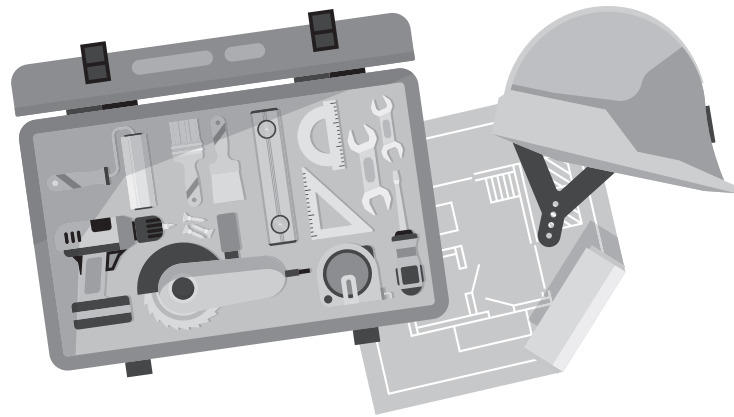


# 工程技术 与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## Editors-in-Chief

Yulei Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co. LTD.

Haizhong Gao

Zhejiang Zhongnan Construction Group Co. LTD.

## Associate Editor

Pengyue Yu

Shandong Construction Engineering (Group) Co., LTD.

## Editorial board member

Sanath Alahakoon

School of Engineering and Technology Centre for Railway Engineering

Salahuddin Azad

School of Engineering and Technology Institute for Future Farming Systems,  
Centre for Regional Economies and Supply Chains

Yungang Wang

Ordos Sports Development Center

Qigui Chi

Expert Committee of China Construction Supervision Association

Danhui Chi

Fujian Provincial Institute of Engineering Supervision and Project Management  
Association

Yahui Chi

Fujian Provincial Civil Engineering and Construction Industry Association

Chunxiu Liu

Fujian Provincial Association of Engineering Construction Quality and Safety

# 工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第3卷 第4期 2025年4月刊

主 管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主 办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编 辑 《工程技术与质量管理》编辑部

ISSN(O): 2992-9806

ISSN(P): 2995-3170

地 址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey  
Park, CA 91754

网 址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权  
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事  
项如下:

1. 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、  
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著  
作权在世界范围内免费转让给本刊。
2. 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将  
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单  
位造成的全部损失。
3. 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作  
者的身份真实。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



## 工程技术 | ENGINEERING TECHNOLOGY

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 005 | 基于风险评估的船舶结构安全管理体系构建<br>Construction of Ship Structure Safety Management System Based on Risk Assessment  | 郭栋栋<br>Guo Dongdong   |
| 008 | 地下金属矿山充填采矿技术的运用<br>Application of Filling and Mining Technology in Underground Metal Mines   | 刘洪伟, 刘启玉, 刘江波<br>Liu Hongwei, Liu Qiyu, Liu Jiangbo                                       |
| 011 | 数字化设计在异形幕墙造型实现中的<br>关键技术研究<br>Research on Key Technologies of Digital Design in the Realization of Shaped Curtain Wall Modeling                | 谢济原, 刘长春, 罗国兴, 张利彬, 李铮<br>Xie Jiyuan, Liu Changchun, Luo Guoxing, Zhang Libin, Li Zheng   |
| 014 | 环境工程项目全生命周期管理咨询<br>Full-time Life-cycle Management Consulting for Environmental Engineering Projects   | 任东亮<br>Ren Dongliang  |
| 017 | 海上平台透平滑油冷却器改造实践与成效分析<br>Practice and Effectiveness Analysis of Offshore Platform Smooth Oil Cooler   | 刘畅<br>Liu Chang   |
| 020 | 船舶压载水处理装置的工作原理与技术发展分析<br>Analysis of Working Principle and Technological Development of Ship Ballast Water Treatment Device                    | 徐华彪, 徐飞<br>Xu Huabiao, Xu Fei   |
| 023 | 汽轮机主油泵故障分析及处理<br>Fault Analysis and Treatment of Turbine Main Oil Pump   | 付刚朝<br>Fu Gangchao  |
| 026 | 地质环境与农业土壤质量关联性及其调控措施研究<br>Research on the Correlation between Geological Environment and Agricultural Soil Quality and Its Regulatory Measures | 李启昕<br>Li Qixin   |
| 029 | 设备全生命周期管理中的预防性维护策略优化<br>Optimization of Preventive Maintenance Strategy in Equipment Lifecycle Management                                      | 陈重<br>Chen Zhong  |
| 032 | 基于 Solidworks 受力分析的内伸缩臂反变形设计<br>Design of Anti-Deformation for Inner Telescopic Boom based on Solidworks Force Analysis                        | 景云龙, 姬长志<br>Jing Yunlong, Ji Changzhi   |
| 035 | 工程项目全生命周期安全管理体系构建研究<br>Research on the Construction of the Whole-Life-Cycle Safety Management System of the Engineering Project                | 佛一擎<br>Fo Yiqing  |
| 038 | BIM 技术应用助推施工总承包<br>管理项目精益建造<br>BIM Technology Application Promotes Lean Construction of Construction General Contracting Management Projects   | 董卫涛, 姜吉辉, 陈志鹏, 朱第波, 刘金亮<br>Dong Weitao, Jiang Jihui, Chen Zhipeng, Zhu Dibo, Liu Jinliang |
| 041 | 智能化通风控制系统在煤矿安全生产中的效能评估<br>Efficacy Evaluation of Intelligent Ventilation Control Systems in Coal Mine Safety Production                        | 张喜峰, 胡国辉<br>Zhang Xifeng, Hu Guohui   |
| 044 | 压力容器检验检测误差的影响因素及对策<br>Influencing Factors and Countermeasures of Inspection and Testing Errors in Pressure Vessels                             | 黎慧红<br>Li Huihong   |

047	智能化技术在传感器设计及研发领域的应用实践研究 Research on the Application Practice of Intelligent Technology in Sensor Design and Development	张健 Zhang Jian
050	某砌体与钢筋混凝土框架混合结构承载力分析和加固设计 Analysis of Bearing Capacity and Reinforcement Design of a Mixed Structure of Masonry and Reinforced Concrete Frame	肖扬 Xiao Yang
054	基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理研究 Research on the Full-Life-cycle Management of Construction Engineering based on BIM Technology	耿霄 Geng Xiao
057	玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术的研究与实现 Research and Realization of Automatic Programming Technology of Glass Curtain Wall Coating Robot	徐友露 Xu Youlu
060	岩溶分布对隧道围岩变形及地表沉降影响分析研究 Analysis and Research on the Influence of Karst Distribution on the Deformation of Tunnel Surrounding Rock and Surface Settlement	吕军鹏 Lv Junpeng
063	公路水运工程中的无损检测技术探讨 Discussion on the Nondestructive Testing Technology in Highway and Water Transport Engineering	倪胜鹏 Ni Shengpeng
066	基于无人机和图像识别技术的玻璃幕墙安全系统检测研究 Research on the Detection of Glass Curtain Wall Safety System Based on Unmanned Aerial Vehicle and Image Recognition Technology	陈伟忠, 陈惜墨, 徐自力 Chen Weizhong, Chen Ximo, Xu Zili
069	全生命周期理论下 PC 建筑工程防水质量管理 Waterproof Quality Management in PC Construction Engineering Based on the Whole Life Cycle Theory	杨以顺 Yang Yishun

水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

072	装配式绿色建筑给排水设计分析 Analysis of Water Supply and Drainage Design for Prefabricated Green Buildings	袁念念 Yuan Niannian
075	提高市政给排水工程污水处理水平的技术策略探究 Exploration of Technical Strategies to Improve Sewage Treatment Level in Municipal Water Supply and Drainage Engineering	郑敬霖, 曹爽, 王雄科 Zheng Jinglin, Cao Shuang, Wang Xiongke
078	电子停车计时收费系统的计量检测校准方法优化与实践 Optimization and Practice of Measurement, Detection, and Calibration Methods for Electronic Parking Metering and Charging Systems	冯纯 Feng Chun
081	水利工程监理与建设管理体制的协同创新及发展趋势 Collaborative Innovation and Development Trends of Water Conservancy Project Supervision and Construction Management System	刘旭, 付可 Liu Xu, Fu Ke
084	火力发电厂燃料系统安全运行分析 Analysis of Safe Operation of Fuel System in Thermal Power Plant	谢德生 Xie Desheng

路桥工程 | ROAD AND BRIDGE ENGINEERING

087	公路路基材料研究与可持续性发展探讨 Research on Highway Subgrade Materials and Sustainable Development	朱国辉 Zhu Guohui
090	分析公路工程中的高边坡预应力锚索施工技术 The Construction Technology of Prestressed Anchor Cable for High Slope in Highway Engineering is Analyzed	弭新, 牛家学 Mi Xin, Niu Jiaxue
094	桥梁施工中施工安全管理技术探讨 Discussion on Construction Safety Management Techniques in Bridge Construction	郭峰 Guo Feng
097	道路桥梁施工中基础处理技术的优化与创新 Optimization and Innovation of Foundation Treatment Techniques in Road and Bridge Construction	乔淑洁 Qiao Shujie
100	连续桥梁结构施工技术应用 Application of Continuous Bridge Structure Construction Technology	高远 Gao Yuan

# 基于风险评估的船舶结构安全管理体系构建

郭栋栋

海军装备部驻上海地区第一军事代表室, 上海 201913

**摘 要 :** 本文旨在构建基于风险评估的船舶结构安全管理体系, 以提升船舶航行安全及结构完整性。通过对船舶结构安全风险的全面识别与评估, 结合先进的管理理念和技术手段, 形成了包含风险识别、评估、控制及持续改进等环节的管理体系。该体系的应用可显著降低船舶结构失效风险, 保障船员生命财产安全, 促进航运业的可持续发展。本文详细阐述了体系的构建原则、关键要素及实施步骤, 为船舶结构安全管理提供了理论支撑和实践指导。

**关 键 词 :** 船舶结构安全; 风险评估; 管理体系; 航行安全; 持续改进

## Construction of Ship Structure Safety Management System Based on Risk Assessment

Guo Dongdong

The First Military Representative Office in Shanghai Pudong New Area, Shanghai 201913

**Abstract :** This paper aims to build a ship structure safety management system based on risk assessment to improve the navigation safety and structural integrity of ships. Through the comprehensive identification and assessment of ship structural safety risks, combined with advanced management concepts and technical means, a management system including risk identification, assessment, control and continuous improvement has been formed. The application of this system can significantly reduce the risk of ship structure failure, protect the safety of life and property of sailors, and promote the sustainable development of the shipping industry. This paper expounds the construction principles, key elements and implementation steps of the system, and provides theoretical support and practical guidance for the safety management of ship structure.

**Keywords :** ship structure safety; risk assessment; management system; navigation safety; continuous improvement

随着航运业的快速发展, 船舶结构安全问题日益凸显。为确保船舶航行安全, 构建科学有效的结构安全管理体系显得尤为重要。本文基于风险评估理念, 探讨船舶结构安全管理体系的构建, 以期为航运安全提供有力保障。

### 一、船舶结构安全风险评估的重要性

#### (一) 保障航行安全预防潜在事故

船舶结构安全风险评估在确保水上交通安全方面扮演着至关重要的角色。通过准确评估船舶结构的潜在风险, 可以及时发现并解决可能引发航行事故的安全隐患。船舶在长时间航行过程中, 会受到风浪、腐蚀、疲劳载荷等多种因素的影响, 这些因素都可能导致船舶结构强度的降低, 进而威胁到船舶的航行安全。进行结构安全风险评估, 意味着对船舶的整体结构状态进行全面而细致的审查。这包括对船体结构的完整性、焊缝质量、材料老化程度等方面的检查与评估。通过科学的方法和先进的技术手段, 可以精准地识别出船舶结构中存在的薄弱环节和潜在危险点, 从而采取相应的修复和加固措施, 有效预防事故的发生<sup>[1]</sup>。

#### (二) 提高经济效益降低运营成本

船舶结构安全风险评估在提高航运企业的经济效益方面同样具有不可忽视的作用。通过定期进行结构安全风险评估, 航运企业能够及时发现并解决船舶结构中存在的问题, 从而避免因结构故障导致的意外维修和停航事件。一旦船舶在航行中发生结构故障, 不仅会造成巨大的经济损失, 还可能影响企业的声誉和客户的信任度<sup>[2]</sup>。而结构安全风险评估则能够帮助企业提前发现并修复潜在的结构问题, 减少因故障导致的维修费用和停航时间, 进而降低企业的运营成本。此外, 通过结构安全风险评估, 企业还能够更加科学地制定船舶维护和保养计划, 延长船舶的使用寿命, 提高船舶的运营效率和经济效益。

#### (三) 符合法规要求

船舶结构安全风险评估是航运企业遵循国际海事组织

(IMO)及其他相关海事机构安全标准的关键环节。这些国际性的安全标准旨在确保全球范围内船舶航行的安全性和环保性,而结构安全风险评估正是验证船舶是否符合这些标准的重要手段。通过执行严格的结构安全风险评估,航运企业能够确保其船舶设计、建造、运营和维护过程均满足或超越国际海事组织及其他相关海事机构的安全要求。这不仅能够增强企业的合规性,降低因违反法规而面临的法律风险和罚款,还能够提升企业的国际竞争力,树立行业内的安全标杆。同时,符合法规要求的结构安全风险评估还能够增强客户、保险公司及港口管理机构的信任,为航运企业赢得更多的商业机会和合作伙伴。

## 二、风险评估方法与应用

### (一) 定性定量评估结合

在船舶结构安全风险评估中,定性与定量评估方法的结合使用是确保评估结果准确性和全面性的关键。定性评估侧重于对风险因素的性质、影响程度及可能发生的概率进行主观判断,它依赖于专家的经验 and 专业知识,能够捕捉到那些难以量化的风险因素<sup>[3]</sup>。而定量评估则通过收集和分析具体数据,运用数学模型和统计方法,对风险因素进行量化分析,从而得出更加精确的风险评估结果。定量评估能够直观地展示风险的大小和分布,为决策者提供更加客观、科学的依据。将定性与定量评估方法相结合,可以综合考量多种风险因素,包括船舶结构的物理特性、运行环境、维护状况以及潜在的人为因素等,从而更加全面、准确地评估船舶结构的安全风险。

### (二) 先进技术应用

在船舶结构安全风险评估中,先进技术的应用扮演着至关重要的角色。有限元分析(FEA)作为一种强大的数值分析方法,能够模拟船舶结构在复杂载荷条件下的应力、应变分布,帮助评估人员准确识别结构中的高风险区域。通过有限元分析,可以预测船舶在不同工况下的结构响应,为结构设计和优化提供科学依据。应力监测技术则是通过安装在船舶关键部位的传感器,实时监测结构在运营过程中的应力变化<sup>[4]</sup>。这种技术能够及时发现结构中的异常应力集中现象,为采取应急措施和避免事故发生提供宝贵时间。应力监测数据的积累还可以用于评估船舶结构的疲劳寿命,为制定维护计划提供依据。这些先进技术的应用,不仅提升了船舶结构安全风险评估的精准度,还使得评估过程更加高效、可靠。

### (三) 动态评估机制

为了确保船舶结构安全风险评估的时效性和准确性,建立一套动态评估机制至关重要。这一机制要求定期更新风险数据库,及时纳入新的风险因素和评估方法,以反映船舶结构安全领域的最新研究成果和行业动态。动态评估机制的核心在于持续监测和评估船舶结构的状态。通过定期收集和分析船舶运营数据、结构检查报告以及应力监测数据等,评估人员能够及时发现结构中的新风险点或风险变化趋势<sup>[5]</sup>。这些数据将被整合到风险数据库中,用于更新和优化风险评估模型。此外,动态评估机制还强调

与船舶所有人、管理者以及行业专家的沟通与协作。通过定期召开风险评估会议、分享最新研究成果和行业动态,评估团队能够不断吸收新知识、新技能,确保评估工作的前瞻性和创新性。

## 三、管理体系构建原则与关键要素

### (一) 坚持系统性原则构建全面覆盖的管理框架

在构建船舶结构安全风险评估管理体系时,系统性原则是关键。它要求将船舶结构安全风险视为一个整体系统,确保管理体系能够全面覆盖所有可能的风险点。为了实现这一目标,管理体系应涵盖从船舶设计、建造、运营到报废的全生命周期。在每个阶段,都应设立明确的风险评估标准和流程,确保风险识别、分析、控制和监测等各个环节紧密相连,形成一个完整的风险管理闭环。同时,系统性原则还强调各相关部门和岗位之间的协同合作<sup>[6]</sup>。通过明确职责分工和建立有效的沟通机制,确保风险评估工作能够有序进行,及时发现和解决潜在问题。这种全面覆盖、协同合作的管理框架,为船舶结构安全风险评估提供了坚实的基础,有助于提升航运企业的整体安全管理水平。

### (二) 坚守预防为主原则强化事前风险防控

在船舶结构安全风险评估管理体系的构建中,预防为主原则占据着核心地位。这一原则强调将风险管理重心前移,通过事前预防来有效降低事故的发生率。为了实现这一目标,管理体系应注重风险识别和分析的及时性、准确性。利用先进的风险评估方法和工具,对船舶结构进行全面的安全评估,及时发现潜在的安全隐患。同时,根据风险评估结果,制定相应的预防措施和应急预案,确保在风险发生前能够采取有效的防控措施。此外,预防为主原则还要求加强船员的安全教育和培训<sup>[7]</sup>。通过提升船员的安全意识和操作技能,使他们能够在日常工作中严格遵守安全规程,及时发现并报告潜在风险。这种全员参与、预防为主的管理模式,有助于在船舶结构安全风险管理中形成强大的合力,共同维护航行安全。

### (三) 贯彻持续改进原则通过反馈循环优化管理体系

持续改进原则是船舶结构安全风险评估管理体系不可或缺的一环,它强调通过有效的反馈机制,不断优化和完善管理体系的各个组成部分。在这一原则指导下,管理体系应建立风险识别机制的持续优化流程。通过定期回顾和分析风险识别过程,识别并纠正可能存在的偏差和不足,确保风险识别的准确性和全面性。同时,评估标准与方法也应随着技术进步和行业标准的更新而不断修订和完善,以保持其科学性和适用性。风险控制措施同样需要持续改进。通过收集和分析风险控制措施的执行效果数据,评估其有效性和可行性,并根据评估结果进行必要的调整和优化<sup>[8]</sup>。这种持续改进的过程不仅有助于提升管理体系的效能,还能确保船舶结构安全风险得到更加有效的控制。此外,持续改进原则还要求建立有效的沟通机制,确保管理体系的各个组成部分之间能够顺畅地传递信息和反馈,形成协同合作、共同进步的良好性循环。

四、管理体系实施步骤与保障措施

（一）管理体系实施步骤

船舶结构安全风险评估管理体系的实施应遵循一套清晰、系统的步骤。首先，需明确管理体系的目标，即确保船舶结构安全，降低事故风险，提升航运企业的安全管理水平。在此基础上，制定详细的实施计划，明确各阶段的任务、时间节点和责任人。接下来，按照计划执行风险评估工作。这包括收集和分析船舶结构数据、运用先进的风险评估方法和工具进行风险识别和分析，以及制定相应的风险控制措施。在评估过程中，应注重与船舶所有人、管理者以及行业专家的沟通与协作，确保评估结果的准确性和可靠性。针对评估发现的风险点，及时采取措施进行整改和优化<sup>[9]</sup>。同时，建立有效的监测和反馈机制，跟踪风险控制措施的执行效果，并根据实际情况进行必要的调整和优化。最后，将持续改进原则贯穿于整个管理体系的实施过程中，通过不断的反馈和循环优化，确保管理体系的效能得到持续提升。

（二）管理体系保障措施

加强人员培训是提升船舶结构安全风险评估能力的关键。通过系统的培训课程和实际操作演练，提高管理人员和船员的风险意识、专业技能和应急处理能力。培训内容应涵盖风险评估理论、方法、案例分析及实际操作技能等多个方面，确保员工能够熟练掌握风险评估工具和技术，准确识别和控制风险。完善法规制度是保障船舶结构安全风险评估管理体系有效运行的基础。根据国际海事组织及相关机构的最新要求，结合航运企业的实际情况，制定和修订船舶结构安全风险评估的法规和标准。同时，加强法规制度的宣传和培训，确保员工能够准确理解和遵守，为管理体系提供坚实的法律支撑。强化监管力度是确保船舶结构安全

风险评估管理体系实效的重要手段。通过建立健全的监管机制，对管理体系的实施情况进行定期检查和评估，及时发现和纠正存在的问题。

（三）信息化手段在管理体系中的应用

在船舶结构安全风险评估管理体系中，信息化手段的应用正日益成为提升管理效率的关键。大数据技术的运用，使得大量、多样的船舶结构数据得以高效处理和分析。通过对历史数据、实时监测数据以及行业数据的整合和分析，能够更准确地识别风险趋势，预测潜在风险，为制定针对性的风险控制措施提供科学依据。云计算技术则为风险评估提供了强大的计算和存储支持。借助云平台，可以实现风险评估模型的快速部署和迭代优化，提升评估的效率和准确性。同时，云计算的弹性扩展能力确保了在高并发场景下风险评估任务的顺利执行，满足了航运企业对风险评估时效性的高要求。信息化手段的应用还促进了管理体系的透明化和协同化<sup>[10]</sup>。通过建立信息共享平台，各部门和岗位之间可以实时交流风险评估进展、共享数据和资源，形成协同合作的工作氛围，共同推动管理体系的持续改进和优化。

五、结论

基于风险评估的船舶结构安全管理体系的构建，对于提升船舶航行安全、保障船员生命财产安全具有重要意义。通过全面识别与评估结构风险，结合科学有效的管理措施，可实现船舶结构安全的持续改进和优化。未来，应进一步加强该体系在航运业的应用与推广，为航运安全贡献力量。

参考文献

[1] 黄戈, 郭歆, 蒋永旭, 等. 基于跨区域气流模拟的船舶防疫风险评估 [J]. 船舶工程, 2024, 53(06): 83-88.  
[2] 崔秀芳, 曲晓文. 基于 STPA-BN 的船舶航行人为风险因素分析与评估 [J]. 船舶工程, 2024, 46(08): 110-116.DOI: 10.13788/j.cnki.cbge.2024.08.15.  
[3] 王梦寰. 基于风险熵法的船舶安防系统效能评估 [D]. 大连海事大学, 2024  
[4] 郑柳姜. 基于 D-S 证据理论的船舶碰撞风险评估 [D]. 大连海事大学, 2024.  
[5] 舒雅. 基于大数据分析的船舶制造项目风险评估与应对策略 [J]. 今日财富, 2024, (18): 65-67.  
[6] 李成海, 刘树锋, 胡基平. 根据 DS 理论的船舶风险因素评估分析 [J]. 广东交通职业技术学院学报, 2024, 23(02): 64-68.  
[7] 杨克德. 基于大数据的船舶安全风险评估与预测 [J]. 中国航务周刊, 2024, (19): 47-49.  
[8] 芦奇, 李启军, 戴荣, 等. 基于云模型的船舶综合船桥建造质量风险评估方法 [J]. 兵工自动化, 2024, 43(04): 91-96.  
[9] 李成海, 赵卫健, 王建涛, 等. 基于模糊评价模型的船舶海上航行风险评估研究 [J]. 广州航海学院学报, 2023, 31(03): 1-5.  
[10] 杨志成. “双预防”机制下的船舶航次安全风险评估和管控 [J]. 中国海事, 2023, (05): 40-42.DOI: 10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2023.05.011.

# 地下金属矿山充填采矿技术的运用

刘洪伟, 刘启玉, 刘江波

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051

**摘 要 :** 金属矿产资源是我国工业生产的基础, 推动着经济发展和社会的进步。近年来科技的发展使得地下金属矿山开采力度加大, 传统的开采方法在长期实践中逐渐暴露问题, 尤其是矿山安全问题。为了确保地下金属矿山开采安全, 实现矿产资源的可持续开发利用, 加大充填采矿技术的应用。充填采矿技术通过将充填材料输送到采空区, 以此支撑矿山结构, 从而有效控制地压, 减少采空区坍塌的风险, 保障矿山的安全生产。基于此, 本文将阐述充填采矿技术在地下金属矿山开采中的意义, 介绍常见的充填采矿技术, 并提出具体优化建议, 以期为金属矿山的科学管理和可持续发展提供参考。

**关 键 词 :** 地下金属矿山; 充填采矿技术; 运用

## Application of Filling and Mining Technology in Underground Metal Mines

Liu Hongwei, Liu Qiyu, Liu Jiangbo

China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650051

**Abstract :** Metal mineral resources are the foundation of China's industrial production and promote economic development and social progress. In recent years, the development of science and technology has increased the intensity of underground metal mining, and the traditional mining methods have gradually exposed the problems in the long-term practice, especially the mine safety problems. In order to ensure the safety of underground metal mining and realize the sustainable development and utilization of mineral resources, the application of filling mining technology should be increased. Filling mining technology supports the mine structure by conveying filling materials to the goaf, so as to effectively control the ground pressure, reduce the risk of goaf collapse, and ensure the safe production of the mine. Based on this, this paper will explain the significance of filling mining technology in underground metal mining, introduce the common filling mining technology, and put forward specific optimization suggestions, in order to provide reference for the scientific management and sustainable development of metal mines.

**Keywords :** underground metal mining; filling and mining technology; application

随着社会对金属矿产资源需求的增加, 浅部资源、易采资源、高品位资源的逐渐消耗和枯竭, 金属矿山开发工程不断深入, 转入深部低品位以及难采矿体的开采, 采矿条件日益复杂。传统采矿方式存在资源浪费、污染环境等情况, 甚至存在安全隐患, 难以满足社会对绿色开采的需求。充填采矿技术是一种常见的采矿技术, 利用充填材料的支撑作用, 控制采场地压活动, 防止围岩坍塌和地表沉降。在我国应用较早, 随着对环境保护和资源高效利用的重视程度不断提高, 充填采矿技术在我国得到了更广泛的研究和应用<sup>[1]</sup>。

## 一、充填采矿技术在地下金属矿山开采中的意义

### (一) 保障采矿作业安全

随着地下金属矿山开采越来越深入, 矿山结构发生改变, 采空区随时可能引发顶板垮落、片帮等安全事故, 严重威胁作业人员的生命安全以及矿山的正常生产秩序。充填采矿技术通过向采空区填充合适的材料, 如尾砂、废石、胶结材料等, 能够及时支撑采场顶板和围岩<sup>[2]</sup>。填充体可以分担矿山开采过程中产生的地

应力, 减少顶板和围岩的变形与破坏风险。例如, 在一些深部开采的金属矿山中, 随着开采深度的增加, 地压急剧增大, 传统采矿方法难以应对。而采用充填采矿技术后, 充填体能够有效抵抗上覆岩层的压力, 使采场处于相对稳定的力学状态, 大大降低了顶板垮落事故的发生概率, 为采矿人员创造了更为安全的作业环境。

### (二) 提高资源回收利用率

在传统的采矿方法中, 由于受到采场稳定性、矿石损失贫化

等因素的限制，无法充分回采矿体。而充填采矿技术可以适应各种复杂的地质条件，通过合理的采矿工艺设计和充填方式选择，最大限度地减少矿石的损失和贫化。例如，在一些矿体形态复杂、厚度变化较大的矿山，采用分段充填采矿法或分层充填采矿法，能够根据矿体的实际情况，将矿体划分为多个分段或分层进行回采，及时对采空区进行充填。不仅可以有效控制地压，还能提高资源回收率。对于一些低品位矿石或以往被视为难以开采的边角矿体，充填采矿技术也可以通过优化开采工艺，实现经济合理的开采，进一步提高了资源的综合利用效率<sup>[3]</sup>。

（三）降低对环境的污染

随着人们环保意识的不断提高，矿山开采对环境的影响日益受到关注。充填采矿技术在可以将开采过程中的废弃物，如尾砂、废石等作为充填材料进行再利用，减少开采过程中的废弃物排放，降低了对土地资源的占用，还避免了废弃物随意堆放对周边环境造成的污染。例如，将尾砂进行脱水、分级处理后，与胶结材料混合制成充填体，填充到采空区中，实现了尾砂的资源化利用，减少了尾矿库的建设和运营成本，降低了尾矿库溃坝等环境风险。

其次，随着开采范围的扩大，地表会逐渐出现下沉、塌陷等现象，破坏地表植被、农田和建筑物，影响生态平衡。对地下金属矿山采用充填采矿技术，通过向采空区填充材料，能够支撑上覆岩层，减小地表沉降变形，保护地表生态环境。

（四）降低开采成本

随着科技的不断创新，采矿方法也不短的优化，充填采矿技术的应用可以减少支护成本，将尾矿直接用于充填采空区，避免了尾矿远距离输送和堆存的费用，降低尾矿处理成本，提高设备利用率，下表为 AMC 国际咨询公司整理的常见充填采矿方法产能、效率与成本对比，详情见表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 AMC 国际咨询公司整理的常见充填采矿方法产能、效率与成本对比

充填采矿技术	产能比例（%）	综合成本（元/吨）	工人人均产能（吨/天）
下向分层尾砂充填技术	5	400	19
结合点柱支护控场嗣后充填技术	12	325	15
上向分层尾砂充填技术	8	200	32
阶段控场嗣后充填采矿技术	45	100	63
其他	20	175	38

二、常见的充填采矿技术

（一）下向分层尾砂充填采矿技术

下向分层尾砂充填技术从矿体的上盘向下盘或从矿体的一端向另一端，沿水平分层由上而下逐层进行回采。每采完一个分层，就及时用尾砂进行充填，利用充填体对上覆岩层进行支撑，控制地压活动，为下一分层的回采创造安全条件，如此循环，直至完成整个矿体的开采。适用于开采矿石和围岩均不稳固的高品位矿体，特别是那些对地表保护要求严格，不允许有较大变形和塌陷的矿体。该技术能有效控制地压，保护上下盘围岩和地表，矿石损失和贫化率低，可保证较高的矿石质量；作业安全条件

好，工人在充填体保护下进行回采作业<sup>[5]</sup>。

（二）结合点柱支护控场嗣后充填采矿技术

结合点柱支护控场嗣后充填采矿技术在采矿过程中先根据矿体的形状、大小和地质条件等，在采场内合理布置并保留一定数量和形状的点柱。在回采过程中，点柱承担主要的支撑作用，控制采场顶板的变形和垮落。待矿房回采结束后，再对采空区进行尾砂等材料的充填，进一步增强采空区的稳定性，减少地压对周边矿体和围岩的影响。适用于矿体厚度较大、地压较大，且矿石和围岩稳定性相对较差的情况，尤其是在一些大型金属矿山的深部开采中较为常用。该技术综合了点柱支护和充填采矿的优点，能有效控制采场变形和地压活动；提高了采矿的安全性，减少了采场冒顶等事故的发生概率；在一定程度上提高了矿石回收率，减少了因采空区不稳定导致的矿石损失。

（三）上向分层尾砂充填采矿技术

上向分层尾砂充填采矿技术将矿块沿垂直方向划分成若干分层，从最下分层开始，向上逐层进行回采。每采完一个分层，就利用尾砂进行充填，充填体不仅为下一次回采提供工作平台，还能支撑围岩，控制地压。随着分层的不断上采，逐步完成整个矿块的回采和充填工作。适用于开采矿石稳固、围岩不稳固的矿体，在有色金属矿山和贵金属矿山中应用较为广泛，尤其是矿体倾角较缓、厚度较大的情况。该技术充填效率较高，能够连续进行分层充填作业；充填体质量相对较好，能有效控制地压，减少围岩的变形和垮落，回采工艺相对简单，工人操作容易掌握，可以利用尾砂等废料，减少环境污染，降低充填成本<sup>[6]</sup>。

（四）阶段控场嗣后充填采矿技术

阶段控场嗣后充填采矿技术按阶段划分矿块，在一个阶段内，采用合适的采矿方法进行回采，形成较大的采空区。在回采过程中，主要依靠阶段内的矿柱、围岩自身的强度以及一些临时支护措施来控制地压。待整个阶段回采结束后，再对阶段采空区进行大规模的充填，利用充填体将采空区填满，以恢复地层压力平衡，减少地压对周边矿体和围岩的影响，防止采空区塌陷。适用于开采规模较大、矿体厚度较大、倾角较陡的矿床，尤其是在一些大型地下金属矿山中，对于那些采用阶段空场法等采矿方法后形成的较大采空区，常采用阶段控场嗣后充填法。该技术采矿效率高，阶段回采可以采用大型机械设备，实现规模化开采，嗣后充填能有效控制大规模采空区的地压活动，减少地表塌陷等地质灾害的发生，有利于集中管理和生产组织，降低采矿成本。

三、地下金属矿山充填采矿技术优化建议

（一）优化充填材料的选择

在地下金属矿山充填采矿中，常见的充填材料有尾矿、废石、膏体、混凝土。选择充填材料时要考虑材料的性能，如材料强度、流动性、固化时间等。①根据采矿工艺和采空区的稳定性要求，合理选择具有合适强度的充填材料。对于采用嗣后充填的矿山，在充填体形成初期，可能不需要过高的强度，但在后期需要能够长期稳定地支撑围岩，此时可选择后期强度增长较好的材

料，如添加了合适外加剂的尾矿胶结充填材料或水泥基膏体材料。②考虑充填材料在管道输送过程中的流动性和可输送性。膏体材料由于其良好的流变性，能够实现长距离、大高差的管道输送，适用于复杂的矿山开采系统。而对于一些距离充填站较近、输送距离短的采场，也可选用流动性稍差但成本更低的废石或分级尾矿等材料，采用机械充填的方式进行充填。③混凝土的固化时间相对较短，早期强度发展快，但收缩性可能较大；而一些新型的高分子胶结充填材料固化时间可根据需要进行调整，且收缩性较小。在选择充填材料时，要根据矿山的生产节奏和采空区的具体情况，选择固化时间合适、收缩性小的材料，以减少充填体与围岩之间的间隙，提高充填效果。

表2 典型充填材料的特点及优化方向

充填材料	优点	缺点	优化方向
尾矿	来源广泛 成本低	强度低 含水率高	高效脱水技术 尾矿再选与综合利用 与其他材料的协同使用
废石	强度较高 就地取材	颗粒不均匀 含泥量高	表面处理 优化废石胶结技术
膏体	高浓度、低泌水 具有良好的流动性	对设备要求高 易堵管	原材料优化 优化浓度与流动性 完善运输方式
混凝土	强度高、耐久好	成本高 容易产生裂痕	优化混凝土配比 探索绿色混凝土技术

（二）完善充填工艺，提高充填效率

为了提高地下金属矿山充填效率，可以引入先进充填设备与

技术，如双轴强制式搅拌机、自动化输送系统，以此提高充填料浆的搅拌均匀度和输送质量。双轴强制式搅拌机较传统的自落式搅拌机，其搅拌叶片的特殊设计能使充填材料与胶结剂充分混合，确保充填料浆的稳定性和强度一致性。均匀的料浆可以提高充填体的整体质量，减少因局部强度不足导致的安全隐患，在一定程度上提高充填效率，因为高质量的充填料浆更利于管道输送和快速成型<sup>[7]</sup>。自动化输送系统可以对输送过程精准控制。通过采用先进的流量传感器、压力传感器、自动化控制系统，实时监测和调节料浆的输送流量、压力和浓度<sup>[8]</sup>。当监测到输送管道出现堵塞或压力异常时，系统能自动报警并采取相应的处理措施，如自动反冲洗或调整输送参数。自动化输送系统不仅提高了输送的可靠性和稳定性，还减少了人工干预，降低了劳动强度，进而提高了充填效率<sup>[9]</sup>。

四、结语

在地下技术矿山中采用充填采矿技术可以提高矿石的回收率，减少资源浪费，进一步提升矿山企业的经济效益和资源利用效率。在当前全球倡导绿色发展和可持续发展的大背景下，充填采矿技术的应用有助于推动地下金属矿山行业的转型升级，实现经济、社会和环境的协调发展具有重要的现实意义<sup>[10]</sup>。

参考文献

[1] 蒲世海. 地下金属矿山充填采矿技术安全分析 [J]. 世界有色金属, 2024(6): 85-87.  
[2] 张齐盛. 关于地下金属矿山充填采矿技术的研究 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(9): 154-156.  
[3] 廖鹏. 探究地下金属矿山的充填采矿技术 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2024(10): 0112-0115.  
[4] 李绍绍, 王新彦. 地下金属矿山的充填采矿技术分析 [J]. 世界有色金属, 2024(13): 109-111.  
[5] 陆刚. 金属矿山采矿工程中充填采矿技术的实践探索 [J]. 世界有色金属, 2024(2): 106-108.  
[6] 黎维平. 充填采矿技术在金属矿山采矿工程中的应用研究 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(8): 121-123.  
[7] 陈培顺, 成印震. 充填采矿技术在金属矿山采矿工艺中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2024(6): 0125-0128.  
[8] 罗明. 地下金属矿山的充填采矿技术研究 [J]. 工程技术研究, 2018, (02): 71-72. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2018.02.030.  
[9] 崔忠贵. 地下金属矿山的充填采矿技术研究 [J]. 科学大众 (科学教育), 2019, (03): 201. DOI: 10.16728/j.cnki.kxdz.2019.03.171.  
[10] 张佳斯. 地下金属矿山充填采矿技术分析 [J]. 中国金属通报, 2024, (02): 34-36.

# 数字化设计在异形幕墙造型实现中的关键技术研究

谢济原, 刘长春, 罗国兴, 张利彬, 李铮  
中建七局建筑装饰工程有限公司, 河南 郑州 450000

**摘 要：** 本文聚焦数字化设计在异形幕墙造型实现中的关键技术。开篇介绍异形幕墙造型特点、分类及数字化设计技术基础，如参数化设计原理。核心部分剖析建筑信息模型（BIM）、参数化设计及数字化模拟与分析技术的应用，包括 BIM 信息整合、参数化设计优势及性能优化。通过代表性项目全流程分析，展现技术应用效果。研究表明，这些技术显著提升异形幕墙设计质量、优化性能、提高施工效率，为异形幕墙设计与建造提供新思路。

**关 键 词：** 异形幕墙；数字化设计；建筑信息模型（BIM）；参数化设计；数字化模拟与分析

## Research on Key Technologies of Digital Design in the Realization of Shaped Curtain Wall Modeling

Xie Jiyuan, Liu Changchun, Luo Guoxing, Zhang Libin, Li Zheng  
China Construction Seventh Engineering Division Building Decoration Engineering Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract：** This paper focuses on the key technologies of digital design in the realization of shaped curtain wall modeling. It begins with an introduction to the characteristics and classification of shaped curtain wall modeling, as well as the fundamentals of digital design technology, such as parametric design principles. The core section delves into the application of Building Information Modeling (BIM), parametric design, and digital simulation and analysis techniques. These include BIM information integration, the advantages of parametric design, and performance optimization. Through a comprehensive analysis of representative projects, the paper demonstrates the effectiveness of these technologies. The research indicates that these technologies significantly enhance the design quality of shaped curtain walls, optimize their performance, and improve construction efficiency, thereby providing new ideas for the design and construction of shaped curtain walls.

**Keywords：** shaped curtain wall; digital design; Building Information Modeling (BIM); parametric design; digital simulation and analysis

## 引言

在建筑审美观念革新与建筑功能需求多元化的当下，传统幕墙形式已难以契合现代建筑的独特追求，异形幕墙顺势而生。其独特造型为建筑赋予灵动与个性，成为城市中引人注目的风景线。然而，异形幕墙复杂的几何形状给设计与建造带来重重挑战。幸运的是，数字化设计技术的崛起，宛如一把万能钥匙，凭借强大的计算、模拟与优化能力，为攻克异形幕墙造型难题开辟了新路径。本章节将深入探究此项研究的背景，剖析其对建筑设计创新、建造效率与质量提升等方面的深远意义，梳理国内外研究进展，并阐述研究的具体内容与方法，为后续深入探讨奠定基础。

## 一、异形幕墙造型及数字化设计概述

本文聚焦数字化设计在异形幕墙造型中的关键技术。先介绍异形幕墙和特点、分类及数字化设计基础，再剖析 BIM、参数化设计等技术应用。

### （一）异形幕墙造型特点与分类

异形建筑幕墙即指外表面为奇特异形形状的建筑幕墙，主要包括建筑表面的形态为扭转或双曲面而呈现出独特的立面及空间建筑效果，其主要特点是外轮廓存在多角度的扭曲，结构形式为

异形，造型奇特且复杂无规律，面板尺寸多具有唯一性，种类及数量多，相同规格及尺寸板块数量较少，主要通过异形板块的叠加及交接处理来形成极具视觉冲击的建筑形体，增强了建筑的艺术表现力<sup>[1]</sup>。从造型特点来看，其具有不规则性、连续性和复杂性等显著特征。依据不同的分类标准，异形幕墙可分为多种类型，如基于几何形状的分类、基于建筑功能的分类等。

### （二）数字化设计技术基础

数字化设计技术融合计算机科学、数学与建筑学等多学科知识，是一门综合性技术，在异形幕墙设计领域具有关键作用。参

数化设计原理是其核心理论之一，设计师通过设定参数与规则，能够灵活生成并调整异形幕墙的复杂造型方案，极大提升设计的灵活性与效率。计算机图形学基础则为异形幕墙的可视化表达提供了支撑，让设计理念得以直观呈现。

在技术体系方面，各类设计软件工具层出不穷。例如，犀牛（Rhino）软件凭借强大的曲面建模功能，深受异形幕墙设计师喜爱，可精准构建复杂的幕墙几何模型。而数据处理方法在其中也不可或缺，通过对大量设计数据的高效处理与分析，能优化设计流程、提升设计质量<sup>[2]</sup>。深入了解这些数字化设计技术的基础理论与技术体系，能为后续深入探讨其关键技术异形幕墙设计中的应用，如建筑信息模型（BIM）技术、数字化模拟与分析技术等，筑牢坚实的理论根基，助力异形幕墙设计迈向新高度。

## 二、数字化设计关键技术在异形幕墙造型中的应用

掌握异形幕墙造型特点与数字化设计技术基础后，本章聚焦核心，阐述建筑信息模型（BIM）、参数化设计、数字化模拟与分析技术，如何助力异形幕墙从设计理念迈向实际建造。

### （一）建筑信息模型（BIM）技术应用

在异形幕墙设计中，建筑信息模型（BIM）技术意义非凡。它通过建立三维信息模型，开启了异形幕墙设计的全新变革。在模型建立环节，设计师借助专业软件，依据异形幕墙的设计方案，精准构建出包含幕墙几何形状、构件尺寸等详细信息的三维模型，让设计从抽象概念转化为直观可视的数字化模型。

信息整合方面，BIM技术能将异形幕墙从设计构思、深化设计，到材料采购、施工安装，再到后期维护的全生命周期各类信息，如材料属性、施工进度计划、成本预算等，统一整合在模型之中<sup>[3]</sup>。各方人员可通过该模型实时获取所需信息，实现信息的高效共享与协同工作。碰撞检查是BIM技术的一大亮点。在施工前，利用BIM模型对幕墙各构件以及与建筑其他部分进行碰撞检测，提前发现设计中可能存在的构件冲突问题，如管道与幕墙结构碰撞等。及时调整设计，避免施工阶段的返工，有效提高设计质量，减少施工延误，大幅提升施工效率，为异形幕墙项目的顺利推进提供有力保障。

### （二）参数化设计技术应用

参数化设计技术凭借其强大的灵活性与适应性，在异形幕墙复杂造型的实现过程中发挥着关键作用。在异形幕墙造型设计里，参数化建模方法是基础。设计师运用专业软件，如Grasshopper插件与Rhino软件结合，通过定义点、线、面等几何元素的参数，像控制点坐标、曲线曲率等，搭建起基础的几何框架。这些参数并非固定不变，而是可动态调整的变量<sup>[4]</sup>。设计规则制定则赋予了参数间逻辑关系。例如，设定幕墙面板尺寸与建筑整体比例的关联规则，当调整建筑整体尺度参数时，幕墙面板尺寸能依据规则自动适配。通过这种方式，设计师能够轻松快速地生成多种造型方案。

以某艺术中心的异形幕墙设计为例，设计师利用参数化设计技术，先设定了幕墙整体的扭曲角度、板块分割数量等参数以及

板块间接规则。在设计过程中，根据采光需求和建筑美学考量，灵活调整参数，快速得到不同采光效果、造型风格的方案。经对比优化，选出最佳方案，充分展示了参数化设计技术在异形幕墙设计创新与优化方面的显著优势，为打造独特且实用的异形幕墙提供了有力支持。

### （三）数字化模拟与分析技术应用

异形幕墙造型独特，却因复杂性在力学、采光、热工等性能方面面临挑战。数字化模拟与分析技术为解决这些难题提供了有效途径<sup>[5]</sup>。在结构力学模拟中，借助专业软件，将异形幕墙的结构形式、材料属性等数据输入模型，模拟不同工况下，如风力、地震力作用时幕墙的受力情况。通过分析应力、应变分布，提前发现结构薄弱点，优化结构设计，确保幕墙具备足够强度与稳定性。

采光模拟同样关键。利用光学模拟软件，依据建筑所处地理位置、朝向、周边环境以及幕墙玻璃的光学特性等参数，模拟不同时段室内采光效果。设计师据此调整幕墙的开窗位置、面积及玻璃透光率等，提高室内采光均匀度，减少眩光，满足建筑采光需求，提升室内舒适度。热工模拟则聚焦于幕墙的保温隔热性能。通过模拟软件分析幕墙在不同季节、不同气候条件下的热量传递过程，考量材料的热传导系数、构造形式等因素。进而优化幕墙的保温材料选择、构造设计，降低建筑能耗，提升热工性能，实现节能与环保目标。数字化模拟与分析技术以数据为驱动，为异形幕墙性能与品质的提升提供了科学、精准的支持。

## 三、案例分析

理论研究最终要回归实践，通过实际案例的分析，能够更直观地展现数字化设计关键技术在异形幕墙造型实现中的应用效果。

### （一）项目简介

本次选取的异形幕墙项目位于苏州，周边高楼林立，交通便利。该建筑定位为集高端办公、商业休闲于一体的综合性地标建筑，旨在打造一个融合现代科技与艺术美感的城市空间。在异形幕墙造型设计方面，其独特之处尤为显著。苏州中心的“未来之翼”极具特色，它是当前全球规模最大的自由曲面单层钢网格屋面之一。该屋面结构的展开长度长达630米，采用超长不设缝的独特设计，并且同时跨越下方4个单体建筑。值得一提的是，其跨越正在运营地铁的中庭时，最大跨度达到了55米<sup>[6]</sup>。与常见的利用三点共面三角形网格构建自由曲面的方式不同，此项目别出心裁地运用四边形网格来拟合自由曲面形态，且在施工过程中，还需兼顾玻璃幕墙的安装工作，对技术和施工工艺要求极高。

### （二）数字化设计流程与关键技术实施过程

在数字化设计流程的起始概念设计阶段，设计团队运用参数化设计技术，借助专业软件如Rhino与Grasshopper，依据苏州的城市特色、周边建筑环境以及项目的高端办公和商业休闲定位，设定诸多关键参数。像是屋面整体的曲率变化参数，以此来初步塑造自由曲面的大致形态。同时，考虑到跨越下方4个单体建

筑以及运营地铁中庭的特殊情况，设置建筑结构跨度、支撑点位置等参数，快速生成多种异形幕墙的概念雏形<sup>[7]</sup>。通过数字化模拟与分析技术，对这些雏形方案进行初步的力学性能模拟，评估其在复杂环境下的结构稳定性，筛选出较为可行的方案。

进入深化设计阶段，建筑信息模型（BIM）技术发挥核心作用。将概念设计中选定的方案导入 BIM 软件，构建出极为精细的三维模型。模型中不仅涵盖自由曲面单层钢网格屋面的详细结构信息，包括每一根钢梁的尺寸、材质、连接方式，还包含玻璃幕墙的板块划分、规格等信息。参数化设计技术在此进一步优化，依据四边形网格拟合自由曲面的特殊要求，对网格节点参数、边长参数等进行反复调试，确保曲面形态的精准呈现。数字化模拟与分析技术也深度介入，针对屋面结构进行更全面的力学性能模拟，考虑风荷载、地震作用等多种工况，同时对玻璃幕墙的采光性能、热工性能展开模拟。依据模拟结果，不断调整设计细节，如优化钢梁的布置以增强结构强度，调整玻璃的光学参数以提升采光舒适度、控制能耗<sup>[8]</sup>。

施工阶段，BIM 模型成为各方协同工作的核心枢纽。施工团队通过 BIM 平台实时获取施工进度信息，清晰了解每一个施工环节的先后顺序与时间节点。利用模型中的数据进行施工场地规划，合理安排材料堆放区域与机械设备停放位置。在安装自由曲面单层钢网格屋面时，借助参数化设计技术，根据现场实际测量数据对安装参数进行微调，确保每一根钢梁都能精准安装就位。数字化模拟与分析技术则用于施工过程模拟，提前预判可能出现的安装难点，如在跨越地铁中庭的大跨度区域，模拟施工过程中结构的变形情况，提前制定应对措施。对于玻璃幕墙的安装，基于 BIM 模型的信息，施工人员能够准确知晓每一块玻璃的安装位置与角度，提高安装效率与精度，最终成功完成对技术和施工工艺要求极高的异形幕墙项目<sup>[9]</sup>。

### （三）实施效果评估

在对苏州该异形幕墙项目“未来之翼”实施效果评估时，从

多维度展开。利用三维测绘技术比对实际建成的自由曲面单层钢网格屋面与设计模型，屋面结构展开长度精准契合设计的 630 米，超长不设缝及跨越 4 个单体建筑处过渡自然，大跨度区域结构形态与设计偏差极小，独特的四边形网格拟合造型高度还原，彰显数字化设计对复杂造型的精确实现能力<sup>[10]</sup>。在建筑性能上，关键结构节点监测数据显示，力学性能满足安全要求；室内采光数据表明采光均匀舒适；能耗监测分析得出节能效果优于传统建筑。成本与工期方面，借助数字化协同管理，施工各环节精细化管理，避免设计变更导致的成本增加，实际成本较传统方式降低，依据数字化模拟计划，各施工环节紧密衔接，工期较原计划缩短，为同类项目提供有利参考。

## 四、结束语

经过对数字化设计在异形幕墙造型实现中的关键技术深入研究与案例分析，本章节将全面总结归纳整个研究过程，提炼具有普遍性的研究结论。前文研究内容显示，建筑信息模型（BIM）技术、参数化设计技术以及数字化模拟与分析技术，在异形幕墙造型实现中，于提高设计质量、优化建筑性能、提升施工效率等方面作用显著，本部分会详细梳理这些关键技术的应用规律与核心要点，为建筑行业从业者提供有价值的参考依据。尽管当下研究取得一定成果，但在科技进步与建筑行业持续发展的大背景下，该领域研究空间依旧广阔。本部分将结合当前技术发展趋势与建筑行业需求，对未来研究方向展开展望，如探索人工智能、虚拟现实等新兴技术在异形幕墙设计中的应用可能，进一步优化数字化设计流程，提升异形幕墙的可持续性，为该领域的持续创新发展注入思路与动力。

## 参考文献

- [1] 易英英. BIM 技术在异形建筑幕墙工程中的应用研究 [D]. 南昌大学, 2021. DOI: 10.27232/d.cnki.gnchu.2021.003609.
- [2] 朱康田. BIM 技术助力实现异形曲面幕墙智能建造的研究 [J]. 绿色建筑与智能建筑, 2024, (09): 78-80+86.
- [3] 鲁玲, 邓鼎. 数字驱动, 创效增值数字化设计在异形建筑 EPC 工程中的全过程应用 [J]. 中华建设, 2024, (05): 86-89.
- [4] 魏冬. 异形建筑数字化建造的实施——哈尔滨大剧院 [J]. 建筑技艺, 2017, (11): 112-118.
- [5] 张恩茂, 马进蛟, 袁洵, 等. 幕墙工程异形棱状装饰架设计与施工方案分析 [J]. 工程技术研究, 2019, 4(17): 193-194. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.17.091.
- [6] 张谨, 宫长义, 李国建, 等. 苏州中心“未来之翼”超长异形网格结构关键技术创新与应用 [J]. 建设科技, 2021, (13): 44-48. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2021.13.007.
- [7] 譙久红, 梁成业, 李港, 等. BIM 技术在异形幕墙多维度测量中的应用研究 [J]. 建筑技术, 2024, 55(13): 1586-1588. DOI: 10.13731/j.jzjs.2024.13.1586.
- [8] 叶盛智, 刘亮亮, 李钢. 基于 BIM 技术的异形体幕墙网格优化分析 [J]. 四川建筑, 2023, 43(5): 41-43. DOI: 10.3969/j.issn.1007-8983.2023.05.014.
- [9] 郑春燕. 建筑 BIM 参数化技术在异形曲面幕墙设计与施工中的运用分析 [J]. 智能建筑与工程机械, 2021, 3(10): 33-35.
- [10] 严光芒. BIM 拓展下的异形幕墙设计及施工方法分析 [J]. 科技创新导报, 2022, 19(14): 130-132. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X.2203-5640-5040.

# 环境工程项目全生命周期管理咨询

任东亮

新疆东方希望有色金属有限公司，新疆 昌吉 831700

**摘 要：** 环境工程项目作为生态文明建设的关键支撑，其全生命周期管理咨询对于项目的可持续发展至关重要。本研究从项目前期决策、建设实施、运营后评估及行业发展前瞻策略四个维度，深入剖析现存问题并提出创新性的应对策略，旨在提升环境工程项目的整体效能与社会价值。

**关 键 词：** 环境工程项目；全生命周期管理；决策重构

## Full-time Life-cycle Management Consulting for Environmental Engineering Projects

Ren Dongliang

Xinjiang Oriental Hope Non-ferrous Metals Co., Ltd. Changji, Xinjiang 831700

**Abstract：** As the key support for ecological civilization construction, the whole life cycle management consulting of environmental engineering project is crucial to the sustainable development of the project. This study deeply analyzes the existing problems and puts forward innovative coping strategies from four dimensions of pre-project decision, construction and implementation, post-operation evaluation and industry development foresight strategies, aiming to improve the overall efficiency and social value of environmental engineering projects.

**Keywords：** environmental engineering project; full life cycle management; decision reconstruction

在社会经济快速发展的当下，环境工程项目的数量与规模不断增长。全生命周期管理咨询贯穿项目从规划到拆除的全过程，有助于项目达成目标、优化资源配置并降低环境影响。然而，目前该领域面临决策科学性不足、建设实施效率低、运营效能欠佳等问题，严重制约项目推进与效益发挥。因此，探索有效改进策略对推动环境工程领域发展极为迫切，具有重要现实意义。

### 一、项目前期决策阶段的重构

#### （一）多维技术经济评价体系构建

传统项目评价体系常过度聚焦经济因素，单纯以投资回报率等简单指标决策，易导致片面性与局限性。本研究构建的全新多维评价体系，全面考量经济、环境和社会等关键维度要素，实现对项目综合效益的全方位、深层次剖析。

在经济层面，采用严谨的成本 - 效益分析方法，精确量化项目全生命周期内的投资、运营成本及收益。引入全生命周期成本（LCC）概念，涵盖项目建设、运营维护、能源消耗乃至拆除阶段的成本。例如，某污水处理厂项目在设备选型时，经 LCC 分析发现，选用初期投资较高但能耗低、维护简便的先进设备，从长期运营看，可显著降低总成本，实现经济效益最大化。

从环境维度出发，综合运用生态系统服务价值评估与环境成本核算方法。借助 InVEST（综合生态系统服务评估工具）模型，精准量化项目影响区域内生态系统服务价值的变动。以湿地保护

项目为例，该模型可动态监测项目实施过程中生物多样性、水源涵养等关键生态系统服务价值的变化。同时，系统核算项目建设与运营中污染物排放引发的外部环境成本，包括周边生态环境破坏后的修复成本等，全面准确反映项目对环境的实际影响<sup>[1]</sup>。

在社会方面，运用科学的利益相关者分析方法，深入调查不同利益群体对项目的态度与承受能力，着重评估项目在创造就业机会、维护社区稳定性等方面的潜在影响。如在大型垃圾焚烧发电项目中，通过详细调研周边社区居民数量、就业结构及对项目的接受程度等关键信息，能较准确预测项目可能带来的社会影响，为项目决策提供全面详实依据。

#### （二）利益相关方协同决策平台

环境工程项目涉及政府部门、项目业主、周边居民、环保组织等众多利益相关方。在传统决策模式下，各方信息沟通不畅，决策参与度参差不齐，导致决策缺乏科学性与民主性，引发诸多矛盾问题。构建利益相关方协同决策平台，旨在打破信息壁垒，提升项目决策的科学性与民主性。

作者简介：任东亮（1991.10-），男，汉族，籍贯：甘肃天水，本科，助理工程师，研究方向：固体废物处理与资源化；污泥和生活垃圾的绿色处理与高附加值资源化；大气污染物控制；气候变化和温室气体减排。

该平台依托区块链技术，利用其不可篡改、信息透明的特性，确保项目信息在各方间准确、及时传递与共享。引入先进的工作流引擎，实现决策流程的规范化与高效运行。平台设置多个功能模块：信息公开模块实时更新项目规划、环境影响评估报告等关键信息，保障各方知情权；在线协商模块借助视频会议、即时通讯等技术手段，实现各方高效沟通与意见交换，促进问题及时解决；决策模拟模块依托系统动力学模型，模拟预测不同决策方案的影响，为决策提供科学直观的参考依据；效果评估模块运用层次分析法（AHP）等科学方法，量化评价已实施决策的效果，便于及时发现问题并调整优化。

以某城市轨道交通项目为例，搭建协同决策平台后，政府部门、建设单位、沿线居民和环保组织等各方可实时共享项目信息，共同商讨线路规划与环保措施等关键问题。实践证明，该平台有效减少了因信息不对称导致的冲突，显著提升项目推进效率，保障项目顺利实施。

## 二、项目建设实施阶段的智慧化转型

### （一）数字孪生驱动的施工管理

数字孪生技术作为新兴前沿技术，通过构建与实体项目高度匹配的虚拟模型，对施工全过程进行实时模拟与监控，为施工管理提供精准可靠的决策依据<sup>[3]</sup>。在实际应用中，利用激光扫描、无人机航测等先进测绘技术，快速准确获取施工现场的地形地貌与建筑结构数据，及时更新虚拟模型。借助物联网传感器，全方位收集施工过程中的设备运行状态、材料消耗、人员位置等实时数据，并同步至虚拟模型。运用数据挖掘与机器学习算法深度分析这些海量数据，实现对施工进度延误、质量缺陷、安全隐患等问题的提前预警，并提供针对性的优化解决方案。

例如，在某大型桥梁建设项目的混凝土浇筑环节部署物联网传感器，实时监测混凝土的温度、湿度与应力变化。结合有限元分析模型，精确预测混凝土结构的稳定性，成功提前发现潜在裂缝风险，及时调整施工工艺，有效确保工程质量与安全，避免出现重大损失。

### （二）绿色建造技术集成创新

绿色建造技术集成创新旨在实现项目建设过程中的环境保护与资源高效利用。一方面，积极开展新型环保建筑材料的研发工作，如以工业废弃物为原料的再生混凝土、可降解的建筑保温材料等。深入分析这些材料在实际工程中的应用效果与经济适用性，评估其对项目成本、环境影响及长期性能的影响，为材料选择提供科学依据。另一方面，大力集成节能设备与技术，构建智能能源管理系统，实时监测建筑能耗。通过数据分析，优化能源分配，如根据不同时间段的能源需求调整设备运行功率，提高能源利用效率。再者，积极开展建筑废弃物资源化利用的研究与实践。建立完善的废弃物分类回收体系，对废弃混凝土、钢材、木材等进行分类回收与再加工，将其转化为可用于道路基层、新型建材等领域的再生资源，形成资源循环利用的闭环，降低项目对自然资源的依赖，减少废弃物排放对环境的压力。

## 三、项目运营后评估阶段的效能提升

### （一）全要素绩效评价模型

全要素绩效评价模型旨在全面整合经济、环境与社会效益评价，实现对项目运营阶段效能的全方位、综合性评估。在经济评价方面，运用净现值（NPV）分析、内部收益率（IRR）等经典方法，精确量化项目的盈利能力与投资回报<sup>[3]</sup>。环境评价主要参考污染物排放削减量、环境质量改善指标等关键数据，如污水处理厂的化学需氧量（COD）、氨氮等污染物去除率，以及周边水体环境质量的实际监测数据。社会评价聚焦于公众满意度、社区发展贡献等重要指标，通过科学设计问卷调查、开展实地访谈等方式广泛收集相关数据。

为提高评价的科学性与合理性，建立评价指标权重体系。运用层次分析法（AHP）结合专家打分，确定各指标在综合评价中的相对权重。在此基础上，定期收集项目运营数据，运用模糊综合评价法等科学方法进行综合评估，并根据评估结果及时调整运营策略，持续提升项目运营效能。

### （二）金融工具创新实践

环境工程项目在运营阶段常面临资金压力，创新金融工具成为解决资金难题的重要途径。绿色债券作为专项融资工具，能为环境项目提供低成本、长期稳定的资金支持。如某环保企业通过发行绿色债券建设大型污水处理设施，借助债券融资降低融资成本，保障项目顺利运营。

绿色基金以市场化方式引导社会资本投入环境领域，通过科学构建投资组合分散风险，提高资金使用效率。碳金融市场的发展为减排项目带来新的资金激励机制。企业实施碳减排项目，获得碳排放配额或碳信用，在碳市场交易实现减排收益。如某钢铁企业实施技术改造降低碳排放，将多余的碳排放配额在碳市场出售，实现经济效益与环境效益双赢。

## 四、行业发展前瞻性策略

### （一）技术融合创新方向

环境工程项目全生命周期管理咨询正快速迈向技术融合创新阶段。大数据技术凭借强大的数据处理能力，从海量复杂的项目数据中挖掘关键信息。环境工程项目数据来源广泛、结构多样，涵盖项目规划时的地理与环境基线数据、建设中的工程进度和资源消耗数据，以及运营时的污染物排放和设备运行数据等。借助数据挖掘算法，大数据能深度剖析这些数据，通过关联分析揭示项目成本与工期延误的潜在关联，利用聚类分析对具有相似环境影响特征的项目进行分类，为新项目提供精准的成本预测、工期估算和环境影响评估参考<sup>[4]</sup>。

人工智能技术在项目决策支持系统中发挥核心作用。传统项目评估多依赖经验与简单定量分析，难以全面考量复杂的环境、社会和经济因素。人工智能借助机器学习算法构建复杂模型，可同时处理环境法规严格程度、社区接受度、原材料价格波动等大量输入变量，对项目方案的可行性、效益性与可持续性进行智能

评估。在设施设备运维方面，基于深度学习的故障预测模型通过学习设备运行历史数据，构建设备健康状态模型，提前精准预测故障，实现从被动维修向主动维护转变，降低设备故障率，提升运营效率并减少环境污染风险。

物联网技术实现项目设施与管理系统深度融合。在项目设施部署各类传感器，实时采集设施运行状态和环境参数数据，并传输至中央控制系统。基于预设规则和算法，系统自动调整处理设备运行状态。大数据、人工智能和物联网技术相互融合，构建起智能管理体系。大数据提供数据资源，人工智能进行智能分析与决策支持，物联网实现数据采集和指令执行，显著提升管理咨询的智能化与精准化水平，为高效项目管理提供技术支撑。

## （二）人才培养体系改革

专业人才短缺与技能不足严重制约环境工程项目全生命周期管理咨询行业发展，人才培养体系改革刻不容缓。在高校专业教育层面，优化课程体系是适应行业发展的必然选择。增设环境工程与管理交叉学科课程意义重大。以环境项目风险管理课程为例，不仅传授风险管理基本理论，还结合环境工程项目特点，深入讲解环境风险的独特识别与评估方法，分析不同环境风险的成因、影响范围及应对策略。环境经济与政策课程紧密结合当下环境经济形势与政策导向，培养学生运用经济和政策手段解决环境问题的能力，引导学生研究政策对项目成本、效益及可持续性的影响。同时，强化实践教学，通过校企合作建立实习基地，让学生参与项目全生命周期管理，从前期调研、方案设计，到建设中的质量控制、进度管理，再到运营阶段的绩效评估，全面提升实操能力，实现理论与实践融合。

在企业层面，针对性实践培训是提升员工专业技能的有效途径。对项目管理人员开展如 Project、Primavera 等项目管理软件培训，使其掌握项目进度计划制定、资源分配优化、成本控制等操作技巧，实现精细化管理。对技术人员开展新技术应用培训，使其能及时将行业前沿技术应用于项目，提升项目技术水平。此外，设立项目创新奖励基金，对在项目管理和技术创新方面有突出贡献的员工给予物质奖励，将员工晋升与绩效紧密挂钩，以员工在项目中的实际表现和业绩作为晋升依据，激发员工创新活力与工作积极性，为行业培养和储备人才。

## （三）制度创新路径

制度创新是环境工程项目全生命周期管理咨询行业健康、可持续发展的保障。完善法律法规体系是项目合法合规运作的基础。环境工程项目涉及多方利益和复杂环境、社会问题，明确各方权利义务至关重要<sup>[5]</sup>。例如，通过税收手段规范企业环境行为的相关法规，促使企业主动采取环保措施，保障项目环境目标实现。企业为降低税负，会加大环保投入，升级污染处理设备，优化生产工艺，减少污染物排放<sup>[6]</sup>。

建立健全行业标准规范是提升行业整体质量的关键。在项目建设阶段，设计标准确保项目设计符合环境功能、技术可行和经济合理要求，施工质量验收标准对各施工环节进行质量把控。在运营管理阶段，运营管理规范规定设施日常运行操作流程、维护保养要求和安全管理措施，保障设施长期稳定运行。例如，污水处理厂的运营管理规范明确设备巡检周期、维护内容及水质监测频率，确保污水处理效果稳定达标<sup>[7]</sup>。

积极推动政策创新是促进项目可持续发展的动力。政府出台激励政策，如对采用绿色建造技术、实现节能减排目标的项目给予资金补贴、税收优惠，降低企业采用绿色技术成本，提高其积极性，鼓励企业在项目建设和运营中积极实现节能减排，推动行业技术升级和绿色转型。例如，对采用新型节能建筑材料的项目给予资金补贴，刺激企业加大对绿色技术的研发和应用，带动整个行业向绿色发展方向迈进<sup>[8]</sup>。

## 五、结论

本研究提出的环境工程项目全生命周期管理咨询创新策略，涵盖前期决策重构、建设实施智慧化转型、运营后评估效能提升及行业发展前瞻策略。这些策略相互关联，前期科学决策为项目奠定基础，智慧化建设推动高效实施，有效评估助力持续改进，前瞻策略指明长远方向。随着科技、制度与社会环境的动态变化，该领域将不断演进。实施这些创新策略，有望显著提升环境工程项目的综合效益，推动环境保护与经济社会协同发展，迈向人与自然和谐共生的新境界。

## 参考文献

- [1] 万欢, 赖震宇. 基于 BIM 技术的工程项目全生命周期成本管理模式研究 [J]. 中国管理信息化, 2024, 27(8): 89-91
- [2] 李建新, 秦茜, 王凡, 董辰. 水利工程建设项目档案全生命周期管理策略分析 [J]. 海河水利, 2024(8): 120-124
- [3] 周璟茹, 慕春峰, 龙凤鸣, 孙成苗. 工程项目全生命周期管理知识图谱构建与应用 [J]. 建筑经济, 2024, 45(1): 28-36
- [4] 张硕. 境外工程承包项目的全生命周期财务管理 [J]. 国际商务财会, 2024(16): 27-30
- [5] 马慧彬, 徐姝琦, 邓真富. 工程建设项目全生命周期数字化管理建设实践 [J]. 中国建设信息化, 2024(14): 5-7
- [6] 徐志彬, 张素珍, 吴美珍. 环境工程项目中的精细化管理研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(24): 44-46. DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2023-24-14.
- [7] 美丽重庆建设——我们在行动 | 重庆设计集团多个环境工程项目迎来新进展 [J]. 重庆建筑, 2023, 22(09): 53.
- [8] 杨光武, 余江, 段景尧, 等. 城市水环境工程 EPC 模式下项目技术管理实践与创新 [J]. 云南水力发电, 2022, 38(09): 304-308.

# 海上平台透平滑油冷却器改造实践与成效分析

刘畅

中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300450

**摘 要：** 海上平台透平设备的稳定运行对生产作业至关重要，滑油冷却器作为保障透平正常运转的关键部件，其性能直接影响设备的可靠性与安全性。本文围绕某海上平台透平滑油冷却器改造项目展开，深入剖析改造前存在的问题，详细阐述所采取的改造措施，并对改造后的效果进行全面评估。通过此次改造，有效提升了冷却器的维保效率和设备性能，降低了安全风险，为海上平台设备维护提供了可借鉴的实践经验。

**关 键 词：** 海上平台；滑油冷却器；设备改造；维保效率；安全风险

## Practice and Effectiveness Analysis of Offshore Platform Smooth Oil Cooler

Liu Chang

Cnooc (China) Co., LTD. Tianjin Branch, Tianjin 300450

**Abstract：** The stable operation of the offshore platform turbine equipment is crucial to the production operation. As the key component to ensure the normal operation of the turbine, its performance directly affects the reliability and safety of the equipment. This paper focuses on the reconstruction project of an offshore platform smooth oil cooler, deeply analyzes the problems existing before the reconstruction, expounds the reconstruction measures taken in detail, and comprehensively evaluates the effect after the reconstruction. Through this transformation, the maintenance efficiency and equipment performance of the cooler are effectively improved, the safety risks are reduced, and the practical experience for the maintenance of offshore platform equipment is provided.

**Keywords：** offshore platform; sliding oil cooler; equipment transformation; maintenance efficiency; safety risk

## 引言

在海上能源开采领域，平台上的透平机组承担着重要的电力供应任务。以某海上平台为例，其配备的透平机组为整个平台提供了约 20% 的电力支持，是保障生产活动稳定开展的核心设备。滑油冷却器在透平机组中扮演着不可或缺的角色，它通过维持滑油的适宜温度，确保透平各部件的正常润滑和运行。然而，由于海上特殊的恶劣环境，滑油冷却器在运行过程中面临诸多挑战，传统的维保方式也难以满足设备高效稳定运行的需求，因此对其进行改造升级迫在眉睫。

## 一、改造背景

### （一）散热难题导致滑油高温

海上环境复杂多变，大风、潮湿、雨雪以及空气中的毛絮等因素，使得透平滑油冷却器在运行一段时间后，翅片表面会附着大量杂质。从微观角度来看，这些杂质包括海盐颗粒、沙尘、微生物以及各类有机碎屑等。在长期的运行过程中，海盐颗粒会在翅片表面结晶，形成微小的盐垢层；沙尘则会填充在翅片的缝隙中，阻碍空气流通；微生物和有机碎屑在潮湿环境下会滋生繁衍，进一步降低翅片的散热性能。这些杂质犹如一层隔热层，严重阻碍了热量的散发。根据传热学原理，热量传递的基本公式为  $Q=hA\Delta T$ （其中  $Q$  为传热量， $h$  为传热系数， $A$  为传热面积， $\Delta T$  为

传热温差）。当杂质附着在翅片表面时，传热系数  $h$  会显著减小。这是因为杂质的导热性能远低于冷却器本身的金属材质，相当于在热传递路径上增加了额外的热阻。同时，杂质的堆积也会部分覆盖翅片表面，减小了有效传热面积  $A$ 。在这两个因素的共同作用下，传热量  $Q$  大幅减少，导致滑油无法及时散热，温度持续攀升。在每年 7 - 8 月的酷暑时节，海上平台所处海域的气温常常飙升至 30℃ 以上，海水温度也随之升高。此时，冷却器周围的空气和海水作为散热介质，其温度较高，进一步降低了冷却器的散热能力。因为散热的驱动力是温度差，当环境温度升高时，冷却器与环境之间的温度差  $\Delta T$  减小，传热量  $Q$  也会相应减少。以实际监测数据为例，在某一高温时段，冷却器进口滑油温度为 60℃，环境温度为 32℃，正常情况下冷却器出口滑油温度可以维持在

45℃左右。但随着杂质的积累，出口滑油温度逐渐升高，当达到68.33℃的高报值时，若不及时处理，机组就会面临停机风险。一旦滑油温度达到高报值，若现场处理不及时，机组内部的零部件就会因高温而面临严重的损坏风险。例如，透平轴承受高温滑油影响，润滑效果减弱，磨损加剧。高温降低滑油黏度，导致金属直接接触，磨损速率急增，严重时可能出现烧瓦现象，威胁机组运行及电网稳定。为维持设备运行，需采取降低机组负荷或水喷淋冷却措施。降低负荷会影响发电效率，降低生产进度；水喷淋虽能降温，但会加速金属腐蚀，且冷却效果难以控制，影响设备性能稳定性。同时，应急措施会降低电网冗余度，削弱应对突发状况的能力，降低设备整体效能<sup>[1]</sup>。

## （二）维保效率低下的困境

冷却器上部防护网设计不合理，采用对开式结构（尺寸为2000\*1300），每片防护网由20颗螺丝固定，重量约65kg。从力学角度分析，这种结构设计使得拆卸防护网时，维修人员需要克服较大的重力和摩擦力。由于螺丝数量较多，且分布在较大的面积上，在狭小的海上平台空间内，操作空间有限，维修人员难以使用大型工具来提高拆卸效率。使用普通扳手拆卸螺丝时，由于周围设备的阻挡，无法使用较长的扳手来增加扭矩，只能采用较小的工具，费力且耗时。每次进行维护作业时，拆卸防护网就需要耗费约1.5小时，而整个维护工作平均耗时约2小时，拆卸防护网的时间占比高达75%，极大地降低了维保工作效率<sup>[2]</sup>。

从冷却器上部进行吹扫清洁时，受翅片特殊结构的影响，底部附着物很难彻底清除。冷却器翅片通常具有紧凑的结构，翅片间距较小，且形状复杂。当从上部进行吹扫时，气流在翅片间流动会受到强烈的阻力和紊流影响。根据流体力学原理，气流在复杂的通道中流动时，会形成局部的涡流和死区，使得部分区域的气流速度较低，无法对杂质产生足够的冲刷力。底部附着物由于重力作用以及气流难以到达，很难被彻底清除。部分杂质会积压在冷却器风扇夹层内，当风扇启动后，这些杂质又会随着气流重新分布，再次附着在翅片上，导致清洁效果大打折扣，无法从根本上解决散热问题。若要提高清洁效果，就需要对冷却器进行整体拆除翅片，从底部进行清洁、吹扫。这一过程涉及放空排气、翅片拆卸、翅片吊装、翅片清洁、翅片回装、加油排气等一系列繁琐操作。在放空排气过程中，需要严格按照操作规程进行，确保系统内的压力和介质得到妥善处理，否则可能会引发安全事故。例如，如果排气不彻底，拆卸翅片时残留压力可能喷出介质，伤及人员和设备。翅片拆卸吊装受冷却器位置和结构限制，需特殊设备和高技能人员。靠近排烟侧的50颗翅片螺栓因空间狭小，拆卸难度大，需特殊扳手并精确操作。冷却器位置为吊装盲区，高处和吊装作业风险高，需辅助设备和多人协作。整个维护过程约10小时，期间透平机组需停机，影响平台电力供应和生产<sup>[3]</sup>。

## （三）现场空间与环境的制约

滑油冷却器安装在平台的废热甲板（格栅甲板），该区域四台透平相隔距离近，大型工具如高压清洗机难以搬运至现场。从空间布局角度来看，平台的甲板空间有限，设备布置紧凑。滑油

冷却器周围被其他设备和管线环绕，留给搬运大型工具的通道狭窄且曲折。高压清洗机体积较大，需要一定的搬运空间和操作空间，但现场无法满足这些条件。即使勉强将高压清洗机搬运至附近，也无法在有限的空间内展开作业，无法充分发挥其清洗效果。冷却器上方安装有水喷淋管线，下方是冷却器电机，且现场甲板存放物资繁多，导致维保工作场地空间极为有限。狭小的空间使得零部件摆放杂乱无章，严重影响维保人员的操作和工具设备的使用。在进行维护作业时，维修人员需要小心翼翼地避免碰撞周围的设备和管线，增加了操作的难度。同时，现场甲板存放的物资占据了大量的空间，使得零部件在维护过程中无处摆放，只能随意放置，不仅容易造成零部件的丢失和损坏，还会影响维修人员的行动路线，降低工作效率。海上平台夏季高温高湿的工作环境对维保人员的身体健康影响较大。在高温环境下，人体的新陈代谢加快，容易出现疲劳、中暑等症状。高湿度的空气会使人体的汗液难以蒸发，进一步加重身体的不适感。从生理学角度来看，高温高湿环境会导致人体的核心温度升高，当核心温度超过一定限度时，会影响人体的神经系统、心血管系统和呼吸系统的正常功能，降低人的反应速度和工作能力。例如，在这样的环境下，维修人员进行复杂的操作时，容易出现失误，原本熟练的操作也会变得缓慢而困难，从而延长了作业时间，增加了时间成本<sup>[4]</sup>。

## 二、改造措施

### （一）防护网优化设计

对冷却器上方的防护网进行切割改造，根据实际需求将其加工成特定形状。在切割过程中，严格遵循设计尺寸和工艺要求，确保防护网的结构强度和稳定性不受影响。在对半切割后的防护网半扇边缘安装两个合页，使防护网能够实现快速开启和关闭。安装完成后，对合页进行多次开关测试，检验其灵活性和可靠性，以满足实际维保工作的使用需求。通过这一改造，在进行冷却器维保作业时，无需再花费大量时间拆卸和安装防护网，大幅提高了工作效率<sup>[5]</sup>。

### （二）开设检修孔创新

在冷却器翅片与冷却风扇夹层开设检修孔，通过这个检修孔，维保人员可以直接检查冷却风扇叶轮的完好状况。这一举措避免了在检查叶轮时对冷却器进行大规模拆卸，有效减少了工作量和维护时间。利用检修孔进行底部吹扫，能够全面清洁冷却器翅片。底部吹扫的方式可以彻底清除翅片底部的附着物，避免杂质积压在风扇夹层内，显著提高了清洁效果，增强了冷却器的散热能力。在开设检修孔时，充分考虑了其位置、大小和形状，确保既便于操作，又不会对冷却器的正常运行产生不利影响<sup>[6]</sup>。

### （三）工作区域清理整顿

对滑油冷却器所在区域存放的物资进行全面清理，合理规划物资存放位置，为维保工作腾出充足的空间。清理工作不仅改善了现场的工作环境，减少了零部件丢失和损坏的风险，还提高了维保工作的安全性和效率。同时，建立了完善的物资管理规范，

确保后续物资存放有序，不会对维保工作的开展造成阻碍。

#### （四）标准化操作规程制定

将滑油冷却器的维保操作流程更新到统一的设备维保操作规程中，形成标准化、规范化、可视化的作业指导文件。组织机械专业人员进行培训，使他们熟悉现场设备的运行状况和新的操作规程，确保每一位维保人员都能熟练掌握新的维保方法和技术要求。对冷却器改造后的效果进行持续跟踪，记录一段时间内滑油冷却器维保操作的消耗时间。通过对这些数据的统计分析，验证新的操作规程和维保措施的有效性，为后续工作的持续改进提供数据支持<sup>[7]</sup>。

### 三、改造效果评估

#### （一）维保效率显著提升

改造前，滑油冷却器的维保平均作业时长高达 10 小时，而改造后，经过多次实际维保测试，平均维保时间缩短至 3.88 小时。通过计算维保效率提升率，能更直观地体现改造效果。维保效率提升率计算公式为：维保效率提升率 =（改造前平均维保时间 - 改造后平均维保时间）÷ 改造前平均维保时间 × 100%。将数据代入公式可得：（10-3.88）÷ 10 × 100%=61.2%。这一显著提升减少了设备停机时间，为平台生产提供了更充足的运行时间，增加了自发电时长，有效降低了因设备维护导致的生产损失。

#### （二）设备性能明显增强

通过优化防护网设计、开设检修孔和清理工作区域等一系列改造措施，有效解决了冷却器的散热问题。改造后，对不同透平机的滑油冷却器进行监测，数据显示，某透平机滑油冷却器进出口温差可达 24.5℃，翅片平均温度为 45.7℃；另一透平机滑油冷却器换热温差为 12℃，翅片平均温度高达 67.2℃。滑油冷却器清洗更换后，翅片与翅片间的清洁程度显著提高，冷却风扇的冷却效果得以充分发挥，增大了因脏污而减小的换热面积。根据传热学原理，传热效率公式为  $Q=K \times A \times \Delta T$ （其中  $Q$  为传热量， $K$  为传热系数， $A$  为换热面积， $\Delta T$  为传热温差）。改造后，换热面积  $A$  增大，传热温差  $\Delta T$  也发生了有利变化，使得传热量  $Q$  增加，从而

提高了冷却器的冷却效率，保证了透平在各种工况下尤其是夏季高温时段的正常运转，显著提升了设备效能<sup>[8]</sup>。

#### （三）安全风险大幅降低

改造前，整体拆检维护过程涉及高处作业、吊装作业等高风险操作。优化防护网设计和开设检修孔后，减少了不必要的高处和吊装作业，从源头上降低了安全风险，保障了维保人员的人身安全。清理工作区域改善了现场作业环境，减少了因场地杂乱引发的安全隐患，进一步降低了安全事故发生的可能性。虽然难以用具体数据精确量化安全风险降低的程度，但从实际操作过程和事故发生频率的变化来看，安全风险得到了有效控制，为维保工作营造了更安全的环境。

#### （四）推广应用价值凸显

海上平台的滑油冷却器在结构和运行环境上具有一定的相似性，本次改造应用成果具有良好的推广应用性。其他海上平台可借鉴本项目的成功经验，对自身的滑油冷却器进行类似改造。通过应用这些改造措施，有望提高维保效率，降低设备故障率，保障平台设备的稳定运行。这不仅能为单个平台带来经济效益，还能为整个海上石油生产行业提供有益的技术参考，推动行业设备维护水平的提升。

### 四、结论

通过对某海上平台透平滑油冷却器的改造实践，成功解决了冷却器在散热、维保效率以及现场空间和环境制约等方面存在的难题。改造后的冷却器在维保效率、设备性能和安全风险控制等方面取得了显著成效，同时具有较高的推广应用价值。这一项目为海上平台设备维护提供了创新思路和实践范例，表明在面对复杂的设备运行问题时，通过深入分析、合理设计和有效实施针对性的改造措施，可以实现设备性能的提升和运行可靠性的增强。在未来的海上平台设备管理中，应继续关注设备的运行状况，不断探索和应用新技术、新方法，进一步提高设备维护水平，保障海上能源生产的稳定和安全。

### 参考文献

- [1]李明,张伟.海上平台设备维护技术的研究与应用[J].海洋工程装备与技术,2020,7(3):156-162.
- [2]王芳,陈华.散热技术在复杂环境下的应用分析[J].热能工程学报,2019,34(4):35-42.
- [3]刘刚,赵亮.机械结构改造对设备性能提升的影响[J].机械设计与制造,2021,45(2):45-50.
- [4]张悦,李强.工业设备标准化维保流程的构建与实践[J].工业工程与管理,2022,27(5):56-62.
- [5]李书凯.海洋石油平台透平滑油冷却器选型分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(11):111-113. DOI:10.3969/j.issn.1673-4076.2022.11.040.
- [6]石帅.滑油冷却器强化换热与阻力特性研究[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2013. DOI:10.7666/d.D429377.
- [7]钟凯诚,高金虎,赵云,等.透平滑油冷却器新增自动水喷淋系统[J].设备管理与维修,2022(5):119-120. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.03.51.
- [8]张涛.海洋石油平台透平发电机组滑油冷却器改造[J].今日自动化,2022(10):103-104,149. DOI:10.3969/j.issn.2095-6487.2022.10.jrzdh202210035.

# 船舶压载水处理装置的工作原理与技术发展分析

徐华彪，徐飞

江南造船(集团)有限责任公司，上海 201913

**摘 要：** 船舶压载水处理装置主要用于防止外来物种通过压载水的转移而引发生态危害。其工作原理基于物理、化学、生物等多种技术手段，通过过滤、紫外线消毒、电解、氧化还原等方式去除水中的有害生物和沉积物。随着国际法规对船舶排放水质标准的严格要求，压载水处理技术不断发展，逐步向高效、绿色、低能耗方向迈进。未来技术的创新与完善，将进一步提升船舶环境保护能力，确保航运业的可持续发展。

**关 键 词：** 船舶压载水；处理装置；工作原理；技术发展；环保

## Analysis of Working Principle and Technological Development of Ship Ballast Water Treatment Device

Xu Huabiao, Xu Fei

Jiangnan Shipbuilding (Group) Co., Ltd. Shanghai 201913

**Abstract：** Ship ballast water treatment devices are primarily used to prevent ecological hazards caused by the transfer of alien species through ballast water. Their working principle is based on various technical means such as physics, chemistry, and biology, removing harmful organisms and sediments in water through filtering, ultraviolet disinfection, electrolysis, redox, and other methods. With the strict requirements of international regulations on the water quality standards for ship emissions, ballast water treatment technology has continuously developed, gradually moving towards high efficiency, environmental friendliness, and low energy consumption. Future technological innovation and improvement will further enhance the environmental protection capabilities of ships and ensure the sustainable development of the shipping industry.

**Keywords：** ship ballast water; treatment device; working principle; technological development; environmental protection

## 引言

随着全球航运业的迅速发展，船舶压载水成为外来物种传播的重要途径，对生态环境造成了严峻挑战。为了应对这一问题，国际社会逐渐加强了船舶压载水的管理要求。船舶压载水处理装置应运而生，作为有效的环境保护手段，其技术不断创新与完善。通过多种技术手段，处理装置能够有效净化压载水，防止有害生物的扩散。随着技术的进步，这些装置不仅提高了处理效率，还兼顾了节能与环保，推动了航运业的绿色发展。

## 一、船舶压载水处理装置的工作原理

船舶压载水处理装置的工作原理涉及多种技术手段的综合应用，旨在有效清除压载水中的有害生物、细菌、沉积物等。首先压载水经过物理过滤系统，去除水中的大颗粒杂质，如泥沙、海藻等。这一环节通过细网格过滤器或精密过滤装置，确保水质得到初步净化，减少后续处理的负担。过滤后的水将进入下一处理阶段，通常是紫外线消毒或电解消毒系统。在紫外线消毒系统中，水流通过特定波长的紫外线照射，能够有效杀灭水中的细菌、病毒等微生物，确保船舶压载水不携带有害生物。

除了紫外线消毒，电解消毒技术也是船舶压载水处理中常用

的一种方式。通过电解装置，水中的溶解氧与电解液反应，产生氧化剂或氯化物等强氧化性物质，这些物质能够快速分解水中的有害生物，进一步确保处理效果。电解技术具有较高的效率，且能耗较低，因此在许多船舶上得到了广泛应用。除物理过滤与紫外线消毒外，生物处理技术也成了压载水处理的一个重要方向。生物技术通过培养特定的微生物，利用它们分解水中的有害物质，在减少环境污染方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。

随着国际航运业对环保标准的日益严格，船舶压载水处理装置不断迎来技术革新。传统的单一处理方法逐步被多重技术联动的综合处理方案所取代，逐渐实现了高效、环保、低能耗的目标。例如，近年来，一些先进的装置不仅结合了物理、化学和生

物方法，还引入了智能控制技术，能根据水质的变化自动调节处理参数，实现对压载水的动态管理<sup>[2]</sup>。这些创新技术的应用，不仅提升了处理效率，也增强了装置的适应性和稳定性，使船舶在全球航行中能够更好地履行生态保护责任，符合日益严格的国际环保法规。

## 二、主要技术手段及其应用分析

船舶压载水处理装置的技术手段主要包括物理、化学和生物处理三种类型。这些技术各自发挥独特作用，通常根据实际需求和水质条件组合使用，以达到最佳的处理效果。物理处理技术主要通过过滤系统去除水中的大颗粒杂质，例如泥沙、海藻和其他浮游生物。传统的物理过滤装置包括网状过滤器、砂滤器和膜过滤装置，这些装置能有效去除水中的固体物质，确保后续处理系统不受过多负担。通过物理过滤后，水中的有害颗粒物减少，水质得到了初步净化，为后续的化学和生物处理提供了更加纯净的水源。

在化学处理方面，紫外线消毒和电解消毒是常见的技术手段。紫外线消毒技术利用特定波长的紫外光对水中的微生物进行辐射杀灭，能够有效减少细菌、病毒等病原体的存在。紫外线消毒技术的优势在于不添加化学药剂，避免了二次污染，并且处理速度较快，适用于大多数船舶的需求。而电解消毒技术通过电解水中的氯化物产生氯化物和其他氧化性物质，这些物质具有强烈的杀菌作用，可以彻底消除水中的有害生物。电解技术具有较高的处理效率，并且能耗较低，因此被广泛应用于船舶压载水的处理中。随着电解技术的发展，现代的电解装置已经更加高效且自动化，能够根据实际水质变化动态调整处理强度<sup>[3]</sup>。

生物处理技术作为一种新兴的处理方式，通过利用特定微生物分解水中的有害物质，逐步成为压载水处理装置中的重要组成部分。通过培养适应性强的微生物群体，生物处理可以有效降低水中的有害物质浓度，尤其是对溶解性有机物和营养盐类物质的降解效果显著。与物理和化学方法相比，生物处理通常需要较长的反应时间，但其绿色环保、能耗低的特点使其在处理过程中越来越受到青睐。此外，近年来随着智能技术的发展，越来越多的压载水处理装置引入了自动化控制系统，结合实时水质监测与数据分析技术，能够根据水质变化智能调节处理方式，进一步提高了处理效率和精准度<sup>[4]</sup>。这些技术的应用提升了船舶压载水处理的综合性能，为航运业的绿色发展奠定了技术基础。

## 三、国际法规对船舶压载水处理的要求

随着全球航运业的快速发展，船舶压载水被认为是外来物种传播的重要途径，对生态环境造成了显著威胁。为了应对这一问题，国际社会加强了对船舶压载水排放的管理和控制，制定了严格的法规和标准。国际海事组织（IMO）通过《船舶压载水管理公约》（Ballast Water Management Convention, BWM Convention）要求所有国际航行的船舶在排放压载水时必须进行

处理，确保水质符合公约规定的标准。该公约自2017年生效，规定船舶必须安装符合标准的压载水处理系统，以防止外来物种的传播。这项公约在全球范围内实施，目的是减少由压载水带来的环境风险，保护各国海洋生态系统。

根据国际法规要求，船舶在处理压载水时必须达到一定的水质标准。具体而言，压载水中的有害生物浓度必须低于规定的限值，通常为每立方米水中活性生物的最大数量不得超过10个。为了实现这一目标，船舶压载水处理装置需要使用经过认证的技术手段，能够有效杀灭或去除水中的病原体 and 外来物种。国际海事组织对压载水处理装置的技术要求进行了详细规定，提出了不同等级的水质标准，包括对浮游生物、细菌和病毒的限制。同时，各国海事当局也根据这一标准实施了严格的检验和认证程序，确保船舶所使用的处理设备符合环保要求，避免对航运业和生态环境造成不利影响<sup>[5]</sup>。

随着环保意识的不断提高，国际法规对船舶压载水处理的要求逐步升级。除了严格的水质标准，新的法规还强调处理技术的创新与可持续发展。例如，IMO要求所有新建船舶自2022年起必须安装符合最新标准的压载水处理系统，而现有船舶则要求在2024年之前完成技术改造。此外，新的国际标准也更注重技术的多样性与灵活性，允许船舶根据不同航行区域的具体环境条件选择合适的处理技术。随着国际环保法规的不断完善，船舶压载水处理不仅成为航运业的合规要求，也推动了相关技术的不断创新，促进了绿色航运的发展<sup>[6]</sup>。各国海事机构和船东必须共同努力，确保船舶压载水处理技术的实施能够有效减少外来物种的传播，保护海洋生态环境。

## 四、压载水处理技术的创新与发展趋势

随着全球环保标准的日益严格，船舶压载水处理技术迎来了快速发展与创新。最初，压载水处理主要依靠传统的物理过滤和化学消毒手段，但随着技术进步，现代处理装置逐步整合了更多先进技术，提高了处理效率和环境友好性。目前，紫外线消毒、电解消毒以及生物处理技术已成为压载水处理中最常见的技术手段。紫外线技术的优势在于其能够高效杀灭水中的细菌和病毒，并且不会对环境造成二次污染。电解消毒则利用电解反应生成氧化剂，具有较低的能耗和高效的杀菌能力。而生物处理技术则通过微生物的自然降解作用，有效去除有机物和溶解物质，具有良好的环保性和可持续性<sup>[7]</sup>。

未来，压载水处理技术的发展趋势主要体现在几个方面。首先，随着国际法规对船舶排放标准的不断提高，处理设备的性能将进一步提升，尤其是在处理效率和环保方面。新一代的压载水处理设备将实现更加精确的水质控制，能够根据水质的变化自动调节处理强度，确保每一艘船舶都能达到国际规定的环保要求。同时，处理装置的体积和重量将更加紧凑，能够适应不同船型和航行条件的需求。这一技术进步使得压载水处理系统在航运中的应用更加广泛，为船舶环保提供了更加可靠的技术保障<sup>[8]</sup>。

智能化和自动化技术的引入是压载水处理技术的另一个重要

发展趋势。通过实时监测压载水中的水质变化,结合大数据分析和人工智能技术,船舶的压载水处理系统将能够实现智能调控。系统可以根据水中有害物质的浓度、船舶的航行环境和其他参数,自动调整处理过程的各项指标,确保处理效果的最大化。此外,随着绿色能源的崛起,未来的压载水处理装置将更注重节能减排,采用太阳能、风能等可再生能源为系统提供动力,进一步减少能源消耗,推动航运业向更加绿色、可持续发展的方向。

因此,压载水处理技术的创新与发展将朝着更高效、环保、智能化的方向前进。随着技术的不断进步和国际标准的不断严格,船舶压载水处理将为全球海洋生态保护贡献更多力量,推动全球航运业走向更加绿色和可持续的未来。

五、未来船舶压载水处理装置的挑战与前景

未来船舶压载水处理装置面临的主要挑战之一是技术的适应性和可靠性。尽管目前已有多种技术手段可用于处理压载水,但不同航行区域的水质、温度、盐度等因素差异较大,导致一些处理技术的效果在特定环境下可能不尽如人意。尤其是在低温、低盐等极端条件下,一些传统的处理技术可能无法有效发挥作用,导致处理效率降低。因此,如何开发出更为适应多变海域环境的压载水处理技术,将是未来技术发展的重要方向。此外,装置的长期运行稳定性也是一个亟待解决的问题。船舶在长时间航行中,设备的磨损和维护问题需要得到有效管理,确保处理系统在不同航程中都能稳定高效地工作<sup>[9]</sup>。

另一个重要的挑战是合规性和标准化问题。随着国际航运环保法规的日益严格,尤其是《船舶压载水管理公约》的实施,船舶压载水处理装置必须符合越来越高的技术标准。然而,由于各

国在压载水处理领域的监管力度和具体要求有所不同,可能会出现标准不统一或实施力度不足的情况,这给全球船舶压载水处理技术的推广和应用带来了不小的挑战。因此,国际间的合作与协调,制定统一的技术标准和认证体系,将是未来解决这一问题的关键。为了符合这些日益严格的法规,船舶压载水处理装置的创新和技术迭代势在必行<sup>[10]</sup>。

尽管面临这些挑战,船舶压载水处理装置的发展前景仍然十分广阔。随着环保意识的不断增强以及全球对生态保护的高度重视,压载水处理技术的需求将持续增长。未来,压载水处理装置不仅会在功能上更加多样化和智能化,还将朝着更加环保和节能的方向发展。先进的智能控制技术将帮助船舶压载水处理系统实现实时监控与自适应调节,进一步提升处理效率和安全性。同时,绿色能源的广泛应用,如太阳能和风能,将进一步推动船舶压载水处理装置的能源消耗降低,减少对传统能源的依赖。此外,随着技术的不断成熟和创新,船舶压载水处理设备的成本也有望逐渐降低,使得更多的船舶能够负担得起先进的处理系统,从而在全球范围内推动环保技术的普及与应用。

六、结语

船舶压载水处理装置在保护海洋生态环境和应对全球环保法规方面发挥着至关重要的作用。随着技术的不断创新,压载水处理装置逐步向高效、智能、环保的方向发展,解决了航运业中的诸多挑战。然而,面对技术适应性、合规性等问题,仍需不断完善和突破。未来,随着技术进步和国际标准的统一,船舶压载水处理系统将更广泛应用,为全球海洋生态保护和可持续航运事业做出更大贡献。

参考文献

[1] 朱勤一. 采用微机控制的船舶压载水处理装置的研究 [D]. 大连海事大学, 2005.

[2] 包国治, 孙玉科, 陈宁. 船舶压载水处理装置系统设计 [J]. 江苏船舶, 2012, 29(05): 21-25. DOI: 10.19646/j.cnki.32-1230.2012.05.008.

[3] 孟梦, 包国治, 陈宁. 船舶压载水 UV 处理装置的设计与仿真 [J]. 江苏科技大学学报 (自然科学版), 2015, 29(04): 338-344.

[4] 杨元兵. 船舶压载水处理装置实用分析 [A]. 管理科学和工业工程协会. 探索科学 2016 年 5 月学术研讨 [C]. 管理科学和工业工程协会: 管理科学和工业工程协会, 2016: 1.

[5] 李春鹏, 司忠良, 刁凤磊. 简述船舶压载水处理装置设计 [A]. 辽宁省暨大连市造船工程学会. 2016 中国大连国际海事论坛论文集 [C]. 辽宁省暨大连市造船工程学会: 中国造船工程学会, 2016: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2016.008425.

[6] 张小芳. 中国出入境船舶压载水排放量分析及其高级氧化应急处理技术研究 [D]. 大连海事大学, 2018.

[7] 李凯, 胡以怀, 方云虎, 张陈, 芮晓松, 陈彦臻. 免处理的船舶压载水系统液位自动调节装置 [J]. 造船技术, 2019(02): 62-67+72.

[8] 赵维一. 船舶压载水处理装置装船类型原理分析及 PSC 检查探讨 [J]. 中国设备工程, 2019(16): 131-133.

[9] 陈文祥, 朱发新, 滕宪斌, 丁孔星, 王召健. 一种船舶压载水处理装置设计 [J]. 广州航海学院学报, 2020, 28(04): 1-4.

[10] 滕建斌, 王智磊. 船舶压载水处理装置远程监测系统设计与开发 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(06): 96-99. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2022.0397.

# 汽轮机主油泵故障分析及处理

付刚朝

宝武集团鄂城钢铁有限公司, 湖北 鄂州 436000

**摘 要：** 对鄂钢能源环保部 1#–3# 汽轮鼓风机组汽轮机主油泵多次故障进行分析处理，找出造成故障的关键因素，明确整改方案将不利于检测、观察，稳定性差的主油泵改为电动油泵，同时优化控制逻辑，完善保护功能和监控模式，彻底消除了油系统隐患，实现机组在运行过程中润滑油泵组切换不超压、不断油、不跳机的目的，机组运行稳定性大幅提高。为汽轮机此类故障的处理提供参考。

**关 键 词：** 汽机；主油泵；不间断供油；润滑油

## Fault Analysis and Treatment of Turbine Main Oil Pump

Fu Gangchao

Baowu Group Echeng Iron and Steel Co., LTD. Ezhou, Hubei 436000

**Abstract：** Multiple failures of the main oil pump of the 1#–3# turbine blower group of Esteel Energy and Environmental Protection Department were analyzed and dealt with, the key factors causing the failure were found out, and the rectification plan was made clear to change the main oil pump which was not easy to detect and observe and had poor stability into an electric oil pump. At the same time, the control logic was optimized, the protection function and monitoring mode were improved, and the hidden dangers of the oil system were completely eliminated. To realize the purpose of lubricating oil pump group switching without overpressure, continuous oil, and no jumping during the operation of the unit, the operation stability of the unit is greatly improved. It provides reference for the treatment of this kind of turbine fault.

**Keywords：** turbine; main oil pump; uninterrupted oil supply; lubricating oil

## 引言

2019年以来，我部三台中温中压汽轮鼓风机组故障频发（汽轮机为 NK 系列），特别是汽轮机主油泵（与机组同轴用膜片联轴器连接）的膜片联轴器，膜片多次破裂故障造成机组跳机、高炉慢风。经过技术攻关，将主油泵改为电动油泵，优化控制逻辑，实现了电动油泵的不间断供油，故障得到排除。

## 一、系统原理

汽轮机润滑油采用单台电动辅助油泵 + 主油泵 + 直流油泵 + 高位油箱的供油模式。其系统分为润滑、保安和调节油三个部分，均由该油泵供给。三种油压相互影响，且各自有联锁保护。在机组达到额定转速时，辅助油泵和主油泵需要实现不断油切换，由启机时的辅助油泵供油切换至与汽轮机同轴运行的主油泵供油。

在机组的油泵切换及运行过程中存在较多影响机组稳定运行的因素。切换过程中如果出现油压设定不合理、阀门内漏或注油器堵塞等问题时，将会切换异常，造成油压波动不能停辅助油泵，此时机组将被迫停机检修，或者切换时油压降低至联锁值机

组联锁停机，均给生产造成很大的影响。

运行过程中如果联轴器故障，将会造成系统瞬间断油，若电动辅助油泵不能在短时间内启动供油，也将会造成系统油压低联锁保护停机。若辅助油泵同时故障不能启动，则润滑油中断，系统将存在轴瓦烧坏的风险。

## 二、问题分析

据统计，三台机组近三年来出现联轴器膜片故障共计 11 次，造成停机进而高炉慢风的共有 8 次，每次检修后联轴器膜片长的使用周期有 2 年，短的只有 3 个月，且处理膜片故障必须停机 72 小时，给生产造成很大风险，给公司也造成较大损失。

分析其在机组的运行过程中存在的问题和风险，有以下几类：

1.主油泵的膜片联轴器故障率高。其联轴器膜片连续使用周期很不稳定，对安装要求较高，受机组沉降等影响较大，且问题难以排查和处理。且因安装在罩壳内，无法直管观察检测，无法预测。

2.主油泵故障造成机组润滑和保安油降低，电动辅助油泵自启速度太慢，油压跟不上降低速度，不能满足机组运行要求，造成只要出现主油泵故障就会油压低保护跳机。

3.主油泵故障后其破碎的联轴器膜片会影响甚至损伤周围的探头，出现振动、位移异常连锁跳机。

4.机组在运行过程中，电动辅助油泵长期处于备用状态，不便于确认泵组的备用状态是否可靠。可能在需要运行时不能运行，造成机组断油事故。

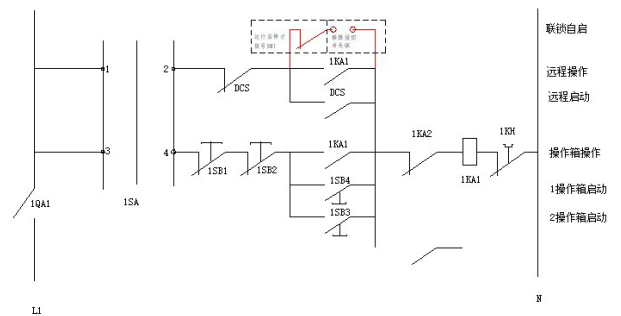
5.在机组转速到达额定转速时，电动辅助油泵供油需倒换至主油泵供油，油路系统较复杂，若切换不成功将导致油压瞬间降低，机组连锁跳机。

我们经过调研，咨询了汽轮机厂家以及其他钢铁企业，发现该机型的机组联轴器基本均存在类似问题，为彻底解决此问题，从2020年底开始组织系统整改<sup>[1]</sup>。

### 三、问题处理

针对上述问题，经过综合比较，我们决定将供油模式由主油泵+一台电动油泵的模式改为2台电动油泵互为备用的模式，取消原有主油泵，同时针对系统程序进行优化，消除潜在隐患。通过电气连锁、控制连锁、延时保护、优化监控等手段保证两台泵的互为备用、稳定供油，实现切换过程中不超压、不断油、不跳机的目的。措施如下：

为解决备用油泵自启动速度慢及可靠性的问题，增加电气互锁功能，即两台泵组的电气互锁，一台停运则另一台启动，两台泵组分别由两段不同线路供电。电气控制图如下（见图1电气互锁电路图）

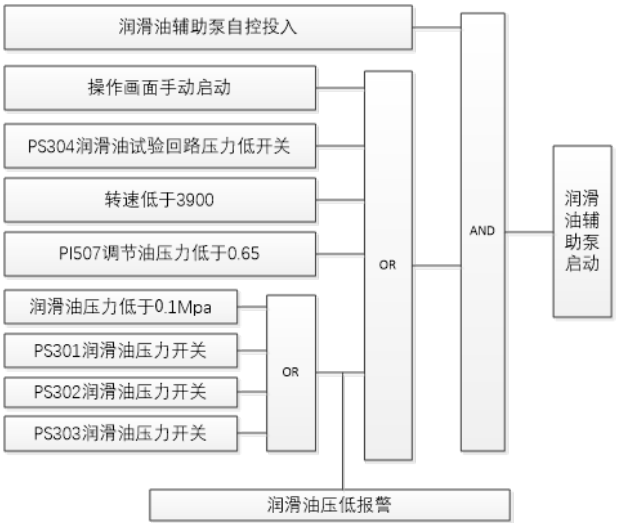


>图1电气互锁电路图

1.在系统处于远程控制状态，且连锁投切开关处于自控状态时，当运行泵因故障停止运行时（主接触器断开），备用泵启泵继电器得电，启动备用泵。当备用泵组处于机旁位置或连锁解除时，备用泵不会自启动。电气互锁动作时间快，通过取消软启动

后只需要0.5S至1S就能够达到正常压力，大大提高了机组油压稳定性。两台泵组分置两路不同电源，系统供电的可靠性能够得到保障<sup>[2]</sup>。

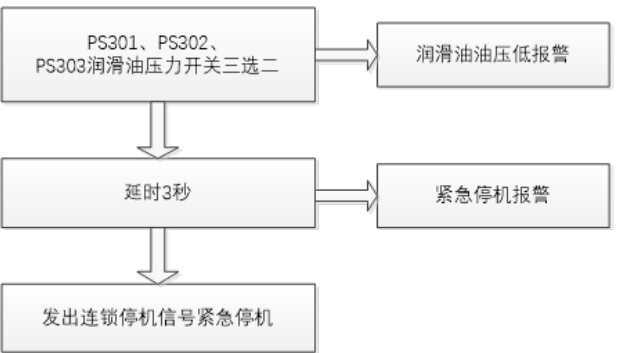
2.优化两台油泵的控制连锁，通过压力开关和模拟量的连锁控制备用泵的启动。控制逻辑如下（图2汽机润滑油泵连锁启泵保护）



>图2汽机润滑油泵连锁启泵保护

在润滑油泵自控投入时，在油压低时（由0.08MPa调整为0.1MPa），触发泵连锁自启条件。连锁启泵。

3.调整保护停机的延时，避开跳机时间。控制逻辑如下（图3汽机润滑油油压低停机保护）



>图3汽机润滑油油压低停机保护

通过反复实验，调整低油压连锁停机延时由1秒延长到3秒。泵组的控制连锁启动时间约1秒（从泵组启动到油压正常），电气连锁启泵的时间约0.5秒。3秒的时间能够在保证运行安全及机组润滑安全的情况下，合理的避开倒泵时的油压波动。防止油泵倒换时油压低连锁跳机<sup>[3]</sup>。

4.为保证油泵稳定运行，改变油泵监控手段，集成电流、出口油压和振动的监控指示，引出报警及指示灯，提高泵组的隐患发现、判断的效率。

通过对泵组的电流、出口油压、振动的综合判断机组是否正常运行。在电脑上输出报警，并控制系统接出指示灯到主操作柜，便于直观监控。泵组运行电流和出口油压有一定的对应关系，特别是油泵润滑工况较好，磨损较轻，其运行曲线相对更稳

定。通过实际经验判断总结，当油压高，电流相对较小时，表明其出口滤芯有堵塞情况应更换滤芯；当油压较低，电流相对较高，则表明泵组有卡涩或出口有泄漏的情况需要进一步现场确认；当有电流，无出口压力时，则可能是联轴器或泵轴有问题；无电流也无压力时，可能是电气系统中间继电器的问题等。通过电流、出口压力的相对变化，结合泵组振动情况，可以快速判断出泵组的运行情况，及时发现并处理泵组问题。为安全稳定供风提供重要保障。

## 四、改造效果

经过改造，我们解决了该系统问题。从调试结果看，3台机组的油泵切换能够达到设计要求（4重连锁保护，电气1种，控制系统3种，综合考虑了各种极限情况及误操作可能），满足现场实际需要，并留有足够的安全余量，调试结果良好。从运行上看，自2020年1月第一台改造完成投运以来，未再出现油压异常停机问题。我们同时从系统的可靠性上下功夫<sup>[4]</sup>，每次停机必须进行系统实验，泵组定期倒换，确保设备正常。综合来说取得了以下有益成效：

1.两台电动油泵运行，可以及时检测泵组的振动、电流、温度、出口压力等运行状态，可以及时发现异常并及时处理，提高了油系统可靠性。

2.电气互锁，取消软启动，备用泵启动安全快速。在控制系统故障时，也能保证备泵及时自启。保证油压稳定可靠。

3.控制系统的连锁，优化了控制逻辑和运算模式，提高了执行速度，在0.5s内，可以实现执行逻辑指令启动备泵。保证油压稳定可靠。

4.低油压保护，调整连锁值和延时时间，可以实现在线切换泵组时油压波动小于10%，保证泵组切换时不会因为油压降低造成机组保护停机。经过3年运行，多次实验均可实现既定功能。

5.泵组正常运行模块，突破以前的单纯监控泵组是否运行的局限，实现泵组是否正常运行的监控。利于及时发现泵组问题，提高系统可靠性<sup>[5]</sup>。

此处改造取得了成功，提高了系统的可靠性。但是对电气系统及泵组的稳定性要求更高，我们一方面致力于采取各种措施保持系统的稳定可靠，另一方面，加强设备的点巡检，及时发现并处理隐患也是日常工作的重要部分。

## 参考文献

[1] 李成. 小型汽轮机结构特点及其抗摆能力分析 [J]. 机电工程技术, 2023(12).  
[2] 段舒宇. 论热电厂电气设备的管理及维修养护策略 [J]. 当代化工研究, 2022(01).  
[3] 白宇; 邓春琰; 何立东. 黏滞性阻尼器在浆态床渣油加氢装置应用总结 [J]. 炼油技术与工程, 2023(08).  
[4] 刘振; 张小军; 潘俊; 叶茂; 苗扬. 基于最大均值差异迁移学习的飞机燃油泵故障诊断 [J]. 液压与气动, 2023(10).  
[5] 许佳; 胡建村; 秦慈伟; 陆宁云; 姜斌; 金江善. 基于参数优化 VMD 和散布熵的高压油泵故障诊断 [J]. 内燃机学报, 2023(02).

# 地质环境与农业土壤质量关联性及其调控措施研究

李启昕

中煤地质集团有限公司, 北京 100000

**摘 要：**地质环境对农业土壤质量有着深远影响，二者的关联性研究对农业可持续发展至关重要。本文深入剖析地质环境各要素，如成土母质、地形地貌、地质构造、水文地质条件等与农业土壤质量在物理、化学及生物学特性方面的关联，并基于此提出一系列具有针对性的调控措施，旨在为提升农业土壤质量、保障农产品安全与农业可持续发展提供科学依据与实践指导。

**关 键 词：**地质环境；农业土壤质量；关联性；调控措施

## Research on the Correlation between Geological Environment and Agricultural Soil Quality and Its Regulatory Measures

Li Qixin

China Coal Geology Group Corporation, Beijing 100000

**Abstract：** The geological environment has a profound impact on agricultural soil quality, and research on the correlation between the two is crucial for sustainable agricultural development. This article deeply analyzes the various elements of the geological environment, such as soil-forming parent material, topography, geological structure, hydrogeological conditions, and their relationship with agricultural soil quality in terms of physical, chemical, and biological characteristics. Based on this, a series of targeted regulatory measures are proposed, aiming to provide scientific basis and practical guidance for improving agricultural soil quality, ensuring agricultural product safety, and promoting sustainable agricultural development.

**Keywords：** geological environment; agricultural soil quality; correlation; regulatory measures

### 引言

土壤作为农业生产的基础，其质量优劣直接关乎农产品的产量与质量，进而影响到国家粮食安全与人类健康。地质环境是土壤形成与发育的重要基础，不同地质环境条件下发育的土壤在质地、养分含量、酸碱度等方面存在显著差异。深入研究地质环境与农业土壤质量的关联性，对于合理利用土地资源、提升土壤质量、实现农业可持续发展具有重要意义。

### 一、地质环境对农业土壤质量的影响

#### （一）成土母质与土壤质量

成土母质是土壤形成的物质基础，其矿物组成、化学成分和颗粒大小等特性深刻影响着土壤的物理和化学性质。土壤质量是指“特定类型土壤在自然或农业生态系统边界内保持动植物生产力，保持或改善大气和水的质量以及支持人类健康和居住的能力”<sup>[1]</sup>。

不同类型的岩石风化物形成的土壤在质地和养分含量上有明显差异。花岗岩风化物多形成砂质土壤，通气性和透水性良好，但保水保肥能力较弱；而页岩风化物发育的土壤质地较为黏重，保水保肥能力较强，但通气性和透水性较差。石灰岩风化物形成的土壤富含钙、镁等元素，土壤呈碱性，有利于喜钙植物的生长。

母质中的矿物质经过风化和淋溶作用，逐渐释放出植物生长所需的养分，如氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰等。母质中养分含量的高低和释放速率直接影响土壤的肥力水平。富钾长石含量较高的母质，在风化过程中能够释放较多的钾元素，为土壤提供丰富的钾源。

#### （二）地形地貌与土壤质量

地形地貌通过影响水热条件的再分配以及物质的迁移和沉积过程，对土壤质量产生重要影响。

地势起伏决定了土壤侵蚀的强度和方向。在陡坡地区，水流速度快，对土壤的冲刷力强，容易导致土壤侵蚀，使土壤表层的肥沃土层流失，土壤质地变粗，养分含量降低<sup>[2]</sup>。而在缓坡和平原地区，水流速度较慢，土壤侵蚀相对较弱，有利于土壤的发育和养分的积累。

海拔的变化会引起气温、降水和光照等气候条件的改变，进

而影响土壤的形成和发育。一般来说，随着海拔升高，气温降低，降水增加，土壤的风化和淋溶作用增强，土壤的酸性可能增加，有机质分解速度减缓，土壤中有机质含量相对较高。

不同地貌类型，如山地、丘陵、平原、河谷等，其土壤质量也存在明显差异。山地土壤一般土层较薄，石砾含量高，肥力水平相对较低；平原地区土壤土层深厚，质地均匀，肥力较高；河谷地带由于河流的沉积作用，土壤质地较为肥沃，水分条件良好。

### （三）地质构造与土壤质量

地质构造运动对土壤质量的影响主要体现在岩石的变形、断裂以及岩浆活动等方面，这些过程会改变岩石的性质和分布，进而影响土壤的形成和发育。

褶皱构造使岩石发生弯曲变形，导致不同岩性的岩石在空间上的分布发生变化<sup>[3]</sup>。在褶皱的背斜部位，岩石往往较为破碎，风化作用强烈，土壤发育较快，但由于地形起伏较大，土壤侵蚀也较为严重；而在向斜部位，岩石相对较为完整，土壤发育相对较慢，但土层相对较厚，保水保肥能力较强。

断裂构造会使岩石破碎，形成断层带。断层带附近岩石的透水性增强，地下水活动频繁，可能导致土壤中某些元素的淋失或富集。断层带附近的土壤可能会因为地下水的作用而富含某些矿物质，从而影响土壤的化学性质和肥力水平。

岩浆活动会形成岩浆岩，岩浆岩在风化过程中会为土壤提供独特的矿物质和化学成分。玄武岩风化形成的土壤富含铁、镁等元素，土壤肥力较高；而花岗岩岩浆活动形成的土壤则以砂质为主，肥力相对较低。

### （四）水文地质条件与土壤质量

水文地质条件包括地下水的埋藏深度、水位变化、水质以及地表水与地下水的相互关系等，这些因素对土壤的水分状况、养分运移和土壤的理化性质产生重要影响<sup>[4]</sup>。

地下水埋藏深度直接影响土壤的水分含量和通气性。当地下水埋藏较浅时，土壤含水量高，通气性差，容易导致土壤缺氧，影响植物根系的呼吸和生长；而地下水埋藏过深，土壤水分不足，会影响植物的正常生长。适宜的地下水埋藏深度有利于土壤保持良好的水分和通气条件，促进植物生长。

地下水的水位变化会影响土壤中盐分的运移和分布。在干旱和半干旱地区，地下水位上升时，土壤中的盐分随水分上升到地表，水分蒸发后，盐分在地表积累，导致土壤盐碱化；地下水位下降时，土壤中的盐分随水分下渗，土壤盐碱化程度减轻。

水质对土壤质量的影响主要体现在水中所含的矿物质和化学物质上。如果地下水中含有过多的重金属离子、氟化物等有害物质，会污染土壤，导致土壤质量下降，影响植物生长和农产品安全。

地表水与地下水的相互关系也会影响土壤质量。在一些地区，地表水与地下水相互补给，当地表水水质良好时，能够为土壤提供充足的水分和养分，促进土壤的发育<sup>[5]</sup>；而当地表水受到污染时，会通过地下水的相互作用，将污染物带入土壤，对土壤质量造成危害。

## 二、地质环境与农业土壤质量的关联性分析

### （一）地质环境对土壤物理性质的影响

土壤物理性质是土壤质量的重要组成部分，包括土壤质地、土壤结构、土壤孔隙度、土壤容重等。地质环境通过多种途径对土壤物理性质产生影响。

成土母质的颗粒大小和矿物组成决定了土壤的初始质地。母质中砂粒含量高，则土壤质地偏砂，通气性和透水性好，但保水保肥能力差；母质中黏粒含量高，则土壤质地偏黏，保水保肥能力强，但通气性和透水性差。地形地貌通过影响土壤侵蚀和沉积过程，改变土壤质地<sup>[6]</sup>。在侵蚀严重的地区，土壤表层的细颗粒物质被冲走，土壤质地变粗；而在沉积地区，土壤中细颗粒物质增多，土壤质地变细。

土壤结构是指土壤颗粒的排列方式和团聚状况。地质环境中的生物活动、水分状况和化学作用等因素影响土壤结构的形成。在植被覆盖良好的地区，植物根系和微生物活动能够促进土壤团聚体的形成，改善土壤结构；而在干旱地区，由于水分不足，土壤颗粒容易分散，土壤结构较差。

土壤孔隙度和土壤容重反映了土壤的通气性、透水性和保水性。地质环境中的成土母质、地形地貌和土壤质地等因素影响土壤孔隙度和土壤容重。砂质土壤孔隙度大，容重小，通气性和透水性好；黏质土壤孔隙度小，容重大，保水保肥能力强，但通气性和透水性差。

### （二）地质环境对土壤化学性质的影响

土壤化学性质包括土壤酸碱度、土壤养分含量、土壤阳离子交换量等，这些性质直接影响土壤的肥力水平和植物的生长发育。地质环境对土壤化学性质的影响主要体现在以下几个方面。

成土母质的化学成分是土壤酸碱度的重要决定因素。如前所述，石灰岩风化物形成的土壤呈碱性，而花岗岩风化物形成的土壤呈酸性。地形地貌通过影响水热条件和物质迁移，间接影响土壤酸碱度<sup>[7]</sup>。在湿润地区，降水多，土壤中的碱性物质容易被淋失，土壤多呈酸性；而在干旱地区，蒸发强烈，土壤中的碱性物质相对积累，土壤多呈碱性。

地质环境为土壤提供了丰富的养分来源。成土母质中的矿物质经过风化作用，逐渐释放出植物生长所需的养分。地形地貌和水文地质条件影响养分的迁移和转化。在地势低洼地区，养分容易积累；而在地势较高地区，养分容易流失。地下水的运动也会影响土壤中养分的分布，将深层土壤中的养分带到表层，或使表层土壤中的养分淋失。

土壤阳离子交换量是衡量土壤保肥能力的重要指标。地质环境中的土壤质地、有机质含量和黏土矿物类型等因素影响土壤阳离子交换量。一般来说，黏质土壤和有机质含量高的土壤阳离子交换量较大，保肥能力较强。

### （三）地质环境对土壤生物学性质的影响

土壤生物学性质包括土壤微生物数量和种类、土壤酶活性等，这些性质对土壤的物质转化和养分循环起着关键作用。地质环境通过影响土壤的物理和化学性质，间接影响土壤生物学性

质<sup>[8]</sup>。

土壤的物理和化学性质为土壤微生物提供了生存环境。适宜的土壤温度、水分、通气性和酸碱度有利于土壤微生物的生长和繁殖。在温暖湿润、通气良好、酸碱度适宜的土壤中，土壤微生物数量多、种类丰富；而在恶劣的土壤环境中，土壤微生物的生长和繁殖受到抑制。

土壤微生物参与土壤中有机质的分解、养分转化和土壤结构的形成等过程。地质环境中的植被类型和有机质含量影响土壤微生物的群落结构和功能。在植被丰富、有机质含量高的土壤中，土壤微生物能够获得充足的碳源和能源，其数量和活性较高，有利于土壤养分的循环和转化<sup>[9]</sup>。

土壤酶是土壤中具有催化作用的蛋白质，参与土壤中各种生物化学反应。地质环境中的土壤理化性质和微生物活动影响土壤酶活性。土壤温度、水分、酸碱度和养分含量等因素会影响土壤酶的活性。在适宜的土壤环境中，土壤酶活性较高，能够促进土壤中物质的转化和养分的释放。

### 三、基于地质环境的农业土壤质量调控措施

#### （一）土壤改良措施

根据成土母质和土壤质地的特点，采取相应的土壤改良措施。对于砂质土壤，可通过增施有机肥、黏土掺砂等方法，改善土壤的保水保肥能力；对于黏质土壤，可采用深耕、掺砂、种植绿肥等措施，提高土壤的通气性和透水性。

针对土壤酸碱度问题，采取相应的改良措施。对于酸性土壤，可施用石灰等碱性物质，提高土壤 pH 值，中和土壤酸性，减少铝、锰等重金属离子的毒害；对于碱性土壤，可施用石膏、硫酸亚铁等酸性物质，降低土壤 pH 值，改善土壤理化性质<sup>[10]</sup>。

#### （二）合理利用地形地貌

在农业生产中，应充分考虑地形地貌因素，合理规划农田布局。在陡坡地区，应采取水土保持措施，如修筑梯田、植树造林等，减少土壤侵蚀；在缓坡和平原地区，可进行规模化、集约化农业生产，提高土地利用效率。

根据不同地貌类型的土壤特点，选择适宜的农作物种植。在山地和丘陵地区，可发展林果业、畜牧业等；在平原地区，可种植粮食作物、经济作物等；在河谷地带，可发展灌溉农业和渔业等。

#### （三）优化水文地质条件

合理调控地下水位，通过灌溉、排水等措施，保持适宜的土壤水分含量。在干旱地区，可通过合理灌溉，补充土壤水分，满足植物生长需求；在低洼易涝地区，应加强排水设施建设，降低地下水位，防止土壤积水和盐碱化。

加强对地下水和地表水的水质监测，防止水污染对土壤质量的影响。对于受污染的水体，应采取治理措施，如污水处理、生态修复等，确保灌溉水源的水质安全。

#### （四）加强土壤生态保护

保护和改善土壤生态环境，增加土壤有机质含量，提高土壤微生物活性。通过种植绿肥、秸秆还田、合理施用有机肥等措施，增加土壤有机质投入，改善土壤结构，促进土壤微生物的生长和繁殖。

减少农业面源污染，合理使用农药、化肥，推广绿色农业生产技术。采用生物防治、物理防治等病虫害防治方法，减少农药的使用量；根据土壤养分状况和农作物需肥规律，精准施肥，提高肥料利用率，减少化肥对土壤和环境的污染。

### 四、结束语

地质环境与农业土壤质量之间存在着密切的关联性。成土母质、地形地貌、地质构造和水文地质条件等地质环境要素通过影响土壤的物理、化学和生物学性质，对农业土壤质量产生重要影响。深入研究这种关联性，对于科学合理地调控农业土壤质量具有重要意义。通过采取土壤改良、合理利用地形地貌、优化水文地质条件和加强土壤生态保护等调控措施，可以有效提升农业土壤质量，保障农产品安全，促进农业可持续发展。未来，应进一步加强地质环境与农业土壤质量关联性的研究，不断完善土壤质量调控技术和方法，为农业的高质量发展提供坚实的支撑。

### 参考文献

- [1] 罗梦娇, 艾宁, 曹四平, 等. 土壤质量评价的研究进展 [J]. 河北林果研究, 2017, 32(Z1): 238-243. DOI: 10.13320/j.cnki.hjfor.2017.0043.
- [2] 杨淇钧, 吴克宁, 冯喆, 等. 大空间尺度土壤质量评价研究进展与启示 [J]. 土壤学报, 2020, 57(03): 565-578.
- [3] 单钰洁. 黄土高原不同土地利用类型土壤质量评价及障碍因子分析 [D]. 西北师范大学, 2023. DOI: 10.27410/d.cnki.gxbfu.2023.000271.
- [4] 罗友进, 王子芳, 高明. 复合污染下土壤质量评价的生物学指标研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, (19): 5812-5814+5831. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2007.19.081.
- [5] 任明慧. 贵州典型茶产区土壤质量评价 [D]. 贵州大学, 2022. DOI: 10.27047/d.cnki.ggudu.2022.001872.
- [6] 宋芊. 土地质量评价指标体系研究进展与展望 [J]. 现代农业研究, 2022, 28(03): 42-44. DOI: 10.19704/j.cnki.xdnyyj.2022.03.020.
- [7] 曲文杰, 杨新国. 干旱半干旱区绿洲土壤质量变化与土壤健康评价研究进展 [J]. 北方园艺, 2014, (10): 180-184.
- [8] 范晓晖, 翁琳琳, 雷丽丽, 等. 我国葡萄园土壤质量评价的研究进展 [J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2019, (03): 61-65. DOI: 10.13414/j.cnki.zwpp.2019.03.013.
- [9] 武春林, 王瑞廷, 丁坤, 等. 中国土壤质量地球化学调查与评价的研究现状和进展 [J]. 西北地质, 2018, 51(03): 240-252. DOI: 10.19751/j.cnki.61-1149/p.2018.03.027.
- [10] 江慧, 张琴. 土壤质量指标与评价研究进展 [J]. 四川林业科技, 2016, 37(06): 22-26+37. DOI: 10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.06.005.

# 设备全生命周期管理中的预防性维护策略优化

陈重

深圳市盛波光电科技有限公司，广东 深圳 518000

**摘要：** 本文深入探究设备全生命周期管理里预防性维护策略的优化，先是阐述设备全生命周期管理与预防性维护的理论基础，接着剖析各阶段预防性维护策略的现状，进而提出优化原则、目标以及具体措施。目的在于提升设备管理效率，降低成本，延长设备使用寿命，进而为相关领域给予理论和实践参考。

**关键词：** 设备全生命周期管理；预防性维护策略；优化

## Optimization of Preventive Maintenance Strategy in Equipment Lifecycle Management

Chen Zhong

Shenzhen Shengbo Optoelectronics Technology Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** This paper explores the optimization of preventive maintenance strategy in equipment lifecycle management in depth, firstly elaborates the theoretical basis of equipment lifecycle management and preventive maintenance, and then analyzes the status quo of preventive maintenance strategy in each stage, and then puts forward optimization principles, objectives and specific measures. The purpose is to improve the efficiency of equipment management, reduce costs, extend the service life of equipment, and then provide theoretical and practical reference for related fields.

**Keywords：** equipment life cycle management; preventive maintenance strategy; optimization

### 引言

在现代工业生产中设备是企业创造价值的重要根基，其设备运行的稳定性与可靠性会直接对生产效率、产品质量以及企业的经济效益产生影响。设备全生命周期管理作为一种科学的设备管理理念，涵盖了设备从规划采购到报废处理的整个过程。而预防性维护策略在其中发挥着关键作用，通过提前预防设备故障来减少设备停机时间，降低维修成本，提高设备综合效率。优化预防性维护策略对于提升企业竞争力、实现可持续发展有着重要意义。

## 一、设备全生命周期管理与预防性维护理论基础

### （一）设备全生命周期管理概述

设备全生命周期管理指的是从设备的规划、设计、采购、安装、调试、使用、维护、改造一直到报废的全过程管理。它以设备的可靠性、维修性、经济性为目标，运用系统工程的方法来对设备进行综合管理，以便能够让设备在整个生命周期内发挥出最大效能。

### （二）预防性维护的内涵与重要性

预防性维护是在设备故障发生前，通过对设备运行状态进行监测和分析来提前采取措施来预防设备故障的发生。其重要性在于能够降低设备突发故障导致的生产中断风险，减少维修成本并延长设备使用寿命，进而提高设备的可用性和生产效率<sup>[1]</sup>。

### （三）预防性维护策略相关理论

预防性维护策略相关理论包含可靠性理论、故障预测与健康

管理理论、设备状态监测与诊断技术等。可靠性理论通过对设备故障概率的分析，确定设备的维护周期；故障预测与健康理论利用传感器、数据分析等技术对设备的健康状态进行评估和预测；设备状态监测与诊断技术则通过对设备的振动、温度、压力等参数进行监测，及时发现设备的潜在故障。

## 二、设备全生命周期各阶段预防性维护策略现状分析

### （一）规划采购阶段

在规划采购阶段，企业常常过度关注设备的初始购置价格，却忽视了设备长期运行的稳定性与维护便利性。在考量性能指标时仅仅关注设备在理想工况下的数据，没有充分评估设备在实际复杂生产环境中的适用性<sup>[2]</sup>。同时还缺乏对设备全生命周期成本的精确核算，没有将后续的维护保养、零部件更换、能耗等费用纳入采购决策范围。这就使得许多设备在投入使用后频繁出现故

障，维护成本居高不下，进而严重影响生产效率与经济效益。

## （二）安装调试阶段

安装调试阶段是设备稳定运行的关键起始点，然而部分企业在这一环节存在诸多问题。在安装过程中施工人员可能为了赶进度，没有严格按照设备安装说明书的规范步骤操作，比如设备的基础固定不牢、线路连接错误等。这些隐患在设备运行初期可能并不明显，但随着时间的推移就会极容易引发严重故障。此外在对设备调试过程中的各项数据记录不完整、分析不深入，像设备的运行参数、振动幅度、温度变化等情况出现就会导致后续预防性维护缺乏关键的参考依据，也就无法精准判断设备的健康状况。

## （三）使用维护阶段

在设备的使用维护阶段，普遍存在维护计划与设备实际运行状态脱节的现象。企业大多采用定期维护模式，无论设备的实际工况如何都按照固定周期进行维护，这种方式既可能造成维护过度，浪费人力、物力资源，又可能在设备运行异常时无法及时发现并处理问题。而且维护人员的专业素养参差不齐，部分人员缺乏先进的设备故障诊断技术和经验，在面对复杂故障时难以准确判断故障原因并且维修效率低下，进一步影响设备的正常运行，也会增加设备的停机时间<sup>[3]</sup>。

## （四）更新改造阶段

设备更新改造的目的是提升设备性能、满足新的生产需求，但当前部分企业在这一阶段存在明显不足。在技术评估方面，对市场上新兴技术、新工艺的了解不够深入，未能全面分析其对设备性能提升的潜在影响。在制定更新改造方案时缺乏系统性规划，没有充分考虑设备各部件之间的兼容性和整体协同性。这些情况就会导致设备改造后，不仅没有达到预期的性能提升目标，还可能出现新的故障隐患，无法满足生产工艺的改进需求，进而造成资源的浪费和生产的延误。

## （五）报废处理阶段

报废处理阶段是设备全生命周期的最后一环，可是许多企业对此重视程度不够。在评估设备剩余价值时缺乏科学的评估方法和专业的评估人员，往往低估设备中可回收利用部件的价值而造成资源浪费<sup>[4]</sup>。同时对报废设备中含有的有害物质，比如重金属、化学试剂等物质没有按照环保标准进行妥善处理，随意丢弃或处置不当就有可能对土壤、水源等造成严重污染，给生态环境带来负面影响，也违背了企业的社会责任和可持续发展理念。

# 三、预防性维护策略优化原则与目标设定

## （一）优化原则

### 1. 可靠性原则

设备可靠性是保障生产持续稳定的关键，在设备全生命周期中，从规划采购阶段就要严格筛选设备供应商，考量其产品过往的可靠性记录。在使用过程中也要定期对设备关键部件进行无损检测，利用先进的监测技术实时掌握设备运行状态，一旦发现可靠性指标有下降趋势就要及时采取维护措施，确保设备始终处于

稳定可靠的运行状态，以便能够为企业生产筑牢根基。

### 2. 经济性原则

企业经营以盈利为目的，设备维护也需要遵循经济性原则。这不仅要关注单次维护的直接成本，如维修材料、人工费用等，还要考虑设备停机带来的生产损失、维修后设备性能提升对生产效率的影响等间接成本。通过建立成本效益分析模型来权衡不同维护方案的投入产出比去选择性价比最高的方案，实现维护成本最小化、设备效益最大化<sup>[5]</sup>。

### 3. 科学性原则

借助现代科技手段实现设备维护的科学化，可以利用大数据分析技术去对设备历史运行数据、故障数据进行深度挖掘，找出设备故障发生的规律和潜在风险因素。还可以运用人工智能算法来实现设备故障的精准预测，提前安排维护计划。同时也要遵循标准化的维护作业流程，规范维护人员操作，以确保维护工作的质量和效果。

### 4. 动态性原则

设备运行环境复杂多变，维护策略也需要与时俱进。当设备运行工况发生变化，如生产工艺调整、工作强度改变、运行环境温度湿度波动等情况发生时要及时收集设备运行数据，重新评估设备状态，相应地调整维护周期、维护内容和维护方式，以适应设备实时需求来保障设备稳定运行。

## （二）目标设定

### 1. 降低设备故障率

采用先进的故障预测技术，如基于物联网的设备状态监测系统去实时采集设备的振动、温度、压力等关键参数。并且通过数据分析算法对设备运行状态进行评估，提前发现潜在故障隐患。一旦监测到异常数据要及时发出预警，安排专业维修人员进行针对性维护，将故障扼杀在萌芽状态，进而有效降低设备故障率<sup>[6]</sup>。

### 2. 提高设备可用性和生产效率

优化维护计划要根据设备运行规律和生产任务安排，合理避开生产高峰期进行维护工作。同时要建立设备应急维修机制，储备充足的备品备件，确保在设备突发故障时能够快速响应，缩短维修时间来提高设备的可用时间，在保障生产连续性的同时提高生产效率。

### 3. 降低设备维护成本

一方面要通过精准的故障预测来避免不必要的预防性维护，减少维护资源浪费。另一方面也要与优质供应商建立长期合作关系，集中采购备品备件来降低采购成本。在此基础上还要优化维修流程，提高维修人员工作效率，减少人工成本支出，从而实现设备维护成本的降低。

### 4. 延长设备使用寿命

制定科学合理的设备维护保养计划，定期对设备进行清洁、润滑、紧固等基础维护工作。并且根据设备运行状况来及时更换磨损部件，以避免设备过度磨损。同时还要采用先进的设备修复技术，对损坏的设备部件进行修复，延长设备整体使用寿命并减少设备更新换代的频率，进而降低企业设备投资成本。

## 四、设备全生命周期各阶段预防性维护策略优化措施

### （一）规划采购阶段策略优化

在规划采购阶段，企业需要全面考量设备的可靠性、可维护性与全生命周期成本。所以建立科学的设备采购评估指标体系至关重要，不仅要关注设备的性能参数和价格还要深入分析维护成本，比如易损件的更换频率与价格、维护所需的专业工具及人工成本等<sup>[7]</sup>。同时在售后服务方面，应考察供应商的响应速度、技术支持能力以及服务网点的覆盖范围。除此之外还应该加强与设备供应商的沟通合作，要求供应商提供设备在不同工况下的可靠性数据以及详细的维护建议和操作手册。通过这些措施来从源头上保障设备后期运行的稳定性与维护的便捷性，进而降低设备全生命周期成本。

### （二）安装调试阶段策略优化

安装调试阶段要严格按照设备安装说明书操作是确保设备安装质量的关键。在安装过程中技术人员应详细记录每一个安装步骤和关键参数，包括设备的安装位置、各部件的连接方式与紧固程度等。同时也要加强对设备调试数据的记录与分析，如设备启动时的各项参数变化、运行过程中的振动、温度、压力等实时数据。并在此基础上建立设备调试档案，将这些数据进行整理归档，为后续预防性维护提供数据基础。论文还要组织安装调试人员参加专业技术培训，邀请设备厂家技术人员进行现场指导来提升他们对设备安装调试的技术水平和操作能力，以便能够避免因安装调试不当引发设备故障<sup>[8]</sup>。

### （三）使用维护阶段策略优化

在使用维护阶段，构建基于设备状态监测的预防性维护计划十分必要。可以利用传感器技术来实时采集设备的运行数据，通过数据分析模型判断设备的运行状态并依据设备的实际磨损情况、运行时长等因素来精准确定维护时间和维护内容。同时要定期组织维护人员参加专业培训课程，内容涵盖最新的设备故障诊断技术、维修工艺等，并在此基础上运用信息化管理手段来搭建设备管理信息系统，将设备的维护记录、运行数据、故障历史等

信息录入系统，实现设备维护的信息化、智能化管理。

### （四）更新改造阶段策略优化

更新改造阶段，对设备进行全面技术评估是首要任务，通过组织专业技术团队来综合考虑设备的现有性能、技术发展趋势以及企业生产需求的变化，并且分析新技术、新工艺对设备性能提升的可能性，如引入自动化控制技术提高设备的生产精度和效率<sup>[9]</sup>。同时也要制定科学合理的更新改造方案，明确改造目标、实施步骤和预算安排。在改造过程中还要严格按照方案执行，对改造后的设备进行全面性能测试，包括空载测试、负载测试、稳定性测试等。除此之外在设备投入运行后更要持续进行运行监测，通过对比改造前后的数据来及时发现并解决可能出现的问题，进而确保改造后的设备满足生产需求。

### （五）报废处理阶段策略优化

报废处理阶段要准确评估设备的剩余价值需要综合考虑设备的损坏程度、零部件的可再利用性等因素。可以邀请专业的资产评估机构进行评估或者参考市场上同类设备的报废处理价格，对于尚有一定价值的设备可以通过拍卖、拆解零部件再销售等合理处置方式，进而实现设备资源的再利用。另外也要加强对报废设备的环保处理，确保设备中含有的有害物质，如重金属、化学物质等有害物质能够得到妥善处理并符合国家环保要求<sup>[10]</sup>。

## 五、结语

设备全生命周期管理中的预防性维护策略优化是一个系统工程，需要企业从规划采购、安装调试、使用维护、更新改造到报废处理的各个阶段进行全面的优化和管理。通过优化预防性维护策略可以提高设备的可靠性、可用性和经济性，降低设备故障率和维护成本，延长设备使用寿命，为企业的生产经营提供有力的设备保障。未来随着科技的不断进步，设备全生命周期管理和预防性维护策略将不断发展和完善，企业应积极引入新技术、新方法持续优化设备管理以提升企业竞争力。

## 参考文献

- [1] 谭天艳. H 医院医疗设备全生命周期管理改善研究 [D]. 云南财经大学, 2023.
- [2] 李雨霏. A 银行 G 分行自助设备全生命周期管理研究 [D]. 兰州大学, 2022.
- [3] 吴平凤, 姚辉, 林建勋, 等. 智慧医院医疗设备全生命周期管理系统构建与评价研究 [J]. 中国医学装备, 2023, 20(06): 149-155.
- [4] 郝维. 云南 D 职业技术学院实训室仪器设备全生命周期管理研究 [D]. 贵州大学, 2022.
- [5] 王昊鑫. 基于智慧互联的选煤设备全生命周期管理系统研究 [D]. 中国矿业大学, 2022.
- [6] 吴奕楠. XY 民营医院医疗设备全生命周期管理改进研究 [D]. 长沙理工大学, 2022.
- [7] 林伟文. 基于信息技术的医疗设备全生命周期管理 [J]. 设备管理与维修, 2021, (20): 9-11.
- [8] 孔稳. 医疗设备全生命周期管理存在的问题及对策探讨 [J]. 中国设备工程, 2021, (08): 44-45.
- [9] 胡建华. W 公司化工设备全生命周期管理改善研究 [D]. 南京理工大学, 2020.
- [10] 朱光辉, 刘建昌, 陈婷婷, 等. 互联网视域下高校设备全生命周期管理探究 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(05): 290-293.

# 基于 Solidworks 受力分析的内伸缩臂反变形设计

景云龙, 姬长志

河北景隆智能装备股份有限公司, 河北 廊坊 065399

**摘 要 :** 随着油田修井自动化作业的发展, 传统的猫道机能够做到机械化施工作业, 在一定程度上降低了劳动强度, 由于其自身结构原因, 无法保证在自动化作业时的有限次作业精度, 因此高可靠性、高精度的自动化猫道机的内伸缩臂因运动过程受力情况变化, 借助 Solidworks 设计软件, 对内伸缩臂进行受力分析, 并根据受力变形情况进行反变形优化设计, 使伸缩臂满足使用要求。

**关 键 词 :** 内伸缩臂; 反变形; 受力分析

## Design of Anti-Deformation for Inner Telescopic Boom based on Solidworks Force Analysis

Jing Yunlong, Ji Changzhi

Hebei Jinglong Intelligent Equipment Co., Ltd. Langfang, Hebei 065399

**Abstract :** With the development of oilfield workover automation, the traditional catwalk machine can achieve mechanized construction operations, which reduces the labor intensity to a certain extent, and can not guarantee the accuracy of the limited operation times in the automatic operation due to its own structural reasons, so the internal telescopic arm of the automatic catwalk machine with high reliability and high precision changes due to the force change in the motion process, with the help of Solidworks design software, the internal telescopic arm is analyzed by force, and the reverse deformation optimization design is carried out according to the force deformation. Make the telescopic arm meet the requirements of use.

**Keywords :** internal telescopic arm; reverse deformation; force analysis

修井作业是保证油水井正常生产的重要手段, 但由于修井作业施工过程中存在大量动静态危险点源, 使得修井作业工成为石油系统中危险系数较高的工种。近几年, 随着自动化技术的不断发展, 自动上管机、井口自动化机器人、二层台机械手等自动化设备的逐步试验应用, 在减少操作人员数量降低生产安全事故发生的几率, 同时还能有效降低操作人员的工作强度, 可有效避免因疲劳等造成的操作失误, 在一定程度上避免了事故的发生。因此自动化修井机器人成为了近几年修井作业设备发展的重点<sup>[1-5]</sup>。

目前, 作业中常用的猫道机能够完成管柱的基本转运作业, 降低了劳动强度, 相比原有的人工上下管柱前进了一大步<sup>[6-10]</sup>。整个过程中, 平台上需要人工确认猫道机上管时, 管柱是否到达预定位置, 存在配合风险隐患。原有的猫道机, 结构相对简单, 管柱伸缩、转运通过猫道机 V 型伸缩架伸缩、翻转实现。由于是手动人工配合作业, 所以对猫道机送管精度没有要求, 整个猫道机属于一般精度等级设备。

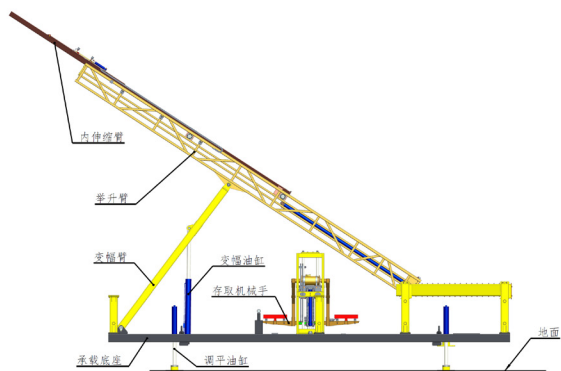
随着国家对安全生产的要求越来越高, 高风险作业区域的作业人员急需转移至低风险作业区, 因此带压作业平台无人化作为新的课题急需解决。

辅助式带压作业自动化装置是在原有辅助式带压作业机主机的基础上, 将上工作平台上的操控转移至地面操控室, 将原来人工手动液压钳更换为自动液压钳, 同时增加扶正对中机械手、导向自动液压吊卡。通过更换这些自动装备, 完成正常管柱起下作业时工作平台无人化, 大幅提高人员作业安全性。

自动化猫道机是专为辅助式带压作业机配置的自动化上管装备。因为是自动化作业, 要求各衔接点必须固定, 定位精度要求高, 因此原有猫道机的结构需要进行优化, 包括伸缩臂自身结构、运管方式等。关键在于自动猫道机的精度控制。原有的翻转取送管柱方式会对猫道机本身产生冲击, 经过有限次冲击后, 猫道机本身定位精度将不再满足自动化作业需求。同时, 滑动伸缩臂的本身精度不足, 滑动间隙随着有限次的作业会增大, 也影响最终的精度控制。

作者简介: 景云龙 (1986.01-), 男, 汉族, 专科, 黑龙江绥化人, 助理工程师, 从事机电一体化设计与研究。

## 一、猫道机总体方案



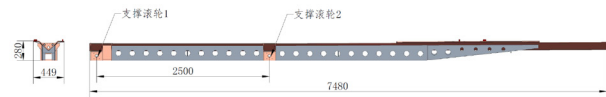
> 图1 自动猫道机方案图

从总体方案图中可以看出，自动猫道机由承载底座、变幅臂、举升臂、内伸缩臂及存取机械手组成。承载底座为框架式结构，配置多点调平油缸，用以适用不同井口的高度调整。变幅臂、举升臂均为框架桁架结构，自重轻，刚性大，通过变幅油缸组成稳定的三角支撑结构。内伸缩臂上设置多组滚轮，通过倍速伸缩机构在举升臂内沿固定轨道滚动。开始工作前，根据井场场地情况，布置好猫道机位置，根据井口高度及井架上工作平台高度，调整调平升降油缸，使承载底座处于水平状态并与上工作平台的距离达到设计值，这样才能保证每次重复变幅起升后，举升臂处于同一位置要求。

## 二、伸缩臂的结构及反变形设计

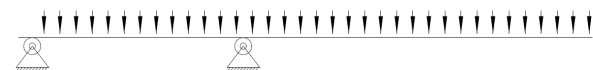
由于运送的管柱直径范围是60mm~89mm，长度范围是8500mm~12000mm，单根重量约150kg~300kg，根据运送管柱长度及整体布置所需，伸缩臂除了能够将管柱送至井口预设位置，还应能最长伸缩至距井口中心最小200mm范围内，因此要求伸缩臂伸缩范围应能覆盖工作管长度范围，即伸缩臂自身长度不能大于7500mm，伸缩臂滑动行程应不小于6000mm。

考虑到作业机本身高度约6m~7m，设定变幅臂起升最大角度为 $33 \pm 0.5^\circ$ ，内伸缩臂行程为6180，臂长7480，设置两组滚轮沿变幅臂内滑道滑动。两组滚轮间距2500mm。结构示意图如下：



> 图2 内伸缩臂结构示意图

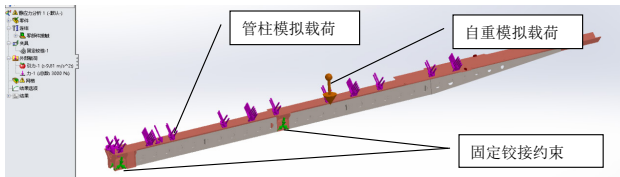
从结构示意图上可以看出内伸缩臂的整体结构为细长杆结构，根据总体结构外形尺寸及伸缩行程综合考量，设定两支撑滚轮间距为2500mm。两组支撑滚轮共同支撑内伸缩臂，内伸缩臂在V型槽内为管柱承载区域。内伸缩臂自身受力分析图如下：



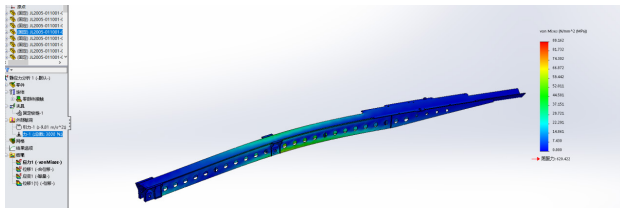
> 图3 内伸缩臂自身受力分析图

从内伸缩臂的受力分析图中可以看出，内伸缩臂为长梁的悬臂受力结构，V型槽内承载管柱均布载荷，两支撑点在静止不动时可看做为固定铰支点。内伸缩臂在保证本身强度的前提下，整体刚性同样重要指标。理想状态是在内伸缩臂内存放管柱后，在变幅臂水平状态是，内伸缩臂与管柱均能处于一个水平状态。

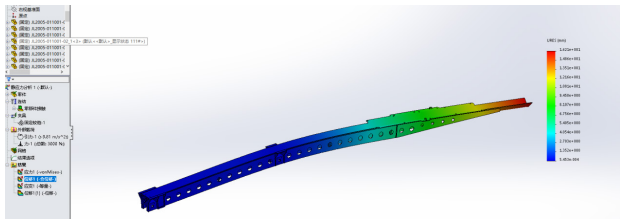
根据设计方案，采用SolidWorks建模后，利用SolidWorks自带的力学分析模块进行静力学分析（图4静力学约束及载荷图），得到未进行反变形设计的内伸缩臂受力情况（应力图）及变形情况（变形图）。



> 图4 静力学约束及载荷图



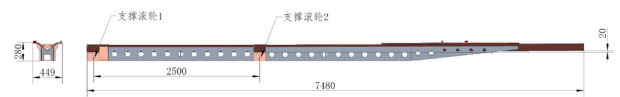
> 图5 应力云图



> 图6 合位移云图

从应力云图上看，整体结构强度没有问题，采用低碳钢即可满足强度要求。从合位移云图上看，内伸缩臂头部在满载状态下，下沉16.2mm左右，此情况下的变形已经超出了安全使用范围，因此在设计内伸缩臂时，应考虑采用预先反变形手段，使悬臂长梁在焊接成型时预先向相反方向变形一定量，抵消正常工作时产生的变形量。

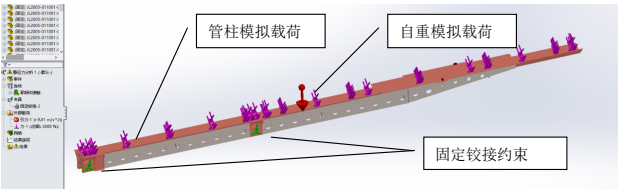
为保证内伸缩臂在水平位置满载状态时还能处于水平状态，设计时采用反变形设计，即预先将内伸缩臂头部抬高一定高度，使内伸缩臂在焊接成型时达到图7所示尺寸要求。



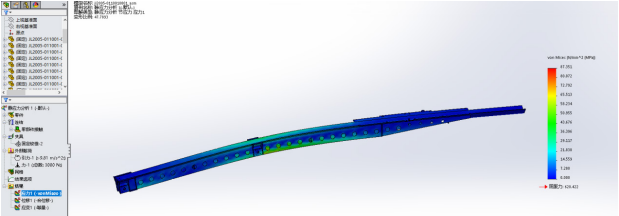
> 图7 内伸缩臂结构示意图 - 反变形设计

从应力云图看，反变形后，应力基本没有变化；从合位移云图看，反变形后的位移趋向变好，符合优化目的，多次进行重复优化计算，得出最优预先反变形量。

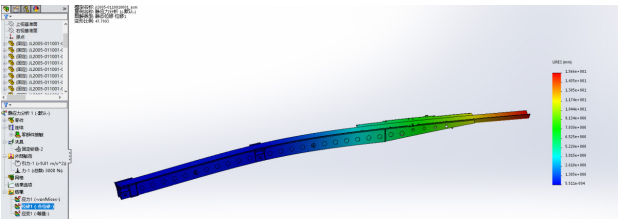
采用同样相同力学分析软件及边界条件，得出反变形设计后的应力云图及合位移云图如下：



> 图8 反变形的静力学约束及载荷图



> 图9 反变形的应力云图



> 图10 反变形的合位移云图

### 三、结论

自动化猫道机是一款新型的油田修井自动化作业装备，内伸缩臂的滑动移动方式改为滚轮滚动方式，降低了滑动摩擦的有限次精度不足风险，同时采用反变形设计内伸缩臂，伸缩臂在工作时能够精准作业，使自动运管处于更加安全的工作状态。

通过样机试制验证，方案设计合理，样机经工业性试验验证，基本达到设计的预期目标。

### 参考文献

[1] 卢云霄. 胡尊敬. 李勇等. 带压作业工艺技术的研究及应用 [J]. 石化技术, 2019, 26(12): 283-284.

[2] 张旭. 不压井带压作业现状与发展浅析 [J]. 科学技术创新, 2017 (25): 5-6.

[3] 杨贵兴. 王松麟. 张艳红. 李忠华等. 带压作业技术研究与应 [J]. 石油机械, 2011 (S1): 71-73.

[4] 于大伟. 带压作业装备的过去、现在与未来 [J]. 石油和化工设备, 2019, 22(02): 49-51.

[5] 杨玉龙. 毛恒博. 焦少举. 邹俐俨. 油水井修井作业工艺技术研究 [J]. 石化技术, 2023, 30 (04): 95-97.

[6] 崔海朋. 猫道机结构及功能分析 [J]. 机电工程技术, 2018, 47 (11): 139-141;

[7] 李进付. 董怀荣. 海洋平台动力猫道机仿真分析与优化设计 [J]. 中外能源, 2023, 28(S1): 44-53.

[8] 牛文杰. 白永涛. 余炎群等. 自动化智能液压修井机结构设计 [J]. 石油钻采工艺, 2016 (02): 68-73.

[8] 孟森林. 自动化修井机现状及发展趋势 [J]. 石化技术, 2019 (07): 11-12.

[9] 宋辉辉. 油管机械化输送机排放装置研究与应用 [J]. 钻采工艺, 2016 (03): 87-90+135.

# 工程项目全生命周期安全管理体系构建研究

佛一擎

文昌中石油昆仑燃气有限公司，海南 文昌 571300

**摘 要：** 工程项目全生命周期安全管理体系构建研究，涵盖从规划决策到运营维护的各个阶段。在规划决策阶段，需注重安全风险评估；设计阶段需确保设计方案安全可靠；施工阶段要强化现场安全管理；运营维护阶段则需关注设施安全性能。为支持该体系，需建立有效的安全监督机制，通过定期检查与不定期抽查确保安全；加强安全文化建设，提升员工安全意识；同时，借助信息化技术和智能化监控设备，提高安全管理效率与精度。这一研究旨在实现工程项目全周期的安全管理，确保项目安全高效运行。

**关 键 词：** 工程项目；全生命周期；安全管理；体系构建

## Research on the Construction of the Whole-Life-Cycle Safety Management System of the Engineering Project

Fo Yiqing

Wenchang CNPC Kunlun Gas Co., LTD. Wenchang, Hainan 571300

**Abstract：** Research on the construction of safety management system for the whole life cycle of the project, covering all stages from planning decision to operation and maintenance. In the planning and decision stage, the safety and risk assessment; the design stage should ensure the safe design scheme; the construction stage; and the operation and maintenance stage. In order to support the system, it is necessary to ensure the effective safety supervision mechanism through regular inspection and irregular spot check, strengthen the construction of safety culture, enhance the safety awareness of employees, and meanwhile, improve the efficiency and accuracy of safety management with the help of information technology and intelligent monitoring equipment. This research aims to realize the safety management of the whole cycle of the project and ensure the safe and efficient operation of the project.

**Keywords：** engineering project; full life cycle; safety management; system construction

工程项目全生命周期包括项目的规划决策、设计、施工、运营维护直至报废拆除的各个阶段。在这个过程中，每个阶段都存在着不同的安全风险和管理重点。因此，构建一个覆盖全生命周期的安全管理体系，对于工程项目的顺利进行和可持续发展至关重要。

### 一、工程项目全生命周期安全管理体系的构建

#### （一）规划决策阶段的安全管理

在工程项目的规划决策阶段，安全管理的细致考量是确保项目顺利推进和人员安全的基础。这一阶段的工作重心在于全面而深入地评估项目可能面临的各种安全风险，并将其纳入项目决策的核心要素中。

项目选址是一个至关重要的环节，它直接关系到项目后续建设和运营的安全性。因此，在选址过程中，必须充分调研和分析，确保所选地点远离自然灾害频发区域，如地震带、洪水易发区、滑坡和泥石流危险区等。还要避开存在易燃易爆物质或有害气体的场所，以防止因环境因素导致的安全事故。工艺流程设计是另一个需要高度重视的方面，在设计过程中，应充分遵循本质

安全的原则，通过优化工艺流程、减少危险物质的使用、引入安全可靠的替代技术等手段，最大限度地降低生产过程中的安全风险。<sup>[1]</sup>同时，还应考虑工艺流程的灵活性和可调整性，以便在出现异常情况时能够迅速采取应对措施，防止事故扩大。设备选型也是规划决策阶段不可忽视的一环，在选型过程中，应优先考虑那些经过严格质量认证、具有良好安全性能的设备。这些设备不仅能够正常操作条件下稳定运行，还能在异常情况下提供有效的安全保障。此外，还应关注设备的维护和保养要求，确保设备在长期运行过程中始终保持最佳状态。除了上述具体的安全管理措施外，规划决策阶段还应制定详细的安全规划和应急预案。这些规划和预案应基于对项目可能面临的各种安全风险的全面评估，明确各级人员的安全职责和应急响应程序。通过定期演练和持续改进，确保在紧急情况下能够迅速、有效地应对，最大限度地减

少人员伤亡和财产损失。

（二）设计阶段的安全管理

在设计阶段，安全管理的重要性尤为突出，因为它直接决定了工程项目后续建设和运营的安全基础。这一阶段，设计人员与安全管理人员之间的紧密协作成为确保安全设计得以有效实施的关键。他们应携手并进，共同为项目制定一套既符合功能需求又兼顾安全性的设计标准。

在设计方案的构思与细化过程中，设计人员需将安全因素作为核心考量之一，确保安全理念贯穿于设计的每一个环节。这包括但不限于对结构安全的严谨计算，确保建筑物或构筑物能够承受预期的荷载和环境影响，避免结构失效导致的安全事故。同时，设备安全也是设计过程中不可忽视的一环，设计人员需对所选用的设备进行详尽的安全性能评估，确保其在实际运行中能够满足安全标准，减少因设备故障引发的事故风险。<sup>[2]</sup>另外，消防安全设计同样至关重要。设计人员需根据项目的具体情况，合理规划消防通道、疏散指示标志、消防水源及灭火设施等，确保在火灾等紧急情况下，人员能够迅速撤离，火势得到有效控制。为进一步强化设计的安全性，安全风险评估成为设计阶段不可或缺的一环。这一步骤旨在通过科学的方法，系统地识别项目可能面临的各种安全隐患，包括但不限于自然灾害、人为失误、设备故障等。针对识别出的风险点，设计人员需与设计团队、安全管理人员以及相关专业人士共同商讨，制定出针对性的预防措施，如增设防护设施、优化操作流程、加强人员培训等，力求将潜在的安全风险降至最低。

（三）施工阶段的安全管理

施工阶段，作为将精心策划与设计理念转化为实体工程的实践环节，其复杂性和动态性使得安全管理显得尤为重要。这一阶段不仅涉及到大量人力、物力资源的投入，还伴随着多种潜在的安全风险，因此，构建一个健全且高效的施工安全管理体系是保障工程顺利进行、预防事故发生的关键。<sup>[3]</sup>

在这一关键时期，建立并执行一套严格的施工安全管理制度是首要任务。该制度应明确各级管理人员、施工人员以及安全监督人员的职责与权限，确保安全管理责任到人。制度中应包含详尽的安全操作规程、应急预案以及事故处理流程，为应对突发情况提供明确的行动指南。加强施工人员的安全教育培训同样不可或缺。培训内容应涵盖基本的安全知识、岗位安全操作规程、个人防护装备的正确使用以及紧急情况下的自救互救技能等，确保每位施工人员都能深刻理解安全的重要性，并具备在实际作业中有效执行安全规定的能力。另外，定期的安全知识更新培训和考核也是提升施工人员安全意识、保持其安全技能熟练度的有效途径。施工过程中，安全检查是发现和消除安全隐患的重要手段。这包括日常巡查、专项检查以及定期的全面安全检查。通过这些检查，可以及时发现施工现场的违章行为、设备设施的缺陷以及作业环境的潜在危险，从而迅速采取措施进行整改，防止事故的发生。<sup>[4]</sup>

（四）运营维护阶段的安全管理

运营维护阶段，作为工程项目生命周期中的重要一环，其安全管理直接关系到项目的长期稳定运行和人员安全。在这一阶

段，企业必须高度重视安全管理工作，将其视为保障生产效率和经济效益的基石。

建立健全安全生产责任制是运营维护阶段安全管理的核心。企业应明确各级管理人员和员工在安全工作中的具体职责，确保安全管理责任层层落实，形成上下联动、齐抓共管的安全管理格局。<sup>[5]</sup>

这不仅有助于提升全员的安全意识，还能在发生安全事故时，迅速明确责任主体，有效应对和处置。加强对员工的日常安全教育，是提高其安全意识和自我保护能力的有效途径。企业应定期组织安全知识培训、应急演练等活动，让员工深入了解岗位安全操作规程、个人防护装备的正确使用方法以及紧急情况下的自救互救技能。通过持续的安全教育，使员工时刻保持警惕，增强对潜在安全风险的识别和防范能力。建立完善的安全管理制度和操作规程，是保障运营维护阶段安全管理的制度保障。这些制度和规程应涵盖设备操作、维护保养、安全检查、事故处理等多个方面，确保员工在工作中能够有章可循、有据可依。企业还应加强对制度和规程执行情况的监督检查，确保各项安全措施得到有效落实。

二、工程项目全生命周期安全管理体系的支持措施

（一）建立有效的安全监督机制

为了确保企业安全生产工作的有效开展，建立一个高效、权威的安全监督机制至关重要。为此，企业内部应当专门设立一个安全监督部门，该部门需配备具有专业知识和丰富经验的安全监督人员，负责对企业内部的各项安全生产活动进行严密的监控和管理。<sup>[6]</sup>

安全监督部门的工作应涵盖定期检查和不定期抽查两个方面，定期检查旨在通过系统性的检查流程，对企业的安全生产状况进行全面评估，确保各项安全措施得到严格执行。而不定期抽查则更具灵活性，能够针对特定时段或特定区域进行重点检查，及时发现并纠正潜在的安全隐患。在检查过程中，一旦发现任何违反安全生产规定的行为或存在安全隐患的情况，安全监督部门应立即下达整改通知，明确指出存在的问题以及整改的要求和期限。为确保整改措施得到有效执行，安全监督部门还应加强对整改情况的跟踪和复查，确保所有问题得到彻底解决。另外，为了充分发挥员工的积极性，企业还应建立安全隐患举报机制。鼓励员工在日常工作中，一旦发现任何可能威胁安全生产的问题，及时向安全监督部门举报。对于举报属实的情况，企业应给予一定的奖励，以此激发员工参与安全监督的热情，形成全员关注安全、共同维护安全的良好氛围。<sup>[7]</sup>

表 1 定期检查与不定期抽查的比例以及举报奖励的示例

项目	描述 / 比例 / 数量
定期检查	
频率	每季度 1 次（每年 4 次）
占全年检查次数比例	25%
不定期抽查	
频率	高风险区域：每月 1 次；关键设备：每两周 1 次
占全年检查次数比例	75%（假设其余次数均为不定期抽查）
举报奖励	

项目	描述 / 比例 / 数量
奖励预算	年度安全投入总额的 5%
奖励分配	重大安全隐患：50% 预算；一般安全隐患：30% 预算；轻微安全隐患：20% 预算
单次奖励金额范围	重大安全隐患：500-5000 元；一般安全隐患：100-1000 元；轻微安全隐患：50-500 元

（二）加强安全文化建设

安全文化，作为企业安全生产的内在驱动力和核心价值体现，其建设对于提升企业整体安全管理水平具有不可估量的作用。一个积极向上的安全文化环境，能够深刻影响每一位员工的安全观念和行为习惯，从而从根源上降低事故发生的概率。<sup>[8]</sup>

为了营造这样的文化氛围，企业应积极策划并开展一系列富有创意和实效的安全宣传活动。这些活动可以包括安全主题讲座、安全警示案例分享、安全微电影放映等，旨在通过生动、具体的形式，让员工深刻认识到安全生产的重要性，以及违反安全规定可能带来的严重后果。举办安全知识竞赛也是提升员工安全意识和知识水平的有效途径，通过竞赛的形式，激发员工学习安全知识的热情，让他们在轻松愉快的氛围中掌握更多的安全技能和应急处理能力。这种寓教于乐的方式，不仅增强了员工的安全意识，还促进了员工之间的交流与合作，增强了团队的凝聚力。另外，设立安全奖励机制也是加强安全文化建设的重要举措。对于在工作中严格遵守安全规定、积极发现并消除安全隐患的员工，企业应给予必要的奖励和表彰。这种正向激励的方式，能够激发员工的安全责任感和使命感，让他们从内心深处认同并践行安全文化，实现从“要我安全”到“我要安全”的转变。

（三）借助科技手段提高安全管理水平

在追求高效与安全的现代企业管理中，科技手段的运用已成

为提升安全管理水平不可或缺的一环。<sup>[9]</sup>

借助信息化技术的强大力量，企业可以建立起一套完善的安全生产管理信息系统。这一系统能够实现安全生产数据的实时采集、精准分析和高效处理，为管理层提供全面、准确的安全生产状况报告，从而帮助他们做出更加科学、合理的决策。安全生产管理信息系统的建立，不仅极大地提高了数据处理的效率，还使得安全管理工作更加透明化、规范化。通过系统，企业可以实时掌握各项安全指标的变化情况，及时发现潜在的安全风险，为预防事故的发生提供有力的数据支持。与此同时，智能化的监控设备也在安全生产中发挥着越来越重要的作用。这些设备能够实现对作业现场的全方位、全天候实时监控，通过高清摄像头、传感器等先进技术手段，捕捉并分析现场的各种安全信息。一旦发现异常情况，如设备故障、人员违规操作等，系统能够立即发出警报，提醒相关人员及时采取措施进行处理，从而有效避免事故的发生。智能化的监控设备不仅提高了安全管理的精度和效率，还为企业节省了大量的人力物力成本。<sup>[10]</sup>

三、结语

工程项目全生命周期安全管理体系的构建，是一个涉及多阶段、多层面的系统工程。从规划决策到运营维护，每个阶段都需严格把控安全风险，确保项目安全进行。同时，建立有效的安全监督机制、加强安全文化建设、借助科技手段提高安全管理水平，是支撑这一体系的重要保障。通过持续的努力和改进，可以构建一个更加完善、高效的安全管理体系，为工程项目的安全、稳定、可持续发展提供坚实保障。

参考文献

[1] 马亚敏, 王姣, 韩冰, 王迪. 工程建设项目全生命周期数字化管理在城建档案一体化建设中的应用——以济南市为例 [J]. 中国建设信息化, 2024, (18): 79-83.

[2] 张硕. 境外工程承包项目的全生命周期财务管理 [J]. 国际商务财会, 2024, (16): 27-30.

[3] 马慧彬, 徐姝琦, 邓真富. 工程建设项目全生命周期数字化管理建设实践 [J]. 中国建设信息化, 2024, (14): 5-7.

[4] 王洪雷. 工程建设项目全生命周期数字化管理浅谈 [J]. 中国信息化, 2024, (07): 31-33.

[5] 蒋飞, 曾峥, 罗倩. 工程项目全生命周期数字化转型与应用 [J]. 中国建设信息化, 2024, (12): 58-62.

[6] 李宏斌; 宋亚君; 田鑫; 燕斌. 新疆工程建设项目全生命周期数字化管理的探索和实践——以新疆维吾尔自治区工程建设项目审批管理系统为例 [J]. 建设科技, 2023, (21): 70-72.

[7] 林志东; 黄荣杰. 数字化技术在工程建设项目审批制度改革中的应用研究——以福建省泉州市为例 [J]. 建设科技, 2024, (02): 34-37.

[8] 王玉洁. 全国工程建设项目审批制度改革工作培训班举办 [J]. 建筑, 2024, (07): 15.

[9] 黄诗谊. 广西加快推进工程建设项目审批标准化、规范化、便利化 [J]. 广西城镇建设, 2024, (12): 34-36.

[10] 杜金山. 工程建设项目安全管理与企业安全文化建设 [J]. 中国品牌与防伪, 2024(12): 135-136.

# BIM技术应用助推施工总承包管理项目精益建造

董卫涛, 姜吉辉, 陈志鹏, 朱第波, 刘金亮

中国建筑一局(集团)有限公司, 中建一局集团第三建筑有限公司, 北京 100161

**摘 要 :** 建筑施工项目管理通过基于 BIM 技术的催化剂, 加速建推进项目精益建造, 拓展更广阔的建筑发展空间。未来的建筑将对工程的安全、适用、经济、环保、美观等特性的综合要求显著提高。随着建筑市场新技术、新工艺的不断开拓和更新, 我国的建筑市场行业也有了跨越式发展, 建筑项目管理的技术水平和管理能力在逐步提升。

本文以中国科学院大学附属肿瘤医院(浙江省肿瘤医院)绍兴院区(浙江滨海医院)新建工程二期(以下简称本工程), 总承包工程为实例, 针对 BIM 施工技术应用助推项目精益建造工作进行的梳理和总结, 为在今后类似总承包管理中精益建造工作积累流程化经验, 助力总承包工程项目顺利履约。

**关 键 词 :** BIM 施工技术; 精益建造; 总承包管理; 项目履约管理

## BIM Technology Application Promotes Lean Construction of Construction General Contracting Management Projects

Dong Weitao, Jiang Jihui, Chen Zhipeng, Zhu Dibo, Liu Jinliang

China Construction Bureau (Group) Co., Ltd. China Construction First Engineering Group Third Construction Co., Ltd.  
Beijing 100161

**Abstract :** Construction project management accelerates the lean construction of projects and expands broader space for building development through the use of BIM technology as a catalyst. The comprehensive requirements for safety, applicability, economy, environmental protection, and aesthetics of future buildings will significantly increase. With the continuous exploration and updating of new technologies and processes in the construction market, China's construction industry has also experienced leapfrog development, and the technical level and management ability of construction project management are gradually improving.

This paper takes the general contracting project of Shaoxing Hospital Area (Zhejiang Binhai Hospital) New Project Phase II (hereinafter referred to as the Project) of the Cancer Hospital Affiliated to the University of Chinese Academy of Sciences (Zhejiang Cancer Hospital) as an example, combs and summarizes the application of BIM construction technology to promote lean construction of projects, accumulates process experience in lean construction in similar general contracting management in the future, and helps the general contracting project to perform smoothly.

**Keywords :** BIM construction technology; lean construction; general contract management; project performance management

### 引言

BIM 施工技术应用助推项目精益建造是履约项目的核心, 是做好工程项目成败的关键性因素, 是推进建筑项目管理稳步进行, 实现提高管理水平、降低施工成本、达到完美履约的重点。在高科技信息化的建筑市场环境中, 随着 BIM 技术在项目履约中的不断推广, 越来越多的建筑项目体会 BIM 技术应用于精益建造的价值所在。BIM 技术在建筑施工项目管理中的推动作用, 可以拓展到工程量统计分析、节点构件、单价清单、物资采购及项目安全、质量等全方位的项目管理工作, 更进一步强化 BIM 技术的应用实现项目精益建造。

### 一、工程概况

中国科学院大学附属肿瘤医院(浙江省肿瘤医院)绍兴院区(浙江滨海医院)新建工程二期(以下简称浙江肿瘤医院绍兴院区

二期)位于绍兴滨海新区江滨区, 位于浙江省绍兴市越城区沥海街道边沥线与围红线交叉口。本项目为综合三甲医院, 总建筑面积约 50 万平方米, 总投资约 50 亿, 本标段总建筑面积约 46167.59 m<sup>2</sup>。工程承包范围: 包括 15~16# 楼地下室及连接地下室(含人防)、

作者简介: 董卫涛(1982.08-), 男, 籍贯: 河北省保定市, 高级工程师, 研究生, 研究方向: 建筑与土木工程。

14#楼国际会议中心（装配式钢结构）、15#楼科研中心教学楼、16#楼学生宿舍专家楼（PC装配式）、22#楼危化品仓库，施工图范围内的地下室基坑围护、土建、安装工程、人防、电梯等内容。本工程为浙江省重点工程，是造福绍兴、浙江、乃至长三角的重大民生工程。

## 二、BIM施工技术助推精益建造的优势

### （一）可视化管理

应用 BIM 技术，推广可视化的管理模式和管理思路，让非专业人员也能通过视觉看到建筑工程施工过程，看到每个节点在不同标高处的相互关系，实现技术交底可视化。BIM 技术通过可视化特性，实现从二维到三维的模型转换，使设计意图直观清晰，便于理解和施工。

### （二）协调性管理

BIM 技术成功应用于建筑企业的项目管理中，部分问题都能在施工前发现和识别，在建筑工程施工前对有冲突的问题进行深化设计和采取一定的预防措施。协调项目整体建立构件级信息组织，BIM 技术天然具有构件级建模的特点，便于将各类工程信息进行更精细化的关联，甚至达到图元构件级别。

### （三）模拟性管理

BIM 技术的模拟性管理体现在，在深化设计阶段，应用 BIM 技术可以对设计成果进行模拟实验，进行数据分析并形成统一的资源数据类型，便于后期进行分析决策。BIM 技术赋予虚拟建筑实体大量的建筑信息，如几何信息、管理信息、时间信息、技术信息、成本信息等，用于施工模拟策划分析，如施工组织 5D 模拟、施工方案模拟与优化、工程量自动计算等。

### （四）优化性精细化管理

利用 BIM 技术进行施工技术优化，能更好的服务于工程过程履约，管理层面的优化分别表现在信息沟通、节点复杂程度、时间和空间等各方面。充分发挥模型信息集成性，BIM 技术可支撑工程模型的全专业信息，并承载、集成全领域（施工工序、进度、技术、质量、安全、成本等管理领域以及人力、机械、材料资源等施工信息），形成全周期工程信息描述。BIM 技术的应用，可以大大简化基础模块化数据的分析和归纳工作。

### （五）多算对比有效协同，保障履约目标

建筑企业管理的 BIM 技术应用，在施工管理过程中及时准确对项目管理数据进行分析，是进行企业项目管理核心。BIM 技术的信息化管理平台，能够更加直观地将当前施工进度计划与实际项目形象进度进行对比分析，更好的完成项目履约管理目标。

## 三、工程重难点分析

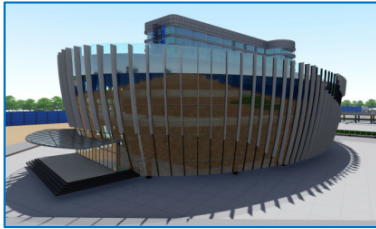
### （一）机电系统构造复杂

本工程为医疗实验楼、学生宿舍专家楼与钢构会议中心，是一个多学科、多专业的综合体，机电系统复杂。因此建筑物内部各种管线密集，给主体施工和安装工程都带来一定难度。总承包单位根据各专业特点，在专业管线多的地方应用 BIM 技术做出设备管线排列图，编制机电各专业的施工进度计划，确定用电点及用水点的准确位置。充分考虑医用设备运输的通道、医用设备的

用电、用水负荷的校核，医用设备电源水源的驳接，特殊医用设备采用气体灭火保护。

### （二）机电机房施工管道安装质量要求好

机电管线综合以各专业系统设计意图为出发点，在保证各系统使用功能的同时，满足建筑本身的使用功能要求、业主及设计对建筑空间的要求，保证结构安全，优化项目管线排布、走向，让空间利用更加充分、合理，机电主机房施工、管道安装是本工程的重点。

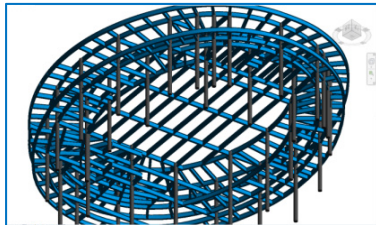


> 图 3.1 国际会议中心造型效果

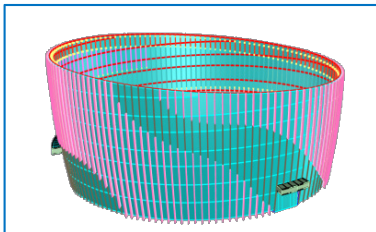
### （三）14#国际会议中心碗状造型曲面幕墙 15#、16#楼部分位置弧面造型复杂

应用 BIM 技术对曲面造型对本工程主体结构、钢结构、幕墙施工的影响，需提前进行三维模拟深化设计。

项目前期，对 14#楼国际会议中心钢结构、外立面采用 BIM 技术设计节点推演，对幕墙节点、钢柱节点、夹层屋面设计情况进行优化和改善。对特殊形体圆弧部分结构、机电线管布置、屋面深化等，进行参数变量多方案比选，是准确优化项目管理与成本控制的重要依据。



> 图 3.2 钢结构施工模型



> 图 3.3 幕墙分割及安装施工模型

## 四、BIM应用部署

项目 BIM 技术应用实现以下六大应用目标：

### （一）助力总承包管理

本工程工程量大，专业性强，专业分包众多，利用 BIM 技术提高项目总承包管理水平，加强总包与分包之间的协作<sup>[1]</sup>。

### （二）助力各部门协同合作

提高施工效率，减少拆改，加强各专业穿插施工的灵活性，联合业主、设计单位、专业分包单位等，提高跨部门协同水平，实现项目管理信息化，提前输出图纸并与各部门及时沟通，提高项目各部门的协同合作能力，创造高效工作环境。

### （三）助力安全质量管理

利用 BIM 技术对质量、安全实时监管，提高项目质量、安全的监管与控制能力。从技术上、组织上和管理上采取有力的措施，解决和消除各种不安全因素，防止事故的发生。

### （四）助力商务管理

土建和机电安装工程量巨大，须通过碰撞检查、调整复杂节点、工艺模拟、穿插施工等技术手段避免窝工和返工，从而达到降本增效的目的，提高项目商务管理的准确性与及时性，更好的

进行成本控制。

### （五）助力深化设计管理

BIM技术应用于项目深化设计管理，碰撞检测、净高分析，砌体深化，提高深化设计的质量和效率。

### （六）助力合同招采管理

总承包管理模式下采购工作繁琐且规模大、类型多，所以设备运输动线须提前策划，材料明细需精准以便减少材料损耗及浪费，提高总承包管理中招采工作效率。通过 BIM 导出生产料单，实现模型到工程的数据联通，大幅度降低下料生产时间。标准化的构件，提高安装效率，实现快速建造、精益建造。

## 五、BIM实施落地应用实施

### 1. 助力项目总承包管理——三维模型指导设计与施工

本工程为总承包管理模式，通过 BIM 技术实现三维信息模型整体设计的新型技术手段，以精确的数据指导设计与现场施工，更好的实现总承包项目顺利履约。利用 BIM 技术创建建筑施工规划模型，划分相关功能区域并可视化施工状态，提高现场作业施工效率。应用 BIM 技术顺利已完成3栋单体结构建模工作，顺利解决项目模型展示问题，充分提高工作效率；完成本工程建筑、二次结构、机电施工、幕墙施工、市政绿化模型独立建模。通过三维展示清晰了解建筑物构造，助力各部门协同合作。对施工图纸应用 BIM 技术进行节点深化和查漏补缺，进行图纸优化和深化，对总承包设计管理和二次深化设计、优化节点做法提供技术支持<sup>[1]</sup>。

### 2. 助力项目各部门合作——技术联动生产

实现模型到工程数据联通方面：通过 BIM 技术应施工生产用导出生产加工料单，实现智能输出构件工程量，快速完成工程量计算工作，实现模型到工程的数据联通；大幅度降低下料生产时间。标准化的构件、提高安装效率实现快速建造。

### 3. 助力总承包项目安全质量管理——施工模拟确保安全质量

通过 BIM 技术模拟施工过程来评估方案的安全性，提前发现设计和施工中的潜在风险，实现施工质量的实时监测。关键工序导出视点二维码，应用到施工现场，做到了一码一视点，大大方便了现场施工人员就模型视点详情进行施工，直接参观点施工工艺施工，确保了 BIM 模型与施工现场情况保持一致<sup>[2]</sup>。

### 4. 助力项目商务管理——技术商务联动

BIM技术确定点位出图方面：应用 Revit 模型对宿舍16#学生宿舍专家楼样板间机电线盒点定位并出图，更好指导施工。机电开槽施工质量得到较大提升；BIM技术应用指导现场施工，无需后期二次开槽，加快了施工进度，减少砌体剔凿，降本增效。本工程所有预留预埋机电配合土建进行 BIM 技术深化设计定位，联合确认样板施工 BIM 效果图，提高施工效率，加快施工进度，节

约成本16.5万元。

BIM技术各工序商务联动方面：应用 BIM 技术识别局部风管穿梁、门窗开启、保温碰撞等不协调问题，通过碰撞检查、调整复杂节点、工艺模拟、穿插施工等技术手段避免窝工和返工，达到降本增效的目的，节约成本约7.63万元。机电管线支吊架按照规范要求选取布置点，确定支吊架类型，通过导出支吊架统计材料表，对项目支吊架的规格和数量进行优化，节约成本9.57万元。通过全面多专业的碰撞检查，在项目工序施工前尽量消除各类碰撞，减少返工，缩短工期，节约成本。

### 5. 助力项目深化设计管理——深化设计降本增效

相对于常规的平面图、立面图、剖面图，BIM 软件更配置了更为强大的出图功能。可利用 BIM 软件经过碰撞检查、管线综合、净高优化后，确定机电各专业合理的位置、标高，从三维模型直接导出带有准确、清晰标注的平面图、剖面图来用于指导现场施工，这些深化设计图对施工过程的精细化管理指导具有显著的意义。深化设计沟通结果最终以工程变更单形下发到业主、项目部，指导现场施工，形成可追溯根源的一体化项目精益建造履约管理资料。

### 6. 助力总承包项目合同招采管理——材料数据精细化

BIM 技术从材料管理的角度分析对施工成本的管理，实现信息化的限额领料和精细化管理，减少材料浪费。有效减少人力和物资投入，提高了管理效率，实现资源配置降本增效。对算量信息模型相对应的材料进行数据化分析。所涉及的商务预算混凝土工程量汇总、物资部钢筋实际进场量对比、基于 BIM 技术模型的混凝土工程量“三算”对比，实现快速算量、精确算量，提高项目履约过程招采工作效率，保质保量完成项目合同招采和物资材料盘点任务。

## 六、总结

基于 BIM 技术助推工程总承包管理项目精益建造履约管理，通过建立一套完整的设计协作体系，很好的整合了二维和三维设计。BIM 技术在智能建造中的应用，涵盖了从项目精细化管理到施工阶段的技术应用，再到特殊工序项目的应用，极大地提升了建筑效率、质量和安全性。施工总承包企业在项目管理过程中，提高了管理效率，缩短了管理流程，实现了精益建造管理目标。在建筑项目总承包管理中，BIM 技术广泛应用项目履约管理，确保了基于 BIM 的精益建造以及精细化管理有效落地，获得了很好的经济和质量效益，在 BIM 技术的助力下，项目设计管控、施工履约正逐步走向智能化、精细化、高效化的时代，推动 BIM 技术助力项目精益建造的可持续发展！

## 参考文献

- [1] 龙文志. 建筑业应尽快推行建筑信息模型 (BIM) 技术 [J]. 建筑技术, 2011, 42(01): 9-14.
- [2] 何清华, 韩翔宇. 基于 BIM 的进度管理系统框架构建和流程设计 [J]. 项目管理技术, 2011, 9(09): 96-99.
- [3] 赵彬, 牛博生, 王友群. 建筑业中精益建造与 BIM 技术的交互应用研究 [J]. 工程管理学报, 2011, 25(05): 482-486.

# 智能化通风控制系统在煤矿安全生产中的效能评估

张喜峰<sup>1</sup>, 胡国辉<sup>2</sup>

1. 陕西延长石油集团横山魏墙煤业有限公司, 陕西 榆林 719000

2. 陕西延长石油榆林可可盖煤业有限公司, 陕西 榆林 719000

**摘 要：** 随着煤矿开采深度和强度的增加，通风系统在煤矿安全生产中的作用愈发关键。传统通风系统在效率、精准度和智能化水平上存在不足，难以满足现代煤矿安全生产的需求。智能化通风控制系统融合先进技术，实现了通风设备和网络的全面感知、实时互联与智能控制。本文通过对智能化通风控制系统的架构、功能及在煤矿安全生产中的应用效果进行深入分析，结合实际案例和数据，评估其在提升通风效率、保障安全生产、降低能耗等方面的效能，为煤矿智能化通风系统的建设和优化提供参考依据。

**关 键 词：** 智能化通风控制系统；煤矿安全生产；效能评估；物联网；大数据

## Efficacy Evaluation of Intelligent Ventilation Control Systems in Coal Mine Safety Production

Zhang Xifeng<sup>1</sup>, Hu Guohui<sup>2</sup>

1. Shaanxi Yanchang Petroleum Group Hengshan Weiqiang Coal Industry Co., Ltd. Yulin, Shaanxi 719000

2. Shaanxi Yanchang Petroleum Yulin Kekagai Coal Industry Co., Ltd. Yulin, Shaanxi 719000

**Abstract：** With the increasing depth and intensity of coal mining, the role of ventilation systems in coal mine safety production has become increasingly critical. Traditional ventilation systems have deficiencies in efficiency, precision, and intelligence, making it difficult to meet the demands of modern coal mine safety production. Intelligent ventilation control systems integrate advanced technologies to achieve comprehensive perception, real-time interconnection, and intelligent control of ventilation equipment and networks. This article conducts an in-depth analysis of the architecture, functions, and application effects of intelligent ventilation control systems in coal mine safety production. Combining actual cases and data, it evaluates the system's efficacy in improving ventilation efficiency, ensuring safe production, and reducing energy consumption. The findings provide a reference for the construction and optimization of intelligent ventilation systems in coal mines.

**Keywords：** intelligent ventilation control system; coal mine safety production; efficacy evaluation; Internet of Things; big data

## 引言

煤矿安全生产始终是煤炭行业发展的核心关注点。通风系统作为煤矿安全生产的重要保障，其性能直接关系到井下作业人员的安全和矿井的正常生产。良好的通风系统能够为井下提供充足的新鲜空气，稀释和排出有毒有害气体，如瓦斯、一氧化碳等，同时调节井下温度和湿度，改善作业环境。在过去，煤矿通风系统主要依赖人工操作和简单的设备控制，这种传统方式存在诸多弊端。随着煤矿开采规模的不断扩大和开采条件的日益复杂，传统通风系统在应对突发情况和满足精准通风需求方面显得力不从心。

## 一、煤矿通风系统概述

在煤矿生产体系中，通风系统是保障安全生产和作业环境的关键环节。下面将先阐述煤矿通风系统的重要性，其关乎人员生命安全和井下设备正常运转；随后分析传统通风系统的特点与局限性，从中可看出智能化通风系统革新的必要性。

### （一）煤矿通风系统的重要性

煤矿矿井内部多处于封闭或半封闭状态，因此，井内空气质

量不高，需要利用通风口及通风装置进行换气，使工作人员不至于出现窒息的安全隐患。由此，工作人员要加强对矿井通风安全的管理，以控制风量，消除矿井内部的空气安全隐患，提升煤矿矿井工作环境的安全系数<sup>[1]</sup>。它是保障井下作业人员生命安全的关键设施。煤矿井下存在着多种有毒有害气体，如瓦斯（主要成分是甲烷），其在空气中的浓度达到一定范围时，遇明火就会发生爆炸；一氧化碳是一种无色无味的剧毒气体，会严重威胁人员的生命健康。通风系统通过持续输送新鲜空气，将这些有毒有害

气体稀释并排出矿井，确保井下空气质量符合安全标准，为作业人员提供一个安全的呼吸环境。

通风系统还对调节井下气候条件起着关键作用。随着煤矿开采深度的增加，井下温度会逐渐升高，过高的温度会使作业人员感到不适，降低工作效率，甚至引发中暑等健康问题。通风系统可以将地面的冷空气送入井下，同时带走井下的热量，维持适宜的作业温度。此外，通风系统还能控制井下湿度，避免因湿度过高导致设备腐蚀、电气故障等问题，保证井下设备的正常运行。

### （二）传统通风系统的特点与局限性

传统通风系统主要采用人工操作和简单的设备控制方式。在风量调节方面，通常依靠人工调节风门的开度来实现，这种方式不仅效率低下，而且难以做到精准控制。因为人工调节往往需要根据经验和简单的测量数据进行判断，容易受到人为因素的影响，如测量误差、操作人员的技术水平和责任心等。在测风方面，传统方法主要是由测风员使用机械或便携式测风仪，按照一定的时间间隔到井下各个测点进行实地测量<sup>[2]</sup>。这种方式不仅耗费大量的人力和时间，而且由于测量间隔较长，无法实时反映井下通风状况的变化。

传统通风系统的自动化和智能化水平较低。在面对井下突发情况，如瓦斯涌出异常、火灾等，难以快速做出准确的反应和有效的应对措施。传统通风系统缺乏实时监测和智能分析功能，无法及时发现潜在的安全隐患，也难以根据井下实际情况自动调整通风参数，实现优化通风。

## 二、智能化通风控制系统的技术原理与架构

上一章节介绍了煤矿通风系统的重要性以及传统通风系统的不足，为应对这些问题，智能化通风控制系统应运而生。下面将深入剖析其技术原理与架构，从关键技术的融合到系统架构的搭建，全方位了解其如何提升煤矿通风效能。

### （一）关键技术

智能化通风控制系统融合多种先进技术，实现高效智能通风控制。物联网技术为关键支撑，在井下通风设备、巷道及作业区域部署风速、风压、瓦斯、一氧化碳等传感器，实时采集通风系统参数与环境信息，经无线或有线网络传输至监控中心，达成通风设备与网络的全面感知、实时互联<sup>[3]</sup>。

大数据分析技术作用重大，对系统收集的海量通风数据进行处理分析，可实时评估、预测通风系统运行状态，提前察觉潜在故障与安全隐患，还能依据历史数据总结运行规律，为优化通风策略提供数据支持。

人工智能技术赋予系统智能决策能力，基于机器学习和深度学习算法，依实时数据与历史经验自动调整通风设备运行参数，实现自主供风、灾变时自动控风调风，如瓦斯涌出异常时能及时调节通风量保障安全。

### （二）系统架构

智能化通风控制系统主要由调风控制系统和智能分析决策控制平台构成。调风控制系统负责远程实时自动监测井下风机、风

门、风窗等通风设施并传输数据。主通风机智能化控制系统升级软硬件，实时传输运行参数形成工艺流程图<sup>[4]</sup>。局部通风机智能化控制系统连接工业环网和视频监控系统，实现实时监控与远程控制。风门、风窗调节控制系统分别通过 PLC、远程操作实现开闭与风量精准控制。自动测风系统利用监测分站和测风传感器实现井下大巷全断面自动测风。

智能分析决策控制平台是核心，通过通风网络仿真、解算软件对监测数据解算分析，为通风系统优化调控提供决策服务。可自动监测控制通风设施，智能优化通风网络，在异常或灾变时制定通风方案、调节风机频率。还具备三维可视化功能，助力通风管理。

## 三、智能化通风控制系统在煤矿安全生产中的效能评估指标体系

了解智能化通风控制系统的技术原理与架构后，其实际应用效果备受关注。接下来将从安全性、效率性和经济性三个维度，深入探讨智能化通风控制系统在煤矿安全生产中的效能评估指标体系，全方位展现其优势与价值。

### （一）安全性指标

瓦斯浓度控制是衡量智能化通风控制系统安全性的重要指标之一。瓦斯是煤矿井下最主要的有害气体之一，其浓度过高极易引发爆炸事故。智能化通风控制系统通过实时监测井下瓦斯浓度，并根据浓度变化自动调整通风量，确保瓦斯浓度始终保持在安全范围内<sup>[5]</sup>。

一氧化碳浓度控制也是关键的安全性指标。一氧化碳是一种有毒气体，会对井下作业人员的生命健康造成严重威胁。智能化通风控制系统能够及时检测一氧化碳浓度，并通过合理的通风调节，将一氧化碳浓度稀释到安全水平。

通风稳定性也是评估安全性的重要方面。稳定的通风系统能够确保井下各个区域都能得到充足的新鲜空气供应，避免出现风流短路、风量不足等问题。智能化通风控制系统通过对通风设备的精准控制和对通风网络的实时监测，有效提高了通风稳定性。

### （二）效率性指标

风量调节及时性是衡量智能化通风控制系统效率的关键指标。在煤矿生产进程中，井下作业环境复杂多变，随着开采工作不断推进，开采进度持续变化，新的作业地点不断涌现，不同区域的瓦斯涌出量、人员分布以及设备运转情况等均会随之改变，这使得井下的风量需求处于动态变化之中<sup>[6]</sup>。智能化通风控制系统凭借先进的传感器网络实时采集各类数据，通过高效的数据处理与分析，能迅速精准地调整通风设备的运行参数，如通风机的转速、风门的开度等，实现风量的及时精准调节。相较于传统通风系统需人工手动操作且响应迟缓，智能化通风系统的风量调节响应时间从过去的数小时大幅缩短至数分钟甚至更短，极大提升了通风系统应对井下复杂工况的能力，有力保障了煤矿安全生产。

### （三）经济性指标

能耗降低是智能化通风控制系统经济性的关键体现。在煤矿

井下,实际风量需求随开采作业动态变化,智能化通风系统借助先进算法与智能控制技术,精准把握这些需求波动。通过优化通风策略,系统可依据实时监测数据,灵活、合理地调整通风设备运行功率<sup>[7]</sup>。例如,当某区域开采作业结束,风量需求降低,系统能自动降低通风机转速,避免能源浪费。在某煤矿实际应用中,智能化通风系统投入使用后成效显著,通风系统能耗大幅降低。

设备维护成本降低同样是经济性的重要方面。智能化通风控制系统依托实时监测功能,对通风设备的关键运行参数进行全方位监控。一旦出现异常,故障预警机制迅速响应,及时察觉设备潜在故障隐患。工作人员可据此提前规划维护和维修工作,将故障扼杀在萌芽状态,避免设备突发故障导致的高额维修成本。同时,设备因运行效率提升、故障率降低,使用寿命得以延长,减少了设备更换频率,进一步降低了设备维护成本,为煤矿带来显著经济效益。

## 四、智能化通风控制系统在煤矿安全生产中的应用案例分析

### (一) 案例煤矿概况

以白坪煤矿为例,该煤矿设计产能为180万t/a,为煤与瓦斯突出矿井,煤尘具有爆炸性。矿井开拓方式为主斜井副立井单水平上下山混合式开拓,有11采区和13采区2个生产采区。矿井通风方式为分区式,通风方法为抽出式,采取主斜井、副立井进风,中央风井、东风井回风。中央风井安装2台fbcdz№25/b轴流式通风机,功率为 $2\times 280\text{kW}$ ,担负11采区的通风任务;东翼风井安装2台fbcdz№36轴流式通风机,功率为 $2\times 900\text{kW}$ ,担负13采区通风任务;井下各掘进地点供风安装的是对旋轴流压入式局部通风机<sup>[8]</sup>。在智能化通风系统建设前,该矿井主通风机能够实现变频调速、PLC控制和远程集中控制,但井下掘进工作面局部通风机不具备上述功能。井下测风采取人工定期测试,主要大巷和采掘工作面安装有少量风速传感器,井下风门、风窗均为手动控制,未安装视频监控装置,均不具备智能化远程集中控制功能。

### (二) 智能化通风控制系统的实施情况

白坪煤矿依托矿井现有通风系统,构建了一套基于物联网、AI、大数据分析、PLC控制等技术的智能化通风系统。在调风控制系统方面,对主通风机、局部通风机、风门、调节风窗和自动测风系统进行了智能化升级。主风机智能化控制系统通过软硬件升级,将主风机运行状态及参数数据实时传输到管控平台,形成工艺流程图,方便地面操作<sup>[9]</sup>。局部通风机智能化控制系统将各掘进工作面的局部通风机与工业环网和视频监控系统连接,实现远程监控和控制。风门调节控制系统和调节风窗控制系统实现了自动化和远程控制,能够根据环境参数自动调节风门、风窗的关闭,实现风量的精准控制。自动测风系统实现了井下大巷全断面自动测风,实时准确地获取风量数据。

智能分析决策控制平台利用智能化决策软件平台,对采集到

的信息数据进行分析,实现风网故障预警、诊断及分析,同时能够根据井下风量需求实现自主供风、异常灾变状态下自动控风调风等功能。平台还具备三维可视化功能,构建了三维可视化通风网络模型,为通风管理提供了直观的决策依据。

### (三) 应用效果评估

1.安全性方面:智能化通风系统实施后,瓦斯浓度和一氧化碳浓度得到了有效控制。瓦斯浓度超标的次数从之前的每月10次降低到了每月2次,一氧化碳浓度超标的次数从每年15次降低到了每年3次,通风稳定性明显提高,通风压力波动范围从 $\pm 500\text{Pa}$ 减小到了 $\pm 100\text{Pa}$ ,有效保障了煤矿安全生产。

2.效率性方面:风量调节及时性大幅提升,从原来人工调节需要4小时以上缩短到了5分钟内完成<sup>[10]</sup>。通风设备运行效率提高,主通风机运行效率从原来的60%提升到了75%,提高了通风系统的整体效率。

3.经济性方面:能耗降低显著,每月通风系统耗电量减少了30000度,节省电费18000元。设备维护成本每年降低了50000元,取得了良好的经济效益。

## 五、结束语

智能化通风控制系统在煤矿安全生产中展现出了显著的效能优势。通过融合物联网、大数据分析、人工智能等先进技术,实现了通风系统的全面感知、实时互联、智能控制和分析决策。在安全性方面,有效控制了瓦斯、一氧化碳等有害气体浓度,提高了通风稳定性,降低了安全事故风险;在效率性方面,实现了风量的快速精准调节,提高了通风设备运行效率;在经济性方面,降低了能耗和设备维护成本,为煤矿企业带来了可观的经济效益。

## 参考文献

- [1]赵清锋.煤矿矿井通风安全管理措施探讨[J].河南科技,2018,(26):86-87.
- [2]韩磊.煤矿矿井通风安全的影响因素及合理化管理措施[J].内蒙古煤炭经济,2016,(17):48-49.DOI:10.13487/j.cnki.imce.008647.
- [3]陈宁.煤矿矿井通风安全的影响因素及科学管理措施研究[J].科技风,2020,(16):119. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.202016102.
- [4]胡彬健.煤矿矿井通风安全管理及通风事故的预防研究[J].内蒙古煤炭经济,2022,(23):101-103.DOI:10.13487/j.cnki.imce.022947.
- [5]孙国祯,金钟悦,张海飞,等.煤矿通风安全的制约因素及防范措施[J].内蒙古煤炭经济,2024,(05):110-112.DOI:10.13487/j.cnki.imce.024970.
- [6]康艳伟.煤矿矿井通风安全管理及通风事故的预防[J].能源与节能,2022,(09):172-174.DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2022.09.029.
- [7]李龙.煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J].矿业装备,2022,(04):217-219.
- [8]王学兰.矿井多级联控通风安全控制系统的应用研究[J].山东煤炭科技,2022,40(07):160-162.
- [9]孙嘉梅.基于瓦斯的煤矿通风安全问题与防范对策研究[J].当代化工研究,2022,(11):88-90.
- [10]黄源.煤矿矿井通风与安全监控存在的问题及建议[J].当代化工研究,2022,(08):9-11.

# 压力容器检验检测误差的影响因素及对策

黎慧红

广东省特种设备检测研究院东莞检测院，广东 东莞 523000

**摘 要：** 在压力容器的检验检测过程中，误差的存在是不可避免的现象。这些误差可能源自于多种因素，包括但不限于压力容器本体的质量问题、检验仪器本身的缺陷、检验方法与标准不够完善以及裂纹等具体技术难题。为了有效控制这些误差，必须采取一系列策略来优化检测技术及方法、实施变形控制措施、建立详细的技术档案、合理安排检查工作流程，并加强对外部环境和危害源的监控与信息反馈机制。本文旨在深入探讨影响压力容器检验误差的各种因素，并提出相应的误差控制策略，以期提高检验检测工作的精度和可靠性。

**关 键 词：** 检验技术革新；误差控制策略；高精度检测；标准化流程

## Influencing Factors and Countermeasures of Inspection and Testing Errors in Pressure Vessels

Li Huihong

Guangdong Special Equipment Testing and Research Institute Dongguan Testing Institute, Dongguan,  
Guangdong 523000

**Abstract：** In the inspection and testing process of pressure vessels, the existence of errors is an inevitable phenomenon. These errors may arise from various factors, including but not limited to quality issues with the pressure vessel body, defects in the inspection instruments themselves, inadequate inspection methods and standards, and specific technical challenges such as cracks. In order to effectively control these errors, a series of strategies must be adopted to optimize detection techniques and methods, implement deformation control measures, establish detailed technical files, arrange inspection workflows reasonably, and strengthen monitoring and information feedback mechanisms for external environments and hazards. This article aims to explore in depth the various factors that affect the inspection error of pressure vessels, and propose corresponding error control strategies in order to improve the accuracy and reliability of inspection and testing work.

**Keywords：** inspection technology innovation; error control strategy; high precision detection; standardized process

### 引言

压力容器作为工业生产中不可或缺的重要设备，其安全性直接关系到整个系统的稳定运行。因此，对压力容器进行准确有效的检验检测至关重要。然而，在实际操作中，由于种种原因导致的误差问题始终困扰着检验人员。为了解决这些问题，不仅需要深入了解造成误差的具体因素，还需要探索并应用一系列科学合理的控制策略。本文将从多个角度出发，系统分析影响压力容器检验误差的因素，并提出针对性的解决方案，旨在提升压力容器检验检测的整体水平。

### 一、影响压力容器检验误差的因素

#### (一) 压力容器本体的质量问题

压力容器本身的设计缺陷、制造过程中的材料选用不当或工艺执行不严等因素可能导致检验时出现误差。设计阶段若未充分考虑实际运行环境对容器结构的影响，可能致使某些关键部位在长期使用中表现出薄弱环节<sup>[1]</sup>。材料选择过程中，如果未能依据

具体工况条件选取适宜的合金钢或其他耐腐蚀材质，则易导致容器壁面发生局部腐蚀现象，进而影响其整体强度。焊接工序中，由于焊接参数设置不合理或操作人员技能不足等原因，容易在焊缝区域形成微小裂纹或气孔等缺陷，这些细微损伤在常规无损检测中往往难以被准确识别，从而埋下安全隐患。此外，随着服役时间的增长，材料老化和腐蚀问题逐渐显现，特别是在恶劣环境下工作的压力容器，其金属表面会因化学反应生成氧化物或其他

腐蚀产物，导致容器壁厚减薄，承载能力下降，最终使得检测结果与实际情况存在显著偏差。

### （二）检验仪器本身存在的问题

检验仪器的精确度直接影响到检测结果的准确性。设备校准不及时或者测量范围超出其设计能力均会导致数据失真。高精度检测设备通常需要定期进行校准以确保其性能稳定，但在实际应用中，部分企业由于成本或管理方面的原因未能严格执行这一流程，导致仪器在使用过程中出现漂移现象，进而影响测量结果的可靠性。老旧设备长时间使用后可能出现性能衰退，表现为传感器灵敏度降低、信号传输不稳定等问题，这些问题不仅影响检测效率，还可能导致检测结果偏离真实值<sup>[2]</sup>。对于一些复杂工况下的检测任务，如高温高压环境下的容器检查，普通检测仪器往往难以满足要求，必须采用专门设计的耐高温高压探头或其他特殊装置，但这些高端设备价格昂贵且维护成本高，许多企业难以承受，因此不得不继续使用已过时的设备，进一步增加了误差发生的概率。总之，定期维护更新检验工具显得尤为重要，否则将难以保证检测数据的准确性和一致性。

### （三）检验检测方法与标准不够完善

尽管当前有许多先进的检验技术和方法，但并非所有都适用于特定的压力容器类型。不同类型的容器因其结构特点和应用场景各异，所需的检测手段也各不相同<sup>[3]</sup>。例如，对于某些具有复杂几何形状的容器，传统超声波检测技术可能无法全面覆盖所有潜在缺陷区域，导致检测盲区的存在。部分传统检测手段由于缺乏足够的理论支持，在实际应用中难以确保结果的可靠性。此外，国际上关于压力容器安全标准存在较大差异，各国和地区根据自身工业发展水平和技术需求制定了各自的安全规范。这种标准的多样性给跨国企业的设备管理和维护带来了挑战，尤其是在涉及多国市场的大型项目中，需根据不同国家的标准要求调整检测方案，增加了工作难度和不确定性。另外，新技术的应用往往滞后于标准更新的速度，许多新型检测技术尚未得到广泛认可和推广，限制了其在实际生产中的应用。因此，不断完善相关标准和技术规范成为降低误差的关键所在，只有建立统一、科学合理的标准体系，才能有效提升检测工作的精准度和可靠性。<sup>[4]</sup>

### （四）裂纹

裂纹作为压力容器中最常见的损伤形式之一，其检测一直是检验工作的重点和难点。裂纹的位置、大小及其发展速度都会对最终判断结果产生重大影响。在复杂工况条件下，如高温高压环境中，裂纹的形态变化更加难以捕捉，这对检验人员的专业技能提出了更高要求。裂纹的形成原因多种多样，既可能源于材料内部的微观缺陷，也可能由外部应力集中所致。无论何种原因引发的裂纹，其扩展行为均受诸多因素制约，包括温度、压力、载荷循环次数等。在实际检测过程中，裂纹尺寸较小或位于隐蔽部位时，常规无损检测技术难以发现，尤其当裂纹处于萌芽状态或扩展速率较慢时，更增加了识别难度。此外，不同类型的裂纹（如疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹）在外观特征和扩展规律上存在明显差异，这就要求检验人员具备扎实的专业知识和丰富的实践经验，以便准确区分并评估各类裂纹的危害程度。

## 二、控制压力容器检验检测误差的策略

### （一）优化检测技术及方法

采用更为先进的无损检测技术，如超声波相控阵技术、数字射线成像技术等，可以显著提高检测精度。结合计算机辅助分析软件，能够实现对检测数据的快速处理与评估，进一步增强判断的准确性。对于特殊工况下的压力容器，开发专门的检测方案显得尤为重要。在实际操作中，利用高分辨率成像设备和先进的信号处理算法，可有效提升缺陷识别能力。针对不同类型的材料和结构，选择适宜的检测手段成为关键步骤。例如，在面对厚壁容器时，传统超声波检测可能因穿透力不足而失效，此时需引入相控阵技术以克服这一难题。此外，借助计算机模拟技术，可以在虚拟环境中对各种检测方案进行预演，从而找出最优解。通过多角度扫描和三维重建技术，能够更全面地捕捉容器内部细微变化，为后续分析提供详实依据。值得注意的是，随着科技的进步，新的检测技术和方法不断涌现，如何将这些新技术与现有体系有机结合，是当前亟待解决的问题之一。

### （二）变形控制

引入先进的应力分析模型，预测并控制压力容器在服役期间可能出现的变形情况。利用有限元分析软件模拟容器的工作状态，提前发现潜在风险点，并据此调整设计方案，避免因变形引发的安全事故。此过程需紧密结合实际操作经验，确保理论与实践相结合。应力分析模型不仅能够预测容器在正常工作条件下的变形趋势，还能模拟极端工况下容器的行为特征。通过数值模拟方法，可以精确计算出不同载荷作用下容器各部位的应力分布情况，进而为设计优化提供科学依据。在实际应用中，需要根据具体工况选择合适的分析模型，并结合实验数据进行验证。例如，在高温高压环境下工作的容器，其材料性能会发生显著变化，必须充分考虑温度效应的影响。此外，还需关注容器在长期使用过程中可能出现的老化现象，通过定期监测和评估，及时掌握其结构健康状况。通过建立完善的应力监控系统，实时跟踪容器运行状态，一旦发现异常，立即采取相应措施，防止事故发生。变形控制不仅仅是理论上的探讨，更需要在实践中不断积累经验，逐步完善相关技术体系。<sup>[5]</sup>

### （三）建立压力容器检测技术档案

构建完善的检测技术档案体系，记录每次检验的相关参数、所用方法及结论等详细信息。这不仅有助于后续跟踪复查，还能为同类设备提供参考依据，促进整体技术水平的提升。档案管理应当遵循严格的标准，确保数据的真实性和完整性。技术档案应包含从设计阶段到运行维护全过程的相关资料，以便于全面了解容器的历史变迁和技术状态。每一份检测报告都需详细记录检测时间、环境条件、仪器型号、检测人员等基本信息，并附带详细的检测数据和分析结果。为了便于查阅和管理，建议采用电子化档案管理系统，实现数据的集中存储和高效检索。在实际操作中，档案管理人员需具备扎实的专业知识和高度的责任感，确保每一项记录准确无误。此外，还应建立定期审核机制，对已有的档案进行复核，及时更新过时的信息。通过建立健全的技术档案

体系，不仅可以为后续检测工作提供有力支持，还能制定合理的维护计划提供科学依据。

(四) 合理安排检查工作

制定科学合理的检查计划，明确各阶段的任务目标与时间节点，确保各项工作有序开展。根据容器的实际运行状况灵活调整检查频率，既要保证全面覆盖又要避免资源浪费。检查计划应涵盖从初步评估到详细检测的各个环节，确保每个环节都有章可循。在制定检查计划时，需充分考虑容器的运行环境、历史维修记录以及当前状态等因素，合理分配人力资源和技术装备<sup>[6]</sup>。例如，在某些高风险区域或重要节点，应适当增加检查频次，以确保安全可靠；而对于一些相对稳定的部位，则可适当延长检查周期，降低运营成本。此外，还需注重与其他相关部门的协调配合，形成合力，共同推动检验工作的顺利进行。检查工作不仅要关注容器本身的状态，还需对其周边配套设施进行全面排查，确保整个系统的稳定运行。通过科学合理的检查计划，既能提高工作效率，又能有效降低风险隐患。因此，制定详尽的检查计划，并严格执行，是保障压力容器安全运行的关键措施之一。<sup>[7]</sup>

(五) 加强外部环境控制

考虑到外界环境对检验结果的影响，需采取有效措施加以防护。恶劣天气条件下暂停户外作业，选择合适的检测时机，确保检测工作不受外界干扰。对于室内作业，则要保持良好的通风条件，防止有害气体干扰检测仪器的正常工作。此外，还需注意温度湿度的变化，尽量减少其对检测精度的影响。在实际操作中，检测环境的选择至关重要，理想的检测环境应具备恒温恒湿、洁净无尘的特点<sup>[8]</sup>。为此，需配备专业的空气净化设备和温湿度调节装置，确保检测现场符合标准要求。特别是在高精度检测任务中，任何微小的环境变化都可能导致测量结果失真，因此必须严格控制检测环境的各项参数。同时，还需关注检测过程中产生的废气废水排放问题，采取必要的环保措施，避免对周围环境造成

污染。在复杂工况下，如高温高压环境中，还需特别注意检测设备的防护措施，确保其在恶劣条件下仍能正常工作。通过加强对外部环境的控制，可以显著提高检测结果的准确性和可靠性，为后续分析提供坚实基础。<sup>[9]</sup>

(六) 加强压力容器危害源监控与信息反馈

建立健全危害源监控机制，实时掌握容器内部及周边环境的变化情况。一旦发现异常信号，立即启动应急预案，迅速采取应对措施，最大限度地降低损失。重视信息反馈环节，及时总结经验教训，不断改进和完善现有的检验制度。危害源监控不仅涉及容器本身的物理状态，还包括其运行环境中的各种因素。例如，化学反应产物的生成、温度压力的波动等，都可能对容器的安全性产生影响。为此，需安装一系列传感器和监控设备，实现对关键参数的实时监测。通过数据分析平台，可以对采集到的数据进行实时处理和预警，及时发现潜在的风险点。在实际应用中，还需建立高效的应急响应机制，确保一旦发生异常情况，能够迅速采取行动，防止事态扩大<sup>[10]</sup>。此外，信息反馈环节同样不可忽视，通过对检测数据的深入分析，可以发现现有制度中存在的不足之处，并据此提出改进建议。

三、结束语

综上所述，通过对影响压力容器检验误差的各种因素进行深入剖析，并提出相应的控制策略，可以有效地提升检验检测工作的精准度和可靠性。优化检测技术及方法、实施变形控制措施、建立详尽的技术档案、合理安排检查工作流程、强化外部环境控制以及加强危害源监控与信息反馈，这些都是保障压力容器安全运行不可或缺的重要环节。只有持续不断地改进和完善现有体系，才能更好地服务于工业生产的各个领域，确保各类设施的安全稳定运行。

参考文献

[1] 辛甜, 张希卫. 压力容器检验检测误差的影响因素及对策探讨 [J]. 四川建材, 2023, 49(02): 27-28+48.  
[2] 谭江宇. 浅析压力容器检验检测误差的影响因素及对策 [J]. 品牌与标准化, 2024, (02): 174-176.  
[3] 徐彪, 雷永福. 锅炉压力容器生产使用检验环节问题及解决措施浅析 [J]. 中国设备工程, 2021, (20): 158-159.  
[4] 周彬, 李萍, 徐昊, 等. 压力容器检验检测误差成因及解决措施分析 [J]. 机电信息, 2020, (08): 38-39.  
[5] 谭金锋. 压力容器检验检测误差成因及解决措施 [J]. 新型工业化, 2018, 8(10): 106-109.  
[6] 郭晋瑜. 压力容器检验检测误差的影响因素及对策 [J]. 山西化工, 2024, 44(08): 152-154.  
[7] 陈旭, 马文江. 压力容器检验检测误差的影响因素及对策分析 [J]. 装备维修技术, 2020, (01): 62.  
[8] 李成宇. 探讨压力容器检验中的常见问题 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(20): 47-49.  
[9] 王喆. 锅炉压力容器检测中的常见事故及检验方法探究 [J]. 中国金属通报, 2024, (09): 234-236.  
[10] 陈振伟. 化工压力容器的设计、制造及检验检测中的质量监督控制 [J]. 山东化工, 2024, 53(14): 221-223.

# 智能化技术在传感器设计及研发领域的应用实践研究

张健

上海盟希传感技术有限公司，上海 201600

**摘要：** 传感器作为现代信息技术基石，在多个领域至关重要。智能化技术的快速发展为传感器设计及研发带来变革。本文探讨了智能化技术在传感器设计及研发中的应用，分析了其对传感器性能、功能及应用领域的积极影响，揭示了智能化技术赋予传感器更高灵敏度、数据处理能力、自适应性和网络通信能力的特点。同时，展望了智能传感器微型化、集成化、低功耗及广泛应用的发展趋势。智能化技术不仅推动传感器技术革新，也为各行业智能化转型提供支撑。本文旨在为传感器设计及研发人员提供参考，推动智能传感器技术发展。

**关键词：** 智能传感器；智能化技术；数据采集；环境监测；工业自动化

## Research on the Application Practice of Intelligent Technology in Sensor Design and Development

Zhang Jian

Shanghai Mengxi Sensor Technology Co., Ltd. Shanghai 201600

**Abstract：** As the cornerstone of modern information technology, sensors play a crucial role in multiple fields. The rapid development of intelligent technology has brought changes to sensor design and research and development. This article explores the application of intelligent technology in sensor design and development, analyzes its positive impact on sensor performance, functionality, and application areas, and reveals the characteristics of intelligent technology that endow sensors with higher sensitivity, data processing capabilities, adaptability, and network communication capabilities. At the same time, it looks forward to the development trend of miniaturization, integration, low power consumption, and wide application of smart sensors. Intelligent technology not only promotes sensor technology innovation but also provides support for the intelligent transformation of various industries. This article aims to provide a reference for sensor design and development personnel to promote the development of smart sensor technology.

**Keywords：** smart sensor; intelligent technology; data acquisition; environmental monitoring; industrial automation

## 引言

传感器作为信息技术核心，随科技进步由模拟转向数字、功能单一转向多元。智能化技术，如 AI、机器学习、物联网等，正深刻改变传感器设计、制造及应用。智能传感器凭借高精度、稳定性、数据处理及网络通信能力，进入全新发展阶段，为智慧城市、工业 4.0 等提供支撑。本文探讨智能化技术在传感器设计及研发中的应用，分析其推动技术革新、拓展功能及领域的作用，并展望智能传感器未来趋势，为行业提供参考。

## 一、智能化技术在传感器设计中的应用概述

### （一）智能化技术的基本概念与特点

智能化技术是指利用人工智能、机器学习、物联网等先进技术，使设备或系统具备自主学习、自适应调整、远程监控等智能功能的技术体系。智能化技术的核心在于通过算法和数据处理技术，使设备能够根据环境变化或用户需求进行智能决策和调整，从而提高工作效率和用户体验。

智能化技术的主要特点包括：

- 自主学习，智能化技术使设备能够通过学习和训练，逐渐掌握特定任务的处理能力，从而提高工作效率和准确性。
- 自适应调整，智能化技术能够根据环境变化或用户需求，自动调整设备的工作状态和参数，以实现最佳性能。
- 远程监控，通过物联网技术，智能化设备能够实现远程数据采集、状态监测和故障诊断，为用户提供便捷的管理和维护手段。

## （二）智能化技术在传感器设计中的引入意义

在传感器设计中引入智能化技术，对于提升传感器性能、拓展其功能以及扩大其应用领域具有重要意义。

1. 提升传感器性能，智能化技术能够使传感器具备更高的灵敏度、精度和稳定性，从而提高数据采集的准确性和可靠性。例如，通过集成机器学习算法，传感器能够自动识别并过滤噪声信号，提高数据质量。

2. 拓展传感器功能，智能化技术为传感器赋予了数据处理、网络通信等高级功能，使其能够实时分析采集到的数据并与其他设备进行信息交互。这有助于构建更加智能化的物联网系统，实现设备间的协同工作和信息共享。

3. 扩大应用领域，智能化技术的应用使得传感器能够适应更多复杂多变的环境和任务需求。例如，在医疗健康领域，智能传感器可实时追踪患者的生理参数，为医生提供及时且精确的诊断信息；而在工业自动化领域，它们则能智能监控生产设备，提前预警故障，进而提升生产效率和保障作业安全。

## 二、智能化技术在传感器设计中的具体应用

### （一）传感器数据处理中的人工智能与机器学习应用

人工智能与机器学习技术为传感器数据的处理带来了强有力的支撑。利用机器学习模型的训练，传感器能够自动识别并处理采集到的数据，提高数据处理的准确性和效率。

1. 数据预处理，在数据采集过程中，由于环境噪声、设备故障等因素，往往会产生大量异常或无效数据。利用机器学习技术，传感器能够自动识别并过滤这些数据，确保后续分析的准确性。例如，通过构建分类模型，传感器能够对采集到的数据进行分类处理，将异常数据剔除或标记。

2. 特征提取，传感器采集到的数据往往包含大量冗余信息，这会影响后续分析的效率和准确性。利用机器学习技术，传感器能够自动提取关键特征信息，降低数据维度，提高分析效率。例如，通过主成分分析（PCA）等降维方法，传感器能够将高维数据转换为低维表示，同时保留尽可能多的信息。

3. 智能决策，在数据处理过程中，传感器需要能够根据分析结果做出智能决策。利用机器学习技术，传感器能够学习并掌握特定任务的决策规则，从而实现了对数据的智能处理。例如，在环境监测领域，智能传感器能够根据空气质量指数等参数，自动调整监测频率和报警阈值，提高监测效率。

### （二）物联网技术在传感器网络通信中的应用

物联网技术为传感器提供了强大的网络通信能力，使其能够实现远程数据采集、状态监测和故障诊断。通过物联网技术，传感器能够与其他设备进行信息交互，构建更加智能化的物联网系统。

1. 远程数据采集，利用物联网技术，传感器能够将采集到的数据实时传输至云端或数据中心进行分析和处理。这有助于用户随时随地获取设备状态信息，提高管理效率。例如，在农业领域，智能传感器能够实时监测土壤湿度、温度等参数，并将数据传输至云端平台进行分析和处理，为用户提供科学的种植建议。

2. 状态监测与预警，物联网技术使得传感器能够实时监测设备的工作状态和性能参数。当设备出现故障或异常时，传感器能够自动启动预警系统，及时提醒用户处理。这有效提升了设备的可

靠性和安全性。以工业领域为例，智能传感器能实时监控生产设备的振动、温度等关键指标，及早发现故障隐患并发出预警。

### 3. 物联网技术下的设备协同与信息共享

物联网技术让传感器能与其他设备进行信息交流和协同运作。通过构建物联网体系，传感器能与智能设备实现联动控制，促进设备间的信息共享和协同工作，从而提升系统的整体效能和智能化程度。以智能家居为例，智能传感器能与智能灯泡、智能门锁等设备联动，实现家居环境的智能管理。

## （三）自适应调整技术在传感器性能优化中的应用

自适应技术使传感器能依据环境变化或用户需求，自动调整其工作模式和参数设置，从而达到最优性能状态。传感器中融入了这一自适应调整功能，传感器能够具备更强的适应性和灵活性，提高数据采集的准确性和可靠性。

1. 环境适应性增强，自适应调整技术使得传感器能够根据环境变化自动调整其灵敏度和采样频率等参数。例如，在光照强度变化较大的环境中，智能光传感器能够自动调整其灵敏度以适应不同光照条件，确保数据采集的准确性。

2. 用户需求响应，自适应调整技术还能够根据用户需求自动调整传感器的工作模式和参数设置。例如，在医疗健康领域，智能温度传感器能够根据患者的体温变化自动调整其测量范围和精度，以满足不同患者的监测需求。

3. 能耗管理优化，自适应调整技术有助于降低传感器的能耗并延长其使用寿命。通过根据实际需求自动调整工作模式和采样频率等参数，智能传感器能够在保证数据采集准确性的同时降低能耗。例如，在环境监测领域，智能传感器能够根据空气质量指数等参数自动调整采样频率和数据传输频率以降低能耗。

## 三、智能化技术在传感器研发中的创新实践

### （一）智能传感器芯片设计与制造

智能传感器芯片是智能化技术在传感器研发中的核心创新之一。通过将智能化技术集成到传感器芯片中，可以实现对数据的实时处理和分析，提高传感器的性能和智能化水平。

1. 集成智能算法，在传感器芯片设计中，可以集成机器学习、神经网络等智能算法，使传感器具备自主学习和自适应调整的能力。这有助于提高传感器的数据处理精度和效率，同时降低对外部计算资源的依赖。

2. 微型化与低功耗，智能传感器芯片的设计需要考虑微型化和低功耗的要求。通过采用先进的制造工艺和材料，可以减小芯片体积并降低功耗，从而满足物联网设备对小型化、低功耗的需求。

3. 多功能集成，智能传感器芯片可以集成多种传感器功能，如温度、湿度、压力等参数的测量。通过多功能集成，可以实现一芯多用，提高传感器的实用性和性价比。

### （二）智能传感器网络构建与管理

智能传感器网络是由众多智能传感器构成的物联网体系，能够远程收集、传输并处理数据。建立这样的网络，能够促进设备间的信息互通与协作，进而提升系统的整体效能及智能化程度。

1. 网络拓扑优化，智能传感器网络的构建需要考虑网络拓扑结构的优化。通过合理的网络布局和节点部署，可以降低网络延迟并提高数据传输的可靠性。同时，采用分簇、分层等网络结构

可以实现对大规模传感器网络的有效管理。

2.数据融合与处理,在智能传感器网络中,需要对采集到的数据进行融合和处理以提高数据的准确性和可靠性。通过采用数据融合算法和分布式处理技术,可以实现多个传感器之间的数据互补和协同处理,提高系统的整体性能。

3.安全管理与隐私保护,智能传感器网络中涵盖的数据关乎用户隐私与安全,故需实施有效的安全管控及隐私防护举措。运用加密技术、访问控制等方法,可保障数据在传输和存储过程中的安全性;同时,利用数据脱敏及匿名化处理等技术手段,能够确保用户隐私信息不被外泄。

### (三) 智能传感器在特定领域的应用创新

智能传感器在医疗、工业、环境等多个领域展现出广阔的应用潜力。通过结合特定领域的需求和场景特点,可以实现对智能传感器的创新应用。

1.在医疗健康领域,智能传感器的创新应用主要集中在远程监控、疾病预报及个性化诊疗等方面。比如,智能可穿戴设备中配备的心率传感器便是典型例证、血压传感器等能够实时监测患者的生理指标并上传至云端平台进行分析和处理;智能医疗机器人中的触觉传感器、视觉传感器等能够实现对患者的精准操作和护理。这些创新应用有助于提高医疗服务的效率和质量,同时降低医疗成本。

2.工业自动化领域,智能传感器在工业自动化领域的应用创新主要体现在智能制造、智能物流和智能运维等方面。例如,在智能制造中,智能传感器能实时监控生产设备,预警故障,从而提升生产效率和产品质量;在智能物流领域,它还能实时追踪货物位置,提高物流作业的效率和精确度;在智能运维中,智能传感器能够实现对设备的远程监控和维护,降低运维成本和停机时间。这些创新应用有助于推动工业向智能化、自动化方向发展。

3.环境监测领域,智能传感器在环境监测领域的应用创新主要体现在空气质量监测、水质监测和灾害预警等方面。比如,利用智能空气质量传感器网络,可对各区域城市空气质量进行实时监控,为环保部门提供决策依据;而在水质监测站装设智能水质传感器,可以实时监测水质参数并预警潜在的水污染事件;通过在地震、滑坡等灾害易发区域安装智能传感器,可以实时监测地质参数并预警灾害风险。这些创新应用有助于保护生态环境和人民生命财产安全。

## 四、智能传感器的发展趋势与挑战

### (一) 发展趋势

智能传感器正随着智能化技术的推进和应用需求的增长,展现出以下发展动向:

1.微型化与集成化,为适应物联网设备对小型化、低功耗的

需求,智能传感器将更趋向于微型化和高度集成。借助先进的制造工艺和材料,传感器体积将不断缩小,同时集成更多功能模块,提升其实用性和性价比。

2.高精度与稳定性,随着技术的进步,智能传感器的精度和稳定性将持续提升。通过优化结构和采用先进的信号处理算法,可降低噪声干扰,提高测量精度。同时,可靠的封装技术和材料将确保传感器在恶劣环境下的稳定性和可靠性。

3.低功耗与长寿命,为满足物联网设备的低功耗和长寿命需求,智能传感器将不断优化能耗管理。采用低功耗设计、能量收集技术和智能休眠模式等手段,降低能耗并延长使用寿命。高效的电源管理算法和电池技术将进一步提升能效和续航能力。

4.网络化与智能化,随着物联网的普及,智能传感器将更加注重网络化和智能化功能。集成网络通信模块和智能算法,实现信息共享和协同工作。同时,利用机器学习、神经网络等技术,使传感器具备自主学习和自适应调整能力,提高系统整体性能和智能化水平。

### (二) 面临的挑战

尽管智能传感器前景广阔,但在实际应用中仍面临挑战:

1.技术瓶颈与成本问题,高性能传感器的制造需要先进工艺和材料,导致成本较高。同时,智能算法的研发和优化也需要大量资源投入。如何降低成本并提高性价比是当前的重要挑战。

2.数据安全性与隐私保护,智能传感器在数据采集和传输过程中涉及用户隐私和安全信息。随着物联网设备的增加和网络环境的复杂,数据安全和隐私保护问题日益突出。加强相关技术的研究和应用是当前的重要任务。

3.标准化与互操作性,为实现智能传感器之间的信息共享和协同工作,需要制定统一标准和协议。但目前标准和协议尚未完全统一,导致不同厂商生产的传感器存在互操作性问题。加强标准化工作并推动厂商合作是当前的重要挑战。

## 五、结束语

智能化技术在传感器设计及研发领域的应用实践已经取得了显著的成果,为传感器技术领域注入了新动能。智能传感器通过融合人工智能、机器学习、物联网等前沿技术,实现了灵敏度的提升、数据处理精度的飞跃、自适应性的增强以及网络通信能力的强化,为各行业的智能化升级提供了坚实支撑。展望未来,随着技术的持续进步和应用需求的不断攀升,智能传感器将迎来更加广阔的发展空间。然而,在推动其技术发展的进程中,我们也应正视所面临的挑战与问题,加大技术研发力度,并推进标准化工作。推动不同厂商之间的合作与共赢,为智能传感器的广泛应用和普及奠定坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 陆国军. 智能仪器仪表技术的运用及发展 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(11): 61-62.
- [2] 刘连城. 智能仪器仪表技术的运用及发展探讨 [J]. 大众标准化, 2020(02): 92+94.
- [3] 董倩男. 传感器技术在机电自动化控制中的应用 [J]. 数码设计, 2021 (4): 58-59.
- [4] 苏向阳. 基于多传感器数据融合的液压泵故障诊断 [D]. 太原: 太原科技大学, 2016.
- [5] 王锋. 传感器状态监测与故障诊断系统研究 [D]. 北京: 机械科学研究院, 2012.

# 某砌体与钢筋混凝土框架混合结构承载力分析和加固设计

肖扬

中国建筑科学研究院有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 本文对某建于1992年的三层厂房(砌体与钢筋混凝土框架混合结构)进行了抗震承载力分析及加固设计。因常规设计软件无法对砌体与钢筋混凝土框架混合结构进行分析,本工程采用砌体墙刚度折算的方式进行复核计算。经计算,该厂房底层砌体墙结构抗震承载力不满足7度设防要求,底层框架中柱计算承载力不满足安全使用要求,需进行进一步的加固处理。利用混凝土面层加固法加固砖墙,使其在受力性能上更加接近于混凝土剪力墙,从而将原混合结构近似改造成框架剪力墙结构体系。

**关 键 词 :** 框架; 砌体; 混合结构; 刚度折算; 承载力分析; 加固设计

## Analysis of Bearing Capacity and Reinforcement Design of a Mixed Structure of Masonry and Reinforced Concrete Frame

Xiao Yang

Shenzhen Branch of China Building Research Institute, Shenzhen, Guangdong 518000

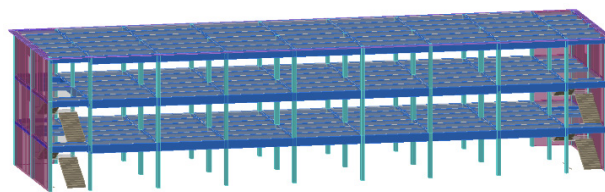
**Abstract :** This paper analyzes the seismic bearing capacity and reinforcement design of a three-story workshop (masonry and reinforced concrete frame mixed structure) built in 1992. Because the conventional design software cannot analyze the mixed structure of masonry and reinforced concrete frame, the project adopts the masonry wall stiffness conversion method for review and calculation. According to the calculation, the seismic bearing capacity of the bottom masonry wall structure of the workshop does not meet the requirements of 7 degrees of fortification, and the calculated bearing capacity of the column in the bottom frame does not meet the requirements of safe use, so further reinforcement is needed. The concrete surface layer reinforcement method to reinforce the brick wall is closer to the concrete shear wall in the stress performance, so that the original mixed structure is roughly transformed into the frame shear wall structure system.

**Keywords :** frame; masonry; mixed structure; stiffness conversion; analysis of bearing capacity ; reinforcement design

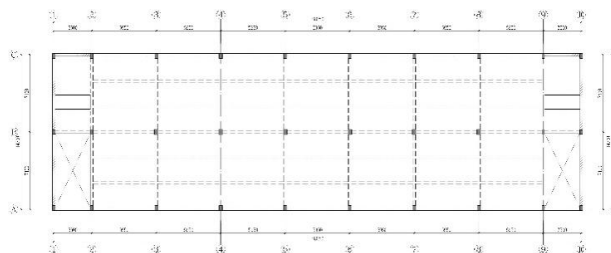
### 一、工程概况

某厂房建筑建成于1992年,地上三层,建筑高度约11.7m,建筑面积约1550m<sup>2</sup>,为砌体与钢筋混凝土框架混合结构。根据现场实测,平面1-A-C、1-2-C、10-A-C、9-10-C轴为通高的烧结普通砖墙,墙厚为240mm;一至三层砖墙抗压强度推定值为MU15,砌筑砂浆强度推定值为2.5MPa。除上述位置外,结构平面其余区域均为钢筋混凝土框架结构,框架柱截面为350x500、300x400,框架梁截面以250x700、200x450为主;一至三层框架柱强度推定值为C18,二至屋面层框架梁强度推定值为C16。建筑楼层盖为现浇钢筋混凝土楼板,各层板厚推定值均为100mm。实测建筑一至三层层高均为3.9m,建筑高度11.7m。

本工程按7度抗震设防考虑地震作用,抗震设防类别为丙类,设计基本地震加速度0.1g,Ⅱ类场地,按现行规范进行抗震分析。



> 图1 某厂房三维模型示意



> 图2 某厂房结构平面示意

作者简介: 肖扬(1997.08-),男,汉族,籍贯:广东省,本科,初级,从事建筑结构方面研究。

二、原结构承载力验算

2 ~ 3 层楼面恒荷载取 1.0kN/m<sup>2</sup>，楼面活荷载取 3.5kN/m<sup>2</sup>。屋面恒荷载取 3.0kN/m<sup>2</sup>，不上人屋面活荷载取 0.5kN/m<sup>2</sup>。根据《砌体结构设计规范》（GB50003-2011，以下简称砌规）3.2.5 的规定，砌体弹性模量取 2224MPa。

因常规设计软件无法对砌体与钢筋混凝土框架混合结构进行分析，本工程采用砌体墙刚度折算的方式进行复核计算。具体是将砌体部分的砖墙近似按照抗弯刚度等效原则、自重等效原则折算为混凝土墙。在等效过程中，将砌体部分的砖墙近似按照抗剪刚度等效原则折算为混凝土墙时，由于砌体和混凝土的切变模量均为各自相应弹性模量的 0.4 倍，故得到的结果与按抗弯刚度等效相同。等效之后的剪力墙与原砖墙在自重上有较大差别，为将等效模型更接近原模型，将等效前后的墙体自重差异换算为墙间荷载。

根据《混凝土结构设计规范》（2015 年版）（GB50010-2010，以下简称混规）表 4.1.5，C20 混凝土的弹性模量 E<sub>c</sub>=25500MPa，根据《砌规》附录 B 表 B.0.1-1，砌体抗压强度  $f_m = k_1 f_1^a (1 + 0.07 f_2) k_2 = 3.5 \text{MPa}$ 。表 1 列出砖墙按刚度等效等代为混凝土墙的过程和结果。

表 1 砖墙墙厚等效

砖实测抗压强度平均值 (MPa)	砂浆抗压强度平均值 (MPa)	砌体抗压强度 (MPa)	砖弹性模量 (MPa)	砖墙厚度 (mm)	混凝土弹性模量 (MPa)	等效后混凝土墙厚度 (mm)
15.0	2.5	3.5	2224	240	25500	21

原有砖墙等效替代为混凝土墙后，两者之间的自重差值通过在混凝土墙上布置对应的线荷载，以保证等代前后墙体荷载的一致。

对应的线荷载值： $Q_L = 0.24 \times 8 \times 3.9 - 0.021 \times 25 \times 3.9 = 14.8 \text{ kN/m}$ 原有砖墙等代为混凝土墙后，按框剪结构在 PKPM 软件中进行建模计算，并在 SATWE 程序中进行结构内力分析。砌体承重墙部分，根据计算出的不利内力，按砖混结构的计算公式验算砌体承重墙的高厚比、受压承载力和抗震承载力；框架部分则根据 SATWE 程序验算柱、梁、板的计算承载力是否满足要求。

经复核计算，结构底层砌体承重墙 1-A-C、10-A-C 的高厚比、受压承载力计算满足安全使用要求，抗震承载力计算不满足安全使用要求；其余砖墙计算承载力均满足安全使用要求。根据 SATWE 计算结果，首层框架中柱计算承载力不满足安全使用要求，其余框架柱、梁构件计算承载力满足安全使用要求。

（1）砖墙承载力验算

以底层承重墙 1-A-C 为例，展示计算复核过程。

①高厚比验算

根据砌规 5.1.3 条：计算高度  $H_0 = 1.0H = 1.0 \times 3900 = 3900 \text{mm}$

根据砌规 6.1.3 条：承重墙取  $\mu_1 = 1.00$ ，无门窗洞口取  $\mu_2 = 1.00$

根据砌规 6.1.1 条：允许高厚比  $[\beta] = 22.00$

$\beta = H_0/h = 3900 \div 240 = 16.25 \leq \mu_1 \mu_2 [\beta] = 1.00 \times 22.00 = 22.00$ ，满足

②受压承载力验算

高厚比计算得  $\beta = 16.25$

根据砌规 D.0.1 条：由砂浆强度等级得， $\alpha = 0.002$

$$\beta = 16.25 > 3 \text{ 时}, \phi = \phi_0 = \frac{1}{1 + \alpha \beta^2} = \frac{1}{1 + 0.002 \times 16.25^2} = 0.654$$

抗压强度设计值调整系数：1.00

砌体抗压强度设计值： $f = 1.00 \times 1.30 = 1.30 \text{MPa}$   $b = s = 14200 \text{mm}$ ， $A = bh = 14200 \times 240 = 3408000 \text{mm}^2$  根据 SATWE 电算结果，底层承重墙 1-A-C 压力  $N = 1211.1 \text{kN}$

根据砌规 5.1.1 条：

$$N = 1211.1 \text{ kN} \leq \phi f A = 0.654 \times 1.30 \times 3408000 \times 10^{-3} = 2987.5 \text{ kN}$$
，满足

③抗震承载力验算

根据《建筑抗震设计规范》（2016 年版，GB50011-2010，以下简称抗规），嵌砌于框架之间的普通砖墙，其抗震受剪承载力可按式计算：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{REc}} \sum (M_{yc}^u + M_{yc}^l) / H_0 + \frac{1}{\gamma_{REw}} \sum f_{vE} A_{w0}$$

式中：V——嵌砌普通砖墙或小砌块墙及两端框架柱剪力设计值；

$A_{w0}$ ——砖墙或小砌块墙水平截面的计算面积，无洞口时取实际截面的 1.25 倍

$M_{yc}^u + M_{yc}^l$ ——M、M 分别为底层框架柱上下端的正截面受弯承载力设计值

$H_0$ ——底层框架柱的计算高度，两侧均有砌体墙时取柱净高的 2/3，其余情况取柱净高

$\gamma_{REc}$ ——底层框架柱承载力抗震调整系数，可采用 0.8

$\gamma_{REw}$ ——嵌砌普通砖墙或小砌块墙承载力抗震调整系数，可采用 0.9

$f_{vE}$ ——砖砌体沿阶梯形截面破坏的抗震抗剪强度设计值

底层承重墙 1-A-C 构件按上式计算得到的抗震受剪承载力小于剪力值，说明该墙体的抗震承载力不满足 7 度抗震设防要求。

（2）混凝土构件承载力验算

以砖墙按刚度等效之后等代为混凝土墙的结构计算模型，采用 PKPMV1.5 结构计算软件做计算分析，读取 SATWE 构件配筋计算结果，与检测报告中构件配筋实测规格做对比复核验算。

以一层框架柱、二层框架梁为例，展示复核过程。以下为摘录的部分复核结果。

表 2 框架柱钢筋配置及保护层厚度抽检结果（摘录）

层数	构件名称	受力主筋配置（B 向 / H 向）		箍筋直径 间距 (mm)	加密区 非加密区		备注
		设计值	实测值		设计值	实测值	
1 层	7/B	/	3B22/3B22	/	A10@105/198(3)		开凿验证
1 层	8/A	/	3B18/3B18	/	A10@103/190(3)		开凿验证

层数	构件名称	受力主筋配置 (B向/H向)		箍筋直径 间距 (mm)	加密区 非加密区	备注
		设计值	实测值	设计值	实测值	
1层	8/C	/	3B18/3B18	/	A10@85/188(3)	开凿验证
注 钢筋实测值中, A表示 HPB235钢筋, B表示 HRB335钢筋						

表3 框架梁钢筋配置及保护层厚度抽检结果 (摘录)

层数	构件名称	跨中梁底主筋		箍筋直径 间距 (mm)	加密区 非加密区	备注
		设计值	实测值 (底筋)	设计值	实测值	
2层	B/3 ~ 4	/	2B20	/	A8@101/203(2)	开凿验证
2层	4/B ~ C	/	4B25	/	A8@109/187(2)	开凿验证
2层	A/6 ~ 7	/	2B20	/	A8@97/206(2)	开凿验证
注 钢筋实测值中, A表示 HPB235钢筋, B表示 HRB335钢筋						

表4 框架柱承载力及轴压比验算结果 (摘录)

构件		满足计算及构造 要求 所需配筋 (B向/H向)		实测配筋		轴压比		验算 结果
		纵筋 (mm <sup>2</sup> )	箍筋 (mm <sup>2</sup> / 100mm)	纵筋 (mm <sup>2</sup> )	箍筋 (mm <sup>2</sup> / 100mm)	计算值	限值	
1层	7/B	773/ 908	278/0	1140/ 1140	222/118	0.92	0.90	不满足
1层	8/A	598/ 445	177/0	763/ 763	227/123	0.71	0.90	满足
1层	8/C	548/ 445	177/0	763/ 763	275/124	0.70	0.90	满足

表5 框架梁承载力及轴压比验算结果 (摘录)

构件		满足计算及构造 要求所需配筋		实测配筋		验算 结果
		跨中底筋 (mm <sup>2</sup> )	箍筋 (mm <sup>2</sup> / 100mm)	跨中底筋 (mm <sup>2</sup> )	箍筋 (mm <sup>2</sup> / 100mm)	
2层	B/3 ~ 4	537	25/21	628	99/49	满足
2层	4/B ~ C	1526	94/76	1963	92/53	满足
2层	A/6 ~ 7	507	30/21	628	103/49	满足

经验算复核, 首层框架中柱计算承载力不满足安全使用要求, 其余框架柱、梁等构件计算承载力满足安全使用要求。

(3) 结构整体指标分析

以砖墙按刚度等效之后等代为混凝土墙的结构计算模型, 采用 PKPMV1.5 结构计算软件做计算分析。SATWE 计算结果表明结构各项整体指标满足现行规范要求, 以下为部分摘录结果。

表6 位移角指标计算结果摘录

X 向地震工况的位移			Y 向地震工况的位移		
层号	最大层间位移 (mm)	最大层间位移角	层号	最大层间位移 (mm)	最大层间位移角
3	2.82	1/1346	3	0.61	1/6202
2	3.59	1/1087	2	0.88	1/4447
1	3.14	1/1243	1	0.89	1/4383

三、加固设计

针对上述问题, 对底层砌体承重墙采取外加钢筋混凝土面层的方式进行加固处理。利用混凝土面层加固法加固砖墙, 使其在受力性能上更加接近于混凝土剪力墙, 从而将原混合结构近似改造成框架剪力墙结构体系。

在 PKPM 中修改加固前模型, 并在 SATWE 程序中进行结构内力分析, 利用计算出的不利内力, 再按照砖混结构的计算工程验算墙体的受压承载力、高厚比和抗震承载力。经过验算, 砌体承重墙 1-A-C、10-A-C 加固后计算承载力满足安全使用要求。

对于该结构, 为减少对建筑外立面的影响, 拟在边跨砖墙内侧单面增加钢筋混凝土面层的方式进行加固处理。混凝土强度等级为 C30, 单面厚 100mm, 配筋为双向 C12@200, 板墙采用 C8 的 S 形穿墙筋与原墙体连接, 穿墙筋呈梅花状布置, 间距为 600mm, 在板墙两端沿墙高每隔 600mm 各设 1 根 C22 的拉结钢筋, 其一端锚固在端部原有的墙体内, 另一端锚入板墙内。板墙上下应与楼、屋盖可靠连接, 至少应每隔 1m 设置穿过楼板且与竖向钢筋等面积的短筋, 短筋两端应分别锚入上下层的板墙内, 其锚长度不应小于短筋直径的 40 倍, 为避免穿板钢筋过密, 造成楼板过大的损伤, 采用等代面积集中配筋穿过楼板的方式, 穿板钢筋采用 C22@600, 上下搭接, 楼板钻孔时尚不应损伤原有钢筋。新增钢筋混凝土面层应延伸至原砖墙基础顶面, 地下部分面厚度扩大为 200mm。

对底层框架中柱, 采取外包型钢的方式进行加固处理。这种方式施工简单, 对建筑室内的影响较小, 且能增强混凝土柱的抗压和抗弯能力。

加固设计完成后, 需重新进行抗震承载力验算, 保证结构安全。加固施工完成后, 尚需加强日常维护管理。建筑结构的日常维护管理对于延长结构使用寿命至关重要。建议定期清理墙体表面的灰尘和杂物, 防止墙体因长期积灰而受潮、腐蚀。同时, 注意避免在墙体上随意开凿孔洞或安装设备, 以免影响墙体的完整性。对于厂房内的生产设备, 应合理布置, 避免对墙体产生过大的局部荷载, 确保墙体在正常使用条件下的安全性和稳定性。

四、结论

对于钢筋混凝土框架混合结构进行分析, 本工程采用砌体墙刚度折算的方式进行复核计算, 将砌体部分的砖墙近似按照抗弯刚度等效原则、自重等效原则折算为混凝土墙。按上述方式进行建模计算, 提取最不利内力进行砌体承重墙承载力验算, 根据 SATWE 计算结果复核混凝土柱、梁等构件的计算承载力, 以求计算结果更加真实可靠。

对于此类体系不合理、传力不明确的结构, 应充分结合原结构的实际情况, 选择合理的加固措施。利用混凝土面层加固法加

固砖墙，使其在受力性能上更加接近于混凝土剪力墙，从而将原混合结构近似改造成框架剪力墙结构体系，使加固后的结构形式更加合理。

结构加固过程中，应尽量减少对原有结构或构件的拆除或损伤，对施工中可能导致的倾斜、开裂或局部倒塌等现象，应预先

采取安全措施。加固施工过程中，应加强对现状结构的巡查工作，发现与检测报告不符或检测鉴定时未发现的结构缺陷和损伤，应及时采取措施消除隐患，最大限度的保证加固的效果和结构的可靠性。加固完成后，应加强对建筑物的日常巡查和维护。

### 参考文献

[1].GB50010-2010 混凝土结构设计规范（2015版）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2015.

[2].GB50011-2010 建筑抗震设计规范（2016年版）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2016.

[3].GB50003-2011 砌体结构设计规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[4] 郭红秋.既有混凝土—砌体混合结构的抗震加固方法研究 [J].中国海洋大学，2012.DOI:10.7666/d.y2158428.

[5] 郑士举.砌体与钢筋混凝土框架平面混合结构抗震性能评估及加固方法研究 [J].四川建筑科学研究，2018(002):044..

# 基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理研究

耿霄

烟台市水上运动学校, 山东 烟台 264000

**摘 要 :** BIM技术作为一种先进的信息管理工具, 能够为建筑工程的全生命周期提供集成化的管理解决方案。在应用当中, BIM技术能够实现建筑工程信息的数字化和可视化, 从而在设计、施工、运营维护等各个阶段提高工作效率, 减少因信息传递不畅导致的错误和返工。所以本文就此基础之上展开相关内容的研究, 首先分析了 BIM 技术的功能与应用范围, 随后说了这一技术在生命周期管理中应用的重要性, 并针对实际应用中存在的问题, 提出了针对性的优化策略, 期望通过这些策略的实施, 能为建筑工程全生命周期的管理, 提供帮助。

**关 键 词 :** BIM技术; 建筑工程; 全生命周期管理

## Research on the Full-Life-cycle Management of Construction Engineering based on BIM Technology

Geng Xiao

Yantai City Water Sports School, Yantai , Shandong 264000

**Abstract :** BIM technology, as an advanced information management tool, can provide integrated management solutions for the whole life cycle of construction engineering. In the application, BIM technology can realize the digitization and visualization of construction engineering information, so as to improve work efficiency in various stages, such as design, construction, operation and maintenance, and reduce errors and rework caused by poor information transmission. So this paper on the basis of the relevant content research, first analyzed the function of BIM technology and the scope of application, then said the importance of the technology applied in the life cycle management, and in view of the problems existing in the practical application, put forward the targeted optimization strategy, expect through the implementation of these strategies, for the whole life cycle of construction engineering management, provide help.

**Keywords :** BIM technology; construction engineering; full life cycle management

### 引言

在建筑行业持续演进的当下, 追求高效、精准且可持续的项目管理模式已成为行业发展的核心诉求。基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理应运而生, 为建筑行业的变革注入了强大动力。传统建筑工程管理模式在各阶段常呈现信息孤岛现象, 设计、施工与运维环节缺乏有效协同, 导致项目成本超支、工期延误、质量隐患等问题频发。而 BIM 技术凭借其数字化、可视化、协同化的特性, 打破了各阶段之间的信息壁垒。它将建筑工程项目从规划设计伊始, 到施工建设的具体实施, 再到漫长运维期的各类信息整合于一个三维信息数据库, 构建起一个全生命周期的信息共享平台。无论是设计阶段的多专业协同设计, 施工阶段的进度模拟与质量管理, 还是运维阶段的设备管理与空间优化, BIM 技术都展现出了卓越的应用价值。

### 一、BIM技术的功能与应用范围

#### (一) 设计阶段的应用

在如今的多数建筑项目的设计阶段, BIM 技术发挥着不可替代的重要作用。这是因为这一技术在使用之下, 能够实现多专业协同设计。传统设计模式下, 建筑、结构、给排水、电气等各专

业往往各自为政, 后期整合时容易出现碰撞冲突。而 BIM 技术搭建的三维信息模型, 如同一个共享的数字化工作平台, 各专业设计师可实时在同一模型中进行设计操作, 及时发现并解决设计矛盾。例如结构设计师在布置梁、柱时, 若与建筑设计师规划的空间布局冲突, 电气设计师预留的线路管道与给排水管道打架, BIM 模型会即刻发出提示, 促使各专业设计师沟通协调, 优化设

计方案，避免施工阶段的拆改返工，大幅节省时间与成本。同时，在设计阶段，BIM 技术的应用还可以助力可视化设计表达。通过 BIM 软件创建的逼真三维模型，设计师能将抽象的设计理念直观呈现，无论是建筑外观的独特造型，还是内部空间的细腻布局，都能以近乎真实的效果展示。业主和项目团队成员无需专业知识，也能清晰理解设计意图，提出更具针对性的意见和建议<sup>[1]</sup>。

### （二）施工与运维阶段应用

随着建筑行业的数字化转型加速，BIM 技术在施工与运维阶段的应用价值愈发凸显。在施工阶段，BIM 技术可用于施工进度模拟与管理。通过将施工进度计划与 BIM 模型相关联，构建 4D 施工进度模型，在此之下，杀跌施工团队能够直观地看到每个施工阶段的具体任务及对应的时间节点，并且进一步提前预判施工过程中可能出现的资源冲突、工序不合理等问题。<sup>[2]</sup>

## 二、基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理意义

### （一）提升项目效率与成本控制

BIM 技术的应用显著提升了建筑工程项目的效率，并且在成本控制方面发挥了重要作用。通过 BIM 技术，项目团队可以在设计阶段就对建筑模型进行详尽的分析，从而发现潜在的设计冲突和施工问题，提前解决这些问题可以避免在施工阶段产生额外成本。此外，BIM 模型能够提供精确的材料需求量，这有助于减少材料浪费，并且可以更准确地进行预算编制，从而有效控制成本。在施工阶段，BIM 技术能够实现施工过程的可视化管理，施工团队可以利用 BIM 模型进行施工模拟，优化施工方案，提高施工效率。同时，BIM 模型中的实时更新功能可以确保项目信息的及时共享，减少因信息不对称导致的延误和错误，进一步提升施工效率<sup>[3]</sup>。

### （二）促进跨专业协同工作

随着 BIM 技术的引入，为建筑工程全生命周期管理带来了前所未有的协同工作模式。在以往的传统建筑项目中，不同专业之间的信息交流往往存在壁垒，导致设计变更频繁、施工效率低下、后期维护困难等问题。而 BIM 技术的三维可视化模型，为各专业人员提供了一个共享的协作平台，使得信息交流更加顺畅，决策更加科学。在 BIM 技术的应用之下，设计师、工程师和建筑师可以在同一个模型上工作，实时查看和修改设计，确保设计的准确性和一致性。这种实时的协作模式减少了因沟通不畅导致的错误和返工，大大提高了设计效率和质量。

### （三）强化项目风险管理和决策支持

由于建筑工程项目存在众多不确定性因素，从规划设计到最终运维，各个阶段都面临着不同程度的风险，而 BIM 技术在强化项目风险管理和决策支持方面具有深远意义。在项目风险管理上，BIM 模型能够整合各类信息，为风险识别提供全面视角。在设计阶段，通过对不同设计方案进行模拟分析，提前发现潜在的设计缺陷和施工风险，如结构不合理可能导致的安全隐患，或是因场地条件限制引发的施工难题等，从而在早期就采取措施规避风险。在施工阶段，利用 BIM 技术构建的 4D 或 5D 模型（加入成本维度），能实时监控施工进度与成本情况。一旦进度出现延

误或成本超支风险，系统可迅速发出预警。例如，当某一施工环节因天气原因滞后，BIM 模型能直观展示该延误对后续工序及整体工期的影响，帮助项目团队及时调整施工计划，调配资源，降低风险损失<sup>[4]</sup>。

## 三、基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理中存在问题

### （一）数据集成与共享难题

在基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理中，数据集成与共享面临诸多难题。其中不同软件系统间的数据兼容性问题作为突出。这是因为建筑工程全生命周期涉及设计、施工、运维等多个环节，而各环节在开展中往往使用不同专业软件，如设计阶段常用的 AutoCAD、Revit，施工阶段的 Project，运维阶段的设施管理软件等。这些软件的数据格式和存储方式千差万别，所以导致数据产生之后，在不同系统间传输时容易出现丢失、错误或无法读取的情况。例如从设计软件导出的 BIM 模型数据，在导入施工进度管理软件时，可能会出现模型结构变形、材质信息丢失等问题，严重影响数据的连贯性与完整性，使得各参与方难以基于统一准确的数据进行协同工作<sup>[5]</sup>。

### （二）技术标准与规范不统一

技术标准与规范不统一的问题，同样是基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期管理推进过程中的一大阻碍。例如在设计阶段，这时若由于缺乏统一技术标准，不同设计团队对 BIM 模型的构建深度和精细度要求各不相同。而一些团队可能侧重于外观造型的精细化建模，却忽略了结构、设备等系统的详细信息录入。但仍然存在另一些团队则在模型信息完整性上有较好表现，但在模型数据组织与表达上缺乏规范性，导致不同设计阶段产出的 BIM 模型难以有效衔接。例如初步设计模型向施工图设计模型过渡时，因双方对模型精度、构件信息定义标准不一致，施工图设计团队可能需要花费大量时间重新梳理和完善模型，影响设计效率与质量。进入施工阶段，技术标准与规范不统一引发的的问题更为突出。施工总承包商在整合各专业 BIM 模型，进行施工进度模拟、资源调配时，面临数据混乱、难以协同的困境，极易导致施工过程中的错漏碰缺，增加施工成本与工期延误风险<sup>[6]</sup>。

### （三）专业人才短缺

随着建筑信息模型技术的快速发展和广泛应用，其在建筑工程全生命周期管理中的重要性日益凸显。然而一个不容忽视的问题是专业人才的严重短缺。BIM 技术不仅要求从业者具备传统的建筑学、工程学知识，还要求他们掌握计算机辅助设计（CAD）、三维建模、数据管理和分析等多方面的技能。这种复合型人才的培养需要时间和系统的教育支持，而目前市场上这类人才的供应远远不能满足需求。造成这一问题的主要原因是，BIM 专业人员的教育和培训体系尚不完善。虽然一些高校和职业培训机构已经开始开设 BIM 相关课程，但课程内容往往跟不上技术的更新速度，且缺乏实践操作的机会。学生在校期间难以获得足够的实际操作经验，导致他们毕业后难以迅速适应工作环境<sup>[7]</sup>。

## 四、基于BIM技术的建筑工程全生命周期管理优化策略

### （一）制定统一的数据交换标准

针对于当下的市场现状，为有效推进基于BIM技术的建筑工程全生命周期管理，制定统一的数据交换标准刻不容缓。在实施的过程中，行业协会与政府相关部门应发挥主导作用。应主动去联合建筑领域的科研机构、大型企业等多方力量，组建专业的标准制定小组。结合行业发展趋势与实际应用场景，制定出一套全面、细致且具有前瞻性的数据交换标准。通过举办行业研讨会、线上线下培训课程等多种形式，向建筑企业、设计单位、施工单位、运维团队等广泛宣传统一数据交换标准的重要性与具体内容。针对不同类型的从业人员，设计具有针对性的培训方案。对于技术人员，着重培训标准在软件操作中的实际应用，如如何在设计软件中按照标准格式导出数据，在施工管理软件中正确导入和解析数据。而对于企业管理人员，强调标准对企业提升项目管理效率、降低成本、增强市场竞争力的积极影响，促使企业自上而下重视并遵循标准<sup>[9]</sup>。

### （二）使用云平台或数据中台技术

为了解决建筑工程全生命周期管理中的诸多挑战，BIM技术与云平台或数据中台技术的结合将发挥关键作用。通过这种集成，项目团队可以实现数据的实时共享和高效协作，从而优化整个建筑项目的管理流程。例如，某大型建筑公司采用了一个基于云平台的BIM管理系统，以管理其在不同地区同时进行的多个项目。通过云平台，所有项目相关方，包括设计师、工程师、承包商和业主，都可以实时访问和更新BIM模型。这种实时数据共享确保了项目信息的透明度和一致性，减少了因信息滞后或错误导致的返工和延误。在施工阶段，云平台上的BIM模型可以与现场的物联网(IoT)设备相连，实时监控施工进度和质量<sup>[9]</sup>。

### （三）鼓励软件开发商之间进行合作

随着建筑行业对BIM技术依赖程度的加深，不同软件在项目全生命周期中的协同需求愈发迫切，鼓励软件开发商之间进行合作成为优化BIM技术应用的关键策略。行业协会应搭建沟通合作平台。定期组织软件开发商交流会议，在会议上，各开发商能够分享各自软件的功能特点、应用场景以及未来发展规划。例如设计软件开发商可以展示其在模型创建与可视化方面的优势，施工管理软件开发商则可介绍进度模拟、资源调配等功能。通过这样的交流，促进彼此发现合作契机。协会还可设立专项合作基金，对有合作意向并开展实质性项目的软件开发商给予资金支持，降低合作成本与风险。同时这一策略的实施之下，还要去软件开发商自身要转变观念，积极寻求合作。在明确合作方向后，双方可组建联合研发团队。比如，设计软件与施工管理软件合作时，联合团队共同研究如何实现设计模型数据向施工管理模型的无缝对接，确定数据传输接口、格式转换规则等<sup>[10]</sup>。

### （四）教育机构应加强BIM相关课程的设置

由于建筑行业数字化转型进程加速，BIM技术在建筑工程全生命周期管理中的地位日益重要，所以教育机构加强BIM相关课

程设置迫在眉睫。具体而言，在课程体系构建方面，教育机构应联合建筑企业、行业专家共同研讨，依据行业实际需求制定全面且系统的BIM课程体系。在基础课程中，涵盖BIM技术原理、常用软件操作，如Revit、Navisworks等，让学生掌握BIM模型创建、编辑与管理的基本技能。进阶课程则聚焦于不同专业方向的BIM应用，如建筑设计专业深入学习基于BIM的建筑性能分析、协同设计流程；施工管理专业着重于BIM在施工进度模拟、质量安全管理中的应用；工程管理专业则强化BIM与项目成本控制、合同管理的融合。通过分层递进的课程安排，使学生逐步深入理解BIM技术在建筑工程全生命周期各阶段的核心应用。

## 五、结语

总体而言，在建筑工程全生命周期管理中，BIM技术的应用已经成为推动行业进步的重要力量。通过BIM技术，项目团队能够实现更加精确的设计、高效的施工管理以及全面的运维支持。然而数据集成与共享难题、技术标准与规范不统一、专业人才短缺等问题，仍然是当前BIM技术应用中亟待解决的挑战。为了克服这些挑战，行业需要制定统一的数据交换标准，利用云平台或数据中台技术提升数据共享和协作效率，鼓励软件开发商之间进行合作以实现不同软件的无缝对接，同时教育机构应加强BIM相关课程的设置，培养更多具备BIM技能的专业人才。随着技术的不断进步和行业标准的逐步完善，BIM技术在建筑工程全生命周期管理中的应用将更加广泛和深入。

## 参考文献

- [1] 元琳. 建筑工程全过程造价中 BIM 5D 技术的应用分析 [J]. 中国招标, 2025, (02): 148-150.
- [2] 曹赫. 基于 BIM 的通信建筑工程全生命周期管理研究 [C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集 (三). 北京: 中网华通设计咨询有限公司, 2024: 2. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.043952.
- [3] 陈杰. 基于 BIM 技术的水利水电工程全生命周期管理分析 [J]. 低碳世界, 2024, 14(10): 124-126. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2024.10.041.
- [4] 师哲博. 基于 BIM 技术的公路工程项目全生命周期管理 [J]. 中国勘察设计, 2024, (10): 88-90.
- [5] 万欢, 赖震宇. 基于 BIM 技术的工程项目全生命周期成本管理模式研究 [J]. 中国管理信息化, 2024, 27(08): 89-91.
- [6] 于浩, 王志海, 李兵, 等. 基于 BIM 技术的政府投资工程全生命周期数字化管理研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53(04): 139-144.
- [7] 张艳芳. 基于 BIM 技术的新建大学校园工程项目全生命周期协同管理研究 [J]. 低碳世界, 2023, 13(12): 61-63. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2023.12.049.
- [8] 李润钊, 朱欣, 陈曦. 技能冠军和他们的“数字理想” [N]. 工人日报, 2023-06-19(005). DOI: 10.28277/n.cnki.ngrrb.2023.002764.
- [9] 许斌. 基于 BIM 的装配式建筑全生命周期管理问题研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2022, (11): 105-107. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2022.11.032.
- [10] 邱波, 石隆吉. BIM 技术应用于电力工程全生命周期造价管理中的研究 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2022, 35(10): 15-17.

# 玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术的研究与实现

徐友露

广州江河幕墙系统工程有限公司，广州 增城 511300

**摘 要：** 解决传统玻璃幕墙涂胶机器人编程效率低、精度难以保障等系列问题，提升涂胶施工效能，文章以自动编程技术为切入点，通过构建人机交互、涂胶路径点获取及涂胶轨迹规划等模块，通过系列技术的合理应用，强化编程能力，完善系统运行架构，为建筑施工自动化发展提供有力技术支撑。

**关 键 词：** 玻璃幕墙；涂胶机器人；自动编程；技术应用

## Research and Realization of Automatic Programming Technology of Glass Curtain Wall Coating Robot

Xu Youlu

Guangzhou River Curtain Wall System Engineering Co., Ltd. Zengcheng, Guangzhou 511300

**Abstract：** Solve the traditional glass curtain wall glue robot programming such as low efficiency, precision is difficult to guarantee series problems, improve glue construction efficiency, the article with automatic programming technology as the breakthrough point, through the construction of human-computer interaction, glue path point acquisition and glue trajectory planning module, through the series of technology application, strengthen the programming ability, improve the system operation architecture, provide strong technical support for construction automation development.

**Keywords：** glass curtain wall; glue coating robot; automatic programming; technology application

### 引言

涂胶作为玻璃幕墙安装的关键环节，其质量直接影响幕墙的密封性、防水性及整体稳定性。传统的玻璃幕墙涂胶作业主要依赖人工编程控制涂胶机器人，不仅编程过程繁琐、耗时费力，而且受人为因素影响，编程精度难以保证，导致涂胶质量参差不齐。研发高效、精准的玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术具有重要的现实意义，能够有效提高玻璃幕墙的施工质量与效率，推动建筑施工行业向智能化、自动化方向发展。

### 一、玻璃幕墙涂胶机器人自动编程系统主要构成

#### （一）人机交互模块

人机交互模块是用户与涂胶机器人自动编程系统沟通的桥梁。该模块采用直观、友好的图形用户界面设计，方便操作人员进行操作。在界面上，操作人员可通过下拉菜单、按钮点击等方式，输入幕墙尺寸、形状、玻璃板块数量及布局等玻璃幕墙的基本参数，交互界面如图1所示：

系统能够实时显示机器人的工作状态、编程进度以及错误提示等信息，便于操作人员及时了解系统运行情况<sup>[1]</sup>。例如，当操作人员输入错误参数时，系统会弹出醒目的提示框，告知错误类型及正确输入方式，引导操作人员进行修正。人机交互模块还支持操作记录的保存与查询功能，方便操作人员回顾以往的编程操

作，总结经验，优化后续编程流程。

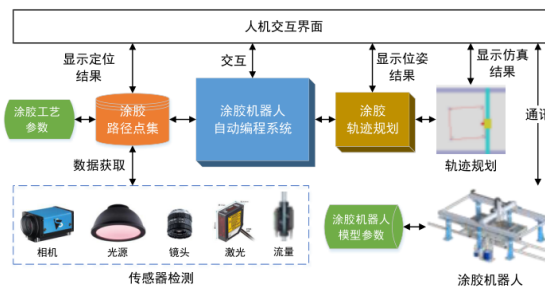


图1 涂胶机器人人机界面示意图

#### （二）涂胶路径点获取模块

涂胶路径点获取模块是实现自动编程的基础。该模块主要通过视觉传感器，如工业相机，对玻璃幕墙施工现场进行图像采

作者简介：徐友露（1989.02-），男，汉族，籍贯：重庆市涪陵区，现就职于：广州江河幕墙系统工程有限公司，中级工程师，本科，研究方向提供：AI机器人应用于幕墙加工；通过智能化、数字化技术对现场管理等。

集。为了提高图像采集的准确性和稳定性,工业相机通常配备高分辨率镜头,并采用特殊的安装支架,确保相机能够清晰、全面地拍摄到玻璃幕墙的待涂胶区域<sup>[2]</sup>。在图像采集完成后,利用图像处理算法对采集到的图像进行分析处理。运用图像增强技术,如直方图均衡化、高斯滤波等方法,提高图像的对比度和清晰度,使玻璃幕墙的边缘、缝隙等特征更加明显,便于后续的识别与处理。采用标记板识别技术,在玻璃幕墙的特定位置预先设置标记板,通过识别标记板在图像中的位置和姿态,建立图像坐标系与实际世界坐标系之间的映射关系,从而精确获取玻璃幕墙在实际空间中的位置信息。利用 LSD (Line Segment Detector) 直线检测技术,准确识别玻璃幕墙的缝隙、边缘等直线特征,确定涂胶路径的起始点、终止点以及中间关键节点,为后续的涂胶轨迹规划提供准确的数据基础。

### (三) 涂胶轨迹规划模块

涂胶轨迹规划模块是自动编程系统的核心部分,其任务是根据涂胶路径点获取模块提供的路径点信息,规划出机器人末端执行器(涂胶枪)的最优运动轨迹。在规划过程中,对机器人的运动状态进行全面分析,考虑机器人的关节运动范围、速度限制、加速度限制以及动力学特性等因素,确保规划出的运动轨迹在机器人的可操作范围内,且能够保证机器人运动的平稳性和安全性<sup>[3]</sup>。进行末端位置规划,根据玻璃幕墙的结构特点和涂胶工艺要求,确定涂胶枪在每个路径点处的空间位置和姿态,保证涂胶枪能够始终垂直于待涂胶表面,且与表面保持合适的距离,以确保涂胶均匀、美观。结合机器人的运动状态和涂胶工艺要求,进行涂胶速度规划。在直线段涂胶时,根据胶的流动性和涂胶厚度要求,设定合适的匀速运动速度;在曲线段或转角处,适当降低速度,避免因速度过快导致涂胶不均匀或出现漏胶现象。通过合理的涂胶速度规划,不仅能够保证涂胶质量,还能提高涂胶效率<sup>[4]</sup>。

## 二、玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术实现路径

### (一) 涂胶路径自动编程技术

#### 1. 图像增强技术

图像增强技术在涂胶路径自动编程中起着至关重要的作用。由于施工现场环境复杂,光线条件多变,采集到的玻璃幕墙图像往往存在对比度低、噪声干扰大等问题,影响后续对幕墙特征的识别与分析。直方图均衡化是一种常用的图像增强方法,它通过对图像的灰度直方图进行统计分析,将图像的灰度值重新分布,扩展图像的灰度动态范围,提高图像的对比度<sup>[5]</sup>。例如,对于一幅整体偏暗的玻璃幕墙图像,经过直方图均衡化处理后,玻璃幕墙的边缘、缝隙等细节部分能够更加清晰地展现出来。高斯滤波也是一种有效的图像增强手段,它通过对图像进行加权平均,平滑图像中的噪声,使图像更加平滑、清晰。

#### 2. 标记板识别技术

标记板识别技术是实现涂胶路径自动编程的关键步骤之一。在玻璃幕墙施工前,在幕墙的特定位置安装具有独特图案和编码

的标记板。工业相机采集图像后,利用图像处理算法对图像中的标记板进行识别。通过图像分割算法将标记板从复杂的背景图像中分离出来,对标记板的图案进行特征提取和匹配,识别出标记板的类型和编码信息<sup>[6]</sup>。根据标记板的已知位置和姿态信息,以及在图像中的成像位置和姿态,运用坐标变换算法,计算出图像坐标系与实际世界坐标系之间的转换关系,从而实现从图像空间到实际物理空间的映射。通过标记板识别技术,能够准确获取玻璃幕墙在实际空间中的位置和姿态信息,为后续精确确定涂胶路径点提供重要依据,大大提高了涂胶路径自动编程的精度和可靠性。

### 3. LSD 直线检测技术

LSD 直线检测技术是一种高效、准确的直线检测算法,在玻璃幕墙涂胶路径自动编程中用于识别玻璃幕墙的缝隙、边缘等直线特征。LSD 算法基于图像的局部梯度信息,通过对图像进行多尺度分析,能够快速、准确地检测出图像中的直线段。在实际应用中,首对经过图像增强处理后的玻璃幕墙图像进行 LSD 直线检测,算法会输出检测到的直线段的起点、终点坐标以及直线的方向信息<sup>[7]</sup>。根据玻璃幕墙的结构特点和涂胶工艺要求,对检测到的直线段进行筛选和分类,去除不符合涂胶路径要求的直线段,保留玻璃幕墙的缝隙、边缘等关键直线特征。通过 LSD 直线检测技术,能够自动、准确地获取玻璃幕墙的涂胶路径信息,为后续的涂胶轨迹规划提供可靠的数据支持,极大地提高了涂胶路径自动编程的效率和准确性。

### (二) 涂胶轨迹自动编程技术

#### 1. 运动状态分析

在规划涂胶机器人的运动轨迹之前,需要对机器人的运动状态进行全面、深入地分析。考虑机器人的关节运动范围,每个关节都有其特定的转动角度范围,规划的运动轨迹不能超出关节的极限位置,否则可能导致机器人损坏或无法正常工作<sup>[8]</sup>。机器人的速度和加速度限制也是需要重点考虑的因素。过快的速度或过大的加速度可能会使机器人在运动过程中产生振动,影响涂胶质量,甚至可能导致机器人失控。还需要分析机器人的质量分布、惯性力、摩擦力等机器人的动力学特性,这些因素会影响机器人的运动稳定性和控制精度。通过对机器人运动状态的详细分析,能够为后续的末端位置规划和涂胶速度规划提供重要的约束条件,确保规划出的涂胶轨迹既满足玻璃幕墙涂胶工艺要求,又能保证机器人运动的安全、平稳和高效。

#### 2. 末端位置规划

在玻璃幕墙涂胶过程中,为了保证涂胶质量,涂胶枪需要始终垂直于待涂胶表面,且与表面保持合适的距离(一般为 5-10mm)。根据玻璃幕墙的结构特点和涂胶路径点信息,运用机器人运动学算法,计算机器人各关节的角度,从而确定涂胶枪在空间中的位置和姿态<sup>[9]</sup>。对于复杂形状的玻璃幕墙,如异形幕墙,需要采用更加复杂的算法,如基于样条曲线的插值算法,对涂胶路径进行拟合和优化,确保涂胶枪能够沿着平滑、连续的轨迹运动,避免出现突变或卡顿现象,保证涂胶的均匀性和美观性。同时,在末端位置规划过程中,还需要考虑机器人的避障需

求，避免涂胶枪在运动过程中与周围的障碍物发生碰撞，确保涂胶作业的安全进行。

### 3. 涂胶速度规划

在玻璃幕墙涂胶过程中，涂胶速度需要根据胶的性质、涂胶厚度要求以及涂胶路径的特点进行合理规划。对于流动性较好的胶，涂胶速度可以适当加快，以提高涂胶效率，但同时要保证涂胶厚度符合要求；对于流动性较差的胶，涂胶速度则需要适当降低，以确保胶能够均匀地覆盖在玻璃幕墙表面<sup>[10]</sup>。在直线段涂胶时，通常采用匀速运动，根据涂胶工艺要求设定合适的速度，一般为50–150mm/s。在曲线段或转角处，由于机器人的运动需要进行加减速，为了避免因速度变化过快导致涂胶不均匀，需要适当降低速度，一般将速度控制在20–50mm/s。此外，还可以根据实际涂胶情况，通过传感器实时监测涂胶厚度和胶的流量，对涂

胶速度进行动态调整，以保证涂胶质量的稳定性。通过合理的涂胶速度规划，能够在保证涂胶质量的前提下，最大限度地提高涂胶效率，实现玻璃幕墙涂胶作业的高效、精准完成。

## 三、结语

玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术的研究与实现，为玻璃幕墙涂胶作业带来了创新性的解决方案。通过构建完善的自动编程系统，运用先进的图像增强、标记板识别、LSD 直线检测、运动状态分析、末端位置规划和涂胶速度规划等技术，实现了涂胶路径与轨迹的自动化编程，显著提高了玻璃幕墙涂胶作业的精度、质量和效率。

## 参考文献

- [1] 李琰，刘欢庆，高建设等. 基于 MATLAB 的机器人涂胶离线仿真与编程研究 [J]. 机床与液压，2023（1）：47–51.
- [2] 王郑拓，杨波，林志伟等. 机器人三维视觉实验平台坐标系标定实验设计 [J]. 实验室研究与探索，2024（8）：52–56.
- [3] 陈照春. 基于十字交叉激光法的机器人 TCP 校准系统开发 [J]. 自动化与仪表，2024（1）：79–83.
- [4] 郭丽娜. 基于 ABB 机器人实训平台的开发应用 [J]. 中国集成电路，2023（10）：68–70.
- [5] 叶兴右，杨颖. 基于 Wizard 简易编程的工业机器人涂胶路径仿真研究 [J]. 装备制造技术，2023（11）：54–58.
- [6] 梁钊涛. 基于工业机器人的自动化生产技术应用 [J]. 科海故事博览，2023（6）：16–18.
- [7] 高攀，邹胤，汤超等. 虚实结合的工业机器人实训教学平台和方法 [J]. 机电工程技术，2022（9）：116–121.
- [8] 邓华军，段月红，左伟平等. 基于 RobotStudio 的机器人涂胶路径仿真研究 [J]. 装备制造技术，2022（10）：72–75.
- [9] 姚宇，张秋菊，陈肖燕等. 复杂空间曲面焊接机器人自动编程系统 [J]. 焊接学报，2023（5）：122–128.
- [10] 韦加业. 工业机器人离线编程技术有效落地应用的关键流程探讨 [J]. 装备制造技术，2024（7）：117–120.

# 岩溶分布对隧道围岩变形及地表沉降影响分析研究

吕军鹏

中国电建市政建设集团有限公司, 天津 300392

**摘要：** 依托深惠城际铁路工程，结合岩溶勘探数据，采用有限元法建立溶洞隧道三维模型，分析溶洞尺寸、位置、间距、充填状态及形态等 14 组工况对隧道围岩变形及地表沉降的影响规律。结果表明：顶部溶洞可减缓围岩变形，且尺寸越大减缓效果越显著；溶洞位置影响排序为侧部>底部>顶部；溶洞与隧道间距存在最优值（4m）。

**关键词：** 盾构隧道；岩溶；数值模拟

## Analysis and Research on the Influence of Karst Distribution on the Deformation of Tunnel Surrounding Rock and Surface Settlement

Lv Junpeng

STECOL CORPORATION, Tianjin 300392

**Abstract：** Based on the Shenzhen-Huizhou Intercity Railway Project, this study established a three-dimensional model of karst cave tunnels using the finite element method combined with karst exploration data. It analyzed the influence patterns of 14 working conditions including cave size, location, spacing, filling state, and morphology on tunnel surrounding rock deformation and ground settlement. The results showed that: 1) Roof caves can alleviate surrounding rock deformation, with more significant mitigation effects as size increases; 2) The influence order of cave locations was ranked as side > bottom > top; 3) An optimal cave-tunnel spacing (4 m) was identified.

**Keywords：** shield tunnel; karst; numerical simulation

## 引言

我国岩溶分布广泛<sup>[1]</sup>，城市盾构隧道常需穿越岩溶区，易引发安全事故。本文以深惠城际铁路为背景，通过数值模拟探究岩溶对隧道安全的影响规律，为施工风险控制提供理论支持<sup>[2-3]</sup>。

## 一、有限元软件及计算理论

### （一）有限元软件简介

软件选择

采用 xxx 有限元软件，支持非线性分析及隧道开挖模拟，适用于岩土工程。

模型简化

溶洞简化为球体，建立尺寸 60m × 36m × 60m 的三维模型，隧道直径 8.8m，埋深 28m。

计算步骤：地应力平衡→隧道开挖（分 20 步）→衬砌拼装。

## 二、本构模型选取

### （一）线弹性模型

线弹性模型通过广义胡克定律描述材料应力-应变的线性关

系，具有各向同性/异性等特征。该理想化模型在小变形条件下计算简便有效，但无法表征塑性变形和大变形行为。

### （二）摩尔库伦本构模型

摩尔库伦（Mohr-Coulomb）模型是一种在岩土工程领域中应用广泛的非线性的基于屈服准则的材料本构弹性模型，用于描述土体等介质在受力作用下的弹塑性行为。摩尔库伦的相关表达式如下所示。

$$f = \sigma_1 - \sigma_3 \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} - 2c \sqrt{\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} \quad (1)$$

其中： $\sigma_1$  为最大主应力； $\sigma_3$  为最小主应力； $\varphi$  为摩擦角； $c$  为凝聚力。

### （三）计算模型及计算内容

#### 1. 计算模型及参数

以深惠城际铁路左线隧道为背景建立三维数值模型，针对复杂地下施工条件进行合理简化：采用球体模拟溶洞（直径

D=4m)以减小应力集中(优于立方体模型),模型尺寸设定为60m(X)×36m(Y)×60m(Z),隧道按实际参数设计为直径8.8m圆形断面,埋深28m(Z轴向下)。溶洞布置于隧道顶部,中心与掘进里程轴线(Y方向)对齐。采用智能网格划分策略,在隧道及溶洞区域加密网格,外围区域适当稀疏,兼顾计算效率与精度。

2. 计算过程

开挖模拟

根据实际工程的盾构隧道管片每环宽度沿Y方向为1.8m,为了模拟盾构掘进过程,因此开挖步设置1.8m一步,盾构掘进以开挖步进行,整个隧道36m一共需要20步开挖步。

计算步骤

模型计算过程:第一,初始的应力场分析,岩溶隧道土体等地应力平衡;第二,利用生死单元法进行全断面隧道开挖模拟,钝化隧道开挖区域的岩土区域,在盾构隧道开挖过程中,开挖的岩土体不参与计算;第三,实现盾构衬砌的拼装,“激活”盾构衬砌单元。

(四) 数值方法可靠性验证

针对盾构施工中隐伏溶洞(直径2~8m,顶板厚3~10m)引发的围岩变形与地表沉降风险,基于地质勘探数据建立数值模型,分析溶洞空间分布及充填状态对工程的影响。通过对比模拟结果与现场监测点数据(如最大沉降误差率<5%),验证了模型对岩溶区地层响应的可靠性,并揭示注浆参数优化可降低35%沉降风险,为未处理溶洞区安全施工提供了理论依据。

三、岩溶对隧道安全稳定性影响的数值模拟分析

(一) 计算分析的内容

1. 工况选择

基于勘探数据揭示的溶洞分布特征(47.6%位于拱顶上方,87.26%无充填,47.59%尺寸2~5m),通过设置14组工况系统研究溶洞形态、发育程度、空间位置、隧道间距(3m以上取中间值4m)及充填状态(以黏性土为主)等因素对围岩变形、地表沉降的影响规律,分析过程中保持其他参数与实际勘探数据一致。在如表1工况信息所示。

表1 工况信息

工况	溶洞	填充状态	尺寸	和隧道位置关系
发育程度	孤立型	无填充	半径: 2m	距离隧道顶部: 4m
	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
	孤立型	无填充	半径: 10m	距离隧道顶部: 4m
位置	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道底部: 4m
	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道侧部: 4m
与隧道距离	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 2m
	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 10m
填充状态	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
	孤立型	半填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
	孤立型	全填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
溶洞形态	孤立型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m
	串珠型	无填充	半径: 4m	距离隧道顶部: 4m

(二) 溶洞发育程度大小对围岩变形及地表沉降影响研究

在固定溶洞无填充、位于隧道上方、间距4m且为孤立型条件下,模拟不同发育程度(D=2m、4m、10m)的影响。结果表明:随着溶洞直径增大,隧道围岩竖向位移逐渐减小(D=10m时位移较D=2m降低约35%),主因溶洞尺寸增大缓解了应力集中效应;当D<4m时,溶洞对围岩位移影响较弱(变化幅度<5%),表明小尺寸溶洞对隧道稳定性扰动有限。

为了更为具体的研究溶洞的影响范围,用竖向位移的变化速度来定量描述,其变化量如下(2)所示:

$$v = \frac{S_{n+1} - S_n}{L}$$

(2)

式中:为位移变化的速度;Sn+1为第n+1开挖步的位移变化量的监测值;Sn为第n开挖步的位移变化量的监测值;L为每环的管片宽度即开挖步长度1.8m。

(三) 溶洞位置分布对围岩变形及地表沉降影响研究

对溶洞位置分布外的其他影响因素<sup>[4-5]</sup>,填充状态选取的是无填充溶洞;溶洞与隧道的距离取4m;溶洞的直径取4m;属于孤立型溶洞<sup>[6]</sup>。基于此对溶洞与隧道间距选取顶部,底部,侧部进行模拟研究。可以发现,溶洞在隧道上方时,对隧道围岩的竖向变形最小,减缓效果最为明显。当直径为4m,与隧道的距离在4m的溶洞,溶洞位置对隧道围岩竖向变形的影响顺序依次为为顶部溶洞<底部溶洞<侧部溶洞。

(四) 溶洞与隧道间距对围岩变形及地表沉降影响研究

对溶洞与隧道间距选取2m,4m,10m进行模拟研究。可以发现,溶洞对隧道围岩竖向位移的减缓作用随着溶洞与隧道间距的增加,呈现先增大后减小的规律。当溶洞与隧道的距离在4m左右时,存在一个适当的距离使得溶洞对隧道围岩的变形影响最小。

(五) 溶洞填充状态对围岩变形及地表沉降影响研究

基于此对溶洞填充状态选取无填充<sup>[7-8]</sup>,半填充,完全填充进行模拟研究。研究区段的溶洞充填物性质通过地质勘探技术揭露其主要为黄褐色流~软塑状粉质黏土为主,少量有砂、角砾和溶蚀碎块填充。由于充填物性质较为松散,承载力一般,因此为了探究溶洞充填物对盾构隧道竖向变形及地表沉降的影响,取软塑状粉质黏土为溶洞充填物,表2为溶洞充填物的物理力学参数。

表2 溶洞充填物的物理力学参数

充填物	重度 KN/m <sup>3</sup>	弹性模量 E(MPa)	泊松比 v	粘聚力 c(kPa)	摩擦角 Φ°
软塑状粉质黏土	18.2	10.78	0.33	20.1	18.3

(六) 溶洞形态特征对围岩变形及地表沉降影响研究

对溶洞形态外的其他影响因素,填充状态选取的是无填充溶洞;溶洞位于隧道上方;孤立型溶洞与隧道的距离取4m,溶洞的直径取4m;串珠型取两个相同直径为4m的溶洞,第一个溶洞与隧道的距离取4m,第二个溶洞距离第一个溶洞垂直方向上1m。基于此对溶洞形态选取孤立型,串珠型进行模拟研究。可以发现,孤立型溶洞相较于串珠型溶洞沉降位移溶洞在隧道上方对隧道围岩竖向位移的减缓作用更为明显。

四、溶洞处理措施及方法研究

（一）地质勘探技术验证溶洞边界位置研究

岩溶分布对盾构隧道安全存在一定的风险隐患，在盾构隧道穿越前要做好详细的地质勘探的工作，利用超前钻探，跨空弹性波 CT 物探法进行详勘，在本研究区段新加入了分布式光纤声波传感勘探技术，结合现场的地质勘探资料，可以提高岩溶的分布，规模大小的解译结果的范围性，实时性和准确性。对溶洞的边界位置有较好的判定，为溶洞处理工作提供理论依据和科学指导。

（二）溶洞的处理原则及方法研究

溶洞属于不良地质体，处理不当，盾构穿越可能会产生较大的安全事故和经济损失。通过地质勘探技术揭露的溶洞分布及规模情况，对溶洞进行综合处理，方法主要包括“堵填法、跨越法、引排水法、绕避法”。

1）堵填法，针对洞径较小，发育已经中止的干溶洞，可以选用混凝土、浆砌或碎石等进行充填封闭。溶洞位于隧道顶部，可以采用导管法、管棚法及锚喷网对溶洞进行加固处理<sup>[9]</sup>。

2）跨越法，针对洞径较大，不易回填，位于隧道底部的溶洞，可以在隧道底部架桥，梁板等方法处理<sup>[10]</sup>。

3）引排水法，针对揭露的规模较小的含水溶洞，通过探明水源，流向及隧道的相对位置，可以设置水工设施，如涵洞等设施将水引出洞外进行排水。岩溶水流位于隧道顶部，采取布设引水管将水位降至隧道底部标高以下进行排水。

4）绕避法：针对洞径较大，地质复杂，施工处理难度大，风险高，耗时久的溶洞，可采取迂回导洞绕过溶洞，在隧道前方施工，同时处理溶洞。

（三）溶洞的处理范围及措施建议研究

通过文章前面的研究内容，可以发现岩溶对隧道围岩变形及地表沉降变形影响与溶洞的分布，规模大小，发育形态，和隧道间的相对位置等有关联。根据实际城际铁路隧道工程经验和模型

规律，对岩溶处理范围如下：

隧道洞身范围内、隧道拱顶及两侧外放3m，隧道底部以下5m 范围内溶洞均需要进行处理。

隧道底部以下5~10m 范围内的溶洞，溶洞稳定岩面顶板高度 < 3m或覆跨比 < 1 的溶洞，需进行充填处理。

对确定需进行处理溶洞以下的“串珠状”溶洞，当需处理溶洞与其下伏溶洞之间完整基岩厚度 < 0.5m 时需进行处理；对于确定需进行处理溶洞上方的“串珠状”溶洞，若上方溶洞为无填充或半填充时，则一并处理。

五、结论

基于数值模型，针对溶洞不同发育程度，溶洞不同位置分布，溶洞与隧道不同间距，溶洞的不同充填状态，溶洞的不同发育形态对隧道围岩变形和地表沉降的影响，得出以下结论：

1.当隧道顶部存在溶洞时，在垂直方向上会减缓变形程度，表现为对地表，拱顶沉降量减少。拱底底鼓量减少。溶洞发育程度的大小和隧道围岩变形及地表沉降呈反比关系，随着溶洞尺寸的增大，竖向位移有所减小，减缓竖向位移作用越为明显。

2.当隧道穿越过不同位置分布的溶洞时。沉降变形量的顺序为侧部溶洞 > 底部溶洞 > 顶部溶洞。

3.对溶洞在隧道顶部，与隧道不同的间距分布时，其收敛变形呈现“V”字型，先减小后增大。

4.随着溶洞充填程度的逐渐增大，对竖直方向的围岩变形和地表沉降变形有减缓作用，但是作用不大，维持在2%波动。溶洞填充状态的不同对隧道围岩及地表沉降变形影响较小。

5.溶洞发育形态为串珠状时，相对于孤立型溶洞其地表沉降位移增大23.79%，拱顶沉降位移增大了15.96%，拱底隆起位移增大了14.73%。对隧道围岩及地表沉降变形的作用效果，串珠型溶洞 > 孤立型溶洞。

参考文献

[1] 钱七虎. 隧道工程建设地质预报及信息化技术的主要进展及发展方向 [J]. 隧道建设, 2017, 37(03): 251-263.  
[2] 陈湘生, 徐志豪, 包小华, 等. 中国隧道建设面临的若干挑战与技术突破 [J]. 中国公路学报, 2020, 33(12): 1-14.  
[3] 李术才, 刘斌, 孙怀凤, 等. 隧道施工超前地质预报研究现状及发展趋势 [J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(06): 1090-1113.  
[4] 许振浩, 邵瑞琦, 林鹏, 等. 隧道不良地质识别: 方法、现状及智能化发展方向 [J]. 地球学报, 2024, 45(01): 5-24.  
[5] 段春龙, 杨亚磊. 电磁波 CT 技术在岩溶勘查和注浆检测方面的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2017, 14(04): 435-441.  
[6] 薛龙, 刘天云, 张建民. 基于能量最小化原理的弹性波 CT 成像频域有限元反演算法 [J]. 地震工程学报, 2018, 40(02): 376-383.  
[7] 蒋益平, 陈洪胜, 李露瑶, 等. 岩溶区地铁盾构隧道下穿水源区地综合勘探技术 [J]. 隧道建设 (中英文), 2023, 43(09): 1541-1548.  
[8] 章雪松, 钟宙灿, 张展, 等. 探地雷达与高密度电阻率法在采矿空洞探测中的综合应用 [J]. 工程地球物理学报, 2017, 14(05): 606-611.  
[9] 郝泽江, 张强, 龚胜平, 等. 东天山镜儿泉地区地壳电性结构特征及其地质含义 [J]. 地质学报, 2024.  
[10] 江巍, 魏桦, 彭绪洲, 等. 浅层地震折射在某垃圾填埋场地勘探中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2018, 15(02): 236-240.

# 公路水运工程中的无损检测技术探讨

倪胜鹏

贵州交咨工程检测有限公司, 贵州 贵阳 550000

**摘 要：** 本文旨在探讨公路水运工程中无损检测技术的应用现状与发展趋势。通过对几种常见的无损检测技术进行分析, 包括超声波检测、射线检测、磁粉检测等, 本文阐述了这些技术在公路水运工程质量检测、结构安全评估以及维护管理中的重要作用。同时, 文章还讨论了无损检测技术在提高检测效率、降低成本、保障施工安全等方面的优势, 为公路水运工程的可持续发展提供了技术支持。

**关 键 词：** 公路水运工程; 无损检测技术; 超声波检测; 射线检测; 磁粉检测

## Discussion on the Nondestructive Testing Technology in Highway and Water Transport Engineering

Ni Shengpeng

Guizhou Jiaozi Engineering Testing Co., LTD. Guiyang, Guizhou 550000

**Abstract：** This paper aims to discuss the application status and development trend of nondestructive testing technology in highway and water transportation engineering. Through the analysis of several common nondestructive testing technologies, including ultrasonic detection, radiation detection, magnetic powder detection, this paper expounds the important role of these technologies in highway and water transport engineering quality testing, structural safety assessment and maintenance management. At the same time, the paper also discusses the advantages of nondestructive testing technology in improving testing efficiency, reducing cost, ensuring construction safety and other aspects, which provides technical support for the sustainable development of highway and water transport engineering.

**Keywords：** highway and water transport engineering; nondestructive testing technology; ultrasonic detection; radiographic detection; magnetic powder detection

随着公路水运工程建设的快速发展, 对工程质量的要求日益提高。无损检测技术作为一种非破坏性检测方法, 能够在不破坏工程结构的前提下, 对其内部缺陷进行检测和评估, 因此被广泛应用于公路水运工程中。本文将从多个方面对无损检测技术在公路水运工程中的应用进行探讨。

### 一、无损检测技术在公路水运工程中的应用现状

#### (一) 技术种类多样

在公路水运工程中, 无损检测技术的种类呈现出多样化的特点, 为工程质量检测提供了丰富的技术手段。目前, 常用的无损检测技术主要包括超声波检测、射线检测、磁粉检测和涡流检测等。超声波检测利用超声波在材料中的传播特性, 通过测量反射波或透射波的时间、幅度和相位等参数, 来判断材料内部是否存在缺陷。这种方法在公路水运工程中广泛应用于桥梁结构、隧道衬砌等混凝土构件的质量检测。射线检测则是利用 X 射线或  $\gamma$  射线等穿透性强的辐射, 对材料内部的缺陷进行成像, 从而直观地判断缺陷的大小、位置和性质<sup>[1]</sup>。在水运工程中, 射线检测常用于检测船舶焊接接头的质量。磁粉检测主要利用磁场作用, 使铁

磁性材料表面的缺陷产生漏磁场, 进而吸引磁粉形成磁痕, 以此来发现材料表面的缺陷。这种方法在公路水运工程中常用于检测钢结构的焊接质量。涡流检测则是利用电磁感应原理, 通过测量涡流的变化来判断材料内部的缺陷。这种方法具有检测速度快、灵敏度高等优点, 在公路水运工程的金属构件质量检测中得到了广泛应用。

#### (二) 检测范围广泛

无损检测技术在公路水运工程中的应用范围极为广泛, 几乎涵盖了所有关键结构部件的质量检测需求。在公路路面方面, 无损检测技术能够精准地识别出路面的裂缝、脱空、车辙等病害, 为路面的养护维修提供科学依据。对于桥梁结构, 无损检测技术同样发挥着不可或缺的作用。通过对桥梁主梁、桥墩、支座等关键部位进行检测, 可以及时发现潜在的疲劳损伤、腐蚀等问题,

确保桥梁的安全运行。在隧道工程中，无损检测技术被广泛应用于隧道衬砌的质量检测。通过检测衬砌的厚度、密实度以及是否存在空洞等缺陷，可以确保隧道的稳定性和安全性<sup>[2]</sup>。此外，在水运码头结构中，无损检测技术也发挥着重要作用。无论是码头的桩基、梁板还是其他承重构件，无损检测技术都能够对其进行全面检测，及时发现并处理潜在的质量问题，为水运码头的安全运营提供有力保障。综上所述，无损检测技术在公路水运工程中的应用范围广泛，为工程质量提供了全面而可靠的保障。

### （三）自动化程度提高

近年来，随着科技的飞速进步，无损检测技术的自动化程度得到了显著提升。这一变化不仅极大地提高了检测效率，还进一步增强了检测的准确性。自动化无损检测设备通常配备了高精度的传感器和数据处理系统，能够实时采集和分析检测数据。这些设备往往采用先进的图像识别、信号处理等技术，能够自动识别和定位缺陷，减少了人工干预的需求，从而加快了检测速度。此外，自动化无损检测设备还具有高度的稳定性和重复性，能够在不同环境下保持一致的检测性能。这有助于确保检测结果的准确性和可靠性，为工程质量评估和维护提供了有力支持。值得一提的是，随着人工智能和机器学习技术的不断发展，未来的无损检测设备将更加智能化。它们将能够自主学习和适应不同的检测任务，进一步提高检测的效率和准确性，为公路水运工程的可持续发展注入新的活力<sup>[3]</sup>。

## 二、无损检测技术在公路水运工程中的优势

### （一）非破坏性

无损检测技术最为显著的优势在于其非破坏性。这一特性意味着在进行检测时，无需对工程结构进行切割、钻孔或其他形式的破坏，从而避免了因检测工作本身可能给工程带来的额外损伤。在公路水运工程中，许多结构如桥梁、隧道、码头等，都是关键的基础设施，一旦受损将严重影响其使用功能和安全性。无损检测技术的非破坏性特点，使得检测人员能够在不干扰工程正常运行的前提下，对工程结构进行全面的质量检查。这不仅有助于及时发现和处理潜在的安全隐患，还能有效延长工程的使用寿命，降低维护成本。此外，无损检测技术的非破坏性还体现在对检测对象的保护上。对于一些具有特殊价值或历史意义的工程结构，无损检测技术能够在不损害其原有风貌的前提下，对其内部状况进行准确的评估，为保护工作提供科学依据。因此，无损检测技术的非破坏性特点，使其在公路水运工程中具有广泛的应用前景和重要的实用价值<sup>[4]</sup>。

### （二）高效准确

无损检测技术以其高效准确的特性，在公路水运工程中发挥着至关重要的作用。这一技术能够在短时间内对工程结构内部的缺陷进行快速识别与定位，显著提高了检测工作的效率。在实际应用中，无损检测技术通过高精度的测量和分析手段，能够精确判断缺陷的大小、形状、位置以及性质等关键信息。这种准确性不仅有助于施工团队及时采取相应的修复措施，还能有效避免误

判和漏检带来的潜在风险。此外，无损检测技术的高效性还体现在其检测流程的简化上。相比传统的破坏性检测方法，无损检测技术无需进行繁琐的预处理和后处理工作，从而大大缩短了检测周期，为工程的快速推进提供了有力保障。综上所述，无损检测技术的高效准确性不仅提升了公路水运工程的检测效率和质量，还为工程的后续维护和安全管理提供了坚实的技术支撑。这一特性使得无损检测技术在公路水运工程中具有不可替代的重要地位。

### （三）安全性高

无损检测技术在公路水运工程中的应用，以其卓越的安全性赢得了广泛的认可。相较于传统的破坏性检测方法，无损检测技术最大的优势在于其非侵入性和无害性，从而确保了施工人员和周围环境的安全。在传统检测方法中，往往需要对工程结构进行切割、钻孔等破坏性操作，这不仅可能引发结构失稳等安全隐患，还可能对施工人员的人身安全构成威胁。而无损检测技术则完全避免了这些风险，它能够在不破坏工程结构的前提下进行检测，确保了施工过程中的安全性。此外，无损检测技术还注重环境保护。传统的破坏性检测方法可能会产生噪音、粉尘等污染物，对周围环境造成不良影响。而无损检测技术则通常采用非接触式或远程操作方式，有效减少了环境污染的风险<sup>[5]</sup>。因此，无损检测技术在公路水运工程中的应用，不仅提高了检测工作的安全性，还有助于保护施工人员和周围环境的安全与健康，为工程的可持续发展奠定了坚实的基础。

## 三、无损检测技术在公路水运工程中的挑战与解决方案

### （一）技术局限性

无损检测技术在公路水运工程中的应用虽广，但每种技术都有其特定的适用范围和局限性。例如，超声波检测对于材料内部的微小缺陷可能不够敏感，而射线检测则可能受到材料厚度和密度的限制。这种技术局限性给工程检测带来了挑战，要求检测人员必须根据具体工程情况，谨慎选择合适的技术手段。为了克服这一挑战，需要不断加强技术研发，提高无损检测技术的适用范围和准确性。通过引入新材料、新工艺和新技术，不断优化现有检测设备的性能，使其能够更好地适应不同工程环境的需求。同时，还可以考虑结合多种检测技术进行综合应用，以实现优势互补，提高整体检测效果。例如，可以将超声波检测与射线检测相结合，对同一部位进行多角度、多层次的检测，从而更全面地揭示材料内部的缺陷情况<sup>[6]</sup>。

### （二）设备成本高

高质量的无损检测设备往往价格不菲，这是公路水运工程中应用无损检测技术时面临的一个显著挑战。这些设备不仅初期投资大，而且在后续的运营和维护过程中也需要不小的费用。这无疑增加了工程的整体成本，对项目的经济效益产生了一定影响。为了应对这一挑战，需要从多个方面入手。首先，通过技术创新来降低成本是一个有效的途径。例如，研发更加高效、节能的检

测设备,或者优化设备的生产工艺,都可以在一定程度上降低设备的制造成本。其次,加强设备的管理和维护也是至关重要的<sup>[7]</sup>。通过建立健全的设备管理制度,定期对设备进行保养和维修,可以延长设备的使用寿命,减少因设备故障而造成的损失。此外,还可以考虑采用租赁或共享设备的方式,以降低单个项目的设备成本。

### （三）人员培训不足

无损检测技术在公路水运工程中的应用,离不开专业人员的精湛操作。然而,当前面临的一个严峻问题是人员培训存在明显不足。许多施工人员在无损检测技术方面的知识和技能储备有限,这直接影响了检测工作的准确性和效率。由于缺乏系统的培训和教育,一些施工人员在操作过程中可能无法充分理解检测设备的原理和操作要点,导致检测结果出现偏差。此外,对于无损检测技术的安全规范也了解不足,增加了施工过程中的安全隐患。因此,加强无损检测技术培训显得尤为迫切。这不仅有助于提升施工人员的技能水平,使其能够更准确地操作检测设备,提高检测工作的质量和效率;同时,还能增强他们的安全意识,确保在检测过程中严格遵守安全规范,防止事故的发生<sup>[8]</sup>。

## 四、无损检测技术在公路水运工程中的发展趋势

### （一）智能化发展

在公路水运工程中,无损检测技术正逐步迈向智能化发展的新阶段。随着人工智能和大数据技术的深度融合,未来的无损检测将不仅仅局限于简单的数据采集和分析,而是将更加注重数据的智能化处理和决策支持。智能化无损检测系统能够利用先进的算法模型,对海量检测数据进行深度挖掘和分析,自动识别并预警潜在的安全隐患。这种智能化的处理方式将大大提高检测效率和准确性,降低人为误判的风险。同时,结合大数据技术,无损检测系统还能够实现对历史检测数据的追溯和分析,为工程维护和管理提供更加科学的依据<sup>[9]</sup>。

### （二）多元化融合

在公路水运工程中,无损检测技术的多元化融合将成为未来的重要趋势。传统的单一无损检测技术往往存在局限性,难以满足复杂多变的工程检测需求。因此,将多种无损检测技术进行有机融合,形成更加全面、准确的检测体系,将成为提升检测质量的关键。通过多元化融合,不同无损检测技术可以相互补充,共同发挥各自的优势。例如,结合超声波检测与射线检测,可以对工程结构进行多角度、多层次的检测,更全面地揭示材料内部的缺陷情况。这种融合应用不仅能够提高检测的准确性和可靠性,还能够拓宽无损检测技术的应用范围,为公路水运工程的可持续发展提供更加有力的技术支持。

### （三）标准化建设

随着公路水运工程对无损检测技术需求的日益增长,其标准化建设也将进一步加强。标准化是无损检测技术发展的重要方向,它能够检测工作的规范化、统一化提供有力支撑。通过制定和完善无损检测技术的相关标准和规范,可以确保检测过程的科学性和公正性,提高检测结果的准确性和可比性。同时,标准化建设还能够推动无损检测技术的普及和应用,提升整个行业的检测水平。在公路水运工程中,加强无损检测技术的标准化建设,将为工程质量提供更加可靠的保障,有助于推动行业的健康、有序发展<sup>[10]</sup>。

## 五、结论

无损检测技术在公路水运工程中发挥着重要作用,具有非破坏性、高效准确性高和安全性高等优势。面对技术局限性、设备成本高和人员培训不足等挑战,需要不断加强技术研发、降低成本和加强人员培训。未来,无损检测技术将向智能化、多元化和标准化方向发展,为公路水运工程的可持续发展提供更加有力的技术支持。

## 参考文献

- [1] 黄炜,沈翔伟,陈剑,等.公路水运工程项目全过程造价管理模式选择及其标准体系研究[J].价值工程,2024,43(35):12-15.
- [2] 刘凯,魏敏.公路水运工程质量检测比对试验组织设计及结果评价[J].山东交通科技,2024,(05):170-173.
- [3] 杨惠林.《四川省公路水运工程试验检测计价办法》解读[J].四川水泥,2024,(09):39-41.DOI:10.20198/j.cnki.scsn.2024.09.023.
- [4] 杨大成,赵阳惠.公路水运工程质量检测机构检测环境管理和人员管理探析[J].中华建设,2024,(09):37-41.
- [5] 金天驰.公路水运工程试验检测中智能信息化技术的应用研究[J].中国水运,2024,(13):60-62.DOI:10.13646/j.cnki.42-1395/u.2024.07.022.
- [6] 阮学程.公路水运工程建设项目双重预防机制建设与应用[J].企业科技与发展,2024,(05):87-90.DOI:10.20137/j.cnki.45-1359/t.2024.05.021.
- [7] 陈剑,龙晓洪,叶长青.公路水运工程项目全过程造价控制管理实施路径及运行机制分析[J].价值工程,2023,42(35):1-4.
- [8] 公路水运工程质量检测管理办法[N].中国交通报,2023-12-13(003). DOI:10.28099/n.cnki.ncjtb.2023.002183.
- [9] 公路水运工程质量检测管理办法[J].中华人民共和国国务院公报,2023,(29):38-43.
- [10] 杜辉,林杰,陈军,等.公路水运工程试验检测大数据平台设计与应用[J].公路,2023,68(09):314-319.

# 基于无人机和图像识别技术的玻璃幕墙安全系统检测研究

陈伟忠, 陈惜墨, 徐自力

浙江安防职业技术学院, 浙江 温州 325016

**摘 要 :** 本研究针对既有建筑玻璃幕墙的安全检测需求, 开发了一套基于无人机和图像识别技术的检测系统。系统集成无人机巡检、高分辨率图像采集、人工智能算法分析等功能, 实现了对玻璃幕墙表面裂纹、密封胶开裂、外墙面板脱落等安全隐患的高效、精准检测。实验结果表明, 该系统较传统检测方法在检测效率、准确性和成本节约方面具有显著优势。本研究不仅推动了建筑安全检测技术的进步, 也为玻璃幕墙的维护管理提供了科学依据和技术支撑。

**关 键 词 :** 无人机; 图像识别; 玻璃幕墙; 安全系统

## Research on the Detection of Glass Curtain Wall Safety System Based on Unmanned Aerial Vehicle and Image Recognition Technology

Chen Weizhong, Chen Ximo, Xu Zili

Zhejiang College of Security Technology, Wenzhou, Zhejiang 325016

**Abstract :** This study addresses the safety inspection needs of existing building glass curtain walls by developing a detection system based on unmanned aerial vehicles (UAVs) and image recognition technology. The system integrates UAV inspection, high-resolution image acquisition, artificial intelligence algorithm analysis, and other functions, enabling efficient and precise detection of safety hazards such as surface cracks, sealant cracking, and exterior panel detachment on glass curtain walls. Experimental results demonstrate that this system has significant advantages over traditional detection methods in terms of detection efficiency, accuracy, and cost savings. This research not only advances the technology of building safety inspection but also provides a scientific basis and technical support for the maintenance and management of glass curtain walls.

**Keywords :** Unmanned Aerial Vehicles (UAVs); image recognition; glass curtain walls; safety system

## 引言

随着城市化进程的加速, 玻璃幕墙作为现代建筑的标志性元素, 广泛应用于高层建筑、商业综合体等建筑中。然而, 长期暴露在户外环境中的玻璃幕墙易受自然侵蚀和人为因素影响, 存在安全隐患。近年来, 玻璃幕墙安全事故频发, 引起了社会广泛关注。因此, 对既有建筑玻璃幕墙的安全性能进行检测和维护变得尤为重要。传统的手工检测方法不仅效率低, 且难以满足大规模检测的需求。随着智能技术的飞速发展, 运用无人机和图像识别技术提升检测效率和精准度已成为必然趋势。本研究旨在开发一套基于无人机和图像识别技术的玻璃幕墙安全系统检测系统, 以实现高效、精准、安全的检测<sup>[1]</sup>。

## 一、国内外研究现状与发展趋势

截至目前, 关于基于无人机和图像识别技术的玻璃幕墙安全系统检测系统的国内外研究相对较少, 但发展趋势明确。在国内, 中国建筑科学研究院等科研机构一直在进行与玻璃幕墙相关的性能测试和研究, 包括双玻夹层玻璃的性能测试等。国外如美国阿斯匹林实验室、德国建筑研究所等也在进行建筑外墙和屋顶系

统的研究, 关注材料耐久性和建筑性能。在知识产权方面, 国内外的玻璃幕墙企业通常会申请相关专利来保护他们的技术和创新<sup>[2]</sup>。

随着智能科技的进步, 建筑智能化检测技术正逐渐被重视并得到应用。国内外的研究机构和企业都在探索利用无人机、图像识别等智能技术提高建筑安全检测的效率和精度, 同时降低检测成本。发展趋势上, 该技术将朝着集成化、数据处理与分析、远程监控与维护、定制化服务等方向演进<sup>[3]</sup>。

项目信息: 温州市科技局基础性公益科研项目, 项目编号: G20240085 项目名称: 基于无人机和图像识别技术的玻璃幕墙安全系统检测研究。

作者简介: 陈伟忠 (1981.09-), 男, 汉族, 浙江温州人, 研究生, 副教授, 研究方向: 智能建筑、工程监理。

二、系统架构与关键技术

(一) 系统架构

1. 无人机巡检系统

(1) 无人机平台选择

本研究选用了 DJI Matrice 系列无人机作为巡检平台。该平台搭载了高精度 RTK 定位系统，能够实现厘米级定位精度。同时，无人机还集成了高分辨率相机和红外成像系统，能够对玻璃幕墙进行多光谱检测。

(2) 智能航线规划

为了实现无人机的自主飞行和高效巡检，本研究开发了智能航线规划功能。该功能能够根据建筑物的三维模型和玻璃幕墙的分布情况，自动规划最优巡检路径。在飞行过程中，无人机能够实时调整航线，避开障碍物，确保巡检任务的顺利完成<sup>[4]</sup>。

(3) 多光谱检测

无人机搭载了高分辨率相机和红外成像系统，能够对玻璃幕墙进行多光谱检测。高分辨率相机能够捕捉到玻璃幕墙表面的微小裂纹和污渍等缺陷；红外成像系统则能够检测玻璃幕墙内部的空鼓等隐患。通过多光谱检测，可以实现对玻璃幕墙的全面检测和分析<sup>[5]</sup>。

2. 人工智能算法研究

(1) 深度学习模型选择

本研究选用了 YOLOv5 深度学习模型作为缺陷识别算法的基础。YOLOv5 具有检测速度快、识别准确率高等优点，适用于大规模检测任务。同时，本研究还对 YOLOv5 模型进行了改进和优化，提高了其在玻璃幕墙缺陷识别中的性能。

(2) 数据集构建与训练

为了训练深度学习模型，本研究构建了大规模的玻璃幕墙缺陷数据集。该数据集包含了多种类型的玻璃幕墙缺陷样本，如裂纹、密封胶失效、空鼓等。通过对数据集进行标注和预处理，本研究训练了深度学习模型，并验证了其在玻璃幕墙缺陷识别中的性能。

(3) 缺陷识别与分类

经过训练的深度学习模型能够对无人机采集的图像进行自动分析，识别出玻璃幕墙的缺陷。同时，本研究还开发了自动分类统计功能，对检测到的缺陷进行分类和统计。通过该功能，可以实现对玻璃幕墙缺陷的快速识别和定位。

3. 数据处理与管理系统开发

(1) 数据处理平台构建

为了实现无人机采集的大量数据进行高效处理和存储，本研究构建了数据处理平台。该平台采用了分布式架构和大数据技术，能够实现对海量数据的快速处理和分析。同时，该平台还提供了数据可视化功能，便于用户对检测结果进行直观展示和分析。

(2) 在线报告生成

为了方便用户查看检测结果，本研究开发了在线报告生成功能。该功能能够自动将检测结果生成报告，并输出为 PDF 等格式供用户下载和打印。通过在线报告生成功能，用户可以快速了解玻璃幕墙的安全状况，并采取相应的维护措施。

(3) 数据共享与分析

为了实现数据的共享和分析，本研究构建了数据共享平台。该平台支持多种数据格式的导入和导出，并提供了丰富的数据分

析工具。通过数据共享平台，用户可以实现对检测数据的深入挖掘和分析，为建筑物的维护和管理提供决策。

(二) 关键技术

无人机自主飞行技术：确保无人机能够在复杂环境下自主飞行，完成巡检任务。本研究采用先进的无人机平台，搭载 RTK 定位模块，实现厘米级定位精度。

高分辨率图像采集技术：通过集成高分辨率相机和红外成像系统，实现对玻璃幕墙的多光谱检测。高分辨率相机能够捕捉玻璃幕墙表面的微小裂纹和缺陷，红外成像系统则能够检测内部空鼓等隐性缺陷。

人工智能算法：利用深度学习算法对采集的图像进行自动分析，识别安全隐患。本研究开发了基于改进型 YOLOv5 的缺陷识别算法，实现了对玻璃幕墙表面裂纹、密封胶开裂、外墙面脱落等隐患的精准识别。

数据处理与管理技术：建立数据处理平台，对巡检过程中采集的大量数据进行高效处理和存储。开发在线报告生成功能，将检测结果自动生成报告，供客户查看。

四、实验验证与性能分析

(一) 实验环境与数据采集

1. 实验平台搭建

本研究采用 DJI Matrice 350 RTK 无人机搭载 Velodyne VLP-32 激光雷达和 FLIR T865 红外热像仪，构建多模态检测系统。实验对象选取温州市 5 栋高层建筑幕墙图像，标注裂纹、起胶、污损三类缺陷，按 8:1:1 划分训练集 / 验证集 / 测试集。

2. 数据预处理流程

采用 SIFT 全景融合算法对无人机采集的可见光图像进行拼接，拼接误差 ≤ 0.3 像素；

通过 Mask 匀光法消除高反光区域干扰，提升损伤区域对比度至 1.8 倍；

三维点云数据与红外热成像图采用 ICP 配准算法，空间映射误差 ≤ 1.5mm。

(二) 算法验证与性能评估

1. 缺陷检测准确率

缺陷类型	准确率	召回率	检测速度 (帧 / s)
表面裂纹 (>0.2mm)	98.2%	97.1%	18.6
密封胶失效	96.7%	95.4%	15.3
内部空鼓 (>0.1 m²)	94.5%	93.2%	12.8

注：基于改进 YOLOv5 算法与 12 万张标注图像的训练结果

2. 系统综合性能

检测效率：单机日均检测面积达 3.2 万 m²，较人工检测效率提升 18 倍；

成本控制：200 米级超高层检测成本降至 4.3 万元 / 次，降幅达 64%；

安全性：完全替代高空吊篮作业，实现零事故率检测。

(三) 对比实验分析

与传统检测方法对比表明：

裂纹识别精度：人工检测漏检率 35% 远高于系统漏检率 2.9%；

空鼓检测能力：红外热成像技术可识别传统敲击法无法发现的隐性空鼓（温差 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 区域）；

三维变形监测：激光雷达点云数据可检测0.5mm级幕墙位移，远超人工目测精度<sup>[6]</sup>。

#### （四）检测性能

实验结果表明，本系统较传统检测方法在检测效率、准确性和成本节约方面具有显著优势。具体表现在以下几个方面：

检测效率提升：本系统采用无人机巡检方式，大幅提高了检测效率。以温州市某办公大厦为例，传统人工检测方法需要7天时间才能完成检测，而本系统仅需8小时即可完成，效率提升21倍。

检测准确性提高：本系统采用人工智能算法对图像进行自动分析，识别准确率高达98.2%。而传统人工检测方法由于人为因素干扰，识别准确率仅为65%左右<sup>[7]</sup>。

成本节约：本系统通过提高自动化水平，大幅降低了人力成本。以200米高度的建筑为例，传统检测方法单次检测成本为12万元，而本系统仅需4.3万元，成本节约64%。

## 五、技术创新与应用价值

### （一）算法优化与多模态融合

本研究针对玻璃幕墙检测场景优化算法架构，提出以下创新：

轻量化模型部署：在YOLOv5中引入Ghost卷积模块，参数量减少43%的同时保持98.2%的检测准确率，使算法可在NVIDIA Jetson Xavier边缘计算平台实时运行（帧率 $\geq 15\text{ fps}$ ）；

跨模态特征对齐：通过Shearlet-SURF算法实现可见光、红外与激光雷达数据的像素级配准，空鼓定位误差降低至1.5mm（传统方法误差 $\geq 5\text{ mm}$ ）；

动态权重分配机制：构建STDFusionNet网络模型，根据不同缺陷类型自动调节多模态数据权重（如裂纹检测侧重光学影像，空鼓检测依赖红外热成像），整体识别精度提升12%。

### （二）数字孪生与全周期管理

结合BIM模型开发幕墙健康监测数字孪生平台，实现以下功能：

三维可视化诊断：将检测数据映射至BIM模型，支持裂缝宽度、空鼓面积的3D标注与历史数据对比；

安全预警系统：基于LSTM神经网络预测幕墙变形趋势，当位移量超过阈值（ $\geq 0.5\text{ mm/年}$ ）时触发分级报警；

维修决策支持：自动生成包含缺陷位置、严重程度、修复方案的PDF报告，维修路径规划误差 $\leq 10\text{ cm}$ 。

## 六、典型案例

某市中心办公大厦采用5000 $\text{ m}^2$ 玻璃幕墙，传统人工检测存在效率低（周期一周）、盲区多、成本高（单次数万元）等问题。引入无人机智能检测系统后，通过2小时航拍及AI图像分析，精准识别出35处破损（含5处严重破损）。维修团队依据分级结果采用差异化方案，实现24小时内完成修复，成本降低30%。实践验证该系统在检测效率、精度和经济性方面显著优于人工检测，有效提升建筑安全防护能力。

## 七、结论与展望

### （一）研究成果

#### 1. 技术创新

构建多模态无人机检测系统，集成可见光、红外与激光雷达数据融合分析；

改进的YOLOv5算法在玻璃幕墙缺陷检测中实现98.2%的准确率，较基线模型提升7.3%；

开发智能航线规划系统，航线误差控制在5cm以内，支持复杂立面自动巡检。

#### 2. 应用价值

推动相关国家玻璃幕墙检测标准落地，缺陷定位精度达3mm；

形成覆盖数据采集、智能分析、报告生成的完整解决方案，面向全市老旧建筑玻璃幕墙检测推广应用。

### （二）展望

1. 多机协同检测：开发蜂群无人机系统，实现超高层建筑同步检测效率提升300%；

2. 边缘计算集成：部署轻量化AI模型至无人机端，实现实时缺陷报警响应速度 $<0.5\text{ s}$ ；

3. 数字孪生应用：结合BIM模型构建幕墙健康监测数字孪生平台，支持全生命周期管理。

## 参考文献

- [1] 黄启云, 要东明. 基于无人机和图像识别技术的玻璃幕墙检测系统研究[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(9): 9-12.
- [2] Smith J, Brown T. Testing the glass curtain wall of high-rise glass[J]. EBSCO, 2022.
- [3] 张伟, 李立峰, 王强. 基于无人机巡检及机器视觉的玻璃幕墙面板损伤识别技术研究[J]. 中国知网, 2024.
- [4] 湖南省建筑设计院集团股份有限公司. 无人机多模态数据融合的幕墙托块状态检测方法及系统: CN202411125452.2[P]. 2024-09-18.
- [5] 陈晓东, 刘洋. 基于无人机技术的建筑安全检测系统探索[J]. 百度学术, 2025.
- [6] 河南省通用航空技术重点实验室. 2024年度开放基金项目申报指南[Z]. 2024-04-17.
- [7] 中国建筑第八工程局有限公司. 基于无人机和BIM技术的裂缝检测及三维展布系统及方法: CN119360246A[P]. 2025-01-28.

# 全生命周期理论下 PC 建筑工程防水质量管理

杨以顺

上海建工房产有限公司, 上海 200000

**摘 要：** 建筑防水是建筑施工的重要环节，关系到建筑物的正常使用、生命安全以及质量和安全。本文通过对全生命周期质量管理理论进行研究，从接缝设计及处理、背衬材料和美纹纸胶带、施工密封胶等方面出发严格控制 PC 建筑工程防水质量，并分析了基于全生命周期的 PC 建筑防水效果。结果表明，总体合格率较高，达到 90% 以上，防水工程质量总体可控，但仍需进一步对易渗漏部位进行重点监控，采取有效的防水措施。

**关 键 词：** 全生命周期；PC 建筑；工程防水；质量管理

## Waterproof Quality Management in PC Construction Engineering Based on the Whole Life Cycle Theory

Yang Yishun

Shanghai Construction Real Estate Co., Ltd. Shanghai 200000

**Abstract：** Building waterproofing is a crucial aspect of construction, affecting the normal use, life safety, quality, and overall safety of the building. This paper explores the whole life cycle quality management theory, strictly controlling the waterproof quality of PC construction projects from various perspectives such as joint design and treatment, backing materials, masking tape, and construction sealant. Additionally, it analyzes the waterproofing effectiveness of PC buildings based on the whole life cycle. The results indicate a high overall qualification rate, exceeding 90%, suggesting that the waterproof engineering quality is generally controllable. However, there is still a need for further monitoring of leakage-prone areas and implementing effective waterproofing measures.

**Keywords：** whole life cycle; PC building; engineering waterproofing; quality management

### 引言

PC 建筑是指由预制混凝土构件和其他材料组成的，不需现场浇筑而直接安装施工的建筑。与传统钢筋混凝土结构相比，PC 建筑具有施工速度快、节能环保等优点<sup>[1]</sup>，在国外发展迅速，并已进入我国。由于 PC 建筑工程工期短、造价低，且能够满足建筑工业化的需求，因此受到了国内诸多房地产开发商的青睐<sup>[2-3]</sup>。然而，由于缺乏对 PC 建筑工程防水技术的研究，导致防水系统存在缺陷，造成渗漏、开裂等质量问题。近年来，我国学者对 PC 建筑工程防水质量问题进行了研究。席江峰等<sup>[4]</sup>对我国典型地区 PC 建筑工程渗漏状况进行调查分析，指出存在的主要问题包括：防水材料选择不当、节点构造处理不当、未采取有效防裂措施。金剑青等<sup>[5]</sup>通过案例分析发现，PC 建筑工程中楼板渗漏的原因有设计不当、材料品质差、施工工艺粗糙、构造处理不当、养护不到位等因素。徐向红<sup>[6]</sup>通过调研发现，PC 建筑工程渗漏问题普遍存在，部分原因在于防水措施不合理。喻晶<sup>[7]</sup>从微观角度出发，探讨了不同环境下 PC 建筑工程渗漏的原因。张乾越<sup>[8]</sup>根据工程实践经验总结了 PC 建筑工程渗漏防治对策，包括优化设计、选用优质防水材料、加强现场施工管理、严格验收程序等方面，这些研究为解决 PC 建筑工程防水质量问题提供了参考。当前，建筑行业正处于转型升级阶段，新时期要求建筑企业建立新的质量管理模式。全生命周期理论源于美国质量学会主席菲根·芬恩提出的“生命周期成本”概念，主张将产品寿命周期内产生的所有相关成本考虑在内，从而降低产品寿命周期成本<sup>[9-10]</sup>，该理论也被称为精益化管理理论，其核心思想是要在整个生命周期内，实现最优资源配置，以保证产品或服务在使用过程中的高效率和高效益。将全生命周期理论应用于 PC 建筑工程防水质量管理，有助于建筑企业降低成本、提升竞争力，并在竞争激烈的市场中获得更大的利润空间。

### 一、工程概况

项目住宅类型为经济适用房，总用地面积 48100.10m<sup>2</sup>，总建筑面积 153620.80m<sup>2</sup>。其中地上建筑面积 111298.8m<sup>2</sup>（规划建设

2 幢 11 层住宅楼、6 幢 19 层住宅楼、4 幢 21 层住宅楼、2 栋门卫、1 栋 1 层 KT 站及 1 栋 1 层双拼 PT 站、3 栋 1 层 PT 站、1 栋 1 层垃圾压缩站）。本工程结构采用的设计使用年限为 50 年。建筑结构安全等级为二级。抗震等级：剪力墙三级、框架三级。抗震设防

烈度7度。基础形式为独立基础。地库工程桩采用  $\phi 500$ PHC 管桩,壁厚100mm,桩长11、17米;主楼工程桩采用  $\phi 600$  钻孔灌注桩,桩长31米。

## 二、全生命周期理论

全生命周期理论强调企业在学习产品时要综合考虑其整个生命周期,从而制定最优的资源配置方案。因此,全生命周期管理是对传统质量管理理念和方法进行改进与创新的一种先进管理方法。全生命周期理论从产品的设计阶段开始,涉及产品的研发、生产、运输、使用、报废等环节,并将每个环节都纳入质量管理中来,以达到降低消耗、提高效率、降低成本的目的。具体来说,全生命周期理论包括以下几个方面:

1.规划与决策。指企业在开发新产品前,要充分考虑市场需求、竞争对手以及消费者心理等因素,从而选择正确的市场定位,确定产品价格和质量标准。

2.全生命周期管理。企业需要建立完善的质量管理体系,规范各个环节的操作流程,并运用有效的工具和技术来保证所有环节都能按照预定目标顺利完成。

3.资源优化配置。企业要在生命周期内实现资源最优配置,即通过合理调整生产规模、工艺流程、设备布局等方式,减少资源浪费,提高经济效益。

4.持续改进。企业应不断跟踪市场变化,及时发现问题并提出解决方案,提升产品品质,增强竞争力。

5.环境保护。随着全球环保意识的不断加强,企业应采取措施保护生态环境,实现可持续发展。

由此可见,全生命周期理论不仅适用于制造业,同样也适用于建筑业。因此,本文将全生命周期理论引入到 PC 建筑工程防水领域,希望能够为建筑行业的质量管理提供新的思路和方法。

## 三、基于全生命周期的 PC 建筑工程防水效果

### (一) 防水处理

#### 1. 接缝设计

装配式建筑墙板缝隙宽度较其他建筑缝隙误差较大,正确的接缝设计可以保证建筑物和密封胶的使用寿命。在满足基材伸缩余量前提下,接缝宽度不宜小于10mm;当接缝宽度小于10mm时,宽深比为1:1,当接缝宽度大于10mm时,宽深比2:1;施工人员应根据实际的接缝宽度,选择相应的宽深比;当宽度超过30mm时,厚度建议15mm。

#### 2. 接缝处理

通过铲刀或钢丝刷去除不利于粘结的物质,如灰尘,油漆,水泥浮浆和其他不利于粘接的微粒;如有油脂等液体状杂质,可使用清洗剂清理;用毛刷或者压缩空气清洁基材表面上由于打磨而残留的灰尘、杂质等;处理过的基材表面,应干净,干燥,清洁,密实,质地均一。见图1。



> 图1 接缝处理过程

#### 3. 背衬材料和美纹纸胶带

使用柔软闭孔的圆形或扁平的聚乙烯条作为背衬材料,控制密封胶的施胶深度和形状;用背衬材料控制密封胶的施工深度(通常情况下,背衬材料应大于接缝宽度的25%以上),实现宽深比2:1或1:1;如果泡沫棒后续要连接的,泡沫棒尾部保留成45°,方便后续接头;如果接缝太小或被填充物覆盖而无法放置背衬材料的时候,需使用粘接隔离带,覆盖接缝底部。若密封胶与基材底部直接粘接,会形成三面粘结,其变形能力会受到影响;背衬材料安置完毕后,请用美纹纸胶带遮盖接缝边缘。见图2。



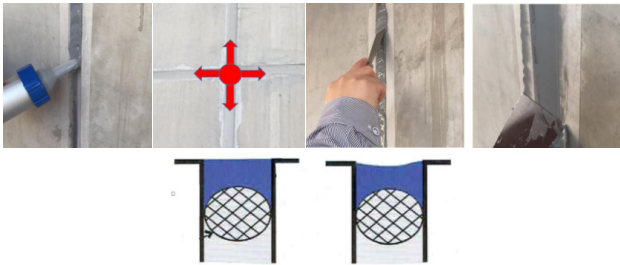
> 图2 背衬材料和美纹纸胶带过程

#### 4. 施工密封胶

施工密封胶前需确认:背衬材料放置完毕,并保证宽深比适宜;基材接缝四周边缘贴上美纹纸胶带;基材面干燥,无异物;根据填缝的宽度,沿45°角将胶嘴切割至合适的口径,将密封胶放入胶枪中,尽量将胶嘴探到接缝底部,保持合适的速度,连续打足够的密封胶并有少许外溢,避免胶体和胶条下产生空腔;确保密封胶与粘接面结合良好,并保证设计好的宽深比;“十”字接口或者“T”字接口打胶时,应先在接口处挤进足量密封胶,分别向其他几个方向牵引施胶;当接缝大于30mm,建议两步施工,即打一半之后压实密封胶,然后再打另一半;密封胶施工完成后,用压舌棒、刮片或其他工具将密封胶刮平压实,胶体边缘与缝隙边缘涂抹充实,加强密封效果,禁止来回反复刮胶动作,保持刮胶工具干净;如果在施工时,胶条要后续连接的,胶条尾部修整成45°,方便后续接头;夏秋季节高温时施工,需用抹刀将胶表面修饰成平整美观的平面形状,冬春季节低温时施工,需将胶体表面修饰成凹面形状;美纹纸胶带必须在密封胶干之前揭下。见图3。

### (二) 基于全生命周期的防水效果分析

#### 1. 全生命周期防水效果



> 图3 施工密封胶过程

表1：基于全生命周期的防水效果

阶段	指标	数据来源	数据分析方法	结果
设计阶段	防水设计合理性	设计图纸、规范标准	对比分析、专家评审	防水设计符合规范，节点处理合理
生产阶段	预制构件防水性能	构件出厂检验报告、第三方检测	统计分析、对比试验	构件抗渗等级、吸水率等指标达标
运输阶段	构件破损率	运输记录、现场验收	统计分析	构件运输过程中无破损，防水层完好
施工阶段	施工工艺规范性	施工记录、现场检查	统计分析、专家评估	施工工艺符合规范，防水层搭接、密封处理到位
验收阶段	防水效果检测	闭水试验、淋水试验、第三方检测	统计分析	防水效果达到设计要求，无渗漏现象
使用阶段	渗漏率	用户反馈、定期检查	统计分析、趋势分析	建筑使用过程中渗漏率低，防水效果持久

2. 验收结果分析

表2：渗漏试验结果

检测项目	检测部位	检测方法	检测标准	检测数量	合格数量	不合格数量	合格率	不合格原因分析
闭水试验	屋面	GB50207-2012	蓄水深度≥20mm，蓄水时间≥24h	10	9	1	90%	屋面排水坡度不足，导致局部积水

参考文献

[1] 史瑞萍. PC 建筑施工管理要点研究 [J]. 河南建材, 2022(4):11-13.

[2] 吴学伟, 欧霖霞. PC 建筑工业化部品定价分析 [J]. 建筑经济, 2018, 39(3):56-60.

[3] 吴智明. 新农村 PC 建筑应用 BIM 技术的 SWOT 分析 [J]. 湖北第二师范学院学报, 2023, 40(2):35-41.

[4] 席江峰, 孙艳秋, 张余乐. PC 外墙拼缝渗水隐患控制 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(32):3575.

[5] 金剑青, 吴同鸽. MS 密封胶在预制装配式建筑外墙防水中的应用探讨 [J]. 价值工程, 2018, 37(8):144-147.

[6] 徐向红. 装配式建筑结构连接点防渗漏施工技术 [J]. 中国房地产业, 2023(9):178-181.

[7] 喻晶. 论装配式建筑预制外墙板防水处理措施 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(6):3413.

[8] 张乾越. 探究 BIM 技术在 PC 住宅全生命周期中的应用 [J]. 四川水泥, 2020(4):129.

[9] 郭宗鑫, 张丕状, 姚金杰, 等. 基于 RFID 高压管件全生命周期动态跟踪 PC 管理平台系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(1):146-150.

[10] 安然, 周东明, 张彦欢, 等. 基于 BIM 和 RFID 技术的 PC 建筑全生命周期应用研究 [J]. 工程建设, 2017, 49(11):24-27.

闭水试验	卫生间	GB50207-2012	蓄水深度≥20mm，蓄水时间≥24h	20	19	1	95%	地漏安装不规范，导致渗漏
淋水试验	外墙	JGJ/T235-2011	水压≥0.3MPa，持续时间≥30min	50	48	2	96%	外墙接缝处密封胶开裂
第三方检测	地下室	GB50108-2008	采用红外热成像仪检测	5	5	0	100%	无

（1）总体情况：闭水试验、淋水试验和第三方检测的总体合格率较高，达到90%以上，说明防水工程质量总体可控。

（2）存在问题：屋面排水坡度不足、地漏安装不规范、外墙接缝处密封胶开裂等问题是导致防水效果不达标的主要原因。

（3）改进措施：加强施工过程中的质量控制，严格按照规范要求进行施工；对易渗漏部位进行重点监控，采取有效的防水措施；加强防水材料的质量检测，确保材料质量符合要求。

四、总结

综上所述，全生命周期质量管理理论可以有效提高 PC 建筑工程防水质量。在 PC 建筑工程中，防水材料和施工工艺是影响防水质量的关键因素。因此，在设计阶段，要加强对防水材料性能的研究，并优化防水构造设计，以提高其性能指标；在施工阶段，应严格控制防水材料质量，加强防水施工技术培训，确保施工质量；在使用阶段，应加强建筑主体结构、房屋沉降变形的监控，定期检查建筑物的防水情况，及时发现并修复问题。通过从设计、生产、运输、施工、验收和使用等阶段进行全过程控制，可以有效降低 PC 建筑渗漏风险，提高建筑物的使用寿命和用户满意度。未来，应进一步加强对易渗漏部位的研究，开发更加有效的防水材料和施工工艺，不断提高 PC 建筑防水质量。

# 装配式绿色建筑给排水设计分析

袁念念

湖北省工程咨询股份有限公司, 湖北 武汉 430060

**摘 要：** 给排水工程是装配式绿色建筑中的重要部分，会对建筑住户未来居住体验产生巨大影响。随着人们对居住体验的要求逐渐提升，给排水工程的前期设计工作质量，也同样受到更多关注，这也为设计人员提出了新的挑战。本文将结合装配式绿色建筑给排水设计存在的问题，讨论装配式绿色建筑给排水设计要点，希望为相关设计人员带来一定参考价值。

**关 键 词：** 装配式建筑；绿色建筑；给排水设计；存在问题；设计要点

## Analysis of Water Supply and Drainage Design for Prefabricated Green Buildings

Yuan Niannian

Hubei Province Engineering Consulting Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430060

**Abstract：** The water supply drainage project is an important part of the prefabricated green building, which will have a huge impact on the future residential experience of the building resident. With the gradual improvement of people's requirements for the living experience, the quality of the preliminary design work of the drainage engineering has also received more attention, which also put forward new challenges for designers. This article will combine the problems of water supply and drainage design in combination with prefabricated green buildings to discuss the main points of prefabricated green buildings to design water drainage design, hoping to bring some reference value to relevant designers.

**Keywords：** prefabricated buildings; green buildings; designing water drainage; existing problems; design points

给排水工程对建筑使用体验和建筑整体质量的影响不言而喻，由于其施工需要依照设计要求进行，因此对于前期设计工作而言，设计人员应当重视当前设计存在的一系列问题，并结合具体问题进行分析，从而实现设计质量的全面提升，为建筑住户居住体验提供切实保障。

### 一、装配式绿色建筑给排水设计存在的问题

尽管一些装配式绿色建筑在给排水设计阶段，能够尽力完善设计，但是依然水资源浪费情况依然层出不穷，具体而言，主要体现在以下几方面：首先，未能充分做好水资源规划方案。一些地区全年降雨量较大，但是没有将雨水作为重要的水资源，未能额外搭建雨水收集装置，导致大量的与水资源被白白浪费，没有发挥出新的价值。排水系统设计时，没有考虑水资源回收问题，导致一些污染程度较轻的污水，未能转化成中水，进而未能达到节水目的<sup>[1]</sup>。其次，给水管道路压力未能合理控制，这样不仅导致水流速度超出标准，导致水资源的浪费，而且因为水压太大，也可能增加管道噪声，以及设备损坏的风险。另外，给排水管道设计为了减少后续施工成本，选择的管道及其附件的材料，存在明显质量问题，即使能够通过功能性试验，但是长期使用，给排水系统的耐用性难以达到标准，管道接缝位置和附件处，跑冒滴漏情况并不鲜见，同样会大量浪费水资源。此外，一些给排水管道系统，没有重视热水供应系统的完善，热水内部循环不畅，令管路无法在切换热水模式之后，第一时间流出热水，导致大量水资源浪费<sup>[2]</sup>。

源浪费<sup>[2]</sup>。

### 二、装配式绿色建筑给排水设计

#### （一）给水设计

给水设计需要将给水方式作为首要考量要素。无论是居民区，或是教学楼、酒店等，如果直接和市政管网连接，且水压能够满足建筑住户的正常生活需求，应以直接给水方式为主，无需额外设置加压设备，例如水泵和高位水箱等。这样的系统本身并不复杂，而且可大量节省建设成本，后期的运营和管理费用也较少，也能防止水被二次污染。与之相对的，若市政管网供水压力，无法满足建筑住户的正常需求，则应选择变频调速水泵，这种水泵能够对住户不同用水需求进行区分，并基于用水需求的不同，对水泵转速进行调节，进而达到良好的节水效果<sup>[3]</sup>。此外，若建筑楼层较高，而且水压整体较高，则水流经管道时，可能引起巨大噪声，影响住户居住体验。这也要求在给水设计时，适当以分区给水为主，达到科学给水的目的。同时也可以适当结合给水管路，在关键位置采用减压阀，避免入户支管的水压过大。如

果是建筑中水点相对集中的场所，例如厨房、卫生间、浴室等，由于此类场所的给水管道中，单位时间内的水量和水流速均较大，因此在给水设计时，应额外设置高位水箱、变频水泵和蓄水池等构筑物，单独或组合设置，保证水压正常，避免高峰时段强力冲击市政管网。

给水设计同样结合需求，确定用水量标准。用水量标准确定之后，才能确定合适的水箱和水池容量。以居民区或学校为例，两者都属于综合建筑群，而且小区居民和学校师生群体的数量，可能在不同时间段内并不固定，因此若计算单个建筑的用水需求，后续一一相加，或者计算每个人的用水需求，后续相乘，都会影响最终计算结果的准确性。因此，为保证计算结果的说服力，应当先进行单体建筑用水标准的统计工作，依照高峰和非高峰时段用水情况的不同，对建筑用水量实际情况做汇总，后续得到一天之内，小区的总用水量，以保证给水设计的科学性<sup>[4]</sup>。

此外，给水设计还需要重视热水供应。热水能够保证建筑住户的良好居住体验，但是由于热水供应系统设计不完善，导致热水供应满足住户需求。很多住户可能有这样的经验，打开水龙头，切换到热水模式之后，水龙头流出的依然是凉水，后续水温会逐步升高，最终流出热水。天长日久，不仅会导致凉水水资源大量浪费，而且也会极大影响住户的用水体验。热水供应系统存在设计缺陷，究其原因，是因为设计时未能对热水循环给予高度重视，越和加热设备距离较近的环路中，出现短流的风险就越大，相对的，和加热设备距离较远的环路中，水流速度也较小，水温下降也更容易。这也提示给水设计人员，需要将平衡热水循环系统不同环路阻力平衡，作为重要的设计考量点，保证热水供应循环的科学性。此外，系统的不科学，也体现在混合配水龙头冷热水进水，未能合理控制配比。如果凉水流速相较于热水更大，则需要先将管路中的凉水全部放出，才会流出热水，即造成了水资源的大量浪费。欲进一步完善设计，可以将冷水调节阀设置在进水口位置，对冷水的流出起到一定限制作用，这样就能够促进热水的快速流出<sup>[5]</sup>。

给水设计的完善，还需要科学选择管道材质。管道材质不仅有助于提高管路寿命，而且还有助于系统运行，反之，管道材料若不符合要求，则会引发系统腐蚀、泄漏和堵塞等一系列问题，对建筑住户的工作和生活带来一定影响，同时也会增加给水系统的维护检修成本，得不偿失。这也提示设计人员在给水设计中，应当对管道材质的选择给予高度重视。具体而言，设计人员应当加强对管道材料相关知识的学习，明确不同环境和要求下，适合选择的管道材质。一般情况下，新型管材的优先级应高于常规管材，可选择 PEX、HDPE 和 UPVC 等。新型管材对高温、高压和腐蚀性较强的环境，具备较强耐受度，不容易结垢，寿命也相对较长，可最大程度避免管材生锈和腐蚀，令系统整体可靠性与稳定性得到提升。此外，设计人员还应当平衡管材的性能和成本投入，尽量选择物美价廉的材质，避免成本投入过高<sup>[6]</sup>。

给水设计同样需要合理设置压力值，这不仅有助于系统运行一切如常，还可以尽量减少成本投入。设置压力通常会对建筑进行垂直分区，同时平衡分区数量和压力值。如果分区数量多，压

力值整体较低，会导致工程项目给排水管道及其附属物数量增加，从而令施工成本难以控制。若单纯为了节省成本，而盲目增加压力，可能导致系统运行压力不堪重负，轻则引起明显的管道噪声，重则导致管道爆裂，影响居民正常生活。因此，压力值的设定应当对建筑物实际情况做好考虑，收集建筑住户人数、结构特点等各项信息，保证分区供水设置的合理性，使其能够符合居民用水要求。如果需要给给水系统压力进行计算，可以借助 BIM 等先进技术完成计算，对管道水流情况进行模拟，避免系统稳定性受到影响。另外，在给水处理系统投入运营之后，相关人员应当重视系统的检查与维护，保证系统长时间使用<sup>[7]</sup>。

## （二）排水设计

排水系统的设计，应做好不同水体的分流，例如需要实现污水和废水，以及污水和雨水的分流。不同水体的处理方式也有一定差异，污水通常需要化粪池处理，医院的医疗废水，通常需要排放至污水处理厂，统一处理之后方能向市政污水管网集中排放。若是酒店餐厅的厨余废水，则需要预先隔油，后续做进一步处理。与此同时，排水系统设计阶段，选择排水设备时，最好能够自带水封，水封深度应控制在 5cm 及以上。如果是厨房和卫生间等用水量较大的场所，为避免水流过管道产生的噪声，应力求实现静音排水，保证住户正常的居住体验。为响应排水系统环境保护要求，可以在建筑地下结构中设置真空排水系统，避免设备用房占用建筑原有面积。此外，真空排水系统相较于其他排水系统，出现故障的风险较低，能耗较低，运行便利性也较强<sup>[8]</sup>。

## （三）管道变频调节

节水节能是建筑给排水设计的考量因素。因此，为满足建筑住户的用水要求，通常可采取变频调节设计方法，令系统节水效率得到整体提升，达到节约能源的目的。具体设计时，需要连接转轴和变频调节器，后续设计转速计，使转动次数固定，进而结合建筑住户的实际需求，对给水设备工作状态进行调整，达到降低能耗的目的。经验表明，变频调节还能够对用水量进行调节，保证水泵运行频率达到要求。液力传动装置在供水泵和水电机之间，可促进转换机械能，同时，液力传动装置可以对水泵输出功率进行调节，即使系统承受的负荷值存在一定差异，依然可以保证运行的稳定性，从而减少系统的运行成本。不同变频调节位置的允许渗水量，也存在一定差异。例如管路对顶接口允许渗水量需控制在每立方米 10mL 之内，管理间接口允许渗水量需控制在每立方米 20mL 之内，给排水管道内底允许渗水量需控制在每立方米 25mL 之内，轴线位置转速机允许渗水量需控制在每立方米 15mL 之内<sup>[9]</sup>。

## （四）雨水和中水回收

一些建筑地处降雨量充沛的地形，应重视雨水的收集。雨水水质相对理想，而且回收系统的建立，不用投入过多成本，可省去大量资金。装配式建筑在进行给排水系统设计时，将回收雨水作为重要的设计方向。雨水回收之后，适当净化，即可用于小区园林养护、道路清扫和走廊清洁等，符合绿色设计理念。

中水尽管不能直接饮用，但依旧属于水资源中不容忽视的一个重要类别。中水本质上经过处理回收，水量相对稳定，而且整

体较大,可有效控制用水成本。中水的回收,能够避免废水和污水的大量排放。以酒店和学校的公共浴室、游泳池等为例,这些地方用水量较大,直接排放会导致大量水资源浪费。使用中水处理系统,则可以充分净化废水,将其转化成中水,实现水资源的大量回收利用<sup>[10]</sup>。

（五）遵从设计规范

由于装配式建筑给排水管道承受的压力较大,内衬管强度一般难以保证均匀分布。实践中,若在装配式建筑中安装预制混凝土管道,不但会增加额外成本,而且会增加施工难度,对工程实施颇为不利。这也提示设计人员在选择材料时,可选择热固性树脂,也可选择注浆方式,完成给排水管道装配。为应对管道连接形成的间隙,一般会将管道和内衬间隙缩小,从而减少管道跑冒滴漏的问题。以管槽设计为例,应当提前留下管槽,方便排水管

道的拼装。预埋给排水管道阶段,应当提前做好孔洞的预留,防止管线影响正常施工,同时以同层排水设计为主,尽量防止穿过结构构件。若因工艺需要必须穿过,则需要集中处理管线,避免装配模板种类过于复杂。如果给排水管道需要穿过墙壁或维护结构,应当在装配构件上加装防水套管,避免管路被破坏。

三、结束语

综上所述,当前装配式绿色建筑给排水设计存在的问题,主要包括水资源规划不完善,水压过高,管材及其附件选择不规范,热水供应不到位等。设计人员应当对症下药,完善给排水设计,并适当应用变频调节技术,注重雨水、中水等水资源回收,从而达到绿色建筑的节能目的,发挥给排水工程的节能优势。

参考文献

[1] 黄铸颖. 建筑给排水系统节能优化设计在智能住宅小区的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(3): 106-107.  
[2] 胡倩. 建筑设计中绿色建筑设计的优化与结合——以合肥市中水三立项目为例 [J]. 安徽建筑, 2023, 30(5): 125-126.  
[3] 荆康, 孟祥伟, 王梦琦. 浅析环保理念在某食品产业园给排水设计中的应用 [J]. 鞋类工艺与设计, 2023, 3(2): 147-149.  
[4] 李艾莉. 高层建筑给排水设备设施设计要点以及节能减排设计的研究 [J]. 中国设备工程, 2023(12): 244-246.  
[5] 龚金豪, 曾勤. 绿色建筑理念下装配式建筑给排水设计与施工 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(33): 148-150.  
[6] 郑永菊, 贾妍, 陈建勋, 等. 未来社区建设给排水及水生态实施路径——以丽水莲都灵山社区为例 [J]. 给水排水, 2021, 47(S02): 357-361.  
[7] 颜仁骁. 绿色建筑给排水设计中的节水措施应用——以永川职业教育中心的迁建工程为例 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(4): 114-116.  
[8] 孙勇军. 超高层建筑给排水系统设计的思考——以四川某大型综合体给排水设计为例 [J]. 科学技术创新, 2021(23): 107-108.  
[9] 周华理. 绿色建筑理念下高架地铁站给排水设计分析——以广州21号线金坑站为例 [J]. 低碳世界, 2021, 11(9): 130-131.  
[10] 毕南妮, 裴丽丽. 高校建筑给排水系统的节水设计——以唐山市曹妃甸区某高校建筑为例 [J]. 工业技术与职业教育, 2021, 19(1): 99-101.

# 提高市政给排水工程污水处理水平的技术策略探究

郑敬霖<sup>1</sup>, 曹爽<sup>2</sup>, 王雄科<sup>2</sup>

1.湖北省工程咨询股份有限公司, 湖北 武汉 430060

2.武汉市生态环境科技中心, 湖北 武汉 430060

**摘 要 :** 水资源是城市发展的重要资源, 如何科学处理污水, 既关系到城市居民用水安全, 也会对水资源利用率产生较大影响, 是市政给排水工程质量的关键所在。本文将具体介绍市政给排水工程污水处理技术, 希望能为污水处理带来新思路, 实现污水处理水平的全面提升。

**关 键 词 :** 市政给排水工程; 污水处理; 处理技术

## Exploration of Technical Strategies to Improve Sewage Treatment Level in Municipal Water Supply and Drainage Engineering

Zheng Jinglin<sup>1</sup>, Cao Shuang<sup>2</sup>, Wang Xiongke<sup>2</sup>

1.Hubei Province Engineering Consulting Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430060

2.Wuhan Ecological Environment Science and Technology Center, Wuhan, Hubei 430060

**Abstract :** Water resources are crucial for urban development. How to scientifically treat wastewater not only concerns the safety of urban residents' water use but also significantly impacts the efficiency of water resource utilization. This is key to the quality of municipal water supply and drainage projects. This article will specifically introduce wastewater treatment technologies in municipal water supply and drainage projects, aiming to bring new ideas to wastewater treatment and achieve a comprehensive improvement in its standards.

**Keywords :** municipal water supply and drainage engineering; sewage treatment; treatment technology

市政给排水工程的污水处理, 是保证城市水源洁净程度, 影响城市居民正常用水的关键, 为提高污水处理水平, 需要结合污水处理要求, 采用对应技术, 以保证城市用水符合居民生活预期。

### 一、活性炭吸附

活性炭吸附的原理是物理和光化学吸附等, 配合氧化、还原、催化等进程, 对水中污染物进行处理。活性炭通常以粒状炭、粉末炭为主, 粒状炭先过滤再吸附, 在此基础上, 发展出了粒状活性炭床, 用此方法处理污水, 应先提前预处理污水, 将污水中油脂去掉, 避免悬浮固体过多, 令每升污水中的悬浮物含量不能超过50mg, 防止炭层被堵塞的同时, 也能防止反冲洗操作过多<sup>[1]</sup>。粉末炭以混悬接触吸附为主, 这种处理方法也有投料曝气法、生物-物理处理法的别称, 指的是在曝气池中投入粉末活性炭, 这样既能最大程度增加废水处理设备利用率, 又能实现处理效率的提升。该方法对污水的处理, 通常是吸附与微生物氧化分解共同发挥作用。活性炭空隙会对污水中氧气和有机物进行充分吸附, 保证微生物的营养, 使其能够大量增殖。微生物经过自身代谢, 活性炭孔会有大量酶物质, 同时基于有机物、微生物较长的接触时间, 即使有机物降解时间较长, 也有可能生物氧化的作用下而分解。活性炭吸附法不仅处理效率较高, 而且处理过

程比较稳定, 且微生物适应重金属及有机毒物的抗性也较强。同时因为活性炭对表面活性物质的吸附作用较强, 曝气池也不会大量起泡沫。实践经验表明, 该方法针对浓度较大、成分复杂的污水, 同样能够达到较好的处理效果, 实用性较强<sup>[2]</sup>。

### 二、絮凝沉淀

絮凝沉淀本质上是水中颗粒物絮凝沉淀过程, 将混凝剂加入水中后, 借助分子力作用, 悬浮物胶体和污水中的分散颗粒会聚集形成絮状体, 絮状体沉降时, 也会继续凝聚, 导致起体积增加, 沉降速度也会因体积增加变大。絮凝沉淀技术原理, 是污水中有机阴离子与无机絮凝剂反应, 产生压缩双电层, 降低废水中悬浮微粒稳定性, 胶粒物体变大大会形成絮凝体, 长大之后会借助重力作用, 脱离水相沉淀, 进而减少污水中悬浮物, 使水变得澄清。实践中可适当掺入助凝剂, 令分离效果进一步提升。经验表明, 沉淀池颗粒沉降速度和沉淀有效水深, 都会对颗粒去除率产生一定影响, 这也要求相关技术人员, 不仅要讲沉淀柱器壁作

为重要的考量要素，还需要尽量增加柱高，使沉淀有效距离更大<sup>[3]</sup>。

絮凝剂的选择，可选择三氯化铁和碱式氯化铝。三氯化铁呈黑棕色，溶解性较强，而且有较强吸水性能，可以大量吸收空气中水分。作为絮凝剂加入污水中，由于其本身具有较大水解速度，水合作用偏弱，因此絮凝物密实程度较高，可在短时间内快速沉降，即使水温有明显变化，絮凝物产生的速率也整体稳定，能够抵抗沉降过程中受到的横向剪切力。此外，絮凝剂还能够将水中铝离子，以及游离铝离子去除，减少对人体的危害。三氯化铁本身不必投入太多，即可达到理想的处理效果，可有效节约成本，针对生活污水、生活用水、工业用水等均适用。碱式氯化铝可分成标准碱式氯化铝和复合型碱式氯化铝，相较于其他絮凝剂有以下优势：第一，具备优良的混凝性能，絮凝物相对密实，可在短时间内快速沉降。净水效果也较好，其中不含重金属离子、氯离子等，安全性较高。第二，5-10pH范围内的污水均可应用，净化前后水体的pH值基本不会发生较大变化，且不会严重腐蚀处理设备。第三，针对藻类污水、污染程度较轻的污水、温度较低和浊度较低的污水，净化处理效率更高。第四，不用大量投入絮凝剂，成本相对较低<sup>[4]</sup>。

### 三、UNITANK 污水处理

UNITANK污水处理可看作是SBR工艺变型，以矩形池作为污水处理重要构筑物，不同反应池可以共用池壁，减少成本投入，也可进一步节省占地面积。反应系统运行的水位一直不变，运行方式也会相对灵活，除磷脱氮的效果相对理想。具体而言，UNITANK污水处理系统，主要包括三个矩形反应池，池子之间互相联通且平行，不同池内部都有供应设备，可以应用鼓风机曝气。两边反应池依照反应工序的不同，交替完成沉淀和曝气，中间池一直负责曝气。UNITANK污水处理池能够使池中交替出现好氧或厌氧环境，依照处理对象差异，UNITANK系统也可能表现出不同的运行方式。相较于活性污泥法，UNITANK污水处理系统能够省略污泥回流过程，避免投资成本过高。由于池体为矩形，池壁可以共用，加上不同水池之间连通，中间池壁水受到单向水压，可以大量节省土建面积。同时UNITANK污水处理可增加各种智能化监测设备，由设备监测池中氧化还原电位、溶解氧等影响反应的数据，对供氧量加以改变的同时，可以实现水阀的自由切换，从而保证理想的反应空间，提高污水去除效率，强化脱氮除磷的效果。实践中，UNITANK污水处理系统有效容积较小，一般在非大型污水处理工程中应用较多，且尚存在较大技术开发空间，未来应用前景相对明朗<sup>[5]</sup>。

### 四、生物膜处理

生物膜法为固定模法，属于废水好氧生物处理技术，正常情况下，土壤对污水有过滤和洁净能力，生物膜法可看做这一过程的强化。该技术以生物滤池为主要设备，针对水肿有机污染物

（溶解性污染物、胶体）等，处理效果较好。生物膜以滤料为起始点逐渐向外，可区分成厌氧层、好氧层、附着水层、运动水层。技术要求将填料布置于污水处理构筑物中，内部环境氧气要充足，使填料表面聚集大量微生物，形成生物膜。污水充氧之后会保持特定流速经过填料，微生物会对污水中有机物进行分解，达到净化污水的目的。微生物吸收有机物的营养，自身数量也会增殖，生物膜厚度也会进一步增加。生物膜厚度达到一定限度后，氧扩散到生物膜内部的进程就会受到限制，此时表面聚集好氧菌，内部聚集厌氧菌，生物膜也会随之脱落。重复净化污水的操作，填料表面生物膜的形成也会呈现周期性特点，从而达到净化污水的目的<sup>[6]</sup>。

生物膜处理法优势相对明显，不仅供氧相对充分，而且基本不会受到气温变化的影响。若采用轻质填料，则保证构筑物重量小的同时，也能最大程度扩大填料表面积，设备本身的处理能力也能得到保证。此外，内部能保证良好的卫生条件，不会有蝇虫滋生，也不会产生相对难闻的气味。尤其是微生物在生物膜表面附着，可以保持和有机物浓度之间的平衡，因此如果污水浓度较低，生物膜法可以达到深度处理的目的。相较于活性污泥法，生物膜法具备以下特点：第一，生物相对多样。生物膜生长方向相对固定，可促进内部稳态生态环境的形成，一些增殖速度较慢的菌种，生长能力较强，因此生物膜上附着的生物，相较于活性污泥环境会更加丰富。第二，不会剩下过多污泥。生物膜会附着不同营养水平的生物，相较于活性污泥环境，食物链会更长，因此剩下的污泥量也会更少，对于污泥处置相对利好。第三，生物量较多，可达到较大设备处理能力。生物膜含水率普遍较低，单位体积生物量更多，可实现构筑物处理能力的成倍增长。第四，运行管理难度较低。生物膜法省略了污泥回流的过程，无需对污泥排出量进行频繁调整，因此维护管理难度较低<sup>[7]</sup>。而且微生物会表现为固着生长，因此没有这个问题。以活性污泥中的丝状菌为例，这类菌种大量繁殖，会令活性污泥不断膨胀，且该菌种本身具备强氧化能力。生物膜法则可充分发挥丝状菌的优势，克服相关缺陷。第五，不会消耗过多动力。填料曝气会导致气泡破裂，令充氧效率进一步提升，加上厌氧菌本身不会消耗氧气，因此可减少动力消耗。第六，工艺过程相对稳定。水力负荷与有机负荷基本不会产生较大波动，就算工艺被破坏，也能在较短时间内恢复。加上微生物固着生长，处理构筑物也能避免连续不断运行<sup>[8]</sup>。

### 五、AB 污水处理

AB污水处理本质上为吸附-生物降解工艺，整体包括A段与B段活性污泥系统。两个系统负荷不一致，A段负荷相较于B段负荷更高，前者负责各类污染物的去除，后者负责有机物的氧化降解。相较于其他污水处理工艺，AB污水处理具有如下优点：首先，具备较强运行稳定性。这是因为B段负荷较低，可促进生物的氧化降解，令系统整体趋于稳定。其次，具备较强抗冲击负荷能力。A段承受负荷较高，能够对水质波动形成较好的抵抗作

用,提高整体稳定性。另外,去除污物效果理想。除磷脱氮效果明显,去除之后的有机物含量较低。最后,成本投入较少,可减少运转费用与设备投资。当前技术发展背景下,AB污水处理通常在有机氮、磷元素含量较高的污水处理中适用性较强,借助科学的参数调整与运行管理,一般能保证处理效果和预期设计要求相符<sup>[9]</sup>。

## 六、微电解法处理

微电解法是基于电化学原理和原电反应对污水进行净化。处理之前需要连接电负性存在差异的导体,将导体筋膜在电解质液中,形成原电池。这样就能在导体周围产生电场效应,令溶液中的带电离子移动至反电荷电极,进而发生反应,相关的产物也会和溶液中化学物质互相反应,进而去除化学污染物。常规微电解工艺,以木炭为材料,应用之前会加入酸碱剂促进活化,这会增加材料板结的概率。加上炭和铁属于物理接触,可能因为隔离层的形成,导致无法继续接触,进而影响微电解反应的正常进行。实践中,工作人员可能需要时常查看微电解材料是否能够正常使用,并适当进行更换,这不仅会对废水处理质量造成一定影响,还可能影响处理效率。相较于其他污水处理方法,新型微电解法极大提升了反应速率,通常只需半小时到一小时,就可以完成工业废水的处理,同时针对较广的污染物范围均适用<sup>[10]</sup>。此外,新型微电解法工艺操作难度不大,处理效果相对稳定,且设备使用

寿命较长。而且处理时需要投入的反应剂也不多,添加之后可省略活化过程,每隔一段时间固定添加,不用额外更换。经过微电解处理之后的废水,水中会生成铁离子,相较于普通混凝剂,混凝效果更加显著,即使不额外增加混凝剂,也能保证理想的去除率,且不会再次污染水体。最后,微电解法既能单独处理水体,还可以和其他技术搭配使用,辅助生物处理。

## 七、雨污分流处理

雨污分流同样是市政污水处理的重要方法,本质上就是分开排放雨水与污水,采用不同管道完成输送,雨水会进入雨水管网,污水会进入污水管网,由污水处理厂集中处理之后,达到排放标准之后方能排放。雨污分流可有效减少污染,避免污水直接向河道排放,对水环境形成明显保护作用,防止污染天然水体。分流之后也可以实现对污水的截留,实现污水处理效率的进一步提升。污水处理过后,可以达到中水标准,用于市政用水,达到循环使用水资源的目的。

## 八、结束语

综上所述,本文介绍了几种市政给排水工程污水处理技术,相关人员应当结合污水处理需求,灵活选择处理技术,以实现污水处理水平的提升。

## 参考文献

- [1]高保磊.市政污水处理工艺与污水深度处理回用技术探讨[J].皮革制作与环保科技,2021,2(13):105-106.
- [2]常纪文,井媛媛,耿瑜,宋晓彤.推进市政污水处理行业低碳转型,助力碳达峰、碳中和[J].中国环保产业,2021(6):9-17.
- [3]赵柯.提高市政给排水工程污水处理水平的技术措施[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2022(11):103-105.
- [4]龚红攀.提高市政给排水工程污水处理水平的技术措施[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(11):206-209.
- [5]马琳,夏仕烜.提高市政给排水工程污水处理水平的技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):81-84.
- [6]孙春江.膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(3):73-76.
- [7]曾奋杰.市政给排水工程污水处理技术与发展路径探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):93-96.
- [8]鲁朝阳,赵子慷.市政给排水设计中节能技术的运用探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(3):156-158.
- [9]杨博.市政给排水工程设计问题及应对措施探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(6):67-70.
- [10]曾奋杰.市政给排水工程污水处理技术与发展路径探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):93-96.

# 电子停车计时收费系统的计量检测校准方法优化与实践

冯纯

河北省计量监督检测研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065000

**摘 要：** 本文聚焦于电子停车计时收费系统的计量检测校准领域。该系统主要由前端检测设备、数据传输链路、管理服务器以及收费终端四个部分构成，依靠精准计时机制以及高效的数据交互流程来实现稳定运作。其中，计量校准环节对于保障车主合法权益以及提升城市停车管理水平具有至关重要的意义。然而，传统的计量校准方法存在诸多局限性。一方面，其受环境因素影响较大，在复杂多变的环境条件下，难以精准模拟实际停车场景，导致校准结果偏差较大；另一方面，传统方法校准效率低下，无法对系统进行实时监测，难以及时发现并纠正潜在的计量问题。

**关 键 词：** 电子停车计时收费系统；计量检测校准；卫星授时；深度学习；大数据分析

## Optimization and Practice of Measurement, Detection, and Calibration Methods for Electronic Parking Metering and Charging Systems

Feng Chun

Langfang Branch, Hebei Institute of Measurement and Testing, Langfang, Hebei 065000

**Abstract：** This paper focuses on the field of measurement, detection, and calibration of electronic parking metering and charging systems. This system mainly consists of four parts: front-end detection equipment, data transmission links, management servers, and charging terminals. It relies on precise timing mechanisms and efficient data interaction processes to achieve stable operation. Among them, the measurement and calibration process is crucial for protecting the legitimate rights and interests of car owners and improving the level of urban parking management. However, traditional measurement and calibration methods have many limitations. On the one hand, they are greatly affected by environmental factors. Under complex and changing environmental conditions, it is difficult to accurately simulate actual parking scenarios, resulting in large deviations in calibration results. On the other hand, traditional methods have low calibration efficiency and cannot perform real-time monitoring of the system, making it difficult to timely detect and correct potential measurement problems.

**Keywords：** electronic parking metering and charging system; measurement detection and calibration; satellite time service; deep learning; big data analysis

## 引言

在城市交通管理朝着精细化持续迈进的当下，电子停车计时收费系统已成为规范停车秩序、提升停车资源利用效率的关键手段。作为城市停车管理体系的核心构成部分，此系统的精准程度，不仅与车主的切身利益紧密相连，更对城市停车管理的公正性和公信力有着深远影响。本章节将深入剖析针对电子停车计时收费系统计量检测校准方法开展优化研究的背景与意义，清晰阐释研究目的与预期目标，并且全面梳理国内外在这一领域的研究进展，为后续研究筑牢坚实基础。

## 一、电子停车计时收费系统概述

### （一）系统构成与工作原理

目前，智能化停车场电子计时计费装置（以下简称：智能计时装置）已逐步替代原电子停车场计时收费表，增加了视频拍摄、图像识别、触发、信息处理、时间显示等功能，能自动识别车辆位置，实时记录并自动放行。根据 JJG1010 - 2013 检定规程，停车场电子计时计费装置一般以纸质条码、IC卡或磁卡作为

载体，利用计算机进行收费管理<sup>[1]</sup>。而电子停车计时收费系统主要涵盖前端车位检测设备、数据传输网络、中央管理服务器以及收费终端这几个关键部分。前端车位检测设备运用地磁感应、视频识别等先进技术，对车位占用状态进行实时监测。所采集的数据通过稳定的网络传输至中央管理服务器，服务器依据特定算法对数据加以处理，精确计算车辆的停车时长，最终将停车费用信息清晰地呈现于收费终端。整个流程高度依赖精准计时以及高效的数据交互，任何一个环节出现偏差，都极有可能对系统的计量

准确性造成不利影响。

### （二）计量检测校准的重要性

计量检测校准，无疑是确保电子停车计时收费系统精准运行的关键核心环节，其重要性在整个城市停车管理体系中有着举足轻重的地位，堪称基石般的存在。在实际应用场景中，倘若计时出现哪怕细微的偏差，都将对车主产生直接且显著的影响<sup>[2]</sup>。车主可能因不准确的计时，无端面临多缴费的经济损失，辛苦积攒的财富就这样悄然流失；抑或是不经意间少缴费，事后可能面临补缴费用甚至额外处罚的麻烦，打乱正常生活节奏。这一情况不仅严重侵犯了车主的切身利益，还会在公众群体中引发广泛的质疑，极易导致公众对该系统的信任危机，使得原本旨在提升管理效率与服务质量的系统，沦为公众抱怨与不满的焦点。与此同时，错误的计量数据宛如一颗“定时炸弹”，会对城市停车资源的科学规划与有效管理决策造成极大干扰<sup>[3]</sup>。城市管理者基于错误数据所制定的停车资源调配计划、车位建设方案等，必然无法契合实际需求，进而阻碍停车管理朝着精细化方向稳步迈进。只有通过定期、严格的计量检测校准工作，全面排查系统潜在问题，及时校准偏差，才能确保系统始终稳定可靠运行，为城市停车管理生态的健康有序发展提供坚实保障，营造公平、高效的停车环境。

## 二、现有计量检测校准方法分析

### （一）传统方法介绍

在传统的电子停车计时收费系统计量检测校准工作中，标准计时器比对法是较为常用的手段。具体操作是将高精度的标准计时器与系统内部的计时设备进行同步运行，在运行过程中，对两者所产生的计时数据进行细致比对，依据比对所发现的差异来对系统计时进行校准。同时，为校验车位检测设备的准确性，往往会借助模拟车位占用设备。这类设备通过模拟车辆进出车位的动作，来检测车位检测设备的响应是否准确。而在数据传输校准环节，主要依赖人工对网络链路的稳定性以及数据完整性展开检查。工作人员会通过专业工具和经验，逐一排查网络线路是否存在故障、数据在传输过程中有无丢失或错误等情况<sup>[4]</sup>。

### （二）存在问题剖析

标准计时器比对法存在明显的环境敏感性问题。温度、湿度等环境因素的波动，极易对标准计时器的计时精度产生干扰，使其自身计时出现偏差。这种偏差会直接传导至系统校准过程，导致最终校准精度大打折扣。模拟车位占用设备虽然在一定程度上能够检测车位检测设备的性能，但面对复杂多变的实际停车场景，诸如车辆的不规则停放、多车紧密相邻等情况，模拟设备难以进行全面且精准的模拟，这就使得车位检测设备的校准工作存在较大局限性，无法充分满足实际应用需求。人工检查数据传输的方式效率极为低下，由于数据传输涉及大量的信息和复杂的网络架构，人工排查不仅耗时费力，而且对于一些细微的数据传输错误，如瞬间的数据丢包、特定编码格式下的错误等，很容易出现遗漏<sup>[5]</sup>。更为关键的是，人工检查无法实现对系统运行状态的

实时监测，难以确保在长时间的运行过程中，系统计量始终保持准确无误，给系统的稳定运行带来潜在风险。

## 三、优化的计量检测校准方法

### （一）优化思路与原则

在电子停车计时收费系统的校准工作中，准确性优先始终是首要考量因素。我们全力以赴，运用先进的技术手段与严谨的操作流程，致力于将校准后系统的计量误差控制在极为微小的范围。从硬件设备的精细调试，到软件算法的反复优化，每一个环节都严格把关，确保为电子停车计时收费系统提供精准无误的计量校准服务，让每一次计时收费都精准反映车辆实际停放时长，保障车主权益与停车管理的公正性。

秉持兼容性原则，在优化校准方法的过程中，研发团队充分调研市场上现有各类电子停车计时收费系统的架构与特性。通过巧妙设计通用接口、适配多种数据传输协议等方式，确保优化后的校准方法能与不同品牌、型号的系统无缝对接。如此一来，无需对现有系统进行大规模的硬件更换或软件重构，就能最大程度发挥优化效能，有效降低系统升级成本，为城市停车管理部门减轻负担。坚持高效性原则，借助创新技术手段，如引入人工智能辅助校准、采用云计算加速数据处理等，显著缩短校准周期<sup>[6]</sup>。同时，深度优化校准流程，去除冗余环节，合理安排操作步骤，提升整体工作效率。使得系统能够在更短时间内完成校准流程，迅速投入稳定运行，为用户提供不间断的优质服务，让城市停车管理更加高效便捷。

### （二）具体优化内容

计时上，用卫星授时技术替换传统计时器，借卫星高精度时间基准，让系统计时设备精准同步，从源头消除传统计时受环境干扰导致的偏差，保障计时准确。车位检测环节，运用深度学习算法训练模型，使其精准识别车辆不规则停放、多车紧邻、车身越位等复杂场景，弥补传统模拟设备短板，提升检测准确性与适应性。数据传输方面，搭建实时监测平台，运用大数据技术全方位监控数据传输。平台能自动检测丢包、延迟、错误等异常，及时预警并自动修复，保障数据完整准确，筑牢系统稳定运行的数据根基。优化后的方法与现有系统无缝对接，大幅缩短校准周期，助力系统快速稳定运行，为电子停车计时收费系统提供精准计量校准服务<sup>[7]</sup>。

### （三）技术创新点

计时校准上，深度融合卫星授时技术，借助其超高精度时间基准，克服传统计时受环境干扰、精度欠佳的难题，为系统计时精准性筑牢根基，在行业内首开先河。车位检测校准中，引入深度学习算法，打破传统模拟设备仅适用于简单场景的局限。通过对海量停车数据的学习训练，模型能适应复杂停车场景，大幅提升检测的适应性与准确性，开辟全新校准路径。在系统运行监测方面，将实时数据监测平台与大数据分析技术相结合，实现对系统状态的全方位、动态监测。该模式能及时发现并处理数据传输问题，为系统稳定运行提供智能保障，开创高效智能校准新模式

式，引领电子停车计时收费系统计量检测校准领域技术发展，助力系统达成更精准的计量校准服务。

四、优化方法的实践应用

（一）实践案例选取

为全面且深入地检验优化后的计量检测校准方法在实际场景中的应用效能，本研究精心挑选了某大型城市商业中心停车场作为实践案例。该停车场日常车流量极为庞大，高峰时段车辆进出频繁，且停车场景复杂多样，涵盖了车辆的不规则停放、多车型混停以及车位空间有限导致的紧密相邻等情况<sup>[8]</sup>。由于其现有电子停车计时收费系统在计量准确性方面存在缺陷，频繁引发车主投诉，对停车场的运营管理以及用户体验造成了负面影响。鉴于此，该停车场具备典型性，能够充分模拟实际应用中的复杂环境，为验证优化方法的有效性提供了理想的实践平台。

（二）应用过程与步骤

为提升电子停车计时收费系统校准的自动化与智能化水平，首先开展一系列前期准备工作。在停车场各关键位置精准安装卫星计时设备，将其与系统计时模块深度对接并精细调试，借助专业技术确保设备稳定接收卫星信号，把高精度时间基准准确传输至计时模块，为精准计时打好基础。同时，利用专业工具针对停车场不同时段（像工作日高峰、平峰，周末高峰、平峰）、不同车型（小型汽车、中型客车、大型货车等）的停车情况，全面采集车辆进出时间、车位占用时长、停放位置等关键信息，运用这些丰富数据对深度学习车位检测模型开展针对性训练，不断优化参数，使模型能精准识别复杂停车场景下的车位占用状态<sup>[9]</sup>。此外，搭建功能完备的实时数据监测平台，通过先进网络通信技术，将停车场内车位检测设备、收费终端等前端设备与中央服务器无缝连接，实时采集系统运行数据，运用大数据分析技术深度挖掘分析，实现对数据传输的全方位实时监测。完成上述准备工作后，严格依托优化方案，定期用新的计量检测校准方法对系统

全面校准，每次校准都详细记录校准时间、校准前后的计时数据、车位检测数据以及数据传输状态等，方便后续深入分析评估校准效果。

（三）实践效果评估

经过一段时期的稳定运行，针对优化前后的系统数据展开了全面且细致的对比分析。结果清晰表明，计量误差率从优化前的5%显著降低至1%以内，这一数据的大幅优化有力地证实了优化后的计时校准方法在提升计时准确性上成效显著。在保障车主权益及提升用户满意度方面，优化后的系统同样成果斐然，车主投诉率相较于优化前锐减80%，直观反映出系统在维护车主利益方面的显著进步。不仅如此，得益于精准的车位检测与计时功能，车位利用率从原本的60%提升至75%，实现了有效增长<sup>[10]</sup>。这一系列数据充分彰显了优化后的计量检测校准方法在实际应用中的强大优势，切实提升了电子停车计时收费系统的整体性能，显著提高了停车场的管理水平，为城市停车管理提供了更为可靠、高效的解决方案，有力推动了城市停车管理的精细化、智能化发展进程。

五、结束语

经过一系列深入研究与实践，本研究对成果进行全面总结。研究成功剖析了现有电子停车计时收费系统计量检测校准方法的弊端，并提出且实践了一套创新优化方案，通过引入卫星授时、深度学习、大数据分析等前沿技术，构建起更为精准、高效、智能的校准体系。在实践案例中，该体系显著降低了计量误差，提升了车位检测准确性与系统运行稳定性，为城市停车管理提供了有力技术支撑。站在行业发展前沿展望未来，电子停车计时收费系统计量检测校准领域的后续研究可聚焦于进一步提升校准系统的抗干扰能力，以应对复杂电磁环境与极端天气影响，同时探索将区块链技术应用于计量数据存储与传输，确保数据不可篡改，增强系统安全性与公信力。

参考文献

[1]李磊, 海涛. 智能化电子停车计时收费装置检定方法探讨 [J]. 计量与测试技术, 2024, 51(04): 95-96+100. DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2024.4.029.

[2]熊磊, 沈仁怡. 手持式电子停车计时收费表检定装置的研制 [J]. 工业计量, 2018, 28(02): 33-34. DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1002-1183.2017.0271.

[3]陈蓝生. 共享理念下江苏首家停车计时收费装置计量交互系统的研究与探索 [J]. 中国计量, 2018, (05): 21-22. DOI: 10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2018.05.011.

[4]葛君. 电子停车计时收费装置检定的探究 [J]. 大众标准化, 2017, (08): 43-46.

[5]俞水清. 手持式电子停车计时收费表检定仪研制成功 [J]. 中国计量, 2015, (04): 96. DOI: 10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2015.04.034.

[6]李柳斌. 电子停车计时收费表检定 / 校准测量不确定度 [J]. 计量与测试技术, 2016, 43(09): 115-116. DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2016.09.051.

[7]朱长春, 韩龙, 李新声. 停车计时收费装置计时误差测量不确定度评定 [J]. 计量与测试技术, 2013, 40(11): 79+81.

[8]海涛, 李磊, 李勇. 地磁型电子停车计时收费平台现场检定仪的设计及应用 [J]. 中国计量, 2022(3): 122-123.

[9]王峥. 城市道路停车场计时自助收费系统探讨 [J]. 西部皮革, 2018, 40(10): 43. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1602.2018.10.035.

[10]李亚荣. 基于 Linux 的停车场管理系统的设计与实现 [D]. 内蒙古: 内蒙古大学, 2018. DOI: 10.7666/d.D01535025.

# 水利工程监理与建设管理体制的协同创新及发展趋势

刘旭<sup>1</sup>, 付可<sup>2</sup>

1. 河南天地工程咨询有限公司, 河南 信阳 464000

2. 信阳市水利工程事务中心, 河南 信阳 464000

**摘 要 :** 本文聚焦水利工程监理与建设管理体制, 分析二者内涵及紧密关联。回顾监理制度发展历程, 剖析现行建设管理体制现状, 点明协同创新的关键意义。同时展望未来监理行业市场化、管理体制法制化、监理与管理智能化及绿色可持续发展的趋势, 旨在为提升水利工程建设质量与管理水平, 推动行业高质量发展提供理论支撑与实践指引。

**关 键 词 :** 水利工程监理; 建设管理体制; 协同创新; 发展趋势

## Collaborative Innovation and Development Trends of Water Conservancy Project Supervision and Construction Management System

Liu Xu<sup>1</sup>, Fu Ke<sup>2</sup>

1. Henan Tiandi Engineering Consulting Co., Ltd. Xinyang, Henan 464000

2. Xinyang Water Conservancy Engineering Service Center, Xinyang, Henan 464000

**Abstract :** This article focuses on the supervision and construction management system of water conservancy projects, analyzing their connotations and close correlations. It reviews the development process of the supervision system, analyzes the current status of the existing construction management system, and highlights the key significance of collaborative innovation. At the same time, it looks forward to the future trends of marketization of the supervision industry, legalization of the management system, intelligence of supervision and management, and green and sustainable development. The aim is to provide theoretical support and practical guidance for improving the quality and management level of water conservancy project construction and promoting high-quality development in the industry.

**Keywords :** water conservancy project supervision; construction management system; collaborative innovation; development trends

## 引言

水利工程作为国家基础设施建设的关键构成部分, 对水资源的合理调配、防洪减灾以及推动经济社会可持续发展起着不可替代的重要作用。随着经济社会的快速发展以及人们对水利工程功能需求的日益多元化, 传统水利工程监理与建设管理体制在实践中逐渐暴露出一系列问题, 这些问题严重制约了水利工程建设质量的进一步提升以及行业的可持续发展。通过协同创新, 有望打破现有体制机制障碍, 整合各方资源, 形成高效的建设管理模式, 从而显著提升水利工程建设的质量、效率与效益。

## 一、水利工程监理与建设管理体制概述

### (一) 水利工程监理的定义

水利工程并非单指兴修水坝等工程项目, 除去工程自身的建设与开展, 还囊括了其附属的配套工事等。将监督监理机制引入我国水利工程建设过程中, 不但可以显著提升水利工程建设实际开展水平与建设质量, 还能在保证施工质量的基础之上为施工方节约成本、提高效益<sup>[1]</sup>。水利工程监理是指具备相应资质的水利工程监理单位, 受项目法人(建设单位)委托, 依据国家有关工程建设的法律法规、规章以及批准的项目建设文件、建设工程合同和建设监理合同, 对水利工程建设实施专业化监督管理。

### (二) 建设管理体制的基本概念

水利工程建设管理体制是在水利工程建设过程中, 为实现工程建设目标, 对工程建设活动进行组织、管理、监督和协调的一系列制度、机构、职责和运行机制的总和。其涵盖项目法人责任制、招标投标制、建设监理制和合同管理等基本制度, 以及与之相适应的管理机构设置、人员配备、管理权限划分和 workflows 等方面。其中项目法人作为项目的建设责任主体, 对项目的策划、资金筹集、建设实施、生产经营、债务偿还和资产保值增值全过程负责。参建各方包括勘察、设计、施工、监理等单位, 它们在各自的职责范围内按照合同约定参与工程建设, 共同完成工程建设任务<sup>[2]</sup>。而各项建设管理制度相互关联、相互制约, 共同

构成了水利工程建设管理体制的制度体系，保障工程建设活动的规范化、科学化进行。

### （三）水利工程监理与建设管理体制的关系

水利工程监理与建设管理体制相互依存，水利工程监理是建设管理体制的重要组成部分，建设管理体制为水利工程监理提供制度框架和运行环境，没有健全的建设管理体制，水利工程监理难以有效发挥作用；水利工程监理的缺失或不到位，也会影响建设管理体制目标的实现。水利工程监理通过对工程建设过程的监督管理协助建设单位实现项目目标，建设管理体制则通过建立完善的制度和运行机制为工程建设提供保障<sup>[9]</sup>。在工程建设过程中，水利工程监理与建设管理体制的其他组成部分密切配合、协同工作。监理单位在建设单位的授权下对施工单位的施工活动进行监督管理，同时与勘察、设计等单位保持沟通协调，共同解决工程建设中出现的问题。建设单位通过制定管理制度、协调各方关系等方式，为监理工作的开展创造条件，促进工程建设的顺利进行。

## 二、水利工程监理与建设管理体制的现状分析

### （一）监理制度的发展历程

随着水利工程建设规模的扩大与复杂程度的提升，传统建设管理模式暴露出诸多弊端，催生了对专业监督管理机制的需求。在借鉴国外先进经验基础上，我国开始试点推行水利工程监理制，起初监理单位数量有限，业务范围较窄，主要集中在重点大型水利项目上。随着时间推移，相关法律法规与行业标准不断健全，监理行业逐步规范，监理单位如雨后春笋般涌现，业务覆盖各类水利工程，从大型枢纽到小型农田水利设施，监理的深度与广度持续拓展，在保障工程质量、控制进度与投资等方面发挥着愈发关键的作用<sup>[4]</sup>。

### （二）建设管理体制的现状

当前我国水利工程建设管理体制已形成较为完备的体系，以项目法人责任制为核心明确项目建设的责任主体，确保项目从规划到运营全流程的责任落实。招标投标制广泛应用，通过公平竞争机制择优选取勘察、设计、施工、监理等参建单位，保障工程建设的质量与效率。建设监理制作为质量监督的重要手段，在工程建设中持续强化监督职能<sup>[9]</sup>。合同管理制规范了各方权利义务关系，保障工程建设活动在法治轨道上运行。然而在实际运行中，仍存在一些问题，如部分项目法人管理能力参差不齐，参建各方协调沟通不畅，部分管理制度执行不到位等，制约着建设管理体制效能的充分发挥。

### （三）协同创新的重要性

水利工程监理与建设管理体制的协同创新具有不可忽视的重要性，从工程质量角度看，协同创新促使监理单位与建设管理各方紧密配合，形成全方位质量管控合力，有效减少质量隐患，提升水利工程整体质量水平。在进度控制方面，协同创新能优化资源配置，通过信息共享与高效沟通及时解决影响工程进度的问题，确保工程按计划推进。就投资效益而言，协同创新可避免因

职责不清、管理脱节导致的资金浪费，严格控制工程成本，提高资金使用效益<sup>[9]</sup>。同时协同创新还有助于提升水利工程建设行业的整体管理水平，适应新时代对水利工程建设高质量、可持续发展的要求，为经济社会发展提供坚实的水利支撑。

## 三、水利工程监理与建设管理体制的协同创新

### （一）创新原则

水利工程监理与建设管理体制的协同创新始终聚焦于提升水利工程建设质量、保障工程安全、提高投资效益以及确保工程按时完工等核心目标，一切创新举措均围绕这些目标展开，杜绝盲目创新，切实推动水利工程建设水平提升。将水利工程监理与建设管理体制看作一个有机整体，从制度、组织、流程、技术等多个层面开展系统性创新，着重关注各创新要素间的相互关联与协同作用，防止局部创新与整体系统不兼容，实现整体效能的最大化<sup>[7]</sup>。在国家法律法规和行业规范的框架内进行，严格遵守相关政策法规，确保创新活动合法合规，同时通过创新进一步完善和优化制度体系，使水利工程建设管理更加契合法治要求。此外坚持以人为本原则，高度重视人才在协同创新中的关键作用，一方面强化对监理人员和建设管理人员的培训与培养，提升其专业素养和创新能力；另一方面营造良好的创新氛围，鼓励员工积极投身创新实践，充分发挥人的主观能动性。

### （二）创新内容

完善项目法人责任制，明确项目法人在协同创新中的主导地位与职责，增强其对工程建设全过程的统筹协调能力；优化招标投标制度，构建科学合理的评标标准，引导参建单位重视技术创新和协同能力；创新监理制度，拓宽监理业务范围，赋予监理单位更多协调权力，助力其更好发挥监督与协调作用；完善合同管理制度，明确各方在协同创新中的权利义务关系，建立健全合同激励与约束机制。组织创新旨在构建一体化的建设管理组织架构，打破传统部门壁垒，实现监理单位与建设单位、施工单位、设计单位等参建各方的深度融合，成立由各参建单位主要负责人组成的协同创新工作小组，负责统筹协调创新工作，及时解决创新过程中出现的问题，并建立灵活高效的沟通协调机制，加强信息共享，促进各方协同配合<sup>[8]</sup>。技术创新则积极应用大数据、云计算、物联网、BIM 技术等先进信息技术，实现水利工程建设全过程的数字化管理。通过大数据分析为工程决策提供科学依据，利用物联网技术对工程现场进行实时监测，借助 BIM 技术开展工程设计、施工模拟和质量管控，同时推广应用新材料、新工艺、新设备，提高水利工程建设科技含量与质量水平。管理流程创新致力于优化工程建设管理流程，简化不必要的审批环节，提高工作效率，建立全过程质量管理流程将质量控制贯穿工程建设各阶段，创新进度管理流程，采用动态跟踪与调整机制及时应对工程进度偏差，完善投资管理流程，加强对工程变更的管理，严格控制工程成本。

### （三）创新策略

政府部门应出台相关政策，鼓励和引导水利工程建设领域开

展协同创新,设立专项创新基金,对在协同创新方面成效显著的项目和单位给予资金支持,制定税收优惠政策减轻创新企业负担,加强对创新成果的保护,完善知识产权法律法规,激发企业创新积极性。加强高校水利工程相关专业建设,优化课程设置,注重培养学生的创新能力和实践能力,开展在职人员培训,定期组织监理人员和建设管理人员参加专业培训和学术交流活动,更新知识结构,提升业务水平<sup>[9]</sup>。建立人才激励机制,对在协同创新中表现突出的个人给予表彰和奖励,吸引和留住优秀人才。加强水利工程建设行业内的合作交流,鼓励企业之间开展技术合作、项目合作和人才交流,建立行业协会,搭建交流平台,促进企业间信息共享和经验交流。积极开展国际合作,引进国外先进的管理经验和先进技术,提升我国水利工程建设管理的国际化水平。选取一批具有代表性的水利工程项目作为协同创新的示范项目,加大对示范项目在政策、资金、技术等方面的支持力度,及时总结示范项目的成功经验,通过召开现场会、发布案例集等方式在全行业推广应用,发挥示范引领作用。

## 四、水利工程监理与建设管理体制的发展趋势

### (一) 监理行业的市场化

未来水利工程监理行业的市场化进程将进一步加速,一方面市场竞争机制将更加完善,监理单位需凭借优质服务、专业能力和良好信誉在市场中立足。随着市场准入门槛的动态调整,更多有实力的企业将参与到水利监理市场,促使行业整体服务水平提升。另一方面监理服务的价格形成机制将更趋市场化,摆脱以往单一的定价模式,根据项目复杂程度、监理服务质量等因素灵活定价,实现优质优价。同时市场需求将驱动监理业务的多元化发展,除传统的施工阶段监理,项目前期策划、运营维护阶段的监理咨询服务也将逐渐成为市场新热点,促使监理单位拓展业务领域,提升综合服务能力。

### (二) 管理体制的法制化

水利工程建设管理体制的法制化是必然趋势,国家将持续完

善水利工程建设相关法律法规体系,从项目立项、建设实施到竣工验收,各个环节都将有更细致、明确的法律条文规范。执法层面监管力度将不断加大,相关部门将严格按照法律法规对水利工程建设活动进行监督检查,严厉打击违法违规行为,维护市场秩序。对于建设管理体制中的各类主体,其权利与义务将通过法律进一步明确,减少职责不清、推诿扯皮等现象<sup>[10]</sup>。同时法制化还将推动建设管理流程的规范化,从项目申报、审批到建设过程中的变更管理等,都将依法依规执行,保障水利工程建设在法治轨道上稳健推进。

### (三) 监理与管理的智能化

随着科技的飞速发展,水利工程监理与建设管理将深度融入智能化技术。在监理方面,利用人工智能技术可实现对工程质量的智能检测,通过图像识别、数据分析等手段快速准确地发现质量问题;物联网技术将使工程现场的设备运行状态、施工环境等信息实时传输至管理平台,便于监理人员及时掌握情况并做出决策。在建设管理方面,智能化管理系统将整合项目进度、投资、质量等各类信息,通过大数据分析为管理者提供精准的决策支持,实现项目的动态化、精细化管理。借助 BIM 技术构建的三维模型,可对工程建设过程进行可视化模拟,提前发现潜在问题并优化施工方案,提高建设管理效率和质量。

## 五、结束语

通过对水利工程监理与建设管理体制的深入剖析,清晰认识到当前所面临的挑战以及协同创新的紧迫性与重要性。从梳理现存问题到探索协同创新路径,再到展望未来发展趋势,本文力求为水利工程领域的持续进步提供理论支撑与实践指导。希望本文所提出的观点和思路,能够引起水利工程从业者及相关部门的重视,进而在实际工作中积极尝试、不断优化,推动水利工程监理与建设管理体制的创新变革,让水利工程在保障国家水安全、促进经济社会可持续发展的征程中发挥更为强大的作用。

## 参考文献

- [1] 张启龙. 关于水利工程监理的作用与控制措施探究 [J]. 大陆桥视野, 2023, (09): 126-128.
- [2] 张玉萍. 水利工程施工监理技术的创新与发展 [J]. 水上安全, 2023, (12): 151-153.
- [3] 唐智杰. 水利工程施工阶段的质量控制措施探究 [J]. 四川建材, 2023, 49(10): 202-203+206.
- [4] 郭志鹏, 李长治. 浅谈水利工程建设监理行业现状和未来发展 [J]. 河北水利, 2023, (08): 31.
- [5] 张启龙. 加强水利工程监理工作动态控制的措施分析 [J]. 大陆桥视野, 2023, (08): 116-118.
- [6] 兰艳媚. 水利工程施工质量管理中工程监理的作用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022, (34): 142-144.
- [7] 张晓亮. 水利工程施工监理质量与进度控制 [J]. 珠江水运, 2022, (21): 111-113. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2022.21.023.
- [8] 魏杰, 刘君智. 浅析水利工程监理企业核心竞争力因子 [J]. 湖南水利水电, 2022, (03): 106-109. DOI: 10.16052/j.cnki.hnslsd.2022.03.010.
- [9] 刘焕波. 浅谈农田水利工程建设监理的现状和改进对策 [C]// 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. “2022智慧规划与管理”学术论坛论文集. 山东省菏泽市东明县菜园集镇乡村文明建设服务中心, 2022: 6. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.011730.
- [10] 王乐正. 水利工程监理施工阶段的质量控制措施 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022, (04): 131-132.

# 火力发电厂燃料系统安全运行分析

谢德生

国家电投集团东北电力有限公司抚顺热电分公司, 辽宁 抚顺 113000

**摘 要 :** 新的社会经济发展形势下, 火力发电厂的运行发展面临着一定的机遇和挑战, 这就需要火力发电厂对自身的发展理念、模式进行相应的转变及优化, 以更好地适应新形势下的发展需要。火力发电厂运行过程中, 燃料系统的安全、稳定、可靠运行, 关系到火力发电厂的发展。对此, 加强火力发电厂燃料安全系统的构建及运用, 注重做好管理及控制工作, 对其中存在的安全隐患问题予以有效地防控, 是火力发电厂运行发展应把握的一个重要议题。本文针对火力发电厂燃料系统安全运行问题进行了探索分析, 注重做好科学、有效地控制, 以推进火力发电厂的长远发展。

**关 键 词 :** 火力发电厂; 燃料系统; 安全运行

## Analysis of Safe Operation of Fuel System in Thermal Power Plant

Xie Desheng

State Power Investment Group Northeast Electric Power Co., Ltd. Fushun Thermal Power Branch, Fushun, Liaoning  
113000

**Abstract :** Under the new situation of social and economic development, the operation and development of thermal power plants are facing certain opportunities and challenges, requires thermal power plants to transform and optimize their own development concepts and models to better adapt to the development needs of the new situation. In the process of operation of thermal plants, the safe, stable and reliable operation of the fuel system is related to the development of thermal power plants. In this regard, strengthening the construction and application of safety system in thermal power plants, paying attention to the management and control work, and effectively preventing and controlling the potential safety hazards are an important issue that should be gras in the operation and development of thermal power plants. This paper explores and analyzes the problem of safe operation of fuel system in thermal power plants, focusing on the scientific and control to promote the long-term development of thermal power plants.

**Keywords :** thermal power plant; fuel system; safe operation

## 前言

火力发电厂生产运行过程中, 燃料系统在其中占据着十分重要的地位, 需要对这一问题做好针对性地控制。这一过程中, 火力发电厂燃料系统安全运行管理, 应对该系统的运行方式予以重点把握, 将输煤系统作为重点的研究内容, 对煤炭运输方式、过程予以控制, 对其中可能出现的失误及偏差问题做好针对性的防控, 做好安全隐患、故障问题的有效处置, 以满足燃料系统安全运行的需要。针对这一情况, 文章围绕火力发电厂燃料系统安全运行问题进行分析, 把握燃料系统安全运行的影响因素, 结合火力发电厂管理工作开展, 确保燃料系统安全运行, 以满足新形势下火力发电厂的运行发展的现实需要。

## 一、火力发电厂燃料系统概述

### (一) 火力发电厂燃料系统组成分析

从火力发电厂燃料系统的组成来看, 主要包括了燃料接收与储存系统、燃料准备系统、燃烧系统、排放控制系统、灰渣处理系统五个部分内容<sup>[1]</sup>。从各部分的功能及作用来看, 具体内容如下:

燃料接收与储存系统。该部分为火力发电厂燃料系统的第一个环节, 其功能在于接收来自外部的燃料, 如煤炭、石油、天然气等, 并将这些燃料进行有效的储存。

燃料准备系统。该部分的作用在于保证燃烧的顺利开展。燃料进入到燃烧这一环节, 需要对燃料进行相应的准备, 对燃料做好针对性地处理, 以保证其燃烧的效果及效率, 满足火力发电厂的发电需要。

燃烧系统。该部分是火力发电厂燃料系统的核心组成部分，该部分主要作用在于将化学能转化为热能。从燃烧系统的构建来看，最为常见的燃烧系统为锅炉。在锅炉当中，燃煤经过高温燃烧之后释放出热能，热能将水加热成蒸汽，之后将蒸汽输入到汽轮机当中，实现能量的转化。

排放控制系统。火力发电过程中，会产生有毒有害的物质，这就需要做好相应的控制。排放控制系统应用时，实现对有毒有害物质的净化处理，降低对环境产生的污染问题。排放控制系统设计时，主要涉及了除尘器、脱硫装置以及脱硝装置等。

灰渣处理系统。火力发电过程中，其燃烧后会形成固体残留物，即灰渣。在对灰渣处理时，需要做好灰渣的收集、输送、储存、最终处置。灰渣处理系统应用时，能够降低灰渣对环境的污染，还可以对灰渣进行循环利用，实现可持续发展目标<sup>[2]</sup>。

### （二）火力发电厂燃料系统安全运行的意义分析

火力发电厂燃料系统的安全运行，关系到了发电工作稳定的开展，对于供电稳定性及可靠性而言，有着十分重要的意义。具体表现在以下几个方面：

确保火力发电厂正常运行。在火力发电工作开展时，燃料系统是其核心组成部分，关系到火力发电厂能否正常运行。该系统运用时，实现对煤炭等燃料的运输处理，直接决定了火力发电厂能否稳定、高效地作业<sup>[3]</sup>。

保障人身安全及财产安全。在火力发电厂运行过程中，燃料系统的安全运行对于场内工人以及发电厂的经济效益有着直接的影响。这一过程中，在火力发电厂运行时，应对燃料系统的安全运行问题予以重点把握，确保发电、供暖工作的顺利开展。

提升火力发电厂的经济效益。火力发电厂运营发展过程中，燃料系统处于一个安全、稳定的运行状态，能够有效降低设备因为故障问题、燃料损耗问题导致的经济损失，确保火力发电厂整体经济效益<sup>[4]</sup>。

## 二、火力发电厂燃料系统安全运行的影响因素分析

### （一）输送皮带的影响

火力发电厂燃料系统运行过程中，设备运行状态问题会对系统安全运行产生重要影响。燃煤系统工作时，需要将原煤等材料运输到设备中，这就需要对输送皮带进行应用。若是在原煤运输中，当输送皮带出现拉断、撕裂、打滑、跑偏等问题时，这就会导致皮带头部位置、输煤廊道出现大量积煤的情况。受此影响，输送皮带会停止工作，导致运煤中断的问题，原煤等材料无法达到指定位置。这一情况下，火力发电厂燃料系统正常运行受阻，造成供电中断等问题，影响到火力发电厂的运营发展<sup>[5]</sup>。

### （二）天气状况的影响

结合火力发电厂燃料系统的运行情况来看，很多输煤系统设备是露天布置的，这一情况下，受到恶劣天气情况的影响，会导致燃料系统运行故障问题的产生。如在燃料系统运行时，若遇到暴雨、台风、大雾、冰冻等恶劣天气，会给燃料系统的斗轮堆取料机的运行产生影响，造成其无法上料，中断系统运行<sup>[6]</sup>。又

如，受到暴雨天气的影响，大量的雨水容易导致煤堆出现塌方的情况，影响到输煤工作的顺利开展。再如，当出现大雾天气的时候，斗轮机操作人员的视线容易被阻挡，这可能造成斗轮机悬臂与煤堆发生碰撞的情况，造成设备的损坏，影响系统稳定运行。除此之外，由于温度情况影响，当出现冰冻后，输煤系统的正常运行受挫，会导致斗轮机皮带出现跑偏、打滑等问题，导致煤炭堆积，影响到输煤系统的正常运行。

### （三）煤炭材料质量影响

火力发电厂燃料系统运行过程中，煤炭是主要的材料，煤炭的质量问题会对燃料系统的安全、稳定运行产生较大的影响。在煤炭选择及应用时，原煤水分的含量在15%——16%之间，并且由于天气的因素的影响，煤炭含水量会有所上升。这一情况下，会造成堵煤、粘煤问题的发生，若是严重的情况下，会造成运煤工作停止。同时，联系火力发电厂燃料系统运行的情况来看，由于原煤水分含量较高，这就可能导致自流问题的发生，影响到上煤工作开展。此外，在火力发电厂中，如果煤炭资源的贮存时间相对较长，这会导致煤炭内的水分大量地挥发，引起煤炭出现自燃的情况，从而造成火灾问题，给火力发电厂安全产生较大的威胁<sup>[7]</sup>。

### （四）工作人员能力素养影响

火力发电厂燃料系统安全运行，工作人员自身的专业能力、专业素养问题，起到了重要的影响。这一过程中，联系燃料系统运行的情况来看，输煤系统有着一定的特殊性，若是不能够做好控制，会导致安全问题的发生。从工作人员的情况来看，一些燃煤运输人员缺乏安全意识，在实际操作过程中，存在着违章的问题，导致安全风险的产生。同时，一些操作人员的技术水平相对较低，缺乏责任心，对于操作过程中的风险缺乏把握，造成错误操作问题，并且在问题处理时，调整工作不及时、风险判断失误，影响到了燃料系统运行的安全性。

## 三、火力发电厂燃料系统安全运行对策分析

### （一）加强输送皮带质量控制

火力发电厂燃料系统安全运行工作开展时，应对输送皮带的质量控制问题予以高度重视，保证其质量，有效降低安全生产、安全问题的发生。在输送皮带质量控制时，应注重把握以下几点内容：

对输送皮带的质量进行验收和检修。输送皮带质量关系到了火力发电厂燃料系统安全运行，应注重加强输送皮带质量的验收及检修工作。在验收时，应对皮带接口粘接工艺做好检查，查看其接口是否对接正确。之后，开展皮带的检修，采取试运行的方式，对皮带是否出现跑偏的问题做好处理。在检修完成后，做好现场的清理，保证输送皮带处于一个良好的运行状态，确保燃料系统安全运行<sup>[8]</sup>。

加强皮带的定时检查工作。火力发电厂燃料系统运行时，会对输送皮带产生磨损，这就需要对输送皮带开展定时的检查工作。这一过程中，注重结合燃料系统运行周期，确定检查周期，对皮带进行认真检查，查看其是否出现跑偏等问题。同时，对皮

带运行速度做好检查,保证运行速度处于正常的状态,以保证燃料系统稳定、可靠、安全运行。

做好输煤皮带的保护工作。火力发电厂燃料系统安全运行与输煤皮带的稳定运行有着密不可分的关系。对此,应做好输煤皮带的保护工作。在开展输煤皮带保护工作时,结合煤炭燃料系统的应用,设置保护信号,对输煤皮带的运行情况做好监测,当出现问题,及时报警,工作人员对输煤皮带进行相应的调整,以保证燃料系统运行安全性。

### (二) 针对恶劣天气做好防范

恶劣天气情况会对火力发电厂燃料系统安全运行产生较大的危害,这就需要在实际生产过程中,对恶劣天气情况做好相应的防范工作,避免其对系统稳定、可靠运行产生不利影响<sup>[9]</sup>。在应对恶劣天气情况时,相关防范工作开展,可以从以下几个方面入手:

对气象局的天气情况进行掌握。这一过程中,火力发电厂生产工作开展,应留意天气变化,结合电视、网络、广播中的天气报告,可能出现恶劣天气情况时,如台风、暴雨等天气,要做好提前的防范,设置紧急预案。

提前做好煤场的防汛工作。燃料系统运行时,煤炭的含水量会对其粘度产生不利影响。这一情况下,当面临台风、暴雨等恶劣天气时,应提前做好相应的防汛工作,有效预防雨水对煤堆产生的冲击。

加强雾天的上煤监护工作。在大雾天气下,针对上煤工作开展,应安排人员智慧上煤,应对雾天对司机上煤视线的不利影响,保证上煤工作符合火力发电厂燃料系统安全运行的要求。

针对性做好皮带滑煤问题的预防工作。在冬天,受到极寒天气的影响,这可能导致斗轮机皮带出现滑煤的情况。在对这一问题处理时,应注重做好观察分析工作,对斗轮机尾车皮带进行辐射加热处理,对这一现象做好有效控制,保证燃料系统安全运行。

### (三) 有效控制煤炭材料质量

火力发电厂燃料系统安全运行工作开展,需要对煤炭材料质量问题予以高度重视,采取有效措施控制上煤的质量,保证煤炭供应满足系统运行的需要。煤炭材料质量控制工作开展,应把握以下几点内容:

做好落煤管理,及时地做好清理工作。在交接班时,应对落煤管粘煤的情况做好检查及清理工作。在每次落煤后,都需要进行清理工作,避免造成落煤管堵塞的问题。

对煤管堵煤信号传感器进行定期检查,并保证传感器设备处

于一个良好的工作状态,能够对煤管是否堵煤的问题做好及时地反馈,确保燃料系统运行稳定性。

加强煤炭材料质量的控制。这一过程中,注重对煤种做好选择,并根据火力发电厂的生产情况,对场内的煤炭做好相应的管理,避免其出现自燃的问题,影响到火力发电厂的安全性。

注重对煤炭燃料的运行方式做好针对性调整。这一过程中,应注重对煤炭的水分情况、储存情况做好把握,建立起完善的盘点制度,合理地安排上煤及堆煤工作。

### (四) 强化人员专业能力、专业素养

火力发电厂燃料系统安全运行,需要对“人”的功能及作用予以重点把握,关注工作人员专业能力、专业素养问题,强化人员责任感,贯彻及落实安全生产责任,以保证火力发电厂燃料系统的安全、稳定运行<sup>[10]</sup>。在实际工作开展时,可以从以下几个方面入手:

加强技术知识培训工作。火力发电厂应结合工作人员的情况,建立起完善的培训制度,做好人员技术知识培训,使工作人员对燃料系统安全运行问题有一个深刻的认识。同时,掌握相应的操作技能,保证安全生产工作的顺利开展。

进一步加强安全教育学习工作。在火力发电厂燃料系统应用时,积极推进安全教育工作的开展,引导工作人员对安全知识进行学习,树立起安全生产意识。

做好教育宣传工作。火力发电厂燃料系统安全运行,应对工作人员责任心的培养予以高度重视。这一过程中,结合线下宣传和线上宣传相结合的方式,提升工作人员的责任意识,对安全生产问题予以高度重视,保证火力发电燃料系统的安全、稳定、可靠运行。

## 四、结束语

综合上述分析来看,火力发电厂燃料系统安全运行工作的开展,应立足于当前火力发电的发展形势,对燃料系统运行问题予以重点把握,对影响安全运行的因素做好针对性的分析,把握火力发电厂燃料系统安全运行的实际问题。之后,有所针对、有所侧重地做好改进及完善。在推进火力发电厂燃料系统安全运行时,注重加强制度建设,并对煤炭材料质量予以控制,建立起完善的培训制度,强化人员专业能力、专业素养,以推进火力发电厂燃料系统安全、稳定、可靠运行。

## 参考文献

- [1] 宋修科. 火力发电厂燃料系统安全运行分析 [J]. 科技风, 2019, (32): 166+176.
- [2] 胡斌. 对于火力发电厂燃料系统安全运行的探究分析 [J]. 价值工程, 2019, 38(22): 182-183.
- [3] 郑锦武. 火力发电厂燃料系统安全运行分析 [J]. 科技风, 2019, (18): 184.
- [4] 赵强. 火力发电厂燃料系统安全运行探究 [J]. 科技资讯, 2019, 17(16): 35-36.
- [5] 王世义. 关于火力发电厂燃料系统安全运行的探究分析 [J]. 企业技术开发, 2017, 36(06): 84-86.
- [6] 张传庚. 火力发电厂燃料系统安全运行探讨 [J]. 科技创新与应用, 2016, (27): 222.
- [7] 陈炎辉. 对于火力发电厂燃料系统安全运行的分析 [J]. 科学中国人, 2015, (29): 148-149.
- [8] 陈细英. 火力发电厂燃料系统安全运行探究 [J]. 科技创新与应用, 2015, (21): 124.
- [9] 张日发. 探究火力发电厂燃料系统的安全运行 [J]. 企业技术开发, 2014, 33(14): 97+99.
- [10] 杨晓平. 对于火力发电厂燃料系统安全运行的探究分析 [J]. 价值工程, 2012, 31(16): 32-33.

# 公路路基材料研究与可持续性发展探讨

朱国辉

朝阳县交通运输事务服务中心, 辽宁 朝阳 122000

**摘 要 :** 文章以公路路基材料为研究对象, 对传统的路基材料的种类和性能需求进行论述, 对其使用状况和存在的问题进行分析, 阐述可持续发展对公路路基材料的需求, 并从工业废渣、再生材料、新材料三个方面阐述可持续发展对公路路基材料的需求。同时通过加大研发创新、完善标准规范、加大宣传力度等措施, 实现我国公路路基材料的可持续发展。

**关 键 词 :** 公路路基材料; 可持续发展; 新型材料; 挑战与策略

## Research on Highway Subgrade Materials and Sustainable Development

Zhu Guohui

Chaoyang County transport affairs Service Center, Chaoyang, Liaoning 122000

**Abstract :** This paper takes highway roadbed materials as the research object, discusses the types and performance requirements of traditional roadbed materials, analyzes its use status and existing problems, expounds the demand for sustainable development of highway roadbed materials, and expounds the demand for sustainable development of highway roadbed materials from three aspects of industrial waste, recycled materials and new materials. At the same time, by increasing research and innovation, improving standards and specifications, and increasing publicity, the roadbed material of our country can achieve sustainable development.

**Keywords :** road subgrade material; sustainable development; new materials; challenge and strategy

## 引言

给排水工程对建筑使用体验和建筑整体质量的影响不言而喻, 由于其施工需要依照设计要求进行, 因此对于前期设计工作而言, 设计人员应当重视当前设计存在的一系列问题, 并结合具体问题进行分析, 从而实现设计质量的全面提升, 为建筑住户居住体验提供切实保障。

## 一、公路路基材料概述

### (一) 传统路基材料类型

我国属山地地形地质条件, 交通量大且具有非均布性, 造成路基工程建设难度较大, 在公路路基的修建中对所选材料的选择有很高的要求。对于公路建设来说, 地基材料是确保其稳定与强度的重要依据, 是确保公路路面服务功能和使用年限的重要依据。长期以来, 我国公路路基建设仍采用传统的路基材料, 而路基材料的优劣对路面工程的质量起着至关重要的作用, 关系着道路的安全和畅通。因此在公路建设过程中必须正确选择不同的材料, 并对其进行科学的处理以确保工程质量。<sup>[1]</sup>

传统的道路路基材料有土料、石料、工业废料等。粘土、砂土等土料具有取材方便、造价低廉等优点, 但不同土壤的承载力及稳定性各不相同。在山地等复杂的地质环境中, 石料经常采用石方材料, 其强度高、稳定性好, 同时粉煤灰等工业废弃物经适当处理后, 也可用作水泥路面的填料, 并具有较好的胶凝性能。

### (二) 传统路基材料的性能要求

在公路路基建设中, 通常采用级配较好的砂砾料或砂砾料作填料, 它的主要功能是填补地基与地基间的空隙, 确保地基在填筑体中的压实度, 并具有减湿、增强稳定的功能。若以天然土壤作填料, 则对其使用条件的要求更高。地基材料的性能要保证粒度分布均匀, 不能有太大的粒度差别, 通常小于5毫米, 另外也要求土壤中的有机物含量较低, 其所包含的有机物质则要尽可能地少, 具备良好的保水性、压缩性及强度等性能。<sup>[2]</sup>

在进行路基填料的过程中, 还要对其密度和强度进行一定程度的控制。公路路基填料对其使用性能有一定的要求, 要有足够的强度既要能经受住来自路面的荷载, 又要能在长时间内不会产生过大的变形和损伤。另外因为路基会受地下水和地表水的污染, 所以对材料的抗冲蚀性能要求很高, 需要有一定的抗冻能力, 以防止在寒区冻融引起的结构性损伤, 同时还要有较好的压实能力以确保路基的压实度。

## 二、公路路基材料应用现状

### （一）不同等级公路路基材料选择

不同等级的道路，其路基填料的选型趋势是不一样的。在高等级公路建设中，为了提高路基的承载力与稳定性能，往往需要使用高品质的石料或改性土。但对低等级道路而言，材料在满足路基强度与稳定要求的同时，往往会更注重造价，选择容易获得的本地土材料。对于某些特殊区域，尤其是滨海、软土地基区，为了确保其稳定，工程人员必须采取相应的处理措施和材料。

### （二）现有路基材料在使用中存在的问题

目前我国现行的路基填料在应用中会出现不少问题，一方面一些常规土料在服役期间会出现压实度下降和强度下降等问题，从而引起路基沉降等病害。<sup>[9]</sup>另一方面部分石材的开发也会对生态环境产生一定的影响，有些地方的石材资源也会出现逐步不足的情况。若处置不当，还会引起土壤、地下水的污染，并对周围的生态环境产生一定的影响。

## 三、可持续发展对公路路基材料的要求

在推进可持续发展战略的背景下，公路路基材料的选择与应用必须超越传统工程标准，不仅仅追求材料的物理和化学性能以达到工程要求，更应深入考虑其对环境影响的可能性。工程人员要积极开发利用可回收、可降解的物质，降低对不可逆资源的依赖，促进资源的可持续利用，不但可以减少长远的费用，而且可以增进生态平衡，让后代拥有一个更好的公路环境。例如在城市道路建设中，工程人员应积极利用可再生资源，在生产、使用和废弃过程中，材料必须是无毒无害的，尽量减少对环境的不利影响，例如减少二氧化碳的排放，防止有害物质的排放。

## 四、新型可持续公路路基材料研究

### （一）工业废渣类路基材料

工业废渣类路基材料是一种新型的可持续发展的路基材料，其主要是利用工业废渣中的天然活性材料，包括粉煤灰、钢渣等，它也是一种具有高强度、高耐久性、高稳定性能的新型路基材料。目前我国每年产生大量的工业废弃物，特别是水泥、冶金等行业，会产生大量的工业废弃物。工业废渣作为一种新的路基材料，已被越来越多的用于公路的建设，利用工业废弃物作为路基材料既能节约资源，减轻环境污染，又能产生良好的经济效益和社会效益。因此工业废渣类路基材料成为一种新型可持续发展的公路路基材料。<sup>[4]</sup>

以工业废弃物为基础的公路建设是我国可持续发展的一个重要发展方向。比如利用钢渣的高强度、高耐磨特性，对其进行改性可作为路基填料，通过对粉煤灰进行适当的激活，可以有效地改善路基土体的力学性质，并降低对水泥等胶凝材料的用量，从而提高路基土的强度与稳定性。

### （二）再生材料类路基材料

建筑垃圾资源化是一项全球关注的重大问题，工程人员通过废弃的建筑垃圾进行粉碎、筛分等处理，可以使其成为其它建材的生产工艺。同时以建筑废料为原料，制备可回收的建材不仅可

以解决目前的资源短缺问题，而且可以节省大量的木材资源。近几年，在公路、铁路、桥梁等建筑工程中广泛应用回收材料，例如京哈公路北京段将废弃沥青混凝土制备成再生集料，并将其用作路基填料既可提高路基强度、稳定性能，又可节省天然砂石骨料，具有重要意义，另外在多个轨道交通项目中，还采用回收料制备再生混凝土及回收砂浆。

同时废旧沥青混凝土是一种新型的路面材料，工程人员将废弃的沥青混合料粉碎后，再应用于低级路基路堤上，并加入适量的固化剂等可改善其使用性能。废弃混凝土经过粉碎、筛分等处理后，可将其用作粗骨料级或细粒级集料，不仅可以解决建筑废弃物的处置难题，而且可以节省天然骨料，达到资源回收的目的。<sup>[6]</sup>

### （三）新型环保材料

以土工合成材料为代表的新型环境材料在现代化的道路建设中发挥着举足轻重的作用，该类材料因其优良的力学性能及环保等特点，得到工程界的广泛关注。在各类路基施工中具有广泛的应用，能够为工程质量的提高提供强有力的保证，另外加筋能够提高地基的整体性和稳定性，降低地基的水平变形。<sup>[6]</sup>目前正在研发的一类可生物降解材料，其在实现路基的加固等作用后可以在自然环境中逐步分解，不会产生持久的环境污染，这符合可持续发展的理念。

## 五、公路路基材料可持续发展面临的挑战

### （一）技术层面挑战

从技术角度看，可持续发展的新型路基材料研究与应用还存在诸多问题，比如工程人员对于工业废料的处置，要保证其性能稳定，且不污染环境。目前工程人员对其再生过程的复杂性及成本进行研究，如废弃沥青混凝土的再生，需对温度、用量等进行精确控制，才能确保其再生效果。同时对环境友好型新材料的耐久性及与现行建筑技术的相容性等问题也需要进行进一步的研究。<sup>[7]</sup>

### （二）经济层面挑战

在经济角度来看，新型环保的路基材料其成本显然会高于传统材料，具体而言，开发和生产这类创新的环保产品需要投入大量资金。例如当工程人员着手研发并制造出一款新的环保型路基填料时，初期阶段就需要高额的投资，因为从基础研究到材料试验再到最终大规模生产，每一个环节都涉及高昂的资本支出。这些额外的开销不仅体现在直接的原材料购买上，还包括为满足特定环保标准而进行的复杂技术处理和质量控制等方面的费用。然而由于其回收、加工和加工等环节的费用较自然原料高，建筑企业在选材上往往偏向于传统建材，这就不利于其推广。

### （三）观念层面挑战

目前我国尚无专门的新材料开发法律、法规，许多有关新材料的研究课题和研究结果都只停留在理论上。建筑行业普遍采用传统的建筑材料及施工方法，对新材料的特性及施工工艺尚不清楚，有一定的抵触心理，部分政策制定者往往只注重眼前的工程造价，而忽略长远的环保与可持续发展，从而阻碍了新材料的推广与应用。<sup>[8]</sup>为此必须提高认识、转变观念，充分认识新材料在环境保护、社会经济发展、生态文明建设等方面的作用。在此基础上，工程人员应该采取相应的措施，加快新材料的推广、健全有关的法律法规以及提高科技创新能力，为新材料的研发与应用提

供法律保证。

## 六、促进公路路基材料可持续发展的策略

### （一）加强研发与创新

加强对新型环保路基材料的研究与开发，政府及有关部门要建立专门的资金，并鼓励科研院所及企业进行新一代路基材料的研究开发，同时应制定税收优惠等优惠政策，以吸引社会资本进入房地产市场。

建立产学研协作机制，有利于加快我国新型路基材料的产业化进程。在此坚实的基础上，工程人员需要致力于构建一个全面而深入的产学研协同创新体系，这一体系不仅需要让高等院校和科研机构拥有在理论研究与开发方面的专业优势，也需要充分利用企业在实际生产过程中积累的丰富经验和实践技能。通过这种紧密结合，可以有效地推动科研成果的快速转化，进而加速科技创新的步伐，为社会经济发展注入新动力。其中高等院校、研究院所承担着基础研究与技术创新的重任，而企业则承担着将科技成果向现实产品转化、并用于工程实践的重任。<sup>[9]</sup>

### （二）完善标准与规范

工程人员为保证新材料在公路建设中的安全高效应用，必须制定出一套严谨的评价标准。研究内容包括不同环境下的强度、稳定性、耐久性等，并对其性能参数的测定方法、评价方法、评价方法等进行深入研究。另外工程人员要制订详细的施工工艺规程，对摊铺机的摊铺速度、厚度、温度等进行控制，对压路机的应用方式、压实强度的控制也进行详细的规定，保证在建造期间，每个步骤都能准确地进行，这样就可以有效地避免因使用不当而引起的材料性能退化和失稳。

同时为了确保物料质量，工程人员必须完善物料的检验与验收流程，建立一系列严格的规章制度，从原材料的采购到成品的

出货，每一个环节都要经过专业的检验和细致的验收，以保证产品符合高标准品质要求。<sup>[10]</sup>同时制定详尽的质量检查清单，对每一批次的物料进行定期或不定期的抽检，以此来预防潜在的质量问题。在材料进场之前、施工期间和完工之后都要对其进行严格的质量检查，确保新型路基材料符合设计要求和相关标准，从而保障公路路基的质量和安全性。

### （三）加强宣传与培训

工程人员通过精心组织各种类型的讲座和研讨会，向社会各界人士普及可持续发展理念，通过发放宣传资料、制作宣传册等多种方式，详细介绍新型路基材料的各项优势。这些材料在公路建设中的应用能够带来显著的环境效益，长期来看也能为项目所有者和承建方带来经济效益，同时它们在技术性能上展现出卓越的表现，确保公路建设质量的稳定性和可靠性，从而推动其广泛地被公众接受，最终实现环境保护与经济发展双赢的局面。通过实践训练、个案研究等方式，不断地提升专业技能与管理水平，确保新型材料在公路路基建设中的正确应用。

## 七、结语

综上所述，在推动公路建设迈向可持续发展的道路上，公路路基材料的可持续性发挥着至关重要的作用。这不仅涉及到材料的选择和使用，还包括对环境影响最小化、资源高效利用等方面的考虑。因此确保路基材料能够长期稳定地支持公路项目的建设与维护，是实现交通运输行业可持续发展战略目标的关键所在。在此基础上，工程人员通过加大研发创新力度、完善标准规范、加大宣传力度等措施，可逐渐促进我国新型环保路基材料的推广与发展，为我国公路建设事业的可持续发展，对推动我国经济、社会、环境和谐发展，具有重要的理论和现实意义。

## 参考文献

- [1] 苏成湘, 王华, 李维, 等. 磷石膏基灌浆材料中磷和氟污染物浸出特性试验研究 [J]. 公路与汽运, 2022, (05): 54-57. DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.014.
- [2] 马月明. 公路工程路基填筑压实施工技术 [J]. 交通世界, 2022, (27): 93-95. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2022.27.038.
- [3] 涂圣戈, 沈正伟. 宜兴至长兴高速公路江苏段隧道洞渣综合利用研究 [J]. 江苏建筑, 2022, (S1): 86-91.
- [4] 周文俊, 王青志, 王克锦. 玄武岩石粉和纤维改性高速公路路基土的试验研究 [J]. 公路, 2022, 67(09): 15-21.
- [5] 蓝克戈. 高速公路拓宽工程轻质粉煤灰路用性能试验研究 [J]. 西部交通科技, 2022, (07): 56-59. DOI: 10.13282/j.cnki.wccst.2022.07.018.
- [6] 黄良杰. 公路改扩建工程路基稳定性的影响因素分析 [J]. 江西建材, 2022, (06): 232-234.
- [7] 刘莉. 高速公路路基沉降及施工控制技术 [J]. 工程建设与设计, 2022, (12): 198-200. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2022.06.263.
- [8] 康健. 高速公路路基施工技术及其质量控制措施研究 [J]. 交通世界, 2022, (18): 97-99. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2022.18.037.
- [9] 杨云全, 耿传宇, 武兵. 高速公路路基施工中建筑垃圾再生材料的应用 [J]. 中国公路, 2022, (12): 118-119. DOI: 10.13468/j.cnki.chw.2022.12.026.
- [10] 武利春. 探究公路路基工程中的土石方填筑施工技术 [J]. 中华建设, 2022, (06): 119-121.

# 分析公路工程中的高边坡预应力锚索施工技术

弭新, 牛家学

德州市公路事业发展中心, 山东 德州 253000

**摘 要 :** 在公路工程建设不断推进的当下, 高边坡作为工程中的关键组成部分, 其稳定性直接关乎公路的安全运营与使用寿命。预应力锚索作为一种高效且常用的高边坡加固技术, 凭借其独特的工作原理和显著优势, 在实际工程中发挥着重要作用。该技术通过对锚索施加预应力, 将高边坡岩土体与稳定部分紧密相连, 有效提升岩土体抗滑力和稳定性。本文全面且深入地阐述了预应力锚索施工技术的原理、特点, 详细介绍施工工艺, 着重分析质量控制要点, 并探讨施工中常见问题及解决措施, 为公路工程高边坡预应力锚索施工提供有力技术支持与参考。

**关 键 词 :** 公路工程; 高边坡; 预应力锚索; 注浆

## The Construction Technology of Prestressed Anchor Cable for High Slope in Highway Engineering is Analyzed

Mi Xin, Niu Jiaxue

Dezhou Highway Development Center, Dezhou, Shandong 253000

**Abstract :** With the continuous advancement of highway engineering construction, high slope, as a key component of the project, its stability is directly related to the safe operation and service life of the highway. As an efficient and commonly used high slope reinforcement technology, prestressed anchor cable plays an important role in practical engineering with its unique working principle and obvious advantages. By prestressing the anchor cable, this technology closely connects the high slope rock and soil with the stable part, effectively improving the sliding resistance and stability of rock and soil. This paper comprehensively and deeply expounds the principle and characteristics of prestressed anchor cable construction technology, introduces the construction technology in detail, emphatically analyzes the key points of quality control, and discusses the common problems and solutions in construction, so as to provide strong technical support and reference for prestressed anchor cable construction on high slope of highway engineering.

**Keywords :** highway engineering; high slope; prestressed anchor cable; slip casting

## 引言

高边坡的稳定性不仅影响着公路工程的建设成本和工期, 更对公路运营期间的安全构成潜在威胁。一旦高边坡出现滑坡、坍塌等灾害, 不仅会导致公路交通中断, 造成巨大的经济损失, 还可能危及周边居民的生命财产安全。预应力锚索技术作为一种主动的加固手段, 能够适应不同地质条件的高边坡, 通过主动施加预应力, 有效改善岩土体的应力状态, 增强边坡稳定性。因此, 深入研究和合理应用预应力锚索施工技术, 对于保障公路工程质量和安全具有重要的现实意义。

## 一、预应力锚索施工技术相关阐述

### (一) 技术原理

预应力锚索主要由锚头、锚索体、锚固段三个部分组成。其工作原理是通过钻孔将锚索体插入至稳定岩土层内, 并对锚索施加预应力, 让锚索处于受拉的状态, 从而将高标岩土体和稳定的

岩体紧密连接到一起。锚索的预应力通过锚头传递给岩土体表面, 在岩土体内产生压应力, 提升岩土体抗剪强度、稳定性, 限制岩土体变形、位移<sup>[1]</sup>。

### (二) 技术特点

#### 1. 主动加固

预应力锚索可主动对岩土体施加预应力, 改变岩土体的应力

作者简介:

弭 新 (1996.07-), 女, 汉族, 山东德州人, 科员, 学位: 硕士, 从事公路项目建设与技术管理;

牛家学 (1997.10-), 男, 汉族, 山东德州人, 科员, 学位: 硕士, 从事公路项目建设与技术管理, 邮箱: 13864111852@163.com。

状态，提高岩土体的稳定性、抗滑性，相比被动加固技术，预应力锚索技术具有更好的加固效果。

2. 适应性强

预应力锚索技术可适用于各类地质条件和不同类型的高边坡，可根据边坡实际情况进行设计、施工，满足各类工程的需求。

3. 施工方便

施工工艺较为简单，施工速度快，对周围环境影响较小，可在不中断交通的情况下展开施工。

4. 经济效益好

相比其他的高边坡加固技术，预应力锚索技术材料投入量更少，因此施工成本更低，具有较好的经济效益。

二、预应力锚索施工工艺

（一）施工准备

1. 场地平整

清除施工现场中树木、石块、旧建筑物基础等障碍物，为施工设备正常运行创造良好条件。场地平整度误差应控制在5cm以内，确保钻机能平稳放置。针对高边坡施工场地，还需要适当修整坡面，保持坡面的稳定性、平整度。

2. 材料准备

提前准备充足的锚索体、锚具、水泥、砂等材料。锚索体通常采用高强度低松弛的钢绞线，其抗拉强度标准值应达到1860MPa以上。锚具应具备可靠的锚固性能，锚固效率系数应达到0.95及以上。水泥应选用强度等级在42.5及以上的普通硅酸盐水泥，砂的含泥量不得超过3%。对各类材料进行质量检查，保证材料质量达标，不合格材料严禁使用<sup>[2]</sup>。

3. 机械设备准备

提前调试好施工机械设备，如钻机、注浆泵、张拉设备等。钻机的钻孔能力应满足设计标准，对于孔径150mm的锚索孔，钻机扭矩应达到3000N·m以上。注浆泵额定压力应达到5MPa以上，排量应满足注浆要求和标准。张拉设备的张拉力应大于锚索设计张拉力的1.2倍，且精度为1%。以保障各类施工设备性能良好，施工中不会出现故障。

4. 测量放线

结合项目设计图纸，采用全站仪等测量设备精准放出锚索孔位置，作出明显标记。锚索孔位偏差不得超过50mm，孔距最大偏差不得超过100mm。完成测量放线工作后，对其进行复核，以保证孔位精准无误。

（二）钻孔施工

1. 钻机就位

将钻机精准就位设置，调节钻机的水平度、垂直度，使钻机的钻头中心与锚索孔位中心重合。钻机的垂直度偏差不得超过1%，确保钻孔方向与位置符合设计标准。

2. 钻孔

采用潜孔锤钻孔、回转钻孔等方法。针对硬岩地层，潜孔锤

钻孔可提升效率，可达3-5m/h；在软土层中，更加适用于回转钻，钻机速度可达1-2m/h。在钻孔期间，应严控钻孔速度以及垂直度，以防孔洞倾斜。待到钻孔深度达到设计标准的50%时，必须进行一次垂直度检测，如若检测结果偏差超标，则要及时采取调整措施。

3. 清孔

完成钻孔工作后，及时清理孔内的岩屑、残渣。使用高压风或高压水清理，需持续清理10min以上，直到孔内返出风或水无杂质为止，保持孔壁的清洁性。

（三）锚索制作与安装

1. 锚索制作

结合设计标准，将钢绞线按照一定长度、根数进行编制。通常情况下，锚索体的长度应比设计长度长1-1.5m，以更好地满足锚固和张拉需求。之后安装隔离架、对中支架灯配件。隔离架的设置间距为1-1.5m，对中支架应保持钢绞线在钻孔中居中。

2. 锚索安装

将制作好的锚索体缓慢放入到钻孔内，放置速度不宜过快，通常为0.5-1.0m/min，保持锚索体在孔内居中，以防锚索体扭矩、破坏。在锚索体放入孔内长度达到设计标准的80%时，应暂停安装，检查锚索体是否居中，一旦偏差超过需及时调整。

（四）注浆施工

1. 浆液配置

根据设计标准，配置合适的水泥浆或水泥砂浆，通常水泥浆的水灰比为0.4-0.5，水泥砂浆的配合比为水泥：砂=1:1-1:1.5。具体要根据地质条件、工程要求调整浆液配合比，以保障浆液强度、流动性能满足标准<sup>[3]</sup>。

2. 注浆

采用压力注浆法，将浆液注入到钻孔内。注浆压力通常为0.5-1MPa，在孔口返出浓浆时即可停止注浆。根据钻孔体积以及岩土体孔隙率确定注浆量，通常要大于钻孔体积的1.2倍，确保浆液充满钻孔和锚固周围空隙，形成锚固段。

（五）锚头制作与安装

1. 锚头制作

结合设计标准制作锚头，如混凝土锚头、钢锚头等，混凝土锚头要求强度等级不低于C30，尺寸也要达到设计标准。

2. 锚头安装

待到锚头制作完成后将其安装在锚索体的外露端，之后进行混凝土浇筑或其他固定措施。混凝土浇筑应振捣密实，确保锚头和岩土体紧密连接到一起。

（六）张拉锁定

1. 张拉设备标定

在正式张拉前，对张拉设备进行标定，标定有效期应不超过6个月或张拉次数不超过200次，以保证张拉设备精度以及可靠性。

2. 张拉

待到浆体强度达到设计强度的80%以上后，即可对其张拉。张拉应按照设计标准的顺序、张拉力进行，分级张拉，每级张拉

后稳定5-10min，观察锚索的变形状况。通常分3-4级张拉达到设计张拉力<sup>[4]</sup>。

### 3. 锁定

张拉达到设计张拉力后及时将其锁定，将锚固体固定在锚头上，以防锚索体回缩，锁定之后的锚索做好保护，以防锚索体受到损坏。

## 三、预应力锚索施工质量控制要点

### （一）材料质量控制

严控锚索体、锚具、水泥、砂等材料质量。锚索用的钢绞线，其各项性能指标均要达到行业标准。如抗拉强度标准值应不低于1860MPa，弹性模量为 $(1.95 \sim 2.06) \times 10^5$ MPa，且表面上不得出现裂纹、油污、折叠等情况。锚具的锚固效率系数应达到0.95以上，实测极限拉力时总应变应大于2.0。水泥应选用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥，其凝结时间、安定性等指标应符合设计要求，每个批次水泥入场后均要对其抽样检查。砂含泥量不得超过3%，泥块含量不得超过1%，以保证材料质量满足设计标准以及相关规定。

### （二）钻孔质量控制

保证钻孔位置、方向、孔径、孔深等达到设计标准。孔位偏差不得超过50mm，孔距偏差不得超过100mm，钻孔倾斜度偏差不得超过1%。钻孔期间，时刻关注地层变化情况，如若遇到岩石破碎带等特殊地质条件，应调节钻孔参数。对于孔径150mm的锚索孔，钻头直径应不小于155mm，确保孔径质量达标。钻孔深度应比设计深度大200-300mm，以保证锚固长度。同时，应预防钻孔偏斜、塌孔等问题，一旦出现此类情况，需立即采取措施处理<sup>[5]</sup>。

### （三）锚索制作与安装质量控制

严格按照设计标准编制锚索体，钢绞线排列整齐，不得出现交叉、扭结问题。隔离架设置间距为1-1.5m，对支架应龙确保锚索体在钻孔内居中。锚索体长度比设计长度长1-1.5m，以满足张拉、锚固需求。安装期间，缓慢下放锚索体，速度为0.5-1m/min，以防锚索体出现扭曲、损坏。完成安装工作后，检查锚索体的外露长度，确保符合设计要求。

### （四）注浆质量控制

精准控制浆液配合比，根据不同地质条件、工程要求，科学调节水灰比、水泥与砂的比例。注浆压力控制在0.5-1MPa。注浆量大于钻孔体积的1.2倍，保证浆液能填满钻孔、锚索体周围空隙，否则容易出现空洞、蜂窝麻面等缺陷。注浆期间应做好记录，包括注浆时间、注浆压力、注浆量等。

### （五）张拉锁定质量控制

定期标定张拉设备，张拉期间严格按照标准顺序、额定张拉力分级张拉，氛围3-4级张拉至设计张拉力。如按照额定张拉力的30%、50%、80%、100%进行张拉，每级张拉后稳定5-10min，观察锚索变形状况。完成张拉后及时锁定和保护锚索，以防锚索体受损。锁定力误差不得超过5%，确保锚索的锚固

效果达标。

## 四、施工中常见问题及解决措施

### （一）钻孔偏斜

钻孔偏斜主要是因为钻机就位不精准、钻孔遇到障碍物、地层变化等造成的结果。当钻孔偏斜超过允许范围（一般为1%）时，会影响锚索的锚固效果。

针对此类问题，需重新调整钻机位置以及垂直度，确保钻机的钻头中心与锚索孔位中心重合，钻机垂直度偏差控制在1%以内。一旦遇到障碍物，应立即停钻，采用适宜的方法清除障碍物或调整钻孔方向。根据地层变化情况调节钻孔参数，如在岩石硬度变化较大的地层中，需适当降低钻孔速度，提升钻头的稳定性<sup>[6]</sup>。

### （二）塌孔

塌孔主要是因为地层松散、地下水丰富、钻孔速度过快等造成的结果。塌孔会导致钻孔无法成孔，影响后续锚索安装。特别是在一些松散的地层中，塌孔发生率高达10%以上。

针对此类问题，可采用套管护壁措施，正式钻孔前现将套管打入地层内，之后在套管上钻孔，从而预防塌孔事故。降低钻孔速度，以防因钻孔速度过快导致孔壁失稳。增加护壁泥浆浓度，将泥浆比重控制在1.1-1.2之间，强化孔壁整体的稳定性。

### （三）锚索体安装困难

该问题主要是因为钻孔不直、孔内有残渣、锚索体编制不规范等引发的结果。锚索体锚索体安装困难，会增加施工难度和成本。

针对此类问题，需要重新清理钻孔内部，使用高压风、高压水清孔，清孔持续10min以上，保证孔壁清洁无残渣。对锚索体进行检查和调整，保持锚索体编制的规范性，钢绞线应排列整齐，无交叉、扭曲等现象。如若钻孔不直，则要通过扩孔、纠偏等方法对其修复。

### （四）注浆不饱满

该问题主要是因为注浆压力不足、注浆量不够、浆液配比不当等造成的结果。注浆不饱满会影响锚索的锚固力，降低边坡整体的稳定性。通常情况下，注浆量应大于钻孔体积的1.2倍，才能保证注浆饱满。

针对此类问题，需要提高注浆压力，控制在0.5-1MPa之间，保证浆液能充分填充钻孔。增加注浆量，根据钻孔实际情况，适当增加注浆量，保证浆液充满钻孔和锚索体周围的空隙。调整浆液配合比，确保浆液的流动性和凝固性能满足要求，如适当调整水灰比或水泥与砂的比例<sup>[7]</sup>。

### （五）张拉期间锚索体断裂

该问题主要是因为锚索体质量不合格、张拉速度过快、张拉力过大等原因引起的结果。锚索体断裂会导致锚索失效，严重影响工程安全。

针对此类问题，应做好锚索体的质量检查工作，确保锚索体的各项性能指标符合设计要求，如抗拉强度、弹性模量等。控制

张拉速度，一般张拉速度应控制在10-20kN/min，避免因张拉速度过快导致锚索体受力不均。按照设计要求的张拉力进行张拉，张拉力的误差应控制在5%以内，防止张拉力过大导致锚索体断裂。

## 五、结束语

综上所述，预应力锚索施工技术作为公路工程高边坡加固的一种有效方法，具有主动加固、适应性强、施工方便、经济效益

好等优点。在施工过程中，应严格按照施工工艺和质量控制要点进行施工，加强对材料质量、钻孔质量、锚索制作与安装质量、注浆质量和张拉锁定质量的控制，及时解决施工中出现的问题，确保预应力锚索的施工质量和高边坡的稳定性，为公路工程的安全运营提供保障。随着公路建设的不断发展，预应力锚索施工技术将在高边坡加固中得到更广泛的应用和发展。

## 参考文献

[1] 李建奎. 山区公路高填方边坡滑坡成因及施工治理工艺 [J]. 四川建材, 2024, 50(6):192-193,203.  
[2] 曾红莲. 高速公路工程高边坡治理预应力锚索施工技术 [J]. 安家, 2023(1): 142-144.  
[3] 卢淑春. 公路边坡施工中的预应力锚索技术 [J]. 工程技术 : 文摘版, 2021(28): 35-36.  
[4] 梁伟锡. 预应力锚索技术在高速公路高边坡施工中的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(2):207-209.  
[5] 蒋明跃, 吴琰. 预应力锚索抗滑桩治理公路高陡边坡的应用 [J]. 工程设计与施工, 2023, 5(8): 43-45.  
[6] 元波, 许爱兰. 公路工程中高边坡预应力锚索施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2023(27):31-33.  
[7] 杨剑. 公路工程中高边坡预应力锚索施工技术研究 [J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(1):163-166.

# 桥梁施工中施工安全管理技术探讨

郭峰

张家口路缘公路工程有限公司, 河北 张家口 076250

**摘 要：** 桥梁施工安全管理是保障施工顺利进行、减少事故发生的重要环节。安全管理技术涵盖了施工全过程，包括风险评估、作业人员培训、安全设备配置、施工现场安全防护等方面。通过有效的安全管理措施，能够降低施工风险，确保工程质量与进度。在桥梁施工中，尤其要重视高空作业、机械设备操作和施工环境的安全性，采取有效的防护措施与应急预案，强化安全文化建设，从而提高整体施工安全水平。

**关 键 词：** 桥梁施工；安全管理；风险评估；安全防护；施工安全

## Discussion on Construction Safety Management Techniques in Bridge Construction

Guo Feng

Zhangjiakou Luyuan Highway Engineering Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 076250

**Abstract：** Bridge construction safety management is a crucial aspect to ensure smooth construction progress and reduce accidents. Safety management techniques encompass the entire construction process, including risk assessment, operator training, safety equipment configuration, and safety protection at the construction site. Effective safety management measures can reduce construction risks and ensure project quality and progress. In bridge construction, particular emphasis should be placed on the safety of overhead work, mechanical equipment operation, and the construction environment. Adopting effective protective measures and emergency plans, and strengthening safety culture construction, can improve the overall level of construction safety.

**Keywords：** bridge construction; safety management; risk assessment; safety protection; construction safety

## 引言

桥梁施工是基础设施建设中的重要组成部分，其施工过程复杂且具有较高风险。安全问题一直是行业关注的重点，任何忽视安全管理的行为都可能导致严重的事故，甚至危及生命与财产安全。随着施工技术的发展，传统的安全管理模式已逐渐无法满足现代桥梁工程的需求。因此，探索更加科学、系统的安全管理技术成为提升施工安全性、保障工程顺利完成的关键。有效的安全管理不仅能提高施工效率，还能为项目的长期稳定运营打下坚实基础。

## 一、桥梁施工安全管理的重要性与挑战

桥梁施工安全管理在工程建设过程中占据着至关重要的位置。桥梁作为基础设施的关键组成部分，其施工过程通常涉及复杂的工艺、较高的技术要求以及复杂的施工环境。任何疏忽大意或安全管理不当，均可能导致事故的发生，造成工程延误、资源浪费，甚至带来生命安全隐患。因此，安全管理不仅是保障工程质量的必要措施，也是确保施工人员生命安全的核心要素。在现代桥梁施工中，随着技术手段和管理理念的进步，安全管理体系逐渐变得更加规范与完善，确保了桥梁施工能够顺利进行<sup>[1]</sup>。

桥梁施工中的安全管理面临着诸多挑战。首先，施工现场环境的特殊性常常使得施工过程中存在一定的危险性。例如，桥梁多处于交通繁忙或特殊地形区域，施工人员在高空作业或复杂的

机械操作中容易发生事故。其次，桥梁施工中涉及的大型机械设备、混凝土浇筑、吊装等环节，均需要高强度的协作与严格的操作规范，否则容易发生设备故障或工人操作失误，导致事故发生。此外，部分桥梁施工过程中可能需要进行复杂的结构调整或现场修正，这些操作如果没有充分的安全预案和监控措施，极易造成不可预见的安全隐患。

面对这些挑战，桥梁施工安全管理的有效性直接影响到工程项目的进展和最终质量。为了应对施工中的各种安全风险，必须从源头加强风险识别与管理，提前对施工现场进行全面的安全评估，制定详细的安全保障措施。通过合理的人员培训与应急演练，提升工人应对突发事件的能力，确保在危险情况下能够迅速而有序地采取有效的应对措施。同时，施工管理人员应加强与各方的协作与沟通，确保每一环节的安全防护都不被忽视。桥梁施

工安全管理能有效预防风险，保障工程顺利进行，并在挑战中持续重视和改进安全问题<sup>[2]</sup>。

## 二、桥梁施工过程中的主要安全风险分析

桥梁施工过程中的安全风险主要来源于多个方面，其中最为突出的是施工环境、人员操作、机械设备、以及施工技术等因素。首先施工环境对施工安全有着极其重要的影响。桥梁施工通常处于复杂的地形环境中，例如河流、峡谷、交通繁忙的城市道路等，这些地理条件常常增加了施工中的危险因素。例如，桥梁建设往往需要在高空进行，工人们需要在不稳定的环境中进行吊装、浇筑等作业，这种作业高度和特殊环境条件使得高空坠落成为施工过程中的一大安全隐患。另外，一些桥梁施工还涉及到水下作业、隧道作业等，作业人员面临的危险性远远高于常规建筑施工。因此，施工环境的复杂性和特殊性是影响施工安全的一个关键因素<sup>[3]</sup>。

人员操作不当或安全意识薄弱也是导致安全事故的一个主要风险。桥梁施工通常需要大量的工人参与，涵盖了从高空作业到机械操作、从焊接到混凝土浇筑等多个工种。每个工种的操作规范不同，如果工人未经过充分的安全培训或忽视操作规程，很容易发生工伤事故。例如，在吊装作业中，起重机操作人员如果未能严格按照操作流程执行，可能导致吊装物体倾斜、失控，甚至掉落伤人。此外，桥梁施工工期长，环境恶劣，工人疲劳、疏忽也可能成为安全事故的导火索。因此，加强对施工人员的安全教育和操作规范的执行，减少人为因素带来的安全风险是至关重要的。

机械设备的使用也是桥梁施工中不可忽视的安全风险源。现代桥梁施工离不开大型机械设备的支持，如起重机、混凝土搅拌车、吊装设备等，这些设备的操作复杂且频繁使用。如果设备维护保养不到位或操作不当，极易发生设备故障，导致施工事故的发生。例如，起重机的吊臂如果存在故障或者操作不规范，吊装过程中可能出现设备失控、掉落等危险情况，严重时可能造成人员伤亡。因此，设备管理和维护是施工安全管理中不可或缺的一环，必须定期对设备进行检查和保养，确保设备的良好状态，从源头上减少设备故障带来的安全风险。

施工技术上的不成熟或技术措施的不到位也可能导致安全事故的发生。随着桥梁建设技术的不断发展，新的施工方法和技术不断涌现，但同时也伴随着一些技术风险。例如，在桥梁结构设计、施工工艺、材料选择等方面出现问题，可能导致施工过程中产生不稳定的安全隐患。此外，技术人员和施工管理人员如果对新技术和新方法不够熟悉，或者没有根据实际情况进行合理的技术调整，也会增加施工中的不确定性和风险。除了加强人员培训和设备管理外，技术人员需进行详细规划、全面评估新技术，并严格控制施工过程，确保安全<sup>[4]</sup>。

## 三、高效的安全管理技术在桥梁施工中的应用

在桥梁施工中，采用高效的安全管理技术能够显著提高施工

安全性，减少事故发生的可能性。首先风险评估技术是桥梁施工中不可或缺的安全管理工具。通过对施工现场的全面评估，可以准确识别潜在的安全风险，并采取相应的预防措施。风险评估通常涉及环境因素、施工人员作业、机械设备操作等多个方面，评估结果为施工管理提供了明确的安全策略。例如，在高空作业时，评估人员可以提前了解可能的风速、气候条件等影响因素，从而为工人提供更加安全的工作环境。此外，评估还可以帮助提前制定应急预案，确保在突发事故发生时能够快速有效地采取应对措施。因此，系统的风险评估可以有效提高施工现场的安全水平，并为安全管理提供科学依据<sup>[5]</sup>。

信息化技术在桥梁施工安全管理中的应用，极大地提高了施工过程的可控性和透明度。随着科技的发展，越来越多的桥梁施工企业开始引入信息化手段来管理施工安全。例如，通过施工现场的监控系统，可以实时监测施工进度、工人的作业状态及机械设备的运行情况。监控系统能够将施工中的危险因素及时反馈给管理人员，便于他们对施工现场进行调整，避免潜在的安全事故发生。此外，采用电子化管理工具对施工人员进行安全培训和考核，通过智能化的管理系统记录工人的安全操作情况，可以有效提高施工人员的安全意识和操作规范性。信息化管理不仅提升了施工管理的效率，还在很大程度上减少了人工疏忽和操作失误带来的安全风险。

安全文化建设也是提升桥梁施工安全管理效率的重要手段。在施工现场加强安全文化的建设，能够帮助施工人员树立起良好的安全意识，形成全员参与安全管理的氛围。安全文化建设包括安全知识的普及、安全行为的规范以及安全责任的明确等多个方面。施工企业可以通过定期的安全教育培训、事故案例分析等方式，让每一位施工人员都意识到安全问题的重要性。安全文化的深化不仅仅停留在书面和口号上，更要通过日常的工作实践和管理制度的执行，使其成为每位施工人员的自觉行为。通过长期培养安全文化，安全管理从强制措施转为自发遵守的行为准则，从而更大程度降低施工过程中的潜在风险<sup>[6]</sup>。

## 四、桥梁施工安全防护措施与实施策略

在桥梁施工过程中，采取有效的安全防护措施是确保施工顺利进行的关键。针对高空作业的危险性，必须在施工现场设立坚固的安全防护设施，如安全网、护栏、脚手架等。这些防护设施能够有效防止工人因操作不当或意外失足造成的高空坠落事故。此外，高空作业前，施工人员需进行严格的安全培训和专项技能训练，确保工人具备足够的安全意识和操作能力。为了进一步加强安全防护，现场管理人员应定期检查和维护这些防护设施，确保其在使用过程中的稳固性和可靠性<sup>[7]</sup>。

针对机械设备的使用安全，必须对所有参与施工的设备进行严格的检查和维护，确保设备的完好性和安全性。施工中的大型机械如吊车、混凝土泵车等，需要定期进行技术检测，确保其符合安全操作标准。在机械操作过程中，操作人员必须经过专业培训，熟悉设备性能和操作规范。每一台设备使用前，都应进行全

面检查，确保没有安全隐患。通过机械设备的规范管理，能够有效防止因设备故障或操作不当导致的施工事故。此外，施工过程中，设备的运行状况应通过实时监控系统进行监督，及时发现问题进行处理，以防意外发生。

施工现场的安全防护措施还应包括对施工人员的日常管理与监督。每位施工人员必须佩戴规定的个人防护装备，如安全帽、安全带、防护眼镜等，并严格按照操作规范进行工作。现场管理人员需加强对施工人员的安全行为监督，确保每一项作业都在安全条件下进行。此外，施工单位还应定期开展安全演练，特别是在高风险作业环节，如吊装作业、混凝土浇筑等环节，通过模拟应急情况提高施工人员的应急处理能力和协作能力。在施工过程中，强化安全意识，建立健全的安全责任体系，使每位工人都能够清楚自己在施工中的安全责任，从而形成一个全员参与、安全保障的施工环境。通过这些综合性的防护措施，可以有效降低施工过程中的各类安全风险，保障施工安全<sup>[8]</sup>。

五、施工安全文化建设在桥梁工程中的作用

施工安全文化建设在桥梁工程中的作用至关重要，它不仅关乎施工过程中的安全管理，也直接影响到施工人员的安全意识和工作态度。首先安全文化的建设能够帮助施工人员树立正确的安全观念。通过安全教育和培训，工人能够了解桥梁施工中潜在的危险因素和相应的防护措施，从而在日常工作中自觉遵守安全规范。通过不断的学习与实践，施工人员对安全的认知会逐步提升，逐渐形成一种自觉的安全行为模式。这种文化氛围不仅提高了工人对安全的敏感度，也增强了其在危险情境下的应对能力<sup>[9]</sup>。

施工安全文化的建设能够促进全员参与安全管理，形成良好

的集体安全意识。安全文化强调每个工作人员都应该是安全管理的参与者，而不仅仅是被动接受安全规定的对象。在施工现场，工人、技术员、管理人员等各类人员都应该积极参与到安全管理中，提出安全建议、发现隐患并及时上报，形成共同维护安全的良好氛围。这种集体责任感不仅能够帮助发现和解决潜在的安全问题，还能使工人更加注重日常操作中的每一个细节，确保工作中不发生任何安全疏忽。

施工安全文化的深入实施有助于施工单位在长期施工过程中不断优化安全管理体系。通过持续的安全文化建设，企业可以积累宝贵的安全管理经验，并根据实际施工中的问题不断调整和完善安全管理措施<sup>[10]</sup>。通过对事故案例的分析和总结，施工单位可以制定更加切合实际的安全操作规程，同时不断加强对工人的安全培训和安全演练，确保安全管理的各项措施落到实处。此外，安全文化的建设还能够激发施工人员的积极性，增强团队凝聚力，使得整个施工团队在面对困难时能够齐心协力，共同解决问题，保证施工任务的顺利完成。

六、结语

桥梁施工的安全管理是确保工程顺利进行的基础，涵盖了从风险评估到安全防护措施、技术应用和文化建设的多方面内容。通过科学的安全管理技术、信息化手段的引入以及全员安全文化的培育，可以有效降低施工风险，提升施工安全性。各类安全管理措施的实施不仅保障了施工人员的生命安全，也为项目的顺利完成提供了有力支持。在未来的桥梁建设中，持续加强安全管理，完善相关技术和文化建设，将是提升施工安全水平的关键所在。

参考文献

[1] 张亮. 简桥桥梁施工中技术保障和安全管理相关措施 [J]. 民营科技, 2016(05): 131.  
[2] 万国龙. 桥梁施工安全控制技术与安全管理措施 [J]. 西部交通科技, 2018(11): 126-128+146.DOI: 10.13282/j.cnki.wccst.2018.11.030.  
[3] 胡滨, 袁和勇. 浅谈道路桥梁施工安全管理技术 [J]. 建材与装饰, 2019(09): 257-258.  
[4] 吕文. 道路桥梁施工安全控制技术与安全管理 [J]. 交通世界, 2020(10): 114-115.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2020.10.053.  
[5] 朱森林, 王国峰, 付先雪, 任常庆, 张岩. 基于 BIM 技术的桥梁施工安全管理体系研究 [J]. 价值工程, 2020, 39(14): 247-249.DOI: 10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2020.14.108.  
[6] 朱世超. 桥梁施工安全控制技术与安全管理措施 [J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(10): 58+61.DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2020.10.033.  
[7] 王慧. 公路桥梁施工安全控制技术与安全管理 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(16): 171-172.DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.16.079.  
[8] 刘冠宁. 公路桥梁施工安全控制技术与安全管理研究 [J]. 交通世界, 2023(08): 138-140.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.08.036.  
[9] 李宝琼, 尚俊鹏. 道路桥梁施工安全控制技术与安全管理 [J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(09): 168-170.DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2023.09.016.  
[10] 巴怀强. 基于 BIM 技术的大型转体桥梁施工安全管理应用研究 [J]. 公路, 2023, 68(11): 86-92.

# 道路桥梁施工中基础处理技术的优化与创新

乔淑洁

张家口路缘公路工程有限责任公司, 河北 张家口 076250

**摘 要：** 随着道路桥梁施工技术的不断进步，基础处理技术在保证工程质量和施工安全方面起到了至关重要的作用。为了应对不同地质条件对基础稳定性的挑战，基础处理技术的优化与创新成为提高施工效率和降低风险的关键。通过采用先进的地基加固方法、土壤改良技术以及现代化设备，能够有效提高基础处理的精确度和适应性。此外，绿色环保技术的引入也促进了施工过程的可持续发展。基础处理技术的持续创新对于提升道路桥梁工程整体质量具有重要意义。

**关 键 词：** 基础处理技术；优化；创新；道路桥梁；施工技术

## Optimization and Innovation of Foundation Treatment Techniques in Road and Bridge Construction

Qiao Shujie

Zhangjiakou Luyuan Highway Engineering Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 076250

**Abstract：** With the continuous advancement of road and bridge construction technology, foundation treatment techniques have played a crucial role in ensuring engineering quality and construction safety. To address the challenges posed by different geological conditions to foundation stability, the optimization and innovation of foundation treatment techniques have become key to improving construction efficiency and reducing risks. By adopting advanced foundation reinforcement methods, soil improvement techniques, and modern equipment, the accuracy and adaptability of foundation treatment can be effectively improved. Furthermore, the introduction of green and environmentally friendly technologies has also promoted sustainable development in the construction process. The continuous innovation of foundation treatment techniques is of great significance for enhancing the overall quality of road and bridge projects.

**Keywords：** foundation treatment technology; optimization; innovation; roads and bridges; construction technology

### 引言

在道路桥梁建设中，基础处理技术直接关系到工程的质量、安全与稳定。随着施工环境日益复杂，传统基础处理方法面临着诸多挑战，尤其是在特殊地质条件下的适应性问题。因此，探索新的技术优化与创新手段，不仅是提高施工效率的必然选择，更是确保工程可持续发展的关键。现代技术的应用为基础处理带来了更多可能性，为道路桥梁的建设打开了新的视野。通过优化与创新，可以有效提升基础处理的精准性和稳定性，推动工程质量迈向更高标准。

### 一、道路桥梁基础处理技术现状与发展趋势

道路桥梁建设中的基础处理技术，是确保工程稳定性和安全性的重要环节。随着现代交通需求的不断增加，道路桥梁的设计和施工面临着越来越复杂的挑战，尤其是在地质条件复杂的区域，传统的基础处理技术显得力不从心。现阶段，基础处理技术已逐步从简单的加固手段，发展为更为系统、科学的技术方案。不同的地质条件需要采用不同的处理方法，包括桩基、锚固、加筋土等技术。随着科技的进步，基础处理技术正朝着更高的精度、更强的适应性和更低的环境影响方向发展<sup>[1]</sup>。

近年来，基础处理技术的创新层出不穷，尤其在软弱地基的处理上，技术的突破显著提高了施工效率和施工质量。通过引入先进的土壤改良技术和地基加固手段，如深层搅拌法、静压桩技术等，可以在复杂地质环境中提供更为稳定的基础支撑，减少地基沉降，增强地基的承载能力。此外，数字化技术的应用也为基础处理提供了更多的可能性。现代化的监测系统可以实时监控基础处理过程，提前预警潜在风险，从而保障施工的安全性和精准性。

未来，随着工程技术的不断进步，基础处理技术的创新也将走向更加智能化和绿色化的发展路径。绿色环保理念的引入，使

得基础处理不仅注重工程效果，也更加关注施工过程中对环境的影响。例如，采用低能耗、低污染的加固技术，不仅降低了施工成本，也减少了对周围生态环境的破坏。与此同时，随着无人机、智能传感器等高新技术的应用，基础处理过程中的数据采集和分析将变得更加精准和高效。面对越来越严苛的施工要求，基础处理技术的持续创新将是推动道路桥梁工程质量提升的关键因素<sup>[2]</sup>。

## 二、不同地质条件下的基础处理技术选择与优化

不同地质条件下，道路桥梁的基础处理技术需要根据具体的土壤类型、地下水位以及荷载要求来选择合适的处理方法。在软弱地基和不均匀地质条件下，传统的基础处理手段往往难以满足工程要求，因此，必须采用更加高效的处理技术。例如，对于淤泥、软土等低承载力的地质条件，常用的基础处理技术包括桩基加固、深层搅拌法、静压桩等。这些技术能够有效地提高地基的承载力和稳定性，减少沉降量，确保桥梁的长期安全使用。而在砂土、粘土等价于硬和软之间的土层中，基于地质勘探的结果，通常采用预应力桩、地基注浆等方法，以保证桩基的稳定性和桥梁结构的整体性<sup>[3]</sup>。

随着基础处理技术的不断发展，针对不同地质条件的优化方案也在不断完善。对于不均匀沉降的地质环境，近年来通过采用加筋土技术与地下水控制技术相结合，取得了良好的效果。加筋土技术利用土工布、土工格栅等加筋材料，增强土体的抗剪强度和承载能力，从而提高地基的稳定性。这种技术特别适用于软土、膨胀土等容易发生不均匀沉降的地质条件，且施工周期短、成本较低。此外，针对地下水位较高的地区，采用排水加固、深层注浆等技术，能够有效降低地下水的水位，从而增强土体的抗浮力和抗震性，为桥梁建设提供更加稳固的基础。

随着新材料、新设备和新工艺的应用，基础处理技术的优化趋势愈加明显。现代基础处理不仅关注土体加固，还注重减少施工过程中对环境的影响。绿色环保技术的引入，如低污染桩基技术、低能耗地基加固技术，进一步促进了基础处理技术的优化。例如，采用环保型的化学注浆液体，不仅能够提升地基的加固效果，还能有效减少对土壤和地下水的污染。在这些技术的推动下，基础处理的施工质量和效率得到了显著提升。未来，随着信息化、智能化技术的应用，实时监测和数据分析将更加精准，地质条件的动态变化也能被及时识别和应对，为基础处理技术的优化提供了更加有力的支持<sup>[4]</sup>。通过这些技术手段的综合运用，可以更好地应对不同地质条件下的基础处理需求，确保道路桥梁工程的安全性、稳定性和持久性。

## 三、创新技术在基础处理中的应用与成效

随着基础处理技术的不断进步，创新技术在道路桥梁施工中的应用日益广泛，极大地提高了工程质量和施工效率。在传统的基础处理方法基础上，新型加固技术、土壤改良技术以及智能化

施工技术的引入，不仅为解决复杂地质条件下的基础处理难题提供了有效的手段，也促进了施工过程的可持续发展。深层搅拌法、静压桩技术以及注浆加固等创新技术，已被广泛应用于软土、膨胀土等特殊地质条件中。这些技术能够显著提高地基的承载能力，减少沉降，确保桥梁在使用过程中的稳定性和安全性<sup>[5]</sup>。

创新技术的应用在提高基础处理精度方面发挥了重要作用。通过引入现代化的数字化技术和智能传感器系统，施工过程中的数据采集、分析与反馈变得更加高效和精准。实时监测技术的应用使得施工方能够在基础处理的每个阶段实时跟踪地基的变化情况，及时调整施工方案，预防潜在的工程风险。智能化监测设备如GPS系统、激光扫描仪等，可以精准获取施工现场的地质状况和基础沉降情况，为工程设计和施工提供科学依据。同时，数字化技术还能够优化施工方案，提高施工精度和效率，避免传统人工监测带来的误差和安全隐患。

绿色环保技术的应用是创新技术在基础处理中的另一个重要方向。随着环保要求的不断提升，传统基础处理技术在施工过程中可能带来的环境污染和资源浪费问题逐渐显现。创新的环保技术通过采用低污染、低能耗的施工方法，最大限度地减少了对周围环境的影响。例如，环保型注浆材料和低污染桩基施工技术的应用，不仅减少了土壤和地下水的污染，还提高了施工的可持续性。此外，绿色施工技术的应用有效降低了施工成本，提升了施工的社会效益和环境效益。这些技术的引入，不仅提升了基础处理技术的综合效能，也为道路桥梁建设的可持续发展提供了强有力的支持。创新技术的应用提升了基础处理效果，优化了施工工艺，推动了工程行业向更高技术水平发展<sup>[6]</sup>。

## 四、绿色环保理念在基础处理技术中的融入

随着可持续发展理念的逐步深化，绿色环保技术在道路桥梁建设中的应用日益受到重视。传统的基础处理方法虽然能够满足工程需求，但在施工过程中可能产生大量的环境污染和资源浪费，尤其在土壤改良、桩基施工等环节。绿色环保理念的融入，不仅要求基础处理技术减少对环境的负面影响，还要考虑施工过程的能效和资源利用率。近年来，随着环保政策的不断升级，越来越多的新型技术和材料开始应用于基础处理领域，为实现绿色施工提供了可行的方案<sup>[7]</sup>。例如，采用环保型注浆材料代替传统的化学注浆液体，这些环保材料不仅能有效加固土体，还能够减少土壤和地下水的污染，符合环保要求，提升了施工过程的可持续性。

在基础处理技术中，绿色环保理念的应用不仅体现在材料选择上，还体现在施工方法的优化上。传统的桩基施工往往会产生噪音、粉尘和振动，给周围环境和居民带来不利影响。而采用静压桩技术和低噪音桩基施工技术，不仅能减少对环境的干扰，还能大大提高施工效率，缩短工期。这些技术的应用，使得基础处理过程更加环保，符合现代工程建设的绿色发展方向。此外，深层搅拌法等新型加固技术的引入，也进一步降低了施工过程中的

污染物排放。这些绿色施工方法通过降低能耗、减少资源消耗和减少施工废弃物排放，为基础处理的环保性提供了强有力的保障<sup>[8]</sup>。

绿色环保理念在基础处理技术中的融入，还促使工程施工方更加注重生态环境的保护。在基础处理过程中，针对高水位地区，传统的施工方法可能会引发水土流失和水体污染，而采用深层注浆、地下水控制等创新技术，能够有效降低地下水的污染风险，保护生态环境。同时，随着科技的进步，环境监测设备也在基础处理过程中得到了广泛应用。通过实时监测土壤质量、水体状况以及空气质量等，可以及时识别施工过程中的环保隐患，采取有效措施加以解决。这些措施不仅提升了基础处理的技术水平，也推动了施工过程的绿色转型，确保了道路桥梁建设能够在不破坏生态环境的前提下顺利进行。绿色环保理念的融入，不仅提高了基础处理技术的可持续性，也为未来的工程建设提供了更加清洁、高效的施工方式。

## 五、基础处理技术的未来发展方向与挑战

随着道路桥梁建设规模的不断扩大，基础处理技术面临着更高的要求。未来，基础处理技术的发展将向着更加智能化、精确化和绿色环保方向迈进。智能化技术的应用将是基础处理技术的重要发展趋势。随着信息技术、人工智能和大数据技术的快速发展，未来的基础处理将更加依赖于实时数据的监测和分析。通过搭建智能监测系统，施工过程中的各项参数可以实时反馈，施工方能够根据实时数据调整施工方案，优化处理方法，从而提高施工精度和效率<sup>[9]</sup>。此外，人工智能和机器学习的应用，将进一步提升施工过程中的风险预警和决策支持能力，确保施工的安全性和稳定性。

然而，基础处理技术在未来的发展过程中，仍然面临诸多挑战。首先，不同地区复杂的地质条件对基础处理技术提出了更高的要求。尤其是在软弱地基、膨胀土等特殊地质条件下，如何选

择合适的基础处理方法，并确保施工效果，是一大挑战。尽管当前的技术手段不断发展，但在某些极端地质环境下，现有技术仍然存在一定的局限性。未来，如何在这些特殊地质条件下实现基础处理技术的突破，仍然需要进行深入研究和探索。针对不同土质类型的精准设计和创新施工方法，将是未来技术突破的重要方向<sup>[10]</sup>。

绿色环保将继续是基础处理技术发展的重要目标之一。随着全球环保意识的不断提高，工程建设中的环境影响越来越受到关注。传统的基础处理技术在施工过程中可能带来较大的环境负担，如噪声、粉尘、地下水污染等问题。因此，如何在保证施工质量的同时，减少施工过程对环境的影响，成为未来基础处理技术发展的关键。新型环保材料的研发、低能耗施工技术的推广以及资源循环利用技术的应用，将在未来的基础处理技术中发挥重要作用。绿色施工的理念不仅能有效减少污染，还能提高工程的可持续性，符合未来建设的需求。

总之，基础处理技术在未来的发展将不断向智能化、环保化和精细化方向发展。随着新技术的涌现，未来基础处理方法将更加高效精准，能应对复杂地质和环境要求。然而，克服特殊地质难题和实现绿色可持续施工仍是挑战。只有不断创新和技术突破，才能推动道路桥梁基础处理技术的长期发展和行业进步。

## 六、结语

基础处理技术在道路桥梁建设中的重要性不言而喻，其发展不断推动着工程质量和施工效率的提升。通过创新技术的引入，基础处理已朝着智能化、绿色环保方向迈进，极大地提高了施工的精确性和可持续性。然而，面对复杂的地质条件和环境要求，如何克服现有技术的局限，仍是未来发展的挑战。持续的技术优化和创新将是基础处理技术不断突破瓶颈、迎接新机遇的关键，推动道路桥梁建设迈向更高水平。

## 参考文献

- [1] 杨凌, 谭科. 浅析桥梁工程中的扩大基础施工技术 [J]. 科技创新导报, 2017, 14(23): 72+76. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X.2017.23.072.
- [2] 吴海. 道路桥梁施工技术及其裂缝成因 [J]. 交通世界, 2018(16): 96-97. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2018.16.043.
- [3] 张玉明. 道路桥梁施工中防水路基面的施工技术研究 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2018(08): 212. DOI: 10.16141/j.cnki.1671-8089.2018.08.190.
- [4] 张国良. 公路现浇桥梁支架施工技术探讨 [J]. 工程技术研究, 2018(13): 22-24. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2018.13.010.
- [5] 汤磊. 软弱地基处理中道路桥梁施工处理技术 [J]. 新型工业化, 2022, 12(01): 145-146+149. DOI: 10.19335/j.cnki.2095-6649.2022.1.053.
- [6] 郑晖. 道路桥梁施工中软弱地基处理措施分析 [J]. 运输经理世界, 2023(08): 84-86.
- [7] 徐梅. 市政道路桥梁施工中现场施工技术及其运用分析 [J]. 科学技术创新, 2024(23): 138-141.
- [8] 王新振. 市政道路桥梁基础施工技术与地基处理研究 [A]. 中国智慧工程研究会. 2024工程技术应用与施工管理交流会论文集 (下) [C]. 中国智慧工程研究会: 中国智慧工程研究会, 2024: 2. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.058758.
- [9] 曾文锋. 道路桥梁施工中软土地基处理技术的应用 [J]. 运输经理世界, 2024(35): 90-92.
- [10] 江阿闯. 道路桥梁施工技术中的细节处理策略 [J]. 汽车周刊, 2025(03): 137-139.

# 连续桥梁结构施工技术应用

高远

杭州市交通运输行政执法队，浙江 杭州 310000

**摘 要：** 连续桥梁结构作为现代道路交通建设中的重要组成部分，其施工技术应用直接关系到桥梁的安全性、稳定性和耐久性。本文立足于连续桥梁结构的优势及其施工技术特点，详细分析了施工准备、模板安装、钢筋、混凝土浇筑与预应力施工等连续桥梁结构施工技术要点。在该基础上，结合相关实践经验，简要研究了连续桥梁结构施工中的关键技术挑战与解决方案。

**关 键 词：** 连续桥梁；施工技术；质量控制；工艺分析

## Application of Continuous Bridge Structure Construction Technology

Gao Yuan

Hangzhou Transportation administrative law enforcement Team, Hangzhou, Zhejiang 310000

**Abstract：** As an important part of the modern road traffic construction, the construction technology application of the continuous bridge structure is directly related to the safety, stability and durability of the bridge. Based on the advantages of continuous bridge structure and its construction technical characteristics, this paper analyzes the key technical points of construction preparation, formwork installation, reinforcement, concrete pouring and prestressed construction. On this basis, the key technical challenges and solutions in the construction of continuous bridge structure are briefly studied.

**Keywords：** continuous bridge; construction technology; quality control; process analysis

## 引言

连续桥梁结构因其跨越能力强、行车舒适性好、维护成本低等优点，在道路交通建设中得到了广泛应用。随着交通量的不断增加和车辆荷载的不断提高，对连续桥梁结构施工质量和安全性提出了更高要求。探讨和应用先进的连续桥梁结构施工技术，对于提高桥梁承载能力、延长使用寿命、保障行车安全具有重要意义。

## 一、连续桥梁结构的优势

连续梁桥是两跨或两跨以上连续的梁桥，属于超静定体系，通常由多个梁段通过支座连接在一起，形成一条连续的梁，每个梁段均有各自的支座。该种结构形式使得连续梁桥在承受荷载时，能够产生支点负弯矩，对跨中正弯矩有卸载作用，从而优化内力分布。从实践来看，连续梁桥内力状态均匀合理，且接缝少、整体性好、超载能力强，可采用钢筋混凝土和钢材等材料建造，以适应不同的工程需求。近年来，国家相关部门高度重视连续桥梁结构施工技术的优化创新，在细化完善施工技术规范，拓展丰富施工工艺体系等方面制定并实施了诸多宏观政策，为新时期全面提高连续桥梁结构施工质量提供了重要遵循<sup>[1]</sup>。同时，广大技术人员同样在整合连续桥梁结构施工技术资源，融合运用精细化施工管理模式等方面进行了诸多有益探索与总结，构建形成了多元化的施工技术体系，成效显著。尽管如此，受限于诸多主

客观要素，当前连续桥梁结构施工技术水平尚有较大提升空间，具体施工流程与环节的衔接性有待进一步提高，理应立足工程项目实际，创新方式方法，提高连续桥梁结构施工成效<sup>[2]</sup>。

## 二、连续桥梁结构施工技术特点

### （一）施工方法的先进性

在现代技术条件下，连续桥梁结构施工技术包括悬臂施工法、无支架施工方法、顶推法、转体施工法和移动模架法等，上述不同的施工方法在适用条件、施工过程与技术规范等方面存在明显差异，应结合工程项目实际需求予以灵活选择。以悬臂施工法为例，其受力状态与成桥后的受力状态较为接近，有利于桥梁结构的稳定性和安全性，可使桥梁结构逐渐适应和承受各种荷载，确保桥梁整体稳定性，同时减少施工对周边环境的影响，降低施工成本。

## （二）施工过程的复杂性

在连续桥梁施工过程中，随着悬臂段的延伸和合拢段的完成，桥梁结构会发生体系转换，而该过程需精确计算和严格控制，以确保结构安全和稳定。而对于合拢施工，更需精确控制合拢温度和合拢顺序，以避免产生过大的附加应力和位移<sup>[3]</sup>。比如，在悬臂施工阶段，桥梁主要承受自重和施工荷载；而在合拢后，桥梁将承受恒载、活载以及温度、风等自然因素影响。对于多孔连续刚构桥，非对称合拢施工需特别注意结构应力分布和位移变化，确保施工安全和质量<sup>[4]</sup>。

## （三）基础与下部结构施工的稳固性

大型沉井施工需加强定位与测量，严格控制清基封顶、基础处理、下沉施工等流程，以保证沉井的稳固性。而深水承台施工受水流与水压影响较大，因而通常采用钢吊箱与钢套箱两种模式进行施工，以有效抵抗水流和水压影响。对于下部结构中的承台施工需确保其位置准确、尺寸符合设计要求，而墩身则支撑着上部结构并传递荷载，可采用高质量的钢筋和混凝土进行浇筑，以提高墩身承载能力。

# 三、连续桥梁结构施工技术分析

## （一）施工准备

通过实地调查建设工地，确定施工方法、施工力量的部署，并合理安排施工现场的施工总平面图。对设计提供的地质资料进行复核，并对缺少的部分给予补充。对地下水文资料、地面水文资料和水质分析资料等进行深入分析，确定基础施工方法及技术难度，掌握河水涨落情况以合理安排工期。在设计图纸审查与技术交底方面，应审查图纸是否符合国家有关的技术政策、标准、规范和批准的文件精神及招标文件的有关规定<sup>[5]</sup>。在施工单位熟悉、审查完设计图纸及相关文件后进行技术交底。编制施工方案，并确定施工流向、施工顺序，合理选择施工方法、施工机械，尽量组织平行、流水作业。

## （二）模板安装技术

### 1. 模板选择与材料准备

根据连续桥梁结构特点、施工条件以及设计要求选择模板材料，比如钢模板、木模板以及钢木组合模板等。钢管、钢筋、木材等支撑材料的选择同样重要，其直接关系到模板的稳定性和安全性，在选择时应充分考虑其承载能力、稳定性以及施工便利性等因素。遵循“安全、经济、合理”的原则，进行模板设计、绘图与加工，优化模板拼装方式、连接方式以及预留孔洞和预埋件的位置等。在加工过程中，应严格控制加工精度和焊接质量，模板尺寸和形状应符合设计要求。

### 2. 模板安装与调整

在安装模板前，应对模板进行全面检查，其表面应平整、无损伤、无变形等问题。在基础平整与支撑系统施工中，应严格按照设计图纸和拼装方式，将模板组装成整体。在组装过程中，应严格控制模板几何尺寸和拼接缝隙，模板平整度和垂直度应符合设计要求，并根据实际需要调整模板预拱度，尽量避免与脚手架等临

时设施连接，以免影响模板稳定性，满足设计要求。在模板安装到位后，应进行临时固定，防止模板在浇筑混凝土时发生位移。待所有模板安装到位后，应进行整体联结<sup>[6]</sup>。模板接缝应严密、不漏浆，对于缝隙较大的接缝，应采用灰膏类填缝或用粘胶带密封。

## （三）钢筋施工技术

### 1. 钢筋材料准备与加工

钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单，并按不同钢种、等级、牌号、规格及生产厂家分批验收。进场检验内容包括外观质量、直径偏差、力学性能（屈服强度、抗拉强度、伸长率、冷弯180°）及可焊性等。钢筋在运输、储存过程中应防止锈蚀、污染和变形。存放场地应有防、排水设施，且钢筋不得直接置于地面，应垫高或堆置在台座上，顶部应采用适当的材料予以覆盖，防止水浸和雨淋。采用调直机对钢筋进行调直，钢筋应平直，无局部弯折，并根据设计图纸和施工方案，对钢筋进行精确下料，使用弯曲机对钢筋进行弯曲，弯曲角度和半径应符合设计要求。

### 2. 钢筋连接与绑扎

钢筋连接宜采用焊接接头或机械接头，当钢筋构造复杂施工困难时采用绑扎接头。焊接接头应优先选择闪光对焊，但在非固定的专业预制场或钢筋加工场内，对直径大于或等于22毫米的钢筋进行连接作业时，不得使用钢筋闪光对焊工艺。机械接头使用前，应在钢筋上设醒目标记，便于现场检查连接质量。按照设计图纸和施工方案进行钢筋绑扎，使用0.7-2mm铁丝绑牢，必要时可辅以点焊<sup>[7]</sup>。钢筋网的外围两行钢筋交叉点应全部扎牢，中间部分交叉点可间隔交错扎牢，但双向受力的钢筋网，钢筋交叉点必须全部扎牢。钢筋骨架应采用平板车、专用骨架运输车等设备进行运输，严禁顺地拖拉或长途吊运。

## （四）混凝土浇筑技术

### 1. 配合比设计与试件检测

混凝土的配合比设计应考虑到桥梁结构长期暴露在自然环境中，首先满足设计强度要求，注重提高混凝土的耐久性，包括抗渗性、抗冻性、抗化学侵蚀性等，确保桥梁结构安全。根据桥梁结构的设计要求、施工条件、材料来源等因素，初步确定混凝土的强度等级、水灰比、单位用水量、砂率等参数，并选择合适的水泥品种、强度等级、掺合料和外加剂。在试验室内，按照初步配合比进行试拌，观察混凝土的工作性能，并根据试拌结果，调整单位用水量、砂率等配合比参数。对于首次使用的混凝土配合比，应进行开盘鉴定，并通过留置的试件进行强度检测、工作性能检测和耐久性检测<sup>[8]</sup>。

### 2. 混凝土浇筑技术

根据结构的要求和施工进度确定浇筑的顺序，通常情况下，先浇筑桥墩、桥台和桥面，再进行桥面铺装。对于大型连续桥梁结构，可采用分段浇筑的方法，以减小单次浇筑的混凝土量，提高浇筑质量。无论是采用手工浇筑方法，还是泵送浇筑方法，均应确保混凝土均匀、连续地倒入模板内，避免出现空洞和孔隙。混凝土浇筑完成后，应使用机械振捣器或手动振捣器进行振捣处理，控制振捣的时间和强度，以排除混凝土中的气泡和空隙，提

高混凝土的密实性和强度。混凝土浇筑完成后，应采用覆盖保湿、喷水养护等方法进行适当的养护，根据混凝土的强度增长情况和天气条件确定养护时间。

#### （五）预应力施工技术

提前准备高强度低松弛钢绞线、锚具、夹具和连接器，并对其质量进行检查。按照设计图纸要求，在混凝土构件中准确布置预应力筋，其位置、间距和保护层厚度应符合设计要求。当混凝土达到设计要求的强度后，方可进行预应力筋的张拉。按照设计要求的张拉顺序和力值进行张拉，通常采用两端同时张拉或一端张拉一端锚固的方式。张拉完成后，应及时对预应力孔道进行灌浆，严格控制灌浆压力和灌浆量，灌浆应饱满、密实。灌浆完成后，对锚具和端部进行封锚处理，封锚材料与构件之间应粘结牢固、无裂缝<sup>[9]</sup>。

### 四、连续桥梁结构施工中的关键技术挑战与解决方案

#### （一）技术挑战

一方面，桥梁施工往往面临软弱地基、滑坡、地震带等复杂的地质条件，桩基成孔、地基处理等施工难度加大，容易出现塌孔、卡钻、缩颈等问题，对桥梁的稳定性和安全性构成严重威胁。另一方面，桥梁主体结构施工需按照一定的施工序列进行，以确保支撑和承重的连续性，若施工控制不当，可能导致结构细部偏差超出设计规范限值。比如，如曲线半径偏小可能导致车辆行驶不稳定，主缝密实度不达标可能引发水渗漏和路面崩塌等问题。

#### （二）解决方案

首先，应通过地质勘察了解地下条件的复杂性，识别出可能存在的地质灾害风险，并采取挖沟排水、加固填土、灌浆加固、预应力锚固等相应的地基处理措施，以提高地基的承载能力和稳定性。其次，利用先进的计算机辅助设计和建筑信息模型技术进行精细化设计，精确模拟桥梁结构，预测可能遇到的问题，并提前予以规避。在施工过程中，实施严格的工序控制和质量检测，确保每一环节都符合设计和规范要求。同时，采用预制构件技术、滑模施工法、悬臂浇筑法等先进施工技术，提高施工效率和质量<sup>[10]</sup>。再次，应根据桥梁使用需求和地理环境特点，选择适当材料。比如，钢材适用于大跨度悬索桥、斜拉桥等跨度较大的桥梁结构；混凝土具有良好的耐久性和抗震性能，适用于多种桥梁结构形式。

### 五、结语

综上所述，受技术、环境、材料、设备等要素影响，当前连续桥梁结构施工实践中依然存在诸多短板与不足，制约着工程整体质量的优化提升。因此，技术人员应根据连续桥梁结构施工需求，建立健全基于全流程的施工技术方法体系，在宏观层次上整合施工技术要素，拓展丰富连续桥梁结构施工工艺体系，积极有效引入智能化和信息化技术手段，为全面优化提升连续桥梁结构施工技术水平奠定基础，为促进道路交通领域基础设施建设事业高质量发展贡献力量。

### 参考文献

- [1] 田立群. 预应力混凝土连续梁桥悬臂现浇施工及质量控制研究 [J]. 工程建设与设计, 2025, (01): 181-183.
- [2] 陈亚楠, 李念. 预应力施工技术在跨大跨度连续桥梁工程中的应用 [J]. 建筑机械, 2025, (01): 118-121.
- [3] 王聪. 基于时序信息的桥梁施工工程关键节点承载力建模分析 [J]. 成都大学学报 (自然科学版), 2024, 43 (03): 322-327.
- [4] 贺飞, 王磊, 徐世超. 基于挂篮悬臂浇筑的高铁大跨度连续梁桥施工监控研究 [J]. 工程建设与设计, 2024, (18): 98-100.
- [5] 李国锋. 大跨径连续桥梁施工技术在桥梁施工中的应用 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊), 2021, (09): 194-196.
- [6] 杨得祺. 大跨度连续梁桥挂篮系统优化设计与施工关键技术 [J]. 建筑技术, 2024, 55 (09): 1078-1082.
- [7] 张鹏林. 高速公路简支转连续大跨度刚构桥施工技术研究 [J]. 工程机械与维修, 2024, (03): 144-146.
- [8] 夏志杰. 先简支后结构连续桥梁施工技术及其质量控制 [J]. 云南水力发电, 2024, 40 (01): 60-63.
- [9] 黄宏波, 包火明, 王中宽. 大跨径连续桥梁施工技术难点与应用要点分析 [J]. 工程技术研究, 2023, 8 (07): 69-71.
- [10] 项曾森, 项曾林. 大跨径连续桥梁施工技术在桥梁施工中的应用 [J]. 科技资讯, 2023, 21 (06): 71-74.