



www.viserdata.com

智慧城市应用

SMART CITY APPLICATION

月刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 2630-5305(online) 2717-5391(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

2024 9

第7卷 总第53期

智能城市应用

Smart City Application

2024年·第7卷·第9期(总第53期)

主办单位: Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N: 2630-5305 (online)

2717-5391 (print)

发行周期: 月刊

出版时间: 9月

数据库收录: 中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址: www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱: viser-tech@outlook.com

地址: 111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

学术主编: 王高捍

责任编辑: 刘艳利

学术编委: 王亚飞 陈慧珉 徐业强
杜可普 杨超 李荣才
尹晓水 谭成军 李培营
陈惠芳 蔡成涛

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; 作者文责自负, 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

城乡规划

城市排水系统雨污分流改造技术研究.....	张磊 1
生态修复视角下的城市滨水空间规划设计.....	
..... 崔颖欣 陈鹏 靖婧 4	
海绵城市理念下的城市河道景观规划设计.....	
..... 李昊洋 张柔祉 7	
城市排水管网雨污混流成因分析及治理对策探析.....	
..... 滕川 10	

路桥与交通

市政道路施工中沥青路面平整度的影响因素分析.....	
..... 许冬青 13	
无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用分析....	
..... 刘明东 16	
市政道路桥梁施工中现场施工技术的应用与管理研究..	
..... 牟广庆 19	
数字化技术在市政建筑道桥施工中的应用与优化.....	
..... 孙海燕 22	

施工技术

在砂卵石地层中施工混凝土灌注桩塌孔问题的预防和处理	杨沁欣 25
浅谈港口工程混凝土施工质量的控制措施....	荆铁成 28
浅析现代建筑装饰装修理念及其墙体装饰技术.....	
..... 李永园 31	
基于土木工程施工阶段屋面防水施工技术研究.....	
..... 刘聘 34	
钻孔灌注桩施工技术在水利施工中的应用研究.....	
..... 胡兆涛 37	
深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用探析.....	
..... 蔡祺 40	
砂卵石地层中浅埋暗挖马头门施工技术分析 ..	戴镇泽 43
饰面高性能混凝土在地铁工程中的技术运用研究.....	
..... 张骞 46	

混凝土结构模板施工技术分析..... 韩龙 50

建筑工程

建筑智能化工程的施工技术要点分析.....

..... 冯笃学 文华凤 宋子秋 黄建东 范兴江 53

基于智能建造的建筑施工管理信息化创新.....

..... 李运暖 蒋光华 56

绿色建筑给排水节水节能新技术的应用.....

..... 龙翔翔 王锐丞 李林 王林 罗宇航 60

住宅建筑开裂分析及防治措施的应用研究.....

..... 汪洋 朱光祥 卢粤华 林志鹏 杨冰峰 63

基于分布式光伏的住宅建筑屋顶施工技术.... 杜鑫 68

暖通供热系统中流体力学优化方法及其应用.. 林继浩 71

机械机电

数控技术在农业机械自动化生产中的应用.....

..... 黎桂平 段征育 74

离心铸管机高温作业区气路改造.....

..... 刘润泽 韩志彬 李德智 77

智能化装配技术在高空作业领域的应用实践.. 孙得凤 81

自动化技术

人工智能在电气工程自动化中的运用..... 李洪星 84

电气工程自动化中智能化技术的应用研究.... 张大江 87

天然气管道工程中的仪表自动化控制技术分析.....

..... 崔子豪 90

智慧数据分析

人工智能技术在电子工程自动化控制中的应用探讨....

..... 赵永波 93

人工智能在安全监控领域的应用与发展..... 陈伟 96

大数据技术在智慧城市规划建设中的应用探索与研究..

..... 秦楠 99

新型智能环保消解装置在食品重金属分析中的应用....

..... 赵启发 王非 赵颖 赵帅伟 102

城市燃气施工数字化管理策略探讨..... 张智 105

石油化工

油气管道腐蚀因素及防腐措施的研究..... 李鑫 108

浅谈低温甲醇洗甲醇洗涤塔防气阻工艺.....

..... 杨杰 宋建平 111

海底管道复合材料防腐修复技术应用进展... 安波 114

工业制造

船舶轮机检验常见缺陷及排除措施分析研究.....

..... 冒军 117

液化气钢瓶生产过程中的质量管理体系.... 赵荣良 120

综述研究

电子产品检测与质量控制研究.... 赵丕阳 王率斌 123

污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势....

..... 郝亚莉 苏鹏飞 126

城市排水系统雨污分流改造技术研究

张磊

石家庄市排水管护中心，河北 石家庄 050000

[摘要] 随着城市化进程的加快和降雨量的增加，现有的城市排水系统面临着越来越大的压力。雨污分流改造技术是提高城市排水系统排水能力和减少环境污染的有效手段。文中综述了雨污分流改造技术的研究现状，分析了现有技术的优缺点，探讨了未来发展趋势和应用前景。

[关键词] 城市排水系统；雨污分流；改造技术；研究

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13430

中图分类号: TU992.21

文献标识码: A

Research on Rainwater and Sewage Diversion Transformation Technology for Urban Drainage System

ZHANG Lei

Shijiazhuang Drainage and Protection Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization and the increase of rainfall, the existing urban drainage system is facing increasing pressure. The rainwater and sewage diversion transformation technology is an effective means to improve the drainage capacity of urban drainage systems and reduce environmental pollution. The article summarizes the current research status of rainwater and sewage diversion technology, analyzes the advantages and disadvantages of existing technologies, and explores future development trends and application prospects.

Keywords: urban drainage system; rainwater and sewage diversion; renovation technology; research

引言

城市排水系统是城市基础设施的重要组成部分，主要负责收集和排放城市雨水和生活污水。然而，现有的城市排水系统普遍存在雨污合流现象，导致污水处理效果不佳，环境污染问题日益严重。雨污分流改造技术是一种有效的解决方案，通过将雨水和污水分开收集和处理，提高排水系统的排水能力和污水处理效果，减少环境污染。

1 排水系统雨污分流改造技术概述

1.1 排水系统雨污分流改造技术概念

排水系统雨污分流改造技术是一种新型的城市给排水技术，其核心思想是将雨水和污水分开收集和处理，以达到减少城市排水系统负担、提高排水效率和保护城市环境的目的。具体来讲是将城市排水管道分成两个独立的系统，一个系统专门收集雨水，另一个系统专门收集污水^[1]。因此，在雨季时，雨水可以直接排放到河流或湖泊中，避免城市内涝和水质污染等问题；在旱季，污水也可以更快地排出去，减少管道堵塞和恶臭等问题。

1.2 城市排水系统雨污分流的作用

城市排水系统其主要功能是将城市中的雨水和污水有效地收集并处理，以保证城市的环境卫生和居民的生活质量。而雨污分流，则是城市排水系统中的一项重要技术，其作用在于将雨水和生活污水分开收集和处理，从而达到提高污水处理效率、减轻城市排水压力、保护环境等目的。

1.2.1 提高污水处理效率

在雨污分流系统中，雨水和生活污水被分别收集，生活污水可以直接输送至污水处理厂进行处理，而雨水则可以经过简单的沉淀和过滤后，直接排放至河流或湖泊中。这样可以有效地减少污水处理厂的处理负担，提高污水处理效率，从而保证城市水质的安全。

1.2.2 减轻城市排水压力

在传统的排水系统中，雨水和生活污水共同通过一条管道排放，当雨量较大时，容易造成排水管道堵塞，甚至引发城市内涝。而雨污分流系统则可以将雨水和污水分开排放，有效地减少排水管道的负担，避免城市内涝的发生，保证城市交通和居民的出行安全。

1.2.3 保护城市环境

在传统的排水系统中，生活污水中含有大量的有害物质，如不经过处理直接排放，将对城市环境造成严重污染。而雨污分流系统可以将生活污水集中处理，确保其达到排放标准，减少对城市环境的污染，保护城市生态平衡。

2 雨污分流技术原理

雨污分流技术其主要目的是将雨水和污水分开，使二者分别进入不同的管道系统进行处理。雨污分流技术的原理在于利用天然地形或者人工构造，将城市雨水和生活、工业污水分开，从而达到减少污水处理负担、提高污水处理效率的目的。在雨污分流技术中，雨水和污水分别进入不同的管道系统。雨水通过雨水管道直接排入城市河流或

者湖泊，而污水则经过污水处理厂进行处理，达到排放标准后再排入城市河流或者湖泊。这样，既可以有效减少污水处理厂的处理负担，又可以避免因为雨水过多而导致的污水处理厂溢流问题^[2]。

3 排水系统雨污分流改造技术

3.1 改造或废除原有合流制管道

在城市化进程中，原有合流制管道已经难以满足日益增长的城市排水需求，因此，改造或废除原有合流制管道成为了必然选择。改造或废除原有合流制管道是排水系统雨污分流改造技术的关键。合流制管道是将雨水和污水混合在一起，通过一条管道进行排放，该排水方式存在很多问题，如雨水季节性强，容易导致管道超负荷运行，引发城市内涝；同时，雨水和污水混合排放，容易造成环境污染。因此，对原有合流制管道进行改造或废除，是实现雨污分流的关键。

在改造或废除原有合流制管道的过程中，需要考虑多种因素。首先，要充分了解城市排水系统的现状，包括管道的分布、管道的规模、管道的材质等。其次，要根据城市的发展规划，预测未来城市排水需求，合理设计新的排水系统。此外，还要充分考虑雨污分流改造对周边环境的影响，尽量避免对居民生活造成不便。改造或废除原有合流制管道需要采取一系列技术措施。例如，可以采用雨污分流技术，将雨水和污水分开排放；可以采用渗透性铺装技术，使得雨水能够直接渗透到地下，减少雨水径流量；可以采用生态修复技术，对排放的污水进行处理，减少对环境的污染^[3]。改造或废除原有合流制管道是一项复杂的工程，需要政府部门、企业和社会各界共同努力。政府部门需要制定相关政策，提供资金支持；企业需要承担社会责任，积极参与改造工程；社会各界需要广泛关注和支持，为改造工程创造良好的社会环境。

3.2 改造建筑雨污合流管道

首先，工作人员需要了解雨污合流管道的现状。很多城市，建筑雨污合流管道的设计和施工标准较低，导致管道系统存在诸多问题。例如，管道容量不足、淤积严重、水质差等。这些问题不仅影响城市环境的整洁，还对居民的生活和健康带来了潜在威胁。

其次，雨污分流改造技术的核心在于将雨水和污水分开，分别收集和处理。对于建筑雨污合流管道，改造的主要目标是提高管道的收集能力和处理效果。

3.2.1 扩容管道

根据实际情况，对现有管道进行扩容，以满足日益增长的排水需求。扩容过程中，要充分考虑管道的材料、结构和周围环境，确保改造后的管道安全、稳定、耐用。

3.2.2 清理淤积

对管道内的淤积物进行彻底清理，以减小管道阻力，提高排水效率。清理过程中，可采用机械清淤、人工清淤

等多种方法，确保管道畅通无阻。

3.2.3 优化管道布局

根据城市发展规划和排水需求，对现有管道布局进行优化，提高管道的覆盖范围和收集能力。优化过程中，要充分考虑地形地貌、建筑分布等因素，确保管道布局合理、科学。

3.2.4 提升处理能力

对合流管道附近的污水处理设施进行升级改造，提高其处理能力和水质达标率。此外，可采用新技术、新设备，提高污水处理效果，减少对环境的影响。

3.2.5 建立监测体系

对建筑雨污合流管道进行定期监测，及时发现和解决管道问题。监测体系可包括在线监测、人工巡检等多种方式，确保管道运行正常、安全。通过改造措施，可有效提高建筑雨污合流管道的收集能力和处理效果，实现城市排水系统的优化和升级。同时，雨污分流改造技术还有助于减少污染物排放，改善城市环境，提高居民生活质量。

3.3 应用新型排水管材

首先，雨污分流改造技术的核心在于将雨水和污水分开，分别收集和处理，既能有效减少污水处理压力，又能避免雨水冲刷时污水溢流，改善城市水环境。新型排水管材在此过程中起到至关重要的作用，例如，高密度聚乙烯(HDPE)管材因其抗腐蚀、抗老化、耐高压等优点，成为雨污分流工程中的首选材料，此外球墨铸铁管、预应力混凝土管等新型管材也在不同程度上满足了雨污分流改造的技术要求^[4]。近年来在进行雨污分流改造时，大量采用了HDPE管材，经过实际运行检验，管材表现出良好的抗压性能和耐腐蚀性，有效降低了管道维修和更换的成本。此外，新型排水管材的施工速度和质量也得到了显著提高，为雨污分流改造工程的顺利完成提供了有力保障。一方面，新型管材的高性能和长寿命特性，降低了工程建设和维护的成本。另一方面，雨污分流改造有效地提高了城市水环境质量，减少水污染事故的发生，为人民群众创造了良好的生活环境。

3.4 立管改造

一方面，老旧的排水设施难以满足日益增长的城市人口和用地需求；另一方面，雨污合流制度导致污水处理效果不佳，严重影响城市环境。排水系统雨污分流改造技术对于改善城市环境、提高城市排水能力具有重要意义。

在立管改造技术方面，主要有两种方法。一种是更换原有立管，另一种是在原有立管的基础上进行改造。更换立管通常采用新型材料，如UPVC、PE等，具有耐腐蚀、抗老化、重量轻等优点。而在原有立管基础上改造，则可通过内衬、加套、扩径等方法，提高立管的直径和排水能力。改造过程中，还需考虑立管的布局和设计。合理的立管布局可以有效提高排水效率，减少堵塞现象。同时，立

管设计时应充分考虑地形、建筑等因素，确保雨污分流改造的顺利进行。

总之，排水系统雨污分流改造技术是我国城市基础设施建设的重要内容。立管改造扩写作为关键环节，对于改善城市环境、提高城市排水能力具有重要意义。通过采用合理的改造技术，构建更加高效、环保的城市排水体系。

3.5 检查井改造技术

检查井的改造技术主要包括加固、拓宽和移位三种，能够根据排水系统的具体需求，提升检查井的功能性和耐用性。

首先，检查井加固技术是在原有检查井结构的基础上，通过增加材料强度、改善结构设计等方式，提升检查井的稳定性和承载能力，通常应用于检查井受到严重破坏或有潜在风险的情况下，以确保其能够继续满足排水系统的需要。在加固过程中，会采用钢筋混凝土、高强度材料等来增强检查井的支撑力，从而保障其长期稳定运行。其次，通过拆除重建或加宽井身，以适应更大口径的排水管道或增加检查井的容纳空间。该常用于管道升级或改造时，以确保检查井能够满足更大的流量需求和更复杂的维护工作。拓宽过程中，会涉及到对周围地基的加固，以及井身结构的精确施工，以保证拓宽后的检查井符合规范要求。最后，将检查井的位置进行调整，以优化排水系统的布局或适应其他工程需求。移位技术可以在不破坏原有管道系统的前提下，实现检查井的精确迁移，主要涉及到对现有管道的切断、重新连接，以及对新位置的井体结构施工。

3.6 溢流井改造技术

溢流井其主要作用是在雨水量大时，将超过排水能力的雨水暂时储存，待雨水减少后再排放，确保城市排水系统正常运行中发挥着重要作用。然而，随着城市化进程的加快和气候变化的影响。

3.6.1 溢流井扩容

由于城市雨污分流系统的设计容量往往难以满足实际需求，尤其是在极端降雨天气下，溢流井的容量不足会导致雨水溢出，造成城市内涝。扩容改造可以通过增加溢流井的容积来实现，例如，通过在原有井体内设置隔舱板或采用多层结构，从而提高溢流井的储存能力。此外，还可以采用新型材料和技术，如预制混凝土结构、玻璃钢等，以提高溢流井的承载能力和耐久性。

3.6.2 溢流井优化设计

通过优化溢流井的设计，可以提高其排水效率和适应性。一方面，可采用计算机模拟和数据分析技术，对城市降雨特性进行深入研究，从而更准确地预测和计算雨水流量，为溢流井的设计提供科学依据；另一方面，可以采用

模块化设计理念，根据不同地区的降雨特点和需求，选择合适的溢流井设计方案^[5]。此外，还可以通过引入智能化控制系统，实现溢流井的自动调节和优化运行，提高其运行效率和可靠性。除扩容和优化设计，溢流井改造技术还包括其他方面的创新。例如，采用绿色雨水设施，如雨水花园、透水铺装等，可有效地减少雨水径流量，降低溢流井的压力，此外利用雨水收集和利用技术，将雨水转化为资源，既可以减轻溢流井的负担，又可以提高城市的可持续发展水平。

4 城市排水系统雨水污水分流改造技术未来发展趋势

随着人们对环保意识的不断提高，绿色雨污分流改造技术将成为研究的热点。例如，生物降解材料的使用将会得到更多的关注，因为这种材料可以在自然环境中被微生物分解，减少对环境的影响。此外，生态修复技术也将得到广泛应用，通过利用自然的生物和生态过程来净化水质，达到保护环境的目的。科技的不断进步，大数据分析、传感器监测等智能化技术将被广泛应用于排水系统中。通过安装传感器，可以实时监测排水系统中的水质和水量情况，及时发现和解决问题。同时，通过大数据分析，可以对排水系统进行智能化管理，优化系统的运行效率。

5 结束语

雨污分流改造技术是提高城市排水系统排水能力和减少环境污染的有效手段。本文分析了雨污分流改造技术的研究，分析现有技术的优缺点，在改造中市政单位要对城市排水污染状况的范围、位置进行了解，能够应用相关的经验和知识对该地区进行合理客观分析，制订完善的排水系统的建设方案，实现良好的排水效果，为城市排水系统的改造和技术创新提供一定的参考和借鉴。

【参考文献】

- [1]曹瑞良,宫经成,黄超,等.排水单元雨污分流改造施工技术研究[J].施工技术(中英文),2022(5):51.
- [2]易军旗.城市排水系统雨污分流改造技术[J].建筑技术开发,2022,49(10):110-112.
- [3]曹瑞良,宫经成,黄超,等.排水单元雨污分流改造施工技术研究[J].施工技术(中英文),2022,51(5):114-118.
- [4]乔典福,鲁艳春.海绵城市建设中老城区雨污分流改造技术研究[J].人民黄河,2020,42(2):128-129.
- [5]孟毅.城市排水系统雨污分流改造技术探究[J].居舍,2020(15):55.

作者简介：张磊（1976.12—），男，河北省石家庄市人，汉族，大学本科学历，工程师，就职于石家庄市排水管理中心，从事市政工程及工程安全管理相关工作。

生态修复视角下的城市滨水空间规划设计

崔颖欣 陈鹏 靖婧

中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222

[摘要]城市化进程中, 城市滨水空间作为城市与自然环境交汇的重要区域, 承载着丰富的生态系统服务, 但也面临诸多生态问题与挑战。为了实现城市与自然的和谐共生, 需要从生态修复的角度重新审视城市滨水空间的规划设计, 以保护和恢复生态系统功能, 提升城市滨水空间的可持续性。文章旨在探讨生态修复视角下的城市滨水空间规划设计, 以解决城市滨水区域面临的生态问题与挑战, 通过分析生态系统服务在城市滨水空间中的作用, 揭示城市滨水空间面临的生态问题与挑战, 并提出生态修复视角下的城市滨水空间规划设计策略, 以实现生态系统服务的最大化和城市可持续发展的目标。

[关键词]生态修复; 城市滨水空间; 可持续性; 规划设计

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13426

中图分类号: TU992

文献标识码: A

Urban Waterfront Spatial Planning and Design from the Perspective of Ecological Restoration

CUI Yingxin, CHEN Peng, JING Jing

China Water Resources Beifang Investigation, Design and Research Co. Ltd., Tianjin, 300222, China

Abstract: In the process of urbanization, urban waterfront space, as an important area where cities intersect with the natural environment, carries rich ecosystem services, but also faces many ecological problems and challenges. In order to achieve harmonious coexistence between cities and nature, it is necessary to re-examine the planning and design of urban waterfront spaces from the perspective of ecological restoration, in order to protect and restore ecosystem functions and enhance the sustainability of urban waterfront spaces. The article aims to explore the planning and design of urban waterfront spaces from the perspective of ecological restoration, in order to address the ecological problems and challenges faced by urban waterfront areas. By analyzing the role of ecosystem services in urban waterfront spaces, the article reveals the ecological problems and challenges faced by urban waterfront spaces and proposes planning and design strategies for urban waterfront spaces from the perspective of ecological restoration, in order to achieve the maximization of ecosystem services and the goal of sustainable urban development.

Keywords: ecological restoration; urban waterfront space; sustainability; planning and design

引言

随着国家生态文明战略的提出和实施, 生态修复作为实现可持续发展的重要手段备受关注。在城市化进程中, 滨水空间作为城市生态系统的重要组成部分, 受到了严重的破坏和污染^[1]。因此, 从生态修复手段的视角重新审视城市滨水空间的规划设计, 对于解决这些问题、保护和恢复生态系统功能, 提升城市滨水空间的可持续性具有重要意义。

城市滨水空间通过湿地等自然功能, 能够调节水文循环, 净化水质, 保障城市水资源的可持续利用。此外, 城市滨水空间提供了丰富的生境, 为多样性的生物提供栖息与繁衍的场所, 维护了生态系统的稳定性和健康。同时, 生态修复也有助于恢复生物多样性, 保护生态系统稳定性, 提高城市抗灾能力。然而, 城市化过程中, 城市滨水空间遭受了人类活动的破坏, 水体受到污染, 湿地面积减少, 生态系统功能受损, 导致生物多样性的丧失, 生态平衡受到破坏。基于此, 本文通过生态修复手段, 加强城市滨水空间的自然防护功能, 减轻自然灾害对城市的影响, 保护和恢复生态系统功能, 提升城市滨水空间的可持续性, 为

人们创造更加宜居的城市环境^[2]。

1 滨水空间的相关概述

1.1 滨水空间的定义

滨水空间通常指的是城市中靠近河流、湖泊、海洋等水体的地区, 这些地区在城市规划和设计中具有重要的景观、生态和休闲功能。例如, 在《深圳市城市设计标准与准则》中, 河湖岸线周边 200~500m 范围内的建设用地被定义为滨水地区。这种定义不仅考虑到了视觉和接近性的需求, 同时也反映了对水环境保护、水景观利用和提升城市居住环境质量的关注。

在城市发展巾, 滨水空间的规划和设计是提升城市品质、增强市民生活质量和促进环境可持续性的关键组成部分。

1.2 滨水空间的范围

滨水空间的界定因地理位置、城市规划需求和法律法规的不同而有所差异。不同的国家和地区根据各自的环境特点、城市功能需求以及社会文化背景对滨水空间有着不同的定义和规划标准。

在《沿岸管理法》中, 沿岸区域被分为水域和陆域两部分。水域部分包括了从近岸到领海的区域, 而陆域部分

则从海岸线起，向内陆延伸 30 米到 8000 米不等，这个范围可能会扩展到最近的主要道路。这种划分反映了对海岸线保护和利用的广泛关注，强调了从严格的自然保护到城市发展等多重用途的平衡。

《大不列颠百科全书》中，城市滨水区域被定义为靠近水体的 1~2 公里的陆域空间和 200~300m 的水域空间。这种定义更侧重于城市化环境中，滨水区域作为交互和界面的空间，既是自然生态的一部分，也是城市公共空间和文化活动的场所。

《深圳市城市设计标准与准则》将滨水空间具体到河流和湖泊的岸线周围 200~500m 范围内的建设用地。这种界定有助于集中城市发展和生态保护的需求，确保水域及其周边环境的可持续性和公众可达性。

《大伦敦规划》中，滨水空间被称为“滨水蓝带”，这不仅包括河流水系等开放水域，还包括与水域具有功能、视线、文脉等各种联系的区域、建筑和开放空间。这种定义强调了水域与周围城市环境的综合性和互动性，突出了水域对城市的文化和休闲生活的影响。

这些不同的定义和规范显示了滨水空间规划中的复杂性和多样性，反映出滨水空间不仅是城市的重要组成部分，也是生态系统、文化身份和公共生活空间的重要交汇点。通过这些多维度的界定，才能够更好地理解和整合滨水空间的多重价值，实现其生态、社会和经济上的最大利益。

2 城市滨水空间面临的生态问题与挑战

2.1 生态破坏与环境污染

城市滨水空间面临着诸多生态问题与挑战，其中生态破坏与环境污染是最为突出和紧迫的。城市化进程中的快速发展导致了大量的土地开发和建设，不仅使得原本自然的滨水生态系统遭受了破坏，还导致了湿地的消失和河流的淤积。河道的直接填埋、河岸的混凝土化以及湖泊的填土造地等行为，破坏了原有的自然生态格局，削弱了城市滨水空间的生态功能和生态服务能力。工业废水、生活污水、农业面源污染等直接排放和渗漏的污染物质，不仅降低了水体的水质，还影响了水生生物的生存和繁衍。城市滨水空间的生态系统遭受到了外来入侵物种的侵扰，破坏了原有的生态平衡和生物多样性^[3]。

2.2 生态系统退化与生物多样性丧失

城市滨水空间面临生态系统退化与生物多样性丧失的严峻挑战，不仅对城市的生态环境造成了直接影响，也威胁城市居民的生活质量和健康。城市化进程中，城市滨水空间常常受到过度开发和人类活动的破坏，导致生态系统退化。原本丰富多样的湿地、河流和湖泊等生态要素遭受了填埋、围垦和污染等不良影响，生态系统的结构和功能受到了破坏和削弱。这种退化包括水体富营养化、湿地退化、栖息地丧失等，使得城市滨水空间的生态功能受损，无法有效地提供生态系统服务。

由于生态系统退化和人类活动的干扰，许多物种的栖息地受到破坏或丧失，导致物种丰富度和数量减少，生物多样性逐渐下降。特别是一些特有物种和濒危物种，由于栖息地丧失或破坏，生存空间受到限制，面临着生存威胁。这种生物多样性的丧失不仅影响了生态系统的稳定性和健康，也削弱了城市滨水空间的生态景观魅力和生态功能。生态系统退化与生物多样性丧失的问题，不仅影响了城市滨水空间的生态环境质量，也对城市的可持续发展构成了威胁。

3 生态修复视角下的城市滨水空间规划设计策略

3.1 加强对城市滨水空间保护与管理，制定土地利用规划和环境保护政策

生态修复的视角下，加强对城市滨水空间的保护与管理至关重要。首先，制定土地利用规划。土地利用规划应当充分考虑到滨水生态系统的保护需求，合理划分城市滨水空间的功能分区，明确各区域的开发利用方向和限制条件。对于重要的湿地、河流、湖泊等生态核心区，应当严格限制开发建设，确保其生态系统的完整性和稳定性；对于周边的城市绿地、公园等景观带，可以适度开发建设，提升其生态服务功能和城市景观品质。土地利用规划还应注重城市滨水空间与周边区域的协调发展，促进城市的整体生态环境改善和可持续发展。其次，制定环境保护政策。环境保护政策应当包括一系列针对性的法律法规、政策措施和管理制度，旨在保护和恢复城市滨水空间的生态环境和生物多样性。可以建立健全的生态保护补偿机制，对于城市滨水空间中的重要生态区域和生态功能进行保护和补偿，实现生态系统的动态平衡和生态环境的持续改善。此外，加强对城市滨水空间的监测和评估，及时发现和解决存在的环境问题和生态隐患，保障城市滨水空间的生态安全和人类健康。

3.2 注重绿道和碧道的设计与串联

绿道通常指沿自然景观如河流、湖泊或山脉布置的步行和自行车路径，而碧道则特指水域及其周边的绿色通道，这些通道旨在促进生态链接和人类互动。设计时，绿道和碧道应串联重要的自然地标和人文景观，形成一个连续的生态网络。例如，可以通过将绿道延伸至公园、湿地和其他自然保护区，增强生态走廊的连通性。设计中应考虑到功能性与休息空间的需求，沿线驿站可以设置为观鸟点、休闲区或教育中心，使之成为学习和休闲的场所，这些驿站的布局应充分考虑到访客流量和周边环境，以减少对自然生态的干扰^[4]。

同时，要选择合适的铺装材质进行生态修复，因为材质的选择会直接影响地面的透水性和热岛效应。一是选择透水铺装材料，如透水混凝土、沥青和砌石，这些材料可以减少径流，增加地下水补给，并减少热岛效应。这种类型的铺装有助于维护沿线的自然水文条件，并促进地表水的自然循环。二是选择自然材质，如木材、天然石和碎石

不仅美观而且环保，能够与周围的自然景观更好地融合。使用本地材料还可以减少运输过程中的碳足迹，同时支持当地经济。通过这一策略，城市滨水空间不仅能够提供休闲娱乐的场所，还能作为生态修复的重要工具，增强城市的绿色基础设施，提升生态质量和居民生活质量。

3.3 融入城市文化，实现文化的传承与发扬

将生态修复与城市文化融合，通过滨水空间规划设计，可以实现文化资源的有效利用、传承和发展，从而丰富城市生活，提升城市品质。首先，挖掘和保护滨水空间的历史文化遗产。许多城市的滨水地区都有着悠久的历史和丰富的文化底蕴，如古老的码头、传统的建筑、民俗文化等。在规划设计中，应重视对这些历史文化遗产的保护和利用，将其融入滨水空间的建设中，打造具有历史韵味和文化内涵的景观节点和主题区域，如文化广场、文化遗址公园等，以实现文化的传承与发扬。其次，结合当地的民俗风情和艺术表现^[5]。通过引入当地特色的文化活动、民俗节庆、艺术展览等形式，活跃滨水空间的文化氛围，丰富居民的文化生活。例如，可以在滨水公园举办传统文化展示活动，组织民俗表演和手工艺品展销，吸引游客和居民参与，促进文化交流和传播。最后，注重文化教育和文化素养的提升。通过开展文化教育活动、文化主题讲座、文化体验课程等形式，提升居民和游客的文化素养和文化自觉，增强对城市文化遗产的认同感和保护意识，共同参与文化传承与发展的过程，有效丰富城市滨水空间的文化内涵，提升城市品质，促进城市可持续发展。

3.4 满足人性化需求，构建亲水空间

城市滨水空间应创造适宜居民休闲娱乐、体验亲水活动的场所，提升城市滨水空间的生活品质和人们对自然的感知与体验。一是注重景观设计与功能规划的结合。在规划设计中，应考虑到不同人群的需求，设置多样化的功能区域，如散步区、观景平台、户外健身区、儿童游乐区等，以满足居民的休闲娱乐需求。同时，通过合理的布局和景观营造，打造具有亲水特色的公共空间，引导人们亲近水体、感受水景，增强他们对自然的情感认同和归属感。二是注重景观品质与生态环境的协调。注重保护和恢复水体生态系统，提升滨水空间的生态环境品质。通过引入湿地、水生植物、鱼类等生物元素，营造丰富多样的生态景观，增加居民与自然的互动和沟通，提升滨水空间的生态美感和生活品质^[6]。三是注重便捷舒适的服务设施和交通配套。设置便民设施，如休息座椅、公共卫生间、饮水机等，方便居民在滨水空间中活动和休息。加强与城市交通系统的衔接，建设步行道、自行车道等交通设施，提升居民到达

滨水空间的便利性和舒适度，促进人们的活动和交流。

构建亲水空间还需要注重社区参与与共建共享。在规划设计和建设过程中，积极引导社区居民参与，征集意见建议，共同探讨和制定滨水空间的规划方案，增强居民对滨水空间的归属感和责任感。鼓励社区组织开展丰富多样的公共活动，如文化节庆、社区义工活动等，营造和谐共享的社区氛围，促进社会凝聚力和互动交流，以有效提升城市滨水空间的生活品质，促进居民与自然的和谐互动，实现城市滨水空间的可持续发展。

4 结束语

在城市滨水空间规划设计中，生态修复是确保生态系统健康和城市可持续发展的关键。本文从生态修复的视角出发，探讨了城市滨水空间规划设计的重要性，并提出了一系列策略来解决这些挑战。通过对生态系统服务在城市滨水空间中的作用进行分析，可知城市滨水空间在水文循环、生物栖息地、文化景观等方面存在重要价值。然而，城市化进程中的过度开发和污染导致了生态系统功能的退化，使得城市滨水空间面临生态平衡被破坏、生物多样性丧失等问题。因此，需要从生态修复的角度重新审视城市滨水空间的规划设计，以保护和恢复其生态系统功能，提升可持续性发展水平。

通过制定土地利用规划和环境保护政策、生态系统串联、融入城市文化、构建亲水空间等策略，可实现城市滨水空间的生态修复与保护，促进生物多样性恢复、水质改善和环境质量提升，更好提高城市居民的生活品质，为未来世代留下宜居的城市环境。

[参考文献]

- [1] 杨意娜, 黄春晓. 生态触媒视角下滨江区活力营造的设计策略探究——以昆明官渡区巫家坝滨水河道区为例 [J]. 城市建筑, 2024, 21 (7) : 125-129.
 - [2] 刘军华. 生态文明视角下滨水空间规划管控与建设指引思考——以闽江福州段为例 [J]. 城市建筑, 2024, 21 (6) : 26-31.
 - [3] 董杰. 城市滨水空间景观设计的多维度探索 [J]. 花木盆景, 2024 (3) : 86-87.
 - [4] 周志华, 杨玲, 周文军. 北京中心城区河湖滨水空间开放规划构想 [J]. 水利规划与设计, 2023 (12) : 13-15.
 - [5] 龚雪. 基于生态修复与城市更新的滨江公园设计探讨 [J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36 (8) : 108-110.
- 作者简介：崔颖欣（1991.9—），女，大学本科，毕业院校为华北水利水电大学，现就职于中水北方勘测设计研究有限责任公司。

海绵城市理念下的城市河道景观规划设计

李昊洋 张柔祉

齐鲁理工学院，山东 济南 250000

[摘要]近年来，随着极端气候频发，城市一方面在短时间降水时容易出现城市内涝，另一方面在长时间干旱少雨时由于自身下垫面的硬质化特性又容易出现热岛效应。“海绵城市”理念的提出，赋予了城市河道景观“生态修复、雨水调蓄”的新功能。在城市河道景观设计中，除了要注重景观环境的打造符合生态要求外，发挥自然生态功能，利用绿地、湖泊、河道、湿地等自然景观对降水进行疏导与净化，实现城市微环境的改善。

[关键词]海绵城市；河道景观；规划设计

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13429 中图分类号: TU984.18

文献标识码: A

Urban River Landscape Planning and Design under the Sponge City Concept

LI Haoyang, ZHANG Rouzhi

Qilu Institute of Technology, Ji'nan, Shandong, 250000, China

Abstract: In recent years, with the frequent occurrence of extreme weather conditions, cities are prone to urban waterlogging during short periods of precipitation. On the other hand, due to the hardening characteristics of their underlying surfaces, they are also prone to urban heat island effects during long periods of drought and low rainfall. The proposal of the "sponge city" concept endows urban river landscapes with new functions of "ecological restoration and rainwater storage". In urban river landscape design, in addition to focusing on creating a landscape environment that meets ecological requirements, natural ecological functions should be utilized to divert and purify precipitation through natural landscapes such as green spaces, lakes, rivers, and wetlands, in order to improve the urban microenvironment.

Keywords: sponge city; river landscape; planning and design

引言

随着我国城市化进程的快速推进，使得诸多生态问题得以忽视。河道作为生态环境的重要组成部分，当前正面临着大面积的地面混凝土硬化和滨水地带的过度渠化等现状。进而严重削弱了土地原有的吸水能力，加剧了城市热岛效应和城市内涝的现象。这些问题渐渐成为我国城市河道景观当前发展所面临的主要问题。

在此背景下，以海绵城市理念为指导的城市河道景观规划设计则是从生态保护及修复的角度出发，对不同气候特征、地形地貌的河道空间展开分析，因地制宜地提高城市河道的环境整体性与洪水适应性。进而提出城市河道景观规划设计的构建体系，旨在为规划和修复河道景观，发挥河道生态作用提供借鉴与参考。

1 概念

1.1 海绵城市理念

海绵城市是在近些年来新提出的概念，其主要指的是将城市打造为具有海绵特性的生存环境，当城市在遇到自然灾害或者是环境剧烈变化的情况下，城市能够发挥其

“弹性作用”，在一定程度上达成对自然灾害的预防。例如，当城市遭遇到暴雨天气时，城市能够充分发挥其功能，实现吸水、渗水、蓄水以及净水，为城市居民提供良好的

生存环境，避免洪涝影响；当城市遇到干旱气候时，城市能够将以前储存下来的水资源释放出来，缓解水资源不足所带来的危机。在建设海绵城市时，相关工作人员需要秉持着科学、合理、生态有限的原则，将人工措施与自然途径相结合，只有这样才能让雨水得到充分的渗透、积存以及净化。在海绵城市中，水资源的利用率可以达到最大化，能够协助我国有效实现可持续发展的战略目标。为进一步提升海绵城市的作用，工作人员还可以将地表水、地下水等水资源与给排水系统相结合，打造出循环利用的用水模式。

1.2 城市河道景观

城市河道景观指的是城市河道本身及与之相邻的特定地域，它包括水域、岸线和陆地三大部分，涉及到的自然、人为和人文要素均属于景观范畴。从空间构成上看，除河道空间本身外，还可分为水陆交界的岸堤空间和滨河空间。滨河空间作为城市滨水区的边缘地带，具有陆地边界和水体边界的双重功能，由 200~400m 的水体及毗邻的城市陆域空间构成，是一种自然生态与人工建筑相融合的城市公共空间。

2 海绵城市理念下城市河道景观的体系构建

城市河道景观体系的构建应根据具体地区的气候特征注重提升该地区的洪水适应性及雨水滞留性。在降水匮乏地

区，应注重雨水的存储与滞留环节，采取诸如雨水花园、下沉式绿地、人工湿地相应的措施和方法来促进雨水的利用和生态环境的改善。同时，在满足相关规定的前提下可以局部拆除现有人工驳岸，改为生态堤岸，构建城市海绵体。

在雨水充沛地区，重要景观节点的设计必须深入参考当地洪水淹没的详尽水文数据，确保设计避开潜在的洪水威胁区，科学界定出景观区域的安全界限。在顺应自然水流走势的河道内仿照冲击岛屿的形式进行人工造岛，并种植湿生植物，使其不仅能维持河道的土方稳定，还能有效促进河道内生物多样性的提升，也可以在洪水来袭时能够发挥显著的分流滞洪作用，减缓洪水的流速。在防洪区绿化布局方面，应大面积种植耐水淹的植物，形成天然的植物防护屏障，在洪峰到来时能够起到减缓水流速度的作用，进而通过其自身生态修复功能，实现水质净化、泥沙过滤和洪水滞留的效果。海绵城市理念下的城市河道景观设计体系构建旨在全面解决城市山水不显、景观单调、活动空间不足等问题。通过精心地规划与设计，将河流、城市与山脉融为一体，形成一个和谐共生的生态体系。这不仅有助于加强城市与自然氧源的互联互通，还有助于改善城市的微气候环境，最终打造出一个既具生态价值又充满吸引力的高品质线性滨水景观空间。综上所述，笔者总结出如下城市河道景观的构建体系。

2.1 自然河道形态修复

自然河道是地表水循环的重要组成部分，其不仅承载着防洪、排涝、灌溉等基本功能，还是生物多样性的宝库和生态系统的支撑。自然河道的形态、流速、水深等特征都是经过长时间的自然演化和选择形成的，对于维持河流生态系统的平衡和稳定具有重要意义。传统河道建设是在原有河道基础上运用块石与水泥板覆盖或直立式护岸加以改造。这将导致原天然河道形成渠道化、几何化的河道形态，最终造成两侧原有的湿地系统消失，水陆生态系统被破坏，不能发挥其渗水、蓄水的弹性作用。根据“海绵城市”的理念，对受损河道进行修复，使其恢复蜿蜒曲折的自然状态，是城市河道景观设计的重要内容。在具体设计实践中，需结合当地的地形特点，通过拆除硬质护坡、恢复河岸植被等方式，使河道重新具备自然蜿蜒、宽窄不一的特点，进而起到提升河道的生态功能和景观价值的作用。

2.2 河道生态驳岸构筑

早年传统的城市河道驳岸设计通常会过于强调水利功能而忽视生态文明的构建，导致河流生态系统受损。过度的人工干预与硬质化整治破坏了自然风貌，限制了生物多样性的发展。因此，在河道景观设计中，必须改变传统的驳岸设计模式，构建生态型驳岸，通过对河道景观进行优化，恢复和提升河道的自然生态功能，使其成为城市水循环和生态系统的重要组成部分。在具体的设计实践中，首先应尊重自然规律，模拟自然河道的形态和结构，避免过度的人工干预。通过选择适宜的生态材料和技术手段，使驳岸与周围环境相融合，形成自然的过渡带。其次要注重生态功能的恢复和提升，通过种植多样化的水生植物和

湿地植被，构建多层次的生态系统，增强河道的自我修复和调节能力。在保证生态功能的同时，还需考虑驳岸的安全性和稳定性。采用合适的工程技术和材料，确保驳岸能够抵御水流冲刷、风浪侵蚀等自然力作用，保障河道和周边区域的安全。具体来说，生态驳岸设计有如下几种类型。

2.2.1 自然型驳岸

自然型驳岸注重生态系统的保护和恢复，通过在坡脚采用石笼、木桩或浆砌石块等护底，在护底上筑有一定坡度的土堤，并在斜坡上种植植被，实行乔灌草相结合，以达到固堤护岸并美化景观的效果。同时促进水系环境的物质循环和能量交换，维护水系的生态弹性。除了生态功能外，自然型驳岸还注重景观效果的营造。通过不规则的自然形态、丰富的植被层次和色彩搭配，形成自然、简洁而富有变化的水系景观，提升城市或区域的景观品质。

2.2.2 自然原型驳岸

自然原型驳岸强调保持原有岸坡的自然状态，并主要通过植物的保护和配置来实现驳岸的功能。利用植物进行保护性应用，既能稳固河岸、维持河道生态平衡，又能满足居民的使用与观赏需求。在“海绵城市”理念的指导下，通过在临水处种植根系发达且柔韧性较高的喜水性植物，如芦苇、垂柳、池杉等，利用这些植物的生长特性和根系稳固作用，来增强驳岸的抗冲刷能力，保护堤岸不被水流侵蚀。同时，这些植物还能促进生态系统的健康循环，提高生物多样性。

2.2.3 人工自然型驳岸

人工型自然驳岸是一种结合自然生态与人工构造的驳岸设计形式。常以钢筋混凝土、石材、木材为主要材质，搭配相关水生陆生植物而设计出的堤岸，旨在充分发挥其防洪排涝功能。在设计人工自然型驳岸时，需结合当地具体地形地势，对驳岸的空间形态和植物景观进行改造，以创造良好的河道生态环境。当地平面与水平面高度相差过大时，可采取台阶式分层的处理方法，以钢筋混凝土材料或耐水性良好的材料制成梯形箱状框架或其他形式的构造体，以增强驳岸的整体稳定性和抗洪能力。同时在人工构造体中的孔隙，可以形成鱼巢等生态空间，为水生生物提供隐匿和繁衍的场所。这些孔隙可以埋入树枝、种植沉水植物等，以增加生态系统的复杂性和多样性。

2.2.4 格宾网驳岸

网箱式驳岸作为一种新型的城市河道景观设计方式，因其独特的生态功能和景观效果，在城市河道景观建设中得到了广泛应用。该类型驳岸主要由高强度的低碳钢丝或镀锌、锌金属编织而成的网箱构成。这些网箱通常具有良好的透水性和排水功能，内部填充石块、种植土、肥料及草籽等材料进而能够有效缓解内涝、补枯、调节水位，对维护河道的稳定起到重要作用。格宾网驳岸的透水性和生态性还能够增强水体的自净作用，有效防止雨污合流对堤岸的侵蚀，改善水质，维护河道的生态平衡。网箱的规格和形状可以根据具体工程需要进行设计，如直立型、台阶状等，以适应不同的地形和水文条件。

2.3 河道景观要素融合

城市河道景观是连接城市与自然生态环境的桥梁，也是人与自然和谐共处的关键交汇点。而传统的城市河道景观设计由于分段、分地块的开发，往往缺乏统一、整体的规划和引导，难以形成完整、连续的景观体系。因此在河道景观的规划中，需增强各景观要素之间的连通性，对河道及其周边自然生态区域进行全面而协调的考量，确保河道景观与湖泊、公园、森林等水体和陆上景观的有机衔接，共同构成统一而完整的生态体系。同时还应融入当地的历史文化元素，通过雕塑、石刻、文化墙等形式展现城市的文化底蕴和历史传承，增强市民的文化认同感和归属感。以及加强河道周边的基础设施建设，结合河道附近的自行车道、水上交通系统等，提升城市河道景观的可达性和亲水性。

2.4 河道植物群落构建

植物群落构建是海绵城市理念指导下河道景观设计的重要内容。在具体设计实践中，应根据河道的不同区域构建多层次的植物群落。在深水区可以种植一些苦草、金鱼藻等沉水植物；在浅水区可以选取荷花、千屈菜、睡莲、浮萍等挺水植物和浮叶植物种植；而岸边则可以种植诸如池杉、垂柳等湿生植物和耐水湿的木本植物。通过多样化植物群落的构建，可以形成稳定的生态系统，提高河道的自净能力和抗洪能力。此外，季节因素同样不可忽视，应当根据季节变化来合理布局植物景观，确保四季皆有美景。不同植物生态群落的构造还应结合具体城市河道景观规划需求，设计出既符合生态要求又兼具美感的河道景观结构与布局。同时由于不同植物的生长特性不同，需确保植物在生长过程中能够形成错落有致的景观效果，以增强河道景观及生态植物群落的层次性。从而使得植物群落在实现城市河道功能性的同时，还能充分展现其独特的景观价值。海绵城市理念下的城市河道植物群落构建是一个综合性的生态工程，需要遵循生态优先、因地制宜、多样性和景观协调等原则进行科学合理的植物选择和配置。构建稳定的植物群落可以显著提升河道的生态功能和景观效果的同时，还可以改善城市水环境、提升城市品质，有助于推动城市可持续发展和生态文明建设。

2.5 城市风环境营造

城市河道景观的风环境营造对于提升居民的生活质量、促进生态平衡以及美化城市环境具有重要意义。首先应充分考虑地形地貌对风的影响，通过合理的布局使河道能够自然地引入风力，形成舒适的风环境。利用开敞空间引导风力进入，或通过植物群落和地形起伏调整风速和风向。同时在需要减少风力影响的休息区、儿童游乐区等区域，可以通过设置风障，如挡风墙、挡风林等，以起到阻挡强风的作用，营造舒适的休憩环境。河道周边建筑布局应与具体地形地势相结合，尽可能地规划预留出建筑与建筑、建筑与河道景观的廊道，从而形成引风入城的效果，起到改善微气候、缓解城市热岛效应的作用。城市河道景

观的风环境营造需要考虑地形、气候、植被、建筑等多个因素，通过科学规划和精心设计，实现生态、环境、文化、经济和社会等多方面的综合效益。

3 结语

在海绵城市理念指导下，城市河道景观的优化设计不仅是对河道景观规划的一次革新，更是对生态平衡和可持续发展的深度思考与实践。在具体设计实践过程中，应充分体现海绵城市的核心理念，即“渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针。通过增加绿地植被、建设透水铺装、构建生态驳岸等措施，起到雨水的自然积存、自然渗透的效果，进而可以有效解决城市内涝、热岛效应等问题的同时，还能极大地提升城市居民的生活品质。此外，河道景观的优化设计还应注重生态修复与保护，通过种植水生植物、投放微生物等生态措施，恢复河道的自然净化能力，改善水质，维护河道的生态平衡。这些措施的实施不仅能够提升河道的生态价值，还能为城市居民提供更多的休闲娱乐空间，增强城市的生态服务功能。海绵城市理念下的城市河道景观优化设计是一项系统而复杂的工程，需要从多个角度出发，综合考虑城市水资源、生态环境、文化历史等因素。进而打造出既美观又实用、既生态又可持续的城市河道景观，为城市的可持续发展贡献力量。

[参考文献]

- [1] 王苏香. 海绵城市在城市滨水景观设计中的应用探究 [J]. 居舍, 2024(17) : 99-102.
 - [2] 黄如室. 海绵城市概念在城市滨水景观设计中的应用——以南平市赤岸滞洪区公园为例 [J]. 四川建材, 2024, 50(1) : 47-48.
 - [3] 胡毛, 马雯骏, 曾吟啸. 城市双修理念下河道景观设计策略研究——以乌江思南县城段为例 [J]. 绿色科技, 2023, 25(19) : 1-8.
 - [4] 汪渊. 城市河道生态护坡工程设计研究 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(28) : 45-47.
 - [5] 高新颖. 生态水利设计理念在城市河道治理工程中的应用分析 [J]. 水上安全, 2023(6) : 49-51.
 - [6] 童宪. 基于生态修复理念的城市河道景观设计 [J]. 现代园艺, 2023, 46(4) : 93-95.
 - [7] 殷韵, 李浩年, 李平. “城市双修”理念下的河道空间景观设计策略研究——以高淳石固河北延拓宽工程为例 [J]. 华中建筑, 2022, 40(4) : 109-111.
 - [8] 刘敏, 王旭旭, 郑瑞. 基于海绵城市理念下的生态河道治理初探——以上海临港春涟河及紫飞港工程为例 [J]. 净水技术, 2021, 40(6) : 126-133.
- 作者简介：李昊洋（1997.10—），男，汉族，籍贯：山东泰安，齐鲁理工学院艺术学院，助教，硕士学位，艺术设计专业，环境设计方向；张柔祉（1988.2—），女，汉族，籍贯：山东微山，齐鲁理工学院艺术学院，讲师，硕士学位，艺术设计专业，建筑设计及其理论研究方向。

城市排水管网雨污混流成因分析及治理对策探析

滕川

重庆市黔江区建筑工程事务中心，重庆 409000

[摘要]随着我国城市化进程的加快，城市排水系统面临着越来越大的压力。雨污混流问题是城市排水管网中常见的一种现象，它不仅影响了城市环境的整洁，还可能导致水质污染，给城市居民的生活带来不便。因此，文中通过对城市排水管网雨污混流的成因进行分析，提出了相应的治理对策，以期为我国城市雨污混流问题的解决提供参考。

[关键词]城市管线施工；安全隐患；防范对策

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13403

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Cause Analysis and Treatment Countermeasures of Mixed Flow of Rain and Sewage in Urban Drainage Pipe Network

TENG Chuan

Chongqing Qianjiang District Construction Engineering Affairs Center, Chongqing, 409000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization in China, urban drainage systems are facing increasing pressure. The problem of mixed rainwater and sewage is a common phenomenon in urban drainage networks, which not only affects the cleanliness of the urban environment, but also may lead to water pollution and inconvenience to the lives of urban residents. Therefore, the article analyzes the causes of mixed rainwater and sewage in urban drainage networks and proposes corresponding treatment measures, in order to provide reference for solving the problem of mixed rainwater and sewage in Chinese cities.

Keywords: urban pipeline construction; hidden danger; preventive measures

引言

随着城市化进程的加快，城市排水管网需求不断增长，管线施工任务日益繁重。然而，在排水管网施工过程中，存在一些现状不清、雨污分流不彻底等，且与其他管线交叉，存在安全隐患。因此，分析城市排水管网雨污分流成因以及提出有效的防范对策，具有重要的现实意义。

1 城市排水管网雨污混流现状

城市排水管网其正常运行对于维护城市生态环境、保障居民生活秩序具有重要意义。然而，当前我国许多城市的排水系统中普遍存在着雨污混流的现象，这不仅给城市排水系统带来了沉重的负担，也严重影响水环境的质量。

雨污混流是指在雨水与生活污水共同流动的情况下，未经过处理的污水和雨水一同进入排水管网，并在某些条件下混合在一起。该现象的产生原因多样。一方面，由于历史原因，许多城市的排水管网建设标准较低，设计容量不足，难以满足当前城市发展的需求；另一方面，随着城市化进程的加快，城市用地紧张，导致排水管网建设滞后，无法与城市发展同步。此外，部分城市排水管网的布局不合理，也加剧雨污混流的现象^[1]。

雨污混流给城市排水系统带来了诸多问题。首先，雨污混流会降低排水管网的运行效率，增加污水处理的难度。由于雨水和污水具有不同的水质特性，混合流动会导致污水处理设备无法有效分离污染物，从而降低处理效果。其

次，雨污混流容易导致城市内涝现象。在雨季，大量雨水与污水混合流入排水管网，超出其承载能力，使得城市低洼地区出现积水，影响交通和生活秩序。最后，雨污混流还会加剧水环境的污染。混合流中的污水中含有大量的有机物、重金属等污染物，这些物质在排水管网中滞留，容易导致水质恶化，影响水生态环境。针对雨污混流问题，我国政府高度重视，并在“十三五”期间提出了“海绵城市”建设理念，以期通过源头治理、雨水收集和利用等措施，有效减轻雨污混流现象。同时，各地政府也纷纷加大排水管网建设的投入，提高排水设施的标准和容量，优化排水管网布局，以期提高排水系统的运行效率。

2 城市排水管网雨污混流成因分析

2.1 历史原因

我国许多城市排水系统始建于上世纪八九十年代，当时的设计标准较低，难以满足现代城市发展的需求，排水管网在规划设计阶段，未能充分考虑到城市未来的发展需求，导致管网规模和覆盖范围有限，无法适应日益增长的城市人口和扩张的城市面积。此外，当时的设计理念和技术水平相对落后，对排水系统的雨水径流和污水处理能力估计不足，使得排水管网难以应对极端天气和大规模降雨的挑战。

随着时间的推移，排水管网已经逐渐暴露出诸多问题，如设计不合理、管材质量参差不齐等。在建设过程中，部

分城市为了追求经济效益，采用了低质量的管材和施工工艺，导致排水管网存在隐患。另外，由于当时对环境保护意识的不足，排水管网在建设过程中未能充分考虑到雨污分离的重要性，从而为雨污混流现象埋下了伏笔。在过去的几十年里，我国城市化进程加快，城市规模不断扩大，人口密度增加，使得城市排水系统面临着巨大的压力。然而，由于历史原因，许多城市的排水管网并未进行及时的改造和升级，无法适应城市发展的需求，导致城市排水管网在经历长时间的运行后，出现了各种问题，如管道老化、破损、淤积等，进一步加剧了雨污混流的现象。此外，在城市发展的过程中，土地利用方式和产业结构发生了很大变化，使得城市排水负荷分布发生了改变，一些原本规划合理的排水区域，由于周边土地利用的变化，可能导致排水管网的负荷超出设计范围，进而引发雨污混流问题。

总之，在过去的城市建设中，排水管网的设计标准低、建设质量参差不齐、未能及时改造升级，以及城市发展导致负荷变化等因素，共同导致了雨污混流问题的产生。为了改善这一状况，有必要对现有的排水管网进行排查、改造和升级，提高排水系统的雨水处理能力和污水处理效果，以适应现代城市的发展需求。

2.2 规划原因

在城市发展的历程中，排水管网的布局规划显得尤为重要。在实际的城市规划过程中，发现部分区域的排水管网布局存在不合理之处，主要表现在雨污分流的不彻底上。由于历史遗留问题或规划理念的局限，城市的排水管网未能实现有效的雨污分流，导致雨水与污水在某些区域混合，不仅影响城市的环境质量，也给城市的排水系统带来沉重的负担。另一方面，土地资源的紧张也是我国城市规划中面临的挑战，在排水管网的建设过程中，部分城市由于土地资源的紧张，未能充分考虑未来发展的需求，导致排水管网的规模不足，当城市发展超出预期，排水管网将难以应对，会引发一系列的城市问题。例如，在山区或丘陵地带，由于地势起伏较大，排水管网的布局需要更加复杂，以适应地形的变化^[2]。然而，在实际的城市规划中，部分规划者未能充分考虑到这一点，导致排水管网的建设效果差。此外，城市规划中的排水管网布局问题还体现在应急处理能力的不足上，在一些城市，排水管网的布局和设计缺乏灵活性，当遇到极端天气，如暴雨等，往往无法及时有效地进行应急处理，不仅会对城市居民的日常生活造成影响，还可能引发一系列的社会问题。

2.3 管理原因

城市排水管网的管理，牵涉到众多部门，如建设、环保、水利等。在实际工作中，这些部门之间的沟通协作却并不顺畅。信息不通，责任不明确，导致排水管网的维修、改造工作常常无法得到及时有效的开展。

虽然我国已经制定了一系列关于城市排水管网管理

的法律法规，但在实际执行中，这些法律法规往往难以得到有效的落实，不仅导致管理工作的混乱，也使得城市排水管网雨污混流问题难以得到根本解决。建设部门在排水管网的设计和施工过程中，往往过于注重进度，而忽视了质量，导致排水管网在投入使用后，会出现各种问题。其次，环保部门在监管排水管网时，由于缺乏专业技术和设备，往往无法做到精准有效的监管。再次，建设、规划和维护部门在排水管网的规划和改造过程中，由于缺乏与其他相关部门的沟通，很难做到全面考虑，导致排水管网的规划和改造往往无法满足实际需求。此外，城市排水管网的管理资金也往往无法得到充足的保障。一方面，政府对排水管网管理的投入不足，导致管网维修、改造资金短缺。另一方面，企业和个人在排水管网管理中的责任不明确，导致管理资金无法得到有效的补充。

2.4 自然原因

我国是地域广阔、气候多样的国家。在南方多雨地区，雨水量大，排水管网设计难度较大。部分城市地处山区，地形起伏较大，也给排水管网建设带来一定的挑战。由于南方多雨地区的雨水量大，排水管网的设计和建设面临着巨大的压力，雨水季节，排水管网往往难以承受短时间内的大量雨水，导致城市内涝等问题。此外，由于南方地区地下水丰富，排水管网在设计时还需要考虑地下水的补给和排泄问题，无疑增加了设计的复杂性。另一方面，部分城市地处山区，地形起伏较大，给排水管网的建设带来了极大的困难。在这种情况下，排水管网的设计和建设需要充分考虑地形地貌因素，采取合适的工程措施，以确保排水系统的正常运行。同时，山地城市的排水管网建设还需要注意防止地质灾害，如泥石流、山体滑坡等，以确保城市的安全运行。

3 城市排水管网雨污混流治理对策

3.1 优化排水管网设计

首先，需要合理预测城市发展趋势，以适应未来城市人口增长和经济发展带来的挑战。这就要求在设计排水管网时，要充分考虑城市未来的发展需求，提高排水管网的设计标准，确保其能够满足未来城市的发展需要。其次，优化排水管网的管道布局。合理的管道布局可以有效地提高排水管网的运行效率，减少雨污混流的现象。因此，需要根据城市的具体情况进行科学的规划，合理安排排水管道的走向和覆盖范围，以达到最佳的排水效果。最后，提高排水管网的设计流量。设计流量的合理性直接关系到排水管网的运行效率和雨污混流的治理效果^[3]。因此，需要在设计排水管网时，充分考虑各种因素，如城市地形、气候条件、降雨量等，以确保排水管道的设计流量能够满足实际需求。

综上所述，优化排水管网设计是治理城市排水管网雨污混流问题的关键。只有通过合理预测城市发展趋势、优

化管道布局和提高设计流量，才能有效地解决雨污混流问题，提高城市排水系统的运行效率和环保水平。

3.2 提高施工质量

(1) 加强对施工材料的管理。施工材料的质量直接关系到排水管网的施工质量，因此，必须对施工材料进行严格的质量检测，确保施工材料的质量符合国家标准。同时，还需要加强对施工工艺的培训，提高施工人员的施工技能，确保施工过程中的质量问题得到及时的解决。

(2) 加强对施工队伍的监管。施工队伍的素质直接影响到施工质量，因此，必须加强对施工队伍的监管，确保施工队伍遵守施工规范，严格按照施工方案进行施工。此外，还需要建立完善的考核机制，对施工队伍的施工质量进行评估，对不合格的施工队伍进行处罚，促使其提高施工质量。

(3) 严格执行施工标准。施工标准是施工过程中的行为准则，只有严格执行施工标准，才能确保施工质量。因此，必须加强对施工标准的宣传和培训，提高施工人员对施工标准的认识和遵守。同时，还需要加强对施工过程的监督检查，对违反施工标准的行为进行及时的纠正，确保施工质量。

(4) 对施工过程中的质量问题进行严格排查，发现问题及时整改。施工过程中的质量问题可能会对排水管网的正常运行产生严重影响，因此，必须对施工过程中的质量问题进行严格的排查，发现问题及时整改。同时，还需要建立完善的质量问题反馈机制，对质量问题进行跟踪管理，确保质量问题得到及时的解决。

3.3 加强运维管理

(1) 建立健全排水管网运维管理制度。这包括制定完善的管网运维管理规章制度，明确各级管理人员和运维人员的职责和权利，建立健全管网运维管理考核机制，确保运维工作的顺利开展。同时，还要加强对运维人员的培训，提高他们的业务水平和责任心，确保他们能够熟练地掌握运维技能，为排水管网的安全运行提供保障。

(2) 定期对排水管网进行清淤、维修。清淤、维修工作应按照规定的周期进行，以确保管网始终保持良好的运行状态。在清淤过程中，要采用科学、高效的方法，如机械清淤、人工清淤等，确保管网内污垢、杂物得到彻底清除。维修工作则要针对管网存在的破损、老化等问题，及时进行修复或更换，防止事故发生。

(3) 加强对管网监测的投入。可以运用现代技术手段，如物联网、大数据等，对排水管网进行实时监测，掌握管网的运行状况。通过监测数据，可以及时发现管网存在的问题，如流量异常、水位预警等，为运维管理提供科学依据，同时监测系统还可以实现对管网运行状况的预测分析，帮助提前预警，防患于未然^[4]。

3.4 雨污分流措施

混流现象不仅会导致水质污染，还会对城市的生态环境和居民的生活质量产生不良影响。在条件允许的地区，应积极推进雨污分流制度，合理规划雨污管道，降低雨污水混流现象。实施雨污分流制度，可以有效地将雨水和污水分开，使得雨水通过雨水管道排放，污水通过污水管道排放，从而避免了雨水和污水混合排放，减少水污染。对已建成的雨污分流区域进行排查，确保分流效果，也是治理城市排水管网雨污混流的重要措施。通过对已建成的雨污水混流区域进行排查，可以及时发现和解决分流效果不理想的问题，从而保证雨污分流制度的有效实施。同时，对于未实施雨污分流制度的地区，应进行合理规划，避免建设过程中的不当建设导致雨污水混流现象的发生。除了推进雨污分流制度，还可以采取一些其他的治理措施。例如，可以加强城市的排水设施建设，提高排水设施的覆盖率，使得城市的每一个角落都能得到有效的排水^[5]。此外，还可以采取一些技术手段，如设置雨污水混流监测设备，对混流现象进行实时监测，及时发现和处理问题。

总的来说，城市排水管网雨污水混流治理对策的实施需要多方面的努力，需要政府、企业和社会各界的共同参与。只有通过合理的规划和设计，科学的运营和管理，才能有效地治理城市排水管网雨污水混流问题，改善城市的水环境，提升城市居民的生活品质。

4 结语

城市排水管网雨污水混流现象成因复杂，需从设计、施工、运维等多方面进行综合治理。通过优化设计、提高施工质量、加强运维管理和实施雨污分流措施，改善我国城市排水管网雨污水混流现象，提升城市水环境质量。

【参考文献】

- [1] 林修咏. 福州四城区城市排水管网改扩建工程建设技术探讨[J]. 科学技术创新, 2024(6): 204-207.
 - [2] 吴波, 陈昊. 城市排水管网雨污水混流成因分析及治理对策浅析[A]2023 年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册)[C]. 《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司, 北京: 施工技术编辑部, 2023.
 - [3] 刘雪文. 城市排水管网雨污水分流工程改造技术难点和应对措施的研究 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(30): 192-195.
 - [4] 胡慧君, 罗涛, 吴岩, 刘明朗. 城市老旧排水管网更新改造技术[J]. 安装, 2023(4): 39-43.
 - [5] 王志华. 城市排水管网雨污水混流成因分析及治理对策浅析[J]. 绿色环保建材, 2020(5): 67-69.
- 作者简介：滕川（1986.10—），毕业院校：重庆大学网络教育学院，所学专业：土木工程，当前就职单位：重庆市黔江区建筑工程事务中心，职称级别：中级。

市政道路施工中沥青路面平整度的影响因素分析

许冬青

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300467

[摘要]市政道路的建设和维护对于城市交通和市民出行至关重要，而沥青路面作为市政道路的主要路面类型，其平整度直接关系到行车安全和行驶舒适性。因此，文章通过分析材料配合比、不均匀沉降、作业人员水平和施工工艺等因素，探讨了其对路面平整度的影响，同时提出加强路基施工控制、合理控制沥青混合料级配、加强路面平整度控制、保证松铺系数和处理接缝等措施，以提高沥青路面的平整度和质量。

[关键词]市政道路；沥青路面；平整度；因素分析；措施控制

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13436

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Analysis of Influencing Factors on the Smoothness of Asphalt Pavement in Municipal Road Construction

XU Dongqing

PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300467, China

Abstract: The construction and maintenance of municipal roads are crucial for urban transportation and citizen travel, and asphalt pavement, as the main pavement type of municipal roads, directly affects driving safety and comfort in terms of its smoothness. Therefore, the article explores the impact of factors such as material mix ratio, uneven settlement, operator level, and construction technology on road surface smoothness. At the same time, measures are proposed to strengthen roadbed construction control, reasonably control asphalt mixture gradation, enhance road surface smoothness control, ensure loose paving coefficient, and handle joints to improve the smoothness and quality of asphalt pavement.

Keywords: municipal roads; asphalt pavement; smoothness; factors analysis; measure control

引言

在城市建设中，市政道路的施工质量直接关系到城市交通的安全性和顺畅性，而沥青路面作为市政道路的主要路面类型，在城市道路建设中占据着重要地位，其平整度是影响道路行车安全和行驶舒适性的重要因素^[1]。

沥青路面的平整度不仅仅是对材料、工艺和设备等方面的要求，更是对道路工程质量管理的一种要求，控制市政道路施工中沥青路面的平整度对于提高道路使用寿命、降低维护成本和提升交通运输效率具有重要意义。而随着城市化进程的加快和交通运输需求的增加，城市道路建设和维护任务日益繁重，对施工质量和路面平整度的要求也越来越高。基于此，本文研究市政道路施工中沥青路面平整度的影响因素及其控制措施，对于提高城市道路施工质量、保障交通安全、降低维护成本、促进城市经济发展具有重要的实践价值。

1 市政道路施工中沥青路面平整度的影响因素

1.1 材料配合比

沥青路面的配合比是指不同原材料按一定比例混合而成的混合料，其质量直接影响到路面的性能和平整度。首先，材料配合比直接影响到沥青混合料的性能和稳定性^[2]。沥青混合料中，不同原材料的比例和配合关系直接决定了混合料的质量和性能。沥青的含量过高会导致混合料过软，易于变形和沉降，从而影响路面的平整度；而沥青含量过

低则会使混合料过硬，降低路面的柔性和抗裂性，增加了路面开裂的风险。因此，设计配合比时，需要根据道路使用条件、交通量、气候环境等因素综合考虑，合理调配各种原材料的比例，以确保混合料具有良好的性能和稳定性。其次，过高或过低的沥青含量会影响到沥青混合料的密实性和稠度，从而影响到路面的耐久性和抗老化能力。过高的沥青含量容易导致混合料过软，增加了路面的沉降和变形风险，降低了路面的抗压强度和耐久性；而过低的沥青含量则会导致混合料过硬，增加了路面的裂缝和龟裂的可能性，降低了路面的使用寿命。设计配合比时，充分考虑到沥青的含量和品质，确保混合料具有良好的稳定性和耐久性，提高路面的抗老化能力和使用寿命。最后，合理的配合比设计可提高沥青混合料的均匀性和稳定性，降低施工过程中的难度和风险，有利于保证施工质量和路面平整度。振动压实过程中，合理的配合比可以提高混合料的密实性，降低路面的沉降和变形风险，实际施工中，需要严格控制沥青混合料的配合比，确保其符合设计要求，以提高施工效率和保证路面质量。

1.2 不均匀沉降问题

不均匀沉降指的是道路路面在使用过程中由于路基不均匀沉降而导致的路面高低起伏不平现象，不仅影响车辆行驶的舒适性，还增加车辆的损耗，甚至可导致交通事

故的发生，因此需要引起重视。首先，道路建设过程中，如果路基的夯实不到位或者路基的承载力不均匀，会导致路面在使用过程中出现不均匀沉降的问题，如路基的夯实不到位，路基的密实性不足，易于发生沉降，从而影响到路面的平整度。其次，在部分地区，地下水位较高或者土质较松软，易发生地基的不稳定和沉降现象；同时，地下水位发生变化或者降雨等外界因素的影响下，地基的稳定性会受到影响，导致路面的不均匀沉降。另外，道路施工过程中，施工工艺不合理或者施工质量控制不严格，导致路基的夯实不到位或者路面厚度不均匀等问题，从而影响到路面的平整度，如沥青铺装过程中，沥青混合料的铺设厚度不均匀或者铺设速度过快，就导致路面厚度的不均匀，增加路面沉降的风险。

1.3 作业人员水平

作业人员的技术水平和操作技能决定了施工过程中各项工作的质量和效率，包括振动压实、沥青铺装、路面修补等环节，提高作业人员的水平，加强技术培训和操作指导，对于保证沥青路面的平整度至关重要^[3]。首先，作业人员的技术水平直接影响到振动压实过程的质量。熟练掌握振动压实设备的操作技能，能够保证振动板的压实力度和均匀性，从而提高路面的密实度和平整度；而技术水平不足或者操作不当，则可能导致路面的密实度不足或者压实不均匀，影响到路面的平整度和耐久性。其次，作业人员的水平还影响到沥青铺装过程的质量。熟练掌握沥青铺装设备的操作技巧，能够保证沥青混合料的均匀性和铺设厚度的一致性，从而提高路面的平整度和表面质量；而操作不熟练或者技术不到位，则可能导致沥青混合料的铺设厚度不均匀或者铺设速度过快，影响到路面的平整度和质量。另外，作业人员的水平还影响到路面修补和维护过程的质量。在路面使用过程中，可能会出现裂缝、坑洼等问题，需要进行及时的修补和维护，熟练掌握修补材料的选用和修补工艺的操作技能，能够保证修补部位的密实度和平整度，延长路面的使用寿命，影响到修补质量和路面的平整度。

1.4 施工工艺上的影响

施工工艺涵盖了从路基夯实到沥青混合料铺装再到压实等一系列环节，每一个环节都对路面的平整度和质量有着直接的影响^[4]。首先，路基的夯实质量。路基夯实不到位或者夯实不均匀，路面在使用过程中出现不均匀沉降，从而影响到路面的平整度和舒适性，施工过程中，需要采取科学有效的夯实方法，严格控制夯实质量，确保路基的密实性和稳定性，为后续的沥青路面施工奠定良好的基础。其次，沥青混合料的铺装工艺。沥青混合料的铺装质量直接影响到路面的平整度和表面质量。如果沥青混合料的铺装厚度不均匀或者铺装速度过快，就会导致路面表面的不平整和坑洼现象，影响到行车的舒适性和安全性，沥青路面铺装过程中，需要严格控制沥青混合料的铺装厚度和铺装速度，确保路面的平整度和表面质量。最后，振动压实

工艺。振动压实直接影响到路面的密实度和平整度，振动压实设备的操作不当或者压实力度不均匀，路面的密实度不足或者压实不均匀，影响到路面的平整度和耐久性，在振动压实过程中，需采取科学有效的压实方法，严格控制压实质量，确保路面的密实度和平整度。

2 控制市政道路施工中沥青路面平整度的措施

2.1 加强路基的施工控制强度

路基是支撑道路沥青路面的基础，其质量直接影响到路面的稳定性和平整度。首先，加强路基的土质改良。在道路施工前，对路基进行土质改良可以提高路基的承载力和抗沉降能力，从而减少路面的变形和沉降，保证路面的平整度。土质改良可以采用加固土壤、填充砂石料等方法，通过提高路基的密实度和稳定性，确保路基在使用过程中不会出现不均匀沉降的问题，从而提高沥青路面的平整度和耐久性。其次，加强路基的夯实质量。在道路施工过程中，科学合理的夯实方法和严格控制夯实质量，可以确保路基的密实度和稳定性，减少路面的变形和沉降，提高沥青路面的平整度。夯实质量的控制包括对夯实设备的选择和调试、对夯实作业的监督和检查等环节，需要严格执行施工规范和质量标准，确保夯实质量符合设计要求。最后，加强路基的排水设计和施工。通过科学合理的排水设计和施工，有效防止路基受到水分侵蚀和软化，保持路基的稳定性和密实度，减少路面的沉降和变形，提高沥青路面的平整度。排水设计和施工包括对排水设施的设置和布置、对排水管道的铺设和连接、对排水系统的检测和调试等环节，需要严格按照设计要求和施工规范进行操作，确保排水系统的畅通和有效性。

2.2 合力控制沥青混合料的级配

沥青混合料的级配指的是其中各种粒径的骨料在混合料中的比例分布，对沥青路面的密实度、耐久性和平整度都有着重要的影响^[5]。第一，合力控制沥青混合料的级配提高混合料的均匀性和稳定性。通过科学合理地选择骨料的级配比例，可以使得沥青混合料中各种粒径的骨料分布均匀，避免出现大颗粒骨料集中或者小颗粒骨料过多的情况，从而保证混合料的均匀性和稳定性。均匀的级配分布能够使得沥青混合料在施工过程中更加易于铺设和压实，减少路面的坑洼和凹凸，提高路面的平整度。第二，合力控制沥青混合料的级配可优化路面的力学性能。不同粒径的骨料在沥青混合料中具有不同的填充和稳定作用，合理控制级配可以使得沥青混合料具有更好的力学性能，包括抗压强度、抗拉强度和抗疲劳性等，提高沥青路面的承载能力和耐久性，减少路面的变形和损坏，从而保证路面的平整度和使用寿命。第三，合力控制沥青混合料的级配还可减少路面的沉降和变形。道路使用过程中，沥青路面会受到车辆和气候等因素的影响而发生沉降和变形，影响到路面的平整度和舒适性，通过合理控制级配，可使得

沥青混合料具有更好的稳定性和抗沉降能力，减少路面的沉降和变形，保持路面的平整度和舒适性。

2.3 保证松铺系数

松铺系数是指沥青混合料在铺设过程中的密实程度，直接影响到路面的平整度和质量。因此，采取有效措施保证松铺系数是确保沥青路面平整度的重要手段。其一，采用适当的松铺设备。在沥青路面铺设过程中，采用适当的松铺设备能够有效地控制沥青混合料的密实程度，保证铺设的混合料均匀、平整。常见的松铺设备包括松铺机、压路机等，这些设备能够在沥青混合料铺设的同时进行有效的压实，确保路面的平整度和密实度。同时，对松铺设备进行良好的维护和调试，保证其正常工作状态。其二，合理控制沥青混合料的温度。沥青混合料的温度对于其松铺性能有着重要影响。在铺设过程中，如果沥青混合料的温度过低或者过高，都会影响到其松铺性能，导致铺设后的路面出现坑洼、凹凸等问题，影响到路面的平整度，施工前需要对沥青混合料进行适当的预热或者冷却，使其达到适宜的铺设温度，保证松铺系数的稳定性和一致性。其三，科学合理地控制施工速度。在沥青路面铺设过程中，施工速度过快或者过慢都会影响到松铺系数的稳定性。如果施工速度过快，可能导致沥青混合料的铺设厚度不均匀或者铺设质量不稳定；而如果施工速度过慢，则可能导致沥青混合料的温度变化过大，影响到其松铺性能。因此，施工过程中需要根据实际情况合理控制施工速度，确保沥青混合料的铺设厚度和质量稳定。

2.4 做好接缝上的处理工作

接缝是沥青路面中的薄弱环节，如果处理不当，容易出现裂缝、坑洼等问题，影响到路面的平整度和使用寿命，采取有效措施做好接缝上的处理工作至关重要。首先，合理选择接缝材料。接缝材料的选择应考虑其与沥青混合料的相容性、耐久性和抗老化性能等因素。常用的接缝材料包括沥青胶、沥青胶带、沥青封口胶等，这些材料能够有效填充接缝，防止水分渗入，保护路面不受损坏。在选择接缝材料时，还需考虑其与路面施工条件和使用环境的适配性，确保接缝材料的性能和效果符合设计要求和施工规范。其次，采用合适的接缝处理方法。根据接缝的类型和

尺寸，选择合适的处理方法进行施工。常见的接缝处理方法包括热熔封缝、冷割开槽、填充密封等。在施工过程中，需要确保接缝处理的质量和效果，防止出现漏填、漏封、封闭不严等问题，影响到路面的平整度和耐久性。同时，考虑接缝处理工作与路面施工的配合，确保施工进度和质量的统一性。最后，加强接缝处的维护和修补。在路面使用过程中，接缝处容易受到车辆行驶和气候变化等因素的影响而产生损坏和裂缝，定期对接缝处进行检查和维护，及时发现并修补接缝处的损坏，防止其进一步扩大和影响到路面的平整度。维护和修补工作包括清除接缝处的杂物和积水、填补裂缝和坑洼、重新封闭接缝等，需要根据实际情况采取相应的措施，确保路面的平整度和安全性。总之，通过合理选择接缝材料、采用合适的处理方法以及加强接缝处的维护和修补，可有效防止接缝处的损坏和裂缝，保护路面不受损坏，提高路面的平整度和使用寿命，为市民出行提供安全、舒适的交通环境。

3 结束语

通过对市政道路施工中沥青路面平整度的影响因素进行分析，并提出了相应的控制措施，可有效提高沥青路面的平整度和质量，保障市民出行安全和舒适。在未来的道路建设和维护工作中，应重视施工过程中的细节问题，不断完善施工技术和工艺，提高沥青路面的整体质量水平。

[参考文献]

- [1] 丁文玲,王进.道路施工中沥青路面平整度影响因素及控制方法[J].天津建设科技,2023,33(4):35-37.
 - [2] 何仕居.市政道路沥青路面平整度的施工技术应用与思考[J].科技创新与应用,2022,12(12):166-169.
 - [3] 胡海.公路和市政道路沥青路面平整度的施工质量控制[J].建筑技术开发,2021,48(19):132-133.
 - [4] 王勇.道路施工中沥青路面平整度的影响因素分析[J].四川建材,2021,47(6):145-146.
 - [5] 韩小福.探讨市政道路施工中沥青路面平整度的影响因素[J].中国住宅设施,2020(2):121-122.
- 作者简介：许冬青（1988.1—），单位名称：中国电建集团港航建设有限公司，毕业学校和专业：山东大学 土木工程。

无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用分析

刘明东

江苏现代工程检测有限公司，江苏 南京 210000

[摘要]随着我国基础设施建设的快速发展，桥梁工程在国民经济中的地位日益重要。然而，桥梁的安全性和可靠性问题也日益凸显。为确保桥梁工程的安全运行，定期对其进行检查和评估是必不可少的。本篇文章主要探讨无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用，分析其优势和局限性，并对未来发展趋势进行展望。

[关键词]无人机；倾斜摄影；桥梁检测；应用分析

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13418

中图分类号: U446

文献标识码: A

Application Analysis of Unmanned Aerial Vehicle Oblique Photogrammetry Technology in Bridge Inspection

LIU Mingdong

Jiangsu Modern Engineering Testing Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: With the rapid development of infrastructure construction in China, bridge engineering has become increasingly important in the national economy. However, the safety and reliability issues of bridges are becoming increasingly prominent. Regular inspections and evaluations are essential to ensure the safe operation of bridge engineering. This article mainly explores the application of unmanned aerial vehicle oblique photogrammetry technology in bridge inspection, analyzes its advantages and limitations, and looks forward to future development trends.

Keywords: unmanned aerial vehicle; oblique photography; bridge inspection; application analysis

引言

桥梁作为我国交通基础设施的重要组成部分，承担着巨大的运输任务。然而，由于长期受到各种自然因素和人为因素的影响，桥梁的安全性和可靠性问题日益凸显。为了确保桥梁工程的安全运行，定期对其进行检查和评估是必不可少的。传统的桥梁检测方法往往需要耗费大量的人力、物力和时间，而且检测结果的精度也受到很大限制。近年来，无人机倾斜摄影测量技术作为一种新兴的检测手段，逐渐在桥梁检测领域得到应用。本文将对无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用进行分析。

1 无人机倾斜摄影测量技术原理及优势

倾斜摄影测量技术其核心优势在于提供更为全面和精确的地理信息数据。该技术通过无人机平台上安装的倾斜摄影相机实施，相机相对于飞行器呈倾斜姿态，故此得名。相较于传统的正射摄影技术，无人机倾斜摄影测量技术显得尤为突出，主要在于它能够捕捉到地面目标的三维信息和丰富的纹理信息，进而在各种应用场景中大大提升数据处理的准确度和实用性。

倾斜摄影相机通常具备多个镜头，从不同的角度同时拍摄地面物体，这样获取的图像资料更为立体，能够更真实地反映出地物的实际形态。通过先进的摄影测量软件进行处理，这些图像可以转化为精确的三维坐标，为城市规划、地形测绘、灾害评估等多个领域提供高精度的数据支

持。在实施无人机倾斜摄影测量时，无人机的飞行路径和速度、相机的曝光时间和参数都需要精确控制。该因素都将直接影响到最终测量数据的质量和准确性。因此，倾斜摄影测量技术通常需要配合先进的无人机操控技术和精准的时间同步系统，确保在整个拍摄过程中，各个镜头获取的图像数据保持一致性和高同步性。

此外，无人机倾斜摄影测量技术还具有以下优势。(1)高效性。无人机搭载的倾斜摄影相机能够迅速地对大面积区域进行拍摄，相较于传统的摄影测量方法，大幅提高了检测效率。无人机可以迅速抵达拍摄区域，不受地面条件限制，无论是复杂的地理环境还是高空作业，都能迅速展开工作，从而在短时间内完成对大面积区域的拍摄任务。

(2)准确性。该技术能够获取到地物的立体信息，从而提高检测结果的精度。传统的摄影测量方法只能获取到地物的二维信息，而无人机倾斜摄影测量技术可以获取到地物的三维信息，使得检测结果更加真实、准确。通过立体影像，可以更精确地测量地物的大小、形状和位置，为工程设计和施工提供更为精确的数据支持^[1]。(3)安全性。无人机无需接触桥梁结构，可以在远离桥梁的位置进行拍摄，降低了检测过程中的安全风险。在桥梁检测等高空作业中，运用无人机倾斜摄影测量技术，可以避免检测人员进入危险区域，降低事故发生的概率。同时，无人机可以连续工作，避免了因人工操作失误或疲劳导致的安全问题。

2 无人机倾斜摄影测量关键技术研究

2.1 多视角影像特征点识别与匹配

无人机倾斜摄影测量技术其关键技术通过多视角影像特征点识别与匹配。多视角影像特征点识别与匹配是无人机倾斜摄影测量中的一个重要环节,其主要目的是从多个视角拍摄的影像中识别出特征点,并通过匹配这些特征点来获取场景的几何信息和纹理信息。

在多视角影像特征点识别与匹配过程中,首先,对影像进行预处理,以提高特征点识别的准确性和匹配的成功率。预处理主要包括影像去噪、影像增强和影像分割等步骤。通过对影像进行预处理,可以有效地去除噪声和干扰,增强影像中的特征信息,并准确地提取出感兴趣的区域。其次,需要利用特征点识别算法来检测影像中的特征点。特征点是指在影像中具有独特性和稳定性的点,如角点、边缘点和纹理点等。常见的特征点识别算法有SIFT、SURF和ORB等算法通过计算影像中点的局部特征,如梯度、曲率和二值化等,来识别出特征点^[2]。在特征点识别完成后,需要进行特征点匹配。特征点匹配是指将不同视角拍摄的影像中的特征点进行对应。特征点匹配的准确性直接影响到后续几何信息和纹理信息的获取。常见的特征点匹配算法有暴力匹配、FLANN和Brute-Force等算法通过计算特征点之间的相似性度量,如欧氏距离、汉明距离和互信息等,来找到特征点之间的最佳匹配。

为提高特征点识别和匹配的准确性,还可以利用机器学习和深度学习技术进行优化。例如,可以利用卷积神经网络(CNN)来提取影像中的特征信息,并利用支持向量机(SVM)或随机森林(RF)等算法来进行特征点识别和匹配。综上所述,多视角影像特征点识别与匹配是无人机倾斜摄影测量中的关键技术,通过对影像进行预处理、特征点识别和匹配,可以获取场景的几何信息和纹理信息,从而为后续的地图制作、城市规划和环境监测等应用提供支持。

2.2 三维表面重建

无人机倾斜摄影测量技术其关键是通过多视角影像匹配技术得到密集特征点云,并自动构建不规则三角网表面,从而生成高精度、高分辨率的三维数字地面模型(DSM)。这种方法可以有效地表达地表和地物的三维结构特征,为地形分析和地籍管理提供了重要的技术支持。

在倾斜摄影测量中,无人机携带高清相机,从多个角度对地面进行拍摄,获取大量的影像数据。通过多视角影像匹配技术,可以将这些影像数据进行融合,得到地面上的密集特征点云。这些特征点云包含了地面上的详细信息,如位置、形状和纹理。其次需要将这些特征点云自动构建成不规则三角网表面。不规则三角网是一种常用的三维表面建模方法,将地面上的点分为多个三角形面片,每个面片都与相邻的面片共享一个顶点,可以有效地表示地面的

复杂形状和纹理信息。通过不规则三角网表面建模,可以生成高精度、高分辨率的三维数字地面模型(DSM)。DSM是一种表示地表三维结构的信息模型,可以用来分析地形的坡度、坡向等地形参数,为地籍管理和土地利用规划提供重要的数据支持^[3]。然而,在实际应用中,由于无人机的飞行高度和拍摄角度的限制,获取的点云数据往往是超高密度的散乱点云。为解决该问题的,需采用基于散乱点的三角网重构技术。该技术通过对散乱点云进行预处理,如滤波和降噪等,去除其中的噪声点和异常点。然后,利用点云中的邻近关系,通过一定的算法将散乱点云构建成三角网表面,可有效地处理超高密度散乱点云,生成准确的三维曲面模型。

总之,无人机倾斜摄影测量技术通过多视角影像匹配技术和不规则三角网表面建模,可以生成高精度、高分辨率的三维数字地面模型(DSM)。而基于超高密度散乱点云建立曲面模型是实现这一目标的关键技术。通过采用基于散乱点的三角网重构技术,可以有效地处理散乱点云,生成准确的三维曲面模型。

3 无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用

3.1 桥梁外观检测

无人机倾斜摄影测量技术对桥梁的外观进行详细检测,包括桥梁表面的裂缝、脱落、腐蚀等病害,通过处理和分析拍摄到的影像数据,可以准确地判断桥梁表面的损坏情况,为桥梁维修和加固提供依据。

在桥梁外观检测方面,传统的桥梁检测方法通常需要停工或封锁交通,不仅费时费力,而且对交通的影响较大。而无人机倾斜摄影测量技术可以在不停工、不封锁交通的情况下进行,大大提高检测的效率和安全性。通过无人机倾斜摄影测量技术获取的影像数据,可以利用专业软件进行处理和分析,能够识别出桥梁表面的裂缝、脱落和腐蚀等病害,并对其进行量化分析。这不仅提高了检测的精度,而且可以快速生成详细的检测报告,为桥梁维修和加固提供科学的依据。此外,通过对比不同时段的检测数据,可以对桥梁的损坏情况进行监测和评估,为桥梁的长期维护提供参考,例如无人机可以搭载多种传感器,如激光雷达或红外相机,以获取更加丰富和详细的数据。此外,无人机检测的成本相对较低,且操作简便,可以快速部署和执行任务。

3.2 桥梁结构参数测量

无人机倾斜摄影测量技术可获取到桥梁结构的立体信息,并通过三维重建技术,准确测量桥梁的结构参数。

(1) 测量桥墩的尺寸和形状。桥墩是桥梁的重要支撑结构,其尺寸和形状对桥梁的稳定性和安全性具有重要影响。通过无人机倾斜摄影测量技术,可以获取到桥墩的三维模型,从而准确测量其尺寸和形状,为评估桥梁的稳定性和安全性提供重要数据。

(2) 测量桥台的尺寸和形状。桥台是桥梁的另一个重要支撑结构,其尺寸和形状也对桥梁的稳定性和安全性具有重要影响。通过无人机倾斜摄影测量技术,可以获取到桥台的三维模型,从而准确测量其尺寸和形状,为评估桥梁的稳定性和安全性提供重要数据^[4]。

(3) 测量梁体的尺寸和形状。梁体是桥梁的主要承重结构,其尺寸和形状对桥梁的承载能力和安全性具有重要影响。通过无人机倾斜摄影测量技术,可以获取到梁体的三维模型,从而准确测量其尺寸和形状,为评估桥梁的承载能力和安全性提供重要数据。

总之,无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中,通过该技术可准确测量桥梁的结构参数,为评估桥梁的稳定性和安全性提供重要数据。随着无人机倾斜摄影测量技术的不断发展,其在桥梁检测中的应用将更加广泛,为桥梁的安全性和稳定性提供更好的保障。

3.3 桥梁健康状况评估

无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用为桥梁健康状况评估提供了新的手段。传统的桥梁检测方法往往依赖于人工现场检测,不仅工作效率低下,而且检测结果受到检测人员经验和现场环境等因素的制约。而无人机倾斜摄影测量技术能够快速、高效地获取桥梁的立体影像数据,为桥梁健康状况评估提供了更为准确和全面的信息。

首先,无人机倾斜摄影测量技术可以在短时间内获取大量的桥梁影像数据,这些数据可以用于桥梁外观损伤检测和结构完整性评估。通过处理和分析这些影像数据,可以自动识别出桥梁表面的裂缝、剥落等损伤情况,从而为桥梁维修和加固提供依据。其次,结合其他检测手段,如红外热像、超声波检测等,可以对桥梁的健康状况进行全面评估。例如,红外热像技术可以用于检测桥梁表面的温度分布,从而判断桥梁是否存在热桥现象;超声波检测技术可以用于检测桥梁内部的损伤情况,如裂缝、空洞等。通过将这些检测结果与无人机倾斜摄影测量结果相结合,可以更全面地评估桥梁的健康状况。此外,无人机倾斜摄影测量技术还可以用于桥梁结构变形监测。通过对桥梁在不同时间点的影像数据进行处理和分析,可以监测桥梁的变形情况,为桥梁的安全运行提供保障。

总之,无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中,通过与其他检测手段的结合,可以全面、准确地评估桥梁的健康状况,为桥梁维护计划制定和确保桥梁安全运行提供重要依据。

3.4 数据处理与计算

无人机倾斜摄影测量技术利用无人机搭载倾斜摄影相机,能够对桥梁进行高精度的三维建模和检测。首先,无人机倾斜摄影测量技术能够获取大量的桥梁数据。通过无人机上的倾斜摄影相机,可以对桥梁的侧面和顶部进行拍摄,从而获取桥梁的整体形态和细节信息。这些数据对于桥梁的检测和维护具有重要意义。其次,数据处理与计算能够提高桥梁检测的精度和效率。通过使用专业的数据处理软件,可以将拍摄到的桥梁照片进行处理,生成高精度的三维模型。同时,计算方法也可以用于分析桥梁的结构稳定性和应力分布情况。这些结果对于桥梁的检测和维护提供了科学依据。此外,无人机倾斜摄影测量技术还具有较高的安全性和经济性。与传统的桥梁检测方法相比,无人机不需要人员进入桥梁内部进行测量,大大降低了安全风险。同时,无人机的使用也减少了人力和设备的成本,提高了检测的经济性。总的来说,无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用,通过数据处理与计算,能够提供高精度的桥梁数据和分析结果,为桥梁的检测和维护提供了有力支持。

4 结语

无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测领域具有广泛的应用前景。通过不断提高无人机性能、发展多传感器融合技术和优化数据处理算法,有望实现桥梁检测的高效、准确和自动化,将为确保桥梁工程的安全运行提供有力支持,促进我国桥梁事业的持续发展。

[参考文献]

- [1] 罗远林,何宇恒,郑智超. 无人机倾斜摄影测量技术在水电站坝面裂缝检测中的应用 [J]. 中国高新技术, 2023(16): 131-133.
- [2] 吴凌霄,段祝庚,江学良. 无人机倾斜摄影测量构建悬索桥三维模型与病害检测——以邵阳市桂花大桥为例 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23(8): 3153-3161.
- [3] 裴俊华,谢爱萍,罗广元,等. 无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2022(23): 155-158.
- [4] 张龙. 无人机倾斜摄影测量技术与三维建模的研究 [J]. 数字通信世界, 2020(4): 177.

作者简介: 刘明东 (1992.12—), 男, 毕业院校: 南京工业大学, 所学专业: 工程造价管理, 当前就职单位: 江苏现代工程检测有限公司, 职务: 检测工程师, 职称级别: 工程师。

市政道路桥梁施工中现场施工技术的应用与管理研究

牟广庆

新疆世都建设工程有限公司，新疆 库尔勒 841000

[摘要] 市政道路桥梁建设是城市基础设施建设的重要组成部分，直接影响着城市的功能布局和居民的日常生活。由于其工程规模大、技术要求高、影响因素复杂，需要采用先进的施工技术和严格的管理措施来保证工程质量和社会安全。文章将通过分析市政道路桥梁工程的特点，探讨在现场施工中应用的关键技术及其管理对策，以提供科学合理的建议和参考。

[关键词] 市政道路桥梁；施工技术；质量管理；安全管理；成本控制

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13400 中图分类号: U445.4 文献标识码: A

Research on the Application and Management of On-site Construction Technology in Municipal Road and Bridge Construction

MU Guangqing

Xinjiang Shidu Construction Engineering Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract: Municipal road and bridge construction is an important component of urban infrastructure construction, which directly affects the functional layout of the city and the daily life of residents. Due to its large scale, high technical requirements, and complex influencing factors, advanced construction techniques and strict management measures are required to ensure project quality and construction safety. The article will analyze the characteristics of municipal road and bridge engineering, explore the key technologies and management strategies applied in on-site construction, and provide scientific and reasonable suggestions and references.

Keywords: municipal roads and bridges; construction technology; quality assurance; safety management; cost control

引言

市政道路桥梁作为城市交通的重要纽带，其建设和维护直接关系到城市运行效率和居民生活质量^[1]。在城市化快速推进中，市政道路桥梁的建设不仅需要满足交通功能的基本要求，更要兼顾城市的美观性、环境友好性以及经济效益。因此，市政道路桥梁工程的施工技术和管理对策的研究具有极高的实用价值和深远的战略意义。如何在有限的空间内设计并建造能够承担大流量交通的桥梁，同时保证其安全性、耐用性和经济性，成为了工程师和城市规划者面临的重大挑战。基于此，本文研究市政道路桥梁现场施工技术及管理对策，不仅可以为城市基础设施建设提供科学的理论支持和实践指导，更是推动城市可持续发展战略的实际需求。

1 市政道路桥梁工程的特点

1.1 施工时间紧

城市化加速发展的当下，道路桥梁不仅需要满足日益增长的交通需求，还要在尽可能短的时间内完成，以减少施工对城市生活和经济活动的干扰。首先，市政道路桥梁工程的时间紧张性要求工程规划和设计必须高效、精确。在工程启动前，必须进行详尽的交通流量分析、地质勘探和环境评估，以确保设计方案的可行性和安全性。此外，工程设计需要考虑到施工期间对城市交通的最小影响，可能包括设计多个施工阶段，或采用夜间施工等策略以缓解

白天的交通压力。其次，施工过程中时间压力促使承包商和工程团队采用高效的施工技术和方法。如预制构件技术在桥梁建设中的应用可以显著缩短现场施工时间，同时减少对环境的影响。此外，现代信息技术的运用，如BIM（建筑信息模型）技术，可以在施工前进行模拟，预测潜在问题，优化施工计划和资源配置，从而提高施工效率。项目管理团队需要实时监控项目进度，及时调整资源和策略来应对不可预见的挑战，如天气变化、材料供应延迟或施工事故等。高效的供应链管理和后勤支持也是确保施工不超期的关键因素。

1.2 施工影响因素多

市政道路桥梁工程的施工受到众多因素的影响，涵盖了环境、技术、社会经济以及政策等多个方面，不仅对工程的进度和质量构成挑战，而且影响着工程的总体成本和最终效果^[2]。首先，自然条件如地质结构、地形地貌、气候条件等，都直接影响到桥梁的设计和施工。如，位于地震带的桥梁需要采取特殊的抗震设计，河流边的桥梁则需要考虑防洪措施。此外，不利的气候条件如暴雨、高温、寒冷等都可能导致施工延期，特别是在开放的环境中进行大规模浇筑和吊装作业时。其次，市政道路桥梁工程通常采用复杂的结构和材料，要求工程师和施工团队具备高水平的技术能力。新技术的应用如预应力混凝土、高性能材料和智能化施工设备，虽然可以提高施工效率和质量，但

同时也带来了技术操作的难度。再者，市政道路桥梁工程通常需要大量的资金投入，而资金的筹集和分配受到经济环境和政策变动的影响，如经济不景气时，资金缺口会导致工程延期或质量下降。最后，不同地区的政策环境差异可能导致施工标准和要求有所不同，需要工程团队对当地政策有深入了解和适应。环保法规、工安法规等对施工方法、材料选择和作业时间都有严格要求，违反法规不仅会导致法律责任，还影响公众对项目的看法和接受度。

1.3 施工成本较高

一方面，市政道路桥梁工程的施工成本高主要源于其复杂的工程规模和技术要求。道路和桥梁作为城市基础设施的重要组成部分，需要跨越地形复杂、地貌不均的区域，如河流、山谷等，要求工程设计和施工必须考虑到地质情况、环境因素及交通需求等多方面因素，以保证工程的安全性和可持续性。同时，市政道路桥梁工程所需的材料和设备通常属于高质量、高强度的建筑材料，如混凝土、钢材等，不仅要求符合严格的工程标准和规范，还需要经过质量认证和检测，以确保其耐久性和安全性，而随着原材料价格的波动和供需关系的变化，这些建筑材料的成本也会相应波动，直接影响到整体工程的施工成本。另一方面，市政道路桥梁工程的施工过程涉及到大量的人力资源投入和技术人员的参与。项目的不同阶段，需要有专业的设计师、工程师、技术员以及熟练的施工人员参与其中，确保工程设计的科学性和施工的高效性。这些专业人员的工资、培训成本和保险等费用也会占据工程总成本的一部分，尤其是在高技术含量和高风险的施工环境中，要求这些专业人员具备更高的技能和经验，进一步提升了施工成本的支出。

2 市政道路桥梁现场施工技术

2.1 软土地基施工技术

软土地基的特点包括土质松软、容易变形和强度低，使得在这类地基上建设道路和桥梁更加具有挑战性^[3]。软土地基会因为自身的变形性和弱力学特性而导致结构的沉降或不稳定，因此在施工前需要进行地基处理，以提升地基的承载能力和稳定性。常见的地基处理技术包括土体加固、地基加固和土体改良等方法，如可采用土体振实、灌浆加固、深基础加固等手段，改善软土的密实度、提升土体的抗压强度，从而增加地基的承载能力和稳定性。同时，软土地基上施工道路和桥梁时，需要特别关注施工过程中的地质监测与控制。软土地基易于受到水分变化、地下水位变动等因素的影响，会引起土体的沉降或不均匀沉降，从而影响道路和桥梁的整体结构和稳定性。因此，在施工过程中需要实时监测地基的沉降情况，并采取相应的补救措施和调整，以确保工程的安全性和稳定性。另外，软土地基施工还需要考虑到环境保护和生态保护的问题。需要采用特殊的施工技术和环境保护措施，如搭设临时保

护工程、使用环保材料、合理安排施工进度等措施，以最大程度地保护周围生态环境的完整性和稳定性。

2.2 翻模施工技术

翻模施工技术适用于需要大规模混凝土结构的工程，如桥梁墩柱、隧道结构等，通过预制或现场浇筑混凝土构件，然后进行翻转、组装和连接，以快速、高效地完成大型结构的建造。首先，翻模施工技术的核心在于混凝土结构的预制或现场浇筑。在工程开始之前，工程团队会根据设计要求制造模板或者模具，然后在模具内浇筑混凝土，以制造出预定形状和尺寸的构件。这些构件可以是墩柱、梁段、桥面板等，具体形状和尺寸根据工程设计的需要而定，通常在工厂或现场的预制厂区进行制造。其次，一旦混凝土构件达到设计强度，施工团队会利用吊装设备和专用机械将构件从制作位置转移到最终安装位置。在安装过程中，必须确保构件的准确定位和安全稳定，以避免在翻转或移动过程中造成结构损坏或安全事故。另外，翻模施工技术通常需要严格的施工计划和协调。在桥梁或隧道结构的建造过程中，各个构件的制造、运输、翻转和安装必须有条不紊地进行，以确保工程的进度和质量。例如，大型桥梁墩柱的翻模施工需要考虑到风力、地基承载力等外部因素的影响，以及吊装设备的安全性和稳定性，避免因施工环节的失误导致的延误或安全事故。

2.3 混凝土施工技术

混凝土作为一种常见的建筑材料，其施工技术涵盖了从材料配比、浇筑方式到固化和养护等多个方面的工艺，以确保最终构建的强度、密实性和耐久性^[4]。首先，混凝土施工技术的核心在于合理的材料配比和施工工艺。在施工前，工程团队必须根据设计要求和地理环境选择合适的混凝土配方，考虑到混凝土的强度等级、耐久性要求以及施工条件。材料的配比不仅关系到混凝土的力学性能，还直接影响到后续的施工质量和工程的使用寿命。在现代施工中，常用的混凝土掺合料包括矿渣粉、粉煤灰和硅灰等，能够改善混凝土的工作性能和抗裂性能。其次，混凝土施工技术包括浇筑方式和工艺控制。根据施工需要和具体结构形式，可以采用传统的手工浇筑、机械振捣浇筑或者预应力混凝土技术等不同的施工方式。手工浇筑适用于小型结构或者施工空间受限的情况，而机械振捣浇筑则能够提高混凝土的密实性和均匀性，适用于大型桥梁墩柱和梁段的施工。预应力混凝土技术则通过预先施加轴向预应力，改善混凝土的抗弯承载能力和耐久性，适用于需要长跨度结构的道路桥梁建设。

2.4 铺装连锁块施工技术

铺装连锁块施工技术在市政道路桥梁建设中被广泛应用，特别适用于城市道路、人行道、广场以及停车场等场所的铺装工程，通过使用预制的混凝土连锁块，以特定的方式铺设和连接，从而形成具有强大承载能力和美观效

果的铺装结构。首先，连锁块通常采用混凝土材料，具有一定的尺寸和形状标准化，以便于铺设时的准确对接和连接。这些块状元件通常具有特殊的凸凹结构或者榫卯连接系统，使得它们能够相互嵌合并形成一个连续的铺装面，提供良好的荷载传递能力和抗滑移性能。其次，在施工前，需要进行场地的准备和基础处理，确保铺装面的平整度和稳定性，并根据设计要求和铺设方案，将连锁块依次铺设到预先准备的基础层或者沥青路面上，通过正确的铺设方式和连接方法，确保每个连锁块之间的间隙和连接点的精确度，以避免在使用过程中出现错位或变形。另外，铺装连锁块施工技术还考虑到了工程的美观性和环境适应性。连锁块可以根据设计的需求选择不同的形状、颜色和表面处理，以满足不同场所和环境的美观要求，如城市中心区域的道路和广场铺装，通常会选择颜色统一、表面平整的连锁块，以提升城市的整体视觉效果和行人的舒适感受。

3 市政道路桥梁现场施工管理对策

3.1 加强质量与安全管理

加强市政道路桥梁现场施工的质量与安全管理是确保工程顺利进行和最终成功的关键^[5]。第一，有效的质量管理涵盖从材料选择、工艺流程到最终验收的全过程控制。施工前，必须确保材料的质量符合标准，并进行必要的检测和认证。在施工过程中，应严格按照设计要求和技术规范进行操作，实施监督和检查，以防止因施工质量问题引发的后续安全隐患和额外成本。第二，安全管理是保障施工人员和周边居民生命财产安全的重中之重。在施工前需制定详尽的安全计划和应急预案，包括安全培训、现场警示标识、个人防护措施等措施。定期进行安全检查和评估，发现问题及时整改和改进。特别是在高风险作业环节，如高空作业、起重吊装等，必须严格遵守操作规程和安全标准，确保人员和设备安全。另外，与当地相关部门和社区保持良好的沟通和协调，及时解决施工过程中的安全问题和纠纷，是有效安全管理的关键。

3.2 严格控制沥青混合料质量

首先，沥青混合料作为道路铺设的主要材料，其质量直接影响到道路的使用寿命和行车安全。在施工前，必须严格按照设计要求选择合适的沥青材料，包括沥青级别、掺合料类型及配合比例等，以确保其符合预期的工程技术指标。其次，沥青混合料的质量控制涉及到生产、运输和

施工过程的多个环节。生产阶段，沥青混合料的生产设施必须具备合法的资质和专业的生产能力，能够按照标准化的生产工艺和技术规范进行生产，确保混合料的均匀性、稳定性和耐久性。在运输过程中，需要采取适当的保护措施，避免混合料受到外界环境的污染和降解，影响其质量和使用效果。最后，沥青混合料的施工质量也需要严格把控。在铺设过程中，施工人员必须确保沥青混合料的均匀性和密实性，采用适当的压实设备和工艺，保证路面的平整度和耐久性。定期进行质量检测和实地验收，检查沥青混合料的厚度、密度、抗滑性等关键指标，及时发现并解决可能存在的质量问题和缺陷。在管理措施方面，建立健全的质量管理体系和监督机制，包括制定详细的施工方案和操作规程，明确各方责任和监督权限；加强对施工现场的实时监控和数据记录，确保施工过程中的质量数据真实可靠；并建立技术交底和培训机制，提升施工人员的技术水平和质量意识，使其能够熟练掌握沥青混合料施工的各项要求和技术细节。

4 结束语

在市政道路桥梁施工过程中，应用先进的施工技术与实施有效的现场管理是确保工程质量的关键。加强施工过程中的质量控制、安全监督、成本管理以及施工人员的专业培训至关重要。各种施工技术的有效应用和管理策略的优化可以显著提高市政道路桥梁工程的施工效率和质量，为城市发展提供坚实的基础设施支持。

【参考文献】

- [1] 马泽林, 尹月华, 贾志贺. 市政道路桥梁施工中现场施工技术的应用与管理 [J]. 运输经理世界, 2024 (5): 61-63.
 - [2] 陈佳运. 市政道路桥梁施工中现场施工技术的应用 [J]. 黑龙江科学, 2023, 14 (24): 132-134.
 - [3] 李玉峰. 现场施工技术在市政道路桥梁施工中的应用研究 [J]. 新城建科技, 2023, 32 (23): 181-183.
 - [4] 钟伟. 市政道路桥梁施工中现场施工技术的应用 [J]. 工程建设与设计, 2023 (4): 100-102.
 - [5] 张翰坤. 现场施工技术在市政道路桥梁施工中的应用研究 [J]. 散装水泥, 2022 (5): 126-127.
- 作者简介：牟广庆（1979.2—），毕业院校：新疆大学，所学专业：经济管理，当前就职单位名称：新疆世都建设工程有限公司，职务：技术负责人，职称级别：中级。

数字化技术在市政建筑道桥施工中的应用与优化

孙海燕

新疆孔雀河建设工程有限公司，新疆 库尔勒 841000

[摘要]市政建筑道桥施工是城市基础设施建设的核心内容，其高效、安全、精确的完成对城市发展至关重要。文章探讨了数字化技术在市政建筑道桥施工中的应用及其优化策略。数字化技术，如信息建模技术(BIM)、地理信息系统(GIS)、无人机和遥感技术、物联网与智能传感器以及数据驱动的决策支持系统，已经在市政建筑领域展示了巨大的潜力和优势。其优化策略主要包括加强数据整合，促进人工智能的应用，以及提高云计算平台的利用效率，这些策略有助于提升施工效率、降低成本，并改善项目管理的精度和可靠性。

[关键词]数字化技术；市政建筑；道桥施工

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13399

中图分类号: TU990.3

文献标识码: A

Application and Optimization of Digital Technology in Municipal Building Road and Bridge Construction

SUN Haiyan

Xinjiang Kongque River Construction Engineering Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract: Municipal building road and bridge construction is the core content of urban infrastructure construction, and its efficient, safe, and accurate completion is crucial for urban development. This article explores the application and optimization strategies of digital technology in municipal building road and bridge construction. Digital technologies, such as information modeling technology (BIM), geographic information system (GIS), unmanned aerial vehicles and remote sensing technology, Internet of Things and intelligent sensors, and data-driven decision support systems, have shown great potential and advantages in the field of municipal construction. Its optimization strategies mainly include strengthening data integration, promoting the application of artificial intelligence, and improving the utilization efficiency of cloud computing platforms. These strategies help to improve construction efficiency, reduce costs, and enhance the accuracy and reliability of project management.

Keywords: digital technology; municipal buildings; road and bridge construction

引言

市政建筑道桥施工作为城市基础设施建设的重要组成部分，其施工过程中需要高效的管理和精准的数据支持^[1]。随着数字化技术的发展和应用，包括信息建模技术(BIM)、地理信息系统(GIS)、无人机和遥感技术、物联网与智能传感器以及数据驱动的决策支持系统，已经在市政建筑领域展现出了革命性的影响，本文将深入探讨这些数字化技术在市政建筑道桥施工中的应用及其优化策略。

1 数字化技术在市政建筑道桥施工中的应用

1.1 信息建模技术

信息建模技术(BIM)在市政建筑道桥施工中的应用，不仅仅是一种软件工具或技术平台，更是一种革新性的方法论和工作流程，已经在全球范围内得到广泛应用。BIM通过集成多维信息，包括几何形状、空间关系、数量和属性，为建筑、道路和桥梁等基础设施的设计、建造和管理提供了全方位的支持和优化。

信息建模技术在市政建筑道桥施工中的应用是基于集成和协作的全新工作流程，通过建立数字化的三维模型，将设计、施工和运营管理整合为一个统一的平台。首先，

BIM 在设计阶段通过创建精确的三维模型，帮助设计团队可视化和优化道路、桥梁和相关基础设施的几何形状和空间关系，从而提升设计质量和减少设计错误。其次，BIM 在施工阶段通过支持施工进度的规划和调度，确保施工过程中的顺利进行，并通过碰撞检测和安全分析预测施工冲突和安全风险，从而减少成本和提高效率。最后，BIM 在基础设施管理阶段通过提供详细的数据和历史记录，如材料使用、设备维护和运行成本等信息，帮助管理团队制定更有效的维护计划和预算，延长设施的使用寿命并减少维护成本。

BIM 在市政建筑领域的应用显著提升了项目的设计效率和质量。传统上，设计师、工程师和建筑师需要通过二维图纸来表达和交流设计意图，容易导致信息传递不清晰和误解。而 BIM 基于三维模型，可以提供更直观、更真实的设计展示，帮助团队成员更好地理解和协作。例如，在道路和桥梁设计中，BIM 可以精确模拟地形和结构物的互动关系，实现设计优化和冲突检测，从而减少施工过程中的设计变更和成本增加。

施工团队可以利用 BIM 模型进行施工进度的规划和

调度，确保各个施工环节的顺利衔接和资源的合理利用。同时，BIM 还能够支持实时的碰撞检测和安全分析，预测潜在的施工冲突和安全风险，有助于提前采取措施避免事故发生。基于 BIM 模型，管理团队可以获取建筑和设施的详细数据和历史记录，包括材料使用、设备维护和运行成本等信息。这些数据可以用于制定更有效的维护计划和预算，延长设施的使用寿命，减少维护成本，提高资源利用效率。

BIM 的开放性和可扩展性使其能够与其他数字化技术和平台集成，如地理信息系统（GIS）、物联网和智能传感器系统等，进一步提升市政建筑道桥施工的整体效能和智能化水平。例如，通过与 GIS 整合，可以实现 BIM 模型与地理环境的精准结合，为城市规划和土地利用提供更全面的信息支持；与物联网技术整合，则能实现对建筑设施实时状态的监控和管理。

信息建模技术（BIM）在市政建筑道桥施工中的应用不仅仅是技术工具的使用，更是一种全新的思维方式和工作方法的革新。它通过提供集成的信息平台和多维数据支持，极大地提升了施工项目的设计效率、施工管理的精度和运营维护的可持续性，为现代城市基础设施建设带来了深远的影响和创新。

1.2 地理信息系统（GIS）

地理信息系统（GIS）技术通过高效地收集、存储、分析以及可视化地理和空间数据，极大地优化了市政建设项目的规划、执行和管理过程。首先，GIS 技术在项目前期的规划与设计阶段发挥着至关重要的作用。通过 GIS 系统，规划师和工程师能够准确地获取地形、地貌以及现有基础设施的详尽数据。例如，在道路或桥梁建设前，GIS 可以用来分析地理环境对建设的可能影响，帮助决策者选择最佳的路线和位置。这种数据的集成分析保证了设计方案的科学性和合理性，减少了未来施工过程中可能出现的地质和环境风险。

在施工阶段，GIS 提供的动态数据更新功能使得施工管理更为高效。施工团队可以实时更新施工进度和条件变化到 GIS 平台，如气候变化、土壤移动等，这些数据随后可用于指导日常施工决策和调整施工计划。GIS 技术还可以与其他技术（如 BIM，建筑信息模型）结合使用，实现施工过程的三维可视化，使项目管理者能够更直观地监控项目进展和质量控制，及时发现问题并采取措施。

在施工安全管理方面，GIS 的应用同样不可或缺。利用 GIS，管理者可以制定更加精确的安全预警系统。例如，通过分析 GIS 数据，可以预测某些施工区域可能存在的滑坡或洪水风险，从而提前部署安全措施，保证工人和设备的安全。GIS 在市政建设的维护和后期管理中也显示出其长远价值。完成施工的道路和桥梁的 GIS 数据，可以持续用于日常维护和紧急事务处理。市政管理者可以利用 GIS

监控基础设施的使用状况和老化程度，有效规划维修工作，以及在自然灾害等紧急情况下迅速做出反应^[2]。

1.3 无人机和遥感技术

无人机技术在市政建设项目中主要用于进行地形勘测和项目监控。通过搭载高分辨率摄像头和其他传感器，无人机能够在短时间内覆盖大面积的地形，获取高质量的图像和其他相关数据。这些数据对于准确评估建设地点的地理和环境条件至关重要，有助于工程师们在项目初期进行更加精确的设计和规划。无人机在施工过程中可用于实时监控工地情况，及时捕捉到可能影响施工进度和安全的因素，如非法侵入、施工设备的不当操作等。

遥感技术则利用卫星或高空平台获取地球表面的信息，广泛应用于市政建设的多个方面。在项目规划阶段，遥感技术能够提供关于地表覆盖、土壤类型、水文状况等详尽的数据，这些数据对于确定建设位置、预测潜在环境影响及制定施工策略都极为重要。通过对比不同时间点的遥感数据，规划者和建设者可以更好地理解环境变化对项目的可能影响，从而采取适当的应对措施。

在施工阶段，遥感技术与无人机监测系统的结合使用，能够提供工地全方位的动态监控。这种监控不仅限于视觉信息，还包括温度、湿度等环境参数，这些都是通过遥感技术中使用的各种传感器来实现的。这些数据的实时更新和分析，使得项目管理者能够迅速响应各种施工中出现的问题，优化资源配置，提高施工效率和安全性。对于已建成的道路和桥梁，这些技术可以定期进行结构健康监测，早期发现裂缝、变形或其他潜在的结构问题。这种定期检查机制有助于及时进行必要的维修，延长市政基础设施的使用寿命，并降低因突发故障引起的维修成本。

1.4 物联网与智能传感器

物联网与智能传感器在市政建筑、道路和桥梁施工中的应用，是现代数字化技术革新的典型示例。这些技术通过使建筑材料和施工设备“智能化”，极大地提高了建设项目的效率、安全性和质量控制水平。

物联网技术允许各种建筑材料、机械和设备实现互联互通。通过在施工现场安装智能传感器，可以实时收集有关材料条件、机械运行状态和环境变量的数据。例如，智能传感器可以监测混凝土的固化过程，确保混凝土达到最佳的固化程度，从而保证结构的强度和耐久性。此外，这些传感器还能监控设备的运行效率，预警可能的机械故障，使维护工作更加及时和精确。

在道路和桥梁建设中，智能传感器用于实时监控施工质量和结构健康。例如，通过嵌入式应变计和振动传感器，可以持续监测桥梁在施工和使用过程中的应力变化和振动水平，及时发现潜在的结构问题。这些数据帮助工程师评估桥梁的整体结构安全性，并在必要时进行调整或维修，以延长其使用寿命并防止严重事故的发生。

智能传感器和物联网技术还可以提高施工现场的安全管理水平。通过安装用于监测空气质量、温度和湿度的传感器，可以确保施工环境符合安全标准，保护工人免受有害物质和极端天气的影响。此外，智能摄像头和运动传感器可以用于监控施工现场的安全状况，自动检测未经授权的进入或潜在的安全威胁，及时通知管理人员采取行动。

在施工管理方面，物联网技术通过将所有相关信息集成到一个中央平台，使项目管理更加高效。项目经理可以通过这个平台实时获取施工进度、资源消耗和员工分布的数据，优化资源配置，减少浪费，并确保项目按期完成。这种集成的数据分析和管理工具不仅提高了管理效率，也提升了项目的透明度和可预测性^[3]。

1.5 数据驱动的决策支持系统

在市政建筑道桥施工项目中，数据驱动的决策支持系统（DSS）扮演着重要角色。这类系统通过高效地利用来自各种源的数据，帮助项目经理和决策者进行更准确、更科学的决策。在传统的施工管理过程中，决策往往依赖于经验和直觉，这不仅效率低下，而且容易因人为因素导致误判。随着数字化技术的发展，尤其是大数据和机器学习技术的应用，数据驱动的决策支持系统已经变得越来越普遍，并在施工管理中显示出巨大的潜力。

数据驱动的决策支持系统能够整合来自不同阶段的建筑信息，包括设计、采购、施工和维护等环节的数据。通过对这些数据的深度分析，DSS 可以提供关于材料使用效率、工期预测、成本控制以及风险管理的实时洞察。例如，在道桥施工中，系统可以分析历史天气数据和现场实时天气状况，预测可能的施工延误，并即时调整工程进度计划，从而避免因天气不良导致的时间和成本浪费。在市政道桥建设项目中，资源如人力、机械和材料的合理分配至关重要。DSS 利用过去项目的数据，结合当前项目的具体情况，通过算法模型来预测资源需求，使资源配置最优化。这不仅提高了资源使用效率，还极大地减少了浪费和成本。

2 数字化技术在市政建筑道桥施工中应用的优化策略

2.1 加强数据整合

在市政建筑项目中，数据整合是实现高效资源管理和决策支持的基础。项目涉及众多方面的数据，包括地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）设备收集的实时数据以及运营维护数据等。加强这些数据的整合能够为项目管理提供一个 360 度的视角，确保信息流的无缝对接和实时更新。其一，建立一个中央数据仓库或采用云服务，可以实现数据的集中管理和存储。这不仅有助于保持数据的完整性和一致性，还可以简化数据访问和共享，使得项目相关人员能够随时获取所需信息，从而提

高决策的效率和准确性。其二，实现数据整合还需要标准化数据格式和接口。通过制定统一的数据标准，可以降低数据整合的复杂性，减少由于数据格式不兼容导致的信息孤岛问题。此外，开发和使用 APIs（应用程序编程接口）促进不同系统和软件之间的数据交换，也是实现高效数据整合的关键技术。

2.2 促进人工智能的应用

人工智能技术的应用是提高市政建筑道桥施工项目效率和质量的重要手段。AI 可以在多个层面改变建筑项目管理，包括项目规划、设计、施工管理、安全监控及后期维护等。在项目规划和设计阶段，AI 可以通过分析历史数据和模拟不同设计方案的性能，帮助决策者选择最优设计。例如，利用机器学习算法分析地形和土壤数据，AI 可以预测地基的承载能力，从而指导桥梁的设计参数。在施工管理方面，AI 技术可以实时监控施工现场，通过图像识别和视频分析技术，自动检测安全隐患或者施工质量问题^[4]。

在安全监控上，AI 的应用可以大幅提升施工现场的安全水平。使用 AI 算法分析监控视频，可以实时识别作业人员是否佩戴安全帽、安全带等个人防护设备，以及是否存在潜在的安全风险行为，从而及时预警和介入，减少事故发生。在项目的运营和维护阶段，AI 可以通过分析结构的实时监测数据，预测可能的维护需求，实现预测性维护。这不仅可以延长建筑物的使用寿命，还可以显著降低维护成本。

3 结束语

数字化技术在市政建筑道桥施工中的广泛应用不仅提升了施工效率和质量，还为城市基础设施的可持续发展提供了坚实的技术支持。随着技术的不断进步和应用场景的拓展，数字化技术将继续发挥重要作用，推动市政建筑领域向智能化和可持续化方向发展。

【参考文献】

- [1] 顿安巍, 陈晓波, 郭雪梅. BIM5D 技术与全过程咨询模式结合应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2024(12): 96-98.
 - [2] 吴斌. 现代化防水技术在道桥施工中的应用研究 [J]. 新城建科技, 2024, 33(1): 152-154.
 - [3] 常星星. 道桥专业数字化与智能建造探究 [A] 第四届电力工程与技术学术交流会议论文集 [Z]. 广东省国科电力科学研究院, 广东省国科电力科学研究院, 2023: 2.
 - [4] 陈柳花, 蒋海里. 浙江路桥大修工程的数字化实践与应用 [J]. 城市道桥与防洪, 2023(5): 232-235.
- 作者简介：孙海燕（1976.4—），毕业院校：中央广播电视台大学，所学专业：法学，当前就职单位名称：新疆孔雀河建设工程有限公司，职务：项目经理，职称级别：中级。

在砂卵石地层中施工混凝土灌注桩塌孔问题的预防和处理

杨沁欣

北京市第五建筑工程集团有限公司，北京 100020

[摘要]在工程领域，混凝土灌注桩作为一种重要的基础工程技术，广泛应用于桥梁、建筑物和其他重要结构的基础支撑中。然而，在复杂的地质条件下，如砂卵石地层，其施工过程中常常面临塌孔等问题，不仅会影响工程进度和安全性，还会对工程质量造成不良影响。文中探讨在砂卵石地层中施工混凝土灌注桩时常见的塌孔问题，并提出相应的预防和处理策略，以提升工程施工质量和效率。

[关键词]砂卵石地层；混凝土灌注桩；塌孔问题；预防和处理

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13398

中图分类号: TU4

文献标识码: A

Prevention and Treatment of Collapse of Concrete Cast-in-place Piles in Sand and Gravel Formations during Construction

YANG Qinxin

Beijing No.5 Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100020, China

Abstract: In the field of engineering, concrete cast-in-place piles, as an important foundation engineering technology, are widely used in the foundation support of bridges, buildings, and other important structures. However, in complex geological conditions such as sand and gravel formations, the construction process often faces problems such as hole collapse, which not only affects the progress and safety of the project, but also has a negative impact on the quality of the project. The article discusses the common problem of hole collapse during the construction of concrete cast-in-place piles in sandy gravel formations, and proposes corresponding prevention and treatment strategies to improve the quality and efficiency of engineering construction.

Keywords: sand and gravel formation; concrete cast-in-place pile; hole collapse problem; prevention and treatment

1 背景分析

混凝土灌注桩作为一种常见的基础工程技术，在桥梁、建筑物及其他结构的基础支撑中发挥着重要作用^[1]。其优点包括施工速度快、适应性强、成本相对较低等，因此在现代土木工程中得到了广泛应用。然而，地质条件的复杂性对混凝土灌注桩的施工提出了挑战，尤其是在砂卵石地层这样的特殊环境中。砂卵石地层通常具有松散性、裂隙多、不均匀性强的特点，这些因素给灌注桩的施工带来了一系列技术难题。在这种地层中，常见的问题包括塌孔、套筒下沉以及地层破坏等，这些问题不仅会影响施工的连续性和效率，还可能对工程的稳定性和安全性构成潜在威胁。

塌孔问题是在钻孔过程中地层因支撑不足或填充物被挤压移动而发生的地层塌陷现象。这种现象可能导致套筒沉降、施工难度增加，甚至对周边环境和结构物的稳定性造成不利影响。因此，如何有效预防和处理砂卵石地层中混凝土灌注桩的塌孔问题，成为了当前土木工程领域急需解决的重要问题。

本项目在面对砂卵石地层施工混凝土灌注桩时遇到的技术挑战和工程实践中的问题。在实际工程中，地质勘察、套筒设计优化、施工工艺改进等方面都是解决问题的关键。通过对不同地质条件下的实际案例和数据进行分析和总结，可以为今后类似工程提供经验教训和科学依据，

以期改善施工质量、提升工程效率和确保工程安全。

2 塌孔原因分析及预防处理方案

2.1 原因分析

2.1.1 地层松散性和裂隙多

在砂卵石地层中，混凝土灌注桩发生塌孔问题的主要原因是地层的松散性和裂隙多^[2]。砂卵石地层通常由砾石、碎石等颗粒组成，其粒径较大，颗粒之间的填隙空间较多，松散性使得地层的密实度相对较低，抗剪强度较弱，特别是在未经过固结和加密处理的情况下，其稳定性和承载能力都较差。在混凝土灌注桩的施工过程中，如果地层松散，钻孔会引起土体的塌陷和侧向移动，导致钻孔孔壁的塌陷，即所谓的塌孔现象。除了地层的松散性外，砂卵石地层还常常伴随着大量的裂隙，裂隙可能是天然形成的，也可能是由于地质活动或人为活动引起的。裂隙的存在导致了地层内部结构的不均匀性和局部弱化，使得在施工过程中地层的稳定性更加脆弱。钻孔过程中，如果套筒未能有效地支撑和保护周围的土体，填充物和土体的位移会进一步加剧裂隙的扩展，从而引发更严重的地层塌陷现象。

2.1.2 填充物被挤压移动

在砂卵石地层中，混凝土灌注桩施工过程中填充物被挤压移动通常发生在钻孔过程中，尤其是当使用较大直径套筒时，填充物如砾石、碎石等可能会由于套筒的挤压而

发生移动，进而导致地层的支撑力减弱，最终引发地层塌陷和钻孔孔壁的塌陷^[3]。

砂卵石地层中填充物（如砾石、碎石）通常用于灌注桩钻孔过程中，旨在填充和支撑套筒周围的土体，防止地层塌陷。然而，由于地层本身的松散性和填充物的颗粒结构，填充物在钻孔时会受到套筒上部和侧壁的压力，这种压力会导致填充物向周围的土体挤压和移动。填充物的颗粒特性：填充物的颗粒大小、形状和密度直接影响其在钻孔过程中的稳定性。颗粒较大或形状不规则的填充物更容易在受到挤压力时移动和重新分布。

2.1.3 套筒设计不当

套筒在混凝土灌注桩的施工中扮演着重要角色，不仅用于钻孔过程中的土壤支撑和保护，还直接影响到最终灌注桩的质量和稳定性。因此，如果套筒的设计不合理或选择不当，会导致地层的塌陷、套筒的移位或破坏，从而使整个工程面临安全和质量风险。一方面，套筒直径和长度不匹配，选择过小的套筒直径可能无法充分支撑和保护钻孔周围的土壤，导致在钻孔过程中发生土体塌陷。反之，过大的套筒直径则增加施工难度，同时增加填充物被挤压移动的风险。另一方面，套筒壁厚不足，套筒的壁厚直接影响其在施工过程中的稳定性和耐压能力。壁厚过薄的套筒可能在施工过程中变形或受损，无法有效地保护填充物和地层，从而引发塌孔问题。同时，套筒与土壤之间的摩擦系数和接触面积直接影响其在施工过程中的稳定性，如果摩擦系数过小或接触面积不足，套筒可能无法提供足够的支撑力，易导致钻孔孔壁的塌陷和地层的移动。

2.2 预防和处理方案

2.2.1 套筒选择优化

优化套筒选择涉及到多个方面，包括套筒的材料、尺寸、设计参数以及施工环境的适配性。第一，进行详细的地质勘察。在进行灌注桩施工前，必须进行充分的地质勘察，了解地层特性、土壤类型及其稳定性，根据地质勘察结果，确定最适合的套筒材料和尺寸，确保能够有效地支撑和保护钻孔周围的土层。第二，根据设计要求选择套筒材料，根据工程设计要求和施工环境选择套筒材料，考虑其耐磨性、抗压性和耐腐蚀性等性能。如，在强腐蚀环境中，可以选择不锈钢套筒，确保长期稳定的使用效果。第三，合理设计套筒的尺寸和壁厚。根据地质勘察结果和工程设计要求，合理设计套筒的直径、长度和壁厚，尺寸过大可能增加施工难度和成本，而尺寸过小则可能影响桩的稳定性和承载能力。第四，考虑施工过程中的特殊情况。在特殊施工环境或复杂地质条件下，需特别注意套筒的选择和设计。如，在软弱地层中，增加套筒的长度和壁厚，以提高桩身的稳定性和承载能力。

2.2.2 套筒壁厚和摩擦系数的计算和选择

正确选择套筒的壁厚和摩擦系数，直接影响着桩身的

稳定性、施工的安全性以及最终工程质量的保证。套筒的壁厚决定了其在施工过程中的强度和稳定性，其一，土层稳定性分析。混凝土灌注桩施工前，进行详细的地质勘察和土层稳定性分析，根据地质勘察结果，确定套筒需要承受的最大外部力和压力，从而计算出合适的壁厚，以保证套筒在施工过程中不会变形或破坏。其二，承载能力要求。根据工程设计要求和预期的桩身承载能力，选择适当的套筒壁厚。其三，材料特性考虑。套筒的壁厚选择也与其材料的特性密切相关。不同材料的套筒具有不同的强度和耐久性，需要根据材料的力学特性和耐磨性，合理确定壁厚，以确保套筒在长期使用中不会出现问题。

同时，套筒与周围土层之间的摩擦系数直接影响着桩身的稳定性和抗侧移能力。一是地层类型和条件：不同类型的地层具有不同的摩擦特性。在砂卵石地层中，摩擦系数通常较高，需要选择能够提供良好摩擦力的套筒，以防止桩身的侧移和不稳定现象。二是接触面积和表面处理：套筒与土层的接触面积和表面处理也会影响摩擦系数的选择。在设计和施工过程中，需要考虑采取适当的表面处理措施，以增加套筒与土层之间的摩擦力，提高桩身的稳定性。三是施工参数和实测调整：摩擦系数的选择不仅依赖于理论计算，还需要根据实际施工情况进行实测和调整，通过实测数据，评估套筒与土层之间的实际摩擦特性，并根据需要调整施工参数和措施，以确保桩身的安全和稳定。

为了有效预防和处理套筒壁厚和摩擦系数选择不当导致的塌孔问题，在施工前进行全面的地质勘察和土层分析，确保准确评估地层特性，为套筒壁厚和摩擦系数的选择提供科学依据。同时，根据地层特性和施工环境，选择具有合适强度和耐磨性的套筒材料，并设计合理的壁厚和尺寸。施工过程中实时监测套筒与土层的摩擦系数和壁厚的工作状态，及时调整施工参数和措施，以确保施工的安全性和质量。

2.2.3 加长套筒的埋设与拔出考虑

混凝土灌注桩施工中，塌孔是指桩周土体在施工过程中由于外力作用或土体自身特性发生变化而引起的下陷或塌陷现象，严重影响桩的承载能力和工程质量^[4]。因此，设计和实施加长套筒的埋设与拔出策略是确保施工安全和质量的重要措施。第一，土层稳定性分析：选择加长套筒的埋设深度时，必须进行详细的地质勘察和土层稳定性分析。根据地质勘察结果，确定桩基部分及其周围土层的物理力学性质，以确保加长套筒能够稳定地承载设计要求的荷载，避免因土层不稳定而导致的塌孔。第二，埋设深度的选择：埋设深度应根据预期的荷载和土层特性来确定。通常情况下，加长套筒的埋设深度应超过可能的变动土层范围，确保套筒与稳定土层之间有足够的嵌固深度，以增加桩身的稳定性和抗侧移能力。第三，预防水文影响：埋设加长套筒时，需考虑地下水位及其对土层稳定性的影响。

必要时，采取防水措施以避免因地下水涌入导致的土体松动或侵蚀，从而减少塌孔风险。

在施工完成后，正确的加长套筒拔出过程同样至关重要，以避免因拔出不当而引起的土层变形或塌陷。在拔出加长套筒时，需按照设计的拔出顺序和方法进行操作。通常采用液压拔筒机或其他专用设备，逐步施加力量进行拔出，避免突然剧烈振动或外力作用，从而导致土体变形或周围土层的塌陷。在拔出过程中，应实时监测周围土层的变形情况，如有必要，及时调整拔出力量或方法，以确保加长套筒的安全拔出，同时保持周围土体的稳定性。

3 钻孔机械的选择及施工方法改进

3.1 机械选择

钻孔机械的选择直接影响到工程的进行和最终成果，因此需要根据具体的施工条件和需求做出合理的决策。首先，钻孔机械的选择应考虑到工程的规模和类型。如，对于大型基础工程如桥梁、高层建筑等，通常需要选择大功率、高效率的钻孔设备，能够应对复杂的地质条件和深度要求。这类机械通常具备强大的动力系统和稳定的结构设计，能够确保在大规模项目中的稳定运行和长时间工作。其次，钻孔机械的选择还应考虑到地质环境和土壤条件。不同地质条件下，钻孔机械的适用性会有所不同。如对于坚硬岩石地层，可能需要选择配备有足够功率和耐磨损的岩心钻机或旋挖钻机；而在软弱地层，需要考虑使用挖掘机配合低转速的钻具，以确保钻孔的稳定性和安全性。另外，钻孔机械的选择还应考虑到施工环境的限制和特殊要求。例如，在城市建设中，常常需要选择噪音低、震动小的钻孔设备，以减少对周边居民和建筑物的影响；在狭窄空间或有限工作区域内，需要选择结构紧凑、机动性强的小型钻孔设备，能够灵活操作并完成任务。此外，现代钻孔机械通常具备自动化控制和实时监测系统，能够提高施工的精度和安全性。通过 GPS 定位系统和数据采集技术，实现钻孔轨迹的精确控制和数据记录，从而保证钻孔的准确度和一致性。

3.2 施工方法改进

在钻孔施工中，施工方法的改进直接影响到工程的效率、质量和安全性，特别是在复杂地质条件或特殊施工环境下，采用合适的施工方法能够显著提升施工的整体效果。首先，通过优化钻孔参数来改进施工方法。钻孔参数包括转速、进给速度、钻具选用等。合理设置钻孔参数可以有效降低钻头磨损、提高作业效率，并避免对钻孔机械的不必要损耗。其次，考虑工艺流程的优化。这包括施工前的准备工作、钻孔过程中的操作规范，以及钻孔后的清理和维护工作等。通过精细化管理和标准化操作，可以提高施

工的整体效率和质量稳定性。再次，施工方法改进中，必须重视安全措施的完善，包括施工人员的安全培训、作业现场的安全管理，以及钻孔设备的安全检查和维护等。通过建立健全的安全管理体系，确保施工过程中人员和设备的安全，减少意外事件的发生。最后，利用现代技术，引入智能化钻孔设备、实时监测系统和远程控制技术，提高施工的精度和可控性，同时减少人力投入和施工周期，从而降低成本并提升效率。

3.3 其他技术要点的扩展

除了钻孔机械的选择和施工方法改进外，钻孔施工中的其他技术要点扩展包括多方面的考虑和应用，在提升施工效率、质量和安全性方面起着关键作用。一是地质雷达和其他探测技术能够有效识别和分析地下岩层、土壤结构及地下水情况，为钻孔施工提供精准的地质信息，通过实时数据的获取和分析，可以调整钻孔方案、优化钻孔位置，避免地质灾害和不必要的施工延误。二是水力喷射技术可以在钻孔过程中同时进行土层加固或者孔洞清洁。通过高压水射流清洗孔洞，可以有效去除钻孔中的泥浆和碎屑，保证钻孔的质量和稳定性。此外，水力喷射还可以注入特定材料来加固孔壁，提高土层的稳定性和承载能力。三是断层和隐伏工程构筑物的处理技术：钻孔施工过程中，可能会遇到断层或者隐伏的工程构筑物，如地下管线或者电缆，采用先进的探测技术和防护措施，可以避免对这些构筑物的损坏和影响，确保施工安全和工程的长期可靠性。

4 结束语

通过以上技术要点的综合应用，可以有效预防和处理砂卵石地层中混凝土灌注桩施工过程中可能出现的塌孔问题，提高工程的安全性、施工效率和质量，确保工程顺利进行。

[参考文献]

- [1] 李学良, 高德存, 张笑林. 特大桥钻孔灌注桩塌孔分析及处理措施 [J]. 建筑技术, 2022, 53(12): 1685–1686.
- [2] 冯文力, 白江伟, 王明涛, 等. 高水位卵石层中钻孔灌注桩施工技术与改进 [J]. 建筑安全, 2023, 38(7): 51–54.
- [3] 贾欣媛, 岳大昌, 李明, 等. 易塌孔地层长护筒+冲抓+旋挖钻孔灌注桩施工工法 [J]. 四川建筑, 2021, 41(1): 3.
- [4] 邵坤厚, 曹波涛, 刘相如, 等. 钻孔灌注桩塌孔原因探析及处理应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版) 工程技术, 2022(11): 4.

作者简介：杨沁欣（1997.9—），悉尼科技大学，土木工程专业，单位：北京市第五建筑工程集团有限公司，职务项目技术员，职称：助理工程师。

浅谈港口工程混凝土施工质量的控制措施

荆铁成

天津永隆海洋工程有限公司，天津 300450

[摘要]港口工程作为支撑港口运营的重要基础设施，其建设质量直接关系到港口运输效率、安全性和经济效益。混凝土作为港口工程中最主要的建筑材料，其施工质量对工程的长期稳定性和耐久性有着至关重要的影响。文中探讨了港口工程中混凝土施工质量的控制措施，包括影响施工质量的因素、存在的问题以及针对这些问题提出的具体控制措施，旨在提高港口工程混凝土施工的质量和可靠性。

[关键词]港口工程；混凝土施工；质量控制；问题与措施

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13434

中图分类号: U655.56

文献标识码: A

Brief Discussion on Quality Control Measures for Concrete Construction in Port Engineering

JING Tiecheng

Tianjin Yonglong Marine Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract: As an important infrastructure supporting port operations, the construction quality of port engineering is directly related to the efficiency, safety, and economic benefits of port transportation. Concrete, as the most important building material in port engineering, has a crucial impact on the long-term stability and durability of the project. This article explores the control measures for concrete construction quality in port engineering, including factors affecting construction quality, existing problems, and specific control measures proposed to improve the quality and reliability of concrete construction in port engineering.

Keywords: port engineering; concrete construction; quality control; problems and measures

引言

随着全球经济的快速发展和贸易活动的不断增加，各国港口面临着巨大的运输压力和基础设施更新需求^[1]。在该背景下，如何保证港口工程混凝土施工的质量成为亟待解决的重要问题。混凝土在港口工程中承担着桥梁、码头、堤防等关键结构的建造任务，其质量问题直接影响到工程的安全性和使用寿命。由于港口环境的特殊性，如海水侵蚀、高湿度等因素，对混凝土的耐久性提出了更高的要求，对混凝土的施工技术和质量控制提出了挑战。基于此，本文深入研究港口工程混凝土施工质量控制，不仅有利于提升港口工程建设的技术水平和质量标准，还能够为全球港口基础设施的可持续发展做出积极贡献。

1 港口工程中影响混凝土施工质量的因素

1.1 材料选择与质量控制

材料选择与质量控制是影响港口工程混凝土施工质量的关键因素，对于确保港口工程长期稳定运行至关重要^[2]。首先，材料选择在混凝土施工中占据着重要位置。港口工程的混凝土结构面临着复杂的环境条件，如海水侵蚀、潮湿气候和高盐度等，因此对混凝土材料的抗蚀性、抗渗性和耐久性要求极高。为了应对这些挑战，需选择优质的水泥、骨料和混凝土添加剂。水泥的种类和品质直接影响到混凝土的强度和耐久性，因此应根据港口工程的具体使用环境选择适合的水泥类型，例如耐海水侵蚀的硫铝酸盐水

泥或其他特殊配方的高性能水泥。同时，选择合适的骨料和混凝土添加剂，如控制粒径分布、优化配合比设计、使用高效的缓凝剂和增塑剂等，显著改善混凝土的工作性能和抗渗性能，从而提高混凝土的整体质量。最后，对原材料进行必要的质量检验，包括水泥、骨料和水的化学成分分析、颗粒大小和形状的测定，以及混凝土配合料的稳定性和适应性测试等，通过严格的质量控制和监测，可有效地降低混凝土施工过程中出现质量问题的风险，保证港口工程混凝土结构的安全性和可靠性。

1.2 施工工艺与操作技术

正确的施工工艺和高效的操作技术不仅能够保证混凝土的均匀性和一致性，还有效应对港口环境的特殊要求，提高工程的施工效率和质量^[3]。港口工程通常涉及大体积、大跨度和特殊形状的混凝土结构，如码头、桥梁、防波堤等，其施工难度较大，需要采用适宜的施工工艺来确保施工质量。施工工艺的选择应根据具体工程的设计要求和环境条件进行合理规划，包括模板安装、钢筋布置、混凝土浇筑和养护等步骤。对于海洋环境下的港口工程，可采用防护罩模板来减少混凝土表面的海水侵蚀，同时控制混凝土的温度和湿度，保证混凝土的早期强度发展和长期耐久性。在搅拌过程中，操作人员应严格控制搅拌时间和搅拌速度，确保混凝土各部分材料充分混合。在浇筑过程中，要注意避免混凝土的分层和气孔，采用适当的振捣技术和工具进行振捣，保

证混凝土的紧密性和强度。养护过程中，应根据混凝土的配合比设计和环境条件进行科学的养护措施，如覆盖保湿、定期浇水等，以促进混凝土的早期强度和长期耐久性的发展。

1.3 环境条件与施工时机选择

港口工程处于复杂的自然环境中，如海岸线、港湾和河口等地区，其施工环境特点和气候条件对混凝土施工过程和成品质量具有重要影响^[4]。首先，环境条件对混凝土施工的影响主要体现在以下几个方面：温度、湿度、海水侵蚀和风化等。在温度方面，高温会加快混凝土的初期硬化速度，但如果过高可能导致混凝土早龄期开裂和强度降低；低温则会延缓混凝土的硬化过程，影响其早期强度的发展。湿度对混凝土的固化和早期强度发展同样至关重要，过高的湿度可能导致混凝土的表面开裂和表面不均匀，影响混凝土的密实性和抗渗性能。海水侵蚀和风化是港口工程混凝土长期使用过程中常见的挑战，特别是海洋环境下的混凝土结构需要选择抗海水侵蚀的特殊材料和施工工艺，以提高混凝土的耐久性和抗风化能力。其次，施工时机的选择直接影响到混凝土施工质量的稳定性和可靠性。在选择施工时机时，需要综合考虑气候条件、天气预报、潮汐、风速等因素，以最大限度地减少施工期间可能受到的自然环境影响。在天气稳定、风速较小的情况下进行混凝土的浇筑和养护，有利于保证混凝土的均匀性和强度发展，减少因环境变化引起的混凝土质量问题。此外，根据工程设计和施工进度合理安排施工时段，可以避免施工中断和工期延误，提高施工效率和质量的稳定性。

2 港口工程中混凝土施工存在的问题

2.1 混凝土配合比设计不合理

混凝土配合比设计不合理可导致混凝土强度低于设计要求、抗渗性能不足、收缩裂缝增多等问题，从而影响港口工程的安全运行和长期稳定性。首先，混凝土配合比设计直接关系到混凝土的物理性能和工作性能。在港口工程中，由于不同结构和部位的使用环境和荷载条件各异，需根据具体的工程要求和环境条件进行合理的混凝土配合比设计。配合比的不合理导致水灰比过高或过低、骨料粒径分布不均匀、水泥用量不足等问题。如果水灰比过高，会导致混凝土早期开裂和强度低于设计要求；反之，如果水灰比过低，则可影响混凝土的流动性和工作性能，难以确保混凝土的均匀性和密实性。其次，在港口工程中，混凝土需要长期承受海水侵蚀、潮湿环境和高盐度等特殊条件，因此对混凝土的抗渗性能要求较高。合理的配合比设计可以通过控制混凝土的孔隙结构和水泥石的生成，有效提高混凝土的抗渗性，降低渗透系数，从而延长混凝土的使用寿命和减少维护成本。最后，在混凝土的硬化过程中，由于水泥水化反应引起的收缩，如不合理控制混凝土的水灰比和骨料的选择，会导致混凝土内部应力过大，从而产生裂缝，特别是大体积混凝土结构的施工中，如桥梁、码

头等，裂缝的产生会严重影响混凝土的强度和耐久性，甚至可导致结构的损坏和安全隐患。

2.2 施工过程管理不到位

良好的施工过程管理直接决定了混凝土结构的建造质量、安全性和工程进度，而管理不到位则可导致施工质量下降、安全隐患增加以及工期延误等严重后果。首先，在实际施工中，如果管理人员未能严格按照设计要求和技术规范进行配合比的配制和使用，会出现水灰比、骨料比例、添加剂用量等方面的误差，直接影响到混凝土的强度、抗渗性能和耐久性，从而影响到整个港口工程的结构安全和使用寿命。其次，在混凝土的浇筑、振捣、养护等过程中，如操作人员缺乏必要的技术培训和施工指导，会导致混凝土的浇筑质量不均匀、振捣不足或过度、养护条件不到位等问题。这些操作不当直接影响到混凝土的密实性和强度发展，易造成混凝土表面裂缝、内部空洞等质量问题，甚至影响整体结构的安全稳定性。最后，港口工程往往位于复杂的自然环境中，如海洋岸线、潮汐区域等，施工过程中如果管理不到位，导致工地安全隐患增加，如施工人员的安全保障措施不足、施工设备操作不当等，容易发生意外事故。同时，未能有效实施环境保护措施也可能对周边生态环境造成影响，如水质污染、土壤侵蚀等问题，从而增加工程的环境风险和后续维护成本。

2.3 质量监督和检测不完善

质量监督和检测的不完善可导致混凝土结构存在强度不足、抗渗性能差、裂缝增多等问题，严重影响港口工程的安全性、耐久性和使用效果^[5]。首先，质量监督和检测不完善会影响混凝土材料的质量控制。混凝土材料的质量直接影响到混凝土的工程性能和长期耐久性。监督和检测不到位，会导致使用劣质水泥、不合格的骨料或掺入不合适的添加剂等情况，会对混凝土的强度发展和抗渗性能产生不利影响，增加混凝土结构发生质量问题的风险。其次，质量监督和检测不完善还会影响施工工艺的控制。在混凝土的浇筑、振捣、养护等过程中，如果缺乏有效的监督和检测措施，施工过程中可能出现操作不规范、振捣不到位、养护条件不足等问题，会直接导致混凝土的均匀性和强度发展不稳定，易产生裂缝和结构变形，影响港口工程的整体安全性和耐久性。最后，在施工过程中，及时的监督和检测能够及早发现混凝土的质量问题和施工缺陷，及时采取纠正措施和修复措施，避免问题扩大和影响工程质量，缺乏有效的监督和检测体系，会导致问题长期存在但未被察觉，直到工程完工后才出现质量问题，造成维修难度和成本的增加。

3 港口工程混凝土施工质量的控制措施

3.1 严格执行混凝土配合比设计要求

合理设计和严格执行配合比要求对于港口工程的安全性和可靠性至关重要。首先，配合比的设计应根据港口

工程的具体使用环境、荷载要求和耐久性要求进行科学确定。在承受海水侵蚀和潮湿环境的港口工程中，需要选用耐海水侵蚀的水泥、特殊骨料和添加剂，以保证混凝土的抗渗性和耐久性。此外，根据设计要求控制水灰比、骨料的选择和配比，确保混凝土的工作性能和密实性，防止因配合比不合理导致的施工质量问题。其次，严格执行混凝土配合比设计要求需要从材料选择、配制过程到施工实施全过程进行严密控制。在材料选择方面，应确保水泥、骨料、添加剂等材料的质量符合国家标准和设计要求，严格按照设计配比进行采购和使用。配制过程中，应精确控制水泥用量、水灰比、骨料配合比和掺合料添加量等，确保混凝土的性能稳定性和一致性。最后，建立健全的记录和档案管理制度也是确保混凝土配合比设计要求执行的重要手段。对每批次混凝土的配合比、试验结果、施工过程记录等进行详细记录和归档，形成完整的质量档案，便于质量检验和工程验收时的审查和查验。

3.2 强化施工过程管理和质量控制

强化施工过程管理和质量控制是确保港口工程混凝土施工质量稳定性和可靠性的关键措施。首先，强化施工过程管理需要建立健全的施工组织管理体系。明确施工责任部门和人员的职责分工，制定详细的施工计划和进度安排，确保各项工作有序进行。在港口工程混凝土施工中，特别需要考虑海上环境因素对施工进度和安全性的影响，需要紧密协调各方资源和工作计划，及时应对可能出现的突发情况和变更。其次，在混凝土的浇筑、振捣、养护等关键施工环节中，必须严格按照设计要求和施工技术规范进行操作，确保每一步骤都符合标准。例如，在混凝土浇筑前应检查模板的完整性和准确度，确保混凝土的形状和尺寸符合设计要求；振捣过程中要控制振捣时间和振捣方式，确保混凝土的均匀性和密实性；养护期间要严格控制养护条件和时间，促进混凝土的早期强度发展和耐久性。最后，设立严格的质量监控点和检查节点，对混凝土原材料、配合比、混凝土浇筑质量、强度发展、抗渗性能等进行定期抽查和检测，通过强化现场质量检验和测试，及时发现和解决施工过程中存在的质量问题，确保混凝土的工程性能和使用寿命符合设计要求。

3.3 加强质量监督和检测工作

质量监督和检测工作覆盖了从混凝土材料采购到施

工实施的全过程，旨在通过科学的监控和严格的检测，确保混凝土的配合比、工作性能和强度等质量指标符合设计要求，从而保证工程的安全性、耐久性和使用寿命。首先，混凝土的质量直接依赖于水泥、骨料、水和掺合料等原材料的质量，在采购和使用过程中必须严格按照国家标准和设计要求进行选择和控制。对于水泥，应检测其化学成分、物理性能和标号是否符合要求；对于骨料，应检验其粒度、含泥量和矿物组成等参数。只有在材料质量可靠的前提下，才能保证混凝土的工程性能和使用寿命。其次，在混凝土的配制、浇筑、振捣和养护等关键环节，应设置监测点和检测节点，对混凝土的配合比、浇筑质量、振捣均匀性、养护条件等进行实时监测和抽样检验。通过强化现场质量控制，可及时发现并纠正施工过程中的问题，防止不合格混凝土进入工程结构，确保混凝土的强度、密实性和耐久性。最后，对每一批次混凝土的配制过程、试验结果、质量问题和处理措施等进行详细记录和档案化管理，形成完整的质量数据和信息库，不仅有助于追溯混凝土质量的全过程，还为质量改进和经验积累提供重要依据。

4 结束语

在港口工程中，混凝土施工质量的控制是确保工程安全和可靠性的关键。通过严格执行配合比设计要求、强化施工过程管理和加强质量监督检测工作，能有效预防混凝土结构的质量问题，提升其耐久性和使用寿命，每一步的精细管理和全面监督，都是保障工程质量的重要保证。

[参考文献]

- [1] 尚俊. 港口工程施工质量通病管理 [J]. 运输经理世界, 2022 (7) : 152-154.
 - [2] 郭志朝. 港口码头施工中混凝土裂缝产生的原因及防治措施分析 [J]. 工程建设与设计, 2020 (20) : 140-141.
 - [3] 喻爽. 港航工程施工中混凝土施工质量管理策略 [J]. 智能城市, 2020, 6 (16) : 94-95.
 - [4] 赵明时, 刘爱国. 码头混凝土面层裂缝施工质量控制 [J]. 港工技术, 2020, 57 (3) : 40-43.
 - [5] 刘萌, 林乐亭. 论港口工程中混凝土施工质量的控制 [J]. 科技资讯, 2020, 18 (1) : 24.
- 作者简介：荆铁成（1995.6—），毕业院校：吉林师范大学，所学专业：国际经济与贸易，当前就职单位：天津永隆海洋工程有限公司。

浅析现代建筑装饰装修理念及其墙体装饰技术

李永园

北京灼卓文化创意有限责任公司，北京 100000

[摘要]随着城市化进程加快，建筑装饰不再仅限于功能性需求，更强调美观性、个性化和环境友好性。文中通过对现代建筑装饰装修理念及其墙体装饰技术的深入分析，探讨了现代建筑装饰装修技术的发展趋势和关键技术应用。在装修理念方面，强调了舒适性、适用性、节能性和经济性等原则的重要性；在墙体装饰技术方面，重点介绍了外墙墙体施工、抹灰施工、涂料外墙、玻璃幕墙、粘贴装饰和吊顶装饰技术的具体应用和特点，旨在为现代建筑装饰装修领域的研究和实践提供参考。

[关键词]现代建筑；装修理念；墙体装饰；装饰技术

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13431

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Brief Analysis of Modern Architectural Decoration Concepts and Wall Decoration Technology

LI Yongyuan

Beijing Zhuozhuo Cultural Creativity Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, architectural decoration is no longer limited to functional needs, but emphasizes more on aesthetics, personalization, and environmental friendliness. Through in-depth analysis of modern architectural decoration concepts and wall decoration technologies, this article explores the development trends and key technological applications of modern architectural decoration technologies. In terms of decoration philosophy, the importance of principles such as comfort, applicability, energy efficiency, and economy is emphasized; In terms of wall decoration technology, the specific applications and characteristics of exterior wall construction, plastering construction, exterior wall coating, glass curtain wall, adhesive decoration, and ceiling decoration technology are mainly introduced, aiming to provide reference for research and practice in the field of modern architectural decoration.

Keywords: modern architecture; decoration concept; wall decoration; decorative technology

引言

经济的发展和人们对居住环境要求的提高，建筑装饰装修理念逐渐从简单的美观转变为更加综合的舒适性、节能性、经济性和适用性等综合考量。本文将围绕现代建筑装饰装修技术的关键手段和理念展开探讨，聚焦于墙体装饰技术的实际应用和发展趋势，以提高装饰装修质量，更好满足人们对良好居住环境的期望。

1 现代建筑装饰装修技术手段

现代建筑装饰装修技术主要涉及内部空间的设计和装饰，包括墙面、地面、天花板的处理以及家具、灯具等的布置；而装饰技术则更侧重于各类艺术品、摆设和装饰元素的选择和搭配，以增强空间的整体艺术感和文化氛围。这些技术手段不仅是现代建筑装饰的重要组成部分，也反映了时代发展和技术进步对建筑美学和功能需求的影响。

装修技术手段在现代建筑中扮演着关键角色。首先，墙面处理采用多种材料和工艺，如瓷砖、壁纸、乳胶漆等，不仅美观耐用，还能根据不同需求实现防水、防火等功能。地面装修则注重材料的选择与施工工艺，如木地板、石材、地毯等，通过颜色、纹理和质地的搭配，营造出不同的空间氛围和舒适感。天花板的设计不仅考虑隔音、隔热等功能，还可引入吊顶、吸音板等技术，优化空间的整体视觉

效果和舒适度。现代装修还注重绿色环保，推广使用环保材料和节能技术，以提升室内空气质量、可持续性^[1]。

而装饰技术手段则注重通过艺术品、装饰品和家具的选择与搭配，增强空间的审美效果和文化内涵。现代建筑装饰中，艺术品的选用趋向多样化和个性化，从绘画、雕塑到摄影作品，不仅有利于丰富空间的层次感和艺术氛围，还可体现业主的审美品位和生活方式。同时，装饰品的搭配与布置也趋向于简约大气或精致华丽，通过色彩的运用、材质的组合以及布局的精心设计，使空间更具个性和品位。

现代建筑装饰装修技术手段不仅限于功能性需求的满足，更强调空间美学与文化表达的结合。通过装修技术的不断创新和装饰技术的精细化发展，建筑空间不再仅仅是功能的延伸，更成为文化与艺术的载体，体现出时代的进步和个体的追求。随着科技的进步和社会需求的不断变化，现代建筑装饰装修技术手段将继续发展，为建筑美学和生活品质提供更多可能性和创新空间。

2 现代建筑装饰装修理念

2.1 舒适性原则

舒适性原则是现代建筑装饰装修的核心之一。舒适性不仅仅指物理上的舒适，还包括心理和感官层面的满足。在设计和实施过程中，舒适性原则要求通过合理的空间布

局、人性化功能设置和舒适的室内环境来提升居住者的生活质量。这包括考虑到家庭成员的生活习惯和活动频率，例如合理的流线布局、功能区域的分隔与连接，以及针对不同空间的合适色彩、材料和家具选择，从而创造出符合人体工程学和心理需求的舒适空间。

2.2 适用性原则

适用性原则强调装修设计与实施的灵活性和多功能性。现代建筑装饰需要面对不同的使用需求和空间限制，适用性原则要求设计师和装修者在满足基本功能需求的同时，考虑到空间的多功能性和未来的可变化性。这意味着采用灵活的设计方案和多样化的装饰手段，以应对不同时期和不同使用者的需求变化，例如可移动的隔断墙、多功能家具、可调节的光照设备等，从而最大化空间的利用效率和使用的便捷性^[2]。

2.3 节能性原则

节能性原则是现代建筑装饰装修必须考虑的重要因素。节能性原则要求在设计和选择装修材料、设备时，优先考虑能源消耗的减少和资源的有效利用。这包括但不限于使用高效节能的照明系统、优化室内外隔热材料、选择低耗能的电器设备等措施。通过有效的节能设计和技术应用，不仅可以降低居住或使用成本，还能减少对环境的负面影响，符合可持续发展的理念。

2.4 经济性原则

经济性原则考虑到装修投资的成本效益和经济可行性。现代建筑装饰装修需要在提升空间质量和美观度的同时，控制装修预算和维护成本，以确保投资的回报和使用的经济性。这涉及到合理的预算规划、材料选择与购买策略的优化、施工管理的有效控制等方面。通过精确的成本核算和项目管理，可以在不影响设计质量的前提下，实现装修成本的最优化，满足业主或使用者对经济效益的要求。

总而言之，现代建筑装饰装修的理念不仅注重于美学和功能的完美结合，更强调在实现设计愿景的同时，考虑到舒适性、适用性、节能性和经济性等多重因素的综合平衡。这些原则不仅指导着设计师和装修团队在每一个项目中的决策与实践，也直接影响到居住者或使用者的生活质量和装修成本的管理。

3 现代建筑装饰装修技术分析

3.1 外墙墙体施工技术

现代建筑装饰装修中，外墙墙体施工技术直接影响建筑物的外观、耐久性和节能效果。外墙施工技术的选择和应用不仅考虑到建筑的美观性，还包括对环境的影响、施工效率以及建筑物整体性能的提升。

传统的外墙材料如砖、石和混凝土仍然广泛使用，但新材料的引入使得设计师和建筑师有更多的选择。例如，预制混凝土墙板和彩钢板等现代化建筑材料，不仅可以提高施工速度，还能增加建筑物的整体稳定性和耐久性。这

些材料经过工厂预制后，可以减少现场施工时间，降低人工成本，并且能够提供更好的保温和隔热性能，符合节能环保的要求。

随着建筑技术的发展，越来越多的先进施工技术被应用于外墙的施工中，如干挂石材、幕墙系统、外墙涂料技术等。这些技术不仅提升了建筑外观的美观度和现代感，还改善了建筑物的防水性能、耐久性和抗污性能。例如，干挂石材系统通过专用的安装系统和结构支撑，将石材板块固定在建筑外墙上，减少了水泥浆料的使用，还提高了石材的装配精度和建筑的整体质量。另外，随着节能环保意识的提升，外墙保温技术不断创新和完善，如外墙外保温系统（EIFS）、内外墙保温一体化系统等。这些系统不仅可有效提高建筑的能效，减少能源消耗，还能改善室内外的舒适度和环境质量。EIFS 系统通过在外墙表面涂覆保温材料和装饰层，形成连续的保温层，有效提升建筑的保温性能和抗裂性能，同时具备良好的吸水性和透气性。

随着科技的进步和市场需求的变化，外墙施工技术将继续向着更加高效、节能和环保的方向发展，为建筑行业带来更多的可能性和创新空间。

3.2 外墙抹灰施工技术

外墙抹灰施工技术通过在建筑物外墙表面形成一层均匀、平整的抹灰层，不仅能够修补和平整墙体表面的不平整和缺陷，还能增强墙体的抗风化、防水和保温能力^[3]。传统上，外墙抹灰所使用的主要材料包括水泥、石灰、砂子等，通过合理的配比和施工工艺，保证抹灰层的均匀性和强度。近年来，随着技术的进步，还引入了改良的抹灰材料如聚合物改性水泥砂浆、有机硅抹灰材料等，这些新型材料不仅具备更好的黏结力和耐候性，还能够提高抹灰层的防水性能和耐久性，适应不同地区和气候条件下的施工需求。

为确保抹灰层的均匀性和平整度，施工过程中通常采用机械化设备或专用工具，如抹灰机、抹灰板等，以提高施工效率和质量。施工工艺包括底层处理、抹灰层厚度控制、抹灰层的刮平和修整等环节，每一步都需要严格按照施工标准和设计要求进行操作，以确保最终抹灰层的质量和外观效果。另外，外墙抹灰施工技术在装修设计中也具有重要的装饰作用。通过选择不同颗粒大小的砂子或特殊的抹灰材料，可以调整抹灰层的表面纹理和光泽度，达到装饰效果和设计要求。例如，粗糙的抹灰表面可以增加墙面的质感和自然感，适用于一些古风或乡村风格的建筑；而光滑细腻的抹灰表面则适合现代简约风格的建筑设计。

现代建筑装饰装修中的外墙抹灰施工技术不仅仅是简单的表面处理，更是保护墙体、提升建筑美观性和功能性的重要手段。

3.3 涂饰外墙施工技术

涂饰外墙施工技术在现代建筑装饰装修中的应用可

以提升建筑外观美观度、增强建筑物抗风化能力和延长建筑寿命等方面。通过选择不同的涂料颜色和纹理，可以实现个性化的外观设计，满足不同建筑风格和环境需求。例如，现代建筑通常追求简洁、现代感，可以选择颜色明亮、线条简洁的涂料，而传统建筑可能倾向于选择较为复古的颜色和纹理，以保持历史风貌。涂饰外墙也具有良好的防水、防潮性能，能有效保护建筑物内部结构免受雨水侵蚀。现代涂料不仅具有优异的附着力和耐候性，还能防止水分渗透，延长建筑物的使用寿命。经过专业处理的外墙涂料能够有效抵御紫外线、酸雨、空气污染物等对建筑物表面的侵蚀，保持墙体色彩长久稳定，减少维护和修复成本。

在施工前，应对外墙表面进行清洁、打磨和修补，确保基面平整、无裂缝和脱落物。然后根据建筑的环境、用途和预算选择适合的涂料类型，如有机硅涂料、聚合物涂料或水性涂料等，以及相应的底漆和面漆。涂饰外墙的施工工艺一般包括底漆施工、面漆施工和涂料固化等步骤。在施工过程中，需要注意涂料的厚度均匀性和干燥时间控制，确保涂层质量。施工完成后，应及时对涂层进行保护，防止外界环境影响涂料的固化和表面质量，检查涂层的附着力、平整度和色泽等指标，确保施工质量符合标准要求。

3.4 外墙玻璃幕墙施工技术

玻璃幕墙不仅美观大方，还能有效提升建筑的采光性能和空间感，是现代城市建筑中常见的外立面设计选择。在施工之前，必须进行精确的设计和规划，考虑到建筑的结构特点、环境条件以及玻璃幕墙的功能要求，这涉及到玻璃幕墙的材料选择、结构设计、承载能力计算以及安全性评估，确保施工过程中的安全和可靠性。玻璃幕墙施工的质量直接关系到建筑的整体外观和使用寿命，因此选取高质量的玻璃、铝合金等材料至关重要。现代玻璃幕墙常采用双层玻璃、中空玻璃等，通过现代化的制造和处理技术，保证其耐久性、隔热性和安全性。

玻璃幕墙的施工需要严格按照施工图纸和设计要求进行，涉及到精确的尺寸测量、开孔、安装、密封和调试等多个环节。特别是在大型高层建筑的施工中，需要使用起重设备和安全保护措施，确保施工人员的安全和施工质量。同时，随着节能环保意识的提升，现代玻璃幕墙要求不仅具备美观性和耐久性，还需要考虑其隔热、保温和节能效果。施工过程中需要采用先进的隔热材料和技术，如热桥断热处理、双层玻璃中空结构等，以减少能源消耗，提高建筑的能效等级。玻璃幕墙施工完成后，需要进行定期的维护和管理，包括清洁、检修及可能的更换和修复工

作，这些措施不仅有助于保持玻璃幕墙的外观和性能，还能延长其使用寿命，确保建筑长期的美观和功能性^[4]。

3.5 吊顶装饰技术

现代建筑装饰中的吊顶装饰技术是提升室内空间美观性和功能性的重要组成部分。吊顶不仅能隐藏管线、电线等设施，还能改善室内光线、隔音效果，并增加空间的层次感和设计感。在吊顶装饰技术的应用中，有几个关键方面需要关注：首先，吊顶的材料选择和设计风格对于整体装饰效果至关重要。常见的吊顶材料包括石膏板、铝合金、PVC板、木质板等，每种材料具有不同的质感和视觉效果，可以根据空间设计风格和功能需求进行选择。现代设计趋向于多样化和个性化，因此吊顶设计往往会融入到整体装饰风格中，如简约现代、欧式古典、工业风等，以达到空间美化和功能优化的目的。其次，吊顶的施工工艺和安装技术直接影响到装饰效果的质量和耐久性。现代技术使得吊顶安装更加精准和高效，采用了先进的悬挂系统和安装工具，确保吊顶的平整度和稳固性。例如，通过使用专业的吊顶龙骨系统，可以有效解决吊顶在安装过程中的变形和下垂问题，保证吊顶的长期稳定性。最后，吊顶还涉及到功能性装置的隐藏与整合。在现代建筑中，电气设备、空调系统和照明设施等需要被巧妙地隐藏在吊顶之内，以保持室内空间的整洁和美观。这要求吊顶设计不仅要考虑到装饰效果，还要兼顾到功能性需求和操作便捷性，确保设备维护和修理的便利性。

4 结束语

现代建筑装饰装修不仅关注美观和实用性，更注重技术创新和环境友好性。通过对装修理念和墙体装饰技术的分析，可以更好地把握当前行业的发展方向，为建筑行业的可持续发展作出贡献。

【参考文献】

- [1] 陆思捷. 对节能理念的现代建筑装饰装修设计分析 [J]. 居舍, 2023(27): 66-68.
 - [2] 白云. 浅析现代建筑装饰装修理念及其墙体装饰技术 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022(12): 93-95.
 - [3] 何欣, 杨峰俊. 超高层建筑墙体保温节能装饰材料的应用研究 [J]. 合成材料老化与应用, 2021(5): 84-86.
 - [4] 王立军. 房屋建筑的装饰施工技术要点 [J]. 智能城市, 2019(21): 142-143.
- 作者简介：李永园（1984.11—），毕业学校：西南科技大学，专业：土木工程，单位：北京灼卓文化创意有限责任公司，职务：项目经理。

基于土木工程施工阶段屋面防水施工技术研究

刘 聘

湖北承乾建筑工程有限公司，湖北 孝感 432020

[摘要]建筑工程中，屋面防水作为保护建筑结构的重要组成部分，其质量直接关系到建筑物的使用寿命和安全性。然而，在实际施工过程中，屋面防水技术面临诸多挑战，如材料质量问题以及施工质量管理不到位等，直接影响到屋面防水系统的性能和效果。基于此，文中详细阐述施工阶段屋面防水施工技术，并提出具体措施，旨在提升施工阶段屋面防水工程的可靠性和耐久性，为相关领域的专业人士提供实用指导和参考。

[关键词]屋面防水；土木工程；施工技术；材料质量；施工管理

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13425

中图分类号: TU761.11

文献标识码: A

Research on Roof Waterproofing Construction Technology Based on Civil Engineering Construction Stage

LIU Cheng

Hubei Chengqian Construction Engineering Co., Ltd., Xiaogan, Hubei, 432020, China

Abstract: In construction engineering, roof waterproofing is an important component of protecting building structures, and its quality directly affects the service life and safety of buildings. However, in the actual construction process, roof waterproofing technology faces many challenges, such as material quality issues and inadequate construction quality management, which directly affect the performance and effectiveness of the roof waterproofing system. Based on this, the article elaborates on the roof waterproofing construction technology during the construction phase and proposes specific measures aimed at improving the reliability and durability of the roof waterproofing project during the construction phase, providing practical guidance and reference for professionals in related fields.

Keywords: roof waterproofing; civil engineering; construction technology; material quality; construction management

引言

屋面防水不仅仅是简单的水密性问题，更涉及到对建筑结构各个组成部分的保护，防止因水渗漏引发的腐蚀、结构耐久性降低甚至倒塌等安全隐患^[1]。有效的屋面防水系统可以有效延长建筑物的使用寿命，降低维护和修复成本，提升建筑物的整体安全性和可靠性。随着城市建设和高楼大厦的不断增多，如何在施工过程中选择合适的材料和技术，以及如何通过科学的养护管理保障屋面防水系统的长期性能，是当前研究亟须解决的问题。因此，本文深入分析施工阶段屋面防水施工技术的重要性及其面临的问题，并提出相应的技术措施和管理建议，以期为提升屋面防水工程质量可靠性和安全性，推动建筑行业的可持续发展贡献力量。

1 施工阶段屋面防水技术重要性

1.1 保护建筑结构和内部设施

建筑工程中，屋面防水技术直接关系到建筑结构的稳定性、内部设施的安全性以及建筑物整体的使用寿命。首先，建筑物的屋面直接暴露于风雨中，如果屋面防水技术不到位，易导致水分渗透到建筑结构内部。长期以来，水分侵蚀会导致混凝土结构中的钢筋腐蚀、钢结构的锈蚀，甚至木结构的霉菌滋生和腐烂，不仅会影响建筑结构的整体稳定性和承载能力，还导致建筑物的结构安全隐患，从而增加维修和修复的成本，甚至危及建筑物的使用安全。

其次，建筑内部设施如电气设备、管道系统、室内装修等对于水分的敏感性较高，一旦发生屋面漏水，会导致设施损坏甚至短路火灾等安全事故。良好的屋面防水系统能够有效阻止水分渗透，保护内部设施的完整性和稳定运行，从而减少因漏水引起的设备维修和更换成本，提高建筑物的整体运营效率。此外，建筑的使用寿命受多种因素影响，其中包括结构材料的耐久性和抗老化能力，屋面防水系统能够有效地延缓水分对建筑材料的侵蚀，可显著延长建筑物的使用寿命，降低维护成本，并减少资源的浪费。

1.2 保障建筑物的使用安全

建筑物作为人们生活、工作和活动的场所，其安全性直接关系到人们的生命财产安全，因此屋面防水技术的重要性不可忽视^[2]。首先，屋面作为建筑的顶部结构，直接承受自然环境带来的各种天气影响，包括雨水、风雪、紫外线等，屋面漏水不仅会给建筑内部设施和装修材料带来损坏，更可能引发严重的安全事故，危及住户和工作人员的生命安全。其次，高层建筑由于高度和结构特点，屋面漏水问题一旦发生，后果可能更为严重。如屋面漏水会导致楼层间的水平移动，加剧结构的腐蚀和损坏，进而影响到整栋建筑的稳定性。此外，屋面漏水还导致楼层内部装修和设备的长期受损，增加维修和修复的成本，降低建筑物的使用价值和经济效益。良好的屋面防水系统不仅可以有效

预防这些潜在的安全风险，还能提升建筑物的整体安全性，通过选择适合的防水材料、科学合理地设计防水系统以及严格的施工质量控制，可以有效地减少屋面漏水的可能性。

1.3 节能与环保效果

良好的屋面防水系统能有效减少能源消耗，改善室内环境质量，从而对节能和环保产生积极影响。屋面防水技术对节能效果的贡献主要体现在两个方面：热能保护和光能利用。有效的屋面防水系统能够防止外界环境中的热量通过屋面进入建筑物内部，从而减少空调系统的负荷。在夏季，良好的屋面防水系统可以减少屋面的热吸收和传导，降低室内温度，减少空调设备的使用频率和能源消耗。这种节能效果不仅可以降低建筑物的运行成本，还有助于减少温室气体排放，对应对气候变化产生积极影响。同时，屋面防水技术还能优化建筑物的光能利用效率。适当的屋面防水系统设计可以反射或吸收太阳辐射，从而减少建筑物内部的热损失或增加冬季的日照效果，不仅提升了建筑物的能效表现，还改善了室内的采光条件，减少了人工照明的需求，进一步节约能源。此外，防水系统的优化设计和选择环保材料可以减少对自然资源的消耗，降低建筑施工和运营过程中的环境负荷，如采用可再生材料或者具有良好环保性能的防水材料，不仅有利于减少对有限资源的开采压力，还能降低材料生产和处理过程中的环境污染。

2 土木工程施工阶段屋面防水施工技术

2.1 屋面结构检查

在土木工程施工中，屋面防水施工前的结构检查和处理至关重要，以确保防水系统的有效性和长期稳定性。通常情况下，屋面在没有进行防水处理之前，易出现漏水问题的主要部位包括以下几个方面：首先，屋面的结构本身可能存在裂缝或者构造缺陷，如混凝土表面龟裂、收缩缝处渗水、砖瓦之间的间隙等。这些结构缺陷会导致水分从屋面内部渗透到建筑物内部，引发漏水问题。其次，屋面结构的老化和损伤也是漏水的主要原因，特别是在长期风吹日晒、雨水侵蚀下，屋面材料可能会发生老化、开裂或破损，失去原有的防水功能。最后，屋面在施工或者使用过程中可能会因为各种原因（如设备维护、施工操作等）而导致局部结构损坏或者松动，从而增加了漏水的风险。

2.2 防水层施工

防水层施工涉及多个细节和技术参数，确保防水效果的达到设计要求和标准^[3]。

防水卷材的施工方法包括全粘贴法、部分粘贴法和热焊接法。通常，施工顺序从低到高，依次铺贴防水卷材，横向搭接宽度一般为 200~300mm，纵向搭接宽度为 100~150mm。首先，选材是防水施工的首要环节。屋面防水材料的选择直接影响到防水层的寿命和性能，主要的防水卷材类型有 SBS 改性沥青卷材、APP 改性沥青卷材和 PVC 合成树脂卷材，每种都具有不同的耐候性和适用环境。一般情况下，使用 SBS 改性沥青防水卷材的屋面，其防水层的平均使用寿命可达到 15~20 年，而高密度聚乙烯(HDPE)

等合成高分子材料则可以延长至 25 年以上。

表 1 防水卷材

卷材类别	搭接宽度	
合成高分子防水卷材	胶粘剂	80
	胶粘带	50
	单缝焊	60，有效焊接宽度不小于 25
	双缝焊	80，有效焊接宽度 10×2+空腹宽
高聚物改性沥青防水卷材	胶粘剂	100
	自粘	80

整个防水卷材施工流程通常包括基层处理、冷底子油涂刷、非固化沥青铺贴、防水卷材铺贴、隔离层设置、抗裂层加固（通常用钢筋网片）、保温层覆盖（常用聚苯板）、最后是防水保护层的覆盖，确保防水层的安全性和持久性。

在施工时，表面必须保持干燥、清洁和平整，任何的尘土、油污或松散物都将严重影响防水层的附着力，适当的基层处理可以将防水失败的风险降低约 40%。此外，表面处理还包括对基层的检查和修补，确保无裂缝或孔洞，因为这些瑕疵都会成为水分侵入的通道。在接缝处理上，应重叠不少于 100mm，并使用专用焊枪进行密封，以防止接缝处泄露。并采用系统的检测方法，包括视觉检查、压力测试和渗漏测试，以验证防水层的完整性和功能，通过细致的验收程序可以提前发现约 95% 的潜在问题，从而及时修复，确保防水层的质量。

2.3 隔离层施工

隔离层施工是防止防水层与结构层之间的直接接触，从而避免化学或物理反应导致防水层损坏，同时还可以平衡和分散结构应力。隔离层材料的选择多样，包括高密度聚乙烯膜 (HDPE)、无纺布、玻璃纤维毡等，每种材料都有其特定的物理和化学属性适用于不同的环境和需求^[4]。如 HDPE 膜以其优异的抗穿刺性能和化学稳定性，在化学腐蚀环境中的应用尤为广泛，HDPE 隔离层可有效延长屋面系统的使用寿命至少 20 年。在施工过程中，隔离层的铺设需要严格按照设计要求和施工规范进行。首先，基层表面必须处理干净、平整，无尖锐物质和杂物，它直接影响到整个防水系统的完整性和有效性。其次，隔离层材料的铺设应保证足够的重叠宽度（通常不少于 100mm），以及密封性好的接缝处理有效防止水分通过接缝渗透，接缝处理不当会增加 30% 的泄露风险。在隔离层的铺设中还需考虑到结构的热胀冷缩。正确的安装应确保隔离层具有一定松弛度，以应对温度变化引起的材料伸缩。此外，特定情况下需要在隔离层与防水层之间增设一层保护层，以抵御机械损伤或其他外界影响，减少约 50% 的物理损伤风险。

完成隔离层施工后的质量检查同样重要。应用现代检测技术，如电子泄漏检测 (ELD) 技术，可在不破坏隔离层的前提下，准确地定位潜在的缺陷和漏点，通过高精度检测技术可以提前发现并修复 95% 的潜在问题，极大地提高了屋面系统的防水性能和可靠性。

表 2 隔离层材料汇总

隔离层材料	适用范围	技术要求
塑料膜	块体材料、水泥砂浆保护层	0.4mm 厚聚乙烯膜或 3mm 厚发泡聚乙烯膜
土工布	块体材料、水泥砂浆保护层	200g/m ² : 聚酯无纺布
卷材	块体材料、水泥砂浆保护层	石油沥青卷材一层
低强度等级砂浆	细石混凝土保护层	10mm 黏土砂浆, 灰膏: 砂: 黏土=1:2.4:3.6
		10mm 厚石灰砂浆, 灰膏: 砂=1:4
		5mm 厚掺有纤维的石灰砂浆

2.4 防水施工细节处理

首先, 施工前的准备工作至关重要。在开始施工之前, 需要对施工现场进行清理和准备, 确保基层表面平整、干净, 无松动物质和污垢, 为后续防水层的粘结和施工提供了良好的基础。其次, 对于阴阳角、棱角等易积水区域的处理尤为重要。在这些部位, 应当采用圆弧处理的方式, 以确保水流顺畅, 避免水在角落处积聚和渗透, 从而导致漏水问题。再次, 施工过程中, 尤其是在高温或者低温环境下, 要注意防水卷材的施工温度和条件。过高或过低的温度都会影响黏结剂的效果和防水层的质量, 因此应根据施工环境选择合适的施工时间和方法, 保证施工质量。

另外, 对于建筑物内部的穿越部位(如通风管道、排水管道等), 在防水施工时需要进行特殊处理。通常会设置特殊的穿越套管或者增加防水套管, 以确保这些部位的防水性能不受影响。最后, 在防水施工的最后阶段, 要注意设置防水保护层, 通常是指覆盖在防水层表面的保护材料或保护层, 用于防止日常使用中可能造成的机械损伤、化学侵蚀或者紫外线照射, 进一步保障防水系统的长期有效性和耐久性。

3 加强施工阶段屋面防水施工技术的措施

3.1 加强对防水原材料的质量控制

防水原材料的质量直接影响到屋面防水系统的性能和持久性, 因此对其质量控制的严谨性至关重要^[5]。第一, 防水原材料包括涂料、沥青、膜材料等, 其质量直接决定了防水系统的耐候性、抗老化性能以及防水效果。为了确保防水材料符合设计要求和施工标准, 必须在采购和供应阶段实施严格的质量控制措施。这包括与供应商建立长期稳定的合作关系, 确保供应的材料符合国家和行业标准, 并具备相应的质量认证。第二, 针对不同的防水原材料, 建立详细的检验和测试程序, 应涵盖材料的物理性能测试(如拉伸强度、撕裂强度、穿刺强度等)、化学性能测试(如耐碱性、耐老化性等)以及防水效果的实地验证测试。通过严格的检验和测试, 可以确保材料在使用过程中能够稳定可靠地发挥其防水功能, 减少因材料质量问题导致的屋面漏水风险。第三, 建立健全的材料管理制度, 包括材料的存储条件、使用期限控制、配送和调配的管理等方面。正确的材料管理能够避免材料在存储和运输过程中受到环境条件影响而质量受损, 确保施工现场获得高质量的使用材料。

3.2 建立施工制度加强施工人员管理

施工制度的建立和施工人员的有效管理对于确保施工质量、安全性和工程进度至关重要, 尤其屋面防水这样关乎建筑结构稳定和使用安全的重要工程。首先, 建立健全的施工制度。施工制度应包括详细的施工方案和工艺流程、施工图纸及规范、质量检查与验收标准、安全生产措施、施工组织和协调安排等内容。通过制度化的管理, 可使施工过程有条不紊、步步为营, 避免疏漏和纰漏, 确保每个施工环节都按照预定的程序和要求进行, 提升施工质量和效率。其次, 加强施工人员管理。施工人员的管理包括人员的招聘与培训、安全意识教育、岗位责任和分工、工作考核和奖惩机制等方面。通过严格的人员选拔和培训机制, 确保施工人员具备必要的技术能力和安全意识, 能够胜任复杂的屋面防水施工任务。此外, 明确的岗位责任和分工能够保证每个施工人员在施工过程中各司其职, 密切配合, 减少施工事故和质量问题的发生。再次, 建立健全的安全生产管理制度。屋面防水施工中, 施工人员面临高空作业、使用化学材料等潜在的安全风险, 因此必须制定详细的安全操作规程和安全技术措施, 进行现场安全教育和培训, 配备必要的个人防护装备, 确保施工现场的安全生产环境。只有安全有保障, 施工人员才能集中精力投入到屋面防水施工中, 保证施工质量和进度的同时保障自身的安全。最后, 施工人员管理应注重沟通与协调。建立良好的沟通机制, 确保施工现场各部门、各工种之间的信息共享和协作配合, 解决施工过程中存在的问题和矛盾, 促进施工进度的顺利推进。

4 结束语

在施工阶段屋面防水施工技术中, 加强对防水原材料的质量控制和建立施工制度加强施工人员管理, 不仅是确保建筑物结构安全和使用寿命的重要举措, 也是推动建筑行业向着更加可持续发展的方向迈进的关键步骤。通过严格的质量管理和科学的施工管理, 我们能够有效降低屋面漏水风险, 提升能源利用效率, 减少环境负荷, 同时保障施工人员的安全和健康。

[参考文献]

- [1] 何涛, 黄林华. 土木工程施工中的建筑屋面防水技术要点探究[J]. 居舍, 2023(35): 37-40.
 - [2] 胡祥礼. 建筑工程中的屋面防水施工技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(20): 126-128.
 - [3] 郑飞. 探讨提高建筑工程屋面防水施工技术的对策[J]. 建筑与预算, 2021(11): 95-97.
 - [4] 赵振华. 建筑工程屋面防水施工技术及质量控制[J]. 居舍, 2021(16): 67-68.
 - [5] 相宛彤, 王英鹏, 郭启昊. 建筑屋面防水土木工程施工技术措施分析[J]. 陶瓷, 2020(10): 110-111.
- 作者简介: 刘聘(1988.11—), 毕业院校: 湖北工程学院, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 湖北承乾建筑工程有限公司, 职务: 项目经理, 职称级别: 中级工程师(工民建)。

钻孔灌注桩施工技术在水利施工中的应用研究

胡兆涛

山东大禹水务建设集团有限公司，山东 济南 250109

[摘要] 水利工程施工中，钻孔灌注桩技术被广泛应用，因其具有施工方便、承载力高等优点。文中对钻孔灌注桩施工技术在水利工程中的应用进行了研究，分析了钻孔灌注桩的施工工艺及其在水利工程中的具体应用，并对施工中常见的问题及处理方法进行了探讨。

[关键词] 钻孔灌注桩；水利施工；应用研究

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13424

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Application Research on Bored Pile Construction Technology in Water Conservancy Construction

HU Zhaotao

Shandong Dayu Water Construction Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250109, China

Abstract: In the construction of water conservancy projects, the technology of bored pile is widely used due to its advantages of convenient construction and high bearing capacity. The article studies the application of bored pile construction technology in hydraulic engineering, analyzes the construction process of bored pile and its specific application in hydraulic engineering, and discusses common problems and solutions in construction.

Keywords: bored pile; water conservancy construction; application research

引言

随着我国经济的快速发展，水利工程在国民经济中的地位日益突出。钻孔灌注桩施工技术在水利工程施工中占据重要地位，其施工质量的好坏直接影响到水利工程的安全和稳定性。因此，对钻孔灌注桩施工技术在水利工程中的应用进行研究，提高施工质量，具有重要的现实意义。

1 钻孔灌注桩施工工艺

1.1 钻孔灌注桩施工流程

钻孔灌注桩施工流程主要包括桩位放样、钻机就位、钻孔、清孔、灌注混凝土、桩顶处理等环节。首先，根据设计图纸，将桩的位置准确地标注在地面上，并用标杆或其他标记工具标出桩的中心位置；根据桩位放样，将钻机准确地放置在桩的中心位置上，通过启动钻机，将钻头旋转并钻入地面，直到达到设计深度^[1]。在钻孔过程中，需要根据地质条件调整钻头的转速和进给速度，以确保钻孔的质量和避免损坏地质层。清孔是钻孔完成后的步骤，将钻头取出，用清孔工具将孔内残留的土壤和碎屑清除干净，清孔的目的是确保灌注混凝土的质量和减少混凝土与孔壁之间的摩擦阻力，其次将混凝土通过导管灌注到钻孔中，直到填满整个孔隙。在灌注过程中，需要控制混凝土的流动性和灌注速度，以避免产生离析和空洞。最后，桩顶处理是对钻孔灌注桩的顶部进行处理，将灌注混凝土表面进行平整和压实，以确保桩顶的质量和稳定性。桩顶处理还包括对桩顶进行保护，例如设置保护层或涂抹防水材料，以防止混凝土受到侵蚀和损坏。

总之，钻孔灌注桩施工流程是一个复杂而重要的建筑施工过程。通过精确的桩位放样、稳定的钻机就位、准确的钻孔、彻底的清孔、有效的灌注混凝土和仔细的桩顶处理，可以确保钻孔灌注桩的质量和稳定性，为建筑物的安全性和耐久性奠定基础。

1.2 钻孔灌注桩施工方法

钻孔灌注桩施工其主要目的是通过钻孔设备在地面上钻出一个或多个孔洞，然后将钢筋和混凝土灌注到孔洞中，形成坚固的支撑结构。钻孔灌注桩施工方法主要包括旋挖钻孔、冲击钻孔、静压钻孔。旋挖钻孔采用旋转钻杆和挖斗进行钻进和出土。该方法具有成孔质量好、施工效率高、噪声低、振动小等优点，适用于城市建筑和精密工程。旋挖钻孔能够在复杂的地层中取得良好的施工效果，尤其是在软土层、砂层和碎石层等地质条件下，表现出较强的适应性。冲击钻孔是利用冲击器对钻头进行冲击，从而破碎岩石。该方法具有设备简单、成本较低、施工速度快等优点，适用于硬质岩层和石层等地质条件。冲击钻孔在施工过程中需要注意冲击力度和频率的控制，以保证钻孔质量和施工安全。静压钻孔主要通过液压或气压驱动钻头进行钻进。该方法具有钻进速度快、噪声低、振动小等优点，适用于环保要求较高的工程。静压钻孔在施工过程中需要严格控制压力，以防止钻头卡住或损坏。

在实际施工中，钻孔灌注桩施工方法的选用需要综合考虑多种因素。不同的地质条件需要采用不同的钻孔方法。例如，软土层适合采用旋挖钻孔，硬质岩层适合采用冲击

钻孔。此外，工程要求也是选择钻孔方法，不同的工程对成孔质量、施工速度、噪声和振动等方面的要求不同，需要根据实际情况选择合适的钻孔方法，例如城市建筑需要噪声低、振动小的钻孔方法，如旋挖钻孔和静压钻孔。

2 钻孔灌注桩施工要点

2.1 施工前准备工作

(1) 施工单位需要对施工场地进行详细的调查和了解，包括地质条件、水文地质情况、地下管线分布等，以便确定合适的桩基施工方案。此外，还需对施工场地进行平整，清除障碍物，为钻孔灌注桩施工创造良好的施工条件。

(2) 施工设备的选择和准备。根据设计要求和施工场地条件，选择合适的钻机、吊车、泵车等施工设备。并对设备进行充分的检查和维护，确保设备在施工过程中正常运行。施工材料的准备。根据设计要求，准备足够的钢筋、混凝土、水泥、砂、石子等建筑材料。并对材料进行质量检验，确保施工材料的质量符合国家标准。

(3) 施工人员的安全培训和施工技术的交底。对施工人员进行安全教育培训，提高施工人员的安全意识，避免在施工过程中发生安全事故。同时，组织施工技术交底，使施工人员充分了解施工工艺、质量要求、施工进度等，确保施工的顺利进行。

(4) 质量控制。建立健全质量管理体系，制定严格的质量控制措施，对施工过程中的每一个环节进行质量检查，确保钻孔灌注桩的施工质量。

2.2 钻孔施工

在水利工程施工过程中，钻孔施工是重要环节，而钻孔前的泥浆制备工作更是关键。施工人员需要根据水利工程地质情况和有关规定的要求，确定各类材料的最佳配比，以制备出性能优良的泥浆。泥浆制备的成功与否，将直接影响到钻孔的顺利进行以及后续的泥浆护壁工作。

在泥浆制备过程中，有几个关键指标需要特别注意，包括泥浆的失水率、含砂率以及胶体率等。失水率过高会导致泥浆过于干燥，无法形成有效的泥浆护壁；含砂率过低则会导致泥浆过于稀薄，无法提供足够的支撑力；而胶体率过高则会使泥浆过于黏稠，影响钻孔的进度^[2]。因此，施工人员需要严格把控这些指标，以提升泥浆的整体性能。泥浆制备完成后，施工人员就可以按照预先制定的施工方案，使用冲击钻机和旋挖钻机进行钻孔。在实际钻进过程中，施工人员需要确保钻杆处于加压钻动的状态，以避免对底部土体产生过多的影响。同时，还需要定时对钻头的通气孔进行检查，以避免出现活塞的情况，从而减少塌孔的几率。当钻孔临近规定要求的深度时，施工人员可以采用人工挖孔的方法继续开挖，以将超挖情况出现的可能性降至最低。在达到设计要求深度后，便可停止钻进。该方法不仅可以提高钻孔的精度，还能减少对周边环境的影响。

2.3 清孔和孔位检查

在水利施工中，施工人员需要对孔洞中的残土和杂物

等进行全面清除。这一步骤至关重要，如果残土和杂物不清理干净，将会影响到下一步的施工质量。在清除完残土和杂物后，施工人员会使用全站仪和其他工具对孔洞的深度和直径等进行精确测量。为了确保孔洞的尺寸符合设计要求，如果与规定要求偏差较大，则需要尽快调整，以避免对整个工程造成影响。

在进行下一步施工之前，还需要使用检孔器检查孔壁有无失稳和坍塌的情况。这是为了确保孔壁的稳定性，防止在施工过程中发生意外。如果孔壁失稳或坍塌，将会对施工人员的安全造成威胁，同时也会影响到工程的进度和质量。因此，这一步骤同样至关重要。只有在孔洞清理干净、尺寸符合要求，孔壁稳定后，才能展开下一步的施工工序。这一系列的步骤都是为了确保工程的质量和进度，同时也是为了保障施工人员的安全。在建筑施工中，每一个环节都需要严谨对待，只有这样，才能确保整个工程的顺利进行。总的来说，钻进结束后对孔洞的处理，需要施工人员认真对待。只有确保孔洞的清洁、尺寸准确、孔壁稳定，才能为下一步的施工奠定良好的基础。

2.4 护筒埋设

在水利工程中，钢护筒的应用是确保工程稳定性和施工安全的关键因素。本工程采用直径 1.8m，厚度为 5.5mm 的钢护筒进行埋设，其施工质量直接关系到整个工程的成功与否，为此施工人员必须从多个方面严格把控施工质量。

(1) 桩位的准确性是钢护筒成功埋设的基础。采用精确的十字交叉法对桩位进行保护，确保在埋设过程中桩位不会受到不必要的干扰，从而保证护筒的放置位置准确无误。

(2) 为了确保施工的顺利进行，在钢护筒的上部预留了两个口，分别是 40cm×20cm 的进浆口和出浆口，既能保证护筒内部的施工环境，又能方便施工过程中的浆料进出。同时，在底节护筒位置和顶部位置分别对刀脚、吊环进行合理设置，以保证护筒在埋设过程中的稳定性和安全性。

(3) 采用挖孔埋设方法完成护筒的埋设工作。在实际施工过程中，确保护筒的埋设深度大于反循环钻机护筒的埋设深度，以保证护筒的稳定性和承载能力。护筒埋设完成后，需要对桩位进行检查。控制护筒中心和桩位中心之间的偏差小于 48mm，同时确保护筒的倾斜度小于 1%^[3]。在各方面参数符合要求后，再进行桩位的恢复工作，确保施工的顺利进行。总的来说，钢护筒的埋设工作需要施工人员从多个方面严格把控施工质量。

3 钻孔灌注桩技术应用

3.1 施工过程中的技术

(1) 桩位的精准确定。桩位的位置直接关系到灌注桩的承载能力和稳定性。因此，在施工前期，必须对施工场地进行详细的勘察，特别是对于淤泥质土层或水深较大的区域，根据实际情况搭建一个稳固可靠的工作平台，不

仅需要承受施工设备的荷载，还要保证在各种天气条件下都能稳定工作。

(2) 施工现场的测量控制系统节。必须对打桩的数据进行全面的测量，包括桩的直径、孔的深度以及垂直度等，都要严格控制。通过精确计算，得出桩位的相关数据，进而确保桩位能够满足工程设计的要求。在水利工程中，由于其特殊的工程环境和功能需求，桩位的准确性更是至关重要。

(3) 施工前的准备工作。包括对施工场地的平整、障碍物的清除以及施工道路的铺设等。同时，还需要对施工人员进行技术交底，确保施工人员熟悉施工流程和操作规范，以提高施工效率和安全性。另外，必须制定严格的安全规章制度，对施工现场进行定期的安全检查，及时发现并消除安全隐患。同时，还要对施工人员进行安全教育，提高他们的安全意识。

3.2 钢筋笼运输

钢筋笼分段制作关系到整个工程的安全和质量。在这一过程中，对钢筋接头的处理尤为关键。根据规范要求，钢筋接头应采取错开连接，且一半以上的接头需通过焊接来确保连接的稳定性。监管人员在现场要对这一环节进行严格的质量控制和检查，确保钢筋笼的焊接质量符合标准。

在钢筋笼的制作过程中，不仅要求钢筋笼在制作过程中保持垂直，而且在下放至孔洞时也要保持垂直，避免因倾斜导致钢筋笼变形或孔壁坍塌。因此，在下放钢筋笼时，应缓慢进行，避免强制下放，防止对孔壁造成过大冲击，造成坍塌。

在钢筋笼吊装前，必须使用探测器检查钻孔内是否有塌陷或障碍物，如果孔内存在塌陷或障碍物，直接进行吊装会导致钢筋笼变形，甚至损坏。一旦发现孔内情况不理想，应立即进行处理，确保孔内情况符合要求后再进行吊装。钢筋笼的吊装运输采用两点起吊的方式，这种方式可以有效分散钢筋笼的重量，降低吊装过程中对钢筋笼的损坏。在安装时，应将对准孔的位置，然后垂直缓慢放下。如果在下放过程中遇到阻碍物，应保证慢起慢落，调整到正确位置后再放下，不仅可以避免对钢筋笼造成损坏，也可以避免对孔壁造成影响。

3.3 护壁泥浆的调制

在水利施工中，施工人员在地质条件复杂、地下水丰富的区域进行钻孔作业时，确保施工安全、防止孔壁塌陷是工程师们面临的挑战。为了有效应对这些挑战，施工单位必须采用一系列精细的工程技术来维护孔壁的稳定性。

在钻孔过程中，泥浆的作用至关重要，不仅作为传递旋转动力和冲击力的介质，帮助钻头切削地层，同时也构

成了保护孔壁的重要屏障。泥浆的注入伴随着钻孔的操作，两者须同步进行，以维持孔壁受到的内部压力与外部环境的平衡。在孔壁表面，泥浆会形成一层坚韧的泥皮，这层泥皮是防止地下水渗透、避免发生冒水和塌陷的关键。

制备泥浆的主要成分包括适量的水分、黏土以及添加的化学物质，如烧碱。这些成分按照一定的比例混合，形成具有一定稳定性和流动性的泥浆。在调制泥浆的过程中，精确控制掺入的地下水比例是至关重要的^[4]。地下水的质量直接影响泥浆的性能，进而影响到钻孔作业的安全。因此，施工单位必须依据施工地的水文地质条件，对泥浆进行严格的配比和调整。此外，通过对周围地下水位、土层结构等进行持续监测，施工单位能够及时了解地质条件的变化，从而对泥浆的配比进行实时调整，确保钻孔作业的顺利进行。当发现孔壁稳定性出现异常，必须立即采取措施，如增加泥浆的密度、加固孔壁等，以防止事故的发生。

在实际施工中，泥浆管理还包括对泥浆性能的检测和维护。通过定期检测泥浆的黏度、密度等参数，确保其始终处于最佳工作状态。同时，随着钻孔的深入，地层的改变可能会对泥浆的性能产生影响，因此要求施工团队具备快速响应的能力，能够根据地层变化调整泥浆配方，保障施工安全。总之，钻孔施工中的泥浆管理是一项技术性极强的工作。它关系到施工安全、工程质量和进度，需要施工单位具备高度的专业技术和严谨的工作态度，通过精确的泥浆配比和严密的施工管理，以确保钻孔作业在复杂地质条件下的顺利进行。

4 结语

钻孔灌注桩施工技术在水利工程施工中具有重要作用。通过本文的研究，分析了钻孔灌注桩施工工艺及其在水利工程中的应用，对施工中常见的问题及处理方法进行探讨，为水利工程施工提供了参考，有助于提高钻孔灌注桩施工质量，保障水利工程的安全和稳定性。

【参考文献】

- [1] 孔凡磊. 水利施工中钻孔灌注桩技术的应用分析 [J]. 水上安全, 2024(5): 148-150.
 - [2] 王更贵. 钻孔灌注桩施工技术在水利施工中的应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(8): 120-122.
 - [3] 雷虎虎. 水利施工钻孔灌注桩施工技术及管理 [J]. 大众标准化, 2023(5): 45-47.
 - [4] 钱玉超. 水利施工中的钻孔灌注桩技术研究 [J]. 科技与创新, 2020(21): 110-111.
- 作者简介：胡兆涛（1987.9—），山东农业大学，土木工程，山东大禹水务建设集团有限公司，市政与房建公司副经理，工程师。

深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用探析

蔡祺

北海市市政工程设计院有限公司，广西 北海 536000

[摘要]近年来，随着我国城市化进程的不断推进，建筑工程行业的发展也迈上了崭新的台阶，出现了越来越多的高层建筑。而在高层建筑建设中，深基坑支护施工技术是必不可少的工作内容，对于保障建筑工程的安全性与稳定性意义重大。而在施工的过程中，施工企业需要考虑到施工现场的实际情况，并且与施工的实际需要相结合，选择合理的深基坑支护施工技术，这样才能够取得良好的应用效果，为建筑工程的整体质量奠定坚实的基础。基于此，本篇文章针对深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用进行了探析，希望为相关工作提供参考。

[关键词]深基坑支护；施工技术；建筑工程；技术应用

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13412 中图分类号: TU753 文献标识码: A

Application Analysis of Deep Foundation Pit Support Construction Technology in Construction Engineering

CAI Qi

Beihai Municipal Engineering Design Institute Co., Ltd., Beihai, Guangxi, 536000, China

Abstract: In recent years, with the continuous advancement of urbanization in China, the development of the construction industry has also reached a new level, with an increasing number of high-rise buildings appearing. In the construction of high-rise buildings, the construction technology of deep foundation pit support is an essential work content, which is of great significance for ensuring the safety and stability of building projects. During the construction process, construction companies need to consider the actual situation of the construction site and combine it with the actual needs of the construction to choose a reasonable deep foundation pit support construction technology, so as to achieve good application results and lay a solid foundation for the overall quality of the building project. Based on this, this article explores the application of deep foundation pit support construction technology in construction engineering, hoping to provide reference for work.

Keywords: deep foundation pit support; construction technology; construction engineering; technical application

引言

深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用探析涉及到如何有效地保护和管理地下挖掘区域，以确保施工安全和工程质量。随着城市建设的快速发展，特别是在复杂地质条件下的基坑工程中，深基坑支护技术的选择和应用显得尤为关键。不同的支护方法涵盖了钢板桩、深层搅拌桩、排桩、锚杆和地下连续墙等多种技术，每种技术都有其独特的适用场景和施工优势。本文旨在探讨这些技术在实际应用中的效果和挑战，以及如何通过综合分析和优化设计，提升深基坑支护在建筑工程中的应用效率和安全性。

1 深基坑支护的常见类型

深基坑支护在建筑工程中起着至关重要的作用，它通过各种技术手段来保护和稳定地下挖掘区域的土体，以防止土方塌方和地下水的渗入，确保施工过程的安全性和效率。常见的深基坑支护类型包括钢板桩、深层搅拌桩、排桩、锚杆和地下连续墙。钢板桩支护是一种通过在基坑周边安装或驱入钢板桩，形成封闭的支护结构来抵抗土压力的技术。这种方法适用于软土和松散地层，能有效控制土体的变形和沉降，是处理地质条件较为复杂的地区的常见

选择。深层搅拌桩支护是利用机械搅拌设备将水泥浆混入土体形成的桩体，增强土体的承载能力和抗剪强度。它特别适用于软弱地层和需要大面积支护的情况，通过加固土体来保证基坑周边的稳定性和安全性。排桩支护则是在基坑周围排列一定间距的桩位，填充固化剂形成支护墙体，结构简单且施工便捷，适合处理较浅的基坑和软土地质情况。锚杆支护通过在土体深部钻孔并固定钢筋锚杆，再注浆加固来形成支护结构，主要用于加固局部区域或处理复杂地质情况，能有效增强土体的抗拉能力和整体稳定性。地下连续墙支护是在基坑周围挖掘一定深度的连续墙体，通常采用搅拌桩或钻孔挖掘形成，用以防止土方塌方和地下水的渗入，适用于需要对地下水位有严格要求或有大面积挖掘的工程。每种支护技术都有其独特的适用条件和优势，工程设计时需要根据具体地质条件、工程要求和施工环境的实际情况来选择和应用，以保障基坑工程的安全、稳定和顺利进行。

2 深基坑支护施工技术应用中存在的问题

2.1 边坡处理质量不达标

在深基坑支护施工技术应用中，边坡处理质量不达标是一个常见的问题。由于地质条件复杂多变，施工过程中边

坡处理往往存在不均匀沉降、滑坡和变形等现象，这可能导致基坑周围土体的不稳定和支护结构的失效。此外，施工过程中的不规范操作、设计方案与实际地质条件不符以及监测不到位等因素也会影响边坡处理的质量，进一步增加了基坑施工的风险^[1]。这些问题不仅会延误施工进度，还可能带来严重的安全隐患，对整个工程的顺利进行造成不利影响。

2.2 施工设计与实际不符

在深基坑支护施工技术应用中，施工设计与实际不符是一个常见的问题。施工过程中，设计图纸与实际地质条件、环境情况常常存在差异，导致施工方案在实施过程中遇到诸多困难。例如，设计阶段对地质条件的勘察不足或误判，可能导致支护结构的设计参数与实际需求不匹配。此外，施工现场的实际情况如地下水位变化、周边建筑物的影响等也可能与设计预期不符，这些差异会导致支护结构无法达到预期的支护效果，增加施工风险和成本。这种不符不仅会影响施工进度，还可能引发安全隐患，对整个工程的质量和安全造成严重影响。

2.3 土方开挖环节不合理

在深基坑支护施工技术应用中，土方开挖环节不合理是一个常见的问题。这一问题通常涉及到施工过程中的土方开挖计划、方法和顺序等方面。不合理的土方开挖可能导致多种不良后果，如地基沉降过大、土体失稳、周边建筑物或地下管线的损坏等。这些问题可能是由于施工方案在设计阶段未能充分考虑地质情况和施工环境的复杂性所致。此外，未能及时调整土方开挖方案以适应实际工程进展和地质变化，也可能导致施工过程中的不合理土方开挖。因此，土方开挖环节不合理不仅会影响工程的安全性和稳定性，还可能影响施工进度和成本控制，需要在施工过程中严格监控和调整，以确保土方开挖的合理性和有效性。

3 深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用

3.1 锚杆支护施工技术

深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用中，锚杆支护技术是一种关键的工程解决方案。该技术通过在基坑周围或坡面使用锚杆进行支护，有效地增强了地基的稳定性和抗压能力。锚杆通常由高强度钢材制成，深入地下形成锚固区域，以抵抗土压力和水压力的影响，从而防止基坑周围土体的塌方和沉降现象。在实际施工中，锚杆支护的设计和施工过程需要严格遵循地质勘察和工程设计要求。首先，根据地质情况和基坑的深度确定锚杆的数量、深度和布置方式。然后，通过钻孔、注浆和锚固等工艺，将锚杆固定在地下合适的位置，确保其稳定性和可靠性。施工过程中还需考虑到地下水位、邻近建筑物和地下管线等因素，采取适当的安全措施，以防止施工过程中的意外事故和损坏。锚杆支护技术具有施工速度快、对现场影响小、适用性广等优点，适用于复杂地质条件下的建筑工程，如高层建筑、地铁隧道、桥梁基础等^[2]。通过合理的设计和严格的施工控制，锚杆支护技术能够有效地保障建筑工程的安全性和稳定性，是现代建筑工程中不可或缺的重要支护手段之一。

3.2 土钉墙支护施工技术

深基坑支护施工技术中的土钉墙支护是一种重要且广泛运用的技术。该技术通过在基坑周围或坡面钻孔并插入钢筋土钉，再以高压注浆方式形成墙面结构，用以增强土体的稳定性和承载能力。土钉墙支护适用于各种地质条件，尤其在软土和松散土层中，能有效地抵抗土压力和水压力，防止基坑周围土体的坍塌和滑动。在实际施工中，土钉墙支护的设计需根据地质勘察和工程要求确定土钉的长度、直径、间距及布置方式。施工过程首先进行钻孔，并将预制的钢筋土钉插入孔内，随后通过高压泵将水泥浆或其他适宜的浆液注入孔内，形成牢固的土钉墙面。此外，为确保支护效果和安全性，施工现场需要严格控制钻孔深度、钢筋土钉的嵌入深度以及注浆压力和质量。土钉墙支护技术具有施工速度快、适应性强、对现场影响小等优点，广泛应用于高层建筑、路堤支护、桥梁基础等建筑工程中。通过合理设计和严格施工操作，土钉墙支护技术能够有效保护基坑周围环境安全，并确保建筑工程的顺利进行和长期稳定性。

3.3 深层搅拌桩支护施工技术

深层搅拌桩支护施工技术在建筑工程中是一项关键的地基加固和基坑支护技术。该技术通过在地基土中进行搅拌，将水泥、固化剂或其他适合的材料混合均匀，形成坚固的搅拌桩，从而提升土体的承载能力和稳定性。深层搅拌桩支护适用于软土、淤泥质土和其他低强度地基，能够有效地抵抗土压力和水压力，防止基坑周围土体的沉降和变形。在实际施工中，深层搅拌桩支护首先通过专用的搅拌桩设备在地基中进行搅拌作业，将固化剂均匀混入土体中，形成连续或间断的搅拌桩结构。搅拌桩的直径和间距通常根据地质勘察和工程设计要求确定，以确保支护效果和工程安全^[3]。施工过程中需要严格控制搅拌桩的深度和质量，以及固化剂的配比和注入流量，确保每根搅拌桩的稳定性和可靠性。深层搅拌桩支护技术具有施工速度快、适应性强、对现场影响小等优点，广泛应用于高层建筑、桥梁基础、地铁隧道等工程中。通过合理的设计和严格的施工控制，深层搅拌桩支护技术能够有效地改善地基条件，确保建筑工程的安全性和稳定性，为复杂地质条件下的工程提供了可靠的技术支持。

3.4 地下连续墙支护施工技术

深基坑支护施工技术中的地下连续墙支护是一种重要且高效的技术应用。该技术通过在地基土中挖掘成连续的混凝土墙体，用以加固和支护基坑周围的土体。地下连续墙通常采用钻孔挖掘或搅拌桩法施工，墙体可以是连续的或者间断的，取决于具体工程需求和地质条件。这种支护结构不仅能够有效地抵抗土压力和水压力，还具有良好的防水效果，能够保护基坑内部的施工安全和稳定。在实际施工中，地下连续墙支护技术首先根据工程设计要求进行地质勘察和墙体布置方案的确定。随后进行墙体的钻孔或搅拌桩挖掘，并在挖掘过程中通过混凝土浇筑或注浆等方式形成坚固的墙体结构。施工过程中需要严格控制墙体的质量和尺寸，确保墙体的稳定性和可靠性，同时考虑到地下

水位和周边环境因素的影响，采取适当的防水措施和安全保护措施。地下连续墙支护技术具有施工速度快、适应性强、对现场影响小等优点，广泛应用于高层建筑、地铁隧道、水利工程等多个领域。通过合理设计和精准施工操作，地下连续墙支护技术能够有效地改善基坑的周围环境和地基条件，确保建筑工程的安全性、稳定性和长期可持续发展。

4 深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用策略

4.1 做好施工准备

深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用策略之一是做好施工准备。施工准备阶段是确保施工顺利进行和工程质量可控的关键步骤。首先，需要进行详细的工程前期调查和勘察，充分了解工程地质情况、地下水位、周边环境及可能存在的风险因素。基于勘察结果，制定详细的施工方案和支护设计，确保设计合理、施工操作规范。其次，施工准备阶段需要准备必要的施工设备、材料和人力资源，包括挖掘机械、钻机、混凝土浇筑设备等，保证施工过程中设备的充分供应和良好运转。同时，准备足够的支护材料，如钢板桩、土钉、搅拌桩等，确保施工过程中的材料供应和质量控制。另外，施工准备阶段还需制定详细的施工进度计划和安全措施，包括施工的时间安排、工序流程、质量检查标准以及应急预案等。通过合理的施工计划和严格的安全管理，预防可能发生的施工事故和质量问题，保障施工安全和工程质量。

4.2 选择施工方式

深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用策略之一是选择适合的施工方式。施工方式的选择直接影响到施工效率、工程质量和社会安全。在决定施工方式时，需要综合考虑工程的地质条件、基坑周围环境、支护结构的设计要求以及施工设备和人力资源的可用性等因素。例如，对于地质条件较为复杂或基坑周围有重要建筑物或地下管线的情况，可以选择挖掘支护同时进行的施工方式。这种方式可以有效减少基坑周围土体的失稳风险，同时确保建筑物结构和地下设施的安全性。另一方面，对于地质条件较为简单且施工场地较为宽敞的情况，可以选择先挖掘后支护的施工方式，以提高施工效率和节约成本。在选择施工方式时，还需考虑到施工过程中可能遇到的突发情况和应对措施，制定相应的施工计划和安全管理措施，确保施工过程顺利进行和施工质量可控。

4.3 做好防水措施

深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用策略之一是做好防水措施。由于基坑周围可能存在地下水或者受地表水的影响，因此必须采取有效的防水措施，以保证基坑内部和周围环境的安全和稳定。首先，施工前需要进行详细的地下水勘察和分析，了解地下水位、水质、水流动态等情况。根据勘察结果，制定合理的防水设计方案，选择适合的防水材料和施工方法，如防水膜、注浆、渗透深度不同材料等。其次，施工过程中需严格按照防水设计要求进行施工操作，确保防水材料的质量和施工质量^[4]。在施工现场，应加强对施工质量的监控和检测，及时发现并解

决可能存在的施工缺陷和质量问题，以防止防水效果不佳或失效。此外，施工结束后还需进行防水效果的检测和评估，确保防水系统的完整性和可靠性。定期进行防水设施的维护和保养工作，及时处理可能存在的损坏或老化问题，延长防水系统的使用寿命。

4.4 制定应急预案

在深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用策略中，制定应急预案是至关重要的步骤。基坑工程常面临地质条件复杂、施工环境多变等挑战，应急预案的制定可以有效应对突发事件，确保施工安全和工程质量。首先，应急预案应基于详细的风险评估和工程特点制定。预案内容包括但不限于突发事件类型分类、责任分工、应急处置流程、应急资源准备、应急通讯机制等。针对不同类型的突发事件如地质灾害、设备故障、人员伤亡等，制定相应的应急处置措施和应急响应流程，确保在紧急情况下能够迅速、有效地应对。其次，应急预案的实施需要建立健全的应急响应机制和组织结构。明确各级管理人员和施工人员的责任和职责，确保在突发事件发生时能够迅速启动应急预案并采取有效措施。同时，对应急演练进行定期和不定期的组织，提高施工人员应对突发事件的应急处置能力和协调配合水平。最后，应急预案的修订和完善是一个持续改进的过程。随着施工进展和环境变化，及时更新和调整应急预案，确保其与实际施工情况和风险变化相匹配，提升应急响应的及时性和效率。

5 结语

在建筑工程中，深基坑支护施工技术的应用至关重要，它直接关系到基坑周围土体的稳定性和施工的安全性。通过本文的探析，我们深入了解了钢板桩、深层搅拌桩、排桩、锚杆和地下连续墙等常见的支护技术，以及它们在不同地质条件和工程要求下的应用场景和优势。然而，随着城市化进程的加快和工程复杂性的增加，深基坑施工面临着诸多挑战，如地质变异性、施工环境限制和技术创新需求等。因此，未来在深基坑支护技术的研究和实践中，需要不断探索创新，优化设计方案，提升施工效率和工程质量，从而更好地满足城市建设的需求，确保基坑工程的可持续发展和安全运行。

【参考文献】

- [1] 杨杰. 建筑工程施工中深基坑支护的施工技术应用 [J]. 四川建材, 2024, 50 (5) : 117-119.
- [2] 孙久长. 建筑工程中深基坑支护施工技术的应用研究 [J]. 中国住宅设施, 2024 (1) : 184-186.
- [3] 吴庆伟. 深基坑支护技术在建筑施工中应用 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22 (9) : 77-79.
- [4] 陈鹏亮. 深基坑支护技术在建筑施工中的应用研究 [J]. 砖瓦, 2023 (7) : 136-138.

作者简介：蔡祺（1996.5—），男，毕业于桂林理工大学博文管理学院，土木工程专业，现就职于北海市市政工程设计院有限公司，任工程设计人员，助理工程师。

砂卵石地层中浅埋暗挖马头门施工技术分析

戴镇泽

北京市第五建筑工程集团有限公司，北京 100071

[摘要] 砂卵石地层因其特殊的地质条件，给浅埋暗挖出入口施工带来了诸多挑战。文中以某城市高压线入地电力隧道工程为背景，分析了砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工的技术难点，并从施工工艺、支护措施、施工组织与管理等方面提出了相应的施工技术措施，为类似工程提供了有益的参考。

[关键词] 砂卵石地层；浅埋暗挖；出入口；施工技术；支护措施

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13411

中图分类号: U455.4

文献标识码: A

Analysis of Construction Technology for Shallow Burial and Hidden Excavation of Ingate in Sand and Gravel Strata

DAI Zhenze

Beijing No.5 Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100071, China

Abstract: Due to its special geological conditions, the sand and gravel strata have brought many challenges to the construction of shallow buried and excavated entrances. The article takes the high-voltage line underground power tunnel project in a certain city as the background, analyzes the technical difficulties of shallow buried and excavated entrance construction in sandy gravel strata, and proposes corresponding construction technical measures from the aspects of construction technology, support measures, construction organization and management, providing useful reference for similar projects.

Keywords: sand and gravel formation; shallow burial and hidden excavation; entrance and exit; construction technology; support measures

引言

随着我国城市建设的快速发展，地下空间的利用越来越受到重视。砂卵石地层作为一种典型的地质条件，其浅埋暗挖出入口施工具有较大的技术难度。如何在保证施工安全、降低施工风险的前提下，提高施工效率，成为亟待解决的问题。本文以某城市高压线入地电力隧道工程为背景，对砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工技术进行分析。

1 工程概况

某城市高压线入地电力隧道工程，全长约 1.5km，共设竖井 6 座。其中出入口均为浅埋暗挖施工。本工程所在地地质条件复杂，主要为砂卵石地层，地下水位较低无地下水影响，但隧道顶部沿隧道方向顺行有两条雨水污水管线，现况地质调查调查雨污水管线存在漏水现象，施工区域有渗水影响。砂卵石地层具有强度低、稳定性差、渗透性好等特点，给施工带来了较大困难。

2 注浆材料的性能以及优缺点

在砂卵石地层中进行浅埋暗挖出入口施工时，注浆材料的应用起着至关重要的作用。注浆材料可以有效地加固地层，防止地层松散和塌陷，同时也可以提高施工安全性和效率。目前，常用的注浆材料主要有水泥浆、聚氨酯浆、环氧树脂浆和水泥-水玻璃浆。

(1) 水泥浆。水泥浆是常见的注浆材料，具有良好的流动性和较高的强度。它主要由水泥、水和一些外加剂组成。水泥浆的优点是施工简单，成本较低，而且对环境

的影响较小。然而，水泥浆的凝固时间较长，有时需要几天才能达到足够的强度，这可能会影响施工进度。

(2) 聚氨酯浆。聚氨酯浆是高性能的注浆材料，具有良好的韧性和耐久性。它主要由聚氨酯预聚体、催化剂和溶剂组成。聚氨酯浆的优点是凝固时间短，可以在几分钟内达到足够的强度，从而加快施工进度。此外，聚氨酯浆还具有较好的耐化学性和耐候性，适用于各种环境，然而聚氨酯浆的成本较高，对施工设备的要求也较高^[1]。

(3) 环氧树脂浆。环氧树脂浆具有良好的韧性和耐久性。它主要由环氧树脂、固化剂和溶剂组成。环氧树脂浆的优点是凝固时间可调，可以根据施工需要进行调整，从而满足不同施工要求。此外，环氧树脂浆还具有较好的耐化学性和耐候性，适用于各种环境。然而，环氧树脂浆的成本较高，对施工设备的要求也较高。

(4) 水泥-水玻璃浆。水泥-水玻璃浆是复合型注浆材料，具有良好的流动性和较高的强度。它主要由水泥、水玻璃和一些外加剂组成。水泥-水玻璃浆的优点是凝固时间短，可以在几小时内达到足够的强度，从而加快施工进度。此外，水泥-水玻璃浆还具有较好的耐化学性和耐候性，适用于各种环境。然而，水泥-水玻璃浆的成本较高，对施工设备的要求也较高。

上述所述，砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工注浆材料的种类性能以及优缺点各异。在选择注浆材料时，需要根据具体的施工环境和要求进行综合考虑，以保证施工的顺

利进行。本工程考虑施工安全、施工工期等因素，综合考虑选用水泥-水玻璃双液浆。

3 砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工技术难点

(1) 地层稳定性差。砂卵石地层的稳定性差，给施工带来了极大的挑战。在该种地层中，孔壁容易失去稳定性，导致塌孔事故。同时，地层中的砂卵石颗粒较大，间隙较大，容易产生涌砂现象，使施工环境变得极为恶劣。这就要求施工方在施工前，必须对地层进行详细的调查，了解其地质特性和力学性质，从而制定出合理的施工方案，确保施工的安全进行。

(2) 马头门施工。马头门的施工是暗挖工程中的关键环节，马头门是暗挖隧道与竖井相连接的部分，其施工质量直接关系到隧道整体的稳定性和使用寿命。在砂卵石地层中，由于地层的不稳定性，马头门的施工面临着巨大的风险，如何在保证施工安全的前提下，顺利完成马头门的施工，是施工方需要解决的重要问题^[2]。

(3) 砂卵石不断掉落。砂卵石地层中颗粒状特点，导致施工过程中砂卵石不断掉落，这对施工进度和质量都产生了影响。施工过程中砂卵石掉落除了自然掉落还有喷射混凝土的冲击力导致掉落，需通过试验选择最佳的喷射距离、喷射角度、喷射压力、喷射混凝土配合比等。砂卵石的不断掉落，不仅会影响施工的进度，还可能会对施工设备造成损坏，甚至可能引发安全事故。因此，如何有效地控制砂卵石的掉落，提高施工的效率和质量，也是施工方需要面对的主要问题。

4 砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工技术要点

4.1 施工准备

砂卵石地层因其特殊的地质结构，给浅埋暗挖出入口的施工带来了诸多挑战。首先，施工前的准备工作需要详细地质勘察是必不可少的环节。通过对砂卵石地层的深入研究，了解其分布、厚度和颗粒大小等关键参数，为制定合理的施工方案和措施提供科学依据。此外，还需对地下水文地质情况进行调查，以评估施工过程中可能遇到的水患风险。其次，施工方案的设计应充分考虑砂卵石地层的特性。采用适合该地层的施工方法，如两步台阶法施工，确保施工过程中的稳定性和安全性。同时，针对地层的松散性和流动性，采取有效的加固措施，如冻结法、注浆法等措施，提高地层的承载能力和稳定性。此外，施工过程中的监控量测，通过设置合理的监控网点，对施工过程中的地层变形、需监测路面沉降等参数进行实时监测，及时掌握施工动态，为调整施工策略提供依据。同时，通过对施工过程中遇到的问题进行分析，不断优化施工方案，确保施工的顺利进行。总之，在砂卵石地层中进行浅埋暗挖出入口施工，需要充分准备、合理设计施工方案、加强监控量测，才能确保施工的顺利进行。

4.2 地层加固

砂卵石地层是地质工程中常见的一种地层类型，由于

其特殊的物理性质和力学性质，常常给工程带来许多难题，如塌孔、涌砂等事故。为提高地层的稳定性，减少这些事故的发生，需要对砂卵石地层进行加固处理。

注浆加固是利用注浆泵将水泥浆、化学浆或其他类型的浆液注入地层的裂缝和孔隙中，通过浆液的凝固反应，使地层形成一层坚固的帷幕，从而提高地层的整体稳定性。注浆加固的优点在于施工设备简单，成本较低，且对地层的破坏小。冻结法加固是另一种常用的加固方法。冻结法加固是通过在地面上安装冻结器，将地层的地下水冻结，使地层温度降低，从而达到加固地层的目的。冻结法加固的优点在于可以有效地防止地下水的渗透，提高地层的稳定性。但冻结法加固的缺点是施工周期较长，成本较高，适合在地下水丰富的环境使用。全断面注浆和半断面注浆是注浆加固方法的两种变形。全断面注浆是指将浆液注入地层的整个断面，使地层形成一层完整的帷幕；半断面注浆是指将浆液注入地层的一半断面，使地层形成一半帷幕。这两种方法都是利用浆液的凝固反应来提高地层的稳定性。本工程由于地下水较低，现场存在雨污水渗漏水影响，为保证施工安全选用全断面注浆法施工。总的来说，砂卵石地层加固的目的是提高地层的稳定性，减少塌孔、涌砂等事故的发生。在选择加固方法时，需要根据具体的工程地质条件、施工环境和经济效益等因素进行综合考虑。

4.3 马头门施工技术

(1) 合理设计马头门尺寸和形状，确保结构稳定。在施工过程中，合理设计马头门尺寸和形状是至关重要的，因为这直接关系到结构的稳定性。设计师需要充分考虑地下水位、地质条件、施工环境等多种因素，精确计算出马头门的尺寸和形状，以确保其在施工过程中的稳定性和使用寿命。

(2) 马头门施工技术采用喷射混凝土施工，在开挖马头门前，需要先施工超前小导管，小导管的施工需要严格按照设计要求进行，其长度、间距和角度都需要精确控制。在施工过程中，需要先在地面上加工好小导管，然后将其沿隧道拱顶打入土层中。小导管的打入长度需要根据土层的稳定性和隧道深度来确定，本工程要求小导管长度不小于 2.5m，搭接长度不小于 1m。小导管施工完成后，就可以进行马头门破除开挖安装钢拱架施工，拱架与竖井预留的纵向连接筋需焊接牢固，钢拱架安装后进行喷射混凝土施工。喷射混凝土的配合比需要根据具体的工程条件试验确定，不得以过往经验判断。喷射混凝土的施工需要使用专业的喷射设备，施工过程中需要对试验确定的喷射速度、压力和喷射角度进行精确控制，以保证混凝土的喷射效果。

(3) 在隧道工程中，根据工程设计要求，在马头门的一侧进行掘进，掘进长度达到 15m 之后，才能进行另一侧的马头门施工。因为在进行隧道开挖时，需要保证马头门的稳定性，避免因为开挖导致马头门失稳，从而影响整个隧道的安全。在马头门施工过程中，钢拱架的应用是非常关键的。在马头门处，需要对钢拱架进行连续加密，共

计加密 3 榼。因为马头门处的受力情况比较特殊，需要通过加密钢拱架来提高其稳定性。在非加密区域，钢拱架的间距为 0.5m，也是根据工程设计要求进行设置的。在进行马头门施工时，还需要注意一些其他的技术要求。比如，在掘进过程中，需要通过激光准直仪和隧道断面仪控制好隧道的中线和水平度，确保隧道开挖的质量和精度。

(4) 钢筋格栅安装。钢筋格栅安装是砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工的重要环节。在施工过程中，钢筋格栅的安装质量和精度对整个工程的稳定性和安全性至关重要。

在安装前，需要对钢筋格栅进行加工和检查。钢筋格栅应按照设计要求进行加工，保证其尺寸、形状和强度等指标符合要求。在加工过程中，应严格控制钢筋的弯曲度和长度，以确保钢筋格栅的整体质量。加工完成后，需要对钢筋格栅进行检查，确保其符合设计和规范要求。在安装钢筋格栅前，需要先确定其安装位置。安装位置应根据设计图纸和实际地质情况确定，保证钢筋格栅的覆盖范围和深度符合要求。在确定安装位置后，需要在地面上标出钢筋格栅的中心线和边缘线，以便于后续的安装工作。在安装钢筋格栅时，需要同步安装纵向连接筋。纵向连接筋应按照设计要求进行安装，保证其位置和长度符合要求，纵向连接筋的作用是连接钢筋格栅，并将其与主体结构连接起来，以提高整个结构的稳定性和安全性。在安装纵向连接筋时，需要注意预埋件的防腐和防水处理，以防止其受到腐蚀和损坏。安装过程中应先将钢筋格栅的一端固定在上一段纵向连接筋上，然后缓慢地将新做纵向连接筋插入土中，直至全部插入，插入过程中要注意前方土体，出现失稳现象立即停止作业，远离施工作业面，待土体稳定后再继续施工^[3]。在安装过程中，需要保证纵向连接筋的水平和垂直度，以防止其出现变形和扭曲。安装完成后，需要对纵向连接筋、钢筋格栅进行焊接和锚固，以提高其稳定性和安全性。

钢筋格栅安装过程中施工工艺，在钢格栅运到现场后检查是否符合要求，才可吊运下井并加以安装。搭接长度单面焊为 10d，双面焊为 5d，主要包括以下要点。①钢格栅的纵向连接筋为Φ20 钢筋，环向间距 1m，梅花型布置，内外双排；网格采用光圆Φ6 钢筋，网格间距为 10*10cm，网片搭接长度为 100~200mm，钢筋格栅钢筋保护层内外均为 30mm。②钢格栅间距为 0.5m，进隧道洞口处连续设三榼。③钢格栅网之间的连接螺栓要求上紧，并按设计要求采用钢筋焊接。④格栅组装在螺栓上紧以后再采用钢筋条进行连接（单面焊 10d），规格 4Φ18，长度 180mm。⑤安装钢格栅时，必须检隧查钢格栅的尺寸是否合适。⑥隧道钢格栅安装焊接时，采用 E50 焊条，所有焊缝厚均不小于 12mm，并保证所焊接的两根钢筋要顺直、无局部曲折^[4]。

(5) 喷射混凝土施工完成后，及时进行养护，提高混凝土强度。在混凝土施工完成后，及时进行养护也是提高混凝土强度的重要措施。养护是指在混凝土硬化过程中对其进行保护，防止其受到外部环境的侵蚀。养护方法有喷

水养护、覆盖薄膜养护、刷养护剂养护等，施工单位应根据混凝土的种类和环境条件选择合适的养护方法，并严格按照养护规范进行养护，以确保混凝土的强度和耐久性^[5]。

4.4 土方开挖

土方开挖前，应摸清地下管线等障碍物，并应根据施工方案的要求，将施工区域内的地上、地下障碍物清除和处理完毕，做好防护措施；其次，在隧道内施工时做好照明准备工作，防止超挖；最后，竖井及隧道格栅应准备到位并核实准备无误。

在开挖过程中应注意：(1) 施工中注意留置核心土，核心土应保持 2m，施工中必须保证每环封闭后再施作下一榼，施工中应密切注意掌子面土体的稳定，必要时喷射 50mm 厚混凝土封闭。（特殊地段格栅间距为 400mm）。(2) 在初期支护的纵向，每品格栅间设Φ20 纵向连接钢筋，间距不大于 1.0m，同时，初衬中设Φ6@100×100 的双层网片，网片搭接长度不少于一个网孔。(3) 隧道的施工由施工竖井开始进洞，在凿除竖井隧道口部初衬前，应预先打入隧道的第一组超前支护（小导管），对开口段地层进行注浆加固。凿除口部初衬后架设隧道第一榼格栅，隧道第一榼格栅与小室的格栅牢固地焊接在一起，随后进行隧道施工。(4) 土方开挖前拱顶采用Φ32 小导管注浆超前支护，环向间距 300mm，纵向搭接长度为 1m。等土体凝结密实开挖上半段面土方，然后进行下半段面土方。(5) 待隧道上部台阶掌子面进尺 1.5 倍洞径时开挖下台阶，同时预留好背后注浆管，背后注浆管 4 米一组，每组为三根。

5 结语

砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工技术具有较大难度，通过分析工程实例，提出了针对性的施工技术措施。在实际施工过程中，应根据地质条件、施工环境等因素，灵活调整施工工艺、支护措施和施工组织与管理，确保施工安全、提高施工效率。本文为类似工程提供了有益的参考，对推动我国城市轨道交通建设具有重要意义。

【参考文献】

- [1] 王建春. 砂卵石地层中浅埋暗挖出入口施工技术 [J]. 建筑技术, 2022, 53(9): 1141-1145.
- [2] 孙强. 暗挖车站横通道马头门破除施工技术 [J]. 四川水泥, 2022(6): 244-246.
- [3] 薛小义. 浅谈浅埋暗挖穿越地下管线施工技术 [J]. 建设监理, 2024(1): 136-139.
- [4] 詹涛, 吴波, 吴兵兵, 等. 紧邻浅埋暗挖地铁隧道地下密集管线及土层变形 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23(11): 4755-4764.
- [5] 戴仕敏. 大断面软弱土层浅埋暗挖隧道土体预加固模拟分析 [J]. 施工技术, 2020, 49(11): 87-90.

作者简介：戴镇泽（1993.7—），沈阳建筑大学城市建设学院，工程管理专业，单位：北京市第五建筑工程集团有限公司，职务项目技术负责人，职称：中级工程师。

饰面高性能混凝土在地铁工程中的技术运用研究

张 雀

中国水利水电第三工程局有限公司，陕西 西安 710000

[摘要]随着城市化进程的加快和城市交通需求的不断增长，地铁作为城市主要的公共交通方式，其建设和发展日益成为城市规划和交通基础设施建设的重要组成部分。在地铁工程中，饰面高性能混凝土（HPC-SF）作为一种技术先进、性能优越的建筑材料，因其在耐久性、抗裂性和施工效率等方面的优势，逐渐成为地铁车站、隧道及相关结构中的首选材料之一。本文通过对 HPC-SF 在地铁工程中的应用实例和技术探讨，探索其优化应用的途径和策略，为地铁工程的可持续发展提供理论支持和实际指导。

[关键词]饰面高性能混凝土；地铁工程；配合比；抗裂防渗控制；耐久性能

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13404 中图分类号: TU921-6 文献标识码: A

Research on the Technical Application of High Performance Concrete in Metro Engineering

ZHANG Qian

Sinohydro Bureau 3 Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization and the continuous growth of urban transportation demand, the construction and development of subway, as the main public transportation mode in cities, has become an important component of urban planning and transportation infrastructure construction. In subway engineering, as a kind of building material with advanced technology and superior performance, HPC-SF has gradually become one of the preferred materials in subway stations, tunnels and related structures due to its remarkable advantages in durability, crack resistance and construction efficiency. This article explores the ways and strategies to optimize the application of HPC-SF in subway engineering through practical examples and technical discussions, providing theoretical support and practical guidance for the sustainable development of subway engineering.

Keywords: high performance concrete for decorative surfaces; metro engineering; mix proportion; crack resistance and anti-seepage control; durability performance

引言

在地铁工程中，材料的选择和施工质量直接影响到地铁线路、车站及相关结构的安全性、耐久性和运行效率。传统的混凝土材料虽然在强度和耐久性方面有一定优势，但在抗裂性能、表面质量和施工效率等方面存在一定局限性。因此，随着科技的进步和工程技术的发展，高性能混凝土（High Performance Concrete, HPC）作为一种新型建筑材料，逐渐受到了广泛关注和应用。

1 饰面高性能混凝土的材料组成与性能分析

1.1 原材料选择

高性能混凝土的优良性能在很大程度上取决于其原材料的选择。以下是 HPC-SF 常用的几种原材料：①水泥：水泥是高性能混凝土的重要组分，对其性能影响显著。常用的水泥类型包括：普通硅酸盐水泥：常用于一般高性能混凝土的配制，具有良好的强度和耐久性。热硅酸盐水泥：适用于大体积混凝土，能够有效降低水化热，减少温度裂缝。抗硫酸盐水泥：适用于具有较强化学腐蚀环境的工程，如地下水位高、酸性土壤等。饰面高性能混凝土中，水泥选择需考虑其对表面色泽的影响，同时确保混凝土的力学性能和耐久性。②骨料：骨料是混凝土的骨架材料，对混

凝土的强度、耐久性和施工性能都有重要影响。选择合适的骨料可以提高 HPC-SF 的整体性能。常用骨料有：粗骨料：一般选用粒径均匀、级配合理的碎石或卵石，常用粒径为 5~20mm。对于饰面混凝土，要求粗骨料的表面光滑，减少对表面饰面的影响。细骨料：通常使用中砂或细砂，粒径为 0.15~4.75mm。细骨料的质量对混凝土的表面光滑度和致密性有直接影响。在饰面高性能混凝土中，骨料的颜色、质地和级配直接影响到混凝土的饰面效果。③外加剂：外加剂是改善混凝土性能的重要手段，常用的外加剂包括：减水剂：提高混凝土的流动性和强度，减少用水量。高效减水剂如聚羧酸系减水剂常用于 HPC-SF 中。引气剂：通过引入微小气泡提高混凝土的抗冻性和耐久性。防裂剂：如聚丙烯纤维或聚乙烯纤维，可以提高混凝土的抗裂性能^[1]。矿物掺合料：如粉煤灰、硅灰、矿粉等，可以提高混凝土的工作性、强度和耐久性，同时降低水化热。④水：水是混凝土的重要组分之一，直接影响混凝土的和易性和最终性能。用于 HPC-SF 的水应符合混凝土用水标准，不含有害物质。水灰比的控制是关键，较低的水灰比有助于提高混凝土的强度和耐久性。

1.2 饰面高性能混凝土的配合比设计

HPC-SF 的配合比设计需要在满足力学性能和耐久性的前提下，确保其饰面效果。适量使用高标号水泥，保证混凝土的强度和耐久性。优化粗细骨料的级配，提高混凝土的密实度和表面光滑度。水灰比通常控制在 0.3~0.4 之间，确保混凝土的高强度和低渗透性。高效减水剂、引气剂和防裂剂，改善混凝土的施工性能和耐久性。适量添加粉煤灰、硅灰和矿粉，改善混凝土的工作性和耐久性。

1.3 饰面高性能混凝土的力学性能

力学性能是 HPC-SF 的重要指标，主要包括抗压强度、抗拉强度和弹性模量等：①抗压强度：HPC-SF 的抗压强度通常在 50MPa 以上，甚至可以达到 100MPa 以上。高抗压强度使得混凝土能够承受较大的荷载。②抗拉强度：HPC-SF 的抗拉强度较高，通过掺加防裂纤维和优化配合比，可以显著提高其抗拉性能，减少裂缝产生。③弹性模量：HPC-SF 具有较高的弹性模量，使得其在荷载作用下变形较小，保证了结构的刚度和稳定性。

1.4 饰面高性能混凝土的耐久性能

耐久性能是确保 HPC-SF 在复杂环境下长期使用的关键，主要包括抗渗性、抗冻性和耐化学腐蚀性等：①抗渗性：HPC-SF 具有极低的渗透性，水灰比的降低和掺合料的使用使其孔隙率大大降低，增强了抗渗性能。在地下工程中，这一特点尤为重要，能够有效防止水分和有害物质的侵入。②抗冻性：通过引入引气剂，HPC-SF 形成微小气泡，提供了缓冲空间，显著提高了抗冻性。在寒冷地区地铁工程中，抗冻性是保障混凝土耐久性的关键因素。③耐化学腐蚀性：HPC-SF 对化学腐蚀有很好的抵抗能力，尤其是在地下水位高、酸性或碱性环境中。通过使用高抗硫酸盐水泥和适当的矿物掺合料，可以进一步提高其耐化学腐蚀性。

2 饰面高性能混凝土在地铁工程中的技术应用

2.1 地铁工程对饰面高性能混凝土的需求分析

地铁工程通常位于地下，受到高湿度、地下水、酸碱环境等因素的影响，要求混凝土具有优异的耐久性和抗渗性。HPC-SF 以其低孔隙率和高密实度，能有效阻止水分和有害化学物质的渗透，显著提高结构的抗腐蚀能力，延长使用寿命。高性能混凝土的高强度和高抗裂性能对于地铁结构的安全性和稳定性至关重要，能够有效承受地面荷载、地下水压力以及地震等突发应力。HPC-SF 以其平整光滑的表面和均匀一致的色泽，为地铁站的内饰和外观提供了高质量的装饰效果。高性能混凝土的饰面效果能够减少后续装饰材料的使用，降低维护成本，提升整体美观度和耐用性。

2.2 饰面高性能混凝土在地铁工程中的应用实例

在某地铁工程中，饰面高性能混凝土（HPC-SF）被广泛应用于车站主体结构、隧道衬砌以及出入口等关键部位，取

得了显著的效果。以下是该工程中 HPC-SF 的具体应用实例。

2.2.1 车站主体结构

车站主体结构是地铁工程的核心部分，承载着巨大的地面荷载和地下水压力。某地铁工程采用 HPC-SF 浇筑车站主体结构，通过优化混凝土配合比设计，提高了混凝土的抗压强度和耐久性。在施工过程中，使用高效减水剂和引气剂，使混凝土在低水灰比条件下仍具有良好的流动性和可操作性，确保了混凝土的均匀性和密实度^[2]。经过严格的养护和质量控制，车站主体结构混凝土的抗压强度达到 80 MPa 以上，抗渗等级达到 P10，确保了结构的长期使用性能。

2.2.2 隧道衬砌

隧道衬砌是地铁工程中另一个重要应用领域，要求混凝土具有高耐久性和抗裂性能。某地铁工程在隧道衬砌施工中，采用了 HPC-SF，通过添加防裂纤维和调整矿物掺合料比例，显著提高了混凝土的抗裂性能和耐久性。在施工过程中，利用高效减水剂和矿物掺合料，降低混凝土的水化热，减少了温度裂缝的产生。隧道衬砌混凝土的抗拉强度和抗裂性能显著提升，确保了隧道结构在地面沉降和地下水压力作用下的稳定性。

2.2.3 出入口及装饰性结构

地铁出入口是连接地面与地下的通道，不仅要承受结构荷载，还需要具备良好的装饰效果。某地铁工程在出入口和装饰性结构中，广泛采用了 HPC-SF，通过精细的配合比设计和严格的施工工艺控制，实现了混凝土表面的优良饰面效果。采用恒温恒湿养护技术，使混凝土表面光洁、色泽均匀，满足了高标准的装饰要求。出入口的混凝土表面无裂缝、无污染，整体效果美观大方，提升了地铁站的视觉品质。

2.2.4 温控措施及裂缝控制

针对大体积混凝土施工过程中水化热引起的温度裂缝问题，工程中采取了一系列有效的温控措施。在侧墙内部布设冷却管，通过循环冷却水降低混凝土的内部温度。同时，在混凝土浇筑过程中，使用无线测温系统实时监测混凝土内部温度和表面温度，确保温度梯度在安全范围内。

2.2.5 效果评估

经过严格的施工和质量控制，某地铁工程中应用 HPC-SF 的各项结构均达到了预期效果。车站主体结构和隧道衬砌混凝土的抗压强度和抗裂性能显著提高，耐久性得到了有效保障。出入口和装饰性结构的表面效果美观，满足了高标准的装饰要求。通过科学的温控和裂缝控制技术，施工过程中混凝土裂缝数量显著减少，确保了结构的整体性和安全性。

2.3 饰面高性能混凝土施工技术

2.3.1 模板与支撑体系

模板与支撑体系是饰面高性能混凝土施工的基础，直

接影响混凝土表面的平整度和美观性。模板的设计应符合混凝土结构的形状和尺寸要求，确保模板安装牢固、拼缝严密、无渗漏。常用的模板材料包括钢模板、木模板和组合模板。钢模板具有强度高、耐久性好、周转次数多等优点，适用于大面积使用。木模板轻便灵活，适用于复杂形状的部位。组合模板则结合了钢模板和木模板的优点，适应性强。模板安装过程中，应严格控制模板的垂直度和平整度，确保模板拼缝严密，防止漏浆。模板的接缝处应采用密封条或胶带密封，以确保混凝土表面的完整性和美观性。支撑体系的设计应确保模板的稳定性和承载能力，避免模板变形或倒塌。在混凝土浇筑过程中，应定期检查和调整模板的垂直度和平整度，确保混凝土表面的质量。模板拆除时间应根据混凝土的强度增长情况和结构特点确定，确保混凝土有足够的强度和刚度，避免表面损伤。通常情况下，侧模板在混凝土强度达到设计强度的 70%以上时方可拆除。拆模时应轻拿轻放，避免对混凝土表面造成损伤。

2.3.2 浇筑与振捣

在混凝土浇筑过程中，首先应采用分层浇筑的方式，每层厚度控制在 30cm 左右，以确保混凝土的密实性。浇筑时应尽量避免混凝土的离析和泌水，保证混凝土的均匀性。对于大面积的混凝土浇筑，应合理安排浇筑顺序，以确保施工的连续性和混凝土的整体性。混凝土浇筑完成后，应立即进行振捣，以确保混凝土的密实性和均匀性。高频振捣棒适用于厚度较大的混凝土结构。振捣操作时，振捣棒应垂直插入混凝土中，插入深度需超过上一层混凝土的 5~10cm。振捣时间应根据混凝土的实际情况控制，一般为 20~30s，直至混凝土表面不再冒气泡和泛浆。振捣过程中，应确保振捣均匀，避免漏振和过振，以保障混凝土的密实性和表面平整度。特别需要注意的是，在使用高频振捣棒时，应避免振动器碰撞模板，以防止模板变形和混凝土表面损伤。总之，采用高频振捣棒进行混凝土振捣能有效提升混凝土施工质量，确保混凝土结构的坚固和持久。

2.3.3 养护技术

养护是确保混凝土性能和质量的重要环节，对混凝土的强度增长和耐久性有着重要影响。自然养护适用于气候条件较好的地区，通过保持混凝土表面的湿润状态，促进水泥水化反应。洒水养护适用于大面积混凝土结构，通过定期洒水保持混凝土表面的湿润状态，防止表面干裂。覆盖养护适用于温度和湿度变化较大的地区，通过覆盖湿麻袋或塑料薄膜，保持混凝土表面的湿润状态和温度稳定。养护周期应根据混凝土的强度增长情况和环境条件确定，通常为 7~14 天。在早期强度增长阶段，应加强养护，保持混凝土表面的湿润状态，促进水泥水化反应。在后期强度稳定阶段，应适当减少养护频率，防止混凝土表面干裂。在某地铁工程中，采用了智能恒温恒湿养护系统，通过蒸汽发生器、电子加湿器和无线温湿度传感器等设备，实现

对混凝土养护过程的自动控制。系统通过 PLC 控制器，对混凝土中心温度、表面温度、环境温度和湿度等参数进行实时监测和调控，确保混凝土养护环境的稳定性和适宜性。智能化养护系统的应用，提高了混凝土的养护质量和施工效率，确保了混凝土的性能和质量。

3 饰面高性能混凝土在地铁工程中应用的技术难点与解决方案

3.1 技术难点分析

3.1.1 原材料及配合比控制

在地铁工程中，由于地铁工程的特殊性，混凝土需要在保证强度的前提下，具备良好的抗裂性和防渗性。常规混凝土中，水泥的水化热和砂率过高会导致混凝土内部温度升高，从而增加裂缝产生的风险。因此，需要优化水泥、砂、粉煤灰和矿粉的比例，采用高性能的低水化热材料，控制混凝土的收缩和温度变化，确保其在复杂施工条件下的稳定性和耐久性。

3.1.2 抗裂防渗控制

混凝土裂缝是影响结构安全性和耐久性的关键问题。裂缝的产生主要由于混凝土收缩和温度变化引起的应力不均匀。在地铁工程中，因施工条件复杂、环境变化大，混凝土的水化热和环境温度的变化容易导致内部和表面温差过大，从而产生裂缝。此外，混凝土在硬化过程中，因干缩、温度收缩和外部荷载等因素，导致混凝土出现纵横交错的裂缝，影响结构的整体性和耐久性。地铁工程通常需要保证混凝土结构的防水性，以防止地下水渗透对结构的影响。混凝土中的水分渗透可能导致钢筋腐蚀，降低结构的耐久性。防渗控制需要应对混凝土在浇筑、硬化及长期使用中的防水性能保持问题。

3.1.3 施工质量控制

地铁工程中的施工环境复杂，施工难度大，施工质量控制至关重要。模板的安装质量、混凝土的浇筑和振捣工艺，以及养护过程中的温湿度控制，都是影响混凝土质量的重要因素。如果施工工艺不当，可能导致混凝土表面出现气泡、蜂窝、孔洞等质量缺陷，影响饰面效果和结构性能。同时，施工过程中的工序衔接、人员配合等也需要严格管理，以确保施工质量。

3.1.4 成本控制

饰面高性能混凝土的材料成本较高，施工工艺复杂，导致整体成本较高。在地铁工程中，需要在保证质量的前提下，合理控制施工成本。材料的选用、施工工艺的优化，以及现场管理的高效性，都是影响成本的重要因素。此外，如何减少材料浪费、提高施工效率，也是成本控制的关键。

3.2 解决方案

3.2.1 原材料及配合比控制技术

降低水泥用量和砂率，增加二级配，调整粉煤灰和矿粉的用量，减少混凝土的水化热，从而降低裂缝产生的

风险。使用中联 52.5 高标号水泥更换为海螺 42.5 低标号水泥，进一步优化混凝土配比，提高其抗裂性能。在混凝土侧墙内部增加冷却管，通过循环冷却水加快内部降温速率；在侧墙外部设置蒸汽养护装置，控制混凝土表面的温度，减少内外温差，防止温度裂缝的产生。采用无线测温系统，通过 PLC 控制系统，对混凝土的温度进行自动调控，确保温度变化平稳，避免温度应力集中导致裂缝的产生。

3.2.2 抗裂防渗控制技术

降低水泥用量和砂率，增加二级级配，调整粉煤灰和矿粉的用量，减少混凝土的水化热，从而降低裂缝产生的风险。使用中联 52.5 高标号水泥更换为海螺 42.5 低标号水泥，进一步优化混凝土配比，提高其抗裂性能。在混凝土侧墙内部增加冷却管，通过循环冷却水加快内部降温速率；在侧墙外部设置蒸汽养护装置，控制混凝土表面的温度，减少内外温差，防止温度裂缝的产生。采用无线测温系统，实时监测混凝土内部和表面的温度变化。通过 PLC 控制系统，对混凝土的温度进行自动调控，确保温度变化平稳，避免温度应力集中导致裂缝的产生。

为确保高性能混凝土在地铁工程中的防渗效果，应使用低渗透性的高性能混凝土配方，增加掺合料如超细粉煤灰或硅灰，这些掺合料能够显著提高混凝土的致密性和抗渗性能。在混凝土结构表面，涂抹防水涂料或者使用防水膜和防水卷材，可以有效增强混凝土的防水效果。在施工管理方面，必须确保混凝土浇筑时的接缝和施工缝得到良好的处理。应使用防水剂和防渗添加剂以进一步提高混凝土的防水性能。确保所有接缝处的处理符合规范，并采取适当措施防止施工过程中出现的缝隙或孔洞影响防水效果。要定期对混凝土结构进行检查和维护，及早发现并修复渗漏问题，确保结构的防渗控制始终保持有效。

3.2.3 施工质量保障措施

设计合理的模板和支撑体系，确保模板安装的平整度和牢固性，防止漏浆和变形。使用钢模板和组合模板，提

高模板的耐久性和施工效率。采用高频振捣棒和机械振捣器，严格控制振捣间距和分层厚度，确保混凝土的密实性和均匀性。通过科学的浇筑顺序和振捣工艺，减少混凝土内部的气泡和孔洞，提高混凝土的表面质量^[3]。在混凝土施工的各个环节，实施全面化、精细化管理。对混凝土生产、运输、浇筑、振捣和养护等工序，进行全过程的质量监控，确保每个环节的施工质量。

3.2.4 成本优化措施

在保证质量的前提下，合理选择经济适用的原材料。通过与供应商建立战略合作关系，确保材料的稳定供应和合理价格，降低采购成本。优化施工工艺和施工流程，提高施工效率，减少人工和机械成本。使用智能化养护系统，提高养护效果，减少材料浪费和返工率。加强现场管理，提高施工组织和协调能力，减少工序衔接的时间和材料浪费。通过精细化管理，提高施工效率和质量，降低整体施工成本。

4 结语

在地铁工程中，饰面高性能混凝土（HPC-SF）的应用具有重要的工程意义和挑战。在未来的地铁工程实践中，我们需要进一步探索和应用新技术、新材料，不断提升 HPC-SF 在地铁工程中的应用水平和技术标准。通过持续创新和技术积累，共同推动地铁工程建设朝着更安全、更可靠、更高效的方向发展，为城市交通发展贡献力量。

【参考文献】

- [1] 赵厚然,徐艳杰,赵恒.叶巴滩堆石混凝土二道坝温度应力仿真分析及温控措施研究[J].水资源与水工程学报,2024,35(2):167-173.
- [2] 张同杰.建构视野下清水混凝土在地铁站建筑中设计研究[D].山东:山东建筑大学,2021.
- [3] 康悦.沿海地铁车站清水混凝土耐久性及饰面性能演变研究[D].山东:青岛理工大学,2018.

作者简介:张骞,单位:中国水利水电第三工程局有限公司。

混凝土结构模板施工技术分析

韩 龙

青海江豪建设集团有限公司，青海 西宁 810000

[摘要]混凝土结构模板施工技术作为建筑工程中的关键环节，直接影响到工程的质量、安全和进度。随着现代建筑工程复杂度的增加和设计要求的提高，混凝土结构模板的施工技术也在不断演变和优化。文章通过详细分析混凝土结构模板施工技术的各个方面，探讨其在提高工程质量、施工效率中的关键作用和应用要点。旨在全面展示如何提升混凝土结构施工的效率和质量。

[关键词]混凝土结构模板；施工技术；应用流程；技术要点

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13396

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Analysis of Construction Technology for Concrete Structure Formwork

HAN Long

Qinghai Jianghao Construction Group Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract: As a key link in construction engineering, the construction technology of concrete structure formwork directly affects the quality, safety, and progress of the project. With the increasing complexity of modern construction engineering and the improvement of design requirements, the construction technology of concrete structure formwork is constantly evolving and optimizing. This article analyzes in detail various aspects of concrete structure formwork construction technology, explores its key role and application points in improving engineering quality and construction efficiency, and aims to comprehensively demonstrate how to improve the efficiency and quality of concrete structure construction.

Keywords: concrete structure formwork; construction technology; application process; technical points

引言

混凝土作为最常见的建筑材料，其结构施工的质量直接影响到建筑物的安全性、耐久性和美观性^[1]。在混凝土结构施工中，模板工艺被广泛应用于各种类型的建筑物，包括住宅、商业建筑、桥梁、水利工程等，模板不仅承载混凝土浇筑的重量和压力，还直接影响到混凝土的表面质量和整体结构的准确度。随着建筑结构形式的多样化和工程规模的扩大，传统的木质模板已逐渐被钢木组合模板、铝合金模板等先进材料和技术所取代，新型模板不仅具有更高的强度和稳定性，还能够实现模板重复使用，减少资源浪费和施工成本。因此，如何有效选择和应用适合的模板技术，成为提升混凝土结构施工质量和效率的重要议题。本文通过对混凝土结构模板施工技术的深入探讨和分析，为相关工程技术人员提供科学的指导和理论依据，推动混凝土结构施工技术的不断创新和完善，为现代建筑工程的可持续发展贡献力量。

1 混凝土结构模板施工技术概述

混凝土结构模板施工技术涉及到混凝土结构施工的各个阶段，包括模板的设计、制作、安装、浇筑和拆卸等环节。模板在施工中的作用是支撑和固定混凝土的形成，直接影响到混凝土结构的质量、形状和表面光洁度^[2]。首先，模板的设计要充分考虑到结构的形式和负荷要求。根

据建筑设计图纸，确定模板的尺寸、型号和数量，以确保能够完整覆盖混凝土浇筑区域，并能够承受预期的混凝土浇筑压力。其次，模板的制作需要严格控制材料的选用和加工工艺。常见的模板材料包括木材、钢材、铝合金等，不同的材料具有各自的优缺点，需要根据具体工程的要求进行选择，制作过程中要保证模板的尺寸精度和表面平整度，避免因模板变形或不平整而影响混凝土表面的质量。再次，安装过程中，需要确保模板的位置准确、固定牢靠，以防止混凝土浇筑过程中的位移和变形，从而保证混凝土结构的准确度和稳定性。最后，混凝土达到设计强度后，应根据拆卸计划和程序，安全高效地拆除模板，避免对混凝土表面造成不良影响，并确保模板能够被安全地重复使用或者进行下一步工程的移动和再利用。

2 混凝土结构模板施工技术应用流程分析

2.1 混凝土模板配置及设计

混凝土模板配置及设计不仅影响着施工过程中的效率和安全性，还直接决定了最终混凝土结构的质量和形态^[3]。第一，混凝土模板的配置是根据具体工程的施工图纸和设计要求进行的。在进行模板配置前，需要对工程的整体结构进行全面理解和分析，包括建筑的平面布置、立面结构、各个部位的构造特点以及承载要求等。第二，模板的设计需要充分考虑到施工过程中的安全性和施工效率。合理设

计的模板不仅能够准确地支撑和固定混凝土浇筑，还能够便于施工人员的操作和管理。在模板的设计中，需要考虑到模板的尺寸、型号、结构形式和连接方式等细节，确保能够满足混凝土结构各部位的施工需求，同时保证施工过程中的安全性和施工效率。第三，混凝土模板的配置和设计需要考虑到施工现场的实际条件和限制。施工现场的地形地貌、空间限制、周边环境等因素都会影响到模板的配置方案。第四，混凝土模板配置及设计还需要考虑到施工过程中可能出现的变化和调整。在实际施工中，由于各种因素的影响，模板的配置方案可能需要进行适时的调整和优化。因此，施工团队需要保持灵活性和响应能力，及时根据实际情况进行模板配置的调整，以确保施工进度和工程质量的同时，最大限度地降低施工风险。

2.2 混凝土模板安装

混凝土模板的安装直接影响到后续混凝土浇筑的质量、结构的准确性以及整体施工进度。在进行混凝土模板安装之前，需要进行详细的施工准备工作，包括准备好所有所需的模板材料和工具，并且根据施工图纸和设计要求制定详细的安装方案。首先，清除施工现场内的杂物和不必要的障碍物，保持施工区域的整洁，为模板的安装提供良好的施工环境。同时，检查施工现场的地基或者地面情况，确保其平整度和稳定性，以便于后续模板安装的进行。其次，根据施工图纸和设计要求，确定模板的具体安装位置和方向。根据结构的不同部位和形状，选择合适的模板板块，并且在安装之前进行必要的预装配和预调整。这些预处理工作可以确保模板安装过程中的高效和准确性，避免因现场问题而导致的施工延误或者质量问题。在实际安装过程中，进行模板的定位和固定。根据设计要求和现场实际情况，采用适当的固定手段，如使用螺栓、榫头、螺丝等将模板牢固地固定在建筑结构的支撑体系上，特别是对于大型和复杂结构的模板安装，需要注意每个模板板块之间的连接和支撑方式，确保安装的牢固和稳定性。再次，在安装过程中，需要使用水平仪和测量工具，确保模板的水平度和垂直度符合设计要求，模板的准确安装直接影响到后续混凝土浇筑的质量和结构的准确性，通过精确的调整和校正，避免因模板不准确而导致的混凝土结构偏斜或者不平整的问题。最后，完成模板的最终检查和确认。在模板安装完成后，需要进行全面的检查和验收，确保所有模板板块的安装质量和牢固程度符合设计要求。同时，记录下安装过程中的关键数据和信息，为后续施工提供参考和备案。

2.3 混凝土模板拆卸

模板拆卸的过程需要精确计划和严格控制，以确保混凝土结构的表面质量和结构的完整性不受损害，并且能够有效地实现模板的重复利用或者处理。一是混凝土模板拆卸前需要进行详细的准备工作^[4]。正式拆卸之前，施工团

队需要对模板拆卸的顺序和方法进行合理规划和安排。根据混凝土的强度发展和养护时间的要求，确定合适的拆卸时机，确保混凝土已经达到足够的强度，能够承受拆卸过程中可能施加的力量而不会造成损坏或裂纹。二是模板拆卸过程中需要注意保护混凝土结构的表面。使用适当的工具和方法，如木制或橡胶锤、拆模器等，小心翼翼地拆除模板，避免直接撞击或者损伤混凝土表面。尤其是对于需要重复使用的模板，保护混凝土表面的光洁度和平整度尤为重要，以确保最终建筑物的外观质量和结构完整性。三是拆卸过程中，严格按照拆卸顺序进行操作，避免因为不当的拆卸顺序导致模板的承载能力降低或者混凝土结构的变形。通常情况下，应从上到下、从外到内的顺序进行拆卸，确保混凝土结构在拆卸过程中能够稳定支撑和保持原有形状，对于大型结构或者特殊形状的模板，可能需要采用分段拆卸的方法，以确保操作的安全性和准确性。四是拆卸过程中需要保持施工现场的整洁和安全。及时清理和移除拆卸下来的模板和材料，防止其对施工人员和设备造成伤害或者影响施工进度。确保施工现场的通道和出入口畅通，避免因为杂物堆积而导致的安全隐患。五是完成模板拆卸后，对拆卸下来的模板进行清点、检查和分类处理。对于仍然具有重复使用价值的模板，应当及时进行清洗、修整和储存，以备下次施工使用。对于已经损坏或者不能再次使用的模板，应进行分类处理，如分类回收或者安全处理，确保环境保护和资源利用的最大化。

3 混凝土结构模板施工技术的应用要点

3.1 尺寸及位置要求

尺寸要求涉及到模板板块的准确尺寸和公差控制，而位置要求则涉及模板的安装位置、水平垂直度以及与周边结构的连接配合。第一，尺寸要求是指混凝土模板板块的准确尺寸和公差控制。在施工前，根据建筑设计图纸和结构计算要求，精确计算每个模板板块的尺寸，并确定其公差范围。尺寸的准确性直接影响到模板的安装质量和后续混凝土浇筑的效果。例如，对于需要保持水平或垂直的结构面，模板板块的尺寸必须准确，以避免因尺寸不当而导致的结构偏斜或不规则。第二，尺寸要求还涉及到模板板块的连接和配合。不同模板板块之间的连接必须严密和精确，确保模板的整体稳定性和承载能力。连接处的公差控制尤为重要，需要通过专业的固定装置或者连接件来确保模板板块之间的紧密配合，以防止浇筑混凝土时发生泄漏或者模板移位的情况。第三，位置要求是指混凝土模板的安装位置和安装过程中的水平垂直度控制。在安装模板之前，需要进行详细的现场测量和定位，确保模板能够精确安装到设计要求的位置。位置的准确性直接影响到最终建筑物结构的几何形状和稳定性。第四，安装过程中，需要通过水平仪和测量工具对模板的水平和垂直度进行严格控制和调整。特别是对于高度和特殊形状的结构，如拱形

结构或者斜面墙体，水平垂直度的精确控制尤为重要，需要采用专业的支撑和调整装置，确保模板能够稳固地固定在设计要求的位置上。第五，位置要求还包括模板与周边结构的连接配合。模板与现有结构或者其他模板板块的连接必须严密和安全，以防止在混凝土浇筑和振捣过程中发生移位或者变形。通过正确的连接方式和固定措施，可以有效保障施工过程中的安全性和工程质量。

3.2 混凝土模板制作技术的优化

混凝土结构模板制作技术的优化是为了提高模板的质量、减少施工成本、提高施工效率和保证工程质量而进行的重要工作。首先，材料选用是混凝土模板制作技术优化的关键。常用的模板材料包括木材、钢材、塑料和复合材料等。在材料选用上，需考虑材料的强度、耐久性、重复使用性以及成本效益。材料的选择直接影响到模板的性能和使用寿命，因此需要根据具体工程需求进行科学合理的选择。其次，制作工艺的优化。制作工艺包括模板板材的裁剪、拼接、修整和表面处理等过程。在裁剪和拼接过程中，需要使用精确的切割设备和工具，确保模板板块的尺寸和公差控制符合设计要求。修整和表面处理可以提高模板的光洁度和平整度，减少混凝土表面的瑕疵和缺陷，从而提高混凝土结构的外观质量和工程美观度。再次，在制作过程中，建立严格的质量控制体系和检验标准，对每个制作环节进行全面监控和检测。通过使用自动化设备和精密测量工具，确保模板板块的尺寸精度和公差控制达到要求；通过质量把关和抽样检验，及时发现和纠正制作过程中问题，避免因制作质量不良而影响施工进度和工程质量。

3.3 混凝土模板体系的选取

选择合适的模板体系需要考虑多个因素，包括工程结构形式、施工条件、预算限制以及模板的重复利用率等^[5]。其一，混凝土模板体系的选取应根据工程结构形式进行合理选择。不同的混凝土结构形式，如板梁、柱、墙、楼梯等，需要使用不同类型的模板体系以满足其特定的施工需求，如对于板梁结构，通常采用框架式木模板或者金属模板，以便于大面积的平整浇筑。其二，施工条件是选择混凝土模板体系的重要考量因素。施工现场的空间限制、天气条件、施工周期等因素都会影响到模板体系的选择。在空间狭小或者高层施工的情况下，需要选择轻便易拆卸的模板体系，以便于快速安装和拆除；而在气候恶劣或者季

节性变化大的地区，考虑防水和防冻的特性，选择适合的材料和设计来应对环境挑战。其三，不同类型的模板体系在材料成本、制作成本、安装和维护成本等方面有所差异。在项目预算有限的情况下，需要权衡各种因素，选择既能满足设计要求又能控制成本的模板体系。其四，选择可以多次重复使用的模板体系。一些先进的模板体系设计可以通过优化结构和材料选用，实现模板的长期使用和多次循环利用，减少建筑垃圾的产生，降低环境影响，符合现代社会对绿色建筑的要求。其五，模板体系的安装、拆卸和使用过程中，需要保证施工人员的安全。因此，选择安全性能良好、操作简便的模板体系至关重要，确保施工过程中能够有效防止意外事故的发生，保障施工人员的生命安全和健康。

4 结语

在混凝土结构模板施工技术的中，从混凝土模板的设计、安装、浇筑到拆卸，每个环节都显现出其对施工质量和效率的重要影响。尺寸及位置的精准要求、制作技术的优化以及模板体系的合理选取，不仅提升了施工的精度和安全性，也推动了建筑行业向着更高效和可持续的方向发展。在未来，随着技术的进步和经验的积累，混凝土结构模板施工技术将继续迎来新的挑战和机遇，通过不断优化和创新，为建筑项目提供更为优质和可靠的解决方案，为社会的发展贡献力量。

[参考文献]

- [1] 李科, 张昭强, 丁威, 等. EMC 装配式结构中铝合金模板施工技术 [J]. 建筑技术, 2024, 55(13): 1557-1559.
 - [2] 王鹏程, 宋佳峰, 潘登. 数字化覆膜模板施工中的应用实例研究 [J]. 建筑技术, 2024, 55(13): 1621-1624.
 - [3] 姚爱生. 复杂条件下高支模施工技术 [J]. 浙江建筑, 2024, 41(3): 57-60.
 - [4] 黄玉萍. 填充墙砌体构造柱预制模板施工技术分析 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(12): 109-111.
 - [5] 张海. 建筑主体施工中混凝土模板技术分析 [J]. 大众标准化, 2023(5): 99-101.
- 作者简介：韩龙（1987.10—），毕业院校：西安科技大学，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：青海江豪建设集团有限公司，就职单位职务：项目经理，职称级别：工程师（土木工程）。

建筑智能化工程的施工技术要点分析

冯笃学¹ 文华凤² 宋子秋² 黄建东¹ 范兴江¹

1. 中建八局第二建设有限公司, 山东 济南 250000

2. 中建八局华中建设有限公司, 湖北 武汉 430010

[摘要]传统建筑面临着诸多管理和效率上的挑战,如人工操作繁琐、资源浪费等问题,这些问题限制了建筑物在能耗、安全和舒适度等方面进一步提升。因此,建筑智能化技术的发展应运而生,通过将建筑物的各个系统进行智能化集成和控制,实现自动化管理和精准控制,有效解决了传统建筑面临的种种问题,提升了建筑的综合竞争力和可持续发展能力。随着智能化技术的不断成熟和应用范围的扩展,建筑智能化工程正逐步成为建筑行业发展的主要趋势和方向。

[关键词]建筑工程; 智能化; 施工技术

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13433

中图分类号: TU85

文献标识码: A

Analysis of Key Construction Technology for Building Intelligence Engineering

FENG Duxue¹, WEN Huafeng², SONG Ziqiu², HUANG Jiandong¹, FAN Xingjiang¹

1. The Second Construction Co., Ltd. of China Construction Eighth Engineering Division, Jinan, Shandong, 250000, China

2. Central China Construction Co., Ltd. of China Construction Eighth Engineering Division, Wuhan, Hubei, 430010, China

Abstract: Traditional buildings face many management and efficiency challenges, such as tedious manual operations and resource waste, which limit the further improvement of buildings in terms of energy consumption, safety, and comfort. Therefore, the development of intelligent building technology has emerged, which integrates and controls various systems of buildings intelligently to achieve automated management and precise control, effectively solving various problems faced by traditional buildings and enhancing their comprehensive competitiveness and sustainable development capabilities. With the continuous maturity of intelligent technology and the expansion of its application scope, building intelligent engineering is gradually becoming an important trend and direction for the development of the construction industry.

Keywords: construction engineering; intelligentization; construction technology

引言

随着科技的不断进步和社会的发展,建筑智能化技术在现代建筑中的应用越来越广泛,成为提升建筑功能性、效率和安全性的重要手段。建筑智能化工程通过整合先进的控制系统、信息网络、安防监控、楼宇自动化和消防报警等技术,为建筑物提供了智能化管理和运营的解决方案,极大地改善了人们的生活和工作环境。

1 建筑智能化工程的重要性

建筑智能化工程在现代建筑中起着至关重要的作用。首先,它通过整合各种智能化系统,如楼宇自动化、安防监控、信息网络等,大大提升了建筑的安全性和管理效率。智能化系统可以实时监控和管理建筑内的各类设备,及时发现和处理潜在问题降低安全隐患。此外,建筑智能化还能显著提升用户体验和舒适度,通过智能控制系统,用户可以便捷地调节室内环境,如温度、湿度和照明,从而创造更加舒适的居住和工作环境。最后,建筑智能化工程有助于节能减排,通过优化能源使用减少不必要的浪费,符合可持续发展的要求。因此,建筑智能化工程不仅提升了建筑的功能性和安全性,还为实现智能化、可持续发展的现代城市建设提供了重要支持。

2 建筑智能化工程的主要内容

2.1 智能化控制系统

智能化控制系统是建筑智能化工程的核心组成部分,通过集中控制和管理建筑内的各种设备和系统,实现高效、安全、节能的运行。该系统通常包括楼宇自控系统(BAS)、能源管理系统(EMS)、照明控制系统和暖通空调(HVAC)控制系统等。智能化控制系统可以通过传感器和执行器,实时监测和调节室内环境参数,如温度、湿度、照明和空气质量,确保室内环境的舒适性和节能性。同时,系统还可以通过数据分析和预测,优化设备运行策略,延长设备寿命,减少维护成本。智能化控制系统的应用不仅提高了建筑的运营效率,还为用户提供了更加智能化和便捷的管理体验。

2.2 信息网络系统

信息网络系统是建筑智能化工程的重要组成部分,负责构建和维护建筑内部的通信和数据传输平台。该系统包括局域网(LAN)、无线网络(WLAN)、互联网接入和数据中心等部分^[1]。信息网络系统通过高速、稳定的网络连接,支持各种智能化设备和系统之间的数据交换和协同工作,确保信息的实时传输和处理。此外,信息网络系统还需具

备良好的安全性，通过防火墙、加密和入侵检测等手段，保护网络免受攻击和数据泄露。信息网络系统的高效运作，不仅提升了建筑的整体智能化水平，还为用户提供了快速便捷的信息服务，满足了现代建筑对高效通信和数据管理的需求。

2.3 安防监控系统

安防监控系统是建筑智能化工程中保障安全的重要部分，该系统主要包括视频监控、入侵报警、门禁控制和紧急报警等子系统。通过安装在建筑内外的摄像头，视频监控系统能够实时监视并记录各个区域的活动情况，有效防止和及时处理各种安全事件。入侵报警系统通过各种传感器，如红外线、振动和门窗磁力开关，检测并报警潜在的入侵行为，提供即时的安全警报。门禁控制系统则通过电子门禁卡、指纹识别或人脸识别等技术，管理和记录人员的出入情况，确保只有授权人员可以进入特定区域。紧急报警系统则能够在紧急情况下，通过手动或自动方式发出警报，迅速通知安保人员和相关管理者。安防监控系统的综合应用，大大提高了建筑的安全性，确保了人员和财产的安全。

2.4 楼宇自动化系统

楼宇自动化系统是建筑智能化工程中的关键组成部分，在提升建筑运行效率和用户舒适度。该系统通过集成控制和管理建筑内部各类设备和系统，如照明、空调、电梯和窗帘等，实现自动化运行和优化管理。通过预设的控制策略和传感器反馈，系统可以智能地调节室内环境，包括温度、湿度和照明显亮度，以提供最佳的舒适度和能效表现。此外，楼宇自动化系统还能通过数据分析和预测，优化设备运行时间表和维护计划，减少能源浪费和运营成本。通过自动化的操作和管理，楼宇自动化系统不仅提升了建筑的整体管理水平，还为用户创造了智能、便捷和舒适的使用环境，符合现代社会对于高效、可持续建筑管理的需求。

2.5 消防报警系统

消防报警系统是建筑智能化工程中至关重要的一部分，主要功能是监测建筑内部的火灾风险并及时发出警报，以保护人员生命和财产安全。该系统通常包括火灾探测器、手动报警按钮、报警控制器和联动设备等组成部分。火灾探测器通过检测烟雾、温度或火焰等指标，实时监测可能的火灾危险。手动报警按钮则允许人员在发现火灾情况下，快速触发报警系统。报警控制器负责接收和处理探测器和手动按钮发出的信号，并触发声光报警设备进行警报。此外，消防报警系统还常与建筑其他系统联动，如自动关闭防火门、通风系统控制等，以最大程度地减少火灾造成的损失。消防报警系统的有效运作，对于提高建筑安全性和应急响应能力具有重要意义，是保障人员和财产安全的关键技术之一。

3 建筑智能化工程的施工准备

3.1 设计与规划

建筑智能化工程的成功施工离不开科学合理的设计与规划阶段。在这一阶段首先需要进行全面的需求分析，明确建筑主体结构和功能区域，以及各个系统的需求和集成方案。设计团队必须考虑到建筑的特殊性和使用场景，合理配置智能化设备和系统，确保其功能和性能能够达到预期的效果。同时，还需制定详细的施工图纸和技术规范，确保施工过程中的每一个细节都能得到精准执行。此外，设计与规划阶段还应考虑到施工期间可能出现的问题和挑战，提前制定解决方案，确保施工进度和质量的稳定。综上所述，设计与规划阶段的精细化和前瞻性，对于建筑智能化工程的顺利实施至关重要，为后续施工阶段奠定了坚实的基础。

3.2 设备与材料的选择

在建筑智能化工程的施工准备阶段，设备与材料的选择至关重要，直接影响到工程的质量和效果。首先，需要根据设计方案和技术要求选择合适的智能化设备和系统组件。这些设备包括控制器、传感器、执行器、监控摄像头、网络设备等，它们的品牌、型号和性能指标必须与工程需求相匹配，确保能够稳定可靠地运行在预期的环境条件下^[2]。此外，材料的选择也是施工准备中的关键步骤。例如，网络布线所使用的电缆和连接器必须符合通信标准和安全要求；建筑内部照明系统所选用的灯具和控制器需要考虑到能效、寿命和光学性能等因素；而安防监控系统中的摄像头和传感器则需具备适应不同环境条件的能力。

3.3 施工团队的组建与培训

建筑智能化工程的成功施工离不开一个专业的施工团队。在施工准备阶段，首先需要根据工程的规模和复杂性合理组建施工团队。团队应包括项目经理、工程师、技术员和施工人员等各类专业人员，确保每个岗位的职责和协作方式明确清晰。除了人员的组建外，团队成员的培训也是施工准备中不可忽视的一环。培训内容应涵盖智能化设备和系统的安装调试、操作维护及安全管理等方面，以确保每位团队成员都具备必要的技能和知识，能够胜任各自的工作任务。培训还应强调团队协作和沟通的重要性，确保施工过程中的信息流畅和问题协调能够得到及时有效的解决。

4 建筑智能化工程的施工技术要点分析

4.1 设计阶段

设计阶段是建筑智能化工程中至关重要的阶段，直接影响到后续施工和运行的质量和效率。在设计阶段，首先需要进行充分的需求分析和技术评估，理解建筑功能需求及智能化系统的应用场景。通过与业主和使用者的沟通，明确各类智能化设备和系统的具体需求，确保设计方案能够满足实际使用的功能要求。其次，设计阶段还需进行系

统集成与优化设计。综合考虑各个智能化系统（如控制系统、信息网络、安防监控、楼宇自动化等）之间的互联互通，优化设备的布局和互动逻辑，确保系统之间的协调运行和高效管理。另外，设计阶段的关键还在于制定详细的施工图纸和技术规范^[3]。施工图纸应包括设备安装位置、接线图、管线布置等具体细节，为施工过程中的实际操作提供清晰指导。技术规范则包括设备选型标准、安装标准和质量控制要求，确保施工过程中的每一步都符合预期的技术标准。

4.2 施工准备

在建筑智能化工程的施工准备阶段，必须进行全面且有效的筹备工作，以确保后续施工能够顺利进行并达到预期目标。首先，施工前必须详细审查和确认设计图纸及技术规范，确保施工过程中的每一个细节都得到准确执行。同时，需对施工现场进行全面评估和准备，包括空间利用、安全条件和环境保护等方面的措施。其次，施工准备阶段需要充分准备所需的人力和物资资源，组建合适的施工团队确保团队成员具备必要的技能和经验，以应对各类复杂情况和挑战。同时，对施工所需的设备、工具和材料进行清单和采购计划，保证施工过程中的物资供应和使用的顺畅和效率。另外，施工准备还需制定详细的施工计划和进度安排，这包括施工阶段的工序安排、人员配备、工作时间安排以及质量控制和安全管理的措施。通过合理的施工计划，能够有效提升施工效率，确保工程能够按时完成并达到高质量标准。

4.3 施工阶段

施工阶段是建筑智能化工程的核心实施阶段，需要严格按照设计方案和施工计划进行操作，确保工程质量进度达到预期目标。首先，施工团队需严格按照施工图纸和技术规范进行设备安装、接线连接及设备调试等工作，每一步骤都必须精确操作，确保设备安装的准确性和系统的稳定性。其次，施工现场需要实施有效的质量控制和安全管理措施，通过现场检查和测试，及时发现和解决施工过程中存在的问题和缺陷，确保施工质量符合技术标准和预期要求。同时，严格执行安全操作规程，保障施工人员的人身安全和施工现场的安全环境。此外，施工阶段还需确保与其他施工团队和相关部门的协调配合。例如，与电力供应商、设备供应商和其他承包商的沟通协调，确保施工过程中的各种资源和支持服务的及时供应和配合。

4.4 质量控制

质量控制在建筑智能化工程中是确保工程质量达标的关键环节。首先，质量控制需要从施工前期就开始，通过严格审查和确认设计图纸、技术规范和施工标准，确保所有施工过程都依据准确和统一的指导原则进行。首先是材料和设备的质量控制，确保采用的材料和设备符合规定

标准，具备良好的可靠性和耐久性。其次是施工过程中的工艺控制，包括安装、连接、调试等环节，确保每一步操作符合技术要求，避免施工缺陷和安全隐患。另外，质量控制还需要注重施工现场的实时监控和检查。通过定期的现场检查和测试，及时发现并解决施工过程中可能存在的问题和缺陷，确保施工质量持续稳定。最后，质量控制需要建立有效的记录和反馈机制。记录施工过程中的关键数据和质量检查结果，进行分析总结，及时调整和改进施工工艺和管理措施，提升整体施工质量和效率。

4.5 安全管理

安全管理在建筑智能化工程中具有至关重要的地位，保障施工人员和现场设施的安全。首先，建立健全的安全管理体系是关键，这包括制定详细的安全操作规程和应急预案，确保施工过程中各项安全措施的全面执行。所有参与施工的人员都应接受必要的安全培训和教育，了解并遵守安全操作规定，提高安全意识和应对突发事件的能力。其次，施工现场的安全监控和防护设施是保障安全的重要手段，安装和使用符合标准的个人防护装备，定期检查和维护施工现场的安全设施，如围栏、警示标志和应急疏散通道等，确保施工过程中人员和设备的安全性。另外，有效的风险评估和管理也是安全管理的关键步骤，在施工前期和过程中，需全面评估可能存在的安全风险，并采取预防和控制措施，减少事故和损失的发生。最后，安全管理还需强化施工现场的监督和协调，建立健全的安全管理制度明确各方责任和义务，确保安全管理工作的有效推进和落实。

5 结语

建筑智能化工程的实施涉及多个复杂而关键的技术和管理环节。通过设计阶段的精细规划和施工阶段的严格执行，我们能够确保智能化设备和系统能够按照预期功能和性能运行。质量控制和安全管理是工程成功的重要保障，它们不仅提升了施工质量，也保障了施工人员的安全。最终，建筑智能化工程的成功实施不仅提升了建筑物的功能性和效率，也为用户提供了更安全、舒适的使用环境，体现了现代化建筑科技在实际生活中的重要应用和价值。

[参考文献]

- [1] 熊飞. 建筑智能化工程施工质量问题及对策 [J]. 居业, 2023(7): 64–66.
 - [2] 丁玲. 建筑智能化工程的施工技术要点分析 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(26): 149–151.
 - [3] 管亮. 建筑智能化工程管理技术的应用研究 [J]. 住宅与房地产, 2020(36): 119–120.
- 作者简介：冯笃学（1995.3—），男，毕业院校：山东建筑大学；所学专业：通信工程，当前就职单位：中建八局第二建设有限公司，职务：工程师，职称级别：中级。

基于智能建造的建筑施工管理信息化创新

李运暖¹ 蒋光华²

1. 广西工业职业技术学院，广西 南宁 530000

2. 横州建康环保科技有限责任公司，广西 南宁 530000

[摘要]如今，随着科学技术的不断进步，人们对建筑的要求日益提高。为了满足这一趋势，建筑企业必须深刻认识到智能化建筑的重要性，并积极推动智能化技术在建筑工程中的应用。智能化建造不仅能够提升建筑物的功能性和效率，还能够有效降低运营成本，改善用户体验，从而获得显著的经济效益和社会效益。此文针对建筑施工智能化建造的应用进行了深入分析，通过现有文献综述，文中旨在为建筑行业的决策者和从业者提供实用的指导，促进智能化建筑工程的推广和发展，推动建筑行业迈向更加智能化和可持续发展的未来。

[关键词]智能建造；建筑施工；施工管理；信息化；创新

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13423

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Innovation of Building Construction Management Informatization Based on Intelligent Construction

LI Yunnuan¹, JIANG Guanghua²

1. Guangxi Vocational & Technical Institute of Industry, Nanning, Guangxi, 530000, China

2. Hengzhou Jiankang Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: Nowadays, with the continuous progress of science and technology, people's requirements for architecture are increasing day by day. In order to meet this trend, construction companies must deeply recognize the importance of intelligent buildings and actively promote the application of intelligent technology in construction projects. Intelligent construction can not only enhance the functionality and efficiency of buildings, but also effectively reduce operating costs, improve user experience, and thus achieve significant economic and social benefits. This article provides an in-depth analysis of the application of intelligent construction in building construction. Through existing literature review, the article aims to provide practical guidance for decision-makers and practitioners in the construction industry, promote the promotion and development of intelligent building engineering, and drive the construction industry towards a more intelligent and sustainable future.

Keywords: intelligent construction; building construction; construction management; informatization; innovation

引言

在当今建筑行业，智能建造技术和信息化管理正日益成为推动行业现代化转型的重要引擎。随着科技的进步和应用范围的扩展，建筑施工管理也在迅速演变，从传统的人工操作向数字化、智能化的管理模式转变。智能建造技术如物联网、大数据分析、人工智能、建筑信息模型(BIM)、云计算、无人机和机器人等，不仅革新了施工过程中的各个环节，提高了效率和精度，还为管理决策提供了前所未有的数据支持和决策依据。同时，信息化管理系统的应用使得施工现场的监控、资源管理、进度控制和质量保障变得更加透明和可控，极大地提升了整个项目的执行效率和管理水平。本文旨在探讨基于智能建造的建筑施工管理信息化创新，深入分析各种先进技术在建筑施工管理中的应用与成效，探讨其对提升施工质量、降低成本、优化资源利用和改善安全管理等方面的影响。通过对现有研究分析，旨在为建筑行业的从业者和决策者提供深入的洞察和实用的指导，促进智能建造与信息化管理在实践中的广泛应用与推广，推动建筑行业向数字化、智能化迈进的步伐。

1 信息化在施工管理中的作用

信息化在施工管理中的作用主要体现在提升管理效率、增强决策支持、优化资源配置和提高施工质量等方面。通过信息化手段，施工管理人员能够实现对项目进度、质量、安全等关键环节的实时监控和精准控制，有效降低施工风险和成本。同时，信息化系统可以整合和分析大量施工数据，为管理层提供科学的决策依据，促进施工管理的精细化和智能化。此外，信息化还推动了各参与方之间的信息共享和协同工作，提高了项目的整体执行效率和质量，推动了建筑施工行业的现代化发展。

2 智能建造技术

2.1 物联网 (IoT)

物联网 (IoT) 在智能建造技术中发挥着重要作用，它通过传感器和设备的互联，实现了对建筑施工现场的实时监控和管理。IoT 技术可以将施工现场的各种信息，如设备状态、环境参数、人员位置等数据实时传输到中央管理系统，使管理人员能够及时了解施工现场的动态，做出迅速且准确的决策。这不仅提高了施工效率，还显著提升了

了施工安全性和质量控制水平。此外，物联网还可以实现设备的自动化控制和远程维护，降低了人工操作的误差和维护成本，进一步推动了建筑施工管理的智能化进程。

2.2 大数据分析

大数据分析在智能建造技术中具有重要作用，它通过对大量施工数据的收集、存储、处理和分析，提供了深度洞察和科学决策支持。施工过程中产生的各种数据，如进度、质量、安全、成本等，通过大数据分析技术，可以挖掘出潜在的规律和趋势，识别出影响项目绩效的关键因素^[1]。这不仅有助于优化施工方案，提高工作效率，还能预测并提前应对潜在的风险，保障项目的顺利进行。此外，大数据分析还支持施工过程的精细化管理，帮助企业实现资源的合理配置和成本的有效控制，从而推动建筑行业向数据驱动和智能化方向发展。

2.3 人工智能（AI）

人工智能（AI）在智能建造技术中扮演着关键角色，通过其强大的数据处理和分析能力，为施工管理带来了显著的变革。AI 技术可以应用于施工进度的优化、质量检测、风险预测以及资源调度等多个方面。例如，AI 算法可以根据历史数据和实时信息预测施工进度中的潜在延误，提供相应的调整建议；通过机器学习技术，AI 能够自动检测施工过程中出现的质量问题，并提出修正方案，减少人为错误；在安全管理方面，AI 可以分析现场监控视频，识别出潜在的安全隐患并及时预警，从而降低事故发生率。

2.4 建筑信息模型（BIM）

建筑信息模型（BIM）在智能建造技术中发挥着核心作用，它通过创建和管理建筑物的数字化表示，实现了从设计到施工再到运营维护的全生命周期管理。BIM 技术能够将建筑的几何信息、材料信息、时间进度以及成本等多维数据集成在一个三维模型中，使各参与方能够在同一平台上进行协同工作和信息共享。这不仅提高了设计和施工的精确度，减少了错误和返工，还优化了资源的配置和使用效率。此外，BIM 还支持施工过程的模拟和分析，可以在虚拟环境中预演施工方案，识别潜在问题并优化解决方案，从而提高施工质量和效率，降低项目风险和成本。

2.5 云计算

云计算在智能建造技术中起着重要作用，通过提供强大的计算和存储能力，使施工管理和数据处理更加高效和便捷。云计算可以将建筑项目中的大量数据，如设计图纸、进度计划、成本信息等，集中存储在云端，方便各参与方随时随地访问和共享。这种集中化的数据管理不仅提高了信息传递的效率，还保障了数据的安全性和完整性。此外，云计算平台能够支持复杂的计算任务和大规模数据分析，帮助施工管理人员快速处理和分析施工过程中的各种数据，做出科学决策。通过云计算的支持，建筑项目的各个

环节可以实现更高效的协同和管理，从而提升项目整体的执行力和竞争力。

2.6 无人机和机器人技术

无人机和机器人技术在智能建造技术中具有显著的应用价值，通过提供自动化和智能化的施工解决方案，大大提高了施工效率和精度。无人机能够对施工现场进行高效的勘测和监控，获取精确的地理和图像数据，生成三维模型，为施工规划和进度监控提供实时、详细的信息支持。机器人技术则可以应用于诸如砌砖、焊接、混凝土浇筑等施工任务，通过编程控制和自动化操作，确保施工质量的一致性，减少人工操作的误差和安全风险。此外，无人机和机器人还能在危险环境中执行任务，降低了工人受伤的风险，进一步提升了施工现场的安全水平。

3 信息化施工管理系统设计

3.1 系统架构设计

系统架构设计在信息化施工管理系统中至关重要，它不仅决定了系统的整体结构和功能模块的组织，还直接影响到系统的稳定性、可扩展性和用户体验。一个良好的系统架构应当考虑到多方面的因素：首先是系统的整体目标和需求，必须清晰地定义系统所要解决的问题和提供的服务，确保系统设计和实现能够有效地支持和满足用户的实际需求。其次是技术选型和集成，需要选择合适的技术和工具来支持系统的各项功能，如数据库管理系统、前端和后端开发框架、通信协议等，保证系统在性能和安全性上的良好表现。另外，架构设计还要考虑到系统的可扩展性和灵活性，以便未来根据业务发展和用户需求进行功能扩展和升级。

3.2 功能模块设计

功能模块设计在信息化施工管理系统中是确保系统能够有效支持施工管理各项任务和需求的重要组成部分。通过功能模块设计，系统可以按照不同的业务需求和用户角色划分为多个模块，每个模块专注于解决特定的管理问题或提供特定的服务。例如，系统可以包括项目管理模块、进度管理模块、质量管理模块、安全管理模块、成本管理模块等。每个模块都应当具备清晰的功能定义和明确的操作流程，以支持用户在实际工作中的操作和决策需求。在功能模块设计过程中，还需要考虑模块之间的交互和数据流动，确保信息的共享和同步，避免数据孤岛和信息冗余^[2]。此外，模块设计还应考虑到系统的用户体验和易用性，通过合理的界面设计和功能布局，使用户能够快速上手并高效地利用系统进行工作。

3.3 数据管理与处理

数据管理与处理在信息化施工管理系统设计中具有关键性作用。它涵盖了数据的采集、存储、处理、分析和应用等多个环节，确保施工过程中产生的大量数据能够有效地转化为有用的信息，支持决策和管理。首先，数据的

准确采集是保证系统运行的基础，包括从施工现场传感器、设备、无人机等获取的实时数据，以及从其他信息系统中导入的历史数据等。其次，数据存储要求系统能够安全、高效地存储各类数据，包括结构化数据（如数据库记录）和非结构化数据（如文档、图像、视频等）。在数据处理方面，系统需要具备强大的数据处理能力，能够对数据进行清洗、转换、整合和分析，从中发现潜在的关联和趋势，为管理人员提供决策支持。数据处理的技术手段包括大数据分析、人工智能算法、机器学习等，这些技术能够帮助系统实现对施工进度、质量、安全和成本等关键指标的精准预测和管理。此外，数据管理与处理还涉及到数据的安全性和合规性保障，系统需要采取适当的安全措施保护数据的完整性和机密性，同时符合相关的法律法规和行业标准。

3.4 用户界面设计

用户界面设计在信息化施工管理系统中是极为重要的，它直接影响到用户的操作体验和系统的易用性。一个优秀的用户界面设计不仅应当符合用户的操作习惯和心理预期，还应当简洁明了地呈现系统的功能和数据，使用户能够快速、准确地完成各项工作任务。在用户界面设计过程中，需要考虑到不同用户群体的需求和使用场景。例如，施工现场的工作人员可能更加关注实时数据的显示和操作简便性，而项目管理人员则可能更加关注数据的分析和报告功能。因此，设计师需要根据用户角色和任务需求，精心设计界面的布局、颜色搭配、图标和文字的使用，确保界面清晰、直观，用户能够快速找到所需功能并进行操作。

3.5 安全性与权限管理

安全性与权限管理在信息化施工管理系统设计中至关重要，它涉及到系统数据和功能的保护，确保系统只有授权用户才能访问和操作相应的信息和功能。首先，系统应设立严格的权限控制机制，根据用户的角色和职责分配不同的权限级别，限制其能够访问和修改的数据范围，从而防止未经授权的操作和信息泄露。其次，安全性策略需要包括数据加密、访问日志记录、用户身份验证等措施，确保系统数据在传输和存储过程中的安全性和完整性^[3]。此外，定期的安全审计和漏洞扫描是保证系统安全性的主要手段，及时发现和修复潜在的安全漏洞和威胁。

4 创新管理模式

4.1 信息化与智能建造的深度融合

创新管理模式中，信息化与智能建造的深度融合是推动建筑施工行业现代化转型的关键因素之一。通过信息化技术与智能建造技术的结合，建筑施工管理不仅实现了从传统管理向数字化管理的跨越，还提升了施工效率和质量控制水平。信息化技术为智能建造提供了数据支持和决策依据，例如通过实时监控和大数据分析，系统可以预测施工进度、优化资源配置、提高安全管理水准等。同时，智

能建造技术的应用使得施工过程更加自动化和精准化，如机器人施工、无人机监测等，有效减少了人为因素带来的错误和安全风险。深度融合信息化与智能建造不仅改变了传统建筑施工管理的工作方式，也推动了管理模式的创新和效率的提升。这种融合不仅仅是技术上的整合，更是管理理念的更新和施工方式的变革，为建筑行业的可持续发展和竞争力的提升打下了坚实的基础。

4.2 提高管理效率和质量的措施

在创新管理模式中，提升管理效率和质量的措施至关重要，它们直接影响着建筑施工项目的成功与否。通过引入先进的信息化技术和智能化工具，管理团队能够实现对项目进度、质量、成本等关键指标的精准监控和管理。信息化技术如建筑信息模型（BIM）、大数据分析和物联网（IoT），为管理人员提供了全面的数据支持和决策依据，使其能够更快速、准确地做出反应，并优化资源配置和施工流程。同时，智能化工具如机器人技术、无人机监测和自动化设备，提升了施工效率和质量控制的水平，减少了人为错误和安全风险。这些措施不仅简化了施工管理的复杂性，也大幅提升了管理效率和施工质量。通过数据驱动的方法，管理团队能够更好地预测和规避潜在问题，实现实时的优化和持续改进。

4.3 成本控制与资源优化

在创新管理模式中，成本控制与资源优化是确保建筑施工项目经济效益和可持续发展的重要策略。通过引入先进的管理工具和技术，如成本管理软件、实时数据分析系统和智能决策支持系统，管理团队能够实现对施工成本的精细化管理和实时监控。这些工具不仅能够帮助管理团队及时发现和分析造成成本波动的因素，还能通过数据驱动的方法，优化资源的使用效率，减少浪费并提升成本控制的效果^[4]。同时，资源优化方面的创新包括使用先进的技术和设备，例如智能机器人和无人机等自动化工具，在不同施工阶段提高工作效率和质量控制水平。这些技术的引入不仅减少了人力投入和劳动成本，还提升了施工过程的安全性和可靠性。

5 结语

智能建造技术在建筑施工管理信息化创新中展现出巨大的潜力和前景。通过本文的探讨和分析，我们深入了解到了物联网、大数据分析、人工智能、建筑信息模型（BIM）、云计算、无人机和机器人等先进技术如何重塑了传统的建筑施工管理模式。这些技术的应用不仅提升了施工过程的效率和精度，还显著改善了项目的质量控制和安全管理。然而，智能建造的推广和应用仍面临诸多挑战，包括技术成本、人才培养、标准化和安全性等方面的问题。为了克服这些挑战，建筑企业需要加强技术研发投入，培养具备智能化管理能力的人才，并与相关部门密切合作，推动技术标准的制定与落实。随着智能建造技术的不断演进和应

用范围的扩展，建筑施工管理将迎来更多创新和变革。未来，我们期待看到智能化建筑工程在提升建筑质量、节约资源、保护环境等方面发挥更大的作用，推动建筑行业朝着更加智能化、可持续发展的方向迈进。愿本文为此方向的研究者和从业者提供了一些有价值的见解和启发，共同推动智能建造在建筑施工管理中的广泛应用与进步。

[参考文献]

- [1] 钟正飞. 基于智能建造的建筑施工管理信息化创新 [J]. 中国建设信息化, 2024, 11(9): 68-71.
- [2] 董范君, 张珍, 蒋森伟, 等. 建筑工程施工绿色智能建造与智慧管理的应用 [J]. 绿色建造与智能建

筑, 2024, 12(2): 17-21.

[3] 毛超, 刘贵文, 汪军. 智慧建造概论 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2021.

[4] 高辉. 关于建筑施工智能化建造的应用 [J]. 居舍, 2019, 12(15): 172-173.

作者简介: 李运暖(1979.5—), 毕业院校: 湘潭工学院, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 广西工业职业技术学院, 职务: 专任教师, 职称级别: 讲师/工程师; 蒋光华, 毕业院校: 广西科技大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 横州建康环保科技有限责任公司, 职务: 高级工程师。

绿色建筑给排水节水节能新技术的应用

龙翔翔 王锐丞 李林 王林 罗宇航

中国建筑第八工程局有限公司，上海 200131

[摘要]随着全球资源的日益枯竭和环境问题的加剧，建筑行业作为能源消耗和碳排放的主要行业之一，面临着巨大的压力和挑战。传统建筑在设计和运行过程中存在诸多问题，如高能耗、高水耗和高排放，已不再适应当今可持续发展的要求。因此，绿色建筑作为一种全新的建筑理念和实践模式，通过引入先进的技术和策略，致力于在全生命周期内最大程度地降低对环境的影响。特别是在给排水系统领域，节水和节能成为关键词汇。新技术的引入不仅能够显著减少建筑的用水量和能耗，还能改善水资源的利用效率，从而实现建筑节能减排的目标。要实现绿色建筑的全面推广和应用，仍需政府、行业和社会各界的共同努力和支持，才能迈向更加可持续和环保的建筑发展方向。

[关键词]绿色建筑；给排水；节水节能；新技术

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13421

中图分类号: TU82

文献标识码: A

Application of New Water-saving and Energy-saving Technology in Green Building Water Supply and Drainage

LONG Xiangxiang, WANG Zhuocheng, LI Lin, WANG Lin, LUO Yuhang

China Construction Eighth Engineering Division Corp., Ltd., Shanghai, 200131, China

Abstract: With the increasing depletion of global resources and worsening environmental problems, the construction industry, as one of the main industries in energy consumption and carbon emissions, is facing enormous pressure and challenges. Traditional buildings have many problems in the design and operation process, such as high energy consumption, high water consumption, and high emissions, which are no longer suitable for the requirements of sustainable development today. Therefore, green building, as a new architectural concept and practical model, is committed to minimizing its impact on the environment throughout its entire lifecycle by introducing advanced technologies and strategies. Especially in the field of water supply and drainage systems, water conservation and energy efficiency have become key terms. The introduction of new technologies can not only significantly reduce the water and energy consumption of buildings, but also improve the efficiency of water resource utilization, thereby achieving the goal of building energy conservation and emission reduction. In order to achieve the comprehensive promotion and application of green buildings, it still requires the joint efforts and support of the government, industry, and all sectors of society, so as to move towards a more sustainable and environmentally friendly direction of building development.

Keywords: green building; water supply and drainage; water and energy conservation; new technology

引言

随着全球城市化进程加快和环境问题日益突出，绿色建筑作为可持续发展的重要策略受到了广泛关注。绿色建筑不仅仅关注建筑本身的设计和施工质量，更重要的是通过创新的技术和管理手段，最大程度地减少资源消耗、降低环境负荷，同时提升建筑的舒适性和可持续性。深入探讨绿色建筑中新兴的给排水节水节能技术应用，探讨这些技术如何提升建筑能效和环保水平。分析这些技术在减少资源消耗、降低环境影响方面的关键作用，并审视当前面临的挑战及未来的发展前景。

1 给排水节水节能新技术在绿色建筑中应用的重要性

在当今全球可持续发展的背景下，绿色建筑作为减少能源消耗和环境影响的关键手段越发受到重视。在绿色建筑中，给排水节水节能新技术的应用显得尤为重要。首先，

这些技术可以显著降低建筑运行阶段的能源消耗和水资源利用，从而减少对环境的负面影响。其次，通过采用先进的节水器具和系统，不仅可以有效降低用水量，还能减少给水和排水系统的能耗，从而降低建筑的运营成本。此外，这些技术的应用不仅符合环境保护的国际趋势，还能提升建筑的市场竞争力和可持续发展的形象，吸引更多环保意识强的租户和投资者。

2 我国建筑给排水节水节能工程所存在的问题

2.1 新型节能器材应用率不高

我国建筑领域在节水节能方面取得了一定进展，但仍面临新型节能器材应用率不高的问题。尽管市场上已经出现了许多先进的节能设备和技术，但在实际工程中的普及和应用程度并不理想，这一现象主要源于多方面因素的综合作用。首先，部分建筑业主和开发商在设计和建设过程中更注重成本控制，而忽视了长期节能效益的投资回报^[1]。

其次，新型节能器材的技术推广和应用需要克服市场认知不足和技术推广难度大等障碍。同时，技术标准和规范的制定及执行力度不足，也限制了新型节能器材在建筑工程中的推广应用。因此，提升新型节能器材的应用率，需要政府、行业协会、企业和研究机构共同努力，通过政策扶持、市场引导和技术支持等措施，推动节能技术的创新与应用，以实现建筑节能目标和可持续发展。

2.2 给水系统存在过高的压力问题

在我国建筑领域，给水系统存在过高的压力问题是一个普遍存在且需要解决的挑战。高压力给水系统不仅增加了设备的运行负荷和能耗，还可能导致管道泄漏、设备损坏甚至安全隐患，这一问题的根源主要包括多方面因素的影响。首先，建筑设计阶段对于给水系统的管网设计、水压控制等方面考虑不足，导致在实际运行中难以有效控制水压。其次，城市水压波动大、泄漏管道修复不及时等问题也会间接导致给水系统压力过高。此外，一些地区和建筑物可能由于设备老化、管理不当等原因，使得系统压力无法有效控制。为解决这一问题需要从多个角度出发，包括加强建筑设计中对给水系统的合理规划和设计、引入先进的调压设备和技术、完善管网维护与管理机制等措施。通过综合治理和技术创新，逐步优化我国建筑物的给水系统，实现压力控制的科学管理，提升系统的稳定性和效率，从而为建筑节能减排和可持续发展贡献力量。

2.3 排水系统设计缺乏合理性

在我国建筑领域，排水系统设计缺乏合理性是一个显著的问题，直接影响到建筑物运行的效率和环境影响，这一问题主要体现在几个方面。首先，部分建筑在设计阶段未能充分考虑到实际使用情况和建筑物功能特性，导致排水管道布局不合理、管径选择不当等情况频发。其次，排水系统设计中可能存在的技术标准和规范落后、执行力度不足等问题，使得设计方案无法充分利用现代科技和工程经验，从而影响系统的整体效能。此外，建筑物的老化和维护不善也会导致排水系统功能衰退，进一步加剧设计不合理的问题。为解决排水系统设计缺乏合理性的挑战，需要在设计阶段加强工程师和设计者的技术培训和能力提升，促进设计理念的更新和创新。同时，建立健全的监测与评估机制，及时发现和修正设计中的不合理之处，提高排水系统的可靠性和效率。

2.4 给排水期间发生漏水情况

在建筑领域，特别是在给排水系统中，漏水问题是一项严重影响建筑运行和可持续性的挑战。漏水不仅会导致水资源的浪费，还可能造成建筑物结构和设备的损坏，甚至影响居民生活和安全，漏水问题的发生主要由以下几个方面因素引起。首先，建筑材料的质量和施工工艺的不足可能导致管道连接处的漏水。其次，建筑物老化、管道腐蚀或受损、设备故障等都可能成为漏水的隐患。另外，设

计不合理或未能充分考虑建筑物使用环境和条件的因素，也可能在使用过程中产生漏水问题。解决漏水问题需要综合治理和多方面的努力，首先是加强对建筑施工质量和材料选用的监管，确保管道连接的质量和密封性。其次是定期检查和维护建筑物的给排水系统，及时发现并修复漏水点。同时，推广使用先进的检测技术和设备，如红外线检测、压力测试等，提高漏水点检测的准确性和效率。最后，加强居民的用水意识教育，减少不当使用或过度使用水资源造成的漏水风险。通过这些措施的综合应用，可以有效减少漏水问题对建筑物和环境造成的不良影响，实现建筑物给排水系统的可持续运行和管理。

3 绿色建筑给排水节水节能新技术的运用

3.1 提升相关部门在节能节水器材普及方面的实施效果

在推动绿色建筑发展过程中，提升相关部门在节能节水器材普及方面的实施效果显得尤为重要。这一过程涉及政府部门、行业组织、研究机构以及企业等多方合作，需要针对性的政策支持和有效的执行措施^[2]。首先，政府在制定和执行相关政策上起着关键作用，通过制定激励措施，如财政补贴、税收优惠和奖励措施，鼓励建筑业主和开发商采用节能节水器材。政府还可以设立技术标准和认证体系，推广先进的节能节水技术，确保市场上的产品质量和性能达到要求。其次，行业组织和研究机构在技术推广和创新方面发挥着重要作用，通过开展研究和开发新型节能节水器材提升其性能和可靠性，同时推广技术成果加强行业标准的制定和更新，为市场提供更多选择和引导。此外，企业作为技术应用的主体，需要加强与政府和研究机构的合作，积极参与新技术的研发和应用，提升产品竞争力和市场份额。企业还可以通过培训和教育活动，提升员工的专业水平和技术能力，确保节能节水器材在实际项目中的有效应用和运行效果。

3.2 中水回用系统

中水回用系统在绿色建筑中扮演着重要角色，通过有效处理和再利用废水，减少淡水资源消耗降低建筑运营成本，同时减少对环境的负荷。中水回用系统的核心是收集、处理和再利用建筑内部产生的非饮用水，如浴室和厨房排水以及雨水。这些水源经过预处理、过滤和消毒等工艺后，可以用于冲厕、灌溉、景观水景等非饮用水需求场景。中水回用系统的设计与实施需要综合考虑多个因素，首先是合适的技术选择和系统设计，包括水质要求、管道布局和设备配置等，确保系统运行稳定和水质符合要求。其次是合规性与安全性的考量，需要符合相关法规标准，保障再利用水的安全性和健康性。此外，经济性分析也是实施中水回用系统的关键因素，包括初投资、运行维护成本以及长期节水效益的评估。成功实施中水回用系统不仅能够显著降低建筑的淡水需求，还能提升建筑的环境友好性和可

持续性形象，满足社会对节水减排的需求。在推广应用过程中，政府、行业组织和企业需加强合作，共同推动中水回用技术的创新和普及，为建筑行业的可持续发展贡献力量。

3.3 雨水收集与利用系统

雨水收集与利用系统在绿色建筑中是一项关键技术，有效利用自然降水资源减少城市排水系统的负荷，同时降低建筑的淡水消耗。这一系统通过收集和储存屋顶或其他建筑表面的雨水，经过预处理后再利用于非饮用水需求，如冲洗厕所、灌溉植被和景观等。雨水收集与利用系统的设计与实施需考虑多方面因素，首先是收集面积和雨水储存容量的匹配，需要根据建筑物的需水量和降水情况合理确定系统规模。其次是系统的水质处理，包括预过滤、沉淀、过滤和消毒等工艺，确保再利用水的水质安全和健康性。此外，系统的操作与维护管理也至关重要，包括定期清洁和维护设备以确保系统运行效率和长期可靠性。成功实施雨水收集与利用系统不仅可以显著降低建筑的淡水消耗，还能有效减少雨水径流对城市排水系统的冲击，改善城市水资源利用效率和环境质量。在推广应用过程中，政府部门的政策支持和引导、行业组织的技术推广和标准制定，以及企业的积极参与和市场应用，是推动雨水收集与利用技术普及的关键因素。通过多方合作，共同推动雨水收集与利用技术在建筑领域的广泛应用，实现城市可持续发展和水资源的有效利用。

3.4 高效节水器具

高效节水器具在绿色建筑中扮演着关键角色，其设计和应用旨在通过技术创新和工程优化，实现显著的水资源节约效果。这类器具主要包括混合水龙头、节水马桶、淋浴喷头等，通过优化水流控制和节水设计，有效减少了日常生活和建筑运营中的淡水消耗^[3]。首先，高效节水器具在设计上充分考虑了水流控制和使用效率。例如，采用先进的喷头技术和流量限制装置，能够在保证使用舒适度的同时，将水流量降低到最小化实现节水效果。其次，这些器具还结合了智能控制和感应技术，通过自动感应和定时关闭等功能，进一步减少了不必要的水资源浪费。在实际应用中，高效节水器具不仅能显著降低建筑的日常水费支出，还有助于降低给排水系统的能源消耗减少环境负荷。此外，这些器具的广泛应用还可以提升建筑的绿色认证和市场竞争力，吸引更多环保意识强的租户和投资者。为推广高效节水器具的应用，政府部门可以通过制定相关的节水标准和认证制度，鼓励建筑业主和开发商在设计和装修中选择符合节水要求的产品。同时，行业组织和企业可以加强技术创新和市场推广，提升产品的性能和品质，满足不同建筑需求。

3.5 有效借助太阳能资源

有效借助太阳能资源是绿色建筑中的重要策略，利用太阳能来满足建筑物的能源需求，减少对传统能源的依赖，

降低碳排放和环境影响。太阳能资源利用主要通过太阳能光伏系统和太阳能热水系统两大技术路径来实现。首先，太阳能光伏系统利用光伏板将太阳能转换为电能，光伏板安装在建筑的屋顶或立面上，通过光伏电池将阳光转化为直流电，并经过逆变器转换为交流电，供应给建筑物的用电设备。这种系统不仅能够为建筑提供清洁的电力，还能通过电网连接或离网运行，实现能源的自给自足和节能减排的目标。其次，太阳能热水系统利用太阳能集热器将太阳能转换为热能，用于加热建筑物内部的热水供应系统。集热器可以是平板式或真空管式，通过热导介质将热能传递到热水储罐，供应给洗浴、暖气和其他热水需求。这种系统能够显著减少传统能源（如天然气或电力）的使用量，从而节约能源成本和减少温室气体排放。在实施太阳能资源利用过程中，需考虑建筑物的朝向、遮挡物和光照条件等因素，优化光伏板和集热器的布置位置，最大化利用太阳能资源。政府可通过制定激励政策、补贴和税收优惠，鼓励建筑主体和开发商投资和采用太阳能技术。同时，行业组织和企业应推动技术创新和市场推广，提高太阳能技术的性能和经济性，促进其在建筑行业的广泛应用。

4 结语

在绿色建筑的探索与实践中，我们深切体会到节水、节能和环保的重要性。通过本文对绿色建筑给排水节水节能新技术的应用进行深入探讨，我们不仅认识到这些技术在实现建筑可持续发展方面的关键作用，也清晰地看到了面临的挑战和需要解决的问题。从节水器具的普及到中水回用系统的推广，从雨水收集利用到太阳能资源的有效利用，每一项技术和措施都彰显了绿色建筑在资源利用和环境保护方面的前瞻性和创新性。要实现这些技术的广泛应用，还需政府、行业和社会各界的共同努力和支持。因此，我们呼吁各方面继续加强合作，通过政策引导、技术创新和市场推广推动绿色建筑的发展。只有在全社会共同努力下，才能实现建筑行业的可持续转型，为未来创造更清洁、更健康的生活环境，同时为地球的可持续发展贡献我们的力量。让我们携手并肩，共同迈向更加绿色、更加可持续的未来！

【参考文献】

- [1] 钟斌. 绿色建筑给排水节水节能新技术的应用 [J]. 中国住宅设施, 2024(4): 106-108.
 - [2] 马亮. 绿色建筑给排水节水节能新技术的运用研究 [J]. 居舍, 2020(22): 55-56.
 - [3] 黄梦菲. 绿色建筑给排水节水节能新技术应用 [J]. 现代物业(中旬刊), 2020(1): 51.
- 作者简介：龙翔翔（1995.5—），男，毕业院校：江西理工大学，所学专业：给排水科学与工程，当前就职单位：中国建筑第八工程局有限公司，职称级别：助理级工程师。

住宅建筑开裂分析及防治措施的应用研究

汪洋¹ 朱光祥¹ 卢粤华² 林志鹏² 杨冰峰³

1. 深圳市天健棚改投资发展有限公司, 广东 深圳 518000

2. 深圳壹创国际设计股份有限公司, 广东 深圳 518000

3. 深圳市建筑工务署工程设计管理中心, 广东 深圳 518000

[摘要]改革开放以来, 中国的城市得到迅速发展, 城市化进程不断加快, 城市规模不断扩大, 快速建造过程中出现的开裂问题一直是住宅建筑最常见的顽症之一, 影响建筑使用功能甚至影响结构耐久性、工程结构安全的主要因素。因此, 针对住宅工程开裂问题, 需结合实际, 对其产生因素进行全面总结与分析, 并从设计、施工、管理、使用等全过程探讨防治技术, 制定更加细化的防开裂措施, 秉持“以防为主”原则, 严格把控各部位、各环节的施工质量, 确保住宅建筑的结构安全性、耐久性及居住舒适性, 提升工程质量, 构建和谐幸福社会。

[关键词]防开裂; 住宅建筑; 因素分析; 防治措施

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13414

中图分类号: TU746.3

文献标识码: A

Application Research on Cracking Analysis and Prevention Measures in Residential Buildings

WANG Yang¹, ZHU Guangxiang¹, LU Yuehua², LIN Zhipeng², YANG Bingfeng³

1. Shenzhen Tianjian Penggai Investment Development Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

2. Shenzhen Yichuang International Design Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

3. Engineering Design Management Center, Bureau of Public Works of Shenzhen Municipality, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract: Since the reform and opening up, Chinese cities have developed rapidly, the urbanization process has been accelerating, and the urban scale has been continuously expanding. Cracking problems that occur during rapid construction have always been one of the most common problems in residential buildings, affecting the functional use of buildings and even the durability and safety of engineering structures. Therefore, in order to address the issue of cracking in residential engineering, it is necessary to comprehensively summarize and analyze the factors that contribute to its occurrence, and explore prevention and control technologies from the entire process of design, construction, management, and use. More detailed anti cracking measures should be formulated, adhering to the principle of "prevention first", strictly controlling the construction quality of various parts and links, ensuring the structural safety, durability, and living comfort of residential buildings, improving project quality, and building a harmonious and happy society.

Keywords: anti cracking; residential buildings; factor analysis; preventive measures

引言

随着国民经济的发展, 城镇化率的迅猛上涨, 建筑业发展迅速, 高层及超高层住宅建筑成为发展趋势, 与此同时, 人们对居住空间的品质也有了更高的追求。开裂一直是客户最为关心的质量问题, 在所有住宅工程质量问题中, 开裂问题的客户投诉率最高。为了提升住宅建筑品质, 减少住宅开裂引发的一系列问题需采取针对性的解决措施, 并对在建或未建住宅究其根源, 实施有效的防治措施。通过总结分析以往设计构造做法、施工技术、管理控制措施、使用规范性等方面, 优化出一套与时俱进的住宅建筑防开裂防治措施对保障住宅工程品质具有重要意义。

1 住宅建筑工程开裂的常见类型

1.1 混凝土开裂

混凝土作为工程建设领域应用最广泛的建筑材料, 在其应用过程中开裂问题一直是一个令人棘手的技术难题。

问题并非单一原因, 而是由众多复杂因素共同作用的结果。住宅建筑工程中混凝土开裂包含地下室混凝土开裂、主体现浇混凝土开裂; 地下室混凝土开裂的部位通常见于地下室底板、外墙、顶板、后浇带等部位, 主体现浇混凝土开裂的部位常见于混凝土楼受力构件、屋面板、不同材料交接处等部位。特别容易出现在地下室大截面剪力墙、主楼与大地下室交接区域、大开间房间角部、窗下墙“八字”缝、不同材料交接处等。

导致混凝土早期开裂的五个最常见原因: 混凝土自身因素, 原材料因素的影响, 结构设计方面的不足, 施工人员认识不足, 裂缝控制缺乏整体思维。在实际工作中, 需要根据特定的工程条件和具体的问题情境, 进行深入细致的分析, 以便能够制定出针对性的裂缝控制措施。要求我们既要灵活运用理论知识, 又要结合实践经验, 以期达到最佳的裂缝控制效果。

表 1 不同区域裂缝程度

	地下室底板裂缝容易出现在不同区域地基沉降不一致可能导致底板受到不均匀的应力，使得局部底板混凝土受拉，产生裂缝。		地下室墙开裂常发生在墙体较长或混凝土强度等级较高的部位。裂缝多为等距、几乎与地面垂直的直线裂纹。
	混凝土梁体常见裂缝形式为斜裂缝，其形态一般呈 45° 角或其他角度，斜裂缝的数量和长度通常与梁体受力大小和荷载分布有关。		柱在上部荷载的长期作用下，常在柱与梁交接处、柱子转角处等部位出现竖向裂缝。
	局部贯通性裂缝通常在跨中 1/3 范围内，出现在板下表面居多，个别上下贯通。		沿预埋管线裂缝出现在板下表面居多，个别上下贯通。
	角部斜裂缝在房间的四角出现的斜裂缝。		规则破裂分布及走向均无规则，一般是不连贯的表面微裂缝。
	现浇混凝土外墙门窗洞口位置“八字”缝。		屋面层未设置排气孔，保护层起拱开裂。

1.2 抹灰开裂

住宅建筑工程中抹灰开裂主要表现为抹灰面层开裂、管线及箱体等部位开裂及不同材料交接部位开裂。

材料选择一抹灰材料分水泥砂浆和抹灰石膏，无水房间推荐采用抹灰石膏，有效降低空鼓开裂。施工现场应采用预拌砂浆，采用专用储罐储存，电控配比加料，充分搅拌均匀后方可使用。

基层处理一抹灰前，应纵横通线，确保抹灰厚度，墙面凹凸不平之处应补好，清扫墙面，除去粘结灰浆。表面的砂浆污垢、油污等应事先清除干净，为解决抹灰开裂现象，在抹灰墙面上用合格界面剂进行处理。浇水养护 24 小时，待墙面的水泥毛刺达到一定强度后抹灰。

管线开槽封堵引起的裂缝防止—管线的敷设应在墙体砌好后，根据土建放的线确定好盒（箱）的位置及管线所走的路径，然后进行剔凿，但应注意剔的洞、槽不得过大。

抹灰—每层抹灰厚度不超过 8mm，不得一次成活，下一层抹灰必须在上一层抹灰凝固后，且通过监理验收签字后，方可抹下一层灰。外墙水泥砂浆压光分项工程必须设分格缝，分格缝位置在窗口的上下各界一道通长横向分格

条，纵向分格条应按规范要求，在适宜部位设置，以减少外墙裂纹的发生。

表 2 裂缝情况图

	墙面抹灰层上出现的垂直裂缝是非常规则均匀的裂缝。
	外墙抹灰层开裂。
	顶砖开裂未处理、未挂网，抹灰后顶砖部位开裂。

1.3 隔墙开裂

住宅建筑工程中隔墙开裂按照材质可以分为混凝土构造隔墙开裂、砌筑墙体开裂、轻质隔墙条板开裂。由于不同位置采用不同种类隔墙材质，使得隔墙最常见于不同材料相接处出现裂缝，其次是门、窗、洞口、预埋管线及电箱等位置开裂，再者同材质接缝位置也常出现收缩裂缝。

表 3 裂缝出现的情况

	水平裂缝常发生在墙与门框交接部位，在门窗洞口处多呈“八”字形裂缝。
	竖向裂缝常发生墙体与现浇剪力墙、梁或柱子边缘交接位置或两轻质条板拼缝位置。
	电管线槽部位隔墙开裂。

1.4 饰面层开裂

住宅建筑工程中饰面层开裂主要发生在装饰装修工程，表现为吊顶装饰开裂、墙柱面装饰开裂、楼地面装饰开裂。裂缝的预防主要考虑：结构裂缝，温度裂缝，干燥收缩裂缝，不同材料接触面应力集中引起的装饰装修裂缝，非技术因素引起的装饰装修裂缝等因素。

表 4 饰面层开裂情况

	石膏板伸缩缝位置开裂。
	吊顶铝扣板边缘收口出现翘曲裂缝现象，与墙面交界面处开裂。
	石膏线条接缝开裂。
	地面块材出现开裂或实木地板使用一段时间后出现收缩开裂。



外墙腻子或涂料层开裂。

2 住宅建筑工程开裂的因素分析

2.1 混凝土开裂的因素分析

因为混凝土是一种复合型的建筑材料，本身就是具有不连续性，使得混凝土开裂形成裂缝是其与生俱来的本性，混凝土结构是允许带裂缝工作。但影响建筑的使用功能和耐久性的裂缝是需要控制的，属于质量缺陷。

混凝土开裂的因素错综复杂，有因设计缺陷引起的开裂、混凝土材料质量缺陷引起的开裂、施工操作不到位引起的开裂以及使用过程中维护不当、受到环境侵蚀而产生的耐久性裂缝、偶然作用后产生的残余裂缝等。

引起的开裂主要是设计单位在临界状态下进行混凝土受力构件结构设计，为充分考虑施工环境的多重因素。混凝土材料质量缺陷引起开裂的原因有水泥不合格或水泥品种使用不当引起的裂缝，砂、石集料中含泥量超标，细砂或外加剂选用不当造成构件裂缝。施工操作不到位引起的开裂有模板支架不规范产生的裂缝、模板支架立在楼板上造成的裂缝、早拆底模与支架造成的构件裂缝，管线位置未设置抗裂网，钢筋位置偏差较大，混凝土养护不到位，强度未达标时过早荷载产生变形而开裂等。

2.2 抹灰开裂的因素分析

抹灰开裂的因素主要是原材料质量问题及施工操作不当引起的。抹灰原材料的质量控制不严，导致不合格的材料进场，在早期就容易出现开裂现象。施工操作不当引起的开裂原因：①墙面基层清理不干净，浇水不透，抹灰后，砂浆中的水分很快被基层吸收；②门窗框两边塞灰不严，在门窗框周边处产生空鼓裂缝；③基底一次抹灰过厚、干缩率较大；④墙顶至梁底的缝隙用砂浆封堵；⑤养护不及时或不养护；⑥在两种材料的交界处没有挂钢丝网或所挂钢丝网的宽度不够；⑦冬季施工无保温措施；⑧电气、给排水、通风、空调、消防等管、洞、盒、槽封补方法不当，抹灰后局部开裂空鼓；⑨砂浆使用时间过长，不随拌随用或一次拌和量大，短时间用不完，超过了砂浆的初凝时间；⑩墙面上脚手眼封堵不严。

2.3 隔墙开裂的因素分析

轻质砌体材料受温度和湿度的影响，温度变化使墙体胀缩产生裂缝；其次是竖缝砂浆难以饱满以及特殊的构造要求未实施或实施不符合要求；加气混凝土砌块的抗压强度低，门洞钢筋混凝土过梁两头搁置长度不足，加气混凝土砌块的局部承压力不够而被剪裂；砌筑的砂浆标号太低，墙体整体性不好，窗上口过梁模板拆除过早，过梁变形引起窗角裂缝。

2.4 饰面层开裂的因素分析

由于日照及昼夜温差、室内外温差、季节温差所产生的温度变化，会引起材料的热胀、冷缩，不同材料稳定性不一致，造成不同材料交接处体积变形量存在差异，两种不同材料结构的收缩，存在形成实体上的时间差，接缝的部位不能够很好的紧密接触或者融合，在该部位都会产生应力集中的现象，也就会造成饰面层在该部位形成裂缝，这种裂缝表现较规则，一般是沿不同材质的交界处开裂，或沿不同材质的轮廓线处开裂。

3 住宅建筑工程防开裂应用的案例分析

3.1 工程概况

该工程主要建筑为超高层住宅及其附属配套设施，项目建设用地面积 322296m^2 ，总建筑面积约 228 万 m^2 。该工程为重点民生工程，必须严格把好质量关；该工程建设单位专门成立了防开裂专项 QC 小组，从设计、施工、质量管控分阶段严格控制，尽可能消除开裂质量通病，提升工程质量。本文将从屋（楼）面板、外墙涂料、砌筑、抹灰四个常见部位分析其防开裂措施。

3.2 屋（楼）面板防开裂措施

措施如下：①板中支座为阳角时，应增设放射状负筋，直径及外侧间距与相邻支座的负钢筋相同，钢筋锚入支座 La 。②板跨度 $\geq 4\text{m}$ 时，支设模板时应按跨度的 0.2% 起拱。③阳台、雨篷等悬挑构件应与主体一起浇筑，挑出部分应设临时支撑；待混凝土达到 100% 设计强度时，方可拆除支撑。④对墙下无梁的后砌隔墙，应按建筑施工图所示位置在墙下及两边各一倍板厚范围内设置加强筋，加强筋沿墙通长，两端锚入支座。⑤板内预埋管线时，管线应放置在板底与板顶钢筋之间，管外径不得大于板厚的 1/3。当管线并列设置时，管道之间水平净距不应小于 $3d$ (d 为管径)。当有管线交叉时，保护层厚度不应小于 30mm。当预埋管线处板顶未设置上钢筋时，应在管线顶部设置防裂钢筋网。⑥屋面板采用双层双向配筋。⑦根据建筑长度设置伸缩缝、后浇带、加强带时，应在管线顶部设置防裂钢筋网，附加钢筋为 $\phi 6@200$, $\phi 6@150$ 。

钢筋混凝土屋面板浇筑过程中，要求原浆收光，局部抹平，浇筑完成后覆盖薄膜+麻装洒水养护，养护时间不得少于 7 天。屋面防水层施工前应进行蓄水试验检查，如有检查发现有渗漏水需进行堵渗漏水处理，堵渗漏水处理完成后要再次进行试水检查，待试水检查无渗漏水后，混凝土楼板面清理干净、清洗油渍、清扫浮浆、灰尘等，方可进行下一道工序施工。大面积基层抛丸处理前应进行抛丸工艺试验，确定抛丸工艺参数后方可进行大面积的基层抛丸处理，处理完成后应注意保洁。

3.3 外墙涂料防开裂措施

首先应清除基层表面的浮砂和脏物，有油污、铁锈、脱模剂时再用洗涤剂清洗干净。表面如有酥松、起砂、粉

化等现象，应预先用钢丝刷清除干净，若有孔洞，凹凸不平的部位，应采用合适的腻子批嵌，使用溶剂型涂料，可用该涂料的清漆加滑石粉或大白粉配成适当稠度的腻子，并以清漆作为底漆。使用乳漆型涂料，不应使用大白粉等强度、耐水性差的腻子，不然会引起涂层连同腻子一起大片脱落下来，必须采用 107 胶、白水泥或同等腻子。

涂料施工应由建筑物自上而下进行，每一次涂刷以分格缝、墙面阴阳角交接处为界，不能任意留槎。喷涂施工时，应均匀喷涂，不得漏喷、虚喷或出浆挂流。刷涂、滚涂施工时，刷、滚方向长短应一致。喷刷涂料不得过厚，如喷刷二遍时，应在第一遍充分干燥时再进行第二遍。溶剂型涂料间隔为 24h。使用乳液型涂料时，可在基层满刷一遍 1:3 稀释的 107 胶水，减少对粉尘的隔离作用，增加涂料与基层的黏结力。涂料使用前必须充分搅拌均匀，不得随意加水加色，施工前一定要按出厂说明书指导施工。严格掌握各种涂料允许的最低施工温度。溶剂型涂料一般在 0°C 以上均可操作，但炎热天因溶剂挥发太快而不宜施工；乳液型涂料可随品种不同而选择，一般 8~15°C。内外墙涂料不得混用。如果将内墙涂料用于外墙装饰上，经过各种自然因素，如风吹、雨淋、日晒等侵蚀，就会造成饰面的质量事故。

3.4 砌筑防开裂措施

措施如下：①拉结筋植筋：填充墙四周应与主体结构可靠拉结：每 120mm 墙厚设置 2 根 $\phi 6$ 拉筋，120mm 墙厚设置 2 根。墙厚大于 240mm 时，设置 3 $\phi 6$ 拉结筋。沿框架柱或剪力墙全高每隔 500~600mm 植入 $\phi 6$ 拉结筋。拉结筋伸入墙内长度，抗震设防烈度为 6/7 度时，宜沿墙全长贯通，8 度时应全场贯通。拉结筋钻孔宜用 $\phi 8$ 钻花，拉结筋钻孔植筋深度为 15d，且不小于 100mm。拉结筋伸入墙内长度不小于 1000mm，埋直平铺在水平灰缝内，并做好拉结筋质量标识。钻孔时，应用吹灰机和刷子及时将孔内浮尘残渣清除。②后砌填充墙中设置构造柱：填充墙转角处及纵横墙交接处；当墙长度超过 5m，应在填充墙中部设置构造柱，且构造柱间距不应大于 4m；当填充墙顶部为自由端时，构造柱应加密，其间距不应大于 3m；当填充墙端部无主体结构或垂直墙体与之拉结时，应在端部设置；当门窗洞口宽度不小于 2.1m 时，应在洞口两侧设置；当电梯井道采用砌体时，应在电梯井道四角设置。构造柱两侧马牙槎从底部开始先退后进，进退尺寸为 60mm，留设高度 300mm。构造柱截面及配筋要求为 200*墙厚，内配 4C12，箍筋 $\phi 6@250$ ，搭接处箍筋加密区间距为 100mm。③后砌填充墙中设置水平系梁：当后砌填充墙高度超过 4.0m 时，应在墙高中部设置与框架柱、剪力墙及构造柱拉结且沿墙全长贯通的水平系梁；当水平系梁与门窗洞顶过梁标高相近时，应与过梁合并设置，截面尺寸及配筋取水平系梁与过梁之大值；当墙体顶部与主体结构

无连接时，应在墙体顶部设置一道压顶圈梁，圈梁截面尺寸为墙厚 \times 180mm；水平系梁尺寸为墙厚 \times 60~100mm，钢筋锚入到柱子内 200mm，伸出 500mm，配筋为 2A10，箍筋为 A6@300，当墙厚大于 240mm 时，水平系梁配筋为 3A10。

砌体施工时保证灰缝横平竖直，灰缝饱满度及厚度。蒸压加气混凝土砌块水平灰缝厚度应为 15mm，竖直灰缝厚度为 20mm。加气块砌体竖向横向灰缝砂浆饱满度均 \geq 80%。清理砌块墙体基层，清扫灰尘，清除浮浆及凸出砂浆。剪力墙墙体对拉螺杆孔洞提前封堵。提前半小时喷水湿润墙面；将拌制好的浆料抹于钢丝网拍子上，逐步均匀地将浆料拍于墙上，每次甩出的浆料要求均匀饱满，力度适中。要求甩浆工艺标准为均匀不漏底、有毛刺扎手、手掰不动。填充墙与砼构件接缝处、墙面剔槽部位、临时施工洞口二侧，以及不同材料的填充墙或柱间墙等易开裂部位应加设钢丝网片抵抗墙体裂缝。钢丝网片与基体搭接宽度应 \geq 100mm，门窗洞口等应力集中区也应在角部设钢丝网片，钢丝网片的网孔尺寸 \leq 20mm \times 20mm，钢丝直径 \geq 1.2mm（推荐选用 1.6mm 钢丝，采用热镀锌）。钢丝网应用钢钉或射钉每 200mm~300mm 加铁片固定，挂网应做到平整、牢固。

3.5 抹灰防开裂措施

加气混凝土墙体抹灰防开裂：加气混凝土砌块墙面在抹灰前，必须将砌块表面浮土浮灰清扫干净，缺棱掉角及灰浆不饱满处用掺有 25%108 胶的混合砂浆进行修补，抹灰前一天在墙面浇水湿润，抹灰前用砂浆界面剂或 108 胶喷（或刷）一遍，在抹灰后表面无明显裂缝出现前再刷素水泥浆内掺 108 建筑胶。如果剪力墙或梁柱与砌块墙面齐平，则抹灰前应在接缝处两侧先抹一层 2~3mm 厚的 1:

3 的水泥砂浆，再用素浆（水泥：108 胶：水=1:0.5~0.8:6~8）粘贴一层玻璃丝布（混凝土与墙各 100mm 宽），然后再抹灰。

4 结语

住宅建筑工程开裂原因复杂，包括收缩引起的混凝土裂缝、温度变化引起的混凝土裂缝、荷载引起的混凝土裂缝、施工工艺质量引起的裂缝、地基变形引发的砼结构裂缝、钢筋锈蚀导致的混凝土裂缝、冻胀引发的混凝土裂缝等等，需要从设计、施工、管理角度综合处理，坚持“以防为主”的原则，完善裂缝预防和治理的技术措施为建筑工程高质量发展保驾护航，对保障建筑工程适用性、安全性和耐久性具有重要的社会意义和经济意义。

【参考文献】

- [1]邵富强,邹鹏威,孟珊,等.房屋建筑防渗漏、防开裂控制方法的应用探析[J].工程建设与设计,2022(14):219~221.
 - [2]辛志成.加气混凝土墙面抹灰防开裂分析与措施[J].山西建筑,2011,37(36):93.
 - [3]徐正东,刘占维,赵铮,等.墙体防开裂应用系统研究[J].城市住宅,2020,27(9):109~112.
 - [4]甘伟,刘启华.墙面抹灰层的防裂漏防空鼓技术[J].墙材革新与建筑节能,2002(12):32~34.
 - [5]牛文龙.内墙抹灰空鼓开裂控制措施研究[J].绿色环保建材,2017(8):118.
- 作者简介：汪洋（1975.9—），单位名称：深圳市天健（集团）股份有限公司，毕业学校和专业：云南财经大学工商管理专业。

基于分布式光伏的住宅建筑屋顶施工技术

杜 鑫

甘肃省通信产业服务有限公司，甘肃 兰州 730070

[摘要]近年来，全球能源结构调整的趋势愈加明显，清洁能源的发展成为各国政策制定和企业战略的重要方向。光伏发电作为最具潜力的清洁能源之一，在分布式应用中尤为引人关注。在城市化进程加快、能源安全问题日益突出的情况下，利用建筑物屋顶空间进行光伏发电不仅能够最大化地利用现有资源，还能有效降低电网负荷压力，改善能源供应结构。分布式光伏系统在实际应用中面临诸多挑战，如屋顶类型的多样性、安装技术的复杂性以及施工安全管理的需求等，这些都需要深入研究和有效应对。

[关键词]分布式光伏；住宅建筑；屋顶施工技术

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13408 中图分类号: TM769 文献标识码: A

Roof Construction Technology for Residential Buildings Based on Distributed Photovoltaics

DU Xin

Gansu Communication Industry Service Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730070, China

Abstract: In recent years, the trend of global energy structure adjustment has become increasingly evident, and the development of clean energy has become an important direction for policy formulation and corporate strategy in various countries. Photovoltaic power generation, as one of the most promising clean energy sources, is particularly noteworthy in distributed applications. In the context of accelerated urbanization and increasingly prominent energy security issues, utilizing the rooftop space of buildings for photovoltaic power generation can not only maximize the utilization of existing resources, but also effectively reduce the load pressure on the power grid and improve the energy supply structure. Distributed photovoltaic systems face many challenges in practical applications, such as the diversity of roof types, the complexity of installation technology, and the need for construction safety management, all of which require in-depth research and effective response.

Keywords: distributed photovoltaics; residential buildings; roof construction technology

引言

随着全球对清洁能源需求的增加和环境保护意识的提升，分布式光伏系统作为一种重要的可再生能源解决方案，正逐步成为现代建筑领域的热点话题。分布式光伏系统利用太阳能转换成电能，不仅可以减少对传统能源的依赖，还能显著降低建筑物的碳排放，符合可持续发展的战略方向。探讨分布式光伏在住宅建筑屋顶的应用，深入分析其技术特点、安装适配性及施工管理策略，以期为相关领域的实践提供理论支持和操作指导。

1 分布式光伏系统特点与优势

1.1 环保与可持续性

分布式光伏系统以其显著的环保与可持续性优势成为当今清洁能源解决方案的重要组成部分。光伏电池板通过直接转化阳光能为电能，无需消耗化石燃料，从根本上减少了二氧化碳等温室气体的排放。这种清洁能源的采用不仅有助于减少对有限能源资源的依赖，还能有效降低环境污染和生态破坏的风险。此外，分布式光伏系统的长期运行可持续性，成为实现能源自给自足和减缓气候变化影响的重要手段。

1.2 经济性与长期收益

分布式光伏系统在经济性和长期收益方面展现出显

著优势。首先，通过减少能源成本，屋顶光伏系统可以帮助居民和企业降低电费支出，尤其是在长期运行中可以显著节约能源支出。其次，政府和地方政府通常提供的激励措施和补贴政策，进一步降低了系统投资成本增加了经济回报率。此外，光伏系统具有较长的使用寿命和稳定的发电性能，能够持续为用户提供长期的经济收益，成为一种可靠的投资选择。

1.3 结构灵活与美观性

分布式光伏系统以结构灵活性和美观性成为现代建筑中的理想选择。光伏组件可以根据不同建筑物的屋顶结构和空间特点进行灵活布局和安装，不影响建筑的整体设计美感。低轻质化设计和各类颜色可选的外观，能够与各种建筑风格和环境融合，甚至可以成为建筑设计的一部分，提升了建筑的整体美观性。这种结构灵活性不仅有助于最大化光伏系统的发电效率，还为建筑师和设计师提供了更多创造性的空间，促进了可持续建筑设计的发展。

1.4 能源独立性与安全性

分布式光伏系统具有显著的能源独立性和安全性特点。通过利用太阳能作为清洁能源的直接来源，光伏系统能够减少对传统能源供应的依赖，从而增强能源供应的稳

定性和可靠性^[1]。这种能源独立性不仅降低了用户对外部能源市场波动的敏感度，还提升了能源安全性，特别是在灾难或紧急情况下，光伏系统可以为用户提供可靠的备用电源保障基本能源需求。同时，光伏系统无噪音、无污染的运行特性也符合现代社会对安全和环境保护的高标准要求，为居民和企业提供了一种可持续且安全的能源选择。

2 住宅建筑屋顶类型与适配性分析

2.1 不同类型屋顶的特点与适配性分析

不同类型的住宅建筑屋顶在安装分布式光伏系统时需要考虑其独特的特点和适配性。平屋顶通常具有较大的平坦表面适合安装大面积的光伏板，但需要考虑排水和支架系统的设计，以确保水流顺畅并支撑光伏组件的稳固安装。斜屋顶则因其倾斜角度和材料类型的不同而需采用不同的安装技术，例如在瓦片屋顶上需特别设计支架系统，以确保安装过程中不损坏屋顶材料和结构，同时最大化光伏板的发电效率。此外，各种屋顶材料如混凝土、金属或瓦片等，也会影响光伏系统的安装方式和结构设计，需要根据实际情况进行综合考量和优化设计，以实现最佳的适配性和效益。

2.2 光伏板在各类屋顶的安装考虑

在各类屋顶上安装光伏板需要综合考虑多个因素以确保安全、稳定和高效地运行。对于平屋顶需要特别设计支架系统以确保光伏板的倾斜角度和朝向能最大化日照吸收，同时考虑屋顶结构的承重能力和防水性能，避免水密性问题和增强屋顶的结构强度。对于斜屋顶需要根据屋顶坡度和材料类型选择适当的安装方法，例如使用轻质支架和特制夹具来确保光伏板稳固固定在屋顶上，并充分利用光伏板的布局设计来最大化太阳能的吸收效率。对于不同材质的屋顶，如瓦片、金属或混凝土，需要针对性地设计安装技术，以保证在安装过程中不损坏屋顶材料，并确保光伏系统的长期稳定运行。

3 分布式光伏建筑屋顶施工技术

3.1 施工前的准备工作

在进行分布式光伏建筑屋顶施工之前，必须进行详细的准备工作，以确保施工顺利进行并最大化系统的性能和安全性。首先，必须进行彻底的屋顶检查和评估，确认屋顶结构是否符合安装光伏系统的要求，这包括检查屋顶的承重能力、防水状况以及周围环境的安全情况，确保施工过程中不会损害屋顶的完整性和功能。其次，需要制定详细的施工计划和安全措施，施工计划应包括工程时间表、材料和设备的准备情况，以及具体的施工步骤和流程。安全措施方面需确保施工人员具备相关的安全培训和技能严格执行安全操作规程，以防止意外事件和工作中断的发生。同时，施工前还需与当地政府和相关部门协调，获取必要的施工许可和遵守地方建筑规范，这包括屋顶安装的法律和环保要求，以及可能需要满足的电气安全标准和认证要求。

3.2 基础设施建设与屋顶结构调整

在进行分布式光伏建筑屋顶施工时，必须进行基础设施建设和必要的屋顶结构调整，以支持光伏系统的安全稳定安装和长期运行。首先，基础设施建设包括确保屋顶平整和清洁，这可能涉及清除屋顶上的杂物、清理檐口和排水系统，以确保光伏支架系统能够均匀支撑并固定在屋顶表面上。特别是在平屋顶上可能需要额外的平整工作和加固以支持光伏板的布置和安装。其次，根据实际情况进行屋顶结构调整是非常关键的一步，这包括根据光伏组件的尺寸和布局设计支架系统，确保支架能够牢固地固定在屋顶上，并且不会影响现有屋顶结构的稳定性和功能。例如，可能需要调整屋顶的坡度或安装特制的支撑框架，以适应不同类型和坡度的屋顶。此外，需要注意的是光伏系统的布局设计应考虑最大化太阳能的捕捉效率和系统的整体性能。这可能包括根据日照条件和建筑物的方位选择最佳的光伏板安装位置，并确保光伏板之间的间距和布局能够充分利用可用的屋顶空间，同时不影响屋顶的功能和美观性。

3.3 光伏组件安装技术

光伏组件的安装技术在分布式光伏建筑屋顶施工中扮演着关键角色，直接影响着系统的性能和长期运行效果。安装光伏组件的过程需要经过精确的规划和严格的操作步骤，确保每一步都能达到高标准的质量和安全要求。首先，安装光伏组件前必须进行详细的现场准备工作，这包括确认施工计划和安全措施，检查所有安全装备和工具的完好性，以及与施工团队进行必要的安全培训和沟通。在确认现场安全无隐患后，进行光伏组件的实际安装。支架系统的设计和安装是安装过程中的第一步关键环节，支架系统必须能够承受光伏组件的重量和风荷载，同时确保光伏板的最佳倾斜角度和朝向，以最大化日照吸收效率^[2]。设计支架系统时，需要考虑屋顶类型、结构承载能力、地方气候条件等因素，并严格按照光伏组件制造商提供的安装指南进行操作。光伏板的安装过程涉及到使用专用工具和设备，如吊篮或安全带，确保施工人员能够安全高效地进行高处作业。在安装每块光伏板时，需确保其牢固固定在支架上，并且平整无缺陷，避免未来可能的松动或损坏。完成光伏板的安装后，需要进行电气连接和布线工作，这包括将光伏板的直流输出连接到逆变器，再将逆变器的交流输出连接到建筑物的电力系统。电气连接过程必须严格遵循电气安全标准和当地法规，确保系统的可靠性和安全性。最后，完成电气连接后，需要进行系统的电气调试和测试，这包括检查每个光伏板的电气输出是否正常，确保系统能够稳定运行并达到设计要求。同时，还需进行系统的地面连接和接地测试，以确保系统的安全运行。

3.4 电气设备连接与调试

在分布式光伏建筑屋顶施工中，电气设备的连接与调

试是确保系统正常运行和安全性的重要步骤。这一过程涉及到将光伏板的直流电输出连接到逆变器，并将逆变器的交流输出连接到建筑物的电力系统，以实现光伏发电系统与电网的互联。首先，进行电气设备连接时，必须严格遵循光伏组件制造商提供的安装指南和电气连接图，这包括准确地接线每块光伏板的正负极到逆变器的输入端子，确保连接牢固并使用符合要求的电缆和接线端子。其次，逆变器作为光伏系统的核心部件，负责将直流电转换为交流电，并调整输出电压和频率以适应电网要求。在连接过程中需要根据逆变器的规格和电气参数，合理选择电缆截面和安装位置，确保电流传输安全稳定。接着，进行电气设备的调试和测试，这包括启动逆变器并检查其运行状态和输出电压是否符合设计要求。调试过程中，需要测量和记录光伏系统的各项电气参数，如输出功率、电流和电压波形，以验证系统的性能和稳定性。在调试完成后还需进行系统的安全性测试和地面连接测试，安全性测试主要包括检查逆变器和电气设备的绝缘性能和接地情况，确保系统在异常情况下能够安全断电并保护人员和设备安全。最后，完工前的最终检查和验收非常重要，这包括检查所有电气设备和连接点是否牢固可靠，电气系统是否符合当地电气安全标准和法规要求。同时，也要确保施工过程中的所有记录和文件完备，以便日后的运维和管理。

4 施工质量与安全管理

4.1 质量控制与检验

施工质量控制与检验在分布式光伏建筑屋顶项目中至关重要，直接关系到系统的安全性、可靠性和长期性能。有效的质量控制措施需要从施工前的准备阶段开始，到施工过程中的实时监控和最终的验收阶段，全面覆盖项目的各个环节。首先，质量控制始于详细的施工计划和规范制定，在施工计划中应明确光伏系统的设计要求、安装标准和技术规范，确保每一项工作都按照统一的标准进行。施工前的技术交底和培训也是质量控制的重要环节，确保施工人员了解并能正确执行各项工作。其次，施工过程中需要进行严格的实时监控和检查，这包括对支架系统的安装、光伏板的布置和固定、电气连接的合规性等进行全程跟踪和检验。实施过程中的质量记录和检查报告是评估工作进展和质量达标情况的重要依据，确保每个关键步骤都符合设计要求和安全标准^[3]。在完成施工后，必须进行系统的最终验收和检验，这包括对光伏系统的功能性测试、安全性能评估和电气参数测量等。验收过程中需要验证系统的运行稳定性和能效表现，确保其能够在各种天气条件下正常运行并输出预期的电能。同时，质量控制还需考虑施工过程中可能遇到的风险和问题的应对措施，这包括制定应急预案和安全措施，培训施工人员应对突发情况，确保在

任何情况下都能够保障施工的安全和质量。

4.2 安全管理与风险防控

安全管理与风险防控在分布式光伏建筑屋顶施工中是至关重要的方面，保障施工人员和现场设施的安全防止意外事件的发生，并最大限度地减少潜在的施工风险。首先，在施工前必须详细分析可能涉及到的各种风险，如高空作业、电气安全、物料运输和环境因素等，并制定相应的应对策略和应急预案，这些措施不仅包括技术层面的规范和操作程序，还需确保施工人员具备相关安全培训和技能，能够应对突发情况并采取有效措施。其次，安全管理需要严格执行现场管理和监督，这包括设立安全责任人，定期组织安全例会和培训，确保施工人员了解和遵守安全规章制度，同时监督施工现场的安全情况和工作进度。定期的安全检查和评估是发现和解决安全隐患的关键环节，确保施工过程中安全措施的有效性和实施情况。在施工过程中，特别是在高风险作业环节如安装支架和光伏板时，必须严格执行安全操作规程和使用安全防护装备。这包括使用安全带和吊篮等高空作业设备，并确保其安全可靠，有效防止高空坠落事故的发生。最后，安全管理还需要及时响应和处理施工中可能发生的安全事件和事故。建立健全的安全事件报告和处理机制，确保事故现场的迅速处置和伤员的紧急救治。通过事后的安全分析和经验总结，不断改进安全管理措施和提升安全意识，以预防类似事故的再次发生。

5 结语

在分布式光伏建筑屋顶施工的过程中，我们深入探讨了光伏系统的特点与优势，屋顶类型的适配性分析，以及施工技术、质量管理和安全防控等关键议题。通过这些探讨不仅展现了分布式光伏技术在可持续能源发展中的重要性，也凸显了在施工过程中所需的严谨性和专业性。在未来，随着技术的进步和经验的积累，我们期待能够进一步完善施工实践，推动分布式光伏系统在建筑领域的广泛应用，为可持续发展贡献更多的清洁能源解决方案。

【参考文献】

- [1] 李明泽,范鑫.基于分布式光伏的住宅建筑屋顶施工技术[J].居舍,2024(16):57-60.
- [2] 李源.居民户用分布式光伏储能系统资源优化[J].能源与节能,2024(6):62-64.
- [3] 何磊.分布式光伏发电项目施工过程结算研究[J].投资与合作,2024(6):169-171.

作者简介：杜鑫（1990.8—），男，毕业院校：兰州理工大学技术工程学院，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：甘肃省通信产业维护分公司，职务：双碳运营中心经理，职称级别：中级。

暖通供热系统中流体力学优化方法及其应用

林继浩

国家能源集团置业有限公司，北京 100010

[摘要]在传统暖通供热系统中，流体力学问题如管道中的压力损失、热传递效率低下和能源利用不充分，常常导致系统性能不佳。随着建筑节能标准的提升和绿色建筑的重视，如何在确保舒适性的前提下实现更高效的能源利用，成为亟待解决的课题。现代暖通供热系统不仅包括传统的热水和蒸汽供热，还广泛采用复合供热模式，这种模式结合了多种热源和传热方式，以提高系统的整体效能。这种系统的复杂性也带来了新的挑战，如热源的合理配置、系统的协调运行和热量的均匀分配等。因此，流体力学优化方法在这些系统中的应用显得尤为重要，通过优化流体流动、热传递和能效，可以显著提升供热系统的性能和能源利用效率。

[关键词]暖通供热系统；流体力学优化；能效提升

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13397

中图分类号: TU83

文献标识码: A

Method and Its Application of Fluid Dynamics Optimization in HVAC Heating System

LIN Jihao

CHN Energy Group Real Estate Co., Ltd., Beijing, 100010, China

Abstract: In traditional HVAC heating systems, fluid dynamics problems such as pressure loss in pipelines, low heat transfer efficiency, and insufficient energy utilization often lead to poor system performance. With the improvement of building energy-saving standards and the emphasis on green buildings, how to achieve more efficient energy utilization while ensuring comfort has become an urgent issue to be solved. Modern HVAC heating systems not only include traditional hot water and steam heating, but also widely adopt composite heating modes, which combine multiple heat sources and heat transfer methods to improve the overall efficiency of the system. The complexity of this system also brings new challenges, such as the rational configuration of heat sources, coordinated operation of the system, and even distribution of heat. Therefore, the application of fluid dynamics optimization methods in these systems is particularly important. By optimizing fluid flow, heat transfer, and energy efficiency, the performance and energy utilization efficiency of heating systems can be significantly improved.

Keywords: HVAC heating system; fluid dynamics optimization; energy efficiency improvement

引言

暖通供热系统作为建筑工程中的关键组成部分，直接影响着建筑物的舒适性和能源使用效率。随着能源成本的不断上涨和环境保护要求的日益严格，提升暖通供热系统的能效和运行效果成为了工程师和研究者的重要任务。流体力学优化方法在这一领域的应用，提供了一种有效的手段来解决系统中的诸多挑战。通过对流体流动、热传递和能效的深入研究和优化，能够显著提高系统的整体性能降低能源消耗，减少环境负担。

1 流体力学在暖通供热系统中的作用

流体力学在暖通供热系统中扮演着至关重要的角色，它直接影响系统的性能、效率和稳定性。首先，流体力学原理帮助我们理解和优化流体在管道系统中的流动行为，包括流速、压力损失和流体分布。这些因素决定了热量在系统中的有效传递，从而影响供热效果。其次，流体力学还涉及热传递机制的优化，确保热量能够均匀而高效地从热源传递到各个终端设备，减少热量损失，提高系统的整体能源利用效率。此外，合理的流体力学设计有助于降低能耗和运行成本，

改善系统的舒适性和可靠性^[1]。例如，通过优化管道布局和选择合适的流体流速，可以显著降低泵送能耗和热损失。

2 暖通供热系统中的流体力学问题

2.1 流体流动问题

在暖通供热系统中，流体流动问题主要表现为流体在管道网络中的流速、压力损失和流动分布不均。首先，管道系统中的流速不均可能导致热量传递效率的下降，尤其在复杂的管网设计中，局部流速的变化可能引起区域性过热或过冷现象，从而影响整体系统的舒适性和稳定性。其次，流体在管道内的压力损失是一个关键问题，主要由管道摩擦、弯头和阀门等造成，这种损失不仅增加了泵的负担，还可能导致系统运行的不稳定。再者，管道中的气泡或气体夹带会引发气蚀现象，进一步恶化流动状况，降低系统的传热效率。最后，管道设计中的流动阻力分布不均可能导致局部流动死区，这些死区不仅影响热量的均匀分配，还可能加剧管道的腐蚀和结垢问题。因此，解决这些流体流动问题对于提高暖通供热系统的整体性能和可靠性至关重要。

2.2 热传递问题

在暖通供热系统中，热传递问题主要集中在热量的有效分配和传递效率上。首先，热交换器中的传热效率直接影响热能的有效利用。如果热交换器设计不当或表面积不足，可能导致热量传递不充分，从而使供热效果不理想。其次，管道和设备中的热损失也是一个关键问题，尤其是在长距离传输过程中，热量通过管道壁的散失会显著降低系统的整体效率。此外，系统中存在的气泡、杂质或结垢现象会阻碍热量的有效传递，造成热传递不均或系统局部过热。最终，热负荷的动态变化可能导致热量分配的不均匀，影响系统的响应速度和舒适性。因此，如何优化热传递路径和减少热损失，是提升暖通供热系统性能的核心问题。

2.3 系统能效问题

系统能效问题在暖通供热系统中尤为关键，涉及到能源的利用效率和系统的运行成本。首先，能效的低下通常源于系统设计的不合理，如管道布置不当、设备选型不匹配等，这些问题会导致能源浪费和运行效率的降低。其次，热损失问题，例如管道绝热层的不足或热交换器的性能下降，也会显著影响系统的能效。此外，系统中的调节机制不完善，可能导致能源的过度消耗，例如在负荷变化时，系统无法精准调整输出，造成能量的浪费。最后，老旧设备的能效低下和频繁的维护需求，也是影响系统能效的重要因素。解决这些能效问题需要对系统进行全面的评估与优化，以实现能源的高效利用和运行成本的最小化。

3 流体力学优化方法

3.1 流体流动优化

流体流动优化在暖通供热系统中至关重要，通过优化管道布局、控制流速和减少压力损失，以提升系统的整体性能和能效。首先，优化管道布局是流体流动优化的基础。通过合理布置管道减少不必要的弯头和分支，可以降低流动阻力，避免局部流速的剧烈变化，从而减小压力损失。管道的直径选择也应依据流体流量和流速进行优化，确保管道的流动状态尽量接近于层流而非湍流，层流条件下流体流动更为稳定且压力损失较小。流体流动优化的核心在于压力损失的最小化。根据达西-韦斯巴赫公式，管道中的压力损失 (ΔP) 可表示为：

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

其中， f 为摩擦因子， L 为管道长度， D 为管道直径， ρ 为流体密度， v 为流速。通过优化管道直径 (D) 和控制流速 (v)，可以有效降低压力损失从而提高系统的能效。此外，流体流动优化还包括采用智能控制技术，动态调整流量和压力以适应负荷的变化。通过实时监测和反馈调整，确保系统在不同工作状态下都能维持最佳的流动条件，避免不必要的能耗和性能波动。最后，流体流动优化还需考虑系统的整体协调性，确保各个组件的工作状态协调一致。

3.2 热传递优化

热传递优化在暖通供热系统中至关重要，旨在提升热量的有效传递效率和降低热损失，从而提高系统的整体性能。优化热传递首先涉及到热交换器的设计和优化。热交换器的传热效率可以通过提高其传热面积和改善流体的流动状态来实现。根据热交换器的基本公式，传热量 (Q) 由以下公式给出：

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (2)$$

其中， U 是总传热系数， A 是热交换器的有效传热面积， ΔT_{lm} 是对数平均温差。通过增加传热面积 (A) 或提升总传热系数 (U)，可以显著提高热交换器的传热效率。其次，优化管道的绝热设计是降低热损失的关键。管道绝热层的厚度和材料选择直接影响热量的保持。根据热传递的傅里叶定律，管道中的热损失 (Q_{loss}) 可以表示为：

$$Q_{loss} = \frac{2 \pi k L (T_{hot} - T_{env})}{\ln \frac{r_{out}}{r_{in}}} \quad (3)$$

其中， k 是绝热材料的热导率， L 是管道长度， T_{hot} 是管道内流体的温度， T_{env} 是环境温度， r_{out} 和 r_{in} 分别是绝热层的外径和内径。通过提高绝热层的厚度或选择低导热率的材料，可以有效减少热损失。此外，流体的温度控制和热负荷分配优化也是热传递优化的重要方面^[2]。采用智能控制系统，可以实时调整热源的输出和流体的温度，以匹配实际需求，从而提高热量的利用效率。最后，系统的热量均匀分配也是优化热传递的关键因素。通过合理的管道布局和分配装置，可以确保热量均匀地分布到各个区域，避免局部过热或过冷，提升整体系统的舒适性和性能。

3.3 能效优化

能效优化在暖通供热系统中是实现节能降耗和提升系统性能的关键。能效优化的核心在于减少能源浪费，提高能源利用率，从而降低运行成本和环境影响。首先，优化系统的负荷匹配是提高能效的重要措施。通过精确计算并动态调整供热系统的热负荷，可以避免能源的过度消耗。系统的热负荷 (Q) 可以通过以下公式计算：

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4)$$

其中， \dot{m} 是流体的质量流量， C_p 是流体的比热容， ΔT 是流体的温度变化。精确匹配负荷和调节温度，可以有效减少能源浪费。其次，提升系统设备的能效是另一关键环节。泵和风机是暖通系统中主要的能耗设备，通过优化其运行效率和选择高效设备，可以显著降低能源消耗。例如，泵的功率消耗 (P) 可表示为：

$$P = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{\eta} \quad (5)$$

其中， ΔP 是泵的压力提升， \dot{V} 是流量， η 是泵的效率。通过提高泵的效率和选择合适的运行参数，可以减少能源消耗。另外，热回收技术也是提升系统能效的重要手段。通过回收系统中的废热并重新利用，可以显著减少能

源消耗。热回收效率 (η_{rec}) 可以表示为:

$$\eta_{rec} = \frac{Q_{rec}}{Q_{waste}} \quad (6)$$

其中, Q_{rec} 是回收的热量, Q_{waste} 是废热量。有效的热回收可以将废热转化为有用热能, 降低整体能源需求。最后, 智能控制系统的应用可以实时监测和调整系统运行状态, 优化能源使用。智能控制系统通过反馈机制和数据分析, 能够精确调节设备的运行参数, 提升系统的能效。

4 流体力学优化方法在暖通供热系统中的应用

4.1 热水循环系统中的优化

在热水循环系统中, 流体力学优化旨在提升热水的传输效率和系统的整体性能。优化的关键在于减少压力损失、提高流体流动的均匀性, 并改善热量的分配。首先, 管道系统的优化设计是提高热水循环效率的基础。合理设计管道布局, 减少不必要的弯头和管道分支, 可以降低流动阻力, 减小压力损失。管道的直径选择也至关重要, 过小的管道会导致流速过高, 增加摩擦损失, 而过大的管道则会导致流速不足, 影响系统的效率。应根据流量和流速的要求, 选择合适的管道直径, 以保证流动状态尽可能接近层流, 减少湍流带来的额外能耗。其次, 泵的选型和运行调整对热水循环系统的优化有重要影响。泵的作用是克服管道中的压力损失, 保持热水的稳定流动。选择高效泵和优化其运行参数 (如流量和扬程) 可以显著降低能耗。根据泵的性能曲线, 调整泵的运行状态, 以适应不同的热负荷需求, 可以减少能源浪费^[3]。热水循环系统中的流体流动均匀性也是优化的重要方面。通过安装流量平衡阀或流量调节装置, 可以确保热水在各个循环回路中的均匀分布, 避免局部过热或过冷现象。这不仅提高了系统的热效率, 还改善了舒适性。此外, 优化系统的控制策略也是提升热水循环系统效率的关键。智能控制系统可以实时监测热水需求和系统运行状态, 根据实际情况自动调节泵的运行和阀门的开关, 确保系统在不同负荷条件下都能保持最佳的运行状态。通过预测负荷变化和调整系统参数, 可以实现更高的能效和更低的运行成本。

4.2 蒸汽供热系统中的优化

在蒸汽供热系统中, 优化措施旨在提高蒸汽的传输效率和系统的整体运行性能。首先, 优化管道设计是提升系统效能的关键。合理规划管道布局, 避免过多的弯头和不必要的分支, 能够显著减少蒸汽流动中的阻力和压力损失, 从而提高传输效率。其次, 蒸汽压力的管理至关重要, 通过精确控制蒸汽发生器的输出压力和温度, 可以确保蒸汽在传输过程中的能量得到最有效的利用, 防止因压力过高或过低造成的能力浪费。安装高效的压力调节装置和安全阀有助于在不同负荷条件下稳定系统运行, 避免能量浪费和设备损坏。此外, 优化蒸汽的分配系统也是提高整体效率的关键, 通过使用流量平衡阀和调节装置, 可以确保蒸汽在供热区域的均匀分配, 防止局部过热或过冷现象。均

衡的蒸汽分配不仅提升了系统的舒适性, 还减少了过度加热带来的能量浪费。最后, 智能控制系统的应用能够进一步优化蒸汽供热系统的运行, 实时监测和数据分析使得系统能够动态调整运行参数, 根据实际需求优化蒸汽的生成和分配。这种智能化管理不仅提高了系统的能效, 还增强了系统的稳定性和可靠性。

4.3 复合供热系统中的优化

复合供热系统结合了多种热源和传热方式, 如热水、蒸汽和空气加热等, 通过综合利用不同热源的优点来提高整体系统的效率。优化复合供热系统的目标是实现热源的最佳配置和协调运行, 从而提升能效和减少运行成本。首先, 优化热源的选择和配置至关重要, 在复合供热系统中根据不同的负荷需求和外部环境条件, 合理配置多种热源 (如锅炉、热泵和太阳能集热器), 能够最大限度地发挥各热源的优势。例如, 利用热泵在低负荷情况下运行, 结合锅炉在高负荷期间提供补充热量, 能够有效提高系统的整体能效。其次, 系统的热量分配和调节策略需要进行优化, 通过智能控制系统和自动调节装置, 可以实时监测各个热源的运行状态和需求变化, 自动调整各热源的输出功率和运行模式。这种动态调节不仅提高了热量分配的精确性, 还能减少能源浪费和系统的过度负荷。此外, 系统中的热交换器和管道布局也应经过优化设计, 优化热交换器的配置提高其传热效率, 可以有效减少热量在传输过程中的损失。合理设计管道系统, 减少热量传输中的摩擦损失和热损失, 能够提升系统的整体效能。最后, 定期维护和监测也是保持复合供热系统高效运行的关键, 通过定期检查和维护各热源设备和控制系统, 能够及时发现和解决潜在问题, 确保系统稳定、可靠地运行。

5 结语

本文探讨了流体力学优化方法在暖通供热系统中的应用, 涵盖了热水循环系统、蒸汽供热系统及复合供热系统的优化策略。通过合理设计管道布局、精确控制热源、优化热量分配及应用智能控制技术, 可以显著提升系统的能效和运行稳定性。有效的流体力学优化不仅减少了能耗和运行成本, 还改善了系统的舒适性和可靠性。未来, 随着技术的不断进步和智能化控制的普及, 暖通供热系统的优化潜力将进一步释放, 为实现更加高效和可持续的能源利用提供坚实的基础。

[参考文献]

- [1]段献葆, 魏甜, 高伟. 流体力学拓扑优化问题的 BESO 方法 [J]. 数学的实践与认识, 2024, 54(5): 121–127.
- [2]王晓冬, 吴虹阅, 张光利, 等. 计算流体力学在真空技术中的应用 [J]. 真空, 2018, 55(6): 45–48.
- [3]周绘彤. 集中供热系统运行调节及控制模式研究 [D]. 山东: 山东科技大学, 2020.

作者简介: 林继浩 (1984.3—), 男, 籍贯: 河北衡水。

数控技术在农业机械自动化生产中的应用

黎桂平 段征育 通信作者

湘西民族职业技术学院，湖南 吉首 416000

[摘要]随着全球人口的增长和城市化进程的加快，农业生产面临的挑战愈加严峻。传统的农业生产模式难以满足日益增长的粮食和农产品需求，同时还需要考虑如何在有限的耕地和水资源条件下，保障农业的可持续性发展。基于此，农业机械的自动化和智能化成为提升农业生产力和资源利用效率的关键策略。数控技术作为现代制造业的核心技术之一，通过提高机械设备的精确度、稳定性和智能化水平，为农业机械的自动化发展提供了强有力的技术支持。

[关键词]数控技术；农业机械自动化；智能农机

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13432

中图分类号: TP391.72

文献标识码: A

Application of Numerical Control Technology in Agricultural Machinery Automation Production

LI Guiping, DUAN Zhengyu Corresponding Author

XiangXi Vocational and Technical College for Nationalities, Jishou, Hunan, 416000, China

Abstract: With the growth of global population and the acceleration of urbanization, agricultural production is facing increasingly severe challenges. The traditional agricultural production model is difficult to meet the growing demand for food and agricultural products, and at the same time, it is necessary to consider how to ensure the sustainable development of agriculture under limited arable land and water resources. Based on this, the automation and intelligence of agricultural machinery have become key strategies for improving agricultural productivity and resource utilization efficiency. Numerical control technology, as one of the core technologies in modern manufacturing, provides strong technical support for the automation development of agricultural machinery by improving the accuracy, stability, and intelligence level of mechanical equipment.

Keywords: numerical control technology; agricultural machinery automation; intelligent agricultural machinery

引言

随着科技的迅猛发展和人口的不断增长，农业生产面临着越来越大的挑战和机遇。传统的农业生产模式在效率、资源利用和环境保护等方面逐渐显露出局限性，因此，农业机械自动化成为提升生产效率和质量的关键途径之一，数控技术作为一种先进的制造和控制技术，正日益被广泛应用于农业机械领域，为农业生产带来了前所未有的变革和发展机遇。

1 农业机械自动化概述

农业机械自动化是现代农业生产中的重要组成部分，通过应用先进的技术和设备，实现农业生产过程的自动化和智能化。随着技术的进步和农业现代化的推进，传统的人力劳动逐渐被高效、精准的机械化设备所取代。农业机械自动化不仅提高了生产效率减少了生产成本，还能够精确控制播种、施肥、灌溉和收割等环节，优化作物生长环境，提升农产品的质量和产量。这种技术的应用不仅仅是简单的机械化作业，更是技术与农业生产深度融合的体现，为现代农业的可持续发展和精细化管理提供了重要支持。

2 数控技术在农业生产中的优势

2.1 提高生产效率

数控技术在农业生产中显著提高了生产效率，这一优

势主要体现在能够实现高度自动化和精准化的作业管理上^[1]。传统的农业生产方式依赖于人工操作，受季节、天气和人力资源等多种因素的影响，常常面临效率低下和资源浪费的问题。引入数控技术后，农业机械设备得以配备先进的传感器和自动控制系统，能够实时获取和分析土壤条件、作物生长状态及环境数据。例如，数控播种机通过精确的定位和数据反馈，能够根据每块地块的特性和作物需求，精准计算种子的分布密度和深度，从而确保种子的均匀播种和最佳生长条件。这种精准的播种方式不仅节省了种子和农药的使用量，还提高了作物的生长效率和产量稳定性。同样地，数控收割机械利用先进的成像技术和智能算法，能够准确识别和评估作物的成熟度，自动调节收割刀具的速度和高度，以最大化地提升收割效率和作物品质。这种智能化的作业方式不仅减少了人为操作误差和能源消耗，还大大缩短了收割周期，使农业生产能够更加灵活和高效应对不同的天气和季节变化。

2.2 降低生产成本

数控技术在农业生产中另一个显著优势是降低了生产成本。传统的农业生产模式通常依赖大量的人工劳动，这不仅增加了劳动力成本，还可能因为人为操作的不准确性而导致资源浪费和效率低下。引入数控技术后，农业机

械化设备能够自动执行作业任务，减少了对人力的依赖和相应的劳动力成本。此外，数控技术的精准控制和数据分析功能，能够优化生产过程中的资源利用效率，如减少化肥、农药的使用量，降低了生产过程中的额外开支。

2.3 减少人力依赖性

数控技术在农业生产中的另一重要优势是显著减少了对人力的依赖性。传统农业生产通常需要大量的人工劳动，从播种到收割都依赖于农民的体力和技能。这不仅限制了生产规模和效率，还面临着人力资源不足的挑战，尤其在繁忙的季节和偏远地区更为明显。引入数控技术后，农业机械设备能够自动执行复杂的作业任务，如播种、收割和灌溉减少了对人工操作的需求。这不仅提升了生产的稳定性和可靠性，还减少了人为操作带来的误差和劳动强度。农民可以更专注于管理和监督生产过程，而非耗费大量时间和精力在重复性的劳动上。因此，数控技术的应用不仅改善了农业工作环境，还提升了农民的生产效率和生活质量，为可持续农业发展打下了坚实的基础。

3 数控技术在农业机械自动化发展的挑战

3.1 技术集成难度

数控技术在农业机械自动化发展中面临的一个重要挑战是技术集成的难度。农业生产涉及到多种作业环节和设备，而这些设备往往来自不同的制造商，具有不同的技术标准和通信协议，将各种数控设备和系统有效地集成到一个统一的农业机械自动化系统中，成为一项复杂而具有挑战性的任务。首先，不同厂家生产的数控设备可能采用不同的控制系统和软件平台，导致在集成过程中可能存在兼容性问题^[2]。这需要专业的工程师和技术人员进行深入的系统分析和定制化编程，以确保各设备间的顺畅通信和协同工作。其次，技术集成涉及到数据的统一管理和分析，不同设备产生的大量数据需要被有效地收集、存储和分析，以支持决策制定和生产优化。这需要完善的数据处理流程和强大的信息技术基础设施，以避免数据的丢失或冗余，确保数据的及时性和准确性。最后，技术集成的难度还体现在系统的稳定性和可靠性上。农业生产通常在恶劣的环境条件下进行，如高温、高湿或尘土飞扬的情况，这对设备的稳定性提出了更高的要求。因此，在设计和实施农业机械自动化系统时，必须考虑到设备的耐用性和可靠性，以确保长时间稳定运行和最大化的生产效率。

3.2 环境适应性

在农业机械自动化发展中，环境适应性是一个关键挑战。农业生产通常面临多样化的地理和气候条件，从温带地区的农田到热带和干旱地区的耕地，每个地区的环境因素都会对机械设备的性能和稳定性产生影响。首先，不同的地理条件可能导致设备在操作和移动时面临不同的地形和土壤类型。例如，山区和平原地区的地形不同，可能需要机械设备具备更好的越障能力和稳定性，以应对复杂

的地形条件。其次，气候变化也对农业机械的环境适应性提出了挑战。极端的气温、湿度和降水量可能影响机械设备的运行效率和寿命。例如，在高温地区，机械设备需要具备耐高温的特性，避免因过热而影响正常运行；而在多雨地区，设备的防水性能则显得尤为重要，以防止设备因为湿气而受损或发生故障。此外，农业生产的季节性和周期性特点也需要机械设备具备适应不同作业季节和条件的能力。例如，在播种和收割的高峰期，设备可能需要连续长时间运转而无需频繁地维护和调整，因此设备的可靠性和稳定性尤为关键。因此，为了应对农业生产中多样化的地理和气候条件，农业机械自动化的设计和制造需要综合考虑到地形适应性、气候抗性和季节性特征等因素。只有在设备能够稳定可靠地在各种环境条件下运行和作业，才能真正实现数控技术在农业机械自动化中的有效应用和持续发展。

4 数控技术在农业机械中的基础应用

4.1 数控技术在种植和播种机械中的应用

数控技术在农业机械中的基础应用之一是在种植和播种机械中的广泛应用。传统的农业播种过程依赖于人工操作，效率和精度受到人力和环境因素的限制。随着数控技术的引入，种植和播种机械得以实现高度自动化和精确化。首先，数控播种机械通过先进的传感器和定位技术，能够实时检测土壤的质地、湿度和营养状况，同时获取作物生长环境的关键数据。这些数据通过反馈到机械控制系统，使播种机能够根据实际情况调整种子的深度、间距和密度，从而确保每一颗种子都能够处在最适宜的位置和时间播种，最大化地利用土地资源并提高作物的生长效率和产量。其次，数控技术使得播种机械具备了高度智能化的功能，机械设备可以根据预设的农田地块信息和种植方案，自动规划作业路线和种植模式。例如，在不同地形和地块条件下，机械可以自动调整行驶路径和作业轨迹，以应对复杂的农田结构和地形变化，从而提高机械设备的灵活性和适应性。此外，数控技术还支持机械设备的多功能化操作。除了播种功能外，部分设备还集成了其他农业生产过程中的重要功能，如施肥、灌溉和病虫害防治等。这些功能可以通过同一套数控系统进行协调和管理，实现农业生产过程的集成化管理和优化。

4.2 数控技术在收割和后处理机械中的应用

数控技术在农业机械中的另一个关键应用领域是在收割和后处理机械中的应用。传统的收割和后处理工作通常依赖于人工操作，这不仅效率低下还容易受到人力资源和季节性工作力量不足的影响。引入数控技术后，收割和后处理机械得以实现高度自动化和智能化，从而显著提升了生产效率和作业质量。首先，数控收割机械通过先进的传感器和影像识别技术，能够精识别和判断作物的成熟度和生长状态。机械在实时采集到的数据基础上，通过程

序化控制系统自动调整收割刀具的速度和高度，确保每棵作物在最佳时机被准确地收割，避免了因过早或过晚收割而导致的作物损失或品质下降。其次，数控技术使得后处理机械能够在收割后迅速进行作物处理和包装。例如，自动化的分类和包装系统可以根据收割时采集到的数据，自动将作物进行分类和分拣，同时调整包装的规格和包装材料，以适应不同市场需求和贮藏条件。此外，数控技术还支持收割和后处理机械的数据管理和远程监控。通过互联网技术和物联网设备，农民或农场管理者可以实时监测机械设备的运行状态和作业效率，远程调整作业参数和执行维护任务，从而最大限度地提升设备的利用率和作业效率。

4.3 数控技术在灌溉系统中的应用

数控技术在农业灌溉系统中的应用为现代农业生产带来了显著的效率和资源利用优势。传统的灌溉方式通常依赖于手动操作或简单的计时器控制，这种方法存在着灌溉不均匀、浪费水资源和能源的问题。而引入数控技术后，灌溉系统能够实现智能化管理和精准控制，以适应不同的土壤类型、作物需水量和环境条件^[3]。首先，数控灌溉系统通过精确的传感器和实时数据采集技术，监测土壤湿度、作物生长状态和气象条件等关键参数。这些数据被传输到中央控制系统，系统根据预设的灌溉计划和作物需水量，智能调节灌溉水量和灌溉时间，确保每个地块和作物都得到恰到好处的水分供应，避免了过度或不足灌溉的问题。其次，数控技术使得灌溉系统具备了灵活性和适应性，系统可以根据实时监测到的数据自动调整喷灌头的位置和喷水角度，以确保水流覆盖的均匀性和效果最优化。此外，系统还能够根据不同的地形和地块特征，调整灌溉设备的工作方式和轨迹，提高了灌溉效率和资源利用率。最后，数控灌溉系统支持远程监控和管理。农民或农场管理者可以通过互联网平台或移动应用实时监测和控制灌溉系统的运行状态和作业进度，远程调整灌溉参数和处理突发情况，从而最大限度地提升农业生产的管理效率和生产效益。

4.4 数控技术在施肥和农药喷洒机械中的应用

数控技术在农业施肥和农药喷洒机械中的应用为现代农业生产带来了重要的精确性和效率提升。传统的施肥和喷洒作业通常依赖于人工操作，这不仅限制了作业的精确度，还可能导致资源浪费和环境污染的风险。引入数控技术后，这些机械设备能够通过先进的传感器和自动化控制系统，实现智能化管理和精准施肥、喷洒，从而最大化地提高了施肥和喷洒的效果和效率。首先，数控施肥和农药喷洒机械通过高精度的传感器，实时监测作物生长情况、

土壤养分含量和病虫害发生情况等关键参数。这些数据被传输到中央控制系统，系统根据预设的施肥和喷洒方案，精确计算和调控施肥量和农药喷洒的浓度和覆盖范围，以确保每一块土地和作物都能获得恰到好处的营养补给和病虫害防治。其次，数控技术使得施肥和农药喷洒机械能够实现作业的精确性和效率。机械设备可以根据实时收集到的数据自动调整施肥和喷洒的工作参数，如施肥量、喷洒速度和喷雾角度等，以应对不同的土壤类型和作物需求，同时减少了过量施用的风险和资源浪费。最后，数控施肥和农药喷洒机械支持远程监控和管理功能。农民或农场管理者可以通过远程控制平台或移动设备实时监测机械设备的运行状态和作业进度，随时调整作业方案和处理意外情况，从而最大限度地提高施肥和喷洒作业的管理效率和农业生产的经济效益。

5 结语

在农业机械自动化发展的今天，数控技术作为关键的推动力量，显著提升了农业生产的效率、精确性和可持续性。通过数控技术的广泛应用，种植、收割、灌溉以及施肥和农药喷洒等关键环节都得以实现智能化和自动化，极大地减少了人力依赖性和操作误差，有效提高了农作物的产量和质量。此外，数控技术的引入也为农业生产带来了更为灵活和可持续的管理模式，有助于农业生产适应性更强、资源利用更高效的新时代需求。随着技术不断进步和应用场景的拓展，数控技术在农业领域的应用前景仍然广阔，为农业现代化和可持续发展提供了坚实的技术基础和创新动力。

[参考文献]

- [1]裴建军. 数控技术在农业机械自动化生产中的应用 [J]. 农机使用与维修, 2024 (3) : 91-93.
 - [2]温永涛. 农业机械自动化控制技术在现代农业生产中的应用 [J]. 南方农机, 2023, 54 (6) : 72-74.
 - [3]阿尔孜古丽·吾买尔, 张锋. 自动化技术在农业机械设计制造中的运用 [J]. 数字技术与应用, 2023, 41 (11) : 23-25.
 - [4]彭烨. 数控机床在农业机械加工中的应用 [J]. 南方农机, 2020 (1) : 23.
 - [5]王立勇. 自动化技术在机械设计与制造中的应用研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59 (12) : 177-179.
- 作者简介：黎桂平（1986.2—），男，学历：本科，毕业院校：沈阳工业大学，所学专业：机械设计制造及其自动化，目前职称：实验师；段征育（1974—），男，湖南龙山县人，讲师，主要从事数控方向的教学和研究。

离心铸管机高温作业区气路改造

刘润泽 韩志彬 李德智

安钢集团永通球墨铸铁管有限责任公司，河南 安阳 455000

[摘要]由于现代工业生产中，特别是在高温环境下进行的铸造工艺中，气路系统的稳定运行对设备的正常工作和生产效率至关重要。离心铸管机作为关键的铸造设备之一，其在铸造过程中面临着高温铁水的快速处理和运输，因此其气路系统的设计和运行质量直接影响了生产效率和设备的可靠性。文中分析永通公司离心铸管机高温作业区气路改造的过程，介绍设备改造前存在的问题，探讨改造过程中采取的技术措施和具体改进方案，分析在改造中应注意的关键问题和解决方案，以及在操作和维护中的安全性和经济性考量，总结改造后系统的运行效果和生产效率提升情况。

[关键词]离心铸管机；高温作业区；气路改造；降低故障率

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13413 中图分类号: TG231 文献标识码: A

Gas Path Renovation in High-temperature Operation Area of Centrifugal Pipe Casting Machine

LIU Runze, HAN Zhibin, LI Dezhi

Angang Group Yongtong Ductile Cast Iron Pipe Co., Ltd, Anyang, He'nan, 455000, China

Abstract: In modern industrial production, especially in casting processes carried out in high-temperature environments, the stable operation of the gas path system is crucial for the normal operation and production efficiency of equipment. As one of the key casting equipment, the centrifugal pipe casting machine faces the rapid processing and transportation of high-temperature molten iron during the casting process. Therefore, the design and operation quality of its gas path system directly affect production efficiency and equipment reliability. The article analyzes the process of gas path renovation in the high-temperature operation area of Yongtong Company's centrifugal casting machine, introduces the problems that existed before the equipment renovation, explores the technical measures and specific improvement plans adopted during the renovation process, analyzes the key issues and solutions that should be paid attention to during the renovation, as well as safety and economic considerations in operation and maintenance, and summarizes the operational effect and production efficiency improvement of the system after the renovation.

Keywords: centrifugal pipe casting machine; high-temperature work area; gas path renovation; reduce failure rate

引言

离心铸管机作为铸造行业中的关键设备，广泛应用于各类管道和零部件的生产过程中。其主要工作原理是利用离心力将高温铁水快速注入管模，并通过高速旋转使铸件形成所需的壁厚和形状。在整个生产过程中，离心铸管机需要处理高温高压的铸造环境，对设备的稳定性和耐高温能力提出了极高的要求。随着工业自动化程度的提升和生产效率的需求增加，离心铸管机的气路系统显得尤为关键。气路系统负责控制运输链的顺畅运行，确保铸管从铸造到后续处理的高效传输。然而，在高温铸造过程中，常常面临砂芯和残铁环的脱落问题，这些杂质不仅会损坏气路系统的关键部件，还可能导致设备停机和生产效率下降。因此，针对离心铸管机气路系统的稳定性和耐高温能力进行改造和优化，不仅是提升设备性能和生产效率的关键一步，也是适应现代工业制造发展需求的重要举措。

1 离心铸管机高温作业区气路改造的必要性

1.1 安全性提升

离心铸管机在高温作业环境中运行，其气路系统的安全性直接关系到设备运行的稳定性和操作人员的安全。原有的

气路系统存在多种安全隐患，不仅增加了设备运行的风险，还可能造成生产中断和安全事故的发生。通过气路改造项目，公司引入了耐高温的金属材料和更为可靠的设计方案，有效解决了原有系统存在的安全问题。改造后的气路系统能够抵御高温砂芯和残铁环的冲击，避免了气管烧穿漏气的情况发生。此外，新设计的气路系统还优化了安全防护措施，确保操作人员在工作过程中的安全性，减少了意外事件的发生可能性。

1.2 技术更新

通过气路系统的全面改造，公司不仅更新了关键部件和材料，还引入了先进的技术和工艺。改造后的气路系统采用了耐高温金属材料和先进的自动化控制技术，例如单向节流阀的应用以代替传统的旋转调压接头，实现了更精确的气流控制和调节，不仅提升了设备的稳定性和可靠性，还使得生产过程更加智能化和可控。技术更新还包括对设备监测与数据采集系统的优化，通过实时监控和数据分析，提升了对设备运行状态的实时了解和预测能力，不仅有助于及时发现和解决潜在问题，还能优化生产计划和资源配置，最大限度地提高生产效率和产品质量。总之，技术更新不仅是对设备性能提升的必然选择，更是推动公司走向

智能制造和工业 4.0 的关键步骤。通过气路系统的现代化改造，公司不仅能够应对当前的生产需求，还为未来技术发展和市场竞争打下坚实的基础。

1.3 成本效益

在竞争激烈的市场环境中，公司需要不断优化生产流程、降低生产成本，以确保产品的竞争力和企业的可持续发展。改造后的气路系统通过优化设备运行稳定性和生产效率，有效降低了生产过程中的能源消耗和资源浪费。采用耐高温金属材料和先进的控制技术，不仅延长了设备的使用寿命，减少了维护和停机成本，还降低了因气路系统问题导致的生产线中断和损失^[1]。技术更新和智能化管理的引入，提升了生产计划的灵活性和响应速度，使公司能够更加精准地满足客户需求，提升市场反应能力和品牌影响力。这些成本效益不仅体现在直接的运营成本节约上，还包括通过技术创新带来的市场竞争优势和长期价值的积累。

1.4 提高生产效率的需求

在现有系统中，气路系统的频繁故障和维修严重影响了生产效率。由于气管和调压接头在高温下容易烧坏漏气，生产线经常因气路系统故障而停工待命。为了提高生产效率，必须解决气路系统的漏气问题，确保气缸能够正常举升和下降，保证铸管的顺利传输。此外，改造后的气路系统应具备更高的耐高温性能，能够承受高温砂芯和残铁环的高温冲击，减少因高温导致的设备故障。改造后的气路系统还应具备更好的气流调节功能，确保气缸举升和下降速度的平稳和高效运行。在满足生产节奏的前提下，实现气缸的同步举升和下降，保证运输辊的平稳运行，从而提高生产线的整体效率。综上所述，提高生产效率是离心铸管机高温作业区气路改造的重要需求，通过改造气路系统，可以显著提升生产线的稳定性和生产效率。

2 改造前设备现状及存在的问题

2.1 设备现状

在改造前，永通公司的离心铸管生产线上，采用了 PE 气管和塑料调压接头，这些部件在常温环境下能够正常工作，但在离心铸管机的高温作业区却暴露出许多不足。离心铸管生产过程中，1450℃的高温铁水在极短时间内随着离心机的高速旋转，在管模内壁形成 6mm 壁厚的铸管。整个浇注、离心、拔管过程在 1 分钟内完成。铸管被提升机转运到运输链，温度在 700℃至 800℃之间。离心机运输链由三组可升降的辊子通过各自连接的气缸的伸缩实现举升回落动作，如图 1 所示。

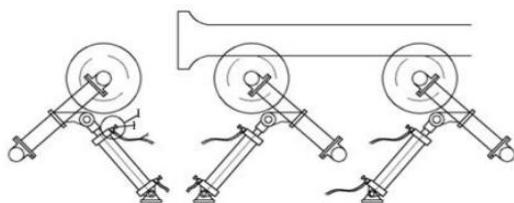


图 1 离心机运输链

在原装设备中，气缸通过旋转调压接头（型号 SL10-04）与 PE 气管（Φ10mm）连接（如图 2 所示）。当需要输送铸管到主运输链时，通过气路系统的气控换向阀（4V410-15）向气缸底部的气管输送压缩空气，使气缸举升辊子。当辊子到达最高点时，启动电机减速机，带动传动链条转动，辊子将成型的铸管输送至主运输链。铸管到达预定位置后，红外线感应器向气控换向阀发出信号，使气缸下降，铸管落在主运输链条上并被输送至退火炉。

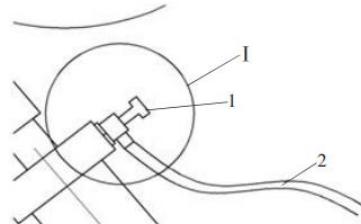


图 2 I 局部放大

2.2 高温砂芯的影响

在实际生产过程中，铸管承口残存的高温砂芯温度可达 400℃，在管子运动过程中由于震动会从铸管承口脱落。有时铸管浇注的插口残铁环也会掉落。这些高温砂芯和残铁环对气路系统造成了极大影响^[2]。由于气缸通过塑料调气接头与 PE 气管连接，高温砂芯经常掉落在不耐高温的 PE 气管上，瞬间将气管烧穿，造成气管漏气，导致气压降低，气缸无法正常举升，运输链运转受限，离心机被迫停机待命。

2.3 气路系统的不足

PE 气管和塑料调压接头在高温砂芯的冲击下，容易被烧穿导致漏气。气缸通过塑料调气接头与 PE 气管连接，高温砂芯掉落经常烧穿气管和调压接头，导致频繁漏气。根据统计，每班 8 小时的生产中，气路系统平均需要维修 10 次。漏气导致气压降低，气缸无法正常举升和下降，限制了运输链的运转，直接影响生产效率。由于铸管无法正常输送，平台的 4 台离心机被迫待机，严重影响高效生产。

2.4 调压接头的调节问题

气缸上下接头处安装旋转调压接头，其作用是调节进入气缸的压缩空气流量，从而控制气缸的举升与下降速度。然而，下部调压接头气流调大，提高了辊子举升速度，但也导致辊子下降时排气量增加，可能损坏设备。同样，上部调压接头气流调大，加快了辊子下降速度，但也增加了设备损坏的风险；气流量减小，虽然可以减小辊子下降时的冲击力，但也会降低辊子举升速度，影响生产效率。因此，上下调压接头的调节需相互平衡，以确保 3 台气缸同步举升下降，辊子举升下降平稳高效。

3 改造过程

3.1 初步尝试与问题发现

最初，永通公司尝试了几种防护方法以应对高温砂芯和残铁环对气路系统的破坏，虽然这些措施在一定程度上

能够保护大部分气管，但它们无法完全隔离气管和调压接头与外界的高温环境。塑料调压接头仍然会被烧坏漏气，尤其是气管与调压接头连接处由于无法完全包裹，仍然会被砂芯烧穿。此外，高温砂芯破碎后的细沙极具流动性，它能够从防护端口进入到防护层中，对内部的气管造成破坏。漏气点往往无法第一时间发现，要对其进行维修需要拆除防护层，这给及时维修带来了极大的困难。由于这些问题，生产效率难以提升，公司意识到必须对气缸的供气系统进行彻底改造，杜绝跑冒滴漏的发生，降低举升辊子的故障率，从而提高离心机生产线的生产效率。

3.2 确定改造方案

在总结初步尝试的经验教训后，永通公司提出了一套改造方案，如图 3 所示。改造的核心是选用耐高温的材料和优化气路设计，以彻底解决高温环境下的漏气问题。原有的 PE 气管被外编钢丝油管所替代。外编钢丝油管具备极强的耐高温性能，能够承受高达 600℃ 的温度，远超原先 PE 气管的耐受能力，如图 4 所示。将原先不耐高温的塑料材质的旋转调压接头更换为相应的油管接头。这种接头采用金属材质，能够在高温环境下保持稳定，不会因高温砂芯或残铁环的掉落而烧穿漏气。在油管前端增加单向节流阀，以代替旋转调压接头的调节气流功能。单向节流阀不仅具备气流调节功能，还能保证运输辊的平稳运行。

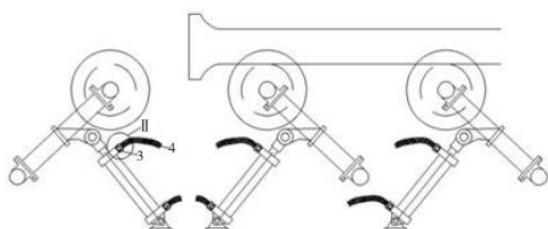


图 3 改造后的离心机运输链

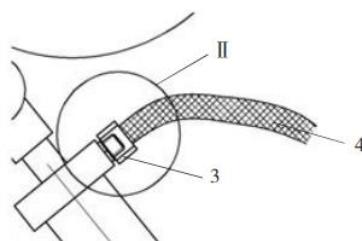


图 4 II 局部放大

3.3 改造实施与结果

改造过程顺利实施，公司对离心机的气路系统进行了全面升级。改造后的气路系统不仅具备了原先的气流调节功能，保证了运输辊的平稳运行，并且系统中的所有零部件均为耐高温的金属材质。即使是 400℃ 的砂芯，甚至是 600℃ 高温的残铁环直接掉落在系统上，也不会有丝毫的烧穿漏气情况发生^[3]。

3.4 改造效果与收益

通过此次改造，永通公司成功解决了高温环境下气路

系统的漏气问题，大大提升了离心机的生产效率。改造后的气路系统在高温作业区表现出色，没有一根“铠甲气管”被烧穿，因供气原因导致的故障彻底解决。生产线的停机待修次数大幅减少，设备的稳定性和可靠性显著提高。具体数据表明，每班 8 小时的生产中，气路系统的维修次数从原先的平均 10 次降至 0 次，生产效率提高了约 20%。此外，改造后的气路系统运行更加平稳，气缸的举升和下降速度得到合理控制，设备的使用寿命也因此得到延长。

4 改造中应注意的问题

4.1 材料选择

材料的选择是改造过程中最关键的环节之一。选择不当的材料可能导致改造失败，甚至带来安全隐患。在本次改造中，原有的 PE 气管被外编钢丝油管替代，这种油管具备极强的耐高温性能，能够承受高达 600℃ 的温度。此外，选用金属材质的油管接头代替原先的塑料材质的旋转调压接头，也极大地提高了气路系统的耐高温性能。因此，在改造过程中，必须选择经过严格测试、能够在高温环境下稳定运行的材料，以确保气路系统的可靠性。

4.2 气路设计

气路设计是决定改造效果的重要因素之一。改造后的气路系统需要在保持原有功能的同时，具备更高的耐高温性和稳定性。在此次改造中，通过在油管前端增加单向节流阀以代替旋转调压接头的调节气流功能，实现了气流的稳定调节。在进行气路设计时，需要综合考虑系统的气流需求、气压分布、气流速度等因素。设计时还应确保各部件之间的连接牢固，避免因连接不紧密而导致的漏气现象。同时，应设置合理的气流调节机制，以保证系统在不同工况下均能稳定运行。

4.3 安装与调试

安装和调试是改造过程中的重要环节。即便设计再合理、材料再优质，若安装和调试不到位，也难以达到预期效果。在此次改造中，安装过程中需确保各部件的连接紧密，尤其是油管接头与气缸的连接处，必须确保无漏气现象。此外，调试过程中需要反复测试气路系统的气流稳定性和各部件的耐高温性能，确保系统在高温环境下能够稳定运行。

安装前应彻底清洁各部件和管道，确保无杂质残留。尤其是在更换油管和接头时，任何杂质都可能影响系统的气流稳定性。安装完成后，应进行密封性测试，确保各连接处无漏气现象。可以通过气压测试仪进行检测，确保系统在高压状态下依然保持良好的密封性。调试过程中，应对气路系统在不同温度下的运行状态进行测试，确保系统在高温环境下能够稳定运行。同时，应监测各部件的温度变化，确保其在高温环境下不会出现变形或损坏。

4.4 操作培训

改造完成后，操作人员的培训同样至关重要。由于改

造后的系统在结构和操作方式上有所变化，操作人员需要接受系统的培训，以熟悉新系统的操作流程和注意事项。在此次改造中，永通公司对操作人员进行了全面的培训，内容包括新系统的工作原理、操作步骤、常见故障处理方法等。操作人员应严格按照操作规程操作，避免因操作不当导致的设备故障。培训中应讲解新系统的日常维护和保养方法，确保设备长期稳定运行。特别是对高温环境下的设备，应定期检查各部件的磨损情况，及时更换损坏部件。操作人员应掌握常见故障的应急处理方法，确保在出现故障时能够迅速处理，减少停机时间。

4.5 安全防护

高温环境下的作业存在诸多安全隐患，因此在进行改造时，必须采取必要的安全防护措施。在此次改造中，永通公司采用了多种安全防护措施，包括安装防护罩、设置安全警示标志、配备必要的防护设备等。为操作人员配备必要的防护设备，如高温手套、防护面罩等，确保人员在高温环境下作业的安全。在高温作业区设置明显的安全警示标志，提醒操作人员注意安全。同时，应设置安全警戒线，禁止无关人员进入高温作业区。制定详细的应急预案，确保在发生意外情况时，能够迅速采取措施，保障人员和设备的安全。应急预案应包括火灾应急处理、高温烧伤应急处理等内容。

4.6 持续改进

改造并非一劳永逸的过程，而是一个不断改进和优化的过程。改造完成后，永通公司需要对改造后的气路系统进行持续监测和分析，及时发现和解决可能出现的问题。在实际运行过程中，应不断收集系统的运行数据，分析各部件的工作状态，发现潜在的问题并及时采取措施进行改进。建立完善的数据收集和分析系统，定期对气路系统的运行状态进行监测，分析各部件的工作状态和磨损情况，及时发现潜在的问题。制定详细的定期检查和维护计划，确保各部件处于良好的工作状态。对于高温环境下的设备，

应特别关注其耐高温性能，及时更换磨损部件。建立操作人员与技术人员之间的反馈机制，操作人员在日常操作中发现的问题应及时反馈给技术人员，技术人员根据反馈情况进行分析和改进，不断优化系统的运行状态。

5 结束语

通过对离心铸管机高温作业区气路系统的彻底改造，永通公司成功解决了原有系统在高温环境下频繁出现的气路漏气和设备损坏问题。新的气路系统不仅提升了系统的耐高温性能和稳定性，还显著提高了生产效率，降低了设备维护成本和停机时间。改造过程中，公司不仅选择了适合高温环境的优质材料和先进设备，还通过严格的安装、调试和操作培训确保了系统的可靠性和安全性。在未来，将继续关注气路系统的持续改进和优化，通过定期的监测和维护，进一步提升系统的运行效率和耐用性。

[参考文献]

- [1] 康建明, 梁海成, 赵大志, 等. 镁合金离心铸造工艺数值模拟研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(4): 452-456.
- [2] 寻梦华, 骆合力, 李尚平, 等. L605 离心铸管凝固组织数值模拟及试制研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(6): 800-804.
- [3] 寻梦华, 骆合力, 韩少丽, 等. 卧式离心铸管充型过程中夹杂物运动规律数值模拟研究及应用 [J]. 稀有金属材料与工程, 2023, 52(7): 2559-2564.

作者简介：刘润泽（1993.12—），毕业学校：河南化工职业学院，专业：连锁经营管理，单位：安钢集团永通球墨铸铁管有限责任公司，职称：助理工程师；韩志彬（1993.1—），毕业学校：景德镇学院，专业：会计，单位：安钢集团球墨铸铁管有限责任公司，职称：助理工程师；李德智（1997.7—），毕业学校：东北师范大学，专业：行政管理，单位：安钢集团永通球墨铸铁管有限责任公司，职称：助理工程师。

智能化装配技术在高空作业领域的应用实践

孙得凤

湖南中联重科智能高空作业机械有限公司，湖南 长沙 410005

[摘要]高空作业因其特殊的环境条件和作业要求，常常面临着诸多挑战和安全隐患。传统的作业模式依赖于人工操作，不仅效率低下且存在较高的安全风险，如坠落、高处坠物等事故频发。为应对这些问题智能化装配技术应运而生，通过引入自动化装配机器人、无人机技术和智能安全管理系统，有效地改善了高空作业的工作环境和作业效率。这些技术不仅提高了作业精度和安全性，还为工业制造和建筑施工带来了新的技术革新和发展机遇。

[关键词]智能化装配技术；高空作业；安全

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13405

中图分类号: TH213.606

文献标识码: A

Application Practice of Intelligent Assembly Technology in High altitude Operation Field

SUN Defeng

Hunan Zoomlion Intelligent Access Machinery Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410005, China

Abstract: High altitude operations often face many challenges and safety hazards due to their special environmental conditions and operational requirements. The traditional homework mode relies on manual operation, which not only has low efficiency but also poses high safety risks, such as frequent accidents such as falling and falling objects from heights. In order to address these issues, intelligent assembly technology has emerged, effectively improving the working environment and efficiency of high-altitude operations by introducing automated assembly robots, drone technology, and intelligent safety management systems. These technologies not only improve operational accuracy and safety, but also bring new technological innovations and development opportunities for industrial manufacturing and construction.

Keywords: intelligent assembly technology; high altitude operations; safety

引言

随着科技的迅速发展和工业化进程的推进，智能化装配技术在各类工业和建筑领域的应用日益广泛。特别是在高空作业领域，传统的人工操作面临着诸多挑战和限制，如安全风险高、效率低下、成本较高等问题。因此，引入智能化装配技术不仅能够提升作业效率和安全性，还能够降低成本、优化管理，为高空作业带来全新的发展机遇和解决方案。

1 智能化装配技术的优势分析

1.1 提高作业效率

智能化装配技术通过自动化和精确控制显著提高了高空作业的效率。传统的高空作业通常依赖于人工操作，过程缓慢且易受人为因素影响。引入智能装配机器人和无人机等技术后，许多繁琐且危险的任务可以由机器完成，不仅减少了作业时间还提升了操作的精度和一致性^[1]。此外，智能化装配系统能够实时监测和调整工作进度优化资源配置，避免了人为错误和重复操作，从而大幅提升整体工作效率。这种技术的应用不仅加快了施工进度还降低了运营成本，为企业带来了显著的经济效益。

1.2 降低安全风险

智能化装配技术通过减少对人工操作的依赖，有效降低了高空作业的安全风险。传统高空作业中，工人面临坠

落、碰撞等危险，而智能装配机器人和无人机可以替代工人在危险环境中执行复杂的任务。这些设备配备了先进的传感器和控制系统，能够实时监测作业环境和设备状态，及时发现并处理潜在的危险。同时，智能安全管理系统可以通过数据分析和预警机制，提前识别安全隐患并采取相应措施确保作业的安全性。这样不仅保护了工人的生命安全，还提高了施工过程的整体安全性。

1.3 成本控制

智能化装配技术在高空作业中显著提升了成本控制能力。通过自动化设备和机器人代替人工操作，可以减少人力成本和因人为失误导致的额外支出。此外，这些智能设备的高精度和高效率不仅缩短了工期，还降低了材料浪费和返工率从而节省了项目成本。智能系统的实时监控和数据分析功能能够优化资源配置和管理，进一步降低运营和维护成本。

1.4 数据采集与分析

智能化装配技术在高空作业中的数据采集和分析功能极大地增强了工作的可控性和效率。通过传感器和监控设备实时收集各种关键数据，如环境条件、设备运行状态及施工进度等，系统能够迅速反馈和分析这些信息。这种实时数据的获取和分析不仅帮助管理者及时做出决策和调整工作计划，还能预测潜在问题并提前采取措施，以避

免可能的延误或安全风险。同时，通过长期数据的积累和分析，可以优化作业流程和设备使用效率，进一步提升整体工作质量和成本效益。

2 高空作业的特点与挑战

高空作业由于特殊的工作环境和技术要求，具有显著的特点和挑战。首先，高空作业通常涉及到在极端高度进行的工作，工人需要面对的是不稳定的平台和变化的气候条件，这些因素增加了操作的复杂性和风险。其次，高空作业所需的设备和工具往往体积大、重量重、操作复杂，对操作技能和安全意识提出了更高的要求。此外，由于高空作业通常发生在现场条件复杂、空间狭窄的情况下，导致了作业效率和安全管理的进一步挑战。在面对这些挑战时智能化装配技术的应用显得尤为重要，通过引入智能装配机器人、无人机技术以及智能安全管理系统，可以有效提升作业的安全性和效率。这些技术不仅能够减少人为因素导致的风险，还能够通过精确控制和实时数据分析优化作业流程，最大程度地应对高空作业的特殊挑战。

3 智能化装配技术在高空作业中的应用

3.1 智能装配机器人

智能装配机器人作为智能化装配技术的重要组成部分，在高空作业中发挥着关键作用。这些机器人具备高度精准的操作能力和灵活的自主决策能力，能够在复杂、高危的工作环境中执行精准的装配和维护任务。首先，智能装配机器人通过先进的传感器和视觉系统，能够实时感知和分析周围环境，确保在高空作业中安全可靠地运行。它们不受恶劣天气和环境限制能够稳定地操作于高度和狭小的工作区域内，大大减少了人工作业的风险和不便。其次，这些机器人具备高度可编程性和自适应能力，能够根据特定任务的要求进行快速调整和灵活应对。例如，在建筑高空结构安装中，智能装配机器人可以精确拼装大型构件保证装配的精度和稳定性，同时减少人力成本和时间浪费。此外，智能装配机器人还能与其他智能设备和系统实现无缝集成，如数据采集与分析系统和智能安全管理系统，共同优化高空作业的整体效率和安全性。通过这些综合应用，智能装配机器人不仅提升了作业效率，还为高空作业带来了全新的安全和技术标准。

3.2 无人机技术

无人机技术作为智能化装配技术的重要组成部分，在高空作业中展示了广泛的应用前景和显著的优势。无人机具备灵活性、高效性和多功能性的特点，特别适合在复杂的高空环境中执行各种任务。首先，无人机可以应用于高空巡检和监测任务，配备高清晰度摄像头和各种传感器，无人机能够实时获取和传输大量的视觉和环境数据。这种数据采集能力不仅帮助管理者全面了解作业现场的实时状态，还能及时发现和识别潜在的安全隐患和施工缺陷，有效提升作业的监控和管理水平^[2]。其次，无人机在高空

施工和维护中具备显著的作业效率优势，无人机可以快速准确地完成空中悬浮设备的安装、调整和维护工作，避免了传统人工作业中的危险和不便。例如，在建筑物外壁的维修中，无人机可以高效地喷涂防水涂料或进行玻璃幕墙的清洁和更换，大大提升了施工效率和工作质量。此外，无人机技术的智能化和自主飞行能力，使其能够在复杂的高空环境中执行长时间和高度挑战性的任务，如悬崖边的测量和地形扫描。这些应用不仅改善了工作条件，还减少了人力资源的投入和作业成本，为高空作业带来了显著的经济效益和环境保护效果。

3.3 智能安全管理系统

智能安全管理系统作为智能化装配技术的关键组成部分，在高空作业中发挥着重要作用。这些系统整合了先进的传感器技术、数据分析和实时监控功能，能提升工作场所的安全性和管理效率。首先，智能安全管理系统通过实时数据采集和分析，能够迅速识别和评估高空作业中的潜在安全风险，传感器可以监测环境参数如气候条件、风速、温度等，同时还能监测设备运行状态和工人活动情况。这些数据经过系统分析后，可以生成实时警报和预警信息，提醒管理人员和工作人员采取必要的安全措施避免事故的发生。其次，智能安全管理系统具备高度自动化的安全控制能力。例如，系统可以自动启动紧急停机程序或限制作业区域的访问，以应对突发事件或检测到的异常情况。这种即时的响应和控制能力有效降低了事故的发生率，保障了高空作业的安全性。此外，智能安全管理系统还支持数据的长期存储和分析，通过历史数据的回顾和趋势分析，帮助管理者优化安全管理策略和工作流程。这种基于数据驱动的管理方式，不仅提升了工作效率还为持续改进和安全培训提供了重要依据。

4 智能化装配技术的实施策略

4.1 技术选型与评估

智能化装配技术的成功实施依赖于合理的技术选型和全面的评估策略。首先，选型阶段需要考虑到具体作业需求和环境条件。不同的高空作业可能需要不同类型的智能装配设备，如装配机器人、无人机或智能安全管理系统。因此，评估时应综合考虑设备的精度、可靠性、适应性以及与现有技术的集成能力。其次，评估过程中需要重点关注技术的成熟度和实际应用效果。选择那些经过实地验证且具有良好用户反馈的技术解决方案，能够降低实施过程中的风险和不确定性。同时，评估还应考虑到设备的维护成本、培训需求以及后续技术支持能力，确保选型的设备在长期使用中能够稳定可靠。在技术选型的基础上，还需进行全面的成本效益分析。除了设备本身的购买和安装成本，还需要考虑到长期运营和维护的费用，以及通过技术实施带来的预期收益和效益提升。这种分析有助于确保投资的合理性和回报的可持续性，为智能化装配技术的实施

提供经济上的支持。最后，技术选型与评估过程需要与相关利益相关者进行充分沟通和协调。这包括工程师、管理者、技术支持团队和作业人员等，他们的反馈和需求能够为最终的技术选型决策提供宝贵的参考和支持。通过共同的努力和决策，能够确保选择最适合的智能化装配技术，实现高效、安全和可持续的高空作业管理和执行。

4.2 项目管理与流程优化

智能化装配技术的成功实施不仅依赖于先进的设备和技术选型，还需结合有效的项目管理和流程优化策略。在项目管理方面，首先需要确立清晰的项目目标和计划，明确每个阶段的任务和时间节点。这些目标应当与企业的战略目标和客户需求紧密对接，确保技术实施的有效性和成果的实现。其次，流程优化是智能化装配技术实施过程中的关键一环，通过分析和优化现有的作业流程，可以识别出存在的瓶颈和优化空间，进而调整和优化工作流程。例如，结合智能装配机器人和无人机技术可以重新设计作业流程，缩短作业周期、减少人为操作，提升整体作业效率和质量。在项目执行过程中，有效的沟通和协调是确保顺利实施的关键因素，各个部门和团队之间需要密切合作，确保信息的流畅和问题的及时解决。此外，制定详细的风险管理计划和应急响应措施也是必不可少的，以应对可能出现的技术故障、安全风险或外部环境变化。最后，持续的监控和评估是项目管理和流程优化的关键环节，通过实时数据的收集和分析，可以监测项目进展和技术应用效果，及时调整和优化项目执行策略。定期的项目审查和总结能够提炼出成功的经验和教训，为未来类似项目的实施提供宝贵的指导和参考。

4.3 人员培训与技能提升

在智能化装配技术实施过程中，人员培训和技能提升是确保技术有效应用和操作安全的重要环节。首先，培训计划应当根据不同岗位的需求和技术应用的特点，制定详细的培训内容和时间安排^[3]。针对操作人员需要提供全面的设备操作和维护培训，确保他们能够熟练掌握智能装配机器人、无人机等设备的操作技巧和安全注意事项。其次，技术支持团队和管理人员也需要接受专业的技术培训，了解技术背景、应用场景和实施过程中可能遇到的问题及解决方法。这些培训不仅有助于提升团队的整体技术水平，还能够增强应对突发情况和技术挑战的能力，确保项目能够顺利进行并取得预期效果。除了设备操作技能的培训外，还需重视安全意识和应急响应能力的提升。高空作业环境的特殊性要求操作人员具备高度的安全意识和应对突发情况的能力。因此，定期举行安全培训和模拟演练，让团队成员熟悉安全操作规程和应急处置流程，是确保作业安全的关键步骤。在技能提升方面，持续学习和发展新技能是保持竞争力的关键。随着智能化装配技术的不断发展，团队成

员应保持开放的学习态度，不断更新技术知识和应用技能，以适应市场和技术的变化，提升个人和团队的整体绩效。

4.4 安全管理与风险控制

在智能化装配技术应用于高空作业中，安全管理和风险控制是至关重要的方面，直接关系到作业人员的安全和作业的顺利进行。首先，有效的安全管理需要建立完善的安全管理体系和标准操作程序，这包括制定详细的安全规章制度、安全操作指南以及应急预案，确保每位作业人员都能理解和严格遵守安全规定，从而最大程度地降低意外事故的发生概率。其次，风险控制是安全管理的核心内容之一，通过全面的风险评估和风险管控措施，识别和分析可能存在的各类安全风险，如高空作业中的高风险区域、设备故障风险等。在识别风险的基础上，制定相应的预防措施和应急处理计划，确保在发生意外情况时能够迅速有效地响应和处置，最大限度地减少损失和影响。此外，安全文化的建设和员工的安全意识培养也是安全管理的重要环节，通过定期的安全培训、实地演练和案例分析，提升作业人员对安全管理重要性的认识，强化他们的安全责任感和应对突发情况的能力。同时，鼓励员工积极参与安全管理，提出改进建议和优化措施，形成全员参与、共同维护安全的良好氛围。最后，安全管理需要与技术应用和作业流程紧密结合，形成相互支持、相互促进的工作模式。通过智能化装配技术的应用，如智能安全管理系统和自动化控制设备，可以实现对高风险作业环境的实时监测和迅速响应，提高作业的安全性和效率。

5 结语

智能化装配技术在高空作业领域的应用，不仅为传统作业模式注入了新的技术活力，更为提升作业效率、降低安全风险、控制成本、优化数据管理等方面带来了显著的改进和机遇。通过智能装配机器人、无人机技术和智能安全管理系统的整合应用，不仅提升了作业的安全性和精准度，还推动了作业流程的智能化和可持续发展。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，智能化装配技术将继续发挥其重要作用，为高空作业带来更多创新和发展机遇。

【参考文献】

- [1] 赵相禹. 卫星智能化装配系统发展现状及关键技术[J]. 国际太空, 2020(3): 59-63.
- [2] 詹培军. 智能化施工技术在装配式建筑工程施工管理中的应用[J]. 工程技术研究, 2022, 7(7): 130-132.
- [3] 曹煦, 冯士恩. 无人机技术应用现状和发展趋势研究[J]. 计算机产品与流通, 2020(7): 107.

作者简介：孙得凤（1983.2—），女，学历：本科，毕业院校：中北大学，所学专业：材料成型及控制工程，目前职称：工程师，目前就职单位：湖南中联重科智能高空作业机械有限公司。

人工智能在电气工程自动化中的运用

李洪星

河北建筑设计研究院有限责任公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着科技的不断发展，人工智能技术在我国电气工程自动化领域的应用日益广泛。文中主要首先介绍了人工智能在电气工程自动化领域的重要性，其次，阐述了人工智能的基础理论，包括其基本概念、分类以及在电气工程自动化中的基本原理和算法。最后，论述了人工智能在电气工程自动化中的具体运用，包括产品优化设计、电机设计、电力电子电路设计、芯片设计等方面，并分析了其在提高操作精确性、资源利用最大化等方面的优势。同时，文中还探讨了智能化技术在电气工程自动化控制中的未来发展趋势及其对电气工程领域的重要意义。

[关键词]人工智能；电气工程；自动化；产品优化设计；电机设计

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13420

中图分类号: U46

文献标识码: A

Application of Artificial Intelligence in Electrical Engineering Automation

LI Hongxing

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous development of technology, the application of artificial intelligence technology in the field of electrical engineering automation in China is becoming increasingly widespread. The article mainly introduces the importance of artificial intelligence in the field of electrical engineering automation, and then elaborates on the basic theory of artificial intelligence, including its basic concepts, classifications, and basic principles and algorithms in electrical engineering automation. Finally, the specific application of artificial intelligence in electrical engineering automation was discussed, including product optimization design, motor design, power electronic circuit design, chip design, etc., and its advantages in improving operational accuracy and maximizing resource utilization were analyzed. At the same time, the article also explores the future development trend of intelligent technology in electrical engineering automation control and its important significance in the field of electrical engineering.

Keywords: artificial intelligence; electrical engineering; automation; product optimization design; motor design

引言

近年来，人工智能（Artificial Intelligence, AI）技术在我国得到了广泛的关注和快速发展。AI 技术在许多领域都有广泛的应用，如工业生产、医疗健康、金融投资等。电气工程自动化作为我国国民经济的重要支柱产业，其发展对国家经济、社会和生活产生深远影响。本文主要探讨了人工智能在电气工程自动化领域的应用及其优势，并展望了未来发展趋势。

1 人工智能在电气工程自动化领域的重要性

传统的故障诊断方法往往依赖于人工经验，而人工智能技术可以实现对设备的实时监测，通过分析数据，对潜在的故障进行预测和诊断，不仅提高了故障诊断的准确性，而且大大降低了人工成本和时间。

在人工智能在电气工程自动化领域中，人工智能技术可以通过学习，自动调整控制参数，实现最优控制。这种智能控制不仅提高了系统的稳定性和效率，而且大大减轻了人工的负担。人工智能通过对历史数据的分析，预测电力系统的负荷，从而实现对发电量和电力分配的优化，不仅提高了电力系统的效率，而且降低了能源消耗^[1]。此外，在电气设备的维护方面，人工智能可以通过图像识别

技术，自动识别设备的故障和磨损，从而实现对设备的及时维护。在电气设备的制造过程中，人工智能可以实现自动化生产，提高生产效率和产品质量。

2 人工智能在电气工程自动化中的应用

2.1 产品优化设计

人工智能在电气工程自动化中的应用其优势在于提高生产效率、降低成本，并能在设计过程中提供更加精确的预测和优化建议。在电气工程中，产品设计涉及到多个学科和领域，通过引入人工智能技术，可以实现电气产品设计的自动化和优化。

首先，人工智能在产品优化设计方面的应用具有重要意义。传统的产品设计过程往往需要大量的时间和资源，而且设计结果往往受到设计师经验和能力的限制。通过引入人工智能技术，可以实现对产品设计的自动化和优化，从而提高设计质量和效率。AI 技术可以通过分析现有的产品设计数据，学习并提取其中的规律，进而生成新的设计方案^[2]。此外，AI 还可以用于预测产品性能，优化设计参数，提高设计质量和效率。

其次，在电气工程中，故障检测和维护是保证设备正常运行和生产的关键因素。通过引入人工智能技术，对电

气设备的故障检测和维护，从而保证设备的正常运行和生产。AI 技术通过对设备运行数据的分析和处理，实现对设备故障的检测和预测，从而及时进行维护和修复，保证设备的正常运行和生产。

2.2 电机设计

人工智能在电机设计领域的应用，主要通过深度学习、强化学习和遗传算法等先进技术实现。深度学习能够让人工智能从海量的设计数据中，自动提取关键特征，自主学习并建立设计参数与性能之间的复杂非线性关系。借助这种能力，人工智能能够快速找到满足特定性能指标的最佳设计参数组合，极大提高了设计的效率和准确性。强化学习则能够在设计过程中，不断尝试不同的参数配置，通过与环境的实时交互，不断调整和优化设计方案，最终实现性能的最优化。遗传算法模仿生物进化机制，通过模拟自然选择和遗传机制，不断迭代优化设计方案，探索潜在的新型电机结构和布置方式。

人工智能能够实时监控电机生产过程中的各项指标，及时发现异常，优化生产流程。通过分析大量的生产数据，人工智能可预测电机的潜在故障，从而提前采取维护措施，确保生产线的稳定运行。此外，AI 还能为电机生产线提供智能调度建议，提高生产效率，降低成本。

在电机的故障预测与健康管理方面，人工智能能够对电机运行中的声音、温度、振动等数据进行实时分析，通过模式识别技术，准确判断电机的运行状态和潜在故障。在故障预测方面，人工智能通过学习历史故障数据，建立故障预测模型，实现对电机未来故障的预测，为维护决策提供科学依据。在健康管理方面，人工智能根据电机的实时运行数据，动态调整维护策略，确保电机在最佳状态下运行，延长电机寿命。

2.3 电力电子电路设计

人工智能在电力电子电路设计中的作用首先体现在新电路拓扑结构的自动生成。通过对已有电力电子电路拓扑结构的深入分析，结合物理定律和电气工程原理，人工智能可以自动生成全新的电路拓扑结构设计。这种自动化生成的设计不仅提高了设计的效率，也拓展了电力电子电路设计的可能性。人工智能在电力电子电路设计中的应用还体现在元件参数的确定上，通过对电力电子电路的深入理解，人工智能可以准确地确定电路中各个元件的最佳参数，从而提高电路的性能。此外，电力电子电路的控制策略是其核心部分，人工智能可以通过对电路的深度学习，开发出最适合该电路的控制策略，从而提高电路的效率和稳定性^[3]。最后，人工智能能够实时优化电力电子设备的运行状态，通过对电路的实时监控，人工智能可以及时地调整电路的运行状态，从而提高电路的效率和可靠性。

2.4 在电气设备维护和保养的应用

电力设备是电力企业的核心资产，其正常运行对于电

力系统的稳定运行至关重要。然而，由于电力设备的使用寿命较长、运行环境恶劣等原因，设备故障和损坏时有发生。为了保证电力设备的正常运行，电力企业需要进行定期的维护和保养。

国内某电力企业利用人工智能技术，开发了一套基于大数据分析和机器学习算法的电气设备健康管理系統。该系統通过实时监测电气设备的运行状态和参数，对设备进行故障预测和维修建议，提高设备的可靠性和稳定性。该系統利用大数据技术对电气设备的运行数据进行收集和分析，通过机器学习算法对数据进行挖掘和建模，从而实现对设备的实时监测和预测。系統可以根据设备的运行状态和参数，预测设备可能出现的故障，并提供相应的维修建议，帮助企业提前发现和解决问题，避免设备故障带来的生产中断和经济损失。此外，该系統还可以根据设备的运行数据和历史故障记录，进行设备的性能评估和寿命预测。通过对设备的运行状态和参数进行实时监测和分析，系統可以评估设备的性能变化趋势，预测设备的使用寿命，帮助企业制定合理的设备更换和维护计划，降低企业的运营成本。

该系統的应用可以有效提高电气设备的运行效率和可靠性，减少设备故障和维修成本，延长设备的使用寿命。同时，系統还可以为企业提供设备运行数据的分析和报告，帮助企业了解设备的运行状况和性能变化，为企业管理层提供决策依据。总之，基于大数据分析和机器学习算法的电气设备健康管理系統在电力企业的应用，能有效提高设备的可靠性和稳定性，降低企业的运营成本，提升企业的核心竞争力。

2.5 人工智能在自动化生产线中的应用

在当今工业生产领域，人工智能技术的应用日益广泛，尤其在自动化生产线中，其作用已不可或缺。其中，深度学习算法和计算机视觉技术的结合应用，为生产流程带来了革命性的变化。该技术能够在产品生产过程中，实现自动化的检测和分类，极大地提高了生产效率和质量。

首先，数据采集是构建这一系统的基础。收集大量的产品图像数据，并对这些数据进行详细的标注，是训练模型的前提。这一步骤需要大量的人力和物力投入，但却至关重要，因为只有准确的数据标注，才能保证后续模型训练的准确性。其次，模型训练是系统的核心。深度学习算法建立起一个神经网络模型，这一模型能够学习并识别产品的各项参数和缺陷。通过对训练数据集的不断学习，模型能够不断提高其识别的准确性，最终达到满足生产需求的水平。最后，系统搭建是将训练好的模型应用到实际生产中。将模型嵌入到自动化生产线上的检测设备中，构建出一个完整的自动化检测系統。这一系統能够实时地对生产线上的产品进行检测，快速准确地判断产品的质量，并将不合格的产品分拣出来，确保只有合格的产品流入下一

道工序^[4]。

总的来说，人工智能在自动化生产线中的应用，极大地提高了生产效率和产品质量，是工业生产未来发展的趋势。通过深度学习算法和计算机视觉技术的结合应用，我们能够构建出一个自动化、智能化的生产系统，这将为我国工业生产的发展带来新的机遇。

2.6 人工智能在电力负荷预测和优化中的应用

华为端边管云协同的基本架构，协同运用人工智能技术进行电力负荷预测和优化，以提高电力系统的运行效率和供电可靠性。南方电网公司采用了基于机器学习的算法，包括神经网络、支持向量机等，建立了负荷预测模型。通过对历史数据的分析和建模，南方电网公司可以实现对未来一段时间内的负荷变化趋势的预测。

南方电网公司在提升电力系统运行效率方面，依托华为的端边管云协同架构，南方电网实现了数据的高速传输、高效处理和智能分析。借助于华为提供的先进技术，南方电网构建了一个高效、稳定的电力系统运行环境。在电力负荷预测方面，南方电网公司运用了人工智能技术，通过神经网络、支持向量机等算法建立了负荷预测模型。这一模型能够对历史数据进行深度挖掘和分析，从中找出负荷变化的规律，进而实现对未来一段时间内负荷变化趋势的预测。这为南方电网公司在电力调度、运行优化等方面提供了有力的支持。此外，南方电网公司还通过人工智能技术对电力系统进行优化。借助于华为的端边管云协同架构，南方电网实现了对电力系统各个环节的实时监控和智能分析。通过对电力系统的动态调整，南方电网提高了电力系统的运行效率和供电可靠性。因此，南方电网公司借助于华为的端边管云协同架构和人工智能技术，在电力负荷预测和系统优化方面取得了显著的成果。

3 人工智能在电气工程自动化中的优势

3.1 操作精确

传统的电气工程在操作过程中容易受到外界因素的干扰，导致控制精度下降。然而，人工智能技术在电气工程领域的应用，使得这一问题得到了有效的缓解。一方面，人工智能系统可以实现电气自动化系统的控制，另一方面，人工智能本身在控制方面的稳定性和抗干扰能力较强。因此，人工智能能有效提高电气产品的操作精确性。

人工智能系统可以实现电气自动化系统的控制，这是由于人工智能系统具有快速学习和适应新环境的能力。在电气工程中，环境变化和设备故障是导致控制精度下降的主要原因之一。而人工智能系统可以通过学习和适应新的环境，调整控制策略，从而实现对电气系统的精确控制。此外，在传统的电气工程中，操作人员需要时刻关注设备

的运行状态，及时调整控制策略以应对各种突发情况。而人工智能系统可以通过对历史数据的分析和处理，生成相应的控制策略，从而提高电气系统的稳定性，减少因外界因素干扰导致的控制误差。

3.2 资源利用最大化

在传统的电气产品操作中，往往需要多种设备和专业人员进行维护。这不仅增加了企业的运营成本，也限制了生产效率的提高。人工智能技术的引入，使得资源利用最大化，设备成本大幅度降低。通过智能化的电气设备，企业可以在减少人力投入的同时，提高生产效率。例如，通过引入 AI 技术，电气设备可以实现自动化运行，不仅可以减少人力成本，还可以提高设备的运行效率和稳定性^[5]。此外，人工智能技术的应用还可以实现对电气设备的实时监控和预测性维护。通过对设备的实时数据进行分析，可以及时发现设备的异常情况，并进行预测性维护，避免设备的故障和停机，进一步提高生产效率。

总的来说，人工智能技术的应用，不仅改变了电气产品的操作方式，也改变了企业的运营模式。通过实现资源的最大化利用，降低设备成本，提高生产效率，人工智能技术正在为电气产品的发展带来新的机遇。

4 结语

人工智能技术在电气工程自动化领域的应用具有广泛的前景和重要的实际意义。通过引入 AI 技术，可以有效提高电气产品的操作精确性、资源利用最大化，推动电气工程自动化的发展。未来，随着人工智能技术的不断进步，其在电气工程自动化领域的应用将更加广泛，为我国电气工程领域的发展注入新的力量。

【参考文献】

- [1] 孙传鹤. 试论人工智能在电气工程自动化中的应用 [J]. 中国设备工程, 2023 (18) : 41-43.
 - [2] 张卫斌. 人工智能技术在电气工程自动化中的应用研究 [J]. 河北农机, 2023 (7) : 67-69.
 - [3] 李宏健, 王安国, 刘馨鑫, 等. 人工智能技术在电气工程自动化控制中的应用研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6 (12) : 129-132.
 - [4] 顾景吉. 人工智能在电气工程自动化中的应用研讨 [J]. 大众标准化, 2021 (2) : 177-178.
 - [5] 陆鹏, 袁悦, 陈中启, 等. 人工智能在电气工程自动化中的应用具体方法探究 [J]. 信息记录材料, 2020, 21 (11) : 131-132.
- 作者简介：李洪星（1986.8—），男，汉族，毕业学校：河北建筑工程学院，现工作单位：河北建筑设计研究院有限责任公司。

电气工程自动化中智能化技术的应用研究

张大江

云南金沙矿业股份有限公司因民铜矿，云南 昆明 654100

[摘要]随着全球工业化进程的加速和信息技术的迅速发展，智能化技术正深刻改变着电气工程自动化的面貌。电气工程自动化作为现代工业的核心组成部分，通过引入先进的自动化控制系统和智能化解决方案，极大地提升了生产效率、优化了资源利用、改善了产品质量，并在提高工业安全和环境可持续性方面发挥了重要作用。此文探讨智能化技术在电气工程自动化中的具体应用及其意义。

[关键词]电气工程自动化；智能化技术；自动化技术

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13419

中图分类号: TD421.6

文献标识码: A

Research on the Application of Intelligent Technology in Electrical Engineering Automation

ZHANG Dajiang

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

Abstract: With the acceleration of global industrialization and the rapid development of information technology, intelligent technology is profoundly changing the face of electrical engineering automation. As a core component of modern industry, electrical engineering automation has greatly improved production efficiency, optimized resource utilization, improved product quality, and played an important role in enhancing industrial safety and environmental sustainability by introducing advanced automation control systems and intelligent solutions. This article explores the specific application and significance of intelligent technology in electrical engineering automation.

Keywords: electrical engineering automation; intelligent technology; automation technology

引言

随着全球经济的发展和科技的进步，电气工程自动化不断演进和创新，成为提升工业生产效率、优化资源利用、改善产品质量以及保障工业安全的重要手段。在过去的几十年中，电气工程自动化经历了从传统控制系统向现代智能化系统的转型。传统的电气控制系统主要依赖于硬件设备和简单的逻辑控制，功能有限且难以适应复杂的工业环境和变化的市场需求。而随着信息技术的飞速发展，智能化技术如人工智能、物联网、大数据分析等开始广泛应用于电气工程自动化领域，为其注入了新的活力和创新力。智能化技术的引入，使得电气工程自动化在多个方面实现了显著的进步和改善。电气工程自动化在智能化技术的推动下，正向着更高效、更智能和更可持续的方向发展。

1 电气工程自动化与智能化技术概述

随着科技的迅猛发展和信息技术的广泛应用，电气工程自动化已经从传统的机械化操作向智能化转变，这一转变不仅提升了生产效率，还改善了工作环境和产品质量。电气工程自动化的核心在于利用电子技术、信息技术和控制技术，实现对工业过程的自动控制和管理。传统的电气工程自动化主要依靠固定的程序和控制逻辑，随着智能化技术的引入，现代电气系统能够通过感知、推理和决策等智能化手段，实现更加灵活和高效的运行状态。随着物联网技术的发展，各类设备和系统之间实现了信息的互联互通，进一步

促进了电气工程自动化系统的智能化和集成化发展。

2 电气工程自动化中应用智能化技术的意义

2.1 优化电气控制流程

传统的电气控制流程通常依赖于静态的逻辑和预设的控制策略，难以应对复杂和动态变化的工艺需求。智能化技术利用先进的传感器网络和数据处理技术，实时获取关键的生产参数和设备状态信息，包括电流、电压、温度等^[1]。智能化技术在控制决策上具备更高的智能化水平，能够根据实时数据动态调整控制参数和工艺流程，快速响应市场需求变化和生产环境波动，有效降低能源消耗和生产成本。

2.2 处理数据更加精准

随着工业生产过程中数据量的急剧增加和信息化程度的提升，如何有效地处理和利用这些数据成为提升生产效率和质量的关键。智能化技术通过先进的数据采集、分析和应用算法，为电气工程自动化系统提供了更精确、实时的数据处理能力，从而带来了多方面的显著优势。智能化技术通过高精度的传感器网络和实时数据采集系统，能够实时监测和记录电气设备的运行状态、工艺参数以及环境条件等关键信息。智能化技术通过先进的数据分析和挖掘算法，能够从海量数据中提取出有价值的信息和趋势。通过与自动化控制系统的集成，实现数据驱动的实时调节和优化，不仅提升了生产效率，还有效地降低了能耗和资源浪费，符合现代工业生产对高效节能的迫切需求。

2.3 促进电气工程自动化工作有序开展

随着工业生产复杂度和规模的增加,传统的电气工程自动化面临诸多挑战,如设备协调、系统集成、数据管理等方面的复杂性。智能化技术通过标准化和自动化的设备集成手段,实现了各类电气设备和系统的有效协同工作。传统上,不同供应商的设备可能存在兼容性和接口问题,智能化技术则通过通用的通信协议和开放的接口标准,实现设备之间的无缝连接和数据交换,从而提升了系统的整体协调性和运行效率。智能化技术在工程项目管理和执行过程中的应用,极大地简化了工程部署和运行调试的复杂性。通过自动化的工程设计软件和仿真工具,工程师可以在虚拟环境中进行系统设计和优化,减少了实际部署时可能遇到的问题和调整成本。智能化技术通过实时数据监控和远程控制功能,使得工程运行状态能够随时随地进行监测和调整。工程师可以通过网络平台远程访问设备状态和运行数据,及时响应和处理异常情况,从而保障了工程运行的连续性和稳定性。

2.4 提高智能控制水平

随着工业生产的复杂性和技术的发展,传统的静态控制系统已经无法满足快速变化的市场需求和生产环境的复杂性。传统的控制系统往往基于静态的控制逻辑,无法灵活应对工艺变化和设备故障。而智能化技术则通过大数据分析和机器学习算法,能够从海量数据中挖掘出关键的生产趋势和异常情况,实现智能化的实时反馈和调节,提高了系统对环境变化和生产需求的适应能力。传统控制系统通常依赖于人工设定的规则和逻辑,受限于人工经验和静态算法的局限性^[2]。而智能化控制系统能够通过自主学习和优化算法,逐步积累经验并根据实时数据动态调整控制策略,提升了控制系统的智能化水平和自适应能力。通过物联网技术和云平台的应用,不同设备之间能够实现信息的互联互通,实现跨系统的智能化协同控制。

3 电气工程自动化中智能化技术的具体应用

3.1 在故障诊断中的应用

智能化技术在电气工程自动化中的故障诊断应用,极大地提升了设备可靠性和生产效率。传统的故障诊断主要依赖于人工经验和周期性检查,无法及时发现和处理潜在问题。而智能化技术通过实时数据采集和高级算法分析,实现了自动化的故障监测和诊断。智能化技术利用先进的传感器网络和数据采集系统,实时监测设备的运行参数和工作状态。智能化技术通过机器学习和模式识别算法,从历史数据中学习和建模,能够预测设备的寿命和故障发生的概率。例如,通过监测设备运行中的异常振动或温度升高,系统能够及时发出预警并建议维修措施,避免因故障导致的生产停顿和损失。借助云平台和远程访问技术,工程师可以远程监控设备运行状态,进行远程故障诊断和参数调整,实现快速响应和准确修复,大大缩短了故障处理的时间和成本。

3.2 在自动化控制中的应用

传统的自动化控制系统通常基于固定的逻辑和设定

参数,难以适应复杂的生产环境和多变的市场需求。智能化技术则通过实时数据采集、智能算法和自适应控制策略,实现了对生产过程的精准监控和动态调节。智能化技术通过高精度的传感器和数据采集系统,实时获取生产过程中的关键参数和环境信息。传统的PID控制方法往往依赖于固定的比例、积分、微分参数,无法应对复杂的非线性系统和快速变化的工艺要求。智能化控制系统则能够利用模糊逻辑控制、神经网络控制等先进算法,根据实时数据动态调整控制参数,实现更精确和稳定的控制效果。通过物联网技术和云平台的应用,不同设备和系统之间能够实现实时数据共享和协同控制,进一步提升了生产系统的整体效率和灵活性。

3.3 在自动化操作中的应用

传统的生产操作往往依赖于人工操作和手动控制,存在操作繁琐、效率低下和人为因素影响的问题。智能化技术的引入,则通过自动化控制和智能化管理,实现了生产过程的自动化和智能化。智能化技术通过自动化设备和智能传感器的应用,实现了生产操作的自动化执行。例如,在装配线或生产流程中,通过自动化机器人或传感器网络,实现产品的自动装配、质量检测和包装,大大提升了生产效率和产品一致性。传统的手动操作容易受到操作员技能水平和疲劳程度的影响,而智能化控制系统则能够精确执行预设的操作流程和参数,保证了生产过程的稳定性和可靠性。通过实时数据采集和分析,系统能够监测设备的运行状态和生产效率,及时发现和处理异常情况,避免生产中断和资源浪费。

3.4 在优化设计中的应用

传统的产品设计往往依赖于经验和试错,存在设计周期长、成本高和设计效率低的问题。智能化技术的引入,则通过先进的计算方法和模拟工具,实现了设计过程的优化和智能化。智能化技术通过CAD软件和虚拟仿真工具,实现了产品设计和工程方案的优化设计应用于电气工程自动化中,智能化技术通过CAD软件和虚拟仿真工具,实现了产品设计和工程方案的数字化和智能化。传统的二维设计方式已经无法满足复杂产品的需求,而智能化的CAD软件则能够精确地模拟电气设备的结构和功能,提升设计精度和效率。工程师可以通过CAD软件进行多次快速的设计迭代和模拟分析,评估不同设计方案的性能和成本效益,从而优化产品设计并减少开发周期。智能化技术通过虚拟仿真工具,能够模拟电气设备在实际工作环境中的运行情况。例如,通过电磁场仿真软件可以分析电磁设备的电场分布和热场分布,评估设备在不同工作条件下的性能和稳定性。这种基于物理模型和数值计算的仿真分析,大大降低了试验和验证阶段的成本和时间,提高了设计方案的可靠性和先进性。通过大数据分析和机器学习算法,系统能够从历史数据和市场反馈中学习和优化设计方案,预测市场趋势和用户需求,为产品设计提供智能化的决策支持。智能化技术在优化设计中的应用不仅局限于产品层面,还包括工程方案和系统集成的优化。

3.5 在工程数据采集和信息整合中的应用

传统的数据采集和处理方式往往依赖于人工操作和手动录入，存在数据不一致、处理耗时长等问题。而智能化技术通过先进的传感器网络、物联网技术和云计算平台，实现了大规模数据的实时采集、分析和智能化应用。智能化技术通过高精度的传感器和实时数据采集系统，能够实时监测和记录电气设备的运行状态和环境参数。智能化技术通过数据分析和处理平台，能够对大数据进行快速、准确的分析和挖掘。例如，利用机器学习和人工智能算法，系统能够识别数据中的模式和异常，预测设备的健康状况和故障风险，提前采取预防性维护措施，避免设备损坏和生产中断。通过云计算平台和大数据分析软件，能够将不同来源和格式的数据进行整合和分析，为决策者提供全面、实时的数据支持，帮助其做出更加准确和迅速的决策。

3.6 在 CAD 软件设计中的应用

传统的 CAD 软件主要用于二维图形的设计和制图，难以满足复杂产品和系统的设计需求。智能化技术的引入，则通过先进的三维建模、虚拟仿真和自动化设计功能，实现了电气工程设计过程的数字化和智能化。工程师可以利用 CAD 软件精确绘制电气元件的结构和布局，包括线路、开关、电源等，同时支持对复杂系统的整体设计和布局规划。智能化技术通过虚拟仿真工具，能够模拟电气设备在实际工作条件下的运行和性能。例如，通过电磁场仿真软件可以分析电磁设备的电场分布和电磁干扰情况，评估设备在不同工作环境中的稳定性和电磁兼容性。通过自动化设计功能和参数化建模，工程师能够快速生成和修改设计方案，减少了手动绘图和设计调整的时间，提高了设计效率和响应速度。

4 电气工程自动化中智能化技术的应用建议

4.1 完善基础建设工作

在电气工程自动化中智能化技术的应用建议中，完善基础建设工作是确保技术顺利应用和系统稳定运行的关键步骤。加强基础设施的更新和升级，包括硬件设备（如传感器、控制器、通信设备）和软件系统（如操作系统、数据管理平台）。确保设施能够支持大规模数据采集、快速数据处理和复杂算法运算，以应对日益复杂的生产需求和环境变化。智能化技术依赖于稳定的数据传输和实时通信，因此需要确保网络安全、带宽容量和响应速度。采用先进的网络技术和协议，如物联网技术、5G 网络等，提升数据传输效率和系统的实时响应能力。优化能源利用效率，采用可再生能源和节能技术，实现电力供应的可持续性和稳定性。智能化技术的应用需要具备跨学科知识和技能的工程师和技术人员，能够熟练运用新技术解决实际问题，同时具备系统管理和运维能力，确保系统的稳定运行和持续优化。

4.2 加强信息安全

随着智能化技术在电气工程自动化中的广泛应用，加强信息安全成为保障系统运行稳定和数据安全的重要措施。采用多层次的信息安全防护措施，包括物理安全措施

（如设备存储和访问控制）、网络安全措施（如防火墙、入侵检测系统）和数据安全措施（如加密技术、权限管理）。员工应了解安全政策和最佳实践，严格遵守安全操作规程，减少人为失误和安全漏洞的发生。安全管理体系应包括安全评估、漏洞管理、事件监控和安全审计等环节，确保安全控制措施的全面覆盖和持续优化。应急响应机制则能够快速响应安全事件，减少损失并尽快恢复系统运行。智能化技术的应用通常涉及多个合作伙伴和供应商，需要建立安全合作框架和标准，确保各方在数据共享和系统集成中遵守统一的安全标准和协议。

4.3 发展绿色经济

智能化技术在电气工程自动化中的应用建议之一是积极推动绿色经济发展。随着全球环境问题日益突出，绿色经济已成为未来可持续发展的重要方向。智能化技术能够通过精确的数据分析和智能控制算法，优化能源利用效率，减少能源消耗和碳排放。例如，通过智能监测和调节设备运行参数，实现能效提升和能源成本的降低，为企业节约成本的同时，减少对环境的负面影响。智能化技术能够有效管理和优化可再生能源的接入和消纳，提高电网的稳定性和可靠性。例如，通过智能电网技术实现分布式能源管理和电力负荷调度，促进可再生能源的大规模应用和智能化管理。智能化技术能够通过智能物联网设备和大数据分析，实现资源的精准采集、高效利用和废物再利用，推动资源的循环利用和减少资源浪费。智能传感器网络和实时数据监测，实现对环境污染、水质监测等方面智能化管理和预警^[3]。智能化技术能够提升环境监测的精度和覆盖范围，帮助政府和企业制定科学的环保政策和措施。

5 结语

电气工程自动化中智能化技术的广泛应用，不仅加速了工业生产的数字化转型，也为企业在全球竞争中赢得了技术和市场的先机。本文探讨了智能化技术在电气工程自动化中的多个应用领域，包括优化控制流程、精准数据处理、工程操作优化、设计优化、数据采集与信息整合以及 CAD 软件设计等方面。电气工程自动化中智能化技术的不断创新与应用，将为企业带来更高效的生产方式、更优质的产品和服务，为社会经济发展注入新的活力和动力。

参考文献

- [1]雷成秀. 探析电气工程及其自动化的智能化技术应用[J]. 中国设备工程, 2023 (24) : 42-44.
- [2]孙放, 夏书悦. 智能化技术在电气工程及自动化控制中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41 (2) : 184-185.
- [3]李静, 林富军, 李雄飞. 智能化技术在电气工程自动化中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2023 (13) : 31-33.

作者简介：张大江 (1982.8—)，男，毕业院校：浙江师范大学，学历：大学本科，专业：机械设计制造及其自动化，就职单位：云南金沙矿业股份有限公司因民铜矿，职务：副矿长，职务年限：6 年，职称：电气工程师。

天然气管道工程中的仪表自动化控制技术分析

崔子豪

梧州深燃天然气有限公司，广西 梧州 543002

[摘要]在现代能源供应系统中，天然气作为一种清洁、高效的能源资源，扮演着至关重要的角色。为了有效、安全地运输天然气，天然气管道工程的设计、建设和运营管理显得尤为关键。仪表自动化控制技术作为管道运行的智能化基础，对提升管道系统的安全性、稳定性和效率至关重要。仪表自动化控制技术的应用可以有效提升管道系统的管理和运行效率，降低人为操作风险，实现更精准的管道控制和监测。文章深入探讨仪表自动化控制技术及其未来趋势，为管道运营管理者、技术开发人员及决策者提供参考与指导，推动天然气管道工程的安全、高效运行。

[关键词]天然气管道；仪表自动化；智能监控；数据整合；自动控制

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13409 中图分类号: TM762 文献标识码: A

Analysis of Instrument Automation Control Technology in Natural Gas Pipeline Engineering

CUI Zihao

Wuzhou Shenran Natural Gas Co., Ltd., Wuzhou, Guangxi, 543002, China

Abstract: In modern energy supply systems, natural gas plays a crucial role as a clean and efficient energy resource. In order to effectively and safely transport natural gas, the design, construction, and operation management of natural gas pipeline projects are particularly crucial. As the intelligent foundation of pipeline operation, instrument automation control technology is crucial for improving the safety, stability, and efficiency of pipeline systems. The application of instrument automation control technology can effectively improve the management and operational efficiency of pipeline systems, reduce human operation risks, and achieve more accurate pipeline control and monitoring. The article delves into instrument automation control technology and its future trends, providing reference and guidance for pipeline operation managers, technical developers, and decision-makers, and promoting the safe and efficient operation of natural gas pipeline projects.

Keywords: natural gas pipeline; instrument automation; intelligent monitoring; data integration; automation control

引言

天然气管道工程的规模和复杂性日益增加，涉及的管道长度、运输能力和环境要求都在不断提高^[1]。传统的管道监测与控制方法已经难以满足现代高效能源管道的要求，如传统手动操作容易受到人为因素的影响，难以实现对复杂运行环境下的准确监测和实时响应，因此需要引入更先进的自动化技术来解决这些问题。

随着信息技术和自动化控制技术的飞速发展，仪表自动化控制技术在天然气管道工程中得到了广泛的应用和研究。这些技术包括智能化监控系统、数据整合与检测技术、自动控制和保护技术等。通过这些技术的应用，可实现对管道运行参数的实时监测和数据分析，预测管道运行状态，提前发现潜在问题并采取措施，从而有效预防和减少事故的发生，保障管道系统的安全运行。

1 仪表自动化控制技术概述

仪表自动化控制技术基于先进的电子、计算机和信息技术，通过各种传感器、执行器和控制系统的集成，实现对工业过程中各种参数和状态的实时监测、分析和控制。其核心在于其自动化和智能化的特性。传统的手动操作容易受到人为因素的影响，难以满足高效、精确的运行要求，

而自动化系统通过预设的控制策略和算法，能够实时地响应变化的环境条件和工艺需求，自动调节和优化系统运行状态，从而保证管道系统的稳定性和安全性。进一步而言，仪表自动化控制技术不仅限于简单的数据采集和监测，还涉及到数据的处理、分析和反馈。通过数据处理技术如数据挖掘、机器学习等，系统可以从海量数据中提取关键信息，进行故障诊断和预测，为运维人员提供决策支持和优化建议，最大程度地降低事故发生的可能性。在技术实施层面，仪表自动化控制技术通常由传感器、控制器、执行器和监控系统组成。传感器负责实时监测各种物理量，如温度传感器、压力传感器等。

2 天然气管道工程中仪表自动化控制的关键技术

2.1 智能化监控技术

智能化监控技术通过整合先进的传感器、数据处理和决策支持系统，实现对管道运行状态的实时监测、分析和预测，从而提升管道系统的安全性、稳定性和运行效率^[2]。首先，智能化监控技术依赖于高精度的传感器网络，可以实时、全面地监测天然气管道中的各种重要参数。如压力传感器可以监测管道内部的压力变化，流量传感器能够准确测量天然气的流动速率，温度传感器则负责监测管道内

部的温度分布，不仅能够在管道正常运行时提供数据支持，还能及时发现异常情况并报警，从而实现对管道系统的及时响应和控制。其次，智能化监控技术依托于先进的数据处理和分析技术。传感器所获取的海量数据需要经过数据采集、存储和处理，通过数据挖掘、机器学习等技术进行分析和模型建立，能够帮助运维人员深入理解管道系统的运行状态，预测潜在的故障和异常情况，为决策提供科学依据和技术支持。例如，基于历史数据和实时监测结果，系统可以通过模型识别出潜在的管道问题，预测设备的寿命和性能退化趋势，提前进行维护和优化，从而减少停机时间和损失。再次，智能化监控技术还包括了现代化的监控与决策支持系统。这些系统通过人机交互界面，将复杂的监测数据以图形化、可视化的形式展示给操作人员，使其能够快速理解管道系统的运行状况，并进行实时的操作和决策。监控系统可以提供报警、通知和建议，支持操作人员在紧急情况下迅速作出反应，调整运行参数或采取必要的措施，确保管道系统的安全和稳定运行。最后，智能化监控技术还推动了管道系统的远程监控和管理。借助互联网和通信技术的进步，管道运维人员可以远程访问监控系统，实时监测和控制管道运行状态，进行远程诊断和操作。这种远程管理模式不仅提高了工作效率，还降低了人员的操作风险，特别是对于那些跨越广阔地域的长输管道而言，具有显著的操作便利性和经济效益。

2.2 数据整合与检测技术

数据整合与检测技术在天然气管道工程中扮演着至关重要的角色，涵盖了数据采集、传输、存储、处理和分析等多个关键环节，为管道运行的安全性、稳定性和效率提升提供了重要支持^[3]。其一，数据整合技术是指将来自各个部件和传感器的数据进行有效集成和统一管理的能力。天然气管道系统通常涵盖数千甚至数万公里，分布于各种地形和环境条件下，因此需要大规模的数据采集和处理。数据整合技术通过采用现代化的通信网络和数据传输技术，实现对各个关键点的实时数据采集和传输，确保数据的即时性和完整性，包括管道内部的压力、温度、流量、液位等多种参数，通过整合，使得运维人员可以在一个统一的平台上查看和分析管道系统的运行状态。其二，数据检测技术是指利用先进的数据处理和分析方法，对采集到的数据进行有效的质量控制、异常检测和故障诊断。在天然气管道运行中，数据的准确性和可靠性对系统安全至关重要。数据检测技术通过实时监测和分析，能够及时发现数据中的异常情况或错误，如传感器失效、数据丢失或异常波动，从而提前预警并采取必要的措施，不仅有助于避免因错误数据而导致的误判或安全隐患，还能够提高管道系统的可靠性和运行效率。其三，通过建立复杂的数据分析模型和算法，系统能够对大量的实时数据进行高效处理和分析，提取有价值的信息和趋势，为运维决策提供科学

依据。如利用历史数据和实时监测结果，系统可以进行数据模式识别和异常检测，预测管道系统的潜在问题并及时应对，从而提高运行的稳定性和安全性。其四，随着物联网技术的发展，数据整合与检测技术还促进了管道系统的远程监控和智能化管理。运维人员可以通过远程接入系统，实时监测管道运行状态，并进行远程诊断和控制。这种远程管理模式不仅提高了工作效率，减少了人员的操作风险，还能够快速响应突发事件，保障管道系统的持续稳定运行。

2.3 自动控制和保护技术

自动控制和保护技术在天然气管道工程中的应用至关重要，通过高度智能化的系统和设备，有效监控和管理管道系统的运行，确保其安全、稳定和高效运行。首先，自动控制技术是指利用先进的控制理论和设备，对管道运行过程中的关键参数进行实时监测、分析和调节的能力。在天然气管道系统中，流量、压力、温度等参数的稳定性对于运行安全至关重要。自动控制系统通常采用 PID（比例-积分-微分）控制器等算法，根据传感器采集的数据进行实时反馈和调整。其次，自动保护技术则是通过设置多层次的安全措施和应急响应系统，预防和应对管道系统可能出现的各类故障和危险情况。管道系统的自动保护装置包括但不限于压力传感器、液位传感器、泄漏探测器等，这些设备能够实时监测管道的运行状态，一旦发现异常情况如压力突增、泄漏等，立即触发报警系统并采取相应的保护措施。

实际应用中，自动控制和保护技术通常通过集成的 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统来实现全面的管道监控和管理。SCADA 系统通过远程传感器网络和数据采集系统，实时收集和传输管道运行数据，并将其显示在操作人员的控制界面上。运维人员可以通过 SCADA 系统监视管道的运行状态，远程控制设备的操作，及时响应和处理各类异常情况^[4]。例如，在大规模管道系统中，SCADA 系统的应用不仅提高了管道运行的实时性和响应速度，还降低了运维成本和人力投入，是管道工程自动化管理的重要保障。此外，随着物联网技术和人工智能的发展，管道系统的自动控制和保护技术正逐步向智能化、自主化方向演进。智能控制系统能够通过学习算法和数据分析，优化管道运行策略，并预测潜在的问题和故障，提前进行预防性维护和优化调整，进一步提高管道系统的安全性和效率。这种技术的不断进步和应用，为现代天然气管道工程的发展和运营管理带来了新的机遇和挑战。

3 天然气管道工程中仪表自动化控制技术的发展方向

3.1 智能与现代控制技术的深度融合

随着信息技术和自动化技术的快速发展，智能化控制系统正成为管道工程的关键趋势。智能与现代控制技术的融合不仅仅提高了管道系统的运行效率和安全性，还推动

了管道工程向更加智能化和可持续的方向发展^[5]。

一是通过大数据分析，智能控制系统能够从海量数据中提取有价值的信息和模式，用于优化管道系统的运行策略和预测未来的运行趋势。如利用历史数据和实时监测结果，建立预测模型，预测管道内部的压力、温度等参数的变化趋势，从而提前调整运行策略，避免潜在的安全风险。二是智能控制技术还包括机器学习和深度学习算法的应用。通过对数据进行持续学习和优化，逐步提升系统的自主调节能力和智能化水平。三是通过集成先进的传感器技术和互联网通信技术，智能控制系统能够实现远程监控和操作管道系统。运维人员可以通过云平台或移动设备远程访问管道系统的实时数据和状态，及时调整设备参数或处理紧急事件，大大提升了管道运维的灵活性和效率。在实际应用中，智能控制技术已经在天然气管道工程中取得了显著的进展和成果，如智能传感器网络的应用使得对管道内部各个节点的实时监测和数据采集变得更加高效和精确，使得管道运行过程中的能源消耗降低、生产效率提高，从而节约成本并减少环境影响。

3.2 传感器技术的日趋完善

传感器作为自动化控制系统的关键组成部分，负责实时监测管道内部的各种物理量，如压力、温度、流量、液位等，其性能和精度直接影响到管道运行的安全性和效率。首先，传感器技术的完善体现在其精度和可靠性的不断提升。随着微电子技术和材料科学的进步，传感器的制造工艺和材料选择得到了极大的改进，使得传感器能够在更宽的工作温度范围内稳定工作，同时具备更高的抗干扰能力和长期稳定性。其次，传感器技术的进步还表现在其多样化和多功能化上。现代传感器不仅能够单一测量某一物理量，还能够集成多种测量功能，实现多参数同时监测。另外，无线传感器网络（WSN）技术的发展也为天然气管道工程中的传感器应用带来了革命性的变化。传统的有线传感器系统通常需要复杂的布线和设备连接，限制了监测点的布置和数据采集的灵活性。而无线传感器网络通过无需布线的方式，将传感器节点通过无线通信技术连接到中央控制系统，实现了对管道系统更广泛、更密集的监测覆盖。这种方式不仅简化了管道系统的布置和维护，还大大提高了数据的实时性和全面性，有助于及时发现和应对潜在的管道运行问题。最后，随着物联网技术的发展，传感器技术还在逐步向智能化和自主化方向演进。智能传感器不仅能够实时监测和传输数据，还能够通过内置的处理器和算法对数据进行分析和处理，实现数据

的本地处理和智能决策。

3.3 人机界面技术与调节器的智能化

第一，人机界面技术的发展在于其对用户体验和操作界面的优化。现代的人机界面技术则通过图形化界面、触摸屏技术、虚拟现实等手段，将复杂的管道运行数据和控制功能直观地展示给操作人员。如通过图形化的管道示意图和实时数据显示，操作人员可以一目了然地了解各个管段的运行状态、参数变化及异常警报，快速做出相应的调整和决策，大大提升了管道系统的操作效率和安全性。第二，人机界面技术的智能化也在逐步增强管道运维的智能化水平。现代人机界面不仅仅是数据的展示和操作的工具，更具备了数据分析和决策支持的功能。通过集成数据分析算法和人工智能技术，人机界面可以对历史数据进行深入分析，预测管道系统可能出现的问题和风险，提供实时的建议和优化方案。第三，智能化的调节器技术也是管道工程中的关键发展方向之一。调节器作为管道系统中控制阀门、泵站等设备的核心部件，其性能和精确度直接影响到管道的流量控制和压力管理。随着传感器技术和控制算法的进步，现代调节器不仅能够实现高精度的开关控制，还能够根据实时采集的数据自动调整工作参数，实现流量、压力等参数的精确调节和稳定控制。

4 结束语

随着科技的不断进步和应用需求的增加，天然气管道工程中的仪表自动化控制技术将迎来更广阔的发展空间。未来的研究和实践将更加注重技术创新和系统集成，以应对复杂多变的管道运行环境，提升管道运输效率和安全性。

【参考文献】

- [1] 李海. 天然气管道工程中的仪表自动化控制技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023(11): 040.
- [2] 王天宇. 天然气管道工程中电气仪表的自动化控制技术研究 [J]. 造纸装备及材料, 2022, 51(7): 123-125.
- [3] 季凯. 电气工程自动化中仪表测控技术的应用研究 [J]. 机械与电子控制工程, 2023(12): 35-36.
- [4] 廖凯, 李幸橙, 黄杉. 石油化工仪表中的自动化控制技术探讨 [J]. 工程技术(文摘版), 2020(11): 29.
- [5] 顾鹤麟. 天然气管道工程中仪表自动化技术的应用分析 [J]. 石油石化物资采购, 2024(1): 88-90.

作者简介：崔子豪（1993.10—），毕业院校：桂林电子科技大学信息科技学院，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位名称：梧州深燃天然气有限公司，就职单位职务：职员，职称级别：初级。

人工智能技术在电子工程自动化控制中的应用探讨

赵永波

察右前旗融媒体中心，内蒙古 乌兰察布 012200

[摘要]随着科技的迅猛发展，人工智能（AI）技术已经成为现代工业和科技领域的重要驱动力。AI 技术不仅涵盖了计算机视觉、自然语言处理、机器学习和神经网络等多个方面，还在各个行业中展现出广泛的应用潜力。在电子工程自动化控制领域，AI 技术的应用尤为引人注目。它通过提高系统的智能化和自动化水平，大幅提升了生产效率、优化了资源配置，并显著提高了产品质量和可靠性。文中将探讨人工智能技术在电子工程自动化控制中的具体应用，分析其在生产路径分析、命令调节、产品优化、电气设备设计及故障处理等方面的优势和要点，旨在为相关领域的研究和实践提供参考和指导。

[关键词]人工智能；电子工程自动化控制；信息技术；应用策略

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13416 中图分类号: TP18 文献标识码: A

Application Exploration on Artificial Intelligence Technology in Electronic Engineering Automation Control

ZHAO Yongbo

Chahar Right Front Banner Integrated Media Center, Ulanqab, Inner Mongolia, 012200, China

Abstract: With the rapid development of technology, artificial intelligence (AI) technology has become an important driving force in modern industry and technology fields. AI technology not only covers multiple aspects such as computer vision, natural language processing, machine learning, and neural networks, but also demonstrates extensive application potential in various industries. In the field of electronic engineering automation control, the application of AI technology is particularly noteworthy. It significantly improves production efficiency, optimizes resource allocation, and significantly enhances product quality and reliability by enhancing the intelligence and automation level of the system. The article will explore the specific application of artificial intelligence technology in electronic engineering automation control, analyze its advantages and key points in production path analysis, command regulation, product optimization, electrical equipment design, and fault handling, aiming to provide reference and guidance for research and practice in related fields.

Keywords: artificial intelligence; electronic engineering automation control; information technology; application strategy

引言

电子工程自动化控制系统是现代工业生产的核心，其性能直接影响到生产效率、产品质量和企业竞争力。然而，传统的自动化控制系统在面对复杂多变的生产环境和日益增长的智能化需求时，显得力不从心。人工智能技术的引入，为解决这一问题提供了新的思路和方法。通过 AI 技术，可以实现系统的自适应和自学习能力，提升系统在复杂环境下的响应速度和精度。同时，随着大数据技术的发展和计算能力的提升，AI 技术的应用范围和深度不断扩大，尤其在实时监控、智能决策和优化控制等方面表现出色。因此，探讨人工智能技术在电子工程自动化控制中的应用，具有重要的理论意义和实际价值。

1 人工智能技术概述

人工智能（Artificial Intelligence, AI）是计算机科学的一个分支，致力于创建能够执行通常需要人类智能才能完成的任务的计算机系统。其核心在于模拟和扩展人类智能，包括感知、推理、学习和行动的能力，涵盖多个子领域，如机器学习、神经网络、自然语言处理、计算

机视觉和专家系统等。机器学习是 AI 的一个重要分支，通过算法让计算机从数据中学习和做出决策，而无需明确编程指令。机器学习方法包括监督学习、无监督学习和强化学习。监督学习利用带标签的数据进行训练，从而在新数据上做出预测；无监督学习则在没有标签的数据中发现隐藏的模式；强化学习则通过与环境互动来优化决策策略。神经网络是一种模仿人脑结构和功能的计算模型，通过连接众多的“神经元”来处理复杂的数据和模式识别问题。深度学习是神经网络的一个分支，利用多层网络结构，可以在图像识别、语音识别等复杂任务中表现出色。自然语言处理（NLP）使计算机能够理解和生成人类语言，实现语音识别、机器翻译、情感分析等应用。NLP 结合了语言学和计算机科学，使用机器学习技术来解析和生成语言。计算机视觉是使机器能够通过视觉理解世界的技术，包括图像和视频的识别与处理^[1]。计算机视觉算法可以应用于面部识别、物体检测和自动驾驶等领域。专家系统则是模拟人类专家解决特定领域问题的系统，通常基于知识库和推理机制，用于诊断、规划和决策支持。

2 人工智能技术的应用优势

2.1 提高生产效率

传统生产过程依赖大量人力，容易出现人为错误，AI 技术通过自动化生产线和智能控制系统，能够实现 24 小时连续运行，大幅提高生产效率。例如，在制造业中，AI 驱动的机器人可以快速、准确地完成装配任务，减少人为操作的时间和错误率。通过机器学习算法，AI 系统可以预测需求变化，优化库存管理，减少库存积压和缺货情况。自动化仓储系统和智能配送系统能够快速处理订单，提高交付速度和准确性。

2.2 优化资源配置

传统资源配置方式往往依赖于经验和静态规则，AI 技术通过数据驱动的方法，可以动态调整资源配置，确保资源的高效利用。例如，在能源管理中，AI 系统可以实时监测和分析能源消耗情况，优化能源分配，减少浪费。在制造业中，AI 技术可以优化生产排程和设备利用率，通过分析生产数据和设备状态，AI 系统可以制定最优的生产计划，避免设备空闲和资源浪费。同时，AI 可以预测设备的维护需求，提前安排维护计划，减少设备故障和停机时间，提高设备的利用率，还显著降低了生产成本，为企业带来了可观的经济效益和竞争优势。

2.3 提高产品质量

传统的质量控制方法主要依赖于人工检测和经验判断，AI 技术通过机器学习和计算机视觉等手段，实现了自动化、精确的质量检测和控制。例如，在制造业中，AI 系统可以通过图像识别技术，对产品进行实时监控和检测，发现微小的缺陷和异常情况。通过机器学习算法，AI 系统可以不断优化检测模型，提高检测的准确性和效率，确保产品质量的稳定性和一致性。此外，AI 技术还可以用于生产过程的监控和优化，通过对生产参数的实时监测和分析，及时发现和纠正生产中的问题^[2]。例如，在食品加工行业，AI 可以监测温度、湿度、压力等关键参数，确保生产环境的稳定，避免产品质量受环境变化影响。总之，AI 技术通过智能化的质量控制和生产优化手段，有效提高了产品的质量和可靠性，增强了企业的市场竞争力。

2.4 降低生产成本

传统生产过程中的高人力成本、资源浪费和低效率，AI 技术通过自动化和智能化手段，可以有效降低这些成本。例如，通过应用机器人和自动化设备，可以减少对人工的依赖，降低人力成本，提高生产安全性，还可以 24 小时不间断工作，提高生产效率。在资源利用方面，AI 技术通过大数据分析和优化算法，可以最大化资源利用率，减少浪费。比如，在制造过程中，AI 系统可以优化原材料的使用，减少废料产生。通过对生产过程中的能耗数据进行分析，AI 可以提出节能方案，减少能源消耗，降低生产成本。总之，人工智能技术通过自动化、优化和智能化的手段，大幅降低了生产成本，为企业带来了显著的经济效益。

3 人工智能技术的应用要点

3.1 人工智能技术的合理选择

不同的 AI 技术在处理不同类型的问题上有其独特的优势和适用范围。选择合适的 AI 技术需要综合考虑问题的性质、数据特征、应用场景和系统要求。在图像处理领域，深度学习尤其是卷积神经网络（CNN）表现出色，适合于图像分类、物体检测和图像分割等任务；在自然语言处理（NLP）领域，基于 Transformer 的模型如 BERT 和 GPT 系列在文本理解和生成方面具有显著优势。如果应用涉及时间序列数据分析，如预测和异常检测，则循环神经网络（RNN）或其改进版本（如 LSTM 和 GRU）可能是更好的选择。数据量、数据质量和数据类型直接影响 AI 模型的选择和效果。例如，深度学习模型通常需要大量高质量的数据进行训练，而传统的机器学习算法如决策树和支持向量机（SVM）在数据量较小的情况下也能取得良好效果。深度学习模型通常需要高性能计算资源，如 GPU 或 TPU 支持。如果计算资源有限，选择较轻量级的机器学习算法或预训练模型可能更为合理。同时，还需考虑模型的实时性要求。例如，实时决策系统需要选择能够快速推理和响应的模型，而批处理任务则可以选择计算复杂但精度高的模型。总之，合理选择人工智能技术需要全面评估应用需求、数据特征、计算资源和系统要求，确保所选技术能够高效、准确地解决实际问题，实现最佳应用效果。

3.2 人工智能的合理应用

高质量的数据是训练高性能 AI 模型的关键。数据管理包括数据采集、数据清洗、数据标注和数据存储等环节。在数据采集过程中，应确保数据来源可靠，数据样本具有代表性。在数据清洗过程中，需要处理缺失值、噪声和异常值，确保数据的准确性和一致性。在数据标注过程中，应采用科学的标注方法和工具，确保标注结果的精确性。将 AI 模型集成到现有系统中，需要考虑系统的架构、接口和性能要求。应采用模块化的设计思想，将 AI 功能模块与现有系统进行松耦合，确保系统的灵活性和可扩展性。在接口设计上，应采用标准化的接口协议，确保数据的高效传输和处理。在性能优化上，应充分利用硬件加速技术和分布式计算架构，提高系统的处理速度和响应能力。AI 技术和应用环境都在不断变化，需要持续优化和改进。应建立完善的监控和反馈机制，实时监测系统的运行状态和性能指标，及时发现和解决问题。通过不断的数据更新和模型再训练，确保 AI 系统能够适应新的应用需求和环境变化。此外，还应关注 AI 技术的发展趋势和最新成果，及时引入先进技术和方法，不断提升系统的智能化水平。总之，合理应用人工智能技术需要科学的数据管理、有效的系统集成和持续的优化改进，确保 AI 技术在实际应用中发挥最大效益，实现预期目标。

4 人工智能技术在电子工程自动化控制中的具体应用

4.1 在分析生产路径、电子工程设备生产中的应用

在电子工程设备生产中，分析生产路径和优化生产流程

是提高效率和降低成本的重要手段。人工智能技术通过数据驱动的方法，可以对生产路径进行全面分析和优化。例如，使用机器学习算法可以分析历史生产数据，识别出影响生产效率的关键因素，从而优化生产流程，减少瓶颈和停滞时间。通过对生产数据进行实时监测和分析，AI 系统可以预测生产过程中可能出现的问题，如设备故障或原材料短缺，并提前采取措施。比如，利用时间序列分析和预测模型，AI 系统可以预测设备的维护需求，避免突发故障对生产造成影响。同时，通过智能排程和调度算法，AI 系统可以动态调整生产计划，提高生产线的柔性和响应能力，确保生产的连续性和稳定性。总之，人工智能技术在分析生产路径和优化生产流程方面具有显著优势，通过数据驱动的方法提高生产效率，减少资源浪费，为企业带来显著的经济效益和竞争优势。

4.2 在完善命令调节中的应用

人工智能技术在完善命令调节方面具有独特的优势，通过智能算法和优化技术，可以实现精确、高效的命令控制。AI 技术在实时控制和调节中，通过使用深度学习和强化学习算法，AI 系统可以学习并适应复杂的控制环境，自动调整控制参数，实现最优控制效果。例如，在复杂工业生产过程中，AI 系统可以通过实时监测生产参数（如温度、压力、流量等），动态调整控制命令，确保生产过程的稳定和高效。强化学习算法通过与环境的互动，不断优化控制策略，使系统能够在不同工况下保持最佳运行状态。AI 技术通过机器学习算法对历史数据的分析和建模，AI 系统可以预测未来的系统状态和需求变化，从而提前调整控制命令，避免突发情况对系统运行的影响。例如，在电力系统中，AI 可以预测电力需求变化，提前调整发电和输电计划，确保电力供应的稳定和可靠。总之，人工智能技术在完善命令调节中的应用，通过智能算法和优化技术，实现了精确、高效的命令控制，提高了系统的运行效率和稳定性，增强了系统的自适应和抗干扰能力。

4.3 在产品优化中的应用

人工智能技术在产品优化过程中发挥了重要作用，通过智能化的分析和优化算法，实现产品设计和制造的全面优化。利用计算机仿真和优化算法，AI 可以在产品设计阶段对不同设计方案进行评估和优化。例如，利用遗传算法和神经网络，AI 系统可以探索产品设计空间，找出性能最优的设计方案。通过多目标优化算法，AI 系统可以在多个设计目标（如成本、性能、可靠性）之间找到最佳平衡点，提高产品的综合性能。此外，AI 还可以通过有限元分析和仿真技术，对产品的力学性能、热性能等进行详细分析，优化产品结构，提高产品质量。通过对制造过程数据的实时监测和分析，AI 系统可以发现制造过程中问题并提出优化方案^[3]。例如，利用机器学习算法，AI 系统可以识别生产过程中的异常情况，如设备故障或质量问题，及时调整生产参数，确保产品质量的稳定性和一致性。通过优化生产工艺和流程，AI 系统可以提高生产效

率，减少资源浪费和生产成本。

4.4 优化电气设备前期的设计工作

人工智能技术在优化电气设备前期设计方面具有显著优势，通过智能化的设计和优化工具，提高设计效率和质量。通过智能算法和优化工具，设计人员可以快速生成和评估多个设计方案。例如，利用生成对抗网络（GAN）和遗传算法，AI 系统可以在设计空间中探索不同的设计方案，并对其进行性能评估，选择最优方案。此外，AI 技术还可以帮助设计人员进行创新设计，通过对大量设计数据的分析，发现新的设计思路和方法，提高设计创新性和独特性。通过仿真和优化技术，AI 系统可以对设计方案进行详细的性能分析和优化。例如，利用有限元分析和多物理场仿真，AI 系统可以对电气设备的热性能、机械性能和电磁性能进行详细分析，发现设计中的问题并提出优化方案。

4.5 运用人工智能技术完成电气自动化系统的故障处理

人工智能技术在故障诊断和处理方面具有显著优势，通过智能化的监测和分析手段，提高故障处理的效率和准确性。AI 通过机器学习和深度学习算法，AI 系统可以对设备运行数据进行实时监测和分析，及时发现潜在的故障问题。例如，利用时间序列分析和异常检测算法，AI 系统可以识别设备运行中的异常状态，提前预警可能的故障。通过专家系统和智能决策算法，AI 可以根据故障诊断结果，自动生成故障处理方案。例如，在电力系统中，AI 系统可以根据故障类型和位置，自动选择最优的故障隔离和恢复方案，确保系统的快速恢复和稳定运行。此外，AI 技术还可以通过优化算法，提供最优的维修和更换方案，减少故障处理时间和成本。

5 结束语

人工智能技术在电子工程自动化控制中的应用，展现了其强大的创新能力和广泛的应用前景。通过对生产路径的优化分析、命令调节的精确控制、产品质量的持续提升以及电气设备设计和故障处理的智能化改进，AI 技术为提升工业生产效率和产品质量提供了新的动力。在当前全球科技迅速发展的背景下，AI 技术的不断进步和普及，将进一步推动电子工程自动化控制领域的革新。人工智能技术在电子工程自动化控制中的应用，不仅为提升生产效率和产品质量提供了强有力的技术支撑，也为行业的智能化转型带来了新的机遇和挑战。

【参考文献】

- [1] 乔燕. 人工智能技术在电子工程自动化控制系统中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(1): 212-213.
- [2] 辛牧原. 人工智能技术在电子信息工程自动化设计中的应用研究 [J]. 中国新通信, 2024, 26(5): 80-82.
- [3] 呼博钦. 智能技术在电子工程自动化控制中的应用 [J]. 数字传媒研究, 2024, 41(4): 38-39.

作者简介：赵永波（1981.11—），男，汉族，毕业学校：集宁师范学院，现工作单位：察右前旗融媒体中心。

人工智能在安全监控领域的应用与发展

陈伟

浙江省通信产业服务有限公司温州市分公司，浙江 温州 325000

[摘要]随着城市化进程和社会安全问题的复杂化，传统安全监控手段已逐渐显现出局限性。传统监控系统依赖于人工操作和有限的技术支持，难以应对复杂多变的安全挑战。因此，急需新技术解决方案，以提升监控系统的智能化水平和应对能力。人工智能的出现填补了这一空白，通过强大的数据处理和学习能力，使监控系统能够更精准地分析和预测安全事件，为社会安全提供更为可靠的保障。

[关键词]人工智能；安全监控；应用；发展

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13415

中图分类号：F830.2

文献标识码：A

Application and Development of Artificial Intelligence in the Field of Security Monitoring

CHEN Wei

Wenzhou Branch of Zhejiang Communication Industry Service Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: With the process of urbanization and the increasing complexity of social security issues, traditional security monitoring methods have gradually shown their limitations. Traditional monitoring systems rely on manual operation and limited technical support, making it difficult to cope with complex and ever-changing security challenges. Therefore, there is an urgent need for new technological solutions to enhance the intelligence and response capabilities of monitoring systems. The emergence of artificial intelligence fills this gap, enabling monitoring systems to analyze and predict security events more accurately through powerful data processing and learning capabilities, providing more reliable guarantees for social security.

Keywords: artificial intelligence; security monitoring; application; development

引言

随着社会的不断发展和科技的快速进步，安全监控在维护公共秩序和保障社会安全中扮演着日益重要的角色。传统的监控系统面临着效率低下和应对复杂安全挑战能力有限的问题。随着人工智能技术的兴起，特别是计算机视觉和机器学习的进步，安全监控领域正迎来了一场技术革新，使得监控系统不仅更智能化，而且更高效和精准。

1 人工智能在安全监控中的作用

人工智能在安全监控中扮演着至关重要的角色，其作用远不止于传统的视频监控。通过先进的深度学习和计算机视觉技术，人工智能能够实时分析监控视频，准确识别出各类目标与行为，如人员、车辆、物体等，甚至在复杂背景和低光条件下也能保持高效率。这种高级的识别能力不仅提升了监控系统的实时响应性，还大大降低了误报率，有效缩短了处理事件所需的响应时间。除了视频分析，人工智能在入侵检测与预防方面也展现了强大的潜力。通过智能算法的运用，监控系统能够快速识别出异常行为并立即发出警报，如未经授权的区域进入或物体移动，从而增强了安全防护的能力。此外，人脸识别与身份验证技术的发展使得监控系统能够准确识别特定个体，并与数据库进行实时比对，为安全管理提供了便捷和精确性的提升。

2 人工智能技术概述

人工智能技术涵盖了多种前沿领域，核心在于模仿和

超越人类智能以解决复杂问题，主要技术包括机器学习、深度学习和自然语言处理。机器学习通过算法训练模型，从海量数据中提取规律并进行预测和决策，广泛应用于图像识别、语音识别和数据分析等领域。深度学习则进一步模拟人脑神经网络结构，尤其擅长处理高维数据，如图像和视频能够实现自动特征提取和高精度分类。此外，自然语言处理（NLP）使计算机能够理解和生成人类语言，应用于语音助手、自动翻译和文本分析等场景。人工智能的另一重要方面是计算机视觉，利用图像和视频分析技术进行目标检测、物体识别和场景理解。强化学习作为人工智能的一种，特别适用于动态环境中的决策和优化问题，如无人驾驶和机器人控制。这些技术的融合与发展，使得人工智能能够在各个领域中实现自动化和智能化，显著提升了生产力和效率，同时也带来了新的挑战与机遇。人工智能不仅改变了传统行业的运作方式，还在不断推动新兴领域的发展与创新。

3 人工智能在安全监控领域的应用

3.1 监控视频分析与识别技术

监控视频分析与识别技术是人工智能在安全监控领域的核心应用之一。借助深度学习和计算机视觉算法，监控系统能够对实时视频流进行高效分析，自动识别并分类视频中的各种对象和行为。例如，通过卷积神经网络（CNN），系统可以精确地检测和识别人物、车辆、包裹等目标，即

使在复杂的环境中也能保持高准确度。此外，行为分析技术使系统能够识别异常行为，如奔跑、打架或遗弃物体，从而及时发出警报^[1]。先进的目标跟踪算法使得系统能够在拥挤或动态变化的场景中持续监控特定目标，确保不丢失重要的监控信息。除此之外，视频摘要技术可以将长时间的视频内容浓缩成几分钟的关键片段，方便安保人员快速回顾和分析。这些技术的应用显著提升了监控系统的智能化和自动化水平，不仅减少了对人力的依赖，也极大地提高了事件响应的速度和准确性，从而增强了公共和私人场所的安全防护能力。

3.2 入侵检测与预防

入侵检测与预防是人工智能在安全监控领域的重要应用，通过智能算法和传感器技术实现对潜在威胁的实时监测和预防。利用机器学习和深度学习模型，系统可以分析环境中的各种信号和活动，识别异常行为和未经授权的进入。例如，基于视频监控的入侵检测系统可以通过模式识别算法检测异常移动、非法闯入或篡改监控设备等行为，并立即触发警报。此外，智能入侵检测系统可以结合多种传感器，如红外、声音、振动等，形成多层次的监控网络，进一步提高检测的精度和可靠性。通过大数据分析，系统能够学习和适应不同环境下的正常行为模式，从而更准确地识别出异常活动减少误报率。预防措施不仅包括及时发出警报，还可以触发一系列自动响应措施，如锁定门禁系统、启动录像、发送警报信息给相关安保人员等。这种主动预防能力大大增强了安全监控系统的防护效果，确保在威胁发生的第一时间采取有效措施，保障人身和财产安全。通过不断的技术进步，人工智能在入侵检测与预防领域将继续发挥越来越重要的作用。

3.3 人脸识别与身份验证

人脸识别与身份验证是人工智能在安全监控领域的关键应用，通过利用深度学习和计算机视觉技术，系统能够在实时视频流或静态图像中准确识别和验证个人身份。人脸识别技术依赖于面部特征点的检测与分析，通过提取面部特征数据，将其与数据库中的已注册人员信息进行比对，从而实现快速准确的身份确认。这种技术在多个场景中得到了广泛应用，包括机场和车站的安检、企业和学校的门禁系统、金融机构的身份验证等。相比传统的身份验证方式，人脸识别具有无接触、速度快、准确率高等优势，显著提升了安全性和用户体验。此外，先进的人脸识别系统能够处理各种复杂的场景，例如光照变化、部分遮挡和面部表情变化等，依然保持高精度的识别能力。通过结合活体检测技术，系统可以有效防止照片、视频等伪造手段的欺骗，提高了安全监控的可靠性。人脸识别与身份验证技术不仅在事前预防和实时监控中发挥重要作用，还在事后追踪和调查中提供了重要线索，帮助安保人员快速锁定目标，提升了整体安全管理的效率和效果。随着技术的不

断进步和应用的日益广泛，人脸识别与身份验证将在未来安全监控领域中扮演更加重要的角色。

3.4 行为识别与异常检测

行为识别与异常检测是人工智能在安全监控领域的高级应用，通过分析视频流中的人类行为模式，系统能够自动识别并判断正常和异常行为。利用深度学习和计算机视觉技术，行为识别系统能够从视频中提取运动轨迹、姿态变化等特征，分析人物行为，如行走、奔跑、打斗、徘徊等。异常检测则进一步通过对行为模式的学习和分析，识别出偏离正常模式的活动。例如，在公共场所的监控中，系统可以识别出突然的奔跑、长时间的徘徊或未授权的聚集等行为，并即时发出警报，提示安保人员采取必要措施。这种技术尤其适用于高风险区域，如机场、地铁站、银行和大型活动场所，有效预防和应对潜在的安全威胁。结合大数据和云计算技术，行为识别与异常检测系统能够不断自我学习和优化，适应不同场景和环境，提高检测的准确性和效率。通过实时监控和智能分析，系统不仅能大幅降低误报率，还能提供详细的行为分析报告，帮助安保人员做出更精准的判断和决策。

4 人工智能在安全监控领域的发展

4.1 计算机视觉与图像识别技术的进步

计算机视觉与图像识别技术的进步是人工智能在安全监控领域发展的关键驱动力之一。这些技术的发展主要得益于深度学习算法的突破和大数据的广泛应用。通过卷积神经网络（CNN）等先进算法，计算机视觉系统能够在图像和视频中进行高效而准确的目标检测、分类和识别。这不仅大大提高了监控系统的智能化水平，还显著提升了其处理复杂场景的能力。例如，现代图像识别技术可以在拥挤和复杂的环境中精确认识人物、车辆和其他物体，甚至在低光或恶劣天气条件下也能保持高精度。对象跟踪技术的进步使得系统能够持续监控特定目标，防止丢失关键监控信息。动作识别技术的发展更是使得系统能够解读和判断视频中的人物行为，识别异常活动并及时发出警报。此外，三维重建和增强现实（AR）等技术的融合，使得监控系统能够提供更直观和详细的环境理解。例如，通过三维重建技术，安保人员可以获得现场的立体模型，进行全方位的监控和分析。图像识别技术还被应用于人脸识别和车牌识别等具体场景中，极大地提高了身份验证和追踪的效率。

4.2 智能分析与预测能力的提升

智能分析与预测能力的提升是人工智能在安全监控领域发展的重要方向之一。借助机器学习和深度学习算法，监控系统不仅能够实时分析大量视频数据，还能从中提取有价值的信息进行预测和预警。首先，智能分析技术使得监控系统能够自动识别和分类各种对象和行为，例如识别出特定的人员、车辆或物体，并跟踪它们的活动轨迹。这

种能力极大地提高了监控的精度和效率，减少了对人力的依赖^[2]。其次，通过大数据分析和机器学习算法，系统可以建立和更新行为模式库，从而更准确地识别异常行为。例如，系统可以通过学习正常行为模式，快速检测出异常事件，如非法入侵、遗弃物品或暴力行为，并及时发出警报。这种自学习能力使得系统能够不断优化和提高自身的检测准确性。此外，预测能力的提升使得监控系统不仅能对已发生的事件进行分析，还能对潜在威胁进行预测。例如，通过对历史数据的分析，系统可以预测出高风险区域或时间段，帮助安保人员提前部署力量，预防可能发生的安全事件。这种预测能力在公共安全、大型活动安保和关键设施保护等领域尤为重要。最后，智能分析与预测技术的提升还使得监控系统能够提供更全面的安全管理解决方案。例如，通过整合视频分析、行为识别、传感器数据和地理信息，系统可以提供实时的安全态势感知，帮助决策者快速做出反应和安排应对措施。

4.3 传感器技术与物联网的整合

传感器技术与物联网的整合是安全监控领域中的关键发展方向。通过将各种传感器（如摄像头、红外传感器、温度传感器、振动传感器等）集成到一个统一的物联网平台，监控系统能够实现多维数据的采集和分析。这些传感器不仅能捕捉高清图像、监测环境温度变化，还能在低光环境下工作或感知物理冲击。物联网技术确保传感器数据的实时传输和高效处理，系统可以迅速响应异常情况并执行预设的安全应对措施。此外，传感器网络的协同工作能力提高了监控系统的准确性和可靠性，为安全管理提供了全面的支持和保障。

4.4 人机协同与智能决策系统

人机协同与智能决策系统是人工智能在安全监控领域发展的前沿方向，通过结合人类的判断力和机器的计算能力，显著提升了监控系统的效率和精准度。人机协同模式不仅利用人工智能技术进行数据处理和初步分析，还保留了人类在复杂情境中的决策能力，形成了高效的协同工作体系^[3]。首先，人机协同在安全监控中的应用体现在实时监控和响应上，人工智能系统能够全天候、不间断地分析监控视频和传感器数据，迅速识别出潜在的安全威胁并发出警报。在系统发出警报后，人类安保人员可以介入，对机器识别的事件进行进一步评估和确认。这种协同工作模式减少了误报率，提高了事件处理的准确性和响应速度。智能决策系统在这一过程中扮演了重要角色，通过综合分析来自不同传感器和数据源的信息，系统能够提供全面的

态势感知。例如，当监控系统检测到异常行为时，智能决策系统可以结合历史数据和环境信息，评估事件的严重性和可能的后果，从而建议最合适的应对措施。这种基于数据驱动的决策支持，使得安保人员能够在短时间内做出最优决策，减少了响应时间和人力成本。此外，人机协同与智能决策系统还在事后分析和反思中发挥重要作用。通过对事件数据的回顾和分析，系统能够发现潜在的安全隐患和改进空间，帮助组织优化安全策略和措施。例如，系统可以分析不同类型事件的发生频率和分布，识别高风险区域和时间段，从而指导未来的安保部署和资源分配。人机协同还促进了不断的系统学习和优化。人工智能系统可以通过与人类的交互，不断学习和改进自身的识别和判断能力。每一次的协同工作和决策反馈，都为系统的算法改进和性能提升提供了宝贵的数据和经验。

5 结语

在安全监控领域，人工智能的应用正在以前所未有的速度和深度改变着我们对安全管理的理解和实施方式。从监控视频分析到入侵检测、人脸识别、行为识别，再到智能预测和决策系统的整合，人工智能技术不仅提升了监控系统的精准性和效率，也为安全领域带来了新的可能性和解决方案。随着计算机视觉和图像识别技术的进步，监控系统能够更清晰地捕捉和分析环境中的细微变化；智能分析和预测能力的提升使得我们能够预见和预防潜在的安全威胁；而人机协同与智能决策系统的结合，则为快速响应和有效管理安全事件提供了关键支持。未来，随着技术的不断创新和应用场景的扩展，人工智能在安全监控领域的作用将继续深化和拓展。这不仅仅是技术进步，更是对社会安全、公共管理和个人权益保护共同努力的体现。通过持续的研究和实践，我们有信心在不断提升安全水平的同时，保障个人和社会的和谐与安宁。

【参考文献】

- [1] 张化龙. 人工智能在安全监控领域的应用与发展 [J]. 中国信息界, 2024(1): 235-238.
- [2] 刘洋. 基于人工智能的网络安全监控方法及系统 [J]. 信息记录材料, 2023, 24(9): 59-61.
- [3] 高荣翔. 煤矿安全监控数据智能分析与处理技术研究 [D]. 山东: 山东科技大学, 2020.

作者简介：陈伟（1972.3—），男，毕业院校：北京理工大学，所学专业计算机科学与技术，当前就职单位：浙江省通信产业服务有限公司温州市分公司，职务：部门副经理，职称级别：工程师。

大数据技术在智慧城市规划建设中的应用探索与研究

秦楠

潍坊经济开发区自然资源和规划服务中心，山东 潍坊 261057

[摘要]智慧城市的核心在于“智慧”，即通过数据驱动的决策支持系统，使城市运行更加高效、智能。大数据技术能够处理和分析海量的城市数据，包括交通流量、能源消耗、环境监测、公共安全等多个方面，从而为城市规划和管理提供科学依据。通过对这些数据的深入挖掘和分析，可以揭示城市运行的规律和趋势，预测未来的发展需求，为城市规划提供前瞻性的指导。基于此，本篇文章对大数据技术在智慧城市规划建设中的应用进行研究，以供参考。

[关键词]大数据技术；智慧城市规划建设；应用策略

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13410

中图分类号: TP311.13

文献标识码: A

Exploration and Research on the Application of Big Data Technology in Smart City Planning and Construction

QIN Nan

Weifang Economic Development Zone Natural Resources and Planning Service Center, Weifang, Shandong, 261057, China

Abstract: The core of a smart city lies in "intelligence", which means that through data-driven decision support systems, cities can operate more efficiently and intelligently. Big data technology can process and analyze massive amounts of urban data, including traffic flow, energy consumption, environmental monitoring, public safety, and other aspects, providing scientific basis for urban planning and management. Through in-depth mining and analysis of these data, the laws and trends of urban operation can be revealed, future development needs can be predicted, and forward-looking guidance can be provided for urban planning. Based on this, this article studies the application of big data technology in smart city planning and construction for reference.

Keywords: big data technology; smart city planning and construction; application strategy

引言

信息技术的飞速发展，大数据技术已经成为推动社会进步和经济发展的重要力量。在智慧城市规划建设中，大数据技术的应用不仅能够提升城市管理的效率和质量，还能够为居民提供更加便捷、舒适的生活环境。智慧城市，作为未来城市发展的新模式，其核心在于利用先进的信息技术实现城市资源的优化配置和城市功能的智能化。大数据技术，以其强大的数据处理能力和分析预测能力，为智慧城市的规划与建设提供了强有力的技术支撑。

1 大数据技术在智慧城市规划建设中的应用优势

1.1 数据驱动的决策支持

数据驱动的决策支持是一种基于数据分析和解释的决策方法，它强调在决策过程中使用数据作为主要依据，以提高决策的科学性、准确性和效率。数据驱动的决策避免了传统决策中可能存在的主观臆断，使得决策更加客观和公正。通过实时数据收集和分析，决策者可以迅速获取最新的城市运行信息，及时做出反应。大数据分析技术可以揭示数据背后的模式和趋势，帮助决策者预测未来发展，提前做好规划和准备。数据驱动的决策支持可以实现对城市各个方面的精细化管理，从宏观到微观，从整体到局部，都能够进行精确控制和优化。数据驱动的决策支持可以促进不同部门和机构之间的信息共享和协同工作，提高城市

管理的整体效率。数据驱动的决策过程可以被记录和追溯，有助于评估决策的效果，并为未来的决策提供经验和教训。通过对居民行为数据的分析，可以为不同群体提供个性化的服务和政策，提高居民的满意度和幸福感^[1]。

1.2 优化资源配置

优化资源配置是指在有限的资源条件下，通过科学的方法和策略，使资源得到最合理、最有效的分配和利用，以达到最佳的经济效益、社会效益和环境效益。在智慧城市规划建设中，优化资源配置尤为重要，因为它直接关系到城市的可持续发展能力和居民的生活质量。利用大数据技术收集和分析城市运行中的各种数据，如交通流量、能源消耗、水资源使用等，以了解资源的使用现状和趋势，为资源配置提供科学依据。通过历史数据和趋势分析，预测未来资源需求，提前规划和调整资源配置，以满足城市发展和居民生活的需求。运用物联网、云计算等技术实现资源的实时监控和智能调度，如智能电网可以实时调整电力分配，智能交通系统可以优化交通流量。推广资源共享模式，如共享汽车、共享单车、共享办公空间等，减少资源闲置和浪费，提高资源利用率。鼓励使用节能环保技术和产品，如LED照明、节能建筑材料、清洁能源等，减少资源消耗和环境污染。通过制定和实施相关政策，如税收优惠、补贴政策、排放标准等，引导企业和居民合理使用

资源，促进资源优化配置。鼓励公众参与资源管理和决策过程，提高资源使用的透明度和公众的满意度^[2]。

1.3 提升城市运行效率

通过智能交通管理系统，实时监控交通流量，优化信号灯控制，提供实时交通信息，减少交通拥堵，提高道路使用效率。改进公共交通网络，增加班次频率，优化路线设计，提供实时公交信息，鼓励居民使用公共交通，减少私家车使用。利用智能电网技术，实现电力需求的实时监控和动态调整，提高能源使用效率，减少能源浪费。通过智能水表和漏水检测系统，实时监控水资源使用情况，及时发现和修复漏水点，提高水资源利用率。实施智能废物管理系统，通过传感器和数据分析，优化废物收集路线和时间，提高废物回收和处理的效率。推广电子政务，提供在线服务，如在线报税、电子医疗记录、数字图书馆等，提高公共服务的便捷性和效率。建立高效的应急响应系统，通过实时数据分析和通信技术，快速响应自然灾害、公共卫生事件等紧急情况，减少损失^[3]。

1.4 增强应急响应能力

增强应急响应能力是指通过建立和完善应急管理体系，提高城市在面对自然灾害、公共卫生事件、安全事故等紧急情况时的快速反应、有效处置和恢复能力。在智慧城市规划建设中，增强应急响应能力是保障城市安全、维护社会稳定的重要方面。制定全面的应急预案，明确各级政府、部门和机构的职责和任务，形成统一的应急指挥体系。利用物联网、大数据分析等技术，建立实时监控系统，对可能引发紧急情况的因素进行监测和预警。建立高效的信息传递机制，确保紧急情况发生时，相关信息能够迅速、准确地传达给决策者和公众。在紧急情况下，能够快速调配和整合人力、物资、设备等资源，确保应急响应的有效实施。加强不同部门和机构之间的协作，形成跨部门、跨区域的应急联动机制，提高整体响应效率。通过教育和培训，提高公众的应急意识和自救互救能力，减少紧急情况对公众生活的影响^[4]。

2 大数据技术在智慧城市规划建设中的应用原则

2.1 数据驱动决策

数据驱动决策是一种管理理念和实践方法，它强调在做出任何决策时，都应以数据分析为基础，而不是仅仅依赖直觉、经验或传统做法。在智慧城市规划建设中，数据驱动决策尤为重要，因为它可以帮助城市管理者更准确地理解城市运行状况，预测未来趋势，并制定有效的策略。需要收集来自不同来源的数据，包括传感器数据、社交媒体、公共记录、移动设备数据等。这些数据需要被整合，以便进行全面的分析。通过使用统计分析、机器学习、数据挖掘等技术，从数据中提取有价值的洞察，如交通模式、能源消耗趋势、环境变化等。建立决策支持系统，将数据分析的结果转化为可视化报告、仪表板和预测模型，帮助

决策者快速理解复杂的数据，并据此做出决策。利用实时数据监控城市运行状态，及时发现问题并调整策略。通过反馈机制，不断优化决策过程。通过历史数据和趋势分析，预测可能出现的问题和风险，提前制定应对措施^[5]。

2.2 开放性和共享性

开放性和共享性是大数据技术在智慧城市规划建设中应用的重要原则。这两个原则旨在促进数据资源的有效利用，加强不同部门和机构之间的协作，以及提高整个城市系统的透明度和效率。数据开放是指将政府和公共机构收集的数据向公众、企业和研究机构公开，以便于他们进行分析和利用。开放数据通常以标准化的格式提供，便于访问和处理。数据共享涉及不同组织之间交换和共享数据资源，以实现信息的最大化利用。这包括政府部门之间、政府与企业之间、企业与企业之间的数据共享。通过建立开放平台和提供应用程序接口，可以促进数据的流通和应用的开发。开发者可以利用这些 API 构建新的服务和应用，从而丰富智慧城市的功能。开放性和共享性鼓励跨部门和跨领域的协作，促进创新^[6]。

2.3 隐私保护和安全性

隐私保护和安全性是大数据技术在智慧城市规划建设中应用的关键原则。数据的广泛收集和使用，保护个人隐私和确保数据安全变得尤为重要。在收集和处理个人数据时，应采用匿名化和脱敏技术，以防止个人身份的直接识别。这包括删除或替换能够识别个人身份的信息。对数据进行分类，根据敏感程度设置不同的访问权限。只有经过授权的人员才能访问敏感数据，并且需要有严格的审计跟踪。使用加密技术保护数据在传输和存储过程中的安全，防止数据被未授权访问或篡改。遵守相关的隐私保护法规和标准，如欧盟的通用数据保护条例、中国的个人信息保护法等，确保数据处理活动合法合规。

2.4 透明度和可解释性

透明度和可解释性是智慧城市规划建设中大数据技术应用的重要原则。随着人工智能和机器学习等技术的广泛应用，确保技术的透明度和可解释性对于建立公众信任、促进有效决策和遵守法规要求至关重要。公开数据的来源、收集方法、处理流程和使用目的，让公众了解数据是如何被用于决策支持的。确保使用的算法和模型具有一定的可解释性，使得非技术背景的决策者和公众能够理解其工作原理和输出结果。在城市管理和服务中，公开决策过程，包括数据分析、模型预测和最终决策的依据，以增强决策的透明度。确保用户有权了解他们的数据如何被使用，以及他们的哪些数据被收集。用户应该有权访问、更正和删除自己的数据。通过教育和沟通活动，提高公众对数据和技术应用的理解，增强他们对智慧城市项目的信任。制定和实施透明的政策和法规，明确数据使用的界限和条件，以及隐私保护和数据安全的标准。

3 大数据技术在智慧城市建设中的应用策略

3.1 数据整合与共享

首先需要识别所有潜在的数据源，包括政府机构、企业、社会组织、智能设备等，并对这些数据源进行评估，确定其可用性和价值。为了实现不同数据源之间的有效整合，需要制定统一的数据标准和格式，包括数据定义、编码规则、数据模型等，以确保数据的一致性和兼容性。在数据整合过程中，需要对数据进行清洗和预处理，去除错误和不一致的数据，填补缺失值，转换数据格式，以提高数据质量。建立一个集中的数据集成平台，用于存储、管理和处理整合后的数据。这个平台应该具备高度的可扩展性、安全性和稳定性。

3.2 智能分析与决策支持

智能分析与决策支持是智慧城市建设的核心组成部分，它利用大数据、人工智能和机器学习等先进技术，对海量城市数据进行深度分析，以提供科学、精准的决策依据。这一过程涉及数据采集、处理、分析和可视化等多个环节，旨在揭示数据背后的模式、趋势和关联，从而为城市规划、交通管理、公共安全、环境保护等领域提供智能化解决方案。在智能分析阶段，系统通过算法模型识别数据中的关键信息，预测未来发展趋势，并生成可视化报告和预测模型。这些分析结果能够帮助决策者理解复杂的城市运行机制，识别潜在问题，并制定有效的应对策略。通过分析交通流量数据，可以优化交通信号灯的配时方案，减少拥堵；通过监测环境数据，可以及时发现污染源，采取治理措施。

3.3 预测模型与仿真

预测模型与仿真也是智慧城市建设中的一项关键技术，它们通过数学模型和计算机模拟，对城市未来的发展趋势和潜在问题进行预测和分析。预测模型基于历史数据和统计方法，构建能够反映城市运行规律的数学表达，用于预测诸如人口增长、交通流量、能源消耗等关键指标的未来变化。这些模型可以帮助城市规划者提前识别可能出现的挑战，如资源短缺、环境污染、基础设施压力等，并制定相应的预防和应对措施。仿真技术则进一步将预测模型应用于虚拟环境中，通过模拟城市运行的各种场景，评估不同决策方案的效果。

3.4 智慧交通

要实现智慧城市首先要建设一体化、智能化的新型基

础设施，同时要推进智能交通、智能管网建设。利用物联网、大数据等技术，建立智能信息采集控制系统，形成交通管理、运输管理的大数据平台，实时监控、采集城市交通数据，行车速度、不同时段的车流量、路况拥堵情况、监控视频、交通路口信号灯等信息。通过对上述各类信息的分析，发现有价值的规律，得出精准的交通信息，明确当前车辆、道路的运行状态，通过大数据平台与驾驶员终端之间的信息交换，利用可视化技术将这些信息以更加直观方式呈现在终端上，有效帮助驾驶员的行驶，为其规划出合理的行驶路线和方案，有效避开交通拥堵的路段。利用大数据技术有效帮助交通管理部门进行智能交通建设的合理规划。在日常监管中，通过检测每条道路的交通状况、问题等，分析存在的交通故障，辅助交通管理上的决策。将大数据技术应用在路网交通设备上，从硬件、软件上均实现真正意义上的智能化。

4 结束语

大数据技术在智慧城市建设中的应用探索与研究，不仅揭示了大数据技术在提升城市智能化水平方面的巨大潜力，也为智慧城市的可持续发展提供了新的思路和方法。技术的不断进步和应用的不断深入，大数据技术将在智慧城市建设中发挥越来越重要的作用。

【参考文献】

- [1] 张丹丹. 大数据技术在智慧城市建设中的应用探索与研究 [J]. 科技与创新, 2024 (8) : 60-62.
- [2] 王秀丽, 文静, 岳秋菊. 大数据技术在智慧城市规划中的应用 [J]. 信息与电脑(理论版), 2023, 35 (22) : 17-19.
- [3] 徐威. 大数据技术在智慧城市照明建设中的应用 [J]. 长江信息通信, 2023, 36 (9) : 223-225.
- [4] 孙勇, 刘丽莉. 大数据技术在智慧城市建设中的运用 [J]. 无线互联科技, 2022, 19 (14) : 118-120.
- [5] 陆丽红. 大数据在智慧城市研究与规划中的合理运用 [J]. 西部资源, 2021 (5) : 170-171.
- [6] 滕丰耘, 杜松茂, 史丹. 城乡规划过程中智慧城市及大数据技术的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2020 (5) : 33-34.

作者简介：秦楠（1984—），女，汉族，山东泰安人，研究生学历，高级工程师，研究方向为城市规划管理。

新型智能环保消解装置在食品重金属分析中的应用

赵启发 王非 赵颖 赵帅伟

新乡市产品质量检验检测中心，河南 新乡 453000

[摘要]样品的前处理是食品重金属分析准确度的保障及前提，目前样品的前处理方法满足了分析准确度的一般性要求，但过程复杂、操作要求高、环保性差，因此选择合适的消解方法是重金属检测的重点。ZXJ-30 新型智能环保消解仪消解速度快、试剂用量小、样品不易被污染、节约能源、废气废液处理方便，能有效提高食品重金属分析检测的准确度，为食品安全提供保障。

[关键词]食品重金属分析；ZXJ-30 智能消解仪；准确度

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13406

中图分类号: TS207.51

文献标识码: A

Application of a New Intelligent and Environmentally Friendly Digestion Device in the Analysis of Heavy Metals in Food

ZHAO Qifa, WANG Fei, ZHAO Ying, ZHAO Shuaiwei

Xinxiang Product Quality Inspection and Testing Center, Xinxiang, He'nan, 453000, China

Abstract: Sample pretreatment is the guarantee and prerequisite for the accuracy of heavy metal analysis in food. Currently, sample pretreatment methods meet the general requirements of analysis accuracy, but the process is complex, the operational requirements are high, and the environmental friendliness is poor. Therefore, choosing an appropriate digestion method is the key to heavy metal detection. The ZXJ-30 new intelligent environmentally friendly digestion instrument has fast digestion speed, small reagent dosage, less sample contamination, energy saving, and convenient waste gas and liquid treatment, which can effectively improve the accuracy of food heavy metal analysis and detection, providing a guarantee for food safety.

Keywords: analysis of heavy metals in food; ZXJ-30 intelligent digestion instrument; accuracy

引言

食品安全问题越来越引起人们的重视，其中食品中重金属的含量备受关注，提高检测的准确度是食品重金属检测的关键所在。样品的前处理是食品重金属分析准确度的保障及前提，而在重金属含量测定的过程中，消解方法的选择具有重要的意义。合适的消解方法，可以提高重金属含量测定的准确度、节省时间、简便实验，进而提高消解效率。目前普遍采用的前处理方法是电热板加热消解法和微波消解法^[1]。但这两种方法就操作性、环保性、经济性及实用性有以下几点不足：(1) 电热板加热法虽然设备价格低廉，操作简单，但是消解时间长、试剂用量大、操作繁琐、分析人员劳动强度大，同时开放系统的加热消解还会产生如酸蒸汽等大量的有害气体，对分析人员身体健康非常有害；微波消解能快速消解样品，试剂消耗量少，消解时间短、节约能源，但消解罐清洗麻烦，从消解罐转移到容量瓶中费事，并且易造成样品转移损失或转移污染。(2) 电热板加热消解是恒温消解，消解效果不理想；微波消解可以程序升温，但温度压力有特殊要求，压力最高可达 830kPa，温度最高可达 270℃，这样的高温高压存在安全隐患，同时，微波消解对消解样品量、品种及消解条件（表 1）^[2]有严格要求，否则有爆炸危险。(3) 电热板加热消解法和微波消解法都需要赶酸，赶酸时现场必须有

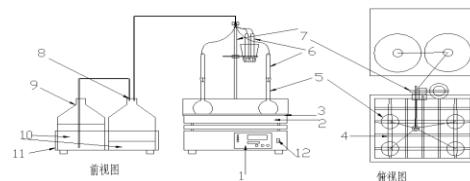
分析人员，增加了人力成本和劳动时间。通过实验，用郑州嘉禾仪器设备有限公司生产的 ZXJ-30 型新型智能环保消解装置很好的克服了上述问题。

表 1 消解样品种类、用量、使用条件

样品名称	称量(g)	样品酸用量及前处理方法	最高压力(MPa)	保持时间(min)	备注
米	0.5	6ml 硝酸预处理 20 分钟后，补加 2ml 硝酸、1ml 双氧水	1.7	4	
蔬菜	2.0	5ml 硝酸、1ml 双氧水	1.0~1.5	4	
牛奶	2ml	7ml 硝酸、1ml 双氧水	1.5	5	
新鲜鱼	0.5	5ml 硝酸	2.0	3	

1 实验装置及原理

1.1 ZXJ-30 型新型智能环保消解装置结构



1. 控制面板；2. 加热系统；3. 加热板；4. 消解瓶固定弹簧；5. 消解瓶；6. 酸气密封回流装置；7. 支架；8. 回收缓冲瓶；9. 回收废气瓶；10. 回收废气液体；11. 回收瓶托盘；12. 开关

图 1 ZXJ-30 型新型智能环保消解装置结构图

1.2 ZXJ-30 型新型智能环保消解装置工作原理

实验室的智能环保电热消解仪有：控制面板，加热系统、加热板、消解瓶固定弹簧、消解瓶、酸气密封回流装置、支架、废气回收管理、回收废气液体、回收缓冲瓶、回收废气瓶、回收瓶托盘等组成；所述控制面板，加热系统在仪器内部，消解瓶固定弹簧在加热板在仪器上端，与加热板相连。固定弹支架与消解瓶固定装置相连，消解瓶放在加热板上，中部用消解瓶固定弹簧固定，瓶口与密封回流装置相连，回流装置与管路一端相连，管路另一端与回收瓶相连，回收瓶内有回收液，回收瓶放在托盘上；其中加热系统与控制面板相接。控制系统设定好消解程序，将消解瓶固定在消解瓶固定弹簧中；酸气密封回流装置放置消解瓶口中；酸气密封回流装置上端接废气回收管路，进入废气回收瓶中；回收缓冲瓶、回收废气瓶中放入回收废气液；回收缓冲瓶、回收废气瓶放在托盘上；消解瓶中样品及所加入酸溶液进行加热，消解开始，过热的酸气通过回流装置回到消解瓶中对样品进行消解，加热后过热的酸气又上升到达回流装置，如此循环达到省酸目的，在回流装置中没有完全冷却回流的过热酸气，通过废气回收管路到达废气回收瓶中，回收瓶中的回收液与酸气作用变成无害液体，酸气被全部回收。程序升温设定消解程序刚好把样品完全消解，而所剩酸量极少，达到不用赶酸目的；所用消解瓶是一个特殊材料的容量瓶，消解完成冷却至室温后直接定容，达到无转移直接定容的目的。

2 实验步骤

ZXJ-30 型新型智能环保消解装置对食品重金属样品消解处理与传统消解方法样品消解处理比对^[3]

现以小麦标准品，检测铅，与传统消解方法对比
仪器设备：

- | | |
|---------------|---------------|
| 1. 石墨炉原子吸收 | 型号：TAS-990AFG |
| 2. 新型智能环保消解 | 型号：ZXJ-30 |
| 3. 微波消解仪 | 型号：MDS-6 |
| 4. 电热板 | 型号：TR-2500 |
| 5. 试剂：硝酸（优级纯） | |

样品：取小麦标准样品（批号：GBW10011）含铅标准值：65 μg/kg 不确定度 24 μg/kg

取小麦标准样品称取 0.5 克 18 份，各加 5ml 硝酸溶液作为消解液，其中：电热板消解 6 份，标记为 D1、D2、D3、D4、D5、D6；用微波消解消解 6 份，分别标记为 W1、W2、W3、W4、W5、W6；用新型智能环保消解仪消解 6 份，分别标记：Z1、Z2、Z3、Z4、Z5、Z6。每个消解方法做六

份回收率 60 μg/ml。样品分别是：D11、D21、D31、D41、D51、D61；W11、W21、W31、W41、W51、W61；Z11、Z21、Z31、Z41、Z51、Z61。

(1) 微波消解法：^[4] 在微波消解罐中放入事先称好的 0.5g 小麦标准样品，6ml 硝酸。浸泡 20 分钟，再加入 2ml 硝酸。160℃ 温度保持 40 分钟。冷却至室温后，将消解液转移至 10ml 容量瓶内，多次用水洗涤，洗液合并于容量瓶中，并定容至刻度，混匀备用，同时做试剂空白。

(2) 电热板消解法：在锥形瓶中放入事先称好的 0.5g 小麦标准样品，加入玻璃珠若干和 10ml 硝酸，盖盖后浸泡 20 分钟，然后将一小漏斗覆盖于锥形瓶上，在电热板上，120℃ 进行消解，酸剩余少时继续添加。直至消解液颜色呈无色透明或略带黄色，赶酸近干，进行冷却，之后将消解液转移至 10ml 容量瓶中，用水少量多次洗涤锥形瓶，洗液合并于容量瓶中，并定容至刻度，混匀备用；同时做试剂空白。

(3) ZXJ-30 型新型智能环保消解装置消解法：在仪器配置容量瓶中放入事先称好的 0.5g 小麦标准样品。加入 5ml 硝酸。将酸气密封回流装置放置好。设定升温程序：30℃ 40min；160℃ 180min；200℃ 150min。程序结束冷却至室温，定容至刻度线，混匀备用；同时做试剂空白。

(4) 铅含量测定。采用石墨炉原子吸收分光光度计法。283.3nm 波长，1nm 光谱带宽，7ml 电流，120℃ 干燥温度 (20s)，800℃ 灰化温度 (10s)，1900℃ 原子化温度 (2s)，氘灯扣背景。

标准曲线绘制：吸取浓度为 0、10.0、20.0、40.0、60.0、80.0ng/ml 的铅标准溶液各 10 μl 加入石墨炉，测得吸光度值并求得吸光度值与浓度关系的一元线性回归方程。

试样测定：分别吸取样液和试剂空白液 10 μL，注入石墨炉，测得吸光度值，代入标准系列的一元线性回归方程中求得样液中铅含量： $X = (A_1 - A_2) V / (1000m)$

公式中的 X 表示小麦样品中的铅含量单位为 mg/kg；A1 表示测定样液中的铅含量单位为 ng/ml；A2 空白液中的铅含量单位为 ng/ml；m 表示样品质量单位为 g；V 表示样品定容总体积单位为 ml。

3 结果与讨论

根据实验结果得出，智能环保消解仪检测含量偏高，电热板消解和微波消解转移不彻底，造成含量偏低。三种方法回收率在 90%~105% 之间，非常符合规定要求。证明在样品处理方面，智能环保消解仪可以取代电热板和微波消解仪。

表 2 消解处理情况表

序号	消解仪名称	消解时间(小时)	是否赶酸	硝酸消耗量	是否转移定容	废气回收	人员值守	总时间(小时)
1	电热板	6	是	50ml	是	不回收	要值守	10
2	微波消解仪	1	是	8ml	是	不回收	要值守	8 (含预消解及消解罐处理)
3	智能环保消解仪	6	否	5ml	不转移直接定容	回收	不值守	6.5

表 3 检测数据结果表

序号	消解仪名称	标记名称	数值 $\mu\text{g}/\text{kg}$	加标量 $60 \mu\text{g}/\text{kg}$	RSD 值	回收率	备注
1	电热板	D1	69	123	样品: 3.6% 加标: 2.3%	90%	样品平均值: 67.3
		D2	64	126		103%	
		D3	65	124		98%	
		D4	67	129		103%	
		D5	69	128		98%	
		D6	70	127		95%	
2	微波消解仪	W1	72	129	样品: 2.4% 加标: 1.8%	95%	样品平均值: 69.5
		W2	70	125		92%	
		W3	69	127		97%	
		W4	70	129		98%	
		W5	65	127		103%	
		W6	71	130		98%	
3	智能环保消解仪	Z1	71	130	样品: 2.58 加标: 2.3%	98%	样品平均值: 71.3
		Z2	72	128		93%	
		Z3	69	129		100%	
		Z4	73	132		98%	
		Z5	75	133		97%	
		Z6	68	127		98%	

从实验中发现 ZXJ-30 型新型智能环保消解装置采用全封闭模式消解,使消解过程中产生的有毒有害酸气,通过碱溶液全回收;热酸气上升到回流装置中遇冷在回流壁上冷凝,以液体状态又回到了消解瓶中,有效地解决了样品消解时试剂消耗量大的问题,还解决了试剂回收再利用问题,节省了试剂使用量;同时克服了传统消解方法产生的酸气对化验室人员伤害的问题;程序升温很方便使样品的消解即达到彻底消,又自动赶酸,消除了传统消解赶酸必须有人值守的问题。容量瓶耐高温特质材料,直接用容量瓶加热,消解完成后冷却至室温,直接定容,消除了传统消解方法的消解样品必须转移的历史。有了废气回收装置消解不用在通风处,真正做到环保消解,零污染排放。

虽然 ZXJ-30 型新型智能环保消解装置有这么多优点,但是还有其不足之处,就是消解容量瓶材料含有硅元素,

不能使用氢氟酸进行消解。所以做含硅物质消解时,不能做到全消解。希望随着材料科学的继续发展,能找到更好的材质。解决智能环保消解装置的不足。

[参考文献]

- [1] 肖昕. 重金属在小麦中富集特征的实验研究 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1133-1137.
- [2] 刘素华. 微波消解在测定食品中金属元素的方法探讨 [J]. 中国食品卫生杂志, 2004(4): 104.
- [3] 高雪琴. 利用微波消解法快速测定小麦粉中痕量铅、镉的含量 [J]. 粮食与饲料工业, 2010(1): 150.

作者简介: 赵启发 (1965.11—), 男, 毕业院校: 中国人民解放军总后勤部医学专科学校, 所学专业: 军医专业, 学历: 大专。当前就职单位: 新乡市产品质量检验检测中心, 职务: 副主任, 主要从事实验室体系运行及检测项目规划、筹建工作。

城市燃气施工数字化管理策略探讨

张智

新疆城市燃气建设开发有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 随着城市化进程的不断推进，城市燃气工程建设的规模和复杂性也在逐渐增加。为了提高燃气施工的管理水平和效率，文章针对城市燃气施工的数字化管理策略进行了深入探讨。首先，对燃气施工数字化管理的意义和现状进行了分析；然后，阐述了燃气施工数字化管理的关键技术和方法；最后，提出了燃气施工数字化管理的实施策略和发展方向。

[关键词] 城市燃气；数字化管理；施工管理；技术创新

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13402

中图分类号: F42

文献标识码: A

Exploration on Digital Management Strategies for Urban Gas Construction

ZHANG Zhi

Xinjiang City Fuel Gas Construction and Development Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization, the scale and complexity of urban gas engineering construction are also gradually increasing. In order to improve the management level and efficiency of gas construction, this article deeply explores the digital management strategy of urban gas construction. Firstly, the significance and current situation of digital management in gas construction were analyzed; Then, the key technologies and methods for digital management of gas construction were elaborated; Finally, the implementation strategy and development direction of digital management for gas construction were proposed.

Keywords: urban gas; digital management; construction management; technological innovation

引言

城市燃气工程是城市基础设施建设的重要组成部分，其施工质量和进度直接关系到城市的运行安全和居民的生活品质。近年来，随着信息技术的发展，数字化管理在城市燃气施工中的应用逐渐得到重视。通过燃气施工数字化管理，可以实现工程信息的实时获取、处理和传递，提高施工管理的效率和水平。本文旨在对城市燃气施工数字化管理策略进行探讨，以期为我国燃气施工管理提供参考和借鉴。

1 燃气施工数字化管理的意义和现状

1.1 燃气施工数字化管理的意义

(1) 提高施工管理的效率。过去燃气施工的管理主要依靠人工进行，从工程信息的收集、整理到传递，都需要耗费大量的时间和精力。而数字化管理模式的出现，使得这些工作变得简单快捷。例如，通过使用专业的软件，可以快速地完成工程信息的录入和整理，通过网络进行传递，大大提高管理的效率。

(2) 降低施工风险。燃气施工是一项高风险的工作，施工现场的环境复杂，安全隐患多。通过数字化管理，可以对施工现场进行实时监控，及时发现和处理安全隐患，例如通过安装监控设备，可以实时观察施工现场的情况，一旦发现危险，可以立即采取措施进行处理，确保施工的安全^[1]。

(3) 促进技术创新。在传统的燃气施工中，由于技

术手段的限制，很难对施工过程中的各个环节进行精确控制，容易出现质量问题和安全事故。而数字化技术的应用可以实现对施工过程的精细化管理，从而促进技术创新。例如，通过数字化技术可以开发出新的施工工艺和施工设备，提高施工质量和效率；通过数字化技术可以实现对燃气施工过程中的环境监测和数据分析，为施工提供科学依据；通过数字化技术可以实现对燃气施工过程中的质量控制和安全管理，降低质量和安全风险。

1.2 燃气施工数字化管理的现状

(1) 管理手段相对落后。目前，我国燃气施工管理仍以传统手段为主，数字化管理程度较低。大部分燃气施工企业仍然依赖人工进行项目管理、进度跟踪和质量控制，工作效率较低，容易出错。此外，传统的管理手段难以实现对施工过程的实时监控和数据分析，无法有效预测和解决施工中可能出现的问题。

(2) 信息化建设不完善。燃气施工企业的信息化建设水平参差不齐，影响了数字化管理的推广和应用。一些企业虽然购买了一些管理软件和设备，但由于缺乏专业人员培训和合理的使用管理，导致这些设备和软件的使用效果不佳。此外，不同企业之间的信息化水平差异，也使得数据共享和协同工作存在困难。

(3) 技术人才短缺。燃气施工数字化管理涉及众多专业领域，如信息技术、自动化技术、燃气工程等，对人才的要求较高。当前，我国燃气施工数字化管理领域的人

才供应相对紧张，尤其是高端技术人才和专业技能人才。这一方面源于我国高校在相关领域人才培养方面的不足，另一方面也受到我国人力资源结构的影响。在燃气施工数字化管理领域，需要具备跨学科知识体系和实践经验的人才，而复合型人才在我国人群中比例较低。燃气施工数字化管理是行业发展的重要趋势，也是提高燃气施工质量和效率的关键手段。我国燃气施工行业需要加快数字化转型的步伐，加强信息化建设、人才培养和协同合作，以实现燃气施工管理的现代化和高效化。

2 燃气施工数字化管理的关键技术和方法

2.1 关键技术

(1) 物联网技术。通过物联网技术，实现燃气施工设备的实时监控和远程控制。物联网技术是一种将物理设备与互联网连接的技术，通过在燃气施工设备上安装传感器和控制器，可以实时收集设备的工作状态、运行参数和环境信息，并将这些数据传输到远程监控中心。远程监控中心可以根据这些数据实时了解设备的工作情况，对设备进行远程控制，如启动、停止、调整工作参数等。通过物联网技术，可以提高燃气施工设备的管理效率和安全性，减少人工干预，降低施工风险。

(2) 大数据分析技术。通过大数据分析技术，对燃气施工过程中的数据进行收集、整合和分析，为施工决策提供数据支持。在燃气施工过程中，会产生大量的数据，如设备运行数据、施工进度数据、安全监测数据等。通过大数据分析技术，可以对这些数据进行有效的管理和分析，提取有价值的信息，为施工决策提供科学依据。例如，通过对设备运行数据的分析，可以发现设备的故障规律和运行瓶颈，提前采取措施，保证设备的正常运行；通过对施工进度数据的分析，可以实时掌握施工进度，合理调配资源，提高施工效率^[2]。

(3) 云计算技术。通过云计算技术，实现燃气施工资源的共享和优化配置。云计算技术是一种将计算资源和服务提供给用户的模式，通过云计算平台，可以实现燃气施工设备、数据和应用的共享和协同工作。这样，燃气施工企业可以充分利用云计算平台的资源，避免重复投资，降低运营成本。同时，云计算技术还可以提供灵活的扩展能力，根据施工需求的变化，动态调整资源配置，提高施工的适应性和竞争力。

(4) 人工智能技术。通过人工智能技术，实现燃气施工过程的自动化和智能化。人工智能技术包括机器学习、深度学习、自然语言处理等，通过这些技术，可以对燃气施工过程中的数据进行智能分析，识别施工中的风险和问题，自动采取相应的措施，提高施工质量和效率。例如，通过对施工过程中产生的图像、视频等数据进行深度学习，可以实现对施工质量的自动检测和评估，减少人为干预，提高检测的准确性和效率。

2.2 方法

(1) 信息化施工方案设计。燃气施工数字化管理的方法主要包括信息化施工方案设计、数字化施工流程管理、施工现场监控和数据分析等方面。首先，需要根据燃气施工的特点，设计适用于数字化管理的信息化施工方案。在信息化施工方案设计方面，需要充分考虑燃气施工的流程、环节、工艺和质量要求等因素，结合数字化技术，设计出高效、安全、可靠的施工方案。一是建立燃气施工数字化管理体系。根据燃气施工的特点和需求，建立一套完整的数字化管理体系，包括施工方案设计、施工流程管理、施工现场监控、数据分析和决策支持等方面。二是引入BIM技术。利用建筑信息模型（BIM）技术，建立燃气施工的三维模型，实现施工方案的可视化和模拟，提高施工方案的可行性和安全性。三是采用数字化工艺。通过数字化工艺技术，将燃气施工的工艺流程、操作规范和质量标准等数字化，实现施工过程的精细化管理和控制。四是建立数据采集和分析系统。在施工现场建立数据采集和分析系统，实时采集施工过程中的各项数据，进行分析和处理，为施工管理人员提供及时、准确、可靠的数据支持。

(2) 数字化施工流程优化。燃气施工的各个环节都可以通过数字化手段进行优化，从而提高施工效率。首先，燃气施工的规划设计环节可以通过数字化手段进行优化。例如，可以通过数字化手段进行施工现场的勘测和设计，通过数字化手段进行施工方案的制定和优化。其次，燃气施工的施工环节也可以通过数字化手段进行优化。例如，可以通过数字化手段进行施工进度的监控和管理，通过数字化手段进行施工质量的检测和控制。这样不仅可以提高施工的效率，还可以提高施工的质量。最后，燃气施工的后期维护环节也可以通过数字化手段进行优化。例如，可以通过数字化手段进行设备的维护和管理，通过数字化手段进行施工成果的监测和评估，不仅可以提高维护的效率，还可以提高施工成果的质量和寿命。

总的来说，燃气施工的数字化管理和流程优化是一个复杂的过程，需要各方面的共同努力，因此积极引入数字化手段，能够提高燃气施工的效率和质量，为燃气施工行业的发展作出贡献。

(3) 智能化施工设备应用。在当今的建筑行业中，智能化施工通过引进智能化施工设备，可以大大提高施工的自动化水平，从而提高施工质量和效率。

首先，智能化施工设备在燃气施工中的应用可以大大提高施工安全性。燃气施工是一项高风险的工作，施工人员需要在有限的空间内进行操作，同时还要处理高压气体，这就要求施工人员必须具备高超的技术和严格的操作规范。而智能化施工设备的应用可以有效降低施工风险。例如，利用智能化机器人进行燃气管道的铺设，可以在保证施工安全的前提下，提高施工效率。其次，智能化施工设

备可以提高燃气施工的精度和质量。传统的燃气施工主要依靠人工操作，受到施工人员技术水平和经验的影响，很难保证施工的精度和质量。而智能化施工设备具有高精度和高稳定性的特点，可以有效提高燃气施工的精度和质量。例如，利用智能化测量仪器进行燃气管道的测量和定位，可以大大提高测量的精度和效率。此外，智能化施工设备可以提高燃气施工的效率。传统的燃气施工主要依靠人工操作，施工速度受到施工人员技术水平和体力的限制。而智能化施工设备可以24小时不间断工作，大大提高施工效率，例如利用智能化挖掘机进行燃气管道的挖掘，可以大大提高挖掘的速度和效率^[3]。最后，智能化施工设备可以提高燃气施工的管理水平。传统的燃气施工管理主要依靠人工进行，管理效率低下，容易出现信息不准确和漏洞。而智能化施工设备可以通过互联网和大数据技术进行实时监控和管理，提高管理效率和准确性。例如，利用智能化监控系统对燃气施工进行实时监控，可以及时发现和处理施工中的问题。

3 燃气施工数字化管理的实施策略发展方向

燃气施工数字化管理是近年来逐渐兴起的一种新型管理方式，以数字化技术为基础，对燃气施工过程进行全面、细致的管理，从而提高施工质量和效率，保障施工安全。在未来，燃气施工数字化管理的发展方向主要有以下几个方面。

(1) 智能化的方向发展。通过引入智能化技术，如人工智能、大数据、云计算等，实现对燃气施工过程的自动化管理。例如，利用人工智能技术对施工现场进行实时监控，自动识别施工过程中的问题，及时发出警报，指导施工人员进行整改；利用大数据技术对施工数据进行挖掘和分析，为施工决策提供有力支持；利用云计算技术实现对施工资源的统一调度和优化配置，提高资源利用效率^[4]。

(2) 精细化的方向发展。通过细化管理颗粒度，实现对燃气施工过程的精准控制。例如，对施工现场进行分区管理，针对不同区域的特点制定相应的施工方案和管理措施；对施工人员进行精细化管理，建立个人绩效考核体系，激发施工人员的工作积极性和创新能力；对施工质量进行精细化控制，通过实时监测和数据分析，确保施工质量符合标准要求。

(3) 协同化的方向发展。通过搭建协同工作平台，实现燃气施工各方之间的信息共享和协同工作。例如，利用物联网技术实现对施工现场的实时监控，确保施工安全；利用协同工作平台实现项目管理与施工执行的紧密结合，

提高项目执行效率；利用信息化手段加强与其他相关部门的沟通与协作，形成工作合力。

(4) 绿色化的方向发展。通过引入绿色施工理念和技术，实现燃气施工的环保和可持续发展。例如，利用无人机等设备进行空中监测，减少对生态环境的破坏；采用节能环保的施工设备，降低施工过程中的能源消耗；推广绿色施工工艺，提高施工过程中的环保水平。

(5) 在实施数字化管理的过程中，需要注重以下几个方面的发展。一是技术创新，积极探索和研究新的数字化技术，以满足燃气施工的需求；二是人才培养，加强与其他行业的交流与合作，引进优秀的数字化管理人才；三是推广应用，将数字化管理广泛应用于燃气施工的各个环节，提高整个行业的数字化管理水平；四是完善政策法规，为燃气施工数字化管理提供有力的法律保障^[5]。

4 结语

燃气施工数字化管理是提高我国城市燃气工程施工管理水平的重要途径。通过分析燃气施工数字化管理的意义和现状，本文提出了关键技术和方法，并探讨了实施策略和发展方向。希望这些探讨对我国燃气施工数字化管理的推广和发展起到一定的推动作用。

【参考文献】

- [1] 陈欣菲. 中国燃气公司数字化转型思路与架构 [J]. 科技经济市场, 2023(12): 43-45.
- [2] 陈家璘. 城市燃气输配管网系统智能化数字化转型思路探讨 [A] 2023 年中国城市燃气协会标准工作委员会年会暨燃气安全运营和智慧建设研讨会论文集 [Z]. 中国城市燃气协会标准工作委员会, 中国城市燃气协会标准工作委员会, 2023: 5.
- [3] 徐乃杰. 人工智能在燃气管道工程管理中的应用 [J]. 大众标准化, 2022(7): 36-38.
- [4] 高建军, 于汝娴. 城市燃气施工数字化管理策略思考 [J]. 科技风, 2021(20): 101-102.
- [5] 周子恒. 5G 时代 AI 智能监控系统在燃气工程管理中的应用浅析 [A] 2020 年燃气安全交流研讨会论文集、调研报告 [Z]. 中国城市燃气协会安全管理委员会, 中国城市燃气协会, 2020: 4.

作者简介：张智（1974.3—），毕业院校：新疆石油学，所学专业：石油加工，当前就职单位名称：新疆城市燃气建设开发有限公司，就职单位职务：总经理，职称级别：高级工程师。

油气管道腐蚀因素及防腐措施的研究

李鑫

广东白云学院，广东 广州 510000

[摘要]油气管道作为重要的能源运输通道，其安全运行直接关系到国家经济发展和能源安全。由于长期暴露在恶劣的自然环境中，油气管道普遍存在着腐蚀问题，这不仅会导致管道的结构强度下降，还可能引发泄漏事故，造成严重的环境污染和经济损失。文章分析了油气管道腐蚀的特点和机理，探讨了影响油气管道腐蚀的主要因素，提出了几种有效的防腐措施，包括防腐涂层技术、电化学防护、内部防腐技术以及材料选择和改良等方法，以期为油气管道的安全运行和长期使用提供理论依据。

[关键词]油气管道；腐蚀类型；影响因素；防腐措施

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13428

中图分类号：TE9

文献标识码：A

Research on Corrosion Factors and Anti-corrosion Measures of Oil and Gas Pipelines

LI Xin

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract: As an important energy transportation channel, the safe operation of oil and gas pipelines is directly related to national economic development and energy security. Due to long-term exposure to harsh natural environments, oil and gas pipelines commonly suffer from corrosion problems. This not only leads to a decrease in the structural strength of the pipeline, but also may cause leakage accidents, resulting in serious environmental pollution and economic losses. The article analyzes the characteristics and mechanisms of corrosion in oil and gas pipelines, explores the main factors affecting pipeline corrosion, and proposes several effective anti-corrosion measures, including anti-corrosion coating technology, electrochemical protection, internal anti-corrosion technology, and material selection and improvement methods, in order to provide theoretical basis for the safe operation and long-term use of oil and gas pipelines.

Keywords: oil and gas pipelines; corrosion type; influencing factors; anti-corrosion

引言

油气管道作为能源运输的关键基础设施，其安全运营对于能源供应链的稳定性至关重要。由于油气管道常常经历复杂的地质和环境条件，包括高温、高压、湿度以及多种化学物质的存在，这些条件易导致管道材料的腐蚀问题，进而影响管道的结构完整性和运营安全。管道腐蚀不仅导致能源输送效率降低，还可能引发严重的环境污染事件和安全事故^[1]。因此，研究油气管道的腐蚀机理和防腐措施，是确保能源安全、环境保护和经济效益的重要内容。随着全球对能源需求的持续增长和油气田开采条件的日益恶劣，加强对油气管道腐蚀问题的科学研究，开发更有效的防腐技术，已成为行业迫切需要解决的问题。

1 油气管道腐蚀

油气管道在运营过程中经常面临严峻的腐蚀挑战，这些挑战主要源于其输送介质的复杂性以及外部环境的多变性。管道内部的腐蚀主要由输送的原油或天然气中含有的腐蚀性物质（如H₂S、CO₂、水分和盐分等）引起，这些物质可以与管道材料发生化学或电化学反应，导致材料逐渐损失。外部腐蚀则主要来自土壤和水环境中的电化学作用，特别是在管道埋设的环境复杂，如不同类型的土壤和水分条件下更为明显。

2 油气管道腐蚀因素

2.1 化学腐蚀

化学腐蚀发生在管道内部，当腐蚀性气体（如H₂S和CO₂）溶解在水中，形成酸性环境，从而加速管道钢材的腐蚀过程。例如，CO₂与水反应生成碳酸，使环境酸化，碳酸可以与铁反应生成可溶性的铁离子和碳酸盐，从而导致管道壁的均匀腐蚀。H₂S腐蚀则更为复杂，它不仅可以形成强酸性的硫化氢酸，还可能在管道表面产生硫化物化合物，这些化合物在一定条件下可导致应力腐蚀开裂或硫化物应力开裂。

化学腐蚀是油气管道腐蚀的重要原因，其机制复杂且影响深远。为有效应对化学腐蚀问题，需要综合考虑管道材料的选择、防护涂层的应用、定期检测和维护等多种措施，以提升管道的耐腐蚀性能，延长使用寿命，保障油气输送系统的安全和稳定运行。

2.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀主要是由于管道金属与其环境（土壤或水）中的电化学势差异造成的。当管道表面与土壤中的其他电位不同的金属或导电介质接触时，就会形成电池效应，电流的流动会促使管道金属在阳极部分溶解，导致腐蚀。这种腐蚀通常在管道外壁较为严重，尤其是在湿润的土壤或

海底管道。

电化学腐蚀的基本过程包括阳极和阴极反应。在油气管道中，通常情况下金属表面的某些区域充当阳极，而其他区域则充当阴极。在阳极区域，金属释放电子并溶解成金属离子；而在阴极区域，电子被还原，通常是通过氧化物、水等物质的还原。这种电流在电化学腐蚀过程中流动，导致金属表面的局部溶解和损坏。

电化学腐蚀的速率受多种因素影响。例如，电解质的浓度、温度、氧含量以及电流密度等都会显著影响腐蚀的发生和加剧程度。高电解质浓度和温度有助于增强电化学反应的速率，从而加速金属的溶解；而在低氧含量的环境中，阴极反应的速率可能减慢，导致阳极区域的腐蚀速率增加。

此外，油气管道在运输过程中，由于液体和气体的流动，会导致局部电池的形成和移动。这种动态电化学环境可能引起管道金属表面不均匀的腐蚀，出现腐蚀坑和裂纹，从而影响管道的完整性和安全性。

2.3 点蚀

点蚀是油气管道腐蚀中的一种局部腐蚀形式，其特征是在金属表面形成小孔洞或凹坑，但相比于表面腐蚀，其深度通常较大，危害性更为严重。点蚀腐蚀主要受到环境条件、金属材料特性和腐蚀介质影响。

点蚀的发生与环境条件密切相关。在油气管道运输过程中，金属表面接触到含氧、含二氧化碳和硫化氢等腐蚀性物质的水合物形成的环境时，这些物质可以作为电解质，形成局部电池，导致金属表面发生阳极和阴极反应。由于点蚀通常发生在局部缺陷或不均匀的金属表面上，这些区域可能是金属晶粒边界、氧化物夹杂物等位置，从而加速了腐蚀的发生。

金属材料的组成和结构对点蚀的敏感性也很大。例如，不锈钢等特殊合金通常比普通碳钢具有更高的耐蚀性，因为其添加了抗点蚀元素如铬和镍。然而，在恶劣的环境条件下，即使是抗腐蚀性较好的材料也可能发生点蚀，特别是在高温、高压和含氯环境中。当流体在管道内快速流动时，局部液体的速度和冲击力会增加，有时可以促进点蚀的形成和扩展。高浓度的腐蚀介质如含氯水可以加速金属表面的腐蚀速率，形成更深的点蚀孔洞。

点蚀作为油气管道腐蚀的一种严重形式，其复杂的发生机制和危害性要求工程师和操作人员综合应用多种手段来预防和控制，以保障管道系统的安全和可靠运行。

2.4 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂 (Stress Corrosion Cracking, SCC) 是油气管道腐蚀中最为严重和难以预测的一种形式，它通常发生在特定的环境和应力条件下，导致管道金属出现沿晶或横晶的开裂现象。这种腐蚀类型与环境介质、应力状态和金属材料的微观结构密切相关。

一些特定的环境因素，如含氯离子的盐水、硫化物环境、高温高压条件下的酸性或碱性溶液等，都可能促进应力腐蚀开裂的发生。这些介质可以通过化学反应或电化学反应与金属表面相互作用，减弱或损害金属的保护膜，从而使金属更容易发生应力腐蚀开裂。应力是引发应力腐蚀开裂的另一个关键因素。应力可以由多种来源产生，包括机械载荷、热应力、残余应力或外部电化学影响。当金属表面处于应力状态下时，其结构的原子间距和化学键可能发生变化，从而使金属的原子在应力环境中更易受到环境介质的影响和腐蚀，导致应力腐蚀开裂的发生^[2]。

另外，金属材料的微观结构和化学成分也对应力腐蚀开裂的敏感性有显著影响。晶界、晶粒内的包含物、氧化物夹杂物等缺陷可能成为应力集中点，容易促进开裂的形成。特定的金属合金，例如高强度钢、不锈钢等，由于其特殊的组织结构和成分，可能对特定环境介质更为敏感，增加应力腐蚀开裂的风险。

2.5 微生物腐蚀

微生物腐蚀 (MIC) 也是油气管道腐蚀的一种重要形式，尤其是在埋地管道和海底管道中较为常见。这种腐蚀是由管道内外的微生物活动引起的，微生物通过其代谢过程产生腐蚀性物质（如硫酸盐还原菌产生的硫化氢），这些物质能够直接攻击管道材料或改变管道周围环境的化学性质，从而加速腐蚀过程。微生物腐蚀通常表现为管道表面的坑蚀或腐蚀产物沉积，严重时会导致管道壁薄化甚至穿孔。

油气管道的腐蚀是一个涉及多种因素和机制的复杂过程。了解和掌握这些腐蚀机理及其形态对于设计更安全、更经济、更可靠的输油气系统至关重要。通过科学的管理和技术的应用，可以有效延长管道的使用寿命，保障油气输送的安全和效率。

3 油气管道防腐措施

3.1 防腐涂层技术

防腐涂层技术在油气管道的保护中起着至关重要的作用，它是通过在管道表面形成一层耐蚀性和耐磨性的涂层，防止管道金属与外部环境直接接触，从而延长管道的使用寿命和提高其安全性。

首先，根据管道所处的环境条件、运输介质的性质以及预期的使用寿命，工程师会选择不同类型的涂层。常见的涂层材料包括环氧树脂、聚氨酯、环氧-酚醛树脂等，这些涂层能够提供优良的耐化学腐蚀性能和机械强度，同时在不同的温度和湿度条件下保持稳定性。在管道制造和安装过程中，涂层的质量取决于涂布技术、表面处理和施工环境的控制。通常，涂层施工前需要对管道表面进行喷砂或化学清洗，以去除油脂、锈斑和其它污物，确保涂层与金属表面的良好附着力。

涂层的厚度直接影响其对外部环境的隔离效果和耐

久性。因此，通常会采用非破坏性测试方法如超声波测厚仪进行涂层厚度的检测，并进行质量控制和保证措施，以确保涂层在管道整个使用寿命内能够保持其预期的防护效果。此外，还应注重新型涂层材料的研发和应用。例如，具有自修复功能的涂层、耐高温和耐化学侵蚀的先进涂层等，不断推动着防腐技术的进步和应用领域的拓展。

3.2 电化学防护

电化学防护是保护油气管道免受电化学腐蚀的有效技术，其原理是通过在管道表面施加电流，使其成为一个电化学电池中的阴极，从而抑制金属表面的阳极反应，减少或延缓腐蚀的发生^[3]。

电化学防护技术的关键在于阴极保护系统的建立和维护。这种系统通常包括两大部分：一个是阴极保护电源系统，用于提供恰当的电流以保持管道表面为阴极；另一个是阳极，通常选择成为电化学电池中的阴极所需的材料。阳极可以是铝、锌或者特殊的合金，这些材料被设计成在电化学环境中比管道金属更容易溶解，从而吸引外部环境中可能产生的腐蚀性离子，减少金属的损耗。电流的密度和分布是影响电化学防护效果的重要因素。电流密度越高，阴极保护的效果越强，但过高的电流密度可能导致阳极材料过早耗损。因此，在设计阴极保护系统时，需要进行精确的电流密度计算和分析，以平衡保护效果和系统耗能的需求。

电化学防护技术的应用范围广泛，不仅适用于地面和水下的油气管道，也可以用于储罐、海洋平台等设施的腐蚀防护。相比传统的防腐涂层，电化学防护技术具有能耗低、环境适应性强、维护管理简单等优点，特别是在高腐蚀环境或难以涂覆的区域，更是一种有效的选择。

3.3 内防腐技术

内防腐技术主要通过在管道内部形成一层防护涂层或使用特殊的涂层材料，防止介质对管道内壁的腐蚀，从而延长管道的使用寿命和确保运行安全。对于不同类型的管道，内部防腐技术要求不同。例如，在含硫化氢等腐蚀性气体的天然气管道中，通常采用高性能环氧树脂涂层或聚乙烯材料，以有效隔离管道壁和腐蚀性气体的直接接触。

合适的防腐涂层不仅需要具备良好的耐腐蚀性能，还需要考虑到施工过程中的操作便捷性、涂层的附着力和耐久性等方面。在涂层施工前，通常需要对管道内壁进行严格的清洁和表面处理，确保涂层能够牢固附着在金属表面上，并形成连续的保护膜。另外，随着技术的进步，新型的内防腐技术不断涌现。例如，纳米涂层技术能够在涂层表面形成微观尺度的保护层，提高了涂层的抗腐蚀性能和耐磨性；另外，具有自修复功能的涂层材料能够在发生微小损伤时自动修复，延长了涂层的使用寿命和维护周期。

内防腐技术的有效性还需要定期的检测和维护。通过

无损检测技术如超声波检测、磁粉检测等监测管道内壁的涂层状况，及时发现涂层损伤或腐蚀现象，并进行修复和更新，以帮助管道运营者保持管道系统的健康状态，避免因腐蚀导致的意外事故和损失。

3.4 材料选择和改良

在油气管道的防腐措施中，材料选择和改良是至关重要的步骤，直接影响到管道的抗腐蚀性能、使用寿命和安全性。正确选择材料并对其进行改良，能够有效地降低管道的腐蚀率和维护成本，提高其运行可靠性^[4]。

材料选择考虑到管道所处的环境条件和输送介质的性质。不同的介质可能对材料的腐蚀性要求不同，比如含硫化氢的天然气对管道材料的选择提出了更高的要求。常见的管道材料包括碳钢、不锈钢、合金钢等。碳钢因其经济性和强度而广泛应用，但在腐蚀环境中需要通过涂层或阴极保护进行保护；而不锈钢和合金钢则因其抗腐蚀性能较好，适用于更恶劣的环境条件。

同时，通过改良材料的成分和结构可以提高其抗腐蚀性能。例如，添加合金元素如铬、镍、钼等可以显著提高钢材的耐腐蚀性，使其在酸性或高温环境中具备更长的使用寿命。通过调整热处理工艺、优化晶界结构等方式，也能改善材料的耐腐蚀性和机械性能。在选用材料时，通常会参考国际标准化组织（ISO）标准以及各国家的管道建设规范，确保所选材料符合运输介质的特性和管道操作的要求。最后，还应通过非破坏性测试技术如超声波检测、X射线衍射分析等对管道材料进行定期检测，及时发现材料的老化、腐蚀或损伤情况，并采取必要的维护和修复措施，以保证管道系统的长期稳定运行。

4 结束语

油气管道腐蚀是一个复杂的系统工程问题，其防腐措施需要从多方面入手，基于化学、电化学和生物因素的综合分析和应对。通过科学合理的防腐技术措施，可以有效保障油气管道的安全运行，提高其使用寿命，减少环境和经济损失的发生。

【参考文献】

- [1] 方勇, 陈景杨. 浅析油气管道腐蚀原因及影响因素 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(10): 103-106.
 - [2] 常胜龙. 油气储运中输油管道防腐工艺的研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(15): 13-15.
 - [3] 郑中亮, 徐振. 油气管道腐蚀因素及防腐措施的研究 [J]. 清洗世界, 2023, 39(4): 92-94.
 - [4] 孙玉, 张薇, 唐成瑞, 等. 油气管道腐蚀因素与防腐措施进展 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(3): 115-118.
- 作者简介：李鑫（1989.9—），单位名称：广东白云学院，毕业学校和专业：郑州大学 过程装备与控制工程。

浅谈低温甲醇洗甲醇洗涤塔防气阻工艺

杨杰 宋建平

蒲城清洁能源化工有限责任公司，陕西 蒲城 715500

[摘要] 低温甲醇洗装置开车期间甲醇洗涤塔区域容易出现气阻现象，此现象的出现，严重影响装置开车时间，进而增加装置开车消耗。相较传统的处理方法，本文详细介绍了在大型煤化工企业，安全、环保、节能解决该现象的具体应用案例。

[关键词] 低温甲醇洗；甲醇洗涤塔；气阻

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13401

中图分类号：TQ223

文献标识码：A

Brief Discussion on the Anti-Air-Blocking in Low-Temperature Methanol Washing Tower

YANG Jie, SONG Jianping

Pucheng Clean Energy Chemical Co., Ltd., Pucheng, Shaanxi, 715500, China

Abstract: During the start-up of the low-temperature methanol washing unit, gas blockage is prone to occur in the methanol washing tower area, which seriously affects the start-up time of the unit and increases the start-up consumption. Compared to traditional treatment methods, this article provides a detailed introduction to specific application cases of solving this phenomenon in large coal chemical enterprises through safety, environmental protection, and energy conservation.

Keywords: rectisol wash unit; methanol washing tower; air resistance

1 背景

以煤为原料的化工生产中，煤气化后产生的粗煤气经 CO 耐硫变换工序之后，获得的变换气中含有大量对后续合成工段而言多余的 CO_2 、少量的 H_2S 和 COS 等酸性气体，尤其是硫化物会造成下游甲醇合成反应中的催化剂中毒，因此必须对其进行脱除。

在煤化工及石油化工气体净化领域，或者称之为酸性气脱硫脱碳工艺中，低温甲醇洗工艺自问世以来便具有举足轻重的地位。无论是煤的液化，还是煤的气化，大多装置都要有气体净化工艺，而低温甲醇洗工艺是目前工艺包里面，相对低消耗、低毒性、低成本、成熟的气体净化技术，已被广泛应用于国、内外气体净化装置中。尤其是对煤为原料制取合成气的净化，效果极佳。

低温甲醇洗工艺以高压的、低温的贫甲醇为吸收溶剂，利用甲醇在高压、低温下对酸性气体(CO_2 、 H_2S 、 COS 等)溶解度极大的优良特性，脱除原料气中的酸性气体这一多余及有害组分，是一种物理吸收处理工艺。

该工艺针对酸性气体净化度高，有极强的选择性吸收；根据溶解度大小的不同，气体的脱硫和脱碳可意义设置在同一个吸收塔内选择性地分段进行，相对占地面积小、投资额度低、密封点少，便于后期甲醇再生脱附和气体分离。低温甲醇洗工艺技术成熟，在工业上有很好的应用业绩，低温甲醇洗脱硫、脱碳技术特点如下：

甲醇在低温下对 CO_2 、 H_2S 、 COS 等酸性气体吸收能力极强，循环量小，能耗低，尤其是压力越高循环量越小(相同循环量下，7.5MPa 处理气量是 5.4MPa 的 1.5 倍)。

甲醇有很好的化学和热稳定性。

气体净化度高（微量指标 $\text{H}_2\text{S} < 0.1 \text{ ppm}$ ）。

甲醇不起泡，无需增加消泡剂。

具有选择性吸收 H_2S 、 COS 和 CO_2 的特性，可分开脱除和再生，相对节省占地面积和减少设备使用量。

甲醇相对而言廉价易得，相对毒性较低，但对操作、检修和设备材质选择等要求依然严格。

甲醇在低温(-60°C)下吸收， CO_2 脱附采用减压闪蒸及惰气气提进行，含硫酸气可采用热再生进行脱附，热耗较低。

该工艺技术成熟，但由于操作温度低，设备、管道需低温材料，所以投资较高；但与其它脱硫、脱碳工艺相比具有电耗低、蒸汽消耗低，原料价格便宜，操作费用低、脱硫的净化度高等优点，对甲醇生产十分有利^[1]。

低温甲醇洗工艺随后持续进行改进和发展，主要措施有：为满足环保要求降低放空尾气中有毒有害介质；为利于硫磺回收或其他工艺产品，提高硫化氢浓度；改进甲醇再生方法，林德提出惰气气提工艺，鲁奇提出真空闪蒸工艺^[2]。

在 70 年代后期，林德提出了典型的 4 塔工艺流程，陆续设计出 8.0MPa 的现代低温甲醇洗工业并进行工业应用。

低温甲醇洗技术作为煤化工领域不可缺少的工艺流程，目前国外主流工艺有鲁奇低温甲醇洗工艺、林德低温甲醇洗工艺^[3]。国内研究也在持续进行中，上海化工研究院、浙江大学、南化集团研究院、兰州设计院、北京化工大学、大连理工大学等科研单位均已取得极佳的研究成果^[4]。

低温甲醇洗工艺的吸收和再生是物理过程。酸性气体

在低温甲醇溶液中溶解度很大，根据变换气中各组分在相同压力和温度下，在低温甲醇中的溶解度，得出各组分在甲醇中溶解能力^[5]为： $\text{NH}_3 > \text{H}_2\text{S} > \text{COS} > \text{CO}_2 > \text{CH}_4 > \text{CO} > \text{N}_2 > \text{H}_2$ 。同时根据亨利定律，先在甲醇洗涤塔中用甲醇溶液于较高压力和低温下将原料气中绝大部分二氧化碳和全部的硫化物（剩余 ppb 级）吸收下来，然后在二氧化碳产品塔中，通过降低压力，闪蒸富碳甲醇得到较纯净的二氧化碳产品（98%以上），在 H_2S 浓缩塔中通过多次闪蒸循环吸收和氮气提，使甲醇溶液中的硫化物得到浓缩，同时在解吸过程中为系统提供了大量的高位能冷量；最后在热再生塔中于较低压力和较高温度下将甲醇溶液吸收的绝大部分硫化物和残余的二氧化碳解吸出来，得到了含硫化物较高的酸性气，同时甲醇溶液也得到了彻底的再生，变成合格的贫甲醇进行循环利用。

某公司变换气以 7.6MPa (G)、40°C 工况进入低温甲醇洗系统，经过使用冷密封水进行洗涤脱氨后，与循环气混合后，使用喷淋甲醇对变换气中水分进行捕集后，使用来自系统内部的低温的净化气、尾气、 CO_2 产品气进行预冷至-20°C（净化气、尾气、 CO_2 产品气得到复温）；预冷后变换气进入水分离器里面进行气液分离，分液后液体经减压后送入甲醇/水分离塔进行甲醇回收；分液后顶部气体进入甲醇洗涤塔底部，与来自上塔的富二氧化碳甲醇溶液逆流接触，除去原料气中 H_2S 、COS 等硫化物。被脱除掉 H_2S 的原料气进入上塔，与来自甲醇洗涤塔顶部的-62°C 贫甲醇（甲醇≥99.5%， $\text{H}_2\text{O} \leq 0.5\%$ ， $\text{NH}_3 < 100\text{mg}/\text{l}$ ，硫化物<50ppm）逆向接触，分别脱除变换气中的 CO_2 这一酸性介质；变换气经过甲醇洗涤塔后，出塔顶的净化气即可做为后续合成工段的原料气进行合成，净化气经换热复温后以 7.3MPa (G)、30°C 工况送至后续合成工段。

因为 $\text{H}_2\text{S}/\text{COS}$ 在甲醇中的溶解度大于 CO_2 的溶解度，所以塔底部需要的甲醇流量比脱除 CO_2 所需的甲醇量小很多。因此，只需一部分甲醇进入塔底，来自塔上部的不含硫的多余甲醇从上塔底部引出，富硫甲醇从塔底排出。

利用 H_2S 、COS、 CO_2 在贫甲醇中溶解度的极大差异，从甲醇洗涤塔底部排出的吸收了 H_2S 、COS、 CO_2 的富碳甲醇和富硫甲醇分别经过多级换热器降温后，分别进入 2# 循环气闪蒸罐和 3# 循环气闪蒸罐进行降压闪蒸（1.6MPaG），以回收溶解的 H_2 和 CO，减少 CO_2 产品气和尾气中的 CO 排放量；闪蒸出来的气体混合后进入循环气压缩机单元进行压缩，做为循环气进入原料气管线。

2#循环气闪蒸罐底部的富碳甲醇进入 CO_2 产品塔进行闪蒸（0.23MPaG），获得 CO_2 产品气，通过使用换热器进行冷量回收后，复温至环境温度进行高点排放；3#循环气闪蒸罐底部的富硫甲醇进入 H_2S 浓缩塔进行减压闪蒸（0.06MPaG），辅助使用氮气气提等方法将大部分 CO_2 从甲醇中分离出来，获得大量冷量，经过换热器将其冷量转

移至进甲醇洗涤塔的贫甲醇上，顶部产生的尾气，通过使用换热器进行冷量回收后，复温至环境温度进行高点排放。

解析出大量 CO_2 的富甲醇，进过多级换热器进行冷量回收和气液分离后，液体进入热再生塔，通过使用再沸器的 0.5MPa、160°C 饱和蒸汽进行加热，使用精馏的方法将甲醇中在前系统未解析出的剩余 CO_2 和大量未解析的 H_2S 、COS 进行解析。自热再生塔顶部排出的含甲醇、 H_2S 及 CO_2 气体经过一次冷却后进行一次气液分离，一次气液分离后液相作为热再生塔顶部回流甲醇；气相经过二次降温和三次深度降温至-30°C 后，进行二次气液分离。二次气液分离液相返回前系统，气相经过复温回收冷量后作为酸性气（即硫回收工段原料气）送往硫回收工段进行处理。

解析出 H_2S 、COS 和 CO_2 等气体后的甲醇，做为合格的贫甲醇送入贫甲醇罐，利用贫甲醇泵由贫甲醇罐抽出进行增压后，经过贫甲醇水冷器进行一级冷却及其它和换热器四级冷却后再次送入甲醇洗涤塔顶部，达到甲醇循环利用的目的。

水分离器底部液相、 CO_2 产品水洗塔液相及甲醇再生塔底部含水较高的液相，进入甲醇/水分离塔进行脱水和甲醇回收。甲醇/水分离塔使用 1.2MPa、190°C 蒸汽再沸器进行加热，顶部甲醇蒸汽进入甲醇再生塔进行冷凝回收，底部废水经换热器降温后送出界区。

甲醇洗涤塔是低温甲醇洗装置的主要设备，也是低温甲醇洗装置的核心设备，酸性气体的脱除全部发生在此设备内。

甲醇洗涤塔（H: 83750mm, Φ 3800mm）共分为四段，为两段填料加 68 块塔盘形式，从塔底至塔顶由中央升气管隔离分为 4 段，由下到上分别为 A 段 52 块双溢流浮阀塔盘（板间距 450mm）、B 段散装填料（H: 8000mm）、C 段散装填料（H: 5000mm）、D 段 12 块双溢流浮阀塔盘（板间距 500mm），塔体材质 SA203。

在甲醇洗涤塔内部，变换气由甲醇洗涤塔底部进入，贫甲醇由甲醇洗涤塔顶部进入，与变换气进行逆向接触完成吸收。由于贫甲醇在吸收变换气中 CO_2 的过程中会产生大量溶解热，引起甲醇温度大幅度上涨。当甲醇温度升高后，引起甲醇吸收能力下降，严重影响吸收效果。为有效避免这一现象，当甲醇在吸收部分 CO_2 引起温度上涨后，将甲醇及时由甲醇洗涤塔内引出至换热器内进行降温，将降温后甲醇再次送入甲醇洗涤塔进行吸收。

该项目甲醇洗涤塔由顶部至底部共分为四段，甲醇洗涤塔顶部 A 段吸收 CO_2 后温度升高后甲醇引出进入换热器中进行降温，降温后甲醇送入甲醇洗涤塔上部 B 段；甲醇洗涤塔上部 B 段吸收 CO_2 后温度升高后甲醇引出进入换热器中进行降温，降温后甲醇送入甲醇洗涤塔中部 C 段；甲醇洗涤塔中部 C 段吸收 CO_2 后甲醇部分作为无硫甲醇送至中压区进行处理，部分送入甲醇洗涤塔底部 D 段进行变换

气中 H₂S 的吸收。

在低温甲醇洗开车期间，甲醇洗涤塔压力约 7.3MPa，甲醇洗涤塔顶部 A 段及 B 段换热器区域，大量气相集聚，当气相集聚压力大于自甲醇洗涤塔顶部注入的贫甲醇的压力时，贫甲醇无法通畅地通过气相集聚区域，即出现气阻现象，引起贫甲醇不能正常由甲醇洗涤塔顶部 A/B 段留至甲醇洗涤塔中部 C 段区域，甲醇循环暂时性中断；当贫甲醇压力通过气阻管线憋压，出现贫甲醇压力大于气阻管线气体压力现象时，贫甲醇快速通过气阻区域并快速由甲醇洗涤塔顶部 A/B 段留至甲醇洗涤塔中部 C 段区域，引起甲醇洗涤塔及后系统甲醇液位大幅度波动，造成系统工况大幅度波动；当贫甲醇压力经此快速泄压再次低于气相集聚区压力时，再次出现气阻现象。

此气阻现象的反复出现，直至气阻区域气体被甲醇完全带出管线。在此过程中，甲醇洗涤塔内甲醇出现间歇性的流动和集聚，低温甲醇洗系统液位及工况发生大幅度波动，严重影响低温甲醇洗系统开车进度。

2 采取措施及分析

通过在甲醇洗涤塔顶部 A/B 段易气阻区域管线上增加高点排气阀，当出现气阻现象时，联系现场人员打开气阻区域管线的高点排气阀，将集聚的高压的氮气或可燃及有毒有害气体对空高点排放，直至气阻现象消失。

此方法主要缺点：

高压的氮气或可燃及有毒有害气体直接进行高点排放，在造成高压气体能量损失的同时，极易引起排气人员出现中毒窒息事故，也可能出现排气管线口部因高压气体摩擦产生静电后引起可燃气体着火的事故，故出现气阻后现场处置风险极高；同时可燃有毒气体的就地排放，对环境造成极大的污染，对环境极不友好。

3 解决方法

当甲醇洗涤塔顶部出现气阻现象后，处置流程如下：

(1) 打开甲醇洗涤塔顶部防气阻管线高点排气阀，打开防气阻管线进中压区气相联通管线手阀，监控防气阻管线压力及中压区压力。

(2) 当气阻现象消失后，关闭上述手阀。

使用此方法在有效保证低温甲醇洗开车时间的前提下，极大提高了气阻现象发生后现象排气人员的安全性，同时通过补充中压区逃逸压力的方式实现了废气的再利用。

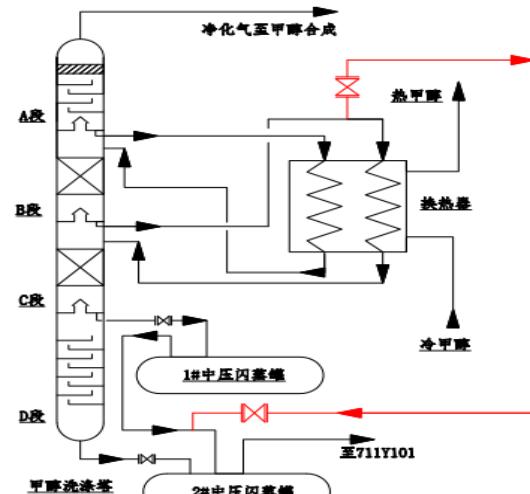


图 1 低温甲醇洗甲醇洗涤塔防气阻管线示意图

4 结语

通过开发低温甲醇洗高压区甲醇洗涤塔区域防气阻工艺，即在甲醇洗涤塔顶部 A/B 段易气阻区域管线上增加高点排气阀，并将该高点排气配管引至中压区气相管线上，在极其安全环保的前提下，有效消除甲醇洗涤塔顶部气阻现象，同时利用排出的高压气体可以对中压区随着甲醇循环而逃逸的压力进行补充，极大降低作业人员中毒窒息风险，在实现排气目标的同时，极大保护了环境。

[参考文献]

- [1] 杜兆海, 胡庆彪. 低温甲醇洗气体净化工艺及其技术研究 [J]. 河南化工, 2011, 28(5): 25.
- [2] 汪家铭. 低温甲醇洗工艺的技术优势及发展进展 [J]. 化肥设计, 2013(6): 36.
- [3] 王祥云. 合成氨气体净化技术进展(下)-脱碳技术的进展 [J]. 化肥工业, 2004, 32(2): 19-28.
- [4] 贺永德. 现代煤化的技术手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 化学与应用化学出版中心, 2004.
- [5] 上官炬, 常丽萍, 苗茂谦. 气体净化分离技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.

作者简介：杨杰（1987.11—），甘肃庆阳人，化工工程师，主要研究方向为煤化工工艺及设备；宋建平（1988.7—），男，汉，陕西商洛，高级工程师，工学学士，主要研究方向：低温甲醇洗及附属工艺。

海底管道复合材料防腐修复技术应用进展

安 波

广东白云学院，广东 广州 510000

[摘要]海底管道作为海洋资源开发的重要基础设施，其长期处于复杂的海洋环境中，容易受到腐蚀和损坏的影响。复合材料作为一种新型材料，在其防腐修复领域具有广泛的应用前景。文章将探讨海底管道复合材料防腐修复技术的应用进展，分析国内外的相关案例和技术发展情况。通过对国内外相关应用的分析，了解复合材料在海底管道修复中的具体应用情况和技术进展，为海底管道的维护和管理提供有益参考。

[关键词]海底管道；复合材料；防腐

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13427

中图分类号: TE988.2

文献标识码: A

Application Progress of Composite Material Anti-corrosion Repair Technology for Submarine Pipelines

AN bo

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract: As an important infrastructure for the development of marine resources, submarine pipelines are exposed to complex marine environments for a long time and are easily affected by corrosion and damage. Composite materials, as a new type of material, have broad application prospects in the field of anti-corrosion repair. The article will explore the application progress of composite material anti-corrosion repair technology for submarine pipelines, analyze relevant cases and technological development at home and abroad. By analyzing the relevant applications at home and abroad, we can understand the specific application and technological progress of composite materials in the repair of submarine pipelines, and provide useful references for the maintenance and management of submarine pipelines.

Keywords: submarine pipeline; compound material; anti-corrosive

引言

海底管道在输送油气等能源资源过程中，长期受到海水、化学物质及微生物的侵蚀，导致腐蚀损伤严重，影响管道的安全运行和寿命。传统的防腐修复方法存在效果不彰、维护成本高等问题^[1]。因此，海底管道复合材料防腐修复技术成为当前研究的热点。该技术利用耐腐蚀性强、抗拉强度高的复合材料进行管道表面修复和保护，具有耐海水腐蚀、轻质高强、施工便捷等优点，能有效延长海底管道的使用寿命，提升其在能源输送中的安全性和经济性。

1 技术发展

海底管道复合材料防腐修复技术是近年来在管道工程领域中快速发展的一项重要技术。传统的海底管道防腐修复方法，如阴极保护和涂层保护，虽然有效，但面临着材料耐久性差、施工复杂及维护成本高等问题。复合材料防腐修复技术因其独特的优势逐渐受到关注和应用。

复合材料具有优异的耐腐蚀性能，能有效抵御海水中的腐蚀介质和微生物侵蚀，长期保持其结构完整性。复合材料通常由玻璃纤维、碳纤维等高强度纤维和环氧树脂等高耐化学腐蚀性树脂组成，具有良好的耐候性和化学稳定性，适合长期水下使用。复合材料的轻质高强特性使得其

在海底管道修复中具备了明显的优势。相较于传统的金属材料，复合材料的密度轻，强度高，不仅可以减轻管道的自重，降低海底沉降风险，还能提高管道的抗拉强度和耐久性。

2 国内管道复合材料修复技术应用

2.1 中石油管道复合材料修复技术应用

中石油作为中国最大的石油和天然气生产公司之一，长期以来面临着油气输送管道老化、腐蚀等问题，这直接影响到管道的安全运营和能源效率。为解决这些问题，中石油积极引入和发展了管道复合材料修复技术，该技术被广泛应用于管道的维护和修复工作中，以提高管道的服役寿命和安全性能。

复合材料修复技术主要利用具有高强度、耐腐蚀和轻质特性的复合材料对受损管道进行修复。这种材料通常由多种不同的纤维（如碳纤维、玻璃纤维）和树脂（如环氧树脂）组成，通过特定的工艺方法制成预浸料带或修复套件。在修复过程中，技术人员会首先对受损的管道进行表面处理，去除锈蚀和杂质，然后将预浸好的复合材料按照一定的层次和方向缠绕在管道受损部位，通过加热或自然条件下固化，使复合材料与管道表面形成牢固的结合。

中石油在应用这一技术过程中,注重技术的创新和优化。例如,公司开发了自动化复合材料缠绕设备,提高了修复作业的效率和质量。中石油还通过与国内外科研机构和高校合作,不断对材料的性能进行测试和改进,以适应不同环境和压力条件下的需要。复合材料的轻质特性减轻了运输和安装过程中的劳动强度,而高强度和耐腐蚀性确保了修复后管道的长期稳定运行。复合材料修复技术的应用范围也从输油管线扩展到了城市燃气管线、化工厂管线以及海底管线等多个领域。

中石油的管道复合材料修复技术的应用不仅提高了管道系统的可靠性和经济性,还推动了该领域技术的发展和创新,为全球石油和天然气行业的安全和环保提供了重要贡献^[2]。

2.2 海底管道复合材料修复技术应用

海底管道作为连接海上石油及天然气开采平台与陆地设施的重要通道,在全球能源供应链中扮演着至关重要的角色。由于海底环境的特殊性,这些管道常常暴露于极端的环境条件下,如高盐腐蚀、水压大和机械撞击等,这些因素都可能导致管道的损伤或老化。近年来,复合材料因其优越的机械性能和耐腐蚀性,已成为海底管道修复的理想选择。

在海底管道的复合材料修复技术中,通常会使用玻璃纤维或碳纤维加强的环氧树脂复合材料。这些复合材料具有良好的强度和柔韧性,可以有效地承受海底高压和动态环境的影响。修复过程首先是对受损管道进行彻底的清理,移除生物附着物和腐蚀产物,确保修复区域的清洁。接着,技术人员会根据损伤程度裁剪合适尺寸的复合材料片段,使用特制的水下胶粘剂将复合材料层层贴合在损伤部位上。

考虑到海底作业的复杂性和成本,现代海底管道修复技术还结合了机器人技术。例如,使用遥控操作的水下机器人(ROV)来执行修复任务,可以减少潜水员的直接介入,提高修复作业的安全性和效率。ROV装备有摄像头和操作臂,能在恶劣的海床环境中精确地完成复合材料的裁剪、定位和固化工作。此技术能够应对从小规模裂纹到大面积损伤的各种情况,确保了能源的连续供应和海洋环境的保护。

2.3 国内企业管道复合材料修复技术应用

在我国,随着工业化和城市化的加速发展,管道输送系统在石油、天然气、化工等行业中发挥着至关重要的作用^[3]。由于长期运行和复杂多变的环境因素,国内的企业管道常常面临着腐蚀、磨损等多种损伤问题。国内许多企业开始采用复合材料修复技术来延长管道的使用寿命和提高其安全性能。

国内企业在管道复合材料修复技术的应用上,主要集中在使用高性能的玻璃纤维和碳纤维加强的环氧树脂系统。这些复合材料能够提供优越的机械强度和极佳的耐化学性,特别适用于化工和海洋石油开采等领域的管道修复。

企业在执行修复工作时,通常会首先进行管道的表面准备,包括清理管道表面的腐蚀和杂质,然后按照损伤情况裁剪合适的复合材料,并采用专用黏接剂将其固定在损伤区域。此过程中,精确的材料配比和固化控制是保证修复质量的关键。

随着技术的进步,国内企业也在不断尝试将自动化和机器人技术融入管道修复作业中。例如,有些企业已经开始使用自动化的涂装系统和机器人来施加和固化复合材料,这不仅提高了修复作业的效率,也提升了修复质量的一致性。

3 国外管道复合材料修复技术应用

3.1 法国天然气公司高压天然气管网复合材料修复技术应用

在法国,高压天然气管网是国家能源系统的重要组成部分,保障其安全和高效运行是法国天然气公司的核心任务。法国天然气公司积极采用复合材料修复技术来处理和预防管道系统中的损伤和老化问题,这一技术已成为其管道维护策略的关键部分。

复合材料修复技术在法国高压天然气管道中的应用,主要利用先进的碳纤维和玻璃纤维加强的环氧树脂材料。这些材料不仅具备高强度和优异的耐腐蚀性,还能够承受高压操作环境的需求。在实际应用过程中,技术人员首先会对管道进行彻底的检查,确定损伤的性质和程度,然后清理并磨平受损区域,以确保修复材料能够有效附着。

修复工作通常包括将预先浸渍的复合材料贴合在管道的受损部位,使用专门的固化技术如热固化或紫外线固化来加速修复材料的硬化过程。这种修复方法不仅显著提高了管道的机械强度,还确保了修复部位的密封性和耐久性。法国天然气公司还采用了一些创新技术,例如使用机器人和自动化设备来施加和固化复合材料,这不仅提高了修复作业的精确性,也缩短了维修时间,减少了对管网运营的影响。随着复合材料技术的不断进步和成熟,法国天然气公司已能够在更广泛的管道系统中应用此技术,包括那些位于特别恶劣环境中的管道。这一策略不仅增强了管道的安全性,也延长了其运营寿命,同时还为公司带来了经济效益。

3.2 法国 3X 工程公司复合材料修复技术应用

法国 3X 工程公司是一家专注于管道维护和修复的技术先锋,其开发的复合材料修复技术在全球范围内受到高度评价。该公司的技术主要针对油气、水处理以及化工行业中的管道系统,特别是在处理高压和高腐蚀环境下的管道损伤方面表现出色。

3X 工程公司的复合材料修复方案主要使用高性能的玻璃纤维和碳纤维复合材料,这些材料能够提供出色的机械强度和耐化学性能。在实际应用过程中,首先由专业团队对受损管道进行全面的评估,包括使用超声波和 X 射线

进行损伤深度和范围的检测。检测后，技术人员会根据损伤情况制定个性化的修复方案，以确保修复措施的针对性和有效性。修复过程中，3X 工程的专业人员会先对受损区域进行表面处理，包括清洁和磨平，然后根据管道的具体条件选择合适的复合材料和树脂系统。复合材料层会被精确地裁剪并贴合在受损区域上，使用特定的树脂进行浸渍，以确保材料之间的优良粘接。此后，树脂会在控制的条件下固化，形成一个坚固的复合层，这个复合层不仅可以恢复管道的结构完整性，还能增加其耐蚀性和耐压性。3X 工程公司使用的固化技术可以是常温固化或热固化，具体取决于现场条件和所需的性能标准。

3X 工程公司在修复技术的应用上也非常注重环境保护和安全性。他们使用的复合材料和树脂系统都符合国际环保标准，确保在修复过程中对环境的影响最小。3X 工程公司的复合材料修复技术已经在多个国家和行业中得到应用，包括在极端环境下的海底管道修复和高温高压工况下的石油管道修复。

3.3 美国加州海上管线复合材料修复技术应用

美国加州是一个地震频发区，同时拥有大量的海上石油和天然气开采设施，这些设施的管线系统经常面临极端的环境挑战，如海水腐蚀、地质活动引起的物理应力等。为应对这些挑战，加州的海上管线经常采用先进的复合材料修复技术来保障管线的安全与可靠性。这种技术利用高性能的复合材料来包覆和加固已有的金属管线，从而提高其结构强度和耐蚀性能^[4]。

在具体的实践中，团队首先会对受损管线进行彻底的检查和清理，移除管线表面的腐蚀产品和杂质。接着，使用专门设计的树脂系统，如环氧树脂或乙烯基酯树脂，这些树脂不仅具有极好的粘接性能，还能在海洋环境中提供长期的化学稳定性。修复材料通常是预浸涂层的纤维增强塑料（FRP），这些材料会根据管道的直径和损伤程度量身定做，确保可以紧密贴合在原有管道上。

为增加修复的持久性和有效性，加州的技术团队还会采用先进的固化技术，比如使用紫外线或热固化系统来促进树脂的硬化，这样可以确保修复层与原管道之间的牢固结合。完成固化过程后，技术团队会进行压力测试和完整性评估，确保修复后的管线可以承受未来的操作压力和环境挑战，不仅有效延长了管道的使用寿命，降低了更换成本，还因其施工速度快、对环境影响小而受到了广泛的应用。

3.4 美国 Clock Spring 湿缠绕法复合修复技术应用

美国 Clock Spring 公司开发的湿缠绕法复合材料修复技术，是一种用于管道和基础设施维修的创新解决方案，广泛应用于石油、天然气以及水处理行业中的管道修复。这种技术特别适合于修复由于腐蚀、机械损伤或环境因素

引起的管道损伤。Clock Spring 的湿缠绕法利用预浸透的纤维增强塑料（FRP）带，这些带材在应用之前已经被充分浸润在特制的树脂中，如环氧树脂，这些树脂具有极高的黏结力和耐化学腐蚀性能。

在具体的修复过程中，首先需要对受损的管道进行表面准备，包括清理和打磨，以确保树脂和纤维带可以牢固地粘贴在管道表面。之后，将预浸透的 FRP 带按照特定的张力和角度缠绕在管道的受损区域，确保每一层都均匀且紧密地覆盖在前一层之上。缠绕完成后，应用外部压力或热量来促进树脂的固化过程，这一步骤对于形成坚固的复合材料修复层至关重要。

Clock Spring 的湿缠绕技术不仅可以迅速地恢复管道的机械强度，还能显著提高其耐腐蚀性和耐磨性。由于这种方法的高效性和可靠性，它能够大幅减少停机时间和维修成本，特别是在无法拆除或替换整段管道的情况下，提供了一种经济有效的解决方案。此外，由于使用的材料和技术符合环保标准，这种修复方法还减少了环境影响。

Clock Spring 的湿缠绕法因其操作简便和施工快速的特点，在全球范围内得到了众多行业的认可和应用。这种技术不仅应用于新的管道安装，也被用于老化管道的维护和寿命延长，有效支持了关键基础设施的持续运营和安全生产。

4 结束语

海底管道复合材料防腐修复技术的应用进展展示了在管道维护和修复领域的巨大潜力和发展空间。国内方面，中石油及其他企业在管道修复领域积极探索和应用复合材料技术，取得了一定的进展和成果。而国外的应用案例，如法国、美国等地的天然气和海上管线，采用了多种复合材料修复技术，有效提升了管道的安全性和耐久性。未来，随着技术的不断发展和实践经验的积累，海底管道复合材料防腐修复技术将在全球范围内得到更广泛的应用和推广，为海底管道运维和环境保护提供可靠的解决方案。

【参考文献】

- [1] 刘军, 张传旭, 曲杰. 海底管道外腐蚀复合材料水下缠绕补强修复技术应用 [J]. 海洋工程装备与技术, 2023, 10(4): 24-29.
 - [2] 姜蕊, 邢金铭, 刘洋, 等. 海底管道复合材料防腐修复技术应用进展 [J]. 涂层与防护, 2023, 44(11): 1-5.
 - [3] 张国庆, 于萱, 刘洪娟. 深水管道防腐涂层耐热水浸泡试验设计及应用研究 [J]. 涂料工业, 2022, 52(9): 81-87.
 - [4] 姜阳. 海底管道防腐质量管控 [J]. 清洗世界, 2022, 38(4): 7-9.
- 作者简介：安波（1979.8—），单位名称：广东白云学院，毕业学校和专业：东北大学，项目管理。

船舶轮机检验常见缺陷及排除措施分析研究

冒军

长江南京航道工程局，江苏 南京 210011

[摘要]船舶轮机的安全和可靠运行对船舶的整体运行至关重要。然而，船舶轮机在使用过程中常会出现各种缺陷，包括主机与冷却系统、辅助系统以及安全系统方面的问题。文中通过分析船舶轮机检验的主要内容和重要性，详细探讨了常见的缺陷类型及其排除措施。为有效应对这些问题，提出了健全的检验程序、一体化管理落实等策略，旨在提高船舶轮机的安全性和可靠性，确保船舶的长期运行。

[关键词]船舶轮机；缺陷排除；船舶主机

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13417

中图分类号: U672.2

文献标识码: A

Analysis and Research on Common Defects and Troubleshooting Measures in Ship Engine Inspection

MAO Jun

Changjiang Nanjing Waterway Engineering Bureau, Nanjing, Jiangsu, 210011, China

Abstract: The safe and reliable operation of ship engines is crucial for the overall operation of ships. However, various defects often occur in the use of ship engines, including issues with the main engine and cooling system, auxiliary systems, and safety systems. The article analyzes the main content and importance of ship engine inspection, and discusses in detail the common types of defects and their elimination measures. In order to effectively address these issues, strategies such as sound inspection procedures and integrated management implementation have been proposed, so as to improve the safety and reliability of ship engines and ensuring the long-term operation of ships.

Keywords: ship engine; defect elimination; ship main engine

引言

船舶轮机检验是确保船舶安全、高效运行的关键环节。由于船舶在恶劣的海洋环境中长时间运行，轮机设备容易出现磨损、腐蚀、机械故障等多种问题。这些缺陷如果不及时发现和修复，可能导致船舶性能下降，严重时甚至会引发海上安全事故。轮机检验通常包括对主机、辅机、润滑系统、冷却系统、燃油系统等关键部件的检查。检验过程中常见的缺陷包括轴承损坏、密封失效、管路堵塞、电气设备故障等。对于这些问题，检验员需进行详细的诊断分析，并根据具体情况采取相应的排除措施，如更换磨损部件、清理油路、修复电路等。随着技术的发展，轮机检验方法和设备也在不断更新，如使用更先进的传感器技术和诊断工具来提高检测的准确性和效率。船舶管理部门和相关研究机构也在不断研究和制定更有效的检验标准和维护策略，以适应不断变化的海洋运输需求和技术进步，提升海上运输的安全性^[1]。

1 船舶轮机检验主要内容以及重要性

1.1 主要内容

船舶轮机检验是确保船舶动力系统正常运行和安全的关键过程，主要内容包括以下几个重要方面。

1.1.1 轮机结构和部件的检查

这包括对主机、辅机及其相关部件如轴承、缸套、活

塞、气门等进行详细的外观和功能检查，确保它们没有磨损、裂纹或其它损伤，保证轮机在长期航行中的可靠性和稳定性。

1.1.2 轮机的性能测试

性能测试涵盖了功率输出、燃油消耗率、振动及噪声水平等参数的检测和评估。通过这些测试，可以验证轮机的工作效率和能耗情况，及时发现并解决可能影响轮机正常运行的问题。

1.1.3 轮机的安全性评估

检验人员会检查轮机的安全系统和紧急停机装置是否有效可靠，以及燃油系统、润滑系统和冷却系统是否符合安全标准，确保在船舶航行过程中能够有效应对突发情况，保障船员和船舶的安全。

对于涉及国际航运的船舶来说，轮机检验还需要符合国际海事组织（IMO）和其他相关国际标准的要求，确保船舶轮机在全球范围内的合法运营和交接。

1.2 重要性

船舶轮机检验的重要性不可低估，它直接关系到船舶的安全运行、经济效益和环境保护。首先，轮机作为船舶的动力心脏，其稳定运行直接影响到船舶的航行安全。通过定期的轮机结构检查和性能测试，能够及时发现和解决轮机内部可能存在的磨损、腐蚀、损伤等问题，确保轮机

在长途航行中的可靠性和持续性。其次，轮机检验有助于提升船舶的运营效率和经济效益。通过对轮机性能的全面评估，船舶管理者可以了解轮机的实际工作状态和能耗情况，优化船舶的航行计划和燃油消耗，降低运营成本，提高经济效益。再者，轮机的安全性评估是轮机检验中不可或缺的一部分。检验确保船舶轮机的安全系统、紧急停机装置和润滑、冷却系统的有效性和可靠性，有效预防因轮机故障而引发的安全事故，保障船员和船舶的安全。最后，符合国际海事组织（IMO）和其他国际标准的轮机检验，不仅是船舶合法运营的前提，也是船舶国际交接的重要保障。这种国际标准的遵从性，能够确保船舶在全球范围内的航行合法性和安全性，有利于船舶在国际市场的竞争地位和信誉。

2 船舶轮机检验常见缺陷

2.1 主机与冷却系统缺陷

在船舶轮机检验中，主机通常是船舶动力系统的核心，其常见的缺陷包括轴承磨损、密封件老化、润滑系统故障等。轴承磨损可能导致主机运转不稳或产生异常噪音，需要定期检查和更换以确保主机运行的可靠性和安全性。密封件老化则可能导致润滑油或冷却液泄漏，增加主机故障的风险。润滑系统故障可能由于油品污染或系统堵塞而引起，这会降低主机的效率和寿命。

在冷却系统方面，常见的缺陷包括管道堵塞、冷却水泵故障、冷却水泄漏等问题。管道堵塞可能由于水垢或其他杂质积聚而造成，影响到冷却效果，进而影响主机和其他设备的正常运行。冷却水泵故障会导致冷却系统失效，尤其是在高负荷或长时间运行下，这可能对主机的运行安全产生重大影响。冷却水泄漏不仅会减少冷却效果，还可能对船舶结构造成腐蚀和损坏。

维护和检验人员需要定期对船舶的主机和冷却系统进行全面的检查和维护，以预防这些常见的缺陷发生。通过及时的检修和替换关键部件，可以有效延长主机和冷却系统的使用寿命，提高船舶的安全性和可靠性，确保船舶在各种海况下的良好运行状态。

2.2 辅助系统缺陷

辅助系统包括空气压缩机、油水分离器、油系统、空调系统等。空气压缩机常见的缺陷包括气密性不足、压力调节不准确等，这可能导致气压供应不稳定，影响船舶的操作和设备使用。油水分离器如果出现故障，可能导致油污水未能有效分离，对环境造成污染，并且可能违反环保法规。油系统的常见问题包括泄漏、油品污染和管路堵塞等，这些问题不仅影响系统的正常运行，还可能导致机械部件的损坏^[2]。

空调系统的缺陷主要涉及制冷剂泄漏、风扇故障等，这可能导致船员在高温环境中的舒适度下降，影响工作效率和船员健康。定期的检查、维护和必要的更新换代是预防这些常见缺陷的关键措施，不仅有助于延长设备寿命，

还能提高船舶的安全性和环境保护水平。

2.3 安全系统缺陷

安全系统包括火灾报警系统、救生设备、防火隔离、紧急停机系统等。火灾报警系统常见的缺陷可能包括传感器故障、报警信号失效或误报等，这会导致火灾无法及时发现或误报造成不必要的紧张。救生设备的缺陷如救生艇启动机制失效、浮力失效等，在紧急情况下会影响船员的安全撤离。防火隔离的问题如隔离门关闭不严或密封不良，会导致火灾扩散的风险增加，危及船舶和船员的安全。紧急停机系统的故障可能导致在需要立即停机时无法快速响应，增加事故发生的风险。此外，船舶轮机的安全系统还包括排水系统、舱盖及门的密封性能等，这些方面的缺陷可能影响船舶的浮性和防水性能，在极端情况下甚至威胁到船只和船员的生命安全。

为确保船舶安全，定期的轮机检验至关重要。船舶轮机检验中的专业技术人员应当详细记录和报告发现的任何缺陷，并及时建议修复和改进措施，以确保船舶在各种环境条件下的安全性和可靠性。

3 船舶轮机检验排除措施

3.1 主机与冷却系统缺陷处理

当发现主机与冷却系统出现缺陷时，需要采取有效的排除措施以确保船舶的安全和性能不受影响。针对主机可能出现的问题如轴承磨损、密封件老化或润滑系统故障，操作人员应及时对主机进行全面检查和评估，确定损坏程度并采取适当维修措施。这包括更换磨损的部件、更新密封件、清洗润滑系统或替换润滑油。

对于冷却系统的缺陷，如管道堵塞、冷却水泵故障或冷却水泄漏，必须迅速进行处理以防止系统进一步受损。操作人员应清理堵塞的管道，修复或更换故障的冷却水泵，并修复任何发现的漏点，还应定期检查冷却水质量和冷却效果，确保冷却系统的正常运行。

在处理过程中，安全始终是首要考虑因素。操作人员必须遵循船舶制造商的维修指南和最佳实践，确保所有维修工作符合标准和规定。此外，必须保证维修过程中的安全措施，例如戴上适当的个人防护装备，避免操作过程中的意外伤害或环境污染。

为预防未来可能的问题，船舶管理者和运营团队应实施定期的预防性维护计划。定期检查和维护主机和冷却系统，以及定期更换关键部件和消耗品。通过这些措施，可以最大程度地减少船舶轮机检验中出现的常见缺陷，保证船舶的长期安全运行和性能可靠性。

3.2 辅助系统缺陷处理

在船舶轮机检验中，当发现空气压缩机出现气密性不足或压力调节不准确等问题时，首先需要进行详细的检查和测试，确定具体问题的根源。修复措施包括更换密封件、调整压力调节器或进行系统重新校准。

对于油水分离器的缺陷，如分离效果不佳或设备故障，应当及时清洗分离器内部、检查滤芯并可能更换，以确保有效的油水分离效果，遵守环保法规并防止污染海洋环境。油系统出现泄漏、油品污染或管路堵塞等问题时，需要快速响应，修复泄漏点、清洗系统并更换污染的油品或过滤器。

空调系统常见的缺陷如制冷剂泄漏或风扇故障，会影响船员的舒适度和工作效率。在发现问题后，操作人员应检查并修复制冷剂系统的泄漏点，更换受损的零部件，并确保空调系统的稳定运行，尤其是在高温环境下。维护团队在处理辅助系统缺陷时，应遵循船舶制造商的维修手册和最佳实践，确保所有维修工作符合标准和规定。操作人员必须注意安全措施，例如戴上适当的个人防护装备，并在必要时采取环境保护措施，防止污染和意外发生。

船舶管理者应实施定期的预防性维护计划，包括定期检查和维护辅助系统，以及定期更换关键部件和消耗品。通过这些措施，可以最大限度地减少辅助系统在船舶轮机检验中出现的常见缺陷，确保船舶的安全运行和乘员的舒适度。

3.3 安全系统缺陷处理

当火灾报警系统出现传感器故障、信号失效或误报时，操作人员必须立即进行详细的系统检查，确认问题来源并采取适当的修复措施，如更换故障传感器或重新校准系统。救生设备如救生艇启动机制失效或浮力问题时，需迅速修复或更换受损部件，确保设备能够在紧急情况下可靠运行^[3]。

防火隔离系统若发现门关闭不严或密封不良，会导致火灾扩散风险增加，因此必须及时调整门的密封性能或更换损坏的密封件。紧急停机系统出现故障可能导致在需要立即停机时无法快速响应，因此需对系统进行详尽的测试和调试，确保其在紧急情况下可靠工作。

在处理安全系统缺陷时，操作人员应遵循船舶制造商的维修手册和指导方针，确保所有修复工作符合安全标准和法规要求。此外，操作人员必须注意安全防护措施，如佩戴适当的个人防护装备，并且在维修过程中避免造成进一步的设备损坏或操作错误。

船舶管理者和运营团队应实施定期的安全系统检查和维护计划，包括系统的定期测试、设备的更新和培训船员的应急响应能力，最大限度地减少安全系统在船舶轮机检验中出现的常见缺陷，保障船舶和船员在各种情况下的安全性和可靠性^[4]。

4 船舶轮机检验策略

4.1 健全检验程序

健全的检验程序是保证船舶轮机检验工作有效进行的基础。首先，制定详细的检验计划和流程图，明确每个环节的责任和时间表。这包括从检查前的准备工作到检查中的实际操作和数据记录，再到检验后的报告撰写和反馈。

在检验程序中，必须包含各种检查项目和标准操作程

序（SOP），确保每位操作人员在执行检验任务时都能遵循统一的方法和标准。例如，对于主机的检验，可能包括对轴承、润滑系统、冷却系统等的详细检查流程；而对于安全系统，则需明确火灾报警、救生设备、防火隔离等各个子系统的检验点和要求。

检验程序应考虑到船舶类型和用途的特殊性，确保涵盖到所有关键的机械和电气系统。这不仅有助于识别已知的问题和潜在的风险，还能提供全面的技术评估，为维修和改进提供必要的数据支持。

4.2 落实一体化管理

一体化管理是确保检验和维护工作高效运作的关键。各个部门和团队需要紧密合作，共同承担责任，以确保船舶的全面管理和运营^[5]。在实施一体化管理时，首先，建立清晰的沟通渠道和工作流程，确保信息的及时传递和共享。这包括定期召开跨部门的协调会议，讨论和解决检验过程中的问题和挑战。通过沟通和协作，能够更快速地响应紧急情况，减少由于信息不对称而导致的操作延误或错误。其次，建立有效的信息管理系统和数据记录机制，确保所有检验结果和相关文档都能够被准确记录和存档。这不仅是符合法规和认证要求的必要步骤，也为未来的维护和追踪提供了重要的依据。信息系统的使用还可以帮助分析历史数据，发现潜在问题的趋势，并制定预防性维护计划。最后，整合现代技术和软件工具，如船舶管理软件、远程监控系统等，能够提升管理的效率和精度。这些工具不仅能够实时监测船舶运行状态，还能帮助预测可能的故障和优化维护计划，从而减少停船时间和维修成本。

5 结束语

船舶轮机的稳定运行不仅依赖于先进的技术设备，更需要科学合理的检验和管理策略的支持。在具体工作中，应遵循相应的原理，更好地理解船舶轮机检验的重要性和实施排除措施的有效性，为保障船舶运行安全提供坚实保障。

【参考文献】

- [1] 钱焕鑫. 船舶轮机检验常见缺陷及排除措施 [J]. 船舶物资与市场, 2024, 32(1) : 115-117.
 - [2] 马克文. 船舶轮机检验常见缺陷及排除措施 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(8) : 90-92.
 - [3] 吴文爽. 船舶轮机检验常见缺陷及排除措施 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(7) : 70-72.
 - [4] 胡文, 马本德. 船舶轮机检验常见缺陷及排除措施探究 [J]. 珠江水运, 2023(10) : 14-16.
 - [5] 黎益禄. 船舶轮机检验常见缺陷与排除措施 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(4) : 91-93.
- 作者简介：冒军（1979.6—），男，江苏南京，汉，本科学历，沿海一等轮机长，就职于长南京航道工程局，从事船舶管理和航道疏浚工作。

液化气钢瓶生产过程中的质量管理体系

赵荣良

江苏文华重工有限公司，江苏 镇江 212311

[摘要]液化气钢瓶内部气压较高，同时瓶身较薄，因此属于较为危险的易燃易爆物品。我国对于液化气钢瓶的质量检测、运输、储存、装卸、使用时间都有着明确且严格的限制，主要目的就是预防火灾以及爆炸的发生。而液化气钢瓶一直处于高度循环使用的状态，因此如果做不好安全管理以及隐患防范的工作，将会埋下爆炸的隐患，从而造成巨大的损失。文中主要针对于液化气钢瓶在进行安全管理过程中存在的问题进行分析，同时提出了未来液化气钢瓶隐患防范的策略。

[关键词]液化气钢瓶；生产过程；质量管理；管理体系

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13435

中图分类号: X932

文献标识码: A

Quality Management System in the Production Process of Liquefied Gas Cylinders

ZHAO Rongliang

Jiangsu Wenhua Heavy Industry Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212311, China

Abstract: Liquefied gas cylinders have high internal pressure and thin body, making them a relatively dangerous flammable and explosive material. China has clear and strict restrictions on the quality inspection, transportation, storage, loading and unloading, and usage time of liquefied gas cylinders, mainly aimed at preventing fires and explosions. However, liquefied gas cylinders have always been in a highly recyclable state, so if safety management and hazard prevention are not done well, there will be hidden dangers of explosions, resulting in huge losses. The article mainly analyzes the problems in the safety management process of liquefied gas cylinders, and proposes strategies for preventing hidden dangers in liquefied gas cylinders in the future.

Keywords: liquefied gas cylinder; production process; quality management; management system

引言

在现代工业中，液化气钢瓶作为一种关键的工业容器，其质量管理体系的有效性直接关系到公众安全和产品可靠性。液化气钢瓶不仅广泛应用于家庭燃气、商业用途和工业生产中，还直接涉及到液化气的储存和运输安全。因此，确保每个液化气钢瓶在生产过程中质量稳定、符合标准是至关重要的。质量管理体系在液化气钢瓶生产中扮演着关键角色，它涵盖了从原材料采购到最终产品出厂的全过程控制。在这个体系中，每一个环节都必须严格执行规范和标准，以保证产品的安全性、耐用性和环境友好性。同时，质量管理体系还需要与国家和国际标准保持一致，确保产品能够在全球范围内通用并受到认可。本文将深入探讨液化气钢瓶生产过程中质量管理体系的重要组成部分，包括原材料选择与控制、生产过程质量控制、成品质量管理和持续改进措施。通过这些内容，我们可以全面了解如何通过科学的管理方法和先进的技术手段，确保液化气钢瓶生产过程中质量管理的高效运作，从而保障公众安全和企业长期竞争力的双重目标。

1 液化气钢瓶生产过程中的质量管理的重要性

液化气钢瓶在运输和储存液化石油气过程中扮演着至关重要的角色，其质量的优劣直接关系到使用过程中的安全性和可靠性，因此，对生产过程中的质量管理尤为重要。高效且严格的质量管理体系不仅能够确保液化气钢瓶符合国家和行业的相关标准，预防潜在的安全隐患，减少故障和事故的

发生，还能提高产品的使用寿命，增强企业的市场竞争力，提升客户的满意度和信任度。因此，全面、系统、持续的质量管理在液化气钢瓶的生产过程中不可或缺，确保了产品从原材料采购到最终出厂的各个环节都达到预期的质量标准。

2 液化气钢瓶生产过程中的质量管理体系

2.1 原材料质量管理

2.1.1 原材料采购标准

在液化气钢瓶生产过程中，原材料的选择和采购标准至关重要，直接影响产品的质量和性能。原材料采购标准是制定和执行的关键要素，它们确保所使用的材料符合预期的技术要求和质量标准。这些标准涵盖了多个方面，包括材料的化学成分、物理性质、尺寸精度、表面状态以及相关的环境和可持续性要求。通过确立清晰的采购标准，生产企业可以明确供应商选择的标准和程序，保证从源头上控制原材料的质量。这不仅有助于降低生产过程中的变异性，还能提升产品的一致性和可靠性，最终满足市场和客户对于安全、持久和高性能液化气钢瓶的需求。

2.1.2 原材料验收程序

在液化气钢瓶的生产过程中，原材料的验收程序是确保生产始终符合高质量标准的重要环节。该程序包括一系列严格的步骤和标准，旨在验证和确认每批进货原材料的质量和符合度。首先，验收程序从取样开始，确保从供应商处获取的样品具有代表性。随后的测试和检查涵盖了多个方面，如化学成分分析、机械性能测试、尺寸精度检测以

及表面状态评估等^[1]。这些测试依据预先制定的标准进行，确保原材料能够满足特定的技术要求和生产过程中的功能需求。验收程序不仅仅是检测原材料质量的过程，更是控制和预防生产过程中潜在质量问题的关键措施。通过严格执行验收程序，企业能够有效减少因原材料质量问题而导致的废品率和生产中断，保障产品质量的稳定性和可靠性。

2.1.3 供应商管理

在液化气钢瓶的生产过程中，供应商管理是确保原材料质量稳定和可靠性的重要组成部分。有效的供应商管理不仅仅是选择合适的供应商，更涵盖了与供应商的持续合作与改进。首先，供应商管理从评估和选择合格供应商开始。企业需要依据一系列严格的标准和要求，如供应商的质量管理体系、生产能力、技术能力以及交货能力等方面进行评估。选择合适的供应商不仅仅是根据价格和交货速度，更重要的是确保供应商能够稳定地提供符合预期质量标准的原材料。其次，供应商管理涉及到建立和维护长期的合作关系。通过与供应商之间的沟通和协作，企业能够确保供应商理解和遵守公司的质量要求和标准。定期的供应商评估和审核是确保供应商持续符合要求的重要手段，这包括监控原材料质量和供货表现，以及识别和解决潜在的问题和风险。最后，持续改进是供应商管理的核心。通过与供应商的定期交流和反馈，企业可以共同探讨和实施质量改进措施，不断提升供应链的整体质量水平和效率。

2.2 生产过程质量控制

2.2.1 制造工艺质量控制

在液化气钢瓶的生产过程中，制造工艺质量控制是确保产品质量和一致性的关键环节。该控制涵盖了从原材料加工到成品制造的所有工艺步骤，包括材料预处理、成型、冲压、成型、加工和组装等。每个工艺步骤都必须按照严格的工艺流程和标准操作程序（SOP）进行，以确保产品符合设计要求和技术规范。首先，制造工艺质量控制开始于工艺设计阶段。在这个阶段，制定合理的工艺流程和工艺参数，包括加工参数、工艺设备的选择和校准、操作规范等，以确保生产过程中能够稳定地实现设计要求的产品特性。其次，对每个关键工艺步骤进行严格的监控和控制是至关重要的。这包括实施实时过程监测、定期抽样检验、使用合适的检测设备和方法进行产品质量评估。例如，可以采用视觉检测系统、尺寸测量工具、无损检测设备等技术手段，确保产品的尺寸精度、表面质量和结构完整性达到要求。最后，制造工艺质量控制还包括对操作人员的培训和管理。操作人员必须经过专业的培训，了解和掌握操作规范和质量控制要求。同时，建立良好的记录和追溯体系，确保每个生产批次和每个产品能够追溯到原始材料、生产工艺和质量检验数据，以便追溯和问题分析。

2.2.2 焊接与热处理质量控制

焊接作为连接材料的主要方式，其质量直接影响到钢瓶的密封性和耐压性能。因此，焊接质量控制从焊接工艺的选择到焊接操作的执行，都必须严格依照设计规范和相关标准进行。首先，焊接工艺的选择和评定是关键步骤。

根据液化气钢瓶的设计要求和材料特性，确定适合的焊接方法、焊接材料及其预热、焊接参数等，确保焊接接头具有足够的强度和密封性。焊接工艺评定（PQR）和焊接工艺规程（WPS）审核是验证焊接工艺合格性的重要手段，必须按照GB/T 33209标准的要求进行评定和执行。其次，焊接操作中的质量控制包括焊工资质的认证和管理，确保焊工有足够的技能和经验进行高质量的焊接操作。焊接过程中的实时监控和检验，如焊缝外观检查、尺寸测量和焊缝探伤等，有助于及时发现并修正潜在的焊接缺陷，确保焊接质量符合要求。另外，热处理作为提高材料性能和结构稳定性的重要工艺，也需要严格控制。对热处理过程中的加热、保温和冷却速率必须按照CJ/T 33的要求进行PWHT工艺评定。实际生产按照评定合格的工艺参数进行控制，以确保材料获得均匀的组织和理想的理化及力学性能。

2.2.3 涂装与标识质量控制

涂装不仅仅是美观的外观处理，更是保护钢瓶表面免受腐蚀和外界环境的影响，延长产品的使用寿命。因此，涂装质量控制从涂料选择、涂装工艺到质量检验都必须严格执行。首先，涂料的选择和评估是关键步骤。根据钢瓶的使用环境和需求，选择具有良好抗腐蚀性、耐候性和美观性的涂料产品。涂料必须符合国家标准和环保要求，确保不含有害物质，且能在各种气候条件下保持稳定的性能。其次，涂装工艺控制涵盖了表面处理、涂装方法和涂层厚度等多个方面。表面处理包括除锈、除油和预处理，确保钢瓶表面干净平整，有利于涂料附着力和保护效果。涂装工艺需要精确控制涂料的喷涂厚度、固化温度和时间，以确保每个钢瓶的涂层质量和一致性^[2]。最后，标识质量控制确保了产品标识的清晰、准确和耐久性。标识内容包括许可编号、产品型号、规格、生产日期、使用年限、工作压力、产权单位、执行标准等重要信息，必须符合国家标准和客户要求。标识方法包括钢印、镂空码、丝印、焊接二维码等，需要选择合适的技术和材料，确保标识不易褪色、剥落或损坏，从而保证使用过程中信息的可追溯性和准确性。

2.3 过程检验与试验

在液化气钢瓶生产过程中，过程检测与检验是确保产品质量稳定性和符合标准要求的重要环节。这一阶段涵盖了从原材料进厂到成品出厂的整个生产过程，通过实时监测、中间检验和最终检验，有效控制和验证每个生产环节的质量控制措施。首先，过程中的在线检测确保了生产过程的实时控制和及时反馈。通过使用先进的检测设备和技术，如尺寸测量仪器、金相显微镜、水压试验、气密试验、无损检测设备等，对关键工艺参数和产品特性进行实时监测和检测。这种实时反馈可以帮助生产人员及时调整和优化生产过程，预防质量问题的发生，保证产品的一致性和稳定性。其次，中间检验在生产过程中定期进行，目的是验证各个工艺环节的执行情况和产品质量的中间状态。中间检验项目包括焊接接头检验、尺寸测量、容积和重量、水压测试、气密性测试等，确保产品在每个关键节点符合规范和设计要求。最后，最终检验是产品出厂前的最后一道关卡，确

保每个成品都符合最终的质量标准和客户需求。最终检验包括全面的外观检查、功能性能测试（如爆破试验等）、力学性能测试、标识和包装检验等，以确保产品完整性和安全性。

2.4 成品质量管理

在液化气钢瓶生产过程中，成品质量管理是确保每个生产出来的钢瓶都符合严格标准和客户期望的关键方面。这一管理体系涵盖了从产品设计、生产制造到最终出厂的全过程控制和监管，旨在确保每个钢瓶在安全性、可靠性和性能稳定性方面达到最高标准。首先，成品质量管理包括建立和遵守严格的质量标准和检验程序。这些标准涵盖了产品的外观质量、尺寸精度、机械性能、化学成分、水压、爆破、密封性能以及标识和包装等多个方面。通过这些标准的执行，确保每个生产出来的钢瓶在视觉和功能上都达到预期的要求。其次，成品质量管理还包括建立完善的质量控制体系、质量保证体系、产品信息公示及追溯体系。这些体系涉及到全面的过程监控、定期的中间检验和最终检验，确保生产过程中的每个环节都受到有效控制和监督。通过有效的质量控制措施，及时发现并解决潜在的质量问题，防止不合格产品流入市场，保证产品的一致性和稳定性。

2.5 质保体系组织架构的建立

建立质保工程师负责的质保体系，下设：设计、工艺、原料、焊接、热处理、检验与试验、理化、设备与计量、其他过程控制等质量工程师（质量安全员），分段负责、层层把关。

3 液化气钢瓶生产过程中的质量管理体系的持续改进

3.1 内部审核与评审

在液化气钢瓶生产过程中，内部审核与评审是质量管理体系持续改进的重要组成部分。这一过程旨在通过定期的自我检查和评估，确保质量管理体系的有效性、适应性和持续改进。首先，内部审核是指由经过培训的内部审核员组成的团队，对质量管理体系进行全面审查和评估。审核包括对文件记录、程序和工作指导书的审核，以确保其与实际操作一致性和有效性^[3]。此外，内部审核还涵盖对关键流程、控制点和质量指标的审核，以评估其是否符合预定的质量目标和标准要求。其次，内部评审是在内部审核的基础上进行的管理层面的评估和审查过程。管理层通过分析内部审核的结果和反馈，评估质量管理体系的运行情况和效果，识别潜在的改进机会和挑战。内部评审强调对质量目标和政策的执行情况进行全面审查，确保其与企业长期战略和客户需求的一致性。同时，内部审核与评审强调持续改进的原则。通过识别和分享最佳实践，解决潜在问题和挑战，推动质量管理体系不断演进和提升。管理层在内部评审中扮演关键角色，需提供足够的资源和支持，以促进改进措施的有效实施和推广。

3.2 顾客反馈与满意度调查

在液化气钢瓶生产过程中，顾客反馈与满意度调查是实现质量管理体系持续改进的重要手段。通过积极收集、分析和利用顾客的反馈信息，企业能够及时了解市场需求和客户

期望，从而调整和优化生产过程、产品设计和服务提供，持续提升产品质量和客户满意度。首先，顾客反馈是企业获取真实市场信息的重要渠道。通过定期收集顾客的投诉、建议和意见，企业能够快速发现产品质量问题和服务不足之处，及时进行改进和调整^[4]。这种反馈不仅有助于解决当前问题，还可以预防未来潜在的质量挑战，有效降低客户投诉率，提升产品的市场竞争力。其次，满意度调查是评估顾客对产品和服务满意程度的重要手段。通过设计科学的问卷调查或电话访谈等方式，系统地收集顾客对产品质量、交货周期、售后服务等方面的评价和反馈。通过分析调查结果，企业可以识别出优势和不足之处，找到改进的重点和方向，提高顾客的整体满意度和忠诚度。同时，顾客反馈与满意度调查是质量管理体系持续改进的闭环过程。通过将顾客反馈信息与内部审核结果、质量改进措施等结合起来，形成完整的改进反馈机制。管理层需要积极参与并支持这一过程，确保反馈信息得到及时回应和有效处理，持续优化质量管理体系，以达到不断提升产品质量和顾客满意度的目标。

4 结语

在液化气钢瓶生产过程中，建立和维护一个健全的质量管理体系是确保产品质量和用户安全的关键。从原材料的严格选择到生产过程的精细控制，再到最终产品的检验和认证，每个环节都必须严格依照标准操作，以确保产品达到设计要求和市场期望。质量管理体系的持续改进不仅仅是为了满足法规和标准的要求，更是为了提升企业竞争力和市场认可度。通过引入先进的技术手段和质量管理办法，企业可以不断优化生产流程、提高产品质量和生产效率，从而实现长期的可持续发展。在未来，随着市场需求和技术进步的不断变化，质量管理体系将继续面临新的挑战和机遇。企业需要保持灵活性和创新性，及时调整和优化管理策略，以应对不断变化的市场环境。通过与客户的密切合作和持续改进，企业能够更好地满足市场需求，赢得客户信赖，实现质量管理体系的持续升级和完善。因此，建立健全的质量管理体系并持续改进，不仅是企业的责任和义务，更是实现卓越品质和持续竞争优势的关键路径。通过不断追求卓越和改进，企业可以在全球市场中树立良好的品牌形象，确保产品安全、可靠，赢得广大客户的信赖和支持。

【参考文献】

- [1] 李媛媛, 靳巍峰, 李春风. 民用液化气钢瓶安全管理与隐患防范探索 [J]. 科技资讯, 2021, 19 (3) : 93–95.
 - [2] 胡美玲. 液化气瓶阀门外螺纹质量检测系统开发 [D]. 长春工业大学, 2019.
 - [3] 郝大宁. 液化气钢瓶安全检查经验 [C]. 中国土木工程学会燃气分会. 2017 中国燃气运营与安全研讨会论文集: 青岛泰能液化气有限公司安全生产部, 2017.
 - [4] 石巍, 徐建军. 液化气钢瓶爆炸事故的特征分析及安全对策 [J]. 新型工业化, 2022, 12 (10) : 227–230.
- 作者简介: 赵荣良 (1975.6—), 男, 所学专业: 化学工程与工艺专业, 学历: 本科, 目前就职单位: 江苏文华重工有限公司。

电子产品检测与质量控制研究

赵丕阳 王率斌

西南计算机有限责任公司，重庆 400060

[摘要]消费者对电子产品的质量和性能要求越来越高，期望产品能够稳定可靠、功能完善，并且具有良好的用户体验。为了确保产品质量和市场竞争力，企业需要建立科学有效的质量控制体系，通过先进的检测技术和方法，全面评估产品的各项指标。同时，随着全球化和国际贸易的深入发展，电子产品的质量标准和检测要求也日益趋于国际化和标准化，企业需不断提升质量管理水平，以适应国内外市场的挑战和机遇。文中将深入探讨电子产品质量控制的重要性、不同的检测内容和方法，以及有效的质量控制策略，旨在为相关行业提供实用的参考和指导。

[关键词]电子产品质量控制；检测方法；性能评估；市场竞争力

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13422 中图分类号: TN06 文献标识码: A

Research on Electronic Product Testing and Quality Control

ZHAO Piayang, WANG Shuaibin

Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing, 400060, China

Abstract: Consumers have increasingly high requirements for the quality and performance of electronic products, expecting products to be stable, reliable, functionally complete, and have a good user experience. In order to ensure product quality and market competitiveness, enterprises need to establish a scientific and effective quality control system, comprehensively evaluate various indicators of products through advanced testing techniques and methods. At the same time, with the deepening development of globalization and international trade, the quality standards and testing requirements of electronic products are becoming increasingly international and standardized. Enterprises need to continuously improve their quality management level to adapt to the challenges and opportunities of domestic and foreign markets. The article will delve into the importance of quality control in electronic products, different testing contents and methods, as well as effective quality control strategies, with the aim of providing practical reference and guidance for related industries.

Keywords: quality control of electronic products; testing methods; performance evaluation; market competitiveness

引言

在现代社会中，电子产品已经成为人们日常生活不可或缺的一部分。从智能手机到家用电器，再到工业自动化设备，电子产品的普及和应用广泛到几乎所有领域。随着技术的进步和消费者需求的不断变化，电子产品的质量控制和检测变得至关重要，直接影响着产品的性能、可靠性以及用户的使用体验。

1 电子产品质量控制的必要性

在现代科技和工业迅猛发展的背景下，电子产品的质量控制成为企业在市场竞争中取胜的关键因素之一。高质量的电子产品不仅满足用户需求，更在市场中树立了良好的品牌形象，提高了产品的竞争力。随着消费者对产品质量要求的不断提高，电子产品质量控制的必要性愈发凸显。

1.1 提高产品竞争力

在当今全球化市场中，产品同质化现象日益严重，企业要想在激烈的市场竞争中脱颖而出，必须注重产品的质量控制。高质量的产品能够树立企业在消费者心目中的良好形象，增强品牌的美誉度和忠诚度。尽管实施质量控制需要投入一定的资源，但通过减少次品率和返工率，可以大幅降低生产成本，提高生产效率^[1]。在质量控制过程中，

企业需要不断优化生产工艺和技术，提升产品的性能和可靠性。在市场环境快速变化的今天，建立健全的质量控制体系，企业可以快速识别和解决产品质量问题，适应市场变化，从而在竞争中占据主动地位。

1.2 确保用户满意度

高质量的电子产品不仅能满足用户的基本需求，还能提供优质的使用体验，进而提升用户满意度。高质量的电子产品在性能、稳定性和耐用性等方面表现优异，能够为用户提供顺畅、可靠的使用体验。反之，质量差的产品则可能频繁出现故障，影响用户的正常使用，导致用户不满。例如，智能手机的触摸屏、处理器、摄像头等核心部件的质量直接关系到用户的使用感受。当用户购买并使用到高质量的产品时，他们会该品牌产生信任感，并愿意继续购买该品牌的其他产品。质量控制能够降低产品的故障率和返修率，减少用户的烦恼和不便。当用户购买的电子产品出现问题时，需要进行维修或更换，这不仅浪费时间和精力，还可能带来经济损失。质量控制能够帮助企业及时发现和解决产品质量问题，通过建立完善的质量管理体系，企业可以及时收集和分析用户反馈，迅速采取措施解决产品质量问题，提高售后服务水平。

2 电子产品的检测内容

电子产品的检测内容是确保产品质量和性能的关键环节。通过系统化和全面的检测，可以及时发现和解决潜在的问题，确保产品在市场上的竞争力和用户满意度。电子产品的检测内容主要包括功能检测、性能检测和可靠性检测。

2.1 电子产品功能检测

电子产品功能检测是对产品的各项功能进行全面测试，确保其符合设计要求和用户需求。这是质量控制过程中至关重要的一环。①硬件功能检测：硬件功能检测是指对电子产品的各个硬件部件进行测试，确保其正常工作。例如，智能手机的按键、触摸屏、摄像头、麦克风、扬声器等部件都需要进行单独检测。每个部件的功能必须符合设计规格，如按键的灵敏度、触摸屏的响应速度、摄像头的成像质量等^[2]。②软件功能检测：软件功能检测主要针对电子产品内部运行的软件进行测试，包括操作系统、应用程序和固件。测试内容包括软件的安装、卸载、启动、运行等操作的正常性和稳定性。例如，检测智能手机的操作系统是否能够顺利升级，应用程序是否能够正常启动和运行，系统是否存在崩溃或死机现象。③交互功能检测：交互功能检测是指对电子产品的人机交互界面进行测试，确保用户可以方便、顺畅地操作产品，包括触摸屏的响应速度和准确性、语音识别的准确度、按键操作的反馈等。例如，检测智能音箱的语音识别功能是否能够准确理解用户指令，触摸屏的触控操作是否灵敏和准确。④通信功能检测：通信功能检测是针对电子产品的通信模块进行测试，确保其具备稳定的通信能力。例如，检测智能手机的网络连接功能，包括 Wi-Fi、蓝牙、移动网络等，确保其在各种网络环境下都能保持稳定连接。此外，还需测试通话质量、数据传输速度等关键指标。

2.2 电子产品性能检测

电子产品性能检测主要针对产品的各项性能参数进行测试，以评估其在不同使用条件下的表现。①处理器性能检测：处理器是电子产品的核心部件，其性能直接影响产品的运行速度和多任务处理能力。处理器性能检测包括主频测试、多线程处理能力测试、运算速度测试等。②存储性能检测：存储性能检测主要针对电子产品的内存和存储介质进行测试，包括存储容量、读写速度、存取时间等。③电池性能检测：电池性能检测是指对电子产品的电池进行测试，评估其续航能力、充电速度和电池寿命。例如，检测智能手机的电池在不同使用场景下的续航时间、充电速度以及长时间使用后的电池容量衰减情况。④显示性能检测：显示性能检测是对电子产品的显示屏进行测试，评估其亮度、对比度、色彩还原度和分辨率等指标。例如，测试智能电视的显示效果，评估其在不同亮度和环境光条件下的显示质量。⑤音视频性能检测：音视频性能检测是对电子产品的音频和视频播放能力进行测试，包括音质、视频清晰度、播放流畅度等。

2.3 电子产品可靠性检测

电子产品可靠性检测是评估产品在各种环境条件下的稳定性和耐久性，确保其在长期使用中表现稳定可靠。①高低温测试：高低温测试是将电子产品置于极端温度环

境中，评估其在高温和低温条件下的工作性能和稳定性。②湿度测试：湿度测试是将电子产品置于高湿度环境中，评估其防潮性能和稳定性。③振动测试：振动测试是模拟电子产品在运输和使用过程中受到的振动，评估其抗振性能和结构稳定性。④冲击测试：冲击测试是模拟电子产品在跌落或撞击情况下的耐受能力，评估其抗冲击性能。⑤长期使用测试：长期使用测试是模拟电子产品在长时间使用过程中的性能变化，评估其耐用性和稳定性。

3 电子产品检测方法

3.1 自动化测试方法

自动化测试方法是利用自动化设备和软件对电子产品进行测试，通过程序控制测试过程，实现高效、精确和重复性强的检测。主要包括①自动测试设备（ATE）：自动测试设备是专门用于电子产品功能和性能测试的自动化设备。ATE 系统可以通过预设的测试程序对电子产品进行快速测试，检测项目包括电气性能、功能验证和参数测量等。②在线测试（ICT）：在线测试是对电子产品的电路板进行自动化检测的一种方法，主要用于检测电路板的短路、开路和组件值等问题。ICT 设备可以在生产线上对每块电路板进行快速测试，发现并定位电路板上的缺陷，减少不良品流入下一工序。③功能测试系统（FCT）：功能测试系统用于对电子产品的整体功能进行自动化测试，验证其在实际使用中的工作状态。FCT 系统通常结合硬件和软件，通过模拟真实的使用环境对产品进行全面测试。例如，智能手机的功能测试系统可以模拟用户操作，测试通话、摄像、触屏、传感器等功能，确保产品在各种使用场景下正常工作。④自动化软件测试：自动化软件测试利用测试脚本和工具对电子产品的软件部分进行测试，包括功能测试、性能测试和回归测试等。通过编写测试脚本，自动化软件测试可以重复执行大量测试用例，提高测试效率和覆盖率。

3.2 手工测试方法

手工测试方法是由测试人员通过手工操作和观察对电子产品进行测试，适用于需要灵活性和判断力的测试场景。主要包括①视觉检查：视觉检查是测试人员通过肉眼或借助显微镜等设备对电子产品外观进行检查，发现表面缺陷和装配问题。②手动功能测试：手动功能测试是测试人员通过实际操作对电子产品的各项功能进行验证^[3]。例如，测试人员通过操作智能手机的各项功能，如通话、短信、应用程序、触屏、摄像头等，评估其功能是否正常。③用户体验测试：用户体验测试是测试人员从用户的角度出发，对电子产品的易用性、界面设计和交互体验进行评价。④环境模拟测试：环境模拟测试是测试人员通过模拟实际使用环境，对电子产品进行性能和可靠性测试。例如，测试人员将电子产品置于高温、高湿、振动、冲击等环境中，观察其在极端条件下的表现，评估其可靠性和耐用性。

3.3 综合测试方法

综合测试方法是结合自动化测试和手工测试的优点，根据不同的测试需求选择合适的方法，确保检测的全面性和准确性。①混合测试流程：混合测试流程是将自动化测

试和手工测试相结合，针对不同的测试项目选择最合适的方法。例如，在智能手机的生产过程中，可以先通过自动化测试设备对硬件和软件进行初步测试，筛除大部分不良品；然后由测试人员进行手动功能测试和用户体验测试，确保每个产品在出厂前都经过全面检测。
②自动化和手工并行测试：自动化和手工并行测试是同时进行自动化测试和手工测试，利用自动化测试的高效性和手工测试的灵活性，提高检测效率和覆盖率。例如，在电子产品的功能测试中，可以通过自动化测试系统对大部分功能进行快速测试，同时由测试人员对一些复杂和特殊功能进行手动验证，确保每个功能都得到充分测试。
③测试数据综合分析：测试数据综合分析是将自动化测试和手工测试的数据进行综合分析，发现和解决潜在的问题。例如，通过分析自动化测试设备的数据，可以发现产品在生产过程中的共性问题；结合手工测试的反馈，可以针对性地改进产品设计和生产工艺，提高整体质量水平。
④持续改进和优化：综合测试方法强调持续改进和优化，通过不断总结和分析测试结果，优化测试流程和方法，提高检测效率和准确性。例如，定期评估自动化测试和手工测试的效果，调整测试用例和测试策略，确保测试方法能够适应不断变化的产品需求和市场环境。

4 电子产品检测质量控制方法

4.1 电子产品检测质量控制

制定一系列标准和规范，如检测设备的校准、检测环境的控制、检测人员的培训以及检测流程的规范化管理，确保检测结果的准确性和一致性。所有的检测设备在使用前和使用过程中都需要定期校准，确保其在规定的精度范围内工作。温度、湿度、静电等环境因素都会对检测结果产生影响，因此需要严格控制检测环境，确保其符合相关标准。对检测人员进行专业培训，确保其熟练掌握检测设备的操作和检测方法。制定详细的检测流程和操作规程，确保每个检测环节都按照标准进行，避免人为误差和疏漏。

4.2 建立检测信息平台

检测信息平台通过集成各种检测设备和系统，实现检测数据的实时采集、存储、分析和共享，提供全面的质量数据支持。检测信息平台能够实现检测数据的实时采集和存储，通过自动化的数据采集系统，可以将检测设备的输出数据实时上传到信息平台，确保数据的完整性和准确性。检测信息平台具备强大的数据分析功能，可以对海量检测数据进行快速分析和处理，发现潜在的质量问题和改进空间。例如，通过对历史检测数据的趋势分析，可以识别出产品在生产过程中的共性问题，指导生产工艺的改进和优化。检测信息平台还能够实现检测数据的共享和协同，通过检测信息平台，企业的各个部门可以实时访问和共享检测数据，及时沟通和协调解决质量问题，提高整体的质量管理效率。

4.3 健全标准体系建设

制定和完善各项检测标准和规范，确保检测过程的科学性和一致性，同时推动行业的规范化和标准化发展。制定详细的检测标准和规范，明确各项检测项目的技术指标和操作流程，确保检测过程有据可依。例如，制定电子产品的

功能检测标准，明确各项功能测试的具体要求和判定标准，确保功能检测的全面性和准确性。标准体系的健全有助于统一行业的检测方法和质量要求，推动行业的规范化和标准化发展。例如，通过制定统一的性能检测标准，确保不同企业生产的电子产品在性能检测方面具有可比性，促进公平竞争和技术进步。标准体系的建设还需要与国际标准接轨，确保企业的产品和检测方法符合国际标准，提升产品的国际竞争力。例如，参考国际标准组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)等机构发布的相关标准，制定符合国际要求的电子产品检测标准，确保产品在国际市场上的质量和认可度。

4.4 引入第三方机构

第三方检测机构具备独立性和专业性，能够提供权威的检测服务，为企业和用户提供可信赖的质量保障。许多第三方机构配备了先进的检测设备和专业技术人员，能够提供包括功能检测、性能检测和可靠性检测在内的全面检测服务，确保检测结果的准确性和权威性。其次，第三方检测机构具有独立性和公正性，能够提供客观的检测结果。许多国际知名的第三方检测机构如SGS、Intertek等，其检测结果被广泛认可和信赖。通过第三方检测机构的认证，企业的产品质量得到权威机构的认可，有助于提升品牌形象和市场竞争力。例如，通过获得第三方机构的质量认证，企业可以向用户和合作伙伴展示其产品的高质量和可靠性，增强市场信任和合作机会。总之，引入第三方检测机构不仅能够提供专业、权威的检测服务，确保检测结果的客观性和公正性，还能提升企业的市场信誉和竞争力，为电子产品的质量控制提供有力支持。

5 结语

电子产品的质量控制和检测是确保产品性能和可靠性的关键环节。通过本文的介绍，我们深入探讨了电子产品质量控制的必要性、各种检测内容和方法，以及有效的质量控制策略。从功能检测到性能评估，再到可靠性测试，每个环节都至关重要。选择合适的检测方法，如自动化测试和手工测试的结合，可以最大化效率和准确性。建立健全的标准体系和引入第三方机构，能够提升质量管理水平，确保产品符合最高标准。通过这些措施，企业能够不断提升产品质量，增强市场竞争力，同时确保用户的满意度和信任。电子产品行业正处于快速发展之中，持续改进和优化质量控制策略是保持竞争优势的关键。

[参考文献]

- [1]任茹楠. 浅析如何加强电子产品检测及质量控制[J]. 内江科技, 2022, 43(1): 20-19.
- [2]邓世葵. ZY 公司稳定器产品质量管理优化研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2022.
- [3]时敬亭, 王明建, 王光跃, 等. 如何加强电器产品检测及质量控制[J]. 产品可靠性报告, 2023(6): 44-46.

作者简介：赵丕阳（1979.11—），男，汉，重庆开县人，高级职称，大学本科，研究方向为电子电器设备电磁兼容性及可靠性检测的发展及企业管理；王率斌（1985.7—），男，汉，甘肃白银人，高级职称，硕士研究生，研究方向为电子电器设备电磁兼容性及可靠性检测技术。

污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势

郝亚莉 苏鹏飞

江化微（镇江）电子材料有限公司，江苏 镇江 212006

[摘要]伴随着人类社会和科技的快速进步，污水生化处理技术正经历着快速发展和持续迭代的阶段。新工艺、新反应器，以及新功能微生物与生化代谢途径的不断提出、发现和解析，显著推动了污水处理技术的升级与进步。这些技术创新不仅提高了污水处理的效率和水质净化水平，还在节能减排、减少化学物质使用以及资源回收利用方面展现了巨大潜力。然而，当前面临的挑战也同样不可忽视。其中包括如何有效处理和去除新兴污染物（如微塑料和药物残留）、如何实现污水处理过程的智能化和自动化控制，以及如何在经济可行的前提下管理和降低处理成本。这些挑战需要跨学科的合作和持续的创新，以便更好地应对日益严峻的环境和资源管理压力。

[关键词]污水生化处理工艺；发展阶段化技术特征；未来趋势

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13407

中图分类号: X741

文献标识码: A

Technological Characteristics and Future Trends of Phased Development of Sewage Biochemical Treatment Process

HAO Yali, SU Pengfei

Jianghua Microelectronics (Zhenjiang) Electronic Materials Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212006, China

Abstract: With the rapid progress of human society and technology, sewage biochemical treatment technology is undergoing a stage of rapid development and continuous iteration. The continuous proposal, discovery, and analysis of new processes, new reactors, and new functional microorganisms and biochemical metabolic pathways have significantly promoted the upgrading and progress of sewage treatment technology. These technological innovations not only improve the efficiency of sewage treatment and the level of water purification, but also demonstrate enormous potential in energy conservation, emission reduction, reduction of chemical use, and resource recycling. However, the challenges currently faced cannot be ignored. This includes how to effectively treat and remove emerging pollutants such as microplastics and drug residues, how to achieve intelligent and automated control of sewage treatment processes, and how to manage and reduce treatment costs while being economically feasible. These challenges require interdisciplinary collaboration and continuous innovation to better cope with the increasingly severe environmental and resource management pressures.

Keywords: sewage biochemical treatment process; technological characteristics of phased development; future trends

引言

污水生化处理工艺的发展历程体现了人类在处理废水方面的持续创新和进步。从最初的传统活性污泥法到现代的复合生物处理法，技术逐步演变并逐步优化，以应对日益复杂的环境挑战和水资源管理需求。这些技术在提高水质净化效率的同时，也致力于降低能耗、减少化学物质的使用，以及实现资源的有效回收利用。随着科技和社会经济的进步，未来污水生化处理工艺的发展趋势尤为重要。智能化控制与自动化技术的应用将成为关键驱动力，通过实时数据监测和智能决策系统，实现污水处理过程的精细化管理和优化，进一步提升处理效率和减少人为操作误差。同时，低能耗与高效处理技术的推广将继续受到关注，新型生物处理技术如生物膜反应器和厌氧生物处理技术的应用也将进一步深化。未来，污水生化处理工艺还将面临更高的技术挑战和环境压力，例如新兴污染物的处理和水资源的有效管理。因此，跨学科的合作与创新，如结合工程技术、

生物学和信息技术的发展，将成为推动污水处理技术不断进步的重要因素。本文将探讨不同阶段污水生化处理技术的特征、当前面临的挑战以及未来的发展趋势，旨在为未来污水生化处理工艺的优化和创新提供理论和实践的指导。

1 污水生化处理工艺发展阶段

1.1 初级阶段：传统活性污泥法

1.1.1 特征与应用

传统活性污泥法是污水生化处理工艺的初级阶段，其特征在于利用曝气池中悬浮的活性污泥微生物，通过吸附、代谢和降解污水中的有机污染物，将其转化为无害的水、二氧化碳和新生物质（污泥）。该方法广泛应用于市政污水处理厂和工业废水处理系统，因其处理效果稳定、去除有机污染物效率高而受到重视和普及。传统活性污泥法具有操作简单、处理能力强等优点，能够有效处理大部分有机污染物，并在一定程度上去除氮磷等营养物质。然而，该工艺对温度、pH值和溶解氧等环境条件有较高要求，

容易出现污泥膨胀问题，导致沉降性能下降和处理效果变差。此外，污泥处理和处置成本较高，能耗较大，尤其是曝气设备的运行需要消耗大量能源。这些因素在一定程度上限制了传统活性污泥法的应用和推广，推动了更高效、更经济的污水生化处理技术的发展。

1.1.2 优缺点分析

传统活性污泥法作为污水生化处理工艺的初级阶段，具有显著的优点和缺点。其主要优点包括处理效果稳定、去除有机污染物效率高、适用范围广泛以及操作简单。这种方法通过利用活性污泥中的微生物，将污水中的有机污染物降解为无害的水、二氧化碳和新生物质（污泥），实现了污水的有效净化，广泛应用于市政污水处理厂和工业废水处理系统。然而，传统活性污泥法也存在一些明显的缺点，包括对环境条件（如温度、pH值和溶解氧）的要求较高，容易出现污泥膨胀问题，导致沉降性能下降^[1]。此外，污泥处理和处置成本较高，能耗较大，特别是曝气设备的运行需要消耗大量能源。

1.2 中级阶段：现代生物膜法

1.2.1 特征与应用

现代生物膜法是污水生化处理工艺的中级阶段，其特征在于利用附着在填料或载体上的微生物膜，通过吸附、代谢和降解污水中的有机污染物，将其转化为无害的水、二氧化碳和新生物质。与传统活性污泥法相比，生物膜法具有更高的处理效率和更好的抗冲击负荷能力，因其微生物浓度较高且不易流失。该方法广泛应用于市政污水处理和工业废水处理系统，特别适用于处理高浓度有机废水和难降解有机物。此外，生物膜法的操作管理相对简单，且污泥产量较低，减少了后续污泥处理的负担。然而，生物膜法也存在一些不足之处，如填料或载体的堵塞问题和生物膜脱落的风险，需定期进行维护和清理。

1.2.2 优缺点分析

现代生物膜法作为污水生化处理工艺的中级阶段，具有显著的优点和缺点。其主要优点包括处理效率高、抗冲击负荷能力强、微生物浓度较高且不易流失。由于微生物附着在填料或载体上形成生物膜，能够稳定地降解污水中的有机污染物，适用于处理高浓度有机废水和难降解有机物。此外，生物膜法的操作管理相对简单，污泥产量较低，减少了后续污泥处理的负担。这些优点使得生物膜法在市政污水处理和工业废水处理系统中得到了广泛应用。然而，生物膜法也存在一些缺点，如填料或载体容易发生堵塞，生物膜可能脱落，需要定期进行维护和清理。此外，初期投资成本较高，填料或载体的选择和更换成本也较高。尽管如此，现代生物膜法凭借其显著的处理效果和稳定性，仍然是污水处理领域的重要技术之一，为实现高效、稳定的污水处理提供了有力的支持。

1.3 高级阶段：复合生物处理法

1.3.1 特征与应用

复合生物处理法是污水生化处理工艺的高级阶段，其

特征在于综合利用多种生物处理技术，通过协同作用提高污水处理效率和稳定性。这一方法结合了活性污泥法和生物膜法的优势，通常采用悬浮生长与附着生长相结合的工艺，以实现有机污染物的高效降解。复合生物处理法可以更有效地去除污水中的有机物、氮、磷等污染物，具有较强的抗冲击负荷能力和处理效果稳定性。该方法广泛应用于市政污水处理厂和工业废水处理系统，特别适用于需要高标准出水要求的场合。此外，复合生物处理法能够适应较大范围的水质波动，减少单一工艺的缺陷，提高整体系统的运行效率。然而，该方法也存在一些挑战，如工艺设计和运营管理较为复杂，初期投资和维护成本较高。

1.3.2 优缺点分析

复合生物处理法作为污水生化处理工艺的高级阶段，具有显著的优点和缺点。其主要优点在于综合了活性污泥法和生物膜法的优势，通过悬浮生长与附着生长相结合的工艺，提高了污水处理的效率和稳定性。该方法能够更有效地去除有机物、氮、磷等污染物，适应较大范围的水质波动，具有较强的抗冲击负荷能力。同时，复合生物处理法在处理高浓度有机废水和难降解有机物方面表现出色，出水水质稳定，满足高标准排放要求。然而，复合生物处理法也存在一些缺点，如工艺设计和运营管理较为复杂，初期投资和维护成本较高，需要专业技术人员进行操作和维护^[2]。此外，系统的运行稳定性依赖于多个工艺单元的协同工作，一旦某个单元出现故障，可能影响整体处理效果。尽管存在这些挑战，复合生物处理法凭借其高效、稳定的处理能力和对环境条件的适应性，仍然是现代污水处理技术中备受关注的重要工艺，为实现更高效、更环保的污水处理提供了强有力的支持。

2 污水生化处理工艺未来趋势

2.1 智能化控制与自动化技术

未来污水生化处理工艺的发展趋势之一是智能化控制与自动化技术的广泛应用。随着科技进步和信息技术的发展，智能化控制系统将在污水处理领域发挥越来越重要的作用。这些系统通过集成传感器网络和实时数据监测技术，能够实现对污水处理过程的精准监测和实时调节。传感器可以监测污水的流量、质量、温度等关键参数，智能控制系统则基于这些数据进行智能化决策，自动调整设备操作参数如曝气量、混合速率等，以优化处理效果和节约能源消耗。智能化控制与自动化技术的应用不仅提高了污水处理厂的运行效率和处理能力，还降低了人工操作成本和管理难度。自动化系统能够快速响应变化的处理需求，减少人为操作误差，提高处理过程的稳定性和一致性。此外，智能化控制系统还能够实现远程监控和远程操作，使得污水处理厂的运行管理更加灵活和便捷。未来的发展方向包括更加智能化和自主化的控制系统，例如利用人工智能技术进行预测性维护和优化决策，通过大数据分析和模型预测系统性能，进一步提高设备的运行效率和可靠性。

2.2 低能耗与高效处理技术

随着社会对环境保护和资源节约的重视，污水处理工艺正在逐步向能耗更低、处理效率更高的方向发展。在低能耗方面，新型的处理设备和技术不断涌现，如采用高效能的曝气设备、优化曝气策略以减少能耗、利用能量回收技术等。这些技术能够有效地降低处理过程中的能耗，减少对能源资源的依赖，从而降低运营成本和环境影响。高效处理技术方面，包括采用先进的生物处理技术如生物膜反应器、活性炭吸附、高级氧化工艺等，这些技术能够更有效地去除污水中的有机物、氮、磷等污染物，达到更严格的标准要求。此外，结合智能化控制系统，优化处理流程和运行参数，进一步提高处理效率和资源利用率，实现对污水处理过程的精准监控和优化调节^[3]。未来的发展趋势还包括多工艺协同作业、资源循环利用等技术的应用。通过整合多种处理工艺，如生物和物理化学处理的结合，可以充分利用各工艺的优势，提高整体处理效率和水质净化效果。同时，推广水资源的循环利用和能源的回收利用，实现污水处理过程中的资源最大化利用，减少对环境的负面影响，促进可持续发展。

2.3 可持续发展与资源回收利用

污水生化处理工艺未来的发展趋势之一是可持续发展与资源回收利用的强化。随着全球资源稀缺和环境污染问题的加剧，污水处理不仅仅是去除污染物的过程，更成为资源回收和循环利用的重要手段。在可持续发展方面，未来的污水处理工艺将注重降低能耗、减少化学物质的使用、优化废物处理，以及最大限度地减少对环境的负面影响。资源回收利用方面，污水处理厂将成为能源和资源的重要生产基地。例如，通过厌氧消化过程产生的沼气可以被收集和利用作为能源来源；污泥中的有机物质可以通过厌氧消化、热解或生物气化技术转化为生物燃料或其他有价值的化学品；污水中的营养物质如氮、磷可以被回收用于农业肥料生产。这些技术不仅能够有效减少污水处理过程中的资源浪费，还能够降低处理成本，提升处理效率，并为其他工业和农业提供可持续的资源供给。此外，未来的污水处理工艺还将注重水质净化的综合效果，尽可能减少对水体的富营养化和微塑料等新兴污染物的排放。通过技术创新和政策支持，污水处理行业将逐步实现资源的最大化利用和循环利用，为社会经济发展和环境保护做出积极贡献。

2.4 新型生物处理技术探索

未来污水生化处理工艺的发展趋势之一是新型生物处理技术的探索与应用。随着科技的不断进步和环保需求的提升，污水处理领域正面临着越来越多的挑战和机遇。新型生物处理技术作为关键技术之一，具有广阔的发展前景和应用空间。一种重要的新型技术是生物膜反应器（MBR），它结合了传统的生物处理和膜分离技术，能够高

效地去除污水中的悬浮物和微生物，同时减少了处理过程中的空间需求和操作复杂性。MBR 技术不仅可以提高水质的净化效果，还能够在占地面积有限的城市环境中得到有效应用，为污水处理厂的建设和升级提供了新的选择。此外，生物吸附和生物膜吸附技术也逐渐受到关注。这些技术利用特定的微生物或生物膜对污水中的有机物和重金属进行吸附和生物转化，有效地去除有害物质，同时降低了化学药剂的使用量，符合绿色环保的理念，有助于提升处理效率和降低运营成本。另一方面，厌氧生物处理技术如厌氧消化和厌氧氨氧化技术，通过在无氧环境中微生物的代谢活动，能够高效降解有机物、去除氨氮，并产生有机肥料或沼气等有价值副产品^[4]。这些技术不仅在能源回收和资源利用方面具有潜力，还能够解决传统生物处理工艺中存在的一些技术瓶颈和问题。

3 结语

污水生化处理技术的发展经历了从传统到现代、从单一到复合的阶段化进程，这一过程中不断涌现出新的工艺、新的反应器以及新型微生物与生化代谢途径。这些技术的不断提升和应用，显著提高了污水处理的效率和质量，同时也在节能减排和资源回收利用方面取得了显著成就。未来，污水生化处理技术将继续朝着智能化、高效化和可持续化的方向发展。智能化控制系统和自动化技术的广泛应用，将使污水处理过程更加精准和可控，进一步降低运营成本和人为操作误差。新型生物处理技术的探索和应用，如生物膜反应器和厌氧生物处理技术，将进一步提升处理效率和降解能力，为处理复杂污水和新兴污染物提供更为可靠的解决方案。然而，面对新兴污染物的挑战和环境保护的压力，污水处理技术仍需不断创新和改进。跨学科的合作与科技创新将是未来发展的关键。通过共同努力，我们有望实现更加高效、环保和可持续的污水处理技术，为全球水资源管理和环境保护贡献更大力量。

【参考文献】

- [1] 刘智晓, 吴凡松. 污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势 [J]. 给水排水, 2024, 60(4) : 12-22.
 - [2] 张二兴, 魏国龙, 王鹏亚. 污水处理无组织废气治理的工艺路线选择及运行总结 [J]. 氮肥与合成气, 2023, 51(12) : 16-17.
 - [3] 郭清彬. 城市污水生化处理工艺参数优化实验研究 [J]. 当代化工, 2023, 52(8) : 1886-1889.
 - [4] 沙海, 赵艳, 孟庆礼, 等. 基于高效生化工艺的城市污水点源深度处理关键技术 [J]. 安装, 2022(1) : 50-51.
- 作者简介：郝亚莉（1990.12—），女，目前职称：中级职称，学历：硕士研究生，所学专业：化学工程专业；苏鹏飞（1996.11—），男，学历：大学专科，所学专业：环境监测与治理专业。

Call for Papers

征 稿

《Smart City Application》即《智慧城市应用》由新加坡Viser Technology Ltd主办, ISSN: 2630-5305。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的青睐。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, 中国知网、维普网等权威数据库收录。

期刊以“平面媒体+网络传播”方式互动, 内容聚焦智能城市建设, 解读行业政策, 传播行业技术标准; 组建权威的业内专家团队, 为期刊提供精粹的观点、尖端技术解读; 以科技成果传播为核心, 关注自主创新, 宣传展示各地智能城市建设成就; 剖析各领域典型应用案例, 分享最新技术理论与产品, 全方位深度覆盖诸多物联网与智慧城市应用领域, 为相关信息化管理部门及广大设计院、系统集成商、建筑工程公司、房地产开发商、物业管理公司、产品生产厂商等相关单位提供各类参考资料。

《智慧城市应用》期刊的主要栏目有:

城乡规划、市政园林、路桥与交通、通讯通信技术、施工技术、节能环保、装饰装修、机械机电、计算机应用技术、自动化技术、智慧数据分析、工业制造、综述研究等。

鼓励智能城市建设领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿, 有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求:

(1) 论文要求: 论点新颖, 论证充分; 设想可行, 结论可靠; 条理分明, 书写清楚, 用字规范, 上交电子文件(word格式)。

(2) 论文格式: 题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要(150字符-300字符为宜)及关键词(3-5组为宜)、正文、参考文献。(附个人简介、邮箱、联系方式及详细收件地址, 如: 省、市、区、路)。

(3) 论文篇幅: 字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址: www.viserdata.com



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站

www.viserdata.com

