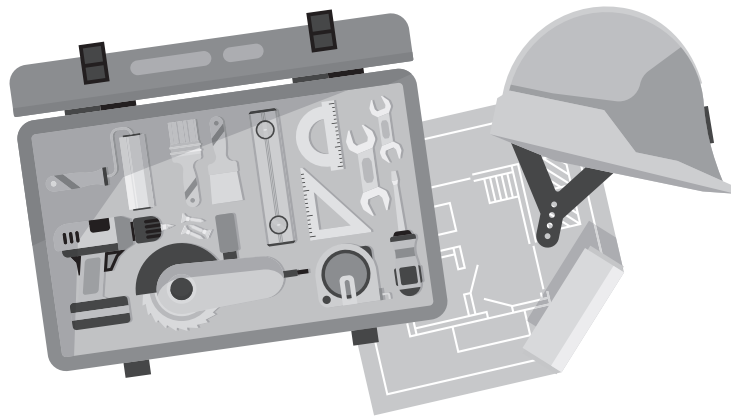


工程技术 与质量管理

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5期 2025年5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

- | | | |
|-----|---|-----------------------------------|
| 001 | 油气管网智能化风险防控体系的关键技术与挑战
Key Technologies and Challenges of the Intelligent Risk Prevention and Control System for Oil and Gas Pipelines Network | 蒲玮祯
Pu Weizhen |
| 004 | 汽车发动机机械部分常见故障及预防措施分析
Analysis on Common Faults and Preventive Measures of Mechanical Parts of Automobile Engine | 李文得
Li Wende |
| 007 | 地质灾害治理工程勘察设计和施工中的难点分析
Analysis of Difficulties in Exploration, Design, and Construction of Geological Disaster Management Projects | 潘艳兰
Pan Yanlan |
| 010 | 园林市政绿化工程资料管理与工程结算的风险防控措施
Risk Prevention and Control Measures for Data Management and Engineering Settlement of Landscape and Municipal Greening Projects | 申晓丽
Shen Xiaoli |
| 013 | 老旧土木工程基础设施的加固改造技术及长期性能评估
Reinforcement and Renovation Technology and Long-term Performance Evaluation of Old Civil Engineering Infrastructure | 李永, 张清贵
Li Yong, Zhang Qinggui |
| 016 | 智能制造技术在现代船舶建造中的应用与发展趋势
The Application and Development Trend of Intelligent Manufacturing Technology in Modern Ship Construction | 刘春华
Liu Chunhua |
| 019 | 一种高效 STC 绕线机的开发
Development of An Efficient Stc Winding Machine | 皮之送
Pi Zhisong |
| 022 | 信息化手段在工业建筑施工管理中的应用探索
Application of Information Technology in Industrial Building Construction Management | 郑闽
Zheng Min |
| 025 | 化工厂区废气循环与治理一体化技术
Chemical Plant Area Waste Gas Circulation and Treatment Integration Technology | 于经纬
Yu Jingwei |
| 029 | 低温甲醇洗工艺中甲醇再生过程的能耗分析与节能策略
Energy Consumption Analysis and Energy Saving Strategies for Methanol Regeneration Process in Low-Temperature Methanol Washing Technology | 马丽
Ma Li |
| 032 | 招标清单特殊表述在成本控制中的关键作用与实效探究
Exploration of the Key Role and Practical Effect of Special Expressions in the Bidding List in Cost Control | 莫锦红
Mo Jinhong |
| 035 | 化工企业用离心泵常见故障及检修维护
Common Faults and Maintenance of Centrifugal Pumps for Chemical Enterprises | 李贺, 叶昊铖
Li He, ye Haocheng |
| 038 | 大数据时代的岩土工程勘察技术重点探究
Key Technical Aspects of Geotechnical Engineering Survey in the Era of Big Data | 马军
Ma Jun |
| 041 | 建筑工程造价的风险评估与风险管控分析
Analysis of Risk Assessment and Risk Control in Construction Cost Management | 符志能
Fu Zhineng |
| 044 | 酒店装修中干挂石材施工工艺的优化与创新研究——基于 DE 楼酒店 D/E 楼改造室内精装修工程
Research on Optimization and Innovation of Dry-hanging Stone Construction Technology in Hotel Decoration ——Based on the Indoor Fine Decoration Project of the Reconstruction of D/E Building of DE Hotel | 吴颖
Wu Ying |

047	EPC+装配式建筑模式下工程造价管理协同创新研究 Research on Collaborative Innovation of Engineering Cost Management under the EPC + Prefabricated Building Model	左嘉 Zuo Jia
-----	--	---------------

水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

050	新能源接入背景下电力系统稳定性提升技术及管理措施 Technologies and Management Measures to Improve Power System Stability in the Context of Renewable Energy Integration	徐铁 Xu Tie
053	火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析 Analysis of Technical Measures for Energy Saving and Consumption Reduction in the Centralized Control Operation of Thermal Power Plants	梁海波 Liang Haibo
056	隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术 Leakage Remediation Technology for Tunnel Defects through Joint Sealing	席晓龙 Xi Xiaolong
059	电子信息工程与计算机网络融合在物联网中的应用 Application of the Integration of Electronic Information Engineering and Computer Network in the Internet of Things	冯伦洋 Feng Lunyang
062	数字化技术在山区小型水利工程运行管理中的应用 Application of Digital Technology in the Operation and Management of Small Water Conservancy Projects in Mountainous Areas	邵磊磊 Shao Leilei
065	智能照明节能技术在电气工程自动化中的应用 The Application of Intelligent Lighting Energy-Saving Technology in Electrical Engineering Automation	张方婷, 邵溪祺 Zhang Fangting, Shao Xiqi
068	光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用 Application of Photovoltaic New Energy Technology in Urban Smart Building Electrical Systems	张哲岚 Zhang Zhelan
071	大面阵光电芯片散热器 CFD 仿真分析 CFD Simulation Analysis of Large Surface Array Photoelectric Chip Radiator	芮骥才, 张少伟, 高文, 史鸣谦 Rui Jicai, Zhang Shaowei, Gao Wen, Shi Mingqian
074	机电安装施工技术在建筑中的实际应用 Practical Application of Mechanical and Electrical Installation and Construction Technology in Construction	郭良 Guo Liang
077	新型给水自动加氧设备性能分析及应用 Performance Analysis and Application of New Automatic Oxygenation Equipment for Water Supply	顾大鹏 Gu Dapeng
080	数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用与实践 Application and Practice of Digital Technology in Precision Irrigation of Farmland Water Conservancy	崔立业 Cui Liye

路桥工程 | ROAD AND BRIDGE ENGINEERING

083	路基拼接技术在高速公路新建互通工程中的应用策略 Application Strategy of Subgrade Splicing Technology in Newly Built Interchange Projects of Expressways	席晓龙 Xi Xiaolong
086	高速公路沥青路面车辙病害治理技术分析 Analysis of Rutting Disease Treatment Technology for Asphalt Pavement of Expressway	任彬 Ren Bin
089	城市交通规划与路网建设 Urban Transportation Planning and Road Network Construction	冯浩 Feng Hao
092	应对极端天气, 轨道交通基础设施韧性提升策略研究 Research on Strategies to Enhance the Resilience of Rail Transit Infrastructure in Response to Extreme Weather	褚画宜 Chu Huayi

安全质量 | SAFETY QUALITY

095	海塘安澜工程中丁坝桩施工质量与进度保障策略研究 Research on the Construction Quality and Progress Guarantee Strategy of Dingba Pile Foundation in Haitang Anlan Project	张海龙 Zhang Hailong
098	矿山开采后土地复垦对生态恢复及地质灾害的影响与方案设计 The Impact and Scheme Design of Land Reclamation After Mining on Ecological Restoration and Geological Disasters	李开跃 Li Kaiyue
101	燃气站安全巡检中智能图像识别与隐患动态——分级管控研究 Intelligent Image Recognition and Hidden Danger Dynamics in The Safety Inspection of Gas Station Station —Research on Hierarchical Management and Control	佛一擎 Fo Yiqing
105	石油钻井工程事故的原因及防范措施研究 Research on Causes and Preventive Measures of Petroleum Drilling Engineering Accidents	蔡春雷 Cai Chunlei
108	打叶复烤生产安全风险识别与管控的思考 Reflections on Safety Risk Identification and Control in Threshing and Redrying Production	尹旭, 许先陆, 杜卫平, 庞可, 葛洪健 Yin Xu, Xu Xianlu, Du Weiping, Pang Keke, Ge Hongjian
111	建筑工程项目风险管理研究 Research on Risk Management of Construction Engineering Projects	廖科 Liao Ke

油气管网智能化风险防控体系的关键技术与挑战

蒲玮祯

国家石油天然气管网集团有限公司甘肃分公司兰州输油气分公司, 甘肃 兰州 730060

DOI: 10.61369/ETQM.12215

摘 要 : 近年来, 随着中国油气消费迅速增长, 管网建设蓬勃发展, 以2004年西气东输管道的建成为标志, 我国油气管网进入快速发展期, 并陆续建成西气东输、川气东送、甬沪宁、兰郑长等一批长距离主干管道。2020年, 中国新建成油气管网里程约5081千米, 总里程累计达到14.4万千米。油气管网作为连接油气生产、运输和消费的纽带, 其安全性和可靠性受到了关注。然而, 由于油气管网具有点多、线长、面广的特点, 且受到多种因素的影响, 传统的风险管理方法已难以满足需求。因此, 油气管网智能化风险防控体系通过融合物联网、大数据、人工智能等技术, 实现对油气管网运行风险的实时监测、精准评估和高效控制, 及时发现并处理潜在风险, 有效避免事故发生, 降低损失。

关 键 词 : 油气管网; 智能化风险防控; 技术; 挑战

Key Technologies and Challenges of the Intelligent Risk Prevention and Control System for Oil and Gas Pipelines Network

Pu Weizhen

Lanzhou Oil and Gas Transmission Branch, Gansu Branch of China National Petroleum and Natural Gas Pipeline Group Co., Ltd. Lanzhou, Gansu 730060

Abstract: In recent years, with the rapid growth of China's oil and gas consumption, the construction of pipeline networks has been booming. Marked by the completion of the West-East Gas Pipeline in 2004, China's oil and gas pipeline network has entered a period of rapid development, and a number of long-distance trunk pipelines such as the West-East Gas Pipeline, Sichuan-East Gas Transmission Pipeline, Ningbo-Shanghai-Nanjing Pipeline, Lanzhou-Zhengzhou-Changsha Pipeline have been successively built. In 2020, China newly built approximately 5,081 kilometers of oil and gas pipeline networks, and the cumulative total mileage reached 144,000 kilometers. As a link connecting oil and gas production, transportation and consumption, the safety and reliability of the oil and gas pipeline network have attracted attention. However, due to the characteristics of numerous points, long lines and wide coverage of the oil and gas pipeline network, and being affected by various factors, traditional risk management methods can hardly meet the requirements. Therefore, the intelligent risk prevention and control system for oil and gas pipeline networks, by integrating technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, realizes real-time monitoring, accurate assessment and efficient control of the operational risks of the oil and gas pipeline network, timely discovers and deals with potential risks, effectively avoids accidents and reduces losses.

Keywords: oil and gas pipeline network; intelligent risk prevention and control; technology; challenges

随着信息技术的发展, 油气管网的智能化风险防控成为行业发展的重要趋势。传统的风险防控方法主要依靠人工巡检和经验判断, 难以满足复杂的油气管网运行需求。智能化风险防控体系能够实时监测管道运行参数, 及时发现潜在风险, 提高风险防控的效率和准确性, 保障油气能源的安全供应。

一、油气管网风险类型与危害

(一) 泄漏风险

油气管网一旦发生泄漏, 从安全角度而言, 泄漏到环境中会

形成易燃易爆的混合气体, 遇到明火、静电等火源, 极易引发火灾, 对周边居民的生命财产构成巨大威胁。从环境角度看, 油气泄漏会对土壤、水源和空气造成严重污染。土壤被油污污染后, 其结构会受到破坏, 影响植物根系的呼吸和生长; 流入水源的油

气会使水质恶化，导致水中生物死亡；挥发到空气中的油气还会造成空气质量下降，危害人体健康，引发呼吸道疾病等。

（二）爆炸风险

油气本身具有易燃易爆的特性，在管道内正常输送过程中，如果遇到合适的浓度比例和火源，就会瞬间引发爆炸。例如，天然气的主要成分是甲烷，当其在空气中的体积分数处于5%–15%时，一旦遇到火源如烟火、电火花等，就会发生剧烈的爆炸反应。爆炸产生的冲击波具有强大的破坏力，能够在瞬间摧毁周

围的建筑物和基础设施，造成大面积的人员伤亡和财产损失。例如，在人口密集的城市区域，一旦油气管网发生爆炸，周围的居民楼、商店、学校等建筑会被夷为平地，无数生命会在爆炸中丧生或受伤。同时，爆炸还会引发次生灾害，如火灾。油气泄漏后遇到火源发生爆炸，往往会引燃周围的物体，使火灾迅速蔓延，进一步扩大灾害范围^[1]。近10年发生重大油气管网安全事故如表1所示。

表1 近10年发生重大油气管网安全事故

序号	油气管网安全事故	时间	事故原因
1	大连输油管道爆炸事故	2010	油轮卸油操作不当，引发输油管线爆炸
2	青岛输油管道爆炸事件	2013	管道老化破裂，原油泄漏，现场处置人员处置不当
3	中石油新大一线输油管线泄漏	2014	建筑施工不当，造成钻漏输油管线，引发泄漏
4	晴隆县中石油输气管线事故	2017	持续降雨引发公路边坡侧滑，挤压埋地输气管道，引发泄漏爆炸
5	晴隆县中缅天然气管道爆炸事故	2018	管道环焊缝脆性断裂引发天然气泄漏，遇静电摩擦起火爆炸
6	遵义中石化西南成品油管道泄漏	2020	山体滑坡引发管道损伤，处置过程中企业处理不当造成污染事态扩大
7	北海液化天然气接收站事故	2020	施工人员对罐体进行维修时，操作不当引发起火
8	十堰燃气爆炸事故	2021	燃气管道破裂，造成气体泄漏，遇火源引爆

二、油气管网风险防控的挑战

（一）管道自身安全风险

管道在长期的运行过程中，会受到多种因素的共同作用，从而导致出现各种安全隐患。一方面，随着时间的推移，管道内部的金属材料会逐渐腐蚀、磨损，管道的强度和韧性会降低。尤其是在一些恶劣的运行环境下，如高温、高压、高湿度等，管道材质的老化速度会进一步加快。这种老化现象会导致管道出现裂纹、穿孔等缺陷，从而引发油气泄漏事故^[2]。另一方面，管道的施工质量会影响其自身的安全性能。在管道建设过程中，如果施工工艺不规范、质量控制不严格，会导致管道焊缝存在缺陷、管道埋深不足等问题。这些问题在管道运行过程中会逐渐暴露出来，增加管道发生泄漏、破裂等事故的风险。

（二）外部干扰因素多

外部干扰因素包括自然环境因素、人类活动、社会环境的变化等等。其中，自然环境因素是对油气管网安全运行影响较大的外部干扰因素之一。地震、洪水、台风等自然灾害会对油气管网造成严重的破坏。例如，地震导致管道变形、断裂，洪水冲毁管道的支撑结构，使管道暴露甚至悬空，增加管道发生泄漏的风险^[3]。此外，土壤中的化学物质会对管道产生腐蚀作用，削弱管道的强度。人类活动方面，在油气管网周边，施工建设活动会对管道造成意外损坏。例如，在管道上方进行挖掘作业时，如果未对管道的位置和走向进行准确探测，会挖伤管道，导致油气泄漏。

三、油气管网智能化风险防控体系的关键技术

（一）党建引领下的全员安全文化构建与数智化支撑

以党建引领为核心驱动力，将安全生产理念深度融入组织文

化血脉。通过构建“党委统筹、支部落实、党员带头”的责任传导机制，将安全管理从单一的岗位职责升华为全员共同的价值追求。实践中，依托基层党组织设立“安全先锋岗”，以党员技术骨干为主体组建隐患排查突击队，通过“党员带群众”“师傅带徒弟”的传帮带模式，将安全操作规范转化为日常行为习惯。同时，以安全理念内涵解析为基础，提炼“生命至上、预防为主、全员共治”的核心价值观，通过制度设计将抽象理念转化为可落地的防控体系——例如建立“风险辨识-评估-管控-反馈”闭环机制，将管网巡检、设备维护等基础工作与智能化监测数据联动，形成“人防+技防”的双重保障。其中，数智化支撑并非替代人的作用，而是通过技术赋能提升全员风险防控能效。例如，通过物联网设备实时采集管网压力、温度等运行数据，结合历史事故案例库构建风险预警模型，使员工在手机终端即可接收风险提示；利用虚拟现实技术模拟泄漏、火灾等场景的应急处置，强化基层人员的实战能力；搭建全员安全行为数据库，通过大数据分析员工操作习惯中的潜在风险点，定向推送培训内容。这种“党建引领定方向、文化浸润塑意识、数智工具提效能”的三维融合模式，推动油气管网风险防控从被动响应向主动预防、从碎片化管理向系统化治理的深刻转变^[4-6]。

（二）行为安全管理视角下的全员参与与技术创新融合路径

构建以行为管理为抓手的动态防控机制，通过安全监督检查模式创新与行为激励机制重塑，破解传统管理中“重结果、轻过程”的痛点^[7]。安全监督检查需从定期抽查向实时动态监测转型，利用移动巡检终端与智能视频分析技术，对高危作业场景（如管道焊接、阀门操作）进行全过程行为捕捉，通过动作识别算法自动比对标准操作流程，即时反馈违规动作并生成整改清单。例如，在密闭空间作业中，智能穿戴设备可实时监测作业人员体态、氧气浓度及工具使用合规性，结合电子围栏技术限定作

业范围，从源头上规避误操作风险。在此基础上，构建“隐患积分-绩效奖励”联动机制，将个人安全行为数据转化为可量化的积分，与岗位晋升、评优评先挂钩，激发员工从“要我安全”向“我要安全”转变。

（三）基础强化与智能化融合驱动的系统性风险治理

以治本攻坚三年行动为纲领，聚焦系统性风险治理与长效化机制建设，通过“人、物、环、管”多维协同夯实本质安全根基。在基础能力提升层面，针对“低老坏”（低标准、老毛病、坏习惯）问题开展专项整治，利用物联网技术对管网腐蚀、焊缝缺陷等历史遗留隐患进行动态监测与数据建模，结合移动巡检应用建立“发现问题-整改跟踪-效果验证”闭环机制。例如，在老旧管道改造中，通过智能涂层检测仪快速识别防腐层破损点，同步关联维修工单系统自动派发任务，提升隐患治理效率。本质安全建设则强调工艺与设备的源头防控，推广本质安全型阀门、冗余压力控制系统等基础技术，降低人为误操作引发的连锁风险^[8]。

在承包商安全管理方面，突破传统“以包代管”模式，构建“准入-过程-评价”全链条管控机制。通过开发承包商动态评价系统，整合其资质审查、作业行为记录、事故违规数据，形成信用评分模型，对高风险承包商实施“熔断”限制。在项目安全设施“三同时”（同步设计、施工、投产）监督中，利用BIM（建筑信息模型）技术对施工方案进行三维模拟，提前识别安全间距不

足、应急通道缺失等设计缺陷，从源头规避建设风险。安全示范单位的经验输出则为体系推广提供模板，例如某输气站通过标准化巡检流程、应急处置卡、可视化风险分布图的实践，形成可复制的安全管理模块，借助智能化平台实现跨区域经验共享。

在环保协同方面，在智能化监测系统中集成甲烷检测、土壤振动传感等功能，实现安全风险与环境影响的同步预警。例如，在管道穿越生态敏感区段，部署声纹识别设备实时监测第三方施工震动，结合GIS地图自动触发环保应急处置流程。通过数据贯通将分散的治理实践（如承包商管理、三同时监督、低老坏整治）整合为有机整体，形成“基础强化-行为规范-智能支撑”的递进式防控生态，推动油气安全管理从被动应对向主动防御的范式转型^[9-10]。

四、结语

综上所述，油气管网智能化风险防控体系是保障油气管网安全运行的手段。在未来的发展中，应进一步加强技术研发投入，促进多学科交叉融合，提高风险防控体系的智能化水平。同时，建立健全相关法律法规和标准规范，加强人才培养，为油气管网智能化风险防控体系的广泛应用提供有力支持，从而推动油气行业的可持续发展。

参考文献

[1] 张亚彬, 张鑫, 王麟琨, 等. 油气管网场站工控系统融合安全防护策略 [J]. 自动化博览, 2025, 42(01): 20-23.
[2] 郑登锋, 付明福, 蒋金生, 等. 油气管网企业本质安全模型构建及应用研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(S1): 12-17.
[3] 刘亮. 油气管道网络安全问题与对策 [J]. 软件, 2021, 42(05): 166-168.
[4] 孔令武, 刘雄源, 刘琰祥, 等. 长输油气管网工控安全防护: 策略、实践与展望 [J]. 自动化博览, 2025, 42(01): 60-63.
[5] 李鹏, 刘阳. 输油气场站智能化建设技术探索与研究 [J]. 中国化工贸易, 2024(25): 154-156.
[6] 梁永图, 邱睿, 涂仁福, 等. 中国油气管网运行关键技术及展望 [J]. 石油科学通报, 2024, 9(2): 213-223.
[7] 孔令武, 刘雄源, 刘琰祥, 等. 长输油气管网工控安全防护: 策略、实践与展望 [J]. 自动化博览, 2025, 42(01): 60-63.
[8] 陈妍君, 唐梓喻. 油气管道与市政管网交叉事故应急处置技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(17): 184-186.
[9] 冯庆善. 智能油气管网系统建设与运行方法论研究 [J]. 油气储运, 2024, 43(08): 841-854.
[10] 马银歌, 李艳婷, 曹秋娥. 输油气管网系统的优化设计与实施 [J]. 化学工程与装备, 2023, (12): 70-72

汽车发动机机械部分常见故障及预防措施分析

李文得

湖南省食用菌研究所, 湖南 长沙 410013

DOI: 10.61369/ETQM.12217

摘 要： 汽车发动机机械部分的故障预防是提升车辆可靠性和经济性的关键。随着发动机结构复杂化和高精度零部件的广泛应用, 故障诊断与预防面临更高要求。现有体系在技术手段、实时性、针对性和协同性方面存在不足, 亟需优化。优化策略包括引入智能化监测技术、提升预防措施的系统性与协同性、强化数据驱动的决策支持以及持续改进维护流程。实际应用表明, 优化后的预防措施显著改善了发动机的运行温度、润滑效果和燃烧效率, 降低了故障率, 提升了动力输出和燃油经济性, 为发动机的全生命周期管理提供了有力支持。

关 键 词： 汽车发动机; 机械故障; 预防措施; 故障诊断; 可靠性

Analysis on Common Faults and Preventive Measures of Mechanical Parts of Automobile Engine

Li Wende

Hunan Edible Fungi Institute, Changsha, Hunan 410013

Abstract: The failure prevention of the mechanical part of automobile engine is the key to improve the reliability and economy of vehicles. With the complexity of engine structure and the wide application of high-precision parts, fault diagnosis and prevention are facing higher requirements. The existing system has shortcomings in technical means, real-time, pertinence and coordination, and needs to be optimized urgently. Optimization strategies include introducing intelligent monitoring technology, improving the systematicness and synergy of preventive measures, strengthening data-driven decision support and continuously improving maintenance processes. The practical application shows that the optimized preventive measures significantly improve the running temperature, lubrication effect and combustion efficiency of the engine, reduce the failure rate, improve the power output and fuel economy, and provide strong support for the whole life cycle management of the engine.

Keywords: automobile engine; mechanical failure; preventive measures; fault diagnosis; reliability

随着汽车行业的快速发展, 发动机作为汽车的核心部件, 其机械部分的故障预防成为保障车辆性能与安全的关键。发动机机械故障不仅影响车辆的正常运行, 还可能导致严重的安全隐患和经济损失。然而, 当前的故障诊断与预防体系仍存在诸多不足, 如诊断技术的局限性和预防措施的针对性不足等。深入探讨发动机故障预防的优化策略, 并结合实际应用验证其效果, 对于提升发动机可靠性和使用寿命具有重要意义。展望未来发展趋势, 将为汽车行业的可持续发展提供重要参考。

一、汽车发动机机械部分故障现状

汽车发动机作为汽车的核心动力源, 其机械部分的可靠性对车辆的性能和安全性起着至关重要的作用。然而, 在实际使用过程中, 发动机机械部分的故障问题仍然较为常见, 这些问题不仅影响车辆的正常运行, 还可能导致严重的安全隐患和经济损失。发动机机械部分主要包括曲柄连杆机构、配气机构、冷却系统、润滑系统等关键部件^[1]。在日常运行中, 曲柄连杆机构由于承受较大的机械负荷, 容易出现活塞环磨损、连杆变形等问题, 这些问题会导致发动机动力下降、油耗增加。配气机构的故障也不容忽视, 气门间隙调整不当或气门密封不严可能导致发动机进气不

足、燃烧不充分, 进而影响发动机的性能和燃油经济性。

冷却系统和润滑系统的故障同样频繁出现。冷却系统中的冷却液不足或散热器堵塞会导致发动机过热, 进而引发发动机故障甚至损坏; 润滑系统中的机油不足或机油变质则可能导致发动机润滑不良, 加剧发动机零部件的磨损。发动机的机械故障还可能与零部件的老化、材料缺陷以及使用环境等因素密切相关。例如, 在恶劣的使用环境下, 发动机的零部件更容易受到腐蚀和磨损, 从而降低其使用寿命。随着汽车技术的不断发展, 发动机的结构越来越复杂, 机械部分的故障类型也呈现出多样化的特点。

现代发动机广泛采用高精度的零部件和先进的制造工艺, 虽然在一定程度上提高了发动机的性能和可靠性, 但也对故障诊断

和维修提出了更高的要求。一旦出现故障，诊断难度较大，维修成本也相对较高。随着智能化、电动化技术的融入，发动机的运行环境和工况变得更加复杂，进一步增加了故障的不确定性和隐蔽性^[2]。例如，高精度传感器和电子控制单元的广泛应用，使得发动机的机械故障与电子故障相互交织，单一的诊断方法往往难以准确判断故障根源。现代发动机的高转速、高压压缩比等特点，也使得机械零部件在极端工况下的耐久性和稳定性面临更大挑战。

二、现存故障诊断与预防体系的不足

在当前汽车发动机机械故障的诊断与预防体系中，尽管随着技术的发展已经取得了一定的进展，但仍存在诸多不足之处，这些不足在一定程度上影响了故障诊断的准确性和预防措施的有效性。故障诊断技术方面，虽然现代汽车普遍配备了电子故障诊断系统，但这些系统主要侧重于电子控制单元的故障检测，对于机械部分故障的诊断能力有限。机械故障的诊断往往依赖于技术人员经验和传统检测工具，如听诊器、压力表等，这些方法在面对复杂故障时存在局限性。例如，发动机内部磨损、零部件松动等问题难以通过简单的检测工具准确判断，导致故障诊断的效率和准确性难以保障。

在预防体系方面，目前的预防措施多以定期保养和常规检查为主，缺乏对发动机运行状态的实时监测和动态评估^[3]。这种预防方式难以及时发现潜在故障隐患，尤其是在发动机运行过程中出现的微小变化。现有的预防体系对不同使用环境和工况下的发动机缺乏针对性的维护策略，无法充分适应复杂多变的实际运行条件。故障诊断与预防体系之间的协同性不足。诊断与预防往往是两个独立的环节，缺乏有效的信息共享和联动机制。诊断结果未能充分指导预防措施的优化，而预防措施的实施效果也难以通过诊断系统进行验证和反馈。这种脱节现象导致故障诊断与预防体系无法形成有效的闭环管理，难以从根本上提升发动机的可靠性和使用寿命。

随着汽车技术的不断发展，发动机的结构日益复杂，对故障诊断与预防体系的要求也不断提高。现有的体系在技术手段、实时性、针对性以及协同性等方面的不足，已无法完全满足现代汽车发动机的维护需求^[4]。尤其是在高精度零部件和复杂工况的背景下，传统诊断方法难以精准识别故障源头，而预防措施的滞后性和单一性也限制了其有效性。发动机与车辆其他系统的集成化程度加深，要求故障诊断与预防体系具备更强的跨系统协同能力。亟需对现有的故障诊断与预防体系进行优化和改进，以适应现代汽车发动机的发展趋势。

三、故障预防措施的优化策略

针对汽车发动机机械部分故障的预防，优化策略需从多个层面展开，以提升故障预防的系统性和有效性。优化策略应注重技术手段的更新与完善，结合现代汽车技术的发展，引入先进的监

测与诊断技术，如传感器网络和大数据分析，实现对发动机运行状态的实时监测和精准诊断。通过在发动机关键部位安装高精度传感器，能够实时采集温度、压力、振动等关键参数，并借助大数据分析技术对采集到的数据进行深度挖掘，从而提前发现潜在故障隐患，为预防措施的实施提供科学依据^[5]。在预防措施的实施过程中，优化策略还需强调个性化与针对性。根据发动机的具体型号、使用环境和工况特点，制定差异化的维护保养方案。对于经常处于高负荷运行的发动机，应增加检查频次和维护强度；而对于在恶劣环境下使用的发动机，则需重点加强防护措施，如加强冷却系统和润滑系统的维护，以确保其在复杂工况下仍能保持良好的运行状态。

优化策略还应注重预防措施的系统性与协同性。将发动机的故障预防纳入整车维护体系中，加强各部件之间的协同维护，避免因单一部件的故障引发连锁反应。优化预防措施的实施流程，建立完善的故障预警机制和应急响应机制，确保在发现潜在故障时能够迅速采取措施，将故障损失降至最低。优化策略需重视预防措施的持续改进。通过定期评估预防措施的实施效果，结合发动机的实际运行数据和故障案例，不断调整和完善预防策略。加强技术人员的专业培训，提升其对新技术、新方法的掌握能力，以确保优化后的预防措施能够有效落地。

在此基础上，进一步强化数据驱动的决策支持，利用大数据分析和人工智能技术对发动机的运行状态进行实时监测和趋势预测，提前识别潜在风险点。通过跨部门合作，整合研发、生产、售后等环节的资源，形成从源头到终端的全生命周期故障预防体系^[6]。这不仅有助于提升汽车发动机机械部分的故障预防水平，还能为整个汽车行业的高质量发展提供有力保障。

四、预防措施的实际应用与效果

在汽车发动机机械部分故障预防措施的实际应用中，通过一系列优化策略的实施，其效果已逐渐显现，显著提升了发动机的可靠性和使用寿命。这些措施的实施涵盖了从技术应用到维护管理的多个方面，形成了一个综合性的预防体系。在技术应用层面，引入的实时监测系统能够对发动机的关键运行参数进行持续跟踪。通过对这些数据的分析，技术人员可以提前识别潜在的故障风险，并及时调整维护计划。这种基于数据驱动的预防措施，有效避免了传统定期维护模式下可能出现的过度维护或维护不足的问题，显著降低了发动机故障的发生率。

在维护管理方面，优化后的预防措施强调了对发动机运行环境的适应性。通过对不同工况下发动机性能的分析，制定了更具针对性的维护方案。这种方案不仅提高了维护效率，还减少了因环境因素导致的发动机故障。通过建立完善的故障预警机制，能够在故障初期及时发现并处理问题，避免了故障的进一步恶化。预防措施的实际应用还体现在对发动机零部件的精细化管理上^[8]。通过对零部件的寿命评估和磨损监测，实现了按需更换，避免了因零部件老化引发的故障。这种精细化管理不仅延长了零部件的使用寿命，还降低了维护成本。在实际应用过程中，预防

措施的效果还体现在对发动机整体性能的提升上。通过优化润滑系统和冷却系统的维护策略，发动机的运行温度和润滑效果得到了显著改善。这不仅减少了因高温或润滑不良导致的故障，还提升了发动机的动力输出和燃油经济性。

同时，通过对进气系统和燃油系统的精细化管理，进一步优化了发动机的燃烧效率。清洁的进气系统能够确保充足的空气供应，而高效的燃油喷射和燃烧控制则使燃油燃烧更加充分，从而降低油耗和尾气排放。优化后的预防措施还注重对发动机零部件的磨损监测和寿命管理，通过定期检查和适时更换关键零部件，延长了发动机的使用寿命^[9]。这种综合性的预防措施不仅提高了发动机的可靠性和耐久性，还为车辆的长期稳定运行提供了有力保障，显著降低了车辆的全生命周期维护成本。

五、汽车发动机故障预防的未来趋势

随着汽车技术的快速发展和智能化水平的不断提升，汽车发动机故障预防正朝着更加智能化、精准化和系统化的方向发展。未来，故障预防将不再局限于传统的定期维护和经验判断，而是通过先进的传感器技术、大数据分析和人工智能算法，实现对发动机运行状态的实时监测和精准预测。在技术层面，高精度传感器的广泛应用将成为发动机故障预防的关键。这些传感器能够实时采集发动机的温度、压力、振动、转速等关键参数，并通过无线通信技术将数据传输至云端平台。

借助大数据分析和机器学习算法，系统可以对海量数据进行深度挖掘和分析，从而实现对发动机潜在故障的提前预警和精准诊断。这种基于数据驱动的预防模式将大大提高故障预测的准确性，减少因突发故障导致的车辆停驶和维修成本。发动机故障预防将更加注重系统的集成化和协同化^[10]。未来，发动机的故障预

防系统将与其他关键系统（如动力传动系统、底盘系统、电子控制系统等）深度融合，形成一个智能化的车辆健康管理平台。通过跨系统的数据共享和协同管理，能够更全面地评估车辆的整体运行状态，及时发现潜在的故障隐患，并制定最优的维护策略。这种系统化的预防模式将有效提升车辆的可靠性和安全性，同时降低维护成本。

随着新能源汽车和混合动力汽车的普及，发动机故障预防也将面临新的挑战和机遇。新能源发动机的结构和工作原理与传统燃油发动机存在显著差异，其故障模式和预防策略也需要相应调整。未来，针对新能源发动机的故障预防技术将更加注重电池管理系统、电机驱动系统和电子控制系统的可靠性提升。通过智能化的电池状态监测、电机故障预警和电子控制系统优化，能够有效延长新能源发动机的使用寿命，提高其运行效率和安全性。在维护管理方面，未来发动机故障预防将更加依赖于智能化的维护管理系统。通过物联网技术，车辆的运行数据可以实时传输至维修中心，维修人员可以远程监控车辆状态，并根据数据分析结果提前安排维护计划。这种智能化的维护管理模式将大大提高维护效率，减少车辆停驶时间，同时提升用户的满意度。

六、结语

汽车发动机机械部分故障的预防是一个系统性工程，涉及现状分析、诊断体系优化、预防措施改进以及技术应用与效果评估等多个方面。通过对现有故障诊断与预防体系的优化，结合智能化技术与精细化管理，发动机故障预防已取得显著成效。未来，随着智能化、系统化和新能源技术的不断发展，发动机故障预防将更加精准高效，为汽车行业的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 刘志刚. 汽车发动机机械故障诊断与维修技术研究 [J]. 汽车实用技术, 2022, 15(6): 45-48.
- [2] 李晓峰. 汽车发动机机械故障的成因与维修策略 [J]. 汽车维修与保养, 2021, 12(4): 23-26.
- [3] 张伟. 汽车发动机机械部分故障预防措施探讨 [J]. 现代汽车技术, 2023, 18(2): 34-37.
- [4] 赵敏. 基于大数据的汽车发动机故障诊断技术研究 [J]. 汽车工程学报, 2024, 20(3): 56-60.
- [5] 王强. 汽车发动机机械故障的预防与维护实践 [J]. 汽车科技, 2022, 14(5): 48-52.
- [6] 李华. 汽车发动机机械部分的可靠性优化研究 [J]. 汽车零部件, 2023, 16(1): 32-35.
- [7] 刘洋. 汽车发动机故障诊断技术的现状与发展趋势 [J]. 汽车技术前沿, 2024, 19(4): 67-70.
- [8] 陈伟. 汽车发动机机械故障的预防与维修案例分析 [J]. 汽车维修, 2022, 13(3): 54-57.
- [9] 杨帆. 汽车发动机机械故障的预防与维护策略研究 [J]. 汽车技术研究, 2023, 17(2): 42-45.
- [10] 周杰. 汽车发动机机械部分故障的检测与预防技术 [J]. 汽车工程研究, 2024, 21(1): 58-62.

地质灾害治理工程勘查设计和施工中的难点分析

潘艳兰

广西天蓝工程技术有限责任公司, 广西 南宁 530000

DOI: 10.61369/ETQM.12219

摘 要： 地质灾害治理工程对于保障民众生命财产安全以及推动区域经济发展而言是极为关键的举措，不过在开展勘查、设计以及施工等工作进程中，鉴于地质条件存在复杂性、技术手段有局限性，并且管理协调存在险阻性等因素，治理工程面临着众多难点，本文对勘查、设计以及施工各个阶段的主要难点给予剖析，提出相应的解决策略，以此为地质灾害治理工程可顺利实施给予理论方面的支撑以及实践层面的指导。关键词覆盖地质灾害、治理工程、勘查设计、施工难点、解决策略。

关 键 词： 地质灾害；治理工程；勘查设计；施工难点；解决策略

Analysis of Difficulties in Exploration, Design, and Construction of Geological Disaster Management Projects

Pan Yanlan

Guangxi Tianlan Engineering Technology Co., Ltd. Nanning, Guangxi 530000

Abstract: Geological hazard control engineering is a crucial measure for ensuring the safety of people's lives and property and promoting regional economic development. However, in the process of exploration, design, and construction, due to the complexity of geological conditions, limitations in technical means, and obstacles in management and coordination, the control engineering faces numerous difficulties. This article analyzes the main difficulties in each stage of exploration, design, and construction, proposes corresponding solutions, and provides theoretical support and practical guidance for the smooth implementation of geological hazard control engineering. The keywords cover geological hazards, governance engineering, survey and design, construction difficulties, and solution strategies.

Keywords: geological hazards; governance project; exploration and design; construction difficulties; solution strategy

地质灾害乃是自然环境与人类活动共同作用而产生的结果，有突发性、破坏性以及不确定性等一系列特点，如滑坡、泥石流、崩塌以及地面塌陷这类地质灾害，对人类社会构成了极为严重的威胁，要想有效地防治地质灾害，治理工程的勘查、设计以及施工便成了关键的环节，然而在实际的操作过程当中，鉴于地质条件存在复杂性、技术手段有局限性以及管理协调面临险阻性，治理工程面临着诸多方面的挑战。本文将对勘查、设计以及施工各个阶段的难点展开系统的分析，并且提出相应的解决策略，以此为地质灾害治理工程的顺利实施给予理论方面的支持以及实践层面的指导。

一、勘查阶段的难点分析

（一）地质条件复杂性

由于地质灾害具有较高的危险性、多变性以及复杂性和不可预见性，因此，在开展地质灾害治理工程的过程中，必须将其与其他建筑工程进行区分。地质灾害治理工程的勘查阶段作为后续设计与施工的根基，然而地质条件的复杂状况给勘查工作造成了极大挑战，地层结构有多样特性，致使不同区域的地质特征呈现出明显差异，勘查人员针对不同地层需运用各异的勘查方法，地下水分布不均衡的情况加大了勘查难度，这是由于地下水的流

动与分布会对地质灾害的发生及发展产生直接影响。地质构造复杂，像断层、褶皱等地质现象存在，使得勘查数据的准确性以及可靠性难以得到保障。

（二）数据获取难度

野外勘查所处的条件较为恶劣，这成为数据获取过程中的一个主要难点，地质灾害大多时候发生在山区以及河谷等有复杂地形的区域，勘查人员在开展工作时，要面对如地形陡峭、气候条件恶劣以及交通不便等一系列问题，对于数据采集而言，有着较高的精度要求，然而现有的设备以及技术手段却难以充分契合这样的需求。举例来说，传统的地质钻探方法以及物探方法，在

某些复杂地质条件的情况下，很难获取到准确的数据，而先进的遥感技术和地球物理勘探技术，又会受到成本以及操作难度等限制^[1]。

（三）风险评估不确定性

地质灾害发生存在不确定性，这致使风险评估成为勘查阶段的重大难点，灾害发生的预测需依据大量历史数据以及地质模型，然而在某些区域，历史数据匮乏或者质量欠佳，造成预测结果出现较大偏差，灾害影响范围的评估要考虑地质条件、地貌以及社会经济因素等诸多方面，只是各因素间的相互作用繁杂，难以精准量化。社会经济因素的考量使得风险评估的复杂性有所增加，原因在于不同地区的经济发展水平与人口密度对灾害的影响程度存在差异。

二、设计阶段的难点分析

（一）方案选择与优化

在设计阶段之时，方案的选择以及优化属于治理工程的核心任务当中的一项，鉴于地质灾害类型以及地质条件存在多样性，设计人员要提出多种治理方案并加以比较，技术经济性分析是方案选择的关键依据，然而不同方案的技术可行性以及经济成本差异较大，很难直接进行比较，技术可行性分析要考虑治理方案的实施难度、技术成熟度以及对现有基础设施产生的影响。比如在滑坡治理过程中，锚杆加固以及排水系统是常见的技术手段，不过在不同地质条件下，这些技术的适用性和效果可能会存在差异，经济成本分析要考虑直接的建设成本，还得评估长期维护费用、潜在风险以及对社会经济的影响，例如某些方案可能在初期投资比较低，但是长期维护成本很高，而另外一些方案尽管初期投入较大，不过可降低未来的治理成本。环境影响评估也是方案优化的关键内容，因为治理工程可能会对周边生态环境造成一定影响，需要在设计中充分考虑生态保护以及可持续发展^[2]。

（二）设计参数确定

在地质灾害治理工程正式开展施工工作之前，技术工作者必须针对当前地区地质灾害的实际情况制定针对性方案，因此，设计工作者必须具有专业的工作能力以及较强的实践工作经验。设计参数的准确程度会直接对治理工程的成效产生影响，然而参数的确定存在诸多险阻之处，地质力学参数作为设计的根基，不过不同地质状况下的参数差别较大，很难凭借单一方式获得，比如在滑坡治理工作里，岩土体的抗剪强度、内摩擦角以及凝聚力等参数对于设计方案的制定起着关键作用，这些参数一般要依靠现场试验与实验室测试相结合的办法来获取，而且不同测试方法可能会得出不一样的结果。水文地质参数属于设计的关键部分，因为地下水的分布以及流动对地质灾害的发生与发展有着关键作用，像在地下水位较高的区域，地下水压力可能会加大滑坡的风险，设计人员要精确评估地下水的分布、流动速度以及压力变化等参数，不过由于地下水系统的复杂特性以及动态变化，这些参数的获取和预测存在较大的不确定性^[3]。

（三）设计规范与标准

设计规范和标准乃是治理工程设计的关键依据，然而在实际的操作过程当中，国家标准与地方差异、国际经验借鉴以及新技术应用等诸多问题，使得设计的难度有所增加，国家标准一般有普遍性，不过在一些地方，鉴于地质条件以及灾害类型的特殊性，需要依据地方的实际状况给予调整。比如说，在地震多发的区域，国家的抗震设计规范或许无法充分契合当地的抗震需求，设计人员要结合地方的经验以及实际的地质条件，制定更为严苛的抗震举措，国际经验借鉴可提升设计水平，只是不同国家和地区的技术标准以及管理模式存有差异，很难直接加以应用^[5]。

三、施工阶段的难点分析

（一）施工环境复杂

施工环境的复杂程度是治理工程施工阶段面临的主要难点之一，地形地貌方面存在的限制，给施工机械以及材料的运输给予了极大挑战，在山区和河谷地带，这里的施工条件更为恶劣，山区地形陡峭，道路狭窄而且弯道众多，大型施工机械很难进入，材料运输效率非常低，甚至有时需要依靠人工搬运，这无疑增加了施工成本，也耗费了更多时间。河谷地带容易遭受水流侵蚀以及洪涝灾害的影响，施工场地稳定性欠佳，这增大了施工难度，气候条件所产生的影响同样不容小觑，雨季持续降雨有可能引发山体滑坡、泥石流等地质灾害，冬季的低温和大雪会导致施工机械无法正常运行，施工中断或者延误的情况经常发生^[6]。

（二）施工技术难度

施工技术难度在治理工程施工阶段占据着核心地位，高边坡处理属于治理工程的关键组成部分，不过高边坡的稳定性以及施工安全性较难得到保障，高边坡施工要求有精准的坡面加固以及排水设计，如此方可避免边坡失稳以及滑坡事故的发生，然而鉴于地质条件的复杂特性以及施工环境的多变状况，高边坡施工大多时候面临着较高的技术风险与安全隐患。深基坑开挖是治理工程的又一难点所在，深基坑的支护以及排水技术有着较高要求，在开挖过程中，需要对基坑的变形以及地下水位变化进行实时监测，及时对支护方案做出调整，防止基坑坍塌以及地下水涌入。

（三）施工管理与协调

施工管理以及协调对于治理工程顺利开展而言有着关键的保障作用，不过在实际操作的时候，像多工种协同作业、工期与质量控制以及安全与环保管理等一系列问题，使得施工难度有所增加，多工种协同作业要求各工种之间密切配合，然而在复杂的施工条件之下，协调起来难度颇大，举例来说，土建施工、机电安装以及绿化工程等不同工种要在同一个施工场地上进行交叉作业，怎样合理安排施工顺序以及资源分配，避免相互之间产生干扰，这是施工管理面临的一个大难题^[7]。工期与质量控制属于施工管理的核心任务，只是在地质灾害治理工程当中，因为施工条件复杂，工期延误以及质量问题难以避免，在施工过程中，有可能会碰到不可预见的地质灾害或者恶劣天气，致使施工进度出现延误，如何在保证质量的情况下，合理地调整工期，这是施工管

理面临的一项挑战。安全与环保管理是施工管理的关键组成部分,但是在某些地区,鉴于施工条件恶劣,安全风险以及环境影响难以做到完全控制。

四、解决策略与建议

(一) 勘查阶段

为解决勘查阶段面临的难题,可考虑引入先进的勘查技术,像遥感技术、地球物理勘探技术以及三维地质建模技术等,以此提升数据采集的精准度与效率,遥感技术可借助卫星或者无人机来获取大范围的地形地貌信息,为工程规划提供基础数据,地球物理勘探技术可借助地震波、电磁波等方式,探测地下地质结构,为工程设计提供依据。三维地质建模技术能将勘查数据进行可视化呈现,帮助工程师更直观地了解地质条件,优化设计方案,要强化数据采集与分析工作,构建完善的地质数据库以及风险评估模型,提高勘查数据的准确性与可靠性,地质数据库可存储和管理众多的勘查数据,为后续工程设计和施工提供数据支撑。风险评估模型可以综合考量地质条件、地形地貌以及社会经济因素,评估工程风险,为决策提供科学依据,并且要提高风险评估精度,结合历史数据与地质模型,全面考虑地质条件、地形地貌以及社会经济因素,以提高风险评估的科学性与实用性^[4]。

(二) 设计阶段

在设计阶段,应当对设计方案给予优化,借助多方案比较以及技术经济性分析,挑选出最优治理方案,多方案比较可从技术可行性、经济合理性以及环境影响等层面,全面评估不同方案的好坏,选出最为适宜的治理方案,技术经济性分析可综合考量工程成本、施工难度以及预期效益,保证设计方案有经济性与可行性。引入多学科协同设计,融合地质、水文、生态以及工程等多学科知识,以此提升设计的科学性与综合性,比如地质专家可给出地质条件分析,水文专家可给出水文条件分析,生态专家可给

出环境影响评估,工程专家可给出施工技术方案,凭借多学科协同,可设计出更为科学且合理的治理方案。强化设计审查与评估,构建完善的设计审查机制与评估体系,保证设计方案的技术可行性与经济合理性,设计审查机制可借助专家评审与公众参与,找出设计方案中的潜在问题,及时加以调整与优化,评估体系可借助定量和定性分析,评估设计方案的技术可行性与经济合理性,保证设计方案具有科学性与实用性。这些举措可有效提升设计阶段的质量和效率,为后续施工提供可靠的设计方案^[8]。

(三) 施工阶段

在施工阶段,可考虑引入智能化施工技术,像无人机监测、智能机械以及信息化管理系统等,以此提升施工效率与质量,无人机监测可对施工进度和施工质量实施实时监控,及时察觉并解决问题,智能机械借助自动化和智能化技术,能提高施工效率与质量,降低人工操作的风险,信息化管理系统依靠数据采集与分析,可优化施工流程以及资源配置,提升施工管理的科学性与效率。要强化施工管理与协调,构建完善的施工管理机制和协调机制,保证施工顺利开展,施工管理机制借助明确职责分工和考核标准,可提高施工管理的规范性与有效性,协调机制借助定期会议和沟通平台,能加强各工种之间的协调与配合,防止相互干扰以及资源浪费^[9]。

五、结论

地质灾害治理工程里的勘查、设计以及施工这些方面,都是保证工程能取得良好效果的关键要点,然而在实际开展操作的时候,鉴于地质状况存在复杂性、技术手段有一定局限性以及管理协调面临阻碍等因素,治理工程会碰到不少难题,本文针对勘查、设计以及施工各个阶段当中的主要难点展开分析,提出了相应的解决办法,为地质灾害治理工程可顺利实施给予了理论方面的支撑以及实践层面的指导^[10]。

参考文献

- [1] 陈海昕. 地质灾害治理工程的特殊性风险性及治理工程风险事件实例研究 [J]. 环境与发展, 2018, 30(5): 246+248.
- [2] 柯建武, 张国沅. 地质灾害治理工程施工中边坡稳定性分析及治理方法探究 [J]. 西部资源, 2021, (6): 70-72.
- [3] 林荣坚. 矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策思考 [J]. 西部探矿工程, 2021, 33(12): 4-6.
- [4] 刘波. 浅谈施工组织设计在地质灾害治理工程中的重要性 [J]. 西部探矿工程, 2020, 32(7): 4-6.
- [5] 苏新隆. 基于边坡地质灾害治理工程施工设计的研究 [J]. 智能城市, 2018, 4(3): 49-50.
- [6] 杨胜贵. 对边坡地质灾害治理工程施工设计的探讨 [J]. 冶金与材料, 2021, 41(4): 161-162.
- [7] 于钰. 地质灾害治理工程勘察设计和施工中的难点分析 [J]. 工程与建设, 2021, 35(4): 742-743.
- [8] 张仲福, 夏凯. 陇东黄土高原水土流失与地质灾害生态化治理策略 [J]. 地下水, 2021, 43(5): 222-225+283.
- [9] 吴明堂, 李星开, 房云峰, 等. 基于 BIM 与 GIS 融合设计的地质灾害治理系统 [J]. 信息技术, 2022, 46(2): 83 - 88.
- [10] 郭显铭. 三维激光扫描测绘在地质灾害治理中的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2022, 29(1): 168-170.

园林市政绿化工程资料管理与工程结算的风险防控措施

申晓丽

陕西省成通机械化公路生态工程有限责任公司, 陕西 西安 710000

DOI: 10.61369/ETQM.12221

摘 要 : 本文聚焦园林市政绿化工程, 深入剖析资料管理与工程结算中存在的风险, 并提出针对性防控措施。资料管理方面的防控措施包括建立健全收集制度, 规范整理流程, 强化存储管理。工程结算防控手段涵盖加强合同管理, 规范工程量计算, 应对价格风险, 以此保障园林市政绿化工程顺利推进, 提升工程经济效益与管理水平。

关 键 词 : 园林市政绿化; 工程资料管理; 工程结算; 风险防控

Risk Prevention and Control Measures for Data Management and Engineering Settlement of Landscape and Municipal Greening Projects

Shen Xiaoli

Shaanxi Chengtong Mechanized Highway Ecological Engineering Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: This article focuses on landscape and municipal greening projects, deeply analyzes the risks existing in data management and engineering settlement, and proposes targeted prevention and control measures. Prevention and control measures for data management include establishing and improving the collection system, standardizing the sorting process, and strengthening storage management. Engineering settlement prevention and control methods cover strengthening contract management, standardizing engineering quantity calculation, and responding to price risks, thereby ensuring the smooth progress of landscape and municipal greening projects and improving engineering economic benefits and management levels.

Keywords: landscape and municipal greening; engineering data management; engineering settlement; risk prevention and control

在城市建设进程中, 园林市政绿化工程不仅能够美化城市环境、提升居民生活品质, 还对城市生态平衡的维护有着深远意义。而在园林市政绿化工程实施过程中, 资料管理与工程结算占据着举足轻重的地位。然而实践中园林市政绿化工程在资料管理与工程结算方面常面临诸多风险, 这些风险若得不到有效防控, 将严重影响工程的顺利开展以及各方的经济收益。本文将深入剖析其中的风险, 并探寻切实可行的防控措施。

一、园林市政绿化工程资料管理风险分析

(一) 资料收集风险

建筑工程资料对建筑工程有着十分重要的作用。该系统对整个工程的策划、设计起到了重要的引导、支撑作用, 保证了工程的总体设计方案达到了相应的规范要求。建筑工程资料是企业进行资源配置、预算管理的基础, 是企业进行资源配置、成本控制的基础。在建设过程中, 建筑工程资料对建设队伍的建设具有重要的指导作用^[1]。在园林市政绿化工程资料收集阶段, 极易出现资料遗漏的情况。园林工程中, 地下管线错综复杂, 地下管线铺设资料一旦缺失, 后续进行其他地下作业时, 极有可能挖断管线, 造成停水、停电甚至燃气泄漏等严重安全事故。基础处理资料的遗漏, 会让后续工程质量检测失去关键依据, 无法判断基础是否稳固, 给整体工程埋下安全隐患。工程变更频繁是园林市政绿化工程的特点之一, 当工程变更通知、变更图纸以及变更原因

说明等文件收集不全时, 施工团队可能因信息不完整依旧按照原设计施工, 导致返工, 不仅浪费人力、物力和时间, 还会因变更部分的工程量与造价认定困难, 使工程结算陷入僵局, 严重影响工程的经济效益。

(二) 资料整理风险

园林市政绿化工程资料繁多, 若不按照相关标准与规范分类, 施工技术资料中的施工工艺说明与工程质量验收资料中的质量检测报告混在一起, 当需要查阅施工工艺细节以解决现场技术问题时, 可能会在大量质量验收资料中耗费大量时间寻找, 极大地降低了工作效率^[2]。在同一类资料内部, 以施工技术资料为例, 施工方案是对整个工程施工的总体规划, 技术交底是将施工方案中的技术要点传达给施工人员, 施工日志则记录每天的施工情况。若三者未合理细分, 当分析某一施工阶段技术问题时, 难以快速从混乱的资料中梳理出有效的信息, 影响对施工过程技术信息的准确把握与分析。

（三）资料存储风险

资料存储环节，实体资料存储环境若不符合要求，如潮湿、高温等，易使纸质资料发霉、褪色、损坏，影像资料的可读性与保存期限。电子资料则面临网络安全威胁，如黑客攻击、病毒感染、误删除等，可能导致资料丢失或泄露，造成严重后果，威胁工程的顺利推进与相关信息的安全。

二、园林市政绿化工程资料管理风险防控措施

（一）建立健全资料收集制度

制定涵盖园林市政绿化工程从立项到竣工验收全过程的详细资料收集清单，明确每一项资料对应的具体工程环节与责任人。构建清晰的资料收集流程，从源头把控，当工程出现变更，设计部门要先出具正式变更通知，同时将变更图纸及原因说明书面发送给施工部门与资料收集负责人，施工部门按规定格式记录变更施工情况，资料收集负责人汇总整理，明确施工部门负责施工现场资料记录与初步整理、采购部门及时提供材料设备相关资料、设计部门确保设计变更资料完整及时，设立专门资料收集岗位配备专业人员统筹协调并定期检查督促各部门工作^[9]。并且定期组织施工人员与管理人员参加资料收集培训，邀请资料管理专家或经验丰富的同行授课，通过实际案例分析让他们明白资料遗漏或收集不及时对工程的严重影响，在施工现场设置宣传栏张贴资料收集流程及注意事项营造重视氛围，将资料收集工作纳入员工绩效考核体系，奖励表现出色的部门与个人，处罚未履行职责者，提升员工重视程度与积极性。

（二）规范资料整理流程

依据国家及地方相关园林市政绿化工程资料管理规范并结合工程实际制定科学合理的资料分类标准，将工程资料分为项目前期资料、施工技术资料、工程质量验收资料、工程结算资料、材料与设备资料等大类，每一大类再细分如施工技术资料细分施工方案、技术交底、施工日志、施工工艺记录等小类，明确各类资料定义、包含内容及相互关系，为每类资料设置专门存储区域或档案盒并标注清晰类别名称与编号以便存放查找。建立统一资料编号体系，编号反映资料类别、所属项目阶段、编制单位以及顺序号等关键信息，采用如“项目代码－资料类别代码－项目阶段代码－编制单位代码－顺序号”的格式，项目代码依工程名称或编号确定，资料类别代码按分类标准设定，项目阶段代码分前期、施工期、竣工验收期等，编制单位代码根据参与工程部门或单位确定，所有部门与人员严格按规则编号^[10]。在资料整理时核对已编号资料，纠正编号重复或缺失问题，保证编号准确完整。资料整理完成后设立专门审核环节，由经验丰富的资料管理人员对照资料收集清单与分类标准审核资料分类、编号、内容完整性，不符合要求的退回整改，审核通过的签字确认明确责任，定期抽查确保资料整理质量持续达标，为资料存储、检索与使用提供有力保障。

（三）强化资料存储管理

选择干燥、通风良好且温湿度适宜的资料存储场所，安装温

湿度监测设备，温湿度超出标准范围时及时采取除湿、加湿或调节温度措施。对存储场所防虫、防火处理，安装防虫网、投放防虫药剂，配备灭火设备并定期消防演练。选用质量可靠的文件柜、货架等存储设备并定期维护保养，检查柜门是否关闭严实、货架是否稳固，及时更换老化损坏设备，用防潮纸、文件夹等妥善包装纸质资料防止损坏。在工程开始前确定统一电子文件格式，如文档用 PDF 格式、图纸用 CAD 标准格式。要求各部门人员按统一格式存储资料避免格式不兼容，加强网络安全防护，安装防火墙、杀毒软件等设备，定期查杀病毒、扫描安全漏洞。设置严格用户权限管理，按员工岗位与职责分配资料访问权限防止非法访问、窃取或篡改。建立定期全量备份与增量备份相结合的数据备份机制，将电子资料备份到外部存储设备或云端存储平台，定期恢复测试确保数据可恢复，制定数据灾难恢复预案明确应急处理流程^[11]。实体资料在档案盒或文件夹标注资料名称、编号、所属类别等信息并制作纸质目录按类别与编号顺序排列方便查找，电子资料利用计算机操作系统或专业资料管理软件建立电子目录与索引，通过关键词搜索、类别筛选等功能实现快速检索，定期更新维护资料存储索引与目录，保证其准确完整，使资料存储管理更规范高效。

三、园林市政绿化工程结算风险分析

（一）合同风险

合同条款不清晰极易引发纠纷，工程范围界定模糊使得边缘区域或特殊景观构建的归属存疑，施工方与发包方对这部分工程费用认定易产生分歧，而付款方式条款不明，付款时间节点和比例含混不清，可能致使发包方拖延付款，施工方资金周转受阻，进而严重影响工程结算进程^[12]。工程变更频繁，若合同缺乏完善的变更管理流程，设计变更、施工工艺变更出现时无法及时有效记录与确认，施工方可能在未获发包方书面同意下变更施工，结算时发包方不认可变更部分的工程量与费用，加之变更后的合同价格调整机制不明确，双方难以就变更工程造价达成一致，严重阻碍工程结算顺利开展。

（二）工程量计算风险

园林市政绿化工程的工程量计算复杂，绿化面积、土方量、景观小品数量等计算繁多，施工人员可能因对设计图纸理解偏差算错绿化种植密度，导致绿化面积计算有误。计算过程中数据录入错误也屡见不鲜，一个数字错误就可能引发连锁反应，导致整体计算失误。同时计算规则选用不当，不同规范计算方法有差异，选错规则必然得出错误结果。发包方与施工方对计量规则的理解存在分歧，对于不规则形状景观区域的面积测量方法意见不一^[13]。隐蔽工程计量因施工完成后难以复查，发包方对施工方上报量存疑，双方因缺乏统一明确的计量规则，使得隐蔽工程结算陷入僵局，影响整个工程结算的准确性与及时性。

（三）价格风险

园林市政绿化工程材料成本占比大，植物材料受季节、气候、市场供需关系影响显著，施工期间若遇恶劣天气导致常用植

物供应短缺，价格大幅上涨，合同若无材料价格调整约定，施工方将面临成本超支，结算利润空间被压缩甚至亏损。建筑材料如石材、木材等市场行情波动大，价格不稳定，也会影响工程结算造价。计价方式不合理问题突出，采用固定总价计价方式，工程范围、施工条件变化时施工方承担全部价格风险，如施工过程中发现地下障碍物需增加成本，但固定总价合同限制费用调整，施工方将遭受经济损失；采用成本加酬金计价方式，若成本核算与酬金计算方法规定不明，施工方可能为多获酬金故意增加成本，致使发包方工程成本失控，影响工程结算的公平性与合理性^[8]。

四、园林市政绿化工程结算风险防控措施

（一）加强合同管理

组建包含法务人员、造价工程师、工程技术专家等的专业合同审查团队，在合同签订前对每一项条款进行细致审核，明确工程范围。以详细图纸和文字说明界定工程边界，避免边缘区域或特殊景观构建的归属争议，清晰规定付款时间节点，按照工程进度关键里程碑节点付款并精确表述付款比例^[9]。斟酌合同变更条款，制定完善变更管理流程框架。工程施工期间安排专人跟踪合同履行情况，定期检查工程进度与施工内容是否符合合同约定，出现影响合同履行情况时，依据变更流程督促各方履行手续，施工方需获发包方书面同意后变更施工并及时更新合同信息。提前制定合同纠纷处理预案，明确纠纷处理流程与责任分工，纠纷发生先尝试友好协商，组织双方人员沟通，依据合同条款和实际情况解决，协商无果则按约定方式提交仲裁或诉讼。注重收集整理合同文件、施工记录、往来函件等证据维护权益，保障结算推进。

（二）规范工程量计算

定期组织工程量计算人员参加专业培训，内容涵盖设计图纸深入解读，让计算人员准确把握设计意图避免理解偏差。开展计算软件与工具操作培训，提升计算效率与准确性，同时学习研讨计算规则，了解不同规范适用范围与差异确保选用正确规则。工

程量计算完成后设立严格审核环节，由经验丰富的专业人员复核，检查计算过程、数据录入、材料用量与设备时长统计等是否正确^[10]。复杂计算采用交叉审核，不同人员从不同角度审核确保结果准确，发现问题及时反馈给计算人员修正，保障计算质量。工程开始前发包方与施工方共同协商确定统一计量规则，以书面形式明确在合同或补充协议中。针对不规则形状景观区域面积测量方法、隐蔽工程计量等易产生争议的部分，制定详细且双方认可的计量细则，减少计量规则引发的纠纷，为准确结算工程量提供依据。

（三）应对价格风险

在合同中设置合理的材料价格调整条款，综合考虑市场价格波动因素，明确当材料价格涨幅或跌幅超过一定比例时的调整方式。建立材料价格动态监测机制，安排专人跟踪市场材料价格变化，及时收集价格信息，为施工方和发包方在价格调整决策时提供准确数据支持。在选择计价方式时，充分评估工程特点、施工条件和市场环境，对于工程范围和施工条件相对稳定的项目，可采用固定总价计价方式，但需在合同中明确价格调整的特殊情况；对于工程内容复杂、不确定性较大的项目，采用成本加酬金计价方式时，明确成本核算方法和酬金计算标准，防止施工方故意增加成本，保障工程结算价格的合理性与公平性，有效防控价格风险对工程结算的不利影响。

五、结束语

园林市政绿化工程资料管理与工程结算工作贯穿项目始终，二者紧密相连却又各自面临复杂多样的风险。在园林市政绿化工程建设中，持续关注并不断完善资料管理与工程结算风险防控体系至关重要。随着行业的发展以及技术的进步，新的风险因素可能不断涌现，只有秉持动态管理、持续改进的理念，才能更好地适应变化，确保园林市政绿化工程在高效、规范的轨道上稳步推进。

参考文献

- [1] 曹红娟. 建筑工程资料管理中常见问题及管理措施 [J]. 建筑技术开发, 2024, (S1): 91-93.
- [2] 赵婷婷. 探讨水利工程施工内业资料的管理方法 [J]. 水上安全, 2024, (12): 58-60.
- [3] 卫华. 国际工程管理中项目成本控制与资料管理策略 [J]. 四川水泥, 2019, (05): 237.
- [4] 李昀珊. 无纸化在工程资料管理中的应用 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(09): 196-198. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.09.066.
- [5] 韦一玲. 建筑工程资料管理中常见问题及规范管理措施 [J]. 大众标准化, 2023, (16): 60-62.
- [6] 陶艳琴. 建筑工程施工资料管理的思考分析 [J]. 中国住宅设施, 2023, (07): 49-51.
- [7] 马小俊. 建筑工程结算受施工合同的影响程度分析 [J]. 现代营销 (上旬刊), 2023, (01): 85-87. DOI: 10.19921/j.cnki.1009-2994.2023-01-0085-029.
- [8] 李珂. 事业单位基建工程项目竣工结算风险管控分析 [J]. 经济管理文摘, 2021, (18): 81-82.
- [9] 徐宁. 建设工程结算纠纷案例分析及法律风险防范 [J]. 法制与社会, 2021, (08): 24-26. DOI: 10.19387/j.cnki.1009-0592.2021.03.099.
- [10] 张洋. 建设工程施工合同对工程结算的影响分析 [J]. 建材与装饰, 2018, (42): 188-189.

老旧土木工程基础设施的加固改造技术及长期性能评估

李永, 张清贵

山东三阳项目管理有限公司, 山东 济南 250101

DOI: 10.61369/ETQM.12225

摘 要 : 本文聚焦老旧土木工程基础设施的加固改造技术及长期性能评估。通过收集原始资料、实地检查与无损检测等进行现状调查, 依据规范对比参数、采用数值模拟等评估风险。加固改造需遵循安全性等原则, 根据结构类型、损伤、使用要求、经济与施工条件综合选择加固技术。长期性能评估构建涵盖结构安全性、耐久性、使用功能的指标体系, 采用基于力学分析与监测数据的方法, 通过合理布置传感器监测、科学分析数据, 依据评估结果为结构维护等决策提供支撑。

关 键 词 : 老旧土木工程基础设施; 加固改造技术; 长期性能评估

Reinforcement and Renovation Technology and Long-term Performance Evaluation of Old Civil Engineering Infrastructure

Li Yong, Zhang Qinggui

Shandong Sanyang Project Management Co., Ltd. Jinan, Shandong 250101

Abstract: This article focuses on the reinforcement and renovation technology and long-term performance evaluation of old civil engineering infrastructure. The current situation is investigated through collecting original data, field inspection, and non-destructive testing, and the risks are evaluated based on normative comparison parameters and numerical simulation. Reinforcement and renovation should follow principles such as safety, and the reinforcement technology should be comprehensively selected based on structural type, damage, use requirements, economic and construction conditions. The long-term performance evaluation constructs an indicator system covering structural safety, durability, and usage functions. It adopts methods based on mechanical analysis and monitoring data, monitors through reasonable sensor arrangement, scientifically analyzes data, and provides support for decision-making such as structural maintenance based on evaluation results.

Keywords: old civil engineering infrastructure; reinforcement and renovation technology; long-term performance evaluation

老旧土木工程基础设施服役时间长, 远超初始设计基准年限, 在自然因素如温差、酸雨、地质变化, 以及使用因素如荷载增加、高频使用的双重作用下, 老化现象日益严重。结构性能的衰退不仅威胁着人民群众的生命财产安全, 导致安全事故频发, 还造成了巨大的经济损失。无论是修复重建的直接成本, 还是交通中断、生产停滞带来的间接损失都不容小觑, 同时也对城市的正常运转与居民生活质量产生了负面影响。深入探究老旧土木工程基础设施的加固改造技术, 构建科学有效的长期性能评估体系, 已成为保障基础设施持续安全运行、推动社会经济稳定发展的迫切需求。

一、老旧土木工程基础设施现状分析

(一) 分类与特点

交通基础设施领域有早期建成的公路、铁路桥梁、隧道以及使用多年的城市道路, 它们构建起区域间人员与物资流通的脉络。水利基础设施方面, 运行多年的大坝、水闸以及各类灌溉渠道在水资源调节、防洪抗旱、保障农业灌溉与城乡供水方面发挥着不可替代的作用。建筑结构领域, 建成时间久远的工业与民用建筑, 随着使用年限增加面临结构性能衰退问题, 结构安全性在长期的风雨侵蚀下备受考验。这些老旧土木工程基础设施服役时间普遍较长, 许多设施已投入使用数十年甚至更久, 远远超出初

始设计的基准使用年限。建筑行业近些年的发展速度飞快, 人们非常重视新建工程, 对于修缮和基础设施改造的重视程度较低。实际上很多城市都有大量的老旧建筑需要进行修缮, 有些项目是已经上报但是没来得及修缮, 有些是破损程度严重但是仍然还在继续使用, 房屋的这些老化、破损等问题也会随着时间的推移变得愈发严重^[1]。

(二) 老化原因

自然因素与使用因素共同促使老旧土木工程基础设施老化。自然因素方面, 昼夜温差大易使混凝土结构产生热胀冷缩裂缝, 酸雨加速混凝土和钢材腐蚀; 部分基础设施所在地区地质条件可能发生改变, 像地基沉降、土壤侵蚀等会对基础结构施加额外应

力,影响整体稳定性。使用因素层面,随着社会发展,交通流量增加、建筑物使用功能改变致使实际作用在基础设施上的荷载不断上升,现代重型车辆增多使得早期设计的公路桥梁承受远超预期的荷载;而且交通繁忙地段的桥梁、道路以及人流密集建筑,长期高频率使用加速了结构的疲劳损伤^[2]。

(三) 危害与影响

老化的老旧土木工程基础设施结构性能下降,极易引发安全事故,严重威胁人民群众生命财产安全。基础设施损坏后,不仅修复或重建需耗费大量资金,交通中断、生产停滞等还会造成间接经济损失。老旧基础设施性能下降同样影响城市正常运转与居民生活质量,城市供水管道老化破裂导致停水事故频发,给居民生活带来极大不便,老旧道路拥堵、通行条件差,降低居民出行效率,影响城市形象^[3]。

二、加固改造技术体系

(一) 加固改造原则与目标

加固改造老旧土木工程基础设施需遵循安全性、经济性、可操作性以及耐久性原则。加固设计严格依照相关结构设计规范,全面且精准分析结构受力,确保加固后基础设施具备足够承载能力与稳定性。在满足安全前提下合理选用加固材料与施工工艺,对比不同方案的材料、施工及后续维护费用,规避过度设计与不必要浪费。加固技术要便于施工,充分结合施工现场实际条件与施工人员技术水平。选择耐久性佳的加固材料,并采取有效防护措施,防止后续快速老化损坏。

加固改造目标包括恢复结构性能,即对因自然灾害或长期使用而性能下降的土木工程设施,通过加固措施修复结构损伤,使其恢复到原有设计的承载能力与使用功能^[4]。针对老旧基础设施设计标准低、材料性能劣化产生的安全隐患,通过加固提升其抗震、抗风、抗超载等能力。根据结构现状与使用环境,合理预测加固改造后结构的使用寿命,并运用相应技术手段保障其在延长的服役期限内可靠运行。

(二) 传统加固改造技术

传统加固改造技术中,增大截面加固法通过在混凝土结构梁、板、柱等构件表面浇筑新混凝土并配置钢筋,增加原结构构件截面面积,使新旧混凝土协同工作,进而提高构件抗弯、抗压、抗剪等能力,广泛应用于各类混凝土结构加固。置换混凝土加固法是将原结构中损坏或性能不符合要求的混凝土剔除,重新浇筑强度更高、耐久性更好的混凝土以恢复结构性能,常用于桥梁、建筑物等混凝土结构局部严重缺陷如蜂窝、孔洞、强度严重不足部位的修复加固,能有效去除结构病害部分,恢复完整性与承载能力^[5]。粘贴钢板加固法采用建筑结构胶将钢板粘贴在混凝土结构表面,使钢板与混凝土共同受力,承担部分荷载,增强结构抗弯、抗剪性能,常用于混凝土梁、板、柱构件加固以及对空间要求高、不允许增大结构截面尺寸的工程,施工工艺简单、速度快,对结构外观和使用空间影响小且加固效果显著。

(三) 现代加固改造技术

粘贴纤维复合材料加固法利用碳纤维、玻璃纤维等高性能纤维复合材料,通过专用结构胶粘贴在混凝土结构表面,因其高强度、轻质、耐腐蚀等特性与混凝土协同工作,显著提高结构承载能力、延性和抗震性能,广泛应用于各类混凝土结构、砌体结构以及钢结构加固,材料轻质高强、施工方便,对结构自重增加小,几乎不影响外观和使用空间,且耐久性良好^[6]。体外预应力加固法在原结构外部设置预应力筋,通过对其施加预应力,使结构产生反向预压应力,抵消部分外荷载产生的拉应力,提高结构承载能力和抗裂性能。预应力筋多采用高强度钢材并通过锚具与原结构连接,适用于混凝土梁、板、桥梁等结构加固,特别是对需大幅提高承载能力且对结构外观和使用空间要求高的工程,施工对原结构损伤小,一定程度改善使用性能。增设支点加固法通过在结构适当位置增设刚性支点或弹性支点,改变结构受力体系,减小结构构件计算跨度,降低结构内力,提高承载能力,适用于结构跨度大导致承载能力不足的情况,加固效果明显,能有效提高结构承载能力和稳定性。

(四) 技术选择

根据结构类型和损伤情况进行技术选择,混凝土结构若整体性能好仅局部有缺陷,优先考虑置换混凝土加固法;若需提高抗弯、抗剪能力且对空间要求高,可选择粘贴纤维复合材料加固法或粘贴钢板加固法;若承载能力严重不足,采用增大截面加固法或体外预应力加固法。砌体结构可通过粘贴纤维复合材料加固法提高抗震性能,钢结构受损部位可采用粘贴纤维复合材料加固法修复。对结构使用空间要求严格,不允许增大截面尺寸,优先选择粘贴纤维复合材料加固法、粘贴钢板加固法等对空间影响小的技术;对结构外观要求高,需保持原有建筑风貌,同样选择这两种技术;对结构耐久性要求极高,粘贴纤维复合材料加固法较为适宜^[7]。满足加固要求且预算有限时,综合比较各种技术成本,选择性价比高的方案,如小型建筑结构加固,粘贴钢板加固法可能成本低;大型基础设施加固,考虑长期维护成本,粘贴纤维复合材料加固法综合成本可能更具优势。根据施工条件,施工现场空间狭窄、施工机械难以操作,选择施工工艺简单、操作空间需求小的粘贴纤维复合材料加固法、粘贴钢板加固法;施工现场具备大型施工设备和专业施工人员,可考虑采用体外预应力加固法等技术要求高的方法。选择加固改造技术需综合多方面因素,权衡利弊,制定最适宜的加固方案。

三、长期性能评估体系

(一) 评估指标体系构建

在结构安全性方面要计算结构在设计荷载及预期使用年限内各类荷载组合下,梁、柱、基础等关键构件实际承载能力与设计承载能力的比值,保证该比值大于1以维持安全裕度;监测结构长期使用中的变形,依结构类型与使用功能设定合理变形限值,对比实际监测数据判断是否影响正常使用或安全;针对混凝土结构,依据所处环境及设计要求制定裂缝宽度允许值,定期检测裂

缝实际宽度并分析发展趋势,以此判断结构因裂缝产生的安全隐患^[6]。在结构耐久性上,对于混凝土材料,监测强度变化、碳化深度、氯离子含量,通过钻芯取样测强度、酚酞试剂测碳化深度,分析材料性能劣化对结构耐久性的影响,对于钢材则通过测量截面尺寸变化、腐蚀电位评估锈蚀程度,沿海地区钢结构桥梁受海水侵蚀需重点监测;同时评估结构防护措施有效性,检查混凝土结构表面涂层、钢结构防腐涂层及阴极保护系统的完整性、附着力和工作参数,确保防护系统有效阻止外界有害介质侵蚀,延长结构使用寿命。不同基础设施考量不同,建筑物关注室内温度、湿度、通风等舒适性,桥梁关注路面平整度、桥头跳车情况,通过实际测量与用户反馈分析结构长期使用能否持续满足功能需求;分析结构设计对日常检查、维修、保养的便利性及维护材料和设备获取便利性,一些结构设计复杂、检修通道狭窄的建筑可维护性差,长期使用会增加维护成本与难度,影响结构正常运行与寿命。

（二）评估方法与模型

基于力学分析的方法中,有限元模型借助有限元软件依据结构实际尺寸、材料特性、边界条件及承受荷载情况建立精确模型,模拟结构在长期荷载作用下的力学响应,分析应力、应变分布,预测变形和破坏模式;结构力学解析法针对规则、简单结构,运用结构力学原理和公式简化结构受力,计算关键构件内力和变形,结合材料力学性能评估长期性能^[9]。基于监测数据的方法里,统计分析模型收集长期性能监测中的结构变形、应力、材料性能等数据,运用统计分析建立数据模型,通过分析均值、方差、概率分布等统计特征评估结构性能稳定性和可靠性;机器学习模型借助人工神经网络、支持向量机等算法,对大量监测数据进行学习训练,建立输入与输出的复杂非线性关系模型,训练预测未来不同工况下应力、变形等性能指标。机器学习模型自适应性和学习能力强,能处理复杂数据关系提高评估精度和效率,但需大量高质量数据训练验证。

（三）长期性能监测与数据分析

监测系统设计时,传感器布置要依据结构特点和评估指标需求,在梁跨中、支座,柱底部等关键构件布置位移、应变传感器监测变形和应力,在混凝土结构表面布置碳化深度、氯离子含量传感器监测材料性能劣化,钢结构布置锈蚀传感器,同时考虑环境因素布置温度、湿度传感器;数据采集与传输需建立可靠系统,根据施工现场环境和监测要求选择无线或有线传输方式,数据采集频率依据结构特点和性能变化速率确定,新建桥梁通车初期为监测性能变化可每 10 分钟采集一次数据,随着性能稳定适当降低至每小时或每天采集一次^[10]。

数据分析流程上,先对原始数据进行清洗、去噪和归一化处理,去除位移传感器等数据中的异常值和噪声干扰,对不同类型传感器数据归一化使其具有可比性;接着从预处理数据中提取结构变形趋势、应力变化幅值、材料性能指标变化速率等特征参数,运用时间序列分析、频谱分析等方法,通过对桥梁结构振动数据频谱分析提取固有频率和阻尼比等特征参数,对比不同时期频谱特性评估结构刚度变化;将分析得到的结构性能特征参数与

预先设定的评估指标阈值对比,当混凝土结构裂缝宽度监测数据接近允许值时系统自动预警,提醒管理人员安排专业人员检查处理,防止裂缝发展影响结构安全。

四、结束语

老旧土木工程基础设施在社会发展进程中曾发挥关键作用,却因服役时长、自然与使用因素的双重冲击,面临着严峻的老化与性能衰退问题,对其进行加固改造及长期性能评估意义重大。通过系统的现状调查,全面掌握其初始设计、建设历程、维护情况及实际性能状态,进而基于多维度的评估体系,合理选择加固改造技术,遵循安全性、经济性、可操作性及耐久性原则,能够有效恢复结构性能、提升安全性并延长使用寿命。进一步深化对不同类型基础设施老化机制和长期性能演变规律的研究,将为制定更为科学合理的加固改造与维护策略提供坚实的理论支撑。

参考文献

- [1]陈春冬.房屋修缮和基础设施改造专项精细化改造研究[J].大众标准化,2024,(03):72-74.
- [2]张琦.城市更新视角下老旧小区基础设施改造面临的难题——以 X 小区加装电梯为例[J].未来城市设计与运营,2023,(12):56-59.
- [3]广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西加快县城基础设施改造建设推进以县城为重要载体的城镇化建设实施方案(2023—2025 年)的通知[J].广西壮族自治区人民政府公报,2023,(15):18-24.
- [4]王白梅.老旧小区基础设施改造问题及对策研究[D].中南大学,2023.DOI:10.27661/d.cnki.gzhnu.2023.002285.
- [5]周密.海绵城市视角下小区不透水基础设施改造设计研究[J].中国建筑装饰装修,2023,(04):171-173.
- [6]呼和浩特市:整合老旧小区资源补齐基础设施短板[J].北方建筑,2022,7(04):86.
- [7]陈武.南昆线百威段基础设施改造研究[J].铁道运营技术,2022,28(03):19-20. DOI:10.13572/j.cnki.tdy.2022.03.007.
- [8]加强智慧社区基础设施建设改造[J].建筑技术开发,2022,49(12):113.
- [9]魏冠凯.基础设施改造项目绩效审计评价体系研究[D].河南财经政法大学,2022. DOI:10.27113/d.cnki.ghncc.2022.000058.
- [10]成艳丽.太岳山区梨湾苗圃基础设施改造探讨[J].山西林业,2022,(02):22-23.

智能制造技术在现代船舶建造中的应用与发展趋势

刘春华

上海双希海事发展有限公司，上海 200135

DOI: 10.61369/ETQM.12228

摘 要： 船舶建造中采用智能制造技术的应用，已成为行业发展的关键驱动力，本文聚焦智能制造技术在船舶设计、生产制造、质量检测和企业中的应用现状进行剖析，说明当前面临的挑战，涉及技术集成碰到的困难、数据管理碰到的不足和人才短缺等问题。针对这些阻滞，提出了技术集成优化、强化数据治理与人才培养等策略，借助实践案例表明了智能制造技术在提升船舶建造效率方面的明显成效，并展望了其未来带动船舶工业前行的路径，强调其在达成高效、绿色以及可持续发展阶段的重要意义。

关 键 词： 智能制造；船舶建造；技术创新；效率提升；产业升级

The Application and Development Trend of Intelligent Manufacturing Technology in Modern Ship Construction

Liu Chunhua

Shanghai Shuangxi Maritime Development Co., Ltd. Shanghai 200135

Abstract: The application of intelligent manufacturing technology in ship construction, has become a key driving force for the development of industry, this paper focuses on intelligent manufacturing technology in ship design, manufacturing, quality inspection and the application of enterprise management, illustrates the current challenges, involving the difficulties of technology integration, data management and talent shortage. For these block, put forward the technology integration optimization, strengthening data management and talent training strategy, with the help of practical case shows the intelligent manufacturing technology in improving the efficiency of ship construction, and prospect the future drive the shipbuilding industry path, emphasize its efficient, green and sustainable development stage.

Keywords: intelligent manufacturing; ship construction; technology innovation; efficiency improvement; industrial upgrading

伴随全球制造业朝着智能化、数字化升级，船舶工业作为关键的高端装备制造板块，正面临着绝无仅有的机遇与挑战，智能制造技术的引入为船舶建造带来了从设计到生产的全阶段革新，或许明显提升生产效率、缩减成本并提升产品品质，然而技术集成、数据管理以及人才匮乏等问题始终制约着其深度应用，因此深入审查智能制造技术在船舶建造中的应用态势、面临挑战以及改进手段，对推动船舶工业实现智能化转型和高质量发展意义重大。

一、智能制造技术在船舶建造中的应用现状

人工智能催生的参数化设计（AI - PD）和虚拟现实与增强现实（VR/AR）辅助设计技术的高度运用，大幅优化了船舶设计的精准高效水平，设计人员有能力在虚拟环境当中针对船舶的结构、性能及系统实施优化，降低设计差错与多次修改的频次，切实缩短设计周期，进而增强船舶的整体水准。在产品加工阶段，智能制造技术的应用彰显明显意义，全面运用了激光切割与等离子切割技术，促使船舶零部件的加工精度实现明显提高；机器人焊接技术牵扯到船舶分段焊接，不仅增进了焊接质量的可靠水平，还减少了人工劳动强度及焊接费用，智能物流系统借由物料自动化搬运与精准配送，实现了生产流程的正规化，省掉了物料

等待时间，极大提升了生产效率。

处于船只组装阶段，智能制造技术同样呈现关键作用，依托物联网的智能装配系统可以可靠把控船舶分段对接精度，借助自动化装配装置及激光跟踪测量^[1]，完成超高精度的装配作业，让组装差错降低，增强船舶整体质量和稳定性，智能监控系统对生产流程里的关键节点实施实时管控，即刻找出并根除潜在问题，保证生产过程正常运行。

就质量检测甄别，智能制造技术加以采用后，让检测效率与准确性明显提高，传感器网络协同机器视觉技术，能够对船舶零部件及整体结构开展全面、迅速又高效的质量鉴定，迅速揪出缺陷与隐患，消除传统人工检测有机率引发的漏检与误检情况发生现象出现。采用这些技术既增进了船舶建造质量，也为后续阶段

作者简介：刘春华（1985.02-），男，汉族，籍贯：江西，学历本科，职称助理工程师，研究方向：船舶与海洋工程。

的维护管理事宜给予了数据支持，智能制造技术也带动船舶建造实现数字化转型，依托创建数字化平台，船舶建造企业得以实现设计、管理、生产阶段的数据共享与协同作业，消除部门彼此间的信息壁垒，增进企业的综合运营效率。

二、船舶建造中智能制造技术面临的挑战

即使智能制造技术给船舶建造带去了诸多有利机会，但在实际推行阶段里也面临着一系列繁复且严重的挑战等着去处理，技术集成难题开头面临^[2]，船舶建造包含复杂诸多系统及工艺流程组合，智能制造技术的集成难度超乎想象，船舶建造企业要让 AI - PD 设计系统、激光切割设备、机器人焊接系统、智能装配设备以及质量检测系统等达成协同无缝衔接，但各系统之间的兼容操作协调性差，数据格式有脱节，导致信息交互出现梗阻，不易实现高效的协同互动。数据管理方面同样有诸多难题出现，船舶建造阶段产生的海量数据分散于不同环节及部门，数据的采集、存储以及共享未制定统一规范，造成数据孤岛现象极其突出，这不仅阻碍了智能制造技术的深度施展，也造成基于大数据的分析与决策难以有效开展下去。数据安全问题也渐次凸显，船舶建造牵扯诸多机密信息，数据泄漏风险可能会对企业的核心竞争力造成严重冲击。就人才范畴，船舶建造企业碰到专业人才数量匮乏的困境，智能制造技术的广泛铺开需要既掌握船舶工程又熟悉信息技术的复合型人才，但目前相关人才的培养体系还欠完善，人才供给无法跟上行业快速发展的需求。企业内部的技术人员对新兴技术的感悟和应用能力欠佳，难以切实推动智能制造技术落地实施，以企业自身层面，船舶建造企业落实数字化转型阶段面临诸多阻碍，传统船舶建造企业大多以劳动及资源密集型为主要形态，对新技术的接纳、运用本领有限，企业内部的信息基础支撑力弱，无法支撑智能制造系统高效开展。

企业在转型操作阶段面临着资金投入大、回报周期长的压力，导致部分企业对智能制造技术应用抱观望态度，行业标准及规范的滞后层级，制约了智能制造技术在船舶建造中的广泛应用规模，船舶建造行业未形成统一的智能制造标准，企业在技术甄选和系统打造时缺少明确引导，导致技术应用的分散与重复建设相关情况较明显，这不仅累加了企业的成本消耗，也对行业整体智能化发展进程形成阻碍。

三、优化智能制造技术集成的策略

为应对船舶建造时智能制造技术集成出现的挑战，必须从多方面拿出切实可行的策略，在技术的范畴，应建设一体化的数字化平台，整合船舶建造全流程当中阶段的各类系统，破除信息分割局面，实现设计、生产、管理等环节的数据实时对接与共享。^[3]通过制订标准化的数据接口及协议，造就不同系统之间的兼容性，为智能制造技术的高效配合打下基础，在数据管理工作中，应搭建合理的数据治理体系，议定统一的数据采集、存储和共享规范，保证数据精准、完整又安全，采用新式的数据分析工具跟

算法，对船舶建造流程里的海量数据开展深度挖掘，为生产优化、质量把控和决策制定提供有力支撑。

着重数据安全防护体系夯实，采用加密技术、访问控制等途径，防范数据造成泄漏风险，维护住企业的核心利益，针对人才匮乏情形，船舶建造企业须加强跟高校、科研机构的合作，构建产学研联合培养格局，共同培育既熟悉船舶工程又精通智能制造技术的复合型人才，企业内部可采用开展技术培训、知识讲座和实践项目的方式，强化现有员工对智能制造技术的理解及实操能力，逐步构建契合智能化发展的技术人才队伍。

在企业转型阶段，船舶建造企业需制订明确的数字化转型方略，加大对信息化基础配套设施的投入，逐步把现有的生产管理系统和设备进行升级，政府跟行业协会要给予政策扶持与资金补贴，劝导企业积极推进智能制造技术应用试点项目，减轻企业转型阶段的成本与风险，加快行业整体的智能化升级步伐，应加速制定船舶建造行业的智能制造标准与规范，明确技术采纳、系统搭建与数据管理等方面的统一规格，以标准化建设为途径，引导企业恰当采用智能制造手段，防止技术碎块化和重复搭建，助力船舶建造行业智能化水平整体上扬。

四、智能制造技术提升船舶建造效率的实践案例

在船舶制造范畴，智能制造技术的应用已达成明显成果，诸多实际案例充分显示了其在提高效率方面的巨大潜力，采用引入先进的自动化生产线和机器人技术^[4]，船舶分段制造切割环节实现高度自动化，机器人焊接系统不但拉动焊接精度与质量稳定性提升，还极大降低了焊接的时长，加大了生产速率，自动化切割设备的采用降低了人工操作差错，增进了材料的利用成效，在装配工序阶段，借助智能装配系统实现了船舶分段的高精度对接。

借助激光跟踪测量加上自动化装配设备，船舶建造企业可精准管理装配进程中的误差，实现船舶整体结构体现高质量可靠特征，此外因智能物流系统的引入，物料配送流程实现优化，以自动化的搬运设备以及智能仓储管理系统为依托，物料可按生产需求精准地配送至各工位，减少了物料等待时间和生产中断情形，进一步带动了生产效率上升。在生产管理范畴，因借助智能制造技术实现了对船舶建造全过程的实时监控和动态调度，通过在生产现场配备投放安装大量的传感器和监控设备，企业能实时采集生产进度、设备状态和质量检测等数据，参照这些可靠数据，智能管理系统可自主调节生产计划，做到资源合理分配，保障生产步骤高效开展。比如某船舶制造企业借助采用激光切割工艺，把切割效率上扬至原有的 130%，并较大幅度削减人工成本。

实施大数据分析技术，企业可以对生产数据开展深度挖掘，查找潜在的效率阻滞与质量隐患，并及时采取行动实施优化，在电子质量检测阶段，因应用智能制造技术，检测效率和准确性提升，机器视觉系统以及传感器网络能对船舶零部件和整体结构开展全面、迅速地质量检测，即刻察觉缺陷和隐患，防止了传统人工检测也许会出现的漏检与误检现象，依靠智能化检测途径，企业可缩减检测时长，降低返工缺陷，以此进一步提升船舶建造的

综合效率。

五、智能制造技术推动船舶工业发展的路径

智能制造技术在船舶工业里的采用，为行业转型升级给予关键的依托支柱，其带动作用体现在多个维度，在设计阶段，借助引入虚拟建模的仿真技术^[1]，船舶设计自过去二维设计向三维数字化设计转变，可做到对船舶性能的精准预测及优化，这种设计途径不仅增进了设计效率，还压减了设计开支，同时为后续生产阶段提供了更精准的数字化转型，为船舶工业的智能化发展打下根基，在产品生产阶段，智能制造技术的采用带动生产模式的变革，自动化生产线跟机器人技术的普遍采纳，导致船舶零部件的加工精度与生产效率大幅上扬，减少了人工操作引发的误差及不确定问题产生。

智能物流系统跟自动化装配器械的采用，实现生产流程优化，减短了生产周期，提高了船舶建造的综合效率，智能制造技术还借助实时监管与数据分析，完成了对生产过程的精细统筹，进一步推动了生产的质效水平，在仪器质量检测方面，应用智能制造技术推动检测精度和效率提高，机器视觉系统与传感器网络可对船舶零部件及整体结构开展全面、快速的质量检测，迅速察觉潜在瑕疵，冲破了传统检测方式的局限，依靠智能化检测途径，企业可实现检测周期缩短，减少返工实例，从而进一步提高船舶建造质量及效率。

鉴于企业管理层面，智能制造技术助推企业进入数字化转型阶段，通过架设起统一的数字化平台，船舶企业可达成设计、生产、管理等环节的数据共享与协同配合，打破各部门间的信息壁垒，增强企业整体运营的效力，大数据分析技术为企业提供科学决策的相关依据，协助企业改进生产工序、降低成本、提高竞争实力。从行业层面看，应用智能制造技术带动了船舶工业产业链协同，依靠电子数字化平台，船舶企业能跟供应商、客户达成信息互通和协同合作，优化供应链管控，增进产业链的协同成效，智能制造技术又推动了船舶工业跟其他行业的融合发展，如与信息技术、新能源技术相结合，为船舶工业创新发展赋予新的机会。

六、结语

智能制造技术于船舶建造范围应用已成为推动行业高端升级的关键力量，从设计优化到集约制造，从质量抽检到企业管理，智能制造技术显著增进了船舶建造的效率与质量，还为船舶工业的数字化转型铺就了坚实基础，技术集成、数据管理和人才短缺等挑战仍需不断留意与应对，未来随着技术的稳步发展和行业标准的成熟完备，智能制造预期可进一步加深船舶工业的智能化，协助其实现高效、绿色、可持续目标，为全球船舶制造业的高质量发展注入新的动力。

参考文献

-
- [1] 刘洋. 智能制造在船舶建造中的应用与实践 [J]. 船舶工程, 2023, 45 (2): 45-50
[2] 陈伟. 船舶智能制造技术发展现状与趋势 [J]. 船舶制造, 2022, 44 (3): 32-38
[3] 赵敏. 智能制造与船舶建造的融合研究 [J]. 船舶技术, 2024, 46 (1): 20-25
[4] 李娜. 船舶建造中智能制造技术的优化路径 [J]. 船舶工业, 2023, 45 (4): 56-62
[5] 张伟. 智能制造技术在船舶建造中的实践与效果分析 [J]. 船舶设计与制造, 2022, 44 (5): 48-53

一种高效 STC 绕线机的开发

皮之送

深圳市星特科技股份有限公司, 广东 深圳 518125

DOI: 10.61369/ETQM.12230

摘 要： 在某款手机产品的无线充电模块设计中，导入了双线单圈的线圈零件，称之为 STC（single turn coil）。传统方法绕制 STC 时，动作繁琐，生产效率低下，且因为采用电流加热方式，导致生产良率始终不高。针对该问题，设计开发一款高效 STC 绕线机，该绕线机采用转盘方式，将各个动作分解均分到每一工位，并且绕制动作进行了优化，最终效率得到了显著提升；同时，采用热风加热的方式，避免了电流加热由于安培力对线圈尺寸的影响，良率也得到了明显的提高。

关 键 词： 绕线机；高效；热风加热；安培力

Development of An Efficient Stc Winding Machine

Pi Zhisong

Shenzhen Star Technology Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518125

Abstract: In the design of wireless charging module of a certain mobile phone product, a two-wire single-turn coil part is introduced, which is called STC (single turn coil). When the traditional method is winding STC, the operation is complicated, the production efficiency is low, and the production yield is always low because of the current heating method. To solve this problem, an efficient STC winding machine is designed and developed. The winding machine adopts a rotating disk to divide each action evenly to each station, and the winding brake is optimized, and the final efficiency is significantly improved. At the same time, the method of hot air heating avoids the effect of current heating on the coil size due to the amperage force, and the yield is also significantly improved.

Keywords: winding machine; high efficiency; hot air heating; Amperage force

某款手机产品的无线充电模块导入了 STC 线圈，用作 NFC 识别用，它是该款手机产品最大的卖点之一，在新项目导入阶段，依然采用的是双工位传统绕线机，该绕线机采用电流加热方式，且绕制动作由传统绕制方式自然演变而来，效率和良率及其低下（UPH<120, 良率 <90%），如果按这样的绕线方式走下去，量产时，设备投入将是一笔非常巨大的资金（该项目共有线体 28 条以上，每条线体 UPH>1200）。如何能够提高 STC 绕线的效率和良率，将是该项目必须优化的方向。行业现有的绕线机加热方式中，热风加热是其中最常见的一种，它可以有效的避免通电导线在磁场中受到安培力的影响。从而减少形变，提高线圈尺寸稳定性。

一、传统绕线机工作原理

传统绕线机如图 1 所示，分别有线筒台和绕线单元组成，绕线单元有两工位，每工位功能相同。绕线单元由过线装置、烫线装置、拉线装置、主轴绕线总装以及贴膜下料装置五部分组成。过线装置主要完成过线动作，为过线轮并线工序做准备。两排线板间间隙 0.18mm-0.20mm，保证过线动作顺利进行。拉线装置主要由过线轮、夹线装置、夹线通电组件、XYZ 轴组成，

依靠伺服电机驱动，并借助气缸驱动来完成动作，XYZ 轴可自由运转。过线工序完成后，过线轮将线并住，完成并线动作，夹线装置同时夹住线。烫线装置主要是对尾线加热，加热后夹线装置夹住线，夹线通电组件同时切断尾线。烫线装置依靠伺服电机驱动，并借助气缸驱动完成动作。用陶瓷发热管对起线加热成

型。绕线折弯完成后，陶瓷发热管对尾线加热成型。主轴绕线装置主要由绕线部总装、治具左模及治具右模、冷风枪装置、通电装置、排解锁装置、折弯解锁装置组成。

烫线装置对起线加热后，夹线装置引入起线，绕线部总装在伺服电机驱动下，上下治具合模，治具切刀切断起线，同时开始绕线。绕线完成后，折弯解锁装置在气缸驱动下，将上治具内折弯顶出销顶出，线圈开始折弯，完成折弯动作。

烫线装置对尾线加热后，夹线通电组件切断尾线，通电装置同时加热，冷风枪装置对治具降温。线圈加热成型后，排解锁装置对治具脱模。本套装置中增加了温度传感器，用以检测通电加热成型过程中治具温度变化。另有光传感器检测治具折弯顶出销复位状况。

贴膜下料装置是将膜片贴合在成型后的线圈上，辅助以线圈

作者简介：皮之送（1985.07-），男，汉族，湖北鄂州，硕士，副高级机械工程师，设备研发。

排出机构，将线圈取下流入下道工序中。

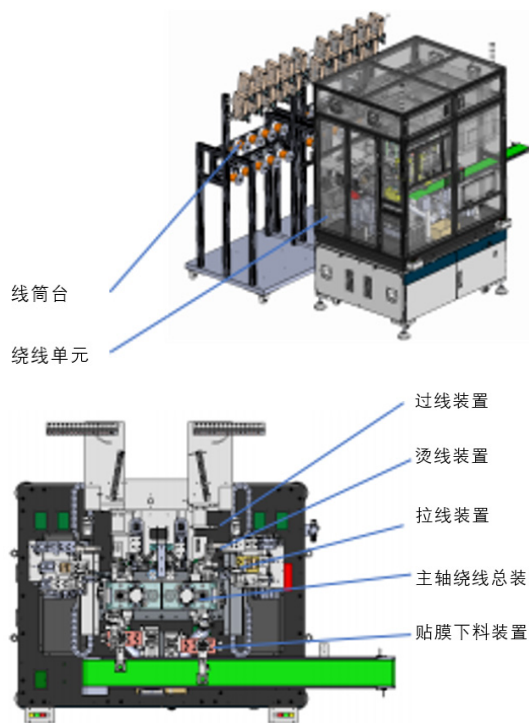


图 1

二、传统绕线机良率异常分析与实验验证



图 2

异常分析：传统绕线机做出来的产品，主要的不良是尺寸不良，不良率占比10%以上，如上图2所示STC线圈的内径要求 $\phi 45.6 \pm 0.10\text{mm}$ ，外径为 $\phi 46.3 \pm 0.10\text{mm}$ 。线圈用的铜线有三层组成，最里面是导电的铜线，中间层是绝缘的PU层，最外面是PA胶层，当线圈通电后，铜线会发热，热量会融化PA胶层，融化的胶层会粘接在一起，冷却后最终使线圈成型。理论上讲，线圈的内径是由绕线模具决定的，因为线圈通过张力绕在模具上，但实际的结果，内径波动相对比较大。产生这种不良的原因有两种，一种是绕制过程中，线圈由于跟模具的摩擦力，导致没有完全绕到模具模芯上，导致内径波动较大；另一种情况，就是在通电的时候，安培力使铜线蠕动而导致尺寸不稳定^[1]。因为模具材质本身就是钢，绕制在其上的线圈在通电时，

就会产生一个增强的磁场，而通电导线在磁场中会受到安培力的作用。假设线圈受到的电流方向为逆时针方向，根据右手方式来判断，磁场方向为竖直向上，而根据左手方式来判断铜线受到的安培力则刚好是沿着径向外方向，这个力刚好会将线圈往模芯相反方向往外拉，使内径不稳定。

实验设计：为了验证到底是哪一个因素导致尺寸不稳定，特设计以下三个实验验证。

验证一：增加上下模具间隙，从而减少摩擦力，使线圈绕制更加顺畅。具体设计为：将上下模具间隙从既定的0.195mm，分别增加到0.205mm和0.215mm，每组各32片产品，量测产品内径、外径、厚度。

验证二：提高抵抗摩擦力的张力。具体设计为：保持设定的模具间隙0.195mm，将张力从100g调整到110g和120g，每组各32片产品，量测产品内径、外径、厚度。

验证三：确认是否为安培力的影响。具体设计为：设计一个透明亚克力模具上盖来替代上模具，手工绕制线圈到模芯上，通电后，观察线圈是否波动。

实验结果：

验证一数据结果如附表1。从结果中可以看出，虽然增加上下模合模间隙后，内外径CPK有增加好转趋势，但合模间隙越大，厚度稳定性会越差。

验证二数据结果如附表2。从结果可以看出，增加张力后，对内外径影响不大，厚度有变大趋势。

验证三，如图3所示，将透明亚克力板作为上模具合模后，通电观察，发现通电过程中，线圈有肉眼可见蠕动现象。



图 3

结论：综合上述验证，发现安培力才是线圈尺寸不稳定的根本原因。

三、高效 STC 绕线机工作原理

针对传统 STC 绕线机的良率问题和效率问题，特设计了高效 STC 绕线机，改电流加热方式为热风加热方式，避免了通电时安培力的影响。整机结构如下图4所示。

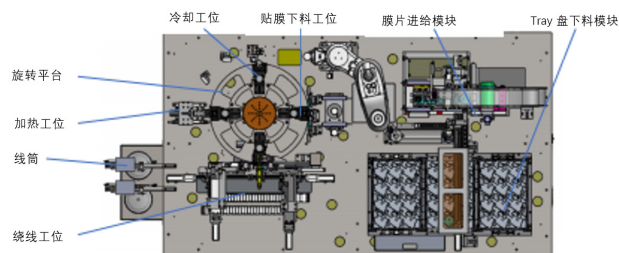


图 4

该绕线机由 DD 马达驱动旋转平台工作，旋转平台上依次有四个工位，分别为绕线工位、加热工位、冷却工位、贴膜下料工位，每一个工位并行工作，大大提高了整机效率。同时该绕线机

采用全新的绕线方式，如下图5所示绕线动作流程：

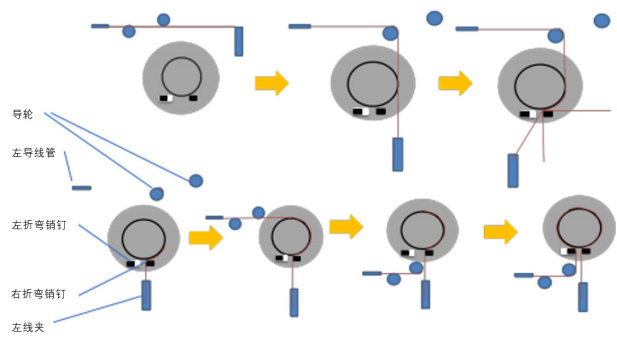


图5

绕线工位含有左导线管和右线夹，铜线从左导线管导出，且由右线夹夹持住，当右线夹远离左导线管并留有足够线长

后，右线夹绕模具往下对模具右边形成包裹，当右线夹绕过右边折弯销钉时，右折弯销钉抬起，然后右线夹竖直向下，从而形成线圈右边形状；随后，左导线管绕模具往下对模具左边形成包裹，继续运动并绕过左折弯销钉，然后左折弯销钉抬起，左导线管竖直向下运动，从而形成线圈左边形状。左右夹爪夹住绕制好的线圈两末端，随后，右线夹松开，然后夹住左导线管后面两导轮的中间，右线夹后设计有切刀，随后切刀切断线材。最终线圈绕制完成，旋转平台旋转90度，到加加热工位进行加热。

加热作业完成后，旋转平台再次旋转90度，到达冷却工位进行冷却。冷却动作完成后，旋转平台再次旋转90度，到达贴膜下料工位，机械手从膜片进给机构中取下膜片，在视觉相机的引导

下，将膜片贴膜在线圈之上，并取下线圈，放入 Tray 盘中。

高效 STC 绕线机测试32片产品结果如附表3所示，其中，尺寸 CPK>1.33^[2]。

四、高效 STC 绕线机与传统绕线机对比

对比高效 STC 绕线机和传统绕线机结果如下所示：

类型	UPH	CPK	良率	单价
传统STC绕线机	120	<1	<90%	1
高效STC绕线机	650	>1.33	>99%	1

从结果可以看出，高效 STC 绕线机比传统绕线机有绝对优势，极大的提高了 STC 绕线的效率和良率。

五、结论和展望

结论：针对传统绕线机的弊端，设计开发了高效绕线机，从而解决了绕线机生产效率和良率低下的问题，为公司赢得了荣誉，同时为某知名手机品牌某款产品的顺利上市做出了巨大的贡献。

展望：传统绕线机可以针对绝大常规形状线圈进行绕制，而高效 STC 绕线机，绕线主轴不带旋转功能，将来如果产品更改设计，可能会存在不能绕制的问题，需在此基础上，增加主轴旋转功能，从而提高线圈绕制的种类。

参考文献

[1] 冯旺军,戴剑锋编写,大学物理 [M].第二版,科学出版社,2021/02 出版.

[2] 中国质量协会组织编写,何桢主编六西格玛管理(第三版) [M].第三版,中国人民大学出版社,2014/06 出版.

[3] 高振华,梁荣海,姜宗林.数控绕线机的开发与设计 [J].现代制造技术与装备,2006(2):12-15.

[4] 杨正新,汪劲松.机电一体化系统 [M].北京:科学技术文献出版社,1996.

[5] 纪洪波.自动绕线机控制的研究 [J].烟台大学学报(自然科学与工程版),1995,8(1):51-57.

[6] 范鹏程.绕线机拉紧装置的改进 [J].中小型电机,2000,27(2):36-42.

[7] 魏俊波,等.基于 Pro/E 的自动磁环绕线机虚拟设计与运动仿真 [J].机械设计与制造,2011(10):246-248.

[8] Wang X, Zhang Y. Design and Optimization of a High - Precision Winding Machine for Micro - coils[J]. Precision Engineering, 2018, 52: 241 - 250.

[9] Liu C, Wang Z. Design and Development of a High - Speed Precision Winding Machine[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2024, 63: 354 - 365.

[10] Zhao Y. Research on the Intelligent Control System of Winding Machines Based on Internet of Things Technology[D]. [University Name], 2022.

信息化手段在工业建筑施工管理中的应用探索

郑闽

宝武集团鄂城钢铁有限公司, 湖北 鄂州 436000

DOI: 10.61369/ETQM.12234

摘 要： 信息化手段在工业建筑施工管理中展现出显著优势。其应用不仅极大提升了管理效率，通过自动化处理和数据分析，减少了人工操作与时间成本；同时，信息化手段还能有效降低项目成本，通过精准预算与资源配置优化，实现成本节约。更重要的是，它保障了工程质量，实时监控与数据分析确保了施工过程的合规性与高质量。为实现这些目标，需建立完善的信息化管理系统，加强信息化人才培养，并推动信息化与施工管理的深度融合，共同推动工业建筑施工管理的现代化进程。

关 键 词： 工业建筑；施工管理；信息化手段

Application of Information Technology in Industrial Building Construction Management

Zheng Min

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

Abstract: Information technology has shown significant advantages in the construction management of industrial buildings. Its application not only greatly improves the management efficiency, but also reduces the manual operation and time cost through automatic processing and data analysis. At the same time, information technology can also effectively reduce project costs, and achieve cost savings through accurate budgeting and resource allocation optimization. More importantly, it guarantees the quality of the project, and real-time monitoring and data analysis ensure compliance and high quality of the construction process. In order to achieve these goals, it is necessary to establish a perfect information management system, strengthen the training of information personnel, and promote the deep integration of information and construction management, and jointly promote the modernization process of industrial building construction management.

Keywords: industrial building; construction management; information means

工业建筑施工管理是一项复杂且繁琐的任务，涉及多个环节和多个部门之间的协作。传统的施工管理方式往往存在信息传递不畅、管理效率低下、资源浪费等问题。而信息化手段的应用，为工业建筑施工管理提供了新的解决方案，有助于实现施工管理的智能化、高效化和精细化。

一、信息化手段在工业建筑施工管理中的应用

（一）提升管理效率

信息化手段在工业建筑施工管理中的应用，无疑为提升管理效率开辟了新路径。这一变革的核心在于，通过精心构建的信息化管理系统，信息的流动变得前所未有的流畅与高效。系统内部，信息的实时共享和传递机制被深度整合，这意味着无论是项目进展的最新动态，还是关键数据的即时更新，都能在第一时间内被所有相关方所获取。这一过程极大地削减了信息传递的传统层级结构，省去了繁琐的中间环节，从而确保了信息能够在最短时间内抵达需要它的地方。

更进一步的是，信息化管理系统不仅加速了信息的流通，还

极大地提升了信息的准确性。在传统的施工管理模式中，信息的传递往往依赖于人工操作，这不可避免地会引入人为错误的风险。而信息化系统的引入，则通过自动化的数据处理和校验机制，有效地降低了这种错误发生的概率，使得管理人员能够依据更为可靠的数据做出决策。另外，信息化管理系统还展现出了强大的自动化处理和智能化决策能力。通过内置的算法和模型，系统能够自动处理大量数据，识别出潜在的问题和机遇，甚至在某些情况下，还能自动生成优化方案或提出决策建议。这种能力不仅减轻了管理人员的工作负担，更重要的是，它减少了因人为判断失误而导致的决策偏差，从而进一步提升了整体的管理效率。信息化手段的应用在工业建筑施工管理中发挥了至关重要的作用，它不仅加速了信息的流动，提高了信息的准确性，还通过自

动化处理和智能化决策，为管理效率的提升注入了强大的动力。

（二）降低成本

信息化手段在工业建筑施工管理中的应用，对于降低成本具有显著效果。这一变革的核心在于，通过信息化管理系统，施工过程中的各项成本能够得到实时的监控和精准的分析。系统能够自动追踪并汇总各个施工环节的成本数据，包括人力成本、材料成本、设备成本等，使得管理人员能够清晰地掌握成本的动态变化。这种实时监控的能力，使得成本偏差能够及时发现并得到纠正，避免了因成本超支而导致的额外支出。更进一步的是，信息化管理系统不仅能够提供成本数据，还能够基于这些数据进行深入分析，帮助管理人员识别出成本控制的关键点和潜在的风险因素。这种深入的分析能力，使得管理人员能够采取更加有针对性的措施，来优化成本结构，减少不必要的浪费。另外，信息化手段还能够实现资源的优化配置和合理利用。通过系统，管理人员可以清晰地了解各项资源的库存情况、使用情况以及需求预测，从而能够做出更加科学的资源调度决策。这种资源调度的优化，不仅降低了资源的闲置率，还减少了因资源短缺而导致的停工待料现象，从而进一步降低了施工成本。

（三）保障工程质量

信息化手段在保障工业建筑工程质量方面扮演着至关重要的角色。具体而言，通过精心构建的质量管理系统，施工现场的各个环节能够实现即时且全面的质量监控。这一系统能够实时收集并分析施工数据，无论是材料质量、工艺水平还是施工进度，都能得到详尽的记录与评估^[1]。这种实时监控的能力，使得潜在的质量问题能够在第一时间被识别出来，并迅速采取应对措施，从而有效避免问题扩大化，确保工程质量不受影响。进一步地，信息化手段还大大增强了施工过程的可追溯性。每一项工作、每一次操作，甚至是每一批材料的使用情况，都能被准确记录在系统之中。这种详尽的记录不仅有助于在出现问题时迅速定位责任，更重要的是，它促使施工团队在每一步操作中都严格遵守既定的质量标准 and 规范，因为任何偏离标准的行为都将无所遁形。这种从源头到终端的全链条质量把控，为工业建筑工程的质量提供了坚实可靠的保障。

二、信息化手段在工业建筑施工管理中的应用策略

（一）建立完善的信息化管理系统

构建一个完善的信息化管理系统，是确保信息化手段能够有效融入并提升工业建筑施工管理水平的关键基石。这一系统应当是一个综合性的平台，涵盖项目管理、成本管理、质量管理以及资源管理等多个核心模块，每个模块都扮演着不可或缺的角色^[2]。

在项目管理模块中，系统能够全面跟踪项目进度，包括计划制定、执行监控与调整优化，确保项目按时按质完成。成本管理模块则负责精确核算各项开支，从预算制定到实际花费的对比分析，帮助管理者有效控制成本，避免不必要的浪费。质量管理模块，作为保障工程质量的重要一环，能够实时监控施工过程中的各项质量指标，及时预警潜在的质量风险，确保每一项工程都符

合标准要求。资源管理模块则专注于人力、物资等关键资源的有效调配与利用，通过数据分析预测需求，优化资源配置，提升资源使用效率。更重要的是，这些模块之间并非孤立存在，而是实现信息的深度集成与无缝共享，形成一个紧密相连的信息网络，使得管理者能够获取到全面、准确、实时的管理数据。另外，完善的信息化管理系统还应具备自动化处理和智能化决策的能力。自动化处理功能能够减少人工操作的繁琐，提高工作效率，如自动汇总报表、智能识别错误等。

（二）加强信息化人才培养

信息化手段在工业建筑施工管理中的广泛应用，离不开一支高素质、专业化的信息化人才队伍作为支撑。为了确保这些先进工具和技术能够充分发挥其效能，我们必须高度重视信息化人才的培养与引进工作，这是推动施工管理现代化、提升整体竞争力的关键所在^[3]。

一方面，针对现有施工管理人员，应定期组织系统的信息化技能培训。这些培训可以涵盖从基础的信息技术知识，如计算机操作、软件应用，到更高级的数据分析、系统管理等各个方面。通过理论讲解与实操演练相结合的方式，帮助管理人员掌握最新的信息化工具和方法，提升他们的信息化素养和技能水平。同时，鼓励管理人员参与行业内的技术交流会、研讨会，与同行分享经验、探讨问题，拓宽视野，激发创新思维。另一方面，积极引进具有丰富信息化实践经验和深厚技术背景的外部人才，为团队注入新鲜血液。这些人才不仅能够带来先进的技术理念和管理经验，还能在团队内部形成良好的示范效应，带动整个团队信息化能力的提升。

（三）推动信息化与施工管理的深度融合

推动信息化与施工管理的深度融合，是确保信息化手段在工业建筑施工管理中发挥最大效用的核心策略。这一目标的实现，要求将信息化手段无缝嵌入施工管理的每一个环节，从项目策划、设计、施工到验收、运维，全程实现信息化与施工管理的紧密协同^[4]。

在项目实施初期，通过信息化系统对项目进行精准策划，利用大数据分析、模拟仿真等技术手段，对项目可行性、成本预算、进度安排等进行科学评估，为后续施工奠定坚实基础。设计阶段，采用 BIM（建筑信息模型）技术，实现设计信息的数字化、可视化，促进设计团队与施工团队之间的有效沟通，减少设计变更，提高施工效率。进入施工阶段，借助物联网、传感器等技术，实时监控施工现场的安全、质量、进度等关键指标，确保施工活动严格按照计划执行。同时，利用云计算平台，实现项目数据的集中存储、高效处理与智能分析，为管理层提供决策支持，及时调整施工策略，应对突发情况。另外，还应不断探索和创新信息化手段在施工管理中的应用方式和方法。比如，利用人工智能技术进行智能排班、材料预测，提高资源利用效率；开发移动应用，实现施工现场信息的即时反馈与远程监控，增强管理灵活性；引入区块链技术，确保施工数据的真实性与不可篡改性，提升项目透明度与信任度。推动信息化与施工管理的深度融合，是一个持续的过程，需要在实践中不断总结经验，勇于创新。

新，以信息化为引擎，驱动施工管理向更加智能化、精细化的方向发展，从而全面提升工业建筑工程的质量、效率与安全水平。

类别	数据 / 描述
政策支持	
国家级政策	2025年中国建筑业数字化转型支出预计达82.8亿美元，年复合增长率11.3%
地方政策	江苏、重庆等地出台智能建造实施意见和行动计划
数字化转型成效	
数字化研发投入	部分大型企业研发投入占比达营业收入5%以上
数字化标准建设	各地出台智能建造相关标准、定额和导则
融合发展情况	建筑业与先进制造业、信息技术产业跨界融合，拓展应用场景
关键技术应用	
BIM技术	引入数字化技术后，建筑业生产率可提高14~15%，成本节约4~6%
物联网（IoT）技术	2023年全国物联网市场规模约为3.35万亿元，预计2025年达4.55万亿元
人工智能（AI）技术	2024年AI相关项目招采数量突破4000个，采购规模达283亿元
数据资产化	2024年全国数据资产入表强度达到3‰
绿色建筑	2025年新建建筑将全面建成绿色建筑，完成既有建筑节能改造面积3.5亿平方米以上
装配式建筑	2025年装配式建筑占新建建筑比例预计达30%以上

三、结语

信息化手段在工业建筑施工管理中的应用，不仅通过提升管理效率、降低成本和保障工程质量，显著优化了施工管理流程，还通过一系列策略的实施，如构建完善的信息化管理系统、加强

信息化人才培养及推动信息化与施工管理的深度融合，为施工管理带来了革命性的变革。这些探索与实践，不仅提升了施工管理的智能化水平，更为工业建筑的可持续发展奠定了坚实的基础，展现了信息化在现代施工管理中的巨大潜力与价值。

参考文献

[1] 余飞. BIM信息化技术在新建厂房项目中的应用探讨 [J]. 中国住宅设施, 2020, (08): 105-106+108.
[2] 吕晓倩. 电气传动工厂信息化系统规划设计研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4 (05): 139-140.
[3] 薛嘉睿. 石油厂房土建施工监理的信息化管理研究 [J]. 中国管理信息化, 2018, 21 (02): 42-43.
[4] 张川锁, 江松笙. 江苏宜兴抽水蓄能电站施工安全监测信息化管理 [J]. 水力发电, 2009, 35 (02): 39-42.

化工厂区废气循环与治理一体化技术

于经伟

西安航天源动力工程有限公司，陕西 西安 710000

DOI: 10.61369/ETQM.12237

摘 要：在可持续战略提出的背景下，促进了我国经济朝着环境友好型、资源节约型的方向发展。那么，要求改革高污染、高能耗企业的生产方式，使其满足全新经济发展的需求。因为化工行业自身的特点，生产过程中的废气污染量比较大，会对土壤、水源和大气等造成污染，还会对人体健康造成危害。所以，社会各界对于化工行业有机废气的治理越来越重视。以此，本文就对化工废气治理技术进行分析，使用废气循环与治理一体化技术促进化工行业的绿色生产与发展。

关 键 词：化工厂区；废气循环；废气治理；一体化治理

Chemical Plant Area Waste Gas Circulation and Treatment Integration Technology

Yu Jingwei

Xi'an Aerospace Source Power Engineering Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: Under the background of the sustainable strategy, it has promoted the development of China's economy in the direction of environment-friendly and resource-saving economy. Then, it is required to reform the production mode of high pollution and high energy consumption enterprises, so that they can meet the needs of the new economic development. Because of the characteristics of the chemical industry itself, the amount of waste gas pollutants in the production process is relatively large, which will cause pollution to the soil, water and atmosphere, and will also cause harm to human health. Therefore, all walks of life pay more and more attention to the treatment of organic waste gas in the chemical industry. In this way, this paper analyzes the chemical waste gas treatment technology, and uses the waste gas circulation and treatment integration technology to promote the green production and development of the chemical industry.

Keywords: chemical plant area; waste gas circulation; waste gas treatment; integrated treatment

因为环境问题的频繁发生，社会各界对环境保护也越来越重视。在国民经济发展过程中，化工行业作为经济支柱型产业具有重要意义。但是，因为化工生产中会产生大量的有机废气，严重影响了生态环境。在现代化环保经济发展的过程中，要对化工行业废水污染的治理工作进行重视。不仅能够保证人与自然的和谐生存，保护公共卫生安全，还能够促进化工行业健康发展。那么，要求使用新技术治理废气，降低化工场区的废气毒性，避免危害到环境^[1]。

一、化工厂区废气的危害

（一）化工厂区的废气

在化工企业生产中，所排放的有机气体就是有机废气。废气的成分比较复杂，包括大分子气体与无机物质，比如甲烷、二甲苯、甲醛、丙酮等。假如气体中含有酸性物质，就会结合水汽出现酸雨。甲醛属于严重致癌物，假如没有通过处理排放会导致环境严重污染。另外，因为废气会在大气环境中产生一定的化学反应，对当地环境造成了严重的污染。如果动植物受到有机废气的长时间污染，就会改变动植物的基因，所附着的有机物质还会

影响人们的身体健康。

（二）化工废气的危害

（1）阳光照射到有机废气会产生化学反应，然后生成臭氧，从而转变光化学烟雾，假如人体直接接触，会对人们的身体健康造成严重威胁。另外，有机废气的毒性与刺激性比较强，人们吸入之后会发生急性中毒事件，导致死亡或者癌性病变。

（2）有机废气中的二氧化硫、光化学烟雾、氟化物等会影响到植物光合作用，导致植物枯叶或者死亡。

（3）有机废气导致大气污染是全球性的，主要包括：①破坏臭氧层。臭氧层能够保护地球，主要作用为转换热能、过滤紫

外线，如果臭氧层受到破坏，就会影响到气候转换与调节，后期的修复也会更加困难；②酸雨。酸雨覆盖的区域大部分都是受灾面积，会影响到区域中的水源、动植物、人体和建筑；③气候变化。有机废气会导致温室效应，出现极端天气，增加自然灾害发生率，为全球人文发展、生态环境与经济建设造成严峻挑战^[2]。

（三）化工废气的特点

常见的有机废弃物包括烷烃、碳氢化合物和油类等，所以化工废气排放的主要特点就是易燃易爆，在物质生产排放过程中如果遇到可燃物质，就会发生火灾或者爆炸。另外，粉尘与燃烧物质也会影响空气质量，威胁到农作物的健康生长，对居民的身体健康造成影响。

通过分析化工废气的理化性质，大部分的有机废气还存在水溶性。此种气体很难处理，并且净化循环时间比较短，会导致水域污染，影响到当地的用水和渔业，破坏区域环境。并且化工厂挥发性有机物还有毒，危害了当地公共秩序和经济，比如有机细菌、氰化物和甲醛等。这些废气的排放不会使企业经济成本得到提高，还会影响到化工企业发展。如果废气泄露，还会影响到社会环境和社会经济的运行^[3]。

二、废气循环与治理一体化技术的特征

化工厂区在生产过程中会产生大量有害颗粒物、气体等污染物质，为了能够降低大气环境，可以使用废气循环与治理一体化技术处理废气，使其能够循环应用。另外，还能够以系统集成优化设计，和废气循环与治理的方式结合，从而实现节能减排的目的，主要包括：

（1）在煤化工生产过程中会产生废气，烃类气体与高热值固体颗粒的排放量比较大，利用废气循环与治理一体化技术对废气进行净化，并且挖掘有价值的成分，使其作为燃料气、热源等，能够避免浪费资源，科学控制废气中污染物的浓度，有效使用催化剂降低还原剂消耗量。

（2）因为废气中的颗粒物、有害气体比较多，要通过多个处理流程才能够排放，图1为化工挥发性废气的排放环节。使用一体化技术能够结合不同的净化设备，从而构成完整废气净化系统，包括除尘、脱硝、脱硫等功能。提高烟道气的温度，保证催化剂的活性，从而优化工艺系统，降低煤气的消耗量，避免直接排放挥发性的有机化合物^[4]。

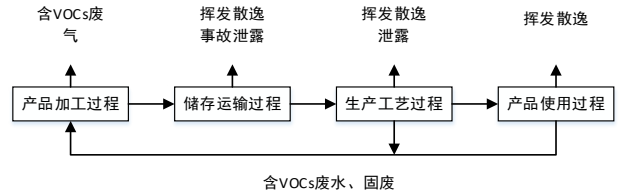


图1 化工挥发性废气的排放环节

优化布局设计，能够提高废气综合使用效率。比如，利用热交换器对废气热能进行回收，实现废气的生产与蒸汽加热，使能源消耗得到降低。另外，利用先进自动化控制系统，全面监控废气的治理与循环，对废气的排放温度、浓度与流量进行实时监测。使用废气净化设备提高能源的使用率，降低挥发性的有机化合物的运输和收集也更加的方便。根据实际情况调节设备的运行，提高废气处理系统运行的稳定性，降低排放量^[5]。

三、废气循环与治理一体化技术的应用

（一）装置及工艺分析

将某精细化工企业为例，在化工产品合成加工的过程中，原材料罐区、车间生产区、包装区等工业废气排放比较大，废气中包括三甲胺、甲醇、丙酮、碳酸二甲酯等组分，表1为废气成分与特性。废气中的VOCs排放速率为347.51kg/h，浓度比较高，所以要对其进行与处理后焚烧处理。因为企业所排放的废气会通过焚烧炉分解，从而产生了NO_x气体。所排放的这些气体会导致酸雨和化学烟雾，影响到环境与人体健康，要通过SCR脱硝系统进行处理后达标排放。

表1 废气成分与特性

名称	处理前排放量 / kg.h ⁻¹	占比 /%	处理后排放量 / kg.h ⁻¹	废气浓度 /mg.m ⁻³	摩尔质量 / g.mol ⁻¹	爆炸下限 LEL/%	燃点 /℃
甲醇	31.05	9	15.554	287.54	32	5.24	436
苯胺	35.26	10	17.15	292.54	93	1.25	615
丙酮	206.12	60	102.54	1705.54	58	2.21	468
甲苯	8.15	3	4.15	97.52	92	1.16	535
二甲苯	29.54	8	14.62	244.85	54	2.01	191
碳酸二甲酯	4.65	0.7	2.15	35.68	91	4.25	281
甲基异丁基酮	30.25	9	15.65	251.52	100	1.15	442
粉尘颗粒	2.54	0.3	-	-	-	-	-
合计	347.56	100	171.814	2915.19	520	17.27	-

企业根据相关标准中废气浓度的排放要求，根据化工废气的排放浓度，充分考虑到经济性和安全性，通过计算设计针对性的核心设备处理废气^[6]。

（二）优化有机化合物的回配工艺

在化工厂区生产过程中的废气含有大量的氧含量，在入炉燃烧中有大量的氧气。利用二氧化碳与氧气，实现锅炉的运行。为

了提高废气的处理效率，要进一步明确废气循环烟道含氧量，可以降低空气氧浓度与烟道废气的含氧量。此种理念和传统废气处理方法不同，如果存在高含量的挥发性有机化合物，要降低废气循环能力和效果。另外，风机抽力和挥发性有机化合物总量相关，导致出现污染环境的问题。为了避免再次出现此种情况，可以使用既有系统微压表分析挥发性有机化合物，对调节阀智能化

的调控,以系统的实际需求对变频控制点击调试,根据系统实际参数调整槽罐的压力,使压力能够正常的运行。优化工艺的运行流程,降低了挥发有机化合物产量,并且调控燃烧、烟气和废气的协调性参数,从而降低污染^[7]。

(三) 废气冷却凝结技术

通过废气冷却凝结技术能够使其转变成容易处理的液体,废气污染物能够和凝结剂发生化学反应,使废气中的有害物质转变成液体的方式,将废气进行清除。对因为废气中的成分不同,所以要根据实际情况选择合适的化学物质,比如酸性、碱性溶液等。使废气温度得到降低,那么污染物就能够凝结为液体后沉积。将冷却器安装到废气排放口,废气直接接触冷却介质,从而降低废气温度。在废气温度不断降低的过程中,有害物质也能够凝结为液滴后沉淀。

此废气冷却凝结方法还能够降低大气污染,使废气净化与处理的效果得到增加。使凝结流速和温度得到控制后,废气处理的流程也得到了优化,保证废气治理为最佳状态^[8]。

(四) 锅炉烟气回配

使用废气循环与治理一体化技术对系统烟气进行改造,提高总烟气流量与温度的控制水平。那么,通过锅炉烟气的回配对其成分、温度与流速进行分析,根据改造的特点对回配系统进行设计。将排气口中设置气动切断阀,和管道连接收集挥发性有机化合物,通过地下废弃风口进行燃烧。对回配系统进行安全管理,包括操作人员、设备运行等安全方面,降低事故发生几率。

(五) 废气入炉工艺

废气入炉工艺在废气循环与治理一体化技术中具有重要作用,在炉内引入化工生产过程中的废气,避免浪费,降低环境污染。在对系统进行优化设计的过程中,利用高温风机在地下室引入高温混合废气,将废气输送到氧气管道中,主要流程为:

在空气上升中,可以使用开闭器调整技术参数,顺利进入废气。空气和高温废气结合进入到蓄热池,空气含氧体积的分数在所设置区间中,然后进入燃烧室。将开闭器安装到废气下沉工段,从而控制阀门关闭的状态,使高温废气供给工作切断。根据废气入炉工艺,对燃烧系统进行分析,综合分析废气后使用先进的技术设备,对分烟道吸力控制,优化技术参数,提高系统燃烧效率,降低能耗量。

(六) 干熄焦预存段气体回配

根据10%计算干熄焦预存段的放散量,烟气设置为130℃,放散量为19840m³/h。为了使干熄焦系统的操作更加方便,要避免过于改造原本的系统。优化预存段烟气放散管道的母管气动调节阀后,从而设置回配管道,在对气动开关阀安装后,切断烟气流向收集罩。其次,利用布袋除尘的方法清理干燥焦预存段的气体^[9],干熄焦预存段气体的回配流程详见图2。

四、燃烧系统的优化

假如焦炉加热系统的空气量与煤气流量并没有在设置的范围

值中,从而使焦测出现加热问题,无法使焦炉炉温的控制效果得到满足。所以,以焦炉内气体流动特点,对燃烧控制的方法进行优化,利用分烟道翻板进行自动控制,保证分烟道的吸力在合适范围中:

(1) 使用便携式分析仪表对燃烧室中 α 量进行计算,人工调节保证 α 值相同;

(2) 对火道燃烧情况分析,测量 a 值,保证火道火焰相同;

(3) 通过上述工作对烟道吸力调整,保证加热状态最优。

利用烟气加热、SCR反应器、喷射系统与氨水储存构成脱硝系统,垂直设置SCR反应器,使烟气向下垂直流动。将导流板和气流均布装置设置到入口粗,使烟气流动更加的均匀,还能够提高脱硝反应高效率。设置反应器四层型钢焊架,能够承载催化剂,保证脱硝反应。 NH_3 为脱硝反应过程中的还原剂,在0.5m³氨水管中以液体形态存储,通过氨水泵喷射到氧气管道,通过高温汽化实现烟气进口段的脱硝反应。其次,为了避免小颗粒在小孔中出现大量沉积的问题,可以将脉冲吹灰器安装到SCR反应器中,图3为SCR脱硝系统的安装。

此装置使用波纹板式的催化剂,最大活化温度为180–200℃。但是,烟气温度不超过80℃,无法满足脱硝反应剂最大活性温度。所以,要将高温烟气支路安装到RTO装置燃烧室的另一侧。因为脱硝后烟气的温度为160℃,如果直接排放烟气的温度比较高,会浪费大量的能源。为了降低温度和能源,可以使列管式换热器连接烟气的出口,对烟气排放过程中进行热交换。烟气在通过热交换之后会进入到混合管中,然后和RTO装置燃烧室支路混合高温烟气,使烟气温度满足需求。此方法能够节约染料,降低成本^[10]。

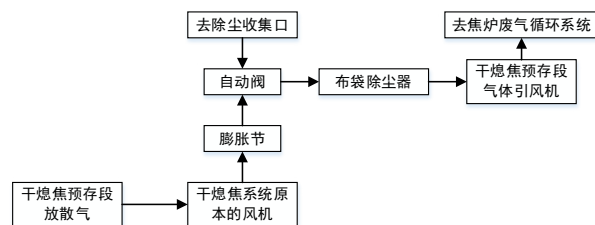


图2 干熄焦预存段气体的回配流程



图3 SCR脱硝系统的安装

五、结束语

在环保理念深化改革的背景下，化工厂区的生产过程也面临了全新挑战。所以，要重视废气科学管理工艺，不仅要求节能环保，

还要使能耗得到降低。结合化工厂区的实际情况，利用废气循环与治理一体化技术使废弃的排放量得到降低，从而保护生态环境，满足节能减排目的，实现环境友好型的生产与化工厂区可持续的发展。

参考文献

[1] 李瑞标. 浅谈生物法在石油化工污水处理场 VOC 废气处理中的应用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(20): 135-137.

[2] 王良锋. 半定量综合指数法在化工企业废气处理装置职业健康风险评估中的应用 [J]. 现代职业安全, 2023(5): 85-87.

[3] 孙杰, 姚亮亮. 化工废气中 VOC 废气治理方法与技术研究 [J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(6): 68-70.

[4] 赵东亚, 卢帆, 曹磊, 等. 基于模糊综合评价的烟道气辅助 SAGD 过程评价 [J]. 化工进展, 2021, 40(1): 89-98.

[5] 周跃辉. 焦化厂区废气循环与治理一体化技术分析与应用 [J]. 煤化工, 2023, 51(3): 28-30.

[6] 朱文祥. 化工企业高浓度氯代烃有机废气治理工程实例 [J]. 广东化工, 2023, 50(1): 153-155.

[7] 张红伟. 某化工企业含高浓度正十二烷烃废气的净化处理 [J]. 环境保护与循环经济, 2022, 42(6): 29-33.

[8] 贺圣中. 化工企业废气污染治理与控制措施 [J]. 山东化工, 2022, 51(10): 200-201.

[9] 鲍家泽, 马玉银, 蒋建国, 等. 多填料生物滤池处理化工企业低浓度混合废气的实践 [J]. 能源环境保护, 2020, 34(5): 35-40.

[10] 衡振平, 姬利红, 张艺馨. 多级射流喷射式高浓度氮氧化物废气处理装置 [J]. 中国有色冶金, 2020, 49(5): 75-77, 82.

低温甲醇洗工艺中甲醇再生过程的能耗分析与节能策略

马丽

国能新疆化工有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

DOI: 10.61369/ETQM.12243

摘 要： 低温甲醇洗工艺在合成氨、甲醇等领域应用广泛，其中甲醇再生过程对工艺稳定运行至关重要，但其能耗问题突出。本文深入剖析甲醇再生过程，明确减压闪蒸、气提再生和热再生等方式的能耗来源，探究原料气组成、操作温度和压力等因素对能耗的影响。进而针对性提出优化再生工艺流程、强化热量回收利用、精准调整操作参数以及升级维护设备等节能策略，旨在降低能耗，提高工艺经济性与竞争力，推动相关行业可持续发展。

关 键 词： 低温甲醇洗；甲醇再生；能耗分析；节能策略

Energy Consumption Analysis and Energy Saving Strategies for Methanol Regeneration Process in Low-Temperature Methanol Washing Technology

Ma Li

Guoneng Xinjiang Chemical Co., Ltd. Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract: The low-temperature methanol washing technology is widely used in fields such as ammonia synthesis and methanol production, where the methanol regeneration process is crucial for stable operation but faces significant energy consumption issues. This article delves into the methanol regeneration process, identifying energy consumption sources in methods such as vacuum flash evaporation, stripping regeneration, and thermal regeneration. It explores the influence of factors like feed gas composition, operating temperature, and pressure on energy consumption. Furthermore, it proposes targeted energy-saving strategies, including optimizing the regeneration process flow, enhancing heat recovery and utilization, precisely adjusting operating parameters, and upgrading and maintaining equipment. These strategies aim to reduce energy consumption, improve process economics and competitiveness, and promote sustainable development in related industries.

Keywords: low-temperature methanol washing; methanol regeneration; energy consumption analysis; energy saving strategies

低温甲醇洗工艺作为一种高效的气体净化技术，在合成氨、合成甲醇以及其他羰基合成等领域得到了广泛应用。该工艺利用甲醇在低温下对酸性气体（如 CO_2 、 H_2S 、 COS 等）溶解度极大的特性，实现原料气中酸性气体的脱除。在整个低温甲醇洗工艺中，甲醇再生过程是保证工艺持续稳定运行的关键环节，然而，其能耗问题一直是制约该工艺进一步发展和应用的重要因素。深入分析甲醇再生过程的能耗构成，并提出有效的节能策略，对于提高低温甲醇洗工艺的经济性和竞争力具有重要意义。

一、低温甲醇洗工艺原理及流程简述

在化工生产领域，低温甲醇洗工艺是气体净化的重要手段。了解其工艺原理和流程，对深入研究甲醇再生过程的能耗与节能策略意义重大。该工艺基于特定的物理吸收原理运作，且涉及多个设备协同工作的复杂流程。以下将详细阐述低温甲醇洗工艺的原理及流程，为后续分析奠定基础。

（一）工艺原理

此技术主要在20世纪50年代在国外被研发和开始应用，并且主要在煤加压机化后的粗煤气中应用并起到净化的作用，也应用于对城市煤气的净化等。随后随着大型合成氨厂的出现也主要应

用于对渣油以及煤等重碳质燃料进行气化时的净化中^[1]。低温甲醇洗工艺是典型的物理吸收过程。在低温条件下，甲醇对酸性气体具有良好的吸收能力。例如，当温度从20℃降至-40℃时， CO_2 的溶解度约增加6倍，而 H_2 、 CO 及 CH_4 等的溶解度在温度降低时变化较小。不同杂质在甲醇中的溶解度差异很大，依据溶质溶解曲线特性，可选择性地脱除 H_2S 和 CO_2 ，实现含硫成分的吸收和 CO_2 的吸收分开进行。

（二）工艺流程

低温甲醇洗工艺流程主要由原料气冷却器、吸收塔、 CO_2 闪蒸塔、 H_2S 闪蒸塔、再吸收塔、再生塔、甲醇水塔和尾气洗涤塔等设备协同构成。

其中，吸收塔作为关键设备，通常从下至上依次分为预洗段、H₂S吸收段、CO₂吸收段。预洗段可初步去除原料气中的杂质，为后续的吸收过程做准备；H₂S吸收段能够高效脱除原料气中的H₂S，减少酸性气体对后续工艺的影响；CO₂吸收段则负责将剩余的CO₂吸收，以满足净化要求^[4]。

CO₂闪蒸塔从上至下分为四段，分别是CO₂尾气闪蒸段，主洗甲醇闪蒸段，中压闪蒸段、次中压闪蒸段。通过不同压力阶段的闪蒸操作，逐步释放出溶解在甲醇中的CO₂，实现CO₂的回收和甲醇的初步再生。

H₂S闪蒸塔根据压力变化分为两段闪蒸，下部第二段压力最高，压力自上而下逐渐升高^[5]。这种设计有助于在不同压力条件下，更有效地解吸H₂S，提高H₂S的回收效率。

整个工艺过程需要低温冷量，部分通过贫溶剂的闪蒸获得，制冷机组则起到辅助平衡冷量的作用。制冷机中的冷冻剂一般采用丙烯或液氨，它们在制冷循环中发挥关键作用，为工艺提供稳定的低温环境，确保各设备能够在适宜的温度条件下运行，保障低温甲醇洗工艺的高效性和稳定性。

二、甲醇再生过程能耗分析

甲醇再生过程的能耗在低温甲醇洗工艺中占据重要比重，直接关系到整个工艺的经济性与能源利用效率。深入剖析这一过程的能耗情况，对后续制定节能策略至关重要。下面将从甲醇再生方式及能耗来源、影响能耗的因素这两个方面展开分析，探究能耗产生的内在机制和外在影响条件。

（一）甲醇再生方式及能耗来源

甲醇再生主要依靠减压闪蒸、气提再生和热再生这几种方式。减压闪蒸是基于压力降低时，溶解在甲醇中的气体溶解度下降从而逸出的原理。在这个过程中，压力的骤然降低会引发节流效应，导致液体气化^[6]。而液体气化需要吸收热量，这就使得溶液温度降低。比如在实际操作中，当压力从较高值迅速降低时，能明显观察到溶液温度的下降。

气体再生则是借助惰性气体，比如氮气等来实现的。将氮气通入甲醇溶液中，能够促使酸性气体从溶液中解吸出来。这是因为氮气的存在改变了气相中酸性气体的分压，使得酸性气体更容易从液相转移到气相。

热再生是通过蒸汽对溶液进行加热，使甲醇沸腾。沸腾产生的甲醇蒸汽起到气提作用，能够实现酸性气体的彻底解吸^[7]。在这几种再生方式里，热再生消耗的能量最多，是主要的能耗来源。因为蒸汽加热溶液时，不仅要提升溶液的温度，还需要克服溶液的汽化潜热。除此之外，气提再生过程中，气提气体的输送需要动力，而且为保证气提效果，还会涉及一些辅助操作，这些都会消耗一定的能量。减压闪蒸虽然自身消耗的能量相对较少，但是在整个甲醇再生系统中，它与其他再生方式相互配合时，会对整体的能量平衡产生影响，不可忽视。

（二）影响甲醇再生能耗的因素

原料气中酸性气体的含量和种类对甲醇再生能耗有显著影

响。若原料气中H₂S、CO₂等酸性气体含量较高，为达到相同的净化效果，需要更多的甲醇参与吸收，这就导致富甲醇溶液中酸性气体负荷增大，在再生过程中需要消耗更多的能量来解吸这些酸性气体。例如，当原料气中CO₂含量增加10%时，再生过程中蒸汽的消耗量可能会增加15%~20%。

操作温度和压力对甲醇再生能耗起着关键作用。在热再生过程中，提高再生温度可以加快酸性气体的解吸速率，但同时也会增加蒸汽的消耗。而在减压闪蒸和气体再生过程中，压力的变化会影响气体的解吸程度和能耗。若减压闪蒸的压力设置过低，虽然有利于酸性气体的解吸，但可能会导致过多的甲醇气化，增加后续处理的能耗；气提再生时，气提压力过高或过低都会影响气提效果和能耗。甲醇循环量的大小直接关系到再生能耗^[8]。如果甲醇循环量过大，不仅会增加输送甲醇所需的动力能耗，还会使再生过程中需要处理的富甲醇溶液量增多，从而导致再生能耗上升。相反，若甲醇循环量过小，可能无法满足对原料气中酸性气体的吸收需求，影响净化效果。

设备的传热效率、塔板效率以及工艺流程的合理性等都会影响甲醇再生能耗。例如，再生塔的塔板效率低下，会导致气液传质效果不佳，使得酸性气体解吸不充分，需要更多的能量进行二次再生。而高效的换热器可以更好地回收利用热量，降低再生过程中的能量损失。若工艺流程设计不合理，各再生阶段的衔接不顺畅，也会增加不必要的能耗。

三、甲醇再生过程节能策略

针对低温甲醇洗工艺中甲醇再生过程能耗较高的问题，探寻有效的节能策略迫在眉睫。这不仅有助于降低生产成本，还能提高资源利用效率，增强工艺的可持续性。接下来将从优化再生工艺流程、热量回收与利用、调整操作参数以及设备升级与维护等方面，详细阐述一系列切实可行的节能策略，为实现节能目标提供有力支撑。

（一）优化再生工艺流程

在低温甲醇洗工艺的甲醇再生过程中，多段再生工艺展现出显著的节能优势。它依据酸性气体解吸的难易程度，分阶段实施再生操作。开始时利用减压闪蒸，能够脱除大部分易于解吸的酸性气体。这是因为压力降低时，气体溶解度下降，大量酸性气体迅速逸出^[7]。接着进行气提再生，借助惰性气体促使剩余酸性气体进一步解吸，有效降低甲醇溶液中的酸性气体含量。最后通过热再生，实现甲醇的深度再生，彻底去除残留的酸性气体。这种方式充分发挥了不同再生方式的长处，避免单一方式过度耗能。研究数据显示，与传统单段再生工艺相比，采用多段再生工艺可降低能耗15%~20%。

优化闪蒸流程也是节能的重要途径，分级闪蒸是其中的有效方法。在不同压力等级下依次闪蒸，能让酸性气体逐步解吸，提高解吸效率，还能减少甲醇的汽化损失。以CO₂闪蒸塔为例，采用三级闪蒸比二级闪蒸，可使CO₂回收率提高5%~8%，同时降低闪蒸能耗。而且，闪蒸产生的闪蒸气含有一定量的甲醇，将其

引入再吸收塔，能够回收甲醇，避免直接排放造成的能量浪费，进一步提升了能源利用率。

（二）热量回收与利用

在低温甲醇洗工艺中，不同物流间显著的温度差异，为热量回收利用提供了良好基础。合理设置换热器是实现这一目标的关键手段。以热再生塔为例，塔顶高温气体携带大量热量，将其与进入再生塔的冷富甲醇溶液进行换热，能使冷富甲醇溶液得到余热^[9]。热传递遵循能量守恒定律，高温气体的热量自发地传递给冷富甲醇溶液。通过这种方式，热再生过程中需要额外补充的蒸汽量得以减少。而且，科学地优化换热器选型和布置，能进一步提升热量回收效果。研究数据表明，经过合理优化后，热再生过程中的蒸汽消耗可降低20%~30%，这有效节约了能源，降低了生产成本。

此外，热泵技术在甲醇再生过程的节能方面表现卓越。闪蒸过程会产生大量低温热量，热泵可将这些低温热量收集起来，并通过压缩等方式提升其温度，使其能够满足工艺中的加热需求，例如为再生塔的再沸器提供热量。采用热泵技术后，蒸汽消耗可减少30%~40%。这不仅显著降低了整个甲醇再生过程的能耗，还提升了能源利用效率，为低温甲醇新工艺的可持续发展提供了有力支持。

（三）调整操作参数

在低温甲醇洗工艺的甲醇再生环节，精确调控操作参数是实现节能的关键所在。借助先进的工艺模拟软件以及实际运行时的严密监测，能够精准确定最佳的操作温度和压力。在保障甲醇再生效果的基础上，合理降低热再生温度，可显著减少蒸汽消耗。有实际项目数据显示，将热再生温度从120℃下调至110℃，蒸汽消耗会随之降低10%~15%。这是因为热再生温度降低，减少了为提升溶液温度和克服汽化潜热所需的能量。同时，优化减压闪蒸和气提再生的压力设置也至关重要，经过科学调整，在确保酸性气体充分解吸的同时，还能降低能耗，避免因压力不当造成的能源浪费。

另外，原料气的组成和处理量处于动态变化中，这就要求实时调整甲醇循环量。在系统中安装流量调节装置，可实现对甲醇循环量的精准控制，防止因循环量不合理而增加能耗^[9]。当原料气中酸性气体含量降低时，相应减少甲醇循环量，这样做一方面能避免输送过多甲醇造成的动力能耗增加，另一方面也能确保吸收效果不受影响，经实践验证，可使动力能耗降低10%~15%，有效达成节能与保证工艺效果的双重目标。

（四）设备升级与维护

在低温甲醇洗工艺的甲醇再生环节，设备性能对能耗有着重要影响，采用高效的塔板和填料是降低能耗的关键举措。比如新型规整填料，其结构设计合理，能有效增加气液接触面积，相比传统散装填料，可使塔板效率提高20%~30%。这意味着酸性气体能够更充分地从甲醇溶液中吸解出来，减少了酸性气体在甲醇溶液中的残留，进而降低了再生过程中的能耗^[10]。同时，高效换热器的选用也十分关键，它能极大提高传热效率，有效减少热量传递过程中的损失，进一步优化再生工艺的能耗表现。

此外，定期的设备维护保养同样不可或缺。定期清洗换热器的换热表面，可防止污垢堆积影响传热效果；对再生塔的塔板和填料进行检查，及时修复损坏部分，能保证气液传质的高效进行。据相关数据显示，通过良好的设备维护，可使设备能耗降低5%~10%，对整个工艺的节能起到重要作用。

四、结束语

甲醇再生过程在低温甲醇洗工艺中能耗占比较大，是制约工艺整体能效的关键环节。深入剖析其能耗来源，包括热再生消耗的大量蒸汽、气体再生的动力能耗等，以及原料气组成、操作条件和设备性能等因素，为节能策略的制定提供了重要依据。基于此提出的优化再生工艺流程、热量回收与利用、调整操作参数以及设备升级与维护等节能策略，具有显著的节能效果。这些策略不仅能降低生产成本，提高低温甲醇洗工艺的经济性，还能减少能源消耗，助力工业生产的绿色转型。在实际应用中，由于不同企业的工艺条件和需求各异，应因地制宜地综合运用多种节能策略，充分发挥其协同效应，实现最佳节能效果，推动相关行业可持续发展。

参考文献

- [1] 郑攀文. 低温甲醇洗工艺技术的最新研究进展 [J]. 辽宁化工, 2020, 49(02): 217-219. DOI: 10.14029/j.cnki.issn1004-0935.2020.02.031.
- [2] 解寅璇. 基于某厂低温甲醇洗工艺装置模拟与优化改进方案研究 [D]. 西北大学, 2020. DOI: 10.27405/d.cnki.gxbdu.2020.001601.
- [3] 赵一山. CO₂产品气加压改造的低温甲醇洗工艺研究 [D]. 大连理工大学, 2018.
- [4] 崔倩. 低温甲醇洗工艺的模拟与扩产改造方案研究 [D]. 大连理工大学, 2016.
- [5] 齐峰. 低压不含硫原料气的低温甲醇洗工艺研究 [D]. 大连理工大学, 2015.
- [6] 王亚亚. 低温甲醇洗工艺流程模拟与优化 [D]. 西安石油大学, 2014.
- [7] 仇登可. 低温甲醇洗有机硫脱除工艺技术改造 [J]. 大氮肥, 2021, 44(06): 384-387+398.
- [8] 冯玉芳. 低温甲醇工艺洗预洗甲醇增加过滤器技术方案研究 [J]. 山西化工, 2022, 42(04): 70-71+74. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2022.04.029.
- [9] 何鹏. 超大规模低温甲醇洗工艺对比和生产常见问题分析 [J]. 煤化工, 2024, 52(02): 30-33+37. DOI: 10.19889/j.cnki.10059598.2024.02.007.
- [10] 薛皓中. 低温甲醇洗工艺系统设计要点 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2024, (08): 82-88. DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2024.08.020.

招标清单特殊表述在成本控制中的 关键作用与实效探究

莫锦红

广东盛弘工程有限公司, 广东 广州 510550

DOI: 10.61369/ETQM.12244

摘 要： 本研究聚焦招标清单中“与之相关的一切附件、辅材及工作”与“投标人认为工程所需而未有于以上各项列出之其他项目，请分别列明”这两类特殊表述，综合运用项目管理、成本控制、信息经济学及行为经济学等多学科理论，结合丰富且具代表性的实际案例，从多维度深入探究其在成本控制中的关键作用与实际成效。研究过程中，采用量化分析、案例对比、模拟推演和行为建模等科学研究方法，深度剖析这些表述在精准界定项目成本范围、激发投标人主动优化成本以及大幅减少项目实施过程中成本变动等方面的重要意义，旨在为工程项目成本控制开辟全新思路与方法，为提升项目经济效益提供有力支撑。本文提出新观点：合理运用特殊表述能够显著提升项目成本控制效果，有效减少成本超支风险。

关 键 词： 招标清单；特殊表述；成本控制；作用与实效

Exploration of the Key Role and Practical Effect of Special Expressions in the Bidding List in Cost Control

Mo Jinhong

Guangdong Shenghong Engineering Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510550

Abstract: This study focuses on two types of special expressions in the bidding list, namely "all related accessories, auxiliary materials and work" and "other items that the bidder deems necessary for the project but not listed in the above items shall be specified separately". By comprehensively applying the theories of multiple disciplines such as project management, cost control, information economics and behavioral economics, and combining with rich and representative practical cases, this study deeply explores their key roles and practical effects in cost control from multiple dimensions. During the research process, scientific research methods such as quantitative analysis, case comparison, simulation deduction and behavioral modeling are adopted to deeply analyze the important significance of these expressions in accurately defining the project cost scope, stimulating bidders to take the initiative to optimize costs, and significantly reducing cost changes during the project implementation process. The aim is to open up new ideas and methods for project cost control and provide strong support for improving project economic benefits. This paper puts forward a new viewpoint: the reasonable use of special expressions can significantly improve the effect of project cost control and effectively reduce the risk of cost overruns.

Keywords: bidding list; special expressions; cost control; role and practical effect

工程项目建设体系庞大且复杂，成本控制犹如贯穿其中的生命线，是项目成功落地的核心要素。招标清单作为招标流程中权威性与指导性兼备的核心文件，如同项目建设的导航图，其内容的精准度与完整性直接决定着项目成本控制的成败。从项目管理理论视角看，清晰明确的项目范围界定与完整准确的工作内容涵盖，是实现有效成本控制的根基。项目范围界定模糊会导致工作边界不明，使成本难以准确预估与把控。美国项目管理协会（PMI）在《项目管理知识体系指南》中明确指出，项目范围的明确性与项目成本预算的准确性和可控性紧密相关^[1]。当项目范围界定不清时，成本估算偏差可达20%~30%。而招标清单作为项目范围与工作内容的具体呈现，其质量至关重要。

在现实工程项目招标实践中，传统招标清单常因项目范围界定模糊、内容涵盖疏漏等问题，给项目实施埋下诸多隐患，致使成本超支现象频发，严重阻碍项目顺利推进与经济效益目标的达成。相关行业报告显示，过去5年约60%的工程项目因招标清单问题出现不同程度的成本超支，平均超支幅度达12%。在大型基础设施建设项目中，招标清单若未明确地下管线探测、场地周边环境协调等工作内

作者简介：莫锦红（1978-），女，汉族，广东新兴人，本科学历，造价工程师，一直从事工程造价工作。

容，施工时易因地下障碍物处理、周边居民投诉引发工期延误，导致项目成本大幅增加。例如，在建的某市地铁12号线建设项目因招标清单未明确地下复杂地质条件下的特殊施工措施，施工中多次遭遇溶洞、流沙等地质问题，不得不采取额外地质加固和处理措施，成本增加数千万元。这些问题不仅影响项目成本，还影响工期。

招标清单中的特殊表述则为解决这些难题提供了有效途径，对成本控制领域产生了深远影响。特殊表述能够弥补传统招标清单的不足，使项目范围与工作内容更加清晰明确，为成本控制奠定坚实基础^[2]。从信息经济学角度看，清晰的招标清单特殊表述可减少信息不对称，降低交易成本，促进资源有效配置，助力成本控制目标实现。从行为经济学角度而言，特殊表述还能引导投标人行为，使其更加关注项目成本优化。

一、特殊表述对成本控制的作用

（一）明确项目成本范围，避免成本超支

“与之相关的一切附件、辅材及工作”这一表述，如同精准标尺，能清晰准确地划定项目工作内容及其对应的成本范围。回顾众多工程项目招标实例，不难发现，招标清单对项目边界界定模糊，在项目实施中极易引发工作范围争议，进而导致额外成本支出。

以某国际学校荔湾校区建筑工程招标为例，若招标清单未明确将施工现场临时设施搭建工作纳入招标范围，施工方很可能以清单未作规定为由，要求额外增加费用。从成本构成深入剖析，施工现场临时设施搭建成本包含多个方面。临时办公区搭建需考虑办公空间布局、办公家具购置、网络通信设施安装等费用。一般中等规模项目的临时办公区搭建，办公家具购置费用约20~30万元，网络通信设施安装约5~10万元。若采用智能化办公设备，引入智能会议系统(视频)可能额外花费3~5万元。工人生活区建设涉及宿舍搭建、食堂设施配备、卫生间与洗浴设施建设等成本，宿舍搭建每间成本在3~5万元，食堂设施配备需10~15万元。若考虑提升工人生活品质，增加空调、洗衣机等设备，每间宿舍成本将增加0.5~1万元，食堂设施配备成本也会相应上浮2~3万元。材料堆放场地平整需动用机械设备进行场地清理、土方平整等工作，包含设备租赁费用、人工费用等，设备租赁每天约5000~8000元，人工费用每人每天200~300元。若遇到复杂地质条件，场地平整难度加大，设备租赁时间延长，成本可能增加30%~50%。临时水电路铺设要考虑电线电缆采购、水电设备安装及后续维护等成本，电线电缆采购约15~20万元，安装及维护费用每年约3~5万元。若采用节能型水电设备，采购成本可能增加10%~15%，但长期来看可降低维护成本20%~30%^[3]。

这些费用若在招标阶段未明确纳入成本范围，施工中一旦引发争议，将导致项目成本难以预估地增加。相关权威数据统计显示，因工作范围界定不清导致的成本超支，在部分项目中可达总预算的5%~10%。明确这一特殊表述后，投标人在报价时会基于对项目的全面理解和严格成本核算，细致考量与之相关的所有工作成本，有效避免后续因范围不明确产生的成本超支隐患，为项目成本控制筑牢第一道防线。对过往项目成本数据进一步分析发现，采用该特殊表述后，因工作范围争议导致的成本超支情况减少了约70%。

（二）激发投标人主动性，优化成本

“投标人认为工程所需而未有于以上各项列出之其他项目，请分别列明”这一表述，赋予了投标人一定的自主性，犹如为其提供了一把自主探索与创新的“钥匙”^[4]。投标人凭借长期积累的专业知识和丰富实践经验，能够敏锐发现招标清单中可能存在的遗漏项目，并主动列出。

这一过程不仅完善了招标清单内容，使其更加全面准确，更重要的是，从经济利益驱动原理来看，投标人出于自身利益考量，会自发深入优化项目成本。以某市政道路工程为例，投标人在对施工现场细致勘查后，基于对市政道路施工流程的深入理解和周边交通环境的综合评估，敏锐察觉到清单中未列出道路施工期间至关重要的交通疏导项目。

从项目进度影响角度分析，若不进行交通疏导，道路施工极有可能因交通拥堵导致施工延误。施工延误带来的时间成本增加不容小觑，包括施工人员闲置成本，假设一个施工团队有50名工人，每人每天工资300元，延误一天仅人工闲置成本就高达15000元；施工设备停滞成本，如一台大型挖掘机每天租赁费用5000元，延误一天则增加该部分成本5000元等。若延误时间过长，还可能导致工人窝工情绪产生，进而影响施工质量，增加返工成本^[5]。据相关研究，施工延误超过一定时间，返工率可能增加10%~20%。投标人列出该项目后，精心制定合理实施方案，如科学规划交通分流路线，根据周边道路通行情况设置单行线、临时便道等；合理设置交通指示标识，确保过往车辆和行人清晰了解施工期间的交通变化；安排专业交通疏导人员，保障交通秩序井然。通过这些措施，在保障施工顺利进行的同时，成功有效控制了潜在的成本增加，实现了项目成本的优化管理。此外，投标人还可通过与当地交通管理部门合作，争取施工期间的交通管制支持，进一步降低交通疏导成本。例如，在某项目中，通过与交通管理部门的有效合作，交通疏导成本降低了约30%。

（三）减少项目变更，稳定成本

清晰明确的招标清单特殊表述，如同为项目实施过程中的变更管理安装了精准的“刹车装置”，有助于大幅减少项目实施过程中的变更情况。当项目范围和内容通过特殊表述得以明确时，从信息对称理论层面分析，招标人对项目需求的理解更加准确深入，投标人的报价也能更紧密贴合实际项目情况^[6]。

以某国际学校荔湾校区装修工程招标为例，招标清单明确了设计图纸附件中的所有装修细节及相关工作，投标人在充分理解项目要求的基础上精准报价。施工过程中，由于清单表述清晰明

确,减少了因招标人对项目需求表达不清、投标人对项目理解偏差或清单不完善等因素导致的设计变更。从成本变动影响因素分析,设计变更往往会引发一系列连锁反应,如材料更换,不同材料价格差异较大,可能导致成本大幅增加;施工工艺调整,可能需要额外投入人力、物力和时间成本。有研究表明,设计变更导致的成本增加平均可达项目总预算的8%~12%。而通过特殊表述减少项目变更,能够有效稳定项目成本,确保项目在预算范围内顺利推进,为项目经济效益的实现提供有力保障。对多个装修项目的对比研究发现,采用特殊表述后,项目设计变更次数平均减少了4~6次,成本增加幅度降低了5%~8%^[7]。

二、特殊表述在成本控制中的实际效果案例分析

(一) 案例选取与背景介绍

选取以某国际学校荔湾校区建设项目作为深入研究案例。该项目规模较大,占地面积达60021平方米,总建筑面积达63790平方米,涉及建筑、结构、电气、给排水、暖通、装修等多个专业领域,施工工艺复杂,施工周期长达2年,预计总投资5亿元。招标清单作为项目招标的关键文件,其准确性对成本控制起着决定性作用。在此次招标过程中,为提升招标质量与成本控制效果,创新性地采用了上述两种特殊表述。该学校定位为高端国际学校,生源主要招收各国驻穗机构工作人员子女为主,有出国深造计划的国内小孩为辅,对建筑品质、功能配套等方面要求极高,这使得招标清单的完整性与准确性尤为关键。例如,其对建筑外观设计精度要求极高,内部空间布局需满足多样化业态需求,这些都依赖于招标清单的精准表述。

(二) 特殊表述的应用与成本控制效果

在该项目招标清单中,“与之相关的一切附件、辅材及工作”明确了包括建筑主体施工、内部装修、设备安装以及相关设计图纸附件中的所有工作内容。投标人在报价时,基于对项目的全面理解和详细成本核算,全面考虑了各项工作成本。在建筑主体施工成本核算中,不仅涵盖基础工程中土方开挖、地基处理、基础浇筑等直接成本,还充分考虑施工过程中的安全防护措施成本,如搭建防护棚、设置安全警示标识、配备安全防护设备等;施工场地清理成本,包括建筑垃圾清运、场地平整维护等间接成本。在内部装修成本核算中,对设计图纸附件中明确的各类装修材料费用,如高档大理石地面铺设材料、环保型墙面涂料等;装修工艺费用,如复杂吊顶造型施工、精细木作工艺等;以及可能涉及的隐蔽工程费用,如水电线路铺设、防水工程处理等均进行了细致核算,有效避免了施工过程中因工作范围争议导致的成本增加^[8]。

同时,“投标人认为工程所需而未有于以上各项列出之其他项目,请分别列明”这一表述促使投标人补充了一些清单遗漏项目,如商场内的临时照明系统,以满足施工期间的照明需求。通过对该项目实施过程中的成本数据详细统计分析,发现采用这两种特殊表述后,项目成本变更率较以往类似项目降低了15%。具体数据表现为,以往类似项目在实施过程中的成本变更金额平均占总预算的7.1%,而该项目的成本变更金额仅占总预算的1.68%,有

效控制了项目成本,切实保障了项目的经济效益。经核算,通过特殊表述的应用,该项目节省了数千万元的成本,大大提高了项目的投资回报率,为项目投资方带来了显著经济效益。此外,对项目各阶段成本数据进一步分析发现,采用特殊表述后,项目在施工前期的成本规划准确性大幅提高,为后续施工过程中的成本控制奠定了良好基础。在项目前期成本规划阶段,成本估算偏差控制在5%以内,而以往类似项目偏差通常在10%~15%^[9]。

三、结论

招标清单中的“与之相关的一切附件、辅材及工作”以及“投标人认为工程所需而未有于以上各项列出之其他项目,请分别列明”特殊表述,在成本控制中发挥着明确项目成本范围、激发投标人主动性优化成本以及减少项目变更稳定成本等关键作用。通过对实际案例的深入分析可知,合理运用这些特殊表述能够显著提升项目成本控制效果,有效减少成本超支风险,为提高项目经济效益奠定坚实基础。

在未来工程项目招标中,应高度重视这些特殊表述的运用,不断总结实践经验,持续完善招标清单内容,为项目成本控制提供更有力的保障,推动工程项目建设朝着高效、经济的方向稳步发展。^[10]同时,相关部门和行业协会应加强对招标清单编制规范的指导与监管,确保特殊表述在成本控制中充分发挥积极作用,促进整个建筑行业的健康可持续发展。例如,相关部门可制定详细的招标清单编制指南,明确特殊表述的使用场景与规范要求;行业协会可组织专题培训,提升招标从业人员对特殊表述的理解与应用能力,从而在全行业范围内提升招标清单编制质量,强化成本控制效果。还可建立招标清单质量评估体系,对招标清单的准确性、完整性进行量化评估,督促招标人不断完善招标清单内容。通过这些措施,有望将工程项目因招标清单问题导致的成本超支幅度降低至5%以内,推动建筑行业在成本控制方面取得更大进步。

参考文献

- [1] 基于模拟清单施工总承包招标的工程造价全过程管理分析[J]. 郑华.住宅与房地产,2024(06).
- [2] 分析模拟清单招标的利弊及造价控制方法[J]. 倪欢欢.散装水泥,2024(01).
- [3] 工程总承包模拟清单价格形成及风险策略分析[J]. 陈立刚.江西建材,2023(10).
- [4] EPC模式招标计价方式的选择与管控策略[J]. 王少兵.中国招标,2023(07).
- [5] 基于造价控制角度的模拟工程量清单招标优劣势分析及对策建议[J]. 许利民;常丽坤.建设监理,2023(02).
- [6] EPC工程总承包管理模式下的计价方式选择的研究[J]. 武秀萍.房地产世界,2022(16).
- [7] 浅谈大型市政工程招标阶段如何完善措施项目费. 郑皓.城市道桥与防洪,2020(06).
- [8] 财政投资项目招标阶段审核控制相关问题研讨. 涂先华.福建建筑,2020(11).
- [9] 如何加强工程招标阶段造价管理. 陈任萍.中国高新区,2018(12).
- [10] 造价咨询工作在工程招标阶段中的关键点探讨. 罗文斌.江西建材,2015(08).

化工企业用离心泵常见故障及检修维护

李贺, 叶昊铨

沈阳格瑞德泵业有限公司, 辽宁 沈阳 110326

DOI: 10.61369/ETQM.12245

摘 要 : 文章主要以化工企业用离心泵常见故障及检修维护为重点, 首先对离心泵的工作原理进行分析, 其次从三方面阐述机械故障、密封故障、性能故障, 随后深入探究了常见故障的针对性检修维护方法, 最后更从运行前预防、运行中预防、定期维护预防等方面深入探讨, 旨在为相关研究提供参考资料。

关 键 词 : 化工企业; 离心泵; 常见故障; 检修维护

Common Faults and Maintenance of Centrifugal Pumps for Chemical Enterprises

Li He, Ye Haocheng

Shenyang greede Pump Industry Co., Ltd. Shenyang, Liaoning 110326

Abstract: this paper mainly focuses on the common faults and maintenance of centrifugal pumps used in chemical enterprises. Firstly, the working principle of centrifugal pumps is analyzed. Secondly, the mechanical faults, seal faults and performance faults are elaborated from three aspects. Then, the targeted maintenance methods of common faults are explored. Finally, the prevention before operation, prevention during operation, regular maintenance and prevention are discussed in depth, in order to provide reference for related research.

Keywords: chemical enterprises; centrifugal pump; common faults; overhaul and maintenance

化工企业生产运营过程中, 离心泵扮演至关重要的角色, 犹如化工生产线上的“心脏”, 肩负着输送各类液体介质的重任, 更保障整个工艺流程的顺畅进行。但化工生产环境比较复杂, 存在高温、高压、腐蚀性介质等诸多因素, 离心泵处于长期运行状态不可避免会出现诸多故障, 一旦不能及时发现、处理故障, 不仅会影响化工生产进度, 降低生产效率, 甚至会引发安全事故, 给企业带来严重的经济损失和社会影响。因此, 相关人员有必要了解离心泵工作原理, 深入探究化工企业用离心泵的常见故障, 制定切实、可行的检修维护方法, 协助化工企业技术人员快速准确判断故障原因, 采取有效的解决措施, 保障离心泵的稳定运行, 更为企业节省维修成本、提高生产效益, 促使化工生产活动更加安全、有序开展。

一、离心泵的工作原理

离心泵主要由叶轮、泵壳、泵轴、密封装置、轴向力平衡装置等部件组成, 其工作原理是: 当原动机带动泵轴和叶轮旋转时, 叶轮中的叶片迫使流体旋转, 流体在离心力的作用下向叶轮出口处移动, 流速增加、压力升高。流体进入泵壳后, 由于泵壳的截面积逐渐增大, 流速逐渐降低, 部分动能转化为压力能, 最终流体从泵的出口排出。同时在叶轮中心处, 由于流体的排出而形成低压区, 吸入罐内的流体在压力差的作用下, 通过吸入管进入叶轮, 补充被排出的流体, 从而实现连续的液体输送^[1]。

二、化工企业用离心泵常见故障分析

(一) 机械故障

机械故障是化工企业用离心泵常见故障, 而故障主要体现在轴承故障、泵轴故障、叶轮故障三方面。轴承是离心泵的重要部

件之一, 承受着泵轴的径向和轴向载荷, 尤其在化工企业中, 受到介质腐蚀性、温度、振动等因素影响, 轴承容易出现磨损、疲劳、点蚀、烧伤等故障^[2]。一旦发生轴承故障, 会导致泵轴的振动加剧, 噪音增大, 严重时会导致泵轴的断裂, 影响离心泵的正常运行。泵轴在运行过程中会受到各种载荷, 如扭矩、弯矩、轴向力等。如果泵轴的材质不符合要求、加工精度不够等, 就会使泵轴承受载荷的能力降低, 从而导致泵轴发生弯曲、断裂、磨损等故障, 一旦发生泵轴故障会影响叶轮的正常运转, 导致离心泵的性能下降。叶轮是离心泵的核心部件, 直接影响着离心泵的性能。化工企业中, 叶轮容易受到介质的冲刷、腐蚀、磨损等影响, 导致叶轮叶片磨损、断裂、汽蚀等故障, 一旦发生叶轮故障会使离心泵的流量、扬程下降, 不仅降低效率, 还会导致离心泵无法正常工作。

1. 密封故障

化工企业用离心泵也会出现密封故障。比如, 机械密封故障, 机械密封是离心泵常用的密封装置, 具有密封性能好、泄

漏量小、使用寿命长等优点^[3]。但化工企业中，因为介质的腐蚀性、颗粒性、温度、压力等因素影响，机械密封容易出现泄漏、磨损、腐蚀、热变形等故障。一旦出现机械密封故障，会导致介质泄漏，污染环境，影响安全生产，也会降低离心泵的效率。再如，填料密封故障，填料密封是一种传统的密封装置，通过填料与泵轴之间的摩擦力来实现密封。尤其在化工企业中，填料密封容易出现泄漏、磨损、发热等故障，一旦出现填料密封故障，会导致介质泄漏，降低离心泵的效率，也会加速泵轴的磨损。

2. 性能故障

离心泵在运行过程中，可能会出现流量不足情况，主要原因有叶轮磨损、泵体磨损、吸入管路堵塞、排出管路阻力增大、泵的转速降低、泵的汽蚀等。流量不足会影响化工生产的正常进行，降低生产效率^[4]。同时，离心泵的扬程不足也是常见的性能故障之一，扬程不足的原因包含叶轮直径减小、叶轮叶片磨损、泵的转速降低、泵内有空气、吸入管路阻力增大等，扬程不足会导致液体无法输送到所需的高度，影响化工生产的正常进行。另外，离心泵在运行过程中，受诸多因素影响，效率可能会降低，主要原因有叶轮磨损、泵体磨损、密封泄漏、泵的转速不合理、介质的粘度变化等，效率降低会增加离心泵的能耗，提高生产成本。

三、化工企业用离心泵常见故障的检修维护方法

（一）机械故障的检修维护

首先，轴承检修维护期间，要重点监测运行状况，定期检查轴承的运行情况，重点关注温度、振动以及噪音等方面，一旦发现轴承温度过高、振动幅度过大或者出现异常噪音，必须马上停机展开检查工作。也要严格把控润滑情况，检查轴承的润滑状况，按照规定定期更换润滑油，以此保障轴承能够始终处于良好的润滑状态。当轴承出现磨损、疲劳、点蚀、烧伤等故障问题时，要及时对轴承进行更换^[5]。其次，泵轴检修维护期间，要检测运行情况，定期查看泵轴的运行状况，主要查看其弯曲度以及磨损程度等指标，要是发现泵轴的弯曲度超出规定数值，或者磨损情况较为严重，应当迅速安排修复工作或者直接更换。同时在检修过程中保障泵轴的安装要求也是很重要的，安装泵轴时，需要确保泵轴的同心度、垂直度符合要求，防止泵轴承受过大的应力，避免后续运行出现问题。最后，叶轮检修维护期间，要重点关注磨损情况，定期检查叶轮的磨损状况，如叶片的磨损、断裂以及汽蚀等情况。倘若发现叶轮磨损严重，出现断裂、汽蚀等故障，要第一时间开展修复或者更换。修复叶轮时可采用堆焊、补焊等工艺方法，修复完成后还应进行动平衡试验，保证叶轮的平衡精度，确保离心泵能稳定运行。

（二）密封故障的检修维护

要想提升密封故障检修维护效果，工作人员可重点关注以下两方面：一方面，关注机械密封的检修维护。定期查看机械密封的运行状况，留意泄漏量、温度以及振动等方面表现，一旦发现机械密封存在泄漏量超出正常范围、温度过高或者振动出现异常

的情况，就需要及时停机开展检查工作。仔细检查机械密封的密封面，查看是否有磨损、腐蚀、划伤等问题，一旦发现密封面存在上述问题，必须及时进行修复、直接更换密封部件。尤其在安装机械密封的时候，务必要确保密封面处于清洁、干燥的状态，防止杂质混入密封面影响密封效果，保障机械密封能正常发挥作用，维持离心泵良好的密封性。另一方面，关注填料密封的检修维护。定期检查填料密封的泄漏情况，以此判断其密封性能^[6]。在压紧力调整与填料更换中，若发现其泄漏量过大，要及时对填料的压紧力做出相应调整，有效改善密封效果，当填料出现严重磨损的情况时，就要尽快更换填料，以保障密封性能。更换填料过程中，需要特别留意填料的规格、材质，科学选择填料，确保其能达到良好的密封性能要求，让离心泵在运行过程中尽可能减少泄漏情况，保证整个化工生产流程稳定、安全运行。

（三）性能故障的检修维护

开展性能贵族航（删除）检修维护工作中，主要涵盖以下方面：首先，流量不足的检修维护。检查吸入管路是否堵塞，如有堵塞应及时清理；检查排出管路的阻力是否增大，如有问题应及时进行调整；检查叶轮是否磨损，如有磨损应及时进行修复或更换；检查泵的转速是否正常，如转速降低应检查原动机的运行情况，检查泵是否发生汽蚀，如发生汽蚀应采取相应的措施，如降低吸入高度、增加吸入管径等^[7]。其次，扬程不足的检修维护。检查叶轮直径是否减小，如有问题应及时更换叶轮；检查叶轮叶片是否磨损，如有磨损应及时进行修复或更换；检查泵的转速是否正常，如转速降低应检查原动机的运行情况；检查泵内是否有空气，如有空气应及时排除；检查吸入管路的阻力是否增大，如有问题应及时进行调整。最后，效率降低的检修维护。检查叶轮是否磨损，一旦发现磨损应及时进行修复、更换。检查泵体是否磨损，一旦发现磨损应及时进行修复、更换。检查密封是否泄漏，一旦发现泄漏应及时进行修复、更换。检查泵的转速是否合理，如转速不合理应进行调整。检查介质的粘度是否变化，如粘度变化应采取相应的措施，如调整泵的转速、更换叶轮等^[8]。

四、化工企业用离心泵的预防措施

（一）运行前预防措施

离心泵安装时，要严格按照设备安装说明书要求进行操作，确保泵体安装基础牢固、水平，泵轴的同心度、垂直度等参数符合标准；安装完成后，应细致开展调试工作，全面检查各部件连接是否紧密，转动部件是否灵活，避免因安装不当为后续运行埋下隐患。例如，泵轴安装若不同心，运行时会产生异常振动，加速部件磨损，影响使用寿命^[9]。同时，也要加强部件检查、清洁工作，对离心泵的各个关键部件，如叶轮、泵轴、轴承、密封件等进行仔细检查，查看有无制造缺陷、运输损伤等情况；彻底清洁部件表面及内部，清除可能存在的杂质、铁锈等异物，防止其进入泵内，从而避免在运行期间发生叶轮、密封面等磨损或堵塞的状况。

（二）运行中预防措施

运行中开展预防工作，重点可从以下三方面入手：第一，参数监测、记录，安排专人定时监测离心泵的运行参数，包括进出口压力、流量、温度、振动情况以及密封处的泄漏情况等，并做好详细记录。通过对这些参数的分析，第一时间发现潜在问题，如进出口压力出现异常波动，可能预示着叶轮堵塞或者管道不畅等问题；振动值增大则可能暗示泵轴不平衡或者轴承出现故障等。第二，加强润滑、冷却保障，保证轴承这些需要润滑的部件有充足且合适的润滑油供应，按照规定周期、用量，及时补充和更换润滑油，防止因润滑不良导致部件过度磨损、发热。同时对有冷却需求的离心泵，保证冷却系统正常运行，维持工作温度，避免因温度过高引发密封失效、部件变形等问题。第三，避免异常工况。严格控制离心泵的运行工况，防止其在超出额定流量、压力等参数范围条件下长时间运行，如长时间超流量运行会使叶轮承受过大冲击力，造成叶轮损坏；超压运行会导致密封件过早失效，出现泄漏问题^[10]。

（三）定期维护预防措施

定期维护工作中，有必要制定详细的维护计划，依据离心泵的使用频率、工作环境等因素，制定科学合理的维护保养计划，

明确各部件的检查、维修、更换周期；定期对离心泵进行全面拆解检查，查看部件的磨损、腐蚀情况，第一时间修复、更换磨损严重的叶轮、老化的密封件等问题部件。与此同时，加强人员培训与管理，对负责离心泵操作、维护人员进行专业培训，使其熟悉离心泵的工作原理、操作流程、常见故障的判断和处理方法；加强人员管理，确保各项维护措施能严格落实到位，提高离心泵的运行可靠性，保障化工生产的稳定、安全进行。

五、结束语

综上所述，化工企业用离心泵的正常运行对整个化工生产流程意义重大，其常见故障的及时排查、妥善检修维护是保障生产安全、高效的关键所在。通过对轴承、泵轴、叶轮以及各类密封等常见故障部位的深入了解，依据科学合理的检修维护方法，化工企业能减少离心泵故障带来的不良影响，延长设备使用寿命，降低维修成本与停机时间。未来，化工行业相关人员必须高度重视离心泵的维护工作，不断提升自身专业素养、故障应对能力，让离心泵在化工生产中持续稳定发挥作用，助力化工企业蓬勃发展，迈向更高的生产水平、经济效益。

参考文献

- [1] 岳秋岩. 基于混沌振子的水流量标准装置故障检测技术研究 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(07): 80–82.
- [2] 李磊磊, 高勇强, 马骥, 史家同. 基于故障树分析方法的化工离心泵常见故障研究 [J]. 石油化工设备, 2024, 53(01): 20–25.
- [3] 董雪旺, 彭维恩. 基于故障树的景电工程水泵常见故障分析 [J]. 水利建设与管理, 2022, 42(07): 63–67.
- [4] 秦小刚, 杨风允, 王文祥, 徐正海. 基于振动监测和支持向量机的海洋石油离心泵智能预警技术研究 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2022, (01): 101–105.
- [5] 闫爻裔, 李光耀, 石卓立. 离心式水泵故障维修及密封性问题探讨 [J]. 机械研究与应用, 2020, 33(06): 206–208.
- [6] 刘立平, 余永增. 立式多级丙烷泵常见故障及解决措施 [J]. 兰州石化职业技术学院学报, 2020, 20(03): 4–7.
- [7] 杨在江, 李进, 李政, 熊振龙. 海洋石油离心泵在线监测及智能快变预警技术研究与应用 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2020, (05): 40–42.
- [8] 赵荣珍, 卢文刚. 基于 LabVIEW 的离心式化工泵振动测试系统设计 [J]. 兰州理工大学学报, 2020, 46(04): 33–37.
- [9] 谷明, 王金江. 离心泵故障模拟试验台设计与搭建 [J]. 设备管理与维修, 2020, (11): 141–143.
- [10] 初彦廷. 两端支撑轴向剖分式多级离心水泵常见故障及维修 [J]. 装备维修技术, 2020, (02): 107–108.

大数据时代的岩土工程勘察技术重点探究

马军

青海省建筑勘察设计院股份有限公司, 青海 西宁 810001

DOI: 10.61369/ETQM.12247

摘 要： 本文深入探究大数据时代下岩土工程勘察技术的重点内容。通过分析大数据对岩土工程勘察的影响，阐述大数据在岩土工程勘察数据采集、处理、分析及应用等方面的关键技术，剖析面临的挑战并提出应对策略，旨在推动岩土工程勘察技术在大数据时代实现创新发展，提高勘察工作的准确性、高效性与科学性。

关 键 词： 大数据时代；岩土工程勘察；技术重点；数据处理

Key Technical Aspects of Geotechnical Engineering Survey in the Era of Big Data

Ma Jun

Qinghai Provincial Architectural Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Xining, Qinghai 810001

Abstract: This article delves into the key technical aspects of geotechnical engineering surveys in the era of big data. By analyzing the impact of big data on geotechnical engineering surveys, it elaborates on the critical technologies of big data in data collection, processing, analysis, and application of geotechnical engineering surveys. The article also examines the challenges faced and proposes corresponding strategies, aiming to promote innovative development of geotechnical engineering survey technology in the era of big data and enhance the accuracy, efficiency, and scientific rigor of survey work.

Keywords: big data era; geotechnical engineering survey; technical focus; data processing

岩土工程勘察是各类工程建设的重要前期工作，其成果直接影响工程的设计、施工及运营安全。随着信息技术的飞速发展，大数据时代的到来为岩土工程勘察技术带来了新的机遇与变革。大数据技术能够对海量、复杂的岩土工程数据进行高效处理与分析，为勘察工作提供更全面、精准的信息，助力提升岩土工程勘察的整体水平。

一、大数据对岩土工程勘察的影响

（一）数据规模与多样性增加

传统岩土工程勘察数据主要来源于有限的钻孔取样、现场测试等手段，数据量相对较小且类型单一。大数据时代，除了传统数据，还涵盖了地理信息系统（GIS）数据、卫星遥感数据、物联网监测数据等多源数据，数据规模呈指数级增长，数据类型丰富多样，包括结构化、半结构化和非结构化数据，为全面了解岩土工程地质条件提供了更丰富的信息基础。例如，物联网监测数据中的岩土体内部温度变化数据，能为分析岩土体热传导特性及稳定性提供新视角，拓宽了对岩土工程地质条件认知的维度。^[1]

（二）提升勘察精度与可靠性

通过大数据分析技术，可以整合多源数据，挖掘数据间的潜在关系，消除单一数据的局限性与误差。例如，结合地质构造数据、岩土物理力学性质数据以及区域地震活动数据，能够更准确地评估场地的稳定性，提高勘察结果的精度与可靠性，为工程设计提供更坚实的依据。在评估某大型建筑场地稳定性时，融合不同时期的卫星遥感影像数据，可清晰观测到场地周边山体的细微

变形趋势，结合岩土力学参数，精准判断场地受地震影响的稳定性状况。

（三）改变勘察工作模式

大数据技术促使岩土工程勘察从传统的人工经验主导模式向数据驱动的智能模式转变。借助大数据平台与分析工具，勘察人员可以快速获取、处理和分析数据，实现勘察方案的优化设计、现场数据的实时监测与反馈，提高勘察工作效率，缩短勘察周期。利用大数据平台的智能算法，能根据场地初步地质信息，快速生成多种勘察方案并进行对比分析，选出最优方案，大大节省方案设计时间。

二、大数据时代岩土工程勘察技术重点

（一）多源数据采集技术

1. 物联网感知技术

利用物联网技术，在岩土工程勘察现场布置大量传感器，如位移传感器、压力传感器、湿度传感器等，实时采集岩土体的物理力学参数、变形信息、地下水动态等数据。这些传感器通过无

线网络将数据传输至数据中心，实现数据的自动、连续采集，提高数据采集的时效性与准确性。新型智能传感器具备自校准功能，可在环境变化时自动调整测量参数，确保采集数据的高精度，为后续分析提供可靠原始数据。^[2]

2. 卫星遥感与航空摄影测量技术

卫星遥感能够获取大面积的地质地貌信息，通过分析不同波段的遥感影像，可以识别地层岩性、地质构造、滑坡泥石流等地质灾害隐患。航空摄影测量则可生成高精度的数字地形模型（DTM）和正射影像图（DOM），为岩土工程勘察提供详细的地形地貌数据，辅助确定勘察重点区域与路线。采用高分辨率卫星遥感技术，能识别出微小的地层岩性变化，精准定位潜在的地质构造薄弱带，为勘察路线规划提供关键依据。

3. 地理信息系统（GIS）数据集成

GIS 技术可整合地质、地形、水文等多种空间数据，构建岩土工程勘察的基础地理信息平台。通过 GIS 的空间分析功能，如缓冲区分析、叠加分析等，能够直观展示岩土工程相关数据的空间分布特征，为勘察方案设计、场地评价等提供决策支持。在场地评价中，运用 GIS 叠加分析功能，将地下水位分布数据与岩土体类型数据叠加，清晰呈现出不同区域地下水对岩土体稳定性的影响程度，辅助制定针对性勘察策略。^[3]

（二）大数据存储与管理技术

1. 分布式存储技术

面对海量的岩土工程数据，采用分布式存储系统，如 Hadoop 分布式文件系统（HDFS），将数据分散存储在多个节点上，提高数据存储的可靠性与扩展性。这种存储方式能够有效应对数据量的快速增长，保证数据的安全存储与高效访问。分布式存储系统具备自动数据冗余备份功能，当某个存储节点出现故障时，可快速从其他备份节点调取数据，保障数据的不间断使用。^[4]

2. 数据仓库与数据库技术

建立岩土工程数据仓库，对多源数据进行整合、清洗、转换，按照主题进行组织存储，便于数据的分析与挖掘。同时，运用关系型数据库和非关系型数据库相结合的方式，针对结构化数据采用关系型数据库（如 MySQL）进行存储管理，对于半结构化和非结构化数据（如文本报告、影像资料等）则使用非关系型数据库（如 MongoDB）进行存储，满足不同类型数据的管理需求。在数据仓库中，运用数据挖掘算法对整合后的数据进行预处理，提取关键特征，为后续深度分析提供便利。^[5]

3. 数据安全与加密技术

岩土工程数据涉及工程安全与商业机密，数据安全至关重要。采用数据加密技术，对传输与存储的数据进行加密处理；建立严格的用户权限管理机制，根据用户角色和职责分配不同的数据访问权限；实施数据备份与恢复策略，定期对重要数据进行备份，确保数据在遭受意外损失时能够快速恢复，保障数据的安全性与完整性。运用量子加密技术对核心岩土工程数据进行加密，大幅提升数据在传输与存储过程中的安全性，防止数据被窃取或篡改。

（三）大数据分析与管理技术

1. 数据挖掘算法应用

运用数据挖掘算法，如聚类分析、关联规则挖掘、决策树等，从海量岩土工程数据中挖掘潜在的规律与知识。例如，通过聚类分析对岩土体进行分类，找出具有相似工程性质的岩土体群组；利用关联规则挖掘分析岩土参数与工程地质条件之间的关联关系，为工程设计提供参考。在关联规则挖掘中，结合机器学习算法，自动优化挖掘参数，提高挖掘结果的准确性与实用性，更精准地揭示岩土参数与地质条件的内在联系。^[6]

2. 机器学习与深度学习技术

机器学习算法，如支持向量机（SVM）、人工神经网络（ANN）等，可用于岩土工程参数预测与模型构建。通过对大量历史数据的学习训练，建立岩土体物理力学参数与地质条件、测试数据之间的数学模型，实现对未知区域岩土参数的预测。深度学习技术，如卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等，在岩土工程图像识别（如地质构造图像分析）、岩土体变形监测等方面具有优势，能够自动提取数据特征，提高分析的准确性与效率。利用深度学习中的生成对抗网络（GAN）技术，对有限的岩土工程图像数据进行扩充，提高图像识别模型的泛化能力，提升地质构造图像分析的准确性。

3. 可视化分析技术

将大数据分析结果以直观、易懂的可视化形式呈现，如数据可视化图表、三维地质模型等。通过可视化分析，勘察人员能够更清晰地理解岩土工程数据的特征与规律，发现数据中的异常情况，辅助决策制定。例如，利用三维地质建模技术，直观展示地下岩土体的分布、结构特征，为工程设计提供可视化依据。在三维地质模型中引入增强现实（AR）技术，勘察人员可通过移动设备在实地直接查看地下岩土体的虚拟模型，更直观地了解地质情况，方便现场决策。^[7]

（四）大数据在岩土工程勘察中的应用技术

1. 勘察方案优化设计

基于大数据分析，综合考虑场地地质条件、工程需求、周边环境等因素，优化勘察方案。通过对类似场地的历史勘察数据与工程案例进行分析，确定合理的勘察方法、勘察点布置及勘察深度，提高勘察方案的科学性与针对性，避免不必要的勘察工作，降低勘察成本。运用大数据分析模拟不同勘察方案在实际场地中的实施效果，通过对比分析，精准确定最优勘察点布置与勘察深度，减少勘察工作量与成本。^[8]

2. 岩土工程风险评估

整合地质灾害数据、岩土体力学参数、工程荷载等数据，运用大数据分析模型对岩土工程风险进行评估。例如，建立滑坡、泥石流等地质灾害的风险预测模型，评估场地在不同工况下发生地质灾害的可能性与危害程度，为工程建设提供风险预警，制定相应的防范措施。在风险评估模型中，引入实时监测数据进行动态更新，提高风险预测的及时性与准确性，为工程建设提供更可靠的风险预警。

3. 施工过程监测与反馈

在岩土工程施工过程中,利用大数据实时监测系统,对施工过程中的岩土体变形、应力变化、地下水位等参数进行监测。通过与预设的安全阈值进行对比分析,及时发现施工过程中的异常情况,为施工决策提供实时反馈,确保施工安全与工程质量。利用大数据分析技术对监测数据进行趋势分析,提前预判可能出现的施工风险,为施工方提供充足时间采取应对措施,保障施工安全。

三、大数据时代岩土工程勘察面临的挑战

(一) 数据质量问题

多源数据采集过程中,由于传感器精度、数据传输误差、人为操作失误等原因,可能导致数据质量参差不齐,存在噪声数据、缺失数据、错误数据等问题。低质量的数据会影响大数据分析结果的准确性与可靠性,增加数据处理与分析的难度。不同厂家生产的传感器在测量同一岩土参数时,可能因校准标准差异产生数据偏差,且在长期野外环境下,传感器性能可能发生漂移,进一步降低数据质量。

(二) 技术人才短缺

大数据技术在岩土工程勘察中的应用需要既懂岩土工程专业知识,又掌握大数据技术的复合型人才。目前,行业内此类专业人才匮乏,勘察人员对大数据技术的理解与应用能力有限,制约了大数据技术在岩土工程勘察中的推广与应用。高校相关专业课程设置未能及时跟上大数据技术发展步伐,导致毕业生在进入行业后,难以快速将大数据技术应用于岩土工程勘察实际工作中。^[9]

(三) 数据共享与隐私保护矛盾

岩土工程数据涉及多个部门与单位,实现数据共享能够充分发挥大数据的价值。但在数据共享过程中,面临数据隐私保护问题,如何在保障数据安全与隐私的前提下,实现数据的合理共享与流通,是亟待解决的难题。不同部门的数据格式、存储标准存在差异,在数据共享时需要进行大量的数据转换工作,且在数据共享过程中,如何确保敏感信息不被泄露,缺乏完善的技术与管理手段。

四、应对大数据时代岩土工程勘察挑战的策略

(一) 数据质量管理策略

建立数据质量控制体系,在数据采集、传输、存储与处理的各个环节,采用数据清洗、数据验证、数据修复等技术手段,对数据质量进行严格把控。制定数据质量标准,明确数据的准确性、完整性、一致性要求,对不符合质量标准的数据进行筛选与处理,确保进入大数据分析环节的数据质量可靠。引入自动化数据质量监测工具,实时监测数据质量指标,一旦发现数据异常,自动启动数据修复流程,提高数据质量管理效率。

(二) 人才培养策略

加强高校与企业的合作,在高校相关专业开设大数据与岩土

工程交叉课程,培养具有大数据技术与岩土工程专业知识的复合型人才。企业定期组织内部培训,邀请大数据专家与岩土工程资深技术人员对勘察人员进行培训,提高其大数据技术应用能力。鼓励勘察人员自主学习,参加相关技术研讨会与培训课程,不断提升自身技术水平。高校与企业联合开展实践教学项目,让学生在实际项目中锻炼大数据与岩土工程结合的应用能力,为行业输送实用型人才。^[10]

(三) 数据共享与隐私保护策略

制定数据共享政策与法规,明确数据共享的范围、方式、流程以及各方的权利与义务。采用数据加密、匿名化处理等技术手段,对敏感数据进行加密保护与匿名化处理,在保障数据隐私的前提下实现数据共享。建立数据共享平台,通过平台对数据进行统一管理 with 授权访问,确保数据的安全流通与合理利用。利用区块链技术构建数据共享平台,实现数据的分布式存储与不可篡改记录,保障数据共享过程中的安全性与可追溯性。

五、结论

大数据时代为岩土工程勘察技术带来了前所未有的发展机遇,通过多源数据采集、大数据存储与管理、大数据分析 with 挖掘以及在勘察各环节的应用等技术重点的实施,能够显著提升岩土工程勘察的精度、效率与科学性。尽管面临数据质量、技术人才短缺、数据共享与隐私保护等挑战,但通过采取相应的应对策略,加强数据质量管理、人才培养以及完善数据共享与隐私保护机制,能够有效推动大数据技术在岩土工程勘察中的广泛应用,促进岩土工程勘察行业的数字化、智能化发展,为各类工程建设提供更优质的勘察服务,保障工程的安全与可持续发展。未来,随着大数据技术的不断发展与创新,岩土工程勘察技术将迎来更广阔的发展空间,需持续关注技术发展动态,不断探索与实践,提升行业整体竞争力。

参考文献

- [1]尹海云.建筑工程中地质岩土勘察及地基处理措施:评《岩土工程施工技术》[J].矿冶工程,2020,40(2):164.
- [2]史通.浅论岩土工程勘察中常见问题及其应对措施[J].冶金与材料,2021,41(5):149-150,152.
- [3]李文洲.岩土工程勘察中常见问题和解决对策分析[J].建材与装饰,2019(27):229-230.
- [4]王鑫宇.复杂地形地质条件岩土工程勘察及实践[J].砖瓦世界,2022(2):238-240.
- [5]王成真.岩土勘察技术在复杂地形地质条件下的运用[J].房地产导刊,2022(1):26-28.
- [6]蔡岸锋.关于岩土工程地质勘察中质量控制因素探讨[J].西部资源,2022(2):39-41.
- [7]李超,陈依婷.岩土工程地质勘察中质量控制因素分析[J].世界有色金属,2021(22):186-187.
- [8]邵云海,罗建鸿,李迪翔,等.岩土工程地质勘察中的质量控制因素分析[J].工程技术研究,2021,6(2):171-173.
- [9]杨勇勇.大数据时代岩土工程监测面临的机遇与挑战[J].工程技术研究,2020(01):2-8.
- [10]丁名卿.大数据时代的岩土工程勘察研究[J].粘接,2021,47(08):110-113+118.

建筑工程造价的风险评估与风险管控分析

符志能

中交新风溪（上海）城市建设发展有限公司，上海 201700

DOI: 10.61369/ETQM.12248

摘 要： 工程造价管理贯穿于工程项目的全生命周期，是确保项目经济效益与资源优化配置的核心环节。由于工程造价管理本身具有高度的系统性、动态性和复杂性，并且所处的外部环境也充斥着高度的不确定性，因此在建筑工程项目的各个阶段均需充分识别、量化与应对潜在的造价风险，以保障工程投资的科学性和可控性。基于此，本文立足于建筑工程全生命周期视角，对决策、设计、招标、施工直至竣工等各阶段分别进行建筑工程造价风险评估，并针对不同阶段的特定风险特征，提出精细化的风险管控策略与优化措施，力求构建一套科学、合理、高效的造价管理体系，以期为工程造价管理的实践者与决策者提供具有前瞻性和可操作性的理论支撑与实践借鉴。

关 键 词： 工程造价管理；造价风险；风险评估；风险管控

Analysis of Risk Assessment and Risk Control in Construction Cost Management

Fu Zhineng

CCCC Xinfengxi (Shanghai) Urban Construction and Development Co. Ltd, Shanghai 201700

Abstract: Cost management runs through the entire lifecycle of a construction project, serving as a fundamental pillar for ensuring economic efficiency and optimizing resource allocation. Given its inherent complexity, dynamism, and systemic nature, coupled with the high degree of uncertainty in the external environment, effectively identifying, quantifying, and mitigating potential cost risks at each project phase is essential for maintaining investment feasibility and financial control. Building upon this perspective, this paper adopts a lifecycle approach to construction cost management, systematically evaluating cost risks across key stages, including decision-making, design, bidding, construction, and final completion. By recognizing the distinct risk characteristics inherent to each phase, the study proposes refined risk control strategies and optimization measures tailored to specific challenges. Ultimately, this paper aims to establish a scientifically sound, efficient, and well-structured cost management framework, providing forward-looking theoretical support and practical guidance for construction cost management practitioners and decision-makers.

Keywords: construction cost management; cost risk; risk assessment; risk control

工程造价管理贯穿于工程项目的整个生命周期，其核心目标在于通过有效的成本控制、预测、分析和优化等手段，确保项目的开展进度和安全质量，以最大限度地实现工程项目在实施过程中的成本效益和可持续竞争^[1]。然而，由于建筑工程项目自身具有系统性和复杂性，其所处的自然环境和社会环境也充斥着高度的不确定性，导致工程造价管理工作通常需要考虑较多的风险因素。因此，为应对工程造价风险，提高工程项目的可行性和合理性，建设单位应在项目的决策、设计、招标、施工以及竣工等各个阶段，采用科学的评估方法对可能出现的造价风险进行识别与评估^[2]。此外，依据实际的项目实施情况采取相应的风险管控措施，也有利于建设单位在降低工程建设风险的同时确保建筑工程项目的高质量开展^[3]。

一、建筑工程造价风险评估的意义

建设单位在工程造价方面进行风险评估时，需要同时结合经济市场的发展情况和企业自身的实际经营情况对造价风险进行分析和总结，以此为依据制定相应的风险管控和风险应对策略。因此，造价风险评估有助于项目团队加深对项目成本风险的全面理

解和整体把握，从而达到对整个工程建设过程的科学化和规范化管理，确保项目能够在预算范围内达到预期的质量标准^[4]。建筑工程造价风险评估的意义主要体现在以下几个方面：

（一）提高成本控制能力

造价风险评估促使项目团队进行风险评估，从而更好地了解各种风险因素对项目造价的影响程度，依据风险大小对各类设备

和安装产品的价格进行设定，避免成本超支，通过对建筑资源在最大程度的优化利用以提升项目工程的后期经济效益。

（二）支持项目决策制定

造价风险因素的评估为项目决策制定提供了重要的参考依据，有助于项目团队准确识别不同决策方案的优劣势，以此进行决策完善和方案改进，进一步提高整体项目的科学性、稳定性和可操作性。

（三）增强项目团队的管理水平

项目团队成员通过对风险的特点、内容和类型等进行精准的捕捉与把握，能够显著提高其管理水平和风险识别能力，进而增强项目团队的合作和应对挑战的能力。

二、建筑工程造价的风险评估方法

针对建筑工程造价中存在的各类风险因素，相关学者们探究出了一些定量风险评估方法，旨在帮助项目团队准确估计潜在风险对项目造价的影响，以更高层次的风险管理水平确保工程项目的成功实施。常用的两种定量风险评估方法为概率分析法和蒙特卡罗法。

（一）概率分析法

概率分析法是对各类风险事件发生的可能性进行定量分析，分析每种风险事件对项目造价影响的评估方法。具体步骤包括：①随机选取一个不确定的风险因素，列举所有可能出现的结果并分别对其造价结果进行计算；②在以往存留资料的基础上，项目管理人员凭借多年的操作经验计算每个结果可能出现的概率；③依据资料计算该不确定性风险因素下的造价期望；④计算统计结果的方差和标准差；⑤依照计算结果对建筑企业在该不确定性风险因素下的工程造价风险进行全面分析。

（二）蒙特卡罗法

蒙特卡罗法是一种基于概率统计的仿真方法，通过随机生成多次风险事件的可能性和影响，模拟多种可能的项目结果，并计算出每种结果的概率分布。这种方法对不确定性风险因素的考虑更为全面，能够为项目风险评估提供更准确的数据支持。具体步骤如下：①将工程项目分解成多个子任务；②统计各子任务在实施过程中可能出现结果的概率；③利用数学模型计算各子任务在随机事件下产生的造价风险值；④多次重复上述步骤，将造价计算结果用图形的方式展示出来；⑤统计计算结果所呈现的特征，针对影响建筑企业工程造价管理目标的风险因子进行深入分析。

三、建筑工程项目各阶段的造价风险评估

在建筑工程项目的建设过程中，工程造价通常呈现出分阶段、多次计价的特征。因此，不同建设阶段工程项目所面临的造价风险往往也存在显著差异，使得工程造价风险评估工作也应分阶段予以开展。

（一）决策阶段

建筑工程项目在决策阶段的造价风险主要体现在以下两个方面：第一，材料价格波动的忽略。决策至施工阶段激烈的市场竞

争带来的原材料价格波动会对工程造价产生影响，使得原材料成本具有高度的不确定性，难以在决策阶段精准报价。同时，经济形势变化、政策调整等也会影响建筑市场的需求和价格，进而影响整体项目的盈利水平。第二，项目管理的疏漏。如果项目管理人员经验不足，或是没有设立一套完善的风险管理计划，容易导致对其他项目在规模、工期等方面的过度模仿，反而忽略了项目的实际施工成本，从而给项目造价风险识别和成本控制带来较大困难^[6]。

（二）设计阶段

建筑工程项目在设计阶段的造价风险体现如下：第一，设计方案选择和变更风险。在设计阶段确定的建筑结构、材料选用、设备配置等设计方案可能存在隐患。如起初选用低质量材料、不合理设计结构等，后期为达到预期建设目标，不得不要求设计单位进行方案更改，致使维修和更换成本的增加。第二，设计人员素质风险。设计团队的素质与能力也是影响工程造价风险的关键因素。因为设计人员水平低下或者设计沟通不畅，可能导致设计图纸和设计质量不达标，增加后续优化设计方案的时间成本和造价成本。

（三）招标阶段

招标阶段的造价风险一方面源于报价竞争。在竞争激烈的招标环境下，投标方可能会为了赢得项目而故意将报价压低，在后期施工中出现费用不足、利润低等问题时又会使用廉价材料，增加了项目的安全隐患。另一方面的造价风险源于各方对于招标文件的理解偏差。通常，当建筑工程项目采用招标方式确定合作单位时，需要招投标双方共同签署合同，针对工程造价达成一致。如果造价公司对建设单位的设计方案理解不到位，容易导致预算编制与实际的施工成本产生较大偏差^[6]。

（四）施工阶段

项目施工阶段的造价风险主要体现在如下几个方面：第一，不可控因素的影响。施工过程中遇到的恶劣天气等不可抗力因素、安全事故和政策变化等会导致工期延长，使得劳动力费用、设备租赁费等延期成本的增加。同时，这些不可控因素对工期的延误提高了项目违约风险，对利益相关者权益的损害则会增加违约赔偿费用。第二，施工监管不到位。施工企业如果没有严格按照设计方案和建设标准进行施工，可能是因为前期勘察失误或者施工监管不到位^[7]。这时，建设单位对施工中质量问题的返修无形中就增加了额外的建设成本和施工工期压力。

（五）竣工阶段

竣工阶段的造价风险成因是验收违约责任以及质量标准与合同约定不符。如果在竣工验收时发现建筑工程存在明显的质量问题或与合同要求不符，工程质量难以得到有效保证，可能导致责任争议问题，影响项目整个工期进展，以及最终结算价格的不确定性。另外，在验收过程中提出的变更或修正某些规范要求，不仅会延误验收进度，也直接影响着建筑工程的最终经济效益^[8]。

四、建筑工程项目各阶段的造价风险管控策略

为实现建筑工程项目造价风险的有效管控，建设单位首先要积极强化造价管理人员的风险意识，加强他们的财务风险教育，

使得相关人员深刻体会到正确使用资金是提高建筑工程质量的必备条件之一。此外，建设单位应成立专门的风险防控团队对工程预算编制方案进行审核，同时定期巡查工程项目对造价方案的执行情况，以便及时识别和发现造价风险，并针对潜在的威胁因素予以管控。

（一）决策阶段

为应对决策阶段的工程造价风险，建设单位应做好以下管控措施：首先，建立原材料的价格预测机制。对建筑原材料的价格波动情况进行分析和预测，有助于建设单位及时调整和应对价格波动带来的成本变化。其次，加强供应链管理。与可靠的材料供应商建立长期合作关系，提前进行材料采购并安排交付时间，不仅能够确保项目按时进行，也可以减少材料价格波动对项目造价带来的不利影响。最后，要建立健全的风险管理系统。通过建立有效的项目风险管理体系，帮助建筑企业加强项目管理和监督，及时发现和纠正项目管理疏漏，同时明确项目在规模、成本和工期等方面的特定要求，保障项目在合理成本范围内的顺利开展^[9]。

（二）设计阶段

建设单位可以采取以下管控措施来应对设计阶段的工程造价风险：第一，建立设计评审机制。在方案设计、施工图设计等多个环节设立评审机制，确保设计方案的合规性，并减少后期的方案变更风险。同时，建筑企业应明确设计变更的流程和责任制，建立合理的变更费用评估和核算体系，并严格执行变更管理程序。通过统一变更管理，有助于识别和评估设计变更的风险，及时采取响应的管控措施能够避免因设计方案频繁变更而带来造价的不可控。第二，建设单位应加强对设计人员的素质管理。选择有资质和经验的设计团队和设计人员，才能确保其专业素质和工作能力，以此提高设计质量、减少设计方案的变更风险。此外，建设单位应定期组织设计人员进行学习和培训，使其了解前沿的设计技术和趋势，进而提高设计团队创新和解决问题的专业水平。

（三）招标阶段

针对招标阶段的造价风险管控，一方面要规范市场竞争机制。相关部门可以通过市场竞争机制使得招标行为规范化，实现良性的市场竞争秩序，并保障招投标双方的合法权益。在此基础上，建设单位应在招标前就依据市场实际情况做好定价工作，针对投标方的不平衡报价，建设单位应识别违规报价行为，注意分辨投标方是否在竞标中为了中标而盲目压价或者恶意低价。另一方面，要明确招标文件内容。在招标文件中清晰规定招标标准、技术要求、合同条款等内容，必要时在招标前组织预投标交流会，对招标文件内容进行解释和澄清，确保各投标人对招标要求和项目需求的理解达成一致，这在一定程度上能够减少双方理解偏差带来的造价风险。

（四）施工阶段

施工阶段是控制建筑工程造价风险的关键环节，建设单位可以采取以下管控措施：第一，制定应急预案和风险管理策略。建筑企业需要定期对项目进行风险评估和分析，识别潜在的不可控因素，并制定相应的风险应对措施。同时，针对可能出现的不可抗力因素，建设单位应建立专门的危机管理团队，制定相应的应

急预案和风险管理策略，以及及时处理各类紧急事件和风险情况，将损失降至最低。第二，加大对施工现场的监管力度。加强对施工现场的巡查和监督，有利于及时发现和解决工程问题，这不仅增强了施工过程的规范性和标准性，也确保了工程的质量和安安全，能够有效降低施工监管不到位导致的造价风险。此外，建设单位还可以借助先进技术（如 BIM 技术）来监控工程进度，通过对各类资源的优化配置来提高工程效率。

（五）竣工阶段

在竣工结算阶段，工程造价已基本确定，针对验收违约和变更要求引起的造价风险，建设单位可以采取以下管控策略：第一，在合同中建立明确的验收条款。建设单位在合同中提前规定竣工验收的标准和程序，能够确保双方的权力和义务清晰明确，减少因解释不一致而产生的争议。同时，做好项目施工监管，并合理安排验收时间和程序，便能够确保工程质量符合合同约定标准，减少因验收违约而产生的纠纷。第二，做好变更交底工作，避免工程变更带来的额外成本和工期延误。此外，建设单位有必要建立严格的变更管理程序。对于业主在竣工时提出的合理变更要求，应严格执行变更管理程序，包括变更申请、评估、批准和实施等环节，确保变更合理、合规，避免变更可能引致的较大造价差异。

五、结语

建设单位通过造价风险评估，可以及时识别和分析可能存在的风险因素，包括市场竞争趋势、物资价格变动、劳动力成本变化以及政策法规调整等，为项目管理者提供全面的风险认知。而造价风险管控促使建筑企业制定相应的风险管理策略，采取有效的管控措施尽量降低造价风险发生的可能性，最终保障建筑工程项目的经济效益和进度目标^[10]。可见，科学的造价风险评估与精准的风险管控体系相辅相成，不仅能够提升建筑工程项目的成本管控能力与资金配置效率，还能赋能建设单位精准应对行业环境的不确定性，从而助推工程造价管理向高质量、高效能与智能化方向迈进。

参考文献

- [1] 肖银. 基于全生命周期的建筑工程造价风险管理研究 [J]. 经济师, 2024, (10): 289-290.
- [2] 辛伟妃. 建筑施工企业工程造价风险评估及防范措施分析 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(6): 184-185.
- [3] 李娜. 全过程造价管理模式下的工程造价控制研究 [J]. 产业与科技论坛, 2024, 23(6): 229-232.
- [4] 田媛. 建筑工程招投标阶段工程造价控制管理探究 [J]. 投资与创业, 2024, 35(1): 185-187.
- [5] 李增亮. 建筑工程造价风险管理及其管理对策 [J]. 环球市场, 2019(2): 113.
- [6] 董晓曦. 建筑工程造价风险管理方法研究 [J]. 低碳地产, 2016(19): 486.
- [7] 李青青. 建筑造价风险成因与对策分析——以某建筑工程项目为例 [J]. 房地产世界, 2023, (6): 118-120.
- [8] 戎巧云. 施工企业工程造价风险评估及应对策略研究 [J]. 技术与市场, 2017, 24(8): 260-261.
- [9] 董明伟. 施工企业工程造价风险评估与管控途径阐释 [J]. 城市开发, 2023, (10): 96-97.
- [10] 黄炫畅. 工程造价风险管理研究 [J]. 广西水利水电, 2023, (6): 143-147.

酒店装修中干挂石材施工工艺的优化与创新研究 ——基于 DE 楼酒店 D/E 楼改造室内精装修工程

吴颖

上海瑞赢建设工程有限公司, 上海 201914

DOI: 10.61369/ETQM.12249

摘 要 : 随着酒店行业的发展, 酒店装修的品质与特色愈发重要。干挂石材作为一种高档装修材料, 在酒店装修中广泛应用。然而, 传统干挂石材施工工艺存在一些问题, 如施工效率较低、成本较高、质量稳定性有待提升等。为解决这些问题, 本文深入研究酒店装修中干挂石材施工工艺的优化与创新。通过对现有工艺的分析, 结合 DE 楼酒店实际案例, 提出优化方案和创新思路, 并对其应用效果进行评估。

关 键 词 : 酒店装修; 干挂石材; 施工工艺; 优化; 创新

Research on Optimization and Innovation of Dry-hanging Stone Construction Technology in Hotel Decoration —Based on the Indoor Fine Decoration Project of the Reconstruction of D/E Building of DE Hotel

Wu Ying

Shanghai Ruiying Construction Engineering Co., Ltd. Shanghai 201914

Abstract: With the development of the hotel industry, the quality and characteristics of hotel decoration have become increasingly important. As a high-end decoration material, dry-hanging stone is widely used in hotel decoration. However, the traditional dry-hanging stone construction technology has some problems, such as low construction efficiency, high cost, and quality stability that needs to be improved. To address these issues, this article delves into the optimization and innovation of dry-hanging stone construction technology in hotel decoration. Through the analysis of the existing technology and combining the actual case of the DE hotel, optimization schemes and innovative ideas are proposed, and their application effects are evaluated.

Keywords: hotel decoration; dry-hanging stone; construction technology; optimization; innovation

干挂石材以其美观、耐用、质感高档等特点, 成为酒店装修中常用的装饰材料。然而, 在实际施工过程中, 传统干挂石材施工工艺面临着一些挑战^[1]。例如, 施工过程较为复杂, 需要专业技术人员操作, 导致人工成本较高; 施工效率较低, 影响酒店装修工程的整体进度; 在一些复杂造型和特殊环境下, 传统工艺难以满足设计要求, 影响装饰效果。因此, 对酒店装修中干挂石材施工工艺进行优化与创新具有重要的现实意义。

一、干挂石材施工工艺概述

(一) 干挂石材施工工艺流程

干挂石材施工主要流程涵盖基层准备、测量放线、钢材采购与检验、龙骨安装、石材准备、石材安装、嵌缝与密封、成品保护^[2]。基层准备时, 要清理结构表面并弹出安装线; 测量放线确定龙骨和石材位置; 钢材采购依设计选料并检验; 龙骨安装注重牢固和垂直; 石材准备包含挑选、切割、打孔; 石材借连接件固定在龙骨上并调整; 嵌缝密封让缝隙美观防水; 最后做好成品保护, 避免石材在后续施工中受损^[3]。

(二) 干挂石材施工工艺原理

干挂石材工艺是利用高强螺栓和耐腐蚀、强度高的柔性连接件, 将饰面石材挂在建筑结构的外表面。石材与结构之间留出一一定的空腔, 在风力和地震作用时, 允许石材产生适量的变化, 以吸收部分风力和地震作用, 而不致出现裂纹和脱落^[4]。当风力和地震作用消失后, 石材也随结构而复位。这种工艺与传统的湿法工艺相比, 免除了灌浆工序, 可缩短施工周期, 减轻建筑自重, 提高抗震性能, 还可有效地防止灌浆砂浆中色素对石材的渗透污染, 提高其装饰质量^[5]。

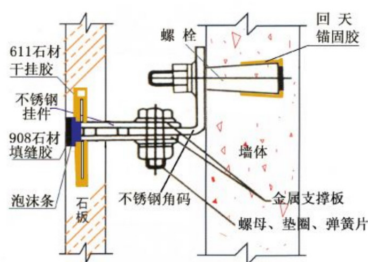


图 1-1 干挂石材施工工艺示意图

二、传统干挂石材施工工艺存在的问题

（一）施工流程问题

传统干挂石材施工在龙骨安装环节，采用现场逐根焊接和固定的方式，这对施工人员技术要求颇高。施工现场环境复杂，风速、湿度等因素会干扰焊接质量，进而影响龙骨强度。同时，焊接产生的烟雾和火花污染环境，还存在火灾隐患。在石材安装方面，缺乏科学规划，大面积墙面施工时随意安装，没有考虑分段和误差控制，容易导致墙面不平整。在有造型区域，由于没有先搭建主要结构框架再进行细节处理的意识，施工顺序混乱，影响整体装饰效果，后期整改不仅困难，还会增加成本和延误工期。

（二）材料选用与加工问题

传统工艺常选用普通钢材作为龙骨材料，普通钢材密度大，在运输过程中需要耗费更多的人力和物力，增加了运输成本。而且，普通钢材耐腐蚀性差，在潮湿环境下容易生锈，缩短了龙骨的使用寿命，增加了后期维护成本。石材切割与加工主要依靠人工操作，缺乏精确的数控设备，切割精度难以保证，误差较大，这使得石材拼接效果不佳，影响整体美观。此外，传统工艺未对石材背面进行增强处理，导致石材在运输和安装过程中容易出现裂纹，降低了石材的抗裂性能，造成材料浪费和经济损失。

（三）施工技术问题

传统干挂石材使用的挂件系统功能简单，不具备可调节性。一旦挂件安装出现偏差，很难对石材的位置进行精确调整，这就可能导致石材安装不平整、不垂直，影响装饰效果。对于大型石材面板，传统挂件的承载能力有限，需要增加额外的支撑结构，这不仅增加了施工成本，还使施工流程变得更加复杂。在测量放线环节，传统工艺依赖普通测量工具，如水准仪、经纬仪等，这些工具操作复杂，且测量精度容易受到人为因素和环境因素的影响，如测量人员的读数误差、施工现场的振动等，从而导致龙骨和石材的安装位置出现偏差，影响整个工程质量。

（四）质量控制问题

传统的材料检验制度存在漏洞，对进入施工现场的材料检验不够严格。在材料进场前，往往只注重产品合格证，而忽视对质量检测报告进行审核。材料进场后，也只是简单地进行外观检查，对于钢材的力学性能、石材的放射性和物理性能以及连接件的承载能力等关键指标，缺乏有效的抽样检测。在施工过程中，检查频次较低，通常是阶段性检查，难以及时发现施工中的问题。检查标准不明确，缺乏详细的量化指标，使得检查工作缺乏规范

性。对隐蔽工程的检查不够重视，没有对龙骨安装质量、防腐处理以及与主体结构的连接情况进行全面检查。

三、干挂石材施工工艺的优化方案

（一）施工流程优化

干挂石材施工流程如下图 3-1 所示：



图 3-1 干挂石材施工工艺

1. 采用预制装配式龙骨

在工厂里，按照精确设计尺寸和规格，借助先进设备和标准化流程制作龙骨组件。以 DE 楼酒店装修项目来说，其龙骨被设计为由主龙骨、次龙骨和连接件构成的模块化框架。主、次龙骨在工厂完成精确切割、打孔与表面处理，再用高强度螺栓预连接成完整的龙骨单元（见图 3-2）。施工现场中，施工人员依据预先制定的方案，把龙骨单元吊运到指定位置，通过螺栓快速连接固定即可。与传统现场焊接、切割龙骨的方式相比，预制装配式龙骨优势明显。减少了现场焊接和切割质量问题影响。另一方面，安装速度显著提升。据统计，DE 楼酒店项目采用此方式后，龙骨安装时间从 15 天减至 9 天，缩短约 40%，有力推动了整体施工进度。



图 3-2 预制装配式龙骨实景图

2. 优化石材安装顺序

在酒店装修中，需依据空间布局和施工进度合理规划石材安装顺序。针对大面积墙面，常采用从下往上、分段安装法，每段高度控制在 2~3 米。安装时，先校准底部石材的水平度和垂直度，之后依次向上安装，每块安装后都及时调整固定，防止误差累积。对于酒店大堂弧形墙面这类有造型的区域，先安装主要结构石材搭建框架，再处理细节和收口部分。安装时注重石材纹理和拼接效果，以此保证整体美观。以 DE 楼酒店大堂弧形墙面装修为例，先精准安装基础石材，确保弧度符合设计要求，再安装周边装饰石材，经巧妙拼接打磨，提升了安装效率，使墙面装饰效果达到最佳。

（二）材料选用与改进

1. 选用轻质高强度钢材

在满足酒店装修工程结构强度要求的前提下，选用轻质高强度的钢材作为龙骨材料，如新型铝合金钢材。这种铝合金钢材具有密度小、强度高的特点，其重量比传统的普通钢材轻约 30%~

40%，这使得在运输和安装过程中更加便捷，降低了运输成本和人工成本。同时，新型铝合金钢材具有良好的耐腐蚀性，表面形成的氧化膜能有效抵抗空气中的水分和腐蚀性物质的侵蚀，延长龙骨的使用寿命。在 DE 楼酒店项目中，使用新型铝合金钢材作为龙骨材料，经过 5 年的使用后，龙骨依然保持良好的结构性能，未出现明显的腐蚀现象，相比使用普通钢材的项目，减少了后期的维护和更换成本。

2. 优化石材切割与加工

利用先进的数控切割设备，对石材进行精确切割和加工。数控切割设备配备高精度的切割刀具和自动化控制系统，能够根据设计要求，对石材进行复杂形状的切割，切割精度可达 $\pm 0.5\text{mm}$ 。在切割过程中，通过优化切割路径和参数，减少石材的浪费和损耗。此外，在石材背面添加增强纤维材料，如碳纤维或玻璃纤维。这些增强纤维材料具有高强度、高模量的特点，能够有效提高石材的抗裂性能。在石材受到外力作用时，增强纤维材料可以分散应力，阻止裂纹的扩展，降低在运输和安装过程中石材破损的风险。经试验验证，添加增强纤维材料的石材，其抗裂性能提高了约 30%–50%。

（三）施工技术改进

1. 应用新型挂件系统

采用新型可调式挂件系统，其由高强度铝合金或不锈钢制成，含挂件主体、调节螺栓和定位卡件。安装时，先将挂件主体通过螺栓固定在龙骨上，再对接石材连接部位，利用调节螺栓在水平、垂直和进深方向精确微调石材位置。如某高端酒店装修，新型挂件可在 $\pm 50\text{mm}$ 内灵活调整石材位置，使相邻石材缝隙误差控制在 1mm 以内，提升了墙面平整度和美观度。该挂件系统承载能力强，在大型石材面板安装时无需额外辅助支撑，简化了施工流程。其特殊结构设计还增强了抗震性能，地震时允许石材适当位移，缓冲地震力，避免脱落，大幅提高干挂石材墙面的抗震安全性。

2. 引入激光测量技术

在干挂石材施工的测量放线环节，引入先进的激光测量技术，使用激光测量仪操作。该仪器利用激光束直线传播特性，发射高精度激光束，通过测量激光往返时间得出测量点与仪器的距离。施工前，施工人员依设计图纸在现场设置多个基准点，再将激光测量仪置于合适位置对墙面各测量点扫描测量。测量数据实时显示并传输至配套软件，软件分析处理后生成墙面三维模型，直观呈现墙面平整度、垂直度及各测量点坐标信息。DE 楼酒店装修项目中，传统测量方式测一个标准层墙面需 2–3 天，精度约 $\pm 5\text{mm}$ ；采用激光测量技术后，测量时间缩至 1 天内，精度提升到 $\pm 1\text{mm}$ 。这些精确数据为龙骨和石材安装提供可靠依据，便于施工人员精准调整，提高施工质量与效率，还能在施工中实时监测。

（四）质量控制强化

1. 建立严格的材料检验制度

对进入施工现场的所有材料，包括钢材、石材、连接件等，实施严格的检验和验收流程。在材料进场前，供应商必须提供完

整的材料质量证明文件，包括产品合格证、质量检测报告等，证明材料的规格、型号、性能等符合设计要求。材料到达施工现场后，施工单位的质量检验人员首先对材料的外观进行检查。对于钢材，检查其表面是否有锈蚀、裂缝、变形等缺陷；对于石材，检查其表面是否有裂纹、色斑、缺棱掉角等问题；对于连接件，检查其外观是否完好，螺纹是否清晰、无损坏。在外观检查合格的基础上，进行抽样检测。对于钢材，按照一定的比例抽取样品，送到具有资质的第三方检测机构进行力学性能检测，包括抗拉强度、屈服强度、伸长率等指标的检测；对于石材，进行放射性、抗压强度、抗折强度等性能检测；对于连接件，检测其承载能力、抗腐蚀性能等。

2. 加强施工过程中的质量检查

在干挂石材施工中，全面严格的质量检查机制对保障施工质量至关重要。一方面，增加检查频次，摒弃传统阶段性检查。龙骨安装每层一检，石材安装每 5–10 块检查一次。如 DE 楼酒店项目，因增加检查频次及时发现并调整龙骨间距问题，确保了施工进度和质量。同时制定详细检查清单，明确各工序要点，像龙骨垂直度每米偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，平整度每米偏差 $\leq 3\text{mm}$ ；石材平整度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，相邻高低差 $\leq 1\text{mm}$ ，拼接缝隙宽 $1\text{--}2\text{mm}$ 。另一方面，强化隐蔽工程检查，在龙骨安装后、石材覆盖前，检查安装质量、防腐处理及与主体结构连接情况，对关键部位重点检查，DE 楼酒店就曾发现并解决龙骨连接螺栓不足问题。此外，建立质量追溯档案，加强人员培训管理，提升人员素质与质量意识，减少人为质量问题。

四、结论

本文围绕酒店装修中干挂石材施工工艺展开研究，针对传统施工工艺施工效率低、成本高、质量稳定性差等问题，提出从施工流程、材料选用、施工技术、质量控制四个方面进行优化创新。经实践验证，优化后的工艺成效显著，如预制装配式龙骨缩短了约 40% 的安装时间，新型挂件系统使石材安装精度控制在极小误差范围内。这些优化创新不仅提升了施工效率、降低成本，还增强了装饰效果和质量稳定性，为酒店装修行业提供了更科学高效的施工方法，推动了行业的技术进步与发展。

参考文献

- [1] 申利成；郭威威；杨霞；王艺超. 室内高大空间开缝石材幕墙施工技术研究与应 [J]. 建筑技术, 2023(20).
- [2] 唐超；卢文胜；商登峰；朱玉华；姜常玖. 某高校建筑外墙饰面层损伤特征分析 [J]. 结构工程师, 2023(04).
- [3] 林铭欣；吴员发；尹涵硕；李明东；谢拥军. 纤维增强水泥板一体化复合外墙体系施工技术 [J]. 新型建筑材料, 2023(07).
- [4] 袁燕清. 建筑外墙干挂石材幕墙施工技术的应用. 石材, 2024(08).
- [5] 王会俊. 建筑外墙干挂石材幕墙施工技术应用案例. 石材, 2023(11).

EPC+装配式建筑模式下工程造价管理协同创新研究

左嘉

合肥市建筑市场监督管理处, 安徽 合肥 230011

DOI: 10.61369/ETQM.12250

摘 要 : 本文聚焦 EPC + 装配式建筑模式下的工程造价管理, 探讨其协同创新相关问题。阐述了 EPC 模式与装配式建筑的概念、结合现状及政策环境影响, 分析传统工程造价管理在该模式下所面临的造价管理复杂性、对装配式建筑的不适应性、信息不对称以及传统方法的局限性等挑战。强调协同创新理论在造价管理中的应用, 其能提升管理效率, 对风险控制有重要作用。提出通过应用信息技术 (如 BIM、云计算、大数据)、构建多方协同管理机制、优化组织结构与流程 (扁平化、决策权下放、流程再造、精益生产) 以及加强跨专业团队协作等策略实现造价管理的协同创新, 以推动建筑行业高效、环保发展。

关 键 词 : EPC 模式; 装配式建筑; 工程造价管理; 协同创新

Research on Collaborative Innovation of Engineering Cost Management under the EPC + Prefabricated Building Model

Zuo Jia

Hefei Construction Market Supervision and Management Office, Hefei, Anhui 230011

Abstract: This article focuses on the engineering cost management under the EPC + prefabricated building model and explores issues related to collaborative innovation. It elaborates on the concepts of the EPC model and prefabricated buildings, their current integration status, and the impact of policy environments. The article analyzes the challenges faced by traditional engineering cost management under this model, such as the complexity of cost management, the incompatibility with prefabricated buildings, information asymmetry, and the limitations of traditional methods. It emphasizes the application of collaborative innovation theory in cost management, which can improve management efficiency and play a vital role in risk control. The article proposes strategies to achieve collaborative innovation in cost management by applying information technology (such as BIM, cloud computing, and big data), constructing a multi-party collaborative management mechanism, optimizing organizational structure and processes (flattening, decentralization of decision-making, process reengineering, lean production), and strengthening cross-professional team collaboration. These strategies aim to promote efficient and environmentally friendly development in the construction industry.

Keywords: EPC model; prefabricated building; engineering cost management; collaborative innovation

近年来, EPC 模式凭借其在设计、采购、施工一体化方面的优势, 成为中国工程行业的热门话题, 其与装配式建筑的结合, 更是顺应了建筑产业现代化的发展潮流。装配式建筑作为建筑工业化的重要形式, 以其设计标准化、生产模式化、施工装配化等特征, 在提高生产效率、保障建筑质量、节约资源能耗等方面展现出显著优势。然而, 在 EPC+ 装配式建筑模式下, 工程造价管理面临着诸多新挑战, 如信息不对称、协同难度大等。在此背景下, 研究 EPC+ 装配式建筑模式下的工程造价管理协同创新, 不仅有助于提升工程造价管理的效率与准确性, 还能为推动建筑行业的可持续发展提供有力支持, 具有重要的理论与实践意义。

一、EPC 模式与装配式建筑的结合现状

(一) EPC 模式与装配式建筑的概念

EPC 模式, 即设计、采购、施工一体化模式。在此模式下, 承包商全面负责工程项目的设计、采购以及施工的全过程, 对工程质量、安全、进度和成本承担全方位责任。其具备设计施工一体化, 承包商责任重大等显著特点。装配式建筑, 则是预先在工

厂完成建筑物构件的预制工作, 随后运输至施工现场进行组装与安装的建筑方式。该方式呈现出设计标准化、生产模式化、施工装配化等特性, 能够有效提升施工效率、显著减少现场污染, 同时降低劳动强度。当 EPC 模式与装配式建筑相结合, 可充分释放二者各自的优势。一方面, EPC 模式下承包商对项目全过程的统筹把控, 能更好地协调装配式建筑从构件设计、采购到施工安装各环节; 另一方面, 装配式建筑的高效环保特性, 也契合 EPC 模

式追求项目整体效益的目标，共同推动建筑行业朝着更为高效、环保的方向迈进。

（二）EPC模式与装配式建筑结合的现状

当前，EPC模式与装配式建筑的结合已成为建筑行业发展的主要趋势。近年来，我国各个地区掀起了装配式改革的浪潮。从本质上说，EPC模式是现阶段工程管理的有效方式，能够提高资源利用效率、有效治理环境污染，最大限度实现总承包与装配式建筑管理的“双赢”经济效益。据统计，我国每年新开工的装配式建筑面积逐年增长，从2015年的7260万 m²到2020年的6.3亿 m²，较2019年增长50%，占新建建筑面积的比例约为21%，以装配式建筑为主导的建筑趋势已经形成（数据来源：北京网2021年3月14日）^[1]。这表明随着政策推动和技术进步，EPC+装配式建筑模式在全国范围内加速推广，市场规模不断扩大，企业参与度也在持续提升，正逐步成为建筑行业的主流模式之一。

（三）政策环境的影响

政策在助力 EPC 模式与装配式建筑发展进程中，发挥着极为关键的作用。自2013年国家发展改革委与住房和城乡建设部联合发布《绿色建筑行动方案》伊始，国家层面便紧锣密鼓地制定一系列相关政策文件，在发展规划、标准体系构建等多个维度提出明确要求。2016年，国务院颁布《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，明确提出力争在10年左右的时间里，将装配式建筑在新建建筑中的占比提升至30%^[2]。这些政策举措，不仅为 EPC 模式与装配式建筑的融合发展指明了清晰的方向，还在资金支持、技术指导等方面给予切实保障，成功营造出有利于 EPC + 装配式建筑模式蓬勃发展的良好环境，有力推动了建筑行业的快速革新与进步。

二、传统工程造价管理面临的挑战

（一）EPC模式下造价管理的复杂性

在 EPC 模式下，承包商需负责设计、采购、施工全过程，对造价管理的要求大幅提高。一方面，发包人的要求作为核心管理要素，涉及功能、时间、质量标准等多个维度，承包商在投标时就要综合考虑这些因素进行报价，增加了报价的难度与复杂性。另一方面，EPC 模式下的项目往往规模大、周期长、技术复杂，面临的风险因素众多，如材料价格波动、施工难度变化等，这些都给造价控制带来了不确定性^[3]。承包商在项目执行过程中，还要协调设计、采购、施工各环节，确保成本控制在预算范围内，这对造价管理的协调能力和应变能力提出了更高要求。

（二）装配式建筑对造价管理的影响

装配式建筑改变了传统建筑的生产和施工方式，也对造价管理产生了诸多影响。从流程上看，装配式建筑需要在工厂预制构件，然后在施工现场进行组装，这就要求造价管理不仅要关注现场施工成本，还要考虑工厂生产成本，包括构件运输、存储等费用。在方法上，由于装配式建筑的构件标准化程度高，市场询价与竞价成为确定构件价格的重要方式，传统的定额计价方式不再完全适用。装配式建筑的施工速度快，对造价管理的时效性也提

出了更高要求，需要造价管理人员及时掌握项目进度和成本信息，以便做出快速响应^[4]。

（三）信息不对称的问题

信息不对称在传统工程造价管理中一直存在，在 EPC+ 装配式建筑模式下，这一问题更加突出，给造价管理带来了诸多挑战。在设计阶段，不同专业因使用不同的 BIM 软件，模型数据缺乏互操作性，导致信息无法共享，使得造价管理人员难以准确掌握项目的整体情况。在发承包阶段，发包人与承包商之间存在着信息差，承包商可能为了中标而压低报价，隐藏一些风险和成本，导致后期项目执行过程中出现成本超支等问题。在项目实施过程中，各参与方之间的信息传递不及时、不准确，也会影响造价管理的决策。例如，材料供应商可能不及时告知材料价格的变动，导致承包商无法及时调整成本预算，从而影响整个项目的造价控制。

（四）传统造价管理方法的局限性

传统造价管理方法在面对 EPC+ 装配式建筑模式时，暴露出诸多不足之处。在 EPC 模式下，传统的以施工图预算为基础的造价管理方式，难以适应项目前期设计阶段对造价的精准预测和控制^[5]。在装配式建筑中，传统的定额计价方式因构件标准化和工厂化生产的特点而不再适用，无法准确反映构件的实际成本和市场价格。传统造价管理缺乏对项目全过程的动态管理，难以应对 EPC 模式下项目周期长、风险因素多的特点，也无法及时反映装配式建筑施工过程中成本的变化，导致造价管理的效果大打折扣。

三、协同创新在工程造价管理中的重要性

（一）协同创新理论基础

协同创新理论强调多主体、多要素的协同合作与知识共享，以实现创新目标与价值。在工程造价管理中，该理论的应用主要体现在以下几个方面：一是构建协同创新平台，如基于 BIM 技术的平台，实现设计、采购、施工等各环节信息的实时共享与交互，打破信息孤岛；二是促进跨专业、跨组织的协同合作，使设计方、承包商、供应商等能基于共同目标，进行紧密配合与沟通；三是推动全过程造价管理，从项目决策、设计、施工到运营维护，全链条协同，以实现造价管理的整体优化与成本控制^[6]。通过协同创新，能充分利用各方资源与优势，提高造价管理的科学性与精准性，为项目成功奠定基础。

（二）协同创新提升管理效率

协同创新对提升工程造价管理效率与效果作用显著。一方面，借助先进的信息技术，如 BIM、云计算等，能实现项目数据的快速传递与处理，减少信息传递误差与延误，使造价管理人员能及时掌握项目动态，进行精准的成本预测与控制。另一方面，各参与方的协同合作，能有效减少沟通成本与协调时间，提高工作效率。例如在设计阶段，设计方与施工方协同，可及时发现并解决设计中的施工难题，避免后期返工，降低成本。在采购阶段，承包商与供应商协同，能确保材料设备及时供应，保障施工

进度,进而提升整个项目的造价管理效率与效果,实现项目效益最大化。

（三）协同创新对风险控制的影响

协同创新在工程造价管理风险控制方面具有重要作用。通过信息共享与协同平台,各参与方能及时了解项目进展与潜在风险,如材料价格波动、施工难度变化等,从而提前制定应对措施。协同合作能增强各方的风险抵御能力,当风险发生时,各方可共同协商解决方案,分担风险损失。比如在设计阶段,设计方与施工方协同,可减少因设计缺陷导致的施工风险;在采购阶段,承包商与供应商协同,能确保材料质量与供应稳定性,降低因材料问题引发的风险。协同创新还能通过全过程管理,对项目各环节的风险进行动态监控与评估,及时发现并化解风险,为项目的顺利实施提供保障^[7]。

四、EPC+装配式建筑模式下造价管理协同创新策略

（一）信息技术的应用

在EPC+装配式建筑模式下,信息技术是推动造价管理协同创新的关键力量。BIM技术可实现建筑信息的三维可视化,帮助各方在设计阶段精准估算工程量,减少因设计变更带来的成本增加。云计算能实现项目数据的集中存储与共享,打破信息孤岛,使各参与方可随时获取所需信息,提升协同效率。大数据技术可对历史项目数据进行分析,为造价预测提供精准参考^[8]。借助这些信息技术,还能实现造价管理的动态监控,及时发现成本偏差并进行调整,为项目的顺利推进提供有力支持。

（二）多方协同管理机制构建

构建多方参与的协同管理机制,要建立协同管理平台,明确各参与方的职责与权限,确保信息传递及时且准确。制定协同管理制度,以此规范各方行为,保障协同工作有序推进。建立有效的沟通机制也必不可少,定期召开协调会议,及时解决协同过程中出现的问题。还可通过签订协同协议,明确各方的利益分配与风险分担,增强各方合作意愿与积极性,形成协同共赢的良好局面,提升整个项目的造价管理水平。

（三）组织结构与流程优化

组织结构和流程优化对协同创新影响深远。扁平化组织结构能减少管理层级,加快信息传递速度,使决策更加迅速和贴近实际,提高造价管理效率^[9]。决策权下放可激发员工积极性和创造力,让一线人员能根据实际情况及时做出调整,更灵活地应对造价管理中的问题。流程再造能消除不必要的环节,优化资源配置,降低成本。精益生产则注重消除浪费,提高工作效率,通过持续改进,使造价管理流程更加科学、合理,为协同创新提供有力保障,提升项目的整体效益。

（四）跨专业团队协作

跨专业团队协作是促进造价管理协同创新的重要途径。在EPC+装配式建筑项目中,设计、采购、施工等各环节紧密相连,需要不同专业的团队成员相互配合。设计师与造价工程师协同,能在设计阶段就充分考虑成本因素,避免因设计不合理导致的成

本增加。采购人员与施工人员协作,可确保材料设备及时供应且符合施工要求,降低因材料问题带来的成本风险^[10]。跨专业团队通过紧密合作、共享信息,能充分发挥各自专业优势,共同解决造价管理中的难题,提高造价管理的准确性和效率。

五、结束语

本研究着重于EPC+装配式建筑模式下的工程造价管理协同创新,深入分析了传统造价管理所遭遇的挑战,阐明了协同创新的重要意义,并提出了相应的策略。研究显示,通过借助信息技术、搭建多方协同管理机制、优化组织结构与流程以及强化跨专业团队协作等方式,能够切实有效地提升工程造价管理的效率与效果。以中建海龙的案例为例,充分证明了协同创新在缩短项目周期、提高工程质量、达成环保目标等方面取得了显著成效,为行业发展提供了极具价值的借鉴。对于未来工程造价管理协同创新的研究,还需要进一步深入推进,具体可从以下几方面进行:加强对协同创新机制实施细节的研究,探寻在不同项目特点下的适用模式;扩大案例研究的覆盖范围,纳入更多企业以及项目类型,从而增强研究结论的普遍适用性;密切关注政策环境的动态变化,深入分析其对协同创新产生的影响,为政策的制定提供有力的理论支撑;结合人工智能等新兴技术,探索其在工程造价管理协同创新中的全新应用。

参考文献

- [1]厉娥.EPC模式下装配式建筑经济评价指标体系与效益实证分析[J].中国管理信息化,2022,25(22):123-126.
- [2]易晚兴.装配式建筑照明工程造价的创新技术研究[J].中国照明电器,2024,(09):37-39.
- [3]刘飞,王莉.EPC模式下装配式建筑造价控制工作要点分析[J].房地产世界,2024,(13):113-115.
- [4]孙英连.浅析EPC模式下加强装配式建筑工程造价管理工作的要点[J].房地产世界,2024,(11):89-91.
- [5]李世杰.基于BIM模型的装配式建筑工程全流程造价控制方法研究[J].中华建设,2024,(01):39-41.
- [6]史晓光,赵晓光,徐晓晖.基于AHP的装配式建筑造价影响因素研究[J].江西建材,2024,(01):292-294+300.
- [7]黄琴,刘焱,陈志方.EPC总承包模式下的装配式建筑项目造价控制研究[J].武汉工程职业技术学院学报,2023,35(01):23-25.
- [8]胡国梁.EPC模式下装配式建筑成本影响因素研究[J].中国招标,2023,(03):96-98.
- [9]张峻凯.基于系统动力学的EPC模式下装配式建筑成本控制研究[D].沈阳建筑大学,2022.DOI:10.27809/d.cnki.gsjgc.2022.000014.
- [10]肖莉.EPC模式下装配式混凝土建筑总承包商成本控制研究[D].西南科技大学,2022.DOI:10.27415/d.cnki.gxngc.2022.000721.

新能源接入背景下电力系统稳定性提升技术及管理措施

徐铁

哈电国际工程(天津)有限责任公司, 天津 300220

DOI: 10.61369/ETQM.12214

摘 要： 随着新能源在我国电力系统中占比不断攀升，其接入给电力系统稳定性带来诸多挑战。本文深入剖析太阳能、风能等新能源的间歇性、波动性与随机性特性，以及由此引发的电力系统潮流分布改变、电压波动、频率调节困难等稳定性问题。详细阐述了储能技术、柔性交流输电技术、智能电网控制技术等稳定性提升技术，以及优化调度管理、完善运维体系、制定政策法规与激励机制等管理措施。研究表明，通过技术与管理协同，可有效提升电力系统在新能源接入背景下的稳定性，促进新能源与电力系统协调发展。

关 键 词： 新能源接入；电力系统稳定性；提升技术；管理措施

Technologies and Management Measures to Improve Power System Stability in the Context of Renewable Energy Integration

Xu Tie

Harbin Electric International Engineering (Tianjin) Co., Ltd. Tianjin 300220

Abstract: As the proportion of renewable energy in China's power system continues to rise, its integration poses numerous challenges to power system stability. This article deeply analyzes the intermittent, volatile, and random characteristics of renewable energy sources such as solar and wind, as well as the stability issues caused by changes in power flow distribution, voltage fluctuations, and difficulties in frequency regulation. The article elaborates on stability improvement technologies such as energy storage technology, flexible AC transmission technology, and smart grid control technology, as well as management measures including optimizing scheduling management, improving the operation and maintenance system, and formulating policies, regulations, and incentive mechanisms. Research shows that through the synergy of technology and management, the stability of the power system in the context of renewable energy integration can be effectively improved, promoting coordinated development between renewable energy and the power system.

Keywords: renewable energy integration; power system stability; improvement technology; management measures

随着全球对环境保护和可持续能源发展的重视，太阳能、风能等新能源在电力系统中的接入比例不断攀升。新能源的广泛应用虽为能源结构优化带来曙光，但因其自身特性，给电力系统稳定性带来诸多挑战。深入研究新能源接入背景下电力系统稳定性提升技术及管理措施，对于保障电力可靠供应、推动能源转型、实现经济社会可持续发展具有至关重要的意义。

一、新能源接入对电力系统稳定性的影响

(一) 新能源特性分析

太阳能、风能等新能源具有显著的间歇性、波动性与随机性。太阳能发电功率受天气和昼夜影响，晴朗时太阳能板高效发电，云层快速遮挡，发电功率几分钟内便会大幅下降。风能发电则取决于风速与风向变化，风速不稳定，风力发电机叶片转速随之改变，发电功率剧烈波动，强对流天气下，风电输出功率极不稳定。截至2022年底，我国全国发电装机容量到达256405万千瓦，其中火电装机容量133239万千瓦，水电装机容量41350万千瓦，核电装机容量5553万千瓦，并网风电装机容量36544万千瓦，

并网太阳能发电装机容量39261万千瓦，风电和太阳能新能源占比分别为14.2%，15.3%，预计在2030年底，我国新能源装机规模将达到40%以上，有望成为我国第一大装机电源^[1]。这些特性与传统火电、水电的稳定、可控形成鲜明反差，给电力系统稳定运行带来挑战。传统能源可依系统需求精准调控发电功率，新能源却难以被精确预测与调控，极大增加了电力系统运行的不确定性。

(二) 接入引发的稳定性问题阐述

新能源接入电力系统后，会致使电力系统的潮流分布发生显著改变，进而极有可能引发电压波动与闪变问题。当大规模的风电接入电网时，风速的突然变化会成为电压波动的导火索。在某

些风力资源丰富但电网结构相对薄弱的地区，一旦风速突变，风电场输出功率迅速变化，电网电压便会出现快速且明显的波动。这种电压波动会沿着输电线路传导至用户端，对各类用电设备的正常运行产生负面影响。例如，一些对电压稳定性要求较高的精密电子设备，在电压波动超出允许范围时，可能出现运行故障甚至损坏。同时，新能源发电功率的不确定性极大地增加了系统频率调节的难度^[9]。传统电力系统主要依靠同步发电机的惯性和调速器的调节作用来维持频率稳定，同步发电机能够根据系统频率的微小变化自动调整输出功率，以保持频率在额定范围内。但新能源接入后，由于其发电功率难以稳定控制，当发电功率与系统负荷无法实时匹配时，就容易造成频率偏差。若这种偏差持续积累且未得到有效纠正，严重情况下甚至会引发系统振荡，使电力系统的运行陷入混乱，对整个电力系统的安全稳定运行构成严重威胁。

二、稳定性提升技术

（一）储能技术应用

储能技术在电力系统中扮演着至关重要的角色，形象地说，其作用类似于电力系统的“充电宝”。在新能源发电过程中，当发电功率处于过剩状态时，储能技术能够将多余的电能高效储存起来；而在发电功率不足时，又可将储存的电能适时释放，补充到电力系统中。其中，锂电池储能系统凭借其突出优势，在实际应用中极为广泛。该系统具备快速的响应速度，能够敏锐捕捉电力系统功率的动态变化，并迅速做出调节，以维持功率平衡。例如，在风电富集地区，风力发电受自然条件影响，功率波动较为频繁^[9]。通过配备锂电池储能系统，当风电功率瞬间激增时，锂电池可迅速吸收多余电能，防止功率冲击对电网造成不良影响；而当风电功率骤减时，锂电池又能及时放电，将不稳定的风电转化为相对平稳的电能输出，为电网的稳定运行提供坚实保障。此外，抽水蓄能技术作为大规模储能的重要手段，通过将电能转化为水的势能进行储存，在电力系统调节峰谷差方面发挥着不可替代的关键作用。在用电低谷时段，利用多余电能将水从低位水库抽至高位水库，储存能量；在用电高峰时段，再将高位水库的水释放，驱动水轮机发电，有效缓解电力供需矛盾，保障电力系统的稳定运行。

（二）柔性交流输电技术应用

柔性交流输电技术借助先进的电力电子设备，实现了对输电系统参数的灵活且精准地控制。以静止无功补偿器（SVC）为例，其在稳定电网电压方面表现卓越。在城市电网运行过程中，用电高峰时段往往面临着较大的无功功率需求，若无功功率供应不足，将会导致电网电压下降，影响居民和企业的正常用电^[4]。此时，SVC能够迅速响应，快速调节无功功率，及时为电网补充所需的无功容量，有效避免电压下降，确保各类用电设备的稳定运行。另一种重要的柔性交流输电设备——晶闸管控制串联电容器（TCSC），则主要通过对输电线路电抗的精细调节，优化电力潮流分布。在长距离输电线路中，电抗的存在会导致电能损耗增

加，输电能力受限。TCSC通过合理改变输电线路电抗，能够引导电力潮流更加合理地分配，显著提升输电能力，增强电力系统的稳定性，减少因输电线路问题引发的系统故障，保障电力可靠传输。

（三）智能电网控制技术解析

智能电网控制技术紧密依托先进的信息技术与自动化控制手段，为电力系统的高效稳定运行提供了强有力的支持。分布式能源管理系统（DEMS）便是其中的典型代表，它能够对分布式新能源发电进行实时、全方位地监测与精准控制。在分布式光伏接入的小区电网场景中，DEMS发挥着关键作用。它可依据电网的实时负荷需求以及光伏电站的发电情况，智能优化发电调度策略^[9]。优先将光伏电能分配给小区内部用户，满足居民用电需求，最大程度提高能源就地消纳比例；当小区内部用电负荷较低，光伏电能有剩余时，再将多余电能有序输送至大电网，实现能源的高效利用，同时保障小区供电的稳定性，减少因光伏功率波动对小区用电的影响。广域测量系统（WAMS）则利用全球定位系统（GPS）的高精度授时功能，实现了对电力系统广域范围内电气量的实时、同步监测。通过对电压、电流、功率等关键电气量的精确测量与分析，WAMS能够为电力系统稳定性分析与控制提供极为精准的数据支持。借助这些数据，电力运维人员能够及时洞察系统潜在风险，如早期识别系统振荡趋势、快速定位故障区域等，为及时采取有效的控制措施提供依据，有力保障电力系统的安全稳定运行。

三、管理措施

（一）优化调度管理策略

在传统电力调度模式下，火电等常规能源占据主导地位。然而，随着新能源大规模接入电力系统，构建包含新能源的多能源联合调度体系已成为必然趋势。滚动优化调度策略在此背景下应运而生，该策略依托先进的预测技术，对新能源的短期发电功率以及负荷变化情况进行精准预估，并以此为依据实时动态调整发电计划。当出现风电大发但负荷相对较低的情况时，可灵活削减火电发电量，优先安排风电的消纳，从而有效避免新能源弃电现象的发生。同时，大力加强电网与新能源发电企业之间的信息共享机制建设，借助高效的数据交互平台，实现电力资源的优化配置^[6]。这不仅能够显著提升电力系统运行的稳定性，减少因功率失衡引发的波动风险，还能增强系统的经济性，提高能源利用效率，降低发电成本，实现电力系统综合效益最大化。

（二）完善运行维护管理体系

构建一套针对新能源发电设备与电网的一体化运维体系，对于保障电力系统安全稳定运行具有关键意义。在新能源发电设备运维方面，制定严格且科学的定期巡检制度必不可少。借助智能监测设备，能够对设备运行状态进行全方位、实时化监测，通过对光伏板的温度、电流、电压等关键参数的持续跟踪分析，及时发现潜在故障隐患，精准排查出故障光伏板，确保光伏发电过程的持续性与稳定性。在电网运维领域，着重加强对输电线路、变

电站等核心设备的维护力度。尤其是在新能源接入点，因其特殊性易引发系统故障，需进一步强化设备检测工作，采用先进的检测技术与设备，如智能巡检机器人、高精度电气检测仪器等，对设备进行精细化检测，及时发现并处理设备缺陷，确保电网安全稳定运行，最大限度降低因设备故障引发的系统风险，保障电力供应的可靠性^[7]。

（三）政策法规与激励机制探讨

政府在推动新能源有序发展与接入过程中发挥着至关重要的引导作用。通过出台一系列相关政策法规，为新能源产业的健康发展保驾护航。制定详尽且严格的新能源并网标准，明确规定新能源发电设备接入电网时所需满足的技术要求以及安全规范，从源头上保障接入质量，确保新能源发电能够安全、稳定地并入电网^[8]。同时，积极建立科学合理的激励机制，对于积极主动消纳新能源的电网企业，给予相应的补贴支持，激励电网企业加大在新能源接入基础设施建设、技术研发等方面的投入，提升新能源接入能力；对于采用先进稳定性提升技术的新能源发电企业，给予税收优惠政策，降低企业运营成本，激发企业技术创新活力，推动整个行业技术水平的进步。通过政策法规与激励机制的协同作用，从政策层面为电力系统稳定性提升措施的有效实施提供坚实保障，促进新能源与电力系统的深度融合与协调发展。

四、案例分析

（一）实际项目案例介绍

甘肃省酒泉市作为中国重要的新能源基地，凭借其丰富的风能和太阳能资源，已成为全国新能源发展的标杆地区^[9]。该市的新能源示范项目通过大规模接入风电和光伏发电，成功实现了清洁能源的高效利用。项目区内建设了多个大型风电场和光伏电站，总装机容量超过20GW，并通过 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路（酒泉-湖南）将清洁能源远距离输送至华中地区，有效解决了当地新能源消纳难题。在项目实施过程中，酒泉市配套建设了多个锂电池储能电站，总容量超过500MWh，同时部署了柔性交流输电装置（如STATCOM），显著提升了电网的稳定性和调节能力。此外，项目还引入了先进的智能电网控制系统，实现了对新能源发电和电网运行的实时精准监控与调度。通过优化调度管理和完善运维体系，项目不仅提高了电网运行效率，还为大规模新能源并网积累了宝贵经验。

（二）技术与管理措施实施效果评估

根据实际运行监测数据，储能系统在平抑风电和光伏功率波动方面发挥了显著作用，使新能源发电输出稳定性提升了30%，有效缓解了间歇性电源对电网的冲击。柔性交流输电装置的应用，将电网电压合格率提升至99.5%以上，为电压稳定提供了坚实保障。智能电网控制系统的部署，实现了对新能源发电和电网运行的实时精准控制，使故障响应时间缩短了50%，大幅提高了电网的可靠性和应急能力。此外，通过优化调度管理，项目将新能源弃电率成功降低至5%以下，显著提升了清洁能源的利用率。同时，完善后的运维体系使设备故障率减少了20%，进一步保障

了电力系统的长期稳定运行^[10]。综合来看，该项目通过技术与管理协同创新，显著提升了电力系统的整体稳定性，为全国范围内大规模新能源并网项目提供了可复制、可推广的成功范例，具有重要示范意义和参考价值。

五、结束语

本研究系统性剖析了新能源接入背景下电力系统稳定性问题。精准解析太阳能、风能等新能源间歇性、波动性、随机性特性，深入阐释其接入引发的电力系统潮流异常、电压波动、频率调节等难题。全面探究储能、柔性交流输电、智能电网控制等技术，以及优化调度管理、完善运维体系等管理策略，构建起完备科学的研究体系。实践证明，落实这些技术与举措，能有效应对挑战，提升系统稳定性与可靠性。展望未来，随着新能源接入规模扩大，需推动技术创新、管理优化，强化政策引导，促进新能源与电力系统深度融合，筑牢能源可持续发展根基。

参考文献

- [1]郑絮.规模化新能源接入地区电网次同步振荡问题的研究[D].贵州大学,2023. DOI:10.27047/d.cnki.ggudu.2023.001477.
- [2]范俊杰.谐振约束的区域微网新能源接入容量提升研究[D].燕山大学,2023. DOI:10.27440/d.cnki.gysdu.2023.002037.
- [3]叶林,裴铭,杨建宾,等.极端天气下的新能源电力系统电力电量平衡体系[J].电力系统自动化,2025,49(04):2-18.
- [4]沈鸿达.储能技术在新能源电力系统中应用研究[J].科技资讯,2024,22(21):85-87. DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2406-5042-2999.
- [5]王磊,胡清.储能技术在新能源电力系统中的应用[J].通讯世界,2024,31(10):88-90.
- [6]刘洋福,曹俊,彭双武.新能源电力系统中储能技术的应用研究[J].光源与照明,2024,(08):213-215.
- [7]王占军.新能源电力系统中的控制技术优化策略分析[J].电子技术,2024,53(08):326-327.
- [8]章晓丽.能源互联网下新能源电力系统中的储能技术研究[J].光源与照明,2024,(07):168-170.
- [9]徐新田,赵爽,赵建华,等.甘肃河西地区抽水蓄能电站带动新能源经济规模研究[J].西北水电,2024,(03):114-119+137.
- [10]王占东.甘肃电力装机容量突破8000万千瓦大关[N].甘肃日报,2023-12-15(001). DOI:10.28286/n.cnki.ngsrb.2023.004953.

火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析

梁海波

国家电投大连泰山热电有限公司, 辽宁 大连 116021

DOI: 10.61369/ETQM.12220

摘 要 : 本文对火力发电厂集控运行节能降耗技术措施进行了探讨, 先分析了当前火力发电厂节能降耗技术应用的瓶颈, 随后详细探讨了火力发电厂集控运行节能降耗技术的应用, 包括设备级、系统级、全厂级、数字化孪生与虚拟电厂技术。通过多方面技术的综合应用, 有助于火力发电厂实现节能降耗目标, 推动其绿色转型与高质量发展。

关 键 词 : 火力发电厂; 节能降耗; 能源

Analysis of Technical Measures for Energy Saving and Consumption Reduction in the Centralized Control Operation of Thermal Power Plants

Liang Haibo

Dalian Taishan Thermal Power Co., Ltd., State Power Investment Corporation, Dalian, Liaoning 11602

Abstract: This paper explores the energy-saving and consumption-reducing technology measures for the centralized control operation of thermal power plants. It first analyzes the bottlenecks in the application of energy-saving and consumption-reducing technology in thermal power plants, and then discusses the application of energy-saving and consumption-reducing technology the centralized control operation of thermal power plants in detail, including equipment level, system level, plant level, digital twin and virtual power plant technology. Through the comprehensive of multi-faceted technology, it helps thermal power plants to achieve the goal of energy saving and consumption reduction, and promotes their green transformation and high-quality development

Keywords: thermal power plant; energy saving and consumption reduction; energy

在“双碳”目标推进下, 新能源发电技术快速发展, 但火力发电仍然是我国能源体系的主体, 在短期内煤炭仍将承担基础能源保障功能, 因此提升火力发电效率、降低能耗与碳排放, 是火力发电厂发展的核心命题。集控运行技术是火力发电厂智能化与精细化管理的重要手段, 对火力发电厂的节能降耗具有重要意义。因此, 本文对火力发电厂集控运行节能降耗技术措施进行分析, 以此助力火力发电厂的绿色转型与高质量发展。

一、当前火力发电厂节能降耗技术应用瓶颈

(一) 余热资源回收利用率低

在火力发电过程中, 会产生大量的余热, 这些余热大多数被排放至环境中, 造成了严重的能源浪费。锅炉排烟余热便是其中典型, 排烟温度通常处于120–180℃之间, 蕴含着可观的热能。传统的余热回收装置虽能在一定程度上回收部分热量, 但受限于其自身的工作原理, 难以实现与排烟温度的精准匹配。例如, 目前使用较多的省煤器主要用于加热给水, 其换热效率受给水流量与温度的影响较大, 当锅炉负荷发生变化时, 排烟温度波动, 省煤器难以快速适应, 部分余热就无法被充分利用。汽轮机乏汽余热亦是如此, 乏汽中携带的热量通常被直接排入冷凝器, 通过循环水冷却后散失。虽然有部分电厂尝试采用乏汽余热回收装置, 但在实际应用中存在系统集成复杂、设备投资大、运行稳定性差

等问题^[1]。由于热泵系统需要与原有的汽水系统、循环水系统进行深度集成, 各系统之间的参数匹配、协同运行难度高, 一旦某一环节出现故障, 将影响整个余热回收系统的正常运行, 使汽轮机乏汽余热回收利用率始终处于较低水平。

(二) 运行参数与设备匹配度不足

火力发电机组在运行过程中, 负荷需求不断变化, 从低负荷到高负荷的切换频繁。在此过程中, 控制参数的准确调节至关重要。以主汽压力为例, 当机组负荷增加时, 需要及时提高主汽压力, 以满足汽轮机的做功需求。然而, 在实际运行中, 由于锅炉的蓄热能力有限, 若主汽压力提升过快, 容易导致锅炉燃烧不稳定, 甚至出现熄火现象。反之, 若提升过慢, 则会导致汽轮机的进汽量不足, 降低机组的发电效率。同样, 主汽温度与风量的控制也存在类似问题。主汽温度过高, 会对汽轮机的叶片等部件造成热力损伤, 缩短设备使用寿命, 温度过低, 则会导致汽轮机的

焓降减小, 做功能力下降。而风量的控制直接影响锅炉的燃烧效率, 当风量过大时, 会增加排烟热损失, 风量过小时, 又会导致燃料燃烧不充分, 产生不完全燃烧热损失。最后, 锅炉的蓄热能力、汽轮机的效率曲线, 会随着设备的运行时间、工作状态变化等因素而发生改变^[2]。但目前多数火力发电厂的运行参数未能根据设备的变化进行调整, 导致机组在运行过程中频繁偏离最优工作状态, 能源消耗增加。

(三) 控制系统智能化水平不足

目前, 多数火力发电厂都采用 PID 控制, 然而, 火力发电具有高度的非线性、多变量耦合、强干扰等特点, 其工作状况较为复杂, 在机组启动、停机以及大幅度负荷变化过程中, PID 控制难以快速、准确的对系统进行调节。在机组启动初期, 锅炉的燃烧过程处于不稳定状态, 燃料量、风量与蒸汽压力、温度之间存在着复杂的非线性关系, PID 控制器难以根据实时变化的情况快速调整控制参数, 导致启动过程能耗高、时间长^[3]。对于磨煤机、风机等关键设备, 现有控制系统对其运行状态的监测能力也存在不足。磨煤机在运行过程中, 由于煤质的变化、磨辊磨损等原因, 可能出现磨煤出力下降、能耗增加等问题, 但目前多数电厂对磨煤机的运行状态监测主要依赖人工巡检, 结合简单的振动、温度监测仪表, 无法全面掌握设备的运行状况。同样, 风机在长期运行过程中, 容易出现叶片积灰、轴承磨损等问题, 但由于缺乏有效的监测手段, 往往在设备出现严重故障后才进行维修, 导致机组被迫停机, 影响了发电效率。

二、火力发电厂集控运行节能降耗技术的应用

(一) 设备级节能技术

1. 燃烧控制优化

传统燃烧器在燃烧过程中, 由于燃烧区温度较高, 且空气与燃料混合不均匀, 易产生大量 NO_x (氮氧化物), 造成环境污染的同时还伴随着能量的无效损耗。低氮燃烧器的结构设计较为特殊, 采用分级燃烧和空气分级技术, 将燃烧过程分为多个阶段。第一阶段, 燃料在缺氧或低氧环境下进行不完全燃烧, 此时燃烧温度较低, 可有效抑制 NO_x 的生成。在后续阶段, 再补充适量空气, 使燃料充分燃烧。如此在保证燃烧效率的同时, 能够大幅降低 NO_x 排放, 减少了因尾气处理带来的能源消耗。除此之外, 煤粉浓度的均匀性对燃烧效果也有明显影响。当进入炉膛的煤粉浓度不均匀时, 浓度高的区域易出现燃烧不完全的现象, 导致燃烧过程中产生大量飞灰可燃物, 造成能源浪费^[4]。浓度低的区域则容易导致燃烧不稳定, 甚至熄火。因此, 要实现节能降耗, 应对煤粉浓度均匀性进行调整, 采用先进的煤粉分配器。分配器需要进行特殊的流道设计和阻力调节装置, 能根据各燃烧器的需求, 精准分配煤粉, 使进入每个燃烧器的煤粉浓度更加均匀。

2. 汽轮机通流优化

汽轮机叶片在长期运行过程中, 会受到蒸汽冲刷、结垢等影响, 导致叶片型线发生变化, 表面粗糙度增加, 进而使蒸汽在通流部分的流动阻力增大, 汽轮机效率降低, 对叶片进行改造可有

效解决这一问题。可采用新型的叶片材料, 如高强度、抗冲刷的钛合金材料, 提高叶片的抗磨损能力。同时, 优化叶片的型线设计, 采用三维扭曲叶片技术, 使蒸汽在叶片表面的流动更加贴合型线, 减少流动损失^[5]。除叶片外, 传统的汽封结构在运行过程中, 蒸汽容易通过汽封间隙泄漏, 降低汽轮机的效率。因此, 可采用新型的可退让式结构气封, 在汽轮机启动和停机过程中, 汽封块能够自动退让, 增大汽封间隙, 避免汽封与转子发生摩擦。在正常运行时, 汽封块在蒸汽压力作用下自动贴紧转子, 减小汽封间隙, 有效减少蒸汽泄漏。

3. 辅机系统能效调节

火力发电厂中的风机、水泵等辅机在运行过程中, 其负荷会随着机组工作情况的变化而改变。传统的定速运行辅机无法根据实际负荷需求进行调节, 导致在低负荷状况下, 电机仍以额定转速运行, 消耗大量电能。因此, 可采用变频调速技术, 调节电机的供电频率来改变电机的转速, 从而实现对辅机输出功率的精确控制^[6]。在电机方面, 可采用永磁电机替代传统的异步电机, 该类电机采用永磁体产生磁场, 无需励磁电流, 减少了励磁损耗, 其结构紧凑, 运行可靠, 在相同功率输出的情况下, 永磁电机的体积和重量更小。在火力发电厂的辅机系统中应用永磁电机, 可有效降低电机的能耗。

(二) 系统级协同优化

1. 机组变负荷过程动态控制

在火力发电厂的实际运行中, 机组负荷需频繁根据电网需求进行调整。传统控制方法在变负荷过程中, 难以精准地协调锅炉、汽轮机等关键设备的运行参数, 常导致机组效率下降、能耗增加。因此, 可采用动态控制的方法, 运用预测控制算法, 结合实时监测数据, 提前预判负荷变化趋势, 从而优化设备调节幅度。例如, 当机组接到升负荷指令时, 系统首先利用锅炉的蓄热能力, 快速增加燃料量, 同时根据预设的动态响应曲线, 合理调整送风量与引风量, 确保燃烧过程稳定且高效。汽轮机侧则根据蒸汽流量与压力变化, 精准控制调节阀开度, 使功率平稳提升^[7]。

2. 余热梯级利用

火力发电过程中产生的余热具有温度跨度大、品质多样的特点, 为梯级利用提供了可能。余热梯级利用系统将不同温度的余热资源进行分类回收, 并根据其品位匹配相应的用能需求。在锅炉排烟余热的高温段, 可通过增设高温省煤器或余热锅炉, 将热量传递给锅炉给水或产生中低压蒸汽, 用于驱动小型汽轮机发电或工业生产。中温段的汽轮机抽汽余热, 可用于加热生水、预热空气或供应厂区供暖。低温段的乏汽余热则可借助吸收式热泵技术, 提升温度后用于建筑供暖或生活热水供应。通过能量流重构方式, 大幅降低能源消耗。

3. 汽水系统智能损耗控制

汽水系统是火力发电厂能量转换的关键, 智能平衡技术借助传感器网络与数据分析平台, 能够实时监测汽水系统中各点的压力、温度、流量等参数, 并通过智能算法对系统进行动态控制。当系统出现汽水泄漏或参数异常时, 智能诊断系统能够迅速定位问题所在, 并自动调整相关阀门开度与设备运行状态, 实现汽水

流量的精准平衡，减少不必要的能量损耗。

（三）全厂级综合优化

1. 多机组负荷分配优化

在拥有多台机组的火力发电厂中，合理分配各机组负荷是提升整体发电效率的关键。传统的负荷分配方式多依靠机组的额定功率或简单的优先顺序进行，忽略了机组在不同负荷段的实际能耗。先进的多机组负荷分配则需要借助大数据分析与控制算法，综合考量各机组的煤耗曲线、变负荷响应能力等因素，通过构建多目标优化模型，以全厂发电煤耗最低、厂用电率最小为目标，动态计算并分配各机组的负荷。

2. 智能调度与 AGC 协同控制

智能调度系统依托高速通信网络与监控技术，能够对电厂内各机组及辅助设备的运行状态进行实时、全面地监测。与 AGC（自动发电控制）系统协同工作时，能够根据电网的实时负荷及频率变化，精准调整机组的发电功率^[9]。AGC 系统接收电网调度中心的负荷调节信号后，智能调度系统会迅速分析各机组的当前运行参数，按照预设的优化方案，向相应机组发出负荷调整指令。在这一过程中，智能调度系统不仅能确保机组能够准确、及时响应电网需求，还能在调节过程中兼顾机组的稳定运行，优化能耗控制。通过优化机组的负荷调节速率与幅度，避免频繁、大幅度的负荷波动对机组设备造成损害，同时降低因调节不当导致的额外能耗。

3. 碳捕集与多能互补

碳捕集系统通过化学吸收、物理吸附等方法，从锅炉燃烧后的烟气中分离出二氧化碳，并进行压缩、运输与封存。虽然碳捕集过程本身需要消耗一定能量，但从长远来看，对于减少温室气体排放、实现可持续发展具有重要意义。多能互补集成技术则是将火力发电与其他能源形式有机结合^[9]。在光照充足或风力强劲时，可优先利用太阳能光伏发电或风力发电满足部分厂用电需求，多余电量还可上网销售。在能源供应不足或负荷高峰时段，火力机组及时补充发电。通过多能互补，电厂能够实现能源供应的多元化、智能化，减少对单一煤炭能源的依赖，降低碳排放

强度。

（四）数字化孪生与虚拟电厂技术

数字化孪生技术是通过数字化模型对物理实体进行实时映射、监测与分析的技术。在火力发电厂中，利用传感器、物联网等技术采集设备运行数据，将其传输至数字化孪生平台。平台基于数据构建电厂设备及系统的三维模型，模型有与物理实体一致的外观结构，更能精确模拟其运行状态。以锅炉设备为例，数字化孪生模型能够实时反映燃烧室内的温度分布、火焰形状以及受热面的换热情况。运行人员通过观察虚拟模型，可直观了解锅炉内部的情况，及时发现潜在问题^[10]。虚拟电厂并非传统意义上的实体电厂，而是通过信息技术与通信网络，将分布式能源资源、可控负荷、火力发电单元整合起来的虚拟电力系统。系统借助能量管理系统和分布式能源管理系统，实现对各类能源资源的统一调度。在虚拟电厂架构中，各分布式能源资源与火力机组的数据实时上传至中央控制系统，系统根据电网需求、能源价格的实时状态，通过优化算法制定最优的发电计划。

虚拟电厂在制定能源调度方案时，可借助数字化孪生模型对各能源设备及系统的运行状态进行模拟与分析，预测不同调度方案下的能源生产与消耗情况，从而优化调度方案，提高能源利用效率。反过来，虚拟电厂的运行数据又能为数字化孪生模型的优化提供反馈。通过对实际运行数据与虚拟模型预测结果的对比分析，不断修正模型参数，提高模型的准确性。双向互动的机制，实现了数字化孪生与虚拟电厂的协同增效，为火力发电厂融入智能电网、实现绿色低碳发展奠定基础。

三、结束语

在“双碳”目标下，火力发电厂亟需进一步提升节能降耗水平，突破现有技术瓶颈，科学应用各类节能降耗技术，从设备、系统到全厂进行综合优化，借助数字化与智能化手段，提升能源利用效率，降低碳排放，更好地适应能源结构转型的需求，在保障能源供应的同时，为可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 刘勇刚. 火力发电厂集控运行节能降耗技术措施探析 [J]. 灯与照明, 2025, 49(01): 167-169+173.
- [2] 尹冬年. 电厂锅炉运行中节能降耗技术的应用 [J]. 电力设备管理, 2024, (24): 258-260.
- [3] 曹昊, 高宇, 彭彬彬, 等. 基于余热回收的火力发电厂热力系统节能设计 [J]. 电气时代, 2024, (12): 57-60.
- [4] 涂沛亮. 火力发电厂发电机组集控运行技术 [J]. 通讯世界, 2024, 31(04): 97-99.
- [5] 周国梁, 王昱丹. 发电厂单元机组集控运行危险点预控分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (06): 127-129.
- [6] 杨惠雅. 节能降耗技术: 火力发电厂集控运行新驱动 [J]. 中国商人, 2023, (09): 90-91.
- [7] 吴昊. 火电厂集控运行节能降耗措施 [J]. 化学工程与装备, 2022, (10): 205-206+155.
- [8] 文发红. 火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究 [J]. 光源与照明, 2022, (06): 139-141.
- [9] 曾学文. 火电厂集控运行节能降耗措施研究 [J]. 科技与创新, 2022, (02): 4-6+10.
- [10] 徐国烽. 电厂集控运行的节能降耗措施分析 [J]. 集成电路应用, 2021, 38(07): 160-161.

隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术

席晓龙

陕西省成通机械化公路生态工程有限责任公司, 陕西 西安 710000

DOI: 10.61369/ETQM.12223

摘 要：针对隧道渗漏水严重影响其结构安全、耐久性与运营环境的现状，本研究从隧道渗漏水的成因分析出发，详细介绍了隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术施工流程。分析发现，精准把握各成因及规范实施施工流程，能有效提升渗漏水治理效果。通过分析，文章旨在为隧道渗漏水治理提供系统、科学的技术路径与实践指导，以保障隧道长期稳定、安全运营。

关 键 词：隧道渗漏水；嵌缝堵漏；成因；施工流程

Leakage Remediation Technology for Tunnel Defects through Joint Sealing

Xi Xiaolong

Shaanxi Chengtong Mechanized Highway Ecological Engineering Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: In response to the current situation where tunnel leakage severely affects structural safety, durability, and operational environment, this study begins with an analysis of the causes of tunnel leakage and provides a detailed introduction to the construction process of joint sealing and leakage remediation technology for tunnel defects. Through analysis, it is found that precise understanding of various causes and standardized implementation of the construction process can effectively improve the effectiveness of leakage treatment. The article aims to provide a systematic and scientific technical pathway and practical guidance for tunnel leakage treatment, ensuring long-term stability and safe operation of tunnels.

Keywords: tunnel leakage; joint sealing; causes; construction process

在现代化交通体系中，隧道承担着关键的运输任务，是连接区域间的重要脉络。然而，隧道渗漏水问题却普遍存在，给其结构安全与运营带来诸多挑战。渗漏水不仅会引发钢筋锈蚀，破坏混凝土结构，缩短隧道使用寿命，还会影响隧道内设备运行，增加行车安全隐患。为有效解决这一顽疾，隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术应运而生。该技术通过科学方法封堵渗漏水通道，恢复隧道防水性能。深入研究这一技术，对保障隧道安全、降低维护成本意义重大，本文将对其展开全面探讨。

一、隧道渗漏水的成因分析

（一）地质因素

地质条件对隧道渗漏水有着根本性的影响。富水地层，像富含孔隙水的砂土层以及裂隙水发育的岩层，地下水储量丰富且水头压力较高。当隧道穿越这类地层时，地下水会在压力驱使下，透过隧道衬砌的孔隙、裂缝等薄弱处渗入隧道。断层破碎带地质结构复杂，岩石破碎，节理裂隙众多，地下水径流条件优越。一旦隧道穿越断层破碎带，就如同打开了地下水通道，大量地下水迅速涌入。并且断层破碎带岩石力学性质差，隧道衬砌在该区域更易变形、开裂，加剧了渗漏水问题。

岩溶发育区地质情况特殊，地下有大量溶洞、暗河等岩溶形态。隧道施工若不慎揭穿溶洞或暗河，会引发大规模涌水涌泥事故，对施工和运营安全构成极大威胁。即便未直接揭穿岩溶水体，岩溶地区的地下水也可能通过溶蚀裂隙等通道渗透进入隧道。像某城市地铁隧道在岩溶发育区施工时，就多次遭遇小型涌

水事件。此外，地质勘察若不准确，未能查明地层中地下水分布、地质构造等信息，会使隧道防水设计和施工缺乏针对性，增加渗漏水风险。

（二）设计因素

隧道防水设计方案的合理性直接关系到渗漏水问题是否发生。防水等级需依据隧道用途、地质条件、环境要求等因素合理确定。若防水等级过低，隧道衬砌防水性能无法满足实际需求，渗漏水就容易出现。

防水结构设计是防水方案的核心。防水卷材选型很关键，不同类型防水卷材性能不同，如 SBS 改性沥青防水卷材耐高温、耐低温性能好，高分子防水卷材耐化学腐蚀、抗穿刺性能突出。若防水卷材选型不当，不能适应隧道地质和环境条件，就难以发挥防水作用^[1]。施工缝和变形缝是隧道防水的薄弱环节。施工缝设计不合理，比如未设有效止水措施，或止水带选型、安装不当，混凝土浇筑时水泥浆易流失，导致施工缝出现缝隙，成为渗漏水通道。变形缝若不能适应隧道结构变形，在结构沉降、伸缩等变

形过程中，止水带易被拉裂或破坏，引发渗漏水。另外，排水系统设计也很重要，排水坡度不足会使隧道内积水无法及时排出，积水在重力和水压作用下渗透进入隧道衬砌结构，增加渗漏水风险。

（三）施工因素

施工过程中的防水施工质量对隧道渗漏水状况起决定性作用。防水卷材铺设质量直接影响防水层防水效果。铺设防水卷材时，若基层处理不平整，存在尖锐凸起物，容易刺破防水卷材，形成渗漏水隐患。卷材搭接宽度不足、搭接处粘结不牢固，会使防水层出现缝隙，地下水可借此渗透进入隧道。

止水带安装是防水施工的关键环节。止水带安装时若出现偏移、扭曲，或与混凝土粘结不紧密，混凝土浇筑后止水带无法发挥止水作用，施工缝就会成为渗漏水通道。而且止水带在运输、储存过程中若受损，出现孔洞、裂缝等，也会影响止水效果。混凝土浇筑质量同样重要，混凝土振捣不密实，内部会形成蜂窝、麻面、孔洞等缺陷，为地下水渗透提供通道。同时，混凝土配合比不合理，水灰比过大，会降低混凝土抗渗性能，增加渗漏水可能性^[2]。

（四）运营因素

隧道在长期运营中，受多种因素影响产生渗漏水问题。车辆荷载反复作用，使隧道衬砌结构承受频繁动应力，在动应力作用下，衬砌结构内部微裂缝逐渐扩展、贯通，形成宏观裂缝，地下水通过这些裂缝渗透进入隧道^[3]。温度变化使隧道结构热胀冷缩，在温度变化频繁且幅度大的地区，隧道衬砌结构反复伸缩，内部易产生应力集中，导致衬砌开裂，进而引发渗漏水^[4]。此外，地震等自然灾害会严重破坏隧道结构，使衬砌出现裂缝、变形甚至坍塌，大幅增加渗漏水风险。运营管理中维护不及时也是导致渗漏水问题加剧的重要原因。隧道内排水系统若不定期清理，杂物堆积堵塞排水管道，隧道内积水无法及时排出，积水水位升高，对隧道衬砌结构产生更大水压，促使渗漏水问题恶化。

二、隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏诊治技术施工流程

（一）施工前准备工作

在开展隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏施工前，全面且细致的准备工作是确保施工顺利进行的基础。首先，组建专业的施工团队至关重要。团队成员应具备丰富的隧道防水施工经验，熟悉嵌缝堵漏技术的操作流程和质量标准。对团队成员进行技术培训，使其深入了解本次施工所采用的技术方案、施工工艺以及安全注意事项，提高施工人员的专业技能和安全意识。同时，准备齐全施工所需的各类设备和工具，如钻孔设备、注浆设备、切割工具、清理工具等，并对设备进行调试和维护，确保其在施工过程中能够正常运行。在材料准备方面，根据设计要求和现场实际情况，采购质量合格的嵌缝材料、防水浆料、卷材等材料。对采购的材料进行严格的质量检验，检查材料的产品合格证、质量检验报告等质量证明文件，确保材料性能符合相关标准和设计要求。此外，对隧道渗漏水现场进行详细勘查。全面了解渗漏水的部位、渗

水量、渗漏形式等情况，并做好记录。绘制详细的渗漏水现状图，标注出渗漏水的具体位置、严重程度等信息，为后续的施工方案制定提供准确依据^[5]。同时，对隧道内的既有设施进行保护，如对电缆、通风管道、照明设备等进行遮盖、包裹，防止在施工过程中受到损坏。

（二）渗漏水缺陷嵌缝堵漏区域定位

精确的区域定位是嵌缝堵漏施工的关键第一步。采用多种方法对渗漏水部位进行精准定位。首先，通过现场目视检查，观察隧道衬砌表面的水渍、湿痕、流挂等现象，初步判断渗漏水的大致位置。对于一些隐蔽性较强的渗漏水部位，可借助专业的检测仪器，如红外热像仪、超声波检测仪等进行检测。红外热像仪能够通过检测物体表面的温度差异，发现因渗漏水导致的温度异常区域，从而确定渗漏水位置。超声波检测仪则可利用超声波在不同介质中的传播特性，检测衬砌内部的缺陷和渗漏水通道^[6]。在确定渗漏水位置后，对渗漏水区域进行详细标记。采用彩色油漆或标记带，在隧道衬砌表面清晰标注出渗漏水区域的边界，同时记录下该区域的具体位置信息，如里程桩号、隧道拱顶或边墙的具体部位等。对于多个渗漏水区域，按照一定的顺序进行编号，以便后续施工管理和质量控制。在定位过程中，若发现渗漏水问题较为复杂，如存在多个渗漏水点相互连通或与隧道周边的地质构造有关，应及时组织技术人员进行现场研讨，制定针对性的解决方案。

（三）利用碎石碎片初步填补区域空隙

在确定渗漏水缺陷嵌缝堵漏区域后，利用碎石碎片对区域空隙进行初步填补。选择粒径合适的碎石碎片，一般粒径控制在5—20mm之间，确保其能够有效填充较大的空隙，同时又不会影响后续的施工操作。使用小型工具，如扫帚、铲子等，将碎石碎片均匀地铺设在渗漏水区域空隙处。对于较大的孔洞或缝隙，可先用较大粒径的碎石碎片进行初步填充，然后再用较小粒径的碎石碎片进行找平，使填充表面尽量平整。在铺设碎石碎片过程中，轻轻敲击碎石，使其相互嵌挤紧密，增强填充的稳定性。填充完成后，对填充表面进行清理，去除多余的碎石碎片和灰尘，为后续的嵌缝堵漏施工创造良好的基础条件。通过初步填补空隙，能够减少渗漏水的流量，降低后续施工的难度，同时也为嵌缝材料的填充提供更好的支撑。

（四）确定嵌缝堵漏区域止水图

根据渗漏水缺陷嵌缝堵漏区域的实际情况，确定详细的止水图。止水图应清晰标注出嵌缝的位置、宽度、深度，以及堵漏的范围和重点部位。对于不同类型的渗漏水情况，制定相应的止水方案。例如，对于点渗漏，在渗漏点周围确定一定范围进行嵌缝和堵漏处理；对于线渗漏，沿渗漏线方向确定嵌缝和堵漏的宽度和长度。

在绘制止水图时，充分考虑隧道衬砌的结构特点和渗漏水的成因。若渗漏水是由于衬砌结构裂缝引起的，止水图应围绕裂缝进行设计，包括对裂缝的处理方式、嵌缝材料的选择和铺设范围等。同时，结合施工前的勘查资料，如地质条件、隧道结构设计图纸等，确保止水图的科学性和合理性。止水图绘制完成后，组

织施工人员进行技术交底,使施工人员清楚了解每个区域的施工要求和操作要点,确保施工过程严格按照止水图进行。

（五）制备嵌缝堵漏防水浆料

制备高质量的嵌缝堵漏防水浆料是确保施工质量的关键环节。根据设计要求和选用的材料,准确计算各种原材料的用量。常用的嵌缝堵漏防水浆料由水泥、砂、添加剂等组成。水泥应选用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥,确保浆料具有足够的强度。砂应采用洁净、坚硬的中砂,含泥量不超过3%。添加剂可根据实际需要选用,如防水剂、膨胀剂、缓凝剂等,以改善浆料的性能。在搅拌过程中,先将水泥和砂倒入搅拌机中,干拌均匀,然后加入适量的水和添加剂,继续搅拌。搅拌时间应根据搅拌机的性能和浆料的种类确定,一般不少于3min,确保各种原材料充分混合,浆料均匀一致。搅拌完成后,对防水浆料的性能进行检测,如流动性、粘结强度、抗渗性等。检测结果应符合相关标准和设计要求,若不符合要求,及时调整原材料的配合比,重新搅拌。制备好的防水浆料应在规定的时间内使用,一般不宜超过2h,防止浆料初凝影响施工质量^[7]。

（六）嵌缝填充

在完成前期准备工作后,进行嵌缝填充施工。首先,对嵌缝区域的基层进行处理。使用钢丝刷、扫帚等工具,清除嵌缝区域表面的灰尘、油污、松散颗粒等杂质,使基层表面干净、粗糙,以增强嵌缝材料与基层的粘结力。对于基层表面的裂缝、孔洞等缺陷,采用修补材料进行修补,确保基层平整。将制备好的嵌缝材料,如密封胶、止水条等,按照设计要求填充到嵌缝槽内^[8,9]。对于密封胶,使用专用的打胶枪将密封胶均匀地注入嵌缝槽内,注胶过程中应保持胶枪的匀速移动,确保密封胶填充饱满、密实,无气泡、空洞。对于止水条,根据嵌缝槽的尺寸裁剪合适长度的止水条,将止水条粘贴在嵌缝槽底部,粘贴时应确保止水条与基层紧密贴合,无翘起、松动现象。止水条之间的搭接长度应符合设计要求,一般不小于50mm,搭接处采用专用胶水粘结牢固。嵌缝填充完成后,对嵌缝表面进行修整。使用刮刀等工具,将嵌缝材料表面刮平,使其与隧道衬砌表面平齐,保证外观质量。同时,对嵌缝材料与基层的粘结情况进行检查,若发现有粘结不牢的部位,及时进行补胶或重新粘贴处理^[10]。

（七）铺设卷材防水层

铺设卷材防水层是进一步增强隧道防水性能的重要措施。在铺设卷材前,确保基层表面平整、干燥,含水率不超过9%。若基层表面存在潮湿现象,应先进行烘干或采用其他干燥措施,防止卷材铺设后出现空鼓、起泡等问题。根据隧道渗漏水区域的形状和尺寸,合理裁剪卷材。卷材的搭接宽度应符合设计要求,一般不小于100mm。在卷材搭接处,将卷材表面的隔离膜去除,采用热熔法或冷粘法进行粘结。

对于热熔法,使用喷枪将卷材搭接处的卷材和基层加热,使卷材表面的沥青熔化,然后迅速将卷材粘贴在基层上,并使用压辊滚压,确保卷材与基层粘结牢固,搭接处密封严密。对于冷粘法,在卷材搭接处和基层表面均匀涂刷专用的胶粘剂,待胶粘剂干燥至不粘手时,将卷材粘贴在基层上,并进行压实。铺设卷材

时,应注意卷材的铺贴方向,一般应与隧道轴线方向垂直或平行,确保卷材的防水效果。卷材铺设完成后,对卷材防水层进行质量检查,若发现存在缺陷,及时进行修补或返工处理。

三、结语

隧道渗漏水问题严重威胁隧道的结构安全、耐久性以及运营的安全性和舒适性。通过对地质、设计、施工和运营等多方面成因的深入分析,明确了各因素对渗漏水问题的影响机制。在此基础上,详细阐述的隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术施工流程,从施工前准备到铺设卷材防水层,每一个环节都紧密相扣,对保障施工质量、有效治理渗漏水具有重要意义。在实际工程应用中,应根据隧道的具体情况,灵活运用这些技术,严格把控施工质量,以实现隧道渗漏水问题的高效整治,确保隧道的长期稳定运行。同时,随着技术的不断发展和创新,未来可进一步探索更先进的材料和工艺,为隧道防水领域注入新的活力,提升隧道工程的整体质量和安全性。

参考文献

- [1] 靳昊,易忠来,李化建,等.铁路隧道典型渗漏病害整治技术[J].中国铁路,2015,(12):68-72.
- [2] 黄锦泉.公路隧道二次衬砌后渗漏水处理技术研究[J].福建建材,2022,(08):71-73+82.
- [3] 李鸿阳.武汉某公路隧道变形缝渗漏原因分析及整治方法[J].建筑施工,2023,45(03):530-533.
- [4] 贾东东.隧道渗漏水缺陷嵌缝堵漏整治技术研究[J].山西师范大学学报(自然科学版),2023,37(03):97-103.
- [5] 何威.探析地铁既有隧道防水堵漏施工的质量控制相关问题[J].佳木斯职业学院学报,2018,(05):477-478.
- [6] 张琨,陈定方,高铭鑫,等.有监督学习下的市域铁路隧道结构裂缝边缘识别方法[J].中国机械工程,2021,32(04):446-453.
- [7] 彭勇.运营地铁盾构隧道堵漏施工技术[J].广州建筑,2015,43(01):32-35.
- [8] 代显奇,王军,李占先,等.盾构隧道渗漏水病害成因与防治现状[J].人民长江,2022,53(11):186-192.
- [9] 刘文刚,张含霞.盖挖逆作法地下通道渗漏水缺陷治理措施研究[J].四川水利,2023,44(03):47-50.
- [10] 陈森森,高鑫荣,李康.水下大直径盾构隧道渗漏综合整治技术[J].中国建筑防水,2021,(05):44-49.

电子信息工程与计算机网络融合在物联网中的应用

冯伦洋

六安市中医院, 安徽 六安 237000

DOI: 10.61369/ETQM.12224

摘 要 : 物联网作为新一代信息技术的核心载体, 其发展依赖于电子信息工程与计算机网络的深度融合。本文系统分析了物联网技术体系架构, 探讨了智能传感器、射频识别、无线通信及边缘计算等关键技术的融合路径, 阐述了其在智能制造、智慧城市及医疗健康领域的应用模式。研究表明, 两者的协同创新可有效提升系统智能化水平, 为各行业数字化转型提供技术支撑。

关 键 词 : 电子信息工程; 计算机网络; 物联网; 技术融合; 系统管理

Application of the Integration of Electronic Information Engineering and Computer Network in the Internet of Things

Feng Lunyang

Lu'an Traditional Chinese Medicine Hospital, Lu'an, Anhui 237000

Abstract: As the core carrier of the new generation of information technology, the development of the Internet of Things (IoT) relies on the deep integration of electronic information engineering and computer networks. This paper systematically analyzes the technical architecture of the IoT, explores the integration paths of key technologies such as smart sensors, radio frequency identification, wireless communication, and edge computing, and elaborates on their application modes in smart manufacturing, smart cities, and healthcare. Research shows that the collaborative innovation of the two can effectively improve the level of system intelligence and provide technical support for the digital transformation of various industries.

Keywords: electronic information engineering; computer network; Internet of Things; technology integration; system management

物联网通过信息传感设备实现物理世界与数字世界的互联互通, 其核心在于电子信息工程与计算机网络的技术协同。电子信息工程作为多学科交叉领域, 为物联网提供硬件支撑与数据处理能力; 计算机网络则通过协议优化与传输技术保障设备互联。本文聚焦两者融合的技术体系与应用场景, 旨在为物联网规模化部署提供理论依据。

一、物联网技术体系架构

物联网技术体系架构是连接物理与数字世界的核心, 采用分层设计实现功能模块化与协同。感知层采集数据, 网络层负责传输, 应用层进行处理, 各层级借标准化协议和接口无缝衔接, 支撑物联网应用。

(一) 感知层

物联网 (Internet of Things, IoT) 是物物相联的网络, 它通过感知层、网络层和应用层这三层体系有机结合, 使得各种类型设备之间互联, 实现 M2M(Machine to Machine)级别的应用^[1]。物联网感知层是物理与数字世界的接口, 借助传感器、识别设备和通信技术采集、转换环境、物体相关信息。其关键技术有: 传感器集成微电子等, 采用 MEMS 设计实现分布式高精度采集; 射频识别技术实现非接触式数据交换, 用于物流等领域; 定位技术融合卫星与室内定位实现精准定位。

在组网与协同处理上, 感知层用自组织网络构建分布式通信架构, 支持大规模节点部署, 结合边缘计算进行本地数据处理, 降低云端负载和传输延迟, 为物联网的数据传输和智能决策提供基础支撑。

(二) 网络层

物联网网络层是信息传输核心, 负责将感知层数据安全高效传输至应用层。它整合多种通信技术, 构建广域与局域协同的异构网络环境。接入网支持多种接入方式, 核心网基于 IP 协议优化资源。

关键技术涵盖无线通信与协议优化, 短距离和长距离技术协同, 轻量级协议降低能耗, IPv6 解决地址问题^[2]。安全管理上, 采用 TLS 1.3 加密和访问控制保障数据安全, 网络管理系统实现流量监控等功能。这些技术共同构建高效稳定的通信体系, 支撑物联网规模化部署。

（三）应用层

物联网应用层是核心价值载体，融合数据处理与行业场景，提供智能化服务。它借助云计算、大数据分析技术挖掘数据、提供决策支持，采用分层存储架构提升数据访问效率，利用机器学习算法进行智能处理。

在技术支撑方面，云计算与边缘计算协同，中间件技术降低开发难度。在应用领域，智能制造监控生产线、优化工艺；智慧城市整合数据实现精细化管理；医疗健康通过可穿戴设备采集数据，结合远程医疗实现健康预警与诊疗。这些应用助力社会数字化转型。

二、融合关键技术分析

电子信息工程与计算机网络深度融合推动物联网技术演进，智能传感器、RFID、无线通信及数据处理与边缘计算为核心技术，通过硬件创新、协议优化及算法协同，实现物理世界信息精准感知、可靠传输及智能处理，支撑物联网高效运行。

（一）智能传感器技术

智能传感器技术通过集成微电子器件与嵌入式系统，实现对物理量的数字化采集与预处理^[3]。其核心在于多模态数据融合与实时信号处理：MEMS（微机电系统）技术将温湿度、加速度等模拟信号转换为数字量，内置数字信号处理器（DSP）通过傅里叶变换、小波分析等算法完成数据降噪与特征提取，同时自校准机制通过闭环反馈补偿环境干扰，例如温漂补偿算法提升宽温域下的测量精度。工业场景中，智能传感器网络可实时监测旋转设备振动频谱，结合包络解调技术识别轴承故障早期特征，为预测性维护提供数据支持。

（二）射频识别技术（RFID）

RFID技术基于无线电磁场实现非接触式数据交换，其系统由电子标签、读写器与天线构成。硬件层面支持无源、半有源及有源三种模式，频段覆盖低频（125–134kHz）、高频（13.56MHz）及超高频（860–960MHz），分别适用于金属环境、卡片识别及远距离读写场景。协议层面采用ISO/IEC 18000–6C防碰撞算法与AES-128加密技术，保障数据传输安全^[4]。物流管理中，门式读写器通过超高频技术在3秒内完成整托盘货物批量识别，较传统条码方式效率提升80%。

（三）无线通信技术

无线通信技术构建物联网设备互联的核心通道，其发展呈现异构网络融合与协议优化趋势：短距离技术（蓝牙5.3、Wi-Fi 6）支持低功耗设备组网，长距离技术（5G NR、NB-IoT）实现广域覆盖，卫星通信填补偏远地区空白。协议优化方面，NB-IoT通过PSM（Power Saving Mode）将设备待机功耗降至 μA 级，满足水表等场景10年续航需求；5G网络采用OFDM技术提升频谱利用率，单基站支持10万连接数，结合URLLC切片技术实现车联网100ms级实时信息交互，支撑自动驾驶决策。

（四）数据处理与边缘计算

数据处理与边缘计算技术解决物联网海量数据的高效处理问

题。分布式计算框架（Apache Kafka、Spark Streaming）实现数据流实时处理，边缘节点部署轻量级神经网络（TinyML）完成视频流目标检测，响应时间缩短至10ms级。云边协同通过联邦学习机制，在保护隐私前提下聚合云端模型参数与边缘本地训练数据，提升跨区域数据利用率^[5]。智慧工厂中，边缘服务器基于YOLOv5算法实时分析产线工件图像，表面缺陷检测准确率达99.2%，较人工检测效率提升5倍。

三、融合应用领域分析

电子信息工程与计算机网络的技术融合推动物联网形成智能制造、智慧城市、医疗健康三大领域。通过感知层互联、网络层传输、应用层决策的协同，实现生产效率提升、城市治理优化、医疗资源普惠化，为社会数字化转型提供技术范式。

（一）智能制造

智能制造领域依托物联网平台构建数字化生产线，通过传感器网络实时采集设备运行参数（如温度、扭矩、振动频率），结合工业协议（OPC UA）实现设备间数据互通。电子信息工程技术支撑下，边缘计算节点对采集数据进行特征提取，识别异常工况（如主轴过载），并通过5G网络将指令同步至执行器，实现毫秒级动态调整^[6]。例如，半导体晶圆制造中，物联网系统监测光刻机真空度与激光功率，结合数字孪生模型预测工艺偏差，将良品率从92%提升至97%。系统通过区块链技术记录全流程数据，实现产品质量追溯与工艺参数优化。

（二）智慧城市

智慧城市通过多技术融合构建城市级感知网络，部署于道路路口的视频识别设备与地磁传感器实时采集车流量数据，边缘服务器利用深度学习算法预测拥堵趋势，动态调整信号灯配时，使主干道通行效率提升30%。能源管理领域，智能电表通过NB-IoT网络上传用户用电数据，供电公司基于负荷预测模型优化电网调度，结合分布式储能系统实现削峰填谷^[7]。环境监测网络集成PM2.5传感器与气象站，通过数据融合分析污染源扩散路径，为污染预警提供决策支持。城市管理平台整合多源数据，通过数字孪生技术模拟暴雨内涝场景，优化应急资源调配。

（三）医疗健康

医疗健康领域通过物联网技术实现医疗资源高效配置，可穿戴设备（如智能手环、贴片式心电监测仪）以100Hz采样率持续采集心率、血氧等生理参数，经BLE协议传输至移动终端，异常数据触发AI预警系统，将报警信息同步至云端医疗平台。远程诊疗场景中，5G网络支持4K内窥镜视频实时传输，医生通过触觉反馈系统操作远程机械臂完成微创手术，时延控制在150ms以内。药品供应链管理采用RFID技术，标签存储药品批次、有效期等信息，读写器网络实现全流程追溯，结合区块链存证防止假药流通。区域医疗数据中心通过联邦学习技术，在保护隐私前提下训练疾病预测模型，提升基层医疗机构诊断水平。

四、系统管理与安全保障

物联网系统高效运行依赖科学管理机制与完善安全体系，设备、数据、网络及安全管理构成支撑框架，通过标准化协议、智能算法及防护技术协同，实现设备全生命周期管控、数据价值挖掘、网络动态优化及安全风险防御，为规模化部署提供保障。

（一）设备管理

在设备管理过程中，为了实现对不同类型设备的高效管控，采用标准化协议（如 MQTT-SN）至关重要^[8]。该协议能实现异构设备的统一接入与配置管理，无论是批量设备注册，还是参数下发、状态监控都能轻松完成，大大提高了设备管理的效率和便捷性。

OTA（Over-The-Air）技术则为设备的远程升级提供了有力支持。它借助差分升级算法，有效减少了固件更新的数据量，同时结合断点续传机制，即使在网络不稳定的情况下，也能保障远程升级的成功率。在工业场景中，通过应用这一技术，可将设备维护成本降低60%，为企业节省大量资金。

设备身份认证环节，采用基于椭圆曲线加密（ECC）的数字证书体系，为设备网络安全筑牢防线，有效防止未授权设备接入，保障设备和系统的安全。而生命周期管理系统会详细记录设备运行日志，运用预测性维护算法（如基于 LSTM 的故障预测模型）对设备运行数据进行深度分析，提前规划设备更换周期，确保整个系统稳定、连续地运行。

（二）数据管理

在数据管理架构中，依据数据的访问频率和特性进行分层存储。边缘缓存负责缓存高频访问数据，像实时生产数据，以此提升数据读取速度，保障生产流程高效运行^[9]。区域中心则存储常用数据，例如订单信息，便于随时调用和处理。云端用于归档历史数据，如三年以上的运行记录，节省本地存储资源的同时，确保数据长期保存。

数据清洗模块利用滑动窗口算法精准过滤异常值，同时结合 D-S 理论融合多源数据，去除噪声数据，提升数据可信度。特征工程借助主成分分析（PCA）对高维数据进行降维处理，减少数据冗余，支持机器学习训练。数据血缘追踪详细记录数据采集、处理、传输全链路信息，严格满足 GDPR 等合规性要求。

（三）网络管理

在数据管理领域，构建起一套严谨的三级存储架构。边缘节点凭借其靠近数据源和数据使用者的优势，负责缓存高频访问数据，例如实时生产数据，能让相关人员快速获取数据，提高生产响应速度。区域中心则承担存储业务数据的重任，像订单信息这类关键业务数据，都被有序存储在此，方便随时调用与处理。云端则用于归档历史数据，如三年以上的设备运行记录，便于长期留存和追溯。

在数据处理环节，数据清洗模块利用滑动窗口算法精准识别并过滤异常值，同时结合 D-S 证据理论融合多源数据，有效提升数据可信度。特征工程通过主成分分析（PCA）对高维数据进行降维处理，减少数据冗余，为机器学习模型训练提供高质量数据

支持。此外，数据血缘追踪系统详细记录数据采集、处理、传输全链路信息，严格满足 GDPR 等合规性要求，确保数据管理合法合规。

（四）安全管理

在安全管理领域，构建起“感知-传输-应用”全链条防护体系，为系统安全筑牢防线。设备端运用 TEE 技术，在硬件层面隔离敏感数据处理，有效抵御物理攻击，保障数据安全^[10]。传输层部署 TLS 1.3 协议，搭配国密算法 SM2/SM3，让数据在传输过程中实现端到端加密，避免信息泄露。应用层通过 ABAC 策略，依据用户角色和设备状态动态授权，严格管控资源访问权限。区块链存证系统将关键操作日志哈希值上链，并借助时间戳服务器，保证操作记录不可篡改。威胁检测系统借助 DNN 分析流量特征，精准识别 DDoS 攻击、恶意代码注入等异常行为，误报率极低，为系统安全提供有力保障。

五、结束语

电子信息工程与计算机网络的深度融合是物联网发展的核心驱动力。通过智能传感器、无线通信与边缘计算等技术的协同创新，物联网正推动各行业的数字化转型。未来需进一步优化跨学科技术整合，强化标准化体系建设，为物联网生态系统的可持续发展提供支撑。

参考文献

- [1]陶亚男,张军朝,王青文,等.基于改进猫群算法的物联网感知层路由优化策略[J].计算机工程,2019,45(02):13-17.DOI:10.19678/j.issn.1000-3428.0049194.
- [2]任文涛.计算机网络技术在电子工程中的应用[J].电子技术,2023,52(11):188-189.
- [3]郭美丽.“互联网+”下电子信息类专业技术教学创新研究[J].计算机产品与流通,2020,(01):175+229.
- [4]熊欢.计算机网络技术在电子信息工程方面的应用[J].信息与电脑(理论版),2019,31(19):6-7+10.
- [5]陈恺强,徐建.电子信息工程管理中的计算机网络技术应用探析[J].信息与电脑(理论版),2024,36(14):47-49.
- [6]姜小艳.计算机网络技术在电子信息工程中的应用探讨[J].信息与电脑(理论版),2024,36(14):92-94.
- [7]秦伟.计算机网络技术在电子信息工程中的应用[J].中国科技投资,2024,(19):13-15.
- [8]李明阳.计算机网络技术在电子信息工程中的运用分析[J].中国宽带,2024,20(06):115-117.DOI:10.20167/j.cnki.ISSN1673-7911.2024.06.39.
- [9]田红梅.电子信息工程中计算机网络技术的优化与实践[J].信息与电脑(理论版),2024,36(10):204-206.
- [10]高占岳.计算机网络技术在电子信息工程中的应用[J].办公自动化,2024,29(09):19-21.

数字化技术在山区小型水利工程运行管理中的应用

邵磊磊

永嘉县水利局, 浙江 温州 325005

DOI: 10.61369/ETQM.12226

摘 要： 在当前的数字化转型浪潮中，山区小型水利工程特别需要采用现代科技手段来提升其运行管理效率和安全性。本文旨在探讨数字化技术如何有效地应用于山区小型水利工程的运行管理中，通过分析具体技术如智能监控、数据分析、远程控制等在实际工程中的应用实例，来展示数字化手段带来的益处。研究表明，这些技术不仅能提升工程的管理效率，还能在防灾减灾、资源优化配置等方面发挥重要作用。

关 键 词： 数字化技术；山区水利；运行管理；智能监控；数据分析

Application of Digital Technology in the Operation and Management of Small Water Conservancy Projects in Mountainous Areas

Shao Leilei

Yongjia County Water Conservancy Bureau, Wenzhou, Zhejiang 325005

Abstract: In the current wave of digital transformation, small water conservancy projects in mountainous areas particularly need to adopt modern technological means to improve their operation and management efficiency and safety. This article aims to explore how digital technology can be effectively applied to the operation and management of small water conservancy projects in mountainous areas. By analyzing specific technologies such as intelligent monitoring, data analysis, remote control, and other practical engineering applications, it demonstrates the benefits of digital methods. Research shows that these technologies can not only improve the management efficiency of the project but also play an important role in disaster prevention and mitigation, optimal allocation of resources, and other aspects.

Keywords: digital technology; water conservancy in mountainous areas; operation and management; intelligent monitoring; data analysis

山区小型水利工程因地理和气候条件的特殊性，其运行管理面临诸多挑战。传统的管理模式已难以满足当前的安全和效率需求，迫切需要数字化技术的介入以提升其管理水平。数字技术的应用能够实现远程监控、实时数据分析等功能，这对于提高应对突发事件的反应速度和管理科学性具有重要意义。本文将从几个关键的技术入手，探讨它们如何帮助山区小型水利工程实现更高效、更安全的管理。

一、数字化监控系统的配置与优势

在山区小型水利工程中，数字化监控系统的配置不仅是提升工程管理效率的关键，更是保障工程安全运行的重要手段。通过引入智能监控技术，可以实现对水利设施的实时监测和管理，从而大大提升了应对突发水利事故的能力和效率。

（一）智能监控技术的应用

智能监控技术在水利系统中发挥着至关重要的作用，它集成了视频监控、传感器网络、自动化控制系统等多种技术，通过高效地收集和分析各种实时数据，实现对水库、河流和水坝等关键水利设施的全面监控^[1]。这些技术不仅能够监控水位、流速、泥沙含量等基础信息，还能通过安装在关键位置的高清摄像头，对水坝的裂缝、渗漏等潜在危险进行实时检测。

当监控系统捕捉到异常情况时，相关数据会立刻通过网络传输至中央控制室，确保可以迅速响应并启动相应的应急预案。这些智能监控设备还能收集大量与水利设施运行相关的数据，经过深入分析，这些数据不仅有助于即时处理现有的问题，也能预测未来的水资源走势和潜在的安全风险。通过这种高科技的监控与分析能力，智能监控系统为水利管理部门提供了强有力的科学决策支持，从而使水资源的管理更加合理和高效。

（二）监控系统在山区水利安全中的作用

山区的地形地貌复杂，气候变化多端，这给水利工程的安全管理带来了极大的挑战。数字化监控系统在这里发挥着至关重要的作用。首先，监控系统可以实时监测山洪、滑坡等自然灾害，为防灾减灾提供了强有力的技术支持。通过实时数据分析，可以预测灾害发生的概率和可能造成的影响，及时发布警报，启动应

急措施，有效减少灾害损失。监控系统对于维护水利设施安全同样重要。在山区，水利设施往往分布广泛，人工巡检不仅耗时耗力，而且很难做到全面覆盖。数字化监控系统可以24小时对关键部件进行监控，及时发现问题并进行报警，从而确保设施的正常运作和安全。

监控系统还有助于提升水利工程的运行效率。通过集成自动化控制系统，可以根据实时监测的数据自动调节水闸门的开闭、水泵的运行等，确保水资源的最优分配和利用，减少人为操作的错误和资源的浪费。数字化监控系统的配置为山区小型水利工程的安全运行提供了强大的技术保障^[2]。通过智能化、自动化的监控手段，不仅提升了管理效率，更重要的是提高了对突发事件的应对能力，为保护人民生命财产安全和促进区域水资源的可持续发展发挥了不可或缺的作用。

二、数据分析与决策支持

数据分析在现代水利工程管理中扮演着核心角色，尤其是在山区小型水利项目中，有效的数据分析可以极大地提升决策的精确性和实时性。本部分将深入探讨数据收集的方法与工具以及分析技术在水资源管理中的具体应用。

（一）数据收集的方法与工具

在山区小型水利工程中，数据收集是一个复杂但至关重要的步骤，它直接影响到后续数据分析和效果。首先，水文数据的收集通常依赖于自动化水文站和传感器网络，这些设备能够持续监测和记录水位、流量、降雨量、土壤湿度等关键参数。例如，通过在河流不同位置安装流量计，可以实时获取水流速度和流向的数据，为水量调控和洪水预警提供科学依据。

除了物理监测工具，遥感技术也是数据收集集中不可或缺的一部分。通过卫星和无人机搭载的高分辨率摄像头和传感器，可以获得山区水库、湖泊和河流的面积、水质状态以及周边植被的变化情况。这些信息对于评估蒸发量、污染风险和生态状况具有重要价值。移动互联网和物联网技术的应用，使得数据收集更为便捷和全面。通过在水利设施中安装智能终端和传感器，可以实现数据的实时上传和云端存储，保证数据的即时性和完整性。

（二）分析技术在水资源管理中的应用

数据收集后，如何有效地分析这些庞大且复杂的数据集，是提升水资源管理效率和精确性的关键。数据分析技术，包括统计分析、机器学习和人工智能等，都在水资源管理中发挥着重要作用^[3]。

统计分析方法可以用来确定水资源的使用模式和变化趋势，帮助管理者了解历史和现状，预测未来变化。例如，通过时间序列分析，可以预测特定区域的水需求波动，从而指导水库的水量调节策略。

机器学习方法则可以处理更为复杂的问题，如通过分类和回归树、支持向量机或神经网络模型来预测洪水发生的可能性和影响范围。这些先进的分析模型能够从历史数据中学习模式，提高预测的准确性，为实施预防措施提供时间窗口。人工智能技术，尤其是深度学习，已被用于更精细的水质分析和水质管理。通过对多

源数据的综合分析，AI模型能够实时监控水质变化，及时发现污染事件，自动调整处理措施，确保水资源的安全与清洁。数据分析技术的应用不仅提高了山区小型水利工程的管理效率和决策质量，还增强了对水资源的可持续利用能力。通过科学的数据收集和精确的数据分析，水资源管理更加精细化、智能化，能够有效应对复杂多变的环境条件和管理需求。这些技术的深入应用，为山区小型水利工程提供了强大的技术支持和决策保障，推动了水利科技的发展和创新^[4]。

三、远程控制技术与设备维护

远程控制技术和设备维护在山区小型水利工程的运行管理中扮演着至关重要的角色。这些技术不仅提高了运维效率，还显著增强了对复杂环境下设备状态的监控与控制能力。

（一）远程控制系统的架构

远程控制系统的架构通常包括几个关键组成部分：传感器网络、通信接口、控制中心和执行机构。传感器网络负责实时收集关于水利设施的各种数据，如水位、压力、流速和水质参数等。这些传感器将数据发送到控制中心，通常通过无线网络、卫星连接或光纤通信实现。

控制中心是远程控制系统的核心，它接收并处理来自各传感器的数据，运用先进的数据处理和分析技术进行决策支持。这里的决策支持系统可以根据预设的逻辑和算法自动调整水利设施的运行状态，或者当需要人工干预时，向工程师发送警报和操作建议^[5]。

执行机构则是完成实际物理操作的设备，如水闸门的开闭、泵站的启停等。这些执行机构接受控制中心的命令，并精确执行，确保水利系统按照既定的操作计划运行，以应对各种水文情况。

此外，远程控制系统还需要具备高度的安全性，以防止数据泄露或被未经授权访问。因此，加密通信和安全认证机制是系统架构中不可或缺的一部分。

（二）维护策略的优化与实施

在远程控制技术支持下，设备维护策略的优化与实施变得更加高效和系统化。优化维护策略首先需要基于设备的实时数据来进行，这包括从传感器收集的性能数据和历史维护记录。通过这些数据，可以应用预测性维护技术来识别潜在的故障风险，提前进行维护，从而避免设备的突然故障和可能引起的生产中断。预测性维护依赖于数据分析和机器学习技术，通过建模设备的正常运行状态和故障状态，系统可以在问题发生之前就发出预警。例如，如果水泵的振动数据超过正常范围，系统可以自动预测这可能是由于轴承损坏，并建议进行检查或更换^[6]。

在实施维护策略方面，远程控制系统使得维护操作可以更加精确和及时。通过远程操作，维护团队可以不必亲临现场，就能对设备进行诊断和部分维修工作，如重新配置系统参数或更新软件。对于需要现场处理的复杂问题，维护团队可以在到达现场前已经获得了充分的问题分析和准备指导，使得现场工作更加高效。远程控制技术也支持维护日志和记录的自动化管理，所有的

维护活动和结果都会被系统记录和分析，为未来的维护工作提供参考。这不仅提高了维护工作的透明度，还有助于持续改进维护流程和策略。远程控制技术与设备维护的结合不仅优化了水利设施的日常运行和维护管理，还提升了对设施健康状态的监控能力，为山区小型水利工程带来了显著的运行效率和安全性提升。这种技术的进一步发展和应用，将继续推动水利管理向更智能化、自动化的方向发展^[7]。

四、案例研究：具体应用及成效分析

数字化技术的引入在全球范围内已经开始改变山区小型水利工程的运行和管理方式。通过具体的案例研究，我们可以深入了解这些技术的实际应用和带来的效果。

（一）国内外山区小型水利工程的数字化改造案例

在中国云南省的山区，一项水库项目通过引入智能监控系统和自动化管理平台，实现了水位的实时监控和远程控制。系统通过安装在水库周围的传感器收集数据，这些数据通过卫星网络实时传输到远程控制中心。控制中心的工作人员可以根据实时数据调整水库的泄洪闸门，有效地防止了可能的洪水灾害^[8]。

在美国加利福尼亚州的一个山区，一个小型水电站利用远程传感技术来监控和维护电站的运行。通过在关键部位安装振动传感器和温度传感器，管理团队能够及时检测设备的异常运行，从而提前进行维护，防止设备故障导致的电力供应中断。

在尼泊尔的喜马拉雅山脉，一个由非政府组织支持的小型灌溉项目采用了移动应用来帮助当地农民管理水资源。这个应用能够根据天气预报和土壤湿度传感器的数据，为农民提供灌溉建议。这项技术的应用显著提高了水资源的利用效率，帮助农民提高了作物产量。

（二）成效分析与未来趋势

通过上述案例，我们可以看到数字化技术在山区小型水利工

程中的应用带来了显著的正面影响。这些技术不仅提高了工程的运行效率，还增强了对环境变化的适应能力和灾害的防范能力。成效分析显示，引入智能监控和远程控制系统的水利工程能够实时监测关键指标，迅速响应潜在的安全问题，从而显著降低了由于延迟反应导致的风险和损失^[9]。此外，数据分析和预测性维护技术的应用也帮助工程减少了维护成本和停机时间，提高了设备的使用寿命和效率。未来的趋势指向更广泛的技术集成和智能化应用。随着物联网和人工智能技术的持续发展，预计山区小型水利工程将更多地采用这些技术来实现更加精细化和自动化的管理。例如，通过整合地理信息系统（GIS）和实时监控数据，水利工程的管理将更加精准，能够更好地应对气候变化带来的挑战。

随着技术的普及和成本的降低，更多的山区小型水利工程将有能力采用这些先进的技术。这不仅会提高项目的经济效益，还将在社会和环境层面产生深远的影响，如改善当地居民的生活质量和保护生态环境^[10]。数字化技术的应用在山区小型水利工程中已经取得了显著成效，并展示了广阔的发展前景。未来，这些技术的进一步应用和优化将继续推动水利工程管理向更高效、更可持续的方向发展。

五、结语

数字化技术的引入为山区小型水利工程的运行管理带来了革命性的变化。通过智能监控、数据分析和远程控制等技术的应用，不仅提高了管理效率和安全性，还为水资源的合理利用和灾害预防提供了强有力的技术支持。展望未来，随着技术的进一步发展和成本的逐渐降低，数字化管理将会在更多山区小型水利工程中得到广泛应用。本文的研究可为相关工程的技术升级提供理论指导和实践参考。

参考文献

- [1] 梅雨倩. 京杭大运河北京段水利工程遗产考证及保护利用研究 [D]. 天津大学, 2022. DOI: 10.27356/d.cnki.gtjdu.2022.002145.
- [2] 朱璨. 云南省水利工程遗产特征与价值研究 [D]. 昆明理工大学, 2021. DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2021.002283.
- [3] 肖文全. 崇州市某水利工程地形测量研究与实践 [D]. 西南石油大学, 2016.
- [4] 刘芳. 数字技术在水利工程施工管理中的应用 [J]. 地下水, 2015, 37(06): 163-164.
- [5] 李刚, 尹小涛. 基于数字化施工的山区公路土石混合弃渣工程尺度参数测定方法研究 [J]. 水利与建筑工程学报, 2024, 22(06): 76-82.
- [6] 廖重臣, 黄导. 山区高速公路数字化管理及智能建造综合应用研究 [J]. 运输经理世界, 2025, (01): 66-68.
- [7] 李慧慧, 邢羿飞. 组合演化：政务服务数字化转型中的“技术-组织”互动机制——基于深圳“民意速办”改革的分析 [J/OL]. 电子政务, 1-14[2025-03-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5181.TP.20241127.1335.007.html>.
- [8] 张丽娜, 孙东明. 关于宝山区农业农村数字化转型的调查与研究 [J]. 上海农业科技, 2024, (05): 35-37.
- [9] 杨珺. 教育数字化转型背景下未来学校建设的思考与实践——以深圳市南山区为例 [J]. 中小学数字化教学, 2024, (09): 81-84.
- [10] 董瑰, 刘珊, 雷金兰. 数字化蜂业发展现状与对策——以陇东南林缘山区为例 [J]. 甘肃畜牧兽医, 2024, 54(04): 1-6. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1064/s.2024.04.023.

智能照明节能技术在电气工程自动化中的应用

张方婷, 邵溪祺

青岛同道行远科技有限公司, 山东 青岛 266100

DOI: 10.61369/ETQM.12229

摘 要 : 在当今社会, 能源问题日益严峻, 节能减排成为了全球关注的焦点。照明作为日常生活和工业生产中不可或缺的一部分, 其能耗占据了相当大的比例。因此, 如何实现照明系统的节能, 成为了电气工程师和研究人员亟待解决的问题。本文旨在探讨智能照明节能技术在电气工程自动化中的应用及其所带来的节能效果。首先, 文章将详细介绍智能照明系统的基本原理, 接着, 分析智能照明节能技术在电气工程自动化中应用的必要性, 最后, 文章将重点探讨智能照明节能技术在电气工程自动化中的具体应用, 包括照明设备的精确控制和系统集成, 通过实际案例展示其在不同场景下的应用效果。

关 键 词 : 智能照明节能技术; 电气工程自动化; 应用

The Application of Intelligent Lighting Energy-Saving Technology in Electrical Engineering Automation

Zhang Fangting, Shao Xiqi

Qingdao Tongdaoxingyuan Technology Co., Ltd. Qingdao, Shandong 266100

Abstract: In today's society, energy problems are becoming increasingly severe, and energy conservation and emission reduction have become the focus of global attention. As an indispensable part of daily life and industrial production, lighting accounts for a considerable proportion of energy consumption. Therefore, how to achieve energy saving in lighting systems has become an urgent problem for electrical engineers and researchers. The purpose of this paper is to discuss the application of intelligent lighting energy-saving technology in electrical engineering automation and its energy-saving effect. Firstly, the article will introduce the basic principles of intelligent lighting system in detail, then analyze the necessity of the application of intelligent lighting energy-saving technology in electrical engineering automation, and finally, the article will focus on the specific application of intelligent lighting energy-saving technology in electrical engineering automation, including the precise control and system integration of lighting equipment, and show its application effect in different scenarios through practical cases.

Keywords: intelligent lighting energy-saving technology; electrical engineering automation; application

智能照明节能技术在电气工程自动化中的应用, 是基于现代科技发展的创新实践。它融合了光源技术、传感器技术和通信技术, 实现了对照明设备的智能化控制。光源技术提供了高效、环保的照明解决方案, 传感器技术则能够实时监测环境光照强度、人员活动等参数, 而通信技术则确保了这些信息的实时传输和处理。通过这些技术的综合运用, 智能照明系统可以按照实际要求, 对照明进行自动调节, 达到节约能源、提高效率的目的。另外, 该系统还可以与电气工程自动化系统进行有机结合, 可以对照明设备进行远程监测与智能化管理, 从而使电气工程的自动化程度得到进一步提高。

一、智能照明系统的基本原理

(一) 光源技术

光源技术构成了智能照明系统的核心要素。在过去的年代里, 传统的照明光源, 例如白炽灯和荧光灯, 曾经是人们生活中不可或缺的一部分。然而, 随着时间的推移和技术的演进, 这些传统光源正逐渐被 LED (发光二极管) 光源所取代。LED 光源

凭借其高效能、长寿命以及低能耗的显著优势, 已经成为现代智能照明系统的首选光源。它们不仅能够提供高质量的光线, 而且通过精确的调控技术, 能够实现多种不同的亮度和色温的照明效果, 满足人们在不同场合下的照明需求。除此之外, 随着科技的不断进步和创新, OLED (有机发光二极管) 等新型光源技术也逐渐崭露头角, 为智能照明系统的发展注入了新的活力, 提供了更多的可能性和选择。这些光源技术的不断进步和发展, 不仅显著

作者简介: 张方婷 (1986.10-), 女, 汉族, 山东济宁人, 学历: 本科, 职称: 节能工程中级工程师, 研究方向: 建筑节能方向。

提升了照明系统的整体性能和用户体验，而且为实现节能增效、构建绿色低碳社会提供了有力的技术支持和保障。

（二）传感器技术

传感器技术构成了智能照明系统的核心，它主要负责对环境进行感知并据此调节照明。通过运用多种高精度的传感器，例如光敏传感器、人体红外传感器、温湿度传感器等，智能照明系统能够不断地监测和响应周围环境的任何变化。光敏传感器具备检测光线强度的能力，它能够自动调整照明的亮度，以确保室内的光线既舒适又节能；人体红外传感器则能够侦测到人员的活动，从而实现智能化的照明控制，即当有人进入时灯光自动亮起，而当人离开后灯光则自动熄灭；温湿度传感器则能够根据环境中的温度和湿度变化，对照明参数进行微调，以创造一个更加适宜人们生活或工作的环境。这些传感器技术的综合应用，使得智能照明系统能够根据实际的使用需求进行灵活地调整，从而在实现高效节能的同时，也确保了照明的舒适性，满足了双重目标。

（三）通信技术

通信技术是智能照明系统的关键组成部分，它实现了照明设备之间以及照明设备与中央控制系统之间的信息交换。通过物联网技术，智能照明系统能够实时收集和分析来自各个传感器的数据，如光照强度、环境亮度、人员活动等，从而精准地控制照明设备的开关、亮度和色温。这种实时的信息传输和处理能力，使得智能照明系统能够迅速适应环境变化，满足用户的多样化需求。另外，通信技术还具备远程监控与管理的功能。通过智能手机、平板电脑、计算机等终端设备，管理人员可以实现对智能照明的控制，进行对照明设备的监控和故障排除。这样既可以有效地提高工作效率，又可以减少维护成本，给使用者提供了很大的方便。

二、智能照明节能技术在电气工程自动化中的必要性

（一）有利于节能增效

智能照明节能技术通过采用先进的控制策略和高效节能的照明设备，能够显著降低能源消耗，从而有利于节能增效。这种技术不仅能够减少电力资源的浪费，还能延长照明设备的使用寿命，进一步降低维护成本。通过智能传感器与自动化系统，智能照明可以根据环境光线和人员活动情况自动调节亮度，达到节能效果。同时，通过对不同场景下的数据进行分析与学习，来优化照明设计，达到更为精确、个性化的照明调控，进而提升整体能效水平。

（二）有利于环境保护

通过减少能源的使用，智能照明节能技术有助于减少温室气体排放，对环境保护起到了积极的作用。这种技术通过优化照明系统的运行，不仅降低了电力消耗，还减少了对化石燃料的依赖，从而减少了二氧化碳和其他温室气体的排放量。另外，智能照明系统还能够随着外界环境的改变而进行自动调整，从而达到更好的节能效果。这种节能措施不仅有助于减缓全球变暖的趋势，还能够改善空气质量，保护生态系统，对促进可持续发展具

有重要意义。智能照明节能技术的实施，意味着人们可以在日常生活中采取更加环保的生活方式。它不仅有助于节约能源，降低家庭和企业的电费开支，还能减少对环境的负面影响。通过智能照明系统，可以实现更加精确和高效的照明管理，确保在需要的时候提供适当的照明，而在不需要的时候则减少或关闭照明，从而达到节能减排的目的。

（三）有利于实现智能化管理

智能照明节能技术的应用，对于实现照明系统的智能化管理具有显著的积极作用。通过这种技术，照明系统可以实现远程控制和实时监控，从而使得照明管理变得更加精确和高效。这种智能化的管理方式不仅提高了照明系统的运行效率，还能够根据实际需要自动调节照明强度，进一步节约能源消耗。此外，智能照明系统还可以与其他智能建筑管理系统集成，实现更高级别的自动化和智能化控制，为用户提供更加舒适和便捷的生活环境。

三、智能照明节能技术在电气工程自动化中的具体应用

（一）照明设备的精确控制

智能照明系统采用高科技的传感器与通信技术，可有效地对照明设备进行精准操控。这种精确控制不仅体现在对单个灯具的开关和亮度调节上，还涵盖了整个照明系统的布局和优化。例如，系统可以根据室内的自然光照强度和时间变化，自动调整照明设备的亮度、色温度，营造最佳的光环境。当在阳光充足的时段，智能照明系统可能会减少人工照明的输出，甚至在某些情况下完全关闭灯具，以充分利用自然光。而在夜晚或室内光线不足时，系统则会自动增加照明强度，确保足够的亮度，为用户提供舒适和安全的环境。同时，智能照明系统还能够根据人员活动情况，如人员的进出、移动轨迹等，智能地开启或关闭特定区域的照明设备，避免不必要的能源浪费。当在人员进入某个区域时，系统会自动开启该区域的照明设备，并根据人员的移动轨迹调整照明范围，确保照明设备始终跟随人员活动，提供恰到好处的照明。而当人员离开该区域后，系统则会延时关闭照明设备，进一步节约能源。同时，在办公区内，智能照明系统能够按照不同的办公区、工作时段，对灯光的亮度、色彩进行自动调整，改善员工的工作效率和舒适度。例如，在会议室中，系统可以根据会议进行的不同阶段调整照明模式，如演讲模式、讨论模式等，以适应不同的会议需求。在休息时间，系统则会自动降低照明亮度，利用自然光模拟技术，营造轻松舒适的氛围，帮助员工放松身心。

另外，智能照明系统还可以进行远程控制，管理员可以通过手机、电脑等智能终端，在任何时间、任何地点对照明设备进行监测与调节，从而极大地提升了管理的便利性与效率。管理人员可以在终端上实时查看每个照明设备的工作状态，包括亮度、色温以及能耗等信息。一旦发现某个设备出现故障或能耗异常，他们可以立即采取措施进行修复或调整，从而避免能源浪费和安全隐患。同时，这种远程控制功能也使得管理人员能够在不同地点

对照明系统进行统一管理和调度,提高了整体运营效率。此外,智能照明系统还具备自我学习和优化能力。通过对历史数据和人员活动模式的分析,系统可以逐渐掌握用户的照明需求,并自动调整照明策略以满足这些需求。这种自我学习和优化的能力使得智能照明系统能够不断适应变化的环境和用户需求,始终保持最佳的照明效果和能源利用效率。

（二）系统集成

在电气工程自动化领域,系统集成是实现智能照明节能技术的一个重要步骤。通过将智能照明系统与其他电气工程自动化系统进行集成,可以实现照明与电力、安防、楼宇自控等多个系统的协同工作。这种集成不仅提高了系统的整体效能,还为用户提供了更为便捷和智能的使用体验。例如,在安防工程中智能照明系统可以与安防摄像头、报警装置等设备联动。当系统检测到特定区域的人员活动或异常情况时,可以自动调整照明亮度或开启特定灯光,为安防摄像头提供充足的照明,确保监控画面的清晰度。同时,系统还可以与报警装置联动,在紧急情况下发出声光报警,提醒人员注意安全。此外,在电力系统中,智能照明系统可以与电力监控和管理系统无缝对接。通过对电网负荷的实时监测和分析,系统能够智能地调整照明设备的能耗,确保在不影响照明质量的前提下,最大限度地节约能源。例如,在用电高峰期,系统可以自动降低非关键区域的照明亮度,将电力资源优先分配给更为重要的设备或区域。这种智能化的电力管理不仅提高了能源利用效率,还有助于维持电网的稳定运行,避免过载和故障的发生。同时,智能照明系统还可以与楼宇自控系统相结合,实现对照明、空调、通风等多个系统的统一管理和控制。通过预

设的场景模式或根据室内环境参数的变化,系统可以自动调整各个设备的运行状态,为用户提供一个舒适、节能、高效的办公环境。

在系统集成过程中,还需要考虑不同系统之间的兼容性和通信协议。为了确保智能照明系统能够与其他电气工程自动化系统无缝对接,技术人员需要进行详细的系统分析和设计,选择合适的通信接口和协议,确保数据传输的稳定性和实时性。同时,还需要对系统进行全面测试和调试,以确保集成后的系统能够正常运行并达到预期的效果。

总之,系统集成在智能照明节能技术在电气工程自动化中的应用中发挥着至关重要的作用。它不但提升了整个系统的性能和智能程度,而且给使用者提供了一种更方便、更节能、更舒适的照明感受。随着科技的发展,系统集成在智能照明中将会扮演越来越重要的角色,从而促进电气工程自动化技术的发展与创新。

四、结束语

综上所述,在电力工程自动化领域,智能照明节能技术有着广泛的应用前景,它不仅提高了照明系统的效率和舒适度,还为环境保护和能源节约做出了重要贡献。随着科技的不断发展,智能照明节能技术将不断创新和完善,为电气工程自动化领域带来更多惊喜和突破。期待在未来,智能照明节能技术能够成为电气工程自动化中不可或缺的一部分,为人们的生活和工作创造更加美好的环境。

参考文献

- [1] 赵金林. 智能建筑中现代照明技术的应用研究 [J]. 光源与照明, 2023, (07): 40-42.
- [2] 高爱云. 节能措施在智能照明设计中的应用 [J]. 智能建筑电气技术, 2023, 17(03): 72-74.
- [3] 陈晓菲. LED照明技术的智能化应用 [J]. 光源与照明, 2023, (05): 106-108.
- [4] 张欣倩. 建筑照明系统的节能设计及应用潜力探究 [J]. 天津化工, 2023, 37(01): 141-143.
- [5] 王琳琳. 智能照明控制系统在电气照明节能设计中的应用 [J]. 光源与照明, 2022, (11): 41-43.

光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用

张哲岚

广州电力工程监理有限公司, 广东 广州 510000

DOI: 10.61369/ETQM.12231

摘 要： 传统能源资源的日益稀缺和环境状况的持续恶化，寻找清洁和可再生的新型能源已经变得迫在眉睫。因此，发展绿色节能环保的新型建筑势在必行。光伏新能源技术是一种具有巨大发展前景的创新技术，它在城市智能建筑领域的应用越来越受到公众的关注。智能楼宇作为现代社会发展的重要载体之一，对节能减排有着巨大影响，而光伏系统具有绿色环保、安全高效等特点，因此被广泛应用于各类建筑物中。

关 键 词： 光伏新能源技术；城市智能建筑电气；应用

Application of Photovoltaic New Energy Technology in Urban Smart Building Electrical Systems

Zhang Zhelan

Guangzhou Electric Power Engineering Supervision Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: With the increasing scarcity of traditional energy resources and the continuous deterioration of environmental conditions, finding clean and renewable new energy sources has become urgent. Therefore, it is imperative to develop new green, energy-saving, and environmentally friendly buildings. Photovoltaic new energy technology is an innovative technology with great development prospects, and its application in the field of urban smart buildings is receiving increasing public attention. As one of the important carriers of modern social development, smart buildings have a huge impact on energy conservation and emission reduction, and photovoltaic systems are widely used in various buildings due to their green, environmentally friendly, safe, and efficient characteristics.

Keywords: photovoltaic new energy technology; urban smart building electrical systems; application

在当前阶段，光伏新能源技术不仅实现了碳的中和，而且在能源结构的转型过程中逐渐取得了主导地位。光伏产业作为一种清洁能源的新兴产业，其对解决全球气候变暖具有重要作用。在这一进程中，积极推进可再生能源技术的发展，以促进节能和减少排放，从而实现我国提出的“双碳”战略目标。利用光伏新能源技术不仅可以缓解当前的能源危机，还能为企业带来经济效益的增加。因此，建立一种新型的科技普惠模式，将是未来新能源技术推广的重点。

一、城市智能建筑电气系统需求分析

（一）智能建筑特点及其电气需求

在智能建筑领域，先进的传感器、自动化控制系统以及信息通讯技术发挥着举足轻重的作用，它们是保障建筑内各系统得以实现无缝连接的关键要素。基于此，建筑的电气系统被赋予了更高要求，需要具备更为强大的数据处理和传输能力，以此来满足大量传感器与设备之间实时数据交互的迫切需求。智能建筑中的电气系统，智能化程度需达到极高水平，能够实时对各类传感器所采集的信息进行精准分析，并迅速做出响应，进而促使建筑设备实现自动协同工作。智能建筑极为注重自身的自适应能力，即建筑系统能够依据不同的环境条件以及使用需求，自动对运行状况进行灵活调节。这无疑对电气系统设立了更高标准，要求其具备智能的监控与控制功能，能够依据建筑内部环境的变化以及用户的实际需求，动态地对照明、空调、插座等电器设备的工作状

态加以调整，最终达成能源的最优利用^[1]。

另外，智能建筑具备节能环保这一显著特点，它不仅要充分满足人们日常生活中的用电需求，还需为人们营造更为舒适、便捷的居住空间。智能建筑的核心目标之一在于提高能源效率，降低对传统能源的依赖。从电气系统层面来看，这就要求建筑能够高效地利用可再生能源，以光伏发电为例，光伏系统通过与建筑物内其他电气设备进行能量交换来提供电力。所以，电气系统必须具备智能化的能源管理能力，能够对光伏系统进行实时监控与调度，保证太阳能资源得到充分利用，同时将多余电力储存起来或者输出到电网之中。

（二）城市电力网与建筑智能化的融合

作为电气系统的关键支撑，城市电力网络应与建筑智能化技术紧密融合，确保建筑在电力资源利用上的智能化和高效性。目前，城市电力网络存在若干问题，这促使技术人员深化对城市电力网络与智能建筑设备相互作用的研究。首先，在城市电力网络

与智能建筑电气系统整合过程中，必须重视电力信息的实时传输与处理。利用智能电网技术，城市电力网络能够精确监控电能的传输与分配，实时掌握电网运行状态和负荷情况等关键信息。这些数据对于建筑电气系统的智能调度、能源管理和故障诊断至关重要。在此基础上，将智能建筑电气系统纳入城市电力网络统一管理，能够为居民提供更为便捷、安全、舒适的生活环境，进而提升人们的生产和生活质量。其次，智能建筑电气系统与城市电网整合涉及电能的双向流动管理。通过智能化技术的应用，建筑内的电气系统能够高效地储存、调度和分配电力，形成与电网的互动。这种双向流动的管理模式有助于更好地满足不同时段的用电需求，同时提升电力供应的灵活性。再次，城市电力网在供电过程中会产生大量热量，因此必须重视建筑内部热环境问题的研究。此外，在智能建筑电气系统与城市电力网络整合过程中，还需密切关注可再生能源和分布式发电、光伏等技术的应用，使建筑成为电力的分布式生产者。因此，城市电力网络需作出相应调整，以适应分布式发电的新趋势。智能电气系统需与电网协同工作，实现分布式能源的智能接入与管理^[2]。

二、光伏发电系统的设计

（一）屋顶、墙面等部位进行光伏组件的布局设计

在光伏发电系统的设计中，这一环节至关重要，因为它会直接决定光伏发电系统的效率和建筑的外观美感。因此，为了保证建筑物的正常使用，必须对光伏电站进行合理地布置。在设计光伏组件的布局时，必须充分考虑到建筑的方向、倾斜角度以及其周边环境，以确保光伏组件在最理想的光线条件下运行。为了保证光伏组件能够得到充分的利用，必须根据实际情况来确定最大功率点的位置。除此之外，还需仔细考量光伏组件的大小、外形以及颜色等多个方面，以确保光伏组件与建筑物的总体设计风格能够和谐统一。为了保证光伏组件能够更好地适应建筑环境，必须做好光伏组件的保护管理工作，包括定期清扫和维护保养工作。此外，还需对光伏组件的安装方法做出明智的选择，例如选择屋顶支架或墙面固定方式，以确保建筑的结构稳固性和功能需求得到满足^[3]。

（二）对光伏发电系统的并网逆变器、控制器等设备进行选型

并网逆变器扮演着将直流电转化为交流电的核心角色，它的表现直接决定了光伏发电系统的效率和电能的品质。随着光伏产业的不断发展，对并网逆变器也提出了更高要求，即尽可能降低其损耗及提高输出功率稳定性。在挑选并网逆变器的过程中，必须仔细考量其额定功率、转换效率和谐波含量等关键技术参数，以确保能够满足光伏发电系统的电力生成需求。在光伏发电系统中，控制器扮演着核心的控制角色，它的核心职责是对光伏组件的运行状况进行实时的观察和调整，确保整个光伏发电系统能够稳定地工作。因此，选取合理的控制器参数至关重要。在挑选控制器的过程中，必须仔细考量其控制模式、通讯接口以及保护机制等关键技术参数，以确保光伏发电系统的控制需求得到满

足^[4]。

（三）对光伏发电系统的电气接线、接地保护等进行设计

在光伏发电系统中，电气接线扮演着关键的角色，它的核心功能是将光伏组件产出的直流电传递给并网逆变器进行进一步的处理。为了保证整个光伏发电系统正常工作，必须做好电气系统的设计与施工工作。在电气接线的设计过程中，必须仔细考虑接线的方式、线缆的种类以及接线端子等多个因素，以确保光伏发电系统能够安全且可靠地运行。由于光伏发电系统工作环境复杂，因此必须加强电气接线图与电缆敷设图的绘制质量，从而保证光伏电站能够稳定高效地运行。在光伏发电系统中，接地保护被视为关键的安全手段之一，它的核心目标是避免雷电、漏电等突发事件对人的生命和设备带来伤害。目前，我国大部分地区均采用中性点直接接地的形式进行光伏电站电气设计与施工，这种方法存在诸多不足。在设计接地保护措施时，必须考虑到接地方法、接地电阻和接地设备等多个因素，以确保光伏发电系统能够安全稳定地运行^[5]。

三、光伏发电系统的优化配置

（一）光伏发电系统的优化配置

在选择光伏组件的种类和规格时，必须考虑建筑物的地理位置和气候状况，这样才能有效提升光伏发电系统的效率。在太阳能资源丰富地区，应尽可能地利用太阳能电池作为主要的光电转换设备。例如，在阳光照射充足的区域，可以选择使用效率较高的单晶硅或多晶硅光伏组件；对于日照不足的地方，则可选择非晶硅电池片或太阳能电池组件。对于那些阳光照射不足的地方，选择高效的薄膜光伏部件是一个不错的选择。另外，要充分考虑到太阳直射辐射对太阳能电池片表面温度的影响，以及环境温度变化时，对电池板表面温度的影响程度，从而使发电量达到最优状态。除此之外，还需仔细考虑光伏组件的安装方向和角度，以便最大程度地吸收来自太阳的辐射能量^[6]。

（二）并网逆变器、控制器等设备的优化配置

在设计和实施一个并网逆变器系统时，需要仔细选择合适的逆变器类型，这包括但不限于纯正弦波逆变器和经过修正的正弦波逆变器。纯正弦波逆变器能够提供高质量的电能输出，适合对电能质量要求较高的应用场景，而修正的正弦波逆变器则在成本和效率之间取得了一定的平衡，适用于对电能质量要求不是特别高的场合。选择合适的逆变器种类是确保系统稳定运行的基础。除了逆变器种类的选择，还需要对并网逆变器的各种参数进行细致的配置。这些参数包括但不限于输出电压、频率以及功率因数等。输出电压和频率需要与电网的标准相匹配，以确保电能能够顺利并入电网，而功率因数的优化则有助于提高系统的整体效率，减少能量损耗。除了硬件的选择和参数配置，控制器的选择和配置也是整个系统设计中的关键环节。控制器的种类包括脉宽调制（PWM）控制器和最大功率点追踪（MPPT）控制器等。PWM控制器主要用于精确控制逆变器的开关动作，以实现高效的电能转换。而MPPT控制器则主要用于太阳能发电系统中，通

过追踪最大功率点来提高系统的能量收集效率。选择合适的控制器种类，并对控制器参数进行合理配置，例如最大功率点追踪算法、电压和电流的限制等，对于确保系统高效、稳定运行至关重要^[7]。

（三）对光伏发电系统的运行参数进行实时监测和调整

为了达到这个目的，可以考虑安装数据收集设备和监视系统。该方法还具有很高的灵活性，可在不同条件下对各种情况进行调节。数据采集器有能力实时获取光伏组件输出的电压、电流和功率等关键参数，并将这些信息传送到监控系统中。同时，在监控系统中还设置了一个智能控制器，用来控制光伏组件的开关及调节其输出功率。该监控系统能够依据收集到的数据来计算光伏组件当前的工作状况，例如最大功率点的跟踪状态或失配状态。然后，系统会根据这些计算结果自动调整光伏组件的工作参数，如电压、电流和功率等，以实现最大功率点的跟踪和运行优化^[8]。

（四）光伏发电系统的运行与维护

确保光伏发电系统的长期稳定运行，其运行与维护环节至关重要。为了有效管理光伏发电系统的运行状况，必须深化对其运行及维护方面的研究。必须对光伏发电系统的运行状况实施实时监控，以便及时发现并解决任何故障，确保系统的正常运作。其次，应强化对光伏发电系统各部件的定期检测与维修，以保障系统的可靠运行。这包括对光伏电池板、逆变器、控制器等核心设备的实时监控，以及对电压、电流、功率等关键参数的即时监测。此外，在出现异常现象时，应迅速采取有效措施排除安全隐患，确保电网的安全稳定。一旦发现异常状况，应立即采取适当的应对措施，防止故障进一步恶化，影响系统的正常运作。同时，应对系统中的各种设备进行周期性的检查与保养，以延长设备使用寿命并降低故障发生率。再次，需做好太阳能电站的日常运行管理。这包括对光伏电池板进行清理、固定以及替换受损电

池片等相关操作；负责对逆变器、控制器以及其他相关设备进行全面检查、校准和维护^[9]。

此外，需定期检测光伏板是否正常运行，并根据检测结果及时调整或停止工作，确保设备始终处于最佳状态。通过定期维护工作，可以有效避免设备故障，增强系统的稳定性和可靠性。此外，还需对光伏发电系统的实际运行数据进行深入统计与分析，为系统进一步优化提供科学依据。通过详细统计和分析发电量、设备运行状况以及故障记录等数据，能够识别系统的运行模式和潜在问题，为制定更合理的运行策略和维护计划提供有力支持。在此基础上，结合电网调度管理部门的实际需求，设计并实现了一种基于数据挖掘技术的光伏发电系统监控平台，有效提升了系统管理效率和水平。进一步地，通过对历史数据的比较分析，能够评估光伏发电系统的工作表现和设备性能，为设备选择和更新提供有价值的建议^[10]。

四、结束语

光伏新能源技术作为一种创新的发展手段，在城市智能建筑电气领域的应用，不仅有助于减少传统能源的使用，同时也带来了显著的环境效益，进一步推动了社会的持续进步。深入研究光伏新能源技术在城市智能建筑电气领域的实际应用，并给出若干建议。在项目的建设过程中，建筑单位需要确保施工前的充分准备、施工中的中期管理以及施工后的验收工作都得到妥善处理；在项目的运营过程中，建筑单位需指派专门的人员来负责项目的管理和监控工作，同时还需组建一支专业的运维团队，以定期对光伏组件和电气系统等进行维护和保养。期望通过上述的讨论和分析，能够充分利用光伏新能源技术，以满足城市智能建筑的电气需求。

参考文献

[1] 曹刚. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用 [J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(10): 50–52.
[2] 沈弘. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用 [J]. 光源与照明, 2022(8): 75–77.
[3] 闫峰. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用 [J]. 低温建筑技术, 2022, 44(5): 48–51.
[4] 李超强. 城市智能建筑电气设计中光伏新能源技术的运用分析 [J]. 通讯世界, 2023, 30(10): 79–81.
[5] 张玉霞. 论光伏新能源技术在建筑电气中的应用价值 [J]. 城镇建设, 2023(14): 202–204.
[6] 莘济源. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用 [J]. 电脑校园, 2020(11): 6583–6584.
[7] 邓择文. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用 [J]. 数字化用户, 2023(38): 37–38.
[8] 李加方. 新能源光伏发电助力建筑电气节能减排探讨 [J]. 工程建设与设计, 2024(8): 37–39.
[9] 杨培鹏. 建筑电气节能中光伏新能源技术应用创新概述 [J]. 门窗, 2023(3): 45–47.
[10] 蔡志萌. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用探析 [J]. 建材与装饰, 2024, 20(30): 130–132.

大面阵光电芯片散热器 CFD 仿真分析

芮骥才, 张少伟, 高文, 史鸣谦
上海航天控制技术研究所, 上海 201109
DOI: 10.61369/ETQM.12233

摘 要 : 光电探测器的靶面规模不断增加, 芯片热耗也逐渐增加, 由此导致暗电流噪声过高使信噪比恶化, 利用流体散热器为芯片带走热量为最高效的散热手段。针对某探测芯片, 设计了三种内流道散热器 (蛇形、分形、双螺旋), 并基于 CFD 软件分别对三种散热器进行有限元建模并开展流动换热特性进行热仿真。结果表明, 在流动空间和体积流量均相同的情况下, 分形流道具有更低的压力损失, 螺旋式流道具有最优的温度一致性。

关 键 词 : 光电芯片; 流体散热器; CFD; 换热系数; 压力损失

CFD Simulation Analysis of Large Surface Array Photoelectric Chip Radiator

Rui Jicai, Zhang Shaowei, Gao Wen, Shi Mingqian
Shanghai Institute of Aerospace Control Technology, Shanghai 201109

Abstract: The target surface scale of the photodetector is increasing, and the heat consumption of the chip is gradually increasing, which leads to the high dark current noise to worsen the SNR. The fluid radiator is used to remove the heat of the chip as the most efficient means of heat dissipation. For a detection chip, three kinds of internal flow heat sink (snake, fractal, double helix) are designed, and finite element modeling of three radiators and flow heat transfer characteristics are conducted based on CFD software. It is shown that the fractal flow has much lower pressure loss and the spiral flow space and volume flow have optimal temperature consistency.

Keywords: photoelectric chip; fluid radiator; CFD; heat transfer coefficient; pressure loss

随着光学探测系统在各领域的广泛适用, 光学系统的体质、波段、功能均由简入繁, 探测芯片的类型和功能也随之升级换代, 在探测波段细分、像元靶面规模、灵敏度等指标全面提升, 而随着功能迭代, 其发热引入的损害也逐渐成为关注重点, 若无法及时将热量排散, 不仅会引入较强的暗电流, 长久的高温状态更可能导致相敏元热失效^[1-3]。如图 1 所示为某典型光学系统中的焦面组件构成示意图, 探测芯片与转接板通过金属支架安装焊接, 正面为光敏面, 无法用来设置散热器件, 仅有背部针脚中央区域可供设置热沉。利用有限区域构建流体散热器并进行合理优化可使整个组件温度处于合理范围。本文以该探测器为例, 构建合理的散热器结构, 并开展相应的性能分析。

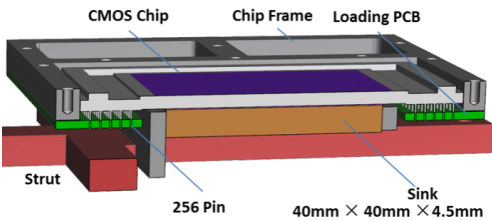


图 1 某焦平面组件截面示意图

一、控制方程

散热器内刻蚀微小通道, 并通过泵等增压部件驱动内部单相

液体的流动实现传热, 真个过程遵循 N-S 方程如下^[4]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} - \rho g_i - F_i = 0$$
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i}(k + k_i) \frac{\partial T}{\partial x_i} + S_h$$

三个方程分别代表质量、动量和能量守恒。式中 ρ 为流体密度, t 为时间, u_i 、 u_j 分别为 i 方向和 j 方向的速度分量, p 为静压力, τ_{ij} 为应力张量, g_i 为 i 方向重力分量, F_i 是其它体积力, h 为焓, k 为分子传导率, T 是流体温度, k_i 为湍流传递引入传导率, S_h 为体积热源。

NX 软件中的 ESC 模块是利用集总热容有限差分法对上述 NS 方程组进行离散, 将整个流体域基于能量平衡的原则细分为多个控制体, 对每个控制体区域分别适用上述平衡方程并迭代计算^[9]。

二、有限元模型建立

芯片底部针脚中间可用区域仅有 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$, 考虑总重量, 设计了三种特征散热器, 总厚度均为 4.5mm 。如图 2 所示, 其中 (a) 形式为普通蛇形盘管; (b) 形式为三级 Y 状分形, 通过制造相同长度路径的支路来实现流阻的一致; (c) 形式为双螺旋结构, 将入口段与出口段流体高密度耦合, 拉平整个空间内的温度梯度。三种散热器共性在于内部流动区域总体积基本一致, 均控制在 1.5mL 左右, 这样散热器的重量也会保持相同, 为方便将散热器分别编号 1~3。

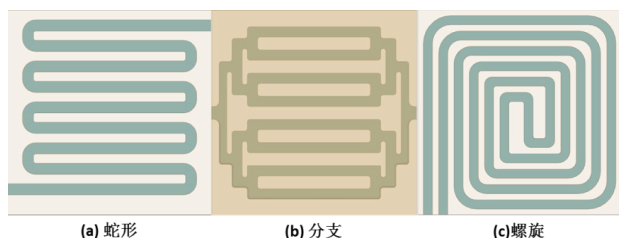


图 2 设计的三款散热器界面示意图

对三维模型进行必要的处理, 如清理螺钉安装孔以及忽略必要的倒角等细节后, 建立有限元模型如图 3 所示, 所有流体区域均对曲率半径较小的地方如转弯或者直径突变的部分进行加密, 按照 1s 排空域内体积估算, 充分发展流动区域雷诺数 Re 为 $100 \sim 1000$, 均处于层流状态, 进一步估算得到, 边界层厚度约为 0.1mm 量级, 因此对所有壁面边界层网格进行预加密, 初始厚度为 0.01mm 。最终得到的三个有限元网格单元数量分别为 47 万, 53 万与 49 万, 无量纲距离 y^+ 均为 30。

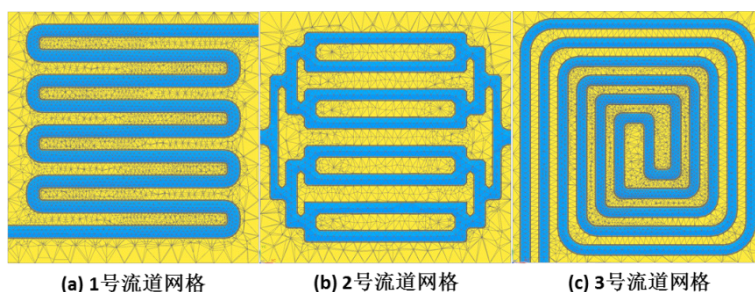


图 3 散热器与流道的有限元网格划分

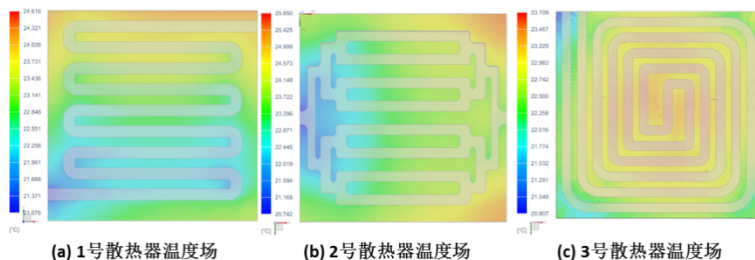


图 4 各散热器温度场分布

三、数值计算方法与边界条件

基于 NX 中的流求解器对散热器和液体流动区域进行热-流耦合计算, 湍流部分采用 $k-\epsilon$ 模型。其中入口部分为恒定体积流量入口, 均为 0.1L/min , 出口设置为开。为凸显流体换热效果的作用占比, 将散热器金属部分选取为热导率较低的结构钢 (热导率为 $55\text{W/m} \cdot \text{K}$) 而非非常规的纯铜, 流体工质选为纯水, 光电芯片的热负载均按实际值取 20W , 均匀施加在散热器 +Z 面上。仿真类型设定为稳态, 迭代时间步长选为 0.5s , 流动残差收敛精度为 10^{-4} 。

四、仿真结果与分析

收敛后的散热器场温度与速度分布如图 4 图 5 所示, 将温度和流动数据汇总后如表 1 所示, 从各图表中的相关数据可以得出:

(1) 各流体管路对流动覆盖区域的固体温度降低效果明显, 单由于选用的是结构钢作为基板材料, 其自身热导率的不足会使整个散热器的厚度以及面向梯度增大, 2 号换热器的边角区域温升超过 1°C , 该处温升可通过选用高热导率基材得到抑制。

(2) 整体降温效果最好的为 3 号 (螺旋) 散热器, 其拓扑分布相当于将 1 号换热器的冷端和热端施加加热回热效果, 拉低了整个芯片安装面上的温度梯度, 将 3.5°C 的温差降低至 2.6 。

(3) 由于总流体区域体积一致且流量相同, 因此 2 号并联换热器的流速度显著低于单管换热器, 表 1 中的压差也很好地反映该结论, 且 2 号换热器的压力损失仅约 0.3kPa 低于 1、3 号一个数量级。

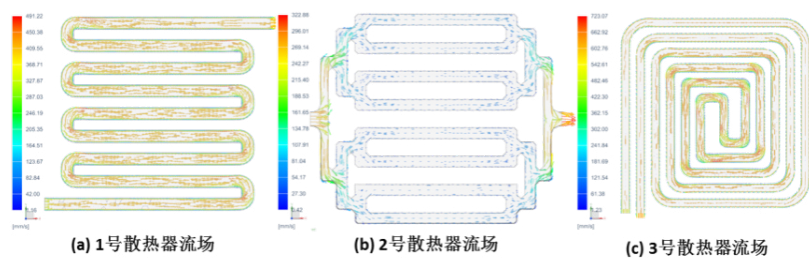


图 5 各散热器流场分布

表 1 仿真结果汇总

	热流面最高温 /°C	热流面最低温 /°C	压力差值 /KPa
1 号散热器	24.6	21.1	2.34
2 号散热器	25.8	20.7	0.298
3 号散热器	23.7	21.7	6.94

五、结论

本文对特定的一款光电芯片通过控制总的流速设计了不同构

型的3款换热器，并基于 NX 流体模块对其进行了流动和温度仿真，分别对实际散热器的温度分布以及流动特性进行相应分析后得出以下结论。

（1）Y 型分支形式的2号散热器具有最低的阻力特性，最适合需要大流量的高热流密度场合，因流道分流而引入的基板覆盖不全可通过选用高热基板或粘贴高热界面填料弥补；

（2）螺旋型散热器具有最优的温度一致性，适合于高温梯度要求的场合，如对焦平面形变一致性要求较高的干涉式测量敏感器。

参考文献

[1]熊平.CCD与CMOS图像传感器特点比较[J].半导体光电,2004,(01):1-4+42.DOI:10.16818/j.issn1001-5868.2004.01.001.
[2]刘芳,杨志鹏,袁卫星,等.电子芯片散热技术的研究现状及发展前景[J].科学技术与工程,2018,18(23):163-169.
[3]纪献兵,徐进良,薛强.适用于大功率光电芯片散热的一体化平板热管[J]光子学报,2012,23(09):1669-1675.DOI:10.16136/j.joe.2012.09.013.
[4]李兆,王从思.基于S型与Z型流道冷板的有源相控阵天线热设计研究[B].西安:西安电子科技大学,2014.
[5]张红兵.基于1-DEAS ESC的微波芯片散热仿真[J].机械设计与制造,2008,(07):31-32.
[6]赵海涛,李士刚.低温环境下红外辐射标定技术研究[J].飞控与探测,2023,6(01):75-79.
[7]谈小超,易飞.基于光学天线的多光谱窄带热探测器及其应用[J].飞控与探测,2021,4(02):36-50.

机电安装施工技术在建筑中的实际应用

郭良

浙江省邮电工程建设有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI: 10.61369/ETQM.12239

摘 要： 随着城市规模的扩大和建筑行业的快速发展，机电安装作为建筑工程的重要组成部分，其施工技术对确保工程质量、提高工程效益及保障建筑使用功能具有至关重要的作用。基于此，本文首先介绍了建筑机电安装施工技术的特点，分析了包括电气系统、给排水系统与通风与空调系统等在内的机电安装施工技术，探讨了相应的安装施工技术关键控制点。在该基础上，结合相关实践经验，论述了建筑工程机电安装施工技术的创新与发展。

关 键 词： 建筑工程；机电安装；施工技术；优化路径

Practical Application of Mechanical and Electrical Installation and Construction Technology in Construction

Guo Liang

Zhejiang Post and Telecommunications Engineering Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract: With the expansion of the city scale and the rapid development of the construction industry, mechanical and electrical installation as an important part of the construction engineering, its construction technology to ensure the quality of the project, improve the project efficiency and ensure the construction function has a vital role. Based on this, this paper first introduces the characteristics of construction mechanical and electrical installation and construction technology, analyzes the electromechanical installation and construction technology including electrical system, water supply and drainage system and ventilation and air conditioning system, and discusses the corresponding key control points of installation and construction technology. On this basis, combined with relevant practical experience, the innovation and development of construction technology are discussed.

Keywords: construction engineering; mechanical and electrical installation; construction technology; optimization path

机电安装工程施工质量直接关系到整个建筑的使用功能、安全性和经济性。近年来，随着科技的不断进步和建筑技术的日益成熟，机电安装施工技术也得到了快速发展，而在实际施工中仍存在部分技术难题和管理问题，影响机电安装工程的质量和效率。深入研究机电安装施工技术在建筑中的实际应用，对于提高建筑工程质量、保障建筑使用功能至关重要。

一、建筑机电安装施工技术的特点

建筑机电安装涵盖供暖、通风、空调、电力、照明、通信、安防等建筑系统的多个方面内容，安装施工专业性强，对施工人员的专业技能要求较高，需统一规划、设计和施工，以确保彼此间的协调运行。随着科学技术的发展与智能化建筑的不断涌现，新技术、新设备不断应用于机电安装工程中，在极大程度上提高了机电安装施工效率。近年来，国家相关部门高度重视建筑机电安装施工技术的优化创新，在细化完善行业技术规范方面制定并实施了诸多宏观政策，为新时期机电安装施工作业提供了重要基础遵循^[1]。同时，广大技术人员同样在整合机电安装施工技术资源，有效控制施工难度与风险等方面进行了诸多有益探索与总

结，实现了基于全流程的机电安装施工质量控制体系，成效显著。尽管如此，受限于诸多主客观要素，当前建筑机电安装施工技术水平尚有较大提升空间，亟需立足项目实际，创新方式方法，满足多样化的机电安装施工需求。

二、机电安装施工技术在建筑中的具体应用

（一）电气系统安装

1. 照明系统

根据建筑功能区域和照明需求进行灯具选型，综合考虑灯具能效、寿命、色温、显色指数等性能指标，以满足不同的使用场景和节能要求。对于潮湿、易燃、易爆等特殊环境，应选择具有

相应防护等级的灯具。在施工前,仔细审核电气施工图纸,与土建、装饰等其他专业施工图纸进行核对,避免管线冲突和返工。布线设计应遵循“横平竖直、整齐美观”的原则,不宜交叉、重叠。在穿墙、穿楼板等位置,应设置套管或预留孔洞,并做好防火防水处理。在线管敷设中,应根据设计图纸,在墙体、楼板等位置开槽或钻孔,敷设金属线管或PVC线管^[2]。将电线穿入线管内,注意电线的颜色和标识应符合设计要求,便于后续维护和检修。

2. 动力系统

根据动力系统的负荷需求、使用环境等因素,选择合适的配电箱型号和规格。配电箱应安装在干燥、通风、无腐蚀性气体和易燃易爆物品的部位,并按照其安装方式选择合适的固定方式。明装时,可使用膨胀螺栓或预埋件将配电箱固定在墙上;暗装时,则需在墙体预留孔洞,将配电箱嵌入墙内。按照设计图纸和接线图,将电缆、导线等接入配电箱内的电器元件,避免交叉和缠绕。根据建筑的结构和布局,规划电缆的敷设路径,并将电缆敷设到预定位置,避免电缆受到机械损伤和化学腐蚀^[3]。在电缆终端和接头处,应设置密封装置,防止水分和潮气侵入。在完成上述操作后,进行电机设备接线与调试。

3. 智能控制系统

在智能家居系统安装中,应根据建筑功能需求、居住者生活习惯和预算等条件,选择适合的智能家居系统方案,确定智能家居系统的功能和规模。其中,中央控制器应安装在易于访问且信号覆盖良好的部位,传感器应安装在能够准确感知环境变化的部位,执行器则应安装在便于控制用电设备的部位。采用弱电线缆进行布线,避免与强电线电缆交叉或平行敷设,以减少电磁干扰。在设备配置与调试中,需通过APP或网页界面,对各个设备进行配置,并检查各个设备的连接状态、功能实现情况和系统稳定性,实现一键控制多个设备。在调试过程中,如发现设备故障或功能异常,应及时处理并记录^[4]。

(二) 给排水系统安装

1. 给水系统安装

在给水处理系统中,管道选材至关重要。其中,硬聚氯乙烯(PVC-U)管物化性能优良,耐化学腐蚀,抗冲强度高,流体阻力小,耐老化,适用于建筑内外供水工程,而无规共聚聚丙烯(PP-R)管则广泛用于建筑物的冷热水系统。根据建筑的结构和布局,合理规划管道的走向,避免穿越重要的结构构件和易受损区域。合理控制给水管道的管径和流速,避免管径过大造成浪费,或管径过小导致供水不足。管外径在25mm以下的给水管在转角、接头、水表、阀门及终端的100mm处应设管卡,水平方向管卡间距600mm,管卡安装必须牢固。对于暴露在室外的管道,应采取保温措施,防止管道冻裂^[5]。

2. 排水系统安装

对于污水管道,根据设计要求开挖沟槽,并采取必要的支护措施,将排水管道铺设在沟槽内,并进行连接。连接方式可根据管道材料选择,如PVC-U管可采用胶水粘接,HDPE管可采用热熔连接等。在管道铺设完成后,应进行闭水试验,检查管道是否

有渗漏现象。闭水试验合格后,进行沟槽回填,并分层夯实。对于雨水管道,则在穿越墙壁和楼板时,应尽量避免穿越沉降缝、伸缩缝等易产生变形的部位,并设置套管,并做好防水处理^[6]。

(三) 通风与空调系统安装

根据设计图纸,在工厂或现场预制直管、弯头、三通等,管道尺寸、形状和连接方式应符合设计要求。将预制好的管道运至现场,按照设计图纸进行安装。安装过程中,应注意管道的坡度和方向,且管道与管道、管道与设备之间的连接应牢固可靠,无渗漏现象。为防止管道系统在运行过程中产生冷凝水或受到腐蚀,应对管道进行保温和防腐处理。保温材料应选用导热系数小、吸水率低、防火性能好的材料,而防腐材料应选用耐腐蚀、附着力强的材料。在风量调试中,可通过调整风机的转速、风阀的开度等参数,使系统风量达到设计要求。

(四) 电梯安装

结合建筑用途、楼层高度、人流量等,评估建筑的结构和承重能力,确定电梯类型、载重、速度、停靠层数等,有效保障支撑电梯的安装和运行。根据设计方案,在建筑内部或外部建设电梯井道。井道应进行封闭,防止人员和物体掉入井道内。建设电梯机房,用于安装电梯的驱动和控制设备。机房应具备良好的通风、散热和隔音条件。将轿厢、导轨、门系统、控制系统等电梯的各部分组件进行安装,安装过程中应严格遵守安全操作规程,各组件之间的连接应牢固可靠,无渗漏现象。连接电源、控制线路、信号线路等电气系统,并进行必要调试和测试,记录相关数据,以便后续分析和调整^[7]。

三、机电安装施工技术的关键控制点

(一) 施工进度控制

为充分确保建筑机电安装项目施工进度,可将其分解为若干个子项目或工序,明确每个子项目或工序的起止时间、所需资源及责任人,并根据历史数据、专家意见及项目实际情况,合理估算每个子项目或工序所需的时间。采用网络图、甘特图等工具,将各个子项目或工序按照时间顺序和逻辑关系进行排列,形成完整的施工进度计划,合理安排施工队伍的数量,提前采购并储备所需的机电设备和材料。定期对施工进度进行跟踪和记录,将实际的完成情况与计划进行对比,对于发现的进度偏差,及时进行原因分析,找出影响施工进度的关键因素,并采取相应的措施加以解决^[8]。利用信息化手段,建立施工进度监控系统,实时掌握施工进度,并及时向相关方通报。

(二) 施工质量控制

在施工前,组织设计、施工、监理等单位对机电安装施工图纸进行全面细致审查,重点审查图纸中的技术方案、构造图、标准规范、材料选用等,发现并纠正图纸中的错误和遗漏。选用符合国家或行业标准材料,对材料的生产单位进行调查,评审其生产能力和资质。材料进场前,进行严格的质量检查,材料规格、型号、性能等应符合设计要求。对进场的机电设备进行外观检查,不得存在破损、裂纹、凹陷、变形等缺陷,并需要进行功

能性试验的设备,按规范要求进行试验。在施工中,安排专职质量检查员对施工现场进行全程监督,对违反施工规范和操作规程的行为,及时制止并纠正。定期对施工现场进行定期检查,重点检查隐蔽工程、关键部位和特殊工序施工质量。

（三）施工安全管理

现场作业人员必须正确佩戴安全帽、安全带、防护鞋、防护眼镜等个人防护装备,施工机械和设备必须符合国家相关标准和规定,具有合格证明和使用许可证。施工现场临时用电应符合安全用电规定,采用 TN-S 接零保护系统,且配电箱应设置漏电保护装置,定期进行测试和检查。电缆线应架空或埋地敷设,避免乱拉乱接。作业过程中应设置安全网和防护栏,防止人员坠落,同时作业平台应稳固可靠,避免超载使用。在涉及交叉作业的区域,应设置明显的警示标志和隔离措施,防止不同工种之间的干扰和碰撞。加强与土建、装修等其他施工单位的沟通协调,合理安排施工顺序和作业时间,避免交叉作业带来的安全隐患。

（四）施工成本管理

施工成本管理是机电安装工程中的关键环节,对项目的经济效益有着直接的影响。一方面,在项目启动阶段,根据项目的合同价格、预期利润以及市场行情等因素,确定项目的目标成本,并按照项目的结构和工作内容进行分解,将其落实到各个分项工程、工作包和具体的成本控制单元。根据成本预测和分解结果,综合考虑各种风险因素,制定详细的成本计划。严格控制材料采购成本,通过招标、比价等方式选择优质供应商,降低材料价格,同时加强材料消耗的管理,参照定额,从限额发料和现场消耗两个方面控制材料成本。定期对项目成本进行核算和分析,统计实际发生的成本费用,与成本计划进行对比,分析成本偏差的原因,为成本控制和决策提供数据支持^[9]。

四、建筑工程机电安装施工技术的创新与发展探讨

（一）新材料与新工艺的应用

现代材料科学的创新发展与运用,为新时期建筑机电安装提供了多元化的新材料,使传统材料条件下难以取得的施工效果更具实现可能。比如,在给排水系统、暖通空调系统中,可采用具有耐腐蚀、重量轻、安装方便等优点的不锈钢波纹管、塑料复合管、铝塑复合管等新型管道材料,并在连接管道时,采用专用的连接件和密封材料,确保连接的牢固性和密封性。在新工艺应用中,可采用预制装配技术,通过工厂化生产,将机电设备、管道、线槽等预制成标准化的模块或组件,然后在现场进行组装和安装。

（二）智能化与数字化技术的应用

在机电安装过程中,可引入焊接机器人、管道安装机器人、电缆敷设机器人等自动化设备,替代传统的人工操作,使其根据预设的程序进行精确的作业,提高施工精度和效率。同时,在施工现场安装智能监控系统,通过传感器、摄像头等设备对施工进度、质量和安全进行实时监控,进而自动分析数据,及时发现潜在的问题并发出警报^[10]。在智能调试与检测技术应用中,则可

通过模拟运行、在线监测等手段,对机电设备的性能进行全面评估,使其能够正常运行并满足设计要求。

（三）专业化与精细化分工模式的应用

在建筑工程机电安装施工中,可根据施工特点和需求,将施工团队划分为电气安装组、管道安装组、设备调试组等若干专业小组,每个小组负责特定的施工任务。在精细化分工方面,则可制定详细的施工管理制度和操作流程,明确每个环节的质量标准和验收要求,对各项作业方式进行持续改进和优化。利用信息化手段,建立信息共享平台,确保各专业小组和精细化分工环节之间的信息畅通和及时传递,为提高机电安装施工综合效益创造良好条件。

五、结语

综上所述,受工程规模、技术方法与过程管理等要素影响,当前建筑工程机电安装施工中依然存在诸多短板与不足,制约着建筑工程功能条件的持续优化。因此,技术人员应摒弃传统陈旧的机电安装作业模式制约,建立健全基于全流程的机电安装施工方法体系,在宏观范围内整合各项技术资源,积极有效引入多元化的新工艺与新方法,为全面优化提升机电安装施工水平奠定基础,为促进现代建筑工程事业高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]彭康.探究建筑机电安装施工技术管理问题及对策[J].价值工程,2022,41(9):151-153.
- [2]洪植丹.浅析机电安装施工技术在实际应用[J].建筑安全,2011,26(09):58-59.
- [3]赵纪锋.装配式建筑机电安装施工中存在的问题及技术要点探究[J].数码设计,2022,(24):138-140.
- [4]王怡.基于自动化的智能家居系统研究[J].居业,2021,(03):104-105.
- [5]马文博.机电安装工程电气施工工艺与控制管理探讨[J].硅谷,2014,7(01):90+81.
- [6]孙建刚.高层建筑机电安装施工关键技术及其难点[J].大众标准化,2022,(11):84-86.
- [7]张立铭.对建筑机电安装工程施工技术的探讨及建议[J].河南建材,2018,(01):257-258.DOI:10.16053/j.cnki.hnjc.2018.01.139.
- [8]池亚徽.BIM技术在高层建筑机电安装施工中的应用研究[J].中国建筑金属结构,2023,22(8):15-17.
- [9]韦华.探讨机电安装施工技术在建筑中的实际应用[J].中华民居(下旬刊),2013,(03):165-166.
- [10]赵磊.超高层建筑机电安装施工与组织管理技术[J].模型世界(电子版),2023,(13):136-138.

新型给水自动加氧设备性能分析及应用

顾大鹏

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司, 江苏 盐城 224553

DOI: 10.61369/ETQM.12240

摘要：近年来，随着科技不断进步，进一步提高对环保的要求，新型给水自动加氧设备逐渐进入火电厂的视野。本文深入探讨了锅炉加氧系统中溶氧值稳定性的关键因素，分析了加氧点和采样点距离、负荷变化对溶氧值稳定性的影响，并提出了相应的优化措施。本文详细介绍了智能给水处理工况算法及控制逻辑的研究，提出了加氧装置运行维护升级改造的研究，包括元件健康度状态评价、设备预维护、故障预警功能。通过这些研究，本文旨在提高锅炉系统的运行效率，推动相关技术的可持续发展。

关键词：溶氧稳定；自动加氨冷态参数试验；自动加氨热态参数试验；全保护加氧处理技术

Performance Analysis and Application of New Automatic Oxygenation Equipment for Water Supply

Gu Dapeng

National Electric Power Investment Group Jiaxin Binhai Power Co., Ltd. Yancheng, Jiangsu 224553

Abstract: This paper deeply explores the key factors affecting the stability of dissolved oxygen value in boiler oxygenation system, analyzes the influence of the between oxygenation point and sampling point, load change on the stability of dissolved oxygen value, and proposes corresponding optimization measures. This paper introduces in detail the research on intelligent water treatment condition algorithm and control logic, and proposes the research on operation and maintenance upgrade transformation of oxygenation device, including equipment health status evaluation, equipment pre-main, fault early warning function. Through this research, this paper aims to improve the operation efficiency of boiler system and promote the sustainable development of related technology

Keywords: dissolved oxygen stability; automatic ammonia addition cold-state parameter test; automatic ammonia addition hot-state parameter test; full oxygenation treatment technology

新型给水自动加氧设备通过在给水中加入适量的氧气，不仅能够有效防止锅炉金属材料的腐蚀，还能提高锅炉的热效率^[1]。与传统方法相比，新型加氧设备具有操作简便、处理效率高、环保性能好等显著优势。本文旨在对火电厂锅炉新型给水自动加氧设备的性能进行详细分析，并探讨其在实际应用中的效果。通过对比传统方法与新型设备的优缺点，本文将展示新型加氧设备在提高火电厂运行效率和环保性能方面的潜力。同时，本文还将结合实际案例，分析新型设备在不同工况下的应用效果，为火电厂的现代化改造提供参考。

一、给水加氧处理条件

第一，凝结水精处理。凝结水是直流锅炉给水的重要组成部分，其质量直接影响到锅炉的安全运行，凝结水系统应配备100%全流量精处理设备，全面提高凝结水的高纯度。在运行过程中，应采取措施保证精处理设备有足够的缓冲能力，避免因水质波动引起的不良影响；定期检测树脂特性，确保净化效果，是保证凝结水质量的关键。第二，保证给水水质的高纯度性。给水的高纯度性是直流锅炉给水加氧处理的前提条件，给水的氢电导率应小于 $0.15 \mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃），如果检测到氢电导率超标，应尽快查找异常原因，并采取相应措施恢复正常水汽品质^[2]。此外，给水的

pH值也不能过低或过高，否则会影响加氧处理的效果。第三，防止凝汽器和凝结水系统漏入部分空气。空气中的二氧化碳会使水的pH值下降，此时加入氧化剂反而会加速金属的腐蚀，防止凝汽器和凝结水系统漏入部分空气是直流锅炉给水加氧处理的重要条件之一，通过优化凝汽器和凝结水系统的密封性能，可以有效减少空气的漏入，从而保证加氧处理的效果。

二、智能给水处理工况算法及控制逻辑的研究

基于本方案第2部分影响溶氧稳定性的主要因素，为科学控制溶氧的稳定性，本文进行自动加氨冷态参数试验和自动加氨热态

参数试验,给热力设备水系统全覆盖防治处理工艺及装置研究打下坚实基础,保证热力设备水系统全覆盖防治处理工艺效果达到预期要求。试验流程如下:

(一) 自动加氨冷态参数试验

1) 电导率远传信号校准。通过给定电导率表电流信号模拟值,查看对应电导率的数值,确保校准结果正常,能达到控制要求。

2) 自动加氨程序模拟。通过上位组态软件对程序进行模拟实验,查看各个数据是否对应,程序功能是否存在问题,对各个给定值和反馈值进行模拟输入输出,确保模拟结果正常,能达到控制要求。

(二) 自动加氨热态参数试验

1) 试验条件。通过与电厂各部门协调,确定热态参数试验前机组的基本条件。

2) 前馈参数整定。在一定负荷区间内,运行人员根据负荷手动调节加氨泵频率,维持除氧器入口电导率在 $2.7\mu\text{S}/\text{cm}$,记录调整前后频率值和调整时间平均值,通过前馈输出频率的采集,确定前馈参数。

3) PID调节参数整定。在一定负荷区间内,给PID设置初参数:将微分时间写为0,比例:0.02,2积分时间:200s。根据系统设定确定调节器的作用方向。在除氧器入口电导率设定值为 $2.7\mu\text{S}/\text{cm}$ 情况下,根据电导率变化趋势,计算曲线衰减率,摸索PID控制参数,确定最终的PID设置参数。

4) 基于多因素的自动加氨控制方法。确定影响除氧器入口电导率控制效果的所有影响因素:a.机组负荷(给水流量);b.氨计量箱氨水浓度;c.计量泵的行程;d.电导率设定值。

当a机组负荷(给水流量)变化时,通过“前馈+PID”进行调节。当b、c、d变化时,通过调节系数进行校正,最终输出频率=“前馈”×调节系数+“PID”调节。设置b氨水浓度、计量泵的行程和电导率设定值的基准值分别为0.51%、30%和 $2.7\mu\text{S}/\text{cm}$,建立调节系数的模型,通过实际的浓度调整和定值扰动,验证此控制模型的准确确定。本方案基于加氨控制大滞后、多因素的特点,采用负荷前馈调节+PID调节的控制方式,可以有效确保负荷变化时加氨量的精确自动控制。

三、热力设备水系统全覆盖防治处理工艺及装置的研究

(一) 全保护加氧处理技术研究

全保护加氧工艺加氧点需要实现给水、凝结水和高加疏水的全面保护,因此对于加氧量控制及加氧点的设置均有严格要求(如图1所示)。

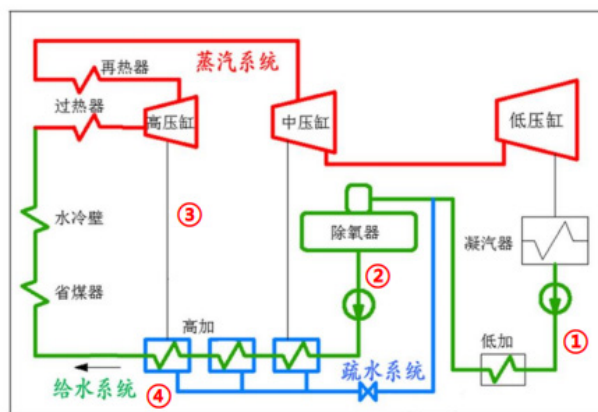


图1 加氧处理工艺原理示意图

(①凝结水加氧点;②给水加氧点;③、④高加疏水可供选择的加氧点)

加氧量控制应满足水汽系统防腐要求,且需要精确控制给水加氧量,从而避免蒸汽系统氧化皮剥落风险。随着对加氧工艺原理的深入研究和设备的更新换代,加氧工艺也经历了“高氧→低氧→全保护加氧”的数次更新,目前全保护加氧工艺加氧量控制有着更严格的要求^[3]。通过控制凝结水加氧量为 $10\sim 150\mu\text{g}/\text{L}$ 、给水加氧量为 $10\sim 30\mu\text{g}/\text{L}$ 、高加疏水加氧量为 $10\sim 150\mu\text{g}/\text{L}$,可以实现给水、疏水系统有氧。而蒸汽系统无氧的全保护工艺路线,确保蒸汽系统基本无氧;其次,全保护加氧工艺给高加疏水系统单独加氧,实现了蒸汽系统无氧而高加疏水系统有氧,有效遏制高加疏水系统的流动加速腐蚀^[4]。

加氧点设置应具备以下条件:1)加氧点设置以功能实现为导向,为实现低压给水系统的保护,普遍将加氧点设置在凝结水精处理出口母管上;想要保护高压给水系统,普遍将加氧点设置在除氧器下降管上;为了实现保护高加疏水系统,普遍将加氧点设置在1号高加抽汽管道上;2)加氧点设置尽可能保护易腐蚀、堵塞设备,如给水加氧点设置在汽泵前置泵入口之前,用于保护汽动给水泵;3)加氧点设置兼顾经济性和可操作性,由于加氧点之后需要设置一、二次门,因此加氧点设置在易于操作的地方,也要考虑加氧经济性,如给水加氧点设置在汽泵前。

1. 加氧量控制

按照DL/T805.1-2021《火电厂汽水化学导则第1部分:锅炉给水加氧处理导则》要求^[5],给水的溶解氧控制值为 $10\sim 30\mu\text{g}/\text{L}$,期望值为 $10\sim 20\mu\text{g}/\text{L}$,高加疏水溶解氧控制值 $\geq 10\mu\text{g}/\text{L}$ 。本方案采用精确控制方式,将给水加氧量控制在 $10\sim 20\mu\text{g}/\text{L}$,高加疏水加氧量控制在 $10\sim 100\mu\text{g}/\text{L}$,可以满足给水及高加疏水防腐钝化要求。同时,精确控制方式加氧量降低,加氧介质使用量低、设备使用时长低,从而带来加氧介质购置费用和设备维护保养费用降低等显著优势。

2. 加氧点设置

本方案将高加疏水加氧点设置在1号高加抽汽管道上,具有以下优点:1)从1号高加抽汽管道加氧,实现对1号高加汽侧的保护,从而全面保护整个高加疏水系统;2)从1号高加抽汽管道加氧,采用空气作为加氧介质,电厂仅用压缩空气为介质来源,空

压机直接压缩空气作为介质来源，介质来源价廉易得，且不受外界因素干扰。

（二）全保护加氧装置研发

加氧介质应具备以下条件：1）加氧介质加入不会对热力系统造成影响，不会增加设备故障几率；2）加氧介质的加入不会对水汽品质造成影响，不会导致热力设备产生结垢、积盐等不良后果；3）介质应该价廉易得，且加氧量易于控制。全保护加氧装置是为实现全保护加氧工艺而研制的加氧装置，本方案以空气作为加氧介质进行加氧设备研发。空气由78%的氮气、21%氧气、还有1%的稀有气体和杂质组成^[6]。此前，由于空气中存在微量CO₂（体积分数约0.03%–0.04%），因此采用空气作为加氧介质存在CO₂腐蚀的顾虑。然而，工业试验和科学研究已经证明，采用空气作为加氧介质，由于加氧后OT工况时给水的pH值控制在8.9–9.1，加氧前AVT(O)工况下给水的pH值更是控制在9.2–9.6，因此其中的CO₂并不会对热力设备产生影响^[7]。此外，空气中氮气含量78%，性质十分稳定，不会对水汽系统造成影响。基于空气加氧介质研制全保护加氧装置，采用高效空压机将经过过滤的洁净空气加压至一定压力（>加氧点系统压力），开发加氧气控装置和电控装置，利用微量调节阀、减压阀、稳压阀、电动调节阀等装置，采用给水流量前馈+溶氧反馈的调节方式，实现给水、凝水和高加疏水的精确加氧；自动控制技术，控制给水加氧精度达到目标值 $\pm 5 \mu\text{g/L}$ ，让蒸汽系统始终处于无氧状态，彻底消除加氧处理与蒸汽系统氧化皮的矛盾。

（三）加氧装置运行维护升级改造研究

为响应工业4.0号召，本研究设备过程中，通过数据边缘计算，旨在形成具备健康状态评估、设备预维护、故障预警和安全监控等功能的智能化设备。

1. 元件健康度状态评价功能

拟采用健康度和维护倒计时等指标对设备重要元件状态进行实时评价，具体如下。

$$\text{健康度} = \left(1 - \frac{t}{T_i}\right), T_i = t * f(i), f(i) \text{ 表示第 } i \text{ 次维护后设备}$$

元件性能衰减函数，各元件有所不同，具体衰减函数参考元件说明书。

2. 设备预维护功能

以元件健康度状态评价结果为基础，实现设备的自动生成设备预维护清单功能，具体实现方案如下：

- （1）在设备测建立设备元件型号数据库；
- （2）根据元件状态实时评价，识别出需要维护的设备元件；
- （3）将元件名称及型号生成预维护清单；
- （4）通过按钮一键导出该预维护清单；
- （5）观看人机界面中各元件的维护演示视频，对元件进行维护。

3. 故障预警功能

机组仪表异常是影响设备正常运行的主要因素，针对该部分工作人员增设故障预警功能，当信号超过正常限值时，延时后，超过异常特征值报警，则对应仪表信号自动投入至设定值，保持

开度不变^[8]；当实测值小于正常限值时，解除设定值切换至仪表实际测量值（如图所示）。具体实现方案如下。

（1）识别仪表异常，提取仪表异常特征值（异常限值，从正常限值到异常限值的时长），若仪表信号超过正常限值后，且在时长内超过异常限值，则诊断为仪表异常^[9]；

（2）仪表异常处理方法，仪表异常时，切换数据来源，用程序设定值或发生异常前正常测量平均值（12h）代替仪表实测值，并给出仪表预警提示，直到实测值小于正常限值，解除设定值切换仪表实际测量值^[10]。

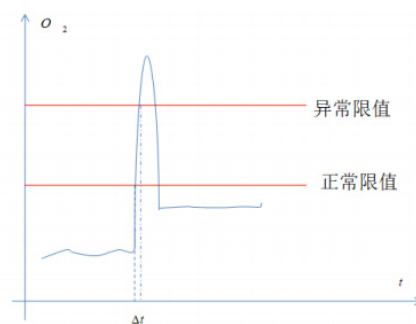


图2 在线化学仪表异常诊断示意图

四、总结

综上所述，本文通过对锅炉加氧系统中溶氧值稳定性的深入分析，揭示了影响溶氧值稳定的主要因素，并提出有效优化措施，智能给水处理工况算法及控制逻辑研究为实现自动加氨精确控制提供了技术支持。未来，随着技术不断发展，锅炉系统运行将向智能化方向发展。

参考文献

- [1] 张宁, 谢鹏飞, 王一鸣, 等. 基于 Citespace 的给水加氧处理技术研究进展分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(9): 136–142, 202.
- [2] 彭吉伟. 全保护自动加氧技术的研究及应用 [J]. 电气技术与经济, 2022(4): 66–68.
- [3] 山西三合盛智慧科技股份有限公司. 一种发电厂给水自动加氧加氟协同控制装置及其控制方法: CN202111461475.7[P]. 2022–03–25.
- [4] 华能烟台八角热电有限公司, 华能山东发电有限公司, 西安热工研究院有限公司. 电厂化水系统中氨氧的控制方法、装置及电子设备: CN202410230084.1[P]. 2024–05–28.
- [5] 靖煤(白银)热电有限公司, 南京翔能环保科技有限公司. 一种本质安全的锅炉给水自动加氧设备: CN202420837261.8[P]. 2024–06–14.
- [6] 袁达. 660MW 超临界机组给水加氧新工艺介绍 [C]. //2020 年清洁、高效热电联产及智慧供热技术交流研讨会论文集. 2020: 67–70.
- [7] 湖南省湘电试验研究院有限公司. 一种给水自动加氧系统及方法: CN201810213715.3[P]. 2021–01–29.
- [8] 程兆光. 变压吸附制氧装置运行优化研究 [D]. 山东: 山东建筑大学, 2021.
- [9] 廖洪峰. 1000MW 超超临界机组锅炉给水自动加氧技术研究与应用 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(8): 28–41. DOI: 10.13726/j.cnki.11–2706/tq.2021.08.028.14.
- [10] 高起升. 660 MW 超临界直流火电机组给水采用全自动保护加氧的优点 [J]. 今日自动化, 2021(9): 82–83.

数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用与实践

崔立业

故城县农业农村局, 河北 衡水 253800

DOI: 10.61369/ETQM.12246

摘要： 本文紧扣数字化技术在农田水利精准灌溉领域的应用展开论述。研究剖析了物联网的实时感知、大数据的深度挖掘以及数字孪生的虚拟映射等技术原理，在此基础上，搭建起涵盖数据采集、分析决策和自动化控制的科学应用体系。以石津灌区等为代表的大量实践案例表明，这些数字化技术通过精准调控，显著提升了水资源的利用效率，有力推动农业向智能化、精细化方向迈进。随着技术的持续迭代，数字化技术在农田水利精准灌溉领域应用前景广阔，有望引领农业生产方式的深刻变革。

关键词： 数字化技术；农田水利；精准灌溉；物联网；大数据

Application and Practice of Digital Technology in Precision Irrigation of Farmland Water Conservancy

Cui Liye

Agricultural and Rural Bureau of Gucheng County, Hengshui, Hebei 253800

Abstract: This article focuses on the application of digital technology in the field of precision irrigation for farmland water conservancy. The study analyzes technical principles such as real-time perception of the Internet of Things, deep mining of big data, and virtual mapping of digital twins. Based on this, a scientific application system covering data collection, analysis, decision-making, and automatic control is established. Numerous practical cases represented by the Shijin Irrigation District show that these digital technologies have significantly improved the efficiency of water resource utilization through precise regulation and control, effectively pushing agriculture towards intelligence and refinement. With the continuous iteration of technology, digital technology has broad application prospects in the field of precision irrigation for farmland water conservancy, and it is expected to lead to profound changes in agricultural production methods.

Keywords: digital technology; farmland water conservancy; precision irrigation; Internet of Things; big data

随着全球人口持续增长，气候变化影响加剧，水资源短缺已成为全球面临的严峻挑战。农业作为水资源消耗的主要领域，提升灌溉的高效性与精准性迫在眉睫。数字化技术的迅猛发展，为农田水利精准灌溉提供了创新解决方案。借助物联网、大数据、数字孪生等技术，构建全面感知、智能决策的精准灌溉体系，替代凭经验判断的传统灌溉模式。这一转变不仅显著提升了水资源利用效率，减少了水资源浪费，更推动农业朝着智能化、现代化的方向加速转型，助力农业可持续发展。

一、数字化技术在农田水利精准灌溉中的关键类型及原理

在农田水利精准灌溉迈向智能化、精细化的进程中，数字化技术发挥着不可或缺的作用。物联网、大数据、数字孪生等关键技术，凭借各自独特的原理，构成了精准灌溉体系的技术基石。以下将对这些数字化技术的类型与原理展开深入探讨。

（一）物联网技术

传统的农业灌溉多数根据对作物的生长阶段特点与人工种植经验实施，为实现精准化灌溉作业，智能化的农业灌溉系统不断呈现，其考虑了田间环境的空气温湿度、土壤温湿度、光照强

度、土壤含水量及电导率等因素，令灌溉作业更加科学合理^[1]。物联网技术作为实现精准灌溉的核心支撑，为现代农业精细化发展筑牢了根基，对推动农业高质量发展具有深远意义。在广阔的农田里，按照科学布局原则，系统部署土壤湿度传感器、气象传感器等多种传感器。土壤湿度传感器凭借分层探测技术，能够精准测量不同土层的含水量，为判断作物根系的水分吸收情况提供可靠依据。气象传感器则利用多通道采集技术，收集光照强度、空气温度、相对湿度以及降雨量等关键气象数据。

借助 ZigBee、LoRa 等低功耗、远距离的无线传输网络，传感器采集的海量数据被快速稳定传输至数据中心^[2]。依托物联网技术，农田管理者借助专业的大数据分析平台，运用聚类分析、关

联规则挖掘等算法，对收集到的数据进行深度剖析，进而实时、全面掌握农田实际状况。在此基础上，为精准灌溉提供科学可靠的决策依据，实现水资源的高效利用，助推农业向智慧化、绿色化转型。

（二）大数据技术

大数据技术凭借强大的运算与分析能力，深度赋能精准灌溉领域，为其提供了坚实的技术支撑。在数据收集阶段，系统借助物联网设备，全面整合不同地区、不同作物的生长数据、灌溉数据以及气象数据，这些丰富多元的数据为模型搭建筑牢了根基。

以中国农业科学院新乡综合试验基地为例，该基地部署2560组传感器，对土壤湿度、养分含量、作物生长指标、光照强度、气温等土壤、作物和环境数据展开全方位收集。随后，运用数据清洗、标准化等技术对收集到的数据进行系统整合，构建起作物生长数据库。依托梯度提升树、随机森林等机器学习算法，对数据库中的数据进行深入挖掘，将作物在不同生长阶段的水肥需求规律转化为可计算、可预测的数字模型。借助这些模型，系统依据作物生长阶段、土壤墒情、气象条件的实时变化，迅速制定精准的灌溉方案，显著提升灌溉效率，实现水资源的最大化利用^[3]。

（三）数字孪生技术

数字孪生技术凭借其独特的数字化映射能力，从底层逻辑重塑了灌区管理模式，让灌区实现智能模拟与前瞻预演。在甘肃疏勒河流域，省疏勒河水资源中心创新性运用这一前沿技术，对流域地形地貌、水利设施以及水文系统展开多维度测绘与数据采集，进行全方位数字映射。在建模阶段，通过高精度传感器收集河道流量、水位变化、土壤特性等多源数据，运用先进算法，构建起高度逼真的数字孪生模型。

依托该模型，一方面利用大数据分析技术和算法模拟，对不同作物、不同生长阶段的水资源需求进行深入分析；另一方面结合气象预测模型，对降水、积雪消融等因素带来的水资源增量展开科学预测^[4]。这些精确的信息为制定合理的灌溉调度方案提供可靠依据，极大助力水资源的科学配置与高效利用，实现节水增效与农业可持续发展的双赢。

二、数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用体系

为实现农田水利精准灌溉，一套行之有效的应用体系必不可少。数字化技术融入从数据采集，到分析决策，再到灌溉执行的全过程，保障了精准灌溉的高效实施。下面，将对数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用体系展开介绍。

（一）数据采集与传输

在农田水利精准灌溉体系中，传感器作为获取关键信息的基础设备，发挥着无可替代的作用。土壤湿度传感器凭借高精度的感应元件，深入不同土层，实时、精准地监测土壤水分含量，其反馈的数据成为灌溉决策的核心依据。气象传感器则从多个维度收集温度、湿度、光照、风速、降水量等气象信息，通过对这些数据的综合分析，能够准确把握作物在不同气象条件下的需水情况。水位传感器部署于灌溉水源处，不间断地监测水位变化，保

障灌溉系统始终维持稳定的水压与供水量^[5]。借助 ZigBee、NB-IoT 等无线传输技术，各类传感器收集的海量数据被迅速、稳定地传输到数据处理中心。这些数据经过专业的算法分析与处理，为灌溉策略的制定和调整提供全方位的数据支持，确保精准灌溉的顺利实施。

（二）数据分析与决策支持

大数据技术在农业灌溉领域的应用，极大地提升了灌溉决策的科学性与精准度。借助数据挖掘算法，系统能从海量农业数据中，运用 Apriori、K-Means 等经典算法，深入挖掘数据间的潜在关联，提取出如作物需水量变化规律等有价值的信息，进而预测作物需水趋势，为灌溉决策提供前瞻性思考^[6]。人工智能模型则通过机器学习与深度学习技术，搭建灌溉决策模型。以随机森林、神经网络模型为例，这些模型通过对大量历史数据和实时数据的反复学习，构建起复杂且精准的决策逻辑。当面临不同的作物品种、生长阶段和环境条件时，模型能依据学习所得，快速给出适配的精准灌溉方案，真正实现智能化、精细化的灌溉决策，有效提升农业用水效率。

（三）灌溉系统自动化控制

基于多维度数据分析结果，精准灌溉控制系统成为实现农田水利精细化管理的核心枢纽，高效推动灌溉设备的自动化控制。在实际应用中，阀门、水泵等关键灌溉设备与控制系统紧密相连，能依据预设的灌溉方案，借助可编程逻辑控制器（PLC），精准地自动开启或关闭^[7]。系统通过对灌溉时间、流量的精确调控，实现对灌溉水量和时间的精准把控，避免水资源的浪费。同时，远程监控系统基于物联网技术，搭建了稳定的远程通信链路，操作人员无论身处何地，只需通过手机、电脑等终端设备，借助专用 APP 或网页端，便能实时获取灌溉设备的运行状态，远程控制灌溉设备，灵活调整灌溉方案。这不仅大幅提升了灌溉管理的便捷性，还能让管理人员根据实际情况，快速响应，进一步优化灌溉策略，为农业生产提供有力保障。

三、数字化技术在精准灌溉中的实践案例

（一）石津灌区概况

石津灌区作为大型灌区，覆盖范围横跨河北省多个县（市、区），肩负着保障区域农业生产用水、促进当地经济发展的重要使命^[8]。多年来，随着人口增长与农业生产规模的不断扩大，水资源供需矛盾愈发突出，传统灌溉方式粗放、水资源浪费严重等弊端逐渐暴露，不仅增加了灌溉成本，也制约了农业可持续发展。在此背景下，引入数字化技术开展精准灌溉，成为石津灌区解决水资源问题、提升灌溉效率的关键举措。

（二）数字化技术应用体系

石津灌区前瞻性地 在田间和水源地部署大量传感器，构建全方位、多层次的数据采集网络。土壤湿度传感器高灵敏度捕捉土壤水分变化，反馈不同深度土层墒情，为精细化灌溉提供土壤信息；气象传感器收集气温、降水、风速和光照等气象数据，为灌溉决策提供依据；水位传感器监测渠道和水源地水位，保障灌溉

用水供应稳定。各类传感器通过无线传输技术，将采集数据上传至数据中心，数据中心借助专业软件，对数据进行整合、存储与分析，确保数据准确可用^[9]。

基于这一数据采集系统，石津灌区搭建智能灌溉决策平台。平台集成先进数据分析算法与模型，深度分析土壤湿度、气象条件、作物需水规律等多源数据，精准计算不同区域、作物各生长阶段的最佳灌溉时间与用水量。同时，平台依据灌区水资源现状，运用优化算法动态调整灌溉方案，合理调配水资源，避免浪费。

为落实精准灌溉，石津灌区在灌溉设施中部署自动化控制设备。电动阀门根据智能决策系统指令调节开度，精准控制灌溉流量。灌溉设备远程控制系统让管理人员通过手机或电脑，就能操控灌溉设备。借助可视化操作界面，管理人员可直观掌握设备运行状态，及时调整灌溉参数，提升灌溉管理的便捷性与灵活性。

（三）实施成效

数字化精准灌溉在石津灌区的应用，取得了多维度的显著成效。在水资源利用方面，借助精准的灌溉时间和用水量调控机制，石津灌区精准匹配作物的需水节奏，有效规避了传统灌溉中常见的过度灌溉和深层渗漏现象^[10]。数据表明，与传统灌溉模式相比，石津灌区的灌溉水利用系数大幅提升，节水效果显著，极大缓解了区域水资源短缺的紧张局面，推动水资源的可持续利用。

在农业生产效益上，精准灌溉为作物营造了稳定且适宜的水分环境，刺激作物根系深入发育，显著增强了作物的抗逆性，有效减少了病虫害发生概率。这不仅促使作物产量实现稳步增长，还显著改善了农产品品质，提升了其市场竞争力。同时，自动化灌溉系统的引入，减少了人工灌溉环节的人力投入，降低了灌溉成本，减轻了农民的劳动负担，全方位实现农业生产经济效益的最大化。

在灌溉管理层面，数字化技术助力石津灌区成功迈向信息化和智能化管理阶段。依托数字化管理平台，管理人员能够实时监控灌区水资源动态，精准掌握灌溉设备的运行状态。当设备出现故障或水源调配不合理时，系统能及时发出预警，方便管理人员迅速响应，采取有效措施解决问题。这不仅大幅提高了灌溉管理的效率，还为灌溉决策提供了可靠的数据支撑，显著提升决策的科学性与精准性。

（四）经验与启示

石津灌区数字化精准灌溉的成功实践，为其他灌区提供了宝贵借鉴。在技术应用上，各灌区要结合自身地理环境、作物种植结构与水资源状况，合理选择数字化技术和设备，避免盲目投资。

人才对数字化精准灌溉发展至关重要。各灌区需加强人才培养，打造既懂农业灌溉技术，又熟悉数字化技术的复合型人才队伍，为技术发展提供智力支持，同时推进技术创新，研发适配灌区特点的新技术、新设备。

另外，灌区应加强与科研机构、企业合作，构建产学研用一体化合作机制，加速技术成果转化。通过合作，及时获取最新技

术成果，提升灌溉管理水平，实现水资源高效利用与农业可持续发展。

四、结束语

数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用，已然成为农业现代化发展的必然趋势。借助传感器、物联网设备，数字化技术完成对土壤墒情、气象条件、作物生长状况的数据采集，运用大数据分析模型，深度挖掘数据价值，并通过自动化控制系统实现精准灌溉。这一过程不仅有效提高了水资源利用效率，降低了因不合理灌溉造成的农业生产成本，同时稳定农作物生长环境，保障国家粮食安全，缓解水资源压力，维护水安全。

尽管推广应用时，面临数据安全、技术成本等挑战，但随着技术的创新突破与政策扶持，数字化技术在精准灌溉领域应用前景将更为广阔，有望推动农业向更高水平的现代化迈进。

参考文献

- [1] 李林. 基于物联网技术的农业灌溉系统精准控制研究[J]. 农机化研究, 2022, 44(01): 227-232. DOI: 10.13427/j.cnki.njyi.2022.01.039.
- [2] 刘志龙, 张淋江, 朱富丽, 等. 基于物联网农业灌溉系统精准控制模型的研究[J]. 农机化研究, 2024, 46(04): 211-215+220. DOI: 10.13427/j.cnki.njyi.2024.04.016.
- [3] 童鸿. 瓮安县小型农田水利工程建设中存在的问题及对策[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(08): 222-224.
- [4] 张书花. 农田水利灌溉统一调度管理的应用策略[J]. 农村科学实验, 2024, (14): 118-120.
- [5] 李俊铎. 现代数字技术赋能农田水利供给体系的机理及路径[J]. 农业工程技术, 2023, 43(20): 71-72. DOI: 10.16815/j.cnki.11-5436/s.2023.20.034.
- [6] 许又川. 乡村振兴战略背景下农田水利项目绩效审计研究[D]. 西南政法大学, 2023. DOI: 10.27422/d.cnki.gxzf.2023.000190.
- [7] 王婷芳. 农田水利灌溉渠道工程运行维护及管理[J]. 农家参谋, 2022, (14): 153-155.
- [8] 徐子凯. 信息化技术在农田水利工程施工中的运用[J]. 工程技术研究, 2021, 6(18): 90-91. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.18.040.
- [9] 麻勇进. 协同治理视域下小型农村水利工程治理问题研究[D]. 中共浙江省委党校, 2020. DOI: 10.27478/d.cnki.gzzjd.2020.000034.
- [10] 张艳丽. 农田水利灌溉管理统一调度的优势和运用策略[J]. 农业科技与信息, 2022, (11): 85-87. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2022.11.032.

路基拼接技术在高速公路新建互通工程中的应用策略

席晓龙

陕西省成通机械化公路生态工程有限责任公司, 陕西 西安 710000

DOI: 10.61369/ETQM.12222

摘 要： 针对高速公路新建互通工程中复杂地质条件与高交通流量的双重挑战，本研究以某位于两市交界处的高速公路新建互通工程为实例，详细介绍了路基拼接技术在其中的应用。分析发现，通过系统且科学地实施软基预处理、旧路基增压补强、精准控制路基拼接加宽填料、规范路基碾压流程、完善排水系统以及精细处理新旧路基结合部位等技术手段，能够有效提升路基拼接质量，保障工程的长期稳定性与安全性。通过深入分析，文章旨在为同类高速公路新建互通工程提供全面且具实操性的技术应用参考，以推动高速公路建设领域的技术进步与工程质量提升。

关 键 词： 高速公路；新建互通工程；路基拼接技术

Application Strategy of Subgrade Splicing Technology in Newly Built Interchange Projects of Expressways

Xi Xiaolong

Shaanxi Chengtong Mechanized Highway Ecological Engineering Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: Given the dual challenges of complex geological conditions and high traffic volume in newly built interchange projects of expressways, this study takes a newly built interchange project of an expressway located at the junction of two cities as an example to introduce the application of subgrade splicing technology. Through systematic and scientific implementation of technical means such as soft foundation pretreatment, pressurization and reinforcement of old subgrade, precise control of subgrade splicing and widening fillers, standardization of subgrade rolling process, improvement of drainage system, and fine treatment of the joint between new and old subgrades, it is found that the quality of subgrade splicing can be effectively improved, ensuring the long-term stability and safety of the project. Through in-depth analysis, this article aims to provide a comprehensive and practical technical application reference for similar newly built interchange projects of expressways, in order to promote technological progress and improve engineering quality in the field of expressway construction.

Keywords: expressway; newly built interchange project; subgrade splicing technology

在区域经济高速发展与城市化进程不断加速的背景下，构建高效、完善的交通网络成为推动社会进步的关键因素。高速公路作为交通网络的核心脉络，其互联互通程度直接影响着交通运输效率与区域间的经济交流。新建互通工程作为拓展和优化高速公路网络的重要举措，承担着连接不同高速线路、提升交通转换能力的重任。而路基拼接技术作为新建互通工程的核心环节，其应用效果直接关系到工程质量、道路使用寿命以及交通运行的安全性。以某处于两市交界处的高速公路新建互通工程为例，深入探究路基拼接技术的应用策略，对于解决复杂条件下的工程难题、提升高速公路建设水平具有重要的现实意义。

一、工程概况

某高速公路新建互通工程坐落于两市交界处，作为区域交通一体化的关键节点，承担着连接两市中心及周边高速公路的重要使命。项目旨在实现两市高速的互联互通，优化区域路网结构。该互通工程全长4.8km，其中路基拼接段落总长3.2km。此区域地质状况复杂，约40%的路段为软土地基，天然含水量在35%~45%之间，压缩模量为2.5MPa~4MPa，其余部分为黏性土与粉土混合地层。项目所在地交通流量大，日均车流量超5万辆次，且随着城市副中心的发展，预计未来3年车流量年增长率达

4%。在施工期间，既要保障既有交通的顺畅运行，又要完成高精度的路基拼接作业，这对施工技术的选择与交通组织协调能力提出了极为严苛的要求。

二、路基拼接技术在高速公路新建互通工程中的应用

（一）软基预处理

鉴于软土地基在本工程中占比较大且特性复杂，软基预处理成为路基拼接施工的首要关键环节。在软土地基路段，采用排水固结法结合土工合成材料加固技术。首先，以1.2m的间距打设

排水板, 打设深度依据软土厚度确定, 通常在8~12m范围。通过排水板的设置, 可加速软土中孔隙水的排出, 进而促进土体固结^[1]。同时, 在地表铺设0.5m厚的砂垫层, 砂垫层选用洁净、级配良好的中粗砂, 其渗透系数不低于 1×10^{-2} cm/s, 以此确保排水顺畅。在砂垫层上铺设双向土工格栅, 土工格栅的抗拉强度不低于80kN/m, 延伸率不超过10%, 格栅幅宽6m, 搭接宽度不小于0.2m。土工格栅能够增强路基的整体稳定性, 有效减少软土地基的侧向位移与沉降量^[2]。经处理后的软土地基, 其沉降速率明显降低, 工后沉降量控制在30cm以内, 满足设计要求。在沉降观测过程中, 前3个月每月沉降量控制在3~5cm, 随后逐渐趋于稳定, 为后续路基施工奠定了坚实基础。

(二) 旧路基增压补强

在高速公路新建互通工程中, 旧路基的状况对整体工程质量起着关键作用。为显著提升旧路基的承载能力与压实度, 冲击压实技术被合理采用, 以此达成冲击增压补强的目标。

1. 冲击增压补强

冲击增压补强是一种利用高速、高能量的冲击波对地基或构筑物进行加固的技术。塔筒专用的冲击设备产生强烈的冲击波, 这些冲击波在介质中传播时, 会对土体或混凝土产生压缩、密实和重塑作用, 从而提高地基的承载力和结构的稳定性。在冲击增压补强作业环节, 施工团队选用了冲击能量为25kJ的三边形冲击压路机。根据对旧路基特性的详细分析以及工程设计标准, 冲击压实遍数精准设定为15遍。在施工过程中, 冲击压路机的行驶速度始终严格控制在10~12km/h。当冲击压路机高速运转时, 其产生的强大冲击力作用于旧路基。在这一强大外力的影响下, 旧路基内部的土体颗粒发生重新排列^[3]。原本分布松散、无序的土体颗粒, 在冲击力的作用下, 逐渐调整位置, 变得更加紧密有序。与此同时, 土体内部的孔隙尺寸不断减小。随着孔隙的减小, 路基单位体积内的土体质量增加, 进而使得路基压实度得到有效提高。为进一步优化压实效果, 在冲击压实过程中, 施工人员定时对路基表面进行洒水湿润。水分渗入路基基层的土体中, 能够降低土体颗粒之间的摩擦阻力, 使颗粒在冲击力作用下更容易发生相对位移, 从而更有效地实现重新排列, 改善压实效果。经专业压实度检测设备测定, 冲击压实后的旧路基压实度相较于施工前有了明显提升, 为后续工程施工创造了更为良好的基础条件。

2. 羊足碾补强

在部分旧路基段落, 考虑到其土质特性及工程需求, 引入羊足碾开展针对性的补强作业。羊足碾设备具有特殊的凸块结构, 能够在滚动过程中对土体产生强烈的挤压和剪切作用, 从而提高地基的密实度和承载力。在施工时, 羊足碾沿着旧路基进行往返碾压, 碾压遍数确定为8遍, 行驶速度稳定控制在3~5km/h。当羊足碾在旧路基上缓慢行进时, 其羊足与土体相互作用。羊足的特殊形状使得在碾压过程中, 不仅对土体产生垂直向下的压力, 还会产生一定的横向作用力, 从而对土体形成揉搓效果。这种揉搓作用能够使土体颗粒在不同方向的力的作用下, 更加充分地相互填充、紧密排列, 进一步提高土体的密实度。特别是对于黏性土路基, 羊足碾的这种揉搓特性优势显著。经过羊足碾的多次往

返碾压后, 路基的压实度均匀性得到极大提升。从数据层面来看, 原本压实度差异较大的区域, 经处理后压实度标准差从0.05成功降低至0.03。这一数据的变化直观地反映出旧路基在经过羊足碾补强后, 力学性能得到有效改善, 使其在承载能力与稳定性方面更能契合高速公路新建互通工程的严格要求。

3. 液压冲击补强

在高速公路新建互通工程里, 旧路基局部薄弱区域会给整体结构稳定性带来隐患。为有效解决这一问题, 施工中采用液压冲击设备实施针对性补强。液压冲击补强是一种利用液压设备产生高频、高能量的冲击力对地基或结构物进行加固的技术。该液压冲击设备具备灵活调节冲击能量的特性, 可依据旧路基薄弱区域的实际状况, 将冲击能量在10~15kJ的区间内合理调整。施工人员借助先进的定位技术, 精准把控液压冲击设备的冲击点, 同时依据薄弱区域的范围与严重程度, 严格控制冲击次数, 以此对旧路基的薄弱部位展开高效加固作业。在整个液压冲击补强进程中, 为确保冲击过程安全无虞且切实有效, 利用高精度的监测仪器, 对路基的变形情况进行实时追踪。一旦监测到路基变形超出安全阈值, 即刻调整设备参数或暂停作业进行评估。经液压冲击补强后, 旧路基原本的薄弱区域强度大幅提升, 从原本易产生变形、难以承受重载的状态, 转变为能与周边路基协同工作的稳固状态, 极大增强了旧路基的整体承载能力, 保障了高速公路新建互通工程的路基质量。

(三) 路基拼接加宽填料控制

在高速公路路基拼接加宽施工这一关键环节中, 填料的合理选择与严格控制对工程质量有着决定性影响。本工程经多番考量与试验, 选用了级配良好的砾类土作为填筑材料^[4]。该类土液限经检测不大于28%, 塑性指数不大于6, 这使得其具备良好的颗粒组成与物理特性, 利于后续压实作业及路基稳定性的维持。为切实保障压实效果, 对填料最大粒径实施严格把控, 要求其控制在150mm以内, 避免因粒径过大影响压实均匀性。在正式填筑前, 借助专业检测仪器对填料含水量展开严格检测, 通过加水或晾晒等手段, 将含水量精准调控至最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内, 以此保证在压实过程中, 土颗粒间能产生最佳的摩擦力与黏聚力。填筑过程采用分层填筑工艺, 每层填筑厚度严格限制在不超过30cm, 确保压实设备能有效作用于每一层填料。通过如此严谨把控填料质量与填筑工艺, 为新路基与旧路基实现良好结合奠定基础, 进而显著提高路基整体稳定性^[5]。经专业压实度检测设备对新填筑路基各部位检测, 其压实度均达到96%以上, 完全满足高速公路路基压实标准。进一步对不同填筑层压实度深入检测分析发现, 随着填筑层数逐步增加, 压实度呈现出略有提升的趋势, 最高可达98%, 但整体始终稳定保持在96%以上, 充分彰显了所选填料及填筑工艺的科学性与可靠性。

(四) 路基碾压

路基碾压工序在保障路基压实质量层面占据核心地位。在完成新路基填筑以及旧路基补强作业后, 随即开展路基碾压工作, 选用重型振动压路机作为主要施工设备。该压路机激振力不小于35t, 能为路基压实提供强大动力。施工时, 将碾压速度

严格控制在2-4km/h，确保压路机能对路基进行充分且稳定的压实作用^[6]。

在碾压操作过程中，严格遵循特定原则。首先进行静压，让压路机以较低速度平稳行驶，初步压实路基表面，为后续振压奠定基础。随后进入振压阶段，从弱振逐步过渡至强振，使路基内部土体颗粒在不同强度振动力作用下，不断调整位置，达到更为紧密的排列状态。同时，在速度把控上，秉持先慢后快原则，初期慢速行驶有助于压路机能更精准的作用于路基，随着压实程度提升，适当加快速度，提高施工效率。而从碾压顺序来看，由路基边缘向中间推进，保证路基边缘与中间部分压实度均匀一致^[7]。

在整个碾压进程中，质量检测环节同步跟进。借助专业压实度检测仪器以及平整度测量工具，实时检测路基的压实度与平整度。一旦检测数据偏离设计标准，施工人员即刻灵活调整碾压参数，如适当增加碾压遍数、调整振动频率等。对于新老路基拼接部位，因其结构较为特殊，采用小型压实设备进行补充碾压，确保拼接部位压实度完全达到设计要求。经全面压实度检测，路基整体压实度均匀性良好，不存在明显压实度差异区域，有力保障了路基具备足够的承载能力与稳定性，为后续路面铺设及车辆行驶提供坚实基础。

（五）完善排水系统

完善的排水系统对于维持路基长期稳定性意义重大。在路基拼接工程实施过程中，构建了一套科学合理的排水体系，该体系由边沟、排水沟与截水沟协同组成。其中，边沟采用梯形断面设计，底宽0.6m，深度达0.8m，边坡坡度设定为1:1.5，以保障排水顺畅且具备一定抗冲刷能力。边沟采用C25混凝土浇筑而成，壁厚0.2m，具有良好的耐久性。排水沟与截水沟的设置则依据施工现场地形地貌以及水流方向综合确定，其断面尺寸与边沟类似，同样具备高效排水功能。在新老路基拼接部位，为有效排除拼接处积水，设置了横向排水盲沟。盲沟采用直径0.2m的波纹管，管外严密包裹土工布，土工布可过滤掉水中杂质，防止波纹管堵塞，确保盲沟排水畅通。通过这一完善的排水系统，能够迅速且有效地排除路基范围内的地表水与地下水^[8]。在日常降雨条件下，经实际观测，路基范围内无明显积水现象，排水效果好。即使遭遇暴雨天气，排水系统也能在30min内将路面积水彻底排除干净，极大程度减少水对路基的侵蚀时间，切实保障路基稳定性，延长路基使用寿命。

（六）新旧路基结合部位处理

新旧路基结合部位是路基拼接的关键部位，若处理不当，极易产生裂缝与不均匀沉降。在结合部位，先对旧路基边坡进行开挖台阶处理，台阶宽度不小于1m，高度0.5m，台阶面设置向内倾斜3%的坡度。在台阶表面铺设一层土工格栅，土工格栅的抗拉强度不低于50kN/m，延伸率不超过8%^[9]。同时，在新老路基结合面涂刷一层水泥砂浆，以增强结合面的黏结力。新路基填筑时，对结合部位进行重点压实，确保结合部位的压实质量^[10]。经观测，通车后新旧路基结合部位未出现明显裂缝与不均匀沉降现象，保证了路基的整体稳定性。在通车后的1年内，对结合部位进

行定期监测，沉降量均控制在5mm以内，无裂缝产生。

三、结语

在高速公路新建互通工程中，路基拼接技术的科学应用是保障工程质量与稳定性的核心要素。本工程的实践经验表明，在高速公路新建互通工程建设中，应紧密结合工程实际状况，深入分析地质条件与交通流量特点，精心选择并优化路基拼接技术，严格把控施工过程质量。只有如此，才能实现新老路基的良好协同工作，显著提升高速公路的整体性能与服务水平，为区域经济发展提供坚实可靠的交通保障。随着工程技术的不断进步与创新，路基拼接技术在高速公路新建互通工程中的应用将更加完善与高效，未来应持续关注新材料、新工艺的研发与应用，进一步提升路基拼接技术的科学性与可靠性，推动高速公路建设事业迈向更高水平。

参考文献

[1]郭海军.高速公路拓宽工程新老路基拼接施工技术研究[J].交通世界,2023,(08):82-84.

[2]徐熊.改扩建高速公路工程的路基拼接施工的技术管理措施[J].交通科技与管理,2024,5(12):61-63.

[3]赵喜红.高速公路改扩建路基拼接施工技术研究[J].交通世界,2020,(25):84-85.

[4]王新越.高速公路改扩建工程路基路面拼接施工技术[J].石材,2024,(01):92-94.

[5]曾学强.高速公路路基加宽拼接及施工控制技术研究[J].低碳世界,2023,13(04):145-147.

[6]丁建涛.高速公路改扩建工程中路基拼接施工技术及效益研究[J].价值工程,2023,42(24):20-22.

[7]胡文贵.公路拓宽工程路基拼接技术[J].运输经理世界,2023,(24):16-18.

[8]姜彪.路基路面拼接施工技术在公路改扩建工程中的应用[J].工程技术研究,2023,8(18):99-101.

[9]周游.公路改扩建中新老路基差异沉降控制技术研究[J].公路与汽运,2021,(04):101-104.

[10]曾文超.高速公路改扩建工程路基路面拼接施工技术[J].水上安全,2024,(07):187-189.

高速公路沥青路面车辙病害治理技术分析

任彬

杭州萧山路桥工程有限公司, 浙江 杭州 311000

DOI: 10.61369/ETQM.12227

摘 要： 高速公路沥青路面车辙病害是影响路面性能和安全性的主要问题之一。车辙的产生与路面结构、材料性能、交通荷载等因素密切相关。通过优化沥青材料配比、改进施工工艺以及采用车辙防治技术，如温拌技术和抗车辙添加剂等，可以有效降低车辙的发生。分析表明，综合应用多种治理手段能显著提高路面抗车辙能力，延长路面使用寿命，减少养护成本，保障交通安全。

关 键 词： 高速公路；沥青路面；车辙病害；防治技术；抗车辙能力

Analysis of Rutting Disease Treatment Technology for Asphalt Pavement of Expressway

Ren Bin

Hangzhou Xiaoshan Road and Bridge Engineering Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311000

Abstract: Rutting disease on asphalt pavement of expressways is one of the main issues affecting pavement performance and safety. The occurrence of rutting is closely related to factors such as pavement structure, material properties, and traffic loads. By optimizing the asphalt material ratio, improving construction techniques, and adopting rut prevention and control technologies, such as warm mix technology and anti-rutting additives, the occurrence of rutting can be effectively reduced. Analysis shows that the integrated application of multiple treatment methods can significantly improve the pavement's resistance to rutting, extend the service life of the pavement, reduce maintenance costs, and ensure traffic safety.

Keywords: expressway; asphalt pavement; rutting disease; prevention and control technology; anti-rutting ability

高速公路作为现代交通网络的重要组成部分，其路面质量直接影响到行车安全与通行效率。沥青路面车辙病害不仅影响路面平整性，还增加了养护成本，严重时甚至威胁行车安全。随着交通荷载的加重和气候变化的影响，车辙问题愈加突出。因此，探索有效的车辙防治技术，提升路面抗车辙能力，已成为当前高速公路建设与养护中的重要课题。深入分析车辙形成原因及防治措施，对于优化路面设计和施工具有重要意义。

一、高速公路沥青路面车辙病害的形成机理

高速公路沥青路面车辙病害的形成机理复杂，涉及多种因素的相互作用。车辙是指由于车辆荷载长期作用下，路面沥青材料发生塑性变形，导致路面局部沉降并形成凹槽的现象。车辙的产生与沥青路面的结构设计、材料性能、交通荷载以及气候条件等多个因素密切相关。当交通荷载超过路面设计承载能力时，沥青路面的高温、湿度等环境条件会加剧材料的软化，导致路面表层出现塑性变形，逐渐形成车辙。

沥青材料的性能是车辙病害产生的关键因素之一。沥青的黏弹性特性在较高温度下较为显著，沥青路面在夏季高温条件下易发生软化，导致材料的塑性变形增加。当路面长期受到交通荷载作用时，沥青材料的本身性能无法有效承载重压，造成局部变形，最终导致车辙的出现。此外，沥青混合料中的粗集料与细集

料的配比、级配情况以及沥青的黏结性等都会影响路面抗车辙能力。过于松散的路面结构使得颗粒之间的摩擦力减弱，增加了车辙的风险^[1]。

交通荷载是车辙病害的重要外部因素。高速公路上的车流量及车辆重量逐年增加，尤其是重型车辆对路面的压迫作用极为显著。当频繁通过的车辆对沥青路面产生持续的压应力时，路面的材料逐渐受到压缩，塑性变形不断累积，从而使车辙逐步加深。除此之外，交通荷载的动荷载效应也会加速车辙的形成。车辆加速、减速或制动时，所施加的瞬时动荷载对路面的损害远大于静态荷载。此外，气候条件对车辙形成也具有重要影响。长期高温天气会加剧沥青的软化过程，而在寒冷地区，路面的频繁冻融作用也可能导致沥青材料的老化和脆化，进而影响路面的抗车辙能力^[2]。通过对这些因素的综合分析，可以更全面地理解高速公路沥青路面车辙病害的形成机制，并为后续的治理措施提供理论

依据。

二、影响车辙病害的主要因素分析

车辙病害的形成受到多种因素的共同作用，理解这些影响因素对于有效治理车辙具有重要意义。沥青路面的材料性能直接影响车辙的发生与发展。沥青材料具有温度敏感性，在高温条件下沥青容易软化，失去原有的刚性和强度，从而导致塑性变形。当交通荷载持续作用于沥青路面时，软化的沥青无法有效抵抗压应力，逐步发生永久性变形，形成车辙。此外，沥青混合料的配比、集料的质量和级配等因素也会对路面的抗车辙能力产生影响。合理的集料配比能够增加路面的稳定性和耐久性，防止因材料松散而加剧车辙的产生^[3]。

交通荷载的作用是车辙病害的重要外部因素。随着公路交通量的增大，尤其是重型车辆的通过，荷载的强度和频次都大幅提高，导致路面受到更大的压迫。重型车辆的车轮荷载对沥青路面的压迫作用远大于普通车辆，尤其是在高速公路上，重型卡车的频繁通行使得车辙病害加剧。荷载作用不仅影响沥青的变形，还可能导致路面结构的破坏，特别是在交通量大且车辆多样化的区域，车辙问题显得尤为严重。动态荷载效应也加剧了车辙的形成，尤其是在车辆加速、减速和制动时，瞬时荷载的变化会对路面产生更为强烈的影响，从而导致沥青层的塑性变形加速。

气候因素对车辙病害的形成有着不可忽视的影响。不同地区的气候条件差异使得沥青路面的热稳定性和抗车辙能力也各有不同。在高温天气下，沥青容易软化并发生塑性流动，极大地增加了车辙的形成风险。特别是在炎热的夏季，持续的高温使得路面沥青的抗压强度降低，导致车辙加深。另一方面，在寒冷地区，冬季的低温和冻融交替作用会使沥青材料变脆，失去原有的弹性和韧性，易发生开裂或剥落，从而为车辙的形成提供了条件。长期的湿润环境也可能加剧沥青混合料中水分的侵入，影响路面结构的整体稳定性，间接促进车辙病害的发展^[4]。通过综合分析这些因素，可以更好地评估不同地区和路段的车辙发生风险，为路面设计与养护措施的优化提供依据。

三、沥青路面车辙防治技术的现状与挑战

沥青路面车辙病害防治技术在近年来取得了一定的进展，但依然面临许多技术挑战。当前，常用的车辙防治方法包括优化沥青材料、改善施工工艺和引入新型添加剂等。沥青材料的改良是防治车辙的核心手段之一。通过添加抗车辙剂、改性沥青和温拌沥青等技术，可以显著提高沥青的抗压性能和耐高温能力，从而降低路面因高温软化而产生的车辙风险。改性沥青，尤其是聚合物改性沥青，具有较高的粘结性和弹性，能够有效提升路面的抗车辙性能。此外，温拌沥青技术通过降低施工温度，使沥青在施工过程中具有更好的流动性和黏结性，有助于提高路面整体的稳定性^[5]。

除了沥青材料的改良，施工工艺的优化也是车辙防治中的重

要环节。合理的路面结构设计、正确的施工工艺和合适的压实度是确保路面抗车辙能力的关键。通过优化集料级配，减少路面内部的空隙率，可以提高沥青混合料的密实度，增强路面承载能力。沥青路面的铺设温度和压实过程直接影响路面的密实度，过低的温度和不充分的压实会导致沥青层表面松散，进而加速车辙的形成。因此，采用高效的摊铺和压实技术，以及严格控制施工质量，能够有效减少车辙的发生。

尽管现有的车辙防治技术取得了一定的效果，但在实际应用中仍然面临不少挑战。首先，交通荷载的日益加重，尤其是重型车辆的增加，使得路面所承受的压力持续增大，这对现有的防治技术提出了更高的要求。尽管改性沥青和抗车辙添加剂能在一定程度上提升路面性能，但在高强度的交通荷载下，这些技术的效果仍然有限。其次，气候条件的变化也是影响车辙防治效果的一个重要因素。在高温和湿润环境下，沥青路面的性能可能会急剧下降，导致防治技术难以发挥预期效果。此外，现有的技术在成本控制和可持续性方面也面临一定的挑战。改性沥青和添加剂的成本较高，可能增加施工和养护的费用，尤其是在大型公路项目中，这一问题尤为突出。因此，如何平衡技术效果与经济性，降低车辙防治技术的实施成本，仍是亟待解决的难题^[6]。

尽管沥青路面车辙防治技术在材料改性和施工工艺方面取得了一定进展，但面对日益严峻的交通荷载和气候变化等挑战，仍需不断创新与优化。只有通过更加科学的技术研发和综合治理措施，才能有效应对车辙病害，保障高速公路的安全与耐久性。

四、沥青材料与施工工艺在车辙治理中的应用

沥青材料的改性是车辙治理中的核心技术之一，直接影响到路面的抗车辙能力。传统的沥青材料在高温下容易软化，导致车辙的产生。为了提高沥青的性能，近年来，许多改性技术相继被应用于沥青路面，如聚合物改性沥青、橡胶改性沥青及纤维改性沥青等。聚合物改性沥青通过引入聚合物材料，能够有效提高沥青的抗车辙能力、抗老化性能以及抗裂性。聚合物如 SBS（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯）等，能够增强沥青的弹性和粘结性，从而提高其高温流动性和承载能力，减少塑性变形。此外，橡胶改性沥青利用废旧轮胎橡胶与沥青的复合，有效提升了沥青的抗压强度和耐久性，同时还具备了环保效益^[7]。

除了材料改性，沥青路面的施工工艺同样在车辙治理中发挥着重要作用。合理的施工工艺能够有效提高路面的密实度和结构稳定性，减少车辙的发生。首先，沥青路面的施工温度应控制在适宜范围内，避免过高或过低的施工温度影响材料的性能。温度过高时，沥青会过于软化，容易形成车辙；而温度过低则会影响沥青的流动性，导致密实度不足，影响抗车辙能力。其次，施工过程中应精确控制压实度，确保路面层次的密实性。高密实度的沥青路面能够有效减少水分和空气的渗透，从而提高路面的抗车辙性能。通过高效的摊铺、加热、压实等工艺，确保沥青混合料的各项物理性质达到标准，是保证路面抗车辙性能的关键。

然而，随着交通荷载的不断增大，传统的沥青材料和施工工

艺面临越来越大的挑战。在高交通量和重型车辆频繁通行的情况下，即使采用改性沥青和优化施工工艺，也可能难以应对极端的车辙病害。因此，除了材料和工艺的改进，结合其他防治措施，如温拌沥青技术和抗车辙添加剂的使用，成为进一步提升车辙防治效果的有效途径。温拌沥青技术通过降低沥青的施工温度，不仅减少了施工过程中能源的消耗，也使得沥青材料更易于均匀摊铺和压实，提升了路面的密实度^[8]。抗车辙添加剂则能改善沥青混合料的抗高温性能，进一步增强路面抵抗车辙的能力。通过不断优化沥青材料的配比、改进施工工艺，并引入新型技术手段，可以有效地提升沥青路面的抗车辙性能，延长路面使用寿命，减少养护成本。

五、车辙病害治理技术的综合措施与效果评估

车辙病害的治理不仅依赖于单一技术的应用，而是需要综合多种措施的配合。首先优化沥青材料是车辙治理的基础。改性沥青，如聚合物改性沥青、橡胶改性沥青及纤维改性沥青，能显著提高沥青的抗车辙性能。这些材料通过提高沥青的弹性和粘结性，增强了沥青在高温下的稳定性，减少了因高温软化引起的路面塑性变形^[9]。此外，采用温拌沥青技术可以降低施工温度，使得沥青混合料在施工过程中的流动性和黏结性更好，从而增强了路面的密实度和抗车辙能力。

施工工艺的优化是车辙治理中不可忽视的因素。施工时，合理的摊铺温度和压实度对提高路面的稳定性至关重要。摊铺温度的控制可以有效防止沥青在施工过程中过度软化或过早凝固，确保路面均匀密实，避免因温度不适造成的变形问题。压实度的提

高可以降低路面内部的空隙率，减少水分渗透，防止沥青材料的老化和劣化，增强其抗车辙性能。与此同时，合理的路面结构设计也是车辙治理中的重要环节，优化集料的配比和级配，使沥青混合料具备更好的承载力和抗变形能力，从而降低车辙发生的概率。此外，精确控制施工质量与细节，确保每一层沥青均匀铺设，能够进一步提高路面的耐久性和稳定性^[10]。

尽管目前的防治技术已取得一定成效，但车辙病害治理依然面临诸多挑战，特别是在高强度交通荷载和复杂气候条件下。通过多种技术的结合，能够在一定程度上减缓车辙的发生，但完全消除车辙病害仍然具有困难性。因此，车辙病害治理效果的评估也成为一个关键环节。评估不仅要考虑技术实施后的短期效果，还应包括长期使用中的性能表现，如抗车辙能力、耐久性 & 维修频率等。此外，综合考虑成本效益、环境影响以及施工难度等因素，为不同路段制定个性化的车辙治理方案，才能实现最佳的治理效果和可持续性。通过不断优化治理技术与措施，并结合工程实践经验，可以显著提高高速公路沥青路面的整体质量，减少养护费用，并提高交通安全性。

六、结语

高速公路沥青路面车辙病害的治理是一个复杂的系统工程，需要从材料、施工工艺以及防治技术等多方面综合施策。通过优化沥青材料、改进施工工艺和采用先进的防治技术，可以显著提高路面抗车辙能力，延长路面使用寿命。然而，随着交通荷载的加重及气候条件变化，仍需不断创新和完善治理技术，以实现更高效的车辙防治，保障高速公路的安全性和耐久性。

参考文献

[1] 陈锦辉. 福泉高速公路沥青路面病害机理分析与治理技术研究. 福建省, 福建省福泉高速公路有限公司, 2008-06-25.
[2] 赵健. 高速公路沥青路面车辙病害的成因及治理 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2008, 4(S1): 144-149.
[3] 王子鹏. 高速公路沥青路面车辙病害的治理措施 [J]. 交通世界 (建养·机械), 2009(11): 112-113. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2009.11.023.
[4] 姬猛. 福泉高速公路沥青路面病害成因分析与治理技术研究 [D]. 长安大学, 2013.
[5] 曾俊标, 孙长新, 王钊. 高速公路沥青路面早期车辙病害处治技术方案研究 [J]. 公路工程, 2012, 37(04): 163-166.
[6] 姬猛. 福泉高速公路沥青路面病害成因分析与治理技术研究 [D]. 长安大学, 2013.
[7] 范桥辉. 高速公路沥青路面车辙病害调查及维修处治技术方案研究 [D]. 长安大学, 2015.
[8] 佟伟. 高速公路沥青路面车辙病害的成因及治理 [J]. 交通世界, 2021(25): 89-90. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2021.25.042.
[9] 王鹏. 高速公路路面常见病害成因及养护治理技术 [J]. 工程建设与设计, 2023(18): 132-134. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.09.243.
[10] 何桦清. 高速公路路面常见病害成因及养护治理技术 [J]. 运输经理世界, 2024(05): 148-150.

城市交通规划与路网建设

冯浩

安徽省六安市霍邱县地方海事处, 安徽 六安 237400

DOI: 10.61369/ETQM.12232

摘 要 : 在城市化进程不断加快的背景下, 城市交通问题越来越突出。为了给城市居民提供一个顺畅的交通环境, 就需要注重优化城市交通规划, 加强路网建设, 以此提高城市交通的规范性与科学性, 从而更好的服务社会群众。但是从当前城市交通规划与路网建设的实际情况来看, 其中依然存在着一些问题。笔者针对城市交通规划与路网建设的价值以及存在的问题进行了探析, 并提出了城市交通规划与路网建设的有效策略, 希望本次研究对城市交通问题的化解有所帮助。

关 键 词 : 城市; 交通规划; 路网建设

Urban Transportation Planning and Road Network Construction

Feng Hao

Local Maritime Office of Huoqiu County, Lu'an City, Anhui Province, Lu'an, Anhui 237400

Abstract: In the context of accelerating urbanization, urban transportation issues are becoming increasingly prominent. To provide a smooth transportation environment for urban residents, it is necessary to focus on optimizing urban transportation planning and strengthening road network construction, thereby improving the standardization and scientific nature of urban transportation to better serve the community. However, based on the current situation of urban transportation planning and road network construction, there are still some problems. The author explores the value and existing problems of urban transportation planning and road network construction, and proposes effective strategies for urban transportation planning and road network construction. It is hoped that this research will help resolve urban transportation issues.

Keywords: urban; transportation planning; road network construction

城市交通规划与路网建设不单单关系着居民的出行, 同时还关系着城市的进一步发展。为此, 在城市化建设中一定要对城市交通规划与路网建设引起足够的重视, 科学、规范的进行城市交通规划与路网建设, 以此提高城市交通承载力, 促进城市的平稳发展。

一、城市交通规划与路网建设的价值

(一) 有助于提高城市交通承载力

城市交通规划与路网建设在现代化城市建设中发挥着非常关键的作用, 其规划与建设的质量和水平在很大程度上关系着城市的发展^[1]。目前, 城市人口数量依然处于不断增加的态势, 与此同时也给城市交通带来了越来越大的挑战, 特别是城市交通承载力, 其关系着居民的出行质量。而不断的对城市交通规划与路网建设进行优化, 不单单可以提高城市交通布局的规范性与科学性, 同时还可缓解当前城市交通存在的道路拥堵的问题, 并且还可居民的出行提供一个安全且舒适的交通环境。

(二) 有助于促进城市的平稳发展

城市交通规划与路网建设工作的开展, 主要目标为提供城市交通运输的合理性与顺畅性, 从而促进城市的平稳发展^[2]。目前, 我国很多城市都处于转型的重要阶段, 城市交通规划与路网建设可将城市内部各个功能板块关联起来, 为城市的进一步平稳发展提供重要的支撑。

二、城市交通规划与路网建设中存在的问题

现阶段部分城市在进行城市交通规划与路网建设的过程中, 并未充分突显以人为本的规划与建设理念。在进行交通规划和建设交通设施时, 通常过于关注汽车快速通行需求的满足, 忽略了非机动车辆和行人的出行需求。从现阶段的城市交通情况来看, 建筑物旁不按照规定乱停车的情况频频出现^[3]。而这种把车辆行驶作为重点的城市交通规划与路网建设, 可能会导致道路交通和城市居民出行基本需求不相符。

三、城市交通规划与路网建设的有效策略

(一) 建立以人为本的城市规划与路网建设理念

随着城市化进程不断加快, 产业结构随之调整, 区域经济开始朝着一体化的方向发展。城市生活与生产的对外关联性逐渐增强, 与此同时客货运输需求也在随之迅速的增加。为此, 在进行城市交通规划与路网建设的过程中, 需积极的建立起以人为本的

核心理念，统筹分析对内城市交通基础设施与对外城市交通基础设施的布局，以此保证城市交通运输的高效性^[4]。在进行城市交通规划与路网建设时需要遵守城市道路建设标准，见表1，在此基础上为社会群众创造一个经济、绿色、便捷、高效、安全的交通系统，并在以人为本理念的指引下，优先推动公交系统的发展，将轨道交通、快速公交作为整体公交系统发展的骨干。在发展公共交通系统时，需深入到社会群众中，通过调查了解社会群众对公交的需求，以此为依据科学、合理的布局公交线路网，提高公交的覆盖面和运营效率。除此之外，还需对城市快速路、主干路、次干路、支路进行科学的布局，以此保证城市交通运输的承载力与效率，同时加强对非机动车道、人行道、步行街等的完善，为非机动车和行人提供一个舒适、安全的出行环境。

表1 城市道路建设标准

	快速路	主干路	次干路	支路
速度 (km/h)	60-100	60	50	40
宽度 (m)	3.5-3.75	3.25-3.5	3.25-3.5	3.25-3.5

（二）大力推广新型交通方式

在城市化进程不断加快的现如今，城市交通变得愈加拥堵，与此同时也对城市环境造成了较大的污染，为了改善这些问题，为社会群众提供良好的交通环境，在进行城市交通规划与路网建设时，需要重点实施的一个主要策略就是大力推广新型交通方式，像电动汽车、共享单车等。据相关数据调查显示，我国共享单车用户规模呈现出逐年上涨的趋势，见图1，表明在未来新型交通方式有着较大的发展潜力。为此，在进行城市交通规划与路网建设的过程中，应合理的增加对新型交通方式基础设施建设的投入。例如：增加共享单车停放点的布设，增加充电桩的布设等，以此为新型交通方式提供便利。

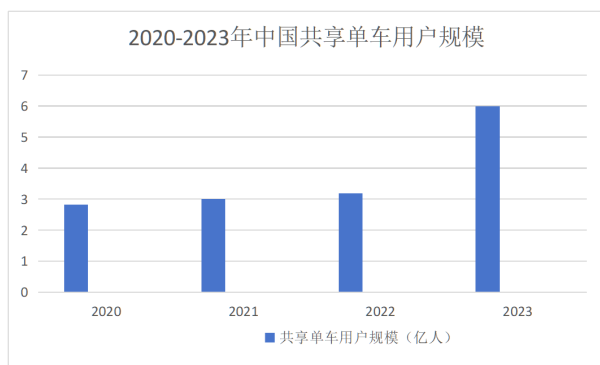


图1 2020-2023年中国共享单车用户规模

（三）合理的规划城市道路交叉口

道路交叉是城市交通系统中非常重要的一部分，在城市道路交通中发挥着不可替代的作用，并且在一定程度上影响着道路交通承载力^[5]。为此，在进行城市交通规划与路网建设的过程中，需对交叉口的规划引起足够的重视，保证交叉口规划的合理性。如果交叉口的规划存在不足，那么很容易影响道路通行效果，引发一些交通问题。为此在合理规划城市道路交叉口时，应遵循以下几个基本原则。第一，针对性的基本原则。在规划城市道路交叉口时，需全面的了解当前城市道路交通情况，同时分析影响城市道路交通的多方面因素，以此为依据具有针对性的规划道路交

叉口，以此确保道路交叉口的作用得以充分的发挥。第二，协调性的基本原则。在规划道路交叉口时，需加强渠化规划模式的运用，深入的挖掘道路空间的价值，合理的增加交叉口处的车道数量，以此提高道路交通运输的高效性。并且在规划道路交叉口时，要确保各个车道的通行足够的便捷，同时通过通行指示灯的合理设计，尽可能的缩短各个车道车辆的通行等待时间，减少道路拥堵情况的出现。第三，系统性的基本原则。在规划道路交叉口时，需对整体交通网络进行优化，尽量避免单独的对某一道路进行改造处理，因为这种改造处理方式，很可能无法从根源上解决问题，而是将问题转移，从而增加交通规划与路网建设的成本^[6]。第四，节约性的基本原则。在规划道路交叉口时，还需要考虑资源的节约，最大限度的发挥交通基础设施资源的价值，规避资源浪费情况的出现。

（四）加强对道路横断面的优化

城市道路横断面的规划不单单是城市交通规划和路网建设的关键，同时还是充分体现道路系统性的一个关键因素。以往在规划道路横断面时，往往过于关注道路运输的安全性和顺畅性，忽视了其与其他公共设施之间的和谐性，像与街道两侧建筑在视觉上的协调性，与绿化环境之间的整体美感性等。为了更好的提高道路横断面的综合效果，在进行城市交通规划与路网建设时，应注重从多个层面对道路横断面做出优化^[7]。第一，在规划车行道宽度时，需在确保其符合现阶段交通运输需求的同时，保证其也可满足预测的交通运输需求，并为公交车的通行预留必要的车道，以此促进公共交通的发展。在对道路横断面进行分区时，需明确的定位各个车道的功能，做好交通指引，防止出现机动车、非机动车、行人相互冲突的情况。第二，在设计道路隔离带时，需在保证其安全性的同时，提高隔离带的美观性，其不单单需要具备分隔交通的屏障功能，同时还需具备提升城市整体形象的功能。第三，在规划非机动车道与人行道时，需注重提升行人的出行体验，加强对地下空间的科学利用^[8]。只有切实的提高道路功能的多样性，才能够更好的推动城市的可持续发展。

（五）一体化实施城市交通规划与路网建设

在进行城市交通规划与路网建设的过程中，若想保证规划、建设理念和实际效果之间的一致性，就需要一体化实施城市交通规划与路网建设，可以将整个规划与建设流程划分为三个密切相关的独立阶段。第一，调研阶段。在进行城市交通规划与路网建设前，针对路网的科学、合理布局进行全面且深入的探析，其中主要包括道路的演变史、当前运输情况、未来交通运输需求的满足情况等。并对道路延伸、扩建的需求做出准确的评估，以此为城市交通的科学规划奠定良好的基础。同时全面的研究整体路网，着重加强对土地使用与路网局部之间协调性的分析，以合理的使用土地资源为导向，优化路网结构，并确保未来道路的发展有足够的空间支撑。在对城市特定交通节点进行交通规划与路网建设时，需综合分析该交通节点的生态条件、地下设施、交通密度等，保证道路横截面的规划与预期效果相符^[9]。第二，设计阶段。设计阶段是城市交通规划与路网建设整体流程中非常关键的一个环节，其不单单是对规划与建设理念的深化，同时还是后续

施工的重要依据。在设计阶段，需确保设计方案可在后续施工中得到全面的落实，确保设计目标和实际施工结果之间的一致性。对于不同类型的车道，需结合其具体的交通流量进行具有针对性的设计。第三，施工阶段。该阶段是城市交通规划与路网建设的重点，在具体施工的过程中，需严格的按照交通规划与路网建设设计方案进行施工，以此确保实际施工成果与预期效果的一致性^[10]。

（六）加强对路网结构与交通枢纽布局的优化

为了确保城市交通规划与路网建设的科学性，就需要全面的了解城市发展对交通需求呈现出的新特征，以此具有针对性的对路网结构以及交通枢纽布局进行优化，从而为城市现代化交通体系的构建打下良好的基础^[11]。在这一过程中，需综合考虑当地的人口规模、土地使用布局、交通流动特点等，并以此为依据对道路等级结构做出合理的优化，通过路网密度的提高，缓解道路运输压力。同时对城市交通微循环系统的构建引起足够的重视，将城市内的断头路彻底的打通，保证交通微循环的畅通性，加强对支路网的完善，大力促进街区制的实施，实现路网运行效率的提升。重点加强对重大交通枢纽布局的优化，充分发挥各交通枢纽在整个交通体系中的重点节点作用^[12]。对各重大交通枢纽的规划与建设提出高标准的要求，确保其具备便捷换乘不同交通方式的功能，同时还需要注重促进交通枢纽和城市文化、商业以及办公等之间的融合发展，为城市的进一步发展赋能。

（七）提高城市交通规划与路网建设的前瞻性

随着城市的快速发展，城市交通系统的复杂性与不确定性特点越来越突出。为了减少城市道路改造的成本，就需要注重提高城市交通规划与路网建设的前瞻性^[13]。以往的城市交通规划与路网建设方法与技术已经很难满足当前城市发展形势的需求与要求。为此，在进行城市交通规划与路网建设时，应积极的加强智能化、信息化技术手段的引进^[14]。通过人工智能技术、云计算技术以及大数据技术等运用，从以往的静态化交通规划分析逐步的向动态化交通规划分析转变，准确的对居民出行特征做出辨识，以此为交通规划与路网建设提供更为准确与可靠的参考依据。并通过仿真模型的构建，对各种情况下道路交通的表现进行动态模拟，以此更好的预测与评估道路交通承载力，从而保证交通规划与路网建设的前瞻性^[15]。

（八）合理的规划城市桥梁

城市桥梁是构成城市交通的一个主要部分，其起到枢纽性的作用，在规划城市桥梁时，需以城市发展规划为主要依据，在确保城市桥梁规划与城市交通规划相符的同时，针对当地的历史文化、生态自然环境、地形地貌等进行综合分析，促使桥梁更具城市特色。在规划设计桥梁整体框架时，需结合城市发展和交通规划，明确桥梁的建设位置、建设技术以及建设标准等，并根据桥梁的类型和建设要求，明确桥梁的形态与线型等，在保证桥梁工程安全性与经济性的同时，提高桥梁建筑的美观性。城市桥梁的类型主要包括：高架桥、悬索桥、拱桥和桁架桥等。其中高架桥的建设可节约一定的地面空间，使得城市交通更加顺畅，适合建设在城市交通主干线位置；悬索桥的一个主要特点跨度大，并且

具有较强的耐风性，所以适合建设在需跨越水域的位置；拱桥形态美观、雄浑，适合建设在荷载较大的地方；桁架桥通常为钢筋混凝土结构，施工便捷、造价较低，适合建设在跨度并非很大的地方。

四、结束语

综上所述，城市交通不单单关系着居民的生活品质和出行体验，同时还关系着城市的发展与良好形象的建立。随着城市化进程的不断加快，对城市交通与路网建设也提出了更高的要求。为了满足居民的出行需求，为其提供顺畅的交通环境，并促进城市的进一步发展，就需要注重科学的、合理的进行城市交通规划与路网建设。在这一过程中，需坚决的落实以人为本的核心理念，关注非机动车和行人的出行需求，同时注重优化道路交叉口与横断面的规划，并合理的规划城市桥梁，提高交通规划与路网建设的前瞻性，为城市的平稳长远发展提供良好的交通系统支撑。

参考文献

[1] 白国华. 城市交通规划与建设关键指标分析 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(24): 169-171.

[2] 刘鑫. 中小城市城区道路网规划研究与实践——以海安市为例 [J]. 武汉交通职业学院学报, 2022, 24(3): 93-99.

[3] 柳鲲鹏. 交通基础设施建设与城市全要素生产率增长及其收敛 [J]. 经济与管理, 2024, 38(4): 27-34.

[4] 杨凯, 王雪微. 城市边缘区交通拥堵成因、优化路径与规划反思——以上海市高境镇殷高西路为例 [J]. 上海城市规划, 2023, 2(2): 147-154.

[5] 孙亚南. 城市慢行交通路网规划探析 [J]. 科技资讯, 2024, 22(10): 244-248.

[6] 陈军, 唐晓辉, 吕麦霞, 等. 绿色低碳理念下城市次支路网建设规划思考 [J]. 城市道桥与防洪, 2023(8): 1-3, 7.

[7] 潘迎亚. 关于城市道路工程建设中交通管理与规划的研究 [J]. 电脑采购, 2023(35): 188-190.

[8] 刘楠. 车场规模与交通规划导向下的城市综合交通枢纽设计策略 [J]. 建设科技, 2024(6): 51-53, 80.

[9] 邓宇菁. 长沙县路网建设与货运交通发展研究 [J]. 科技风, 2022(35): 129-131.

[10] 蔡军, 杨琪瑶, 黄建中, 等. 改善多种方式出行的城市道路网规划——以美国西雅图1998—2019年实践为例 [J]. 城市交通, 2023, 21(2): 28-37, 92.

[11] 顾宇, 王丽. "窄路密网"模式下城市支路网密度规划研究 [J]. 市政技术, 2024, 42(4): 125-133.

[12] 徐洪. 城市交通规划与交通网络优化策略探究 [J]. 建筑技术研究, 2024, 7(2): 195-197.

[13] 金伟, 林志剑, 程坦, 等. 澳门"窄马路、密路网"规划建设启示 [J]. 城市交通, 2023, 21(5): 92-99.

[14] 张令刚, 吴海涛. 建设新城市战略下昆山交通拥堵综合治理研究 [J]. 交通与港航, 2022, 9(6): 48-54.

[15] 闫广聪, 魏艳庆. 慢行交通理念下城市新区道路交通规划方法研究 [J]. 交通世界(上旬刊), 2022(5): 5-7.

应对极端天气，轨道交通基础设施韧性提升策略研究

褚画宜

天津中交轨道交通运营有限公司，天津 300201

DOI: 10.61369/ETQM.12235

摘 要： 在全球气候变化的大背景下，极端天气对轨道交通基础设施的威胁日益严峻。暴雨可能导致轨道结构被冲刷、车站积水，暴雪则会使接触网覆冰、供电受阻。为保障轨道交通的安全稳定运行，本文深入分析暴雨、暴雪等极端天气的影响机制，并构建全面的韧性评估体系。从优化设计标准、采用先进技术，到加强维护管理以及完善应急机制等多个方面，系统地提出提升策略，旨在全方位增强轨道交通基础设施应对极端天气的韧性。

关 键 词： 极端天气；轨道交通基础设施；韧性评估；提升策略；应急管理

Research on Strategies to Enhance the Resilience of Rail Transit Infrastructure in Response to Extreme Weather

Chu Huayi

Tianjin Zhongjiao Rail Transit Operation Co., Ltd. Tianjin 300201

Abstract: In the context of global climate change, the threat of extreme weather to rail transit infrastructure is increasingly severe. Heavy rains may cause the track structure to be washed away and water accumulation in stations, while heavy snow can lead to icing of the contact network and blocked power supply. To ensure the safe and stable operation of rail transit, this article deeply analyzes the impact mechanisms of extreme weather such as heavy rains and snowstorms, and constructs a comprehensive resilience evaluation system. From optimizing design standards, adopting advanced technology, to strengthening maintenance management, and improving emergency response mechanisms, the article systematically proposes enhancement strategies aimed at comprehensively enhancing the resilience of rail transit infrastructure in response to extreme weather.

Keywords: extreme weather; rail transit infrastructure; resilience evaluation; enhancement strategies; emergency management

在全球气候变化的大背景下，极端天气事件的发生频率与强度呈显著上升趋势。暴雨、暴雪、飓风、高温等极端天气给轨道交通基础设施带来了前所未有的挑战，严重威胁着轨道交通系统的安全与稳定运行。轨道交通作为城市公共交通的骨干力量，其基础设施在极端天气下的韧性水平，直接关系到城市交通的正常运转、居民的日常出行以及城市的整体发展。提升轨道交通基础设施应对极端天气的韧性，已成为城市可持续发展中亟待解决的关键问题。

一、极端天气对轨道交通基础设施的影响机制

（一）暴雨洪涝对轨道结构与道床的破坏

在当前经济可持续发展的迫切要求下，整个社会亟需全面认识和恰当评价暴雨洪涝灾害，使得从源头上规避灾害、减少灾害损失变成可能^[1]。暴雨洪涝是轨道交通基础设施面临的主要极端天气威胁之一。大量降水迅速汇聚，可能导致地下轨道结构被淹没。当轨道结构长时间浸泡在水中时，轨道扣件的金属部件会加速锈蚀，降低扣件对轨道的紧固力，使轨道的几何形位难以保持稳定。同时，道床中的道砟在水流冲刷下容易流失，道床的承载能力下降，进而引发轨道沉降、变形等问题。在一些地势较低的区间，如隧道的低洼段或靠近河流的区域，洪涝灾害的影响更为严重，可能造成轨道结构的严重损坏，甚至导致隧道坍塌，使轨

道交通线路长时间中断^[2]。

（二）暴雪冰冻对接触网与供电系统的影响

暴雪冰冻天气会在接触网上形成大量覆冰。接触网覆冰增加了接触网的重量，导致接触网线索弛度增大，与受电弓之间的接触压力发生变化，容易出现离线、拉弧现象，影响电力传输的稳定性，甚至造成供电中断。此外，冰冻还可能使接触网的支撑结构，如腕臂、绝缘子等被冰层包裹，降低其绝缘性能，引发短路故障。供电系统中的变压器、开关柜等设备在低温环境下，油液的黏度增加，散热性能变差，可能导致设备故障^[3]。而且，暴雪可能会压断供电线路的杆塔，造成输电线路中断，严重影响轨道交通的供电安全。

（三）强风对高架线路与车站建筑的危害

强风对高架轨道交通线路和车站建筑具有较大的破坏力。高

架线路的桥梁结构在强风作用下，会受到较大的风荷载。当风荷载超过桥梁结构的设计承载能力时，可能导致桥梁晃动加剧，影响列车运行的平稳性，甚至引发桥梁结构的疲劳损伤和破坏。强风还可能吹落车站建筑上的广告牌、玻璃幕墙等附属设施，对下方的轨道线路和过往列车构成安全威胁^[4]。在沿海地区或峡谷等风力较大的区域，强风对轨道交通基础设施的影响更为突出，需要特别关注。

（四）高温对轨道材料与设备性能的改变

持续高温天气会使轨道材料的性能发生变化。例如，钢轨在高温下会出现热胀现象，若无缝线路的扣件阻力不足，钢轨可能会发生胀轨跑道，导致轨道几何形状严重变形，危及列车运行安全。高温还会影响轨道板、道床等混凝土结构的耐久性，加速混凝土的劣化过程^[5]。对于轨道交通中的电气设备，如信号设备、通信设备等，高温环境会使其散热困难，导致设备内部元件温度过高，性能下降，甚至出现故障。高温还可能影响列车的空调系统性能，降低乘客的乘坐舒适度。

二、轨道交通基础设施韧性评估体系构建

（一）韧性评估指标选取原则

轨道交通基础设施韧性评估指标的选取应遵循科学性、全面性、可操作性和敏感性原则。科学性要求指标能够准确反映基础设施在极端天气下的韧性特征，基于科学的理论和方法确定^[6]。全面性则需涵盖轨道结构、供电系统、通信信号系统、车站建筑等各个方面，以及抵御、恢复等不同阶段的性能表现。可操作性确保指标数据易于获取和计算，便于实际应用。敏感性指标对极端天气的影响变化具有较高的敏感度，能够及时准确地反映基础设施韧性的改变。

（二）具体评估指标体系框架

轨道交通基础设施韧性评估涵盖轨道结构、供电系统、通信信号系统和车站建筑等多方面的指标。轨道结构韧性通过轨道变形量、沉降速率、扣件松动率、道床完整性来衡量，这些指标分别反映轨道几何形位变化、扣件系统稳定性以及道床在水流冲刷、冻融等作用下的损坏程度^[7]。供电系统韧性指标包括接触网覆冰厚度、接触网离线率、供电中断时间和变压器油温升，它们关乎接触网安全运行、电力传输稳定性、系统恢复能力以及设备在极端条件下的运行状态。通信信号系统韧性通过信号传输误码率、通信中断时长、设备故障率来体现，影响列车运行控制精度、通信系统可靠性和设备稳定性。车站建筑韧性则由建筑结构位移、附属设施损坏率、车站积水深度来评估，反映车站建筑在极端荷载下的结构安全状况、附属设施受损程度以及洪涝对车站的影响。

（三）评估方法与模型应用

可采用层次分析法（AHP）确定各评估指标的权重，结合模糊综合评价法对轨道交通基础设施的韧性进行综合评估。首先，通过专家打分等方式构建判断矩阵，利用 AHP 计算各指标的相对权重。然后，根据实地监测数据或模拟分析结果，对各指标进行

模糊评价，确定其隶属度。最后，通过模糊变换得到基础设施的韧性综合评价结果。此外，还可应用复杂网络模型等方法，分析轨道交通系统在极端天气下的拓扑结构变化和功能失效情况，为韧性评估提供更全面的视角。

三、提升轨道交通基础设施韧性的策略与措施

（一）优化基础设施设计标准

提高抗灾设计标准需依据气候变化趋势和当地极端天气历史数据，重新评估与修订轨道交通基础设施的抗灾设计标准。于暴雨洪涝频发地区，提升地下轨道结构的防水、抗浮设计标准，增强排水设施的排水能力^[8]；在暴雪冰冻地区，强化接触网、供电线路等设施的抗冰设计，提高结构的承载能力与绝缘性能；在强风地区，优化高架线路和车站建筑的抗风设计，采用更为合理的结构形式和防风措施。考虑多灾种耦合影响方面，传统的基础设施设计通常仅考虑单一灾种的作用，然而实际中极端天气可能引发多种灾害的耦合，比如暴雨可能伴随强风，暴雪可能致使冰冻与低温灾害并发。所以，在设计阶段应充分考量多灾种耦合对基础设施的影响，通过构建多灾种耦合分析模型，评估基础设施在复杂灾害作用下的性能，进而制定相应的设计对策。

（二）采用先进的材料与技术

为提升轨道交通基础设施应对极端天气的能力，在材料与技术方面可采取多项关键举措。研发并应用新型轨道材料意义重大，像具有高耐久性、抗腐蚀和良好耐候性的材料，能有效增强轨道设施性能。采用耐腐蚀钢轨材料，可降低其在潮湿、盐雾等恶劣环境下的锈蚀速度，延长使用寿命；使用纤维增强混凝土道床这类高性能道床材料，能提高道床抗冲刷和承载能力，为轨道系统稳定运行奠定基础。

在智能监测与预警技术部署上，需在轨道交通基础设施中广泛安装应变、温度、位移、湿度等智能监测传感器，实时监测基础设施运行状态和环境参数。借助物联网、大数据、人工智能等先进技术，深入分析处理监测数据并构建预测模型，从而提前精准预警极端天气对基础设施的危害。例如，通过实时监测和分析接触网温度、张力等参数，可有效预测接触网覆冰可能性，及时采取除冰措施，保障供电系统稳定。

针对极端天气可能造成的基础设施损坏，研发快速修复技术和装备至关重要。开发快速固化的混凝土修复材料，可快速修复轨道结构的裂缝、破损等问题；研究便携式轨道抢修设备，能在现场快速处理轨道变形、扣件松动等故障，大幅缩短线路中断时间，降低极端天气对轨道交通运营的影响，确保轨道交通在极端天气下也能尽量维持正常运行，保障乘客的出行安全与便捷^[9]。

（三）加强基础设施的维护与管理

为保障轨道交通基础设施在极端天气下可靠运行，需从日常运维与应急准备着手。制定详尽的定期巡检计划，明确巡检内容、周期和标准，采取人工与智能巡检结合的方式，对易受极端天气影响的关键部位增加巡检频次，同时依据设备要求和维护周期，对轨道结构、供电、通信信号等系统进行定期维护，确保设

备良好运行。

依据当地可能出现的极端天气，储备充足且种类齐全的应急物资与设备，如抢险救援工具、排水设备、除冰除雪设备、应急照明和通信设备等，并定期检查维护，保障其能正常使用。

定期组织轨道交通运营管理部门、维修人员和应急救援队伍开展应对极端天气的应急演练，检验应急预案可行性，提升各部门协同配合和应急处置能力。强化相关人员培训，提高他们对极端天气危害的认知、应急处置技能和安全意识，培训内容涵盖设备操作、故障排查修复和人员疏散等方面。

（四）完善应急响应与协同机制

强化轨道交通应对极端天气能力，需在应急预案、部门协作和公众沟通三方面发力。要依据轨道交通基础设施特点和当地极端天气状况，制定详尽应急预案。明确应急响应级别、启动条件、指挥体系、部门职责分工及应急处置流程，针对暴雨洪涝、暴雪冰冻、强风等不同极端天气制定专项预案，确保灾害发生时能迅速有序开展应急救援^[10]。

轨道交通应急管理涉及多个部门，建立健全协同合作机制至关重要。气象部门应及时向轨道交通运营单位提供精准预警信息，运营单位据此提前防范。灾害发生后，各部门按预案职责紧

密配合，城市规划部门评估基础设施损坏对城市交通的影响并制定疏导方案，应急管理部门协调资源保障救援。

极端天气期间，及时向公众发布轨道交通运营信息不可或缺，包括线路中断、恢复时间、运营方案调整等，利用官方网站、社交媒体、车站显示屏、广播等多渠道确保信息准确及时传达，方便乘客规划出行。同时，建立公众反馈渠道，收集需求和意见，回应社会关切，提升公众对应急管理工作的满意度。

四、结束语

提升轨道交通基础设施应对极端天气的韧性，无疑是一项任重道远且错综复杂的长期任务。通过实施重新评估修订抗灾设计标准、考虑多灾种耦合影响等策略，可在一定程度上降低极端天气的冲击。然而，鉴于气候变化的持续演进，极端天气的强度、频率和复杂性都在不断攀升。因此，必须持续探索创新路径，不断优化既有措施，持续提升应对能力。只有如此，才能全方位保障轨道交通系统在各种极端天气下的安全稳定运行，为城市的稳健发展筑牢坚实的交通根基。

参考文献

[1] 张茜,郭翔,王锐婷,等.四川省暴雨洪涝灾害风险区划研究[J].中国农学通报,2013,29(26):165-171.

[2] 刘俊.极端天气下的城市轨道交通运营研究[J].人民公交,2024,(16):174-176.DOI:10.16857/j.cnki.cn11-5903/u.2024.16.028.

[3] 江南潮,高燕,史天根,等.极端天气下轨道交通水害致灾因子时空分布特征[J].人民长江,2024,55(07):10-19.DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2024.07.002.

[4] 李焕海.极端天气下城市轨道交通运营的思考建议[J].城市轨道交通,2024,(03):40-42.DOI:10.14052/j.cnki.china.metros.2024.03.006.

[5] 刘子健.极端天气事件下城市交通系统韧性定量评估方法研究[D].福建工程学院,2023.DOI:10.27865/d.cnki.gfgxy.2023.000208.

[6] 宋光辉.考虑极端天气影响的轨道交通自洽能源系统光储容量规划[D].华北电力大学(北京),2023.DOI:10.27140/d.cnki.ghbbu.2023.000948.

[7] 陈健,罗国鸿.极端天气下轨道交通运营防汛预案及应急措施研究[J].运输经理世界,2024,(03):10-12.

[8] 冯琳.极端天气下城市轨道交通应急管理评价指标体系研究[D].西南交通大学,2023.DOI:10.27414/d.cnki.gxnju.2023.001941.

[9] 夏典.城市轨道交通气象监测系统的探索[J].安徽科技,2023,(02):53-55.

[10] 李朋.极端天气条件下城市轨道交通防排水对策分析[J].工程建设和设计,2023,(07):53-55.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.04.016.

海塘安澜工程中丁坝桩基施工质量与进度保障策略研究

张海龙

浙江安盛爆破工程有限公司, 浙江 绍兴 312000

DOI: 10.61369/ETQM.12216

摘 要 : 本文聚焦浙江省海塘安澜工程, 该工程以防潮、排涝为主, 兼具改善滨海生态环境功能。丁坝作为关键结构, 其桩基施工质量与进度直接影响整个工程成效。通过对工程背景、施工难点的深入剖析, 提出了一系列确保丁坝桩基施工质量与进度的有效策略, 旨在为同类工程提供参考与借鉴。

关 键 词 : 海塘安澜工程; 丁字坝; 桩基施工; 质量与进度管理

Research on the Construction Quality and Progress Guarantee Strategy of Dingba Pile Foundation in Haitang Anlan Project

Zhang Hailong

Zhejiang Ansheng Blasting Engineering Co., Ltd. Shaoxing, Zhejiang 312000

Abstract: This paper focuses on the Haitang Anlan Project in Zhejiang Province, which mainly focuses on moisture prevention and drainage, and has the function of improving the coastal ecological environment. As a key structure, the construction quality and progress of the pile foundation of the Ding Dam directly affect the effectiveness of the whole project. Through the in-depth analysis of the project background and construction difficulties, a series of effective strategies to ensure the construction quality and progress of Dingba pile foundation are proposed, aiming to provide reference and reference for similar projects.

Keywords: haitang anlan project; t-shaped dam; pile foundation construction; quality and progress management

海塘安澜工程在浙江省沿海地区的防灾减灾和生态环境维护中占据着举足轻重的地位。作为海塘工程的核心构成部分, 丁坝对于抵御潮水侵袭、稳固堤岸起着关键作用。而丁坝的桩基施工, 作为整个工程的基础环节, 其质量优劣与进度快慢直接关乎海塘的整体稳定性和功能性。在钱塘江内复杂的施工环境下, 面临着台风、大风、潮汐等自然因素的挑战, 同时又要满足工程等别为 I 等、海塘主要建筑物级别为 1 级以及 300 年一遇设计潮水标准的高要求, 如何确保丁坝桩基施工的质量和进度, 成为工程建设中亟待攻克的关键难题。深入研究并解决这一问题, 不仅对海塘安澜工程的顺利实施意义重大, 也能为类似的水利工程建设提供宝贵的经验和技術支撑。

一、工程概述

(一) 工程任务与目标

海塘安澜工程以防潮、排涝为首要任务, 通过构建坚固的海塘防线, 有效抵御潮水的冲击, 保护沿海地区人民生命财产安全以及各类基础设施。同时, 工程还着眼于滨海生态环境的改善, 通过一系列生态修复和景观营造措施, 促进沿海地区生态系统的平衡与稳定, 实现人与自然的和谐共生, 推动沿海地区的可持续发展^[1]。

(二) 主要工程措施

工程涵盖了提标加固海塘、新建丁坝、加固水闸、增设桥梁、新建绿道、文化节点、休闲亭廊以及沿塘生态修复等多个方面。提标加固海塘能够增强海塘的防洪能力, 使其更好地应对极

端天气条件下的潮水冲击; 新建丁坝可以改变水流方向, 减少水流对堤岸的冲刷; 加固水闸有助于提高水闸的泄洪能力和防潮性能; 增设桥梁方便了沿海地区的交通出行; 新建绿道、文化节点和休闲亭廊则提升了滨海地区的景观品质和居民的生活体验; 沿塘生态修复工程能够恢复滨海湿地的生态功能, 为各类生物提供栖息地。整个工程等别为 I 等, 海塘等主要建筑物级别为 1 级, 设计潮水标准为 300 年一遇, 这体现了工程的高标准和严要求^[2]。

(三) 丁坝桩基施工概况

丁坝采用钻孔灌注桩群桩基础, 这种基础形式具有承载能力高、稳定性好等优点, 能够有效满足丁坝在复杂水文地质条件下的承载需求。同时, 辅以滩涂理抛空心四角块、扭王块等预制件加固群桩, 进一步增强了桩基的稳定性和抗冲刷能力。桩基施工采用钢护筒穿越碎石层, 钢护筒不仅能够保护孔壁, 防止塌孔,

还能起到导向作用，确保钻孔的垂直度。现浇钢筋砼桩身则提供了强大的承载能力。钢护筒采用机械沉桩方式，利用机械的强大动力将钢护筒准确地沉入预定位置。机械作业平台高度为 10m，护筒顶标高与机械作业平台持平，这样的设计便于施工操作和设备安装。桩顶以上部分的钢护筒在桩身砼龄期达到设计要求后，即可切除，循环利用，这不仅节约了成本，还提高了资源利用率。成品桩顶标高为 +1，桩顶至碎石层底面以下 2m 为永久护筒，永久护筒需进行防腐处理，以确保其在长期的海水侵蚀环境下仍能保持良好的性能^[3]。

二、施工难点分析

（一）复杂的施工环境

桩基施工位于钱塘江内，钱塘江作为我国东南沿海的重要河流，其水文条件复杂多变。施工过程中，可能受到台风、大风、潮汐等自然因素的影响。台风和大风会产生强大的风力，对施工设备和已完成的桩基结构造成威胁，可能导致设备损坏、桩基倾斜等问题。潮汐的涨落则会使施工区域的水位频繁变化，增加了施工难度和风险。在高潮位时，水流速度加快，对桩基的冲刷力增强，容易导致桩周土体流失，影响桩基的稳定性。同时，水位的变化还会对施工材料和设备的性能产生影响，如钢材在海水浸泡下容易发生腐蚀，降低其强度和耐久性。

（二）易出现的施工质量问题的

在复杂的施工环境下，丁坝桩基施工容易出现桩身倾斜、断桩、桩位偏移等质量问题。桩身倾斜可能是由于钢护筒在沉桩过程中垂直度控制不当，或者在钻孔过程中遇到不均匀的地层，导致钻头受力不均而引起的。断桩则可能是由于混凝土浇筑过程中出现堵管、导管提漏等原因，导致混凝土浇筑中断，形成断桩。桩位偏移可能是由于测量误差、施工过程中的扰动或者土体的变形等原因引起的。这些质量问题不仅会影响桩基的承载能力，导致桩基无法满足设计要求，还可能引发整个丁坝结构的不稳定，给工程带来严重的安全隐患^[4]。

（三）施工进度的制约因素

复杂的施工工艺、恶劣的施工环境以及对施工质量的严格要求，都对丁坝桩基施工进度构成了制约。钻孔灌注桩施工工艺复杂，涉及到钢护筒沉设、钻孔、钢筋笼制作与安装、混凝土浇筑等多个环节，每个环节都需要严格控制质量和时间，任何一个环节出现问题都可能导致施工进度延误。恶劣的施工环境，如台风、大风、潮汐等，会迫使施工暂停，等待天气条件好转，这无疑会延长施工周期。此外，为了确保施工质量，需要进行严格的质量检测和监控，如超声波检测、低应变检测等，这些检测工作也会占用一定的时间，影响施工进度。

三、确保施工质量的措施

（一）施工前的质量控制

1. 详细的地质勘察：在施工前，组织专业的地质勘察团队，

运用先进的勘察技术和设备，对钱塘江内的地质情况进行详细勘察。通过钻探、物探等方法，获取碎石层的厚度、分布范围以及土壤的物理力学性质等数据。这些数据将为桩基设计提供准确的依据，确保桩基的选型和参数设计合理，能够适应地质条件的要求。

2. 科学的施工方案制定：根据地质勘察结果和工程要求，组织专家和技术人员进行充分的论证和分析，制定科学合理的施工方案。施工方案应明确施工工艺、施工流程和质量控制标准，对每个施工环节都要制定详细的操作规范和质量要求。同时，要考虑到施工过程中可能遇到的各种问题，制定相应的应急预案，确保施工过程的顺利进行。

3. 严格的材料检验：对钢护筒、钢筋、水泥等原材料进行严格的检验，确保其质量符合设计要求和相关标准。建立完善的材料检验制度，对每一批原材料都要进行检验，检验内容包括材料的化学成分、力学性能、外观质量等。只有检验合格的原材料才能进入施工现场，从源头上保证工程质量^[5]。

（二）施工过程中的质量控制

1. 钢护筒沉桩质量控制：采用先进的测量设备和技术，如全站仪、GPS 等，对钢护筒的沉桩过程进行实时监测，确保钢护筒的垂直度和位置偏差符合设计要求。在沉桩过程中，密切关注沉桩阻力和护筒的变形情况，如发现沉桩阻力异常增大或护筒变形过大，应立即停止沉桩，分析原因并采取相应措施。同时，对钢护筒在钢栈桥和桩顶标高以上部分进行连接加固，选用强度高、耐久性好的连接件，如特制的钢质连接套筒或高强度螺栓，按照设计要求的间距和方式进行连接作业，使丁字坝所有桩基互通连成整体，增强结构稳定性，有效防止桩身倾斜和断桩情况发生。

2. 桩身混凝土浇筑质量控制：严格控制混凝土的配合比和坍落度，根据施工现场的实际情况和设计要求，通过试验确定最佳的配合比和坍落度。在浇筑过程中，采用分层浇筑、振捣密实的方法，每层厚度控制在 30 - 50cm，采用插入式振捣器进行振捣，振捣时间以混凝土表面不再出现气泡、泛浆为准，避免出现漏振和过振现象。同时，要确保混凝土的连续浇筑，避免出现冷缝^[6]。

3. 施工监测与质量检测：建立完善的施工监测体系，对桩基的垂直度、桩位偏移、桩身应力等进行实时监测。利用高精度的测量仪器和传感器，将监测数据实时传输到监控中心，以便及时发现问题并采取相应措施。定期进行质量检测，如超声波检测、低应变检测等，通过这些检测手段，对桩基的内部质量进行检测，确保桩基的质量符合设计要求。同时，重点监测钢护筒连接部位的稳固性，及时发现并处理连接松动等问题。

（三）应对恶劣自然条件的质量保障措施

1. 台风、大风防范措施：在台风、大风来临前，对施工现场进行全面检查，加固临时设施，如施工栈桥、操作平台等，确保其在强风作用下的稳定性。停止高空作业，将施工设备和材料固定好，避免被风吹落造成安全事故。制定应急预案，明确在台风、大风期间的人员疏散、设备保护等措施，确保在恶劣天气条件下能够迅速采取有效的应对措施。同时，检查钢护筒连接部位是否牢固，必要时进行二次加固，增强整体结构在强风作用下的

稳定性。

2.潮汐影响应对措施：根据潮汐规律，合理安排施工时间，避免在高潮位时进行桩基施工。在施工过程中，采取有效的防护措施，如设置挡水围堰、调整施工工艺等，减少潮汐对施工质量的影响。挡水围堰可以阻挡潮水的冲击，为施工创造相对稳定的环境。调整施工工艺，如在低潮位时加快施工进度，在高潮位时进行一些不受潮汐影响的施工工序。钢护筒连接成整体后，极大提高了其抗潮汐冲刷能力，能有效抵御潮汐水流对桩基的侵蚀和冲击，保障桩基在复杂水文条件下的稳定性^[7]。

四、确保施工进度的措施

（一）合理的施工计划制定

1.制定详细的施工进度计划：根据工程总工期和丁坝桩基施工的特点，采用网络计划技术等方法，制定详细的施工进度计划。进度计划应明确各阶段的施工任务、施工时间和责任人，将施工任务分解到具体的工序和时间节点，确保施工进度可控性。同时，要考虑到施工过程中可能出现的各种因素，如天气变化、材料供应等，预留一定的弹性时间，以应对突发情况。

2.进度计划的优化与调整：定期对施工进度计划进行检查和评估，根据实际施工情况及时调整进度计划。通过对比实际进度与计划进度，分析进度偏差的原因，如施工工艺不合理、资源供应不足等，并采取相应的措施进行调整。如调整施工顺序、增加施工设备和人员等，确保施工进度合理性和可行性。

（二）资源保障

1.人力资源保障：配备足够数量的专业技术人员和施工人员，根据施工进度计划和施工任务的要求，合理安排人员的工作岗位和职责。加强人员培训，提高人员的技术水平和操作技能，确保施工过程的顺利进行。同时，建立激励机制，充分调动人员的工作积极性和主动性^[8]。

2.机械设备保障：根据施工需要，配备先进的施工机械设备，如钻孔机、起重机、混凝土搅拌机等，并定期进行维护和保养，确保机械设备的正常运行。建立设备管理制度，对设备的使用、维护、维修等进行规范管理，及时解决设备故障，避免因设备问题影响施工进度。

3.材料供应保障：建立稳定的材料供应渠道，与信誉良好的供应商建立长期合作关系，确保原材料的及时供应。加强材料的管理和调配，根据施工进度计划，合理安排材料的采购和运输，避免因材料短缺而影响施工进度。同时，要做好材料的储存和保管工作，防止材料受潮、变质等。

（三）施工过程中的进度管理

1.建立进度跟踪机制：每天对施工进度进行跟踪和记录，通过现场巡视、测量等方式，及时掌握施工进度情况。建立进度台账，将实际进度与计划进度进行对比分析，绘制进度曲线，直观地反映施工进度的变化情况。通过对比实际进度与计划进度，分析进度偏差的原因，并采取相应的措施进行调整^[9]。

2.加强施工协调与沟通：建立健全施工协调机制，加强各施

工单位之间、施工单位与监理单位之间的沟通与协调。定期召开施工协调会议，及时解决施工过程中出现的问题，如施工顺序冲突、交叉作业等。同时，要加强与业主、设计单位等相关部门的沟通，及时反馈施工中遇到的问题，争取各方的支持和配合，避免因协调不畅而影响施工进度。

五、结论

海塘安澜工程中丁坝桩基施工质量和进度的保障是一个系统工程，需要从施工前的准备、施工过程中的质量控制和进度管理以及应对恶劣自然条件等多个方面采取有效的措施。通过详细的地质勘察、科学的施工方案制定、严格的材料检验以及先进的施工技术和设备的应用，可以确保丁坝桩基施工的质量。通过合理的施工计划制定、充足的资源保障以及有效的施工进度管理，可以确保丁坝桩基施工的进度。同时，针对台风、大风、潮汐等恶劣自然条件，采取相应的防范和应对措施，能够有效降低自然因素对施工质量和进度的影响。通过科学合理的施工方案制定、严格的质量控制措施和有效的进度保障方法，可以确保丁坝桩基施工质量和进度，为海塘安澜工程的顺利实施提供有力保障。本文提出的策略和方法也可为同类工程的施工提供参考和借鉴。在未来的工程实践中，还需要不断总结经验，进一步完善施工质量和进度保障体系，提高工程建设水平^[10]。

参考文献

- [1] 复杂地质条件下的内河高桩码头桩基施工技术[J]. 贾兴本. 珠江水运, 2024(07) 48-50.
- [2] 高桩码头桩基施工工艺及质量控制技术研究[J]. 鞠文程. 工程与建设, 2023(02) 660-662+725.
- [3] 岩溶地区码头桩基溶洞施工处理技术[J]. 杨柏林. 智能城市, 2021(13) 153-154.
- [4] 复杂地质条件下的内河高桩码头嵌岩灌注桩成孔施工技术[J]. 陈火见; 黄华; 曹健惠; 潘君. 建筑施工, 2020(03) 313-315.
- [5] 关于高桩码头桩基施工平台的施工技术分析[J]. 蔡金凤. 建材与装饰, 2016(13) 220-221.
- [6] 随工程进展的海堤沉降良性组合预测研究[J]. 李涛; 何承桂; 沈健民. 浙江水利水电专科学校学报, 2011(02) 59-61.
- [7] 压实填土随浸水时间增长强度降低规律研究[J]. 秦鹏; 秦植海. 浙江水利水电专科学校学报, 2010(02) 61-64.
- [8] 溢流丁坝附近自由水面的实验研究与数值模拟[J]. 李志勤, 李洪, 李嘉, 李然. 水利学报, 2003(08) 53-57.
- [9] 天然河道淹没丁坝群水深平均平面二维数学模型研究[J]. 李国斌, 韩信. 水动力学研究与进展(A辑), 2001(02) 230-237.
- [10] 丁坝群作用尺度理论及累积效应机理研究[D]. 曹晓萌. 浙江大学, 2014 156.

矿山开采后土地复垦对生态恢复及地质灾害的影响与方案设计

李开跃

广西天蓝工程技术有限公司, 广西 南宁 530000

DOI: 10.61369/ETQM.12218

摘 要 : 矿山开采行为给生态环境以及地质结构给予了较为严重的破坏状况,使得植被出现退化现象、土壤遭受污染、水资源走向枯竭,并且地质灾害频繁发生,土地复垦属于矿山生态恢复的一项关键手段,借助土壤修复、植被恢复、水资源保护等一系列技术举措,可切实对矿区生态环境给予改善,降低地质灾害发生的风险。本文对矿山开采给生态环境和地质结构所产生的影响展开了系统分析,对土地复垦在生态恢复以及地质灾害防治方面的作用进行了探讨,同时还提出了科学合理的复垦方案设计。

关 键 词 : 矿山开采; 土地复垦; 生态恢复; 地质灾害防治; 方案设计

The Impact and Scheme Design of Land Reclamation After Mining on Ecological Restoration and Geological Disasters

Li Kaiyue

Guangxi Tianlan Engineering Technology Co., Ltd. Nanning, Guangxi 530000

Abstract: Mining activities have caused serious damage to the ecological environment and geological structure, resulting in vegetation degradation, soil pollution, water resource depletion, and frequent geological disasters. Land reclamation is a key means of ecological restoration in mines. With a series of technical measures such as soil restoration, vegetation restoration, and water resource protection, the ecological environment in mining areas can be effectively improved and the risk of geological disasters can be reduced. This article systematically analyzes the impact of mining on the ecological environment and geological structure, explores the role of land reclamation in ecological restoration and geological disaster prevention, and proposes a scientifically reasonable reclamation plan design.

Keywords: mining and extraction; land reclamation; ecological restoration; geological hazard prevention and control; scheme design

矿山开采属于资源开发的关键途径,然而其对生态环境以及地质结构造成的破坏不容小觑,开采活动致使地表植被遭到破坏、土壤结构出现退化、水资源遭受污染以及生物多样性有所下降,还提高了滑坡、泥石流、地面塌陷等地质灾害发生的风险,土地复垦作为矿山生态恢复的关键手段,借助土壤修复、植被恢复、水资源保护等技术举措,可切实改善矿区生态环境,降低地质灾害的发生概率。本文对矿山开采给生态环境和地质结构带来的影响展开系统分析,剖析土地复垦在生态恢复以及地质灾害防治方面所起的作用,并且提出科学合理的复垦方案设计,为矿区生态恢复以及可持续发展给予理论依据和实践指导。

一、矿山开采对生态环境和地质结构的影响

(一) 生态环境破坏

矿山开采活动对于环境所造成的破坏呈现出多方面的特征,在开采进程当中,植被的数量会逐渐减少,种类也会产生退化的问题,无论是进行露天开采或者是井工开采,都会引起地面塌陷,开采行为对土壤结构产生了破坏,使得土壤肥力有所降低,土地恢复其原本生态功能的难度增大,废水、废渣的排放给水资源给予了严重污染,对周边生态系统的健康状况产生了影响^[1]。

作者简介: 李开跃(1980.03-),男,壮族,广西南宁市人,本科学历,工程师,主要从事测绘、地质与岩土工程、地质灾害等工作。

开采活动使得生物多样性出现下降,许多动植物由于栖息地的丧失而走向灭绝,这些问题对矿区的生态平衡产生了影响,而且还对区域环境造成了长期的负面效应。

(二) 地质灾害风险增加

矿山开采活动使得地质灾害的风险有了较为十分突出的提升,在开采进程当中所形成的数量众多的采空区,很容易引发地面塌陷以及地裂缝等状况,对周边居民的生命财产安全造成威胁,开采活动还破坏了地表的稳定性,使得滑坡和泥石流的发生概率有所增加,到了雨季的时候,大量的降水会让地质灾害的发

生情况变得更加严重，造成较为严重的经济损失以及人员伤亡。地质灾害频繁发生，这对矿区的正常生产活动产生了影响，同时也对区域社会经济的可持续发展构成了威胁^[2]。

（三）社会经济影响

矿山开采对于区域社会经济所产生的影响不容小觑，其一开采行为破坏了土地资源，使得大量的农田以及林地丧失，对农业生产以及林业发展造成了影响，其二地质灾害的发生对基础设施造成了较为严重的破坏，致使修复成本有所增加，矿山废水、废渣的排放对居民健康构成了威胁，影响到了生活质量^[3]。开采活动还致使区域经济发展受到限制，诸多矿区因为生态环境恶化而难以吸引投资，对区域经济的可持续发展形成了制约。

二、土地复垦对生态恢复的影响

（一）土壤修复与改良

土壤修复作为土地复垦工作的关键核心部分，借助客土回填以及土壤改良剂应用等相关技术，可切实有效地对矿区的土壤结构给予改善，提升土壤的肥力，客土回填这项技术是把砂质土壤覆盖于矿区的地表之上，为植被的恢复营造出良好的生长环境，而土壤改良剂的应用则可以对土壤当中的有害物质起到中和作用，以此改善土壤的理化性质。对有机质进行补充可提升土壤的肥力，推动植物的生长进程，土壤修复以及改良为植被恢复奠定了基础条件，还提高了土地的生态功能。

（二）植被恢复与生物多样性提升

植被恢复属于土地复垦中相当关键的部分，采用人工种植跟自然恢复相互结合的办法，可对矿区的植被覆盖起到有效的恢复作用，地表塌陷范围内露天采坑植被恢复工程，可以探索水力播种法，它是利用装在汽车上的水箱、水泵、搅拌和喷洒设备，将水、种子与肥料的混合浆液进行喷撒到距汽车50m以内的土地上，及采取人工辅助的半自然生态修复技术^[4]。在植物种类进行挑选时，应当优先去挑选适合当地气候以及土壤条件的物种，以此来提升植被恢复的成功概率，人工种植可快速让植被覆盖得以增加，自然恢复则对生态系统的长期稳定有益处。植被恢复对矿区的生态环境有改善，还让生物多样性得到了提升，给动植物打造了良好的栖息场所。

（三）水资源保护与修复

水资源保护属于土地复垦的关键目标，借助水土流失防治以及水污染治理等相关技术，可切实改善矿区的水资源状况，水土流失防治举措覆盖植被恢复以及护坡工程等方面，可减少地表径流对土壤的侵蚀作用，水污染治理技术包含废水处理以及湿地建设等内容，可有效去除水体中的污染物。人工湿地建设可净化水质，还为动植物打造了栖息地，水资源保护与修复改善了矿区的水环境，也推动了生态系统的恢复进程。

（四）生态系统服务功能恢复

土地复垦对有效恢复矿区生态系统服务功能有着意义，借助植被恢复以及土壤修复等一系列举措，可强化矿区的碳汇功能，对气候变化起到一定的减缓作用，植被覆盖增多之后，可对区域气候进

行调节，空气质量也会得到改善，生态系统服务功能得以恢复，提升了矿区的生态价值，又为区域社会经济发展给予了支持。

三、土地复垦对地质灾害防治的影响

（一）地表稳定性恢复

土地复垦对于恢复地表稳定性而言有着非常关键的作用，如矿山开采、工程建设等一系列活动大多时候会致使地表结构遭受破坏，引发像地面塌陷、裂缝这类地质灾害，借助土地复垦的方式，可对受损的地表结构给予修复，使其恢复到原有的稳定性以及承载力状态，在复垦进程中，运用回填、压实等技术手段，可切实减少地表沉降以及裂缝的扩展程度，降低地质灾害发生的可能性。植被恢复同样是复垦的关键组成部分，植物的根系可以起到加固土壤的作用，提高地表抵抗侵蚀的能力，提高地表的稳定性，说土地复垦是生态修复的关键手段，是地质灾害防治的关键环节^[5]。

（二）滑坡与泥石流防治

滑坡以及泥石流属于常见的地质灾害，它们的发生跟地表植被遭受破坏、土壤结构变得松散等因素紧密相连，土地复垦借助恢复植被、改良土壤结构，可切实降低滑坡和泥石流的发生概率，于复垦进程当中，可经由植树造林、草皮覆盖等举措提升地表植被的覆盖比率，提高土壤的抗侵蚀能力。依靠合理开展地形改造以及设计排水系统，可减少地表径流对土壤的冲刷作用，降低滑坡和泥石流出现的风险，土地复垦在滑坡和泥石流防治方面有着意义，可有效保障区域的地质安全^[7]。

（三）地质灾害监测与预警

土地复垦可直接降低地质灾害发生概率，同时为地质灾害监测与预警给予支持，复垦期间，可融合现代科技手段，像遥感技术、地理信息系统即GIS等，对复垦区域实施实时监测，及时发掘潜在的地质灾害隐患，借助建立完备的地质灾害监测网络，可达成对地质灾害的早期预警，为防灾减灾提供科学依据。而且复垦过程中积攒的地质数据以及经验，可为后续地质灾害防治工作提供参考，提高地质灾害防治的效率与效果^[8]。

（四）地质灾害风险评价与管理

土地复垦于地质灾害风险评价与管理而言有着关键作用，对复垦区域的地质条件、地形地貌以及气候等诸多因素展开综合分析，可科学评估地质灾害发生的风险，制定对应的防治举措，在复垦进程中，借助合理规划土地利用方式，防止于高风险区域开展开发建设，以此降低地质灾害发生的概率。并且构建完备的地质灾害风险管理体系，可达成对地质灾害的全程监控与管理，保障区域地质安全，土地复垦在地质灾害风险评价与管理方面有关键的应用价值^[9]。

四、矿山土地复垦方案设计

（一）复垦目标与原则

矿山土地复垦的关键目标在于恢复遭受破坏土地的生态功能，达成土地的可持续利用，在矿山开展开采活动时，土地的地

形、土壤结构以及生态系统大多时候会受到极为严重的破坏，引发水土流失、土地荒漠化等一系列环境问题，复垦的首要工作便是恢复土地的生态功能，使其可再度承担起植被生长、水源涵养以及生物多样性等功能。为达成这一目标，复垦过程当中应当遵循生态优先、因地制宜以及经济可行等基本准则，生态优先意味着复垦方案要将恢复生态系统当作首要目标，保证复垦后的土地有良好的生态功能，像土壤肥力、植被覆盖率以及生物多样性等，因地制宜强调依据矿山的具体状况，如地形地貌、气候条件以及土壤类型等，来制定适宜的复垦方案，防止出现“一刀切”的情形。经济可行要求复垦方案在技术层面可行、经济方面合理，保障复垦工作可持续进行，复垦需要投入大量资金，而且需要长期的管理与维护，在设计复垦方案时，应当全面考量成本效益，保证复垦工作在经济上有可行性，复垦方案还应当兼顾社会效益，比如改善当地居民的生活环境、提供就业机会等^[9]。

（二）复垦技术措施

矿山土地复垦的技术措施主要有地形改造、土壤改良以及植被恢复等方面，地形改造作为复垦的首要步骤，其目标在于恢复土地原本的地形地貌，减少地质灾害的出现概率，比如说，借助平整土地、修筑梯田或者构建排水系统等方式，可以切实有效地防止水土流失以及滑坡等灾害的发生。土壤改良乃是复垦的关键所在，矿山开采大多时候会致使土壤结构遭受破坏、肥力降低，要凭借增添有机质、改良剂等举措，来改善土壤的物理、化学以及生物性质，提升土壤肥力，为植被恢复创造有利条件，举例来讲，施加有机肥可提升土壤的有机质含量，而像石灰这类改良剂则可以调节土壤的酸碱度。

（三）复垦管理措施

矿山土地复垦的管理措施对于保障复垦工作的顺利开展具有重要意义，涉及了诸多方面，主要有政策支持、资金保障以及培训内容，其中政策支持乃是复垦工作得以推进的基础所在，政府有必要制定相关的法律法规，以此清晰界定复垦的责任主体以及复

垦标准，为复垦工作提供相应的法律依据。比如说，可以明确规定矿山企业在开采活动结束之后要开展土地复垦工作，同时制定详尽的复垦标准以及验收程序，资金保障是复垦工作的关键环节，因为复垦工作需要投入数额较大的资金，其中包含地形改造、土壤改良以及植被恢复等各项费用，需要政府和企业共同来承担复垦费用，以此保证复垦工作可以顺利进行下去。

（四）复垦方案实施步骤

矿山土地复垦方案的实施步骤主要覆盖前期调查、方案设计、工程施工以及后期管护等方面，前期调查作为复垦工作的根基，要针对矿山的地质条件、地形地貌、气候等诸多因素展开细致入微的调查，以此为复垦方案设计提供科学的依据，举例来说，借助地质勘探可知晓矿山的地质结构，借助土壤检测可了解土壤的肥力以及酸碱度等情况。方案设计是依据调查结果，制订适宜的复垦方案，明确复垦目标、技术措施以及管理措施等内容，比如可以依据地形条件设计梯田或者排水系统，依据土壤条件挑选合适的改良措施以及植被类型，工程施工是依照复垦方案，开展地形改造、土壤改良、植被恢复等具体工作，以保障复垦效果^[10]。

五、结论

土地复垦对于地质灾害防治而言有着关键意义，可切实恢复地表的稳定状态，降低滑坡以及泥石流出现的概率，为地质灾害的监测和预警给予支撑，科学地评估地质灾害风险并制定相应的防治举措，矿山土地复垦方案的设计应当以恢复生态功能作为核心要点，同时兼顾经济与社会效益，借助合理的技术手段和管理手段，保障复垦工作得以顺利开展。复垦方案的实施步骤涉及前期调查、方案设计、工程施工以及后期管护等方面，以此保证复垦效果有可持续性。

参考文献

- [1] 秦鑫, 陈洪凯. 矿山地质环境保护研究综述 [J]. 人民长江, 2017, 48(21): 74-79.
- [2] 普理新. 矿山地质勘察与勘察灾害防治探析 [J]. 世界有色金属, 2017(10): 186-187.
- [3] 王梅芳, 胡明扬, 周德全. 基于地质地貌特征的贵州矿山地质灾害防治管理研究 [J]. 中国矿业, 2017, 26(07): 91-95.
- [4] 高云峰, 徐友宁, 陈华清. 露天矿硬岩边坡复绿技术现状及存在问题 [J]. 中国矿业, 2019, 28(2): 60-65.
- [5] 卿展晖. 广东省矿山地质环境现状及恢复治理研究 [J]. 西部资源, 2017(03): 132+140.
- [6] 范立民, 马雄德, 李永红, 等. 西部高强度采煤区矿山地质灾害现状与防控技术 [J]. 煤炭学报, 2017, 42(02): 276-285.
- [7] 司江福, 杨毕, 陶久强, 等. 浅析贵州省矿山地质灾害特征及防治对策 [J]. 中国国土资源经济, 2017, 30(02): 58-63.
- [8] 丁一文. 抚顺资源型城市转型可持续发展顶层设计 [J]. 辽宁经济职业技术学院学报, 2017(01): 14-17.
- [9] 苏拉恩波, 袁勋, 刘棉良, 等. 西南地区石灰岩矿山植被修复方法与实践分析——以都江堰拉法基水泥有限公司石灰岩矿区植被修复为例 [J]. 四川林勘设计, 2016(04): 74-78.
- [10] 魏清伟. 朝阳市露天开采矿山地质灾害治理与预防 [J]. 科技视界, 2016(24): 234-235.

燃气场站安全巡检中智能图像识别与隐患动态 ——分级管控研究

佛一擎

文昌中石油昆仑燃气有限公司，海南 文昌 571300

DOI: 10.61369/ETQM.12236

摘 要： 燃气场站安全巡检依赖人工经验，存在识别滞后和误判率高等问题。智能图像识别结合深度学习算法，可精准检测隐患提高巡检效率；优化目标检测模型提升实时处理能力，减少误报漏报增强复杂环境适应性。隐患动态分级管控基于智能识别构建风险评估体系，依据隐患等级与风险权重实现预警与精准管控；端边云协同优化数据传输与计算，提高系统响应速度满足实时监控需求。智能巡检系统融合硬件部署和算法优化以及数据分析，实现隐患自动识别和分级预警与安全管控，提升了燃气场站安全管理水平并且降低事故风险。

关 键 词： 燃气场站；安全巡检；智能图像识别；隐患分级；风险管控

Intelligent Image Recognition and Hidden Danger Dynamics in The Safety Inspection of Gas Station Station

—Research on Hierarchical Management and Control

Fo Yiqing

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

Abstract: The safety inspection of gas station depends on manual experience, and there are problems of identification lag and high misjudgment rate. Intelligent image recognition combined with deep learning algorithm can accurately detect hidden dangers and improve inspection efficiency; optimize the target detection model to improve real-time processing capability, reduce false alarm and enhance the adaptability of complex environment. Build a risk assessment system based on intelligent identification, realize early warning and precise control according to the hidden danger level and risk weight, and optimize data transmission and calculation jointly with the side cloud to improve the system response speed to meet the real-time monitoring requirements. The intelligent inspection system integrates hardware deployment, algorithm optimization and data analysis to realize automatic identification of hidden dangers, hierarchical early warning and safety control, which improves the safety management level of gas stations and reduces the risk of accidents.

Keywords: gas station; safety inspection; intelligent image recognition; hidden danger classification; risk management and control

燃气场站安全巡检关乎公共安全，传统人工巡检存在识别滞后和误判率高以及隐患分级不精准等问题，难以满足高效管理需求。智能图像识别结合深度学习，可精准检测燃气泄漏和设备老化以及阀门异常等隐患，从而提升巡检效率。隐患动态分级管控基于智能识别构建风险评估模型，结合环境与设备状态调整隐患等级，提高预警精准度。端边云协同优化数据处理与系统响应，增强实时监测能力。构建集图像识别和隐患评估以及分级管控于一体的智能巡检系统，将推动燃气场站安全管理向智能化和高效化发展。

一、燃气场站安全巡检智能图像识别方法

（一）燃气场站典型隐患的图像特征提取

燃气泄漏可表现为热成像中的温度异常或可见光图像中的气体扩散痕迹。设备老化通常伴随表面腐蚀和锈迹扩散与裂纹形成

等特征，可以通过纹理分析与颜色分布可以提取有效信息。阀门损坏可能出现形变和异物堵塞以及开关位置异常等特征，因此需要目标检测与关键点识别算法进行精准判断。对颜色分布和燃烧形态与亮度波动等特征进行分析可以知晓火焰是否异常，高温区域可借助红外图像进一步优化识别精度^[1]。深度学习特征提取能

力结合传统图像处理方法，可有效增强隐患识别的准确性，为后续智能巡检提供可靠数据的支撑。

（二）深度学习在燃气场站隐患识别中的应用

卷积神经网络（CNN）能够自动提取隐患特征并减少手工特征提取的误差，基于 YOLO、Faster R-CNN 等目标检测框架，可在复杂环境下精准定位隐患区域；Transformer 架构的 ViT 模型在大规模巡检图像处理中展现出较强的全局特征提取能力，提高对小目标隐患的检测效果^[2]。不同模型在检测精度和计算复杂度以及实时性方面存在差异，需结合场站巡检需求进行优化选择，隐患检测的损失函数影响模型训练效果，常用交叉熵损失函数衡量分类误差，计算方式如下：

$$L = - \sum_{i=1}^N y_i \log(\hat{y}_i)$$

其中， y_i 为真实类别， \hat{y}_i 为预测概率，N 为样本数。目标检测中的边界框回归采用均方误差（MSE）计算偏差，公式如下：

$$L_{bbox} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2$$

其中，N 为样本数，即所有训练图片中的目标数量。 (x_i, y_i) 为真实目标框的中心坐标。 (\hat{x}_i, \hat{y}_i) 为模型预测的目标框中心坐标。该损失函数衡量预测框偏移的均方误差（MSE），较大误差会被放大，促进模型调整预测框，提高检测精度，不同目标检测模型在燃气场站隐患识别中的性能对比见下表 1。

表 1：不同目标检测模型在燃气场站隐患识别中的性能对比

模型	参数量 (M)	计算复杂度 (GFLOPs)	推理时间 (ms)	mAP@50
YOLOv5	7.3	16.5	6.4	0.72
Faster R-CNN	41	180.2	79.6	0.76
ViT	86.6	354.1	95.2	0.78

目标检测模型各有优劣。YOLOv5 参数 7.3M，计算复杂度 16.5GFLOPs，适合实时巡检；FasterR-CNN 参数 41M，计算复杂度 180.2GFLOPs，适用于高精度检测；ViT 参数 86.6M，计算复杂度 354.1GFLOPs，适合深度分析。总的来说 YOLOv5 高效，FasterR-CNN 精准，ViT 适用于长期趋势分析，结合使用优化隐患检测体系。

（三）目标检测算法优化与实时图像分析

目标检测算法优化涉及模型轻量化、特征提取增强、实时性提升等方面^[3]。深度可分解卷积（Depthwise Separable Convolution）减少计算量，使模型适用于边缘计算设备，提高实时性，目标检测算法优化的工作流程可参考下图 1。多尺度特征融合增强小目标检测能力，特征金字塔（FPN）结构在不同层级整合信息，提高对管道泄漏、设备微小损伤的检测效果。非极大值抑制（NMS）优化目标筛选过程，减少重叠框误检，提高检测稳定性。目标检测的交并比（IoU）用于评估预测框与真实框的匹配程度，计算公式如下：

$$IoU = \frac{A_1 \cap A_2}{A_1 \cup A_2}$$

其中， A_1 和 A_2 分别表示预测框与真实框的面积。实时巡检系统需结合端边云协同计算模式，优化数据流处理，提高检测速度。

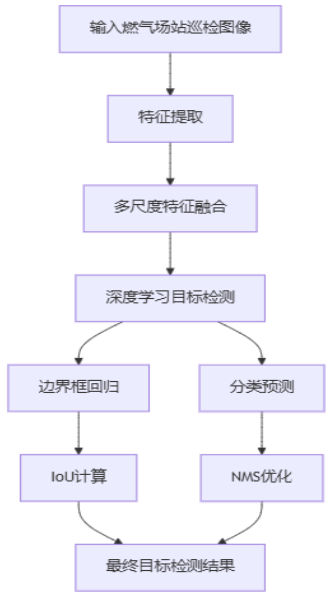


图 1：目标检测算法优化的工作流程

二、燃气场站隐患动态分级管控模型

（一）燃气场站隐患等级划分标准

燃气场站隐患的分级管理涉及风险控制与安全运营，依据隐患的严重程度、影响范围、发生概率进行分类^[4]。隐患等级分为一级（重大隐患）、二级（较大隐患）、三级（一般隐患），对燃气管网、设备、设施的安全性影响不同，需采取相应的巡检与处置措施。一级隐患通常指燃气泄漏、爆炸风险、关键设备故障，可能导致大范围事故，必须立即停运并采取应急措施。二级隐患包括局部腐蚀、管道老化、传感器异常，可能影响局部设备运行，但短时间内不会造成严重后果，需进行定期维护和风险控制。三级隐患涉及设备表面轻微损伤、标识缺失、轻度变形等，不会直接影响安全运行，但若长期未处理，可能演变为更高级别隐患。隐患的分类标准需结合燃气场站的运营情况，并基于历史数据进行动态调整，燃气场站隐患分级标准可参考下表 2。

表 2：燃气场站隐患分级标准

隐患等级	发生概率（0-1）	影响范围（0-100）	严重程度（0-100）	处置时限（小时）
一级隐患	0.7-1.0	80-100	80-100	0-2
二级隐患	0.4-0.7	50-80	50-80	2-24
三级隐患	0.1-0.4	20-50	20-50	24-72

燃气场站隐患分级决定处置时限，一级隐患（0.7-1.0），严重程度 80-100 需 0-2 小时内紧急处理；二级隐患（0.4-0.7），严重程度 50-80 处置时限 2-24 小时；三级隐患（0.1-0.4），严重程度

20-50, 24-72 小时内跟踪管理。

（二）结合智能识别的隐患动态评估方法

智能识别技术结合隐患动态评估，能够提高燃气场站巡检的准确性，其模型基于隐患图像数据和传感器监测数据以及历史巡检记录，建立综合评分体系，以实现隐患等级的动态调整^[5]。风险评分的计算采用加权模型，其中主要参数包括隐患发生概率P、影响范围I、严重程度S，权重依据燃气行业安全标准设定。风险评分计算公式如下：

$$R = w_p P + w_i I + w_s S$$

其中， w_p 、 w_i 、 w_s 分别代表概率，影响范围，严重程度的权重系数，依据历史数据进行动态调整。风险评分用于隐患分级调整，例如二级隐患在连续多次检测中评分上升，可升级为一级隐患，已处置的隐患评分下降，可降级或移除，智能识别 + 动态评估整体流程见下图2。

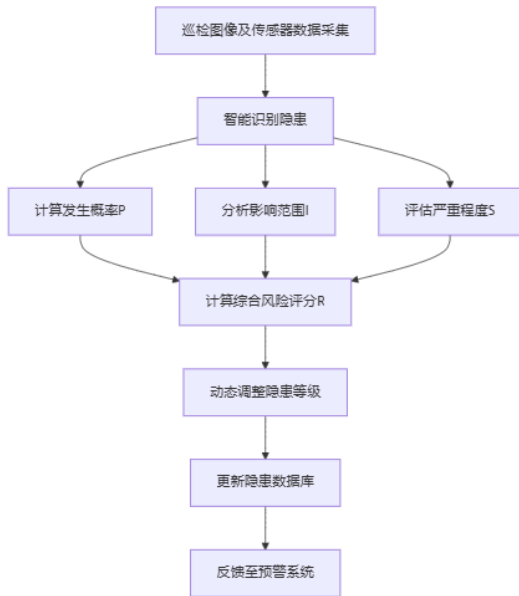


图2：智能识别 + 动态评估整体流程

（三）基于风险权重的隐患预警与处置策略

隐患预警机制基于风险权重计算结果，结合智能识别系统的分析，实现分级预警与精准处置。预警等级分为红色（高危）、黄色（中等）、蓝色（低危），不同等级对应不同的应对策略^[6]。红色预警表示隐患风险极高，例如燃气泄漏、爆炸风险、阀门严重故障，触发后系统立即报警，并联动燃气站控制中心启动紧急停运，封锁危险区域，调度应急维修团队，必要时进行人员疏散，并实时上报主管部门。黄色预警表示隐患风险较大，例如设备老化、阀门磨损、压力波动异常，系统记录隐患信息并设定整改期限，生成维修工单，安排巡检人员定期复查，若隐患持续存在且评分上升，预警级别自动升级至红色。蓝色预警表示隐患风险较低，例如轻微腐蚀和标识缺失以及轻度结构变形，系统生成巡检任务，定期复核，必要时进行维护，若多次巡检后风险评分仍在上升，则调整至黄色预警^[7]。预警机制通过智能评估模型动

态调整风险级别，结合巡检反馈形成闭环管理，确保隐患得到有效控制。

三、智能巡检系统架构与关键技术实现

（一）智能巡检系统总体架构设计

智能巡检系统架构由数据采集、边缘计算、云端分析、预警决策四个核心模块组成，结合智能图像识别、深度学习、端边云协同计算，实现燃气场站的自动化巡检。数据采集层包含固定监控摄像头和无人机巡检系统以及移动机器人等设备，实时获取场站环境与设备状态图像^[8]。边缘计算层部署于现场站点，通过高性能嵌入式设备对巡检数据进行预处理，包括目标检测、初步分类、噪声去除等操作，减少数据传输负担。云端分析层整合边缘计算结果，执行高精度隐患检测、风险评估、分级预警，结合历史数据优化识别模型，提高预测准确性。预警决策层接收风险评估结果，向维护人员推送隐患信息，并与控制中心联动，实现自动响应、工单派发、巡检任务调度等功能，确保隐患得到及时处置，智能巡检系统总体架构可参考下图3。

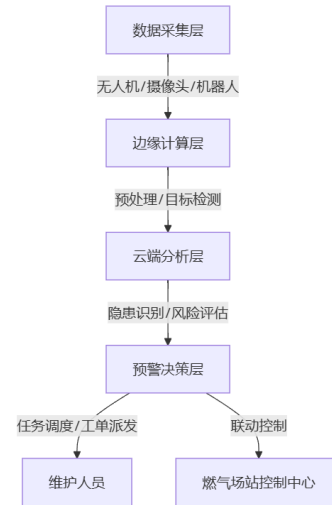


图3：智能巡检系统总体架构

（二）端边云协同的计算模式与数据处理优化

端边云协同计算模式提升数据处理效率，降低计算负荷，提高智能巡检系统的实时性。端侧设备包括摄像头、无人机、传感器等，负责数据采集，并执行基础数据预处理，如图像增强、背景去除、特征提取等，减少冗余信息^[9]。边缘计算节点部署在燃气场站内部服务器或巡检机器人上，执行本地推理，应用轻量级深度学习模型，如YOLOv5、MobileNet，进行目标检测、初步隐患筛选，减少云端计算压力。云端服务器负责大规模数据存储与深度分析，结合历史巡检记录优化隐患分类，提高模型泛化能力，生成巡检报告，为运维决策提供数据支持。数据传输采用分层存储策略，紧急隐患信息优先传输，高精度分析任务异步处理，确保系统负载均衡，提升数据利用效率，端边云计算模式的数据处理参数对比参考下表3。

表3：端边云计算模式的数据处理参数对比

计算层级	计算设备	处理内容	计算时延（ms）	计算功耗（W）	传输带宽需求（Mbps）
端侧计算	摄像头 / 无人机	数据采集、基础预处理	5-10	2-5	1-5
边缘计算	现场服务器 / 机器人	目标检测、隐患筛选	50-100	10-30	10-50
云端计算	远程服务器	高精度分析、历史数据整合	200-500	50-100	50-200

端边云计算模式协同优化巡检效率。端侧计算时延短（5-10ms）且功耗低（2-5W），适用于摄像头和无人机的数据采集与预处理；边缘计算时延适中（50-100ms）且功耗适度（10-30W），在现场服务器或机器人执行目标检测与隐患筛选，提高实时响应；云端计算时延较长（200-500ms）且功耗高（50-100W），适合深度分析和趋势预测；带宽需求端侧1-5Mbps，边缘10-50Mbps，云端50-200Mbps，数据分层处理降低网络负荷。端侧感知和边缘计算以及云端分析，三者协同提高巡检智能化水平确保燃气场站安全运行。

（三）现场部署与实时监控技术

智能巡检系统的现场部署涉及无人机巡检、固定摄像头监测、移动机器人巡逻三种模式，覆盖燃气场站不同区域的安全巡检需求。无人机巡检负责高空管道、储罐、厂区周界的隐患监测，搭载红外与可见光摄像头，实时检测燃气泄漏、高温异常、外部入侵等问题。固定摄像头部署在关键设备区域，如阀门、压力表、主控柜，持续监控设备状态，结合智能分析算法识别泄漏迹象、锈蚀变化、结构变形^[10]。移动机器人巡检适用于狭窄通

道、地下设施，搭载多模态传感器，完成复杂环境的隐患检测。实时监控系统通过无线网络将巡检数据上传至边缘计算节点，系统结合人工智能分析结果生成巡检报告，并向运维人员推送报警信息，实现远程控制与现场联动，并且提高燃气场站的巡检效率与安全性。

四、结语

燃气场站安全巡检智能化依赖高精度隐患识别与动态管控，智能图像识别提高燃气泄漏和设备老化以及阀门故障的检测精度，起到减少误报漏报的效果。隐患动态分级管控结合实时监测与历史数据，精准调整风险等级提升预警准确性；端边云协同计算优化数据处理，边缘计算提高现场响应速度，云端分析增强隐患趋势预测；无人机巡检和固定摄像监控以及机器人巡逻构建多层次巡检体系，覆盖关键区域实现精准监控。智能识别和动态评估以及风险预警融合推进巡检体系向智能并且高效方向发展，提升燃气场站安全管理能力。

参考文献

[1] 曹春生,王文昊,谢大鹏,等.基于图像识别的接触网安全巡检系统[J].铁路技术创新,2023,(06):50-54.

[2] 付海涛,刘烁,刘国庆.基于图像识别的高层建筑消防安全智能管理系统设计[J].信息与电脑(理论版),2023,35(24):168-170.

[3] 邱力军,李泽星.基于智能制造系统图像识别机器的视觉技术的研究[J].中国设备工程,2023,(22):28-30.

[4] 王桂林,康继光,向佳霓,等.基于图像识别与边缘计算的电力作业智能安监技术研究[J].电子设计工程,2023,31(22):182-186.

[5] 黄维健,范晓静,纪思鹏,等.电子巡检系统在手术室安全巡检中的应用效果研究[J].护理管理杂志,2023,23(06):485-488.

[6] 吴忧.运维安全巡检机器人平台的视觉感知系统研究[D].北京交通大学,2023.

[7] 于天振.基于废弃物处理工作现场安全巡检的机器人系统设计研究[D].扬州大学,2023.

[8] 凌雪飞,陈军.视视精细化管理对防范燃气事故的运用方法探讨[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会.2021第五届燃气安全交流研讨会论文集(下册).青阳港华燃气有限公司,2023:83-87.

[9] 赵加成,臧垒垒.燃气场站扁平化管理改进的探索[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会.2021第五届燃气安全交流研讨会论文集(下册).日照市天然气有限公司,2023:215-217.

[10] 张雅龙.以隐患分级划定企业事故隐患责任主体[J].劳动保护,2023,(02):49.

石油钻井工程事故的原因及防范措施研究

蔡春雷

中石化华北石油工程有限公司, 河南 郑州 450000

DOI: 10.61369/ETQM.12238

摘 要 : 石油钻井工程属于复杂且具有高风险的行业, 若发生工程事故, 不仅会产生巨大的经济损失, 还会对人员安全及周边环境造成威胁。基于此, 文章重点探究石油钻井工程事故产生的主要原因, 接着深入分析这些原因, 并在此基础上提出具有针对性的防范措施, 以此能够不断降低石油钻井工程事故发生率, 切实提高工程项目开展的安全性, 促使石油行业可持续发展。

关 键 词 : 石油钻井工程; 事故原因; 防范措施

Research on Causes and Preventive Measures of Petroleum Drilling Engineering Accidents

Cai Chunlei

Sinopec Huabei Oilfield Service Corporation, Zhengzhou, Henan 450000

Abstract: Petroleum drilling engineering is a complex and high-risk industry. If engineering accidents occur, which will not only produce huge economic losses, but also threaten personnel safety and surrounding environment. Based on this, the paper focuses on the main causes of petroleum drilling engineering accidents, and then in-depth analysis of these reasons, and based on this basis, put forward targeted preventive measures, in order to continuously reduce the incidence of petroleum drilling engineering accidents, effectively improve the safety of engineering projects, and promote the sustainable development of petroleum industry.

Keywords: petroleum drilling engineering; causes of accidents; preventive measures

众所周知, 石油是我国社会发展的重要能源资源, 而石油钻井工程是石油开采不可或缺的环节, 其是否顺利进行会对石油资源的有效开发和利用产生直接的影响。从实际情况看, 石油钻井工程往往具有不确定、高风险以及复杂性特点, 在具体施工期间容易出现各种事故, 如井漏、卡钻、井喷等。这些事故的发生会导致工程进度延误, 增加成本, 甚至会造成人员伤亡以及环境污染等情况。为避免这些情况的发生, 深入把握石油钻井工程事故原因尤为重要, 以便能够及时采取相关防范措施, 确保工程项目安全进行。

一、石油钻井工程事故的原因分析

(一) 地质因素

1. 地层压力异常

地层中存在的异常压力是影响石油钻井工程事故发生的重要地质因素之一。操作人员在钻井环节中遇到高压地层时, 若没有及时准确地掌握地层压力情况, 则容易造成井内压力失衡, 进而引发井喷事故^[1]。比如: 在深层油气藏中, 因底层埋藏深度比较大, 岩石孔隙中的流体会受到比较高的压力。这时钻井液的液柱压力难以有效平衡地层压力, 最终发生井喷现象。

2. 地层岩性变化

不同地区的地层岩性存在较大的差异, 有些地层岩石硬度比较高, 且脆性大, 因而在钻井过程中容易出现破碎和坍塌情况。比如在钻遇泥页岩地层时, 因泥页岩本身就具有比较强的吸水性, 所以在遇水后会膨胀和剥落情况, 致使井壁失稳, 进而

导致卡钻事故的发生^[2]。

3. 地层流体性质

地层中的流体, 即天然气、水、石油等, 本身具有的性质会对钻井工程产生较大的影响。首先, 天然气的出现会在一定程度上增加井内压力的复杂性, 在具体操作过程中若处理不当, 则容易引发井喷事故。与此同时, 地层水中含有的腐蚀性物质, 具体包括二氧化碳、硫化氢等, 会对钻井设备及管材造成腐蚀, 进而降低设备的使用寿命。

(二) 设备故障

1. 钻井设备老化

伴随石油钻井技术的不断发展, 钻井设备的使用年限在不断增加。有些老旧设备因长期运行, 致使其零部件磨损严重, 性能下降, 这使得设备在运行中容易出现故障。例如, 钻井泵的活塞、缸套等部件在长时间使用后会磨损情况, 致使泵的排量和压力不够稳定, 进而影响钻井液的循环和携带岩屑的能力, 进

作者简介: 蔡春雷 (1987.02-), 男, 汉族, 河南舞阳人, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向: 石油钻井工程技术管理。

而引发井下事故。

2. 设备维护不当

设备的正常维护确保其安全运行的重要条件。但是，在实际生产环节中，因受各方面因素的影响，即工作任务重、人员素质参差不齐等，致使有些设备的维护保养工作未得到有效落实^[3]。比如，钻井设备的润滑系统没有及时添加润滑油，导致零部件之间的磨损不断增大，进而出现过热情况。另外，设备的定期检查和维修也容易被忽视，有些潜在的故障隐患没有在第一时间发现和排除，进而导致事故发生。

3. 设备选型不合理

结合实际，不同的钻井工程对设备性能和参数有不同的要求。若设备选型不够合理，则难以满足工程项目开展的具体需求，这会在一定程度上增加事故发生的风险。比如，在深井钻井中，操作人员选用的钻机功率不足，则可能难以提供足够的提升能力，钻压和扭矩，致使钻井速度比较缓慢，进而难以钻进^[4]。与此同时，设备的配套设施也尤为重要，如钻井液净化设备的处理能力若没有满足钻井液的循环要求，则会造成钻井液中岩屑含量过高。这不仅会严重影响钻井液的性能，还会引发井下事故。

（三）人为操作失误

1. 操作人员技术水平不足

石油钻井工程属于技术含量比较高的工种，因而对操作人员的要求较高，需要其具备扎实的专业知识和丰富的实践经验^[5]。但是，随着近几年我国石油行业的持续发展，对操作人员的需求量也不断增加。有些新入职的操作人员因缺少培训，使得其技术水平有限，在实际操作过程中很容易出现失误。比如，在进行下钻作业时，操作人员若没有对钻具的悬重和下放速度进行准确掌握，则可能会造成钻具碰撞井壁，最终出现钻具损坏或卡钻事故。

2. 操作人员安全意识淡薄

在保障石油钻井工程安全方面，操作人员的安全意识尤为重要。然而，部分操作人员在实际工作中抱有侥幸心理，对安全规章制度执行不到位，违规操作现象经常出现。比如，在井口附近吸烟、未按照规定佩戴个人防护用品等行为，这都有可能造成火灾、爆炸等重大事故的发生^[6]。

3. 操作人员工作疲劳

一般来说，石油钻井工程需要连续进行，工作强度大，这使得操作人员在作业中容易出现疲劳情况。疲劳容易使得操作人员注意力难以集中，且反应迟钝，进而增加操作失误发生的可能性。比如，在进行夜间作业时，操作人员因疲劳可能会忽视一些异常情况，如设备的异常声音、钻井液性能的变化等，最终错过最佳的处理时间，导致事故发生。

（四）管理不善

1. 安全管理制度不完善

调查发现，有些石油钻井企业现有的安全管理制度存在明显的漏洞，具体表现在对安全生产的各个环节缺乏具体的规定和要求。如，针对设备的采购、安装、使用以及维护等方面，没有根据具体情况建立完善的管理制度，致使设备管理混乱，这极大

地增加安全隐患^[7]。与此同时，企业安全管理制度的执行力度不够，虽然有企业制定相关的安全规章制度，然而在具体工作中并未得到有效落实，导致违规行为没有及时得到纠正和处罚。

2. 现场管理不到位

石油钻井施工现场具有一定的复杂性，面临各种危险因素。若现场管理不够到位，十分容易引发安全事故。例如：施工现场设备摆放过于混乱，物料堆放不规范，这会在很大程度上影响操作人员工作的开展，进而增加事故发生风险。另外，施工现场的安全警示标识未张贴或者不够清晰以及安全防护设施不完善等，都会给操作人员的安全造成威胁。

3. 应急管理体系不健全

在整个石油钻井工程安全管理中，应急管理为重要的组成部分。有些企业的应急管理体系不健全，缺乏具体的应急预案和应急演练^[8]。在事故发生时，因缺乏合理的应急处理措施，使得企业无法及时控制事故发展，最终导致事故不断扩大。例如：在发生井喷事故时，因应急预案不够完善，企业没有及时组织进行有效的压井和控制井口作业，这可能会出现井喷失控情况，从而引发爆炸、火灾等重大事故。

二、石油钻井工程事故的防范措施

（一）加强地质勘探与评估

1. 提高地质勘探精度

施工单位在进行石油钻井工程施工前，首先需要做好地质勘探工作，在这个环节中应合理应用现代化地质勘探技术和设备，以此不断提高地质勘探的精度。如，选用地震勘探、测井等技术，深入了解地层结构、岩性以及压力等信息，以此为钻井工程设计提供准确且有效的数据支持。其次，施工单位还要进一步加强地质资料的分析和研究，以便能够第一时间发现潜在的地质风险，最后制定具体的防范措施。

2. 建立地质风险评估体系

施工单位应根据具体情况建立完善的地质风险评估体系，主要对钻井过程中可能遇到的地质风险进行全面评估。根据地质风险的等级，制定符合需求的钻井工程方案和应急预案^[9]。例如：针对高风险的地质区块，操作人员应选用特殊的钻井工艺和技术措施，具体包括加重钻井液、加强井壁支撑与维护等，以期能够在最大程度上降低事故发生的风险。

3. 加强地质监测与预警

在实际钻井环节中，施工单位应不断加强对地质情况的监测，以此能够及时获取关于地层压力、岩性变化等信息。在这一环节中，需要使用现代化监测技术和设备，即压力传感器、随钻测井仪等，这样能够对井下情况进行实时监测。一旦发现异常情况，会及时发出预警信号，同时会采取具体的措施进行处理，从而有效避免事故的发生。

（二）优化设备管理与维护

1. 合理选型设备

施工单位应结合石油钻井工程的具体需求，选择适合的选型

设备。在设备选择环节中,需要考虑各方面因素,包括设备性能、质量、可靠性等,以此在最大程度上保障设备使用符合工程要求。与此同时,施工单位需要注意设备的配套设施,要与设备的性能相匹配,以此保障设备运行的稳定性和可靠性。

2. 建立设备维护保养制度

施工单位应根据实际情况建立完善的设备维护保养制度,定期对设备进行维护和保养。在具体操作中,应根据设备的使用说明书和维护保养要求,对设备的各个部件做好检查、清洁、润滑、调整以及更换等。例如:通过定期更换钻井泵的活塞、缸套等易损件,着重检查设备的电气系统、液压系统等是否正常运行。与此同时,单位还应建立设备维护保养记录,以此能够对设备的维护保养情况进行全面跟踪和管理。

3. 加强设备更新换代

随着社会经济的不断发展,石油钻井设备在不断更换。对此,施工单位应立足实际,及时淘汰老旧设备,积极引进先进的设备和技术。现代化的设备在使用中不仅性能更加可靠,还具有较高的自动化程度和安全性能,进而达到降低事故发生风险的目的。例如:使用自动化钻井设备能够有效减少操作人员的劳动强度,进而不断提高钻井效率和安全性。

(三) 提升人员素质与培训

1. 加强操作人员培训

施工单位应不断加强对操作人员的培训,以此不断提高其技术水平和业务能力。针对培训内容,应围绕钻井工程理论知识、设备操作技能、安全规章制度等方面在培训环节中,将理论培训与实际操作培训进行结合,能够使得操作人员更好地掌握钻井设备的操作方法和保养技能。

2. 增强操作人员安全意识

施工单位应注重操作人员的安全教育,增强其在作业中的安全意识。在这方面,单位可通过开展安全培训、安全宣传等活动,让操作人员能够正确认识到安全工作的重要性,进而在作业中能够自觉遵守安全规章制度。例如:施工单位可组织操作人员观看安全事故案例视频,并对事故发生的原因和教训进行分析,以此不断提高操作人员的安全防范意识^[10]。与此同时,单位还需建立安全奖励机制,对安全工作表现突出的操作人员应做好表彰和奖励,这样做能够激励操作人员有效参与安全工作。例如:建立全员安全积分台账,调动员工参与安全管理的积极性。

3. 合理安排操作人员工作时间

施工单位需合理安排操作人员的工作时间,这样能够有效避免操作人员过度疲劳。为此,单位应根据石油钻井工程的特点,制定合理的工作排班制度,确保操作人员有足够的休息时间。同时,还要注意操作人员的心理健康,根据需求提供心理支持和帮助,以此缓解其工作压力。例如:休班期间,可组织员工参加EAP(员工帮助计划)培训班,不仅能提升自我认知,改善人际关系,缓解压力,而且能增强团队凝聚力,获得心灵成长。

(四) 完善管理制度

1. 建立健全安全管理制度

施工单位需根据各方面情况建立健全安全管理制度,明确安

全生产的各个环节和责任主体。在这一环节中,应制定具体的安全操作规范、设备管理制度以及人员培训制度等,以此能够确保安全管理制度有效执行。

2. 加强现场管理

施工单位应不断加强对石油钻井施工现场的管理,以此保障施工现场作业开展的有序性。在这个环节中,应合理规划施工现场设备摆放和物料堆放,设置明显的安全警示标识和安全防护设施。例如:在井口周围设置防护栏,这样可避免人员和物品掉入井内。同时,还要做好对施工现场的监督检查,以便能够及时发现和整改安全隐患。

3. 完善应急管理体系

施工单位应合理完善应急管理体系,根据具体情况制定符合需求的应急预案。应急预案包括多方面内容,即事故类型、应急预案措施、应急救援组织机构和职责等。与此同时,单位还应组织应急演练,以此能够对应急预案的可行性和有效性进行检验。

三、结语

综上所述,石油钻井工程事故发生受多方面因素影响,主要包括地质因素、设备故障、人为操作以及管理不善等。通过对这些因素进行深入分析,制定具有针对性的防范措施,以期不断降低石油钻井工程事故发生率,确保工程项目安全顺利进行,为实现石油行业可持续发展创造良好的条件。

参考文献

- [1] 鲍锦祥. 石油钻井工程事故的原因及应对策略[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(2): 21-23.
- [2] 任建春. 石油钻井工程存在的风险因素与防控策略分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(22): 72-75.
- [3] 颜景若. 石油钻井工程防漏堵漏工艺的应用及经济性分析[J]. 中国化工贸易, 2024(24): 52-54.
- [4] 蒋晨峰. 中原石油工程公司钻井一公司: 开局就发力握紧主动权[J]. 中国科技纵横, 2023(2): 1-2.
- [5] 朱哲君, 赵大卫, 朱建立. 浅析“四位一体”安全管理在石油工程企业中的运用[J]. 石油化工安全环保技术, 2024, 40(4): 17-19.
- [6] 张志伍, 贺世莉. 石油钻井工程事故的原因及应对策略[J]. 化学工程与装备, 2023(12): 235-236+171.
- [7] 解健程. 浅谈石油钻井工程存在的风险及防范措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(07): 67-69.
- [8] 鲍锦祥. 石油钻井工程事故的原因及应对策略[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(02): 21-23.
- [9] 刘强, 罗茂. 谈石油钻井工程事故的原因及应对策略[J]. 清洗世界, 2022, 38(09): 178-180.
- [10] 陈建林. 试论石油钻井工程事故的预警技术[J]. 石化技术, 2022, 29(04): 103-104.

打叶复烤生产安全风险识别与管控的思考

尹旭, 许先陆, 杜卫平, 庞可可, 葛洪健
华环国际烟草有限公司, 安徽 凤阳 233121
DOI: 10.61369/ETQM.12241

摘 要 : 文章以某打叶复烤生产加工中心为例, 深入剖析其安全风险识别与管控状况, 明确了各生产环节的安全风险点, 阐述了现有管控措施的成效与不足, 并针对性地提出了强化安全警示教育、开展专项活动、细化风险识别与管控、推进智慧安防项目建设以及扎实推进安全生产标准化落地等改进措施与建议, 旨在为提升打叶复烤生产的安全管理水平, 保障生产活动安全、稳定提供思路。

关 键 词 : 打叶复烤; 安全风险识别; 安全风险管控

Reflections on Safety Risk Identification and Control in Threshing and Redrying Production

Yin Xu, Xu Xianlu, Du Weiping, Pang Keke, Ge Hongjian
HUA HUAN INTERNATIONAL TOBACCO CO.,LTD. Fengyang, Anhui 233121

Abstract: Taking a threshing and redrying production and processing center as an example, this article conducts an in-depth analysis of its safety risk identification and control practices. It identifies safety risk points across various production stages, evaluates the effectiveness and shortcomings of existing control measures, and proposes targeted improvement measures and recommendations. These include strengthening safety awareness education, implementing specialized campaigns, refining risk identification and control processes, advancing smart safety system projects, and solidifying the implementation of standardized safety production protocols. The aim is to enhance the safety management level of threshing and redrying production, ensuring secure and stable production operations.

Keywords: threshing and redrying; safety risk identification; safety risk control

打叶复烤是烟草加工的关键环节, 其生产过程复杂, 涉及大量设备与人员作业。由于工艺设备的复杂性和作业环境的多样性, 安全风险呈现出点多、线杂、面广, 一旦发生事故, 不仅会危及人员生命安全, 还会给企业带来巨大的经济损失, 严重影响企业的正常运营和可持续发展。因此, 精准识别和有效管控打叶复烤生产中的安全风险, 对于保障企业平稳运行、维护员工生命健康具有至关重要的意义。

一、打叶复烤生产加工中心基本情况

某打叶复烤生产加工中心主要负责打叶复烤生产加工, 内设物流办、分级车间、打叶车间、动力车间、设备办、生产办、综合办等7个基层单位。生产加工中心安全风险主要来源于物流办、分级车间、打叶车间、动力车间4个基层单位的生产经营过程(包括设备设施检修维修)。物流办主要负责烟叶装卸、厂内物流运输、原料暂存养护, 年装卸烟叶原料约4.1万吨, 叉/抱车周转运输约12万吨/年。物流办的主要安全风险是卸包过程可能发生高处坠落、叉/抱车运输过程可能发生车辆伤害、烟包坍塌可能发生物体打击伤害以及烟叶暂存期间的火灾风险。分级车间主要负责烟叶分选、除杂, 主要安全风险是生产作业过程可能造成

的跌打扭伤及违规抽烟、动火等引发的火灾。打叶车间主要负责打叶复烤加工, 打叶复烤车间生产过程的主要安全风险包括机械设备正常运行或维修过程运动部件挤压、缠绕、剪切、碰撞、卷入等可能造成机械伤害, 电气设备漏电可能发生触电事故, 电气线路短路接触不良、旋转轴润滑及散热不良、违规动火可能引起火灾, 高处作业可能发生高处坠落事故等。动力车间主要负责蒸汽、电力、水等能源的供应, 主要的安全风险包括发生锅炉严重缺水、严重结垢等事故后处理不当可能发生锅炉爆炸, 进入炉膛电焊作业可能发生中毒和窒息、触电事故, 燃气泄漏可能发生燃爆事故, 变配电设备的操作、故障、维修作业等可能发生触电、火灾、爆炸事故。

二、安全风险识别与管控现状及问题

（一）安全风险识别与管控现状

1. 安全风险管控和隐患排查治理

该公司建立并落实了安全风险分级管控和隐患排查治理双机制。每年组织开展1次风险辨识和评价工作，形成了详细的安全风险分级管控清单和较直观的“红橙黄蓝四色图”，明确了“风险、措施、责任”，做到责任到人、措施到位^[1]。年初，公司制定并印发年度安全检查计划方案，构建了严密的安全检查网络，深入推进公司级、部门级、班组级和重点岗位“四级”安全检查机制，并将其与节假日、特殊时段安全检查以及领域重点专项安全检查有机结合。针对安全检查中发现的隐患和问题，及时下发隐患整改通知书，要求责任部门按照“定人、定措施、定资金、定时限”的原则积极落实整改措施，并分层级建立隐患台账，实施销账管理，确保各类安全隐患得到及时消除。

2. 安全责任落实

公司建立了完善的安全生产责任制，明确了各部门各层级人员的安全职责，并通过层层签订安全生产责任书的方式，将安全责任落实到每一个岗位和个人。每年修订安全绩效目标及管理过程考核规定，根据公司年度安全工作目标、部门月度安全目标及日常安全履责情况，实行严格的考核“直奖直罚”制度，并将安全绩效纳入员工和部门的目标考核体系，与薪酬挂钩，以此促使全员安全生产责任得以层层落实^[2]。

3. 安全培训教育

公司建立了系统的安全培训规章制度，明确了员工定期安全培训、新进员工“三级”安全培训、专项安全培训的具体要求。年初制定印发安全培训计划，并严格按照计划组织落实不同层级、不同岗位的安全教育培训^[3]。在“安全生产月”和“消防宣传月”期间，精心组织策划活动方案，通过开展安全知识讲座、应急演练、安全技能竞赛等多种形式的安全知识和技能培训教育活动，有效提升了全体员工的安全素质。

（二）存在问题

1. 部分安全风险识别不够充分

一是基层员工参与度低。基层员工参与风险辨识的积极性不高，对岗位涉及到的安全风险和防控措施的认识主要依赖实践和安全培训，缺乏主动探索和发现风险的意识。二是动态风险辨识滞后。动态安全风险辨识不够及时，当设备、技术、工艺以及生产规模发生变化后，产生的新的安全风险容易被遗漏，未能及时纳入风险管控体系。三是设备风险辨识不足^[4]。部分设备生命周期内的潜在风险辨识不够细致，对于不同设备维修过程的安全风险识别针对性不够强，未能充分考虑到设备维修时的特殊工况和潜在风险。

2. 部分员工安全生产责任落实不够到位

一是安全知识水平欠缺。部分员工安全知识水平不够高，对身边存在的安全风险缺乏敏锐的洞察力，存在“视而不见”的情况。二是安全检查流于形式。少数负有安全监督管理职责的基层人员日常安全检查不够细致，工作态度不认真，甚至将安全检查

工作流于形式，未能及时发现和纠正安全隐患^[5]。三是违规行为时有发生。部分员工存在违规作业、违章指挥、违反劳动纪律的现象，对安全生产规章制度缺乏敬畏之心，给生产安全带来了极大的隐患。

3. 安全管控信息化、智能化水平不够高

一是部分安防消防设备老旧，安全监管以人为主。部分消防安防设施已使用10年，设备老化严重，安全监管主要依靠人工进行，效率低下且存在一定的疏漏风险。二是系统独立协同性差。安防、消防设施多点分散，安防系统和消防系统之间相互独立，信息无法共享，导致安全监管水平受限，应急响应及时性受到影响。三是人工巡查效率低下。日常防火巡查以及消防灭火系统管网水压、气压，消防水池、水箱液位的日常监管仍以人工现场巡查方式进行，不仅耗费大量人力物力，而且效率低，无法实现实时监控和预警^[6]。四是隐患排查手段落后。隐患排查治理以人工现场检查和纸质表单记录为主，缺乏可视化和智能化的管控手段，排查工作量大，且数据统计和分析困难，难以对安全风险进行有效的评估和预测。

4. 安全教育培训针对性不够强

车间、班组级岗位安全教育针对性不强，培训内容未能紧密结合岗位实际需求，导致培训效果不佳。同时，缺少针对设备岗位安全操作规程的针对性培训，员工对风险管控措施掌握不牢固，在实际操作中容易出现违规行为，增加了安全事故发生的概率。

三、改进措施与建议

（一）进一步强化安全警示教育

定期开展安全警示教育活动，通过组织员工观看安全事故案例视频、参观安全事故现场、邀请专家进行安全知识讲座等方式，增强员工的风险感知能力，帮助员工树立正确的安全观念。安全警示教育活动能够让员工直观地感受引发安全事故的各种风险以及安全事故带来的严重后果，通过惨烈的事故图片、视频等带来的强烈视觉和心理冲击，使员工在工作中更加关注安全，自觉消除侥幸心理和麻痹大意思想，牢固树立安全生产是企业的生命线、员工的幸福线的正确认识，从而促使员工积极主动地参与到安全管理工作中来^[7]。

（二）开展“三违一控”专项活动

结合生产实际，聚焦生产现场安全、重点作业活动、安全意识、知识和技能培训等方面，深入开展“反三违一控”活动。建立详细的“不安全行为”清单，通过对清单中违规行为的分析和讲解，提升全员对“三违”（违章指挥、违章作业、违反劳动纪律）危害性的认识，使安全教育培训更具针对性^[8]。同时，督促员工认真学习各类安全规章制度，通过开展安全知识竞赛、安全操作技能比武等活动，提高员工的安全规范意识和安全技能水平，增强员工遵章守纪的自觉性，规范员工的安全作业行为，切实解决有章不循、执行不力、责任不落实等问题，保障安全规章制度的有效执行，提升安全管理水平，有效控制安全事故的发生。

（三）进一步细化安全风险识别与管控

组织专业技术人员和一线员工共同参与、开展重点设备的危险部位、关键活动的安全风险再识别、再评价工作。针对重点设备，逐一分析其危险部位和关键活动可能存在的安全风险，并对现有的防控措施进行有效性和适宜性评估。当生产工艺、设备、技术发生变化时，及时组织开展安全风险识别工作，制定相应的风险控制措施，并对措施进行评估和优化。规范隐患排查流程，细化明确检查标准，根据不同设备、不同作业环节的特点，制定详细的检查清单，提高安全检查的针对性和精细度。持续健全完善风险管控和生产安全事故隐患自查自改常态化机制，加强对风险管控措施执行情况的验证和隐患整治效果的跟踪评估，确保风险始终处于可控状态，隐患得到彻底整改。

（四）积极开展智慧安防项目建设

根据公司安全管理要求，坚持“问题导向”“系统集成”等原则，推进安防消防智慧化升级改造^[9]。建立覆盖公司所辖区域的智慧安全管控平台及应用体系，该体系应涵盖安防、消防设备管理、危险作业管理、消防维保监管、隐患排查治理、安全责任落实等业务管理需求。通过对公司厂区消防设施运行状态、重点区域隐患排查、电气安全监测、生产安全管理、治安防范监控、安全信息化等系统进行一体化耦合，实现安全管理工作的可视化、智能化和实时化，做到安全管理工作“看得见、管得住、能预警”。例如，利用物联网技术实现对消防设施的实时监测，当消防设施出现故障或异常时，系统能够及时发出预警信号；通过大数据分析技术对安全隐患数据进行分析，预测安全风险趋势，提前采取防范措施，切实提升公司智慧安全管理水平，提高安全管理效率和本质安全水平^[10]。

（五）扎实推进安全生产标准化落地

围绕“抓规范、强执行、促提升”的工作重点，主动对标烟草行业安全生产标准化相关标准和要求，持续深化安全生产标准化再深化工作，不断提升建设质量和达标水平。制定安全生产标准示范部门、示范班组建设方案，明确示范部门和示范班组的创建标准和考核指标，通过树立标杆，以点带面，深入推进安全生产标准化向基层延伸。推动车间、班组自觉强化班组安全自主管理，将安全责任细化到每个岗位，把安全标准落实到每个场所，加强对安全生产标准化执行情况的监督检查和考核评价，确保标准化工作有效落地，促进安全责任全面落实。

四、结论

打叶复烤生产安全风险识别与管控是一项长期而艰巨的任务，关乎企业的稳定发展和员工的生命安全。通过对某打叶复烤企业生产加工中心的调研分析可知，虽然目前在安全风险管控方面已经取得了一定的成效，但仍然存在一些问题和不足。针对这些问题，提出的强化安全警示教育、开展“三违一控”专项活动、细化安全风险识别与管控、推进智慧安防项目建设以及扎实推进安全生产标准化落地等改进措施与建议，具有较强的针对性和可操作性。在实际工作中，企业应高度重视安全生产工作，持

续完善安全风险识别与管控体系，不断提升安全管理水平，确保打叶复烤生产经营活动安全、稳定、高效进行。同时，随着技术的不断进步和生产环境的变化，企业还需不断探索和创新安全管理模式，以适应新的安全挑战，为企业的可持续发展提供坚实的安全保障。未来，可进一步研究如何将人工智能、区块链等新兴技术应用于打叶复烤生产安全管理领域，以提升安全管理的智能化水平和数据安全性。

参考文献

- [1] 唐哲, 刘艺超, 赵小军等. 基于行为安全观察的安全管理模式研究 [J]. 学术研究, 2023, 40(08): 130-132.
- [2] 程瑞, 郭坤, 王文辉等. 基于智能物联的安全消防一体化应用与研究 [J]. 理论研究, 2022, (24): 157-159.
- [3] 强孝玉. 安防消防设施智能化集成系统在烟草企业安全生产中的应用 [J]. 河南科技, 2012, (10): 51.
- [4] 张书伟; 张子颖; 过伟民; 徐文韬; 彭玉富; 常乃杰; 周汉平. “黄金叶”品牌河南烟叶工业分选方法建立与应用 [J]. 烟草科技, 2022, 55 (07): 73-82
- [5] 廖雪华. 打叶复烤均质化加工技术研究进展 [J]. 安徽农学通报. 2022, 28 (06): 133-134
- [6] 黄浩; 谢晋; 苏诏; 袁文彬; 梁增发; 沈思; 罗发明; 王维. 二次分选对云南烟叶等级质量和均质化复烤加工的影响 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50(06): 157-160
- [7] 张书伟; 过伟民; 陈祥; 张子颖; 徐文韬; 叶校坤; 周汉平; 常乃杰. 烤烟柔韧性与其在品质的相关分析 [J]. 中国烟草科学, 2022, 43(01): 82-88+95
- [8] 冀浩; 杨欣; 扈强; 关罗浩; 张震; 王初亮; 李超. 二次分选对湖南烤烟可用性的影响 [J]. 天津农业科学, 2020, 26(02): 34-36
- [9] 赖燕华; 汪军霞; 陶红; 柴国璧; 史清照; 毛健; 张启东; 范武; 刘俊辉; 王予; 林宝敏. 初烤烟叶辣感关键成分的感官导向分析 [J]. 烟草科技, 2020, 53(02): 55-61
- [10] 陆俊平; 潘泉冰; 袁玉通. 烟叶工业分级过程管理与质量控制方法探索 [J]. 农业装备技术, 2018, 44(06): 41-43

建筑工程项目风险管理研究

廖科

四川省机场集团，四川 成都 610000

DOI: 10.61369/ETQM.12242

摘 要： 本文针对建筑工程项目风险管理的理论与实践进行了深入探讨。文章概述了建筑工程项目风险管理的概念、特点及流程，为后续分析奠定了基础。详细阐述了风险识别与评估的方法及其结果，强调了全面识别和科学评估风险的重要性。探讨了风险规避、减轻、转移和接受等四种风险应对策略，并分析了各种策略的适用场景。然后，通过一个具体的机场改造建设项目案例，展示了风险识别、评估与应对策略在实际项目中的应用。

关 键 词： 建筑工程项目；风险管理；风险识别；风险评估；风险应对策略

Research on Risk Management of Construction Engineering Projects

Liao Ke

Sichuan Provincial Airport Group, Chengdu, Sichuan 610000

Abstract: This article conducts an in-depth exploration of the theory and practice of risk management in construction engineering projects. It provides an overview of the concepts, characteristics, and processes of risk management in construction engineering projects, laying a foundation for subsequent analysis. The methods and results of risk identification and evaluation are elaborated, emphasizing the importance of comprehensive identification and scientific evaluation of risks. Four risk response strategies, including risk avoidance, mitigation, transfer, and acceptance, are explored, and the applicable scenarios of each strategy are analyzed. Then, through a specific case study of an airport renovation and construction project, the application of risk identification, evaluation, and response strategies in practical projects is demonstrated.

Keywords: construction engineering projects; risk management; risk identification; risk evaluation; risk response strategies

在国家经济转型升级与新型城镇化战略深入实施叠加效应下，我国建筑业正经历着从规模扩张向质量效益提升的深刻变革。然而，伴随而来的建筑工程项目的复杂性增加，项目风险也日益成为行业发展的重大挑战。不确定性因素如设计变更、材料价格波动、施工安全等问题，都可能导致项目延期、成本超支甚至失败。因此，建筑工程项目风险管理作为一项关键的管理活动，其重要性日益凸显，成为行业关注的焦点。

一、建筑工程项目风险管理的理论概述

（一）建筑工程项目风险管理的概念

在建筑工程项目实施过程中，各种不确定因素可能导致项目目标无法实现或产生不良后果，这就是建筑工程项目管理风险。^[1]这一概念强调了风险管理的前瞻性和全过程性，要求项目管理者在项目的各个阶段都能够预见并处理潜在的风险。

（二）建筑工程项目风险管理的特点

1. 动态性：建筑工程项目从设计、施工到竣工的各个阶段，风险因素会随着项目的推进而不断变化，风险管理需要及时调整策略以适应这些变化。

2. 综合性：风险管理涉及多个领域，包括技术、经济、法律、环境等，要求管理者具备跨学科的知识 and 技能。

3. 不确定性：建筑工程项目面临的风险往往具有很强的不确

定性，难以精确预测其发生时间和影响程度。

4. 相对性：风险的影响和损失是相对的，不同的项目、不同的环境、不同的管理目标，对风险的容忍度和应对策略也会有所不同。

（三）建筑工程项目风险管理的流程

在项目管理中，风险管控极为关键。风险识别需全面收集信息，运用科学分析梳理项目全生命周期，挖掘潜在风险。风险评估对已识别风险量化分析，判断发生概率与影响程度，据此排序，为决策提供支撑。依据评估结论制定应对策略，如规避、减轻、转移或接受风险。项目实施时，风险监控不可或缺，要动态跟踪风险变化，评估应对措施效果并适时调整。与此同时，构建畅通信息渠道，保障项目团队与利益相关者有效沟通风险，协同应对，助力项目达成目标。

二、建筑工程项目风险识别与评估

（一）建筑工程项目风险识别

1. 风险识别的方法

风险识别是风险管理的首要步骤，其核心在于确定那些可能在项目中引发负面影响的因素。^[2]为了全面地揭示潜在风险，实践中常常采用多种方法相结合的策略。其中，与项目相关的专家进行深入交流，可以充分利用他们的专业知识和丰富经验，从而识别出潜在的风险点。此外，项目团队成员通过头脑风暴的方式，自由地发表意见，尽可能广泛地列举出各种可能的风险。同时，通过对过去类似项目中的风险事件进行分析，可以从中发现那些可能会再次出现的风险。项目自身的SWOT分析也是一个不可或缺的工具，它帮助我们项目的优势、劣势、机会和威胁四个维度，全方位地识别风险。

2. 风险识别的结果

风险识别的结果通常是一个风险清单，列出了所有识别出的风险事件，包括风险的描述、可能的影响、潜在的原因等。这个清单将为后续的风险评估提供基础。

（二）建筑工程项目风险评估

1. 风险评估的方法

风险评估是对项目中识别出的风险进行深入分析的过程，旨在量化或定性判断这些风险对项目的具体影响以及发生的可能性。^[3]为了更加准确地评估风险，实践中常采用多种方法相结合的策略。其中，通过构建概率与影响矩阵，可以有效地对风险进行分类和排序，确保项目团队能够关注那些概率和影响程度都较高的风险。此外，定量风险分析利用统计数据和概率模型，对风险的可能性和影响进行量化评估，从而为项目团队提供更为精确的风险信息。蒙特卡洛模拟则通过模拟项目多次执行的结果，来评估风险的概率分布，帮助项目团队更好地理解风险的不确定性。最后，敏感性分析则用于评估项目结果对特定风险因素的敏感程度，从而帮助项目团队识别那些对项目成功至关重要的风险因素。这些风险评估方法的综合运用，可以大大提高项目团队对风险的认识和理解，为制定有效的风险应对策略提供有力的支持。

2. 风险评估的结果

风险评估的结果通常包括对每个风险的评分或排名，以及对项目整体风险的评估。这些结果有助于项目团队确定哪些风险需要优先处理，并制定相应的风险应对策略。

三、建筑工程项目风险应对策略

（一）风险规避

风险规避是指采取措施消除特定的风险源，或保护项目免受风险影响的策略。这通常涉及到改变项目计划，以避免与已识别的风险相关的负面后果。^[4]例如，如果某个特定的施工方法被评估为风险过高，项目团队可能会选择采用另一种更安全的方法。

（二）风险减轻

风险减轻是采取措施来降低风险的概率和/或影响的风险应对

策略。这可能包括采用更严格的安全措施，使用更可靠的材料，或者增加备用设备来减少风险发生时的损失。风险减轻的目标是使风险处于一个可接受的范围内。

（三）风险转移

风险转移是将风险责任转移给第三方的策略。这通常通过保险、履约保证、担保或合同条款来实现。^[5]例如，建筑公司可能会购买保险来转移与自然災害相关的风险。通过风险转移，项目团队可以减轻潜在的财务负担。

（四）风险接受

风险接受是指项目团队决定不采取任何措施来应对已识别的风险，而是接受风险可能带来的后果。这种策略通常用于那些被认为影响较小，或者应对措施成本高于风险本身造成的损失的情况。在采取风险接受策略时，项目团队应当确保有足够的资源来应对风险发生时的后果。

四、建筑工程项目风险监控与沟通

（一）风险监控

1. 风险监控的方法

风险监控是建筑工程项目管理中不可或缺的一环，它涉及对已识别风险状态的持续跟踪和对项目环境中潜在新风险的实时监测。^[6]为了确保风险管理的有效性，项目团队通常会采用一系列的风险监控方法。定期对项目进行风险审计，可以验证风险应对措施的实施效果，及时调整策略以应对新的风险挑战。通过前景分析，项目团队可以评估项目进展情况，预测未来可能出现的风险，并据此调整风险应对策略。定期的项目状态会议则为团队成员提供了一个讨论风险状况和应对措施执行情况的平台，促进了信息的交流和决策的制定。此外，建立预警机制，如警报系统，可以在风险达到预定阈值时立即触发行动，确保项目团队能够迅速响应。这些方法的综合运用，有助于项目团队及时掌握风险动态，采取相应措施，保障项目的顺利推进。

2. 风险监控的结果

风险监控的结果通常包括更新的风险登记册、风险趋势分析、风险应对措施的效果评估，以及任何新识别的风险。^[7]这些信息对于项目团队来说至关重要，因为它们提供了决策支持和项目调整的依据。

（二）风险沟通

1. 风险沟通的方法

风险沟通是确保项目团队与利益相关者之间关于风险信息有效传递的关键过程。为了实现这一目标，项目管理者需要采取多种沟通手段，以促进信息的透明度和行动的一致性。定期的风险报告提供了风险状况和应对措施执行情况的全面概述，确保所有利益相关者都能够获得最新的风险信息。此外，通过召开专门的风险讨论会议，可以促进直接的交流和深入的讨论，让所有参与者共同参与到风险信息的分析和决策中来。项目管理信息系统的利用则进一步强化了风险信息的及时更新和共享，为项目团队提供了一个中央平台，以便于访问和交流风险相关数据。同时，个

人沟通作为传递关键风险信息的重要方式，能够确保信息被正确理解并促使相关方采取必要的行动。^[8]这些方法的综合运用，有助于构建一个风险意识强、响应迅速的项目环境，从而提高整个项目的风险管理效率。

2. 风险沟通的结果

风险沟通的结果是确保所有利益相关者对项目风险有共同的理解，并采取一致的行动。这包括达成共识的风险应对策略、明确的责任分配，以及所有相关方对风险状况的认同。通过有效的风险沟通，可以增强团队的协作，提高项目成功的可能性。

五、案例分析

（一）案例背景

本案例选取了一个大型机场提升改造建设项目。该项目包括新增安检通道、两舱休息室及行李系统改造等多个部分，总投资额达到玖仟肆百万元人民币。由于项目的特殊性，施工难度大，施工工人对航站楼施工安全措施和管理措施的标准及重要性认知不到位，同时存在施工过程中会衍生出噪声、气味、粉尘服务投诉风险，且需要考虑到周边环境和运行的影响，因此风险管理显得尤为重要。^[9]

（二）风险识别与评估

在项目启动阶段，项目团队通过专家访谈、历史数据分析、SWOT分析等方法，识别出了包括设计变更、施工安全、成本超支、工期延误等一系列潜在风险。随后，团队利用概率与影响矩阵对这些风险进行了量化评估，确定了它们对项目的具体影响和发生可能性。

（三）风险应对策略

为了有效应对项目中识别和评估出的风险，项目团队精心制定了一系列的风险应对策略。对于那些可能导致重大安全风险的风险，如特定的施工方法，项目团队采取了风险规避的策略，通过改变施工方案来彻底消除这些风险。在施工安全方面，团队通过实施更严格的安全标准和加强监督措施，有效减轻了施工过程中的安全风险。同时，为了控制成本，团队引入了先进的成本控制和管理系统，以此减轻了成本超支的风险。针对一些不可控的风险，如自然灾害，项目团队选择了风险转移的策略，通过购买适当的保险和政策，将这些风险转移给了第三方。^[10]而对于那些影响较小或应对成本过高的风险，项目团队则选择了风险接受的策略，并预先准备好了应对措施，以便在风险发生时能够迅速作出反应。这些策略的制定和执行，体现了项目团队对风险管理的深刻理解和灵活应对能力，为确保项目的顺利进行提供了坚实保障。

六、结束语

通过对建筑工程项目风险管理的深入研究，本文不仅分析了项目风险管理的理论框架，还结合实际案例，详细探讨了风险识别、评估、应对策略等关键环节。这些研究成果对于建筑企业和

项目管理者来说，具有重要的指导意义。

建筑工程项目风险管理是一个复杂而持续的过程，它要求项目团队具备高度的专业知识和敏锐的风险意识。通过有效的风险管理，项目团队可以最大限度地降低风险带来的损失，提高项目的成功率。然而，风险管理并非一蹴而就，它需要项目团队在项目全生命周期中持续投入精力和资源。

未来，随着建筑行业的发展和技术的进步，项目风险管理将面临更多的挑战和机遇。建筑企业和项目管理者需要不断学习和创新，以适应不断变化的市场环境和项目需求。希望通过本文的研究，能够为建筑企业和项目管理者提供有益的参考和启示，推动建筑工程项目风险管理水平的不断提升。

最后，感谢所有参与本研究的人员和机构，没有你们的辛勤工作和无私奉献，本研究无法顺利完成。希望通过共同努力，能够为建筑工程项目风险管理的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]董青峰.浅谈建筑工程项目管理风险及其防范措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(12):61-63.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202412021.
- [2]王昊宇,吕婉晖,张尚,等.我国工程项目实施关键风险因素研究[J].项目管理技术,2024,22(04):73-77.
- [3]孙阳.建筑工程项目风险管理探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(05):33-35. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202405011.
- [4]王涛.建筑工程项目中的风险管理与应对策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(05):45-47.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202405015.
- [5]潘红燕.简谈建筑工程项目管理风险及其防范措施[J].大众标准化,2023,(24):102-104.
- [6]乔俊,张燕琴.我国建筑工程项目风险管理标准化现状及对策研究[J].中国标准化,2023,(23):105-108.
- [7]赵玉改.关于建筑工程项目财务管理风险及其规避措施的探讨[J].广东经济,2023,(16):47-49.
- [8]李益丰.建筑工程项目的财务管理风险防范[J].纳税,2023,17(32):73-75.
- [9]周鑫,王鹏,张鑫雨.建设工程项目双重预防机制建设的实施探讨[J].建筑安全,2023,38(10):68-71+77.
- [10]李跃.建筑工程项目施工风险管理研究[J].建筑技术开发,2023,(S2):11-13.

