



www.viserdata.com

# 工程建设

月刊

ENGINEERING CONSTRUCTION

■ 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 7

第8卷 总第77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7期(总第77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: 7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: 195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

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 张高德

刘庆功 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

- 建筑工程造价预结算审查成本管理研究..... 李新鸿 1  
装配式建筑工程管理影响因素及对策研究.....  
..... 谷俊义 李 月 4  
建筑工程审计项目变更管理中的应用研究..... 韦 珊 7  
城际交通项目的物资管理探究..... 刘立红 10  
基于数字孪生的工程全生命周期协同管理模式与效能提升研究..... 王朝辉 寻 阳 13  
新形势下建筑工程造价审计中存在的问题及对策分析.....  
..... 陈 珊 16

### 市政工程

- 论市政工程深基坑支护技术及施工要点..... 常 乐 19  
市政路桥工程的施工质量管理要点构架.... 李洪志 22  
市政工程道路排水管道施工技术要点探究..... 白宇超 25  
钢板桩支护在市政工程深基坑施工中的应用研究.....  
..... 贺 杨 28  
BIM 技术在市政道路工程设计中的应用..... 于卫东 32  
市政工程道路中排水管道的施工技术要点探讨.....  
..... 刘海瑞 35  
预制装配式建筑节点多技术协同防渗漏机理与工程应用研究..... 董润润 38  
试析市政工程雨污分流管网施工工艺要点..... 范耀宗 41  
工程测量在市政工程建设中的应用研究..... 王增援 44

### 机械工程

- 基于智能化的机械设备电气自动化技术应用研究.....  
..... 张志敏 47  
强电磁干扰环境下红外成像设备的抗干扰技术.....  
..... 王东方 50  
过滤洗涤干燥机设计与制造质量要点..... 辛丹丹 53

### 矿山工程

- 基于露天矿山爆破环节的安全管理探究..... 王应明 56  
环保技术在绿色矿山建设中的应用探讨..... 李锦诣 59

矿山安全管理体系构建与应急响应机制研究 .....  
..... 林永明 张智烽 62

## 冶金工程

湿法冶金在铜、镍、锌冶炼中的最新技术进展 .....  
..... 侯君一 65

## 道路桥梁

道路交通中自发电减速带设计分析 ..... 符养斌 69

全工序机械化装备体系在高原铁路隧道施工中的应用研究 ..... 陈秋林 73

绿色施工技术在高速公路养护中的应用分析 .... 张 岩 77

## 施工技术

预制装配式建筑结构施工技术现状与问题研究 .....  
..... 崔进来 80

医院防辐射大体积混凝土施工应用技术 .....  
..... 王 宣 尚 波 83

河北抚宁地下厂房开挖支护机械化施工研究与应用 .....  
..... 吴小华 冀春辉 86

高层建筑地基基础和桩基础土建施工技术分析 .....  
..... 窦振强 89

软土基坑围护变更分析 .....  
..... 李 森 王树良 王小康 李明煜 徐梦强 92

跨市政道路大跨度门架墩盖梁支架施工技术浅析 .....  
..... 张已学 赵晓辉 96

## 建筑设计

节能减排措施在绿色建筑给排水设计中的运用 .....  
..... 赵 岩 杨文芬 101

公共建筑空间设计的人性化与功能性研究 ..... 张晓松 104

食品加工与冷链一体化建筑设计模式研究 .....  
..... 任志坤 张晓东 兰 蒙 108

可持续发展视角下冷链仓储建筑设计创新研究 .....  
..... 张晓东 任志坤 刘寒风 111

暖通空调系统节能优化设计方法研究 ..... 梁怀亮 114

基于 BIM 技术的食品加工车间设计优化探析 .....  
..... 张晓东 刘寒风 刘 浩 118

冷链物流中心节能型建筑围护结构设计研究 .....  
..... 任志坤 兰 蒙 刘 浩 121

## 材料科学

外立面表皮材料创新对建筑美学与功能性的影响 .....  
..... 高彦玲 125

## 建筑工程造价预结算审查成本管理研究

李新鸿

青海锦鸿工程项目管理有限公司, 青海 西宁 810000

[摘要] 建筑工程项目的施工周期往往比较长, 其施工流程也较为复杂且繁琐, 在施工进程当中, 需要投入数量可观的人力、物力以及财力资源。若想推动建筑企业不断地向前发展, 那就得极为重视建筑工程造价预算方面的管控事宜。恰当运用建筑工程造价预结算审查方面的工具, 细致剖析造价管控环节里所存在的各类问题, 并且采取行之有效的举措, 这对于保证工程项目能够顺利地去实施是有着颇为重要的意义的。与此这也是助力建筑企业达成战略目标、确保施工进度与效益都能够实现的重要环节所在。

[关键词] 建筑工程; 造价预结算; 审查; 成本管理

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17602

中图分类号: TU7

文献标识码: A

### Research on Cost Management of Budget and Settlement Review of Construction Engineering Cost

LI Xinhong

Qinghai Jinhong Engineering Project Management Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

**Abstract:** The construction period of construction projects is often long, and their construction process is also complex and cumbersome. In the construction process, a considerable amount of manpower, material resources, and financial resources need to be invested. If we want to promote the continuous development of construction enterprises, we must attach great importance to the control of construction project cost budgeting. Proper use of tools in the review of construction project cost budget and settlement, detailed analysis of various problems in the cost control process, and taking effective measures are of great significance for ensuring the smooth implementation of engineering projects. This is also an important link in helping construction companies achieve strategic goals and ensure that construction progress and efficiency can be achieved.

**Keywords:** construction engineering; cost budget and settlement; review; cost management

#### 引言

随着我国建筑行业持续快速发展, 建筑工程项目规模不断拓展, 工程造价管理所面临挑战变得日益复杂且多样。建筑工程造价预结算属于工程成本控制关键环节, 其状况直接影响建设项目的投资效益以及资金合理使用, 有着重要经济与社会意义。不过当下在预结算审查进程中依旧存在不少问题, 像设计方案可行性欠缺、管理机制不健全、成本控制力度不足等等, 致使工程造价偏高, 资源浪费情况严重, 对项目整体质量与进度都产生了影响。所以深入剖析建筑工程造价预结算审查中的成本管理, 既能提高工程造价准确性与透明度, 又能有力推动建筑企业科学决策并合理调配资源。本文目的在于全面分析建筑工程造价预结算审查存在的主要问题, 探寻优化成本管理的策略与办法, 促使预结算审查工作朝着规范化、科学化、信息化方向发展, 进而提升建筑工程造价管理水平, 保障工程项目顺利开展。

#### 1 建筑工程造价预结算审查成本管理的重要性

建筑工程造价预结算审查在工程造价管理体系里占据着极为重要的位置, 它堪称实现工程成本有效把控以及经济效益最大化的重要环节。当建筑工程项目变得日渐复杂起来, 且投资规模也在不断扩大的时候, 科学且规范的预结算审查, 一方面关系到建设单位的投资控制情况以及

资金是否能够合理运用, 另一方面也会对施工单位的经济回报以及工程项目的顺利开展产生直接的影响。借助全面且细致的预结算审查工作, 能够有效地将设计阶段、施工阶段以及管理环节当中存在的造价偏差以及成本浪费等问题都给找出来, 并且能及时给出修正方面的建议, 如此一来便能够防止出现资金流失以及资源浪费的情况。与此预结算审查还是防范虚报、多报工程量以及工程造价虚高状况的重要手段, 对于提高整个建设过程的透明程度、公正性以及规范性都是很有帮助的。再者说, 凭借完善的成本管理制度以及精细化的审查手段, 还能够促使建设单位构建起较为健全的成本管理体系, 进而提升项目的管理水平以及整体的竞争力。所以说, 强化建筑工程造价预结算审查方面的成本管理, 这无疑是提升工程管理效能、推动建筑行业实现高质量发展的一项十分重要的举措。

#### 2 建筑工程造价预结算审查成本管理中常见的问题

##### 2.1 建筑设计可行性差

在建筑工程造价预结算审查进程当中, 建筑设计可行性欠佳的情况是比较普遍且颇为严重的一个问题, 它直接对后续成本管理的精准性以及有效性产生了影响。部分设计单位在开展方案设计工作的时候, 没有充分地将实际施

工条件、地理环境、材料供应还有项目整体功能需求相互结合起来考虑,这就使得设计方案出现了不合理、不经济以及难以落实执行等状况。这种在设计方面存在的缺陷通常会在施工阶段显露出来,既会引发大量的设计变更以及施工调整,还可能致使工程量呈现出不确定性,并且造价也会出现频繁的浮动情况,最终影响预结算审查所具备的真实性与准确性<sup>[1]</sup>。除此之外,有些设计文件其内容是不完整的,或者深度不足,又或者是表达不够清晰,这同样会导致审查人员很难准确地核定工程量与单价,进而加大审查的难度,提升误差风险,对成本管理目标的达成形成制约作用。

## 2.2 缺乏积极的成本管理意识

在建筑施工中,成本管理是需要重点考虑的问题,也是实现建筑工程有效性的重要保证。目前,在建筑施工中,建设单位、管理人员、施工人员在一定程度上忽略了成本管理的重要性,主要表现在施工单位内部成本管理方式落后、管理手段缺乏科学性、与快速发展的建筑技术和建筑规范不相适应等方面。具体来讲,施工前的成本分析对投标报价、工程设计的费用缺乏充分的考虑,施工方案的预算缺乏可行性,导致成本管理没有切实可行的依据;建筑施工中各个部门在成本管理方面的配合不够紧密,各部门大多只是完成自己的工作,对工程整体的成本耗费没有统一的管理意识,在无形之中增加了单位的成本损耗;在建筑工程建设中,相关施工人员大多只追求工程进度,忽略了工程的成本,导致建筑材料存在浪费、丢失的现象,从而增加了成本支出。

## 2.3 缺乏完善的管理机制

在建筑工程造价预结算审查以及成本管理这个过程当中,缺少完善的管理机制,这已然成为审查效率不高以及成本控制无法发挥效用的关键因素之一。当下,诸多建设单位还有施工企业在工程造价管理体系建设方面依旧不够完善,制度设计也相对滞后,缺少统一且规范的审查流程以及标准化的管理体系,如此一来,审查工作便有着很大的随意性,在执行期间还存在着十分突出的主观性以及不一致性的情况。与此预结算审查各个环节之间职责划分得不够清晰,沟通协调机制也比较薄弱,这就很容易致使信息传递不顺畅,数据口径也不统一,最终对审查结果的准确性以及权威性产生影响。部分单位缺少有效的监督与反馈机制,审查工作很难形成闭环管理,存在重复审查、审查出现遗漏或者疏漏等状况,这对成本管理水平的提升形成了极为严重的制约。

## 2.4 成本管理的实施力度不够

在建筑工程造价预结算审查进程当中,成本管理所实际实施的力度不足的情况,已然成为致使工程造价出现失控状况以及造成资源大量浪费的关键要素之一。尽管诸多单位于制度方面已经确立了成本控制的相关规定,然而在具体的实际操作环节里,却常常存在着执行不够到位且仅仅流于表面形式这样的问题。其一,项目管理人员对于成本管理的关注重视程度明显不够,缺少系统性的管理意识以及成本控制方面的理念,这就使得成本管理工作只能处

于一种被动应对的状态,很难去构建起常态化的机制<sup>[2]</sup>。其二,在项目具体实施的这个过程当中,成本控制所采取的措施既缺乏明确具体且能够量化的指标,又缺失责任的合理分解,如此一来便难以对其进行有效的监督与考核,最终也便对管理成效产生了影响。

## 3 建筑工程造价预结算审查成本管理的优化策略

### 3.1 加强施工组织设计工作

在建筑工程造价预结算审查成本管理期间,强化施工组织设计工作有着重要的实际意义以及深远的经济影响,它是达成全过程造价管控的重要环节。施工组织设计作为工程实施阶段的总体安排和技术指引,和施工资源的配置效率、工序衔接的科学性以及施工进度与质量控制的系统性有着直接关联。要是施工组织设计不够合理,就容易致使施工现场组织出现混乱情况、资源存在严重浪费、工期出现延误以及成本失去控制等诸多问题,进而对工程预结算的准确性以及公正性产生影响。所以应当在施工前期借助详尽的现场踏勘、数据收集以及多方案比选,编制出科学严谨且具备可执行性的施工组织设计文件,该文件要包含施工方法、施工顺序、机械设备投入、人员配置、材料采购计划以及安全与环保等多个方面的内容。施工组织设计还需充分考量设计图纸的深化程度、施工条件的变化、季节因素以及技术难点等实际状况,以此确保其具备高度的前瞻性和动态调整的能力。在预结算审查的过程中,合理的施工组织设计不但能够为审查提供准确的依据和参考标准,提高工程量核算以及单价审核的精准度,而且还有助于发现并剔除由于设计不合理、资源调配失衡等原因引发的无效成本与潜在浪费,进而提升整体成本管理的效能,为达成工程投资控制目标给予坚实保障。

### 3.2 合理编制工程量清单,做好工程量清单计价

在建筑工程造价预结算审查以及成本管理方面来讲,合理去编制工程量清单,并且把清单计价相关工作切实做好,这无疑属于实现精准造价控制以及提升预结算审查质量的关键环节所在。工程量清单在建筑工程领域当中,充当着连接设计环节、施工环节以及造价管理环节之间极为重要的一座桥梁。其准确与否、规范程度如何,会直接影响到造价数据所呈现的真实情况以及工程成本控制所具有的科学特性。就目前而言,部分工程项目在编制工程量清单的时候,存在着内容有所缺失、项目描述不够清晰明确、工程量计算方法并非统一等等方面的问题。如此一来,便很容易引发出出现漏项的情况、出现重复计量的状况或者估算并不属实的情形,进而对后续的计价客观性以及工程预结算的公正性产生影响。所以说,在清单编制的整个过程当中,务必要严格依照国家以及行业当下现行的规范来对工程量展开量化的操作以及对项目进行合理的划分,从而保证清单当中的项目是齐全完备的、所采用的计量方法是科学合理的、单位标识是清晰明确的、数据信息是真实的可靠的<sup>[3]</sup>。与此在清单计价的这个过程当中,需要结合

市场材料的价格情况、人工费用的具体状况、施工技术方面的要求以及地区之间存在的差异等诸多因素,较为科学且合理地去确定综合单价,防止出现高估而低报或者是套用那些并不合理的定额这样的现象。除此之外,工程量清单还应当具备很好的可追溯性以及可审查性,如此能够在预结算审查的阶段针对各项费用展开精准的核实工作以及细致的分析工作,以此来提升审查工作的效率以及造价方面的透明度。

### 3.3 完善预结算审查工作制度

在建筑工程造价预结算成本管理领域当中,完善预结算审查工作的相关制度,这无疑是在提升审查的质量方面起到关键作用的,同时也能让审查流程变得更加规范,进而达成精细化的成本控制目标,从而成为极为重要的一项保障措施。就目前的情况来看,部分单位在开展预结算审查工作期间,存在着诸如制度不够健全、流程不够清晰明确、职责界定不清晰等一系列的问题,如此一来,便使得审查工作呈现出较强的随意性特点,既缺乏统一且明确的标准作为参照,也缺少有效的监督手段,很容易就会出现审查结果出现偏差、审查效率极其低下以及工程成本被人为虚增等诸多问题。所以说,很有必要从制度这一层面上去构建起一套具备科学性、系统性以及规范性的预结算审查工作运行机制,要将各个参与方在审查进程里所承担的分工、具体的工作流程以及技术标准等方面都予以明确清晰地规定下来,进而形成一个“事前做好计划安排、事中加以控制、事后进行考核”的涵盖整个全过程的审查管理体系。在进行制度设计的时候,务必要把审查程序、审查内容、审查方法、各个时间节点、成果如何归档以及出现问题时该如何处理等诸多方面都纳入其中,以此来切实保证审查工作能够做到有依据可遵循、有规范可参照。与此还应当进一步建立健全针对审查成果的复核以及责任追究方面的相关机制,以此来强化审查人员的责任担当意识以及职业操守水平,促使审查工作能够具备更高的专业水准以及更强的严谨程度。

### 3.4 加强预结算审查人员队伍建设

在建筑工程造价预结算审查以及成本管理方面来讲,强化预结算审查人员队伍的建设,这可是保证审查工作具备专业性、公正性还有高效性的关键基础所在。预结算审查说到底是一项技术性相当强并且政策性也颇高的专业相关工作,它涉及到像建筑设计、施工工艺、材料价格、工程量清单、计价规范等诸多不同领域,所以这就要求审查人员得拥有较为扎实的专业知识,还得有颇为丰富的实践经验,并且职业素养也要良好才行。不过在实际开展工作的过程当中,部分单位却存在着审查人员的数量不够充足、专业结构安排不合理以及综合能力相对偏弱等一系列问题,如此一来就致使审查的过程没办法做到深入且准确,还特别容易出现漏审、误审或者被外界因素干扰等情况发生,进而对造价管理的科学性以及工程投资的合理性都产生了不小的影

响<sup>[4]</sup>。所以说,应当从制度这个层面去进一步加强对预结算审查人员在选拔、培训以及考核等方面的力度,同时要要对人才引进机制加以优化,从而建立起一个有着涵盖工程造价、工程管理、法律法规等多个专业背景的复合型人才团队。

### 3.5 做好监督管理,提高技术水平

在建筑工程造价预结算审查成本管理方面,把监督管理工作做好并且提升技术水平,这可是保障审查工作具备科学性以及有效性的关键举措。完善的监督管理体系,能够在很大程度上规范审查行为,强化对于过程的把控,可以及时察觉审查当中存在的各类问题,并且予以纠正,防止出现虚报、漏报以及造价偏高等不规范的情况,进而确保预结算审查结果有着真实性与公正性。与此随着建筑行业朝着信息化、智能化不断发展,积极去引入先进的技术手段,像工程造价管理软件、大数据分析、云计算还有人工智能辅助审查等等,一方面提升了数据处理的效率,另一方面也提高了数据处理的准确度,同时还增强了审查过程的透明度以及可追溯性。技术水平得以提高之后,能够助力审查人员更为精准地识别出异常数据以及潜在的风险,达成对工程量、材料价格、施工工艺等这些关键环节展开深度分析以及动态监控的目标,推动审查工作朝着智能化与规范化方向发展。

## 4 结语

建筑工程造价预结算审查乃是达成工程成本有效把控的关键环节所在。借助于强化审查方面的管理工作,完善相关制度建设事宜,并且不断提升技术层面的水平,如此便能够有效地去处理当下所存在的各类问题,进而推动工程造价得以合理地加以控制,同时也促使资源能够得到科学的利用。在往后的日子里,应当持续推进审查工作朝着规范化以及信息化的方向不断发展,要着力提升审查人员的专业能力水准,以此来保障建筑工程项目可以顺利地得以实施,最终实现预期所期望获得的效益。唯有不断地对预结算审查成本管理体系予以完善,才能够助力建筑行业实现健康且可持续的发展态势。

### [参考文献]

- [1]陈倩.建筑工程造价预结算审查成本管理研究[J].现代营销,2024(34):49-51.
- [2]杜丽娟.建筑工程造价预结算与施工成本管理分析[J].居业,2025(4):157-159.
- [3]李允瑄.建筑工程造价预结算审查成本管理探析[J].合作经济与科技,2024(17):98-100.
- [4]李首阳,高强.建筑工程造价预结算与施工成本管理研究[Z]//中国智慧工程研究会.2024 智慧施工与规划设计学术交流论文集.青岛宏卓品葛建筑工程有限公司;中青建安建设集团有限公司,2024:671-673.

作者简介:李新鸿(1994.4—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:工程造价,当前就职单位名称:青岛锦鸿工程项目管理有限公司,职称级别:工程师。

# 装配式建筑工程管理影响因素及对策研究

谷俊义 李月

陕西西咸新区泾河新城城市建设投资有限公司, 陕西 西安 713700

**[摘要]**随着建筑行业不断发展以及城市化进程不断加快,装配式建筑凭借其施工周期较短、资源消耗较低以及施工安全性较高的优势,正逐渐成为建筑施工领域的新趋势。不过,装配式建筑在管理实践当中,依旧面临着技术、人员、组织以及资源等诸多方面的影响因素,而这些因素会直接影响到工程的质量、进度以及成本控制情况。依据现有的装配式建筑工程管理实践,全面且细致地分析了影响管理效果的关键因素,并且结合当下存在的各类问题给出了有针对性的解决对策。研究得出,借助技术优化、人员培训、组织制度完善以及资源保障等多种综合管理举措,可切实提升装配式建筑工程管理的水平,达成施工效率、质量以及成本的综合优化效果,对于推动装配式建筑的推广应用有着重要的参考价值。

**[关键词]**装配式建筑; 工程管理; 影响因素; 对策

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17582

中图分类号: TU71

文献标识码: A

## Research on the Influencing Factors and Countermeasures of Prefabricated Construction Project Management

GU Junyi, LI Yue

Shaanxi Xixian New Area Jinghe New City Urban Construction Investment Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 713700, China

**Abstract:** With the continuous development of the construction industry and the acceleration of urbanization, prefabricated buildings are gradually becoming a new trend in the field of construction due to their advantages of short construction period, low resource consumption, and high construction safety. However, in the management practice of prefabricated buildings, there are still many influencing factors such as technology, personnel, organization, and resources, which directly affect the quality, progress, and cost control of the project. Based on the existing practice of prefabricated construction project management, a comprehensive and detailed analysis was conducted on the key factors affecting management effectiveness, and targeted solutions were proposed in combination with various existing problems. Research has shown that through various comprehensive management measures such as technological optimization, personnel training, organizational system improvement, and resource guarantee, the level of prefabricated building project management can be effectively improved, achieving a comprehensive optimization effect on construction efficiency, quality, and cost. This has important reference value for promoting the promotion and application of prefabricated buildings.

**Keywords:** prefabricated building; engineering management; influencing factors; countermeasures

### 引言

装配式建筑属于一种全新的建筑模式,它的关键之处就在于把建筑构件于工厂当中展开标准化的生产以及加工操作,之后再将其运送到施工现场去完成快速的组装修作。这种施工的方式和传统的建筑方法相比起来,不但大幅度地降低了施工现场对于人力的需求程度,而且还切实有效地提升了施工的效率以及施工的安全性。在现代的城市建设进程里,装配式建筑已经在住宅、公共设施还有工业建筑等诸多领域得到了广泛的运用,进而成为了建筑行业用来提升施工质量以及管理水平的一项极为重要的手段。不过,装配式建筑在实际的施工过程当中,会受到多种多样的因素的影响,所以其管理的难度是比较大的。工程管理在整个这个过程当中占据着相当关键的地位,从设计环节、材料采购环节、施工环节一直到验收环节,每一个环节都得要有科学的组织安排以及有效的控制措施,从而确保工程目标可以顺利地达成。所以说,针对装配式建

筑工程管理方面的各种影响因素展开系统的分析,并且提出科学且合理的管理方面的对策,这对于提高工程施工的效率、降低施工的成本以及保障施工的安全而言,有着极为重要的意义。

### 1 装配式建筑工程管理概述

装配式建筑是一种新型建筑。目前,许多建筑都采用了装配式建筑技术。建筑构件的生产和加工方式可以有效减少施工作业的使用,并显著减少劳动力。装配式建筑构件通常在工厂制造,并直接运输至现场,需要少量的建筑工人组装部件,使项目的施工更容易、更高效。通过运用装配式施工的方法,有效地减少了施工中的安全风险,有效地节约了施工成本,提高施工效率。因此,装配式施工技术应在施工中中得到更广泛的应用。在建筑施工中,工程管理的重要性非常高,在管理过程中,一个建筑的整个施工必须是一个宏观调控、细节化的操作,从设计、材料、施工、验收,这是环环相扣的。在这种情况下,需要对建

筑进行统一管理,从而更好的掌握施工人力、建筑材料、施工设备、施工进度等工作。

## 2 装配式建筑工程管理影响因素分析

### 2.1 技术因素

装配式建筑的施工效率以及工程质量,在相当大的程度上依靠技术水平。施工工艺以及技术设备的先进与否,会直接影响到构件的生产进度还有现场组装的实际效果。如果精度不够或者工艺较为落后,那么就on容易使得构件误差不断累积起来,进而对整体结构的质量以及施工进度产生影响。设计标准和施工规范的科学合理性,对于工程管理而言同样有着极为关键的作用。设计图纸是否完整、施工方案是否合理以及规范标准是否统一,这些都会决定施工环节能否顺畅地衔接起来。在装配式建筑领域当中,BIM 也就是建筑信息模型技术、模块化施工技术以及数字化管理手段的运用,是能够明显提升技术管理水平的,而且还能有效减少因为技术不匹配而出现的施工延误或者是质量问题等情况。所以,技术因素既然是保障施工质量的一个基础要素,同时也是提高施工效率以及工程管理水平的一项重要手段。

### 2.2 人员因素

人员方面的情况,其实在很大程度上会对装配式建筑工程管理所能取得的效果起到影响作用。就管理人员来讲,他们的专业能力怎么样、经验水平如何,还有现场协调的能力怎样,这些都会直接关系到工程各个环节在组织方面的效率以及执行时的实际效果。要是管理人员缺少相应的专业知识,或者自身经验不够丰富,那么在施工进度的把控、工程质量的控制以及资源调配等方面就容易出现这样那样的问题,进而对整个工程的管理水平形成不利影响。并且,技术工人的技能到底处于什么水平,他们操作时候是不是够规范,这些同样会对施工效果产生直接的影响。装配式建筑在施工的时候,要求工人得具备比较高的装配技能,并且现场操作能力也要很强,要不这样的话,就有可能出现施工方面的偏差、结构上存在误差,而且施工过程中所面临的安全风险也很可能会增加。除此之外,人员的流动性情况、团队协作的意识以及相互之间沟通的能力等因素,也都对工程管理整体所能达成的效果有着一定的影响。所以说,要想提高装配式建筑工程的管理水平,那么加强管理团队的建设工作、积极开展针对技术方面的培训活动以及不断提升人员的综合素质,这些都是非常关键的举措。

### 2.3 组织与管理因素

组织结构以及管理制度对于装配式建筑工程管理而言,有着极为关键的作用。倘若组织结构合理,那么便能清晰地明确各项职责分工情况,同时也有助于对信息传递流程以及决策流程加以优化,如此一来,既能促使施工效率得以提高,又能使管理盲区有所减少。而管理制度的科

学与否,涉及施工计划的制定事宜、质量控制流程的设置情况、进度跟踪的具体安排以及风险管理机制的构建等方面,这些制度到底完善不完善,会直接对工程管理的有效性产生影响。要是管理流程存在不完善之处,或者责任划分不够明确,那就很容易出现信息滞后的状况,还会使得现场指挥失去效力,并且资源调配也往往会出现不适当的情况。跨部门的沟通协调能力同样是影响工程管理的的一个重要因素。在装配式建筑领域当中,设计环节、生产环节、运输环节以及现场施工环节彼此之间有着极为紧密的关联,不论是组织内部各方面的协作效率,还是与外部单位开展协作的效率,都会对施工进度以及工程质量产生直接影响。所以说,要提升装配式建筑工程管理水平,那么优化组织结构、完善管理制度以及强化协调机制这三项举措便是其中的核心所在。

### 2.4 资源与材料因素

资源与材料保障在装配式建筑工程管理方面乃是不可被忽视的关键因素。就建筑材料而言,其供应是否及时、质量是否稳定,还有运输以及储存环节的管理状况,都会对施工进度以及施工质量产生直接的影响。倘若材料供应链出现不稳定的状况,那么极有可能致使现场施工出现延误的情况,进而还可能引发成本有所增加以及资源遭到浪费等不良后果。除此之外,施工设备的适配情况、维护工作以及调度管理等方面,同样与工程执行效率有着紧密的关联。资金保障的水平同样是极为重要的,要是资金安排不够合理或者存在短缺的问题,那么势必会影响到材料采购事宜、设备使用情况以及施工队伍的支付事项,最终使得工程进度被拖慢。所以说,具备合理的资源规划、科学的物资管理举措以及完善的资金保障体系,这无疑为确保装配式建筑工程管理能够顺利开展奠定了重要基础。

## 3 装配式建筑工程管理存在的问题

### 3.1 施工质量与进度问题

在装配式建筑工程当中,施工质量以及进度方面存在的问题,依旧属于工程管理所面临的极为关键的核心挑战。在现场进行组装作业的过程中,像构件精度存在误差、连接的方式不够规范还有安装时出现偏差等诸多因素,都有可能致使结构的整体质量有所降低。装配式建筑从设计到最终完成,会涉及到设计、生产、运输以及现场组装等多个不同的环节,而只要其中任何一个环节出现延误的情况,那么就会对整个工程的进度产生影响。倘若管理者在施工的过程当中,缺少科学有效的进度控制办法,或者对于那些关键环节的协调工作做得不到位,那么很可能会使得施工周期被拉长,成本不断增多,甚至还极有可能引发质量方面的事故。这类问题一旦出现,不但会对工程的经济效益带来不利影响,而且也会对企业自身的信誉以及行业在社会上的推广效果造成损害。所以说,强化施工质量的监督管理以及对进度进行严格的管控,已然成为装配式建筑

管理迫切要去加以解决的核心问题所在。

### 3.2 成本控制问题

成本控制方面的问题在装配式建筑领域同样显得颇为突出。装配式建筑涵盖构件生产、运输、现场组装以及设备使用等诸多环节，其成本结构较为复杂。倘若管理者对于各个环节的费用把控不够精细，那么就容易出现预算超出预期、资金出现浪费或者资源处于闲置等状况。尤其是在材料采购以及运输这两个环节当中，价格方面存在波动以及运输过程出现延误等情况，都有可能引发额外的成本产生。与此在施工进度当中所出现的返工情况、工程质量未能达到标准或者工期出现延误等情形，也会直接给成本带来增压的效果。所以说，一套科学合理的成本控制体系、细致入微的预算管理方式以及行之有效的成本监控办法，对于提升装配式建筑工程的经济效益而言，无疑是极为重要的保障要素。

### 3.3 信息化与协调管理问题

信息化管理存在欠缺以及协调机制不够完善，在装配式建筑工程管理里属于常见问题。装配式建筑涵盖设计、生产、物流、现场施工等诸多环节，要是信息系统不够健全或者信息传递出现滞后情况，那么管理者便很难及时知晓施工动态，也难以做出较为科学的决策。并且，部门之间协调不顺畅有可能引发资源冲突、工作重复或者施工延误等问题。像 BIM 系统、项目管理平台这类信息化管理工具应用得不够充分，这不仅降低了管理效率，还使得潜在风险有所增加。所以说，提高信息化管理的水平，构建起高效的协调机制，对于保证工程能够顺利推进而言是极为关键的。

## 4 装配式建筑工程管理对策研究

### 4.1 技术管理对策

就技术因素方面的影响而言，需着重提升施工技术水准以及施工工艺的标准化程度，以此来保证装配式建筑工程得以高效且精准地施行。在设计阶段，要选用科学合理的方案，充分考量构件尺寸的精确度、结构的安全性以及施工的操作性，防止因设计存在缺陷而出现返工或者施工偏差的情况<sup>[1]</sup>。在施工阶段，要广泛推行 BIM 技术、模块化施工以及数字化管理方式，借助构建设计、生产与施工的一体化协同系统，达成信息的实时共享以及施工环节的精准把控，进而有效降低误差与返工状况，提高施工效率。技术管理的优化既能确保施工质量与安全，又能为施工进度给予稳固的技术支持，同时有利于整体工程管理水平的提升以及施工资源的合理安排，保证项目按照计划保质保量完成。

### 4.2 人员管理对策

人员因素给工程管理带来了影响，要解决这一问题，得强化管理人员以及技术工人的能力建设。管理人员得有专业知识，还得有项目管理方面的经验，并且得具备

协调能力，如此才能对施工计划予以统筹安排，还能监督施工质量，并且能够在出现突发问题的时候及时加以应对。技术工人则需要接受较为系统的培训，以此来提高自身的装配技能，同时让操作更加规范<sup>[2]</sup>。还应当构建起科学合理的激励机制，通过这样的方式来增强团队的凝聚力以及成员的责任意识，保证相关人员在施工进度当中可以高效地展开协作，进而促使工程管理水平得以提升，施工效果也能得到改善。

### 4.3 组织与资源保障对策

组织管理和资源保障在提升装配式建筑工程管理方面占据着极为重要的位置。就组织管理来讲，一方面得对项目组织结构予以优化，把职责分工明确清楚，以此来保证信息能够顺畅流通并且决策可以高效做出；另一方面需将管理制度进一步完善起来，这里所说的管理制度涵盖施工计划、质量控制、进度跟踪以及风险管理机制等诸多方面，要让各个不同环节都能够实现科学合理的衔接<sup>[3]</sup>。而在资源保障这个层面而言，应当对材料供应以及运输做出合理安排，从而确保施工现场可以及时获取到所需的各类构件与设备。与此还得强化资金方面的管理，要保证工程资金数量充足且使用效率高，防止因为资源出现短缺或者调度处理不妥当而致使施工出现延误情况以及成本有所增加。

## 5 结语

装配式建筑工程管理会受到技术、人员、组织、资源以及外部环境等诸多方面的因素影响。在实际开展管理工作的过程当中，施工质量、施工进度、成本管控以及信息化管理等方面都还存在着一些问题。通过采取技术方面的优化举措、针对人员展开培训、对组织制度加以完善、确保资源能够得到充分保障以及更好地去适应外部环境等一系列综合性的管理措施，是能够有效地提升装配式建筑工程的管理水平的，进而达成对施工效率、工程质量以及成本等方面的综合优化目标。在未来，随着建筑技术不断取得新的进展以及管理理念持续不断地更新换代，装配式建筑的推广应用将会变得更为广泛，从而为建筑行业的可持续发展给予十分重要的支撑作用。

### [参考文献]

- [1]陈峰.装配式建筑工程管理的影响因素与优化对策[J].建筑,2024(3):114-116.
- [2]厉真晟.装配式建筑工程管理的影响因素与对策[J].城市建设理论研究(电子版),2022(36):49-51.
- [3]刁昊坤.探析装配式建筑工程管理的影响因素与对策[J].建材发展导向,2022,20(8):175-177.

作者简介：谷俊义（1989.10—），毕业院校：长安大学兴华学院，所学专业：工程管理，当前就职单位：陕西西咸新区泾河新城城市建设投资有限公司，职称级别：工程师。

## 建筑工程审计项目变更管理中的应用研究

韦 珊

新疆恒信工程项目管理咨询有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000

**[摘要]**随着建筑工程项目规模不断扩大，工程变更频繁发生，导致项目成本、工期和质量面临不确定性。建筑工程审计在项目变更管理中起着关键作用，通过对变更过程、成本控制及风险管理的监督，实现工程资源的优化配置和经济效益最大化。文章结合实际案例，对建筑工程审计在项目变更管理中的应用进行了系统研究，提出优化措施，为提高工程审计效果提供参考。研究表明，通过科学的审计方法，项目变更的合理性审查率可提高30%以上，成本节约率可达10%~15%，风险控制能力显著增强。

**[关键词]**建筑工程；审计；项目变更；管理；风险控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17598

中图分类号: TU723

文献标识码: A

### Application Research on Change Management in Construction Engineering Audit Projects

WEI Shan

Xinjiang Hengxin Engineering Project Management Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** With the continuous expansion of construction projects and frequent engineering changes, project costs, timelines, and quality are facing uncertainty. Construction engineering audit plays a key role in project change management, by supervising the change process, cost control, and risk management, to achieve optimal allocation of engineering resources and maximize economic benefits. The article combines practical cases to systematically study the application of construction engineering audit in project change management, proposes optimization measures, and provides reference for improving the effectiveness of engineering audit. Research has shown that through scientific audit methods, the rationality review rate of project changes can be increased by more than 30%, cost savings can reach 10% to 15%, and risk control capabilities can be significantly enhanced.

**Keywords:** construction engineering; audit; project changes; management; risk control

#### 引言

在建筑工程实际实践过程中，项目变更这一情况是无法避免，比如设计方面调整材料替换以及施工条件发生变化等诸多因素，均会致使项目目标预算以及进度出现相应调整。倘若项目变更缺乏科学合理管理工作，那么就很容易引发成本超支工期延误以及工程质量方面的问题。审计作为建筑工程管理工作当中一个重要环节，能够借助系统检查以及监督工作，去发现变更过程当中所存在潜在问题，以此来保障项目能够顺利实施开展。然而目前在建筑工程审计工作当中，在项目变更管理方面仍然存在着方法较为单一监督不够及时以及风险控制能力不足等一系列问题。因此，针对建筑工程审计在项目变更管理当中应用展开研究，对于提高工程管理水平以及经济效益而言，具有十分重要意义。

#### 1 建筑工程审计在项目变更管理中的作用

##### 1.1 变更审批规范性监督

在建筑工程管理工作开展过程中，审计对于项目变更审批流程所进行系统检查具备着至关重要作用。借助对设计变更施工调整以及相关工程修改审批环节予以全面审查，能够确保每一次变更均拥有明确审批依据以及合法合

规操作流程。如此一来，不但可以保障工程项目依照既定计划和标准去执行，而且还能够防止因审批不规范而致使管理混乱以及潜在风险<sup>[1]</sup>。

审计工作借助规范审批文件合同条款以及预算调整，达成对项目变更全过程监督与控制。设计变更需要附带详细审批记录以及变更说明，施工调整需要明确合同修改以及资金安排，预算变动需要经过财务审查以及合理性分析。通过这些举措，可以有效防止未经授权或者违规操作变更行为发生，从源头上降低工程风险，确保资金资源以及施工质量能够到合理使用。除此之外，审计还能够为管理层提供数据支持以及决策参考。通过对历史变更审批流程进行分析，总结常见问题以及风险点，优化审批制度以及流程设计，实现项目变更管理闭环控制。

##### 1.2 成本控制与经济效益分析

在建筑工程项目变更管理方面，成本控制是保障项目经济性以及投资效益关键环节。项目变更常常会伴随着材料人工设备以及其他相关费用增加，要是缺乏有效控制，很容易导致预算超支以及资源浪费。审计通过对变更所涉及各项费用展开严格核查，确保每一笔支出都符合合同约定以及预算标准，并且避免重复计算或者不合理支出，进

而维护项目资金合理使用。

审计还会结合经济效益分析,对项目变更有可能带来整体预算影响进行科学评估。通过比较不同变更方案成本与效益,分析其对工程总投资工期以及质量综合影响,为项目管理层提供数据支撑以及决策依据。这种方式不但能够量化变更经济影响,还能够辅助管理者选用最优方案,实现成本与效益平衡。通过严格费用核查以及经济效益分析,审计在项目变更中发挥了关键作用,它不但确保变更费用合理,防止资金浪费,还为项目整体成本控制以及决策优化提供科学依据,提高工程管理水平以及项目投资回报率,实现项目经济性以及管理规范性双重保障。

### 1.3 风险识别与预警机制

在建筑工程项目管理工作中,审计通过构建科学风险评估模型,对项目变更环节展开全面分析,有助于识别潜在风险。项目变更可能会引发多种风险,其中包括技术风险、财务风险以及进度风险,技术风险主要涵盖设计调整施工工艺或者材料选型等方面不确定性,可能会对工程质量以及安全产生影响;财务风险则体现为预算超支费用不合理或者合同调整不当;进度风险则有可能导致施工延误工期推迟,影响整体项目实施<sup>[2]</sup>。

通过风险评估,审计能够量化不同风险可能性以及影响程度,为管理层提供科学依据。同时,结合风险分级管理以及历史数据分析,可以建立有效预警机制。一旦风险指标触发预警,管理者便能够马上采取控制措施,调整施工方案优化预算安排或者增加资源投入,从而降低变更所带来负面影响。这一机制不但提升了项目变更管理主动性以及科学性,还增强了整体工程可控性。通过审计识别风险建立预警以及制定应对措施,管理者能够在项目变更过程中实现风险可控,确保工程质量成本以及进度能够到有效保障,为项目顺利完成提供有力支持。

## 2 建筑工程审计项目变更管理的实践方法

### 2.1 审计流程与信息化管理

在建筑工程项目变更管理这项工作中,开展完整审计流程构建工作是确保变更合规性以及工程质量重要手段。完整审计流程应当涵盖变更申请审批执行以及复核等关键环节,变更申请环节要求相关部门或者施工单位详细去提交变更内容理由以及预期影响,以此为审计提供初步信息。审批环节由项目管理层或者审计部门依据合同预算以及设计规范对变更合理性进行审核,进而确保变更合法合规,执行环节需要严格按照审批结果来实施变更操作。同时记录施工材料以及资金使用情况,为后续复核提供依据。复核环节则针对整个变更过程进行回顾和验证,评估变更实施效果,一旦发现问题便马上进行反馈和整改,实现闭环管理<sup>[3]</sup>。

为了提高审计效率以及透明度,可借助信息化管理平台来实现数据共享以及实时监控。通过该平台,所有审批

文件施工记录预算调整以及质量检测数据能够被集中管理,审计人员能够随时获取最新信息,对异常情况进行快速分析并去处理。信息化平台还能够生成可视化报告,为管理层提供决策支持,并且为项目审计提供可追溯数据依据。通过完整审计流程以及信息化手段结合,不但能够提高审计工作规范性以及透明度,还能够强化对项目变更全过程监督与控制。

### 2.2 数据分析与智能化决策

在建筑工程项目管理工作中,审计数据不单单是监督和控制工具,还能够被用于深入分析项目变更趋势与规律。通过对历史变更记录费用支出施工工艺调整以及审批流程数据进行系统统计分析,管理者能够掌握项目在不同阶段可能出现变更类型频率以及影响因素。这种分析有助于识别项目变更高风险环节以及关键节点,为制定具有针对性管理措施提供科学依据。

将统计分析结果与智能化决策工具结合起来,可以进一步提升变更管理科学性以及效率。通过构建变更预测模型成本优化模型以及工期模拟工具,管理者能够在项目实施前对可能变更进行预测。评估不同方案经济性以及可行性,优化资源配置以及施工计划,智能化工具能够快速处理大量数据,实现多维度分析以及可视化展示,为决策提供直观精准支持。通过利用审计数据进行统计分析以及智能化决策辅助,不但能够提高管理者对项目变更预判能力,还能够在变更过程中实现成本控制以及工期优化双重目标。

### 2.3 案例分析与经验总结

在建筑工程项目管理工作中,分析典型项目变更案例是提升审计管理水平重要手段。通过对成功案例以及失败案例进行系统研究,管理者能够识别项目变更中常见风险因素操作流程以及管理经验。成功案例通常展现出合理审批流程有效成本控制以及科学进度管理,而失败案例则反映了审批不规范预算超支或者工期延误等问题。通过对这些案例进行对比分析,可以总结出行之有效管理经验,同时发现潜在管理漏洞,为后续项目提供参考依据<sup>[4]</sup>。

基于案例分析所进行总结,可以形成标准化管理规范。这些规范涵盖变更申请审批执行以及复核操作流程,费用控制以及风险评估方法,以及信息化平台应用以及数据共享机制等方面内容。标准化管理规范不但为审计工作提供明确操作指引,还能够统一各类项目管理标准,提高工程管理规范性以及一致性。此外,典型案例分析能够为类似项目提供可借鉴审计指导方案。管理者可以根据项目规模技术特性以及风险等级,灵活运用经验和规范,优化审批流程改进风险控制措施提升成本与工期管理效率。通过这种总结与应用,审计工作从被动监督转变为主动指导,实现对项目变更全过程科学管理,为工程建设高质量安全性以及可持续发展提供有力支持。

### 3 建筑工程审计项目变更管理的优化策略

#### 3.1 开展制度与责任机制完善工作

在建筑工程项目管理范畴内,去开展建立健全项目变更审计制度这项工作,是保障工程能够以规范化管理以及风险处于可控状态重要举措。完善审计制度应当涵盖项目变更从审批执行监督到反馈各个方面,进而形成完整闭环管理体系。借助明确各部门责任分工,能够确保审批流程有序开展。施工单位会严格依照批准方案来实施变更,监理单位会及时监督施工质量与进度,管理部门会对变更效果进行复核和评估,以此实现管理全程覆盖以及有效控制<sup>[5]</sup>。

在审批环节,审计制度要求相关部门对变更内容技术可行性以及经济合理性进行严格审核,确保每一次变更都具备充分依据,防止出现未经批准或者超预算操作。执行环节需要按照审批结果予以实施,并且记录施工材料以及资金使用情况,为后续监督提供数据支撑。监督环节通过定期检查以及实时监控,及时发现问题并督促整改,保证变更实施质量。反馈环节则对执行效果进行评估,总结经验与不足,为未来项目提供改进依据。通过建立健全审计制度以及闭环管理机制,可以达成项目变更科学化规范化以及透明化。制度化不但提高了各部门责任意识以及协作效率,还降低了工程风险,优化了成本和工期控制。

#### 3.2 提高审计人员专业能力

在建筑工程项目管理中,审计人员专业能力会直接对审计工作质量和效果产生影响。加强对审计人员专业培训,是提升审计精准性以及效率重要手段。培训内容应当涵盖建筑工程技术知识施工工艺流程设计规范以及质量标准,使审计人员能够准确理解项目实际状况,识别施工和设计环节中潜在问题,为审计提供技术支持<sup>[6]</sup>。

培训还应当涵盖成本管理和经济分析能力提升,通过学习预算编制费用核算投资效益分析以及变更成本控制等内容,审计人员能够全面评估项目变更对成本和资金使用影响,确保审计过程中对经济合理性判定更加科学和准确。这不但有助于发现预算超支以及资源浪费,也为项目管理层提供数据支持和决策依据。除此以外,风险控制能力也是审计人员必须具备重要素质。培训应当强化对工程风险识别评估以及应对措施掌握,使审计人员能够在施工设计或者变更过程中及时发现潜在风险,并提出有效建议。通过系统化专业化培训,不但能够提升审计人员综合能力,也能提高审计工作精准性和高效性,为建筑工程项目实现科学管理成本控制以及风险可控提供有力保障。

#### 3.3 选用信息化与智能化手段

在现代建筑工程管理领域,信息化与智能化技术运用为审计工作指明了新发展方向。通过对 BIM(即建筑信息模型)、云平台以及大数据技术综合运用,可以达成项目变更全过程数字化管理以及可视化追踪。BIM 技术能够将设计施工材料以及设备信息进行三维建模和集成,为审计人员提供直观工程全景,便于识别设计与施工环节偏差和潜在问题。

云平台运用使审计数据能够集中存储并实时共享,实现各管理部门施工单位以及监理单位信息联通。无论在施工现场还是管理中心,审计人员都能够即时获取审批记录施工日志预算变更以及质量检测数据,提高信息传递效率以及数据透明度。大数据技术则可以对历史审计数据和实时监测数据进行分析,识别变更规律和潜在风险,实现风险预测和预警,为管理者提供科学决策依据。通过 BIM、云平台和大数据技术结合运用,不但能够实现变更全过程精准追踪,还能够提升工程审计管理效率和决策质量。

### 4 结语

建筑工程项目变更管理复杂且处于动态变化中,审计在其中发挥着不可替代监督和指导作用。通过规范审批强化成本控制建立风险预警机制,以及借助信息化和智能化手段,审计能够有效提升项目变更管理水平,降低工程风险,实现经济效益最大化。未来,建筑工程审计需进一步与数字化技术融合,构建高效科学变更管理体系,为工程管理提供坚实保障。

#### [参考文献]

- [1]韩春侠.工程审计在建筑工程项目变更管理中的作用分析[J].城市开发,2025(8):87-89.
- [2]刘艳.建筑工程造价审计在项目变更管理中的应用[J].住宅与房地产,2025(8):79-81.
- [3]刘猛,王盼,王清波.建筑工程造价审计在项目变更管理中的应用研究[J].散装水泥,2024(1):130-132.
- [4]邵茂林.建筑工程造价审计在项目变更管理中的应用研究[J].房地产世界,2023(19):91-93.
- [5]吴靖雯.基于 BIM 技术的工程项目跟踪审计研究[D].南京:南京审计大学,2023.
- [6]郝欣鹏.工程审计在绿色建筑项目中的实践与风险防范[J].中国品牌与防伪,2025(1):174-175.

作者简介:韦珊(1992.5—),毕业院校:伊犁师范学院,所学专业:建筑工程技术,当前就职单位名称:新疆恒信工程项目管理咨询有限责任公司,就职单位职务:科员,职称级别:中级。

## 城际交通项目的物资管理探究

刘立红

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450000

[摘要]文中聚焦于城际交通项目物资管理,阐述了其重要性,分析了物资管理在计划、采购、仓储、使用等环节存在的问题,如计划不精准、采购成本高、仓储管理混乱、使用浪费等。并针对性地提出了优化策略,包括精准物资计划制定、优化采购模式、加强仓储智能化管理、强化物资使用监督等,旨在提升城际交通项目物资管理水平,保障项目顺利实施,实现经济效益与社会效益最大化。

[关键词]城际交通项目;物资管理;优化策略

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17586

中图分类号: F25

文献标识码: A

## Exploration on Material Management in Inter City Transportation Projects

LIU Lihong

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

**Abstract:** The article focuses on the material management of intercity transportation projects, elaborates on its importance, and analyzes the problems that exist in the planning, procurement, warehousing, and use of material management, such as inaccurate planning, high procurement costs, chaotic warehousing management, and waste of use. Targeted optimization strategies were proposed, including precise material planning, optimizing procurement models, strengthening intelligent warehouse management, and enhancing material usage supervision, aiming to improve the material management level of intercity transportation projects, ensure smooth implementation of projects, and achieve maximum economic and social benefits.

**Keywords:** inter city transportation projects; material management; optimization strategy

### 引言

城际交通项目作为连接城市间的重要基础设施建设项目,对于促进区域经济发展、加强城市间交流合作具有重要意义。物资管理作为城际交通项目管理的重要组成部分,涵盖了从物资计划、采购、仓储到使用等一系列环节,直接关系到项目的成本、进度和质量。有效的物资管理能够确保项目所需物资及时供应,降低物资成本,提高物资利用效率,为项目的顺利实施提供有力保障。然而,当前城际交通项目物资管理存在诸多问题,亟待深入探究并加以解决。

### 1 城际交通项目物资管理的重要性

#### 1.1 控制项目成本

物资成本在城际交通项目总成本里占比极大,通常达60%~70%,是成本控制的核心要素。城际交通项目涉及物资种类繁多,从基础建材如砂石、水泥,到大型设备如起重机、盾构机等,每一种物资的价格、采购量和使用效率都与成本紧密相连。<sup>[1]</sup>

科学合理的物资管理能多维度控制成本。在采购计划上,借助精准市场调研与数据分析,结合项目进度和需求制定计划。比如,依据对钢材市场价格的长期跟踪和预测,在价格低谷时适当多采购并合理储备,避免价格波动带来的成本增加。同时,防止过度采购造成库存积压,占用资金和仓储空间,增加管理成本。物资使用中,加强监督可

提高利用率、减少浪费。建立严格的领用制度和使用台账,实时跟踪物资使用情况,及时发现并纠正不合理使用行为。像混凝土浇筑时规范操作,减少浪费,就能降低物资消耗,切实提高项目的经济效益,增强项目在市场中的竞争力。

#### 1.2 保障项目进度

城际交通项目工期紧、任务重,物资供应及时性对项目进度起着决定性作用。它需要在规定时间内完成大量建设任务,以满足城市间交通和区域经济发展需求。

有效的物资管理能构建完善的供应保障体系。采购环节,与供应商建立稳定合作关系,签订明确供货条款的合同,并加强监督,确保按时供货。同时制定应急采购预案,应对供应中断等突发状况。运输和仓储方面,合理规划路线与布局,提高效率。选合适运输方式和工具,保证物资快速安全到达现场。仓储管理中,运用先进系统和技术,实现精准定位和动态管理,加快出入库速度。例如利用物联网实时监控物资状态,便于迅速调配。一旦物资供应出问题,会导致施工中断、设备闲置,增加成本且影响进度和声誉,所以物资管理是保障项目按计划推进的关键。

#### 1.3 确保工程质量

物资质量是城际交通项目工程质量的基石,该项目作为重要基础设施,关乎群众生命财产安全和社会稳定。严格的物资管理能全程监控采购、验收、储存和使用环节,确保物资符合标准。<sup>[2]</sup>

采购时,严格审查供应商资质和信誉,选优质供应商,合同明确质量条款,从源头把控质量。对采购物资严格检验检测,如钢材、水泥等关键物资,要求提供合格证明并抽样检验,不合格者严禁进场。验收环节,建立严格制度和流程,按标准全面检查物资数量、规格和质量,验收人员认真履职,不合格物资坚决退回并做好记录归档。储存中,根据物资特性提供适宜环境,防止质量下降。使用时,加强施工人员培训,提高质量意识和操作技能,建立反馈机制,及时处理使用问题。通过全方位严格管理物资,可保障工程质量达标,让城际交通项目长久安全运行。

## 2 城际交通项目物资管理存在的问题

### 2.1 物资计划不精准

部分城际交通项目在物资计划编制时,没有充分深入项目现场开展调研,对项目的施工工艺、进度安排以及各阶段的实际物资需求缺乏全面且细致的了解。在预测物资需求数量时,仅依据过往类似项目的经验数据简单估算,未充分考虑本项目在规模、设计标准、施工环境等方面的独特性,使得预测数量与实际需求偏差较大。对于物资规格,没有与施工团队和设计人员进行充分沟通,导致采购的物资规格不符合施工要求。在时间预测上,未精准把握项目各节点的进度,物资进场时间过早会造成库存积压,占用大量资金和仓储空间,增加库存管理成本;过晚则会影响项目进度,导致工期延误。例如,某城际铁路项目因物资计划不精准,在桥梁建设阶段钢筋短缺,致使施工停滞一周,不仅增加了人工成本,还因延误工期面临违约赔偿。

### 2.2 物资采购成本高

在物资采购环节,一些城际交通项目采购渠道较为单一,过度依赖长期合作的少数供应商,缺乏对市场其他潜在供应商的挖掘和评估。这使得采购市场缺乏有效的竞争机制,供应商缺乏降低成本的动力,从而导致采购价格居高不下。同时,采购方式不够科学,没有根据物资的特点和采购规模合理选择采购方式。对于一些通用性强、采购量大的物资,没有采用批量采购或集中采购的方式,无法获得规模采购带来的价格优惠。此外,采购人员在谈判过程中缺乏有效的成本控制策略和谈判技巧,不能充分利用市场竞争态势和自身采购优势,与供应商进行有效的价格博弈,进一步增加了采购成本。<sup>[3]</sup>

### 2.3 物资仓储管理混乱

仓储管理作为物资管理的重要环节,目前部分城际交通项目在这方面存在诸多问题。仓库设施简陋落后,缺乏必要的通风、防潮、防火、防盗等设备。在潮湿环境下,一些金属物资容易生锈腐蚀,电子物资可能因受潮而损坏;在高温天气下,易燃物资存在火灾隐患。物资摆放杂乱无章,没有按照物资的种类、规格、用途等进行科学分类和标识,导致物资查找困难,增加了领料时间,降低了工作效率。而且,由于缺乏清晰的标识,在盘点时容易出现漏盘、错盘等问题,影响库存数据的准确性。另外,仓储信

息化水平低,仍采用传统的手工记账方式,信息传递不及时、不准确,难以实现物资信息的实时共享和动态管理,无法为项目决策提供及时有效的数据支持。

### 2.4 物资使用浪费严重

在物资使用过程中,浪费现象较为严重。一方面,施工人员的节约意识淡薄,缺乏对物资成本的重视,在施工过程中存在随意浪费物资的行为。例如,在混凝土浇筑时,不严格按照操作规程进行施工,导致混凝土跑、冒、滴、漏,不仅造成物资浪费,还污染了施工现场环境。另一方面,施工工艺落后,没有采用先进的施工技术和方法,导致物资利用率低下。在钢材加工过程中,下料不合理,没有进行优化排版,产生大量边角废料,增加了钢材的消耗量。这些浪费行为不仅直接增加了项目的物资采购成本,还对环境造成了一定的负面影响,不符合可持续发展的要求。

## 3 城际交通项目物资管理优化策略

### 3.1 精准制定物资计划

要实现精准制定物资计划,首先需加强项目调研。在物资计划编制前期,应组织涵盖工程、技术、采购等多领域的专业人员,对项目展开全面且深入的调研工作。不仅要详细了解项目的整体规模、既定工期,还需深入掌握各施工阶段所采用的工艺,包括特殊工艺对物资的特殊要求等。例如,在城际轨道交通项目中,隧道掘进环节若采用盾构法施工,就需提前调研盾构机的型号、配套零部件需求,以及掘进过程中所需的各类耗材规格等,为物资计划编制提供坚实准确的依据。

建立动态调整机制也至关重要。项目在实际推进过程中,会因各种因素出现进度变化。因此,要根据项目实际进展情况,及时对物资计划进行调整优化。当项目进度提前时,需提前安排物资供应,确保施工不因物资短缺而停滞;若项目进度滞后,则要相应推迟物资供应时间,避免物资过早进场造成库存积压。比如,某城际铁路项目因地质条件变化,桥梁施工进度延缓,物资管理部门及时调整了钢材、水泥等物资的供应计划,避免了物资积压和资金占用。<sup>[4]</sup>

同时,要充分运用信息化手段。借助先进的项目管理软件和物资管理信息系统,整合项目各项数据,对物资需求进行科学预测和分析。通过系统模拟不同施工场景下的物资需求情况,提高物资计划的准确性和及时性,使其能更好地适应项目实际需求。

### 3.2 优化物资采购模式

优化物资采购模式,拓展采购渠道是关键一步。要建立多元化的供应商体系,摒弃过度依赖少数供应商的做法。通过公开招标、邀请招标、竞争性谈判等多种采购方式,广泛引入供应商参与竞争。比如,在采购城际交通项目所需的大型机械设备时,可同时邀请多家国内外知名供应商参与竞争,以获取更优惠的价格和更好的服务。

加强供应商管理也不容忽视。建立完善的供应商评估

和考核机制,从产品质量、价格、交货期、售后服务等多个维度对供应商进行综合评价。选择优质供应商建立长期稳定的合作关系,定期对供应商进行考核,对于表现优秀的供应商给予更多合作机会,对不合格的供应商及时淘汰,确保供应商队伍的质量和信誉。

推行集中采购和批量采购能有效降低成本。对于通用性强、需求量大的物资,如钢材、水泥等,实行集中采购和批量采购。通过规模效应与供应商谈判,争取更优惠的采购价格和付款条件。同时,加强与供应商的战略合作,共同开展成本优化项目,实现互利共赢。

### 3.3 物资到货验收及现场物资管理

对于现场到货材料一律要求双方签字确认,并设立地磅和物料验收系统,对混凝土、钢筋等主要材料进行过磅验收,对于需要复检的材料、供应商必须提供质量证书、合格证,物资设备部及时通知实验室取样检验,对于入库物资也建立了台帐管理,确保了可追溯性。每月月底物资管理人员与仓库保管员每月做到清库盘点工作,做到帐、物一致。项目对于现场材料的管理,因现场场地所限,项目物资人员每天对现场进行巡视及整理,对现场不用的材料进行回收整理,对 1m 以上钢筋进行废物利用,节约成本。

### 3.4 加强物资仓储智能化管理

加强物资仓储智能化管理,完善仓储设施是基础。要加大对仓库建设的投入,改善仓库硬件条件。根据不同物资的储存要求,配备必要的通风、防潮、防火、防盗等设备。例如,对于易受潮的电子物资,要设置专门的防潮仓库,并配备除湿设备;对于易燃物资,要安装防火报警装置和灭火设备,为物资储存创造良好的环境条件。

科学分类和标识物资能提高管理效率。根据物资的性质、用途、规格等因素,对物资进行科学分类,并建立清晰的物资台账。采用统一的标识方法,对物资进行明确标识,方便物资的查找和盘点。在仓库内设置明显的区域标识和货位标识,使物资存放有序,减少查找时间。<sup>[5]</sup>

引入仓储管理系统是提升智能化水平的核心。利用物联网、大数据、人工智能等技术,引入先进的仓储管理系统,实现物资信息的实时采集、传输和共享。通过该系统,可对物资进行精准定位,实时掌握物资的库存数量、位置等信息;实现动态盘点,提高盘点效率和准确性;设置库存预警功能,当物资库存低于安全库存时及时提醒补货,提高仓储管理效率和准确性。

### 3.5 强化物资使用监督

强化物资使用监督,加强施工人员培训是首要任务。开展节约意识和环保意识培训,通过案例分析、现场讲解等方式,让施工人员深刻认识到物资浪费的危害,自觉养成节约物资的良好习惯。同时,加强对施工人员的技能培训,邀请专家进行施工工艺讲解和现场指导,提高其施工工艺水平,减少因施工工艺不当导致的物资浪费。例如,在混凝土浇筑施工中,培训施工人员掌握正确的浇筑方法

和振捣技巧,避免混凝土跑、冒、滴、漏等问题。

建立物资使用监督机制能确保监督有效。成立专门的物资使用监督小组,明确小组成员的职责和权限,对物资使用过程进行全程监督。定期对施工现场进行巡查,检查物资使用是否符合规定,及时发现和纠正物资浪费行为。对违规使用物资的单位和个人进行严肃处理,如罚款、通报批评等,形成有效的威慑力。

### 3.6 限额领料的开展与材料核销工作

对主要材料钢筋、商品混凝土以及水泥等下发了限额领料通知单,物资部根据限额领料单进行发放,每月由物资部牵头,和经营部、技术科施工队三家,对施工队主要材料进行盘库,进行材料核销,做到材料过程控制。项目材料核销方面根据公司要求不断改进中,项目物资每月 20 号对现场主要材料进行盘点,统计每月材料领用情况,将数据汇总发至经营科进行核销,工程部位施工完毕后,再对各项主要材料进行统计汇总,在进行总核销,对施工队超出部分从结算中扣除。物资部严格按照《材料核销管理办法》进行核销管理,按照技术科提供的设计计划进行采购与发放,施工过程中严格执行项目部限额领料管理制度的实施,用量控制在损耗之内,杜绝浪费,合理控制成本,同时建立核销台帐,对工程部位和施工队都要进行核销。

## 4 结束语

城际交通项目物资管理是涵盖计划、采购、仓储、使用等多环节的系统工程,有效管理对控成本、保进度、保质量意义重大。当前,该领域存在计划不精准、采购成本高、仓储混乱、使用浪费等问题。为此,需采取精准制定物资计划、优化采购模式、加强仓储智能化管理、强化使用监督等策略,提升物资管理水平,实现合理配置与有效利用,保障项目顺利推进,促进城际交通事业可持续发展。此外,科技日新月异,要积极引入新技术、新方法,不断提高物资管理的智能化与信息化程度,推动城际交通项目物资管理持续创新升级。

### [参考文献]

- [1]张明华.大型交通建设项目物资管理研究[J].交通企业管理,2024,35(5):45-47.
- [2]王强刚.轨道交通项目物资采购管理模式创新研究[J].铁道工程学报,2022,38(3):102-106.
- [3]刘辉.高速公路项目物资仓储管理优化策略[J].公路交通科技(应用技术版),2022,15(12):234-236.
- [4]周伟丽.城际铁路建设项目物资成本控制方法探讨[J].建筑经济,2022,43(2):56-59.
- [5]吴勇霞.基于 BIM 技术的交通建设项目物资管理应用研究[J].土木工程信息技术,2023,12(1):88-92.

作者简介:刘立红(1976.12—),毕业院校:郑州大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:中国水利水电第十一工程局有限公司,职务:深惠项目物资设备总监,职称级别:经济师,研究方向:物资设备管理。

# 基于数字孪生的工程全生命周期协同管理模式与效能提升研究

王朝辉 寻 阳

陕西西咸新区泾河新城城市建设投资有限公司, 陕西 西安 713700

[摘要]伴随工程项目的规模扩大与复杂程度持续增加,传统管理模式在信息共享、协同效率以及风险控制方面暴露出明显局限。凭借数字孪生技术的工程全生命周期协同管理模式,借助搭建与实体工程实时同步的虚拟模型,达成设计、施工、运营及维护全流程数据的互联与实时模拟。此模式可推动多方协同合作、开展动态优化处理并实施风险预警措施,进而增强项目管理效率、资源利用程度和工程质量。

[关键词]数字孪生;全生命周期管理;协同管理;工程效能;风险预警

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17583

中图分类号: TU201

文献标识码: A

## Research on Collaborative Management Mode and Efficiency Improvement of Engineering Whole Life Cycle Based on Digital Twins

WANG Zhaohui, XUN Yang

Shaanxi Xixian New Area Jinghe New City Urban Construction Investment Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 713700, China

**Abstract:** With the expansion and increasing complexity of engineering projects, traditional management models have exposed significant limitations in information sharing, collaborative efficiency, and risk control. With the collaborative management mode of the whole life cycle of engineering based on digital twin technology, and by building virtual models that are synchronized with physical engineering in real time, the interconnection and real-time simulation of data throughout the entire process of design, construction, operation, and maintenance can be achieved. This model can promote multi-party collaboration, carry out dynamic optimization processing, and implement risk warning measures, thereby enhancing project management efficiency, resource utilization, and engineering quality.

**Keywords:** digital twins; whole life cycle management; collaborative management; engineering efficiency; risk warning

### 引言

工程项目一般涵盖设计、施工、采购以及运营维护等诸多阶段,信息分散、参与方数量多、管理环节繁复。传统管理模式易,数据孤岛问题突出,引发进度滞后、成本超出预算以及质量隐患。伴随数字技术的进步,“数字孪生(Digital Twin)”给工程管理提供了崭新解决方案。数字孪生借助虚拟模型与物理实体的实时映射,可达成全流程数据的监控、分析以及模拟,助力决策优化与多方协作。本文着重研究基于数字孪生的工程全生命周期协同管理模式的构建、效能提升办法以及应用效果,为大型复杂工程管理给出理论与实践借鉴。

### 1 数字孪生在工程全生命周期管理中的作用

数字孪生借助构建与实体工程精准同步的虚拟模型,达成物理对象跟虚拟空间的双向数据流通。在设计环节中,数字孪生能开展三维建模、施工模拟及结构优化,提早找出设计冲突和潜在风险,提升设计质量与可行性;在工程施工阶段,借助实时收集施工现场传感器数据、无人机影像以及设备运行信息,数字孪生利用实时采集的相关信息,对施工进度、资源配置和质量控制开展动态分析与优化,让施工过程实现可视化与精细化管理;在运营维护期间,

数字孪生可对设施性能、环境参数和结构健康状况进行持续监控,给出科学的数据依据,达成预防性维护与风险预警。数字孪生不仅弥补了传统管理模式信息滞后和孤岛问题,还增强了工程全过程的可控性和可视化程度,为全生命周期协同管理奠定技术基础<sup>[1]</sup>。

### 2 协同管理模式构建

#### 2.1 信息化平台建设

数字孪生协同管理模式里,信息化平台起到核心支撑作用。凭借构建统一的数据集成平台,可对设计、施工、监理单位及业主端的数据实施集中管理,构建多维度数据中心。此平台不仅包括工程设计图纸、施工进度、材料采购、设备运行以及质量检测等方面的信息,还能达成实时数据更新与可视化呈现,消除传统管理模式里信息孤岛和数据滞后状况。各参与主体可在统一平台同步获取项目数据,达成管理透明化,提升信息传递效能与决策精准度。同时,平台具备数据权限管理与安全控制功能,让不同角色在对数据进行访问和操作时具备恰当权限,进而保障数据安全、明确责任归属。

#### 2.2 跨阶段协作机制

数字孪生模式突出项目全生命周期的合作畅通。各参

与方借助统一平台,实时更新任务进度、资源使用情况以及质量数据,达成设计、施工、监理及运营环节的联合管理。跨阶段协作机制既能预先察觉工序间的矛盾与阻碍,又能对施工顺序和资源调度进行优化,降低延误与浪费。例如,当施工单位在平台更新进度数据之际,监理单位能马上评估施工质量与安全风险,并给出调整方案;设计单位可依据现场反馈开展设计优化工作,保障施工与设计同步开展。此外,跨阶段协作机制能助力构建责任追溯体系,通过记载各环节操作及决策步骤,为项目管理提供科学支撑,增强管理透明度与协作效率<sup>[2]</sup>。

### 2.3 虚拟仿真与决策支持

数字孪生凭借虚拟仿真功能,为施工方案优化与风险管理提供技术支撑。利用虚拟环境对施工工序、设备运行和工人操作进行模拟,管理者能预先找出潜在问题并加以优化改进,降低施工阶段返工与安全事故发生概率。同时,虚拟仿真能开展进度推演与资源负荷分析,助力施工方案的优化和施工计划的动态调整。融合实时数据,仿真模型可评估不同方案成效,为各方给出科学的决策参考,提升协作效能与项目执行精准度。

### 2.4 模式构建的管理保障

构建协同管理模式时,应涵盖角色权限管理、任务分配、流程标准化以及异常事件响应机制。界定各方责任与操作权限,保障数据与任务的合理分派;设立标准化流程及操作规范,保障协作高效有序开展;构建异常事件应对机制,一旦项目遭遇突发状况或出现偏差,可迅速调配相关资源处理。这些管理保障举措可让信息共享与操作执行紧密衔接,增强数字孪生协同管理模式的可操作性与可靠性。

## 3 效能提升策略

### 3.1 进度优化

在工程建设项目管理里,科学把控施工进度是保障项目按时完工的核心要素。传统项目管理模式往往依靠人工经验与静态规划,难以招架大型复杂工程里多专业多工序交叉作业及现场不确定因素带来的挑战。数字孪生驱动进度优化机制,借助构建工程全周期的虚拟模型,把施工图纸、资源调配、工序顺序以及施工现场实时数据融合起来,实现对施工过程的精细管理。数字孪生平台可在虚拟场景中模拟不同施工方案,预判各方案在时间把控、资源利用及工序配合上的效果,提早察觉工序冲突、资源瓶颈或潜在延误点。例如,大型桥梁工程里,吊装、混凝土浇筑和设备安装常出现时间节点重合的状况,传统方法或许难以及时察觉,数字孪生仿真却能提前识别并给出调整举措。平台拥有动态监控能力,实时跟进关键节点的施工完成进度,且生成进度偏差分析报告,为项目管理人士提供科学决策参考。此外,数字孪生可和施工设备、人员调度系统进行联动,达成资源优化配置,比如科学规划施工机

械的使用时长,降低设备闲置与等待时长,提高工序衔接的流畅度。借助历史项目数据,平台可预估潜在延误风险,制定预防性办法,如提前安排劳动力或调整施工流程,进而保证施工计划的可控性和节点执行的可靠性。借助上述多维度、多层次的进度管理办法,数字孪生让施工计划由静态管理转变为动态优化,极大减少了工期延误的风险,增强了工程按时交付的能力<sup>[3]</sup>。

### 3.2 成本控制

大型工程项目的成本管控复杂又敏感,涵盖材料消耗、机械设备运用、人工投入以及外部供应等方面。传统成本管理多依赖事后核算,难以迅速察觉浪费或异常支出,数字孪生技术借助实时收集施工现场的各种资源数据,达成成本管理的数据化、可视化与动态化。平台可实时监测材料消耗量、施工机械运转时长、人工工时以及运输成本,同时将实际数据与预算标准加以对比,及时找出成本偏差与浪费环节。例如,在装配式建筑施工期间,构件的运输与装配要精准配合,不然易导致材料闲置或作业重复。数字孪生可模拟不同调度方案给成本带来的影响,预先优化运输路线与装配次序,削减材料与人力浪费。借助动态成本剖析与预算预警,管理者可提前对资源计划和施工方案作出调整,防止成本超出预算,平台可开展施工方案的虚拟成本模拟,评判不同方案对整体投资造成的影响,进而选定最优方案削减总成本。此外,数字孪生可与供应链管理系统相互配合,实现对采购进程、材料储备及供应风险的实时把控,削减因供应滞后或材料短缺造成的追加成本。凭借全流程成本监控和预测管理手段,数字孪生把传统事后核算模式转变为全过程精细管控,实现资金高效使用与经济效益最大化。

### 3.3 质量提升

工程质量是衡量施工安全与结构耐久性的核心要素,然而传统的质量管理大多依靠人工巡检和阶段性检测,存在覆盖范围有限和响应滞后的问题。数字孪生融合 BIM 模型、传感器数据以及实时分析技术,可达成施工质量全流程在线监控。平台可收集关键结构部位的应力、位移、温度、湿度等参数,再与设计模型做对比,察觉潜在质量缺陷。例如,针对高层建筑的混凝土施工,数字孪生可实时监测混凝土浇筑过程中的温度及应力分布,识别出温度出现异常或者应力与设计值不符的现象,迅速发出警报并给出调整方案。此外,虚拟模型能对施工误差影响结构整体性能的情况进行模拟,协助施工单位对工艺和工序顺序加以优化,减少隐患风险。数字孪生还能对每一环节的施工进度和质量检测结果加以记录,为质量追溯提供数据依据。在装配式建筑里,可利用数字孪生对构件精度和接口质量开展在线监控,迅速察觉偏差并加以纠正,保障现场装配精度与结构整体性能。同时,借助对历史质量数据的分析,平台可归纳质量问题的规律,为后续施工给出改进办法,达

成施工质量的持续优化,保证工程长期稳定可靠<sup>[4]</sup>。

### 3.4 风险管理

大型工程施工往往具有结构复杂、工序丰富、参与单位数量多以及施工环境不确定性大的特性,故而潜在风险种类丰富,主要有安全事故、施工冲突、材料供应滞后、机械设备故障以及环境因素干扰等。传统的风险管理模式常依靠人工巡查、定期检查以及事后分析,这种做法存在信息滞后、覆盖范围有限和响应不及时弊端,无法契合大型复杂工程对高效、安全与精细化管理的要求,引入数字孪生技术,为工程风险管理提供了崭新的应对方案。通过数字孪生手段,工程施工可在虚拟与物理空间实现同步映射,实时整合施工现场环境、设备运行、人员行为及施工进度等多维数据,为风险动态识别与预警提供科学依据。

数字孪生平台可收集传感器、无人机、视频监控、物联网设备及其他现场监测装置的数据,对施工现场的环境情况、机械负荷状态、人员活动情况和工序推进进度展开全面分析。以桥梁施工为例,传感器可实时采集塔吊作业负荷、桥墩施工边坡变形、高空作业人员位置信息以及风速、温度等环境数据,再同步进数字孪生模型里。系统借助仿真算法,把采集的数据和施工计划、设计参数以及安全规范加以对比,可提前察觉潜在的安全问题,如塔吊超负载运行、边坡土体稳定性欠佳、作业人员高空作业违规或恶劣天气作业存在风险等。平台借助评估风险发生概率与可能影响程度,平台可生成可视化预警信息,为项目管理者提供清晰、可行的应对办法。

数字孪生不仅是聚焦于风险识别,还可模拟多种应对方案成效。例如,一旦检测到塔吊负荷临近极限,系统能够模拟采取调整施工顺序、分批吊装或延迟作业等举措对施工进度与安全造成的影响,从而选出最佳方案以降低风险。在进行边坡施工时,借助虚拟仿真可预测不同支护方案对边坡稳定性的优化效果,且为施工方案的调整提供科学凭据。在人员管理上,数字孪生可联合定位系统与作业记录,对作业人员分布实施监控,一旦出现人员扎堆或作业重合现象,平台会预先提示项目经理实施作业调度和疏散<sup>[5]</sup>。

数字孪生还能针对施工过程中出现的风险事件进行历史记载与数据解析。平台对不同项目及阶段的风险事件开展统计与分类,平台可总结出风险发生规律,打造风险库,为后续项目给出参考和防范举措。例如,特定施工阶

段中某类型材料供应延误情况频发,可借数据分析提前谋划备用供应商与材料调度方案,进而减少供应风险对工期和成本的不利作用。此外,数字孪生可针对施工环境的改变、气象条件以及设备使用数据做趋势分析,实现对潜在风险的预估,为项目管理者提供提前介入的凭据。通过虚拟仿真与实时监控相融合的方式,数字孪生达成风险管理全过程动态化和闭环化目标。在施工风险出现前,系统可凭借预测和模拟制定预防性办法;一旦风险出现,平台借助实时监测和剖析马上生成应对办法,让管理者可迅速实施纠正举措,由此减少风险对施工进度、质量和安全造成的不利影响。数字孪生技术既提升了施工现场的安全系数,又强化了工程项目整体管理的精细度与可控性,达成了大型施工的高效、安全、可靠运转。

### 4 结语

基于数字孪生构建的工程全生命周期协同管理模式,凭借虚拟模型与物理实体的同步映射,达成由数据驱动的多方合作、动态优化及风险预警。该模式借助信息化平台对设计、施工和运营数据进行整合,构建起任务驱动、绩效评估与反馈的闭环体系,有力提高了项目在进度、成本和质量方面的管控水平。数字孪生既增强了工程管理的透明度与响应效率,还削减了施工风险和资源损耗,为大型复杂工程开辟了可持续发展的道路。未来,伴随人工智能、物联网和大数据技术的持续进步,数字孪生在工程全周期协同管理中的效能将愈发凸显,助力行业管理模式革新与工程项目高效运作。

#### [参考文献]

- [1]刘丽,聂慧梓,魏雷涛,等.基于数字孪生的工程项目管理研究[J].中国军转民,2023(11):8-10.
  - [2]鲁金铭,武斌.数字孪生技术在建筑工程领域的应用[J].绿色建筑与智能建筑,2024(12):79-82.
  - [3]王坤,黄元库,梁策,等.数字孪生驱动的隧道工程全生命周期管理研究[J].中国铁路,2024(7):59-68.
  - [4]李宗亚.以数字化工程管理为出发点探究工程管理数字化关键技术[J].居舍,2023(25):34-37.
  - [5]官志群,王永志,廖少明.基于数字孪生的建设工程项目管理数字化[J].土木工程学报,2024,57(7):106-128.
- 作者简介:王朝辉(1988.3—),毕业院校:延边大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:陕西西咸新区泾河新城城市建设投资有限公司,职称级别:工程师。

# 新形势下建筑工程造价审计中存在的问题及对策分析

陈 珊

新疆恒信工程项目管理咨询有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]建筑工程造价审计属于建筑行业管理的关键部分,近些年来在政策调整以及技术发展的推动之下,面临着前所未有的变革压力,在新的形势之下,审计工作一方面要适应宏观经济政策的频繁变化,另一方面还要整合新兴技术来提高审计效率与精度,在这样的大背景之下,审计实践当中存在的问题逐渐变得明显起来,比如审计依据存在滞后性、人员能力有所欠缺等,这些问题直接对工程项目的成本控制以及资源分配产生影响,所以对这些问题加以系统分析并且给出有效的应对措施有着紧迫的现实意义,文章希望通过综合研究,能够揭示出新形势下建筑工程造价审计所具有的内在特点,深入剖析其中存在的主要障碍,并且依据实证数据提出改进的策略。

[关键词]建筑工程;造价审计;政策环境;技术发展;全过程审计

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17597

中图分类号: TU723

文献标识码: A

## Analysis of Problems and Countermeasures in Cost Audit of Construction Projects under the New Situation

CHEN Shan

Xinjiang Hengxin Engineering Project Management Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** Cost auditing of construction projects is a key part of the management of the construction industry. In recent years, under the promotion of policy adjustments and technological development, it has faced unprecedented pressure for change. In the new situation, audit work needs to adapt to the frequent changes in macroeconomic policies on the one hand, and integrate emerging technologies to improve audit efficiency and accuracy on the other hand. Against this backdrop, problems in audit practice have gradually become apparent, such as lagging audit basis and lack of personnel capabilities. These problems directly affect the cost control and resource allocation of engineering projects. Therefore, it is of urgent practical significance to systematically analyze these problems and provide effective response measures. The article hopes to reveal the inherent characteristics of construction cost auditing under the new situation through comprehensive research, analyze the main obstacles that exist deeply, and propose improvement strategies based on empirical data.

**Keywords:** construction engineering; cost audit; policy environment; technological development; full process audit

### 引言

伴随我国进入 21 世纪 20 年代,在党中央“一带一路”“脱贫攻坚”“中国梦”等宏伟目标的指导下,工程项目尤其是基础设施建设不断增多和审计改革落地实施的大背景下,审计改革也落下帷幕,工程造价审计转为由业主自行委托审计,审计职能部门不再进行结算审计工作,转为进行过程监管及过程后复核。对于工程造价企业而言,是机遇与挑战并存的事情,这要求工程造价企业需要凭借自身实力在市场竞争中取得业主青睐,又要求工程造价企业新的审计形势下不断提高自身审计水平并保证审计成果的合法性、公正性。在实践中由于审计人员素质不足、审计事项的多样性、审计资料的复杂性等内外因素影响,导致工程造价审计存在很多问题。

### 1 新形势下建筑工程造价审计的特点

#### 1.1 政策环境变化的影响

政策环境的变化给建筑工程造价审计带来了明显的影响,近些年,中国政府在建筑领域接连出台了一系列新

的政策,像绿色建筑标准以及成本控制指南等,这些政策一方面调整了审计的基本架构,另一方面还引入了更为严格的合规要求<sup>[1]</sup>。举例来讲,依据中国住房和城乡建设部在 2023 年所发布的报告,建筑行业的政策更新频率提高了 15%,这就使得审计依据得频繁做出调整,以便能够适应新的规定。这样的政策动态特性致使审计工作必须要具备更强的灵活性,审计人员也不得不时常更新自身的知识库,以此来应对政策变动所带来的种种挑战,进而增加了审计流程的复杂程度以及不确定性。政策环境的波动还反映在财政以及税收政策的调整方面,这些变化会直接对工程造价的核算方式产生影响,使得传统的审计方法很难完全契合新的要求。所以,在新形势之下,审计的一个特点是高度依靠政策导向,审计结果往往会受到宏观政策变动的间接作用,这就需要审计机构构建起更为强大的政策监测与响应机制。

#### 1.2 技术发展对审计模式的推动

技术发展有力地推动了建筑工程造价审计模式的转

变,特别是大数据、人工智能以及云计算等新技术的应用,正对审计流程与方法加以重塑。依据中国国家统计局在2024年的数据来看,建筑行业信息化投入相较于上一年增长了12%,其中审计相关技术应用所占的比例达到了30%。这些技术一方面提升了数据处理的效率,另一方面让审计过程变得更为自动化且智能化,就好比借助机器学习算法来分析历史工程数据,进而预测造价偏差以及风险点。技术发展还促使远程审计以及实时监控得以实现,审计人员能够凭借云平台去获取实时工程信息,如此一来便能缩减现场审计所需的时间与成本。不过,这种由技术所驱动的变革同样带来了新的难题,像是数据安全方面的问题以及技能更新的需求,审计模式不得不从传统的以人工为主导的状态转变为人机协同的模式。所以,在新的形势之下,审计的特点之一便是技术集成性有所增强,审计工作对高科技工具的依赖程度越来越高,这虽说提升了审计的精度,但也要求审计体系做出相应的调整,并且要开展人员培训工作。

## 2 建筑工程造价审计中存在的主要问题

### 2.1 审计依据不完善与滞后性

在当下的建筑工程造价审计领域当中,审计依据的更新速度颇为缓慢,很难跟上市场以及新技术的发展节奏,时至今日依旧大量采用往昔的标准,对于新材料、新工艺的涵盖明显不足,这很容易致使审计结果出现偏差情况。依据中国建设工程造价管理协会在2023年所开展的调查来看,有超过40%的审计纠纷其源头就在于依据存在滞后现象。在政策执行的过程中,地方对于新国家标准的采纳进度较为迟缓,这使得审计实践与政策要求之间的脱节状况进一步加剧。除此之外,行业规范呈现出碎片化的态势,地区间标准也不统一,这些情况无疑增加了审计工作的复杂性以及不一致性,对审计公信力产生了影响,甚至还可能引发资源浪费以及工期延误等问题。

### 2.2 审计人员专业能力与知识结构不足

审计人员综合能力有所欠缺,这已然成为影响审计质量极为关键的因素所在。当下开展审计工作的时候,需要将法律、技术以及数据分析等诸多不同领域的知识相互融合起来。然而实际情况却是,相关人员的知识结构呈现出较为单一的状态,依旧是以传统的造价核算作为主要内容,如此一来便很难去应对因政策以及技术创新而产生的种种挑战<sup>[2]</sup>。依据中国建筑业协会于2024年所发布的报告来看,仅有35%的审计人员曾经接受过较为系统的针对新技术方面的培训。由于能力存在不足的情况,导致审计过程中出现的错误不断增多,在数据分析以及风险评估这些环节当中,更是容易忽视掉一些关键性的问题。与此对于国际标准的认知程度不够充分,这也对审计的国际化发展起到了一定的制约作用。再加上培训机制本身存在着诸多不完备之处,人才的流动性又相对偏高,这些情况综

合起来,更是进一步对团队的整体效能产生了影响。

### 2.3 过程审计与控制机制薄弱

过程审计以及控制机制较为薄弱,其主要表现在于审计往往仅仅局限于事后的核查工作,对于事中以及事前的控制明显不足,如此一来,便致使诸多问题难以在及时的时间节点上被发现,进而导致纠错所耗费的成本颇高。多数工程项目都缺少全程的监控举措,通常是等到竣工之后,审计人员才会介入其中,如此便很难做到对造价以及风险进行实时的跟踪把控,也无法切实有效地预防出现超支以及浪费等情况。从中国审计署所做的2025年相关预测来看,过程审计存在缺失的情况,有可能让项目的成本超支率高达20%。内部控制机制不够健全完善,审计的独立性有所欠缺,容易受到外部因素的干预,这使得监督的实际效果仅仅停留在形式层面而已。除此之外,审计所采用的方法较为落后,并且还缺乏数字工具方面的有力支持,这些情况进一步对控制效能形成了限制,在诸如采购以及施工等关键环节上,监督力度不足,从而使得漏洞以及舞弊的风险不断加剧。

### 2.4 信息化与数据应用水平较低

建筑审计信息化的应用水平是比较低的,很多机构还在依靠手工操作,其数据处理的能力也是有限的。根据中国互联网信息中心在2023年的相关数据来看,行业审计信息化的覆盖率仅仅只有50%,这个比例远远低于金融等其他行业,如此一来就使得效率变得低下,错误率也变高了,进而对审计的时效以及准确性都产生了影响<sup>[3]</sup>。在数据应用这块,审计人员普遍缺乏大数据分析的能力,所以很难去开展趋势预测以及异常识别等工作,这就在一定程度上制约了审计的深度。而且系统的集成度比较低,审计和工程管理平台之间的兼容性也比较差,这就形成了数据孤岛,阻碍了信息的共享。数据安全机制还不够完善,在云审计这样的环境之下,潜在的风险是相当显著的。

## 3 完善建筑工程造价审计的对策建议

### 3.1 健全制度体系与政策衔接机制

健全制度体系以及政策衔接机制是提升建筑工程造价审计的基础。要完善审计法规和标准体系,及时更新以反映行业变化和技术进步。政府建立动态修订机制,定期评估调整审计依据,如通过行业专家委员会审核新政策影响并发布指南,强化跨部门协作,减少政策冲突和空白。加强地方与中央政策协调,建立统一信息平台共享政策变动,引入第三方评估、惩处违规行为,优化制度设计,保障切实可行。

### 3.2 加强审计队伍专业能力建设

强化审计队伍的专业能力构建,乃是应对人员短缺这一问题的重中之重。其中关键点就在于推进教育培训方面的改革举措,以及促使职业发展能够持续开展下去。高等教育相关机构有必要对课程设置予以更新调整,将诸如数

据科学、政策分析以及国际审计标准等跨学科的内容融入进去,以此来培育出复合型的人才。与此要推动职业培训项目朝着常态化的方向去发展,持续不断地为在职的审计人员给予新技术以及政策层面的培训,比如可借助在线课程还有专题研讨会这类方式,来提升他们的实践操作技能。依照中国教育部在 2023 年所提出的倡议内容,建筑审计培训的覆盖率目标是要在 2025 年的时候达成 80% 的比例。构建认证以及激励的相关机制,能够起到吸引并留住高素质人才的作用,像是推出专业的资格认证,并且提高薪酬方面的待遇,以此来强化职业所具备的吸引力。审计机构还需要积极推动团队实现多元化,去招募有着不同背景的专业人员,进而让知识结构得以丰富起来,同时也能够提升解决问题的能力。这一项对策要想顺利实施,就需要政府、行业协会以及教育机构共同携手共同努力,依靠资金方面的支持以及文化层面的倡导,来推动能力的建设工作。从长远的角度来讲,强化队伍的专业能力,不但能够提升审计工作的质量,而且还能够推动行业不断创新,实现可持续发展的目标,这也充分体现了以人为本这样的一种学术价值取向。

### 3.3 推行全过程跟踪审计模式

实施全过程跟踪审计模式乃是优化控制机制的一条有效路径,此模式着重于让审计活动贯穿工程项目的整个生命周期,涵盖从规划、设计一直到施工以及竣工的各个阶段,进而达成实时监控以及风险预防的目的。审计机构需积极运用数字化工具,像是建筑信息模型(BIM)还有物联网(IoT)设备等,借助集成实时数据流的方式,使得审计人员可以动态地去跟踪造价方面的变动情况以及合规状况。依照中国住房和城乡建设部 2025 年的相关指南来看,全过程审计预计可使成本超支率降低超过 10%。在实施这一模式的过程中,得制定标准化的审计流程并明确关键控制点,以此来保证每个阶段都有清晰明确的审计目标与指标,比如说在采购阶段要强化合同审计,在施工阶段则要对材料使用情况进行监控。强化内部审计同外部审计之间的协作也是非常重要的,通过开展定期的沟通以及实现数据共享,能够提高审计工作的全面性以及准确性。这样的对策还要求审计文化要发生转型,即从以往的被动检查转变为现在的主动管理,并且要投入资源到技术基础设施以及人员培训方面。推行全过程跟踪审计,一方面能够对现有机制存在的薄弱环节予以弥补,另一方面也有助于提升工程的透明度以及责任的落实情况,从而给建筑行业的可持续发展带来长远的良好效益。

### 3.4 推动信息化与大数据技术应用

推动信息化以及大数据技术的应用,这无疑是提升建筑工程造价审计现代化程度的关键核心策略,其关键点在于增加技术方面的投入,并且积极推广那些较为先进的工具。审计机构有必要引入云计算平台以及 AI 算法,以此

来实现数据收集以及分析过程的自动化,比如说运用机器学习模型去识别造价出现的异常情况,同时预测相关趋势,进而提升审计工作的效率以及精度。依据中国工业和信息化部在 2024 年的计划来看,建筑审计信息化方面的投资将会增长 15%,如此一来便能够对大数据的应用给予有力的支持<sup>[4]</sup>。与此强化数据治理以及安全性的相关措施是绝对不能缺少的,要保证审计数据具备完整性、保密性以及可用性,举例来讲,可以通过采用加密技术以及访问控制等方式来防止数据发生泄露的情况。在推广技术应用的过程中,还得重视对人员数字技能的培养工作,借助开展软件操作以及数据分析等方面的专项培训,有效地消除技术应用过程当中存在的种种障碍。推动跨行业的合作,去借鉴金融、医疗等领域所积累的先进经验,这样能够加速创新成果以及最佳实践的传播速度。此项对策一方面能够解决信息化水平偏低的问题,另一方面还能够促使审计工作朝着智能化以及预测性的方向转变,进一步增强行业的竞争力。在实施这一对策的时候,应当着重关注成本效益方面的分析,优先把资金投入那些能够带来较高回报的领域当中,从而确保其具备可持续性并且能够获得广泛的接受度。

## 4 结束语

在新形势下,建筑工程造价审计面临着诸多问题,需要开展系统性改革并采取创新性对策。本文剖析政策环境变化以及技术发展所带来的影响,指出了审计依据存在欠缺、人员能力有所不足、过程控制较为薄弱以及信息化水平偏低等关键问题。就这些问题而言,所提出的对策包含健全制度体系、强化队伍建设、实施全过程审计以及推动技术应用等方面,目的是构建更为高效、公正且具有适应性的审计体系。此项研究依托真实数据与实践案例,着重指出审计工作务必要跟上时代步伐,要对政策和技术资源加以整合,以此提升整体效能。笔者在学术层面更倾向于支持由技术驱动以及政策协调所构成的改革路径,觉得如此既能应对当下所面临的挑战,又能推动建筑行业实现可持续发展。

### [参考文献]

- [1]胡文月,刘长迎,单文.建筑工程造价审计中常见问题及解决办法[J].房地产世界,2023(19):97-99.
  - [2]高妍.工程造价审计风险与防范对策[J].建筑与预算,2022(6):28-30.
  - [3]张财贵.建筑工程造价审计中的问题与对策研究[J].住宅与房地产,2024(9):40-42.
  - [4]王煜庭,祝连波,伍平安,等.基于 SEM 的 BIM 技术对施工项目管理的影响研究[J].工程建设,2025,57(2):68-75.
- 作者简介:陈珊(1986.11—),毕业院校:山东建筑大学,所学专业:工程造价,当前就职单位名称:新疆恒信工程项目管理咨询有限责任公司,就职单位职务:造价部副经理,职称级别:高级。

## 论市政工程深基坑支护技术及施工要点

常乐

太原市政建设集团有限公司, 山西 太原 030000

[摘要]伴随我国城市化进程的持续加快,市政工程建设规模随之不断扩大。深基坑施工作为市政工程中的关键环节,其施工安全与稳定性直接关系到整个工程的质量水平和整体进度。深基坑支护技术作为保障基坑开挖过程中周边环境安全及基坑自身稳定的核心技术,受到工程界的广泛关注。文中系统分析了市政工程中常见的深基坑支护技术类型,详细探讨了各支护技术的适用条件与施工要点,针对施工过程中暴露的各类问题,文章提出了相应的优化建议,旨在为市政工程深基坑支护施工提供理论参考与实践指导,保障工程施工安全高效推进。

[关键词]市政工程;深基坑;支护技术;施工要点;安全控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17577

中图分类号: U4

文献标识码: A

### Discussion on the Support Technology and Construction Points of Deep Excavation in Municipal Engineering

CHANG Le

Taiyuan Municipal Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

**Abstract:** With the continuous acceleration of urbanization in China, the scale of municipal engineering construction is constantly expanding. As a key link in municipal engineering, the construction safety and stability of deep foundation pits directly affect the quality level and overall progress of the entire project. The deep foundation pit support technology, as a core technology to ensure the safety of the surrounding environment and the stability of the foundation pit during excavation, has received widespread attention from the engineering community. The article systematically analyzes the common types of deep foundation pit support technologies in municipal engineering, and discusses in detail the applicable conditions and construction points of each support technology. In response to various problems exposed during the construction process, the article proposes corresponding optimization suggestions, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for the construction of deep foundation pit support in municipal engineering, and ensure the safe and efficient progress of engineering construction

**Keywords:** municipal engineering; deep foundation pit; support technology; key points of construction; safety control

#### 引言

在市政工程建设中,深基坑工程主要应用于地下管网、地下停车场、地铁车站等基础设施的施工,其开挖深度通常超过5m,且多位于城市繁华地段,周边建筑物密集、地下管线复杂。深基坑开挖过程中,若缺乏有效的支护措施,易引发基坑坍塌、周边地面沉降、建筑物倾斜等安全事故,不仅会造成经济损失,还可能威胁人民生命安全。因此,合理选择深基坑支护技术、严格把控施工要点,成为市政工程建设中的重要课题,近年来,随着支护技术的不断创新,市政工程深基坑支护已从传统的单一支护形式向多元化、智能化方向发展。但在实际施工中,由于地质条件的差异、施工工艺不规范、管理不善等因素,仍然存在许多问题。本文在对市政工程深基坑支护技术研究的基础上,论述了技术类型、施工要点和发展趋势,为提高深基坑支护施工质量提供参考。

#### 1 市政工程深基坑支护技术常见类型及适用条件

城市项目的深基坑技术选择必须考虑地质条件、地基深度、环境、工程造价等因素,不同的支护技术具有不同

的特点和应用领域。现阶段,市政工程中较为常用的深基坑相关技术,主要包含以下类型:

##### 1.1 排桩支护技术

排桩支护技术,是通过在基坑周边布设钢筋混凝土灌注桩、预制桩等桩体并形成连续桩排,凭借桩体自身的抗弯与抗剪性能来抵御基坑外侧土压力,从而保障基坑施工稳定。该技术具有刚度大、支护效果好、施工便捷等优点,适用于黏性土、砂土等多种地质条件,尤其在基坑深度5~15m、周边建筑物距离基坑较远的市政工程中应用广泛。在实际应用中,排桩支护可根据工程需求采用单排桩、双排桩或复合排桩形式。例如,当基坑周边存在较厚的软土层时,可采用双排桩支护,通过前后排桩的协同作用增强支护结构的稳定性;若基坑开挖深度较大,还可在排桩顶部设置冠梁,进一步提升整体刚度。

##### 1.2 土钉墙支护技术

土钉墙支护技术是将土钉(钢筋或钢管)植入基坑边坡土体中,与喷射混凝土面层、土体形成复合支护体系,利用土壤的摩擦力和黏结力抵抗土壤压力,防止坡道坍塌。

该技术具有施工速度快、造价低、对环境影响小等优点,适用于地下水位低、土壤质量较好的市政工程,基坑深度通常不超过 12m。需要注意的是,土钉墙支护技术对地质条件要求较高,若基坑周边存在软土层或地下水位较高,需先进行降水处理或采用注浆加固等辅助措施,避免因土体含水率过高导致支护结构失效。此外,土钉的长度、间距、倾角等参数需根据土体力学性能通过计算确定,确保支护体系的安全性。

### 1.3 地下连续墙支护技术

地下连续墙支撑技术是通过专门设备在地基沟渠周围挖掘沟渠,浇筑钢筋混凝土形成连续的地下墙,利用墙体抗侧移、防渗能力,保证地下空间的稳定性。该技术具有刚性大,保温效果好,对环境的影响小等特点,适用于基坑深度大(超过 15m)、地质条件复杂(如软土、砂卵石层)或周边建筑物、地下管线密集的市政工程,如地铁站、地下综合管廊等深基坑施工。地下连续墙支护技术的施工流程较为复杂,包括导墙施工、沟槽开挖、钢筋笼制作与吊装、混凝土浇筑等环节,且对施工设备与技术要求较高。但由于其支护效果可靠,在城市核心区域的市政工程中应用日益广泛。

### 1.4 钢板桩支护技术

钢板桩支护技术是利用钢板桩(热轧或冷弯型钢)的锁口连接形成连续的支护结构,通过钢板桩的抗弯、抗剪能力抵抗土压力与水压力。该技术具有施工速度快、可重复利用、成本较低等优点,适用于黏性土、砂土、碎石土等地质条件,基坑深度通常不超过 10m,常用于市政工程中的临时支护,如地下管线抢修、临时排水工程等。然而,钢板桩支护技术的刚度相对较小,在软土地层中易产生较大的变形,因此需根据基坑深度与地质条件设置内支撑或拉锚,限制钢板桩的位移。此外,钢板桩的锁口密封性能对防渗效果影响较大,施工中需严格检查锁口质量,必要时采用黄油、棉絮等材料进行密封处理。

## 2 市政工程深基坑支护施工要点

深基坑施工属于系统工程范畴,涵盖测量放线、土方开挖、支护结构施工、雨水排水、监测等多个关键环节,任一环节的施工质量均直接关乎支护系统的稳定性。结合城市工程的独特特点,深基坑支护施工需着重关注以下几点:

### 2.1 施工前期准备要点

**地质勘察与方案设计:**施工前需对基坑周边地质条件进行详细勘察,明确土层分布、地下水位、土体力学参数等信息,为支护方案设计提供依据。设计方案需综合考虑基坑深度、周边环境、施工工艺等因素,进行支护结构的强度、刚度与稳定性计算,并通过专家论证确保方案的可行性。**现场清理与测量放线:**清理基坑周边障碍物,平整施工场地,确保施工设备正常运行。根据设计图纸进行测量放线,准确标注基坑开挖边线、支护结构位置、降水井

位置等,误差需控制在规范允许范围内(如轴线偏差不超过 50mm)。降水排水系统施工:若基坑周边地下水位较高,需提前施工降水排水系统,如管井降水、井点降水等,将地下水位降至基坑开挖面以下 0.5~1.0m,避免土体含水率过高导致基坑坍塌或支护结构失效。降水过程中需实时监测地下水位变化,防止因降水过快引发周边地面沉降。

### 2.2 支护结构施工要点

**排桩支护施工要点:**灌注桩施工需严格控制桩位偏差(不超过 50mm)、桩身垂直度(偏差不超过 1%),确保桩体连续完整。成孔后需及时清孔,避免孔底沉渣过厚(不超过 100mm)影响桩体承载力。预制桩施工需采用合理的沉桩方式(如静压、锤击),防止桩体断裂或倾斜,沉桩完成后需进行桩身完整性检测。

**土钉墙支护施工要点:**土钉钻孔需严格按照设计角度(通常为 10°~20°)与深度施工,钻孔完成后及时插入土钉并注浆,确保注浆饱满,注浆压力控制在 0.3~0.5MPa。喷射混凝土面层施工需分两层进行,第一层喷射厚度不小于 50mm,待初凝后再喷射第二层,总厚度控制在 80~120mm,同时需设置钢筋网片增强面层强度。

**地下连续墙施工要点:**导墙施工需保证其强度与刚度,导墙顶面标高偏差不超过 10mm,轴线偏差不超过 5mm,防止沟槽开挖过程中导墙变形。沟槽开挖需控制开挖速度与深度,避免槽壁坍塌,必要时采用泥浆护壁(泥浆比重控制在 1.05~1.20)。钢筋笼制作需确保钢筋间距、焊接质量符合设计要求,吊装过程中需防止钢筋笼变形或碰撞槽壁。混凝土浇筑需采用导管法,导管埋深控制在 2~6m,避免出现断桩或夹泥现象。

**钢板桩支护施工要点:**钢板桩选型需根据地质条件与基坑深度确定,施工前需检查钢板桩的平整度与锁口质量,对变形或损坏的钢板桩进行修复。沉桩过程中需控制沉桩速度与垂直度,采用振动沉桩或静压沉桩时,避免因冲击力过大导致钢板桩断裂。钢板桩连接需确保锁口紧密,必要时采用密封材料处理,防止渗水。

### 2.3 开挖过程中的监测与控制

基坑开挖过程中,强化监测与管控是保障施工安全的关键手段。监测内容主要包括基坑位移、沉降,支撑结构的内力及变形,地下水位变化,以及周边建筑物与地下管道的变形情况。通过对这些参数的实时监控,可及时掌握基坑动态变化,识别潜在安全隐患并采取针对性补救措施。监测频率需结合基坑规模、深度、地质条件及施工进度合理设定,在开挖初期,频率可相对较低,通常为每天 1~2 次;随着开挖深度的增加和施工的推进,监测频率应逐渐提高,在基坑开挖至接近基底时,应加密监测,每天监测 3~4 次,甚至更多。当监测数据出现异常变化,如位移、沉降速率突然增大,支护结构内力超过设计值等,应立即停止开挖,进行详细的检查和分析,采取相应的处理

措施,确保基坑安全后,再恢复施工。根据监测数据调整开挖进度和施工方法是保证基坑安全的关键。如果监测数据显示基坑边坡位移或沉降超出允许范围,可能是由于开挖速度过快、支护结构强度不足或土体性质发生变化等原因导致的。此时,应适当减缓开挖进度,加强支护结构的施工,如增加内支撑的数量或加大锚杆的预应力等,以控制基坑的变形。若地下水位变化较大,可能会对基坑的稳定性产生影响,应及时调整降水措施,确保地下水位在安全范围内。同时,要建立完善的监测数据管理和分析制度。对监测数据进行及时记录、整理和分析,绘制变形曲线和内力变化图,以便直观地了解基坑的变形和受力情况。通过对监测数据的分析,总结基坑变形和受力的规律,为后续的施工提供参考依据,不断优化施工方案,确保基坑在整个开挖过程中的安全稳定。

### 3 市政工程深基坑支护施工中存在的问题及优化建议

#### 3.1 存在的问题

**地质勘察精度不足:**部分市政工程在施工前未进行详细的地质勘察,或勘察数据不准确,导致支护方案设计与实际地质条件不符,增加了施工风险。例如,在软土地层中采用土钉墙支护,未进行降水或加固处理,易引发边坡坍塌。

**施工工艺不规范:**部分施工单位为追求进度,忽视施工规范要求,如排桩施工中桩位偏差过大、土钉墙注浆不饱满、地下连续墙混凝土浇筑导管埋深不足等,此举将导致支护结构质量不达标,进而对基坑的整体稳定性造成不良影响。

**监测体系不完善:**部分工程未建立完善的监测体系,或监测频率不足、数据处理不及时,无法及时发现施工中的安全隐患,导致事故发生。

**应急预案缺失:**部分施工单位未制定深基坑施工应急预案,或应急预案针对性不强,当出现基坑坍塌、涌水等突发情况时,无法及时有效处置,扩大事故损失。

#### 3.2 优化建议

**提高地质勘察精度:**施工前需委托专业勘察单位进行详细地质勘察,采用钻探、原位测试等多种手段,明确土层分布、地下水位、土体力学参数等信息,为确保支护方案设计具备精准、可靠的依据,针对复杂地质条件区域,必须适当增加勘察点的布设数量,以此保障勘察数据能够真实反映现场情况,具备充分的代表性与可靠性。

**规范施工工艺:**施工单位需严格按照设计方案与施工规范进行施工,加强对施工人员的技术培训与交底,明确各环节施工要点与质量标准。建立质量管理体系,加强对支护结构施工过程的质量检查,如桩体垂直度、注浆压力、混凝土强度等,确保施工质量符合要求。

**完善监测体系:**根据工程特点制定科学的监测方案,明确监测项目、监测频率、预警值等参数,采用自动化监

测设备(如全站仪、测斜仪、水位计)实时监测基坑变形与周边环境变化。安排专业人员对监测数据进行分析处理,若发现数据异常,及时上报并采取加固措施。

**应急预案制定:**施工单位需结合工程实际情况,制定具有针对性的应急预案,明确应急组织机制、应急处置流程及应急物资储备等核心内容。同时,应定期开展应急培训,提升施工人员的应急处置能力,确保在紧急情况发生时能够及时有效应对,最大限度降低事故损失。

### 4 结语

深基坑支护技术作为市政工程施工中的核心技术,其选择与施工质量直接关系到工程安全与进度。本文通过对市政工程深基坑支护技术类型、施工要点的分析,结合实际案例总结了支护方案选择与施工控制的关键措施,并针对存在的问题提出了优化建议,得出以下结论:

市政工程深基坑支护技术的选择,需综合考量地质条件、基坑深度、周边环境等关键因素。排桩支护、土钉墙支护、地下连续墙支护、钢板桩支护等技术各具适用范围,应结合工程实际情况灵活选用。深基坑支护施工需严格控制前期准备、支护结构施工、土方开挖与监测等环节的要点,规范施工工艺,加强质量控制,确保支护体系稳定。目前市政工程深基坑支护施工中仍存在地质勘察精度不足、施工工艺不规范、监测体系不完善等问题,需通过提高勘察精度、规范施工、完善监测、制定应急预案等措施加以解决。

展望未来,随着土木工程技术的持续革新,市政工程中的深基坑支护技术必将朝着智能化与绿色化的方向迈进。一方面,物联网、大数据、人工智能等智能监控技术将广泛应用于深基坑施工全过程,实现对基坑变形及周边环境的实时监控与精准预警,大幅提升施工安全性;另一方面,契合可持续发展理念的绿色支护技术,如可回收支撑结构、环保绿色材料等,将得到进一步推广,从而有效降低工程建设对生态环境的影响。

#### [参考文献]

- [1]戴现城,刘本龙,陈素香.试论市政工程深基坑支护技术及施工要点[J].房地产导刊,2024(18):55-57.
- [2]张棣,周超.市政工程深基坑支护技术及施工要点分析[J].中国地名,2024(9):4-6.
- [3]唐杨林.市政工程施工中的深基坑支护施工技术应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(3):5.
- [4]严达兵.市政工程深基坑支护施工技术研究[J].砖瓦,2024(2):150-152.
- [5]袁瑞平.市政工程施工中深基坑开挖支护关键技术[J].中国地名,2024(9):25-27.

作者简介:常乐(1995.7—),性别:男,学历:本科,毕业院校:重庆大学,所学专业:土木工程,目前职称:助理工程师。

## 市政路桥工程的施工质量管理体系工作要点构架

李洪志

青海中凯建设工程有限公司, 青海 西宁 810000

[摘要]在快速城市化的进程当中,市政路桥工程属于极为关键的基础设施,其质量的好坏直接关系到城市运行的安全状况以及效率高低。本研究全面构建起了路桥施工质量管理体系,这里面包含了目标标准方面的内容、组织架构的相关情况、全过程控制要点以及技术保障措施等方面。同时结合高海拔且处于严寒区域的实际状况来看,着重指出了原材料管控、冻胀防治、隐蔽工程验收以及信息化监控这些方面所占据的核心地位。从实践的情况来看,将先进的工艺和严格的管理加以集成,是能够显著提高工程的耐久性的,进而能够为处在类似环境下的工程建设给予相应的理论支撑以及实践方面的参考。

[关键词]市政路桥; 施工质量; 管理体系; 信息化监控

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17599

中图分类号: U415

文献标识码: A

### Key Points and Framework for Construction Quality Management of Municipal Road and Bridge Projects

LI Hongzhi

Qinghai Zhongkai Construction Engineering Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

**Abstract:** In the process of rapid urbanization, municipal road and bridge engineering is an extremely critical infrastructure, and its quality directly affects the safety and efficiency of urban operation. This study comprehensively established a quality management system for road and bridge construction, which includes content on target standards, relevant information on organizational structure, key points of whole process control, and technical support measures. At the same time, considering the actual situation of high-altitude and extremely cold areas, the core positions occupied by raw material control, frost heave prevention and control, concealed engineering acceptance, and information monitoring are emphasized. From the perspective of practice, integrating advanced technology and strict management can significantly improve the durability of engineering, and provide corresponding theoretical support and practical references for engineering construction in similar environments.

**Keywords:** municipal road and bridge; construction quality; management system; information monitoring

### 引言

在社会经济的高速发展之下,诸多城市开始进行了城市化建设,并投入了大量的资金和技术进行道路桥梁、给排水、燃气以及地铁等市政工程的建设工作,以满足城市发展的需要。其中路桥工程是市政工程开发建设期间重要的建设项目,所以路桥工程施工单位需要高度重视该项目的建设质量,具体施工期间除了应用先进的施工技术与质量性能优良的施工材料提升工程质量外,还需要加强施工作业管理,以此从管理层面确保工程可以高质量、高效率的建设完成,减少工程可能出现的质量问题。

#### 1 市政路桥工程施工质量管理体系构建

##### 1.1 质量目标与标准体系建立

清晰且能够量化的质量目标,这既是质量管理活动开始的地方,也是最终要达成的目标所在之处。施工单位得依照国家强制性标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 来行事,同时还要综合考量项目具体的设计要求,以及工程所处的高海拔严寒区域和地质条件复杂多变所带来的特殊难题,进而制定出极具针对性的项目质量目标,比如说明明确规定桥梁主体结构在设计基准期当中,裂缝宽

度要严格把控在 0.2mm 之下,路基工后沉降量不能超过 30mm 等等这类具体的指标内容。在此基础之上,还需要进一步加以细化,形成包含原材料、工艺工序、成品验收等诸多环节在内的、具有很强可操作性的企业内控标准,以及十分详尽的作业指导书<sup>[1]</sup>。中国住房和城乡建设部在 2023 年所发布的《工程质量安全手册(市政公用工程分册)试行版》,给质量目标的精细化设定以及标准的本地化适配给予了权威且最新的参考依据。

##### 1.2 组织架构与责任划分

高效运作的质量管理体系,离不开职责清晰且顺畅运转的组织保障。要构建起这样一套质量管理网络,其中项目经理作为第一责任人,项目总工程师负责技术方面的决策事宜,专职质检工程师全程实施监督,各个施工班组严格依照要求落实施工事项,以此做到纵向到底、横向到边的全面覆盖。并且要十分清晰地界定出业主、监理、施工总包、专业分包以及材料供应商等所有参建各方的具体质量责任范围,将其形成书面的责任矩阵,借助合同条款来给予刚性方面的约束,从而保证质量压力能够有效地传递下去,防止出现管理上的空白地带或者责任相互推诿的情况。施

工单位自身内部同样需要建立起严格的质量责任追究以及奖惩机制,把质量方面的表现直接和相关人员的绩效考核关联起来。

## 2 施工全过程质量控制要点

### 2.1 原材料与设备质量控制

原材料和工程设备是工程质量的物质根基,所以对它们的管控极为重要。就钢筋、水泥、沥青、外加剂这类关键材料而言,得严格执行“先检后用”这一准则,在这些材料进场的时候,要仔细核查它们的出厂合格证以及质量证明文件,并且依照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 等相关规范规定,现场取样并将其送到具备 CMA 资质的第三方检测机构去复验,以此保证这些材料的各项性能指标,尤其是低温抗裂性、抗冻融循环能力等能够符合严寒地区的特殊需求。从中国建筑材料联合会 2024 年行业报告所公布的数据来看,严格实施进场检验能够让主要建材的不合格率平均降低大约 15%<sup>[2]</sup>。对于施工设备来讲,像预应力张拉设备、压实机械、混凝土拌合站等这些设备,在进场之前以及在使用过程当中,都一定要按时去做检定校准以及维护保养,从而保证它们的工作状态保持稳定,精度也能够达到施工的要求。

### 2.2 关键施工工序控制

对工程质量起决定性作用的关键工序必须实施重点监控。在季节性冻土广泛分布区域,路基填筑施工需格外关注填料选择、含水率控制、分层厚度及压实遍数,必要时采用砂砾等非冻胀性材料换填,并做好完善的防排水措施以预防春融翻浆。桥梁桩基施工中路基填筑施工要关注填料、含水率、分层厚度、压实遍数,用砂砾换填并做好防排水,桥梁桩基施工要关注成孔垂直度、沉渣厚度、水下混凝土灌注连续性,混凝土工程要控制配合比、拌合时间、运输时效、浇筑振捣密实度、保温保湿养护,预应力施工要控制张拉控制力、伸长量、孔道压浆饱满度。在路面铺装工程中,需严格控制沥青混合料的拌合温度、运输时效及保温措施等,摊铺过程还要确保均匀性,碾压遍数和压实度等,以避免或减少车辙或裂缝等病害的发生。对于钢结构安装,应重点监控构件加工精度、焊接工艺参数及焊缝质量,采用超声波或射线探伤等无损检测手段检验是否合格,同时检查防腐涂装厚度和附着力。隧道施工中,需关注开挖面稳定性、初期支护及时性及二衬混凝土浇筑质量,通过监测围岩变形和渗水情况以预防坍塌风险的发生。此外,伸缩缝安装需精确控制位置、间隙尺寸及密封性能,确保桥梁结构的热胀冷缩适应性。所有关键工序均应设置质量控制点,实行旁站监督和实时数据记录,并依据《公路工程质量检验评定标准》JTG F80 等规范执行阶段性验收。

### 2.3 隐蔽工程验收管理

深藏于结构内部或者将会被后续工序完全覆盖的隐

蔽工程,其质量要是形成了缺陷,那么往往很难去弥补,并且后果还十分严重。像地基处理、桩基工程、钢筋绑扎以及预埋件安装、各类防水层施工等等,都属于这种情况。必须要建立起强制性的、程序化的隐蔽工程验收制度,在监理工程师全程进行监督的情形下,施工单位得在覆盖或者进入下一道工序之前,把完整的自检资料与影像记录都准备妥当,并且还要书面通知建设、监理、设计,在必要的情况下以及质量监督机构来开展联合验收。只有各方共同签署了隐蔽工程验收记录之后,后续施工才能够被允许去开展。中华人民共和国交通运输部所颁布的《公路工程施工监理规范》JTG G10 2024 年修订版,针对隐蔽工程验收的程序与要求做出了更为细致的相关规定。

### 2.4 施工测量与试验检测

精准的测量放样对于保障工程线形、位置以及标高能够契合设计要求而言,是必不可少的条件,并且这一工作会贯穿整个施工过程。从控制网复测开始,一直到原地面测量、结构物定位、模板安装复核以及竣工测量等各个环节,都务必要使用经过检定并且合格的仪器,而且要由具备相应资质的测量人员依照相关规范来操作,同时还要严格执行复核制度。试验检测在工程质量评判方面起着至关重要的作用,就好比是评判工程内在质量的一双眼睛<sup>[3]</sup>。施工单位应当设立能够满足工程实际需求的现场试验室,或者委托那些具备资质的第三方机构,按照规定所要求的频率以及方法,针对原材料、半成品、成品还有工程实体展开抽样检测工作。比如说,在强紫外线照射以及存在剧烈昼夜温差这样的环境下,针对沥青混合料而言,就需要着重去关注其高温稳定性、低温抗裂性以及水稳定性试验的结果情况。试验检测数据所具备的真实性、及时性以及准确性,无疑是做出质量决策最为关键的依据所在。

## 3 质量保障技术措施

### 3.1 施工技术方案管理

施工技术方案要是科学、周密并且有十足针对性的,它可算得上是质量预控的关键核心文件了。像深基坑支护这类工程,还有高墩大跨桥梁施工以及在复杂地质条件之下开展的桩基施工,再者冬季施工等等这些超过了一定规模且危险性比较大的分部分项工程,那可必须要去编制专项施工技术方案。在编制方案的时候,得要仔细分析工程所具有的特点,还得把其中的重点难点给弄清楚,尤其是像高寒缺氧这样的情况,还有有效施工期比较短这类地域性的制约因素,都要好好地去考量一番,要做详尽的技术经济方面的比选工作,要把工艺参数给明确下来,操作要点也要搞清楚,同时质量保证措施以及应急预案也都得要清晰明了。方案编制完成之后,还得要经过严格的内部审核程序,并且还要经过专家论证这一环节,只有经过批准之后才能够正式实施。在施工的过程当中,不管出现什么样的技术变更,都得要经过和之前一样严格的审批流程,

以此来确保技术路线是正确的而且是稳定的。

### 3.2 新技术与工艺应用

积极引入并应用成熟的“四新技术”，即新技术、新材料、新设备以及新工艺，这无疑是在突破传统质量方面所存在的瓶颈，并且也是提升工程品质的一条行之有效的途径。在那些处于多年冻土区或者强震带的路桥建设过程当中，去探索并应用热棒（TPCT）技术来对地基温度场加以调控，采用高性能混凝土（HPC）以此来提升结构的耐久性，推广预制装配式桥梁结构，从而减少现场作业时所面临的难度以及质量出现的波动情况，运用智能张拉压浆设备进而提高预应力施工的精度，这些做法全都展现出了颇为显著的优势。国家发展改革委和科技部在2025年初的时候联合发布了《绿色低碳先进技术推广目录》，在这份目录当中明确表示鼓励在基础设施领域对这类技术予以推广。新技术的应用必须要配套地开展详尽的技术交底工作以及操作培训事宜。此外，基于BIM技术的深化应用，可实现施工过程的可视化实验，提前优化管线布设、构件预制及安装方案，提升施工精度。同时，结合物联网（IoT）技术对关键施工参数，如混凝土养护温湿度、预应力张拉值进行实时在线监测与预警。在特殊地质或复杂结构施工中，推广自动化、智能化程度高的施工装备，如智能摊铺机、焊接机器人等，不仅能保障关键工序质量的稳定性与一致性，也能显著提高施工效率并降低安全风险。每一项新技术的引入都需经过充分的试验验证和工艺评定，确保其适用于具体工程条件，并制定配套的质量验收标准和操作规程，方能真正发挥其提升工程品质的作用。

### 3.3 质量通病防治措施

经过对大量工程实践加以系统总结之后能够发现，精准识别本地区路桥工程当中频发以及易发的质量通病，并且为其制定专门的防治措施，这一点是极为重要的<sup>[4]</sup>。这里所讲的典型通病涵盖了多种情况，像沥青路面出现的早期车辙现象、发生开裂以及出现松散的情况；水泥混凝土路面存在的断板问题、出现错台的现象；桥梁支座出现脱空状况、发生变形而失效的情况；在伸缩缝处有跳车的现象；桥头路基存在差异沉降的问题；混凝土结构物表面呈现出蜂窝麻面的状态、出现裂缝以及钢筋保护层厚度不够等情况；还有隧道衬砌出现渗漏水等情形。对于每一项这样的通病，都需要对其成因展开细致分析，要从设计方面的优化、材料的选择、工艺的改进以及强化过程控制等多个不同维度去制定出具有系统性并且能够实际操作的防治技术以及管理方面的措施，并且要在施工组织设计或者专项方案当中将其明确下来，在施工过程中切实加以落实。

### 3.4 信息化质量监控手段

利用现代信息技术赋予质量管理能量，达成对整个过

程全程、实时且可追溯的监控，这无疑是行业发展的必然走向。广泛推广并应用工程质量信息化管理平台，将BIM技术集成起来，以此开展可视化的交底工作，进行碰撞检查以及施工模拟操作；借助物联网传感器，实时收集关键部位像是大体积混凝土温度、预应力结构应力应变还有边坡位移等方面的数据；凭借移动APP，实现质量检查以及验收流程在线上完成流转，并且做到痕迹化管理；运用大数据分析来预测可能出现的潜在质量风险点。交通运输部路网监测与应急处置中心在2024年的工作报告里提到，那些深度运用信息化监控手段的项目，其在质量隐患的发现以及整改方面的效率，平均提高了30%。信息化建设需要投入相应的硬件设施，同时还要培育拥有相应技能的管理人员。

## 4 结束语

市政路桥工程属于城市运行必不可少的交通要道，其内部品质以及长久安全状况和公众福祉、社会经济发展大局紧密相关。在自然条件极为苛刻、生态环境较为敏感且有效工期受到限制的特殊地理单元开展此类工程，给施工质量管理带来了更为严峻的考验。本文构建的施工质量管理体系，以清晰明确的目标标准作为引导方向，凭借健全完善的组织责任作为保障基础，着重围绕原材料设备、关键工序、隐蔽工程、测量试验等核心环节展开全过程的精细化把控，着重借助优化技术方案、推广先进工艺、系统防治质量通病、深化信息化应用等一系列综合技术举措来筑牢质量防线。该体系着重体现的是管理与技术的高度融合，是标准化要求与本地化实践的有机结合，是过程严格把关与长效性能保障的辩证统一。只有施工单位、监理单位、建设业主以及政府监督部门等各个主体切实履行职责、持续投入资源并且不断革新管理方式，能够在复杂环境之下打造出能够经受住时间检验、让人民感到安心满意的市政路桥精品工程，为区域协调发展注入强大的动力。

### [参考文献]

- [1]王京晶,杨丹妮,陈响.水利工程渠道运行管理与维护问题研究[J].水上安全,2025(3):16-18.
- [2]郭军.水利工程渠道施工中衬砌混凝土技术研究[J].中国住宅设施,2025(3):227-229.
- [3]魏海红.灌区渠道衬砌施工防渗关键技术分析[J].价值工程,2025,44(11):166-168.
- [4]吕中东.水利工程渠道运行管理与维护的探讨[J].农业灾害研究,2025,15(4):229-231.

作者简介：李洪志（1996.8—），毕业院校：青海交通职业技术学院，所学专业：道路桥梁工程技术，当前单位名称：青海中凯建设工程有限公司，就单位职务：技术员。

## 市政工程道路排水管道施工技术要点探究

白宇超

太原市政建设集团有限公司, 山西 太原 034000

[摘要]城市道路下水道是城市基础设施的重要组成部分,其建设质量直接关系到城市的排水能力、道路的使用寿命和居民的日常生活质量。文章结合市政工程道路污水管道施工的实际情况,介绍了施工准备和施工过程中的主要技术要点,包括测量放线、沟槽开挖、管道基础施工、管道安装、接口处理、沟槽回填以及施工后的质量检测与维护等方面进行了深入探析,目的是为提高市政工程道路污水管道的施工质量提供基础。

[关键词]市政工程;道路排水管道;施工技术;质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17576

中图分类号: U417.3

文献标识码: A

### Exploration on Key Construction Technology for Municipal Engineering Road Drainage Pipelines

BAI Yuchao

Taiyuan Municipal Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 034000, China

**Abstract:** Urban road sewers are an important component of urban infrastructure, and their construction quality directly affects the drainage capacity of the city, the service life of roads, and the daily quality of life of residents. The article combines the actual situation of municipal engineering road sewage pipeline construction and introduces the main technical points of construction preparation and construction process, including surveying and setting out, trench excavation, pipeline foundation construction, pipeline installation, interface treatment, trench backfilling, and quality inspection and maintenance after construction, so as to provide a foundation for improving the construction quality of municipal road sewage pipelines.

**Keywords:** municipal engineering; road drainage pipeline; construction technology; quality control

#### 引言

随着城市化进程的加快,城市人口不断增长,城市道路交通量不断增加,对市政道路的功能要求越来越高。市政道路排水管道作为城市排水系统的核心载体,承担着收集和排除道路路面雨水、生活污水以及工业废水的重要任务。一旦排水管道出现施工质量问题,不仅会导致道路积水,影响交通通行,还可能引发路面塌陷、环境污染等一系列问题,这对城市的正常运转和居民的生命财产安全构成严重威胁。因此,深入研究市政工程道路排水管道的施工技术要点,加强整个施工过程的质量控制,具有重要的现实意义。

#### 1 施工前的准备工作

##### 1.1 施工图纸会审与技术交底

城市道路排水管道施工前,施工单位应组织相应的技术人员对施工图纸进行全面、彻底的审查。重点审查图纸中的管道走向、管径大小、坡度设置、检查井位置、与其他地下管线的交叉处理等内容,确保图纸设计符合相关规范和现场实际情况。对于图纸中存在的疑问和不合理之处,应及时与设计单位沟通协商,进行修改和完善。同时,建设单位、设计单位、施工单位和监理单位应共同开展技术交底工作,明确施工技术要求、质量标准、施工流程以及各相关方的职责分工,确保施工人员能够准确理解和掌握

施工现场。

##### 1.2 现场勘察与施工方案编制

施工单位应组织人员对施工现场进行详细勘察,了解施工现场地形、地质条件、地下水位、周围建筑物和地下管道的分布情况。根据调查结果,结合施工图纸和相关法规要求,制定科学合理的施工组织方案。施工方案应包括项目审查、施工部署、施工进度、施工工艺、质量保证措施、安全文明施工措施、环境保护措施和应急预案。施工方案制定完成后,应提交监理单位和施工单位审批,审批后方可组织实施。

##### 1.3 材料采购与检验

市政道路排水管道工程所用的管材、管件、接口密封材料等原材料,必须严格符合国家现行相关标准及工程设计文件的具体要求。施工单位在材料采购环节,需优先选择具备相应生产资质、行业口碑良好且过往供货记录优质的供应商,并在采购合同中清晰明确材料的质量标准、规格型号、具体数量、约定交货期及详细验收方式等核心条款,避免后续纠纷。在材料进入前,供方应主动提供完整的产品质量证明文件,包括出厂证书、第三方机构出具的检验报告。施工单位则需组织专业质检人员对进场材料进行严格检验,重点核查材料外观是否完好、尺寸偏差是否在允许范围内,同时,测试样品的物理和化学性质以及其

他关键指标。如发现不合格物料，应立即发出退场通知，坚决清理场地，严禁任何不合格物料进入施工过程中。

#### 1.4 施工机械设备准备

根据施工方案的要求，提前配备足够数量且性能达标的施工机械设备，涵盖挖掘机、装载机、起重机、打桩机、压路机、混凝土搅拌机、管道铺设机等核心设备。在施工前，需组织专业人员对所有施工机械设备开展全面检查、针对性维修及预防性保养，确保设备无故障隐患，处于良好工作状态。同时，应配备持有有效证件的专业操作人员和经验丰富的维修人员，明确分工负责机械设备的规范操作、日常维护与动态管理，切实保障施工机械设备全程正常运行。

### 2 施工过程中的关键技术要点

#### 2.1 测量放线

测量线是市政道路排水管道建设的主要工作，其精度直接影响管道施工质量和后续使用功能。施工前，应根据施工图纸和现场勘察结果，建立施工现场的测量控制网，设置永久性的测量控制点和水准点。测量控制点和液位点应设置在施工不受干扰、地形高且稳定的地方，并采取保护措施。在进行管道测量时，应使用高精度的测量仪器，如全站仪、水准仪等，按照设计要求准确放出管道的中心线、检查井的位置以及沟槽的开挖边线和坡度线。在测量过程中，应定期检查控制点和液位点，以确保测量的准确性。同时，测量结果应提交监理单位验收，验收后方可进行下一道工序施工。

#### 2.2 沟槽开挖

沟槽开挖是市政道路排水管道建设中的关键环节，根据施工现场的地质条件、地下水位、管道埋深和环境等因素，选择合适的开挖方式和设备开挖。对于土壤质量好、地下水位低，沟槽深度小的地段，可以采用挖掘方法；对于土壤质量差、地下水位高或沟槽深度较大的地段，应采用钢板支护、桩基支护、地下连续墙支护等开挖支护方法。为防止沟渠破裂。在挖沟过程中，应严格按照设计要求控制挖沟深度、宽度和坡度。在开挖过程中，应及时清除沟渠中的沉淀物和污垢，以免侵蚀地基。当沟槽挖掘到比设计标高高20~30cm时，应停止机械挖掘，人工挖掘应达到地基设计标高，以保护地基的结构和承载能力。沟槽开挖完成后，应及时对沟槽的基底进行验收，检查基底的地质条件、平整度和压实度等指标。如基底土壤不符合设计要求，应及时采取相应的处理措施，如换填、夯实、注浆等，直至基底土壤达到设计要求的承载力。

#### 2.3 管道基础施工

管道基础是管道稳定正常运行的重要保证，其施工质量直接影响管道的使用寿命。根据管道的材料、管径、地质条件和设计要求，管道基础可分为砂基、混凝土基础等类型。管道基础施工前，应对管道基础进行清理、平整，以保证管道基础符合设计要求。对于砂石基础，应按照设

计要求的级配和厚度铺设砂石材料，并采用压路机或平板振动器进行夯实，确保砂石基础的压实度达到设计标准。对于混凝土基础，应先按照设计要求绑扎钢筋(如有需要)，然后支设模板。模板应具有足够的强度、刚度和稳定性，模板焊缝应致密，以防止溶液渗漏。混凝土原料应符合相关标准和设计要求，混凝土比重应通过试验确定。在浇筑混凝土时，应采用分层浇筑、振动和破碎的方法，以保证混凝土的密度和强度。混凝土浇筑后，必须及时进行维护，维护时间不应少于设计规定的时间，并且在维护期间应保持混凝土的潮湿表面，以防止混凝土出现裂缝。

#### 2.4 管道安装

管道安装是市政道路排水管道施工的核心工序，应根据管道的材质、管径大小和施工现场的实际情况，选择合适的安装方法和安装设备。目前常见的管道安装方法有两种：手动安装和机械安装。对于直径较小、重量轻的管道，可以采用手动安装方法；对于直径较大、重量较重的管道，应采用起重机等机械装置。在安装管道之前，应重新检查管道的外部质量，以确保管道没有裂纹、损坏、变形等缺陷。同时，应清除管道内部的碎屑和灰尘，以确保管道内部畅通。在管道安装过程中，应严格按照设计要求控制管道的中心线和高度，以确保管道安装坡度符合设计要求。管道安装时，应将管道平稳地放入沟槽内，避免管道碰撞沟槽壁或基底，造成管道损坏或基底土壤扰动。管道之间的连接应紧密、牢固，接口密封应严密，防止漏水。对于不同材质的管道，其接口连接方式也有所不同，如钢管常用焊接或法兰连接，塑料管常用承插式连接或热熔连接，混凝土管常用水泥砂浆抹带连接等。在管道接口连接完成后，应及时对接口进行质量检查，如进行闭水试验或闭气试验等，确保接口无渗漏现象。

#### 2.5 检查井施工

井检是城市道路排水系统中的重要结构，主要用于管道的检查、清洗、维修和连接。井的施工质量直接影响供水系统的正常运行和维护管理。观测井施工应严格按照设计要求进行，其结构通常包括井体、井筒、井盖和井架。在检查井施工前，应先对检查井的位置和尺寸进行测量放线，并按照设计要求开挖检查井基坑。基坑开挖完成后，必须及时处理基坑，以保证基坑的承载能力符合设计要求，用于检查的井体和井筒可以由砖或混凝土制成。对于砖砌检查井，应选用强度等级符合设计要求的砖材，并采用水泥砂浆砌筑。砌筑过程中，应保证砖缝均匀、饱满，墙体垂直、平整。对于混凝土检测井，应根据设计要求连接钢筋，安装模板，然后浇筑混凝土。混凝土浇筑完成后，应及时进行养护，确保混凝土的强度达到设计标准。检查井的井盖和井座应选用符合国家相关标准的产品，并与井身和井筒紧密连接，确保井盖平整、稳固，防止井盖松动或位移。同时，井盖应具有良好的防盗、防滑、防噪声保护。

## 2.6 沟槽回填

渠道填筑是市政道路排水管道施工的最后阶段,其施工质量直接影响道路的平整度和稳定性,以及排水管道的正常运行。在进行沟渠填充之前,应首先清理沟渠中的废物,以确保沟渠中的清洁和有序。同时,应检查管道安装质量和接口的密封性,如果发现问题,应及时排除。沟槽回填应分层进行,每层回填土的厚度应根据回填土的性质、压实设备的性能和压实度要求确定,一般不宜超过 30cm。回填土应选用质地均匀、含水率适宜的土壤,不得使用含有淤泥、腐殖土、冻土、石块等杂物的土壤。在回填过程中,应采用压路机、平板振动器等压实设备对回填土进行分层压实,确保回填土的压实度达到设计要求。对于靠近管道和检查井的部位,应采用人工夯实的方式进行压实,避免压实设备对管道和检查井造成损坏。沟渠填充完毕后,应及时平整填充表面,恢复路面原貌。

## 3 施工后的质量检测与维护

### 3.1 质量检测

市政道路污水管道建成后,应按照有关规定和设计要求进行全面的质​​量控制。质量检测的主要内容包括管道的外观质量、管径偏差、坡度偏差、接口密封性能、检查井的结构尺寸和外观质量、沟槽回填土的压实度等。对于管道接口的密封性,通常采用密闭水试验或密闭空气试验的方法进行检验。密闭水试验应在管道装满水后 24h 内进行,然后确定符合设计要求和有关规程的渗水量。闭气试验应采用专用的闭气设备,对管道内的气体压力进行监测,确保管道的气密性符合要求。对于检查井的质量检测,应检查井身的垂直度、平整度、砖缝饱满度(砖砌检查井)或混凝土强度(混凝土检查井),盖子和井的安装质量。土壤灌浆压实试验应采用环刀法、填砂法等取样方法,试验频率和压实标准应符合有关规定要求。

### 3.2 后期维护

市政道路排水管道工程投入使用后,需第一时间建立完善且可落地的后期维护管理制度,明确责任部门与人员职责,强化对排水管道的日常维护与精细化管理。定期按规范对排水管道开展疏通作业,采用专业设备清除管道内淤积的淤泥、生活垃圾及各类堵塞物,确保管道排水断面完整、水流畅通无阻。同步定期对沿线检查井进行全面检查

与维修,重点排查井盖、井座的完好性,及时更换破损、松动的井盖井座;对井身及井筒出现的裂缝、渗漏、破损等缺陷,需及时采用专用材料进行修补加固。此外,加强对排水管道周边环境的动态监测与重点保护,提前与周边建筑物施工、地下管线改造等项目方沟通,制定防护预案,防止施工活动对管道造成碰撞、挤压或沉降损坏。同时,应搭建排水管道运行监测系统,实时采集并分析管道的流量、水位、压力等关键运行参数,一旦发现异常可快速预警,便于及时发现和处理人员问题,全面保障排水系统长期稳定正常运行。

## 4 结论

市政建设道路排水管道施工技术复杂,涉及多个施工阶段和几个专业领域,施工质量取决于多种因素。在施工过程中,只有严格按照相关规范和设计要求,做好施工前的各项准备工作,把握好施工过程中的各个关键技术要点,加强施工全过程的质量控制,做好施工后的质量检测和后期维护工作,才能确保市政道路排水管道工程的施工质量,提高污水处理系统的运行效率和使用寿命,确保城市的正常运行和居民的良好生活。今后,市政道路排污管道建设要不断引进和推广先进的施工技术和施工工艺,加强施工技术创新和管理创新,提高施工人员的技术水平和综合素质,进一步提高城市道路排污管道的施工质量和管理水平,促进城市基础设施建设的可持续发展。

### [参考文献]

- [1]孟利民,张凯.市政工程道路排水管道施工技术要点探析[J].中国厨卫,2024,23(1):148-150.
  - [2]魏孔赏.市政工程道路排水管道施工技术要点探析[J].房地产导刊,2025(7).
  - [3]赵平.市政工程道路排水管道施工技术要点探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(01):000.
  - [4]水素兰.浅谈市政工程道路排水管道施工技术要点[C].第六届:工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集,2025.
  - [5]刘晨洋.市政工程中道路排水管道施工技术的要点[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(3):5.
- 作者简介:白宇超(1993.9—),男,学历:本科,毕业院校:国家开放大学,所学专业:土木工程,目前职称:初级工程师。

# 钢板桩支护在市政工程深基坑施工中的应用研究

贺 杨

太原市政建设集团有限公司, 山西 太原 034000

[摘要]随着城市化进程的加速,市政工程建设规模不断扩大,深基坑施工在地下管线敷设、地下空间开发等工程中愈发常见。深基坑施工面临着周边环境复杂、地质条件多样、施工安全风险高等挑战,支护结构作为保障基坑稳定与周边环境安全的核心,其选型与应用直接影响工程的质量、进度与成本。钢板桩支护凭借其强度高、施工便捷、可循环利用、环保性好等优势,在市政工程深基坑施工中得到了广泛应用。文章结合钢板桩支护的技术特性,深入分析其在市政工程深基坑施工中的应用要点,包括施工前的准备工作、施工流程中的关键环节、质量控制措施以及常见问题的解决对策,并结合实际工程案例验证其应用效果,旨在为同类工程提供参考与借鉴。

[关键词]钢板桩支护;市政工程;深基坑施工;施工技术;质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17575

中图分类号: TU99

文献标识码: A

## Application Research on Steel Sheet Pile Support in Deep Foundation Pit Construction of Municipal Engineering

HE Yang

Taiyuan Municipal Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 034000, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization, the scale of municipal engineering construction continues to expand, and deep excavation construction is becoming increasingly common in underground pipeline laying, underground space development and other projects. The construction of deep foundation pits faces challenges such as complex surrounding environments, diverse geological conditions, and high construction safety risks. As the core of ensuring the stability of the foundation pit and the safety of the surrounding environment, the selection and application of support structures directly affect the quality, progress, and cost of the project. Steel sheet pile support has been widely used in the construction of deep foundation pits in municipal engineering due to its high strength, convenient construction, recyclability, and good environmental friendliness. The article combines the technical characteristics of steel sheet pile support and deeply analyzes its application points in the construction of deep foundation pits in municipal engineering, including preparation work before construction, key links in the construction process, quality control measures, and solutions to common problems. It also verifies its application effect through practical engineering cases, so as to provide reference and inspiration for similar projects.

**Keywords:** steel sheet pile support; municipal engineering; deep foundation pit construction; construction technology; quality control

### 引言

在市政工程建设中,深基坑施工是一项技术难度较高的工程环节,尤其是在城市中心区域,基坑周边往往密集分布着建筑物、地下管线、道路等设施,基坑开挖过程中若出现边坡失稳、沉降、坍塌等问题,不仅会导致工程停工,还可能对周边环境造成严重破坏,引发安全事故。因此,选择安全可靠、经济合理的支护结构至关重要。钢板桩作为一种新型支护材料,由钢板经过冷弯或热轧加工而成,常见的有U型、Z型、直腹板式等多种截面形式。与传统的土钉墙、排桩、地下连续墙等支护方式相比,钢板桩支护具有显著优势:一是施工速度快,钢板桩可通过专用设备快速打设与拔除,无需现场浇筑,能有效缩短工期;二是适用性强,可适应软土、砂层、淤泥质土等多种复杂地质条件,且能根据基坑深度与受力要求灵活组合;三是环保节能,钢板桩可重复利用,减少了建筑废弃物的

产生,符合绿色施工理念;四是成本可控,在工期紧张、地质复杂的工程中,钢板桩支护的综合成本往往低于传统支护方式。基于以上优势,钢板桩支护在市政工程深基坑施工中的应用范围不断扩大,成为深基坑支护的重要技术手段之一。

### 1 板桩支护技术的类型与支护原理

#### 1.1 常见钢板桩类型

在市政工程深基坑施工中,常用的钢板桩主要包括U型钢板桩、Z型钢板桩和直腹板式钢板桩(一字型钢板桩)三种类型,不同类型的钢板桩在结构特点和适用场景上存在差异。

**U型钢板桩:** U型钢板桩是目前应用最广泛的类型,其截面呈“U”形,桩体之间通过锁口连接,形成连续的支护结构。U型钢板桩的优点是加工工艺简单、生产成本低、锁口密封性好,能够有效阻挡土壤和地下水,适用于

深度在 5~15m 的深基坑支护，尤其在地下管线施工、地铁站基坑等市政工程中应用频繁。

**Z 型钢板桩：**Z 型钢板桩截面呈“Z”形，其特点是截面惯性矩大、抗弯性能强，能够承受更大的横向荷载。相较于 U 型钢板桩，Z 型钢板桩的锁口位于截面中性轴附近，受力更均匀，适用于基坑深度较大、土压力和水压力较强的复杂地质条件，如大型地下综合管廊深基坑施工。

**直腹板式钢板桩：**直腹板式钢板桩截面为矩形，桩体刚度大，抗侧移能力强，但由于其锁口设计较为复杂，施工难度相对较大，且成本较高，一般用于对支护结构强度要求极高的特殊市政工程，如临近既有桥梁、隧道的深基坑施工。

### 1.2 钢板桩支护结构组成

钢板桩支护结构并非单一的钢板桩体系，而是由钢板桩、支撑体系、导向装置、止水系统等部分组成的综合支护系统，各部分协同工作，共同保障基坑施工安全。

**钢板桩：**作为支护结构的主体，钢板桩通过打入地下形成连续的挡墙，起到挡土、止水的核心作用，其选型和长度需根据基坑深度、地质条件和荷载要求确定。

**支撑体系：**支撑体系分为内支撑和外拉锚两种形式。内支撑通常由钢支撑、混凝土支撑等组成，通过设置水平支撑、竖向支撑，将钢板桩承受的土压力和水压力传递到基坑内部的支撑点，适用于周边空间狭窄、无法设置拉锚的区域；外拉锚则通过锚杆、锚索等将钢板桩与基坑外侧的稳定土体连接，利用土体的锚固力平衡荷载，适合周边场地开阔的市政工程。

**导向装置：**导向装置包括导向架、导向桩等，用于保证钢板桩打入时的垂直度和位置准确性，避免因桩体倾斜导致锁口密封失效或支护结构变形，确保支护体系的整体性。

**止水系统：**虽然钢板桩锁口具有一定的止水能力，但在地下水位较高或土层透水性强的情况下，需额外设置止水系统。常见的止水措施包括在锁口处涂抹止水密封膏、采用高压旋喷桩与钢板桩结合形成止水帷幕等，有效防止基坑涌水和周边土体沉降。

### 1.3 支护原理

钢板桩支护技术的核心原理是利用钢板桩自身的强度和刚度，结合支撑体系的约束作用，形成一个能够抵抗坑壁土体压力、水压力以及其他外部荷载的刚性支护结构，从而维持基坑坑壁的稳定，为基坑内部施工创造安全的作业空间。具体而言，当钢板桩按照设计要求打入地下一定深度后，桩体下端嵌入稳定土层，形成一道连续的竖向挡墙，阻挡坑外土体向基坑内坍塌；同时，钢板桩锁口相互咬合，形成封闭的止水屏障，减少地下水渗入基坑。对于基坑开挖过程中产生的侧向土压力和水压力，通过内支撑或外拉锚将荷载传递到稳定的受力结构上，避免钢板桩因受力过大而发生变形或破坏。此外，钢板桩支护结构还能

够限制基坑周边土体的位移和沉降，保护周边建筑物、地下管线、道路等市政设施的安全。

## 2 钢板桩支护在市政工程深基坑施工中的应用要点

### 2.1 施工前的准备工作

#### 2.1.1 地质勘察与方案设计

地质勘察是钢板桩支护设计与施工的基础。施工前需委托专业勘察单位对基坑周边及场地范围内的地质条件进行详细勘察，明确土层分布、土壤物理力学性质（如黏聚力、内摩擦角、重度等）、地下水位埋深、承压水情况以及周边建筑物、地下管线的基础形式与沉降限值等参数。根据勘察结果，结合基坑开挖深度、平面尺寸、周边环境要求等因素，进行钢板桩支护方案设计，确定钢板桩的型号、长度、入土深度、桩间距以及支撑体系（如内支撑、拉锚等）的布置方式。方案设计需进行受力计算与稳定性验算，确保支护结构能承受基坑开挖过程中产生的土压力、水压力以及其他荷载，同时满足周边环境的变形控制要求。

#### 2.1.2 场地清理与设备准备

施工前需对基坑施工场地进行清理，拆除场地内的临时建筑物、障碍物，平整场地，为钢板桩打设设备进场创造条件。同时，根据钢板桩的型号与打设要求，选择合适的施工设备，常见的钢板桩打设设备包括振动锤、液压锤、柴油锤等，对于地质条件复杂、打设难度较大的工程，还需配备导向架、起重机等辅助设备。施工前需对设备进行全面检查与调试，确保设备性能良好，避免施工过程中因设备故障影响施工进度与质量。

#### 2.1.3 钢板桩的检查与修复

钢板桩在运输与储存过程中可能会出现变形、损伤等情况，施工前需对钢板桩进行逐根检查，重点检查钢板桩的长度、厚度、截面尺寸、锁口质量等参数是否符合设计要求。对于存在轻微变形的钢板桩，可通过冷弯、热矫正等方式进行修复；对于锁口损坏、变形严重或存在裂缝的钢板桩，应予以报废，避免因钢板桩质量问题影响支护结构的整体性与密封性。

### 2.2 施工流程中的关键环节

#### 2.2.1 钢板桩的打设

钢板桩打设是支护施工的核心环节，其施工质量直接影响支护结构的稳定性。打设前需根据设计要求在基坑周边设置导向架，确保钢板桩打设的垂直度与位置准确性。钢板桩打设顺序应根据基坑平面形状、周边环境等因素确定，通常采用从一角开始向两侧推进的方式，或从中间向两端对称打设的方式，避免因打设顺序不当导致钢板桩锁口错位、受力不均。在打设过程中，需控制打设速度与锤击力度，根据地质条件及时调整打设参数。对于软土地层，可适当加快打设速度，减少土壤扰动；对于硬土层或存在孤石的地层，应放慢打设速度，采用重锤轻击的方式，避

免钢板桩因受力过大而变形或断裂。同时,需利用经纬仪、水准仪等仪器实时监测钢板桩的垂直度与标高,确保钢板桩打设偏差控制在设计允许范围内(通常垂直度偏差不大于1%,平面位置偏差不大于100mm)。

### 2.2.2 支撑体系的安装

当钢板桩打设至设计深度后,需及时安装支撑体系,避免因基坑开挖导致钢板桩因悬臂过长而产生过大变形。支撑体系的安装应遵循“分层开挖、分层支撑”的原则,根据基坑开挖深度与进度,依次安装第一道、第二道及以上支撑。支撑材料通常采用型钢(如H型钢、工字钢)、钢管等,支撑安装前需对支撑构件进行检查,确保其规格、强度符合设计要求。支撑安装时,需先在钢板桩上设置牛腿或托架,然后将支撑构件吊装到位,调整支撑的标高与水平位置,确保支撑与钢板桩紧密贴合,受力均匀。支撑安装完成后,需对支撑进行预加压,消除支撑与钢板桩之间的间隙,提高支撑体系的整体刚度。预加压值应根据设计要求确定,通常为支撑设计轴力的10%~20%。

### 2.2.3 基坑开挖与降水

基坑开挖应在钢板桩支护与支撑体系安装完成并验收合格后进行。开挖过程中需严格控制开挖坡度与开挖深度,避免超挖、欠挖现象。采用分层开挖的方式,每层开挖深度不宜超过2m,开挖到底后应及时进行地基处理与基础施工,减少基坑暴露时间。若基坑范围内地下水位较高,需在钢板桩打设前进行降水处理。常用的降水方式包括井点降水、管井降水等,根据地下水位埋深、土层渗透性等参数选择合适的降水方案。降水过程中需实时监测地下水位变化,确保地下水位降至基坑底面以下0.5~1.0m,避免因地下水作用导致基坑涌水、管涌等问题。

## 2.3 施工质量控制措施

### 2.3.1 原材料质量控制

严格把控钢板桩、支撑构件等原材料的质量,原材料进场时需提供出厂合格证、质量检验报告等资料,并按规定进行抽样送检,检验合格后方可投入使用。禁止使用质量不合格、规格不符合设计要求的原材料。

### 2.3.2 施工过程质量监测

在钢板桩支护施工与基坑开挖过程中,需建立完善的质量监测体系,对支护结构的变形、内力以及周边环境的沉降、位移等参数进行实时监测。监测内容包括钢板桩的顶部位移、沉降、垂直度,支撑体系的轴力、变形,基坑周边建筑物的沉降、倾斜,地下管线的位移等。监测频率应根据施工阶段确定,在基坑开挖阶段,通常每天监测1~2次;在基础施工阶段,可适当降低监测频率,但每周不应少于2次。当监测数据出现异常变化时,需及时分析原因,并采取相应的加固措施,确保施工安全。

### 2.3.3 施工工艺控制

加强对钢板桩打设、支撑安装、基坑开挖等施工工艺

的控制,严格按照施工方案与操作规程进行施工。在钢板桩打设过程中,若遇到地下障碍物(如孤石、旧基础等),应及时停止打设,采取人工清理、爆破等方式排除障碍物后再继续施工,避免强行打设导致钢板桩变形或损坏。在支撑安装过程中,确保支撑与钢板桩连接牢固,避免因连接松动影响支撑效果。在基坑开挖过程中,禁止在基坑周边堆放过多的土方、材料等,避免因附加荷载导致支护结构失稳。

## 3 钢板桩支护应用中存在的问题与优化对策

### 3.1 存在的问题

#### 3.1.1 锁口密封性能不足

钢板桩之间通过锁口连接,若锁口加工精度不足、存在变形或磨损,易导致锁口密封性能下降,在地下水位较高的工程中可能出现渗漏水现象,不仅影响基坑干燥施工环境,还可能因水压力作用导致支护结构失稳。

#### 3.1.2 复杂地质条件下打设难度大

在存在孤石、岩层、旧基础等复杂地质条件的场地,钢板桩打设阻力较大,易出现钢板桩变形、断裂、锁口错位等问题,不仅影响施工进度,还可能降低支护结构的整体性与稳定性。

#### 3.1.3 周边环境影响控制难度高

在城市中心区域,基坑周边建筑物、地下管线密集,钢板桩支护施工过程中若对土壤扰动过大,或支护结构变形控制不当,易导致周边建筑物沉降、倾斜,地下管线损坏等问题,给周边居民生活与城市正常运行带来影响。

### 3.2 优化对策

#### 3.2.1 提升锁口密封性能

一是在钢板桩生产过程中,提高锁口加工精度,采用先进的生产工艺确保锁口尺寸一致、表面光滑;二是在钢板桩打设前,对锁口进行清理与润滑,在锁口内涂抹黄油、沥青等密封材料,增强锁口的密封性能;三是对于渗漏水较为严重的部位,可采用高压注浆、设置止水帷幕等方式进行封堵,确保基坑干燥施工。

#### 3.2.2 优化复杂地质条件下的打设工艺

针对复杂地质条件,提前通过地质勘察明确障碍物的位置、大小与性质,制定针对性的处理方案。对于孤石、旧基础等障碍物,可采用人工挖孔、机械破碎、爆破等方式提前清除;对于岩层地层,可采用先钻孔后打设的方式,减少打设阻力;同时,选择合适的打设设备与打设参数,如采用液压锤代替振动锤,通过调整锤击力度与频率,降低钢板桩变形风险。

#### 3.2.3 加强周边环境变形控制

一是优化支护方案设计,通过增加钢板桩入土深度、加密支撑间距、采用刚度更大的支撑材料等方式,提高支护结构的抗变形能力;二是加强施工过程中的监测与预警,加密监测频率,扩大监测范围,当监测数据接近预警值时,

及时采取增加临时支撑、调整开挖进度等措施；三是控制施工对土壤的扰动，采用分层、分段开挖的方式，避免超挖，及时进行地基处理与基础施工，减少基坑暴露时间。

#### 4 结语

钢板桩支护凭借其施工便捷、适用性强、环保节能、成本可控等优势，在市政工程深基坑施工中具有重要的应用价值。通过对钢板桩支护应用要点的分析可知，施工前的地质勘察与方案设计、施工过程中的关键环节控制以及施工质量监督，是确保钢板桩支护效果的核心要素。同时，钢板桩支护在应用过程中仍存在锁口密封性能不足、复杂地质条件下打设难度大、周边环境控制难度高等问题，通过提升锁口加工精度、优化打设工艺、加强变形监测与控制等对策，可有效解决上述问题，进一步提升钢板桩支护的应用效果。

#### [参考文献]

- [1]张彤.钢板桩支护与钢支撑在输水管沟槽深基坑开挖中的应用[J].广西水利水电,2025(2):25-28.
- [2]钟懿萌.钢板桩支护结构在深基坑施工工程中的应用[J].四川水泥,2024(7):146-148.
- [3]郭虎烈.下穿通道深基坑工程中钢板桩围护监理研究[J].福建建材,2024(12):120-122.
- [4]陈浩.土建深基坑支护施工技术的应用分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(3):15-18.
- [5]张荣波.钢板桩支护在市政工程深基坑施工中的应用[J].掌研科技,2024(9):91-93.

作者简介：贺杨（1995.8—），性别：男，学历：大专，毕业院校：郑州城市职业学院，所学专业：工程造价，目前职称：初级工程师。

## BIM 技术在市政道路工程设计中的应用

于卫东

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司建筑市政工程院, 新疆 乌鲁木齐 830002

[摘要]伴随科技持续取得进展,我国社会的发展水准以及经济实力均在稳步提高,在这样的大背景之下,BIM 技术身为一种全新的数字化技术,正逐步于各个行业当中获得广泛运用。市政工程属于城市发展的重要支柱,它的建设以及管理的水平会直接影响到城市运行的效率以及居民的生活质量,所以把 BIM 技术引入市政工程设计有着不容忽视的意义。文章着重对 BIM 技术在市政工程设计里的应用实践以及优势展开深入探究,以此为提升工程设计的效率、优化管理的模式给予一定的参考。

[关键词]BIM 技术;市政道路;工程设计;技术应用

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17596

中图分类号: U412

文献标识码: A

## The Application of BIM Technology in Municipal Road Engineering Design

YU Weidong

Construction and Municipal Engineering Institute of Xinjiang Production and Construction Corps Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830002, China

**Abstract:** With the continuous progress of technology, the development level and economic strength of Chinese society are steadily improving. Against this backdrop, BIM technology, as a new digital technology, is gradually being widely used in various industries. Municipal engineering is an important pillar of urban development, and its construction and management level will directly affect the efficiency of urban operation and the quality of life of residents. Therefore, introducing BIM technology into municipal engineering design has significant implications that cannot be ignored. The article focuses on the in-depth exploration of the application practice and advantages of BIM technology in municipal engineering design, providing certain references for improving the efficiency of engineering design and optimizing management modes.

**Keywords:** BIM technology; municipal road; engineering design; technology application

### 引言

随着城市化进程不断加快以及城市交通网络变得日益复杂起来,市政道路工程在确保城市交通正常运行、推动经济发展以及改善居民生活环境等方面都发挥着极为重要的作用。传统的二维设计方法在信息呈现、专业协作以及数据管理这些方面存在着十分突出的局限性,很难达成多专业、多阶段之间的高效连接,使得设计冲突频繁出现、施工返工的比例居高不下,工程成本以及工期也难以得到有效的把控,并且在运维阶段还缺少精准的数据作为支撑,这就在很大程度上制约了道路设施的精细化管理以及可持续发展进程。BIM 技术属于一种以三维数字模型当作核心、把设计、施工与运维信息整合到一起的数字化管理工具,凭借模型可视化、参数化建模以及数据集成等方式,达成了市政道路工程设计全过程的信息共享以及动态管理目标。在设计阶段,BIM 可以针对道路路线、桥涵结构、管线以及附属设施展开空间优化以及碰撞检测工作,以此来提高设计方案的科学性以及合理性;在施工图设计以及施工阶段,借助多专业协同、工程量统计、施工进度模拟以及质量监控等手段,实现设计与施工的无缝对接,从而降低风险以及成本;在运维阶段,BIM 联合物

联网监测以及数字孪生技术,给出设施健康状况、维护记录以及维修方案的实时信息,助力道路全生命周期的精细化管理。鉴于市政道路工程存在设计复杂、施工周期长、管理要求高等诸多特点,深入开展 BIM 技术在道路工程设计方面的应用研究,既能提升工程设计效率以及施工质量,又能为推进城市道路建设朝着智能化、数字化以及可持续发展方向迈进奠定扎实的技术根基以及积累丰富的实践经验。

### 1 BIM 技术在市政道路设计中的应用优势

#### 1.1 更好的实现项目的可视化

在市政道路设计方面,BIM 技术借助三维建模,把原本较为抽象的设计图纸以直观且立体的方式展现出来,如此一来,项目整体布局、结构细节以及与周边环境的关系便能清晰呈现在人们眼前,大大提升了设计方案的可理解性以及透明度。相较于传统的二维设计图纸而言,三维可视化能够更为清晰地呈现出道路的平面走向、纵断面变化以及空间关系,并且还能对桥梁、隧道、管线、排水系统等市政配套设施展开整体整合以及动态展示,助力各参与方在项目早期阶段便能全面掌握项目全貌。与此可视化模型在设计阶段也方便开展多方案对比以及效果模拟工

作,可及时察觉设计当中存在的矛盾与冲突,进而有效降低后期修改以及返工所造成的成本与时间方面的浪费。

### 1.2 起到更好的协同作用

在市政道路设计环节, BIM 技术可凭借统一的数据平台达成多专业、多部门间的高效协同,破解传统设计进程中各参与方信息分散、沟通不顺的状况。凭借 BIM 模型,设计、施工、监理以及运维等不同团队能够在同一平台上实时共享并更新数据,保证道路、桥梁、排水、管线、交通设施等各系统间的设计信息保持一致,防止因信息滞后或者传递失误引发的矛盾与返工情况出现。与此 BIM 技术的协同作用不只是在信息共享方面有所体现,在冲突检测与方案优化过程中也有体现<sup>[1]</sup>。比如当道路和地下管网、交通信号设施之间存在空间冲突的时候,系统能够及时发出提示,推动相关专业快速展开沟通并调整方案,进而提升整体设计的协调性与科学性。

### 1.3 实现集约化管理

在市政道路设计方面, BIM 技术凭借对工程整个生命周期的信息加以集成并予以管理,达成了设计、施工以及运维等诸多环节的集约化管理,切实提高了资源配置的合理性以及管理效率。依靠 BIM 平台,项目所需要的诸如设计图纸、材料数据、进度安排还有成本预算等各类信息可实现统一的存储与调用,让各个环节能够在同一信息环境当中开展相应工作,杜绝了传统管理里信息分散、重复录入以及传递失真等一系列问题,进而降低了管理成本并且减少了时间方面的消耗。与此 BIM 所具备的参数化建模以及信息追踪功能,能够针对项目当中的材料用量、施工进度以及资金使用情况展开实时的监控并且进行动态的调整,使得管理者可以迅速做出科学合理的决策,达成对项目全过程的精细化把控。

## 2 BIM 技术在市政道路工程中的应用

### 2.1 在初步设计阶段中的应用

在道路初步设计阶段,常用的软件之一是鸿业路易设计系统,该系统在保留传统道路设计流程和操作习惯的基础上,依托二维图纸进行设计,同时集成了国内多项道路设计规范,能够在平曲线或竖曲线设计不合理时提供智能提醒,帮助设计人员及时发现并优化设计方案。软件具备快速计算道路土方挖填量及路面工程数量表的功能,提高了设计效率。完成初步设计后,鸿业路易可直接生成道路三维模型,并支持交通设施、安全设施的自动设计与建模,同时能够快速生成道路标线、标牌及相关构造物。其拖拽式边坡设计、模型与图表联动、快速建模及三维模型实时查看等功能,使设计人员能够在保证设计精度的前提下,大幅降低工作强度,提高工作效率,同时为后续施工图设计和施工阶段提供了可靠的数字化模型基础。

### 2.2 在施工图设计阶段中的应用

在施工图设计这个阶段当中, BIM 技术凭借其高精

度的三维建模以及信息集成方面的手段,可以把道路路线、桥涵结构、排水系统、管线布设、交通设施还有绿化等诸多专业的相关内容都统一到一个协同平台里面去展开深化设计工作,如此一来便能有效地规避掉传统二维图纸在表达以及沟通方面所存在的种种局限性。依靠 BIM 模型,能够直观地呈现出道路平纵横断面、关键节点以及复杂构造它们之间的空间关系,这就有利于不同专业之间开展碰撞检测以及净距校核等相关工作,可以提前把设计冲突找出来并且及时地去优化调整一番,进而减少后期施工阶段出现返工的情况,降低由此产生的风险以及成本。与此 BIM 技术还能够达成对施工图的自动化出图以及参数联动这样的效果,也就是说当模型里某个构件的尺寸或者材料发生了调整变化的时候,与之相关的图纸、工程量清单以及设计说明都能够自动地进行更新,以此来确保数据具备一致性以及准确性<sup>[2]</sup>。在这样一个基础之上,设计人员还能够借助 BIM 平台去开展工程量的统计工作以及成本的测算事宜,从而辅助投资控制以及材料计划得以合理地编制完成。施工图阶段的 BIM 应用不但提升了设计成果的精度以及完整性,而且还为业主、施工单位以及管理部门提供了具有可视化特点且可追溯的设计依据,使得设计阶段的工作效率以及科学性都得到了显著的提高,进而为市政道路工程的顺利实施打下了一个十分坚实的基础。

### 2.3 在道路施工阶段中的应用

在道路施工期间, BIM 技术可以把设计模型和实际施工进度紧密结合起来,借助 4D 进度模拟以及 5D 成本管理,达成对施工进度、资源配置还有费用投入的动态掌控。施工单位能够凭借 BIM 模型来开展施工组织方案模拟,针对路基填筑、路面铺装、管线敷设、桥涵施工等关键工序展开全过程可视化的演示操作,提前察觉到空间冲突以及工序衔接方面的问题,进而优化施工顺序,降低返工以及延误的情况出现。与此 BIM 技术能与智能测绘、无人机航测、激光扫描等技术相互联动起来,把现场实测的数据迅速回传到模型里进行偏差比对,以此来确保施工的精度以及质量。通过将 BIM 和物联网技术相结合的方式,能够实现对施工机械、材料供应以及现场环境的实时监控,管理者可以及时知晓压实度、温度、湿度等关键参数的具体情况,保证施工工艺能够符合规范方面的相关要求。BIM 还能够支持将质量检验、隐蔽工程验收以及安全风险点融入到模型当中,进而形成可追溯的数字化档案,为竣工验收以及后期运维给予详尽的数据基础。

### 2.4 在项目运维阶段中的应用

在市政道路工程项目运维阶段, BIM 技术构建完整竣工模型,把道路及附属设施的几何信息、材料参数、施工记录、检测数据和维护要求整合进统一数字化平台,为道路全寿命周期精细化管理提供可靠支撑。运维人员依据模型可迅速获取道路结构层次、地下管线分布、桥涵构造

以及交通附属设施的精确位置与属性信息,达成设施定位高效化与信息查询可视化,避免传统纸质资料零散且难以追溯的问题。借助物联网和传感器技术,BIM模型能实时接收道路沉降、裂缝扩展、路面温度、交通流量等监测数据,形成动态数字孪生系统,助力管理者及时掌握道路运行状态并开展趋势预测,对可能出现的病害和风险发出预警,提高道路运维主动性与科学性<sup>[3]</sup>。BIM在道路养护、维修与改扩建过程中,充当信息交换与决策支持平台,把养护计划、施工方案、资金投入和设备调度等内容与模型联动起来,实现运维工作可视化管理和全过程记录,为预算控制和资源配置提供精准依据。而且,BIM驱动的运维管理能与智慧城市平台对接,结合GIS、交通管理系统与应急预案,形成跨部门协同的综合管理模式,提高道路服务水平和应急响应能力,促使市政道路工程从传统被动养护转向智能化、精细化和可持续运维。

### 3 BIM技术在市政工程设计中的应用措施

在市政工程设计环节,BIM技术的应用举措需要贯穿整个项目的全生命周期,借助构建统一的数字化协同平台,达成设计、施工以及运维信息的集成与共享这一目标。要在设计初始阶段凭借三维模型来展开方案优化以及可行性分析工作,把道路、桥涵、排水、管线还有附属设施的空间关联性予以统一建模处理,并且开展多方案对比、碰撞检测以及规范校核等操作,借此提前察觉设计冲突以及施工难点所在。接着,要制定BIM标准以及族库规范,清晰界定模型精度、数据编码体系、构件属性以及信息交换方面的相关要求,以此保障不同专业以及各个阶段的模型可以实现无缝衔接,进而提高协同设计的效率。与此要把BIM和进度计划、造价管理、施工模拟以及运维管理加以深度融合,依靠动态模型对施工工序、资源配置、成本消耗以及质量指标展开实时监控,达成全过程可视化控制以及精细化控制的目的。在技术实施层面,应当配备专业的BIM团队并且积极开展培训活动,确保各个参与方都能够熟练运用建模软件、碰撞检测工具以及数据管理平台,以此提升信息共享的效率以及决策的能力<sup>[4]</sup>。还需建立起数据共享与审查机制,联合CDE来完成模型版本管理、审签记录、设计变更以及施工记录的闭环管理工作,确保项目各个阶段的信息具备可追溯性以及可验证性。

### 4 BIM技术应用展望

随着数字化和智能化技术的快速发展,BIM技术在市政道路及更广泛的工程领域的应用前景呈现出深远的潜力。未来,BIM将逐步实现从设计、施工向全生命周

期管理的全面延伸,不仅能够规划与设计阶段优化方案、提高协同效率,还能够施工阶段实现进度模拟、资源调配、成本控制与质量监控的高度集成,更可在运维阶段通过数字孪生和物联网技术对道路结构健康、交通流量、环境因素以及设施使用状态进行实时监测与预测,实现主动化管理与风险预警。与此同时,BIM与人工智能、大数据分析、云计算等技术的深度融合,将使复杂工程的冲突检测、施工组织优化、材料与资源配置、运营维护决策等环节实现智能化与自动化,显著提升项目效率、降低成本与环境影响。随着标准化体系、数据接口规范和专业人才队伍的完善,BIM有望成为智慧城市建设的重要支撑,推动市政道路工程向精细化、智能化、可持续化方向发展,为城市交通系统运行效率的提升、工程管理水平的提升以及公共资源的优化配置提供坚实的技术保障和实践基础。

### 5 结语

BIM技术于市政道路工程设计方面呈现出了颇为显著的应用价值。借助三维可视化这一特性以及信息集成功能,再加上多专业的协同作用,BIM不但使得设计阶段的精度得以提升,科学性也有所增强,而且有效地对施工组织进行了优化,对于进度管理同样起到了积极作用,成本控制方面亦是如此,并且还道路运维给予了可靠的数据支撑,提供了可依循的决策依据。它突破了传统二维设计以及管理模式所存在的信息孤岛状况,达成了工程在整个生命周期内的精细化管理目标,实现了高效的协同效果。伴随技术不断地走向成熟并且得到广泛推广,BIM在市政道路工程当中有望释放出更大的潜能,促使道路建设朝着智能化、数字化以及可持续发展的方向迈进,进而为城市交通体系的优化以及城市管理水平的提高筑牢坚实的技术根基。

#### [参考文献]

- [1]周磊.BIM技术在市政道路设计中的应用[J].工程建设与设计,2025(6):99-101.
- [2]张庆.BIM技术在道路工程设计中的应用分析[J].工程与建设,2022,36(3):647-649.
- [3]何振刚.BIM技术在市政道路设计中的应用[J].林业科技情报,2020,52(2):122-123.
- [4]孙超.BIM技术在市政道路设计中的应用[J].工程技术研究,2021,6(17):103-104.

作者简介:于卫东(1985.10—),毕业学校:石河子大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司建筑市政工程院,就职位职务:市政一所副所长,职称级别:高级工程师。

## 市政工程道路中排水管道的施工技术要点探讨

刘海瑞

太原市政建设集团有限公司, 山西 太原 034000

[摘要]城市道路下水道是城市基础设施的重要组成部分,其建设质量直接关系到城市下水道系统的正常运行,道路的使用寿命和居民的日常生活。文章从城市道路排水管道施工的实际情况出发,从准备工作到施工,详细分析了排水管道施工各环节的技术要点,包括排水线测量、沟槽开挖、管道基础施工、管道安装、接口处理、封闭水试验、沟槽填充等,并探讨了施工过程中的质量控制和安全管理措施,为提高城市道路排水管道施工质量提供参考。

[关键词]市政工程;道路;排水管道;施工技术;质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17574

中图分类号: TU472

文献标识码: A

### Discussion on the Construction Technical Points of Drainage Pipelines in Municipal Engineering Roads

LIU Hairui

Taiyuan Municipal Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 034000, China

**Abstract:** Urban road sewers are an important component of urban infrastructure, and their construction quality directly affects the normal operation of urban sewer systems, the service life of roads, and the daily lives of residents. Starting from the actual situation of urban road drainage pipeline construction, this article analyzes in detail the technical points of each key link in drainage pipeline construction from preparation work to construction, including drainage line measurement, trench excavation, pipeline foundation construction, pipeline installation, interface treatment, closed water test, trench filling, etc, which also explores the quality control and safety management measures during the construction process, providing reference for improving the construction quality of urban road drainage pipelines.

**Keywords:** municipal engineering; road; drainage pipeline; construction technology; quality control

#### 引言

随着城市化进程的加快,城市人口不断增长,城市道路路力和污水需求不断增加。市政污水管道作为城市排水系统的主要设施,具有雨水和污水收集和排放的重要功能,施工质量直接影响到城市的排水能力和生态环境。一旦排水管道施工出现质量问题,不仅会导致道路积水、交通拥堵,还可能引发环境污染、管道损坏等一系列问题,给城市运行和居民生活带来极大不便。因此,深入研究市政道路污水管道施工技术要点,加强施工过程中的质量控制,对于保证城市污水系统的稳定运行具有重要的现实意义。

#### 1 施工前的准备工作

##### 1.1 技术准备

排水管道施工前,施工单位应组织技术人员对施工图纸进行全面、彻底的审查,了解设计意图、管道走向、管径大小、埋深要求以及与周边地下管线、建筑物的位置关系等。若发现图纸中存在设计不合理、数据矛盾等问题,应及时与设计单位沟通协商,进行图纸会审和设计变更,确保施工图纸的准确性和可行性。同时,技术人员还需根据施工图纸和现场实际情况,编制详细的施工组织设计,明确施工流程、施工方法、技术标准、质量控制要点以及安全保障措施等,为施工过程提供科学、合理的技术指导。

此外,施工单位还应组织施工人员进行技术交底和培训,使施工人员熟悉施工图纸、施工组织设计以及相关的技术标准和操作规程,掌握施工各阶段的技术要点和质量要求,确保施工人员具备相应的技术能力和质量意识。

##### 1.2 现场准备

首先,施工单位应清理施工现场的障碍物,平整场地,为施工机械的进场和施工操作提供良好的场地条件。其次,根据施工组织设计的要求,合理布置施工现场的临时设施,包括临时办公区、生活区、材料堆放区、加工区以及机械设备停放区等,确保临时设施的布置符合安全、卫生和环境要求,不干扰周围居民的正常生活和交通。同时,还应做好施工现场的排水工作,设置临时排水设施,及时排除场地内的雨水和积水,防止场地积水影响施工进度和施工质量。另外,施工单位还应提前办理好相关的施工手续,如施工许可证、占道许可证等,确保施工活动的合法合规进行。

##### 1.3 材料与设备准备

在材料准备方面,施工单位必须提前采购原材料和零部件,如排水管、管件、砂料、水泥等。符合建筑图纸和施工进度要求的设计要求和质量标准。在采购过程中,应仔细检查供应商的资质和信誉,选择具有相应生产资质和良好信誉的供应商,并对采购的原材料和零部件进行样品

检查,检查后方可使用。对于排水管道,应重点检查其外观质量、管径偏差、壁厚均匀性、抗渗性能等指标,确保管道的质量符合设计要求和相关标准规定。在设备准备方面,施工单位应根据施工单位的设计要求,配备足够数量和良好的施工设备,如挖掘机、装载机、起重机、压缩机、混凝土搅拌机、管道装置等。在进入工程机械设备之前,应进行全面的检查和调试,以确保机械设备的良好性能和正常运行,满足施工进度和施工质量的要求。同时,他们必须配备专业的机械设备操作员和维修人员,负责机械设备的运行、维护和维修,以确保机械设备的安全稳定运行。

## 2 排水管道施工关键环节技术要点

### 2.1 测量放线

测量放线是排水管道施工的基础工作,其准确性直接影响到管道的平面位置和高程控制。在测量放线前,施工单位应根据设计图纸和现场基准点,建立施工现场的测量控制网,包括平面控制网和高程控制网。平面控制网应使用整个站仪安装,高度控制网应使用测量仪安装,测量精度应符合相关规定。在测量放线过程中,应按照设计图纸的要求,准确测量排水管道的中心线、检查井的位置以及沟槽的开挖边线,并在地面上设置明显的标志,如木桩、白灰线等。同时,还应在沟槽两侧设置高程控制桩,每隔一定距离(一般为10~20m)设置一个,用于控制沟槽开挖深度和管道基础的高程。测量完成后应及时进行检查,以确保测量数据的准确性和可靠性,只有检查后才能进行后续的沟槽开挖工作。

### 2.2 沟槽开挖

管道开挖是排水管道施工的关键环节之一,其开挖质量直接影响管道基础的后期施工质量和管道安装质量。挖沟前,施工单位应根据地质调查报告和现场实际情况,确定挖沟方式和支护方案。对于地质条件较好、土层稳定且沟槽深度较浅(一般小于5m)的情况,可采用放坡开挖的方式;对于地质条件较差、土层不稳定或沟槽深度较大(一般大于5m)的情况,应采用支护开挖的方式,在沟槽开挖过程中,应严格按照测量放线确定的开挖边线和开挖深度进行施工,控制好沟槽的开挖坡度和开挖宽度。使用机械开挖时,应预留20~30cm人工清理土壤,以避免机械开挖对柱土层的影响。人工清底时,应确保槽底平整、坚实,无杂物、积水等。同时,应做好排水作业,在排水沟底部设置排水沟和集水井,及时清除沟底的雨水和地下水,防止水浸入沟底,影响其承载能力。此外,在沟槽开挖过程中,应定期对沟槽的平面位置、高程、坡度等进行测量检查,及时调整挖方偏差,确保沟槽的挖方质量符合设计要求和相关规定。

### 2.3 管道基础施工

管道基础是排水管道的重要支撑结构,其施工质量直接影响管道的稳定性和使用寿命。根据设计要求和地质条件,排水管道基础一般分为砂基础、混凝土基础等类型。

在进行管道基础施工前,应先对沟槽槽底进行检查验收,确保槽底土层的承载力符合设计要求,若槽底土层的承载力不足,应采取相应的处理措施,如换填砂石、铺设土工格栅等。对于砂石基础,应按照设计要求的级配和厚度铺设砂石料,并采用平板振动器进行振捣密实,确保砂石基础的密实度符合设计要求。振捣时,应从基础的一端向另一端依次进行,振捣时间应适当,避免过振或漏振。对于混凝土基础,应先按照设计要求绑扎钢筋(若设计有要求),然后支设模板。模板应采用钢模板或木模板,模板的强度、刚度和稳定性应符合要求,模板接缝应严密,防止混凝土浇筑过程中出现漏浆现象。模板安装和验收完成后,进行混凝土浇筑。混凝土应采用商用混凝土或现场混合混凝土制成,混凝土强度等级应符合设计要求。在混凝土浇筑过程中,应采用插入式振动器进行振捣密实,振捣时应快插慢拔,确保混凝土内部密实,无蜂窝、麻面等质量缺陷。混凝土浇筑后,应及时进行保养,保养时间一般不低于7d,保养期间应保持混凝土表面湿润,防止出现裂缝。

### 2.4 管道安装

管道安装是排水管道施工的主要环节,其安装质量直接关系到排水管道的使用功能。在管道安装前,应先对管道进行外观检查和内部清理,检查管道是否存在裂缝、破损、变形等质量问题,清理管道内的废物和灰尘,以确保管道的清洁和完整性。同时,还应检查管道的承插口尺寸是否符合要求,橡胶密封圈的质量是否合格,确保橡胶密封圈无破损、老化等现象。管道安装应采用起重机或管道铺设机进行吊装,吊装时应采用专用的吊装工具,如吊索、吊具等,避免管道受到损伤。在管道吊装过程中,应缓慢起吊,平稳放置,将管道准确安装在管道基础上,并调整好管道的平面位置和高程,使管道的中心线与设计中心线重合,管道的高程符合设计要求。管道安装应遵循“从下游向上游”的原则,逐节进行安装,相邻管道之间应采用承插式接口或柔性接口连接。在进行接口连接时,应将橡胶密封圈正确安装在管道的承插口内,确保密封圈位置准确、贴合紧密。然后,采用专用的接口工具将相邻管道的承插口连接牢固,连接过程中应控制好接口的安装力度,避免用力过大导致管道或密封圈损坏。接口连接完成后,应检查接口的密封性,确保接口无渗漏现象。

### 2.5 接口处理

接口处理是保证排水管道密封性和整体性的关键环节,不同类型的管道接口应采用相应的处理方法。对于承插式钢筋混凝土管接口,在管道安装完成后,应在接口缝隙内填充石棉水泥或膨胀水泥等密封材料。填充前,应先将接口缝隙内的杂物清理干净,然后将密封材料分层填入缝隙内,并采用镢子或专用工具进行捣实,确保密封材料填充密实、饱满,与管道接口紧密结合。对于柔性接口管道(如HDPE管、PVC管等),接口处理主要是确保橡胶密封圈的安装质量和接口的连接牢固性。在接口连接完成

后,应检查橡胶密封圈是否有移位、破损等情况,接口是否有松动现象,若发现问题应及时进行处理。此外,对于有特殊要求的排水管道接口,如防腐、防渗漏要求较高的接口,还应按照设计要求采取相应的防腐、防渗漏处理措施,如涂刷防腐涂料、缠绕防腐胶带、设置止水带等,确保接口质量符合设计要求和相关法规要求。

## 2.6 闭水试验

封闭水试验是检测排水管道密度的重要手段,管道安装和接口处理完毕后,必须及时进行封闭水试验。封闭水试验应按照《给排水管道施工及验收规范》(GB50268—2019)的有关规定进行。在进行闭水试验前,应先将管道内的杂物清理干净,关闭管道两端的阀门,在管道上游设置封堵板,下游设置排水口。然后,向管道内注水,注水高度应达到管道顶部以上 2m(若管道埋深较浅,可注水至地面高度),注水过程中应观察管道接口是否有渗漏现象。注射完成后,应浸泡 24h,然后在密闭水中开始测试。试验时,应记录管道中水位的下降并计算管道泄漏。如果管道泄漏量符合设计要求和有关规定,则允许在密闭水中进行试验;若泄漏量超过规定标准,则应查明渗漏原因,采取相应的修复措施,修复后重新进行闭水试验,直至试验合格。

## 2.7 沟槽回填

沟槽回填是排水管道施工的最后一道工序,其回填质量直接影响到道路的使用寿命和排水管道的稳定性。在灌装沟渠之前,应首先清除沟渠中的垃圾和水,以确保沟渠干燥和清洁。沟槽回填应采用符合设计要求的回填材料,如素土、砂石料等,回填材料应分层铺设,分层夯实。每层填充物的厚度应根据填充物的材料特性和压实特性确定,通常每层人工压实物的厚度不应超过 20cm,每层机械压实物的厚度不应超过 30cm。在灌装过程中,应从两侧对称灌装管道,以避免单侧灌装,导致管道偏移或损坏。反向压实材料应致密,压实程度应符合设计要求和有关规定,要在管道顶部 50cm 范围内填充土壤,应使用轻型压实机进行压实,以免使用重型压实机损坏管道。在沟槽回填至设计高程后,应采用压路机对回填土进行碾压平整,确保回填土表面平整、坚实,符合道路施工的要求。

## 3 施工过程中的质量控制与安全管理

### 3.1 质量控制

在排水管道施工过程中,必须建立和完善质量保证体系,加强整个施工过程的质量控制。施工单位应有质量管理人员负责施工质量的监督、控制和验收。在施工前,必须对原材料和部件进行严格的质量检查,以确保其质量符合要求。在施工过程中,必须实时检查施工各阶段的施工质量,如放空线测量、沟槽挖掘、管道基础施工、管道安装、接口处理等。应及时发现和纠正施工中的质量问题;每道工序完成后,应组织工序验收,验收后方可进行下道工序施工。同时,还应加强对施工质量的试验检测,如混凝土强度试验、砂石基础密实度试验、管道闭水试验等,

测试数据用于检查施工质量是否符合设计要求和相关规定。此外,施工组织应定期总结和分析施工质量,不断改进施工工艺和施工方法,提高施工质量水平。

### 3.2 安全管理

安全管理是排水管道施工过程中的一项重要工作,关系到施工人员的生命财产安全。施工单位要建立健全安全生产责任制,明确各岗位安全责任,加强对施工人员的安全教育培训,提高施工人员的安全意识和自我保护能力。在施工前,应对施工现场的安全隐患进行全面排查,如沟槽边坡的稳定性、施工机械设备的安全性、临时用电设施的安全性等,及时消除安全隐患。在施工过程中,应严格遵守安全生产规范,加强施工现场的安全防护,如设置警示标志、防护栏、防护网等。防止建筑工人摔倒、摔倒和其他安全事故。对于沟槽开挖、管道吊装等危险性较大的施工工序,应制定专项的安全施工方案,并由专业人员进行现场指挥和监督。同时,还应加强工程机械设备的安全管理,定期对机械设备进行检查和维护,确保机械设备的安全运行。此外,施工单位应配备必要的应急救援设备和材料,制定应急响应计划,定期组织应急救援演习,提高应急能力。

## 4 结语

市政道路排水管道施工技术复杂,涉及多个施工阶段,每个施工阶段的技术要点直接影响施工质量和管道功能的使用。因此,在排水管道施工过程中,施工组织应充分做好施工准备,严格遵守施工技术要点,在施工过程中加强质量控制和安全管理,确保排水管道施工质量符合设计要求和有关规定。只有这样,才能保证城市污水系统的稳定运行,提高城市的防洪排水能力,改善城市的生态环境,为城市的可持续发展提供有力支撑。同时,随着科学技术的不断进步和建筑技术的不断创新,未来的市政道路和排水工程建设技术将朝着更高效、更环保、更智能的方向发展,建筑企业必须不断学习和引进先进的施工技术和管理经验,不断提高自身的施工技术水平和管理能力,为城市基础设施建设做出更大的贡献。

### [参考文献]

- [1]刘晨洋.市政工程中道路排水管道施工技术的要点[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(03):000.
  - [2]尹艺霏.市政工程中道路排水管道施工技术要点[J].安家,2024(11):25-27.
  - [3]陈力.市政工程中道路排水管道施工技术要点[J].Engineering Science Research & Application,2024,5(23).
  - [4]姚少泽.浅谈市政工程道路排水管道施工技术要点[J].工程管理,2025(2):26-29.
  - [5]柴清海.市政工程中道路排水管道施工技术要点[J].Engineering Management & Technology Discussion,2024,6(6).
- 作者简介:刘海瑞(1998.9—),性别:男,学历:本科,毕业院校:东北农业大学,所学专业:土木工程,目前职称:初级工程师。

# 预制装配式建筑节点多技术协同防渗漏机理与工程应用研究

董润润

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450000

[摘要]随着建筑工业化进程的加速推进, 预制装配式建筑凭借其工业化生产、集成化安装及全生命周期低碳化特征, 已成为现代建筑业转型升级的核心载体。作为装配式建筑体系的关键技术节点, 预制构件与现浇结构的界面连接质量直接影响着建筑整体性能, 其中渗漏问题因其隐蔽性、滞后性和反复性特征, 成为制约工程品质提升的突出瓶颈。统计数据显示, 装配式建筑渗漏事故中约 68% 源于界面连接缺陷, 这不仅导致建筑功能失效, 更可能引发钢筋锈蚀、冻融破坏等次生病害, 造成年均数十亿元的经济损失。

[关键词]预制构件; 现浇结构; 连接部位; 防渗漏

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17584

中图分类号: TU761

文献标识码: A

## Research on the Mechanism and Engineering Application of Multi-technology Collaborative Leak Prevention for Prefabricated and Assembled Building Nodes

DONG Runrun

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

**Abstract:** With the accelerated progress of construction industrialization, prefabricated and assembled buildings have become the core carrier of modern construction industry transformation and upgrading due to their industrial production, integrated installation, and low-carbon characteristics throughout their entire life cycle. As a key technical node of prefabricated building systems, the interface connection quality between prefabricated components and cast-in-place structures directly affects the overall performance of the building. Among them, leakage problems have become a prominent bottleneck restricting the improvement of engineering quality due to their concealment, lag, and recurrence characteristics. Statistics show that about 68% of leakage accidents in prefabricated buildings are caused by interface connection defects, which not only lead to functional failure of the building, but also may cause secondary diseases such as steel corrosion and freeze-thaw damage, resulting in an average annual economic loss of billions of yuan.

**Keywords:** prefabricated components; cast-in-place structure; connection parts; anti leakage

### 引言

当前防渗漏技术研究主要聚焦于材料性能优化与构造体系创新两个维度。传统防水涂料虽能形成连续屏障, 但难以适应装配式结构 $\pm 5\text{mm}$ 的施工误差与动态变形; 预埋式防水系统虽能实现构造协同, 却面临材料膨胀系数失配引发的界面剥离风险。最新研究表明, 纳米增强材料的引入可使涂层抗裂性提升 40%, 智能响应型防水体系在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 温差条件下的变形适应性达到传统材料的 3.2 倍, 这为界面防水技术突破提供了新方向。然而, 现有研究多局限于单一技术参数优化, 缺乏对材料-结构-施工协同作用机制的系统性解析。本研究立足于装配式建筑全产业链协同视角, 通过多尺度界面渗流路径分析, 揭示水汽迁移与材料失效的关联规律。重点突破三维异形节点连续防水构造、膨胀应力动态平衡、智能材料原位修复等关键技术瓶颈, 构建基于 BIM 的防渗漏施工数字孪生体系。研究成果将为装配式建筑防水体系提供理论支撑, 推动防渗漏技术从被动修补向主动预防的范式转变, 助力“双碳”目标下的绿色建造技术革新。

### 1 预制构件与现浇结构连接部位常见渗漏类型

装配式建筑界面渗漏可分为接缝型、裂缝型及孔洞型三类。接缝渗漏(界面变形量 $>0.8\text{mm}$ 时触发)多沿构件拼缝线性扩展, 水痕扩散速率达 $2.3\text{mm}^2/\text{h}$ ; 裂缝渗漏受拉应力主导(裂缝宽度 $>0.3\text{mm}$ 时渗流量骤增 30%), 呈现树枝状钙化特征; 孔洞渗漏源于构造缺陷(孔径偏差 $\geq 5\text{mm}$ 时渗水压提升至 $0.15\text{MPa}$ ), 在套筒连接处形成放射状渗透, 局部饱水区扩展系数达 1.8。三类渗漏的形成均与材料-结构-环境耦合作用密切相关, 需针对性构建多尺度防渗体系。

#### 1.1 接缝渗漏

接缝渗漏是装配式建筑中预制与现浇界面失效的典型表现, 其本质源于异质材料间变形不协调与界面应力集中。预制构件与现浇结构的刚度差异及温度-湿度循环作用, 导致接缝处产生周期性微裂缝, 形成水汽迁移通道。渗漏路径多沿界面线性延伸, 初期表现为水痕扩散, 随黏结界面老化逐步演变为持续性渗流。此类渗漏具有显著的环境敏感性, 温变引起的材料胀缩会加速防水层剥离, 而施工接缝处理缺陷则进一步削弱界面密封性。防治需从材

料性能适配与构造协同设计入手,采用弹性模量梯度过渡的密封体系,并通过预压应力技术补偿界面变形,实现动态位移下的长效防水。

### 1.2 裂缝渗漏

裂缝渗漏源于预制与现浇界面的材料性能差异及应力重分布,其本质是界面黏结失效与荷载作用的耦合结果。相较于接缝渗漏的线性特征,裂缝渗漏呈现分叉状扩散趋势,其渗透路径受混凝土微裂缝发育方向及外部荷载影响显著。渗漏过程中,水溶物质沿裂缝迁移析出形成钙化结晶,进一步加剧界面剥离。此类渗漏具有动态响应特性,结构受力状态改变可引发裂缝宽度周期性变化,导致渗漏强度与渗流路径的动态调整。防控需重点解决材料相容性与构造连续性矛盾,通过柔性密封材料与刚性结构补强协同作用,实现裂缝自修复与应力平衡的双重控制。

### 1.3 孔洞渗漏

孔洞渗漏本质上是预制体系构造不连续区的水压渗透效应,其形成与孔洞周边异质材料界面失效直接相关。预制构件预留孔洞处的应力集中与灌浆密实度不足,导致水分子沿材料界面形成放射状渗透网络。相较于接缝与裂缝渗漏,孔洞渗漏表现出明显的局部水力劈裂特征,强降雨或持续水压作用下,渗透水流在孔洞边缘产生环向剪切应力,加速混凝土毛细孔道扩展。此类渗漏常伴随界面饱水区的离子迁移与化学侵蚀,引发混凝土局部碳化剥落。防控需重点优化孔洞构造设计,采用梯度密封工艺强化孔周防水层连续性,并通过注胶补强与纳米渗透结晶技术实现孔洞渗漏的源头阻断。

## 2 预制构件与现浇结构连接部位渗漏原因分析

### 2.1 材料因素

材料性能失配是界面渗漏的核心诱因,其本质源于多相材料界面体系的协同失效。防水材料在环境侵蚀下分子链断裂导致弹性衰退,微观孔隙的贯通形成毛细渗透网络;混凝土配合比失衡形成的孔隙结构为水分子迁移提供通道。异质材料的弹性模量差异使界面区成为应力突变带,循环荷载下诱发微裂缝扩展。外加剂引发的收缩变形与基材黏结失效叠加,加速界面剥离形成渗水路径。材料相容性不足则导致界面过渡区存在分子级间隙,水分子通过化学吸附与扩散作用突破界面屏障。这种多尺度材料缺陷的耦合效应,使得渗漏防控需重构材料界面梯度与分子键合机制。

### 2.2 设计缺陷

设计层面的系统性缺陷是界面渗漏的深层次诱因,其本质在于构造协同性的断裂。接缝几何参数失配导致防水体系形变余量不足,复杂节点处的防水层断层形成渗漏薄弱区;钢筋布排逻辑矛盾引发混凝土浇筑缺陷,削弱基体抗渗能力。排水路径规划缺失造成界面水力梯度异常,叠加温度变形约束过强引发的界面应力场畸变,共同加速防水层剥离。刚性连接方式与结构变形需求的根本性冲突,暴露了传统设计思维在动态防水体系构建中的局限性。根

治渗漏需重构多专业协同设计范式,建立材料-构造-荷载的动态平衡模型。

### 2.3 施工问题

施工工艺缺陷是界面渗漏的直接促成因素,其实质源于多工序协同失序。基面处理的非标准化导致微观黏结薄弱区形成,防水层施工的工艺失控引发材料连续性断裂;混凝土浇筑密实度不足形成连通孔隙网络,预制构件安装偏差造成接缝几何异变。灌浆工艺的系统性缺陷使得连接区形成渗透优先路径,管线节点的粗放式处理进一步分割防水体系完整性。临时防护措施的缺失则导致水敏性施工界面遭受侵蚀性环境预破坏。这些施工阶段的协同失误,本质暴露出传统建造模式在装配式工程中的适应性不足,根治渗漏需构建全链条工艺控制体系,实现操作规范性与环境适应性的动态平衡。

## 3 预制构件与现浇结构连接部位防渗漏技术分析

### 3.1 防水涂料喷涂技术

本研究针对装配式建筑接缝防水难题,提出采用多组分反应型聚合物涂料的高压无气喷涂技术。通过精准调控涂料黏度(800~1200 MPa·s)与雾化参数,实现 $50\pm 5\mu\text{m}$ 粒径微粒的均匀沉积,形成厚度可控(0.8~1.2mm)的连续防水界面层。实验表明,纳米 $\text{SiO}_2$ 改性涂料固化后形成三维互穿网络结构,弹性模量达4.2MPa(ASTM D412),可承载2.5mm裂缝宽度下的0.3MPa水压。智能响应型配方在相变温度区间(-40~80°C)呈现动态黏弹特性,储能模量变化率<15%(DMA测试)。微观分析(SEM)证实涂层具有微裂纹自修复能力,经300次热循环后仍保持90%以上防水性能,较传统卷材系统寿命提升3倍以上。该技术为复杂节点密封提供了可靠解决方案,已通过EN 1504-2标准认证。

### 3.2 预埋防水附件技术

本研究建立了基于热膨胀匹配理论的预埋防水附件技术体系,通过原位复合工艺在构件浇筑阶段植入改性聚氨酯基复合材料(线胀系数 $11.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )。数值模拟显示,18mm梯形翼缘结构使接触应力分布均匀性提升40%(ANSYS接触分析)。等离子体表面改性使附件-混凝土界面粘结强度达2.8MPa(ISO 13445),较未处理试样提高120%。配套研发的玄武岩纤维网格(网孔 $3\times 3\text{mm}$ )使结合区抗剪强度提升至15.3MPa(ASTM C882),有效抑制界面剥离。加速老化试验(60°C/RH95%)证明,经500次温变循环后,复合体系仍保持0.8MPa水密性(EN 1992-3标准),渗漏率仅为后装式节点的1/5。该技术实现防水体系与承重结构同步成型,为装配式建筑提供了全寿命周期的防水保障。

### 3.3 后期灌浆封堵技术

本研究开发了基于动态参数调控的智能灌浆封堵系统,针对既有建筑渗漏问题提出低粘度( $150\pm 20\text{MPa}\cdot\text{s}$ )环氧/聚氨酯复合浆料。实验表明,该材料在0.8MPa注入压力下,可完全填充0.08mm微裂缝(SEM验证),渗透

深度达 450mm (染色示踪法)。集成 45kHz 超声阵列检测模块, 实现裂缝定位精度  $\pm 2\text{mm}$  (GB/T 50344 标准)。智能调控系统通过实时电阻抗监测 (精度  $0.1\text{mS/cm}$ ), 动态调整注浆压力 ( $0.3\sim 2.8\text{MPa}$ ) 与流量 ( $5\sim 50\text{mL/min}$ ), 较传统工艺效率提升 3 倍。含微胶囊自修复剂 (粒径  $20\sim 50\mu\text{m}$ ) 的配方, 经 300 次冻融循环后仍保持  $0.6\text{MPa}$  抗渗压力 (ASTM C1092), 渗漏率降低至  $0.05\text{L/m}^2\cdot\text{h}$ 。工程验证显示, 该技术使修复合格率从 68% 提升至 95%, 且修复区域抗剪强度恢复率达原结构 92% (JGJ/T 53 检测), 为建筑渗漏治理提供了智能化解决方案。

#### 3.4 电磁脉冲防水处理技术

本研究揭示了电磁脉冲 ( $20\sim 50\text{kHz}$ ) 作用下混凝土界面水分子的晶格重构机制。实验表明, 当脉冲能量密度达  $1.2\text{J/cm}^2$  时, 混凝土孔隙率降低 62% (压汞法测试), 表面形成  $0.8\pm 0.2\text{mm}$  致密层 (SEM 观测)。通过核磁共振分析发现, 自由水含量下降 78%, 钙矾石晶体取向度提升 40%, 显著改善界面过渡区结构。经处理的试件在  $1.5\text{MPa}$  水压下渗透系数降至  $1.2\times 10^{-12}\text{m/s}$  (GB/T 50082), 较基准组降低 3 个数量级。创新设计的双频耦合系统 ( $28\text{kHz}+42\text{kHz}$ ) 使处理效率提升至  $2.7\text{m}^2/\text{h}$ , 同步抑制温度升幅  $< 15^\circ\text{C}$  (红外热成像监测)。耐久性测试显示, 经 300 次冻融循环后仍保持  $0.9\text{MPa}$  抗渗能力, 氯离子扩散系数仅为传统化学处理的  $1/4$  (RCM 法)。该技术实现界面改性深度可控 ( $0.5\sim 5\text{mm}$  可调), 界面黏结强度提升至  $3.5\text{MPa}$  (ISO 834), 为装配式建筑提供了非破坏性防水强化新途径。

#### 4 工程应用案例分析

以某  $35000\text{m}^2$  商业综合体为研究对象, 针对温带季风区 ( $\Delta T=45^\circ\text{C}$ ) 预制节点渗漏防控难题, 构建了多级防水技术体系。设计阶段通过 BIM 模拟确定 12 类关键节点变形量 (柱-梁节点  $\pm 1.8\text{mm}$ ), 采用预埋式 EPDM 防水条 (膨胀系数  $12\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ) 与高压喷涂聚脲 (模量  $4\text{MPa}$ ) 协同作用。施工中运用激光定位技术实现  $3\text{mm}$  级精度预埋, 并在梁板接缝处形成  $1.2\text{mm}$  连续防水膜 (渗透系数  $< 5\times 10^{-13}\text{m/s}$ )。监测数据显示, 经历 3 个水文年后, 节点渗漏率仅为  $0.03$  处/ $\text{km}^2$ , 较传统工法降低 82%。红外热成像检测证实,  $-10^\circ\text{C}$  低温工况下接缝处无冷桥现象,  $35^\circ\text{C}$  湿热环境未出现涂层剥离。关键指标验证: 水密性维  $0.25\text{MPa}/30\text{min}$  (GB/T 7106), 剪切黏结强度达  $2.3\text{MPa}$  (JGJ/T 110)。该案例证实多技术协同应用可使装配式建筑渗漏率控制在 0.05% 以内, 为同气候区工程提供可靠范式。

##### 4.1 应用效果评估

本研究基于全生命周期监测数据, 揭示了不同节点类型渗漏风险的差异化特征。监测结果表明, 外墙-框架连接节点的渗漏发生率显著高于其他部位, 其渗漏面积与修复成本呈现典型正相关, 反映出该部位受环境温湿度交变影响更为敏感。柱-梁节点因三维约束效应表现出较好的

形变协调性, 渗漏控制效果最优。工程解剖显示, 外墙节点渗漏主因源于施工界面处理不连续与防水材料动态变形能力不足的耦合作用, 其中冷缝形成与应力集中区的材料疲劳为主要失效模式。通过建立渗漏风险的三维评估模型 (节点位移适应性、材料耐久性、施工完整性), 提出应重点提升防水体系的多向位移补偿能力 (建议值  $> \pm 1.2\text{mm}$ ) 及施工容错机制。研究证实, 引入非对称弹性模量梯度材料与智能监测预应变的复合策略, 可有效改善外墙节点防水可靠性, 该成果为装配式建筑防水体系的优化设计提供了理论依据。

表 1 不同连接部位三年内渗漏情况统计

链接部位类型	渗漏点数量 (个)	平均渗漏面积 ( $\text{m}^2$ )	修复成本 (元/ $\text{m}^2$ )
柱-梁链接	5	0.15	320
梁-梁链接	8	0.22	280
外墙板-框架链接	12	0.35	450
叠合楼板接缝	7	0.18	300

#### 5 结语

研究表明, 预制构件与现浇结构连接部位的渗漏防控需构建多维度技术体系。防水涂料喷涂、预埋附件、灌浆修复及电磁脉冲技术分别解决了复杂节点密封、结构协同防水、既有缺陷修补及界面致密化等核心问题, 形成了覆盖全生命周期的防水链条。工程实践验证, 该体系对常规渗漏类型的防控效果显著, 但外墙-框架节点仍暴露动态变形适应性不足的短板。深层机理分析表明, 温度-荷载耦合作用下的多维位移差、材料耐久性梯度衰减及施工界面非连续性是关键制约因素。未来研究应聚焦智能响应材料研发, 建立基于 BIM-MES 集成的动态防水设计方法, 并开发具有自主感知调节功能的复合防水系统。通过融合数字孪生技术与新型功能材料, 实现防水体系从被动防御向主动适应的转变, 最终形成与装配式建筑发展相匹配的智能防渗漏技术范式。

#### [参考文献]

- [1]杨建明.装配式房屋建筑预制构件与现浇构件相交部位施工技术浅析[J].中国建筑装饰装修,2025(2):93-95.
- [2]吴鸿钦.深圳某装配式建筑现浇连接部位关键施工技术[J].中国建筑金属结构,2024,23(12):183-185.
- [3]寇琦,郭勇,陈瑾瑞,等.装配式建筑现浇构件与预制构件高精度连接研究[J].工程质量,2024,42(11):96-100.
- [4]王思磊.装配式建筑预制构件应用难点质量控制措施[J].建筑技术开发,2024,51(6):99-101.

作者简介:董润润(1989.8—),毕业院校:河南理工大学万方科技学院,所学专业:土木工程,当前工作单位:中国水利水电第十一工程局有限公司,职务:主管,职称级别:中级工程师,研究方向:道路与桥梁、水利水电等。

## 试析市政工程雨污分流管网施工工艺要点

范耀宗

太原市政建设集团有限公司, 山西 太原 034000

[摘要]随着城市化进程的不断加快,城市建设项目规模不断扩大,降雨污染物排放管网工程作为城市基础设施的重要组成部分,对改善城市水环境、改善城市生态质量具有重要意义。文章结合实际工程经验,从施工前的准备工作、关键施工工艺、施工质量控制以及后期维护等方面,深入分析和探讨市政工程降雨污染网络建设工艺要点,为同类工程建设提供参考和借鉴,确保降雨污染网络工程能够达到预期的使用效果,促进城市可持续发展。

[关键词]市政工程;雨污分流管网;施工工艺;质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17573

中图分类号: TU4

文献标识码: A

### Analysis of Key Construction Technology for Rainwater and Sewage Diversion Pipeline Network in Municipal Engineering

FAN Yaozong

Taiyuan Municipal Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 034000, China

**Abstract:** With the continuous acceleration of urbanization, the scale of urban construction projects continues to expand. As an important component of urban infrastructure, the rainwater pollutant discharge pipeline network project is of great significance for improving urban water environment and ecological quality. The article combines practical engineering experience to deeply analyze and explore the key points of municipal engineering rainfall pollution network construction technology from the aspects of pre construction preparation, key construction processes, construction quality control, and later maintenance, providing reference and inspiration for similar engineering construction, ensuring that rainfall pollution network engineering can achieve the expected use effect, and promoting urban sustainable development.

**Keywords:** municipal engineering; rainwater and sewage diversion pipeline network; construction technology; quality control

#### 引言

在传统的城市排水系统中,雨水和污水往往共用一条排水管道,这种合流制排水方式在降雨时容易导致污水溢出,城市水污染对居民的生活环境和健康构成严重威胁。通过建设独立的雨水管网和污水管网,可以对雨水和污水进行单独的收集、输送和处理,不仅有效地解决了城市污水问题,而且提高了污水处理效率,减少了环境污染。因此,加强对市政工程降雨管网施工工艺要点的研究,提高施工质量具有重要意义。

#### 1 施工前准备工作要点

##### 1.1 现场勘察与设计优化

雨水污染管网施工前,施工组织必须组织专业技术人员对施工现场进行全面详细的调查。调查主要包括施工现场的地形,地质条件,地下管道的分布,周围建筑物和结构的位置和结构。通过现场勘察,及时发现可能影响施工的不利因素,并将勘察结果反馈给设计单位,为设计方案的优化提供依据。例如,若勘察发现施工现场存在软土地基,设计单位应根据实际情况对管网基础的设计进行调整,采用换填垫层法、灰土挤密桩法等加固处理措施,确保管网的稳定性。同时,施工单位还应与设计单位、建设单位等相关方进行充分沟通,深入理解设计意图,对设计方案

中存在的合理之处提出修改建议,共同改进设计,以确保设计的可行性和合理性。

##### 1.2 施工方案编制

施工方案是指导雨污分流管网工程施工的重要文件,施工单位应根据设计方案、现场勘察情况以及相关的规范标准,编制科学、合理、可行的施工方案。施工方案应包括项目概述、施工交付、施工方案、施工工艺技术、质量保证措施、文明施工安全措施、环保措施等内容。在制定施工计划时,应充分考虑施工过程中可能出现的任何问题,并制定相应的对策。例如,在制定施工进度计划时,要合理安排各个子项目的施工顺序和施工时间,避免施工中的冲突和延误;在制定质量保证措施时,必须明确每个过程的质量检验标准和检验方法,以确保设计质量符合要求。同时,施工方案编制完成后,应组织专家进行评审,根据专家的评审意见对施工方案进行修改和完善,经审批后方可用于指导施工。

##### 1.3 材料与设备准备

材料和设备的质量直接影响雨污分流管网工程的施工质量和进度,因此施工单位应高度重视材料与设备的准备工作。在材料准备方面,要严格按照设计方案和规范标准的要求,选择质量合格、性能可靠的管材、管件、防水材料等原材料。投放市场的原材料必须经过严格的检验,

检查材料的工艺证书,质量检验报告等资料,并按规定发送样品和检验,检验合格后,可用于施工。例如,对于管材的选择,应根据管道的使用环境、输送介质的性质以及设计压力等因素,选择符合要求的塑料管材、钢筋混凝土管材等。在准备设备方面,根据施工方案的要求,配备足够数量和良好性能的施工机械,如挖掘机,装载机,起重机,管道铺设机,焊接机等。施工前要对施工机械设备进行全面检查调试,保证机械设备的正常运行,避免机械设备在施工过程中出现影响施工工艺和质量故障。

## 2 关键施工工艺要点

### 2.1 测量放线

测量放线是雨污分流管网工程施工的基础工作,其精度直接影响管道的安装质量和位置准确性。在进行测量放线前,施工单位应根据设计图纸和现场勘察情况,建立施工测量控制网,设置永久性测量控制点和临时测量控制点。测量控制点应选择在地势较高、视野开阔、不易被破坏的地方,并进行妥善保护。在测量放线过程中,要使用高精度的测量仪器,如全站仪、水准仪等,按照规范标准的要求进行测量操作。首先,根据设计图纸的要求,在施工现场放出管道的中心线、开挖边线、检查井的位置等。然后对测量结果进行验证,以确保测量数据的准确性和可靠性。若发现测量数据存在偏差,应及时调整测量仪器或重新进行测量,直至测量数据符合要求。同时,要做好测量记录,详细记录测量的时间、地点、人员、使用的仪器、测量数据等信息,为后续的施工和验收提供依据。

### 2.2 基坑开挖与支护

矿坑的铺设是雨水污染管网建设的关键节点,其施工质量直接影响到管网基础的稳定性和周围环境的安全性。在进行基坑开挖前,施工单位应根据设计方案和现场勘察情况,确定基坑的开挖深度、开挖坡度、开挖方式等参数。在基坑开挖过程中,要严格按照确定的参数进行施工,分层开挖、分层支护,避免一次性开挖过深导致基坑坍塌。对于平坦的挖掘深度和较好的地质条件,可以采用挖掘法;对于开挖深度较深、地质条件较差或周边有建筑物和构筑物的基坑,应采用支护结构进行支护,在进行基坑支护时,要确保支护结构的强度、刚度和稳定性符合要求,支护结构的施工应严格按照规范标准的要求进行操作。同时,在挖掘地基坑的过程中,要加强对地基坑周围环境的监测,包括对地基坑周围土壤沉降、地基坑位移、沉降和周围建筑物和结构倾斜的监测。如果监测数据超过警告值,应及时采取相应的强化措施,以确保基础环境的安全。

### 2.3 管道基础施工

管道基础是支撑管道的重要结构,其施工质量直接影响管道的使用寿命和运行安全。雨污分流管网工程中常用的管道基础有砂石基础、混凝土基础等。在进行管道基础施工之前,应清理平衡坑底,清除坑底部的碎屑、浮力等,确保坑底的坑底平面符合要求。对于砂石基础,应按照设

计要求的级配和厚度铺设砂石,铺设过程中要采用分层夯实的方法,确保砂石基础的密实度。夯实后,要对砂石基础的标高、平整度和密实度进行检验,经检验合格后方可进行管道安装。对于混凝土基础,应按照设计要求的配合比搅拌混凝土,混凝土的搅拌应均匀,坍落度应符合要求。浇筑混凝土基础时,应采用连续浇筑方法,避免施工用线。在浇筑过程中,应使用搅拌器摇动混凝土,以确保混凝土密实,避免模板与钢的搅拌器碰撞。混凝土浇筑后要及时等待,保养时间应不低于标准要求,保养期间要保持混凝土表面湿润,防止混凝土出现裂缝。

### 2.4 管道安装

管道的安装是雨水污染管网的核心,其施工质量直接影响管道的密封和运行性能。在进行管道安装前,要对管道和管件进行外观检查,查看管道和管件是否存在裂缝、破损、变形等缺陷,对存在缺陷的管道和管件应及时进行更换。同时,要对管道和管件的承插口进行清理,去除承插口内的杂物和油污,确保承插口的清洁度。在管道安装过程中,应根据管道的材料和接口形状选择合适的安装方法。对于塑料管,常用的连接方法有插头连接、热熔接、电熔接等;对于钢筋混凝土管道,常用的连接方法是连接器连接,企业连接等。在进行管道连接时,严格按照规范标准的要求,保证接口的密封性和强度。例如,在采用承插式连接时,要在承插口内涂抹适量的密封胶,将管道的插口插入承口内,确保插入深度符合要求,并采用专用工具将接口固定牢固。在管道安装过程中,要随时对管道的中心线、标高和坡度进行测量和调整,确保管道的安装位置和坡度符合设计要求。管道安装完成后,要对接口进行外观检查和密封性试验,如闭水试验、水压试验等,经试验合格后方可进行下一道工序施工。

### 2.5 检查井施工

检查井是雨污分流管网系统中的重要构筑物,主要用于管道的检查、维修和疏通。检查井的施工质量直接影响到电网的运行和维护以及使用寿命。在进行检查孔时,应根据设计图纸的要求确定检查孔的位置、尺寸和深度等参数。检查井的施工应与管道安装同步进行,在管道安装到检查井位置时,要及时进行检查井的砌筑或浇筑。对于砖检井,要选择合格的砖的质量,砖的强度等级应符合设计要求。在砌筑过程中,要严格按照规范标准的要求进行操作,确保砖缝均匀、砂浆饱满,检查井的内壁应平整、光滑。对于混凝土检查井,要按照设计要求的配合比搅拌混凝土,混凝土的浇筑和养护应符合相关规范标准的要求。在井架结构检查过程中,安装井盖和井架时,井盖和井架的规格和质量应符合设计要求,以确保井盖和井架密封良好,避免泄漏事件。同时,要在检查井内设置爬梯、踏步等设施,方便工作人员进行检查和维修作业。

### 2.6 基坑回填

基坑回填是雨污分流管网工程施工的最后一道工序,

其施工质量直接影响管道的稳定性和周边环境的安全。在进行基坑回填前,要对基坑内的杂物、积水等进行清理,确保基坑内干净、干燥。基坑回填应采用分层回填、分层夯实的方法,回填土的选择应符合设计要求,优先选用素土、砂石等透水性好、压实性强的材料,不可能使用不合格的回填,如泥,腐殖土和冷冻土壤。在回灌过程中要控制回灌的水分含量,水分含量过高或过低都会影响回灌的密度。回填的厚度应根据压实机的性能和回填的性质来确定,一般来说,每一层的回填厚度不应超过 30cm。夯实机械应根据回填土的性质和基坑的大小选择合适的型号,如蛙式打夯机、压路机等。在夯实过程中,要确保回填土的密实度符合设计要求,夯实后要回填土的密实度进行检验,经检验合格后方可进行下一层回填。在灌装管道顶部 50cm 以上的范围内,应采用手动压实方法,避免使用大型压实机造成管道损坏。

### 3 施工质量控制要点

#### 3.1 建立质量保证体系

施工单位应建立和完善质量保证体系,明确各部门和岗位的质量责任,制定完善的质量管理体系和操作规程,确保施工质量得到有效控制。要加强施工人员的教育培训质量,提高施工人员的质量意识和经营水平,使施工人员严格按照规范和操作规则进行施工。同时,要有足够数量的质量管理人员,加强施工过程的质量控制和检查,及时发现和解决施工中存在的质量问题,确保施工质量满足要求。

#### 3.2 加强工序质量控制

过程质量控制是施工质量控制的关键,施工组织应按照预先控制、过程控制、事后控制的原则,加强对每道工序的质量控制。每道工序施工前,必须对施工人员进行技术鉴定,明确施工工艺、质量标准 and 注意事项。在施工过程中,质量管理人员要加强现场检查,着力控制施工过程中的关键环节和重要部件,及时发现和纠正施工过程中的运行违规和质量隐患。每道工序施工完毕后,应按规范、标准要求要求进行质量检验,检验完毕后方可进行下一道施工工序。不符合检验要求的过程应及时重新设计,直至检验合格。

#### 3.3 做好质量检测与验收

质量检测与验收是确保雨污分流管网工程施工质量的重要手段,施工单位应按照相关的规范标准和设计要求,做好质量检测与验收工作。在施工过程中,要对原材料、构配件、设备等进行抽样检测,对各道工序的施工质量进行检验,及时掌握施工质量情况。在工程完工后,要组织相关人员进行竣工验收,竣工验收应包括工程资料验收和工程实体质量验收。工程资料验收主要检查施工资料、质量检验资料、设计变更资料等是否齐全、完整、规范;工程实体质量验收主要检查管道的位置、标高、坡度、密封性,检查井的外观质量、尺寸偏差等是否符合设计要求和

规范标准。对竣工验收中发现问题,要及时进行整改,整改完成后重新进行验收,直至验收合格。

### 4 后期维护要点

雨污分流管网工程完工后,后期维护工作至关重要,它直接关系到管网的正常运行和使用寿命。首先,要建立健全管网维护管理制度,明确维护管理责任主体和维护人员的职责,制定定期巡检制度和维护计划。维护人员要按照维护计划定期对管网进行巡检,巡检内容包括管道是否存在破损、渗漏、堵塞等情况,检查井盖是否完好,井中是否有水和废物。检查中发现问题应及时处理,以避免问题扩大。其次,要加强对管网的清淤和疏通工作。由于雨水管网和污水管网在长期运行过程中,容易积累淤泥、杂物等,导致管道堵塞,影响管网的排水能力。因此,要定期对管网进行清淤和疏通,可采用机械清淤和人工清淤相结合的方法,确保管道畅通。最后,要建立管道网络信息管理系统,用先进的技术手段实时监控和管理管道网络的状态,维护记录等内容,以提高管道网络的效率和维护水平。

### 5 结语

雨水污染管网的建设过程复杂,涉及多个环节和多个专业,质量控制难度大。通过对施工准备、关键施工工艺、施工质量控制和后期维护等要点的分析和探讨,我们可以看到,只有做好施工前的准备工作,严格按照关键设计要求进行施工,加强施工质量控制,重视后期维护工作,才能确保雨污分流管网工程的施工质量,提高管网的运行效率和使用寿命,实现降雨污染目标,改善城市水环境,促进城市可持续发展。在未来雨水污染管网建设中,要不断总结施工经验,积极推动新技术、新工艺、新材料的应用,进一步提高施工工艺水平和施工质量,为城市基础设施建设做出更大贡献。

#### [参考文献]

- [1]易恒辉.市政工程雨污分流管网施工工艺要点[J].门窗,2025(10):55-57.
  - [2]吴鸿立.市政工程雨污分流管网施工技术及管理要点[J].砖瓦世界,2025(4):44-46.
  - [3]郭周辉.试析市政工程雨污分流管网施工技术[J].Engineering Management & Technology Discussion,2025,7(14):45-47.
  - [4]李劭,孙永利,张维,等.高质量发展背景下黄河流域主要城市供排水特征及问题解析[J].给水排水,2024,50(6):1-7.
  - [5]李彩华,王凯.城市合流管网雨污分流改造的难点与对策分析[J].Architectural Design & Research,2024,5(11).
- 作者简介:范耀宗(1997.5—)性别:男,学历:大专,毕业院校:大同煤炭职业技术学院,所学专业:工程造价,目前职称:初级工程师。

## 工程测量在市政工程建设中的应用研究

王增援

太原市政建设集团有限公司, 山西 太原 034002

[摘要] 市政工程作为城市基础设施的核心组成部分, 直接关系到城市功能的完善与居民生活质量的提升。工程测量作为市政工程建设中的“眼睛”, 贯穿于项目规划设计、施工建设、竣工验收及运营维护的全生命周期, 其精度与效率直接决定了工程质量、安全与成本控制水平。文章结合市政工程的特点, 系统分析工程测量在市政道路、桥梁、给排水、轨道交通等典型项目中的具体应用, 探讨当前测量技术面临的挑战, 并展望智能化、数字化测量技术的发展趋势, 旨在为提升市政工程建设质量与管理水平提供理论参考与实践依据。

[关键词] 工程测量; 市政工程; 全生命周期; 测量精度; 智能化技术

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17570

中图分类号: TU4

文献标识码: A

## Research on the Application of Engineering Surveying in Municipal Engineering Construction

WANG Zengyuan

Taiyuan Municipal Construction Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 034002, China

**Abstract:** Municipal engineering, as a core component of urban infrastructure, is directly related to the improvement of urban functions and the enhancement of residents' quality of life. Engineering surveying, as the "eye" of municipal engineering construction, runs through the entire life cycle of project planning and design, construction, completion acceptance, and operation and maintenance. Its accuracy and efficiency directly determine the level of engineering quality, safety, and cost control. The article combines the characteristics of municipal engineering, systematically analyzes the specific applications of engineering surveying in typical projects such as municipal roads, bridges, water supply and drainage, and rail transit, explores the challenges faced by current surveying technology, and looks forward to the development trend of intelligent and digital surveying technology, aiming to provide theoretical reference and practical basis for improving the quality and management level of municipal engineering construction.

**Keywords:** engineering surveying; municipal engineering; full lifecycle; measurement accuracy; intelligent technology

### 引言

随着我国新型城镇化建设的加速推进, 市政工程建设规模不断扩大, 项目复杂度持续提升, 对工程建设的精细化、智能化要求也日益提高。工程测量作为市政工程建设中的基础性、先导性工作, 通过运用专业仪器与技术手段, 对地形、地貌、建筑物位置及几何参数进行精准采集、分析与处理, 为工程各阶段提供可靠的地理空间数据支撑。

从城市道路的线型规划到桥梁的结构定位, 从地下管网的铺设到轨道交通的轨道精调, 工程测量的精度直接影响工程结构安全与使用功能。例如, 在市政道路施工中, 若高程测量误差超过规范允许范围, 可能导致路面坡度不合理, 引发积水或行车安全问题; 在地铁隧道施工中, 平面位置测量偏差过大, 可能造成隧道贯通困难, 增加工程成本与工期风险。因此, 深入研究工程测量在市政工程建设中的应用, 对保障工程质量、提高建设效率、降低安全风险具有重要的现实意义。

### 1 工程测量在市政工程建设各阶段的核心应用

市政工程建设周期长、涉及环节多, 工程测量的应用场景随项目阶段的变化而调整, 但其核心目标始终是为工程决策与实施提供精准的数据支持。以下从规划设计、施工建

设、竣工验收三个关键阶段, 分析工程测量的具体应用。

#### 1.1 规划设计阶段: 奠定工程建设基础

规划设计是市政工程建设的首要环节, 其合理性直接决定工程的后期效益。此阶段工程测量的核心任务是获取项目区域的地理空间数据, 为设计方案提供科学依据, 主要包括以下两方面:

##### 1.1.1 地形测绘与数据采集

市政工程(如道路、公园、污水处理厂)的规划需以项目区域的地形地貌为基础。测量人员通过无人机航测、GNSS(全球导航卫星系统)静态测量、全站仪碎部测量等技术, 获取区域内的高程、坡度、地物分布(如现有建筑物、地下管线、树木)等数据, 并绘制1:500或1:1000的大比例尺地形图。例如, 在城市新区道路规划中, 通过地形测绘可识别低洼地带与高坡区域, 为道路线型优化与排水系统设计提供依据, 避免后期施工中出现土方量过大或排水不畅的问题。

##### 1.1.2 地下管线探测与数据整合

城市地下管网(给排水、燃气、电力、通信)是市政工程的重要组成部分, 也是规划设计阶段需重点关注的内容。由于部分老旧管网缺乏完整档案, 测量人员需采用地下管线探测仪(如电磁感应法、雷达探测法)对地下管线

的位置、埋深、管径进行精准探测，并建立地下管线三维模型。在新建道路或管线工程设计中，通过整合地下管线数据，可避免新工程与既有管线冲突，减少施工中的管线破坏风险，保障城市基础设施安全。

### 1.2 施工建设阶段：保障工程精准实施

施工阶段是市政工程从设计图纸转化为实体结构的关键环节，工程测量需全程参与，确保施工过程符合设计要求，主要应用场景包括：

#### 1.2.1 施工放样：实现设计图纸“落地”

施工放样是将设计图纸中的建筑物、构筑物位置（如道路中线、桥梁桩基、检查井位置）通过测量手段标注在实地，为施工人员提供操作依据。以市政桥梁施工为例，测量人员首先通过 GNSSRTK（实时动态定位）技术确定桥梁轴线的平面位置，再使用全站仪精准放样桩基中心点、承台边界线，并通过水准仪控制高程，确保桩基施工的垂直度与标高符合设计标准。在道路施工中，需定期对路基、路面的高程与坡度进行复核，避免因施工误差导致路面平整度不达标，影响行车舒适性。

#### 1.2.2 动态监测：防控施工安全风险

市政工程施工环境复杂，尤其是在城市中心区域，常面临周边建筑物密集、地下管线繁多的情况，施工过程中的沉降、位移可能引发安全事故。工程测量通过布设监测点，对施工区域及周边环境进行动态监测：例如，在地铁基坑施工中，测量人员使用自动化监测设备（如 GNSS 连续监测站、倾角传感器），实时采集基坑边坡的位移数据与周边建筑物的沉降数据，当监测值接近预警阈值时，及时发出警报，协助施工单位调整施工方案，避免基坑坍塌或建筑物开裂。

#### 1.2.3 工序衔接测量：确保工程连贯推进

市政工程各工序（如路基施工→路面铺设→交通设施安装）之间的衔接依赖精准的测量数据。例如，在给排水管道施工中，管道接口的高程与平面位置需通过水准仪与全站仪复核，确保管道坡度符合排水要求，避免接口渗漏；在道路附属设施（如路灯、交通信号灯）安装中，需根据道路中线与高程数据确定设施位置，保证其布局整齐、功能正常。

### 1.3 竣工验收阶段：验证工程质量达标

竣工验收是市政工程交付使用前的最后环节，工程测量的核心任务是对工程实体质量进行检测，验证其是否符合设计规范与验收标准，主要包括：

#### 1.3.1 实体尺寸与位置检测

测量人员通过全站仪、激光测距仪等设备，对市政工程的关键参数进行检测：例如，道路工程需检测路面宽度、中线偏差、高程误差、平整度；桥梁工程需检测桥梁跨度、梁体高程、支座位置；地下管线工程需检测管线埋深、轴线偏差。检测数据需与设计值对比，若误差在规范允许范围内（如道路中线偏差 $\leq 15\text{mm}$ ），则判定工程合格；若误差超标，需要求施工单位整改。

#### 1.3.2 竣工测绘与档案编制

竣工验收后，测量人员需绘制竣工图，完整记录工程的实际建设情况，包括建筑物位置、地下管线走向、道路高程等，为工程后续的运营维护提供档案支持。例如，城市地下管线的竣工图需标注管线的实际埋深与连接关系，当后期进行道路改造或管线维修时，可通过竣工档案快速定位管线位置，减少施工对城市正常运行的影响。

### 2 工程测量在市政工程中的技术创新与发展趋势

随着信息技术与测绘技术的融合，工程测量在市政工程中的应用不断升级，智能化、数字化成为主要发展趋势，具体体现在以下方面：

#### 2.1 智能化测量设备的普及

传统工程测量依赖人工操作，效率低且易受人为因素影响。近年来，智能化测量设备（如无人全站仪、全自动水准仪、三维激光扫描仪）逐渐普及：无人全站仪可通过远程控制自动完成放样、数据采集，减少人工干预；三维激光扫描仪能快速获取建筑物的三维点云数据，生成高精度三维模型，适用于复杂市政结构（如异形桥梁、地下隧道）的测量与检测。例如，在城市立交桥竣工验收中，通过三维激光扫描可在短时间内获取桥梁的外形尺寸、表面平整度数据，相比传统测量效率提升 50% 以上。

#### 2.2 BIM 与工程测量的深度融合

BIM（建筑信息模型）技术作为市政工程数字化管理的核心工具，与工程测量的融合实现了“数据驱动设计与施工”。测量人员将地形数据、施工放样数据、监测数据导入 BIM 模型，形成动态更新的三维信息平台：在规划阶段，通过 BIM 模型可直观展示工程与周边环境的关系，优化设计方案；在施工阶段，通过 BIM 模型与现场测量数据的对比，可实时发现施工偏差，及时调整施工方案；在运营阶段，基于 BIM 模型的测量数据可支撑设施维护决策（如道路养护、管线维修）。

#### 2.3 大数据与物联网技术的应用

市政工程测量产生的海量数据（如地形数据、监测数据）通过物联网技术实时传输至云端平台，结合大数据分析技术可实现工程质量与安全的智能化管控。例如，在城市道路养护中，通过布设路面状况监测传感器，实时采集路面高程、平整度数据，大数据平台对数据进行分析，判断路面损坏程度，自动生成养护方案，提高养护效率与精准度；在地下管线监测中，通过物联网设备实时采集管线压力、流量数据，结合测量数据可预警管线泄漏风险，保障管线安全运行。

### 3 工程测量在市政工程应用中面临的挑战与对策

尽管工程测量技术在市政工程中取得了显著应用成效，但仍面临一些挑战，需针对性提出对策：

#### 3.1 挑战

##### 3.1.1 复杂环境下的测量精度难题

在城市核心区域，密集矗立的超高层建筑群形成了天

然的“信号屏障”。这些鳞次栉比的楼宇不仅会对 GNSS 卫星信号造成直接遮挡，导致信号传播路径受阻、衰减严重，同时，区域内密集的通信基站、高压电网、电子设备等产生的高强度电磁干扰，会进一步扰乱卫星信号的稳定性，极易引发信号失锁或跳变，最终导致测量数据出现显著偏差，难以满足高精度测绘作业的严苛要求。而在地下隧道、综合管廊等完全封闭的特殊场景中，卫星信号更是无法穿透厚重的混凝土或岩层结构，形成彻底的“信号盲区”。传统的全站仪、水准仪等测量手段，受限于封闭空间内复杂的环境干扰、通视条件差以及测量范围有限等问题，不仅作业效率低下，其测量结果的精度也难以达到现代工程建设，尤其是地下精准施工与运维管理的高标准需求。

### 3.1.2 测量数据与工程管理的协同不足

在部分市政工程项目里，测量数据与设计、施工、监理等关键环节数据相互割裂，未能形成有效联动，导致数据利用率大幅降低，无法为工程管理提供及时、精准的实时支撑。同时，测量人员与工程管理人员之间缺乏高效沟通，信息传递存在偏差或滞后，进一步使得宝贵的测量数据难以充分发挥其在决策与管控中的核心作用。

### 3.1.3 专业人才短缺

在当前市政工程测量领域，BIM 建模、三维激光扫描等智能化测量技术正逐步取代传统手段，但其对测量人员的专业素养提出了远超以往的复合型要求。从业者不仅要精通传统的测绘原理与实操技能，还需熟练掌握信息技术，能完成数据建模、软件运维与数字化分析，同时具备工程管理思维，理解项目全周期流程，确保测量数据与施工、运维环节深度适配。然而，当前行业内，同时兼具测绘、信息、工程管理等多领域知识的综合型专业人才严重短缺。多数人员或擅长传统测绘但缺乏数字化技术能力，或熟悉信息技术但对工程现场测量实操陌生，这种人才结构的短板，直接导致智能化测量技术难以大规模落地推广，极大制约了其在提升工程效率与精度上的价值发挥。

## 3.2 对策

### 3.2.1 优化测量技术方案

针对复杂环境，采用多技术融合的测量方案：在高空密集区域，结合 GNSSRTK 与全站仪三角高程测量，弥补卫星信号不足的问题；在地下空间，采用惯性测量与激光扫描结合的技术，确保测量精度。例如，在城市地下管廊施工中，通过惯性导航系统与激光扫描技术的结合，实现管廊轴线的精准测量，精度可达  $\pm 3\text{mm}$ 。

### 3.2.2 建立一体化数据管理平台

为破解市政工程各环节数据割裂的痛点，需构建一套覆盖“测量采集-设计建模-施工执行-竣工验收”全流程的一体化数据管理平台。该平台以数据互联互通为核心，打破传统信息壁垒，不仅能实现测量数据的实时上传、存储与共享，更能支持各参与方基于统一数据底座开展协同应

用，让数据贯穿工程全生命周期，为管理决策提供动态、精准的数据支撑，以 BIM 技术为核心搭建的市政工程专属数据平台便是典型实践。测量人员通过智能化设备获取现场数据后，可即时上传至平台并与 BIM 模型关联，形成可视化的动态数据模型。设计人员能依据最新测量数据优化设计方案，避免图纸与现场脱节；施工人员可实时调取数据指导现场作业，精准把控施工进度；监理人员则能通过平台追溯数据源头，高效开展质量核查。各方依托平台实现数据实时同步与协同作业，大幅减少信息传递耗时与偏差，显著提升工程整体管理效率与管控精度。

### 3.2.3 加强人才培养与技术培训

高校需主动优化测绘工程专业课程体系，打破传统教学局限，增设 BIM 技术、大数据分析、物联网应用等前沿课程，从源头定向培养兼具测绘与信息技术的复合型人才，施工企业应建立常态化培训机制，定期组织测量人员参与智能化测量设备操作、新技术应用等专项培训，快速提升其实操能力，助力工程测量技术在市政工程中高效普及。

## 4 结语

工程测量作为市政工程建设的核心技术支撑，贯穿于项目全生命周期，其精度与效率直接影响工程质量、安全与成本。从规划设计阶段的地形测绘到施工阶段的精准放样，再到竣工验收阶段的质量检测，工程测量为市政工程的顺利推进提供了可靠的数据保障。随着智能化、数字化技术的发展，工程测量在市政工程中的应用将迎来新的机遇：一方面，智能化测量设备与 BIM、大数据技术的融合将进一步提升测量效率与精度，实现工程建设的精细化管控；另一方面，测量数据与工程管理的深度协同将推动市政工程向“数字化、智能化”转型，为新型城镇化建设提供有力支撑。未来，需进一步加强工程测量技术创新，解决复杂环境下的测量难题，培养复合型专业人才，推动工程测量在市政工程中发挥更大作用，为建设“安全、高效、智能”的现代化城市贡献力量。

### 【参考文献】

- [1]李天军.工程测量在市政工程建设中的保障作用和作业方法[J].工程管理,2024(9):58-61.
- [2]赵起祥.工程测量技术在市政地下管网建设中的应用研究[J].科技与创新,2025(3):227-229.
- [3]王小东.市政工程常用测量技术及控制措施研究[J].中国地名,2024(8):28-30.
- [4]段廷峰,孙建,巴海峰.测绘新技术在市政工程测量中的运用探讨[J].UrbanArchitecture&Development,2024,5(10):1-3.
- [5]管贞晓.探讨基于绿色理念的市政公用基础设施施工技术[C].第三届:工程技术管理与数字化转型学术交流论文集,2024.

作者简介：王增援（1970.10—），男，学历：大专，毕业院校：重庆大学，所学专业：建设工程管理，目前职称：助理工程师。

# 基于智能化的机械设备电气自动化技术应用研究

张志敏

重庆机电控股集团机电工程技术有限公司, 重庆 400000

[摘要]随着工业 4.0 推进,智能化与机械设备电气自动化加速融合。本篇文章分析了 PLC 智能化升级、传感器数据融合等核心技术,探讨了在制造业生产线和冶金重型设备等场景的应用。2024 年行业数据显示,智能化改造后设备故障率平均下降 32.5%,生产效率提升 28%。研究还指出技术融合与绿色节能是未来重点方向。研究表明,智能化显著提升了设备稳定性和智能化水平,对推动工业高质量发展具有重要意义。

[关键词]智能化; 机械设备; 电气自动化技术; 应用策略

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17571

中图分类号: TM74

文献标识码: A

## Research on the Application of Intelligent Mechanical Equipment Electrical Automation Technology

ZHANG Zhimin

Electromechanical Engineering Technology Co., Ltd. of Chongqing Machinery & Electronics Holding Group, Chongqing, 400000, China

**Abstract:** With the advancement of Industry 4.0, the integration of intelligence and electrical automation of mechanical equipment is accelerating. This article analyzes core technologies such as PLC intelligent upgrading and sensor data fusion, and explores their applications in manufacturing production lines and metallurgical heavy equipment scenarios. Industry data in 2024 shows that after intelligent transformation, the average equipment failure rate has decreased by 32.5%, and production efficiency has increased by 28%. The study also pointed out that technology integration and green energy conservation are key directions for the future. Research has shown that intelligence significantly improves device stability and intelligence level, which is of great significance for promoting high-quality industrial development.

**Keywords:** intelligence; mechanical equipment; electrical automation technology; application strategy

### 引言

在智能制造背景环境下,传统机械设备电气自动化技术面临着精度存在不足、响应出现滞后等一系列问题,以至于难以满足现代工业对于高效精准和柔性生产方面的需求。智能化技术凭借着在数据处理、自主决策等方面所具备优势,为电气自动化技术升级提供了一条全新路径。当前阶段,全球工业领域在智能化改造方面投入呈现年均增长 15% 态势,我国身为制造业大国,极其需要推动智能化与机械设备电气自动化实现深度融合,从而突破生产瓶颈,提升产业竞争力。因此,深入研究该技术应用,对于促进工业生产模式变革实现产业转型升级具有重要现实意义。

## 1 智能化在机械设备电气自动化中的核心技术支撑

### 1.1 PLC 智能化升级技术

可编程逻辑控制器(PLC)作为电气自动化系统中核心控制单元,其开展智能化升级工作正极大程度提升设备控制效率和自适应能力。通过把人工智能算法嵌入其中,PLC 能够基于历史数据和实时数据来开展自主学习设备运行规律工作,进而动态优化控制参数。以电机调速控制为例,传统 PLC 依靠固定参数,调速精度约为 $\pm 2\%$ ,而

智能 PLC 能够依据负载变化、温度波动等条件马上实时调节输出频率,将控制精度提高至 $\pm 0.5\%$ 以内,这样既提高了生产效率,同时还降低了能源消耗<sup>[1]</sup>。

凭借物联网(IoT)技术,智能 PLC 可以接入云端平台,实现设备状态远程监控数据分析和协同控制。运行数据马上实时上传至云系统,结合故障预测模型,能够在异常发生之前向工作人员发送预警信息。运维人员通过电脑或者移动终端就可以查看设备状态、调整参数乃至完成部分调试任务,极大程度减少了现场巡检频次和人力成本,推动自动化系统朝着“无人化值守智能化运维”方向发展。

### 1.2 传感器与数据融合技术

传感器作为电气自动化系统中用于感知环境和设备状态的关键部件,其智能化发展正推动检测能力朝着高精度多参数高可靠方向迈进。当前,温度振动、噪声、电流、电压等多种类型传感器能够实现对设备运行状态同步采集,构建起多维度、实时化的数据感知网络。借助数据融合算法,系统能够对多源异构数据进行筛选校正和整合,有效剔除噪声和干扰信息,显著提升数据准确性和可用性,为智能决策提供高质量输入。

以电机调速控制为例,通过对振动温度和电机电流等多传感器数据融合分析,系统能够精准识别轴承早期磨损

特征。相较于传统单信号检测方式，能够提前 300 小时以上发出故障预警，准确率提升超过 30%。这使维护人员能够有计划安排检修，避免因突发轴承失效导致非计划停机和生产中断，既提升了设备可靠性，同时还降低了运维成本，多传感器数据融合已然成为预测性维护和智能化运维不可或缺的技术基础。

### 1.3 人工智能故障诊断技术

人工智能技术给电气自动化设备故障诊断带来了根本性变革，彻底改变了传统依靠人工经验与规则判断诊断模式，基于机器学习故障诊断模型，能够利用大量历史故障数据进行训练，从中提取电压电流振动温度等多维信号中故障特征，并且建立其与故障类型（轴承损坏绝缘老化、电路短路等）之间精准映射关系。当设备出现异常时，模型能够实时比对运行数据与故障特征库，实现毫秒级诊断，准确率超过 95%，远远超过传统阈值报警方式，极大程度提升了故障识别效率和可靠性<sup>[2]</sup>。

更进一步，基于深度学习预测性维护模型能够捕捉设备运行中微弱异常征兆，实现故障早期预测和健康状态评估。在压缩机电气系统中，模型能够通过分析电流信号、高频谐波成分和微小波动，识别出绕组绝缘退化或者匝间短路等潜在故障，提前数百小时发出预警，让维护人员能够有计划介入维修，避免突发停机和严重损坏。这种“预测-干预”一体智能运维模式，显著降低了故障维修成本和生产中断风险，推动电气自动化系统朝着更安全、经济、可靠的方向发展。

## 2 基于智能化的机械设备电气自动化技术实际应用场景

### 2.1 制造业生产线自动化应用情况

在汽车、电子等这类具备高度复杂性的现代制造业生产环境中，智能化电气自动化技术已然成为达成全流程无人化生产核心推动力量。整个生产线借助部署数量众多高精度传感器，对物料定位、设备运行状态、环境参数和质量检测数据展开实时采集工作。通过高速工业网络把这些数据汇聚至中央控制系统，可编程逻辑控制器（PLC）作为关键智能化控制单元。针对数据进行以毫秒级为单位处理和逻辑判断，进而精确协调机械臂伺服电机、传送带、AGV 小车等执行机构展开协同作业，从而形成具备高度灵活性和自适应性生产节拍的生产系统。

以汽车零部件智能生产线为例，当全面引入该项技术之后，其综合效能得到了显著提升。在精度方面，基于视觉定位与伺服纠偏系统，零部件装配精度能够稳定控制在 0.01mm 以内，极大程度上提高了总组件匹配质量和一致性。在生产节拍方面，通过对设备启停逻辑和并行作业调度进行优化，单件产品生产时间缩短了 15s，达成了更为高效的生产流转。在产能方面，日产量从原本 800 件稳步提升至 1050 件，增幅超过 30%，有效满足了市场需求快

速增长的状况。在质量层面，依靠在线检测与实时反馈控制，产品合格率由 97% 提升至 99.8%，大幅度降低了废品率和返工成本。该案例表明，智能化电气自动化技术不单单是无人化生产基础，更是制造业在提质增效降本方面关键赋能手段<sup>[3]</sup>。

### 2.2 冶金行业重型设备应用情况

冶金行业中轧机高炉、转炉等重型设备长期处于高温、高湿且多粉尘存在强电磁干扰复杂工业环境中运行，这就对电气自动化系统稳定性、可靠性和抗干扰能力提出了极高要求。智能化电气自动化技术深入运用，显著提高了设备在恶劣条件下适应能力和运行效率。

以轧机设备为例，其智能化电气系统通过布设在轧辊、轴承电机等关键部位多类传感器，针对轧制力、板材温度、轧辊振动和转速等多维度数据进行实时采集。这些数据经由边缘计算单元和 PLC 系统进行高速处理与分析，借助预设智能算法模型（PID 控制自适应模糊控制）动态调整轧辊压力转速和冷却水流量，从而实现轧制过程精准闭环控制。该系统不但能够有效抑制因参数波动致使板材厚度不均、表面裂纹等质量问题，还能够依据来料特性自动优化轧制策略，提升生产灵活性和材料利用率。

实际应用表明，在引入该智能化系统之后，冶金企业收获了显著效益：产品因尺寸超差性能不均等导致不良率下降了 25%，有效提升了高附加值产品合格率；同时，设备故障预警与健康管理系统完善，使计划外停机大幅度减少，连续稳定运行时间从原来平均 500h/周期延长至 720h/周期，既保障了生产连续性，也降低了维护成本，这充分体现了智能化技术对冶金这一传统重工业在提质增效转型升级方面的核心支撑作用。

### 2.3 新能源领域设备应用情况

在风电光伏等新能源发电领域，智能化电气自动化技术保障能源高效转换、安全运行和稳定并网核心支撑要素。这些新能源设备常常处于环境多变、工况复杂的野外场景，其发电性能与电网接入质量高度依赖于智能化系统的精准感知和快速响应。以智能化风电机组为例，其控制系统通过安装在机舱叶片、塔筒等处多种传感器，实时采集风速、风向、温度、振动等数据。主控系统依据这些数据，通过先进控制算法（比如最大功率点跟踪 MPPT）动态调整机舱偏航角度和叶片桨距角，使风机始终处于最佳迎风状态，进而显著提升风能捕获效率。实践表明，该项技术能够使单机风能利用率提升 12% 以上，有效提高了发电效益<sup>[4]</sup>。

在电能输出环节，智能化变流器与并网控制系统发挥着至关重要的作用，它们能够实时监测并网点电压频率和谐波含量。通过有功/无功调节谐波抑制等策略，主动平滑功率波动，改善输出电能质量，确保其严格符合电网接入标准，减少对电网谐波污染和冲击。大型风电场在全

面引入智能化电气自动化系统后,实现了运行效益显著提升:年发电量增加 800 万 kWh,相当于节约标准煤约 2600t;同时,依托于状态监测与预测性维护功能,设备故障率大幅下降,运维成本降低了 18%,充分体现了智能化技术在新一代新能源电站中不可或缺的价值。

### 3 基于智能化的机械设备电气自动化技术发展趋势与优化方向

#### 3.1 技术深度融合趋势

在未来发展进程中,伴随人工智能、物联网和先进通信技术持续不断向前推进,电气自动化将会与智能化技术达成更深层次融合,进而逐步构建起高度协同的“感知-决策-执行-反馈”闭环控制系统。在这样一个体系中,智能传感器会实时采集设备运行过程中所产生数据,借助边缘计算和云计算平台来开展高效处理与分析工作,最终通过可编程逻辑控制器(PLC)等执行机构达成精准控制。5G 技术大规模商用会极大程度提升工业现场数据传输能力,其具备的低延时、高可靠特性,可使关键指令远程下发的延迟缩短至毫秒级别,从而对实时性要求极高工业应用场景提供支持。同时,数字孪生技术广泛运用使物理设备能够在虚拟空间中构建高精度动态模型,通过多物理场仿真模拟不同工况下运行状态,为设备参数优化故障预测和系统维护提供有力支撑。以大型化工生产系统为例,可以基于实际产线构建对应数字孪生模型,在虚拟环境中模拟反应釜内温度与压力变化过程,提前发现潜在运行风险并且优化控制策略,显著提高生产安全性和运行效率。这种深度融合不但推动电气自动化系统朝着智能化、自适应方向发展,还为工业互联网实现奠定了坚实基础<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 绿色低碳发展方向

在“双碳”战略目标政策引导和市场驱动双重作用下,电气自动化技术正朝着高效、低碳和可持续方向加速迈进,绿色节能已然成为行业创新核心议题。智能化技术通过精细化能源管理与控制策略,显著提高用电设备能效水平。尤其是,在工业领域广泛选用水泵、风机等通用机械中,传统恒定转速运行方式在能源浪费方面较为严重。而引入智能变频控制系统之后,能够依据实际负荷需求动态调整电机转速,达成电能与负载最佳匹配,此类技术通常能够带来 20%~30% 能耗下降。除此以外,基于物联网和大数据分析智能化能源管理系统正在普遍推广,该系统能够对企业内各类用电设备进行实时监测和能效评估,精准识别高能耗环节,并且自动生成优化运行方案或者调度策略。据行业预测而言到 2026 年,智能节能技术在工业领域应用比例将会突破 60%,每年能够减少约 500 万 t 二氧化碳

排放,不但为企业降低运营成本,也为国家实现碳达峰碳中和目标提供关键技术支撑。

#### 3.3 安全防护升级方向

随着电气自动化设备智能化网络化水平持续不断提升,系统所面临的安全威胁也日益复杂起来,其中囊括网络攻击数据泄露设备故障等多重风险,所以安全防护技术升级已经成为行业发展的必然要求,在网络安全层面,需要强化对工业控制系统全方位保护,借助端到端加密传输、多层次访问控制、入侵检测和身份认证等关键技术,有效抵御外部黑客攻击和未授权访问,确保控制指令与数据交换保密性和完整性。在设备物理安全方面,智能安全监测装置应用日益广泛,红外热成像传感器能够对开关柜、变压器等关键电气设备进行非接触式温度监测,及时发现过热隐患,防范因绝缘老化、接触不良等引发短路或火灾事故,同时,振动监测局部放电检测等技术在故障诊断方面也发挥着重要作用<sup>[6]</sup>。

### 4 结语

本文研究了智能化技术在机械设备电气自动化中的应用,强调了 PLC 智能化升级与传感器数据融合等核心技术支撑作用,分析了其在制造业冶金及新能源等领域实践效果,验证了其在提升效率与降低故障方面的显著优势。研究指出,技术深度融合绿色节能与安全防护是未来主要发展方向。未来需持续推动技术创新与应用突破,解决融合难点,进一步发挥智能化赋能作用,为工业高质量发展提供支撑,并建议围绕成本控制与跨行业适配展开深入研究,促进技术更广泛普及。

#### [参考文献]

- [1]郑孝明,崔猛,马传杰.基于智能化的机械设备电气自动化技术应用研究[J].城市建设,2025(13):51-53.
  - [2]韩效成.基于智能化的机械设备电气自动化技术应用研究[J].冶金设备管理与维修,2025,43(3):73-75.
  - [3]赵飞.可持续发展视角下智能化机械设备和电气自动化技术的创新与应用[J].造纸装备及材料,2024,53(2):61-63.
  - [4]李伟.基于智能化的机械设备电气自动化技术[J].装备维修技术,2023(6):94-96.
  - [5]孙灵修.智能化机械设备电气自动化技术分析[J].电子测试,2022,36(14):123-125.
  - [6]陈丽.智能化机械设备电气自动化技术应用研究[J].河北农机,2021(8):124-125.
- 作者简介:张志敏(1986.12—),男,重庆大学,机械设计制造及其自动化,重庆机电控股集团机电工程有限公司,安质中心副总监,高级工程师。

# 强电磁干扰环境下红外成像设备的抗干扰技术

王东方

中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471023

[摘要]伴随红外成像技术于军事侦察、航空航天、智能监控、工业检测等众多领域的普遍运用,该技术在复杂环境中的可靠性与稳定性备受重视。强电磁干扰环境可影响红外成像设备的信号采集、图像传输与处理系统,引发图像噪声增多、信号畸变乃至设备功能丧失。基于红外成像设备抗干扰的需求,对电磁干扰的类别与作用机制展开剖析,全面归纳硬件防护、信号处理和算法优化等抗干扰手段。借助优化器件布局、屏蔽与接地规划、滤波线路以及图像信号处理策略,能大幅提升强电磁干扰环境里红外成像设备的成像品质与稳定性,为红外成像设备于复杂环境中的稳定运用。

[关键词]红外成像;强电磁干扰;抗干扰技术;信号处理;图像稳定性

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17594

中图分类号: TP206

文献标识码: A

## Anti-interference Technology for Infrared Imaging Equipment in Strong Electromagnetic Interference Environment

WANG Dongfang

China Aviation Industry Group Luoyang Electronic Optic Equipment Research Institute, Luoyang, He'nan, 471023, China

**Abstract:** With the widespread application of infrared imaging technology in various fields such as military reconnaissance, aerospace, intelligent monitoring, and industrial inspection, the reliability and stability of this technology in complex environments have been highly valued. Strong electromagnetic interference environments can affect the signal acquisition, image transmission, and processing systems of infrared imaging equipment, leading to increased image noise, signal distortion, and even loss of equipment functionality. Based on the anti-interference requirements of infrared imaging equipment, this paper analyzes the categories and mechanisms of electromagnetic interference, comprehensively summarizes anti-interference methods such as hardware protection, signal processing, and algorithm optimization. By optimizing device layout, shielding and grounding planning, filtering circuits, and image signal processing strategies, the imaging quality and stability of infrared imaging equipment in strong electromagnetic interference environments can be greatly improved, providing stable application of infrared imaging equipment in complex environments.

**Keywords:** infrared imaging; strong electromagnetic interference; anti-interference technology; signal processing; image stability

### 引言

红外成像凭借全天时、非接触、高灵敏特性,在军事、航空、安防及工业自动化等范畴被普遍运用。然而,实际应用期间,红外成像装置常需于复杂状况下运行,尤其是有着强电磁干扰的环境,如雷达发射区域、高功率通信设施周边以及工业电磁噪声环境。电磁干扰或许会干扰红外探测器、模拟信号放大器、数字图像处理模块等关键部件,最终影响到图像品质与设备功能的稳定程度。以往红外成像系统设计着重针对热噪声、光学误差等情况,然而在强电磁干扰环境下保障成像效果的技术尚不完善。本研究融合电磁兼容学说、红外成像机制与信号处理手段,探究强电磁干扰场景下增强红外成像装置抗干扰性能的技术途径,为红外设备在复杂作战和工业场景中的稳定运用提供理论支撑与实践举措。

### 1 强电磁干扰对红外成像设备的影响机制

#### 1.1 干扰信号对红外探测器输出的影响

当面临强电磁干扰环境,红外成像设备受影响最直接的部位里,有红外探测器输入端。电磁信号如射频干扰、

脉冲干扰和宽带噪声等,能通过空间辐射、导体耦合或者接地回路耦合等形式进入探测器系统,使探测器工作时的电压与电流特性产生变化。此类干扰一般呈现为探测器输出信号产生瞬时起伏或长期偏移,造成图像亮度失常、局部出现斑点噪声增多或信号不均衡。尤其在低强度信号或微弱红外辐射情形下,干扰信号幅值或与有效探测信号相近,导致图像信号受严重干扰,频谱上不同类型干扰的分布特性会对探测器输出所受干扰模式产生作用。例如,周期性亮度闪烁或由窄带射频干扰引发,脉冲干扰可让图像出现随机性的噪点或者条纹<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 模拟信号放大与模数转换环节的抗干扰问题

在电磁干扰环境中,红外成像装置的模拟信号放大与数字转换阶段十分敏感。放大微弱红外信号过程中,或会将耦合进来的干扰信号一同放大,造成输出信号出现非线性畸变或幅值饱和。信号达到饱和状态会致使灰度信息出现缺失,对图像整体亮度和局部细节的呈现效果产生干扰。当开展模数转换工作时,干扰信号或许会造成量化误差与采样偏移,使图像灰度精度下降,造成细微温差难以辨别。

此外,不同频率段的干扰信号或许会在放大器与ADC输入端引发谐波和高频噪音,进而加大图像背景的噪声水平。放大和转换电路的布局、屏蔽以及滤波能力与抑制干扰高度相关,过长信号线或平行敷设线路易引发天线效应,从而使外部射频干扰侵入电路。为应对这些难题,可运用差分信号构造、低噪音运算放大器、防饱和构造以及前端滤波等手段,同时配合屏蔽层与接地的优化处理,降低外界干扰对信号幅度和线性造成的影响。

### 1.3 数字图像传输与处理环节的干扰效应

在红外成像装置里,电磁干扰的敏感部分还有数字图像的传输与处理模块。强电磁场或致数字逻辑电路出现误操作、数据缺失或处理偏差,从而对最终图像的显示和存储的可靠程度造成影响。例如,干扰信号会引发FIFO缓存数据错乱、图像帧缺失或像素信息出错,进而引发图像条纹、局部变形或图像滞后。数字模块的抗干扰性能,既取决于芯片自身的抗干扰能力,又和PCB线路布局、信号完整性规划、屏蔽层设置及电源管控紧密相连。不恰当的布线与接地方案有放大共模干扰的可能,致使微弱噪声对数字信号的采样和处理产生影响,高速数据传输链路中。宽带噪声与瞬态脉冲干扰极易导致数据传输出错,让系统帧率的稳定性和图像的精度降低。为减少这些难题,数字图像处理阶段可融合硬件滤波、差分信号传输、稳压电源以及屏蔽技术,同时于软件里添加错误探测与修正机制,如冗余编码、帧校验和噪声抑制算法。联合运用软硬件抗干扰手段,能大幅增强红外成像设备在复杂电磁环境中的可靠性与精准度,保障图像传输、处理及显示的稳定,为工业、科研、军事等领域应用筑牢根基<sup>[2]</sup>。

## 2 红外成像设备的硬件抗干扰技术

### 2.1 器件布局与屏蔽设计

在红外成像装置的硬件抗干扰规划里,器件布局和屏蔽设计是关键的起始部分。器件布局合理可有效降低干扰信号的耦合与传导现象。需使敏感信号处理单元与干扰源分隔程度最大化,调整信号线的走向布局,防止平行布线以及长距离信号线间的相互干扰。此外,给关键器件和模块周边添设金属屏蔽罩,可构建电磁屏蔽结构,阻止外界射频干扰直接影响到信号处理线路。另一关键举措是分区隔离,把电源模块、信号处理模块和控制模块做物理上的分隔,以规避模块间干扰耦合。屏蔽设计应关注接地与通风事宜,保障散热良好并维持屏蔽效能。采用恰当布置与屏蔽构思,可在硬件环节为红外成像系统打造首道防护壁垒,增强设备在复杂电磁环境里的抗干扰性,为后续软件处理和算法优化打造稳定根基<sup>[3]</sup>。

### 2.2 接地设计与滤波电路

接地设计和滤波电路构成硬件抗干扰技术的必要部分。接地方式的选定对电路干扰抑制效果存在直接影响。针对红外成像装置,可依据不同模块的电流特性与干扰源

特征采用多点接地和单点接地策略,结合不同模块的干扰源特征与电流特性做组合优化。采用多点接地方式能够削减高频干扰产生的共模电压,单点接地可让环路电流干扰降低,滤波电路和接地设计配套同样关键,常用的电源滤波装置、信号滤波装置以及旁路电容可有效抑制经电源线和信号线传入的干扰信号。对于电源部分,需构建具备抗干扰功能的电源体系,涵盖电压稳定、隔离以及纹波管控手段,保障核心器件供电稳定。综合运用接地设计与滤波电路,红外成像设备能极大降低电磁干扰在信号传输及处理过程中的影响,让图像采集稳定精确,为系统的稳定运转提供支撑。

### 2.3 抗射频干扰与过压保护

当面临高强度的电磁干扰环境,红外成像设备的核心器件可能被射频干扰与高频脉冲损害。因此,硬件设计应运用低噪声放大器、差分信号传输以及屏蔽电缆等举措,提升系统抵御射频干扰的能力。低噪声放大器可于微弱信号环境下维持高信噪比,削减外界干扰对图像质量造成的效应。差分信号传输借助双线差分输入和输出消除共模干扰,切实降低外部射频信号对数据传输造成的干扰,屏蔽电缆可防止高频干扰信号直接耦合到信号线上去。针对高频脉冲干扰或是过电压情形,可于关键节点添加限幅电路、瞬态抑制元件与稳压保护元件,以防核心器件遭受过电压冲击毁坏。借助全面且多维度的硬件抗干扰手段,辅以物理隔离、屏蔽、滤波与稳压防护,红外成像系统可于复杂电磁环境中维持高度稳定与可靠,给图像采集及处理提供坚实的硬件保障<sup>[4]</sup>。

## 3 信号处理与算法优化的抗干扰策略

### 3.1 图像信号预处理

针对红外成像设备实施抗干扰设计时,图像信号预处理是软件范畴最根本、最直接的抗干扰举措。信号预加工涵盖自适应滤波、中值滤波以及噪声抑制等手段。自适应滤波能按照图像局部区域特性对滤波系数加以调整,对干扰噪声实施选择性抑制,还能最大限度留存边缘与细节,提升图像的清晰度。中值滤波借助对像素周围区域的中值运算,能高效消除脉冲噪声与孤立干扰点,尤其适合高频瞬时干扰。噪声抑制算法一般融合空间域和频域的分析,能针对不同干扰类型做优化,在减少图像噪点的同时维持灰度对比度。借助这些前期处理手段,即便输入信号受到电磁干扰,红外成像系统,仍能输出稳定且可识别的图像,给后续处理分析奠定可靠根基。此外,预处理可实时操作,维持图像传输和显示的连贯,特别是在军事侦察以及工业监测这类对时效性要求严苛的场景中意义显著。借助预处理算法与硬件滤波的协同效能,可有效提高红外成像设备在强电磁干扰环境下的整体抗干扰水平,为成像质量筑牢首道屏障<sup>[5]</sup>。

### 3.2 多帧图像融合技术

当遭遇瞬时干扰与间歇性的信号干扰时,多帧图像融

合技术呈现出出色的抗干扰本领。该技术运用对连续采集的多帧图像实施加权平均、像素融合与自适应融合的处理方式,能让偶发性干扰噪声平滑化,明显减小其在最终成像成果里的影响。加权平均法按照图像的噪声程度和帧间的差别,给每一帧像素赋予不一样的权值,达成高噪声区域的衰减处理。自适应融合将运动检测和区域特征分析相整合,对各帧权值做动态调节,达成对目标区域着重留存、干扰区域抑制的效果。此外,多帧融合可提升图像的信噪比,增强灰度层次的展现,增进细节辨别能力。此方法既能用于静态场景,还能拓展到动态目标的成像工作里。通过对帧间做运动补偿,实现对运动目标和干扰的辨别,融合多帧技术与预处理算法协同运用,可创建多维度抗干扰策略,让红外成像系统于复杂电磁环境下,既维持图像品质,保障设备操作连贯稳定,为实际应用给予坚实的技术保障。

### 3.3 频域分析与智能化处理

在当代红外成像体系里,频域剖析与智能算法被当作高级抗干扰手段,对处理复杂电磁环境下的干扰意义重大。采用频域分析方式,先把图像信号从时间域变换到频率范围,让干扰信号于频谱里展现出特定频率特性。通过对这些频率成分开展识别和分析工作,可针对性地构建频域滤波器,去除周期性的干扰、高频的噪声以及瞬间的异常信号,增强图像整体的清晰程度、对比效果和细节还原度。设计频域滤波器时,不只是依靠普通的低通、带通或者陷波滤波器,还能依据实际干扰信号的幅值、频率分布和变化特点做自适应调整,获取更具靶向性的干扰抑制功效。此方法处理重复性显著或规律清晰的干扰信号时极为有效,能大幅减轻图像噪声对探测与识别工作的干扰,增强红外成像系统工作的稳定性<sup>[6]</sup>。

智能算法在抗干扰操作中起到了核心作用。借助机器学习与模式识别手段,系统可对图像里的干扰特征开展分类与识别工作,达成动态自动化的干扰防控,基于历史干扰数据和实际采集样本,自行判定干扰的种类、强度以及分布特征。进而挑选最佳处理办法优化图像。智能算法不仅拥有自适应处理本领,还可借助迭代学习不断提高抗干扰的性能,让系统能应对因环境变化而产生的干扰特性变动。与传统固定滤波和手动调参手段相比,智能算法可迅速应对复杂多变的电磁干扰情况,增强图像处理的效率与精准度,降低人工干预对成像质量的作用。

借助硬件防护、图像信号预加工、多帧图像整合及频域与智能算法操作的综合运用,红外成像装置搭建起多层次、全维度的抗干扰架构。硬件防护保障基础环境稳固,经预处理与多帧融合,可削减瞬态及随机噪声,频域分析结合智能化算法达成有针对性、高精度的干扰控制。不同策略协同实施,让红外成像设备于强电磁干扰场景中,既能维持图像的稳定与清晰,又可增强系统整体可靠度与适应性。此综合抗干扰策略为军事侦察、工业检测、科研观测等多领域应用提供有力支撑,保障红外成像在复杂环境下可长时间稳定地进行高精度成像。

### 4 结语

本文对强电磁干扰在红外成像设备上产生影响的机制开展系统解析,给出硬件防护与信号处理协作的抗干扰方案。在硬件方面,借助优化器件布局、设计屏蔽与接地以及实施滤波限幅手段,能显著减少干扰耦合与信号失真。借助软件途径,借助图像前期处理、多帧融合处理以及智能算法的优化调整,能增强成像系统抗干扰能力。通过整合硬件及软件举措,红外成像装置在强电磁干扰场景中可维持图像品质与系统平稳性,支持其在军事、航空、安防以及工业等复杂情形里的可靠运用。未来研究可将人工智能与实时数据分析进一步融合,达成更为智能化和动态化的抗干扰技术,增强红外成像设备在恶劣环境中的自主适应与性能优化水平。

### [参考文献]

- [1]李艳霞.电子信息通信工程中的设备抗干扰思考[J].信息与电脑,2025,37(12):90-92.
  - [2]杨帅.多射频设备协同感知及抗干扰技术研究[D].安徽:中国科学技术大学,2024.
  - [3]白钰.电子通信设备中的抗干扰接地措施分析[J].电子技术,2024,53(6):44-46.
  - [4]张凤林,张闻朝.自适应抗干扰终端的测试技术及专用设备[J].北斗与空间信息应用技术,2024(2):1-6.
  - [5]陈秉试.电子通信工程中的设备抗干扰接地措施分析[J].集成电路应用,2023,40(8):226-227.
  - [6]张潇北,李一雯.基于抗干扰接地技术的通信工程设备远程重启研究[J].微型电脑应用,2023,39(1):136-139.
- 作者简介:王东方(1982.4—),男,本科,汉族,硕士,高级工程师。

## 过滤洗涤干燥机的设计与制造质量要点

辛丹丹

浙江亚光科技股份有限公司, 浙江 温州 325025

[摘要]过滤洗涤干燥机在化工、制药以及食品等领域属于极为关键的固液分离与干燥设备,其设计以及制造的质量会直接对生产效率、产品品质以及工艺安全性产生影响。文中选取三合一设备当作研究对象,全面且细致地剖析了其在设计以及制造进程当中的诸多关键质量要点,像过滤、洗涤、干燥系统的优化设计情况,密封以及安全设计方面的要求,还有自动化与智能化集成的具体实施策略等。与此参照材料选取、零部件加工、焊接以及表面处理、装配精度把控以及出厂检测等制造环节的控制手段,针对设备在运行维护期间的质量保障举措展开了较为详尽的探讨。经由合理的相关设计以及严格的制造控制举措,能够大幅度提升设备的性能以及使用寿命,从而给固液分离以及干燥工艺给予稳固可靠的技术支撑。

[关键词]过滤洗涤干燥机;设计质量;质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17592

中图分类号: TH16

文献标识码: A

### Design and Manufacturing Quality Points of Filter Washing and Drying Machine

XIN Dandan

Zhejiang Yaguang Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325025, China

**Abstract:** The filtration washing and drying machine is a crucial solid-liquid separation and drying equipment in the fields of chemical, pharmaceutical, and food industries. Its design and manufacturing quality directly affect production efficiency, product quality, and process safety. The article selects the three in one device as the research object and comprehensively and meticulously analyzes many key quality points in its design and manufacturing process, such as the optimization design of filtration, washing, and drying systems, requirements for sealing and safety design, as well as specific implementation strategies for automation and intelligent integration. A detailed discussion has been conducted on the quality assurance measures for equipment during operation and maintenance, based on the control methods of manufacturing processes such as material selection, component processing, welding and surface treatment, assembly accuracy control, and factory inspection. Through reasonable design and strict manufacturing control measures, the performance and service life of equipment can be significantly improved, providing stable and reliable technical support for solid-liquid separation and drying processes.

**Keywords:** filter washing dryer; design quality; quality control

### 引言

随着制药、化工以及食品工业持续向前发展,对于固液分离还有干燥设备所具备的性能方面的要求变得日益增高。这些问题使得传统设备很难契合现代生产当中对于效率、安全性以及产品质量方面的种种要求。三合一过滤洗涤干燥机把过滤、洗涤以及干燥这几种功能整合到了同一个密闭容器里面,从而达成了全自动化且能够连续进行生产的状态,如此一来,它一方面优化了工艺流程,另一方面也满足了 GMP 针对洁净生产所设定的标准要求。对它的设计与制造要点展开系统的分析,对于提高设备的整体可靠性以及生产效益而言,有着极为重要的意义。希望能够给相关领域带来一定的参考价值以及指导作用。

### 1 设备的工作原理、特点和功能

三合一设备的工作原理:三合一设备是在一个密闭容器中把结晶后的固液混合物利用滤饼前后的压力差的作用进行固液分离,并在同一设备完成过滤-清洗-再过滤-再清洗-过滤或压滤-干燥-自动出料,在全密闭状态的设备

内进行全自动化的生产模式,从根本上符合 GMP 的要求。本设备的特点:结构简单,多功能一体化自动控制操作,能够实现搅拌过滤、清洗过滤、脱液、干燥出料、在线 CIP 和 SIP 等五大功能。

### 2 设计质量要点

#### 2.1 过滤系统设计

过滤系统在过滤洗涤干燥机里属于极为关键的部分,其设计的好坏会直接影响到固液分离的效率以及设备运转的稳定性,在开展设计工作的时候,要全面考量滤饼的厚度、滤板的孔径、滤液的流速还有压力差控制等相关参数,以此来保障分离的过程既高效又能够连续进行。合理的安排滤板的布置情况以及精心设计滤液通道,如此便可以防止出现局部发生堵塞以及液体产生短流这样的现象,并且通过对压差加以优化以及对搅拌方式进行改良,进而促使滤饼能够形成得较为均匀,滤液也能够保持清澈的状态,从而减少物料方面的损失并且降低能耗。为了能够契合不同物料所具有的特性,设计就需要具备灵活调节的功

能,这其中包括能够对滤板的间距进行调节、对滤液出口予以控制以及对滤饼脱液装置做出优化,以便于能够满足高黏度、高悬浮固含量以及易结晶物料在分离方面的需求。

## 2.2 洗涤系统设计

洗涤系统在设计时,重点是要把固体残留的杂质彻底清除掉,还得防止滤饼破碎以及设备能耗增多。设计期间要全面考量洗涤液的流量、分配的具体方式、喷射的角度以及循环的次数,以此达成均匀且高效的洗涤成效。恰当的洗涤通道布局加上喷射系统,能够确保洗涤液能充分渗透到滤饼里,降低物料残留的情况,借助回收系统还能削减溶剂的消耗量。洗涤的操作得和过滤、干燥这些环节相互配合、联动起来,以免液体残留对后续的干燥效率产生影响,并且设计的时候要顾及 CIP/SIP 清洗的要求,实现在线清洗消毒的功能,提升设备维护的便利性以及卫生安全的程度。

## 2.3 干燥系统设计

干燥系统的相关设计务必要全面考量热传递的具体效率以及物料所具有的特性,如此方能保障滤饼可均匀地完成脱水操作,并且能够达成预先设定好的干燥程度。在整个设计进程当中,要精心挑选适宜的加热办法、恰当的加热介质以及合理的温度控制策略,与此同时还要对搅拌以及导热结构加以优化处理,借以避免出现局部过热或者物料发生焦化这类情况。干燥过程在设计的时候需要综合兼顾能耗方面的因素以及效率方面的情况,通过实现热量的均匀分布,物料与夹套蒸汽或导热油加热面能够充分接触,并在必要时辅以氮气保护,这样的方式能够降低干燥所花费的时间以及减少能源的消耗量。对于那些容易出现热敏现象或者容易产生结晶的物料而言,应当在干燥设计环节当中引入温度梯度控制的相关功能以及动态监测方面的功能,以此来确保产品的质量能够保持稳定的状态并且使设备可以安全地进行运行操作。

## 2.4 密封安全与自动化控制设计

在过滤洗涤干燥机设计期间,密封安全以及自动化控制属于极为关键的环节,其对于设备运行可靠性以及生产安全起到决定性作用。密封系统一方面决定了设备的气密性以及液密性,另一方面也对过滤、洗涤还有干燥过程的效率以及产品质量产生直接影响,所以在设计的时候要依据物料特性、压力范围以及温度条件来挑选高性能密封件,同时合理安排法兰、阀门以及密封接口,以此保证在长时间运行的过程中不会出现泄漏情况。与此自动化控制系统借助传感器、执行机构以及控制程序达成对搅拌速度、压力、温度以及液位等参数的实时监测与精准调节,确保生产过程始终处于可控且可追溯的状态,进而降低人为操作失误。高水平的密封设计与智能化控制相融合,不但提升了设备安全性以及操作便捷性,而且还契合 GMP 标准对于清洁生产以及全封闭工艺的严苛要求,从而为连续化、高效率的生产给予可靠保障。

## 3 制造质量要点

### 3.1 材料选择与耐腐蚀性要求

过滤洗涤干燥机在生产之时,材料选取乃是保证设备性能以及使用寿命的关键环节。此设备常常处于高湿度、强腐蚀或者高温的工作环境当中运行,所以材料得有很好的耐腐蚀性、耐热性还有机械强度。一般而言,像过滤篮、搅拌轴、滤板以及设备内壁等关键部位,应当选用不锈钢或者耐腐蚀合金材料,并且依据物料的具体性质来挑选恰当的表面处理办法,以防长时间接触化学溶剂或者酸碱介质而出现腐蚀或者污染的情况。材料的力学性能务必要能够满足设备运行时的承载方面的需求以及抗疲劳的要求,尤其在旋转或者振动的条件之下,要避免出现变形或者断裂的现象。严格细致的材料选型一方面能保障设备的安全,另一方面也为后续的焊接、加工以及装配工艺给予可靠的根基,进而确保设备的整体结构稳定并且工艺性能能够符合设计方面的规定要求。

### 3.2 零部件加工与工艺控制

零部件加工的质量状况,乃是设备制造水准极为重要的呈现形式,其会径直对装配精度以及运行可靠性产生影响,在加工进程当中,务必要对零件尺寸、几何精度还有表面粗糙度加以严格把控,以此来保证各个部件之间能够精密配合,实现顺畅运转,像滤板、搅拌轴以及密封件这类关键部件,应当运用高精度的数控加工设备去制造,要让加工精度能够契合设计公差,并且借助三坐标测量、表面粗糙度检测等严格的检验手段,来确保零件能够达成设计方面的要求,加工工艺得和材料特性相匹配,比如对于高强度不锈钢件而言,其切割、打磨以及热处理环节,必须对温度以及时间予以把控,防止出现残余应力过大的情况或者表面硬化不够均匀的情形,进而致使设备使用寿命受到影高质量的零部件加工,属于保障设备整体稳定性以及工艺性能的关键环节所在。

### 3.3 焊接与表面处理工艺

焊接工艺在过滤洗涤干燥机的制造流程当中属于极为关键的一个环节,其对于设备的密封性状况、结构强度水平以及耐腐蚀性能均会产生直接的影响作用。在焊接的具体操作过程之中,务必要对焊接所使用的材料、焊接工艺的各项参数以及焊缝的质量等方面予以严格的把控,从而切实有效地防止诸如气孔、裂纹或者焊缝出现渗漏等一系列的缺陷情况发生。焊缝完成之后,还需要经过打磨处理、抛光操作以及防腐处理等一系列工序,以便让其表面能够达到光滑且分布均匀的状态,进而完全符合 GMP 清洁生产的相关标准要求。就表面处理工艺而言,它包含了抛光处理、电解处理以及防腐涂层等多种不同的方式方法,而开展这些处理工艺工作的主要目的就在于要提升设备内壁的光洁程度,借此来防止物料在其上面随意附着,从而方便后续的清洗工作以及消毒作业的顺利实施。合理的焊接工艺以及恰当的表面处理手段,一方面能够确保设备

结构的稳固性以及长期运行时的可靠程度,另一方面也能够很大程度上有效降低设备后期维护方面的难度,进一步提高生产环节的安全保障水平以及操作管理的效率。

### 3.4 装配工艺与精度控制

装配工艺对设备的密封性、机械传动精度以及自动化功能的实现起着决定性作用,在装配的时候,得严格参照设计图纸和工艺规程来操作,要保证各个部件位置放得准、配合得严、运转得灵。像搅拌轴、滤板还有密封件这些关键部位的装配,可得经过一番精密调试才行,务必确保其旋转过程平稳顺畅,不出现阻滞或异常振动,并且绝不能有泄漏的情况出现。与此自动化控制系统以及传感器的安装也得做到精准定位,这样才能确保采集到的数据既准确又可靠。等装配全部完成之后,还得开展一系列系统性的检查工作,像气密性试验、液压压力测试以及电控调试等等,通过这些检查来确认设备的整体性能是否达到了设计所规定的标准。高精度的装配工艺,一方面会对设备的运行效率产生影响,另一方面还直接关系到生产过程中产品质量的稳定性以及安全性。

### 3.5 出厂检测与性能验证

出厂检测以及性能验证属于确保设备能够契合设计与生产方面相关要求的最终环节所在。每一台过滤洗涤干燥机在正式出厂之前,都应当开展较为全面的功能测试工作,这其中囊括了对过滤效率的测试、针对洗涤均匀性的检验、关于干燥度的测定、对自动化控制功能的检测以及对于安全保护装置可靠性方面的查验等等一系列内容<sup>[1]</sup>。在检测的整个过程当中,务必要运用标准化的测试手段,并且要将那些关键参数的数据都予以记录下来,如此一来便能够方便后续的追溯操作以及质量管理工作得以顺利开展。凭借性能验证这一举措,本文能够及时察觉到设备在制造进程当中所存在的各类问题,进而依据具体情况采取相应的调整措施或者实施返工处理,从而切实保证交付给用户使用的设备能够在性能层面保持稳定且可靠的状况。严格规范的出厂检测以及验证程序,实则是为设备实现长期的安全运行状态、维持正常的生产效率水平以及确保产品的良好质量提供了极为重要的保障条件。

## 4 使用与维护中的质量保障

### 4.1 运行过程的质量影响因素

在过滤洗涤干燥机实际运行期间,设备性能以及产品质量会受到诸多因素的综合影响。物料特性会对设备运行产生直接作用,像固液比、粒径分布、黏度以及溶剂性质等方面,都会对滤饼形成、洗涤均匀性以及干燥效率造成影响。操作参数的稳定性也很关键,比如搅拌速度、过滤压力、洗涤液流量以及干燥温度出现变化,都可能引发工艺偏差,进而影响产品质量。设备自身机械状态、密封性以及传感器与控制系统准确性同样决定了运行的稳定性和安全性<sup>[2]</sup>。如果这些因素没有得到妥善监控和调整,就

有可能致使滤饼破碎、物料残留、干燥不均或者能源浪费,最终使得生产效率和产品合格率降低。所以在运行进程中,需要依靠监控并优化操作参数、定期检查设备状态以及及时调整工艺条件等方式,以此来确保设备能够稳定运行且质量保持一致。

### 4.2 维护保养及问题处理

在过滤洗涤干燥机长期运行期间,科学且有效地维护保养以及相应的问题处理办法,属于确保设备性能维持稳定并可延长其使用寿命的重要环节。日常维护工作应当涵盖对设备内外部予以清洁、给搅拌轴以及传动部件做好润滑处理、仔细检查密封件并且视情况予以更换,还要对自动化控制系统开展功能校验等等。与此还需建立起完善的运行记录以及维护档案,如此一来便能够针对设备状态展开动态的监控以及相应的追溯操作。对于设备在运行当中有可能出现的诸如滤饼分布不够均匀、干燥效果不彻底、存在密封泄漏情况或者自动控制出现异常这类常见问题,应当依据具体的原因来进行分类处理,比如可以通过调整操作的各项参数、对控制系统加以校准、对出现磨损的部件实施清理或者更换、强化密封件的安装以及相关检测等方式来予以解决<sup>[3]</sup>。定期开展检修以及实施预防性维护举措,不但可以使得故障发生的比率得以降低,而且还有助于优化设备的运行效率,进而能够确保产品质量保持稳定的态势,最终达成安全、高效且连续的生产目的。所以,把维护保养以及问题处理融入到日常的管理体系当中,这无疑是保障过滤洗涤干燥机可靠运行以及生产具备连续性的关键核心举措。

## 5 结语

过滤洗涤干燥机属于固液分离以及干燥工艺里的核心设备,其设计以及制造的质量会直接影响到生产效率、产品质量还有工艺安全。要实现高质量的设计,一方面需要对过滤、洗涤以及干燥系统的布局予以优化,另一方面还得考虑到密封安全以及自动化控制,以此达成全封闭、高效且连续化的生产状态。从整体上看,把优化设计和严格制造相结合并辅以系统化的维护,这便是实现高效、安全并且满足 GMP 要求的关键所在。在未来,随着智能化、自动化技术以及新材料的应用不断推进,过滤洗涤干燥机在生产效率、节能以及质量保障等方面将会拥有更为广阔的发展空间。

### [参考文献]

- [1]罗合春,李永峰.生物制药工程原理与设备[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [2]夏清,陈常贵.化工原理.上[M].天津:天津大学出版社,2005.
- [3]贾绍义.化工原理及实验.下册[M].北京:高等教育出版社,2004.

作者简介:辛丹丹(1981.4—),毕业院校:齐齐哈尔大学,所学专业:化工机械,当前工作单位:浙江亚光科技股份有限公司,职称级别:高级工程师。

## 基于露天矿山爆破环节的安全管理探究

王应明

新疆天业(集团)有限公司精河县晶羿矿业有限公司, 新疆 博尔塔拉蒙古自治州 833300

[摘要] 本文基于金属非金属露天石灰石矿开采特点, 深入剖析爆破作业中边坡稳定性差、爆破器材管理不规范等常见问题, 针对性提出识别安全风险、强化器材检查等安全管理措施, 旨在提升石灰石矿爆破安全管理水平, 保障矿山安全生产。

[关键词] 金属非金属露天矿; 石灰石矿; 爆破环节; 安全管理

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17603

中图分类号: TD235

文献标识码: A

### Exploration on Safety Management Based on Open-pit Mine Blasting Process

WANG Yingming

Jinghe County Jingyi Mining Co., Ltd. of Xinjiang Tianye (Group) Co., Ltd., Bortala Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang, 833300, China

**Abstract:** Based on the characteristics of metal and non-metal open-pit limestone mining, this article deeply analyzes common problems such as poor slope stability and non-standard management of blasting equipment in blasting operations. Targeted safety management measures such as identifying safety risks and strengthening equipment inspections are proposed to improve the safety management level of limestone mining blasting and ensure safe production in mines.

**Keywords:** metal and non-metal open-pit mines; limestone mine; blasting process; safety management

#### 引言

在基础设施建设和工业生产快速发展的当下, 石灰石作为重要的工业原料, 其需求量持续攀升。金属非金属露天石灰石矿的开采多依赖爆破作业, 以实现大规模高效开采。然而, 石灰石矿特殊的地质条件和爆破作业的固有风险, 使得开采过程中安全事故频发。石灰石矿多赋存于层状岩体中, 节理裂隙发育, 在爆破震动影响下, 边坡稳定性极易遭到破坏; 且爆破所用的炸药、雷管等器材管理不善, 也会引发严重安全隐患。这些问题不仅威胁作业人员生命安全, 还制约矿山企业的可持续发展。因此, 深入探究金属非金属露天石灰石矿爆破环节的安全管理, 具有重要的现实意义。

#### 1 金属非金属露天石灰石矿爆破作业常见问题

##### 1.1 矿山边坡稳定性差

石灰石矿多呈层状分布, 岩层间存在软弱夹层, 且节理裂隙发育, 这使得边坡岩体的整体性和稳定性先天不足。在开采过程中, 部分矿山为追求短期经济效益, 未严格按照自上而下、分层开采的规范进行作业, 违规采用自下而上或掏洞式开采方式, 导致边坡过高, 坡度严重超出设计标准。同时, 由于石灰石质地相对较软, 长期暴露在自然环境中, 岩体表面的浮石、裂石在风化作用下愈发松动。当进行爆破作业时, 爆破产生的强烈震动和冲击力, 会进一步破坏边坡岩体的应力平衡, 降低岩土体间的摩擦力和抗滑力, 极易引发边坡坍塌事故。一旦坍塌发生, 大量岩土体倾泻而下, 不仅会掩埋开采设备、堵塞运输通道, 中

断正常生产, 还可能造成人员伤亡, 给企业带来巨大的经济损失和严重的社会负面影响。

##### 1.2 爆破器材管理不规范

爆破作业中, 炸药和雷管是关键器材, 其使用和管理规范性直接关系到爆破安全。在实际操作中, 部分施工单位为降低成本, 存在违规采购不合格爆破器材的现象。一些尾线过短的雷管, 在起爆时可能因操作空间受限, 导致操作人员无法及时撤离到安全区域; 而不符合国家标准的炸药, 其爆炸性能不稳定, 可能出现早爆、迟爆或拒爆等情况。此外, 爆破器材的存储和运输环节也存在诸多漏洞。爆破器材仓库未严格按照安全标准建设, 防火、防爆、防潮等设施不完善, 且未与居民区、重要设施保持足够的安全距离; 在运输过程中, 未使用专用运输车辆, 随意堆放、混装现象时有发生, 这些都极大地增加了爆破器材意外爆炸或起火的风险。

##### 1.3 边坡坠落风险高

在石灰石矿开采作业中, 台阶式爆破开采是常见的作业方式, 通常台阶高度达 10~15m 甚至更高, 这种特殊的作业环境使得作业人员在装药、连线等关键操作时, 面临着显著的高空坠落风险。由于作业平台边缘空间有限, 人员需频繁靠近台阶边缘开展工作, 加之爆破作业的复杂性和紧迫性, 稍有不慎便可能失足坠落。

从安全防护设备的实际配备情况来看, 部分矿山在安全管理上存在明显漏洞。一方面, 防护设施配备不齐全, 部分作业区域甚至未设置基本的防护栏和安全网, 导致人

员直接暴露在危险边缘；另一方面，现有的防护设备质量参差不齐，存在诸多安全隐患。以安全带为例，部分产品因长期使用未及时更换，锁扣出现严重磨损、失灵等问题，无法有效固定作业人员；安全网的网绳因材质老化、受力不均等原因，出现断裂、破损现象，难以起到缓冲防护作用；防护栏焊接处存在虚焊、漏焊等情况，导致结构松动，无法承受人员意外撞击的冲击力。

更为严峻的是，这些防护设备的缺陷往往在日常检查中未被及时发现和整改。当作业人员在台阶边缘进行弯腰装药、攀爬等操作时，一旦因脚下打滑、重心失衡或遭遇突发的强风等意外情况，缺乏有效防护的后果将不堪设想。高空坠落事故不仅会给作业人员造成骨折、颅脑损伤等严重身体伤害，甚至可能导致死亡悲剧的发生。这不仅给受害者家庭带来巨大的精神创伤和经济负担，也会使企业面临高额的赔偿责任，同时还会严重损害企业的社会声誉，影响企业的正常生产经营和长远发展。

#### 1.4 水害和火灾隐患突出

在石灰石矿采场的安全生产体系中，防排水系统的完善性与爆破器材管理的规范性是保障矿山安全运营的两大核心要素。若采场防排水系统存在设计缺陷或运维不足，极端天气及地下涌水将对矿山安全构成严重威胁。

当遭遇暴雨侵袭或地下涌水突然增大时，若排水系统无法及时将积水排出，大量滞水会沿着岩体裂隙渗透扩散。水的软化作用会显著降低边坡岩体的抗剪强度，使原本稳定的边坡逐渐失去承载能力。据岩石力学研究表明，含水率每增加1%，砂岩类岩石的黏聚力可下降5%~8%，内摩擦角降低 $2^{\circ}$ ~ $3^{\circ}$ ，这将大幅增加滑坡、坍塌等地质灾害发生的概率。此外，积水渗入炮孔后，会稀释或浸湿炸药，导致其爆炸性能下降。以常用的乳化炸药为例，遇水后乳胶基质会发生破乳现象，炸药敏感度降低，不仅影响爆破效果，还可能导致拒爆、盲炮等危险情况，为后续处理带来极大安全隐患。

爆破作业中使用的乳化炸药、雷管、导爆管等均属于高风险危爆物品。乳化炸药由氧化剂水溶液、油相材料和乳化剂等组成，其爆炸性能受温度、湿度、冲击等因素影响显著。当环境温度超过 $60^{\circ}\text{C}$ ，或受到剧烈撞击、摩擦时，乳化炸药内部的敏化剂会发生化学反应，极易引发爆炸。雷管作为起爆器材，其敏感度极高，即使是微小的静电、震动或杂散电流，都可能导致雷管意外起爆。导爆管虽然本身不具有爆炸危险性，但在高温、明火或与尖锐物体摩擦时，管壁内的炸药粉末可能被引燃，成为火源传播的潜在途径。

爆破器材存储环节的安全管理同样不容忽视。若仓库选址靠近居民区、加油站等人员密集或高风险区域，或未保持足够的安全距离，一旦发生意外，后果不堪设想。此外，仓库内部若通风条件不足，炸药分解产生的有害气体

无法及时排出，会加速炸药变质；消防设施不完善，如缺少自动喷淋系统、灭火器配备不足等，一旦发生火灾，高温和火焰将迅速引爆存储的爆破器材，引发连锁爆炸，造成难以估量的人员伤亡和财产损失。

## 2 金属非金属露天石灰石矿爆破环节的安全管理

### 2.1 精准识别安全风险

在石灰石矿爆破作业前，构建系统化、智能化的风险评估体系是保障安全生产的关键环节。该体系需深度整合多源数据，一方面，充分利用矿山地质勘查报告、岩石力学试验数据等基础资料，结合三维激光扫描技术，对矿区地形地貌进行毫米级精度建模，实时捕捉边坡表面形态变化；另一方面，通过布设边坡位移监测雷达、裂缝计、渗压计等智能传感器，建立24h动态监测网络，实现对边坡位移速率、应力分布、裂隙发育等关键指标的实时监测与预警。

在风险识别与分析阶段，采用风险矩阵法和故障树分析法相结合的评估模式。风险矩阵法从事故发生的可能性和后果严重性两个维度，对各类风险进行量化分级；故障树分析法则以爆破作业安全目标为顶事件，逐层剖析人员操作失误、设备故障、环境变化、管理缺陷等底层因素。通过系统性分析，精准定位边坡坍塌、爆破飞石伤人、盲炮处理不当、爆破震动破坏周边设施等高风险因素。例如，在分析边坡坍塌风险时，不仅考虑地质结构、降雨强度等自然因素，还将开采进度、爆破振动叠加效应等人为因素纳入评估范围；针对爆破飞石风险，则通过计算炸药能量分布、岩石抛掷轨迹，结合风向风速等气象条件，预测飞石影响范围。针对识别出的高风险因素，制定分级分类的风险控制计划。在责任落实方面，明确矿山技术负责人、安全主管、现场班组长等各级人员的管控职责；在措施制定上，采用工程技术、管理手段和个体防护相结合的综合方案。以边坡稳定性控制为例，对潜在滑坡区域，优先采取削坡减载、放缓边坡坡度等工程措施，配合预应力锚索（长度8~12m，设计锚固力200~500kN）、抗滑桩（截面尺寸 $1.5\times 2\text{m}$ ，嵌入稳定岩层深度不小于3m）等锚固支护技术；针对爆破飞石风险，通过优化爆破参数、设置柔性防护网、扩大警戒范围等措施降低风险；对于盲炮处理，制定标准化操作流程，配备专业排爆设备，确保作业安全。

### 2.2 强化爆破器材全流程管理

建立严格的爆破器材采购、验收、存储、运输和使用管理制度。在采购环节，选择具有合法资质、信誉良好的供应商，确保爆破器材质量符合国家标准；验收时，对炸药的性能参数、雷管的延期时间等进行严格检测，杜绝不合格器材流入矿山。在存储方面，按照安全规范建设专用爆破器材仓库，仓库需具备良好的防火、防爆、防潮、防盗等功能，且与周边环境保持安全距离；仓库内的爆破器材应分类存放，严禁混存。运输过程中，使用专用的爆破

器材运输车辆,按照规定的路线和时间行驶,严禁超载、超速和中途随意停靠。在使用环节,严格执行爆破器材领用、发放和退库制度,准确记录器材使用数量和流向,防止流失。同时,安排专业人员每日对爆破器材进行检查,及时发现并处理器材存在的问题,确保器材性能稳定可靠。

### 2.3 提升施工人员安全素养

开展系统全面的安全教育培训,是提升施工人员安全意识与操作技能的核心路径。培训体系应构建分层次、多维度的课程架构:新入职人员需完成不少于72学时的基础安全课程,涵盖《爆破安全规程》《民用爆炸物品安全管理条例》等核心法规解读;针对在岗人员,每季度开展专项技能提升培训,聚焦深孔爆破参数优化、复杂地质条件下的爆破设计等实操要点。

培训模式采用“理论+实践+数字化”三位一体模式:理论课程由具备高级爆破工程师资质的行业专家授课,结合矿山实景沙盘演示爆破流程;实践环节设置模拟爆破操作区,通过毫秒微差爆破、预裂爆破等典型场景演练,强化精准操作能力;同步引入VR安全实训系统,模拟哑炮处理、盲炮排查等高风险场景,让施工人员在无风险环境下积累应急经验。

定期开展“安全警示月”系列活动,通过制作三维事故还原动画、组织事故现场VR沉浸式体验,深度剖析近五年行业典型事故案例。同时建立“安全积分银行”,将日常安全表现量化为积分,积分可兑换技能进修名额或物质奖励;对违规操作实行“红黄牌”预警机制,累计3次黄牌者需重新参加安全考核,切实将安全意识转化为行为自觉,构建全员参与、全流程管控的安全文化生态。

### 2.4 严格把控爆破作业过程

在石灰石矿爆破设计环节,需构建系统化的分析体系,深度融合矿区地质构造勘察报告、岩石物理力学性能测试数据以及矿山开采工艺需求。通过对浅孔爆破、中深孔爆破、硐室爆破等多种方法的技术经济比选,结合石灰石矿常见的层理发育、裂隙分布等地质特征,优先选用中深孔爆破技术。该技术在参数设计时,需运用萨道夫斯基公式、体积公式等专业理论,精准计算炮孔间距(通常控制在2~3m)、排距(1.8~2.5m)、深度(8~15m)、倾角(75°~90°)及装药量(单耗药量约0.35~0.5kg/m<sup>3</sup>)。同时,引入数码电子雷管微差起爆技术,对起爆网络进行三维优化设计,通过毫秒级延时控制,不仅能确保矿石达到理想的破碎粒度,还可将爆破震动速度控制在安全标准范围内,有效降低飞石危害半径至警戒区域内。

爆破作业现场管理需建立立体化防护体系。在爆破区域周边设置三级警戒标识:核心区设置带反光警示条的硬质围挡与爆区危险警示牌;中间区域间隔50m布设声光报警器;外围交通要道设置临时管制岗亭。配备专业警戒人员组成巡查小组,利用对讲机与无人机巡查系统,对半径300m的警戒区域实施动态管控。为保障作业人员安全,专门搭建采用C30钢筋混凝土结构的躲避大棚,墙体厚度达30cm,顶部配置双层双向钢筋网,经抗冲击试验验证,可抵御近距离爆破冲击与飞石撞击,为人员提供安全可靠的避险空间。

爆破前的安全准备工作实行双检制度,由地质工程师与安全专员联合对边坡进行三维扫描与人工排查,利用地质雷达探测潜在裂隙。对危岩体采用静态破碎剂预先处理,及时清理浮石;针对稳定性不足的边坡,灵活采用全长粘结型锚杆(杆体直径28mm,长度6~8m)配合挂网喷浆工艺(钢筋网规格15×15cm,喷射混凝土强度C25)进行加固。爆破作业完成后,技术人员携带探地雷达、金属探测器等设备,按照网格化排查原则,对爆区进行地毯式检查。一旦发现盲炮,严格遵循《爆破安全规程》,采用注水失效、诱爆等规范流程进行处理,并对残留炸药、雷管进行回收登记,确保后续开采作业零隐患。

### 3 结束语

金属非金属露天石灰石矿爆破环节的安全管理是一项系统而复杂的工程,涉及多个方面和环节。通过精准识别安全风险、强化爆破器材全流程管理、提升施工人员安全素养以及严格把控爆破作业过程等措施,能够有效降低爆破作业风险,提高矿山安全生产水平。随着科技的不断进步,未来应进一步引入智能化监测设备、数字化爆破技术等先进手段,持续完善安全管理体系,实现金属非金属露天石灰石矿的安全、高效开采。

#### [参考文献]

- [1]商祥利,魏成志,商令国.露天矿山爆破安全问题与防治措施[J].Engineering Science Research & Application,2024,5(17):5-7.
- [2]王强.露天矿山高陡边坡控制性爆破技术及安全防护措施研究[J].掌研科技,2024(1):1.
- [3]周强.基于露天矿山爆破环节的安全管理探究[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(1):1.

作者简介:王应明(1987.6—),性别:男,学历:本科,毕业院校:新疆工程学院,所学专业:采矿工程,目前职称:采选矿工程、二级建造师矿业工程。

## 环保技术在绿色矿山建设中的应用探讨

李锦诣

云南金沙矿业股份有限公司, 云南 昆明 654100

**[摘要]** 矿物资源对于推动人类社会的发展而言, 称得上是极为重要的基础所在。然而伴随开采活动变得愈发频繁, 环境污染方面的问题也随之一天比一天更为凸显出来。若要在资源开发以及生态保护这两者之间达成协调发展的状态, “绿色矿山”的理念便适时地产生了, 并且在实际的实践过程当中一步步地得以推广开来。这一理念把环保技术融入到矿山建设的整个过程中, 切实有效地减少了矿产开采给土地、空气、水体还有生态系统所带来的种种破坏情况, 进而实现了资源利用同环境保护的有机融合。从这样的情况能够看出来, 在绿色矿山建设环节当中合理地应用环保技术, 已然成为推动矿业朝着可持续发展的方向前进、达成经济效益与生态效益相平衡的一种必然走向。

**[关键词]** 环保技术; 绿色矿山建设; 技术应用

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17595

中图分类号: TD82

文献标识码: A

### Discussion on the Application of Environmental Protection Technology in Green Mining Construction

LI Jinyi

Yinmin Copper Mine of Yunnan Jinsha Mining Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 654100, China

**Abstract:** Mineral resources are an extremely important foundation for promoting the development of human society. However, as mining activities become increasingly frequent, environmental pollution issues are becoming more prominent day by day. If we want to achieve a coordinated development between resource development and ecological protection, the concept of "green mines" has emerged in a timely manner and has been gradually promoted in practical applications. This concept integrates environmental protection technology into the entire process of mining construction, effectively reducing the various damages caused by mineral mining to land, air, water bodies, and ecosystems, thereby achieving the organic integration of resource utilization and environmental protection. From this situation, it can be seen that the reasonable application of environmental protection technologies in the construction of green mines has become an inevitable trend to promote the sustainable development of mining and achieve a balance between economic and ecological benefits.

**Keywords:** environmental protection technology; green mining construction; technology application

#### 引言

随着全球经济快速向前发展, 矿产资源的需求也在不断增长, 在这样的大背景之下, 矿山开采活动给生态环境带来的影响变得越来越明显, 像土地遭到破坏、水体出现污染、空气受到污染以及固体废弃物大量堆积等一系列问题都出现了, 这些问题一方面对矿业的可持续发展形成了制约, 另一方面也给区域生态安全以及社会经济发展带来了潜在的风险。在这样的情形下, 绿色矿山建设的理念就产生了, 它的核心目标是要借助科学规划、技术创新以及全过程管理等方式, 达成矿产资源的高效利用, 并且把环境影响降到最低限度。环保技术是绿色矿山建设的重要支柱, 它既包含了洁净开采、尾矿治理、填充开采、生态重建等传统技术, 又融入了数字化、智能化以及循环经济的理念, 通过全过程的监测以及资源化的利用, 促使矿山生产朝着低能耗、低排放、高效率以及生态友好的方向去转变。本文要对矿山产业给自然环境造成的主要影响展开系统的分析, 同时探讨各种环保技术在绿色矿山建设当中的

具体应用情况以及这些技术所具有的特点, 讲清楚它们在矿区环境保护、资源循环利用以及生态修复方面的作用和价值, 进而为实现矿业的可持续发展给出科学依据和技术方面的参考。

#### 1 矿山产业对于自然环境的影响

##### 1.1 破坏土地结构

矿山产业在开展开采活动之时, 其对土地结构所造成的破坏无疑属于那种较为直观且影响颇为深远的情况之一。大规模的露天开采以及地下采掘操作, 会致使地表的土壤遭受极为严重的剥离状况, 原有的地貌形态也会被彻底地改变过来, 进而形成诸如采坑、塌陷区、废石堆这类不规则的地貌景观, 这便直接对土地的完整性与连续性造成了破坏。与之当表层土壤结构丧失之后, 土地也就随之失去了其原本具备的基本肥力以及自然修复的能力, 使得植被很难实现再生, 土地的利用功能也逐渐地走向丧失的地步, 甚至在部分区域, 土地完全丧失了农业、林业或者牧业方面的价值。除此之外, 矿山采掘所引发的地表裂

缝以及塌陷情况，一方面改变了土地原有的承载条件，另一方面还有可能致使周边区域出现次生灾害，如此一来，更是进一步加剧了土地资源的破坏程度以及区域生态环境的不稳定状态。

### 1.2 污染水体和水质

水资源在人类的生产和生活中起着举足轻重的作用，然而，在采矿的实施过程中，常常会造成水体的污染；严重的话，会对人的生存与发展产生不利的影响。矿山的采矿工作以地下为主体，在特定的采矿作业中，不可避免地会对地下水产生一系列的影响，并对水源产生一定的污染；若造成地下水平衡，发生混乱，则会造成水的渗漏，造成水资源的浪费。另外，在特定的采矿作业中，若不能及时、科学地进行治理，会对环境产生一定的污染。

### 1.3 污染空气

矿山产业于开采、运输以及加工环节当中，往往会滋生出数量颇为可观的扬尘、废气还有有害气体，而这些排放出来的物质，已然成为了致使空气受到污染的关键源头所在。在开展露天采矿作业的时候，爆破操作便会释放出相当大量的粉尘，而且在矿石进行破碎处理、实施装卸工作以及开展运输活动的过程中，同样会接连不断地扬起那些细微的颗粒物，进而致使空气里悬浮颗粒物的浓度出现十分显著的提升情况，最终使得周边的区域长时间都处于一种灰尘四处弥漫的状况之下<sup>[1]</sup>。与之矿石经过冶炼处理以及燃料进行燃烧之时，还会排放出二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳以及重金属微粒等这类有害物质，这些有害物质一旦进入到大气当中之后，不但会让空气质量有所降低，而且还极有可能凭借大气的扩散作用以及沉降作用，对更为广泛的生态环境产生影响。

### 1.4 产生固体垃圾

矿山产业于开采、选矿以及冶炼等环节，会产生诸多固体垃圾，这些固体废弃物涵盖剥离出来的表层土壤、废石、尾矿、冶炼渣还有伴生矿物处理后的残余物等。因矿石品位存在限制，在开采进程里，通常得剥离并丢弃大量无用岩石，这些废石堆积在矿区四周，构成体量颇为可观的废石堆，既占用了大量土地资源，又改变了区域的地貌特征。尾矿是在矿石选别进程中被排出的，其颗粒较为细小且数量众多，若堆存方式不妥当，容易引发泥沙淤积，甚至在雨水冲刷作用下出现滑塌情况。与此冶炼环节所排放的炉渣、粉尘沉降物等固体垃圾当中，常常含有一定量的有害元素，长期堆积起来，有可能给土壤以及地下水带来潜在的威胁。

## 2 环保技术在绿色矿山建设中的具体应用

### 2.1 洁净开采技术应用

洁净开采技术秉持“源头减量、过程控制、末端达标”的核心理念，在绿色矿山建设进程里贯穿于采、破、运的整个流程：在前期阶段借助三维地质建模以及矿体精细化

划分的方式，达成选择性开采与贫富分流的目的，尽力去减少无效剥离以及围岩混入的情况；在采掘环节运用精准钻爆（包含微差起爆、解耦装药、预裂/光面爆破）以及机械化连续采掘手段，以此来降低超挖、振动以及粉尘产生的程度；在物料转运环节优先安排矿坑内的破碎以及连续带式/管带输送（IPCC），减少公路倒运以及车辆尾气排放，与此同时在破碎、筛分以及转载点设置封闭料仓、负压收尘以及喷雾/泡沫抑尘系统，实现粉尘的就地控制；在选矿前置环节引入干法破碎筛分以及 XRT/近红外/激光等智能分选技术，把低品位物料从源头剔除掉，进而降低入选量以及尾矿产出；在井下采用电动化无轨装备以及按需通风（VOD），协同推进能耗以及有害气体排放的降低；在采空区实施胶结/膏体充填操作，把尾矿、固废制成浆液回填进去，形成“采-选-充”的闭环模式；在整个过程中配置在线监测以及数字孪生平台，针对粉尘、噪声、振动以及 NOx 等指标展开实时感知以及动态优化调度工作，确保采矿作业在满足产能要求的同时能够实现污染物的最小化以及资源利用的最大化。

### 2.2 矿山废料治理

矿山废料治理于绿色矿山建设而言，处于极为关键的地位。其核心要义在于借助科学技术相关手段，针对开采以及选矿进程当中所产生的废石、尾矿、冶炼渣等一系列固体废弃物展开系统化的管理工作，以此达成资源尽可能充分地利用这一目的，同时让环境风险得以最大程度地削减。就废石治理来讲，它不但涉及到堆放的具体形态、边坡的稳固状况以及分区后的压实情况，而且还得考量诸如降尘事宜、防止雨水冲刷的举措以及渗滤液的控制等诸多因素，进而降低出现地质灾害以及次生环境遭受破坏的可能性。至于尾矿治理，则是要从传统的湿式排放方式逐步转变为高浓度干堆、膏体充填乃至回填采空区这样的做法，通过对颗粒组成、固液比例以及胶结材料配比等方面加以调整，确保尾矿在能够保障矿井支护安全的前提之下，减少所占的面积并且降低渗漏的风险，最终促使废弃物成功转化为资源<sup>[2]</sup>。而对于冶炼渣等含有金属的副产物进行处理时，那就需要综合运用破碎环节、筛分环节、冶金提取环节以及建材利用环节等多种不同环节的技术手段，以此来推动循环经济的发展以及产业之间的联动作用。与之相伴随的是，现代废料治理十分注重全过程的数字化监控以及智能化调度工作，凭借物联网传感器、无人巡检以及数字孪生模型等手段，针对堆体的稳定性、渗滤液的排放情况以及各类环境指标展开实时的感知活动以及风险预测分析，从而从源头一直到末端构建起一个完整的闭环管理体系。

### 2.3 矿区生态环境建设

矿区生态环境建设在绿色矿山建设当中属于十分重要的组成部分，其主要目的在于借助系统化且具有综合性的各类措施，对因采矿活动而受到损害的自然环境予以恢

复以及进一步改善,进而实现区域生态功能的重新构建。在矿区所涉及的范围之内积极推进土地复垦相关工程,运用削坡整形、覆土还田以及修建排水系统等一系列手段,以此来恢复土地原本具备的基本利用功能,同时也给后续开展的植被恢复工作创造相应的条件。全力去实施植被重建方面的举措,依据矿区土壤的具体条件以及气候的相关特征,精心挑选乡土树种、灌木还有草本植物,按照不同层次进行合理配置,逐渐让地表植被的覆盖率得以恢复,通过这种方式来改善土壤的理化性质,强化水土保持方面的能力。与此要充分利用生态护坡、生物滤带以及湿地构建等生态工程技术,提高矿区环境自身修复以及污染净化的效能,从而有效防止出现水土流失以及地表径流污染等情况。除此之外,还应当对矿区周边设立生态隔离带以及生物多样性保护区,增加动植物能够栖息的空间,以此提升整个区域生态系统所具有的稳定性和完整性。

#### 2.4 填充开采技术应用

填充开采技术属于在矿产资源开采进程里广泛运用的一种环保性质的开采办法,它的核心理念在于借助采矿作业所形成的尾矿、废石又或者是工业副产物来制作充填材料,进而针对采空区展开及时的回填操作,借此可有效地处理地表出现的塌陷状况、地压方面的灾害以及地裂缝等与地质环境相关的问题。此技术一方面能削减地表沉降给周边的建筑、道路以及水体所带来的破坏情况,另一方面还能够让原本需要进行堆存的诸多废石、尾矿达成就地消纳的效果,如此一来便降低了固体废弃物堆放所引发的环境方面所承受的压力<sup>[3]</sup>。与此填充体在起到支撑矿井结构的作用以及对围岩稳定性加以改善的过程中,其还可大幅提升矿石的回采比率,防止因为存在安全隐患而导致的资源浪费情形出现。

#### 2.5 矿山数字化建设

矿山数字化建设乃是绿色矿山达成高效、环保且可持续管理的关键技术助力所在,其要点就在于借助信息化以及智能化方式针对矿山整个生命周期展开细致化监控并加以优化调度。数字化建设依靠地理信息系统(GIS)、三维地质建模、物联网(IoT)、大数据分析、云计算还有数字孪生等相关技术,达成从矿体勘探、开采设计、生产管理一直到生态环境监测的全流程数字化管理。在开采期间,三维矿体建模以及精确资源评估能够为科学开采方案予以指导,对钻爆布局和机械化作业路径进行优化,减少无效剥离以及地表扰动情况。在生产环节当中,自动化采掘设备、无人运输车辆以及智能排水通风系统的运用,使得作业过程可以实时进行监控,降低能耗以及污染排放量,与此同时凭借数字孪生平台来模拟矿井作业状态,实现潜在风险预警以及动态优化目标。在环境管理这块,数字化系统能够针对尾矿库稳定性、废弃物堆存、空气质量以及水体污染等关键指标展开实时监测并开展数据分析工作,

给生态修复与废料治理给予科学方面的依据。矿山数字化建设还能够对能耗监控、设备预测维护以及生产调度优化予以支持,让资源利用变得更加高效。

#### 2.6 生态重建技术的应用

生态重建技术于绿色矿山建设而言,占据着极为关键的地位。它的主要意图在于对矿区因开采而遭到破坏的自然生态系统予以恢复,进而重新构建起土地、植被、水体以及生物多样性等诸多方面的综合生态功能。此项技术会借助科学合理的规划手段来处理矿区的地形地貌状况,针对采空区、废石堆还有尾矿库展开相应的整治以及复垦工作,并且运用将土壤改良、覆盖植被以及水土保持工程相互融合的方式,以此来恢复土地的生产力以及生态结构<sup>[4]</sup>。在植被恢复这个层面,依据所处区域的气候情况以及土壤条件,去选用那些适应性较强的乡土树种、灌木以及草本植物,凭借分层种植、间作套种以及生态护坡技术等一系列举措,逐步让矿区的绿化覆盖率得以恢复,同时也促使土壤的理化性质以及水文条件获得改善。就水体和湿地生态重建来讲,通过构建人工湿地、生态滞洪区以及生物滤带这样的方式,能够对矿区径流加以净化,对水循环起到调节的作用,同时还可为各类生物提供栖息之地。与此借助引入生物多样性保护方面的相关措施以及开展生态廊道建设等工作,进一步强化区域生态系统自身的稳定性以及自我修复的能力。

#### 3 结语

环保技术对于绿色矿山建设而言,发挥了极为关键的作用。借助合理运用洁净采矿、尾矿治理、填充开采、生态重建以及数字化管理等一系列技术手段,能够切实有效地减少矿山开采活动给环境所带来的影响,同时促使资源利用效率得以提升,进而确保矿山生产能够安全且具备可持续性地开展下去。绿色矿山建设已然达成了矿产资源开发和生态保护之间的有机结合,还为矿业朝着绿色、高效、智能以及可持续的方向去发展给予了稳固的技术支撑以及丰富的实践经验,从而为推动经济发展与环境保护实现协调统一打下了十分重要的基础。

#### [参考文献]

- [1]杨少华.绿色矿山建设中煤矿环保技术的应用[J].环境与生活,2024(7):85-87.
- [2]辛君,翟昂,彭亮.环保技术在绿色矿山建设中的应用研究[J].资源节约与环保,2022(2):29-32.
- [3]王彬,徐鸿羽,王文斌,等.环保技术在绿色矿山建设中的应用研究[J].世界有色金属,2023(7):232-234.
- [4]杨生枝.环保技术在绿色矿山建设中的应用[J].山西化工,2019,39(5):133-135.

作者简介:李锦诣(1991.6—),毕业院校:武汉理工大学,所学专业:工商企业管理,当前就职单位:云南金沙矿业股份有限公司。

# 矿山安全管理体系构建与应急响应机制研究

林永明 张智烽

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816100

[摘要]随着金矿开采规模变得越来越大, 生产工艺也日益变得复杂起来, 矿山安全管理所面临的风险呈现出不断增加的态势。就当前的情况来看, 金矿安全管理存在着诸多问题, 比如管理体系不够完善、员工的安全意识有所欠缺、岗位责任落实得并不到位, 另外班组管理水平也比较低下等等。与此在应急响应方面, 大多时候都是依靠经验来开展工作, 信息化以及智能化手段的应用程度相当有限, 所以很难做到及时有效地去应对各类突发事件。面对这样的一种现状, 构建起科学合理的安全管理体系以及高效实用的应急响应机制, 已然成为保障金矿能够实现安全生产的一项十分重要的需求所在。

[关键词]矿山安全管理; 体系构建; 应急响应机制

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17578

中图分类号: TD79

文献标识码: A

## Research on the Construction of Mine Safety Management System and Emergency Response Mechanism

LIN Yongming, ZHANG Zhifeng

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Haixi Prefecture, Qinghai, 816100, China

**Abstract:** With the increasing scale of gold mining and the growing complexity of production processes, the risks faced by mine safety management are constantly increasing. From the current situation, there are many problems in the safety management of gold mines, such as inadequate management system, lack of safety awareness among employees, inadequate implementation of job responsibilities, and relatively low level of team management. In terms of emergency response, most of the time, work is carried out based on experience, and the application of information and intelligent means is quite limited, so it is difficult to respond to various emergencies in a timely and effective manner. In the face of such a situation, building a scientific and reasonable safety management system as well as an efficient and practical emergency response mechanism has become a very important requirement to ensure that gold mines can achieve safe production.

**Keywords:** mine safety management; system construction; emergency response mechanism

### 引言

金矿属于高风险且开采流程复杂的地下资源开采地点, 在其生产进程里涉及到深部采掘、爆破作业、尾矿处理、通风排水还有运输调度等诸多环节, 存在较高的发生事故的的概率以及潜在的安全隐患, 伴随金矿开采规模持续扩大以及生产工艺变得日益复杂, 传统安全管理模式在管理效率、风险控制、信息化程度以及应急响应能力等方面逐渐呈现出局限性, 无法满足现代矿山安全生产的需求。构建科学且完备的矿山安全管理体系, 创建高效且具备可操作性的应急响应机制, 是保障矿山安全生产以及减少事故损失的重要举措, 信息化以及智能化技术的发展给矿山安全管理带来了新的技术途径, 借助实时监测、数据分析、风险预警以及智能调度等方式, 能够达成对矿山生产全过程的动态管理以及科学决策, 本文选取金矿当作研究对象, 全面剖析矿山安全管理所面临的关键问题, 对安全管理体系的构建准则、组织优化、岗位责任与操作规程、安全标准化以及信息化技术应用展开探讨, 并且给出矿山应急响应机制的实现方案与应用策略, 经由深入剖析这些内容, 本文期望能为金矿安全生产给予理论支撑与技术参考, 促

使矿山安全管理朝着科学化、规范化、信息化以及智能化的方向推进, 进而提高矿山的整体安全水准, 降低事故风险, 达成可持续的高效生产。

### 1 矿山安全管理面临的问题

#### 1.1 矿井综合管理水平不达标

在金矿展开生产的进程里, 矿井综合管理所达到的水平未达标准, 具体呈现为管理体系存在不完备之处、管理制度在执行方面落实不到位, 并且各项管理职能在协调上不够顺畅。就矿井内部来讲, 生产计划、作业调度、安全监测还有设备维护等诸多环节, 都缺少统一的标准以及系统化的管理方式, 如此一来便致使生产组织的效率变得很低下, 安全隐患也很难被及时地察觉并妥善处理。管理信息的传递速度滞后, 各个部门彼此间缺乏有效的沟通渠道, 责任的划分也不够清晰明确, 这便很容易在生产的实际进程中出现一些漏洞。矿井的安全检查以及监督机制不够严谨严格, 安全指标没有实现全面的量化处理, 也没有做到动态的跟踪掌握, 进而使得安全管理在实际执行的操作当中存在着一定的盲区。

#### 1.2 员工素质存在缺失

在金矿开展生产活动的过程中, 员工的整体素质呈现

出较为明显的欠缺状况。具体来讲,其主要体现为安全方面的意识比较淡薄,与之相关的专业技能也存在不足之处,并且应急处置的能力同样不够强。有一部分员工对于矿山生产所具有的危险性缺乏足够的认识,对那些有关安全操作的规程以及相关制度了解得并不透彻,如此一来便很容易在日常进行作业的时候出现违规操作的行为,又或者会忽视掉本该落实的安全防护措施<sup>[1]</sup>。除此之外,新入职的员工以及技术工人在培训方面做得并不到位,缺少成体系的岗位技能方面的训练,同时风险防范教育也是有所欠缺的,这就使得他们在面对复杂的作业环境时,很难去妥善应对各种突发的情况。员工的职业素养以及团队协作能力存在着很大的差异,作业期间的沟通也不是很顺畅,这无疑进一步增加了事故发生的隐患。

### 1.3 相关制度的落实效果差

针对矿山开采工艺与机械设备的更新,为推动各项工作环节有序实施,企业每年在管理制度建设方面投入了大量资源,但这些管理制度并未真正融入管理人员和基层人员的日常工作中,存在管理制度流于形式的问题,仅以制定管理体系为基础,将这些管理要求挂在墙上、印在纸上,而没有真正进入相关人员思想和行为,在相关制度的落实中,存在执行力不强、完全未落实或落实不规范、不到位等问题。

### 1.4 班组安全管理水平有待提升

在金矿展开生产的进程里,班组身为具体作业的实际执行单位,其安全管理水平普遍存在着一定的欠缺,这种欠缺突出地表现在班组长还有成员们在安全意识方面、管理能力层面以及风险防控能力上呈现出失衡的状态。有一部分班组在日常开展作业期间,对于安全操作规程的落实情况并不理想,安全检查往往只是走个过场,没有构建起行之有效的自我管理机制以及相互间能够起到监督作用的机制。与此班组内部在作业协调以及信息传递这两方面都存在滞后的状况,当出现隐患的时候,很难做到及时地上报并且妥善处理,如此一来便很容易致使安全漏洞不断积累起来。班组在风险识别这件事上、针对危险源的监控方面以及应急处置这个环节所具备的能力都是有限的,这就导致了在日常作业当中那些潜在的安全隐患没办法得到及时且有效的控制。

## 2 矿山安全管理体系的构建策略

### 2.1 安全管理体系设计原则

在金矿安全管理体系建设期间,设计原则乃是保证体系具备科学性、系统性以及可操作性的关键依据。安全管理体系得遵循全面性原则,要将矿山生产的各个阶段都涵盖进去,像井下作业、地表设施、运输调度、设备维护还有环境监测等方面,务必要把所有潜在的风险因素都纳入到管理范畴当中。接着,要坚持科学性原则,借助对矿山生产特性、地质状况、作业工艺以及事故案例展开分析的方式,去制定契合实际的管理标准与操作规程,以此来确保安全举措有可行性并且有效果。与此体系设计还应当体

现出层级性原则,要把矿山企业管理层、各级部门以及班组的责任明确划分清楚,构建起纵向管理同横向协同相结合的架构,从而保证责任可以落实到位<sup>[2]</sup>。灵活性以及适应性同样是重要的原则,安全管理体系需要能够依据矿山开采规模、技术手段、人员变动以及环境条件等方面的差异来进行动态的调整与优化,以便能够应对那种复杂且多变的生产环境。

### 2.2 矿山安全管理组织结构优化

在金矿安全管理体系构建进程里,管理组织结构的优化属于极为关键的一环,它对于安全责任的切实落实以及管理能够高效运行有着决定性的作用。合理的组织结构需要清晰明确各级管理层次以及相应职责的划分,要从矿山企业的领导层一直延伸至各个部门乃至各作业班组,由此构建起纵向的管理体系。与此还得借助横向协调机制来达到部门之间信息的共享以及相互间的协作。企业处于高层位置的人员应当担负起总体安全战略规划以及相关制度制定方面的职责,要明确安全生产的具体目标以及考核指标,并且针对各级管理部门展开监督与指导工作。像生产、安全、设备和技术等部门这类中层管理部门,需负责日常安全管理的实际执行事宜,比如风险识别、隐患排查以及安全培训等方面的工作,以此确保各项政策措施能够在现场得以切实落实。而班组作为开展作业的基本单位,要具体去承担安全操作的执行工作,还有现场隐患的发现以及上报工作,以及作业风险的防控等相关责任。

### 2.3 岗位安全责任制与操作规程

在金矿的安全管理体系当中,岗位安全责任制以及操作规程的构建,实则是保障生产安全并落实管理职责的关键环节所在。岗位安全责任制规定要将安全责任细化落实到每一个具体的岗位以及每一名员工身上,清楚界定其于日常生产环节、设备操作过程、风险监控方面、隐患排查工作以及应急响应期间的职责范畴,以此来保证责任能够切实落实到位且没有遗漏之处。每个岗位的操作规程需要根据矿山的实际生产工艺状况、地质相关条件以及作业环境实际情况来制定,其内容涵盖作业流程的具体安排、操作步骤的详细说明、安全防护方面的具体要求、关键点的细致检查以及异常情况的处置办法等,借助标准化且规范化的形式来指导员工开展具体的操作行为。在实际的管理工作之中,应当凭借岗位责任书、绩效考核举措以及奖惩制度等手段,把岗位安全责任制转化为具有执行力的管理举措,促使员工清晰知晓自身的责任所在,进而强化其安全意识并且提升风险防控的能力水平。与此操作规程还需同安全培训、应急预案以及信息化监控系统相互结合起来,进而形成一个完整的管理链条,达成从制度设计环节到现场执行阶段、从日常管理方面到突发事件处置工作的全方位覆盖,由此提高金矿安全管理体系的科学程度、系统的完备性以及实际操作的可行性,从而为矿山的安全生产给予稳固扎实的制度方面的保障。

## 2.4 安全标准化与规范化建设

在金矿安全管理体系构建期间,安全标准化以及规范化建设乃是达成科学管理并推动持续改进的关键基石。安全标准化建设其目的在于借助制定统一的管理制度、操作规程、检查标准以及考核指标,把矿山各项作业以及管理活动都纳入到标准化且可量化的管理框架当中,以此来保证安全管理具备可操作性以及可控性<sup>[3]</sup>。在具体施行的过程中,需要依照矿山生产工艺的特点、地质条件还有安全风险等级,全面且细致地梳理作业环节以及潜在的危險源,进而建立起包含设备运行、人员操作、环境监测、隐患排查、应急管理整个流程的标准化管理体系。与此规范化建设着重于管理流程、职责分工以及信息传递的系统化方面,要求矿山企业在安全生产管理环节形成固定的操作程序、定期检查机制以及动态调整机制,使得各类安全措施可以在日常生产进程中长期且有效地得以执行。

## 2.5 信息化与智能化技术在金矿安全管理中的应用

在金矿的安全管理体系方面,信息化以及智能化技术的应用,这无疑是在提升管理的水平、优化风险防控这一环节以及达成安全生产智能化目标的关键手段。借助信息化技术,能够搭建起矿山安全管理的数据平台,把生产作业所涉及的信息、设备运行情况、人员定位的相关信息、环境监测所得数据、事故隐患等方面的各种各样的信息都实时地采集起来,加以整合并展开分析,进而实现对矿山安全状况的动态且全面的掌控。而智能化技术会凭借传感器、远程监测设备、无人机巡检手段、智能报警系统以及自动化控制设备等,针对关键的作业环节实施实时的监控并且发出预警,如此一来便能够及时察觉到隐患的存在,并且能快速做出相应的响应举措,进而有效降低事故发生的可能性。除此之外,信息化与智能化技术还能够和矿山 BIM 模型、地理信息系统还有大数据分析平台相互联动起来,针对矿井的空间布局情况、作业流程以及风险点展开三维的可视化呈现以及智能分析操作,从而为安全决策给予科学合理的依据。

## 3 矿山安全管理应急响应机制方案

### 3.1 应急响应平台的实现方案

在金矿安全管理应急响应体系里,应急响应平台的实现方案属于核心环节,其能保障突发事件可快速、科学且高效地得到处置。此平台需以信息化及智能化技术当作基础,对矿山生产、人员定位、设备监控、环境监测还有安全风险评估等诸多来源的数据加以整合,进而达成对矿山运行状态实施实时监控以及动态分析的目的。平台建设应当涵盖数据采集系统、指挥调度系统、预警与报警系统以及决策支持系统,借助传感器、视频监控、无人机巡检以及地理信息系统等技术手段,把关键风险点以及异常事件的信息及时传送到指挥中心。平台要支持多级响应与分级管理,可依据事故类型、严重程度以及现场环境条件自动生成处置方案,并且协

调各个部门以及班组快速做出响应,以此保证人员疏散、救援调度、设备控制以及信息通报能够高效联动起来。

### 3.2 应急响应平台的应用

在金矿安全管理应急响应体系当中,应急响应平台的应用属于极为关键的一个环节,其对于实现突发事件的快速处置、保障人员的安全以及矿山生产的连续性都起着十分重要的作用。该平台会针对矿山各类数据展开实时采集、分析以及处理等操作,把井下作业的状态、设备运行的情况、环境监测的各项指标以及人员定位的相关信息加以统一整合,进而达成对整个矿井进行动态可视化监控的目的。在实际的应用过程中,一旦出现井下事故、设备故障或者环境异常等情况,平台便能够及时地发出预警,而且还能够依据事故的具体类型以及严重程度来自动启动与之相对应的应急预案,进而开展救援力量的调度工作、安排人员的疏散事宜以及组织应急处理相关事宜<sup>[4]</sup>。平台还能够将指挥调度、资源分配以及信息通报等方面的工作进行统一的管理,以此来确保各部门、各班组以及救援队伍之间能够实现高效的协作。与此通过分析平台数据的历史记录并结合模拟演练,管理人员可以不断地对应急方案予以优化,从而提升事故处置的科学性以及精确性。

## 4 结语

金矿安全管理体系的构建以及应急响应机制的完善,对于保障矿山生产安全并降低事故风险而言,有着十分重要的意义。借助科学合理地去设计管理体系,清晰明确各个岗位的责任,推动标准化建设不断向前推进,并且把信息化与智能化技术的应用结合起来,如此便能够使安全管理水平得以提升,风险防控的能力也能得到增强。与此应急响应机制要是能够有效运转起来,在出现突发事件的时候,就能达成快速作出反应并且有序协调处置的效果,进而为矿山的安全生产给予强有力的保障。在未来,伴随技术以及管理手段不断地发展进步,金矿的安全管理将会朝着更为规范化、智能化以及可持续性的方向去发展,从而给矿山实现安全且高效的生产筑牢稳固的基础。

### [参考文献]

- [1]朱磊.矿山安全管理体系构建与应急响应机制研究[J].世界有色金属,2025(9):223-225.
- [2]李鸿一.浅谈矿山安全生产管理体系构建与实践[J].中国设备工程,2024(12):83-86.
- [3]田忠伟,谭钦文,刘娟,等.露天矿山安全管理人员专业知识需求体系构建[J].工业安全与环保,2024,50(9):74-79.
- [4]张汉阔.XC 金矿安全生产管理现状及其新体系构建[D].辽宁:东北大学,2014.

作者简介:林永明(2000.6—),男,毕业院校:青海大学昆仑学院,所学专业:环境科学,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:安全技术员。

## 湿法冶金在铜、镍、锌冶炼中的最新技术进展

侯君一

新疆维吾尔自治区地质局哈密地质大队, 新疆 哈密 839000

[摘要]湿法冶金技术凭借绿色低碳优势,在铜、镍、锌冶炼领域取得显著突破。铜冶炼中,生物浸出回收率提升至76.0%,酸溶铜浸出率达96.94%,阳极精炼项目实现日产能534吨;镍冶炼领域,红土镍矿高压酸浸技术产业化应用占全球产能超70%,钴镍分离萃取率达99.9%;锌冶炼通过工艺优化,浸出渣含锌降至1.5%以下,伴生镓萃取率超99.6%。这些技术进步显著降低能耗与污染,推动有色金属工业可持续发展,为复杂矿产资源高效利用提供关键支撑。

[关键词]湿法冶金;铜冶炼;镍冶炼;锌冶炼;技术进展;生物浸出;高压酸浸

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17580

中图分类号: TF804

文献标识码: A

### The Latest Technological Progress of Hydrometallurgy in Copper, Nickel, and Zinc Smelting

HOU Junyi

Hami Geological Brigade of Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Bureau, Hami, Xinjiang, 839000, China

**Abstract:** Wet metallurgy technology has made significant breakthroughs in the fields of copper, nickel, and zinc smelting with its green and low-carbon advantages. In copper smelting, the biological leaching recovery rate has been increased to 76.0%, the acid soluble copper leaching rate has reached 96.94%, and the anode refining project has achieved a daily production capacity of 534 tons; In the field of nickel smelting, the industrial application of high-pressure acid leaching technology for laterite nickel ore accounts for over 70% of global production capacity, with a cobalt nickel separation and extraction rate of 99.9%; Through process optimization, zinc smelting has reduced the zinc content in leaching slag to below 1.5%, and the extraction rate of associated gallium exceeds 99.6%. These technological advancements significantly reduce energy consumption and pollution, promote the sustainable development of the non-ferrous metal industry, and provide key support for the efficient utilization of complex mineral resources.

**Keywords:** wet metallurgy; copper smelting; nickel smelting; zinc smelting; technological progress; biological leaching; high pressure acid leaching

### 引言

随着全球范围内矿产资源品位呈现下降态势以及环保要求不断升级,传统火法冶金所具有高能耗高污染等弊端愈发显著显现出来,湿法冶金作为一种借助溶液中化学反应来达成金属提取目技术,具备能耗低污染小以及资源综合利用率高等特性,已然成为有色金属冶炼领域重要发展方向,近些年来,在铜镍锌等关键金属冶炼方面,湿法冶金技术持续进行创新突破,出现了诸如生物浸出优化高压酸浸产业化以及新型萃取剂运用等多项关键技术成果,本文对湿法冶金在铜镍锌冶炼中最新技术进展展开系统梳理,剖析其技术特性应用效果以及发展趋势,从而为行业技术升级以及可持续发展提供参考。

### 1 湿法冶金在铜冶炼中的技术进展

#### 1.1 生物浸出技术高效化应用

生物浸出技术作为去处理低品位铜矿主流方法,近年来在回收效率提升以及工艺优化方面持续取重要进展,在2024年,McEwen Copper公司在智利Los Azules项目开展生物堆浸试验中,通过对浸出周期菌种活性、喷淋强度以及pH值等关键工艺参数进行系统优化,成功把铜平均

回收率提升至76.0%,相较于2023年初步经济评估阶段72.8%,这一数据提高了3.2个百分点,显示出显著技术进步,回收率提升不仅直接提高了资源利用效率,还预计会在项目全生命周期内额外增加约17.2万t铜阴极产量,从而带来约2.62亿美元净现值增长,显著增强了该项目经济可行性,该工艺在成本控制方面也取积极成效,通过优化微生物群落结构以及改善浸出环境,McEwen Copper成功将净酸耗降低了8.3%,这不仅减少了硫酸等试剂用量,也降低了物料采购与废弃物处理成本,从而进一步提升了整体工艺经济性和环境友好性<sup>[1]</sup>。

中色迪兹瓦项目在生物浸出技术应用方面也表现突出,该项目通过引入低铜料液预浸出系统,有效提高了初期浸出阶段反应稳定性以及金属溶出效率,该系统通过控制料液中初始铜离子浓度,优化了浸出动力学条件,最终使酸溶铜浸出率达到96.94%,较去年同期提升0.43个百分点,在实现高效浸出同时,酸溶铜金属综合回收率也达到94.17%,体现出良好系统协调性和金属回收完整性,不仅如此中色迪兹瓦在辅材使用效率方面也取了优于行业平均水平表现,包括硫酸氧化剂以及其他催化剂单位消

耗量均实现有效控制,既降低了运营成本,也减轻了环境负担,这些进展共同体现了生物浸出技术在提升资源回收率降低生产成本以及实现绿色矿山目标方面综合价值,为同类低品位铜矿开发提供了有益借鉴。

### 1.2 电解精炼环节节能减排升级

在铜电解精炼领域,易门铜业于2025年建成阳极精炼节能减排项目已成为行业转型升级重要标杆,该项目新建了两台180t大型阳极炉以及配套环保与自动化控制系统,实现了从粗铜原料到阳极铜板一体化连续生产,彻底改变了传统多段式处理复杂流程,尤为引人注目是,整个工程从启动施工到建成投运仅用时100d,比原计划提前80d完成,展现出卓越项目管理和工程建设能力,在试生产阶段,项目运行表现突出,日产能迅速提升至534t,不仅远超设计预期,其产出阳极铜板在物理规格和化学成分方面均达到高标准水平,获了下游电解精炼企业高度认可,产品质量稳定性提高,为后续电解工艺高效运行奠定了坚实基础。

从环保角度看,该项目通过省略粗铜铸锭环节,彻底消除了该工序中可能产生烟尘逸散和含硫废气排放等环境风险,显著减轻了末端治理压力,同时,一体化生产避免了传统工艺中铸锭冷却后再次熔化所带来巨大热能浪费,使单位产品综合能耗大幅下降,实现了能源集约化利用,该项目成功实施,不仅体现了易门铜业在绿色冶炼技术上创新突破,更展示了现代铜工业在经济效益与环境责任之间实现协同发展可行路径,通过缩短流程提升能效和降低排放,该项目为同类型企业提供了可复制可推广技改范例,有力推动了整个行业向资源节约环境友好方向发展<sup>[2]</sup>。

## 2 湿法冶金在镍冶炼中的技术进展

### 2.1 红土镍矿高压酸浸技术实现产业化突破

红土镍矿湿法处理由于矿相复杂(其中含镁量为8%~12%、镍品位为1.5%~2.2%)以及高镁干扰缘故,长期处于受限状态,中国恩菲研发团队基于此状况,历经12年攻关历程,从而构建起了高压酸浸技术体系,在这一过程中,完成了1200余份试验,对酸浓度(即180~220g/L硫酸)与反应温度(也就是240~260℃)等关键参数进行了优化,还开发出了产品转晶技术(其结晶速率为5~8℃/h、搅拌强度为300~400r/min),通过这些努力,使产品纯度从98.2%提高至99.5%以上,并且晶体粒径均匀度达到了85%,同时,研制出了能够耐受280℃高温以及10MPa高压50m<sup>3</sup>钛合金反应釜,还有精度为±5L/h智能酸控系统,2009年,瑞木项目投产(此乃全球首个工业化项目),该项目年产能镍6万t钴0.7万t,连续运行率为92.3%,镍钴回收率分别达到86.5%和82.1%,单位镍能耗为380kW·h/~Ni(降耗幅度为25%),2024年,印尼力勤OBI与华越项目合计镍产能占据全球高压酸浸总产能(68万t)70.6%,借助技术优化(将阀门开启速

率从1.2s/次提升至0.8s/次使蒸汽排量稳定在42t/h),把闪蒸槽压力波动从±0.8MPa控制至±0.2MPa以内,故障停机时间从4.5h/d降低至0.3h以下,从而保障了日均3000t镍钴精矿(镍品位22%、钴品位2.5%)稳定产出,充分彰显了该技术适应性与创新性<sup>[3]</sup>。不同红土镍矿高压酸浸项目核心技术经济指标对比见表1,可清晰体现技术产业化进程中的突破。

### 2.2 镍钴分离萃取技术深入研究

在湿法炼镍流程中,镍钴分离是决定产品纯度与资源利用率的核心关卡,因镍(离子半径0.069nm)与钴(离子半径0.074nm)化学性质高度相似,常规P204萃取体系存在分离效率低(Ni/Co分离比<1000)、杂质残留高(铜铁>0.02g/L)的问题,处理含铜0.3%~0.5%、铁1.2%~1.8%的复杂矿料时,处理量更<5m<sup>3</sup>/h,难以兼顾分离精度与生产效率;对此,中科院团队研发的季铵盐萃取体系通过“季铵氯化物萃取除杂-季铵硫氰酸盐萃取分离钴镍”两步流程,在硫酸盐-氯化物混合体系(硫酸浓度50~80g/L、氯化物浓度30~50g/L)中实现突破:第一步除杂阶段,采用浓度15%~20%的季铵氯化物,在pH=1.5~2.0、有机相/水相(O/A)=1:3、3级逆流萃取条件下,料液中铜残余浓度降至0.005g/L以下、铁残余浓度降至0.003g/L以下,铜萃取率99.6%、反萃率99.8%,铁萃取率99.95%、反萃率99.7%,萃取剂循环使用次数超50次,药剂消耗成本从80元/t料降至48元/t料(降低40%);第二步镍钴分离阶段,采用浓度20%~25%的季铵硫氰酸盐,在pH=4.0~4.5、O/A=2:1条件下,钴镍离子分配系数(βCo/Ni=5000),经3级逆流萃取后,硫酸镍溶液中Ni/Co达2×10<sup>4</sup>(满足99.99%镍板要求),反萃得到的钴液中Co/Ni超250,钴萃取率99.92%、反萃率99.95%、总收率超99.9%;该技术可处理低品位镍矿(镍品位0.8%~1.2%)与复杂多金属矿(含镍1.0%、钴0.1%、铜0.2%),处理量达15m<sup>3</sup>/h(较传统体系提升3倍),流程从12级萃取缩短至7级(缩短40%),废水排放量减少30%,为湿法冶金提供兼具环保性与经济性的高效技术范式<sup>[4]</sup>。季铵盐萃取体系与传统萃取体系关键性能指标对比见表2,可直观体现技术优势。

## 3 湿法冶金在锌冶炼中的技术进展

### 3.1 浸出工艺优化以及资源综合利用情况

锌精矿加压浸出技术作为现代锌冶炼领域里处于核心位工艺,其技术升级以及效率提升直接和资源利用率以及产业环保水平相关联,近些年来,该技术在关键参数优化以及全元素回收方面取突破,不但推动了冶炼流程朝着绿色化方向转型,而且还实现了低价值伴生元素高效富集,为行业高质量发展给予了重要支撑,中金岭南丹霞冶炼厂所采用二段逆流加压浸出工艺,成为了参数优化方面典范,团队借助数百次试验验证,把浸出温度精确控制在150~

表 1 全球典型红土镍矿高压酸浸项目核心指标对比 (2024 年数据)

项目名称	所在国家	年产能(镍:万吨; 钴:万吨)	连续运行率 (%)	镍回收率 (%)	钴回收率 (%)	单位镍能耗 (kW·h/t-Ni)	核心技术突破
瑞木镍钴项目	巴布亚新几内亚	6.0; 0.7	92.3	86.5	82.1	380	全球首个工业化稳定运行项目
印尼力勤 OBI 项目 (二期)	印尼	24.0; 3.0	94.5	88.2	85.3	350	闪蒸槽压力精准控制 ( $\pm 0.2\text{MPa}$ )
印尼华越镍钴项目	印尼	12.0; 1.5	93.1	87.8	84.7	365	耐高压腐蚀反应釜国产化
国外某试验项目	澳大利亚	0.5; 0.06	75.2	82.3	78.5	480	未实现工业化稳定运行

表 2 镍钴分离萃取体系关键性能指标对比

萃取体系类型	处理量 (m <sup>3</sup> /h)	镍钴分离比 (Ni/Co)	铜残余浓度 (g/L)	铁残余浓度 (g/L)	钴总收率 (%)	药剂消耗 (元/t 料)	萃取级数	废水排放量 (m <sup>3</sup> /t 产品)
季铵盐萃取体系	15	$2 \times 10^4$	<0.005	<0.003	>99.9	48	7	8.5
传统 P204 萃取体系	5	<1000	>0.02	>0.015	95.2~96.5	80	12	12.1
传统 P507 萃取体系	8	1500~2000	>0.01	>0.008	97.8~98.5	72	10	10.3

153°C这个区间内——此温度一方面避免了过高温致设备腐蚀加剧情况发生,另一方面又确保了锌精矿中硫化物能够充分分解;与此同时,将系统压力稳定在 1400~1450kPa,为氧气在矿浆中高效溶解营造了理想环境,显著提高了氧化反应速率,在此基础上,通过智能调控氧气通入量以及蒸汽供给节奏,氧气单耗相较于传统工艺降低了 12%,蒸汽消耗减少了 8%,这不但大幅度降低了能耗成本,而且还让锌浸出率稳定维持在 97%以上,尤为关键的是,这一工艺对于伴生镓锗等稀散元素呈现出优异浸出效果,镓浸出率提升到 85%,锗达到 82%,为后续回收创造了有利条件,浸出渣中锌含量始终稳定在 5%以下,远远低于行业平均 8%,从源头减少了废渣中资源浪费。

赤峰中色锌业在 2024 年建成浸出渣处理项目,在资源全回收领域实现了突破性创新,鉴于传统锌冶炼中高浸渣铁矾渣难以进行无害化处理并且伴生元素回收率低这一痛点,该项目创新性选用“富氧侧吹熔炼+烟化炉吹炼”火法-湿法联合工艺:通过富氧侧吹熔炼把废渣中锌铅等金属富集成为熔融态粗合金,接着依靠烟化炉吹炼将易挥发锌元素转化为氧化锌烟尘,实现了主元素高效分离,随后,采用三段逆流浸出工艺去处理氧化锌烟尘,通过逐级调节浸出液酸碱度,使锌回收效率达到 96%以上;而熔炼过程中产出富钢渣,经过稀酸浸出萃取提纯等湿法处理后,直接生产出纯度为 99.99%钢锭,钢回收率相较于传统工艺提升了 15 个百分点,最终排出浸出渣中,锌含量降至 1.5%以下,铅含量小于 0.2%,达到一般工业固废标准,无需特殊处置就能够综合利用,真正达成了从废渣到资源全链条转化,为锌冶炼行业“零排放”目标提供了可复制技术范式<sup>[5]</sup>。

### 3.2 伴生元素萃取技术创新发展态势

新型高效萃取剂开发以及应用已然成为提升湿法冶金技术关键环节,特别是在锌冶炼过程中回收伴生稀散金属方面展现出了巨大潜力,在 2024 年,一种由烷基羟肟酸 DX201 以及传统萃取剂 P204 构成混合萃取体系成功研发出来,该体系针对硫酸介质中低浓度镓分离回收开展了专项优化,表现出了卓越萃取选择性以及稳定性,这一混合萃取体系创新点在于,DX 二零一引入显著增强了体系对镓离子络合能力以及相分离性能,在优化后工艺条件下,包括适宜 pH 环境相比以及搅拌强度等,单级萃取实验中镓萃取率高达 97.52%,而单级反萃取率也达到 94.21%,实现了金属高效转移以及富集,更为重要的是,该体系在连续多级萃取中表现出良好稳定性以及适应性,经过三级逆流萃取后,镓总萃取率能够提升至 99.64%,极大程度上降低了溶液中残留金属含量,有效减少了有价金属损失。

该技术为锌冶炼系统中伴生镓资源综合回收提供了切实可行全新路径,在传统湿法炼锌流程里,镓等稀散金属常常因为浓度低分离难度大而未能到有效回收,最终进入废渣或者废水,造成资源浪费以及潜在环境负荷,DX201-P204 混合体系运用,能够在主金属锌提取同时,实现镓高效协同回收,大幅提高原料综合利用价值,与此同时该萃取体系还具备试剂消耗低操作窗口宽易于与现有湿法工艺集成等优点,具有良好工业推广前景,它成功应用不仅是萃取技术本身一次重要突破,也体现了现代冶金朝着绿色化精细化高附加值化转型发展趋势<sup>[6]</sup>。

### 4 结语

湿法冶金技术在铜镍锌冶炼领域创新应用,推动了有色金属工业朝着绿色高效方向发展,铜冶炼生物浸出优化以及电解节能改造镍冶炼高压酸浸产业化以及深度萃取

分离锌冶炼渣料综合利用以及伴生元素回收等技术突破,提高了金属回收率(铜 76.0%、钴 99.9%、镓 99.64%),降低了资源消耗以及环境污染。未来,随着智能化控制与低碳工艺融合,湿法冶金将在复杂矿产资源利用稀贵金属回收等方面发挥更大作用,为全球有色金属产业可持续发展提供核心技术支撑。

#### [参考文献]

- [1]冯虎林.湿法冶金锌电积用铅银合金阳极板中银的快速测定[J].湖南有色金属,2025,41(4):127-130.
- [2]彭峰.溶剂萃取在钽金属湿法冶金中的应用现状及研究进展[J].冶金与材料,2025,45(7):190-192.
- [3]王江飞,彭贵熊,王震,等.镍钴提取中湿法冶金工艺运用

分析[J].世界有色金属,2025(11):7-9.

- [4]于奇元,龙跃,刘勇志,等.低共熔溶剂在湿法冶金浸出中的应用进展[J].绿色矿冶,2025,41(2):23-29.
- [5]郝立东,董江波.加压湿法冶金技术在金属冶炼领域的应用及展望[J].世界有色金属,2025(5):7-9.
- [6]郭真,陈杭,于建国.湿法冶金领域脉冲萃取技术与设备研究进展[J].有色金属(冶炼部分),2024(11):150-164.

作者简介:侯君一(1976.5—),毕业院校:南方冶金学院(江西理工大学)所学专业:选矿,当前就单位名称:新疆维吾尔自治区地质局哈密地质大队,就单位名称职务:矿业公司副总经理(地质矿产开发院副院长),职称级别:副高。

## 道路交通中自发电减速带设计分析

符养斌

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]针对传统减速带车辆通过舒适性差、耐久性不足、功能单一等设计缺陷,本研究设计了一种自发电减速带。该装置采用高弹性复合材料与模块化结构设计,提高减速带抗疲劳性能,降低其维护成本;集成适配发电装置将车辆碾压的机械能转化为电能,可为道路照明及交通信号设施提供可持续能源,实现能源回收利用;设计自适应液压缓冲系统,可根据车辆实时速度动态调节阻尼系数,在确保减速效果的同时优化行车舒适性;配备智能检测照明系统,可根据环境条件自动调节发光强度,提升夜间及恶劣天气条件下的视觉辨识度,确保行车安全。研究表明,该设计实现减速带能量转换效率、结构可靠性与交通安全性的有效提升,其集成创新思路对推动交通基础设施建设绿色化、智能化发展具有参考价值。

[关键词]市政道路; 减速带; 发电装置; 振动能量

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17600

中图分类号: U491.5

文献标识码: A

## Design and Analysis of Self Generating Speed Bumps in Road Traffic

FU Yangbin

Shanxi Provincial Transportation New Technology Development Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030012, China

**Abstract:** In response to the design defects of traditional speed bump vehicles, such as poor comfort, insufficient durability, and single function, this study designs a self generating speed bump. The device adopts high elasticity composite materials and modular structure design to improve the fatigue resistance of the speed reducer and reduce its maintenance cost; The integrated adaptive power generation device converts the mechanical energy generated by vehicle compaction into electrical energy, which can provide sustainable energy for road lighting and traffic signal facilities, achieving energy recovery and utilization; Design an adaptive hydraulic buffer system that can dynamically adjust the damping coefficient based on the real-time speed of the vehicle, optimizing driving comfort while ensuring deceleration effect; Equipped with an intelligent detection lighting system, it can automatically adjust the luminous intensity according to environmental conditions, improve visual recognition at night and in adverse weather conditions, and ensure driving safety. The research results indicate that this design effectively improves the energy conversion efficiency, structural reliability, and traffic safety of speed bumps. Its integrated innovative ideas have reference value for promoting the green and intelligent development of transportation infrastructure construction.

**Keywords:** municipal roads; speed bump; power generation device; vibration energy

### 引言

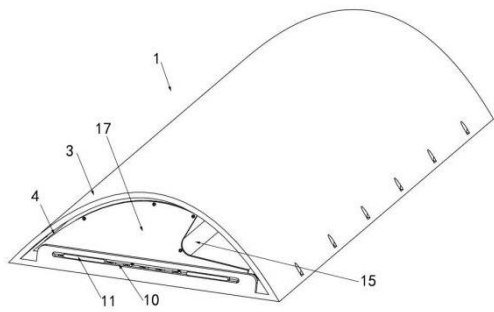
减速带是道路交通中重要的安全设施,通过物理凸起强制车辆减速,以减少交通事故风险,在学校、机关、医院、商场、车站、工厂等人流密集区域及事故多发路段具有重要应用价值<sup>[1]</sup>。然而,传统减速带多采用实心橡胶材质,高度固定,不仅难以适应不同车型的通过需求,且会在一定程度上影响驾驶舒适性。此外,传统减速带缺乏能量回收机制,无法将车辆通过时产生的动能转化为可利用资源,导致能源浪费;在夜间或恶劣天气条件下缺乏主动警示功能,容易被驾驶员忽视,增加安全隐患;长期使用容易出现磨损变形问题,提高维护成本<sup>[2]</sup>。为此,有必要优化减速带设计,提高其适应性、智慧性,确保减速效能的同时,兼顾行车舒适性与安全性。

### 1 自发电减速带设计方案与工作原理分析

本文提出的自发电减速带包括弹性减速带与支撑减速带。弹性减速带与支撑减速带的两端均为开口设计,支

撑减速带嵌套于弹性减速带内部,两者之间通过间隔布置的弹簧连接。当车辆经过时,弹性减速带在压力作用下发生形变,推动支撑减速带水平移动并压缩弹簧,使其存储弹性势能。当车辆经过后,压缩弹簧释放弹性势能,驱动支撑减速带复位。该设计既具备传统减速带的强制减速功效,又通过弹性元件实现缓冲减震,还可将车辆通过时产生的机械能转化为可利用的电能,进行能量回收利用。

该自发电减速带在支撑减速带内部固定安装有若干压电板组件,每个组件由压电板本体和配重锤构成。当车辆经过自发电减速带时,支撑减速带的水平移动通过冲击力使压电板本体振动并发电。而配重锤通过惯性作用可进一步增大压电板本体振动幅度,提升发电效率。值得注意的是,为防止过度振动导致结构损伤,在配重锤的锤杆两侧设有限位杆,与压电板本体下端抵触,以有效控制配重锤摆动幅度。产生的电能经由电连接片和弹性插针传输至外部储能设备实现能量存储。



注：1 为发电减速带，3 为弹性减速带，4 为支撑减速带，10 为限位滑槽，11 为限位滑板，15 为防逆行凹坑，17 为封堵板

图1 自发电减速带整体结构示意图

压电发电基本公式为：

$$Q = d_{33} \times F \times \frac{A}{t} \quad (1)$$

式中： $d_{33}$  为压电常数； $F$  为冲击力； $\frac{A}{t}$  为振动幅度与

压电板厚度比。

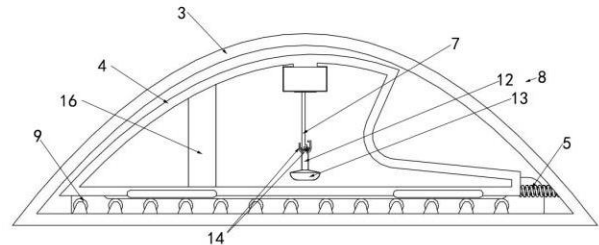
当车辆经过自发电减速带，压电板单次发电能量可表示为：

$$E_{\text{single}} = \eta \times \left( \frac{1}{2} \times F \times A \right) = \eta \times \left( \frac{1}{2} \times \frac{mv^2}{\Delta x} \times \left( \frac{mv^2}{\Delta x} + kM \right) \right) \quad (2)$$

式中： $m$  为车辆质量； $v$  为速度； $\Delta x$  为减速带形变程度； $M$  为配重锤质量； $k$  为惯性耦合系数； $A$  为振动幅度； $\eta$  为压电转换效率。

当前道路交通所使用的减速带多为圆弧形设计或梯形设计。综合考虑车辆的振动冲击、乘坐舒适性、轮胎磨损率等因素进行有限元分析，发现车速较小时，减速带形状对车辆的影响无显著性差异；车速较大时，圆弧形减速带对车辆的影响显著低于梯形减速带。因此，本文提出的自发电减速带，其弹性减速带设置为圆弧形。弧形顶部采用高弹性橡胶材质，以增强形变能力并降低车辆冲击，弧形底部优选高性能金属材料，以提高结构强度，两者通过螺栓固定连接，确保整体稳定性。为降低运动阻力，在弹性减速带的内底部设置支撑辊，使支撑减速带下表面与弹性减速带之间形成滚动摩擦，减少能量损耗。弹性减速带底部两侧设有限位滑槽，与支撑减速带两侧的限位滑板滑动配合，既保证水平移动的顺畅性，又通过滑槽长度限制支撑减速带的位移范围，避免过度压缩弹簧。支撑减速带右侧设置防逆行凹坑。当车辆逆行行驶时，防逆行凹坑显著增大轮胎阻力，阻碍车辆通过。考虑到圆弧形顶盖在自然状态下与上盖板之间存在一定间隙，该间隙易积聚杂物，可能影响下压动作，限制升降行程。设计利用封堵头对自发电减速带两端进行封堵处理，确保其始终处于相对封闭状态，防止路面杂物侵入内部结构。封堵板与支撑减速带之间通过螺栓连接，其内侧设有由连接框和连接轨道组成

的连接组件，用于固定压电板组件。连接轨道与支撑减速带固连，连接框沿轨道滑动并通过封堵板限位。连接框设有专用插槽，可与压电板本体的插块形成插接配合，通过插块上的电连接片与插槽内弹性插针的可靠接触，构建稳定闭合电路，确保振动能量转换产生的电能高效传输至储能装置。



注：3 为弹性减速带，4 为支撑减速带，5 为弹簧，7 为压电板本体，8 为配重锤，9 为支撑辊，12 为锤杆，13 为锤头，14 为限位杆，16 为支撑柱

图2 自发电减速带的内部结构 A 向示意图

## 2 自发电减速带发电装置设计

### 2.1 自发电减速带发电装置主要运行模式

液压传动与电磁驱动是当前自发电减速带发电装置常见运行模式，液压传动式减速带发电装置基于流体动力学原理，将机械动能转化为液压能进而产生电能。当车辆驶过减速带时，轮胎对减速带上盖板施加垂直载荷，导致密闭腔体内的液压油受压<sup>[3]</sup>。由于连通管道采用节流设计，液压油无法瞬时流动，从而形成高压油流，并以湍流状态冲击涡轮叶片组，在叶片两侧形成非对称压力分布，驱动叶轮旋转。叶轮通过联轴器与永磁同步发电机相连，实现机械能向电能的有效转化。减速带上的载荷撤除后，通过设置的储油囊实现介质回流，并借助复位弹簧使上盖板恢复初始位置，完成能量循环。电磁驱动式减速带发电装置基于法拉第电磁感应定律将机械动能转化为电能。当车辆压过减速带时，减速带下方的液压或机械传动系统将上下往复运动转化为旋转运动，驱动内置的永磁体或励磁线圈在定子中旋转，切割磁感线产生电流。当轮毂离开时，弹簧将减速带弹起，线圈向上运动，弹性势能释放，线圈内磁通量将发生变化，产生电流。产生的电流经整流电路转换为直流电，再通过储能装置进行电能存储，最终经逆变器调节后并入电网或供周边设施使用。发电系统采用模块化设计，通过组合多个发电模块构成发电模块组，实现整体发电能力有效提升。

### 2.2 自发电减速带发电装置设计思路分析

本文提出的自发电减速带发电装置主要是利用车辆经过时产生的压力驱动发电机进行发电。相较于传统需要开挖基坑的减速带发电装置结构设计，本装置通过优化整体机械传动布局，采用 V 字形支撑摆板设计，将压力发电模块完全集成于减速带内部，既降低了装置的整体高度，

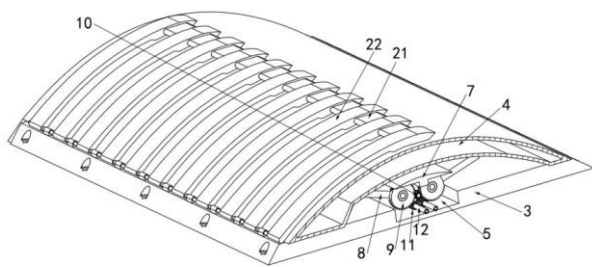
又避免了基坑开挖带来的施工复杂性和环境适应性问题。与此同时，通过密封式结构设计，有效防止雨水和杂物侵入传动部件，解决传统基坑式装置因长期积水和杂物堆积导致的维护难题；通过模块化结构设计，使装置的安装、拆卸和维护更加便捷，同时便于根据不同路况和发电需求灵活调整配置，有效提升发电装置的实用性和适用性。

### 2.3 自发电减速带发电装置整体结构分析

本文提出的自发电减速带发电装置由压力模块和发电模块两大部分构成，各模块间通过精密的结构设计实现能量传递与转换，在确保减速带基本功能的同时，有效提升了能量回收效率。

#### 2.3.1 压力模块

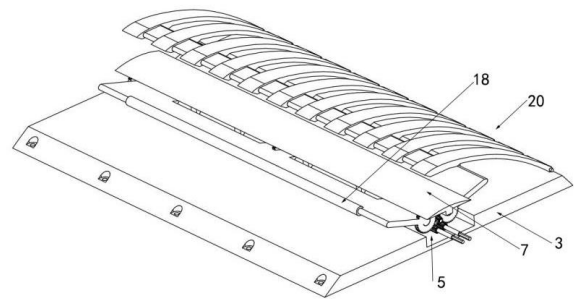
自发电减速带发电装置的压力模块采用固定基座与变形腔体的组合式结构。固定基座与拱形变形腔体通过刚性连接形成密闭的发电仓，该仓体不仅为机械压力发电组件提供了安装空间，更通过密封设计有效隔绝了雨水和杂物侵入，保障了内部机构的长期稳定运行。压力模块中的变形腔体采用拱形设计，内部容纳有非牛顿液体，并通过与储液囊的紧密配合实现液体的动态响应。变形腔体两端通过封堵板与固定基座刚性连接，形成完整的密封结构。其中封堵板上精密加工的连接通孔配合旋转密封装置，确保了动力传递轴在动态工况下的密封可靠性。变形腔体采用非对称式结构设计，一侧设置为扩容阻力腔，在增加非牛顿液体容纳量的同时，扩展对弧形支撑板的支撑范围；另一侧变形底座上设置了弧形支撑板，并通过铰接机构与变形腔体连接，其上表面设置配重连接杆形成杠杆系统。弧形支撑板在本装置中具有多重功能：常规工况下作为缓冲界面保护变形腔体；高速通过时与扩容阻力腔协同形成刚性凸起强制减速；逆向行驶时则通过杠杆原理自动抬升形成物理屏障。压力模块采用模块化拼接结构设置，具有灵活可扩展的特点，可根据使用场景实际情况灵活调整拼接数量，实现与安装长度的精准匹配。与此同时，模块化拼接设计可提高产品运输、现场安装、运营维护的便捷性，利于装置应用成本节约。



注：3为固定基座，4为变形腔体，5为机械压力发电组件，7为支撑顶板，8为支撑摆板，9为驱动齿轮，10为中间齿轮，11为动力传动轴，12为动力传动轴，21为配重连接杆，22为弧形齿

图3 压力模块内部结构示意图

自发电减速带发电装置的机械压力发电组件采用高度集成的密封式设计，整体安装于发电仓内部，在降低结构高度的同时，有效隔绝雨水和固体杂质的侵入，为发电单元提供稳定的工作环境。组件创新性采用V型双摆板结构，两个支撑摆板呈精确的夹角布置，下端通过轴承与固定基座形成转动副，上端则与变形腔体下表面保持动态接触。每个支撑摆板下端均固定连接有驱动齿轮，通过中间齿轮的媒介作用形成运动耦合。当车辆通过减速带时，前侧支撑摆板受压下移，其驱动齿轮一方面通过动力齿轮带动发电机轴旋转发电，另一方面经中间齿轮联动后侧摆板完成复位动作。随着车辆继续行进，后侧支撑摆板受压发生转动，通过驱动齿轮与动力齿轮之间的啮合带动与之对应的动力传动轴转动，带动发电机进行发电；通过驱动齿轮与中间齿轮之间的啮合带动前侧支撑摆板升起复位。该设计在将车辆动能高效转化为电能的同时，通过机械自锁替代传统弹簧复位装置，有效降低机械复杂度，提高系统运行可靠性。

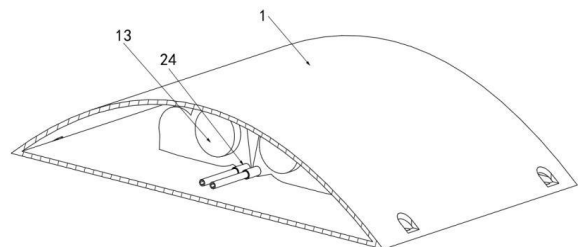


注：3为固定基座，5为机械压力发电组件，7为支撑顶板，18为支撑轮，20为弧形支撑板

图4 机械压力发电组件处某个方向的结构示意图

#### 2.3.2 发电模块

发电模块采用双发电机配置，每个动力传动轴独立连接一台发电机，实现单轴驱动单机的工作模式。动力传动轴与发电机输入轴之间通过单向轴承连接，该设计可确保支撑摆板在复位过程中不会反向驱动发电机，从而维持发电机的单向旋转特性。此外，动力传动轴与发电模块采用旋转连接方式，并在连接处配备旋转密封装置，以确保系统的密封性。



注：1为发电模块，13为发电机，24为单向轴承

图5 发电模块内部结构示意图

### 3 自发电减速带检测照明系统

所述自发电减速带左右两侧设有横向凹槽,内部集成高亮度 LED 警示灯带,与储能系统直接连接。在夜间或低照度环境下,LED 灯自动激活并发出白色频闪光效,通过动态视觉提示使驾驶员在 50m 外即可清晰辨识减速带位置,有效引导驾驶员提前减速,减少冲撞风险。所述自发电减速带顶部嵌装红外线探测器,可对周边 5m 范围内的人体活动进行实时监测,当识别到行人接近时,立即向中央控制器发送信号,触发 LED 灯切换为红色常亮模式,一方面提示行人注意减速带位置,另一方面警示后方来车前方有行人通过,实现双向安全预警。控制系统采用自适应算法,能根据环境光照强度智能调节 LED 亮度,在确保警示效果的同时最大限度降低能耗<sup>[4]</sup>。所述自发电减速带检测照明系统通过结构一体化设计实现完全防水,且无需外接电源,在提升道路交通安全性的同时降低了运维成本。

### 4 结语

本文设计的自发电减速带有效解决了传统减速带存在的技术缺陷,在确保行车安全性和乘坐舒适性的同时,

实现了对车辆行驶能量的高效回收利用,具有显著的节能环保效益。该减速带采用模块化设计,各组件可快速拆卸与更换,利于维护和升级。智能检测照明系统的设置,提高了减速带的环境适应性,实现交通基础设施智能化水平提升。未来,随着技术的深度融合与材料的创新应用,自发电减速带将成为推动交通绿色化、智能化发展的关键设施。

#### [参考文献]

- [1]刘玉玲,李鹏鹏,钟鑫,等.浅谈智能化减速带建立的重要性[J].科技与创新,2021(23):81-83.
  - [2]丁昕,李鹏鹏,钟鑫,等.智能现代化减速带高度调节对车辆安全性的影响[J].科技与创新,2021(23):43-44.
  - [3]方腾,张金成,董兵兵.基于减速带重力势能的道路发电装置机构设计[J].机械工程师,2024(9):68-72.
  - [4]王凯达,穆文英,张连昊,等.自产电非牛顿流体 LED 警示减速带的设计与研究[J].科技创新与应用,2019(23):49-53.
- 作者简介:符养斌(1966.9—),毕业院校:北京理工大学,所学专业:汽车,当前就职单位:山西省交通新技术发展有限公司,职称级别:高级工程师。

## 全工序机械化装备体系在高原铁路隧道施工中的应用研究

陈秋林

中铁三局集团有限公司, 山西 太原 030000

[摘要]随着我国铁路和公路隧道建设规模的不断扩大,传统依赖人工与单机作业的施工方式已难以满足高原、长大隧道复杂环境下的效率与安全要求。以高原铁路为代表的高原隧道工程,通过引入全工序机械化装备体系,实现了开挖、支护、衬砌、养护等环节的流水线式施工。文中在分析隧道施工环境特点的基础上,结合高原铁路的工程实践,系统总结了全工序机械化装备体系的构成、应用成效与管理模式,并提出了优化与发展方向。研究表明,该体系不仅显著提升了施工效率和质量,还推动了施工组织模式向智能化、信息化方向转型。

[关键词]隧道施工;全工序机械化;高原铁路;装备体系;智能建造

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17581

中图分类号: TU752

文献标识码: A

### Application Research on Fully Mechanized Equipment System in High-altitude Railway Tunnel Construction

CHEN Qiulin

China Railway No. 3 Engineering Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

**Abstract:** With the continuous expansion of railway and highway tunnel construction scale in China, the traditional construction methods relying on manual labor and single machine operation are no longer able to meet the efficiency and safety requirements in complex environments such as high altitude and long tunnels. The plateau tunnel engineering represented by the plateau railway has achieved assembly line construction in excavation, support, lining, maintenance and other aspects by introducing a fully mechanized equipment system for the full process. On the basis of analyzing the characteristics of tunnel construction environment and combining with the engineering practice of high-altitude railways, this article systematically summarizes the composition, application effectiveness, and management mode of the full process mechanized equipment system, and proposes optimization and development directions. Research has shown that this system not only significantly improves construction efficiency and quality, but also promotes the transformation of construction organization models towards intelligence and informatization.

**Keywords:** tunnel construction; mechanization of the full process; high-altitude railway; equipment system; intelligent construction

#### 引言

隧道工程是交通基础设施建设中的关键环节,尤其在山岭重丘和高原地区,大量长大隧道的修建对区域交通和经济发展具有重要意义<sup>[1]</sup>。然而,与地面施工相比,隧道施工面临着更加复杂的自然环境与施工条件。在海拔地区,低氧、低压和低温等环境因素叠加,使得施工设备的有效功率明显下降,仅为平原地区的约 67%,循环作业时间增加约 52%,施工安全风险和劳动强度显著提高。这些不利条件不仅影响施工进度,也直接威胁到施工人员的身体健康和工程质量。

长期以来,我国隧道施工多以人工配合单机作业为主,这种模式在短隧道或地质条件较好的工程中尚适用,但在高原铁路等高原长大隧道项目中,其不足日益显现<sup>[2-3]</sup>:一方面,人工劳动强度大,易导致作业效率低下和安全事故频发;另一方面,单机作业缺乏系统性,各工序之间衔接不畅,影响整体施工周期和工程质量。随着我国基础设施建设规模的不断扩大,亟需一种更加高效、安全、系统

的施工组织方式<sup>[4-5]</sup>。

为此,高原铁路在隧道施工中全面引入了全工序机械化装备体系。该体系涵盖超前地质预报、钻爆开挖、初期支护、锚杆安装、二次衬砌到养护等八条作业线,构建了“成套化装备+标准化工艺+信息化管理”的施工新模式。与传统方式相比,全工序机械化不仅能实现各工序间的高效衔接和流水线作业,还能通过机械化替代人工在高风险环境下的直接作业,显著提升施工安全性与效率。

更为重要的是,全工序机械化装备体系的引入,不仅缓解了高原施工环境对机效能的制约,还推动了隧道施工模式由“经验驱动”向“装备驱动”和“数据驱动”转型。这一实践为高原铁路等重大工程的顺利实施提供了有力支撑,也为我国长大隧道建造提供了可复制、可推广的范例,对实现交通强国战略目标具有重要意义。

#### 1 全工序机械化施工的必要性

高原隧道施工条件远比普通隧道复杂。首先,低氧环境导致设备性能下降:在海拔 3000m 以上,洞口含氧

量随海拔每升高 1000m 下降约 1.6%，洞内更因通风受限而降低，燃油动力设备有效功率仅为平原的 60%~70%，施工周期被迫延长。其次，工效下降显著，高原铁路长大隧道循环作业时间普遍比平原增加 40%~50%，加之低温高湿环境使混凝土养护难度加大，进一步拖慢进度。再者，复杂地质条件下安全风险极高，坍塌、涌水等灾害频发，施工人员长时间进入掌子面，劳动强度与事故隐患并存。

在此背景下，引入全工序机械化至关重要。凿岩台车、湿喷机械手、衬砌台车等流水线化衔接可缩短循环时间、提升精度与质量，并以机械替代人工进入高危区域，显著降低风险。同时，它推动施工模式由“人工+单机”向“系统化+智能化”转型。

综上，全工序机械化不仅能突破高原环境制约，更是隧道施工现代化的必然路径。图 1 展示了高原铁路隧道施工的典型环境特征。

## 2 装备体系构成与功能分析

全工序机械化装备体系的核心在于对隧道施工各工序的成套化覆盖与有机衔接。从超前地质预报、钻爆开挖，到初期支护、锚杆施工，再到二次衬砌和后期养护，均配备了专用机械设备，构建了一条完整的作业链条。与传统“人工+单机”的割裂模式不同，这一体系实现了工序之间的无缝衔接，大幅提升了整体施工效率和质量。

表 1 展示了典型作业线装备的配置与工效表现。其中，

XR100G 多功能钻机能够在复杂围岩条件下完成 100m 深的超前地质预报钻孔，显著提升地质掌握程度；DJ3E 凿岩台车则采用三臂全电脑控制系统，能够在 2 小时 20 分钟内完成 150 个炮孔钻进，保证了爆破施工的高效与精准；在初期支护环节，HP3017G 湿喷机械手的喷射效率可达 30m<sup>3</sup>/h，且混凝土回弹率降至 8%，有效改善了材料利用率和支护质量；MT1G 钻锚注一体机实现了钻孔、安装与注浆一体化操作，单根锚杆施工时间缩短至 6min，合格率达到 98% 以上；在衬砌工序中，智能衬砌台车能够实现多点自动布料和实时监控，保证了二衬混凝土成型的稳定性与合格率；而蒸汽养护台车则通过恒温恒湿条件的维持，使二衬混凝土内部不产生裂缝，进一步提升了结构耐久性。

从表 1 可以看出，全工序机械化装备不仅覆盖了隧道施工的各个环节，而且在效率、精度与质量控制方面均表现出显著优势，形成了一条系统化、标准化的施工工艺链。这种体系的引入，标志着隧道施工正逐步向装备成套化和工艺一体化方向发展。

与此同时，图 2 展示了 DJ3E 凿岩台车在施工现场的应用情况。该设备通过多臂协同钻孔和激光定位技术，能够实现炮孔布置的高精度控制，有效减少超欠挖现象，并为后续爆破作业创造了良好的条件。由图 2 可以直观地看到，凿岩台车替代人工钻孔作业后，不仅降低了工人暴露在掌子面危险环境中的时间，还显著提升了作业效率与安全性。



图 1 高原铁路隧道施工环境示意图

表 1 典型作业线装备配置与工效表现

作业线	关键装备	性能指标	工效表现
超前地质预报	XR100G 多功能钻机	钻深 100m	钻进速度达 15~50m/h，单次取芯长度 4m，取芯速度 1.5~5m/h，36m 探孔 4h 完成。
开挖	DJ3E 凿岩台车	孔径 43~140mm，孔深 2.4~4.8m	平均每循环 150 孔打钻耗时约 2.5h，较传统施工减少劳力 10 人。炮孔残留率 达到 90% 以上，平均线性超控控制在 20cm 以内。
初支	HP3017G 湿喷机械手	喷射效率 30m <sup>3</sup> /h	单循环喷浆 3 榦，分区喷射混凝土 36m <sup>3</sup> ，工效可控制在 2.5h 以内，回弹率降至 8%
锚杆施工	MT1G 钻锚注一体机	单根锚杆 6min 完成	单根低预应力树脂锚杆施工时间由 15~20min 降至 6.5min 以内，每循环锚杆施工时间控制在 4h 以内，劳力由 8 人减至 3 人，合格率 ≥98%
衬砌	智能衬砌台车	多点自动浇筑+监控	实现分层逐窗入料、平板振捣+插入式振捣，二衬合格率 100%
养护	蒸汽养护台车	恒温 25~35℃，湿度 ≥90%	全封闭包裹，智能化恒温恒湿调节，二衬无裂缝、错台等



图2 DJ3E 凿岩台车施工现场

### 3 施工应用与管理实践

#### 3.1 装备配置情况

在高原铁路隧道项目中,全工序机械化装备体系得到了全面部署。根据统计,项目共配置机械设备 139 台套,涵盖凿岩台车、湿喷机械手、拱架安装台车、智能衬砌台车、养护台车及其他配套设备。这种大规模成套化投入,确保了各工序能够实现机械化覆盖,形成了完整的施工链条。

表 2 展示了全工序机械化装备的具体配置情况。其中,凿岩台车共计 15 台,平均每个掌子面配备 2 台,保证了钻爆作业的连续性;湿喷机械手共 23 台,每个工作面均配置 1 台,用于快速完成初期支护;拱架安装台车 18 台,通过多棍预拼和激光定位技术,提高了拱架安装的精度和效率;衬砌台车 13 台,配备智能监控和带模注浆系统,确保二衬施工质量;养护台车 11 台,采用蒸养与喷淋组合方式,为混凝土养护提供稳定条件。此外,还配置 59 台其他装备,包括钻机、防水板台车等,以满足特殊工序需求。

表 2 全工序机械化装备配置情况

装备种类	数量	配置特点
凿岩台车	15 台	三个工作面 2 台,炮孔残留率达到 90% 以上
湿喷机械手	23 台	每工作面配置 1 台,降低初喷回弹率、减少粉尘污染
拱架安装台车	18 台	两个工作面配置 1 台,多棍预拼+激光定位、三点精确定位、机械抓取
衬砌台车	13 台	每工作面配置 1 台,高频振捣系统、自动浇筑、信息集成传输系统、可视化监控等
养护台车	11 台	每工作面配置 1 台,智能温湿度控制系统、自动行走系统、智能蒸养+喷淋养护
其他装备	59 台	含多功能钻机、防水板台车、移动除尘设备等

从表 2 可以看出,这一配置实现了“1 套工装覆盖 1 个掌子面”的目标,为施工连续性和均衡推进提供了有力保障。与传统施工方式相比,该体系显著减少了工序间等

待时间,提高了设备利用率和整体施工效率。

与此同时,图 3 展示了 HP3017G 湿喷机械手在施工现场的应用情况。通过机械臂的自动化喷射作业,该设备能够保持喷层厚度均匀,回弹率控制在 8% 左右,大大改善了材料利用率和支护效果。从图中可直观地看到,湿喷机械手替代人工喷射作业后,不仅降低了工人暴露在掌子面危险区域的时间,也显著提升了初期支护的效率与安全性。



图3 HP3017G 湿喷机械手施工

#### 3.2 管理与保障措施

在装备配置基础上,项目部实施多项创新管理措施以保障全工序机械化高效运行。首先推行“三自管理模式”(设备自有、人员自管、管理自主),增强了施工单位的自主掌控与执行力。其次,通过大机写实记录、优化管线与作业区布置、提前完成风水电准备,实现工序“零交接”,有效减少等待时间。在安全与质量方面,建立“月度考核+两级维保”机制,提升设备完好率并压实责任。最后,将操作手培训与考核常态化,并结合薪酬激励,既缓解了高原施工人员不足,又提升了积极性与责任心。

#### 4 存在问题与优化方向

尽管全工序机械化在高原铁路隧道施工中成效显著,但仍存在不足。首先,维修保障困难突出,进口设备零部件供应周期长、成本高,易影响进度。其次,高水平操作人才不足,施工仍依赖少数技术骨干,人员短缺直接影响质量与工期。再次,国产设备在低氧、低温及复杂地质条件下的稳定性和适配性不足,故障率偏高,有待优化升级。

针对上述问题,提出了若干优化措施。表 3 总结了当前存在的主要问题及对应的解决策略。例如,针对维修保障困难,可建立“配件库超市化”模式,并设立专项维保资金,以缩短零部件供应周期;针对操作人才不足,可通过强化培训与薪酬激励机制,吸引并留住高技能操作手;而对于国产设备适应性差的问题,则需加强研发与施工现场的联动,推动设备迭代升级,逐步提升可靠性与智能化水平。

**表 3 存在问题与优化措施**

问题	影响	优化措施
维修保障困难	设备停工影响进度	建立配件库,驻场厂家服务
操作人才不足	施工质量与进度不稳	强化培训与激励机制
国产设备适应性差	高原工况故障率高	研发升级+现场联动

与此同时,设备优化的方向不仅体现在技术升级,还包括施工工艺的改良与管理模式的创新。例如,智能衬砌台车已在部分项目中得到成功应用。图 4 展示了智能衬砌台车的现场应用情况,可以看到其通过自动布料、实时监控和带模注浆等功能,显著提高了二次衬砌的施工精度与稳定性。这类智能化设备的应用,正是未来国产装备发展与优化的方向。


**图 4 智能衬砌台车现场应用**

## 5 结论

全工序机械化装备体系在高原长大隧道施工中有效

提升了施工效率与安全性,实现了工序标准化和流水线作业。在高原铁路中,该体系缩短了施工周期、降低了劳动强度,并保障了隧道结构质量。通过“三自管理”模式和完善的维保体系,设备利用率显著提高。未来应进一步推动国产设备升级与智能化应用,同时加强高技能操作人才培养,以构建更加高效、可靠和智能化的隧道施工体系。

### [参考文献]

- [1]郭世杰.高速铁路隧道全工序智能装备机械化配套施工方法研究[J].自动化应用,2025,66(9):147-149.
  - [2]孔文亚,周立新,王君楼.高速铁路隧道钻爆法机械化施工关键技术和装备[J].铁道建筑,2024,64(6):109-113.
  - [3]胡莲.贵广铁路隧道套衬施工装备研制及应用[J].铁道建筑技术,2024(2):190-193.
  - [4]刘飞香.钻爆法隧道施工装备技术进展与展望[J].现代隧道技术,2024,61(2):190-202.
  - [5]林志,谭忠,郝理.山岭隧道施工的分步式与整体式机械化[J].科学技术与工程,2019,19(36):62-72.
- 作者简介:陈秋林(1991.7—),男,汉族,籍贯:重庆市潼南区,西南交通大学机械设计制造及自动化,2011级本科生,中铁三局集团有限公司石雄铁路 SXZQ-1 标项目经理部机械部部长。

## 绿色施工技术在高速公路养护中的应用分析

张岩

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210000

**[摘要]**随着高速公路建设以及运营规模持续拓展, 养护工作已然变成保障公路安全、延长其使用寿命以及提升服务品质的关键环节。绿色施工技术作为现代工程技术极为重要的发展趋向, 凭借节能减排、资源循环利用还有智能化管理等方面的优势, 给高速公路养护带来了全新的办法与实践路径。本篇文章选取高速公路养护当作研究对象, 全面且细致地剖析了绿色施工技术在养护进程里的应用实际状况与实践方式, 着重对绿色材料的应用情况、能效管理以及污染控制事宜、智能化技术的融合状况以及路面、路基及其附属设施的绿色施工实践展开探究, 还进一步给出了优化以及创新方面的策略, 期望能够为高速公路养护给予科学且可持续的技术支撑与理论参照。

**[关键词]**绿色施工技术; 高速公路; 养护

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17585

中图分类号: U415

文献标识码: A

## Application Analysis of Green Construction Technology in Highway Maintenance

ZHANG Yan

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

**Abstract:** With the continuous expansion of highway construction and operation scale, maintenance work has become a key link in ensuring highway safety, extending its service life, and improving service quality. Green construction technology, as an extremely important development trend in modern engineering technology, has brought new methods and practical paths to highway maintenance with its advantages in energy conservation, emission reduction, resource recycling, and intelligent management. This article selects highway maintenance as the research object, comprehensively and meticulously analyzes the actual application status and practical methods of green construction technology in the maintenance process, focusing on the application of green materials, energy efficiency management and pollution control matters, the integration of intelligent technology, and the green construction practice of road surfaces, roadbeds and their ancillary facilities. It also provides optimization and innovation strategies, hoping to provide scientific and sustainable technical support and theoretical reference for highway maintenance.

**Keywords:** green construction technology; highway; maintenance

### 引言

高速公路作为现代交通运输体系里的关键构成部分, 其具备的安全性、舒适性以及耐久性均会对交通运输的效率以及社会经济的发展产生直接影响。伴随着高速公路网络持续不断地拓展延伸, 传统所采用的养护方式在资源耗费、给环境带来的影响以及施工的效率等诸多方面都碰到了诸多挑战。绿色施工技术着重于在施工开展的过程中去合理地利用资源, 努力降低能耗以及排放量, 同时尽力减少对环境所造成的干扰。这样的理念一方面充分彰显了可持续发展所提出的要求, 另一方面也给高速公路养护朝着科学化、精细化的方向去开展管理给予了理论层面的有力支撑。本文主要针对绿色施工技术在高速公路养护当中的实际应用展开较为系统的探讨。

### 1 高速公路养护概述

高速公路养护是在公路运营期间展开的一项工作, 其目的在于保障道路设施的安全性、确保功能能够正常发挥作用以及延长使用寿命。具体而言, 养护工作包含了日常维护方面的事务, 也有定期开展的检查工作, 还有针对出

现状况的修复举措以及更新相关设施的操作。养护所涉及的内容是多方面的, 像路面、路基、桥梁、隧道以及这些主体设施之外的附属设施, 都需要进行日常的巡查。随着车辆荷载不断增大, 气候条件也在发生变化, 如此一来, 高速公路的路面结构、边坡防护还有排水系统等等, 都有可能呈现出不同程度的损坏情况, 或者出现性能有所下降的情形。所以说, 高效且科学的养护管理工作, 对于道路安全以及通行效率来讲, 有着不容忽视的重要意义。在实际的操作过程当中, 养护工作一方面要求所采用的技术手段得是先进的, 另一方面还得充分考虑到资源节约以及环境保护这两个方面。绿色施工技术的引入就是在这样的大背景之下, 给养护工作给予了系统化的技术支持, 借助于对材料使用的优化、施工工艺的改进以及能效管理的提升, 最终达成了养护全过程的可持续性目标。

### 2 绿色施工技术的应用原则

绿色施工技术的应用原则主要包括节约资源、保护环境和提升效率三个核心方向。首先, 节约资源是绿色施工技术应用的基础原则, 强调在施工过程中尽可能减少能源、

材料和水资源的消耗,采用可再生、可回收的材料,并推动建筑废弃物的再利用与循环利用。其次,环境保护是绿色施工的关键目标,施工活动应减少对自然环境的负面影响,如降低噪音、粉尘排放和污染物排放,确保施工区域的生态环境不受破坏,甚至实现生态修复。第三,提升施工效率是绿色施工技术的又一重要原则,通过优化施工流程、使用智能化技术和节能设备,提高施工的精准度和效率,减少施工时间和能耗。此外,绿色施工还强调创新与技术的融合,推广先进的施工技术和工艺,如预制化、模块化施工,以实现更高效、更环保的施工模式。

### 3 高速公路养护中的绿色施工技术应用

#### 3.1 绿色材料的应用

在高速公路养护领域当中,绿色材料的应用情况乃是达成资源节约以及环境友好型施工这一目标的关键环节所在。这里所说的绿色材料,其范畴并不单单局限于再生沥青、再生混凝土还有粉煤灰这类工业副产品,而且还包含了具备低能耗特性以及低碳排放特性的各类环保建材。对这类材料加以运用的话,一方面可以切实有效地削减天然资源方面的消耗量,另一方面在施工进程里还能够促使二氧化碳排放得以降低、能源消耗有所减少并且施工废弃物的产生数量也能相应减少,进而达成材料循环利用以及可持续发展的目的。就好比说,在开展路面养护相关工作的时候,要是采用再生沥青混合料,那么既能够确保路面所具备的承载性能以及耐久性都处于良好状态,又能够极为充分地对废旧沥青资源予以利用,如此一来便可以让其对环境所产生的负面影响得以降低。在针对桥梁以及路基展开养护工作的过程当中,倘若应用高性能环保混凝土、生态填料还有轻质复合材料,那么就能够让材料性能的稳定性和耐久性得到显著提升,与此同时还能使得施工给周边生态环境所带来的扰动程度有所减小。除此之外,要想实现绿色材料的应用,那就需要在采购环节、配比环节、施工环节以及养护环节全都严格把控好质量方面的情况,要将智能化施工技术以及施工监测系统相互结合起来,以此来促使材料利用效率能够达到最大化的程度,进而给高速公路养护工作给予科学且可持续的技术方面的有力支撑,最终实现在保障施工安全性以及耐久性这两个方面的也达成生态环境保护以及资源节约这两项目标。

#### 3.2 能效管理与施工过程污染控制

施工过程里的能效管理以及污染控制,属于绿色施工技术在高速公路养护当中的重要构成部分,而且是必不可少的。借助对施工设备配置予以优化、科学地安排施工顺序以及合理的设计工序等方式,能够在确保施工质量的基础之上,切实有效地降低能源的消耗量,进而提升施工的效率,达成施工活动具备可持续性的状态。就好比说,在开展路面摊铺以及压实相关工作的时候,引入节能型的摊铺机、高效的压实设备还有自动化施工系统,如此一来,

不但使得燃油的消耗量有所减少,机械磨损的程度也得以降低,而且还能确保施工质量呈现出均匀且稳定的特点。与此施工过程中有可能会产生的粉尘、噪音、废水以及其他各类污染物,得依靠采取像覆盖施工面、喷洒抑尘剂、设置施工围挡以及构建排水和废水处理系统等一系列综合性的举措,才能够对这些污染物加以有效的控制,进而削减其对周边生态环境所造成的干扰。除此之外,要是能够把施工监测系统和信息化管理平台相互结合起来运用,那么就能够实时且精准地监测到能耗情况、排放状况以及施工进度等方面的情况,进而针对施工方案展开动态化的调整与优化工作,如此便能够在保证工程质量的前提之下,达成节能减排以及环境保护这两大目标,进而为高速公路养护给予高效且绿色的技术方面的有力支撑。

#### 3.3 智能化技术在绿色施工中的应用

智能化技术在高速公路养护的绿色施工里有着极为关键的作用,它的应用涉及到施工过程的监控、数据的采集与分析、资源的调度以及施工决策的优化等诸多方面。借助传感器、无人机、物联网以及实时监测系统,能够全方位地获取像路面状况、结构性能、环境条件还有施工进度这类多维数据,以此给施工方案的优化调整给予科学方面的依据。在养护作业期间,智能化设备可以达成高度自动化的操作,像无人摊铺、自动压实、智能喷涂以及精确标线作业都能够实现,进而切实提升施工的精度与效率,减少人力的耗费以及能源的使用。与此智能化系统能够针对施工设备的能耗、排放以及运行状态展开实时的监控,并且联合大数据分析以及人工智能算法来对施工流程实施动态的优化,达成施工全过程的绿色管理。这项技术的深度融合不但明显提高了施工的质量与效率,而且还为养护工作带来了精细化、可追溯并且可量化的管理方式,推动了绿色施工理念在高速公路养护当中的广泛运用,为实现节能减排、资源的高效利用以及环境保护给予了稳固的技术支撑。

#### 3.4 路面、路基及附属设施绿色施工实践

在高速公路养护的实际操作当中,针对路面、路基以及各类附属设施所开展的绿色施工,这无疑是在实现可持续养护方面极为重要的一环,同时也是确保道路能够长久保持安全性,并且让其与生态环境达成协调发展态势的关键举措。就路面养护来讲,运用再生沥青、再生混凝土以及低碳施工工艺等手段,一方面可以充分确保路面具备良好的平整度、较强的承载能力以及不错的耐久性,另一方面还能大幅度地降低天然材料的耗费程度以及施工过程中的能耗情况,进而达成资源的循环再利用目的,同时也实现了环保方面的相关目标。在对路基展开养护的时候,着重关注土壤的稳定性、坡面的防护状况以及生态方面的兼容特性,借助生态友好型的填料、透水性能良好的材料,再加上实施坡面绿化以及植被恢复等相关措施,如此一来

便有效地减少了施工行为给自然环境所带来的扰动影响,并且还进一步提升了边坡在长时期内的稳定状态以及呈现出的景观效果。对于诸如排水系统、护栏、标志牌以及各类安全设施等附属设施的养护工作而言,同样广泛地采用了节能环保性质的材料,同时还运用了模块化、预制化的施工技术,这样一来就可以实现快速的安装操作,日常维护起来也比较便捷,既能缩短施工所花费的时间,又能降低施工期间的能源消耗量,与此同时还可以提升施工的精准程度以及施工过程的安全性。从整体层面来看,凭借科学合理的施工方案规划、恰当适宜的材料与施工设备选取,再结合智能化的监控以及数据管理方面的手段,是完全能够达成养护整个过程都遵循绿色施工标准的目标的。如此一来,在保障道路具备安全性、耐久性以及良好服务性能的基础上,还能够实现生态环境的保护、资源的高效利用以及施工效率的提升这几方面的有机融合统一,进而为高速公路的养护工作给出了可持续发展的实际操作模式以及技术方面的示范参考。

#### 4 高速公路养护绿色施工技术优化与创新

##### 4.1 新型材料与施工工艺创新

绿色施工技术的发展离不开材料和施工工艺的持续创新,在高速公路养护方面这一点显得尤为重要。新型环保材料的应用,像高性能再生沥青、生态混凝土、轻质复合材料以及具备高耐久性且对环境影响低的填料,不但大幅度提升了路面以及路基的承载能力与耐久性,而且有效降低了施工过程中资源的消耗以及环境负荷<sup>[1]</sup>。与此模块化、预制化、低温施工以及自修复路面等先进施工工艺的引入,达成了施工效率与精度的提高,减少了能源使用以及碳排放。举例来说,借助低温沥青摊铺技术,能够在确保施工质量之际减少燃料消耗以及碳排放;预制化路面板的运用既缩短了施工周期,又提升了路面平整度与施工精度,同时还方便后续的养护与更换。材料与工艺的创新不仅优化了施工过程,提升了工程的质量与安全性,还为高速公路养护的绿色施工给予了系统化、可持续的技术支撑,为实现节能减排、资源高效利用以及施工环境友好化奠定了坚实的基础,推动了高速公路养护朝着高效、低碳以及智能化的方向发展。

##### 4.2 智能化与信息化管理优化

智能化和信息化管理对于优化高速公路养护绿色施工而言,是非常重要的手段,同时也是达成施工高效、节能以及环保目标的关键核心技术支柱。借助构建完备的施工信息管理系统、能耗监控平台还有环境监测系统,能够针对施工进度、设备运行状况、能耗数据以及环境指标展开实时采集以及综合剖析,从而给施工方案的优化调整给予科学的数据支撑以及决策参考<sup>[2]</sup>。与此信息化技术可以达成施工资源的合理安排与动态调配,切实降低施工进程

当中的能源耗费、材料耗费以及环境负担。像无人摊铺机、自动压实机、智能喷洒系统以及施工现场传感器这类智能化设备的应用,让养护作业操作更为精准且高效,同时也使得人力成本得以降低,施工风险也有所减少。信息化与智能化技术相互融合的程度不断加深,不但大幅提高了施工效率以及工程质量,而且还达成了养护全程的绿色管理与可追溯控制,为高速公路养护带来了科学且系统的绿色施工解决办法,同时也促使施工模式朝着智能化、低碳化以及可持续发展的方向去推进,进而为高速公路养护的现代化管理筑牢了坚实的技术根基。

##### 4.3 养护流程及资源配置优化

养护流程以及资源配置的优化,乃是达成绿色施工最大效益的关键途径。借助科学且合理的规划施工顺序,妥善安排施工班组与机械设备,如此便能够切实有效地降低能耗,减少材料方面的浪费情况。就路面养护来讲,对摊铺及压实顺序加以优化,能够提升施工的效率,避免出现重复作业的现象。而在路基以及附属设施养护环节,凭借集中施工以及资源共享的方式,可使运输和施工能耗得以降低<sup>[3]</sup>。与此综合施工监测所获取的数据,便能达成施工材料的精准调配,实现其动态化管理,进而提高资源的利用效率。经过优化后的养护流程,一方面提升了施工的效率以及施工的质量,另一方面也进一步达成了绿色施工所设定的目标,从而给高速公路养护赋予了可持续的技术行进路径。

#### 5 结语

高速公路养护所采用的绿色施工技术,很好地彰显了节能减排、资源循环利用以及智能化管理等多方面的综合优势。具体而言,在养护工作中运用绿色材料,开展能效管理,实施智能化施工,并且对养护流程加以优化,如此一来,不但使得养护工作达成了高效、安全且环保的既定目标,而且还给行业后续的可持续发展贡献了相应的技术支撑以及宝贵的经验。在未来,伴随新型材料、先进工艺以及智能化技术不断地向前发展,绿色施工技术在高速公路养护当中的应用将会进一步拓展和加深,进而促使养护模式朝着更为高效、更加环保以及更趋智能的方向去演进,最终为交通基础设施实现可持续运营筑牢稳固的保障。

##### [参考文献]

- [1] 卞慧芳.绿色施工技术在高速公路养护中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(15):139-141.
  - [2] 张红松.绿色环保技术在高速公路施工中的应用分析[J].交通科技与管理,2024,5(14):164-166.
  - [3] 翟江虹.超薄磨耗层施工技术在高速公路养护中的应用分析[J].运输经理世界,2022(22):110-112.
- 作者简介:张岩(1993.9—),男,毕业院校:扬州大学,所学专业:建筑与土木工程,当前就职单位:江苏现代路桥有限责任公司,职务:技术员,职称级别:助理工程师。

## 预制装配式建筑结构施工技术现状与问题研究

崔进来

江苏金九久建设工程有限公司, 江苏 盐城 224200

**[摘要]** 预制装配式建筑结构施工技术属于在建筑走向工业化以及现代化这样的大背景之下所产生的极为重要的建造方式。该技术凭借工厂化预制以及现场装配这些环节,一方面能够大幅提升施工的效率,另一方面还能够让工期得以缩短。除此之外,在节能环保、降本增效以及质量保障等诸多方面,它也都彰显出了自身所具备的优势。伴随着绿色建筑理念以及智能建造理念不断向前推进,这项技术正在同时受到来自政策层面以及市场方面的双重有力推动。不过,它的推广应用到现在为止依旧面临着认知程度不够以及标准体系不够完善等一系列的问题,这些问题的存在对行业的发展起到了一定的制约作用。文中在对装配式施工技术的内涵以及优势加以梳理的基础之上,较为系统地对其应用当下的现状以及所存在的问题展开了分析,并且还对其未来的发展方向进行了探讨,以此来为推动装配式建筑实现高质量的发展给予相应的参考。

**[关键词]** 预制装配式建筑; 结构施工; 技术现状; 问题分析

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17593

中图分类号: TU758

文献标识码: A

### Research on the Current Status and Problems of Construction Technology for Prefabricated and Assembled Building Structures

CUI Jinlai

Jiangsu Jinjiujiu Construction Engineering Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 224200, China

**Abstract:** Prefabricated assembly construction technology is an extremely important construction method that has emerged in the context of industrialization and modernization of buildings. This technology, relying on factory prefabrication and on-site assembly, can greatly improve construction efficiency and shorten the construction period. In addition, it has also demonstrated its advantages in energy conservation, environmental protection, cost reduction, efficiency improvement, and quality assurance. With the continuous advancement of green building concepts and intelligent construction concepts, this technology is being strongly promoted by both policy and market factors. However, its promotion and application still face a series of problems such as insufficient awareness and incomplete standard system, which have a certain constraining effect on the development of the industry. On the basis of sorting out the connotation and advantages of prefabricated construction technology, this article systematically analyzes its current application status and existing problems, and also explores its future development direction, in order to provide corresponding references for promoting the high-quality development of prefabricated buildings.

**Keywords:** prefabricated modular construction; structural construction; technical current status; problem analysis

#### 引言

建筑行业当下正处在一个转型升级极为关键的阶段,在这个阶段当中,传统的现浇施工方式已然呈现出诸多弊端,比如工期持续时间过长、能源消耗量颇高、建筑材料存在严重浪费情况以及安全方面所面临的风险也较为突出,这些情况使得它很难契合现代化发展的实际需求。而预制装配式施工技术则有所不同,它把构件的生产环节转移到了工厂里面去开展,如此一来便能够达成设计环节、生产环节、运输环节以及安装环节相互之间的分离式协同作业,进而颇为有效地提升了建筑行业的工业化程度以及集约化的水平。就国际情况来看,这种模式已经得到了广泛的应用;在我国,凭借着政策层面给予的支持以及市场方面的有力驱动,装配式建筑的规模是逐年都在不断扩大的。对装配式建筑当下的现状以及存在的各类问题展开相关研究,这对于厘清其发展过程中所面临的瓶颈是很有帮

助的,同时也能够为后续的技术创新以及管理优化工作提供相应的依据。鉴于此,本文将围绕着应用现状、存在问题以及未来的发展方向这三个不同的方面来展开一番深入的探讨,希望能够为装配式建筑实现可持续发展贡献出一些可资借鉴的内容。

#### 1 预制装配式建筑结构施工技术概述

预制装配式建筑结构施工技术主要指,在进行建筑工程施工时,将组成该建筑工程项目的部分构件或者全部构件均在工厂中预先制作完成,通过运输将这些预制构件送至施工现场进行组装连接,建成具有各种使用功能的建筑物的一种施工技术。当前可以预制的建筑结构构件主要包括楼板、阳台板、内外墙板等。通过以上分析,可以看出预制装配式建筑结构施工技术的诸多优势,主要表现在:①由于是提前预制各构件,因此可以根据建筑工程的结构设计图,来制作相应的构件,可以满足许多不同造型的建

筑建设需求,能够极大的丰富各种建筑造型。②在进行建筑结构构件的预制时,预制工厂采用标准化、自动化且规模化的生产方式,在施工现场进行装配也更加标准性,使得整个构件制作与现场安装过程模块化,大大提高了工程施工的效率,有效缩短建设工期。③装配式建筑结构施工技术通过系统化的生产施工。④装配式建筑结构施工技术的应用,不需要大量的人工,因此可以实现较大的人工成本的节约。

## 2 预制装配式建筑结构施工技术应用现状

### 2.1 行业内对施工技术的认知情况

在我国建筑领域当中,预制装配式施工技术的认知程度正逐步提升,然而总体来看,尚未形成统一且深刻的行业共识。部分建筑企业以及管理部门对于装配式建筑的理解仅仅停留在概念层面,将其视为传统施工的一种改良方式,却没有充分意识到它在建造方式、施工组织、产业链整合等方面所引发的系统性变革。与此部分企业为了获取政策补贴或者借助市场宣传,在没有充分评估的情况下就匆忙上马装配式项目,却缺乏对技术适用性和经济效益的深入剖析,致使装配式建筑的实际应用效果与预期存在一定的差距。在科研院所和高校方面,尽管针对装配式建筑的研究逐渐增多,但是成果转化率仍然有限,技术推广依旧面临诸多壁垒。这种行业认知上的不一致,一方面影响了施工企业在技术选择和资源投入方面的积极性,另一方面也限制了产业链上下游的协同发展。

### 2.2 技术标准与规范体系现状

技术标准以及规范,在推动建筑施工技术得以普及并且实现提升方面,起到了极为重要的保障作用。就当下而言,我国已然出台了与装配式建筑有关的政策以及技术文件,像《装配式混凝土结构技术标准》《建筑工业化评价标准》这类文件便属于其中,而这些规范给装配式建筑的发展给予了基本的依据支撑。不过,标准体系还是存在着一些问题,比如覆盖面不够全面、针对性不够突出、地方标准和国家标准不统一等等情况。在实际的应用环节当中,因为各个地区经济发展水平以及建筑市场规模存在相当大的差异,地方在制定并执行装配式建筑标准的时候,常常会缺少统一的衡量尺度,这就致使企业在跨区域去开展装配式项目的时候,很难去适应不一样的技术要求。除此之外,部分标准更新的速度比较滞后,没办法及时地将行业最新的技术成果以及工程经验体现出来,如此一来,施工企业在实际的操作过程中,就缺少了可以遵循的统一依据。这样一种标准体系的不完备状况,使得装配式施工在推广实施的过程中,容易出现质量方面的差异以及管理方面的混乱情况,进而对行业整体的发展水平产生了影响。

## 3 预制装配式施工技术在应用过程中存在的问题

### 3.1 构件生产环节问题

在预制装配式建筑的构件生产这个环节当中,所存在

的问题重点就聚焦在标准化程度不够以及生产工艺控制得不够完善这两个不同的方面。一方面来讲,构件在设计以及生产这两方面还没有彻底地达成标准化的状态,虽说国家层面以及各个地方都陆续制定并颁布了与装配式建筑相关的各项标准,然而因为各个地区的经济发展水平存在着不小的差距,并且市场需求方面也呈现出十分明显的差异,这就使得构件生产企业往往会依照项目的个性化需求去开展定制化的相关设计工作,进而缺少一个统一的模数化体系作为支撑。如此一来,这样的情况不但让设计以及生产的流程变得更加复杂,而且对于构件实现大规模的工业化生产以及后续的推广工作也是极为不利的。部分中小型的构件生产企业在工艺水平以及设备条件这两个层面上都存在着比较突出的不足之处,它们在自动化、智能化生产线方面的建设投入力度不够,依旧依靠着相对传统的那种人工操作方式,这就致使构件的精度以及一致性很难得到有效的保障。尤其是在钢筋布置、混凝土浇筑还有养护这些关键环节当中,如果工艺控制不够严格的话,那么就很容易引发构件质量出现波动的情况。除此之外,生产环节当中的质量管理体系目前还处在不够完善的状态,有一些企业在检测环节方面并没有给予足够的重视,结果导致构件在出厂之前没有经过严格的检验程序便进入了施工现场,而这种情况无疑为后续施工的质量埋下了一定的隐患。

### 3.2 构件运输环节问题

构件运输在装配式建筑施工进程里属于极为关键且不可或缺的一个环节。不过,鉴于构件自身体积颇为庞大,重量也比较沉重,所以在运输期间会冒出不少问题来。运输成本偏高,这可是在整个行业内都普遍存在的一个棘手难题。构件运输得依靠专门的车辆以及吊装设备才行,而且运输所经由的路线还会受到道路具体条件以及交通管制方面诸多因素的限制,如此一来便给施工单位带来了不小的物流方面的压力。在运输过程当中,构件特别容易受到外部环境的影响。像道路存在颠簸情况、气候发生相应变化以及堆放方式不够妥当等状况,都有可能致使构件的表面遭受损伤,甚至出现结构变形的现象,进而对后续安装工作的精度以及质量产生影响。尤其是那些体量相对较大的墙板还有楼板构件,在经历较长距离的运输过程时,更是容易出现边角出现破损这类的问题。除此之外,构件运输环节和现场吊装环节之间务必要做到严格的衔接工作。然而在实际施工操作当中,因为施工现场在组织管理上有所欠缺,又或者运输调度安排不够合理,所以常常会出现这样的情况:构件运送到场之后没办法及时地开展安装作业。如此这般,不但会拖延工期,而且还很容易造成构件长时间存放在施工现场,进而出现质量方面的隐患情况。这些种种问题清晰地反映出,构件运输这个环节在管理以及技术手段层面依旧有待进一步加以优化,唯有如此

才能够切实保障装配式建筑施工能够顺利推进下去。

### 3.3 安装施工环节问题

安装施工属于装配式建筑建造流程的关键环节,其状况直接关乎工程的结构安全以及使用性能。当下,在安装施工进度里依旧存在着若干棘手问题。其一,在灌浆连接这个环节当中,往往会冒出注浆不够密实、有气泡掺杂之类的质量问题,如此一来,便致使构件彼此间连接的强度有所欠缺,进而对整体结构的稳固性产生影响。而注浆材料以及工艺把控不到位的情况,恰恰是酿成这一问题的重要因素所在。其二,在吊装作业开展的过程中,因为施工现场的空间受到限制、吊装设备的性能存在不足或者操作人员的技术水平较为有限,所以很容易出现构件就位出现偏差、吊装效率颇为低下的这类问题,这不但影响到施工进度,而且还增加了施工过程当中的安全风险。其三,在构件拼装的过程之中,若接缝处理得不够妥当,那就常常会引发渗漏、裂缝等耐久性方面的问题,尤其是在高层建筑以及复杂结构当中,此类问题表现得更为明显。除此之外,施工人员针对装配式施工的专业培训做得不够到位,部分工人依旧沿用传统的施工经验,对于装配式安装的具体细节缺乏精准的把控能力,这就使得施工过程中所出现的问题变得更加频发。

## 4 预制装配式建筑结构施工技术的发展方向

### 4.1 行业认知与理念的统一

要推动预制装配式建筑实现高质量发展,一开始得统一行业里的认识,确立正确的发展理念。当下,行业内对于装配式建筑的理解有着不同之处,部分企业只是把它当作政策导向之下的一种应对办法,却忽略了它作为建造方式变革所具有的重要意义<sup>[1]</sup>。以后应当借助政策引导、学术研究以及行业宣传等方式,进一步提升从业者对于装配式建筑的系统性认知,让他们了解到这项技术不单单是提升施工效率的工具,而且还是推动绿色建筑、智能建造以及产业升级的关键途径。与此还得强化行业内部的信息交流与经验分享,鼓励示范工程的建设与推广工作,让更多的企业与公众直观地感受到装配式建筑的优势,进而形成全行业的共识,促使装配式建筑从“政策驱动”逐步转变为“内生需求驱动”。

### 4.2 技术标准与规范体系的完善

完善统一的技术标准与规范体系,对于促进装配式建筑健康发展而言,其基础性作用不容忽视。在未来,需在国家层面进一步对相关标准加以整合与修订,构建起涵盖设计、生产、运输、施工以及检测等全流程的完整标准体系<sup>[2]</sup>。与此要强化地方标准与国家标准之间的协调与衔接工作,防止因标准存在差异而产生的技术障碍出现。标准

制定务必要紧跟行业发展的实际情况以及技术不断进步的状况,要及时吸纳最新的科研成果以及工程实践经验,让其具备前瞻性以及指导性。在执行方面,得借助严格的监管以及认证机制,以此来保证标准能够切实落实到位,杜绝出现形式化的执行情况。唯有在统一且科学的标准体系予以支撑的情况下,装配式建筑才能够达成规模化推广的目标,并且能够确保质量的稳定性以及可控性得以保障。

### 4.3 施工设备与工艺水平的提升

施工设备以及工艺水平的提升对于提高装配式建筑施工效率以及质量而言是极为关键的。在未来,需要进一步加大对高性能吊装设备、智能化注浆系统以及自动化施工工具的研发力度以及应用范围,借助科技创新来提升施工机械化程度以及智能化水平。与此要建立起较为系统的施工人员培训机制,让施工人员能够熟悉新型设备的操作方式,掌握装配式施工的工艺要点,进而提升施工团队的整体素质<sup>[3]</sup>。从工艺层面来讲,应当着重对构件拼装、接缝处理以及灌浆工艺加以优化,推动施工方法朝着标准化以及精细化方向发展,保证装配式建筑即便是在复杂结构以及不同气候条件之下也能够维持稳定的施工质量。将设备升级与工艺优化相互结合起来,便能够有效地提高施工效率,降低相关成本,并且强化装配式建筑的安全性以及耐久性。

## 5 结语

预制装配式建筑结构施工技术是建筑行业走向现代化和工业化的关键方向,它有高效、节能、环保等长处,在我国的应用变得越来越普遍。不过在发展进程中,依旧存在认知不够以及标准不全等多种问题,这些问题阻碍了装配式建筑的推广与发展。对于这些难题,未来要从统一行业认知、完善技术标准以及提高施工设备与工艺水平等方面去着手,促使装配式建筑迈向高质量发展的道路。只有依靠政策引导、技术创新与产业协同相互结合,装配式建筑才能够切实发挥其在提升建筑效率、降低能耗以及推动产业升级方面的重要作用,进而为我国建筑行业的可持续发展给予有力支撑。

### [参考文献]

- [1]尹曜.预制装配式建筑结构施工技术现状与问题研究[J].陶瓷,2023(10):208-211.
- [2]陈东勇.预制装配式建筑结构施工技术现状与问题研究[J].陶瓷,2022(9):156-158.
- [3]陈东勇.预制装配式建筑结构施工技术现状与问题研究[J].陶瓷,2022(9):156-158.

作者简介:崔进来(1990.1—),毕业院校:四川大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:江苏金九久建设工程有限公司,职称级别:中级。

## 医院防辐射大体积混凝土施工应用技术

王宣 尚波

中国华冶科工集团有限公司, 北京 102600

**[摘要]**文章较为细致地对医院防辐射大体积混凝土施工所涉及的关键技术展开了探讨。考虑到医疗辐射防护场所存在着特殊的需求,便着重对防辐射混凝土配合比的设计情况、大体积混凝土出现裂缝的控制事宜以及施工组织管理方面存在的核心问题加以剖析。在针对重晶石混凝土展开研究的过程中,涉及到其原材料的选择方式、配合比优化所遵循的原则以及施工过程中质量检测的具体方法等方面内容,进而提出了一系列的技术措施,像是温度控制与相关的热工计算方面的举措、采取分段分层浇筑的策略、对冷却水管进行合理布置并实施测温监控等。

**[关键词]**防辐射混凝土; 大体积混凝土; 配合比设计

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17588

中图分类号: TU528

文献标识码: A

### Application Technology of Large Volume Concrete Construction for Hospital Radiation Protection

WANG Xuan, SHANG Bo

China Huaye Group Company Limited, Beijing, 102600, China

**Abstract:** This article explores in detail the key technologies involved in the construction of large volume concrete for radiation protection in hospitals. Considering the special needs of medical radiation protection facilities, this paper focuses on analyzing the design of radiation resistant concrete mix proportions, the control of cracks in large volume concrete, and the core issues in construction organization and management. In the process of researching barite concrete, a series of technical measures were proposed, including the selection of raw materials, principles for optimizing mix proportions, and specific methods for quality inspection during construction. These measures include temperature control and related thermal calculations, adopting segmented and layered pouring strategies, arranging cooling water pipes reasonably, and implementing temperature monitoring.

**Keywords:** radiation resistant concrete; large volume concrete; mix proportion design

#### 引言

随着核医学大型设备及技术的不断发展,国内医院引进了大量的放射治疗设备,其运行过程中产生的射线会对人体产生严重的危害,因此必须对辐射设备采取屏蔽措施。通常采用大体积混凝土建造医院放射室,但是其施工周期长、费用高且不易拆除,严重影响了医院的长期发展。为了增强混凝土屏蔽辐射的能力,研究者开始将各种新材料掺入混凝土中。防辐射混凝土属于一种行之有效的防护材料,其应用范围日益扩大,主要在核电站、X射线室以及其他需要对辐射进行屏蔽的医疗场所使用。医院防辐射工程一般具备结构厚度相对较大、混凝土方量较多、对防辐射性能要求颇高以及整体性要求较强等特性,而这些特性恰恰让防辐射混凝土施工在裂缝控制、温控管理以及浇筑组织等多个方面都面临着诸多的技术难题。所以说,针对医院防辐射大体积混凝土施工应用技术展开深入探究,对于确保医疗辐射防护工程质量以及安全而言,有着不容忽视的现实价值<sup>[1]</sup>。

#### 1 工程特点与主要技术难点

医院防辐射混凝土工程有着独特的结构特性以及特定的功能要求,这些特性致使它的施工过程存在着普通混凝土工程所没有的技术难题,要采取特殊的施工技术手段

与管理举措,才可保证工程质量。医院防辐射工程的结构特性主要在结构厚度大以及混凝土方量多这两方面有所体现。如潍坊市北辰医院(经济区第一人民医院)项目直线加速器区的顶板和墙体,其最大厚度达到了3.0m,单次浇筑的混凝土方量高达2500m<sup>3</sup>。防辐射性能要求高,这是医院防辐射工程的又一明显特点。防辐射混凝土主要是依靠提高密度以及含有结晶水这两种方式来起到屏蔽辐射的作用,氢原子核对于高速中子有着不错的防护功效,而水里面又含有相当数量的氢元素。混凝土凭借自身具备的水泥石或者集料里含有的结晶水,能够让高速中子得以减速,与此同时借助增加混凝土重度的办法来提升其内部结晶水的含量,进而强化对X和γ等射线的屏蔽效能。所以说防辐射混凝土的密度直接决定了它的屏蔽效果,在工程方面,通常要求防辐射混凝土的容重处于2800至3600kg/m<sup>3</sup>这个区间范围之内,这要比普通混凝土的容重大得多。

大体积混凝土施工时,技术层面的挑战重点在两个方面,其一是裂缝控制起来颇为困难,其二是浇筑组织相当复杂。防辐射混凝土结构的断面一般都比较厚,在凝固硬化的进程当中,其内部会产生相当高的水化热,跟周围环境的温度相比会形成较大的温差,致使混凝土表面出现温

度裂缝。尤其是防辐射混凝土所使用的重晶石等特殊骨料,有可能会对混凝土的泵送性能以及强度发展造成影响,进而加大了裂缝控制的难度。防辐射混凝土要求连续浇筑施工并且要一次成型,以此来保证结构的整体性以及防辐射效果的连续性,这就需要针对浇筑施工所需要的设备、人员、材料等方面展开细致的组织与协调工作,还要制定出详尽的施工方案以及应急预案。

## 2 防辐射混凝土配合比设计与质量控制

### 2.1 原材料选择与性能要求

防辐射混凝土在原材料选取方面有着特殊的要求,主要涉及到骨料、水泥、掺合料以及外加剂等方面。其中,骨料需选用密度相对较高的材料,像重晶石、铁矿石或者钢渣这类,通过这样的方式能够提升混凝土的辐射屏蔽效能<sup>[2]</sup>。重晶石属于常用的一种防辐射骨料,它的  $\text{BaSO}_4$  含量至少得达到百分之八十五,并且要求粒度保持均匀状态,不能存在杂质。

### 2.2 配合比优化原则

防辐射混凝土配合比设计需遵循特定原则,确保混凝土有良好工作性、强度与耐久性,水胶比控制在 0.40~0.50 间,保证混凝土强度和抗渗性能,骨料比例占混凝土总体积 60%~75%,保证混凝土密度和屏蔽效果,这些参数控制对防辐射混凝土性能保障很关键,要靠系统试验和优化确定最优配合比,配合比设计还要考虑防辐射混凝土经济性,并非一定要全用重晶石作骨料,应根据要求选用合适配合比。

### 2.3 施工过程中的质量检测

防辐射混凝土施工过程里的质量检测属于保证工程质量的关键环节,得针对原材料、混凝土性能以及施工过程展开全方位的监控。在施工开始之前,要对所有的原材料都进行检验,像骨料的密度情况、粒度分布状况以及放射性水平方面,还有水泥的强度情况、凝结所需时间以及细度等方面都要涉及。尤其是防辐射材料,比如重晶石、硼砂这类材料,应当有着清晰明确的产地来源、规格标准以及放射性指标,并且这些都要与设计的要求相符合。所有的材料在正式投入使用之前,都需要进行放射性方面的检测,以此来确保它们的放射性水平处于安全的范围之内。在混凝土进行搅拌以及浇筑的过程当中,需要开展多项性能测试工作,像坍落度、密度以及温度等等都要涉及。对于防辐射混凝土而言,其拌合所花费的时间应当要比普通混凝土更长一些,只有这样才能确保防辐射材料能够均匀地分散开来;在拌合的操作过程当中,还得严格对加水量的控制,避免出现混凝土过湿的情况<sup>[3]</sup>。

## 3 大体积混凝土裂缝控制技术

### 3.1 温度裂缝成因分析

大体积混凝土出现温度裂缝,其主要缘由在于水泥水化进程中所释放出的诸多热量以及混凝土自身的热学特性方面。在水泥水化的整个过程之中,会有数量颇多的热量产生出来,这使得混凝土内部的温度不断升高起来。并且由于混凝土的导热性能是比较差的,所以其内部的热量

很难有效地散发出去,进而致使内部的温度要比表面的温度要高,如此便形成了温度梯度的情况。而这样的温度梯度状况,会促使混凝土内部形成压应力,同时在表面则会产生拉应力。一旦表面的拉应力超过了混凝土所具有的抗拉强度,那么就会引发表面出现裂缝的现象。随着内部温度逐步降低及体积开始发生收缩变化,内部同样也会产生拉应力,当拉应力超出混凝土的抗拉强度时,就会导致贯穿裂缝的出现,这对结构的完整性以及防辐射性能均会造成极为严重的影响。混凝土的热学性能和环境温度变化也是温度裂缝产生的重要因素。混凝土的线膨胀系数约为  $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ,这意味着温度每变化  $10^\circ\text{C}$ ,混凝土就会产生 0.01% 的应变。对于大体积混凝土结构,温度变化可能达到  $30^\circ\text{C}$  甚至更高,相应的应变就会达到 0.03%,超过了混凝土的极限拉伸应变,从而引起裂缝。环境温度的变化会加剧混凝土内部的温度应力,特别是在冬季施工时,内外温差更大,温度裂缝的风险更高。因此需要采取有效的温度控制措施,减少温度应力和裂缝风险。

### 3.2 温度控制与热工计算

温度控制在大体积混凝土裂缝控制方面属于关键技术,得借助热工计算来预测温度场以及应力场,同时还要采取与之对应的控制举措。热工计算的时候,要综合考量水泥的品种、用量、掺合料还有环境温度等诸多因素,以此来预估混凝土的最高温升情况、温降的速度以及温度的具体分布状况。依据计算得出的结果,便能够明确温度控制的各项指标与措施,比如对混凝土的出机温度、入模温度加以控制,确保内部与表面的温差不要超过  $25^\circ\text{C}$ 。混凝土的原材料挑选以及配合比设计,对于温度控制有着十分重要的影响作用。去优选那种水化热较低的水泥,另外掺加上粉煤灰以及矿粉这类掺合料,如此一来便能减少水泥的使用量,进而降低水化热的释放程度。

### 3.3 分段分层浇筑措施

分段分层浇筑属于大体积混凝土施工范畴内的一项重要措施,其能够使得每次浇筑所涉及的混凝土方量得以减少,进而促使水化热的积累程度降低下来,同时也能让温度应力有所减小。而分段分层浇筑这一策略在实际运用时,务必要依据结构所具有的特点、施工的具体条件以及温度控制方面的要求来展开合理的设计工作。就分段分层浇筑而言,要想顺利实施,就必须细致地组织施工流程,保证混凝土能够实现连续不断的供应,使砼浇筑工作有序开展。对于防辐射混凝土,要连续进行浇筑施工并且一次性成型,提前对浇筑施工过程当中所需的各种设备以及备用设备要进行细致的检查,还要对现场的供水情况、供电线路状况、混凝土泵车稳定放置的场地情况、混凝土搅拌运输车的开行路线等逐一加以检查,同时要严格落实与之相关的各项应急措施。

### 3.4 冷却水管布置与测温监控

冷却水管的布置以及测温监控,这二者属于对大体积

混凝土实施温度控制的有效手段。借助人工冷却这种方式,能够使混凝土内部的温度得以降低,让内外温差有所减小,防止温度裂缝出现。冷却水管一般选用金属管或者塑料管,在布置的时候按照一定的间距放置在混凝土内部,依靠循环水将多余的热量带走<sup>[4]</sup>。测温监控需对混凝土内部以及表面的温度变化予以实时监测,只有这样才能及时察觉到异常情况,并且采取与之相对应的措施。在混凝土升温阶段,测温时间间隔可控制在每 2h 测温一次,降温阶段可控制在每 4h 测温一次,当混凝土内外温差小于 25℃时方可停止测温。当混凝土内外温差大于 25℃时,要及时增加苫盖保温层厚度;当混凝土内外温差小于 15℃时,要及时减少苫盖保温层厚度,使其加速散热。

#### 4 施工组织与现场管理要点

##### 4.1 浇筑顺序与工艺控制

防辐射混凝土的浇筑顺序以及工艺控制对工程质量与进度有着直接影响,需依据结构特点及施工条件来合理安排。浇筑之前,要给所有参与施工作业的人员开展现场施工技术交底工作,且交底内容务必要明确施工作业的关键点、分层浇筑的具体厚度、振捣的方式,还有混凝土运抵现场之后,作业人员在卸料、入模、振捣、抹压、养护各个环节所需要完成的施工内容、相关要求以及时间规定。还得仔细检查浇筑部位的钢筋隐蔽状况,以及弱电、强电、给排水、通风空调、设备安装等各类专业管线的预留预埋情况,并且要做到逐个细致核对。

防辐射混凝土在浇筑时需采用特定的方法以满足相应技术要求,具体而言,要运用全面分层且呈薄层状态的浇筑方式,从四周开始循环操作直至浇筑至顶部,墙体部分采取分层交圈的浇筑办法,而顶板部分则采用斜面分层的浇筑方式。每一层的浇筑厚度应当把控在 500mm 以内,上下层之间的浇筑间隔时间不可以超出混凝土的初凝时长,同时要保证每层混凝土在初凝之前都经过了二次振捣处理,振捣操作需要做到均匀且细致,以此来确保混凝土能够紧密坚实,由于加入防辐射材料,会对混凝土的流动性产生影响,所以振捣所花费的时间应当适当予以延长。

##### 4.2 养护方案与实施管理

防辐射混凝土的养护工作极为关键,它关乎混凝土的强度以及防辐射性能能否得到充分保障。在养护过程中,得着重把握好三个环节,即确保湿度适宜、有效控制温差以及合理把控养护时限。防辐射混凝土完成浇筑并初步成型之后,其顶板表面在经过抹压处理后,应当使用塑料薄膜以及湿润的麻布袋加以覆盖,通常以两层为佳,且每层麻布袋的搭接缝宽度需不低于 100mm,上下层的搭接要错开;对于墙体混凝土表面的养护,则可以在模板的外侧钉挂一层麻布袋,以此来达成保温保湿的养护效果。在养护期间,所使用的养护用水温度和混凝土表面温度之间的差异不宜超出 5℃,切忌让冷水直接浇洒在混凝土表面,

通过上述的养护方式,所持续的时间不应少于 14d。

在养护这个阶段,得严格把控模板拆除的时间点以及拆除的手段,坚决不能出现过早拆除模板的情况,同时也要杜绝采用不正当的方式来拆除模板。在整个养护期间,务必要让混凝土表面一直维持在湿润的状态,并且要把混凝土内部和外部的温差控制在规定的范围以内。

##### 4.3 应急问题处理预案

防辐射混凝土在施工期间有可能会各种各样的突发状况,所以得制定详尽的应急问题处理预案,以此来保障工程能够顺利推进。在施工开始之前,要安排专门人员针对浇筑施工所需要的设备以及备用设备,逐一对设备的维护状况、配备数量等方面展开细致检查,并且像现场的供水供电线路、混凝土泵车的稳放场地、混凝土搅拌运输车的开行路线等等这些情况也都应该一一进行检查,切实落实与之相关的各项应急措施。尤其是针对大体积混凝土的连续浇筑作业,务必要保证混凝土供应的连续性,防止因为供应环节出现中断而致使施工缝产生。

在施工进程里有可能出现的质量方面的问题,像是混凝土坍落度不达标、存在离析状况、温度出现异常等情形,应制订与之对应的处理办法。要是混凝土坍落度不符合规定,那就得及时对配合比做出调整或者将其退回至搅拌站;一旦出现离析情况,就要开展二次搅拌操作或者对浇筑工艺予以调整;倘若温度出现异常,那么应当及时调节保温举措或者采用人工降温的手段。

#### 5 结束语

医院防辐射大体积混凝土施工属于技术颇为复杂且要求极高的系统工程范畴,得从材料选取、配合比设计、温度把控、浇筑工艺以及养护管理等诸多方面去施行综合性的技术举措。借助重晶石这类防辐射骨料,并对混凝土配合比加以优化,如此便能够切实提升混凝土的密度以及防辐射性能;凭借温度控制与裂缝控制方面的技术手段,可有效避免温度裂缝出现,进而保障结构的完整性以及防辐射效果;依靠科学合理的施工组织以及现场管理工作,能够确保工程得以顺利推进,同时让工程质量有着可靠的保障。

##### [参考文献]

- [1]陈业林,梁羽.直线加速器机房超厚防辐射混凝土施工技术[J].施工技术(中英文),2025,54(9):154-157.
- [2]朱亮.重离子医疗中心治疗室墙体防辐射混凝土研究及工程应用[J].中国医院建筑与装备,2024,25(11):24-28.
- [3]魏娟盆,黄昌根,周雨晨,等.大体积防辐射混凝土温度及裂缝控制措施研究[J].建筑技术,2024,55(15):1904-1907.
- [4]吕忠.高性能防辐射混凝土性能试验研究[J].江西建材,2024(6):30-32.

作者简介:王宣,(1975.2—),毕业院校:青岛农业大学,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,职称级别:高级工程师。

# 河北抚宁地下厂房开挖支护机械化施工研究与应用

吴小华 冀春辉

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要]本文在梳理国内外水电行业地下厂房开挖支护施工工艺流程及配套施工设备的基础上,结合河北抚宁抽水蓄能电站地下厂房实际情况,引入新型机械设备并进行试行试验,形成地下厂房开挖组织策略方案,从而提升地下厂房开挖支护效率,希望本文为相关抽水蓄能电站地下厂房快速施工提供参考。

[关键词]河北抚宁; 地下厂房; 开挖支护; 机械化施工

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17579

中图分类号: TU27

文献标识码: A

## Research and Application of Mechanized Construction for Excavation and Support of Underground Powerhouses in Funing, Hebei Province

WU Xiaohua, JI Chunhui

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

**Abstract:** Based on the review of the excavation and support construction process and supporting equipment for underground powerhouses in the domestic and foreign hydropower industry, combined with the actual situation of the underground powerhouses in Funing Pumped Storage Power Station in Hebei Province, this article introduces new mechanical equipment and conducts trial experiments to form an underground powerhouse excavation organization strategy plan, thereby improving the efficiency of underground powerhouse excavation and support, so as to provide reference for the rapid construction of underground powerhouses in related pumped storage power stations.

**Keywords:** Funing, Hebei; underground factory building; excavation support; mechanized construction

目前,国内抽水蓄能电站建设热火朝天,抽水蓄能电站总装机容量急剧扩大,能否提高地下厂房开挖支护的施工效率,加快抽水蓄能电站的建设与投产,从而产生显著的直接经济效益,已成为一个重要问题。

已有研究表明,部分地下厂房开挖仍采用人工钻爆法,施工效率较低。因此,在基于传统人工钻爆法的基础上,考虑针对部分工序采用新型开挖支护工艺,压缩施工工序作业时间,从而提升地下厂房开挖支护效率,缩短地下厂房开挖支护工期,有力推进抽水蓄能电站安全、优质、高效建设。

### 1 工程概况

河北抚宁抽水蓄能电站地下主厂房可研阶段和招标设计阶段审定的开挖工期均为 28 个月,但由于当地禁爆管理要求,每年 7、8 月份开挖停工。为确保工程项目建设的顺利推进,迫切需要基于地下厂房开挖支护效率提升技术,对地下厂房开挖支护施工工艺及工序优化,使施工支护工期缩短,节省工期及成本。

地下厂房钻爆法的施工开挖过程主要由钻孔、爆破、支护、出渣等主要环节构成,各环节均可利用施工设备,合理的施工装备配套既可以有效提高施工机械化程度,进而提高施工效率,保证施工质量,同时减少各工序之间的相互干扰,加强洞内通行能力,提高施工机械化程度是实现地下建筑物快速施工的关键。

### 2 钻爆施工设备改进措施

爆前钻孔常用设备包括手风钻与多臂钻机等。相比于更依赖人工的手风钻,多臂钻具有作业面积大、钻眼精度高及机械操作灵活等特点。对钻爆施工下多臂钻与人工手风钻开挖进行了一系列对比,结果表明,多臂钻施工可充分发空气粉尘污染小、液压冲击钻高效、伤亡事故率低的优势。

针对药卷式乳化炸药自动化装填技术及装备,国内有关厂家、高校等先后开展了卷装炸药机械化装填装置、装药台车研制和试验,但是由于卷装炸药形态、工艺特点的制约,其自动化装填仍存在药卷输送易堵管、卡死,无法实现耦合装药造成超欠挖难以控制等问题,且药卷式乳化炸药自动化装填技术难度高、大多数研究处于方案阶段,因而未能实际应用。

为解决智能化装填问题,本工程采用了一种新型装药台车,并与凿岩台车配合使用,实现钻爆一体化施工。如下图所示,装药台车由上料系统、泵送系统等组成,凿岩台车除钻进的标准硬件配置和凿岩控制软件外,额外搭载炮泥封堵系统、装填系统、装药控制软件。经过现场试验与应用,相比于人工装填卷装炸药,钻爆一体化施工设备能够在确保施工质量的前提下,将施工效率提高 12.5%。

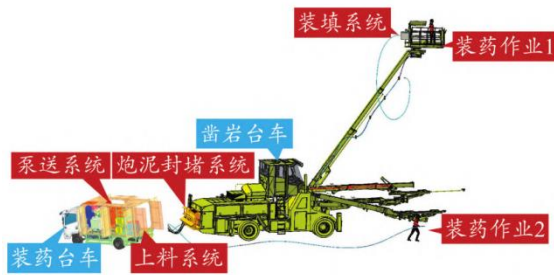


图1 一种新型装药台车

### 3 支护设备改进措施

地下厂房支护重点为锚杆支护技术,目前我国地下建筑物钻爆法施工工法发展历程中,机械化施工装备已在多个工序中基本普及,如洞室支护中凿岩台车开挖钻孔、锚杆台车初支、拱架台车立拱和湿喷台车喷浆等工序,已实现机械化乃至智能化施工,但仍有一些工序尚未普及机械化设备,同时,施工机械间的工序配合以及智能化程度都有待进一步研究。

#### 3.1 凿岩台车

凿岩台车作为隧道施工中的关键装备,其自动化与智能化发展显著提升了工程效率、安全性与环保水平,已成为行业研究的重要方向。早在20世纪70年代,挪威率先开展凿岩台车自动控制技术的探索,并成功研制出试验样机及全自动微机控制系统。我国于80年代逐步引进国外先进多臂钻车,应用于矿山与重大工程建设,同时国内厂商积极研发液压掘进设备,于21世纪初成功推出门架式隧道凿岩机器人样机,标志着自主技术的重要突破。随着技术发展,学者围绕凿岩台车的定向定位控制、误差分析、钻臂运动学建模、电液控制系统及破岩机理等方面展开了系统性研究。近年来,人工智能算法的引入进一步推动了钻孔路径规划与钻臂轨迹优化,最大-最小蚁群算法、蒙特卡洛方法及RBF神经网络等被广泛应用于提升操作精度与效率。进入智能掘进时代,新型凿岩台车不仅具备随钻地质分析能力,还可依据爆破设计参数自主完成定位与钻孔作业。借助深度学习技术,台车能够基于地质样本数据进行模型训练与实时比对,实现围岩智能分级与自主优化,显著提升地质适应性与决策准确性。此外,智能系统可自动采集并分析围岩参数,结合钻孔与图像分析方法判定地质特征与稳定性,动态优化施工参数,实现数据采集、分析与反馈的一体化闭环管理。

现代凿岩台车还集成智能定位、轮廓扫描与数据远程传输等功能,依托隧道内通讯网络实现施工日志的自动上传与远程动态调控,有效应对卡钻、空打等工况问题。在我国隧道工程广泛建设的背景下,凿岩台车正进一步向全面智能化与极端工况适应能力提升的方向发展,未来将在高效掘进、地质感知、自主决策等方面持续突破,助力隧道建设迈向更高水平的自动化与信息化。

#### 3.2 锚注台车

锚杆支护作为隧道与地下工程中的关键工序,传统上长期依赖人工作业,存在效率低、安全风险大、质量波动性强以及劳动强度高突出问题。近年来,随着隧道工程机械化和智能化水平的不断提升,特别是在国家重大战略工程推动下,对锚杆施工的机械化与智能化需求日益迫切。在此背景下,兼具钻孔、注浆与锚杆安装等多功能于一体的锚注台车,逐渐成为行业研发与应用的重点,旨在全面提升支护作业的效率、安全性与工艺质量。在锚固加固工艺中,中空锚杆兼作注浆管的方式已获得广泛应用。该工艺通过对围岩实施外锚内注,显著增强围岩的物理力学性能与自稳能力,相比传统锚杆支护具有明显优势。锚注台车作为实现该工艺的核心装备,不仅能够完成多种类型锚杆的全机械化施工,还可适应复杂地质条件,因此备受施工单位和设备制造企业的关注。

早在20世纪末,欧洲及日本等国家已率先掌握台车设计与制造技术,并持续将先进控制技术融入设备研发中,以不断提升台车性能。例如,芬兰汤姆洛克公司生产的H530型锚杆台车,配备多机械臂和吊篮臂结构,支持驾驶室操作或有线遥控,具有操作灵活、安装高效等特点,极大推动了施工进度。然而,受制于国际产品在国内实际工程中的适应性不足,其推广应用较为有限。

相比之下,国内锚注台车的研发虽起步相对较晚,但近年来进展显著。早期国内厂商多基于单臂钻凿设备进行功能性改造,尚未形成系统化的“钻孔-装杆-注浆”一体化施工能力。随着行业对智能化施工需求的提升,国内研究机构与企业开始致力于攻克锚注台车的关键技术。在钻臂定位与控制方面,已有研究针对智能锚注台车高自由度钻臂系统,采用D-H方法建立运动学模型,并运用蒙特卡洛法分析其工作空间,结果表明该类台车可满足绝大多数隧道断面作业要求,为自动定位提供了理论依据与实践基础。在整机研发与系统集成方面,中铁隧道局成功研制出钻-锚-注一体台车,真正实现了钻孔、锚杆安装与注浆等多工序的集成化与机械化作业。中国铁建重工推出的智能锚杆台车,则可根据预设锚杆参数完成自动定位、孔位识别、锚杆安装、智能注浆、螺母锁紧及预应力施加等全流程作业,展现出较高的自动化水平。

还有研究依托实际隧道工程,研发了集钻、锚、注功能于一体的专业化集成设备,系统探索施工工艺、方法及效能提升路径。该类设备旨在提升软岩隧道中主动支护的施工质量与速度,构建适用于高地应力、大变形地质条件的机械化支护模式,从而有效应对传统施工中进度缓慢、作业强度大及安全风险高等挑战。展望未来,锚注台车将继续向高度集成化与智能化方向发展。通过整合钻孔、注浆、锚杆及网片安装等多功能于一体,智能锚注台车将大幅减少人工作业参与,提高施工整体效率与发展质量。精

准支护定位、智能注浆控制、远程监控与运维平台等技术，将成为地下工程锚杆支护机械化的主要发展趋势，推动我国隧道工程建设向更安全、高效和智能的方向持续迈进。



图2 多功能于一体的锚注台车

## 4 地下厂房开挖支护机械化施工的改进方向

### 4.1 钻爆施工

在钻爆法机械化施工过程中，各类误时原因可归纳为地质条件、施工组织、设备管理以及设计方案等几大类。其中，不良地质条件、现场施工安排与操作水平、设备运行状态与调度效率是影响整体进度的主要方面；而设计参数如钻孔布置、支护选型等也对施工进度具有重要影响。

钻爆开挖机械化效率受到钻孔、出渣、喷浆和立架等多道工序的共同制约，这些环节彼此关联，单一工序的提速难以实现整体工效的提升。实际作业中，地质变化易导致钻孔与支护困难，施工协调不足会引起机械等待或闲置，设备故障更会直接造成作业中断。因此，提升施工效率需从系统层面出发，强调各工序间的协同性与连续性。为切实优化钻爆法施工的整体效能，应在正式施工前开展多组工效试验，通过模拟与比对不同方案，识别瓶颈工序，优化机械配置与工艺衔接，从而制定更全面、适应性更强的施工组织设计。这一措施有助于减少实际作业中的不确定性，提高山岭隧道及地下厂房开挖的机械化施工效率与整体可控性。

### 4.2 支护施工

本项目基于钻爆法传统设备下的支护施工工序（钻孔、插杆、注浆）循环时间进行了统计，并基于 SPSS (Statistical Product and Service Solutions) 软件，对 6m 钻深与 9m 钻深工况下的支护施工时间进行统计分析，分析支护各工序权重占比，提出可提升地下厂房开挖支护（防护）施工效率的优化方向。

注浆工序的方差远大于其他两个工序，时间稳定度更差；同时，注浆工序与插杆工序的平均值离散趋势较大，但注浆工序的最大值与最小值差距更加明显，且出现了前 10 个施工循环时间普遍高于后 15 个施工循环时间的现象，

说明注浆工序的优化与施工循环数存在一定联系，且仍可能存在一定的优化空间；而钻孔工序时间始终接近平均值，已趋于稳定，优化可能较小。

综上所述，注浆工序为重点优化方向，可能与注浆工序中浆液性能、注浆压力等多种因素有关，导致时间相对稳定性较差，因此，在实际施工中，应优先考虑高效的商用浆液，确保注浆过程的稳定，以提高支护效率。

## 5 结语

对国内外施工工艺梳理与类似项目的考察经验表明，现有开挖支护均采用传统工艺，即基于人工钻爆法、包含钻孔、装药、通风、出渣、锚杆安插、注浆等施工工序的施工循环设计。其中，钻孔工序多采用需人工使用的传统钻机，如手风钻等；装药工序仍以人工装填为主；锚杆工序多采用双臂掘进钻机等掘进设备进行钻孔，人工配合安装锚杆及注浆。其中钻孔施工及锚杆安装占比相对较大，因此，在施工过程中严格把握钻孔、支护工序的时间是提高地下厂房开挖支护施工效率的关键。若要切实提高施工效率，需着重于提升地下厂房施工机械化程度，可优先考虑针对钻孔及锚注工序引入新型机械设备，如钻爆一体台车、高性能凿岩台车、锚注一体台车等。

对地下厂房钻爆法开挖支护各时间统计与分析表明，实际施工易受到多种因素的影响，导致施工循环时间的不稳定；同时，考虑到单纯的减少钻孔及支护工序时间应优先着重于更多的施工设备及人工投入，若要在一定施工投入的前提下提升效率，则地下厂房开挖支护施工效率优化方向应为：在控制各工序施工时间和工序切换时间的前提下，使用可集钻孔、锚杆安插及注浆为一体的流水化高效施工设备，达到提升施工效率的目的。

### [参考文献]

- [1]杨世杰.超深基坑开挖与支护在机械化路桥施工中的稳定性分析及控制技术[J].交通科技与管理,2025,6(8):86-88.
  - [2]崔树坚,刘敏,周书剑.高边坡机械化快速施工及其稳定性研究[J].广东公路交通,2024,50(5):23-29.
  - [3]张全成,杨建洲.平洞钻爆法开挖支护全工序机械化智能化施工技术[J].云南水力发电,2024,40(8):111-118.
  - [4]覃彬.基于不同开挖步距的隧道机械化施工围岩稳定性分析[J].西部交通科技,2024(6):149-152.
  - [5]黎建华.隧洞大型机械化配套施工及围岩-支护体系力学响应研究[J].水力发电,2021,47(6):43-49.
- 作者简介：吴小华（1981.12—），男，高级工程师，本科，主要从事水利水电工程施工技术管理工作。

## 高层建筑地基基础和桩基础土建施工技术分析

窦振强

中铁二局第六工程有限公司, 四川 成都 610036

[摘要]近些年来,伴随着城市住房需求不断增长,我国房地产经济迅速发展起来,建筑行业也跟着变得十分兴旺。不过,高层建筑数量增加,给施工带来了更高要求,其中地基基础以及桩基础属于建筑物核心承重结构,其施工技术严格程度远远超过传统建筑。这两类基础施工技术是影响高层建筑安全性以及使用寿命的关键环节,近年来受到越来越多建筑企业还有工程技术人员关注。本论文围绕高层建筑地基基础与桩基础施工技术展开系统分析,对其施工特点、难点以及关键技术展开探讨,期望能为相关施工实践给予参考和指导。

[关键词]高层建筑;地基基础;桩基础;土建施工;施工技术

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17569

中图分类号: TU753

文献标识码: A

### Analysis of Civil Construction Technology for High-rise Building Foundation and Pile Foundation

DOU Zhenqiang

China Railway Erju 6th Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610036, China

**Abstract:** In recent years, with the continuous growth of urban housing demand, Chinese real estate economy has developed rapidly, and the construction industry has also become very prosperous. However, the increase in the number of high-rise buildings has brought higher requirements to construction, among which the foundation and pile foundation belong to the core load-bearing structure of the building, and their construction technology is much stricter than traditional buildings. These two types of basic construction techniques are key links that affect the safety and service life of high-rise buildings, and have received increasing attention from construction companies and engineering technicians in recent years. This paper systematically analyzes the construction technology of high-rise building foundation and pile foundation, explores their construction characteristics, difficulties, and key technologies, and hopes to provide reference and guidance for relevant construction practices.

**Keywords:** high-rise buildings; ground foundation; pile foundation; civil construction; construction technology

#### 引言

高层建筑是现代城市构建其中的一个极为重要的构成部分,它的结构有着相当的复杂性,并且荷载呈现出集中化的态势,这就给地基基础的承载力以及稳定性提出了更高的要求。地基基础还有桩基础属于建筑物的关键承重结构,它们不单会直接影响到建筑物所具有的安全性以及能够持续使用的年限,在施工进程当中同样面临着不少的技术方面的挑战。高层建筑地基基础施工涵盖土体改良、沉降控制、地下水处理以及桩基础施工等诸多关键环节,而桩基础施工还会受到桩型选择、土层承载力、桩体质量以及施工设备等方面因素的影响。处在复杂地质条件之下,或者是在存在软土层又或者是在高地下水位的环境当中,施工的难度就会进一步增大,与此对于施工工艺、技术水平以及管理能力也都提出了更高的要求。所以说,针对高层建筑地基基础以及桩基础的施工技术展开系统的分析,一方面能够将施工过程中存在的技术难点以及施工风险都揭示出来,另一方面还能够为施工方案的优化、工艺的改进以及施工安全管理给予科学的依据。本文会围绕着高层建筑地基基础以及桩基础的设计原则、施工难点以及关键

施工技术来展开分析,目的是为了给高层建筑施工实践给予理论方面的参考以及技术层面的指导,以此来提升施工的质量以及安全的水平,推动高层建筑基础工程施工技术不断向前发展并且得到广泛的应用。

#### 1 高层建筑地基基础和桩基础的设计原则以及方法

高层建筑地基基础以及桩基础的设计,得遵循科学性、经济性还有安全性这三项原则,如此才能确保建筑物在使用期间有着稳定性以及耐久性。在设计阶段,一开始就要充分考量地质方面的条件,像土层的具体类型、所能承受的力量大小、出现沉降时的特性以及地下水的实际状况等等,要保证基础可以契合不同地质环境所提出的要求。并且,要依据建筑物的结构类型、荷载呈现出的特征以及功能方面的要求来挑选恰当的基础形式,比如独立基础、条形基础、筏板基础又或者桩基础等,从而达成建筑荷载顺利传递且地基承载力相匹配的目的。桩基础在设计之时,还得考虑到桩所具有的受力特性、桩的长度、桩的直径以及桩和土体之间相互产生的作用,要确保桩基础在承受竖向荷载、水平荷载还有倾覆力矩的时候,具备充足的稳定

性和可靠性。除此之外,在设计的方法层面,要把理论计算、经验公式以及数值模拟等多种手段结合起来,针对地基承载力、沉降量还有桩端承载力展开综合性的分析,合理地确定基础的尺寸以及桩的相关参数,以此来保障设计具备科学性以及可行性<sup>[1]</sup>。与此还要把施工工艺的条件以及施工的经济性都考虑进去,在满足安全性这个前提之下对设计方案加以优化,进而使得施工成本得以降低,施工难度也能相应减少。

## 2 高层建筑地基基础和桩基础进行施工的难点

### 2.1 容易受到不同的地质情况的影响

高层建筑的地基基础以及桩基础,在施工进程里老会受到不同地质状况的影响,这可算得上是施工方面的难点之一。不一样的土层类型、土质松软的程度、地下岩层的分布情况还有土壤承载力的差异,全都会给基础施工带来直接的影响。比如说,松散填土或者软土层,其承载力是比较低的,在施工过程之中,就容易出现沉降或者是失稳的现象。要是岩石分布得不均匀,又或者存在地下断层,那么桩的打入施工亦或是钻孔施工的难度就会增大不少,施工的精度以及桩体的完整性也容易受到波及。除此之外,土层当中夹杂着砂、砾石又或者是黏土等复杂土质的时候,也会致使桩基施工所面临的阻力发生很大的变化,进而增加施工机械的负荷,对施工效率产生影响。

### 2.2 容易受到来自地下水的影响

和传统的低层建筑比起来,高层建筑由于具有较高的高度,同时对地基的深度的要求也就相应的提高了,因为只有在地基具备足够的深度的前提下,才能够给高层建筑的荷载力度和稳固性带来更好的保障。而地基深度一旦加深,对于一些位于水源附近抑或是降水量丰富的地区的高层建筑工程而言,就很有可能会遇见聚集的地下水。如果没有妥善处理好地下水对地桩地基的影响,很有可能会危及施工现场的安全和日后建筑物的基础牢固性。

### 2.3 受到桩的本身质量的制约

在高层建筑桩基础施工期间,桩自身的质量属于影响施工成效以及安全的关键要素,同时也是施工环节当中的难点所在。桩的材料质量、截面尺寸、长度精度还有混凝土强度等方面,都与桩基的承载能力以及结构稳定性有着直接关联。要是桩体材料存有缺陷或者强度未达标准,在承受建筑荷载之际便容易产生断裂、变形或者承载力不足等情况,进而对整个基础体系的稳定性造成影响。与此桩在制造以及运输的过程当中也有可能可能会出现偏差或者遭受损伤,像桩体出现弯曲、表面有裂纹又或者是端部存在缺陷这类情况,在施工进程里或许会被忽略掉,然而却会致使桩在打入或者承载荷载之时出现不均匀沉降或者失效的现象<sup>[2]</sup>。桩的整体质量把控存在一定难度,尤其是在长桩、复合桩或者预制桩施工的情况下,桩体的尺寸精度、混凝土浇筑质量以及桩与土体的结合性能都得严格予以

保障,不然将会对施工质量以及工程安全形成直接的制约作用。

## 3 高层建筑地基、地桩基础施工的关键技术

### 3.1 排水固结技术

排水固结技术属于高层建筑地基与桩基础施工范畴内的一项重要施工技术,其主要作用在于提升地基承载力以及对沉降变形加以控制。这项技术最为关键之处就在于借助加速土体孔隙水的排出这一方式,进而达成土体固结以及强度得以提高的目的,以此来确保地基的稳定性以及桩基施工的安全性。在实际应用期间,该技术主要是针对软土、淤泥质土还有地下水较为丰富的地区展开,通过设置竖向排水管、水平排水板或者组合排水系统,促使土体孔隙水依照预先设计好的路径快速排出去,借此降低孔隙水压力,推动土颗粒重新进行排列组合,最终实现土体固结。排水固结技术往往要和预压荷载或者是附加荷载相互结合在一起,如此一来便可以加快固结的速率,让沉降变得更为均匀,同时还能对地基条件予以改善,进而为后续的桩基础施工给予一个较为稳定的根基。在具体落实执行的时候,得综合考量地基土层的厚度、土质所具有的特性、地下水位的情况以及建筑荷载的具体要求等因素,科学合理地设计排水设施的布置样式、间距大小、长度长短以及透水性能等方面,并且要对施工过程中出现的沉降量、孔隙水压力以及固结进程等情况展开实时的监测与评估工作,从而保证施工效果能够达到均匀且可靠的状态。除此之外,排水固结技术不但能够在很大程度上有效缩短地基沉降的周期,减少不均匀沉降给结构所带来的影响,而且还能够对施工条件起到优化的作用,提升桩基础施工的精度以及安全性。

### 3.2 采用换填垫层技术

换填垫层技术属于高层建筑地基与桩基础施工里常用的一项关键技术,它的主要意图在于借助把承载力偏低、土质欠佳的原地基土层予以挖掘除去或者部分替换的方式,接着填充进粒径较为均匀、压实程度较高的砂、碎石或者砂砾这类材料,进而形成稳固的垫层,以此提升地基的承载力,改良沉降特性,同时也给桩基础施工给予可靠的支撑。这项技术在软土、淤泥质土还有含有杂质的土层当中有着广泛的运用,毕竟这些土层其自身所具有的承载能力比较低,压缩性也偏大,要是直接开展桩基础施工,那很容易出现沉降分布不均或者是桩体受力不均的情况,如此一来便会对整体结构的稳定性产生影响。在施工的进程当中,换填垫层技术一方面得针对原有的地基展开科学的勘察工作,去确定不良土层的具体厚度以及土质的相关性质,另一方面还应当合理地挑选填料的类型、粒径以及压实的办法,唯有如此才能够保证垫层能够达到均匀且密实的状态,具备良好的排水性能,并且整体的稳定性要能够符合设计方面的要求<sup>[3]</sup>。与此在施工期间务必要严格把

控换填的厚度、分层夯实的操作以及压实的密度，并且要结合排水以及固结方面的措施，以此来降低施工过程中出现沉降差异以及局部塌陷的风险。除此之外，换填垫层技术还能有效地对地下水作用之下的地基条件加以改善，使得在桩基施工的过程当中桩身能够受力均匀，促使桩端承载力的发挥效果得以提高，进而给高层建筑地基与桩基施工带来稳定、可控并且经济合理的基础施工方案。

### 3.3 静力压桩技术

静力压桩技术在高层建筑地桩基础施工里属于常用且颇为关键的一种施工手段，它的核心原理在于借助施加那种恒定且可控制的静力荷载，把桩慢慢压进地基土层当中，进而促使桩和土体紧密地结合起来，以此达成让桩基承载力得以充分释放的目的。相较于传统的打入桩或者振动桩而言，静力压桩能够在施工进程里把噪音以及振动都大幅降低下来，对于周边的环境还有已有的建筑物所产生的影响也比较轻微，尤其适宜在城市人口密集的区域以及软弱的地基条件下开展施工活动。在施工期间，得依据桩的具体类型、桩的长度、土层所具有的性质以及荷载方面的要求，科学合理地确定施压设备的各项参数以及压桩的速度，从而确保桩体在被压入的过程中能够维持垂直的状态，沉降的情况也较为均匀，同时要避免出现桩身发生弯曲或者局部受力不够均衡的状况。静力压桩技术一方面可以通过桩周围土体的摩阻力以及桩端的承载力共同发挥作用，来提升桩基的整体承载力，另一方面在压桩的过程当中还能对土体实施轻微的预压和固结操作，借此改善地基土的密实程度以及稳定性。施工过程中往往会配套使用实时监测系统，针对桩身的沉降量、压入时的阻力以及桩位出现的偏差等情况展开监控，以此确保施工的精度以及桩基质量处于可控制的状态。除此之外，静力压桩技术是能够适用于多种不同类型的桩的，像预制混凝土桩、钢管桩还有复合桩等等都在其适用范围之内，对其加以科学的应用，能够切实有效地提升高层建筑地桩基础施工的安全性、可靠性以及施工的效率，进而为处在复杂地质条件之下的桩基工程给予稳定、可控并且绿色环保的施工解决办法。

### 3.4 地桩的种类和对应的技术

地桩属于高层建筑地基基础的关键部分，其种类多样，每种桩型在施工办法、受力特性以及适宜的地质条件方面都存在差别，所以知晓地桩的分类以及对应的施工技术对于保障桩基工程质量与施工安全极为重要。常见的地桩类型有预制混凝土桩、现浇混凝土桩、钢管桩、复合桩还有

灌注桩等等，每种桩型都有自身的特色及适用范围。比如，预制混凝土桩一般在工厂预制，施工时借助打入或者静力压入的方式进入地基土层，适用于承载力要求较高且施工环境能够允许机械打桩的场地；灌注桩则是在施工现场浇筑混凝土，凭借钻孔或者套管施工来完成，可适应复杂土层以及高地下水位的条件，并且能够依据需要开展桩端扩大或者钢筋增强的操作，以此满足特殊荷载的要求；钢管桩和复合桩同时具备强度高以及施工灵活的特点，适合承受较大的水平和竖向荷载，而且在软弱土层当中可以有效降低桩沉降以及桩身变形的程度<sup>[4]</sup>。对于不同的桩型，施工技术也存在差异，涉及桩孔钻进、桩体安装、混凝土浇筑、夯实压实以及桩身垂直度和沉降监测等诸多环节，都需要依照桩型特性去制定科学的施工方案。在地桩施工过程中还需要考量桩与地基土的相互作用、摩阻力的发展情况、桩端承载力以及桩身材料的质量，从而保证桩基整体受力均匀且沉降处于可控状态。

### 4 结语

高层建筑地基基础以及桩基础施工技术在建筑工程里面有着极为关键的作用，其施工质量同建筑物的安全性还有使用寿命紧密相关。对地基基础以及桩基础的设计原则、施工难点和技术关键加以系统分析，能够更为完整地知晓施工过程中可能会碰到的技术难题与风险。在施工实践当中，恰当挑选基础形式，科学运用排水固结、换填垫层以及静力压桩等关键技术，同时结合地桩种类所具有的特性展开针对性施工，这有利于提升施工质量、把控沉降并且强化地基承载力。伴随施工技术、材料以及信息化管理方式的持续发展，高层建筑基础施工会变得更加安全、高效且易于掌控，进而为城市高层建筑的稳健发展给予稳固的技术保障。

#### [参考文献]

- [1]张辉春.高层住宅建筑地基基础和桩基础土建施工技术研究[J].居舍,2024(19):46-49.
- [2]苗华波.高层建筑地基基础和桩基础土建施工技术探究[J].建材发展导向,2025,23(13):112-114.
- [3]郭迅,王叙晖.高层建筑地基基础和桩基础土建施工技术探讨[J].居舍,2022(4):91-93.
- [4]李骁洋.高层建筑地基基础和桩基础土建施工技术要点[J].江苏建材,2023(4):109-110.

作者简介：窦振强（1997.6—），男，毕业院校：兰州交通大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：中铁二局第六工程有限公司，职称级别：助理工程师。

## 软土基坑围护变更分析

李森 王树良 王小康 李明煜 徐梦强  
中国铁建大桥工程局集团有限公司, 天津 300000

[摘要]在软土地区的基坑施工中,不同地连墙围护深度对基坑安全和临近的已有隧道的影响是不可忽略的。文中以宁波泽民站为依托,通过 Abaqus 有限元分析软件对不同围护条件下的软土基坑进行数值模拟,得出了地连墙围护变更前、后地连墙的水平位移变化规律、基坑两侧地表沉降变化规律以及临近的已有隧道的顶部隆起和底部沉降的变化规律,从而为临近隧道的软土基坑的地连墙围护设计和基坑的安全性及稳定性提供参考。

[关键词]软土; 基坑; 围护结构; 隧道

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17587

中图分类号: TU447

文献标识码: A

### Analysis of Changes in Soft Soil Foundation Pit Enclosure

LI Sen, WANG Shuliang, WANG Xiaokang, LI Mingyu, XU Mengqiang  
China Railway Construction Bridge Engineering Group Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

**Abstract:** In the construction of foundation pits in soft soil areas, the impact of different depths of retaining walls on the safety of the pit and adjacent existing tunnels cannot be ignored. Based on the Zemin Station in Ningbo, numerical simulations were conducted on soft soil foundation pits under different enclosure conditions using Abaqus finite element analysis software. The horizontal displacement changes of the diaphragm wall before and after the enclosure change, the surface settlement changes on both sides of the foundation pit, and the top uplift and bottom settlement changes of adjacent existing tunnels were obtained. This provides a reference for the design of diaphragm wall enclosure and the safety and stability of adjacent soft soil foundation pits.

**Keywords:** soft soil; foundation pit; enclosure structure; tunnel

### 引言

在现如今这个城市化加速的时代下,恶劣的地质条件与不利的围护条件对基坑建设所产生的影响,已成为基坑工程中亟待减弱的问题。在宁波这个正在建设的城市中,基坑工程扮演者至关重要的角色,然而由于软土地层和临近隧道等因素的影响,导致设计师不得不在原设计的基础上对地连墙嵌入深度进行变更,从而使得基坑工程在保持安全稳定的前提下,不对原有建筑物进行破坏。本文旨在对比研究不同地连墙变更前、后的软土浅基坑开挖对基坑和已有隧道结构的影响,从而优化地连墙的设计,进一步提高基坑工程的安全性及稳定性。

国内学者已对软土地层和不同围护条件下临近隧道的基坑工程进行了相关研究。高洪赞等<sup>[1]</sup>通过施工现场监测以及数值模拟分析,得出了基坑开挖至底时隧道结构产生的位移变化规律。于涛<sup>[2]</sup>利用有限元分析软件 PLAXIS 3D,研究并得出了地连墙嵌入深度 10~20m 对基坑和隧道结构变形的影响。谭树增<sup>[3]</sup>基于有限元软件 MIDAS GTS NX,通过模拟了软土区基坑开挖对场地地形变和临近隧道的影响,得出了基坑开挖对场地和临近隧道形变的变化规律。李家平等<sup>[4]</sup>基于实测数据和数值模拟方法,分析了软土地层大区基坑开挖和地下结构施工

期间邻近的地铁隧道变形情况,总结了基坑开挖过程中采用伺服系统控制围护结构侧向位移量与隧道变形之间的相对规律。

### 1 工程概况

本文以宁波市泽民站基坑为依托,泽民站北接天一家园西站,南抵丽园北路站。车站位于丽园北路与中山西路交叉路口北侧,沿丽园北路布置,西侧为丽园宾馆、宁波电容器总厂,东侧为泗江河。车站为地下三层 13m 岛式站台车站,车站起止里程为 CK14+866.500~CK15+025.500,车站总长 159m,地下一层为车站站厅层,地下二层为设备层,地下三层为车站站台层,底板埋深 29.21~30.81m,覆土约 3.2m。车站标准段主体结构净宽度为 20.3m,底板埋深为 29.21m,采用地下三层双柱三跨钢筋混凝土框架结构;围护结构采用 1200mm 厚连续墙加内支撑体系(第一、六道支撑为钢筋混凝土支撑,其余支撑为钢管支撑,共八道支撑+一道换撑)。土层由上至下分为九层,分别为填土 1a、淤泥 3a、淤泥 2a、淤泥质粉质黏土 2、淤泥质粉质黏土 1b、黏土 2a、粉质黏土 1a、粉质黏土 2,粉质黏土 4a。该基坑如土层参数和地连墙、支撑材料参数分别如表 1 和表 2 所示。

表1 模型土层参数

土层类别	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	泊松比 (-)	杨氏模量 (Pa)	屈服应力 (Pa)	摩擦角 (°)
填土 1a	2000	0.31	2.00E6	5.00E3	20.0
淤泥 3a	1660	0.38	2.04E6	1.19E4	6.9
淤泥 2a	1650	0.38	1.91E6	1.25E4	7.5
淤泥质粉质黏土 2	1690	0.37	2.10E6	1.30E4	8.0
淤泥质粉质黏土 1b	1740	0.35	2.70E6	1.38E4	8.9
黏土 2a	1900	0.31	6.54E6	3.50E4	14.6
粉质黏土 1a	1950	0.29	6.98E6	3.40E4	16.0
粉质黏土 2	1900	0.32	5.48E6	2.50E4	13.8
粉质黏土 4a	1860	0.33	5.32E6	2.30E4	12.6

表2 地连墙、支撑材料参数

材料类别	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	泊松比 (-)	杨氏模量 (Pa)
混凝土	2400	0.30	3.00E10
钢材	7800	0.30	2.10E11

## 2 模型建立及控制标准

### 2.1 模型的建立

本文通过 Abaqus 有限元分析软件对该基坑进行模拟开挖。设置该土体模型为50m×50m×50m，地连墙变更前的嵌入深度为 34.5m，而地连墙变更后的嵌入深度则变为 19.1m。施工工程分四步进行开挖，第一层支撑采用宽为 a=800mm，高为 b=700mm 的混凝土支撑，第二、三、四层支撑均采用外径为 R=608mm，内径 r=16mm 的环形截面钢支撑，模拟过程如下表 3 所示，所建基坑地连墙变更前模型如下图 1 所示。

表3 基坑模型开挖工序

步骤	说明
1	地应力平衡
2	挖去地连墙土体、安装地连墙
3	第一次开挖（深度为 3.9m）
4	安装混凝土支撑
5	第二次开挖（深度为 3.5m）
6	安装第一道钢支撑
7	第三次开挖（深度为 3m）
8	安装第二道钢支撑
9	第四次开挖（深度为 3.5m）
10	安装第三道钢支撑

### 2.2 控制标准

浙江省《建筑工程技术规程》(DB33T1096—2024) 根据基坑开挖深度对地连墙的侧移值和基坑两侧地表沉降值做出了规定，如表 4 所示。同时浙江省工程建设标准《城市轨道交通结构安全保护技术规程》(DB33T1139—2017) 也对隧道的水平位移和竖向位移做出了规定，如表 5 所示。

表4 基坑变形控制指标

变形控制值	地连墙侧移值 (mm)	坑外地表沉降值 (mm)
变更前、后	<25.02	<20.85

表5 城市轨道交通结构安全指标控制值

变形控制值	预警值 (mm)	控制值 (mm)
隧道竖向位移	<10	<20
隧道水平位移	<10	<20

## 3 模型计算结果及分析

### 3.1 地连墙变更前、后地连墙的水平位移对比

显然在施工过程中，由于地连墙嵌入深度的不同，所以地连墙所发生的形变也会不同。因此为研究基坑工程在地连墙变更前对地连墙的水平位移变化的影响规律，将不同工况下的地连墙变更前、后临近隧道侧地连墙的水平位移进行对比，如图 2 所示。

从图中可以很直观地看出，临近隧道侧地连墙随着离地面的距离增加，水平位移大体上都呈现出一种先增后减的趋势。但是在地连墙变更前，地连墙水平位移最大值出现的位置是在地连墙嵌入土体深度的 1/3 处，而在地连墙变更后，水平位移最大值则出现在地连墙嵌入土体深度的 1/2 处，虽然地连墙变更前、后水平位移的最大值均未超出浙江省规范所给出的地连墙侧位移值最大值 25.02mm，但是地连墙最大值出现位置的下移有利于实际工程中对地连墙自身的保护。

### 3.2 地连墙变更前、后基坑两侧地表沉降对比

在基坑工程中，地连墙嵌入土体深度的不同势必会对基坑两侧地表的沉降产生不同的影响，并且出地连墙水平位移外，基坑周围场地沉降值也是衡量工程是否安全可靠的重要指标，为探究地连墙变更前、后，对基坑两侧地表沉降的影响，现将不同工况下的地连墙变更前、后的基坑两侧地表沉降进行对比分析，如图 3 所示。

从图中可以看出，在地连墙变更前、后，地表沉降值几乎都是呈现出增加后减少的趋势。有所不同的是，在地连墙变更后，无论是临近隧道侧的地表沉降值还是远离基坑侧的地表沉降值都大于地连墙变更前的值并且在地连墙变更后，临近隧道侧的地表沉降最大值为 12.1mm，远离隧道侧的地表沉降最大值为 14.53mm，反观地连墙变更前，临近隧道侧的地表沉降最大值为 15.69mm，远离隧道侧的地表沉降最大值为 18.83mm。虽然在地连墙变更后，临近隧道侧地表沉降值总是高于地连墙变更前，但是在离基坑最远处两者基本持平，并且均为超出浙江省规范所给定的 20.85mm 限值。当离基坑到达一定距离后，地连墙变更后的无论是临近基坑侧的地表沉降值还是远离基坑侧的地表沉降值都小于地连墙变更前。由于地表沉降会导致临近建筑物基础的沉降，从而会导致建筑物的不均匀沉降，进而影响建筑物的安全与稳定，所以对地连墙的变更可以很大程度上减缓临近建筑物在施工时受到的影响。从总体上来说，无论是地连墙变更前还是变更后，地表沉降值都在规范要求内，但是在地连墙变更后，离基坑较远处的地表沉降值则得到了改善，这对基坑安全和周边建筑的稳定是有益的，因此对地连墙进行变更是很有必要的。

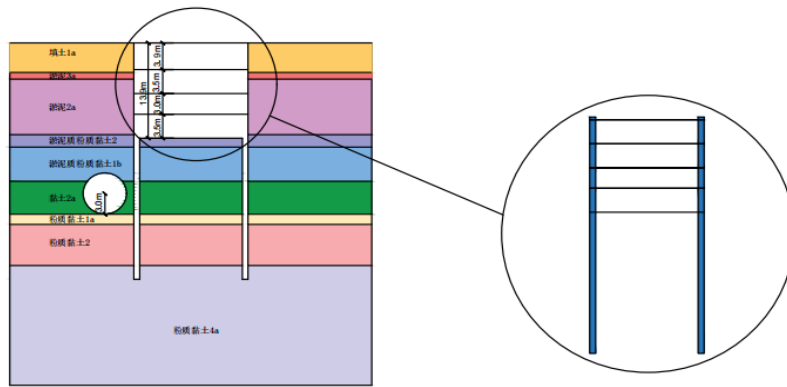


图1 基坑模型

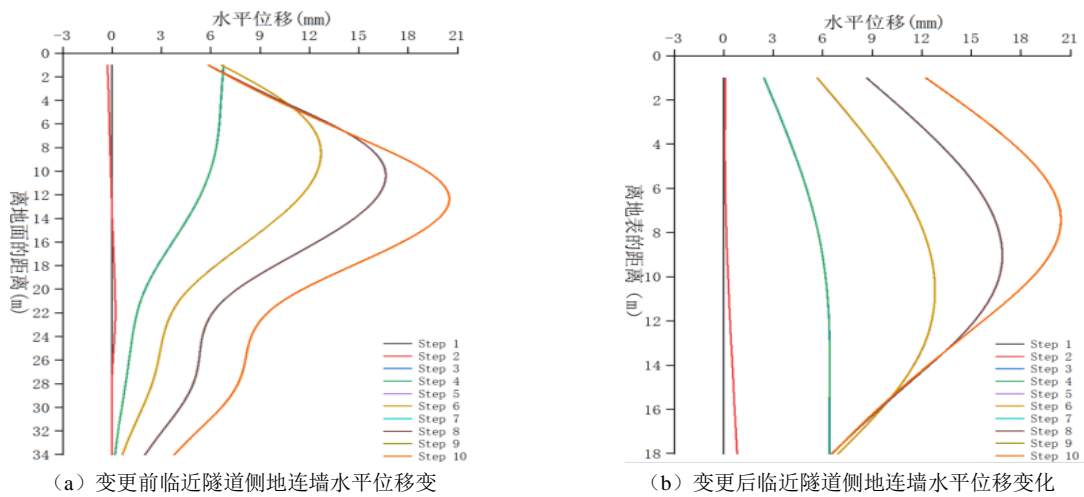


图2 变更前、后临近隧道侧地连墙水平位移变化

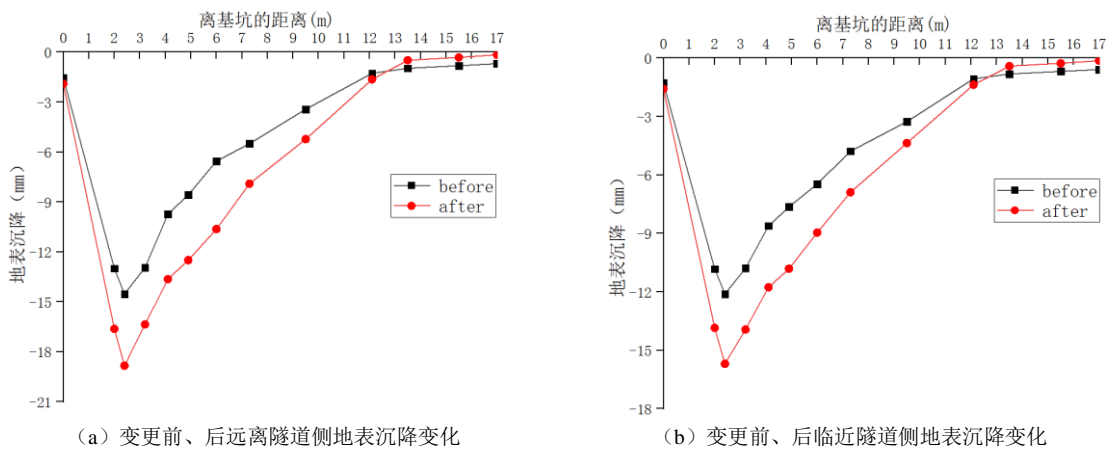


图3 变更前、后地表沉降变化

### 3.3 地连墙变更前、后隧道顶部和底部竖向位移的对比

由于在该基坑工程水平距离 1m 处有一地铁隧道，因此如何在施工过程中对临近的已有隧道不造成过多影响也是不得不考虑的问题。为分析在基坑施工过程中，不同地连墙对临近的已有隧道的顶部和底部造成的影响，本文将在不同工况下对地连墙变更前、后隧道顶部和底部中心点的竖向位移分别进行对比，如图 4 和图 5 所示。

从图中可以很明显地看出，随着基坑工程工作的进行，隧道顶部和底部的竖向位移均是在 1~3 步时地连墙变更后的值大于变更前的值，且竖向位移表现为沉降，而在 3~9 步时也是地连墙变更前的值大于变更后的值，但竖向位移则表现为隆起，最后在 9~10 步时则是地连墙变更前的值大于变更后的值，竖向位移也是表现为隆起。但无论是地连墙变更前还是地连墙变更后，隧道顶部和底

部的竖向位移最大值均在 18mm 左右且远大于浙江省规范所给定的 10mm 预警值,但是小于浙江省规范所给定的 20mm 变形控制值,因此对地连墙的改变符合规范。分别对比地连墙变更前、后基坑开挖完成后隧道顶部和底部的竖向位移可知,对地连墙的改变在基坑开挖完成后对于隧道顶部和底部的竖向位移并不会造成较大影响。

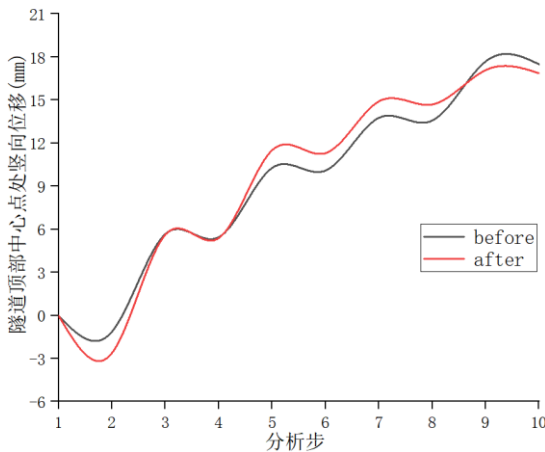


图4 地连墙变更前、后隧道顶部竖向位移变化

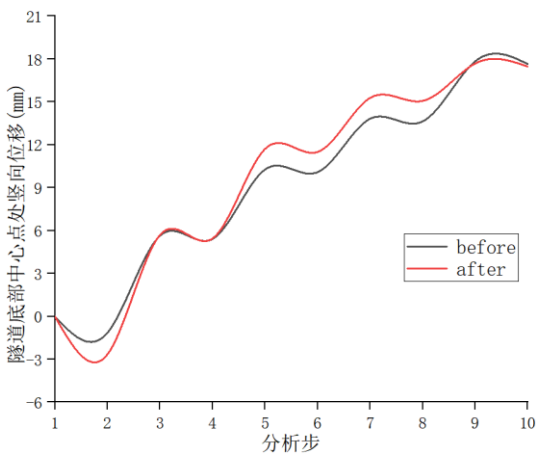


图5 地连墙变更前、后隧道底部竖向位移变化

### 3.4 地连墙变更前、后隧道临近基坑侧点的水平位移的对比

对于临近隧道的基坑工程来说,施工过程也会对隧道的水平位移造成一定的影响,这在对比基坑施工造成的影响进行分析时也是不可忽略的。因此为找出基坑施工过程中,不同地连墙对临近的已有隧道的水平位移造成的影响,将不同工况下地连墙变更前、后对隧道的水平位移的影响进行分析对比,如图6所示。

从图中可以看出,在对地连墙进行变更前,基坑施工对隧道造成的水平位移最大值为 4.94mm,而在对地连墙进行变更后,基坑施工对隧道造成的水平位移最大值增加至 8.55mm,对比之前增加了 42.22%。但是地连墙变更前、后的隧道水平位移最大值均未超出浙江省规范所给出的 20mm 限值,同时也未超出浙江省规范所给定的 10mm 预

警值,因此对地连墙的改变可以认为隧道水平位移的影响是微乎其微的,并且又考虑到实际工程作业时可能会出现的情况,对地连墙的改变可以更好地保护隧道的结构,从而维护隧道的安全和稳定。

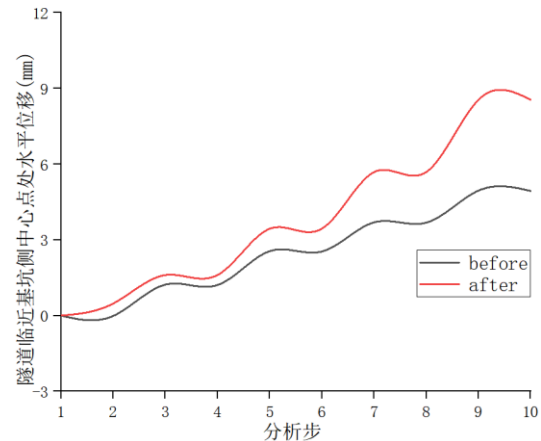


图6 地连墙变更前、后临近隧道侧中心点处水平位移变化

## 4 结论

本文依托宁波市泽民站基坑分别对地连墙变更前、后使用 Abaqus 有限元分析软件进行了建模计算。

对于地连墙来说,临近隧道侧地连墙的水平位移随着不同基坑施工工序的进行大体上均呈现出先增后减的趋势,而且地连墙的变形趋势均为向中间挤压,并且在地连墙变更前、后临近隧道侧地连墙的水平位移最大值出现的位置发生改变。

对于基坑来说,基坑两侧的地表沉降均呈现出先增加后减少的趋势,并且地连墙变更后地表沉降最大值大于地连墙变更前的地表沉降最大值,但是在离基坑较远处,地连墙变更后的最小值则是小于地连墙变更前的最小值。

对于临近的隧道来说,基坑开挖完成后,地连墙的改变对隧道顶部或底部的竖向位移最大值几乎没有影响,然而会对隧道临近基坑侧的水平位移造成较大影响。

本文对比分析了不同地连墙在基坑开挖时对临近隧道侧地连墙的水平位移、基坑周边场地的沉降、临近的隧道的竖向位移与水平位移的影响,得到了不同地连墙对基坑工程施工的影响规律,对实际的基坑工程设计和施工提供一定的参考。

### [参考文献]

- [1]高洪赞,徐天涵,王志华,等.深基坑开挖对自身围护结构及邻近隧道的影响研究[J].中外公路,2024,14(1):10.
- [2]于涛.软土地区深基坑施工对邻近地铁隧道的影响[J].地基处理,2021,3(5):427-432.
- [3]谭树增.软土区基坑开挖对临近隧道及建筑的影响分析[J].江苏建筑,2024(2):84-88.
- [4]李家平,雷丹,杨石飞,等.软土地层临近地铁基坑施工影响控制研究[J].工程勘察,2024,52(4):7-12.

作者简介:李森(1989.2—),性别:男,民族:汉,籍贯:辽宁省沈阳市,学历大学本科,研究方向:地下工程。

# 跨市政道路大跨度门架墩盖梁支架施工技术浅析

张已学 赵晓辉

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 三门峡 472000

**[摘要]**在高速公路桥梁施工过程中根据不同现场环境因素, 选择合理的施工技术, 特别是桥梁上部结构施工中具有重要意义。文中结合广东中开高速公路 TJ-2A 标项目博爱路一号高架桥右幅 31#墩应用实例, 对跨市区门架式大跨度盖梁支架施工技术进行总结, 希望对今后同类型桥梁结构施工提供参考和借鉴。

**[关键词]**市政道路; 高架桥; 盖梁施工; 支架

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17601

中图分类号: U445

文献标识码: A

## Brief Analysis of the Construction Technology of Large-span Gantry Pier Cover Beam Support for Cross Municipal Roads

ZHANG Yixue, ZHAO Xiaohui

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Sanmenxia, He'nan, 472000, China

**Abstract:** In the construction process of highway bridges, it is of great significance to choose reasonable construction techniques based on different on-site environmental factors, especially in the construction of the upper structure of the bridge. Based on the application example of Pier 31# on the right side of the Bo'ai Road No.1 Elevated Bridge in the TJ-2A section of the Guangdong Zhongkai Expressway, this article summarizes the construction technology of the large-span gantry cover beam support across urban areas, hoping to provide reference and inspiration for the construction of similar bridge structures in the future.

**Keywords:** municipal roads; viaduct; cover beam construction; support

### 引言

高速公路线路跨城区设计时, 经常出现与原市政道路交叉情况, 设计一般采用双幅整体式预应力盖梁作为上部结构的主要受力构件。但因其跨度大、原市区道路车流量大、桥墩高的因素又不适合搭设满堂支架, 采用型钢贝雷架柱式支架体系稳定可靠, 经济、安全、科学地解决此类盖梁施工问题, 并且对原市政道路的通行影响也降到了最小。

### 1 工程概况

中开高速公路中山段主线采用如下设计标准: 公路等级, 高速公路; 设计速度, 主线起点至沙朗枢纽 100km/h; 汽车荷载等级, 公路-I级; 路基宽度, 双向高标 6 车道, 路基宽度 35.5m, 桥梁宽度 35m, 分离式路基宽 2×18m。本标段项目部承建的中山段二期工程博爱路一号高架桥位于中山市火炬开发区城区, 右幅起始桩号分为: RK12+309.932-RK13+663.132, 全长 1.35km, 期中 16#~31#墩盖梁施工需上跨既有市政道路博爱七路, 作业面距地面高度在 8m~19m 之间。

### 2 钢管贝雷架支架施工工艺

#### 2.1 钢管贝雷架法施工总体说明

钢管贝雷架盖梁施工方法适用于博爱路一号高架桥右幅 16#~31#大跨度盖梁, 门洞设计形式为单向双车道, 为不影响车辆通行, 门洞净宽设为 7m, 高 8m。顺桥向设置两根直径 426mm 的钢管支撑, 间距 2.4m, 钢管柱采用

φ426×8mm, 连接系材料为 2[10a 槽钢。原有道路纵坡较大, 基础施工时必须保证水平, 以利于钢管桩均匀受力。

选择盖梁尺寸及跨度最大的博爱路一号高架桥右幅 31#墩进行验算。

表 1 盖梁相关参数表

位置	墩号	盖梁长 (m)	盖梁宽 (m)	盖梁高 (m)
博爱路一号高架桥	右幅 31#	28.05	2.4	梁端 1.5m/2.1m, 梁中 2.5m

钢管柱施工完成后在各立柱上安装砂箱, 在砂箱上安装承重梁, 将每排钢管柱连接为整体。在承重梁上安放双拼 321 型标准贝雷梁作为纵梁, 在贝雷梁支点部位设置加强竖杆。

由于盖梁高度不等, 因此在盖梁高 2.1m 范围内, 贝雷梁纵梁上设 I40b 工字钢横向分配梁, 间距为 0.75m, 横梁上设 I20a 纵梁, 间距为 0.6m, 作为盖梁承重体系; 在盖梁不等高范围内, 贝雷梁上设 I20a 工字钢, 间距 0.5m, 顶部渐变部分采用槽钢焊接排架作为承重体系。然后铺设方木与盖梁模板, 盖梁模板采用组合钢模板。

支架下方有行人车辆通行要求的需搭设安全防护棚, 并设置限高、限速标志牌, 为防止高处坠物, 需采用密目式安全网进行全封闭, 安全网网孔不大于 20mm×20mm。安全防护棚搭方法为在钢立柱顶部下 270cm 处设置 I40b 工字钢作为纵梁, 上方设 I20a 工字钢, 间距 0.5m, 顶上铺设 70cm 宽 5mm 厚的花纹钢板。

## 2.2 支架结构计算

### 2.2.1 计算参数

各种荷载取值：(1)恒载：①混凝土荷载取  $26\text{kN/m}^3$  折合线荷载施加，加载区域最大值在盖梁  $18.8\sim 21\text{m}$  段， $132.6\text{kN/m}$  分配在 5 根横梁 2 上，每根横梁 2 单位荷载， $26.52\text{kN/m}$ ；②钢模板及其支撑体系： $3\text{kN/m}^2$ ；(2)活载：①施工人员及设备： $3\text{kN/m}^2$ ；(2) 倾侧及振捣混凝土  $2\text{kN/m}^2$ ；③风载：正常工作期间取支架允许最大风力为 8 级，作用在单片贝雷梁上的横向静阵风荷载为  $1.18\text{kN}$ ，作用在单根钢管柱上的横向静阵风荷载为  $0.18\text{kN/m}$ 。

荷载组合：根据支架的工作状态，按照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020) 5.2.6 节进行组合，分别采用基本组合和标准组合计算结构受力情况。荷载基本组合用于构件强度及稳定性计算；标准组合 1 用于结构刚度；标准组合 2 用于计算地基承载力。荷载组合如下：(1)基本组合： $1.2\times\text{恒载}+1.4\times\text{施工荷载}+0.75\times 1.4\times\text{风荷载}$ ；(2)标准组合 1： $1.0\times\text{恒载}+1.0\times\text{风荷载}$ ；(3)标准组合 2： $1.0\times\text{恒载}+1.0\times\text{施工荷载}+1.0\times\text{风荷载}$ 。

### 2.2.2 受力、结构稳定计算

盖梁支架结构采用 midas Civil 2019 软件建模计算，支架结构采用的钢材包括 Q235、Q345，容许应力取值：Q235： $\leq 16\text{mm}$ ， $f=215\text{MPa}$   $f_v=125\text{MPa}$ ；Q345： $\leq 16\text{mm}$ ， $f=305\text{MPa}$   $f_v=175\text{MPa}$ 。构件均采用梁单元受力分析，相关受力计算模型见下图 1-6，贝雷梁力学参数见下表 2。

表 2 贝雷梁单元杆件力学性能

杆件名	材料	断面型式	横断面 (cm <sup>2</sup> )	惯性矩 (cm <sup>4</sup> )	容许承载力 (kN)
弦杆	Q345	10	$2\times 12.74$	397	560
竖杆	Q345	I8	9.52	99	210
斜杆	Q345	I8	9.52	99	171.5

#### (1) 贝雷梁各构件内力和整体位移计算

由图 1-4 可知，贝雷梁弦杆最大内力为  $303.2\text{kN} < 560\text{kN}$ ；竖杆最大内力为  $139.2\text{kN} < 210\text{kN}$ ；斜杆最大内力为  $142.9\text{kN} < 171.5\text{kN}$ ，最大位移为  $12.8\text{mm} < 10500/400=26.3\text{mm}$ 。所以，贝雷梁各构件均满足受力要求。



图 1 贝雷梁弦杆内力图

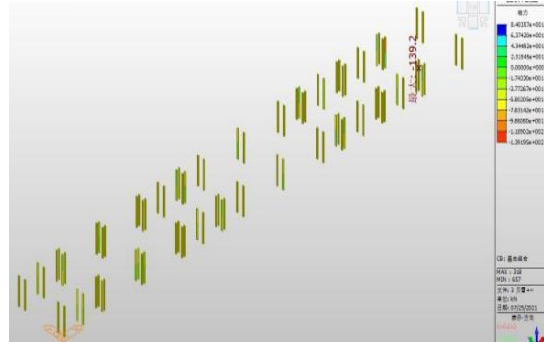


图 2 贝雷梁竖杆内力

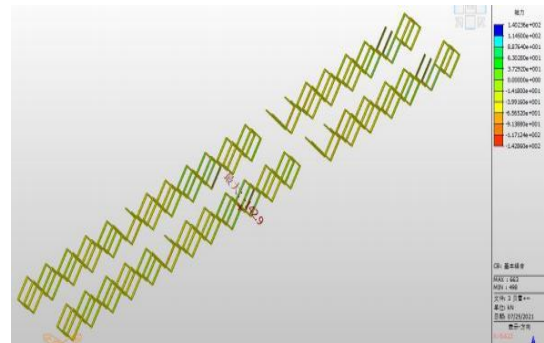


图 3 贝雷梁斜杆内力图

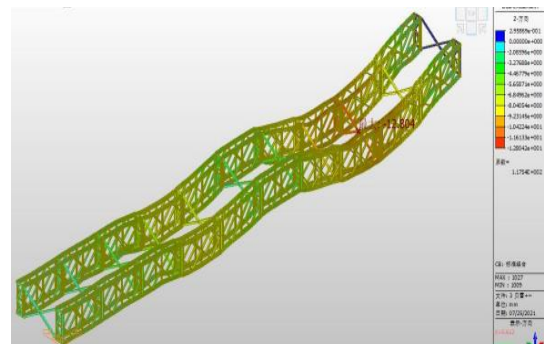


图 4 贝雷梁位移变化图

#### (2) 钢管立柱计算

本结构钢管立柱采用  $\Phi 426\times 8\text{mm}$ ，单排横向布置 2 根，通过平联和斜撑构成整体，应力计算结果如下。

由图 5、6 可知，在基本组合作用下，钢管立柱轴力最大值为  $720.3\text{kN}$ ，最大弯矩为  $18.9\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

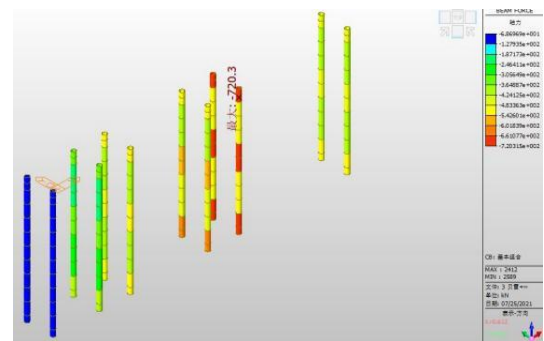


图 5 钢管立柱轴力图

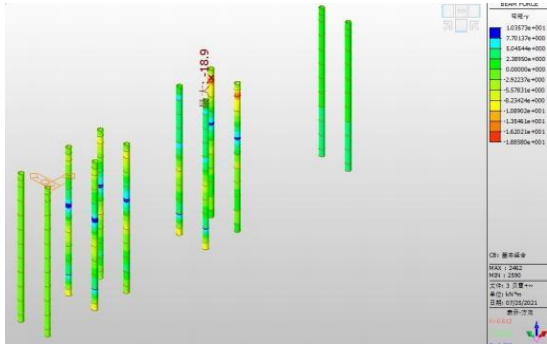


图 6 钢管立柱弯矩图

强度及稳定性计算：由设计图纸可知， $\Phi 426 \times 8$ mm。  
钢管立柱自由长度为： $l_0=9.95$ m。

钢管立柱参数： $A=10505\text{mm}^2$ ； $W_x=1.08 \times 10^6\text{mm}^3$ ； $i=148\text{mm}$ 。

钢管立柱长细比计算： $\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{9.95}{148/1000} = 67$ 。

查《钢结构设计标准》表 D.0.2, b 类截面， $\varphi=0.768$ 。

由计算结果可知，基本组合下轴力最大值：

$N=720.3\text{kN}$ ， $M=18.9\text{kN}\cdot\text{m}$ 。钢管立柱强度计算：

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{720.3 \times 10^3}{10505} + \frac{18.9 \times 10^6}{1.08 \times 10^6} = 86.07\text{MPa} < f = 215\text{MPa} \quad (1)$$

钢管立柱稳定性计算：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} + \frac{M}{W} = \frac{720.3 \times 10^3}{0.768 \times 10505} + \frac{18.9 \times 10^6}{1.08 \times 10^6} = 106.78\text{MPa} < f = 215\text{MPa} \quad (2)$$

由上计算可知，钢管立柱强度及稳定性验算均满足要求。

### 2.3 钢管柱安装

#### (1) 基础处理

钢管柱基础要求地基承载力不低于 180kPa，原有地基整平压实后，施工前应当对地基进行动力触探试验，确定基础承载力。地基承载力不足时，需要采用级配碎石换填，当基础承载力在 150kPa~180kPa，换填 0.5m；110kPa~150kPa，换填 1m；90kPa~110kPa，换填 1.5m；70kPa~90kPa，换填 2m；60kPa，换填 2.5m。换填面积均为 4m×6m。

基础处理应分层换填压实，分层填筑厚度不超过 30cm，换填深度根据现场实际情况确定，换填后再次进行动力触探试验，确定基础承载力。

当地基承载力满足要求后设置 20cm 厚 C25 混凝土进行找平，然后安放预制混凝土钢管桩基础。

#### (2) 钢管柱基础

钢管立柱采用扩大基础，扩大基础设计为一层，均采用长 4.6 宽 1.3 高 0.5m。基础为预制 C30 钢筋混凝土，在距离基础底部 10cm 处布置一层钢筋网片，横向钢筋  $\phi 12@140\text{HRB400}$ ，纵向钢筋  $\phi 16@150\text{HRB400}$ ，四周钢筋保护层均为 5cm，四角距离边缘 20cm 处预埋  $\phi 20$  钢筋作为吊环，基础中心位置预埋 30cm 长钢管桩，预埋钢管桩顶部设置有法兰盘，上部钢管桩对接直接通过螺栓与预

埋钢管桩连接。

### 2.4 砂箱安装

支架利用砂箱卸载拆除，砂箱使用钢管制作，每个钢管柱上布置一个高砂箱。砂箱内的沙子必须砂筒内的填充物选用清洁的过筛中粗砂，且保持干燥，模板的最终高度可以通过砂箱内沙子调节。在施工过程中注意尽量不要让沙子浸水，以免拆模时漏砂困难。

砂箱采用集中加工，为圆柱状，分为大砂筒和小砂筒两部分。下钢筒采用外径 356mm、壁厚 10mm 的无缝钢管；上钢筒采用外径 325mm、壁厚 10mm 的无缝钢管；底板采用  $\Phi 400 \times 10\text{mm}$  钢板。制作时严格控制厚度，对砂箱座进行 100% 验收，试验压力符合上部承载压力。

卸载时拧开砂箱一侧的螺旋开关，轻轻敲击，沙子就会流出，大梁就会随沙箱内沙子的减少在荷载作用下下沉，流动不畅时可采用铁丝等材料辅助。

### 2.5 承重梁安装

承重梁采用两根 I25b 工字钢焊接而成，焊缝间隔 1.5m 设置一道。钢管支撑安装完毕后，采用汽车吊将提前焊接好的双拼 I25b 承重梁吊装安放到钢管支撑顶部。为防止承重梁发生滑动，在钢管支撑顶部铺垫 2~3mm 厚土工布，增大摩擦力。

### 2.6 承重体系安装

在横向工字钢顶面架设贝雷梁作为纵向主梁，贝雷梁先提前进行拼装，排与排之间采用横向连接片相连。贝雷梁连接时的贝雷销必须打紧，每个销子上均上卡扣，支撑架螺栓必须拧紧。贝雷梁在桥下拼装完成后，由二台汽车吊运，吊装前应在两侧工字钢上放出每组贝雷梁的准确位置并进行标记，然后由汽车吊吊运至设计位置。

对安设完的贝雷梁为防止其移位，在最外两侧的贝雷梁与桩顶工字钢承重梁接触处在工字钢顶面焊接短钢筋，贝雷梁处中间部位的工字钢焊接竖向限位钢筋，设置 2 道。贝雷梁拼接后与工字钢接触面有空隙，采用下垫钢板。钢板垫放的长度沿纵向为双拼工字钢的宽度，钢板宽度应不小于每片贝雷弦杆的宽度，施工时应保证支垫密实。

安装完贝雷梁后，开始安装贝雷架上的工字钢横梁，施工时采用汽车吊将工字钢吊至指定位置。

### 2.7 支架预压

#### (1) 支架预压目的

检验支架整体稳定性、安全性及地基承载力；通过测量支架受力后变形对盖梁立模标高的影响，根据分析结果合理设定盖梁立模的预拱值。

#### (2) 支架预压前检查

支架搭设完成后，对支架平面位置、顶面高程等进行全面复核，并对支架安装的牢固、整体及安全性进行全面检查、验收，检查支架搭设、安装、受力的整体性、均匀性，保证支架的整体强度和刚度，确保支架在施工过程中

的安全可靠。

### (3) 观测点布设

观测点布置：预压前在支架顶设沉降观测点，在贝雷梁悬臂端部、贝雷梁 1/4、1/2 处、扩大基础上钢管支撑顶部与中点、分配梁跨中均设置观测点。

### (4) 预压加载方案

#### ① 预压顺序

预压前，调整好盖梁底模，测出所有观测点高程后进行加载，纵向加载时，应从跨中处向支点处对称布载，横向加载时，应从结构中心线向两侧对称布载。

#### ② 预压分级

支架加载采用混凝土恒载、模板、枕梁、支架重量之和的 1.2 倍作为总荷载，分 60%、80%、100% 三级加载。每级加载完成后，应先停止下一级加载，并应每隔 12h 对支架沉降量进行一次监测，当支架顶部监测点 12h 沉降量平均值小于 2mm 时，可进行下一级加载。加载过程中应严格按照预压顺序和分级加载要求进行加载，必须严格控制加载速率，防止因整体或局部加载量过大、过快而使地基发生剪切破坏或支架局部失稳而坍塌。

加载程序：

- a. 横向从中心线向两侧对称进行荷载施加；
- b. 跨中部位从盖梁中支点处向两端施加；
- c. 悬臂端从盖梁自由端向固定端施加；
- d. 按照示意图加载序号从小到大依次加载。

③ 预压方式采用预制混凝土块，堆码在模板上，采用吊车吊装，承受全部荷载的 100%，单块重达 5t，盖梁中部堆码高度控制在 3~4 层，预压过程中随时检查支架变形情况。

#### (5) 支架预压观测

测量采用水准仪，预压监测采用三等水准测量要求进行作业，测量人员用专用表格对每次测量数据进行详细记载（加载与卸载过程中的各测点标高值），观测同一部位采用同一基准点，由同一人读数。

加载过程中随时检查基准点是否发生沉降。加载至 60%、80% 阶段，每个阶段间隔 12 个小时对支架进行一次沉降观测，当支架顶部监测点 12h 的沉降量平均值小于 2mm 时，可进行下一级加载；荷载加载至 100% 后每间隔 24h 监测点高程。各监测点 24h 的沉降量平均值小于 1mm，或各监测点 72h 的沉降量平均值小于 5mm，判定支架预压合格。支架预压合格后，卸除预压荷载，卸载 6h 后监测点高程。并计算支架的沉降量、弹性变形量、非弹性变形量，以此确定模板的安装高程。

若上述条件未达到，则还须待荷进行预压，直到地基及支架沉降到位方可卸载。若发现变量不收敛、支架沉降超过理论数值或出现异常声响，则应立即采取卸载或紧急撤离等措施。当支架预压合格后，用吊车将预制块吊下，

吊至地面后摆放整齐以待下一次使用。

表 3 各套支架不同部位的允许挠度见下表。

支架类型	观测内容	容许值
型钢支架主梁	跨中挠度	L/400
	悬臂挠度	L/200
钢管—贝雷支架贝雷梁	单跨挠度	L/400
	悬臂挠度	L/200
钢管柱	垂直度	H/200 且不大于 50mm

预压后支架已基本消除预压荷载作用下支架各竖向杆件的间隙及非弹性变形。

#### (5) 预压卸载

支架预压分级卸载，预压卸载须对称、均衡、同步卸载。

预压卸载后的回弹量即是盖梁在混凝土浇筑过程中的下沉量，为消除支架受压变形影响，采用盖梁底模底部支垫的方式，调节底模的预拱度。

## 2.8 支架拆除

(1) 拆除顺序：拆除侧模→落砂箱→脱底模→抽拉纵肋、横向分配梁→安放贝雷架→拆除贝雷支架下部结构→拆除支架临时基础→恢复路面。

#### (2) 拆除工艺

① 侧模拆除：侧模在混凝土强度能保证构件表面及棱角不因拆除模板而受损坏后方可拆除，拆除后采用吊车吊装至地面并码放整齐。

② 落砂箱：待混凝土抗压强度达到设计要求后两端所有砂箱同时均匀下落，防止分配梁不均匀下落变形，贝雷梁滑移。

③ 脱底模：砂箱下落后盖梁底混凝土与模板形成自由空间可脱开底模，脱开后的底模先由手拉葫芦抽拉出后采用吊车吊装至地面并码放整齐。

④ 盖梁端联成整体的翼板底模采用手拉葫芦拖拉至梁体翼板外侧；拖拉时设专人指挥，盖梁两端同时均匀拖拉，严禁仅一端拖拉，防止掉落。拖拉时首先横向分多次拖拉外移并拢，以增强稳定性防止倾覆。再由吊车吊装至地面并码放整齐。

⑤ 支架拆除前首先拆除纵肋、横向分配梁，将纵肋、横向分配梁由手拉葫芦抽拉出，再采用 2 台吊车配合同时吊放至地面摆放整齐。

⑥ 由专人指挥采用 2 台吊车同时吊起双拼联成的整体贝雷架组吊放至地面，及时安排工人将拆下的贝雷梁打散，堆码整齐后退租。

⑦ 采用吊车将横向承重梁工字钢先垂直提升 30cm 再向一侧偏移，后落至地面安全位置集中堆码。

⑧ 拆除沙箱和钢管立柱，将拆倒的立柱和沙箱分割后，分类堆码。

⑨ 拆除立柱砼基础，恢复原路面。

### 3 结语

本工程根据现场施工条件制定门式墩盖梁钢管贝雷架支架的施工方案,在施工过程中按照:支架基础处理→预制钢立柱基础安放→钢立柱贝雷梁支架搭设→支架预压验收→上部盖梁结构施工→支架拆除的工序组织流水作业,在保证安全质量目标的前提下提高了施工效率,周转材料的租赁成本也得以节约,并且有效地保证了原有市政道路的正常通行。对同类型跨城区主干道桥梁工程有一定的借鉴意义。

### [参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计标准:GB50017-2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017:2-3.
  - [2] 刘志勇.跨越既有道路桥梁之门式墩盖梁施工技术浅析[J].四川水泥,2022(11):78.
  - [3] 李金昌.门架墩大跨度预应力盖梁支架施工技术[J].中国高新科技,2021(3):67.
- 作者简介:张已学(1988.10—),毕业于吉林大学土木工程(工民建方向),现就职于水电十一局,工程师职称。

## 节能减排措施在绿色建筑给排水设计中的运用

赵岩 杨文苏

华商国际工程有限公司, 北京 100069

[摘要]节能减排是绿色建筑发展的重要议题, 要保障功能与舒适度, 达成资源节约与环境友好。给排水系统作为建筑运行关键部分, 负责节水、节能和污染控制。经合理设计和技术革新, 能大幅提高资源利用效率, 降低运行能耗, 减轻环境负担。文章从节能减排的含义与价值着手, 依据总体设计原则, 着重分析绿色建筑给排水系统里的节能与减排举措, 并在结尾总结其整体价值。研究显示, 这些举措提高了水与能源利用效率, 减少了污染排放, 达成了环境效益与经济效益的一致, 对促进建筑业可持续发展有重要价值。

[关键词]绿色建筑; 给排水设计; 节能减排

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17572

中图分类号: TU2

文献标识码: A

### Application of Energy-saving and Emission Reduction Measures in Green Building Water Supply and Drainage Design

ZHAO Yan, YANG Wensu

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

**Abstract:** energy-saving and emission reduction are important issues in the development of green buildings. It is necessary to ensure functionality and comfort, and achieve resource conservation and environmental friendliness. The water supply and drainage system, as a critical component of building operation, is responsible for water conservation, energy efficiency, and pollution control. Through rational design and technological innovation, it can significantly improve resource utilization efficiency, reduce operating energy consumption, and alleviate environmental burden. The article starts with the meaning and value of energy-saving and emission reduction, and based on the overall design principles, focuses on analyzing the energy-saving and emission reduction measures in green building water supply and drainage systems, and summarizes their overall value at the end. Research shows that these measures have improved water and energy utilization efficiency, reduced pollution emissions, achieved a balance between environmental and economic benefits, and have significant value in promoting sustainable development of the construction industry.

**Keywords:** green building; water supply and drainage design; energy-saving and emission reduction

#### 引言

建筑行业属于能源消耗以及环境排放方面的关键领域, 其中给排水系统和水资源利用效率以及废水排放水平存在着直接的关联。传统设计往往是以满足功能需求作为主要目的, 对节能环保有所忽视, 进而使得资源出现浪费的情况, 并且排放压力也在不断增加。伴随着绿色建筑理念逐渐得到普及, 给排水系统被赋予了节能以及环保这两重使命, 其目标一方面是要保障供排水的稳定与安全, 另一方面是借助雨水收集、中水回用、智能控制等相关措施达成资源循环以及能效提升的目的。针对绿色建筑给排水系统当中的节能减排措施展开研究, 这既是对全球低碳发展这一趋势的一种回应, 同时也与我国绿色转型的战略要求相契合, 具备十分重要的理论价值以及实践价值。

#### 1 节能减排的定义与重要性

节能减排指的是通过一系列技术和管理措施, 在保证建筑功能和舒适度的前提下, 减少能源消耗和有害排放。节能是指通过技术手段和管理措施提高能源的利用效率, 降低能源需求, 从而减少能源消耗。减排则是通过采用清

洁能源或优化排放过程, 减少温室气体、污染物以及废水等的排放。建筑领域的节能减排是一个复杂的系统工程, 涵盖了从设计阶段到运营管理的全过程, 涉及建筑结构、给排水系统、电气设备、暖通空调系统等多个方面。在当前全球环境问题日益严重的背景下, 建筑行业的节能减排不仅关系到能源资源的高效利用, 也是减缓气候变化、减少环境污染、推动可持续发展的重要手段。建筑给排水系统作为建筑运行中的关键组成部分, 其能耗和排放对整体节能减排目标的实现具有直接影响。

#### 2 给排水系统节能减排的总体设计原则

##### 2.1 系统整体性与协调性原则

绿色建筑给排水系统要达成节能减排这一目标, 得立足于整体性以及协调性这两个方面。其系统设计可不能仅仅着眼于把供水跟排水功能各自孤立地去优化, 而是要从整个建筑运行的层面来考量, 全面兼顾结构、暖通、电气等诸多专业之间相互协同所产生的作用。就好比说, 给水系统里的加压方式, 它会对建筑的电能消耗产生影响; 而排水系统的回用设计, 那可是和建筑整体的水资源利用率

紧密联系着的。所以说,在开展设计工作的时候,得建立起跨学科的协同机制,让各个部分能够在满足基本功能的前提下,把节能减排的效果最大化地呈现出来。整体性还表现在对建筑全生命周期的思考上,也就是不但要留意建设阶段的节能程度,更要着重于运营管理阶段对于能耗的把控以及资源的再次利用情况。唯有坚守整体性与协调性这两项原则,才能够保证给排水系统在绿色建筑当中发挥出最优的效能。

## 2.2 节能优先与资源循环利用原则

在绿色建筑给排水系统设计方面,节能一直是最关键的目标所在,而资源的循环利用无疑也是达成可持续发展这一目标的重要路径之一。设计人员在挑选设备以及确定方案的时候,应当把那些节能性能较为出色的各类技术和相关产品放在优先考虑的位置上,比如去采用节水型的洁具、高效能的水泵,还有对管网布置予以优化等一系列的举措,以此来使日常运行过程当中的能源消耗得以降低。与此资源循环利用在给排水系统之中的表现是非常突出的,像雨水收集技术、中水回用技术以及污水再生利用技术等的引入,不但能够在一定程度上减少对于新鲜水资源的需求,而且还可以让污水排放量有所降低,进而实现水的闭环式利用。将节能优先的原则与循环利用的方式结合起来,一方面能够提升系统的运行效率,另一方面也能够有效地缓解对所处外部环境的依赖程度以及减轻其负担,最终推动建筑朝着真正具备绿色特性和低碳属性的方向不断发展前进。

## 2.3 智能化与可持续发展原则

随着信息技术以及智能控制不断发展,智能化已然成为现代绿色建筑设计里极为重要且必不可少的一项原则。就给排水系统来讲,其智能化一方面体现在自动化监测与控制层面,另一方面也体现在依据大数据所开展的能耗分析以及资源调度上。比如,借助传感器对管网压力、水质以及流量展开实时监测,如此便能实现对系统运行状态的动态把控,进而可及时对供水和排水策略做出调整,以此达到降低能耗以及排放的目的。并且,智能化和可持续发展有着紧密的关联,其中智能化为可持续发展给予了技术层面的支持,而可持续发展又为智能化明确了方向。当引入智能化手段之后,给排水系统就能更为灵活地去适应环境方面的变化以及使用方面的需求,并且在长期的运行过程中能够维持较高的资源利用率以及较低的排放水平,进而为绿色建筑的可持续发展筑牢坚实的保障。

## 3 给排水设计中的节能措施

### 3.1 节水型器具与节能型设备的应用

节水型器具以及节能型设备乃是达成建筑节能减排目标的直接途径。就现代绿色建筑来讲,像双档冲洗马桶、感应式水龙头、低流量花洒这类节水型洁具得到了广泛运用,它们借助优化设计可切实减少用水量,并且不会使使

用的舒适度有所降低。在供水设备这块,高效水泵、变频调速系统还有节能型热水器的运用大幅提升了能源的利用效率,削减了电能的消耗量。运用自动控制系统可依据实际的用水需求来智能地调节供水压力,如此一来便规避了传统系统里能耗过高的情况或是出现供水不足的状况。凭借对这些器具和设备做出合理的挑选与配置,建筑于日常运行期间便可在确保用户体验的前提下,达成能源以及水资源的双重节省目的。

### 3.2 雨水收集与回用系统设计

雨水收集并加以回用,在绿色建筑领域当中,实属是一项颇具潜力的节能举措。在城市里面,数量众多的雨水往往经由排水系统径直排进管网之中,如此一来,雨水便在尚未得到开发利用的情形下,沦为了一种废弃资源。借助科学且合理的规划设计,建筑能够于屋顶、广场以及绿地等诸多区域安置雨水收集方面的相关装置。并且,经过沉淀处理、过滤操作以及消毒工序等一系列的处理工艺流程之后,雨水就能够成功转化成为可供利用的水源,进而广泛应用于景观的灌溉、道路的冲洗以及厕所的冲刷等等这类并非用于饮用的多种用途之上。如此这般的做法,一方面减少了对城市自来水的过度依赖情况,另一方面也使得排水系统的所承受的压力得以降低,同时还能够让雨季时节城市出现内涝的风险有所削减。除此之外,雨水的利用在相应程度上还能够减轻污水处理厂的处理工作负担,最终达成了水资源得以节约以及环境效益得以实现的双重收益效果。

### 3.3 中水回用与再生水利用

中水回用以及再生水利用,乃是提升建筑水资源利用率的关键途径。中水一般指的是源自洗浴、洗衣还有洗手盆等相对较为洁净的生活废水,这些废水经由恰当的处理之后,是可以再度用于绿化、冲厕以及道路清洁方面的,如此一来便能减少新鲜水的耗费。再生水则是借助更为繁杂的工艺把生活污水或者工业废水处理到特定的水质标准以后重新加以利用。在绿色建筑当中,中水与再生水的应用不但可以有效地压低取水成本,而且能够削减排放至环境当中的污水总量。伴随处理技术的持续发展,这类水资源的利用已然变得越来越具备经济可行性,已然成为建筑节能减排系统设计里不容小觑的重要构成部分。

### 3.4 管网优化与输配效率提升

给排水管网在连接供水设备以及用户方面属于极为关键的环节,其设计是否优化会对能源消耗以及资源利用效率产生直接影响。传统管网设计往往会出现诸如水压分布不均、能耗相对偏高以及泄漏率比较大的一系列问题,然而在绿色建筑当中的管网设计,则着重于科学合理的布置以及高效的运行状态。举例来讲,借助合理地去选择管径大小、尽量缩短输水所涉及的距离并且对管路布局予以优化等举措,是能够有效减少水头方面的损失以及泵送过程中的能耗的。采用新型的管材,不但可以使得摩擦阻力

得以降低,而且还可以让管道渗漏率有所减少,进而提升供水的整体效率。结合智能化的管网监控系统来运用,如此便能够实时且全面地掌握管网的实际运行状况,进而能够及时察觉并妥善处理那些能耗过高的相关问题,最终达成全面提升输配效率的目的,促使建筑的总体能耗得以降低。

#### 4 给排水设计中的减排措施

##### 4.1 污水分质收集与分流排放

污水分质收集以及分流排放,这无疑是一项能够有效减少建筑排放负担的关键举措。在传统的系统当中,所有的废水常常会被集中排入到市政污水管网里,如此一来,一方面大大增加了后续处理的难度,另一方面也造成了可再利用资源的极大浪费<sup>[1]</sup>。而分质收集这一做法,它是依据废水的不同来源以及各异的污染程度来加以分类的,就好比把厨房污水、厕所污水还有洗浴废水各自分开来收集并分别予以处理。借助这样的方式,那些相对较为清洁的废水就能够更为轻松地得到妥善处理并且实现回用,至于那些污染程度较高的废水,则会集中起来送往专门的污水处理系统去,如此便能够在很大程度上降低整体的处理能耗以及排放负荷。分流排放这项措施,其既能对资源利用率起到提升的作用,又能够减轻对市政排水系统的压力,完全契合绿色建筑所提出的减排方面的要求。

##### 4.2 建筑节能型污水处理与回用技术

在绿色建筑领域当中,污水处理既属于污染控制的一种手段,同时也算得上是水资源再利用极为关键的一个环节。节能型污水处理技术通过对工艺以及设备加以改进,成功地把传统处理过程里存在的高能耗以及高排放等问题给降了下来。比如说膜生物反应器技术(MBR),它把高效的生物处理功能同膜分离功能很好地结合到了一起,如此一来便能够在能耗相对较低的情况下达成优质的出水水质,进而满足回用方面的相关需求<sup>[2]</sup>。除此之外,像人工湿地还有生态滤池这类自然处理工艺,借助植物以及微生物相互之间所形成的协同作用来对废水展开处理,这样一来既能节省能源,又能够对建筑景观环境起到一定的改善作用。这些技术在实际应用的过程中,能够让建筑污水在节能的前提之下实现回用,进而减少对新鲜水的需求量,并且还能够降低总的排放量。

##### 4.3 低碳排放的管材与设备选择

建筑给排水系统的减排情况不单单在运行过程当中有所体现,其实在材料以及设备选择这个环节同样有所呈现。传统金属管材在生产以及运输期间所耗费的能量是比较高的,然而像PE、PPR管这类新型塑料管材,它们在生产之时所耗费的能量相对较低,并且使用寿命还比较长,相应的维护成本也会更低一些,所以在整个生命周期当中所排放的碳量是比较低的。在选择设备的时候应当优先去

挑选那些高能效并且排放量低的产品,比如说低噪音以及节能型的泵机还有高效节能的污水处理设备等<sup>[3]</sup>。通过对材料与设备选择加以优化,既能确保系统的可靠性,又可以大幅度地降低碳排放以及能源消耗,进而达成建筑整体的绿色化目标。

##### 4.4 热能回收与余热利用技术

在建筑排水的时候,生活热水以及空调冷凝水这类废弃水体当中,常常存有不少能够被利用起来的热能。传统系统一般会直接把这部分热能给排放掉,然而现代绿色建筑却借助热能回收技术来加以利用。比如,排水余热回收装置能够把生活热水里的热量给回收起来,然后用于新鲜水的预热或者供暖系统,如此一来便能让锅炉或者电热水器的能耗有所降低。冷凝水回收之后,可以用于冷却塔补水,或者当作中水来利用,这既节约了水资源,又减少了能耗。这些举措一方面降低了能源的消耗,另一方面也减少了废水里所携带的热量给环境带来的影响,达成了减排以及节能的双重成效。

#### 5 结语

节能减排这一目标是绿色建筑发展极为关键的核心所在,在给排水系统设计环节对其加以落实,可充分体现建筑行业针对环境保护以及资源节约所秉持的高度重视态度。对设计原则予以合理的把控,便能够促使系统整体达成良好的协调状态,并且实现高效有序的运行情况;借助节能措施的应用实施,可有效提升水资源的利用效率,同时还能减少能源方面的消耗;引入减排措施之后,能够使污染物排放得以降低,进而有力推动资源的再利用进程。这些举措彼此之间相互辅助,互为补充,一道构建起一个具备节能高效特点且低碳环保的给排水系统,从而为绿色建筑给予稳固可靠的技术层面的支撑保障。在往后的日子里,伴随智能化技术不断地向前发展,以及新型材料设备接连不断地涌现出来,建筑给排水系统的节能减排所具备的潜力将会在更大程度上得以释放展现。其在推动绿色建筑持续稳定地发展、缓解环境所面临的压力以及促进社会实现可持续发展等诸多方面所起到的作用,也必定会一天比一天更加显著突出。

#### [参考文献]

- [1]陈姣.节能减排措施在绿色建筑给排水设计中的运用[J].住宅与房地产,2025(20):50-52.
  - [2]关贤杰.节能减排措施在建筑给排水设计中的运用[J].低碳世界,2024,14(10):70-72.
  - [3]程思源.建筑给排水设计中的节能减排措施研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(7):76-78.
- 作者简介:赵岩(1986.1—),男,汉族,黑龙江省大庆市,硕士,华商国际工程有限公司,高级工程师。

# 公共建筑空间设计的人性化与功能性研究

张晓松

中远智信设计有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]公共建筑空间设计要满足功能需求,还应注重人性化体验,引入行为心理学、人体工学以及信息化技术手段,以此优化空间布局、动线组织、光环境和材料选择。这么做能有效提升空间舒适度,还能提高使用效率,合理进行功能分区,实现灵活的空间转换,这不仅可以满足多样的公共服务需求,还能够提升空间适应性,增强可持续性。人性化设计策略好处多多,它能推动交流互动,还可增强安全感和归属感,如此一来,功能性和人文关怀得以达成统一,这种设计方法是现代建筑应该采取的。它能助力提升公共建筑的社会价值,还能让公共建筑的整体使用效益得以提高。

[关键词]公共建筑;空间设计;人性化;功能性;可持续性

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17590

中图分类号: TU244

文献标识码: A

## Research on Humanization and Functionality of Public Building Space Design

ZHANG Xiaosong

Hebei Branch of Zhongyuan Zhixin Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The design of public building spaces should meet functional requirements and also focus on humanized experience. Behavioral psychology, ergonomics, and information technology should be introduced to optimize spatial layout, flow organization, lighting environment, and material selection. This approach can effectively improve the comfort of the space, increase usage efficiency, and achieve flexible space conversion through reasonable functional zoning. This can not only meet diverse public service needs, but also enhance spatial adaptability and sustainability. The humanized design strategy has many benefits. It can promote communication and interaction, and enhance a sense of security and belonging. In this way, functionality and humanistic care can be unified. This design method should be adopted in modern architecture, so as to enhance the social value of public buildings and improve the overall efficiency of their use.

**Keywords:** public buildings; space design; hommization; functionality; sustainability

### 引言

社会不断发展,城市化进程也在加快,公共建筑不只是承担基本的服务功能,还慢慢成了展现城市形象以及文化内涵的关键载体。空间设计合理与否至关重要,它直接影响使用者的体验感受,也关乎建筑的运营效益情况。单纯强调功能,常会忽视人的心理需求和情感需求。可要是过度追求人性化,空间效率说不定就被削弱了,在公共建筑设计里,有个关键命题亟需探索,那就是怎样在功能性和人性化二者之间寻得平衡。深入挖掘人类行为特征和空间特质的契合点,如此一来能给未来的公共建筑打造出更具价值的设计方向。

### 1 公共建筑空间功能布局的优化策略

#### 1.1 不同类型公共建筑的功能需求

公共建筑的种类十分多样,不同功能类型的公共建筑在空间布局方面有着明显的不同之处,交通枢纽得满足大规模人流快速疏导的要求,其空间注重通透性与流动性。文化建筑备受关注,像博物馆、图书馆这类,它们更看重参观动线以及知识传播,在空间组织方面特别强调营造安静且沉浸的氛围。医疗建筑很重要的一点是分区清晰明确,

它追求便捷高效,以此来保证医患能够实现分流,具备应急反应能力。这些差异让公共建筑在功能布局方面有了特殊性。不能用统一模式去套,而是要根据实际功能定位来展开规划。

功能需求存在差异,在此基础上,建筑师得充分明白使用群体的特征,了解其行为习惯,交通枢纽里,旅客需求多样,有的要候车,有的需换乘,还有的想休憩。文化建筑中,观展者常看重体验氛围,至于医疗建筑使用者更依赖快速且安全的就医流程,把不同群体行为模式和功能定位结合起来,能给后续空间分区提供坚实依据,也能为流线设计奠定良好基础。

#### 1.2 空间分区合理性与动线设计

合理的空间分区是公共建筑功能布局的基础,科学进行分区作用显著,它能有效防止人流交叉,也能避免功能出现混乱的情况,各个空间借助科学分区,既能保持自身独立,又能彼此相互关联。拿大型综合体来说,主入口常设置在交通便捷的地方。服务区也是如此,核心功能区和辅助区之间会保持一定适当的距离,这样一来,既能满足使用时的便捷需求,又可以确保各自的独立性。合理进行

分区设计很重要,它提高了建筑运行效率,还降低了能耗,减少了维护成本。

动线组织同样在公共建筑中占据关键位置,动线要是清晰、顺畅,就能有效分流人群,如此一来拥堵情况得以减少,安全性也提高了。交通枢纽需有直观的主通道,标识要明确,如此才能实现快速引导。文化建筑则强调观展路线的连贯性与层次感。医疗建筑对动线要求简洁。急诊通道病房通道和后勤运输通道得明确区分开来,科学地进行动线设计能够让建筑使用效率实现最大化,而且在紧急状况时,这样的设计还能保障安全疏散。

### 1.3 灵活空间与高效利用

公共服务需求日益多样,在此背景下,公共建筑空间慢慢呈现出复合化的趋向,空间设计灵活可变为同一建筑里达成多功能转化。展览馆平常能充当学术交流场地,也可作为教育培训的地方,而到了特殊时期它又能迅速转变为应急避难空间,借助活动隔断、可移动家具以及模块化结构这些手段,空间在有限面积里能够实现多种使用可能性,这极大提升了建筑的适应性,也让建筑更具生命力。

高效利用有着不同体现,一方面,在功能切换方面有所展现,另一方面,也呈现于让空间资源实现最大化利用。公共建筑设计时要避免出现浪费和闲置的情况,需合理利用过渡空间、边角区域和共享空间。就拿交通枢纽来说,候车厅有等候区,这等候区可不简单,它能具备信息显示功能,也能具备商业功能。文化建筑里,走廊能成为临时展览场地,休息区同样可以是临时展览的地方,灵活运用与复合功能相结合,让空间于有限条件里收获更大的使用效益。如图1所示:



图1 公共建筑商用

### 1.4 技术手段辅助功能优化

信息化与智能化不断发展,在这一进程里,技术手段给公共建筑空间功能布局带来了全新可能,智能导视系统好处多多,它能助力使用者迅速寻得目标区域,还能降低迷失情况的出现,缓解拥堵状况。大数据以及人流监测技术很厉害,它们可以实时分析人群分布状况,借助分析结果能够对照明空调还有安保资源实施动态调配。如此一来,建筑运行效率就能得以提高,借助智慧化管理手段,公共建筑实现了诸多改变。一方面,其使用便利性得到提升,另一方面,功能的科学性与可控性也有所增强。

除此之外,信息交互系统投入应用,这一应用让公共

建筑的服务功能极大丰富起来,于文化建筑领域、数字导览以及增强现实技术被运用,借助它们,参观者能获取沉浸式体验。在医疗建筑里,有智能挂号与导诊系统,该系统让就诊流程得以缩短。在交通枢纽电子信息屏实时更新班次和交通情况的移动端应用亦是如此,这般操作提升了人们的出行效率。这些技术的加入,不仅让功能布局得到优化,还推动公共建筑朝着智慧高效的方向发展。

## 2 人性化设计在空间环境中的应用路径

### 2.1 人体工学在空间中的应用

人体工学在公共建筑设计里扮演着核心角色,这种核心作用在座椅高度设计、角度设计以及间距设计方面体现得尤为明显。合理的座椅作用不小,它可以降低身体疲劳感,还能够提升长时间使用过程中的舒适程度,在交通枢纽的候车区域或是文化建筑的休息地带,符合人体工学设计的座椅对旅客和参观者大有益处。它能有效减轻他们的身体负担,让使用体验得以提升,并且通道宽度、坡度以及台阶尺寸,都得依据人体尺度,这样做既能保证流通效率,又可以降低使用风险。

除基本尺度控制外,休息区布置要符合人体工学原理,等候区布置同样需遵循人体工学原理,适度的私密空间、可调节的座椅布局,还有合理的光照条件,这些都利于为使用者营造更放松的环境。关注不同人群的行为习惯,留意他们的生理需求,基于此,建筑空间能在细节处实现对使用者的关怀,进而彰显出人性化价值。

### 2.2 光声环境与感官优化

光环境是塑造舒适空间氛围的重要因素,引入自然光,好处多多,它能降低能耗,还能让使用者有亲近自然之感。合理的采光设计有要求,一方面要避免眩光,另一方面得保证光线均匀分布。在文化建筑里,光线柔和,这般柔和的光线可增强展览的体验感。医疗建筑里,采光很重要,充足且温和的采光对患者情绪稳定有帮助,也利于患者康复,人工照明得兼顾节能和舒适,要提供适宜不同场景的光强度,也要提供适宜不同场景的色温。

声环境的优化同样关键,交通枢纽场所,噪声可不小,得用吸音材料,还得做好隔音设计,以此来降低干扰。文化建筑得保持安静,如此,观众才能沉浸于艺术氛围里,温度和湿度的调控依靠智能系统来动态进行,智能系统让空间始终维持舒适且稳定的状态。综合调控光、声、温湿度等感官体验,如此一来,就能给使用者营造出更宜人且健康的空间环境。

### 2.3 材料与色彩对心理影响

材料与色彩影响着空间的美观程度,它们还会直接对人的心理感受产生作用。天然材料能传递温暖与亲和感,让空间更具人文气息。像木材、石材,都属于这类天然材料,金属与玻璃的运用则展现出现代感与科技感,材料的触感质地会对使用者的心理状态产生潜移默化的影响。柔

和材质能让人放松,坚硬冷峻的材质强化着秩序与理性的氛围。

色彩搭配在心理舒适度中同样具有重要意义,暖色系可营造温馨氛围,带来放松之感,它适合用在休憩空间,也适合用于交流空间。冷色系传递出宁静与沉稳的感觉,这种感觉适合用在学习的地方,也适合用在思考的场所,科学运用色彩很重要,借助这种科学的方式能够调节使用者情绪,还能让环境更具亲和力。采用合理的设计策略,把材料与色彩相结合,如此一来,公共建筑空间在视觉层面能实现人性化关怀,在心理层面也能实现人性化关怀。

#### 2.4 无障碍设计与弱势群体关怀

无障碍设计展现出公共建筑的社会公平特性,它也彰显着人文关怀。无障碍坡道、无障碍电梯、盲道,还有无障碍卫生间,这些设施不只是方便了行动不便的人,老年人、儿童以及临时负重的人也都能从中受益,通道的宽度和高度怎样?地面是否平整?指示标识可视性如何?这些细节之处无不见证着对弱势群体的关爱与敬重。

智能化设备于无障碍设计里同样起到了积极作用,有语音导航、触觉提示,还有智能呼叫系统,借助这些视障人群、听障人群在使用建筑空间的时候更自主。无障碍设计可不只是带来物理层面的便利,从深层意义来讲,它其实是社会态度的一种展现,经过系统化人性化的设计,公共建筑可达成对所有使用者的包容服务,如此一来,公共空间该承担的社会责任得以彰显。

### 3 功能性与人性化的协调与平衡机制

#### 3.1 功能性与人性化的冲突与互补

公共建筑进行设计的时候,常碰到一些状况,就是功能性跟人性化之间存在冲突,功能性着重于高效、秩序以及逻辑。与之不同的是人性化对舒适体验和情感更为关注,举个例子,交通枢纽的动线组织得尽可能简洁清晰,不过要是一味地强调效率,候车区的舒适性以及人群的心理需求就可能被忽视。类似的冲突在不同类型公共建筑中普遍存在。

然而,这两者并非全然对立,实际上,它们能够形成互补关系,功能性为建筑运行提供基础条件,人性化设计,提升了建筑的社会价值。二者结合,能满足基本使用需求,不仅如此还能凭借细节方面的关怀,增强用户满意度,最终形成一种既高效又舒适的空间环境。

#### 3.2 权重分配与案例思考

设计过程里功能性和人性化的权重分配该怎么定?这得依据建筑性质以及目标人群来确定,交通枢纽着重于功能性,与之不同的是文化建筑以及休闲建筑更在意人性化体验。合理分配可不只是简单按比例划分,它得依据场景和需求来进行动态调整,举个例子,医院里,急诊区着重突出功能性,与之不同,病房区更把人性化放在重要位置。

案例表明功能和人性化若能达成协调,常常可以提升

整体效益。在不少案例里,功能跟人性化协调起来,整体效益往往会得到提升。某大型城市图书馆处于建设阶段时,把功能性以及人性化当作核心考量要素。阅览区是封闭式布局,隔音材料搭配柔和光线营造出安静又高效的学习环境,另一侧设置了开放式互动交流区,这里配备多媒体设施,还有灵活的桌椅。如此一来方便使用者开展小组讨论和进行学术交流,这样的差异化空间,避开了噪声干扰,还满足了多样的学习需求,以及交流需求。

#### 3.3 模块化与弹性设计策略

模块化设计能有效解决功能和人性化之间的冲突,这是一种提供有效解决途径的设计方式,把空间划分成可调节的模块,如此一来,建筑便能灵活满足不同的功能需求。会议中心能借助活动隔断把大空间分隔开来形成一个个小会议室,如此一来,会议中心就能在不同场景间灵活切换使用,模块化让功能性得以高效维持。与此它还兼顾了人性化的灵活性与适应性,模块化之下功能性高效且不失人性化的灵活与适配。

弹性设计注重空间的可变性,这种可变性体现在不同的时间与条件之下,交通枢纽的候车厅,高峰时段着重通行效率,至于低峰时段能通过调整布局来打造舒适的休憩环境。将弹性和模块化相结合能在动态环境里达成有效平衡,这平衡是功能性和人性化之间的平衡。

#### 3.4 综合评价与反馈机制

要检验功能性和人性化的平衡程度,建立一套科学的综合评价体系是很有必要的,该体系一般包含两类指标,一类是效率指标,像人流通行时间、空间利用率;另一类是体验指标,包括舒适度满意率和心理安全感,对比不同指标能够有所发现,发现什么?能发现功能和人性化之间存在差距,还能找到改进方向。

反馈机制的引入能使设计不断优化,借助使用者意见调查结合实时数据,监测建筑在运行期间能够持续做出调整,某综合建筑投入使用前后的功能性与人性化变化情况得以展示。具体情况如表1所示。

表1 投入使用前后功能性与人性化的变化

指标类别	投入前水平	投入后水平	提升幅度
空间利用率	72%	85%	+13%
人流通行效率	中等	高	明显提升
舒适度满意率	65%	82%	+17%
安全感评价	一般	较高	稳步提升

对公共建筑开展系统评价与反馈,如此一来公共建筑能在功能性和人性化间寻得最佳平衡点达成长效优化实现持续发展。

### 4 公共建筑空间设计的可持续发展思考

#### 4.1 节能环保理念的融入

公共建筑通常体量较大,而且,它们的能耗水平比较

高。如此一来，引入节能环保理念就极为关键了，合理设计建筑朝向与外立面很重要。如此一来，能够有效借助自然采光和通风，进而减少对人工照明以及空调的依赖，选用高性能隔热材料与节能门窗，这能从源头上降低能耗。绿色屋顶与垂直绿化加以应用，好处多多，它们能助力改善微气候，还能够隔热、蓄能，基于节能措施能源管理系统可让运行效率更上一层楼。借助传感器和智能控制设备对照明空调以及供水系统展开实时调节，如此一来建筑能耗能够维持在合理范围之内，这种节能策略顺应了低碳发展潮流。它还为建筑可持续运营打下基础。

#### 4.2 可再生材料与循环利用

于公共建筑空间设计而言，材料的挑选颇为关键，这一挑选，会直接对可持续性产生影响。可再生材料作用不小，像竹材、再生木材，还有环保砖都是其中的代表。它们降低了对自然资源的消耗，而且，这些材料能赋予空间独特的生态气质。与此，钢材可以回收再利用，玻璃也能回收再利用。这在一定程度上减轻了建筑垃圾问题，也缓解了环境负担，循环利用理念在建筑全生命周期的考量里，体现得更为明显。采用模块化构造，如此一来，建筑后期进行改造或者拆除的时候，能降低资源浪费，让材料得以二次使用。材料进行绿色选择，开展循环应用，如此一来，建筑空间当下的功能性得以具备，并且这还为未来的可持续发展保留了更多可能。

#### 4.3 长期运营中的人性化延伸

可持续设计不只是节能和环保，它在长期运营阶段，有着人性化的延展体现。公共建筑是服务社会的重要场所，它的运行维护得契合使用者需求。对空气质量监测及净化系统进行定期更新，如此一来，就能给人们营造一个健康的环境，有智能化温湿度控制设备，它能确保舒适性，即便四季在变化。长期运营需要兼顾多样化人群的需求，弱势群体的无障碍设施要持续做好维护工作，社会在发展，儿童和老年人的专用空间同样需要不断优化。

#### 4.4 智慧建筑与未来趋势

科技不断发展，如今智慧建筑成了公共建筑实现可持续发展的关键方向，借助大数据以及物联网技术，建筑可以实时监测能耗情况、人流状况以及环境参数。基于这些监测信息，建筑能够做出动态调整，照明系统具备自动开关功能，它会按照人群分布情况来运作。而空调系统能够

依据区域内的人数自动对功率进行调节，以此达成精准节能的目的。未来的发展趋势可不只是节能，它还涵盖了和城市整体系统的联动。智慧建筑能够和城市交通能源以及信息平台相互连接，如此一来便能构建出具备整体性的智慧城市生态。公共建筑不再只是具备单一功能的物理空间，它已然成为推动城市可持续发展的关键节点。

### 5 结语

公共建筑空间设计，它回应着功能性需求，也是人性化关怀的一种体现。分析不同类型建筑的功能差异，能够明确合理分区，也能明确动线优化，具有重要意义。在人性化的发展路径里，舒适与公平的空间体验是多种因素共同塑造出来的，人体工学发挥着重要作用，感官环境也不可或缺，材料选择同样关键，还有无障碍设计，它们一起营造出舒适又公平的空间体验。功能和人性化要达成协调，这不仅得依靠模块化设计与弹性设计，还离不开综合评价体系的动态反馈。借助这些，才能实现持续优化。在可持续发展方面，节能环保观念兴起，可再生材料得到应用，公共建筑运营注重长期的人性化拓展，智慧化趋势也日益凸显。这些因素共同发力，促使公共建筑朝着高效、绿色、包容的方向迈进，整体而言，公共建筑空间设计的核心方向是功能性和人性化的深度融合。这一融合同样是提升社会价值与城市品质的重要途径。

#### [参考文献]

- [1]王琰娜.现代公共建筑中公共空间的人性化设计思考探究[J].建材与装饰,2019,11(13):121.
  - [2]张毅.寒地公共建筑入口空间人性化设计[D].河北:河北建筑工程学院,2020.
  - [3]吴玥.基于格式塔理论的展览类建筑空间设计[D].安徽:安徽理工大学,2022.
  - [4]赵萌.基于健康建筑评价标准的自用办公建筑空间设计策略研究[D].广东:华南理工大学,2023.
  - [5]叶红.公共建筑空间人性化设计分析[J].工程建设与设计,2021,11(10):1-4.
  - [6]谢蔚.绿色建筑装饰设计理念在公共建筑设计中的体现[J].新城镇科技,2024,33(12):105-107.
- 作者简介：张晓松（1990.2—），毕业院校：河北工程大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：中远智信设计有限公司河北分公司，职务：建筑设计师，职称级别：中级。

## 食品加工与冷链一体化建筑设计模式研究

任志坤<sup>1</sup> 张晓东<sup>1</sup> 兰蒙<sup>2</sup>

1. 华商国际工程有限公司, 北京 100069

2. 北京昱邦科技有限公司, 北京 100000

**[摘要]**随着现代食品工业发展速度不断加快, 消费者对于食品安全、品质以及新鲜度的要求也在持续提高, 传统那种分散的食品加工厂房还有冷链设施已经很难满足高效运作、降低损耗以及保障安全等方面的需求了。文章针对食品加工与冷链一体化建筑设计模式来展开相关研究, 深入分析了冷链物流所涉及的理论基础以及当下的发展状况, 同时探讨了食品加工与冷链一体化建筑所具备的需求特征, 并且还提出了一体化建筑设计应当遵循的基本原则以及相应的空间模式, 构建起了一种能够实现功能集成并且让空间得到优化的建筑设计模式。研究得出, 合理的一体化建筑设计能够在很大程度上提升食品加工的效率、切实保障食品安全、对能源使用加以优化并且达成可持续发展的目标, 这能给现代食品产业在冷链建设方面提供理论层面以及实践操作层面的指导。

**[关键词]**食品加工; 冷链; 一体化; 建筑设计模式

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17568

中图分类号: TU9

文献标识码: A

## Research on the Integrated Architectural Design Mode of Food Processing and Cold Chain

REN Zhikun<sup>1</sup>, ZHANG Xiaodong<sup>1</sup>, LAN Meng<sup>2</sup>

1. Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

2. Beijing Yubang Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

**Abstract:** With the continuous acceleration of the development of modern food industry, consumers' requirements for food safety, quality, and freshness are also constantly increasing. Traditional scattered food processing plants and cold chain facilities are no longer able to meet the needs of efficient operation, reduced losses, and safety assurance. The article conducts relevant research on the integrated building design mode of food processing and cold chain, deeply analyzes the theoretical basis and current development status of cold chain logistics, and explores the demand characteristics of integrated buildings for food processing and cold chain. It also proposes the basic principles and corresponding spatial patterns that integrated building design should follow, and constructs an architectural design mode that can achieve functional integration and optimize space. Research has shown that reasonable integrated building design can greatly improve the efficiency of food processing, effectively ensure food safety, optimize energy use, and achieve sustainable development goals. This can provide theoretical and practical guidance for the modern food industry in cold chain construction.

**Keywords:** food processing; cold chain; integrated; architectural design mode

### 引言

冷链物流属于现代食品产业里的一个重要环节, 其借助制冷以及蓄冷技术, 在食品从生产到加工、从储存到运输再到销售的全过程当中维持食品处于低温状态, 以此来保障食品的质量以及安全。随着产业逐渐走向规模化, 并且食品安全标准也在不断提升。所以说, 把食品加工与冷链设施在建筑层面进行有机整合, 形成具备功能集成、空间优化、安全可靠并且还节能的一体化建筑模式, 这已然成为了现代食品工业发展过程当中的一种必然趋势。本文综合运用理论分析以及实践应用的方式, 全面且细致地探讨一体化建筑设计的原则、模式以及关键技术。

### 1 冷链物流的理论基础与发展现状

冷链物流是以冷冻工艺学为基础, 以制冷技术和蓄冷技术为手段, 使冷链物品(易腐食品等)从生产、加工、储藏到流通、配送的各个环节中始终处于规定的低温环境

下, 以保证食品质量, 减少损耗的物流活动。冷链物流由冷冻供应、冷冻加工、冷冻贮藏、冷藏运输及配送4个方面的构成。按照《食品安全国家标准 食品冷链物流卫生规范》(GB 31605—2020)的规定, 冷冻食品储存环境温度和运输过程中的温度均不应高于-18℃, 冷藏食品储存环境温度为0~10℃。此情形下, 食品加工以及冷链设施采取分散建设的方式, 已经渐渐呈现出诸多问题, 像是能耗偏高、各环节衔接不够顺畅, 还有食品品质控制起来困难重重等。这些问题推动着加工环节、储藏环节以及冷链运输环节在建筑层面达成一体化的设计方案, 以此来提高空间的利用效率, 保障食品的安全性, 并且促进绿色可持续发展的发展进程。

### 2 食品加工与冷链一体化的需求分析

#### 2.1 食品安全与质量控制要求

食品安全以及质量控制方面的要求。食品于加工、储

存以及运输这个过程当中,特别容易受到微生物污染以及温度波动等方面的影响,所以建筑设计务必要保证各个功能区域的温度、湿度还有洁净环境都能够得到妥善且有效的控制。在一体化模式下,原料接收、初加工、包装以及冷链储存这些环节在空间布局上要达成有效的隔离效果,借助合理安排洁净区以及污染区的位置,以此来降低出现交叉污染的可能性。与此建筑内部的温控系统得确保各个环节的温度能够严格依照相关标准,像是冷冻食品所处的环境温度不能超过-18℃,冷藏食品所处的环境温度需要控制在0~10℃这个区间内,从而契合食品安全管理方面的各项要求。除此之外,建筑还应当方便针对加工环节展开监管以及检查工作,保障操作流程是规范的,设施设备也便于进行清洁以及消毒处理,进而从整体空间层面达成对食品安全与质量控制的高效保障效果。

## 2.2 功能与空间布局需求

在食品加工与冷链一体化建筑当中,功能以及空间布局的合理性会对生产效率以及冷链运作的顺畅程度产生直接影响。建筑内部要依据食品加工工艺流程来合理地划分各个功能区,像原料接收区、清洗处理区、加工区、包装区、冷链储存区以及物流分拣区等,而且每个环节都得按照流线型设计原则来安排,尽量减少物料和人员的交叉路径,以此提升操作效率。与此空间布局还要充分考量不同温区的设置情况以及它们之间的衔接事宜,从而保证从加工环节一直到储运环节的连续性以及温度的稳定性。在功能布局设计方面,还得综合考量设备的布置情况、物流通道的设置、人员操作的需求以及安全出口的安排,让建筑既能满足生产方面的各种需求,又能契合管理以及应急处理等方面的要求。借助科学的空间布局规划,既能够确保食品加工的质量以及冷链运作的效率,又可以实现建筑资源的最大限度利用以及运营成本的最低程度控制。

## 3 一体化建筑设计的基本原则

### 3.1 工艺流程与空间合理性

一体化建筑设计最根本的原则便是要把工艺流程和空间合理性相互结合起来。建筑的空间组织要紧密贴合食品加工工艺来展开布局工作,让原料接收环节、加工处理环节、包装环节以及冷链储存环节能够顺畅地衔接起来,以此来保证物流流线既简洁又高效,进而减少搬运所花费的时间以及操作方面所产生的成本。与此建筑各个功能区的面积如何分配、通道的宽度以及作业的高度都得充分满足生产设备以及人员操作的实际需求,从而达成对空间的最优利用效果。在这个过程当中,要合理地去划分操作区域和服务区,使得生产、储运以及辅助功能能够做到协调且统一,这可是保证建筑整体效率以及可操作性极为关键的一个环节。通过将工艺流程与空间布局加以优化并有机结合起来,一体化建筑便可以在提升生产效率的同时,实现对食品加工全过程的科学管理以及相应的安全保障措施。

### 3.2 温区划分与隔离设计

在冷链一体化建筑当中,温区的划分以及隔离方面的设计,这无疑属于保证食品安全并且提高冷链效率的一项极为关键的原则。建筑方面得依据不同环节所对应的温度具体要求,把冷冻区、冷藏区还有常温加工区按照合理的安排予以分隔开来,与此要运用空气幕、隔断或者门禁系统等手段来阻止出现温度相互交叉干扰的情况。对于温区之间物料以及人员通道的设计而言,务必要遵循单向流动的原则,如此一来便能够减少冷热空气的相互交换,进而降低污染的风险。除此之外,温区的隔离还应当和设备的布局以及物流路径相互结合起来,以此达成操作便利性与温控精度的统一协调。凭借科学合理地划分温区以及切实有效地实施隔离措施,不但可以使得冷链运输以及储存的效率得以提升,而且还能切实有效地保障食品在整个加工以及储运全过程当中的安全状况以及质量的稳定性。

### 3.3 卫生安全与洁污分区

卫生安全以及洁污分区在冷链一体化建筑设计里属于不容忽视的关键原则。建筑在设计环节务必要清晰地划分出清洁区、半洁区还有污染区,要让原料处理环节、加工操作环节以及包装出库环节在空间方面实现严格的分离状态,如此一来便能够避免出现交叉污染的情况。对于地面、墙面以及操作台所选用的材料,应当挑选那种易于进行清洁和消毒的类型。排水系统的相关设计也得确保污水可以及时排出去,并且不会对生产环境产生任何影响。凭借合理的洁污分区以及科学的操作规范,建筑一方面能够符合食品安全方面的各项标准,另一方面在生产进程当中还能够给员工营造出健康且安全的作业环境,与此同时还能有效降低微生物污染传播的风险,进而为冷链一体化的高效运转给予强有力的保障。

## 4 建筑设计模式构建

### 4.1 功能一体化布局模式

食品加工与冷链一体化建筑的功能一体化布局模式,其目的在于把加工、储藏以及物流各个环节在空间方面予以有机整合,进而构建起高效、连续并且安全的生产体系。在这样的模式当中,建筑内部各个功能区域借助合理的空间衔接以及物流流线方面的设计紧密地关联在一起,达成原料接收、预处理、加工、包装、冷链储存还有出库环节的无缝对接。功能一体化一方面提升了生产效率,另一方面减少了物料搬运以及能源消耗,并且方便管理与监督,以此来保障食品加工整个过程的安全与质量。在设计的实际操作过程中,功能布局要充分考量不同加工环节的温控需求、设备配置情况以及人员操作路径,让各个环节在满足技术规范的要求之下实现空间共享以及资源优化,最终形成科学、高效而且安全的一体化生产体系,给食品加工与冷链物流的整合给予建筑层面的有力支撑。

### 4.2 空间组织与平面设计模式

在空间组织以及平面设计模式方面,建筑设计要把工

艺流程还有物流路径当作核心要素来考量,把各个功能区按照合理的逻辑予以组合,并且做好层次方面的划分工作,借助平面布局这种方式,达成操作起来较为便利、物流能够顺畅运行以及温控效率较高的目的。冷链储存区、加工区以及辅助设施需要依据温度等级、卫生等级还有操作频率等方面的情况来进行合理的布置安排,以此让人员以及物料的流线变得清晰且呈单向流动状态,从而降低交叉干扰以及污染风险出现的可能性。与此建筑平面设计还得兼顾设备布置、通风采光、空间利用率以及安全疏散等多方面的需求,凭借科学合理的平面组织方式,使得生产活动能够在有限的空间范围之内实现效率的最大化提升。在现代的一体化建筑当中,平面设计一方面体现出空间的功能分配情况,另一方面还通过优化流线以及区域划分的方式,进一步提升操作的安全性、能源利用的效率以及建筑整体的性能表现,进而为食品加工与冷链衔接环节给出具有可操作性的空间解决方案。

## 5 关键技术与设计要点

### 5.1 建筑围护与保温节能设计

建筑围护结构以及保温设计在食品加工与冷链一体化建筑当中占据着极为关键的地位,其对温控精度、能源消耗以及建筑运行成本均会产生直接影响。高效的围护结构可有效减少冷热交换情况的发生,进而保障冷链储存区域以及加工区域的温度能够保持稳定状态,与此同时还能使空调和制冷系统的能耗得以降低。在材料选择方面,应当选用具有优异隔热性能的墙体、屋顶以及地板系统,并且要结合密封性方面的设计以及空气防渗的相关措施,以此来保证冷热空气不会出现交叉流动的现象<sup>[1]</sup>。除此之外,在建筑设计环节当中还能够引入自然采光、屋顶绿化以及高性能门窗等一系列节能举措,兼顾环境的舒适性以及能源的优化利用,从而达成建筑的可持续发展的目标。借助科学合理的围护与保温设计,冷链一体化建筑在确保食品安全以及加工效率的能够大幅度降低运行成本,提升建筑整体所具有的经济性以及生态效益。

### 5.2 制冷与通风系统设计

冷链一体化建筑里面,制冷与通风系统属于核心技术环节,其设计水准对食品加工以及储存环节的温度把控还有空气质量有着决定性影响。制冷系统得依据不同温区的要求来展开分区设计,要保证冷冻区、冷藏区以及加工区温度能够得到精准控制,并且还要考虑到系统的冗余情况以及稳定性,以便能够应对突发状况<sup>[2]</sup>。通风系统在设计的时候,务必要确保空气可以顺畅流通,防止出现温度分布不均以及局部受到污染的情况,同时也得兼顾能效以及运行成本方面的问题。在现代建筑当中,能够采用中央空调、空气幕还有智能温控系统来达成自动调节的目的,以此保证加工区以及储存区的温度、湿度还有空气质量都能

够处于最优的状态。在实际的应用过程中,制冷与通风系统必须要和建筑平面布局以及功能区划密切配合起来,从而确保物流以及人员操作的便捷性,并且还能对冷链一体化建筑给予稳定可靠的环境保障。

### 5.3 仓储运输衔接与冷链保障

在食品加工以及冷链一体化建筑领域当中,仓储运输衔接设计对于达成冷链的完整性以及提升其效率而言是极为关键的所在<sup>[3]</sup>。该建筑有必要在储存区域和物流出口这二者之间去精心设计出具备科学性的物流通道,从而让货物在整个搬运的过程之中都能够维持住温控条件,防止出现温度波动的情况进而对食品的质量产生不利影响。与此还需妥善且合理地安排好装卸区域、分拣区域以及运输接口等方面,以便能够让冷链运输车辆可以迅速接入并且顺利完成装载工作,以此来保障运输环节能够具备连续性以及时效性。建筑设计方面同样需要考虑到将信息化管理系统予以集成,借助温度监测、库存管理以及物流调度等相关技术手段,达成对食品加工环节、仓储环节以及运输环节的实时控制,并且实现各个环节之间的高效衔接。经过对仓储与运输的空间以及流程布局加以优化之后,一体化建筑不但能够确保食品的安全性和质量,而且还能够在一定程度上降低能耗以及运营成本,进而在整体上提升冷链系统的效率以及可靠性。

## 6 结语

食品加工与冷链一体化建筑设计属于现代食品产业链建设的关键走向,其关键目标在于借助空间方面的优化、功能的集成以及技术层面的保障来达成生产、储运还有物流之间的高效连接。研究结论显示,一体化建筑设计能够在提高生产效率、保障食品安全、优化能源使用以及实现可持续发展等方面起到重要作用,从而为现代食品加工以及冷链物流建设给予科学的理论依据以及技术方面的有力支撑。在未来的发展进程中,随着智能化与数字化技术的应用情况不断推进以及绿色建筑理念得到广泛推广,食品加工与冷链一体化建筑设计将会在节能环保、自动化管理以及高效运营这些方面发挥出更大的实际价值,进而为食品产业的现代化发展源源不断地注入动力。

### [参考文献]

- [1]程怡媚.食品冷链物流现存问题及改进对策探讨[J].食品安全导刊,2025(6):177-179.
- [2]朱文娟.食品工程安全保障与监督管理策略研究[J].中外食品工业,2024(14):25-27.
- [3]王亦敏.食品冷链物流环节质量安全控制关键技术与管理策略[J].现代食品,2025(10):164-166.

作者简介:任志坤(1987.9—),籍贯:河北唐山市乐亭县,男,汉,工程师,硕士,研究方向:冷链建筑及食品加工建筑。

## 可持续发展视角下冷链仓储建筑设计创新研究

张晓东 任志坤 刘寒风

华商国际工程有限公司, 北京 100069

**[摘要]**随着全球食品供应链快速发展以及可持续发展理念不断普及, 冷链仓储在保障食品安全、降低物流损耗以及提高能源利用效率等方面所呈现出的重要意义也愈发明显起来。不过, 传统冷链仓储建筑在功能布局、温控管理以及能源消耗等诸多方面存在着不少欠缺之处, 很难契合现代食品产业对于高效、安全、绿色的综合方面的需求。文章立足于可持续发展的角度, 全面且细致地分析冷链仓储建筑设计的具体需求, 进而提出契合节能低碳、空间优化以及功能集成的建筑设计方面的原则, 同时构建起具有创新性的模块化布局以及立体物流组织模式。通过针对关键技术展开探讨, 像建筑围护保温、制冷与通风系统还有仓储物流衔接管理技术等, 给出了具备可操作性的设计路径以及应用策略, 以此为冷链仓储建筑实现高效、绿色以及智能化发展给予理论层面以及实践方面的参考。

**[关键词]**可持续发展; 冷链仓储; 设计创新

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17567

中图分类号: F259

文献标识码: A

### Research on Innovative Design of Cold Chain Warehousing Buildings from the Perspective of Sustainable Development

ZHANG Xiaodong, REN Zhikun, LIU Hanfeng

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

**Abstract:** With the rapid development of the global food supply chain and the continuous popularization of sustainable development concepts, the importance of cold chain warehousing in ensuring food safety, reducing logistics losses, and improving energy efficiency has become increasingly apparent. However, traditional cold chain storage buildings have many shortcomings in functional layout, temperature control management, and energy consumption, making it difficult to meet the comprehensive needs of modern food industry for efficiency, safety, and green. The article is based on the perspective of sustainable development, comprehensively and meticulously analyzing the specific needs of cold chain storage building design, and proposing principles for building design that are in line with energy conservation, low-carbon, space optimization, and functional integration. At the same time, innovative modular layouts and three-dimensional logistics organization models are constructed. By exploring key technologies such as building enclosure insulation, refrigeration and ventilation systems, and warehouse logistics connection management technology, feasible design paths and application strategies are provided, providing theoretical and practical references for the efficient, green, and intelligent development of cold chain warehousing buildings.

**Keywords:** sustainable development; cold chain warehousing; design innovation

#### 引言

冷链仓储属于现代食品产业当中的重要构成部分, 其关键任务是借助科学合理的建筑设计以及先进的温控技术, 在食品储存、分拣以及运输这些环节中维持适宜的低温环境, 以此来确保食品的新鲜程度以及安全状况。不过, 传统的冷链仓储建筑大多采用的是分散布局的方式, 其空间利用的效率比较低, 并且温控系统的能耗也颇高, 同时在建筑材料以及物流组织等方面还缺少系统的规划安排, 这就致使出现了能源方面的浪费情况以及运营成本有所增加的现象。在可持续发展理念起到推动作用的情形下, 现代冷链仓储建筑设计不但要着眼于功能性以及安全性这两个方面, 而且还得兼顾节能环保、智能化管理以及空间优化等相关事宜, 达成经济效益、社会效益以及环境效益的相互协调与统一。所以, 从可持续发展的角度出发,

针对冷链仓储建筑设计展开系统的研究工作, 目的是提出契合未来食品产业发展趋向的创新设计模式以及技术应用的途径。

#### 1 冷链仓储发展现状

我国冷藏运输设施发展相对滞后。在冷链物流行业发展中, 我国冷藏运输车占比约为 20%, 但是发达国家这一数据约为 70%, 我国绝大多数的水果、蔬菜、水产品以及肉类都是由普通运输车运送, 冷藏技术落后。并且, 使用普通货车运输冷藏类食品, 损耗大, 据相关行业统计, 我国每年因冷藏物流造成的食品损失较大。冷链仓储技术水平较低, 我国冷藏冷冻类食品产业发展时间较短, 冷藏保温技术发展缓慢, 对食品的冷藏技术有待发展, 并且, 我国缺乏专门从事冷链物流业研发和管理的专业人员, 没有形成完整的冷链物流产业链。

## 2 可持续发展视角下的冷链建筑设计需求分析

### 2.1 食品安全与温控管理需求

食品安全构成了冷链仓储建筑设计最为关键的目标,其重点就在于达成全流程且持续稳定的温控管理。冷链仓储建筑务必要确保各类不同的食品在储存以及分拣环节当中都能够处于适宜的温度环境,并且要防止因温度出现波动而致使食品品质有所下降以及微生物发生污染的情况出现。温控管理一方面涉及到制冷设备的配置情况,另一方面还涵盖了仓储空间的具体布局、空气流动路径的设计以及货物堆放方式是否合理等诸多方面,以此来保证冷空气能够均匀地覆盖到各个储存区域。除此之外,为了能够应对突发的状况,建筑设计还需要留出温控冗余空间并且设置应急处理通道,使得食品即便是在停电、设备出现故障或者物流处于高峰期的时候也能够维持在安全的温度状态,进而保障食品的质量以及消费者的健康。

### 2.2 功能布局与空间组织需求

冷链仓储建筑的功能布局以及空间组织情况,会对物流效率以及运营成本产生直接影响。合理的空间组织要做到让储存、分拣、包装、装卸还有运输等诸多环节能够紧密地衔接起来,并且要避免出现交叉污染以及流程方面的冲突状况。在设计建筑的时候,需要依据货物流量以及作业模式来对各个区域加以划分,像冷藏区、冷冻区、缓冲区以及出入库作业区等等,并且借助垂直或者水平运输通道达成高效的物流循环状态。采用模块化的空间布局方式,能够提升建筑的灵活性,使得仓储容量可以依据季节性的需求以及货物的具体特性做出相应的调整,如此既能满足功能方面的要求,又能对空间使用率加以优化,进而为后续的智能化管理以及自动化设备的部署奠定基础。

### 2.3 节能环保与绿色建筑需求

在可持续发展的大背景之下来开展相关工作,那么冷链仓储建筑设计就需要同时兼顾能源效率以及环境保护这两个方面的要求。在选择建筑材料的时候,应当把保温性以及可再生性放在优先考虑的位置上,并且要通过对建筑围护结构加以优化的方式来促使能耗得以降低。与此在整个设计的过程当中,还应当将自然采光、通风优化以及雨水回收等一系列的绿色建筑理念融入进去,以此来减少对于外部能源以及环境资源的依赖程度。能源管理系统需要对可再生能源加以整合,像太阳能、地源热泵又或者是余热回收装置等都包含在内,进而达成制冷、通风以及照明系统能够实现节能运作的目的。绿色建筑策略一方面能够降低运营成本,另一方面也契合政策法规以及社会责任方面的要求,从而为冷链仓储行业的可持续发展筑牢基础。

## 3 冷链仓储建筑设计原则与策略

### 3.1 节能与低碳设计原则

节能和低碳乃是冷链仓储建筑可持续发展的关键准则,其构成了确保建筑于运营进程里达成高效资源运用以及环境友好式管理的根基所在。在建筑的设计环节当中,

得凭借围护结构方面的优化举措、促使制冷系统能效得以提升的做法以及让建筑整体布局趋于合理化等多种不同层面的手段,来达成使建筑生命周期内的能耗降至最低限度这一目的。具体来讲,设计师需要针对建筑的冷负荷状况以及热损失的具体路径展开科学且细致的分析工作,并且在建筑朝向的选择方面、墙体以及屋顶隔热层的厚度设定方面、门窗结构以及气密性设计等方面都做出相应的优化处理,借由这样的方式来压低制冷以及采暖方面的实际需求,进而削减设备运行时的负荷情况以及由此产生的能耗量。与此还应当优先去选用那些低碳环保类型的材料,像是高效保温材料、可以被回收利用的轻质建材以及低碳水泥还有钢材这类材料,以此来降低建材生产以及施工过程当中所产生的碳排放量。除此之外,建筑的整体布局还需要充分地让自然通风、日光采光以及屋顶绿化等可持续设计方面的策略都考虑进去,从而实现建筑能源的合理利用以及将环境负荷缩减至最小的程度。这样一种系统化的节能与低碳设计原则,一方面提升了冷链仓储建筑的运营效率以及其经济方面的效益,另一方面也为达成建筑全生命周期的低碳目标打下了一块十分坚实的基石,有力地推动了冷链物流行业朝着绿色、智能以及可持续发展的方向不断迈进。

### 3.2 温控分区与空气流通优化

温度控制分区以及空气流通设计在冷链仓储建筑当中,其属于用来确保食品安全、提升储存质量并且提高能源利用效率的关键策略,同时也是达成建筑可持续运营的重要环节。建筑内部需要依据不同温区所具有的储存需求,去科学地划分出冷藏区、冷冻区还有缓冲区,并且要配备独立的温控系统,以此来达成各个功能区温度的精准把控,避免冷热气出现相互干扰以及串流这类现象的发生,进而保证各类食品在储存以及运输整个过程中的品质稳定情况。与此空气流路应当依照自上而下、从中心朝着边缘这样的原则,借助合理安排送风口与回风口,把机械通风系统和自然通风手段相互结合起来,让冷空气可以均匀地覆盖到货架以及存储区域,消除温度出现波动以及空气滞留的相关现象。通过对空气流通展开科学的优化操作,不但能够大幅度提升温控效率以及食品安全保障的程度,而且还可以降低制冷设备在运行过程中对于功率的需求,减少能源方面的消耗,达成冷链仓储建筑的绿色节能所设定的目标。再进一步来讲,合理的空气流通设计还能够提升设备的使用寿命,降低维护方面的成本,为冷链仓储建筑实现长期稳定的运行以及可持续的发展给予稳固的保障。

### 3.3 材料选择与绿色建筑策略

在冷链仓储建筑的设计环节当中,材料的选择对于建筑所具有的可持续性以及节能效果而言,有着极为关键的作用。应当优先去选用那些具备高效保温特性且导热系数较低的围护材料,举例来讲像高性能复合板材、气凝胶保温材料还有可以进行回收利用的轻质隔墙等等,凭借这样的方式来促使建筑整体的能耗得以降低。与此建筑材料所具备的环

保性以及可再生性同样是设计过程中需要重点予以考量的因素,要尽可能地去选择在生产过程当中排放碳量较少并且能够实现循环使用特性的材料,以此来让建筑在整个生命周期里对环境所产生的负荷能够有所减少。就绿色建筑的策略来讲,可以把太阳能采光、自然通风以及雨水收集等一系列设计手段相互结合起来,进而使得建筑在确保温控以及储存安全的前提之下,达成能源利用效率的最优化以及环境影响程度的最小化这一目标。通过将材料和策略有机地融为一体,不但能够让建筑的节能性能得到提升,而且还为冷链仓储运营实现长期的可持续发展给予了稳固可靠的保障。

#### 4 冷链仓储建筑创新设计模式

##### 4.1 功能集成与模块化布局模式

功能集成以及模块化布局乃是提升冷链仓储建筑运营效率的关键设计模式。要让建筑达成储存、分拣、包装还有运输各个环节的空间集成,以此来缩减货物搬运的路径以及中转的时间。模块化设计能够依据业务方面的需求灵活地去调整建筑的规模以及功能分区,进而使得不同温控区能够在建筑内部形成相对较为独立的模块,如此一来,既方便管理,同时也对设备的维护以及扩展颇为有利。此模式借助标准化模块单元的组合方式,不但可提升建筑施工的效率,而且能够适应未来物流量可能出现的变化,从而实现长期的可持续运营状态。

##### 4.2 空间优化与立体物流组织模式

空间优化以及立体物流组织方面实现了重要创新。借助多层立体货架、垂直输送系统还有自动化分拣设备,该建筑能够在有限的占地面积当中达成高密度存储的效果,如此一来便能够提升仓储容量以及作业效率。与此立体物流模式对货物进出的路径进行了优化,使得搬运作业变得更为顺畅,从而减少了叉车以及人工操作时所耗费的能量,也降低了其中存在的风险。将建筑布局优化与信息化调度结合起来,立体物流模式是能够有效降低仓储时间成本的,进而提升整体的运营效率,还能增强建筑对于不同类型货物的适应能力。

#### 5 关键技术与应用路径

##### 5.1 建筑围护与保温节能技术

建筑围护结构的设计方式会对冷链仓储的能耗水平产生直接影响,采用高效保温材料以及多层复合墙体,能够有效地减少热量传递以及制冷负荷,门窗、屋顶以及地板的隔热设计需要和冷链设备协同开展工作,以此来达成全方位的保温效果<sup>[1]</sup>。建筑围护技术还需要考虑到气密性和防潮性,防止湿气渗入而引发冷凝以及霉变,进而保证食品的安全以及仓储环境的稳定,在可持续发展理念的指引下,围护结构所选用的材料应当优先选择低碳、可循环以及可再生材料,以此来实现建筑节能以及环境保护这两个目标。

##### 5.2 制冷、通风及能源管理系统

冷链仓储建筑里的制冷与通风系统属于核心设施范

畴,其具体设计情况同温控精度、能源消耗以及运营成本都有着极为密切的关系。该系统需要充分结合建筑本身的布局状况以及货物流动所呈现出的特点,对冷气分布加以优化,并且让空气循环路径更为合理,进而达成冷热区温控能够十分精确、系统运行效率较高的效果<sup>[2]</sup>。与此还应当引入智能能源管理系统,借助于对制冷负荷、温度变化还有设备状态展开实时监测的方式,来实现自动调节以及能耗方面的优化操作。把可再生能源以及余热回收技术加以集成运用,那么就可以进一步促使建筑整体的碳排放量得以降低,最终达成制冷系统能够实现绿色节能运行的良好状态。

##### 5.3 仓储物流衔接与管理技术

仓储物流衔接以及信息化管理技术,对于冷链仓储建筑能够高效运作而言,是非常重要的保障要素。借助智能化的货物跟踪手段、自动分拣系统以及信息化调度平台,仓储建筑便能够达成货物流动情况的可视化呈现、作业效率的最优化提升以及温控管理的实时化把控<sup>[3]</sup>。在物流衔接设计方面,需要合理地去安排出入库通道、缓冲区还有分拣区,从而让货物能够在不同的温控模块之间顺畅地进行流转,进而减少搬运的次数,降低温度出现波动的风险。信息化管理一方面能够对仓储作业加以优化,另一方面还能为冷链物流的运营给予数据方面的有力支撑,进而促使建筑和物流系统达成协同运作的状态。

#### 6 结语

从可持续发展的角度来讲,冷链仓储建筑在设计的时候务必要同时考虑到食品安全、功能效率、节能环保还有智能化管理这几个方面。借助科学合理的需求分析、清晰明确的设计原则、颇具创新性的功能布局以及模块化的空间组织方式,再加上围护保温、制冷通风以及物流管理等一系列关键技术的实际应用,冷链仓储建筑是能够达成高效运营的目的的,还能够一定程度上降低能耗,减少食品出现损耗的情况,并且进一步提升自身的可持续性。在未来的发展过程当中,伴随技术不断取得新的进展以及绿色建筑理念得到更为广泛的推广,冷链仓储建筑会慢慢形成集成化、智能化以及低碳化的全新创新模式,进而为现代食品产业朝着安全、绿色以及高效的方向发展给予强有力的支撑。

##### [参考文献]

- [1]冯凯.S 公司冷链仓储中心仓储管理优化研究[D].河北:河北科技大学,2024.
  - [2]孟祥丽.冷链物流仓配一体食品安全管控方法[J].中国食品安全,2024(9):38-39.
  - [3]孙雨丰.A 公司冷链配送系统优化研究[D].河北:河北科技大学,2024.
- 作者简介:张晓东(1986.11—),男,汉,籍贯:河北吴桥,高级工程师,硕士研究生,研究方向:冷链物流及食品加工建筑设计。

# 暖通空调系统节能优化设计方法研究

梁怀亮

华茗设计集团有限公司邢台分公司, 河北 邢台 054000

[摘要]在建筑能源消耗里,暖通空调系统占比不小,实现节能意义重大,可通过优化设计达成。采用负荷预测、系统匹配、能效评估相融合的办法,对空调系统运行工况开展动态分析进而合理挑选冷热源设备以及输配系统,借助变风量、变水量以及余热回收等技术办法,对系统运行效率予以提升,让系统调控灵活性也得到增强。将建筑环境的特性和气候条件相结合,在此基础上,构建起智能化的控制策略,通过这一策略达成节能和舒适度之间的平衡。优化设计好处多多,它可以降低运行能耗,减少碳排放,能够延长设备的使用期限,并且还能提升室内环境的品质,如此一来,便为绿色建筑的发展给予了技术支持。

[关键词]暖通空调;节能优化;负荷预测;智能控制;绿色建筑

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17591

中图分类号: TU83

文献标识码: A

## Research on Energy-saving Optimization Design Method for HVAC System

LIANG Huailiang

Xingtai Branch of Huaming Design Group Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

**Abstract:** HVAC systems account for a significant proportion of building energy consumption, and achieving energy conservation is of great significance, which can be achieved through optimized design. By integrating load forecasting, system matching, and energy efficiency evaluation, dynamic analysis of the operating conditions of the air conditioning system is carried out to select cold and heat source equipment and transmission and distribution systems reasonably. With the help of variable air volume, variable water volume, and waste heat recovery technologies, the operating efficiency of the system is improved, and the flexibility of system regulation is also enhanced. By combining the characteristics of the building environment with climate conditions, an intelligent control strategy is constructed to achieve a balance between energy efficiency and comfort. Optimizing design has many benefits, which can reduce operating energy consumption, carbon emissions, extend the service life of equipment, and improve the quality of indoor environment. In this way, it provides technical support for the development of green buildings.

**Keywords:** HVAC; energy-saving optimization; load forecasting; intelligent control; green building

### 引言

随着能源紧缺起来,环境问题也愈发突出,在这样的情况下,社会关注的核心议题是什么?是降低建筑能耗,暖通空调系统可是建筑能耗的“大户”。它的运行效率和节能目标的达成、环保目标的实现都直接相关,怎样在达成室内舒适的状态时降低能源的消耗?这已然成为工程设计以及管理面临的重大挑战。近些年来智能控制发展迅速,节能优化算法也快速兴起,绿色建筑理念同样快速发展,这一切为暖通空调系统的创新设计带来了新方向。融合多种技术手段作用不小,它可以提升能效,也能推动实现可持续发展目标,还给建筑行业注入新活力。

#### 1 建筑暖通空调系统能耗特征与节能潜力分析

##### 1.1 建筑能耗结构与暖通空调占比

现代建筑能耗有多种构成,其中,暖通空调系统长期占据首位,它的能耗占比通常处于30%~50%这个范围,在医院、商场、写字楼这类大型公共建筑里,该占比甚至超过60%。这种高占比和建筑使用性质紧密相连,它也与使用时间关系密切,还和室内舒适度要求息息相关,相

比之下,照明、电梯等其他用电设备不容忽视。不过,它们的能耗贡献相对有限,因此,在暖通空调环节实现有效节能很重要,一旦达成这一点,对于降低建筑整体能耗会有显著效果。

建筑能耗存在显著差异,这种差异体现在季节性上,也体现在地域性方面。在寒冷的地区,冬季时,供热成了主要负荷,而在炎热区域,到了夏季,制冷占据主导。建筑内部的使用模式存在波动,人员密度也有变化,这些情况叠加在一起,让系统负荷的变化变得复杂又多样,暖通空调系统的能耗特征和外部气候条件有关。它与建筑结构的保温性能、围护结构的材质等紧密相连,全面剖析建筑能耗结构,把关键能耗环节识别出来,如此一来,就能给节能优化提供理论支撑。

##### 1.2 冷热源系统能耗特征

冷热源系统是暖通空调系统能耗的关键所在,整个暖通空调系统里,它的能耗最为突出,冷热源系统能耗在系统总能耗中占比颇高,超过了50%。冷水机组、锅炉热泵之类设备,其能效水平对运行成本起着决定性作用,运

行成本高低直接取决于这些设备的能效水平如何,传统冷水机组在部分负荷工况时,效率常下降得很明显。这就使得实际运行的能效比远远低于设计值。与此在选型阶段,如果没有充分顾及建筑实际运行负荷的波动情况,常会出现问题。什么问题?设备容量要么过大,要么过小,而这样的情况,最终会引发能源浪费。近年来节能设备的应用正慢慢改变这种状况,像高效冷水机组分布式冷热源,还有地源热泵等节能设备都在发挥作用。

冷热源系统在运行管理方面也有能耗浪费情况,调度若不合理,多台机组容易启动或停止负荷,分配也会不均衡,这都会导致运行效率降低。部分建筑日常管理欠缺科学控制策略,这使得设备长时间于低效区间运行,应用变频调节技术优化负荷分配策略,开展余热回收利用。这么做能显著提升设备能效,减少设备运行损耗,还能让设备使用寿命延长。

### 1.3 输配系统与末端环节能耗

输配系统是能量传递的中间环节,其能耗不容小觑,水泵风机,还有管网系统要是设计的不合理,就会出现阻力过大的情况,这会直接让输送能耗升高。在传统定流量系统里,水泵和风机常保持满负荷运转,哪怕建筑负荷处于较低状态,它们也很难进行调节,如此一来,最终导致了严重的浪费现象。如今,有较为成熟的节能措施,采用变风量(VAV)以及变水量(VWV)系统,能依据实时负荷的变化自动对流量做出调整达成高效输送。

末端环节单体能耗低,不过其数量极为庞大,整体能耗占比仍然较大,温湿度调节精度要是不高,“过冷过热”现象就容易出现。这现象可不妙,舒适性降低不说,能耗也会增加,气流组织不合理,这会让室内冷热分布不均匀,用户会因此频繁调节,能耗水平也会进一步升高。采用高效末端设备优化气流组织,加强室内空气品质监控,如此这般在保证舒适度的基础上,节能效果就能达成。

### 1.4 管理不足与节能潜力

造成暖通空调能耗偏高的另一主要原因,在于管理环节存在不足,不少建筑没有完备的能耗监测平台,这使得它们没办法实时了解系统运行状况。运行过程里出现的问题也很难及时发现并纠正,运行管理人员节能意识不强,他们常采用“一刀切”运行模式,让系统长时间处于满负荷状态。如此一来,设备效率变得低下,设备因定期维护不足出现了结垢磨损的状况,这又进一步加剧了能耗的上升。

虽然有不少问题存在,但暖通空调系统在节能方面的潜力极为可观。经过科学的设计、智能化的控制以及运行管理的优化,整体能耗有望降下来。降多少?能降低15%~30%。不仅如此,实施节能措施好处多多,它能降低建筑的碳排放量,让设备使用年限得以延长,室内空气质量也能得到提升。把建筑使用特性和区域气候条件相结合,进而构建出系统化的节能优化方案,这会成为推动绿

色建筑发展的关键路径,也是促进可持续发展的重要办法。

## 2 节能优化设计的关键技术路径

### 2.1 负荷预测与需求分析

负荷预测乃是暖通空调系统节能优化设计的基础部分,它是节能优化设计的根基所在,综合分析建筑的使用功能、人员密度、气候条件以及运行时间便能建立精细化的负荷模型。采用动态仿真方法或者运用基于大数据的预测算法,这不仅可以提前评估系统的最大负荷,还能够掌握负荷随时间与季节的变化规律。精准进行负荷预测,助力设备合理选型,如此一来,可防止出现这两种状况:一是设备过大,运行效率低下;二是设备过小,无法满足实际需求。

实际应用中,负荷预测通常要进行修正。怎么修正?是结合传感器数据以及过往的能耗数据来做这件事,举个例子,借助气象预测和建筑能耗模型进行耦合计算,能够实现时逐时负荷曲线的推算。对比预测值和实测值,接着逐步对模型参数做出修正,以此让预测精度得以提高,合理开展需求,分析意义重大,它不仅可以让系统设计得到优化,还能够为后续制定控制策略提供关键依据。

### 2.2 冷热源与系统匹配优化

冷热源系统的设计很关键冷热源系统的选择也很重要,它们直接影响着空调系统的基础能效水平,传统设计里,常出于冗余考量。这致使设备容量过大,机组长期处于低负荷运行状态,效率大幅降低。要解决这一问题,得把负荷预测结果利用起来,开展系统匹配工作。合理设计机组组合很重要,像“1大1小”或者“多机并联”这类模式机组能依据负荷变化,灵活地启动与停止,始终将运行维持在高效区间内。

与此,新型节能设备得以应用,这为冷热源的优化带来了更多的可选方案。高效冷水机组得以推广,变频压缩机在推广,地源热泵同样也在推广。这些设备的推广让能效比有显著提升,借助余热回收技术,能够利用二次能源。这二次能源包含冷凝热、排风热等,利用这些二次能源能够实现综合能效的提升。冷热源优化的体现,不只是在设备层面,它也涵盖了系统整体运行策略的改进。

### 2.3 输配系统节能与控制技术

输配系统是能量传递的中枢,它的优化潜力不容小觑,传统定流量系统中,水泵和风机能耗偏高是普遍现象,这时,变风量(VAV)与变水量(VWV)技术派上用场。借助这项技术,能够依据实际需求对输送量进行动态调整,如此一来,运行能耗就能大幅降低。该技术作用显著,它提升了系统的灵活性,并且,在部分负荷条件的时候,它还可以维持较高效率。

输配系统的优化涵盖多个方面,其中既有管网设计,还有阻力控制,合理布置管道和风管很重要,要减少不必要的弯头以及阻力元件。如此这般,输送能耗就能有效降

低，水泵和风机的运行参数，能结合智能控制系统实现，实时调整确保输配能耗与负荷变化相协调。末端设备进行配合调节，可避免“冷热对冲”情况出现，这一调节举措还能让整体运行效率得到进一步提升。

#### 2.4 余热回收与综合效益

余热回收乃是提升暖通空调系统能效的关键办法，它在提升暖通空调系统能效这件事上，占据着重要位置，空调系统运行时，冷凝器会排放废热排风，也会携带热量。这些热量常直接排放到环境里，这就造成了能源浪费，借助余热回收装置，这部分能源能重新派上用场。它们可以用于生活热水，也能够用于新风预热。如此一来，额外的能源消耗就能减少，在医院、酒店这类热水需求大的建筑里，余热回收发挥的效果特别突出，尤其是在这些对热水需求颇为庞大的场所之中。

综合效益有诸多体现，能耗降低是一方面，还有碳排放的减少，运行成本也下降了，相关研究表明，采用余热回收技术有诸多好处。它能让系统综合能效提升幅度在10%到15%，而且，投资成本在数年内就能收回，与此，余热回收能让室内空气品质得以改善。它还能够提升整体舒适度，给绿色建筑评价给予有力支撑，如表1所示。

表1 暖通空调系统节能优化技术效果对比

技术路径	能耗降低比例	投资成本增加	回收周期	适用场所
负荷预测优化	5%~10%	低	短期	各类公共与居住建筑
冷热源系统优化	10%~20%	中	中期	大型商场、办公楼
输配系统节能控制	8%~15%	中	中期	综合性建筑
余热回收技术	10%~15%	较高	中长期	酒店、医院、综合体

### 3 智能化控制策略在系统优化中的应用

#### 3.1 传感器网络与数据采集

智能化控制的前提，是精准的数据采集，传感器网络在暖通空调系统里大量部署，它能实时监测诸多状况，包括室内外的温湿度、二氧化碳浓度、空气质量指数，还能监测人员流动情况以及设备的运行状态。借助这些传感器构建起物联网系统，此系统能打造出完备的环境与能耗数据库，为后续的智能优化给予数据支撑。传感器技术不断进步，这让数据采集变得更高效更准确了。现在借助先进的传感器技术，能实现分钟级，甚至是秒级的动态监测。

高质量的数据采集意义重大，它不仅可以呈现出系统当下的运行状况，还能够察觉到潜在的能耗异常情况。说，有个空调机组，它在低负荷的状况下，能耗却一直居高不下，这时候，系统能够马上发出警报，这个警报是为了提示运行人员去做检查，借助这种早期干预机制，能源浪费能被有效避免。设备故障扩散也能得到有效遏制，智能传

感技术不断发展，在此背景下，传感器网络朝着无线化低功耗化方向发展，如此一来它在大型建筑里的应用变得更灵活，也更具经济性。

#### 3.2 数据驱动与预测算法

大量运行数据被采集，基于此数据，驱动算法成了智能化控制的关键所在，对历史数据，开展回归分析模式识别并进行机器学习建模。基于此，能构建能耗预测模型，也能构建舒适度评估模型。这类模型挺厉害的，它能依据外部气候的改变，还有建筑负荷以及使用模式的变动，对未来一段时间的能耗趋势进行预测。如此一来，就能给系统调度提供参考，和传统经验法则相较，数据驱动方法极大提升了预测的精准度，而且，这种方法让预测的适应性也大幅增强。

除了能耗预测，算法还可用于运行优化。基于人工智能的强化学习方法，能在动态环境里不断对控制策略作出调整，如此一来，系统就能一步步朝着最优能效点靠近。举个例子，在部分负荷的状况下，算法能够自动挑选出最佳的机组组合，算法还能自动确定合适的运行参数，如此一来，就能达成最低能耗与最高舒适度之间的平衡。借助数据驱动以及预测算法，暖通空调系统实现转变，转变方向是从“被动响应”变为“主动调节”。

#### 3.3 智能控制平台与集成应用

智能控制平台是实现系统优化的关键载体，该平台一般包含中央服务器能耗管理系统以及人机交互界面，它可以把暖通空调的冷热源输配系统和末端设备集成起来，达成全系统的统一调度。平台借助云计算和边缘计算技术，能快速处理海量实时数据，平台可在毫秒级时间内，输出调控指令以此保证运行既及时又稳定。

智能控制平台具备集成性，这一集成性不光在能源调度方面有所体现，还关联到与其他建筑系统的联动，举例来说，它能和照明系统、门禁系统相结合。如此一来就能依据人员的分布状况，自动对区域空调负荷做出调整，要是和可再生能源系统相结合，在光伏输出高峰的时候，能减少对电网的依赖。在风能输出高峰时，同样也能减少对电网的依赖，借助跨系统协同建筑的整体能效，得以进一步提高，经跨系统协同助力，建筑整体能效实现再度提升。平台化智能控制提供了技术路径，这一技术路径可复制，能助力后续智慧建筑发展，也能推动智慧城市发展。

### 4 节能优化设计的综合效益与发展方向

#### 4.1 能源效益

节能优化设计在能源利用方面具有显著优势，采用高效机组，还有变风量与变水量系统，再加上余热回收装置以及智能化控制策略。如此这般，能有效降低建筑的整体能耗水平，研究显示，暖通空调经过系统优化后，运行能效能够提升，提升幅度在15%到30%之间。而且在大型公共建筑里，这种优化带来的节能效果特别显著，能耗降

低了,能耗降低直接让碳排放量减少,这给建筑行业达成“双碳”目标提供了切实可行的途径。面临能源紧缺和环境保护的双重压力,节能优化设计发挥了重要作用,它提升了能源利用率,推动建筑领域能源结构朝着绿色方向转型。

#### 4.2 经济效益

节能优化设计好处多多,它能直接带来经济效益,具体怎么体现?一方面能降低运行成本,另一方面,还可以延长设备寿命。经过合理的系统匹配,以及运行调度机组不会长期于低效区间运行。如此一来,避免了高能耗产生的额外支出,水泵风机这类输配设备在智能化控制作用下,依据负荷需求动态调整运行状态,如此一来,电力消耗大幅降低。与此,余热回收装置投入使用,它能够削减诸如热水这类辅助能源的开支,从长远角度来说,设备若处于科学运行状况下,磨损会降低,维护频率会变少,使用寿命能够延长。如此一来大量的更换费用和维修费用都能间接节省下来,因此,节能优化设计好处多多,它能带来短期的能耗节省,在生命周期维度上,还能体现出可观的投资回报率。

#### 4.3 环境与健康效益

节能优化设计好处多多,它不仅能带来能源方面的效益,还能收获经济收益,并且,对环境与健康也有着积极作用。优化后的空调系统能更出色地调控室内温度、湿度,把控空气品质。它可防止过度制冷或供热造成的不适情况出现,进而提升使用者的舒适感受,新风与余热回收系统相结合,带来诸多好处,一方面,室内空气质量得到改善。另一方面二氧化碳浓度有效降低,有害物质的积聚也得到控制,这种结合对提高办公效率意义显著,对提升居住健康水平也有很大作用。能耗减少了,碳排放也随之降低,这带来多方面好处。一方面缓解了城市热岛效应,另一方面积极作用于区域空气质量的改善以及生态环境的保护。如此一来,建筑达成了环境友好与人本关怀的统一。

#### 4.4 未来发展

未来节能优化设计的发展方向会愈发多元,也会更具智能特性。一方面可再生能源利用会和暖通空调系统深度融合,像光伏直驱空调、地源热泵,还有分布式能源系统都在融合范围内。这种融合能进一步减少对传统能源的依赖,从另一方面来看,人工智能与大数据技术,会助力暖

通空调系统朝着自学习自优化的方向发展。这能让暖通空调系统依据环境的改变,以及用户的需求实时对运行策略做出调整,将绿色建筑标准跟智慧城市理念相结合。优化设计可不只停留在单体建筑层面,而是要实现区域能源系统的协同优化,以此推动建筑行业朝着低碳智能可持续的方向发展。

#### 5 结语

暖通空调系统是建筑能耗的重要部分,推动绿色建筑和可持续发展,关键在于其节能优化设计,深入分析能耗特征,将负荷预测、冷热源优化、输配系统改进以及余热回收等技术措施相结合。如此一来,能显著提升系统的整体效率,引入智能化控制后,系统有了新变化,它可以实现动态调节,还能自适应运行,这不但进一步降低了能耗,室内环境品质也得到改善。节能优化的表现相当突出,它在能源和经济效益领域成果显著,而且节能优化在环境保护以及提升健康舒适度方面,也呈现出广泛的价值。展望未来人工智能、可再生能源会与绿色建筑标准深度融合,在这种形势下,暖通空调系统肯定会朝着低碳化智能化方向迈进。它能为达成“双碳”目标,对于构建智慧城市给予坚实支撑。

#### [参考文献]

- [1]陈雄伟.建筑暖通空调节能优化设计策略探讨[J].江西建材,2021,11(3):56-57.
- [2]孟瑞平.节能减排理念下绿色建筑暖通空调节能优化设计方法研究[J].建材发展导向,2024,22(11):126-128.
- [3]赵静德.暖通空调系统的节能优化设计研究[J].住宅与房地产,2022,12(13):128-130.
- [4]李珍珠.暖通空调自动系统节能优化设计研究[J].办公自动化,2023,28(17):58-60.
- [5]叶小刚,袁彬彬,钱波,等.建筑暖通空调的节能及优化处理研究[J].智能建筑与智慧城市,2021,12(9):117-118.
- [6]杜雅婧.大型公共建筑暖通空调系统节能设计与运行优化研究[J].工程技术研究,2024,9(24):194-196.

作者简介:梁怀亮(1987.12—),毕业院校:河北建筑工程学院,所学专业:热能与动力工程,当前就单位:华茗设计集团有限公司邢台分公司,职务:暖通设计师,职称级别:中级。

## 基于 BIM 技术的食品加工车间设计优化探析

张晓东 刘寒风 刘浩

华商国际工程有限公司, 北京 100069

[摘要]传统食品加工车间在设计方面存在诸多问题,比如空间布局不太合理、工艺流程不够顺畅、卫生安全管理做得不到位以及能耗相对较高,这些问题使得其很难符合现代生产对于效率以及环保方面的要求。而 BIM 技术能够凭借三维可视化以及信息集成的特点,针对车间的空间布局、工艺流程、设备布置还有管线系统展开模拟与优化操作,并且还能够助力节能、绿色设计以及安全管理相关工作,进而为食品加工车间实现高效、安全且可持续的运行给予了一种行之有效的技术途径。

[关键词]BIM 技术; 食品加工车间; 设计优化

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17566

中图分类号: TU17

文献标识码: A

### Analysis of Design Optimization of Food Processing Workshop Based on BIM Technology

ZHANG Xiaodong, LIU Hanfeng, LIU Hao

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

**Abstract:** Traditional food processing workshops have many design problems, such as unreasonable spatial layout, unsmooth process flow, inadequate hygiene and safety management, and relatively high energy consumption. These problems make it difficult for them to meet the efficiency and environmental protection requirements of modern production. BIM technology, with its characteristics of 3D visualization and information integration, can simulate and optimize the spatial layout, process flow, equipment layout, and pipeline system of workshops, which can also assist in energy-saving, green design, and safety management related work, providing an effective technical approach for food processing workshops to achieve efficient, safe, and sustainable operation.

**Keywords:** BIM technology; food processing workshop; design optimization

#### 引言

随着食品工业快速向前发展,而且人们的消费水平也在持续提高,在这样的情况之下,食品加工车间在设计以及运营管理方面,就面临着更高方面的诸多要求,比如质量、安全、效率以及可持续发展等方面的要求。传统的那种车间设计模式,主要是依靠二维图纸,再加上单一专业的经验来进行决策的,存在着不少的问题,像是空间布局往往不太合理,工艺流程之间的衔接也不是很顺畅,卫生与安全控制做得不够到位,还有能源利用的效率也比较低等等一系列的问题,很难满足现代食品生产对于高效、清洁以及绿色制造的综合性要求。在这样的大背景之下去探讨,建筑信息模型(BIM)技术作为一种把三维可视化、信息集成、模拟分析以及协同管理等多种功能融合在一起的数字化设计方法,给食品加工车间的优化设计带来了全新的思路以及有效的手段。凭借 BIM 技术,一方面能够达成对车间空间布局、工艺流程、设备布置以及管线系统等进行精准模拟的目的,另一方面还能在设计阶段针对卫生、安全、节能以及绿色设计等方面展开综合性的评估,与此它还能够支持施工过程中的模拟管理以及后期运维阶段的数字化管理,进而实现从设计到施工再到运营整个生命周期的协同优化。所以说,去深入探究基于 BIM 技术的食品加工车间设计优化策略,这在理论上有着十分突

出的研究价值,而在实际应用层面,对于提升食品加工企业的生产效率、确保食品安全以及推动绿色可持续发展而言,同样有着极为重要的实践意义。

#### 1 BIM 技术在食品加工中的重要性

在食品加工领域, BIM 技术的应用显著提升了生产效率 and 产品质量。相比传统依赖人工操作的加工模式,自动化生产线能够通过精确的机械装置和先进的控制系统快速完成原料处理、屠宰、分割、灌装和杀菌等工序,不仅大幅缩短生产周期,降低劳动强度,还有效减少操作失误,保证产品的一致性和稳定性。同时,自动化设备能够精确控制加工参数,如灌装量、杀菌温度和时间,有助于杀灭微生物,确保食品的卫生安全,实现高效、标准化和可靠的生产。

#### 2 食品加工车间设计中存在的问题

##### 2.1 传统设计模式的局限性

传统设计模式在食品加工车间的应用实践里呈现出了诸多方面的局限性:设计方面大多依靠二维图纸还有彼此孤立的专业成果,如此一来,工艺、设备、电气、暖通等各个专业之间信息不够连贯,协同合作也不够充分,极易出现空间冲突以及工艺路径交叉的情况;在设计进程中,文档版本管理一片混乱,变更追踪也颇为困难,所以在设计变更的时候,信息错位以及重复返工的现象频频出现;

因为缺少针对物料流、人员流以及清洁区分区的系统模拟,通常在平面布置上会忽视交叉污染风险以及动线冲突,进而影响卫生安全要求的达成;传统方法对于设备安装维护的可达性、检修通道以及管线预留考虑得不够周全,致使后期施工与运维的成本有所上升;能耗评估、通风与排水系统的整体协同在早期设计阶段常常被忽视,很难形成系统性的节能与环保指标判断;受表现手段与沟通方式的限制,业主、监管方以及施工方对设计意图的理解存在差异,使得审批周期拉长并且现场实施与设计意图出现偏离。

## 2.2 功能布局与工艺流程不合理问题

在食品加工车间开展设计工作的时候,功能布局以及工艺流程不合理这样的问题显得格外突显。具体而言,其主要呈现出生产动线缺少科学安排的情况,原料区、加工区还有成品区等各个功能分区之间的界限不够明晰,如此一来,就很容易致使物流、人员流以及废弃物流相互之间出现交叉与干扰,进而让交叉污染的风险有所增加<sup>[1]</sup>。部分设计过分着重于设备的集中摆放方式,却把加工环节的顺序衔接给忽视掉了,这就导致原料输送所经过的路径变得过长,并且重复搬运的次数也十分频繁,不但使得生产效率有所降低,而且能耗与人力成本也都相应增加了不少。在细节设计方面,常常存在着辅助用房布置得不合理、仓储区和冷链区的距离过远等一系列问题,这些问题的存在,对物料的周转效率以及食品的保鲜效果都产生了影响。与此通道的设计不够顺畅,作业区面积的分配也不够平衡,这使得工人的操作受到了限制,或者空间的利用率偏低,没办法满足实际生产规模所提出的需求。除此之外,不合理的工艺流程还极有可能造成关键工序之间缺乏有效的衔接,生产节奏也不够均衡,容易形成瓶颈环节,进而对整体车间的生产能力和运行效果起到制约作用。

## 2.3 卫生与安全设计不足

食品加工车间在卫生与安全设计上存在诸多不足,像内部功能区划分不合理,清洁区、半清洁区与污染区之间缺少明确的隔离措施,人员流动和物料运输过程中易出现交叉污染,排水系统设计不完善,地面坡度设置不当或者排水设施不足,致使污水滞留,滋生细菌和害虫,通风与空气净化系统规划不科学,空气循环不畅或者过滤效果差,难以保证生产环境的洁净度,在安全设计方面,疏散通道数量不足或者布置不合理,消防设施配备不全,紧急照明、报警和防爆措施不完善,对高温、低温或者高湿等特殊环境下的作业防护重视不够,增加了员工健康与生产安全的风险,整体上使得车间的卫生控制与安全保障水平难以达到应有的标准。

## 2.4 能耗控制与绿色设计欠缺

食品加工车间在能耗控制以及绿色设计层面普遍存在着诸多不足之处,其主要呈现出能源利用效率不太高的状况,建筑围护结构的保温隔热性能也有欠缺,使得制冷

和采暖系统长时间处于高负荷的运行态势,照明、通风还有供水等诸多环节缺少科学合理的配置,常常会出现能耗过大的情形,在设备选型以及生产工艺安排方面,一味地追求产能却忽略了能效比,进而造成了能源的浪费以及运行成本的上升,与此车间设计当中对于可再生能源的利用考虑得不够周全,清洁能源的应用比例相对偏低,水资源的利用率也不是很理想,废水回收与再利用机制不够完善,导致资源浪费比较严重,总体而言,绿色设计理念没有得到充分的体现,节能环保的要求也难以切实落实,这不仅加重了企业的运营负担,而且不利于达成可持续发展的目标。

## 3 基于BIM的食品加工车间设计优化策略

### 3.1 车间空间布局与工艺流程优化

在运用 BIM 开展食品加工车间设计优化之时,车间空间布局以及工艺流程的优化状况,一方面关乎生产效率能否得以提升,另一方面还会对食品安全以及运营管理成效产生直接影响。凭借 BIM 技术,能够在三维数字模型里把整个车间的空间架构、功能划分区域以及工艺流程予以精准且直观的呈现,清楚地展示出原料接收区、初加工区、精加工区、包装区、仓储区以及辅助用房等各个功能区域彼此间的关系,达成针对空间利用率以及流线布局展开科学剖析的目的。与此 BIM 可模拟人员流动路径、物料运输路径以及废弃物处理路径的动态走向,借此识别出潜在存在的交叉污染情况以及物流方面的瓶颈问题,确保不同功能区域之间的动线能够独立运行且顺畅高效,降低生产进程中出现冲突以及延误的几率。借助对设备布置情况、操作半径范围、检修通道以及应急通道展开的虚拟模拟操作,设计者能够提前察觉到可能出现的空间冲突、通道不畅或者设备互相干扰等各类问题,并且及时加以优化调整,防止在施工阶段出现返工现象以及在运营阶段出现效率下降的情况<sup>[2]</sup>。除此之外, BIM 还能为工艺流程的整体仿真以及优化提供支持,通过对各个生产环节的节奏安排、负荷承受情况以及能耗状况进行量化分析,实现工序衔接的合理性以及生产节奏的平衡性,进而在确保食品卫生安全以及生产合规性的基础之上,最大限度地提升车间空间利用率,增强整体生产效率以及可持续运营的能力。

### 3.2 卫生与安全管理的BIM应用

在依据 BIM 展开的食品加工车间设计优化进程里,卫生以及安全管理方面的应用属于极为关键的一环,其对于保障食品的质量以及员工作业的安全有着重要作用。BIM 技术凭借自身的三维可视化特性以及信息集成功能,能够达成对车间内部各个功能区域、洁净区域、半洁净区域还有污染区域的精准划分,进而让清洁区域和污染区域之间的隔离举措在设计阶段就能够清晰地呈现出来,从根源之处削减交叉污染出现的风险。与此 BIM 还能够对空气流动、水流排放以及废弃物物流路径加以模拟,针对通风系统、排水系统以及污水处理设施的布局状况及其运行的

实际效果展开仿真的分析,以此来保证空气能够顺畅地循环,废水可以及时地排放并且要符合卫生方面的相关标准。就安全管理来讲,BIM可以在所构建的模型当中直观地呈现出疏散通道、消防设施、紧急照明以及报警系统各自所在的位置以及它们所能覆盖的范围,并且还能够开展疏散的模拟操作以及风险的评估工作,借此识别出潜在存在的安全隐患,进而对逃生路径以及应急响应的相关措施予以优化。对于像高温、高湿、低温以及易滑这类特殊的作业环境而言,BIM同样能够模拟人员的操作情况以及设备的布局状况,提前去评估其中的安全风险并且给予防护设施布置方面的指导<sup>[3]</sup>。除此之外,BIM所建立的模型还能够和运维管理系统相互关联起来,从而实现对卫生检查、清洁周期以及安全巡检的数字化管理,进而形成从设计环节一直到运营阶段的整个生命周期内的安全与卫生控制方案,这对于提升食品加工车间整体的安全水准以及管理的效率都是很有帮助的。

### 3.3 节能与绿色设计优化

在依据 BIM 展开的食品加工车间设计优化进程里,节能以及绿色设计的应用情况,构成了提升资源利用效率并且推动可持续发展水平得以提升的关键环节所在。BIM 技术凭借三维建模以及信息集成方面的优势,可以针对建筑围护结构、设备布局、工艺流程还有能源系统展开整体层面的分析与优化操作,进而达成能源消耗的可视化状态以及科学合理的决策效果。在建筑设计这个阶段当中,BIM 能够模拟车间的采光状况、保温情况、通风状况以及空调系统的运行情形,对不同设计方案给能耗产生的影响予以量化处理,由此挑选出最为优秀的方案来促使制冷能耗、采暖能耗以及照明能耗有所降低。在设备以及工艺环节方面,BIM 可对生产设备的功率负荷、运行周期以及能效展开仿真的分析操作,以此识别出那些高能耗的环节,并且给出优化布局以及运行策略方面的建议,借此减少能源出现浪费的情况。与此 BIM 还能够为可再生能源系统(比如太阳能、余热回收以及雨水利用等)提供集成设计的支持,对其在整体能耗以及环境影响方面所作出的贡献加以评估,从而让绿色生产理念得以切实落地施行。在水资源管理这 BIM 可以模拟清洁用水以及工艺用水的流向情况以及回收利用的具体路径,对水循环系统的设计加以优化调整,以此提高水资源的利用效率。

### 3.4 施工模拟与运维管理集成

在运用 BIM 开展食品加工车间设计优化期间,把施工模拟和运维管理加以集成应用,这乃是让设计意图得以切实落地并且促使后期达成高效运营的关键举措。BIM 技术凭借三维模型以及信息化数据的集成方式,能够让施工团队于虚拟环境当中针对整个施工进程展开全面的模

拟操作,其中涵盖了施工顺序、设备安装、管线布置、临时设施设置还有施工现场物流等诸多环节,进而能够提前察觉到可能出现的空间冲突、干涉方面的问题以及安全隐患,以此来对施工方案予以优化,削减返工情况以及资源的浪费现象,提升施工的效率以及质量水平。与此 BIM 模型还能够嵌入材料清单、施工工艺规范以及施工进度计划等内容,达成施工管理的数字化以及精细化程度的提升,使得各个专业之间相互协调起来更为顺畅,降低施工所面临的风险<sup>[4]</sup>。就运维管理来讲,BIM 模型充当着车间全生命周期信息的承载者,其可以将设备参数、工艺数据、维护计划以及安全管理信息等进行整合,实现从建造阶段一直到运营阶段的无缝对接。借助 BIM 和运维管理系统的集成手段,管理者便能够实时对设备的运行状态、能源的消耗状况以及生产环境的条件加以监控,这有力地支持了预防性的维护工作以及快速针对故障做出响应,同时也给车间的清洁、卫生、安全方面的巡检提供了数字化的参考依据,从而实现运营过程的精细管理以及可持续的优化,保证食品加工车间在整个生命周期之内能够安全、高效、节能且可持续地运行。

## 4 结语

利用 BIM 技术来优化食品加工车间的设计,可切实解决传统设计里存在的诸多问题,像是空间布局不太合理、工艺流程不够顺畅、卫生安全管理存在欠缺以及能耗偏高等情况。借助三维可视化呈现、信息集成处理以及模拟分析等功能,BIM 一方面提高了设计的精准程度,另一方面也提升了协同工作的效率,并且还给节能设计、绿色设计以及施工和运维管理给予了强有力的支撑。在后续的发展进程中,随着 BIM 技术持续不断地发展以及应用范围的不断扩大,食品加工车间在设计以及运营方面将会变得更为高效、更加安全并且更具可持续性,进而为企业提高生产效率、确保食品质量以及达成绿色发展目标给予稳固的保障。

### [参考文献]

- [1]刘爽,李亚栋.食品加工中机械自动化技术的应用研究[J].食品界,2025(6):107-109.
- [2]洗锦军.基于新技术的食品加工过程改进与优化研究[J].现代食品,2024,30(6):97-99.
- [3]李静,陈明星.绿色食品加工技术的创新与应用[J].食品安全导刊,2024(21):142-144.
- [4]李哲.基于信息化技术的食品加工与生产管理分析[J].食品安全导刊,2022(13):162-164.

作者简介:张晓东(1986.11—),男,汉,籍贯:河北吴桥,高级工程师,硕士研究生,研究方向:冷链物流及食品加工建筑设计。

## 冷链物流中心节能型建筑围护结构设计研究

任志坤<sup>1</sup> 兰蒙<sup>2</sup> 刘浩<sup>1</sup>

1. 华商国际工程有限公司, 北京 100069

2. 北京昱邦科技有限公司, 北京 100000

**[摘要]** 伴随冷链物流不断向前发展, 冷链物流中心在食品储存以及供应链方面所起的作用日益凸显。然而就现有的建筑情况来看, 普遍存在着诸如围护结构保温性能较为欠缺、气密性不够理想、热桥现象较为明显以及防结露设计不够完善等一系列问题, 这些问题进而使得能耗处于较高水平、制冷负荷偏大, 最终导致运行成本有所增加, 很难契合节能以及可持续发展的相关要求。所以说针对冷链物流中心节能型建筑围护结构展开设计方面的研究有着不容忽视的重要意义, 能够为提高能效以及确保低温储存环境给予一定的参考依据。

**[关键词]** 冷链物流中心; 节能型建筑; 围护结构; 结构设计

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17565

中图分类号: TU65

文献标识码: A

## Research on the Design of Energy-saving Building Envelope Structure for Cold Chain Logistics Center

REN Zhikun<sup>1</sup>, LAN Meng<sup>2</sup>, LIU Hao<sup>1</sup>

1. Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

2. Beijing Yubang Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

**Abstract:** With the continuous development of cold chain logistics, the role of cold chain logistics centers in food storage and supply chain is becoming increasingly prominent. However, based on the current building situation, there are generally a series of problems such as inadequate insulation performance of the enclosure structure, inadequate air tightness, obvious thermal bridging phenomenon, and inadequate anti condensation design. These problems further lead to high energy consumption, excessive cooling load, and ultimately increase operating costs, making it difficult to meet the requirements of energy conservation and sustainable development. Therefore, it is of great significance to conduct research on the design of energy-saving building envelope structures for cold chain logistics centers, which can provide certain reference basis for improving energy efficiency and ensuring low-temperature storage environment.

**Keywords:** cold chain logistics center; energy-saving building; enclosure structure; structural design

### 引言

随着现代物流以及食品工业不断发展, 冷链物流中心在确保食品安全、让食品保质期得以延长还有提升供应链效率这些方面, 都发挥着颇为重要的作用。冷链物流中心得在低温的环境之下对食品展开储存以及运输相关工作, 其建筑围护结构在维持温度与湿度的稳定状态、尽可能减少热量方面的损失以及把制冷能耗降下来等事宜上, 有着极为关键的作用。不过, 传统的冷链物流建筑设计, 大多是以满足最基本的功能需求作为主要导向的, 在围护结构保温性能、气密性、热桥控制以及防结露设计等诸多方面, 都存在着一些欠缺之处, 这就使得冷量出现较大程度的损失、能耗变得很高、运行成本也有所增加, 与此还对储存环境的安全性以及稳定性产生了影响。随着节能减排以及绿色建筑理念被提出来之后, 怎样借助科学合理的建筑设计方式来对围护结构加以优化, 进而提升建筑整体的热工性能、把能耗降下去、达成绿色且可持续的运行状态, 已然成为了冷链物流建筑设计领域里一个十分重要的研究课题。凭借 BIM 也就是建筑信息模型技术的应用情况,

给冷链物流中心围护结构设计带来了全新的研究途径。BIM 不但能够达成建筑的三维可视化呈现, 而且还能完成信息的集成处理, 而且还可针对围护结构的热工性能、气密性、热桥分布以及节能效果等方面展开模拟操作以及相关分析, 以此为材料的选择、结构的优化以及节能策略的制定给予科学层面的依据。所以, 此项研究着重探讨冷链物流中心节能型建筑围护结构的具体设计方法, 对现有的围护结构在节能方面的实际状况与所存在问题展开剖析, 并且给出基于 BIM 的优化设计策略, 期望能够为冷链物流中心实现低能耗、高性能并且可持续的运行状态给予相应的理论支撑以及实践方面的参考内容。

### 1 冷链物流中心的功能与特点

冷链物流中心作为冷链网络的核心节点, 集存储、加工和配送等功能于一体, 并需综合考虑交通区位和政策支持。其主要通过温控技术维持低温环境, 确保食品、药品等易腐商品在生产、储存和运输全过程中的品质稳定。中心能够提供生鲜农产品低温仓储服务, 整合加工、分拣、包装等环节实现高效配送, 并在供应链不稳定或突发事件

时提供应急储备。其关键特点包括高效的温控系统、防止商品变质的实时监测、自动化分拣及冷藏设备提升作业效率,以及多功能整合,如交易、深加工和人才培养等,推动产业升级与供应链优化。

## 2 冷链物流中心建筑围护结构节能现状分析

### 2.1 传统围护结构设计特点

在冷链物流中心开展建筑设计工作的时候,传统围护结构往往把满足基本的保温需求以及承重方面的要求当作主要追求的目标,其设计思路显得比较单一,并且缺少针对低温环境下能耗情况以及热工性能的全面且系统的考量。外墙、屋面还有门窗等围护构件大多会选用常规的材料以及常规的厚度,保温层在设置时存在不均匀的情况或者厚度不够,如此一来就容易出现热桥方面的现象,进而使得冷量出现较为严重的损失情况。门窗的密封性能表现欠佳,气密性也存在不足之处,空气渗透的现象颇为突出,这无疑进一步加剧了制冷系统所面临的负荷状况。在处于低温的环境之下,围护结构对于防结露、防霜冻以及防潮等相关措施的考虑并不周全,这很容易对室内温湿度的稳定性以及货物储存的条件产生影响<sup>[1]</sup>。与此传统设计在材料选型、结构层次以及组合方式等方面都缺乏科学合理的优化手段,很难达成对建筑整体热工性能的高效利用效果,最终致使能耗有所增加,运行成本也随之升高,这对冷链物流中心的节能潜力以及可持续发展水平形成了限制作用。

### 2.2 热工性能及能耗问题

在冷链物流中心里,建筑围护结构的热工性能会对能耗水平以及室内环境稳定性产生直接的影响。不过当前有不少冷链物流建筑都存在着热工性能有所欠缺的情况,这使得能量出现了比较大的损失状况。其外墙、屋面还有地板的保温性能往往呈现出失衡的状态或者厚度不够,如此一来就很容易形成热桥,致使室内的冷量会通过结构传导的方式发生流失。而且门窗以及其他开口部位的密封性较差,空气渗透的现象比较突出,这就进一步加剧了制冷负荷的程度。围护结构对于温湿度调控的响应存在滞后的状况,使得低温区域特别容易出现温度波动或者结露方面的问题,进而增加了制冷设备的运行频次以及能耗情况。与此传统设计对于局部冷热不均、制冷负荷分布以及外部气候条件这些因素缺乏综合性的考量,这就导致整个建筑的能耗水平处于偏高的状态,运行成本也随之增加,并且还还对冷链物流中心的能源效率以及可持续运营的能力产生了影响。

### 2.3 常见节能技术与应用现状

在冷链物流中心建设进程当中,常见的那些节能技术往往聚焦于围护结构保温方面、门窗气密性方面、屋面隔热方面以及低温环境控制等方面。就当下的应用实践情况来看,外墙以及屋面往往会选用高效保温材料或者复合结

构,其用意在于降低热传导系数,进而提升整体的热工性能。门窗系统大多会增加双层或者三层玻璃,还会加上密封条,如此一来便能减少空气的渗透情况以及冷量的损失状况。屋面隔热技术是通过将反射涂层、保温层还有通风设计相互结合起来的方式,以此有效地缓解夏季太阳辐射所带来的热负荷问题。与此部分冷链物流中心已经开始在围护结构设计环节考虑到防结露、防霜冻以及局部热桥控制等相关措施,从而维持低温环境的稳定状态。不过,这些节能技术在实际应用的时候,依旧存在着布局不够合理、材料选型没有充分进行优化以及综合效果不均衡等一系列问题,这就导致节能潜力没能得到充分的发挥,整体能耗水平依然处于比较高的态势,对冷链物流中心的绿色可持续发展形成了限制作用。

## 3 冷链物流中心节能型建筑围护结构设计策略

### 3.1 外墙保温与结构优化设计

在冷链物流中心开展节能型建筑围护结构设计工作时,外墙保温以及结构优化设计属于达成整体节能目标的关键环节,同时也是确保低温储存环境稳定性的关键前提条件。外墙身为建筑围护结构当中主要的热阻层,其保温性能会直接对室内温度的维持情况以及制冷系统的能耗水平产生影响。所以在设计流程里,得全面考量材料性能、墙体厚度、施工工艺还有长期耐久性等方面因素。挑选高性能保温材料的时候,既要考虑到它具有导热系数低这一特性,又要兼顾其耐湿、抗压以及防火等诸多特性,并且要结合多层复合墙体结构来达成保温层、结构层与饰面层各自功能分工清晰明确的状态,如此既能提升热阻效果,又能保障墙体的结构强度以及稳定性。在墙体组合设计方面,务必要充分顾及热桥效应的存在,通过优化柱、梁、窗边以及接口部位的处理办法,降低冷量经由结构传导而出现的流失情况,进而削减局部能耗<sup>[2]</sup>。外墙的气密性设计同样极为重要,严密的密封举措可有效减少因空气渗透而引发的热量损失,维持室内温湿度处于稳定状态。借助 BIM 建模以及热工性能模拟技术,设计人员能够在设计阶段针对不同材料和结构方案展开精准分析,量化外墙保温效果、热桥分布状况以及整体能耗指标,以此达成科学优化的目的。

### 3.2 屋面隔热与防结露设计

在冷链物流中心针对节能型建筑开展围护结构设计之时,屋面的隔热以及防结露设计属于极为关键的部分,其对于保障低温储存环境的稳定性有着重要作用,同时也能够助力降低能耗。屋面作为建筑当中暴露于外界环境的主要热交换界面,它的热工性能会对室内温度的控制以及制冷系统的负荷产生直接的影响。在设计的过程当中,应当优先去选用那些导热系数比较低、保温性能颇为优异并且还具备防潮、防霜冻特性方面的屋面材料,借助多层复合结构来达成隔热层、结构层以及防水层各自不同的功能

分工,如此一来既能保证热阻效果,又能满足结构承载以及耐久性方面的要求。与屋面设计还需要对热桥效应予以科学的把控,特别是在檐口、屋面节点以及屋顶设备接口这些位置,要采取诸如保温延伸、隔热垫片或者连续保温层之类的措施,以此来防止出现局部热量流失的情况。防结露设计则需要综合屋面材料的吸湿性、空气湿度的管理以及温差的控制等方面的情况,凭借合理的防潮层布置、通风设计以及屋面表面温度的调控举措,从而确保室内表面温度能够高于露点温度,进而避免冷凝水形成而引发的结构损伤或者是卫生方面的问题。借助 BIM 技术以及热工性能模拟工具,在设计阶段就可以针对不同的屋面方案展开三维模拟以及热湿分析,以此来量化屋面隔热的效果以及结露的风险,最终实现科学优化与节能设计的有效结合。

### 3.3 门窗及开口部位节能设计

在冷链物流中心开展节能型建筑围护结构设计工作的时候,门窗以及其他存在开口的部位其节能设计对于维持低温环境的稳定性以及降低建筑所耗费的能量而言,有着极为重要的作用。门窗属于建筑围护结构里热量交换较为薄弱的部分,要是它的密封性能有所欠缺或者热工性能不高,那么就容易出现冷量流失以及空气渗透的情况,进而使得制冷系统的负荷增加。在设计相关事宜的过程中,应当优先去挑选那些性能出色的节能门窗,像是多层玻璃或者夹层玻璃、导热系数比较低的型材还有高效的密封条等,以此来保障开口部位具备良好的气密性以及热阻性能。与此针对冷库的大门、出入口以及其他经常会被使用的开口部位,需要结合自动闭合系统、防风帘又或者是缓冲门厅来进行设计,从而减少冷量向外泄露以及冷热空气相互混合的现象发生<sup>[3]</sup>。开口部位在布局以及尺寸方面同样需要经过科学的优化处理,避免因为过多或者过大的开口而造成不必要的能耗,并且要充分考虑到门窗和围护结构整体在热工方面的协调性,以此来降低局部热桥效应。借助 BIM 建模以及热工性能模拟技术,在设计阶段能够精准地分析开口部位的传热损失状况以及空气渗透的具体情况,进而量化节能的实际效果,为门窗以及开口部位在材料选择、结构形式确定以及布置方案制定等方面给出科学合理的依据。

### 3.4 低温环境下的气密性与热桥控制

在冷链物流中心开展节能型建筑围护结构设计之时,低温环境下气密性的把控以及热桥的控制,称得上是极为关键的环节,其对于保证室内温湿度的稳定状态、提升能源利用的效率以及防范结构出现损害等方面都极为重要。建筑处于低温条件之下,就很容易因为空气渗透以及热桥效应的缘故,致使冷量有所流失,进而让制冷系统的负荷不断增加,对储存环境的温度均匀性以及安全性都会产生影响。就气密性设计来讲,应当从整体围护结构的角度来着手,针对墙体、屋面、门窗以及接口节点等部分的密封

处理加以优化,选用高性能的密封材料并且设置连续的气密层,以此确保空气渗透量能够降到最低限度,并且在门窗以及出入口处设立缓冲区或者气闸系统,从而减少冷空气向外泄露的情况。而热桥控制方面,则需要把关注点着重放在那些容易形成局部导热的部位,像结构节点、梁柱接口、檐口以及门窗周边等地方,借助延伸保温层、使用隔热材料又或者是采用热桥断开装置等办法来降低热量的传导。

### 3.5 材料选择与绿色建材应用

在冷链物流中心针对节能型建筑围护结构展开设计之时,材料的选择以及绿色建材的应用,对于达成节能、环保并且能够可持续运行的目标,有着不容忽视的重要意义。围护结构所选用的材料,一方面会决定建筑的热工方面的性能以及其耐久性的状况,另一方面还会对施工的质量产生直接影响,进而关系到后期维护的成本以及给环境带来的负荷情况<sup>[4]</sup>。就外墙、屋面还有门窗的设计而言,应当优先去采用那种导热系数相对较低、保温性能颇为出色的材料,并且这种材料还得具备良好的防潮功能以及防霜冻特性,像是聚氨酯保温板、挤塑聚苯板、复合保温墙体以及高效隔热型材等这类高性能材料,与此还需充分考虑到材料的耐久性以及抗老化方面的特性,以此来保证能够实现长期稳定的运行状态。绿色建材的应用,既着眼于材料自身所具有的节能效果,也着重强调其生产过程当中体现出的环保特性以及是否具备可循环利用的能力,比如可回收保温材料、低挥发性有机化合物涂料以及节能型门窗材料等等,这些都能够有效地减少对环境所造成的负面作用。在设计的阶段当中,借助 BIM 技术针对不同的材料组合来开展热工性能的模拟以及环境影响的评估工作,进而将节能的效果以及生命周期内的能耗情况进行量化处理,以此为科学地选材事宜给出相应的依据。而且,通过合理地搭配材料以及对其加以优化布置的方式,是能够切实有效地降低热桥效应的,还能提高气密性以及防结露性能,如此一来便能够进一步提升冷链物流中心整体的节能水准,达成建筑性能、环境保护以及经济效益三者的有机统一,从而为低温储存环境给予安全、稳定并且可持续的有效保障。

### 4 结语

冷链物流中心节能型建筑围护结构的优化设计,对于达成低能耗、高效运行以及绿色可持续发展的目标有着极为重要的作用。通过科学地去优化外墙保温方面的工作、屋面隔热的相关事宜、防结露设计的各个环节、门窗以及开口部位的节能举措,另外再控制热桥并提升气密性,同时结合高性能以及绿色建材的应用情况,是能够明显改善建筑热工性能的,可减少冷量的损失,也能降低制冷系统的负荷。与此凭借 BIM 技术展开三维建模以及热工性能模拟的操作,不但可以在设计阶段针对

方案开展量化分析并且加以优化，而且还可以提升设计的精度以及施工的效率。在未来，随着节能技术以及数字化手段不断地发展，这些优化策略会给冷链物流中心带来更为高效、更为安全且更具可持续性的运行保障，对于提升整个行业的节能水平以及环境可持续性都有着十分积极的意义。

#### [参考文献]

[1]牛亚丽,李艺菲,逯腾吉.“双碳”目标下生鲜农产品冷链物流业的发展策略[J].农村·农业·农民,2025(7):33-37.

[2]韩景灵.山西省农产品冷链物流节能减排路径分析[J].中国储运,2025(2):101-102.

[3]庞锦豪,苟昱琛.双碳背景下冷链物流发展策略研究[J].中国储运,2024(9):191-192.

[4]秦玮玮,黄怡铭,刘茂锋,等.低碳背景下冷链物流发展研究[J].中国储运,2024(4):106-107.

作者简介：任志坤（1987.9—），籍贯：河北唐山市乐亭县，男，汉，工程师，硕士，研究方向：冷链建筑及食品加工建筑。

## 外立面表皮材料创新对建筑美学与功能性的影响

高彦玲

九易庄宸科技(集团)股份有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在建筑设计里外立面表皮材料的创新极为关键,它丰富了建筑的造型,也让色彩表现更精彩,不仅如此还提升了建筑的热性能、透光性和可持续性。新型材料应用作用不小,它能增强建筑的美学效果,让建筑更好看,还能改善建筑的节能舒适性提升其环境适应能力,如此一来,建筑在多方面的表现都更加出色。研究分析了国内外典型案例,此研究揭示了材料创新带来的综合影响,这影响涉及建筑的视觉体验以及功能性能,它给建筑设计材料与选型提供了理论依据也给出了实践参考。其推广价值高,应用意义大。

[关键词]外立面材料;建筑美学;功能性;材料创新;可持续设计

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17589

中图分类号: TU972

文献标识码: A

### The Influence of Innovative Exterior Surface Materials on Architectural Aesthetics and Functionality

GAO Yanling

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** Innovation in exterior facade materials is crucial in architectural design, as it enriches the building's form, enhances color expression, and improves its thermal performance, transparency, and sustainability. The application of new materials has a significant impact. It can enhance the aesthetic effect of buildings, make them look better, improve their energy efficiency and comfort, and enhance their environmental adaptability. As a result, buildings perform better in various aspects. The study analyzed typical cases at home and abroad, revealing the comprehensive impact of material innovation, which involves the visual experience and functional performance of buildings. It provides theoretical basis and practical reference for architectural design and material selection. Its promotion value is high and its application significance is significant.

**Keywords:** exterior facade material; architectural aesthetics; functionality; material innovation; sustainable design

#### 引言

建筑外立面意义重大,它承载着城市的形象对城市面貌起着重要作用,而且,建筑的功能实现也直接受其影响。新型材料技术不断发展,建筑设计不再只注重形式美感,如今它逐渐把节能耐久以及环境适应性等功能需求融合进来,表皮材料实现创新,这为建筑带来诸多好处。一方面,给建筑提供了大量丰富的表现语言,另一方面,也成了建筑性能优化的手段,它可以对建筑的质感色彩透光性以及热工性能做出改变从而提升建筑的整体价值。系统分析材料创新在国内外案例里的应用情况及其产生的效果,由此能够揭示出材料创新对建筑美学以及功能性有着综合影响。这可以给设计实践提供策略参考,推动建筑设计朝着兼顾美学与功能的方向发展。

#### 1 外立面表皮材料创新的现状与发展趋势

##### 1.1 新型材料类型与技术特性

近年来建筑外立面的表皮材料有啥变化?呈现出高度多样化态势还带有技术化趋势,这给现代建筑设计带来啥?带来了更丰富的表现手段也提供了功能支撑。高性能玻璃有着优异的透光性隔热性能还有低辐射系数,凭借这些优点它被大量应用于高层建筑和公共建筑项目,部分产品太阳能透射率的可调范围在 20%到 70%,这能让建筑

在不同季节与气候条件下达成自然采光和节能之间的平衡。光致变色玻璃很神奇,它能依据光照强度,自动调整自身透明度,这么做可以减少室内眩光让人的视觉舒适度大大提高,而且它还能降低空调负荷助力实现建筑能耗的优化。金属复合板具备轻质高强度以及耐腐蚀的特性,它能满足复杂造型幕墙和大跨度幕墙的结构需求,凭借这些特性,它可呈现出独特的金属质感,这种质感给建筑外观带来现代感与科技感。

绿色建筑发展有重点方向,生物基材料、智能响应材料成为其中关键,生物基复合材料是把可再生植物纤维和聚合物复合在一起,一方面,达成了高强度以及轻质化的效果,另一方面,还降低了碳排放与环境负荷,如此一来,是契合可持续设计理念的。智能响应材料能实现建筑被动调节功能优化室内舒适性还可减少能源消耗,这类材料包括热致变色涂层、湿敏材料、光敏材料等,它们能够随着环境的温湿度或者光照的变化对颜色、透光率以及反射性能进行调节。自清洁材料的表面往往有超疏水性或者具备光催化特性,凭借雨水的作用它能够自动把灰尘和污染物清除掉,这样一来维护的频率降低了使用寿命也得以延长。新型复合材料与轻量化金属板具有显著优势,在施工便捷性方面它们能够缩短现场安装周期提高施工精度,与此还能保证长

期耐久性。从整体上看这些创新材料对建筑美学有提升作用,而且它们兼顾了功能性可持续性还能控制维护成本,这些创新材料为现代建筑提供了多维度设计解决方案。

## 1.2 国内外应用案例分析

在国内建筑项目里创新材料的应用效果充分得到验证,国外建筑项目中同样如此,创新材料在建筑美学上优势显著于功能性方面也展现突出表现。新加坡滨海湾金沙酒店达成了表皮高透光性与遮阳功能的统一,怎么做到的?是通过结合高性能玻璃与金属复合板,而且相较于传统幕墙酒店室内光环境舒适度和能效提升了大约 20%。瑞士苏黎世的苏尔利展览中心采用了光致变色玻璃以及智能遮阳系统,这一举措让建筑能耗有所降低,降幅大概在 15%~20%。而且借助玻璃的动态变色效果建筑外观的科技感得到增强,动态美学表现也更突出。中国上海中心大厦的外立面用的是双层幕墙系统,高性能玻璃自清洁涂层与智能遮阳装置相结合达成了自然采光舒适调节以及雨水自清洁这些功能,而且相比传统幕墙其外立面维护频率降低了 50%,建筑整体能源利用效率提高了大约 18%。

经对比分析,这些案例有所展现,材料创新在建筑美学和功能性上都有显著的综合作用,从美学角度看创新材料让建筑色彩更为多样、质感更加丰富、光影效果更为独特。它还强化了立面空间的层次感带来强烈的视觉冲击力,从功能方面来看材料技术让隔热性能大幅提升,它也显著增强了透光性,还提高了耐久性。并且材料技术在提升这些性能时兼顾了室内舒适性和节能效益,然而,不同材料存在差异,这种差异体现在初期投资方面也体现在施工工艺方面还体现在长期耐久性方面。高性能玻璃采购成本高,安装成本也高,智能响应材料,施工精度要求特别高,在设计阶段需要充分评估,还要做实验验证,这么做是为了保证材料性能和建筑需求对得上,进而实现最佳的综合效益。未来材料科学纳米技术以及绿色制造会不断发展,在此背景下,建筑外立面材料会进一步演进,它将朝着高性能多功能的方向发展还会具备低碳环保的特点并且能够实现智能响应。如此一来就能为建筑设计提供更为广阔的创新空间。

## 2 建筑美学维度的材料创新影响

### 2.1 外观造型与空间感

外立面表皮材料很关键,其质感色彩以及光影变化对建筑的视觉效果起着决定性影响,高反射率的金属板材在不同光照条件下可产生动态反射效果。这种效果能够增强建筑的立体感还能提升其视觉张力。玻璃幕墙与半透明复合材料相结合,它们借助透光性和反射性于室内营造出明亮空间,而且在外观上呈现出轻盈又通透的视觉效果,例如德国法兰克福莱茵河畔的商业综合体,它采用金属复合板和高性能玻璃相结合的方式。如此一来在晨昏光照下建筑能呈现出渐变的色彩效果,并且建筑轮廓在城市天际线里更具韵律之美。

表皮材料作用不小,它可以让建筑的比例更协调优化,让建筑的节奏感更出色,对材料进行模块化的科学设计与拼接,如此一来建筑立面能够呈现出丰富多样的几何变化,这打破了大尺度带来的单调感觉营造出一种有序的节奏感。举个例子东京涩谷的 Hikarie 大厦在建筑立面上花了心思,它把不同尺寸、不同材质的玻璃板进行组合,如此一来建筑立面不管是在垂直方向还是水平方向都呈现出有规律的比例变化。这种变化可不简单它增强了建筑和人之间的尺度感还让空间层次感更丰富,创新材料在形态表现方面具备可塑性,这一特性给建筑师带来了更多设计自由。借助该特性建筑得以在功能性与美学之间达成平衡。

### 2.2 城市景观与环境融合

在城市尺度方面,材料创新同样至关重要,它能借助视觉协调让城市景观的整体质感得以提升。新型的外立面材料有独特之处,它能够依据城市的光照条件也能参考周边建筑的色彩,进而去挑选合适的反射率或者确定恰当的色调,如此一来就能达成建筑与环境和谐融洽。比如说北京国家大剧院运用了钛金属和玻璃相结合的方式,其外立面会依据光照的变化展现出不一样的色泽,如此一来这座建筑在城市夜景里既能凸显主体又能和周边环境相互呼应。

建筑外立面材料实现创新,这创新可让建筑与周边环境更好互动形成共生关系。绿色立面光伏幕墙以及透光幕墙它们有着重要作用,这些元素不仅能够带来美学价值让建筑更美观,而且还对建筑微环境以及城市生态有改善作用,为建筑与城市发展贡献力量。举个例子,瑞士巴塞尔有座绿色办公楼。它把垂直绿化和玻璃幕墙相结合使得建筑的热舒适性提升超过了 20%,而且在城市层面上营造出自然景观延伸的效果,借助材料创新,建筑不再孤零零地存在。它摇身一变成了城市环境的一部分,视觉与功能都达成了协调。

## 3 功能性维度的材料创新影响

### 3.1 热工性能与能效优化(扩充版)

外立面表皮材料对建筑热工性能而言至关重要,它的选择会直接影响建筑的能源消耗也和室内舒适度息息相关,合理应用隔热材料保温材料以及遮阳材料能够显著降低建筑能耗。这也有助于优化建筑的环境性能,高性能真空玻璃英文名为 VacuumInsulatedGlass 简称 VIG,它有着低导热系数数值约为  $0.5\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 。与传统双层中空玻璃相比在相同面积的情况下高性能真空玻璃可降低建筑采暖与制冷能耗幅度在 30%~40%,在夏天,它能有效降低空调负荷;于冬天,则可增强室内的保温性能,而且,还能减少冷热桥效应造成的能量损失。

光致变色玻璃和低辐射镀膜玻璃被应用于建筑,这让建筑外立面有了动态调节的能力,它能依据日照强度,自动调整透光率。如此一来,自然采光和遮阳得以实现平衡,进而提升了室内的热舒适性还减少了人工调控所需的能源消耗,举例来说办公楼选用光致变色玻璃后窗边区的温差降低了

大概 1.5°C~2°C。如此一来,室内的整体温度变得更为均衡。

材料创新作用显著,在冬季舒适性调控里,它作用明显,在夏季舒适性调控方面,其作用也相当突出,智能遮阳板热致变色涂层高性能玻璃搭配使用。如此一来,室内温差能控制在±2°C以内,居住和办公的舒适感会显著提升采暖和制冷能耗也能降低,研究数据有显示,上海中心大厦采用双层幕墙系统还搭配高性能玻璃与自清洁涂层。由此大厦年度总能耗下降了约 18%自然采光增加了约 15%,而且室内温湿度分布变得更均匀,这有效达成了美学功能性与节能的综合优化。至于外立面材料对建筑能耗的影响具体如表 1 所示。

表 1 外立面材料对建筑能耗影响示例

材料类型	导热系数 W/m <sup>2</sup> ·K	节能幅度%
高性能真空玻璃	0.5	30~40
光致变色玻璃	1.1	15~25
低辐射镀膜玻璃	1.2	12~20

### 3.2 可持续性与环境适应性

绿色材料有个生命周期评价英文叫 LifeCycleAssessment 简称为 LCA,根据它的显示若采用生物基复合材料低碳金属复合板以及再生玻璃这些环保材料,建筑全生命周期的碳排放能够降低幅度大概在 20%~35%。这些材料在生产阶段环境负荷低、运输阶段环境负荷低、施工阶段环境负荷也低,在使用和维护阶段它们呈现出高耐久性与可回收性的特点。如此一来,建筑运营期的资源消耗得以减少,举个例子芬兰赫尔辛基大学图书馆的外立面用的是木质复合材料,这种材料可不简单它让碳排放降低了大约 25%。而且在使用 20 年之后这些材料还能够拆解回收重新派上用场,如此一来真正的循环经济模式得以达成。

智能响应材料作用显著,它在建筑适应气候方面能发挥功效在调控室内舒适性上也有作为,热致变色涂层湿敏材料以及光致变色玻璃能依据环境状况进行自动调整。环境状况包含温度、湿度以及光照强度,它们可以对透光率反射率或者表面热性能做出调整,如此一来,便能达成建筑的被动调控。这类材料可减少机械空调及供暖系统的依靠,如此一来既能降低能源消耗还能提升室内的热舒适程度,举个例子有些办公楼采用了热致变色涂层以及湿敏材料。这样一来室内温度波动能够被控制在±1.5°C~2°C 这个范围,空气质量指数也会稳定提升幅度大概在 10%,而且,空调系统的负荷能降低超过 10%。

智能响应材料有其应用之处,它能用来应对极端气候也能应对城市热岛效应,研究表明夏季高温时光致变色玻璃能降低室内辐射热负荷幅度约为 15%~20%。如此一来,冷负荷需求也会减少,冬季处于低温环境时它能保持良好的隔热性能,不仅如此还能把采暖效率提高大约 10%~12%。综合而言绿色材料和智能材料相结合达成了多个目标,一方面实现了建筑能效的优化,提升了建筑的舒适性,另一方面推动建筑可持续发展理念以及环境友好型设计

理念在实际中得以落地。不同材料在温控和降低空调负荷上的效果如图 1 所示。

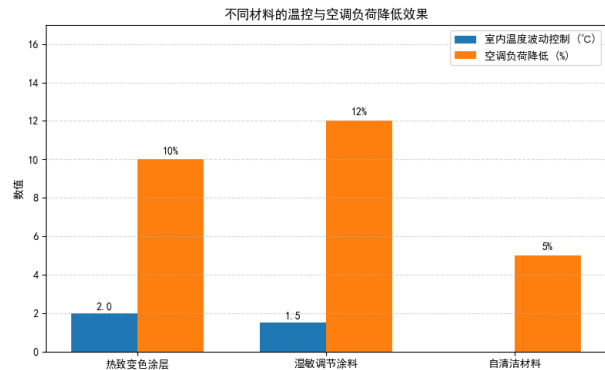


图 1 不同材料在温控和降低空调负荷上的效果

借助材料创新建筑的功能性大幅提升可持续性也显著增强,这一创新不仅降低了能耗还减少了维护成本,建筑对不同气候环境的适应能力也得以提高。如此一来,为绿色建筑给出了可靠参照。

## 4 外立面材料创新的设计策略与实践应用

### 4.1 材料选择与建筑设计协同(扩充版)

建筑设计时,外立面材料的选择很关键,这不仅关乎建筑美学如何展现还直接作用于建筑的功能性对其可持续性也有直接影响。在早期方案阶段设计师要综合考量多方面因素,一方面是材料的物理性能,另一方面施工的可行性也不容忽视,还有材料对环境的适应性以及后续的维护成本。通过全面权衡这些要素达成美学和功能的协同优化。高性能玻璃有着不错的性能,它的太阳能透射率的可调范围处于 20%到 70%之间导热系数能低至 1.0W/m<sup>2</sup>·K。凭借这些特性在不同季节里高性能玻璃能够对建筑采光以及室内温度进行有效调控达成节能和舒适性两方面的优化。金属复合板石材预制件还有陶瓷涂层材料能赋予建筑立面独特视觉特性,靠的是什么?靠的是它们的质感色彩以及反射性能,而且这些材料还具备多种实用功能既耐久性高又抗腐蚀还特别容易清洁。设计师分析材料性能数据,凭借这些分析能对材料在日照调节热工性能采光效率以及长期维护方面的表现做量化评估,如此一来设计师就能在美学效果和功能性需求间达成最佳平衡。

在具体的设计实践里能运用性能矩阵法(Material Performance Matrix),这种方法可把材料的热工性能光学特性机械性能以及施工适应性和设计目标进行量化匹配。该方法能帮助设计团队筛选最优材料组合方案,它会对多个指标进行评分,这些指标包括导热系数反射率比重耐久性以及施工精度等。举个例子上海中心大厦的双层幕墙系统采用了低辐射镀膜玻璃与金属复合板相结合的方式,这一组合可不简单,它达成了多个效果。一方面实现了建筑节能能达到 18%光环境优化程度达 20%,另一方面还满足了复杂立面造型对于美学的要求,类似策略能在方案阶段

开展模拟分析。在这一阶段可对比不同材料组合对自然采光舒适性以及建筑体量感的影响,通过这样的对比达成功能和美学的动态平衡。

#### 4.2 创新材料在建筑设计中的实施路径

创新材料应用于建筑设计领域其推广可不是只看材料自身性能,施工工艺得考量成本控制也不能忽视长期的维护管理。在这一过程里模块化预制材料技术起到了关键作用,举例来说预制金属复合板单元能减少现场施工周期幅度达30%,它还可降低施工成本,大约降低20%。并且能确保立面几何形态精准呈现,纤维增强复合材料轻质且高强度,它能在造型复杂的建筑里实现大跨度结构的支撑,这种材料可减轻结构负荷,还能确保耐久性。要实现创新材料成功应用关键在于几个方面,是材料施工技术得标准化再者施工流程要进行精细化管理还有维护策略需做好前置规划。

多案例研究有这样的发现,系统化设计策略具备提升材料创新应用效率和效果的能力,而且这种提升十分显著,在部分绿色建筑项目里这些项目分布于欧洲亚洲。在项目开展过程中实施了一些举措包括在早期进行材料选型将施工工艺标准化还有制定维护计划,通过这些做法外立面的耐久性提升了20%~40%,建筑的年度能耗降低了15%~25%。瑞士巴塞尔有一座绿色办公楼,它把光致变色玻璃与模块化预制板相结合既照顾到了热舒适性自然采光又兼顾视觉美感达成了建筑 and 环境的协同优化。材料创新意义重大,它推动设计团队开展跨学科协作,建筑师结构工程师还有材料供应商一同参与早期方案的优化工作,如此一来项目整体设计效率得以提高实施可行性也增强了。

基于上述实践经验能够形成一套可推广的设计方法体系,该体系涵盖以下方面:对材料性能展开评估,考虑功能和美学的适配情况。分析施工是否具备可行性,做好成本控制工作,制定维护管理策略,该体系作用显著,它能在项目里给建筑师提供可操作的指导。对于新型材料研发绿色建筑标准制定以及可持续建筑实践,该体系还给予理论与技术方面的支撑,材料技术持续进步,在此背景下建筑外立面设计会进一步达成美学、功能以及可持续性的深度融合。创新材料在建筑设计里的实施效果呈现于表2。

表2 创新材料在建筑设计中的实施效果

项目	节能幅度%	施工周期缩短%	施工成本降低%	耐久性提升%
上海中心大厦双层幕墙	18	30	20	25
欧洲绿色建筑项目	15~25	25	18	30~40
亚洲绿色建筑项目	15~25	28	20	20~35

#### 4.3 研究意义与学术价值

于理论范畴而言本研究让建筑外立面表皮材料创新的学术体系更丰富,它还深化了美学和功能性的综合探究,并且为跨学科建筑表皮设计给出方法论方面的参考与指引。在实践方面为建筑师在设计时的材料挑选与运用给出了系统策略,这一策略将美学效果热工性能可持续性以及施工可行性都考虑在内。在政策和行业领域,研究成果意义重大,它能为绿色建筑提供材料选型依据也能为其提供可持续设计参考,对节能建筑来说同样可获得材料选型依据与可持续设计参考。在城市规划方面研究成果也发挥作用给出材料选型依据与可持续设计参考,创新性体现在对材料性能设计美学以及建筑功能性进行系统整合。它还探索建筑表皮设计的跨学科方法为未来的建筑设计与材料研发给予理论和实践方面的双重指导。

#### 5 结语

在现代建筑设计里外立面表皮材料创新意义重大,它丰富了建筑美学的表现手法还大大增强了建筑节能能力提升了室内舒适性让建筑更能适应环境。对新型材料展开系统分析,分析涵盖其类型技术特性还有国内外典型案例,由此揭示出材料创新带来的综合影响,这种影响涉及建筑造型视觉体验以及功能性能。与此推动施工工艺优化,提升维护管理效率,研究成果给建筑设计提供了可操作的策略,它还为材料研发以及城市规划给出理论参考。建筑行业高质量发展目标是兼顾美学与功能实现且可持续发展,此研究成果助力达成这一目标,并且该成果推动绿色建筑实践在更广阔的应用场景拓展。

#### [参考文献]

- [1]辛楠.建筑外立面装饰中纸材料的设计创新与价值探讨[J].纸和造纸,2025,44(3):65-67.
  - [2]宋一帆.绘画美学视角下建筑外立面设计探讨[J].美与时代(城市版),2023,11(10):17-19.
  - [3]黄哲威.现代高层居住建筑外立面设计研究[J].建筑与预算,2022,(7):28-30.
  - [4]万国.色彩美学主导下的建筑外立面设计[J].建筑结构,2021,51(8):162.
  - [5]弋才学.现代高层居住建筑外立面设计的美学研究[J].建筑结构,2020,50(9):155-156.
- 作者简介:高彦玲(1990.2—),毕业院校:贵州大学,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:工程师。

# 征 稿

《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](http://www.viserdata.com)



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

[www.viserdata.com](http://www.viserdata.com)

