制，这使得 BIM 在机电工程中的应用水平存在较大差距，难以实现行业范围内的广泛深入应用。

3 基于 BIM 的机电工程协同管理平台构建

3.1 平台架构设计

基于 BIM 的机电工程协同管理平台的架构设计应围绕数据集成、协同管理及信息共享三个核心目标展开，旨在促进各参建方的高效合作，并提升工程管理水平。该平台通常采用分层架构，具体包括数据层、模型层、应用层及用户层。数据层的主要功能是对 BIM 模型、施工进度、材料信息及设备参数等各类数据进行存储与管理，从而确保数据的完整性与一致性。模型层基于 BIM 技术，构建了精确的三维模型，并结合了物联网、GIS 及大数据分析技术，实现了机电系统的可视化呈现、碰撞检测以及动态监控。应用层是平台的核心部分，涵盖了设计优化、施工管理、运维管理等多个功能模块，支持了施工模拟、进度监控、质量检测及智能预警等应用，从而提升了工程管理的智能化程度。用户层则面向不同角色的用户，如设计人员、施工人员、项目管理者及运维管理者，提供了权限管理、数据访问及协同工作接口，确保了各方能够在统一平台上实时共享信息并协同作业。

3.2 关键技术与实现方法

基于 BIM 的机电工程协同管理平台的构建依赖于多项关键技术的整合与应用，以确保平台的高效性、智能化及协同能力。BIM 技术作为核心支撑，通过构建高精度三维模型，实现了机电系统的直观展示、参数化管理及信息化处理，从而使各施工单位能够在统一数据源的基础上开展协同作业。云计算技术提供了强大的数据存储与计算支持，确保了平台能够支持多方远程协作，使得设计人员、施工单位及管理方能够随时访问并更新 BIM 模型，显著提升了信息共享的效率。物联网（IoT）技术的融入，使得施工现场的各类设备、传感器与智能终端能够实时采集数据，涵盖了施工进度、设备运行状态及环境监测等内容。这些数据通过平台进行动态分析与智能预警，现场管理水平得以提升。大数据分析技术在机电工程管理中的作用也不可忽视，能够深入挖掘历史数据、施工进度与质量检测结果等信息，从而优化资源配置，提升了工程管理的科学性与精准性。人工智能（AI）技术为 BIM 协同管理平台增添了智能辅助决策功能，如智能碰撞检测、自动优化管线排布方案及施工过程中的智能质量检测，这些大大提高了施工精度与管理效率。此外，BIM 与 GIS（地理信息系统）的结合，使得机电工程能够在真实的地理环境中进行可视化展示与空间分析，从而增强了施工规划的合理性与精确性[2]。

3.3 数据集成与信息共享机制

基于 BIM 的机电工程协同管理平台的数据集成与信息共享机制在实现多方高效协作中扮演着关键角色。通过整合各阶段、各专业及不同系统的数据，该机制建立了一个统一的信息管理框架，从而保证了数据的完整性、一致性及实时性。作为核心数据载体，BIM 模型汇集了设计、施工及运维阶段的相关信息，并通过采用标准化的数据格式（如 IFC 标准），确保了跨平台兼容，使得所有参与方能够在同一平台上共享并访问数据。云计算技术与数据库管理系统为多方远程协同提供了强有力的支持，使得各类信息得以实时存储、调用及更新，从而显著提高了工程管理的协同效率。此外，物联网（IoT）技术的应用，使得施工现场的设备运行状态、环境监测数据及施工进度信息能够实时采集并上传至平台，进而实现了动态监控及智能预警功能。为了确保信息安全与管理规范，基于权限管理的访问控制体系也已建立，确保了设计人员、施工单位、监理方及业主等不同角色能够根据权限访问和修改相关数据，有效避免了信息混乱及误操作的风险。

3.4 协同管理功能模块设计

基于 BIM 的机电工程协同管理平台的功能模块设计

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

旨在通过提升各参建方的协作效率，实现机电工程全生命周期的智能化管理。该平台包括设计协同、施工管理、进度控制、质量安全管理、运维管理及数据分析等模块。设计协同模块通过BIM模型支持了多专业协同设计，促进了管线综合、碰撞检测与优化调整，从而提高了设计合理性与施工可行性。施工管理模块专注于施工过程中的精细化管控，涵盖了材料管理、现场进度跟踪及施工日志记录等内容，确保了各施工单位能够在统一管理体系下进行高效协作。进度控制模块结合了BIM 4D技术，将施工计划与三维模型融合，实时实现了施工进度的可视化，并能够根据实际进度动态调整施工方案。质量安全管理模块利用BIM 5D技术，将质量检查与安全巡检与BIM模型结合，支持了施工现场隐患识别、问题追踪及整改管理，进而提升了施工质量与安全水平。运维管理模块通过BIM 6D技术，在施工完成后实现了机电设备的全生命周期管理，涵盖了设备维护、能耗分析及智能预警等功能，从而提高了运维效率。此外，数据分析模块应用了大数据技术，对施工过程中积累的数据进行深入挖掘与分析，为施工优化提供了科学依据，进一步提升了工程管理的精准性与科学性。

4 机电工程协同管理平台的应用研究

4.1 施工阶段的应用分析

在机电工程的施工阶段，基于BIM的协同管理平台显著提高了各项管理工作的效率与质量控制。通过将BIM模型与施工管理系统融合，施工过程实现了高度的可视化与精准的控制。设计图纸、施工进度、施工方案、材料信息等关键数据，已在该平台上集中存储，并确保了这些信息的实时更新，使所有项目参与者能够同步获取最新的工程数据，从而避免了信息延迟与沟通障碍的发生。在施工现场，平台与物联网设备的结合，提供了对各类施工设备运行状态、环境监控及施工进度的实时监测，使得施工管理人员能够迅速识别潜在问题并采取措施，从而有效避免了设备故障或进度延误带来的工期滞后或安全风险。与此同时，施工过程中的质量与安全管理也得到了平台的支持，通过BIM模型的碰撞检测、模拟分析及质量检查模块，设计及施工中的隐患得以提前发现，减少了返工及质量问题的发生[3]。进度控制方面，平台利用4D技术将施工进度与BIM模型相结合，实时跟踪了每个施工阶段的进展，确保了各工序间的顺畅衔接，极大地优化了施工阶段的进度管理。

4.2 运营维护阶段的应用分析

在机电工程的运维阶段，基于BIM的协同管理平台发挥了至关重要的作用，整合了设备管理、故障监控、能耗分析以及维护计划等多项功能，推动了设备全生命周期的数字化管理。BIM模型与运维数据的融合，使得设备信息、维修记录与运行状态的实时更新与共享成为可能，提供了一个直观且高效的管理工具，帮助运维人员深入了解设备的实际运行情况与维修历史，同时，潜在的设备故障风险也得以提前预判。结合物联网技术，机电设备的关键运行参数，如温度、压力与震动等，得到了实时监控，并且若出现异常，警报会自动发出，相关人员及时被通知进行维修或更换，这大大降低了设备故障发生的概率，并延长了设备的使用寿命。能耗分析功能也被平台所具备，通过收集与分析设备的能耗数据，帮助管理人员识别出能源浪费的环节，并提出优化措施，从而减少了运营成本。远程监控与故障诊断功能使得运维人员无需频繁到现场进行维修，显著提高了工作效率。

5 基于BIM的机电工程协同管理平台的效益分析

基于BIM的机电工程协同管理平台的应用带来了显著的益处，主要体现在提升工程管理效率、降低成本、提高工程质量以及增强各方协作能力方面。通过整合设计、施工与运维各阶段的数据，平台实现了信息的实时共享与更新，错误与返工由于信息滞后或传递不准确所引发的情况得以有效减少，从而在缩短项目周期的同时，成本也得到了降低。此外，三维建模和可视化技术的应用，使平台能够优化设计，冲突与潜在问题在施工阶段提前得以识别，从而减少了现场施工的复杂性和风险，施工质量与安全性也因此得到了提升。平台中的智能管理功能，如进度控制、质量检测与设备监控等，不仅确保了施工过程中的精确度，还在运维阶段实现了设备的远程监控与故障预警，维修频次与能源浪费得以减少，从而进一步压缩了运营成本[4]。与其他管理系统的集成，平台增强了各专业团队之间的协同与沟通，确保了不同团队与参与方能够高效合作，避免了信息孤岛现象带来的工作重复与时间浪费，进而提升了整体项目管理水平。

6 结语

基于BIM的机电工程协同管理平台为提升项目管理效率、质量与成本控制提供了创新的解决方案。各阶段的数据信息得以整合，平台有效促进了设计、施工及运维的协作，冲突与错误减少，资源配置得到了优化，整体项目的管理水平因此得以提升。尽管平台目前已经取得了一定成效，数据标准化及技术兼容性等问题依然存在。随着BIM技术的不断进步与成熟，平台的作用将更加显著，进一步推动机电工程向智能化与数字化管理转型。基于BIM的协同管理平台具有广泛的应用前景，其普及的推动将有助于提升机电工程项目的整体效率与质量，同时为建筑行业的数字化转型提供坚实的技术支持。

[参考文献]

[1]邹信,刘晓林,刘凯,等.BIM技术在建筑机电工程中的应用研究[J].建筑技术,2021,52(1):24-27.
[2]刘丽莎,马茂源,李航,等.基于BIM技术的机电工程设计与交付研究[J].成组技术与生产现代化,2021,38(2):19-23.
[3]钟云海,李华磊.BIM技术在机电工程中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(4):7-9.

作者简介：郭重阳（1986.9—），男，机电专业中级，籍贯河北。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略探讨

孙建红
青岛赛乐威建筑装饰有限公司，山东 青岛 266109

[摘要]作为建筑行业的重要组成部分，建筑装饰装修工程的成本管理因其复杂性与多样性而对成本控制提出了极高要求。随着行业向高质量和绿色环保方向的发展，市场需求的变化与设计理念的多样化为成本管理带来了前所未有的挑战。施工过程中的频繁变更、设计复杂性、施工周期延长以及材料价格波动，都使造价控制变得更加复杂。同时，传统的成本控制方法，如依赖经验判断和人工核算，已无法满足当前技术飞速发展的需求。为此，建筑装饰装修企业亟需引入精益化成本控制理念，并结合信息化技术与现代管理模式，以优化资源配置和提升管理效率，从而实现精准的成本控制与项目效益的最大化。对建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略的研究与探索，不仅具有深远的理论意义也具有重要的实践价值。

[关键词]建筑工程；装饰装修；造价成本；精益化；控制策略
DOI：10.33142/ec.v8i4.16308　　中图分类号：TU723.3　　文献标识码：A

Exploration on Lean Cost Control Strategies for Building Decoration and Renovation Projects

SUN Jianhong
Qingdao Sailewei Building Decoration Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266109, China

Abstract: As an important component of the construction industry, cost management of building decoration and renovation projects places extremely high demands on cost control due to their complexity and diversity. With the development of the industry towards high quality and green environmental protection, the changes in market demand and the diversification of design concepts have brought unprecedented challenges to cost management. Frequent changes, design complexity, extended construction periods, and fluctuations in material prices during the construction process all make cost control more complex. At the same time, traditional cost control methods, such as relying on empirical judgment and manual accounting, are no longer able to meet the rapidly developing needs of current technology. Therefore, construction and decoration enterprises urgently need to introduce the concept of lean cost control, and combine information technology with modern management models to optimize resource allocation and improve management efficiency, in order to achieve precise cost control and maximize project benefits. The research and exploration of lean cost control strategies for building decoration and renovation projects not only have profound theoretical significance but also important practical value.

Keywords: construction engineering; decoration and renovation; cost of construction; lean; control strategy

引言

随着经济发展和城市化进程加快，建筑装饰装修行业在建设项目中的作用日益突出。在激烈的市场竞争中，如何高效控制工程造价成本，成为提升企业竞争力的关键。成本控制不仅影响盈利能力，还决定项目实施与资源配置。传统方式已难满足需求，精益化成本控制逐渐成为行业共识，推动企业竞争力提升和行业可持续发展。

1 建筑装饰工程造价成本控制特点

建筑装饰工程的造价成本控制是一项复杂且具有高度动态性的任务，核心在于“精细化管理”与“统筹协调”。在经济形势日益趋紧、市场竞争愈加激烈的背景下，建筑装饰企业若要实现长期可持续发展，必须依赖科学的成本控制手段，在保证工程质量的前提下，有效压缩不必要的支出，从而提升企业的市场竞争力。建筑装饰工程的费用构成极为多样，涉及施工设备、建筑材料、人工劳务、税费以及各种预防性支出等多个方面。每一项成本都应在项目初期进行详尽的前瞻性分析与规划，确保预算的合理性，避免预算的疏漏或不合理波动影响整体项目造价的稳定性。与此同时，建筑装饰工程的高度个性化与变动性特征也增加了造价控制的难度，客户需求的变化常常导致设计方案的调整，进而引发施工流程与材料配置的频繁修改，这种变动不仅提升了施工的复杂度，还无形中推动了成本的增加。为了应对这些不可预见的变化，项目管理者应在预算设定时留有足够的弹性资金，以应对设计变更带来的成本波动，从而避免项目预算因变更失控而大幅超支。在成本控制过程中，风险评估也占据着至关重要的地位，尤其是材料价格的不确定性，成为施工过程中难以预测的主要风险之一。在当前市场环境下，原材料价格的剧烈波动更加加剧了这一风险的不可控性，通过定期市场调研、与优质供应商建立稳定的合作关系、锁定价格等手段，能够有效减轻价格波动对项目预算的影响。建筑装饰工程对施工质量与细节的严格要求，也使得成本控制不能仅仅以降

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

低成本为目标，而必须在成本控制与质量保障之间找到恰当的平衡点，确保两者协同推进。此外，施工单位、供应商、监理单位等多方之间的紧密配合，是确保各环节顺利运行的基础。建立完善的内控体系以及畅通的信息反馈渠道，有助于实时监控各阶段的动态，确保项目能够按照预定的预算与质量要求顺利推进。通过这种系统化与精益化的成本管理方式，不仅能够提升企业的管理效率，还能够增强其在竞争激烈的市场中的生存与发展空间。

2 当前建筑装饰装修工程造价成本控制存在的问题

2.1 成本控制意识薄弱

在建筑装饰装修工程管理中，成本控制意识薄弱已成为普遍存在的深层次问题，对项目的影响也深远。许多项目相关人员未能充分认识到成本控制的重要性，往往将注意力集中在进度推进和效果展示上，而忽视了成本管理在项目全周期中的关键作用。在设计、采购以及施工等关键环节，成本控制常常仅停留在表面，缺乏对前期详细成本预测的重视，也未能积极进行动态监控。与此同时，部分项目管理者对成本数据的敏感度不够，未能将成本目标贯穿于每一项施工决策中，导致在工程实施过程中频繁出现预算失控、资源浪费等问题。由于缺乏对成本控制的高度重视，管理方式多局限于被动反应与事后统计，未能形成全程、全员参与的成本管控体系。这样一来项目的经济效益受到了严重影响，进而制约了企业的长期发展。

2.2 成本管理制度不健全

许多建筑装饰装修企业在成本控制方面普遍存在制度不健全的问题，这些问题表现在管理流程的缺失、职责划分的模糊以及执行标准的不明确等方面。尽管部分企业已经在形式上建立了成本管理制度，但这些制度缺乏系统性与可操作性，未能覆盖项目的全生命周期，也未能适应施工过程中不断变化的实际需求。在实际操作中，预算编制、资金使用、费用审批等关键环节，常常缺乏严格的流程约束与数据支持，许多情况下更多依赖经验判断，而非严格的制度执行。由于这种随意性，成本管控缺乏可操作性与规范性，执行效果大打折扣。更为严重的是，制度执行过程中往往缺乏有效的监督机制，导致部分成本支出无法追溯与审查，从而使得原本应有约束与指导作用的管理制度形同虚设。制度不完善及执行力不足的问题，直接削弱了企业对项目成本的控制能力，潜藏着工程财务失衡与资源浪费的风险。

2.3 成本控制手段落后

在建筑装饰装修工程中，成本控制手段的落后仍然是一个突出的问题，主要体现在控制方法的单一、技术应用的滞后以及数据管理的不精细。许多企业依然沿用传统的静态预算与人工核算方式，缺乏对项目运行过程中成本波动的动态监控与实时调整，导致无法及时识别成本偏差并采取有效的应对措施。尤其在工程进度迅速推进的情况下，依赖纸质台账或简易表格记录数据，不仅降低了工作效率，还容易引发遗漏与错误，从而影响成本核算的准确性与及时性。与此同时，材料采购、人工调度以及分包管理等关键环节，缺乏系统化、量化的成本分析工具，导致资源无法精确配置，也无法实现全过程的有效控制。由于这些控制手段的滞后，成本管理显得尤为被动，缺乏必要的决策支持基础，最终直接影响了项目资金使用效率与利润空间。

2.4 信息化水平不足

当前，建筑装饰装修工程在成本控制方面面临着信息化水平不足的挑战，这一问题已成为限制其效能提升的关键因素。尽管行业对于信息化管理的需求日益增加，但许多企业的信息化建设仍滞后，仍有大量企业依赖传统的手工管理方式，或处于半信息化管理阶段。由于缺乏统一的数字化平台，不同阶段的成本数据无法有效地共享与协同。在项目的各个部门之间，信息传递主要依靠人工沟通，这导致数据更新滞后，信息失真，无法实现成本数据的实时采集与动态分析，进而影响其有效应用。与此同时，成本信息被分散存储在不同的系统或文件中，缺乏系统化整合，使得决策者难以从全局角度进行精准的成本控制。尽管部分企业已经引入了信息化工具，但这些工具的应用范围有限，且缺乏针对性的功能开发及专业培训，导致系统的实际效能大打折扣。这种信息化不足，不仅降低了成本管理的效率与精确度，也削弱了企业应对复杂项目成本风险的能力。

3 建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略

3.1 全生命周期成本控制理念的引入

在建筑装饰装修工程中，采纳全生命周期成本控制理念，意味着不再局限于关注施工阶段的直接支出，而是将成本管理的视角拓展至项目的各个环节，包括前期设计、材料采购、施工实施、运营维护，以及最终的拆除与回收[1]。该理念强调成本控制的系统性与前瞻性，要求在项目启动阶段便开展全面的成本规划与风险评估，旨在优化各阶段资源的投入，从而实现总成本的有效降低。与传统仅关注短期支出的方式不同，全生命周期成本控制更加注重长期价值的实现与经济效益的平衡，推动企业从“支出控制”转向“投入优化”。在实际应用过程中，这一理念促使项目管理者在选择设计方案、配置材料、确定施工工艺等关键决策时，优先考虑这些决策对后期使用与维护成本的影响，从而优化项目整体的成本结构，提高管理效率。通过全过程的成本追踪与精细化控制，不仅提升了投资效益，还增强了企业在激烈市场竞争中的核心竞争力。

3.2 项目成本计划的精细化管理

在建筑装饰装修工程中，项目成本计划的精细化管理占据了核心地位，其关键在于通过数据支持和目标导向的方式，对各项成本要素进行全面梳理与合理分解。与传统

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

的粗放式成本计划不同，精细化管理强调在项目启动之初，建立清晰的成本结构体系，将整个工程拆解为多个可控单元，并进一步细化至每个工序、每类材料及人工费用，确保每项支出都有明确依据且能够追溯[2]。在这一过程中，结合项目的具体情况，需要综合考虑设计的复杂性、施工周期、市场材料价格等多个因素，灵活调整成本指标，以确保计划的可行性与适应性。精细化管理还要求，在设定成本目标、预算分配以及资金使用等方面保持高度一致性，通过建立标准化的控制流程与责任分配机制，确保成本控制、项目进度与质量的同步推进。将所有成本项提前纳入规划，有助于有效防止资源浪费与预算失衡，为项目的顺利推进及投资效益的最大化提供有力保障。

3.3 施工阶段的成本动态监控与控制

施工阶段是建筑装饰装修工程中成本波动最为剧烈的时期，通常伴随不可预测性强、变更频繁以及资源消耗迅速等特点。因此，必须加强对成本的动态监控与控制。动态监控要求对整个施工过程进行实时追踪，管理人员需要密切关注施工现场的进度、人工、材料、机械等各类资源的使用情况，并通过与原定成本计划的对比，及时识别偏差并进行调整。当设计变更、材料价格上涨或工期延误等突发事件发生时，若缺乏灵活的成本预警机制和有效应对措施，往往会导致成本失控，进而影响项目的整体效益。成本控制措施的核心在于对施工过程各个节点的严密把控与资源的合理配置。为此，应建立详细的成本执行标准、完善的审批制度以及严格的核算流程，从而确保每项支出都能得到精确分摊和有效管理。此外，动态控制还要求现场与管理层之间具备高效的信息反馈机制，确保各类成本数据能够及时上传，并得到及时处理和分析，以为决策提供有力依据。只有构建起灵活、精确且反应迅速的动态管理体系，项目才能在施工阶段实现成本控制，确保按时高质量地完成，并始终保持在预算范围内。

3.4 成本信息系统的建设与应用

在提升建筑装饰装修工程成本管理效率方面，建设与应用成本信息系统被认为是至关重要的手段。随着项目复杂性及数据量的增加，传统的手工计算和单一软件已无法满足精细化成本控制的需求。为应对这一挑战，建立一个集成化、智能化的成本信息系统显得尤为关键。该系统能够实现对各项成本的实时监控与精确核算，借助自动化的数据采集、处理与分析功能，及时发现预算偏差并为决策提供支持。在系统建设过程中，企业应根据项目特点定制功能模块，确保预算编制、材料采购、人工费用、施工进度等各项数据无缝对接，进而形成完整的信息链条[3]。系统的应用还应具备较高的数据透明度与协同能力，确保不同部门及环节之间的信息能够顺畅流通，避免信息孤岛或数据滞后的问题。通过智能化分析与预警，成本信息系统不仅能够有效控制支出，还能为管理层提供深入的成本优化建议，帮助企业在竞争激烈的市场环境中保持成本优势。

3.5 成本管理人才队伍建设

建筑装饰装修工程成本控制的有效实施，依赖于一支高素质的成本管理人才队伍。随着工程规模的扩大以及管理需求的提升，单凭经验丰富的管理者已无法应对市场环境和项目要求的复杂性。为应对这一挑战，培养一支既具备扎实专业知识，又能灵活应对各种实际问题的成本管理团队显得尤为重要。该团队不仅需要深刻理解建筑装饰行业的成本构成与控制要点，还需掌握先进的成本管理工具与技术，具备数据分析与决策支持的能力。此外，团队建设不能仅停留在单一的技能培训层面，还应注重跨领域的综合素质提升。例如，项目经理、预算员及财务人员等角色，需具备较强的沟通能力与协作精神，以确保在跨部门、跨职能的工作中能够高效对接。与此同时，随着信息技术的不断发展，培养具备信息化管理思维的成本管理人才，熟练运用智能化工具进行数据分析与成本优化，已成为提升管理水平的关键。通过建立系统的培养机制与长远的人才梯队建设，能够确保成本管理工作不断优化，从而为项目的顺利推进与企业的可持续发展提供坚实支持。

4 结语

建筑装饰装修工程的成本控制是一个系统性的管理过程，涵盖项目全过程。通过精细化管理，企业能够有效控制支出、提高资源利用效率、确保质量，进而提升竞争力。尽管面临成本控制意识薄弱、管理制度不完善和信息化滞后等挑战，但随着全生命周期成本控制理念的推广、精细化管理的实施和信息化建设的加强，行业的成本管理水平持续提升。未来，企业应在制度建设、技术创新和人才培训上持续发力，提升成本管控的精准性与灵活性，实现经济与社会效益双赢，推动行业可持续发展。

[参考文献]

[1]富燕丽.建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略研究[J].建筑施工,2025,47(3):490-495.
[2]刘俊青.建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略探讨[J].中国建筑装饰装修,2024(12):131-133.
[3]李龙.建筑装饰装修工程造价成本精益化控制策略探讨[J].居舍,2024(7):63-66.

作者简介：孙建红（1984.9—），女，毕业学校：青岛农业大学，学历：本科，专业：土木工程，当前就职单位：青岛赛乐威建筑装饰有限公司，职务及年限：副总经理1年。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

论建筑工程管理的重要性与创新方法探讨

蔡兴勇
江苏扬州建工建设集团有限公司，江苏 扬州 225000

[摘要]在新型城镇化与产业升级双轮驱动下，我国建筑业作为国民经济支柱产业正面临转型升级的历史机遇。随着智能建造与绿色建筑理念的深入发展，传统工程管理模式在质量控制、资源整合及风险管控等方面显露出系统性局限。数据显示，2022年建筑业劳动生产率仅为发达国家的 65%，管理效能差距折射出行业转型升级的迫切需求。工程管理作为贯穿项目全生命周期的核心机制，其创新实践不仅关乎工程实体质量与安全，更是驱动行业可持续转型的关键动能。

[关键词]建筑工程管理；重要性；创新方法
DOI：10.33142/ec.v8i4.16300　　中图分类号：TU71　　文献标识码：A

Discussion on the Importance and Innovative Methods of Construction Project Management

CAI Xingyong
Jiangsu Yangzhou Construction Group Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract: Driven by the dual wheels of new urbanization and industrial upgrading, Chinese construction industry, as a pillar industry of the national economy, is facing a historical opportunity for transformation and upgrading. With the deepening development of intelligent construction and green building concepts, traditional engineering management models have shown systematic limitations in quality control, resource integration, and risk management. Data shows that in 2022, the labor productivity of the construction industry will only be 65% of that of developed countries, and the gap in management efficiency reflects the urgent need for industry transformation and upgrading. As a core mechanism that runs through the entire lifecycle of a project, engineering management's innovative practices are not only related to the quality and safety of the engineering entity, but also a key driving force for the sustainable transformation of the industry.

Keywords: construction project management; importance; innovative methods

1 建筑工程管理背景

城镇化进程加速与居住需求迭代催生了建筑产业规模扩容与技术革新的双重变局。在数字化转型浪潮下，BIM、物联网等技术的应用虽拓展了工程建造的可能性，却暴露出管理系统与技术创新脱节的深层矛盾。当前，装配式建筑、绿色施工等新型建造模式的普及，正颠覆传统工程管理的线性管控逻辑，而碎片化的技术应用与滞后的标准体系导致质量风险传导链延长。研究显示，管理环节的协同缺失已成为制约工程品质提升的关键症结，特别是在高空作业、深基坑施工等高风险场景中，经验导向的决策模式难以适配复杂工况。行业亟需构建全周期风险预控机制，通过智能监测技术与组织流程再造实现管理能级跃升，这既是应对建筑工业化转型的必然选择，更是实现工程价值向生态效益转化的战略支点。

2 建筑工程管理的重要性

2.1 对建筑工程管理实施的重要性

建筑工程管理的核心价值在于其作为技术集成与风险管控的枢纽作用。随着新型建造技术迭代速率加快，管理效能直接决定新材料、新工艺的转化成效。实证研究表明，标准化作业流程可降低 23%的工序衔接失误率，而动态监管机制能有效阻断 70%以上的质量缺陷传导。在超高层建筑、智慧园区等复杂工程中，多专业工序耦合失序引发的蝴蝶效应，凸显出全过程管控体系的技术必要性。特别是在装配式构件吊装、幕墙单元体安装等关键工序中，精确至毫米级的误差控制需求，管理方式从粗放式验收向过程性纠偏转型。这种管理能级的提升不仅构成工程本体质量保障的底层逻辑，更是建筑业突破“高速度-低精度”发展悖论的战略支点，为行业数字化转型提供管理熵减的新范式。

2.2 对建筑工程管理内容的重要性

建筑工程管理是保障工程质量、效率和安全的核心环节，其内容主要包括成本管理、质量管理和安全管理三个方面。成本管理是通过科学合理的方式对施工过程中的各项费用进行控制和优化，以确保项目在预算范围内完成，从而实现企业的经济效益。具体而言，成本管理包括预算成本管理、计划成本管理和实际成本管理，这些环节需要通过项目经理对施工过程的统筹协调来实现，确保每一环节都能够合理分配资源，降低不必要的开支。同时，成本管理的成效直接影响到企业的资金流动性和现金流稳定性，是企业实现可持续发展的重要保障。质量管理则是工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

程管理的核心内容之一，其重要性不仅体现在工程本身的质量保证上，还与人们的生命财产安全息息相关。建筑工程的质量管理需要对施工原材料、施工工序以及成品等各个环节进行严格控制，确保每一项工程都符合国家标准和规范。与此同时，施工人员的专业能力、机械设备的使用效率以及建筑环境等因素也会直接影响工程质量。因此，在施工过程中，需要通过岗前培训、技术交底和规范化管理等方式，提升施工人员的专业素养和安全意识，确保工程质量达到预期目标。

安全管理则是建筑工程管理中不可忽视的重要组成部分。随着施工规模的不断扩大和施工环境的复杂化，安全管理的重要性愈发凸显。当前，我国建筑企业的施工人员素质参差不齐，部分一线施工人员的专业能力和安全意识不足，这不仅会增加施工事故的发生概率，还可能影响工程质量和施工进度。因此，现代化建筑施工中，通过科学的安全管理体系，可以有效提升施工人员的安全意识和责任感，减少安全事故的发生，从而保障工程质量和施工进度。同时，安全管理也是企业形象和社会责任的重要体现，对企业的可持续发展具有深远意义。

综上所述，建筑工程管理作为保障工程顺利实施的关键环节，其重要性不容忽视。成本管理、质量管理和安全管理三者相互关联、相互促进，共同构成了建筑工程管理的完整体系。通过科学化、系统化的管理手段，不仅可以提高施工效率和工程质量，还能降低施工成本，保障施工安全，实现企业的经济效益和社会效益。因此，建筑企业应加强对工程管理的重视，完善管理制度，提升管理水平，为工程的顺利实施和企业的可持续发展奠定坚实基础。

3 建筑工程管理过程中存在的问题

3.1 工程管理人员缺乏对安全管理的重视

在建筑工程项目施工过程中，部分企业管理人员对安全管理的重视程度显著不足。这不仅导致安全事故频发，还引发了资源浪费等问题。管理人员的疏忽使得企业内部缺乏科学的管理制度，面对安全事故时，施工部门间往往相互推诿责任，导致施工周期延误，进一步损害企业形象。这种现象表明，企业应加强对安全管理的重视，完善管理制度，提升管理人员的责任意识，从而降低安全风险，确保项目顺利推进，并促进企业的可持续发展。

3.2 现代化管理水平不高

建筑施工管理水平的提升是工程质量和效率的重要保障。然而，当前施工管理模式仍依赖传统的人工管理方式，缺乏现代化管理体系的支撑。这不仅导致管理过程中的监督和决策效率低下，还容易出现人为因素造成的管理漏洞，如财产侵吞和不正之风等问题。同时，施工管理对多部门协作和实时数据的依赖度较高，而信息技术的应用水平不足，造成了部门间沟通协调的断层现象。此外，传统管理模式难以满足现代建筑工程对精细化管理的需求，导致资源浪费和管理效率低下。因此，提升建筑施工管理的现代化水平，推动信息技术在管理中的深度应用，是实现高效、规范施工管理的重要方向。

3.3 建筑工程资源浪费情况较为严重

建筑行业的发展与自然资源的消耗密切相关，其快速扩张往往以牺牲生态环境为代价。施工过程中，大型机械设备的使用不仅消耗大量能源，还可能导致粉尘和水污染，严重影响生态环境。这种现象与绿色发展和可持续发展战略的目标相悖。资源浪费和环境污染问题在施工现场尤为突出，例如施工中材料的不合理使用和施工废弃物的处理不当等，进一步加剧了资源的过度消耗。

为实现建筑行业的可持续发展，必须将科学管理理念融入施工的全过程。这包括采用绿色、节能环保的建筑材料，减少对有毒有害材料的使用，从而降低能源消耗和环境污染。同时，通过优化施工流程和加强废弃物管理，可以有效减少资源浪费。只有通过全面推行环保理念和可持续管理措施，建筑行业才能在发展的同时减少对环境的负面影响，实现稳健的长远发展。

4 建筑工程管理工作的创新办法

4.1 创新组织结构

在建筑企业的日常管理中，内部组织结构的合理性直接影响着管理效率和施工质量。当前，部分建筑企业由于内部结构设置混乱、职能分工不明确，导致管理效率低下，不仅影响施工进度，还可能拖延项目节点，甚至对建筑质量造成负面影响。为解决这些问题，企业需要结合自身发展实际，优化组织架构，科学划分管理职能。通过对日常管理事务的梳理和分析，将工作内容清晰地划分为不同部门的任务，并明确各部门的职责分工，从而提高管理效率和工作准确性。在实际管理中，人力资源部门应严格按照企业发展需求，对人员进行科学分配，及时调岗冗杂人员，使其能够更好地发挥作用。同时，针对项目经理“一人身兼多职”的现象，企业可以采取权利下放的方式。项目经理负责全局把控，各部门人员则按照明确的分工开展工作，从而避免因职责交叉或集中导致的效率问题。通过对内部组织结构的细化管理，不仅可以提升工作效率，还能进一步优化资源配置，确保企业内部管理更加高效有序，有利于建筑企业的长期健康发展。

4.2 创新管理理念

管理理念是建筑工程管理的核心内容，是指导管理实践的思想基础。在建筑工程管理中，管理理念的创新与改革是提升管理水平的关键。为实现管理方式的优化，首先需要对建筑市场发展趋势进行深入调查和分析，了解当前市场中常见的管理方法及其效果。在此基础上，筛选和引入适合自身企业发展的先进管理理念，并进行科学判断和甄别，确保所选理念能够契合企业的实际需求，从而增强企业的核心竞争力。其次，管理理念的创新需要与管理体

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

系的完善相结合。通过建立科学完整的管理体系，可以更好地适应市场经济发展的要求，从而提升企业在市场竞争中的占有率。创新管理手段是实现企业可持续发展的重要途径，而科学化的管理体系则是这一目标的基础保障。因此，建筑企业应注重管理理念的更新与创新，建立符合市场经济规律的管理模式，实现管理效率的全面提升，为企业的长期发展奠定坚实基础。

4.3 提高对信息化管理技术的利用

在建筑工程管理中，信息化管理技术的应用是提升管理水平的重要手段。为实现这一目标，首先需要搭建网络管理平台，将现场施工信息和数据进行分类整理，录入到平台中，便于随时调取和使用，从而为后续施工提供及时、准确的信息支持。其次，为了提高信息化管理的效率和安全性，应利用内部网络进行信息交互和应用，确保数据在企业内部高效、安全地流通。此外，定期对企业人员进行信息化培训至关重要，这不仅可以提升管理者的信息化管理水平，还能使员工能够灵活运用信息化技术处理日常事务，进而提高整体管理效率。通过这些措施，信息化管理技术的应用将更好地服务于建筑工程管理，推动企业管理水平的全面提升。

4.4 实行绿色施工管理

绿色施工管理是当今建筑工程领域的重要发展方向，旨在通过科学、规范的管理手段，减少施工过程对环境的影响，实现施工与生态的和谐共处。实行绿色施工管理需要从多个方面入手，首先是在能源和材料的使用上实现绿色化。通过采用无污染能源和天然材料，能够从源头上降低施工对环境的污染，同时也减少了施工成本。材料管理是绿色施工的重要环节，包括选购、入场、存放和使用等全过程的规范化管理。选购材料时，应选择具有资质的供应商，优先选用天然、环保材料，并确保其质量和安全性。入场后，材料需按照功能和特点进行分类存放，并记录相关数据，避免丢失和浪费。此外，施工污染的防治也是绿色施工管理的核心内容。施工企业应在项目初期进行环境评估，合理安排施工方案，灵活调整施工顺序，运用环保施工技术，最大限度地减少对周边环境的影响。通过这些措施，绿色施工管理不仅能够降低施工成本，还能减少资源浪费和环境污染，为建筑工程的可持续发展奠定基础。同时，绿色施工管理也是企业履行社会责任、提升企业形象的重要体现，有助于推动建筑行业向绿色、低碳方向发展。

4.5 培养管理人才

在建筑工程管理中，人才是企业发展的核心动力。为培养高素质的管理人才，需要从多个方面入手，建立科学完善的培养机制。首先，建筑企业应与职业院校合作，通过定向培养输送具有专业知识和实践能力的复合型人才。同时，鼓励在校学生考取行业相关证书，提升其就业竞争力。在员工入职后，新员工虽具备管理理论，但缺乏实践经验，为此，企业应安排现场实习，参与实际管理工作，积累经验。对于企业现有员工而言，尽管现场管理经验丰富，但管理方法可能存在滞后性，难以满足现代施工管理要求。因此，企业应通过专项资金支持，组织管理人员参加理论培训，提升其文化素养和专业能力。此外，建立科学的考核制度，定期对员工能力进行评估，对优秀员工给予物质奖励和精神激励，而对表现不佳者则采取相应惩罚措施，通过奖惩结合提高员工积极性。随着建筑技术的不断进步，管理人员需持续学习，掌握新技术工艺的使用方法，提升综合素养。同时，通过管理层与施工层的协调配合，构建高效现代化管理团队，全面提升建筑施工管理水平。人才培养不仅是企业发展的内在要求，更是提升建筑工程管理效率和质量的关键途径。

5 结束语

总之，建筑行业作为国民经济的重要支柱，其发展与工程管理的创新息息相关。面对日益激烈的市场竞争，建筑企业若要提升自身经济效益，必须重视工程管理的重要性，并在此基础上不断创新管理模式。工程管理不仅是保障项目质量的核心环节，更是实现施工效率提升的关键所在。通过综合应用先进管理方法和创新管理理念，可以有效优化管理水平，确保项目在保证质量的同时提升施工速度。同时，建筑企业应积极学习先进国家的管理经验，有选择性地引入适合我国实际的管理办法，结合实际情况制定科学的管理方案，全面提升管理效率与经济效益。未来，随着工程管理水平的不断提升，建筑行业将迎来更加高效、可持续的发展，为社会进步和人民生活质量的提升作出重要贡献。

[参考文献]

[1]王雅.建筑工程管理的重要性与实施途径的探讨[J].大众标准化,2025(2):85-87.
[2]林江玲.建筑工程管理及施工质量控制的重要性及优化策略[J].城市建设理论研究(电子版),2024(32):22-24.
[3]黄华洪.建筑工程管理的重要性与实施途径分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(30):43-45.
[4]张小斌.解析创新模式在建筑工程管理中的应用和发展[J].建材发展导向,2024,22(19):56-58.
[5]樊东阳.建筑工程管理模式创新策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(12):64-66.

作者简介：蔡兴勇（1976.12—），毕业院校：江苏广播电视大学，所学专业：工民建，就职单位：江苏扬州建工建设集团有限公司，职务：项目经理，职称级别：高级工程师，研究方向：建筑施工。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程质量管理问题及对策研究

刘建设
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]建筑工程作为人类社会生产和生活中不可或缺的基础设施，其质量直接关系到人民群众的生命安全、财产保护以及城市形象与发展。作为建筑工程质量的主要责任方，施工单位在工程建设过程中承担着至关重要的角色。然而，目前我国建筑工程质量管理仍面临一系列问题，这些问题对工程质量与安全构成了潜在威胁。基于此，文中深入分析建筑工程质量管理中存在的关键问题，并提出相应的改进对策，以期为提升建筑工程质量管理水平提供理论支持和实践指导。

[关键词]建筑工程；工程质量；质量管理；问题及对策
DOI：10.33142/ec.v8i4.16305　　中图分类号：TU712.3　　文献标识码：A

Research on Quality Management Issues and Countermeasures in Construction Engineering

LIU Jianshe
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: As an indispensable infrastructure in human society's production and life, the quality of construction projects directly affects the safety of people's lives, property protection, as well as the image and development of cities. As the main responsible party for the quality of construction projects, the construction unit plays a crucial role in the construction process. However, currently, China's construction project quality management still faces a series of problems, which pose potential threats to project quality and safety. Based on this, the article deeply analyzes the key problems in the quality management of construction projects and proposes corresponding improvement measures, in order to provide theoretical support and practical guidance for improving the level of construction project quality management.

Keywords: construction engineering; engineering quality; quality management; problems and countermeasures

引言

随着社会经济的持续发展以及城市化进程的不断推进，建筑行业在基础设施建设、民生改善及经济增长方面的作用愈加凸显。然而，建筑工程质量问题始终是行业面临的重大挑战之一，直接影响着建筑物的安全性、耐久性及使用功能。尽管近年来我国建筑行业在技术、管理及工程质量方面取得了一定的进步，质量管理方面仍然存在诸多突出问题。例如，质量管理体制的不完善、质量监督机制的缺乏以及施工材料与设备管理不到位等，依然制约着工程项目的质量水平。安全隐患和经济损失，不仅可能由这些问题引发，甚至可能威胁到公众的生命财产安全。因此，针对建筑工程质量管理中的问题进行深入研究，探讨有效的改进对策，已成为保障建筑工程质量、提升行业发展水平的紧迫任务。本文将在系统分析当前建筑工程质量管理中存在的主要问题的基础上，结合实际案例及理论研究，提出切实可行的改进措施。通过完善质量监管体系、创新质量管理模式、加强材料与设备管理以及推动质量验收规范化等措施，旨在为建筑工程质量管理提供解决方案，促进建筑行业的健康可持续发展。此外，本文也期望为相关政策的制定、企业管理实践以及学术研究提供一定的参考与借鉴。

1 建筑工程质量管理的重要性

在整个建筑项目实施过程中，建筑工程质量管理起着至关重要的作用，直接关系到建筑物的安全性、耐久性及使用功能。项目在设计要求和技术标准的框架内顺利推进，不仅由有效的质量管理确保，还能有效预防施工中出现的质量问题与隐患，进而减少安全事故的发生。随着工程规模的不断扩大和技术复杂度的提升，现代建筑行业的质量管理不再局限于单一的技术层面，而是贯穿项目的各个环节，包括设计、施工、材料选择、设备安装以及竣工验收等。只有当质量管理体系得以建立健全时，各项工作才能高效、有序地进行，从而确保工程按期、按质完成。此外，建筑工程质量管理直接影响项目的投资回报、社会效益以及企业声誉。如果管理不到位，严重的质量缺陷、工期延误、预算超支，甚至对公众安全的威胁，可能会随之出现。这些问题不仅对项目本身造成损害，还可能对建筑行业的可持续发展产生负面影响。因此，建筑工程质量管理体系的完善，不仅是提高工程质量、降低施工风险的基本保障，更是推动建筑行业健康发展的关键要求。

2 建筑工程质量管理问题

2.1 缺乏完善的质量管理体制

在许多建筑工程项目中，导致质量问题频发的一个重

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

要因素，是缺乏健全的质量管理体制。质量管理体系在许多建筑企业中，存在结构不清晰、职能分工不明确等问题，整体缺乏系统性与综合性。由于这种情况，质量管理的责任往往难以在施工过程中落实到位，相关管理人员对质量控制的关注度也未能得到足够重视。此外，不少施工企业未能建立科学、有效的质量管理流程与标准，且缺乏统一的质量管理模式，致使各个环节的质量控制缺乏衔接，无法有效地形成协同作用。质量管理体制的缺失，直接导致了质量监督不到位，责任追究机制的执行力也未能得到有效保障[1]。在项目实施过程中，质量问题往往被忽视或延误处理，最终影响了建筑物的安全性和使用寿命。

2.2 质量管理方式落后

许多建筑工程的质量管理，仍然依赖于传统的管理模式，现代技术手段和创新方法的缺乏，使得质量管理效果大打折扣。传统的质量管理方法，通常依靠人工检查、手工记录以及口头传达，这样容易导致信息滞后、管理效率低下等问题。施工过程中出现的质量问题，往往难以被及时发现和解决，尤其在大规模项目或长周期工程中，传统管理方式显得尤为滞后。此外，信息的全面集成与共享，往往在传统管理中被忽视，缺少系统的数据支持与分析，这导致了决策依据的不充分，从而无法实现有效的预见性管理。

2.3 质量监管重点不明确

建筑工程涉及的内容广泛，其中一些质量问题直接关系到建筑物的安全性，例如梁的承载力和材料的选择；而另一些则关乎使用功能，例如窗户、大门的质量。此外，一些问题一旦投入使用后难以拆解和维修，例如水电布线等。尽管这些问题都属于质量问题，但根据其对建筑物的危害程度、影响范围及维护成本，应该对其进行彻底的分类和分级，并按照不同等级采取相应的检查措施。然而，目前的检查规则缺乏明确的优先级划分，导致检查力度的不均衡。与此同时，许多管理监督人员对自己的职责和工作要领缺乏明确认知，导致在实际工作中无法做到精益求精。这样的状况使得管理监督工作效果不佳，也无法与施工方进行有效的沟通与协调。

2.4 缺乏完善的信息反馈机制

在许多建筑工程项目中，质量管理的有效性，显著受到信息反馈机制不完善的影响。通常，施工现场的质量问题，难以及时传递到项目管理层，致使管理者无法迅速了解现场的真实情况，进而错失了问题在初期得到及时解决的机会。信息传递渠道的不畅，导致施工过程中可能出现的质量隐患，往往被忽视或延迟处理，从而引发更为严重的质量问题。由于信息反馈的延迟与不准确，管理人员无法做出快速反应，这不仅延误了施工进度，也增加了修复成本。在大型或复杂工程项目中，缺乏有效的信息反馈，往往使得多方协调困难，项目团队成员之间也无法高效沟通与合作，最终影响了整体施工效率和质量。

2.5 施工材料、设备管理力度有待加强

在建筑工程中，保证工程质量至关重要的，是施工材料与设备的管理。然而，许多项目在这些方面的管理依然显得不足，从而导致了一系列质量问题。在材料采购与使用过程中，缺乏严格管理的许多项目，未能按照设计要求选择优质建筑材料，甚至低质量材料也流入了施工现场。材料存储与运输管理的不规范，常常导致材料受潮、变质或损坏，进而影响了工程质量的稳定性。施工设备的管理，同样存在明显问题。许多项目未能定期进行设备的维护与保养，导致设备频繁故障，这影响了施工进度及质量[2]。在施工过程中，设备的合理调配与使用效率，也未能得到充分优化，部分项目甚至出现了设备闲置或过度使用的现象，造成了资源的浪费。

3 建筑工程质量管理对策

3.1 完善质量监管体系

提升建筑工程质量的核心保障，便是完善质量监管体系。它能够有效预防质量问题的发生，并确保施工过程中各项任务按时、按质完成。当前，建筑工程质量管理中，监管不到位、责任界定不清、监管手段落后等问题，急需建立一个全面、系统的质量监管体系。更加严格的法规，应由政府及行业主管部门出台，并加强对建筑施工单位的监管力度，确保各项法规得到有效执行。这样不仅可以规范市场秩序，还能为施工企业提供明确的质量标准与行为准则。同时，质量监管体系应明确各方的责任与义务，涵盖建设单位、施工单位、监理单位等，确保每个参与方能够履行质量管理职责，形成合力。为了提高监管的精确性与时效性，信息化技术的应用应被积极推动，如采用建筑信息模型（BIM）、无人机监控、物联网等技术手段，进行实时监控与数据分析，及时发现问题并进行调整与整改。质量监管的覆盖面，还应包括全过程，不仅限于施工完成后的验收，更应延伸至设计、采购、施工等各个环节，确保每个步骤都符合质量要求。建立高效的信息反馈与追踪机制，确保质量问题能够在第一时间得到发现与解决，从而避免潜在的质量隐患。

3.2 创新质量管理模式

提升建筑工程质量、确保项目顺利推进的关键举措，便是创新质量管理模式。传统的质量管理方式，通常依赖于人工检查与经验判断，难以实现全过程控制与实时跟踪，导致问题常常在事后被发现，且修复成本较高。为了突破这些局限，创新质量管理模式，应注重全过程的质量控制与数据化管理，并通过现代信息技术与先进管理方法，从源头提升质量水平。建筑企业可以借助建筑信息模型（BIM）技术，充分发挥其三维可视化、数据共享及协同工作的优势，实现在设计、施工及运营各阶段的信息一体化管理。通过 BIM，项目相关人员，能够实时获取最新的设计变更与施工进度，质量管理因此从传统的事后检查，转变为全程、实时的预防与控制。此外，物联网（IoT）与大数据分析等信息化管理工具，能够实时监控施工现场的关键要素，如建筑材料、施工设备与环境条件等，确保在施工过程中，潜在问题能够及时被发现并采取措施，减少人为疏漏带来的质量隐患。同时，质量管理模式的创新，还应注重精细化管理，要求每项操作都必须规范化、流程化，确

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

保各个环节严格按照标准执行。建筑企业还需加强质量文化建设，推动全员参与质量管理，提升员工的质量意识，确保质量管理不仅是管理层的责任，更是每一位施工人员、设计师及项目管理人员共同的目标。

3.3 明确质量管理核心

确保建筑工程质量管理体系高效运行的基础，便是明确质量管理的核心。建筑工程的复杂性，涉及多个环节与多方参与，因此，明确质量管理的关键内容，将有助于有效提升整体质量管理水平。质量管理的核心，应集中于“全过程控制”，即从项目的设计、施工到竣工后的运营维护，各阶段，必须实施严格的质量监控。在设计阶段，确保设计方案的合理性、可行性及符合相关标准与规范，尤为关键，同时，还需考虑工程的长期使用性能。施工阶段，作为质量管理的关键时期，涉及材料选择、工艺流程、施工环境以及操作规范等多个方面。因此，施工过程中的质量控制，应从源头做起，确保材料采购、工艺流程及技术方案的精确执行。此外，质量管理的核心，还应侧重于“责任明确”。这意味着，各方在质量管理中的具体职责需明确，确保从项目经理到每一位施工人员，均能清楚了解自身在质量管理中的角色与责任[3]。质量管理部门与项目经理，应加强对质量管理计划的监督与落实，而施工人员，必须严格遵守操作规范，施工单位，应加大质量检查力度。最后，质量管理的核心，还包括“持续改进”。通过定期开展质量检查、验收与反馈，不断发现问题，总结经验，并采取有效的改进措施。

3.4 促进工程质量管理标准化、信息化建设

建筑工程质量管理的标准化与信息化建设，是提升整体管理水平、确保工程质量的关键步骤。通过制定统一的质量管理规范、流程及标准，标准化建设，使得各个环节的操作得以更加规范化，从而有效减少了因操作不当或标准不一致引发的质量问题。通过行业统一的质量管理标准的制定与执行，确保了在各施工阶段——包括设计、施工及验收——都遵循相同的技术要求与管理规范，从而有效预防质量问题的发生。此外，施工单位间经验的交流与共享，亦通过标准化得到促进，进而提升了整个行业的管理水平。与此同时，信息化建设，借助现代信息技术，优化了质量管理的各个环节。信息化手段的应用，使得数据采集、处理与分析的能力显著提升，使得施工过程中的质量控制更加精准与实时。例如，建筑信息模型（BIM）技术的引入，使得在设计阶段就能够进行全方位的虚拟建模，及时识别设计中的潜在问题；而在施工阶段，通过对施工进度、质量控制与材料使用的实时监控，进一步确保了工程质量的可控性。

3.5 加强施工材料、设备管理

加强施工材料与设备的管理，乃是确保建筑工程质量的核心环节之一。工程的安全性、耐久性及整体功能，直接关系到材料与设备的品质。在施工的各个阶段，材料与设备的选用、采购、储存、运输及使用等，必须进行严格管控。为了保证材料质量，采购符合国家标准及行业要求的优质建筑材料，必须从源头严格把关，杜绝使用不合格或劣质材料。完善的材料验收制度，也应建立，以确保进场材料经过严格的质量检测与合格认证，符合施工标准与规范。设备管理同样至关重要，施工设备需定期进行检查与维护，保障其正常运行，避免因设备故障导致施工进度延误或质量问题。根据项目性质及施工要求，设备的选择应选配合适的、先进的施工机械，从而提升施工效率与精度。在实际施工过程中，材料与设备的管理工作，专门的人员应负责，确保材料存放得当，避免因储存不当导致的损坏或性能下降[4]。同时，设备和材料的使用，必须严格遵循施工方案及技术规范，从而最大限度地发挥其效能。

3.6 重视质量验收

在建筑工程中，至关重要的地位，质量验收占据着，是工程项目从施工阶段转向竣工阶段的关键环节。此过程，代表着对施工成果的最终审核，不仅如此，还涉及对工程质量是否满足设计要求、行业规范及客户需求的全面评估。通过严格的质量验收，潜在问题或隐患可被及时发现，并进行必要的整改，从而避免不符合标准的工程进入使用阶段，防止因质量缺陷引发的安全事故与经济损失。在进行质量验收时，明确的验收标准与规范，必须依据，结合细致的检查程序，全面审核建筑物的结构、材料、设备及施工工艺等各个环节。由专业团队执行，验收工作应确保验收人员具备足够的经验与技术能力，能够对每一项施工内容进行严格检查。详细记录，验收结果应，并形成完整的文档，方便日后进行质量追溯与管理。

4 结语

通过对建筑工程质量管理中存在问题的深入分析与解决对策的探讨，可以明确，提升建筑工程质量管理水平，作为一项复杂的系统性工程，涉及多个方面与环节。尽管当前我国在建筑工程质量管理方面存在一定的短板，但通过完善质量管理体系、推动管理模式创新、加强信息化建设以及加强施工材料与设备管理等多方面的综合措施，工程质量的显著提高是必然的，施工安全也将得到有效保障，同时，建筑行业的可持续发展将得到促进。应进一步加强各方协作，切实落实质量管理的各项措施，建筑工程质量管理水平的持续提升，必将保障人民生命安全的同时，为社会的长远发展作出积极贡献。

[参考文献]

[1]陈恨雪.建筑工程质量管理问题及对策研究[J].工程建设与设计,2025(2):231-233.
[2]何赛赛.建筑工程质量管理中存在的问题及对策[J].住宅与房地产,2024(23):116-118.
[3]林超.建筑工程质量管理问题及解决对策[J].大众标准化,2024(10):25-27.
[4]唐汉节.建筑工程质量管理的问题及对策研究[J].江苏建材,2023(5):163-165.

作者简介：刘建设（1990.1—），毕业院校：重庆大学，所学专业：土木工程（道路与桥梁方向），当前就职单位：新疆北新路桥集团股份有限公司，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程管理的现状分析及控制策略探究

刘 钥
新疆建通工程管理有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]文章聚焦建筑工程管理领域的系统性矛盾，针对质量管控失效、制度供给滞后与技术应用表层化等核心症结展开深度解析。通过构建“制度重构-技术嵌入-能力跃迁”三位一体的革新框架，提出涵盖全周期质量追溯、智能风控体系搭建、跨学科人才培养的优化路径，为破解传统管理方式低效困境提供方法论支持。研究强调数字化工具与组织变革的协同效应，揭示精益管理理念与绿色转型目标的耦合机制，形成兼具理论创新价值与实践指导意义的行业升级方案。

[关键词]建筑工程；工程管理；现状分析；控制策略
DOI：10.33142/ec.v8i4.16288 中图分类号：TU71 文献标识码：A

Analysis of the Current Situation of Construction Project Management and Exploration on Control Strategy

LIU Yue
Xinjiang Jiantong Engineering Management Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: This article focuses on the systemic contradictions in the field of construction project management, and conducts in-depth analysis of core issues such as ineffective quality control, lagging institutional supply, and superficial application of technology. By constructing a three in one innovation framework of "institutional restructuring-technology embedding-capability transition", an optimization path covering full cycle quality traceability, intelligent risk control system construction, and interdisciplinary talent cultivation is proposed to provide methodological support for solving the inefficiency dilemma of traditional management paradigms. The study emphasizes the synergistic effect of digital tools and organizational change, reveals the coupling mechanism between lean management concepts and green transformation goals, and forms an industry upgrade plan that combines theoretical innovation value and practical guidance significance.

Keywords: construction project; project management; current situation analysis; control strategy

引言

城镇化进程的加速催生了超高层建筑、地下空间综合体等复杂工程形态，而碳中和目标的全球共识倒逼建筑业向绿色化、工业化深度转型。双重变革压力下，传统建筑工程管理模式在技术集成度、环境适配性、资源协同性等方面暴露显著短板：碎片化管理导致设计与施工脱节，经验驱动决策难以应对智能建造设备集群调度等新挑战，静态管控体系无法适应动态变化的碳排放监管要求。破解这些系统性缺陷，需构建“数字技术赋能+制度体系重构”的双轮驱动范式。BIM、物联网等数字工具与精益建造理论的深度融合，正推动管理流程从离散式向全生命周期集成转变；EPC 工程总承包、建筑师负责制等组织模式创新，则重塑着参建各方的权责配置与协同机制。新时代管理方式的核心特征体现为三个维度的突破——数据驱动的实时决策替代滞后性人为判断，碳足迹追踪技术支撑的可量化环境管理突破传统质量控制范畴，跨学科知识融合催生的新型工程管理学科体系正在形成。这些变革不仅关乎单个项目的效益提升，更是建筑业服务新型城镇化战略、支撑经济社会低碳转型的基础性工程。

1 加强建筑工程管理的必要性

建筑工程管理贯穿项目全生命周期的核心环节，是确保工程价值实现的关键保障。其必要性首先体现于安全质量与规范的刚性约束，通过标准化流程设计、风险预控机制及动态监测手段，系统性规避施工中的结构隐患、材料缺陷及工艺偏差，确保建筑实体与设计规范精准匹配，延长工程使用寿命并维护公共安全。资源优化层面，科学调配人力、物料与机械设备，依托智能排产系统实现工序无缝衔接，借助需求预测模型降低库存冗余，减少机械空置率，从而压缩工期、提升成本集约化水平。新型建筑工业化与数字化技术深度融合的背景下，管理创新成为驱动行业革新的核心引擎。装配式建造、3D 打印等技术要求管理模式向数据驱动转型，通过 BIM 技术整合设计、生产、施工全链条信息流，实现预制构件精度控制与安装效率提升。可持续发展目标倒逼管理思维升级，绿色施工需嵌入碳排放监测、废弃物循环等环节，形成全周期生态管控路径。从企业竞争力维度，卓越管理能力是参与全球化竞争的关键。适配国际工程标准（如 FIDIC 条款）的框架构建、PDCA 持续改进机制的应用，可形成差异化优势；健全的合同与招投标体系则能防范法律风险、维护市场秩序。面对城镇化进程中的复杂工程挑战，强化管理既是技术集成的必然需求，更是推动行业向高质量、高韧性转型的战略支点。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 建筑工程管理的现状和存在的问题

2.1 质量管理不到位，成本管控不科学

当前建筑工程质量管理普遍存在过程控制薄弱的问题，部分企业过度聚焦竣工阶段的检测验收，而忽视施工环节的实时监控与标准执行，导致材料进场检验流于形式、隐蔽工程验收不严、工艺参数偏离设计要求等系统性漏洞频发。此类管理缺位不仅增加结构安全隐患，还可能引发后期返工或质量纠纷，造成隐性成本攀升。成本管控层面，预算编制缺乏动态调整机制，难以匹配施工过程中设计变更、市场价格波动等变量，加之材料采购计划粗放、机械调度逻辑混乱，致使资源闲置与重复采购现象并存。部分项目因缺乏全周期成本核算体系，无法精准识别非必要损耗环节，最终导致利润空间被低效管理持续侵蚀。从管理技术应用视角分析，传统质量与成本控制手段尚未实现深度融合[1]。

2.2 管理体制不健全

当前建筑工程管理体制的滞后性集中表现为制度供给与技术演进的脱节。传统科层制管理模式依赖层级审批与部门分割，难以适应 EPC 总承包、BOT 投建营一体化等新型项目组织方式对高效决策与资源整合的需求。管理架构中普遍存在的条块分割现象，导致设计、采购、施工等环节的权责边界模糊，跨部门协作常因流程冗长或推诿扯皮而陷入僵局，直接影响项目推进效率。从制度运行视角看，现行管理规范尚未完全覆盖智能建造、绿色施工等新兴领域，例如 BIM 技术应用缺乏统一的实施标准，装配式建筑质量验收规范滞后于工程实践，此类制度空白易引发技术应用风险与责任认定纠纷。

2.3 管理活动中法律意识淡薄

当前建筑工程领域法律意识薄弱问题集中体现于法规认知与执行的双重脱节。部分管理人员对《建设工程质量管理条例》中参建各方责任划分、《安全生产法》中隐患排查治理义务等核心条款理解流于表面，实际操作中常出现施工方案未按法定程序审批、特种作业人员无证上岗等显性违规行为。合同履约环节的随意性更为突出，例如总承包单位违规肢解分包给无资质企业，业主方未经设计审查擅自变更结构荷载参数，此类行为不仅直接违反《建筑法》强制性规定，更可能引发连锁性质量缺陷与安全事故。法律风险防控机制的系统性缺失进一步加剧管理乱象。许多企业未建立合同全周期审查制度，对履约保函条款、争议解决方式等关键内容缺乏专业研判，导致工程索赔时陷入被动。知识产权保护意识不足则表现为施工方案抄袭、BIM 模型盗用等侵权现象频发，埋下法律纠纷隐患。

2.4 管理部门专业性人才储备不足

人才团队的建设是推动建筑工程管理高效运转的重要保障。随着城市化进程的不断加快，建筑工程项目数量迅速增长，城市规划和建设对建筑工程的重视程度日益提高，这也对工程管理和施工质量提出了更高要求。同时，激烈的市场竞争也加大了建筑企业的经营压力。然而，目前多数建筑企业在管理团队建设方面仍存在明显短板，管理人员普遍缺乏系统的施工管理知识和技术储备，难以在项目实施中做出科学决策，常常因判断失误带来不必要的经济损失。与此同时，由于管理层对施工技术了解不足、缺乏实战经验，无法针对施工过程中出现的具体问题给予有效指导，甚至在某些情况下因管理不当而加剧施工难度，延误工期。

2.5 科学信息技术应用不足

当前数字化技术应用呈现“浅层化”特征，物联网传感器部署多集中于基础数据采集，未能与 BIM 模型、进度管理算法深度耦合，导致实时预警与动态调控能力缺失。质量追溯系统因施工、监理、检测数据未上链存证，难以构建可信的全生命周期档案。跨平台数据标准不统一加剧信息孤岛，设计端的参数化模型、施工端的物联网数据、运维端的 GIS 信息无法在统一数字孪生平台上交互，致使资源调度与风险预判丧失协同基础。AI 算法在工期预测、成本优化等场景的应用仍停留于实验阶段，缺乏与项目管理流程的嵌入式融合[2]。决策支持系统因数据清洗机制薄弱、知识库更新滞后，难以生成精准的施工方案优化建议。区块链技术未有效应用于供应链溯源与合同履约监管，导致建材质量争议频发。

3 控制建筑工程管理的有效措施

3.1 加强专业培训，提升队伍建设

构建“教育-实践-认证”三位一体的人才培养体系，依托校企共建实训基地、注册建造师继续教育等载体，强化管理人员对智能建造技术（如 BIM 协同设计、AI 进度推演）与国际化工程标准（如 FIDIC 合同体系）的复合能力。实施“项目全周期轮岗制”，通过 EPC 总承包、海外工程等复杂项目实战，锤炼团队资源整合、跨文化沟通及风险防控核心素养。深化职业资格与岗位胜任力挂钩机制，增设装配式施工、绿色建筑认证等专项培训模块，利用虚拟现实技术模拟深基坑支护、钢结构吊装等高危作业场景，提升应急处置能力。推行“导师制”与“技术比武”双轨并行模式，加速青年人才从理论向实践转化，同时通过行业技能竞赛挖掘顶尖技术骨干。建立人才流动与共享平台，打通设计院、施工单位、科研机构间的职业通道，促进知识经验跨界融合。完善激励机制，将新技术应用成果、管理创新案例纳入绩效考核，构建“薪酬梯度-晋升通道-荣誉表彰”立体化激励网络，激发团队内生动力，为行业转型升级储备战略型人才梯队。

3.2 增强安全教育，消除工程隐患

构建“企业-项目-班组”三级安全教育体系，企业层级聚焦政策法规与战略规划宣贯，项目层级强化风险场景模拟与应急处置实训，班组层级落实每日安全交底与行为规范纠偏。引入 VR 技术还原高空坠落、机械伤害等事故场景，结合 AI 行为识别系统实时捕捉未佩戴安全装备、

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

违规操作等隐患行为，通过沉浸式体验与即时反馈机制重塑作业人员安全认知。推行全员安全责任网格化管理，以数字化积分系统量化管理层、技术人员、施工人员的履职成效，将隐患排查率、整改时效等指标纳入绩效考核。开发危险源动态管理平台，集成物联网传感器与GIS定位技术，对深基坑变形、塔吊倾斜等风险点实现毫米级监测与分级预警，通过移动终端推送防控措施至一线人员。建立应急预案智能推演系统，基于数字孪生技术模拟极端天气、设备故障等突发情境，自动生成疏散路线优化方案与资源调度策略。开展多部门联合实战演练，重点检验跨专业协作效率与信息同步能力，演练数据同步录入案例库用于迭代培训内容。

3.3 科学控制成本，扩大企业利润

构建全生命周期成本控制体系，从设计阶段的方案比选到运维期的能耗优化，实施全链条动态管控。运用BIM技术建立参数化成本模型，通过虚拟建造模拟不同施工方案的经济性差异，结合价值工程理论优化结构选型与材料组合，在保障功能前提下剔除冗余成本。深化供应链协同管理，搭建集中采购平台整合供应商资源，运用区块链技术追溯材料流通路径，压缩中间环节损耗并防范虚报价格风险。推行“精益化+数字化”双轮驱动的机械调度策略，基于物联网实时采集设备工况数据，通过AI算法预测机械故障率与维修周期，动态调整租赁方案与作业排程，最大化降低闲置率与应急调度成本。针对人工成本管控，引入智能考勤系统与工效分析工具，精准测算各工序单位产值人力投入，结合技能培训优化班组配置，减少无效工时与返工浪费[3]。强化风险对冲机制，建立汇率波动、大宗材料价格指数与工程险种的联动模型，通过期货套保、合同调价条款等工具锁定成本上限。针对国际工程，推行属地化采购与劳务管理，降低跨境物流与人力成本。同时，将绿色施工技术融入成本框架，通过节能工艺、循环建材与可再生能源应用，削减长期运维支出并获取碳交易收益，实现经济效益与环境效益的双重增值。

3.4 加快建筑工程管理的信息化建设

构建以BIM技术为核心的全要素管理平台，深度融合物联网传感器、激光扫描点云与无人机巡检数据，实现施工进度、质量缺陷、成本偏差的毫米级动态感知与三维可视化呈现。开发AI决策引擎，通过机器学习算法分析历史工程数据，对资源调度路径、施工工艺组合进行多目标优化，生成兼顾效率与成本的最优方案，同步输出风险预警与应急预案建议。搭建跨部门协同管理云平台，集成设计变更、材料采购、劳务考勤等模块数据流，利用区块链技术确保各方信息实时共享且不可篡改。针对复杂节点施工，部署AR智能眼镜辅助现场作业，自动调取BIM模型中的构件参数与安装规范，通过图像识别技术实时比对施工误差并推送修正指令。深化智慧工地系统应用，部署边缘计算网关对塔吊运行、混凝土浇筑等关键工况进行本地化智能分析，降低云端传输延迟。开发移动端管理APP，支持质量巡检问题扫码上报、整改流程在线闭环，并通过数字孪生技术反向映射实体工程状态，实现“虚拟-现实”双向校验。

3.5 做好建筑工程的技术交底和材料管理工作

构建“设计-施工-班组”三级技术交底体系，设计层级通过BIM模型与参数化模拟解析复杂节点构造，施工层级利用AR可视化工具动态演示工艺标准与操作禁区，班组层级依托移动端交互平台实现施工图纸、工艺卡片的实时调阅与疑问标注，形成“理论讲解-场景模拟-实操验证”的立体化交底闭环。针对装配式建筑、大跨度钢结构等特殊工程，引入数字孪生技术对预制构件拼装误差、焊接变形量等关键参数进行虚拟预演，确保技术要点传达零偏差[4]。深化材料全生命周期智慧管控，搭建基于区块链的供应链追溯平台，通过智能合约自动核验供应商资质、生产批次及检测报告，实现从矿山开采到现场施焊的全程数据上链存证。材料进场环节，集成物联网光谱分析仪与AI图像识别技术，对钢筋锈蚀等级、混凝土骨料粒径等指标实施毫秒级无损检测，同步关联BIM模型中的材料需求清单，自动触发退场或复检指令。推行“绿色化+数字化”仓储管理模式，运用UWB定位技术对场内材料堆垛位置、存取路径进行动态优化，结合环境传感器监控易燃易爆材料的温湿度与通风状态，预防变质风险。针对周转材料，开发共享租赁平台，通过GPS追踪与使用频次分析，实现模板、脚手架等资源的跨项目智能调度，降低闲置损耗。

4 结语

建筑工程管理的优化升级是驱动行业向高阶形态演进的核心动能。通过制度创新重塑权责框架、技术赋能重构管理流程、人才驱动激活创新势能的三维协同，可系统性破解质量管控失序、成本超支失控等传统顽疾，为打造全生命周期精品工程奠定方法论基础。未来需聚焦智能建造技术迭代、低碳施工范式创新、全球化工程标准适配等前沿领域，构建弹性管理体系与韧性风控机制，以管理现代化牵引产业结构升级，重塑“质量-效率-效益”均衡发展的行业生态。

[参考文献]

[1]史彦廷.建筑工程管理现状及控制措施分析[J].四川建材,2024,50(11):143-144.
[2]林思勇.建筑工程管理的现状分析及控制措施[J].散装水泥,2022(6):9-11.
[3]曹楚杰.基于建筑工程管理的现状分析及控制措施探讨[J].产品可靠性报告,2023(11):43-45.
[4]高仁纯.建筑工程管理的现状分析及控制措施[J].大众标准化,2022(21):97-99.

作者简介：刘钥（1987.8—），毕业院校：国家开放大学，所学专业：土木工程，就职单位名称：新疆建通工程管理有限责任公司，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

防水防渗技术在工民建施工中的有效运用探讨

李 强
山东环发瑞乾生态有限公司，山东 枣庄 277000

[摘要]随着城市化建筑规模扩大，建筑质量尤其是防水防渗技术在工民建施工中的应用显得尤为重要，防水防渗技术影响建筑物的安全性、耐久性并直接关系到建筑物的使用寿命，特别是在地下建筑、屋面、高湿度环境中的防水要求更为严格。近年来，尽管防水防渗技术得到了广泛应用但在实际施工中仍面临许多挑战，为了提高防水防渗技术应用效果，制定有效运用策略已成为当前建筑行业亟待解决的关键问题。

[关键词]防水防渗技术；工民建施工；建筑施工
DOI：10.33142/ec.v8i4.16339 中图分类号：TU761 文献标识码：A

Discussion on the Effective Application of Waterproof and Anti-seepage Technology in Industrial and Civil Construction

LI Qiang
Shandong Huanfa Ruiqian Ecological Co., Ltd., Zaozhuang, Shandong, 277000, China

Abstract: With the expansion of urbanization and building scale, the application of building quality, especially waterproof and anti-seepage technology, in industrial and civil construction has become particularly important. Waterproof and anti-seepage technology affects the safety and durability of buildings and directly affects their service life, especially in underground buildings, roofs, and high humidity environments where waterproof requirements are more stringent. In recent years, although waterproof and anti-seepage technology has been widely applied, it still faces many challenges in practical construction. In order to improve the application effect of waterproof and anti-seepage technology, developing effective application strategies has become a key issue that urgently needs to be solved in the current construction industry.

Keywords: waterproof and anti-seepage technology; construction of industrial and civil engineering; building construction

引言

随着我国城镇化进程不断加快，建筑工程在复杂性方面逐渐增大且建筑质量要求也日益提高，防水防渗技术作为确保建筑物耐久性的关键已在工民建施工中发挥着至关重要的作用。近年来，国家对建筑质量监管愈加严格且政策频频出台以加强建筑工程质量控制，特别是《建筑工程施工质量管理条例》明确要求防水工程作为重要建筑防护措施必须符合设计与施工规范。因此，本文以防水防渗技术在工民建施工中的有效运用为研究方向，具有重要实际意义，为相关领域发展提供有益借鉴。

1 防水防渗技术在工民建施工中的重要性

防水防渗技术有效防止水分对建筑结构侵蚀，尤其是在地下工程、屋顶、卫生间等高湿区域，能防止渗水引发裂缝、钢筋锈蚀等严重问题从而保障建筑物结构完整性，防水防渗技术的良好运用可显著提高建筑物耐久性，减少因渗水引发的维修成本从而延长建筑物使用寿命，随着环保与节能要求不断提高，防水技术不断创新为绿色建筑建设提供了有力支持且满足了现代建筑对节能环保的高标准要求，防水防渗技术应用对建筑物质量保证至关重要，能提升建筑居住者生活质量并避免由于水害带来的潮湿环境，减少细菌滋生与空气污染从而创造舒适、健康的居住环境[1]。

2 防水防渗技术在工民建施工中面临的挑战

2.1 防水材料种类繁多，性能差异显著

聚氨酯、沥青、橡胶、氯丁橡胶等不同类型防水材料，虽然在防水性能上都具有一定优势，但在不同环境下其耐久性、抗老化性、耐候性表现出明显差异，如聚氨酯材料具有较好柔韧性但在高温或紫外线照射下容易老化，而沥青防水材料则在耐高温方面表现较好但在低温下会发生脆化导致防水性能下降，面对材料性能差异施工人员须根据工程具体要求来选择适合的防水材料，若选材不当，会导致防水层脱落、开裂，甚至渗漏从而影响建筑物耐久性[2]。防水材料选择问题涉及材料性能差异、施工条件、环境制约等因素，如地下工程由于土壤湿度较大需选用具有高抗渗性能的材料，而屋面防水则需要选择耐紫外线与耐高温材料，在面对此类差异时，如何依据具体施工环境要求来筛选合适的防水材料成为一项技术性很强的工作，在没有足够实验数据或经验支持情况下选择不当防水材料会导致工程无法达到设计寿命，甚至需要进行二次修复进而增加了工程成本以及后期维护的压力。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.2 施工环节工序繁杂，技术要求较高

防水施工是一项涉及多个环节的复杂工程，每一个施工细节都直接关系到最终防水效果，防水材料涂布厚度须严格控制且涂层过薄会导致防水效果不达标，过厚则会导致材料浪费并影响防水层附着力，防水层接缝处理尤为关键，接缝不严密或不平整会形成渗漏通道从而降低防水效果，基面清理工作也至关重要，基面一旦有灰尘、油污或积水，会导致防水材料黏结不牢固从而影响其防水性能，在防水施工过程中任何不规范操作都会造成防水层缺陷，导致渗漏问题发生进而给建筑物带来长期损害[3]。防水层施工通常需要特定施工工艺且不同材料有着不同的施工要求，如聚氨酯防水材料在施工时需保证温度与湿度适宜从而防止其固化过程中出现气泡或裂缝，而热熔防水材料则要求施工温度控制在合适范围内，过高或过低温度都会影响其黏结性与防水效果，对于屋面防水或地下防水复杂区域，施工过程中需结合防水材料铺设方向、层次、防水膜的搭接长度等因素进行精细施工，对于工人的专业技术要求较高。

2.3 气候环境变化多端，地质条件复杂

温度、湿度、风速等气候条件变化会直接影响防水材料防水效果，如在高温环境下施工时防水涂料会因挥发过快而导致其未能完全固化，造成防水层附着力不足进而增加渗漏风险，而在低温环境下防水涂料流动性会变差，会导致涂层不均匀进而影响其防水性能，尤其是雨季施工时，湿度过高会导致防水涂层无法有效固化从而降低防水材料使用寿命[4]。地质条件复杂性也对防水防渗技术提出了高要求，在不同地质环境下，地下水位、土壤类型、地层构造等因素都会对防水效果产生影响，对于地下水位较高区域常规防水措施难以满足防渗要求，土壤性质也会对防水层持久性产生影响，如某些黏土或膨胀土含水量高，防水材料在土壤中容易被浸泡或破坏进而导致防水效果下降。

2.4 施工管理机制缺失，监理监管不足

随着建筑行业对防水性能要求不断提高新型防水技术不断涌现，然而，部分施工单位仍然使用传统防水施工方法进而导致施工效果无法达到预期防水标准，如某些项目会依旧采用老旧沥青卷材，忽视了新型高性能防水材料引入从而使建筑物在使用过程中面临高额维护成本。对于小型施工队伍而言防水技术培训与技能传承不足，容易在实际操作中出现防水层施工不均匀、接缝未处理到位等失误直接影响工程质量，此类问题难以在短期内发现，而当建筑物投入使用时防水效果不良才会暴露出来。

2.5 防水层老化加速，耐久性难以保障

防水层在建筑物的长期使用过程中容易受到紫外线照射、温度变化、雨水侵蚀、化学腐蚀等外部环境因素影响，导致材料逐渐老化防水性能下降，如屋面防水层在长期暴露于紫外线情况下，会发生氧化、龟裂、脆化等现象进而影响防水层密封性，而地下结构的防水层则面临地下水的长期侵蚀，某些含酸性或碱性水质会对防水材料造成化学腐蚀进而加速其降解，温度剧烈变化也会导致防水层因热胀冷缩而开裂，尤其是聚合物基防水涂料在极端气候条件下容易出现失效现象。防水层在施工过程中，一旦出现不均匀涂刷、接缝处理不当、施工厚度不足等问题会导致其在使用过程中迅速老化，如在卷材防水施工中若搭接缝未完全密封或黏结不牢，长期受风雨冲刷后会导致缝隙扩大进而形成渗水通道，在涂料防水施工时若基层未充分干燥就进行施工，水分蒸发后会造成防水层鼓泡、剥离进而降低其耐久性，防水层抗老化性能与材料选择以及施工工艺密切相关，若在施工过程中未按标准进行施工或未使用高耐久防水材料会影响最终耐久性[5]。

3 防水防渗技术在工民建施工中的运用策略

3.1 严格筛选防水材料，优化配方提升性能

地下室、屋顶、外墙、卫生间、厨房等不同施工部位其防水需求差异较大，如地下结构需要承受较大水压，需选用抗水压能力强的高分子防水卷材或聚合物水泥基防水涂料，而屋顶防水则主要面临紫外线照射、雨水冲刷等问题可选用耐候性好的改性沥青卷材或聚氨酯防水涂料，施工地区气候条件也是材料选择的重要因素，对于寒冷地区，需选用抗冻融能力强、低温柔韧性好的防水材料来防止因温度骤变导致材料开裂，而对于高温多雨的地区，则应选择耐高温、耐老化防水材料来保证长期稳定性。应积极研发高性能复合防水材料来提高建筑防水系统耐用性，如采用纳米改性技术优化聚合物水泥基防水涂料，提高其抗渗透性以及自修复能力，使其在受到轻微损伤时能自动愈合裂缝并减少渗漏风险，聚合物改性沥青卷材可在沥青中加入 SBS、APP 等改性剂，提高其延展性与抗老化能力使其适应温度变化较大地区，可研究新型自粘防水卷材，该材料无需加热即可直接粘贴，降低施工难度的同时利用增强黏结力提升整体防水层稳定性。

3.2 规范施工工艺流程，加强培训确保质量

在施工过程中，每一个环节都须严格按照技术标准执行从而确保防水层的完整性，如在防水涂料施工前基层处理是决定防水效果的关键步骤，须确保基面平整、干燥、无油污、粉尘否则防水层容易起鼓、脱落或产生渗漏，在涂布防水涂料时，需按照“多遍薄涂”原则施工来防止局部厚度过大造成开裂，在防水卷材铺设过程中搭接缝的处理尤为重要，一般要求搭接宽度不小于 10cm，采用热熔或自粘技术进行封边来确保密封严密并防止水分渗入。须开展系统化专业培训来提升施工人员技能水平，如在培训过程中可采用 VR 模拟施工技术，让施工人员在虚拟环境下模拟不同防水材料施工流程从而熟练掌握各种施工工艺，可基于实际操作演练，让工人在不同基层条件下进行防水层施工测试从而掌握不同施工环境下的最佳施工方

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

法，应定期组织施工人员进行案例分析，学习典型工程施工经验与失败案例从而提高防水施工综合能力。

3.3 强化环境实时监测，优化措施降低风险

建立气象实时监测系统对施工环境进行精准监测，如在施工现场安装温湿度传感器来实时监测环境温湿度变化，并结合气象数据预测未来几小时的天气状况并合理调整施工时间，高温环境下可采用遮阳措施或安排夜间施工来减少高温对防水材料固化过程的不利影响，在湿度较高的环境下可使用除湿设备或延长固化时间从而确保防水层完全固化，对于屋面施工应避免在强风条件下进行防水卷材铺设，防止卷材被风吹起从而影响黏结效果。采用智能渗漏检测技术，运用红外热成像、电阻法或超声波探测等方法来快速识别防水层缺陷，如红外热成像技术可检测防水层下方温度分布情况，当某一区域温度异常则会存在渗漏隐患，在地下工程中可布设传感器网络，实时监测地下水位变化与渗漏情况并利用数据分析及时发现渗漏风险。

3.4 健全施工监管体系，完善标准落实责任

须制定一套完整、精细化验收标准覆盖从防水层铺设、材料选择、施工工艺到质量检验等所有环节，如在验收过程中除了进行常规目测检查外，需增加涂层厚度检测、接缝、搭接部位紧密度测试、抗渗能力检测等多项具体技术检测，应使用科学检测方法来验证防水层有效性，如在屋面工程中使用水淹试验，地下工程使用蓄水试验，此类方法能模拟实际使用过程中水分侵蚀情境并直观评估防水层的防渗效果，为了保证防水层长期有效性，可对防水层材料进行老化试验、耐热耐冻测试等从而确保其具备在各种环境下长期使用的能力。引入智能监测系统对防水施工进行全过程的监管并确保每一环节施工质量可追溯，智能监测系统可运用集成传感器、视频监控、物联网技术等手段，实时收集施工过程中的材料使用、施工工艺、环境条件、施工进度等各种数据，如在施工现场布设温湿度传感器来实时监测施工环境变化，确保施工材料在适宜的温湿度下固化从而避免环境因素对防水层效果的影响，可利用安装高清摄像头对防水层铺设过程进行视频记录，实时监控施工人员操作规范并确保施工过程符合技术标准，防水材料使用也可运用 RFID 标签从采购、运输、存储到施工过程每个环节都能进行详细记录。

3.5 采用耐久性防水材料，提升防水层寿命

为了延长防水层使用寿命应开发高耐候性、高抗老化能力的防水材料，使其在长期暴露于紫外线、雨水、化学物质、温度变化环境下仍能保持稳定性能，如采用抗紫外线的高分子改性防水卷材，如 SBS 改性沥青卷材，能在极端温差环境下保持较好柔韧性与抗裂能力从而避免因热胀冷缩导致的开裂问题，纳米自愈合防水涂层技术也成为新研究方向，在防水材料中添加纳米微胶囊或形状记忆聚合物，使材料在微裂缝产生时能自动修复并延长防水层使用寿命，对于地下结构，可使用抗化学腐蚀的高密度聚乙烯防水卷材来提高其抵抗酸碱性地下水侵蚀能力。除了选用高耐久性材料外，还应采取有效防护措施来降低环境因素对防水层的损害，如在屋面防水施工中可在防水层表面增加一层反射涂料、隔热层、耐磨层等耐候保护层，以减少紫外线对防水层直接影响并降低材料老化速度，在地下防水层施工中可采用“刚柔结合”方法，即在柔性防水层外加设一层细石混凝土、砂浆防护层等刚性保护层，以减少地下水对防水层直接冲刷并提高其耐久性。

4 结论

综上所述，防水材料的多样性、施工工艺的复杂性、环境因素的影响、施工管理不足都给防水防渗技术应用带来了较大压力，制定严格防水材料选择标准、优化施工流程、加强环境监控、完善施工监管体系可显著提高防水技术质量，此类对策能提升建筑物防水性能，降低因渗漏造成后期修复成本并提高建筑工程的整体质量。

[参考文献]

[1]张鹏.工民建施工中防水防渗技术的应用分析[J].建材发展导向,2025,23(2):91-93.
[2]马志军.工民建施工中防水防渗技术的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(2):99-101.
[3]李伟东.工民建工程中地下室屋面防水防渗施工技术[J].工程机械与维修,2023(5):113-115.
[4]黄成成.防水防渗施工技术在工民建施工中的运用策略[J].内江科技,2023,44(3):15-16.
[5]李小牛.工民建防水防渗施工技术分析[J].科技与创新,2021(11):112-113.
[6]姜凯.工民建中运用的防水防渗施工技术探析[J].中国科技投资,2021(12):125-130.
[7]李宏伟.探讨防水防渗技术在工民建施工中的有效运用[J].建筑技术开发,2021,48(5):57-59.

作者简介：李强（1996.2—），男，中国海洋大学，土木工程专业，山东环发瑞乾生态有限公司，业务经理，助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

爬架施工过程中质量控制要点及管理措施探讨

刘凯华
北京建工建筑产业化投资建设发展有限公司，北京 471000

[摘要]爬架施工技术作为现代建筑施工中的一项重要工艺，其质量控制直接关系到工程的安全性和经济性。文中探讨了爬架施工过程中质量控制的关键要点及管理措施，旨在提升建筑工程的整体质量。分析了当前施工中存在的主要问题，包括材料选择、操作规范等方面，并详细讨论了通过严格的施工管理和技术创新来解决这些问题的方法。强调了建立科学的质量监控体系、采用先进技术进行实时监控和数据分析的重要性，以及加强人员培训和意识提升的必要性。引入先进安全防护设备，如智能安全帽和自动监测系统，进一步增强了施工现场的安全性，为高效施工创造了有利条件。

[关键词]爬架施工；质量控制；安全管理；人员培训；技术创新
DOI：10.33142/ec.v8i4.16329　　中图分类号：TU731.2　　文献标识码：A

Discussion on Quality Control Points and Management Measures during Climbing Construction Process

LIU Kaihua
Beijing Construction Engineering Industrialization Investment Construction Development Co., Ltd., Beijing, 471000, China

Abstract: As an important process in modern construction, the quality control of climbing frame construction technology directly affects the safety and economy of the project. The article discusses the key points and management measures of quality control during the construction process of climbing frames, aiming to improve the overall quality of construction projects. Analyzed the main problems existing in current construction, including material selection, operating standards, etc., and discussed in detail the methods of solving these problems through strict construction management and technological innovation. Emphasis was placed on the importance of establishing a scientific quality monitoring system, adopting advanced technology for real-time monitoring and data analysis, as well as the necessity of strengthening personnel training and awareness raising. The introduction of advanced safety protection equipment, such as smart helmets and automatic monitoring systems, further enhances the safety of construction sites and creates favorable conditions for efficient construction.

Keywords: climbing frame construction; quality control; safety management; personnel training; technological innovation

引言

建筑行业的快速发展对施工技术提出了更高的要求，特别是在高层建筑施工中，爬架技术的应用日益广泛。在实际操作过程中，由于施工环境复杂、人员技术水平参差不齐等因素，导致工程质量难以保证，安全事故频发。为了应对这些挑战，确保施工过程的安全与高效，必须深入研究并实施有效的质量控制策略。这不仅有助于减少事故发生的可能性，还能显著提高工程效率和经济效益。因此，探讨如何通过科学的质量监控体系、先进的技术和材料以及系统的人员培训来提升爬架施工的质量控制水平显得尤为重要。本文旨在分析当前爬架施工中的主要问题，并提出相应的管理措施，为相关从业人员提供参考和借鉴。

1 爬架施工现状分析与存在问题识别

1.1 当前爬架施工技术应用的广泛性及其面临的挑战

随着建筑行业的发展，爬架施工技术在高层建筑中的应用越来越广泛。这项技术不仅能够有效提高施工效率，还能显著提升工程的安全性和质量。在实际应用中，也面临着一系列挑战。由于建筑物的高度增加，对爬架系统的稳定性提出了更高的要求。复杂多变的气候条件和施工现场环境也为爬架施工带来了额外的风险。同时，不同地区对于爬架施工的标准和规范存在差异，这也增加了施工难度。为了确保施工过程顺利进行，必须针对这些挑战制定相应的解决方案[1]。

1.2 影响爬架施工质量的关键因素剖析

在爬架施工过程中，有几个关键因素直接影响到工程质量。材料的选择至关重要，高质量的钢材和其他建筑材料能够显著增强结构的稳定性和耐久性，为施工安全奠定坚实基础。施工工艺的精确度同样不可忽视，任何细微的误差都可能导致严重的后果，因此需要严格控制每一步操作的准确性。现场管理的有效性也是决定施工质量的重要因素之一，良好的现场管理可以确保所有工序按照既定计划有序进行，避免因操作不当或沟通不畅引发的问题。定期进行质量检查和评估，及时发现并纠正潜在问题，也是提升整体质量不可或缺的一环。深入了解并控制这些关键因素，对于提升爬架施工的整体质量具有重要意义，有助于确保工程的安全与高效完成。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.3 常见施工问题及其对工程质量的影响评估

在爬架施工中常见的问题包括但不限于组件连接不牢固、支撑系统不稳定以及防护措施不到位等。这些问题不仅可能直接导致安全事故的发生，还会对整个工程的质量造成严重影响。组件连接不牢固可能会引起局部结构失效，进而影响整个建筑的安全性；支撑系统不稳定则可能导致施工进度延误甚至停工。而缺乏有效的防护措施会增加工人受伤的风险。为了解决这些问题，需要在施工前进行全面的风险评估，并采取针对性的预防措施，确保每一个环节都能达到预期标准。

2 材料选择与前期准备工作的优化方案

2.1 优质材料在爬架施工中的重要性及选择标准

优质材料的选择对于确保爬架施工的安全与质量至关重要。高强度钢材因其出色的抗拉和抗压性能，成为构建稳定支撑结构的理想选择。耐腐蚀材料的使用可以有效延长爬架系统的使用寿命，减少维护成本。材料的选择还必须考虑到施工现场的具体条件，如气候、环境等。在沿海地区施工时，选用具有良好抗盐雾腐蚀性能的材料尤为重要。同时，所有材料均需符合国家或行业的相关标准，确保其物理性能满足设计要求。通过严格的检测程序来验证材料的质量，是保障爬架系统安全可靠的基础[2]。

2.2 提高前期准备工作效率确保施工顺利进行的方法

高效的前期准备工作能够为爬架施工奠定坚实基础。精确的工程测量和规划有助于避免后期出现不必要的调整，从而节省时间和成本。详细的技术交底让所有参与人员对施工流程和技术要求有清晰的理解，确保操作的一致性和规范性。优化资源配置也是提升前期准备效率的关键，包括合理安排人力、物力资源，以及提前准备好所需的各类工具和设备。利用现代信息技术，如BIM技术，进行虚拟建模和模拟演练，可以帮助识别潜在问题，并制定相应的解决方案，确保施工过程按计划顺利推进。

2.3 创新材料的应用为爬架施工带来的新机遇

随着科技的发展，新型材料不断涌现，为爬架施工带来了前所未有的机遇。轻质高强材料的使用不仅大幅减轻了整体结构的重量，还显著提高了施工效率，降低了搬运和安装难度。智能材料的应用赋予爬架系统自我监测和调节能力，增强了施工安全性，某些智能传感器可以实时监控爬架结构的状态，及时发现并预警潜在风险，确保施工过程的安全稳定。环保型材料的引入不仅减少了施工对环境的影响，也符合当前绿色建筑的发展趋势，体现了可持续发展的理念。这些创新材料的应用不仅显著提升了施工质量，也为行业的发展注入了新的活力，推动了技术进步与创新。

3 施工过程中的质量监控与实时调整策略

3.1 建立科学有效的质量监控体系保障施工安全

建立科学有效的质量监控体系是确保爬架施工安全的重要措施。通过制定详细的质量控制标准和流程，可以有效规范施工过程中的每一个环节。定期进行现场检查和评估，能够及时发现并纠正潜在的安全隐患。利用先进的检测设备和技术，如超声波探伤仪、X射线检测等，对关键部件进行严格检测，确保其符合设计要求。建立健全的责任追究机制，对于违反操作规程的行为给予严肃处理，以此强化全员的质量意识和责任感。这些措施共同作用，形成一个全面覆盖的监控网络，为施工安全提供坚实保障。

3.2 采用先进技术实现施工过程中的实时监控与快速响应

在爬架施工中，采用先进技术实现实时监控与快速响应至关重要。安装智能传感器于爬架系统的关键部位，能够实时收集结构应力、位移等数据，并将信息传输至监控中心。借助物联网技术，管理人员可以随时随地查看施工现场的情况，迅速做出反应。无人机巡检的应用也日益广泛，它不仅能够高效完成高空作业区域的检查任务，还能在短时间内获取大量高清图像资料，便于后续分析。通过集成化的信息系统，所有数据得以集中管理和分析，从而实现对施工过程的精准控制，显著提升应急响应速度和施工安全性[3]。

3.3 基于数据分析的质量改进措施提升整体施工水平

基于数据分析的质量改进措施有助于全面提升爬架施工的整体水平。收集施工过程中产生的各类数据，包括材料性能参数、施工进度记录以及安全监测结果等，构建大数据平台进行深度挖掘。通过对这些数据的分析，可以识别出影响施工质量的主要因素，并据此制定针对性的改进方案。发现某一特定工序频繁出现问题时，可以通过调整工艺流程或加强培训来解决。运用预测模型对未来的施工状况进行预判，提前做好风险防范措施。这种基于数据驱动的方法，不仅提高了问题解决的效率，也为持续优化施工管理提供了有力支持。

4 安全管理措施在爬架施工中的应用实践

4.1 强化施工现场安全管理预防安全事故的发生

强化施工现场安全管理是确保爬架施工安全的关键。通过制定详尽的安全管理制度，明确规定各类作业的操作规范和应急响应措施，能够有效减少事故发生的可能性。定期开展安全教育活动，提高所有参与人员的安全意识，使每个人都能认识到自身行为对整体安全的影响。在施工现场设置明显的安全标识，提醒工人注意潜在危险区域，并配备足够的消防设施和其他紧急救援设备。同时，加强对现场环境的监控，及时发现并处理可能影响施工安全的因素，如不稳定的天气条件或地面状况。这些措施共同作用，为施工安全提供了坚实的基础。

4.2 制定并执行严格的安全操作规程确保人员安全

制定并严格执行严格的安全操作规程对于保障爬架施工中人员的安全至关重要。详细规定每一步操作的具体要求和注意事项，确保每一个环节都符合最高的安全标准。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在进行高空作业时，明确佩戴安全带、头盔等个人防护装备的要求，并规定具体的使用方法。建立标准化的操作流程，确保每一位工人都能按照既定程序进行操作，避免因操作不当引发的事故。定期检查安全操作规程的执行情况，对不符合规定的做法立即予以纠正，并采取相应的改进措施。同时，通过组织定期的安全演练和培训，增强工人应对紧急情况的能力，进一步提升施工现场的安全性与团队协作效率。这不仅提高了施工安全性，也增强了团队的整体协作能力，确保工程顺利进行[4]。

4.3 引入先进安全防护设备提升施工现场安全性

引入先进的安全防护设备是提升爬架施工现场安全性的有效途径。采用新型的安全网和护栏系统，可以有效防止物体坠落和人员跌落的风险，极大地保障了作业人员的安全。智能安全帽集成了定位、通讯和报警功能，在紧急情况下能够迅速通知救援队伍，大大缩短了救援时间，提高了应急响应效率。安装自动监测系统于爬架结构上，实时监控其状态变化，一旦检测到异常立即发出警报，以便及时采取应对措施，确保施工过程的稳定性与安全性。利用虚拟现实(VR)技术进行安全培训，让工人在高度仿真的模拟环境中体验各种紧急情况，从而提高他们应对突发事件的能力和心理准备。通过这些先进设备和技术的应用，不仅显著提升了施工现场的安全性，还为高效施工创造了更加有利的条件，进一步推动了建筑行业的健康发展。

5 提高施工队伍素质的技术培训与意识提升

5.1 通过系统化的技术培训增强施工人员的专业技能

通过系统化的技术培训，可以显著增强施工人员的专业技能，确保爬架施工的高效与安全。针对不同层次的技术需求，设计涵盖基础理论到高级应用的多层次培训课程。对于新入职员工提供基础技能培训，包括材料识别、工具使用等；对于有经验的员工，则侧重于新技术的应用和复杂问题解决能力的提升。利用模拟器和虚拟现实技术进行实操训练，让工人在接近真实的工作环境中练习操作技巧，提高应对突发情况的能力。定期组织专题讲座和技术交流活动，分享最新的行业动态和技术创新成果，使施工人员能够不断更新知识体系，适应行业发展。

5.2 培养施工人员的质量意识和安全意识的重要性

培养施工人员的质量意识和安全意识是确保工程质量和施工安全的关键所在。深入讲解质量标准和安全规范，让每位参与者都深刻理解其重要性。通过实际案例分析，展示由于忽视质量或安全而导致的严重后果，以此强化记忆。设置专门的质量和安全检查员，对施工现场进行不定期抽查，及时发现并纠正不符合要求的操作行为。鼓励团队内部互相监督，形成良好的工作氛围。开展主题月活动，集中宣传某一特定方面的质量或安全知识，如“安全生产月”“质量改进月”等，营造全员关注质量与安全的良好环境，促使每一位成员都能自觉遵守相关规定，共同维护施工安全和工程质量。

5.3 构建学习型团队促进施工技术水平持续进步

构建学习型团队有助于促进施工技术水平的持续进步，为爬架施工项目注入源源不断的创新动力。建立知识共享平台，方便团队成员上传和下载各类技术文档、操作手册及学习资料，便于随时查阅学习。组织跨部门合作项目，让不同专业背景的员工有机会相互交流学习，拓宽视野。鼓励团队成员参与外部培训和学术会议，带回前沿知识和技术理念，激发团队内部的创新思维。设立专项奖励基金，表彰在技术创新和技能提升方面表现突出的个人或小组，激励更多人积极参与到学习和创新活动中来。通过这些措施，不仅提升了团队整体技术水平，也增强了团队凝聚力和竞争力[5]。

6 结语

本文通过对爬架施工过程中质量控制要点及管理措施的探讨，详细分析了从材料选择到施工过程中的实时监控，再到人员培训和意识提升等多个方面的内容。强调了科学有效的质量监控体系、先进技术的应用以及构建学习型团队的重要性，旨在为提高建筑工程的整体质量和安全性提供理论支持与实践指导。通过系统化的管理和持续的技术创新，不仅可以有效预防安全事故的发生，还能显著提升工程效率，满足现代建筑施工的高标准要求。

[参考文献]

[1]李明.爬架施工技术及其质量控制要点[J].建筑科技,2023,34(5):78-82.
[2]王强.高层建筑中爬架系统的安全管理策略研究[J].工程建设与设计,2024,45(2):90-94.
[3]陈华.创新材料在现代建筑施工中的应用与发展[J].新型建筑材料,2023,36(3):102-106.
[4]赵刚.数据驱动的质量改进措施在建筑工程中的应用[J].施工技术,2024,46(4):56-60.
[5]孙红.构建学习型团队促进建筑企业技术创新的研究[J].企业管理,2025,37(1):45-49.

作者简介：刘凯华（1985.11—），男，汉族，毕业学校：河北工程大学，现工作单位：北京建工建筑产业化投资建设发展有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

民建项目中结构缝设置对整体稳定性的影响分析

杨晓刚
中国华冶科工集团有限公司，重庆 401325

[摘要]随着现代民用建筑向超长、超高、异形化方向发展，结构缝的设计已从附属构造升华为维系建筑安全的核心技术要素。在台北 101 大厦、上海中心大厦等地标工程实践中，结构缝通过应力释放与变形协调的双重机制，有效化解了超高层建筑的风振效应与软土地基沉降难题。当前建筑形态复杂化与使用功能多样化趋势，使得传统经验化缝体设计模式面临严峻挑战：既要满足地震作用下的位移容差需求，又需协调设备管线穿越等空间矛盾。本研究立足结构力学本质，系统解析缝体设置与建筑稳定性的耦合作用机理，旨在建立基于性能化设计的结构缝配置理论，为突破现行规范局限性提供新的技术路径。

[关键词]结构缝；整体稳定性；变形协调；抗震性能；优化设计
DOI：10.33142/ec.v8i4.16328　　中图分类号：TU333　　文献标识码：A

Analysis of the Impact of Structural Joint Setting on Overall Stability in Civil Construction Projects

YANG Xiaogang
China Huaye Group Company Limited, Chongqing, 401325, China

Abstract: With the development of modern civil architecture towards ultra long, ultra high, and irregular shapes, the design of structural joints has evolved from auxiliary structures to core technical elements that maintain building safety. In the practice of landmark projects such as Taipei 101 Building and Shanghai center Building, structural joints effectively solve the problem of wind vibration effect and soft soil foundation settlement of super high-rise buildings through the dual mechanism of stress release and deformation coordination. The current trend of complex architectural forms and diversified functional uses poses a serious challenge to the traditional empirical joint design mode: it needs to meet the displacement tolerance requirements under earthquake action, while also coordinating spatial contradictions such as equipment pipeline crossings. This study is based on the essence of structural mechanics and systematically analyzes the coupling mechanism between joint setting and building stability. The aim is to establish a performance-based design theory for structural joint configuration, providing a new technical path for breaking through the limitations of current standards.

Keywords: structural joint; overall stability; deformation coordination; seismic performance; optimization design

引言

建筑结构缝的演化历程深刻反映了人类应对自然约束的工程智慧。从古希腊神庙的石砌伸缩缝到现代超高层建筑的智能抗震缝，这一构造始终在平衡结构安全与建筑功能之间寻求突破。20 世纪后期，随着迪拜哈利法塔、上海环球金融中心等超限建筑的涌现，传统经验性缝体设计方法在应对千米级高度、十万吨级荷载时显现局限性。地震频发区如日本关东、中国川滇地带的多起震害表明，不当的缝体设置可能加剧建筑损伤甚至引发连续性倒塌。当前气候变化带来的极端温度波动与海平面上升，进一步放大了既有结构缝体系的适应性缺陷。这些现实挑战迫使工程界重新审视结构缝的本质功能，推动其从简单的物理分隔向复杂系统的力学调控装置转型。

1 结构缝在建筑稳定性中的关键作用

结构缝作为建筑体系中的主动调控元件，其核心价值在于通过可控的位移释放机制维持建筑整体稳定性[1]。在超长、超高层或复杂体型建筑中，温度应力、地基沉降及地震作用产生的结构内力，若无法有效消解，将导致混凝土开裂、构件变形甚至整体失稳。以台北 101 大厦为例，其主体结构通过设置多道抗震缝，在台风频繁的台湾地区实现了 518m 超高层建筑的稳定运行，验证了结构缝在消解风振能量方面的关键作用。从力学本质而言，结构缝通过切断结构连续性形成弱化界面，既允许相邻单元自由变形，又通过构造措施维持必要的传力路径。

2 结构缝的基本概念与分类

2.1 结构缝的定义与功能

结构缝是建筑设计中人为设置的连续性中断构造，其本质是通过物理分隔实现内力释放与变形协调的双重目标。在基本作用层面，结构缝通过允许相邻结构单元的相对位移，消除混凝土收缩、温度梯度及地基不均匀沉降引发的累积应力。例如迪拜哈利法塔的伸缩缝系统，通过吸收沙漠地区昼夜 40℃温差引起的变形，避免核心筒与外围框架的应力集中。与建筑功能的关系则体现在空间划分与使用需求的协同，如医院建筑中防震缝的布置需统筹考虑设备管线穿越、功能分区隔离等特殊要求，确保在满足抗震需求的同时不影响医疗设备的正常运行。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.2 结构缝的主要类型

伸缩缝主要应对材料热胀冷缩效应，典型应用见于北京大兴国际机场的屋面网架结构，其缝体构造采用柔性密封与刚性限位相结合的复合设计。沉降缝用于调节地基差异变形，上海中心大厦在地下室与塔楼连接处设置沉降缝，成功化解了 632 米超高层建筑在软土地基上的沉降梯度问题[2]。防震缝在地震多发区具有特殊价值，日本东京晴空塔通过三重抗震缝系统，将 634 米塔体划分为多个独立振动单元，显著降低地震作用下的鞭梢效应。施工缝作为临时性构造缝，其处理质量直接影响结构整体性，港珠澳大桥沉管隧道的节段式施工缝采用预应力钢绞线连接技术，实现毫米级接缝精度控制。

2.3 结构缝的设计原则与规范要求

国内外规范在结构缝设计理念上存在显著差异：我国《混凝土结构设计规范》强调温度作用的线性叠加计算，而欧洲规范 EN1992 引入混凝土徐变松弛系数进行修正；美国 ACI318 规范特别规定抗震缝宽度需与建筑高度呈正相关，洛杉矶联邦银行大厦的抗震缝宽度按此原则设计达 450mm。基本参数控制方面，我国现行标准规定现浇混凝土结构的伸缩缝间距不宜超过 40m，但对采用补偿收缩混凝土的超长结构允许放宽至 120m，深圳平安金融中心即通过材料创新实现单缝间距突破传统限制。缝宽计算需综合考虑材料特性、环境温度及地震设防等级，上海中心大厦的沉降缝宽度经三维有限元分析确定为 80mm，精确匹配地基沉降预测值。

3 结构缝对建筑整体稳定性的影响机理

3.1 结构缝对建筑力学性能的影响

结构缝对建筑力学性能的调控本质在于重构内力传递路径与应力分布模式。以迪拜哈利法塔为例，其核心筒与外围支撑结构间设置的温度缝系统，通过释放混凝土因昼夜温差产生的轴向应力，成功将核心筒压应力峰值降低至设计允许范围内。这种力学性能的改善源于缝体对结构连续性的主动中断，使得原本超静定体系转化为多个静定子结构的组合，从而消除冗余约束引发的次生应力。但需警惕不当缝体设计可能导致的负面效应：纽约世贸中心交通枢纽的玻璃幕墙支撑体系曾因抗震缝位置偏差，引发支撑桁架节点区域的弯矩集中，后续通过增设屈曲约束支撑(BRB)完成力学性能修复。

3.2 结构缝对建筑变形协调性的影响

建筑变形协调的核心是控制各子系统位移差异在安全阈值内，结构缝在此过程中发挥位移缓冲区与变形引导器的双重作用。广州塔（小蛮腰）的风振控制体系即典型例证，其塔身设置的环形变形缝通过分级释放机制，将 300 米高度处的水平位移差控制在 3mm 以内，确保顶部观景平台设备平稳运行。这种协调性通过三维位移耦合设计实现：水平向采用聚四氟乙烯滑移层吸收剪切变形，竖向设置碟形弹簧组补偿压缩变形，径向布置限位钢索约束分离距离。在软土地基工程中，苏州中心大厦的沉降缝系统创新应用液压调节装置，可实时监测相邻结构单元沉降差并自动调整支座高度，实现毫米级动态补偿。

3.3 结构缝对抗震性能的影响

抗震缝通过解耦结构振动特性改变地震能量传递路径，其效能取决于频率隔离度与耗能机制的协同优化。台北 101 大厦的抗震缝体系将 88 层塔体划分为 5 个独立振动单元，各单元基本周期差异达 0.5 秒以上，有效规避地震波共振风险。日本仙台媒体中心则采用黏滞阻尼器连接的抗震缝构造，其特殊之处在于将缝体宽度与阻尼器行程动态关联，当地震作用超过设定阈值时，阻尼器进入非线性工作状态，可耗散 45%以上的输入能量。但需关注“伪缝效应”的潜在威胁：墨西哥城某医疗综合体在 2017 年地震中，因施工误差导致抗震缝实际宽度不足设计值的 60%，相邻单元碰撞引发连锁破坏，最终造成局部坍塌。

3.4 结构缝对建筑耐久性的影响

结构缝的耐久性缺陷往往成为建筑全生命周期管理的薄弱环节，其破坏机理涉及材料老化、密封失效与环境侵蚀的耦合作用。香港青马大桥的伸缩缝系统采用梯度密封设计：表层氟橡胶耐候层抵御紫外线与盐雾侵蚀，中层聚氨酯弹性体适应动态变形，底层不锈钢导水槽确保排水通畅，这种复合防护体系使其在 25 年服役期内保持 0.1mm/年的平均腐蚀速率。工业建筑中的耐久性挑战更为严峻，青岛某化工厂的耐腐蚀缝体系创新应用碳纤维增强乙烯基酯复合材料，结合阴极保护技术，将氯离子渗透系数控制在 $5\times10^{-12}m^2/s$ 量级。维护策略的革新同样重要，伦敦千禧桥建立的全自动清洁系统，通过定期清除伸缩缝内积聚的粉尘与盐结晶，使滑轨磨损速率降低至设计预期水平。

4 结构缝设置的关键参数与优化设计

4.1 结构缝宽度的确定方法

缝宽设计的核心在于平衡预期位移需求与构造可行性，需综合考虑静态荷载与动态响应的复合影响。深圳平安金融中心的抗震缝宽度设计采用双重控制标准：静态工况下满足最大层间位移角对应的 0.4%H 位移量，动态时程分析中考虑罕遇地震下的 1.2 倍放大系数，最终确定 350mm 的缝宽阈值。温度缝宽度的计算需引入混凝土徐变松弛效应修正，北京大兴机场屋盖结构通过 50 年温度历程模拟与徐变试验数据拟合，将理论计算值 280mm 修正为实际采用的 300mm。对于超高层建筑特有的施工误差累积效应，上海中心大厦在沉降缝宽度计算中额外增加 15%的施工容差补偿量，确保全生命周期内的位移适应能力。

4.2 结构缝间距的影响与控制

缝间距的确定本质是结构连续长度与材料变形能力的动态博弈。南京长江隧道的诱导缝体系采用 28m 等间距布置，通过预设弱化截面引导混凝土裂缝有序开展，将主裂缝宽度控制在 0.2mm 以内。超长混凝土结构的突破性实践可见于郑州国际会展中心，其通过掺加复合膨胀剂与钢纤维，配合后浇带跳仓施工工艺，将伸缩缝间距从传统 40m 扩展至 150m。装配式建筑的缝距控制需考虑模块化施

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工特性，雄安市民服务中心采用三维可调连接节点，实现5mm级缝距精度控制[3]。但需警惕过密缝距的负面效应：迪拜运河塔项目通过参数化分析发现，当缝距小于30m时，结构整体刚度下降12%，最终优化调整为35m间距方案。

4.3 结构缝构造设计的创新方法

新型构造技术正推动结构缝性能的跨越式提升。北京冬奥会速滑馆的低温缝体系统采用形状记忆合金密封条，其相变温度点精确设定为-15℃，可在极端低温下保持恒定接触压力。东京奥运会主体育馆的3D打印钛合金连接件，通过拓扑优化设计实现40%的轻量化与25%的承载力提升。生态化构造创新方面，新加坡南洋理工大学的绿色缝体系统在缝槽内植入耐旱苔藓群落，通过蒸腾作用降低周边微环境温度3～5℃。智能缝体技术已进入工程实用阶段，深圳某超高层试点应用的压电摩擦阻尼器，可根据实时监测的位移信号自动调节摩擦系数，实现从被动适应到主动控制的转变。

4.4 结构缝设置的动态优化策略

基于全生命周期性能的动态优化策略正在重构传统设计范式。上海天文馆建立数字孪生模型，通过2000余次虚拟工况测试，优化抗震缝位置与构造细节，将地震能量吸收效率提升18%。伦敦碎片大厦应用4D-BIM技术，模拟不同季节温度荷载下的缝宽变化轨迹，指导维护团队制定差异化巡检方案。机器学习技术的引入显著提升运维效能，香港国际机场通过训练缝体退化预测模型，提前6个月识别出30%的高风险缝体单元。未来发展方向聚焦于智能感知-响应系统，迪拜未来博物馆在缝体内嵌微型压电作动器阵列，可实时感知相邻单元位移并施加反向作用力，实现亚毫米级位移的主动控制。

5 施工与维护中的结构缝管理

5.1 施工阶段的结构缝质量控制

5.1.1 施工工艺对结构缝性能的影响

施工工艺的精细程度直接决定结构缝的预设功能实现度。港珠澳大桥沉管隧道的节段式施工缝处理中，采用预应力钢绞线张拉与环氧树脂注浆复合工艺，通过控制张拉力梯度与注浆压力时序，实现接缝界面应力均匀分布。成都天府国际机场的抗震缝施工引入激光定位与机器人焊接技术，将缝体轴线偏差控制在±2mm以内，确保地震作用下各结构单元的独立变形能力。混凝土浇筑阶段的工艺控制尤为关键，上海中心大厦在沉降缝区域采用跳仓浇筑与缓凝剂联用策略，有效避免冷缝形成。施工缝的表面处理技术持续革新，雄安新区某重点工程应用高压水射流刻槽法，使新旧混凝土结合面的抗剪强度提升40%，显著降低后期开裂风险。

5.1.2 常见施工缺陷与预防措施

施工缺陷多源于工序失控与细节疏忽，伦敦千禧桥运营初期出现的滑轨异常磨损，追溯发现是伸缩缝槽内残留建筑碎屑导致的应力集中。预防此类问题需建立全流程管控体系：深圳平安金融中心在抗震缝施工中实行“三检制度”，即模板定位后三维扫描复验、钢筋绑扎后探伤检测、混凝土浇筑后超声波检测。密封材料施工缺陷是另一主要风险源，青岛胶州湾隧道的变形缝采用热熔焊接与冷黏接复合工艺，通过红外热成像监测确保接缝连续无断层。对于超长结构缝的直线度控制，南京长江隧道研发可调式模板支撑系统，利用液压同步顶升技术将30m缝长的平整度误差压缩至3mm以下。

5.2 结构缝的长期维护与监测

5.2.1 环境侵蚀与材料老化问题

海洋环境下的结构缝面临氯离子渗透与盐雾腐蚀双重威胁，香港青马大桥针对跨海段伸缩缝开发梯度防护体系：表层喷涂聚脲弹性体抵御紫外线老化，中层设置牺牲阳极保护层，底层铺设导水型膨胀止水带。工业污染区的酸雨侵蚀问题更为复杂，重庆某化工厂的耐腐蚀缝体系统采用氟碳涂层与玻璃钢复合防护，经10年跟踪监测显示，其抗硫酸盐侵蚀能力比常规设计提升5倍以上。冻融循环作用下的材料性能退化需特别关注，哈尔滨大剧院在伸缩缝内填充气凝胶保温材料，配合电伴热系统，成功解决-35℃极端低温下的密封脆化问题。

5.2.2 智能化监测技术的应用前景

基于物联网的智能监测系统正重塑结构缝运维模式，雄安新区某市政桥梁在伸缩缝内植入分布式光纤传感器，可实时感知0.01mm级位移变化并自动预警。无人机巡检技术突破人工检查的时空限制，港珠澳大桥采用配备高清热像仪的巡检无人机，每年完成200公里缝体系统的全景扫描。机器学习算法在损伤识别中展现独特优势，深圳某超高层建筑建立缝体声发射信号数据库，通过模式识别技术可提前3个月预测密封失效风险。

6 结语

结构缝作为现代建筑稳定性的核心调控装置，其设计理念已从被动防护转向主动适应。台北101大厦的抗震缝体系与迪拜哈利法塔的温度缝系统证明，科学的结构缝配置能显著提升超限建筑的灾害抵御能力。当前技术突破聚焦于智能材料与数字孪生技术的融合，如东京羽田机场测试的自适应缝宽调节系统，展现出从静态设防到动态响应的范式转变。未来研究需攻克多物理场耦合作用下的缝体行为预测难题，发展具有自感知、自修复功能的第四代结构缝体系。

[参考文献]

[1]马小明.房屋建筑结构设计问题与优化策略研究[J].工程技术研究,2023,8(10):162-164.
[2]袁家辉,陈水福,夏俞超,等.设置结构缝的矩形高层建筑风荷载及风致响应研究[J].中南大学学报(自然科学版),2024,55(7):2663-2676.
[3]郭领兵.大型输水渡槽结构缝渗水处理措施[J].石材,2025(1):94-96.

作者简介：杨晓刚（1984.1—），男，毕业院校：河北理工大学，学历本科，所学专业：土木工程，当前就职单位：中国华冶科工集团有限公司，所在职务的年限5年，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

土木工程建筑施工技术及创新的研究

王志国
中国电建集团港航建设有限公司，天津 300000

[摘要]近年来，随着建筑业的不断发展和城市化进程的加快，建筑项目的规模逐渐扩大，施工环境变得日益复杂。使得传统施工技术与管理模式的局限性愈加明显，尤其在施工安全、工程质量、资源浪费以及环境影响等方面，传统技术已经难以满足现代建筑行业日益提高的标准要求。与此同时，信息技术、智能设备以及绿色建筑理念等新兴技术的迅猛发展，为土木工程施工技术的创新提供了前所未有的机遇。诸如BIM（建筑信息模型）、物联网、机器人施工和装配式建筑等代表性技术，不仅显著提高了施工效率，还推动了施工方式的转型与行业结构的优化。在实际应用过程中，技术创新仍面临诸多挑战，包括理论与实践之间的脱节、管理体制的滞后以及技术规范的不完善等问题，这些因素限制了创新成果的广泛应用和效果。因此，推动土木工程建筑施工技术的创新，已不仅仅是提升行业竞争力的需求，更是实现可持续发展的必由之路。

[关键词]土木工程；施工技术；创新
DOI：10.33142/ec.v8i4.16318　　中图分类号：TU74　　文献标识码：A

Research on Construction Technology and Innovation in Civil Engineering and Architecture

WANG Zhiguo
PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: In recent years, with the continuous development of the construction industry and the acceleration of urbanization, the scale of construction projects has gradually expanded, and the construction environment has become increasingly complex. The limitations of traditional construction techniques and management models have become increasingly apparent, especially in terms of construction safety, engineering quality, resource waste, and environmental impact. Traditional techniques are no longer able to meet the increasingly high standard requirements of the modern construction industry. At the same time, the rapid development of emerging technologies such as information technology, intelligent devices, and green building concepts has provided unprecedented opportunities for innovation in civil engineering construction technology. Representative technologies such as BIM (Building Information Modeling), the Internet of Things, robot construction, and prefabricated construction have not only significantly improved construction efficiency, but also promoted the transformation of construction methods and the optimization of industry structure. In the actual application process, technological innovation still faces many challenges, including the disconnect between theory and practice, the lag of management system, and the imperfect technical specifications, which limit the widespread application and effectiveness of innovative achievements. Therefore, promoting innovation in civil engineering and construction technology is not only a need to enhance industry competitiveness, but also a necessary path to achieving sustainable development.

Keywords: civil engineering; construction technology; innovation

引言

土木工程建筑施工技术是现代建筑行业的基础，直接影响工程质量、效率与安全。随着社会经济发展，建筑需求日益多样化，传统施工方式已难以满足复杂高效的工程要求。因此，推动土木工程施工技术创新已成为行业发展的迫切任务。技术创新不仅能提高资源利用效率、缩短施工周期，还能确保工程质量，推动绿色建筑与可持续发展。分析土木工程施工技术创新的必要性，探讨面临的挑战并提出创新策略，为土木工程领域的技术进步与高效发展提供理论支持与实践指导。

1 土木工程建筑施工技术创新的必要性

1.1 促进施工效率和质量提升

随着土木工程建设的复杂性日益增加，工程工期的压力也愈加显著，施工效率与工程质量逐渐成为衡量施工管理水平及企业竞争力的核心指标。传统施工模式受限于工艺单一、过度依赖人工以及管理反应滞后的问题，难以适应现代工程项目对高效、精细化施工的需求。技术创新突破了这些局限，推动了工艺流程的优化与管理模式的转型。例如，采用BIM等信息化技术，使施工环节的可视化与协同得以实现，极大地减少了设计与施工之间的信息脱节，施工计划的执行力得到了显著提高；而装配式建造则通过现场组装预制构件，施工周期得以显著缩短，返工现象也得到了有效减少。通过技术创新不仅施工速度得以提升，精度与精准度方面的突破也显而易见。得益于工艺标准化与智能化施工技术的应用，质量的稳定性得到有效确保并持续提升。从长远来看，施工技术的创新已不再仅仅是提

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

升效率与质量的工具，它为土木工程行业的高质量发展提供了坚实的战略支撑。

1.2 适应市场发展和行业变革

随着社会经济结构的调整与城镇化进程的深入，土木工程行业正经历着深刻的变革，从粗放式增长向集约高效、绿色智能的转型。当前，市场需求不再仅仅停留在基础功能的实现上，而是更加强调工程项目的综合性能、可持续性以及施工过程中的协同效应。这一变化迫使施工企业不断更新自身的理念与技术手段，而施工技术创新无疑成为了企业应对这一变革的关键路径，通过采用新型材料与工艺，建筑的多样化需求与功能集成得以满足；与此同时，技术创新使施工组织变得更加灵活，响应速度显著提升，从而有效应对复杂工程环境及个性化设计需求。面对政策日益强化的绿色节能与智能建造要求，传统施工技术已逐渐无法满足新的市场标准。只有依托持续的技术创新，企业才能保持竞争力，实现从“跟随市场需求”到“引领行业变革”的跨越。因此，施工技术创新不仅仅是应对外部挑战的被动选择，更是推动企业长远发展与竞争力提升的主动战略。

2 土木工程施工技术在应用中出现的问题

2.1 理论和实际联系不紧密

在当前土木工程施工技术创新过程中，理论研究与实际施工之间的脱节问题尤为突出。尽管大量涉及施工工艺、结构优化及新材料应用的理论成果不断涌现，这些研究往往停留在理论模型或概念阶段，缺乏与具体工程环境的深入结合。创新的土木施工技术应当以满足实际工程需求为出发点，推动理论与实践的有效融合，从而更好地支持建筑施工的每个环节。然而实际应用中，部分创新技术并未充分考虑到施工现场的复杂性和变动性，导致其理论成果难以转化为现实操作，甚至在实施过程中出现了适应性差的问题。这种脱离实际的技术创新，不仅未能提升施工效率或工程质量，反而增加了技术管理的难度，拖慢了项目推进速度。归根结底，若创新仅停留在理论层面，未能精准对接现场的实际需求，其所带来的潜在价值便无法充分发挥，甚至可能成为影响项目顺利推进的隐性风险。

2.2 施工单位管理体制混乱

在土木工程项目的实施过程中，施工单位普遍面临着管理体制不完善、职责划分不明确的问题，这些问题对施工效率以及技术执行的统一性造成了严重影响。许多施工企业仍沿用传统的以人为主的管理模式，缺乏科学合理的组织结构与系统化的工作流程，导致各部门之间的协作不顺畅，信息传递常常滞后。在实际操作中，项目决策层与一线执行层之间，指令的不一致以及执行标准的不统一屡见不鲜，这直接影响了施工进度与技术落地效果的实现。此外，由于不同层级的管理人员在专业能力上的差异，施工过程中容易出现责任推诿、监督不到位等问题。一旦遇到复杂的工序或技术交接环节，缺乏高效协调机制的组织体系将无法及时作出响应，甚至可能引发返工、工期延误等一系列连锁反应。从整体来看，不健全的管理体制不仅削弱了企业对新技术的吸收与运用能力，也导致施工现场出现多头指挥、执行混乱的局面，进一步降低了技术创新成果的实施效率与推广价值。

2.3 技术规范与验收标准不健全

在土木工程建筑施工中，技术规范与验收标准的不完善或缺失，严重影响了施工质量的有效控制与项目的顺利推进。尽管国家及行业已制定了一些基本的技术规范和标准，但由于地区差异以及行业的快速发展，部分地方和领域的技术标准仍显滞后，难以应对现代建筑施工日益复杂的需求。同时，现行验收标准在某些操作细节上存在不明确之处，缺乏清晰的操作指南与可执行的评估体系，导致施工过程中的质量评估往往依赖主观判断，从而增加了质量管理中的不确定性。这不仅影响了工程的安全与稳定性，也加大了施工过程中潜在风险的管理难度，甚至可能影响后期维护效果。技术规范与验收标准的缺乏，使得创新技术与新材料的应用在实践中缺少有效的监管与评估体系，限制了技术进步与工程质量的提升。

3 土木工程施工技术的创新发展

3.1 信息技术在施工中的应用（BIM、物联网、云计算）

信息技术的深度融合正在深刻改变土木工程施工的组织模式与技术架构。尤其是 BIM、物联网与云计算的广泛应用，已推动施工管理从传统的经验驱动逐步转向数据驱动。通过三维建模，BIM 技术实现了设计、施工及运维的全面融合，不仅极大提升了施工前期的可视化程度，还优化了施工过程中的协同效率与冲突预见能力。物联网的应用，使施工现场的设备、材料及环境等要素能够实时监控并提供智能反馈，从而使管理者能够精准掌控现场动态，提高了安全管理与资源配置的精细化程度。同时，云计算为施工数据的集中处理与远程协同提供了稳定、高效的支撑平台，确保了多方信息共享的顺畅进行，为后续的数据分析与决策提供了可靠基础。通过这些信息技术的集成应用，施工模式已由传统的粗放型转变为智能、高效的方向，推动了施工技术创新，为其提供了强有力的技术支持与动力源泉。

3.2 装配式建筑技术与模块化施工

装配式建筑技术与模块化施工正逐渐成为土木工程领域的重要发展方向，特别是在提升施工效率与质量控制方面，展现出显著的优势。与传统施工方法相比，装配式建筑采用预制构件的方式，在工厂环境中完成构件的生产与加工，施工现场仅需进行组装。通过这种方法不仅施工周期显著缩短，还有效减轻了天气、工地条件等外部因素对工程进度的影响。与此同时，模块化施工通过标准化设计与模块化构建，将建筑功能单元预先制作好，再通过高效的运输与安装实现快速施工。这种方式，尤其适用于大

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

规模住宅区、商业综合体等项目，不仅加快了建设速度，也增强了建筑的整体质量与安全性。得益于装配式建筑工艺的标准化，构件的精度与质量得到了有效保障，人工操作中的误差显著减少，从而进一步降低了施工过程中质量风险。同时，这一施工模式有助于推动建筑行业向绿色发展转型，减少建筑废料的产生，降低施工现场能源消耗，促进了更环保、可持续的建筑实践。

3.3 智能建造技术（机器人施工、自动化设备）

智能建造技术，特别是机器人施工与自动化设备的应用，正在深刻地变革土木工程的施工模式。结合了人工智能与机械控制系统的机器人施工技术，能够高效且安全地执行一些传统上依赖大量人工参与的高风险、高精度作业，如焊接、砌筑与混凝土浇筑等。施工速度与精度的显著提升不仅得益于此技术，还有效减少了工地上的安全隐患。与此同时，自动化设备在施工现场的应用逐渐普及，像自动化起重机、无人驾驶施工车辆等设备，无需人工干预即可完成复杂任务，从而优化了资源配置并提高了作业效率。通过智能化设备的协同工作，施工现场的管理变得更加精细，减少了因人为操作引发的误差与风险。智能建造技术不仅在提高施工效率方面展现了明显优势，还使得工程质量管理变得更加细致，工程进度的监控与反馈也更加及时。这些技术的逐步成熟，既是对传统施工模式的有力补充，又为建筑行业的智能化与信息化发展奠定了坚实基础。

4 土木工程建筑施工技术创新策略

4.1 完善创新理念

在推动土木工程建筑施工技术创新的过程中，创新理念的完善不仅是基础，更是关键。创新的体现不仅仅限于技术层面的突破，它应当覆盖管理思维、施工模式以及企业文化的全面更新。创新理念应当从单纯的“技术导向”转变为更具实际意义的“需求驱动”，即从工程项目的具体需求出发，解决施工过程中实际遇到的问题，而非仅仅追求技术的先进性或复杂性。此外，创新还应当促进跨学科的融合，结合信息技术、智能化技术、环境科学等领域的最新进展，推动施工技术在多元化与全方位发展的持续突破[1]。与此同时，创新理念应具备可持续性，积极推行绿色施工与低碳建筑技术，充分考虑资源节约、环境保护与社会责任的要求。

4.2 健全技术创新体制

推动土木工程建筑施工技术的创新，完善技术创新体制无疑是至关重要的核心环节。建设一个高效的创新管理体系，不仅要求企业建立科学的创新机制，还应当促进跨部门、跨领域的协同合作。通过搭建先进的技术研发平台、优化人才流动与资源配置，技术创新的效率能够显著提高，成果的转化也将得以加速。此外，技术创新体制还需强化政策支持与市场机制的紧密结合，政府应出台激励政策提供资金支持，为创新创造良好的环境，并鼓励企业加大研发投入、深化技术探索[2]。在企业层面，应着重培养与引进高水平技术人才，建立健全的技术研发体系及人才激励机制，从而激发全员参与创新的积极性。

4.3 推动产学研融合与标准体系建设

推动产学研融合及完善标准体系，毫无疑问是提高土木工程建筑施工技术创新水平的关键步骤。当前，技术研发与应用之间的脱节在行业中普遍存在，企业与学术界及研究机构的合作较为薄弱，导致众多先进科研成果未能及时转化为实际应用。因此，加强产学研的紧密合作、建立有效的协同机制，能够更好地促进技术创新与应用转化[3]。实际需求与反馈可由企业提供，以支持学术研究，而学术界则能为企业带来先进的技术理论与创新方案，研究机构则可作为技术桥梁，推动新技术与新材料的研发与应用测试。同时，完善标准体系的建设同样至关重要。通过健全行业技术标准与验收规范，施工流程将得以规范，工程质量的可控性与一致性也将提高。在产学研合作的基础上，推动标准的动态更新与完善，使其更符合实际施工需求，必将有助于整体提升行业技术水平及创新能力。

5 结语

土木工程建筑施工技术的创新，作为提升施工效率与质量的核心所在，也正是推动行业实现可持续发展的重要力量。随着科技的不断进步，信息技术、智能化设备以及装配式建筑等新兴技术的应用，带来了土木工程领域前所未有的转变。然而，技术创新的成功不仅仅依赖于新技术的引入，更需要理论与实践的有机融合、科学的管理体制支持以及规范标准的有力保障。只有通过推动产学研深度合作、优化技术创新体制、完善标准体系，技术创新才能真正实现应用落地及价值转化，从而全面提升土木工程建筑施工技术水平。随着全球化与智能化步伐的加快，土木工程行业将面临更多挑战与机遇。唯有不断创新，才能使行业保持竞争力，引领其走向更高效、安全、绿色的未来。

[参考文献]

[1]徐诚，孙淑萍，杜玉芬.建筑施工中建筑土木工程的技术要点及创新方式分析[J].居舍，2023(34)：31-34.
[2]王健，张建，左伟翔.土木工程建筑施工技术创新探究[J].城市建设理论研究(电子版)，2023(4)：70-72.
[3]郑金祖.基于土木工程建筑施工技术的创新研究[J].有色金属设计，2023，50(1)：72-75.

作者简介：王志国（1973.4—），单位名称：中国电建集团港航建设有限公司，毕业学校和专业：专科，山东工业大学（现山东大学）机械制造工艺及设备，本科，德州学院，工程管理。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高层建筑消防监督及设备管理的措施探讨

程 刚
胜利油田应急救援中心（消防支队），山东 东营 257000

[摘要]高层建筑消防安全面临管理体制权责模糊、技术设备滞后与人员能力薄弱的三重挑战。传统管理模式难以应对建筑高度与功能复杂化带来的风险，亟需探索监督与设备管理新模式，制定完善措施。当前问题集中表现为：管理体制权责模糊，应急响应低效；设备维护滞后，技术标准脱节；人员应急能力薄弱，培训体系缺失。智能消防系统通过全周期监测与远程监控提升管理效能，其自动化与数据驱动特性可优化设备协同效率，强化风险预警精度。构建“制度优化+技术赋能+能力强化”的协同机制，是破解高层建筑消防困局、实现精准防控的关键路径，兼具理论创新与实践价值。
[关键词]高层建筑；消防监督；设备管理
DOI：10.33142/ec.v8i4.16295　　中图分类号：TU976.5　　文献标识码：A

Discussion on Measures for Fire Supervision and Equipment Management of High-rise Buildings

CHENG Gang
Shengli Oilfield Emergency Rescue Center (Fire Brigade), Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract: The fire safety of high-rise buildings faces three challenges: unclear management system responsibilities, outdated technical equipment, and weak personnel capabilities. The traditional management mode is difficult to cope with the risks brought by the complexity of building height and function, and it is urgent to explore new modes of supervision and equipment management, and formulate and improve measures. The current problems are mainly manifested as: unclear rights and responsibilities in the management system, and inefficient emergency response; Equipment maintenance lags behind and technical standards are disconnected; The emergency response capability of personnel is weak, and the training system is lacking. The intelligent fire protection system improves management efficiency through full cycle monitoring and remote monitoring. Its automation and data-driven features can optimize equipment collaboration efficiency and enhance risk warning accuracy. Building a collaborative mechanism of "institutional optimization+technological empowerment+capability enhancement" is a key path to solving the fire dilemma of high-rise buildings and achieving precise prevention and control, with both theoretical innovation and practical value.
Keywords: high-rise buildings; fire supervision; equipment management

引言

随着现代城市化进程的不断加快，高层建筑成为城市景观的重要组成部分。由于高层建筑的高度和复杂性，消防安全问题也随之变得更加严峻。高层建筑一旦发生火灾，其灭火难度和人员疏散的复杂性远大于低层建筑，严重时可能造成人员伤亡和财产损失。因此，高层建筑的消防安全管理尤为重要，其中消防监督和设备管理起着关键性作用。消防监督与设备管理不仅仅是对建筑内消防设备的维护和管理，还涉及到建筑消防安全管理体制的建设、技术设备的更新与优化、人员的应急能力以及与相关部门的协作等方面。随着消防技术和智能化设备的发展，传统的消防安全管理模式面临新的挑战和机遇。如何结合先进的技术手段，建立更加科学、规范和高效的消防监督与设备管理体系，成为现代高层建筑消防安全管理的核心课题。

1 高层建筑消防监督与设备管理的重要性

高层建筑作为现代城市的标志性符号，其垂直高度与功能复合性在提升空间利用效率的同时，也衍生出复杂的火灾防控难题。此类建筑因竖向通道密集、人员密度高、可燃材料分布广，火灾荷载与蔓延速度远超普通建筑，一旦发生火情，极易形成立体燃烧态势，导致救援难度指数级上升。在此背景下，消防设备不仅是防火屏障的物理载体，更是决定火灾可控性的技术命脉。以喷淋系统、消防栓、智能烟感等为代表的消防设施，需通过科学配置与动态维护构建“预防-响应-处置”一体化防线。例如，喷淋系统需确保水压稳定与喷头灵敏度，方能在火情初起阶段精准控温；疏散楼梯的设计须符合防烟要求，避免逃生通道沦为烟囱效应的牺牲品。然而，设备的静态安装仅是基础环节，其效能更依赖于全生命周期的精细化管理，定期检测可避免喷淋阀锈蚀失灵、烟感误报漏报，预防性维护能延长消防泵使用寿命，而动态更新机制则可适配新型建筑材料与火灾场景需求。若设备维护流于形式，不仅会导致千万级固定资产的无效损耗，更可能因系统失效引发重大伤亡与经济损失。据统计，超三成高层建筑火灾因设备故障延误救援，造成直接经济损失年均超百亿元。因此，强化消防监督与设备管理不仅是落实“生命至上”理念的核心抓手，更是提升城市公共安全韧性的战略支点。通过

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建立“制度约束+技术赋能+责任追溯”的管理体系，既能保障消防设备始终处于备战状态，亦可推动消防部门从被动应对转向主动防控，最终实现社会效益与经济效益的协同增长。

2 高层建筑消防监督及设备管理的核心问题

2.1 管理体制层面

当前高层建筑消防监督及设备管理体制的症结，集中表现为权责边界模糊与协同效能低下的结构性矛盾。首先，消防监管主体多元化的制度设计导致权责主体模糊，住建、应急、消防等部门职能交叉重叠，形成“多头管理却无人担责”的困局，例如消防设计审查由住建部门负责，而日常监督又归属消防机构，部门间标准衔接不畅易衍生监管盲区。其次，垂直管理体系与属地管理责任的割裂，使得跨区域大型综合体或超高层建筑的监管链条断裂，基层执法力量与高层建筑复杂需求严重失衡。更深层次的矛盾在于，现行法规对建设、运营、维护等环节的责任主体界定不清，开发商为压缩成本刻意弱化消防投入，物业公司因权责模糊消极应对设备维保，而监管部门缺乏动态追责机制，导致“设计缺陷—施工偷工减料—运维流于形式”的恶性循环长期存在。此外，技术标准更新滞后与监管手段僵化的冲突加剧了管理失效风险：既有规范难以覆盖新型建筑材料与智能建筑场景，而传统人工巡检模式无法应对海量设备数据与实时风险预警需求，体制性迟滞使消防监督沦为“事后灭火”而非“事前防控”。这种制度性缺陷不仅削弱了消防设备的预防功能，更使火灾发生时跨部门应急联动陷入指挥混乱、响应迟缓的困境。

2.2 技术设备层面

高层建筑消防设备的技术短板与系统性缺陷，已成为制约火灾防控效能的关键瓶颈。首先，设备配置标准与建筑功能需求脱节，部分项目为通过验收采用“最低配”消防设备，如喷淋系统水压不足、防火卷帘耐火极限不达标，或智能烟感覆盖密度无法匹配建筑竖向通道的烟气扩散速度，导致初期火情探测滞后。其次，设备维护技术手段落后，多数区域仍依赖人工巡检，难以发现隐蔽部位的老化线路、阀组锈蚀或探测器灵敏度衰减，而现有检测工具对物联网设备的数据流分析能力不足，无法识别潜在软件故障。更深层的问题在于技术标准迭代滞后，既有规范未能覆盖新型建筑材料（如光伏幕墙、气凝胶保温层）的防火特性，亦未适配 AI 驱动的动态风险评估需求，致使部分“智能消防系统”实为数据孤岛，无法与楼宇自控、安防平台联动响应。此外，冗余设计缺失与技术兼容性矛盾突出，例如应急照明系统与消防广播共用电源线路导致灾时断电瘫痪，或不同品牌设备的通信协议互不兼容，使联动控制沦为形式化操作。这些技术性缺陷不仅削弱了消防设备的物理防护功能，更因系统脆弱性放大了火灾场景中的连锁失控风险。

2.3 意识与能力层面

高层建筑消防管理中意识与能力的结构性缺陷，凸显了“技防”与“人防”的深层割裂。建设方与使用方普遍存在侥幸心理，重经济效益轻安全投入，将消防设施视为“合规性装饰”，设计阶段刻意规避防火分区要求，装修时大量使用易燃装饰材料，导致本质安全条件先天不足。消防从业人员专业素养参差不齐，基层消防员对新型智能设备（如物联网烟感、高压细水雾系统）的操作与故障处置能力薄弱，而物业管理人员缺乏建筑消防系统全流程认知，日常巡检停留于设备外观清洁等表面工作，对隐蔽工程隐患（如竖向管道井耐火极限失效）缺乏专业判别能力。更严峻的是，公众安全意识与自救能力长期被忽视，逃生演练流于形式化剧本，多数人员对疏散路线、消防设备使用方法仅存模糊认知，一旦发生火灾极易引发踩踏等次生灾害。与此同时，责任主体的风险意识固化，过度依赖政府监管兜底，主动排查隐患的积极性不足，例如消防控制室值班人员长期无证上岗，火灾报警系统误报频发却未引起重视，最终形成“被动应付检查—主动防控缺位”的恶性循环。这种意识与能力的双重缺失，使消防设备沦为“摆设”，管理机制丧失“活性”，极大削弱了高层建筑火灾防控体系的整体效能。

3 消防监督与设备管理核心措施

3.1 构建权责明晰的监督体系

构建权责明晰的消防监督体系需以法制化、标准化与信息化为三维支点，形成“责任可追溯、执行可量化、监管可闭环”的治理框架。首先，需完善立法层面的权责清单制度，明确住建部门、消防机构、街道办等主体的法定职责边界，例如通过《高层建筑消防安全管理条例》细化设计审查、施工验收、运营维保等环节的责任主体，避免因职能交叉导致的监管真空[1]。其次，建立分级分类监管机制，按建筑高度、功能类型与风险等级划分监管权重，对超高层建筑实施“消防设计终身责任制”，强化开发商与物业企业的主体责任，同时将消防验收纳入城市规划许可的前置条件，形成全流程责任链条。再者，搭建跨部门数据共享平台，整合住建、消防、市监等部门信息，通过区块链技术固化责任记录，确保设计变更、设备维护等关键节点可追溯。此外，需引入第三方技术评估机构，对消防设计、施工质量进行独立审计，打破传统行政监管的封闭性。最后，推行“双随机+信用惩戒”监管模式，对责任主体实施动态信用评级，将违规行为与市场准入、融资信贷挂钩，倒逼管理主体主动履责。通过制度刚性约束与技术柔性赋能的双向联动，实现消防监督从碎片化执法向系统性治理的转型。

3.2 智能化设备与全周期管理

当前高层建筑消防领域的智能化设备应用与全周期管理仍存在显著的“技术空心化”与“管理断层”问题。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

许多项目虽引入物联网烟感、AI 算法预警等先进技术，但设备选型与功能设计往往脱离实际场景需求：例如，部分智能烟感的灵敏度阈值未适配建筑竖向烟气扩散模型，导致误报率高于实际火情触发率；高压细水雾系统与建筑自控平台的数据接口不兼容，灾时无法联动通风排烟系统形成协同效应。更关键的是全周期管理链条存在结构性断裂，设计阶段盲目追求“技术堆砌”，却忽视设备与建筑结构的兼容性验证，例如防火卷帘的电磁兼容性未通过极端工况测试，灾时可能因电力中断失效；施工阶段为压缩成本，擅自简化传感器布线规范，导致物联网设备信号传输丢包率超限；运维阶段则陷入“重安装轻数据”的困境，设备运行数据沉淀为孤立信息孤岛，未能通过数字孪生模型实现风险动态推演[2]。与此同时，智能化设备的标准体系严重滞后，不同厂商的通信协议、数据格式互不兼容，形成“技术壁垒”，而既有消防法规对 AI 诊断责任界定、算法伦理风险等新兴领域缺乏规制，导致技术应用与制度保障之间形成“灰犀牛”式风险。这种技术与管理脱节的局面，不仅削弱了智能设备的预警效能，更因系统脆弱性催生了“技术依赖悖论”，当设备故障或网络攻击导致系统瘫痪时，传统应急手段因长期闲置而丧失实战能力。

3.3 人员培训与应急协同

高层建筑消防管理中的人员素质断层与应急协同失效，暴露出“知行脱节”与“体系失灵”的深层矛盾。消防培训体系长期陷入形式化困境：针对物业管理人员的课程停留在设备操作手册复读层面，缺乏对火灾动态演化规律、智能系统故障处置等实战场景的深度解析，导致其在设备报警误判时无法快速切换备用方案；普通员工的逃生技能培训则依赖每年一次的“剧本式演练”，未模拟真实火场的高温浓烟环境与心理压迫，致使疏散时因恐慌引发踩踏或盲目跳楼事件频发。更严峻的是，跨职能协同机制形同虚设，消防部门与物业、医疗、公安等机构的信息共享平台尚未贯通，灾时无法实时同步建筑结构图纸、危险品存放位置等关键数据；而应急预案多采用标准化模板，未针对超高层建筑“烟囱效应”下烟气垂直扩散速度超出常规预判的特点，制定差异化的分层分区疏散策略[3]。与此同时，公众安全教育的覆盖面与精准度严重不足，租户群体对建筑消防通道、避难层位置的认知率不足四成，老年人与残障人士的定制化救援方案长期缺位。这种能力与协作的双重短板，使“人”这一核心要素沦为应急链条中最脆弱的环节，即便设备完备亦难以发挥应有作用。

3.4 完善政策法规与经济激励机制

当前高层建筑消防管理仍面临政策滞后性与市场驱动力不足的双重制约。一方面，既有法规对新兴技术应用（如 AI 预警系统、物联网烟感）的责任界定模糊，例如算法误判导致延误响应时，责任主体认定缺乏法律依据；另一方面，消防设备更新与维护成本高昂，但财政补贴、税收优惠等激励措施缺位，导致企业主动投入意愿低下。对此，需构建“动态法规+经济杠杆”双轮驱动机制：一是修订《建筑设计防火规范》，增设智能消防设备技术标准与验收细则，明确技术故障场景下的责任划分原则；二是建立“消防信用积分”制度，对主动升级设备、完成全周期维保的企业给予容积率奖励或融资利率倾斜，而对违规行为实施信用降级与市场禁入。同时，探索“保险+风险共担”模式，引入第三方机构对消防设施进行风险评级，保险公司根据评级结果动态调整保费，通过市场化手段倒逼管理主体提升设备可靠性与运维规范性。

4 结语

高层建筑消防管理是技术制度协同的系统性工程，核心在于破解技防与人防的协同困境。本文从体制、技术、能力三维度揭示权责模糊、技术空心化、协同断层等结构性矛盾，提出“制度刚性约束+技术柔性赋能”双核治理路径：权责明晰的监督体系可破除部门壁垒，智能化设备与全周期管理融合能突破技术制度困境，分层分类能力强化可弥合技防与人防割裂。未来需向“全要素互联与智控”升级，依托 AI 与数字孪生实现风险动态决策，动态更新法规并建立全生命周期追溯机制；构建“政府主导、保险兜底、社会共治”模式，以经济激励引导市场主体履责。唯有技术、制度与人文协同，方能构建“防患未然、处置高效”的消防安全生态，筑牢城市安全屏障。

[参考文献]

[1]李仲正.高层建筑消防监督及设备管理的措施探讨[J].中国设备工程,2024(2):71-73.
[2]周瑾.加强高层建筑消防监督及设备管理研究[J].中国设备工程,2023(21):260-262.
[3]曹慧明.加强高层建筑消防监督与设备管理探究[J].中国设备工程,2024(13):13-15.

作者简介：程刚（1981.9—），单位名称：胜利油田应急救援中心（消防支队），毕业学校：中国石油大学（华东）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

海积平原区盾构隧道基底加固数值模拟分析

陆 跃
中铁上海工程局集团有限公司，上海 201906

[摘要]盾构隧道施工破坏土体中原有的应力场，导致地层发生变形，在海积平原地区表现尤为明显。本文选取盾构隧道典型断面，运用有限元数值模拟分析，从动应力峰值、振速、动位移等角度，比较分析不同隧底加固深度的影响范围及量值大小。结合基底加固常用方式的优缺点，针对不同施工条件给出推荐加固方法，可为今后同类工程提供参考。

[关键词]盾构隧道；软土地层；基底加固；动应力；数值模拟
DOI：10.33142/ec.v8i4.16299　　中图分类号：U45　　文献标识码：A

Numerical Simulation Analysis of Foundation Reinforcement for Shield Tunnel in Haiji Plain Area

LU Yue
Shanghai Civil Engineering Group Co., Ltd. of CREC, Shanghai, 201906, China

Abstract: The construction of shield tunnels damages the original stress field in the soil, causing deformation of the strata, which is particularly evident in marine plain areas. This article selects typical cross-sections of shield tunnels and uses finite element numerical simulation analysis to compare and analyze the influence range and magnitude of different tunnel bottom reinforcement depths from the perspectives of peak stress, vibration velocity, and dynamic displacement. Based on the advantages and disadvantages of commonly used methods for base reinforcement, recommended reinforcement methods are provided for different construction conditions, which can provide reference for similar projects in the future.

Keywords: shield tunnel; soft soil strata; base reinforcement; dynamic stress; numerical simulation

我国东部沿海地区广泛分布海积平原软土地层，受地质构造、沉积环境及人类活动影响，软土地层主要由沉积物堆积而成。该类沉积物在物体特性方面体现为含水率较高、孔隙比大、黏粒含量高等特征；其力学特性则呈现出土体强度低、易压缩变形、渗透系数偏低以及对环境扰动敏感等显著属性。其工程性质表现为低地基承载力、荷载变化后易变性且不均匀、变化率大且稳定时间、触变性及流变性大等特点。软土地区盾构隧道建设期基底加固不足或未采取加固措施，后期运营中会出现较大沉降和差异沉降，造成盾构隧道衬砌结构的损伤，进而引发隧道渗漏水，甚至造成灾害性事故，对其使用寿命有较大影响。

隧道出现沉降的原因是多种多样的，其中主导因素有地质条件、地下水或地表水位变化、地面超载、近距离施工活动、盾构隧道施工扰动、结构本身纵向刚度弱和运营期渗漏水、车振等。国内外有关研究表明隧道的长期沉降是工程中不可忽视的问题，其对隧道总沉降的影响能达到30%～90%。1980 年建成的东京临海副都心线，局部地处填海区，受松软地基及地下水持续作用，至 1996 年沉降最大值达 750mm。1993 年建成的上海地铁 1 号线，分析其通车后 1994 年至 2007 年的长期沉降观测结果，8 个月累计沉降量为 30～60mm，4 年部分观测点沉降 140mm，12 年最大沉降观测已达 288mm。已建成隧道长期沉降的发展，会导致隧道结构安全隐患及运营安全风险，设计及施工需提前考虑采取有效的地基加固措施，并建立长期监测系统及沉降预测模型，为后期隧道运营维护管理提供保障。

1 工程案例

1.1 典型断面选取

台州市域铁路设计时速 140 公里，依据现行“市域铁路设计规范”(CRS001—2017)及“市域(郊区)铁路设计规范”(TB10624—2020)，市域铁路列车竖向静荷载应采用 ZS 荷载，考虑列车冲击作用，列车荷载竖向动力作用应引入冲击系数(1+μ)来反映列车活载的动力影响，μ按现行规定计算取值。盾构隧道管片内径 7.7m、外径 8.5m，采用环宽 1.6m、楔形量 46mm 的通用楔形环 C55、P12 高精度单层装配式平板钢筋混凝土管片。

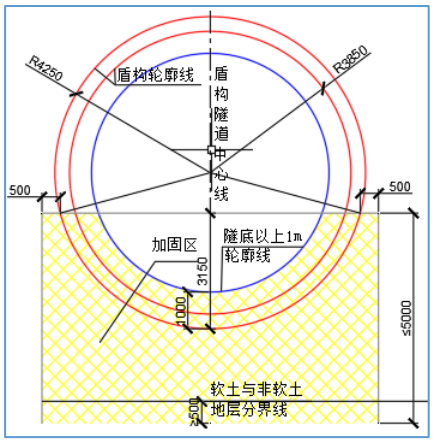

图 1　隧道基底加固典型断面图

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

为防止盾构隧道施工期尤其是运营期产生过大沉降，针对盾构隧道底部软弱地层进行加固处理，常见的基底加固方式有地表注浆加固、地面搅拌桩加固、地面旋喷桩加固和洞内注浆加固。本项目盾构隧道加固范围为以正北方向轴为基准轴，以盾构隧道圆心为基点，基准轴顺/逆时针各旋转 105° 与盾构外壳相交，相交点左右延伸 0.5m，以该连线往下加固既定深度，（即隧道底部以上 3.15m 范围内）软土进行加固，加固深度视隧道底软土厚度而定，如图 1。

1.2 工程地质水文

台州市域铁路典型隧道段场地位于海积平原区，洞顶埋深 8～17m，隧道洞身主要位于海陆相沉积（2）1 淤泥质黏土层、（2）2 淤泥层和（2）3 淤泥质黏土层。上覆土层主要有（1）0 填土、（1）黏土、（2）1 淤泥质黏土、（2）2 淤泥。隧底主要位于（2）2 淤泥、（3）1 黏土、（3）2 流塑、软塑黏土层，岩土参数值见表 1。

表 1　岩土物理力学参数表

地层编号	岩土名称	天然密度 g/cm³	天然孔隙比	液性指数	压缩模量 E	承载力特征值（kPa）
（1）	黏土	1.82	1.08	0.63	3.92	100
（2）1	淤泥质黏土	1.7	1.46	1.25	2.44	50
（2）2	淤泥	1.64	1.68	1.36	1.92	45
（2）3	淤泥质黏土	1.7	1.46	1.24	2.32	50
（3）1	黏土	1.91	0.81	0.59	5.65	120
（3）2	黏土	1.77	1.23	0.77	3.51	80

2 三维数值模拟分析

2.1 模型建立

为进行列车荷载作用下的动力学时程分析，取隧底不同深度处各点、全时域内的动应力峰值， 进行统计处理后，比较影响范围及量值大小。取隧道底部正下方 0.5～11m 范围内各点的动应力时程曲线，列车以每小时 140 公里的速度通过，模型中按桩土面积等效折合，采用修正 Mohr-Coulmb（MCM）本构模型进行建模分析，土体材料取理想弹塑性材料，主要参数指标按实际土层性能参数取值，以实体单元进行土体的仿真模拟。

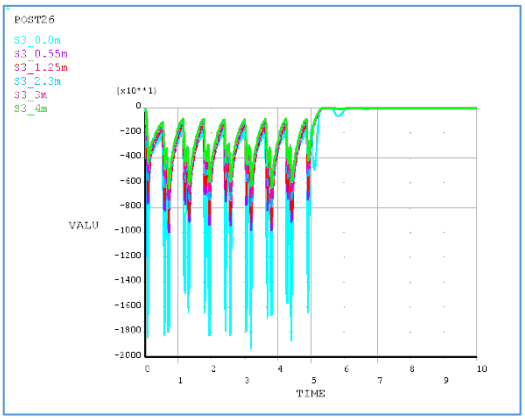

图 2　隧底动应力时程曲线

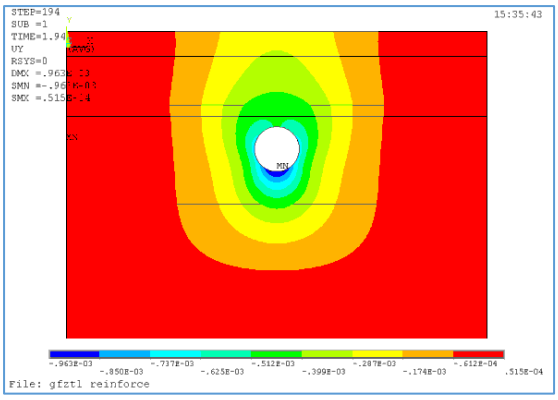

图 3　隧道三维数值模拟（典型时步）

2.2 各工况振速对比

隧道的振速反映了结构、及隧道与地层接触面的振动强度，与结构的疲劳密切相关；隧底土的振速反映了承受长期动力荷载作用的地基土的振动强度，是地基稳定性的重要指标。根据三维数值模拟结果，统计不同工况下隧道结构及地基土竖向振速对比如表 2，绘制各工况关键位置振速对比图 4。

表 2　各工况关键位置振速对比表

隧底加固	位置	振速 mm/s	隧底结构降幅	隧底土降幅
未加固	隧底 0m	22.539	–	–
	隧底 0.5m	20.599		
加固 3m	隧底 0m	14.492	35.7%	40.8%
	隧底 0.5m	12.194		
加固 5m	隧底 0m	12.802	43.2%	51.5%
	隧底 0.56m	9.990		

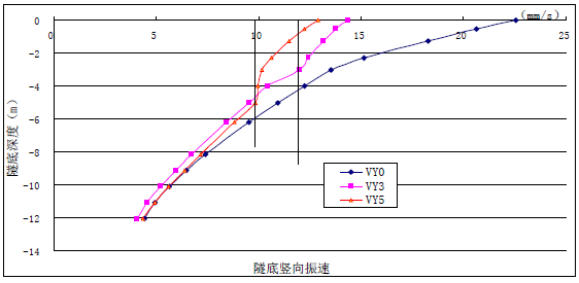

图 4　各工况关键位置振速对比图

隧道加固体相对于地层、隧道结构相对于地层均是刚度较大的结构物，列车作用于隧道，相当于激励一个弹性支承的大型质量块，随着加固区域的增大，较大的质量使其更不易被激励起来。根据表 2 中加固及未加固数据可知，隧道结构底部的振速在隧底加固后降幅明显，加固 3m/5m 隧底结构振速降幅分别为 35.7%、43.2%，隧底土振速降幅分别为 40.8%、51.5%；且隧底 5m 加固效果更好，相较于 3m 加固范围进一步提升振速降幅为 21%、26%，效果显著。

2.3 各工况动位移对比

动位移反映了结构的振动强度，尤其对于轨道板结构，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

是行车稳定性的一项重要指标，其作用机制与振速分析类似。根据三维数值模拟结果，统计不同工况下隧道轨道板动位移幅值对比如表 3。

表 3 各工况关键位置动位移对比表

隧底加固	位置	动位移 mm	轨道板降幅	隧底结构降幅
未加固	轨道板	1.121	-	-
	隧底内部	1.118		
加固 3m	轨道板	0.790	29.5%	29.5%
	隧底内部	0.788		
加固 5m	轨道板	0.709	36.7%	36.6%
	隧底内部	0.708		

据表 3 中加固及未加固数据可知，隧道轨道板的竖向动位移在隧底加固后降幅明显，隧底加固 3m/5m 可分别降低轨道板位移峰值 29.5%、36.6%，且隧底加固 5m 效果更优。

2.4 各工况竖向应力对比

在保证列车动荷载振次相同的基础上，隧道结构长期沉降与隧道结构下部土层所受持续动荷载有关。当隧道结构周围尤其是底部土层存在缺陷或软弱土层时，通过隧底土体加固可以置换并加固绝大部分软弱下卧黏土层，削减软弱层厚度，极大提高隧底地基承载力，保证隧底结构稳定性。

根据三维数值模拟结果，统计不同工况下隧底土竖向应力幅值对比，如图 5。

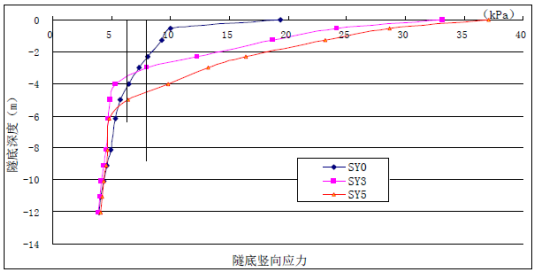

图 5 隧底土竖向应力对比图

根据图 5 可知，隧底在三种不同工况下加固后地基土的竖向动应力降低幅度均较为显著。隧底加固 3m 时，竖向应力峰值由未加固的 24.0kPa 下降至 5.02kPa，下降幅度为 79.1%；隧底加固 5m 时，竖向应力峰值由未加固的 28.0kPa 下降至 4.88kPa，下降幅度为 82.6%。

3 基底加固方案比较

3.1 地表注浆法

地表注浆法加固是指根据待加固土层埋深，将注浆管从地表钻至预定深度，将水泥浆、化学将夜或其他混合浆液以一定压力注入地层中，填充土体或岩体的裂隙、孔隙或者空洞，从而改善其物理力学性质。常用的注浆法施工工艺有袖阀管注浆法、直接注浆法和 CCG 注浆工法等。注浆浆液可以采用水泥浆、水泥砂浆及其他化学浆液等。待浆液凝固形成具有一定强度的结构体，可以增加土体强度和模量，达到加固、防渗、堵漏、纠偏等工程目的。

地表注浆加固适用于可注性好的地层，优点是设备小，加固方案、方式灵活；缺点是对地质、水文比较敏感，加固效果不易控制，加固后土体的强度和加固后的土体承载能力不易保证。

3.2 地面搅拌桩法

地面搅拌桩加固指在地表或浅层软土地基中，利用专用搅拌机械将固化剂（如水泥浆）与原位土体强制搅拌，形成连续、稳定的桩体结构，从而提高地基承载力、减少沉降或增强土体稳定性的工程技术。

该法适用于软土、淤泥、粉土、松散砂土等各种软弱地层，能够保证加固土均质性和承载能力，还能减少隧道的沉降和不均匀沉降，防止土体震动液化的发生。地面搅拌桩加固的优点是价格便宜、成桩速度快、效率高。缺点是搅拌桩需要钻机机械设备体积较大、高度较高，搅拌桩施工加固区域管线需要迁改，施工期间对既有交通影响较大，不利于交通疏解。

3.3 地面旋喷桩法

高压旋喷桩注浆法是一种通过高压喷射流切割、混合土体并注入固化材料，从而形成复合地基或加固结构的地基处理技术。其核心原理是利用高压设备（通常压力在 20~50 MPa 以上）将浆液（如水泥浆）或水、空气通过钻孔中的特殊喷嘴射出，通过高速旋转的喷射流冲击破坏原地层结构，同时将浆液与土体颗粒强制混合，最终形成具有一定强度和抗渗性的固结体（圆柱状桩体或连续墙），以达到加固地基或止水防渗的目的。

地面旋喷桩加固的优点是施工设备小、施工占地少；振动小、噪音较低；成桩深度较大；施工期间可根据既有管线位置避让管线，减小管线迁改量；结合交通疏解灵活调整施工场地，对既有交通影响可控。缺点是旋喷桩价格相对较高，产生废泥浆污染环境。

3.4 洞内注浆法

洞内注浆加固是指在盾构隧道内利用管片注浆孔，将浆液注入周围岩土体或结构空隙中，以达到加固地层、堵水防渗或提高承载力的目的，增加土体稳定性，降低压缩性。

该法可以进行精准加固，针对隧道薄弱区域如穿越断层破碎带、穿越富水砂层时，通过合理调配浆液配比、实时控制注浆压力及流量等，实现有效控制管片变形。洞内注浆加固的优点是不占用地面交通；缺点是沉降控制难，对施工设备的要求较高。在隧道内施工要考虑孔位布置、注浆后的封堵、注浆孔对管片结构的影响、注浆压力对隧道的影响等问题。

4 结论

通过对海积平原区盾构隧道基底加固数值模拟分析，结合基底加固常用方法对比，可以得到如下主要结论：

（1）从动应力峰值、振速、动位移、影响区域综合

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

考虑，进行隧底地基加固是必要的。5m 加固方案比 3m 加固方案效果得到了进一步提升，具体加固长度需结合周围地层情况、费效比进行确定。

（2）从加固效果来看，地面搅拌桩加固＞地面旋喷桩加固＞地表注浆加固＞洞内注浆加固，地面加固方式中搅拌桩加固和旋喷桩加固要明显优于洞内加固方式。

（3）软土分布长度较长（超过 30m），隧道底部软土厚度大（超过 1m）时，优先采用地面加固；分布范围较小且隧道软土厚度较小，不具备地面加固条件时可采用洞内处理的方式。

（4）从沿线既有房屋保护、管线迁改、既有运营线交叉施工影响以及经济角度综合分析，施工沿线地面加固可优先采用高压旋喷桩加固。

[参考文献]

[1]李炜明,任虹,石旭东,等.地铁盾构施工土体变形与临近结构失效机理研究[J].防灾减灾工程学报,2018,38(3):472-479.
[2]柳雨叶,丁敬文.地铁施工地表沉降的空间规律与统计特征研究[J].铁道工程学报,2017,34(3):74-79.
[3]魏纲.盾构法隧道施工引起的土体变形预测[J].岩石力学与工程学报,2009,28(2):418-424.
[4]林峰.软土地区深基坑近接地铁隧道施工水平位移影响因素[J].铁道建筑,2023,63(1):100-104.
[5]吴发展,赵鸿鹏.城市地铁盾构隧道穿越软弱底层加固技术[J].内蒙科技与经济,2023(1):116-118.
[6]张晓丽,罗章波.软弱滨水地层盾构隧道近穿路桥变形控制与机理分析[J].铁道建筑,2023,63(6):113-117.

作者简介：陆跃（1984.7—），男，2006 年 6 月毕业于东南大学-交通工程专业，任职中铁上海工程局集团有限公司，高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

市政道路施工中水稳基层裂缝防治技术

刘 涛
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]随着我国城市交通发展的需求不断提高，市政道路工程的运营能力也变得越来越重要。控制水稳层裂缝病害已成为提升道路质量的关键。文中主要研究市政道路水稳层裂缝防治技术，分析其应用价值。旨在通过优化裂缝防治技术，提升市政道路施工的整体质量，延长道路使用寿命，降低后期养护成本，为城市交通的可持续发展提供保障。

[关键词]市政道路施工；水稳基层；裂缝防治；防治技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16337 中图分类号：U415 文献标识码：A

Prevention and Control Technology for Water Stable Base Cracks in Municipal Road Construction

LIU Tao
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the increasing demand for urban transportation development in China, the operational capacity of municipal road engineering has become increasingly important. Controlling the cracks and diseases in the water stable layer has become the key to improving road quality. The article mainly studies the prevention and control technology of cracks in the water stable layer of municipal roads, and analyzes its application value, so as to improve the overall quality of municipal road construction, extend the service life of roads, reduce maintenance costs in the later stage, and provide guarantees for the sustainable development of urban transportation by optimizing crack prevention technology.

Keywords: municipal road construction; water stable grassroots; crack prevention and control; prevention and control technology

引言

市政道路作为城市基础设施的重要组成部分，直接影响着城市交通的流畅性与安全性。而水稳基层，作为市政道路结构中的关键环节，承担着提供道路承载力、稳定性及耐久性的责任。然而，在实际施工及使用过程中，水稳基层常常受到多种因素的影响，诸如荷载变化、温湿度波动以及施工质量不达标等，从而导致基层裂缝的产生。这些裂缝不仅影响道路的外观，还可能引起水分渗透、结构疲劳和基层强度的下降，甚至埋下交通安全隐患。水稳基层裂缝问题的有效防治，已成为市政道路建设中的一项重要任务。针对基层裂缝的产生，采取一系列防治技术显得尤为重要。水稳基层裂缝防治技术的研究，不仅能够延长道路的使用寿命，还能够显著减少道路的维修及养护成本。常见的防治措施包括结构加固、注浆、开槽填补、表面修复以及混凝土置换等。根据具体情况，每种技术均具有不同的适用性与优势。合理选择与应用这些技术，有助于预防与修复基层裂缝，进而提高基层的承载能力与整体稳定性，从而确保市政道路的安全与畅通。水稳基层裂缝的成因与防治方法的深入研究，对于市政道路工程建设与维护，无疑具有重要的实践价值与现实意义。

1 市政道路施工中水稳基层裂缝防治的重要性

1.1 提升道路整体美观

市政道路施工中，水稳基层裂缝的防治在提升道路整体美观方面，具有至关重要的作用。作为城市基础设施的核心部分，道路的外观质量不仅直接影响城市形象，也与市民的出行体验息息相关。当水稳基层出现裂缝时，路面不仅会形成不规则的裂纹，影响视觉效果，还可能导致裂缝的扩展，进而造成路面破损、坑洼及沉降等问题，致使道路外观变得破旧，进而降低城市整体美感。此外，裂缝的存在还会导致路面表面积水，进而加速道路结构的老化，导致更为严重的损坏，进一步破坏道路的整洁性与协调性。为了保障市政道路的美观，必须采取有效的裂缝防治措施，重视材料选择、施工工艺及质量控制等方面。确保水稳基层施工质量达到标准，是确保路面平整、均匀且无裂缝的前提。通过提升水稳基层的质量，市政道路的外观能够有效得到改善，城市环境也随之得到优化，为市民提供更加舒适与安全的出行条件。

1.2 提高道路承载力

一旦水稳基层裂缝形成，市政道路的路基承载力将降低，进而影响道路的使用寿命，并增加维修和养护的施工成本。为了提高市政道路的承载力并延长其使用寿命，在实际施工中，应采取合理的防治措施，防止裂缝问题的出现[1]。通过提升水稳基层施工质量，增强道路结构的承载力，可以有效确保市政道路的施工质量，从而保障道路的长期稳定与安全运行。

2 市政道路施工中水稳基层裂缝类型

市政道路施工中，水稳基层裂缝的类型繁多，主要包括温缩裂缝、干缩裂缝、荷载裂缝以及施工裂缝等。温缩

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

裂缝，通常是由于昼夜温差或季节性温度变化所引起的。当水稳基层在低温环境下收缩时，无法适应这种变化的内部约束力，裂缝便因此产生。干缩裂缝则与材料水分蒸发密切相关。在施工过程中，若水稳基层的材料含水率过高，后期水分的挥发会导致体积缩小，从而在表面形成干缩裂缝。荷载裂缝通常出现在基层受力不均的情况下，尤其是在重载交通频繁的路段。长期受到荷载作用时，基层容易产生疲劳裂缝或剪切裂缝，这会影响道路结构的稳定性。此外，施工裂缝通常与施工过程中质量控制得不严密有关。例如，摊铺厚度不均、碾压不充分或接缝处理不当等问题，可能导致基层内部应力的集中，进而形成裂缝，严重时甚至会影响道路的使用寿命与结构安全。

3 水稳基层材料与裂缝成因分析

水稳基层材料的性能与裂缝的形成密切相关，其裂缝的产生受材料组成、外部环境条件以及施工工艺等多个因素的影响。水稳基层通常由水泥、石料、粉煤灰、外加剂及水等组成。不同材料的配比及其物理力学特性，决定了基层的抗裂性能。若水泥含量过高，虽然基层的刚度会增强，但其延展性却会降低，脆性开裂便容易在受力或温湿度变化时发生；相反，水泥含量过低，则可能导致基层在早期强度不足，无法有效抵抗荷载，进而产生结构性裂缝。此外，石料的级配不合理或骨料粒径分布单一，也会导致基层密实度的不足，从而集中收缩应力，加剧裂缝的发生。外部环境因素同样对裂缝的产生有着不容忽视的影响。例如，温度的急剧变化可能引起温缩裂缝，而过低的空气湿度或不当的养护方法则可能导致水分迅速蒸发，形成干缩裂缝[2]。施工过程中，若混合料拌和不均，局部区域的强度分布也可能出现不均；此外，摊铺与碾压工艺控制不当，导致基层内部应力过大或分布不均，也同样会引发裂缝的产生。

4 市政道路工程施工中水稳基层裂缝防治技术

4.1 结构补强技术

在市政道路施工中，结构补强技术作为一种有效的水稳基层裂缝防治措施，通过提升基层的抗裂性能、整体强度和耐久性，能够延长道路使用寿命，并确保结构的稳定性。水稳基层裂缝的形成，通常受到多种因素的共同作用，如材料特性、荷载作用、温度波动以及施工工艺等。结构补强技术，针对这些因素采取有效措施，能够减少裂缝的形成与扩展。具体应用中，结构补强技术通常包括添加抗裂纤维（如聚丙烯纤维、玻璃纤维等），以提高基层的延展性与抗拉强度，从而帮助基层在温度、湿度变化或荷载作用下有效分散和吸收应力，减少因温缩或干缩引发的裂缝。通过加入改性材料或调整骨料配比，基层的体积稳定性得到改善，进而增强其抗裂能力。例如，掺入矿物掺合料（如粉煤灰或矿渣）能够有效减少基层的收缩性，降低裂缝发生的概率。同时，土工格栅、钢筋网或玻璃纤维网等加筋材料的应用，能够提高基层的抗剪切能力和整体刚度，尤其是在高交通量或重载区域，裂缝的产生能被有效缓解。此外，设计双层水稳结构或复合结构，优化基层的层次和功能，减少层间应力的集中，进而增强整体稳定性，从而延缓裂缝的出现。

4.2 注浆技术

注浆技术在市政道路水稳基层裂缝防治中，起着至关重要的作用，特别是在修复裂缝、加固基层结构以及提高道路耐久性方面，展现了显著的优势。水稳基层裂缝的形成，通常与荷载作用、温度变化、施工工艺以及材料特性等因素密切相关。裂缝一旦出现，若未能及时处理，将对基层的稳定性、承载能力以及道路的长期使用寿命带来不利影响。通过注浆技术，将特定的浆液（如水泥浆、化学浆液或聚氨酯等）注入基层裂缝、空隙或孔洞中，裂缝可以有效填补，并通过浆液的固化，整体强度得到提升。当注浆液渗透至裂缝深处后，经过化学反应或物理固化，裂缝得以封闭，水分进一步渗透与裂缝扩展被有效防止。同时，基层的密实性提高，减少了温度变化或荷载作用引起的裂缝扩展。为了确保注浆效果，施工控制必须非常精确，裂缝清理尤为关键。裂缝内的杂物、灰尘及水分必须去除，以确保浆液能够顺利渗透并固化。常见的注浆方法有压力注浆与重力注浆。压力注浆适用于较深或较大裂缝，通过高压设备，浆液被强制注入裂缝，确保浆液完全充填裂缝并固化，形成稳固的加固层。与传统的修复方法相比，注浆技术能够深入基层深层，修复效果持久且具有很强的针对性。注浆材料的选择也至关重要，不同种类的浆液具有不同的性能[3]。水泥浆通常用于普通裂缝的修复，化学浆液适用于更复杂的环境或较深裂缝的修复，而聚氨酯浆液，则因其良好的弹性，特别适合于需吸收一定变形的区域。

4.3 开槽填补技术

开槽填补技术在市政道路水稳基层裂缝防治中，作为一种有效的修复手段，主要通过在裂缝或受损区域开设槽口，去除破损或不稳定的基层材料，并填充高强度且具弹性的修复材料，以恢复基层的结构稳定性。这项技术，尤其适用于裂缝较大、损坏较严重或基层明显沉降的情况。在操作过程中，需使用机械设备精确开挖裂缝区域，确保槽口的深度和宽度适合清除破损材料，并为新材料的填充提供足够的空间与接触面。在开槽时，必须小心，以避免损坏周围未受影响的基层，从而防止进一步破坏道路结构。裂缝及损坏区域清理后，槽口应进行彻底清洗，灰尘、杂物及松散物质必须去除，确保修复材料能够良好黏接和固化。常用的修补材料包括高强度水泥砂浆、聚合物水泥砂浆、环氧树脂或其他具备良好黏结力与弹性的材料。这些材料不仅能有效填充裂缝，还能提供比原基层更高的抗压强度与耐久性。填补后的槽口需要一定时间的养护，以确保修补材料完全固化，并达到稳定效果。开槽填补技术的优势，在于能够针对较大或较深的裂缝进行有效修复，恢

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

复基层的承载力与稳定性，避免局部裂缝扩展而导致整体基层结构失效。通过精准的施工控制与合理的材料选用，开槽填补技术不仅提升了道路的抗裂能力，也延长了道路的使用寿命，减少了长期养护与维修的成本。

4.4 表面修补技术

表面修补技术在市政道路水稳基层裂缝防治中，作为一种常见且高效的修复手段，主要用于修复基层表面出现的裂缝、坑洞或剥离现象。通过局部修补水稳基层表面，该技术能够恢复其平整性与强度，从而有效防止裂缝的扩展及进一步破坏。表面修补的关键在于精确处理裂缝区域，去除松散的基层材料，并填充高强度修补材料，确保基层结构的稳定性与完整性。在实施过程中，首先需要清除裂缝或损坏区域的所有杂质，包括松动材料、污物和灰尘，以确保修补材料能够与基层良好黏结。清理后的区域，通常会进行加湿或涂覆界面剂，以增强修补材料的附着力。接下来，选择合适的修补材料，如改性水泥砂浆、环氧树脂砂浆或聚合物修补料，裂缝或损坏处被填充。具备良好黏结力与抗压强度的这些材料，能够有效恢复基层的性能和功能。表面修补技术，尤其适用于较小、较浅的裂缝修复，通常不涉及深层加固，施工过程简便且周期较短。通过表面修补，不仅能有效阻止水分渗透到基层，防止裂缝进一步扩展，还能够改善路面的外观及舒适度，提升道路的使用体验[4]。在日常养护中，表面修补技术占据着重要地位，尤其对轻度裂缝或表面损坏的修复，起到了关键作用。通过局部修补，延长了道路的使用寿命，并有效降低了大规模修复或重建的后续成本。

4.5 混凝土置换技术

混凝土置换技术，在市政道路水稳基层裂缝防治中，作为一种有效的方法，旨在通过替换损坏或劣化的基层材料，恢复道路的整体结构强度和稳定性。这项技术适用于基层出现大范围损坏或裂缝已严重影响其承载力和稳定性，尤其在传统修复方法难以解决问题时，提供了一个彻底的解决方案。实施这一技术时，首先需要对损坏区域进行准确定位，裂缝及其周围的劣化材料需通过机械手段清除。此过程要求精确操作，以免破坏周围未受损部分，避免进一步的结构损害。清理后的基层表面，必须进行适当处理，包括去除灰尘、松散物和油污等，以确保新混凝土与原有基层之间能够良好黏结。在准备工作完成后，合适的修复混凝土材料的选择至关重要。这些材料应具备高强度、良好的流动性及优异的抗裂性能，以确保其在长期使用中的稳定性和耐久性。新混凝土的浇筑，必须与原水稳基层充分结合，保证结构的连续性和力学性能的有效传递。施工过程中，混凝土的搅拌、浇筑与养护工序必须严格控制，避免空洞或裂缝的产生，确保修复效果持久稳定。混凝土置换技术，不仅能有效消除由裂缝引起的结构隐患，还能显著提高道路的承载能力，尤其在重载交通或恶劣环境下使用时，对于增强道路的耐久性起到了关键作用。

5 结语

通过对市政道路水稳基层裂缝防治技术的研究，可以发现，水稳基层裂缝问题在市政道路建设中，具有显著影响，直接关系到道路的承载能力、稳定性以及使用寿命。裂缝的出现，不仅会影响道路的安全性，还可能增加后期的维修与养护成本。为了解决这一问题，本文介绍了多种有效的防治技术，如密封胶封缝、填灌沥青胶、表面修补及压力注浆修补等方法，这些技术能够有效阻止裂缝的进一步扩展，同时修复已形成的裂缝，从而增强道路的结构强度与耐久性。然而，随着市政道路建设规模的不断扩大以及施工条件日益复杂，现有的裂缝防治技术，仍需要进一步优化和完善，以适应不同施工环境与实际需求。未来的研究与实践，应更加注重技术创新与施工管理，结合具体工程情况，采取更加科学合理的防治措施，确保市政道路的质量与安全，推动城市交通的顺畅运行与可持续发展。

[参考文献]

[1]柳文斌.市政道路施工中水稳基层裂缝防治技术[J].建材发展导向,2024,22(15):22-24.
[2]熊盼盼.市政白改黑路面工程反射裂缝防治分析[J].中外建筑,2019(9):180-182.
[3]王超,沈忱.市政道路水稳层裂缝成因分析及防治措施探讨[J].中国水运(下半月),2019,19(12):199-200.
[4]赵勇.水稳基层裂缝产生原因分析及防治措施[J].四川水利,2024,45(2):75-78.

作者简介：刘涛（1987.9—），毕业院校：西安建筑科技大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆北新路桥集团股份有限公司，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

球墨铸铁管非开挖施工材料供应与技术管理

赵光桦
上海浦东水务（集团）有限公司，上海 201399

[摘要]此文探讨了球墨铸铁管非开挖施工中的材料供应和技术管理。对非开挖施工的特点与优势进行了详细阐述，同时也探讨了球墨铸铁管在该领域的应用情况。针对材料供应的关键因素展开了分析，涵盖了管材的选择与供应管理。同时，讨论了技术管理的重要方面。通过实际案例研究，阐述了材料供应和技术管理对项目成功的影响。最后，提出了改进和优化的建议，以提高球墨铸铁管非开挖施工的效率和质量。

[关键词]球墨铸铁管；非开挖施工；材料供应；技术管理
DOI：10.33142/ec.v8i4.16310　　中图分类号：TG143.5　　文献标识码：A

Supply and Technical Management of Non Excavation Construction Materials for Ductile Iron Pipes

ZHAO Guanghua
Shanghai Pudong Water (Group) Co., Ltd., Shanghai, 201399, China

Abstract: This article explores the material supply and technical management in non excavation construction of ductile iron pipes. The characteristics and advantages of non excavation construction were elaborated in detail, and the application of ductile iron pipes in this field was also discussed. An analysis was conducted on the key factors of material supply, covering the selection and supply management of pipes. Meanwhile, important aspects of technical management were discussed. Through practical case studies, the impact of material supply and technical management on project success was elucidated. Finally, suggestions for improvement and optimization were proposed to enhance the efficiency and quality of non excavation construction of ductile iron pipes.

Keywords: ductile iron pipe; non excavation construction; material supply; technical management

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

伴随着城市化进程的持续推进，特别是东部沿海地区大城市、超大城市对于基础设施建设的需求愈发增加。球墨铸铁管作为一项关键的管材，在城市供水、排水、燃气等范畴得到广泛运用。然而，城市地下空间资源相对有限，传统的开挖施工模式给城市交通、环境以及居民生活带来较大干扰。非开挖施工技术的问世，为解决这一难题提供了全新的方法。球墨铸铁管具备强度高、耐腐蚀、使用寿命长等特性，能够适应各种恶劣地质状况和环境。在非开挖施工过程中，球墨铸铁管的性能优势得以充分展现。随着施工技术的持续发展，非开挖施工技术也在不断创新和完善，例如水平定向钻进、顶管等技术，为球墨铸铁管的非开挖施工提供了技术保障[1]。

1.2 研究意义

（1）提高施工效率

市政工程中的地面非开挖施工技术往往可以避免大面积开挖，减少施工对城市交通和环境的影响，缩短施工工期，提高施工作业效率，保证施工质量。通过合理的材料和技术管理，可以确保球墨铸铁管的质量和性能，提高管道的使用寿命和安全性。

（2）降低施工成本

非开挖施工技术是一种在不开挖或少量开挖地表的情况下，铺设、更换或修复地下管道、电缆等设施的施工技术，可以减少土方开挖、回填工程量，降低施工成本，减少对周围环境的影响，避免交通拥堵、噪声污染等问题。同时，通过优化材料采购和库存管理，可以降低材料成本，提高施工效率。

（3）满足环保要求

研究球墨铸铁管非开挖施工材料供应与技术管理，有助于推动非开挖施工技术的发展和应用，提高我国城市基础设施建设的水平，降低施工对环境的损害，契合环保要求，达成可持续发展的目标。

总的来说，针对球墨铸铁管非开挖施工材料供应与技术管理进行研究具备重大的现实意义和社会价值，可以给工程实践给予理论引导和技术支撑，为城市基础设施建设作出贡献。

1.3 非开挖施工技术概述

非开挖施工技术一些常见类型与特点：

（1）水平定向钻进

通过使用水平定向钻机，在地下钻出一条导向孔，然后将管道沿着导向孔拖拉铺设。适用于长距离、大口径管道的铺设，对地表干扰小，可穿越河流、铁路等障碍物。常用于城市燃气、供水、排水等管道的铺设。

（2）顶管法

在工作坑内借助顶进设备的顶力，将管道逐渐顶入土

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

中，并将土方从工作坑内运出。适用于穿越城市道路、建筑物等障碍物，对周围环境影响较小。常用于城市排水、电力、通信等管道的铺设。

（3）微型隧道法

利用微型（小型）隧道掘进设备在地下挖掘隧道，然后将已在地面组装完成的管道安装在隧道内。精度高，对地表干扰小，可在复杂地质条件下施工。适用于小口径管道的铺设，如污水管道、电缆管道等。

（4）爆管法

通过将旧管道破碎并扩大，同时将新管道拉入或顶入破碎后的管道中。适用于旧管道的更新和修复，无需开挖地面。多用于大中城市的燃气、供水、排水、排污等管道的修复与更换施工中。

2 球墨铸铁管非开挖施工的特点与优势

2.1 材料特性及其在非开挖施工中的优势

球墨铸铁管在供水、排水及燃气等领域应用广泛，其具备如下特性：其一，高强度与韧性，抗拉强度及屈服强度颇高，且兼具良好的韧性与延展性，可承受较大外力与变形；其二，良好的耐腐蚀性，表面经特殊处理，耐腐蚀性优良，能在恶劣环境中长期使用；其三，密封性佳，接口采用橡胶圈密封，密封性能良好，可有效避免漏水与渗水；其四，施工便捷，重量较轻，可大幅缩短施工周期。

2.2 与传统开挖施工相比的优点

在非开挖施工中，球墨铸铁管具有如下优势：一是对环境影响小，无需开挖地面，能有效降低对环境的影响，如减少噪声、粉尘及交通堵塞等；二是施工效率高，无需开挖地面，可大幅缩短施工周期；三是适应性强，能适应各种复杂地质条件与环境，如穿越河流、铁路及建筑物等；四是维护成本低，使用寿命长，一般可达 50 年以上，能有效降低维护成本。

3 技术管理要点

3.1 施工工艺流程

球墨铸铁管非开挖施工的工艺流程包括以下步骤：

（1）施工准备

进行现场勘察，了解地下管线、地质条件等情况。制定施工方案，包括钻进轨迹、钻进速度、泥浆配比等。准备施工设备和材料，如水平定向钻机、钻杆、钻头、泥浆泵、球墨铸铁管等。对施工人员进行技术培训和安全交底。

（2）导向孔钻进

使用水平定向钻机按照预定的钻进轨迹进行导向孔钻进。在钻进过程中，通过泥浆循环系统将泥浆注入孔内，起到冷却钻头、携带岩屑和稳定孔壁的作用。利用导向仪等设备实时监测钻进轨迹，确保钻进方向的准确性。

（3）扩孔

当导向孔钻进完成后，根据需要进行扩孔操作。扩孔可以采用多级扩孔或一次性扩孔的方式，逐渐扩大孔径至设计要求。在扩孔过程中，同样需要进行泥浆循环和轨迹监测。

（4）管道回拖

将球墨铸铁管连接成一定长度的管道，并在管道前端安装回拖头。使用水平定向钻机将管道沿着导向孔回拖至预定位置。在回拖过程中，要注意控制回拖速度和拉力，避免管道损坏。

（5）管道连接

当管道回拖完成后，对管道进行连接。球墨铸铁管的连接方式通常有承插式连接、法兰连接等，具体连接方式应根据设计要求和现场条件确定。在连接过程中，要确保连接质量，防止漏水。

（6）泥浆清理

施工完成后，对孔内的泥浆进行清理。可以采用泥浆回收系统或其他方式将泥浆清理干净，避免对环境造成污染。

（7）竣工验收

对施工完成的球墨铸铁管进行验收，包括管道的位置、高程、连接质量等。进行压力试验，确保管道的密封性和强度符合要求。整理施工资料，提交竣工验收报告。球墨铸铁管非开挖施工的工艺流程可能会因具体情况而有所不同，应根据工程特点和要求进行合理调整，严格遵守相关规范和标准，确保施工质量和安全。

3.2 施工中的关键技术参数控制

拖拉管施工是一种非开挖管道敷设技术，其关键技术参数应根据管道直径、壁厚、材质、地质条件等因素进行合理选择。

入土角和出土角直接影响到管道的拖拉效果和施工难度，其大小应在 10°～15°之间。拖拉速度直接影响到管道的拖拉效果和施工效率，拖拉速度的大小应在 0.5m/min～1.0m/min 之间。泥浆压力直接影响到管道的拖拉效果和施工安全，其大小应在 0.1MPa～0.3MPa 之间。管道弯曲半径大小应在 150D～300D 之间(D 为管道直径)。

总之，拖拉管施工中的关键技术参数包括入土角和出土角、拖拉速度、泥浆压力、管道弯曲半径等，这些参数的大小应根据管道的直径、壁厚、材质、地质条件等因素进行合理选择，以确保拖拉管施工的顺利进行和施工质量的可靠保证。

4 实际案例分析

4.1 案例介绍

上海临港水厂与南汇水厂给水连通管工程，工程总投资为 34210.75 万元，其中第 I 部分工程费用 26751.84 万元。新建给水连通管工程总长 12.75km，沿 Y4 路→新元南路→长空路→鸿音路敷设，满足最大 10 万 m^3/d 的水量转输需求，实现了临港水厂和南汇南水厂出厂供水主干管连通，以提高临港地区供水系统应对重要清水输水干管断水等突发供水事件的能力，保障区域供水安全。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

图 1 临港水厂与南水厂给水管工程位置示意图

该工程案例中主要管材为球墨铸铁管，其中 8000m 为 DN1000 管径、3000m 为 DN1200、1750m 为 DN800 及以下管材。主要应用的非开挖技术为水平定向钻（拖拉管）为 DN1200 球墨铸铁管，应用长度 208.5m、压力 0.8MPa。

4.2 材料供应与技术管理的具体实施

首先从使用场景、流量与压力要求、土壤与温度条件、施工环境、成本因素等多个因素，以确保材料供应选择的管道能够满足项目的要求，具有良好的性能和可靠性。其次，在进行供应商选择时，综合考虑产品质量、生产能力、价格、信誉和口碑、服务水平、地理位置等因素，选择合适的供应商，确保项目的顺利进行。

最终本项目选择的是行业较先进的新兴管材。通过球墨铸铁管的供应链管理策略需要，综合考虑供应商管理、生产计划管理、物流管理、客户关系管理和风险管理等方面，通过优化供应链流程，提高供应链的效率和竞争力，为本项目案例的顺利实施提供了有力的支撑。最后，在球墨铸铁管供应商管理中，材料质量控制与检验是确保产品质量的关键环节。

通过与供应商新兴管材进行评估，控制原材料与生产过程，并委托第三方权威检验机构对球墨铸铁管进行检验，以确保检验结果的公正性和可靠性。及时向供应商新兴管材公司反馈质量问题，要求其采取措施进行改进。还建立了质量问题跟踪机制，确保问题得到有效解决。定期对供应商的质量表现进行评估和考核，根据评估结果采取相应的管理措施。不断加强与供应商的沟通与合作，共同提高产品质量，也是实现双赢的重要途径。

4.3 技术管理

（1）工程地质与施工环境。

在球墨铸铁管管道水平定向钻穿越前，进行工程勘察，包括工程水文与地质、地貌与地形、地面建构筑物与地下管线探测等，掌握工程穿越地层土质和工程穿越地层障碍物详细情况，确保符合施工条件。

（2）拖拉施工参数的确定

拖拉施工参数应由施工方根据球管推荐参数、钻进设备、现场工况、施工经验进行最终确定。

①曲率半径选取

DN1200 新兴球墨铸铁拖拉管的最小曲率半径为 382m，入土造斜段曲率半径和出土造斜段曲率半径应不小于球管最小曲率半径的 1.5～2 倍。

②入土角和出土角选取

施工方应根据钻进设备和现场工况，选取合适的入土角和出土角。建议入土角 8°～30°，出土角的取值范围 4°～20°。

③穿越管线长度确定

确定入土角、出土角、曲率半径之后[8]，则可通过以下公式计算穿越管线长度 Lpipe。

$$Lpipe=R1\times\alpha 1+L+R2\times\alpha 2$$

式中：Lpipe -管线穿越长度，m；α1-入土角，rad；α2-出土角，rad；R1-入土造斜段曲率半径，m；R2-出土造斜段曲率半径，m；L-直孔钻进段长度，m。

④终孔直径选取

终孔直径的推荐取值范围为承口最大外径的 1.2～1.5 倍，施工方根据穿越长度、穿越地层土质、施工经验进行选取。

⑤最大拖拉力确定

新兴 DN1200 球墨铸铁拖拉管的最大允许拖拉力为 2474KN，在施工时应未超过上述值。

（3）接头位置关键技术

①安装前的检查与清理

检查承口内表面尤其是密封工作面有无沙、土等杂物，用钢丝刷、平铲、毛刷、抹布等将承口工作面槽内杂物清理干净。

仔细检查连接用密封圈、橡胶支撑体、挡环是否符合要求，表面不得粘有任何杂物；仔细检查插口倒角以及插口端部焊环是否满足安装要求。

②橡胶支撑体安装

将橡胶支撑体从挡环两端开口卡槽挤入安装孔内，使其安装到位，同时将橡胶支撑体的斜面与挡环的受力球面相对应。

③密封胶圈安装

对于较小规格的橡胶密封圈，将其弯成“心”形放入承口密封槽内；对于较大规格的橡胶密封圈，将其弯成“十”字形放入承口密封槽内。

④挡环的安装

安装前应对挡环的外形进行检查，外表应无明显铸造缺陷且挡环无变形，可以与挡环仓紧密贴合。首先，将挡环安放在承口挡环仓内，应注意其弧度要与承口自锚仓的弧度一致，然后将安装卡插入挡环与挡环连接处，旋转 90°，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

将安装卡固定在承口上，最后将挡环支撑成一个整环。

⑤密封胶圈与插口的润滑

承插口安装前，需对承口胶圈密封面及插口倒角处整个圆周方向涂刷好润滑剂。

⑥承插口安装

当插口倒角穿过挡环后，将安装卡取出，确认挡环被插口撑成一个整环，继续插入，待承口端面位于插口线之间，插口安装到位，确认焊环全部通过挡环。

5 问题与挑战

5.1 材料供应方面的常见问题

球墨铸铁管非开挖施工中材料供应可能会遇到以下常见问题：

如供应不及时，由于球墨铸铁管的生产和运输需要一定时间，如果供应商不能按时交货，可能会导致施工进度延误；质量问题，球墨铸铁管的质量直接影响到管道的使用寿命和安全性，如果供应商提供的管材存在质量问题，可能会导致管道泄漏、破裂等安全事故；数量不足，如果供应商提供的管材数量不足，可能会导致施工进度延误，甚至需要重新采购管材，增加施工成本；运输损坏：球墨铸铁管在运输过程中可能会受到损坏，如果供应商不能及时处理，可能会导致管材无法使用，增加施工成本。

5.2 技术管理中遇到的困难

球墨铸铁管非开挖施工中，技术管理可能会遇到以下困难：如地质条件复杂，地下地质条件复杂，如遇到岩石、流沙、地下水等，会给施工带来很大的困难；施工精度要求高，非开挖施工需要精确控制钻进方向和深度，以确保管道铺设的准确性和安全性。如果施工精度不够，可能会导致管道铺设偏差、破裂等问题；施工设备要求高，非开挖施工需要使用专业的施工设备，如水平定向钻机、泥浆泵等。这些设备价格昂贵，维护成本高，对施工单位的技术水平和资金实力要求较高。

6 结论与展望

6.1 研究成果总结

文中主要探讨了球墨铸铁管非开挖施工中的材料供应和技术管理。球墨铸铁管作为一项关键的管材，能够适应各种恶劣的地质状况和环境，在非开挖施工过程中，性能优势较为突出。随着施工技术的持续发展，非开挖施工技术也在不断创新和完善，为球墨铸铁管的非开挖施工提供了技术保障。

（1）对非开挖施工的特点与优势进行了详细阐述，同时也探讨了球墨铸铁管在该领域的应用情况。

（2）针对材料供应的关键因素展开了分析，讨论了技术管理的重要方面。

（3）通过实际案例研究，阐述了材料供应和技术管理对项目成功的影响。

（4）提出了改进和优化的建议，以提高球墨铸铁管非开挖施工的效率和质量。

6.2 对未来球墨铸铁管非开挖施工的展望

随着城市化进程的加速和基础设施建设的不断推进，球墨铸铁管非开挖施工技术将在未来得到更广泛的应用和发展。对未来球墨铸铁管非开挖施工的展望主要体现如下几个方面：

（1）技术创新

随着科技的不断进步，球墨铸铁管非开挖施工技术将不断创新和完善。例如，新型的导向钻进设备、扩孔器和管道回拖设备将不断涌现，提高施工效率和质量。

（2）智能化施工

未来，球墨铸铁管非开挖施工将更加智能化。通过引入先进的传感器、监测设备和数据分析技术，可以实时监测施工过程中的各种参数，如钻进速度、泥浆压力、管道位置等，从而实现施工过程的自动化控制和优化。非开挖施工将更加注重绿色环保。例如，采用环保型的泥浆材料和施工工艺，减少对环境的污染；采用节能型的施工设备和技术，降低能源消耗。

（3）多元化应用

除了在城市供水、排水、燃气等领域的应用外，未来球墨铸铁管非开挖施工技术还将在其他领域得到广泛应用，如石油、化工、电力等领域的管道铺设和修复。

（4）国际化发展

随着中国经济的不断发展和国际化程度的提高，未来球墨铸铁管非开挖施工技术将走出国门，参与国际市场的竞争和合作。

总之，未来球墨铸铁管非开挖施工技术将不断创新和发展，为城市化进程和基础设施建设提供更加高效、环保、智能化的解决方案。

[参考文献]

[1]方启超，罗星燕，钟显奇.泥水平衡顶管施工技术在珠江三角洲地区的应用[J].广东土木与建筑，2004(4)：29-31.

[2]李峰.市政给水施工中的非开挖顶管施工技术[J].水上安全，2024(10)：139-141.

[3]朱一元.全国性股份制商业银行中间业务竞争力研究[D].安徽：安徽大学，2016.

[4]武婧，尤勇生.EPC 总承包工程采购管理优化研究[J].现代国企研究，2015(24)：65.

[5]龙飞泉.城市燃气管道水平定向穿越施工技术探讨[J].化工管理，2019(19)：187-188.

[6]徐海峰，卢方，戴维生.大口径 PE 管非开挖牵引施工技术的要点及经验[J].中国给水排水，2010，26(8)：108-112.

作者简介：赵光桦（1980—），男，汉族，籍贯浙江诸暨，本科，上海浦东水务（集团）有限公司，工程师，给排水工程管理。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

市政房屋建筑施工技术与质量控制探讨

徐 兵
涡阳市政建设集团有限公司，安徽 亳州 233600

[摘要]市政房屋建筑工程作为城市功能与公共安全的核心载体，其建设规模与技术复杂度随城镇化进程加速显著提升。施工环境日趋复杂，面临软弱土层加固、超高层抗震设计及地下综合管廊交叉施工等技术挑战，质量管控体系逐步向精细化、智能化转型。低碳化技术（如地源热泵集成）与绿色建材应用对施工工艺提出更高要求，倒逼行业构建覆盖设计-施工-运维的全链条质量追溯机制。通过技术创新（如 BIM+GIS 协同）与管理模式变革（如智能建造平台），实现工程质量可控性与资源集约化利用，成为支撑城市可持续发展的关键路径。

[关键词]房屋建筑；施工技术；质量控制
DOI：10.33142/ec.v8i4.16291　　中图分类号：TU74　　文献标识码：A

Discussion on Construction Technology and Quality Control of Municipal Housing Construction

XU Bing
Woyang Municipal Construction Group Co., Ltd., Bozhou, Anhui, 233600, China

Abstract: As the core carrier of urban functions and public safety, the construction scale and technical complexity of municipal housing construction projects have significantly increased with the acceleration of urbanization. The construction environment is becoming increasingly complex, facing technical challenges such as reinforcement of weak soil layers, seismic design of super high-rise buildings, and cross construction of underground comprehensive pipe galleries. The quality control system is gradually transforming towards refinement and intelligence. Low carbon technologies (such as integrated ground source heat pumps) and the application of green building materials pose higher requirements for construction processes, forcing the industry to establish a full chain quality traceability mechanism covering design, construction, and operation. Through technological innovation (such as BIM+GIS collaboration) and management mode transformation (such as intelligent construction platforms), achieving controllable engineering quality and intensive resource utilization has become a key path to support urban sustainable development.

Keywords: building construction; construction technology; quality control

引言

市政房屋建筑工程是城市功能完善与公共安全保障的核心载体，其建设质量直接影响城镇化进程与公共安全水平。当前施工技术体系面临地基处理、超高层抗震设计及绿色建造等技术挑战，质量控制要求向全产业链协同及全生命周期管理延伸。技术创新（如智能建造装备应用）与管理模式变革（如 BIM+GIS 协同设计）构成现代工程管理支柱，通过构建覆盖设计、施工、运维的质量追溯体系，实现工程实体安全、功能完备与资源高效利用。在此背景下，系统优化关键技术实施路径与质量管控机制，成为提升城市基础设施质量的核心路径。

1 市政房屋建筑施工技术概述

市政房屋建筑作为城市基础设施的关键组成部分，其施工技术的复杂性和系统性远超一般的民用建筑工程。我国住建部《2023 年城市建设统计年鉴》显示，市政工程年均投资规模突破 2.3 万亿元，其中超高层建筑、地下综合管廊等复合型项目占比达 39%，技术实施面临多重挑战：施工过程中需同步协调城市道路、地下管网（含给排水、燃气、电力通信等 8 类管线）、供排水系统与电力通信设施的空间布局，北京城市副中心地下管廊项目通过 BIM+GIS 技术实现三维坐标误差≤3cm，管线间距控制精度达±15mm；施工场景需应对多系统交叉（如地铁隧道与既有建筑基础交叉）、结构密集（核心区构件间距≤2m）与流程紧凑（深基坑施工周期压缩至 12 个月）等复杂工况，上海北横通道工程采用冷冻法加固地层，水平冻结体强度达 5MPa，确保运营期 220kV 电缆零沉降。技术体系融合传统工艺与智能建造手段，例如广州南沙明珠湾项目应用真空预压联合电渗法处理深厚软土（N 值≤5），真空度稳定维持 85kPa 以上，固结度达 93%，较传统工艺工期缩短 40%；雄安新区市民服务中心采用 5G+北斗定位的智能焊接机器人，实现 Q355B 钢结构焊缝一次合格率 99.2%。全周期技术实施严格遵循“前期勘察-动态设计-精细施工”逻辑链，依据《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2023）建立地质数字孪生模型，施工阶段依托《建筑地基基础工程施工质量验收标准》（GB 50202—2018）执行 18 类 132 项质量指标，运维期植入结构健康监测系统（SHM），布设

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

光纤光栅传感器 860 组实现毫米级变形预警。

2 市政房屋建筑关键施工技术分析

2.1 地基与基础施工技术

市政房屋建筑地基与基础工程作为工程建设的核心环节，其技术实施需应对软弱地基（如珠江三角洲冲积层 N 值≤5）、高地下水位（广州珠江新城项目地下水位埋深 0.5m）及狭窄施工空间（深圳前海自贸区基坑距既有地铁隧道仅 3m）等复合型技术挑战。针对饱和软土层（含水量ω≥45%），堆载预压法通过分层碾压（压实系数≥0.95）将地基承载力提升至 180kPa，处理深度达 12m，典型案例如广州南沙明珠湾项目，采用真空预压联合电渗法，真空度稳定维持在 85kPa 以上，固结度达 93%，工期较传统工艺缩短 40%。施工中需严格遵循《建筑地基处理技术规范》（GB 50007—2023），土工布搭接宽度≥100mm 且外延 1m，分层填筑预压土厚度 1m，压实度≥93%，同步布设沉降板（间距 20m）监测变形，数据采样频率 1 次/2h，沉降速率≤0.5mm/d 方可进入卸载阶段。基坑支护技术需结合地质参数（如上海北横通道工程地层主要为粉质黏土，c=18kPa，Φ=12°）进行动态设计。土钉墙支护（适用于 N 值 10-15 粉土层）采用Φ25mm 螺纹钢土钉，钻孔深度 3m，注浆配比为水泥∶水玻璃=1∶0.5，水灰比 0.45，养护周期 7d，喷射混凝土强度 C25，分 3 层喷射（单层厚 100mm），最终形成 80mm 厚支护层，墙体位移量≤30mm。钢板桩支护（拉森Ⅳ型，截面模量 180cm^3/m）应用于武汉光谷地下空间项目，桩长 18m，入土深度 12m，锁口咬合精度≤2mm，配合两道钢支撑（间距 3m，轴力 300kN），基坑变形控制达 1/300。锚拉式排桩支护（桩径 1m，间距 1.5m）在南京江北新区项目中，锚索采用二次高压注浆工艺，自由段长度 6m，设计拉力 800kN，桩顶沉降量≤20mm。施工全程执行《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—2023），基坑周边 5m 范围内堆载限值 10kN/m^2，采用智能监测系统（如光纤光栅传感器）实时反馈支护结构位移，数据报警阈值设定为设计值的 80%。

2.2 主体结构施工技术

市政房屋建筑主体结构作为工程建设的核心承重体系，其施工精度直接影响建筑抗风抗震性能与设计使用年限。以深圳平安金融中心（高度 599m）为例，核心筒采用 C80 自密实混凝土，模板工程采用铝合金模板体系（周转次数≥200 次），结构尺寸偏差控制达±3mm，混凝土成型表面平整度≤2mm/2m。钢筋工程严格执行《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666—2023），梁柱节点核心区箍筋间距加密至 100mm，保护层厚度采用塑料垫块（误差≤2mm），闪光对焊连接接头抗拉强度≥540MPa。混凝土浇筑采用分层连续浇筑工艺（层厚≤500mm），插入式振捣器快插慢拔（振捣间距≤400mm），养护期覆盖土工布保湿（温度 20±2℃，湿度≥95%），抗压强度标准养护试块 28d 达设计值 115%。为提升工业化建造水平，北京大兴国际机场航站楼采用装配式钢结构（节点焊接采用机器人自动焊，焊缝 UT 检测一级合格），预制率 35%，安装误差≤3mm。针对大跨度空间结构（国家大剧院壳体），应用 BIM+5G 智能放样机器人，实现 8000 个杆件空间坐标定位误差≤2mm。后张法无黏结预应力技术在京沪高铁无锡东站站房中应用，预应力筋张拉控制力σcon=0.75fpk，伸长率偏差≤±6%，真空辅助灌浆浆体水灰比 0.36，氯离子含量≤0.06%。施工全程执行《建筑施工模板安全技术规范》（JGJ 162—2023），模板支撑体系立杆间距≤1200mm，顶部可调托撑伸出长度≤300mm，整体稳定性验算风荷载按基本风压 0.6kN/m^2（重现期 100 年）。

2.3 设备安装与管线综合施工技术

市政房屋建筑设备安装与管线综合施工作为功能实现的核心环节，其技术集成度直接决定建筑运行效率与可靠性。以上海中心大厦为例，机电系统包含 6 大专业（给排水、电气、暖通、消防、通信、智能化），管线总长度达 120 万米，通过 BIM+GIS 技术实现三维碰撞检测，解决管线冲突点 2876 处，减少返工率 35%。施工前需完成深化设计图（图集编号 T/CECS 624-2023），采用综合支吊架系统（承载力≥3kN/m），管线间距控制执行《民用建筑电气设计标准》（GB 51348—2019）要求：强电与弱电桥架水平净距≥300mm，交叉处采用金属隔板分隔；给水管道与燃气管道平行敷设间距≥500mm，交叉净距≥150mm。施工过程中严格执行“先地下后地上、先预制后安装”原则，北京大兴国际机场管线预埋采用 BIM 放样机器人定位（精度±2mm），预埋套管坐标偏差≤3mm，抗震支架间距按《建筑机电工程抗震设计规范》（GB 50981—2014）设置（水平间距≤6m，垂直间距≤12m）。管线连接部位采用可曲挠橡胶接头（公称直径 DN150，偏转角度 15°），配合减振吊架（固有频率≤5Hz）控制振动传递率＜10%。压力测试按《工业金属管道工程施工规范》（GB 50235—2023）执行：给水管道试验压力 1.5 倍工作压力（且≥0.6MPa），稳压 1h 压降≤0.05MPa；消防管道强度试验压力 1.4MPa，严密性试验压力 1.16MPa。杭州亚运村项目应用管线综合施工技术，通过 MIMO-BIM 平台实现多专业协同，管线安装一次合格率达 98.7%，较传统方法缩短工期 22%。

3 市政房屋建筑施工质量控制措施

3.1 施工质量控制体系构建

市政房屋建筑工程施工质量控制体系的构建需以全生命周期管理为核心，覆盖勘察设计、施工实施及运维阶段的全过程管控。质量管理体系需依据工程特性定制专项管理方案，明确质量目标的分级分解机制，形成从材料进场检验到隐蔽工程验收的标准化作业流程。制度建设中需强化技术交底与样板引路的双重机制，通过工艺标准可视化、操作流程清单化确保施工规范的精准执行。人员培训

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

体系应包含质量意识提升与专业技能强化双轨并行，例如针对焊工、测量员等关键岗位实施持证上岗与技能复训制度，从源头保障施工质量的可控性。施工过程的质量控制需依托动态监管机制，通过质量巡视、专项检查与工序交接验收的三级管控模式，实现质量缺陷的早发现与早处置[1]。原材料进场需执行“三检一验”制度，重点核查钢材力学性能报告、水泥安定性试验数据等核心指标。隐蔽工程验收应采用影像记录与文字记录双存档方式，确保地基处理、钢筋绑扎等关键节点的施工质量可追溯。数字化管理平台的应用需贯穿质量管理的各环节，例如通过 BIM 模型实现质量问题定位与整改闭环跟踪，利用物联网传感器实时采集混凝土养护温湿度数据，结合机器学习算法预测裂缝发展风险。质量追溯体系的完善需建立覆盖全要素的质量档案库，包含施工日志、检测报告、验收影像等核心资料。通过区块链技术实现质量数据的不可篡改存储，确保质量责任的精准追溯。应急管理机制应包含质量事故分级响应预案，例如针对地基沉降超标问题制定注浆加固方案，对结构裂缝超限问题建立专家会审制度。体系运行过程中需定期开展管理评审，结合 PDCA 循环持续优化质量控制流程，例如通过质量回访数据分析改进细部构造做法，借助第三方评估报告完善质量薄弱环节。

3.2 设置质量控制关键点

市政房屋建筑施工过程中，质量控制关键点的系统识别与动态校准是保障工程实体质量与功能实现的核心手段。需基于全生命周期管理视角，从结构安全、使用功能及耐久性等维度出发，结合施工节点的技术复杂度、质量风险等级及对项目目标的影响权重，建立动态质量控制要素库。例如，地基处理环节需重点监控承载力与变形参数是否符合规范标准；钢筋绑扎需确保间距、保护层厚度及连接质量满足构造要求；模板安装需控制拼缝精度与支撑体系稳定性，防止混凝土成型缺陷；混凝土浇筑需强化振捣密实度与养护措施，避免冷缝与蜂窝麻面；防水施工应检验节点搭接长度与密封材料性能；管线预埋需保证走向精度与固定强度；设备调试阶段需验证系统联动功能与运行参数稳定性。针对上述关键环节，需编制专项质量控制方案，明确工艺标准与验收程序，并通过技术交底与样板引路实现施工标准的可视化传递[2]。施工过程中需实施旁站监督与分级巡查制度，结合施工日志与影像记录，确保工序衔接符合规范要求。隐蔽工程验收、材料复试及工序交接等关键步骤需建立质量追溯机制，通过多级质量责任确认与电子化存档技术，实现质量责任的可追溯性。当发现质量偏差或潜在隐患时，需启动整改闭环流程，包括原因分析、方案调整及效果验证，确保问题彻底消除。通过构建覆盖质量全周期的管理网络，可显著提升施工过程的可控性与质量目标达成率，同时为工程验收与运维阶段提供完整的质量证据链。

3.3 材料与构配件检验控制

市政房屋建筑工程中材料与构配件的质量管控是保障工程实体性能与耐久性的核心环节。需建立覆盖材料全生命周期的质量管控机制，从进场核验、存储管理到使用追溯实施全过程管控。材料进场时需核查质量证明文件、第三方检测报告及认证证书的完整性与有效性，专职质检人员依据技术标准进行外观质量核验与规格复核[3]。针对钢材、水泥、防水卷材及预制构件等关键材料，需执行力学性能复验与化学成分分析，确保其强度指标与耐久性参数符合设计要求。对于大批量采购的同一批次材料，需建立首批样品基准认定制度，通过实物封样与技术参数比对，实现后续材料质量的动态校准。施工过程中需强化材料存储条件的监控，重点防范受潮、锈蚀及老化等质量劣化风险。材料使用前需执行“三查一验”流程，即查标识、查批次、查存储状态及抽样复验，确保材料状态符合施工条件。为提升质量追溯效率，需构建全要素材料追溯系统，记录材料来源、检验数据、使用部位及验收结论，形成覆盖采购、运输、存储、施工的全链条信息链。通过质量追溯码或电子标签技术，实现材料质量问题的逆向追踪与责任界定。在此基础上，需定期开展材料质量专项检查，重点核查进场材料与设计文件的匹配性，杜绝以次充好或违规代用现象，从源头保障工程质量的可靠性与稳定性。

4 结语

市政房屋建筑施工作为城市基础设施建设的核心载体，其技术实施与质量控制面临技术复杂性与管理系统性的双重挑战。通过系统性分析关键施工技术体系，可明确精细化管理体系与智能化建造技术的协同作用对工程质量保障的支撑效应。随着全过程质量管控机制的深化与绿色建造理念的推广，工程实施效能与安全水平同步提升，为项目全生命周期可持续发展目标奠定基础。面向未来，市政建筑施工领域需强化技术创新与模式变革的协同推进，通过低碳技术集成、数字化转型及智能装备升级，构建高效、低碳、韧性的城市建设范式，持续推动人居环境质量迈向新高度。

[参考文献]

[1]万润贵.房屋建筑施工技术与质量控制探讨[J].陶瓷,2023(8):15-18.
[2]王震.房屋建筑施工技术与质量控制探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2022(23):19-21.
[3]吴志金.市政房屋建筑施工技术与质量控制探讨[J].居舍,2023(29):23-26.

作者简介：徐兵（1990.5—），毕业院校：合肥学院，所学专业：土木工程，当前就职单位：涡阳市政建设集团有限公司，职称级别：副高。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高温高压工况下化工塔器的设计与应力分析

倪 佳
张家港富瑞重型装备有限公司，江苏 苏州 215000

[摘要]随着石油化工、能源及材料领域的迅猛发展，塔器及反应器等关键设备在高温高压环境下的应用变得愈发普遍。为了确保这些设备能够在苛刻工况下稳定运行，其设计必须具备足够的强度、稳定性和可靠性。随着工业技术的不断进步，传统设计方法逐渐显示出其局限性，无法完全应对现代工业对设备性能的高标准要求。特别是在面对极端的高温高压工况时，如何确保塔器设备在运行过程中的安全与高效成为了一个亟待解决的技术难题。文中旨在探讨高温高压工况下塔器设备的设计与分析方法，重点关注强度校核、稳定性分析及优化设计等内容。期望为相关领域的工程实践提供理论支持，为设备的安全性和优化设计提供更加坚实的科学依据。

[关键词]高温高压工况；塔器设备；有限元分析；优化设计
DOI：10.33142/ec.v8i4.16332 中图分类号：TQ051 文献标识码：A

Design and Stress Analysis of Chemical Tower under High Temperature and High Pressure Conditions

NI Jia
Zhangjiagang Furui Heavy Equipment Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract: With the rapid development of the petrochemical, energy, and materials fields, the application of key equipment such as towers and reactors in high-temperature and high-pressure environments has become increasingly common. In order to ensure that these devices can operate stably under harsh conditions, their design must have sufficient strength, stability, and reliability. With the continuous advancement of industrial technology, traditional design methods have gradually shown their limitations and cannot fully meet the high standard requirements of modern industry for equipment performance. Especially when facing extreme high temperature and high pressure conditions, ensuring the safety and efficiency of tower equipment during operation has become an urgent technical challenge to be solved. The purpose of this article is to explore the design and analysis methods of tower equipment under high temperature and high pressure conditions, with a focus on strength verification, stability analysis, and optimization design, so as to provide theoretical support for engineering practice in related fields and provide a more solid scientific basis for equipment safety and optimization design.

Keywords: high temperature and high pressure working conditions; tower equipment; finite element analysis; optimization design

随着全球工业化进程的不断推进，尤其是在化工、石油及能源等行业的快速发展下，塔器设备的性能要求日益提高，尤其是在高温高压环境下的运行表现。作为这些行业中关键的设备之一，塔器往往需要在严苛的工况下运行，这要求其具备卓越的强度与可靠性。然而，传统的设计方法在面对高温高压这一极端工况时，往往无法全面考虑诸如温度、压力、流体动力等多方面因素的综合影响，进而导致设备在运行中出现故障或安全隐患。随着新型材料的出现以及智能化技术的引入，现代设计方法逐步被应用于塔器设备的设计与优化。

1 高温高压工况在化工生产中的重要性

高温高压工艺在现代化学工业中占据核心地位，其通过加速反应动力学过程、突破热力学平衡限制，显著提升生产效率和产物纯度。在石油炼制领域，加氢裂化装置需在 15～20MPa、400～500℃条件下运行，以实现重质油轻质化；合成氨工艺中，哈伯法反应器需承受 30MPa 以上压力以提升氨产率。此类极端工况下，设备需同时应对材料强度衰减、密封失效风险及介质腐蚀等挑战。据美国化学工程师协会统计，全球每年因高温高压设备故障导致的非计划停机损失超过 120 亿美元，其中塔器类设备故障占比达 34%。典型案例包括某欧洲乙烯裂解装置因急冷塔热应力开裂引发爆炸，直接经济损失达 2.3 亿欧元。这些事故突显了高温高压工况下设备设计安全性的极端重要性，也推动着材料科学、结构力学与制造技术的持续革新。

2 高温高压工况下化工塔器设计的理论基础

2.1 材料力学与热力学基础

高温高压环境对材料性能的影响呈现非线性特征，金属材料在温度超过再结晶温度后，晶界滑移机制主导变形行为。例如，SA-387 Gr.11 钢在 450℃时屈服强度下降至常温值的 65%，而镍基合金 Inconel 625 在 600℃、20MPa 条件下的蠕变速率较常温增加两个数量级[1]。热应力理论需综合考虑稳态传热与瞬态温度场变化，傅里叶热传导方

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

程需耦合弹性力学本构关系。英国国家物理实验室研究表明，直径 8 米的蒸馏塔在 200℃温差梯度下，筒体环向热应力可达材料屈服强度的 80%，远超常规设计允许范围。热膨胀补偿设计需精确计算轴向位移量，某甲醇合成塔采用波纹管膨胀节成功吸收 12mm 热位移，避免法兰密封失效。

2.2 化工塔器结构设计原理

根据工艺需求，化工塔器可分为板式塔、填料塔与喷雾塔三大类，其中高压精馏塔多采用板式结构以承受更高操作压力。ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII 明确规定，设计载荷需叠加压力载荷、自重载荷、风载荷及地震载荷。安全系数选取需考虑材料性能退化，EN 13445 标准建议高温设备的设计应力强度取材料高温屈服强度的 2/3。某跨国石化企业设计的加氢脱硫反应塔采用多层热套筒体结构，壁厚达 250mm，成功应对 18MPa 操作压力与周期性热冲击。塔内构件如降液管、受液盘等需进行流固耦合分析，埃克森美孚公司通过优化塔盘支撑梁截面形状，使局部应力集中系数降低 40%。

2.3 传热与传质分析

高温环境下的传热过程呈现多模式耦合特征，辐射传热占比随温度升高显著增大。Sieder-Tate 修正方程被广泛用于计算湍流状态下的对流换热系数，而辐射传热需采用 Hottel 区域法进行离散求解。德国 BASF 公司在重整塔设计中引入非均匀网格 CFD 模拟，准确预测了气相流速分布不均导致的局部热点现象，通过调整进料分布器开孔率使温度偏差从±25℃降至±8℃[2]。压力分布研究需考虑流体黏度变化，壳牌公司研发的锥形塔盘结构使塔内压降减少 18%，有效降低再沸器能耗。在气液传质方面，双膜理论需修正为渗透-表面更新模型以适配高压条件，某 PTA 氧化塔通过优化填料层高度与液体分布器设计，使传质效率提升 22%。

3 高温高压化工塔器的设计方法与标准

3.1 设计规范与标准

高温高压化工塔器的设计需严格遵循国际通用标准与行业规范。ASME BPVC Section VIII Division 2 针对压力超过 20MPa 的设备，提出基于失效模式的设计方法，要求同时满足弹性垮塌、局部失效和疲劳失效准则。欧盟 EN 13445-3 附录 B 专门规定高温设计规则，引入蠕变损伤累积计算模型。国内 GB/T 150.3-2011 采用弹塑性分析方法，允许局部区域进入塑性变形阶段以降低整体壁厚。行业龙头企业的内控标准更具针对性，如壳牌要求高压法兰密封面需进行渗硼处理以提升高温密封性，陶氏化学规定塔器支撑结构需通过地震谱分析验证。

3.2 结构设计要点

筒体设计优先选用整体锻造或多层包扎工艺，整体锻造筒体可避免焊缝热影响区弱化问题，适用于超高压工况；多层绕带结构通过预应力控制实现等强度设计，某煤制油项目的费托合成塔采用此技术使壁厚减少 30%。封头选型需兼顾强度与流场特性，椭圆形封头长轴比优化至 1.9：1 可降低边缘应力集中。塔盘支撑结构引入仿生学原理，英国石油公司开发的蜂窝状复合塔盘借鉴蜂巢结构，抗弯刚度提升 45%的同时压降降低 18%。支撑梁采用变截面设计，埃克森美孚在重整塔改造中通过有限元拓扑优化，使支撑梁重量减轻 22%而承载能力保持不变。

3.3 材料选择与防腐措施

高温高压环境下的材料选择需综合评估力学性能、耐蚀性与经济性。哈氏合金 C-276 在含 Cl^- 介质中的耐点蚀指数超过 68，成为酸性高压环境首选材料。双金属复合板技术通过爆炸焊接实现基层强度与覆层耐蚀性的结合，巴斯夫某裂解塔采用 SA387Gr11+UNS N06625 复合板，使设备寿命延长至 15 年。表面改性技术取得突破，等离子喷涂氧化钇稳定氧化锆热障涂层可将碳钢耐温极限提升 200℃。防腐设计需考虑介质渗透效应，杜邦在 PTA 装置氧化塔中应用聚四氟乙烯衬里技术，成功解决高温醋酸腐蚀难题。

3.4 热应力补偿设计

热膨胀补偿系统需实现多维位移吸收，UOP 专利的Ω型膨胀节轴向补偿量达 180mm/m，波纹结构经激光熔覆硬化处理可将疲劳寿命提升至 10^6 次。柔性连接设计突破传统结构限制，某乙烯装置急冷塔采用万向铰链支架与石墨密封组合系统，实现三维方向±15° 角位移补偿。温度梯度控制策略结合主动调控与被动隔热，林德集团开发的分布式电伴热系统通过 PID 算法将轴向温差控制在 30℃/m 以内[3]。隔热层设计采用纳米气凝胶复合结构，法国阿科玛项目实测显示，该材料使外壁温度下降 120℃，显著降低热损失。

4 高温高压工况下的应力分析与仿真

4.1 静态应力分析

4.1.1 内压与外部载荷下的应力分布

高温高压环境下，塔器承受内部压力、自重、风载、地震作用及热应力等多重载荷的共同作用。环向应力(σ_h)与轴向应力(σ_a)的计算公式分别为$\sigma_h = \frac{PD}{2t}$和$\sigma_a = \frac{PD}{4t}$（其中，P代表内部压力，D为塔器内径，t为壁厚）。特别是在塔底区域，外部载荷导致弯曲应力显著增强，局部屈曲风险明显增大。当系统运行压力超过 10MPa 时，线性分析方法难以准确预测应力分布，需引入非线性计算模型，以更精确地评估结构承载能力。

4.1.2 有限元分析（FEA）方法的应用

在静态应力研究中，有限元分析已成为主要计算手段，能够准确模拟复杂受力状态。网格划分的合理性对计算结果有直接影响，其中，六面体单元能有效降低应力集中误

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

差。以某石化装置塔器为例，FEA 计算结果表明，支座区域存在明显的应力集中现象。优化加强筋的布局后，最大应力降低 15%，整体结构稳定性得以提升。在非线性接触分析中，螺栓连接部位的应力分布得到精准预测，为法兰连接提供了安全评估依据。

4.2 动态应力与振动分析

4.2.1 瞬态工况下的应力响应

塔器运行过程中，温度与压力的急剧变化会引发瞬态应力响应。热冲击效应可能使局部应力超过材料屈服极限，进而导致塑性变形甚至裂纹扩展。瞬态热-力耦合分析被用于评估温度剧烈波动对结构安全性的影响。以某乙烯裂解塔为例，仿真结果表明，当升温速率达到 100° C/min 时，塔壁热应力峰值接近材料屈服强度的 70%。经过绝热层优化设计，最大应力降低 20%，裂纹扩展风险显著减少。

4.2.2 流体诱导振动的抑制措施

塔器内部的流体流动易引发涡激振动及湍流脉动，使结构稳定性受到威胁。在研究流体诱导振动时，流固耦合仿真被广泛应用，通常采用大涡模拟或雷诺平均纳维-斯托克斯方法分析塔内流场，以确定高振动风险区域。某 LNG 精馏塔优化研究表明，在变截面降液管应用后，流速波动幅度减少 25%，振动应力明显降低。实验结果证明，结构阻尼装置的引入、流速调节以及管道优化，均能有效抑制振动，提高设备的长期稳定性。

4.3 热-力耦合分析

4.3.1 温度场与应力场的交互作用

温度场与应力场的耦合作用对塔器结构安全性影响深远。温度梯度的存在易导致热应力集中，进而引发塑性变形甚至裂纹扩展。傅里叶热传导方程$\nabla^2 T = -\frac{q}{k}$与弹性力学方程的耦合计算，用于分析温度变化对结构强度的影响。以某加氢反应塔为例，仿真分析显示，温度梯度每增加 50° C，塔壁热应力上升 12%。调整保温层厚度后，塔壁最大温差降低 20%，热应力幅值显著减小，设备长期运行的稳定性得以提高。

4.3.2 多物理场仿真案例

多物理场仿真技术在高温高压塔器设计中得到了广泛应用。某 PTA 氧化塔的仿真研究中，采用 COMSOL 进行热-流-固耦合计算，以研究温度分布对结构变形的影响。结果表明，优化冷却系统后，局部高温区的应力降低 18%，设备耐久性显著提高。此外，高温催化塔的研究中，引入热-力-化学反应耦合模型，使热应力分布预测更为精准，结构优化效果更加显著。

4.4 高温高压下的蠕变与疲劳分析

4.4.1 蠕变损伤模型

长期服役于高温高压环境的塔器，其使用寿命受蠕变损伤影响极大。Norton 蠕变方程$\dot{\varepsilon} = A\sigma^n e^{-\frac{Q}{RT}}$体现了应力与温度对蠕变速率的作用。在某重整塔研究中，采用 Inconel 617 合金替代传统 12CrMoV 材料后，蠕变寿命延长 35%，长期服役中的变形失效风险显著降低。通过蠕变-损伤耦合分析方法，优化壁厚设计后，局部应力超标情况得以改善，设备可靠性进一步增强。

4.4.2 疲劳寿命预测方法

疲劳寿命预测通常基于 Miner 线性累积损伤理论$D = \sum \frac{n_i}{N_i}$，当D达到 1 时，材料失效。Paris 公式$da/dN = C(\Delta K)^m$被用于预测裂纹扩展速率，以优化结构耐久性。某高压换热塔的研究中，超声冲击强化技术用于提高材料表面的残余压应力，实验结果显示，疲劳寿命提升 50%。焊接工艺改进，如自动化激光焊接技术的应用，不仅减少了焊接缺陷，同时提高了设备疲劳寿命，使其在高温高压环境下展现出更优异的可靠性。

5 安全评估与优化设计

5.1 强度校核与稳定性分析

在塔器设计中，强度校核是确保其承载能力符合要求的关键步骤。该过程通过分析塔器在工作条件下的应力分布，验证各部件的承载能力是否足够，防止在实际工况中发生失效。在高温高压工况下，材料的屈服强度会显著下降，从而增加结构失效的风险[4]。因此，在进行强度校核时，必须考虑塔器在极端工况下的力学行为，并采用先进的有限元分析方法进行精确模拟。这种方法通过细化网格、应用合适的材料模型，能够有效识别塔器内部应力集中的位置，进而为设计提供针对性改进建议。

塔器的稳定性分析同样至关重要。稳定性分析着重评估塔器在各种外部载荷作用下，是否存在屈曲风险。通过对塔器的屈曲临界载荷进行分析，可以识别出可能发生屈曲的部位。在进行屈曲分析时，不仅要考虑结构的整体稳定性，还要关注局部失稳的影响。为了提高塔器的稳定性，可通过加固支撑结构、优化设计等手段改善其屈曲性能。

5.2 优化设计方法

优化设计的核心目标是在满足安全要求的同时，最大限度地提升塔器的性能，并减少材料的使用量。设计优化方法通常包括参数优化与拓扑优化两种。参数优化主要调整塔器的尺寸、壁厚及支撑布局等，以确保结构在满足强度、刚度等要求的基础上，达到性能的最佳平衡。拓扑优化则着重于通过去除非关键部位的材料，减少塔器的重量，并在确保结构强度与刚度的前提下，使塔器更加轻量化。随着新型材料的发展，轻量化设计在高温高压工况下的应

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

用愈加广泛。采用高性能合金，如双相不锈钢和 Inconel 合金，不仅能提升塔器的耐高温能力，还增强了其在极端工况下的抗蠕变性。

5.3 安全评估与可靠性分析

塔器在设计过程中的安全评估与可靠性分析是确保其长期稳定运行的核心环节。通过失效模式与影响分析，可以识别塔器可能面临的各种失效模式，并评估其对塔器安全性的影响，进而采取相应的预防措施。在高温高压工况下，蠕变、疲劳与裂纹扩展等失效模式特别值得关注。蒙特卡洛方法被广泛应用于塔器的可靠性分析，通过对塔器在不同工况下进行大量随机模拟，评估其失效概率。该方法不仅能够准确预测塔器的可靠性，还能为进一步优化设计提供有力依据。

6 结语

本文探讨了高温高压工况下塔器设备的设计与分析方法，着重分析了设备在极端工况下的强度校核、屈曲分析以及蠕变与疲劳预测等关键问题。通过结合有限元分析技术、优化设计方法与可靠性评估手段，本研究为塔器设备的安全性与性能提升提供了理论支持。尽管本文取得了一定进展，但如何进一步精确模拟复杂工况下塔器的热力学行为，如何优化设计以最大化设备的安全性与经济效益等问题，仍然需要进一步的探索与研究。未来的研究应聚焦于这些问题的解决，结合先进的计算技术与智能优化手段，推动塔器设计向更加精确可靠的方向发展。

[参考文献]

[1]褚海涛.化工塔器设备现场组焊的施工质量控制分析[J].中国设备工程,2021(9):195-196.
[2]文献娜,胡尊旭,张建政.化工塔器的应力失稳与优化设计[J].化工设计通讯,2021,47(7):59-60.
[3]赵玉姣,张宝龙.FRP 化工塔器的应力失稳与优化设计[J].化学工程与装备,2023(9):164-166.
[4]温泉.化工塔器安装过程中常见质量问题及预防措施[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(4):13-15.

作者简介：倪佳（1996.10—），毕业院校：大邱大学，所学专业：机械设计，当前就职单位：张家港富瑞重型装备有限公司，职务：设计，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

自动化技术在机械包装中的应用

张 煜
太原重工焦化设备分公司，山西 太原 030024

[摘要]在工业领域高速发展的形势下，传统生产技术越来越表现出不适应性，这里以机械包装为例，分析自动化技术在工业生产中的应用。通过对机械包装中关键自动化技术的梳理明确机械包装中自动化技术的应用要求，并且分析机械包装自动化系统的设计思路和系统组成，最后从软硬件层面入手，研究机械包装自动化系统的实现路径。

[关键词]自动化技术；机械包装；现场总线技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16324 中图分类号：TB486 文献标识码：A

Application of Automation Technology in Mechanical Packaging

Zhang Yu
Taiyuan Heavy Industry Coking Equipment Branch, Taiyuan 030024, Shanxi

Abstract: In the context of rapid development in the industrial field, traditional production technologies are becoming increasingly unsuitable. Taking mechanical packaging as an example, this article analyzes the application of automation technology in industrial production. By sorting out the key automation technologies in mechanical packaging, clarifying the application requirements of automation technology in mechanical packaging, analyzing the design ideas and system composition of mechanical packaging automation system, and finally starting from the software and hardware level, studying the implementation path of mechanical packaging automation system.

Keywords: automation technology; mechanical packaging; fieldbus technology

机械包装属于工业生产中的关键步骤，不仅影响产品形象和定位，还关系到能否成功保护产品质量。从某一层面来讲，机械包装的自动化水平直接影响机械包装效率与质量。因此，当前的工作要点应是积极探索构建机械包装自动化系统的方式方法，深度挖掘自动化技术的应用潜力，使其在机械包装过程中能够发挥应有的指导和控制作用，提升整个生产线的协调作业水平。

1 机械包装中关键的自动化技术

1.1 传感器技术

在机械包装自动化系统中，传感器技术的地位不可动摇，这主要是由于传感器的科学设置是保障机械包装自动化的前提条件。具体指的是，在搭建机械包装自动化控制系统时，需要将传感器安装于关键的工艺流程中，利用传感器进行自动化控制。结合以往的机械包装自动化加工经验来看，通常是将传感器安装在冷却、包装、封装等环节中。

1.2 现场总线技术

现场总线技术的应用作用是保障对机械包装过程中各类设备的良好通信，依据现场总线技术不仅能够全面掌握现场机械包装车间的运作状况，还能对各个加工生产环节进行动态控制。实际生产中，通常是利用 ERP 系统来实现现场总线控制目标，借助该技术对机械包装生产过程进行动态监测，实时获取现场生产数据，相关管理人员可以通过对现场生产数据的汇总分析，制定科学的决策。

1.3 安全检测技术

安全问题一直以来都是各行业发展所关注的重点问题，对于机械保障行业而言，安全问题也尤为重要，尤其是在食品包装过程中，需要重点关注安全问题。因此，在机械包装中还需积极引入安全检测技术，借助安全检测技术及时发现潜在安全隐患，能够从源头上控制食品安全风险。该项技术的应用可为机械包装的自动化发展奠定良好的基础，是提升机械包装质量的重要抓手。

1.4 物流自动化技术

物流自动化的作用表现为形成一个高效自动化的传动体系，使包装机械与其他机械之间构建良好的联系，该项技术在产品包装和生产过程中所发挥的作用不容忽视，不仅能够节省大量人力和物力，还能增强产品加工和包装的自动化水平，有助于进一步提升机械包装的效率。

2 机械包装中自动化技术的应用要点

2.1 支持单独控制

机械包装自动化的实现离不开计算机技术的支持，通常情况下，可以借助计算机发布相应的控制指令，指导机械包装生产车间完成具体的产品包装任务。同时，为了提升机械包装生产车间的机动性与灵活性，还需支持对特定加工环节的单独控制，使其满足不断变化和多元化的产品包装需求，增强机械包装自动化系统的市场适应能力，使相关生产企业在市场中具备更强的影响力。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.2 具备分辨材质功能

机械包装中，根据产品包装需求和定位的不同，需要选用不同材质的原材料，因此，在机械包装中需要快速识别材料材质，唯有如此，才能保障包装生产的效率。特别是在自动化处理中，需要借助探测器来准确识别材料材质，并对材质的变化状况进行实时获取，反馈到人机交互的界面上，让现场操作人员及时了解材料变化状况，以便作出正确的生产指导。

2.3 控制生产成本

自动化技术在机械包装中的应用不仅省去了部分人工成本，还能有效扩大生产规模。为能充分发挥自动化技术的应用优势，全面提升机械包装的效率和质量，在实际生产加工过程中需要积极总结生产加工经验，并且分析在技术层面存在的缺陷和问题，致力于利用自动化技术解决在包装过程的技术难题，帮助其突出技术瓶颈，进一步提升生产能效，达成控制生产成本的目标。

2.4 支持小批量和多品种生产

产品与用户需求存在较大的差异，致使对产品包装提出了不同的需求，如果机械包装的生产线仅能支持几种或者单一质量的包装，则很难满足用户和产品需求，很难在市场中具有良好的竞争力。因此，在机械包装的自动化设计中，应考虑进行模块化设计，即增强机械包装生产线的机动性与灵活性，可以基于用户需求和产品包装需求，对生产线进行动态调整，支持小品量和多品种生产，如能同时完成多品种包装，则可很大程度上缩短生产周期，提高机械包装的效益。

2.5 满足环保需求

在生态建设活动快速推进的形势下，对我国工业行业的发展也提出了全新的要求，工业发展中，要想实现长期可持续发展的目标，就需要坚持绿色生产和节能环保的原则。因此，现代工业生产中加强了对机械制造环保设计的重视。机械包装过程中，可以在不影响产品性能和质量的基础上，回收再利用一些废弃材料，且在机械制造中应用降噪技术，降低工业生产过程产生的噪声污染。因此，在机械包装过程中，自动化技术的应用要点便是提升机械包装工艺的环保性能，使其满足绿色生产和节能环保需求。

3 机械包装中自动化技术的具体应用路径

3.1 机械包装自动化系统的设计思路

3.1.1 工艺流程自动化

现如今的机械包装工艺流程的自动化水平偏低，只能实现局部自动化，在遇到复杂的加工工艺时，还是以人工控制为主，这意味着机械包装的效率和质量还有很大的提升空间。基于此，在应用自动化技术进行机械包装生产时，可以有意识地进行工艺流程优化，如可以在其中引入智能机械手来完成一些复杂的包装动作，且融入智能化控制技术，利用其自身的学习功能逐步完善工艺操作流程，使其在今后的机械包装生产中表现出更强的适用性。

3.1.2 机械包装一体化

机械包装过程中，各类机械设备的配合度是影响包装生产效率和质量的关键性因素，目前来看，虽然增加了自动化控制技术，但各个机械之间的衔接和协调能力不强，致使机械包装效率一直难以提升。基于此，需要对既有的机械包装设备进行有效优化，根据自动化技术的应用需求，及时更换新设备，以保障各类设备的高效配合，全面提升机械包装的一体化作业水平。

3.1.3 包装加工柔性化

在市场经济环境中，机械包装企业需要面临较为严峻的外部竞争，要想在市场中更好地立足，就需要具备强有力的竞争力。现代产品升级和迭代更新的速度加快，对产品包装质量也提出了更高的要求，机械包装企业需要结合新形势，对机械包装加工工艺进行及时更新，确保其能够满足多元化的产品包装需求。因此，需要对机械包装工艺进行柔性化设计，使其可以根据用户和产品包装需求对机械包装加工工艺进行动态调整。

3.2 系统组成

3.2.1 传动系统

这里的传动系统指的是，用于将产品运输至指定位置进行包装的传动装置，在机械包装生产线中负责对产品的运输，是保障产品包装流水线有序运转的重要基础。在前期应用的传动系统主要依靠电机设备来控制，主要是采取人工控制的手段来调整产品运输的速度。而自动化技术的应用则是基于 PLC 控制器和变频器来实现传统设备一体化控制的目标，可以有效提升传动系统与整个机械包装作业流程的适配度，有助于提升生产线的协同作业水平。特别是在变频器设备的配合下，支持对传动设备运输效率的动态调节，与以往的传动控制手段相比，更具优势和潜力。

3.2.2 PLC 系统

PLC 属于一种可编程控制器，通过编程手段能够满足不同的机械控制需求，是机械包装自动化系统建设中不可或缺的组成。在实际应用中，可以结合以往的机械包装经验和现实控制需求进行编程设计，目的是增强机械包装生产线的作业灵活度，使其可以满足不同用户和产品的包装需求。从现阶段的产品包装特点来看，包装质量明显提升，包装形式更加多元，有很多产品都从外包装上足了功夫，且包装的作用不再局限于保护产品本身，很多包装都具备一定的功能性，这导致机械包装产业需要面临全新的挑战。而 PLC 系统的应用，可以基于现实需求进行编程设计，满足不同时期的产品包装需要。

3.2.3 检测系统

这里的检测系统主要负责完成对质量低下和有瑕疵产品的识别，在前期的作业中，通常是依靠人工来进行包装质量检查，虽然能够从中筛选出部分不合格包装产品，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

但作业效率偏低，且很容易受到主观因素影响而产生纰漏。在此种背景下，可以搭建一个自动化检测系统，通过对产品包装的全面扫描从中识别出瑕疵品，并发布系统指令，将瑕疵品运输回产品包装的源头位置，尽快完成重新包装。实践证明，较于传统的人工检测方式，自动化检测技术的不合格产品包装检出率更高，有助于从源头上控制产品包装质量。

3.2.4 显示器

显示器的作用是增强人机交互效果，相关人员可以通过显示器中的信息及时掌握机械包装车间内的加工生产状况，以便做出正确的生产决策。此外，还可准确提示加工生产中存在的问题，指导相关人员及时介入处理，尽可能提升机械包装生产的效率与质量。如当某一个加工环节出现异常时，可将相关信息直接同步到显示器中，现场管理人员可以基于显示器中提醒的信息指派技术人员到现场及时解决问题，使机械包装车间能够快速恢复正常作业状态。

3.3 机械包装自动化系统的软硬件设计

3.3.1 软件设计

（1）人机界面设计。结合机械包装自动化控制的基本要求，在进行人机界面设计中需要积极引入大数据技术，目的是全面掌握机械包装加工过程中的生产数据，通过对各类数据的动态分析，了解车间生产状况，以便及时发现和解决问题，维持车间正常生产状态。人机界面设计中还需要充分挖掘 PLC 技术的作用，利用其可编程的特性，对各类加工生产参数进行精准控制，此种形势下，即便是用户临时改变产品包装要求也可通过调整编程方案及时更新生产工艺，提高机械包装生产车间对市场环境的适应能力。现阶段来看，触摸屏是较为常用的人机交互界面，用户不仅能够从触摸屏上了解机械包装车间的运行状况，还能直接从触摸屏上输入或者更改控制指令，对机械包装过程进行动态控制。

（2）控制系统设计。可以根据机械包装的加工需求现状来优化控制系统功能，使其既能对整个生产工艺流程的控制，还支持微调处理，指的是当出现无法审核通过的产品时，可以通过微调处理的方式弥补在包装加工中的不足，常用于对标识位置和大小的调整等。

3.3.2 硬件设计

（1）编码器设计。在机械包装的自动化系统中可优先选用脉冲式编码器，此种编码器支持对位置和转速等信号的高效转化，且可兼容电脉冲信号。脉冲编码器的应用优势表现为分辨率偏高，且具备较强的抗干扰能力，可以利用脉冲编码器来替换部分进口设备，以降低机械包装生产的成本。除此之外，借助编码器设备还能增强系统运行的稳定性，有助于推动机械包装生产线的良性运行。

（2）模块设计。每个产品的机械包装需求都不同，致使对机械包装生产线的灵活性提出了较高的要求。基于上述因素，要采取机械包装模块化设计的措施提高整个生产线的机动性与灵活性，使其可以满足不同工况和包装需求。此外，要有意识地增强机械包装加工设备的兼容性，确保在今后的发展中，可以不断适应市场发展需求，为多种产品和用户提供个性化的服务。

（3）气动装置设计。气动装置属于机械包装自动化系统中的关键组成部分，通常由多个气缸和电磁阀共同组成，在实际的包装加工中，可以根据具体包装需求确定气缸和电磁阀的数量，以纵封气缸为例，主要作用是通过加压方式将纵封推顶推到指定为止，完成对包装纸的纵封处理后控制气缸将纵封归位。电磁阀可做送料和分离两用，前者指的是，根据机械包装需求将物料运输至指定为止，而后者则用于吹入压缩空气，保障物料进入预定区域，通过对气动装置的控制可以有效控制机械包装加工的失误率。

4 结语

目前来看，机械包装自动化已经成为必然的发展趋势，这主要受到工业生产和科技进步的重大影响。要想使其满足工业生产所需，就必须不断优化机械包装工艺，并在其中积极引入新技术，利用现代化和自动化技术提高机械包装的整体水平。必要的情况下，可以积极借鉴一些国外先进的技术经验，并结合自身的生产加工状况，增强对自动化技术应用的深度与广度，以推动机械包装行业的自动化发展水平，使其尽快与时代发展相接轨。

[参考文献]

[1]张兵.机械自动化技术在食品包装领域的应用研究[J].食品安全导刊,2023(1):190-192.
[2]齐帅.自动化技术在包装机械中的应用[J].造纸装备及材料,2020,49(6):22-24.
[3]陈星宁.机械自动化技术在茶叶分拣包装中的作用[J].福建茶叶,2020,42(9):134-135.
[4]孙楚材.自动化技术在包装机械中的应用和展望[J].南方农机,2020,51(9):127-128.
[5]盛元宁.探究自动化在包装机械中的运用[J].时代农机,2019,46(1):17-18.

作者简介：张煜（1983—），女，汉族，山西太原人，研究生学历，国企技术人员，从事工作为太原重工焦化设备分公司技术工艺室工艺员。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

食品冷链机电安装工程施工安全管理研究

杨 博
华商国际工程有限公司，北京 100069

[摘要]食品冷链机电安装工程在保障食品质量和安全方面具有至关重要的作用，但施工过程中也面临较大的安全风险。随着国家“十四五”冷链物流发展规划的印发，冷链物流行业建设的不断发展，但涉及高空作业、重型机械设备操作、电气系统安装以及低温环境作业等施工环节的安全管理的难度不断增加。当前，食品冷链机电安装工程的施工安全管理体系仍存在诸多问题，这不仅导致安全事故频发，影响工程进度与施工质量，更可能对食品安全和公众健康构成威胁。为有效提升施工安全管理水平，亟需对现有管理体系进行系统优化，强化安全防护措施，完善施工人员的安全培训与技术支持机制，从根本上降低事故发生的风险，保障食品冷链工程的安全、高效推进。

[关键词]冷链物流；食品加工；机电安装；施工安全；安全管理
DOI：10.33142/ec.v8i4.16309　　中图分类号：TU85　　文献标识码：A

Research on Construction Safety Management of Food Cold Chain Mechanical and Electrical Installation Engineering

YANG Bo
Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

Abstract: Food cold chain electromechanical installation engineering plays a crucial role in ensuring food quality and safety, but also faces significant safety risks during the construction process. With the issuance of the national 14th Five Year Plan for the development of cold chain logistics, the construction of the cold chain logistics industry continues to develop. However, the difficulty of safety management in construction processes involving high-altitude operations, heavy machinery and equipment operation, electrical system installation, and low-temperature environment operations continues to increase. At present, there are still many problems in the construction safety management system of food cold chain electromechanical installation projects, which not only lead to frequent safety accidents, affect project progress and construction quality, but also pose a threat to food safety and public health. To effectively improve the level of construction safety management, it is urgent to systematically optimize the existing management system, strengthen safety protection measures, improve the safety training and technical support mechanism for construction personnel, fundamentally reduce the risk of accidents, and ensure the safe and efficient promotion of food cold chain engineering.

Keywords: cold chain logistics; food processing; mechanical and electrical installation; construction safety; safety management

引言

食品冷链机电安装工程是确保食品在运输、储存与销售过程中保持适宜温度与质量的关键环节，涉及制冷设备安装、电气自控系统、温控、湿度控制等系统等复杂的机电设施。随着全球食品产业的不断壮大，社会对食品安全保障的要求日益严苛，食品冷链工程的重要性愈加显著。施工环境的复杂性和潜在安全风险的不容忽视，一旦这些风险未能得到有效管理，可能会引发严重的安全事故，不仅威胁到施工人员的生命安全，还可能导致设备故障，影响食品质量及公众健康。尽管如此，目前在食品冷链机电安装工程的施工管理中，安全管理体系仍显不足，存在着施工现场安全技术措施不完善、施工人员安全意识淡薄及操作规程不规范等问题。这些问题在一定程度上增加了事故发生的概率，延误了工程进度，降低了工程质量，甚至可能对工程的可持续性和食品安全构成潜在威胁。因此，如何在施工过程中加强安全管理、优化现有安全技术措施、减少事故发生并提升施工质量，已成为亟待解决的关键问题。通过对食品冷链机电安装工程现有安全管理状况的分析，本研究旨在识别施工过程中存在的主要安全风险，并提出相应的优化策略，力求为提升该类工程的安全管理水平提供理论依据与实践指导。

1 食品冷链工程的特点与要求

食品冷链工程作为一类特殊类型的工程项目，其核心特征在于集成了制冷设备与低温控制系统，用以保障食品在生产、储存、运输及销售各环节中的品质与安全。相较于一般工程，该类项目在实施过程中具有机电系统集成度高、信息化与智能化水平高、卫生与安全标准严、建设及运营成本相对较高等特点。其要求主要体现在以下几个方面：温度控制的精确性与稳定性至关重要，适宜的温度范围需根据不同食品（如生鲜、冷冻食品、乳制品等）设定，以防温度波动导致食品品质劣变。冷链系统的稳定性与运行效率，直接受到机电安装质量的影响，涉及冷库制冷设

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

备、保温系统、通风系统、电气控制系统等多个环节，因此对施工规范与安全管理的要求非常严格。食品冷链工程的建设，必须高度依赖信息化管理，通过温湿度监控、远程控制和智能预警等技术手段，实现全程可追溯，确保食品在整个运输与存储过程中始终处于安全状态。此外，工程建设需要严格遵守食品安全法规与行业标准，确保设施的卫生条件符合要求，避免交叉污染与二次污染。鉴于食品冷链系统的较高运营成本，设计还需兼顾节能减排，采用高效制冷技术与节能设备，以期降低长期运营成本，从而提升经济效益。

2 食品冷链机电安装施工安全管理现状分析

2.1 施工安全管理体系概述

施工安全管理体系是确保食品冷链机电安装工程安全与顺利进行的核心保障，其关键在于构建完善的管理制度、标准化的操作流程及高效的监督机制。食品冷链机电安装涉及多个复杂环节，因此必须建立一个系统化的安全管理体系。目前，食品冷链机电安装的施工安全管理体系，主要涵盖组织管理、安全技术措施、人员安全培训、安全检查与监督以及事故应急处理等方面。在组织管理层面，要求设置健全的安全管理机构，明确施工单位、项目管理人员及安全责任人的具体职责，以确保安全责任落实到每一位相关人员。施工现场，必须制定详细的安全技术措施，这些措施应涵盖风险评估、隐患排查、个人防护装备使用及安全交底等内容，旨在有效降低施工中的安全风险[1]。施工人员的安全培训，是保障安全的重要环节，因此需要定期进行安全知识培训与技术交底，以提升作业人员的安全意识与应对突发事件的能力。施工过程中，现场的安全检查与动态监控也应加强，利用信息化技术对施工环境及设备运行状态进行实时监测，并严格遵循安全管理规范进行操作。最后，施工安全管理体系应包括科学的事故应急处理机制，确保在发生安全事故时能迅速做出响应，妥善处理，最大限度地减少人员伤害及财产损失。

2.2 食品冷链机电安装施工的主要安全风险

食品冷链机电安装施工涉及多个专业领域，如制冷设备、电气工程以及通风与保温系统等。由于施工环境复杂，安全风险较高，存在多种潜在的安全隐患。高空作业，是其中一项显著的风险，冷链机电设备的管道、风道及电缆的敷设，通常需要在高处进行。施工人员若在脚手架、吊篮或高处平台上作业，未采取必要的防护措施（如安全绳、安全网、防滑设施等），则可能导致高空坠落事故。此外，机电设备安装过程中的机械伤害风险，也不容忽视。特别是在起重吊装阶段，设备、钢结构部件、制冷压缩机等重量较大，若操作不当或吊装设备出现故障，物体坠落、挤压或撞击的情况，可能会发生。电气施工同样存在较大的触电风险，食品冷链系统涉及大量电气控制设备，如变频器、控制柜、传感器等。如果电路布设不规范、接线错误，或未按操作规程断电，触电事故可能会引发，甚至导致火灾。低温环境施工带来的特殊安全问题，亦需关注。冷库等设施内的低温，可能导致施工人员出现冻伤、感冒等健康问题，甚至影响操作的精确度与安全性。制冷剂泄漏，也是食品冷链机电安装过程中的一个关键安全隐患。常见的制冷剂如氨、氟利昂等，一旦管道密封不严或施工过程中发生泄漏，可能会引发中毒、爆炸或环境污染[2]。施工现场管理不到位，也是加剧安全风险的一个因素。如果施工人员安全意识不强、缺乏充分的安全防护措施，现场环境混乱、应急预案不健全等，都将大大增加事故的发生概率。

3 食品冷链机电安装工程施工安全管理优化策略

3.1 施工安全管理体系优化

优化施工安全管理体系，是提升食品冷链机电安装工程施工安全性、降低安全事故发生率的关键措施。为了实现这一目标，必须建立健全的安全管理组织架构，明确各级管理人员及施工人员的安全责任，落实安全责任追究制，确保安全管理贯穿于整个施工过程。在安全管理制度方面，需制定科学、合理的操作规程，这些规程应涵盖高空作业、电气安装、机械设备吊装、低温环境施工等关键环节。同时，安全交底制度必须严格执行，确保每一位施工人员都能了解工作风险及相应的防范措施。此外，施工现场应采用精细化管理方式，借助现代信息管理技术，如BIM技术与智能监测系统，对现场进行实时监控。这不仅有助于提高安全预警能力，还能及时发现潜在的安全隐患并进行排除。施工人员的安全培训与考核，亦为不可忽视的环节。通过定期组织安全知识培训、事故案例分析与应急演练等方式，可以提升作业人员的安全意识及应急处理能力。对于高风险作业区域，必须设置明显的安全警示标志，并配备完备的安全防护设施，如防护栏、安全绳、防滑垫等，以减少事故发生的几率。与此同时，优化的安全管理体系，还需要加强监督与考核机制，建立安全检查与巡查制度，定期对施工现场进行安全评估，确保各项安全管理措施得以落实。对于违章行为，严厉的处罚措施应当被采取，以此营造良好的安全管理氛围。最后，施工安全管理体系的优化还应包括完善的应急响应机制。根据不同类型的安全事故，应制定应急预案，并定期进行演练，以确保施工人员具备应对突发事件的能力，使得一旦发生意外，能够迅速作出反应并妥善处置，最大限度地减少损失。

3.2 施工安全技术措施改进

施工安全技术措施的改进，是确保食品冷链机电安装工程施工安全并有效降低安全风险的关键所在。在高空作业时，应采用先进的作业平台及安全防护设备，如可调节安全绳、防坠落系统与移动式脚手架，以确保高处作业人员在操作过程中，能够在稳定且安全的环境中工作，从而

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

大大减少坠落事故的发生。此外，动火作业的管理，作为施工现场安全控制的重要内容之一，尤为关键。食品冷链工程中，管道焊接与设备安装等易产生明火的作业环节，必须严格执行动火审批制度，明确规定作业区域、时间安排及作业人员，配备专用灭火器材与监护人员，同时加强对施工人员的动火安全培训及技术交底。此外，高空作业审批制度必须严格执行，作业人员应佩戴全套防护装备，并配备专门的安全监护人员进行实时监督。在机械吊装作业中，吊装方案需进行优化，起重设备应合理选择，确保吊装负荷在安全范围内，同时，结合自动化吊装监测系统，对起重机的受力情况与吊索状态进行实时监控，从而有效预防吊装事故的发生。电气安装过程中，临时用电的管理应加强，严格执行“三级配电、两级保护”制度。所有电气设备安装前，必须进行严格的绝缘测试与安全检查，同时，智能断路保护装置应当使用，避免漏电及短路事故的发生。对于冷库等低温环境施工，施工人员的防护措施必须得到改善，如提供防寒服、保温手套等，并合理安排施工时间，防止长时间在低温环境下作业导致冻伤或影响施工进度[3]。在制冷剂管道施工过程中，高精度的泄漏检测仪应当被采用，对管道接口的密封性进行测试，确保制冷剂不发生泄漏。此外，详细的应急处理预案也应当制定，以应对突发的泄漏事故。为进一步提升安全管理水平，信息化施工安全管理技术应被推广，远程监控系统、智能安全帽、环境传感器等应安装，从而实现对施工现场的实时监控。这些技术手段，能够提高安全管理的精准性，增强响应速度，确保施工过程中的各项安全措施得以及时落实。

3.3 施工人员安全培训与管理

施工人员的安全培训与管理，是确保食品冷链机电安装工程施工安全、减少事故发生的关键。为此，完善的安全培训体系必须建立，确保所有人员在施工前进行岗前安全培训，使其充分了解施工过程中的潜在风险、必要的防护措施及应急处理方法。培训内容应涵盖高空作业、动火作业、电气安全、机械设备操作、低温环境防护以及制冷剂泄漏应急处理等方面，结合实际案例进行分析，从而增强施工人员的安全意识和事故预防能力。根据不同工种和岗位的要求，专项培训计划应当制定，确保技术工人熟练掌握操作规程，管理人员具备安全监督能力，特殊工种如电工、焊工、起重机操作员等必须持证上岗，严禁无证人员从事高风险工作。此外，安全演练的定期组织，是提升施工现场应急处置能力的关键手段。通过火灾、触电、坠落、设备故障等突发事件的模拟，施工人员能够掌握应急处理流程，且熟悉现场安全设备的操作方法。当实际事故发生时，这些技能将确保人员能迅速作出正确反应，从而减少损失。此外，通过定期演练，不仅能提高个人的应急反应能力，也能加强团队间的协作，使得在紧急情况下，各成员能够有效配合，从而提升整体应急响应的效率和安全意识。增加应急演练环节，能够显著提高施工团队的安全管理水平，并有效降低事故发生的风险。为进一步强化安全管理，动态考核机制建议建立，定期进行安全知识考试与技能评估，考核结果应与绩效考核挂钩，从而促使施工人员自觉提升安全意识与操作技能。同时，安全责任制应当推行，明确各层级人员的安全职责，落实安全目标责任管理，对于在施工过程中违反安全规定的行为，必须严格处理，并通过安全奖惩机制鼓励表现突出的人员。在现场管理方面，专门的安全监督员应当被指派进行巡查，实时监督施工人员的安全操作。同时，现代信息化管理工具，如智能安全帽、电子考勤系统、安全培训管理平台等，应当利用，从而提高安全管理的智能化水平，确保施工过程中的安全措施得以有效执行。

3.4 施工安全智能监测与信息化管理

施工安全智能监测与信息化管理，是提升食品冷链机电安装工程安全管理水平、有效减少安全事故发生的关键手段。为此，智能监测系统需部署，借助环境传感器、视频监控设备、智能安全帽等设备，施工现场得以实时监控，从而确保施工人员按照安全标准操作。例如，温湿度传感器能够实时监测冷库及施工区域的环境状况，避免低温对施工人员健康造成影响；气体检测仪则能够监测制冷剂泄漏，确保施工环境的安全无虞。此外，智能穿戴设备，如带定位功能的安全帽和智能手环，也能实时跟踪施工人员的健康状态和工作位置。一旦出现人员跌倒或长时间静止等异常情况，系统会自动报警，便于管理人员迅速做出响应。在施工机械设备方面，通过物联网技术，远程监控可实现，实时获取设备的运行状态、载荷情况等数据，从而防止因设备超负荷运行或故障导致的安全事故。在施工安全管理中，BIM（建筑信息模型）技术同样发挥着重要作用。通过对施工过程中的安全风险进行数字化仿真和预警，潜在安全隐患得以在项目开始前识别，从而优化施工方案，减少现场安全风险[4]。信息化管理方面，全面的施工安全管理平台应当建立，集中管理施工安全相关的信息，如人员安全培训记录、设备巡检报告、安全隐患排查等内容，并通过大数据分析技术，潜在风险点能被预测，提前制定应对措施。此外，电子化安全交底和远程安全培训的推广，使施工人员能够随时获取并更新安全知识，从而进一步提高他们的安全意识。对于高风险区域，电子围栏技术可用于智能化管理，未经授权的人员进入这些区域时，系统将自动触发预警，并通知管理人员采取必要的措施。通过这一系列信息化手段，施工安全得到有效保障，整体安全管理水平极大地提升。

4 结语

食品冷链机电安装工程在确保食品安全与质量方面，起着至关重要的作用。通过本研究，若干问题在当前施工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

安全管理体系中被发现，如管理结构不完善、安全措施不到位，以及施工人员安全意识薄弱等。这些问题亟需加以解决。为提升施工过程中的安全性，本文提出了多项优化策略，主要包括健全安全管理体系、加强安全技术措施、强化人员培训，以及引入智能化监测手段。通过实施这些措施，安全风险将有效降低，工程的顺利推进得以确保。展望未来，随着技术的不断进步与管理方法的持续改进，食品冷链机电安装工程的安全管理有望实现更加智能化与系统化，从而为食品冷链行业的可持续发展提供更加坚实的保障。

[参考文献]

[1]陆静媚,韦小慧.物联网技术在食品冷链物流管理中的应用探讨[J].中国物流与采购,2022(7):76-77.
[2]张运国,赵程.食品抽检冷链运输信息化研究[J].食品安全导刊,2021(33):190-192.
[3]白二龙.基于物联网的食品冷链信息检测系统研究[D].浙江:浙江大学,2017.
[4]高靖萱,杨文惠,张路平,等.双温区调控的食品冷链自清洁物流箱设计[J].黑龙江科学,2022,13(6):5-9.

作者简介：杨博（1988.10—），男，工程师，籍贯：陕西。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

某型充气救生筏承载能力仿真计算分析

安傲坤　周 昊　代绍晓
航宇救生装备有限公司，湖北 襄阳 441003

[摘要]充气救生筏作为海上落水人员的救生装备,能够为海上落水人员提供救生场所，并保障落水人员生命安全。文章对某型充气救生筏进行了简要介绍，采用有限元仿真技术对其进行承载能力仿真计算，验证该型充气救生筏的承载能力，加快了正向设计过程，缩短了项目周期，节约了试验经费，为同类产品设计提供了借鉴。

[关键词]充气救生筏；承载能力；正向设计
DOI：10.33142/ec.v8i4.16303　　中图分类号：U667.6　　文献标识码：A

Simulation Calculation and Analysis of the Bearing Capacity of a Certain Type of Inflatable Life Raft

AN Aokun, ZHOU Hao, DAI Shaoxiao
Aerospace Life Saving Equipment Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441003, China

Abstract: Inflatable life rafts, as life-saving equipment for drowning people at sea, can provide a place for them to live and ensure their safety. The article provides a brief introduction to a certain type of inflatable life raft, and uses finite element simulation technology to simulate and calculate its load-bearing capacity, verifying the load-bearing capacity of the inflatable life raft, accelerating the forward design process, shortening the project cycle, saving testing costs, and providing reference for the design of similar products.

Keywords: inflatable life raft; carrying capacity; forward design

1 概述

随着全球海洋事业的发展和国家海洋战略的不断深化，海洋科学勘探、维权反恐等活动和任务越来越频繁，加之各种海上军事活动也不断增多，空中和海上力量的有效作用范围已大幅扩展，海情和作战环境更加恶劣。随之而来的各种海难事故也频频发生，造成巨大的人员伤亡和财产损失，如舰船碰撞或搁浅、空难飞机迫降等。面对各种突发的海上灾难事件，亟需高效、可靠的海上救援产品，确保在不同海况及海域，对落水人员实施有效救治。

海空救援（air-sea rescue，ASR）是将海上与空中救援力量相结合，发挥二者优点与特长，对海难事故进行应急响应，及时救助因突发事件落水或伤者；当前我国的海上搜救搜救区域以近海、浅海为主，只能满足我国领海内范围的搜救需求，难以在短时间内实施及时有效的更大距离搜救。人员在海上遇险后，将面临低温、高海况等诸多复杂海洋环境，仅仅依靠遇险人员自带的救生装置无法维持长时间生存。某型充气救生筏作为远海遇险人员的救生装备，直升机或运输机将充气救生筏投送至待救海域后，待其充气成型后，落水人员登上充气筏后在复杂海况环境下可进行长时间的漂浮并等待救援，保障落水人员生命安全。

2 产品介绍

某型充气救生筏主浮筒结构如图 1 所示，该充气救生筏为正八边形立体结构，顶部与底部设计为对称结构，中间增加两层支撑浮筒；为了增强充气救生筏的整体刚度，顶部与底部的正八边形内设计有十字支撑浮筒，中间部分通过立柱相连，形成顶部与底部中间的支撑；四周空间开口为登筏口，方便落水人员进出，但开口后该处主浮筒成为整个充气救生筏的承载的薄弱环节，是设计中为了满足产品需求不得已的妥协。

该充气救生筏采用通用聚氨酯柔性材料，不充气时可以折叠起来，放入包装袋中，利于存放和节约空间；充气成型后，主浮筒、支撑浮筒等内部具有一定的压力，柔性结构具有承载能力，特别是在水上，还可以提供很大的浮力。

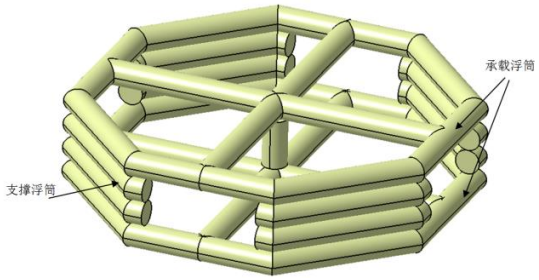

图 1　主浮筒结构示意图

3 某型充气救生筏承载能力评估

某型充气救生筏承载能力设计成 5t，采用柔性材料设计成多边形密闭可充气囊类结构，通过充气到一定囊压提供充气救生筏刚度满足设计承载能力；该型充气救生筏承载能力评估有三种方法，一是通过理论计算，通过推导

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

理论公式，根据该型充气救生筏尺寸，所采用的材料性能参数、充气的囊压来确定其承载能力；二是通过有限元仿真，建立该型充气救生筏有限元模型，通过承载设计能力一样的重物进行流固耦合动态仿真计算，确定其承载能力；三是通过试验验证，做多个试验件（每个尺寸都做成试验件），通过试验迭代验证。显然通过大量的试验验证不仅需要人力、物力、试验条件，还需要时间周期，显然是不可取；由于某型充气救生筏为柔性囊类充气成型、四层叠加的结构，理论假设比较多且结构复杂，理论公式很难推导，最后确定通过有限元流固耦合动态仿真计算确定其承载能力。

3.1 仿真方法

该型充气救生筏载重物在水上漂浮是典型的流固耦合问题，流体和固体介质之间相互作用，一方面固体在流体作用下会产生变形或运动，而固体的变形或运动又会影响流场的流动。随着计算机科学和数值技术的快速发展，用于流固耦合的数值方法也日渐成熟，目前已经发展了多种方法，主要有边界元法、有限元法、无网格粒子法及有限体积法[1]。

其中，任意拉格朗日-欧拉耦合方法（ALE）兼具 Lagrange 方法和 Euler 方法二者的特长，采用 Lagrange 方法处理结构边界运动，能够有效地跟踪物质结构边界的运动，同时，吸收了 Euler 的长处，使内部网格单元独立于物质实体的存在，网格可以根据定义的参数在求解过程中适当调整位置，使得网格不致出现严重的畸变。对于充气救生筏载重物漂浮和结构在重物下变形问题，ALE 方法在模拟液面溅和水面大波动、弹性体的流固耦合以及空气垫等方面等具有较好的优势[2]。

充气救生筏是可以看作充气气囊，主要有 CV 法和 ALE 方法，其中 ALE 方法主要在预测气囊展开及气体喷射部分表现较好，但需要较为精细的欧拉网格，且占用计算资源较多。本文重点关注充气救生筏展开后的承载能力，对其展开及气体喷射部分需求较低，故使用 CV 方法，即将气囊看作一个理想气体均匀压力模型，假设气囊内部压力符合理想气体状态方程，即气囊内部气体压力处处相等，假设其为绝热过程。

3.2 仿真分析流程

计算流程如下：

a）几何结构：由结构设计人员提供充气救生筏的三维几何模型；

b）计算方法的确定：由强度分析人员对三维几何模型进行分析研究，确定模型简化原则及分析思路；

c）网格划分：将三维几何模型导入到 Hypermesh 软件中进行网格划分；

d)参数设置：将网格模型导入到 LS-PrePost 软件中，进行边界条件、初始条件等设置，并导出 k 文件；

e）工况与载荷的确定：根据工作条件及计算任务书的要求，确定工况及载荷；

f）提交求解：将 k 文件提交至 LS-Dyna 求解器，进行求解；

g）后处理:输出结果。

3.3 单位制

为保证模型的适用性、计算结果的准确性以及载荷的施加，有限元模型采用统一单位制，具体见表 1。

表 1 单位制

名称	长度	弹性模量	力	应力
单位	米	帕	牛	帕
符号	m	Pa	N	Pa

3.4 坐标系

坐标系选用右手直角坐标系，以水平向左的方向为 Y 轴正向，水平向右为 X 轴为竖直向上，Z 轴符合右手定则，具体见图 1 所示。

3.5 有限元模型建立

在建模中遵循以下原则：

a）保证主结构的质量特性不发生变化；

b）各部件的运动特性不发生变化；

c）各连接件之间的连接方式不发生变化；

d）保证各部件的质量转动惯量与实际一致。

根据上述建模原则采用 HyperMesh 软件分别建立网格模型如图 2～图 6 所示。其中充气救生筏浮筒连接部分的单元类型选用壳单元，定义为薄膜截面属性，网格大小为 70mm，共 41156 个单元；浮筒与浮筒连接以及连接部分与浮筒连接均采用共节点模拟；重物采用刚体模拟，划分成六面体单元，网格尺寸为 50mm，共 32000 个单元，并设定充气救生筏承载能力四分之一的重量。

流体域分为空气域和水域，空气域的范围为 2.5m×16m×16m，水域的范围为 5m×16m×16m。充气救生筏初始时刻均在水面上，其最低点距离水面的距离为 20mm，水和空气域采用欧拉网格，三维六面体单元模拟，为了减少计算量，耦合区域采用局部加密控制，非耦合区域采用渐变式网格控制，与耦合区相接部分网格与耦合去网格尺寸一致，越往外部区域网格尺寸越大。网格处理好后通过 HyperMesh 和 LS-Dyna 的接口，导出 K 文件，在将该文件导入到 LS-PrePost 软件进行材料参数赋值和单元类型的设定，以及初始条件和边界条件设置。

为了便于评估充气救生筏的承载能力，输出充气救生筏的流固耦合力。

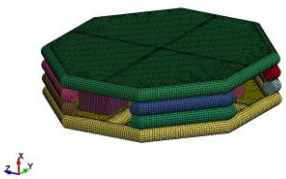

图 2 充气救生筏有限元模型

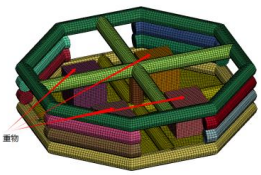

图 3 重物在浮筒位置

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

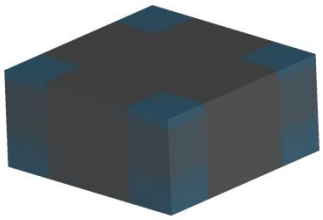

图 4　流体域有限元模型图

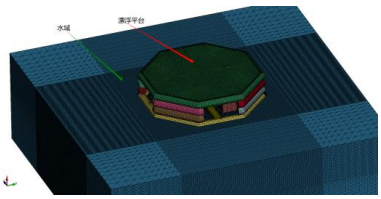

图 5　水域与充气救生筏有限元模型图

3.6 边界条件及求解设置

流体域由水和空气组成，采用空材料模型，水和空气均为欧拉网格。因为流体的区域有限，为了减小误差，对空气和水域施加无反射约束。欧拉域的压力梯度由重力产生，通过定义水域的重力加速度的方式，从而可以考虑不同深度下水压对充气救生筏体的作用。LS-DYNA 软件中可以通过关键字*DEFINE_CURVE 定义重力加速度曲线，从初始时刻零时刻定义重力加速度值，结束时刻定义大于求解时间或一个很大的值，同时对应重力加速度值，再通过*LOAD_BODY_Z 来定义加速度的方向和加速度曲线的编号，作用在整个模型区域。

流体单元使用多物质 SALE 算法，即允许流体区域有多种物质共存。结构与水体的流固耦合作用通过定义接触来模拟。

设置充气救生筏浮筒与重物、连接布与重物的接触为自动接触。

3.7 气囊设置

采用均压法对气囊进行模拟，气囊单元类型为膜单元。通过气囊专用结果输出的关键字*DATABASE_ABSTAT 来得到充气救生筏气囊在水面上流固耦合作用过程中的内压和体积的变化历程等数据。

气囊模型采用 LS-DYNA 软件控制体积法的中的 SIMPLE_AIRBAG 模型，关键字为*AIRBAG_SIMPLE_AIRBAG_MODEL，可以通过该关键字定义充气救生筏气囊所处环境的初始压力、环境密度和初始气囊内压。初始环境压力和气囊内压均设置为 1 个大气压，即 1e5Pa。由于充气救生筏气囊是采用弹性体，用充气展开后的外形模型，未模拟载荷过程，初始时刻内外压差不一致时，会有一个外形稳定的过程，为了避免气囊初始内外压差带来的不稳定变形对整体着水计算的影响，采用先对气囊进行充气，充气时间设定为 10ms，充气速率为 0.064kg/ms，达到额定内压 114KPa（绝压）时，再进行承载能力仿真计算。

3.8 水体和空气材料设置

水体和空气材料采用空材料，压力采用状态方程进行定义，对于实体单元，可以采用空材料类型来调用状态方程来避免偏应力的计算，并通过一个截断压力值来定义压力的更小边界值，对于水体和空气的低速问题，常用的状态方程有线性多项式和 Gruneisen 状态方程，空气的 Polynomial 状态方程参数见表 2 和水体的 Gruneisen 状态方程参数见表 3[3]。

表 2　空气的 Polynomial 状态方程参数

	ρ_0（kg/m^3）	C_0	C_1（GPa）	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
空气	1.18	0	0	0	0	0.4	0.4	0

表 3　水体的 Gruneisen 状态方程参数

	ρ_0（kg/m^3）	c（m/s）	S_1	S_2	S_3	γ_0
水	1000	1467	1.92	-0.0960	0	0.35

3.9 计算工况

根据承载能力要求，充气救生筏静水下承载极限为载重 5 吨，浮筒工作内部压力为 14KPa。

3.10 仿真计算结果

利用 LS-Dyna 求解器进行流固耦合仿真，仿真动画如图 6 所示，局部放大图如图 7 所示，充气救生筏的承载能力，即充气救生筏的流固耦合力与时间的曲线如图 8 所示。通过动画可以看出充气救生筏受载后底部囊布向下变形，囊布带动承载浮筒发生变形，与十字连接部分浮筒在载荷作用下发生局部褶皱，但充气救生筏没有发生塌陷，仍具有承载能力；通过充气救生筏流固耦合力与时间的曲线关系可以看出，重物释放后，重物在重力作用下向下运动，冲击救生筏与重物接触部分受载提供反力，当重物向下运动速度为零时，充气救生筏与水域流固耦合力最大，大于重物的重量，该时刻系统并未平衡，充气救生筏弹性系统会有回弹，回弹时重物速度再回到零后，再下落行程振动过程，在阻力作用下系统逐步达到平衡稳定，稳定时力值为：51700N，即充气救生筏的承载能力，如果再增加重量，局部会有塌陷。

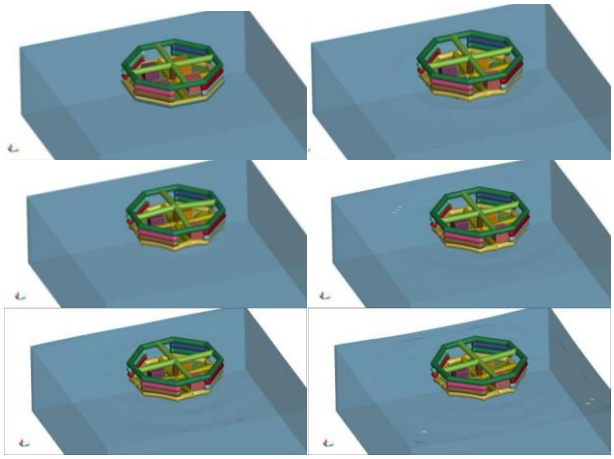

图 6　充气救生筏仿真动画

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

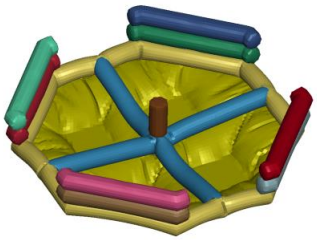

图 7　充气救生筏变形局部放大图

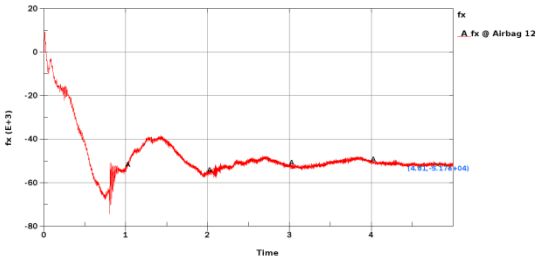

图 8　充气救生筏浮力与时间的关系图

4 结论

通过以上分析，可以得出如下结论：

（1）采用流固耦合仿真充气救生筏的承载能力方法是可行的，且时间周期短、节约经费；

（2）该型充气救生筏的承载能力为 51700N；

（3）该型充气救生筏在载重 5 吨时而不垮塌。

[参考文献]

[1]刘沛清,屈秋林,郭保东,等.数值计算技术在航空器水上迫降中的应用[C].第七届:全国流体力学学术会议论文摘要集,2012.

[2]王学.基于 ALE 方法求解流固耦合问题[D].安徽:国防科学技术大学,2006.

[3]佚名.柔性气囊直升机着水载荷数值分析研究及试验验证[D].中国:中国航空研究院,2019.

作者简介：安傲坤（1986—），男，航宇救生装备有限公司,高级工程师,主要从事强度设计、仿真研究;周昊(1986—)，男，航宇救生装备有限公司，高级工程师，主要从事强度设计、仿真研究；代绍晓（1987—），男，航宇救生装备有限公司，高级工程师，主要从事救生产品设计。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电气工程及其自动化技术的智能化应用探究

杜胜飞
中核第四研究设计工程有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]电气工程及其自动化技术的智能化升级，通过人工智能算法、数据闭环与多技术融合重构工业控制范式。深度学习与强化学习驱动的动态优化算法将冶金连铸连轧控制误差压缩至±0.02mm，能耗降低 18%；物联网与数字孪生技术实现多源异构数据标准化治理，冗余数据剔除率超 90%，故障诊断缩短至分钟级；边缘计算与低代码平台推动系统便捷性变革，非专业工程师参与度提升 70%，设备接入周期压缩至 4 小时。应用层面，智能电网分布式调度效率提升 28%，配电管理微电网协同成本降低 24%，工业机器人焊接合格率达 99.3%。然而，核心算法自主化不足、跨平台兼容性差制约技术深化。未来需突破小样本学习、联邦学习安全认证等关键技术，推动电气工程自动化向全系统自主跃迁，支撑新型工业化与“双碳”目标。
[关键词]电气工程；自动化技术；智能化；应用
DOI：10.33142/ec.v8i4.16298　　中图分类号：U46　　文献标识码：A

Exploration on Intelligent Application of Electrical Engineering and Its Automation Technology

DU Shengfei
The Fourth Research and Design Engineering Corporation of CNNC, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The intelligent upgrade of electrical engineering and its automation technology reconstructs the industrial control paradigm through artificial intelligence algorithms, data closed-loop, and multi technology integration. The dynamic optimization algorithm driven by deep learning and reinforcement learning compresses the control error of metallurgical continuous casting and rolling to ±0.02mm, reducing energy consumption by 18%; The Internet of Things and digital twin technology achieve standardized governance of multi-source heterogeneous data, with a redundant data removal rate of over 90% and fault diagnosis reduced to minutes; Edge computing and low code platform promote the reform of system convenience. The participation of non professional engineers has increased by 70%, and the equipment access cycle has been compressed to 4 hours. At the application level, the distributed scheduling efficiency of smart grids has been improved by 28%, the collaborative cost of distribution management microgrids has been reduced by 24%, and the qualification rate of industrial robot welding has reached 99.3%. However, insufficient autonomy of core algorithms and poor cross platform compatibility hinder the deepening of technology. In the future, it is necessary to break through key technologies such as small sample learning and federated learning safety certification, promote the autonomous transition of electrical engineering automation to the whole system, and support the new industrialization and "dual carbon" goals.
Keywords: electrical engineering; automation technology; intelligentization; application

引言

电气工程及其自动化技术是现代工业体系的核心支柱，其发展水平直接决定能源效率与工业智能化程度。面对全球能源转型与“双碳”目标的双重压力，传统技术面临两大瓶颈：一是新能源高比例接入导致电网波动性加剧，传统控制方法难以应对非线性耦合工况；二是工业装备自动化效率滞后，冶金、化工等行业因控制精度不足年均损失超 1.2 亿吨标煤。据工信部统计，我国核心工业控制算法自主化率不足 30%，高端装备依赖进口。在此背景下，智能化技术（人工智能、数字孪生、边缘计算）通过构建“感知-决策-执行”闭环系统，实现控制精度毫秒级提升与全流程能效动态优化。聚焦智能化技术的创新应用，揭示其技术逻辑与实践价值，为突破行业瓶颈、推动绿色工业化提供理论支撑。

1 电气工程及其自动化技术概述

电气工程及其自动化技术是现代工业体系的核心，通过多学科交叉（电工电子、计算机、控制理论等）构建“硬件-软件协同”“感知-决策-执行”一体化系统。其技术特征体现在三个维度：系统架构的集成性（元器件到系统级的全链条整合）、控制逻辑的智能化（模糊控制、神经网络算法驱动的非线性优化）、数据流的闭环性（实时采集与反馈驱动的动态响应）。当前，我国在该领域已取得显著进展：国产 PLC 控制器国产化率超 60%，智能配电系统覆盖 78%特高压电网，工业机器人密度较十年前增长 5 倍。然而，与欧美相比仍存在核心短板，高端算法（如数字孪生建模）自主化率不足 30%，传统控制系统在复杂工况下响应延迟、能效损失突出，导致冶金等行业产品合格率较国际水平低 3%～5%。突破方向在于深度融合智能化技术：通过边缘计算节点部署与数字孪生模型构建，实现毫秒级控制精度与全流程能效优化，为高精度工业场景（如冶金连铸连轧）提供技术支撑。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 智能化技术在电气工程自动化中应用的优势

2.1 提升模型控制的精确性

智能化技术通过融合先进算法与实时数据反馈，显著提升了电气工程自动化系统的模型控制精度。传统控制方法（如 PID 控制）在面对非线性、强耦合系统时，常因参数固定导致响应滞后或超调，而基于人工智能的动态建模技术可实时调整控制策略。例如，深度学习算法通过构建多层神经网络，能够从海量历史数据中提取设备运行的非线性特征，生成自适应控制模型，在变频器调速、电机转矩补偿等场景中，将控制误差从传统方法的±5%压缩至±1.5%以下。以冶金行业连铸连轧过程为例，模糊控制与强化学习的结合可实时补偿温度波动、材料形变等扰动因素，动态优化轧制速度与压力参数，使板材厚度公差由±0.1mm 提升至±0.03mm，产品合格率提高 3.2%。此外，数字孪生技术的引入构建了虚拟-实体联动的闭环控制系统，通过实时同步物理设备与虚拟模型的状态数据，可在毫秒级时间内完成控制参数迭代，例如在智能电网的分布式电源调度中，模型预测控制（MPC）结合边缘计算，将光伏出力波动对电网频率的影响降低 68%，实现多能流协同控制的毫秒级响应。这一技术突破不仅解决了传统控制模型在复杂工况下的泛化能力不足问题，更为高精度工业装备（如半导体制造中的光刻机、化工反应釜）提供了可靠的技术支撑。

2.2 实现数据统一规范管理

智能化技术通过构建多源异构数据的标准化采集、传输与治理框架，为电气工程自动化系统提供了高一致性的数据底座。在传统模式下，设备厂商数据格式差异、通信协议碎片化（如 Modbus、OPC UA、Profinet 并存）导致数据孤岛问题突出，信息孤岛率可达 40%以上，严重制约系统协同效率。通过引入物联网中间件与数据湖技术，可对传感器数据（振动、温度、电流）、设备状态数据（PLC 日志、故障代码）及业务数据（生产计划、能耗指标）进行统一编码与语义映射，例如采用 IEC 61850 标准实现变电站二次设备的数据模型标准化，使数据解析兼容性提升 65%。基于大数据平台的实时清洗与特征工程，可消除冗余数据（如冗余传感器噪声信号剔除率＞90%），并通过数据血缘分析追溯异常根源，将故障诊断时间从小时级缩短至分钟级。在冶金行业连铸连轧场景中，通过构建跨设备数据联邦，统一轧机、冷却系统、质量检测设备的数据接口规范，使工艺参数调优周期缩短 40%，能耗动态优化精度提高至±2%以内。此外，区块链技术的引入保障了数据流转的可信性，例如在电力现货市场交易中，通过智能合约自动校验发电侧与负荷侧数据一致性，使交易纠纷率下降 72%。这一技术体系不仅解决了数据“散、乱、差”的行业痼疾，更为人工智能模型的泛化能力提升提供了高质量数据燃料，推动电气工程自动化从“经验驱动”向“数据驱动”跨越。

2.3 增强系统便捷性

智能化技术通过重构人机交互与系统架构，显著降低操作复杂度与维护成本。传统控制系统依赖复杂编程界面与协议栈（如 Modbus TCP/IP、OPC UA），故障排查耗时超 4 小时，而云计算与边缘计算的协同架构将核心控制逻辑封装为可视化拖拽模块，非专业工程师可通过低代码平台完成产线参数优化，设备接入周期从 72 小时缩短至 4 小时。移动端集成 WebGL 3D 可视化监控系统后，运维人员可跨平台实时调取设备三维模型与热力图，并接收智能告警，以某冶金厂连铸机为例，远程运维上线后故障响应时间从 2.5 小时压缩至 15 分钟，年维护成本降 37%。自然语言处理（NLP）技术进一步实现“对话式运维”，支持语音指令查询数据与触发预案，操作效率提升 52%。云端协同与自动化报告生成（能耗日报准确率 98%）推动系统从“工具依赖”向“直觉交互”演进，为行业提供低门槛、高人性化的技术接口。

3 智能化技术在电气工程中的应用场景

3.1 智能电网的优化与控制

智能电网的优化与控制通过融合多目标算法与实时动态响应机制，实现了电力系统从“单向输配”向“双向协同”的范式升级。在分布式能源高渗透场景下，基于强化学习的动态调度算法可实时平衡风电、光伏等间歇性电源的波动性，例如在风电场并网中，通过构建多时间尺度滚动优化模型，将光伏出力预测误差从传统方法的 12%压缩至 4%以内，显著降低弃风率。针对电网阻塞问题，数字孪生技术构建了秒级仿真的虚拟电网，在某省级电网中部署后，线路负载均衡度提升 28%，电压越限风险下降 65%。在故障自愈领域，基于边缘计算的广域保护系统可实现毫秒级故障定位与隔离，例如在 220kV 智能变电站中，故障恢复时间从传统人工操作的 30 分钟缩短至 3 秒，供电可靠性达到 99.999%[1]。此外，需求响应技术通过区块链赋能的分布式合约，实现用户侧负荷的智能调节，在长三角某工业园区，基于价格信号的柔性负荷调控使尖峰负荷削减 19%，综合用能成本降低 12%。这些技术突破不仅解决了高比例新能源接入导致的电网脆弱性问题，更通过“源-网-荷-储”全环节的智能协同，为构建零碳电力系统提供了关键支撑。

3.2 智能配电与能源管理

智能配电与能源管理通过融合多能流协同优化与动态资源调度技术，重构了传统能源系统的运行范式。基于人工智能的负荷预测算法可整合气象数据、历史用电曲线及用户行为特征，例如在工业园区中，通过 LSTM 神经网络实现分钟级负荷预测，误差率低于 2%，使变压器负载率动态优化至 85%的安全阈值内。针对分布式能源（光伏、储能、充电桩）的间歇性接入问题，数字孪生技术构建了秒级仿真的虚拟配电网络，在某商业综合体中部署后，光伏自发自用率从 58%提升至 82%，削峰填谷收益增长 37%。在微电网群协同控制方面，基于区块链的分布式能源交易平台实现了毫秒级市场响应，例如在长三角某生态园区，10 个微电网通过智能合约自动匹配供需，绿电交易成本

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

降低 24%，碳足迹追踪精度达 99.6%。此外，边缘计算赋能的智能配电终端可实时诊断馈线故障(如接地故障定位误差<50 米)，结合自愈策略将停电时间压缩至秒级，供电可靠性提升至 99.995%。通过多能互补系统（冷/热/电联供）的动态优化，某数据中心实现综合能效（PUE）从 1.5 降至 1.2，年节电量超 120 万千瓦时[2]。这一技术体系不仅解决了能源系统“源-网-荷-储”协同的碎片化难题，更通过“数据驱动+模型驱动”的双轮架构，为新型电力系统下的绿色低碳转型提供了可复制的解决方案。

3.3 电机与驱动系统的智能化升级

电机与驱动系统的智能化升级通过融合模型预测控制（MPC）、数字孪生与边缘计算技术，实现了从“静态参数调节”向“动态性能优化”的跨越式发展。以永磁同步电机（PMSM）为例，基于磁场定向控制（FOC）的矢量控制算法结合实时参数辨识技术，可动态补偿负载突变与温升引起的转矩波动，使调速精度达到±0.5%额定转速，较传统 PID 控制提升 60%。在连铸连轧工艺中，嵌入模型预测控制（MPC）的驱动系统通过秒级滚动优化轧制力与速度曲线，将板材厚度公差由±0.05mm 压缩至±0.02mm，能耗降低 18%[3]。针对风机、泵类负载的宽工况运行需求，基于数字孪生的虚拟调参平台可模拟不同负载率下的最优效率曲线，结合实时数据在线修正 PI 参数，使离心泵系统效率提升 12%-15%，年节电量超 50 万千瓦时。在预测性维护领域，通过边缘计算节点实时采集电机振动、电流谐波与温度信号，结合卷积神经网络（CNN）提取早期故障特征（如轴承剥落、转子偏心），故障预警时间从传统方法的 24 小时缩短至 1 小时以内，诊断准确率达 98.7%。某钢铁厂连铸机驱动系统部署该技术后，计划外停机减少 73%，维护成本下降 41%。此外，基于 5G 的远程运维架构支持多台电机集群的协同优化，例如在海上风电场的变桨距控制中，通过联邦学习实现各风机驱动参数的自适应协调，使发电效率提升 9%，同时规避数据隐私泄露风险。这一技术体系不仅突破了传统电机系统在响应速度与工况适应性上的瓶颈，更通过“感知-决策-执行”闭环的智能化重构，为高精度工业装备（如半导体光刻机、重型冲压机床）提供了高可靠、低能耗的动力支撑。

3.4 工业自动化与机器人控制

工业自动化与机器人控制通过融合强化学习、计算机视觉与边缘智能技术，实现了从“固定程式化操作”向“自适应动态协作”的质变升级。在汽车制造领域，基于数字孪生的焊接机器人系统可实时模拟不同车型的焊缝轨迹，结合力反馈传感器动态修正焊接参数，使焊点合格率从 92%提升至 99.3%，同时单台机器人节拍时间缩短 18%。针对半导体行业的高精度搬运需求，搭载多模态感知系统的 AMR（自主移动机器人）通过 3D 激光雷达与 ToF 相机融合感知，实现了±0.1mm 的物料定位精度，在晶圆厂洁净室场景中，物料搬运效率提升 35%，碰撞风险降低 97%。在复杂产线协同方面，基于 5G+TSN（时间敏感网络）的分布式控制系统，可协调数十台机器人完成动态编队与任务再分配。例如，在航空航天领域，大型部件装配机器人集群通过边缘计算节点实时优化运动规划，将蒙皮对接误差控制在±0.05mm 以内，工时消耗减少 40%。针对非标定制化生产需求，基于强化学习的柔性夹具系统可通过触觉传感器自适应调整抓取姿态，使不同曲面工件的抓取成功率从 78%提升至 96%。此外，人机协作机器人（Cobot）通过 AI 驱动的意图识别算法，可实时解析操作员手势与语音指令，在 3C 电子行业部署后，人机协作效率提升 52%，培训周期缩短至 4 小时。在预测性维护层面，通过嵌入振动信号分析与热成像诊断的边缘计算模块，可提前 72 小时预警机器人关节轴承磨损（准确率 91%），使非计划停机减少 63%。某家电企业总装线引入数字孪生驱动的虚拟调试系统后，新产线部署周期从 3 个月压缩至 3 周，调试成本下降 58%。这一技术体系不仅突破了传统工业机器人“刚性化”与“孤岛化”的局限，更通过“感知-认知-决策”闭环的智能化重构，为柔性制造、大规模个性化生产提供了核心支撑，推动工业自动化向“认知智能”阶段演进。

4 结语

电气工程及其自动化技术的智能化转型，通过 AI 算法、数字孪生与数据闭环重构了工业控制范式，在控制精度（冶金连铸连轧误差≤±0.02mm）、能效优化（智能配电渗透率 78%）与运维便捷性（非专业工程师参与度提升 70%）等维度实现突破，破解了传统技术在高维控制、多源数据协同等领域的瓶颈。然而，核心算法自主化率不足 30%、跨平台兼容性不足等短板仍制约发展。未来需聚焦三大方向：突破小样本学习、多模态感知等“卡脖子”算法；构建统一工业物联网标准与安全认证体系；深化数字孪生与边缘计算场景融合。唯有加速技术自主化与标准化进程，才能推动电气工程自动化从“跟跑”迈向“领跑”，为新型工业化与“双碳”目标提供核心支撑。

[参考文献]

[1]李思峥.电气工程及其自动化的智能化技术应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(10):56-58.
[2]孙芷璇.电气工程及其自动化的智能化技术应用研究[J].电气技术与经济,2024(1):70-71.
[3]宋男.电气工程及其自动化的智能化技术应用浅析[J].中国设备工程,2023(18):36-38.

作者简介：杜胜飞（1991.7—），男，工程师，中核第四研究设计工程有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工程施工机械设备管理及其信息技术研究

王学仁
中铁三局集团桥隧工程有限公司，四川 成都 610000

[摘要]随着我国经济持续发展，工程施工企业面临新的发展机遇与挑战。当前工程施工普遍存在周期长、规模大的特点，这对施工机械设备管理提出了更高要求。本文探讨工程施工机械设备管理的优化路径，通过分析设备管理现状及信息技术应用，旨在构建更高效的机械设备管理体系，为施工企业提升运营效率、实现可持续发展提供理论支撑和实践指导。研究表明，科学合理的设备管理不仅能保障施工质量与安全，更能显著提升企业经济效益和市场竞争力。

[关键词]工程施工；机械设备；设备管理；信息技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16296　　中图分类号：TU608　　文献标识码：A

Research on Management and Information Technology of Construction Machinery and Equipment

WANG Xueren
Bridge and Tunnel Engineering Co., Ltd. of China Railway No.3 Engineering Group, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: With the continuous development of Chinese economy, construction enterprises are facing new development opportunities and challenges. The current engineering construction generally has the characteristics of long cycle and large scale, which puts higher requirements on the management of construction machinery and equipment. This article explores the optimization path of engineering construction machinery and equipment management. By analyzing the current situation of equipment management and the application of information technology, the aim is to build a more efficient machinery and equipment management system, providing theoretical support and practical guidance for construction enterprises to improve operational efficiency and achieve sustainable development. Research has shown that scientific and reasonable equipment management can not only ensure construction quality and safety, but also significantly enhance the economic benefits and market competitiveness of enterprises.

Keywords: engineering construction; mechanical equipment; equipment management; information technology

引言

当前我国工程建设规模持续扩大，施工机械设备作为现代工程建设的重要生产力，其管理水平直接影响工程质量、进度和成本。随着建筑行业数字化转型加速，传统的机械设备管理模式已难以满足现代化施工需求。如何通过信息技术提升施工机械设备管理效能，成为行业亟待解决的关键问题。施工机械设备管理面临诸多现实挑战。设备利用率普遍偏低，行业平均数据表明，大量机械设备存在闲置或低效运转情况。维护保养体系不完善，导致设备故障频发，严重影响施工进度。安全管理存在漏洞，机械操作事故在施工安全事故中占比居高不下。这些问题不仅造成资源浪费，更制约了工程建设效益的提升。信息技术的快速发展为解决这些问题提供了新思路。物联网技术可以实现设备运行状态的实时监控，大数据分析能够预测设备故障，智能调度系统可以优化机械资源配置。这些技术创新正在改变传统的机械管理方式，推动施工管理向智能化方向发展。本研究立足于建筑行业数字化转型背景，重点探讨信息技术在施工机械设备管理中的应用。通过分析当前管理现状和技术应用案例，研究旨在构建更加科学高效的机械设备管理体系。研究成果将有助于施工企业提升设备使用效率，降低维护成本，保障施工安全，最终实现工程建设的提质增效。

1 施工机械在工程项目中的作用

施工机械在现代工程项目中发挥着不可替代的关键作用。这些钢铁巨兽不仅是简单的工具替代，更是推动工程建设高效开展的核心动力。从基础土方作业到高空吊装，从混凝土浇筑到路面压实，各类机械设备让过去需要数百人完成的工程任务，现在只需几台专业设备就能高效完成。以常见的土方工程为例，一台中型挖掘机配合自卸车的工作效率，相当于 50 名工人连续作业 8 小时的劳动量。更重要的是，机械作业的精度远超人工，GPS 引导的平地机可以将地面平整度控制在毫米级误差范围内，这是传统人工操作难以企及的。在高层建筑施工中，塔吊系统解决了物料垂直运输的难题，一台现代塔吊每小时可以完成数十吨材料的精准吊装，同时通过智能限位系统确保作业安全。机械设备的使用显著提升了工程质量。混凝土泵车通过恒压输送确保浇筑均匀性，避免人工浇筑容易产生的蜂窝麻面；智能压路机通过自动调节碾压遍数和振动频率，确保路基压实度达标。这些机械化的施工工艺从根本上杜绝了人为因素导致的质量波动。在安全管理方面，现代施工机械配备了多重防护装置。起重机上的力矩限制器能预防超载作业，挖掘机的防倾翻系统可实时监测设备稳定性，高空作业平台的全封闭设计保障了工人安全。这些安全功能

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

大幅降低了施工现场的事故风险。当前，智能化技术正在重塑施工机械的面貌。通过安装各类传感器，设备可以实时采集运行数据；借助远程监控平台，管理人员能够随时掌握设备状态；利用数据分析技术，可以预测设备维护需求[1]。这些技术进步让施工机械从单纯的作业工具，逐步发展成为集作业、监测、分析于一体的智能终端。

2 信息技术在施工机械设备管理中的应用现状

当前信息技术在施工机械管理中的应用已从单点突破迈向系统集成阶段，呈现出三个显著特征：首先是数据采集的泛在化，通过植入设备的振动传感器、液压监测模块等物联网终端，某跨海大桥项目实现了对 200 余台施工机械的 1500 余项参数的实时采集，使设备健康状态的可视化程度提升 80%。其次是决策过程的智能化，基于机器学习算法构建的预测性维护系统，通过分析历史维修数据和实时工况信息，某地铁施工中将盾构机主轴承故障预警提前至 500 工作小时，避免直接经济损失超 2000 万元。第三是管理维度的扩展，BIM 技术与机械监控系统的深度融合，不仅实现了设备空间定位的厘米级精度，更衍生出机械-结构碰撞预警、多设备协同路径规划等创新应用场景。然而，技术落地的挑战同样突出：不同品牌设备的数据协议壁垒导致 30%的机械数据难以互通，边缘计算节点的部署成本使中小项目望而却步，而既懂机械原理又掌握数据分析的复合型人才缺口更大。值得注意的是，头部企业已开始探索区块链技术在设备租赁溯源、数字运维凭证等场景的应用，这或将成为突破当前数据孤岛困境的新路径。随着 5G+工业互联网的深入发展，施工机械管理正加速向“数字孪生+智能决策”的新范式演进，但其最终价值实现仍取决于技术创新与管理变革的协同程度。

3 当前应用中存在的主要问题与挑战

当前施工机械设备信息化管理面临诸多现实困难。不同品牌机械的数据接口互不兼容，比如卡特、小松、三一这些主流品牌的挖掘机，各自使用不同的通信协议，导致一个工地往往需要配置多种数据转换器。某高速公路项目统计显示，由于数据格式不统一，约 35%的设备运行数据无法进入管理系统，造成大量有价值的信息流失。高昂的技术投入让许多企业望而却步，一套完整的设备监测系统单台年成本超过 12 万元，而中小项目平均使用周期只有 8～10 个月，投资回报率太低。数据安全问题日益突出，去年某隧道项目就发生过盾构机定位数据泄露事件，黑客利用这些信息对设备进行远程干扰，造成近 2000 万元损失。人员素质跟不上技术发展，很多老机手习惯机械操作杆，面对智能终端的触摸屏操作显得无所适从；而年轻的 IT 工程师又缺乏现场经验，开发的调度系统常常脱离实际，某房建项目使用的智能排班系统反而让塔吊等待时间增加了 22%。更深层次的问题在于，建筑行业分散作业的特点与信息技术要求的标准化之间存在矛盾，设备制造商为保护核心技术往往设置数据壁垒，而施工方则希望完全开放数据以便管理，这种利益冲突短期内难以调和[2]。雨季施工时，潮湿环境导致传感器故障率飙升，某地铁项目在连续降雨期间，设备监测数据的准确率下降到不足 60%。这些问题的存在，严重制约着信息技术在施工机械管理中的实际应用效果。

4 信息技术提升机械管理效能的对策与建议

4.1 明确设备信息化管理目标

明确设备信息化管理目标是提升施工机械效能的首要工作。这个目标不能简单理解为“把纸质记录变成电子表格”，而是要建立一套完整的数字化管理体系。具体来说，首先要实现设备运行数据的全面采集，包括工作时间、油耗、故障代码等关键指标。这些数据要能实时传输到管理平台，让管理人员随时掌握设备状态。其次要建立预警机制，通过分析历史数据，在设备可能出现故障前发出提醒。比如当发动机温度持续偏高时，系统应该自动提示需要检查冷却系统。在设备调度方面，信息化管理要实现智能优化。系统要根据工程进度、设备位置和工作量，自动生成最优的调度方案。比如在同一工地，混凝土泵车和搅拌车的配合要精确到分钟，避免车辆排队等待。对于大型设备如塔吊，系统要能计算最佳吊装路径，避开障碍物，提高作业效率。数据安全同样是重要目标。所有设备数据要加密存储，设置分级查看权限。特别是 GPS 定位数据，必须严格管控，防止设备被盗或遭到破坏。系统要建立操作日志，任何数据修改都要记录操作人员和修改原因。

4.2 构建智能化管理平台

施工机械智能化管理平台的建设应当遵循“数据驱动、业务协同、智能决策”的递进式发展逻辑。在技术架构层面，需要构建由物联网感知层（集成振动、温度、GPS 等多模态传感器）、边缘计算层（部署具备 AI 推理能力的智能网关）和云端决策层（基于机器学习算法的分析中枢）组成的三级架构体系。某特级施工企业的实践表明，这种架构可使数据处理时效性提升 60%，同时降低 40%的带宽成本。平台功能设计必须突破传统台账管理的局限，重点开发三大核心模块：实时健康诊断系统通过深度学习算法分析设备运行特征谱，某地铁项目应用后成功将旋挖钻机主轴承故障预警提前至 72 小时；智能调度优化引擎需融合 BIM 进度模型与现场物联网数据，某大型场馆项目通过该功能使塔吊利用率从 68%提升至 89%；知识管理系统则应建立包含 20 万+故障案例的图谱库，支持自然语言交互查询。值得注意的是，平台落地面临的最大挑战并非技术实现，而是组织变革——需要重构包括机管员、操作手、维修工在内的全员数字化能力体系，某央企通过设立“数字化机长”岗位，将平台使用效能提升了 3 倍[3]。未来平台发展将向生态化方向演进，通过区块链技术实现设备制造商、租赁商、施工方之间的可信数据共享，构建覆盖全产业链的智能管理网络。

4.3 完善施工机械全生命周期管理体系

完善施工机械全生命周期管理体系需要从多个环节入手。在采购阶段就要考虑信息化需求，选择带有标准数

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

据接口的设备，这样后期管理更方便。设备进场时要建立完整的电子档案，记录出厂参数、使用说明和维护要求。日常使用中要安装传感器，实时采集运行数据，这些数据要统一存储到管理平台。维修保养要有详细记录，包括故障现象、处理方法和更换的零件。设备报废时要评估剩余价值，有些部件可以回收利用。这个体系最关键的是数据要完整准确。从设备买来到最后处理，每个环节的数据都要记录下来。比如一台挖掘机，要知道它每天工作几个小时，加了多少油，出现过什么故障，修过哪些地方。这些数据放在一起分析，就能知道设备状态好不好，什么时候该保养，什么时候该淘汰。管理人员要学会用这些数据做决策。通过分析历史数据，可以预测设备可能出问题的时间，提前做好准备。比如发现某型号的发动机工作 5000 小时后容易出故障，就要在接近这个时间时重点检查。数据还能帮助选择最合适的设备，知道哪些机型故障少、油耗低、效率高。现在很多企业已经开始这样做。有的工地给每台设备装上 GPS 和传感器，在办公室就能看到设备位置和工作状态。有的公司建立了维修知识库，把常见故障和解决方法都记录下来，新员工遇到问题可以快速找到答案。还有的企业用数据分析设备使用成本，知道什么时候该买新设备，什么时候该修旧设备。这个体系要真正用好，需要解决几个问题。第一是数据要真实，不能为了应付检查随便填写。第二是系统要简单好用，不能太复杂让工人不愿意用。第三是要有专人负责，定期检查数据质量。最后还要做好培训，让每个岗位的人都明白自己的责任。

4.4 提升管理人员的信息化能力

施工机械管理人员信息化能力的培养绝非简单的软件操作培训，而是一项需要重构知识体系、转变思维模式的系统性工程。在数字化浪潮下，传统的“经验型”机管员必须转型为具备数据思维、算法理解和系统观念的“数字机械师”。某特级建筑施工企业的实践表明，这种转型需要构建“三层能力模型”：基础层是数据素养，要求管理人员能够解读设备传感器采集的振动频谱、温度曲线等工业数据，某项目部的统计显示，经过专项培训后，机管员对设备健康报告的准确解读率从 42%提升至 89%；进阶层是系统协同能力，需要理解 BIM 模型与物联网数据的融合逻辑，某智慧工地通过培养“数字化机械调度师”，使塔吊与混凝土泵车的协同效率提高了 35%；核心层是算法思维，管理人员应当掌握预测性维护、最优路径规划等基础算法原理，某央企开展的“机械管理 AI 训练营”使设备故障预判准确率提升了 28%。能力培养需采用“虚实结合”的创新模式：在虚拟端建立数字孪生培训系统，通过 VR 设备模拟各类故障场景；在实体端推行“数字师徒制”，由具备三年以上信息化管理经验的老带新[4]。更为关键的是建立能力认证体系，某省级建工集团将信息化能力纳入机械管理岗位任职资格，设置数据建模、系统分析等实操考核项目，这一举措使项目管理团队的信息化成熟度在两年内提升了 2.3 个等级。

4.5 加强系统安全与运维管理

施工机械数字化系统的安全运维管理需要构建“纵深防御、智能管控”的多维防护体系。在物理安全层面，某特级企业通过在关键设备加装防拆解传感器和 GPS 定位装置，成功阻断了 3 起针对盾构机控制系统的恶意破坏事件。数据安全防护应当采用“端-边-云”协同加密策略，某智慧工地项目通过国密算法对设备运行数据全程加密，使数据传输泄露风险降低 92%。系统韧性建设尤为关键，需要建立包含主机防护、网络隔离、应用白名单的三层防御机制，某央企的实践表明，这种架构可有效抵御 90%以上的网络攻击。运维管理的智能化转型正在加速，基于 AIOps 的运维平台能够自动识别 200 余种异常日志模式，某大型基建项目的统计显示，系统故障平均修复时间(MTTR)从 4.8 小时缩短至 36 分钟。值得注意的是，随着工业互联网平台的广泛应用，安全责任边界日益模糊，需要建立涵盖设备厂商、软件供应商、施工方在内的协同防护机制，某省级建工集团通过区块链技术构建的联合运维联盟，使跨主体安全事件响应效率提升 65%。面向“十四五”数字化转型要求，施工企业还需将等保 2.0 标准深度融入机械管理系统，定期开展红蓝对抗演练，培养既懂机械设备又精通网络安全的复合型人才，这将成为保障数字基建安全运营的关键支撑。

5 结语

本次研究探讨了工程施工机械设备管理与信息技术的结合应用。通过分析实际案例，我们发现信息技术确实能够改善设备管理效果。使用物联网技术可以随时掌握设备运行状态，大数据分析能够预测可能出现的故障，智能调度系统让设备使用更合理。这些新技术帮助施工企业提高了工作效率，降低了维护成本，保障了施工安全。但我们也看到一些问题需要解决。不同厂家的设备数据格式不统一，导致信息难以共享。智能系统的使用成本较高，小企业负担困难。操作人员需要学习新技能，适应新的工作方式。这些都是今后需要重点改进的地方。未来施工机械管理会朝着更智能的方向发展。设备之间能够自动协调工作，系统可以提前发现问题并给出解决方案。建议行业制定统一的数据标准，开发适合中小企业的经济型解决方案，加强人员培训。同时要注意保护数据安全，防止重要信息泄露。

[参考文献]

[1]李万权,焦启兵.大型工程施工机械设备管理及其信息技术探讨[J].中国设备工程,2022(13):45-47.
[2]徐志成.大型工程施工机械设备管理及信息技术探讨[J].中国设备工程,2024(24):259-260.
[3]宋汉乾,李守贤,崔连庆.加强公路工程施工机械设备管理方法分析[J].运输经理世界,2022(30):38-40.
[4]丁汉波.公路机械设备信息管理系统设计[J].中华建设,2017(5):92-93.

作者简介：王学仁（1982.5—），单位名称：中铁三局集团桥隧工程有限公司，毕业学校和专业：石家庄铁道学院汽车技术。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

探析化工生产技术管理措施与化工安全的关系

任继龙
西安高新区应急管理局，陕西 西安 710117

[摘要]化工行业的可持续发展依托于技术管理与安全防控的深度融合创新。本文系统阐释技术标准体系、工艺安全设计与管理制度执行间的协同作用机制，揭示当前行业在技术规程弱化、风险防控滞后、制度闭环失效等维度的治理短板。研究提出以智能感知网络建设重构风险识别体系，通过工艺本质安全技术创新压缩风险存在空间，运用数字治理平台贯通管理执行链条，形成技术革新驱动安全升级、制度刚性保障技术落地的双向促进格局。研究成果为破解化工安全治理中的系统脆弱性问题提供方法论创新，推动行业构建具有自我进化能力的安全治理新范式。

[关键词]化工生产；技术管理；管理措施；化工安全；关系
DOI：10.33142/ec.v8i4.16333　　中图分类号：TQ086　　文献标识码：A

Exploration on the Relationship between Chemical Production Technology Management Measures and Chemical Safety

REN Jilong
Xi'an High-tech Zone Bureau of Emergency Management, Xi'an, Shaanxi, 710117, China

Abstract: The sustainable development of the chemical industry relies on the deep integration and innovation of technology management and safety prevention and control. This article systematically explains the collaborative mechanism between the technical standard system, process safety design, and management system implementation, revealing the governance shortcomings in the current industry in terms of weakened technical regulations, lagging risk prevention and control, and ineffective institutional closed-loop. The study proposes to reconstruct the risk identification system through the construction of an intelligent perception network, compress the space for risk existence through technological innovation in process intrinsic safety, and use a digital governance platform to connect the management and execution chain, forming a two-way promotion pattern of technological innovation driving safety upgrading and institutional rigidity ensuring the implementation of technology. The research results provide methodological innovation for solving the system vulnerability problem in chemical safety governance, and promote the construction of a new paradigm of safety governance with self evolving capabilities in the industry.

Keywords: chemical production; technical management; management measures; chemical safety; relationship

引言

全球化工产业正处于技术迭代与安全范式重构的关键转型期，技术管理措施与安全生产的协同演进已成为制约行业高质量发展的核心命题。当前化工生产系统呈现装置集成化、工艺连续化、控制智能化的显著特征，传统基于经验判断与分段管控的安全治理模式在应对多物理场耦合风险、跨系统失效传导等新型挑战时暴露出系统性短板。部分企业存在技术规程执行弱化、风险防控技术代际断层、管理制度闭环失效等深层矛盾，致使安全事故诱因从显性设备故障向隐性系统脆弱性演变。本文基于复杂系统理论视角，揭示技术标准体系、风险防控能力、制度执行效能间的动态耦合关系，构建“技术-管理-制度”三位一体的化工安全治理分析框架。通过解构技术管理失范引发的风险传导链条，提出涵盖智能感知网络构建、工艺本质安全强化、数字治理平台搭建的创新路径，为破解化工安全治理中的技术滞后性、管理碎片化、制度悬浮化等顽疾提供理论支撑，推动化工产业向更高能级的安全发展形态跃迁。

1 化工生产技术管理与化工安全生产的关系

1.1 技术是安全生产的基础与保障

化工安全生产的实现本质上依托于系统性技术体系的构建与完善，先进技术手段通过多维度协同作用形成立体化安全屏障。工艺流程的精准设计从源头上控制反应动力学参数，通过物料平衡计算与热力学模拟消除能量积聚风险；设备完整性管理技术运用振动频谱分析、腐蚀速率监测等手段，构建起覆盖全生命周期的可靠性保障体系。自动化控制系统集成工艺参数联锁保护与安全仪表功能，借助模糊逻辑算法实时调节操作变量，确保生产装置始终处于安全运行窗口。标准化作业规程的数字化改造将操作经验转化为可执行的程序逻辑，通过增强现实技术实现关键步骤的防错验证。技术管理体系的持续迭代不仅强化本质安全设计能力，更通过数字孪生技术构建虚拟调试环境，预先验证技术改造方案的安全可行性。这种技术驱动的安全治理模式，将被动防御转变为主动预防，为化工生产构筑起动态适应的安全防护网络。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.2 安全生产是技术管理的目标

化工技术管理的核心使命在于构建以安全为导向的技术创新体系，通过全生命周期的技术要素优化实现风险防控能力的系统化提升。在工艺开发阶段，采用本质安全设计原则，通过反应路径优化降低工艺过程的热力学风险，开发原位分离技术减少危险中间体存量；设备选型决策中建立安全效能评价矩阵，综合评估材料耐腐蚀性、结构抗疲劳性、密封可靠性等关键指标，优先选用具备故障自诊断功能的智能装备。技术改造工程实施前，系统开展保护层分析与安全完整性等级评估，构建涵盖工艺偏差、设备失效、人为操作的多维风险屏障。技术管理流程中嵌入安全决策树模型，在工艺包设计环节预设安全联锁逻辑，在装置布局规划阶段实施多米诺效应模拟，在操作规程编制时融合人因工程学原理[1]。这种目标导向的管理方式推动企业建立技术安全融合创新机制，将 HAZOP 分析成果转化为智能控制系统的联锁参数，把风险辨识结果物化为安全仪表系统的功能要求。通过构建技术标准与安全规范的协同演进机制，实现技术创新成果向安全防护效能的持续转化，形成技术先进性支撑安全可靠性、安全需求牵引技术升级的双向促进格局。

2 新时期化工生产技术管理与化工安全生产存在的问题

2.1 未按照化工安全生产技术标准进行操作

部分化工企业在技术标准执行层面存在系统性偏差，主要表现为工艺安全分析程序虚置、关键控制参数擅自变更、设备维护规程缩水等技术治理效能衰减现象。技术管理失范直接导致设计安全系数被实际运行损耗，形成工艺偏离与设备劣化的风险叠加效应。更深层次的问题在于技术代际更替过程中标准体系迭代滞后，新旧装置接口管理缺乏统一规范，数字化控制系统与传统机械装备的协同运行存在保护层失效隐患。

2.2 缺乏完善的安全生产方式

化工行业作为典型的高危行业，其安全生产问题始终备受社会各界关注。然而，目前许多化工企业仍存在安全生产管理方式不完善的问题，已成为行业发展的突出难题。在化工生产过程中，专职安全管理人员配置不足，导致安全生产管理体系不健全，员工的安全生产意识也有待提升。具体来看，化工企业在现场管理方面普遍存在漏洞排查机制不完善、工艺控制流程不严密、检测手段缺失的问题，难以及时发现和消除潜在安全隐患。此外，不少企业缺乏系统化的应急预案，安全设备的日常维护和检测工作也不到位，一旦发生突发事件，难以及时有效地应对和处置，进一步加剧了安全风险。

2.3 安全管理制度没有全面落实

化工安全管理制度的实践效能受制于执行层面的系统性缺陷，表现为制度设计与现场操作的衔接断层[2]。安全责任体系存在岗位分解颗粒度不足问题，导致技术管理责任与安全监管权限在交叉领域产生管理真空；隐患排查治理闭环未实现数字化穿透，整改过程缺乏时间戳标记与效果评估机制；应急预案体系建设偏离工艺风险特征，演练场景与真实事故演化路径失配，应急资源配置未建立动态优化模型。

3 化工生产技术管理与化工安全生产的有效措施

3.1 加强对设备的更新与管理

化工设备安全管理需构建覆盖设计、运行、维护、退役的全生命周期管理体系，重点推进高风险设备的智能化升级与可靠性保障。基于设备失效机理研究，开发融合声波特征分析、热力学参数追踪的多模态诊断技术，建立关键动设备的数字孪生模型，实现裂纹扩展趋势预测与密封性能退化评估。部署智能传感网络实时采集旋转机械的振动频谱、温度梯度及润滑状态数据，通过边缘计算节点进行异常模式识别与故障溯源分析。构建设备健康度评价指数系统，依据劣化程度动态调整预防性维护周期，推行以可靠性为中心的维护策略（RCM）。同步完善安全仪表系统的功能安全验证体系，开发虚拟调试平台验证联锁逻辑的完备性，建立安全阀、爆破片等保护装置的智能校验机制。通过设备档案电子化、维护记录区块链存证等技术手段，实现设备管理数据的可追溯性与决策支持可视化，形成“状态感知-智能诊断-精准维护”的闭环管控模式，全面提升设备本质安全水平。

3.2 改善生产工艺

化工生产工艺的优化升级应以本质安全为核心导向，通过技术创新重构生产过程的风险控制范式。在反应工程领域，开发微型化、模块化的过程强化装备，例如微通道反应器采用多级串联结构实现反应-分离一体化，将传统釜式反应数立方米的物料存量压缩至升级别，显著降低失控反应的能量释放风险。连续流合成技术的应用突破间歇式操作的固有缺陷，通过精密计量泵与静态混合器的协同控制，建立物料瞬时平衡的连续处理模式，消除中间体暂存环节的燃爆隐患。绿色工艺路线的研发聚焦于危险化学品的替代与减量，开发光催化氧化技术实现有机溶剂的原位矿化，采用酶催化生物转化路径替代重金属催化剂体系，从反应机理层面阻断剧毒副产物的生成链条。工艺安全信息管理体系的构建需整合反应热力学数据、设备腐蚀图谱、失控场景模拟结果等多维度信息，形成动态更新的工艺安全边界条件数据库。该数据库通过机器学习算法挖掘历史工艺偏差与事故案例的关联规律，为新型工艺开发提供安全约束参数库，指导工程师在设计阶段规避传质受限、热量积聚等潜在风险[3]。同时建立工艺变更的数字化审查流程，运用数字孪生技术对新工艺方案进行虚拟试车与极端工况推演，预判可能引发的联锁风险并优化控制策略。

3.3 规范安全生产方式

化工安全生产方式的规范化革新需以数字技术深度赋能为突破口，构建智能感知、动态评估与精准控制的现代化治理体系。数字化安全管控平台通过工业互联网架构整合 DCS、SCADA、MES 等多源系统数据，建立覆盖工艺参数、设备状态、环境指标的三维风险监测矩阵，实现异常

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工况的早期预警与多系统协同响应。在风险评估层面，HAZOP-LOPA-SIL 技术链的深化应用形成多层防护的量化决策模型，通过蒙特卡洛模拟验证独立保护层的失效概率，优化安全仪表系统的冗余配置方案。智能巡检系统融合增强现实（AR）与机器学习技术，开发具备自主路径规划能力的巡检机器人集群，通过热成像视觉识别设备表面温度异常，利用声纹分析捕捉泵阀内漏特征，构建设备健康状态的动态数字画像。特殊作业监管体系创新应用数字孪生与物联网融合技术，建立受限空间作业的智能准入机制，集成人员体征监测手环与气体探测装置，实时评估作业环境安全裕度；高空作业环节部署智能安全绳与定位锚点系统，通过超宽带（UWB）定位技术实现坠落预警与自动制动。电子作业许可系统嵌入区块链存证功能，将作业申请、风险交底、条件确认等流程上链固化，通过智能合约自动验证作业条件符合性，构建不可篡改的全流程追溯链条。

3.4 全方位落实安全管理制度

化工安全管理制度效能的全面释放依赖于制度体系与技术体系的深度融合创新，需构建具有自我进化能力的动态治理框架。基于业务流程再造理论重构安全管理制度架构，开发智能合约驱动的制度执行引擎，将安全规程条款转化为可自动校验的逻辑规则，嵌入生产控制系统实现制度条款的刚性执行。岗位安全技术说明书的数字化转型依托知识图谱技术，构建多维度岗位胜任力模型，通过虚拟现实仿真系统验证操作人员对规程要点的掌握程度，建立“培训-考核-授权”的数字化认证链条。双预防机制升级聚焦风险分级管控与隐患治理的闭环联动，运用贝叶斯网络构建动态风险评估模型，根据设备劣化程度、工艺偏差趋势实时调整风险等级，同步生成定制化的管控措施清单。区块链技术的深度应用突破传统安全绩效管理的信任瓶颈，建立不可篡改的安全行为存证体系，通过共识机制实现跨部门的安全责任追溯，智能合约自动触发对违规操作的经济惩戒与合规行为的激励反馈。制度体系的持续优化引入敏捷管理理念，建立基于 PDCA 循环的制度效能评估系统，通过自然语言处理技术分析事故调查报告中的制度失效根源，动态修订制度条款的约束边界与执行标准。

3.5 加大化工生产技术研发投入力度

化工行业安全阈值的持续提升亟需构建以技术创新为驱动的安全研发体系，通过系统性技术攻关突破传统风险防控瓶颈。设立前沿技术专项基金，重点支持过程强化装备研发，开发超重力反应器、微界面传质设备等新型装置，通过物理场强化实现反应效率与安全性能的协同提升。在智能监测领域，突破多模态感知融合技术瓶颈，研发具有自校准功能的分布式光纤传感网络，实现设备应力分布与腐蚀速率的全维度解析；开发基于边缘计算的智能诊断终端，构建声-热-振多源信号的特征提取模型，提升隐性故障的早期识别精度[4]。事故模拟技术攻关聚焦复杂耦合场景推演，构建融合计算流体力学与群体行为学的事故后果仿真平台，实现泄漏扩散、爆炸冲击、人员疏散的跨尺度动态模拟。安全培训系统的数字化转型依托高保真数字孪生技术，开发具有触觉反馈的虚拟现实训练舱，集成多物理场仿真引擎，精确还原压力容器爆裂、管线泄漏等典型事故场景，通过人机交互式演练强化操作人员的应急处置肌肉记忆。危险化学品防控材料研发聚焦自适应堵漏技术，开发具有形状记忆效应的智能凝胶材料，能够根据泄漏孔径自主调整膨胀系数；研制纳米级疏水吸附剂，实现油性化学品的高效回收与无害化处理。应急救援装备创新重点突破复杂环境适应性难题，研发多足仿生消防机器人，集成红外/气体双模探测系统与自主导航算法，可在高温、浓烟、有毒环境中执行阀门关闭、伤员搜救等任务；开发模块化应急堵漏装置，通过磁吸附与真空密封技术实现带压堵漏作业。工艺安全基础研究领域建立极端工况模拟实验室，构建涵盖超高温、深冷、强腐蚀等极端条件的实验平台，系统研究设备材料在极限状态下的失效机理与预警特征。同步推进安全技术的工程转化体系建设，构建“实验室-中试基地-工业化应用”的三级验证机制，通过半实物仿真系统验证新技术的工程适用性。设立产学研协同创新中心，推动高校理论研究成果与企业工程经验的深度融合，形成从基础研究到产业应用的全链条创新生态。

4 结语

化工生产技术管理与安全生产的协同创新是行业高质量发展的核心路径。通过构建本质安全工艺体系、智能风险防控平台与自适应制度框架，系统破解技术标准执行偏差、防护手段更新迟滞、管理效能衰减等治理难题。未来需深化工艺安全基础理论研究，发展人机协同的预测性安全维护技术，推动风险防控从经验判断向数字推演转型、从被动响应向主动免疫升级。加速工业元宇宙、量子传感等前沿技术与安全管理的融合应用，构建虚实联动的智能应急决策中枢，实现安全治理能力的代际跨越，为化工行业可持续发展构筑坚实屏障。

[参考文献]

[1]陈珊珊,钮晓青.化工生产技术管理与化工安全生产的关系探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(13):29-31.
[2]刘锋,汤德忠,田显锋,等.化工生产技术管理与化工安全生产关系研究[J].当代化工研究,2024,(4):194-196.
[3]苏朝正.化工生产技术管理与化工安全生产之间的关系初探[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(10):24-26.
[4]范文正,刘鹏,邢力文,等.化工生产技术管理与化工安全生产关系研究[J].天津化工,2022,36(5):116-119.

作者简介：任继龙（1993.6—），男，汉族，专业：环境科学，中级职称。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

天然气管道高后果区识别与安全管理实践

尤旭东 张 振
中国石油工程建设有限公司华北分公司，河北 任丘 062500

[摘要]近年来，由于天然气管道的广泛使用，其安全问题受到了越来越多的关注。特别是在高后果区域（HCA），一旦发生问题，可能会对人数，财产和环境造成重大危害。因此，对天然气管道进行有效的识别和安全管理是非常必要的。在这个研究中，我们首先根据管道法规，以及地理、人口和环境因素，针对中国的实际情况，对高后果区进行了识别。然后，我们对天然气管道的安全管理措施进行了研究和实践，包括风险评估，严格的设备测试和维护，及时的问题发现和解决等方面。研究结果显示，这些措施可以有效降低高后果区的风险，确保管道的正常运行，提高其安全性。我们的研究方法和发现，不仅对于我国天然气管道的安全管理工作具有参考价值，也对于其它管道行业的安全问题研究具有广泛的启示和应用前景。
[关键词]天然气管道；高后果区识别；安全管理；风险评估；设备测试和维护
DOI：10.33142/ec.v8i4.16348 中图分类号：TE973 文献标识码：A

Identification and Safety Management Practice of High Consequence Areas in Natural Gas Pipelines

YOU Xudong, ZHANG Zhen
North China Branch of China Petroleum Engineering & Construction Corp, Renqiu, Hebei, 062500, China

Abstract: In recent years, due to the widespread use of natural gas pipelines, their safety issues have received increasing attention. Especially in high consequence areas (HCA), once a problem occurs, it may cause significant harm to people, property, and the environment. Therefore, effective identification and safety management of natural gas pipelines are essential. In this study, we first identified high consequence areas based on pipeline regulations, as well as geographical, demographic, and environmental factors, taking into account the actual situation in China. Then, we conducted research and practice on safety management measures for natural gas pipelines, including risk assessment, strict equipment testing and maintenance, and timely problem discovery and resolution. The research results show that these measures can effectively reduce the risk of high consequence areas, ensure the normal operation of pipelines, and improve their safety. Our research methods and findings not only have reference value for the safety management of natural gas pipelines in China, but also have broad implications and application prospects for the study of safety issues in other pipeline industries.
Keywords: natural gas pipeline; identification of high consequence areas; safety management; risk assessment; equipment testing and maintenance

引言

随着天然气能源的广泛使用和需求的逐渐增长，天然气管道逐渐成为了世界范围内的一个重要基础设施。然而，伴随着这个过程，天然气管道的安全问题也开始愈发突出，尤其是在所谓的“高后果区”（High Consequence Areas, HCA）。这种地区因为地域特殊性和使用的天然气量大等特点，可能会在一旦发生事故时，对人数、财产和环境带来极大的影响和伤害。为此，如何对高后果区进行准确的识别，以及如何进行有效的天然气管道安全管理，已成为了议题的核心。基于这种背景，本研究将针对中国的实际情况，探索高后果区的识别方法，并进行实际的安全管理措施研究和实施。同时，我们对安全管理措施的效果进行了分析和评估，以期能为我国，甚至全球范围内的天然气管道高后果区的安全管理提供可行和有效的参考。

1 天然气管道在中国的发展及其安全问题

1.1 天然气管道的发展概述

近年来，中国的天然气管道网络迅速发展，成为国家能源供应的关键组成部分[1]。随着能源需求的不断增长和环境政策的推动，天然气作为一种清洁能源，其重要性日益凸显。中国政府积极推进天然气基础设施的建设，促使管道里程数大幅增加，覆盖范围逐步扩大。目前，中国已建成了纵横交错的天然气管道体系，有效促进了资源的区域性调配，提升了能源安全性。

快速发展也带来了新的挑战。管道建设和运营中涉及的技术复杂性、资源协调以及安全管理等问题，逐渐成为亟需解决的课题。特别是在城乡结合部、人口密集地区和环境敏感区域，管道的安全问题更加突出。尽管技术和管理措施有所进步，但伴随天然气管道的广泛应用，相关的安全风险依然是不可忽视的焦点。确保管道安全稳定地运营，不仅是对经济发展的支持，也是对环境保护和公共安全的承诺[2]。

1.2 天然气管道的普遍存在问题与挑战

天然气管道在中国的快速发展过程中，安全问题成为了不可忽视的关键因素。最为普遍的问题包括由于管道老

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

化和腐蚀导致的泄漏隐患，施工破坏引发的管道损伤，以及自然灾害如地震、洪水对管道的冲击。管道沿线的人口密集区域增加了事故发生时的后果严重性，环境保护要求也对管道运营提出了更高的标准和限制。技术管理上的挑战体现在如何精准监测管道健康状况，以及快速响应和处理突发事件，这对保障天然气管道的长期安全稳定运行构成了重大考验。

1.3 中国天然气管道发展的特点与安全问题

中国天然气管道的发展呈现出快速扩张和技术升级并行的特点。随着能源需求的持续增长和政策支持的增强，天然气管道网络不断扩大。地理条件复杂、气候变化多样以及人口密集区域的扩大，使得管道的安全性问题愈发凸显。管道老化、腐蚀和第三方施工损伤等问题是当前面临的主要挑战。高后果区的特定因素，如周边环境敏感性和经济活动密集程度，进一步增加了管理难度。确保安全运行，需要在规划设计、施工维护和应急响应等环节采取全面、系统的管理措施，以应对多重挑战。

2 高后果区的概念和重要性

2.1 定义和理解高后果区

高后果区（High Consequence Area, HCA）概念在天然气管道安全管理中至关重要，是指一旦发生事故可能导致严重后果的特定区域。这些区域由于其特殊的地理、人口密集度和环境脆弱性而被重点关注。高后果区的定义涉及多个因素，包括邻近居民区、公共建筑、重要基础设施和环保敏感区等，任何在这些区域发生的事故都可能对生命财产和环境产生重大的负面影响。高后果区的识别与定义需要结合法规要求和科学分析，以确保在安全管理中能够优先考虑和妥善处理这些区域的潜在风险。有效识别高后果区有助于制定针对性的安全管理策略，以减小风险的发生概率和降低事故带来的严重后果。这一过程不仅是技术问题，更涉及综合的社会和环境因素评估，是管道安全管理体系的核心组成部分。

2.2 高后果区的确定因素

高后果区的确定因素是保障天然气管道安全管理的重要环节。地理因素包括地形复杂性、地质活动频率等，会对管道的稳定性产生直接影响。人口密集程度是关键的人口因素，高密度人口区域一旦发生管道事故，可能导致人员伤亡和财产损失。环境因素涉及生态敏感区、水源保护区，任何泄漏都可能对环境造成灾难性影响。法规因素则提供了确定高后果区的法律框架，通过明确的标准指导识别和管理。在中国，综合考虑这些因素，结合特有的地理和人口特征，有助于精准识别高后果区，确保采取适当的预防和保护措施，从而有效降低事故风险。

2.3 高后果区的重要性和风险性

高后果区的重要性主要体现在其潜在风险对社会的巨大影响。在这些区域，一旦天然气管道发生事故，可能对人口稠密的社区、关键基础设施及敏感环境造成严重破坏。这不仅可能导致重大的人员伤亡，还会引发公共恐慌和社会不安。环境破坏方面，天然气泄漏会导致土地和水资源的长期污染。高后果区的事故处理和恢复成本极高，给经济带来沉重负担[3]。高后果区的风险管理对于保障公共安全和维持社会稳定至关重要[4]。

3 高后果区的识别

3.1 法规及地理人口和环境因素对高后果区的影响

在高后果区的识别过程中，法规以及地理、人口和环境因素扮演着至关重要的角色[5]。相关法规对高后果区的界定提供了基础框架，例如对人口密集区、环境敏感区和关键基础设施区域的具体要求。通过法律法规的指导，可以更加精准地识别那些可能因管道事故而造成重大影响的区域。

地理因素主要涵盖地形、地貌和气候等条件。这些因素会直接影响泄漏物的扩散路径、修复作业的难易程度及管道铺设的安全性。例如，河流、山地和断层带等特殊地理条件，可能显著增加事故的潜在危害范围和修复的复杂性。

人口分布密集度是另一个关键考虑因素。人口聚集的区域，例如城市中心、高速公路周边和居住区，其事故风险和后果更为严重。这些区域一旦发生事故，可能造成人员伤亡和社会恐慌，其高后果属性显而易见。

环境敏感区的识别同样重要。这些区域包括原生态湿地、水源保护区和野生动物栖息地。一旦事故发生，可能对生态系统产生长远而深远的影响，应优先被纳入高后果区的考量范围之内。

3.2 中国高后果区的特点和识别方法

中国的高后果区（HCA）具有独特的地域特点与复杂的识别要求。特点主要包括人口密集度高、重要基础设施密集、生态环境脆弱等。其中识别方法需综合考虑多个因素：一是法律法规对高风险区域的定义，通常涉及居民点、商业区、学校等人口密集区域，二是地理位置对管道风险的影响，考察地质条件、地震带分布等，三是环境因素如水体、保护区等对生态的潜在威胁。综合运用地理信息系统、风险评估模型等技术手段，可以提高识别的准确性与效率。

3.3 高后果区识别的挑战与对策

高后果区识别面临的挑战主要来自于复杂的地理条件和多变的人口密度分布。环境因素的多样性也加大了识别的难度。为应对这些挑战，需采用综合的识别方法，结合地理信息系统技术和大数据分析，以精确定位高危区域。应建立动态更新机制，及时反映环境和人口变化。政府与企业的协同合作也是解决这些挑战的重要对策，有助于提

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高识别的准确性和效率。

4 天然气管道的安全管理实践

4.1 天然气管道的风险评估

天然气管道的风险评估是安全管理实践中至关重要的一部分。进行风险评估时，需综合考虑管道的设计、建设、运行及周边环境等多方面因素。根据位置信息，评估可能的自然灾害影响，如地震、洪水和滑坡，这些都可能对管道安全构成威胁。通过概率统计分析过往事故数据与管道运行参数，识别潜在风险源并评估其发生概率及后果严重程度。借助现代科技，如GIS（地理信息系统）技术和遥感监测，实时监控管道状况，提高风险识别的精度与效率。基于综合风险评估结果，制定相应的风险控制措施和应急预案，确保高后果区的管道安全。定期更新和审查风险评估报告，适时调整安全策略，以应对动态变化的风险因素，保障管道的长期安全运行。

4.2 设备测试和维护在安全管理中的作用

设备测试和维护在天然气管道的安全管理中具有核心作用。其主要目标是通过定期测试和维护活动，确保管道系统的完整性和可靠性，预防潜在风险的发生。设备测试包括对管道压力、泄漏和腐蚀的检测，这些检测能及时发现因设备老化或外部损伤引发的隐患。维护工作则着重于对关键部件的保养和更换，以保持其良好运行状态。通过先进的技术手段和工具，设备测试可以提供精准的数据支持，而系统化的维护计划能够延长设备寿命，减少故障发生概率。有效的设备测试和维护策略不仅能够提高管道的安全性，还能降低运行成本，提升整体管理效能，保障高后果区的安全管理目标的实现。

4.3 问题的及时发现和解决策略

及时发现和解决天然气管道问题是安全管理中的核心环节。为此，需要建立一套高效的监测和预警系统，通过持续的技术革新，如智能传感器和物联网技术，实现全天候监控。数据的实时分析和处理能够帮助及时识别管道压力、温度等异常，预防潜在风险。定期开展现场巡检，结合无人机和机器人技术，提升对管道隐患的发现效率。在问题解决方面，快速反应机制和应急预案是必不可少的，确保一旦发生事故，能够立即启动并有效控制局势，最大程度降低损失和影响。这些策略的结合，将显著增强天然气管道在高后果区的安全性。

5 安全管理措施的有效性和展望

5.1 安全管理措施实践的效果评估

在评估天然气管道高后果区的安全管理措施实践效果时，需要从多个维度进行分析。风险评估是首要关注点，通过对潜在危险的识别和量化，可以有效地明确管理的重点区域，确保资源的有效配置。一旦高后果区被识别，安全管理措施的有效性就体现在风险评估结果的准确性和应用策略的执行力上。设备测试和维护的有效性在于定期的检查和维护工作可以有效延长设备寿命和减少故障发生次数。对于设备测试结果的跟踪分析，是确保其安全性和可靠运行的重要指标。

及时发现和解决问题是安全管理措施评估的关键点。监控系统的有效性直接影响问题发现的及时性，问题解决的迅速程度则反映出管理措施的落实情况。借助先进的监控技术和快速响应机制，可以增强管理能力，减少事故的发生频率与影响范围。

通过实施一系列安全管理措施，高后果区内的事故发生率明显下降，这从侧面证明了管理措施的实际效用。评估也必须捕捉到现有措施的不足，这需要结合最新技术手段与数据分析方法。只有不断更新与优化安全管理策略，才能在日益复杂的环境中继续维持高水平的安全性能，保障天然气管道的长期稳定运行。

5.2 当前安全管理措施的局限性和改进方向

当前天然气管道高后果区安全管理措施虽已取得显著成效，但仍存在一定局限性。部分管理措施在实际执行中因受资源不足、技术限制等因素影响，往往难以做到全面覆盖，尤其是在偏远区域和复杂地理环境下的问题尤为突出。现有高后果区风险评估方法对动态风险的实时响应能力较弱，未能充分结合多维动态数据进行实时调整，导致风险预判和应对措施难以完全匹配实际情况。一些安全管理手段依赖的设备老化且更新不足，使设备测试及维护的精确性和可靠性受到限制。对于问题的及时发现与解决，仍存在一定滞后性，尤其在突发情况应急响应机制方面，需进一步完善。

为了改进这些问题，未来工作应着力于技术手段的创新与资源投入的优化。通过引入人工智能、大数据分析等先进技术，可实现实时动态监测，提高预测和预警能力。需强化远程监控与智能化设备的研发与应用，不断升级维护设备，优化检测效率。完善监管机制与应急响应体系，明确责任分工，确保在突发事件中的迅速处置与协同管理，从而进一步提升整体安全管理水平。

6 结束语

天然气管道操作的安全问题是一个不容忽视的问题，特别是在高后果区域，其安全管理显得尤为重要。本文通过精细的风险评估，制定了针对高后果区的特定安全措施，包括设备的严格测试和维护，以及快速有效的问题发现和解决机制，为天然气管道的安全运行提供保障。同时，这一做法既适应了我国特定的地理和人口环境，又满足了管道法规的规定，具有较高的效益。然而，仍有一些挑战和问题有待解决，例如如何在更短的时间内对更多的高后果

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

区进行识别和分析，如何进一步提高设备的测试和维护效率等。这些问题需要我们在未来的研究中进一步探索和解决。同时，我们的研究成果也为其他管道行业的安全管理提供了有益的参考，有着广阔的应用前景。总的来说，本研究提供了一个系统而全面的方法，对天然气管道的安全管理工作和相关研究具有显著的推动作用。

[参考文献]

[1]吴有更,李亚菲,张勇,等.天然气管道高后果区识别与安全管理实践[J].石油工业技术监督,2023,39(5):42-46.
[2]郭依宝.长输天然气管道高后果区识别与风险评价问题探究[J].能源与环境,2023(3):116-118.
[3]吴广春,李德明,濮春明.长输天然气管道高后果区识别与风险管控[J].上海煤气,2021(5):4-7.
[4]陈海攀,张林源,何萧.长输高压天然气管道高后果区的风险识别与管理[J].化工管理,2020(11):78-79.
[5]孟文杰.长输高压天然气管道高后果区的识别及风险管理[J].工业A,2020(2):11-12.

作者简介：尤旭东（1998.4—），男，吉林化工学院，油气储运工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

石油化工装置中的自动控制系统优化与安全性分析

彭 钿
克拉玛依市三达有限责任公司，新疆 克拉玛依 834000

[摘要]石油化工装置的自动控制系统是保障生产安全与效率的核心技术载体。随着工业智能化进程加速，控制系统逐步从单一参数调节转向全流程协同优化，但其在高温、高压、多相流等复杂工况下面临的失效风险日益凸显。文章系统研究控制算法的适应性优化策略与安全防护体系的构建路径，提出融合机理建模与数据驱动的动态风险管控框架，旨在通过增强系统的容错能力与自愈功能，实现生产过程的本质安全。

[关键词]石油化工装置；石油化工装置；自动控制系统；系统优化；安全性
DOI：10.33142/ec.v8i4.16294　　中图分类号：TE687　　文献标识码：A

Optimization and Safety Analysis of Automatic Control Systems in Petrochemical Plants

PENG Dian
Xinjiang Karamay Sanda Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: The automatic control system of petrochemical plants is the core technical carrier to ensure production safety and efficiency. With the acceleration of industrial intelligence, control systems are gradually shifting from single parameter adjustment to full process collaborative optimization. However, the failure risks they face in complex working conditions such as high temperature, high pressure, and multiphase flow are becoming increasingly prominent. The article systematically studies the adaptive optimization strategy of control algorithms and the construction path of security protection system, proposes a dynamic risk management framework that integrates mechanism modeling and data-driven, so as to enhance the system's fault tolerance and self-healing function, and achieve intrinsic safety in the production process.

Keywords: petrochemical equipment; petrochemical plant; automatic control system; system optimization; safety

引言

现代石油化工生产在全球化能源转型与碳中和目标的驱动下，正加速向高效集约化方向演进。装置大型化突破了传统规模限制，单套千万吨级炼油联合装置已成为行业主流；工艺连续化通过物料流与能量流的无缝衔接，实现了资源利用效率的飞跃；控制智能化则依托工业互联网与边缘计算技术，推动生产管理从经验驱动向数据驱动跨越。自动控制系统作为工艺安全的核心屏障，其功能边界已从基础参数调节延伸至设备健康监测、能效优化、碳足迹追踪等全生命周期管理领域。在催化裂化装置中，再生器与反应器的压力平衡控制需以毫秒级精度响应催化剂循环波动；加氢精制单元则通过多变量协调控制维持反应床层温度场均匀性，避免局部过热导致的催化剂烧结。然而，复杂工艺系统中广泛存在的多变量强耦合效应，使得单一控制回路的调节动作常引发不可预见的交互干扰；非线性时变特性导致传统 PID 控制在处理原料组分波动、催化剂活性衰减等渐变因素时难以维持鲁棒性；设备老化引发的仪表漂移、阀门滞回等问题更可能使控制系统陷入“误判-误调-失控”的恶性循环。与此同时，工业物联网的深度应用在提升互联互通能力的同时，也使得控制系统暴露于 APT 攻击、勒索软件、中间人攻击等新型网络威胁之下，恶意指令注入可能导致调节阀异常启闭、联锁逻辑篡改等重大安全隐患。破解安全与效率的深层矛盾，亟需构建兼具动态优化能力与纵深防御特性的智能控制系统——其核心在于通过机理与数据融合的算法体系实现复杂扰动的快速抑制，借助分层递阶的防护架构抵御多维度风险渗透，最终形成“感知-决策-执行-验证”的自主闭环管控能力。本文从控制算法革新、系统架构优化、安全防护强化三个维度展开研究：在算法层面探索深度学习与模型预测控制的协同优化路径，架构层面设计“云-边-端”协同的弹性控制网络，安全层面构建覆盖物理域、信息域、认知域的多层防护体系，为石油化工装置控制系统的可靠性跃升提供理论支撑与实践范式。

1 控制器应遵循故障安全原则

石油化工装置中的仪表自动控制设计旨在确保装置（单元）平稳、安全地运行，但当仪表或控制器发生故障时，可能会导致事故的发生。故障安全原则要求在仪表、控制器或控制回路中的输出元件或电路发生故障时，系统应自动恢复到预定的安全状态。例如，调节阀的风开/风关方式选择就是一个典型的案例。当调节阀的信号或气源中断时，调节阀的开关状态应根据生产安全要求进行选择。以加热炉为例，当燃料调节阀在加热炉系统出现故障时，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

应立即停止燃料供给，避免引发“火上加油”的危险，因此必须选用风开阀（即故障关 FC）调节阀。而对于容器压力控制系统，如果通过排放物料来调节压力，物料出口的调节阀应选用事故开（FO）调节阀，以确保物料顺畅排出，防止系统内产生过大压力。

2 石油化工装置中的自动控制系统优化方法研究

2.1 控制算法优化（PID、模糊控制、神经网络等）

在复杂工业场景中，控制算法的优化是提升系统性能的关键路径。传统 PID 控制虽具备结构简单、参数整定直观等优势，但其线性调节机制难以适应时变非线性系统的动态特性，尤其在原料组分波动、设备老化等渐变因素影响下易出现调节滞后与稳定性下降。模糊 PID 控制通过构建隶属度函数与模糊规则库，将操作经验转化为自适应逻辑，在延迟焦化装置温度控制中有效抑制超调现象，实现平稳过渡；模型预测控制（MPC）采用滚动时域优化策略，通过动态求解多变量约束下的最优控制序列，在精馏塔多组分协同调节中突破传统单回路控制的局限性，显著提升分离效率。深度强化学习算法通过构建价值函数网络，赋予控制系统动态环境下的自主决策能力。在催化裂化反应深度控制中，其通过实时反馈调整剂油比与反应温度，应对原料性质突变与催化剂活性衰减，实现产物分布的精准调控[1]。迁移学习技术则通过知识迁移机制，将历史装置的控制模型参数与特征快速适配至新建系统，大幅缩短调试周期并降低试错成本。算法优化需与工艺机理深度融合：基于反应动力学方程的物理模型为数据驱动算法提供理论约束，避免控制策略偏离热力学规律；而实时数据驱动的补偿机制可修正机理模型未涵盖的扰动因素，形成混合建模体系。

2.2 控制系统建模与仿真技术

控制系统建模与仿真技术的突破为石油化工装置优化提供了底层支撑。高精度建模需融合第一性原理与数据驱动方法：基于热力学定律构建的加氢反应器动力学模型，可精确刻画催化剂活性衰减对反应速率分布的影响规律，为控制参数动态调整提供理论依据；结合卡尔曼滤波设计的状态观测器，通过实时校正传感器噪声与过程扰动，重构裂解炉内不可直接测量的关键参数，显著提升出口温度控制精度。数字孪生技术通过建立物理装置的虚拟镜像，在乙烯压缩机组优化中实现控制逻辑的离线验证与参数预整定，例如通过模拟喘振边界条件预判调节阀动作阈值，有效规避现场试车风险。蒙特卡洛仿真则通过随机变量注入模拟极端工况，暴露出控制系统中潜藏的时序冲突与逻辑漏洞，如紧急停车信号与联锁保护的动作优先级矛盾。

2.3 控制系统集成与自动化水平提升

控制系统集成与自动化水平的跃升正推动石油化工生产向全流程智能化转型。现代控制架构通过“云-边-端”协同机制重构功能层级：边缘计算节点依托实时操作系统（RTOS）执行毫秒级关键控制指令，确保反应器压力调节、压缩机防喘振等高速响应的可靠性；云端平台集成数字孪生与机器学习模块，对全厂能效数据深度挖掘生成全局优化策略。OPC UA 统一架构的应用打破异构系统壁垒，在芳烃联合装置中实现 DCS 与 PLC 的语义级互联，构建跨重整、歧化、烷基化单元的物料平衡控制链，使芳烃收率提升与能耗降低形成动态耦合。自适应自动化系统通过在线辨识工艺动态特性，自主重构控制拓扑。硫磺回收单元基于 H2S 浓度频谱分析，动态切换比例控制与串级控制模式，在酸性气负荷突变时维持 Claus 反应器的最佳硫转化率；催化裂化装置则根据催化剂循环速率实时调整滑阀控制回路结构，避免床层料位剧烈波动。自主诊断功能融合机理模型与数据驱动算法，实现隐性故障的早期预警：通过分析调节阀定位器电流波形识别阀杆卡涩趋势，利用泵振动频谱特征检测轴承磨损状态，并自动触发冗余设备切换或控制参数补偿。

2.4 控制系统与信息化技术融合（DCS、PLC、SCADA）

工业互联网与信息技术的深度融合正重构石油化工控制系统的底层架构。基于云原生理念构建的分布式控制系统（DCS）突破传统层级限制，通过 5G 网络切片技术实现确定性通信保障，在延迟焦化装置中构建端到端低时延控制链路，使急冷油流量调节的实时响应能力跨越式提升；可编程逻辑控制器（PLC）与智能 SCADA 系统的协同优化，将设备健康管理（PHM）模块嵌入数据采集层，于常减压装置中实现腐蚀速率预测模型与控制参数的动态耦合，形成“监测-预警-调控”闭环管理[2]。区块链技术的引入为控制指令的完整性与可追溯性提供底层支撑，其分布式账本特性确保联锁动作记录不可篡改，在事故回溯中可精准定位异常指令来源；知识图谱技术通过语义关联工艺知识库与控制逻辑，在催化重整反应器优化中自动推导温度、压力与空速的协同策略，突破人工经验调参的局限性。

3 自动控制系统的安全性分析

3.1 自动控制系统安全风险类型

石油化工自动控制系统的安全风险呈现多层次渗透特征。硬件层面临电磁兼容性挑战，强电磁脉冲可能导致信号传输畸变，如雷击引发的 DCS 卡件击穿会直接瘫痪关键控制回路；极端温湿度环境加速电子元件老化，致使传感器漂移或控制器运算异常。软件层风险集中于实时操作系统（RTOS）的时序可靠性，优先级反转缺陷可能延误紧急停车指令执行，而内存溢出漏洞则会导致控制逻辑紊乱，例如分馏塔液位控制算法因堆栈溢出陷入死循环。网络层安全威胁随工业物联网扩展持续升级，Modbus/TCP、OPC UA 等协议若未加密易遭中间人攻击，攻击者可篡改调节阀开度指令引发反应器超压；无线传输场景下面临伪基站信号劫持风险，可能导致压缩机防喘振控制信号被恶意屏蔽。功能安全与信息安全的交叉风险构成更高维威胁：针对安全仪表系统（SIS）的 APT 攻击可能伪造安全联锁条件，在非必要工况下触发误停车；勒索软件入侵基础过程

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

控制系统（BPCS）后，通过加密控制参数文件实施生产胁迫。此外，系统集成风险不容忽视，异构控制系统间的协议转换漏洞可能被利用进行横向渗透，例如通过 DCS 与 PLC 的通信接口植入恶意代码。

3.2 故障模式与影响分析（FMEA）

故障模式与影响分析（FMEA）在控制系统的安全性评估中需突破传统框架，向全生命周期与多维度协同方向深化。针对智能变送器等新型设备，失效模式分析需兼顾硬件失效与算法缺陷：除传感器膜片污染导致的测量偏差、通讯总线中断引发的信号丢失等传统故障外，还需评估 AI 芯片在边缘计算场景下的算力瓶颈，例如特征提取延迟或数据降维失真可能引发控制误判。在安全生命周期视角下，FMEA 需贯穿设计、调试、运维全流程：设计阶段的电磁兼容测试不足可能埋下信号串扰隐患；调试阶段的接地环路设计缺陷易在雷暴天气诱发共模干扰，导致 DCS 卡件误报警；运维阶段的组态逻辑误修改可能打破联锁保护时序，例如误删急冷阀优先级设置引发反应器超温连锁失控。动态 FMEA 技术通过数字孪生平台构建虚拟测试环境，量化人机交互失误对系统安全的影响。例如，操作员在紧急工况下误触 HMI 界面“旁路联锁”按钮的行为，可通过仿真模拟其触发非计划停车的概率分布；维修人员未按规程校准流量变送器的操作偏差，可映射为控制回路振荡幅值的敏感性参数。

3.3 安全仪表系统（SIS）配置与设计原则

安全仪表系统（SIS）的配置与设计需以风险降低为根本目标，遵循“独立性、冗余性、多样性”原则。系统架构需依据安全完整性等级（SIL）认证要求，采用“一选二”（1oo2）或“三取二”（2oo3）冗余表决机制，例如乙烯裂解急冷单元中，三重冗余温度传感器与安全 PLC 构成的逻辑解算单元，可在单点失效时维持超温联锁功能完整性。诊断覆盖率（DC）的优化需融合智能诊断技术：通过解析阀门定位器电流波形的时频特征，识别阀杆卡涩、膜片破裂等渐进性故障；结合振动频谱分析预判泵轴承磨损趋势，实现故障前兆捕捉与冗余切换[3]。定期功能测试（PFT）通过部分行程测试（PST）技术，在不停工条件下验证紧急切断阀的动态性能，例如模拟 5%～20%开度动作检测阀芯黏滞与密封失效；同时采用在线校验模块对安全 PLC 进行周期性自检，确保逻辑运算单元与通信接口的可靠性。

3.4 系统冗余设计与网络安全防护

系统冗余设计与网络安全防护的协同实施构筑了控制系统的纵深防御体系。冗余架构需实现物理隔离与逻辑解耦的立体化防护：主备控制器不仅采用独立电源与通讯链路，更通过异构硬件设计（如 ARM 与 FPGA 芯片混搭）规避共因失效风险；关键控制回路部署三模冗余（TMR）结构，在加氢反应器压力调节中实现“一故障运行、两故障安全”的容错目标。量子密钥分发（QKD）技术为控制指令传输构建物理层信任基，通过光子偏振态加密抵御量子计算破译威胁，确保 DCS 与 SIS 间安全联锁信号的不可窃听与篡改。零信任架构（ZTA）重构了控制网络的访问范式：每个终端设备需通过硬件指纹认证与可信平台模块（TPM）验证确立身份，操作人员的权限动态调整为“最小必需”模式，例如工程师站仅允许在特定时间窗内访问组态参数；工业防火墙内置协议深度解析引擎，可识别 Modbus/TCP 帧中的异常功能码并阻断横向渗透。

3.5 控制系统安全性评估方法

控制系统安全性评估需融合多维度分析方法，构建从静态到动态的全景风险画像。故障树分析（FTA）与贝叶斯网络的耦合应用，将人误操作、设备劣化等不确定性因素转化为概率节点，量化其对安全完整性等级（SIL）的边际效应，例如操作员误触旁路开关的行为可通过因果链追溯至联锁失效概率的增量。HAZOP-LOPA 联合分析法通过系统解构工艺偏差路径，辨识独立保护层（IPL）的覆盖盲区：在加氢反应器超压场景中，验证压力传感器冗余度是否足以对冲安全阀卡涩风险，确保防护层叠加效应满足风险降低因子（RRF）要求。安全仪表功能（SIF）的验证采用马尔可夫模型，通过状态转移概率矩阵计算平均失效概率（PFDavg），例如对紧急泄放阀的“需求-失效”场景建模时，需涵盖机械卡滞、电磁干扰、供电中断等共因失效模式，确保计算结果满足 SIL2 及以上等级要求。数字孪生驱动的动态风险评估突破传统静态分析的局限，通过实时映射设备老化速率与催化剂失活动力学，预测控制系统的安全裕度衰减曲线，如模拟重整反应器管壁减薄对温度控制回路的长期影响，提前触发预防性维护策略。

4 结语

石油化工装置自动控制系统的安全优化是涉及多学科交叉的复杂系统工程。通过构建“算法智能迭代-系统自主容错-风险动态管控”的三层防御体系，能够显著提升控制系统在复杂扰动下的稳定性和安全性。未来，随着数字线程、认知计算等技术的发展，控制系统将实现从被动防护到主动免疫的范式跃迁，为石油化工行业的高质量发展构筑坚实的技术底座。

[参考文献]

[1]房健.浅析石油化工装置自动控制系统网络设计[J].石化技术,2024,31(6):326-328.
[2]孙明阳,闫希旺,任帅.自动控制系统在石化工程中的应用[J].电子技术,2024,53(6):214-215.
[3]聂辛丽,刘霞,叶雯,等.自动化控制在石油化工安全生产中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(18):25-27.

作者简介：彭钿（1986.4—），毕业院校：西南石油大学，所学专业：生产过程自动化，当前就职单位名称：克拉玛依市三达有限责任公司，就职单位职务：物资供应站，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工业区化工企业的安全生产监管探讨

杨寻护
西安高新技术产业开发区应急管理局，陕西 西安 710128

[摘要]石化行业作为国民经济的重要支柱，其安全生产不仅关乎企业自身的经济效益，更直接影响社会稳定和生态环境安全。近年来，随着石化产业规模的扩大和工艺技术的复杂化，安全生产监管面临前所未有的挑战。高温高压、易燃易爆、有毒有害等固有风险，叠加设备老化、管理漏洞等现实问题，使得石化企业的安全事故仍时有发生。传统的安全管理模式已难以适应现代化工生产的需求，亟需探索更加科学、系统、智能的监管措施。本文立足于石化企业的生产特点，深入分析当前安全监管的薄弱环节，并从工艺安全管理、设备完整性、应急响应三个维度提出优化路径，旨在为提升石化企业本质安全水平提供理论参考和实践指导。

[关键词]石化企业；工艺安全；设备完整性；过程安全管理；应急响应
DOI：10.33142/ec.v8i4.16325　　中图分类号：X921　　文献标识码：A

Discussion on Safety Production Supervision of Chemical Enterprises in Industrial Zones

YANG Xunhu
Emergency Management Bureau of Xi'an High-tech Industrial Development Zone, Xi'an, Shaanxi, 710128, China

Abstract: As an important pillar of the national economy, the safety production of the petrochemical industry is not only related to the economic benefits of the enterprise itself, but also directly affects social stability and ecological environment security. In recent years, with the expansion of the petrochemical industry and the complexity of process technology, safety production supervision has faced unprecedented challenges. The inherent risks of high temperature and high pressure, flammability and explosiveness, toxicity and harm, combined with practical problems such as equipment aging and management loopholes, still lead to safety accidents in petrochemical enterprises from time to time. The traditional safety management model is no longer suitable for the needs of modern chemical production, and there is an urgent need to explore more scientific, systematic, and intelligent regulatory measures. This article is based on the production characteristics of petrochemical enterprises, deeply analyzes the weak links in current safety supervision, and proposes optimization paths from three dimensions: process safety management, equipment integrity, and emergency response, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for improving the intrinsic safety level of petrochemical enterprises.

Keywords: petrochemical enterprises; process safety; equipment integrity; process safety management; emergency response

石化企业的生产过程涉及复杂的化学反应和极端工况，具有高风险、高关联性的特点。一方面，随着装置大型化和工艺集成度的提高，单一设备的故障可能引发连锁反应，导致系统性风险；另一方面，新材料、新工艺的快速应用，使得传统安全管理体系难以全面覆盖新兴风险。当前，我国石化企业的安全监管仍存在诸多不足，如工艺安全管理流于形式、设备维护缺乏预见性、应急响应能力不足等。这些问题不仅制约了企业的可持续发展，也对公共安全构成潜在威胁。与此同时，数字化转型为石化行业的安全管理带来了新的机遇，智能化监测、大数据分析、数字孪生等技术的应用，正逐步改变传统的被动防御模式。在此背景下，如何构建更加高效、精准的安全监管体系，成为石化行业亟待解决的关键问题。

1 石化企业特征

石化企业作为能源转化与基础原材料供应的核心载体，其生产运营具有区别于普通化工企业的显著特征。从原料构成来看，石化企业主要以原油、天然气、煤层气等碳氢化合物为加工对象，通过物理分离和化学反应将其转化为各类石油化工产品。以某千万吨级炼化一体化项目为例，其工艺路线包含 48 个主装置、236 个生产单元，各系统之间通过总计达 582 公里的工艺管线相互连接，系统耦合度极高。从工况条件分析，石化生产过程普遍存在高温、高压等极端工况，对设备材料性能和操作控制提出严苛要求。在物料危险性方面，石化企业日常处理的物料大多具有易燃、易爆、有毒等危险特性。2023 年国家应急管理部发布的行业统计显示，石化企业涉及的重大危险源数量占整个化工行业的 63%，其中一级重大危险源占比达 41%。从装置特点观察，现代石化装置呈现明显的大型化趋势，设备投资动辄数十亿元。这种大型化特征使得设备故障可能造成的后果呈几何级数放大，2024 年华南某炼厂催化裂化装置故障导致的全厂停车事故，直接经济损失达 2.3 亿元。值得注意的是，随着双碳战略推进，石化企业正加速向新材料、新能源领域延伸，氢能装备、碳捕集设施等新型风险源不断涌现，给传统安全管理模式带来全

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

新挑战。石化企业的安全管理必须建立系统防控、重点突破的思维，既要把握全流程的系统性风险，又要聚焦关键装置的特殊风险。

2 石化企业安全监管特殊性研究

2.1 工艺安全管理系统的核心价值

工艺安全管理系统作为石化行业特有的管理体系，其核心在于预防重大工艺事故的发生。根据美国化学安全委员会 2023 年度报告，全球范围内 85%的重大石化事故根源在于工艺安全管理缺陷。从实践角度看，有效的工艺安全管理系统应包含三个关键维度：首先是工艺安全信息的完整性，这要求企业建立涵盖物料特性、设备参数、安全限值等要素的数据库。笔者在 2024 年参与某省石化企业安全审计时发现，30%的被查企业存在工艺技术包与现场实际不符的情况。其次是操作规程的合规性，特别强调操作参数的警戒值与行动值的科学设定。某民营炼厂 2022 年 4·15 事故调查显示，操作人员长期在弹性极限附近运行是导致反应器超压的主因。最后是变更管理的严谨性，包括工艺变更、设备变更、人员变更等各类变更的风险评估。值得注意的是，随着数字化技术的迅猛发展，工艺安全管理系统正迎来新的变革机遇。如某石化基地通过数字孪生技术构建虚拟装置，实现了工艺参数的实时模拟与预警，将异常工况识别时间从小时级缩短至分钟级。

2.2 设备完整性管理的实施路径

设备完整性管理是石化企业安全运行的物理基础，其核心在于确保关键设备在整个生命周期内的可靠性。与传统设备管理相比，现代设备完整性管理更强调风险预控和主动维护。从行业实践看，石化设备管理面临三大共性难题，材料劣化问题、机械疲劳问题、腐蚀问题。2024 年中国特种设备检测研究院的统计数据显示，在检验的 142 台加氢反应器中，存在超标缺陷的占比达 17%。针对这些问题，应采取分级管控策略：一是对核心设备如反应器、压缩机等实施基于风险的检验，根据风险矩阵确定检验周期和方法；二是对一般设备推行状态监测，通过振动分析、油液检测等技术手段捕捉早期故障信号；三是对辅助设备实行预防性维护，建立标准化的维护作业包。值得关注的是，近年来基于人工智能的设备健康管理技术取得突破性进展。如某炼化企业应用机器学习算法分析历史检修数据，成功预测了焦化加热炉炉管剩余寿命，预测误差控制在±7%以内。在设备管理队伍建设方面，笔者建议既要提升专业技术能力，又要强化现场实践技能。特别要指出的是，在双碳背景下，设备管理还需关注新能源设施的特殊要求，如氢能装备的泄漏监测、二氧化碳管道的低温脆性等问题。

3 当前工业区化工企业安全生产监管的不足

3.1 工艺安全管理薄弱问题剖析

当前石化企业工艺安全管理体系存在系统性缺陷，主要体现在工艺安全信息管理、工艺危害分析深度和变更控制三个维度。在工艺安全信息管理方面，多数企业建立的工艺技术资料库存在严重滞后性，2023 年应急管理部专项检查发现，38%的被查企业工艺管道仪表流程图与现场实际存在明显偏差。这种基础信息的失真直接导致后续安全管理措施失效。在工艺危害分析环节，普遍存在分析深度不足、参与人员专业素养不够的问题。2024 年华东某石化企业硝基苯装置爆炸事故的技术鉴定显示，原分析报告完全遗漏了硝化物热分解这一关键风险节点。更值得警惕的是，随着新工艺、新催化剂的快速应用，现有危害分析方法对新风险的识别能力明显不足。在变更管理方面，笔者在近年参与的多起事故调查中发现，约 60%的工艺安全事故与变更管理失控有关。特别是中小石化企业普遍缺乏规范的变更管理程序，技术变更经常以口头通知形式下达，相关操作规程和安全措施未能同步更新。这种管理漏洞使得原本可控的风险转变为重大隐患。

3.2 设备管理缺陷问题研究

石化企业设备管理面临的挑战主要表现在全生命周期管理断裂、检验检测技术滞后和管理标准执行不力三个方面。在设备全生命周期管理方面，普遍存在重使用轻维护的短视行为。2022 年国家市场监管总局特种设备安全监察局年报显示，石化行业压力容器定期检验率仅为 82.3%，远低于电力行业的 95.6%。这种管理缺位直接导致设备带病运行现象普遍存在。在检验检测技术应用方面，多数企业仍停留在传统的停机解体检验阶段，在线检测、智能监测等先进技术应用比例不足 30%。笔者在 2023 年参与评估的某大型炼化基地中，其关键机组的状态监测系统覆盖率仅为 45%，且大部分监测数据处于只采集不分析的状态。更严重的是安全联锁系统的管理混乱，部分企业为追求产量擅自摘除或调高联锁设定值。2024 年北方某乙烯装置爆炸事故的直接原因就是操作人员旁接了反应器温度联锁系统。从管理标准执行角度看，虽然行业已普遍建立设备管理标准，但在基层执行中普遍存在“两张皮”现象。特别是在防腐管理方面，约 40%的企业未建立系统的腐蚀监测网络，仅依靠定期测厚这种被动防御手段。

4 提高工业区化工企业安全生产监管的有力措施

4.1 工艺安全管理体系深度优化路径

深化工艺安全管理体系应用需要构建全流程、多维度的管理闭环。在工艺安全信息管理方面，应当建立动态更新的数字化档案库，整合物料安全数据单、设备设计文件、工艺流程图等关键信息，并确保与现场实际情况保持同步。2023 年某央企实施的工艺安全信息数字化项目，通过建立三维可视化平台，实现了设计参数与实际运行数据的智能比对，将信息更新滞后时间从平均 45 天缩短至 7 天。在工艺危害分析环节，建议采用定期全面评估+专项重点分析的双轨模式，每三年开展一次涵盖全流程的分析，同时针对工艺变更、设备改造等特定情形组织专项评估。笔

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

者在参与某石化园区安全管理标准时，通过引入反应量热分析数据，显著提升了反应风险识别的准确性。在变更控制方面，必须建立标准化的变更控制流程，重点把控技术评估、影响分析、审批授权、实施验证等关键节点。特别要强调的是，操作规程的更新必须与工艺变更同步进行，确保变更内容有效落实到操作层面。

4.2 设备完整性管理升级策略

设备完整性管理的强化应当以风险管控为核心，构建预防性维护体系。在风险管控方面：在线监测技术的推广应用是提升设备管理效能的关键，当前红外热成像、超声导波等先进技术已日趋成熟，应当建立覆盖主要设备的在线监测网络。笔者建议在设备密集区域部署物联网传感系统，构建设备健康状态的数字化看板。2024 年某炼化企业应用新技术后，将重点设备的检验效率提升了 40%，同时减少了不必要的停机检验。在预防性维修体系方面：需要建立需要突破传统的定时检修模式，向状态维修转变，实现早期预警。值得关注的是，随着人工智能技术的发展，设备故障预测正进入新阶段。某石化企业 2023 年开发的智能诊断系统，通过机器学习算法分析历史运行数据，成功预测了压缩机轴承故障，避免了非计划停机。同时要加强维修质量管理，应当建立标准化的维修作业包，明确关键质量控制点和验收标准，确保维修作业达到预期效果。

4.3 应急响应体系现代化建设

完善应急响应机制需要全面构建装置级、厂区级、区域级三级应急响应体系，应明确各层级的职责分工和响应流程。其中，装置级应急重点在于初期控制，要求操作人员在第一时间采取正确的应急处置措施；厂区级应急强调专业处置，消防、气防等专业队伍应当具备扑救大型火灾、处理有毒物质泄漏等专业能力；区域级应急侧重资源协调，建立与周边企业、政府应急力量的联动机制。2022 年某石化园区实施的应急能力提升项目，通过建立统一的应急指挥平台，将应急响应效率提升了 60%。同时要加强实战演练，实战演练是检验应急能力的重要手段，应当注重场景设置的针对性和演练过程的真实性。笔者建议采用双盲演练方式，即不预先通知演练时间和内容，真实检验应急队伍的处置能力。演练重点应当包括关键设备的应急隔离、泄漏物料的紧急处置、受影响人员的快速疏散等环节。值得注意的是，随着装置大型化、复杂化的发展趋势，传统的应急预案已难以满足需求，应当开发基于情景构建的应急预案体系，针对不同事故情景制定差异化的处置方案。在应急装备方面，建议配备大型泡沫灭火系统、无人侦察机、机器人处置装置等先进装备，提升应对复杂事故的能力。特别要强调的是，应急管理必须与日常安全管理有机结合，通过应急预案的持续优化和应急能力的不断提升，构建完整的安全防线。

5 结语

石化企业的安全生产监管是一项系统性工程，需要从管理理念、技术手段和制度保障等多方面协同推进。本文提出的工艺安全管理优化、设备完整性提升、应急响应智能化等措施，旨在构建更加科学、动态的安全防控体系。未来，随着人工智能、物联网等技术的深入应用，石化行业的安全管理将向更加精准化、智能化的方向发展。然而，技术创新仅是手段，真正的安全仍依赖于严格的管理执行和全员安全意识的提升。企业应持续优化安全管理机制，强化风险防控能力，同时加强与政府、行业组织的协同合作，共同推动石化行业的高质量安全发展。唯有如此，才能在保障生产效益的同时，实现安全与可持续发展的双重目标。

[参考文献]

[1]刘莉，孙录荣.探析化工企业安全生产管理与政府监管的重要性[J].山东化工，2023，52(6)：204-208.
[2]吴和平，吴才伍，吴超.化工企业安全生产问题分析及对策[J].化学工程与装备，2023(4)：220-221.
[3]陈宏伟，陈旭.石油化工企业安全生产问题与优化对策分析[J].现代工业经济和信息化，2023，13(4)：301-303.
[4]江雯，孟耀斌，李盛泽.组织与成员双重视角下危化品安全生产政企互动分析[J].中国安全生产科学技术，2023，19(9)：157-163.

作者简介：杨寻护（1988.10—），男，汉族，学历：本科，专业：微电子学，中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

露天煤矿剥离工艺优化与资源综合利用研究

蒲应录　王质彬　郭卫东
新疆雪峰爆破工程有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]随着煤炭需求的增长，露天煤矿的开采成为主要方式，但传统的剥离工艺存在资源浪费和环境污染等问题。当前，煤矿剥离工艺和废弃物处理技术仍面临不少挑战，影响了资源利用效率和环境保护。近年来，随着机械化和自动化技术的进步，煤矿剥离工艺得到了一定程度的优化，同时废弃物的综合利用也取得了进展。本研究分析了露天煤矿剥离工艺的现状，探讨了煤矿资源的合理开采与废弃物的综合利用，旨在为煤矿行业的可持续发展提供解决方案。

[关键词]露天煤矿；剥离工艺优化；资源综合利用
DOI：10.33142/ec.v8i4.16320　　中图分类号：X7　　文献标识码：A

Research on Optimization of Stripping Technology and Comprehensive Utilization of Resources in Open-pit Coal Mines

PU Yinglu, WANG Zhibin, GUO Weidong
Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the increasing demand for coal, open-pit coal mining has become the main method, but traditional stripping processes have problems such as resource waste and environmental pollution. Currently, the coal mine stripping process and waste disposal technology still face many challenges, which affect resource utilization efficiency and environmental protection. In recent years, with the advancement of mechanization and automation technology, the coal mine stripping process has been optimized to a certain extent, and the comprehensive utilization of waste has also made progress. This study analyzed the current situation of stripping technology in open-pit coal mines, explored the rational mining of coal resources and the comprehensive utilization of waste, aiming to provide solutions for the sustainable development of the coal mining industry.

Keywords: open-pit coal mine; optimization of stripping process; comprehensive utilization of resources

引言

随着全球能源需求的不断增长，煤炭作为重要能源之一，依然占据着全球能源结构的核心地位。露天煤矿，作为一种常见的煤炭开采方式，因其开采成本低、效率高等优势，被广泛应用。然而，这种开采方式也伴随着资源浪费、环境污染等诸多问题，尤其是在传统剥离工艺中，煤矿资源的利用率较低，废弃物的处理与综合利用亟待改进。随着技术的进步以及环保要求的提升，优化露天煤矿剥离工艺，提高资源利用效率，并实施废弃物的综合利用，成为煤矿行业面临的重要课题。本研究的目的是探讨露天煤矿剥离工艺的优化策略，重点分析煤矿地质条件与剥离工艺的关键影响因素。现代技术结合后，提出了可行的解决方案。同时，研究了废弃物的有效利用途径，降低了环境污染，提升了资源回收率，从而推动煤矿开采向绿色、低碳、高效的方向发展。目标是为煤矿企业提供理论依据与实践指导，助力其优化剥离工艺与资源综合利用，推动煤矿行业可持续发展。

1 露天煤矿传统开采工艺

1.1 露天煤矿开采工艺特点

露天煤矿开采工艺，是一种广泛应用于煤矿资源开采的关键技术，主要通过露天开挖、剥离覆盖层后直接开采矿体。相较于地下开采，露天开采以其更低的成本和较高的生产效率而被广泛应用。工艺流程通常包括表土剥离、矿石开采、运输及废料处理等环节。露天煤矿开采的特点，在于其较浅的开采深度，使得机械设备能够大规模作业；同时，作业面广阔，能够一次性开采较大范围的矿体。由于不需要复杂的地下通道建设，矿石运输相对简便，运输过程可通过卡车或输送带直接送往加工厂。尽管露天开采具有上述优势，但它也带来了一定的环境影响，如土地破坏、水土流失及生态环境污染。因此，采取有效的防治措施，以减轻这些负面影响，变得尤为重要。露天煤矿开采工艺的顺利实施，还需综合考虑地质条件、气候变化、设备选型及安全管理等多方面因素。

1.2 表土剥离工艺

表土剥离工艺，是露天煤矿开采中的一个核心步骤，旨在去除覆盖在煤层上的表土、植被以及其他无用的地层，从而暴露出矿体，为后续开采提供便利。该工艺通常通过机械化作业来实现，常用设备包括大型挖掘机、推土机及铲运机等，这些设备可将表层土壤与岩石层逐层剥离。表土剥离的实施，对于煤矿开采的顺利推进至关重要；只有

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在去除表土层后，矿层才能完全暴露，从而为矿石的开采与运输提供条件[1]。表土剥离的深度与范围，需综合考虑矿区的地质条件、气候特点及环境保护要求，以选择合适的作业方式。合理规划表土剥离工艺，能够不仅提升煤矿的开采效率，还能有效减少后续开采过程中可能出现的土壤侵蚀及环境破坏问题。

1.3 填充式开采工艺

矿床倾斜度低于 120° 的为平缓矿床。针对实际煤矿围岩稳定性差、易发生脱落的结构，采用填充式开采工艺能够有效保护矿体，并控制落石范围。该工艺不仅能保障煤矿回采的安全性，还具有较高的实际应用灵活性。与其他开采工艺相比，填充式开采可以大幅减少煤矿贫化损失，并有效保护围岩的安全性，从而降低开采过程中坍塌的风险。该工艺主要包括两种常用技术：水砂填充开采工艺和干式煤矿开采技术。通过综合考虑实际煤矿的地质条件，灵活应用这些技术，可以显著提高煤矿的开采稳定性，且不受剥离岩石厚度的影响。

2 露天煤矿剥离工艺的影响因素

露天煤矿剥离工艺，受到多种因素的综合影响，包括地质条件、煤层结构、机械设备、技术水平以及环境与安全等方面，这些因素对剥离效率、成本与安全性起着关键作用。地质条件，对剥离作业有着直接的影响，矿区的岩层分布、岩性特点以及矿体的倾角等因素，决定了剥离的难易程度。例如，硬岩与软岩的剥离难度差异较大，剥离工艺必须根据实际地质条件作出相应调整。煤层结构的复杂性，包括煤层的厚度、倾斜度及煤与岩的界面特征，也显著影响剥离过程。复杂的煤层结构，增加了剥离作业中的技术难度，进而影响了作业的效率与成本。

机械设备与技术水平，也是决定剥离工艺效果的重要因素。高效的设备，不仅能够提升剥离效率，降低能源消耗，还能减少设备故障的发生。然而，设备的维护与管理同样至关重要，因为设备故障可能导致作业中断，甚至引发安全事故。技术水平的提升，通过优化操作流程、提高精准度以及减少人为误差，能够进一步改善工艺效果。最后，环境与安全因素，亦不能忽视[2]。露天剥离作业，涉及爆破、运输及堆料等环节，产生的粉尘、噪声、振动等污染，对周围环境造成了影响。同时，作业过程中的安全管理若不到位，可能会导致事故发生危及作业人员及周边居民的安全。

3 露天煤矿剥离工艺的优化策略

3.1 剥离工艺的优化目标

露天煤矿剥离工艺的优化目标，主要集中在提高剥离效率、降低作业成本、保障作业安全以及减少对环境的负面影响等方面。提高剥离效率，是优化过程中的一项重要任务。通过精准的地质勘探与作业规划，合理安排剥离顺序与方法，能够显著提升煤层剥离进度，缩短停工时间，从而确保生产的连续性与稳定性。降低作业成本，也是优化目标之一。通过合理配置机械设备，优化燃料与材料的使用，并结合高效的作业流程，不仅能减少能源消耗，还能降低人力成本，同时确保作业安全。安全性问题，在优化剥离工艺时同样不可忽视。通过改进作业流程、提升技术措施、提高设备可靠性及强化现场安全管理，能够有效预防事故，保障作业人员的生命安全及矿区周围环境的稳定性。环保目标，在现代矿山作业中越来越重要。通过实施防尘、防噪音、振动控制等措施，能够减轻对周围生态环境的负面影响，促进矿山的可持续发展。

3.2 机械设备的优化与升级

机械设备的优化与升级，在露天煤矿剥离工艺中占据着重要地位，直接影响着剥离作业的效率、安全性与经济性。随着矿山开采规模的扩大与作业环境的日益复杂，传统设备，已无法满足对高效、精确与安全作业的需求，这使得机械设备的优化与升级显得尤为关键。设备现代化，被认为是提升剥离效率的核心途径。通过引入高效能的机械设备，如先进的挖掘机、翻斗车、装载机等，可以显著提高煤层剥离的速度与精度，减少停工时间，从而提高整体生产效率。智能化技术的应用，也为设备优化提供了新的可能性。集成了传感器、GPS 定位、自动控制系统等技术的智能设备，可以实现作业过程的实时监控与调度，精确控制设备的运行状况，从而降低故障发生率并提升设备利用率。自动化技术的提升，减少了对人工操作的依赖，降低了操作风险，尤其是在复杂且危险的作业环境中，自动化设备能够有效减少安全隐患。在设备升级过程中，除了提升机械设备的作业能力外，环保性能也应被重视，如降低噪音、减少排放等，以符合更加严格的环保要求。此外，提高设备的节能性能，通过采用更高效的动力系统来降低能耗，也是优化策略中的重要方面，这有助于进一步降低作业成本。

3.3 煤矿资源的合理开采与保护

煤矿资源的合理开采与保护，是露天煤矿剥离工艺优化中的关键策略，其目标是实现矿产资源的高效利用与可持续发展。在传统开采过程中，常见的过度开采与资源浪费现象，导致矿层严重破坏、矿石回收率低以及环境负担加重，这使得合理的资源开采策略变得尤为重要。为了实现资源的最大化利用，科学的矿山设计，被认为至关重要。通过合理规划开采过程中的各个环节，能够确保每一步操作都符合资源优化的原则。采用分层开采、选择合适的采掘方式等技术手段，不仅能减少煤层浪费，还能保障煤矿的经济效益。在保护煤矿资源方面，煤矿外围岩层与生态环境的保护，必须得到重视。在开采过程中，合理的边坡设计、有效的支护措施以及水土保持技术的应用，能够有效减少矿山开采对周围环境的负面影响，防止水土流失及污染问题的发生[3]。此外，矿山开采，必须遵循矿产资源

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

的可持续利用原则，确保采矿活动不会导致资源的不可逆枯竭或环境的严重破坏。

3.4 先进技术在剥离工艺中的应用

先进技术在露天煤矿剥离工艺中的应用，对于提升剥离效率、降低成本、减少资源浪费及保障环境安全，起着至关重要的作用。随着科技的迅速进步，自动化、信息化、遥感技术以及人工智能等现代化技术，已广泛渗透至矿山开采领域，特别是在优化剥离工艺方面，取得了显著成效。自动化设备的引入，尤其是自动化钻机、装药设备及智能挖掘机，使得剥离作业的精准度与效率大幅提升。智能控制系统的应用，使得作业状态能够实时监控，并进行动态调整，从而优化作业流程，减少人工操作带来的误差及安全隐患。信息化管理系统的使用，使得矿山作业数据能够实时传输、存储与分析，管理人员可根据这些实时数据，对剥离工艺进行调整，优化资源配置，提升整体工作效率。借助地质信息系统（GIS）及遥感技术，煤层与围岩的分布图，能够被准确绘制，从而为合理设计剥离方案提供支持，有效避免资源浪费。此外，采用 3D 地质建模与计算机模拟技术，矿山开采过程的虚拟仿真，能够进行，预测不同剥离工艺的效果，从而为现场决策提供科学依据。

3.5 数据分析与信息化管理对优化的作用

数据分析与信息化管理，在露天煤矿剥离工艺优化中，具有关键作用。随着信息技术的快速发展，矿山管理的核心，已逐步转向数据采集、处理与分析。通过在矿区部署传感器与智能设备，各项作业数据能够被实时采集，并通过网络传输至中央管理系统，从而为决策者提供精准且即时的作业信息。数据分析，帮助管理人员评估不同剥离方案的效果，监控作业过程中的各种参数，如设备状态、煤层厚度、爆破效果及作业进度等。这些信息，能够帮助及时识别潜在问题，优化资源配置，并提高工作效率。例如，通过对历史作业数据的分析，矿山在不同条件下的剥离效果，能够被预测，从而制定更加科学合理的开采计划，确保作业的顺利进行。

4 资源综合利用的策略与方法

4.1 剥离矿石的资源化利用途径

剥离矿石的资源化利用，是提高露天煤矿开采效益、减少资源浪费的重要途径。随着环保要求日益严格，以及对资源利用效率需求的不断增加，作为采矿过程中副产品的剥离矿石，其资源化利用，受到了越来越多的关注。剥离矿石中的某些矿物成分，经过加工处理后，能够实现其再利用价值。例如，煤矸石、废石等剥离矿石，可用于生产建筑材料，如水泥、砖块等，这不仅减少了废弃物的堆积，还有效降低了采矿成本。同时，一些矿石中可能富含有用金属矿物，经过适当的选矿工艺处理后，金属元素，可以从中提取，推动矿产资源的再生利用。除此之外，剥离矿石还可以作为土地复垦的重要材料。通过将其回填至采矿区，土壤质量，得以改良，为生态恢复提供必需的资源。这种做法，减少了废弃物对环境的负面影响，同时为矿区周边的农业与生态系统的恢复，创造了有利条件。随着技术的不断进步，剥离矿石的资源化利用途径，持续拓宽，新工艺和新技术的出现，使得废弃矿石的潜在价值得到了进一步的开发与利用，进而为矿山企业带来更多的经济与环境效益。

4.2 废弃物的综合利用技术

废弃物的综合利用技术，在露天煤矿开采过程中，具有重要意义，尤其是在资源逐渐匮乏及环保压力增大的背景下。合理处理与再利用废弃物，不仅能够有效减少环境污染，还能带来显著的经济效益。煤矿开采过程中产生的废弃物，如煤矸石、废矿渣、尾矿等，通常占用大量土地资源。如果这些废弃物得不到妥善处理，它们将成为环境污染的潜在源头。废弃物的综合利用技术，可分为物质转化利用和能量回收利用两大类。在物质转化方面，通过现代选矿与加工技术，可以从煤矸石、废矿渣等废弃物中提取有用矿物及化学成分，推动资源的回收与再利用。例如，煤矸石，经加工后，可以成为水泥、砖块、轻质骨料等建筑材料，用于工程建设，减少对天然资源的依赖[4]。此外，某些废弃物，还可以作为土地复垦及园艺土壤改良的原料，改善土壤结构，促进农业产量的提升。在能量回收方面，煤矿废弃物中，蕴含一定的能量。

4.3 资源综合利用的环境效益

在露天煤矿开采中，资源综合利用不仅能带来显著的经济效益，还对环境产生深远影响。随着矿产资源的逐渐枯竭及环保要求的不断提高，煤矿企业，面临着减少开采过程中负面环境影响的迫切需求。应对这一挑战的重要手段，便是资源综合利用技术。煤矿开采过程中，产生的废弃物，如煤矸石、尾矿及废矿渣等，通过资源化利用，能够有效减少废弃物的堆积量，并降低污染物的排放。通过先进的处理技术，这些废弃物，可以转化为有价值的产品，如建筑材料、土壤改良剂以及能源，进而减少了对自然资源的消耗及环境的污染。此外，资源综合利用，能够降低废弃物堆放对土地和水源的污染，改善周围的生态环境。例如，煤矸石与尾矿，可用于土地复垦与绿化，提升矿区土地的生态恢复能力，减少矿山开采对生态环境的破坏。在能源回收方面，热能回收技术，不仅能减轻对传统能源的依赖，还能有效减少温室气体的排放，推动煤矿行业向低碳环保的方向发展。此外，废弃物的再利用，还可减轻矿山的环境负担，如减少堆放场地的占用、避免地下水污染，并减少风蚀和水蚀对环境的危害，从而改善矿区周围的空气质量与水质。

5 结语

本文，通过研究露天煤矿剥离工艺的优化及资源综合利用，总结了影响剥离工艺的关键因素，并提出了相应的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

优化策略。矿石回收率的提升、作业成本的降低，都是通过优化剥离工艺可以实现的目标，同时，减少对环境的负面影响，也得到了有效推动，这将有助于煤矿行业朝着可持续发展方向迈进。废弃物的合理利用，以及资源综合利用技术的应用，进一步提高了资源利用效率，促进了绿色开采模式的实现。随着技术的不断发展与优化，煤矿行业，必将朝着更加安全、高效、环保的方向发展。希望，本研究能够为相关领域提供有价值的参考与借鉴。

[参考文献]

[1]刘晓光.露天煤矿薄煤层安全开采工艺优化[J].山西化工,2024,44(12):160-161.
[2]张帅.露天煤矿轮斗工艺系统优化与应用研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2018.
[3]周玉祥.露天煤矿绿色开采技术与评价研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2018.
[4]李海斌.新疆黑山露天煤矿内排方案及剥离工艺研究[D].东北:东北大学,2020.

作者简介：蒲应录（1984.11—），毕业院校：云南开放大学，所学专业：机电一体化技术，当前就职单位：新疆雪峰爆破工程有限公司，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

煤矿爆破震动对地表生态环境的影响及治理

祁瑞祥 傅永和 王质彬
新疆雪峰爆破工程有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]煤矿开采仍是主要的能源来源，但爆破震动却对土壤稳定性、水资源及植被造成了威胁，进而影响了生态平衡。随着环保意识的不断增强，爆破震动的影响及其治理措施的研究已成为矿业环保的重点。通过震动监测与生态修复技术的应用，科学依据可为绿色矿业发展提供，从而推动其可持续发展。

[关键词]爆破震动；生态环境；影响；治理
DOI：10.33142/ec.v8i4.16321 中图分类号：X322 文献标识码：A

The Impact and Management of Coal Mine Blasting Vibration on the Surface Ecological Environment

QI Ruixiang, FU Yonghe, WANG Zhibin
Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Coal mining is still the main source of energy, but blasting vibration poses a threat to soil stability, water resources, and vegetation, thereby affecting ecological balance. With the continuous enhancement of environmental awareness, the research on the impact of blasting vibration and its control measures has become a key focus of mining environmental protection. The application of vibration monitoring and ecological restoration technology can provide scientific basis for the development of green mining, thereby promoting its sustainable development.

Keywords: blasting vibration; ecological environment; impact; management

引言

煤矿开采作为重要的能源获取方式，虽为经济和能源保障提供了支持，但其对生态环境的影响却是显著的。爆破震动不仅对矿区的安全生产造成影响，还破坏了土壤结构、水资源以及植被的生长。为实现资源的可持续利用与生态保护，震动特性及其生态影响需被深入分析，并采取有效的治理措施以减少其负面影响。

1 煤矿爆破震动的传播特性

煤矿爆破震动的传播特性受到地质介质的影响，而不同类型的地质介质使得震动波的传播过程更为复杂。在爆破震动的传播过程中，震动波需要通过煤层、岩层、土壤等不同地质介质，每种介质的物理性质各异，导致了传播特征的不同。煤层的波速较低，且衰减较快，主要是因为煤质较软且内部充满裂缝与孔隙，这些结构在震动波传播过程中造成能量的显著损失。尽管煤层中的震动波传播速度较慢且传播距离较短，但其介质的稳定性使得传播路径相对简单。与煤层不同，岩层的传播特性显著不同。岩层的弹性模量较高，硬度大，震动波在其中的传播速度较快，衰减也相对较小。岩层的硬度和稳定性使得震动波在岩层中传播时，路径更为直线且稳定，传播距离也较长。土壤则表现出不同的传播特性，波速较低但衰减程度较小。土壤的特性受组成成分和含水量等因素影响，尤其是含水量较高时，会显著影响震动波的传播速度，水分能部分吸收震动能量，导致传播速度减缓。煤矿爆破震动的传播不仅受到地质介质本身的影响，还会受到地形地貌和地下构造的作用。震动波从爆炸点向四周传播时，常常会发生反射、折射和散射等现象，这使得传播过程更加复杂。地形的起伏和不规则性显著影响震动波的传播路径，不规则的地形会导致震动波的扩散和衍射，改变传播速度和衰减程度。山脉、山谷等地形特征会导致震动波的折射或在山谷中形成聚焦现象，进一步影响传播方向。地下构造，如断层、岩层界面和不同地质层的过渡带，也会使震动波发生反射、折射和散射，改变传播模式。这些复杂的地质条件使得震动波在传播过程中经常经历多次反射与折射，进一步增加了传播路径的复杂性。

2 煤矿爆破震动对地表生态环境的影响

2.1 土壤结构与质量的变化

煤矿爆破震动对土壤结构及质量的影响不容忽视。震动波在地面传播时，会显著改变土壤颗粒结构、孔隙率及水分分布。土壤颗粒间的联系可能因震动而破坏，导致颗粒重新排列或破碎，从而影响土壤的结构稳定性。震动作用使得原本紧密排列的土壤颗粒松动，形成较大的空隙，进而导致土壤密实度下降，抗压能力减弱。此外，震动波的传播还可能改变土壤的孔隙结构，影响透气性和排水性，从而干扰水分的保持能力。在震动强度较大且频繁的地区，土壤的水分循环和养分流动可能受到显著影响，进而对植物生长和根系发育构成不利影响。持续的震动作用还可能损害土壤表层结构，使其更容易受到侵蚀。在这种情况下，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

原本稳定的表层被破坏，成为风雨侵蚀的目标，进一步加剧了土壤的侵蚀程度，降低了土地的生产能力。长期受到爆破震动影响的土壤，其有机质含量可能逐渐减少，导致肥力流失，最终对地表植被生长及生态系统稳定性产生负面影响。煤矿爆破震动不仅直接破坏了土壤物理结构，还通过改变水分、养分分布以及微生物环境，间接影响整个生态系统的健康与可持续发展。

2.2 水资源与水质的影响

煤矿爆破震动对水资源及水质的影响是一个不可忽视的重要问题。爆破所产生的强烈震动波在地下传播时，不仅对土壤结构产生影响，还可能改变地下水的流动路径及速度。震动作用使得地下岩层的裂缝与孔隙结构发生变化，从而可能导致水流方向的改变，甚至加剧地下水的渗漏与扩散。这样的变化直接影响地下水资源的储存与分布，尤其在水资源本就稀缺的地区，水源的破坏可能加剧水资源的紧张局面。震动对水质的影响同样不可忽视，随着震动波的传播，岩土层中的污染物可能被释放到地下水中，进而引发水质污染。这些污染物可能来源于煤矿作业过程中使用的有害化学物质，也可能因震动引起岩土结构的变化，进而将潜在有害物质暴露并迁移。特别是在地下水中含有重金属或有毒化学物质的情况下，震动可能会加剧水质污染，给周边生态环境及居民饮水安全带来严重威胁。此外，震动引发的地面裂缝及水体变动可能改变地表水的流动路径，使污染物从周围区域进入河流、湖泊等水体，从而导致水质的进一步恶化，这不仅威胁到水生生态系统的健康，还给水源的利用带来巨大的挑战，进一步增加了水质治理的复杂性。

2.3 植被与生物多样性的破坏

煤矿爆破震动对植被及生物多样性的破坏，主要体现在植物生长环境的破坏以及生态平衡的打乱。土壤结构的变化是爆破震动对地表的直接影响之一，这种变化限制了植物根系的生长。震动可能使土壤变松，致使植物根系无法深入固定在土壤中，从而削弱了植物的稳定性，甚至导致植物死亡。与此同时，震动波也可能直接摧毁植被，尤其是对于脆弱的草本植物和幼苗而言，震动使得它们的根基无法承受外界压力，导致植被迅速枯萎。这一破坏不仅限于植物本身，还引发了生态系统中的连锁反应。作为维持生物多样性的重要组成部分，植物的减少直接影响依赖这些植物的动物及微生物群落。震动可能摧毁动物的栖息地，尤其是那些依赖特定植物生长环境的物种，它们的栖息地被破坏后，可能面临栖息地的丧失，导致物种数量下降或迁移。此外，震动波有时会干扰动物的生活习性，如繁殖、觅食及栖息等，严重时可能导致某些物种的局部灭绝。随着植被覆盖的减少及物种的流失，生态系统的稳定性和功能性也遭遇威胁。植物在食物链中处于基础地位，并在水循环调节、土壤稳定等方面发挥着关键作用。煤矿爆破震动对植被与生物多样性的影响，远不止是局部的损害，而是对生态系统可持续性构成了潜在威胁。因此，减轻煤矿爆破震动的负面影响，保护生物多样性具有重要的现实意义。

2.4 地表形态的变化与地质灾害风险

煤矿爆破震动对地表形态及地质灾害风险的影响，主要表现为地表破坏与形变的发生。随着震动波的传播，地表土壤和岩层将承受一定压力，这可能导致裂缝、塌陷，甚至山体滑坡等现象。在不稳定的地质环境中，爆破震动进一步加剧了原有地质结构的脆弱性，促使地表发生显著的破坏性变化。震动的累积效应可能导致地下裂隙的扩展，土壤松动，进而影响地面稳定性，最终引发广泛的地质灾害。频繁的爆破震动还可能改变地下水的流动路径，从而引发水文地质的变化。震动波对地下水流动性的影响可能导致地下水位的波动，进而引发地面沉降或局部积水等现象。这些变化无疑对土地利用及居民安全构成威胁。震动作用若集中于山体或边坡等敏感区域，山体滑坡、崩塌等灾害的诱发风险将显著增加，进一步加剧对生态环境和人类生活的威胁。这些地表形态的变化不仅对煤矿周边自然景观及地质稳定性带来影响，还可能引发一系列连锁反应，进而增加地质灾害发生的概率。因此，在爆破震动的管理与监控中，必须准确评估潜在的地质灾害风险，及时采取有效的防治措施，以减轻对环境及人类安全的威胁。

3 煤矿爆破震动的治理措施

3.1 爆破震动监测与评估

煤矿爆破震动的有效治理依赖于精确的震动监测与评估。监测作为评估震动对环境影响的基础，提供了必需的数据支持，用于制定相应的治理措施。通过部署高精度震动监测设备，能够实时跟踪震动波在爆破过程中的传播，收集震动的幅度、频率与持续时间等关键信息。这些数据不仅帮助判断震动是否超出了安全标准，还能评估震动对周围环境可能造成的影响，尤其是对地表生态系统、建筑结构及水资源的潜在威胁。评估工作需要结合地质条件、震动特征及周围环境的敏感性进行综合分析[1]。在监测数据的支持下，专家能够通过数值模拟或现场验证，预测震动的传播路径与强度，评估其可能引发的地质灾害或生态破坏。通过这一过程，可以为煤矿爆破活动的优化提供科学依据，进而制定有针对性的震动控制措施。根据评估结果，某些区域可能展现出对震动的高敏感性，进而需要实施减震措施或调整爆破参数与时间安排，以尽量减少对生态环境及居民生活的影响。爆破震动的监测与评估不仅作为诊断现有问题的工具，也成为预防未来风险的关键手段。通过提供全面的数据支持，监测与评估确保治理措施的科学性与针对性，在爆破前后都发挥着至关重要的作用。

3.2 震动控制与减弱技术

在煤矿爆破震动治理中，震动控制与减弱技术发挥着

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

至关重要的作用，主要目标是有效降低震动波的强度及其传播范围，从而减少对周围环境的破坏。常见的震动控制与减弱技术包括爆破方案的合理设计、爆破参数的优化以及减震装置的应用等方法。合理设计爆破方案是震动控制的基本手段[2]。通过分段爆破、延时爆破或小量爆破等方式，爆炸能量得以分散释放，减轻震动波的冲击力，并有效减少震动的影响范围。此外，爆破参数的优化同样是有效控制震动的关键技术之一，通过调整药量、炸药种类以及爆破孔距等参数，能够精准控制爆破震动的频率与幅度。借助科学计算与实验分析，可以制定出最适应地质条件与开采需求的爆破参数，从而实现理想的震动控制效果。减震装置的应用同样在震动减弱方面发挥着重要作用，通过采用震动吸收材料、弹性支撑装置或隔震设备等技术，爆破震动向周围环境传播的能量得以显著减少，尤其是在容易受震动影响的建筑物或敏感区域。这些装置能够有效降低震动对结构的破坏风险。

3.3 土地恢复与生态修复方法

煤矿爆破震动后的土地恢复与生态修复是重要的治理措施，主要目的是修复受到破坏的土地和生态环境，确保其长期保持良好的功能。土地恢复的首要任务是恢复土壤的结构与肥力，并改善其水分保持能力。常见的恢复方法包括深翻土壤、施加有机肥料以及通过生物修复技术恢复土壤中的微生物活性。通过这些措施，土壤质量得以有效提高，土地的生产能力得以恢复，同时能够减轻风蚀、水蚀等二次破坏[3]。生态修复则侧重于恢复植被覆盖及生物多样性，恢复植被是这一过程中的核心环节，选种本土适应性强的植物来提高地表的植被覆盖率，不仅有助于固定土壤，减少水土流失，还能为当地动植物提供栖息地，从而有效恢复生物多样性。在生态修复的过程中，还应综合考虑水资源的管理，以解决水土流失及水污染问题。通过加强水土保持及植被覆盖，土地的生态功能将显著提升。在修复过程中，还可引入一些创新的绿色技术，如人工湿地或水生植物带等，这些方法能够有效处理由爆破震动引起的水质污染，改善水体质量，并增强生态系统的自我修复能力。

3.4 水资源保护与生态恢复策略

在煤矿爆破震动治理中，水资源保护与生态恢复策略至关重要，尤其是在爆破震动可能对地下水和地表水系统造成潜在影响的情况下，采取有效的防护措施显得尤为迫切。保护水资源的核心目标是预防污染并实现合理利用。为了避免煤矿爆破震动破坏地下水源的保护层，必须在爆破作业前进行详细的地质勘探，以确保水源不受污染。在已受污染的水体中，水质监测系统应及时启动，污染源得以尽早发现并采取有效修复措施。例如，水质净化可以通过自然沉淀或使用人工湿地等手段进行。此外，合理利用水资源同样是水资源保护的关键方面，矿区应建立完善的水资源管理系统，通过精准的水量监控和科学调度，防止地下水的过度开采或水资源配置不当，从而避免水源枯竭或水质退化。节水技术的应用和循环水利用系统的建立，可以有效减少水资源浪费，并提高水的利用效率。在生态恢复方面，水资源的保护与植被恢复紧密相关，通过恢复水源周围的湿地植物群落及生态带，不仅能有效维持水源的水质，还能减少土壤侵蚀与水土流失，增强生态系统的自我修复能力。对水体周围生态带的保护力度应加大，如建设水生植物带和人工湿地等，这不仅有助于水质净化，也能为动植物提供栖息地，促进生物多样性的提升。

4 结语

煤矿爆破震动对生态环境造成的影响是深远的，尤其是在土壤结构、水资源和植被等方面。通过实施震动监测、震动控制技术、生态修复以及水资源保护等有效治理措施，这些破坏可以显著减少，环境的恢复也得以促进。最终，实现矿业开发与生态环境的和谐共生是可能的。随着技术的不断发展与政策的逐步完善，未来的治理方法将变得更加精准，为矿区的可持续发展提供坚实的基础。

[参考文献]

[1]程新涛.煤矿爆破振动对附近建筑物的影响及控制技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(22):33-35.
[2]侯鹏,王用学,陈晨,等.西湾露天煤矿爆破对临近建筑物的振动影响分析[J].露天采矿技术,2022,37(4):111-114.
[3]吕文伟.露天煤矿爆破大块成因及影响研究[J].露天采矿技术,2023,38(4):30-33.

作者简介：祁瑞祥（1998.9—），毕业院校：国家开放大学，所学专业：机械制造与自动化，当前就职单位：新疆雪峰爆破工程有限公司，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

复杂地质条件下的精确爆破控制技术研究

王质彬　郭卫东　傅永和
新疆雪峰爆破工程有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]自 20 世纪以来，爆破技术已被广泛应用于矿业与基础设施建设领域。在复杂的地质条件下，传统的爆破方法往往会引发振动超标、飞石伤害及地下水污染等问题。随着对安全性与环境保护要求的不断提高，精确爆破控制技术应运而生。通过优化设计与精确控制各项参数，该技术最大限度地减少不利影响，从而确保爆破作业的高效、安全进行。

[关键词]复杂地质；精确爆破；控制技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16322　　中图分类号：U455.4　　文献标识码：A

Research on Precise Blasting Control Technology under Complex Geological Conditions

WANG Zhibin, GUO Weidong, FU Yonghe
Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Since the 20th century, blasting technology has been widely used in the fields of mining and infrastructure construction. Under complex geological conditions, traditional blasting methods often cause problems such as excessive vibration, flying stone damage, and groundwater pollution. With the continuous improvement of safety and environmental protection requirements, precise blasting control technology has emerged. By optimizing design and precisely controlling various parameters, this technology minimizes adverse effects to ensure efficient and safe blasting operations.

Keywords: complex geology; precise blasting; control

引言

随着矿业和隧道工程的不断进步，爆破技术作为高效施工中不可或缺的一部分，已逐渐成为关键技术。在复杂的地质条件下，如何有效控制爆破振动、飞石以及对环境的影响，已成为提升安全性与施工效率的核心因素。精确爆破控制技术应运而生，目标是通过精细调控爆破过程，减少对环境的干扰以及人员的潜在危害，从而确保施工的质量与安全。深入分析了精确爆破控制技术在复杂地质条件下的应用与挑战，特别探讨了其在露天矿采掘及隧道掘进中的实际应用，为技术的优化与发展提供理论依据与支持。

1 爆破控制技术基础

爆破技术作为一种不断发展的新兴技术，伴随着科学技术的进步，广泛应用于矿物开采、隧道掘进等工程领域，核心原理通过爆炸物产生的轰击波，瞬间摧毁妨碍施工的障碍物，极大提升施工效率并缩短工程周期。通过合理的爆破控制，既能清除岩石、土壤等障碍物，也能有效减少对周围环境的影响，确保工程顺利进行。在我国，爆破技术主要依赖雷管、导爆管、导爆索等起爆器材，通过精确控制起爆时差，使硝化甘油、硝铵、水胶等爆炸物产生不同爆炸效果，这些技术通过释放强大的能量，在瞬间破坏岩层，迅速清除障碍物，极大提高矿业开采效率。尽管这一技术已经得到了广泛应用，实际操作中仍存在一些技术瓶颈，尤其是在复杂地质条件下，爆破效果的不确定性以及对环境的潜在影响，给爆破控制技术带来了更大的挑战。在实际工程中，为提高采掘效率，采用了多种爆破控制技术。但由于我国爆破技术起步较晚，现有技术仍处于较低水平，且操作对专业知识要求较高，技术较为复杂。操作不当可能导致严重事故，给周边人员和财产安全带来威胁。因此，爆破技术的研究与创新显得尤为重要。通过科学的设计、严格的操作规范及高效的控制方法，能够有效确保矿业开采的安全性与高效性，减少因技术缺陷引发的安全隐患。

2 露天矿精确爆破控制技术

2.1 爆破振动与飞石控制技术

在露天矿的爆破作业中，爆破振动与飞石是两个关键的安全与环境控制问题。冲击波在岩体中传播，导致的爆破振动可能对周围建筑物、地下设施及环境产生不良影响；而飞石则是由于爆炸能量过快释放或爆破参数不当所致的碎片飞散现象。飞石不仅威胁周围人员的生命安全，还可能引发严重的财产损失，有效控制这两项因素，已成为露天矿精确爆破控制技术中的核心任务。为了有效地控制爆破振动，在爆破设计阶段，必须进行精准地计算与优化。通过合理选择爆破药量、起爆方式及起爆时差，可以显著降低震动波的强度。复杂地质条件下，振动的传播路径与衰减特性往往存在显著差异，因此，地质勘查数据的充分利用显得尤为重要。此外，分段起爆和延时起爆技术的应用，可以确保爆炸能量逐步释放，从而避免因瞬时集中爆炸能量而产生过强的震动。至于飞石的控制，药量布置与

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

孔距设计的精准性尤为关键。若药量过大，飞石的飞散范围将扩展；若药量过小，则可能导致爆破效果不理想，精确调整每个爆破孔的药量，能够确保飞石的飞散范围控制在安全范围内。为进一步降低飞石的风险，采取如限飞网、爆破围栏等物理屏障，也能有效减少飞石的飞行距离，保障周围环境与人员的安全。

2.2 地下水与气体排放控制技术

在露天矿的爆破作业中，地下水与气体排放的控制是确保环境安全与保护的关键因素。爆破作业可能破坏地下水系统的平衡，且有害气体的排放也可能对生态环境以及周围居民的健康和生活质量构成严重威胁。由此，采取有效的技术手段来管理地下水变化与气体排放，已成为露天矿作业中不可忽视的重要挑战。地下水控制的核心在于防止爆破作业对水文地质环境的破坏，在露天矿的开采过程中，地下水流动路径与水位往往会发生改变，这可能导致水资源浪费或水质污染。因此，在爆破前，进行全面的水文地质勘察显得至关重要，尤其是了解水源的分布及其流动规律。基于这些数据，爆破设计应相应调整，例如合理规划爆破孔的位置与深度，以避免与地下水层的直接接触，进而减少对水文环境的影响。此外，通过设置排水系统或采取封堵措施，也可有效防止地下水渗透干扰爆破区域。对于气体排放的控制，关注的重点是爆破过程中产生的有害气体，如氮氧化物、一氧化碳等。这些气体不仅会威胁作业人员的健康，还可能严重污染大气环境。在此过程中，精确的爆破控制技术至关重要，通过优化药量与起爆方式，能够控制爆炸能量的释放，从而有效减少有害气体的产生。除此之外，采用封闭式爆破技术或使用环保型爆炸药物，也是一种减少气体排放的有效手段，这不仅有助于降低大气污染，还能显著提升作业环境的安全性。

2.3 爆破裂缝与地质结构的控制

在露天矿的爆破作业中，裂缝的形成及地质结构的破坏是影响爆破效果与安全性的重要因素。岩体中的天然裂缝与复杂的地质结构直接影响爆破波的传播、能量的分布以及矿石的破碎效果。因此，如何有效控制裂缝的扩展以及地质结构的破坏，已成为提高爆破精度与确保作业安全的关键所在。爆破设计必须在充分考虑岩层的力学特性及裂缝的分布状况的基础上进行。地质结构的不同特性对爆破波的传递与能量吸收有显著影响，尤其在裂缝密集的区域，爆破作业往往会导致裂缝进一步扩展，从而影响岩体的稳定性。为此，地质勘探及岩体分析成为制定爆破方案的基础工作，通过精确识别岩层的裂缝分布、断层位置及其强度特性，可以优化药量、起爆时差及孔布置，进而有效减少裂缝扩展的风险。精确设定爆破参数也能有效控制裂缝的形成与扩展，合理选择药量及起爆顺序，避免能量的集中释放，有助于防止局部裂缝的过度发展。分段爆破技术的应用，使爆破能量得以分散，减少了能量对岩体的集中冲击，从而有效控制裂缝扩展的范围。合理控制震动波及裂缝的扩展，能够确保爆破后岩体的稳定，达到预期的破碎效果。对于复杂地质条件下的岩体，还可通过加固支护或预裂爆破等技术手段进一步抑制裂缝的扩展及岩体的失稳。这些方法与先进的监测技术相结合，能够实时跟踪爆破作业后裂缝的变化，从而及时调整后续作业方案，确保作业的顺利进行。

2.4 精确爆破设计方法与优化

精确爆破设计是确保露天矿爆破作业高效、安全的关键环节。目标不仅是最大化爆破效果，减少资源浪费，还要尽量减少对环境的负面影响，尤其是在振动、飞石及有害气体排放方面。为了实现这一目标，精确爆破设计必须综合考虑岩体的性质、爆破参数及地质条件等多种因素，并科学优化各项技术参数，以达到精确控制的效果。爆破设计的首要任务是依据矿区的地质条件进行详细的勘察与分析，岩层的力学性质、裂缝分布以及断层特征等，都会直接影响爆破效果。通过对岩石的力学性质测试及地下结构的探测，设计师能准确评估所需的爆破能量及其对岩体的潜在影响。基于这些数据，设计师能够合理选择药量、爆破孔位置及布置方式、起爆时差等关键参数，从而确保爆破效果的最优化。随着科技的不断进步，现代爆破设计越来越依赖于数值模拟技术。通过计算机仿真，爆破过程中能量的释放、冲击波的传播及岩石的破裂等情况得以精确模拟，这项技术使设计师能够提前预测爆破效果，避免潜在的安全隐患[1]。例如，通过模拟不同药量与起爆方式的组合，设计师能够评估出最佳的爆破方案，在有效破碎岩石的同时，尽量避免对周围环境造成过大的扰动。另外，爆破孔的合理布置同样是优化爆破设计的重要环节。合理的孔距、孔深以及药量分布，有助于避免爆破能量的集中释放。为了确保能量的均匀分布，设计师会根据岩体类型、厚度以及破碎效果等因素，对设计方案进行调整。分段爆破技术作为一种常用的优化手段，通过将爆破过程分阶段进行，逐步释放爆炸能量，从而有效降低振动、飞石及裂缝的产生。在实际应用中，精确爆破设计还需结合操作经验与现场反馈进行优化，面对不可预见的地质变化或技术难题，设计方案必须具备足够的灵活性。通过对爆破后振动波形、裂缝发展等情况进行实时监测，设计人员可以及时调整后续爆破参数，确保作业顺利进行。

3 复杂地质条件下的爆破设计与实施

3.1 爆破设计原理与流程

复杂地质条件下的爆破设计是一个涉及多个环节的系统性过程，涵盖了从地质勘探到爆破实施的各个方面，核心目标在于通过科学计算与精准控制，将爆破能量最大限度地作用于目标区域，同时尽量减少对环境及周围岩体的影响。为达成这一目标，设计人员必须综合考虑岩石的力学特性、地质构造、爆破技术以及设备配置等多种因素，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

以确保爆破效果的最大化，同时保障作业的安全性与高效性。在爆破设计的初期，地质勘探与分析是至关重要的一步，对矿区地质条件的深入调查，能够为设计人员提供岩石种类、硬度、裂缝分布、地下水位等关键数据，这些信息直接影响药量、孔距、孔深以及爆破方式的选择。特别是在复杂地质条件下，岩层的变化可能对爆破效果产生较大影响，尤其是当岩体中存在断层或裂缝时，爆破能量的传播往往变得不均匀[2]。因此，对岩体结构的深入理解，成为制定有效爆破设计的基础。紧接着，爆破参数的选择与优化环节至关重要，设计人员依据地质勘探的结果，选取适当的起爆药剂与起爆设备，并根据实际情况确定药量、孔距、孔深等关键参数。优化爆破设计的目的，不仅是提升破碎效率，还要有效控制振动与飞石，避免对周围环境造成过度影响。在复杂地质条件下，通常通过分段爆破、延时起爆等技术手段分散爆炸能量，减少岩体受冲击的程度，从而确保爆破的精确性与安全性。现代爆破设计逐渐依赖于数值模拟与仿真技术。通过计算机仿真，爆破过程中能量传播与振动波的传播等因素可以提前被模拟与预测，这为优化爆破方案提供了宝贵的数据支持。这项技术有助于发现潜在的安全隐患，如振动超标、裂缝扩展等问题，从而为后续设计的优化提供依据。在仿真过程中，设计人员可以根据不同的起爆方式与参数调整，找到最适合现场地质条件的爆破方案。管理论设计与仿真结果为爆破作业提供了坚实的基础，但现场实施仍需根据实际情况进行灵活调整。现场环境的复杂性以及不可预见因素，要求设计方案具备高度的灵活性。爆破作业结束后，效果评估与数据反馈也非常关键，及时调整后续作业方案，能够确保每次爆破都能达到预期效果，从而不断优化整个爆破过程。

3.2 地质条件与爆破设计的关系

地质条件在爆破设计中占据核心地位，直接影响着爆破作业的效果与安全性。在复杂的地质环境中，岩体的硬度、结构、裂缝分布等因素不仅决定了爆破能量的传播方式，还深刻影响了破碎效果以及后续岩石的稳定性。因此，准确评估地质条件，并将其综合纳入爆破设计的全过程，便成为了确保精确控制与优化爆破效果的关键。岩体的类型与强度是爆破设计的基本要素，不同类型的岩石，如砂岩、石灰岩、花岗岩等，具备各自独特的物理力学特性。硬度、抗压强度与韧性等方面的差异，意味着所需爆破能量及爆破方式的差异[3]。例如，硬岩通常需要较高的爆破能量才能有效破碎，而软岩则要求的能量较少。因此，基于地质勘探结果，爆破设计师需合理调整爆破参数，确保所用爆破能量与岩体的实际需求相匹配。地质构造的复杂性同样对爆破效果产生深远的影响。矿区内存在的断层、褶皱、裂缝等不规则地质结构，会直接影响爆破能量的传递与分布。若爆破作业区域存在断层或裂缝，爆破能量的传递可能会受到阻碍或发生偏向，从而导致破碎效果的不均匀，甚至可能引发意外的地质灾害。因此，在爆破方案中，设计人员必须充分考虑这些因素，并通过合理设计爆破孔距、起爆时差等关键参数，确保爆破能量的均匀释放，提升爆破效果的稳定性。地下水的存在也是影响爆破设计的重要因素，高水位的地下水层可能导致爆破能量的部分散失或使其不稳定，进而影响爆破效果的达成。若矿区存在较高的地下水位，设计师通常需采取特别的技术措施，如降低爆破药剂的湿度、调整孔深与孔距，甚至使用水胶炸药等技术，以保证爆破效果的有效性。通过这些技术手段，爆破能量能够更为有效地传递，减少水分对爆破效果的干扰，从而实现更加理想的破碎效果。

4 结语

复杂地质条件下的精确爆破控制技术，在矿业及工程建设领域中已占据了至关重要的地位，它对提高作业效率、安全性及环境友好性具有深远的影响。本研究对爆破控制技术的基本原理进行了深入探讨，并分析了在露天矿中的实际应用。主要集中在爆破振动、飞石、地下水排放等方面的控制方法，同时阐述了不同地质条件对爆破设计的深刻影响。随着科技的不断进步，精确爆破技术正朝着智能化、精细化的方向发展。进一步的技术创新与完善已迫切需要，以应对在复杂环境中遇到的挑战。在未来，精确爆破技术将在推动矿业可持续发展、提升工程安全性等方面，发挥更加关键的作用。

[参考文献]

[1]李兰彬.露天矿复杂环境深孔精确控制爆破实践[J].现代矿业,2022,38(4):110-112.
[2]龙跃聪.浅谈采矿工程中爆破技术的发展与应用[J].世界有色金属,2021(12):43-44.
[3]李祥龙,张其虎,王建国,等.地下爆破精确延时逐孔起爆减振试验研究[J].黄金科学技术,2021,29(3):401-410.

作者简介：王质彬（1993.4—），毕业院校：大连理工大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆雪峰爆破工程有限公司，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

煤矿深孔爆破技术优化与应用研究

傅永和　祁瑞祥　王质彬
新疆雪峰爆破工程有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]煤矿开采作为我国能源产业的基础，其开采效率对能源供应保障及经济发展具有重要影响。深孔爆破技术，作为一种高效的矿山开采方法，通过精确的设计与操作，能够显著提升爆破质量，减少资源浪费，并确保作业的安全性。根据《爆破安全规程》规定，当炮孔直径超过 50mm 且深度超过 5m 时，便可认定为深孔爆破。随着煤矿开采深度的加大，传统爆破技术逐渐难以应对复杂地质条件的挑战。深孔爆破技术则能够根据矿山的地质特点，采用更加精细的爆破设计，从而有效降低爆破过程中可能出现的风险，优化资源的利用效率。针对深孔爆破技术进行系统优化的研究，不仅具有显著的学术价值，而且对煤矿行业实现安全、高效及绿色发展也具有深远的影响。

[关键词]煤矿；深孔爆破技术；技术优化
DOI：10.33142/ec.v8i4.16323　　中图分类号：TD823　　文献标识码：A

Research on Optimization and Application of Deep Hole Blasting Technology in Coal Mines

FU Yonghe, QI Ruixiang, WANG Zhibin
Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: As the foundation of Chinese energy industry, coal mining has a significant impact on energy supply security and economic development due to its mining efficiency. Deep hole blasting technology, as an efficient mining method, can significantly improve blasting quality, reduce resource waste, and ensure operational safety through precise design and operation. According to the "Blasting Safety Regulations", when the diameter of the blasting hole exceeds 50mm and the depth exceeds 5m, it can be considered as deep hole blasting. With the increasing depth of coal mining, traditional blasting techniques are gradually unable to cope with the challenges of complex geological conditions. Deep hole blasting technology can adopt more refined blasting design based on the geological characteristics of the mine, effectively reducing the risks that may occur during the blasting process and optimizing the efficiency of resource utilization. The research on systematic optimization of deep hole blasting technology not only has significant academic value, but also has a profound impact on achieving safe, efficient, and green development in the coal mining industry.

Keywords: coal mine; deep hole blasting technology; technical optimization

引言

随着煤矿开采技术的持续进步，深孔爆破技术作为一种核心的土石方爆破方法，已被广泛应用于矿山作业中。通过精确调控爆破参数、优化药量配比与孔距设计，该技术在提升煤矿开采效率与安全性方面发挥了关键作用。深孔爆破不仅能够有效减少碎石，提升破碎质量，而且显著降低了施工成本，成为矿山开采中不可或缺的技术支撑。随着煤矿生产规模的不断扩大以及技术要求的日益提高，传统爆破技术在实际应用中面临着诸如安全隐患、低作业效率及环境影响等新挑战。如何优化深孔爆破工艺、提升其在煤矿开采中的综合应用效果，已成为当前研究与实践中的重点问题。

1 煤矿深孔爆破技术概述

深孔爆破技术作为煤矿开采中常用的土石方爆破施工方法，具有重要的应用价值。根据《爆破安全规程》规定，炮孔直径超过 50mm，且深度超过 5m 的爆破作业被认定为深孔爆破。与传统爆破方法相比，深孔爆破在提升爆破效果、提高施工效率及保障安全方面展现出显著优势。在实际操作中，通常需要预先设计阶梯式钻孔并精确布置药包，这样的设计不仅确保了爆破后碎片的均匀分布，还能通过一次爆破有效为后续铲装作业奠定基础，从而大幅提升施工顺畅度与工作效率。深孔爆破要求对爆破参数进行精确计算，特别是炸药量和药量分布。每个环节的控制都至关重要，必须确保炸药装填质量与稳定性，以实现预期的爆破效果。这些精确要求使深孔爆破技术在煤矿开采中展现出更高的爆破质量，不仅有助于有效控制成本，还能降低潜在的安全隐患，满足现代煤矿安全生产的高标准。在一些矿区，较为陡峭的坡度要求针对不同的地形和地势制定个性化的爆破方案。深孔爆破技术采用分阶开采的方式，使得爆破作业更加具有针对性，从而提高了作业的效率与精度。通常，爆破作业遵循自上而下的顺序进行，不仅有效降低了爆破过程中可能出现的风险，还能确保已爆破区域的安全性。工作人员应尽量缩短在爆破后的区域停留时间，以保障安全。在深孔爆破实施前，必须对钻孔进行全面检查，确保孔位、角度与深度符合设计要求，且孔内通畅无阻。任何发现的阻塞或异物应及时清理，以确保炸药装填顺利进行。装药过程中，通过结合自动化与人工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

操作的方式，可以确保炸药的质量稳定，装药高度精确。同时，在装药前要进行孔内通畅性检测，避免因堵塞影响装药进度。填塞环节则采用钻孔岩粉与黏土等材料，以保证填塞长度符合设计标准，从而提升爆破效果和作业安全性。

2 煤矿深孔爆破技术优化

2.1 爆破参数与设计优化

深孔爆破技术在煤矿开采中作为一项重要的土石方爆破方法，展现出其独特的应用价值。根据《爆破安全规程》规定，若炮孔的直径超过 50mm，且深度大于 5m，则可视为深孔爆破。与传统爆破方式相比，深孔爆破技术在爆破效果、施工效率及安全性方面具备显著的优势。实际操作中，常需对钻孔设计进行阶梯式处理并精准布置药包，这一精细设计不仅能够确保爆破碎片的均匀分布，还能通过一次爆破为后续铲装作业提供有效支持，从而显著提高施工效率与作业顺畅度。精确计算爆破参数，尤其是炸药量与药量分布的设计，是深孔爆破技术的一大关键要求。每一个环节的精准控制，保证了炸药装填的稳定性，进而实现理想的爆破效果。深孔爆破技术所需的高精度控制，使得煤矿开采中的爆破质量大大提升，不仅有效降低了安全隐患，还能够控制成本，满足煤矿安全生产的高标准要求。在矿区较陡的地形中，实施定制化的爆破方案显得尤为重要，深孔爆破通过分阶开采的方式，确保了爆破作业的精准与高效。一般采用自上而下的爆破顺序，这样不仅能有效降低作业过程中的风险，还能确保爆破后区域的安全。因此，在爆破后区域的停留时间应尽可能缩短，以确保操作人员的安全。实施深孔爆破前，钻孔的各项参数必须经过严格检查，包括孔位、角度与深度，并确保孔内无任何障碍物。如果发现异物或堵塞，应及时清理，以确保炸药装填过程顺利进行。在装药过程中，结合自动化与人工方式，可确保炸药的质量稳定，且装药高度精准。此外，在装药前进行孔内通畅性测试至关重要，以避免因孔内堵塞而导致进度延误。填塞时，通常选择岩粉与黏土作为填塞材料，以确保填塞长度符合设计要求，从而提升爆破效果及作业安全性。

2.2 药量配比与爆破顺序优化

在煤矿深孔爆破作业中，药量配比与爆破顺序的优化直接关系到爆破效果与施工安全。合理配比药量不仅能够确保爆破作业的高效性，还能保障作业过程的安全性；科学设计爆破顺序则有助于合理控制能量释放，优化岩石破碎效果，最大程度地减少震动与飞石带来的危害。药量配比的优化是深孔爆破中的核心环节，若药量配置不足，爆破效果可能不尽如人意，无法达到预期的破碎效果；相反，药量过多则会导致过度爆破，从而增加震动与飞石的风险，甚至可能对周围环境和设施造成损害。在设计药量时，需综合考虑岩层硬度、开采深度以及所需破碎块的大小等多重因素。通过精确计算药量与孔径、药包密度、岩石抗压强度等之间的关系，能够为每个炮孔精确确定所需药量。现代深孔爆破设计通常依赖计算机模拟与试验数据，不断优化药量配比，确保爆破效果达到最佳。爆破顺序的优化同样在深孔爆破中占据重要地位，合理的爆破顺序能够有效控制能量的释放方式，避免不必要的能量浪费与结构损坏。传统的同步起爆方式通常会导致爆破波集中释放，这种方式容易引发过度震动与飞石，甚至可能对矿山结构造成破坏。而采用分阶爆破及自上而下的起爆顺序，可以确保爆破能量逐步释放，减少震动与冲击力的集中，提升每个炮孔的破碎效率，避免爆破力的重叠或干扰。每一层岩石都能得到充分破碎，从而提高整个作业的效果。在爆破顺序优化过程中，微差起爆技术发挥了至关重要的作用，精确控制每个炮孔的起爆时间能够实现炮孔之间的时间间隔，从而使爆破波错位传播，减少震动集中效应，这一技术不仅提升了爆破效果，还增强了作业安全性，有效避免了同步爆破可能带来的安全隐患。

2.3 爆破孔距与孔径的优化设计

在煤矿深孔爆破作业中，爆破孔距与孔径的优化设计是确保爆破效果与施工安全的关键。合理的孔距与孔径设计不仅有助于提高岩石破碎效率，还能有效控制震动与飞石的风险，减少能量浪费，从而为矿山开采提供坚实的基础。孔距设计需要考虑多种因素，包括岩层特性、开采方式及爆破目标。若孔距设置过小，爆破过程中容易产生能量叠加，进而引发震动加剧与飞石风险的增加，甚至可能导致局部过度爆破，造成能量的浪费[1]。相反，孔距过大会影响爆破效果，使岩层无法有效破碎，进而影响铲装与运输作业的效率。因此，孔距应基于岩石性质、开采深度与药量等因素进行精确计算。通常，软岩层可以适当增大孔距，而硬岩层则应缩小孔距，从而确保能量能够集中作用于破碎区域，达到最佳效果。孔径设计同样至关重要，直接决定了炸药的装填量与能量释放的均匀性。孔径过小时，炸药填充量不足，无法达到理想的爆破效果，导致岩层破碎不充分，破碎块料偏大，不利于后续处理。孔径过大时，虽然炸药量增加，但能量分布不均，可能引发不必要的震动与飞石，甚至浪费炸药资源。因此，孔径设计应综合考虑炸药量、孔壁稳定性及开采工艺要求，通常通过试验与数值模拟来确定最佳孔径范围，以最大化爆破效果。孔距与孔径的优化设计并非孤立进行，而是需相互配合，综合考虑不同开采区域的岩层特性与开采方法。只有通过精确配合，两者设计才能确保每个爆破点的最大效能，避免能量过度集中或浪费。通过合理设计，爆破力能够得到有效分布，从而提升岩石破碎效率，减少不必要的资源浪费，确保作业顺利进行。

3 煤矿深孔爆破技术的优化与实施策略

3.1 爆破工艺的优化与实施

煤矿深孔爆破工艺的优化与实施是矿山开采高效、安全及经济的重要环节。通过不断改进爆破工艺，不仅能够

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

显著提高破碎效果，还能有效降低作业风险，提升整体作业效率。优化爆破工艺的核心在于科学配置并合理调整各项爆破参数，以确保矿石的精确破碎，同时控制成本与减少环境影响。在爆破工艺优化过程中，爆破孔径、孔距及炸药量的合理设计是至关重要的。根据矿石的硬度、层理结构以及矿山地质特性，优化这些参数可以大大提高爆破效果[2]。例如，合理设计孔径与孔距能够最大化爆破能量的利用，避免因参数不当而造成资源浪费。同时，炸药类型与配比的调整，应依据不同地质条件，以确保炸药威力与所需破碎效果的匹配，从而进一步提升整体爆破效果。爆破顺序与起爆方式的改进，也是工艺优化中的重要内容。传统爆破多采用简单的顺序爆破方式，而分层爆破、分阶段爆破以及微差起爆等现代方法，已经在实践中证明了其更高的效率。这些先进的爆破技术能够有效减少震动、飞石及裂纹的产生，提高爆破精度。合理的起爆设计能够均匀释放炸药能量，避免某一阶段爆破过强，造成矿石破碎不均或资源浪费。在优化爆破工艺的过程中，安全与环保措施也需特别关注。借助先进的监测技术与数据分析手段，对爆破过程中的各项参数进行实时监控，作业方案可以根据实际情况及时调整，以应对突发状况。加强对飞石、震动以及有害气体排放的监控，是实现绿色开采与安全生产的必然要求，有效降低矿工及周围环境的影响。机械化与自动化技术的应用为爆破工艺的优化提供了有力支持。通过自动化装药及无人机监测等先进技术，爆破作业的精度与安全性得到了显著提升，尤其在高风险和复杂环境下，机械化操作不仅提高了作业效率，还有效降低了因人为操作失误所带来的安全隐患。

3.2 深孔爆破技术优化的实际效果

深孔爆破技术优化的实际成效体现在多个方面，不仅提高了爆破效率，也显著改善了安全性与经济性。通过技术精细化的优化，深孔爆破不仅能实现更精确的破碎效果，还能够有效降低开采过程中的潜在风险，同时减少资源浪费，最终实现更高的经济回报。爆破效率的提高是技术优化最直接的体现之一，关键参数如孔径、孔距和药量配比等在优化设计中得到了精准调整，从而使矿石的破碎效果更加理想，这不仅减少了因碎石过大或过小所需的二次处理需求，还确保了后续环节（如铲装、运输等）的高效顺畅，大幅提升了生产效率。爆破顺序和起爆方式的合理安排，确保了矿石的均匀破碎，减少了不规则碎片的产生，进一步推动了开采效率的提升[3]。在安全性方面，优化后的深孔爆破技术也带来了显著的改善，通过精确设计的爆破工艺，震动、飞石以及空气冲击波等不良影响得到了有效抑制，显著降低了因爆破不当可能引发的安全隐患。例如，微差起爆技术与分层爆破方法的应用，能够精确控制能量的释放，避免对矿工及周围环境的危害。此外，监测与反馈机制的引入，使得作业过程中的潜在风险可以实时识别，并采取有效措施进行应对，确保了安全管理的有效性。在经济性方面，技术优化同样表现出了显著优势。通过优化炸药的使用，避免了浪费，矿石利用率得到了有效提升，直接降低了开采成本。精准的药量控制，不仅减少了资源浪费，还有效减少了因破碎效果不理想而导致的二次破碎成本。优化爆破工艺还降低了设备的损耗及维修频率，从而有效减少了长期运营中的维护成本。随着技术的进步，现代深孔爆破不仅提高了矿石破碎质量，还最大限度地减少了环境影响。飞石飞溅范围、震动幅度、噪音和废气排放等都得到了精确控制，爆破过程中的环境负担有效减轻。这些改进措施使煤矿开采更符合当今环保标准，推动了煤矿行业向绿色可持续发展转型。

4 结语

煤矿深孔爆破技术在矿山开采过程中扮演着至关重要的角色。通过爆破参数的精细化优化、药量配比的调整以及孔距设计的合理配置，技术的提升不仅显著提高了爆破效率，而且有效降低了安全风险，并在成本控制方面取得了显著成效。尽管当前技术已展现出较好的应用效果，仍需进一步融入智能化与自动化技术，以提升精确性、提高作业效率，并减少环境负担。随着新技术的不断创新与应用，深孔爆破技术将在煤矿行业的高效与可持续发展中提供更加坚实的支撑。

[参考文献]

[1]尹宏昌，李成林，王凤祥.煤矿井下深孔爆破技术的应用分析[J].内蒙古煤炭经济，2024(17)：133-135.
[2]扬毅，董广路.浅析煤矿掘进过程中的中深孔爆破技术[J].冶金与材料，2024，44(2)：112-114.
[3]于海连.露天煤矿深孔爆破技术分析[J].内蒙古煤炭经济，2023(3)：11-13.

作者简介：傅永和（1997.11—），毕业院校：西北工业大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆雪峰爆破工程有限公司，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

道桥施工中的沥青混凝土摊铺技术优化研究

余海明
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]沥青混凝土摊铺技术在道桥施工中扮演着至关重要的角色。随着现代施工技术的不断发展，摊铺设备逐步向智能化、自动化方向转型，摊铺工艺也在不断优化。但受限于施工环境、材料特性及设备性能等因素，摊铺技术依然面临许多挑战。为了确保摊铺质量符合设计要求，施工过程中的温控、摊铺机设置及材料配比等环节必须进行精确控制。同时，设备故障以及施工管理的不到位，常常导致工程进度的延误，并增加项目的总体成本。通过优化沥青混凝土摊铺技术，不仅能够提高施工效率，还能确保路面的平整度、密实度与耐久性，从而保障道桥工程的长期稳定性与安全性。

[关键词]道桥施工；沥青混凝土；摊铺技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16338　　中图分类号：U416.217　　文献标识码：A

Optimization Research on Asphalt Concrete Paving Technology in Road and Bridge Construction

YU Haiming
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Asphalt concrete paving technology plays a crucial role in road and bridge construction. With the continuous development of modern construction technology, paving equipment is gradually transforming towards intelligence and automation, and paving processes are also constantly being optimized. However, due to factors such as construction environment, material characteristics, and equipment performance, paving technology still faces many challenges. In order to ensure that the paving quality meets the design requirements, precise control must be carried out during the construction process, including temperature control, paving machine setting, and material ratio. Meanwhile, equipment malfunctions and inadequate construction management often lead to delays in project progress and increase the overall cost of the project. By optimizing the asphalt concrete paving technology, not only can construction efficiency be improved, but the smoothness, compactness, and durability of the road surface can also be ensured, thereby ensuring the long-term stability and safety of road and bridge engineering.

Keywords: road and bridge construction; asphalt concrete; paving technology

引言

沥青混凝土摊铺技术作为道桥施工中的关键环节，其施工质量与道路的使用性能和安全性息息相关。随着交通量的不断增加及道路功能需求的多样化，提升摊铺技术的质量与效率，已成为道桥施工领域中的重要课题。在实际施工过程中，摊铺层不均、温控不准确、设备故障等问题经常出现。这些问题不仅会导致工程进度的延误，还可能带来长期的质量隐患，进而影响道路的耐用性与安全性。由此可见，深入研究与优化沥青混凝土摊铺技术，能够有效提高施工质量，降低成本，并延长道路的使用寿命。

1 沥青混凝土摊铺技术基础

沥青混凝土摊铺技术在道路与桥梁施工中扮演着至关重要的角色，其质量直接决定了路面结构的整体性能与使用寿命。沥青混凝土由沥青、矿料（如碎石、砂子等）与填料按特定比例混合而成，具备较好的抗压强度、抗变形能力及耐久性，因此广泛应用于承受较大交通负荷的路面工程。摊铺技术的核心在于精确控制摊铺层的厚度、均匀性及温度。在摊铺过程中，摊铺机承担了主要的铺设任务，该设备通过高效的铺设机制将热拌沥青混凝土均匀地铺设在路基上。温度的控制在这一过程中显得尤为重要，当温度过低时，混合料的黏结性会受到影响，进而影响其密实度；而过高的温度则会导致挥发成分的损失，进而降低其抗压强度与耐久性。通过有效的温控措施与及时的压实操作，施工后的路面性能才能达到最佳。摊铺效果受多个因素的影响，包括设备选择、操作规程以及施工环境等。摊铺机的速度、加料系统的稳定性直接决定了摊铺层的均匀性，同时施工环境中的温度与湿度等因素，也对沥青混合料的性能产生着重要作用。为确保摊铺质量达到设计标准，施工过程中的每一环节都必须严格按照操作规范进行，同时，结合现场的实际情况进行实时调整。

2 道桥施工中沥青混凝土摊铺面临的主要问题

2.1 摊铺质量不均匀

在道桥施工中，沥青混凝土摊铺质量不均匀是一个常见且严重的技术难题，主要表现为路面厚度不均、表面不平整，甚至出现波浪形起伏等现象，这些问题不仅影响路面的外观，还显著降低其使用寿命与承载能力。摊铺质量

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

不均匀的成因较为复杂，涉及多个方面的因素。摊铺机操作不当，尤其是在摊铺速度波动或加料不均时，往往会导致沥青混凝土厚度的分布不均。此外，环境因素，尤其是温度和湿度的变化，对摊铺效果也有显著影响。特别是在极端气候条件下，混凝土的凝固速度以及摊铺效果容易受到明显干扰。再者，沥青混合料配比不准确或加热温度控制不当，也可能导致混凝土在摊铺过程中失去稳定的流动性，从而影响摊铺层的均匀性。质量不均的摊铺层不仅会影响路面的整体性能，还可能导致裂缝的提前出现，进而增加养护成本与维修频率。

2.2 温控问题与不合格摊铺层

温控问题在沥青混凝土摊铺过程中是一个普遍且重要的挑战，尤其是在高温或低温环境下，温度控制不当常常导致摊铺层的质量不合格。摊铺时，沥青混凝土必须保持在特定的温度范围内，以确保其具备足够的流动性与黏结性。若温度过低，混凝土的流动性将受到影响，导致摊铺不均匀，同时压实效果下降，进而降低路面的密实度，容易产生裂缝或沉陷。反之，温度过高则会导致沥青中的挥发性成分过度蒸发，减弱沥青的黏结力，从而削弱路面的强度与耐久性。温控不精确还可能造成摊铺层之间的温差过大，影响层间结合，形成松散的结构。这些问题直接影响路面的平整度、耐久性及抗压能力，增加了后期维护的成本，并可能缩短道路的使用寿命。由温控失误引起的不合格摊铺层，常常成为影响道路质量的潜在隐患。

2.3 设备故障与施工管理不足

在道桥施工中，设备故障与施工管理不足常常是摊铺质量问题的根本原因。沥青混凝土摊铺作业对施工设备的性能有着极为严格的要求，摊铺机、压路机等关键设备的运行状况直接决定了摊铺效果。若设备发生故障或未得到及时维护，例如摊铺机加热系统失效、摊铺机速度不稳定或压路机压实力度不足，摊铺层就容易出现不均匀或压实度不达标，进而影响道路的质量。施工管理的不足，往往加剧了设备故障的发生。若现场缺乏有效的设备检查与保养机制，设备在长期高强度的使用过程中便容易积累隐患。此外，施工人员操作不规范或专业技能不足，也会对设备性能产生不良影响，甚至加速设备损坏。施工管理上的疏漏与组织协调的不当，也容易导致施工延误或效率低下，进而影响整体施工进度与质量。尽管设备故障及施工管理不足的问题在短期内不易察觉，但它们对工程的长期质量与安全构成了深远的隐患。

3 技术优化的关键因素分析

3.1 材料选择与混合比例优化

在沥青混凝土摊铺技术中，材料选择与混合比例的优化是确保路面质量的关键因素。沥青与矿料的选用，必须严格符合工程设计要求，特别是沥青的类型与黏度。不同类型的沥青对温度变化的敏感性各异，选择适合的沥青类型能够确保摊铺过程中良好的流动性与黏结性，从而提高路面密实度及耐久性。矿料的质量同样至关重要，特别是碎石的粒径、级配与强度，这些因素直接影响混凝土的抗压性与耐磨性。合理搭配矿料，不仅可以提升混合料的稳定性，还能避免因细料过多或颗粒过大而导致的结构不均匀。混合比例的优化应根据工程的具体要求，精准调整各类材料的配比。若配比失衡，沥青混合料的黏结力可能不足，抗压强度也会降低，从而影响路面的耐用性。混合比例的优化通常需要根据气候条件、交通荷载以及路面功能等因素进行配合比设计，并在摊铺前通过充分的试验与调整确保最佳效果。科学的材料选择与合理的混合比例不仅能提升摊铺层的稳定性，还能减少施工过程中的材料浪费，从而确保路面结构的经济性与施工效率。通过精准的优化策略，沥青混凝土摊铺的整体性能能够得到显著提升，确保工程质量达到预定标准。

3.2 施工设备与工艺流程优化

在沥青混凝土摊铺过程中，施工设备与工艺流程的优化至关重要。设备的选择与调配必须根据施工环境与工程需求进行精准匹配。摊铺机、压路机及加热设备的性能直接决定摊铺的均匀性与压实度。摊铺机的自动控制系统及加热系统，应根据实时的温度变化与材料的流动性进行动态调整，从而确保沥青混凝土在整个摊铺过程中保持理想的工作状态。通过这些精准的设备控制，不仅能提高摊铺层的平整度，减少人为操作误差，还能确保摊铺效果的稳定性。定期检查与维护设备的工作状态也不可忽视。设备故障或性能下降将直接影响摊铺质量与效率，甚至增加返工的风险。保持设备良好状态对于确保施工的顺利进行，显得尤为重要。同样，工艺流程的优化也不可或缺，从摊铺前的准备工作到摊铺后的压实与整平，每一环节都需要精细化管理。施工顺序、摊铺机速度、材料输送与配料等，应根据现场实际条件进行及时调整，以提高摊铺效率并减少不必要的延误。通过标准化与精细化的工艺流程管理，施工质量与进度可得到有效保障。在施工过程中，技术人员需灵活应对环境的变化，特别是在恶劣天气下，合理安排摊铺与压实的时机，以确保混凝土能够在最佳温度下完成摊铺与压实，从而避免温差过大或操作不当引发质量问题。通过对施工设备与工艺流程的持续优化，可以显著提升沥青混凝土摊铺作业的整体质量与效率。

3.3 环境因素与施工时机的把控

环境因素与施工时机对沥青混凝土摊铺质量的影响显著，尤其是温度、湿度与风速等外部条件。高温环境下，沥青混合料容易失去挥发性成分，导致其黏结性下降，进而影响摊铺效果。而在低温条件下，混合料流动性差，摊铺不均匀，层间结合强度可能受到影响，甚至可能导致裂缝或其他缺陷。因此，合理选择施工时机至关重要。通常，气温适中的早晨或傍晚为最佳摊铺时机，这样可以有效避

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

免高温对沥青混合料的不良影响，确保其处于最佳施工状态。湿度也是影响沥青摊铺质量的关键因素之一，雨天施工时水分的增加会提升混合料的含水量，从而降低其与矿料的黏结性，甚至引发裂缝或起泡等问题。因此，在施工前，天气预报的密切关注是必要的，应避免在潮湿或降水天气下进行摊铺[1]。同时，高风速将加速沥青表面温度的下降，影响压实效果，限制摊铺层的密实度与强度。除了天气因素，施工时机的选择还应根据工程进度与现场的具体情况灵活安排。例如，夜间施工能够规避白天气温波动的影响，同时减少交通带来的施工干扰。然而，夜间作业要求充足的照明与完善的安全保障。因此，在选择施工时机时，必须综合考虑各方面因素。通过精准把控环境条件与施工时机，可以为沥青混凝土摊铺创造最佳施工条件，从而确保工程的长期质量与稳定性。

4 道桥施工中沥青混凝土摊铺技术优化策略

4.1 摊铺前准备工作及计划管理

在道桥施工中，沥青混凝土摊铺的质量与效率与摊铺前的准备工作及计划管理密切相关。施工前，应组织多种形式的技术交底，以确保每位施工人员准确理解技术规范、标准、设计文件及相关建设要求。这一过程不仅涉及施工方法的关键环节，还涵盖质量控制、安全管理、进度安排等保障措施，从而确保所有人员在施工过程中严格遵循操作规程，确保各个环节的顺利实施。为了保障施工有序进行，岗位责任制的明确划分同样至关重要，每个岗位的责任应明确到每个施工人员，确保职责清晰，并通过操作规程的学习与考核制度的落实来提升工作人员的专业水平，确保通过考核的合格人员才可上岗[2]。对于关键岗位，如工长、测量人员、化验工、机械操作员等，还应进行专项培训，确保其具备操作能力并持证上岗。在施工前，针对沥青混凝土摊铺的关键工序，必须进行详细的技术交底，确保每个操作环节都被理解并正确执行。此外，针对现场的特殊条件，如气候、地质等因素，还需结合当地的环境保护法规及工程设计要求，制定并执行必要的环保措施，例如噪音防控、灰尘治理及废弃物处理等。通过细致的准备与严格的执行，不仅能够确保施工进度按计划推进，还能最大程度保障工程质量与施工安全，为后续摊铺工作的顺利开展奠定坚实基础。

4.2 工艺与设备的优化应用

在道桥施工中，沥青混凝土摊铺的质量与效率与工艺流程及设备性能密切相关。优化摊铺工艺不仅要求合理调整操作流程，还需要对施工各环节进行精确把控。摊铺顺序的科学安排、摊铺机运行速度的控制，以及关键参数如摊铺厚度的调整，都能够有效提升摊铺层的平整度与密实度，减少人为误差，从而确保摊铺效果能够达到设计标准。设备优化同样至关重要，现代摊铺机配备了实时监控系统，能够动态调整温度、厚度和平整度等工作参数，以确保摊铺层始终保持在最佳状态。此外，智能化控制的压路机能够根据实时反馈，自动调整压实力度，确保压实效果的均匀性，避免路面出现沉陷或裂缝[3]。设备的定期维护与调试同样不容忽视，通过合理安排维护周期，设备能够始终保持最佳工作状态，从而减少故障发生，提升施工效率。工艺与设备的双重优化不仅能提升施工效率，还能有效减少材料浪费与资源消耗，进而节省项目成本，提高整体施工质量。随着工艺不断创新与设备持续升级，沥青混凝土摊铺作业将向更高效、更精准的方向发展。

5 结语

沥青混凝土摊铺技术的改进，是提升道桥施工质量与效率的关键所在。通过精细化管理、摊铺工艺优化与设备升级，摊铺不均、温控不当以及设备故障等问题得到了有效应对。同时，材料的精准选择、施工流程的优化，以及对施工过程的严格监控，确保了施工的精确性与高效性。技术创新与管理提升的持续推进，不仅有效改善了施工质量，还为道桥工程的长期可持续发展奠定了坚实基础。随着技术的不断进步，未来的沥青混凝土摊铺技术将朝着更高效、环保与智能化的方向发展。通过不断加强科研投入与技术研发，摊铺技术的不断革新将为道桥工程提供更加可靠、稳定的技术支持。同时，绿色施工理念的融入，将助力实现可持续发展目标，推动道桥施工行业的整体进步与环保发展。

[参考文献]

[1]卢刚.道桥施工中的沥青混凝土摊铺技术优化研究[J].北方交通,2023(9):63-65.
[2]罗振强.公路施工中沥青混凝土摊铺机的使用与维护对策[J].科技资讯,2020,18(19):58-60.
[3]杨红兵.公路工程中沥青混凝土摊铺技术分析[J].科技资讯,2024,22(14):111-113.

作者简介：余海明（1991.8—），毕业院校：重庆交通大学，所学专业：材料科学与工程/土木工程，当前就职单位：新疆北新路桥集团股份有限公司，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

公路工程施工标准化的应用与改进措施

李泽军
新疆生产建设兵团交通建设有限公司，新疆 石河子 325509

[摘要]在公路工程施工中，标准化管理对提升工程管理水平和保证工程质量具有至关重要的作用。针对公路工程施工的多样性、复杂性、一次性和人员流动性等特点，文中分析了标准化管理的应用现状，并探讨了其中存在的不足。通过提出针对性的改进措施，旨在进一步提高公路施工的有效性、安全性和科学性，确保工程顺利进行。

[关键词]公路工程；施工标准化；应用；改进措施
DOI：10.33142/ec.v8i4.16343　　中图分类号：U412.3　　文献标识码：A

Application and Improvement Measures of Standardization in Highway Engineering Construction

LI Zejun
Xinjiang Production and Construction Corps Transportation Construction Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang, 325509, China

Abstract: Standardized management plays a crucial role in improving the level of project management and ensuring project quality in highway engineering construction. In response to the diversity, complexity, one-time use, and personnel mobility characteristics of highway engineering construction, this article analyzes the current application status of standardized management and explores its shortcomings. By proposing targeted improvement measures, the aim is to further enhance the effectiveness, safety, and scientificity of highway construction, ensuring the smooth progress of the project.

Keywords: highway engineering; construction standardization; application; improvement measures

引言

随着交通基础设施建设的不断推进，公路工程作为国家经济发展中的关键支撑，直接影响着区域经济的繁荣与进步。在现代公路建设中，公路施工标准化已经成为核心内容，旨在提升工程质量、提高施工效率以及确保安全生产。通过标准化施工，不仅能够规范操作流程，减少人为因素引发的风险，而且能够通过统一的技术标准与管理流程，增强项目的整体协同效应，确保公路工程顺利实施。尽管我国在公路建设的标准化方面已经取得了一定的进展，但依然面临许多挑战。传统的施工方式和管理模式在应对新时代工程需求时，暴露出不少问题，例如施工过程中存在不规范的操作、质量控制不严格、资源配置不合理等。因此，为了更好地适应现代公路建设的要求，施工标准化管理亟需不断创新与完善。新技术的引入、管理体系的完善，以及人员培训的加强等措施，能够在实践中不断提升公路工程的标准化水平，并推动公路建设整体水平的提升。本文将对当前公路施工标准化的现状及改进方向进行分析，探讨标准化管理在施工中的实际应用，提出切实可行的优化策略，以为未来公路施工项目提供理论支持与实践指导，从而助力我国公路建设质量与效率的持续提升。

1 公路施工项目标准化建设的基本内容

1.1 技术标准

公路施工项目的技术标准是保证施工质量与工程安全的关键依据。它涵盖了设计、施工、验收等各个环节的详细要求，涉及材料选择、施工工艺、设备使用标准、施工环境条件以及工程质量评估等多个方面。通过设立清晰明确的技术标准，施工过程中的各个环节可以被精细控制，从而确保工程能够按计划顺利进行。在制定技术标准时，国家及地方相关法规应作为参考，并根据项目的具体情况进行适当调整。这些技术标准在施工过程中，也需根据现场的实际情况进行动态优化，以应对变化和挑战，确保项目能够在高效、安全、优质的基础上顺利完成。

1.2 日常管理的基本标准

公路施工项目的日常管理基本标准是确保工程顺利实施的关键保障，涵盖了项目执行过程中各项管理活动的具体规范。施工现场组织、人员配备、物资管理、进度控制、质量监督、安全管理等方面的详细要求，都包含在日常管理标准中。通过设立这些标准，有助于明确各环节的责任与流程，提升管理的规范性与透明度。系统的日常管理标准一旦制定，能够确保资源得到合理配置，避免施工过程中因管理缺失或不规范操作而导致问题的出现。标准化的日常管理，不仅有助于提升项目管理效率，而且能确保工程按时完成，质量符合要求，同时安全风险得到了有效控制。

1.3 对于工作标准的制定

公路施工项目中，工作标准的制定是确保项目高效、安全、质量可控的关键基础。这些标准主要涉及施工过程中各个操作环节的具体要求，包括施工方法、技术参数、作业流程以及质量控制等方面。科学合理的工作标准不仅

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

能够统一操作规范，还能确保施工人员在执行任务时遵循一致的标准，从而提高施工效率，减少人为失误，确保工程质量符合设计规范。在制定工作标准时，必须根据不同类型的公路施工项目、各个工序及施工环境的特点进行细化，以确保标准具备可操作性与适应性[1]。结合实际施工经验、行业技术规范及相关法规的要求，能够确保工作标准的全面性与准确性。

2 对于公路施工标准化管理的实际应用

2.1 施工的实际准备阶段

在公路施工项目的准备阶段，标准化管理的实施具有重要意义，涵盖了多个方面的细致规划与安排。在施工前，施工现场的勘察与环境评估必须进行，以确保施工条件符合设计要求，并识别潜在的风险因素，从而制定相应的防范措施。标准化管理在这一阶段的关键应用之一，是对施工人员的专业技能要求。根据项目需求，施工单位应组织相关人员进行技术培训与安全教育，确保所有施工人员能够了解操作标准与安全规范。此外，所用材料与设备还需进行检查与验收，确保它们达到质量标准，并及时采购与调配到位。在这个过程中，施工方案的制定与优化，也需严格遵循标准，以确保施工计划的可行性与科学性。

2.2 对于施工阶段的标准化管理

2.2.1 专业化建设

专业化建设是公路施工管理中的关键因素，是工地标准化建设管理的核心，也是项目管理中人力资源配置的核心。施工过程中，专业人员的培训、配备、使用和管理应与标准化管理要求紧密相连。在实际施工之前，应该充分借鉴国内其他公路建设项目中的施工标准与经验。因此，在公路施工的实际操作中，必须从人才队伍建设、专业设备配备和机制运行等多个方面入手，严格实施标准化管理。同时，施工计划应不断进行完善与修正，以适应实际需求。在实践过程中，还应建立起专业分工与协作的基本模式，确保各专业有机结合，不仅要突出专业性，还要确保不同专业之间的协同性，从而保证公路施工的顺利进行。

2.2.2 机械化建设

机械化建设在公路施工标准化管理中的应用，旨在提升施工效率、减少人为误差，并确保施工质量的稳定性。随着科技的持续进步，传统的人工操作逐步被现代化机械设备取代，机械化施工已经成为公路建设中必不可少的环节。在施工阶段的标准化管理中，根据项目的具体需求，合理选择与配置各类机械设备，如路面铣刨机、压路机、摊铺机等，必须进行，确保每台设备符合相关技术标准及安全要求。此外，机械化施工的顺利实施，需建立完善的设备操作规范与维修保养制度，以保证设备在施工过程中能够高效运行，避免因设备故障而导致的施工延误与安全隐患。标准化管理还要求对机械设备进行定期检查与维护，确保其始终保持良好的工作状态。同时，操作人员必须经过专业培训，熟悉设备的操作标准化流程，以防止因操作不当而引发事故或影响施工质量。

2.2.3 工厂化建设

工厂化建设在公路施工标准化管理中的应用，旨在通过集中化生产模式提高施工质量与效率，减少现场施工的复杂性与不确定性。工厂化建设指的是在专门的工厂或生产基地预制标准化构件，如路面板、桥梁构件、预应力管桩等，随后将这些构件运输到施工现场进行组装与安装。标准化管理在这一过程中要求对生产工艺进行严格控制，确保每个构件符合设计标准与技术要求，同时避免传统现场施工中因天气、环境等因素影响而产生的质量波动。此外，工厂化建设能够显著提高生产效率，并缩短施工周期，因为预制构件的生产不受现场条件限制，从而可以实现并行作业，最大限度地缩短整个工程的工期。通过对生产过程的标准化管理，能够实现精确的生产调度与质量控制，减少人工操作引发的误差，确保构件的尺寸精度与结构强度[2]。在实施过程中，工厂的生产线还需进行优化布局，并通过自动化与智能化设备提升生产效率，同时对操作人员进行专业培训，确保他们能够掌握标准化操作流程，从而保障生产过程的高效性与安全性。

2.2.4 信息化建设

信息化建设在公路施工标准化管理中的应用，主要通过引入先进的现代信息技术，如建筑信息模型（BIM）、项目管理软件、物联网（IoT）技术等，来实现对施工过程的实时监控与数据化管理。这一技术的应用能够有效提升施工的精度与效率，减少人为失误的发生，确保各环节的质量与进度符合预定标准。在施工阶段，信息化技术为项目提供了全方位的数据支持，施工计划、进度控制、资源调度到现场管理等方面，均能进行优化与跟踪。通过 BIM 技术，三维数字模型被创建，使得施工人员能够更直观地理解设计意图与施工要求，潜在的设计或施工问题也能及时被发现，从而减少返工与修改，节省成本与工期。借助物联网技术，现场传感器与智能设备可对施工现场的环境、设备运行状态、材料使用等进行实时监控，提供动态反馈，确保每个施工环节都在控制之中，避免盲目作业和安全隐患。项目管理软件通过信息整合，为项目团队提供了精准的决策支持，协助进行风险预测、进度调度与资源分配，从而确保项目能够按时完成[3]。信息化建设还促进了施工数据的共享与协同工作，使施工单位、设计单位、监理单位等参与者能够通过平台进行高效的沟通与协调，减少信息传递中的延迟，确保施工过程的顺利进行。

3 对公路工程标准化管理的不断完善

3.1 抓住重点和施工的关键

在公路工程的标准化管理中，确保项目顺利实施的关键在于把握重点环节及关键施工部分。由于公路工程项目通常涉及多个环节与复杂工作内容，识别并聚焦关键环节

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

对于保障项目质量、进度与安全至关重要。施工阶段，哪些部分是关键，如基础施工、路面铺设、桥梁结构等，需要明确，特别是那些涉及交通流动性、工程安全性以及环境保护的部分。这些环节一旦出现问题，可能引发严重的安全隐患或影响工程质量。因此，详细且可操作的标准化流程应为这些重点环节制定，确保每一项工作能够按规范进行。在关键环节的监督与管理方面，必须加强对技术难题解决方案的研究与实施。例如，针对不同土质条件的路基处理或特殊气候下的施工技术，提前准备充分的技术支持与解决方案，应是必要的。此外，管理人员不仅需进行详细的技术交底与安全交底，还应设立专门的质量监控团队，实时监督施工进度与质量，确保工程按计划顺利进行。抓住重点还包括人员配置的合理性与资源利用的高效性。根据项目需求，优秀的施工管理团队应合理分配人力、物力与财力，确保关键岗位及关键环节获得充分支持。例如，对于技术要求较高的工序，高技能的工人或专业技术人员可能需要操作，而常规施工则可根据人员能力灵活安排。

3.2 加强监督和检查

在公路工程标准化管理的不断推进过程中，加强监督与检查是确保施工质量、进度与安全的核心环节。监督与检查不仅反映了标准化管理的执行情况，更是确保工程按计划、高质量完成的关键保障。建立一套科学的监督机制至关重要，这意味着项目启动到竣工的各个阶段、各个环节，都应接受全面且严格的监督。无论是材料采购、施工过程，还是设备使用，都必须遵循既定的标准和规范进行监控，以确保每个施工节点都能得到有效检查与评估。监控手段应从传统的人工巡查扩展到现代信息技术应用，包括智能监控系统、传感器及大数据分析平台，通过实时数据采集与分析，施工过程中潜在的问题能够及时被发现。此外，检查工作不仅限于施工阶段，前期准备与后期验收同样应纳入监督范围。项目管理团队需定期召开会议，评估项目进展，检查是否存在延误或质量问题，必要时，纠正措施应被采取。对于影响施工质量和进度的风险因素，如天气、设备故障、人员流动等，预判与准备应提前进行，确保问题发生时，能够迅速应对。加强监督与检查还包括提升检查人员的素质与专业能力。检查人员应具备相关的技术背景、良好的判断力和高度的责任感，能够及时发现潜在的安全隐患与质量问题，并提出整改意见[4]。定期培训与知识更新可确保检查人员与行业技术及管理进步同步，做到问题发现不放过，整改不到位不放手。监督与检查应落实到每个岗位，形成协调统一的监督体系。项目经理、技术人员、质量管理员等各方，应各司其职，确保每个工作环节都能受到相应检查与监督。同时，项目管理制度、流程及操作规程应定期评审与改进，不断发现并弥补管理中的漏洞，提升监督检查的有效性。

3.3 做好记录，加强探索和创新

在公路工程标准化管理逐步完善的过程中，准确记录各项工程数据至关重要，这是确保施工质量、进度与安全的基础。记录不仅反映了工程过程的真实情况，还为未来工作提供了宝贵的参考资料。项目中的每一项技术决策、施工进度、质量检查、安全措施以及变更事项，都应进行详细记录，并在项目完成后进行归档。这些记录为项目各方提供了清晰的工作轨迹，便于问题的追溯、经验的总结并优化管理流程。除了一般的施工记录外，特殊环节、创新技术的应用及管理模式的记录也应当受到重视，它们为后续工程提供了宝贵的数据支持和信息来源。此外，推动探索与创新是不断完善公路工程标准化管理的关键。随着建筑技术的快速发展，传统的管理方式和施工模式已无法完全满足现代公路工程的需求。技术与管理的创新必须鼓励，工程管理团队必须寻求更加高效、智能的管理手段。例如，通过BIM技术进行虚拟建模，利用大数据分析提升决策的科学性，或运用信息化管理工具优化施工进度与质量控制，这些新技术的运用能显著提高项目管理的精准度与效率。施工方法、设备使用及资源调配等方面，创新的应用也体现在其中。针对项目的实际需求，独特的解决方案的探索，不仅能够减少资源浪费，还能提高施工效率并降低项目成本。

4 结语

公路工程施工中的标准化管理，对于提升施工质量、确保工程进度以及保障施工安全至关重要。尽管在实施标准化管理的过程中，仍存在人员流动性较大、管理难度较高等问题，但通过加强技术标准的落实、优化工作流程、引入机械化与信息化手段，以及强化监督与推动创新，施工管理的效率与精准度能够显著提升。随着标准化管理体系的不断完善，未来，公路工程的施工质量与安全性将得到更加稳固的保障，为行业的可持续发展打下坚实的基础。

[参考文献]

[1]左阿金,李志杰.公路工程施工标准化的应用与改进措施[J].交通世界,2017(24):148-149.
[2]王国宝.关于公路工程标准化施工问题探讨[J].大众标准化,2024(11):66-67.
[3]高扬.公路工程施工标准化管理的实践与探讨[J].大众标准化,2024(10):65-67.
[4]谢丹.公路工程施工安全管理策略分析[J].运输经理世界,2022(30):128-130.

作者简介：李泽军（1993.4—），毕业院校：重庆交通大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆生产建设兵团交通建设有限公司，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

面向隧道设备管理的嵌入式智能联动系统设计与实现

罗玉波　黄纯峰　杨璨祎　胡馨予　李仕奇　贾 一　马 林
贵州黔程慧通科技发展有限责任公司，贵州 贵阳 550000

[摘要]随着隧道建设规模的不断扩大，隧道运行期间的设备管理对安全与效率提出了更高要求。文中提出一种基于嵌入式技术的智能联动系统，实现对隧道内各类关键设备的集中监测、联动控制和数据分析。系统通过多传感器融合、边缘计算与通信模块协同工作，提升故障响应速度和运维效率。设计中采用模块化架构，便于扩展与维护，适配多种隧道应用场景。实验证明，该系统具备较高稳定性和智能化水平，能有效支撑隧道设备管理的现代化需求。
[关键词]嵌入式系统；隧道设备；智能联动；边缘计算；系统设计
DOI：10.33142/ec.v8i4.16290　　中图分类号：TN9　　文献标识码：A

Design and Implementation of Embedded Intelligent Linkage System for Tunnel Equipment Management

LUO Yubo, HUANG Chunfeng, YANG Canyi, HU Xinyu, LI Shiqi, JIA Yi, MA Lin
Guizhou Qiancheng Huitong Technology Development Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550000, China

Abstract: With the continuous expansion of tunnel construction scale, equipment management during tunnel operation has put forward higher requirements for safety and efficiency. The article proposes an intelligent linkage system based on embedded technology to achieve centralized monitoring, linkage control, and data analysis of various key equipment in tunnels. The system improves fault response speed and operation and maintenance efficiency through multi-sensor fusion, edge computing and communication module working together. The design adopts a modular architecture, which is easy to expand and maintain, and adapts to various tunnel application scenarios. Experimental results have shown that the system has high stability and intelligence, and can effectively support the modern needs of tunnel equipment management.
Keywords: embedded system; tunnel equipment; intelligent linkage; edge computing; systems design

引言

隧道内部环境复杂，涉及通风、照明、监控、消防等多个设备系统，传统的分散管理方式已难以满足实际运行需求。随着物联网与嵌入式技术的发展，构建一个智能、高效、协同的设备管理平台成为关键。本文基于实际需求，设计并实现一套嵌入式智能联动系统，旨在提升隧道设备运行的安全性和智能化水平。

1 系统总体架构设计

1.1 功能需求分析

隧道内设备类型多样，涵盖通风设备、照明系统、监控摄像头、火灾报警器、广播系统等。这些设备对运行状态的实时监测和统一控制至关重要，传统的人工巡检方式效率低、滞后性强，难以应对突发事件。因此，系统设计首先需满足以下核心功能需求：一是状态监测，实现对温湿度、烟雾浓度、电气设备运行状态等关键参数的实时采集与展示；二是故障预警，在设备发生异常时迅速判断故障类型并生成预警信息，通过声光报警或远程信息通知机制及时提示运维人员；三是联动控制，如在火情发生时自动启动排烟风机、开启应急照明、联动广播疏散系统等，实现跨系统的协同响应。系统还需具有可配置性和模块化扩展能力，以适应不同规模和类型隧道的管理需求，提升系统的实用性和灵活性。

1.2 系统结构组成

基于上述功能需求，系统总体结构由以下核心模块组成：

1.2.1 嵌入式主控单元

作为整个系统的核心处理平台，负责传感器数据采集、状态分析、联动策略执行与通信控制。主控单元选用性能稳定、资源充足的嵌入式芯片平台，如 STM32、RK3399 以及兆易创新（GigaDevice）系列高性能 MCU，运行轻量级实时操作系统，以保障系统响应的实时性与可靠性。

1.2.2 传感器节点模块

部署在隧道关键位置的多类型传感器，用于采集环境参数和设备运行状态，包括温湿度传感器、烟雾传感器、光照传感器、电流电压检测模块等。这些传感器通过模拟或数字信号接口与主控单元相连，支持多通道并发输入。

1.2.3 通信模块

实现嵌入式系统与上位机或远程服务器的双向通信，包括以太网、有线串口通信（如 RS485）、工业现场总线（如 CAN），以及 4G/5G 无线通信等模块。模块选型基于具体隧道环境与传输距离需求，确保数据传输的稳定性和抗干扰性。

1.2.4 执行控制端

连接风机、灯光、报警器等被控设备，通过继电器驱

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

动、电机控制板等方式实现控制命令的输出，确保联动策略快速、准确执行。

整体结构采用分层模块化设计思路，底层为数据采集与控制层，中间为嵌入式处理与决策层，顶层为通信与显示层，使系统具有良好的可维护性与扩展性。

1.3 通信与数据流设计

为确保系统内各模块协同工作并满足实时性要求，通信机制采用多种协议并行运行的设计思路。在隧道本地设备之间，采用 RS485 和 CAN 总线构建稳固的工业现场通信网络，尤其适合长距离、高干扰环境中的数据传输。CAN 总线具有冲突处理能力强、实时性高等优势，适合多个设备之间的点对点或组播通信；RS485 则适用于主从结构的串行通信，布线简单，成本低。在与远程管理平台的数据交互方面，系统支持以太网通信和 4G/5G 无线通信模块。数据上传采用 MQTT 或 HTTP 协议，将设备状态、报警信息和运行日志周期性推送至云端服务器，实现远程监控与历史数据分析。下行则支持远程命令下发与设备参数配置，增强系统智能化管理水平。整个数据流从传感器采集开始，经主控单元解析处理后，根据设定规则做出控制决策，联动控制端执行相关操作，同时将处理结果和状态数据同步上传至平台，形成一个“感知—判断—执行—反馈”的闭环控制体系。

2 硬件平台构建

2.1 主控模块选择

硬件平台的核心在于主控模块的选择，它直接关系到系统的处理能力、接口扩展性以及功耗控制。针对隧道环境中的实际应用需求，主控模块需具备高可靠性、实时响应能力强、接口丰富、低功耗等特性。常见的选型方案包括 STM32 系列微控制器、ARM Cortex-A 架构的嵌入式板卡（如 Raspberry Pi、BeagleBone Black）、工业级嵌入式核心板（如瑞芯微 RK3399、全志 A40i）以及兆易创新（GigaDevice）GD32 系列微控制器。在控制逻辑不复杂、以采集和控制为主的隧道管理系统中，STM32F4 或 F7 系列芯片因其良好的性价比、丰富的外设接口（如 USART、I2C、SPI、ADC、CAN）以及低功耗特性，是较为理想的选择。若系统需运行 Linux 操作系统并进行图像处理、数据存储、远程通信等高负载任务，则可选用带 GPU 和大内存的高性能嵌入式平台，支持多线程和更复杂的通信处理。主控模块需具备足够的 Flash 与 RAM 资源，以保障系统运行的稳定性，并应配套适合的硬件加密模块（如 TPM 或硬件 CRC 校验）以提升系统数据安全性。

2.2 传感器与执行器接入

系统设计中需集成多类传感器与执行器，以覆盖隧道内环境监测和设备控制的完整需求。传感器部分主要包括温湿度传感器、烟雾传感器、光照度传感器、气体传感器、电流互感器、电压监测模块等。这些传感器通过模拟信号（如 420mA、05V）或数字总线（如 I2C、SPI、MODBUS）连接到主控模块，根据实际布局采用集中式或分布式布设方式。系统应支持多个传感器并行接入，因此在设计时需配置多通道 ADC 模块、I/O 扩展芯片或多路串口，以满足大规模信号输入的需求。同时，需针对不同传感器设置采样频率与滤波策略，保证数据的准确性与实时性。执行器部分包括排风风机、应急照明、广播系统、电动挡板、声光报警器等，这些设备通常由继电器、电机驱动模块或工业控制器控制。为保障执行准确性，控制模块需具备继电器状态反馈功能，实现闭环控制。对于需要精细控制的设备，如调速风机、电动卷帘等，还需集成 PWM 控制、电机位置编码反馈等功能。系统结构应保持接口通用化和模块化，方便后期扩展和维护。例如，使用通用型的工业端子排、可插拔模块化板卡，有助于在施工及运维阶段快速替换或调整设备接入方式。

2.3 电源与抗干扰设计

在隧道环境中，电磁干扰、湿度波动、电源不稳等因素可能对嵌入式系统的运行造成影响，因此可靠的电源管理与抗干扰设计是整个系统稳定运行的重要保障。系统采用集中供电与分级稳压相结合的方式。主供电源一般来自 220V 交流电，通过工业级开关电源转换为 12V 或 24V 直流，再由 DC-DC 模块转换为 5V、3.3V 等不同电压等级，供各模块使用。电源模块选用带有浪涌保护、过压过流保护的工业电源设备，以提高系统抗异常能力。针对电磁干扰问题，系统设计需遵循 EMC（电磁兼容）原则。传感器线路与信号处理电路采用屏蔽线缆，输入输出端口添加滤波电容、磁珠、电感，减小干扰耦合。同时，在 PCB 布局中，应将数字地与模拟地分区设计，避免高频信号影响模拟信号采集。此外，系统外壳采用金属接地屏蔽设计，进一步抑制外部干扰源。整体来看，硬件平台的稳定性、抗干扰性与供电保障能力，直接决定了嵌入式系统在隧道环境中的应用效果，是设计中的重点与难点。

3 软件系统开发

3.1 嵌入式操作系统配置

为了满足系统多任务并发处理和实时响应的需求，本系统软件架构基于轻量级嵌入式实时操作系统 OpenHarmony 进行开发。OpenHarmony 具备任务调度机制、中断管理、内存分配、队列通信等功能，能够高效管理嵌入式主控平台上各项任务的运行。系统软件主要划分为以下任务模块：传感器数据采集任务、联动逻辑判断任务、执行控制任务、通信处理任务及日志记录任务。每个任务分配合适的优先级以确保关键控制逻辑优先执行，例如火灾预警响应任务设为最高优先级，其次为通信和数据采集任务。系统通过消息队列、事件标志组和信号量等机制实现任务之间的高效协同与数据同步。

3.2 联动逻辑实现机制

嵌入式系统中联动控制机制采用“事件驱动+状态判断”的模式，通过传感器采集结果触发控制指令，实现多设备的协同联动。例如，当烟雾浓度超过设定阈值，系统

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

将立即执行以下操作：启动排风风机、点亮应急照明、触发声光报警器、同步上传事件至远程平台。联动规则采用表驱动方式管理，每条联动逻辑配置包括触发源、判断条件、目标设备、执行动作、延迟响应时间等字段。嵌入式程序周期性读取传感器数据，并与规则表进行匹配，一旦满足条件即调用执行函数，实现联动效果。如表 1 所示：

表 1　为部分联动规则配置示例

联动编号	触发源	判断条件	目标设备	执行动作	延迟时间（ms）
L001	烟雾传感器	＞200ppm	风机 1、报警灯 1	打开	0
L002	光照传感器	＜50lux	应急照明	打开	500
L003	温度传感器	＞0℃	声光报警器、风机	同时激活	200
L004	人体红外线	检测到移动	广播系统	播放提示音	100

通过模块化设计，系统支持联动规则的在线更新与动态加载，提升了系统运行的灵活性与智能化程度。

3.3 远程监控与数据上传

系统内置通信模块，支持通过 MQTT 协议将设备状态、环境数据、报警信息等实时上传至云平台或远程监控中心。MQTT 具有轻量、低带宽、高实时性等优点，适合嵌入式设备与服务器间稳定通信。系统通过建立发布/订阅模式通道，周期性上传数据，并接收远程指令下发。此外，系统将历史数据存储在本地 SD 卡或 EEPROM 中，并定期打包上传，便于后期故障分析与运维追溯。远程监控平台可通过 Web 端查看各类数据图表，包括温湿度曲线、报警日志、设备状态列表等。为保证数据传输的安全性，系统通信模块支持 TLS 加密、身份认证机制，并具备断线重连与数据补发能力，确保即便在通信中断后仍可完整恢复数据传输。

4 系统联调与应用验证

4.1 实验环境搭建

为了验证所设计嵌入式智能联动系统的功能完整性与运行稳定性，构建了一套小型仿真隧道实验平台。该平台模拟真实隧道环境，配置通风风机、照明灯具、烟雾与温湿度传感器、红外人体感应器、声光报警器等多类设备。主控系统采用兆易创新的 GD32F407 主板，搭载 OpenHarmony，配套以 CAN 总线及 RS485 模块完成通信架构搭建。传感器与执行器通过统一接口接入系统，按照实际隧道布局进行有序布设。在软件层面，搭建虚拟远程监控界面，用于接收数据上传并下发控制指令，实现远程监控联调测试。联动规则在调试过程中逐条加载验证，确保逻辑触发准确、响应及时。同时设计测试脚本模拟突发状况（如烟雾、断电、光照不足等），以检验系统应急处理能力和任务调度效率。

4.2 性能指标评估

系统联调完成后，对其各项核心性能指标进行评估，具体包括响应时间、通信稳定性、故障恢复能力与数据传输成功率等方面。测试结果如下：

联动响应时间：从传感器触发至目标设备响应的平均延迟为 120ms，满足快速反应需求；

通信稳定性：在干扰模拟环境下（加装强电磁干扰源），数据传输丢包率低于 0.5%，系统能够稳定维持通信；

系统稳定性测试：连续运行 72 小时无死机、无故障，任务调度均衡，资源占用合理；

故障恢复能力：模拟电源中断后系统自动重启并恢复上次运行状态，断点续传机制有效；

数据上传成功率：MQTT 数据包上传成功率达 98.7%，重连机制可保障剩余数据在网络恢复后上传完整。整体评估表明，该系统在功能实现、实时响应与稳定运行方面表现良好，能够适应中型隧道管理场景的实际应用需求。

4.3 应用场景推广探讨

本系统具备高度模块化和良好的扩展性，适合推广至多种类型的隧道与地下工程设备管理中。在城市地铁隧道中，可结合列车运行数据，实现更精准的照明与通风联动控制；在高速公路隧道中，系统可与交通诱导系统集成，基于车辆检测与环境状态协同响应；在水利隧道、电缆通道等封闭式设施中，可用于环境监测与灾害预警联动控制。随着物联网平台的发展，系统可进一步接入城市综合管理平台，实现多系统间数据共享与智能调度，推动城市基础设施向数字化、智能化方向升级。未来可结合 AI 算法对采集数据进行学习与优化，进一步提升系统的自适应能力和预测性控制水平，实现更高层次的智能管理。

5 结束语

本文设计的嵌入式智能联动系统实现了隧道内多设备的集中管理与智能响应，提升了管理效率与运行安全。系统在结构上具备良好的扩展性，在功能上能实现复杂的联动逻辑，适应复杂的隧道应用需求。未来将在实际工程中进一步优化与推广，以支持更多智能基础设施建设的需求。

[参考文献]

[1]李倩文，蒋海里.面向全生命周期的城市越江隧道大修工程数字化应用[J].中国市政工程，2024(5)：104-108.
[2]赵鹏，马伟斌.基于数字孪生的铁路隧道智能运维关键技术与实现方法研究[J].隧道建设（中英文），2024，44(8)：1697-1712.
[3]刘令君，罗江，李振宇.靶向智慧诱导技术在隧道多场景中的应用[J].中国交通信息化，2024(8)：103-106.
[4]陈再励.基于人体表征与场景理解的隧道施工风险识别评估与管控方法研究[D].北京：中国地质大学，2022.
[5]张靖.城市隧道群路网状态感知与协同调控[D].南京：东南大学，2022.

作者简介：罗玉波（1986.9—），男，学士学位，中级工程师，目前就职于贵州黔程慧通科技发展有限责任公司，目前主要从事机电产品开发，系统集成、系统实施方向的工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高速公路预制梁施工工艺及质量管控研究

赵成学
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]随着我国经济的快速发展，交通基础设施的需求日益增加。作为重要的交通枢纽，高速公路的建设质量与水平对国家经济及人民生活质量具有深远影响。预制梁，作为高速公路桥梁的核心部件，凭借其施工周期短、质量可控等优势，广泛应用于各类项目中。在预制梁的施工过程中，多个环节的质量控制直接影响最终工程的整体质量。尤其是在模板制作、钢筋绑扎、混凝土浇筑、张拉与注浆等关键工艺阶段，任何细节上的疏忽都可能导致梁体质量不达标，甚至危及高速公路的整体安全。由此，加强对预制梁施工工艺的研究及质量管控，已成为提高高速公路建设质量与施工效率的重要任务。

[关键词]高速公路；预制梁；施工工艺；质量管控
DOI：10.33142/ec.v8i4.16336　　中图分类号：U415.6　　文献标识码：A

Research on Construction Technology and Quality Control of Prefabricated Beams on Highways

ZHAO Chengxue
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the rapid development of Chinese economy, the demand for transportation infrastructure is increasing day by day. As an important transportation hub, the construction quality and level of highways have a profound impact on the national economy and people's quality of life. Prefabricated beams, as the core components of highway bridges, are widely used in various projects due to their advantages of short construction period and controllable quality. In the construction process of prefabricated beams, the quality control of multiple links directly affects the overall quality of the final project. Especially in key process stages such as template production, steel bar binding, concrete pouring, tensioning and grouting, any negligence in details may lead to substandard beam quality and even endanger the overall safety of the highway. Therefore, strengthening the research and quality control of prefabricated beam construction technology has become an important task to improve the quality and construction efficiency of highway construction.

Keywords: highway; prefabricated beams; construction technology; quality control

引言

随着我国交通基础设施的持续发展，高速公路建设已逐渐成为推动经济与社会进步的重要组成部分。在高速公路建设的过程中，预制梁作为关键构件，对道路的结构安全、使用寿命及通行能力起着至关重要的作用。为了确保预制梁施工的质量与效率，科学的施工工艺与完善的质量管控体系是必不可少的。深入分析高速公路预制梁的施工流程，并探讨通过优化质量控制措施，如何提升施工质量，降低施工风险，从而确保高速公路工程的顺利推进。

1 高速公路预制梁施工工艺

1.1 模板制作与安装

在高速公路预制梁的施工过程中，模板的制作精度对梁体的外观质量和结构性能至关重要。模板不仅直接影响梁体的尺寸精度，还对预制梁的表面质量及后续使用性能起到决定性作用。为了确保梁体的质量，模板制作必须严格控制，所有细节都应符合设计标准。模板尺寸的准确性要求通过高精度测量工具进行严格校验。例如，使用全站仪和激光测距仪等工具，能精确测量模板的各项尺寸，确保其与施工图纸完全一致。在整个施工过程中，需反复校验模板的稳定性与精度，确保误差保持在合理范围内，以防模板的误差导致梁体尺寸偏差，从而影响整体结构性能。材料选择也是模板制作中不可忽视的部分，木材和钢材是常见的模板材料，其中木材具有重量轻、易加工、成本低等优势，适合小规模或非标准化项目，但其耐久性和刚度较差，易受潮变形。与此不同，钢模板提供更高的强度和刚度，使用寿命较长，尤其适合大规模标准化预制梁的生产，尽管其初期成本较高，但在提高施工精度和可重复使用方面具有明显的优势。因此，在确保工程质量的基础上，合理选择模板材料有助于平衡施工成本与质量要求。无论选择哪种材料，模板必须具备足够的刚度和稳定性，避免在混凝土浇筑过程中出现任何变形或位移，这样才能保证梁体的尺寸和形状符合设计要求。在模板安装前，应仔细检查其垂直度、水平度及平整度，确保符合施工规范。若模板存在任何偏差，可能会导致梁体形态不规整，甚至影响梁体的承载能力。因此，模板安装时要特别关注各部分的紧密贴合，防止缝隙或错位的产生，从而确保混凝土浇筑过程的顺利进行。支撑体系的设计与施工同样不可忽视，支撑体系需要承受混凝土浇筑时的重量及振捣力，必须确

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

保其稳定性，防止模板在施工过程中变形或位移。通过合理设计支撑结构，可以有效避免模板变形，从而保证预制梁的质量和稳定性。

1.2 预制梁拆模与运输

预制梁的拆模与运输是影响梁体外观、结构安全性及施工效率的关键环节。在拆模时，必须确保混凝土已达到规定强度，避免因过早拆模而引发损坏，或因拆模过晚而延误施工进度。使用专用工具进行拆模，以确保梁体表面不受到划痕或变形的影响。拆模完成后，应对梁体进行全面检查，确保表面光滑无缺陷，若发现裂缝或气泡应及时修复。在运输过程中，选用合适的吊装设备进行起吊，并确保梁体稳固固定，避免在运输过程中产生损伤。运输路线应尽量选择平稳道路，避免经过崎岖不平的区域，从而减少震动对梁体的潜在影响。当梁体抵达施工现场时，应再次检查其外观与结构，确保运输过程中未发生任何损坏或变形。确认无误后，方可进行后续的安装工作。

2 高速公路预制梁施工质量管控

2.1 质量控制体系与标准要求

高速公路预制梁的施工质量管控依赖于健全的质量控制体系与严格的标准要求，这些体系确保了各施工环节的规范操作，从而保障最终成品的安全性、耐久性及适用性。质量控制体系覆盖设计、材料采购、施工、检测及验收等多个环节，每一阶段都必须严格遵循相应的质量标准和操作规程。在设计阶段，所有设计图纸需符合行业标准及地方规范，尤其在荷载、应力及环境因素的考虑上，必须充分考虑实际施工需求。设计文件一旦获批，所有后续施工活动应严格按设计要求执行，确保设计意图得到有效落实。材料采购环节依照国家及行业标准选取合格原材料，无论是水泥、砂石，还是钢筋与预应力钢绞线，都需经过严格的检验，确保其性能符合要求。材料质量直接影响到预制梁的整体质量，因此，在材料入场时必须进行详细复验，确保其符合相关标准。施工过程中，质量管理需通过细致的现场监督来实现，现场应安排专职质量管理人员，确保每个施工环节的规范执行。模板制作、钢筋绑扎、混凝土浇筑等工序，必须严格按照标准要求进行，且每完成一项工序后，需进行质量检查，以确保没有遗漏或缺陷。施工过程中的设备与技术管理也同样重要，所用模板、钢筋、混凝土等材料需达到规定的精度标准，施工人员应定期接受培训，确保其操作符合规范，具备专业性。在验收阶段，质量检查同样至关重要。预制梁完成后，将进行全面的质量检测，包括尺寸精度、表面平整度、混凝土强度、钢筋配置及预应力效果等项目，只有所有检测合格后，方可进行交付使用。

2.2 施工过程中质量控制的关键环节

在高速公路预制梁的施工过程中，质量控制贯穿于每个环节，特别是某些关键步骤，这些环节对梁体的最终质量起着决定性作用。模板制作与安装作为重要环节，直接关系到梁体的外观及结构精度。即使是微小的尺寸偏差，也可能导致梁体的尺寸不符合要求，进而影响其稳定性与承载能力。而模板支撑系统的设计尤为关键，必须确保其能承受浇筑过程中所产生的重量与振动，避免在施工过程中发生位移或变形。钢筋绑扎的准确性直接影响梁体的抗拉与抗压能力，每根钢筋的定位、间距及绑扎方式，都必须严格按照设计要求执行，从而确保梁体受力均匀，保证其整体强度与稳定性。混凝土浇筑与养护同样对梁体的质量有着显著影响。混凝土的配合比、浇筑速度及振捣的密实度，都需要精确控制，避免出现离析或气泡。每一层混凝土应经过充分振捣，确保其均匀密实。在养护过程中，环境温度与湿度的精确控制至关重要，以防止水分过快蒸发，导致混凝土表面开裂。张拉与注浆工艺是确保预应力效果与梁体耐久性的关键步骤，张拉力必须严格控制，浆液的质量及注入压力也需要有效监控，以避免气孔或裂缝等缺陷的出现。拆模与运输过程也不容忽视。在拆模时，必须确保混凝土已达到足够强度，避免因过早拆模造成表面损坏或变形。在运输环节，梁体的固定与保护尤为重要，必须确保梁体在运输过程中稳定，防止震动或碰撞导致的损伤。

3 高速公路预制梁施工工艺质量管控优化策略

3.1 加强模板制作与安装的质量控制

在高速公路预制梁的施工中，模板的制作与安装质量对梁体的外形精度与结构性能具有直接影响，因此，模板的质量控制显得尤为重要。对多个环节的严格管理是确保模板准确性与稳定性的必要措施。模板制作时，必须严格遵循设计要求，确保尺寸的精度与结构的稳定性。在制作过程中，应选用符合标准的高质量材料。尽管木材模板成本较低，但其刚度与耐用性必须得到保证，防止出现变形；而钢模板因其高强度与高精度特性，尤其适用于大批量生产。在加工前，应使用全站仪、激光测距仪等先进测量工具对模板进行多次校验，确保每个组件的尺寸符合设计标准[1]。模板安装是确保梁体质量的关键环节。在安装时，垂直度、水平度和平整度必须经过精确检查，确保每块模板与其他部分紧密配合，避免出现缝隙或错位，确保整体结构的稳定性。模板支撑系统的设计与施工也必须基于混凝土浇筑的重量与振捣力进行合理计算，以确保支撑系统的稳定，避免施工中出现变形或位移。支撑系统的稳固性应通过多次检查，并进行必要的加固，以应对施工中的震动或外力。模板安装中的细节控制尤为重要，模板之间的接缝必须紧密无缝，避免错位或间隙，直接影响梁体的外观与承载能力。连接部位的牢固性也不容忽视，确保模板连接稳固，避免在浇筑混凝土时发生位移或松动。为了提高施工效率，模块化模板系统作为一种可行的方案，通过标准化模板与连接方式，可显著提升施工的一致性与效率。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在整个施工过程中，项目管理团队需定期进行模板质量检查，确保其精度与稳定性得到持续保障。发现的问题应立即采取纠正措施，防止问题扩展，确保预制梁的施工质量始终处于可控范围内。

3.2 规范钢筋骨架绑扎操作

钢筋骨架的绑扎质量直接影响预制梁的结构安全性和承载能力，规范的绑扎操作对于提高施工效率、避免结构缺陷及潜在安全隐患至关重要。在进行钢筋骨架绑扎前，必须对设计图纸进行详细审查，确保钢筋的规格、数量及布置方式符合设计要求。钢筋的型号、直径及间距必须严格按照设计标准执行。选用的钢筋材料应符合国家标准，并无锈蚀、断裂等缺陷。每根钢筋在使用前，都应进行外观检查，确保其表面干净，且无杂质或污物，这些都会影响强度[2]。绑扎过程中，钢筋的定位与间距必须精确控制，通常会使用钢筋定位器、绑扎器等工具，确保钢筋在正确的位置上不会发生位移。特别是在梁体的侧面与底部，钢筋应均匀排列，避免出现错位或交叉，从而保证混凝土浇筑的质量。每个钢筋交点都应根据设计要求进行绑扎，绑扎点必须均匀分布，确保钢筋骨架的稳定性。绑扎工艺要严格遵循相关规范，紧固程度需要适中，过松会导致钢筋骨架移位，过紧则会造成钢筋变形。同时，钢筋的保护层厚度也应符合设计要求，以保证钢筋与混凝土表面之间保持适当距离，从而有效防止钢筋在施工过程中受损或遭腐蚀。施工过程中，项目管理人员与质量检查人员需定期对钢筋骨架的绑扎质量进行严格检查，涵盖钢筋的规格、数量、间距及保护层厚度等方面。任何问题都应立即整改，避免不合格的钢筋骨架进入下一施工环节。规范的钢筋骨架绑扎不仅能提升结构的稳定性与安全性，还能确保预制梁质量符合设计标准，减少因钢筋问题导致的质量事故，保障工程顺利进行及长期使用的安全性。

3.3 完善混凝土浇筑与养护过程

混凝土的浇筑与养护在高速公路预制梁施工中是至关重要的环节，直接决定了梁体的强度、耐久性及使用寿命。确保这一过程的质量，必须严格遵循操作规程，同时对每一个细节进行不断优化，以保证混凝土在整个施工过程中得到妥善处理。在浇筑混凝土时，混凝土的配比必须严格符合设计要求。水泥、砂石及添加剂的选用应确保其流动性、黏结性与抗压强度达到预期标准。在浇筑过程中，避免出现分层或不均匀的现象至关重要，通过分层浇筑控制每一层的厚度与浇筑速度，可有效避免因浇筑过快或过慢所带来的质量问题。同时，振捣工艺也至关重要，选择合适的振捣频率与振捣深度，可以确保混凝土的密实性，防止气泡或空洞的形成，避免内应力的产生[3]。浇筑完成后，混凝土表面应经过精细处理，确保其平整无裂缝，并防止水泥浆流失。在此过程中，特别需要注意预埋钢筋的精确位置与精度，确保其不受混凝土的影响，保持设计要求的位置。科学合理的养护措施不仅能够促进混凝土强度的持续提升，还能增强其抗裂性。混凝土浇筑后的初期，应及时覆盖以防止水分迅速蒸发。常见的养护方式包括覆盖湿草帘、喷洒养护剂或使用养护膜等。养护时间应不低于 7 天，以确保混凝土进行充分的水化反应，防止裂缝的发生。在高温或干燥环境下，养护强度应适当加强，并定期检查混凝土的湿润度与温度，确保其处于最佳养护状态。温控管理在养护过程中尤为重要，特别是在低温环境下施工时，必须采取加热措施，以保证混凝土水化反应的顺利进行。通过科学与规范的养护，混凝土的强度得到有效提升，其使用寿命得以延长，同时裂缝的风险也能得到有效减少。

4 结语

高速公路预制梁的施工工艺及质量控制对提高施工效率、确保结构安全起着决定性作用。通过严格控制模板制作、钢筋绑扎、混凝土浇筑等关键环节，每个步骤的精确执行能够有效预防潜在的质量问题。同时，拆模与运输过程的优化，确保梁体在运输过程中不发生任何损坏。通过全方位的质量检测以及持续的工艺改进，预制梁的施工质量得到进一步保障，为高速公路的顺利建设奠定了坚实的基础。

[参考文献]

[1]陈敏.高速公路预制梁施工工艺及质量管控研究[J].运输经理世界,2024(24):75-77.
[2]魏旭.高速公路预制梁施工工艺及其质量管控[J].交通世界,2019(33):104-105.
[3]杨洪柳.预制梁施工技术在高速公路施工中的应用及质量管控[J].中国物流与采购,2020(2):80.

作者简介：赵成学（1989.2—），毕业院校：东北财经大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：新疆北新路桥集团股份有限公司，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高速公路桥梁大直径桩基施工关键技术与质量控制

胡 刚
湖北省路桥集团有限公司，湖北 武汉 430000

[摘要]高速公路桥梁大直径桩基施工采用旋挖钻、冲击钻、冲抓钻等成孔工艺，结合泥浆护壁、钢筋笼精准安装、混凝土灌注及后注浆技术，以提高桩基承载力和耐久性。复杂地质条件下，通过砂层及卵石层稳定措施、软弱地基加固、岩溶处理等方法保障施工质量。全过程质量控制包括成孔垂直度、钢筋笼定位、混凝土密实度检测，并采用超声波检测、静载试验等方式验收。优化施工工艺可提升施工效率，降低成本，提高结构安全性与长期稳定性，适应大跨度桥梁对基础承载力的高要求。
[关键词]大直径桩基；旋挖钻；成孔工艺；质量控制；超声波检测
DOI：10.33142/ec.v8i4.16335 中图分类号：U445.5 文献标识码：A

Key Technologies and Quality Control for Large Diameter Pile Foundation Construction of Highway Bridges

HU Gang
Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: The construction of large-diameter pile foundations for highway bridges adopts drilling techniques such as rotary drilling, impact drilling, and grabbing drilling, combined with slurry wall protection, precise installation of steel cages, concrete pouring, and post grouting technology to improve the bearing capacity and durability of pile foundations. Under complex geological conditions, construction quality is ensured through measures such as stabilizing sand and gravel layers, reinforcing weak foundations, and karst treatment. The whole process quality control includes hole verticality, steel cage positioning, concrete compactness testing, and acceptance through ultrasonic testing, static load testing, and other methods. Optimizing construction technology can improve construction efficiency, reduce costs, enhance structural safety and long-term stability, and meet the high requirements of foundation bearing capacity for large-span bridges.
Keywords: large diameter pile foundation; rotary drill; pore forming process; quality control; ultrasonic testing

引言

高速公路桥梁建设对基础稳定性和承载力要求极高，大直径桩基因其强度高、适应复杂地质条件的特点，成为主流基础形式。然而，施工过程中面临成孔垂直度控制、塌孔风险、钢筋笼安装精度、混凝土灌注均匀性等技术挑战，直接影响桥梁结构的安全性与耐久性。通过先进成孔工艺、泥浆护壁技术、精细化施工管理以及高精度检测手段，可有效提升施工质量，确保桩基长期稳定。质量控制体系贯穿勘察、施工、检测与验收各环节，为桥梁工程提供可靠支撑。针对不同地质条件和施工环境的优化措施，将进一步推动大直径桩基施工技术的发展，满足现代桥梁建设的高标准需求。

1 高速公路桥梁大直径桩基施工概述

1.1 大直径桩基的定义与特点

大直径桩基是指桩径一般在 1.5m 及以上的钻孔灌注桩，广泛应用于高速公路桥梁、跨江跨海大桥等大型工程。其主要功能是提供强大的承载能力，确保桥梁在各种复杂荷载作用下保持稳定。相较于普通桩基，大直径桩基可有效降低单桩沉降，减少桥梁基础的不均匀沉降，提高整体结构的安全性。

在复杂地质条件下，如软弱地基、砂层、岩溶区等，大直径桩基能够穿透不良地层，达到稳定的持力层，提高桩基抗拔、抗压及抗弯能力。此外，该类桩基能够更好地适应高水位地区，减少水流对基础的冲刷影响，保证桥梁长期运营的安全性。然而，大直径桩基施工工艺复杂，对成孔设备、钢筋笼吊装、混凝土灌注及质量检测技术要求较高。施工过程中，需要严格控制成孔垂直度、钢筋笼定位及混凝土密实度，避免质量缺陷影响桩基的承载能力和耐久性[1]。

1.2 高速公路桥梁对桩基的基本要求

高速公路桥梁的荷载较大，且需要长期承受动荷载、温度变化、地质环境变化等因素的影响，因此桩基必须具备高承载力和长期稳定性。首先，桩基需具有足够的抗压、抗拔及抗弯能力，以确保桥梁在运营期间的稳定性。其次，为防止不均匀沉降影响桥梁结构，桩基应具备良好的地基适应性，在不同地质条件下均能保持合理的沉降控制。此外，高速公路桥梁的施工周期紧凑，施工环境复杂，要求桩基施工过程高效、可靠，并能够降低环境影响，如减少泥浆污染、降低施工噪声等。

1.3 施工技术的发展现状

随着桥梁建设规模的扩大和工程技术的进步，大直径

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

桩基施工技术不断发展。目前，旋挖钻、冲击钻、冲抓钻等多种成孔工艺广泛应用，其中旋挖钻因成孔效率高、对地层扰动小，在桥梁基础施工中使用较为普遍。此外，泥浆护壁技术、钢护筒辅助成孔、后注浆技术等关键工艺进一步提升了桩基施工的可靠性[2]。在质量检测方面，静载试验、超声波检测、钻芯取样等手段能够精准评估桩基承载力和完整性，确保施工质量满足设计要求。同时，智能化施工技术的应用，如自动化成孔监测系统、三维成孔数据分析等，使得施工精度和效率进一步提升，为大直径桩基施工提供了更加科学的管理和控制手段。

2 大直径桩基施工关键技术

2.1 勘察与设计阶段的关键技术

地质勘察是大直径桩基施工的基础，直接影响桩基设计和施工方案的制定。勘察内容包括地层分布、地下水位变化、岩土物理力学性质等，通过钻探、原位测试、室内试验等手段获取精准数据。对于复杂地质条件，如砂层、软弱黏土层或岩溶发育区域，需要进行深入的地质分析，预测施工过程中可能出现的塌孔、涌水、孔壁失稳等问题，并提出相应对策。

桩基设计需综合考虑桥梁荷载、地质条件及环境因素，确保基础的承载能力和稳定性。设计时应优选桩型，合理确定桩长、桩径及布置方式，提高结构可靠性。对于软弱地基区域，可采用桩-土共同作用分析，优化桩端持力层及桩身摩阻力分布，减少不均匀沉降[3]。

2.2 施工工艺与技术要点

大直径桩基成孔方式主要包括旋挖钻、冲击钻和冲抓钻等。旋挖钻成孔速度快，适用于软硬相间地层；冲击钻适用于卵石层及强风化岩层，能有效破碎坚硬地层；冲抓钻主要用于稳定地层，成孔精度较高。在施工过程中，应根据地层特点选择合适的钻具及施工参数，避免塌孔、偏孔等质量问题。

在松散地层或高水位区域，泥浆护壁是保持孔壁稳定的重要手段。泥浆配比需根据地层条件调整，以提高泥浆的悬浮性、稳定性及携渣能力。施工中应实时监测泥浆比重、黏度和含砂率，确保孔壁稳定，减少塌孔和渗漏风险。

钢筋笼需按照设计要求精确加工，确保焊接质量和结构刚度。吊装过程中，采用分段拼接方式，通过定位筋、导向架等措施保证安装精度。钢筋笼入孔时应避免变形或偏移，确保保护层厚度满足设计要求，增强桩基整体受力性能。

混凝土灌注采用导管法进行水下灌注，需保证导管密封性及混凝土连续供应，防止离析和断桩。后注浆技术通过在桩底或桩侧注浆，提高桩端承载力和桩侧摩阻力，减少沉降，提高桩基承载能力。施工中应严格控制灌注速度、导管埋深及混凝土配合比，确保桩身密实度和完整性。

2.3 复杂地质条件下的施工技术

砂层和卵石层成孔易塌陷，需采用高比重泥浆护壁，并在钻进过程中降低进尺速度，减少孔壁扰动。对于卵石层，可使用冲击钻或旋挖钻配合扩底钻头，提高成孔效率。必要时可采用套管跟进或振动沉管技术，增强孔壁稳定性。

软弱地基易引发桩基沉降或承载力不足的问题，需采取加固措施，如桩端注浆加固、砂石填充或置换等方式，提高地基承载力。在高含水量黏土层，可采用真空预压或高压旋喷技术改善地基稳定性，减少后期沉降。

岩溶地区桩基施工需防止桩端悬空或承载层不均匀，通常采用桩端注浆填充溶洞或灌浆加固桩周土体，增强基础稳定性。在断层破碎带或膨胀土地区，需加强桩身结构设计，采用钢护筒保护或加深持力层，提高桩基抗震能力和长期稳定性。

3 大直径桩基施工质量控制

3.1 施工过程中的质量管理体系

大直径桩基施工涉及多个环节，需要建立完善的质量管理体系。施工单位需设立专门的质量管理部门，明确职责分工，包括现场施工管理、技术监督、质量检测等。通过制定质量控制标准和施工规范，建立全流程质量追溯机制，确保施工各环节符合设计及规范要求。

施工监理在质量管理中起关键作用，主要负责施工方案审核、施工过程监督及质量检测工作。在施工前期，监理需审核施工组织设计及技术方案，确保其合理可行。在施工过程中，监理对关键工序进行旁站监督，包括成孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等环节，并对施工质量进行实时检测，以防止质量缺陷和隐患[4]。

3.2 关键工序质量控制措施

成孔质量直接影响桩基的稳定性和承载能力，需严格控制垂直度、孔径及孔深。施工中采用测斜仪、激光垂准仪等设备实时检测孔壁垂直度，确保误差控制在规范允许范围内。孔径及孔深需符合设计要求，钻孔完成后进行清孔作业，避免孔底沉渣过厚影响桩端承载力。

钢筋笼需按照设计要求进行制作与安装，确保位置准确、焊接质量合格。安装过程中，通过定位架、导向架控制钢筋笼的垂直度和居中性，防止偏位或倾斜。焊接质量检测包括焊缝强度、焊接接头完整性等，确保钢筋笼的整体刚度和稳定性。同时，需保证钢筋笼保护层厚度均匀，避免钢筋外露影响桩基耐久性。

混凝土灌注是桩基成型的关键环节，需控制均匀性、密实度及避免离析问题。灌注采用导管法进行连续施工，确保混凝土流动性良好，防止断桩或夹层现象。灌注过程中，实时监测混凝土坍落度、流动性，确保混凝土均匀填充桩身。施工完成后，可通过钻芯检测混凝土密实度，并结合超声波检测手段判断桩身完整性。

3.3 质量检测与验收标准

桩基施工完成后，通过静载试验和动态试验评估承载能力及变形特性。静载试验采用加载方式测试桩基的极限

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

承载力及变形特性，确保满足设计荷载要求。动态试验采用低应变或高应变检测技术，通过桩身振动特性分析桩基完整性及承载力，为施工质量提供可靠依据。

超声波检测是无损检测桩身质量的重要手段，通过超声波信号分析桩身密实度、完整性及是否存在缺陷。钻芯取样通过机械取芯方式，直接获取桩身混凝土样品，检测混凝土强度、均匀性及内部缺陷情况。结合两种检测手段，可全面评估桩身质量，确保施工达到规范标准。

大直径桩基的验收标准需符合国家及行业规范，包括《公路桥涵基础设计规范》《建筑地基基础工程施工质量验收规范》等，确保承载力、变形、桩身完整性等指标达到设计要求。验收过程中，需提供施工记录、检测报告及试验数据，形成完整的质量档案，确保桩基工程满足使用要求，为桥梁安全运营提供可靠保障。

4 施工安全与环境保护

4.1 施工安全管理措施

大直径桩基施工涉及大型机械设备、高空作业及复杂工序，施工人员的安全培训至关重要。在施工前，应定期组织安全教育培训，普及安全操作规程、事故应急处理方法，并进行实操演练，提升人员安全意识。施工现场需建立安全责任制度，明确各级人员的安全职责，并配备专职安全员进行现场监督，确保所有人员严格按照安全规范作业[5]。

施工过程中涉及旋挖钻机、冲击钻、混凝土泵车、钢筋笼吊装设备等大型机械，设备的安全运行直接影响施工安全。施工前需对所有设备进行全面检查，包括液压系统、电气系统、机械部件等，确保设备运行状态良好。施工过程中，需建立定期维护制度，防止设备故障导致安全事故。特殊工况下，如高水位区域施工，需配备专门的应急设备，防止因设备失效引发施工风险。

施工现场需进行全面的风险评估，针对塌孔、机械故障、高空坠落、有害气体泄漏等可能发生的危险制定详细的应急预案。施工前，需模拟可能发生的突发情况，开展应急演练，提高施工人员的应变能力。对于极端天气、地质突变等不可预见的突发情况，施工单位需准备备用施工方案，并确保应急救援设备和人员随时待命，减少安全事故的影响。

4.2 施工对环境的影响及对策

桩基施工过程中，大量泥浆用于成孔护壁，如果处理不当，可能对周围水体和土壤造成污染。施工现场需建立泥浆循环利用系统，采用沉淀池、泥浆回收设备减少泥浆排放，现场配备专用泥浆箱、砂石分离机等设施，实现资源回收再利用，最大程度减少环境污染。同时，施工过程中应使用环保型泥浆，降低对环境的污染。对于废弃泥浆，应按照环保要求进行固化处理或运输至指定区域集中处理，避免随意倾倒对生态环境造成破坏。

施工过程中，旋挖钻机、混凝土搅拌站、吊装设备等均会产生较大噪声，对周围环境造成影响。为降低噪声污染，可采取隔音屏障、施工时间控制、设备降噪等措施，减少对周边居民及生态环境的干扰。扬尘污染主要来源于施工现场的土方作业及物料堆放，施工过程中需洒水降尘，裸露土方区域应覆盖防尘网，减少扬尘扩散。此外，施工道路需定期清扫，减少运输车辆带来的粉尘污染。

桥梁基础施工对周边生态系统有一定影响，特别是在湿地、河流及植被覆盖区域，需采取严格的生态保护措施。施工前应制定生态保护方案，减少施工区域内的植被破坏，并在施工完成后进行生态恢复，如种植草皮、植树造林等。施工过程中推广绿色施工技术，如使用低碳环保材料、优化施工工艺减少能耗等，提升施工的可持续性。此外，合理规划施工场地，科学布设施工设施，避免对周边生态环境的过度扰动，确保桥梁建设与生态环境的协调发展。

5 结语

高速公路桥梁大直径桩基施工技术是确保桥梁结构安全与长期稳定的关键。通过合理的地质勘察与设计优化，可提高桩基承载力并适应复杂地质条件。施工过程中，成孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等关键工序需严格控制，结合静载试验、超声波检测等手段，确保质量符合规范要求。安全管理与环境保护同样不可忽视，通过完善的安全培训、设备维护及环保措施，减少施工风险与环境污染。未来，智能化施工、绿色施工技术的发展将进一步提升桩基施工质量与效率，满足现代桥梁建设对高承载力、高耐久性基础结构的需求，为交通基础设施建设提供更可靠的技术保障。

[参考文献]

[1]韩利江.地裂隙地质条件下水中大直径桩基施工技术[J].科学技术创新,2023(19):109-112.
[2]余健雄.东江特大桥大直径桩基旋挖钻施工成孔工艺研究[J].交通世界,2024(23):158-160.
[3]林敦杰.市政桥梁灌注桩大直径桩基加固方案分析[J].散装水泥,2024(5):136-138.
[4]冯桂艳,杨春明.市政桥梁灌注桩大直径桩基加固施工技术[J].科学技术创新,2024(8):188-191.
[5]范睿博.公路桥梁大直径桩基加固补强施工技术研究[J].智能城市,2024,10(8):114-116.

作者简介：胡刚（1989.12—），男，职称：路桥中级，籍贯：湖北仙桃。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

畸形道路交叉口优化改造研究

马囡囡
无锡市明大交通科技咨询有限公司，江苏 无锡 214000

[摘要]分析了慢行一体渠化理念，综合考虑了道路交叉口各个方向交通通行需求和小区居民出行需求，对错位畸形道路交叉口的交通问题提出了明确的问题分析，给出了畸形改正交的思路，结合周边慢行交通出行特点提出慢行一体化渠化设计理念。该方法认为节点的渠化和交通组织调整需要考虑节点在路网中的局部重要性和全局重要性。最后改造后的交通运行验证了方法的有效性和可行性。

[关键词]交通工程；交通设计；慢行一体化；渠化
DOI：10.33142/ec.v8i4.16331 中图分类号：U491.23 文献标识码：A

Research on Optimization and Renovation of Abnormal Road Intersections

MA Nannan
Wuxi Mingda Jiaotong Technology Consulting Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract: This paper analyzes the concept of integrated slow traffic channelization, taking into account the traffic demand in various directions of road intersections and the travel needs of residents in residential areas. It puts forward a clear problem analysis of the traffic problems at misaligned and deformed road intersections, and provides ideas for correcting abnormal traffic. Combined with the characteristics of slow traffic in the surrounding areas, the design concept of integrated slow traffic channelization is proposed. This method believes that the channelization of nodes and the adjustment of traffic organization need to consider the local and global importance of nodes in the road network. The effectiveness and feasibility of the method were verified by the traffic operation after the final renovation.

Keywords: traffic engineering; transportation design; slow integration; channelization

引言

因早期住宅小区规划建设时，小区出入口接入市政道路时未综合考虑周边交叉口及其他交通组织情况，出入口设置不合理，道路交叉口形成了一个冲突点多、通行秩序混乱、事故多发的隐患点。该道路交叉口位于嘉城绿都小区内，宜城路作为小区的主要通道贯穿南北，向南与东西向湘湖大道相交，南侧嘉城绿都·春兰苑小区出入口向北与湘湖大道相交，宜城路与春兰苑小区出入口形成了一个错位相交的十字道路交叉口，早晚高峰时段，由道路交叉口转向进出小区的机动车和非机动车量均较大，由于交通组织的不合理，道路交叉口的通行能力降低，车辆排队严重、机非干扰、道路交叉口拥堵现象明显进而导致事故频发，甚至被定为 2020 年浙江省省级挂牌事故多发点。

从交通组织优化、渠化设计的角度入手：调整春兰苑小区出入口线形，优化道路交叉口交通组织；道路交叉口慢行一体渠化，优化慢行交通过街规则；道路交叉口机非隔离，减少机非冲突；规范周边人行道停车及嘉城绿都紫薇苑出入口，其他交通组织（停车/出入口等），减少对道路交叉口的交通影响。方案实施后，道路交叉口交通组织更加合理，道路交叉口南北向冲突点由 18 个下降至 9 个；非机动车左转不与机动车抢道，道路交叉口机非干扰降低，春兰苑车辆进出更加安全。

1 现状及问题分析

宜城路-湘湖大道交叉口南北两侧均是嘉城绿都小区，根据道路、河流分为 7 个苑落（春兰苑、紫薇苑、凌霄苑、茉莉苑、合欢苑、秋菊苑、芙蓉苑）以湘湖大道为界，南侧是春兰苑，北侧是其他 6 个苑落；宜城路作为北侧苑落的主要进出通道，大量车流在该交叉口完成向东西南北方向疏散；春兰苑由于东、南侧为河道、西侧是规划快速路，因此小区唯一出入口是接入湘湖大道，车辆和行人均由该交叉口进出；宜城路与春兰苑出入口相距约 20 米，形成的是一个错位的十字道路交叉口，南北方向是信号灯控制的全向交通组织，相位方案为 3 相位控制，相位一东西向满屏灯、相位二东西向左转灯、相位三南北向满屏灯，南北错位的通道采用的是满屏灯控制，交叉口处的机动车、慢行交通的冲突点增加，同时道路交叉口内有一高压线杆位于南北向左转车型轨迹上，安全隐患大，加之道路交叉口高峰时段进出小区的机动车和非机动车流量比较大，最终造成该交叉口高峰时段道路交叉口拥堵、车辆排队溢出、通行秩序差，极易引发交通事故。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

图 1　道路交叉口区位

图 2　道路交叉口优化前

1.1 错位道路交叉口，交通组织不合理，冲突点多

该道路交叉口是错位十字相交，道路交叉口交通渠化不合理，造成南北向的冲突点增多，南北方向信号放行时，道路交叉口的机-机、机-非、机-人、非-非、非-人之间的冲突点多达 20 处，同时，道路交叉口有一高压电杆位于车行轨迹上，南北向左转车流存在安全隐患，由于事故多发，该道路交叉口已被定为 2020 年省级道路交通事故多发点段。

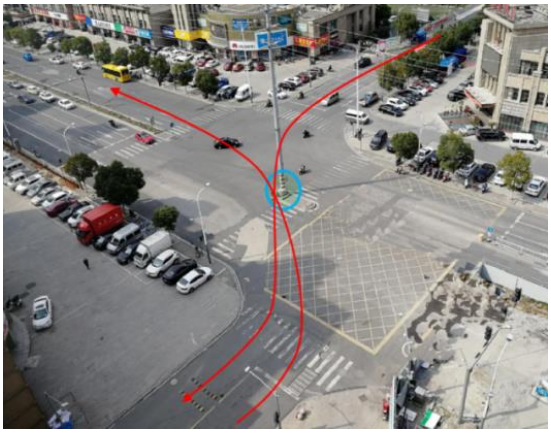

图 3　改造前道路交叉口南北向冲突点

1.2 早晚高峰道路交叉口流量大，交通冲突严重，通行能力低下

宜城路早高峰北向南右转和南向北左转的流量大，晚高峰湘湖大道西向东左转的流量大、东西向直行流量也较大，因此交叉口的流量整体较高，错位相交产生的冲突也较严重。

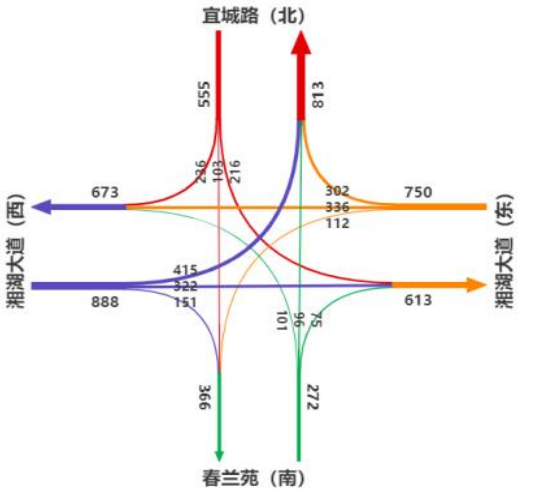

图 4　改造前道路交叉口晚高峰流量

1.3 早晚高峰非机动车流量大，与机动车抢道，机非冲突严重

现状道路交叉口东西进口道的非机动车道宽度为 2.5m，由于早晚高峰非机动车量大，非机动车道的续容能力不能满足实际流量需求，车辆排队时，非机动车存在越线、挤占机动车道的现象，道路交叉口非机动车通行秩序差、机非冲突严重。

图 5　道路交叉口机非干扰

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.4 周边出入口口接进出道路交叉口，对交叉口交通影响大

道路交叉口周边人行道上均设置了机动车停车位，车辆均由转角处直接进出道路交叉口，不受信号灯控制，东北角紫薇苑的小区出入口距离道路交叉口较近，车辆进出对道路交叉口影响较大，以上交通干扰严重影响该道路交叉口的通行秩序，同时也存在安全隐患。

图 6　周边人行道停车直接进出交叉口

2 优化思路

针对以上隐患问题，将该道路交叉口统筹考虑，从交通组织及安全性协同入手确定优化思路：

（1）改变春兰苑进出口线形，优化道路交叉口相交形式。对现状春兰苑小区出入口线形进行调整，出入口向西偏移与宜城路相对，形成标准十字道路交叉口。

（2）道路交叉口设置慢行一体渠化方式，规定非机动车过街规则和等待区域。在春兰苑出入口线形调整后，道路交叉口渠化采用慢行一体的设置形式，为慢行交通提供充足的等候空间，非机动车采用二次过街的形式，减少道路交叉口内与机动车抢道。

（3）道路交叉口设置机非隔离设施，右转弯窄化。道路交叉口进口道及慢行等待区处设置机非隔离设施，减少道路交叉口内的机非冲突，同时道路交叉口右转弯处的转弯半径适当窄化，以降低右转车的车速，降低机非冲突风险。

（4）封闭道路交叉口周边人行道停车出入口，规范其进出交通组织。道路交叉口人行道上侧石抬高或设置隔离设施，禁止机动车直接由道路交叉口上下人行道，重新组织周边交通的进出，减少其对道路交叉口的影响。

3 优化措施

3.1 春兰苑出入口线形调整

现有春兰苑出入口位置向西偏移约 20m，设置一条 12m 的通道接入湘湖大道，渠化为直左车道和出口道（机+非）使用，现有小区通道缩小至 6m 作为右转车道（机+非）使用，通道之间留有交通岛，调整后的春兰苑出入口与宜城路、湘湖大道形成了标准十字道路交叉口，道路交叉口冲突点减少，东口中央绿化带向西延伸且加宽至高压线杆占用宽度，其中高压电杆作为绿化带岛头在非机动车二次过街通道的外侧，安全性得到有效改善。东进口将原先的掉头车道调整为左转车道，西进口高峰时段左转进入小区的车流量较大，通过适当提高左转相位信号配时方案增大左转车道的放行时间。

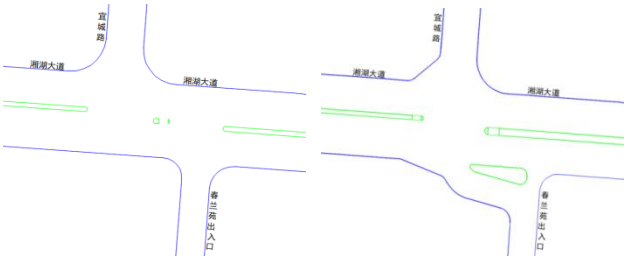

图 7　改造前后道路交叉口形式对比

3.2 道路交叉口慢行一体化设计

在春兰苑小区出入口线形调整后对道路交叉口进行慢行一体化设计，将道路交叉口东北角、西北角、西南角的机非边线相连合围成慢行等待区，南侧交通岛处作为慢行等待区，非机动车和行人在等候区内等候信号灯过街，为大量慢行交通提供了充足的空间；在人行横道线外侧设置 4 米的非机动车二次过街通道，非机动车沿通道（双向）过街不驶入道路交叉口内部，避免与左转机动车抢道而发生剐蹭。制定合理的相位相序方案最大程度的疏散道路交叉口各向交通流，第一相位为东西向直行、非机动车与行人东西通行，第二相位东西向左转、非机动车与行人禁止通行，第三相位北口放行、非机动车与行人西侧南北通行，第四相位南口放行、非机动车与行人东侧南北通行。

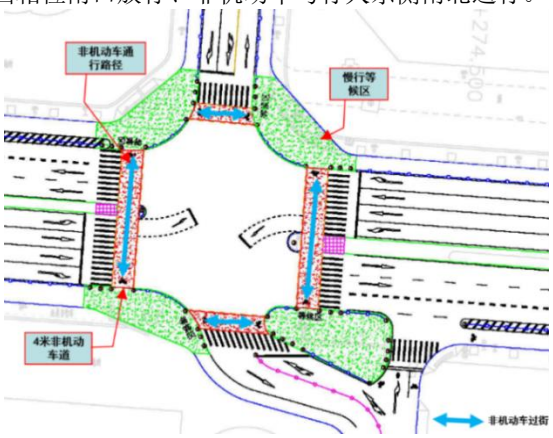

图 8　改造后道路交叉口渠化

3.2.1 道路交叉口设置机非隔离

道路交叉口范围进口道处、慢行一体等候区转弯处均设置机非隔离设施，减少机非干扰，保障慢行交通安全性。

3.2.2 右转弯窄化

道路交叉口西北角和东北角右转弯进行窄化处理，慢

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

行待行区的隔离设施处的右转弯半径设置为 12m，缩小右转弯机动车转弯半径，以降低车速，保障慢行交通的通行安全。

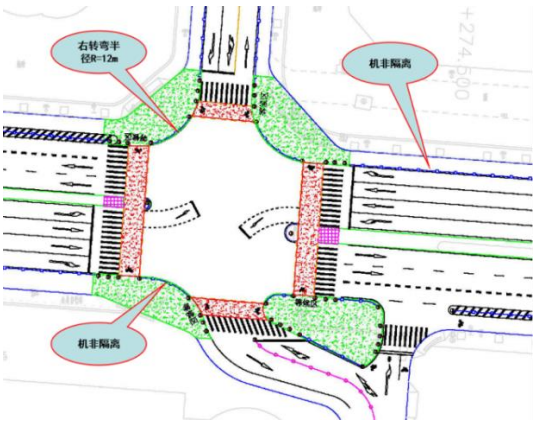

图 9　道路交叉口机非隔离和右转弯窄化设计

3.3 道路交叉口范围其他交通的组织优化

道路交叉口西南角侧石抬高，禁止机动车由交叉口直接进出人行道，统一由西侧春兰苑消防开口处进出；道路交叉口西北角设置了机非隔离，车辆进出由湘湖大道民政局东侧降坡进出；道路交叉口东北角设置了机非隔离，原小区出入口移至东侧湘湖大道上；减少道路交叉口其他交通对宜城路-湘湖大道道路交叉口的交通干扰。

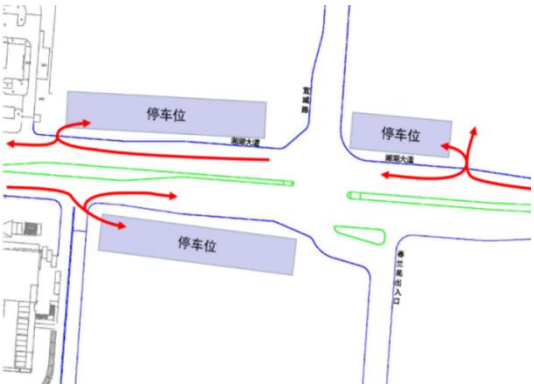

图 10　道路交叉口周边交通组织优化

4 实施效果

通过道路交叉口线形优化、慢行一体设计和设施完善，道路交叉口非机动车排队空间得到提升，规定过街路径不驶入道路交叉口内部与机动车抢道，设置隔离设施，有效分离机动车和慢行交通之间的通行空间，提升了道路交叉口内交通流的安全性。合理组织道路交叉口周边人行道上停车的交通组织，禁止其直接进出道路交叉口，避免了对道路交叉口内交通流的干扰。通过合理的相位相序方案，北口放行时，道路交叉口的冲突点数降至 4 处，南口放行时，道路交叉口冲突点数降至 1 处，大大地提高了道路交叉口南北方向过街的安全性。

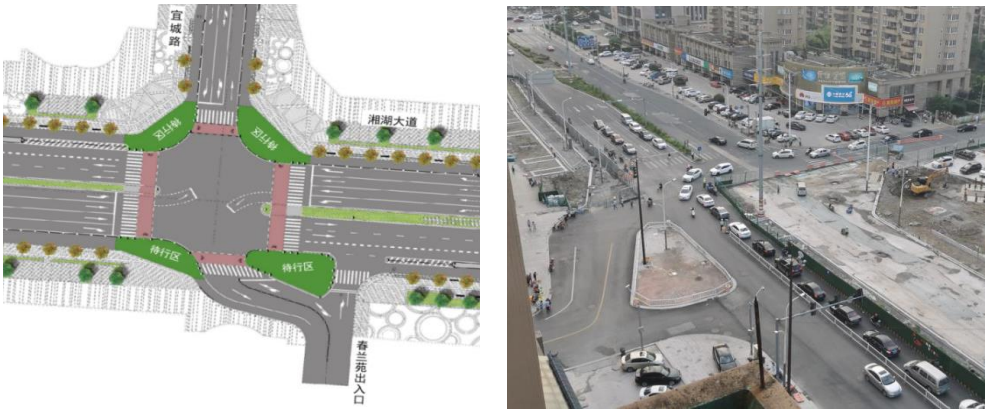

图 11　道路交叉口慢行一体化设计效果图

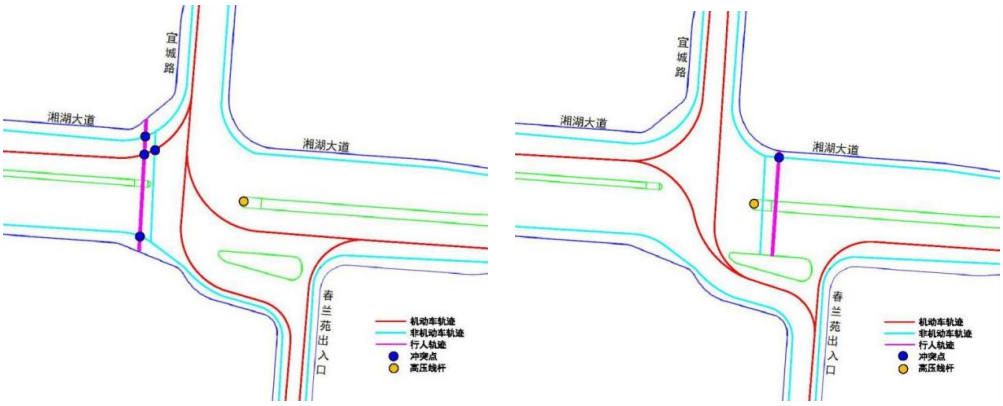

图 12　道路交叉口改造后南、北口放行冲突点示意图

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

5 结语

通过优化春兰苑出入口线形、道路交叉口慢行一体化设计、禁止人行道停车直接进出道路交叉口、设置隔离设施等措施。方案设施后道路交叉口非机动车过街和排队秩序明显改善、机非干扰和其他交通干扰明显降低，道路交叉口整体交通秩序得到改善，通行更加有序。

宜城路-湘湖大道交叉口是机动车和慢行交通流量均较大的典型交叉口，承载大量的通勤交通流，可根据具体问题采取相应措施：一是当交叉口是错位相交的道路交叉口时，应尽量优化道路交叉口的相交形式成正常相交，避免错位相交带来的交通冲突；二是双四-双六、双四-双四或双四-双二，交叉口的非机动车流量较大、过街秩序混乱时，可以通过设置慢行一体化的形式对慢行交通的过街规则进行优化，提高交叉口的通行能力和通行安全；三是当双向四车道及以上或者机动车、非机动车流量较大时，可以通过设置机非隔离设施来降低机非干扰；四是当交叉口周边有静态交通（停车）直接进出或者距离交叉口较近时，易对交叉口的交通秩序造成干扰，可以通过优化静态交通进出口交通组织来降低车辆进出对交叉口的影响；五是当道路交叉口右转机动车车速较快或者货车右转与非机动车之间存在安全冲突时，可以通过窄化右转弯半径的方式来降低转弯车辆车速。

[参考文献]

[1]张九跃，张顺英.基于慢行交通一体化设计的交叉口信号运行方式选择研究[J].交通运输系统工程与信息，2007(2)：104-108.
[2]熊寒梅.城市道路慢行一体化：横断面设计研究[J].交通科技与管理，2021(35)：20-21.
[3]郑晨，李贤达，黄一哲，等.平面交叉口慢行一体化改造研究[J].交通世界，2024(25)：35-38.
[4]熊雪明，李茂文.慢行一体化城市干道横断面设计实例[J].城市道桥与防洪，2012，4(4)：18-20.
[5]李贤达，罗剑云，胡康，等.宁波市交叉口慢行交通一体化通行策略研究与应用[J].道路交通科学技术，2020(2)：56-59.
[6]史玉茜，杨晓光，杨静.城市道路平面交叉口交通设计模式比较研究[J].交通与运输，2013(7)：54-57.

作者简介：马囡囡（1987—），女，籍贯：江苏徐州，硕士研究生，中级工程师，主要研究方向：交通工程、交通设计、交通组织研究、交通规划。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决方法

张儒远
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]随着我国经济的快速发展，公路建设的规模不断扩大，工程种类也日益增多。然而，在公路建设过程中，由于施工、管理和技术等方面的操作不当，混凝土裂缝问题频繁出现，这不仅影响了公路的质量，也给建设工作带来了诸多挑战。因此，相关从业人员应尽快采取措施，解决混凝土裂缝问题，以提高公路建设的整体质量。在实际工作中，需要全面考虑各种可能的因素，深入分析混凝土裂缝产生的原因，并根据调查结果采取有效措施，消除不利影响，从而确保工程的顺利进行和长期稳定运行。

[关键词]公路工程施工；混凝土裂缝；裂缝成因；解决方法
DOI：10.33142/ec.v8i4.16311　　中图分类号：TU75　　文献标识码：A

Causes and Solutions of Concrete Cracks in Highway Engineering Construction

ZHANG Ruyuan
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the rapid development of Chinese economy, the scale of highway construction continues to expand, and the types of projects are also increasing. However, in the process of highway construction, due to improper operations in construction, management, and technology, concrete cracking problems frequently occur, which not only affects the quality of the highway but also brings many challenges to the construction work. Therefore, relevant practitioners should take measures as soon as possible to solve the problem of concrete cracks and improve the overall quality of highway construction. In practical work, it is necessary to comprehensively consider various possible factors, deeply analyze the causes of concrete cracks, and take effective measures based on the investigation results to eliminate adverse effects, thereby ensuring the smooth progress and long-term stable operation of the project.

Keywords: highway engineering construction; concrete cracks; cause of crack formation; solutions

引言

在公路工程施工中，混凝土作为常用的结构材料，其稳定性与耐久性对公路的安全性与使用寿命具有至关重要的影响。然而，混凝土裂缝作为公路建设中的普遍问题，不仅会影响混凝土结构的外观，还可能对其承载力、抗渗性及耐久性产生负面作用，最终威胁到道路的安全性。裂缝的成因复杂且多样，涉及到材料质量、施工工艺、环境因素以及地基状况等多个方面。根据裂缝的不同类型，常见的包括温度裂缝、收缩裂缝及沉降裂缝等，每种裂缝的形成原因与表现形式各有不同。若这些裂缝未能及时得到修复，水分的渗透、钢筋的锈蚀以及结构强度的下降可能会加剧，最终引发更严重的质量问题。为有效应对混凝土裂缝问题，必须深入分析其成因，并采取科学合理的预防与修复措施。在设计阶段，合理选择材料、优化混凝土的配比与钢筋布置被视为避免裂缝发生的基础；而在施工过程中，严格控制施工工艺、养护措施以及环境条件，尤其是在温湿度波动较大的情况下，将有效减少裂缝的产生。此外，及时对裂缝进行检测与修复，也是确保混凝土结构稳定性与耐久性的重要环节。通过对混凝土裂缝的成因与解决方法进行深入研究，不仅有助于提升公路工程的施工质量与使用寿命，同时还将为未来公路建设提供更为科学的技术支持与管理方案。本文将从多个角度探讨公路工程中混凝土裂缝的成因，并提出切实可行的解决策略，旨在为提升公路工程质量提供有力的理论依据与实践指导。

1 公路混凝土裂缝的不良影响

公路混凝土裂缝对工程质量、使用寿命及安全性构成了严重威胁。裂缝的出现直接降低了混凝土的抗渗性，使水分及有害物质得以渗透到混凝土内部。这不仅加速了钢筋的锈蚀，还导致混凝土的劣化，显著降低了结构的耐久性。随着时间的推移，钢筋的锈蚀破坏了混凝土内部的结构，最终可能导致整体结构的坍塌。此外，公路的承载力也被裂缝降低，从而影响了正常通行，增加了交通事故的风险。尤其是在交通密集的路段，长期的震动和荷载作用使裂缝逐渐扩大，甚至可能引发局部塌陷，危及道路的使用安全。维护与保养工作的频繁和昂贵，裂缝的存在使得公路的维护成本大幅上升，从而降低了公路的经济效益。

2 公路工程施工过程中混凝土出现裂缝的原因

2.1 公路建筑材料存在质量问题

在公路工程施工中，建筑材料的质量问题是导致混凝土裂缝的一个重要因素。混凝土的主要组成成分包括水泥、骨

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

料与水，任何一项原材料的质量问题都会直接影响混凝土的整体性能。若水泥的质量不符合标准，可能会存在强度不足、化学成分不稳定或掺入不合格外加剂等问题，这些问题会导致混凝土在硬化过程中发生不正常的收缩或膨胀，进而形成裂缝。骨料的质量同样对混凝土至关重要，若骨料中含有杂质、过多的粉尘或颗粒粒径不均，混凝土的密实性与强度将受到影响，裂缝在施工中易于产生。此外，水的质量同样不容忽视，不合格的水源可能导致混凝土凝结及硬化不均，从而影响其抗压与抗拉性能。若材料质量控制不严，尤其是在大规模公路工程中，批次间的质量差异将可能导致混凝土结构在后期出现裂缝，进而影响其长期的稳定性与耐久性。

2.2 温度的变化导致混凝土结构出现裂缝

温度变化是导致公路混凝土结构裂缝的重要因素之一。在混凝土硬化过程中，尤其是在不同季节或气候条件下，温差的变化对混凝土的影响尤为明显。在混凝土浇筑初期，水泥水化反应释放大量热量，导致混凝土内部温度迅速升高，而外部环境温度则相对较低。这种温差使得混凝土内部与外部的收缩速率不一致，温度裂缝因此容易产生，尤其在大体积浇筑的公路工程中尤为突出。此外，白天温度较高时，混凝土表面会升温，而夜间气温的急剧下降，使得混凝土表面发生较大收缩变形，从而形成裂缝[1]。如果未能采取有效的温控措施，热胀冷缩的反复变化将导致混凝土表面开裂，甚至可能出现深层裂缝，严重损害结构的整体性与耐久性。

2.3 公路工程的收缩导致混凝土结构出现裂缝

导致混凝土结构出现裂缝的常见原因之一是公路的收缩。水泥和水是混凝土的主要组成成分，如果不能合理控制水泥和水的用量，就会导致混凝土结构发生收缩裂缝。由于混凝土结构内部和表面的水分蒸发速度不同，通常表面的水分流失比内部更快，因此表面的变形会大于内部变形。这样，混凝土表面发生收缩变形时，会约束内部的变形，破坏了混凝土的整体结构，进而导致裂缝的出现。收缩裂缝通常出现在混凝土表面，并呈现网状形式。这种裂缝会显著降低混凝土的抗渗性，进而侵蚀混凝土内部的钢筋，严重影响混凝土结构的耐久性和承载能力。

2.4 沉陷裂缝

沉陷裂缝是公路工程中常见的一类裂缝，通常由地基或基础的不均匀沉降引起。在施工过程中，若地基的承载力不足或土壤层发生不均匀沉降，混凝土结构将受到局部变形，从而形成沉陷裂缝。沉降的不均匀性往往与土壤的性质、含水量及施工时荷载变化密切相关。尤其是在软土地区或地基土质松散的情况下，沉降现象更加显著。一旦混凝土结构受到不均匀沉降的影响，局部应力便集中，尤其是在接缝和节点位置，裂缝便容易产生。沉陷裂缝的特点是逐渐发展，随着时间的推移，沉降幅度不断增大，裂缝也会逐步扩展，最终影响公路的承载力和整体稳定性[2]。在严重情况下，沉陷裂缝可能导致局部结构的破坏或道路的沉陷，进而对使用者的安全构成潜在威胁。

3 公路工程施工中混凝土裂缝的解决措施

3.1 优化力学设计方案

优化力学设计方案是解决公路工程中混凝土裂缝问题的关键环节，它从设计源头着手，确保混凝土结构在施工及使用过程中能够有效避免裂缝的产生。在设计阶段，工程的具体需求和环境条件应根据实际情况进行充分分析，并科学选择混凝土的强度等级、配比及钢筋的布置方式。通过优化混凝土的配合比，能够增强其抗压、抗拉及抗弯能力，从而减少应力集中或外界因素引发的裂缝。同时，钢筋的布置应基于受力分析结果进行合理安排，确保其数量和位置能够有效抵抗结构在受力过程中产生的变形和应力。除了材料选择与钢筋设计外，力学设计还需充分考虑温差、收缩、沉降等因素对混凝土结构的影响。例如，通过合理设计伸缩缝与变形缝，应力集中因温度变化与收缩而引起的裂缝能够有效避免。特别是在大型路段或复杂地质条件下，力学设计需要细化到每一个节点，地基承载力、土壤沉降特性以及外部荷载变化等因素，必须全面考虑，以确保结构的稳定性和均匀沉降。此外，采用先进的数值模拟技术进行受力分析，不仅能帮助预测不同工况下的应力分布与变形趋势，还能进一步优化设计，提前识别和规避潜在的裂缝风险。

3.2 加强对施工人员的管理

加强施工人员管理是有效预防公路工程中混凝土裂缝的关键措施之一。施工人员的操作技能、专业素质以及管理规范直接影响着混凝土质量以及施工过程中的各个环节。施工人员应接受严格的技术培训，并获得相应的资质认证，以确保他们熟悉混凝土施工的相关标准与操作规程，尤其是在配比、浇筑、振捣及养护等关键环节中。技术培训与技能考核应由项目管理者定期组织，以提升施工人员的专业知识及实际操作能力。此外，混凝土施工质量对施工人员的现场操作至关重要。尤其是在浇筑过程中，浇筑的速度、层次及温度必须严格控制，避免因操作不当或浇筑过快而导致裂缝的产生。为了确保施工质量，项目管理者应在施工现场安排专门的质量监控人员，实时监督各个环节，确保施工按照设计要求进行。施工人员的安全意识及责任感的提高也同样重要，确保他们遵守安全操作规程，减少人为因素引发的施工失误。对于经验较少的工人，应安排资深工人进行指导，确保施工质量符合设计标准，并及时发现与纠正施工过程中可能出现的问题。

3.3 严格控制原材料的质量

严格控制原材料的质量是预防公路工程中混凝土裂缝的基础措施之一，因为混凝土的性能直接依赖于其组成材料的质量。水泥作为混凝土的主要组成成分，其质量必须符合国家标准及行业规范。在选择水泥时，需要确保其

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

强度等级、化学成分及颗粒组成经过严格检验，避免使用存在质量缺陷的水泥，这样才能确保混凝土在水化过程中达到足够的强度和稳定性。若水泥质量不合格，水泥与水的反应可能不完全，混凝土的抗压强度和耐久性便会下降，从而引发裂缝。骨料的质量对混凝土的性能也起着至关重要的作用。骨料的粒径、级配、洁净度以及含泥量等因素，直接影响着混凝土的密实性与强度[3]。若骨料中存在过多的杂质、泥土或其他有害物质，混凝土的凝结性与黏结性将被削弱，最终可能导致裂缝的产生。因此，在选购骨料时，必须对其进行严格筛选与检测，确保其符合标准要求。水质的好坏同样影响混凝土的质量。尽管水是混凝土中最为常见的成分，但其质量却不容忽视。使用含杂质的水可能导致水泥水化不完全，从而影响混凝土的强度与耐久性。外加剂与掺合料的选用亦需严格把关，不合格的化学品或掺合料的使用应予以避免，以确保其在混凝土中能够发挥预期的作用，防止因不合格的外加剂引起混凝土的收缩、膨胀或开裂等问题。

3.4 加强对温度的控制

控制温度是有效减少公路工程中混凝土裂缝的重要措施之一，因为温度波动对混凝土的硬化过程和收缩特性有着直接的影响。在混凝土浇筑后的初期水化阶段，大量热量会被释放，这一现象被称为水化热。在高温天气下，水泥水化产生的热量与外部环境的温度变化相互作用，可能导致混凝土表面温度过快上升，而内部温度相对滞后。这种温差易引发温度裂缝。尤其是在昼夜温差较大的情况下，温度骤然变化使得混凝土表面与内部的收缩差异加剧，成为裂缝产生的主要因素。低温季节，混凝土的水化进程会被延缓，未完全水化的混凝土遇到冻结时，容易发生裂缝。针对这一问题，采取有效的温控措施显得尤为重要。在施工过程中，必须实时监测混凝土的温度变化，实施合适的保温或降温措施。例如，覆盖保温材料、调整浇筑时间或使用温控外加剂等，可以避免因温差过大导致的应力集中和裂缝的产生[4]。此外，根据不同季节的气候条件，施工单位还需制定详细的温度管理方案。在进行大体积混凝土施工时，合理安排施工进度与温控措施，控制温度上升和降温的速度至关重要。

3.5 做好混凝土结构的维护工作

混凝土结构的维护对于确保公路工程的长期稳定性和耐久性至关重要，它能够有效阻止裂缝的产生与扩展。使用后的混凝土面临多重环境因素的影响，如温湿度变化、交通荷载以及化学腐蚀等，这些因素可能会对混凝土造成不同程度的损害。为了应对这些风险，定期的检查与维护是不可或缺的。在混凝土浇筑完成后，及时开展养护工作是至关重要的。这一过程包括保持适当的湿度和温度条件，以避免混凝土表面过早干燥，从而减轻因收缩不均引发裂缝的风险。施工初期采取的保湿措施，如覆盖保湿布或使用养护剂，有助于促进混凝土的均匀硬化，防止因水分过快蒸发导致的裂缝。随着混凝土进入使用阶段，尤其是在交通密集或环境条件恶劣的路段，定期检查道路表面及关键部位显得尤为重要。裂缝或其他潜在问题的及早发现，可以避免裂缝的进一步扩大，保证道路的使用安全。混凝土结构的防腐处理也不可忽视，尤其是在高腐蚀性环境中，如沿海地区或污染严重的地区。防水防腐措施，如涂覆防腐涂层或注入密封剂等，可以显著提升混凝土的抗渗透性与抗腐蚀性，从而防止钢筋锈蚀引起的结构性损害。

4 结语

在公路工程施工过程中，混凝土裂缝的产生是一个复杂的现象，受到施工技术、材料质量、环境因素等多重影响。这些裂缝不仅影响混凝土结构的外观与功能，还可能显著缩短其使用寿命，甚至威胁到工程的安全性。通过对裂缝成因的深入剖析，科学依据能够为采取有效措施提供。通过优化设计方案、加强施工管理、严格控制原材料质量、合理调节温度及做好日常维护等手段，混凝土裂缝的形成可以有效预防，并对已有裂缝进行及时修复，从而提高公路工程的质量与耐久性。随着相关技术的不断进步以及管理水平的不断提升，混凝土裂缝问题在公路工程中的控制将变得愈加精准，为我国公路建设的可持续发展提供更加可靠的保障。

[参考文献]

[1]赵华.公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决方法[J].运输经理世界,2023(19):127-129.
[2]蒋友强,喻勇.公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决措施分析[J].运输经理世界,2020(18):34-35.
[3]强焯.公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决方法[J].黑龙江交通科技,2023,46(5):46-48.
[4]海洋.公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决措施探讨[J].居业,2022(6):13-15.

作者简介：张儒远（1984.6—），毕业院校：西北工业大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆北新路桥集团股份有限公司，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

粗颗粒盐渍土的溶陷性及其简便判别方法

胡义生　贾亦斌　马文艳
上海电力设计院有限公司，上海 200025

[摘要]针对粗颗粒盐渍土难以采集原状土样通过室内试验直接获得溶陷系数的痛点，分析了粗颗粒盐渍土浸水溶陷的产生机理及影响因素，围绕含盐量、水、颗粒级配、地层结构等主要影响因素总结了定性判断粗颗粒盐渍土是否溶陷的方法，结合已有研究成果中不同颗粒级配下溶陷系数与含盐量的经验公式，采用三维曲面拟合方法获得了溶陷系数与粗细颗粒比、含盐量等常规物理试验指标的换算关系，形成了一套粗颗粒盐渍土溶陷性简便判别方法。最后以甘肃瓜州某 330kV 升压站项目为案例，通过浸水载荷试验验证了这套简便判别方法的准确性与可靠性。

[关键词]粗颗粒土；盐渍土；含盐量；溶陷性；溶陷系数
DOI：10.33142/ec.v8i4.16289　　中图分类号：TU448　　文献标识码：A

The Collapsibility of Coarse-grained Saline Soil and Its Simple Discrimination Method

HU Yisheng, JIA Yibin, MA Wenyan
Shanghai Electric Power Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200025, China

Abstract: In response to the pain point of difficulty in collecting undisturbed soil samples for coarse-grained saline soil and obtaining the dissolution coefficient directly through indoor experiments, the mechanism and influencing factors of coarse-grained saline soil dissolution in water were analyzed. Qualitative methods for determining whether coarse-grained saline soil has dissolved were summarized based on the main influencing factors such as salt content, water, particle size distribution, and geological structure. Combined with empirical formulas for dissolution coefficient and salt content under different particle size distributions in existing research results, a three-dimensional surface fitting method was used to obtain the conversion relationship between dissolution coefficient and conventional physical test indicators such as coarse to fine particle ratio and salt content, forming a set of simple discrimination methods for coarse-grained saline soil dissolution. Finally, taking a 330kV substation project in Guazhou, Gansu Province as a case study, the accuracy and reliability of this simple discrimination method were verified through immersion load tests.

Keywords: coarse grained soil; saline soil; salt content; solubility; dissolution coefficient

引言

盐渍土在我国分布非常广泛，面积约占国土总面积的十分之一，主要分布在西北、华北、东北、华东地区。从颗粒组成角度考虑，盐渍土可划分为粗颗粒盐渍土和细颗粒盐渍土。其中，粗颗粒盐渍土是指：盐渍土经过洗盐后，粒径超过 0.075mm 和不大于 60mm 的颗粒含量大于总质量 50%的土[1]。

对于细颗粒盐渍土，在建设工程的勘察阶段，一般可通过常规勘探取样试验手段获得其溶陷性判定指标；而对于粗颗粒盐渍土，由于难以采集原状土样，利用室内试验直接获取溶陷系数难度很大，而通过现场浸水载荷试验评价该类土层的溶陷性虽然准确可靠，但试验周期长、成本高，难以推广应用。因此，针对粗颗粒盐渍土寻找经济适用、准确高效的溶陷性判别方法具有重要的现实意义。

1 粗颗粒盐渍土溶陷性研究现状

刘亚峰等[2]研究了敦煌地区粗颗粒盐渍土的工程性质及其对风电工程的影响，提出了研究区风电场粗颗粒盐渍土地基溶陷病害的几种防治方法。程东幸等[3]分析了新疆、甘肃两地 4 个试验场 28 个现场试验点的溶陷性试验结果，总结认为当地基土中易溶盐含量超过 0.5%～1%，且地基土渗透系数不低于 10^{-7}cm/s 时，常会发生溶陷现象。孙安元[4]认为颗粒粒径是影响粗颗粒盐渍土溶陷性的关键指标，随着颗粒粒径的增大，粗颗粒硫酸盐渍土在相同工况下溶陷呈减弱趋势。国际上对于盐渍土的研究，以前苏联加盟共和国研究水平较高，研究成果较为系统。20 世纪 40 年代以考夫达、崔托维奇等为代表的前苏联科学家率先开展了盐渍土工程特性研究工作，并对盐渍土的形成原因、影响因素及分布规律等展开了系统性的研究，奠定了盐渍土研究领域的基石[4]。

虽然国内外专家学者对粗颗粒盐渍土进行了一定的研究，但研究成果还不够系统，对粗颗粒盐渍土溶陷性与常规物理力学化学试验指标的关系还有待进一步研究。

2 粗颗粒盐渍土溶陷性的影响因素

盐渍土溶陷是盐渍土在自重压力或附加压力作用下受水浸湿时所产生的变形现象，一般认为其包括溶陷变形和潜蚀变形两部分[3]。分析盐渍土溶陷产生的机理，可以发现影响粗颗粒盐渍土溶陷性的因素主要有：土壤含盐量、地下水、温度、颗粒级配和地层结构等。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

（1）含盐量

土中盐分的存在，是地基土产生溶陷的物质基础。粗颗粒盐渍土的溶陷性与其含盐类型、含量及可溶程度密切相关。一般情况下，地基土中易溶盐含量越高，其溶陷能力越强，反之，易溶盐含量越低，则其溶陷能力相应越弱。这种现象不管在平面上还是剖面上均有明显表现。

（2）地下水

地下水对盐分的溶解特性使得作为土体骨架一部分的盐晶转化为液态而丧失支撑作用。一般而言，当土体含水量较低时，土体的溶陷量会随着含水量的增大而显著增加，但是当土体的含水量增大到一定程度时，土壤易溶盐主要以溶液的形式存在，此时再增大土体含水量对溶陷性的影响将不再明显。地下水对粗颗粒盐渍土溶陷性的影响还表现在地下水渗流带来的潜蚀变形，这种变形又可分为化学潜蚀及力学潜蚀，且化学潜蚀作用形成的通道又促进了力学潜蚀的发展[5]。

（3）温度

在盐渍土地基充分浸水的工况下，温度是影响其溶陷性的又一关键因素。通常，随着温度的升高，盐分在水中的溶解度增大，溶陷变形的变化速率加快，但总溶陷变形量的大小基本不受影响。随着温度的降低，溶解度减小，在温度低于凝固点后，溶液凝结成冰，此时温度可能导致盐渍土的冻胀融沉。

（4）颗粒级配

颗粒级配对粗颗粒盐渍土溶陷性的影响主要表现在骨架颗粒含量及与颗粒组成关联的毛细上升高度上。粗颗粒盐渍土经洗盐后粒径大于 2mm 的颗粒一般称之为骨架颗粒。骨架颗粒含量越高，对溶陷的抑制作用越强。土的颗粒级配与毛细上升高度关联性较强，深部土颗粒空隙中的盐溶液在毛细作用下上升到浅部土层后，水分蒸发、盐分残留，能够增加浅部土层的含盐量，从而调整盐渍土溶陷在竖向上的分布规律。

（5）地层结构

地层结构对粗颗粒盐渍地基土溶陷性的影响主要表现为两个方面：一是不同岩性地层的组合。通常情况下性质均匀的粗颗粒地基土溶陷性较强，而有细粒夹层或黏土充填的粗颗粒盐渍地基土，大多数情况地基土具非溶陷性或溶陷性很弱。二是地层的盐分胶结程度。土体中的盐分呈胶结状态时，渗透系数一般小于 1.0×10^{-5}cm/s，水分难以渗入土体，盐分溶解受到抑制，此时盐渍土往往变现为非溶陷。

3 粗颗粒盐渍土溶陷性简便判别方法

3.1 溶陷性初判

（1）根据含水状态判别

我国国家标准《盐渍土地区建筑技术规程》（GB/T 50942—2014）明确提出，当碎石土盐渍土、砂土盐渍土的湿度为饱和且工程的使用环境条件不变时，可不计溶陷性对建（构）筑物的影响。因此，对于常年位于地下水位以下的粗颗粒盐渍土，可不考虑其溶陷性。

（2）根据地层结构判别

已有研究表明，盐分胶结型盐渍土场地的低渗透性对地基土的溶陷起了明显的抑制作用，多表现为非溶陷性场地，而盐分充填型场地的溶陷性则与含盐量、颗粒级配及含水状态等因素关系密切。

（3）根据骨架颗粒含量判别

根据文献[1]，洗盐后地层中大于 2mm 粒径的颗粒质量大于地基土质量的 70%，且地层中不存在层状或窝状易溶盐分布时，可不计溶陷性对建筑物的影响。

（4）根据干重度及含盐量判别

我国部分研究人员根据现场盐渍土试验并参考原苏联对盐渍土的有关规定，提出了按含盐量 C 和洗盐后土的干重度 γ_d 来判断盐渍土是否具有溶陷性的方法[6]，见图 1。

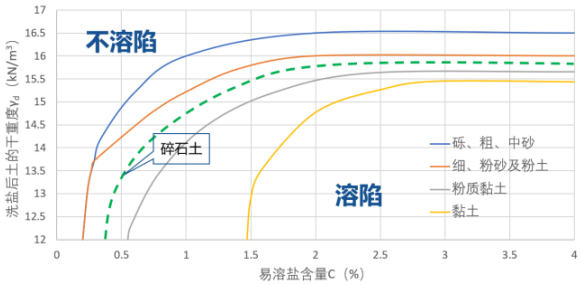

图 1 盐渍土溶陷性与含盐量及干重度的关系曲线

洗盐后土的干重度 γ_d 可通过试验取值，也可按下式计算获得：

$$\gamma_d = \frac{\gamma'_d}{1+C} \qquad (1)$$

式中：γ'_d 为未洗盐原状土的干重度。

根据图 1，当盐渍土的含盐量一定时，洗盐后土的干重度超过图中曲线相应数值时，可判断为不具溶陷性，反之，则初步判断具有溶陷性。值得注意的是，碎石土的溶陷性受充填物控制，一般介于砂土与黏性土之间。当碎石土充填的砂土质量不低于总质量的 40%时按砂土曲线，当充填的黏性土质量不低于总质量的 30%时按黏性土曲线。

3.2 判别溶陷程度

采用前文对粗颗粒盐渍土溶陷性的初步判别方法，可以判断盐渍土是否具有溶陷性。对具有溶陷性的盐渍土，还需要进一步判别其溶陷程度。

梁浩等[7]在室内人工配制了不同级配类型和不同含盐量的粗颗粒盐渍土，按照粗细颗粒比 A/B 进行级配分类，A 为粒径 d＞5mm 的含量百分比，B 为粒径 0.25mm＜d≤5mm 的含量百分比。所配制的五种粗颗粒盐渍土中，级配一为良砾（GW），粗细颗粒比为 4；级配二为不良砾（GP），粗细颗粒比为 2.33；级配三为良砂（SW），粗细颗粒比为 1；

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

级配四为良砂（SW），粗细颗粒比为 0.429；级配五为不良砂（SP），粗细颗粒比为 0.25。通过开展级配和含盐量双重因素作用下的溶陷试验，总结了溶陷系数与颗粒级配及含盐量的经验关系。

当含盐量 C 介于 0.1%～1%时，不同级配粗颗粒盐渍土的溶陷系数 δ_{rx} 由下列方程组控制：

级配一 $\delta_{rx}=-4669.8C^3+86.865C^2+1.0703C-0.001$

级配二 $\delta_{rx}=-10128C^3+128.85C^2+1.3565C-0.0013$

级配三 $\delta_{rx}=-8162.4C^3+96.702C^2+1.5612C-0.0014$

级配四 $\delta_{rx}=-11250C^3+116.36C^2+1.8366C-0.0017$

级配五 $\delta_{rx}=-5658.5C^3+36.591C^2+2.2344C-0.0019$

当含盐量 X 大于 1%时，不同级配粗颗粒盐渍土的溶陷系数 δ_{rx} 可通过下列方程组计算获得：

级配一 $\delta_{rx}=361.97C^3-40.436C^2+2.0576C-0.003$

级配二 $\delta_{rx}=362.66C^3-38.553C^2+2.0065C-0.0017$

级配三 $\delta_{rx}=367.65C^3-37.439C^2+1.9474C-0.0004$

级配四 $\delta_{rx}=361.18C^3-37.026C^2+2.0947C-0.0009$

级配五 $\delta_{rx}=319.93C^3-38.52C^2+2.3151C-0.0013$

上述计算公式可用图 2 中的曲线族表达。分析图 2 可以看出，当含盐量 C 小于 0.5%时，溶陷系数 δ_{rx} 一般小于 0.01，不溶陷；当含盐量 C 为 0.8%～1.8%时，溶陷系数 δ_{rx} 一般介于 0.01 与 0.03 之间，溶陷性轻微；当含盐量 C 为 2.6%～4.0%时，溶陷系数 δ_{rx} 一般介于 0.03 与 0.05 之间，溶陷性中等；当含盐量 C 大于 5.7%时，溶陷系数 δ_{rx} 一般大于 0.05，溶陷性强；当含盐量 C 介于 0.5%～0.8%、1.8%～2.6%、4.0%～5.7%时，可按偏不利原则进行溶陷性初判。

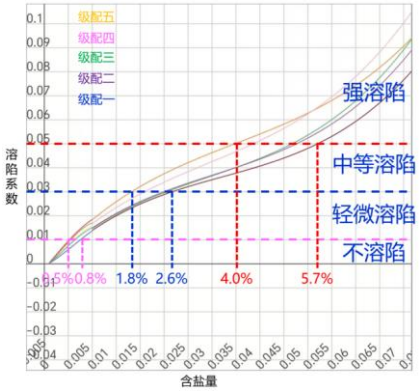

图 2 不同级配粗颗粒盐渍土含盐量与溶陷系数的关系

综上所述，粗颗粒盐渍土的粗细颗粒比 A/B 介于 0.25～4.0 之间时，工程实践中可依据含盐量按表 1 初步判断粗颗粒盐渍土的溶陷程度。

表 1 粗颗粒盐渍土的溶陷性分类

溶陷程度	非溶陷性	轻微溶陷性	中等溶陷性	强溶陷性
含盐量 C（%）	$C<0.5$	$0.5\leqslant C<1.8$	$1.8\leqslant C<4.0$	$C\geqslant 4.0$

前文列出了不同粗细颗粒比 A/B 条件下，粗颗粒盐渍土溶陷系数 δ_{rx} 与含盐量 C 的经验关系。由于公式众多，且实际工程中土层的粗细颗粒比与公式的适用条件往往不一致，使用该组公式估算溶陷系数多有不便。本次研究采用非线性曲面拟合法对上述方程组进行拟合，得到溶陷系数 δ_{rx} 的简化计算公式如下式（2）：

$$\delta_{rx}=0.067\tan(12\cdot C-0.012)\cdot X^{-0.1}+0.008 \quad (2)$$

式中：X 为粗细颗粒比 A/B（$0.25\leqslant X_2\leqslant 4.0$），其他符号含义同前文。

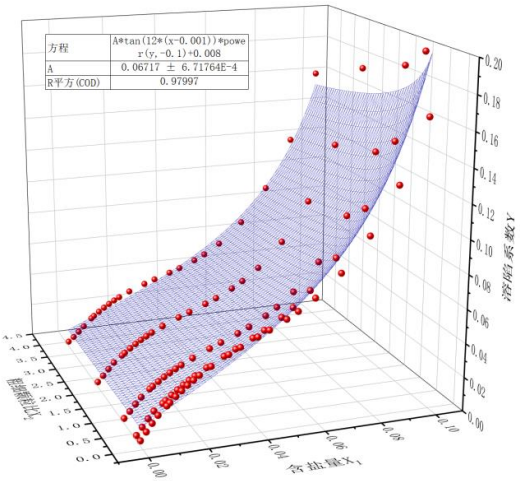

图 3 溶陷系数与含盐量、粗细颗粒比在三维空间的关系

4 粗颗粒盐渍土溶陷性判别案例分析

4.1 粗颗粒盐渍土地基浸水载荷试验

甘肃瓜州某 330kV 升压站位于甘肃省瓜州县西湖镇东部，站址位于山前冲洪积平原戈壁荒滩地貌单元，地势平坦，整体北高南低，站址海拔高程 1250～1260m。站址地基土主要由第四系更新统冲洪积松散堆积物组成，自上而下依次为：①层松散～稍密状砾砂、②层中密～密实状角砾。土壤易溶盐试验结果表明，场地浅部土层属于粗颗粒盐渍土，按盐化学成分可划为亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土，按含盐量可划为中盐渍土。各土层颗粒级配指标见表 2。

表 2 土层颗粒级配数据

土层	名称	①砾砂	②角砾
颗分组成(mm)	>60	/	17.7
	60~40	/	10.332
	40~20	6.329	5.82
	20~10	8.156	7.687
	10~5	12.388	14.335
	5~2	17.318	16.355
	2~0.5	23.059	16.103
	0.5~0.25	18.953	6.155
	0.25~0.075	11.297	4.648
	<0.075	2.5	0.865
不均匀系数	Cu	13.841	32.17
曲率系数	Cc	0.894	1.532

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

为了准确判定该站址地基土溶陷性，在场地内布置了3处浸水载荷试验，采用直径为0.8m的圆形承压板，试坑直径2.5m、深1.2m。各试验点含盐量随深度的变化规律如图4所示。

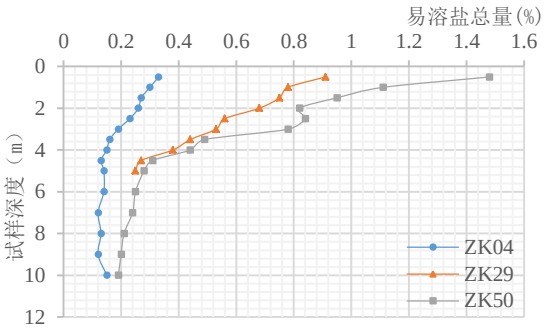

图4 浸水载荷试验点含盐量变化曲线

浸水载荷试验结果显示，本场地3个试验点总溶陷量为20.54～26.27mm，浸润深度2.98～3.29m，试验点溶陷系数0.0069～0.0082。根据试验结果，可判断场地内粗颗粒盐渍土不具有溶陷性。

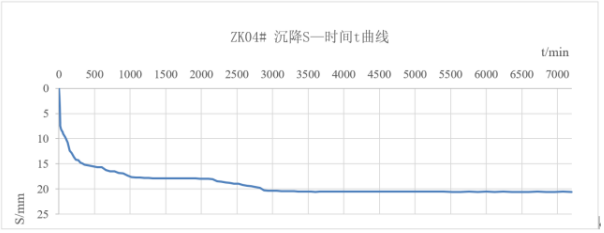

图5 升压站站址浸水载荷试验典型曲线

4.2 浸水试验法与简便方法的对比验证

升压站站址3处浸水载荷试验均针对②层角砾进行。颗粒级配试验成果表明，该层角砾中大于2mm的粒组含量为72.2%，且不存在层状或窝状易溶盐，依据骨架颗粒含量可初判不溶陷。

另根据前文公式（2）估算，可得各浸水载荷试验点溶陷系数为0.0089～0.0117，判断各试验点盐渍土不溶陷～弱溶陷，溶陷性评价结论相对浸水载荷试验法基本相符且略偏保守。

若直接采用溶陷系数与颗粒级配及含盐量的经验关系方程组计算，地基土含盐量均小于1%，粗细颗粒比介于级配二和级配三之间，计算可得各浸水载荷试验点溶陷系数在0.0020～0.0085之间（见表3），均小于0.01，据此可判断各试验点盐渍土不溶陷，溶陷性评价结论与浸水载荷试验法一致。

表3 浸水载荷试验法与经验公式法判断溶陷性对比

试验点	平均含盐量	实测溶陷系数	根据实测值评价	估算溶陷系数	根据估算值评价
Z04	0.209%	0.0069	不具有溶陷性	0.0020	不具有溶陷性
Z29	0.555%	0.0080	不具有溶陷性	0.0085	不具有溶陷性
Z50	0.573%	0.0082	不具有溶陷性	0.0085	不具有溶陷性

由此可见，采用本文推荐的溶陷性简便判别方法与浸水载荷试验判定结论符合性较好。

5 结语

本文在分析盐渍土溶陷性产生机理及影响因素的基础上，推荐了粗颗粒盐渍土溶陷性的一套简便判别方法。该套方法可根据含水状态、地层结构、骨架颗粒含量、干重度与含盐量初判盐渍土是否溶陷，并可根据颗粒级配和含盐量估算溶陷系数从而判别溶陷程度，判别结论通过了实际工程现场浸水载荷试验的验证。

本文总结的粗颗粒盐渍土溶陷性简便判别方法简单有效、成本低廉，判别精度能够满足一部分工程的建设要求，具有一定的推广和应用价值。

[参考文献]

[1]中国电机工程学会.T/CSEE 0256-2021 粗颗粒盐渍土区岩土工程勘测技术规程[S].北京:中国电力出版社,2021.
[2]刘亚峰,文桃,米海珍,等.河西风电场粗颗粒盐渍土地基病害与防治探讨[J].兰州交通大学学报,2014,33(6):98-104.
[3]程东幸,刘志伟,柯学.粗颗粒盐渍土溶陷性影响因素研究[J].工程地质学报,2013,21(1):109-114.
[4]孙安元.粗颗粒硫酸盐渍土盐胀及溶陷特性试验研究[D].兰州:兰州交通大学,2018.
[5]徐攸在.盐渍土地基[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
[6]徐攸在.确定盐渍土溶陷性的简便方法[J].工程勘察,1997(1):21-22.
[7]梁浩.粗颗粒硫酸盐渍土溶陷特性试验及其影响因素研究[D].兰州:兰州交通大学,2019.

作者简介：胡义生（1983.1—），男，毕业院校：中国矿业大学硕士，所学专业：地质工程，目前就职单位：上海电力设计院有限公司勘察工程院，职务及年限：勘测专总3年，目前职称：高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

北斗导航系统在工程测量中的定位精度与误差修正研究

寇永涛
鄯善县土地勘测规划队，新疆 吐鲁番 838200

[摘要]随着现代工程建设对精度要求的不断提高，北斗导航系统在工程测量中的应用越来越广泛。在我国国内工程测量领域，北斗导航系统凭借其卓越的独立自主定位技能，能在错综复杂的情境中实施精确的定位作业，展现出明显的技术优势。在北斗导航系统的应用实践中，定位精度的不理想和误差修正难题仍旧突出，特别是在对高精度工程测量以及复杂地形进行定位时，如何提升定位精度和校正误差变得尤为关键。在工程测量领域，北斗导航系统的定位精度备受关注，文章剖析了影响其精度的多元因素，并针对误差问题，提出了差分技术修正、信号融合修正及数据处理优化等策略。实施有效的误差修正策略，对于提升北斗导航系统在工程测量领域的定位准确度，从而增强工程测量的全面品质与效能具有显著作用。

[关键词]北斗导航系统；工程测量；定位精度；误差修正；差分技术；信号融合
DOI：10.33142/ec.v8i4.16349　　中图分类号：TN967.2　　文献标识码：A

Research on Positioning Accuracy and Error Correction of Beidou Navigation System in Engineering Surveying

KOU Yongtao
Shanshan Land Survey and Planning Team, Turpan, Xinjiang, 838200, China

Abstract: With the continuous improvement of precision requirements in modern engineering construction, the application of Beidou Navigation System in engineering surveying is becoming increasingly widespread. In the field of engineering surveying in China, the Beidou Navigation System, with its excellent independent positioning skills, can implement precise positioning operations in complex situations, demonstrating significant technological advantages. In the application practice of the Beidou Navigation System, the problem of poor positioning accuracy and error correction is still prominent, especially in high-precision engineering surveying and complex terrain positioning. How to improve positioning accuracy and correct errors has become particularly crucial. In the field of engineering surveying, the positioning accuracy of the Beidou Navigation System has attracted much attention. This article analyzes the multiple factors that affect its accuracy, and proposes strategies such as differential technology correction, signal fusion correction, and data processing optimization to address error issues. Implementing effective error correction strategies plays a significant role in improving the positioning accuracy of the Beidou Navigation System in the field of engineering surveying, thereby enhancing the overall quality and efficiency of engineering surveying.

Keywords: Beidou Navigation System; engineering surveying; positioning accuracy; error correction; different technology; signal fusion

引言

随着国家基础设施建设和工程项目的快速发展，精确的工程测量数据成为工程设计和施工的重要依据。尽管全站仪与水平仪等传统测量工具在实际领域被广泛应用，然其操作流程繁杂且测量精度有所局限，工程测量领域因全球导航卫星系统，如 GPS、GLONASS 与北斗导航系统的崛起，而经历了翻天覆地的革命性转变。在国内，北斗导航系统凭借其自主可控性、广泛覆盖范围和较高精度等显著优势，已在工程测量领域中得到了广泛运用[1]。尽管北斗导航系统在测量领域展现出卓越性能，然而在高精度测量环节，其定位精度仍有待提高。误差修正问题对定位精度的影响，不仅源于卫星信号质量、测量环境、设备精度等要素，亦深涉于各类误差的调整与校准过程。在当前工程测量领域中，亟待解决的是如何提升北斗导航系统在复杂环境中的定位精度，并降低系统误差。以北斗导航系统在工程测量领域的应用现状为切入点，探讨影响定位精度的关键要素，并研究误差修正的策略，旨在为提升北斗导航系统在工程测量领域的应用效果提供理论支撑与技术保障。

1 北斗导航系统概述

北斗导航系统是由中国自主研发并建设的全球卫星导航系统（GNSS），其核心功能是通过卫星向地面用户提供精确的定位、导航和授时服务。自 2000 年起，北斗系统的建设工作逐步推进，经历了从区域系统到全球系统的多阶段发展。北斗系统由空间段、地面段和用户段组成，其中空间段包括了多个卫星星座，地面段则负责卫星的监控和管理，而用户段则是指接收卫星信号的终端设备，如导航仪、智能手机、无人机等。

北斗导航系统的优势，在于其独立自主的控制能力，能有效避免对别国导航系统的依赖可能引发的风险。覆盖全球范围的北斗系统，不仅为中国本土用户提供服务，亦

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

正逐步向全球用户扩展其高精度定位及全天候服务的覆盖面。在全球卫星导航系统中，北斗的比重日益凸显，尤其在亚洲区域，其导航系统的覆盖范围已高达 99%，显著增强了该区域内定位的准确性与可信度[2]。

在应用方面，北斗导航系统已经广泛融入交通、农业、渔业、灾害监测、环境监控等多个领域。大规模基础设施建设、城市规划、土地测量等领域，得益于北斗系统提供的高精度定位服务，得以获得显著支撑。采用差分技术（RTK）、PPP（精密单点定位）等手段，北斗系统确保了厘米级的高精度定位，为高精度工程测量提供了可靠支持。在全球科技舞台上，我国北斗导航系统的构建显著增强了我方的话语权，同时，为国内外广大用户带来了稳定可靠的定位支持。

2 北斗导航系统在工程测量中的定位精度

2.1 卫星信号质量

卫星信号质量是影响北斗导航系统定位精度的关键因素之一。传播路径上的卫星信号，其传输稳定性易受大气折射、天线性能、卫星稳定性等多重因素影响，大气层中的电离层与对流层，它们对卫星信号的折射效应引发了信号的时延与失真，进而对定位的精确度产生了影响。在高纬度地带，电离层的效应尤为突出，进而可能增大定位误差的幅度，北斗系统在追求定位精度的提升上，通常运用双频技术手段，借助捕获两个不同频段的信号，从而有效削弱电离层效应对定位精度的干扰作用[3]。

信号质量的高低，在很大程度上受到卫星健康状况的制约。传输质量作为卫星信号的关键属性，其优劣程度与卫星的地理位置、运动速度以及运行稳定性紧密相扣，轨道出现故障或偏差，卫星的状况直接作用于地面接收终端，进而影响信号品质。对于北斗系统而言，卫星的实时监测与管理至为关键，依托地面控制站提供的精准数据反馈，能够迅速调整卫星轨道，进而保障其信号的精确与稳定。在诸多影响信号品质的要素中，信号传播路径的复杂性亦不容忽视。尤其是在复杂地形如城市峡谷与山区，其建筑物、山脉或树木等障碍物，常常成为遮挡卫星信号的罪魁祸首，使得信号路径复杂化，形成多路径效应。信号或被反射或被折射至各异接收点，进而放大定位误差。

2.2 测量环境与地形因素

北斗导航系统的定位精度，深受测量环境与地形因素的深刻影响。不同地形的高低起伏、建筑物密度的差异以及各种天气状况均能在一定程度上干扰信号传输与接收，进而对定位的精确度带来影响。城市环境中由于建筑物的阻挡，卫星信号往往会受到较大干扰。尤其是在高楼林立的城市峡谷中，信号的多路径效应非常明显，造成接收信号的不稳定和误差增大。因此，在这些区域进行高精度的工程测量时，必须采用差分技术或地面基站来进行误差修正，以提高定位精度。

地形复杂区域，如山区，卫星信号受遮挡影响更为显著。地形的高低错落，使得卫星信号频遭山脉的遮挡，由此导致接收到的信号强度大幅减弱，有时甚至完全中断联系。在山区，气候变化显著，雾霾、降雨、强风等自然现象亦可能干扰卫星信号，进而对定位的准确性构成影响。在开阔地带，定位工作者需采取多频策略，以减弱信号衰减及反射，进而确保定位精确度的提升。卫星信号的传输品质深受天气状况之影响，成为不可忽视的关键要素。在遭受剧烈电磁干扰或遭遇雷电侵袭的恶劣天气条件下，卫星的常规运作可能会遭遇阻碍，进而引发信号在短时间内出现丢失或品质下滑的现象[4]。

2.3 测量设备与技术

测量设备和技术对北斗导航系统的定位精度具有直接影响。测量设备与技术伴随北斗系统的进步而持续迭代，旨在满足日益提升的测量精度要求。在定位精度方面，测量设备的硬件质量扮演着至关重要的基础角色，天线与高精度接收机的巧妙组合，显著增强了信号接收的灵敏性与稳定性，有效降低了信号衰减与多径效应导致的定位误差。利用高性能的实时动态定位接收机，大幅提升定位的准确度，确保达到厘米级别的精确定位效果。确保高精度定位，选择恰当的测量技术至关重要。基于差分技术（RTK/DGNSS），北斗系统得以实施定位误差的修正，从而显著提升定位的准确性。在已知基站坐标与移动站间，差分技术实时传输数据，供应定位误差修正信号，以此消除大气层、电离层、卫星轨道等因素导致的误差。

在定位精度的提升过程中，数据处理与优化技术的运用发挥着关键作用。实施对卫星信号的多轮测量与数据整合，显著增强定位的稳定性与可信度。全球定位系统如北斗，融合了包括 GPS 与 GLONASS 在内的多频信号，借助先进技术显著增强了定位的精确度与抗干扰性能。工程测量领域逐渐融入了地理信息系统与数据优化平台。依托云计算、大数据技术的助力，这些系统与平台得以实现测量数据的实时分析与处理，从而对测量数据实施高效优化与修正，最终显著提升测量的准确性与效能[5]。

3 误差修正技术的研究与应用

在北斗导航系统的应用过程中，定位误差是影响工程测量精度的关键因素。为了解决这一问题，误差修正技术被广泛研究并应用于实际工程测量中。误差修正技术主要包括差分定位技术、实时动态定位（RTK）技术、精密单点定位（PPP）技术等，这些技术能够有效地减少由大气、信号干扰以及卫星轨道误差等因素引起的误差，从而提高定位精度。在众多定位修正手段中，差分定位技术（简称 DGPS）尤为普遍，其作为修正技术的佼佼者，发挥着举足轻重的作用。误差修正，借助差分技术，通过已知基站与移动站间的实时信号传输，有效抵消大气层及地球曲率等因素对卫星信号的干扰，确保实现更高的定位精度的目标。厘米级精度的定位，得益于差分技术的应用，此技术在大

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

范围、高精度的工程测量领域展现其显著优势。在执行建筑工程的场地测绘及高精度地形绘制过程中，差分定位技术能够确保提供更精确的地理坐标。

RTK 技术，通过基站与流动接收机实时数据交互，显著提升了定位的准确度。采用实时修正技术，RTK 对基站发射的卫星信号进行即时处理，确保接收设备获取的坐标精确至毫米级别。在工程测量的范畴内，RTK 技术特别适宜执行诸如工程控制点确立、土地测绘等精确作业，确保产出地理信息的超高精确度。在北斗导航系统的误差修正过程中，精密单点定位技术扮演着至关重要的角色。卫星轨道和钟差模型辅助下，PPP 技术依托地面监测数据，对信号实施实时校准，从而大幅提升定位精确度。基于无需基站支持，这项技术在偏远区域与高空设施部署中尤为适用，诸如航空、航天测量等领域[6]。北斗导航系统的精度因误差修正技术的应用而显著提升，该技术亦在众多工程测量领域得以普遍采纳。误差修正技术在大型工程建设中扮演着关键角色，它确保了施工的精确度，为建筑结构设计、工程布局和地形测量等领域提供了精确的数据支持。

4 北斗导航系统在工程测量中的应用实例与误差修正效果

我国自主研发的北斗导航系统，作为全球卫星导航领域的一员，已在众多工程测量项目中展现出其广泛应用的价值。误差修正技术被应用于北斗导航系统，显著提升了其定位服务的精度，进而大幅提高了工程测量的效率和准确度。在城市规划与建筑工程测量的领域，北斗导航系统的应用显著提升了测量工作的效率和准确度。在城市基础设施建设的大规模实践中，施工环节对多个关键控制点的精确坐标测定至关重要。运用北斗系统与 RTK 技术，实现实时精确定位，确保施工过程中每个测量点坐标的精确性，有效规避误差累积引发的工程质量疑虑。在大型商业综合体建设过程中，借助北斗系统实施精准的现场定位与测量，能即时锁定建筑物的精确坐标，进而保证其平面布局及垂直高度与设计图完美吻合。

土地测量与边界确定领域，北斗导航系统扮演了至关重要的角色。为确保土地边界精准划设，土地测量过程必须依赖高精度坐标数据，从而实现土地资源的有效配置。人工与手动测量相结合的传统土地测度技术，其精度不高，效能亦不尽人意。依托北斗导航系统，融合差分定位技术（DGPS）对误差进行修正，显著提高测量精度，从而确保土地边界线得以精确划设。在北斗系统与差分定位技术的协同作用下，该省土地勘测项目得以高效推进，数百平方公里土地的测量任务在较短周期内得以圆满完成。道路与桥梁建设领域，北斗导航系统的运用成效斐然。在工程测量领域，施工单位必须对道路桥梁的高程、坡度、中心线等关键参数进行精准测定，此项工作的完成对于保障交通线路的畅通无阻及行车安全具有极为重要的意义。在上述某市道路建设项目中，RTK 技术与精密单点定位技术相结合，由北斗系统主导，确保了项目施工过程中的全程精确监控，对测量数据进行误差修正后，其精度实现了毫米级别，从而有效阻断了因测量误差造成的施工误差问题[7]。

在工程测量领域，北斗导航系统的应用显著提高了定位的准确性，同时减少了测量所需的时间，并减轻了人工测量的劳动强度。在误差修正技术的助力下，特别是 RTK、DGPS 及 PPP 技术的应用，北斗系统展现出了更为卓越的效果，它能够有效消除传统测量方法中常见的误差，从而确保工程质量与施工进度的稳步推进。随着技术的不断进步，北斗导航系统在工程测量中的应用将更加广泛，为工程建设提供更加可靠的数据支持。

5 结语

北斗导航系统通过与多种误差修正技术的结合，在工程测量领域取得了显著的成效。随着技术的不断优化和发展，北斗系统的定位精度将不断提高，应用场景也将进一步拓展。未来，随着大数据、云计算、人工智能等技术的融合，北斗导航系统在工程测量中的应用将更加智能化、精准化，为各类工程项目的顺利开展提供更为可靠的数据保障。

[参考文献]

[1]万万.发展北斗卫星技术在土木工程中的应用与展望[J].铁道建筑技术,2024(9):41-44.
[2]李烨.浅析北斗卫星导航系统在测绘行业中的应用[J].经纬天地,2024(3):19-22.
[3]赵留峰.北斗卫星导航定位系统在大地测量工程中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(35):189-192.
[4]杨磊.北斗卫星导航系统在工程测绘中的运用[J].工程技术研究,2022,7(1):105-107.
[5]余博斌.浅谈卫星导航定位系统在工程测量中的应用[J].智能城市,2020,6(11):46-47.
[6]田瑜基.北斗导航系统在测绘工程中的应用[J].技术与市场,2020,27(5):37-38.
[7]孙树芳,许云燕,王峰.北斗卫星导航系统在土地测绘坐标系选择中的应用研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2019,44(11):96-101.

作者简介：寇永涛（1979.10—），毕业院校：中国地质大学（武汉），所学专业：测绘工程，当前就职单位名称：鄯善县土地勘测规划队，就职单位职务：办公室主任，职称级别：工程师（中级）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

车载无人机在测绘应急保障中的应用

赵克明
辽宁省自然资源事务服务中心，辽宁 沈阳 110000

[摘要]全球气候变化与城市化进程加速，使得自然灾害与突发事件的频率与破坏性持续攀升。传统应急测绘手段受限于响应速度、环境适应性与数据维度，难以满足现代灾害管理对实时性、精准性与多维感知的迫切需求。车载无人机技术通过集成移动平台、智能传感与快速处理能力，正在重塑应急测绘保障体系：在 2021 年河南特大暴雨救援中，应急管理部门通过车载无人机群实现灾后 2 小时全域影像覆盖。文中聚焦车载无人机在应急测绘中的技术创新与应用模式，系统分析其技术体系构建逻辑，结合跨国产学研合作案例，探讨如何通过技术融合与标准互认提升全球灾害响应协同效率，为构建韧性社会提供技术支撑。

[关键词]车载无人机；应急测绘；灾害救援；地理信息；动态监测
DOI：10.33142/ec.v8i4.16330　　中图分类号：P237　　文献标识码：A

Application of Vehicle Mounted Unmanned Aerial Vehicles in Surveying Emergency Support

ZHAO Keming
Liaoning Natural Resources Affairs Service Center, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: The acceleration of global climate change and urbanization has led to a continuous increase in the frequency and destructive nature of natural disasters and emergencies. Traditional emergency mapping methods are limited by response speed, environmental adaptability, and data dimensions, making it difficult to meet the urgent needs of modern disaster management for real-time, precision, and multi-dimensional perception. Vehicular UAV technology is reshaping the emergency mapping support system by integrating mobile platforms, intelligent sensing and rapid processing capabilities: in the rescue of extremely heavy rainstorm in Henan Province in 2021, the emergency management department will achieve 2-hour global image coverage after the disaster through the vehicle borne UAV fleet. The article focuses on the technological innovation and application mode of vehicle mounted unmanned aerial vehicles in emergency mapping, systematically analyzes the logic of its technical system construction, and combines cross country academic research cooperation cases to explore how to improve global disaster response coordination efficiency through technological integration and standard mutual recognition, and provide technical support for building a resilient society.

Keywords: vehicle mounted unmanned aerial vehicles; emergency mapping; disaster rescue; geographic information; monitoring

应急测绘保障起源于 20 世纪末的灾害管理需求，早期依赖航空摄影与地面测量，在 2008 年汶川地震中暴露出响应迟滞、数据单一等瓶颈。随着北斗导航、5G 通信与人工智能技术的突破，现代应急测绘逐步形成“空天地一体化”监测网络：欧盟 Copernicus 应急管理服务通过车载无人机系统实现跨境洪灾 6 小时响应，日本开发的多灾种预警平台整合无人机实时数据提升海啸预警精度 40%。我国自 2016 年实施《国家应急测绘保障能力建设项目》以来，建成覆盖全国的“一小时航空应急圈”，车载无人机系统在2022年泸定地震中首次实现震后45分钟首批影像回传。国际标准化组织于 2023 年发布《应急测绘无人机系统操作指南》，推动技术规范全球互认。当前，车载无人机技术正从单一数据采集向智能决策支持演进，其与数字孪生、边缘计算的深度融合，标志着应急测绘进入实时化、智能化新阶段。

1 测绘应急保障工作概述

测绘应急保障服务主要针对灾区开展实地监测，通过应急测绘手段实时获取当地基础地理信息，并迅速完成信息整合、加工与处理，形成详尽的专题地图，为政府应急管理部门提供精准、动态的信息支持。在实际应用中，应急测绘保障工作具有极高的实用价值，能够为政府部门应对突发事件提供精准的测绘支撑。此外，应急测绘保障服务贯穿突发事件的全生命周期，包括预防、应对、处置和恢复等各个阶段，是突发事件管理中不可或缺的公益性测绘地理信息工作。其核心目标是通过测绘技术手段，为自然灾害救援和突发事件应急指挥提供有力支撑，从而提升政府部门的应急响应能力。测绘应急保障工作的持续发展，不仅能够有效助力灾害防控和应急管理，也为构建和谐社会、推动测绘科技进步奠定坚实基础。

2 测绘应急保障的必要性

2.1 应对突发事件的时效性需求

灾害救援存在“黄金 72 小时”法则，测绘数据的获取速度直接影响生命救援成功率。2020 年湖北恩施山体滑坡事件中，车载无人机在灾后 1.5 小时即传回滑坡体体积、运动方向等关键参数，为制定居民疏散方案赢得宝贵时间[1]。相比之下，卫星遥感因重访周期限制，难以满足

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

分钟级响应需求；人工勘测则受地形与安全性制约，在复杂灾区的推进效率不足无人机系统的 30%。时效性突破使车载无人机成为应急测绘不可替代的技术选项。

2.2 传统测绘手段的局限性分析

固定翼航测需依赖机场与空域审批，在突发灾害中平均准备时间超过 6 小时；地面移动测量车受道路损毁影响，在汶川地震等场景中实际作业范围不足设计值的 40%。而车载无人机采用模块化设计，可通过越野车辆抵近灾害点，展开半径 15 公里的灵活作业。日本东京大学灾害研究中心实验表明，在模拟城市内涝环境中，车载无人机系统数据采集完整度达 98%，显著优于地面设备的 72%。

2.3 车载无人机技术的优势与适用性

车载无人机融合了移动载具的快速部署能力与无人机的广域覆盖优势，典型系统如中国航天科工集团的“鹰击-应急”系列，搭载多光谱相机与激光雷达，可在夜间或雨雾天气完成测绘任务。2022 年泸定地震期间，该型号无人机累计飞行 43 架次，生成 0.2m 分辨率正射影像图 178 幅，精准识别 12 处山体裂缝与 9 个堰塞湖风险点，其综合效能通过国家应急测绘验证中心认证达到国际领先水平。

3 车载无人机测绘应急系统的技术体系

3.1 模块化车载无人机系统设计

车载无人机系统的模块化设计融合了全球先进技术理念，在提升部署效率的同时兼顾环境适应性。美国麻省理工学院开发的折叠机翼无人机采用形状记忆合金材料，机翼展开时间缩短至 8 秒，配合轻量化碳纤维方舱设计，使单辆越野车可搭载 4 架固定翼无人机，在 2022 年加州山火救援中实现30分钟内覆盖50平方公里火场监测。欧洲航天局(ESA)主导的“Rapid-Map”项目则采用标准化集装箱模块，集成无人机起降平台、太阳能充电单元与数据处理中心，通过海运或空投方式快速部署至灾区[2]。我国研发的“飞鹰”平台在此基础上创新性融合北斗导航与惯性导航双冗余定位，确保在强电磁干扰环境下仍能精准定位无人机位置。2023 年甘肃地震救援中，该系统的模块化供电单元通过氢燃料电池技术连续工作 48 小时，支持无人机群完成 120 架次飞行任务，成为全球首个实现零碳排放的应急测绘平台。

3.2 多传感器集成与数据采集技术

多源传感器协同作业技术已突破单一数据类型的局限性。日本东京大学研发的“灾害感知立方体”载荷舱，集成了激光雷达、多光谱相机与次声波传感器，在 2024 年能登半岛地震中，通过次声波异常检测定位地下管道破裂点，精度达到米级。德国 Fraunhofer 研究所开发的微型合成孔径雷达（MiniSAR），重量仅 1.2 公斤，可在雨雾天气穿透云层获取地表形变数据，2023 年应用于意大利埃特纳火山监测，成功预警熔岩流改道风险。我国“天绘”系列设备结合量子传感技术，在国际上首次实现无人机载重力梯度仪测量，2024 年应用于南海岛礁稳定性评估，探测到海床下 15 米处的隐伏断层[3]。多模态数据的时间同步技术取得关键突破，瑞士联邦理工学院（ETH Zurich）开发的纳秒级时统设备，通过铯原子钟实现 8 类传感器的微秒级同步，显著提升地质灾害多维数据分析可靠性。

3.3 快速数据处理与智能分析平台

边缘智能计算推动应急数据处理进入实时化时代。英伟达与洛克希德·马丁合作开发的“Omniverse 灾变模拟器”，利用车载 GPU 集群实时渲染无人机采集数据，在 2023 年加拿大野火中实现火势蔓延的分钟级预测。欧盟“地平线 2020”计划支持的“AI-Responder”系统，通过联邦学习技术整合多国灾害数据，在希腊森林火灾中实现跨国模型迁移学习，将建筑物损毁识别准确率提升至 96%。我国研发的“天河应急大脑”采用类脑计算架构，在 2024 年珠江口风暴潮事件中，3 分钟内完成 20TB 无人机影像数据的特征提取与关联分析，生成 16 套应急预案供指挥决策。开源生态建设取得进展，美国卡内基梅隆大学 OpenDRI 平台已汇聚全球 2300 组无人机灾害数据集，为发展中国家提供免费模型训练服务。

3.4 应急通信网络与实时传输技术

异构网络融合技术突破传统通信瓶颈。SpaceX 的“星链”系统与车载无人机结合，在 2023 年汤加火山爆发救援中建立空天地一体通信网，单架无人机中继节点实现 500Mbps 带宽传输，支持 4K 视频实时回传。韩国电子通信研究院（ETRI）研发的太赫兹通信模块，在 2024 年首尔暴雨救援测试中达到 100Gbps 传输速率，1 分钟内完成 10 平方公里三维模型传输。我国“虹云工程”低轨卫星与无人机协同组网，在西藏无人区构建起时延低于 50 毫秒的应急专网，2024 年羌塘高原雪崩救援中保障了 8 支救援队的实时协同。瑞士洛桑联邦理工学院(EPFL)开发的抗毁拓扑算法，使无人机自组网在节点损失 30%时仍能维持 80%的传输效率，该技术已应用于联合国难民署的跨国救援行动。

3.5 高精度定位与自主导航系统

多源融合定位技术攻克复杂环境导航难题。美国 DARPA“拒止环境协同作战”（CODE）项目开发的视觉-激光 SLAM 系统，使无人机在 GPS 失效时仍能保持 0.05 米定位精度，2023 年应用于夏威夷火山熔岩管探测。欧洲“伽利略”导航系统的高精度服务（HAS）与无人机视觉导航结合，在挪威峡湾救援中实现悬崖地形的厘米级定位。我国研发的“量子罗盘”惯性导航装置，通过冷原子干涉技术将定位漂移控制在 1m/h，2024 年应用于重庆喀斯特洞穴救援，成功绘制地下 200 米三维地图。自主避障技术向认知智能演进，以色列 Urban-Air 开发的场景理解算法，可识别高压线、玻璃幕墙等传统传感器难检测的障碍物，在迪拜城市救援演练中实现 100%避障成功率。

4 车载无人机在测绘应急保障中的应用

4.1 快速灾情评估与现场勘查

车载无人机在灾情初期的快速响应能力，使其成为现场勘查的核心工具。2023 年土耳其地震救援中，联合国

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

灾害评估与协调系统（UNDAC）采用车载无人机群，在震后 4 小时内完成 100 平方公里区域的影像采集，通过 AI 算法自动标记道路塌方、建筑坍塌及地表裂缝风险点。美国加州消防局在 2022 年山火季部署的“火鹰”系统，通过无人机搭载的多光谱传感器识别火场边缘余烬，结合气象数据预测复燃风险。我国在云南昭通滑坡事件中，利用无人机热成像技术穿透浓雾锁定被掩埋车辆位置，指导挖掘设备精准施救，较传统人工排查效率提升 5 倍以上。车载平台的机动性保障了无人机可快速抵达交通中断区域，例如日本在台风“海贝思”灾后通过改装越野车搭载无人机，深入山区完成 17 个孤立村落的安全评估。

4.2 高精度三维地形建模与态势分析

多源数据融合技术推动地形建模从静态向动态演进。德国宇航中心（DLR）开发的“TerraSAR-X”雷达卫星与车载无人机协同系统，在 2021 年莱茵河洪灾中生成每小时更新的淹没模型，指导泄洪闸门动态调节。我国在长江中下游防汛中，通过倾斜摄影与激光雷达融合建模，首次实现溃口冲刷过程的四维可视化模拟。澳大利亚联邦科学与工业研究组织（CSIRO）利用无人机采集的厘米级地形数据，结合水文模型预测洪水演进路径，在 2022 年昆士兰洪灾中为 35 个社区制定分级撤离方案。车载系统的数据处理能力支持现场实时生成数字高程模型（DEM），法国地质调查局在阿尔卑斯山区雪崩预警项目中，通过边缘计算设备在 15 分钟内输出风险区域三维地图。

4.3 实时动态监测与灾情演变预测

车载无人机的持续监测能力为灾情演变分析提供时空连续数据集。加拿大林火管理部门开发的“FireWatch”系统，通过无人机红外传感器每 30 分钟更新火线热力图，结合风向数据模拟 12 小时火势蔓延趋势[4]。在 2023 年夏威夷毛伊岛山火中，该技术帮助消防部门提前划定隔离带，保护拉海纳古镇 80%的历史建筑。我国在地质灾害监测中创新应用微变雷达技术，四川省地质环境监测总站在凉山州布设车载无人机系统，通过毫米波雷达持续扫描山体表面位移，成功预警 2024 年金阳县高位滑坡，实现受威胁的 132 户居民全员安全转移。欧盟“Copernicus EMS”项目将无人机监测数据接入欧洲洪水预警系统（EFAS），实现跨境流域洪峰演进预测精度提升 40%。

4.4 应急物资投送与通信中继保障

无人机物流网络重构了传统救灾物资分发模式。卢旺达“Zipline”公司建立的医疗无人机配送系统，在非洲疟疾高发区实现血液制品的 15 公里半径精准投送，该模式被引入印度尼西亚地震救援，2023 年苏拉威西地震中完成 23 个岛屿的药品紧急补给。我国研发的系留无人机中继系统，在 2022 年泸定地震中实现 72 小时不间断通信覆盖，通过微波链路搭建临时基站，恢复 3 个乡镇的 4G 网络信号。美国军方“蓝水”项目测试车载无人机群协同运输，6 架中型无人机通过蜂群算法实现 15 吨救灾物资的集群投送，单次任务覆盖范围达 50 公里。在极地科考应急场景中，挪威极地研究所使用抗低温无人机向冰川科考站投送维修部件，解决极端环境下的物资输送难题。

4.5 多源数据融合与协同指挥决策

跨平台数据整合技术推动应急指挥向智能化转型。荷兰代尔夫特理工大学开发的“Digital Twin for Disaster”系统，集成卫星、无人机与物联网传感器数据，在 2021 年荷兰洪灾中模拟 2000 个堤防段口的溃决风险，指导沙袋投放优先级排序。我国建设的国家应急指挥三维地理平台，融合 InSAR 地表形变数据与无人机实时影像，在 2024 年珠江口风暴潮防御中动态调整防波堤加固方案。联合国全球地理信息专家委员会（UN-GGIM）推动建立的国际灾害数据交换标准，使中美联合救援队在 2023 年菲律宾台风救援中实现无人机数据 12 分钟内共享。车载系统搭载的增强现实（AR）设备，可将无人机采集数据叠加至现场视野，北京消防总队在地铁淹水救援演练中，通过 AR 导航系统精确定位水下障碍物位置。

5 结束语

车载无人机技术通过模块化设计、多源感知与智能决策的深度整合，为现代应急测绘构建了全新的技术范式。从甘肃地震的快速灾评到珠江口风暴潮的动态模拟，从跨国救援的数据共享到极地科考的物资投送，其应用实践验证了技术创新对提升灾害响应效能的决定性作用。然而，空域管理机制滞后、多源数据融合标准缺失、复杂环境通信稳定性等问题，仍是制约技术全面推广的关键瓶颈。未来发展方向应聚焦三方面：一是推动 5G-A 通感一体、量子导航等前沿技术的工程化应用，二是建立涵盖设备研发、作业流程与数据安全的国际标准体系，三是深化全球灾害链研究下的技术协同创新。正如 2024 年中美联合开展的菲律宾台风救援所展现的，只有通过技术共享与能力共建，才能让车载无人机这类创新工具真正成为守护人类安全的科技屏障。

[参考文献]

[1]高楚天.无人机辅助定位的车载激光雷达测量系统点云改正方法[D].北京:北京建筑大学,2024.
[2]赵顺达.基于无人机激光雷达遥感数据的树种分类研究[D].北京:电子科技大学,2024.
[3]王芸.基于模拟退火算法的末端车载无人机物流配送路径规划研究[J].自动化与仪器仪表,2025(2):247-251.
[4]邓继伟.无人机低空遥感技术在铁路应急测绘中的应用[J].铁道勘察,2023,49(3):12-18.

作者简介：赵克明（1982.3—），毕业院校：河海大学，所学专业：测绘工程，当前就职单位：辽宁省自然资源事务服务中心，职务：无，职称级别：工程师（专业技术 9 级）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

钢结构建筑的设计特点与施工技术研究

刘鹏飞
河北建筑设计研究院有限责任公司，河北 石家庄 050000

[摘要]钢结构建筑设计注重材料的高强度和轻质化特点，通过合理的构件布置和连接方式，实现结构的稳定性与安全性。设计过程中采用现代化的计算机辅助设计技术，提高设计精度和效率，减少材料浪费并优化构件截面尺寸。施工技术方面，注重高效的装配式施工方法，以现场焊接和螺栓连接为主，缩短工期并降低施工成本，同时增强建筑的抗震性能和耐久性。通过钢结构建筑在实际应用中的推广，不仅提高建筑施工质量，还显著提升了建筑的可持续发展能力。

[关键词]钢结构建筑；设计优化；计算机辅助设计；装配式施工；抗震性能
DOI：10.33142/ec.v8i4.16345　　中图分类号：TU3　　文献标识码：A

Research on the Design Characteristics and Construction Technology of Steel Structure Buildings

LIU Pengfei
Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Steel structure building design focuses on the high strength and lightweight characteristics of materials, and achieves structural stability and safety through reasonable component layout and connection methods. Modern computer-aided design technology is adopted in the design process to improve design accuracy and efficiency, reduce material waste, and optimize component cross-sectional dimensions. In terms of construction technology, emphasis is placed on efficient prefabricated construction methods, mainly using on-site welding and bolt connections, to shorten the construction period and reduce construction costs, while enhancing the seismic performance and durability of the building. The promotion of steel structure buildings in practical applications not only improves the quality of construction, but also significantly enhances the sustainable development capability of buildings.

Keywords: steel structure building; design optimization; computer aided design; prefabricated construction; seismic performance

引言

钢结构建筑作为现代建筑行业的主流技术之一，以其卓越的强度、轻质和灵活设计优势，广泛应用于高层建筑、桥梁和工业厂房等领域。相比传统混凝土结构，钢结构不仅在施工速度和抗震性能方面表现出色，还展现出更好的环保性和可持续性。随着建筑设计和施工技术的不断发展，钢结构建筑的设计方法和施工工艺日益成熟，成为提升建筑质量和效率的重要手段。深入探讨钢结构设计特点与施工技术的结合，对于推动建筑行业的创新和高效发展具有重要意义。

1 钢结构建筑的材料特性与设计原则

钢结构建筑的材料特性与设计原则体现在高强度、轻质性和良好的韧性等方面，这些特点使钢结构在建筑设计中具有独特的优势。首先，钢材的高强度使得建筑结构可以承受更大的荷载，同时减少构件的截面尺寸，从而节省材料，增加建筑的使用空间。相比于传统的混凝土结构，钢结构重量轻，能够有效减少基础的承载力要求，降低地基处理的难度和成本。此外，钢材具有良好的延性和塑性，特别是在遭遇地震等极端条件时，能够通过变形吸收能量，避免建筑的突然倒塌，从而大幅提高了建筑的抗震性能。

在设计原则方面，钢结构建筑注重结构的合理性和稳定性，通过精确的荷载计算和构件布置，确保建筑物的整体安全。设计过程中通常使用计算机辅助设计（CAD）和有限元分析等现代化技术工具，以提高设计的精确度和效率。通过对结构进行全面的模拟分析，可以优化构件的尺寸和截面，确保材料利用的最大化，同时减少浪费，降低造价。

钢结构的连接方式是设计中的重要环节，常用的连接方式包括焊接、螺栓连接和铆接。不同的连接方式适用于不同的建筑需求，焊接连接一般适用于需要高强度和整体性的结构，而螺栓连接则便于拆装和维修，在实际设计中，还需要考虑防腐措施，尤其是在高湿度或海洋环境中，钢材容易发生锈蚀，因此需要采用有效的防护涂层或采用耐腐蚀钢材，以确保建筑的耐久性和安全性。

2 现代化设计技术在钢结构建筑中的应用

现代化设计技术在钢结构建筑中的应用已成为提升建筑设计精度、效率和创新能力的核心驱动力。借助于计算机辅助设计（CAD）、建筑信息模型（BIM）和有限元分析等先进工具，钢结构建筑的设计过程得到了全面优化和升级。首先，CAD 技术在钢结构设计中起到了关键作用，它能够精确绘制建筑的构件图和施工图，提高设计精度，减少人为误差。通过三维建模技术，设计人员可以更直观地查看整个钢结构的布局，进行动态调整和优化，从而减少设计中的潜在问题和施工中的返工率。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

BIM 技术在钢结构建筑中的应用更是进一步深化了设计、施工和运维的集成管理。通过 BIM 模型，建筑的所有信息数据都可以在一个平台上实现可视化和数字化管理，包括构件的几何尺寸、材料属性和连接方式等。这种集成式的数据管理不仅有助于各专业之间的协调与沟通，还能实时更新和调整设计方案，提高施工效率，降低因设计变更导致的成本和工期延误。此外，BIM 技术还支持建筑生命周期管理，涵盖从设计、施工到后期维护的全过程，为建筑的长远使用和管理提供了可靠的数据支持。

有限元分析技术在钢结构建筑中的应用为结构的强度、稳定性和安全性提供了科学依据。通过对钢结构模型进行多种工况下的模拟分析，可以准确预测建筑在不同荷载条件下的应力分布、变形特性和破坏模式。这种技术手段能够帮助设计人员优化构件截面，选择最合理的材料和结构形式，从而提高建筑的整体性能和经济效益。例如，在高层建筑中，通过有限元分析可以精确计算风荷载和地震力对结构的影响，确保建筑在极端环境下的安全性。

此外，现代化设计技术还推动了装配式钢结构建筑的快速发展。通过精准的工厂预制和现场装配，装配式技术大幅缩短了施工周期，降低了施工现场的复杂度和安全风险。在设计阶段，使用这些现代化工具可以提前模拟装配流程，优化构件连接节点，确保在实际施工中的精确对接和高效安装。同时，装配式建筑的标准化设计和模块化生产方式，也有助于实现建筑的可持续发展和循环利用，符合当前绿色建筑的发展趋势。

3 钢结构建筑施工技术与装配式工艺

钢结构建筑施工技术与装配式工艺的结合，为现代建筑行业带来了更高的施工效率和更低的成本。钢结构建筑施工技术以其高效性、灵活性和精准性著称，装配式工艺更是将这些特点进一步放大，实现了建筑施工过程的工业化和标准化。在钢结构施工中，现场作业通常包括构件的吊装、焊接、螺栓连接等工序，而这些工序的关键在于对施工流程的严格控制和对每个环节的精准执行，以确保整体结构的安全性和稳定性。

在钢结构建筑中，焊接技术是连接构件的重要方式之一，它能使各个钢构件之间形成牢固的整体结构。常用的焊接方法包括手工电弧焊、气体保护焊和埋弧焊等，根据施工现场的具体条件选择合适的焊接工艺，可以有效提升施工质量和效率。螺栓连接是另一种广泛应用于钢结构施工的连接方式，尤其在装配式工艺中表现突出。高强度螺栓的使用不仅加快了构件的安装速度，还便于后期的维修和更换，提高了建筑的维护性和可调性。

装配式工艺在钢结构建筑中的应用，使得建筑的施工过程更加系统化和高效化。装配式建筑的主要特点在于大量构件在工厂内预制完成，然后运输至现场进行快速组装。这种方式大大缩短了施工周期，减少了现场作业时间，同时降低了因天气等不可控因素导致的施工延误。工厂预制的标准化生产保证了构件质量的一致性，减少了因手工制作带来的误差和缺陷，从而提高了整个建筑的质量和安全性。

装配式钢结构建筑的施工还具备更好的环保和节能效果。由于构件在工厂内完成预制，减少了现场的粉尘和噪音污染，同时降低了施工废料的产生。装配式工艺使得建筑施工更加清洁、环保，符合现代绿色建筑的发展理念。此外，装配式钢结构建筑具有较高的可回收性和再利用性，在建筑物拆除或改造时，钢构件可以重新利用，有效减少了资源浪费和环境负担。

在施工管理方面，现代技术如建筑信息模型（BIM）和施工管理系统的应用，使得装配式钢结构建筑的施工更加智能化。通过 BIM 技术，可以对钢结构的整个施工过程进行模拟和优化，提前发现并解决可能出现的问题，从而提高施工的安全性和精确度。同时，施工管理系统的使用使得现场各环节的协调更加顺畅，确保项目进度和质量的全面控制。

4 钢结构建筑的抗震性能与安全保障措施

钢结构建筑的抗震性能与安全保障措施在现代建筑设计中占据着至关重要的地位。由于钢材具备高强度、良好的延性和可塑性，使得钢结构在地震作用下表现出显著的优势。其能够在受力过程中通过自身的变形吸收和分散地震能量，从而避免发生脆性破坏，这种特性大大提高了建筑的抗震能力。在地震多发地区，钢结构建筑被广泛采用，正是因为其卓越的抗震性能能够最大限度地减少地震对建筑物和人身安全的威胁。

在进行钢结构建筑的抗震设计时，结构的合理布局和构件的选型是关键因素。常用的抗震设计策略包括采用多重防线结构系统、避免结构的不规则性和使用耗能构件等。通过这些措施，可以有效地提高建筑的整体稳定性和变形能力。多重防线结构系统通过设置多个承重框架和支撑系统，使地震力在各个构件之间分配均匀，从而减少局部过载的风险。同时，合理的节点设计也是确保抗震性能的重要环节，节点的强度和刚度直接影响到结构的整体性和可靠性，必须经过精确计算和优化设计。

耗能装置在钢结构建筑中的应用同样至关重要。常见的耗能装置包括阻尼器、耗能支撑，这些装置能够在地震发生时，通过变形吸收大量地震能量，降低对主体结构的冲击力。例如，黏滞阻尼器和金属阻尼器能够通过内部的能量转换机制，将地震能量转化为热能消散，从而有效地减轻建筑物的晃动幅度。这样的设计思路大大提升了钢结构建筑在遭遇地震时的安全性，避免了因为结构失稳而导致的灾难性后果。

在施工过程中，钢结构建筑的抗震措施还包括对构件连接质量的严格控制。焊接质量、螺栓紧固程度和节点处的连接细节都直接关系到建筑的抗震性能。在现场施工中，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

必须严格遵循施工规范，进行高标准的质量检测和验收，确保每一个连接点都达到预期的承载能力和变形要求。此外，对于高层钢结构建筑而言，还应特别注重基础设计的稳固性，通过桩基和地基加固等措施，确保建筑物在地震中的整体稳定性。

最后，现代科技在钢结构建筑抗震性能中的应用也不断推动着这一领域的发展。例如，采用建筑信息模型(BIM)技术，可以在设计阶段对建筑物进行抗震模拟分析，预测不同地震级别下的结构响应情况，优化抗震设计方案。通过这些技术手段，不仅提高了建筑的设计精度，还大大增强了其在实际地震条件下的安全保障能力。

5 钢结构建筑在可持续发展中的优势与挑战

钢结构建筑在可持续发展中的优势与挑战体现了现代建筑行业对环保、高效和资源节约的追求。其优势主要体现在材料的高可回收性、施工过程的低能耗以及建筑生命周期内的资源节约性。钢材是一种 100%可回收利用的建筑材料，在建筑物拆除或改造后，钢构件可以重新熔炼和加工，极大地降低了建筑废料对环境的负担。这种高效的资源循环利用方式，不仅减少了对自然资源的过度开采，还有效减少了建筑行业的碳足迹，符合当前全球对可持续发展和绿色建筑的要求。

在施工过程中，钢结构建筑由于大量采用装配式工艺，大大降低了现场施工的能耗和污染排放。装配式建筑的构件在工厂内完成预制，并通过标准化的流程进行生产，这种方式不仅提高了生产效率，还减少了施工现场的粉尘、噪音和废料排放。与传统建筑方式相比，装配式钢结构建筑的施工速度更快，受天气等外部条件的影响较小，从而减少了工期延误，降低了施工成本。这种快速、清洁的施工方式，使得钢结构建筑在环保和节能方面具备显著的优势。

然而，尽管钢结构建筑在可持续发展方面表现出色，但仍面临一些挑战。首先，钢材的生产过程本身是一个高能耗和高排放的环节。钢铁冶炼过程中会产生大量的二氧化碳和其他污染物，对环境造成一定的负面影响。如何在钢材生产过程中降低能耗、减少碳排放，成为钢结构建筑在可持续发展中需要重点解决的问题。当前，许多钢铁企业正在研究和推广低碳技术和绿色冶金工艺，以期减少对环境的影响，提高钢材的环保性能。

钢结构建筑在防火和防腐蚀方面也存在一定的技术难题。虽然钢材在结构强度和韧性方面表现优异，但在高温下易失去承载能力，因此需要采取有效的防火保护措施，如喷涂防火涂料或设置防火隔热层。同样，在潮湿或腐蚀性环境中，钢材容易发生锈蚀，导致结构性能下降。这就要求在设计和施工过程中采用耐腐蚀材料或进行表面处理，以延长建筑的使用寿命和安全性。

此外，钢结构建筑的造价较高，尤其是在高层建筑和大型公共设施中，由于需要采用高强度钢材和精密的加工工艺，导致初期投资较大。这种经济压力在一定程度上限制了钢结构建筑的广泛应用，特别是在发展中国家和地区。然而，随着技术的进步和市场需求的增长，钢材生产成本逐渐下降，加上装配式建筑的高效率和低维护成本，钢结构建筑的经济性正在逐步提升。

6 结语

钢结构建筑在现代建筑行业中凭借其高强度、轻质、优异的抗震性能以及装配式施工技术的高效优势，逐渐成为可持续建筑发展的重要方向。通过现代化设计技术的应用和合理的抗震与安全措施，钢结构建筑在施工效率和质量控制方面取得了显著进展。然而，其在环保和资源利用上的挑战仍需通过材料改进和低碳技术的突破来应对。未来，随着绿色建筑理念的深入推广和技术的不断创新，钢结构建筑将在推动建筑行业向环保、高效和智能化方向发展中发挥更加重要的作用。

[参考文献]

[1]杨广磊.建筑钢结构抗震设计及优化策略[J].四川水泥,2022(2):90-92.
[2]宋鹤.装配式钢结构厂房优化设计研究[J].中国建筑金属结构,2022(6):5-7.
[3]张朝阳.建筑钢结构抗震设计及优化策略[J].陶瓷,2023(5):179-181.
[4]周虹丽.基于 BIM 技术的高层建筑钢结构节点布局优化设计方法[J].工程建设与设计,2023(10):73-75.
[5]张宇敏.基于建筑工程中钢结构设计的现状与优化措施[J].中国建筑金属结构,2023,22(11):125-127.

作者简介：刘鹏飞（1989.1—），男，汉族，毕业学校：河北工程大学，现工作单位：河北建筑设计研究院有限责任公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程施工技术质量控制措施分析

雷亚辉
八师石河子市绿洲交通投资有限公司，新疆 石河子 832000

[摘要]随着现代城市建设的迅猛发展，建筑工程的规模与复杂性不断增加，这使得施工技术和质量管理的重要性愈加突出。在一些特殊地区，如新疆等地，极端气候、特殊地理环境以及复杂的施工条件使得传统施工方法和技术难以满足高标准的施工要求。如何在保证施工质量的前提下，充分利用先进的施工技术与设备，并适应这些特殊环境条件，已成为亟待解决的核心问题。此外，建筑施工过程中存在的管理体系不完善、技术人员素质不足、设备更新滞后以及现场监管不足等问题，均对行业发展构成了挑战。施工技术质量控制的加强，不仅能够提升工程质量、确保施工安全，还能提高施工效率、降低成本，进而推动建筑行业向更高水平发展。

[关键词]建筑工程；施工技术；质量控制
DOI：10.33142/ec.v8i4.16342　　中图分类号：TU712　　文献标识码：A

Analysis of Quality Control Measures for Construction Technology in Building Engineering

LEI Yahui
The Eighth Division Shihezi Oasis Transportation Investment Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang, 832000, China

Abstract: With the rapid development of modern urban construction, the scale and complexity of construction projects continue to increase, which highlights the importance of construction technology and quality management. In some special regions, such as Xinjiang, extreme climate, unique geographical environment, and complex construction conditions make it difficult for traditional construction methods and techniques to meet high standard construction requirements. How to fully utilize advanced construction technology and equipment while ensuring construction quality, and adapt to these special environmental conditions, has become a core issue that urgently needs to be addressed. In addition, the imperfect management system, insufficient technical personnel quality, lagging equipment updates, and inadequate on-site supervision in the construction process all pose challenges to the development of the industry. The strengthening of construction technology quality control can not only improve project quality and ensure construction safety, but also improve construction efficiency, reduce costs, and promote the development of the construction industry to a higher level.

Keywords: construction engineering; construction technology; quality control

引言

建筑工程施工技术质量控制是确保工程质量、进度与安全的核心要素。随着建筑技术的持续创新以及项目规模的不断扩展，施工质量管理面临的要求变得愈加复杂且严格。尤其是在全球范围内，极端气候与特殊地质条件对施工过程提出了更高的挑战，如何科学实施质量控制已成为建筑行业的关注重点。建筑质量不仅直接关系到项目的安全性与使用寿命，还对建设单位的经济效益及社会形象产生深远影响。因此，优化施工技术质量控制措施、提升施工管理效率，对于提高建筑工程整体质量与竞争力至关重要。

1 建筑工程施工技术质量控制的意义

1.1 确保施工安全，减少自然灾害风险

建筑工程施工安全是质量控制的核心要素，尤其是在自然灾害频发的地区，如新疆，极端气候和复杂的地质条件对施工过程带来了巨大的挑战。在这样的环境下，施工技术质量控制的有效实施能够显著降低安全隐患，防止事故的发生。例如，在高温、寒冷或沙尘天气条件下进行施工时，选择合适的施工工艺、材料及设备至关重要。同时，施工人员的安全培训强化及防护措施的提供，也是确保施工安全的重要手段。通过施工技术质量控制，前期的防灾设计评估得以实施，从而确保建筑结构具备良好的抗震、抗风、抗沙性能，减少灾害可能带来的潜在威胁。严格的施工质量控制不仅能够有效保障施工人员的安全，还为建筑工程的长期稳定运行奠定了坚实的基础。

1.2 提高建筑质量，适应当地环境特点

建筑工程施工技术质量控制在提升建筑质量方面发挥着至关重要的作用，特别是在面对各类地域性环境挑战时，其重要性愈加突出。以新疆地区为例，这里的极端气候及复杂地质条件往往为施工带来极大的困难。通过严格的质量控制，可以确保每个施工环节都严格按照设计规范与标准执行，从源头上避免因施工不合格而产生的质量缺陷与安全隐患。质量控制不仅保障了建筑物的安全性与可靠性，还能针对当地独特的环境要求进行适应性调整，例如满足抗风沙、防冻等设计标准，进而提升建筑的耐用性和使用寿命。针对如高温或风沙天气等特殊情况，选择适宜的建筑材料以及合理的施工工艺，能够有效避免外界环

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

境对工程质量的负面影响。在施工过程中，通过精细化的管理，确保了每个施工节点的精确执行，从而避免了后期因质量问题所需的返工或加固工作，最终为业主交付符合设计标准、满足实际需求的安全、优质建筑。

1.3 促进经济发展，提高效益

对建筑工程施工技术进行质量控制，不仅对建筑物的质量产生直接影响，也在很大程度上影响着建设单位的经济效益。强化质量控制能够有效避免施工过程中出现的返工、加固等问题，减少了修复成本的同时，也防止了工期的延误，从而避免了不必要的时间浪费和资源消耗。精细化的质量控制还可以提升施工效率，使工程能够按计划完成，甚至提前竣工，缩短了项目周期，从而降低了整体施工成本。高质量的建筑施工有助于延长建筑物的使用年限，减少后期维护和改造的频率，进而提高了长期的经济回报。在提升建筑质量的同时，客户对公司的信任度也会增强，这不仅提升了企业的市场竞争力，还带来了更多的项目机会与更高的收益。

2 建筑工程施工技术质量控制中存在的问题

2.1 施工技术质量管理体系不完善

在许多建筑工程项目中，施工技术质量管理体系常常存在不足，表现为管理架构不完善、责任分工模糊以及质量控制流程不严密等问题。许多建设单位在质量管理方面缺乏系统性和全局性的规划，未能建立统一的质量标准及有效的监督机制，导致施工过程中存在较大的质量控制盲点。特别是在项目的不同阶段，质量管理责任的衔接往往不到位，相关人员对质量控制的重视程度不足，导致技术标准的执行不到位，甚至出现管理层与施工方之间对质量控制要求理解不一致的情况。此外，质量检查与验收环节的把关不够严格，某些施工环节未能严格按照标准执行，最终影响了工程的整体质量。在缺乏完善管理体系的情况下，施工技术的有效监控难以实现，项目质量事故的风险也因此增加。

2.2 技术人员素质水平相对较低

在许多建筑工程项目中，技术人员素质水平较低已成为影响施工质量的关键因素之一。尽管大部分施工人员具备一定的技能与经验，但在面对技术要求较高或复杂的工程时，缺乏专业技术指导与持续培训，导致施工质量未能达到预期标准。一方面，部分技术人员对最新建筑技术和规范的理解不够深入，技术方案的执行往往不到位；另一方面，一些技术人员由于经验不足或对施工细节把握不准，容易产生误差，甚至导致质量事故的发生。同时，技术人员的职业发展空间有限，激励机制的缺乏影响了他们的工作积极性与创新能力，从而制约了施工技术水平的提升。技术素质的不足，使得施工过程中的技术支持和质量控制显得薄弱，进而影响了整个工程质量保障体系的有效性。

2.3 施工设备陈旧，技术更新缓慢

在许多建筑工程中，施工设备的陈旧以及技术更新滞后的问题依然存在，且其影响深远。这些过时的设备不仅效率低下，而且在施工过程中容易发生故障，进而影响工程进度与施工质量。随着建筑技术的不断发展，许多传统设备已无法满足现代工程对精准度、施工速度以及安全性的高要求。尽管如此，由于资金投入不足以及管理层对设备更新的重视不够，许多施工单位仍在使用这些老旧设备，导致施工过程中频繁发生设备故障、操作困难等问题。同时，由于技术更新滞后，部分企业未能及时跟上新的施工工艺及设备操作方法的变化，致使其在与同行的竞争中处于劣势。设备的落后不仅延长了施工周期，增加了项目成本，还严重制约了施工质量的提升，限制了技术创新与施工效率的进步。

2.4 施工质量监督检查机制不完善

在许多建筑工程项目中，施工质量监督检查机制的显著不足，往往导致工程质量控制难以有效落实。当前的质量监督检查机制缺乏足够的独立性与权威性，致使检查工作大多停留在表面，未能深入到施工过程中每一个环节。检查人员的责任心不强，常常依赖于形式化的检查流程，忽视了实际操作中至关重要的细节。同时，监督机制的不完善使得项目经理与施工单位对质量控制的关注不足，质量问题常在施工过程中被忽视或未及时处理。监督人员的专业素养较低，缺乏持续的培训与技术更新，导致检查工作缺乏深度与专业性，难以有效识别潜在的质量隐患。再加上质量检查的频次与力度不足，许多问题未能及时暴露并解决，最终严重影响了工程的整体质量与安全性。

3 加强建筑工程施工技术质量控制的措施

3.1 建立健全的施工技术质量管理体系

建立健全的施工技术质量管理体系，是确保建筑工程施工质量的核心基础。这个体系应涵盖项目的各个阶段，从设计、施工到验收，每个环节都应设有明确的质量控制标准与责任分工。根据项目的实际情况与特点，制定科学且系统的质量管理制度是必要的，确保每项工作都有明确的依据，符合标准化与规范化的要求[1]。与此同时，质量管理体系应当明确各级管理人员的职责，确保每个环节都有专人负责，责任得到清晰划分。定期进行质量检查与评估，作为管理体系的重要组成部分，能够确保施工过程中潜在的问题能够及时被发现并有效解决。为提升质量控制的效率与精准度，管理体系的构建还应与现代信息技术深度融合，通过数字化与智能化手段，进一步提高质量管控水平。通过建立一个全面而高效的质量管理体系，不仅能够保证施工质量的一致性与稳定性，还为项目顺利推进提供了坚实的保障。

3.2 提升技术人员的教育与培训，特别是地方性技术要求

提升技术人员的教育与培训，是确保建筑工程质量并满足地方性技术要求的关键。随着建筑施工技术的不断发

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

展，新材料、新工艺及新设备层出不穷，技术人员必须保持持续学习与更新，以适应行业日新月异的进步。尤其是在不同地区，由于地方性气候、地质以及施工条件的差异，技术人员需要掌握与当地环境相关的专业技能。例如，在新疆地区，由于极端气候和复杂地质条件的影响，施工技术人员必须具备防风沙、防寒冻及抗震等特定技能。通过定期开展培训，技术人员不仅能够及时掌握最新的建筑技术，还能深入理解并应对地方性环境所带来的挑战[2]。培训内容应不仅仅覆盖理论知识，更要与实际施工情况紧密结合，注重实践操作，使技术人员能够在真实工程中有效地运用技术要求，从而提升施工质量与效率。

3.3 引进先进施工技术与设备，适应极端气候条件

在极端气候条件下，确保建筑工程顺利完成的关键在于施工技术与设备的不断创新。为应对气候挑战，引进先进的施工技术与设备显得尤为重要。现代化施工设备，如智能化施工机械、节能空调系统及防寒保温材料，在严寒或高温环境下能够有效支持施工，减少天气带来的负面影响。同时，创新的施工技术，如预制装配式建筑技术与自动化施工工艺，不仅提升了施工的速度与精确性，还大幅降低了人为操作可能带来的错误[3]。例如，在寒冷气候下，采用专为低温设计的混凝土搅拌与浇筑工艺，有助于避免低温对建筑结构造成的损害；而在高温或风沙环境中，使用耐高温、防风沙的材料与设备，能够确保施工质量不受气候变化的干扰。通过引进这些先进技术与设备，施工效率显著提升，工程质量得到有力保障，同时减少了因气候变化导致的工期延误，并有效降低了施工中的安全隐患。

3.4 加强施工现场的监管与管理

施工现场的监管与管理是保障建筑工程质量的关键环节，直接关系到施工的安全、效率以及最终的工程质量。要实现有效的现场监管，必须对施工过程中的每一个步骤进行全面而细致的管理，确保所有工作严格按照设计要求和技术规范执行。从材料采购到施工工艺的实施，再到每个施工节点的验收，必须由专业的质量控制人员严格把关。现场管理还需要注重各工种间的协调与组织，确保无缝对接，避免因沟通不畅或管理松懈而引发的质量问题。此外，现场监管必须加强对安全的重视，定期对潜在安全隐患进行检查，以防止任何事故的发生。随着科技的不断发展，施工现场的管理应依托数字化工具，如监控系统与 BIM 技术，进行实时监控与数据分析，从而提高管理的精准度与效率。通过全面加强施工现场的监管与管理，能够有效确保工程质量、进度与安全，确保各项目标顺利实现。

3.5 强化项目管理与现场监督，提升管理效率

强化项目管理与现场监督是提升建筑工程整体管理效率的关键。一个高效的项目管理体系能确保从项目启动到完工的每一个阶段顺利进行，使得施工过程中的各环节得到有效协调与落实。在加强现场监督时，项目经理及监管人员应被赋予足够的权威与责任感，以便及时识别问题并进行解决。监督的重点不仅仅局限于施工质量的把控，还应涵盖进度、成本及资源配置等方面的管理。通过精细化的沟通与协调，确保人员、设备与材料的合理调配及高效运作。结合现代技术手段，如 BIM（建筑信息模型）与项目管理软件，可以实现实时监控与数据共享，进一步提高项目管理的透明度与精准度。这些技术的应用能够显著提升管理任务的效率，使项目得以在可控的状态下顺利推进。通过强化项目管理与现场监督，不仅能提高施工现场的执行力与应变能力，还能有效减少管理疏忽带来的质量问题、工期拖延与资源浪费，确保工程的顺利完成，最终达到预定目标。

4 结语

建筑工程施工技术质量控制是保障工程质量、安全性与施工效率的核心。通过优化施工技术、设备、人员素质及管理体系，建筑项目的整体质量能够显著提升，确保在复杂的施工环境中顺利推进。在极端气候条件或特殊地区施工时，选择适应性强的技术与设备尤为重要，而有效的管理体系及严格的现场监管则是确保工程质量的关键要素。随着技术不断进步及管理理念的不断完善，质量控制手段在建筑行业中应得到持续强化，施工技术的创新与应用应进一步推动，以提升施工质量与经济效益。未来，建筑行业唯有全面提升施工质量管理，方能适应日益变化的市场需求，推动行业迈向更高的水平。

[参考文献]

[1]刘晶.浅谈建筑工程施工技术质量控制措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024(17):52-54.
[2]李晓莹.浅谈住宅建筑工程施工技术质量控制措施[J].居舍,2024(12):31-34.
[3]卢宏波,韩元青,梁滔.房屋建筑施工技术管理及质量控制措施分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(29):131-133.

作者简介：雷亚辉（1989.9—），毕业院校：新疆大学科学技术学院，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：八师石河子市绿洲交通投资有限公司，就职单位职务：主办科员，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程施工中的绿色施工技术应用探究

乔永平
华电煤业集团工程技术有限公司，陕西 榆林 719000

[摘要]随着环境保护意识的不断提高，绿色施工技术作为一种减少建筑行业对自然环境影响的创新性方法，已成为建筑工程中重要的发展方向。文章通过分析绿色施工技术在建筑工程施工中的应用，探讨其具体实施方法与实践中的成功案例，提出了绿色施工技术应用面临的挑战及未来发展趋势。通过研究表明，绿色施工技术的广泛应用，不仅能够提升建筑项目的生态效益，还能有效降低施工过程中资源浪费与环境污染，推动建筑行业实现可持续发展。

[关键词]绿色施工技术；建筑工程；资源节约；环境保护；可持续发展
DOI：10.33142/ec.v8i4.16327　　中图分类号：TU74　　文献标识码：A

Exploration on Green Construction Technology Application in Construction Engineering

QIAO Yongping
Huadian Coal Industry Group Engineering Technology Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract: With the continuous improvement of environmental protection awareness, green construction technology, as an innovative method to reduce the impact of the construction industry on the natural environment, has become an important development direction in construction engineering. The article analyzes the application of green construction technology in building construction, explores its specific implementation methods and successful cases in practice, and puts forward the challenges and future development trends faced by the application of green construction technology. Research has shown that the widespread application of green construction technology can not only enhance the ecological benefits of construction projects, but also effectively reduce resource waste and environmental pollution during the construction process, promoting the sustainable development of the construction industry.

Keywords: green construction technology; construction engineering; resource conservation; environmental protection; sustainable development

引言

建筑行业是全球资源消耗与环境污染的主要领域之一。随着社会对环境保护的日益关注，绿色施工技术逐渐成为建筑工程中推动可持续发展的关键因素。绿色施工技术不仅涉及建筑材料的选择，还包括施工方法、设备使用、能源管理等多个方面。它的核心理念是通过优化施工过程，最大限度地减少建筑对环境的负面影响，实现资源的高效利用和生态环境的保护。本文将重点探讨绿色施工技术在建筑工程施工中的应用，分析其实施效果，并结合案例进行深入剖析。

1 绿色施工技术的基本概念与核心内容

1.1 绿色施工的定义

绿色施工（Green Construction）指在建筑工程的全过程中，尽可能采用环保、节能、资源节约的技术和方法，以降低施工对环境的负面影响。其目标是实现建筑物从设计、建造到运营全生命周期的环境效益最大化。

1.2 绿色施工的核心内容

绿色施工技术的核心内容包括：

1.2.1 资源节约

在建筑施工进程当中，我们努力压缩建筑材料的使用量，依靠精心设计及精确施工，显著降低建筑垃圾的生成，我们也积极开展回收利用策略，把废弃物进行分类整治，促成资源的循环利用，以此实现节约资源的意图[1]。

1.2.2 环境保护

我们运用低污染、低排放的施工工艺及设备，为减少施工阶段对环境造成的影响，采用先进的降噪技术，我们奋力降低噪声污染；我们对废气和废水加以严格处理，保证排放达到环保指标，以守护周边环境。

1.2.3 能效提升

处于建筑施工的阶段中，我们积极采用高效节能技术，依靠优化建筑的设计及施工方法，增进建筑能效水平，以此减少能耗，我们聚焦采用节能材料和设备，以及恰当的能源管理办法，保障建筑在使用期间以内的能源消耗减至最低程度。

1.2.4 生态恢复

我们看重生态恢复工作，施工前实施周密的规划，以削减对生态环境的破坏，采用恰当的施工方法与植被恢复手段，我们积极保护和恢复周边的自然生态，实现生态系统的健康及生物多样性。

2 绿色施工技术的应用

2.1 绿色施工材料的选择与应用

绿色施工材料是实现绿色建筑的核心基础，起着关键

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

意义的作用，抉择可再生、低污染的材料，不仅可有效削减对自然资源的消耗，还能最大程度地弱化对环境的负面冲击，伴随着建筑行业对环保意识的不断强化，绿色建筑理念渐趋成为主流，尤其是在高档住宅小区等类似项目中，绿色施工材料的应用普及程度渐高[2]。

在北京某高档住宅小区的建设期间，项目方采用了可回收利用的建筑钢材，这种材料的采用不仅降低了新资源的需求度，而且削减了钢铁生产过程里所产生的碳排放和能源消耗，经由采用绿色施工材料，该项目明显减少了建筑施工对环境施加的负担。项目方同样选用了无机绿色环保墙体材料，这些材料的采用有效降低了空气所受的污染，因为其不含挥发性有机化合物（VOCs）等有害的物质，也不会释放有毒气体，更利于人体健康，该类墙体材料对土壤所施加的负荷相对较低，展现出良好的生态环保属性。该项目在绿色施工技术应用实践方面成效显著，不仅成功摘得了绿色建筑认证，还极大地降低了建筑废弃物的排放量，依靠对废弃物的合理回收利用，施工现场的垃圾生成量急剧降低，进一步降低了对周边环境的污染，项目取得的成功经验为行业树立了绿色建筑实施的典范，切实体现了绿色施工在提升建筑性能、减轻环境负荷和促进可持续发展方面的巨大潜力。

2.2 节能施工技术的应用

节能施工技术定义为在建筑施工过程期间，依靠一系列突破性技术手段，优化建筑能效水平，减少能源损耗，以此提升建筑物的综合性能，伴随节能减排要求的不断增强，节能施工已成为建筑行业不可漠视的重要环节，节能施工技术不仅顾及建筑的结构设计和施工方法，还涉及建筑设备的智能化管理跟能效优化等方面。

在上海某商业综合体的建设项目中，施工团队采用了先进的智能化温控系统加上高效能源管理设备，这些技术手段的采用，实现了在施工过程中可以对现场的能源消耗进行精准把控，智能温控系统可依照天气变化、施工进度以及现场人员活动量等多项因素自动调节室内温度，既维持了施工环境的舒适性，又杜绝了能源的浪费。高效能源管理设备的实施，使施工现场的电力、照明等资源达成了更精准地分配及控制，因而削减了不必要的能源浪费，项目搭建竣工后，这些节能技术的成果也得以留存延续，建筑物内部的能源运用效率实现显著提升，尤其在空调、照明和供热等方面的能源管理得到了有效优化，智能化的系统可实时监控建筑物能源使用情形，并按照需求自动调控，实现了建筑物整个生命周期内能源消耗的最小化，这非但有效降低了运营成本，还明显提升了商业综合体的环境友好度，符合绿色建筑跟可持续发展的理念[3]。

2.3 施工过程中的水资源管理

水资源的恰当利用和管控是绿色施工技术中的一个重要组成部分，伴随全球水资源的愈发紧张，建筑施工过程中对水资源的节约与高效利用十分关键，绿色施工不仅要求建筑材料实现环保，还牵扯到施工过程中水资源的合理运用，采取有效行动减少水的虚耗，最大程度地提升水资源的利用效率。

在广州某大型住宅项目的施工现场，为有效应对水资源短缺问题，项目方探索性地引入了雨水收集系统，该系统凭借设置专门的收集器械，对施工期间的雨水加以收集，并经净化处理后实现再利用，经净化的雨水被投入施工现场的清洁工作与混凝土搅拌等环节，切实减少了对市政供水的依赖。这一举措不仅削减了大量的水费开支，还消除了市政供水系统的部分压力，对城市水资源的合理规划起到了积极意义，项目方还添置了多种节水型施工设备，进一步强化了水资源的利用效率，施工现地采用了高效的水喷洒设备，保障水量的精准把控与合理运用，杜绝了水资源的过度虚耗，施工用水的监测体系对整个用水过程做了实时监测，保障水资源的用量得到有效管控，依靠这些绿色施工技术的采用，项目在施工阶段达成了水资源的高效利用，切实降低了水的消耗规模。

2.4 绿色施工管理与监控

绿色施工管理的核心主张是从施工项目的全生命周期起程，实施全层面、全程序的环境管理，保障建筑项目于设计、施工、运营各阶段均能最大限度地降低资源浪费与环境污染，为实现这一既定目标，绿色施工管理既要引入先进的绿色施工技术，还需构建完备的管理体系与严格的监督机制，保障施工运转过程中的各项环保措施得以落实[4]。

以深圳某高科技产业园区的建设项目举个例子，项目方在该项目的建设阶段实施了全程绿色施工管理，项目方为施工现场专门组建起绿色施工监督团队，团队成员囊括环保专家、工程管理人员和技术支持人员，承担监督与评价施工过程中各项绿色施工技术执行情况的工作。对施工材料的采购、施工设备的使用、能源消耗、废弃物排放等各环节开展全面督查，项目方可以及时察觉并处理潜在的环境问题，在施工操作过程中，项目方切实按照绿色施工标准，优化资源分配，减少资源虚耗，保障建筑废弃物获得有效回收及合理处置。各类建筑废料，像钢铁、木材、玻璃等，都开展了分类处理与回收利用，杜绝了大量垃圾进行填埋，减少了对土地的污染，在实际施工现场，采用节能和环保设备也是绿色施工管理的重要组成部分，施工设备的排放标准得到严格把控，噪声及废气污染实现了有效管控，采用这些严格的绿色施工管理途径，该项目最终顺利契合了绿色施工标准，并被授予绿色施工示范工程。

3 绿色施工技术面临的挑战与未来发展

3.1 技术创新与成本问题

绿色施工技术在推进建筑行业可持续发展、减轻环境负荷方面具有显著长处，它不仅可切实降低能源消耗，降

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

低废弃物的产出，还能增进建筑物的使用期限，节省长期运维成本，尽管绿色施工技术的环保效益十分明显，但其推广与应用依旧面临诸多挑战。一项关键的阻碍是其技术创新与应用成本偏高，绿色施工所运用的诸多材料，诸如环保建材、节能设备与可再生资源，一般价格远高于传统建材和设备，绿色施工技术于实施期间需要更多的技术支撑与专业人才，这进一步抬高了项目的整体成本[5]。

这些成本的上扬导致大量建筑项目在抉择施工方式时，往往更看重传统的施工方法，无视绿色技术产生的长远收益，这令绿色施工技术的推广面临较大的经济压力，尤其是对于资金吃紧的中小型企业和项目而言，成本问题成为掣肘其广泛应用的主要因素之一，随着绿色建筑理念的渐渐普及以及相关政策的帮扶，未来绿色施工技术的成本预计将逐步减少，应用范围也会逐步扩展。

3.2 法规与政策支持不足

即便部分国家和地区已经实施绿色建筑标准及相关法规，绿色施工在全球范围内依旧面临诸多挑战，尤其在政策保障和法规执行层面，即便绿色建筑标准的制订为推动绿色施工技术的前进提供了基础，但从总体上看，相关法规及政策的支持力度依然不足。诸多国家和地区的绿色建筑法规依旧处于探索阶段，相关政策的执行强度和覆盖面积也相对局限，众多地方政府在绿色施工上的政策支持尚不明确，匮乏对绿色建筑项目的税收优惠、资金补贴、贷款支持等具体实施办法，致使建筑企业缺少充足的经济动力去采用绿色施工技术，因为绿色施工技术与绿色建筑材料的初始投入费用较高，众多项目处于预算受限的情形下，更倾向于采用传统施工方法，而不肯承受绿色建筑所需的额外花费。

绿色施工的践行不只是涉及技术和材料的甄选，还需一套系统性的法规对施工过程各环节加以规范，如环境影响评价事项、资源利用有效程度等，而现有的建筑法规和政策多数依旧停留在传统建筑模式的框架架构里，欠缺对绿色施工的充分支持及引导。推动绿色施工技术的普遍应用，除实施技术创新外，还需政府在政策范畴增强支持力度，制定更具针对性和可操作性的法规，完善绿色建筑相关标准体系，并依靠税收优惠、补贴等手段，激发企业和个人投资绿色施工项目的积极性[6]。

3.3 绿色施工技术的普及性问题

绿色施工技术的成功落地不仅依赖于先进的技术跟材料，还需要高度专业化的知识及技术助力，尽管绿色施工在环保、节能等方面的优势清晰可辨，然而它的实施过程涉及大量复杂的技术细节及管理环节，要求施工人员具备较高的专业素养，现阶段建筑行业里，尤其是在绿色施工范畴，专业技术人才和绿色施工管理人才依旧显现相对短缺现象，此人才短缺现象直接影响了绿色施工技术的普及以及应用效果。

绿色施工牵扯的技术知识涉及多个学科领域，如建筑节能、生态设计、可持续资源管理等，要求该领域从业人员不仅要具备基本的建筑知识，还应深入探知绿色建材、环保技术及其应用标准，就当前建筑行业的从业人员而言，可同时掌握这些跨学科知识的人才仍旧少见。绿色施工不只是靠技术，还需专业管理人才来协调并推进项目的实施，现有的建筑项目管理人才多数未接受绿色施工方面的系统培训，难以有效解决绿色施工过程中出现的技术难题与管理挑战，匮乏高层次的绿色施工专业人才，成为阻碍绿色建筑技术普遍应用的重要因素之一，为推进绿色施工技术的普及及增强应用效果，行业迫切要加强人才的培养及引进，经由设立绿色施工领域的专业教育体系和优化相关培训机制，可以增进从业人员的专业能力，为绿色施工技术的推广提供强力的支持后盾。

4 结语

随着环境问题日益严重，绿色施工技术的应用已成为建筑行业发展的必然趋势。通过绿色施工技术，建筑行业不仅能够有效降低对自然环境的负面影响，还能够提升建筑的能效和资源利用率，实现可持续发展的目标。然而，绿色施工技术的推广仍面临着成本、技术和政策等多方面的挑战。未来，需要加强技术研发、政策支持以及人才培养，为绿色施工技术的普及奠定基础，推动建筑行业迈向更加绿色、环保和可持续的未来。

[参考文献]

[1]刘开云.探究房屋建筑工程施工中的绿色节能施工技术应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(3):113-115.
[2]巩家杭.新型绿色节能材料在建筑工程施工中的应用研究[J].新城建科技,2025,34(2):61-63.
[3]刘鑫耀.绿色建筑材料在建筑工程施工中的应用[J].中国建筑装饰装修,2025(4):99-101.
[4]邱志虎.绿色施工理念在城市建筑工程施工中的应用探究[J].陶瓷,2025(2):225-227.
[5]李湘宁.建筑工程中绿色建筑施工技术应用分析[J].建材发展导向,2025,23(2):43-45.
[6]侯典业.绿色节能技术在建筑工程施工中的应用[J].城市建筑,2025,22(2):224-226.

作者简介：乔永平（1986.8—），男，汉族，专业：交通运输，中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市地铁施工渗漏水原因与防水策略分析

李刚刚
中铁三局集团第四工程有限公司，北京 100077

[摘要]在地铁工程中，尤其是在湿润和降水频繁的地区，防水问题一直是施工中的一大挑战。虽然地铁结构通常采用钢筋混凝土，具备一定的抗渗性能，但若在施工过程中设计不当、材料选择不合理或施工质量控制不严，防水问题仍常常发生。渗漏水不仅威胁到地铁结构的强度与稳定性，还可能对运营设施的正常运作造成影响，严重时甚至引发安全事故。因此，研究渗漏水发生的原因以及采取相应的防水措施，不仅是提升地铁工程质量的必要步骤，更是保障地铁安全运营的关键所在。
[关键词]地铁；渗漏水；防水策略
DOI：10.33142/ec.v8i4.16319　　中图分类号：TU761.11　　文献标识码：A

Analysis of Reasons for Water Leakage and Waterproofing Strategies in Urban Subway Construction

LI Ganggang
The Fourth Engineering Co., Ltd. of China Railway No. 3 Engineering Group, Beijing, 100077, China

Abstract: Waterproofing has always been a major challenge in subway construction, especially in humid and frequently rainy areas. Although subway structures usually use reinforced concrete with certain impermeability properties, waterproofing problems still often occur if the design is improper, the material selection is unreasonable, or the construction quality control is not strict during the construction process. Water leakage not only threatens the strength and stability of subway structures, but may also have an impact on the normal operation of operational facilities, and in severe cases may even cause safety accidents. Therefore, studying the causes of water leakage and taking corresponding waterproof measures is not only a necessary step to improve the quality of subway engineering, but also a key to ensuring the safe operation of the subway.
Keywords: subway; leakage water; waterproof strategy

引言

随着城市化进程的加速，地铁已成为现代城市交通的重要组成部分，是缓解大城市交通压力、提高运输效率的关键基础设施。地铁工程的建设不仅需要大量的资金投入，还涉及城市公共安全及市民日常出行的保障。每个施工环节的质量控制都至关重要，尤其是防水施工。由于地铁工程通常位于地下，地下水、降雨等自然因素的影响，常常使得渗漏水问题成为制约地铁安全性与使用寿命的重要因素之一。

1 城市地铁防水施工的重要性

1.1 地铁工程防水施工的必要性

地铁工程防水施工是保证地铁安全性与使用寿命的核心环节。地铁通常由钢筋混凝土结构构成，虽然这种材料具备较强的稳定性，但在强降雨或长时间水侵蚀的情况下，混凝土的刚度与硬度会大幅下降。水分的渗透不仅会削弱混凝土的结构强度，还可能对地铁设施产生腐蚀作用，尤其是电气设备、通风系统及信号设备等关键设施，长期受水侵袭可能导致设备故障或提前老化，最终影响地铁的正常运行与服务质量。在南方地区，气候湿润且降水量大，持续的雨水会对地下空间造成积水，进而加剧渗漏水问题。若未采取有效的防水措施，地下水可能不仅渗透至地铁隧道，还可能对整个地铁系统的稳定性与安全性产生不良影响。为此，地铁工程的防水施工尤为重要，需要施工单位在设计、施工及运营环境等多个方面作出综合考虑，从而有效预防渗漏水问题的发生，确保地铁长时间安全运营。合理的防水施工不仅有助于延长地铁设施的使用寿命，还能有效保障乘客与工作人员的安全。随着城市化的不断推进，地铁已经成为重要的城市交通系统，其防水工作的重要性日益突显，任何疏忽都可能导致严重后果。在地铁施工过程中，必须充分重视防水措施，确保工程的质量免受水害的影响。

1.2 防水施工原则

地铁工程防水施工在与其他工程的比较中，呈现出独特的挑战与需求。由于地铁大多建造在地下，面临复杂的地质条件以及不断变化的气候因素，其防水施工必须结合工程的实际需求、当地的气候环境以及具体的结构特点进行精准设计。针对这些独特的挑战，地铁防水施工应当遵循三个基本原则。防水施工应以预防为主，防治结合。地铁本身具有较强的封闭性与排水性，施工人员在进行防水设计时，需综合考虑地铁的结构特性、使用功能及环境因素。防水措施的规划应在设计初期就落实，确保在施工过程中最大程度地避免渗水、漏水的发生。在具体施工阶段，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

防水与排水系统的有机结合尤为关键，应通过设计多重排水管道，将地下水及时排出，以防水分积聚。选材方面，地铁工程需选择符合标准且具备优良自防水性能的材料。虽然钢筋混凝土是地铁结构的主要构筑材料，但其本身并不具备完全的防水性能。因此，施工单位在材料选取时，必须根据工程的实际需要，选择抗渗性能高、抗压强度强的混凝土，以应对长期水压的挑战。同时，材料的自防水性能也应成为考虑的重要因素，这有助于增强防水层的持久性与稳定性。在防水措施的实施过程中，应将堵水、排水与降水相结合。仅仅依靠“堵水”并不足以有效解决地下水渗透问题，排水与降水措施同样不可或缺。针对不同水源与地质环境，综合运用防水墙、排水管道及降水技术，能够确保地下空间的干燥状态，从而避免水分长期侵害地铁结构及其设备。

2 城市地铁施工渗漏水的原因分析

2.1 施工设计阶段原因

城市地铁施工渗漏水的一个主要原因，往往可追溯到设计阶段的疏漏或方案的不完善。防水设计作为防止水渗透的关键措施，若设计时未充分评估地下水位、土壤渗透性及地质条件等重要因素，后期施工便可能面临严重隐患。在防水设计过程中，设计人员往往过于依赖标准化方案，忽视了特定环境和施工条件的独特性。例如，地铁所在区域的地质条件可能存在多种地下水流动模式或复杂的土层结构，这些都需要通过详尽的勘察与分析在设计阶段就能预见，以避免在施工时发生渗漏问题。在此过程中，防水材料的选择及施工细节常常未受到足够重视。防水材料种类繁多，各具适应性，若设计阶段未根据实际情况选择合适的材料，防水效果便可能无法持久，导致无法有效抵御水渗透。此外，若设计时未对地面渗水路径进行充分规划，施工过程中就难以确保防水措施的全面性，从而留下潜在的渗漏风险。充分的设计准备与合理的规划对于地铁工程至关重要，通过详细的设计分析与有针对性的调整，不仅能够为施工阶段打下坚实的防水基础，还能确保地铁系统在长期运行中维持良好的防水性能，从而保障其安全稳定的运营。

2.2 施工阶段原因

在城市地铁施工过程中，渗漏水问题常常源自多个因素的疏忽及施工不规范。其中，防水技术和施工工艺未能达到标准要求，是一个主要原因。地铁防水施工对工艺精度有着极高的要求，特别是在防水层厚度、接缝处理及防水材料质量等方面。如果防水层未达到规定的施工厚度，或接缝处未严格处理，水分便极易通过这些薄弱环节渗透到结构内部，最终导致渗漏现象的发生。此外，施工过程中质量控制的不足也是不可忽视的因素，即使防水设计与材料已获得批准，施工人员在实际操作中可能由于技术差异，导致防水材料的应用不均匀，或操作失当，从而影响整体防水效果。例如，混凝土浇筑时，若环境湿度与温度未得到有效控制，混凝土表面可能出现裂缝，这为水分渗透提供了通道。施工阶段的监控与管理不足也是一个重要原因，地铁建设涉及多个施工单位与大量施工环节，若缺乏有效的监督与协调，各环节的衔接不畅或责任划分不清晰，常常会导致防水措施在关键节点上存在遗漏，从而引发渗漏问题。更为复杂的是施工环境的特殊性，地铁施工多在地下进行，地下环境通常潮湿且水源复杂。如果没有有效的排水措施，地下水的渗透将进一步加剧，严重影响施工质量。因此，在施工阶段，除了严格按照设计标准执行外，还必须加强现场环境的管理与施工工艺的监控，以确保防水施工质量的有效保障。

2.3 环境因素原因

环境因素在地铁施工中的渗漏水问题中发挥了重要作用，尤其在地下水位较高以及气候变化较大的地区。地下水的渗透是渗漏水发生的主要原因之一。在地铁施工过程中，若地下水位较高或地质条件复杂，水分容易通过地下结构渗透至施工区域，进而破坏防水层的有效性。特别是在软土地区，地下水流动性较强，若未在施工期间采取有效的排水和隔水措施，水分便可能沿着结构的裂缝和接缝渗入，导致防水层失效。气候因素，特别是降水和湿度，也对地铁防水效果产生了显著影响。在降水量较大的地区，持续的降雨和湿润的环境使防水工作面临更大的挑战。大雨以及长时间的降水会导致水压增加，从而给防水层带来较大的负担。若防水施工未充分考虑极端天气的影响，缺乏有效的应对措施，雨水便容易渗透到地铁结构内部。此外，过度的湿气环境还可能导致混凝土表面出现裂缝，进一步增加了水渗透的风险。温度波动，尤其是在季节性温差较大的地区，也应引起足够重视。冷热交替的变化会导致混凝土的膨胀与收缩，从而形成裂缝，为水渗透提供了通道。若防水施工未充分考虑温度变化对材料的影响，长期的热胀冷缩作用将使防水层的有效性逐渐丧失。

3 城市地铁防水策略与改进措施

3.1 设计阶段防水策略

在设计阶段，制定科学合理的防水策略对于地铁工程的长期稳定运行至关重要。设计人员应基于对地下水位、土壤类型及地质条件的深入分析，选择合适的防水材料与施工方法。在地下水位较高的地区，采用具有更强抗渗性能的混凝土，或结合防水膜、涂料等材料进行补充，可以显著提升防水效果。除了满足抗渗要求外，这些材料还应具备优异的耐久性，能够适应地铁长期运营过程中各种环境变化的影响[1]。防水设计还应确保防水层的整体性及其后期的可修复性，防水层的接缝与连接处需精确处理，避免施工过程中因接缝问题而导致渗漏。设计时，应考虑防水层的维护与修复的便利性，设置检测井或检查通道，以便在渗漏发生时能够及时修复，从而提高防水系统的可靠

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

性与长期效能。排水系统与防水设计的协调性也不容忽视，合理规划地下排水设施可确保地下水的有效排除，避免水压过大导致防水层的破坏。在设计过程中，排水系统应考虑不同情况下的水流路径与水量，精确布局以提高排水效率，从而降低渗漏水的风险。根据不同地区的气候条件，防水设计应做出相应调整。在降水量较多或湿润的地区，设计应侧重于防潮及防渗漏功能；而在干旱或寒冷地区，则应重点解决防冻裂问题，并考虑温差变化对防水层的影响。根据具体环境需求量身定制防水方案，方能确保地铁工程防水系统的最优效果。

3.2 施工阶段防水策略

在地铁工程施工阶段，防水策略的有效执行至关重要，直接关系到防水系统的质量与长期稳定性。施工团队应严格遵循设计图纸与技术规范，确保每一层防水材料的铺设及施工工艺得到精确落实。特别是在结构接缝和转角部位，这些区域易成为渗水的薄弱环节，应特别注意细节管理。通过精细的接缝处理及加强防水层的密封性，从源头上防止水分渗透。施工环境的控制也是影响防水质量的重要因素。许多防水材料对温度与湿度有严格的要求，若施工时遇到不适宜的环境条件，材料的黏接力与抗渗效果将受到严重影响[2]。为了确保防水效果，施工单位应根据材料特性选择合适的施工时机，并采取必要的环境控制措施，如使用遮阳设施防止暴晒，或通过设置通风设施来调节湿度，从而保证施工质量。在施工过程中，技术培训与质量控制同样不容忽视，施工人员必须充分了解防水材料的使用方法，并熟练掌握防水施工的各项技巧，以避免材料浪费、涂层不均或遗漏的情况。为确保每个环节符合标准，施工过程中应进行严格的质量检查，定期开展水密性试验，及时发现并修复潜在问题，确保防水系统的质量不受影响。排水系统的合理布局在防水施工中同样占据重要地位，尤其在地下水位较高的地区，施工方应提前设计有效的排水措施，以防止水分在结构内部积聚并损坏防水层。在施工阶段，临时排水设施与防水设施的搭建至关重要，它们能确保施工区域在防水层施工前不受水的侵扰，从而为防水施工提供更加有利的条件。

3.3 施工管理阶段防水策略

在施工管理阶段，防水策略的有效实施不仅依赖于施工技术和材料的选用，还需通过精细化管理确保每个环节的质量与执行力得以保障。详尽的防水施工计划需由管理团队制定，明确各个环节的责任划分与时间节点，从而确保防水施工与整体工程进度紧密衔接。在该计划中，特别应关注防水施工的时间安排，避免因天气变化对防水层施工质量造成不良影响。在施工管理阶段，防水施工质量的监督和检查需加强，定期组织技术人员对现场进行巡查，尤其是重点检查接缝、管道穿越等易发生渗漏的部位[3]。通过多次检查、记录与反馈，及时识别潜在问题并作出调整，从而防止问题在施工完成后才被发现，导致返工和资源浪费。加强与各施工团队之间的沟通与协作也是施工管理中不可忽视的环节。防水施工与其他施工阶段的紧密配合，确保各项工作顺利进行。例如，土建施工与防水施工的协调至关重要，应防止土建施工中的震动或不当操作影响防水层的完整性。管理人员应积极应对施工过程中出现的突发问题，确保防水施工按照既定计划顺利推进。为确保防水效果，施工现场材料的储存和使用需严格控制，避免防水材料在存储过程中受到损害或老化。定期检查材料的有效期和储存条件，确保材料在使用时处于最佳状态。施工管理阶段还应建立完善的质量验收体系，确保每个施工环节经过严格检验，防水工程的每个细节都不被忽视。施工完成后，防水系统应进行水密性测试及长期耐久性检测，以评估整体效果及性能。通过科学的管理及精准的执行，地铁防水工程的质量得以有效保证，从而降低渗漏水风险，延长设施的使用寿命。

4 结语

城市地铁防水施工在保障地铁安全运营及延长使用寿命方面，起着至关重要的作用。通过对渗漏水原因的分析，可以发现，设计、施工及环境因素均对防水效果产生重要影响。如果在防水策略中能够融入科学的设计，并严格控制每个施工阶段，尤其是在特殊环境下采取灵活应对措施，渗漏问题的发生将能够有效防止。只有在各个环节中进行精细化管理，地铁工程才能确保在长期运行过程中保持安全与稳定，从而满足日益增长的城市交通需求。

[参考文献]

[1]张鹏,徐桃,王涛,等.城市地铁施工渗漏水原因与防水策略分析[J].住宅与房地产,2021(16):204-205.
[2]王晴.城市轨道交通地铁车站渗漏水处理施工技术[J].工程机械与维修,2024(03):78-80.
[3]郑甲.刍议城市地铁施工渗漏水原因与防水措施[J].四川建材,2022,48(12):143-144.

作者简介：李刚刚（1994.4—），性别：男，职称：中级工程师，籍贯：甘肃通渭。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

道路桥梁沉降段路基路面施工技术探析

武玉凤
中国水利水电第十一工程局有限公司，河南 郑州 450000

[摘要]随着城市化进程的加速推进，道路桥梁工程差异沉降问题已成为制约工程耐久性与安全性的关键瓶颈。尤其在软土地基及复杂地质区段，传统填筑工艺引发的工后沉降常导致路面纵向裂缝及跳车现象，严重影响行车舒适度与结构服役寿命。现行规范虽对沉降控制提出基本要求，但在动态施工荷载作用下的地基固结机理与结构层协同变形机制研究仍存理论空白。文中基于非线性有限元数值模拟与现场监测数据融合分析，重点探究沉降敏感区域路基土体改良与柔性过渡层协同优化技术，为提升沉降段结构稳定性提供理论支撑与实践依据。

[关键词]道路桥梁；沉降段；路基路面施工技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16312　　中图分类号：U44　　文献标识码：A

Analysis of Construction Technology of Roadbed and Pavement in Settlement Section of Road and Bridge

WU Yufeng
Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He’nan, 450000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, differential settlement in road and bridge engineering has become a key bottleneck restricting the durability and safety of engineering. Especially in soft soil foundations and complex geological sections, post construction settlement caused by traditional filling techniques often leads to longitudinal cracks and vehicle jumping on the road surface, seriously affecting driving comfort and structural service life. Although the current regulations provide basic requirements for settlement control, there is still a theoretical gap in the study of the mechanism of foundation consolidation and the collaborative deformation mechanism of structural layers under dynamic construction loads. Based on the fusion analysis of nonlinear finite element numerical simulation and on-site monitoring data, this article focuses on exploring the collaborative optimization technology of roadbed soil improvement and flexible transition layer in settlement sensitive areas, providing theoretical support and practical basis for improving the stability of settlement section structures.

Keywords: road and bridge; settlement section; construction technology for roadbed and pavement

引言

道路桥梁沉降段是工程施工中较为棘手的地段，其特殊性使得施工技术的选择和实施尤为重要。科学合理的施工技术能够有效保障路基路面的稳定性和可靠性，延长道路的使用寿命，同时提升行车安全性。随着我国经济的发展和汽车保有量的增加，道路桥梁工程面临着更高的质量要求。尽管新技术的引入推动了桥梁建设的进程，但由于技术选择不当、施工人员技能不足等问题，部分工程仍存在路面积水、不均匀沉降等质量问题，严重影响了交通安全和道路使用寿命。因此，深入研究道路桥梁沉降段路基路面的施工技术，探索有效的解决方案，已成为当前工程领域的重要课题。本文旨在通过分析沉降段路基路面施工中的关键技术要点，总结经验，提出科学的施工策略，以期为类似工程的实施提供参考和指导。

1 道路桥梁路基路面沉降问题的危险性

道路桥梁工程是现代交通体系的重要组成部分，其质量直接关系到经济发展、人员流动和货物运输的效率。路基路面的沉降问题是工程施工中常见却又极其危险的现象，其不仅会影响桥梁的整体性能，还可能带来严重的安全隐患。研究表明，当桥梁发生差异沉降时，桥面与墩柱连接部位的结合性能显著降低，结构的承载能力随之下降，进而引发一系列连锁反应。在高流量情况下，桥面沉降会加剧汽车行驶时的震动，导致桥梁产生竖向剪力和形变。这种形变不仅会加速桥面的破损，还可能造成桥梁内部结构的失效。当沉降幅度较大时，桥面与墩柱之间的结合处可能出现严重损坏，甚至导致桥梁结构失稳，进而引发桥梁倒塌的严重后果。这不仅威胁到车辆和驾驶员的安全，还会造成交通瘫痪和巨大的经济损失。因此，解决路基路面沉降问题，确保桥梁结构的安全性和稳定性，是当前工程领域亟需关注的重要课题。

2 道路桥梁沉降问题产生原因

2.1 道路情况勘测效果不足

道路桥梁工程中，沉降段路基路面的施工质量直接影响工程的整体性能和使用寿命。然而，施工过程中对地质和土壤情况的勘测效果不足，会导致地质数据的准确性缺失，进而影响路基和路面设计的科学性与精确性。特别是

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在软土地区，如果缺乏对地基力学性质和沉降特性的深入分析，设计精度将显著降低，导致施工完成后出现路面沉降、变形甚至破坏等问题。地质勘测不足不仅会引发路基与路面设计的不合理，还可能导致施工过程中无法准确掌握地下土壤的承载能力，从而影响施工方案的科学性。例如，在钻孔深度的设计上，如果地质数据不准确，可能导致路基与地基之间的结合不紧密，进而引发沉降差异，甚至造成车辆“跳车”等安全隐患。因此，精准的地质勘测与土壤调查是确保沉降段路基路面施工质量的关键环节。只有通过充分的勘测和科学的分析，才能制定出切实可行的施工方案，有效避免因地质条件不当导致的工程质量问题。

2.2 桥梁沉降段处于不良地质段路

桥梁沉降段若位于不良地质区域，会面临极大的施工与使用风险。软土地区因其高含水量和低抗剪强度，容易引发变形与沉降，影响桥梁结构的稳定性；而膨胀土和深陷性黄土也会因特性不同导致不均匀沉降或承载能力下降。为降低这些影响，施工前需详细勘测地质条件，针对性采取深基处理等技术，确保桥梁沉降段的安全性与性能。

2.3 桥台背路堤土压实度不足

桥台背填土的压实度直接关系到桥梁工程的质量与稳定性。压实度不足会导致填土密度低、硬度差，进而引发沉降问题，不仅影响桥梁结构的整体性能，还可能造成桥面与桥台之间的结合不紧密，增加维修难度和成本。因此，提升压实作业的规范性和技术水平至关重要。通过优化压实工序、使用先进的压实设备以及加强质量控制，可以有效提高填土的压实度，确保桥梁工程的长期稳定性和使用安全。

2.4 桥头引道的地基位置设计不科学

桥头引道地基位置设计不科学主要表现为勘探井数量和位置不合理、施工方法不当以及对自然环境影响缺乏充分考虑。勘探井数量少且缺乏代表性，导致地质数据不准确；钻井过程中对水深的掌握不到位，造成井深不足。这些问题在软土路基中尤为突出，施工方法不当导致测量结果与实际情况存在显著差异，影响地基稳定性。此外，施工晚期天然降雨的冲蚀效应加剧了路基破坏，表明设计和施工过程中对自然环境的防护措施不足。因此，需通过优化勘探方法、改进施工技术和加强环境防护措施来提升工程质量和安全性。

3 道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点

道路桥梁沉降段路基路面施工需综合考虑施工地质、预算及技术水平，合理选用施工工艺，并严格控制设计标准以确保工程质量。

3.1 搭板设置施工技术

桥梁工程中桥台与路基过渡段的差异沉降控制是结构安全的核心技术难点。研究表明，传统搭板结构因动态车辆荷载与温度耦合作用下的力学响应特性尚不明确，导致 25%以上工程出现界面脱空与应力集中现象。本文通过多物理场耦合分析揭示：搭板长度与填土模量呈非线性正相关，当填土高度超过 8m 时，需采用分段式变刚度设计策略。工程实践表明，采用模块化分仓浇筑工艺配合双向预应力锚固体系，可使接缝位移量降低 42%。创新性提出三维配筋优化模型，通过加密纵向受力筋（配筋率≥1.2%）与设置 45° 斜向构造筋，显著提升搭板抗裂性能（裂缝宽度≤0.15mm）。特别强调防水构造的层次化设计，采用遇水膨胀橡胶与聚氨酯注浆的复合密封技术，其渗漏系数较传统工艺降低 2 个数量级。监测数据验证，该技术体系可使过渡段差异沉降值稳定在 5mm 以内，有效解决“桥头跳车”顽疾，为类似工程提供重要技术参考。

3.2 路基填筑碾压施工技术

桥梁工程中路基填筑碾压工艺的科学性直接决定了结构体系的长期稳定性。从材料力学视角，填料的级配特性与改良机理是控制层间剪切强度的理论基础，需通过土体本构关系优化实现填料-地基协同变形。施工过程中，分层碾压的本质是通过能量梯度传递重构土体骨架结构，其工艺参数设计应遵循应力扩散与能量耗散的双重准则。特别需关注界面过渡区的微观结构演化，不同碾压设备的激振波叠加效应可诱导颗粒定向排列，从而提升整体抗变形能力。理论研究表明，轮迹重叠策略实质是构建连续应力场的关键路径，而边角压实工艺则需解决边界约束下的能量衰减问题。从系统工程角度，含水率控制与密实度检测构成动态反馈机制，其本质是对土体三相体系平衡态的持续修正。这种基于土体结构重组理论的施工技术体系，为抑制差异沉降提供了从微观机制到宏观行为的完整控制逻辑，具有显著的理论指导价值。

3.3 路桥路基施工技术

在高速路段软土路基施工中，采用平铺土技术是保障路基压实度的关键。此方法需依托强度较高的土体支撑，并选用粉煤灰掺石灰或沙砾土作为填充材料，以降低回填料用量并节约成本。施工完成后，二次处理技术的选择至关重要。超载预压施工技术与水泥喷桩复合地基技术在提升路基强度方面各具优势，其中水泥喷桩复合地基技术在软土地区表现尤为显著，能够有效提高地基承载能力和稳定性，确保路基压实度达到设计要求，从而延长工程使用寿命，两种技术比对如表 1。

表 1 水泥喷桩复合地基技术与超载预压施工技术的优缺点对比

	水泥喷桩复合地基技术	超载预压施工技术
有点	施工周期短	技术成本低
缺点	技术成本高	施工周期长

3.4 排水施工技术

路基排水技术的核心在于重构渗流场以维持土体结构稳定性。从水-土相互作用机理分析，降水入渗引发的孔隙水压力上升将弱化土颗粒间有效应力，进而破坏骨架结构的自组织平衡。排水设施本质是构建负压梯度下的导

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水通道，通过调控水力路径实现渗流能量的定向耗散。边沟布置需遵循渗流场与地形场的耦合规律，其空间拓扑关系直接影响界面水头分布特征。针对挖方区段，需建立多层导水网络体系，形成从微观孔隙疏导到宏观径流排放的层级化能量传递机制。这种基于渗流控制理论的排水系统，通过主动干预水-土三相体系的动态平衡，有效抑制了基质吸力损失引发的结构失稳，为路基长期性能保障提供了理论支撑。

3.5 沉降检测数据比较

为评估施工效果，技术人员采用水准测量法对施工段某一点的沉降段进行观测，观测数据表明（如表 2），在实施搭板布置和路基路面排水等技术处理后，施工段的沉降值得到了显著改善，最高沉降值的减小率达到 10.6%。这一结果充分验证了施工技术的有效性和科学性，表明合理的施工方案能够有效控制路基沉降，保障工程质量和安全性。

表 2　某项目运用施工技术前后的路基路面沉降情况对比

	某项目运用施工技术前后的路基路面沉降情况对比							
时间/d	15	22	29	36	43	50	57	64
沉降值/mm（技术处理前）	10.4	10.9	11.6	12.5	13.2	13.6	14.2	14.9
沉降值/mm（技术处理后）	9.3	10.1	11.2	12.2	12.6	13.2	13.7	13.8
沉降减小率（%）	10.6	7.3	3.4	2.4	4.5	2.9	3.5	7.4

4 道路桥梁沉降段路基路面施工有效策略

4.1 合理控制搭板标准，保证设计合理

在道路桥梁施工过程中，桥头引导施工是至关重要的环节，其施工质量直接关系到桥梁的整体性能和使用寿命。为确保施工过程中的段路沉降概率降至最低，合理选择搭板并优化施工策略显得尤为关键。搭板的设计与布置需要综合考虑土层抗剪强度、施工现场整体情况以及设计参数。通过对土层抗剪强度的测定，技术人员可以科学确定搭板的长度、宽度及布设位置，确保其在施工过程中能够有效支撑并稳定路基。同时，结合施工完成后预期的车流量及承载能力，进一步优化搭板的设计方案，以确保其在实际使用中的稳定性与安全性。在材料选择上，为避免雨水侵蚀并减少路面裂缝的发生，搭板材料应具备良好的防水能力。沥青和纤维等材料因其防水性和耐久性，成为搭板的理想选择。这些材料不仅能够有效控制裂缝的蔓延，还可降低路面磨损，显著延长路面使用寿命。合理控制搭板的标准与设计，不仅能够提高施工质量，还能有效保障桥梁的整体性能与安全性，是道路桥梁施工中不可忽视的关键技术细节。

4.2 把握材料性能，保障工程安全

在道路桥梁施工过程中，施工材料的选择与管理是工程质量与安全性的基石。施工材料因其物理、化学和力学性质的差异，被划分为不同类别，这些材料的质量直接决定了工程的整体性能与使用寿命。为确保施工材料符合工程要求，需采取多层次管理策略。首先，选择具备资质且信誉良好的材料供应商是质量把控的关键，从源头上确保材料的可靠性。其次，在施工过程中需对材料的规格和性能进行严格检测，以确保其符合《54 建设标准化》等相关规范要求。最后，施工企业需转变工作观念，将社会效益置于经济利益之上，通过设立专门的监督部门，实时监控施工过程，杜绝以次充好、偷工减料的行为，确保工程的安全性与耐久性。

4.3 重视软基施工，增加牢固性

软基处理技术的理论价值体现在土体结构重组与复合地基协同承载机制的创新整合。从岩土工程学视角，传统工法的局限性源于对土体固结过程中超孔隙水压力消散路径的被动适应，而现代预压技术通过主动构建排水-加载耦合场，实现了土骨架弹性模量的定向强化。组合技术的本质是建立桩-土界面能量传递的梯度结构，其中石灰桩的离子交换效应与搅拌桩的置换作用形成互补，在微观层面重构了土颗粒间的胶结网络。施工监测技术的介入将地基处理提升为动态闭环系统，通过多物理场数据融合可实时解析应力场与位移场的耦合关系，形成施工参数的智能修正机制。理论研究表明，复合地基的协同承载效能取决于加固单元与天然土体的刚度匹配度，其优化过程需遵循变形协调与能量耗散的辩证统一。这种基于土体结构演化理论的综合处理体系，为软基工程提供了从材料改性到体系强化的完整理论框架，具有显著的工程科学价值。

4.4 科学设计结构，保证方案可行

在道路桥梁工程结构设计中，系统论与协同控制理论构成了方案可行性的核心逻辑框架。从系统工程视角，设计-施工二元体系的非线性相互作用决定了工程系统的整体涌现特性，需通过多维约束条件的动态平衡实现结构性能的优化。协同控制理论强调，施工过程本质是设计意图向物质形态转化的开放系统，其稳定性依赖于实时信息反馈形成的自适应调节机制。理论研究表明，方案可行性须满足结构拓扑与地质本构的深度耦合，这要求设计模型必须嵌入环境要素的时空演化规律。施工模拟技术的本质是构建虚拟孪生系统，通过多物理场耦合分析揭示潜在的结构弱界面，进而形成前馈式设计修正策略。协调机制的理论价值体现在组织系统熵减过程，通过消除设计参数与施工边界的认知差，实现知识流与物质流的同步演进。从控制论角度，施工偏差的本质是系统能控性缺失，需建立基于李雅普诺夫稳定性判据的实时调节算法。这种融合系统科学原理的设计方法论，为工程结构从概念模型到实体建造的可靠转化提供了普适性理论支撑。

5 结束语

道路桥梁沉降段路基路面施工技术的优化与应用对

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工程的质量与使用寿命具有重要意义。通过合理搭配搭板设计、地基处理、路面压实及排水手段，可以显著提升施工质量，延长桥梁使用年限，确保交通安全。本文总结了相关技术要点，包括地基处理、路面压实、桥台搭板设置及排水系统设计，强调材料质量与施工技术的双重把控是提高工程安全性与耐久性的关键。未来，应持续关注沉降段施工技术的改进，结合实际经验不断优化施工方案，为道路桥梁工程的安全与可持续发展贡献力量。

[参考文献]

[1]张岚.道路桥梁沉降段路基路面施工技术[J].中国科技信息,2024(23):38-40.
[2]尚亮榆.市政道路桥梁工程沉降段路基路面的施工技术[J].汽车画刊,2024(11):86-88.
[3]李慧.道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点[J].低碳世界,2024,14(8):118-120.
[4]张伟.道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术与质量控制[J].散装水泥,2024(3):103-105.
[5]朱岩高,王玉德.交通工程道路桥梁沉降段路基路面施工技术研究[J].汽车周刊,2024(6):28-30.

作者简介：武玉凤，女，汉族，籍贯：甘肃省张掖市，高级工程师，学历：本科，研究方向：施工技术管理，单位：中国水利水电第十一工程局有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

土木工程施工中的节能绿色环保技术研究

李增志
广西中旭房地产开发集团有限公司，广西 南宁 530000

[摘要]土木工程在高楼大厦建设到基础设施发展等各个方面对现代社会产生了深远影响，为居民的日常生活提供了极大的便利。然而，这些建设活动也伴随着巨大的资源消耗和环境污染问题。传统的建设方法和技术虽然在经济效益上具有优势，但往往会对环境造成负面影响，表现为碳排放、污染水体和土地退化等问题。因此，探讨土木工程中的绿色环保技术显得尤为重要。文中从环保技术的现状、面临的挑战以及具体应用进行分析，旨在推动土木工程与社会的和谐发展，促进建设一个更加绿色、健康、可持续的未来。

[关键词]土木工程施工；节能技术；绿色环保技术
DOI：10.33142/ec.v8i4.16307　　中图分类号：TU745　　文献标识码：A

Research on Energy-saving, Green and Environmental Protection Technologies in Civil Engineering Construction

LI Zengzhi
Guangxi Zhongxu Real Estate Development Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: Civil engineering has had a profound impact on modern society in various aspects such as high-rise building construction and infrastructure development, providing great convenience for residents' daily lives. However, these construction activities are also accompanied by significant resource consumption and environmental pollution issues. Although traditional construction methods and technologies have economic advantages, they often have negative impacts on the environment, manifested as carbon emissions, water pollution, and land degradation. Therefore, exploring green and environmental protection technologies in civil engineering is particularly important. The article analyzes the current situation, challenges, and specific applications of environmental protection technology, aiming to promote the harmonious development of civil engineering and society, and promote the construction of a greener, healthier, and more sustainable future.

Keywords: civil engineering construction; energy-saving technology; green technology

引言

随着全球环境问题日益严峻，节能与环保已被确立为当前社会发展的关键议题。土木工程，作为基础设施建设的核心领域，在施工过程中所消耗的大量能源与浪费的资源，对环境的影响不容忽视。因此，推动节能与绿色环保技术的应用，已经成为提升行业可持续发展的必要举措，也推动了行业的创新与升级。通过优化资源配置、减少能源消耗、降低污染排放以及提升建筑整体性能等手段，绿色建筑技术为建筑行业的生态文明建设提供了强有力的技术支持。在建筑材料的选择、施工工艺的改进、节能设备的应用等方面，绿色施工技术不仅能有效减少建筑过程中的碳排放，还能够提高建筑的长期经济效益与环境效益。本文将重点分析土木工程施工中节能绿色环保技术的应用现状、面临的主要挑战以及未来的发展方向，旨在为行业从业者提供实际可行的技术参考，以推动绿色建筑理念在土木工程中的广泛实施，从而为生态环境保护与建设可持续社会作出贡献。

1 绿色节能环保技术应用在土木工程中的必要性

随着全球环境问题愈加严峻以及能源危机的加剧，绿色节能环保技术在土木工程中的应用，已显得愈加至关重要。土木工程，作为基础设施建设的核心领域，不仅涉及大量的能源消耗与资源使用，其施工过程中所带来的能源浪费与环境污染问题，也亟待解决。传统的施工方法，往往忽视了资源的合理利用与环境保护，从而导致了过度的能源消耗与废弃物排放，进而对生态环境及人类健康造成了严重影响。因此，推动绿色节能环保技术的应用，已成为实现可持续发展的必然选择。采用这些技术，不仅能显著降低施工过程中的能源消耗与污染排放，还能够提升建筑物的使用效率与环境友好度，从而减少长期运营成本。此外，绿色建筑材料的选用、节能施工方案的优化以及可再生能源技术的引入，不仅有助于推动资源的循环利用，减少对自然资源的依赖，还能够促进建筑行业向低碳、绿色、可持续的方向发展。对国家与社会而言，绿色节能环保技术的推广，不仅满足了现代社会对环境保护与能源节约的需求，也为经济发展提供了新的增长点，从而提升了建筑行业的整体竞争力，推动社会经济朝着更环保、更可持续的方向转型。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 绿色节能环保技术运用在土木工程施工中的现状

2.1 管理制度有待完善

目前，绿色节能环保技术在土木工程施工中的应用，面临着管理制度不完善的问题。尽管绿色建筑理念逐渐得到广泛认同，相关技术的推广也在不断推进，但在实际施工过程中，管理体系和制度建设仍显薄弱。许多施工单位，尚未建立起系统化的绿色施工管理框架，且缺乏对绿色节能环保技术的全面规划与有效实施。现有管理制度，多停留在技术的初步指导阶段，未能形成完整的执行与监督机制，从而导致绿色技术在应用过程中，往往呈现碎片化、零散化的局面。此外，相关政策法规的执行力度，尚未达到预期，行业内绿色施工的标准化要求，仍不健全，许多项目难以严格按照统一标准进行绿色施工，进一步加剧了资源浪费与环境负担。

2.2 节能环保意识不高

在土木工程施工中，节能环保意识的薄弱，已成为推动绿色技术应用的主要障碍。尽管国家政策日益加大对节能环保的重视，但部分施工企业与从业人员，对绿色建筑技术的理解，仍停留在表面，且缺乏深入认知与实际应用的动力。面对节能环保技术的选择，许多施工方，常常优先考虑短期的经济效益，而忽视了长期的环境保护与可持续发展需求[1]。由于对节能环保技术重要性认识不够，一些项目在施工过程中，未能充分投入环保技术，甚至出现了对绿色施工材料与设备使用不充分，或随意替代的情况。此外，部分工程师与施工人员，在节能环保技术操作与应用上，缺乏必要的培训，导致这些技术在实际施工中的效果，往往大打折扣。

2.3 缺乏科学系统的管理措施

土木工程施工过程中，建筑原材料的消耗量巨大，这要求施工企业制定科学且系统的施工管理与控制措施，以合理安排各类施工资源，提升资源的利用率，从源头上减少资源浪费。然而，根据大量实践经验显示，许多土木工程项目在施工中缺乏完善的质量管理制度和有效的监督控制措施，导致建筑原材料的浪费现象频繁发生，且长期未能得到根本性解决。许多管理措施和制度往往难以有效落实，导致资源无法得到充分利用，工作人员也未能充分发挥其职能。此外，施工过程中存在的安全隐患往往未能及时发现和解决，这大大增加了土木工程施工的风险。

3 土木工程中节能环保技术的具体应用

3.1 使用高性能环保材料

在土木工程中，高性能环保材料的应用，作为一项关键的节能环保技术，具有显著的经济、社会和环境效益。这些材料，不仅对建筑物的节能与环保性能至关重要，还能有效降低资源消耗、减少废弃物排放，并提升建筑的综合性能。高性能环保材料，涵盖了多种类型，包括高效保温隔热材料、环保型混凝土、低碳钢材以及可再生资源材料等。以高效保温隔热材料为例，采用这些材料，能够显著减少建筑能量的流失，特别是在极端气候条件下，热工性能的改善得以实现，供暖和空调系统的能耗降低，碳排放得以减少，同时室内居住舒适度也得到了提升。此外，环保型混凝土，采用了低能耗、低排放的生产工艺，减少了传统水泥生产过程中的二氧化碳排放，同时具备了更长的使用寿命，降低了建筑物的维护成本及其环境影响。低碳钢材与再生材料的使用，不仅提升了建筑结构的强度与稳定性，还能在拆除时进行回收再利用，推动资源的循环利用，从而最大限度地减少了废弃物的产生。高性能环保材料的应用，推动了土木工程项目的绿色转型，符合全球可持续发展的趋势，成为提升建筑整体环境性能并降低资源消耗的有效途径。

3.2 优化土木工程施工方案

优化土木工程施工方案，在节能环保技术的应用中，发挥着至关重要的作用。这一过程，不仅有助于提升工程建设效率，还能在确保质量与安全的基础上，显著降低资源消耗与环境影响。在土木工程施工中，优化施工方案涉及多个层面的综合调整与规划，涵盖了各个环节的系统性改进。在工程设计阶段，建筑结构的合理性与资源利用的最大化，尤为需要重视，尤其在材料选择上，应优先考虑低能耗、高性能、可循环利用的环保材料，如新型节能墙体、保温材料等，从源头上减少建筑使用过程中的能耗。在施工阶段，施工工艺，同样需要兼顾节能与环保的要求。例如，选用高效能施工设备和机械，能不仅提高施工效率，还能有效降低能耗与污染物排放[2]。此外，施工进度的合理安排与施工活动的组织，也能有效缩短施工周期，减少因施工时间过长带来的能源浪费与噪音污染。资源管理在施工中的优化，亦至关重要，应采取有效措施，减少土方开挖、运输及堆放过程中不必要的距离与能量消耗。与此同时，先进的数字化技术，如建筑信息模型（BIM）技术，能够通过虚拟仿真对施工过程进行精确规划，预判潜在问题，避免资源浪费与环境负担。例如，BIM 技术可以提前识别施工中可能出现的物流瓶颈与材料浪费问题，从而实现现场资源调配与施工方案的进一步优化。

3.3 提高节能环保意识

提高节能环保意识，在土木工程项目中的应用，至关重要。它不仅涉及各方的协同合作，也关系到建筑行业的可持续发展。随着环保政策日益严格，公众环保意识逐步提升，节能环保，已成为土木工程领域不可忽视的核心问题。在项目实施的不同阶段，从设计到施工，再到后期运营维护，相关人员的节能环保意识，直接影响着环保措施的效果。设计阶段，作为落实节能环保理念的起点，设计师应充分考虑建筑的能效，如合理的建筑朝向、优质的保温隔热设计、节能设备选用等，这些决策将直接决定建筑

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

物后期的能源表现。在施工阶段，节能环保措施的有效实施，需要全体施工人员的参与与支持，包括合理利用能源、选择环保材料、优化废弃物处理等。施工人员对节能环保技术的认知提升、环保材料的使用推广、节能施工设备的引进以及施工工艺的优化，都是实现节能目标的重要途径。此外，项目管理者应将节能环保，纳入日常管理规范，通过建立有效的监管体系，确保各方落实环保目标。在项目运营阶段，节能环保意识，同样不可忽视。建筑投入使用后，运营管理人员应定期检查和维护节能设施，确保系统高效运行，并根据实际情况进行必要的节能改进。

3.4 构建完善的节能环保机制

构建一个完善的节能环保机制，是确保土木工程项目长期高效运作并符合绿色发展要求的关键。这样的机制，不仅需要制定相关政策和法规，还要涵盖技术手段、管理流程以及人员的持续投入。政府及行业主管部门，应强化对节能环保技术的立法及政策支持，通过发布具体的法律法规和标准，明确规定各类土木工程项目在施工和运营中的节能环保要求。例如，建筑能效标准、材料使用规范以及施工过程中的污染控制措施等，都需要有明确的政策导向。与此同时，行业内节能环保技术的研究与技术交流平台的建设，也是推动机制完善的核心组成部分。通过技术合作与创新，施工工艺与节能材料的应用，得以不断提升，从而实现技术进步与环保目标的有机结合。在执行土木工程项目时，企业，必须建立健全的节能环保管理制度，确保项目从启动到竣工交付的每一环节，都严格执行环保措施。施工过程中，企业应采取有效的能源管理及物料回收机制，以尽可能减少能源消耗和废弃物排放[3]。同时，施工人员的培训，也是机制建设的重要环节。通过定期开展节能环保教育，工程师、施工人员以及管理者的环保意识，得以提升，确保他们能够理解并践行相关政策与技术要求。项目竣工后，长期的监管与反馈机制，应当设立，以确保建筑在使用过程中的节能效果与环境影响，得到有效监控与持续改进。

3.5 充分利用太阳能技术

在土木工程中，太阳能技术的广泛应用，已成为推动绿色建筑及可持续发展的关键方向之一。作为一种清洁且可再生的能源，太阳能，具备显著的环境与经济优势。在土木工程项目中，太阳能技术，能够通过多种方式有效地融入建筑设计与施工阶段，减少传统能源消耗，降低碳排放，助力节能环保目标的实现。通过利用太阳能光伏发电系统，建筑物屋顶或外立面等位置，安装太阳能电池板，太阳能可以被转化为电能供建筑使用，尤其适合需要大量电力的公共建筑或大型住宅区。该系统，不仅能减少建筑物的能源消耗，还能降低对电网的依赖，提高建筑的自给能力。与此同时，太阳能热水系统，也为建筑提供了高效的热水供应方式，替代了传统的电热水器或燃气热水器，从而进一步降低能源消耗与运营成本。除了这些应用，太阳能技术，还可以与建筑智能化系统相结合，通过智能控制系统，优化太阳能的利用效率，确保能源得到最大化的使用。例如，光伏电池与建筑的热能管理系统相结合，电力与热能的供应，可以根据实时天气情况与建筑的能源需求，智能调节。此外，太阳能遮阳系统也是提升建筑能效的有效方式。它不仅能将太阳能转化为电力或热能，还能有效调节建筑的采光与温度，减少空调和照明系统的负荷，进一步降低能耗。

3.6 强化应用门窗节能环保施工技术

在土木工程中，门窗节能环保施工技术，对提高建筑能效和减少能源消耗，具有至关重要的作用。作为建筑外立面的关键组成部分，门窗，直接影响建筑的热传导、通风效果以及光照条件。合理地设计与施工，能够显著提升建筑的节能表现。高性能节能门窗材料的选择，是实现节能环保的关键。例如，采用双层或三层玻璃窗，热量的传导，能够大幅度减少，其保温性能，远优于传统单层玻璃窗，进而有效减少冬季取暖和夏季空调的能源消耗。采用低辐射玻璃或热反射玻璃的涂层技术，外部热量的进入，能有效阻挡，进一步降低空调负荷，从而节约能源。此外，门窗框架材料的性能差异，同样关键，铝合金、塑钢及木材等材料，在保温性和密封性上的差异，直接影响门窗的节能效果。选择优质隔热材料，以及采用精良的密封技术，门窗的气密性，能够有效提高，防止热量通过缝隙泄漏，从而优化建筑的热效率[4]。在施工阶段，先进的技术，确保门窗的精确安装，是提高节能效果的重要措施。门窗与建筑墙体的紧密连接，能够有效防止漏气和热桥现象的发生，从而提升门窗的节能性能，延长其使用寿命。

3.7 积极落实墙体绿色施工技术

在土木工程中，墙体绿色施工技术的有效应用，对提高建筑节能与环保性能，起着至关重要的作用。作为建筑结构的核心部分，墙体，不仅负责承重与隔离功能，还直接影响建筑的热传导、空气流通、防火及隔音等多个方面。因此，适当的绿色施工技术的选择，对提高墙体的节能性能，至关重要。墙体材料的绿色化，是提升节能效果的基础。近年来，新型环保建筑材料的采用，如高效隔热保温材料、透气性材料及低碳、可再生资源材料，逐渐成为墙体建设中的主要趋势。高效隔热材料，能够有效防止温差带来的热量流失，减轻空调与取暖系统的负担，从而降低能源消耗；而透气性好的墙体材料，则有助于保持室内空气质量，维持室内空气流通与湿度平衡。在施工过程中，绿色施工技术，强调资源的合理利用及废弃物的回收再利用。通过减少对传统建筑材料的过度依赖，合理使用经过处理的废旧建筑材料，如再生混凝土、砖瓦等，不仅降低了材料成本，还减少了资源浪费，符合可持续发展的要求。墙体的设计与施工工艺，同样注重环保与节能，轻质墙体

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

结构的采用，可有效降低建筑自重，减少能耗，同时提高施工效率。

4 结语

在土木工程领域，节能与绿色环保技术，在提高资源利用效率、减少环境污染以及实现可持续发展方面，发挥着至关重要的作用。随着全球环保意识的不断提升，节能与绿色施工技术，正逐渐成为建筑行业未来发展的核心趋势。尽管在实际应用过程中，仍面临一些挑战，但通过技术创新、政策支持以及行业间的协作，土木工程领域的绿色环保技术，有望得到广泛推广并深入应用。最终，只有在全社会共同努力的基础上，生态保护与城市发展的和谐共存，才能实现，创造出更加绿色、节能且环保的建筑环境，从而为未来社会的可持续发展，打下坚实基础。

[参考文献]

[1]叶活力.土木工程施工中节能绿色环保技术探析[J].中华建设,2023,11(8):148-151.
[2]刘庆元.论土木工程施工中的节能绿色环保技术[J].智慧中国,2024,12(6):82-83.
[3]张飞.土木工程施工中节能绿色环保技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023,12(32):193-195.
[4]宋国伟.节能环保技术在土木工程施工中的应用[J].居舍,2024,11(6):52-55.

作者简介：李增志（1984.10—），毕业院校：广西大学，土木建筑工程学院，所学专业，土木工程专业，当前就职单位:广西中旭房地产开发集团有限公司,职务:副经理，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高原寒冷环境下大体积混凝土水化热控制技术研究

王玉宝
新疆交通建设集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]大体积混凝土因其良好的承载能力及耐久性能，在桥梁、隧道、大坝和高层建筑等基础设施工程中得到广泛应用。然而，在水泥水化过程中，大量热量释放，使混凝土内部温度迅速升高，而外部受环境影响降温较快，导致显著的温度梯度。这种温差易引发温度应力积累，导致裂缝产生，从而影响结构的安全性及耐久性。在高原寒冷地区，受低温、强风、大气稀薄及昼夜温差剧烈变化等因素影响，混凝土表层散热速率大幅提升，温差加剧，裂缝风险进一步增加。文章针对高原寒冷环境下混凝土水化热的特性，系统分析温度分布规律及影响因素，探索适宜的温控技术，以期为相关工程提供理论支撑及技术借鉴。

[关键词]高原寒冷；大体积混凝土；水化热；控制技术；施工工艺；保温措施
DOI：10.33142/ec.v8i4.16301　　中图分类号：U445.5　　文献标识码：A

Research on Control Technology of Hydration Heat of Large Volume Concrete in Cold Plateau Environment

WANG Yubao
Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Large volume concrete has been widely used in infrastructure projects such as bridges, tunnels, dams, and high-rise buildings due to its excellent bearing capacity and durability. However, during the hydration process of cement, a large amount of heat is released, causing the internal temperature of the concrete to rapidly rise, while the external environment is affected and cools down quickly, resulting in a significant temperature gradient. This temperature difference can easily lead to the accumulation of temperature stress, resulting in the formation of cracks, thereby affecting the safety and durability of the structure. In cold regions of the plateau, the heat dissipation rate of the concrete surface is significantly increased due to factors such as low temperature, strong winds, thin atmosphere, and drastic changes in temperature difference between day and night. The temperature difference intensifies, and the risk of cracks further increases. The article focuses on the characteristics of concrete hydration heat in cold high-altitude environments, systematically analyzes the temperature distribution law and influencing factors, explores suitable temperature control technologies, in order to provide theoretical support and technical reference for related projects.

Keywords: plateau cold; large volume concrete; hydration heat; control technology; construction technology; insulation measures

引言

在高原寒冷地区，大体积混凝土水化热的释放及传导规律与常规环境存在较大差异。冬季气温低且昼夜温差较大，强风作用显著，混凝土表层热量易快速散失，而内部仍维持较高温度，形成较大的温度梯度，进而导致温度应力积累，使裂缝风险显著提升。此外，受高原低气压环境影响，空气含氧量降低，使水泥水化反应速率减缓，混凝土性能亦受到一定影响。近年来，随着混凝土材料及施工技术的不断发展，低热水泥、矿物掺合料、智能温控系统等新技术的应用，为大体积混凝土水化热调控提供了新的思路。针对极端气候条件下的混凝土施工，工程技术人员逐步加深对水化热控制机理的认识，并结合实践优化控制方案，以提升混凝土结构的适应性及耐久性。

1 高原寒冷环境下混凝土水化热的特点

1.1 高原寒冷地区环境特征

由于高原地区的地理位置特殊，长期低温的环境特征决定了昼夜温差及季节温差较为显著，使混凝土在初期养护阶段极易受到不利影响，水化反应速率随之降低，导致早期强度增长缓慢。与此同时，空气稀薄导致热容量较低，混凝土内部释放的水化热难以及时扩散，从而造成局部温度迅速上升。此外，由于太阳辐射角度较小且地表反射率分布不均，混凝土表面温度变化剧烈，使得温控难度增加，施工过程中面临更高的技术要求。低温环境不仅延长了混凝土施工及养护周期，而且对防冻及保温措施的科学性提出了更严格的要求[1]。为了保证混凝土在寒冷环境下能够正常水化，提高早期强度发展速度，施工前需制定合理的温控方案，包括选用高效保温材料、采用外部加热措施以及优化水泥配合比等，使混凝土在低温环境下能够保持稳定的水化速率，从而确保结构的耐久性及安全性符合工程标准。

1.2 大体积混凝土工程特点

大体积混凝土工程的施工过程中，由于水泥用量显著增加，水化反应释放的大量热量在内部迅速积聚，而外部散热

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

能力有限，导致温度迅速上升，形成较高的温度峰值。混凝土不同区域的温度变化速率存在差异，使温度梯度不断增大，热应力由此逐渐积累。当温度变化过快且混凝土抗裂能力不足时，结构内部及表面容易产生裂缝，进而影响工程的耐久性及安全性。为降低温度梯度过大带来的不利影响，施工过程中需综合考虑水化热的传导特性以及混凝土内部温度的分布情况，合理制定控温措施，例如控制单层浇筑厚度、优化施工间歇时间，并布置冷却管道，以降低温度峰值并缓解温差扩大的趋势[2]。同时，在混凝土浇筑及养护阶段，必须加强温度监测，通过合理布设测温设备，精准掌握混凝土内部及表面的温度变化情况。根据实时监测数据，需适时调整冷却方案，如增大冷却水流量或采用冰水循环降温，以降低温度不均匀性，使混凝土内部温度更加均衡，确保水化反应稳定进行，避免因温度应力过大而影响整体结构质量。

2 水化热控制的理论基础与现状分析

2.1 水化热生成的化学与物理机制

混凝土的水化过程中，水泥颗粒与水发生化学反应，生成水化产物的同时释放大量热量，使混凝土内部温度不断上升。水泥矿物的溶解、分解及重组过程中所释放的化学内聚能，是引起温度升高的主要因素。此外，水化热的扩散并非均匀进行，而是受热传导、对流及辐射等物理机制的共同影响，使混凝土内部温度场呈现复杂的分布状态。温度升高不仅会加快水化反应进程，还会引发热量释放的正反馈效应，使初期热量积聚更加集中，导致局部温差进一步增大，温度应力随之增加。相关研究表明，水化热释放的化学机制与热量传递的物理过程相互作用，共同决定了混凝土内部温度的变化趋势，并对早期强度增长及后期耐久性产生深远影响。

2.2 传统水化热控制技术综述

针对水化热对混凝土施工质量的不利影响，在材料选择方面，通过掺入粉煤灰、矿渣等矿物掺合料替代部分水泥，既能够降低水化热释放总量，又可延缓混凝土内部温升速率，使温度变化更加平稳。在外加剂应用方面，缓凝剂的合理使用可有效降低水化反应的速率，使混凝土内部热量释放趋于均衡，而减水剂的掺入则可优化混凝土的流动性，在保证施工质量的同时减少水泥用量，从而间接减少水化热积聚[3]。此外，在混凝土浇筑完成后，采取外部覆盖保温材料或进行蒸汽养护，有助于减少外界低温对混凝土表面的影响，避免因温度骤降引起的快速冷却现象，从而降低温度梯度导致的应力裂缝风险。然而，在高原寒冷环境下应用这些传统控温技术于大体积混凝土工程时，仍然面临诸多技术挑战。极端低温不仅使混凝土水化速率显著降低，导致施工周期被大幅延长，同时，寒冷空气亦会加速混凝土表面的热量散失，使得内外温差控制难度进一步增加。在此类特殊环境条件下，传统控温技术的精准度及适应性受到一定制约，难以完全满足混凝土施工质量控制的严苛要求。

3 高原寒冷环境下水化热特性及影响因素分析

3.1 温度场分布与热传导机理

在高原寒冷地区，混凝土内部温度场展现出明显的不均匀性，表现为中心区域的温度较高，而边缘区域则温度迅速下降。水化热在混凝土内部的积累是这种温度分布的主要原因，而其扩散过程则涉及固体内的热传导、界面处的对流以及微弱的辐射效应。通过建立传热方程及对流边界条件的数值模型，可以揭示水化热在混凝土内部的扩散规律，从而形成明显的温度梯度。外部环境的低温及强风等因素对混凝土边缘区域的热量散失起到了加剧作用，进一步导致内外温差的扩大，从而影响整个温度场的演化。

3.2 水泥水化反应与温度变化规律

水泥水化过程中，温度的变化与水泥的化学反应密切相关，不同水泥的品种及其配合比决定了水化反应速率及热量的释放，从而形成初期快速上升，之后逐渐降低的典型温度变化曲线。掺入矿渣、粉煤灰等矿物掺合料，会显著减缓水化反应的速率，延迟温度峰值的出现，并降低水化热的释放速率，从而减小混凝土内部的温度梯度。这些因素在水泥水化过程中至关重要，它们不仅反映了水泥的化学特性，也受到外部配合比调整的影响，成为研究水化热演化规律的重要依据。

3.3 关键影响因素探讨

多种因素共同作用，影响着混凝土水化热特性，包括材料性质、施工工艺及环境条件等。在材料方面，水泥种类、水灰比及掺合料比例直接决定水化反应的速率及热量释放量，是温度场形成的基础。施工工艺方面，浇筑方式、施工周期以及分层布置等都会影响水化热的积累与扩散路径，从而影响温度场的均匀性与温度梯度的大小。环境条件，特别是外界温度、风速及湿度等因素，对混凝土表面热量散失及内部热量积累起着决定性作用。尤其在高原寒冷环境中，低温与强风共同作用，使混凝土边缘区的热量快速流失，进一步加大了内外温差。

3.4 实验与模拟研究方法

结合实验测试与数值模拟的方法，能够更系统地揭示混凝土水化热特性及温度场分布。通过在混凝土内部不同位置布设温度传感器，实时收集的数据直接反映了材料特性、施工工艺与环境条件对温度变化的影响。此外，采用有限元法或有限差分法，建立的数学模型能够准确模拟温度梯度、热流分布及应力状态。这些实验与模拟方法相结合，使得不同影响因素的作用机制得以量化，通过对比分析实验结果与模拟数据，进一步深入探讨水化热释放规律及其在混凝土内部的扩散行为。为高原寒冷环境下混凝土温度场的形成机制提供了可靠的理论依据。

4 高原寒冷环境下大体积混凝土水化热控制技术研究

4.1 材料选择与配合比优化

在高原寒冷环境下，大体积混凝土水化热的控制核心

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在于材料的选择与配合比的合理优化。低热水泥的使用有效地降低了水化热的释放，从源头减少了混凝土的温升，延缓了温度峰值的到来。同时，掺入适量的矿物掺合料（如粉煤灰、矿渣）能够优化水化反应的进程，改善温升曲线，并增强混凝土的抗裂性。此外，采用骨料预冷技术能显著降低混凝土的初始温度，减缓水化热的积累效应。对冰屑的适量掺入，在水泥水化过程中，通过冰的融化吸热，能平缓温度的上升，有效控制混凝土内部的温度变化。

4.2 低温环境下的施工工艺优化

在高原寒冷环境中，通过合理的施工工艺，可以有效控制混凝土的温度梯度，避免因温差引发的热应力裂缝。分时段浇筑的策略将大体积混凝土分为多个施工批次，预留足够的散热时间，确保每批次浇筑后的水化热得到充分释放，从而减缓整体温升过程。采用间歇浇筑方式，有助于平衡混凝土内部的温度变化，减少热应力集中[4]。在此基础上，外加剂的协同应用能够进一步改善混凝土的温控效果。例如，缓凝剂能够延缓水泥水化反应的速率，使温升过程更加均匀；减水剂则优化了混凝土的流动性，合理控制了水泥用量，从而间接降低了水化热的释放。在高原地区特殊的温差条件下，这些施工工艺的优化能够有效降低混凝土内部的温度梯度，提升整体结构的耐久性与安全性。

4.3 保温与隔热措施设计

对于高原寒冷环境下的大体积混凝土，保温与隔热措施至关重要。在选择保温材料时，高分子保温材料和发泡混凝土板等高效保温材料能够有效减少热量损失，降低混凝土表面的冷却速率。在混凝土浇筑后，应立即覆盖保温层，并确保保温材料与混凝土表面紧密结合，以最大程度减少外界低温对混凝土内部温场的干扰。通过实时监测混凝土内部及表面温度的变化，动态调整保温层的厚度，可以更精确地调控温度。根据不同施工阶段的需求，采用分层设计的保温体系，能够适应温度变化，确保混凝土结构稳定。这些保温与隔热措施的系统应用使混凝土在寒冷环境中的温控更加精细，避免了由于外界温度波动导致的裂缝问题，保证了工程质量和安全性。

4.4 分层分块浇筑与温度梯度控制

合理划分浇筑层厚度是有效控制水化热积聚及温度梯度的有效手段，尤其是在高原寒冷环境下。通过分层浇筑，大体积混凝土的温度上升过程更加平稳，能够确保每层厚度依据水化热传导模型进行计算，从而合理释放内部热量，避免局部温度过高。此外，通过合理安排浇筑顺序，能够降低不同层次间的温度梯度，减少温度应力的集中。层间温度应力的分析是确保混凝土质量的关键，预留适当的散热时间以及结合实时温度监测数据评估层间温差，能够有效防止因温差过大引发热裂缝的形成。在必要情况下，可采用补水养护或增加保温措施，以降低层间温差效应，促进混凝土内部温度场的均匀化，从而增强结构的稳定性与耐久性。

4.5 混凝土养生及温度监控

启动循环冷却水时，当某一层的冷却水管被混凝土完全覆盖至规定高度后，应立即启动该区域的冷却水管供水，以尽量减少新旧混凝土之间的温差，从而防止因温差过大而引起混凝土开裂。在运行过程中，必须实时监控冷却水的流量，确保进出口水温的温差控制在6℃以内；若检测到温差超过6℃，应立即增大进水流量，并选用冰水进行循环降温处理。

混凝土养生方面，承台浇注完成后应立即对保温大棚进行全面、严密地封闭，同时及时平整混凝土表面，根据现场实际情况采用足够数量的热风幕机进行大棚升温。混凝土在灌注过程中及终凝前，利用大棚内封闭条件并结合现场温度和湿度，启动蒸汽养护系统以实现有效的保湿保温；在混凝土终凝后，则根据棚内温度要求继续进行蒸汽养护，并利用部分冷切水管出水口流出的热水对混凝土表面进行洒水，保持表面湿润，同时对混凝土试块进行同步养生处理。

温度监控过程中，养生期间必须做好全面的温度检测工作：在承台周围悬挂3至4台测温仪用于监测空气温度，在承台混凝土表面设置2台测温仪实时监控表面温度，同时利用埋设式测温仪检测混凝土内部温度，并在进、出水管处各放置1台测温仪持续监控进出水温。混凝土浇注后，每4小时进行一次温度测量，连续监测不少于15天，并由专人跟踪记录养生温度，详细记录混凝土温度上升的峰值及达到目标温度所需的时间，依据监测结果及时调整冷却水流量和供水时间，确保混凝土内外温差始终控制在25℃以内。

5 结语

在高原寒冷环境下，如何有效控制大体积混凝土水化热的释放，是确保结构安全性及施工质量的核心问题。本文围绕水化热的化学反应及传热特性展开分析，并结合高原地区气候特征，探讨温度场分布规律及关键影响因素，进一步提出针对性的温控策略。优化水泥种类及配合比，可有效降低混凝土初始温度，延缓水化热释放速率；通过骨料预冷及冰屑掺入技术，可在混凝土水化过程中调节温升幅度；采用分批浇筑、间歇施工及外加剂调控策略，可减小水化热峰值，优化温度场分布；合理应用保温隔热措施，有助于降低温度梯度，减少温度应力影响；结合实时监测系统，利用冷却水循环及蒸汽养护技术，可实现精准控温，提高混凝土耐久性。

[参考文献]

[1]向前.桥梁工程大体积混凝土水化热控制施工技术应用研究[J].黑龙江交通科技,2015,38(4):149-150.
[2]王建彬.桥梁工程大体积混凝土水化热控制施工技术研究[J].交通建设与管理,2014(20):114-116.
[3]张进红,金宝华,年永林,等.基础底板超大体积混凝土水化热控制技术[J].建筑技术,2018,49(7):706-709.
[4]魏冠华,李健.大体积混凝土水化热研究及仿真分析[J].四川建筑,2019,39(2):309-314.

作者简介：王玉宝（1994.9—），毕业院校：兰州理工大学，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：新疆交通建设集团股份有限公司，职称级别：中级，单位职务：项目副总工。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

公共建筑室内装饰精细化施工技术探究

仲 斌
重庆北新融建建设工程有限公司，重庆 404700

[摘要]公共建筑室内装饰精细化施工技术通过系统性优化设计流程、工艺标准与管理体系，突破传统施工的精度偏差与资源低效瓶颈。其以 BIM 协同设计实现装饰与机电零冲突预演，构建动态材料适配机制融合智能装备与工艺创新，借助数字化建模攻克异形节点处理难题，显著提升空间美学还原度与运维效能。研究形成“设计—施工—运维”全链条技术框架，为行业向标准化、低碳化转型提供实践范式，驱动建筑品质与城市空间价值协同升级。

[关键词]公共建筑；室内装饰；精细化施工；工艺控制；可持续性
DOI：10.33142/ec.v8i4.16292　　中图分类号：TU767　　文献标识码：A

Exploration on Fine Construction Technology for Interior Decoration of Public Buildings

ZHONG Bin
Chongqing Beixin Rongjian Construction Engineering Co., Ltd., Chongqing, 404700, China

Abstract: The fine construction technology for interior decoration of public buildings breaks through the bottleneck of precision deviation and resource inefficiency in traditional construction by systematically optimizing the design process, process standards, and management system. It uses BIM collaborative design to achieve zero conflict rehearsal between decoration and electromechanical, constructs a dynamic material adaptation mechanism that integrates intelligent equipment and process innovation, and uses digital modeling to overcome the problem of handling irregular nodes, significantly improving the restoration of spatial aesthetics and operational efficiency. Research has formed a full chain technical framework of "design construction operation and maintenance", providing a practical paradigm for the industry to transform towards standardization and low-carbon, and driving the coordinated upgrading of building quality and urban spatial value.

Keywords: public buildings; interior decoration; refined construction; process control; sustainability

引言

公共建筑作为城市功能与空间美学表达的核心载体，其室内装饰质量不仅关乎使用者的人体工程学体验，更是城市文化软实力与可持续发展理念的物化呈现。当前，建筑行业正处于从规模扩张向品质升级的关键转型期，传统粗放式施工模式因标准化缺失、协同效率低下及资源损耗严重等问题，已难以适应现代建筑对功能集成化、艺术个性化与绿色低碳化的复合需求。精细化施工技术通过重构“设计—施工—运维”全链条技术逻辑，以多专业协同设计机制为起点，依托 BIM 技术构建装饰界面、机电系统与结构主体的三维协同模型，实现毫米级误差预控与零冲突空间布局；以工艺标准化为核心，通过智能装备介入（如激光扫描逆向建模、机器人辅助安装）与工艺工法创新（如模块化预制、柔性收口技术），突破异形曲面施工、动态荷载适配等技术瓶颈；以数字化管理平台为支撑，集成物料追踪、进度模拟与质量溯源功能，形成资源动态调配与风险实时预警的管控闭环。该技术通过科学量化取代经验判断，将传统施工中离散的操作单元转化为可预测、可复制的标准化流程，从而在复杂施工场景下实现效率与品质的协同提升。然而，技术落地仍受限于跨专业协作壁垒、技术工人技能断层及产业链协同度不足等现实制约。本文通过解构精细化施工的技术内核与实践框架，提出“设计赋能、工艺革新、管理迭代”三位一体的实施路径，为破解装饰工程低效高耗困局、推动行业向智能化与零碳化转型提供系统性解决方案。

1 公共建筑室内装饰精细化施工技术的优势

1.1 提高装修效果的精度和质量

精细化施工技术通过数字化设计与高精度工艺的融合，显著提升了装饰工程的空间适配性与视觉完成度。BIM 技术的应用可实现复杂造型的精准建模与施工模拟，提前发现设计冲突并优化节点构造。激光定位与三维扫描技术确保材料切割与安装误差控制在毫米级，例如曲面墙面石材拼缝的平滑过渡与无缝对接。标准化施工流程的严格执行，避免了传统人工操作导致的尺寸偏差，使装饰面层呈现出高度统一的质感与美学效果。

1.2 节省时间和成本

精细化施工通过全流程协同管理，有效压缩工期并降低资源消耗。装配式装饰系统的应用，将现场作业转为工厂预制，大幅减少现场加工环节与建筑垃圾产生。数字化管理平台整合设计、采购、施工数据，实现材料用量的精

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

准计算与工序的智能排程，避免了传统施工中常见的停工待料与返工浪费[1]。工艺标准化与模块化施工进一步提升了作业效率，使复杂工程得以在预定周期内高质量完成。

1.3 提高建筑价值和吸引力

精细化施工技术通过多维技术融合，系统性提升公共建筑的功能适配性、美学表现力与文化承载价值。功能维度上，声学装饰一体化设计精准调控声场反射路径，结合智能环境系统动态平衡温湿度与能耗，优化人体工程学体验；美学维度通过参数化算法生成异形曲面构造，结合光学镀膜技术赋予材料动态光影特性，使空间随环境变化呈现艺术化叙事。生态维度集成光伏幕墙与自修复涂料，实现可持续性能与装饰美学的零损耗融合。文化表达层面，数字转译技术将地域符号转化为可交互的光影界面，使建筑成为城市文化记忆的动态载体，构建“功能—美学—生态—文化”四位一体的复合价值体系。

2 公共建筑室内装饰精细化施工技术要点

2.1 前期设计与方案优化

前期设计与方案优化是精细化施工的核心前置环节，需通过系统性技术框架整合艺术表达、功能逻辑与工程实施三大维度，构建全专业协同的技术底座。设计阶段依托跨学科团队协作机制（建筑、结构、机电、装饰），运用BIM技术构建多专业集成化数字模型，在虚拟环境中实现管线综合排布、空间尺度验证与装饰界面预演，通过动态冲突检测机制自动识别设备管线与装饰构件的空间干涉问题，实时优化管线路径与构造节点参数，从源头规避施工冲突与返工风险。针对异形曲面、动态装置等高复杂度造型，引入参数化设计平台进行力学仿真与工艺解构，通过拓扑优化算法生成轻量化结构形态，结合材料性能模拟验证构件在荷载、温湿度等变量作用下的形变阈值，确保创意方案的可实施性。光环境模拟技术通过计算自然光入射角度、材质反射率与人工照明配光曲线的交互效应，优化空间照度分布与能耗效率，形成视觉舒适度与节能目标的双向平衡方案。运维逻辑前置化设计贯穿全过程，在装饰节点中预埋设备检修通道、管线更换空间及智能感知终端接口，构建可扩展的智慧运维底层架构，最终形成“美学创意—功能适配—工艺可控—运维可持续”四位一体的全生命周期设计范式，为施工阶段提供零缺陷技术保障。

2.2 材料选择与工艺控制

材料选型与工艺控制的协同优化是精细化施工的核心支撑，需以全生命周期价值为导向构建科学决策体系。在材料选型中，建立涵盖环保性、力学性能、施工适配度及运维成本的动态评估模型：环保维度聚焦低VOC释放、无重金属析出与可循环再生特性，优先选用光催化自洁涂料、再生骨料石膏板等绿色建材；力学性能通过抗冲击试验、耐候老化模拟等数字化手段验证，例如高人流区域选用碳纤维增强陶瓷复合板，其抗压强度达传统石材的1.8倍且厚度减少40%；施工适配性则需评估材料切割可塑性、界面兼容性及工艺容错率，如曲面装饰优先采用热弯纳米微晶石，通过温控成型技术实现零破损弯折。工艺控制以智能装备与标准化流程深度融合为路径：石材干挂采用背栓式锚固系统时，结合有限元分析优化背栓开孔深度与分布密度，同步使用激光测距仪校准安装平面度，消除局部应力集中导致的空鼓隐患；机器人抹灰技术通过点云扫描生成三维墙面模型，配合压力反馈系统动态调节砂浆喷涂厚度，将平整度误差控制在±1.5mm内；3D打印工艺突破传统模具限制，可直接生成仿生纹理浮雕或异形灯具基座，并通过拓扑优化算法减少材料用量20%~30%。全过程质量追溯依托物联网技术，采用RFID芯片记录材料生产批次、施工人员信息及质检数据，构建从原料采购到竣工验收的可视化数字孪生档案，为工艺改进与责任追溯提供数据基底，最终实现装饰工程从经验化操作向科学化赋能的范式跃迁。

2.3 节点施工与细部处理技术

节点与细部处理是精细化施工的工艺精髓，其核心在于通过系统性构造设计与高精度工艺实现功能可靠性与美学完整性的双重目标。在界面交接部位，需依据材料特性与空间动态荷载制定差异化方案：例如阴阳角收口采用预制GRG构件与弹性硅酮密封胶复合工艺，通过柔性过渡构造抵消热胀冷缩应力，同时采用抗紫外线改性胶体提升耐候性；吊顶与灯具接口处引入定制挤压铝型材，结合CNC精密加工与阳极氧化表面处理，实现毫米级拼缝控制与抗指纹污染性能。对于异形曲面或动态界面（如双曲面金属板幕墙），需通过三维激光扫描逆向建模生成数控冲孔路径，配合液压多点折弯技术实现曲率连续过渡，消除传统工艺的阶梯状接缝。隐蔽工程的处理需兼顾安全性与可维护性，例如管线穿墙部位采用硅酮防火胶与岩棉填充的复合封堵工艺，形成物理隔离与化学阻燃的双重防护；防水层施工则通过热熔焊接与自黏接技术交叉铺贴，确保搭接宽度与密封强度满足长期浸水环境下的性能需求[2]。此外，细部工艺需与全生命周期维护策略联动，例如在装饰面层预留可拆卸检修口或集成应力释放构造，为后期设备更换与维护提供便利，从而将精细化理念从施工阶段延伸至建筑运维全周期。

2.4 水电管线布设与隐蔽工程处理

水电管线布设与隐蔽工程处理是建筑功能安全与长期运维可靠性的核心保障，需通过系统性规划、高精度施工与全维度检测构建技术闭环。管线布设遵循“分层分区、横平竖直”原则，依托BIM技术构建三维空间模型，利用碰撞检测算法动态优化管线路径，例如在综合天花吊顶内协调风管、电缆桥架与喷淋管线的立体排布，预留标准化检修口与设备操作空间，确保后期维护的可达性。针对不同功能区域实施差异化工艺：电气线路敷设中，强弱电管

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

线采用金属屏蔽套管隔离，交叉部位增设抗干扰磁环并标注色标区分；给排水系统通过热熔焊接与卡压式连接技术保障接口气密性，弯头处采用流体力学模拟优化水流阻力，避免水锤效应。防水工程实施多层级复合防护策略，卫生间地面采用渗透结晶型防水涂料与自粘高分子卷材叠加铺贴，阴角部位预埋止水条并附加无纺布增强层，通过闭水试验与红外热成像检测验证无渗漏盲区。隐蔽工程验收需建立“检测—修复—复验”闭环机制，采用兆欧表检测绝缘电阻、气体检漏仪排查管道密封性、超声波探伤仪评估焊接质量，穿墙孔洞采用防火泥封堵与不锈钢套管加固，形成物理隔离与化学阻燃协同防护。全过程数据通过物联网传感标签与 BIM 模型动态关联，构建隐蔽工程数字孪生档案，实现从施工参数到运维周期的全链条可追溯性，为故障预警与快速维修提供数据基底，推动工程管理从被动应对向主动预防转型。

2.5 壁面、顶面及地面装饰施工技术

壁面、顶面及地面装饰施工需通过多维度精度控制与工艺创新，实现空间界面的功能适配与美学表达高度统一。墙面工程以基层处理为核心，采用环氧树脂基自流平砂浆配合激光三维扫描技术，消除基层空鼓与波浪形偏差，并涂刷界面增强剂提升饰面层附着力；饰面施工依托 BIM 辅助排版系统，对石材、木饰面等材料进行纹理对缝优化，转角部位采用数控水刀切割技术实现零误差拼接，同时引入应力释放槽设计抵消温湿度变形影响。顶面工程以智能调平龙骨系统为支撑，通过激光定位装置与电动微调模块完成大跨度空间的动态水平校准，集成模块化设计理念，将灯具、风口与检修口预制成标准化组件，例如采用蜂窝铝板嵌装磁吸轨道实现隐形线性灯带安装，同步解决照明功能与视觉干扰矛盾。地面铺装遵循“三维扫描—数字排版—精准铺贴”技术路径，通过点云建模生成石材纹理最优铺贴方案，采用干混砂浆薄贴工艺结合高频振动密实技术，将空鼓率降至 0.5%以下，伸缩缝内嵌弹性硅胶条并覆盖同色美缝剂，形成隐形抗裂体系。界面过渡区域通过材料性能与工艺协同创新实现无缝融合：墙面与吊顶交接处暗藏 LED 线性灯槽，利用光学漫反射弱化边界感；地面与墙面衔接采用同质岩板热弯倒角工艺，通过高温成型技术实现自然弧度延伸，规避传统收口条的视觉割裂。施工全程采用物联网质量追踪系统，实时记录环境温湿度、材料批次及工艺参数，构建从基层处理到饰面验收的全链条数字档案，为后期运维提供精准数据支撑，推动装饰工程向零缺陷目标迭代升级。

2.6 施工工艺标准化与施工样板引路

施工工艺标准化与样板引路是工程质量管控的基石，需通过技术固化、实体验证与动态优化构建全流程质量防线。工艺标准化文件需涵盖工具选型、操作参数及验收阈值：例如瓷砖切割强制采用水刀设备并限定进刀速度（≤0.8m/min）与冷却水流量（≥15L/min），以规避边缘崩裂；木饰面拼缝要求使用恒温胶枪（工作温度 80±5℃）控制施胶厚度（1.2～1.5mm），确保胶线均匀无溢流。施工样板引路制度实施“三阶验证”机制——首阶段制作材料工艺复合样板，验证基层处理（如环氧砂浆找平层）、界面剂涂刷（渗透深度≥3mm）与饰面铺贴（空鼓率＜0.3%）的适配性；次阶段构建功能节点样板（如消防栓暗门、伸缩缝装饰盖板），测试构造合理性（启闭寿命≥5 万次）及运维可达性（检修口开合角度≥120°）；终阶段实施 1∶1 全景模拟样板，通过 BIM 与实体空间交互验证设计效果与设备集成关系（如风口与灯带间距误差≤2mm）。关键工序推行首件联合验收机制，电梯厅装饰样板需经设计、施工、监理及运维四方签署确认书，明确石材色差 ΔE≤1.5、灯具光束角偏差≤3° 等量化指标，并植入 RFID 芯片记录施工参数与责任信息[3]。标准化工艺库与样板数据库通过区块链技术加密上链，实现技术经验的跨项目复用与实时迭代，从源头消解质量离散风险，为智能建造与零缺陷工程提供底层逻辑支撑。

3 精细化施工中的安全与环保措施

精细化施工中的安全与环保管理通过技术创新与系统性策略融合，构建覆盖全流程的可持续防护体系。安全管理以网格化责任体系为核心，将施工区域划分为多级管控单元，依托 UWB 超宽带定位技术实时追踪人员动态轨迹，并联动智能安全帽内置的生理传感器（如心率、血氧监测模块）及环境传感器（温湿度、有害气体检测），对高空作业、深基坑施工等高危场景实施主动预警与健康干预。高危作业区部署 AI 视觉识别系统，通过卷积神经网络算法实时捕捉未系安全绳、违规跨越警戒线等行为，同步联动声光报警装置与智能闸机，触发设备断电或区域封锁机制，形成“感知—分析—响应”闭环管理。环保措施贯穿材料选型、工艺革新与资源再生全链条，优先采用再生骨料混凝土、光催化自洁涂料等低碳建材，施工过程推行无尘化作业模式，例如水射流切割技术配合纳米级 HEPA 过滤系统抑制粉尘逸散，木工车间集成负压集尘装置实现 PM2.5 颗粒物动态捕获[4]。废弃物管理实施“分级分类—定向再生”策略，金属废料经磁选分拣后熔炼重铸为钢结构预埋件，石膏板边角料通过煅烧工艺转化为轻质隔墙板骨料，溶剂型涂料桶采用热解气化技术分解为无害残渣与可回收金属，实现资源利用率最大化。全流程数据通过区块链技术加密存证，构建安全环保行为的可追溯性网络，支持碳排放核算与绿色施工认证，推动建筑产业向零事故、零污染的生态化模式转型，为智慧工地与碳中和目标提供实践范式。

4 结语

精细化施工技术通过设计创新、工艺升级与管理优化，正在重塑公共建筑室内装饰的质量标准。未来，随着人工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

智能与物联网技术的深度融合，装饰工程将实现全生命周期的智能化管控，推动建筑行业向零缺陷、可持续方向持续发展。本文的系统性探讨为工程实践提供了可落地的技术路径，助力城市空间品质的全面提升。

[参考文献]

[1]彭然.公共建筑室内装饰精细化施工技术探讨[J].建材发展导向,2025,23(3):70-72.
[2]赵天虹.老年公寓室内空间的精细化设计[D].辽宁:沈阳建筑大学,2022.
[3]李高田.精细化设计对集中式长租公寓客源持有量的提升研究[D].北京:中国矿业大学,2021.
[4]李广杰,缪成森.公共建筑装饰装修工程质量控制策略研究[J].中国建筑装饰装修,2024(16):130-132.

作者简介：仲斌（1993.8—），毕业院校：兰州交通大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：重庆北新融建建设工程有限公司，职称级别：初级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

地域性文化在建筑设计中的实践研究

崔轶伦
九易庄宸科技(集团)股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]为了更好地适应城市建设与发展，设计人员在建筑设计中将地域文化元素作为重要依据，通过融入地域文化元素来丰富建筑的结构与外部形态，进而实现建筑风格与城市文化风格、地域文化氛围的有机统一。此文旨在研究地域性文化在建筑设计中的实践，梳理如何在建筑设计中有效融入地域性文化。从建筑设计的整体形态、建筑与周围环境的融合等方面入手，提出地域性文化在建筑设计中的应用方法，以提升建筑设计水平。文中探讨了地域性文化在建筑设计中的具体应用方法以作参考。

[关键词]地域性文化；建筑设计；实践
DOI：10.33142/ec.v8i4.16316　　中图分类号：TU247.4　　文献标识码：A

Research on the Practice of Regional Culture in Architectural Design

CUI Yilun
Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In order to better adapt to urban construction and development, designers take regional cultural elements as an important basis in architectural design, enrich the structure and external form of buildings by integrating regional cultural elements, and thus achieve the organic unity of architectural style, urban cultural style, and regional cultural atmosphere. This article aims to study the practice of regional culture in architectural design and to clarify how to effectively integrate regional culture into architectural design. Starting from the overall form of architectural design and the integration of architecture with the surrounding environment, this paper proposes the application methods of regional culture in architectural design to enhance the level of architectural design. The article explores the specific application methods of regional culture in architectural design as a reference.

Keywords: regional culture; architectural design; practice

引言

地域性文化指的是在特定地理环境与历史背景下，经过长期积淀所形成的具有独特地方特色的文化形态，涵盖风俗、语言、宗教、艺术等多个方面。作为文化的重要载体，建筑不仅承担日常生活功能，还反映了特定地域的历史、风貌与文化价值。在建筑设计中，地域性文化的融入不仅提升了建筑的独特性，还加强了人与环境的关系，使建筑能够在自然、历史与社会环境的交织中有机融合，形成具有地方特色的建筑风貌。然而，随着全球化与城市化进程的加快，现代建筑设计日趋标准化与国际化，地域性文化的传承与应用正面临着日益严峻的挑战。许多现代建筑项目中，地方特色与文化元素往往被忽视或简化，从而导致建筑呈现出同质化趋势，缺乏对当地文化与自然环境的尊重与传承。这不仅削弱了建筑的文化价值，也影响了人们对建筑的归属感与认同感。如何在现代建筑设计中有效融入地域性文化，已成为建筑设计领域亟待解决的关键问题。通过深入挖掘地域性文化与现代建筑技术的结合，不仅有助于文化的保护与传承，还能够提升建筑设计的独特性与可持续性。本研究旨在探讨地域性文化在建筑设计中的应用与实践，分析其面临的挑战与机遇，进而探索如何在现代建筑设计中实现地域性文化的有机融合，推动建筑领域的文化创新与可持续发展。

1 地域性文化有关概述

地域文化是指在特定地域经过长期历史发展逐渐形成的独特文化形态，这种文化形态与当地的自然环境、历史发展密切相关。由于不同地区的自然条件与人们的生存方式差异，各地的地域文化也展现出鲜明的地方特色。比如，在我国，各地区的民俗、传统文化、饮食习惯等，均是地域文化的组成部分。我国传统上划分为七大文化区，分别为秦文化区、三晋文化区、齐鲁文化区、吴越文化区、荆楚文化区、巴蜀文化区和岭南文化区。这些文化区不仅构成了中华民族文化的主干，还体现了地域性文化的独特性与多样性，展示了每个区域不可忽视的个性特征。建筑作为地域文化的重要载体，与文化之间有着相互依存且互相影响的关系。相较于抽象的文化，建筑是具体的、有形的，它承载着建筑元素、艺术与技术等精神文化内涵。在建筑设计过程中，建筑物的外在形态与整体风格通常会受到地域文化的深刻影响。设计师在创作建筑时，往往自然地将当地的文化元素融入其中，以此使建筑更好地融入周围环境，并且增强其文化内涵。在现代建筑设计中，设计

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

师能够从地域文化中提取灵感，将其元素巧妙地融合进建筑设计中，不仅提升建筑的文化价值，还促进了建筑与自然环境的和谐共生。

2 地域性文化在建筑设计中面临的挑战

2.1 地域性文化与现代化建筑设计的冲突

地域性文化与现代建筑设计之间的冲突，主要体现在现代建筑设计追求功能性、标准化与国际化的趋势上。这一趋势与地域文化中所强调的地方性、传统工艺以及历史传承的理念，形成了明显的对立。通常，现代建筑设计采用全球化的设计语言，结合高科技材料与先进技术，注重效率与经济性，而地域性文化则强调建筑与当地自然环境的和谐融合，及其对传统文化的传承与延续。二者在建筑的外观、形式、装饰乃至空间布局上，差异尤为显著。例如，在具有深厚历史文化背景的地区，传统建筑元素如屋顶造型、窗户设计、墙体装饰等，往往富有独特的地方特色[1]。然而，在许多现代建筑设计中，这些元素却常常被忽视或简化，取而代之的是更符合现代审美的标准化、功能化设计。这种设计取向，最终导致了地域文化的忽略，并造成了建筑风貌的同质化现象。

2.2 地域性文化的保护与创新之间的平衡

在建筑设计中，如何平衡地域性文化的保护与创新，构成了一个复杂且重要的挑战。核心问题所在，是设计师如何在尊重传统地域文化的基础上，将这些文化元素与现代建筑技术及设计理念有效融合。过于保守的设计，可能会导致地域文化的僵化，而过度创新，亦有可能使文化内涵的丧失。传统地域文化与当地的历史、风俗、气候等因素息息相关，具有独特的艺术价值与历史意义，因此，保护这些文化遗产，便是对历史与文化的深切尊重。然而，随着时代的变化，现代建筑设计愈加追求功能优化、技术革新及美学探索，这些需求常常与传统建筑形式、工艺及风格产生冲突。例如，传统建筑元素如雕刻、木结构等，可能无法满足现代建筑对功能性与结构安全的高标准。在过度创新的过程中，地域文化的深厚底蕴与特色，可能被削弱，甚至有消失的风险。

2.3 全球化与地域性文化的消解

全球化对地域性文化的影响，尤其在建筑设计领域，呈现出明显的消解趋势。随着全球化的加速，世界各地的建筑风格、材料、技术与设计理念日益融合，跨国企业与国际化建筑设计的广泛应用，使得多个地区的建筑风貌趋于相似，原本的地方特色与文化内涵，逐渐被抹去。在许多城市和地区，在追求现代化与国际化的过程中，西方或全球流行的建筑风格，常常被过度模仿，这导致了本土文化与传统建筑特色的逐步消退。建筑外观、功能与材料的标准化与同质化现象愈加严重，地方性文化特征，被逐渐边缘化，甚至完全忽视。这一现象，不仅影响了建筑的多样性，也削弱了地方文化的表达与传承。

2.4 城市化进程中的地域性文化遗失问题

随着城市化进程的加快，许多传统地域性文化正面临着严峻的消失威胁。在快速发展的城市中，为了追求经济效益与现代化生活方式，许多历史悠久的建筑与传统社区被拆迁或改造，导致原有的文化景观与建筑形式，逐渐消失。城市规划常常侧重于土地资源的高效利用与基础设施的集中建设，这一做法，往往忽视了对传统地域性文化元素的保护与传承[2]。新建的城市区域，普遍采用标准化、功能化的建筑设计，对本地历史、文化与风俗的尊重与融合，缺乏了应有的关注。原本承载地域文化与历史记忆的建筑与街区，正在逐渐消失，传统的生活方式与社区形态，也被现代化建筑所取代。

3 促进地域性文化在建筑设计中应用的策略与对策

3.1 建筑设计教育中地域性文化的培养

在建筑设计教育中，培养学生对地域性文化的理解，具有重要的意义。作为未来的建筑设计人才，学生应当认识到地域性文化在设计中的独特价值。这不仅仅是美学元素的融入，更是对本土文化、历史与建筑内涵的深入理解与传承。在教学过程中，地域性文化的核心理念应被纳入课程体系，教授技术与理论的同时，还应培养学生对地域历史、传统建筑风格、地方习俗及自然环境的敏感性和认知能力。通过案例分析、现场考察及文化研究等多种方式，学生能深入了解不同地域文化的内涵与演变，并被鼓励将这些文化特征融入设计中，创作出既具现代感又能体现地方特色的建筑作品。同时，学生应被引导思考如何在现代建筑设计中创新性地表达地域性文化，避免单纯模仿与复制，防止地域文化仅被当作表面装饰。批判性思维与创造力的培养，应帮助学生在设计实践中找到传统与现代的平衡点，推动地域性文化在建筑设计中实现传承与创新的融合。

3.2 政策与法规支持地域性文化保护与发展

政策与法规在地域性文化的保护与发展中，起着至关重要的作用。为了确保地域性文化能够在建筑设计中得到有效应用，相关的政策与法律框架，需由政府制定与完善，并提供必要的制度保障与资金支持。在政策层面，地域文化保护，必须被明确列为优先事项，并将其纳入城市规划与建筑设计的基本要求。这不仅有助于防止在追求现代化与全球化过程中，忽视本土文化的独特性，而且通过出台专项政策，建筑设计师、开发商与地方政府，在项目建设中，能够充分融入本地文化元素，从而避免建筑风格的同质化，保护与传承地方特色建筑。此外，相关法规应由政府制定，针对具有历史文化价值的地域建筑进行保护，建立严格的审批制度，确保新建项目能够尊重并延续地方文化遗产。在法律层面，关于文化遗产保护、历史建筑修缮与再利用等方面的规范性文件，通过出台，可以明确需要重点保护的建筑类型。对于不具备地域文化特色的建筑项

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

目，法规应加大处罚力度，防止其随意破坏或忽视文化价值。政策与法规，还应鼓励社会资本的参与，支持相关文化产业的发展[3]。比如，税收优惠、补贴或其他形式的激励，能促进地域文化保护与传承项目的资金筹集，确保这些文化资源能够得到充分关注与有效支持。

3.3 地域性文化与现代技术的融合

地域性文化与现代技术的融合，成为推动建筑设计中地域性文化应用的关键策略之一。随着现代建筑设计技术的不断发展，更多样化的设计工具和方法，已使建筑师能够在继承地域性文化的基础上，结合现代技术，实现创新与突破。然而，这种融合并非单纯的叠加，而是在尊重与传承地域性文化核心精神的基础上，灵活应用现代技术，创造出既符合当代需求又具有地方特色的建筑作品。现代建筑技术，为地域性文化元素的表现，提供了更加丰富的可能性。例如，数字化设计与建模技术，使复杂的传统建筑构件与工艺得以精准复原，并能够在大规模建筑项目中得以应用。这不仅展示了地域文化的独特风貌，还提升了建筑的精细度与功能性。随着现代材料技术的不断进步，地域文化元素的创新性应用，也变得更加可行。尽管传统木材、石材等材料富有地方特色，但它们往往受环境条件的限制，易受自然因素影响。通过使用新型环保材料，现代建筑技术，能够在保持地域文化表现力的同时，提高建筑的耐久性、能源效率及环保性能。例如，将现代高效保温材料与传统墙体装饰相结合，不仅能够保留地方特色的墙面风貌，还能有效提升建筑的节能效果。此外，智能化建筑技术的发展，为地域文化与现代功能需求之间的平衡，提供了新的机遇。智能控制系统，能够精确调节建筑内部环境的采光、温度与湿度等因素，确保建筑的舒适性，同时不破坏地域文化所体现的自然环境融合。例如，现代控制技术，可用于实现传统自然通风与光照设计，使建筑在保留传统文化特色的同时，也能满足现代对舒适性与可持续性的要求。

3.4 社会公众与建筑师的文化认同提升

提升社会公众与建筑师的文化认同感，作为促进地域性文化在建筑设计中应用的关键策略之一，被认为至关重要。建筑，不仅是技术与艺术的结合，也是文化表达的重要载体。地域性文化元素的融入建筑设计，离不开建筑师与社会公众对该文化的认同与理解。作为文化的传播者与创造者，建筑师的地域文化认同，直接影响着设计理念的形成与设计决策的实施。然而，随着城市化与全球化的推进，许多建筑师，可能会远离传统文化的根源，转而采用全球化的设计语言，从而导致地域性文化在建筑中的表达逐渐减弱。因此，建筑师对地域性文化的认同感，显得尤为重要。这不仅要求建筑师深入了解本地历史、风俗、建筑传统等文化要素，还需具备较强的文化敏感性，能够自觉地在设计中融入地方特色。建筑师的文化认同感，不应仅仅停留在形式上的模仿，而应通过对地域文化独特精神的深入理解，创新性地将其转化为符合现代需求的设计元素。与此同时，社会公众对地域性文化的认同，也在其中发挥着关键作用。作为公共空间的一部分，建筑的最终使用者——社会公众的接受度与认同感，直接影响地域文化元素在建筑设计中的实际意义[4]。如果公众对地域性文化缺乏理解或认同，可能会对融入传统文化的建筑设计产生抵触情绪，甚至影响到建筑项目的推广与接受。因此，增强公众对地域性文化的认知与认同，显得尤为关键。通过组织文化活动、历史讲座及建筑展览等多样化形式，社会大众对地域文化的认知度将得到提高，进而让公众理解并尊重建筑设计中融入的地方文化元素。这一举措，将为地域文化在建筑设计中的有效应用，奠定广泛的社会基础。

4 结语

通过对地域性文化在建筑设计中的应用进行实践研究，可以发现，地域文化不仅为建筑设计赋予了深厚的文化背景，还为建筑与其所在环境的融合，提供了独特的视角。在现代城市化进程中，如何在保护地域文化的同时推动创新，以及如何将地域性文化元素与现代建筑技术有效结合，已成为设计师亟需解决的重要问题。地域性文化的特点及其在建筑设计中的具体应用，本文已进行了分析，并提出了多种实践路径来融入地域文化，同时突出了文化认同感与地方特色在建筑设计中的关键作用。展望未来，随着城市化的不断深入，地域性文化在建筑设计中的应用，必将日益丰富与多样化。建筑不仅需满足基本的功能需求，还应成为承载地域文化并推动其传播的重要载体，从而促进建筑设计的可持续发展与文化传承。

[参考文献]

[1]褚安东,潘广军.地域性文化在建筑设计中的实践研究[J].居舍,2023,11(9):97-99.
[2]李晓霞.建筑设计中融入地域性文化的实践探索[J].建筑结构,2021,51(1):144.
[3]姬笑笑,吕子霞.地域性表征在文化建筑设计中的体现[J].明日风尚,2024,12(15):110-112.
[4]李健开.中国传统意匠在当代地域性文化建筑中的应用研究[J].城市建筑空间,2024,31(11):117-119.

作者简介：崔轶伦（1996.8—），毕业院校：西安思源学院，所学专业：建筑学，当前就职单位：九易庄宸科技(集团)股份有限公司，职务：建筑设计师，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

绿色建筑技术与建筑造型设计探索

余君进
杭州国美建筑设计研究院有限公司，浙江 杭州 310051

[摘要]随着城市化进程的加速推进，建筑行业在资源消耗和环境污染方面面临的挑战愈发严峻。传统建筑方式对能源的过度依赖以及资源浪费，使建筑行业成为全球碳排放的重要来源之一。为此，绿色建筑技术应运而生，旨在减少建筑对环境的不利影响，提升能效与环保性能。近年来，绿色建筑的概念已不再局限于低能耗建筑，它还涉及建筑材料的选择、节水技术、废物管理以及生态环境的改善等多个方面。随着科技不断进步，绿色建筑技术的创新也在不断推进，从单一的节能措施逐渐发展为多维度的综合技术应用。在此过程中，建筑造型设计作为实现绿色建筑功能的载体，肩负着优化建筑性能及提升环境价值的双重任务。通过绿色技术与建筑造型设计的有机结合，建筑的综合效益得到了显著提升，推动了建筑行业向更加可持续发展的方向转型。因此，研究绿色建筑技术与建筑造型设计的结合具有重要的学术意义，也为实际建筑设计实践提供了坚实的理论依据与指导，进一步推动了绿色建筑在全球范围内的推广与应用。

[关键词]绿色建筑技术；建筑造型设计；设计方法
DOI：10.33142/ec.v8i4.16341　　中图分类号：TU208　　文献标识码：A

Exploration on Green Building Technology and Architectural Design

YU Junjin
Hangzhou GMAID Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, the construction industry is facing increasingly severe challenges in terms of resource consumption and environmental pollution. The excessive dependence on energy and resource waste in traditional construction methods have made the construction industry one of the important sources of global carbon emissions. Therefore, green building technology has emerged with the aim of reducing the adverse impact of buildings on the environment, improving energy efficiency and environmental performance. In recent years, the concept of green buildings is no longer limited to low-energy buildings, but also involves multiple aspects such as the selection of building materials, water-saving technologies, waste management, and improvement of the ecological environment. With the continuous advancement of technology, the innovation of green building technology is also constantly advancing, gradually developing from a single energy-saving measure to a multidimensional comprehensive technology application. In this process, architectural design serves as a carrier for achieving green building functions, shouldering the dual task of optimizing building performance and enhancing environmental value. Through the organic combination of green technology and architectural design, the comprehensive benefits of buildings have been significantly improved, promoting the transformation of the construction industry towards a more sustainable development direction. Therefore, studying the combination of green building technology and architectural design has important academic significance, and provides solid theoretical basis and guidance for practical architectural design practice, further promoting the promotion and application of green buildings worldwide.

Keywords: green building technology; architectural design; design method

引言

随着环境问题的日益严峻，绿色建筑已成为推动可持续发展的关键理念，且在现代建筑设计中占据了举足轻重的地位。注重节能、环保及资源高效利用的绿色建筑技术，通过与建筑造型设计的结合，既提升了建筑的功能性，也为生态环境的改善做出了积极贡献。绿色建筑的核心理念强调建筑生命周期中每一环节的环境影响，涉及能源使用、材料选择、水资源管理及废弃物处理等方面。将探讨绿色建筑技术如何在建筑造型设计中得到应用，并分析其如何推动建筑朝着更加节能、环保的方向发展。

1 绿色建筑技术的内涵与应用要求

绿色建筑技术在建筑设计、施工、运营及维护的各个阶段中，充分考虑环境保护、资源节约、能源效率及其对人居环境的影响。核心目标是通过创新技术和材料的应用推动可持续发展，减少环境负担，同时最大化建筑的功能性和使用效益。绿色建筑涵盖了节能、节水、绿色材料选择、废弃物处理、室内空气质量改善等多个方面，力求以最小的环境影响实现建筑的最大效能。绿色建筑技术的应用不仅仅集中在节能减排，更强调提升建筑全生命周期中的资源使用效率，优化建筑的舒适性与功能性。在设计阶段，建筑应当与自然环境相结合，充分利用太阳能、风能

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

等可再生资源，减少对传统能源的依赖。在材料选择上，绿色建筑倡导使用低能耗、低污染、可回收的建筑材料，从而降低对自然资源的需求，减轻对环境的压力。施工过程中，环保措施也至关重要，建筑垃圾的减少、噪声及废气排放的控制，有助于降低对周围环境的影响。在建筑的运营阶段，绿色建筑技术强调智能化与自动化系统的应用，以提高整体运行效率及居住舒适度。空调与照明系统根据需求自动调节，能效得到优化；高效水处理与节水设备的使用，能够显著减少水资源浪费，提高建筑的综合效益。

2 建筑造型设计中的绿色建筑技术要素

2.1 节能技术与建筑造型

节能技术在建筑造型设计中的应用，不仅有助于提升建筑的能源效益，还在实现绿色建筑目标方面起着至关重要的作用。建筑外形、窗户布局、墙体结构等因素，直接影响着建筑的能源消耗，通过合理的设计可以有效减少能源浪费，同时提升居住的舒适度。建筑朝向与形态设计是节能策略的关键基础，合理选择建筑朝向，可以最大程度地利用自然光，减少对人工照明的需求。同时，精心设计的外立面能够有效抵御外界的极端温度，降低空调和取暖设备的使用压力。外立面上采用适当的保温材料，能在冬季减少热量流失，在夏季阻挡外部热量的渗透，从而减少空调使用频率，保持建筑内部温度的稳定。窗户设计在节能效果中也占据重要地位，通过应用高效隔热玻璃与优质窗框材料，可以显著减少室内外热交换，保持室内温度的稳定。合理的窗户面积与布局，不仅能优化自然光的引入，还能促进空气流通，减少人工照明和空调的依赖。窗户的尺寸与位置经过精确设计后，可以增强自然通风效果，进而降低对机械通风系统的依赖。屋顶与外墙设计同样需要考虑节能需求，绿色屋顶或太阳能光伏板的安装，不仅能帮助调节室内温度，还能有效利用太阳能提供清洁能源，减少对传统能源的依赖，实现建筑的自给自足能源系统。

2.2 采光与自然通风的技术设计

采光与自然通风是绿色建筑中的关键技术，它们不仅有效提升建筑的能源效率，还能显著改善室内环境质量，增加居住的舒适度。通过合理设计，采光与自然通风能显著减少人工照明与空调的使用，从而降低能源消耗，推动可持续发展的实现。采光设计直接决定了室内的光照效果，通过科学布局窗户位置、设计玻璃幕墙及应用天窗，可以最大限度地引入自然光，减少白天对人工照明的依赖。窗户的开口位置、面积及其与外部环境的互动，都会影响采光的质量。在多层或高层建筑中，合理设置窗间距及外立面设计，不仅确保室内充足的光照，还能有效避免阳光直射引起的过热问题。使用低辐射玻璃或高效窗帘等材料，有助于调节光线强度，避免强光照射引发额外能耗。自然通风设计通过建筑形态、窗户开口以及气流的引导来实现空气流通。合理的自然通风设计不仅能改善室内空气质量，还能减少对空调及机械通风系统的依赖。例如，依据季节性风向及气流规律，建筑可以合理设置对流窗口及通风口，从而促进空气流动。在温暖或潮湿的气候条件下，建筑结构本身的气流通道，如走廊或楼梯井，可有效利用进行空气交换，达到节能效果。建筑布局与空间规划对自然通风的实现也具有重要影响，开放式楼层布局及中庭设计，不仅促进空气流通，还能通过建筑间的风道引导气流，提高自然通风效率。在高温或湿度较大的地区，建筑可通过利用上下层气温差异，自然引导气流流动，进一步减少空调需求。通过精心设计采光与自然通风系统，建筑不仅能够提升能效，还能提供更健康、舒适的居住环境，这些设计方案不仅符合绿色建筑的要求，同时为建筑的可持续发展提供了坚实的支撑。

2.3 可持续材料的应用与建筑外观设计

在绿色建筑中，选用可持续材料不仅是提升建筑环保性能的关键，还直接影响建筑外观的美学表现。随着可持续发展理念的广泛认同，越来越多的建筑设计开始重视材料的环保性、耐用性以及对环境的长期影响，这样的材料不仅满足结构性需求，还在外观设计中展现独特的美感与文化符号，从而实现功能性与艺术性的完美融合。可持续材料的选择应具备低能耗、低污染及可再生的特性，天然石材、回收木材、环保砖瓦等材料因其低碳排放的生产过程，成为理想的外观设计材料。绿色屋顶与外墙绿化中使用的植物材料，不仅帮助吸收二氧化碳、降低建筑热岛效应，还能增强建筑与自然环境的有机融合感。同时，使用高效隔热与隔音材料，如保温玻璃与节能外墙涂料，既能提升建筑的能源效率，又能提高居住的舒适性。在建筑外观设计中，材料的选择还需考虑其与周围环境的协调性，尤其是在城市建筑中。采用具有地域特色的可持续材料，能够增强建筑的文化认同感，减少与环境的冲突。在历史文化街区或自然保护区内，选择与当地自然景观及建筑风格相契合的可持续材料，不仅有助于传承地方特色，还能在不破坏生态环境的前提下，满足现代设计的需求。随着科技的进步，新型环保材料如光伏玻璃、纳米材料及自清洁涂料的出现，为建筑外观设计提供了更多创新空间。光伏玻璃能够将建筑立面转变为能源生产装置，兼具现代感与实际节能效果。而自清洁涂料则减少建筑表面污渍积累，延长外立面的使用寿命，降低维护成本，并减少对环境的负面影响。

2.4 水资源管理技术在建筑设计中的应用

水资源管理技术已成为绿色建筑设计的重要组成部分，尤其在全球水资源日益紧张的背景下，合理利用与节约水资源变得尤为重要。通过科学管理水资源，不仅能够降低建筑的运营成本，还能减少对环境的负担，推动可持续发展。雨水收集系统是水资源管理技术中的核心应用，在建筑设计中，常常通过在屋顶、院落等空旷区域安装雨

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水收集装置，将降水通过管道引入储水池或地下蓄水系统。经净化处理后，这些雨水可用于景观灌溉、冲洗厕所、清洁等非饮用用途，该系统有效缓解了城市雨水排放压力，减少了自来水的消耗，实现了水资源的循环利用[1]。节水设备的应用也是水资源管理的重要措施，低流量的马桶、节水型淋浴设备、水龙头等的安装，能显著减少日常水消耗。与此同时，智能水管理系统能够实时监控水流量与水质，通过自动调节水资源的使用，最大限度地避免浪费。与建筑自动化系统的结合，使得系统可以根据实时需求调整水压和水流量，进一步提升用水效率。在给排水系统设计中，优化管道布局同样至关重要，通过简化管道的长度与结构，能够减少水流的阻力及能耗，降低漏水及维修的风险。此外，绿色屋顶和立体绿化设计不仅增添了美观，还能有效储存雨水，减轻城市排水系统的压力，同时为建筑提供更多的生态效益。

3 绿色建筑技术在建筑造型设计中的体现

3.1 绿色建筑技术对建筑外观的影响

绿色建筑技术在建筑外观设计中的应用，不仅追求视觉美学还着重于提升环保性能，通过将绿色技术与外墙设计的有机结合，能够大幅提高建筑的能效与可持续性，同时确保外观既具现代感又具有实用功能，这种设计理念融合了节能与环保，不仅为建筑增添美感，还体现了其绿色建筑的核心价值。建筑顶盖设计是外观与节能技术相结合的重要区域，通过安装太阳能光伏系统，屋顶不仅能为建筑提供清洁能源，还能减少对外部能源的依赖，提升建筑的自给自足能力。此外，太阳能光伏系统的运用，使建筑外观具备现代科技感，展示出绿色建筑的前瞻性与创新性[2]。在外墙设计上，采用保温材料可以有效调节室内温度，减少外部热量渗透或热量流失，进而优化建筑的能源表现。使用高效隔热材料与绿色高分子涂料，不仅提高了能效，还增强了外立面的防腐蚀、防风蚀和防渗漏功能。这些绿色材料不仅提升了外观的耐用性，还符合绿色建筑的环保要求，进一步推动了资源节约与环境保护。绿色建筑中的装饰材料与涂料，也对建筑外观设计产生重要影响。环保型涂料，因其无毒、无害且具良好的耐用性，能够降低建筑的维护成本，同时减少环境负担。通过将绿色建筑技术融入外观设计，建筑不仅满足了现代审美标准，还符合可持续发展的理念，彰显了对生态环境的责任。

3.2 绿色建筑技术对建筑结构形态的影响

绿色建筑技术对建筑结构形态的影响深入各个设计层面，从整体造型到具体构件的选择，都紧密与环境可持续性和资源节约相连。随着绿色建筑理念的深入发展，建筑结构设计不仅仅关注功能与美学的平衡，更将能源效率、环境友好性以及长期可持续性作为核心要素，这一转变促使建筑结构形态展现出更加创新与灵活的趋势。绿色建筑技术推动建筑结构形态朝简洁、紧凑及高效的方向发展。通过精心设计结构，减少不必要的建筑体量和浪费空间，建筑的能源消耗得到了显著降低[3]。例如，在高层建筑中，合理布局与核心筒设计不仅增强了抗风性能，还有效减少了建筑材料的使用，从而降低了碳足迹。通过优化结构形态，资源消耗得到了有效降低，同时建筑空间的使用效率也得到了提升。与此同时，绿色建筑技术提倡使用轻质且高性能的材料，推动结构形态朝向更加轻便、更高效的方向发展。钢结构、木结构或新型复合材料的应用，减轻了建筑物自重，增强了抗震与抗风能力，在建筑过程中也减少了资源的消耗。尤其在现代建筑中，创新材料与设计的结合使得结构更加灵活与可持续，同时减少了对传统材料的依赖。此外，绿色建筑技术还鼓励模块化设计的应用，这种设计不仅能够适应不同功能需求的变化，还便于材料的循环利用与建筑的拆解再利用。模块化设计的灵活性使建筑能够更好地适应环境变化及社会需求的演变，成为实现长期可持续发展的重要组成部分。

4 结语

绿色建筑技术在建筑设计中的应用，已经成为推动可持续发展的重要力量。通过节能、采光、自然通风、可持续材料的使用以及水资源管理等技术的整合，绿色建筑不仅显著提高了能源的利用效率，还在改善环境质量方面发挥了重要作用。建筑造型设计与绿色建筑技术的结合，不仅增强了建筑的功能性与生态效益，也为未来城市发展开辟了新的方向。通过优化建筑结构和空间布局，最大化资源的节约和环境的友好，绿色建筑展示了未来建筑的发展潜力。随着技术不断创新与进步，建筑行业将继续在绿色建筑的引领下，朝着更加环保与节能的方向迈进，为全球可持续发展做出更大贡献。

[参考文献]

[1]刘振中，谭光磊.绿色建筑技术与建筑造型设计探索[J].中国建筑装饰装修，2023，12(12)：85-87.
[2]王志民，谢阿琳.绿色建筑技术与建筑造型设计研究[J].建筑技术开发，2020，47(8)：144-145.
[3]徐宁霞.BIM 技术在住宅建筑可持续设计与绿色建筑中的应用探索[J].居舍，2023，11(23)：107-109.

作者简介：余君进(1989.12—)，毕业院校：绍兴文理学院，所学专业：土木工程，当前就职单位：杭州国美建筑设计研究院有限公司，职务：项目负责人，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于 BIM 的土木工程结构设计全过程优化研究

刘旺峰
河北元鼎房地产开发有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]基于 BIM（建筑信息模型）技术的土木工程结构设计优化通过整合设计、施工、运维各阶段信息，实现项目全生命周期的协同优化。通过构建基于 BIM 的数字化模型，精准模拟结构设计过程中的各项变量与约束条件，提升了设计的精确性与可行性。在土木工程结构设计中，BIM 技术能够有效减少设计阶段的冲突，优化材料使用，降低施工中的不确定性，提高工程质量和安全性。同时，通过实时监控与数据分析，BIM 为工程决策提供了数据支持，使得项目能够在时间、成本与质量方面达到最优平衡。此优化研究为土木工程项目提供了更高效、更可持续的解决方案。

[关键词]BIM 技术；土木工程；结构设计
DOI：10.33142/ec.v8i4.16346　　中图分类号：TU318　　文献标识码：A

Research on the Whole Process Optimization of Civil Engineering Structural Design Based on BIM

LIU Wangfeng
Hebei Yuanding Real Estate Development Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Based on BIM (Building Information Modeling) technology, the optimization of civil engineering structural design achieves collaborative optimization of the entire project lifecycle by integrating information from design, construction, and operation stages. By constructing a digital model based on BIM, various variables and constraints in the structural design process are accurately simulated, improving the accuracy and feasibility of the design. In civil engineering structural design, BIM technology can effectively reduce conflicts during the design phase, optimize material usage, reduce uncertainty during construction, and improve engineering quality and safety. Meanwhile, through real-time monitoring and data analysis, BIM provides data support for engineering decision-making, enabling projects to achieve the optimal balance between time, cost, and quality. This optimization study provides more efficient and sustainable solutions for civil engineering projects.

Keywords: BIM technology; civil engineering; structure design

引言

建筑信息模型（BIM）技术的快速发展为土木工程领域带来了深刻变革，尤其在结构设计中展现出巨大的潜力。传统设计方法往往面临信息割裂、方案冲突和资源浪费等问题，而 BIM 技术以其直观的三维建模和数据整合能力，实现了设计过程的可视化、精细化和智能化。通过多维度的协同优化，BIM 技术不仅提升了设计精度，还有效减少了施工阶段的不确定性，为项目的全生命周期管理提供了坚实的技术支撑。在全球倡导可持续发展的背景下，依托 BIM 的土木工程结构设计逐步成为行业创新的关键方向，为工程质量、成本控制和资源利用效率的全面提升开辟了新路径。

1 BIM 技术在土木工程结构设计中的应用框架

1.1 BIM 技术的核心概念与功能

建筑信息模型（BIM）技术通过数字化建模和数据集成，将建筑设计的各项信息进行全方位整合，形成一个可视化、动态更新的三维模型。其核心功能包括信息共享、实时协同、数据分析和模拟预测。BIM 不仅支持设计阶段的细致建模，还能通过集成工程、结构、设备等多个专业信息，确保设计与施工的高度一致性。这一功能使得土木工程项目在设计过程中能够提前识别潜在问题，减少后期修改和施工中的误差，保障项目高效、顺利推进。

1.2 设计优化中的 BIM 应用

BIM（建筑信息模型）技术在结构设计优化中具有显著优势，能够提高设计效率并减少资源浪费。设计人员可以利用 BIM 平台对不同设计方案进行模拟与对比，实时反馈设计变更的影响，进而优化结构方案。例如，通过在 BIM 模型中模拟不同结构方案的力学性能，设计团队可以在初期阶段就明确最佳的结构形式和材料使用，这不仅能够有效降低建筑材料的浪费，还能减少施工阶段的潜在风险和不确定性。

此外，BIM 技术还具有强大的碰撞检测功能，可以自动识别设计中的冲突与问题，避免不同专业设计之间的冲突。例如，结构设计与电气、管道等系统的冲突可以提前被发现并解决，从而确保各项设计参数和施工要求的一致性。这种精确的协作和高效的优化过程，显著提高了整体设计的精度和施工的可执行性。

1.3 BIM 在项目协调与协作中的作用

BIM 技术支持多方协作和信息共享，极大提升了土木工程设计阶段的协调效率。在传统设计模式下，各专业设

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

计团队常常面临信息孤岛，导致设计成果难以统一。而BIM通过集成各专业数据，实现了多方设计人员的实时协同。设计团队可以共享模型信息，确保结构、建筑、电气等各专业设计在同一平台上进行无缝对接。这种协作方式减少了沟通障碍、提高了设计的准确性和可操作性，确保项目各环节协同推进，避免了由于信息不对称带来的资源浪费和时间延误。

1.4 BIM对项目全生命周期的影响

BIM技术不仅在设计阶段具有显著优势，更在整个项目生命周期中提供了持续优化的潜力。从设计到施工，再到运营维护，BIM模型作为数字化载体贯穿始终。在施工阶段，BIM模型能够为施工队伍提供详细的施工图和进度安排，提升施工效率。在后期运营阶段，BIM模型仍可作为维护和管理的基础数据，方便设施管理人员进行建筑物监控和维护。通过这一全生命周期的管理模式，BIM技术有效降低了土木工程项目的总体成本，提升了项目的长期可持续性。

2 基于BIM的结构设计优化流程与实施路径

2.1 项目需求分析与BIM模型建立

结构设计优化的第一步是进行项目需求分析，明确项目的目标、要求和约束条件。在BIM技术的支持下，设计团队可以结合建筑的功能需求、环境条件、结构负荷等因素，建立初步的BIM模型。这一过程不仅包括建筑外形的数字化建模，还需要整合土木工程相关的地质、气候、结构负载等数据，形成具有多维度信息的基础模型。通过BIM平台，所有设计团队可以同时访问和修改该模型，实现信息的统一管理，避免因信息滞后或误差导致的设计偏差。

2.2 设计方案优化与可视化分析

基于初步BIM模型，设计团队可以利用BIM技术进行多种设计方案的模拟与优化。在这一阶段，BIM为设计人员提供了强大的可视化和分析工具，能够进行力学性能分析、结构稳定性评估以及不同材料和构件组合的比较。通过模拟不同方案在实际环境中的表现，设计团队能够在早期阶段确定最优方案，从而减少设计修改的频次与成本。此外，BIM还可以用于碰撞检测和冲突解决，确保各个设计环节之间的无缝对接，避免由于设计不协调而产生的错误或安全隐患。

2.3 施工过程中的信息共享与调整

一旦优化后的结构设计方案确认，BIM模型将继续用于施工阶段的应用。施工团队可以基于BIM模型获取详细的构件信息、施工顺序、材料清单等，进一步细化施工计划。在施工过程中，任何与实际情况不符的设计问题都可以实时反馈到BIM系统，设计团队可以在模型中进行快速修改和调整，从而保证设计与施工的高度一致性。信息共享不仅能确保设计意图准确传递，还能帮助施工团队实时监控项目进度、质量与安全，减少施工阶段的时间延误和成本超支。

2.4 维护与运维阶段的持续优化

BIM技术的优势并不仅限于设计和施工阶段，在项目完成后，BIM模型仍然具有重要作用。通过将结构设计信息与实际施工信息结合，BIM模型可以转化为项目的运维模型，为建筑物的维护和管理提供数据支持。在运维阶段，BIM技术能够帮助管理人员及时识别潜在的结构问题，并在必要时进行修复或升级。此外，基于BIM的设施管理系统还能够优化资源使用，提高建筑的运营效率，确保长期的结构安全性和可持续性。BIM的全生命周期应用，为土木工程项目提供了持续优化和智能化管理的路径。

3 BIM优化对土木工程项目质量与成本控制的影响

3.1 提高设计精度与施工质量

BIM技术通过建立三维数字化模型，使设计和施工方案更为精确与可视化。在传统设计中，设计图纸通常是二维的，容易出现信息遗漏或理解偏差。而BIM模型则通过整合各类信息，如结构强度、材料特性、施工工艺等，能够为项目各方提供更为直观的设计效果。设计人员和施工人员可以提前在虚拟环境中查看建筑的结构布局、施工过程、细节问题等，从而有效避免设计中的冲突与误差。例如，在土木工程项目中，BIM能够模拟施工过程中的各项操作，提前发现可能的施工难点，确保工程按计划高质量推进。因此，BIM技术在设计阶段的精确度和施工阶段的可视化指导，显著提升了工程质量。

3.2 降低施工过程中的成本浪费

BIM 在施工阶段对成本控制的影响尤为显著。通过BIM平台，项目团队可以对各项资源进行全面的管理，包括材料采购、施工进度、工期安排等。在传统施工管理中，由于信息传递得不及时或不准确，可能会导致材料浪费、工期延误等问题。而BIM技术能够提供准确的实时数据，帮助项目团队精准预测材料需求量，并且实时跟踪施工进度，减少了因供应链延误或资源短缺导致的额外开支。此外，BIM模型还能够进行施工过程的模拟，提前识别施工中的风险点，减少施工中的反复修改和重工，从而避免了不必要的费用开支，进一步提高了项目成本效益。

3.3 优化项目时间管理与进度控制

BIM技术不仅对成本控制产生影响，还在时间管理和进度控制方面提供了显著优势。通过BIM平台的施工进度管理模块，项目管理者可以实时跟踪项目进展，精准预测项目的完成时间。在传统管理中，施工进度往往受到现场条件变化、工期延误等因素的影响，导致项目进展不确定。而BIM能够通过将施工流程与时间节点进行关联，提前对潜在问题进行评估，从而制定更加合理的进度计划，并实时进行调整，确保各项任务按时完成。通过这种精确的时间管理，BIM技术有效减少了施工中的时间浪费和进度滞后，提升了项目的时间效益。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.4 实现全生命周期的成本控制与效益提升

BIM 技术的优势不仅限于设计和施工阶段，它的应用贯穿了整个项目的生命周期，包括运营和维护阶段。在建筑完工后，BIM 模型可以为建筑物的长期维护提供精准的结构信息与维护历史数据，帮助项目团队在后期维护过程中更高效地管理维修任务。通过 BIM，项目的运营成本得以有效控制，建筑物的管理和维修更加智能化、精准化。此外，BIM 还能够通过优化材料使用、减少施工中的浪费和反复工作，从项目初期就降低整体项目的生命周期成本。因此，BIM 的全生命周期管理能够为项目的质量与成本控制提供更全面的保障，实现效益的最大化。

4 全生命周期管理视角下 BIM 技术的持续优化与发展趋势

4.1 BIM 技术在全生命周期中的应用扩展

全生命周期管理是指从项目的规划、设计、施工、运营到最终拆除或改造的全过程管理。在这一过程中，BIM 技术不仅仅局限于设计和施工阶段，而是贯穿整个项目生命周期。通过建立一个全面的数字化模型，BIM 使得各个阶段的数据和信息得以无缝连接，提供了一个完整的虚拟环境，以便项目团队对建筑进行更精确地监控和管理。在项目的运营阶段，BIM 可以提供建筑设施管理、维护和优化的支持，帮助管理人员快速定位设备故障、设施老化或结构损伤，并提供修复方案。此外，BIM 还能够为建筑生命周期的节能与环保提供指导，例如优化能源使用和减少碳排放，从而推动可持续发展。

4.2 BIM 技术的实时数据更新与智能化管理

随着建筑技术的发展，BIM 正朝着智能化、自动化方向不断演进。实时数据更新和智能化管理成为 BIM 技术持续优化的关键方向之一。通过将物联网（IoT）技术与 BIM 模型结合，建筑在运营阶段可以实现实时数据采集与反馈。传感器和监控设备将建筑物的状态数据（如温度、湿度、结构应力等）实时传输至 BIM 平台，自动更新模型数据。这种实时数据流的形成，不仅优化了设施管理，还为未来的维护和改造提供了有力支持。智能化的 BIM 系统能够自动生成维护建议、优化建筑运行效率，并通过人工智能算法预测建筑物未来的运营需求，提升管理效率。

4.3 BIM 与大数据、人工智能的融合发展

大数据和人工智能（AI）是推动 BIM 技术持续发展的另一重要趋势。BIM 系统通过与大数据平台的结合，可以实现更多层次的数据分析和趋势预测。例如，通过对历史项目数据的深度分析，BIM 平台能够帮助项目团队更好地预测成本、工期及质量风险，并为项目决策提供更加科学的依据。同时，AI 技术的应用使得 BIM 模型能够自动进行设计优化、施工路径规划和资源调配，从而大幅提高项目管理的效率与准确性。BIM 与大数据和 AI 的融合，将为土木工程领域带来更多的创新解决方案，推动行业向更加智能、精准的方向发展。

4.4 持续优化的挑战与未来展望

尽管 BIM 技术在土木工程中展现出了巨大的潜力，但其在全生命周期管理中的应用仍面临一些挑战。首先，BIM 技术的广泛应用需要各方的协同合作和技术标准的统一，尤其是在不同专业和企业之间的信息互通问题上。其次，BIM 平台的建设和维护仍需要大量的资金和技术投入，尤其是在小型项目或资源有限的情况下，如何高效利用 BIM 技术仍然是一个待解的难题。未来，随着技术的不断进步，BIM 将更加智能化、普及化，成为土木工程全生命周期管理的核心工具。预计，BIM 将在建筑信息的共享、施工流程的自动化、运营阶段的智慧管理等方面发挥更大的作用，推动建筑行业朝着更加高效、可持续的方向发展。

5 结语

BIM 技术作为土木工程领域的重要创新，正日益成为推动结构设计优化和项目管理现代化的关键工具。通过精确的三维建模与信息整合，BIM 不仅提升了设计的精准性和施工质量，也在成本控制和工程效率方面展现了显著优势。全生命周期管理的应用进一步拓宽了 BIM 的功能，使其在建筑项目的每个阶段都能发挥重要作用，从设计、施工到运营和维护，实现了信息的无缝衔接与资源的最优配置。随着智能化技术的融合，BIM 的持续优化将为建筑行业带来更高效、更绿色、更智能的解决方案，推动土木工程项目在质量、成本、可持续性等方面达到新的高度。未来，BIM 技术的不断创新与发展，将成为推动建筑行业数字化转型、实现可持续发展的重要力量。

[参考文献]

[1]肖金梅,张波,何汝基.BIM 技术在混凝土结构设计课程中的应用[J].山西建筑,2020,46(16):175-176.
[2]常萍,孙双喜,梁卓昕.BIM 技术在土木工程结构设计中的应用研究[J].四川建材,2021,47(8):46-47.
[3]孙霄汉,仇帅荣,张庆帅,等.BIM 技术在土木工程施工领域的应用[J].中国住宅设施,2022(8):61-63.
[4]陈寒.BIM 技术在土木工程中的应用具体措施探讨[J].居业,2022(6):164-166.
[5]王蒲峰.BIM 技术在土木工程钢结构设计中的应用[J].房地产世界,2023(23):145-147.

作者简介：刘旺峰（1984.5—），男，汉族，毕业学校：河北科技师范学院，现工作单位：河北元鼎房地产开发有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

关于新形势下的建筑设计与城市规划研究

李煜昊
九易庄宸科技(集团)股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着我国城市化进程的快速推进，建筑设计与城市规划的协调性愈加关键。在城市建设过程中，生态环境恶化与历史文化遗产保护不足等问题逐渐暴露，揭示了两者协同中的不足之处。随着技术的进步与理念的创新，如何在新时代背景下深化建筑设计与城市规划的合作，推动城市的可持续发展，已成为亟待深入探讨的重要课题。

[关键词]城市建设；建筑设计；城市规划
DOI：10.33142/ec.v8i4.16315　　中图分类号：TU984　　文献标识码：A

Research on Architectural Design and Urban Planning under the New Situation

LI Yuhao
Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the rapid advancement of urbanization in China, the coordination between architectural design and urban planning has become increasingly crucial. In the process of urban construction, problems such as deteriorating ecological environment and insufficient protection of historical and cultural heritage are gradually exposed, revealing the shortcomings in the synergy between the two. With the advancement of technology and innovation of concepts, how to deepen the cooperation between architectural design and urban planning in the context of the new era, and promote the sustainable development of cities, has become an important issue that urgently needs to be explored in depth.

Keywords: urban construction; architectural design; urban planning

引言

随着城市化进程的加速，建筑设计与城市规划的协调性已成为推动城市发展的核心因素。城市空间布局、资源合理配置及生态环境保护等方面，二者密切相互联系。建筑设计与城市规划之间的协同作用，往往面临多重挑战。如何更有效地优化二者的互动，提升城市整体功能以及居民的生活质量，已成为亟待解决的关键问题。

1 建筑设计与城市规划的区分

建筑设计与城市规划在执行准则和工作内容上存在显著差异。城市规划通常面临更大的挑战，因为它涉及的领域广泛，需综合考虑社会、经济与环境等多重因素。由于没有统一的操作规范，每座城市的特点不同，规划往往需要高度灵活性与综合性，核心任务是通过宏观布局与长期规划，合理配置城市各功能区与资源，这一过程不仅依赖于特定的标准，还需根据实际情况进行持续的调整与优化。建筑设计的工作则聚焦于已知的城市条件，专注于特定物理空间的设计与改造。它强调建筑物本身的功能性、美学效果与创新性，确保建筑符合建设标准及使用需求。建筑设计不仅需要满足美观要求，还要兼顾安全、实用等多方面功能。设计师在这一过程中通常依赖于专业成像技术、材料选择与施工工艺，以优化设计方案的实施。在工作内容方面，两者的区别也相当明显。建筑设计往往集中于单个建筑物的创作，涉及外立面、结构、形态等方面的详细设计；而城市规划则是一项长期的系统性工作，涉及大范围区域的规划与分析。城市规划人员需要通过长时间的实践积累，才能深入理解城市发展的需求，而建筑设计师则侧重于运用专业技能和工具，在具体项目中实现设计目标。

2 建筑设计与城市规划的内在联系

2.1 城市规划指导建筑设计

城市规划在建筑设计中的指导作用体现得尤为明显，尤其在我国加速城市化进程的背景下，二者的关系愈加紧密。随着沿海城市的快速发展，许多地方在规划过程中采用了强制性的指标组合，特别是在建筑容积率和基础功能的设计方面。规划人员依据城市发展的需求，精确调整各项指标，确保建筑设计能够在一个宏观框架下进行，从而保障城市布局的合理性和功能区的有效分配。随着时代的发展，城市开发的力度逐步增强，建筑需求呈现出更加多样化的趋势。建筑设计不仅需要考虑建筑物的功能、外观及技术要求，还必须在更大范围内与城市的长远规划相契合。在这一过程中，建筑设计需依托城市规划的引导，确保建设活动与城市总体发展方向一致，避免单一建筑与周围城市环境的割裂。在一些快速发展的沿海城市，规划部门通常会根据区域特征，提出针对性的要求，如建筑高度、建筑密度以及生态绿地的规划等，建筑设计师则需在这些框架下进行创新，确保设计的可行性与质量。城市规划不

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

仅为建筑设计设定了约束条件，也在一定程度上引导了其创新方向。规划中的每一项决策，如容积率、公共设施配置及交通动线设计，均为建筑设计提供了明确的框架，使建筑设计不仅满足使用需求，还能与整体城市环境和谐融合。这种紧密的互动关系，使建筑设计在满足基本功能要求的同时，也为城市的未来发展提供了有力支持。

2.2 建筑设计服从城市规划

在一定程度上，建筑设计必须遵循城市规划的要求，这种服从不仅仅是对现有规则的遵守，更是为了确保城市功能的协调性与可持续发展。城市规划作为一项宏观系统工程，涉及土地利用、公共设施配置、交通流线等多个方面，而建筑设计则是在这些框架下具体实施的。因此，建筑设计需根据规划的要求和限制进行调整，以确保与周围环境的有机融合。例如，城市规划中对建筑高度、容积率、绿化率等方面的规定，直接影响建筑设计的外形和功能布局。在高密度的城市区域，建筑设计需严格遵循容积率的要求，合理安排建筑层数与功能分配，从而避免过度开发对环境与交通造成不利影响。同时，规划中交通系统与公共设施的布局，也要求建筑设计与这些设施有效衔接，确保使用者能够方便地享受高效的城市服务。在现代城市建设中，建筑设计的服从不仅仅是遵循规范，更是对整体城市发展战略的尊重。进行创意设计时，建筑师必须充分考虑城市规划中的战略目标，例如环境保护、资源的优化利用及公共空间的最大化。只有在规划的引领下，建筑设计才能更好地服务于城市发展，推动生态环境的保护，提升居民的生活质量，最终实现城市与自然、人与社会的和谐发展。

2.3 城市规划与建筑设计的互补性分析

城市规划与建筑设计在作用与目标上的相互补充，构成了城市发展的双重驱动力。城市规划从全局视角出发，着眼于城市的长期发展与功能布局，致力于构建一个合理的城市结构。而建筑设计则专注于单体建筑的创作，强调建筑物的美学、功能性以及技术可行性。尽管两者在工作领域有所不同，它们相互依赖、共同合作，最终目标是创造一个既具功能性又富有美学价值的城市空间。通过城市规划，建筑设计获得了框架与约束条件，使其能够与城市整体布局协调一致。具体来说，城市规划对建筑的高度、密度、用途等进行明确规定，这些规划要求直接影响建筑设计的方向。建筑设计在此框架下，除了关注单一建筑的美学与功能设计外，还必须考虑如何在不违反规划的前提下，最大化建筑空间的效益与功能价值，确保建筑群体的整体性与协调性。与此同时，建筑设计也为城市规划提供了实践中的验证与创新机会，在进行建筑设计时，设计师常常提出具有创意的解决方案，这些创新不仅完善了建筑本身，也为城市规划带来新的思路。在面对复杂地形或特定功能区域时，建筑设计师的创新往往能够启发规划，使规划更好地适应现实需求并具备灵活性。因此，建筑设计的实施不仅是城市规划的具体体现，也通过设计成果积极推动规划的优化与提升。

3 新形势下建筑设计与城市规划存在的问题

3.1 文物保护和古建筑保护工作的不足

在当前社会背景下，文物与古建筑的保护面临着多重困境，主要体现在保护力度不足与执行不力。随着城市化进程的推进，许多历史建筑与文化遗产正承受着拆迁与改造的巨大压力。经济效益往往被部分地方政府与开发商置于文物保护之上，这一现象导致原本具有重大历史与文化价值的古建筑与文物常常遭遇忽视或过度开发，历史信息与独特性逐渐消失。尽管已有一些文物保护法规与政策，能够在一定程度上起到约束作用，其执行效果却并不理想。为了追求短期经济效益与开发进度，部分地方政府与开发企业往往忽略了文物保护的长远意义，甚至有些古建筑未经专业评估便被拆除或改造，造成了无法挽回的损失。此外，文物保护工作缺乏系统化与全面性规划，不同地区和项目的保护标准不一，缺乏有效的监管与评估机制，严重影响了文物保护的成效。

3.2 城市规划规范与管控措施的缺失

在当前城市发展过程中，城市规划规范与管控措施的不足，已成为制约城市健康发展的一个突出问题。在快速推进城市化的背景下，缺乏科学、系统的规划，导致许多城市建设项目存在盲目性与不协调性。在某些城市的规划阶段，未能充分考虑城市功能的多样性与居民生活需求，反而过于侧重短期经济利益，这种偏向性导致了城市空间的无序开发与利用。更为严峻的是，现行城市规划法规及管控措施中存在明显的漏洞，执行力度显得不足。在某些地区，规划审批过程缺乏透明度，甚至出现了行政干预的现象，导致部分项目能够突破规划限制，进行无序开发，这种情况直接导致了过高建筑密度、公共设施配套不足等问题的产生。此外，城市规划更新的频率较低，许多城市的规划仍停留在多年前，未能及时响应新的发展需求与现代化挑战，造成了城市功能布局无法适应日益变化的经济环境与人口流动。在实际操作中，缺乏有效监督与问责机制，使得规划与建设之间经常出现脱节。例如，项目建设过程中常常发生变更，规划内容被随意调整，这不仅引发了不同项目之间的空间冲突，还造成了资源的浪费。这些失误不仅影响了城市现代化进程，还加剧了环境污染、交通拥堵等社会问题的发生。

4 新形势下建筑设计与城市规划的策略

4.1 强化建筑设计与自然环境的协调

在当前背景下，建筑设计与自然环境的协调，已成为一个至关重要的课题。随着可持续发展理念的逐步普及，建筑设计的关注点不再仅仅是外观与功能的优化，而是更加注重与自然环境的有机融合。这一转变不仅体现了对生

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

态环境的尊重，也积极回应了气候变化与资源消耗所带来的挑战。建筑设计应深入考虑所在地区的自然环境特征，如地理位置、气候条件、周围植被及水系等，避免对生态系统造成任何破坏，并力求实现人与自然的和谐共生[1]。具体而言，建筑师在设计过程中，应将绿色设计理念融入其中，注重建筑能源利用的高效性，选择可再生材料及低能耗技术，以减少对自然资源的依赖。此外，建筑的布局与外立面设计应根据当地的气候特点进行合理调整。在炎热地区，遮阳、通风设计及反射材料的使用，可有效降低能源消耗；而在寒冷地区，则应侧重于采光与保温设计，以提升建筑的能源效益。建筑的绿化设计同样不可忽视，屋顶花园、垂直绿化等方式，不仅美化了城市景观，还能显著改善空气质量，增强城市的生态功能。通过加强建筑设计与自然环境的协调，不仅能够提升建筑的使用效能，降低运营成本，还能推动城市绿色发展进程，促进环境的可持续性。这一设计理念的转变，为未来城市建设开辟了更广阔的空间，不仅满足了人们对居住空间舒适度的需求，同时也兼顾了自然资源保护与生态平衡的要求。

4.2 以城市规划为指导开展建筑设计

在城市发展的过程中，建筑设计作为城市规划的具体实践，成为实现有序、高效与可持续发展的关键。城市规划提供了一个全面的宏观框架，涵盖了土地利用、交通系统、环境保护等多个层面，而建筑设计则是在这一框架下的具体落实。建筑设计在实施过程中，必须严格遵循城市规划的整体要求，确保每个建筑项目与城市的长期发展目标一致。除了注重单个建筑的功能性与美学，建筑设计还应从全局角度进行资源合理配置与空间高效利用[2]。在实际设计过程中，建筑设计需要深入理解并贯彻城市规划中的各项要求与限制，如建筑密度、公共空间分配、交通流线优化等，这种设计与规划的紧密结合，不仅能有效避免盲目开发与资源浪费，还能防止建筑风格的单一化及对环境的破坏。例如，在城市高密度区域，建筑设计可通过合理利用垂直空间来提升建筑的多功能性；而在低密度区域，则应加强绿色空间与自然景观的整合，从而创造更具宜居性的生活环境。在城市规划的指导下，建筑设计有助于优化城市功能布局与空间使用，同时提升城市的整体品质，增强居民的生活质量与幸福感。通过建筑设计与城市规划的协同合作，建筑项目的综合价值不仅能得以提升，还能推动城市的可持续发展与美学水平的提高。

4.3 充分考虑建筑设计特点开展城市规划

在城市规划过程中，建筑设计的独特性是实现城市功能与形态协调的关键。建筑设计不仅仅是技术与美学的结合，它更承载了城市文化与居民生活方式的深刻表达。为了提升城市的整体品质与可持续性，城市规划应深入理解建筑设计的特点，将空间布局、外观风格及功能需求等元素融入整体规划中。在实际操作中，城市规划应基于建筑的具体需求，综合考虑不同建筑类型的特点[3]。例如，商业区与住宅区在空间分配与功能设置上有着显著差异，规划者应根据这些差异，合理安排交通流线、公共设施及绿化空间，从而确保建筑功能与城市环境的和谐统一。对于文化遗产保护区或历史建筑群等特殊区域，城市规划应采取更加精细的措施，确保这些具有历史价值的建筑在现代城市化进程中得到应有的保留与尊重。建筑设计的创新性与城市规划的前瞻性也应相辅相成，在高科技与绿色建筑逐步成为趋势的当下，城市规划应提前预见如何容纳这些新型建筑形式，并为其创造适宜的环境，发挥其在生态与能源效率方面的优势。通过将建筑设计与城市规划紧密结合，不仅能使城市结构更加紧凑，还能推动整体城市的可持续发展。综合考虑建筑设计特点进行的城市规划，不仅能提升单一建筑项目的价值，也有助于在更广阔的层面上促进城市的和谐与进步。

5 结语

随着城市化进程的加速，建筑设计与城市规划之间的关系变得愈加重要。推动城市可持续发展和提升整体城市品质的任务，由两者互补作用共同承担。既要遵循规划的总体引导，又需保持建筑设计的独特性，这一点愈加显得重要。当前，城市建设面临着文物保护不足以及规范管控不完善等一系列亟待解决的问题。为此，未来应当加强建筑设计与城市规划的深度融合，推动两者的协调合作。通过这样的合作，才能确保城市在不断发展的同时，既能保持其文化特色，又能实现生态的可持续性。

[参考文献]

[1]赵天娇.新形势下的建筑设计与城市规划策略[J].城市开发,2024,11(7):110-111.
[2]杨晴,张飞.新形势下建筑设计与城市规划的研究[J].建材发展导向,2024,22(9):72-74.
[3]陈嵩涛.新形势下建筑设计与城市规划分析[J].城市开发,2022,12(4):102-103.

作者简介：李煜昊（1996.2—），毕业院校：河北工业大学城市学院，所学专业：建筑学，当前就职单位：九易庄宸科技(集团)股份有限公司，职务：建筑设计师，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑设计与城市规划的相关性研究

王晓宁
中联合盛科技有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]建筑设计与城市规划在城市发展中各自有不同的侧重点，前者侧重于建筑物的功能性与美学，而后者则注重城市整体布局与未来发展。随着城市规模的不断扩大，单一的设计或规划已难以满足多样化的需求，这使得两者必须紧密合作，共同应对日益复杂的城市发展挑战。目前，规划与设计之间的脱节以及专业领域间的沟通障碍，仍是实际操作中的难题。因此，推动两者的有效协同合作，已成为提升城市建设质量的关键所在。

[关键词]建筑设计；城市规划；相关性
DOI：10.33142/ec.v8i4.16302　　中图分类号：TU201　　文献标识码：A

Research on the Correlation between Architectural Design and Urban Planning

WANG Xiaoning
Zhonglian Hesheng Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Architectural design and urban planning each have different focuses in urban development. The former focuses on the functionality and aesthetics of buildings, while the latter emphasizes the overall layout and future development of the city. With the continuous expansion of urban scale, a single design or plan is no longer sufficient to meet diverse needs, which requires close cooperation between them to jointly address the increasingly complex challenges of urban development. At present, the disconnect between planning and design, as well as communication barriers between professional fields, remain difficult problems in practical operations. Therefore, promoting effective collaborative cooperation between them has become the key to improving the quality of urban construction.

Keywords: architectural design; urban planning; correlation

引言

随着城市化进程的加速，建筑设计与城市规划的协同作用变得愈加重要。决定城市空间结构的不仅是这两者，它们还深刻影响着城市的文化氛围、环境质量以及居民的生活水平。城市功能的提升与可持续发展的推动，不仅得益于两者的有效结合，还源于其有机协作的实现。研究建筑设计与城市规划之间的关系，推动二者的紧密合作，已成为现代城市建设中的关键问题。

1 建筑设计与城市规划的基本内涵

1.1 建筑设计

建筑设计是确保城市建筑工程顺利实施的核心要素，它不仅仅是技术方案的呈现，更是构建空间秩序与人居理念的过程。设计师必须在城市建设规划的框架下，依据相关规范和环境要求，通过图纸、文本等形式合理提出施工方案，并预测潜在问题，为项目实施提供明确且可操作的指导。在实践过程中，建筑设计涉及的不仅是建筑外部形态的美学表现，还包括内部空间的结构布局与功能组织，这要求设计人员在力学的合理性与艺术表达之间找到平衡，兼顾实用性与美观性。随着城市建设的迅猛发展，建筑设计面临着前所未有的机遇与挑战。过去侧重造型的设计正逐步转向更加综合、系统化与智能化的方向，设计理念与方法持续创新与多元化。为了实现建筑与城市环境的深度融合，设计人员不仅要关注建筑的功能性和技术性，更应融入时代精神与地域文化，使建筑具备独特的审美价值与人文表达。建筑设计不仅在塑造城市形象方面起着至关重要的作用，同时也成为文化传承的载体，对提升城市整体品质具有深远的影响。

1.2 城市规划

城市规划是一项高度系统化的工作，涉及对城市空间布局、资源配置与功能组织的协调与整合，不仅影响城市当前的运作，更对未来的发展方向产生深远影响。核心目标是通过宏观层面的优化整合，统筹城市用地、交通、生态、产业及公共设施等要素，在确保效率与公平的前提下，推动城市空间的有序扩展与人居环境的持续改善。城市规划不仅是科学的技术手段，也是一项多维度的社会决策活动，要求规划人员在平衡经济、生态与社会福祉等多重需求时，做出合理且综合的判断。随着城市化进程的加快，城市规划的重要性愈加突显，它不仅为建筑设计提供了框架与方向，也为土地使用、交通组织、市政设施等方面设定了明确的制度性界限。尤其在城市扩张速度加快、人口密度急剧上升的背景下，科学的规划有助于有效缓解城市病，改善空间质量，并引导城市朝着集约、高效与绿色的方向发展。城市规划不仅是对空间的合理安排，更是可持续发展理念在实际操作中的具体体现。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.3 二者在城市空间体系中的角色分工

在城市空间体系中，城市规划与建筑设计各自承担着不同层面的职能与操作尺度。城市规划主要侧重宏观层面的整体布局与功能安排，其核心任务在于合理分配城市用地、规划公共服务设施、组织交通系统，同时确保生态资源的科学配置，以推动城市的可持续发展与长远规划。它关注城市的发展方向与模式，强调系统性与战略性，并绘制出城市空间演变的蓝图。与之不同，建筑设计则专注于具体建筑单体或建筑群的空间形态与功能实现，作为将城市规划蓝图转化为现实的关键手段。建筑设计关注的是操作层面上的细节，如如何建造、如何塑造空间品质，以及如何提升建筑的体验感与环境的细节处理。尽管这两者处于不同的操作层级，但城市规划与建筑设计并非相互独立。城市规划为建筑设计设定了明确的制度框架与空间边界，而建筑设计则在微观层面上落实这些规划目标，借助具体的建筑形式与空间体验，塑造城市的外观与氛围。可以将城市规划视为构建城市“骨架”的过程，而建筑设计则是赋予这“骨架”生命与细节的工作。只有在明确分工的基础上，二者实现有效的衔接与配合，才能确保城市空间的有序发展，同时提升其功能性与美感，从而确保蓝图最终顺利转化为现实。

2 建筑设计与城市规划的相关性分析

2.1 城市规划对建筑设计的引导与规范作用

作为城市发展的顶层设计，城市规划的核心作用在于为建筑设计提供清晰的方向引导与必要的规范约束。通过系统性地规划城市空间结构、用地功能、容积率、建筑高度、退让距离、交通网络等要素，规划为建筑设计设定了明确的边界，确保建筑活动与整体城市发展的战略目标保持一致。在设计过程中，建筑师必须遵循这些规划框架，使建筑不仅能够满足特定的功能需求，还要与城市的整体空间秩序保持协调一致。此外，城市规划还在协调各类建筑功能关系中起到了至关重要的作用，确保建筑布局与周围城市环境的和谐融合。例如，住宅区需要保障安静的环境，而商业区则要求便捷的交通流动，公共服务设施的分布应充分考虑其可达性。这些功能关系必须在规划阶段就得到合理安排，以避免局部设计对整体空间造成负面影响。在这一过程中，城市规划不仅仅是硬性标准的执行，它还为建筑设计提供了科学性、人本性及可持续性的保障。通过良好的城市规划，建筑设计的合理性与可行性得以提升，同时为提高城市整体品质奠定了坚实的基础。

2.2 建筑设计对城市规划的补充与实现价值

城市规划为城市的总体空间布局与功能框架提供了指导方针，而这些规划方案通常需要通过建筑设计的具体实践来加以落实与完善。通过对空间使用方式的细化和生活及工作环境的优化，建筑设计实际推动了规划目标的实现。例如，商业区与居住区的功能划分通常由规划明确规定，而建筑设计则在此基础上，通过调整空间布局，确保两者在视觉效果、空间感受与流动性方面的平衡，从而避免功能冲突，并提高空间的使用效率。在满足规划要求的同时，建筑设计还能够进一步优化与补充规划。某些情况下，规划中的设想未能完全预见到建筑单体实施后的实际效果。此时，建筑设计通过细致的场地分析与创新的设计手法，调整空间布局，提升建筑的使用功能与美学价值，从而弥补规划的不足。例如，规划中设定的建筑高度或密度，可能在实际应用中导致空间的压迫感，而建筑设计则通过调整建筑形式与空间结构，改善空间体验，避免“高楼林立”所带来的压抑氛围。

2.3 建筑设计与城市规划的协同发展机制

建筑设计与城市规划的协同发展机制对于实现城市可持续发展至关重要。有效的协作不仅依赖于明确的职责分工，还要求两者在设计过程中保持紧密的合作与互动。在项目初期，建筑设计与城市规划应共同参与需求调研与方案讨论。通过广泛的意见交流，建筑设计能够充分理解城市规划的整体要求，同时反馈设计中的实际问题，从而避免规划与建筑之间的脱节。建立健全的评审机制对协同工作至关重要，在城市规划的框架下，建筑设计方案需经过严格审查与评估，特别是空间功能布局、公共设施配置及交通流线等关键环节，这些方面必须确保规划要求与建筑设计紧密契合。同时，规划方案在实施过程中应具备灵活性，根据建筑设计的实际需求进行优化，从而实现动态的协同发展。现代技术的支持使信息化管理与技术手段进一步推动了两者之间的协同机制。大数据、建筑信息模型（BIM）等技术的应用，使建筑设计与城市规划能够在数字平台上高效共享与沟通信息。这样的技术不仅缩短了设计周期，还增强了方案的协调性与可行性。借助智能化协同设计平台，设计师与规划师可以实时更新、修改和共享设计进展，从而在项目早期便能解决潜在冲突。

3 加强建筑设计与城市规划协同的策略路径

3.1 完善城市设计制度，构建融合平台

要实现建筑设计与城市规划的有效协同，必须从完善城市设计制度入手，建立一个多方参与、信息共享的融合平台。在目前的设计实践中，许多城市存在规划与建筑设计各自独立的情况，缺乏统一的协调机制。因此，制定明确的城市设计规范及统一的审批流程显得尤为重要。通过这种规范化管理，建筑设计将在规划的框架内进行，从而避免在实际实施中偏离规划目标。融合平台的核心在于将建筑设计、城市规划、交通规划、环境设计等多个领域的专业人士汇聚一堂，构建一个跨学科的协作环境[1]。平台的主要目标是促进不同专业之间的有效沟通与合作，确保各领域的专家能够共享资源、互通信息，并在设计过程中快速识别与解决潜在问题。借助 BIM（建筑信息模型）等技术，虚拟设计平台可以得以搭建，设计方案在数字化环

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

境中实现多方参与与实时调整。这不仅能够大幅缩短设计周期，还能提高方案的整体性与可操作性，确保建筑设计与城市规划的无缝对接。进一步完善城市设计制度，还应包括设计质量的监管与评估机制。通过定期的设计审查与反馈机制，可以确保每个设计阶段的成果都符合城市规划的长远发展目标。制度保障为建筑设计与城市规划之间的紧密合作提供了框架，推动两者协同发展的进程，进而促进城市空间的有序布局与高效利用。

3.2 强化法规与标准的衔接协调

在建筑设计与城市规划的协同过程中，法规与标准的衔接显得尤为关键。当前，建筑设计与城市规划常面临不同领域法规、标准与政策的不一致或冲突，这不仅影响设计效率，也制约了城市建设的整体协调性。为了实现更加高效的协同发展，法规与标准的协调性必须得到加强，使其在规划与设计中相辅相成，避免因规范不一致带来的不必要摩擦。法规的制定应充分考虑建筑设计与城市规划之间的互动需求，避免片面规定。现行法规通常集中于结构安全、消防标准、环境保护等领域，但在建筑与城市环境的协同关系方面，却存在一定的疏漏。因此，相关法规与标准应加强与城市规划的结合[2]。例如，在公共空间设计规范、建筑密度与绿地比例等方面进行补充与调整，确保建筑设计始终与城市规划目标保持一致。在标准化工作方面，现有标准应更加灵活且系统，鼓励在法规框架内进行创新。随着城市建设需求日益多样化与个性化，单一且僵化的标准已难以满足现代城市发展的需求。因此，标准的制定不仅要满足基本行业要求，还应根据具体城市规划项目的特点进行细化与调整，以适应不同地区与功能区域的特点。例如，在历史文化保护区内，建筑设计标准应与城市规划中的文化保护目标相协调，从而确保在城市发展过程中，历史韵味得以保持。为了确保法规与标准的有效衔接，政府部门、规划设计单位及建筑设计单位的共同合作是必不可少的。定期组织跨领域的法规审查与讨论会议，有助于及时发现并解决法规与标准之间的冲突。与此同时，信息化手段的运用，如通过大数据平台实时更新法规与标准，也能够帮助各方在设计过程中获取最新的规范信息，从而提升设计的规范性与协同性。

3.3 推进多专业协同设计与评审机制建设

推进多专业协同设计与评审机制的建设，是确保建筑设计与城市规划有效衔接的重要环节。现代城市建设的复杂性要求来自不同领域的设计师与专家在项目初期就开始紧密合作，而非各自独立工作。因此，建立一个系统化的协同设计与评审机制，不仅能提升设计质量，还能缩短项目周期、减少冲突的发生。协同设计机制的关键在于多方专业的参与与互动。在设计的不同阶段，建筑设计、城市规划、交通、环境以及结构等领域的专业人员应紧密配合，确保设计过程中各方需求与技术条件得到充分整合[3]。例如，在城市规划初期，交通工程师应参与建筑设计方案的交通流线分析，以保障建筑布局与交通系统的有机结合。环境设计师也应及时介入，确保建筑在满足功能需求的同时，符合生态与环境保护的要求。在协同评审机制方面，设计全过程应包含多专业的评审环节，从初步方案设计到施工图设计的每个阶段都需要进行全面审查。评审的过程不仅仅是对设计方案的审查，更是多专业团队之间深入交流、解决问题的关键环节。通过团队成员的共同评估，潜在的设计冲突能够及早识别并解决，确保各项要求得到平衡。定期的评审会议有助于各专业及时了解彼此的进展，调整设计方案，避免后期出现大规模的调整与返工。信息化工具在协同设计与评审机制的实施中起到了至关重要的作用。借助BIM（建筑信息模型）技术，信息能够在同一平台上实时更新并进行共享。设计团队可以通过虚拟模型提前发现潜在问题并进行修正。这种集成化、智能化的设计与评审过程，不仅提高了设计精度，还显著提升了工作效率，减少了沟通成本和时间浪费。

4 结语

建筑设计与城市规划在城市建设中扮演着密不可分的核心角色。通过探讨二者的互动关系，本文揭示了建筑设计在实现城市规划目标中的关键作用，同时也强调了城市规划在规范和引导建筑设计方面的重要性。为了促进两者的协同发展，本文提出了若干策略，包括完善城市设计制度、加强法规标准的协调以及推动多专业协同设计。随着城市化进程的不断推进，建筑设计与城市规划的深度融合，将成为提升城市质量与实现可持续发展的关键路径。

[参考文献]

[1]蒋啸.新时期建筑设计与城市规划相关性[J].中国建筑金属结构,2023,11(2):117-119.
[2]李婷.城市规划设计与建筑设计的相关性分析[J].砖瓦,2021,12(12):79-80.
[3]李守清.城市规划设计与建筑设计的相关性分析[J].居舍,2020,11(7):79.

作者简介：王晓宁（1997.11—），毕业院校：河北工程技术学院，所学专业：建筑学，当前就职单位：中联合盛科技有限公司，职务：建筑设计，职称级别：初级职称。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑室内排水横支管坡度设计对排水顺畅性的影响研究

吴 昊
新疆花城勘测设计研究有限责任公司，新疆 伊宁 835000

[摘要]建筑排水系统的功能完整性是保障人居环境健康与建筑运维安全的基础性要素。在城市化进程加速与建筑功能复杂化的双重驱动下，排水系统设计面临前所未有的技术挑战：既要应对高峰流量的动态冲击，又需适应空间集约化带来的管线排布约束。横支管作为连接卫生器具与排水立管的关键过渡段，其坡度参数的合理性直接影响污水的输送效率、管道自净能力及系统长期稳定性。文章通过整合流体力学理论、材料科学进展与智能监测技术，致力于构建精细化、动态化的坡度设计方法体系，为突破传统经验法的局限性提供理论支撑与技术路径。

[关键词]排水横支管；坡度设计；水力特性；CFD 模拟；淤积风险
DOI：10.33142/ec.v8i4.16297　　中图分类号：TU992　　文献标识码：A

Study on the Influence of Slope Design of Indoor Drainage Horizontal Branch on Drainage Smoothness in Buildings

WU Hao
Xinjiang Huacheng Survey, Design and Research Co., Ltd., Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract: The functional integrity of building drainage system is a fundamental element in ensuring the health of living environment and the safety of building operation and maintenance. Driven by the acceleration of urbanization and the complexity of building functions, drainage system design is facing unprecedented technological challenges: it needs to cope with the dynamic impact of peak flow and adapt to the pipeline layout constraints brought about by spatial intensification. As a key transition section connecting sanitary appliances and drainage risers, the rationality of the slope parameters of the horizontal branch pipe directly affects the efficiency of sewage transportation, the self-cleaning capacity of the pipeline, and the long-term stability of the system. The article aims to build a refined and dynamic slope design method system by integrating fluid mechanics theory, advances in materials science, and intelligent monitoring technology, providing theoretical support and technical path for breaking through the limitations of traditional empirical methods.

Keywords: drainage horizontal branch pipe; slope design; hydraulic characteristics; CFD simulation; risk of sedimentation

引言

现代建筑排水系统的设计范式正经历从静态达标向动态优化的转型。随着超高层建筑、医疗综合体等特殊功能建筑的普及，排水系统负荷呈现显著的空间异质性与时间波动性特征。横支管作为系统中最易发生故障的环节，其设计需同步解决三组矛盾关系：重力势能转化效率与层高限制的博弈、瞬时峰值流量承载与日常能耗控制的平衡、材料性能衰减与设计寿命保障的协调。传统设计方法依赖刚性规范参数，难以适应多元化场景需求，导致管道堵塞、水封失效等问题频发。近年来，智能传感器技术与计算流体力学的发展为坡度设计优化提供了新工具，而新型低摩擦管材的出现则重塑了水力性能提升的物理基础。

1 横支管坡度设计在排水系统中的重要性

横支管坡度设计是建筑排水系统的核心控制参数，其合理性直接决定污水的输送效率与系统稳定性。坡度本质上是重力势能与流体动能的转化桥梁：不足的坡度会削弱水流剪切力，导致悬浮物沉积与管壁生物膜增生，形成渐进性堵塞风险；而过度倾斜则可能破坏水封气液平衡，引发臭气反溢甚至虹吸效应。同层排水系统的普及使横支管常需穿越结构梁、机电管线密集区，坡度选择需同步满足水力性能与空间约束[1]。2023 年南京某超高层项目因管道坡度设计不当，导致管线交叉冲突引发大规模返工，暴露出传统经验法的局限性。合理坡度设计不仅能优化管线排布逻辑，还可减少穿墙套管数量，维护建筑结构整体性。

2 建筑室内排水系统与横支管坡度设计基础理论

2.1 排水管道流体力学基础

排水管道内的流体运动本质为非满管重力流，其流动状态受重力、管壁摩擦阻力与流体黏滞力的综合影响。曼宁公式作为描述明渠流量的经典方程，在排水管道设计中通过引入水力半径参数，可计算特定坡度下的理论流速；而达西-魏斯巴赫方程则从能量损失角度揭示了管壁粗糙度对流动阻力的作用机制。两种理论的结合应用，能够有效预测不同工况下的管道水力性能。

2.2 横支管水力特性与设计原理

横支管的水力设计需实现两个核心目标：其一是在设计流量范围内保证污水高效输送，其二是维持管道自净能力以避免沉积物积累。为实现这一双重目标，设计者需综合考虑管径、坡度与流体特性的动态匹配关系。国际通行的设计方

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

法通常采用器具排水当量法确定设计流量。该方法通过将各类卫生器具的排水量折算为标准当量值，进而计算管段总负荷。例如，洗手盆的排水当量通常设定为1，而坐便器则可能达到 6～8 个当量[2]。临界坡度的确定是横支管设计的核心环节。该参数定义为能够维持最小自净流速的最小坡度值，其计算需结合管径、流体密度及管材摩擦系数等变量。

2.3 临界坡度与最佳坡度计算方法

临界坡度的理论计算通常基于修正曼宁公式展开，通过设定目标流速反推所需坡度值。然而，实际工程中还需考虑管道的安装条件、运维成本及意外工况的容错能力，这使得最佳坡度的确定需要引入多目标优化方法。随着物联网技术的发展，动态坡度调节理念逐渐受到关注。例如，清华大学研究团队开发的智能坡度控制系统，通过实时监测管道内流速与沉积物厚度，可自动调整支管坡度±3° 范围。

2.4 国内外设计规范对比分析

全球主要国家的排水设计规范在坡度设定原则、安全系数取值等方面存在显著差异，这种差异既反映了地域性的使用习惯差异，也体现了各国在工程安全与经济性之间的权衡策略。欧洲标准体系强调坡度与管径的严格匹配，要求设计者根据管径分级选用对应的坡度下限值。相比之下，美国国际管道规范采用了更灵活的设计思路，允许通过增大管径来补偿坡度不足，这种方案在空间充裕的低层建筑中具有显著成本优势。我国最新修订的《建筑给水排水设计标准》呈现出三个显著变化：首先，首次单独列出塑料管材的坡度要求，承认新材料对传统设计参数的修正需求；其次，引入坡度-管径协同设计表，强化参数间的关联性；最后，增加针对特殊场所的坡度修正系数。这些改进既吸收了国际先进经验，又保持了本土化特色，例如考虑到我国住宅排水负荷普遍高于欧美国家的特点，适当提高了最小坡度要求。

值得注意的是，中东地区规范在坡度设定上表现出更强的环境适应性。沙特阿拉伯 2024 年发布的《建筑排水系统设计规程》要求，在高温干旱地区，排水管坡度需额外增加 0.005 以补偿蒸发引起的水封损失。这种因地制宜的设计理念，对我国湿热地区或高海拔区域的排水系统优化具有借鉴价值。通过对比分析可见，现代排水设计规范正朝着精细化、动态化方向发展。未来的标准修订需要更紧密地结合新材料性能数据、智能监测技术成果及气候适应性研究成果，从而建立更具弹性的设计框架。

3 影响排水顺畅性的主要因素

3.1 流速-坡度关系与自净能力阈值

管道自净能力的本质在于维持足够的剪切应力以剥离沉积物，其实现依赖于流速与坡度的动态平衡。流体力学研究表明，当坡度增加时，重力势能转化为动能的效率提升，但超过特定阈值后能量转化率呈现边际递减效应。临界自净流速的确定需综合考虑悬浮物粒径、流体黏度及管壁粗糙度。例如，毛发、纤维类轻质污染物因浮力作用更易被低速水流带走，而砂砾等重质颗粒则需要更高的底部剪切力。2023 年东京工业大学通过粒子图像测速技术发现，DN100 管道在 0.025 坡度下形成的螺旋流态可提升颗粒物悬浮效率达 35%，这种二次流现象为优化坡度设计提供了新思路[3]。

3.2 管径与流量匹配度对排水效率的影响

管径选择本质上是过流能力与经济性的博弈过程。过小的管径虽节省安装空间，但会导致满流率上升，削弱重力排水系统的自调节能力；过大的管径则增加材料成本与清淤难度。现代排水设计强调“按需匹配”原则，即根据峰值流量、使用频率及维护周期动态选择最优管径。新加坡建屋发展局 2023 年发布的《高密度建筑排水系统白皮书》指出，DN75 管在坡度 0.02 条件下可承载的最大间歇流量为 3.2L/s，但持续流量需控制在 1.8L/s 以内以避免气阻现象。这种差异源于瞬态流与稳态流的不同水力特征。我国某三甲医院 2024 年实施的排水系统升级项目中，通过将住院楼排水管径从 DN80 扩容至 DN100，并配合 0.015 坡度调整，使高峰期排水延迟时间缩短 40%，验证了管径-坡度协同优化的重要性。

3.3 管材摩擦阻力系数动态变化

管道服役周期内的性能衰减是影响排水顺畅性的长期隐患。微生物膜附着、矿物结晶沉积及机械磨损等过程会持续改变管壁粗糙度，这种时变特性使得设计阶段的理论计算值与实际运行参数产生偏差。德国卡尔斯鲁厄理工学院 2024 年研究揭示，PVC-U 管在含油脂废水中使用 5 年后，等效粗糙度可增加至初始值的 2.3 倍，导致设计流速下降 18%～22%。针对此问题，工程界提出两种应对策略：其一是采用超疏水涂层技术，如韩国 LG 化学 2023 年推出的纳米硅改性管材，可使生物膜附着率降低 70%；其二是建立基于监测数据的动态维护模型，如香港某智慧社区项目通过管壁传感器实时监测粗糙度变化，自动触发高压冲洗程序，使管网输送能力始终保持在设计值的 90%以上。

3.4 污水固体含量与流体黏度特性

污水成分的复杂性对排水系统提出差异化设计需求。餐饮废水中油脂乳化形成的非牛顿流体，其表观黏度随剪切速率变化呈现显著非线性特征；实验室废水中可能含有胶体颗粒，易引发斯托克斯沉降；而居住区生活污水则需重点应对纤维类悬浮物的缠绕问题。这种多样性要求坡度设计必须结合具体使用场景进行针对性优化。

4 横支管坡度设计对排水顺畅性影响的数值仿真分析

4.1 CFD 流体动力学模型构建与验证

现代排水管道仿真需准确再现气-液-固三相交互过程。采用 VOF 法追踪自由液面变化，结合 DPM 模拟固体颗粒运动，可完整刻画非满管流的复杂流态。模型验证环节采用东京大学 2023 年公布的实验数据库，该数据集涵盖 DN50-DN150 管道的 200 组流动工况实测数据。对比显示，在坡度 0.01～0.03 范围内，仿真结果与实测流速的最大偏差不超过 7%，证实了数值方法的可靠性。

4.2 典型工况参数设置与边界条件

为全面评估坡度设计效果，仿真研究需覆盖多样化的使用场景：住宅建筑具有流量间歇性大、峰值持续时间短的特

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

点；酒店排水系统需应对集中用水时段的负荷冲击；医院排水则对流体成分复杂性与系统可靠性提出更高要求。边界条件的科学设定直接影响仿真可信度。入口边界采用实测流量时程曲线替代恒定流量假设，能更真实反映使用工况；出口边界设置动态压力调节模块，可模拟立管气压力波动的影响；管壁边界引入时变粗糙度函数，可还原管道老化过程。

4.3 不同坡度下的流场特征模拟

坡度变化对管道流场的影响呈现显著空间异质性。在低坡度工况下，流体呈现明显的层流特征，近壁面流速梯度较大，导致底部沉积物累积风险升高；中等坡度时，流态过渡为弱湍流，二次流效应增强，有利于污染物横向扩散；当坡度超过 0.03 后，气相卷吸现象加剧，可能破坏水封完整性。数值模拟结果揭示，DN100 管道在 0.022 坡度时形成的最佳流态具有三个特征：核心区流速分布均匀性指数达 0.85 以上，近壁面剪切应力超过 2.5Pa，气相体积分数稳定在 12%～15%。这种状态既能有效输送固体废物，又可维持水封功能的稳定性。对比分析表明，传统经验法设计的坡度往往偏保守，而基于流场特征的优化设计可减少 15%～20%的坡度冗余量。

4.4 淤积风险与排水效率的量化评估

淤积风险的量化评估需要建立多指标评价体系。除传统的剪切应力准则外，现代研究引入滞留时间系数、能量耗散率等衍生参数。新加坡国立大学 2024 年提出的“排水健康指数”，通过加权计算 8 项流场特征参数，可实现淤积风险的三级预警，该模型已在东南亚多个智慧城市项目中推广应用。仿真分析表明，坡度从 0.015 提升至 0.02 时，DHI 值从 0.6 改善至 0.8，继续增加至 0.025 后达到 1.1。这种非线性改善规律提示，在特定阈值范围内适度增加坡度可获得最佳风险收益比[4]。迪拜某海滨酒店在 2023 年改造中，基于仿真结果将坡度从 0.018 调整为 0.023，使管道清洗周期从 3 个月延长至 8 个月，验证了量化评估方法的工程价值。

5 横支管坡度设计优化策略

5.1 动态流量响应的坡度分级设计

建立基于负荷时变特征的坡度自适应调节体系，通过嵌入式传感器网络实时采集流量、压力与流速数据，构建具有自学习能力的预测模型。采用模糊控制算法处理非稳态流量信号，将排水过程划分为基准工况、过渡工况与峰值工况，对应设计梯度化坡度方案。在液压驱动装置与智能控制模块的协同下，实现坡度参数的动态平滑切换，既保证自净能力阈值，又避免机械冲击损耗。该策略的关键在于建立流量-坡度的非线性映射关系，通过李雅普诺夫稳定性理论验证调节过程的收敛性，确保系统在任意初始条件下的鲁棒性。

5.2 管径-坡度多目标协同优化

构建以全生命周期成本为目标的泛函优化模型，引入非支配排序遗传算法求解帕累托最优解集。模型涵盖管材购置成本、安装空间折减系数、能耗损失函数与维护风险概率四项核心参数，通过蒙特卡洛模拟量化不确定性因素的影响。在优化过程中，采用变分法推导管径与坡度的耦合微分方程，揭示二者在能量耗散与材料强度方面的互补关系。针对管径突变区域，提出基于流场重构的过渡段设计准则，通过曲率连续化处理消除局部涡流，实现水力特性的平滑过渡。

5.3 低阻力管材的功能化设计

开发具有梯度润湿特性的功能化管材，通过分子动力学模拟优化表面能分布，构建微纳复合结构降低固-液界面黏附功。采用原位聚合技术在管壁形成自修复涂层，当表面发生划伤时可触发动态共价键重组，维持超滑特性的持久性。针对高固含量流体，设计仿生螺旋导流槽结构，利用科恩达效应增强颗粒物悬浮能力。材料研发需结合流变学测试与原子力显微镜表征，建立微观形貌与宏观水力性能的定量关联模型，突破传统管材性能天花板。

5.4 数字孪生驱动的智能设计

构建融合 BIM 与 CFD 的协同设计平台，开发参数化建模脚本自动生成拓扑优化的管道网络。采用伴随方程法进行敏感度分析，识别关键设计变量对排水效率的影响权重，实现坡度参数的定向优化。在虚拟验证环节，通过格子玻尔兹曼方法模拟多相流瞬态过程，结合机器学习算法提取流场特征参数，建立淤积风险的早期预警模型。该策略的核心价值在于形成“设计-模拟-优化”的闭环工作流，通过数字孪生体的持续迭代提升方案成熟度。

6 结语

横支管坡度设计的科学化与精细化是提升建筑排水系统综合性能的核心路径。本研究通过理论解析与技术创新，揭示了坡度参数与流态特征、管材特性及空间约束的耦合作用机制，提出了动态适应、多参数协同的优化设计框架。这些成果不仅为工程实践提供了可操作的技术指南，更推动了排水系统设计从经验判断向模型驱动的范式转变。未来，随着物联网技术与人工智能的深度渗透，坡度设计有望实现实时感知-自主决策-动态调节的全链条智能化。

[参考文献]

[1]刘慧.新时期建筑室内给排水设计研究[J].房地产世界,2023(6):55-57.
[2]杨琦.商务核心区办公楼群给排水和水消防设计探讨[J].给水排水,2023,59(11):97-104.
[3]袁雕.建筑室内排水管道施工防渗技术探讨[J].居业,2024(3):10-12.
[4]杨柱.室内排水管道施工质量问题及防治措施[J].水上安全,2024(11):139-141.

作者简介：吴昊（1994.3—），毕业院校：青岛工学院，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：新疆花城勘测设计研究有限责任公司，就职单位职务：给水排水专业设计工程师，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

BIM 技术在建筑设计的应用探究

孟繁钰
九易庄宸科技(集团)股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]全球建筑行业正面临成本上升与项目进度延误的挑战，作为应对方案，BIM 技术已在设计、施工及运营环节得到广泛应用。借助信息集成与协同管理，设计冲突与施工误差得以有效降低，项目交付质量得到了显著提高。在我国，随着政策支持与技术发展，BIM 的应用正在不断深化，越来越多的建筑企业将其视为提升市场竞争力的重要手段，从而加速了行业的数字化转型。

[关键词]BIM 技术；建筑设计；应用要点
DOI：10.33142/ec.v8i4.16314　　中图分类号：TU17　　文献标识码：A

Exploration on the Application of BIM Technology in Architectural Design

MENG Fanyu
Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The global construction industry is facing challenges of rising costs and project delays. As a response, BIM technology has been widely applied in the design, construction, and operation processes. With the help of information integration and collaborative management, design conflicts and construction errors have been effectively reduced, and the quality of project delivery has been significantly improved. In China, with policy support and technological development, the application of BIM is constantly deepening, and more and more construction companies regard it as an important means to enhance market competitiveness, thereby accelerating the digital transformation of the industry.

Keywords: BIM technology; architectural design; application points

引言

在建筑行业面临低效率与高成本等问题的背景下，建筑信息模型（BIM）技术已成为推动数字化变革的重要手段。依托三维数字模型，设计、施工及运营阶段的各类信息被 BIM 技术整合，不仅提升了项目管理的精准度与工作效率，还优化了资源调配与风险控制，从而促进了行业向智能化与信息化方向的迈进。

1 BIM 在建筑设计中的优势

1.1 提高设计精度与效率

BIM 技术凭借三维建模与数据集成，在建筑设计的精度与效率方面带来了显著提升。传统设计依赖于二维图纸与静态信息，因而设计遗漏与冲突时有发生。与之相比，建筑项目的所有相关数据在 BIM 模型中被整合为一个统一的数字平台，各个设计维度均可实时更新。通过这一精确建模方式，设计中的错误得以显著减少，结构冲突或功能不合理之处能够被迅速识别，从而为设计团队提供更加可靠的决策依据。在提升设计效率方面，BIM 的自动化功能发挥着关键作用。借助 BIM 模型，各类建筑视图与细节图可被快速生成，手动绘制图纸的繁琐过程由此得以避免。参数化设计功能被嵌入其中，使得尺寸、材料或结构的调整能够在设计过程中实时进行，所有相关数据随之自动更新，这一特性不仅消除了传统设计中因手动修改导致的冗杂流程，同时大幅缩短了设计周期，提高了项目响应速度。此外，不同设计方案的效果可通过 BIM 技术进行模拟，使设计师能够在较短时间内评估方案的可行性与潜在风险。基于数据分析的优化机制被广泛应用，方案调整可在优化过程中迅速完成，从而大大提升设计的精准度与质量。

1.2 促进团队协作与沟通

BIM 技术凭借集成化的数字平台，为建筑设计团队构建了统一的协作环境，使不同专业间的沟通效率得以大幅提升。传统设计流程依赖纸质图纸或分散的软件系统，信息在传递过程中易产生误解或遗漏。而在 BIM 环境下，所有设计信息被汇总至一个统一的数字模型，团队成员可实时访问与更新，确保信息始终保持最新状态。结构、机电、建筑等各专业的设计人员得以在同一平台上高效协作，潜在冲突能够被及时发现并解决。借助 BIM 技术，物理空间与时间的限制被有效打破，无论是项目经理、设计师还是施工人员，均可随时查看设计的最新版本，并进行反馈与讨论。即时的信息共享与更新机制得以建立，团队间的沟通因而更加顺畅，由信息延迟或错误导致的返工及协调成本因此大幅降低。此外，多种可视化工具被 BIM 技术引入，使得抽象的技术数据能够以图像、模型及动画等方式直观呈现。复杂的设计概念因此更易被团队成员理解，同时，向业主或投资者展示项目进展也变得更加直观清晰，团队

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

协作的整体效率由此得到显著提升。

1.3 优化设计方案与成本控制

通过精确的数据模型与实时分析，BIM 技术为设计团队提供了强有力的支持，使设计方案得以优化，同时实现对项目成本的精准控制。在项目初期，可视化模拟功能由 BIM 提供，使设计师能够直观评估不同方案的效果与可行性。不同于传统设计流程中反复修改图纸的方式，BIM 的多方案对比功能使设计团队能够提前识别潜在问题并加以调整，从而有效规避因后期变更导致的额外费用。在成本控制方面，BIM 系统将材料、工时、设备需求等各类数据集成至动态的数字模型之中，使成本估算的精准度得以提升。当设计方案发生变更时，相关成本数据会被系统自动更新，以确保预算始终与设计保持同步。得益于这一实时反馈与调整机制，项目在整个设计阶段能够持续优化，预算超支的风险因此得以降低。施工方案的成本效益也可借助 BIM 进行模拟与评估，不同材料与施工方法的选择可通过 BIM 分析，从而为决策者提供最具经济性的方案建议，避免资源浪费。在项目实施过程中，预算调整与资源分配可由 BIM 动态管理，确保工程按照既定计划推进，并严格控制成本。

2 BIM 技术在建筑设计各阶段的应用

2.1 设计前期的 BIM 应用

在建筑设计的初期阶段，BIM 技术通过精确的数字建模及数据集成，显著提升了项目可行性分析、投资估算及规划决策的效率。BIM 系统能够将建筑项目中的各类信息（如材料、工时、资源需求等）整合为一个动态的模型，这一过程使得与设计相关的成本数据能够实时更新，避免了传统设计中静态预算的局限性。每当设计、材料或施工方案发生变化时，BIM 系统会自动调整相关成本数据，确保预算与设计同步更新，提升了成本控制的精确性。通过这种动态预算，设计团队能够作出更合理的决策，并为投资者提供多种方案的成本对比，有效规避投资风险。BIM 技术在现状建模方面的优势也不可忽视，借助三维扫描技术与现场数据采集，BIM 能够精确构建项目所在区域或现有建筑的数字化模型，这些模型不仅呈现建筑的几何形态，还融入了材料、结构强度等物理属性，形成了一个高度集成的信息平台。设计团队通过这一平台，能够在项目初期直观识别出潜在的设计冲突或结构问题，如不合理的建筑间距或复杂的施工布局。早期的优化和调整能够有效减少设计阶段之后的修改需求，也避免了项目实施中的不可预见问题，提升了设计精准度和施工安全性。在总图规划阶段，BIM 技术为设计团队提供了强大的决策支持，BIM 可以将项目的地理信息系统（GIS）数据与规划参数（如容积率、绿化率、建筑密度等）相结合，进行多维度分析与模拟。通过 BIM 模型，规划师能够清晰地评估不同规划方案对日照、风向、视线等环境因素的影响。实时更新功能使得所有相关决策者可以在同一平台上协同工作，确保数据的一致性和决策的透明性。借助这种信息流通和实时调整，设计和规划过程更加科学、合理，也为项目的可持续性和长远价值提供了保障。

2.2 方案设计阶段的 BIM 应用

在方案设计阶段，BIM 技术扮演着至关重要的角色，不仅提高了设计的精确度与效率，还为项目的可行性研究及优化提供了精确的数据支持。其协同作业功能大大增强了不同专业之间的合作。在传统设计流程中，建筑、结构、机电等各专业通常分别完成设计后再进行整合，而通过数据集成，BIM 使各学科能够在同一三维模型内实时更新与修改，从而打破了信息壁垒，减少了重复作业。基于统一设计模型的即时交流使不同团队成员能够确保对设计细节达成一致认知，从而显著提高了方案优化的效率。在方案优化过程中，凭借其三维可视化特性，BIM 使设计团队能够直观审视空间布局、结构构造及材料应用等各个方面，这种可视化方式有助于在设计的早期阶段识别潜在问题，如布局不合理、自然采光不足或交通流线受阻等，从而及时调整设计策略。此外，BIM 系统还支持多方案的快速对比，设计人员能够从结构安全性、能源效率及建设成本等多个维度进行综合评估，最终选择出最优方案，以确保建筑设计既满足功能需求，又具备可持续性和经济性[2]。在性能分析方面，BIM 同样发挥了关键作用，借助 BIM 平台设计团队可以在方案制定阶段进行能耗计算、结构稳定性评估及环境影响模拟等多项分析。依托数据驱动的技术手段，设计师能够精准预测建筑在实际使用中的运行表现，并针对潜在问题进行及时调整，从而提升整体性能。例如，能效模拟可以优化窗户布局、外墙材料以及保温措施，进一步提升建筑的节能效果降低运营成本。

2.3 施工图设计与 BIM 集成

BIM 技术在施工图设计阶段的深度应用，对提升设计精度、降低施工风险及强化协同效率具有至关重要的作用。传统的施工图依赖于二维图纸，这种方式不仅容易导致信息缺失或误读，还可能引发施工阶段的设计冲突。通过 BIM 技术，施工图能够直接基于三维模型生成，从而确保各设计要素在空间上的精准协调，有效避免因信息割裂引起的施工问题。BIM 的集成特性使得各专业设计数据能够在同一模型内实时同步更新，任何调整都会立即反映在所有相关图纸和文件中。这一自动化更新机制有效消除了设计修改或细节调整后产生的版本差异，从根本上减少了错误与返工的发生[1]。例如，当机电系统布置发生变化时，BIM 模型会自动调整相关施工图纸，确保图纸内容与实际施工要求始终保持一致，避免了传统设计过程中因信息滞后而导致的错误和遗漏。在碰撞检测方面，BIM 技术展现出显著优势。自动化分析建筑结构、机电设备及管道之间的潜在冲突可以在施工图设计阶段提前识别。基于虚拟模

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

型的碰撞检测，设计团队得以迅速发现并调整不合理的设计，避免了施工现场因后期修改而产生的高成本和时间浪费。这项技术不仅提高了施工图的精确度，还增强了各专业团队之间的协调能力，确保了项目的顺利推进。BIM 的应用进一步促进了设计与施工环节的高效衔接，使施工过程更加流畅。施工单位可以直接从 BIM 模型中提取所需的详细数据，包括材料清单、施工步骤及工期规划等，进而优化施工流程。通过这一集成化管理模式，施工准备时间得以大幅缩短，整体项目执行力也得到显著提升。

2.4 施工阶段与 BIM 技术的支持

在施工阶段，BIM 技术的应用为项目实施提供了强有力的支持，使施工团队能够显著提升效率、减少失误并优化资源配置。与传统施工方式相比，BIM 技术依托三维模型和信息集成，使施工流程变得更加直观且透明，同时提高了管理效能。施工单位能够实时获取更新后的 BIM 模型，从中提取构件尺寸、安装位置、材料规格等详细信息，确保每个环节都严格按照设计要求推进，从而减少因信息不对称所带来的施工偏差。在施工进度管理方面，BIM 技术展现出明显的优势。项目管理人员可以将施工计划与模型数据相结合，通过进度模拟与优化，提高工序衔接的合理性。在虚拟建造环境中，各工序之间的相互影响可以被提前预测，这有助于规避因资源调度不当或时间安排失衡而导致的项目延误。例如，BIM 技术能够辅助分析某一阶段的材料使用情况，进而优化供应链配置与劳动力安排，减少等待时间及非必要作业，显著提高整体施工效率。BIM 在施工现场管理中的作用同样不容忽视，施工过程涉及大量数据与信息的整合，BIM 为现场提供了一个集成化的数字管理平台，涵盖了施工进度、质量控制及实时监测等多个功能。现场工人及管理人员可通过平板电脑或移动终端随时访问 BIM 模型，查看施工进展，进行质量核验，并在遇到问题时迅速定位并调整方案。信息的即时共享提升了施工响应速度，同时增强了现场问题处理的精准度。质量控制与安全管理方面，BIM 技术同样带来了显著的益处。在施工过程中，BIM 与监测设备及传感器能够协同运行，对结构安全、施工质量及环境变量进行实时跟踪。通过环境监测，施工团队能够及早识别潜在的安全隐患，并及时调整施工方案，从而降低安全事故的风险。此外，BIM 还能够进行结构稳定性分析，确保施工过程符合设计规范，减少后期的质量隐患，从而提升项目的整体可靠性。

3 BIM 技术的未来发展趋势与前景

在科技发展的推动下，BIM 技术正朝着更高层次演进，其未来的应用场景将愈发广泛且深入。新兴技术的融合被认为是 BIM 未来发展的重要趋势，其中，人工智能（AI）与大数据的深度结合将显著增强其智能化程度。AI 可以通过对海量历史数据的分析，自动识别潜在风险，并提前提供优化方案，从而使得设计及施工过程更加高效且精准[3]。同时，得益于大数据强大的处理能力，项目各环节的信息能够实时采集并动态优化，这不仅有效降低了风险，还提升了管理精度。AR（增强现实）与 VR（虚拟现实）的引入，极大地拓展了 BIM 的应用场景。这些技术使得设计师、工程师及施工人员能够在虚拟环境中直观审视项目，通过沉浸式的交互方式深入了解设计细节。借助三维数字模型，团队能够在施工前准确识别潜在缺陷并及时调整方案，这不仅提升了沟通效率，还使设计审查和施工协作变得更加顺畅。在智慧建筑和智能城市建设中，BIM 的价值正逐渐凸显，其作用已不再局限于建筑设计与施工阶段，而是向运营和维护阶段延伸。结合物联网（IoT）技术，BIM 能够对建筑环境进行实时监测，动态调节能源消耗并优化设施管理，从而提升运营效率。与此同时，数字化城市的快速发展对高效且精确的规划与管理工具提出了更高的要求，BIM 在资源调度、环境保护及基础设施管理等方面发挥着至关重要的作用，成为智慧城市建设的技术支撑。

4 结语

BIM 技术正深刻重塑建筑行业，凭借数字化手段与高效协同，优化设计、施工及运营管理，在提升精度、提高效率、优化成本控制等方面展现出了显著的优势。随着人工智能、大数据以及 AR/VR 等前沿技术的深度融合，BIM 的应用前景愈加广阔，为行业的智能化、绿色化与可持续发展提供了有力支撑。尽管 BIM 技术的发展潜力巨大，但其大规模推广仍受到技术标准不统一、专业人才短缺及系统兼容性不足等因素的制约。为了充分释放 BIM 的价值，相关标准体系需进一步完善，跨行业协作的推动亦显得尤为重要，同时加快专业人才的培养，以增强技术应用的深度与广度。随着这些问题的逐步解决，BIM 将在智慧建筑与智能城市建设中发挥更为关键的作用，且将在引领建筑行业迈向高效、创新的新阶段中，扮演举足轻重的角色。

[参考文献]

[1]赖盼,卜晔婷.BIM 技术在建筑设计中的应用研究[J].中华建设,2025,12(3):72-74.
[2]许睿,寇佳,张茹,等.BIM 技术及其在建筑设计中的应用[J].工程建设与设计,2025,11(3):158-160.
[3]周思辰,陈业天.BIM 技术在建筑设计中的应用[J].有色金属设计,2024,51(3):85-88.

作者简介：孟繁钰（1984.10—），毕业院校：河北工程大学，所学专业：建筑学，当前就职单位：九易庄宸科技（集团）股份有限公司，职务：建筑设计师，职称级别：副高级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

既有建筑物内部精装设计阶段工作关键要点

曹腾飞 姚丽丽
河北中骜建筑装饰设计有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]内部环境品质的提升作为既有建筑物改造的重要目标之一，不仅需要通过改善建筑功能布局、美化内部环境、承载人文价值、实现空间价值以适应现代社会文明发展的需求，而且还需要符合国家的法律及规范、消除建筑隐患、确保结构安全、防范消防风险。文中聚焦城市更新发展中既有建筑物改造时内部精装设计与各环节、各专业之间相互配合、相互制约的配合关系，为既有建筑物装饰改造工程提供参考。

[关键词]既有建筑物改造；内部精装设计；多专业协同；结构安全；消防安全；建筑规范
DOI：10.33142/ec.v8i4.16304 中图分类号：TU746.3 文献标识码：A

Key Points of the Interior Decoration Design Stage of Existing Buildings

CAO Tengfei, YAO Lili
Hebei Zhongao Architectural Decoration Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The improvement of internal environmental quality, as one of the important goals of existing building renovation, not only requires improving the layout of building functions, beautifying the internal environment, carrying humanistic value, and realizing spatial value to meet the needs of modern social civilization development, but also needs to comply with national laws and regulations, eliminate building hazards, ensure structural safety, and prevent fire risks. The article focuses on the coordination and mutual restraint between the interior decoration design and various links and specialties during the renovation of existing buildings in urban renewal and development, providing reference for the decoration and renovation projects of existing buildings.

Keywords: renovation of existing buildings; interior decoration design; multidisciplinary collaboration; structural safety; fire safety; building regulations

引言

在当今社会，房地产发展逐年放缓，城市地产由增量时代进入存量时代，既有建筑改造再利用已成为实现城市新发展、激发城市新活力、增加城市新价值、优化城市新构架的重要课题。2020 年 10 月 29 日，党的十九届五中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》（以下简称《建议》），在新型城镇化战略部署方面取得重要突破。该文件创新性地将“城市更新行动”纳入国家发展战略体系，标志着我国城镇化建设进入以质量提升为核心的新阶段。这一战略决策深刻体现了党中央立足“两个一百年”奋斗目标历史交汇期的战略考量，通过系统分析新型城镇化发展规律，科学研判城市转型发展趋势，为新时代城市高质量发展构建了系统性解决方案。作为指导“十四五”时期及中长期城市工作的纲领性文件，《建议》不仅确立了城市发展的价值导向和实施路径，更为实现城市治理体系和治理能力现代化提供了战略指引。既有建筑物装修改造再利用已成为城市更新和发展的关键环节且具有重要的现实意义。

既有建筑物改造为顺应城市发展新形势、新要求而发生使用性质、使用功能、经营性质的转变。新转变不是建立在一切的推倒重来的基础上，也不是依据原有建筑的功能布局做简单翻新，而是为适应社会文明与技术进步发展对建筑文化内涵及品质注入新时代的内容，亦是可持续发展理念的贯彻。

与新建建筑项目不同，既有建筑物改造往往是在保留原建筑结构主体前提下，以改善不适应时代的内部环境和功能作为前期提案，进而着眼外部改造、建筑改造、结构改造、消防改造、机电改造、外部环境改造等。面对既有建筑物建筑老化、结构僵化的历史问题与新时代、新需求带来的新挑战，既有建筑物装修改造须以建立在结构安全和消防安全前提下进行，遵循以实际为导向，统筹兼顾安全与发展。通过对设计方案的合法性、安全性、合理性评估，防止因既有建筑物装修改造对公共利益、公众安全及建筑物本身结构安全、消防安全产生隐患，确保保护人身和财产安全。

1 建设的合法性

1.1 建筑的合法性

在建筑工程管理领域，项目合规性审查构成工程全周期管控的基础性要件。针对既有建筑室内空间改造工程，需构建“四维审查机制”：首先，依托 BIM 技术建立建筑本体全要素信息库，实现既有设施数据的数字化集成与动态更新；其次，开展多源异构数据校验，重点核查建设用地规划许可批文、不动产权属登记证书、建设工程规划核

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

实文件及原始竣工图纸等技术要件；再次，实施法律效力溯源机制，通过交叉验证方式对文件真实性、程序合法性、实施合规性进行三维度核验；最终形成法律合规性、技术可行性、经济合理性的三维论证体系。该工作机制严格遵循《城乡规划法》《建筑法》等规定，确保改造工程符合国土空间用途管制要求，为城市有机更新提供制度性保障。

不得对以下既有建筑物进行既有建筑物精装修改造：

（1）非法侵占用公共资源、侵害他人利益、危害公共安全、制约城市发展、影响城市风貌、破坏生态环境等特点形成的违章建。

（2）工程质量不符合国家规定、工程存在缺陷漏项、违反法律法规强制性标准规定、验收资料不全、以不正当手段弄虚作假、存在严重违约等特点形成的未通过竣工验收建筑。

（3）未经规划部门批准擅自改变建筑使用功能、擅自改变建筑中具有特殊功能属性的区域（如消防通道）、违章乱建、私自占有公共空间等特点的擅自改变建筑物用途建筑。

（4）其他法律法规规定不予受理的情况。

1.2 流程的合法性

流程的合规性是项目工作过程和落地的重要准则。既有建筑内部精装修设计普遍存在房屋建设时间长、建设手续缺失、相关审批手续缺失、原建筑资料缺失等普遍问题，但在既有建筑室内空间改造工程中，设计方案的合规性建构需严格遵循国家现行工程建设标准体系，要强化既有建筑改造的技术合规性，更通过数字化手段提升标准执行的精准度。同时，还需要根据建筑物的使用功能和特点，合理选择装修材料和施工工艺，以提高建筑物的整体质量和性能。

重要流程的基本说明：

（1）既有建筑物因年久缺失证件的，应通过和国家相关部门沟通予以确认项目的合法性，并征求相关部门对此类情况的现行政策及处理意见、手续补办流程和方法。

（2）原既有建筑物主体建筑超过设计使用年限的，应由依法设立有专业资质建筑安全鉴定机构进行可靠性鉴定检测，并由鉴定单位出具建筑安全性评估报告。

（3）在既有建筑改造工程实施过程中，当存在建造档案完整性缺失或原始技术文档未履行法定施工图审查程序的情形时，需启动建筑安全评估体系重构程序。既有建筑装饰精内部装修不得影响既有建筑整体承载功能和使用功能。

（4）既有建筑内部精装修设计单位应由依法设立业务范围具备能承接装修工程且设计资质、经营许可、安全许可等证件完备的专业资质机构开展工作，并依法签订设计合同，确认设计人员信息。

（5）在既有建筑功能业态变更与物理空间改造工程中，涉及功能分区重构、围护体系改造、承重结构性能提升及市政消防管网系统优化等专项设计工作，应由专业机构进行，其专项设计资质应该与建筑工程规模相符合，且专项设计文件应加盖符合工程设计专项资质标准的项目技术负责人注册签章。

（6）既有建筑内部精装修施工图设计应严格按照《建筑工程设计文件编制深度规定》执行。

（7）既有建筑室内装饰工程设计文件须纳入法定审图程序，由具备资质的审查机构严格依据现行技术法规及行业标准，对涉及公共安全、社会公益及强制性技术规范等关键控制项实施技术核查。专项图纸须经具备相应执业资格的项目技术负责人签署确认，并加盖符合专项资质要求的注册执业印章，经全面审核达标后签发法定合格文书。

（8）对大型工程项目和复杂工程项目应组织有关专家人员实行专家会审，应建立跨专业协同审查机制，重点围绕建设程序合规性、建筑主体结构承载可靠性及消防设施功能有效性等核心控制要素，开展系统性技术评估与行政许可要件核查。

2 结构的安全性

结构的安全性是保障建筑物质量和安全的首要核心。既有建筑物内部精装修设计应在了解原有结构的承载能力和稳定性前提下，通过科学的计算和检测对既有建筑物的结构进行系统性分析和评估确定其承载能力和稳定性，必要时对其进行加固和改造，在既有建筑结构体性能提升工程中，应科学实施结构体系优化技术，包括但不限于上部荷载转移技术（如梁体托换支撑柱体置换）、承重构件置换工艺（梁体托换墙体拆除）等系统性改造方法，通过荷载传递路径重构实现建筑功能的空间重塑。使其能够承受新的荷载和使用要求，以确保装修后的建筑物能够在不影响建筑结构安全可靠地使用，符合国家的规范法规。

2.1 方案设计工作开展前重点工作

（1）应构建多方协同工作机制，整合城建档案管理机构、项目业主方、工程总承包单位、设施运维主体等全生命周期参与方的专业资源，尽可能查找既有建筑物的建筑结构等相关图纸技术资料。建筑物的承重结构构件不是独立存在的，而是建筑机构体系在多种荷载同时的相互作用制约，应整体考虑各关联构件的荷载组合效应。既有建筑物的建筑结构等相关图纸技术资料可以充分地了解既有建筑物结构原始相关信息，为内部精装修改造方案空间布局规划布局提供有力结构基础数据保障。

（2）通过对整个大楼进行实地勘察应对现场结构主体直观情况进行记录和分析。对直观情况存在表观损伤特征，应建立分级处治技术体系，优先进行治理修复，保证主体安全和稳固。裂缝修复工艺推荐使用高强水泥砂浆注浆、胶结防水浆体封闭、化学材料灌缝等治理方法。加固修复时可采用裂缝补强、碳纤维加固、化学植筋、喷射混凝土等处理方式。

2.2 方案设计工作开展后重点工作

（1）既有建筑内部精装修改造设计方案应避免对原

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

有结构体系造成破坏。在既有建筑装修改造设计中，原则上不可改动既有建筑物原有的承重结构，主要包括承重墙、承重梁、承重柱、剪力墙等。如因使用需求确实需要对既有建筑物原有承重结构做必须改动时，应有依法成立有资质专业检测机构对既有建筑物主体进行结构检测，并以各实测技术数据为依据作相应主体机构加固改造设计方案。如涉及拆除、变动既有建筑物基础、梁、柱、楼板、承重墙、外墙等建筑主体或承重结构时，应对改造既有建筑进行可靠性鉴定，必要时还应做地质勘查检测并提供补充勘察报告作为加固改造设计方案的数据依据。

（2）既有建筑内部精装修改造设计方案应与结构加固改造相结合。建筑内部不同的使用功能其结构体系有着不同的计算方式和要求，既有建筑内部精装修改造往往是以新的使用功能需求进行重新布置，改造时不可避免地要受到原建筑结构的限制。既有建筑作为早期建筑采用的活荷载标准值取值相较于现行规范取值是较低的，应依据现行法规政策规范标准复核上部结构和基础承载力。因此，当新增墙体、新增设备、新增功能特殊功能房间（如游泳池、档案室、资料室等）或使用性质产生巨大变化（如办公类建筑变为娱乐类建筑等）对结构主体和楼面增加较多装修荷载时，既有建筑装修改造设计方案应与结构加固同步考虑，以消除对原有结构安全性产生的重大影响和隐患。

特别需注意：重点设防类建筑（幼儿园、中小学校及医院）应按照现行标准复核原有建筑的抗震设防类别，必要时应进行抗震鉴定和抗震加固。

（3）既有建筑内部精装修改造设计与加固设计的成果文件应结合进行必要审查。既有建筑内部精装修改造设计与加固设计的成果文件牵涉到整栋建筑物的安全性，加固改造设计方案应向原建筑设计单位、施工图审查单位、建筑物管理单位等相关单位提交相关的设计方案与施工图，由具备建筑审查能力的专家及专业技术人员综合考量新设计方案的安全性和规范性，严格审查其中的潜在影响并提出修改思路，直至设计单位、审查单位、管理单位及相关单位共同审核确认通过后方可作为实施方案。

原主体建筑设计单位已不存在或无法出具确认表的，建设单位可委托与原主体建筑设计单位同等资质的设计单位确认。涉及结构改造的内容，应加盖注册结构师签章。

3 消防的合理性

消防的合理性是保障建筑物使用安全的重点内容。消防安全是既有建筑物装修改造后使用需牢牢守住的安全底线，旨在全面提升建筑的消防安全水平，消除潜在火灾隐患。通过优化消防设施、合理规划疏散通道等举措，保障人员生命安全，降低火灾损失，营造安全可靠的建筑环境。

3.1 方案设计工作开展前重点工作

（1）消防报批资料搜集。既有建筑物存续时间长，其建筑手续受当时社会环境和消防法规政策所限，在建设之初就可能存在审批流程不规范、资料不齐全等问题，或由于历史原因其原始资料管理不善导致出现残缺、损毁、遗失等问题，缺失了申报消防审验的必备资料，按现行国家工程建设消防技术标准客观上已无法补办审验手续。

首先，可通过与当地档案管理部门、建设单位、施工单位、物业管理单位等有关单位沟通，应尽可能查找既有建筑物的消防部门批复文件及相关图纸技术资料，为消防审报工作提供坚实依据。

其次，应保持与相关审批部门良好密切沟通。近些年，国家及各地方政府针对既有建筑改造历史遗留问题积极出台了很多相关法规和政策，为报批手续办理创造了有利条件。应及时了解补办手续的政策流程、所需材料以及时间点，严格按照要求准备并提交真实、准确的相关文件。

再次，对于因历史遗留问题或特殊原因导致手续难以补办的情况，可考虑寻求专家论证。邀请行业权威专家对消防改造方案进行评估，论证其在满足消防安全标准前提下的可行性与合理性。以专家意见作为重要依据，与相关部门协商解决方案，争取特事特办，保障改造项目能够合法合规推进。

（2）明确合理装修改造范围。既有建筑精装修改造往往焦点会落在实际使用部分的功能布局关注而忽略对建筑物承载整体能力与空间布局的关注，相关的防烟楼梯间、前室、合用前室、疏散走道等公用部位应包含在改造设计范围内。既有建筑精装修改造应以现行消防规范为指导，着眼于既有建筑整体承载能力与空间布局，评估消防结构体系整体的稳定性，以确定是否需要对既有建筑结构进行局部调整或整体优化，为人员在紧急情况下的疏散提供可靠保障。

（3）实地查勘现场设备状况。受历史背景、经济水平和建设年代等因素影响，许多老旧建筑经历多次修缮、装修、改建，消防设施配置型号种类繁多且老旧失修。应调查并明确现有建筑消防整体布置、运行状况及设施详情，并在设计文件中予以说明。

3.2 方案设计工作开展后重点工作：

（1）准确判定建筑耐火等级。既有建筑物的耐火等级是衡量其抵抗火灾能力的关键指标耐火等级代表着建筑物在火灾中所能承受的时间和火势的程度不同。应根据既有建筑的耐火等级和关键构件(如柱、梁、板、承重构件)的防火极限选用合理的装修材料和构造做法，选用不燃或难燃的装修材料及构造基层，可有效阻止火灾的快速蔓延，降低火灾的危害，能够在一定程度上提高建筑物的耐火性能。

（2）正确处理建筑防火间距。防火间距是建构筑物之间阻止火势蔓延、进行火灾扑救、人员安全疏散及降低火灾时热辐射等的必要间距。既有建筑物精装修改造因对原建筑实施了较大调整，审批中通常会遇到既有建筑群内部建筑的防火间距不足和既有建筑与周边相邻建筑防火间距不足的问题，可通过将建筑物的普通外墙改为实体防火墙、相邻建筑之间设置独立防火墙、提高相邻建筑或既

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

有建筑本身的耐火等级、相邻较高建筑外墙上的开口部位设置甲级防火窗或符合 GB 50084—2001《自动喷水灭火系统设计规范》中规定的防火分隔水幕或防火卷帘、降低既有建筑使用功能上的危险性等方法进行弥补。另外,在审核中应注意因建筑改变使用性质和功能后应当设置环形消防车道和消防登高面的问题,为灭火创造良好条件。

（3）强化合理建筑防火分区。防火分区能够有效阻止火势和烟雾在建筑物内的蔓延,为人员疏散和消防救援争取宝贵时间，最大限度降低火灾造成的损失。既有建筑物精装修改造平面功能布置应结合建筑的使用性质、建筑类别，依据最新建筑法律法规进行防火分区的合理划分，采用符合耐火极限要求的防火墙、防火卷帘、防火门等防火分隔构件，将火灾限制在一定的范围内。对于穿越楼板和防火墙的管道、电缆等孔洞，要采用防火封堵材料进行严密封堵，防止火灾时火焰和烟雾通过这些孔洞蔓延。

（4）全面评估现有的消防设施。既有建筑精装修改造应结合建筑类别、使用功能，依据最新的消防规范，对消防给水系统、自动喷水灭火系统、火灾自动报警系统、防排烟系统、应急照明和消防器材等消防系统进行整体升级和更换，确保其消防能力的可靠性。需利旧的原有排烟、正压风机、水泵等消防设备，应校核原设备参数应满足现行消防设计规范的要求；需更换的消防设备，其设备技术性能应满足现行标准规范要求并不应低于替换的原有设备性能。

（5）优化疏散通道与安全出口。既有建筑精装修改造应合理规划设计疏散通道及安全出口的位置和数量,确保主要疏散通道的位置合理、宽度足够符合现行法规和标准,保证每个楼层的人员都能在最短时间内通过安全出口撤离。并且合理设置疏散指示标识和逃生指示灯，确保火灾发生时人员能够清晰地辨认疏散路线。指示标识和逃生指示灯应安装在明显可见的位置，经常进行维护和检查，确保其有效性和可靠性。

（6）提升电气系统安全性。电气系统进行全面的检查和评估，应着重对电气用房、电气容量、设备选型及电气回路进行系统考虑满足改造后的供电需求,避免电气设备过载运行。同时，安装剩余电流动作保护器、过流保护器等电气安全装置,实时监测电气系统在运行异常时能够及时切断电源，防止火灾的发生。可通过增设应急电源装置（EPS）、柴油发电机、外电源接入等途径来满足消防双路供电需要。

（7）保障消防水源稳定性。既有建筑消防供水系统应对其供水能力系统评估，必要时与市政部门沟通协调，增大供水管网管径、增设供水接口或增设消防水池，以确保在火灾发生时有充足的水量供应。既有建筑精装修内部应按照相关消防技术规范要求，根据场所的性质、分类、火灾危险性等级合理设置自动喷水灭火系统和火灾自动报警系统。同时，在建筑周边合理规划消防取水点，确保取水点距离建筑物适中，并且设置明显的标识，方便消防车快速准确地取水。

（8）采取有效防排烟措施。既有建筑精装修改造的墙体变动、空间重新划分都会影响既有建筑的防排烟系统布局和效果。根据建筑物的使用性质、空间高度、火灾荷载等因素,依据最新的建筑防火和防排烟相关规范和标准,详细分析评估原有系统与改造后建筑功能和空间变化的适配性，判断是否需要对系统进行改造或升级。准确计算各防烟分区的合理的排烟量及送风量,为防排烟系统的设计提供准确依据，使室内形成合理的气流组织，以确保在火灾发生时能够及时有效地排除烟气、阻止烟气蔓延，为人员疏散和消防救援创造有利条件。

（9）引入消防管理系统的智能化。既有建筑精装修改造项目的消防管理模式往往已难以满足日益复杂的消防安全需求,设计过程中可结合实际适时引入智能火灾探测与报警、智能消防设施控制、智能消防管理平台、智能消防巡检与维护等智能化消防系统。通过智能化的消防管理系统对消防工作的各个环节进行智能感知、分析、决策和控制，从而提高消防管理的效率、准确性和安全性，提高消防设施的可靠性和运行效率。

（10）消防设计的成果文件应进行必要审查。既有建筑内部精装修改造设计对建筑结构实施了较大的调整,消防系统也应一并重新设计。消防设计审查的重点内容包括室内消火栓、火灾报警、自动灭火设施、防火防烟分区、消防安全通道、消防电梯等设备设施，判断其是否符合现行消防法律法规。

综上所述,既有建筑物精装修改造必须以提升建筑功能、性能和可持续性的基础上，以实际使用需求与结构改造、抗震改造、节能改造、装饰改造相结合为基础，以我国现行国家工程建设消防技术标准要求为基准,以政府主管部门文件规定为方针,从而适应现代社会文明空间发展需求、改善建筑物整体性能、实现可持续发展理念。既有建筑物的改造不仅是对社会资源的整合与再利用,也是经济转型的一项重大举措。

[参考文献]

[1]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑设计防火规范(GB50016-2014)(2018 年版)[S].北京:中国计划出版社,2018.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.民用建筑设计统一标准(GB50352-2019)[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.

作者简介：曹腾飞（1990.5—），专业：环境艺术设计，职务：高级室内设计师；姚丽丽（1989.1—），专业：工程管理，职务：高级室内设计师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高层建筑消防系统设计关键要点分析

郭 勇
胜利油田应急救援中心（消防支队），山东 东营 257000

[摘要]高层建筑消防系统设计已从被动响应转向主动防御的系统性工程，其核心在于构建“功能适配—技术协同—管理闭环”三位一体的全周期防控体系。功能适配性强调消防系统与建筑空间形态、使用功能的动态匹配，通过性能化设计精准划分防火分区，差异化配置灭火介质与排烟策略；技术协同性聚焦多系统联动的深度耦合，依托数字孪生技术实现设备布局优化与毫秒级应急响应；管理闭环性贯穿设计、施工、运维全生命周期，通过可维护性基因植入与智能巡检系统形成动态优化机制。文章通过空间防火性能重构、材料界面协同创新及韧性系统建构等维度，提出“预测—抑制—隔离—修复”的闭环防控逻辑，为高层建筑消防安全生态的可持续发展提供理论框架与实践路径。

[关键词]高层建筑；消防系统；系统设计；关键要点
DOI：10.33142/ec.v8i4.16293 中图分类号：TU976.1 文献标识码：A

Key Points Analysis of Fire Protection System Design for High-rise Buildings

GUO Yong
Shengli Oilfield Emergency Rescue Center (Fire Brigade), Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract: The design of high-rise building fire protection systems has shifted from passive response to active defense as a systematic engineering, with the core being the construction of a full cycle prevention and control system that integrates "functional adaptation, technical collaboration, and management closed-loop". Functional adaptability emphasizes the dynamic matching of fire protection systems with building spatial forms and usage functions, accurately dividing fire zones through performance-based design, and differentially configuring fire extinguishing media and smoke exhaust strategies; Technical synergy focuses on deep coupling of multiple system linkage, relying on digital twin technology to achieve equipment layout optimization and millisecond level emergency response; The closed-loop management runs through the entire lifecycle of design, construction, and operation, forming a dynamic optimization mechanism through the implantation of maintainability genes and intelligent inspection systems. The article proposes a closed-loop prevention and control logic of "prediction-inhibition-isolation-repair" through dimensions such as spatial fire performance reconstruction, material interface collaborative innovation, and resilience system construction, providing a theoretical framework and practical path for the sustainable development of high-rise building fire safety ecology.

Keywords: high-rise buildings; fire protection system; system design; key points

引言

高层建筑的空间垂直性与功能复合性催生火灾风险的动态叠加效应，其风险载体已从显性设备向幕墙空腔、管道竖井等隐性空间延伸，形成立体化、多维度的灾害扩散网络。传统以设备堆砌为核心的消防设计范式，受限于专业割裂与静态思维，难以应对超高层建筑中火、烟、毒多物理场耦合的复杂灾变场景。现代消防体系亟需突破技术边界，构建“空间防火性能优化—智能联动逻辑重构—全周期管理闭环”三位一体的集成化防控框架。在空间性能维度，通过BIM逆向工程解析建筑几何拓扑关系，结合计算流体力学（CFD）模拟烟气扩散的三维路径，精准定位中庭挑空区、设备转换层等高风险节点的防火薄弱界面。基于材料热力学参数与人员热力轨迹的耦合分析，重构防火分区的动态划分逻辑，例如在商业综合体中将影院、餐饮等火灾荷载差异显著的功能单元进行空间解耦，设置可变形防火隔断装置以适配业态调整需求。技术联动层面，依托数字孪生技术构建虚实映射的消防设备拓扑网络，实现防排烟系统风阀开度与火势热释放速率的动态匹配，智能喷淋系统基于边缘计算动态调节水雾粒径与覆盖密度，疏散引导系统则通过 UWB 定位与恐慌心理模型生成实时路径规划方案。三者通过物联网协议形成毫秒级响应链条，破解传统消防设备“单兵作战”的效能衰减困局。管理闭环性贯穿于全生命周期，设计阶段植入可维护性基因，在装饰层内预埋传感终端接口与设备检修通道；施工阶段采用区块链技术对防火涂料涂布厚度、喷淋管网试压数据等关键参数进行分布式存证；运维阶段通过 AR 巡检系统自动比对设备状态与设计阈值，结合联邦学习算法迭代优化系统控制策略。这种“预测建模—智能抑制—物理隔离—韧性修复”的主动防御体系，推动消防设计从灾后被动处置向风险前瞻消解的范式跃迁，为超高层建筑构筑自适应、自愈合的安全韧性基底，重新定义现代城市空间的防灾逻辑与生命守护边界。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1 高层建筑火灾的特点

1.1 火灾的隐患

高层建筑内部能源系统与功能空间的耦合效应显著，电力设备密集区、管道井道交叉点及装饰材料接缝处形成火灾隐患的隐性网络。电缆过载、风管油污积聚与幕墙空腔烟囱效应构成多维度致灾链，而后期改造破坏防火分区、拆除防火门或封堵排烟通道进一步削弱被动防火体系效能。违规使用可燃建材与消防管理缺失加剧隐患积累，形成从微观材料失效到宏观空间失控的立体风险叠加。

1.2 火势烈，快速传播

高层建筑的中庭与竖向管井形成天然拔风通道，火灾初期烟气扩散速度远超水平蔓延速率，形成立体火势推进网络。钢构件受热软化导致结构变形，加速火势突破防火分区边界；玻璃幕墙爆裂产生的空气对流引发火风压效应，加剧火流卷吸与氧气补给。现代建筑广泛使用的复合保温材料在高温下熔滴飞溅，触发多点引燃现象，构建垂直与水平交织的立体燃烧通道[1]。此类空间特性与材料性能的耦合作用，使得火势突破传统二维平面蔓延模式，形成三维立体火场快速扩张路径。

1.3 疏散困难

在高层建筑中，由于楼层众多、垂直高度大，人员从高处疏散至地面或其他安全区域所需的时间较长。一旦发生火灾，建筑内部的竖向井道如电梯井、管道井和通风井等，极易形成烟囱效应，导致火势和烟雾迅速蔓延，进一步增加了安全疏散的难度。同时，高层建筑的结构布局通常较为复杂，水平与垂直距离较大，在火灾发生时，电梯将按照规定停止运行，居民只能依靠疏散楼梯进行逃生，而消防电梯则主要供消防人员使用。这意味着居住在高楼层的人员需要更长时间才能安全撤离，但火势和烟雾扩散的速度往往远快于人的疏散速度，从而严重威胁到生命安全。

1.4 消防设备设施的不完善

高层建筑消防系统存在多重设计缺陷：消防水泵接合器设置高度不足引发供水压力梯度衰减，喷淋系统盲区与探测器灵敏度阈值失配导致火情响应迟滞；过度智能化设计导致机械应急操作界面冗余性缺失，控制系统单点故障即可触发系统性功能瘫痪。部分项目消防管网拓扑结构未实现环状冗余布局，关键节点缺乏水力报警装置实时监控管网完整性。装饰层过度封闭影响设备检修可达性，防火涂料涂布工艺缺陷加速材料性能衰减，而维保记录缺失与智能巡检盲区则使隐性风险持续累积，形成“设计漏洞—施工误差—运维失效”的全周期缺陷链。

2 消防系统关键设计要点分析

2.1 消防给水与灭火系统设计

高层建筑消防给水系统需构建“市政管网—消防水池—屋顶水箱”三级水源互补体系，通过压力分区控制技术实现竖向水压梯度精准调节：低区采用减压阀组稳定供水压力，中高区配置多级串联变频稳压泵组动态补偿压力衰减，确保各楼层消火栓出口压力持续达标。管网拓扑采用双环状冗余布局，关键交汇节点设置水力报警阀与电磁流量计，实时捕捉管网渗漏与压力突变信号，同步联动智能诊断系统定位故障区段。针对数据机房、档案库等特殊场所，创新研发细水雾与七氟丙烷惰性气体复合灭火技术，通过喷嘴阵列优化设计实现灭火介质空间浓度梯度控制，在快速窒息火焰的同时规避精密设备水渍损害；对于商业综合体等人员密集区域，采用预作用式喷淋系统与防火卷帘联动控制，火灾确认后延迟 60 秒喷水以预留疏散窗口期。系统设计中需预留管网冲洗接口与压力测试阀组，结合 BIM 运维平台实现管壁腐蚀度智能预测与预防性维护决策，形成“供水保障—精准灭火—寿命管理”的全周期技术闭环。

2.2 火灾自动报警系统设计

高层建筑火灾自动报警系统需突破传统单一参数阈值报警模式，构建基于多物理场耦合的智能识别逻辑：通过烟雾粒子浓度梯度、温度变化斜率、CO/VOC 气体浓度、气压波动频率四维参数融合分析，建立动态权重自适应算法，精准区分烹饪油烟、设备过热等干扰场景与真实火情特征。在电缆桥架、电气竖井等线性隐蔽空间布设分布式光纤测温系统，通过拉曼散射光谱解析技术实现每米级温度场连续测绘，结合自诊断功能排除光纤弯折损耗引起的误报风险；对于幕墙空腔、装饰夹层等非结构化空间，采用无线自组网热电堆传感器集群，通过拓扑优化算法实现热辐射能量的三维场重构。报警控制器需集成多协议转换网关，兼容 BACnet、Modbus、OPC UA 等工业通信标准，与 BIM 运维平台深度耦合，将火警点位坐标、设备状态参数实时映射至建筑数字孪生体，生成热力图谱与烟气扩散推演动画。系统内置边缘计算节点，可在火灾确认后 0.5 秒内触发多级联动策略：初级预警阶段启动局部排烟与应急广播，二级确认阶段切断非消防电源并迫降电梯，三级紧急阶段解锁消防水箱电磁阀与避难层加压送风系统[2]。通过区块链技术固化报警事件的时间戳与处置记录，构建不可篡改的应急指挥证据链，同时支持固件远程空中升级（OTA）与深度学习模型迭代优化，确保系统持续适应建筑业态变更与火灾场景演化需求。

2.3 防排烟系统设计

高层建筑防排烟系统需突破传统静态分区模式，通过计算流体力学（CFD）逆向建模技术重构动态防烟逻辑：基于建筑空间拓扑特征与人员热力分布规律，构建多火灾场景下的烟气扩散三维仿真模型，优化防烟分区的几何边界与开口控制策略。中庭顶部设置智能联动排烟装置集群，集成可开启式电动排烟窗与射流风机矩阵，通过边缘计算实时解析火源热释放速率与烟气层高度，动态调节排烟口开启面积与风机转速配比，形成“热羽流捕捉—惯性分离

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

一定向排放”的协同排烟机制。前室与楼梯间加压送风系统采用多参数耦合控制技术，在风道关键节点部署压差传感器与激光粒子计数器，通过模糊 PID 算法驱动风量调节阀动态补偿门洞开启导致的压差波动，维持疏散通道 0.25～0.35m/s 的定向气流速度阈值。

排烟管道系统需进行耐火性能革命性升级：采用纳米陶瓷基复合板材替代传统镀锌钢板，耐火极限提升至与建筑主体结构同等的 3 小时标准；管道连接节点嵌入形状记忆合金密封环，遇高温自动膨胀填补结构缝隙，阻断烟气渗透路径；在竖向管井内设置自冷却式防火包裹层，通过相变材料吸热与微通道循环散热技术，抑制金属管道热膨胀变形。系统与 BIM 运维平台深度集成，可实时监控风机轴承振动频谱与风阀执行器寿命状态，结合数字孪生技术预演设备故障对排烟效率的影响路径，提前触发预防性维护工单，构建“智能抑烟—结构耐火—预测运维”的全维度防御体系。

2.4 消防电梯与疏散通道设计

高层建筑消防电梯系统需构建多维度安全屏障：电梯井道采用正压送风与梯度空气幕协同阻烟技术，通过动态压力传感器实时监测井道内外压差，调节风机转速维持 20-30Pa 的定向气流屏障；轿厢内集成 HEPA 高效过滤与活性炭吸附复合净化模块，可滤除 90%以上有毒烟气颗粒，同步搭载卫星通讯与无线中继装置，确保极端环境下应急通讯链路畅通。电梯门机系统嵌入热变形自补偿机构，配置耐高温陶瓷涂层导轨，保证 800℃环境持续运行 30 分钟。疏散通道设计遵循“被动防护—主动引导”双原则：楼梯踏步采用反坡排水与防滑纳米涂层处理，梯段宽度适配双向人流极限疏散密度，关键转折平台设置光致发光导向标识与多语言声光提示装置，声压级智能匹配环境噪音强度。通道内嵌分布式智能照明系统，通过红外感应与烟雾透光率动态调节照度梯度，防火门配置电磁吸合闭门器与温感熔断解锁装置，火灾时自动闭合形成连续阻烟单元[3]。避难层采用模块化防灾设计：通风系统集成高压静电除尘与紫外光催化分解技术，实现 PM2.5 与有毒气体的双效净化；防火卷帘分区嵌入热敏感应膨胀密封条，遇高温自动填充结构缝隙，形成气密性防护单元；生命支持区配备自发电氧浓缩设备与负压隔离舱，物资储备库采用防火防爆壳体结构，内置温湿度自调节云仓储系统。

2.5 智能化消防系统的应用

高层建筑智能化消防系统以数字孪生平台为核心引擎，通过建筑信息模型（BIM）与物联网（IoT）协议的深度融合，构建虚实联动的三维管控界面：在数字空间中同步映射建筑结构热力学参数、设备运行状态及人员分布热力图，依托边缘计算节点对多源传感器数据进行时空关联分析，实时推演火势蔓延路径与结构失效风险。系统内嵌基于深度强化学习的决策算法，可模拟十万级火灾场景迭代优化应急预案，例如在商业综合体火灾中自动计算最优排烟风机转速配比与疏散路径动态权重[4]。智能喷淋系统实现从“被动触发”到“预测干预”的技术跃迁：喷淋头内置热敏形状记忆合金驱动机构，通过红外光谱阵列感知火场温度梯度分布，自主调节水雾粒径与覆盖密度——针对油类火灾喷射超细水雾形成窒息屏障，将电气火灾切换为氮气幕隔离模式；同时搭载自学习芯片，可基于历史灭火数据优化介质释放策略，例如在图书馆档案区主动降低水压以减少文献损毁。区块链技术深度渗透消防全生命周期管理：设备出厂参数、安装验收记录与维保操作均以哈希值形式分布式存储，形成不可逆的质量追溯链；智能合约自动触发维保工单，当传感器检测到防火涂料厚度衰减或管网锈蚀超标时，通过去中心化网络向责任方发送加密工单并冻结工程尾款。系统整合增强现实（AR）巡检眼镜与声波探伤仪，维保人员扫描设备二维码即可叠加显示历史运维数据与三维故障定位指引，实现“数字档案—物理设备—人工操作”的闭环验证。

3 结语

高层建筑消防系统设计正从被动防御转向主动免疫，核心在于破解空间形态、结构耐火与机电响应的协同难题。未来需重构空间防火性能，将隐性空间纳入数字孪生火势模型，融合材料创新实现装饰与防火效能平衡；发展智能协同控制技术，通过多物理场预警算法驱动防排烟、喷淋与疏散系统形成毫秒级响应闭环；以韧性提升为导向，研发自修复阻燃材料与设备冗余架构。技术进化应聚焦热辐射场预测、超细水雾定向灭火及区块链全周期质控体系，依托 BIM 平台集成动态防火分区与故障自愈逻辑，构建具备空间自适应、风险自识别能力的新一代防火体系，为超高层建筑筑牢本质安全根基，重塑城市韧性防灾范式。

[参考文献]

[1]黄相冰.高层建筑消防系统设计与优化策略研究[C].北京:中国智慧工程研究会.2024 智慧施工与规划设计学术交流会论文集.碧桂园生活服务集团股份有限公司贵港分公司,2024.
[2]任秀玲.高层建筑给排水消防设计问题分析[J].消防界(电子版),2023,9(15):48-50.
[3]王强.高层建筑给排水消防系统的设计及注意事项[J].住宅与房地产,2023(20):69-71.
[4]李星霖.高层建筑消防给水系统设计分析[J].科技资讯,2022,20(24):105-108.

作者简介：郭勇（1976.8—），单位名称：胜利油田应急救援中心（消防支队），毕业学校：山东工商学院。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

绿色建筑技术在建筑设计中的原则与运用

孟繁钰
九易庄宸科技(集团)股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]在新时代背景下，我国经济快速发展，人民生活水平不断提高，居住环境的需求也随之上升，这使得绿色建筑逐渐成为人们关注的焦点。绿色建筑技术的发展水平在一定程度上反映了地区经济的整体发展水平。在建筑设计领域，能否将先进的设计理念转化为优质的建筑作品至关重要。将绿色建筑技术理念应用于建筑设计已成为我国建筑行业发展的新方向和目标。然而，尽管绿色建筑技术在我国逐渐得到推广，实际应用中仍存在诸多问题。文中探讨绿色建筑设计的基本原则，并提出促进绿色建筑技术有效应用的策略，旨在为相关理论研究提供积极而有价值的参考。

[关键词]绿色建筑技术；建筑设计；原则；技术运用
DOI：10.33142/ec.v8i4.16313　　中图分类号：TU201　　文献标识码：A

Principles and Applications of Green Building Technology in Architectural Design

MENG Fanyu
Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In the context of the new era, Chinese economy is developing rapidly, people's living standards are constantly improving, and the demand for living environment is also increasing. This has made green buildings gradually become the focus of people's attention. The development level of green building technology to a certain extent reflects the overall development level of the regional economy. In the field of architectural design, it is crucial to transform advanced design concepts into high-quality architectural works. Applying the concept of green building technology to architectural design has become a new direction and goal for the development of Chinese construction industry. However, despite the gradual promotion of green building technology in China, there are still many problems in its practical application. The article explores the basic principles of green building design and proposes strategies to promote the effective application of green building technology, aiming to provide positive and valuable references for theoretical research.

Keywords: green building technology; architectural design; principle; technical application

引言

随着全球环境问题的日益严重以及可持续发展理念的广泛认同，绿色建筑技术已成为应对气候变化、节约能源与资源、提高生活质量的有效途径。建筑的能源效率和资源利用不仅受到重视，减少对环境的负面影响以及对人类健康的保护也得到了强调。其目标是营造一个生态友好、宜居且舒适的生活与工作环境。随着科技的不断进步，绿色建筑技术从最初的单一节能措施，已发展为涵盖节能、环保、节水、节材、健康舒适等多维度的综合体系，广泛应用于住宅、商业、公共等多种类型的建筑项目中。然而，在具体设计与施工阶段，如何结合不同地区的气候特点、建筑功能等多种因素，合理地运用绿色建筑技术，依然面临许多复杂的挑战。因此，掌握绿色建筑技术的运用原则，探索其在各类建筑中的具体应用方式，已成为推动建筑行业可持续发展的核心议题。本文将对绿色建筑技术在建筑设计中的应用原则与实践进行深入探讨，分析当前实施过程中所存在的问题，并提出相关对策与建议，力图为绿色建筑的发展提供有益的参考与思考。

1 建筑设计中运用绿色建筑技术的意义

绿色建筑技术在建筑设计中的应用具有重要的价值。随着全球环境问题的日益加剧，节能减排已成为全球范围内政府与社会各界关注的焦点。作为提升建筑可持续性并减轻环境负担的有效手段，绿色建筑技术逐渐被视为现代建筑设计的核心理念之一。通过应用这一技术，建筑过程中的能源消耗与资源浪费得到了显著降低，环境污染也被有效减少，同时建筑的舒适性与健康性得到了提升。具体来说，建筑的能源利用效率通过优化设计得以提升，可再生能源的应用与环保建材的选用，增强了自然采光与通风设计的效果，不仅有效降低了建筑在运营过程中的能源需求，也在施工阶段减少了对自然资源的损害。此外，建筑物的生命周期价值在绿色建筑技术的应用下得以提升，使用年限也得到了延长，建筑废弃物的产生减少，从而实现了资源的最大化利用。绿色建筑的推广不仅对生态环境的改善与居住环境质量的提高产生了深远影响，也促进了绿色经济的繁荣，推动了社会的可持续发展。因此，绿色建筑技术的广泛应用已成为当今建筑设计中实现环境、经济与社会三重效益的关键途径。

2 建筑设计中绿色技术运用所遵循的原则

2.1 地域性

在建筑设计中，地域性原则具有至关重要的作用。地

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

域性是指根据建筑所处的地理位置、气候条件、自然资源以及社会文化背景，量身定制与之相适应的绿色建筑技术和设计方案。由于各地区气候差异显著，建筑设计必须根据当地特点进行调整，充分发挥自然资源和环境的优势。例如，在寒冷地区，建筑设计应特别聚焦于保温与节能技术，而在热带或亚热带地区，则更应注重自然通风、遮阳设计及冷却系统的优化[1]。此外，当地的能源供应情况、建筑材料的可获取性，以及文化习惯和生活方式，均会影响绿色建筑技术的选择与实施。通过遵循地域性原则，不仅能使建筑与周围环境更加契合，还能提升能源使用效率，降低运营成本，从而增强建筑的可持续性。

2.2 实用性

在建筑设计中，绿色技术的实用性原则强调所采用的技术与设计方案必须具备实际可行性和应用价值，确保其能够在建筑的各个阶段得到有效实施，并为使用者带来实际的效益。在选择绿色建筑技术时，建筑的功能需求、预算限制、施工条件以及后期的维护与管理等现实因素需要被综合考虑。例如，节能技术的应用不仅需要保证能源节省，而且还应确保不会影响建筑的使用功能与舒适度；在选用环保材料时，除了关注其环保性能外，还必须考虑其耐久性、维护难度以及成本效益。实用性原则要求设计师在追求绿色建筑目标的同时，也要充分评估技术的经济性与可操作性，避免因过度依赖高端技术而导致项目成本过高或实施难度增大。

2.3 协同性

在建筑设计中，绿色技术应用的协同性原则强调各项绿色建筑技术与设计方案之间应具备相互配合与协调发展的能力，以实现最佳的整体效果。绿色建筑的实现并非单一技术的堆砌，而是不同技术、设计理念与建筑元素的有机结合。例如，建筑的节能设计应与自然采光、自然通风、雨水回收等技术紧密结合，而非孤立地运作。这样的协同作用不仅能够提高建筑的能效，还能在节约能源的同时，改善室内空气质量，并提升居住舒适性。此外，协同性原则还要求设计过程中不同专业之间的紧密合作。建筑、结构、机电与环境等领域的设计人员需要充分沟通与协作，以确保绿色建筑技术的实施不受专业分工或技术壁垒的限制。

3 建筑设计中绿色技术运用过程中存在的问题

3.1 室内外环境污染较大

在建筑设计中运用绿色技术时，室内外环境污染的问题不可忽视。尽管绿色建筑技术的核心目标是减少能源消耗并提高资源利用效率，但在实际应用过程中，建筑施工与运营阶段依然可能对环境造成一定的负面影响。例如，某些建筑材料在施工过程中可能会释放有害物质，如挥发性有机化合物（VOC），这些物质会污染室内空气，威胁居住者的健康。同时，一部分绿色建筑材料在生产与运输过程中，可能对环境产生污染，其碳足迹无法完全消除。此外，即便在建筑的运行阶段采取了节能措施，建筑设备的使用仍可能导致噪音、废气、废水等污染物的排放，从而影响周围环境的质量。

3.2 节能建筑只是停留在高端项目上

在建筑设计中，绿色技术的应用在节能建筑领域常常局限于高端项目，这一现象在行业中较为普遍。尽管绿色建筑技术在节能与环保方面具有显著优势，然而，由于其较高的初期投资以及实施过程中较为复杂的技术要求，许多中低端项目未能引入这些先进技术[2]。高端项目通常具备更为充足的资金与资源，能够承担绿色建筑技术带来的额外成本，并且具备足够的技术力量进行系统设计与实施。相比之下，面对较大的成本压力时，普通住宅、商用建筑等中小型项目的开发商，往往倾向于选择低成本的传统建筑方式，忽视了绿色节能技术所能带来的长期效益。尽管节能建筑的核心目标是减少能源消耗、改善环境质量，但目前这些技术集中应用于高端市场，导致其在其他类型建筑中的推广与普及受限，从而未能在更广泛的领域实现其应有的应用潜力。

3.3 过分削减建筑的功能

目前，许多建筑工人在实施绿色建筑技术时，过度削减建筑功能，导致用户体验下降。同时，建筑功能的减少还可能影响整体工程质量，进而引发潜在的安全隐患。此外，这种为了实施绿色建筑技术而牺牲建筑功能的做法，并未为建筑公司节约成本，反而可能增加能耗和总成本。

4 建筑设计中绿色技术运用的对策

4.1 改善暖通空调施工，降低环境污染

改善暖通空调（HVAC）系统的施工质量是提升绿色建筑效能、减少环境污染的重要环节。作为建筑中能耗较高的部分之一，暖通空调系统的施工质量直接影响建筑的能源使用效率与环境友好性。为了最大限度减少其对环境的负面影响，设计阶段应优化系统配置，选用高效、低能耗的设备和技术，尤其是在制冷剂的选择上，传统氟利昂制冷剂应避免使用，而低 GWP 的环保制冷剂应被选用。在施工过程中，必须确保设备安装符合相关标准，管道系统应具备良好的密封性能，以避免冷媒泄漏及空气污染的发生。此外，智能控制系统与高效空气过滤装置的采用有助于提升室内空气质量，减少有害物质的积聚，降低对居住者健康的潜在危害。在管道布置与空间设计方面，不必要的管道长度与设备数量应减少，从而降低能耗并简化施工流程。暖通空调系统的精确调试至关重要，确保其能够在不同季节与环境条件下高效、稳定地运行，以避免因设计不当或调试不准确而导致的能耗过高与环境污染问题。

4.2 加大对绿色节能建筑的覆盖面

扩大绿色节能建筑的应用范围是推动可持续建筑发展、应对环境挑战的关键措施。绿色节能建筑不仅能够显

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

著减少建筑能源消耗，还能提升环境质量、减少温室气体排放，并促进资源的高效利用。然而，目前绿色节能建筑的应用主要集中在高端商业项目及政府主导的大型项目中，普通住宅及中小型建筑的应用范围较为有限。要改变这一状况，需要从多个方面着手，包括政策支持、市场激励、技术进步及资金投入。政府应出台更加优惠的政策措施，如提供税收减免、补贴或贷款优惠，以鼓励开发商与业主在建筑设计、施工及运营阶段积极采用绿色节能技术。同时，推动绿色建筑认证体系的普及，将绿色建筑标准作为行业的基本要求，从而促使其在各类项目中得到广泛应用。市场与社会各界的绿色建筑意识亟需加强，开发商、设计师与施工单位应加大对绿色节能技术的研发力度，降低其成本，提升应用效果，使绿色建筑技术能够广泛应用于更多类型的建筑项目。技术方面，应加大对节能建筑材料、智能建筑系统及可再生能源技术的研发投入，优化其性能并降低成本，以确保这些技术能够适用于不同规模和功能的建筑[3]。在资金支持方面，可以通过引导社会资本投入、推出绿色金融产品等措施，增强绿色建筑项目的资金保障，帮助更多项目承担绿色建筑技术的初期投入，从而推动绿色建筑技术在更广泛领域的应用。

4.3 加强对建筑设计实施绿色技术的监察力度

加强建筑设计中绿色技术实施的监督，是确保绿色建筑标准得到全面执行、提高建筑行业可持续发展水平的关键措施。尽管绿色建筑技术在设计阶段已制定了明确的标准与指导方针，但在实际施工与运营过程中，技术的落实常常面临诸多挑战。许多项目由于成本限制或技术实施难度，可能对绿色技术进行妥协或选择性应用，导致建筑未能实现预期的环保与节能效果。因此，必须建立健全的监管体系，确保绿色技术在整个建筑生命周期的各个环节得到有效实施。相关政府部门应加强对绿色建筑项目的监管，制定具体可行的监督规范，对绿色技术的应用进行全程监控，确保从设计审查到施工验收，再到后期的运营与维护，整个过程中绿色标准都能得到严格执行。同时，行业协会及专业机构应定期对绿色建筑技术进行审查与评估，开展认证工作，并对未按规范实施的项目进行通报与处罚。设计单位、施工单位及业主应强化内部自检机制，确保在建筑项目的各个阶段，绿色建筑技术得以全面落实，妥协不应发生。

4.4 做到建筑节能与功能的双保障

在绿色建筑设计中，确保节能与功能的双重保障是核心原则之一。在追求节能减排目标的同时，建筑的基本功能和使用需求必须得到满足，甚至在此基础上，居住者的舒适性与生产效率也应得到提升。建筑节能设计的目标不仅是减少能耗，更在于，在确保舒适性、实用性与安全性的前提下，实现能源的最优利用。在实际设计中，全面考虑建筑的热工性能、光环境、空气流通、噪音控制等因素，设计师需要结合合理的布局、优化材料选择、采用高效的隔热与保温系统，并引入智能化能源管理系统，以确保建筑在节能的同时，能够提供一个舒适、健康的生活或工作环境[4]。例如，通过增加自然采光、合理设置窗户开口与遮阳系统，人工照明的能耗不仅能减少，还能提升室内光照质量；同样，智能 HVAC 系统能够根据室内外环境变化自动调整温度与空气流通，避免能源浪费的同时，确保室内空气质量与温度的舒适。此外，节水、雨水回收及废弃物处理等领域，绿色建筑技术也应注重，确保在节能的同时，建筑功能的多样性与居民的生活质量得到有效保障。

5 结语

绿色建筑技术在建筑设计中的应用，不仅是应对环境问题和提升能源效率的有效途径，也是在推动可持续发展进程中不可或缺的一部分。通过合理运用地域性、实用性、协同性等设计原则，绿色建筑技术能够在保证建筑功能与舒适性的基础上，最大化减少对环境的负面影响，提高资源利用的效率。然而，在实际应用过程中，绿色建筑技术的推广仍面临着一些问题和挑战，诸如高昂的初期投资、技术实施的复杂性以及行业协作的不足等问题亟待解决。为应对这些挑战，采取切实有效的措施是至关重要的。这包括加大政策支持力度，优化绿色建筑技术的解决方案，加强监管机制，并提高社会对绿色建筑的认知度和接受度。通过这些举措，能够确保绿色建筑技术的全面应用，推动建筑行业朝着更加环保、节能、智能的方向发展，最终实现社会、经济与环境的协调可持续发展。

[参考文献]

[1]李丹,门琮.绿色建筑技术在建筑设计中的应用探析[J].工程建设与设计,2025,11(5):15-17.
[2]王昕.绿色建筑技术在建筑设计中的优化与结合研究[J].石材,2025,12(1):49-51.
[3]罗俊航.绿色建筑技术在建筑设计中的运用研究[J].居舍,2024,12(24):99-102.
[4]李冠.绿色建筑技术在建筑设计中的原则与运用[J].居舍,2023,11(14):119-121.

作者简介：孟繁钰（1984.10—），毕业院校：河北工程大学，所学专业：建筑学，当前就职单位：九易庄宸科技（集团）股份有限公司，职务：建筑设计师，职称级别：副高级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高性能混凝土配合比优化设计及性能影响因素分析

赵贵健[1] 李增志[2]
1. 广西柏林达企业管理服务有限公司，广西 南宁 530000
2. 广西中旭房地产开发集团有限公司，广西 南宁 530000

[摘要]随着交通需求的日益增长，高速公路建设的规模不断扩大。在这一过程中，混凝土材料面临着更为严格的性能要求。尤其是路面、桥梁以及隧道等关键结构中，混凝土作为主要建筑材料，需承受重载交通、温度波动、冻融循环及化学腐蚀等极端环境条件的考验。传统混凝土在面对这些严苛的挑战时，通常表现出较差的耐久性，早期病害频发，导致使用寿命缩短。为应对这一问题，高性能混凝土逐渐成为新型建筑材料，广泛应用于高速公路建设中。该材料不仅展现出较高的抗压强度，还具备出色的耐久性、低渗透性及优异的施工性，成为公路建设中至关重要的组成部分。此文将深入探讨高性能混凝土的配合比优化设计及其性能影响因素，以期为其在高速公路建设中的应用提供理论依据和技术支持。

[关键词]高性能混凝土；配合比优化；耐久性；高速公路；矿物掺合料
DOI：10.33142/ec.v8i4.16306 中图分类号：TU3 文献标识码：A

Optimization Design of High-performance Concrete Mix Proportion and Analysis of Performance Influencing Factors

ZHAO Guijian [1], LI Zengzhi [2]
1. Guangxi Bolinda Enterprise Management Service Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China
2. Guangxi Zhongxu Real Estate Development Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: With the increasing demand for transportation, the scale of highway construction continues to expand. In this process, concrete materials face stricter performance requirements. Especially in key structures such as roads, bridges, and tunnels, concrete, as the main building material, needs to withstand extreme environmental conditions such as heavy traffic, temperature fluctuations, freeze-thaw cycles, and chemical corrosion. Traditional concrete often exhibits poor durability, frequent early damage, and shortened service life when facing these harsh challenges. To address this issue, high-performance concrete has gradually become a new type of building material and is widely used in highway construction. This material not only exhibits high compressive strength, but also has excellent durability, low permeability, and excellent workability, making it a crucial component in highway construction. This article will delve into the optimization design of the mix proportion of high-performance concrete and its performance influencing factors, in order to provide theoretical basis and technical support for its application in highway construction.

Keywords: high performance concrete; optimization of mix proportion; durability; highway; mineral admixture

高速公路作为现代交通系统的关键组成部分，建设质量要求日益严格，尤其是在桥梁、路面等关键结构中，混凝土材料的性能直接影响到工程的安全性和稳定性。传统混凝土在暴露于严苛环境下，容易出现龟裂、剥落等问题，进而降低结构的使用寿命。随着高性能混凝土逐步成为研究热点，该材料凭借其高抗压强度、良好的耐久性和低渗透性，成为应对复杂环境的理想选择。然而，优化高性能混凝土的配合比、选择合适的原材料，并控制施工工艺，仍是提升其性能的核心难题。尽管如此，学术界与工程界已经开展了大量的研究，提出了许多有效的优化设计方法及改进施工技术。尽管如此，在实际应用中，高性能混凝土仍面临技术性挑战，尤其是在材料选择和成本控制方面。基于此，进一步研究高性能混凝土的配合比优化及其性能影响因素，显得尤为重要，有助于提升其应用效果，促进高速公路建设质量的进一步提升。

1 高性能混凝土概述

1.1 高性能混凝土的定义与特点

高性能混凝土（High Performance Concrete，简称HPC）不仅仅是传统混凝土的改良，而是一种基于耐久性优先设计理念的创新材料。它通过精心挑选原材料、严格控制生产工艺及质量管理，在每个环节中都力求完美[1]。所选原材料质量优异，水泥具有出色的性能，骨料粒度精准且强度高，矿物掺和料具有强大的活性，而外加剂则表现出优良的功能。生产过程中，严格遵循工艺要求，精准计量配料，均匀充分搅拌，规范操作浇筑，精心养护，确保混凝土性能稳定且卓越。

高性能混凝土具有多项突出特点：首先，其强度极高，能够承受巨大的荷载，适用于高层建筑和大跨度桥梁等结构，为其提供坚实的支撑。其高强度来源于优化的配合比、改善的骨料级配及矿物掺和料的活性激发等多个因素的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

协同作用。其次，其卓越的耐久性是核心优势，能够在酸雨、海水侵蚀、冻融循环等恶劣环境下长期保持结构的完整性和性能稳定。低渗透性也是其一大亮点，混凝土微观结构紧密，孔隙率低且孔隙小，能够有效阻挡水分、气体及有害物质的渗透，从而增强抗渗透性和抗化学侵蚀能力。此外，高性能混凝土还具有良好的工作性，施工中表现出色，具有适宜的坍落度、扩展度和流动性，能够自流平、自密实，提升施工效率，减少人为操作误差和质量波动。

1.2 高性能混凝土的性能要求

对于高速公路工程的特殊需求，HPC 的性能要求极为严格。在力学性能上，混凝土的 28 天抗压强度必须达到 50MPa 以上，弹性模量应不低于 35GPa，以确保能够应对长期重载交通所带来的疲劳荷载。在耐久性方面，HPC 需要通过抗硫酸盐腐蚀测试及碱骨料反应抑制测试，确保其在各种极端环境下都能保持优异的性能[2]。施工性能同样至关重要，要求混凝土的初始坍落度在 180～220mm 之间，且坍落度损失率不应超过 10%，以确保长距离泵送及振捣过程中混凝土的良好流动性与密实性。根据《公路高性能混凝土技术规范》的规定，还对抗裂性指标提出了具体要求，干燥收缩值应不超过 400με，从而有效降低路面龟裂的发生概率。

2 高性能混凝土配合比优化设计

2.1 原材料优选与质量控制

高性能混凝土的性能高度依赖于其组成材料的选择及严格控制。选用水泥时，P·II 52.5 级低碱硅酸盐水泥是一种理想选择，其碱含量应控制在 0.6%以下，同时，C_3A 含量必须保持在 5%-8%之间，以平衡混凝土的早期强度与抗硫酸盐性能。此水泥的成分在优化混凝土的强度及耐久性方面起到关键作用。骨料的选择直接影响混凝土的力学性质与耐久性。为了优化混凝土的密实性，粗骨料的压碎指标必须小于 12%，同时细骨料的细度模数应控制在 2.6 到 3.0 之间，含泥量不超过 1%。这种严格的骨料选取标准有助于提高混凝土的抗渗透性与耐久性，避免因骨料质量问题导致的性能下降。

在矿物掺合料的选择上，推荐使用粉煤灰（FA）、矿粉（GGBS）及硅灰（SF）等三元复掺体系。粉煤灰的掺量一般设置为 15%～25%，其作用在于改善混凝土的工作性与流动性；矿粉的掺量应为 30%～40%，其主要作用是提升混凝土的后期强度；硅灰则以 5%～8%的比例掺入，用以细化混凝土的孔隙结构，从而提升其密实性与抗渗透性。在外加剂方面，推荐使用聚羧酸系减水剂。其减水率应不低于 25%，并与水泥体系有良好的相容性。该减水剂的使用能显著提升混凝土的工作性，尤其是在施工过程中，确保混凝土在保持高强度的同时，仍能具备适当的流动性。

2.2 水胶比与浆骨比调控

水胶比（W/B）是影响高性能混凝土强度的核心因素。为了确保混凝土既有足够的强度，又不影响其施工性能，水胶比应控制在 0.30 至 0.35 之间。通过调节减水剂的掺量，可以在不牺牲强度的情况下，优化混凝土的工作性。浆骨比（C/S）同样是影响混凝土密实性与工作性的关键参数。浆骨比过高会导致收缩增大，从而影响后期强度；而浆骨比过低，则会影响混凝土的密实性，降低其耐久性。理想的浆骨比应控制在 0.32 至 0.38 之间，以确保混凝土具备良好的流动性与密实度[3]。在 2022 年沪昆高速江西段桥墩工程中，水胶比由 0.38 降低至 0.32 后，混凝土的 56 天强度提升了 18%，电通量降低至 800C 以下。这一变化显著提高了混凝土的抗渗透能力，为高速公路桥墩的长期使用提供了保障。

2.3 多目标协同优化方法

为了在混凝土的强度、耐久性与经济性之间实现最优平衡，采用响应面法（RSM）或基因算法（GA）进行多目标优化。这些方法能够考虑多个性能指标，最终确定出最佳的配比方案。以某高速公路预应力箱梁 C60 混凝土为例，通过中心复合设计法，最终确定了粉煤灰、矿粉与硅灰的最佳掺量分别为 20%、35%与 6%。在这一配比下，56 天混凝土的强度达到了 68.5MPa，氯离子迁移系数为 1.8×10^{-12} m^2/s，同时单方成本降低了 12%。该配比在确保混凝土强度的同时，显著降低了成本。此外，优化设计过程中，必须特别关注早期强度发展与温升控制之间的平衡。通过掺入 5%的缓凝型减水剂，混凝土的温升峰值可推迟至 24 小时后，从而有效避免温度过高引发的裂缝问题，进一步提高了混凝土的耐久性。

3 高性能混凝土性能影响因素分析

3.1 材料组成的影响

混凝土的整体性能与其原材料的选择密切相关。胶凝材料的活性指数应大于 1.05，以确保水化产物致密并提升混凝土的耐久性。骨料的选择直接影响混凝土的力学性能。为了优化应力传递路径，粗骨料的最大粒径应控制在 25mm 以下，且其针片状颗粒的含量应小于 8%。这些标准的执行可确保混凝土在承受外力时具有更好的韧性与抗裂性。在细骨料的选择上，优选球形度大于 0.8 的机制砂。研究表明，采用这种机制砂能有效降低混凝土的塑性黏度，提升其泵送效率，并改善其流动性。机制砂的优异性能使其成为现代高性能混凝土配合比设计中不可或缺的成分之一。粉煤灰的质量对混凝土的耐久性同样具有显著影响。具有较高 CaO/Al_2O_3摩尔比（大于 2.5）的粉煤灰有助于钙矾石的生成，从而增强混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力。

3.2 环境作用机制

高性能混凝土的耐久性与环境因素的相互作用不可忽视。在海洋环境或除冰盐区域，氯离子渗透深度与湿度呈指数关系。在相对湿度超过 80%的情况下，氯离子的渗透速率会急剧增加，这要求混凝土具备较强的抗氯离子渗透能力，以应对这些恶劣环境的挑战。

冻融循环对混凝土的破坏也至关重要。在冻融过程中，孔隙水结冰膨胀时会产生巨大的内应力，导致混凝土的破裂。研究表明，当混凝土的含气量低于 4%时，每增加一次冻融循环，动弹性模量的损失率将增加 0.8%。为提高混凝土的抗冻性能，应适当增加其气孔率或掺入抗冻剂。在干旱地区，昼夜温差较大，导致热应力的产生，这种温差变

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

化可能导致表面微裂纹的扩展。研究发现，掺入 0.6kg/m^3 的聚丙烯纤维可以有效抑制裂缝的扩展，将裂缝宽度控制在 0.05mm 以下，从而显著提高混凝土的抗裂性能。

3.3 施工工艺控制

在施工过程中，搅拌时间和温度的控制对混凝土质量至关重要。搅拌时间必须达到 120 秒以上，以确保矿物掺合料充分分散，避免出现团聚现象。入模温度应控制在 5℃至 30℃之间，避免高温引起假凝或低温延缓强度发展。

振捣过程中，应使用高频插入式振捣器，振捣间距不超过 400mm，确保混凝土的密实性。养护阶段，保持湿度超过 95%，并至少持续 7 天，以促进水化反应的充分进行。在使用蒸汽养护时，应将升温速率控制在 15℃/h 以下，以避免温度过高导致毛细孔结构的劣化。

4 高性能混凝土在高速公路中的综合应用策略

4.1 结构设计与材料性能的协同优化

高性能混凝土的有效应用必须与结构设计密切结合，以确保混凝土的力学性能与耐久性得以优化。在进行有限元分析时，通过精确识别不同构件的应力分布特征，可以确保结构设计的合理性。对于拉压比大于 0.6 的区域，纤维增强技术的应用能够显著提高这些区域的抗裂性能，避免应力集中导致的裂缝扩展[4]。根据损伤力学理论，建立了材料韧性指标与结构延性系数之间的关系，量化了二者之间的相互影响，这有助于优化配筋率与混凝土极限应变的匹配，进一步提升结构的承载力与长期使用性能。同时，拓扑优化技术的引入在确保结构承载力的前提下，减少了混凝土的使用量，有效实现了轻量化设计。

4.2 施工工艺创新与过程控制

随着智能化施工技术的不断发展，混凝土施工过程已实现了更加精确与高效的控制。通过物联网传感器的实时监测，混凝土的流变参数可以得到精确控制，确保其坍落度在设定范围内。自感知模板系统的研发，使压电陶瓷传感器能够实时检测混凝土的浇筑密实度，并能及时定位振捣盲区，确保浇筑质量均匀。此外，推广真空脱水与低频振捣的复合工艺，有效降低了混凝土表层的水胶比，显著改善了混凝土的耐磨性。对于大体积混凝土施工，分布式光纤测温技术的应用，可以实时监测三维温度场，从而有效控制内外温差，使其保持在 20℃以内，避免因温差过大而导致的裂缝形成。

4.3 全寿命周期质量管理体系构建

高性能混凝土的质量管理应贯穿其全生命周期，从原材料采购到施工过程再到后期运维，每一环节都需要进行精确的质量控制。利用基于 BIM 技术的数字孪生平台，混凝土的材料性能、环境数据与结构响应信息被实时整合与监控，从而实现了对混凝土性能退化的提前预警，确保了结构的长期稳定性。在质量控制方面，制定了详细的四阶段标准：原材料阶段对粉煤灰等活性组分的含量进行检测，确保其达到标准；生产阶段监控胶凝材料比表面积的波动；施工阶段评估振捣能量与气泡间距系数；运维阶段则通过电化学阻抗谱技术监测氯离子渗透的前沿。通过这一系列措施，能够确保混凝土的性能在整个生命周期内得到持续保障。同时，通过采用马尔可夫链模型对不同维护策略的生命周期成本进行预测，为混凝土结构的维护提供了科学决策依据，进一步优化了生命周期内的成本管理。

4.4 环境适应性设计与可持续性提升

高性能混凝土在不同环境条件下的适应性设计，对于延长结构使用寿命至关重要。通过构建区域环境因子谱系图，研究了冻融循环次数、盐雾沉降速率等关键参数对混凝土性能的影响，从而制定出差异化的配合比设计指南。这一方法能够确保在不同环境条件下，混凝土仍能保持良好的力学性能与耐久性。针对干旱地区的特殊气候，开发了内养护技术，掺入超吸水聚合物后，混凝土内部的相对湿度得以长期维持在 80%以上，显著降低了自收缩的影响，提升了混凝土的体积稳定性。在海洋环境中，研究者设计了梯度功能混凝土，通过表层掺加 8%的纳米 SiO_2，形成致密的防护层，使孔隙率降低至 8%以下，大大提高了混凝土的抗氯离子渗透能力，增强了耐腐蚀性。此外，采用钢渣与赤泥复合掺合料技术，使工业固废得到了高效利用。通过将 30%～40%的钢渣-赤泥复合掺合料替代传统水泥，不仅有效降低了碳排放强度，还解决了碱激发与体积稳定性等技术难题，从而推动了绿色建材的应用及可持续发展。

5 结语

随着高速公路建设对质量的要求不断提高，高性能混凝土凭借其卓越的性能，已成为关键结构材料之一。然而，如何合理设计高性能混凝土的配合比、选择合适的原材料并优化施工工艺，仍是提升其应用效果的关键问题。本文通过分析配合比优化、材料选择及施工工艺，提出了适用于高速公路建设的高性能混凝土设计方案，既为工程实践提供了理论支持，也为技术实现提供了实践指导。随着新型添加剂及智能化施工技术的不断发展，高性能混凝土的性能将持续提升，应用领域亦将进一步扩展。未来研究可更加注重低碳环保胶凝材料的研发、智能养护技术的应用及全生命周期性能预测模型的构建，推动高性能混凝土在高速公路建设中的广泛应用，为建筑行业的可持续发展贡献力量。

[参考文献]

[1]刘万涛.建筑工程水泥混凝土配合比设计及优化[J].全面腐蚀控制,2024,38(5):111-114.
[2]王砚海,殷德胜,陈博夫.坝体混凝土碳化影响下的拱坝工作性态研究[J].江淮水利科技,2024,12(4):6-10.
[3]韦建立.粉煤灰混凝土轴心抗压强度及碳化性能可靠性研究[J].福建建材,2025,11(2):4-6.
[4]杨千葶,刘明,王志强.冻融循环和硫酸盐侵蚀作用下混凝土碳化性能研究[J].混凝土,2025,11(2):69-73.

作者简介：赵贵健（1983.11—），毕业院校：广西大学，所学专业：化学化工学院无机非金属材料专业，职务：试验员，职称级别：初级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

征稿

Call for Papers

《工程建设》由新加坡Viser Technology Pte.Ltd.主办，ISSN: 2717-5375 (印刷)。本刊长期以来注重质量，编排规范，选稿较严格，学术水平较高，深受高校教师及科研院所研究人员青睐。本刊为开源（Open Access）期刊，出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载，文章被万方数据库、维普网等权威数据库收录。

期刊针对工程项目建设的全过程，重点报道工程建设过程的科研成果、先进技术、高效设备、新型材料、工程项目管理经验等，突出工程领域新技术、新工艺、新方法，反映建筑、市政、交通等工程领域新成果、新进展，促进工程技术行业的交流与成果展示，为推动国际工程技术和科学技术发展服务。

《工程建设》期刊的主要栏目有：

工程管理、建筑工程、市政工程、机械工程、石油工程、矿山工程、冶金工程、路桥交通、勘察测绘、施工技术、建筑设计、节能环保、材料科学等。

鼓励工程建设各领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿，有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求：

（1）论文要求：论点新颖，论证充分；设想可行，结论可靠；条理分明，书写清楚，用字规范，上交电子文件（word格式）。

（2）论文格式：题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要（150字符-300字符为宜）及关键词（3-5组为宜）、正文、参考文献。（附个人简介、邮箱、联系方式及详细收件地址，如：省、市、区、路）。

（3）论文篇幅：字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址：www.viserdata.com

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址
111 North Bridge Rd, #21–01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站
www.viserdata.com

ISSN 2717-5375