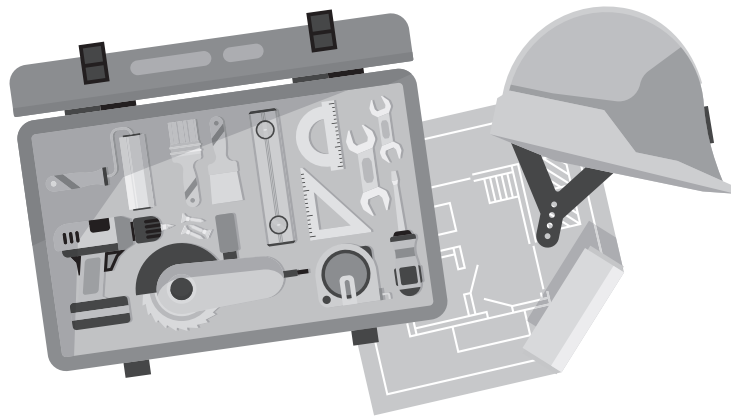


工程技术 与质量管理

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6期 2025年6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:

- 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。
- 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。
- 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。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 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 | 探究多级离心泵维修常见故障分析及处理措施
Explore the Common Fault Analysis and Treatment Measures of
Multi-Stage Centrifugal Pump Maintenance | 叶昊诚, 李贺
Ye Haocheng, Li He |
| 004 | 矿山地质环境问题与治理
恢复技术研究
Research on Mine Geological Environment Issues and Restoration
Techniques | 王宏宇, 马永龙, 王海军, 王振虎, 庞建宏
Wang Hongyu, Ma Yonglong, Wang Haijun, Wang Zhenhu, Pang Jianhong |
| 007 | 高层建筑施工中地基检测与沉降观测技术
Foundation Detection and Settlement Observation Techniques in
High-rise Building Construction | 马军
Ma Jun |
| 010 | 工程施工阶段安全管理体系与施工风险控制研究
Research on Safety Management System and Construction Risk
Control in the Engineering Construction Phase | 黎剑锋
Li Jianfeng |
| 013 | AI技术在自动售检票中的应用
Application of AI Technology in Automatic Fare Collection | 朱茂宝
Zhu Maobao |
| 016 | HAZOP分析在LNG接收站运用论述
Application of HAZOP Analysis in LNG Terminal | 常英杰
Chang Yingjie |
| 020 | 基于机械强度分析的集装箱标准化尺寸优化研究
Research on the Optimization of Standardized Container Sizes
Based on Mechanical Strength Analysis | 张洪勇
Zhang Hongyong |
| 023 | 高温隧道衬砌混凝土温度裂缝成因分析与防治措施研究
Analysis of Causes and Prevention Measures for Temperature
Cracks in High-Temperature Tunnel Lining Concrete | 蒋运奎
Jiang Yunkui |
| 026 | 基于增材制造技术的汽车复杂零部件定制化生产工艺研究
Research on Customized Production Process of Complex Automotive
Parts Based on Additive Manufacturing Technology | 盛钢
Sheng Gang |
| 029 | 关于超大直径盾构长距离海底对接技术分析
Analysis of Long Distance Underwater Docking Technology for
Ultra Large Diameter Shield Tunnels | 洪扬
Hong Yang |
| 032 | 工程造价管理信息化建设研究
Research on Information Construction of Project Cost Management | 黄煌
Huang Huang |
| 035 | 浅谈施工方案对成本的影响
A Brief Discussion on the Impact of Construction Plans on Costs | 刘飞
Liu Fei |
| 038 | 农药残留检测技术在食品检测中的实践探究
The Practice Exploration of Pesticide Residue Detection
Technology in Food Detection | 宋婷婷, 胡珍珍
Song Tingting, Hu Zhenzhen |
| 041 | 市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理探究
Exploration of Construction Site Management of Municipal Infrastructure
Station Maintenance and Construction Project | 汪成名
Wang Chengming |
| 044 | 民用建筑防雷接地施工质量控制研究
Research on Construction Quality Control of Lightning Protection and
Grounding for Civil Buildings | 李虎
Li Hu |

047	燃气突发事件应急管理处置探究 Exploration on Emergency Management and Disposal of Gas Accidents	方爱民, 周自军, 廖龙萍 Fang Aimin, Zhou Zijun, Liao Longping
050	工业管道不停输在线检验检测技术分析 Analysis of Online Inspection and Detection Technology for Industrial Pipelines without Shutdown	杨湘, 梁晶, 于涛 Yang Xiang, Liang Jing, Yu Tao
053	通信工程监理体系构建与实施策略 Construction and Implementation Strategy of Telecommunication Engineering Supervision System	杨金凤, 李新阳, 秦洋 Yang Jinfeng, Li Xinyang, Qin Yang
056	航天型号工艺管理与信息化融合的质量控制策略 Quality Control Strategies for the Integration of Process Management and Informatization in Aerospace Model Development	沈碧珍, 吴京萍 Shen Bizhen, Wu Jingping
059	故障诊断技术在烟草机械运行维护中的应用和发展趋势 Application and Development Trend of Fault Diagnosis Technology in Tobacco Machinery Operation And Maintenance	朱建松, 张振武 Zhu Jiansong, Zhang Zhenwu
062	轨道交通信号工程建设项目质量控制的信息化管理模式探讨 Exploration of the Information Management Model for Quality Control in Rail Transit Signal Engineering Construction Projects	包安伦, 江松, 李梦豪, 刘嘉诚, 王立新 Bao Anlun, Jiang Song, Li Menghao, Liu Jiacheng, Wang Lixin
065	浅析高铁站房内外装修设计各专业之间接口问题 Analysis of Interface Issues Among Various Professionals in the Interior and Exterior Design of High-speed Railway Station Buildings	李德胜 Li Desheng
069	库区滑坡涌浪减灾措施研究现状与展望 Research Status and Prospects of Landslide-induced Wave Mitigation Measures in Reservoir Areas	谭青青, 马联华 Tan Qingqing, Ma Lianhua
072	探究新能源项目进度管理中关键影响因素及应对之策 Exploring Key Influencing Factors and Countermeasures in the Progress Management of Renewable Energy Projects	李红强 Li Hongqiang
075	基于系统方法实施电子产品技术状态管理 Implementing Configuration Management of Electronic Products Based on Systematic Method	任晓梅, 刘天娇, 蔡戡, 张腾飞, 翁丰壕 Ren Xiaomei, Liu Tianjiao, Cai Jian, Zhang Tengfei, Weng Fenghao

水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

078	基于配水管网漏损管控的 DMA 技术及泵阀联合调控的压力优化研究 Research on Pressure Optimization Based on DMA Technology and Combined Control of Pump and Valve for Water Distribution Network Leakage Control	林仁焕 Lin Renhuan
081	电能分析在企业节能降耗中的应用与效益评估 Application and Benefit Evaluation of Electric Energy Analysis in Energy Saving and Consumption Reduction of Enterprises	吕国昭, 杨卓, 张雪 Lv Guozhao , Yang Zhuo, Zhang Xue
085	可再生能源发电制绿氢及其在氨、甲醇合成中的应用 Renewable Energy Generation for Green Hydrogen Production and Its Application in Ammonia and Methanol Synthesis	王伟明, 刘滢洁 Wang Weiming , Liu Yingjie
089	火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术分析 Technical Analysis of Waste Heat Utilization of Flue Gas At the Tail of Boiler of Thermal Power Plant	安柠灿 An Ningcan
092	风电混塔吊装过程中的安全与效率优化 Safety and Efficiency Optimization of Wind Power Hybrid Tower Lifting Process	吕文健 Lv Wenjian
095	电力监控网络安全智能分析管控系统 Intelligent Analysis and Control System for Power Monitoring Network Security	郭珍奇, 卢诗特 Guo Zhenqi, Lu Shite

路桥工程 | ROAD AND BRIDGE ENGINEERING

098	城市桥梁施工中预应力张拉技术应用研究 Research on the Application of Prestressed Tension Technology in City Bridge Construction	熊朝阳 Xiong Zhaoyang
102	基于 BIM 技术的高速公路施工管理措施 Highway Construction Management Measures Based on BIM Technology	余阳 Yu Yang
105	高速公路隧道施工超前支护施工技术的应用 Application of Advance Support Construction Technology in Highway Tunnel Construction	涂臻 Tu Zhen
108	绿色公路建设中废旧材料再生利用技术探讨 Discussion on the Recycling Technology of Waste Materials in Green Highway Construction	宋丽福 Song Lifu
111	基于 BIM 技术的工程项目进度管理优化路径探析 Exploration of Optimization Path for Engineering Project Progress Management Based on BIM Technology	赵仕明 Zhao Shiming
114	新基建背景下公路工程 BIM+GIS 数字化建设新模式探索 Exploration of a New Digital Construction Model for Highway Engineering Based on BIM+GIS in the Context of New Infrastructure Development	张明敏, 黄方, 王爽, 彭均颖 Zhang Mingmin, Huang Fang, Wang Shuang, Peng Junying

探究多级离心泵维修常见故障分析及处理措施

叶昊铖, 李贺

沈阳格瑞德泵业有限公司, 辽宁 沈阳 110326

DOI:10.61369/ETQM.2025060001

摘 要 : 多级离心泵作为工业领域中广泛应用的流体运输设备, 其稳定性对生产连续性保障十分重要。在其长期运行阶段, 难以避免出现各种各样的故障。基于此, 本文主要分析多级离心泵维修常见故障, 并进一步阐述相应的处理措施, 以此确保工业生产顺利进行。

关 键 词 : 多级离心泵; 常见故障; 故障分析; 处理措施

Explore the Common Fault Analysis and Treatment Measures of Multi-Stage Centrifugal Pump Maintenance

Ye Haocheng, Li He

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

Abstract : as a fluid transportation equipment widely used in the industrial field, the stability of multi-stage centrifugal pump is very important to ensure the continuity of production. In its long-term operation phase, it is difficult to avoid a variety of failures. Based on this, this paper mainly analyzes the common faults of multi-stage centrifugal pump maintenance, and further expounds the corresponding treatment measures, so as to ensure the smooth progress of industrial production.

Keywords : multistage centrifugal pump; common faults; failure analysis; treatment measures

引言

多级离心泵具有扬程高、流量稳定等特征, 可以运用到诸多工业领域。其通过多个叶轮串联可以将机械能传递给液体, 进而实现液体高压输送, 因为其工作环境较为复杂, 如果受到高温、高压等因素的影响, 多级离心泵在运行时就容易出现故障问题。一旦发生故障, 不仅会导致设备停机而降低生产进度, 还会造成能源浪费。因此, 有效分析多级离心泵常见故障并采取相应处理措施, 对保障设备正常运行、提高生产效益有重要意义。

一、多级离心泵的工作原理及结构特点

(一) 工作原理

多级离心泵的工作主要是基于离心力原理, 当泵轴带动叶轮高速旋转时, 叶轮中心叶片驱使液体随之旋转, 在离心力的作用下, 液体会从叶轮中心甩向叶轮外缘, 速度和压力也会增加^[1]。而在液体进入导叶时, 速度也会逐渐降低, 部分动能会转化为压力能, 最后从泵出口排出。在叶轮中心处, 因液体被甩出形成低压区, 外界液体在大气压作用下则会不断吸入叶轮, 从而实现液体连续输送。通过多个叶轮依次对液体做功, 多级离心泵能产生较高扬程, 进而更好满足不同工况下的需求。

(二) 结构特点

针对于多级离心泵结构来讲, 主要组成泵体、叶轮、轴、轴承、密封装置、导叶等部件。泵体通常采用分段式或蜗壳式结构, 分段式结构便于维修更换内部部件, 蜗壳式结构则具有较高

水力效率^[2]; 叶轮是泵的核心部件, 由多个叶片组成, 其形状尺寸对泵的性能有重要影响; 轴主要用于传递扭矩, 并带动叶轮旋转, 其强度要满足标准要求, 以保证泵稳定运行; 轴承用于支撑轴, 会承受径向和轴向力; 密封装置作用是防止液体泄漏和空气进入泵内; 导叶则主要用于引导液体流动, 使液体在叶轮之间顺利过渡, 这对于提高泵的运行效率有一定帮助。

二、多级离心泵维修常见故障分析

(一) 轴承损坏

当轴承损坏时, 泵在运行期间会产生一系列异常状况, 如异常噪声, 这种噪声往往是尖锐的金属摩擦声或沉闷撞击声, 通过听诊器贴近轴承部位就能听到这些异常声响。同时, 泵体还会出现明显振动, 这种振动会随着轴承损坏程度加剧愈发强烈。此外, 轴承部位的温度会急剧升高, 用手触摸轴承座, 能明显感觉

到烫手，严重时甚至会导致泵轴卡死，使泵无法正常转动。造成轴承损坏的原因复杂多样^[9]。从润滑方面来看，润滑油量不足是常见因素，会使轴承在运转时润滑不充分，各部件之间摩擦加剧会导致轴承磨损加快、发热严重。润滑油变质同样会带来问题，变质后的润滑油其润滑性能会受到影响，难以在轴承与其他部件之间形成有效的保护膜，进而会加速轴承损坏。

（二）密封泄漏

密封泄漏主要表现为泵体与轴之间有液体渗出，如果采用的是填料密封，可以直观地看到填料函处有液体滴漏现象，这些滴漏的液体会逐渐在周围积聚，不仅会造成液体浪费，还会对周围工作环境产生污染。若机械密封，正常情况下泄漏量会较小，但当密封失效时，同样也会出现大量泄漏情况，这不仅会严重影响泵的运行，还容易导致整个生产流程被迫中断。填料磨损是常见原因，在泵运行时，填料与轴之间会不断产生摩擦，长时间摩擦会使填料表面被磨损，其密封性能也会随之下降。另外，机械密封弹簧失效也会导致密封泄漏，弹簧的作用是提供足够的密封耐压，使密封面能够紧密接触，如果弹簧失效则无法提供足够压力，液体也会泄漏。

（三）叶轮磨损

叶轮磨损后，多级离心泵性能会有明显下降，流量与扬程都会降低，这说明在消耗相同能量的情况下，泵所能输送的液体量会减少。在运行时，泵还会出现异常噪声振动，这些异常现象会影响设备正常运行^[10]。基于这一问题，在拆解泵体时可以清晰地看到叶轮叶片表面存在不同程度磨损，造成叶轮磨损与输送介质和泵的运行条件有关，在输送介质中含有固体颗粒时，这些颗粒在高速流动的液体带动下，会不断冲击叶轮叶片表面，长时间冲击会使叶片表面被磨损。而且，颗粒硬度越高对叶轮叶片冲击力就越大，叶轮磨损也就越严重。

（四）泵体振动

泵体振动即为多级离心泵在运行时会出现剧烈晃动，连接管道也会振动。严重时。这种振动会导致基础松动、地脚螺栓断裂等问题，这不仅会对损害设备，还容易引发安全事故。同时，振动也会产生较大噪声，这种噪声既对工作环境带来干扰，同时还会缩短设备的使用年限^[11]。从叶轮角度来看，导致这一问题出现与叶轮制造质量不均匀有关，例如叶轮在铸造过程中存在内部缺陷，进而使叶轮各部分质量分布不一致，这样在旋转时就会偏离中心，进而引发泵体振动。

三、分析多级离心泵维修常见故障的处理措施

（一）轴承损坏处理措施

对于轴承损坏问题，要建立完善的润滑油检查制度，定期检查润滑油油位，确保油位在正常范围内，避免因润滑油量不足而导致轴承润滑不良。同时，相关工作人员也要定期检测润滑油品质，通过观察油的颜色、透明度及检测其各项性能指标判断润滑油是否变质。一旦发现润滑油变质，应及时更换新的润滑油。还要确保润滑系统畅通无阻，可定期清洗过滤器，以此过滤掉润

油中的杂质，如果过滤器堵塞，那么杂质就会进入轴承，并加剧轴承的磨损^[12]。还需要根据多级离心泵性能曲线科学调整泵的工作流量和排出压力，避免过载运行，可通过安装流量调节阀来根据生产需求对流量进行调节，同时配备案例传感器，以此来实时监测排出压力，一旦发现压力过高就可以及时采取措施进行调整。

（二）密封泄漏处理措施

当遇到密封泄漏故障时，若填料磨损严重，应及时更换新填料。在选择填料材质时，要考虑多级离心泵工作条件和输送介质性质，如果泵输送的介质温度较高，就要选择耐高温的填料，以确保在高温环境下填料仍能保持良好的密封性能；如果介质具有腐蚀性，就要选择耐腐蚀的填料，防止填料被介质腐蚀而失去密封作用。在更换填料时，应使用正确装填方法，即将填料逐圈填入填料函，每圈填料接口应错开 $120^{\circ} - 180^{\circ}$ ，这样可以避免接口处出现泄漏，然后拧紧压盖，使填料达到良好密封效果。如果是由于压盖松紧度不合适导致的泄漏，应适当调整压盖的压紧力，在调整时先松开压盖螺栓，然后逐渐拧紧，同时观察泄漏情况，直到泄漏量符合要求为止。但要注意不要过度压紧压盖，以免导致轴套磨损加剧而增加设备维护成本^[13]。另外，如果轴套磨损严重，需要及时修复或更换轴套，修复轴套可采用电镀、喷涂、堆焊等方法，电镀能够在轴套表面镀上一层金属，这对于提高轴套耐磨性和耐腐蚀性十分关键；喷涂则是将耐磨、耐腐蚀材料喷涂在轴套表面形成一层保护膜。在更换轴套时，应选择与原轴套相同规格的产品，确保安装质量，安装时要严格按照标准要求进行操作，保证轴套安装牢固且位置准确。

（三）叶轮磨损处理措施

在多级离心泵的运行过程中，叶轮磨损是一个不容忽视的常见故障，其会影响泵性能和运行稳定性。当输送介质含有固体颗粒时，叶轮磨损问题尤为突出。以某化工企业为例，该企业在生产过程中需要使用多级离心泵输送含有大量固体颗粒的浆料，起初由于没有对浆料进行预处理，在泵运行一段时间后，叶轮磨损严重，泵的流量和扬程急剧下降，无法满足生产需求。经检查发现，叶轮叶片表面布满了因固体颗粒冲击而产生的凹坑和划痕，磨损程度十分严重。针对这种情况，相关工作人员认识到了预处理的重要性，即在介质进入泵前进行了预处理，通过过滤、沉淀等方法去除其中的固体颗粒，全面地减少了颗粒对叶轮的磨损。方式即为在泵的进口管道上安装了过滤器，过滤器的目数依据介质中固体颗粒的大小进行了确定，选择目数合适、能有效拦截该粒径颗粒的过滤器，就可以确保将固体颗粒阻挡在泵外，从而降低叶轮磨损的风险。在这一基础上，也应建立定期清洗过滤器制度，以该化工企业为例，最初由于没有及时清洗过滤器，导致过滤器堵塞，浆料无法顺畅进入泵内，不仅影响了泵的正常运行，还加剧了叶轮的磨损^[14]。后来，企业制定了每周清洗一次过滤器的计划，在清洗过程中，工作人员会仔细检查过滤器的滤网是否破损，如有破损及时更换。通过定期清洗，过滤器始终保持良好的过滤效果，介质能够正常输送，叶轮的磨损情况也得到了有效缓解。

另外，当叶轮磨损严重到无法修复时，及时更换新的叶轮是保障泵正常运行的必要举措，在更换叶轮时，选择与原叶轮相同规格和性能的产品十分重要^[9]。同样以该化工企业为例，有一次在更换叶轮时，由于采购人员误采购了规格稍有差异的叶轮，安装后虽然泵能够运行，但出现了异常振动，流量和扬程也无法达到设计要求。经过重新更换符合规格的叶轮，才使泵恢复正常运行。只有确保这些细节都处理到位，才能提升新叶轮安装质量，使多级离心泵恢复良好运行状态。

（四）泵体振动处理措施

在多级离心泵运行过程中，泵体振动这一故障问题所带来的影响较大，既会干扰设备正常运行，还容易引发其他安全隐患，因此，应对这一故障采取有效的处理措施。在过程中可以对转子进行动平衡测试，这一测试需要在专业动平衡机上开展，该设备运用了先进传感技术和精密算法，能准确识别出不平衡质量在转子上的位置。例如，在某大型工厂的多级离心泵出现振动故障后，技术人员随之将转子拆卸下来，然后安装在了高精度的动平衡机上。通过动平衡机高速旋转和数据采集分析，确定了不平衡质量所在位置。在确定不平衡质量相关参数后，就可以通过在叶轮上钻孔、去重或加配重块等手段使转子达到平衡状态。钻孔去重这一操作，是在不平衡质量较大的部位，利用专业钻孔设备进行钻孔，从而去除一部分材料，以此减少不平衡质量。在实际操

作中，操作人员需要严格把控钻孔深度，确保去除的材料既可以解决不平衡问题，又不会对叶轮整体结构强度造成负面影响^[10]。除了对转子进行处理外，管道优化也是解决泵体振动问题的重要环节，增加管道支撑点是一个行之有效的方法，即在管道中增设支撑点，以便为管道提供更稳定的支撑结构。以某化工企业管道系统为例，原本管道支撑点较少，在多级离心泵运行时，管道与泵体之间因振动产生了较大作用力，加剧了泵体的振动。后来，企业在管道上每隔一定距离增设了支撑点，并选用了弹性支撑来缓冲振动。经过这样的改进，管道与泵体之间的相互作用力大幅减小，泵体振动得到了明显改善。

四、结束语

结合全文，多级离心泵在工业生产中有重要作用，对故障及时维修预防可确保生产稳定性。在过程中要明确故障产生原因，然后针对故障原因提出相应处理措施。同时在实际工作开展阶段，需要操作与维护人员加强对多级离心泵日常巡检，以确保多级离心泵安全、稳定运行。另外，随着科技的不断进步，还需要探索新的维修方法，进一步提高故障诊断准确性和维修效率，这对于保障工业生产顺利进行有一定的促进作用。

参考文献

[1] 曾阳. 石油化工厂卧式多级离心泵的维修技术要点 [J]. 设备管理与维修, 2025, (04): 55-57.
[2] 都斌, 易冬华, 鞠兆刚, 等. 多级离心泵滑动轴承的故障分析及策略 [J]. 设备管理与维修, 2024, (24): 109-111.
[3] 郑庆元, 路笃辉, 刘勇明. 单级离心泵机械密封维修周期及可靠性研究 [J]. 机电工程, 2023, 40 (06): 960-966.
[4] 贾成成. 浅析如何进行单级离心泵的检查及维修 [J]. 中国金属通报, 2022, (11): 189-191.
[5] 赵岩. 石油化工装置卧式多级离心泵检修技术探讨 [J]. 石油和化工设备, 2022, 25 (06): 89-92.
[6] 陈小虎. 多级卧式离心泵机械密封安装孔维修分析 [J]. 中国设备工程, 2021, (15): 48-49.
[7] 马俊, 杨军虎, 徐金鹏, 等. 黏性条件下基于导叶和叶轮匹配关系的多级导叶式离心泵 PAT 性能预测 [J]. 液压气动与密封, 2024, 44 (07): 14-19.
[8] 陈明华, 何杉, 张少锋, 等. 多级离心泵密封件磨损对运行效率的影响实验 [J]. 设备管理与维修, 2020, (15): 39-41.
[9] 管鹏智. 多级离心泵维修常见故障分析及处理方法 [J]. 中国设备工程, 2020, (08): 36-38.
[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.

矿山地质环境问题与治理恢复技术研究

王宏宇, 马永龙, 王海军, 王振虎, 庞建宏
青海煤炭地质—0五勘探队, 青海 西宁 810007
DOI: 10.61369/ETQM.2025060002

摘要： 本文深入研究矿山地质环境问题与治理恢复技术。通过分析矿山开采引发的各类地质环境问题及其成因，详细阐述土地复垦、矿山废水处理、矿山边坡治理等治理恢复技术的原理与应用，探讨治理恢复工作面临的挑战及应对策略，旨在为矿山地质环境保护与治理提供科学依据和技术支持，实现矿山资源开发与生态环境保护的协调发展。

关键词： 矿山地质环境；治理恢复技术；土地复垦；生态修复

Research on Mine Geological Environment Issues and Restoration Techniques

Wang Hongyu, Ma Yonglong, Wang Haijun, Wang Zhenhu, Pang Jianhong
Qinghai Coal Geology 105 Exploration Team, Xining, Qinghai 810007

Abstract： This article delves deeply into the issues of mine geological environment and restoration techniques. By analyzing various geological environmental problems caused by mining and their causes, it elaborates on the principles and applications of restoration techniques such as land reclamation, mine wastewater treatment, and mine slope management. It explores the challenges faced by restoration work and the corresponding strategies, aiming to provide scientific basis and technical support for the protection and management of the mine geological environment, and to achieve coordinated development between mine resource development and ecological environmental protection.

Keywords： mine geological environment; restoration techniques; land reclamation; ecological restoration

引言

矿山开采活动在为社会经济发展提供重要资源支撑的同时，也对矿山地质环境造成了严重破坏。矿山地质环境问题不仅影响生态平衡、威胁人类生命财产安全，还制约了矿山的可持续发展。从区域生态系统角度看，矿山地质环境恶化会导致周边生物多样性锐减，破坏生态链完整性，影响生态系统的自我调节能力。因此，深入研究矿山地质环境问题，开发和应用有效的治理恢复技术，对于保护生态环境、促进矿山可持续发展具有重要意义。

一、矿山地质环境问题治理恢复的重要性

（一）生态系统修复

矿山地质环境问题致使生态系统遭受严重破坏，如土地资源破坏使植被大面积损毁，生态链断裂，生物栖息地丧失。治理恢复能够重新构建生态系统的基础，通过土地复垦恢复植被覆盖，为生物提供生存空间，促进生物多样性的恢复。例如，在矿山废弃地种植适宜植物，吸引昆虫、鸟类等生物栖息，逐渐恢复生态系统的物种丰富度，使受损生态系统重新具备物质循环、能量流动等生态功能，增强生态系统的稳定性与自我修复能力。^[1]

（二）保障资源可持续利用

合理的矿山地质环境治理恢复有助于保障矿山资源的可持续开发利用。通过治理矿山废水污染，可保护周边水资源，为矿山生产及周边居民生活提供清洁水源，避免因水资源污染导致生产

中断或居民用水困难。对矿山边坡进行有效治理，可降低地质灾害风险，保障矿山开采活动的安全进行，减少因边坡失稳等灾害造成的资源浪费和开采中断，确保矿山资源能够持续稳定地供应社会经济发展需求。

（三）降低安全风险

矿山开采引发的边坡失稳、地面塌陷等地质灾害严重威胁矿山工作人员及周边居民的生命财产安全。治理恢复工作通过加固矿山边坡、填充采空区等措施，可有效降低地质灾害发生的概率。例如，对矿山边坡进行工程加固和植被护坡，增强边坡稳定性，减少滑坡、崩塌等灾害对人员和设施的威胁；对采空区进行科学处理，防止地面塌陷，保障矿山及周边区域的安全，为人们创造安全的生产生活环境。^[2]

二、矿山地质环境问题分析

（一）土地资源破坏

1. 土地挖损

露天开采是导致土地挖损的主要方式。在露天煤矿开采中，大规模的表土剥离和矿石开采，会形成巨大的采坑，直接破坏大量土地。采坑周边的土地因开采活动导致地形地貌改变，土体结构破坏，土壤肥力下降，植被无法正常生长。据统计，每开采 1 万吨煤炭，露天开采约破坏 0.2 – 0.3 公顷土地。土地挖损还会改变区域水文地质条件，使得地表径流和地下水位发生变化，影响周边农业灌溉和居民用水。^[3]

2. 土地压占

矿山开采过程中产生的废渣、尾矿等废弃物大量堆积，压占了大量土地。尾矿库、排土场等占用的土地往往难以自然恢复植被，且随着矿山开采规模的扩大，压占土地面积不断增加。例如，一些有色金属矿山的尾矿库占地面积可达数百公顷，严重浪费了土地资源。被压占土地的土壤结构被破坏，通气性和透水性变差，土壤微生物活动受限，进一步阻碍植被恢复。

（二）矿山废水污染

1. 酸性废水产生

硫化物矿石在开采过程中暴露于空气中，经氧化作用产生酸性废水。例如，在铜矿开采中，黄铜矿（ CuFeS_2 ）氧化生成硫酸，使废水 pH 值降低，一般可低至 2 – 4。酸性废水含有大量重金属离子，如铜、铅、锌、镉等，对土壤、地表水和地下水造成严重污染。酸性废水渗入地下，会腐蚀地下管道和建筑物基础，缩短其使用寿命，增加安全隐患。^[4]

2. 重金属污染

矿山废水中的重金属离子随水流扩散，进入周边水体和土壤。重金属在土壤中累积，会改变土壤理化性质，影响土壤微生物活性，降低土壤肥力，导致农作物减产甚至绝收。在水体中，重金属会对水生生物产生毒性作用，破坏水生生态系统平衡。例如，汞污染会导致鱼类体内汞含量超标，通过食物链危害人体健康。长期饮用受重金属污染的水源，还可能引发人体神经系统、心血管系统等多种疾病。

（三）矿山边坡失稳

1. 边坡开挖影响

矿山开采中的边坡开挖改变了山体原有的应力状态。随着开挖深度增加，边坡坡度变陡，岩土体的稳定性降低。在露天金属矿山开采中，边坡高度可达数百米，边坡角度一般在 $45^\circ - 70^\circ$ 之间，这种高陡边坡极易发生滑坡、崩塌等地质灾害。边坡失稳不仅威胁矿山开采作业人员安全，还可能堵塞河道，引发洪水等次生灾害，对周边居民生命财产造成严重威胁。

2. 爆破振动影响

矿山开采中的爆破作业产生的振动对边坡稳定性有显著影响。爆破振动使岩土体内部结构松动，裂缝扩展，降低了岩土体的抗剪强度。长期频繁的爆破振动，会使边坡逐渐失去稳定性，增加滑坡、崩塌等灾害发生的概率。例如，在一些露天煤矿开采中，因爆破振动导致边坡局部岩体脱落，威胁开采作业安全。爆破振动还可能对周边建筑物造成损坏，引发居民投诉和纠纷。^[5]

三、矿山地质环境治理恢复技术

（一）土地复垦技术

1. 表土剥离与存储

在矿山开采前，对地表土壤进行剥离，并妥善存储。表土是土地复垦的关键资源，其含有丰富的有机质、微生物和植物种子。剥离表土时，应根据土壤类型和质地分层剥离，一般表层熟土厚度为 20 – 30 厘米，下层生土厚度为 30 – 50 厘米。将剥离的表土存储在专门设置的表土堆场，采取防护措施防止水土流失。存储表土时，可采用土工布覆盖、设置截排水沟等方式，减少雨水冲刷和风力侵蚀，确保表土质量。^[6]

2. 土地平整与土壤改良

在采空区或废渣堆积区进行土地平整，根据地形和土地利用规划，将土地平整为适宜耕种或建设的地形。对于因采矿活动导致土壤肥力下降的区域，进行土壤改良。添加有机肥料、石灰等物质，调节土壤酸碱度，提高土壤肥力。例如，在酸性土壤中，每公顷可施加 1 – 2 吨石灰，使土壤 pH 值升高到适宜植物生长的范围。还可添加生物菌肥，促进土壤中有益微生物繁殖，改善土壤结构，提高土壤保水保肥能力。

3. 植被恢复

选择适合当地气候和土壤条件的植物进行植被恢复。优先选用乡土植物，如在北方矿山，可种植刺槐、紫穗槐等耐旱、耐贫瘠植物；在南方矿山，可种植马尾松、相思树等。采用直播、植苗等方式进行种植，合理密植，提高植被覆盖率。同时，加强植被后期养护管理，确保植被成活和正常生长。在植被养护中，定期浇水、施肥、修剪，防治病虫害，提高植被成活率和生长质量。

（二）矿山废水处理技术

1. 中和法

中和法是处理酸性矿山废水常用的方法。向酸性废水中加入碱性物质，如石灰、氢氧化钠等，调节废水 pH 值。以石灰为例，其主要成分 CaO 与酸性废水中的 H^+ 发生反应： $\text{CaO} + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ，使废水 pH 值升高，重金属离子形成氢氧化物沉淀而去除。中和法操作简单，成本较低，但会产生大量沉淀污泥，需妥善处理。沉淀污泥可进行脱水、固化处理，用于填埋或制作建筑材料，实现废弃物资源化利用。^[7]

2. 生物修复法

生物修复法利用微生物的代谢作用去除废水中的重金属和有害物质。例如，硫酸盐还原菌可将废水中的硫酸盐还原为硫化氢，硫化氢与重金属离子反应生成硫化物沉淀。生物修复法具有成本低、环境友好等优点，但处理效率受微生物生长环境影响较大，需严格控制废水温度、pH 值等条件。可通过添加营养物质、调节废水流量等方式，优化微生物生长环境，提高生物修复效率。

（三）矿山边坡治理技术

1. 工程加固技术

采用锚杆、锚索、挡土墙等工程措施对矿山边坡进行加固。锚杆通过将岩体与稳定的岩体或土体相连，提高边坡岩体的抗滑能力。锚索则适用于高陡边坡，通过施加预应力，增强边坡岩体的稳定性。挡土墙可阻挡边坡岩土体下滑，一般采用混凝土或浆砌石结构。例如，在边坡下部设置重力式挡土墙，其依靠自身重力维持稳定，可有效防止边坡浅层滑动。在采用工程加固技术时，需根据边坡地质条件、稳定性分析结果，合理设计锚杆、锚

索的长度、间距和挡土墙的结构尺寸。^[8]

2. 植被护坡技术

植被护坡技术利用植物根系对岩土体的加固作用和植被对坡面的防护作用，提高边坡稳定性。植物根系可增加岩土体的凝聚力，减少坡面水土流失。常见的植被护坡方式有喷播植草、土工格室植草等。喷播植草是将草籽、肥料、土壤改良剂等混合后，通过高压喷枪喷射到坡面上；土工格室植草则是利用土工格室固定土壤和草籽，防止土壤流失，促进植被生长。在植被护坡施工中，要选择合适的草籽品种和配比，确保植被在不同季节都能发挥护坡作用。

四、矿山地质环境治理恢复工作面临的挑战

（一）技术应用成本高

矿山地质环境治理恢复技术，如土地复垦中的土壤改良、植被恢复，矿山废水处理中的生物修复等技术，前期设备购置、材料投入以及后期维护管理成本较高。对于一些经济效益较差的矿山企业，难以承担高昂的治理成本，导致治理工作进展缓慢。以生物修复技术为例，微生物培养设备、营养物质添加以及专业技术人员培训等都需要大量资金投入，增加了企业负担。

（二）治理标准不完善

目前，矿山地质环境治理恢复的相关标准和规范不够完善。不同地区、不同类型矿山的地质环境条件差异较大，但缺乏针对性的治理标准。在土地复垦中，对于土地复垦后的质量标准、植被覆盖率要求等缺乏明确统一规定，导致治理效果参差不齐。例如，不同地区对矿山废弃地植被恢复的植物种类和覆盖率要求差异较大，缺乏科学合理的统一标准，影响治理效果评估。^[9]

（三）监管力度不足

矿山地质环境治理恢复的监管体系不够健全，监管力度不足。部分矿山企业为追求经济效益，忽视地质环境治理责任，存在治理工作不到位、拖延治理等现象。监管部门因人员不足、技术手段落后等原因，难以对矿山地质环境治理工作进行全面、有效的监督管理。一些偏远地区的矿山，监管部门无法及时获取矿山开采和治理信息，导致违规行为难以及时发现和制止。

五、应对矿山地质环境治理恢复挑战的策略

（一）技术创新与成本控制

加大对矿山地质环境治理恢复技术的研发投入，鼓励科研机

构和企业开展技术创新。研发高效、低成本的治理技术，如利用新型材料降低矿山废水处理成本，开发智能化的边坡监测与治理技术提高治理效率。同时，优化治理方案，合理安排治理工序，降低治理过程中的能耗和材料浪费，综合控制治理成本。例如，研发新型吸附材料用于矿山废水处理，提高重金属去除效率的同时降低成本。

（二）完善治理标准体系

结合不同地区、不同类型矿山的特点，制定完善的矿山地质环境治理恢复标准体系。明确土地复垦、矿山废水处理、矿山边坡治理等方面的具体技术指标和质量标准。例如，规定不同类型矿山土地复垦后的土壤肥力指标、植被种类及覆盖率要求，为矿山地质环境治理工作提供科学依据和规范指导。通过实地调研、专家论证等方式，制定符合各地实际情况的治理标准，提高标准的可操作性。^[10]

（三）加强监管与执法力度

建立健全矿山地质环境治理恢复监管体系，加强监管队伍建设，提高监管人员的专业素质和执法能力。利用卫星遥感、地理信息系统（GIS）等技术手段，对矿山地质环境进行实时监测，及时发现和查处矿山企业的违法违规行。严格执行矿山地质环境治理恢复保证金制度，督促矿山企业履行治理责任，确保矿山地质环境治理工作落到实处。通过定期培训、考核等方式，提升监管人员业务水平，加强对矿山企业的日常监管。

六、结论

矿山地质环境问题严重制约了矿山的可持续发展，加强矿山地质环境治理恢复工作刻不容缓。通过深入分析矿山地质环境问题，如土地资源破坏、矿山废水污染、矿山边坡失稳等，针对性地应用土地复垦、矿山废水处理、矿山边坡治理等治理恢复技术，能够有效改善矿山地质环境。然而，在治理恢复工作中面临技术应用成本高、治理标准不完善、监管力度不足等挑战。通过技术创新与成本控制、完善治理标准体系、加强监管与执法力度等策略，能够有效应对这些挑战，推动矿山地质环境治理恢复工作的顺利开展，实现矿山资源开发与生态环境保护的协调发展。随着科技的不断进步和治理经验的积累，矿山地质环境治理恢复技术将不断完善，为矿山生态环境的修复和可持续发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 王芳, 于厚伟. 矿山地质环境恢复治理工程施工技术研究 [J]. 世界有色金属, 2024, (09): 115-117.
- [2] 刘练. 矿山地质环境保护与治理恢复技术探究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12): 288-290.
- [3] 任自信. 矿山地质环境问题与治理恢复技术研究 [J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38(01): 116-118.
- [4] 高文政, 余静. 金属矿山地质环境问题及恢复治理分析 [J]. 世界有色金属, 2024, (22): 147-149.
- [5] 赵亮. 煤矿地质环境问题分析及治理恢复技术 [J]. 矿业装备, 2023, (11): 105-107.
- [6] 孟和苏乙拉. 试论“矿山地质环境恢复治理+”思维在生态环境修复中的探索与应用 [J]. 西部资源, 2020(06): 191-194.
- [7] 吴景虎, 曹莉莉, 胡万长. 矿山地质环境恢复治理经验浅谈——以祁连山自然保护区甘肃某县矿区为例 [J]. 世界有色金属, 2020(10): 285-286.
- [8] 刘炎波. 矿山地质环境评估及恢复治理方案改进研究 [J]. 世界有色金属, 2020(12): 258-259.
- [9] 李超. 高次团粒喷播技术在矿山地质环境恢复治理工程实施中的应用 [J]. 建筑科技, 2020, 4(03): 107-110.
- [10] 胡平. 矿山地质环境恢复治理的思路——以信阳市光山县某矿区为例 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(05): 105-107.

高层建筑施工中地基检测与沉降观测技术

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.2025060003

摘要： 本文聚焦于高层建筑施工中的地基检测与沉降观测技术。通过深入剖析其在保障建筑安全与质量方面的重要意义，详细阐述多种地基检测技术及沉降观测技术的原理、操作流程与要点，探讨实际应用中面临的问题及应对策略，旨在为提升高层建筑施工中地基处理的科学性、准确性，确保建筑结构稳定性提供理论与实践指导。

关键词： 高层建筑施工；地基检测；沉降观测；技术要点

Foundation Detection and Settlement Observation Techniques in High-rise Building Construction

Ma Jun

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

Abstract： This article focuses on foundation detection and settlement observation techniques in high-rise building construction. By deeply analyzing their significant role in ensuring building safety and quality, it elaborates on the principles, operational procedures, and key points of various foundation detection and settlement observation techniques. It explores the challenges faced in practical applications and corresponding strategies, aiming to provide theoretical and practical guidance for improving the scientific and accurate handling of foundations in high-rise building construction, thereby ensuring the stability of the building structure.

Keywords： high-rise building construction; foundation detection; settlement observation; technical essentials

引言

随着城市化进程的加速，高层建筑在城市建设中占据着越来越重要的地位。高层建筑由于其自身高度大、荷载重的特点，对地基的承载能力和稳定性提出了极高的要求。地基检测与沉降观测技术作为保障高层建筑施工质量与安全的关键环节，能够及时发现地基存在的问题，监测建筑物在施工及使用过程中的沉降情况，为施工决策和建筑物长期稳定性评估提供重要依据。

一、地基检测技术在高层建筑施工中的应用

（一）原位测试技术

1. 标准贯入试验

标准贯入试验是一种广泛应用的原位测试方法。其原理是将一定规格的标准贯入器以规定的落距自由下落，将其打入土中一定深度，记录贯入过程所需的锤击数，通过锤击数与土的物理力学性质之间的经验关系，评估土的工程性质，如土的密实度、强度等。在高层建筑地基检测中，该试验可用于确定地基土的均匀性，判断地基土是否满足设计要求的承载能力，为地基处理方案的制定提供基础数据。在实际操作中，需严格按照规范要求，控制贯入器的落距精度在极小误差范围内，确保锤击能量稳定，以提高试验数据的可靠性。同时，对于不同土层，应合理确定试验深度间隔，以便更细致地了解地基土的变化情况。^[1]

2. 静力触探试验

静力触探试验是利用压力装置将探头匀速压入土中，同时测量探头所受到的贯入阻力，包括锥尖阻力和侧壁摩阻力。根据贯入阻力与土的性质之间的关系，划分土层并确定土的工程特性指标，如地基土的承载力、变形模量等。此试验具有连续、快速、精确等优点，能够获取较为全面的地基土力学参数，对高层建筑地基土层分布及性质的准确判断具有重要作用，有助于合理设计地基基础形式。为进一步提升该试验的准确性，可采用数字化传感器，实时传输和记录贯入阻力数据，避免人工读数误差。并且，在试验前对压力装置进行严格校准，保证施加压力的精度。^[2]

3. 动力触探试验

动力触探试验是将一定质量的落锤，从一定高度自由落下，将探头打入土中，根据打入土中的难易程度（即贯入度）来判断土的性质。与标准贯入试验不同的是，动力触探试验的能量更

大,适用于检测较深层或密实度较高的地基土。通过动力触探试验结果,可以确定地基土的密实度、承载力等参数,对于判断高层建筑深层地基土的承载能力及均匀性具有重要意义,为地基加固处理提供依据。在深层地基检测时,需考虑落锤高度与土的压实特性关系,合理调整落锤高度,防止因能量过大或过小导致检测结果偏差。同时,对试验过程中的贯入度数据进行实时分析,结合地质勘察资料,准确解读地基土性质。^[3]

(二) 地基土物理力学性质检测技术

1. 土的密度与含水量检测

土的密度和含水量是地基土的基本物理性质指标。土的密度检测常用方法有环刀法、蜡封法等。环刀法是用已知体积的环刀取土样,称出土样质量后计算出土的密度。土的含水量检测通常采用烘干法,即将土样在 105 – 110℃ 的烘箱中烘干至恒重,通过计算烘干前后土样质量差与烘干后土样质量的比值得到含水量。准确测定土的密度和含水量,有助于评估地基土的压实程度、稳定性以及土的工程力学性质,如抗剪强度等,为地基设计和施工提供关键数据。在进行环刀法密度检测时,环刀取土应保证土样的完整性,避免扰动,且称量过程中使用高精度天平,减小称量误差。对于含水量检测,烘箱温度需严格控制在规定范围,确保烘干效果一致,提高含水量测定精度。

2. 土的压缩性与抗剪强度检测

土的压缩性通过压缩试验测定,将土样置于压缩仪中,在不同压力下测定土样的压缩变形,从而得到土的压缩系数、压缩模量等指标,这些指标反映了土在压力作用下的变形特性,对于计算地基沉降量具有重要意义。土的抗剪强度检测常用直剪试验和三轴剪切试验。直剪试验设备简单、操作方便,通过对土样施加垂直压力和水平剪切力,测定土样在不同法向应力下的抗剪强度。三轴剪切试验则能更真实地模拟土在复杂应力状态下的抗剪特性,通过对土样施加围压和轴向压力,测定土样的抗剪强度指标,为高层建筑地基稳定性分析提供准确的力学参数。在压缩试验中,加载速率需严格按照规范控制,避免因加载过快或过慢影响土样变形特性的准确测定。对于三轴剪切试验,精确控制围压和轴向压力的施加精度,确保试验结果能真实反映土的抗剪强度。^[4]

(三) 地基完整性检测技术

1. 低应变法检测桩身完整性

低应变法是一种常用的桩身完整性检测方法,其原理是通过在桩顶施加一脉冲力,产生的应力波沿桩身传播,当桩身存在缺陷时,应力波在缺陷处会产生反射,通过检测反射波的特性,如反射波的幅值、相位、频率等,来判断桩身缺陷的位置、性质及严重程度。在高层建筑桩基础施工中,低应变法能够快速、经济地检测大量桩身的完整性,及时发现桩身缩颈、断裂、离析等缺陷,确保桩基础的承载能力满足设计要求。为提高低应变法检测精度,可采用多通道数据采集系统,同时采集多个位置的反射波数据,综合分析桩身完整性。并且,对检测信号进行滤波处理,去除噪声干扰,使反射波特征更清晰。

2. 声波透射法检测灌注桩完整性

声波透射法适用于检测灌注桩的完整性。在灌注桩施工时,在桩内预埋若干根声测管,检测时将超声发射探头和接收探头分别置于两根声测管中,通过发射和接收超声波,测量超声波在桩身混凝土中的传播速度、波幅、频率等参数。当桩身混凝土存在

缺陷时,超声波在缺陷处会发生绕射、反射和散射,导致传播参数发生变化,根据这些变化可判断桩身混凝土的完整性,确定缺陷的位置和范围。该方法检测结果准确、可靠,能够全面检测灌注桩的内部质量,对于保障高层建筑灌注桩基础的安全性至关重要。在声波透射法检测中,声测管的埋设质量直接影响检测结果。声测管应垂直、牢固地固定在钢筋笼上,且保证管内清洁无杂物,避免影响超声波传播。同时,合理选择超声发射频率,根据桩身混凝土特性调整检测参数,提高检测准确性。^[5]

二、沉降观测技术在高层建筑施工中的应用

(一) 沉降观测的原理与基准点设置

1. 沉降观测原理

沉降观测是根据水准测量原理,利用水准仪提供的水平视线,读取竖立在观测点和基准点上的水准尺读数,通过计算两点高差来测定观测点的高程变化,从而确定建筑物的沉降量。在高层建筑施工过程中,随着上部结构荷载的不断增加,地基土会产生压缩变形,导致建筑物发生沉降,通过定期进行沉降观测,能够实时掌握建筑物的沉降情况。为更精确地测定沉降量,可采用电子水准仪,其具备自动读数和数据记录功能,减少人为读数误差,且能对观测数据进行初步处理。

2. 基准点设置要点

基准点是沉降观测的基准,其稳定性直接影响观测结果的准确性。基准点应设置在远离建筑物、不受施工影响且地基稳定的区域,一般采用深埋水准点或专用基准点。基准点的数量应不少于 3 个,以便相互检核。在设置基准点时,要确保其埋设牢固,周围环境稳定,避免受到振动、位移等因素的干扰。同时,定期对基准点进行复测,检查其高程是否发生变化,保证基准点的可靠性。在基准点埋设时,可采用特殊的加固措施,如在基准点周围浇筑混凝土保护墩,增强其稳定性。并且,在复测时采用高精度测量仪器,确保基准点高程变化监测精度。

(二) 观测点的布置与观测方法

1. 观测点布置原则

观测点的布置应根据建筑物的结构特点、基础形式及地质条件等因素综合确定。一般在建筑物的四角、沿外墙每 10 – 15m 处、结构变形缝两侧、不同结构单元连接处以及基础形式变化处等部位设置观测点。观测点应设置在便于观测、不易损坏且能反映建筑物沉降特征的位置,确保能够准确监测建筑物各部位的沉降情况。对于复杂结构的高层建筑,可利用有限元分析等方法,预先模拟建筑物在不同荷载作用下的沉降分布,以此为依据优化观测点布置,提高观测效率和准确性。^[6]

2. 观测方法选择

沉降观测主要采用水准测量方法,分为二等水准测量和三等水准测量。对于高层建筑,由于对沉降观测精度要求较高,通常采用二等水准测量。二等水准测量要求前后视距差不超过 1.0m,前后视距累积差不超过 3.0m,基辅分划读数差不超过 0.5mm,基辅分划所测高差之差不超过 0.7mm 等严格的观测精度指标。在观测过程中,要保证仪器的稳定性,采用固定的观测路线和观测方法,尽量减少观测误差,确保观测数据的准确性和可靠性。为满足高精度观测要求,可采用带有补偿器的水准仪,减少仪器倾斜

对观测结果的影响。同时，观测人员应经过专业培训，熟练掌握观测操作技巧，严格按照观测规范进行作业。

（三）沉降观测数据处理与分析

1. 数据处理方法

沉降观测数据处理主要包括数据整理、平差计算和沉降量计算。观测完成后，首先对原始观测数据进行整理，检查数据的完整性和准确性，剔除异常数据。然后采用合适的平差方法，如条件平差、间接平差等，对观测数据进行平差计算，消除观测误差，得到各观测点的准确高程。最后根据不同观测周期观测点的高程变化，计算出各观测点在不同时间段的沉降量和累计沉降量。^[7]

2. 沉降分析与预警

通过对沉降观测数据的分析，绘制沉降－时间曲线、沉降分布曲线等，了解建筑物沉降的发展趋势和分布规律。当沉降量超过设计允许值或沉降速率异常增大时，应及时发出预警信号。分析沉降原因，可能是地基土压缩性过大、基础施工质量、上部结构荷载分布不均等，针对不同原因采取相应的处理措施，如加强地基加固、调整施工进度、优化上部结构设计等，确保建筑物的安全。^[8]

三、地基检测与沉降观测技术应用中的问题及应对策略

（一）地基检测技术应用问题及应对

1. 检测数据准确性问题

在地基检测过程中，由于检测设备精度不足、操作不规范、现场环境干扰等因素，可能导致检测数据不准确。例如，原位测试中设备的安装偏差、试验过程中的锤击能量不稳定等都会影响检测结果。应对策略是定期对检测设备进行校准和维护，提高设备精度；加强检测人员培训，规范操作流程；在检测现场采取必要的防护措施，减少环境干扰，确保检测数据的准确性。^[9]

2. 检测方法适用性问题

不同的地基土性质和工程要求需要选择合适的地基检测方法。如果检测方法选择不当，可能无法准确反映地基土的实际情况。例如，对于深层软土地基，采用浅层的原位测试方法可能无法获取准确的力学参数。应对策略是在检测前充分了解地基土的

性质、工程特点及设计要求，综合分析选择最适宜的检测方法，必要时可采用多种检测方法相互验证，提高检测结果的可靠性。

（二）沉降观测技术应用问题及应对

1. 观测精度控制问题

沉降观测精度受多种因素影响，如仪器精度、观测人员操作水平、观测环境等。观测过程中的视准轴误差、水准尺倾斜误差、大气折光影响等都会降低观测精度。应对策略是选用高精度的水准仪和水准尺，定期对仪器进行检验和校正；加强观测人员培训，提高操作技能；选择合适的观测时间，尽量避免在高温、大风、雨天等恶劣天气条件下观测，减少环境因素对观测精度的影响。^[10]

2. 观测数据异常处理问题

观测数据异常可能是由于观测点损坏、建筑物局部发生异常变形、观测误差过大等原因导致。当出现观测数据异常时，首先要对观测仪器、观测方法及观测点进行检查，排除观测误差和观测点损坏等原因。如果是建筑物局部异常变形导致数据异常，应及时对建筑物进行详细检查，分析变形原因，采取相应的加固或处理措施，确保建筑物安全。

四、结论

地基检测与沉降观测技术在高层建筑施工中起着至关重要的作用。通过合理应用原位测试、地基土物理力学性质检测、地基完整性检测等多种地基检测技术，能够准确评估地基土的工程性质和地基基础的质量，为高层建筑地基设计与施工提供可靠依据。沉降观测技术则能够实时监测建筑物在施工及使用过程中的沉降情况，通过对观测数据的处理与分析，及时发现沉降异常，采取有效措施保障建筑物的安全。在实际应用中，尽管面临检测数据准确性、检测方法适用性、观测精度控制、观测数据异常处理等问题，但通过采取相应的应对策略，加强设备管理、人员培训、方法选择及数据处理等工作，能够有效提升地基检测与沉降观测技术的应用水平，为高层建筑施工质量与安全提供有力保障。随着建筑技术的不断发展，地基检测与沉降观测技术也将不断创新与完善，为高层建筑的可持续发展奠定坚实基础。未来，应持续关注新技术的发展，不断探索更高效、准确的检测与观测方法，以适应日益复杂的高层建筑工程需求。

参考文献

- [1] 王艳丽. 房屋建筑地基基础工程的施工技术要点 [J]. 中国新技术新产品, 2019(24): 119-120.
- [2] 张立玺. 房屋建筑工程中的地基处理施工技术探讨 [J]. 住宅与房地产, 2019(36): 150.
- [3] 徐永飞. 建筑施工中地基处理技术的实践 [J]. 居舍, 2019(36): 48.
- [4] 王世森, 袁鹏举, 牛禾. 建筑工程地基基础检测的重要性和关键技术探讨 [J]. 中国建材科技, 2019, 28(06): 14+118.
- [5] 雷志芳. 高层住宅建筑深基坑施工沉降监测技术构建 [J]. 中国标准化, 2019(22): 57-58.
- [6] 高麒. 建筑地基工程沉降缝的施工技术与质量控制 [J]. 工程技术研究, 2019, 4(21): 31-32.
- [7] 王世森, 袁鹏举, 刘朋. 高层建筑施工中地基检测与沉降观测技术探析 [J]. 中国建材科技, 2019, 28(05): 30+16.
- [8] 李鹏. 高层建筑施工中地基检测与沉降观测技术分析 [J]. 工业 c, 2020.
- [9] 沈碧君. 建筑施工中地基检测与沉降观测技术的运用实践探微 [J]. 建筑知识, 2021.
- [10] 周忠伟, 王瑞杰, 饶才强. 建筑施工中地基检测与沉降观测技术实践探微 [J]. 工程技术: 全文版, 2022(12): 00154-00154.

工程施工阶段安全管理体系与施工风险控制研究

黎剑锋

应城市蒲鑫国有资本投资运营有限公司, 湖北 应城 432400

DOI:10.61369/ETQM.2025060004

摘要： 随着我国基础设施建设的不断发展，工程施工项目日趋复杂，安全管理与施工风险控制成为施工阶段的重要技术环节。构建系统完善的安全管理体系、制定科学的风险控制措施，对保障施工安全、提高工程质量具有重要意义。本文从工程技术角度出发，分析施工阶段常见的风险类型，探讨多层次的安全技术管理体系，并提出动态化的风险识别与控制手段，以期为工程施工现场提供有效的技术支持与管理保障。

关键词： 施工安全；风险控制；技术管理；动态识别；工程施工

Research on Safety Management System and Construction Risk Control in the Engineering Construction Phase

Li Jianfeng

Yingcheng Puxin State-owned Capital Investment and Operation Co., Ltd. Yingcheng, Hubei 432400

Abstract： With the continuous development of China's infrastructure construction, engineering construction projects are becoming increasingly complex, and safety management and construction risk control have become important technical aspects of the construction phase. Establishing a systematic and comprehensive safety management system and formulating scientific risk control measures are of great significance to ensure construction safety and improve project quality. From the perspective of engineering technology, this article analyzes common risk types in the construction phase, explores a multi-level safety technical management system, and proposes dynamic risk identification and control methods, aiming to provide effective technical support and management guarantees for the engineering construction site.

Keywords： construction safety; risk control; technical management; dynamic identification; engineering construction

引言

工程施工阶段是项目建设中最关键的环节，安全事故高发、风险因素复杂，直接影响工程进度与质量。有效的安全管理体系与科学的技术控制手段是保障施工安全的关键。本文将聚焦施工阶段的技术性问题，系统研究风险控制措施与安全管理技术的结合方式，提升现场施工的安全性和可控性。

一、施工阶段安全管理体系的构建与优化

（一）安全技术标准化体系构建

施工现场的安全管理标准化是控制风险的首要环节，需将安全技术标准细化至各工种、各工序操作流程。首先，在施工组织设计阶段，应同步编制专项安全技术方案，内容涵盖脚手架搭设、临边防护、高处作业、深基坑支护等关键环节，并落实技术交底，确保作业人员熟悉安全控制要点。其次，对不同施工节点建立统一的技术作业规程模板，包括设备调试、物料搬运、构件安装等操作步骤与安全限制参数，以降低技术操作中人为差异带来的风险。应定期依据行业最新技术标准更新操作规程，确保施

工现场的技术操作与国家及地方强制性标准同步，提升整体作业的安全一致性和技术科学性^[1]。

（二）多级安全责任机制与技术协调

施工项目通常涉及总包、分包、劳务队等多个层级单位，必须建立多级安全技术责任机制，明确各级人员的技术管理职责。项目总工应对所有施工阶段的安全技术措施进行统一审核和组织实施，施工员与安全员需对其所辖区域的安全技术落实情况进行日常巡检和技术核查。在分包单位层面，应指定专任技术负责人，与总包单位进行工序交接前的安全技术协商，并对所属作业人员进行专项技术交底。面对多专业交叉施工的复杂场景，如结构与安装交叉作业，应建立安全技术接口协调机制，组织相关工种进行交底会和现

场勘查，避免作业冲突造成技术盲区。通过明确分工与技术协同机制，有效解决管理失效与责任不清导致的施工隐患^[2]。

（三）信息化管理平台在安全体系中的应用

随着智能化施工技术的发展，信息化管理平台在安全技术管理体系中的应用成为重要趋势。施工单位可搭建基于 BIM（建筑信息模型）与 GIS（地理信息系统）集成的安全管理平台，实现对施工现场的空间定位与作业数据实时监控。通过在关键节点布设传感器与视频监控设备，系统可自动识别高风险作业区域、施工机械运行状态、人员流动轨迹等信息，实现技术预警功能。例如，当吊装设备进入设定的危险区域或高处作业平台出现超载现象时，系统能通过算法判断异常状态并触发联动响应。平台还可整合施工计划、技术交底、安全培训与隐患排查记录等数据，构建可视化管理界面，实现施工安全全过程的技术化、信息化、可视化管控，提升风险预控能力。

二、工程施工现场主要风险识别与分类控制技术

（一）高空作业风险的技术性防控措施

高空作业是施工现场常见的高风险工种，技术性防控措施必须覆盖平台构造、防护设施、人员操作等多个维度。首先，在作业平台搭设方面，应采用定型化钢结构脚手系统或整体式模板支撑体系，并通过荷载验算和节点连接加固，确保结构稳固不变形。其次，作业区域边缘必须设立符合规范的防护栏杆、踢脚板和密目网，特别是临边作业区域，应在1.2米以上设双层护栏，并保证护栏与主体结构的固定可靠。对于登高通道，应使用专用爬梯或附着式升降设施，严禁搭设临时爬梯。高处作业人员必须配备并正确使用安全带，安全带系挂点应设在牢固结构上方，不得低挂高用^[3]。通过严密的技术布控，可显著降低高空坠落和平台失稳风险。如图1所示：



图1 高空作业是施工现场

（二）起重吊装作业的动态风险管理技术

起重吊装作业的风险主要来源于设备运行不稳定、指挥不当及作业环境复杂，必须通过动态技术管理手段实现全过程可控。起吊作业前，应依据吊装构件重量、起重半径和作业高度等参数进行吊装方案设计与施工工况仿真，确保设备选型及作业路径合理。施工现场应使用吊装专用监控系统，实时记录起重设备的起伏、回转角度、荷载比及风速等参数，并在超过预设安全阈值时触发预警^[4]。吊装过程中，应设专职指挥员与作业信号员，统一

使用对讲设备或视频联络，避免信号误传。吊装路径内应划定作业警戒区，利用红外或雷达检测技术识别人员误入风险区域并自动警示。吊具、钢丝绳、卸扣等应进行每日检查与力学性能检测，防止因设备老化或损伤引发坠物事故。

（三）临时用电及火灾风险控制技术

施工现场临时用电系统具有电源点分散、负荷波动大、接地困难等特点，极易诱发触电及火灾事故，因此必须从布设、隔离、防护三个维度加强技术控制。首先，在临电系统布设阶段，应依据现场布局制定单线图与负载计算书，合理配置配电箱容量与分级控制方式，严禁超负荷使用。所有用电设备必须设置漏电保护装置，其动作电流不大于30mA，动作时间不超过0.1秒。电缆敷设应采用架空或穿管方式，避免地面直接敷设引发机械破损，配电箱应设置防雨、防尘、防触电装置，内部接线应符合三相五线制及“三级配电两级保护”技术要求。在防火方面，应重点控制电气焊作业和易燃物堆放区域。动火作业前需办理动火许可证，并设立隔火帘和灭火器材，施工过程中必须由专人监护。可通过安装热成像感知设备或烟雾报警器，实现对关键区域火源点的预警识别^[5]。当热源温度超过设定阈值时，系统可联动自动切断电源并启动报警系统，形成“感知—判断—响应”的技术闭环。如表1所示：

表1 临时用电与防火技术控制关键参数

项目	控制指标或技术要求
漏电保护器动作电流	≤ 30mA
漏电保护器动作时间	≤ 0.1 秒
电缆敷设方式	架空或穿管，严禁地面裸敷
接线系统规范	三相五线制，三级配电两级保护
火源监测设备响应温度阈值	可设定为 60℃ ~80℃
动火监护措施	专人监护、动火证、灭火器材齐备

三、施工风险控制的动态识别与预警技术

（一）施工环境因素的动态监测技术

施工环境中的外部因素如气象变化、地质扰动、有害气体扩散等，具有不确定性强、突发性高的特点，需借助多源传感器和自动化监测手段进行动态采集与分析。在深基坑、隧道、高边坡等施工区域，可布设环境监测设备，包括风速风向仪、雨量计、位移计、倾角仪及温湿度传感器，实现对施工影响因素的全天候连续监测。通过将传感数据接入信息化平台，利用趋势算法判断环境变化趋势，提前预判风险演化。例如，在强降雨或地表沉降速率超标时，系统可向管理人员发出预警，指导现场暂停施工或进行技术处置。对于粉尘浓度、有毒气体等空气指标，可接入空气质量监控设备，在密闭或半密闭作业区自动启动通风系统，保障人员健康与设备安全运行^[6]。

（二）施工人员作业行为风险识别技术

人员行为是施工现场风险的重要诱因，尤其是在高风险工种或密集作业区域，违章作业、误入高危区、疲劳操作等行为极易引发安全事故。为实现精确识别与全过程监管，可通过部署智能识别与感知技术进行行为风险管理。在关键作业区布设人员定位系统，如 UWB（超宽带）、RFID 或蓝牙信标技术，可实现厘米

级实时定位与轨迹追踪。当人员靠近高压设备区、吊装作业区等危险区域，或长时间离岗时，系统可立即推送提醒信息至安全管理终端，联动语音广播或警示灯提示。结合可穿戴设备，可采集作业人员的心率、体温、加速度、姿态等生理与行为数据，用于识别疲劳、跌倒或急性不适状态，及时启动人工干预或自动求助机制。同时，现场视频监控系统可通过接入 AI 图像识别算法，对未佩戴安全帽、未系安全带、违规跨越防护栏等典型违章行为进行自动抓拍与实时报警。

（三）风险预警与响应机制的技术平台

为了实现施工现场各类风险的快速响应与闭环管理，需构建统一的智能化风险预警平台，全面集成传感监测数据、风险分析模型及应急响应机制。该平台应具备多级风险等级划分体系，能够依据风险事件的发生频率、影响范围、危险程度等参数自动进行等级判定，并关联相应的应急处置预案。系统应与施工进度计划、施工机械运行状态、人员位置与调度系统实时联动，构建“监测—识别—预警—指令—反馈”的动态响应链路。例如，在监测到吊装区域风速超过安全控制阈值后，平台可立即触发自动预警，联动起重设备强制断电、作业系统锁定，并向相关责任人发送指令通知，最大限度压缩人工响应延迟，提升防控效率^[7]。平台还应具备事故事后回溯与大数据分析能力，支持对风险演化路径、响应时间、技术响应结果进行记录与分析，持续优化后续风险策略。

四、安全技术管理在不同施工工艺下的集成应用

（一）土建结构施工安全技术管控

土建结构施工是整个工程中作业强度最高、工序最密集、交叉作业最频繁的阶段，其安全技术管理需紧密围绕模板支撑、混凝土浇筑、钢筋加工等关键工艺展开。模板支撑系统必须依据结构图纸及施工荷载进行受力计算，确保其承载能力不低于实际施工荷载的1.5倍以上。支撑系统宜采用定型钢管脚手架，立杆间距、步距、剪刀撑、连墙件的设置应满足《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》要求，防止整体结构失稳。在混凝土浇筑过程中，应严格控制分层厚度和下料速度，防止因侧压力过大导致模板鼓胀、开裂或整体坍塌。浇筑过程中应安排专人巡视模板状态，发现变形应立即停止作业并加固^[8]。钢筋绑扎和切割作业区域应设防刺穿护栏、作业隔离区，并配备自动断电系统，防止

触电及机械伤害。

（二）安装工程中的安全技术集成

安装工程涵盖机电、电气、通风、管道、消防等多专业系统，其施工阶段机械设备种类繁多、空间资源紧张，极易产生交叉干扰和安全隐患。为实现全过程的技术性风险控制，应首先在设备吊装与构件布设前，运用 BIM 技术进行三维建模与吊装路径模拟，对构件进场位置、施工顺序、空间交叉等进行技术协调，提前规避潜在冲突，防止现场吊装过程中因路径重叠或高度不足引发碰撞及设备超载。在电气系统安装过程中，应严格按照设计要求进行高低压配电系统分段施工，确保每级配电箱具备隔离开关与短路保护功能，施工现场所有电缆必须使用耐高温阻燃材料，并设立明显电气警示标识，同时控制敷设时电缆的最小弯曲半径，以防因电缆变形造成绝缘失效^[9]。配管与焊接作业时，应在高温或封闭空间中设置抽风排气系统，并配置火花防护帘与阻燃毯，提升空气循环与焊接安全性。

（三）装饰装修阶段的安全细节控制技术

装饰装修阶段虽属于工程收尾阶段，但交叉作业多、施工空间局促，作业频率高，极易发生高处坠落、火灾、物体打击等事故，必须对各类细节进行技术性强化管理。在吊顶、幕墙等高空作业中，应统一采用双层脚手平台并与结构主体通过锚固件连接，确保脚手系统整体稳定性，严禁使用悬空搭设平台或临时铺板作业方式。玻璃幕墙及大型装饰构件安装过程中，应设置吊装限位装置、防摆控制绳及临时构件固定措施，防止未完成固定前构件滑落。对室内使用的电动工具，应统一配备 36V 安全电源，电源线布设应加设压条覆盖，避免施工人员被绊倒或踩踏损坏电缆造成短路^[10]。焊接与切割作业必须设置专用操作区域，施工区域内铺设防火布，配置灭火器，并由专人在施工后进行火种残留检查，确保无明火无隐患后方可离场。

五、结语

工程施工阶段安全管理与风险控制的技术性研究，是提升施工现场安全水平的重要保障。本文通过系统梳理施工中常见的技术性风险点，结合动态识别、信息化管控及工艺整合等关键技术手段，提出一套可操作性强的技术管理体系。未来应继续深化智能化安全技术的应用，实现从“经验型”管理向“数据驱动型”技术控制的转变，助力工程建设的本质安全。

参考文献

- [1] 张建超. 建筑工程管理中施工安全管理体系的构建与应用 [J]. 房地产世界, 2024(19): 86-88.
- [2] 朱富有. 关于油田地面工程施工阶段安全质量管理标准化的思考 [J]. 中国石油和化工, 2024(08): 53-54.
- [3] 曲洪锋. 油气田地面工程施工阶段安全质量管理标准化思考 [J]. 建设监理, 2024(02): 86-88. DOI: 10.15968/j.cnki.jsjl.2024.02.017.
- [4] 郝懿. BIM 技术在模架工程施工精细化管理中的应用研究 [D]. 内蒙古科技大学, 2023. DOI: 10.27724/d.cnki.gnmkg.2023.000446.
- [5] 郝懿. BIM 技术在模架工程施工精细化管理中的应用研究 [D]. 内蒙古科技大学, 2023. DOI: 10.27724/d.cnki.gnmkg.2023.000446.
- [6] 刘彦明. 地铁牵引供电系统工程施工质量管理研究 [D]. 重庆大学, 2022. DOI: 10.27670/d.cnki.gcqdu.2022.000652.
- [7] 李乐. 基于 BIM 与多源监测的地铁施工安全风险智能化预警研究 [D]. 中国矿业大学 (北京), 2022. DOI: 10.27624/d.cnki.gzkb.2022.000180.
- [8] 刘思远. 抽水蓄能电站工程施工阶段安全管理体系研究 [D]. 华南理工大学, 2019. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2019.004731.
- [9] 林仲尧. 电力工程施工中的安全管理及质量控制管理 [J]. 山东工业技术, 2018(07): 183. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2018.07.169.
- [10] 梁晋平. 商住楼公区装饰工程施工质量精细化管理研究 [D]. 重庆交通大学, 2024. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2024.000082.

AI技术在自动售检票中的应用

朱茂宝

中建(天津)轨道交通投资发展有限公司,天津 300000

DOI:10.61369/ETQM.2025060005

摘 要：随着科技的飞速发展，AI技术在自动售检票领域的应用日益广泛且深入。本文全面探讨 AI技术在自动售检票中的应用，详细阐述其在提升效率、优化服务、强化安全等方面的显著优势，深入分析当前应用过程中面临的技术难题，包括数据安全性与隐私保护、复杂场景适应性、系统集成与兼容性问题，并针对性地提出解决策略。旨在通过对 AI技术在自动售检票中应用的研究，为推动该领域的持续发展和创新提供理论支撑与实践指导。

关键词： AI技术；自动售检票；应用优势；技术难题；解决策略

Application of AI Technology in Automatic Fare Collection

Zhu Maobao

China State Construction (Tianjin) Rail Transit Investment and Development Co., Ltd. Tianjin 300000

Abstract : With the rapid development of technology, the application of AI technology in the field of automatic fare collection has become increasingly widespread and in-depth. This article comprehensively explores the application of AI technology in automatic fare collection, elaborating on its significant advantages in improving efficiency, optimizing service, and strengthening security. It provides an in-depth analysis of the technical challenges faced in the current application process, including data security and privacy protection, complex scene adaptability, system integration and compatibility, and proposes targeted solutions. The aim is to provide theoretical support and practical guidance for promoting sustainable development and innovation in the field through research on the application of AI technology in automatic fare collection.

Keywords : AI technology; automatic fare collection; application advantages; technical challenges; solutions

引言

自动售检票系统（Automatic Fare Collection, AFC）作为现代交通及各类场所票务管理的关键系统，对于提升运营效率、保障服务质量具有重要意义。传统自动售检票系统在面对日益增长的客流量和多样化的用户需求时，逐渐暴露出效率低下、服务单一等局限性。根据未来地铁建设的长远发展，由于线路建设越来越多，以及新技术的加入，如人脸识别、生物识别技术、语音购票以及数字人民币等，势必会造成投资建设成本越来越高。为了从长远发展，建设自动售检票系统的标准化逐渐变得重要起来。

一、AI技术在自动售检票中的应用现状

（一）身份识别技术的应用

在自动售检票场景中，AI驱动的身份识别技术应用广泛。人脸识别技术借助售票机、闸机上的高清摄像头采集乘客面部图像，经深度学习算法提取和比对特征，实现快速身份验证。在地铁、火车站，乘客提前在应用录入人脸并绑定支付，进站时在闸机前短暂停留，系统便能识别身份完成检票扣费，大大缩短通行时间。除人脸外，指纹、掌静脉识别等生物特征识别技术也逐步用于该系统。掌静脉识别采集手掌静脉特征进行验证，安全性高、准确率高且非接触，可避免手部污渍、磨损导致的识别失

败,为乘客提供可靠识别方式^[1]。

（二）智能客服的应用

智能客服依靠自然语言处理技术，能理解乘客自然语言提问并及时准确作答。在自动售检票系统中，它集成于官网、手机应用或车站自助终端，为乘客提供票务咨询、线路查询、故障申报等服务。当乘客询问车票价格、购票流程、换乘路线等问题，智能客服迅速分析语义，从知识库检索信息并回复^[2]。它还依据乘客历史咨询与行为数据，进行个性化服务推荐，如为常乘某线路的乘客推荐合适优惠套餐，提升乘客满意度与忠诚度。

（三）票务数据分析与预测的应用

AI在票务数据分析与预测中作用重大。自动售检票系统运

营产生海量票务数据，机器学习算法挖掘分析这些数据，可发现乘客出行规律与行为模式。通过分析历史数据，系统能预测不同时段、线路客流量，为运营部门安排运力、调整票务策略提供依据^[3]。节假日、大型活动等客流高峰，提前增加售票窗口、开放更多闸机通道，提升服务质量。此外，AI分析乘客购票偏好与消费行为，为精准营销助力，向特定群体推送个性化票务优惠，提高票务销售效率与收益。

（四）智能安检与自动售检票的联动应用

在现代交通及场所管理中，安全检查与票务管理联系紧密，AI技术促使智能安检与自动售检票实现有效联动。在机场、火车站等交通枢纽，乘客进入安检区，智能安检设备运用AI图像识别技术，快速扫描乘客及行李，检测危险、违禁品。该系统与自动售检票系统相连，安检通过，信息同步，闸机开启；未通过则闸机关闭，提示工作人员处理。

这种联动模式提升安检效率、减少人工干预，保障票务系统安全。在大型活动场馆，可确保只有安检且购票成功人员进入，避免安全隐患与票务混乱。同时，整合分析安检和票务数据，能助力运营者掌握人员流动，为运营决策提供支持，提升场所管理与服务质量。

二、AI技术在自动售检票中的应用优势

（一）提升售检票效率

传统自动售检票系统在高峰时段容易出现乘客排队购票、检票缓慢的情况，影响出行效率。AI技术的应用有效改善了这一状况。以人脸识别为例，其识别速度可达到毫秒级，且准确率高达99%以上，相比传统的刷卡、扫码检票方式，大大缩短了乘客的通行时间^[4]。智能售检票设备能够自动识别乘客的购票意图，快速完成车票发售，减少人工操作环节，提高售票效率。在一些大型交通枢纽，采用AI技术的自动售检票系统可使每小时的检票通过人数提升30%-50%，显著缓解了高峰时段的客流压力，保障了人员的快速通行。

（二）优化服务体验

AI技术为乘客带来了更加个性化、便捷的服务体验。智能客服随时在线，能够及时解答乘客的疑问，提供24小时不间断服务，避免了人工客服工作时间限制和响应不及时的问题^[5]。根据乘客的历史出行数据和偏好，系统可以为乘客推荐最优出行方案、合适的车票类型以及周边服务信息，如推荐距离乘客目的地最近的停车场、餐饮场所等。在景区自动售检票系统中，AI技术还能根据游客的游览习惯，规划个性化游览路线，提升游客的游览体验。通过提供这些个性化服务，增强了乘客与系统的互动性和粘性，提升了整体服务质量。

（三）增强安全管理

在安全管理方面，AI技术为自动售检票系统提供了有力保障。通过人脸识别、行为分析等技术，系统能够实时监测乘客的行为，识别异常行为和潜在安全风险，如检测到乘客在闸机处停留时间过长、有强行闯闸等异常行为时，及时发出警报，通知工

作人员进行处理^[6]。AI技术还能有效防范票务欺诈行为，通过对票务数据的实时分析，识别出异常购票、退票行为以及伪造票据等情况，保障票务系统的安全运行。在一些机场、火车站等重要场所，AI技术与安检系统联动，实现对乘客身份和行李的快速安检，提高了安全检查的效率和准确性，为公众出行营造了更加安全的环境^[7]。

三、AI技术在自动售检票应用中的技术难题

（一）数据安全和隐私保护问题

AI技术在自动售检票中的应用依赖于大量乘客数据的收集和 分析，这带来了数据安全和隐私保护方面的挑战。乘客的个人信息，如姓名、身份证号、面部图像、支付信息等，一旦泄露，将对乘客的隐私和财产安全造成严重威胁。在数据传输和存储过程中，可能面临黑客攻击、数据窃取等风险^[8]。一些不法分子可能通过网络攻击手段获取自动售检票系统中的乘客数据，用于非法活动。部分AI算法在处理数据时可能存在隐私泄露风险，如深度学习模型可能会通过数据反向工程等方式泄露训练数据中的敏感信息。如何确保数据的安全性和隐私性，成为AI技术在自动售检票应用中亟待解决的重要问题。

（二）系统集成与兼容性问题

将AI技术融入现有的自动售检票系统，需要解决系统集成和兼容性问题。自动售检票系统通常由多个子系统组成，包括售票机、闸机、票务管理系统、清算系统等，不同子系统可能由不同厂家生产，其接口标准、通信协议等存在差异。在集成AI技术时，可能出现AI模块与原有系统不兼容的情况，导致数据传输不畅、系统运行不稳定等问题^[9]。一些老旧的自动售检票设备硬件性能有限，难以支持AI算法的运行，需要对设备进行升级改造，但这可能涉及较高的成本和技术难度。如何实现AI技术与现有自动售检票系统的无缝集成，确保系统的兼容性和稳定性，是推广AI技术应用的关键环节。

（三）AI算法的准确性和可解释性问题

AI算法是实现自动售检票智能化的核心，但目前部分AI算法在准确性和可解释性方面存在不足。在复杂的实际应用场景中，由于数据的多样性和不确定性，一些AI算法可能出现误判、漏判等情况。在人脸识别检票过程中，可能会出现将不同乘客误判为同一人或无法识别合法乘客的情况，影响系统的正常运行和乘客体验。一些深度学习算法属于黑盒模型，其决策过程难以理解和解释，当算法出现错误决策时，运营者难以确定原因并进行改进。提高AI算法的准确性和可解释性，对于保障自动售检票系统的可靠性和安全性至关重要。

四、解决AI技术在自动售检票应用中技术难题的策略

（一）强化数据安全性与隐私保护措施

建立完善的数据安全管理体系，采用加密技术对乘客数据进

行加密存储和传输，确保数据在传输过程中不被窃取或篡改。加强网络安全防护，部署防火墙、入侵检测系统等安全设备，防范黑客攻击。在数据使用环节，遵循最小必要原则，仅收集和使用与自动售检票业务相关的必要数据，并严格限制数据访问权限，对数据的访问和使用进行详细记录和审计^[10]。采用隐私保护技术，如联邦学习、差分隐私等，在不泄露原始数据的前提下，实现 AI 模型的训练和分析，保障乘客数据隐私。加强用户教育，提高乘客对数据安全和隐私保护的意识，引导乘客合理授权个人数据的使用。

（二）优化系统集成与兼容性

制定统一的自动售检票系统接口标准和通信协议，规范不同厂家设备和系统之间的接口设计，提高系统的兼容性和可扩展性。在集成 AI 技术时，采用中间件技术，通过中间件实现 AI 模块与原有系统的对接，屏蔽不同系统之间的差异，确保数据的顺畅传输和交互。对于老旧设备的升级改造，采用逐步替换或模块化升级的方式，降低升级成本和技术风险。在系统集成过程中，进行充分的测试和验证，包括功能测试、性能测试、兼容性测试等，及时发现和解决系统集成过程中出现的问题，保障 AI 技术与自动售检票系统的稳定集成和协同运行。

（三）改进 AI 算法的性能

加大对 AI 算法研究的投入，采用先进的算法架构和优化技术，提高算法的准确性和鲁棒性。在模型训练过程中，采用数据增强、模型融合等技术，增加训练数据的多样性，提升模型的泛化能力，减少误判和漏判情况的发生。针对 AI 算法的可解释性问题，研究开发可解释性 AI 技术，如采用可视化技术展示模型的决策过程和依据，使运营者能够理解算法的决策逻辑。建立 AI 算法评估和优化机制，定期对算法的性能进行评估，根据评估结果及时调整和优化算法参数，确保 AI 算法在自动售检票系统中持续稳定地发挥作用。

五、AI 技术在自动售检票中的发展趋势

随着科技发展，AI 技术于自动售检票领域呈多维度创新走

向，重塑票务管理模式。

技术融合创新为关键趋势。AI 与 5G、物联网协同，打造智慧票务生态。5G 使自动售检票设备数据传输即时，物联网让设备成智能节点，车站能依客流自动调整闸机与售票服务。AI 与区块链结合，借分布式账本与加密技术保障数据安全，杜绝票务欺诈。

功能拓展升级同样重要。AI 赋予系统强大功能，借助大数据与机器学习，精准预测乘客需求，主动推送个性化信息与出行建议。还将打破场景壁垒，实现跨交通、景区、商业场所的无缝通行，提升便捷性。

应用场景不断拓展。在城市公共交通，构建综合出行票务平台，实现“一票通乘”与联合计费。文旅产业中，景区等场所售检票系统与 AI 融合，提供个性化游览推荐。在临时活动场景，AI 支持的移动与线上票务平台灵活应对大规模客流。

六、结束语

AI 技术在自动售检票中的应用为该领域带来了诸多变革和优势，显著提升了售检票效率、优化了服务体验、增强了安全管理并助力运营决策。然而，在应用过程中也面临着数据安全与隐私保护、复杂场景适应性、系统集成与兼容性以及 AI 算法性能等技术难题。通过采取强化数据安全与隐私保护措施、提升 AI 技术场景适应性、优化系统集成与兼容性以及改进 AI 算法性能等策略，可以有效解决这些技术难题，推动 AI 技术在自动售检票领域的深入应用和持续发展。随着技术的不断进步和创新，AI 技术将在自动售检票领域发挥更加重要的作用，为交通、旅游等行业的智能化发展提供有力支撑，为人们的出行和生活带来更多便利和优质体验。

参考文献

[1]孙瑞华.浅析自动售检票系统标准化建设[C]//天津市电子学会.第三十六届中国（天津）2022'IT、网络、信息技术、电子、仪器仪表创新学术会议论文集.中国机房工程有限公司,2022:182-184.DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.015016.

[2]陆源清,郭敏龙,董小锋.城市轨道交通 AFC 智能运维系统建设探究[J].城市轨道交通研究,2024,27(S2):142-146.DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.S2.028.

[3]翁智铭.地铁自动售检票移动支付应用研究——以福州地铁为例[J].运输经理世界,2024,(20):7-9.

[4]韩鹰.智慧城市轨道交通 AFC 系统的应用研究[J].机械工程与自动化,2024,(02):155-156+159.

[5]高翔,万凯,林倩,等.自动售检票系统设备维保策略[J].今日制造与升级,2023,(06):83-85.

[6]周彪.武汉地铁自动售检票系统研究[J].科技创新与应用,2023,13(03):113-116.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2023.03.026.

[7]罗富章.车站自动检票闸机控制系统研究[D].东华理工大学,2022.DOI:10.27145/d.cnki.ghddc.2022.000366.

[8]钱凯.基于 5G 技术的地铁 AFC 系统设计与实现[J].电子技术,2022,51(04):52-54.

[9]王瑞宗,陆鑫,陈玉燕.轨道交通自动售检票系统三层云架构设计[J].电子技术与软件工程,2021,(21):73-74.DOI:10.20109/j.cnki.etsse.2021.21.025.

[10]魏九妹.城市轨道交通自动售检票系统技术分析[J].无线互联科技,2021,18(18):123-124.

HAZOP 分析在 LNG 接收站运用论述

常英杰

哈电国际工程（天津）有限责任公司，天津 300000

DOI:10.61369/ETQM.2025060006

摘 要： 能源安全和可持续开发利用是保证我国社会经济的蓬勃发展的的重要举措。本文以液化天然气（LNG）接收站为研究对象，采用危险与可操作性分析（Hazard and Operability Study，简称 HAZOP）分析方法对 LNG 接收站的工艺系统进行风险分析。介绍了 HAZOP 分析方法的基本内容，识别了 LNG 接收站各个系统中发生偏差后的潜在后果及建议措施，有助于今后 LNG 接收站的设计优化工作。

关 键 词： HAZOP；LNG 接收站；安全分析

Application of HAZOP Analysis in LNG Terminal

Chang Yingjie

Harbin Electric International Engineering (Tianjin) Co., Ltd. Tianjin 300000

Abstract： Energy security and sustainable development and utilization are important measures to ensure the vigorous development of China's social economy. This article takes the liquefied natural gas (LNG) terminal as the research object and adopts the Hazard and Operability Study (HAZOP) analysis method to conduct a risk analysis of the LNG terminal's process system. This article introduces the basic content of the HAZOP analysis method, identifies the potential consequences and suggested measures after deviations occur in various systems of the LNG terminal, which will help optimize the design of LNG terminals in the future.

Keywords： HAZOP; LNG terminal; safety analysis

一、HAZOP 分析的基本内涵

HAZOP 是 Hazard and Operability Study 的英文缩写，译为“危险与可操作性分析”。它是一种系统性的安全分析方法，在石油、化工等领域被广泛应用，主要用来发现、辨别、评估潜在的危险因素和问题，从而助力管理者科学合理的制定安全管控措施，保证企业健康稳定发展。HAZOP 分析的应用目的是保证生产过程的稳定、高效和安全，尤其是在一些高危领域当中，该分析方法的有效运用十分重要。总体来说，HAZOP 分析包含定义系统、初步分析、识别危险、确定原因、分析后果、制定措施等多个步骤和环节。在具体运用时，可以根据实际情况做出合理的调整，以保证 HAZOP 分析的运用高效性和全面性。

二、LNG 接收站对 HAZOP 分析的具体运用措施

在 LNG 接收站项目建设前期，在设计阶段运用 HAZOP 分析对工艺流程进行危险与可操作性分析，是保证项目建设安全与稳定运行的必要措施。

（一）节点划分

运用 HAZOP 分析的过程中，为了便于讨论和研究，需要把工艺流程进行分解，形成若干个节点，节点的划分可以根据工艺

流程图来确定。需要注意的是，节点的划分要具有独立性，保证工艺参数的一致性才能更有利于后期的分析和研判。如 LNG 卸船系统、LNG 装船系统、LNG 储罐及低压泵、BOG 处理系统、BOG 再冷凝器、高压泵及气化外输（ORV&SCV）、燃料气系统、槽车装车系统、高压外输、火炬系统等。为了保证每个节点的分析准确性，工作人员需要了解每个节点最初相关的设计目的和标准等内容，保证工作人员对节点的各项功能以及性能等方面做到全面掌握和了解。

然后，在设计阶段对 LNG 接收站项目进行风险矩阵建设。如在风险矩阵中，红色和分色区域表示极高和高风险区，必须立即采取重大行动以阻止或减轻危害。黄色区域表示为中等程度风险，应尽快采取认真行动以阻止或减轻危害。绿色区域为低风险区，可以接受的危险，无需采取行动。并通过项目 HSE 管理实施风险管理措施。HAZOP 分析小组成员在 HAZOP 分析前，还可以根据矩阵在具体项目中的适用性进行反复确认，如果确有必要，可以根据小组共同意见对分线矩阵进行合理且科学的创新设定，以适应当前 LNG 接收站项目的发展需要。

（二）引导词

针对不同的节点，对 LNG 接收站的各个设计阶段所涉及到的工艺参数变动情况展开分析，这些变动情况需要借助引导词与工艺参数进行表达。如无，即表示应该有却没有，比如“无流量”；

过量、过高、过多，即表示超过标准要求的相关参数值，如流速过大、流量过多、压力过高等等；少、低，即与高、多表示相反的值，如压力过低等；相逆，即表示逻辑上的相反意思；部分，即表示质或量的减少，只能达到既定功能的一部分，系统组成不同于应该的成分等；伴随，即表示质的增加，在完成既定功能的同时，伴随多余事件的发生，如伴随杂质等；异常，即表示设备或参数等出现正常情况外的问题，如启动异常、工作故障等。引导词配合常用的 HAZOP 分析工艺参数，即可生成偏差。

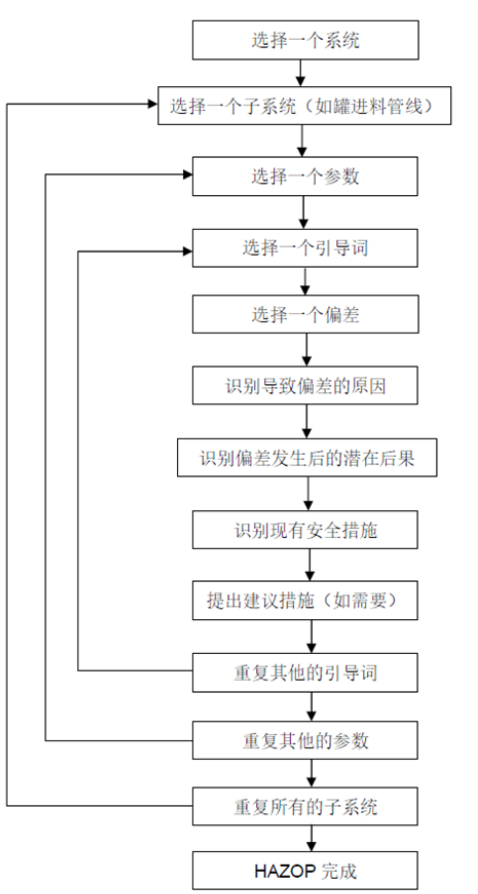


图 1 HAZOP 分析程序

（三）偏差分析

通过引导词的恰当使用，对照引导词表进行偏差的识别与分析，如 LNG 经卸料管线输送到储罐节点中，可能会存在流量过大或过小或无流量的偏差，针对所识别出来的偏差结果，进行原因和危害性分析，如无流量偏差可能是因为 LNG 量比较少活卸料管线发生泄漏问题，也有可能是阀门没有打开的原因，这将导致无效功且储罐中无 LNG 储入。然后分析人员要根据识别偏差给出整改措施，以保证 LNG 接收站的安全稳定运行。如针对无流量的问题，可以采取检查阀门的开启状态、卸料管线的完整度、LNG 的储量等措施进行处理。需要注意的是，在 HAZOP 分析运用时，对工艺参数要做合理且科学的划分，所谓工艺参数就是物料、器具所具备的物理或化学特性，用于直观体现相关物料、器具的当前状态，如压力、温度、液位、浓度、混合等等。每一个工艺参数

都对应着相应的可操作范围，也是安全操作范围，一旦在分析过程中发现工艺参数超出安全范围的情况，则视为与原有设计和使用意图发生偏离，即需要采取相应的有效措施加以解决。

表 1 HAZOP 偏差

序号	偏差
	流量低或无
	流量高
	错误流向或逆流
	压力低
	压力高
	液位低
	液位高
	温度低
	温度高
	污染或组分
	腐蚀或冲蚀
	泄漏或破裂
	泄压
	取样
	仪表
	公用工程
	维修或操作

在设计阶段，要针对项目的实际情况，对各项工艺流程进行全面分析，对可能存在的偏差进行具体识别，并形成偏差对比分析表。

（四）分析原因

HAZOP 分析在 LNG 接收站项目建设初期设计阶段中的运用，可以对照识别偏差对造成偏差的主要原因展开分析，从而为后续的应对解决措施的制定提供充分依据。如对于卸船工况 LNG 流量低或无的偏差，可能是由于开关阀故障所导致、维修及操作偏差，可能是液气双相臂作为气相臂使用时安装短管需要吊装作业或装船臂维修高出作业而发生危险、装船 LNG 流量低或无的偏差，原因可能是上游装船泵故障、错误流向或倒流的偏差，原因可能是装船保冷循环短路、低压泵出料流量低或无的偏差，原因可能是低压泵出口故障。污染或组分偏差，可能是气相携液进入压缩机、零外输工况保冷循环 LNG 流量高的偏差，可能是保冷循环无流量控制的原因等等。

（五）后果分析与评估

HAZOP 分析在 LNG 接收站中的有效运用，需要各职能部门和有关人员形成合力，尤其是在后果评估阶段，必须做好充分的前期调研和准备工作，保证 HAZOP 分析程序的合理性和有效性。首先，要对 LNG 接收站中的所有工艺描述、设计资料、设备统表等信息进行搜集和整理，保证工作人员对各个工艺流程做到熟悉并全面掌握，这也是评估后果前的必要准备。然后，由 HAZOP 的主要负责人根据上述信息对工艺系统进行单元节点的划分，以便于集体讨论。负责人应与所有业主保持密切的联系，及时反馈讨论结果和信息，然后根据接收站能够承担的风险能力以及风险发生的可能性等，将风险矩阵确定下来。在集体开展分析之前，

HAZOP 分析小组可以对矩阵的适用性进行讨论确认，如果实际需要，也可以按照分析小组的一致意见对风险矩阵进行更新，包括后果等级以及可能性等级多个方面。

如液位高偏差可能会造成 BOG 管线损坏；错误流向或倒流可能导致保冷循环系统无法建立，启泵延迟的问题；卸船工况 LNG 流量低或无可能会造成单台卸料臂流量降低，其它卸料臂流量增加，甚至超出设计值；卸料臂旋转接头氮气流量高的偏差可能造成卸料臂旋转接头超压损坏；维修或操作偏差可能造成无法进行安装作业或有可能造成人员坠落受伤的后果；装船 LNG 流量低或无的偏差可能造成装船中断、延长装船时间，导致 LNG 船滞港，从而导致装船系统中 LNG 复温，导致液击问题等；低压泵出料流量低或无的偏差可能会导致低压 LNG 外输量降低或中断，影响下游用户的正常使用问题等等。对于存在偏差可能造成的后果，在设计阶段要对照风险等级、可能性、严重性等进行准确划分，从而做出相应的建议措施。

风险矩阵					
可能性	严重性				
	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

严重性等级	
1	伤害可以忽略，不用离岗；小于0.1吨危险物质泄漏，不影响现场以外区域，可很快清除；≤RMB 10,000
2	一人或多人的可记录轻伤；0.1至1吨有害物质泄漏，现场受控制，没有长期损害；RMB 10,000 to RMB 100,000
3	致残，一人或多人失去工作能力；1~10吨失控泄漏对现场有长期影响，对场外区域无长期影响；RMB 100,000 to RMB 1,000,000
4	造成现场1~2人死亡或多人重伤；10~100吨烃类及危险物质泄漏，对现场以外某些区域有长期伤害；RMB 1,000,000 to RMB 10,000,000
5	造成现场3人以上死亡；100吨以上烃类及危险物质泄漏现场以外地方长期影响；≥RMB 10,000,000

可能性等级	
5	每年发生概率（>10 ⁻² ）
4	每年发生概率（10 ⁻³ ~10 ⁻² ）
3	每年发生概率（10 ⁻⁴ ~10 ⁻³ ）
2	每年发生概率（10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁴ ）
1	每年发生概率（<10 ⁻⁵ ）

（六）制定建议措施

HAZOP 分析在 LNG 接收站中的有效运用，最终目的是通过对偏差的分析，判断出危害后果和原因，并给出相应的具体防控措施，从而为 LNG 接收站项目建设初期，对各项工艺流程进行优化处理，为最终的安全稳定运行提供坚实保障。因此，HAZOP 分析的运用，必须对照 PID 图纸，对每一个节点进行分析。

此外，对照每一个节点的系统性分析，还要对现有的防控措施进行补充，为安全操作提供建议和参考，其中，有一些建议是与设计操作相关、有些建议则是与工艺和仪表设计有关。最后，通过 HAZOP 分析的全面应用，可以促进 LNG 接收站各个系统的运行操作程序的持续完善、设计方面的疏漏得到持续妥善的解决。当然，防控措施在制定之后，都要选派专人去予以落实，即

制定具体的负责人，然后监管人员可以通过追踪监督的方式，检查防控措施的落实情况，从而进一步完善相关漏洞，提高安全隐患消除效率，为保证 LNG 接收站项目的后期顺利建设，以及最终高效稳定安全运行提供坚实保障。

编号	偏差	原因	后果	已有保护措施	严重性	可能性	风险	建议措施
12.1.3	保冷LNG流量低/无	FIC-55011A故障关闭 FV-51110A	FE-55011A、FV-51110A精度受影响		2	4	8	1.建议保冷循环流程设置流量实时监控并手动调节，保证保冷效果
12.2.1	装车流量高	LNG装车时FIC-55011A故障开大FV-51110A；	LNG装车控制失调，造成装车变慢，造成LNG池量型环境		4	4	16	1.建议控制装车速率，装车速率或者旁路小流量自动调节
12.2.2	装车流量高	LNG装车时FIC-55011A故障开大FV-51110A；	LNG装车可能超装，LNG量型BOG管线	1.TALL-51112A联锁关闭 XV-51111A	4	3	12	1.建议和制定超装以后的处理措施
12.4.2	氮气压力低	PCV-51110A故障关小	装车臂旋转接头可能结冻，影响旋转接头复位，延长操作时间	1.现场人员观察	2	4	8	1.建议和旋转接头结冻之后的处理专用方案
12.12.1	空温破裂	氮气与装车臂连接处，采用软管连接	软管长时间运行，可能老化泄漏	1.软管定期维护与更换	3	2	6	1.建议在PID中体现软管的标示
12.17.1	储罐操作	TSV排放与LNG 罐车当前采用相同总管	违反安全厂 便放原则		2	5	10	1.建议将TSV排放至BOG系统，在EXV-51114A下游
12.17.2	储罐操作	槽车管线与卸净管线存在压差变化工艺	不同的压差变化可能造成卸净阀门密封方向错误，可能造成泄漏，甚至影响槽车流量控制，造成LNG/NG池量		3	5	15	1.建议进一步分析压差变化工艺，确定阀门密封要求
12.17.4	储罐操作	装车罐可能需要隔隔维修			/	/	/	1.建议装车罐与TCC旁路设置隔离阀门，以及氮气吹扫与放空接口

编号	偏差	原因	后果	已有保护措施	严重性	可能性	风险	建议措施
1.17.1	储罐操作	液化气软管作为气相管使用时安装接管需要吊装作业	有可能无法进行安装作业		3	2	6	考虑设置接管吊装设施 and 安装方案
1.17.2	储罐操作	卸料臂维修高处作业	可能造成人员坠落伤害		3	2	6	作业危害分析（JHA）
2.1.1	装船LNG流量低/无	上游装船系统故障	装船中断，延长装船时间，导致LNG池量高，长时间可能导致装船系统中LNG复温，可能造成池量	1.PAL2140T-2.船岸连接液位；3.装船数据信号4.FAL21403	3	4	12	1.建议在操作手册中明确装船时的中间时段的数据；2.建议对液位进行液击计算分析
2.17.1	储罐操作	液化气软管作为气相管使用时安装接管需要吊装作业	有可能无法进行安装作业		3	2	6	考虑设置接管吊装设施 and 安装方案
2.17.2	储罐操作	装船臂维修高处作业	可能造成人员坠落伤害		3	2	6	作业危害分析（JHA）
3.17.1	储罐操作							储罐需要编制吹扫/置换/预冷等操作规范
5.7.1	V-351液位高	ESV-35104故障关闭	V-351液位升高，液相进入BOG管线，可能造成BOG管线结冰	1.ESV-35104四位反馈信号；2.LAH-35101；3.E-351	3	2	6	建议将ESV35104与ESV35105并联使用，当ESV35104故障时，由ESV35105接管，并由两液相液位信号E-351触发关断，并报警上游手阀移至LNG-40-109管段接口下游
8.1.4	保冷循环LNG流量低/无	上游液相外输系统故障	保冷循环中断，管道中LNG复温，可能延长装车时间	1.TAH50110A/TAH50113 ATAH50114A；	3	2	6	建议在装车臂保温管道底部设置卸净管线之间增加保温层

16.1.4	储罐天然气流量低/无	XV-10705A故障打开	SCV天然气池量，失去功能，NG出口温度降低，可能造成SCV下游软管结冰或损坏；NG排放至环境	1.SCV下游温度联锁停SCV LNG进FESV阀，延迟关闭NG出口ESV阀	5	3	15	1.建议SCV停机信号联锁关闭SCV LNG进料；2.SCV下游温度联锁设定值需进行评估，确保联锁功能的有效性（重点）；3.建议根据该工况下NG排放的影响范围评估NG排放速度的影响
16.1.8	天然气流量低/无	XV-10706A故障打开	NG排放至环境		5	3	15	1.建议根据该工况下NG排放的影响范围评估NG排放速度的影响
16.1.10	雾化水流量低/无	雾化水系统故障停车	储罐罐气NOX超标	1.FAL-10702A 2.CEMS	3	2	6	1.建议针对该工艺，制定SOP
16.2.5	储罐天然气流量高	FIC-10700A故障调节，造成一次风流量大	SCV天然气池量，失去功能，NG出口温度降低，可能造成SCV下游软管结冰或损坏	1.SCV下游温度联锁停SCV LNG进FESV阀，延迟关闭NG出口ESV阀	5	3	15	1.建议SCV停机信号联锁关闭SCV LNG进料；2.SCV下游温度联锁设定值需进行评估，确保联锁功能的有效性（重点）
16.6.1	SCV水池液位低	SCV水池泄漏	SCV换热器可能结露在空气中，NG出口温度降低，可能造成SCV下游软管结冰或损坏	1.SCV下游温度联锁停SCV LNG进FESV阀，延迟关闭NG出口ESV阀 2.LALL-10700A联锁停SCV	5	3	15	1.建议SCV停机信号联锁关闭SCV LNG进料；2.SCV下游温度联锁设定值需进行评估，确保联锁功能的有效性（重点）
16.12.1	空温破裂	雾化天然气采用软管与换热器连接	软管长时间运行，可能发生泄漏	1.可燃气报警	3	3	9	1.建议软管定期更换

编号	偏差	原因	后果	已有保护措施	严重性	可能性	风险	建议措施
17.17.3	储罐操作	火炬燃烧之后，火炬筒顶部温度较高，火炬筒顶部着火，可能发生空气倒流	可能造成火灾	1.TIC-66104,66105	4	3	12	1.建议PID时FIC-66104，66105进行更新
18.1.2	NG流量低/无	压缩机故障停车	BOG压缩机出口压力升高，可能变慢	1.BOG压缩机自身保护	3	2	6	1.建议考虑设置压缩机停机信号实时监控压缩机BOG压力的监测，并在操作手册中明确该逻辑的使用工艺
18.1.3	NG流量低/无	PI-33108故障开大PV-33108	BOG入口压力升高，流量升高，可能造成设备受损	1.入口罐冲量安全阀	3	2	6	1.建议PI-33102设置高报警；2.建议PI-33101设置高报警
18.2.1	NG流量高	PI-33108故障关闭PV-33108	压缩机出口压力升高	1.压缩机出口IPSV	3	2	6	1.建议PI-55110设置高报警
18.8.2	冷却水温度低	冬季环境温度低	冷却水结冰，影响压缩机冷却，可能造成部分冷却区域结冰受损	1.水箱已设置PI-33302启动；2.TCV-33301	2	4	8	1.建议针对该工况下，冷却水管线判断是否需要冬季防冻设计
18.9.2	NG流量高	空冷风机故障停车	压缩机及出口罐冲量可能高量受损		3	3	9	1.建议压缩机进气侧冲量设置高报警；2.建议三低空冷下游设置高报警
18.9.3	冷却水温度高	夏季环境温度高	影响压缩机冷却，可能造成压缩机受损		3	3	9	1.建议针对冷却水用户设置高报警

三、结语

HAZOP分析在LNG接收站的运用，不仅有助于识别潜在风险，还能为安全管理工作提供科学依据。通过系统、全面的分析，能够有效预防和减少事故发生，保障人员和设备安全。在LNG接收站这样一个高风险的环境中，HAZOP分析的运用显得尤为重要。它通过细致的审查流程，确保每一个环节都经过严格的评估，从而在源头上避免了可能引发事故的隐患。今后，HAZOP

分析应继续深化在LNG接收站的应用，不断优化和完善分析方法，以适应不断变化的能源市场和技术进步。同时，结合先进的信息技术，如大数据和人工智能，可以进一步提高分析的准确性和效率。为我国能源安全贡献更大力量，确保能源供应的稳定性和可靠性，是HAZOP分析在LNG接收站运用的长远目标。通过不断的努力和创新，我们有理由相信，HAZOP分析将在保障LNG接收站安全运营方面发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 宋媛玲, 白改玲, 周伟, 等. HAZOP 分析方法在液化天然气接收站的应用 [J]. 化学工程, 2012, 40(02): 74-78.
- [2] 杜溪婷, 王宇, 曾广洋. LNG 储罐安全保护方案研究 [J]. 第二届中国液化天然气储运技术交流会中国石油学会, 2016.
- [3] 杜溪婷, 王宇, 曾广洋, 等. 全容式 LNG 储罐安全保护方案研究 [J]. 工程建设与设计, 2017(07): 73-74+77.
- [4] 赵红强, 董传红, 吕志榕. 大型 LNG 储罐控制方案探讨 [J]. 全国石油和化学工业仪表及自动化技术交流研讨会, 2007.
- [5] 杜溪婷, 王宇, 曾广洋, 等. LNG 调峰站工艺研究与工程化设计 [J]. 第二届中国液化天然气储运技术交流会, 2016.
- [6] 王国强, 明学江, 宋涛. LNG 接收站工艺流程案例分析 [J]. 辽宁化工, 2020, 49(05): 532-534.
- [7] 刘诗成, 孙舒, 赵俊丹. HAZOP 分析中优选偏差方法及应用 [J]. 现代职业安全, 2015(01): 17-19.

基于机械强度分析的集装箱标准化尺寸优化研究

张洪勇

天津中集集装箱有限公司, 天津 300461

DOI:10.61369/ETQM.2025060008

摘要： 本文围绕集装箱设计与性能展开研究，深入探讨机械强度分析在集装箱设计中的应用，阐述其基本原理、应用现状及对安全性与可靠性的保障作用。分析集装箱标准化尺寸现状，指出现有尺寸在运输效率方面的不足以及尺寸标准化对物流成本和供应链效率的影响，揭示尺寸不统一给多式联运带来的困难。研究影响集装箱机械强度的关键因素，包括材料选择、结构设计和使用环境。基于机械强度分析，详细介绍集装箱尺寸优化模型的建立过程，涵盖优化目标函数、约束条件的确定，优化算法的选择与应用以及机械强度分析结果在优化模型中的融合。旨在为提升集装箱性能、优化运输效率提供理论与实践依据。

关键词： 集装箱；机械强度分析；标准化尺寸；尺寸优化模型；多式联运

Research on the Optimization of Standardized Container Sizes Based on Mechanical Strength Analysis

Zhang Hongyong

Tianjin CIMC Container Co., Ltd. Tianjin 300461

Abstract： This article focuses on container design and performance, exploring the application of mechanical strength analysis in container design and elaborating on its basic principles, current application status, and its role in ensuring safety and reliability. The article analyzes the current situation of standardized container sizes, pointing out the deficiencies of existing sizes in transportation efficiency and the impact of size standardization on logistics costs and supply chain efficiency. It also reveals the difficulties caused by inconsistent sizes in multimodal transportation. The key factors affecting the mechanical strength of containers are studied, including material selection, structural design, and operating environment. Based on mechanical strength analysis, the article details the process of establishing a container size optimization model, covering the determination of optimization objective functions and constraints, the selection and application of optimization algorithms, and the integration of mechanical strength analysis results into the optimization model. The aim is to provide theoretical and practical basis for improving container performance and optimizing transportation efficiency.

Keywords： container; mechanical strength analysis; standardized size; size optimization model; multimodal transportation

引言

在全球经济一体化深入发展的当下，物流行业呈现蓬勃态势，集装箱运输作为其中的关键环节，地位愈发重要。随着国际贸易规模的不断扩大，集装箱运输量持续增长，其高效、便捷的特性成为全球物流体系顺畅运行的重要保障。集装箱标准化在提升运输效率、降低物流成本方面的作用不可忽视。标准化的集装箱能够实现不同运输方式间的无缝对接，简化装卸流程，减少货物损耗，大幅提高港口、货场等设施的作业效率，降低整体物流成本。而且，标准化还有利于集装箱的循环利用，减少资源浪费，对环境保护具有重要意义。基于机械强度分析的集装箱标准化尺寸优化研究，对于进一步完善集装箱运输体系，推动物流行业高质量发展，具有重要的现实意义和长远的战略意义。

一、机械强度分析在集装箱设计中的应用

（一）机械强度分析的基本原理

机械强度分析是工程领域中至关重要的技术手段。它基于力

学原理，主要研究机械构件在各种外力作用下抵抗变形和破坏的能力。其基本原理包括静力学、动力学和材料力学等。静力学用于分析物体在平衡状态下的受力情况，确定构件的尺寸和形状；动力学研究物体受力后的运动规律，保证机械系统稳定运行；材

料力学则关注材料受力时的变形和破坏规律，帮助选择合适的材料^[1]。在工程应用中，机械强度分析广泛应用于桥梁、建筑、机械装备等领域。通过对结构进行精确的分析，能够预测其在实际使用中的性能和寿命，为设计优化和制造工艺改进提供关键依据，确保机械结构的安全可靠与高效运行。

（二）机械强度分析在集装箱设计中的应用现状

在集装箱设计领域，机械强度分析成果斐然，积累了丰富经验。设计人员运用有限元分析等先进手段，针对集装箱在堆码、吊装、运输等不同工况下的受力状况展开模拟。例如，在对某专用集装箱的研究中，经分析明确其箱盖结构强度欠佳，需配备专用吊具，以此保障使用安全。另有针对保温集装箱与通用货物集装箱的有限元仿真计算表明，在各类工况下，两者的最大应力均小于材料许用应力，强度完全符合要求。这些实践成果为集装箱设计筑牢科学根基，让集装箱得以在复杂多变的环境中安全稳定运行，极大地提升了运输效率，也有力保障了运输过程中的安全性。

（三）机械强度分析对集装箱安全性和可靠性的保障

机械强度分析对确保集装箱安全性与可靠性意义重大。精确计算和分析可提前察觉设计里的潜在缺陷，像应力集中区域、结构薄弱环节等，进而开展优化改进，有效防止在实际使用时出现断裂、变形等危险状况。基于强度分析结果，在材料挑选环节，能够精准选择符合要求的材料，使集装箱在承受各类载荷时具备充足的强度与刚度。通过静强度和刚度测试等试验进行验证，能进一步核验集装箱的安全性能。此外，机械强度分析还可对集装箱的使用寿命做出预测，为维护保养工作提供有力指导，保证集装箱在整个生命周期内都安全可靠，切实保障货物在运输途中完好无损^[2]。

二、集装箱标准化尺寸的现状分析

（一）现有集装箱尺寸标准概述

国际上集装箱尺寸标准以国际标准化组织 ISO 所制定的为主，常见有 20GP、40GP 及 40HC 等类型。20GP 内部尺寸 5898mm×2352mm×2393mm，载重 17.5 吨；40GP 内部尺寸 12032mm×2352mm×2393mm，载重 28 吨；40HC 高度增加，内部尺寸 12032mm×2352mm×2698mm。这些标准集装箱在全球贸易中广泛应用，涵盖了海洋、铁路、公路等多种运输方式，为货物运输提供了基本框架。它们使得不同国家和地区间的货物运输能够实现规范化操作，保障了全球物流体系的顺畅运行，是国际贸易高效开展的重要基础，在促进世界经济交流与合作中发挥着不可替代的作用。

（二）现有尺寸在运输效率上的不足

现有集装箱尺寸在提高运输效率方面存在诸多不足。一方面，国际、国内木工板、装饰板等标准板材规格是：宽 4 英尺×长 8 英尺（1 220 毫米×2 440 毫米），铝合金型材、电工管、方管等标准管材长度是 6 000 毫米；但是，20 英尺海运集装箱内尺寸是（5 898×2352×2385），2440 毫米-2 352、宽度小了 88，平

放 2 张板材尺寸不足、横放 1 张放不下，浪费有效空间，长度方向（1220×5）-5898 毫米小了 202（图 1）；长度 6 000 的管材装不进 20 英尺海运集装箱，6 000-5 898 小了 102；40 英尺海运集装箱与 20 英尺集装箱情况基本相同^[3]。另一方面，集装箱外部尺寸与部分运输工具存在冲突，比如我国铁路车皮货载限宽 3000 毫米，公路运输车辆限宽 2500 毫米，而国际标准集装箱宽度 2438 毫米，在铁路和公路运输时，会出现空间浪费或无法适配的情况，影响运输效率。再者，不同行业对集装箱尺寸需求各异，现有尺寸难以满足多样化需求，导致空间利用率低，增加了运输成本。

（三）尺寸标准化对物流成本和供应链效率的影响

尺寸标准化对物流成本与供应链效率有着极为深远的影响。从物流成本角度而言，标准化使得物流链各环节能够实现高效衔接。在货物运输与装卸过程中，因尺寸标准统一，操作流程得以简化，从而减少了操作成本，降低了货物在这些环节可能产生的损耗，切实有效地降低了整体物流成本。在供应链效率方面，标准化的集装箱、托盘等载具优势显著。不同运输方式，如公路、铁路、海运之间，借助标准化尺寸可实现无缝对接，货物周转时间大幅缩短，供应链的响应速度明显加快，进而全面提升了整体供应链的运行效率^[4]。此外，标准化尺寸对于集装箱的循环利用十分有利。统一的尺寸便于集装箱在不同运输场景和物流环节中重复使用，减少了因尺寸不兼容导致的资源浪费现象，这对于推动物流行业的可持续发展，实现资源的高效利用，有着举足轻重的意义。

（四）尺寸不统一对多式联运的困难

尺寸不统一为多式联运带来了重重阻碍。在多式联运体系下，公路、铁路、海运等不同运输方式对集装箱尺寸有着各自的标准和适配要求。当集装箱尺寸不统一时，在运输方式转换节点，如从公路运输换装至铁路运输，或是从铁路运输衔接海运时，极易出现装卸困难的情况。货物无法顺利、快速地完成转运，导致等待时间大幅延长，不仅增加了运输过程中的时间成本，还因延误造成额外的经济支出，极大地降低了运输效率。同时，尺寸不统一严重影响运输设备的兼容性。一些特制或标准尺寸的运输工具，难以适配非标准尺寸的集装箱，使得运输工具的装载空间无法得到充分利用，造成资源闲置与浪费。这种状况阻碍了多式联运流程的顺畅推进，长此以往，不利于物流行业构建高效、协同的运输体系，对物流行业的整体健康发展形成制约。

三、影响集装箱机械强度的关键因素

（一）材料选择对强度和耐久性的影响

材料选择对集装箱的强度和耐久性至关重要。钢制集装箱强度高、结构牢，焊接性高，水密性好，价格低廉，但重量大、防腐性差。铝合金集装箱重量轻，外表美观，防腐蚀，弹性好，加工方便，使用年限长，缺点在于造价高，焊接性能差^[5]。玻璃钢集装箱强度高，刚性好，内容积大，隔热、防腐、耐化学性好，易清扫，修理简便，不过也存在重量大、易老化的问题。不同材料的集装箱在面对不同的运输环境和货物需求时，其强度和耐久

性表现各异，选择合适的材料是保证集装箱性能的基础。

（二）结构与机械强度的关系

集装箱的结构设计与机械强度紧密相连。底框作为主要受力部件，其支撑梁的不同布置方式会影响整体结构强度。如某研究对20尺标准集装箱底框的两种支撑梁布置方式进行有限元仿真分析，为设计提供参考。节点设计也极为关键，传统集装箱结构节点处易出现应力集中、波纹板面外鼓曲、角柱面外失稳等情况，而外框内箱结构则能实现“强柱弱梁”的要求。船级社针对不同货运方式规定了多项检验标准，结构设计时需满足这些标准，如全铝集装箱要优先关注堆码和横向刚性测试^[6]。合理的结构设计能保证集装箱在各种工况下拥有足够的机械强度，确保运输安全。

（三）使用环境对集装箱强度的影响

温度、湿度等使用环境因素对集装箱强度影响显著。在高温环境下，集装箱材料可能会发生热膨胀，导致结构变形，影响强度。例如长时间暴露在烈日下的集装箱，内部温度大幅升高，材料性能可能下降。而低温则会使材料变脆，抗冲击性能降低，增加断裂风险。湿度方面，高湿度易引发材料锈蚀，如钢制集装箱在潮湿环境中腐蚀速度加快，强度减弱。凝露现象还会产生冷凝水，对箱内货物和结构造成损害。不同地区的气候差异、运输过程中的温湿度变化，都会对集装箱的强度带来挑战，需采取相应措施来应对。

四、基于机械强度分析的集装箱尺寸优化模型建立

（一）优化目标函数和约束条件的确定

在基于机械强度分析的集装箱尺寸优化模型中，目标函数通常设定为集装箱体积利用率最大化，以实现资源的高效利用，提高运输效率。约束条件方面，首先是重量约束，集装箱内货物的总重量不能超过其最大载重量。其次是尺寸约束，货物的尺寸需满足集装箱内部空间限制，且集装箱自身尺寸要适应运输工具和装卸设备的规格^[7]。还有稳定性约束，货物需得到充分支撑，避免运输中因晃动损坏。方向约束也不可忽视，货物摆放需遵循一定规则，确保装卸和运输安全。这些约束条件共同保障了优化模型在实际应用中的可行性和有效性，为后续优化算法的选择与应

用奠定基础。

（二）优化算法的选择与应用

对于集装箱尺寸优化，混合启发式算法表现出色。它结合了块装载算法的剩余空间启发式算法与模拟退火算法，在多约束条件下，针对大规模集装箱装载问题，能有效提高空间利用率^[8]。块装载算法可生成简单块和复合块，降低问题复杂度。模拟退火算法则通过模拟固体退火过程，在搜索过程中引入随机因素，避免陷入局部最优，从而找到更优的装载方案。还有智能装箱计算软件中的算法，能根据货物信息生成最优装载方案，提升空间利用率，降低运输成本，提高装载效率。这些算法在实际应用中，通过计算机技术实现自动化计算，为集装箱尺寸优化提供了有力的工具。

（三）机械强度分析结果在优化模型中的融合

将机械强度分析结果融入优化模型至关重要。一方面，可通过有限元仿真等方法，获取集装箱在不同尺寸和结构下的应力、应变等强度数据，将其作为约束条件纳入优化模型。例如在底框结构设计中，不同支撑梁布置方式的强度分析结果，可指导优化模型中的尺寸参数选择^[9]。另一方面，可利用克里金模型与粒子群算法等优化方法，将强度分析结果转化为约束条件嵌入算法中，实现尺寸参数的寻优^[10]。在多目标优化中，将结构强度与质量、刚度等目标一同考虑，通过模态分析等确保优化后的集装箱在满足强度要求的同时，具备良好的整体性能，使优化模型更加全面、科学。

五、结束语

本研究聚焦基于机械强度分析的集装箱标准化尺寸优化展开深入探究。研究发现，机械强度分析在集装箱设计中意义重大，是保障其安全可靠的关键。通过对现有集装箱尺寸标准的分析，明确其在运输效率等方面存在不足。而材料选择、结构设计以及使用环境等因素均对集装箱机械强度产生重要影响。在建立尺寸优化模型时，合理确定优化目标函数与约束条件，选择合适的优化算法，并将机械强度分析结果融入其中，能有效提升集装箱的性能与运输效率，为物流行业的进一步发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 黄啟盛. 面向PI集装箱的组合适配算法 [D]. 武汉理工大学, 2022. DOI: 10.27381/d.cnki.gwlgw.2022.001045.
- [2] 孙希强. 超宽分体式恒温集装箱箱体设计分析实验 [D]. 华南理工大学, 2018.
- [3] 席平. 关于21英尺、41英尺陆运集装箱尺寸的探讨 [J]. 大陆桥视野, 2021, (06): 43-44.
- [4] 汪涛, 刘子健. 集装箱包装设计链改良与空间装配方案设计研究 [J]. 包装与设计, 2024, (01): 110-111.
- [5] 高佳鑫, 黄志祥, 陈斌, 等. 基于货物集装箱的受限空间轰燃火灾行为研究 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2023, 45(06): 868-874.
- [6] 张雨奇, 邓婧蓉. 集装箱式应急医疗空间医护区的标准化模数设计 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (08): 89-91.
- [7] 刘亚欣, 李琪. 坡度堆场下集装箱吊取的分析 [J]. 珠江水运, 2022, (14): 58-60. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2022.14.029.
- [8] 王梦蛟. 多传感器融合的集装箱拆垛视觉系统研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022. DOI: 10.27061/d.cnki.ghgdu.2022.003795.
- [9] Lee W L W. 考虑集装箱放关情况的自动化集装箱码头船舶配载研究 [D]. 上海交通大学, 2022. DOI: 10.27307/d.cnki.gsjtu.2022.000194.
- [10] 陈振宇, 马淑梅. 改进型出口集装箱堆场堆存方案设计与仿真 [J]. 水运管理, 2021, 43(10): 15-19+29. DOI: 10.13340/j.jsm.2021.10.005.

高温隧道衬砌混凝土温度裂缝成因分析与防治措施研究

蒋运奎

中铁五局集团第一工程责任有限公司, 湖南 长沙 410000

DOI:10.61369/ETQM.2025060009

摘 要 : 在高温隧道工程里, 衬砌混凝土易出现温度裂缝, 这严重威胁隧道的安全性与耐久性。本文深入剖析其成因并提出防治措施。成因方面, 水泥水化热在大体积衬砌混凝土内部大量积聚, 造成内外温差大, 产生温度应力; 环境温度受施工和季节影响, 持续给混凝土升温, 加大温度应力; 混凝土干燥收缩和自收缩, 在围岩、模板等约束下与温度应力叠加; 施工工艺中, 浇筑速度、振捣及拆模时间不当也易引发裂缝。防治上, 优化混凝土配合比, 选低热水泥、降水泥用量和水灰比; 改善施工工艺, 控制浇筑速度、保证振捣质量、合理拆模; 加强温度控制, 降低浇筑温度、合理埋设冷却水管、做好保温; 增强监测维护, 实时监测并及时处理裂缝。通过这些措施, 可保障隧道衬砌质量和运营安全, 同时推动温控技术持续发展。

关 键 词 : 高温隧道; 衬砌混凝土; 温度裂缝; 成因分析; 防治措施

Analysis of Causes and Prevention Measures for Temperature Cracks in High-Temperature Tunnel Lining Concrete

Jiang Yunkui

China Railway Fifth Group First Engineering Co., Ltd. Changsha, Hunan 410000

Abstract : In high-temperature tunnel projects, lining concrete is prone to temperature cracks, which seriously threaten the safety and durability of the tunnel. This article deeply analyzes its causes and proposes prevention measures. Regarding the causes, the heat of cement hydration accumulates in large volumes of lining concrete, resulting in large temperature differences between the inside and outside, generating temperature stress. The ambient temperature is affected by construction and seasonal factors, continuously increasing the temperature of the concrete and increasing temperature stress. Concrete drying shrinkage and self-shrinkage are superimposed with temperature stress under the constraints of surrounding rocks and formwork. In the construction process, improper pouring speed, vibration, and formwork removal time can also easily cause cracks. In terms of prevention and control, it is necessary to optimize the concrete mix ratio, select low-heat cement, reduce cement consumption and water-cement ratio; improve the construction process, control the pouring speed, ensure the quality of vibration, and reasonably remove the formwork; strengthen temperature control, reduce the pouring temperature, reasonably lay cooling water pipes, and ensure heat preservation; enhance monitoring and maintenance, conduct real-time monitoring, and promptly deal with cracks. Through these measures, the quality of tunnel lining and operational safety can be ensured, while promoting the continuous development of temperature control technology.

Keywords : high-temperature tunnel; lining concrete; temperature cracks; cause analysis; prevention measures

引言

混凝土因具备诸多优良特性, 在隧道衬砌施工领域得到了广泛应用。然而, 高温隧道环境极为特殊, 衬砌混凝土在这样的环境下, 极易出现温度裂缝问题。这些温度裂缝所带来的影响不容小觑, 它们不仅仅会破坏隧道的外观, 更关键的是, 可能会大幅削弱衬砌结构的承载能力, 使得隧道的耐久性和安全性显著降低, 为隧道的长期稳定运营埋下极大的隐患。所以, 全面、深入地剖析高温隧道衬砌混凝土温度裂缝的形成原因, 并依据这些成因有针对性地制定和提出防治措施, 对于切实保障隧道工程质量、确保隧道安全稳定运营而言, 具有不可忽视的重要意义。

一、高温隧道衬砌混凝土温度裂缝成因

我国铁路工程建设的重点逐步向西部地区转移。西部地区山峦众多、地形复杂，隧道工程建造过程容易受到不良地质条件、障碍物、复杂严酷环境等的影响^[1]。在高温隧道建设与运营过程中，衬砌混凝土温度裂缝问题严重威胁着隧道结构的稳定性与耐久性。深入剖析裂缝产生的原因，是制定有效防治措施的重要前提。下面将从水泥水化热、环境温度影响、混凝土收缩和施工工艺等方面，对高温隧道衬砌混凝土温度裂缝的成因展开系统分析。

（一）水泥水化热

水泥在水化反应进程中，会持续且大量地释放热量。在高温隧道场景下，衬砌混凝土通常以大体积形式存在，这就使得热量在其内部难以有效散发。水化热在混凝土内部不断累积，导致混凝土内部温度以较快速度急剧攀升。与此同时，混凝土表面因直接与隧道内空气接触，散热相对较为迅速，这就使混凝土内部和表面之间形成较大的温度梯度。基于这种温度梯度，混凝土内部会产生温度应力。当该温度应力超过混凝土自身的抗拉强度极限时，就会致使混凝土结构开裂，进而引发温度裂缝^[2]。诸多研究表明，水泥品种、用量和水灰比等关键参数，对水化热的释放有着不可忽视的影响。不同品种水泥的矿物组成存在差异，导致其水化热释放速率和总量各不相同，高水化热水泥会促使混凝土内部温度快速上升。水灰比过大时，为满足施工和易性，水泥用量会相应增多，从而加剧水化热的产生，显著增加温度裂缝出现的可能性。

（二）环境温度影响

隧道内部温度场时刻处于动态变化，施工环境、季节交替、围岩高温和环境温度共同对衬砌混凝土性能及隧道安全产生严重影响。

高温季节施工时，隧道内环境温度很高，衬砌混凝土浇筑后不断吸收外界热量，温度持续上升^[3]。若通风不好，热量排不出去，隧道会形成高温封闭空间，加上高温围岩持续传热，混凝土温度会升得更高。

在隧道运营阶段，若通风系统设计有问题或维护不到位，外界环境高温和围岩高温产生的热量会在隧道内不断累积，持续给衬砌混凝土升温。混凝土温度上升，内部温度应力逐渐增大，而其承受应力的能力有限，一旦应力超出极限，混凝土结构就会被破坏，出现温度裂缝的可能性大增。

温度裂缝不仅影响隧道衬砌外观，还会降低衬砌结构的承载能力和耐久性，严重威胁隧道长期安全运营。所以，在隧道施工和运营过程中，一定要重视温度场变化对衬砌混凝土的影响，综合考虑各种因素，采取有效的温控措施，尽量减少温度裂缝，保障隧道安全稳定。

（三）混凝土收缩

混凝土在硬化进程中，内部水分会逐渐散失，这是其产生体积收缩的内在原因。在高温隧道环境里，其空气相对湿度普遍较低，这一特殊环境使得混凝土表面的水分蒸发速度大幅加快，从而极大地加剧了混凝土的干燥收缩程度。当混凝土的收缩变形受到围岩、模板等外界因素的限制时，混凝土内部便会产生收缩应力。与此同时，混凝土内部因温度变化而产生的温度应力依旧存

在，这两种应力相互叠加，给混凝土结构带来了更大的压力，促使混凝土结构出现裂缝，最终形成温度裂缝，对隧道衬砌的结构安全造成严重威胁^[4]。

自收缩是混凝土在恒温绝湿的特殊条件下，由胶凝材料的水化作用引发的自身收缩现象。在高温环境中，水泥的水化反应速度加快，致使混凝土内部的化学收缩增多，进而使自收缩量相应增大。自收缩产生的应力进一步提升了混凝土内部的应力水平，同样提高了混凝土出现温度裂缝的风险，严重影响了隧道衬砌的耐久性与稳定性。这不仅会缩短隧道的使用寿命，还可能在运营过程中引发安全事故，因此必须高度重视并采取有效措施加以防范。

（四）施工工艺问题

在混凝土浇筑环节，浇筑速度的把控至关重要。若浇筑速度过快，混凝土内部热量无法及时散发，各部位散热速率差异较大，便会形成较大的温度梯度，显著增加混凝土内部的温度应力。此外，浇筑过程中振捣作业不可或缺，振捣不密实，混凝土内部会出现蜂窝、麻面等缺陷，存在较多空隙。这些空隙削弱了混凝土的整体结构，降低了其整体强度以及抗裂性能，使其在温度应力作用下，更容易产生裂缝。

模板拆除的时机同样关键。过早拆除模板，混凝土强度还未达到设计要求，难以承受自身重力和外界的荷载^[5]。此时，温度应力与其他应力相互叠加，导致混凝土结构变形，极易出现裂缝。并且，拆模时若工人操作不当，对混凝土结构产生较大的冲击力，会直接损伤混凝土的内部结构，也可能引发裂缝，降低衬砌混凝土的质量与耐久性。

二、高温隧道衬砌混凝土温度裂缝防治措施

鉴于高温隧道衬砌混凝土温度裂缝成因涵盖水泥水化热、环境温度、混凝土收缩和施工工艺等多方面，极为复杂。为切实提升隧道衬砌质量，保障隧道安全稳定运行，必须从多维度、系统性制定防治措施。优化混凝土配合比，可选用低热水泥、降低水泥用量和水灰比等；改善施工工艺，严格把控浇筑速度、振捣质量与拆模时间；加强温度控制，降低浇筑温度、合理埋设冷却水管；增强监测与维护，实时监测并及时处理裂缝。下面将围绕这些方面，对温度裂缝的防治展开深入探讨。

（一）优化混凝土配合比

在高温隧道衬砌混凝土施工中，水泥品种的选择是控制水化热的关键因素。优先选用低热或中热水泥，能够显著减少水泥水化热的生成^[6]。这是因为这类水泥的矿物成分和结构特性，使其水化热释放速率相对较低，从而有效抑制混凝土内部温度的快速上升。以矿渣硅酸盐水泥为例，与普通硅酸盐水泥相比，它在水化过程中，水化反应更为缓和，释放的水化热更低，因此在高温隧道衬砌施工是值得优先考虑的水泥品种。

在满足混凝土强度与施工性能的前提下，应尽量降低水泥用量和水灰比。合理使用粉煤灰、矿渣粉等掺合料，部分替代水泥，既能减少水泥水化热的产生，又能改善混凝土的和易性，增强其抗渗性，提升混凝土的耐久性。此外，优化骨料级配，选用粒径较大、级配良好的骨料，能有效减少水泥浆用量，降低单位体积混凝土的水化热，进而更好地控制混凝土内部温度，减少温度裂缝的产生。这些措施相互配合，能够从多个方面降低水化热

对混凝土的影响,提高隧道衬砌混凝土的质量,保障隧道的安全稳定运行。

（二）改善施工工艺

在混凝土浇筑阶段,严格把控浇筑速度是关键一环。浇筑速度过快,混凝土内部热量堆积难以散发,易形成较大温度梯度,引发温度裂缝;而浇筑速度过慢,则会导致施工冷缝,降低混凝土整体性。因此,维持均匀的浇筑速度,能促使混凝土内部热量均衡散发,减小温度梯度^[7]。振捣环节同样不可忽视,确保振捣密实,能排出混凝土内部气泡,增强其密实度与抗裂性能。采用分层浇筑、分层振捣的工艺,每层厚度控制在合理范围,可有效提升振捣效果。

拆模时间的确定对混凝土质量影响显著。需根据混凝土强度增长情况以及实际施工条件,合理安排拆模。在混凝土强度未达设计要求时,过早拆模会致使混凝土因无法承受自身与外界荷载而开裂^[8]。拆模时,规范操作方法,避免对混凝土造成机械损伤。通过在混凝土内部预埋温度传感器,实时掌握其内部温度和强度变化,为精准确定拆模时间提供可靠依据。

（三）加强温度控制

在高温季节开展隧道衬砌混凝土施工时,为确保工程质量,必须采取一系列有效措施来降低混凝土浇筑温度。对原材料进行降温是关键一环,例如对骨料实施喷水冷却,水在蒸发过程中会吸收大量热量,从而降低骨料的温度;还可以采用加冰搅拌的方式,冰融化时会吸收热量,进而降低混凝土拌和物的温度^[9]。与此同时,应尽量缩短混凝土的运输时长,选择隔热性能良好的运输设备,最大程度减少运输途中混凝土对热量的吸收。在浇筑现场搭建遮阳棚也十分必要,遮阳棚能够阻挡阳光直射,有效降低混凝土浇筑时的温度。

在混凝土内部合理埋设冷却水管同样重要,需依据混凝土结构尺寸、温度场分布的实际情况,精确确定水管间距、管径和通水时间。同时,要严格控制通水温度与流量,避免因冷却速度过快而使混凝土内部产生过大的温度应力。

混凝土浇筑完成后,及时做好表面保温工作不容忽视。覆盖草帘、棉被等保温材料,可以减缓混凝土表面的散热速度。喷洒养护剂在混凝土表面形成保护膜,这不仅能减少水分蒸发,还能起到保温保湿的双重功效,有效减小混凝土内外温差,降低温度裂缝产生的风险。

（四）增强监测与维护

在隧道衬砌混凝土施工以及后续漫长的运营阶段,于混凝土

内部科学地埋设温度传感器与应力传感器是极为关键的环节。借助先进且高精度的监测系统,能够对混凝土的温度与应力变化展开实时、精准的监测。这一过程如同为隧道衬砌安装了“智慧大脑”,时刻掌握其内部状态^[10]。一旦监测数据超出预先设定的阈值,便能迅速做出反应,及时调整施工工艺。例如,当温度异常升高时,可优化浇筑速度,使混凝土内部热量更均匀地散发;同时调整冷却水管通水参数,确保混凝土内部温度得到有效控制。此外,同步改进温度控制措施,以此维持混凝土的温度与应力始终处于安全范围之内。

在隧道运营期间,定期开展衬砌检查工作必不可少。利用专业检测设备,能够及时发现诸如温度裂缝等病害。针对不同情况的裂缝,需要采取适配的处理方法。若裂缝宽度较小,可采用表面封闭法,使用密封材料对裂缝表面进行细致封闭,防止水分和有害介质侵入,避免裂缝进一步发展。当裂缝宽度较大时,压力灌浆法较为适用,通过向裂缝中注入高强度灌浆材料,填充裂缝空间,恢复衬砌结构的完整性,确保其承载能力满足运营要求,保障隧道安全稳定运行。

三、结束语

高温隧道衬砌混凝土温度裂缝的产生,是水泥水化热、环境温度、混凝土收缩以及施工工艺等多种因素协同作用的复杂结果。水泥水化热在大体积衬砌混凝土内部大量积聚,致使内部温度急剧上升,与表面形成显著温度梯度,进而产生温度应力。环境温度受施工环境和季节变化的影响,持续向混凝土传递热量,使温度应力不断增大。混凝土在硬化过程中,干燥收缩和自收缩在围岩、模板等约束下,与温度应力叠加,加速裂缝形成。施工工艺方面,浇筑速度、振捣效果以及拆模时间等不当操作,也为裂缝产生创造了条件。

为有效防治温度裂缝,需多管齐下。在优化混凝土配合比上,选择低热或中热水泥、合理降低水泥用量和水灰比、利用掺合料和优化骨料级配;改善施工工艺,控制浇筑速度、保证振捣密实、合理确定拆模时间;加强温度控制,降低浇筑温度、科学埋设冷却水管、做好表面保温;增强监测与维护,实时监测温度应力并及时调整施工,定期检查衬砌并处理裂缝。实际工程中,应依据隧道具体情况制定防治方案,严格把控施工。随着隧道工程技术发展,还需持续研究温度裂缝的形成机理与防治方法,完善温控技术,确保隧道衬砌混凝土质量和运营安全。

参考文献

- [1]王家赫,黄法礼,李化建,等.铁路隧道衬砌混凝土温度裂缝原因分析与防治措施[J].铁道建筑,2020,60(09):73-77.
- [2]张天放.隧道衬砌混凝土裂缝的成因与防治[J].今日科苑,2009,(12):104-105.
- [3]段亚辉,樊启祥.水工隧洞衬砌混凝土温度裂缝控制理论与应用[M].中国水利水电出版社:202110.448.
- [4]赵一杰.隧道主体结构混凝土裂缝成因分析及预防措施[J].四川建材,2024,50(05):175-177.
- [5]崔竣尧.隧道混凝土管片的孔洞和裂缝成因及控制方法研究[J].地下水,2022,44(04):297-298+305.DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2022-04-104.
- [6]练强,冯恺.公路隧道复合衬砌结构裂缝成因分析与处治措施[J].土工基础,2022,36(03):383-386.
- [7]雷明林,侍鸿刚.大跨径隧道衬砌裂缝成因分析及处治方案[J].产业创新研究,2022,(10):118-120.
- [8]杨清翔.隧道衬砌混凝土裂缝成因及施工防治措施[J].中国高科技,2020,(10):113-114.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2020.10.44.
- [9]张已学.水工隧洞衬砌混凝土裂缝成因分析及控制措施分析[J].门窗,2019,(11):195.
- [10]王雪红.北方高铁隧道无砟轨道道床混凝土裂缝成因分析及处理[J].四川水泥,2018,(07):347.

基于增材制造技术的汽车复杂零部件定制化 生产工艺研究

盛钢

浙江三花汽车零部件有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/ETQM.2025060011

摘要： 随着汽车工业对高性能、轻量化和个性化零部件需求的增加，增材制造技术因其独特的优势逐渐成为行业关注的焦点。本文探讨增材制造技术在汽车零部件生产中的具体应用，重点分析其在高性能发动机部件、底盘及悬挂系统、内饰外饰件以及电气与电子系统的集成制造中的工艺流程和技术优势，并展示其在定制化生产中的潜力。研究表明，增材制造技术显著提升了汽车零部件的制造效率和质量，实现了从设计创新到性能优化的全面提升。

关键词： 增材制造；激光粉末床熔融；定制化生产；高性能零部件

Research on Customized Production Process of Complex Automotive Parts Based on Additive Manufacturing Technology

Sheng Gang

Zhejiang Sanhua Automotive Parts Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： With the increasing demand for high-performance, lightweight and personalized parts in the automotive industry, additive manufacturing technology has gradually become the focus of industry attention due to its unique advantages. This paper discusses the specific application of additive manufacturing technology in the production of automotive parts, focusing on analyzing its process flow and technical advantages in the integrated manufacturing of high-performance engine parts, chassis and suspension systems, interior and exterior trims, and electrical and electronic systems, and demonstrates its potential in customized production. Studies have shown that additive manufacturing technology has significantly improved the manufacturing efficiency and quality of automotive parts, achieving a comprehensive improvement from design innovation to performance optimization.

Keywords： additive manufacturing; laser powder bed fusion; customized production; high-performance parts

近年来，增材制造技术（也称为3D打印）作为一项革命性的制造工艺，在多个行业中展现了巨大的潜力。尤其在汽车制造领域，随着汽车轻量化、高性能化以及复杂几何形状的不断提高，传统加工方式已日益显现出其局限性。增材制造可降低材料浪费，并可实现高度定制化，为汽车零部件设计和制造提供了前所未有的灵活性，正由原型制造向批量生产转变，促进其工业化应用。面对日益增长的市场需求与技术进步，增材制造技术在汽车零部件制造领域的应用具有重要意义。

一、增材制造技术发展趋势

增材制造技术，或称3D打印，自20世纪80年代末期发展以来，已经成为现代制造业中一项颠覆性的技术。它以材料层层堆叠的方式构筑三维实体，突破传统“减材”制造的局限，实现由简单原型制造向复杂功能构件的直接制造^[1]。随着材料科学、计算机辅助设计（CAD）和精密控制技术的进步，增材制造不仅在航空航天、医疗等高端领域取得了显著成就，也开始渗透到日常生活用品的生产中。

在全球范围内，增材制造产业规模持续增长。据 Wohlers

Associates报告，2021年全球增材制造市场规模已达到近97.95亿美元，并预计未来将以较高的增长率继续扩张。特别是在金属增材制造方面，激光粉末床熔融（PBF-LB）仍然是主流技术，而新材料和改良材料的不断推出也为市场注入了新的活力。此外，定向能沉积（DED）等新兴技术也逐渐崭露头角，为大尺寸零件的制造提供了可能。

中国增材制造技术与产业发展迅猛，国家政策支持下，我国已建成一批国家级、省级增材制造创新中心，形成了一条较为完整的产业链，为我国增材制造产业发展提供了有力支撑。中国增材制造产业已由研发阶段迈向产业化应用阶段，在满足国内市场需求的同时

时，也在积极开拓国际市场，已成为全球增材制造领域的一支重要力量^[2]。尽管如此，中国仍面临着关键原材料依赖进口、系统应用研究匮乏的严峻挑战，亟需进一步提升自主研发能力与应用研究深度，实现更大规模的技术突破与产业升级。

二、汽车复杂零部件的需求分析

（一）汽车复杂零部件的需求驱动因素

随着汽车行业的飞速发展，尤其是新能源汽车、无人驾驶、车联网等技术的兴起，使得汽车零部件的质量不断提高。轻量化是当今汽车设计的重要发展方向，特别是对于电动汽车来说，轻量化能够有效地延长汽车的续航里程，减少能源消耗。因此，汽车制造企业越来越倾向于使用高强度钢材、铝合金乃至碳纤维等先进材料制造车身结构件及其他关键零部件。增材制造是一种在保持或改善机械性能的前提下，对零件进行优化设计，减少不必要的材料用量，从而达到轻量化的目的。

随着汽车零部件功能和安全水平的不断提高，汽车零部件的设计越来越复杂。现代发动机管理系统、刹车系统、悬挂系统等均要求高精度、高效率地工作，这就要求相关部件具有高精度、高可靠性等特点。增材制造技术允许设计者突破传统制造过程的局限，实现更复杂的内部及外部形状，比如集成冷却流道、内支撑结构等，这是传统制造技术难以实现的设计特征，对提高产品性能具有重要意义。

随着消费者对个性化、个性化需求的不断提高，对小批量生产的需求也越来越大。增材制造技术是一种高度灵活性的制造方式，它能使企业在不需要大量前期投入模具开发或其他固定成本投入的情况下，迅速地按照客户的具体需求进行设计与生产调整。这样既能提高企业对市场的反应能力，又能提高产品的竞争能力。

（二）汽车复杂零部件的具体需求分析

具体到汽车复杂零部件中，包括发动机、变速器等核心零部件，常在高温高压环境下工作，对耐磨损、耐腐蚀等性能提出更高的要求。增材制造是一种利用激光熔融技术，选择合适的合金粉，制备出性能优良的零件。此外，增材制造技术还支持复杂几何构型设计，如优化流道结构可提高散热效率。

随着电动汽车、智能网联汽车的快速发展，电力电子系统的复杂性日益增加。这种系统由大量的传感器、控制器和执行器组成，它们之间的协作要求很高。增材制造技术可应用于电路板支架、连接器及其他小而关键的零件的制造，以保证系统的紧凑性与可靠性。

安全气囊和防抱死制动系统（ABS）是保证驾驶员安全的重要设备。这些系统所使用的部件，通常都需要通过严格的试验验证，以保证其在各种极端工况下的稳定运行^[3]。采用增材制造技术，不仅能生产出符合高标准的安全件，而且能缩短产品研发周期，加速产品迭代。汽车工业对复杂零件的要求越来越高，轻量化，高性能，个性化，小批量生产。

三、增材制造技术在汽车零部件生产中的应用

（一）高性能发动机部件的制造

增材制造技术在高性能发动机设计和制造方面具有独特优势。涡轮增压器的关键零部件，如叶轮、喷油嘴等，不仅要求精度高，强度高，而且耐高温、耐磨损。以镍基超合金为基体，采用激光粉末床熔融（PBF-LB）技术，可实现复杂内冷通道涡轮叶片的成形。这种结构不仅可以提高冷却效率，而且可以大幅度提高发动机的工作温度范围，提高发动机的综合性能。另外，增材制造技术还可以实现一体化制造，减少装配步骤，降低制造成本，提高构件的总体可靠性。

传统方法难以实现喷油嘴内部复杂结构设计，而增材制造技术可通过精确控制材料沉积实现喷嘴流道优化设计，进而提高燃油雾化效率。同时，该技术也可应用于发动机气缸盖、活塞等常需高温高压工作的零部件，增材制造技术为其提供了材料选择性与设计灵活性，使其在极端工况下具有更好的性能。

（二）汽车底盘及悬挂系统的应用

汽车底盘和悬挂系统是决定车辆操控性和舒适性的关键因素之一。传统精制方法对复杂几何形状的加工具有一定的局限性，而增材制造技术可以突破这一局限，实现更高效率的设计和制造。通过增材制造技术，设计并制备带内支撑结构的减振器壳，在实现轻量化的同时提高结构强度与耐久性。

转向节是连接前桥和转向系统之间的关键部件，对转向节的设计有很高的要求。采用增材制造技术，可获得最佳几何形状的转向节，在保证强度的同时，大幅度减重。这不仅提高了汽车的燃料经济性，而且提高了驾驶感受。另外，增材制造技术也可以应用到其他底盘零件的制造中，例如副车架、刹车钳等，这些零部件也能从轻量化设计中受益。

（三）内饰及外饰件的个性化定制

随着消费者个性化需求的不断提高，汽车内饰及外饰件定制化的趋势越来越明显。增材制造技术是解决上述问题的有效途径。采用增材制造技术，可定制仪表板，扶手，门把手等内部部件，颜色，纹理，功能特征，以满足用户的特定需求^[4]。这种柔性生产模式不仅可以缩短产品的研发时间，而且可以有效地减轻库存压力，提高市场反应能力。

在汽车的外观设计中，增材制造技术也起到了很大的作用。汽车保险杠和进气格栅等零部件除了具有良好的气动性能外，还应满足美观设计的需要。利用增材制造技术，设计人员可以在不牺牲功能的情况下，创造出更复杂、更有创意的外形。另外，这项技术也使得小批量生产变得更加灵活，可以让厂商迅速地生产出限量版或特别定做的款式，来满足不同顾客的个性化需求。

（四）电气与电子系统的集成制造

现代汽车的电气与电子系统变得越来越复杂，包含了大量的传感器、控制器和执行器等精密元件。增材制造（AM）技术为这类零件的制造提供了新的可能。传统方法在电路板支撑件及壳体设计时，往往会遇到结构复杂、内部结构复杂等问题。然而，增材制造技术却能很好地解决这一难题，使设计者可以设计出复杂的内部结

构。这种结构不仅可以提高散热效率，而且可以对内部元器件起到很好的保护作用。将冷却通道集成到电路板支撑结构中，或采用高效导热材料，可显著提高系统的稳定性与使用寿命。

增材制造技术在传感器和执行器的制造方面也展现了其独特的优势。传感器和执行器是汽车电气系统中的核心部件，它们通常需要具备高精度和可靠性。利用增材制造技术，可以制造出小型但至关重要的传感器，如位置传感器、温度传感器等，并通过优化设计使其更加紧凑。这不仅提高了系统的集成度，还增强了整体的可靠性。此外，这一技术也可应用于生产用户需要的连接器及其他接口部件，以保证电力系统的稳定运行。通过增材制造技术制备的连接件可根据特定应用场景精确调节，具有更高的电、力学性能，以满足不同工作条件的需要。

随着车联网技术的不断发展，车载信息娱乐系统和导航系统等智能终端的需求量越来越大。增材制造技术不仅可应用于这类智能装备的壳体、支撑件，也可用于天线、射频等关键部件的集成制造。通过集成化设计，可以缩短装配工序，降低制造成本，提高系统的总体性能与稳定性^[5]。利用增材制造技术制备天线，可在保证信号质量的同时实现小型化、高集成度，尤其适用于空间受限的车内环境。这种技术还可以应用于开发新型的射频模块，使得通信系统能够利用更宽的带宽，支持更快的数据传输速率，进一步推动智能网联汽车的发展。

四、基于增材制造技术的汽车复杂零部件定制化生产工艺

（一）高精度金属零部件的定制化生产

增材制造技术在高精度金属零部件的定制化生产中，通常采用激光粉末床熔融（L-PBF）工艺。工程师根据设计需求使用CAD软件创建三维模型，并将其转换为STL文件格式。然后，该文件被导入到专门的切片软件中，软件会将三维模型分解成一系列薄层，并生成相应的加工路径和参数。

接下来，在L-PBF设备中，一层薄薄的金属粉末会被均匀铺设在工作台上，随后激光束按照预设路径扫描这层粉末，使其局部熔化并固化形成零件的一部分。这一过程逐层重复进行，直至整个零件构建完成。为确保零件质量，在每一层加工完成后，均需进行质量检验，以确保零件无气孔、裂纹等缺陷。零件需要经过后处理工序，包括去除未熔化的粉末、热处理以及消除内部应力、表面精加工等步骤，从而获得满足最终使用要求的高精度金属零部件。

（二）聚合物复杂结构件的快速原型制作

对于聚合物材料而言，基于FDM（熔融沉积建模）技术的增

材制造是实现复杂结构件快速原型制作的有效方法之一。设计师同样需要利用CAD软件设计出所需零件的三维模型，并通过切片软件将其转化为机器可读的G代码指令集。

在实际打印过程中，FDM打印机首先加热喷嘴至指定温度，使聚合物丝材熔化并通过喷头挤出。喷头沿着预定轨迹移动并在平台上沉积熔融材料，形成第一层。之后，平台下降一层厚度的距离，再次铺设新的一层材料，如此循环直至整个部件构建完毕。由于聚合物材料具有良好的流动性、黏合性，各层之间能牢固地黏结在一起。在打印完成之后，为了提高外观质量和尺寸精度，通常还要做一些后处理，如支撑结构去除，打磨，表面处理。

（三）汽车内饰件的个性化定制生产

针对汽车内饰件的个性化定制生产，SLA（立体光刻）技术因其能够提供极高的分辨率和光滑的表面质量而被广泛采用。设计师需根据客户的具体需求制定设计方案，并利用专业软件生成精确的三维数字模型。接着，这个模型会被分割成多个层面，每个层面的信息都会被发送给SLA打印机执行。

在打印阶段，SLA设备会在液态树脂池上方放置一个移动的工作平台，每次下潜一小段距离以便于曝光区域的树脂固化成型。紫外激光按预定路径有选择地照射树脂表面，使树脂在一定范围内发生交联反应，固化成固态。随着工作平台逐渐上升，新的液体树脂填充下方空间，新一轮的固化过程随即开始。当所有层次都完成固化后，取出成品并清洗掉残留的未固化的树脂。随后，通过UV光照进一步固化加强，有时还需要进行二次固化以达到最佳性能。最后对产品进行必要的抛光、上色等表面装饰处理，以符合客户的审美要求。

五、结语

增材制造技术在汽车零部件生产中的应用显著提升了高性能发动机部件、底盘及悬挂系统、内饰外饰件以及电气与电子系统的制造效率和质量。随着增材制造技术的发展，其在汽车工业中的应用将会越来越广泛。预期通过增材制造技术，实现更多关键零部件的制造，进一步促进汽车设计创新与性能提升。此外，该技术有望促进供应链的优化，减少库存压力，并加速新产品推向市场的速度。与此同时，增材制造技术的发展也将带动相关材料科学的进步，提供更多高性能、环保型材料的选择，助力汽车产业向可持续发展的方向迈进。通过持续地技术创新和应用拓展，增材制造必将成为推动汽车行业转型升级的重要力量。

参考文献

- [1] 马俊强, 李帅. 数控机床加工技术在汽车传动系统零部件制造中的应用[J]. 汽车测试报告, 2024, (12): 83-85.
- [2] 吴宇璇, 王发明, 李秀璋, 等. 复杂供应链环境下汽车零部件筹措及物流模式研究[J]. 中国物流与采购, 2023, (17): 56-57.
- [3] 郭娟. 基于3D打印技术的复杂零件制造研究[J]. 农机使用与维修, 2023, (07): 54-56.
- [4] 王晨, 谭俊. 汽车零件模具调试检测系统探讨[J]. 模具工业, 2023, 49 (05): 64-68.
- [5] 自膨胀泡沫芯材成功应用于复杂汽车结构件[J]. 橡塑技术与装备, 2020, 46 (08): 16.

关于超大直径盾构长距离海底对接技术分析

洪

中交隧道工程局有限公司，北京 100024

DOI:10.61369/ETQM.2025060012

摘要： 超大直径盾构长距离海底对接技术在海底隧道建设中占据核心地位，深入研究该技术对提升我国海底隧道建设整体水平意义重大。本文以甬舟铁路金塘海底隧道为实例，剖析测量控制、对接点定位、对接加固及施工流程等关键技术，通过理论建模、数据推导和工程验证，提出创新技术方案与优化策略，为我国海底隧道建设提供理论支撑与实践参考。

关键词： 超大直径盾构；海底对接；金塘海底隧道

Analysis of Long Distance Underwater Docking Technology for Ultra Large Diameter Shield Tunnels

Hong Yang

CCCC Tunnel Engineering Co., Ltd. Jinan, Beijing 100024

Abstract： The ultra large diameter shield tunneling long-distance underwater docking technology occupies a core position in the construction of underwater tunnels, and in-depth research on this technology is of great significance for improving the overall level of underwater tunnel construction in China. This article takes the Jintang Subsea Tunnel on the Yongzhou Railway as an example to analyze key technologies such as measurement control, docking point positioning, docking reinforcement, and construction processes. Through theoretical modeling, data derivation, and engineering verification, innovative technical solutions and optimization strategies are proposed to provide theoretical support and practical reference for the construction of underwater tunnels in China.

Keywords： ultra large diameter shield tunneling machine; underwater docking; Jintang Subsea Tunnel

在全球海洋开发和交通基础设施建设的大背景下，海底隧道作为连接海洋两岸的战略通道，在交通网络中的重要性日益凸显。超大直径盾构长距离海底对接技术是海底隧道施工的关键环节，其技术成熟度直接影响工程质量、安全、工期和成本。甬舟铁路金塘海底隧道是世界领先的海底高铁隧道，其长度、盾构直径及地质水文条件的复杂性，为研究超大直径盾构长距离海底对接技术提供了典型案例。研究该隧道的盾构对接技术，不仅有助于解决实际工程难题，还能推动我国海底隧道建设理论和技术的进步，对我国海洋交通基础设施建设的长远发展意义深远。

一、测量控制技术

（一）控制网理论基础与建立方法

测量控制网的构建融合大地测量学、卫星定位技术和误差理论等多学科知识，对盾构机精准对接至关重要。洞外平面控制测量采用全球导航卫星系统（GNSS）静态测量技术，基于卫星空间轨道模型、信号传播理论和三角测量原理，运用载波相位差分技术测定控制点三维坐标^[1]。构建洞外平面控制网时，需考虑卫星星座几何分布、信号遮挡和多路径效应等因素，通过选择观测时段、规划测站位置等方式削弱误差影响。

高程控制测量依据大地水准面理论和水准测量高差传递原理，采用二等水准测量，利用精密水准仪和钢瓦水准尺，通过往

返观测和平差计算确保精度。针对跨海段高程传递难题，GNSS跨海水准技术同步观测海面与陆地 GNSS 信号，结合海洋大地水准面模型实现精确传递，同时考虑海洋潮汐、大气折射等因素并通过数据处理模型修正。洞内控制网采用交叉双导线闭合环布置，依据导线测量误差传播理论优化布设形式和观测方案。通过增加多余观测、合理分配观测权重，运用最小二乘法平差解算控制点坐标，多次联测构建高精度测量控制网，为盾构机姿态调整提供基准。

（二）误差控制模型与测量流程优化

误差控制是测量工作核心，影响盾构机对接精度。构建贯通误差估算模型，结合误差传播定律，利用矩阵分析方法量化洞内外控制点测量误差、联系测量误差及盾构机自身测量误差等因素

作者简介：洪扬（1993.08-），男，汉族，山东济南人，大学本科，工程师、政工师，从事特大型央企市场开发工作。

对贯通误差的影响。在盾构机掘进过程中，定期联测洞内外控制点，人工复核盾构机姿态，建立误差敏感性分析模型，确定关键误差源，采取优化测量站点布局、采用高精度测量仪器等针对性控制措施^[2]。引入数据融合技术，借助卡尔曼滤波算法融合 GNSS 测量数据、全站仪测量数据及盾构机自身测量数据，提高测量结果可靠性和精度，实时监测盾构机姿态和掘进轨迹，调整掘进参数确保按预定轨迹掘进，实现高精度对接。

二、对接点位置选择

（一）地质因素分析与稳定性评价理论

对接点位置的选择，是盾构对接成功的关键，需综合考虑地层稳定性、涌水量、地质构造等多方面因素。其理论基础涵盖岩土力学、水文地质学和工程地质学等学科。依据地质勘查报告和现场补勘数据，运用岩体质量分级标准（如 BQ 分级法）和土体分类方法（如塑性指数分类法），对地层的物理力学性质和水文地质条件，进行系统分析。

通过室内试验和现场测试，获取地层的抗压强度、内摩擦角、黏聚力等力学参数，建立地层稳定性评价模型。采用有限元数值模拟方法，结合莫尔 - 库仑强度准则，模拟地层在盾构掘进和对接过程中的应力应变状态，评估地层的稳定性。同时，考虑地下水渗流对地层稳定性的影响，通过建立渗流 - 应力耦合模型，分析地下水压力对地层变形和破坏的影响^[3]。在金塘海底隧道对接点选址过程中，运用上述方法，选择弱风化覆岩厚度不小于 20m、地层稳定性较好且涌水量小于 10m³/h 的区域作为对接点。并且，尽量避开断层、破碎带等地质构造复杂区域，降低施工风险。

（二）多因素决策模型与位置优化方法

为科学选择对接点位置，构建多因素决策模型。该模型综合考虑地层稳定性、涌水量、地质条件、施工工期、环境影响等多个因素，采用层次分析法（AHP）和模糊综合评价法，确定各因素的权重和评价标准^[4]。通过建立目标函数和约束条件，运用多目标优化算法（如 NSGA - II 算法），对对接点位置进行全局搜索和优化。在优化过程中，结合风险评估理论，对不同对接点位置的施工风险进行量化分析。采用故障树分析法（FTA）和风险矩阵法，识别施工过程中可能出现的风险因素，评估风险发生的概率和后果，确定风险等级。通过权衡技术可行性、经济合理性和施工安全性，最终确定最优的对接点位置。

三、对接加固技术

（一）注浆加固理论与工艺参数优化

注浆加固是确保盾构对接安全的关键工序，其理论基础包括流体力学、岩土力学和材料科学等学科。在对接前，对接区域地层进行全断面超前注浆加固。采用双液浆（水泥浆和水玻璃浆）填充盾壳与地层之间的空隙，利用两种浆液的化学反应，快速凝固形成止水帷幕。然后，通过盾体径向孔注入超细水泥浆

液，对盾壳及盾体进行固定，提升地层的承载能力^[5]。

注浆工艺参数的优化，是确保加固效果的关键。通过分析浆液的流变特性（如黏度、屈服应力）、渗透规律（如达西定律）和固结特性（如强度增长规律），建立注浆压力与扩散半径的关系模型。运用数值模拟方法，结合现场试验数据，优化注浆压力、流量、时间等工艺参数。在金塘海底隧道施工中，通过现场试验确定注浆压力为 2 - 3MPa，有效减少了浆液进入泥水仓的可能性，保障了地层的稳定性。

（二）地层预处理技术与加固效果提升策略

地层预处理是提高对接段地层稳定性的重要手段，其理论依据是地层改良与加固原理。利用盾构机预留的超前钻孔，对对接段地层掌子面进行超前注浆加固处理^[6]。根据地层的物理力学性质和水文地质条件，选择合适的注浆材料和工艺。对于砂性土层，采用化学浆液进行渗透注浆，提高地层的抗渗性和承载能力。对于黏性土层，采用水泥浆液进行劈裂注浆，改善地层的力学性能。

为实时评估加固效果，运用数值模拟和现场监测技术，对地层的变形、应力等参数进行实时监测。通过建立监测数据与加固效果之间的关联模型，根据监测数据反馈，及时调整预处理方案。例如，当监测到地层变形超过预警值时，增加注浆量或调整注浆参数，确保为盾构机的安全对接，创造良好的地层条件。

四、施工工艺流程及安全保障措施

（一）盾构机掘进与姿态调整理论与实践

盾构机掘进及姿态调整，作为达成盾构精准对接的核心环节，其技术实现深度融合了盾构机力学、控制理论以及自动控制技术等多学科的前沿理论。这一过程的技术复杂性，不仅决定了对接的精度与质量，也对整个海底隧道工程的成败起着关键作用。

1. 多源数据感知与获取机制

盾构机在海底复杂地质环境下掘进时，需实时、全面地获取自身姿态信息以及周围地层的地质数据。为此，在盾构机上搭载了多种类型的传感器，构建了多源数据感知体系。陀螺仪基于角动量守恒原理，能够精确测量盾构机的旋转角度，为盾构机的方向控制提供关键数据。加速度计依据牛顿第二定律，感知盾构机的加速度变化，进而推算其运动状态。激光测距仪则利用激光的反射特性，测量盾构机与周围物体的距离，辅助确定其空间位置^[7]。

与此同时，为获取周围地层的应力、变形和地下水压力等地质数据，在盾构机的刀盘、盾体以及隧道壁上布置了相应的传感器。这些传感器所采集的数据，通过高速数据传输系统，实时传输至盾构机的中央控制系统，为后续的姿态调整决策提供数据支持。

2. 姿态调整的模型构建与算法应用

基于所获取的测量数据以及预设的对接参数，构建盾构机姿态调整模型。该模型以反馈控制理论为基础，将盾构机的实际姿

态与预设的理想姿态进行对比,通过偏差计算确定姿态调整的方向和幅度。在控制算法方面,PID 控制算法凭借其结构简单、稳定性好的特点,被广泛应用于盾构机的姿态控制。PID 控制器通过对比例、积分、微分三个参数的调节,实现对盾构机推进油缸、刀盘转速、螺旋输送机转速等关键参数的精确控制。

随着控制理论不断发展,模型预测控制算法在盾构机姿态调整中展现出独特优势^[8]。该算法通过建立盾构机的动态模型,预测其未来的姿态变化,并根据预测结果提前调整控制策略。模型预测控制算法能够充分考虑盾构机的多输入多输出特性以及各种约束条件,实现对盾构机姿态的优化控制。在实际应用中,将 PID 控制算法与模型预测控制算法相结合,充分发挥两者的优势,提高盾构机姿态调整的精度和响应速度。

3.精细化对接控制策略

当两台盾构机刀盘相距 50 – 100m 时,进入对接的关键阶段。此时,需采用精细化控制策略,确保对接过程的平稳性和准确性。一方面,逐渐降低刀盘转速和掘进速度,减少盾构机掘进对周围地层的扰动。另一方面,增加对盾构机姿态和周围地层变化的监测频率,及时发现并纠正可能出现的偏差。

在金塘海底隧道施工过程中,通过上述精细化控制策略,成功实现了两台超大直径盾构机的高精度对接。在对接过程中,对盾构机的姿态进行了实时监测和调整,确保其偏差始终控制在设计允许的范围内。

（二）应急处理预案的理论框架与实施策略

海底隧道盾构对接施工面临着诸多不确定因素,如地层变形、涌水突泥等突发情况,这些都可能对工程安全造成严重威胁。因此,构建科学合理的应急处理预案,对于保障施工安全具有重要意义。

1.风险识别与评估体系

基于风险评估与应急管理理论,采用系统的方法对施工过程中可能存在的风险进行全面识别和评估。故障模式及影响分析法(FMEA)通过对盾构机的各个组成部分和施工流程的各个环节进行分析,识别潜在的故障模式及其可能产生的影响^[9]。在风险评估过程中,综合考虑风险发生的可能性和影响程度两个因素,采用风险矩阵法对风险进行量化评估。风险矩阵法将风险发生的

可能性划分为多个等级,同时将风险影响程度也划分为相应的等级,通过两者的交叉组合,确定风险的等级。

2.应急处理预案的制定与实施

根据风险识别和评估的结果,制定详细的应急处理预案。应急处理预案包括应急组织架构、职责分工、响应流程、资源调配等内容。应急组织架构明确了应急指挥中心、抢险救援小组、后勤保障小组等各个部门的职责和权限,确保在突发事件发生时能够迅速、有效地进行响应。

响应流程规定了突发事件发生后的报告、决策、处置等各个环节的操作步骤,保证应急处理工作的有序进行。资源调配则明确了应急物资和设备的储备、调用等管理措施,确保在应急处置过程中有足够的物资和设备支持。在金塘海底隧道施工过程中,根据应急预案的要求,配备了充足的注浆设备、排水设备、抢险支护材料等应急物资和设备,并组织了专业的抢险队伍。

3.应急演练与预案优化

为提高应对突发事件的能力,定期组织应急演练。应急演练不仅能够检验应急处理预案的可行性和有效性,还能够提高抢险队伍的应急处置能力和协同配合能力。在演练过程中,模拟各种可能出现的突发情况,如地层变形、涌水突泥等,检验应急组织架构、响应流程、资源调配等方面的运行情况^[10]。通过演练,及时发现应急预案中存在的问题和不足,并进行针对性的优化和完善。在金塘海底隧道施工过程中,通过多次应急演练,不断优化应急处理预案,提高了应对突发事件的能力,确保了施工安全。

五、结论

超大直径盾构长距离海底对接技术在金塘海底隧道工程中成功应用,通过精确测量控制、科学对接点选址、有效对接加固以及合理施工工艺流程和安全保障措施,实现了盾构机高精度对接,为我国海底隧道建设积累了宝贵经验。随着海洋开发和交通基建发展,该技术将在更多大型海底隧道工程中应用。未来需持续开展理论研究和技术创新,提升我国海底隧道建设技术水平,应对复杂工程挑战。

参考文献

- [1] 李志强,薛翊国,曲立清,孙文昊,刘洪亮,赵世森.青岛胶州湾第二海底隧道主要不良地质与施工风险分析[J].工程地质学报,2025,33(1):302–314.
- [2] 张金涛.超大直径盾构穿越海堤施工技术研究与实践应用[J].科技创新与生产力,2025,46(2):136–138.
- [3] 陈一凡,沈翔,陈湘生.海底软弱地层浅埋大直径盾构对接开挖面失稳灾变机制研究[J].隧道建设(中英文),2024,44(4):712–723.
- [4] 陈佳俊.超大直径盾构长距离海底对接关键技术研究[J].现代城市轨道交通,2024(11):79–86.
- [5] 尹义豪.基于 BIM 技术的长距离超大直径湛江湾海底盾构隧道建设一体化管理应用[J].铁道技术标准(中英文),2023,5(12):17–26.
- [6] 朱叶艇,朱雁飞,秦元,赵剑,王志华,龚卫.超大直径泥水平衡盾构推拼同步技术工程实践[J].隧道建设(中英文),2024,44(11):2271–228210043–10054.
- [7] 陈健,袁大军,苏秀婷,王志奎.超大直径水下盾构隧道施工技术进展与展望[J].现代隧道技术,2024,61(2):124–138.
- [8] 石城,于远洋,马长啸,杨明先.超大直径常压刀盘泥水盾构长距离硬岩掘进施工技术研究[J].建设监理,2023(10):99–103.
- [9] 侯永兵.超大直径土压平衡盾构隧道施工关键技术[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(6):154–156.
- [10] 孙常青.某超大直径盾构工程勘察重难点分析及对策措施[J].岩土工程技术,2022,36(3):230–237.

工程造价管理信息化建设研究

黄煌

湖北双浩建设有限公司，湖北 十堰 442300

DOI:10.61369/ETQM.2025060014

摘 要： 信息技术的发展，为工程造价管理提供了有力支持。文章基于此，从重构工程造价管理模式、提高工程造价管理效能、推动信息化转型三个维度，阐释了工程造价管理信息化建设的意义，继而围绕数据、平台、技术以及保障四个方面，探讨了工程造价管理信息化建设的策略。

关 键 词： 工程造价；管理；信息化

Research on Information Construction of Project Cost Management

Huang Huang

Hubei Shuanghao Construction Co., LTD. Shiyan, Hubei 442300

Abstract： The development of information technology has provided strong support for engineering cost management. Based on this, the paper explains the significance of information construction of project cost management from three dimensions: reconstruction of project cost management mode, improvement of project cost management efficiency and promotion of information transformation, and then discusses the strategy of information construction of project cost management from four aspects: data, platform, technology and guarantee.

Keywords： project cost; management; informatization

引言

工程造价管理是为保障工程项目的综合效益，而综合运用管理学、经济学和工程技术等方面的知识、技术，对工程造价进行管理的统称。工程造价管理在合理确定造价、有效控制造价、提高投资效益等方面，发挥着重要的作用。在信息技术不断发展与广泛应用的今天，人类已经步入信息时代。信息技术在工程造价管理中有着巨大的应用价值，不仅可以提升工程造价管理效率，也能促进工程造价管理的创新性开展。因此，应推进工程造价管理信息化建设。

一、工程造价管理信息化建设意义

（一）重构工程造价管理模式

信息时代，传统的工程造价管理模式已经难以满足工程造价管理的需求，工程造价管理信息化建设能够从多个方面重塑工程造价管理模式。一方面，工程造价管理信息化建设使得数据在工程造价管理中的价值日益显著，并推动着工程造价管理从经验决策向数据驱动决策转变，如通过数据的分析，揭示工程造价管理中潜在规律和趋势，为相关政策制定乃至企业发展战略的设置提供支持^[2]。另一方面，信息技术动态发展的特征，决定了信息技术在工程造价管理中的应用没有终点。新型信息技术的涌现，使得工程造价管理具有鲜明的技术导向特征。

（二）提高工程造价管理效率

工程造价管理信息化建设能够显著提高工程造价管理的效

能，首先，优化管理流程。工程造价管理包括项目投资估算、项目经济评价、招投标文件的评审与分析、工程计量与计价等多个方面的内容，每项内容又包括许多具体的环节，传统的管理方式，高度依赖工程造价部，且存在着许多不增值的环节，管理效率较为低下。工程造价管理信息化建设能够优化工程造价管理流程，提高工程造价管理的自动化程度，大大减少人工操作的时间及工作量。其次，推进工程造价自动化管理。基于大数据技术、人工智能技术的预测性分析技术，能够对工程造价管理的需求进行预测，把握工程造价管理的需求痛点。

（三）推动工程管理的信息化转型

信息时代，信息化转型成为各行各业高质量发展的关键，工程管理同样面临着信息化转型的巨大压力。工程管理信息化转型涉及到多个方面的内容，而造价管理则是工程管理信息化转型的重要一环。工程造价管理信息化建设，能够有效发挥信息技术在

造价管理中的作用，构建信息时代工程造价管理新模式^[9]。造价管理与成本管理、进度管理等的紧密联系，也使得工程造价管理信息化建设对工程管理其他方面的信息化转型具有推动作用。

二、工程造价管理信息化建设路径

（一）数据端：提升工程造价基础数据质量

数据是工程造价管理信息化的基石，然而，当前工程造价管理中却面临着数据质量不高的问题，一方面，许多工程数据，特别是和造价管理高度相关数据，存在错误，严重影响了造价方案的编制，另一方面，不同部门、不同系统之间的数据不一致，对数据的处理、应用带来了困扰。因此，应将数据治理作为工程造价管理信息化建设的先决条件。

1. 构建全域数据标准。对数据质量的精准定义以及数据质量维度的准确划分，是推进数据质量治理，提高信息系统数据质量的先决条件。应构建覆盖工程项目的数据字典（Data Dictionary）以及元数据管理规则，统一各类造价数据字段，提高信息系统中数据标准化程度，同时，构建数据质量评价机制，数据错误、数据重复、数据缺失等出发，设计错误率、缺失率、重复率等评价指标，定期开展数据质量评价，发布数据质量报告，并将评价结果与部门、岗位的绩效结合起来。

2. 做好数据的清洗与修复。信息时代，工程项目中，每时每刻均会产生大量的数据，其中，不少数据质量不高。ETL（Extract-Transform-Load）工具具有自动识别并修正错误数据的能力。可在信息系统中部署 Informatica、Talend 等 ETL 工具，发挥好 ETL 工具在数据质量控制中的作用。人工智能的发展，为数据处理提供了新的条件。可将自然语言处理技术嵌入到信息系统中，利用自然语言处理技术来解析系统中的非结构化数据，同时，搭建各种类型的机器学习模型，借助机器学习模型来识别数据中的异常值，如工程计量数据、成本费用数据、施工进度数据等中的异常值。

3. 创新数据治理方式。数据血缘，也成数据血统或数据谱系，是基于数据全生命周期的概念，涵盖数据从产生到消亡的各个过程^[10]。可利用 Collibra、Alation 等数据血缘工具，以可视化的形式呈现信息系统中数据的流转路径，从而准确定位数据质量问题。

（二）平台端：推进工程造价管理信息系统建设

搭建专门的工程造价管理信息系统，是工程造价管理信息化建设的核心环节。功能完备、性能卓越的工程造价管理信息系统，不仅能够高效整合工程计价数据、材料价格信息、企业定额等工程造价管理中不可或缺的数据，实现数据的集中存储和统一管理，也能推进工程造价管理中工程量计算、计价、成本核算、报表生成等核心业务流程的自动化，提高工程造价管理的效率。应推进工程造价管理信息系统建设，打造高水平的工程造价管理平台。

1. 做好工程造价管理信息系统的设计。工程造价管理信息系统设计包括总体设计、细节设计两个层面，总体层面的设计以确

定系统的总体架构为核心，具体内容包括层次结构设置、功能模块划分、数据架构等，细节层面的设计围绕各个功能模块开展，具体内容包括模块的输入输出设计、数据库表结构设计、界面设计、业务逻辑设计等。应根据工程造价管理的内涵、要求、任务，明确系统设计的需求，再进行总体设计、细节设计，使系统具有良好的可拓展性、稳定性与安全性。

2. 完善系统的功能模块。工程造价管理信息系统至少应包含基础数据管理、工程造价计算、成本控制、工程变更管理、报表管理、系统管理等模块，不同的模块在工程造价管理中发挥着不同的作用。以工程造价计算模块为例，本模块主要负责工程量的计算与计算，系统提供多种工程量计算方法，并会对计算结果进行审核与修正。同时，系统也会依据工程量计算的结果，从约定好的计价规范、定额出发，自动进行套价，生成工程造价预算书。

3. 推进信息共享。工程造价管理具有系统性的特点，建设单位以及设计单位、施工单位、监理单位等，均在工程造价管理中发挥着重要的作用。应注重不同系统间的兼容性，推进信息在不同主体间的共享，消除工程造价管理中的信息壁垒问题。同时，也要将工程造价管理系统与工程上游的招投标系统以及工程下游的运营系统相关联，使工程造价管理向全生命周期管理的方向迈进^[11]。

（三）技术端：加强新型信息技术应用

工程造价管理信息化建设以信息技术在工程造价管理中的应用为核心。当前，信息技术正处于快速发展中，以物联网技术、人工智能技术、大数据技术、区块链技术、云计算技术等为代表的新型信息技术，在产业经济的发展与变革中发挥着越来越重要的作用。应加强新型信息技术在工程造价管理中的应用，提升工程造价管理信息化建设水平。

1. 以数字孪生技术赋能业务开展。数字孪生技术以三维建模技术为核心，涵盖物联网技术、物理仿真技术、大数据技术、人工智能技术等新型信息技术，能够在虚拟空间中映射出实体，并动态展示实体的变化。可利用数字孪生技术，仿真生成工程项目的三维模型，并利用三维模型，对影响工程造价的变量，如材料价格波动、工期变化等进行实时推演，确保工程造价管理与工程实际情况相符^[12]。

2. 以人工智能技术提高信息读取效率。工程造价管理涉及到大量的文件，如招标文件、投标文件、设计图纸、施工方案、技术资料等。以人力来读取文件信息，不仅费时费力，且难以规避人为因素导致的信息读取错误。文本识别技术、图像识别技术作为人工智能技术的重要组成部分，能够快速读取各类文件中的信息，对工程造价管理效率的提升有着显著的作用。以施工图纸的解析为例，可利用图像识别技术，全面解析图纸中梁柱截面尺寸、钢筋配筋率等构件信息。

3. 以区块链技术减少结算争议。结算争议是造价工程管理中的难点，导致结算争议的因素很多，其中，程序变更不规范、签证手续不全是为较常见的原因。区块链即由记录数据生成的区块组成的链条。区块链技术最早出现于加密货币领域，以去中心

化、信息不可篡改、智能合约等为主要特点。随着时代的不断发展，区块链技术被广泛应用于商业、金融、教育、科技等多个领域。区块链技术信息不可篡改的特点，使得其在变更签证溯源中有着广阔的应用空间。可利用区块链技术，推进工程变更签证管理，减少结算争议。

（四）保障端：营造信息化建设良好环境

信息化深刻改变了工程造价管理的模式，对工程造价管理的外部环境提出了更高的要求。应围绕人力资源、企业文化、安全机制三个维度，营造工程造价管理信息化建设的良好环境，保障工程造价管理信息化建设的高质量开展。

1.加强人力资源培训。造价员、造价工程师等专业技术人员，是工程造价管理的主体，他们的专业能力、综合素质，对工程造价管理水平有着直接的影响。信息化建设既为工程造价管理的创新性开展提供了支持，也对技术人员的能力、素质提出了更高的要求。应结合工程造价管理信息化建设的内涵、要求，加强人力资源培训，在工程计价规范、定额原理、工程预结算文件编制等常规内容培训的基础上，深入开展好信息素养的培训，依托理论教育与仿真实践的方式，全面提升技术人员的信息素养，厚植工程造价管理信息化的人才基础^[7]。

2.推进企业文化建设。企业文化作为企业在长期经营、发展中形成的，具有鲜明企业特色的文化，兼有引导、激励、凝聚、约束等多重作用。当前，工程造价管理信息化面临着接受度不高的问题，许多技术人员以及财务人员、施工人员等，对工程造价

管理信息化持疑虑态度，对工程造价管理信息化建设的推进，带来了非常负面的影响。应立足信息时代企业信息化转型的战略要求，将信息化作为企业文化建设的重点内容，通过企业文化建设，在企业内部形成工程造价管理信息化的良好氛围。

3.健全安全机制。对工程造价管理而言，信息化建设是一柄“双刃剑”，其在提高工程造价管理效率，重塑工程造价管理模式的同时，也为工程造价管理带来了许多新的风险，其中，最为典型的便是数据安全风险。工程造价管理系统中，收集了大量的数据，如决策阶段的市场调研数据、同类项目历史造价数据，设计阶段的设计图纸、设计标准和规范，招标阶段的招标文件、投标文件，施工阶段的工程计量数据、施工进度数据、成本费用数据等。这些数据一旦丢失、泄露，会给项目以及企业带来损失。应围绕防火墙技术更新、云端备份存储、访问控制等，健全数据安全机制。

三、结语

信息技术是工程造价管理变革的核心技术，在工程造价管理中有着广阔的应用空间。应深刻认识到信息技术的价值，结合工程造价管理的内容，从提升工程造价基础数据质量、推进工程造价管理信息系统建设、加强新型信息技术应用、营造信息化建设良好环境四个方面采取好措施。

参考文献

[1] 韦芳. 浅谈施工单位的工程造价管理信息化 [J]. 商情, 2013 (27): 215.
[2] 刘静. 关于我国工程造价管理信息化完善与应用的分析 [J]. 工程建设 (维泽科技), 2024 (06): 7-9.
[3] 高伟. 工程造价管理信息化系统的应用与发展 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2025 (01): 45-48.
[4] 潘晓华, 金泳, 高扬华, 等. 面向复杂数据审计需求的数据血缘构建方法 [J]. 计算机应用研究, 2024 (01): 76-82.
[5] 王伟明. 浅谈工程造价管理信息化建设 [J]. 建筑与预算, 2023 (02): 37-39.
[6] 董敬华. 数字孪生技术在建筑工程造价中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2024 (12): 32-35.
[7] 刘闯. 现阶段工程造价管理信息化建设的若干思考 [J]. 中国标准化, 2017 (2X): 84.

浅谈施工方案对成本的影响

刘飞

中铁五局集团建筑工程有限责任公司, 贵州 贵阳 550000

DOI:10.61369/ETQM.2025060015

摘 要 : 随着我国社会的不断发展变化, 建筑行业的市场也发生了巨大的改变, 但同时竞争压力也日益增强。采用传统的钻爆法施工工艺易受 "天窗" 点施工的影响, 人员和机械设备的施工效率大大降低, 且安全风险高, 成本较大。机械破碎石方开挖过程功效低, 噪音大, 进度缓慢, 开挖截面尺寸不可控, 破坏四周岩石的完整性, 影响持力层的受力性。此文通过恒大金阳新世界 3H 项目独立基础、条形基础、桩基基础采用水磨钻施工工艺的实际案例测算水磨钻的成本。经过与传统钻爆法进行比较, 显示出水磨钻施工工艺具有高效、安全、环保性强等特点, 适用于城市核心区, 具有较好的推广利用价值。研究其对造价的影响, 可为工程成本控制提供理论依据。文章主要就施工技术方案对工程成本的重要性出发, 通过实际工程, 对依据技术方案编制工程成本的工程进行了讨论, 分析目前施工技术方案对成本的主要影响, 从而采取相关解决办法来控制工程成本。

关 键 词 : 高层建筑; 施工方案比选; 工程成本

A Brief Discussion on the Impact of Construction Plans on Costs

Liu Fei

China Railway Fifth Group Construction Engineering Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550000

Abstract : With the continuous development and changes of Chinese society, the market of the construction industry has also undergone tremendous changes, but at the same time, the competitive pressure is also increasing. The traditional drilling and blasting construction process is susceptible to the influence of "skylight" point construction, greatly reducing the construction efficiency of personnel and mechanical equipment, and posing high safety risks and costs. The mechanical crushing of rock excavation process has low efficiency, high noise, slow progress, uncontrollable excavation section size, damages the integrity of surrounding rocks, and affects the stress resistance of the bearing layer. This article calculates the cost of waterjet drilling through practical cases of the independent foundation, strip foundation, and pile foundation of the Evergrande Jinyang New World 3H project using waterjet drilling construction technology. After comparison with traditional drilling and blasting methods, it is shown that the water jet drilling construction technology has the characteristics of high efficiency, safety, and strong environmental protection, and is suitable for urban core areas, with good promotion and utilization value. Studying its impact on cost can provide theoretical basis for engineering cost control. The article mainly discusses the importance of construction technology schemes on engineering costs. Through actual engineering, it discusses the engineering cost based on the technical scheme, analyzes the main impact of current construction technology schemes on costs, and adopts relevant solutions to control engineering costs.

Keywords : high-rise buildings; comparison and selection of construction plans; engineering cost

当下建筑行业竞争激烈, 利润微薄, 控制成本日益显得更加重要。低成本、高效率逐渐成为建设项目的一种趋势。在影响工程造价的因素中, 技术方案是一个重要的因素, 在新形势下, 全面认识技术方案的重要性, 积极优化技术方案, 应用新技术、新工艺势在必行。

一、技术方案对工程成本的影响及重要性：

施工方案是一个项目的实施方案，施工方案中的技术方案是整个施工方案的核心，组织方案、材料（设备）供应方案及安全保障方案都是围绕技术方案展开，这些方案涉及的人、材（设备）、机械就直接影响到施工成本。

工程成本能否在施工过程中得到有效控制，施工方案合理与否起着决定性的作用，在每项工程施工之前，都应选取合理且成本最优的施工方案。不同的施工方案对应的人工、材料（设备）及机械有所不同，工期也不尽相同。针对不同的施工方案需要进行详细的成本核算，包含间接成本和一定的潜在风险成本。成本对比后选择成本最优的方案进行实施，这样能有效的降低项目成本，达到降本增效的效果，从而提高项目的利润率，增加利润。

二、技术方案比选

在高层建筑施工中，无论从技术管理方面还是成本控制方面，基础工程都是非常重要的一个环节。因此要根据项目的具体情况，多方面进行比选，在可行性的方案中比选出成本最优的方案。本文以笔者参与的贵阳恒大金阳新世界3H项目为例，对高层建筑的基础施工方案对成本影响进行分析。

（一）工程概况

贵阳恒大金阳新世界3H地块项目位于贵阳市观山湖区金朱西路与龙滩坝路交叉口西侧，属于城区核心区，主要为一般性商住工程，总建筑面积137333.50㎡，地下37311.43㎡，包含3~4层地下室，地上100022.07㎡，包含8栋单体高层建筑、地下室及商铺裙楼。

（二）场地地质情况描述

根据地勘报告及现场实际情况显示，地质测绘及钻探资料揭露，拟建场区主要为第四系杂填土、素填土及残破积粘土层，开挖至地下室底板标高后，其上部杂填土及素填土均已被挖出，大部分基岩出露。岩层硬度较大，下部中风化灰岩作为基础持力层。

中国电建贵阳勘测设计研究院有限公司提供的地勘报告显示本工程基础持力层为中风化灰岩，“根据室内岩石饱和单轴抗压强度试验可知岩石的饱和单轴抗压强度范围值为25.0 ~ 66.6MPa，平均值为45.71MPa，岩石单轴抗压强度标准值为41.31MPa。现场随机抽样岩石单轴抗压强度标准值为53.70MPa。根据《岩土工程勘察规范》规定，该拟建场地中风化灰岩为较硬岩。”。

根据《贵州建筑地基基础设计规范》（DBJ52/T045-2018）中第15页，表3.2.6岩石风化程度划分表中中风化的定义（下图所示）：

风化程度	特 征
未风化	岩质新鲜，结构无风化迹象
微风化	岩质新鲜，结构稍有风化迹象，结构面完全闭合
中风化	1.结构面清晰 2.岩体被节理、裂隙分割成块状（20~50cm），裂隙中填充少量风化物。锤击声脆，且不易击碎用镐难钻进，岩心钻方可钻进 3.用镐可以挖掘，手摇钻不易钻进

强风化	1.结构面不甚清晰，矿物成分已显著变化 2.岩体被节理、裂隙分割成碎石状（2~20cm），碎石用手可以折断。 3.用镐可以挖掘，手摇钻不易钻进
全风化	1.结构面不清晰，矿物成分已全部变化 2.手摇钻可以钻进

（三）基础设计概况

根据贵阳恒大金阳新世界3H地块项目岩土工程勘察报告和设计文件要求，该工程基础持力层为中风化泥质灰岩，地基承载力特征值取值为4000kPa。

条基分为6种规格 TJ-1~TJ-6，设计高度度600mm~1400mm。独立柱基为7种规格 DJJ1~DJJ7，独立柱基设计高度1200mm；墩基桩径分别为1000mm、1200mm、1300mm、1400mm、1600mm、1700mm。电梯井集水坑底板厚度500mm，井坑深1875mm。基础顶标高为地梁顶标高，地梁高300mm~1000mm，底板厚度为500mm厚的钢筋混凝土，板面标高同基础、地梁顶标高。

（四）施工方案比选

根据拟建场地地质情况结合本工程基础形式，我项目部从安全、质量、工期、成本等因素综合考虑，认真比选基础施工方案，最终确定条基、独基、地梁、承台、电梯基坑、集水坑中风化灰岩，由于岩层硬度较大，采用水磨钻开挖，方案比选情况如下：

工艺	机械破碎	爆破	水磨钻
周边环境	项目北侧及西侧为山体，北侧山体后为将军山水厂，西侧山体后为云潭北路，南侧为金朱西路，东侧为龙滩坝路。场区东距在建轻轨2号线约580m，场区附近有多条城市主干道和居民区。		
地质条件	根据地勘报告及现场实际情况显示，和地质测绘及钻探资料揭露，拟建场区开挖至地下室底板标高后，其上部杂填土及素填土均已被挖出，大部分基岩出露		
工期、成本	1.施工效率较低，因岩石强度高，机械破碎石方效率低，只能达到3~5m³/台/天，施工进度较快。2.因该工程基础间距较近，机械开挖基础截面尺寸不可控，很容易造成基槽超挖或基础大开挖，破坏四周岩石完整性，影响相邻基础刚性角。3.机械破碎头损耗费用高，且增加砼浇筑量和钢筋用量，增加成本。3.机械开挖夜间施工噪音大，施工场地旁为贵阳新世界酒店和金麦花园小区，夜间不允许施工，严重影响工期进度。	1.施工效率高，1.2~1.4m³/人/天；施工进度较快。2.因施工场地旁为贵阳新世界酒店和金麦花园小区，不允许爆破施工，影响施工进度。3.爆破施工，基础开挖尺寸不可控，容易造成基槽超挖，增加土石方开挖量及回填量，增加砼浇筑量和钢筋用量，增加成本。	1.施工效率较高，1.1~1.4m³/人/天；施工进度较快。2.水磨钻施工可以有效控制基础截面尺寸及开挖深度，可以有效控制施工成本。3.水磨钻夜间施工噪音小，无需办理夜间施工许可证，降低施工成本。
技术、质量	落后工艺，施工效率较低，基岩扰动、破坏较大、基坑开挖截面尺寸不可控、影响相邻基础刚性角，难以满足设计要求。	主流工艺，效率高，基槽成孔质量不可控；破坏岩层的完整性。	成熟工艺，效率高，基槽尺寸和深度可控。
安全、文明施工	机械开挖、运输安全隐患较大，扬尘大，噪音较大	安全隐患较大，扬尘大，噪音较大，污染环境，对周围居民生活影响大。所以本工程基本不考虑爆破作业	无污染，无噪音，不扰民，夜间可连续施工。

(五) 综合成本比选

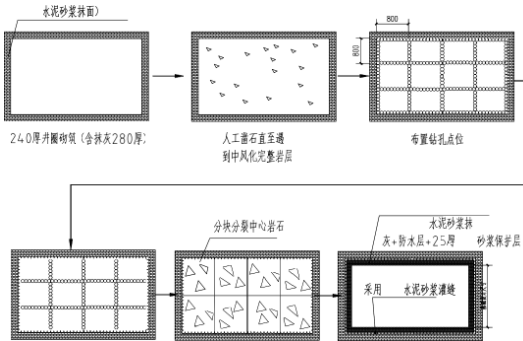
1. 与传统爆破对比

在3H项目基础施工中，传统爆破法是一种常见的施工方法。与爆破法相比，水磨钻工艺在成本方面具有不同的特点。爆破法的前期准备工作相对简单，设备购置成本相对较低，主要成本在于炸药等爆破材料的采购以及爆破作业的安全防护措施费用。然而，爆破法对周边环境的影响较大，需要采取严格的安全防护措施，如设置警戒线、疏散人员等，这会增加额外的成本支出。同时，爆破作业可能会对周边建筑物和设施造成一定的损害，需要承担相应的赔偿风险。而水磨钻工艺虽然在设备、材料和人工成本方面相对较高，但施工过程相对安全、环保，对周边环境的影响较小，可减少因环境影响而产生的额外成本。在一些对环境要求较高或周边建筑物密集的区域，水磨钻工艺的综合成本可能更具优势。

2. 与机械破碎对比

在3H项目基础施工中，因岩石强度高，必须采用大型的挖机施工，大型挖机采购成本高，挖机吨位越大，燃油消耗越大，机械破碎设备在高强度作业中，易出现零部件磨损、故障等情况，且存在大量超挖现象，超挖工程量在业主方不能计取，但超挖工程量要给劳务班组按现场实际工程量计取，同时超挖部分要采用混凝土换填，施工进度较慢。而水磨钻设备采购成本低，且小规模施工对施工速度要求相对不高，人工成本增加幅度有限。同时，水磨钻在材料消耗和辅助设施成本方面，相较于机械破碎在短期项目中的能源消耗及设备维护成本，更具优势。因此，短期小规模项目采用水磨钻成本相对较低。

(六) 水磨钻施工工艺流程



(七) 水磨钻施工工艺的效果

恒大金阳新世界3H项目在基础施工采用水磨钻施工工艺，实施后不仅施工质量及安全文明施工得到业主和质监部门的一致认可，工期上也得到了优化，而且在经济效益方面也是效果明显，通过该新工艺体系，圆满的完成项目各项目目标，实施效果如下：



三、结束语

从以上分析可以看出，施工方案的选择对工程成本控制具有十分重要的作用。项目团队在选择施工工艺时，应综合考虑项目规模、工期要求、地质条件等因素，全面评估两种工艺的成本，结合项目实际情况做出科学决策，以实现项目成本的有效控制与经济效益的最大化。

参考文献

[1] 《建筑施工机械与设备钻岩机械》（GB/T38042-2019）.
 [2] 《基础工程造价影响因素探析》（造价通-2025年）.
 [3] 《桥梁桩基水磨钻施工技术研究与应 用》（金锄头文库，2021）.
 [4] 《水磨钻施工工艺研究》（金锄头文库，2022）.
 [5] 《基于价值工程的施工方案经济比选研究》（建筑经济，2024）.
 [6] 丁士昭《建筑工程项目管理》（中国建筑工业出版社，2024）.
 [7] 《水磨钻施工成本控制方案》[EB/OL]. (2024-11-09).
 [8] 《施工方案优化对工程造价的影响研究》（《工程管理学报》2023 年第 5 期）.
 [9] 廖亚男. 陡峭、狭窄山地、灰岩地区水磨钻成孔工艺的应用研究 [J]. 建筑与装饰 ,2020(17):132,135.
 [10] 《大气污染防治法对爆破施工的限制》（生态环境部，2024 年修订）.

农药残留检测技术在食品检测中的实践探究

宋婷婷¹, 胡珍珍²

青岛市华测检测技术有限公司, 山东 青岛 266000

DOI:10.61369/ETQM.2025060016

摘 要 : 在现代农业生产中, 农药作为防治病虫害、提高作物产量的重要手段, 其使用日益广泛。食品中的农药残留不仅来源于直接喷洒在农作物上的农药, 还可能通过土壤、水源等环境途径进入食品链, 因此, 准确、高效地检测食品中的农药残留, 成为保障食品安全的重要环节。本文详细分析农药残留检测技术在食品检测中的实践应用方式, 为保障食品安全、推动农业可持续发展做出积极贡献。

关 键 词 : 农药残留检测技术; 食品检测; 精准筛查; 快速检测; 动态监测

The Practice Exploration of Pesticide Residue Detection Technology in Food Detection

Song Tingting¹, Hu Zhenzhen²

Qingdao CTI Testing Technology Co., Ltd. Qingdao, Shandong 266000

Abstract : In modern agricultural production, pesticides are increasingly widely used as an important means to control diseases and insect pests and improve crop yield. Pesticide residues in food not only come from pesticides directly sprayed on crops, but also may enter the food chain through soil, soil and water. Therefore, accurate and efficient detection of pesticide residues in food has become an important link to ensure food safety. This paper analyzes in detail the practical application of pesticide residue detection technology in food detection, and makes a positive contribution to ensuring food safety and promoting the sustainable development of agriculture.

Keywords : pesticide residue detection technology; food detection; accurate screening; rapid detection; dynamic monitoring

农药残留检测技术是指利用各种科学方法和手段, 对食品、农产品以及环境样品中的农药残留进行定性和定量分析的一系列技术; 食品检测是对各类食品的质量、安全、营养成分以及卫生状况等进行系统检查和评估的过程。农药残留检测技术的实践探究, 有助于建立更加完善的食品安全检测体系, 及时发现并处理农药残留超标的问题食品, 防止其流入市场, 保障消费者的饮食安全, 引导农业生产者合理使用农药, 减少农药的滥用和误用, 降低农药对环境和生态系统的负面影响, 促进相关检测技术的不断创新和升级, 提高检测的准确性和效率, 为食品检测领域的技术进步提供动力。

一、农药残留检测技术

(一) 高效液相色谱法

在食品中, 存在多种不同性质的农药残留, 以及其他复杂的成分, 高效液相色谱法利用不同物质在固定相和流动相之间的分配差异, 能够有效地将各种农药残留分离出来。通过与标准品的对比, 精确测定食品中农药残留的浓度。在实际检测中, 检测人员可以根据不同农药的特性, 选择合适的检测波长和检测器, 提高检测的灵敏度和准确性^[1]。高效液相色谱法可以用于检测蔬菜、水果、粮食、肉类、水产品等各种类型的食品, 针对不同的食品基质, 检测人员可以通过优化前处理方法, 去除干扰物质, 提高检测的准确性。

(二) 气相色谱-质谱联用法

在农药残留检测中, 食品样品经过提取、净化等前处理步骤后, 进入气相色谱系统。气相色谱根据不同化合物在色谱柱中的保留时间差异, 将各种农药分离出来, 对于挥发性较强的有机氯农药, 实现高效的分离, 为后续的质谱检测提供良好的基础。通过对分离后的化合物进行质谱分析, 可以获得化合物的分子量、结构信息等, 检测人员可以根据这些信息准确地鉴定农药的种类, 并进行定量分析。一次分析可以同时检测多种农药残留, 提高检测效率。

(三) 酶联免疫吸附测定法

在实际应用中, 酶联免疫吸附测定法可以在较短的时间内完成对大量样品的检测, 对于蔬菜批发市场的快速筛查, 在几个小

时内完成对数百个样品的检测，及时发现农药残留超标的蔬菜，防止其流入市场。酶联免疫吸附测定法不需要复杂的仪器设备和专业的技术人员，只需要基本的实验室设备和试剂，就可以进行检测^[3]。与其他高端的检测方法相比，酶联免疫吸附测定法的试剂和设备成本相对较低，在大规模的食品检测中具有很大的优势，可以降低检测成本，提高检测的普及性。

二、食品检测要点

（一）严格抽样确保代表性

抽样应遵循科学的方法和程序，对于罐装饮料或包装食品等大量生产的食品，不能随机选取几个样品就进行检测，而应根据生产批次、生产日期、储存条件等因素进行分层抽样，可以按照一定的比例从不同的生产线、不同的时间段抽取样品，确保涵盖各种可能的情况。在检测某品牌罐装果汁时，分别从早、中、晚不同的生产时段抽取样品，同时考虑不同生产线的差异，全面反映该品牌果汁的整体质量^[4]。检测蔬菜的农药残留时，既要在大型超市抽取样品，也要在小型农贸市场抽取，通过广泛抽样，确保结果具有代表性^[5]。

（二）规范操作保证准确性

检测人员应使用清洁、无污染的工具进行采样，并采取适当的防护措施，防止外部环境对样品的污染。不同的食品需要不同的处理方法，确保检测结果准确可靠，对于含有油脂的食品，需要进行脱脂处理，避免油脂对检测结果的干扰；对于含有高蛋白的食品，需要进行蛋白沉淀处理，提取目标检测物。在处理过程中，要严格控制温度、时间等参数，确保处理效果一致^[6]。检测人员应根据食品的特性和检测目的选择合适的检测方法，并严格按照操作规程使用检测仪器，在检测食品中的微生物含量时，选择准确可靠的培养方法和计数方法，并确保培养条件符合要求。

（三）多指标检测提升可靠性

多指标检测可以反映食品不同方面的质量问题，检测农药残留可以了解食品在生产过程中是否受到农药污染；检测重金属含量可以判断食品是否受到环境污染物的影响；检测微生物指标可以评估食品的卫生状况，更全面地了解食品的质量风险。在检测某批次水果时，农药残留检测结果显示未超标，微生物指标也在合格范围内，这样就可以更有信心地认为该批次水果的质量是可靠的^[7]。不同的食品可能存在不同的质量问题，通过选择合适的多指标检测组合，可以更好地满足特定食品的检测要求，对于婴幼儿食品，除了常规的检测指标外，还可以增加对营养成分、过敏原等指标的检测，确保婴幼儿食品的安全和营养。

三、农药残留检测技术在食品检测中应用

（一）精准筛查保障食品安全

农药残留检测技术能够对食品中的各类农药进行精确检测，确保食品符合安全标准，高效液相色谱法、气相色谱—质谱联用法等先进技术，可以检测出极低浓度的农药残留。以水果和蔬菜

为例，这些农产品在种植过程中可能会使用多种农药来防治病虫害，如果没有精准的检测手段，残留的农药可能会进入人体，对健康造成潜在危害。通过农药残留检测技术，可以对不同种类的水果和蔬菜进行全面筛查，检测人员首先会对样品进行严格的前处理，提取其中的农药残留成分；然后，利用先进的仪器设备进行分析，确定农药的种类和含量。对于有机磷、有机氯、拟除虫菊酯类等常见的农药^[8]。检测技术能够准确识别并定量分析、检测技术还可以检测出新型农药和农药代谢物，为食品安全监管提供更全面的信息，某些新型农药可能具有更高的毒性或更难降解的特性，通过精准筛查可以及时发现这些潜在风险，采取相应的措施加以控制。对于进口食品和农产品，海关和检验检疫部门可以利用这些技术对进口食品进行严格检测，防止含有高风险农药残留的食品进入国内市场，保障消费者的食品安全。

（二）快速检测提高效率

快速检测技术可以在短时间内对大量的食品样品进行检测，满足市场对食品快速流通的需求，酶联免疫吸附测定法（ELISA）就是一种常用的快速检测技术，这种方法操作简便，检测速度快，可以在几个小时内得出检测结果^[9]。在农产品批发市场、超市等场所，快速检测技术可以对新鲜的水果、蔬菜进行现场检测，检测人员只需采集少量样品，经过简单的处理后，即可使用试剂盒进行检测，如果检测结果显示农药残留超标，相关部门可以及时采取措施，如暂停销售、进行进一步检测等，防止问题食品流入消费者手中。便携式检测设备出现也为快速检测提供了便利，这些设备体积小、重量轻，可以携带到田间地头、生产车间等场所进行现场检测，便携式气相色谱仪和液相色谱仪可以在几分钟内完成对农药残留的检测，为食品生产企业提供实时的检测数据，企业根据检测结果及时调整生产工艺，确保产品质量安全。快速检测技术还可以与大数据和信息化技术相结合，实现检测数据的快速传输和分析，检测人员可以通过手机APP或网络平台将检测结果上传至数据库，监管部门可以实时监控食品的安全状况，提高监管效率。

（三）动态监测把控风险

监管部门可以在食品生产基地、批发市场、超市等关键环节设置监测点，定期对食品进行抽样检测，利用信息化技术对监测数据进行实时分析和处理，及时发现潜在的风险点，通过对不同地区、不同季节的农产品进行监测，了解农药使用的规律和趋势，为制定科学的监管政策提供依据。动态监测可以及时发现农药残留超标的情况，并采取相应的措施进行处理，如果在某个生产基地发现农药残留超标问题，监管部门可以立即要求企业暂停生产，进行整改，对已经流入市场的问题食品进行召回，防止对消费者造成危害。动态监测还可以促进企业加强自我管理。食品生产企业可以通过建立自己的检测体系，对原材料和产品进行动态监测，确保产品质量安全，企业根据监测结果及时调整生产工艺，选择低毒、低残留的农药，或者采用绿色防控技术，减少农药的使用量^[10]。水果种植企业采用生物防治和物理防治相结合的方法，减少化学农药的使用，降低农药残留的风险，与监管部门合作，共享监测数据，提高整个食品供应链的安全性。

（四）数据支撑科学决策

通过对检测数据的分析，了解不同地区、不同食品种类的农药残留状况，监管部门可以根据这些数据制定针对性的监管政策和措施，如果发现某个地区的某种农产品农药残留超标率较高，监管部门应加大对该地区的监管力度，加强对农民的培训和指导，提高他们的安全意识和种植技术水平，并对该地区的农药销售和使用进行严格管理，防止高毒、高残留农药的流入。通过对长期积累的检测数据进行统计分析，评估不同农药对人体健康的潜在风险，确定安全限量标准，对于新型农药，由于缺乏足够的安全数据，需要通过大量的检测和风险评估来确定其使用范围和安全限量^[1]。企业根据检测数据了解市场对农药残留的要求，调整生产策略，提高产品质量，利用检测数据进行质量追溯，一旦发现问题产品，可以迅速追溯到源头，采取有效的措施进行处理。监管部门可以通过网站、新闻发布会等渠道向公众公布食品检测结果，让公众了解食品的安全状况，鼓励公众参与食品安全监督，增强全社会的食品安全意识。

四、结束语

通过对农药残留检测技术在食品检测中的实践探究，得出以下结论：高效液相色谱法和气相色谱-质谱联用法具有高度的灵敏度和准确性，能够检测出极低浓度的农药残留，区分结构相似的农药化合物，为食品中农药残留的检测提供可靠的技术支持。酶联免疫吸附测定法操作简便、快速，适用于大规模样品的筛查，能够在短时间内发现潜在的农药残留问题，为食品安全监管提供了便捷的手段。通过多指标检测，可以全面了解食品的质量风险，提高检测结果的可靠性，为食品安全监管提供更加全面的信息支持。在食品生产基地、批发市场等关键环节设置监测点，定期进行抽样检测，可以及时发现潜在的风险点，并采取相应的措施进行处理，有效保障食品安全。

参考文献

- [1] 宋雨昕. 食品安全检测中基于高效液相色谱-质谱联用技术的农药残留分析研究 [J]. 现代食品, 2024, 30(14): 200-202.
- [2] 朱建英, 孔德军, 金杨慧娜, 等. 食品风险监测中农药残留的检测技术研究 [J]. 现代食品, 2024, 30(10): 151-153.
- [3] 韦舒婷. 化学分析技术在食品农药残留检测中的应用研究 [J]. 农村科学实验, 2024(3): 184-186.
- [4] 刘杉杉, 王杨杨. 农药残留检测技术在食品质量检验中的应用 [J]. 现代食品, 2024, 30(14): 167-169.
- [5] 刘鑫. 植物源性食品中有机磷农药残留检测技术的研究现状 [J]. 吉林医药学院学报, 2024, 45(5): 379-382.
- [6] 池明亮. 浅析食品中重金属、农药残留等有害物质检测技术的改进与创新 [J]. 现代食品, 2023, 29(12): 158-160.
- [7] 王晓燕, 邵婧婧. 食品检测中农药残留检测技术的应用分析 [J]. 现代食品, 2023, 29(12): 128-130.
- [8] 柯洋洋, 李凡. 液相质谱联用技术在食品安全检测中的应用研究——以农药残留为例 [J]. 中外食品工业, 2024(7): 23-25.
- [9] 陈冬霞. 食品检测中农药残留检测工作的现实意义及相关技术研究 [J]. 现代食品, 2023, 29(16): 157-160.
- [10] 雷紫依, 苏光林, 李跑, 等. 植物源性食品中多农药残留 GC-MS 高通量快速检测技术研究进展 [J]. 分析测试学报, 2023, 42(10): 1370-1380.
- [11] 李谦谦, 孙雪. 食品安全检测中农药残留检测技术的应用分析 [J]. 现代食品, 2023, 29(12): 177-179.

市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理探究

汪成名

昆仑能源湖北黄冈液化天然气有限公司，湖北 黄冈 438000

DOI:10.61369/ETQM.2025060020

摘 要： 在城市化快速发展进程中，市政基础设施场站维修建设工程对城市的稳定运行愈发关键，其施工现场管理的优劣直接影响工程质量、进度及安全。本文聚焦市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理展开探究，阐述了其夯实工程基础、加速建设进程、筑牢施工防线的重要意义，并针对性地提出强化设备运维、精准规划进度、健全质量监管、严格安全举措的策略，旨在提升施工现场管理水平，确保市政基础设施场站维修建设工程高效优质完成，助力城市基础设施建设的可持续发展。

关 键 词： 市政基础设施场站；维修建设工程；施工现场管理

Exploration of Construction Site Management of Municipal Infrastructure Station Maintenance and Construction Project

Wang Chengming

Kunlun Energy Hubei Huanggang Liquefied Natural Gas Co., Ltd. Huanggang, Hubei 438000

Abstract： In the rapid urbanization process, the maintenance and construction projects of municipal infrastructure stations have become increasingly crucial for the stable operation of cities. The quality of on – site construction management directly affects the quality, progress, and safety of the projects. This paper focuses on exploring the on – site construction management of the maintenance and construction projects of municipal infrastructure stations. It expounds on its significance in consolidating the project foundation, accelerating the construction process, and strengthening the construction defense line. Moreover, it puts forward strategies such as strengthening equipment operation and maintenance, precisely planning the progress, improving quality supervision, and strictly implementing safety measures. The aim is to enhance the level of on – site construction management, ensure the efficient and high – quality completion of the maintenance and construction projects of municipal infrastructure stations, and contribute to the sustainable development of urban infrastructure construction.

Keywords： municipal infrastructure stations; maintenance and construction projects; construction site management

引言

市政基础设施场站是城市运行的关键支撑，其对于维修建设工程至关重要，而施工现场管理则是确保市政基础设施场站维修建设工程顺利推进的核心环节，科学有效的施工现场管理能够整合各类资源，优化施工流程，确保工程按计划有序进行。它不仅关乎工程质量，决定着市政基础设施场站能否长期稳定运行，还与施工安全紧密相连，影响施工人员生命安全以及周边环境的安全。因此，深入探究市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理具有重要的意义。

一、市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理的研究意义

（一）夯实工程基础

严格的施工现场管理能够确保工程材料及工艺符合标准，避免因偷工减料或违规操作导致的质量隐患，为市政场站的长期稳

定运行筑牢根基。从功能性角度看，高质量的维修建设能够使市政基础设施场站充分发挥其应有的作用。从安全性层面而言，优质的工程质量可降低后期使用过程中的安全风险。坚固耐用的建筑结构以及可靠的设备安装能减少因工程质量问题引发的坍塌等安全事故，保障周边居民与工作人员的生命财产安全，保障工程质量还有利于提升城市形象以及居民生活品质。高质量的市政基

作者简介：汪成名（1984.02-），汉族，湖北省武汉市人，本科，中级工程师，党员，研究方向：市政工程（天然气管道敷设及场站维修建设）。

基础设施场站是城市运行的支撑，也是城市文明与发展水平的体现，能够为居民创造更舒适安心的生活环境。

（二）加速建设进程

高效的施工现场管理能够合理调配人力物力及时间资源，避免因资源闲置或分配不均造成的工期延误，让工程得以紧凑有序推进。工程人员科学规划施工顺序能够减少不必要的工序衔接时间，大幅提高施工速度。在工程建设中工程人员提前安排好场地平整、基础施工、主体建筑搭建以及设备安装的先后顺序，能够使各环节紧密配合，显著缩短整体建设周期。应用先进技术与设备也得益于高效管理，及时引入新型施工机械及工艺能提升作业速度。工程人员加速建设进程还能降低对城市运行或居民生活的影响，市政基础设施场站维修建设通常处于城市之中，尽快完工可减少施工带来的噪音、交通拥堵等干扰，使城市尽快恢复正常秩序并保障居民的正常生活不受长期影响，同时也能让市政场站早日投入使用，发挥其服务城市的功能。

（三）筑牢施工防线

有效的施工现场管理能系统性地识别并管控各类安全风险，为施工人员营造安全的作业环境并大幅降低事故发生的可能性。从人员安全角度看，严格的安全管理能够确保施工人员接受全面的安全培训，熟悉操作规程以及应急处理方法。在涉及高空作业的场站建设中，工人经过专业培训能正确使用安全防护设备，可有效避免坠落事故。就设备安全而言，工程人员定期对施工设备进行检查维护确保其性能良好，能防止因设备故障引发的安全事故。强化安全管理还有助于维护周边环境安全，在靠近居民区或重要设施的市政场站施工时，采取设置围挡、控制粉尘与噪音等有效的安全防护措施可防止施工对周边居民或设施造成危害，这能够保障公众的安全，也能维护社会的稳定和谐，为工程的顺利进行创造良好的外部条件。

二、提升市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理水平的策略

（一）强化设备运维，确保市政场站施工效能

市政场站维修建设工程所涉及的设备种类繁多且功能各异，设备的稳定运行是施工得以顺利推进的基础。工程人员强化设备运维管理，采用定期巡检等科学手段，能够敏锐地察觉设备潜在的细微问题，对设备关键部件的温度等参数进行实时监测能够提前预判可能出现的故障隐患。一旦发现问题，工程人员能够迅速制定解决方案并加以实施，从而减少设备故障发生的几率，确保设备始终维持在良好的工作状态。这能够大幅提高施工效率，避免因设备故障而导致的工期延误，保障工程进度按计划进行并严格按照标准完成。良好的设备运维工作还能有效延长设备的使用寿命，减少设备更新换代的频率进而降低工程成本，从多个维度全面提升市政场站施工效能。

以混凝土搅拌设备为例，在施工前期施工人员要制定详细的设备维护计划并定期对设备进行深度保养，每工作一定时长后工程人员要对搅拌筒内部进行清理，防止混凝土残留影响搅拌效

果，同时对润滑系统进行检查并补充润滑油，确保各运转部件顺畅运行。在施工过程中，施工人员需严格按照操作规程使用设备，在每次搅拌作业前先空载运行设备，观察设备运行状态，确认无误后再进行投料搅拌。若在运行过程中设备发出异常声响或出现其他故障迹象，施工人员应立即停机检查，当发现搅拌电机转速不稳定时需马上停止作业，对电机、传动皮带等部件进行检查，及时调整或更换有问题的部件，避免故障扩大。此外，施工人员应建立设备运行档案，记录设备的使用时间、维护情况及处理记录等，对这些数据进行分析可提前预判设备可能出现的问题，及时采取预防措施，确保设备始终保持高效运行，从而保障市政场站维修建设工程的施工效能。

（二）精准规划进度，推进市政场站建设节奏

市政场站建设工程因其自身特性具备高度的复杂性，涵盖众多施工环节以及多样化的专业工种协同作业。工程人员进行精准的进度规划能够科学地对各项施工任务的起始时间及结束时间进行妥善安排，实现各类资源的优化配置，杜绝资源的无端浪费。更重要的是工程人员精准规划进度能够凭借对工程的全面分析提前预估可能出现的问题，并为之预留出充足的应对时间，即便在施工过程中遭遇意外状况也能够迅速且有效地采取相应措施加以应对，确保工程始终按照预定计划顺利推进。这有助于市政场站早日竣工并投入使用，使其及时发挥出应有的社会效益，满足城市发展与居民生活的实际需求。

以公交场站建设为例，工程人员在项目启动前需要依据工程规模、施工工艺及资源状况，运用网络计划技术制定详细进度规划。将整个工程分解为场地平整、基础施工、主体建筑建设、配套设施安装等多个子任务。场地平整阶段，工程人员需根据场地实际情况确定合理工期，并安排好土方运输车辆数量及路线，避免运输过程拥堵影响进度。基础施工时，考虑到混凝土浇筑后的养护时间，工程人员要精确计算钢筋绑扎、模板搭建、混凝土浇筑及养护等工序分别所需时长，确保基础稳固且不延误后续施工。在主体建筑建设过程中，工程人员需规划好各楼层施工顺序，合理安排施工人员及机械设备。配套设施安装环节，工程人员要提前协调好水电、通信等专业施工队伍进场时间，确保各专业施工紧密衔接。这样精准的进度规划，能够使公交场站建设节奏得以有效推进，工程顺利开展并能按时交付使用，为城市公共交通服务提供保障。

（三）健全质量监管，夯实市政场站工程质量

市政场站作为城市基础设施的核心构成，其工程质量优劣直接关联着城市的正常运转、公众的生活质量以及城市未来的可持续发展。一套健全的质量监管体系能够对工程建设的全流程进行精细筛选及把控，工程人员确立明确细致的质量标准以及规范科学的操作流程，能够为施工过程提供清晰的行动指南，确保每个环节都符合规范。在施工过程中，质量监管凭借专业的检测手段以及严谨的监督机制能够及时察觉并精准纠正任何细微的质量偏差，有效避免质量问题的滋生，将隐患扼杀在萌芽状态，从根本上为市政场站工程质量筑牢防线，使其具备卓越的品质，持续为城市发展贡献稳定且可靠的支持。

以排水泵站建设为例,在材料选用环节质量监管要求对每一批次的钢筋、水泥等建筑材料进行严格的质量检验,只有检验合格的材料才能进入施工现场,这能从源头上保障工程质量。施工工艺执行方面,对于基础浇筑,监管人员需监督施工人员严格按照设计要求控制混凝土的配合比、浇筑顺序以及振捣方式,振捣过程中确保混凝土均匀密实,避免出现蜂窝麻面等质量问题。在成品验收阶段,施工人员要针对排水泵站的功能性进行全面检测。检查水泵的运行效率、排水管道的密封性以及电气系统的安全性等。可以模拟不同排水量,测试水泵能否正常运行并达到设计排水能力,只有各项指标都符合质量标准,泵站才能投入使用。这一系列健全的质量监管措施,能够夯实排水泵站的工程质量,保障其长期稳定运行。

（四）严格安全举措，营造市政场站施工环境

市政场站施工通常处于复杂的城市环境中,涉及多种施工工艺以及大型机械设备,面临高空作业、电气危险、机械伤害等诸多安全风险。工程人员制定全面且细致的安全规章制度,能够为施工人员的操作行为划定明确边界,促使其严格遵循安全规范,从源头上减少因违规操作导致的安全事故隐患。大力加强设置坚固的防护栏、有效的警示标识以及完备的消防器材等施工现场安全设施的建设管理,能够为施工人员打造物理层面的安全屏障。此外,持续开展系统的安全教育培训能够提升施工人员的安全意识,使其时刻保持警惕,还能传授实用的应急处理技能。当面对突发安全事件时,施工人员能够迅速有效地采取应对措施,降低事故损失。多管齐下能够营造出安全有序的施工环境,为稳步推进市政场站工程奠定基础。

以污水处理厂的建设为例,在施工现场入口处,工程人员需设置明显且规范的安全警示标识,提醒进入场地的人员注意安全并对施工现场进行合理规划,避免相互干扰引发安全问题。在高处作业区域,要搭建稳固的脚手架并设置防护栏杆以及安全网,施工人员进行高空作业时必须严格佩戴安全带。对于施工现场的电气设备需实施严格的安全管理,所有电气设备必须接地良好,施工人员要定期检查电线电缆,防止出现漏电等情况,在设备间布线过程中要求电工按照安全标准进行操作,设置漏电保护装置,避免触电事故发生。施工单位要定期组织施工人员参加应急救援知识等安全教育培训。借助案例分析等方式让施工人员深刻认识到安全施工的重要性,掌握应急处理方法。这些严格的安全举措能够营造安全的污水处理厂施工环境,保障工程顺利进行。

三、结束语

市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理是城市发展进程中不容忽视的重要环节,在城市化快速推进的当下,市政基础设施场站的功能与规模不断拓展,这对施工现场管理提出更高要求。强化施工现场管理,持续探索科学有效的管理策略,不仅是保障工程顺利实施的必要手段,更是推动城市可持续发展的内在需求。未来,随着科技的不断进步以及管理理念的持续更新,市政基础设施场站维修建设工程施工现场管理应积极采用数字化管理、智能化监测等新技术,进一步提升管理的精细化及科学化水平,为城市打造更为优质高效的基础设施场站,助力城市实现高质量发展。

参考文献

- [1] 沈汉和.房屋市政基础设施建设工程项目前期管理措施分析[J].建材发展导向,2024,22(24):79-81.
- [2] 宫仁.住房和城乡建设部关于发布《房屋建筑和市政基础设施工程禁止和限制使用技术目录(第二批)》的公告[J].建筑工人,2024,45(12):54-55.
- [3] 《江西省房屋建筑和市政基础设施工程施工图设计文件审查管理实施细则(试行)》政策解读[J].江西省人民政府公报,2024,(22):42-43.
- [4] 李士林.房屋建筑与市政基础设施工程质量管理策略分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(28):52-54.
- [5] 《梅州市房屋建筑和市政基础设施建设工程项目评标定标分离管理办法(试行)》解读[J].梅州市人民政府公报,2023,(23):37-39.
- [6] 市城建局关于印发《武汉市市政基础设施工程质量监督及竣工验收备案管理办法》的通知[J].武汉市人民政府公报,2023,(24):38-44.
- [7] 梅州市住房和城乡建设局关于进一步规范建设工程消防设计管理的通知[J].梅州市人民政府公报,2023,(21):2-5.
- [8] 北京市住房和城乡建设委员会关于印发《北京市房屋建筑和市政基础设施工程电动运输车使用安全管理规定》的通知[J].北京市人民政府公报,2023,(26):8-17.
- [9] 北京市住房和城乡建设委员会关于印发《北京市房屋建筑、市政基础设施和地方铁路建设工程质量监督工作规定》的通知[J].北京市人民政府公报,2022,(12):52-64.
- [10] 西安市住房和城乡建设局关于印发《西安市房屋建筑和市政基础设施工程施工现场新冠肺炎疫情常态化防控工作指南(试行)》的通知[J].西安市人民政府公报,2022,(02):33-38.

民用建筑防雷接地施工质量控制研究

李虎

陕西建工安装集团有限公司, 陕西 西安 710000

DOI:10.61369/ETQM.2025060022

摘 要： 随着城市化进程的飞速推进，民用建筑数量持续攀升。防雷接地施工作为保障民用建筑安全的核心环节，其施工质量与建筑物内人员安全及设备稳定运行紧密相连。本文深入剖析民用建筑防雷接地施工的各个流程，详细探讨影响施工质量的多元因素，并依据相关规范提出具有针对性的质量控制举措，旨在显著提升民用建筑防雷接地施工质量，有效降低雷电灾害带来的潜在风险。

关 键 词： 施工质量；民用建筑；防雷接地施工

Research on Construction Quality Control of Lightning Protection and Grounding for Civil Buildings

Li Hu

Shaanxi Construction and Installation Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract： With the rapid advancement of urbanization, the number of civil buildings continues to rise. As a core component of ensuring the safety of civil buildings, the construction quality of lightning protection and grounding is closely linked to the safety of personnel and the stable operation of equipment within the buildings. This article deeply analyzes each process of lightning protection and grounding construction in civil buildings, discusses in detail the multiple factors that affect construction quality, and proposes targeted quality control measures based on relevant specifications. The aim is to significantly improve the construction quality of lightning protection and grounding in civil buildings and effectively reduce the potential risks posed by lightning disasters.

Keywords： construction quality; civil building; lightning protection grounding construction

引言

雷电是一种强大且极具破坏力的自然现象。据相关统计数据显示，每年因雷电灾害导致的经济损失高达数十亿元，同时还伴随着人员伤亡事件的发生。民用建筑作为人们生活和工作的主要场所，一旦遭受雷电袭击，可能引发火灾、电气设备严重损坏以及危及人员生命安全等重大事故。防雷接地系统作为民用建筑抵御雷电灾害的关键防线，能够迅速将雷电电流安全引入大地，从而为建筑物及其内部设备和人员提供可靠的保护。因此，严格把控防雷接地施工质量，对于保障民用建筑的安全具有不可估量的重要意义。然而，在实际施工过程中，由于受到人员、材料、施工工艺以及环境等多种复杂因素的综合影响，防雷接地施工质量常常出现各类问题，亟待采取切实有效的质量控制措施加以解决。

一、民用建筑防雷接地施工流程及规范要求

（一）施工准备阶段

1. 设计图纸审查

施工人员在施工前必须对防雷接地设计图纸进行细致入微的审查，确保其完全符合现行的《建筑物防雷设计规范》GB 50057 - 2010 等相关规范和标准要求。例如，根据规范要求，对于第一类防雷建筑物，当其高度超过 30m 时，应在 30m 及以上每隔不大于 6m 沿建筑物四周设水平避雷带并与引下线相连；对于第二类防雷建筑物，高度超过 45m 的钢筋混凝土结构、钢结构

建筑物，应采取防侧击和等电位的保护措施。在审查过程中，重点检查接地装置的布局是否合理，接地极的埋设深度是否达到规定数值，引下线的走向是否清晰明确以及连接方式是否科学可靠等。如发现设计图纸存在任何问题，必须及时与设计单位进行沟通协调，促使其进行修改和完善，以确保设计图纸的准确性和可行性。

2. 材料设备采购

依据设计要求，采购质量完全符合标准的防雷接地材料和设备，如接地极、接地线、避雷带、引下线等。以接地极为例，根据规范规定，人工垂直接地极宜采用热浸镀锌圆钢、角钢或钢

管，其最小规格尺寸为：圆钢直径不应小于 14mm；角钢厚度不应小于 4mm；钢管壁厚不应小于 3.5mm。材料设备进场时，必须严格按照相关标准进行全面检验，仔细检查其规格、型号、材质是否与设计完全相符，同时确保产品质量证明文件齐全完备。对于任何不合格的材料设备，坚决予以退场处理，严禁其进入工程施工环节。

3.施工场地布置

合理规划施工场地，科学设置材料堆放区、加工区和施工操作区等不同功能区域。施工场地应确保平整坚实，具备良好的排水条件，以避免因积水影响施工质量和进度。同时，必须严格按照相关安全规范要求，做好施工现场的安全防护措施，在明显位置设置各类警示标志，如“注意防雷”“严禁烟火”等，有效防止人员伤亡事故的发生。例如，根据《建设工程施工现场消防安全技术规范》GB 50720 - 2011 的规定，施工现场应设置临时消防车道，其净宽度和净空高度均不应小于 4m^[1]。

（二）基础接地施工阶段

1.接地极埋设

接地极是防雷接地系统的关键组成部分，其埋设质量直接决定接地效果的优劣。接地极一般采用镀锌角钢、镀锌钢管或铜板等材料。在埋设接地极时，必须严格依据设计要求精确定其埋设位置和深度。通常情况下，按照《建筑物防雷设计规范》GB 50057 - 2010 的规定，接地极的埋设深度不应小于 0.8m，且应保持垂直埋设。接地极之间的距离不宜小于其长度的 2 倍，以最大限度地减少接地极之间的相互影响。接地极埋设完成后，应立即使用专业的接地电阻测试仪器进行接地电阻测试，确保接地电阻值符合设计要求。例如，对于第一类防雷建筑物，其接地电阻值不应大于 10Ω；对于第二类防雷建筑物，接地电阻值不应大于 4Ω；对于第三类防雷建筑物，接地电阻值不应大于 30Ω。如接地电阻值不符合要求，应及时采取增加接地极数量、延长接地极长度或更换接地极材料等有效措施进行处理。

2.基础钢筋连接

利用建筑物基础钢筋作为自然接地体，是民用建筑防雷接地施工中广泛采用的成熟方法。在基础钢筋施工过程中，务必确保作为接地极和引下线的钢筋之间实现可靠连接。通常采用焊接连接方式，焊接长度必须严格符合规范要求。对于直径大于 16mm 的钢筋，应采用双面焊接，焊接长度不小于钢筋直径的 6 倍；对于直径小于 16mm 的钢筋，可采用单面焊接，焊接长度不小于钢筋直径的 12 倍。焊接完成后，要及时对焊接部位进行全面的防腐处理，一般先涂刷两道防锈漆，再涂刷一道银粉漆，以有效防止钢筋生锈腐蚀，确保接地效果的长期稳定^[2]。

（三）引下线施工阶段

1.引下线安装

引下线是连接接闪器和接地装置的关键导体，其作用是将雷电流迅速且安全地传导至接地装置。引下线可采用镀锌圆钢、镀锌扁钢或建筑物结构柱内的主筋等材料。当采用建筑物结构柱内的主筋作为引下线时，应严格选取两根直径不小于 16mm 的主筋，并在每层楼的相应位置准确设置引下线连接板，以便与避雷带等进行可靠连接。引下线安装应保持垂直，固定牢固，支持件间距均匀，按照《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》GB 50601 - 2010 的规定，一般不应大于 2m。引下线与接闪器、接

地装置之间的连接应确保可靠，可采用焊接或螺栓连接方式。焊接时，焊接长度和质量应严格符合规范要求；采用螺栓连接时，应加装弹簧垫圈，防止连接松动。

2.引下线标识

为便于日后的检查、维护和管理，引下线上应设置清晰明显的标识。标识可采用刷漆或粘贴标签等方式，详细注明引下线的编号、位置和连接情况等关键信息。标识应具备清晰、牢固、不易褪色和脱落的特性，以确保在长期使用过程中始终能够发挥其应有的作用^[3]。

（四）避雷带施工阶段

1.避雷带安装

避雷带是接闪器的一种常见形式，通常安装在建筑物的屋顶、女儿墙等易受雷击的关键部位。避雷带一般采用镀锌圆钢或镀锌扁钢制作，其规格应严格符合设计要求。例如，镀锌圆钢直径不应小于 8mm，镀锌扁钢截面不应小于 48mm²，厚度不应小于 4mm。避雷带安装应保持平整、顺直，固定牢固，支持件间距均匀，按照规范规定，一般不应大于 1m。避雷带与引下线之间应实现可靠连接，连接方式可采用焊接或螺栓连接。在建筑物的阳角、转角等特殊部位，避雷带应进行合理的弯曲处理，弯曲半径不应小于避雷带直径的 10 倍，以保证避雷带的美观和避雷效果。

2.避雷带焊接与防腐

避雷带之间的连接以及避雷带与引下线、接闪器等连接，均应采用焊接方式。焊接时，应严格保证焊接质量，焊缝应饱满、平整，无夹渣、气孔等任何缺陷。焊接完成后，要对焊接部位进行全面的防腐处理，先刷防锈漆两道，再刷银粉漆一道，有效防止焊接部位生锈腐蚀，切实延长避雷带的使用寿命，确保其避雷效果的长期稳定。

（五）防雷接地系统测试与验收阶段

1.接地电阻测试

在防雷接地系统施工完成后，必须进行全面的接地电阻测试。测试应使用专业的接地电阻测试仪器，按照相关规范要求的测试方法进行操作。测试点应选择在地极、引下线等关键部位，确保测试数据能够准确反映防雷接地系统的接地效果。如发现接地电阻值不符合设计要求，应及时进行分析排查，找出问题根源并采取相应的整改措施，直至接地电阻值符合要求为止。

2.验收程序与标准

防雷接地系统的验收应严格按照相关规范和标准进行。验收内容包括施工材料的质量、施工工艺的规范性、接地电阻值的符合性以及防雷接地系统的整体完整性等多个方面。验收人员应具备专业的知识和技能，严格按照验收程序进行操作，确保验收结果的准确性和公正性。只有通过验收的防雷接地系统，方可投入使用^[4]。

二、民用建筑防雷接地施工质量控制措施

（一）加强人员管理

1.提高施工人员技术水平

施工单位应高度重视对施工人员的技术培训工作，定期组织施工人员深入学习防雷接地施工规范和标准，邀请行业专家进行技术讲座和现场指导，使施工人员熟练掌握先进的施工工艺和操

作技能。同时，积极鼓励施工人员参加相关的职业技能考试，取得相应的资格证书，不断提高施工队伍的整体技术水平。例如，可定期组织施工人员参加《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》GB 50601 - 2010 等规范的培训学习，并进行考核，确保施工人员对规范要求了然于心。

2. 增强施工人员质量意识

通过开展多样化的质量教育活动，如质量讲座、质量培训、质量竞赛等，不断增强施工人员的质量意识。使施工人员深刻认识到防雷接地施工质量的重要性，自觉遵守施工规范和操作规程，严格按照设计图纸进行施工，确保每一个施工环节的质量都符合要求。例如，可在施工现场设置质量宣传栏，定期发布质量事故案例和质量控制要点，以提高施工人员的质量警惕性。

（二）严格控制材料质量

1. 加强材料采购管理

建立健全科学完善的材料采购管理制度，精心选择信誉良好、质量可靠的供应商进行材料采购。在采购合同中，必须明确材料的质量标准和验收要求，要求供应商提供详细的产品质量证明文件和权威的检验报告。材料进场时，严格按照合同要求和相关标准进行全面细致的检验，确保材料质量合格。例如，在采购接地极时，应要求供应商提供材料的材质报告、镀锌层厚度检测报告等，并对进场的接地极进行抽样检验，确保其规格、材质等符合要求^[4]。

2. 做好材料保管工作

设置专门的材料仓库，对防雷接地材料进行分类存放。仓库要保持干燥、通风，做好防潮、防锈等措施。对易生锈的材料，如接地极、引下线等，应定期进行检查，发现生锈及时进行处理。同时，要建立严格的材料领用制度，严格控制材料的使用，避免浪费和丢失。例如，可在仓库内设置湿度计和温度计，实时监控仓库内的环境条件，确保材料处于良好的保存状态。

（三）规范施工工艺

1. 制定详细的施工方案

施工单位应根据设计图纸和施工现场的实际情况，制定详细周全的防雷接地施工方案。施工方案应包括施工流程、施工方法、质量控制要点、安全措施等全面的内容。施工方案应经过技术负责人的严格审核批准后，方可正式实施。在施工过程中，施工人员应严格按照施工方案进行操作，确保施工工艺的规范性。例如，在施工方案中应明确规定接地极的埋设方法、引下线的连接工艺、避雷带的安装要求等，并对每道工序的质量控制要点进行详细说明。

2. 加强施工过程质量控制

建立健全完善的施工过程质量控制体系，对防雷接地施工的各个环节进行严格的质量控制。在每道工序施工完成后，施工人员应首先进行自检，自检合格后，由专业的质量检验人员进行专检。经检验合格后方可进行下一道工序施工。对施工过程中出现的质量问题，要及时进行整改，确保工程质量符合要求。例如，可建立质量检验记录制度，对每道工序的检验结果进行详细记录，以便追溯和分析质量问题。

（四）应对环境因素影响

1. 针对地质条件采取相应措施

在施工前，应对施工现场的地质条件进行详细深入的勘察，准确测定土壤电阻率。如果土壤电阻率过高，应根据实际情况采取相应的降阻措施，如换土、添加降阻剂等。在采取降阻措施后，要再次进行接地电阻测试，确保接地电阻值符合设计要求。例如，在土壤电阻率较高的地区，可采用换土法，将低电阻率的土壤替换原有的高电阻率土壤，以降低接地电阻；也可采用添加降阻剂的方法，改善土壤的导电性能，降低接地电阻。

2. 合理安排施工时间

根据当地的气候条件，合理安排防雷接地施工时间。尽量避免在雨天、大风天等恶劣天气条件下进行焊接、安装等作业。在冬季低温环境下施工时，要采取相应的保暖措施，确保施工材料和设备的性能不受影响。同时，要注意施工人员的防寒保暖，保证施工人员的身体健康和施工安全。例如，在雨天可暂停焊接作业，待天气晴朗后再进行施工；在冬季低温环境下，可对施工材料进行预热处理，对施工设备采取保暖措施，确保施工顺利进行。

三、结论

民用建筑防雷接地施工质量直接关系到建筑物的安全 and 人民群众的生命财产安全。通过对民用建筑防雷接地施工流程的深入分析，明确了影响施工质量的人员、材料、施工工艺和环境等多种因素，并依据相关规范提出了全面系统的质量控制措施。在实际施工过程中，施工单位应切实加强人员管理，严格把控材料质量，规范施工工艺，合理应对环境因素的影响，建立完善的质量控制体系，加强施工过程的质量监督和检查，确保防雷接地施工质量符合相关规范和标准要求，为民用建筑的安全提供坚实可靠。

参考文献

- [1] 高宝娜. 高层建筑设计中防雷接地系统的优化分析 [J]. 电气技术与经济, 2025, (03): 348-351.
- [2] 张宏. 防雷接地技术在建筑电气安装中的应用 [J]. 科学技术创新, 2025, (08): 181-184.
- [3] 朱传芳. 装配式建筑电梯安装与综合防雷接地技术研究 [J]. 住宅与房地产, 2025, (08): 53-55.
- [4] 贾树国, 谢斌, 韩伟伟. 超高层建筑电气防雷接地系统优化设计 [J]. 城市开发, 2025, (05): 134-136.
- [5] 张鑫. 建筑电气施工中的接零接地施工技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (07): 131-133.

燃气突发事件应急管理处置探究

方爱民¹, 周自军², 廖龙萍³

1. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

2. 湖南九申燃气集团股份有限公司, 湖南 常德 415000

3. 湖南安卓特种设备科技有限公司常德分公司, 湖南 常德 415000

DOI:10.61369/ETQM.2025060023

摘要 : 随着我国燃气使用范围日益广泛, 燃气事故频发, 其易燃易爆特性易造成严重后果。但当前应急管理存在预案不完善、救援能力不足、公众安全意识薄弱等问题, 因此开展相关研究以提升应急管理水平十分必要。本研究通过分析燃气突发事件在危及生命安全、引发财产损失、破坏生态环境等方面的危害, 阐述保障生命安全优先、降低财产损失高效、守护生态环境严控的应急管理原则, 并详细研究快速救援行动、高效抢险作业、科学污染处理等处置策略。旨在通过实施上述策略, 有效应对燃气突发事件, 最大限度挽救生命、减少财产损失、保护生态环境, 为燃气突发事件应急管理提供了可行的方法与思路。

关键词 : 燃气; 突发事件; 应急管理; 快速救援; 高效抢险

Exploration on Emergency Management and Disposal of Gas Accidents

Fang Aimin¹, Zhou Zijun², Liao Longping³

1. Hunan Anguang Inspection and Testing Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

2. Hunan Jiushen Gas Group Co., Ltd. Changde, Hunan 415000

3. Changde Branch of Hunan Android Special Equipment Technology Co., Ltd. Changde, Hunan 4150005

Abstract : With the increasingly widespread use of gas in China, gas accidents occur frequently, and their flammable and explosive characteristics can easily cause serious consequences. However, there are currently problems such as incomplete emergency plans, insufficient rescue capabilities, and weak public safety awareness in emergency management. Therefore, it is very necessary to carry out relevant research to improve the level of emergency management. This study analyzes the hazards of gas emergencies in terms of life safety, property loss, and ecological environment damage, and elaborates on the principles of emergency management that prioritize life safety, efficiently reduce property loss, and strictly protect the ecological environment. It also conducts detailed research on disposal strategies such as rapid rescue operations, efficient emergency response operations, and scientific pollution treatment. The aim is to effectively respond to gas emergencies, maximize life saving, reduce property losses, and protect the ecological environment through the implementation of the above strategies, providing feasible methods and ideas for emergency management of gas accidents.

Keywords : gas; emergencies; emergency management; rapid rescue; efficient emergency response

随着燃气在生产生活中的广泛应用, 燃气突发事件成为不容忽视的安全隐患。此类事件一旦发生, 会迅速危及周边人员生命安全, 导致惨重的财产损失, 对生态环境也会造成难以估量的破坏。传统应急管理方式在应对复杂多变的燃气突发事件时, 暴露出诸多不足。燃气突发事件应急管理是指针对燃气系统(包括天然气、液化石油气等)在生产、储存、运输、使用等环节中可能发生的泄漏、爆炸、火灾、中毒等突发事件, 通过组织、协调、指挥和资源调配等手段, 实施预防、准备、响应和恢复的全过程管理, 降低事件危害、减少人员伤亡和财产损失, 并尽快恢复正常生产生活秩序。为更好地防范和应对燃气突发事件, 提升应急管理效能, 有必要深入探究科学、高效的应急管理处置策略, 保障社会的安全稳定与可持续发展。

一、燃气突发事件的危害

(一) 危及生命安全造成伤亡

燃气多具易燃、易爆及毒性等特性, 一旦发生泄漏、爆炸等

事故, 首当其冲的便是周边人员。在室内环境下, 燃气泄漏后与空气混合, 若达到爆炸极限, 遇明火或静电等微小能量源就可能瞬间引发爆炸。爆炸产生的强大冲击波, 能轻易摧毁建筑物内部结构, 致使墙壁倒塌、门窗破碎, 直接将室内人员掩埋或遭受飞

溅碎片的致命伤害。即便未发生爆炸，高浓度的燃气泄漏也会迅速充斥空间，导致人员因吸入大量燃气而中毒。常见的一氧化碳中毒，会阻碍人体血液对氧气的输送，引发头痛、眩晕、恶心等症状，严重时直接致人昏迷甚至死亡。在室外，燃气管道泄漏可能引发大面积燃气扩散，过往行人吸入燃气，同样面临中毒风险。若此时有车辆经过产生明火，还可能引发大规模爆炸，波及范围更广，造成更多无辜人员伤亡。而且，在燃气突发事件发生后的救援过程中，由于现场情况复杂，充满不确定性，救援人员也可能因二次爆炸、燃气中毒等面临生命危险，威胁生命安全。

（二）引发财产损失经济受损

在事故现场，爆炸的强大冲击力能使居民楼、商业建筑等瞬间遭受重创，墙体开裂、结构变形甚至整体坍塌，导致房屋无法正常居住或使用，需耗费巨额资金进行修复或重建。室内外的家具、电器、设备等也会在爆炸或火灾中被损毁，对于商业场所而言，库存商品、生产设备的损失可能直接导致企业停产停业，不仅前期投入化为泡影，还可能因无法按时交付订单承担违约赔偿责任。燃气设施本身的损坏修复也需大量资金。燃气管道破裂、阀门损坏等，需要专业人员和设备进行抢修，从紧急采购替换部件，到调用大型机械设备挖掘路面修复地下管道，每个环节都成本高昂^[1]。燃气突发事件会影响周边供电、供水、通信等基础设施系统的运行，供电线路受损可能导致周边区域停电，影响居民生活与企业生产；供水管道破裂造成停水，影响居民日常用水，可能对依赖水的工业生产造成严重干扰。修复这些受损基础设施同样需要大量资金投入，加上事故导致的交通管制、商业活动停滞等间接经济损失，使燃气突发事件引发的财产损失和经济受损问题雪上加霜。

（三）破坏生态环境污染严重

燃气泄漏后，若进入土壤，其中的有害物质会逐渐渗透，改变土壤的理化性质。天然气中的某些成分可能会抑制土壤中微生物的活动，影响土壤的自然生态平衡，导致土壤肥力下降，进而影响植被生长。对于农作物种植区域，土壤污染可能使农作物减产甚至绝收，影响粮食安全。若燃气泄漏至水体，如河流、湖泊，燃气中的化学物质会溶解于水中，造成水质污染。这些污染物不仅会对水生生物的生存构成直接威胁，导致鱼类、贝类等水生动物死亡，还可能改变水体的酸碱度和溶解氧含量，破坏整个水生生态系统的稳定^[2]。燃气爆炸或燃烧产生的废气中含有一氧化碳、氮氧化物、颗粒物等大量有害污染物，这些污染物排放到大气中，会加重空气污染，降低空气质量，引发雾霾等恶劣天气，对人体呼吸系统造成损害。长期的大气污染还可能影响气候，导致局部地区气候异常，破坏生态环境的平衡与稳定。一旦生态环境遭受破坏，其恢复过程往往漫长且成本高昂，需要投入大量人力、物力和财力进行生态修复工作。

二、燃气突发事件应急管理原则

（一）保障生命安全优先原则

在应急处置的各个环节，应将保障生命安全置于首位。从应

急响应启动阶段，救援人员的调配就应优先考虑具有专业救援技能和丰富经验的队伍，他们能够更迅速、准确地应对复杂危险的现场情况。在制定救援方案时，需充分评估现场环境，优先确定人员疏散路径，确保被困人员能够安全、快速撤离^[3]。在救援过程中，配备先进的雷达生命探测仪、音频生命探测仪等生命探测设备，以便精准定位被困人员位置，争分夺秒展开营救。为救援人员提供完善的防护装备，防止他们在救援过程中因燃气泄漏、爆炸等面临生命危险，及时组织医疗救援力量在现场待命，一旦有伤员救出，立即进行紧急救治，尽可能提高伤者的生存概率。

（二）降低财产损失高效原则

在应急管理中，快速行动是降低财产损失的关键，一旦接到事故报告，相关部门应迅速启动应急响应机制，第一时间派遣专业抢险队伍赶赴现场。抢险人员到达后，立即对现场进行勘查，制定科学、高效的抢险方案。对于燃气设施的抢修，优先选用合适的材料与先进的技术手段，缩短抢修时间，减少燃气持续泄漏造成的更大损失。利用先进的管道非开挖修复技术，能够在不破坏大面积路面的情况下快速修复受损燃气管道，降低对周边交通及商业活动的影响^[4]。对于受损建筑物及基础设施，组织专业评估团队及时进行评估，确定修复方案，争取在最短时间内恢复其正常使用功能。协调保险机构快速介入，对受损财产进行定损理赔，帮助受灾群众和企业尽快恢复生产生活，将燃气突发事件造成的财产损失降到最低限度，保障社会经济的稳定运行。

（三）守护生态环境严控原则

在应急管理中，需严格把控各个环节，降低对生态环境的破坏，一旦发生燃气泄漏，尤其是在靠近河流、农田等生态敏感区域，立即采取措施防止燃气进一步扩散。在土壤中泄漏时，采用阻隔技术，在泄漏点周围设置物理屏障，阻止燃气向周边土壤渗透。对于进入水体的燃气，利用围油栏等设备，将泄漏区域隔离，防止污染范围扩大。在燃气爆炸或燃烧后，对产生的废气、废水进行严格处理^[5]。安装高效的废气净化设备，对一氧化碳、氮氧化物等有害气体进行吸附、转化处理，降低大气污染程度。对于受污染的废水，引入专业的污水处理技术，去除其中的有害物质，使其达到排放标准后再排放。对事故现场周边生态环境进行持续监测，评估生态破坏程度，制定针对性的生态修复方案，投入资源进行长期修复工作，逐步恢复生态系统的平衡与稳定，守护好生态环境，为人类的生存与发展创造良好条件。

三、燃气突发事件应急管理处置策略

（一）快速救援行动挽救生命

在燃气突发事件中，快速救援行动是挽救生命的关键，时间对于被困人员而言就是生命，每一秒的延误都可能导致无法挽回的后果。当事故发生，应急指挥中心接报后，应即刻启动快速响应机制，借助先进的通信技术，迅速与事故现场周边的基层组织、物业等取得联系，初步了解现场人员分布与被困情况，并向消防、医疗、燃气专业救援等多支队伍下达救援指令。各救援队伍在接到指令后，利用智能交通系统规划最优路线，确保以最快速度到达现场，开展救援工作。

速度抵达现场。到达现场后,救援人员立即利用热成像仪、生命探测仪等高科技设备,对事故区域进行全方位扫描,精准定位被困人员位置^[9]。考虑到燃气环境的危险性,救援人员身着专业、高等级的防护装备,携带防爆工具,采用科学的救援战术进入危险区域。若被困人员位于燃气泄漏浓度较高的室内,救援人员先使用大功率通风设备,在确保安全的前提下,对室内进行强制通风,降低燃气浓度,再逐步靠近被困者。在救援过程中,与被困人员保持实时沟通,通过音频设备给予心理安抚,稳定其情绪,使其能够更好地配合救援行动^[7]。医疗救援团队在现场周边搭建临时医疗点,配备齐全的急救设备与药品,一旦救出被困人员,立即进行现场紧急救治,对重伤员迅速转运至附近医院进行进一步治疗。整个救援过程紧密衔接,各环节争分夺秒,通过快速、有序的救援行动,最大限度挽救被困人员生命。

（二）高效抢险作业减少损失

燃气设施受损引发的泄漏若不能及时控制,将导致更大范围的破坏与损失。当抢险队伍到达现场,首要任务是对燃气泄漏源进行快速排查与定位,运用先进的激光遥测技术,远距离、快速检测燃气泄漏位置与浓度分布,结合管道图纸与现场勘查,确定泄漏点具体位置。针对不同的泄漏情况,选用最合适的抢修技术与材料^[8]。对于管道轻微泄漏,采用带压封堵技术,使用特制的封堵设备,在不停止燃气输送的情况下,快速堵住泄漏点,减少燃气泄漏量与泄漏时间。若管道破裂严重,需更换管道部件,则提前储备好适配的管材与管件,利用全位置自动焊接机这一类先进的管道切割、焊接设备,提高焊接质量与速度,缩短抢修工期。在抢修过程中,同步对周边受损的建筑物、基础设施进行紧急加固与保护。对于受损建筑物,组织专业的结构工程师进行评估,采用临时支撑、加固墙体等措施,防止建筑物进一步坍塌造成更大损失^[9]。对于受损的供水、供电、通信等基础设施,协调相关专业部门,共同制定抢修方案,优先恢复关键区域的基础设施运行,保障周边居民基本生活需求与社会秩序稳定。在抢险作业中,利用信息化管理手段,对抢险物资、人员调配进行实时监控与优化,提高抢险作业整体效率,最大程度减少燃气突发事件造成的财产损失。

（三）科学污染处理保护环境

燃气突发事件对生态环境易造成严重污染,一旦燃气泄漏进入土壤或水体,必须迅速采取行动控制污染扩散。在土壤污染治理方面,若燃气泄漏导致土壤污染,需利用土壤气体采样技术,精确分析污染范围与程度。对于浅层土壤污染,采用土壤翻耕、通风换气的方式,加速土壤中燃气的挥发与消散。对于深层土壤污染,则运用原位修复技术,向土壤中注入微生物菌剂,利用微生物的降解作用,将土壤中的有害燃气成分分解为无害物质^[10]。在水体污染处理上,若燃气泄漏进入河流、湖泊等水体,立即在泄漏点下游设置围油栏,阻拦燃气在水体中的扩散,采用吸油毡等设备,吸附水体表面的燃气。对于已溶解在水中的燃气成分,通过投放化学药剂,使其发生化学反应,转化为无害或低危害物质。对于燃气爆炸或燃烧产生的废气,在事故现场周边安装静电除尘器、活性炭吸附装置等高效的空气净化设备,对废气中的颗粒物、有害气体进行过滤、吸附处理,降低大气污染程度^[11]。建立长期的环境监测机制,在事故周边的土壤、水体、大气环境中设置多个监测点,持续跟踪污染指标变化,根据监测结果动态调整污染处理方案,逐步恢复生态环境的健康与稳定,守护好周边环境。

四、结束语

通过上述分析可知:遵循保障生命安全优先原则,通过快速救援行动,可最大程度挽救被困人员生命;秉持降低财产损失高效原则,实施高效抢险作业,能有效减少财产损失;坚守守护生态环境严控原则,进行科学污染处理,有助于保护生态环境。通过建立快速响应机制,利用先进通信技术和智能交通系统,确保救援队伍迅速到达现场;针对燃气设施受损引发的泄漏,采用先进的检测技术和抢修材料,快速定位并控制泄漏源;建立长期环境监测机制,动态调整污染处理方案,逐步恢复生态环境的健康与稳定。综合运用这些原则与策略,构建完善的燃气突发事件应急管理体系,提升应对突发事件的能力,切实保障人民生命财产安全与生态环境稳定。

参考文献

- [1] 李思洁,王亚慧,张子豪.燃气输配突发事件应急处置的知识图谱构建[J].消防科学与技术,2022,41(6):812-817.
- [2] 胡瑾秋,张洋铭,刘佳豪,等.基于多源数据的城市社区燃气管道突发事件风险分析[J].安全与环境工程,2024,31(4):1-10.
- [3] 姚卫华,葛悦,邓兵兵,等.城镇燃气管网应急处置知识图谱构建与应用[J].科学技术与工程,2024,24(10):4343-4351.
- [4] 李茜璐,邹光国,戴志向,等.城镇燃气管网应急值守点优化选址方法研究[J].中国安全生产科学技术,2024,20(3):53-60.
- [5] 孙书晶,郭一冰,郭思言,等.基于Petri网的突发环境事件应急监测联防联控体系仿真模型[J].环境工程,2024,42(8):167-172.
- [6] 秦铭远,王春青,韩晓飞,等.应急供热背景下燃气催化燃烧辐射供暖器研发[J].建筑节能(中英文),2021,49(4):54-59.
- [7] 王文和,庞吉敏,刘伟,等.大数据技术在城市地下燃气管道事故防控中的应用[J].油气储运,2021,40(5):509-514.
- [8] 张文强,张波,张春光,等.城镇燃气企业基层单位运行维护管理及应急处置提升路径分析[J].城市燃气,2023,579(5):20-25.
- [9] 杜凯.燃气应急大数据赋能燃气数字化应急管理[J].城市燃气,2022,574(12):32-38.
- [10] 张智贤,胡晓晓,张博,等.综合管廊内燃气管道泄漏事故现场应急处置方案与决策分析[J].科技和产业,2023,23(2):239-246.
- [11] 关鸿鹏,秘伟,杜凯,等.数字化预案引领新时代燃气应急信息化实践[J].城市燃气,2021,555(5):20-24.

工业管道不停输在线检验检测技术分析

杨湘, 梁晶, 于淘

湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

DOI: 10.61369/ETQM.2025060024

摘 要 : 鉴于工业管道安全运行对工业生产的关键意义, 以及传统停产检测的局限性, 本文对工业管道不停输在线检验检测技术展开深入分析, 对基于超声导波、智能清管器、漏磁及光纤传感的检测技术进行了论述。提出升级检测设备精准度、优化数据处理算法、增强检测人员实操及完善检测流程规范等优化方法。旨在实现管道缺陷高效精准检测、提升检测工作质量与效率的效果, 解决传统检测方式影响生产连续性与安全性的问题, 为工业管道安全运行提供有力保障。

关 键 词 : 工业管道; 不停输; 在线; 检验检测

Analysis of Online Inspection and Detection Technology for Industrial Pipelines without Shutdown

Yang Xiang, Liang Jing, Yu Tao

Hunan Anguang Inspection and Testing Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

Abstract : Given the critical significance of safe operation of industrial pipelines to industrial production and the limitations of traditional shutdown inspection methods, this paper conducts an in-depth analysis of online inspection and detection technology for industrial pipelines without shutdown. It discusses detection techniques based on ultrasonic guided waves, smart pigs, magnetic flux leakage, and optical fiber sensing. Optimization methods such as upgrading the precision of detection equipment, optimizing data processing algorithms, enhancing practical skills of inspection personnel, and improving inspection procedures and specifications are proposed. The aim is to achieve efficient and precise detection of pipeline defects, improve the quality and efficiency of inspection work, address issues related to the impact of traditional inspection methods on production continuity and safety, and provide strong support for the safe operation of industrial pipelines.

Keywords : industrial pipelines; without shutdown; online; inspection and detection

工业管道是工业生产体系的关键脉络, 其安全稳定与否直接关乎生产的有序推进与企业的经济效益。过往传统检测手段多需停产实施, 不仅中断生产流程, 还带来高昂经济损耗, 难以契合现代工业大规模、高要求的生产态势。在此背景下, 不停输在线检验检测技术作为保障管道安全的创新途径, 逐渐成为行业焦点。深入探究此类技术及其优化策略, 能够为维护工业管道运行、推动工业生产高效发展提供积极支持。

一、工业管道不停输在线检验检测技术

(一) 基于超声导波的检测技术

超声导波能够在管道介质中以特定模式传播, 且传播距离较远。其原理在于, 通过在管道外壁安装超声换能器, 激发超声导波并使其沿管道轴向传播。当超声导波遇到管道内部的腐蚀、裂纹等缺陷, 会发生反射、散射和模式转换现象。检测设备接收这些反射波信号, 经过专业的信号处理算法分析, 便能精准确定缺陷的位置、大小和类型。从传播特性来看, 超声导波可实现对长距离管道的快速检测, 能覆盖常规无损检测手段难以触及的区域, 大幅提高检测效率。基于超声导波的检测技术对管道内部微小缺陷敏感度高, 即便是微小裂纹或早期腐蚀迹象也能有效识

别, 为及时采取维护措施提供关键依据, 避免因小缺陷发展成严重事故, 有力保障工业管道安全稳定运行。

(二) 智能清管器在线检测技术

智能清管器集成了多种先进的传感器技术和数据处理系统, 其外形与传统清管器类似, 但功能更为强大。在工业管道输送介质的推动下, 智能清管器在管道内运行, 如同一位智能巡检员。清管器上搭载的高精度漏磁传感器、超声传感器等, 可实时采集管道内壁的状况数据。漏磁传感器能检测管道壁因腐蚀、磨损等导致的壁厚变化, 超声传感器则对内部裂纹等缺陷有良好的检测效果^[1]。智能清管器配备的陀螺仪、里程轮等装置, 能够精确记录自身在管道内的位置信息, 将采集到的缺陷数据与具体位置准确关联。智能清管器在线检测技术能在不影响管道正常输送的情

况下,对管道进行全面细致的检测;智能清管器可适应复杂的管道环境,包括不同管径、弯曲段等,实现全线路检测,为管道完整性管理提供全面、准确的数据支持。

（三）漏磁在线检测技术

漏磁在线检测技术基于铁磁性材料的磁特性,当工业管道为铁磁性材质时,在管道外壁施加均匀磁场,使管道被磁化。若管道内壁存在腐蚀坑、磨损减薄区域等缺陷,会导致局部磁导率发生变化,引起漏磁场的产生。漏磁在线检测设备通过高灵敏度的磁敏传感器,对这些漏磁场进行捕捉和测量。漏磁检测对管道表面及近表面缺陷具有极高的检测精度,能够快速准确地确定缺陷位置和大小^[4]。该技术检测速度快,可连续对管道进行长距离检测,适用于石油、天然气输送等多种工况下的工业管道。在实际应用中,漏磁在线检测技术能够及时发现管道运行过程中出现的各类缺陷,为制定合理的维修计划提供科学依据,有效预防管道泄漏等安全事故的发生,保障工业生产的连续性和安全性。

（四）光纤传感在线监测技术

光纤具有独特的光学特性,当外界环境因素,如温度、压力、应变等发生变化时,会引起光纤中传输光的相位、波长、强度等参数改变。在工业管道在线监测中,将光纤传感器沿管道敷设,通过监测光信号参数的变化,便可获取管道的实时运行状态信息。利用分布式光纤温度传感器,能够实时监测管道沿线的温度分布,一旦管道某处因泄漏导致介质与周围环境发生热交换,温度异常变化会被传感器迅速捕捉。光纤应变传感器可检测管道因受力变形产生的应变情况,判断管道是否存在异常应力^[5]。该技术优势明显,光纤传感器具有抗电磁干扰能力强、灵敏度高、可实现分布式测量等特点,能对工业管道进行全方位、实时、精准的监测。光纤体积小、重量轻,便于安装和维护,可适应恶劣的工业环境,为工业管道的安全运行提供了可靠的保障,助力工业企业实现智能化、精细化的管道管理。

二、工业管道不停输在线检验检测技术优化措施

（一）升级检测设备精准度的举措

要提升检测设备精准度,需对检测设备的核心传感器进行升级换代。以超声导波检测设备为例,传统的压电陶瓷传感器在灵敏度和分辨率上存在一定局限,而新型的基于微机电系统(MEMS)技术的超声传感器,具备更高的灵敏度和更宽的频带响应范围。通过采用此类先进传感器,能有效提高超声波信号的采集精度,使检测设备对管道内部微小缺陷的识别能力大幅增强。运用低噪声、高增益的放大器以及高速、高精度的模数转换芯片,可降低信号传输过程中的噪声干扰,提高信号的转换精度,确保采集到的检测信号更加准确可靠^[4]。引入先进的校准技术,定期使用标准试件对检测设备进行校准,依据校准结果对设备参数进行精确调整,补偿设备在长期使用过程中因环境因素、元器件老化等导致的性能漂移,保证检测设备始终处于最佳工作状态,实现精准检测。某石化企业在工业管道检测中运用超声波检测设备,升级设备精准度时,对核心传感器进行更换,将原有的

压电陶瓷传感器替换为基于MEMS技术的超声传感器,新传感器灵敏度提升了30%,频带响应范围拓宽2倍^[6]。在信号发射与接收电路优化上,采用低噪声、高增益放大器,使信号噪声比降低了50%,使用高速、高精度模数转换芯片,信号转换精度提高了15%。企业定期采用标准的带有不同尺寸人工缺陷的管道试件,对检测设备进行校准,校准过程中,使用德国某知名品牌的标准试件,依据其精确的缺陷参数,检测设备采集反射波信号。校准完成后,依据结果对设备的增益、频率等参数进行精确调整。经多次校准,设备在长期使用中因高温、高湿等环境因素以及元器件老化导致的性能漂移得到有效补偿。

（二）优化数据处理算法的方法

在数据处理算法优化方面,可采用先进的滤波算法对原始检测数据进行预处理。工业管道检测环境复杂,检测数据易受到各种噪声干扰,传统的均值滤波、中值滤波等算法在去除噪声的同时,可能会损失部分有用信号特征。而最小均方(LMS)算法、递归最小二乘(RLS)算法等自适应滤波算法能够根据数据的统计特性实时调整滤波参数,在有效去除噪声的同时,最大程度保留信号的细节特征,为后续数据分析提供高质量的数据基础。运用模式识别算法对经过预处理的数据进行分析识别,基于支持向量机(SVM)的模式识别算法,通过将检测数据映射到高维空间,寻找最优分类超平面,能够准确识别管道缺陷的类型、大小和位置等信息。与传统的基于阈值判断的识别方法相比,SVM算法具有更强的泛化能力和更高的识别准确率,可有效提高检测结果的可靠性^[9]。还可引入深度学习算法对大量历史检测数据进行学习训练,构建智能化的数据处理模型。深度学习算法能够自动从海量数据中提取复杂的特征模式,实现对管道缺陷的精准诊断和预测,提升数据处理的效率和准确性。某能源企业负责大量工业管道的运维,为提升检测数据处理效率与准确性,引入深度学习算法。该企业依托IBM Watson IoT平台,收集过往5年超过10万组工业管道检测数据,涵盖不同工况、缺陷类型及环境因素下的超声导波、漏磁等检测数据。企业利用TensorFlow框架搭建卷积神经网络(CNN)模型,针对管道缺陷数据特点,设计包含5个卷积层、3个全连接层的网络结构^[7]。模型训练阶段,使用NVIDIA GPU集群加速计算,经1000次迭代训练,损失函数收敛至0.05以下。训练完成后,模型投入实际应用。实际运行中,该模型面对复杂腐蚀缺陷,能精准判断腐蚀程度与范围,预测潜在故障风险,数据处理时间从原来平均每次30min缩短至5min,提升了数据处理效率与准确性,为管道维护决策提供有力支撑。

（三）增强检测人员实操的要点

在增强检测人员实操能力方面,要制定系统全面的培训计划。培训内容不仅应涵盖检测设备的操作原理、性能特点以及各类检测技术的理论知识,还需注重实际操作技能的训练。通过模拟真实的工业管道检测场景,让检测人员在实践中熟练掌握检测设备的操作流程,学会正确设置设备参数、采集检测数据以及应对各种突发情况^[8]。某化工企业拥有复杂且庞大的工业管道网络,为强化检测人员实操水平,构建了高度仿真的工业管道检测模拟中心。该中心由专业工程团队打造,依照企业实际管道布局

与常见工况，设置了不同管径、材质及敷设环境的模拟管道段，配备超声导波、智能清管器等各类检测设备。培训时，检测人员分组进入模拟中心。例如在一次超声导波检测模拟训练中，培训导师要求学员针对模拟管道上预设的5处不同类型缺陷，在2h内完成检测操作。学员们需依据管道参数，正确设置德国某品牌超声导波检测设备的频率、增益等参数，随后进行数据采集。过程中，模拟突发信号干扰，部分学员能迅速排查原因，调整设备抗干扰设置，确保数据准确采集。定期组织检测人员参加技术交流活动和专业研讨会，使其能够及时了解行业内最新的检测技术和方法，拓宽技术视野，不断更新知识体系^[9]。建立完善的考核评价机制，对检测人员的实操能力进行定期考核，考核内容包括设备操作熟练度、数据采集准确性、缺陷判断准确率等方面。根据考核结果，对表现优秀的检测人员给予奖励，对存在不足的检测人员进行针对性的强化培训，促使检测人员不断提升自身实操水平。鼓励检测人员在实际工作中积极总结经验，开展技术创新活动，提出改进检测方法和操作流程的合理化建议，提高检测工作的质量和效率。

（四）完善检测流程规范的策略

在完善检测流程规范方面，要对检测前的准备工作进行细化规范。明确规定检测人员在检测前需对工业管道的运行历史、材质信息、敷设环境等进行详细调查，制定针对性的检测方案。对检测设备的校准、调试以及检测现场的安全防护措施等工作流程进行明确规定，确保检测前各项准备工作充分到位。规范检测过程中的操作流程，制定详细的检测操作步骤和质量控制要点，要求检测人员严格按照规定的操作流程进行数据采集，确保检测数据的准确性和完整性^[10]。在检测过程中，对数据采集的频率、位置以及检测信号的质量等进行实时监控，一旦发现异常情况，及时采取相应的纠正措施。某燃气公司负责大面积燃气输送管道的

运维，为确保检测工作的高效与准确，制定了完善的检测流程规范。在日常检测中，运用自主研发的管道检测数据监控系统，对数据采集进行严格把控。以智能清管器检测作业为例，依据管道的重要程度及运行状况，设定数据采集频率为每50m采集一次。在采集位置方面，对弯头、焊缝等易出现问题的关键部位，增设辅助检测点。在一次检测任务中，智能清管器搭载的美国某品牌检测设备，在传输数据时，监控系统显示一处焊缝附近的检测信号质量出现异常波动。检测人员迅速响应，结合历史数据与现场情况分析，判断可能是设备传感器受电磁干扰^[11]。当即安排专业技术人员，携带屏蔽设备赶赴现场，对传感器进行屏蔽处理，并重新校准设备参数。经过重新检测，信号质量恢复正常，确保了数据的准确性与完整性。建立完善的检测数据管理和报告制度也是必不可少的环节。对检测数据的存储、传输、分析以及检测报告的编制、审核和归档等流程进行规范管理，确保检测数据的可追溯性和检测报告的规范性、准确性，为工业管道的安全运行和维护管理提供可靠的依据。

三、结束语

通过上述分析可知：工业管道不停输在线检验检测技术中的超声导波、智能清管器、漏磁及光纤传感技术各有千秋，能有效发现管道缺陷。在设备精准度升级上，借助新型传感器、优化电路及校准技术得以实现；数据处理算法经先进滤波、模式识别及深度学习算法得到优化；检测人员实操能力通过系统培训、考核激励及鼓励创新得以增强；检测流程规范通过细化检测前准备、规范检测操作及完善数据管理报告制度得以完善。这些举措切实提升了检测工作质量与效率，有力维护了工业管道的安全运行。

参考文献

[1] 牟曦辉,汪四新,廖林森,等.工业管道不停输在线检验检测技术探讨[J].中国设备工程,2023(19):207-209.
[2] 刘子杨.工业管道不停输在线检验检测技术浅析[J].工程技术研究,2024,6(2):5-7.
[3] 刘振东,武超峰.工业管道不停输在线进行定期检验的探讨[J].中国设备工程,2024(3):185-187.
[4] 吴建平,史海亮,蔡景明,等.基于风险的工业管道在线检测技术研究[J].中国特种设备安全,2022,38(1):20-23.
[5] 蔡照钰.新型无损检测技术在压力管道在线检测中的应用[J].精品,2022(2):167-168.
[6] 张友天,杜彪,吕润铭,等.工业管道 RBI 评估技术在乙烯装置的应用研究[J].中国设备工程,2022(11):21-23.
[7] 赵祖鸣,陈文飞,王银成,等.基于混频非线性超声的金属压力管道早期疲劳损伤检测[J].高技术通讯,2024,34(11):1234-1242.
[8] 莫李珍.压力管道在线检测应用新型无损检测技术的分析[J].中国化工贸易,2024(36):112-114.
[9] 孙杰,李绪丰,胡华胜.基于组合超声波技术的高温工业管道在线监测[J].装备机械,2024(1):74-78,98.
[10] 卢润坤,王博,王皓,等.基于电磁超声的工业管道自驱式壁厚连续扫描内检测系统[J].仪表技术与传感器,2024(7):94-99,104.
[11] 谭清,孙杰.工业管道腐蚀在线检测技术应用[J].石油化工腐蚀与防护,2023,40(1):44-47.

通信工程监理体系构建与实施策略

杨金凤, 李新阳, 秦洋

中国人民解放军 32125 部队, 山东 济南 250004

DOI:10.61369/ETQM.2025060025

摘要： 本文系统性地探讨了通信工程监理体系的构建与实施策略，从通信工程监理的定义、特点、现状和发展趋势出发，详细阐述了监理体系构建的原则、步骤、核心内容以及保障措施。文章进一步分析了项目前期准备、实施、验收和后期评估等不同阶段的监理实施策略，并针对现有监理体系中的不足，提出了包括完善法律法规、加强人才培养、创新技术方法、提高服务质量在内的优化建议，旨在为通信工程监理工作的规范化、科学化提供理论指导和实践参考。

关键词： 通信工程；监理体系；实施策略；人才培养；技术创新

Construction and Implementation Strategy of Telecommunication Engineering Supervision System

Yang Jinfeng, Li Xinyang, Qin Yang

The Chinese People's Liberation Army 32125 Troops, Jinan, Shandong 250004

Abstract： This paper systematically explores the construction and implementation strategy of the telecommunication engineering supervision system. Starting from the definition, characteristics, current status, and development trends of telecommunication engineering supervision, it elaborates on the principles, steps, core content, and safeguard measures for building the supervision system. The article further analyzes the supervision implementation strategies at different stages such as project preparation, implementation, acceptance, and post-evaluation. Addressing the deficiencies in the existing supervision system, it proposes optimization suggestions, including improving laws and regulations, strengthening talent cultivation, innovating technical methods, and enhancing service quality. The aim is to provide theoretical guidance and practical reference for the standardization and scientification of telecommunication engineering supervision work.

Keywords： telecommunication engineering; supervision system; implementation strategy; talent cultivation; technological innovation

引言

随着信息技术的飞速发展，通信工程作为现代基础设施的重要组成部分，其建设质量直接关系到国家信息安全和人民群众的日常生活。通信工程监理作为确保工程质量和进度、提升项目管理水平的关键环节，其重要性日益凸显。然而，面对通信技术的日新月异和工程建设市场的复杂多变，现有的通信工程监理体系在实践过程中暴露出一些问题和挑战，亟待优化和改进。

一、通信工程监理概述

随着信息技术的迅猛进步，通信工程已成为现代基础设施的关键一环。其建设品质不仅直接影响到国家的信息安全，也与广大人民群众的生活紧密相连。在这一背景下，通信工程监理的角色日益凸显，它不仅是确保工程质量和进度的关键环节，也是提升项目管理水平的重要手段。

（一）通信工程监理的定义

通信工程监理，简而言之，是专业监理机构在通信工程建设全过程中，依照国家法律法规、行业准则及技术规范，对工程的

设计、施工直至验收等关键环节实施的监督、查验和管理。其核心宗旨在于保障工程质量和施工安全，有效控制工程进度与成本，确保各方权益得到妥善维护，进而提升通信工程建设的管理效率和质量标准。

（二）通信工程监理的特点

通信工程监理是一项极为精细且专业化的工作，它对监理人员的专业知识和技术能力提出了极高的要求。监理人员必须精通无线通信、光纤网络、数据传输等多个复杂领域的知识，并具备相应的实操技能。监理工作的全面性体现在它贯穿于工程建设的全过程，从项目的前期筹备、规划设计，到具体的施工操作，再

到最后的工程验收，形成了一个环环相扣、清晰有序的监理流程。在这一流程中，监理活动需要展现出极高的灵活性，以适应工程建设过程中不断变化的施工环境和技术需求。监理团队必须敏锐地捕捉到工程进展中的每一个细节变化，并及时调整监理策略，确保监理工作始终与工程实际相契合。

在监理过程中，严格遵守国家法律法规，确保每一项工程建设的合规性和合法性，这是监理工作的基本原则。同时，监理机构的独立性是其存在的核心价值，它保证了监理工作的客观性、公正性和权威性，确保监理决策不受任何外部利益相关方的干扰，维护了工程建设整体利益和质量安全。

（三）通信工程监理的现状与发展趋势

任何一种项目的开展都需要有相关的政策约束及与之相对应的监督管理体系，通信工程在国家相关政策的行业规范及项目管理模式下建立合同，从建设的内容、到建设的依据、标准、建设项目的质量、建设工程的进度等方面都需要进行综合监管。现行的国家相关通信工程政策指出，要对通信工程项目进行全方位的监管^[1]。目前，通信工程监理行业在经历了多年的发展后，已形成一定的规模和体系。然而，在实际操作中仍存在一些问题，如监理人员素质参差不齐、监理制度不健全、监理手段相对落后等。面对挑战，通信工程监理的未来发展将集中在规范化、技术创新、人才培养和服务扩展。法律法规的完善将推动监理流程标准化，而大数据等信息技术将提升监理效率。行业将重视监理人员培训，以适应发展。监理服务也将从传统三控转向全面项目管理，满足行业多样化需求。

二、通信工程监理体系构建

通信工程监理体系的构建是确保工程质量和安全的关键所在，它不仅关系到项目的顺利实施，更是提升整个通信建设行业管理水平的重要环节。一个科学、高效的监理体系能够为工程建设提供强有力的保障。

（一）监理体系构建的原则

在打造通信工程监理体系的过程中必须恪守一系列核心原则，确保其合法合规、系统完备、科学高效、使用便捷且具备动态适应性。这要求监理体系严格遵循国家法律法规、行业标准和地方规章，同时实现对工程建设全周期的全面覆盖，构筑起紧密相连的管理闭环。体系应融入科学的管理方法和技术手段，以提升监理工作的精准度和效能。同时，监理体系的设计需紧密贴合工程实际，确保操作简便且能有效应对各类问题^[2]。最为关键的是，监理体系应具备灵活的调整机制，能够随着工程进展和外部环境的变化，及时做出适应性调整。

（二）监理体系构建的步骤

为了保障通信工程监理工作的效率和专业性，必须根据工程的具体特点和业主的期望，设定明确的监理目标。同时，建立一个合理的监理组织结构，明确各个层级监理人员的职责和权限。在此基础上，制定一套详尽的监理工作计划，具体规定监理的内容、方法和关键时间节点。在监理执行过程中，一丝不苟地遵循

计划，对每一项任务实施严格地监督与检查。最终，通过评估监理成果，吸收反馈信息，以促进监理流程的不断优化和进步。

（三）监理体系构建的核心内容

为了确保通信工程监理活动的秩序性和效率性，必须构建一个科学的监理组织架构，以此为根本，确立一套清晰的监理程序 and 标准，以此规范监理人员的行动。在这一架构之下，应充分利用现代信息技术和先进工具，增强监理工作的精确性^[3]。此外，还需完善监理文档的管理体系，保障监理信息在过程中的准确无误和可追溯性，从而全方位提升监理工作的品质与效能。

（四）监理体系构建的保障措施

为了打造一个坚固的通信工程监理体系，我们必须加强法律法规的建设，完善相关法规体系，以提供坚实的法律支撑。同时，通过系统化地培训和教育，提升监理人员的技术能力和职业道德水平，确保团队的整体素质。此外，还需优化资源分配，合理调配人力、物力、财力等关键资源，确保监理体系的高效运作。最终，加强风险管理，对工程建设过程中可能出现的风险进行精准识别和评估，并制定出切实可行的预防和应对策略，以保障工程的安全与质量。

三、通信工程监理实施策略

监理实施策略是通信工程监理体系中的关键环节，它贯穿于工程建设的全过程，从项目前期准备到后期评估，每一个阶段都至关重要^[4]。有效的监理策略不仅能确保工程质量和进度，还能最大程度地降低风险，提高投资效益。

（一）项目前期准备阶段监理策略

项目前期准备阶段的监理策略，旨在为后续施工打下坚实的基石，确保工程顺利实施。此阶段，监理团队承担着至关重要的任务，包括对设计文件的深度审查，确保技术合理性及行业规范的一致性。同时，监理人员严格审核施工单位的资质，以确保其具备项目执行所需的专业能力。在招标过程中，监理团队积极参与，全面介入评标环节，保障招标的公正和透明，以挑选出最适合项目需求的施工单位，这是保障工程质量和项目利益的关键一环。监理团队还需根据项目的独特性质和需求，精心制定监理规划，明确监理工作的目标、方法、流程和标准，为监理活动的全面展开提供清晰的方向和框架^[5]。

（二）项目实施阶段监理策略

项目实施阶段，作为监理工作的核心时期，此刻的监理策略应当集中精力于现场的高效管理和工程质量的严格把控。在这一阶段，监理团队需对施工过程实施全方位的实时监控，确保每一项施工活动都精准地按照设计方案和行业规范执行。通过现场巡视、旁站监督、质量检测等多种监控手段，监理人员对工程材料、施工工艺和最终工程质量进行细致而有效地控制。与此同时，监理团队必须紧密跟进工程进度，对施工计划进行动态管理，确保项目能够按照既定的时间节点顺利推进，避免任何可能导致延误的因素。在成本管理方面，监理人员需运用专业的控制策略，合理分配和利用资源，防止浪费，从而保障投资效益的最大化^[6]。

此外，监理团队还应注重与施工方的沟通协调，确保信息流通顺畅，问题能够得到及时解决，以维护项目的整体利益。在这一过程中，监理的专业性和前瞻性是确保工程顺利实施、达到预期质量标准的关键所在。通过这种全面而深入的监理工作，项目实施阶段的每一步都将稳健而有序地向前推进。

（三）项目验收阶段监理策略

项目验收阶段，作为衡量工程最终成果的关键环节，监理策略的核心在于确保成果的合规性和完整性。在这一阶段，监理团队的首要任务是协助业主整理出一份全面且真实的验收资料，为验收工作提供翔实的基础资料。接下来，监理团队将协助建设单位组织现场验收活动，细致检查工程实体是否达到了设计要求和各项规范标准，确保工程质量符合预期。在验收过程中，监理人员将对工程质量进行客观评定，针对发现的问题提出具体的整改意见，并监督整改措施的执行，确保所有问题都得到妥善解决^[7]。

（四）项目后期评估阶段监理策略

在项目的后期评估阶段，监理策略应当转向经验提炼与问题解决的双重目标。这一阶段，监理团队的核心任务是对工程建设过程中的经验与教训进行深入总结，这些宝贵的知识将为未来相似项目的成功实施提供重要的借鉴和参考。在此过程中，监理团队将全方位评估工程的经济效益、社会影响和环境效应，确保项目的综合价值得到充分体现。通过对工程中出现的质量问题和技术挑战进行深入剖析，监理人员将提出一系列具体且可行的改进措施，旨在提升工程的整体性能和可靠性。最终，基于评估的成果，监理团队将对现有的监理体系和策略进行细致地审视和持续地优化^[8]。这种不断地自我完善旨在提升监理服务的专业水平和整体质量，确保监理工作能够更加高效、精准地服务于工程项目，从而推动整个建设行业的持续进步和发展。

四、通信工程监理体系构建与实施策略优化建议

随着通信技术的日新月异，通信工程监理体系构建与实施策略也需不断优化，以适应行业发展的新要求。

（一）完善相关法律法规

法律法规构成了通信工程监理工作的基石，一个完善的法律法规体系能够为监理工作提供明确的指导和坚实的保障。因此，

需要加强立法工作，针对监理过程中出现的新问题和新情况，及时修订和完善相关法律法规，确保其与时俱进。同时，在法律法规中明确监理人员的权利和义务，以保障监理工作的权威性和有效性。此外，还需加大执法力度，对违反监理规定的行为进行严格查处，从而维护监理市场的正常秩序。

（二）加强人才培养与引进

高素质的监理人员是确保通信工程质量的重要保障，因此，人才成为监理体系构建与实施的关键。为了提升监理人员的业务水平，我们需建立完善的培训体系，定期组织专业知识和技能培训^[9]。同时，积极引进具有丰富经验和高技能的专业人才，以增强监理队伍的整体实力。此外，建立合理的激励机制，通过薪酬和晋升机制激发监理人员的工作积极性和创新能力，从而全面提升监理工作的质量和效率。

（三）创新监理技术与方法

技术创新对于提升监理工作效率和质量至关重要，监理行业应当积极探索和应用新技术、新方法。推广信息化监理，通过运用 BIM、大数据、云计算等信息技术，可以显著提高监理工作的精准度和效率。同时，发展智能监理，探索人工智能在监理中的应用，如无人机巡查、智能监控等技术，将进一步增强监理能力。此外，引入国际上的先进工程管理经验，如精益管理、全过程管理等，也将有助于监理行业的整体提升和发展^[10]。

（四）提高监理服务质量与水平

服务质量是监理企业的生命线，因此提升服务质量成为监理体系优化的核心目标。为了实现这一目标，我们需制定和完善监理服务标准，确保服务质量的一致性和可靠性；同时，强化监理人员的服务意识，始终坚持以客户需求为导向，提供优质的监理服务；此外，加强质量监督，通过内部和外部监督机制，保障监理服务质量的持续提升。

五、结束语

在信息时代的浪潮中，通信工程监理体系构建与实施策略的优化是一项长期而艰巨的任务。我们深知，只有紧跟行业发展步伐，不断探索、创新和完善，才能确保监理工作在通信工程建设中发挥更大的作用。希望通过本文的探讨，能够为监理同仁们提供一些启示和借鉴，共同推动我国通信工程监理事业的进步。

参考文献

- [1] 周家新, 吴爱国, 史川, 等. 信息化系统在通信工程监理现场管理的运用探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022, (33): 58-60.
- [2] 魏栋. 信息化系统在通信工程监理现场的应用探析 [J]. 中国新通信, 2022, 24(17): 16-18.
- [3] 任晶, 简智斌. 信息化系统在通信工程监理现场管理的运用探讨 [J]. 中国信息化, 2022, (08): 101-102.
- [4] 朱良平. 浅议通信工程项目施工阶段监理的质量控制 [J]. 建筑与预算, 2022, (05): 40-42. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2022.05.014.
- [5] 谭鹏程, 李宁. 基于需求导向的通信工程设计与监理专业人才培养方案研究 [J]. 湖南邮电职业技术学院学报, 2022, 21(01): 69-72.
- [6] 孙传良. 通信工程监理工作存在的问题与对策分析 [J]. 建筑与预算, 2022, (02): 52-54. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2022.02.018.
- [7] 韩正印. 通信工程监理中存在的问题及其解决措施 [J]. 居舍, 2022, (05): 163-165.
- [8] 赵玉良. 通信工程施工与工程监理方式研究 [J]. 居舍, 2022, (05): 166-168.
- [9] 邵颖. 通信工程建设监理的现状和发展趋势 [J]. 居舍, 2022, (05): 178-180.
- [10] 陈德正. 通信工程项目管理中施工进度控制分析 [C]// 中国智慧城市经济专家委员会. 2023智慧城市建设论坛论文集 (一). 中通文博技术服务有限公司钦州分公司, 2023: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.007269

航天型号工艺管理与信息化融合的质量控制策略

沈碧珍, 吴京萍

四川航天技术研究院, 四川 成都 610100

DOI:10.61369/ETQM.2025060027

摘 要： 随着航天技术的不断发展, 航天型号工艺管理与信息化的融合成为提升质量控制水平的重要手段。航天型号研制过程复杂, 涉及众多环节和高精尖技术, 对工艺管理的精细化和信息化要求日益提高。信息化技术的应用能够实现对航天型号研制全过程的精确监控和协调, 确保工艺管理的科学性和有效性。本文旨在探讨航天型号工艺管理与信息化融合的质量控制策略, 通过深入分析信息化技术在航天型号工艺管理中的应用, 提出相应的质量控制措施, 以推动航天型号研制的顺利进行, 提高航天产品的质量水平和可靠性。

关 键 词： 航天型号; 工艺管理; 信息化融合; 质量控制; 信息化技术

Quality Control Strategies for the Integration of Process Management and Informatization in Aerospace Model Development

Shen Bizhen, Wu Jingping

Sichuan Aerospace Technology Research Institute, Chengdu, Chengdu 610100

Abstract： With the continuous development of aerospace technology, the integration of process management and informatization in aerospace model development has become a crucial means to enhance quality control standards. The development process of aerospace models is complex, involving numerous stages and advanced technologies, which increasingly demands refinement and informatization in process management. The application of informatization technology enables precise monitoring and coordination throughout the entire aerospace model development process, ensuring the scientificity and effectiveness of process management. This paper aims to explore quality control strategies for the integration of process management and informatization in aerospace model development. By conducting an in-depth analysis of the application of informatization technology in aerospace model process management, corresponding quality control measures are proposed to facilitate the smooth progress of aerospace model development and improve the quality and reliability of aerospace products.

Keywords： aerospace model; process management; informatization integration; quality control; informatization technology

引言

随着航天技术的飞速发展和航天型号研制任务的日益复杂, 传统的工艺管理方式已难以满足高效、精准的质量控制需求。信息化技术的引入, 为航天型号工艺管理带来了新的契机。信息化与工艺管理的深度融合, 不仅能够提升工艺管理的科学性和有效性, 还能够实现对航天型号研制全过程的精确监控和协调, 确保产品质量和可靠性。因此, 探讨航天型号工艺管理与信息化融合的质量控制策略, 对于推动航天事业的持续发展具有重要意义。

一、航天型号工艺管理的现状与挑战

(一) 航天型号工艺管理的重要性与复杂性

航天型号工艺管理是航天型号研制过程中的核心环节, 它贯穿于产品设计、生产制造、试验验证等多个阶段, 是确保航天产

品高质量、高可靠性的重要保障。航天型号作为高度复杂的系统工程, 其研制过程涉及众多学科领域和专业技术, 工艺管理不仅要求精确无误, 还需要具备高度的协调性和系统性。^[1]

在产品设计阶段, 工艺管理需要确保设计方案的可行性和可制造性, 为后续的生产制造奠定坚实基础。在生产制造阶段, 工

作者简介:

沈碧珍 (1966.12—), 汉族, 工程硕士, 现就职于四川航天技术研究院, 高级工程师, 主管, 研究方向: 航天型号工艺管理与智能制造应用;

吴京萍 (1969.09—), 汉族, 本科, 现就职于四川航天技术研究院, 高级工程师, 项目主管, 研究方向: 制造工艺与生产管理。

艺管理则负责将设计图纸转化为实际产品，通过精确的工艺规划和严格的工艺控制，保证产品质量的稳定性和一致性。而在试验验证阶段，工艺管理更是扮演着至关重要的角色，它要确保试验过程的准确性和安全性，为航天型号的成功发射和运行提供有力支撑。

然而，航天型号工艺管理的复杂性也不容忽视。由于航天型号的特殊性，其工艺管理往往涉及多个部门、多个专业的协同工作，信息交流和沟通的难度较大。同时，航天型号对工艺精度的要求极高，任何微小的差错都可能导致严重的后果。^[2]因此，航天型号工艺管理需要具备高度的专业性和严谨性，以确保研制过程的顺利进行和产品的成功交付。

（二）传统工艺管理方式存在的问题

传统的航天型号工艺管理方式往往存在信息孤岛、流程繁琐、数据不准确等问题，这些问题严重影响了质量控制的效果。信息孤岛是指不同部门、不同专业之间的信息交流不畅，导致信息无法及时共享和传递，影响了工艺管理的效率和准确性。流程繁琐则是指工艺管理过程中的审批、签字等环节过多，导致工作流程冗长复杂，降低了工作效率。数据不准确则是指由于人为因素或设备故障等原因，导致工艺数据出现误差或遗漏，影响了产品质量的稳定性和可靠性。^[3]

这些问题不仅影响了工艺管理的效率和准确性，还可能对航天型号的研制进度和产品质量造成严重影响。因此，急需寻求一种新的工艺管理方式，以解决传统方式存在的问题，提高工艺管理的水平和质量控制的能力。

（三）信息化技术融入工艺管理的必要性

随着信息化技术的不断发展，将信息化技术融入航天型号工艺管理成为解决上述问题的有效途径。信息化技术能够实现信息的实时共享和流程的优化，提高工艺管理的效率和准确性。通过建立信息化平台，可以实现工艺信息的集中管理和共享，确保信息的准确性和时效性。同时，利用信息化手段对工艺流程进行优化和监控，可以提高工艺执行的规范性和一致性，减少人为因素导致的误差和遗漏。^[4]

此外，信息化技术还能够为质量控制提供有力支持。通过数据分析技术，可以对工艺过程中的质量数据进行挖掘和分析，及时发现潜在的质量问题并采取措施进行改进。同时，信息化技术还可以实现质量控制的自动化和智能化，提高质量控制的效率和准确性。

二、信息化在航天型号工艺管理中的应用

（一）信息化平台：工艺信息的集中管理与共享

在航天型号工艺管理中，信息化平台的建立是实现工艺信息集中管理和共享的关键。这一平台如同一个中枢神经系统，将各个工艺环节的数据、文件、指令等要素紧密连接在一起，确保了信息的准确性和时效性。

信息化平台通过数据库技术，将海量的工艺信息进行分类、整理、存储，形成了结构化的数据体系。^[5]这样，工艺管理人员可

以方便地查询、检索所需信息，大大提高了工作效率。同时，平台还具备权限管理功能，确保了信息的安全性和保密性，只有经过授权的人员才能访问特定信息，防止了信息的泄露和滥用。

除了信息的集中管理，信息化平台还实现了信息的实时共享。在航天型号研制过程中，各个部门、专业之间需要频繁交流信息，如设计更改、工艺调整、质量问题等。通过信息化平台，这些信息可以迅速传递给相关人员，确保了工作的协同和一致性。这种实时共享机制，不仅提高了工作效率，还减少了因信息滞后导致的错误和返工。^[6]

此外，信息化平台还具备信息更新和维护功能。随着航天型号研制的深入，工艺信息会不断发生变化和更新。通过平台，可以及时对这些信息进行修改和完善，确保了信息的准确性和有效性。这种动态管理机制，使得工艺信息始终保持最新状态，为航天型号研制提供了有力支撑。

（二）信息化手段：工艺流程的优化与监控

信息化手段在航天型号工艺管理中的应用，还体现在对工艺流程的优化和监控上。通过信息化技术，可以对工艺流程进行精细化管理和控制，提高工艺执行的规范性和一致性。

一方面，信息化手段可以实现对工艺流程的模拟和仿真。在航天型号研制过程中，许多工艺环节具有复杂性和高风险性，如发动机试车、结构装配等。通过模拟和仿真技术，可以在实际执行前对这些工艺环节进行预演和评估，发现潜在问题和风险，并提前制定应对措施。这种预演机制，大大降低了实际执行过程中的不确定性和风险性。^[7]

另一方面，信息化手段还可以实现对工艺流程的实时监控和反馈。通过传感器、数据采集系统等设备，可以实时采集工艺过程中的各种参数和数据，如温度、压力、速度等。这些数据通过信息化平台进行处理和分析，可以及时发现工艺过程中的异常和偏差，并采取措施进行调整和纠正。这种实时监控机制，确保了工艺过程的稳定性和可控性，提高了产品质量的可靠性和一致性。

（三）数据分析技术：质量数据的挖掘与分析

在航天型号工艺管理中，数据分析技术的应用对于质量控制至关重要。通过数据分析技术，可以对工艺过程中的质量数据进行挖掘和分析，及时发现潜在的质量问题并采取措施进行改进。

数据分析技术可以对海量的质量数据进行处理和分析，提取出有用的信息和规律。例如，通过对历史质量数据的分析，可以发现某些工艺环节容易出现质量问题或故障模式；通过对实时质量数据的监控和分析，可以及时发现当前工艺过程中的异常和偏差。这些信息为质量控制提供了有力依据和决策支持。^[8]

除了对质量数据的挖掘和分析，数据分析技术还可以实现质量问题的预测和预警。通过建立质量预测模型，可以根据历史数据和当前数据预测未来可能出现的质量问题；通过设置预警阈值，可以在质量问题出现前及时发出预警信号，提醒相关人员采取措施进行预防和控制。这种预测和预警机制，使得质量控制更加主动和前瞻。

三、航天型号工艺管理与信息化融合的质量控制策略

（一）建立完善的信息化管理制度，规范信息化技术在工艺管理中的应用

在航天型号工艺管理与信息化融合的过程中，建立完善的信息化管理制度是确保信息化技术规范应用的基础。信息化管理制度不仅是一套规则体系，更是保障工艺管理流程顺畅、数据准确、信息安全的重要手段。^[9]

信息化管理制度应明确信息化技术在工艺管理中的具体应用范围、操作规范、数据标准以及信息安全要求。通过制定详细的管理制度，可以确保每一位工艺管理人员都清楚了解如何在日常工作中正确使用信息化技术，避免因操作不当或理解偏差而导致的错误。同时，管理制度还应规定数据的采集、存储、处理和分析流程，确保数据的准确性和时效性，为质量控制提供可靠的数据支持。

此外，信息化管理制度还应包括信息安全的保障措施。航天型号工艺管理涉及大量敏感信息和核心技术，信息安全的重要性不言而喻。因此，管理制度应明确规定信息安全的责任主体、防护措施、应急处理流程等，确保信息在传输、存储和处理过程中不被泄露、篡改或破坏。

为了确保信息化管理制度的有效执行，还需要建立相应的监督机制。通过定期审计、检查等方式，对信息化技术的应用情况进行监督，及时发现并纠正违规行为，确保管理制度的严肃性和权威性。

（二）加强信息化技术与工艺管理的集成创新，推动工艺管理模式的变革和升级

信息化技术与工艺管理的集成创新是实现航天型号工艺管理现代化的关键。通过集成创新，可以将信息化技术的优势充分融入到工艺管理中，推动工艺管理模式的变革和升级。^[10]

集成创新应围绕工艺管理的核心需求展开，将信息化技术与工艺设计、生产制造、试验验证等各个环节紧密结合。例如，可以利用信息化技术实现工艺设计的自动化和智能化，提高设计效率和准确性；可以将传感器、物联网等技术应用于生产制造过程，实现生产过程的实时监控和智能控制；可以利用大数据分析技术对试验数据进行深入挖掘和分析，为产品性能优化提供科学

依据。

在集成创新的过程中，应注重技术的融合与协同。信息化技术不是孤立的存在，而是需要与工艺管理技术相互融合、相互协同，共同形成一套完整的工艺管理体系。因此，在推动集成创新时，应充分考虑技术之间的互补性和协同性，确保各项技术能够充分发挥其优势，共同提升工艺管理的水平和质量控制能力。

（三）注重人才培养和引进，提高工艺管理人员的信息化素养和专业技能

人才是实现航天型号工艺管理与信息化融合的关键因素。为了提升工艺管理人员的信息化素养和专业技能，应注重人才培养和引进工作。

在人才培养方面，可以通过举办培训班、开展讲座等方式，向工艺管理人员普及信息化技术的基本知识和应用技能。同时，还可以鼓励工艺管理人员参加相关培训课程和学术交流活动的，拓宽视野、增长见识，提高自身的专业素养和综合能力。

在人才引进方面，应积极拓宽人才引进渠道，吸引更多具备信息化技术背景和工艺管理经验的优秀人才加入到航天型号工艺管理队伍中来。通过人才引进，可以为工艺管理团队注入新鲜血液，提升团队的整体素质和创新能力。

除了人才培养和引进外，还应注重人才的激励和保留。通过建立完善的激励机制和职业发展通道，可以激发工艺管理人员的积极性和创造力，促使他们更好地投入到航天型号工艺管理与信息化融合的工作中去。同时，还应关注工艺管理人员的职业发展和成长需求，为他们提供广阔的发展空间和晋升机会，确保人才队伍的稳定性和持续性。

四、结论

航天型号工艺管理与信息化融合的质量控制策略是航天事业发展的重要支撑。通过信息化技术的应用，我们可以有效提升航天型号工艺管理的水平和质量控制的能力，确保航天型号研制的顺利进行和产品质量的可靠性。未来，我们应继续深化信息化与工艺管理的融合，不断探索和创新质量控制策略，为航天事业的持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1] 梁宏, 涂步华, 董德平. 浅谈航天型号产品质量管理与体系建设的融合 [J]. 航天工业管理, 2021(7): 57-59.
- [2] 张茜, 孙树森, 武园浩, 聂蓉梅, 赵博. 基于航天型号协同设计流程的资源共享模式研究 [J]. 网信军民融合, 2021(9): 44-47.
- [3] 张军. 航天型号研制中项目经费管理的应用研究 [J]. 中国管理信息化, 2021(6): 31-32.
- [4] 范栋, 张慧娟. 关于航天型号物资库存管理的探索与实践 [J]. 科技创新导报, 2021(32): 132-134.
- [5] 王晖, 何超凡, 史晓红, 杨雪辉, 黄永生, 夏浩铨, 冯泽明. 基于价值链理论的航天型号经营管理模式探索与实践 [J]. 航天工业管理, 2021(9): 93-97.
- [6] 柴伟恒, 焦成洋, 朱培, 王元吉. 航天型号院优化规章制度体系、提升治理水平的实践探索 [J]. 航天工业管理, 2021(5): 14-19.
- [7] 李祺欣, 郭庆浩, 高军. 航天型号机加类壁板产品采购成本控制方案研究 [J]. 科学与信息化, 2024(7): 40-42.
- [8] 陈畅宇, 贺文兴, 刘广通. 航天器数字化总装新模式 [J]. 网信军民融合, 2020(7): 52-55.
- [9] 周芸, 程晓祥. 航天总装工艺工作信息化的探索与实践 [J]. 电子世界, 2014(12): 237-238.
- [10] 葛立, 姜威, 贾晓吉吉, 赵谦, 吴刚. 航天在役型号装备信息化管理系统构建研究 [J]. 航天标准化, 2023(1): 46-48.

故障诊断技术在烟草机械运行维护中的应用和发展趋势

朱建松, 张振武

江苏中烟工业有限责任公司南京卷烟厂, 江苏 南京 210019

DOI:10.61369/ETQM.2025060030

摘 要 : 烟草机械是烟草生产必不可少的基础, 一旦发生故障, 可能影响整体生产效率, 因此采用科学的故障诊断技术, 加强机械运行维护, 值得企业人员高度重视。本文将结合烟草机械故障类别, 以及运行维护特点, 讨论烟草机械故障诊断常用技术, 希望有一定帮助。

关 键 词 : 故障诊断技术; 烟草机械; 运行维护

Application and Development Trend of Fault Diagnosis Technology in Tobacco Machinery Operation And Maintenance

Zhu Jiansong, Zhang Zhenwu

Jiangsu Zhongyan Industrial Company Nanjing Cigarette Factory, Nanjing, Jiangsu 210019

Abstract : Tobacco machinery is an indispensable foundation for tobacco production. Once a malfunction occurs, it can affect overall production efficiency. Therefore, adopting scientific fault diagnosis techniques and enhancing mechanical operation and maintenance is highly valued by enterprise personnel. This article will discuss common fault diagnosis techniques for tobacco machinery, combining the categories of faults and operational maintenance characteristics, hoping to provide some assistance.

Keywords : fault diagnosis technology; tobacco machinery; operation and maintenance

一、烟草机械故障类别

(一) 加热系统

烟草烘烤是烟草产品生产的重要一环, 也是决定烟草产品质量的重点步骤。这也在一定程度上, 彰显了烟草机械加热系统的价值。加热系统也可能出现各类故障, 一般包括构件本身损坏、控温失效等, 均可能导致机械设备无法正常加热, 对产品质量产生重大影响。之所以出现加热系统故障, 可能是因为材料本身质量不达标, 或者长时间使用未能及时检修或更换, 导致元件性质退化, 无法满足正常烘烤与干燥要求。温控器失灵也是常见的故障类型之一, 硬件本身受损与软件程序指令错误, 以及传感器度温感能力失灵, 都是温控器失灵的常见表现形式。上述问题不但会对烟草产品最终质量产生重大影响, 也有可能增加生产风险, 需要人员高度重视^[1]。

(二) 传动系统

传统系统是保障烟草机械运转的中枢, 传送带、齿轮等, 都是传动系统重要构件。传送带松紧度下降, 齿轮磨损严重, 齿轮咬合不紧, 轴承破损, 都属于常见的传动系统故障。传动系统一旦出现故障, 轻则导致单个烟草机械设备停机, 重则影响整条生产线的安全性。举例而言, 齿轮一旦磨损严重且未能及时更换, 可能对传动链路整体的稳定性造成重大影响, 进而危及机械设备可靠性。齿轮损坏的原因通常包括材料疲劳度过高、润滑效果差、机械设备过载运行等, 可能影响机械设备的正常运转。传送

带若出现松弛现象, 可能无法匹配机械设备正常的运输速度, 或者在传送过程中出现滑移现象, 断裂则会导致生产进程中断。轴承损伤则可能增加噪声, 影响运转的稳定性, 并增加机械设备的噪声, 影响烟草产品的正常生产^[2]。

(三) 液压和气动系统

液压与气动系统也是烟草机械的重要运行辅助系统, 常见的故障一般包括泵体损坏、阀门故障、元件泄露等。具体而言, 泵体损坏会直接影响液压与启动系统效率, 一般和泵体零件润滑性较差、未及时维护、超载运行等因素相关, 通常会影响烟草机械传动效率, 增加机械的损耗, 影响机械寿命。阀门故障发生原因可能包括系统内部堵塞、污染、磨损严重等, 可能导致阀门失灵, 影响流量的准确控制。元件泄露一般和元件松动、密封件磨损等相关, 通常会增加能源损耗, 影响系统正常压力, 导致环境污染。

(四) 电气系统

烟草机械设备的能量转化形式, 是电能转化成机械能, 因此电气线路的稳定, 会对机械设备稳定性及安全性产生直接影响。实践经验表明, 烟草企业一些机械设备存在过载运行的情况, 电线外部绝缘层老化脱落, 内部电线直接接触空气, 并基于静电吸附作用积累一定量灰尘, 这很容易影响电气线路的安全。长此以往, 不仅会对烟草机械设备运转造成影响, 还会额外导致设备损耗进一步增加, 影响正常的生产进程^[3]。聚焦于实际情况, 电气系统故障通常涵盖电机故障、控制系统故障等, 其中, 电机温度

作者简介: 朱建松 (1996—), 男, 汉族, 江苏南京人, 本科, 助理工程师, 江苏中烟工业有限责任公司, 研究方向: 制丝操作。

过高、无法正常启动、直接烧毁等，都属于常见的电机故障，发生原因通常包括散热效果不佳、过载运行、未能定期维护等。控制系统故障则和机械设备硬件不维护、软件控制程序有误等因素相关，机械设备附近如果有强干扰信号，也可能对烟草机械控制系统造成硬性影响，进而影响生产的安全性。

（五）监测系统

自动化生产为烟草生产带来了重大转变，同时也让烟草机械迎来了新的变革。监测系统是实现烟草自动化生产的重点，一旦出现问题，则会直接影响生产效率和产品质量。以传感器为例，传感器可能面临监测功能失灵、准度下降或损坏的风险，一般和其使用时间较长、受到电气干扰和承受物理损伤等因素相关，令传感器无法感知压力、温度等重要参数。监测系统程序偏差，以及数据分析和处理能力低下，系统未能及时更新等，同样会影响数据的使用价值，导致一些重要指令无法及时响应，进而对整个生产过程产生重大影响^[4]。

二、烟草机械运行维护特点

（一）结构相对复杂

烟草产品生产线工序较多，因此在烟草机械运行维护方面，也不能沿用一套维护方法。聚焦于实际情况，很多烟草机械设备包含众多零部件，且在结构上也各不相同，由于机械设备相对复杂，因此如何快速准确定位机械故障，判断机械故障可能造成的风险，以及故障可能造成的后果，是维护人员面临的重点难题，对维护人员专业性要求较高的同时，还需要其丰富的维护经验。通常情况下，欲提升烟草机械运行维护质量，维护人员应当深入学习烟草机械设备相关知识，掌握机械设备运行规律，企业也需要重视制度的力量，建立并完善烟草机械运行维护制度，通过制度指导实际工作落实，并重视维护人员专业技能的培训，使维护人员能够快速定位故障，提高排除故障的效率。企业还需要重视各类故障诊断技术的引进和使用，提高故障诊断的自动化水平，为烟草机械的正常运行提供切实保障。一言以蔽之，烟草机械运行维护面临的主要难点，就是其运行维护相对复杂，烟草生产企业本身需要从人才培训、制度完善和技术引进等方面，使机械维护效率得到提升，从而保障烟草产品的质量^[5]。

（二）运转环境复杂

烟草机械是烟草产品生产的重要物质基础，也是保障产品生产效率和质量的重中之重。因此，烟草机械在生产阶段，需要时刻维持理想的运转状态，避免产品生产效率受到影响，否则一旦因故障发生卡壳、停机等现象，很容易为烟草公司造成重大的经济损失。但是由于烟草产品生产线环环相扣，因此需要烟草机械运行维护人员，加强对烟草机械运转情况的监测，使其在理想工况下运行。企业在采购烟草机械时，也需要从根本上，选择具有品质较高零部件的烟草机械设备，使其能够应对复杂工况，保障设备稳定性与可靠性。维护人员应当每隔一段时间，对烟草机械是否能够正常运转的情况进行集中检查，将老化或者磨损严重的零部件全部更换，使设备能够达到正常运转的要求。

（三）工作安全性要求高

烟草机械和其他机械设备一样，运行状态下也会发生一定风险，增加生产人员的安全隐患。这就需要烟草企业在重视人员的技能培训，更要树立人员的安全意识，使其能够按照生产规程要求，落实安全生产的要求。同时，企业还需要在烟草生产线中，增加各类安全监测设备，为烟草产品的正常生产保驾护航。安全装置一般可选择紧急停机装置、安全防护罩等，同时注重生产自动化水平的提升，通过传感器等监测烟草机械运行的潜在风险，这样在发现风险的第一时间，工作人员就能迅速做出反应，避免烟草机械危险运行，酿成更大的事故。

三、烟草机械故障诊断常用技术

（一）红外热成像技术

红外热成像技术的故障诊断原理，是因为烟草机械设备电路运行时，电能会转化成一部分热能。一些烟草机械由于各种原因，例如负载平衡性较差，设备运行时间有所提升，接点腐蚀生锈，电阻增加，接触性能不佳等，线路、设备等可能存在过热现象，过热区域相较于正常区域，红外能的辐射会更强，辐射量也会更大。红外热成像仪物镜会大量接收红外能（来源于烟草机械设备），以光学系统为媒介汇聚，由红外探测器实现红外能的光电转换，使红外能向电能转变。后续经过电信号处理，就可以获得烟草机械设备热图像。这种信息读取方式相对直观，维护人员可以直接借助图像判断温度异常点，并完成实时温度值的测量。红外热成像仪可避免人员接触诊断，便利性较强，诊断成本相对可控，且能实现设备利用率的提升。相较于其他诊断方法，红外热成像的工作波段和电磁频谱有较大差距，因此即使烟草机械设备周围有强磁场，也不会影响红外热成像仪本身的工作。

（二）振动分析技术

振动分析技术是机械设备故障的重要诊断技术，针对发电机、辊筒、输送带、涡轮、压缩机、齿轮箱、风机、泵组、电机等，均可达到相对理想的诊断效果，烟草机械设备同样不例外。振动分析技术有助于实现设备工作效率与可靠性的提升，避免烟草机械长时间停机，减少机电故障。振动分析技术之所以可以诊断故障，是因为设备旋转组件振动频率维持在特定数值，振动幅度可以作为评估设备工作质量的重要标准。振幅扩大表明齿轮或轴承等旋转组件有异常表现，结合设备运行速度，就能完成旋转频率的计算过程，和频率标准相比对，就能明确设备故障。举例来说，烟草机械设备轴承存在缺陷，可能增加振动能量，齿轮磨损也会导致齿轮之间的啮合频率出现振动异常现象。振动分析技术的应用通常会涉及各类振动传感器，包括位移探测器、速度传感器、加速度传感器等。一般而言，位移信号求导，能够辅助速度与加速度信号的计算，但是求导结果可能放大误差，而反过来的积分计算，误差则会收敛，因此聚焦于实际情况，通常会以速度、加速度信号积分的方式，计算位移信号。此外，振动分析技术同样可以对烟草机械设备的运行状态进行实时监测，判断设备是否在短时间内下降，方便维护人员对故障做出快速反应。

（三）机器视觉系统

机器视觉系统可以进行视频或图像数据的捕捉，和先进分析技术高度结合，对烟草机械故障进行检测识别。机器视觉系统有助于故障诊断精确程度的提升，可对故障关节特点进行提取，辅助后续判断，同时也能满足动态监控要求，发现零部件异常滑移或振动现象，从而提高诊断效率。

（四）声音分析技术

声音分析技术同样属于非侵入式诊断技术，可收集烟草机械声音信号，辅助机械故障的精准识别，效率相对较高。声音分析技术的诊断，通常涵盖信号采集、频谱分析等，并对模式进行识别。麦克风阵列会对烟草机械设备信号进行捕捉，以高级信号处理技术为媒介，实现声音信号到可分析数据之间的转变。采集过声音信号之后，会对声音信号的频谱进行分析，令时间域的声音信号，转化成频率域声音信号，方便维护人员识别声音频率异常现象，进而针对性排除故障。举例而言，轴承损坏发出的声音，

人耳听起来回与正常轴承有明显不同，在可视化的声音频谱图像上，也会和正常声音有所区分，这样就能快速对发出异常声音的轴承进行快速定位。伴随技术的发展，相关监测设备的应用，能够对不同类别的声音做出明确判断，从而极大提高故障诊断的效率，进而连续监控机械设备状态。声音分析技术的故障诊断，同样可避免设备停机，从而保证烟草生产的正常经济产出。

四、结束语

综上所述，烟草机械故障类型较多，任何一种故障都可能造成停机，影响设备的安全性。烟草企业应当重视故障诊断技术的引进和使用，通过红外热成像技术、振动分析技术、机器视觉系统、声音分析技术等快速诊断故障，从而满足烟草机械设备的正常运行。

参考文献

- [1] 周伟涛. 故障诊断技术在烟草机械运行维护中的应用和发展趋势 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(8): 332-334.
- [2] 王志勇, 邢哲. 故障诊断技术在烟草机械中的应用和发展趋势 [J]. 电子乐园, 2021(4): 192-192.
- [3] 董彬. 基于工程机械液压系统运行中的故障诊断技术研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(2): 111-113.
- [4] 戴欧阳, 胡洪林. 基于改进 BP 神经网络的烟草收获机械故障诊断研究 [J]. 农机化研究, 2025, 47(4): 70-76.
- [5] 杨静宗, 施春朝, 杨天晴, 吴丽玫. 基于 CEEMD 和 RobustICA 的机械设备故障特征提取方法研究 [J]. 制造技术与机床, 2021(10): 123-127.

轨道交通信号工程建设项目质量控制的信息化管理模式探讨

包安伦¹, 江松², 李梦豪², 刘嘉诚², 王立新²

1. 武汉地铁集团有限公司, 湖北 武汉 430070

2. 中铁建电气化局集团南方工程有限公司, 湖北 武汉 430074

DOI:10.61369/ETQM.2025060033

摘要 : 在城市化进程加速的背景下, 轨道交通信号工程建设规模持续扩张。质量控制作为项目建设的核心环节, 传统管理方式已难以满足需求。信息化管理模式借助先进技术, 为轨道交通信号工程建设项目质量控制带来革新。本文深入剖析该模式的内涵、特点及应用情况, 探讨面临的挑战并提出优化策略, 以期推动轨道交通建设项目质量提升。

关键词 : 轨道交通; 质量控制; 信息化管理模式

Exploration of the Information Management Model for Quality Control in Rail Transit Signal Engineering Construction Projects

Bao Anlun¹, Jiang Song², Li Menghao², Liu Jiacheng², Wang Lixin²

1. Wuhan Metro Group Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430070

2. China Railway Construction Electrification Bureau Group South Engineering Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430074

Abstract : In the context of accelerated urbanization, the scale of rail transit signal engineering construction projects continues to expand. Quality control, as a core aspect of project construction, cannot be adequately managed using traditional methods. The information management model, leveraging advanced technology, brings innovation to quality control in rail transit signal engineering construction projects. This article delves into the connotation, characteristics, and application of this model, explores the challenges it faces, and proposes optimization strategies, aiming to enhance the quality of rail transit construction projects.

Keywords : rail transit; quality control; information management model

引言

近年来, 我国城市轨道交通建设取得长足发展, 逐步成为大城市公共交通系统的骨干, 在满足人民群众出行需求、缓解城市交通拥堵等方面正在发挥着不可替代的作用。在城市轨道交通信号工程建设过程中, 质量管理贯穿始终, 影响着城市轨道交通的顺利开通。然而轨道交通信号工程建设项目具技术密集型与高可靠性双重属性, 这对项目质量控制提出了极高要求。传统质量控制方式依赖人工, 存在信息传递滞后、管理效率低下、数据准确性难以保障等问题, 无法适应现代轨道交通建设项目对高质量的严苛标准。而大数据、物联网、云计算、BIM 等信息技术的迅猛发展, 为轨道交通信号工程建设项目质量控制提供了新路径, 信息化管理模式应运而生。

一、研究目的与意义

本研究旨在深入探究轨道交通建设项目质量控制的信息化管理模式, 明晰其在项目全生命周期各阶段的应用方式、成效及存在的问题, 并提出针对性优化策略, 以充分发挥信息化管理模式的优势, 为项目质量控制提供有力支撑。从理论层面看, 有助于丰富和完善轨道交通建设项目管理的信息化理论体系, 揭示信息化技术与质量控制的内在联系。在实践方面, 能为项目参建各方提供信息化管理模式应用指导, 提升项目整体质量, 保障公众出

行安全, 推动城市轨道交通行业可持续发展。

二、轨道交通信号工程建设项目质量控制概述

(一) 项目特点

轨道交通信号系统作为保障行车安全与运输效率的核心控制系统, 具技术密集型与高可靠性双重属性, 质量管理贯穿设计、设备采购、施工安装、调试测试全周期。设计需遵循《城市轨道交通信号工程施工质量验收标准》(GB/T 50578), 把控与车辆、

轨道、供电等专业的逻辑联锁关系防信号误判漏判；设备采购要求信号设备通过 EN 50155 等国际认证，建驻厂监造机制全检工艺细节杜绝“带病设备”；施工安装时信号电缆与供电电缆间距 $\geq 300\text{mm}$ 防电磁干扰，转辙机机械缺口校准误差 $\leq 0.5\text{mm}$ 防卡阻；调试测试采用“仿真+联调”模式，先模拟场景再全线试运行，验证突发情况响应速度 $\leq 200\text{ms}$ ^[1]。

（二）质量控制的重要性

轨道交通建设涉及土建、机电、通信、信号、车辆等 50 余个专业，接口数量可达数万项，其质量管理需解决技术标准差异、施工时序冲突、责任界面模糊三大难题^[2]。接口管理涵盖机械、电气、软件等类型，机械接口如信号设备与轨旁支架连接时，螺栓扭矩需符合设计要求以防止振动松脱；电气接口如信号电源与供电系统接驳时，相位差需 $\leq 5^\circ$ 、接地电阻需 $< 1\Omega$ 以避免电源波动导致信号设备死机；软件接口如信号系统与综合监控系统数据交互时，通信协议需遵循 IEC 61850 标准、数据传输延迟需 $< 500\text{ms}$ 以确保调度指令实时同步。全周期管理流程包括设计阶段建立《接口台账》明确参数并采用 BIM 技术进行接口碰撞检测，施工阶段实行“接口交接签证制度”，调试阶段组织跨专业联合调试。典型质量风险与预控措施包括针对信号与供电系统接地环流风险采用独立接地系统，针对不同厂商信号设备协议不兼容风险在招标文件中明确采用统一通信中间件并要求厂商提前进行第三方实验室协议互通测试^[3]。

三、信息化管理模式在轨道交通建设项目质量控制中的应用

（一）信息化管理模式的内涵与特点

信息化管理模式依托现代信息技术，构建统一平台，对轨道交通建设项目质量相关信息进行数字化、网络化、智能化管理。通过整合建设、设计、施工、监理等各方信息，打破信息壁垒，实现协同工作，提升质量控制效率与水平，确保项目质量目标达成。该模式具有显著特点，借助传感器与物联网技术，可实时采集施工现场的工程进度、材料质量等数据，并通过无线网络快速传输至平台，项目管理人员能随时获取最新信息。同时采用先进数据采集设备与严格审核机制，减少人为数据错误，通过交叉验证与比对分析，确保数据可靠，为质量控制决策提供有力依据^[4]。信息化管理平台打破各方信息孤岛，实现实时交流与协同。施工单位发现质量问题可迅速在平台发布，监理单位及时审核，设计单位提出解决方案，沟通顺畅，缩短问题处理周期。还通过建立三维模型、数据可视化报表等，直观呈现质量信息，管理人员可清晰了解项目整体与分项工程质量状况，快速发现并处理潜在问题。

（二）信息化管理模式在项目各阶段的应用

在地铁信号系统规划设计阶段，地理信息系统（GIS）与建筑信息模型（BIM）技术形成双驱动，GIS 整合地形地貌、地下管线等多源数据构建信号电磁环境模拟模型，分析轨道沿线电磁干扰风险以辅助确定信号设备最优布设位置，确保信号覆盖盲区

≤ 5 米；BIM 建立涵盖列控中心、轨旁电缆路径等要素的三维精细化模型，与土建、供电专业模型进行接口碰撞检测，提前发现设计问题，同时通过信息化协同平台实现建设单位、设计单位与设备厂商的实时数据共享，在线评审信号逻辑联锁表以符合 GB/T 50578 规范要求^[5]。施工准备阶段，建设单位通过平台核验信号施工单位特种作业资质、设备厂商 EN 50155 认证文件及关键材料检测报告实现“无纸化市审”；采用 BIM + 轻量化平台进行信号图纸三维可视化会审，施工单位在模型中标记电缆过轨路径等问题，设计单位在线回复以明确接口参数；利用平台内置工艺库自动生成电缆敷设等工序的标准工时与资源配置方案，动态调整施工进度计划以确保信号关键工序与轨道、供电施工同步衔接。施工阶段通过信息化技术实现“数据采集 - 分析预警 - 整改闭环”全流程管控，竣工验收阶段的信息化管理贯穿验收全流程，验收过程全程留痕并跟踪问题整改，确保信号系统通过专项验收^[6]。

四、轨道交通建设项目质量控制信息化管理模式面临的挑战

（一）信息安全问题

在信息化管理模式下，轨道交通建设项目涉及大量敏感数据，如项目规划图纸、施工技术参数等。这些数据在传输、存储和使用过程中面临被窃取和泄露的风险。网络黑客可能通过攻击信息化管理平台，利用平台漏洞、发送钓鱼邮件等手段获取数据；内部人员不当操作或恶意行为，如误发敏感数据、私自出售数据，也可能导致数据泄露，给项目建设带来严重损失。随着项目信息化程度提高，信息化管理平台成为网络攻击目标^[7]。网络攻击者可能出于各种目的对平台进行恶意攻击，如分布式拒绝服务（DDoS）攻击，通过控制大量僵尸网络向平台服务器发送海量请求，使服务器瘫痪；恶意软件攻击，如病毒、木马、勒索软件等，可能感染平台计算机系统，窃取数据或加密勒索，影响项目建设进度与质量控制工作。

（二）系统兼容性与集成问题

轨道交通建设项目常使用多个信息化软件系统，如项目管理软件、质量管理软件、BIM 软件等。这些软件由不同供应商开发，数据格式、接口标准、通信协议存在差异，导致系统兼容性差。例如，将 BIM 模型数据导入项目管理软件时，可能出现数据丢失、格式错误等问题，影响信息共享与协同工作，增加项目参与方的数据转换与重复录入工作，降低信息化管理模式应用效率^[8]。在项目建设过程中，由于技术升级、业务需求变化等原因，可能需引入新的信息化系统。但新旧系统集成困难，旧系统架构、数据结构与新系统不兼容，难以实现无缝对接，集成过程中可能出现数据迁移问题，如数据丢失、数据不一致等。而且新旧系统操作流程不同，工作人员需重新学习适应，增加使用难度，影响信息化管理模式的推广应用。

（三）人员信息化素养不足

轨道交通建设项目质量控制信息化管理模式需要既懂轨道交通专业知识又熟悉信息技术的复合型人才。目前这类专业技术人

才短缺,许多项目管理人员缺乏信息技术知识,无法熟练运用信息化管理平台进行质量控制工作;信息技术人员对轨道交通信号专业知识了解不足,难以开发出符合项目实际需求的信息化系统,制约了信息化管理模式的应用与发展^[9]。部分轨道交通建设项目参建单位对员工信息化培训重视不够,培训内容与实际工作需求脱节,员工参加培训后仍无法熟练掌握信息化管理工具的使用方法,不能充分发挥信息化管理模式的优势。而且培训缺乏持续性,随着信息技术不断更新,员工无法及时学习掌握新的知识与技能,导致信息化管理模式应用效果不佳。

五、优化轨道交通建设项目质量控制信息化管理模式的策略

(一) 加强信息安全防护

轨道交通建设项目参建各方应制定完善的信息安全管理制度,明确信息安全责任,规范数据采集、传输、存储、使用等环节,建立严格的数据访问权限控制机制,根据员工岗位需求分配不同的数据访问级别,定期评估与更新信息安全管理度,以适应不断变化的信息安全环境^[10]。利用防火墙、入侵检测系统、加密技术等先进信息安全技术,保障信息化管理平台安全。防火墙阻挡外部非法网络访问,入侵检测系统实时监测网络攻击行为,对敏感数据进行加密传输与存储,如采用 SSL/TLS 加密协议对数据传输加密,使用 AES 加密算法对数据存储加密,并定期升级信息安全技术,提高系统安全防护能力。

(二) 提升系统兼容性与集成水平

行业主管部门肩负关键职责,应积极组织制定全面且统一的轨道交通建设项目信息化管理数据标准与接口规范。严格要求各软件供应商必须依照此标准开展软件研发工作,切实统一数据格式、接口标准以及通信协议,全力保障不同软件系统间能够实现无缝对接与高效的数据共享。例如,精准规定 BIM 模型数据与项目管理软件数据的交互格式及接口标准,并建立灵活的更新机制,及时契合行业发展需求。在引入新信息化系统前,项目建设单位需进行全方位的集成规划,深入详细地分析新旧系统在架

构、数据结构、操作流程等方面的不同之处,精心制定合理的集成方案。在集成实施过程中,充分采用先进的数据迁移工具与技术,确保数据的完整性与准确性得以维系,同时有针对性地对工作人员开展系统操作培训,帮助他们快速熟悉新系统使用方法,保障新系统顺利融入项目建设流程。

(三) 提高人员信息化素养

高校和职业院校作为人才培养的关键阵地,必须全力推动轨道交通与信息技术相关专业建设。深入调研行业现状与未来需求,精准地对课程进行优化调整,从理论知识到实践操作,全方位打磨,力求培育出能适应行业复杂需求的复合型专业技术人才。企业要积极与高校、科研机构建立紧密合作关系,开展人才定向培养项目,针对关键技术难题联合攻关,像高校开设轨道交通信息化管理课程时,企业及时提供实习岗位,为自身储备优质专业技术人才。参建单位同样不可懈怠,应构建完善的员工信息化培训体系,依据员工岗位特性定制个性化培训方案。培训内容全面覆盖信息化管理工具使用、项目质量控制流程与信息化管理融合要点。采用线上理论教学与线下实操结合的培训模式,切实提升培训效果。定期开展信息化技能考核,将考核成绩与员工绩效紧密挂钩,以此激励员工主动学习信息化知识与技能,助力行业高质量发展。

六、结束语

轨道交通信号工程建设项目质量控制的信息化管理模式是提升项目质量的重要途径,通过在项目各阶段的应用,能实现信息实时共享、协同工作,提高质量控制效率与准确性。但该模式在应用中面临信息安全、系统兼容性与集成、人员信息化素养不足等挑战。通过加强信息安全防护、提升系统兼容性与集成水平、提高人员信息化素养等优化策略,可有效解决这些问题,充分发挥信息化管理模式在轨道交通建设项目质量控制中的优势,推动轨道交通信号工程建设项目高质量发展。随着信息技术不断发展,信息化管理模式在轨道交通建设项目质量控制中的应用将更加深入广泛,需要行业各方持续关注与探索创新。

参考文献

- [1] 杨柯.城市轨道交通设备工程各建设阶段的质量管理(上)[J].设备监理,2019,(07):14-17.
- [2] 姜红.城市轨道交通建设项目档案质量控制研究——以某轨道交通集团为例[J].北京档案,2018,(03):32-34.
- [3] 刘佳杰,张磊,张俊,等.城市轨道交通工程施工建设前期管线改移全过程分析[J].建设监理,2024,(02):33-37+41.DOI:10.15968/j.cnki.jsjl.2024.02.013.
- [4] 胡斌.轨道交通工程质量控制及安全管理[J].科技创新与生产力,2024,45(07):80-82+86.
- [5] 李海燕.质量管理体系在轨道交通票务稽查中的应用研究[J].交通科技与管理,2024,5(02):165-167+59.
- [6] 齐欢,李永乐,罗维.城市轨道交通质量建设管理行为标准化研究[J].黑龙江交通科技,2023,46(10):144-146.DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2023.10.032.
- [7] 高超.轨道交通工程施工技术要点与质量控制研究[J].运输经理世界,2024,(02):4-6.
- [8] 马超.基于质量控制的城市轨道交通运营研究[J].运输经理世界,2023,(09):13-15.
- [9] 郑业勇,赵峰,孙建武.城市轨道交通工程团体标准质量管理探索与实践[J].工程建设标准化,2023,(01):77-80.DOI:10.13924/j.cnki.cecs.2023.01.005.
- [10] 马明,黄子进.城市轨道交通工程设计质量管理的分析[J].工程建设与设计,2021,(11):211-212+218.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2021.06.070.

浅析高铁站房内外装修设计各专业之间接口问题

李德胜

上海科卓建筑装饰工程设计有限公司，上海 200241

DOI:10.61369/ETQM.2025060035

摘 要： 为应对高铁站房的发展需求，本文以多个工程为例，探讨了高铁站房内外装修设计的关键问题。从幕墙和屋面、室内装饰和标识系统等多个方面入手，阐述了在站房内部空间与外部空间处理、整体风格和各专业接口把握等方面的建议。结果表明，应根据旅客流线组织及候车环境要求合理布置空间功能，在满足使用需求前提下最大限度节约能源；加强室内外空间联系，充分利用自然采光、通风，同时结合建筑造型使室内外空间相互渗透，提升环境品质；注重车站室内公共区域装修材料选择和色彩搭配，突出地域文化特色，实现安全性与功能性的统一，以期为今后新建高铁站房内、外装修设计提供参考。

关 键 词： 高铁站房；内外装修设计；专业之间；接口问题

Analysis of Interface Issues Among Various Professionals in the Interior and Exterior Design of High-speed Railway Station Buildings

Li Desheng

Shanghai Kezhuo Building Decoration Engineering Design Co., Ltd. Shanghai 200241

Abstract： To address the development needs of high-speed railway station buildings, this article explores key issues in the interior and exterior design of these buildings through multiple engineering examples. Starting from various aspects such as curtain walls and roofs, interior decoration, and signage systems, it elaborates on suggestions for handling interior and exterior spaces, overall style, and grasp of various professional interfaces of station buildings. The results indicate that spatial functions should be reasonably arranged based on passenger flow organization and waiting environment requirements to maximize energy conservation while meeting usage needs. It is necessary to strengthen the connection between indoor and outdoor spaces, fully utilize natural lighting and ventilation, and combine architectural styling to allow indoor and outdoor spaces to penetrate each other, thereby enhancing environmental quality. Attention should be paid to the selection of decoration materials and color matching in the indoor public areas of the station, highlighting regional cultural characteristics and achieving a unity of safety and functionality. This study aims to provide a reference for the interior and exterior design of newly built high-speed railway stations in the future.

Keywords： high-speed railway station; interior and exterior design; among professionals; interface issues

引言

高铁站房更像一个充满现代感和科技感的建筑综合体。其外立面造型极具辨识度、空间宽阔、结构简洁、流线顺畅，加之 LED 大屏、高清大屏幕等多媒体设备的辅助作用，使得整个站房形象更加灵动，具有强烈的视觉冲击力。近年来，随着国民经济的不断发展以及人们生活水平的日益提高，旅客对出行品质的要求也在不断提升，而高铁站房的设计作为服务于旅客的重要载体，是提升旅客候车舒适度的关键因素之一^[1]。因此，为进一步加强高铁站房设计与建设的科学性与合理性，改善旅客候车环境，就必须对新建高铁站房内、外部装饰进行综合考量。

一、研究背景

在高铁站房设计过程中内外装修设计在各专业接口问题突出，从幕墙和屋面、室内装饰和标识系统等多方面出发，探索解决类似问题的方法，保证站房设计的安全性，美观性，实用性和可实

施，同时满足规范要求。

二、站房内外装修设计重点及要点分析

高铁站是城市对外的窗口，其建筑体量和造型都具有标志

性、文化性及艺术性，在工程建设中需将建筑外观与内部装饰设计相结合，通过合理的空间布局及色彩处理，使建筑成为展现城市形象的重要载体。

（一）站房外部空间设计要点

在建筑设计中，要注重协调城市及周边的整体环境，为旅客提供便捷、舒适的候车环境。

（1）内外装设计风格统一：内装设计风格与建筑外立面造型的协调统一：内装的造型和色彩的选择，应重点考虑内装和外部造型之间的呼应关系，同时也是各种设计元素的体现。

（2）候车大厅设计需要结合地方文化设计：结合当地文化特色，打造具有地方特点和艺术美感的公共空间，提高旅客对城市文化的认知度。

（3）夜景照明设计：通过灯光控制，形成不同的色彩效果，凸显建筑风貌，并增强旅客体验感。

（4）幕墙和内装公共区接口：很多时候结构柱与与幕墙之间间距不够，不能很好的处理内外装收口问题。

（5）站房外观造型：合理运用线条、色彩等元素进行造型处理，与周边环境相协调，既要满足功能性要求，又要体现时代感，调研国内外同类站房设计得失，在此基础上设计出更加合理的站房外观造型。

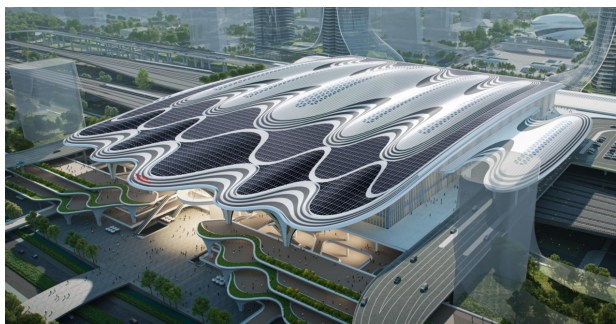
（6）站房幕墙和屋面安全性设计，幕墙结构计算复核、防火安全是重点；金属屋面的抗风揭设计、防水措施是设计重点，还有跨专业结构设计配合，如：屋面标识站名大字要做受力计算。

三、高铁站房内外装设计建议

（一）室内装饰设计

在室内装饰设计方面，要通过合理的空间布局及功能分区，营造出舒适、美观、温馨的乘车环境，兼顾安全设计，内装与各接口专业的完整性，充分考虑运营的使用要求，内装和照明设计的重要性，综合管线和标高控制，内装与消防总体设计等。

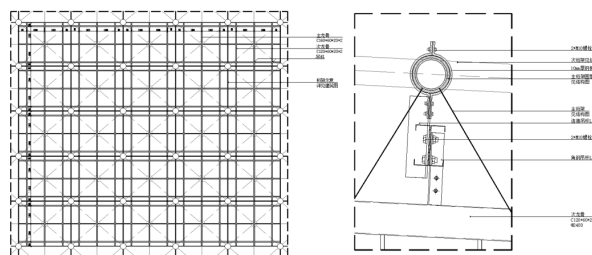
内装风格与建筑外立面造型的协调统一：如：苏州北站外形采用水纹和飞虹概念设计，内部装修设计延续外装设计元素，曲线、水漾设计元素。



内装和照明设计的重要性：如：西丽顶面采用全色系灯光设计，能根据需要展示不同的颜色，如：国庆节来临可以展示中国红，烘托举国同庆的喜悦之情，如：夏天太热可以用冷色带来一丝清凉感，能很好的体现各种节日的色彩氛围，摆脱现有高铁站色彩单调且不可变的常态，为深圳创新城市增添一抹亮色。

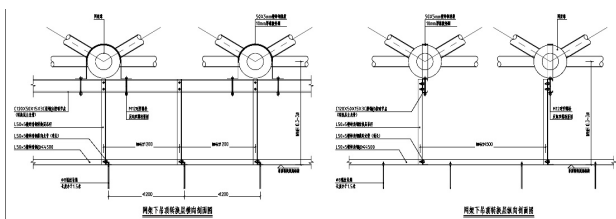


内装安全设计重点考虑金属网架转换层设计是重点，内装与幕墙接口重点考虑幕墙与室内包柱等的细节处理，内装与信息屏的安装接口处理。

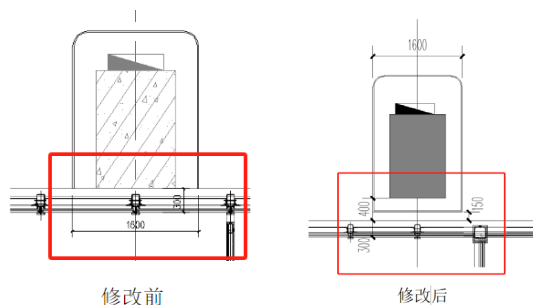


进站厅天花桁架转换层放大图（常熟西站）

钢管抱箍放大图



内装立面与幕墙立面常在公区立柱没有很好的实施空间，立柱设计时没有充分考虑幕墙立档和包柱龙骨的空间，还需要留足可施工的空间。如下图：立柱与幕墙优化前后对比图。

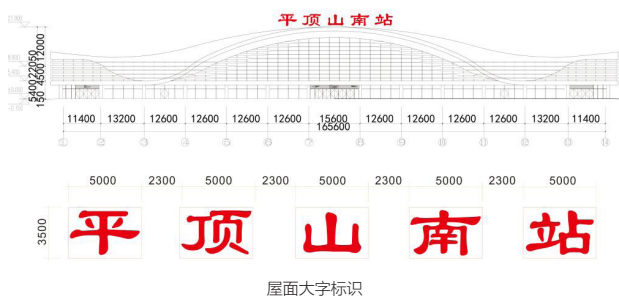


内装和幕墙之间还有防火封堵、收口美观等接口细节。

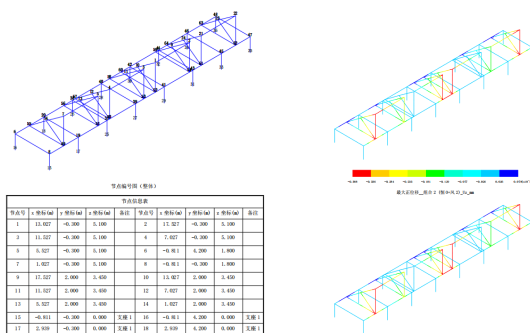
（二）标识系统设计

（1）标识标牌是旅客进出车站的向导，也是站房重要的视觉形象之一，安全是非常重要的，站名大字面积大且重量也大，且在屋面上受到极端天气的影响，如：平顶山南站为例，展示站名大字的大小和受力计算。

外立面大字



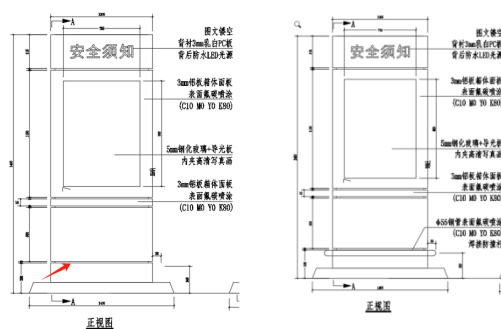
屋面大字标识



屋面大字标识结构计算

车站屋面上站名大字考虑台风极端天中发生站名大字翻覆，加强结构受力计算，避免影响旅客正常候车^[7]。

（2）从内装与标识接口安全角度考虑对信息服务落地装配图底部的保护，信息服务落地装配图增加防撞杆。



修改前

修改后

（三）地方特色塑造与地域文化展现

高铁站房不仅是铁路客运服务的重要载体，更是城市文化展示的窗口^[8]。近年来，越来越多的高铁站房在设计上体现了地方特色与地域文化元素，从外观造型到内部装饰，无不彰显着对当地地域特色与文化底蕴的展现。

依托地域文化挖掘设计内涵。例如：兰陵站内外装结合得不错，以当地古韵建筑为元素，用现代手法演绎楚汉建筑的恢弘大气，利用巧妙的构图手法结合“屋檐飞扬”为设计主题，致力于在空间内创造出一种宽敞、舒适且具有现代感的氛围通过屋檐元素的引入，将以古典建筑的线条和形式为基调为空间赋予独特的历史感和文化底蕴，内装延续外装都设计元素，古韵建筑的设计灵感源自传统建筑美学，轻装修重结构为原则，白色作为装修主色调，浅木色为点缀色，旨在创造一种结合古典韵味和现代便捷的独特高铁站体验。通过融合传统建筑元素色彩特点，为旅客提供一场穿越时空的旅行，体验传统文化的魅力。



外装效果图

内装效果图

佛山站室内外装统一建筑设计语言与文化元素，保持建筑整体风格协调一致站房正立面屋面柔美舒展，有如花瓣，饱满、浑圆。白兰花的花姿美丽，朝着天空绽放姿态十分高雅，具有挺拔向上的特性，代表着佛山人积极向上，朝气蓬勃的姿态，温和而务实，白兰花进行抽象化提取，取其神而简其形，有序的空间引导性，将寓意藏秀于空间吊顶之中。



外装效果图

内装效果图

结合城市风貌与自然景观打造站房商务候车室形象。如佛山站的饅耳屋造型运用在商务候车室顶面，具体如下图。地域文化将传统古建筑屋顶形式和现代建筑材料相融合，使旅客在候车过

程中感受到浓厚的历史文化氛围。



四、结语

近年来，随着我国高铁网络的日益完善，高铁站房设计水平也有了很大提升。如何进一步优化高铁站房空间布局、打造舒适

候车环境、增强旅客乘车体验成为新建高铁站房建设方需要重点思考的问题。从总体上看，当前我国高铁站房内外装设计还存在一定不足之处，具体表现在：一是部分城市因缺乏整体规划意识，导致站房设计与周边建筑风格不协调；二是标识性不强，往往只注重车站外观设计而忽略标识标牌设计；三是缺乏对地方特色与地域文化的深入挖掘和展现。因此，未来新建高铁站房的内外装设计应进一步加强以下几个方面：一要重视站房外观造型设计，强化与周边环境的协调性；二要突出地域特色，彰显城市形象，增加文化内涵；三要科学合理设置标识系统，增强乘客辨识度。总之，只有充分考虑上述重点问题并加以改进，才能全面提高高铁站房内外装设计的水平，为旅客提供更加便捷、舒适的出行服务。

参考文献

[1] 关春东. 现代建筑风格在高铁站房设计中的应用分析 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(24): 178-180.
[2] 曾令东. 高铁站与一体化开发的结建设计研究 [J]. 中华建设, 2024, (11): 67-69.
[3] 陈蕾西. 高铁站房内部空间装修设计研究 [J]. 住宅产业, 2023, (12): 84-86.
[4] 贺挨宽, 赵斗, 郭晓晨, 等. 雅万高铁站房设计理念与创新 [J]. 中国铁路, 2023, (12): 37-42.
[5] 岳志鹏. 面向高铁站候车空间的共享童车设计研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.
[6] 李攀. 高铁站房内部空间装修及设计研究 [J]. 居业, 2023, (03): 91-93.
[7] 王胜. 高铁站房主要空间照明设计 [J]. 现代建筑电气, 2022, 13(11): 55-61.
[8] 李敦. 高铁站房室内空间人性化设计方案 [J]. 四川建材, 2022, 48(06): 63-64.
[9] 王斯媛. A 高铁站室内设计项目质量管理研究 [D]. 北京交通大学, 2022.
[10] 王楠. 高铁站房绿色设计策略与模拟验证研究 [D]. 天津大学, 2021.

库区滑坡涌浪减灾措施研究现状与展望

谭青青, 马联华

重庆安全技术职业学院, 重庆 404121

DOI:10.61369/ETQM.2025060036

摘 要 : 滑坡涌浪会给库区周围居民的生命财产安全带来极大威胁, 为了更好地防治滑坡涌浪灾害, 本文聚焦库区滑坡涌浪减灾措施, 系统梳理滑坡涌浪产生、传播及爬高阶段减灾技术的研究进展, 分析各阶段减灾核心策略与技术手段, 总结现有研究成果与存在问题, 并对未来研究方向进行展望。研究表明, 当前库区滑坡涌浪减灾已形成较为完善的技术体系, 但在模型精度、监测技术及新型结构适应性等方面仍存在不足。未来需加强多物理场耦合机制研究、研发高精度监测设备、推动智能技术应用及新材料新结构创新, 以提升库区滑坡涌浪灾害防治水平。

关 键 词 : 滑坡涌浪; 减灾措施; 工程防护; 智能监测; 综述

Research Status and Prospects of Landslide-induced Wave Mitigation Measures in Reservoir Areas

Tan Qingqing, Ma Lianhua

Chongqing Vocational Institute of Safety Technology, Chongqing 404121

Abstract : Landslide-induced waves pose a significant threat to the safety of life and property of residents around reservoir areas. To better prevent and mitigate landslide-induced wave disasters, this paper focuses on mitigation measures for landslide-induced waves in reservoir areas. It systematically reviews the research progress of mitigation technologies in the generation, propagation, and climb stages of landslide-induced waves, analyzes the core mitigation strategies and technical means at each stage, summarizes existing research results and problems, and looks ahead to future research directions. The study shows that a relatively complete technical system has been formed for landslide-induced wave mitigation in reservoir areas, but there are still deficiencies in model accuracy, monitoring technology, and the adaptability of new structures. In the future, it is necessary to strengthen the study of multi-physical field coupling mechanisms, develop high-precision monitoring equipment, promote the application of intelligent technology, and innovate new materials and structures to improve the prevention and control of landslide-induced wave disasters in reservoir areas.

Keywords : landslide-induced waves; mitigation measures; engineering protection; intelligent monitoring; review

引言

随着我国高坝大库建设水平的持续提升, 包括三峡、锦屏、乌东德、白鹤滩等一系列世界级水利工程相继建成投运, 库区地质环境愈加复杂, 滑坡灾害及其次生涌浪问题逐渐成为影响工程安全与社会稳定的关键因素。滑坡涌浪是指滑坡体在重力、降雨、水位波动或地震等外力作用下迅速入水, 与水体发生强烈耦合形成的巨大波浪的过程^[1]。该灾害表现出突发性强、传播范围广、波浪冲击力大等特点, 常引发堤岸崩塌、护岸结构破坏、坝体冲刷甚至溃坝等灾害后果^[2]。历史上的多起滑坡涌浪灾害表明, 其破坏力往往远超原始滑坡本体。1963年意大利瓦依昂水库因滑坡引发250m高涌浪并漫顶, 造成近2000人死亡^[3]; 1985年三峡库区新滩镇滑坡触发49m高涌浪, 导致10人死亡^[4]; 2009年澜沧江小湾滑坡致30m涌浪, 14人失踪^[5]; 此外, 锦屏、乌东德等新建水电工程周边亦多次出现滑坡体不稳定迹象。

滑坡涌浪的形成过程复杂且多阶段演化, 按灾害发展路径可划分为产生阶段(滑体入水并初始激发涌浪)、传播阶段(涌浪沿水体向外扩展)及爬高阶段(波浪冲击岸坡或建筑结构)。在产生阶段, 滑体的体积、形态、入水速度与入水角度等关键参数决定了初始波高与能量释放强度; 传播阶段中, 涌浪在不规则岸线、水深变化及水体扰动的共同作用下发生反射、折射等, 导致传播路径和波形复杂

基金项目: 重庆市万州区科研项目(wzstc20230302)

作者简介: 谭青青(1995-), 女, 硕士, 助教, 研究方向: 灾害防治。

化；在爬高阶段，波能集中作用于岸坡或设施结构，形成瞬态高压冲击，极易诱发次生滑移、冲毁结构甚至产生灾害链响应。图1展示了滑坡涌浪全过程的动力学特征^[9]。各阶段的波动特性，动力机制与减灾措施重点各不相同，需分阶段精准干预。

当前，国内外学者在滑坡涌浪数值模拟、物理实验、成因机制和减灾措施方面积累了大量成果，逐步构建起“预测-响应-防控”一体化技术体系。然而，在库区多变地质与复杂水文条件下，现有模型对滑体入水过程、瞬态波传播与岸坡响应的适应性仍显不足，实际工程中减灾措施的可靠性和适应性亦需提升。因此，本文围绕滑坡涌浪三个典型阶段，系统梳理当前减灾措施研究现状，明确各类技术路径与适用边界，并提出多源监测、智能响应、韧性结构等未来研究方向，为库区滑坡涌浪灾害的系统防治与科学治理提供理论依据与工程参考。

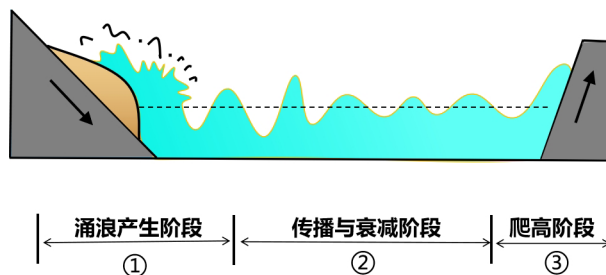


图1 滑坡涌浪过程示意图

一、滑坡涌浪产生阶段的减灾措施

滑坡涌浪的产生阶段减灾关键在于源头控制与能量调节，其核心目标是通过控制滑坡体的入水速度与体积，以削弱造浪能力，减少涌浪灾害的发生概率和强度。当前研究主要聚焦于滑坡体稳定性控制与入水行为调节两类策略。

滑坡体稳定性控制构成涌浪灾害防控的首要环节。工程加固措施是常用的有效手段，其中抗滑桩、锚索支护与地下排水系统等应用最为广泛。Chen等^[7]通过数值模拟研究发现，三峡库区树坪滑坡实施前缘压脚工程后，其最大位移速率从18.5 mm/d降至0.5 mm/d，潜在涌浪高度下降约64%。显著改善了灾害风险水平。此外，近年来生物工程手段也受到重视，Bagheri等^[8]研究表明，在粉质土中添加3%木质素可使抗剪强度提高约40%，对增强滑坡体抗扰动能力具有积极意义。地质灾害监测预警技术的发展为滑坡体稳定性控制提供了有力支持。许强等^[9]提出的“空-天-地”一体化地质灾害早期识别与监测体系整合了卫星遥感、无人机航测、地面监测等多种技术手段，该系统能有效提升对滑坡活跃区的动态监测与风险预判能力。

滑坡入水行为调节的目标在于控制滑体与水体之间的动能转换过程，以降低入水后初始涌浪的能量。拦滑带和引导槽是常用的工程措施。拦滑带通常由混凝土、钢材等材料构成，设置在滑坡体运动路径上，通过阻挡和缓冲作用降低滑体速度；引导槽则可引导滑体按照预定方向入水，避免滑体直接冲击重要设施。Huang等^[10]的物理实验表明，合理设置的拦滑结构可将滑体入水速度降低30%-50%，有效削弱了初始波高。缓冲池技术也在库区局部试点中展现出良好效果。Wang等^[11]报道，在某滑坡治理项目中，通过设置缓冲池，涌浪首波高度减少了约35%。缓冲池利用水体的缓冲作用，消耗滑体入水时的动能，从而降低涌浪高度。数值模拟技术为滑坡入水行为调节措施的优化设计提供了重要工具。Yu等^[12]开发的GIS三维涌浪计算模块，能够精准模拟不同防控方案下的涌浪参数，如波高、波长、传播速度等，为滑坡涌浪减灾工程的优化设计提供科学依据。

二、涌浪传播阶段的减灾措施

涌浪传播阶段的减灾关键在于实现能量耗散与波动引导，通

过改变库区地形或设置人工结构，削弱波浪能量的远距离传输效应，降低涌浪对沿岸设施和居民的威胁。现有研究主要围绕库区空间改造和人工消浪结构两类技术路径展开。

在库区空间调控方面，优化岸线与水下地形被视为经济高效的“被动消浪”策略。近岸缓坡布设是应用最为广泛的方法之一。Zhao等^[13]通过物理模型试验验证，设置1:3-1:5的缓坡可有效使波高衰减达50%-70%。在狭窄河谷库段中，布设波能引导通道具有良好效果。Deng等^[14]利用数值模拟发现，导流堤的合理布局可大幅减小涌浪对港口与岸坡设施的冲击强度。此外，部分研究还探索了水下沙坝的消能机制。Zhang等^[15]指出，适当设置沙坝可诱导波浪破碎过程，使波能减少超过30%。

人工消浪装置作为主动控制技术，是滑坡涌浪传播干预的重要方向。弧形消浪堤在多个工程中得到成功应用。Wang等^[16]报道，某水电站采用的复合型弧形堤将涌浪透射系数降低至0.3以下，显著改善了下游波动环境。在兼顾生态修复与防灾功能方面，透水护岸结构表现突出。Yuan等^[17]开发的圆筒框架浮式防波堤在保证50%以上的消浪率同时，还具备良好的水体交换能力。新型材料结构也在持续演化。Qiu等^[18]研制的超高分子量聚乙烯复合材料浮堤，具备优异的抗冲击性能，适用于高烈度涌浪区域。

三、涌浪爬高阶段的减灾措施

滑坡涌浪传播至岸坡后的爬高过程往往产生瞬态冲击，对岸坡稳定与护岸设施造成极大破坏。因此，该阶段的减灾关键在于构建高效的冲击防护体系与岸坡稳定保障机制。

护岸结构作为抵御波浪冲击的第一道屏障，其性能优化是减灾的关键环节。工程结构创新是当前研究的重点方向，其中弧形坡面组合式消浪堤、多孔介质消能结构和新型复合材料护面板等应用最为广泛。Huang等^[19]研发的S型聚叶捕能消波浮式防波堤，实验研究表明其透射系数可低至0.2-0.8，在波陡增加时消波性能显著提升，同时兼具波浪能捕获功能，展现了优异的综合性能。在材料选型方面，抗冲耐磨材料取得了新进展。Majcher等^[20]综述了多种电磁波吸收材料在护岸与抗冲击工程中的潜在应用价值，为结构功能集成提供了新思路。此外，Rahimi等^[21]提出基于数字孪生技术构建的响应式护岸系统，可实时监测波压与岸坡状

态,实现动态调控。

边坡加固技术重点应对爬高波浪诱发的坡体滑移与失稳问题。智能监测系统是保障边坡稳定的重要手段。Sun等^[22]利用光纤传感技术监测土工格栅加筋边坡的应变响应,其预警准确率达85%以上,为动态响应分析提供高时效监测手段。支挡结构创新方面,Wang等^[23]基于三维数值模拟建立了桩-梁组合结构模型,模拟显示该结构能将碎屑流冲击力削弱60%~80%。在生态可持续方向,Hong等^[24]提出的土袋加固方法在野外滑坡治理中展现出良好稳定性,且有利于植被恢复。

四、总结与展望

滑坡涌浪减灾研究是一个涉及地质力学、水动力学、材料科学和智能监测等多学科交叉的复杂系统工程。本文通过系统梳理滑坡涌浪产生、传播及爬高三阶段的减灾技术体系,揭示了当前研究在工程防护、智能监测和数值模拟等方面取得的显著进展。研究表明,虽然现有技术已在滑坡体稳定性控制(如抗滑桩加固)、波浪能量耗散(如S型浮式防波堤)和岸坡动态响应(如光纤传感监测)等关键环节形成有效解决方案,但仍存在理论研究与实际工程需求脱节、多场耦合机制认识不足等技术瓶颈。

参考文献

- [1]周家文,陈明亮,李海波,等.水动力型滑坡形成运动机理与防控减灾技术[J].工程地质学报,2019,27(5):1131-1145.
- [2]Gaagai A, Boudoukha A, Benaabidate L. Failure Simulation of Babar Dam - Algeria and its Impact On the Valley Downstream Section[J]. Journal of Water and Land Development, 2020(44):75-89.
- [3]Panizzo A, De Girolamo P, Di Risio M, et al. Great Landslide Events in Italian Artificial Reservoirs[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2005,5(5):733-740.
- [4]殷坤龙,姜清辉,汪洋.新滩滑坡运动全过程的非连续变形分析与仿真模拟[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):959-962.
- [5]石传奇,安翼,杨家修.滑坡涌浪的三维 Sph 方法模拟及其工程应用[J].中国科学:物理学,力学,天文学,2015(10):52-60.
- [6]Yavari-Ramshe S, Ataie-Ashtiani B. Numerical Modeling of Subaerial and Submarine Landslide-Generated Tsunami Waves—Recent Advances and Future Challenges[J]. Landslides, 2016,13(6):1325-1368.
- [7]Chen M, Lv P, Zhang S, et al. Time Evolution and Spatial Accumulation of Progressive Failure for Xinhua Slope in the Dagangshan Reservoir, Southwest China[J]. Landslides, 2018,15(3):565-580.
- [8]Bagheri P, Gratchev I, Zolghadr M, et al. Mitigation of Soil Erosion and Enhancement of Slope Stability through the Utilization of Lignin Biopolymer[J]. Polymers, 2024,16(9):1300.
- [9]侯燕军,周小龙,石鹏卿.空-天-地”一体化技术在滑坡隐患早期识别中的应用—以兰州普兰太公司滑坡为例[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(06):12-19.
- [10]Huang Y, Zhang B. Challenges and Perspectives in Designing Engineering Structures Against Debris-Flow Disaster[J]. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2022,26(10):4476-4497.
- [11]Wang H, Lin Z, Xiao Y, et al. Ecological Risk Assessment of Landslide Disasters Based On Potential Loss of Ecosystem Services[J]. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao= the Journal of Applied Ecology, 2019,30(10):3553-3562.
- [12]Yu G, Zhou X, Bu L, et al. Gis-Based Calculation Method of Surge Height Generated by Three-Dimensional Landslide[J]. Scientific Reports, 2023,13(1):7684.
- [13]Zhao E, Mu L, Hu Z, et al. Physical and Numerical Investigations On Wave Run-Up and Dissipation Under Breakwater with Fence Revetment[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021,9(12):1355.
- [14]Bin D, Longbin Y, Jiaofeng H, et al. Three Dimensional Numerical Simulation of Wave Interaction with a New Type of Double Row Perforated Cylinder Breakwater[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2023,55(4):845-857.
- [15]Zhang N, Zhang Q, Wang K, et al. Numerical Simulation of Wave Overtopping On Breakwater with an Armor Layer of Accropode Using Swash Model[J]. Water, 2020,12(2):386.
- [16]Wang J, Cheng Y Z, Yang X H, et al. Experimental Study On Wave Dissipation of New Plate Breakwaters[J]. Journal of Ship Mechanics, 2015,19(1-2):86-94.
- [17]Yuan P Y, Zhao Y. Study On Wave Dissipation Performance of Cylindrical Frame Floating Breakwater[J]. Shipbuilding in China, 2022,63(5):197-205.
- [18]Qiu Y, Wu L, Liu S, et al. Impact-Protective Bicontinuous Hydrogel/Ultrahigh-Molecular Weight Polyethylene Fabric Composite with Multiscale Energy Dissipation Structures for Soft Body Armor[J]. Acs Applied Materials & Interfaces, 2023,15(7):10053-10063.
- [19]Huang F P, Gong G F, Yang C J, et al. Simulation and Experimental Study of Energy-Capturing and Wave-Dissipating Floating Breakwater with S Type Blade[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2021,55(05):866-874.
- [20]Majcher K, Musiał M, Pakos W, et al. Methods of Protecting Buildings Against Hpm Radiation—a Review of Materials Absorbing the Energy of Electromagnetic Waves[J]. Materials, 2020,13(23):5509.
- [21]Rahimi S A, Baradaran A, Khameneifar F, et al. Decide-Twin: A Framework for Ai-Enabled Digital Twins in Clinical Decision-Making[J]. Ieee Journal of Biomedical and Health Informatics, 2024.
- [22]Sun Y, Xu H, Gu P, et al. Application of Fbg Sensing Technology in Stability Analysis of Geogrid-Reinforced Slope[J]. Sensors, 2017,17(3):597.
- [23]Wenpei W, Yueping Y, Xiewen H U, et al. Effectiveness and Mechanical Characteristics of a Pile-Beam Composite Structure in Blocking Debris Flows[J]. Journal of Geomechanics, 2022,28(6).
- [24]Hong-In P, Takahashi A, Likitlersuang S. Engineering and Environmental Assessment of Soilbag-Based Slope Stabilisation for Sustainable Landslide Mitigation in Mountainous Area[J]. Journal of Environmental Management, 2024,359:120970.

未来的研究应着力构建涵盖“机理-技术-工程”的全链条创新体系,重点突破以下方向:

- 1.深化多物理场耦合机制研究,特别是要突破传统二维模型的局限,发展能够精确刻画滑坡体入水-波浪生成-传播-爬升全过程的三维耦合数值方法;

- 2.研发新型智能监测技术,将分布式光纤传感、InSAR遥感监测与声学多普勒技术深度融合,构建覆盖“滑坡源区-传播路径-岸坡响应”的全天候监测网络;

- 3.开发自适应防护结构体系,基于数字孪生技术实现消浪设施的动态优化,并探索形状记忆合金等智能材料在缓冲结构中的应用;

- 4.完善风险管理决策系统,通过 GIS 空间分析、机器学习预测和应急预案生成的有机融合,提升灾害响应的精准性和时效性。

这些研究方向的突破将推动库区滑坡涌浪减灾技术向智能化、精准化和系统化方向发展,为高坝大库的安全运行提供更加可靠的技术保障。后续研究应特别关注复杂环境条件下理论模型与工程实践的适配性验证,以及跨学科创新成果的工程转化应用,最终构建起科学完备的库区滑坡涌浪综合防控技术体系。

探究新能源项目进度管理中关键影响因素及应对之策

李红强

华电和祥工程咨询有限公司, 山西 太原 030072

DOI:10.61369/ETQM.2025060038

摘 要：在国家大力支持下，新能源事业发展迅速，但受到管理政策、经济社会、技术发展、资源环境等多重因素影响，在进度管理方面面临诸多难题。本文深入剖析新能源项目进度管理中的关键影响因素，包括项目规划、资源配置、技术与管理、外部环境等方面因素，探讨相应的应对策略，如优化项目规划、合理配置资源、提升技术与管理水平、应对外部环境变化等。研究表明，通过针对性措施可显著提升新能源项目进度管理水平，确保项目按时高质量完成，为新能源产业可持续发展提供支撑，同时在实践中还需持续改进进度管理方法以适应产业发展需求。

关 键 词： 新能源项目；进度管理；关键影响因素；应对策略

Exploring Key Influencing Factors and Countermeasures in the Progress Management of Renewable Energy Projects

Li Hongqiang

Huadian Hexiang Engineering Consulting Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030072

Abstract： With strong national support, the renewable energy industry has developed rapidly. However, due to multiple factors such as management policies, economic and social conditions, technological development, and resource environment, there are many challenges in progress management. This paper deeply analyzes the key influencing factors in the progress management of renewable energy projects, including project planning, resource allocation, technology and management, and external environment. It explores corresponding countermeasures, such as optimizing project planning, reasonably allocating resources, improving technology and management levels, and responding to changes in the external environment. Research shows that targeted measures can significantly improve the progress management level of renewable energy projects, ensuring that projects are completed on time and with high quality, providing support for the sustainable development of the renewable energy industry. At the same time, continuous improvement of progress management methods is needed in practice to meet the needs of industrial development.

Keywords： renewable energy projects; progress management; key influencing factors; countermeasures

引言

在国家大力支持下，新能源事业进入高速发展阶段，新能源工程项目数量也在不断增加。从现实角度来看，新能源项目实施与社会发展密切相关，加大新能源工程项目投资，推进新能源工程项目提质增效更有利于其社会性价值的发挥。然而，由于新能源项目具有技术复杂、投资规模大以及受外部环境影响显著等特点，在进度管理方面面临着诸多难题。深入剖析这些关键影响因素，并探寻切实可行的应对策略，对推动新能源产业健康、快速发展具有深远意义。

一、新能源项目进度管理的重要性

在全球能源转型的大背景下，新能源项目的成功落地是一个复杂的系统工程，先进的技术和充足的资金固然重要，但精准高效的进度管理更是其中的关键环节。有效的进度管理能够基于项目的整体目标，科学合理地规划项目各个阶段的工作流程^[1]。从项目筹备、建设施工到最后的竣工验收，清晰界定每个阶段的任务、时间节点以及责任人，使各项任务紧密有序地衔接。这能有

效避免因工期延误而产生的一系列额外成本，例如设备闲置会导致租赁费用的无谓增加，资金积压不仅造成利息损失，还可能错过最佳投资回报期^[2]。

按时完成新能源项目，对于能源市场意义重大。它能及时向市场输送清洁能源，满足社会日益增长的能源需求，缓解传统能源供应压力。从企业角度来看，这有助于提升企业在新能源领域的市场竞争力和行业声誉。在激烈的市场竞争中，按时交付项目的企业更能赢得客户信任，吸引更多的投资和合作机会。

合理的进度安排在资源配置和质量管控方面也发挥着关键作用。它能够根据项目不同阶段的需求，精准调配人力、物力和财力资源，提高资源利用效率，避免资源浪费^[3]。同时，合理的进度可以为项目建设过程中的质量管控提供充足的时间和资源保障，减少因赶工引发的质量隐患，从而为项目的长期稳定运行奠定坚实基础。

二、关键影响因素分析

（一）项目规划因素

项目前期勘察是项目规划的重要基础。若勘察工作缺乏深度和全面性，未能充分考虑项目所在地的地形地貌、地质条件、气候特征等自然因素，后续的设计方案将难以契合实际情况。在风电项目中，风资源的勘察数据对风机选型和布局起着决定性作用^[4]。如果风资源数据不准确，可能导致所选风机无法适应特定区域的风力特性，布局也无法实现风能的高效利用。在施工阶段，就不得不对设计进行大幅度调整，这不仅会导致施工周期延长，还会增加额外的设计变更成本和施工成本，严重影响项目进度。

此外，设计深度不足也是一个常见问题。设计图纸若存在错漏碰缺等问题，在施工过程中会引发频繁的设计变更。施工单位需要不断调整施工方案，施工人员也会因频繁变更而面临工作衔接困难，打乱原有的施工节奏，进而增加项目成本和时间损耗。

项目整体规划的系统性缺失同样不容忽视。新能源项目涉及多个专业领域，若各专业之间沟通不畅、协同不足，规划中就会出现诸多漏洞。以光伏项目为例，电气设计与土建施工规划若未能有效衔接，电缆敷设路径可能与基础施工发生冲突，导致施工过程中需要暂停作业，重新协调施工顺序，阻碍施工顺利进行^[5]。而且，若对项目建设过程中的潜在风险预估不足，缺乏完善的应急预案规划，一旦遇到突发状况，如极端天气、地质灾害等，项目进度将受到严重冲击，造成不可挽回的损失。

（二）资源配置因素

新能源行业近年来发展极为迅猛，然而专业人才的培养速度却远远跟不上行业发展的步伐，这使得项目建设过程中专业人才短缺问题日益突出。尤其是那些具备丰富新能源项目管理经验、熟练掌握先进技术的复合型人才，更是供不应求。在项目内部，人力资源调配不合理的现象普遍存在。在项目高峰期，关键岗位急需大量专业人员，但往往人员匮乏，而部分非关键岗位却存在人员闲置的情况，无法根据项目进度需求灵活调配人力资源，极大地降低了项目整体工作效率。

新能源项目所需物资和设备种类繁多，部分设备具有定制化特性，生产周期较长。在设备采购环节，如果对供应商的生产能力、信誉资质等考察不充分，或者采购合同条款不够严谨，就极易出现设备供应延迟的状况。物资管理不善同样会对施工进度产生负面影响，比如材料库存不足，导致施工过程中因缺料而停工；现场材料堆放杂乱无章，取用困难，浪费大量时间在寻找材料上^[6]。在大型新能源项目中，设备运输也是一个难题。像风电

项目中风机叶片的超长运输，常常会因道路条件限制、交通管制等因素受阻，一旦运输环节出现问题，施工现场就会面临停工待料的困境。

（三）技术与管理因素

新能源项目广泛应用新技术、新工艺，这对施工人员的技术水平提出了很高的要求。然而，目前施工人员对这些技术的掌握程度参差不齐。部分施工人员未接受系统培训，在新技术应用过程中容易出现操作失误，这不仅影响工程质量，还会导致施工进度受阻。而且不同施工队伍之间技术水平存在较大差异，这给项目的整体协调与管理增添了不少难度。

一些新能源项目缺乏完善的项目管理体系，进度监控与反馈机制不健全。项目管理人员难以实时、准确地掌握项目实际进度，难以及时察觉进度偏差，更无法及时采取有效纠正措施。各参与方之间信息传递不畅，沟通协调困难，容易出现工作重复或遗漏的情况，进而影响项目进度^[7]。例如，业主方与施工方之间关于设计变更的信息传递不及时，可能导致施工方继续按照原设计施工，最终造成返工，浪费大量时间和资源。此外，项目管理中的绩效考核制度不完善，对项目团队成员的激励不足，无法充分调动员工的工作积极性与责任心，也在一定程度上制约了项目进度。

（四）外部环境因素

新能源项目受政策法规影响深远。政府对新能源产业的补贴政策、环保要求、并网政策等的调整，都会对项目的建设成本、建设周期和运营模式产生重大影响。补贴政策的退坡可能导致项目资金紧张，项目方需要重新规划融资方案，这一过程耗时费力，进而影响项目进度。环保法规日益严格，项目在建设过程中可能需要增加环保设施投入，延长建设周期。

新能源市场需求受经济形势、技术进步等多种因素影响，波动较为频繁。市场需求的不确定性会使项目投资方对项目前景产生疑虑，从而放缓投资进度，导致项目资金无法及时到位。项目缺乏资金支持，很多工作无法正常开展，项目进度自然受到影响。

同时，不可抗力因素如自然灾害、公共卫生事件等，会直接中断项目施工。在项目施工期间遭遇暴雨、洪水等自然灾害，可能会损毁施工现场的设备和设施，致使施工被迫中断。公共卫生事件也可能导致施工人员无法正常到岗，原材料运输受阻，严重影响项目进度。

三、应对策略探讨

（一）优化项目规划

在项目前期，组织专业素质过硬的勘察团队，运用先进的勘察技术与设备，对项目所在地的自然条件展开全面、细致的勘察工作。确保获取的风资源、光照资源、地质条件等数据精准可靠，为后续设计提供坚实依据。提高设计单位的准入门槛，优先选择具备丰富新能源项目设计经验的单位承担设计任务^[8]。在设计过程中，强化设计评审流程，组织多专业领域的专家对设计方

案进行严格审核，及时排查并解决设计中存在的问题，提升设计图纸的质量与深度，最大程度减少施工阶段的设计变更。建立项目规划协调机制，在项目规划阶段，组织业主方、设计单位、施工单位、监理单位等各参与方进行充分沟通与协同作业。借助项目管理软件，制定详尽的项目整体规划，明确各专业、各阶段的工作任务、时间节点以及责任人^[9]。对项目建设过程中可能面临的风险进行全面识别与评估，制定针对性强的应急预案，并定期对应急预案进行演练与优化，确保在突发情况下能够迅速响应，降低对项目进度的影响。

（二）合理配置资源

加大对新能源专业人才的培养力度，鼓励高校和职业院校开设相关专业课程，并与企业建立联合培养机制，为新能源项目输送大量专业人才。企业内部应加强员工培训，定期组织技术培训和项目管理培训，提升员工的专业技能与综合素质。建立人力资源动态调配机制，依据项目进度需求，灵活调整人员岗位与工作任务，杜绝人力资源的闲置与浪费现象。制定合理的薪酬激励制度，充分激发员工的工作积极性与主动性。在设备采购环节，对供应商进行严格的资质审查与实地考察，筛选出生产能力强、信誉良好的供应商。签订详尽、严谨的采购合同，明确设备交付时间、质量标准、违约责任等关键条款。建立物资与设备库存管理系统，实时掌握库存动态，合理安排采购计划，确保物资和设备及时供应。加强与运输公司的深度合作，提前规划运输路线，办理相关运输手续，保障设备能够安全、准时运输至施工现场。同时，强化施工现场的物资管理，合理规划材料堆放区域，建立材料领用登记制度，提高物资使用效率。

（三）提升技术与管理水平

针对新能源项目中的新技术、新工艺，组织施工人员参加系统培训。邀请行业内技术专家进行现场授课与指导，通过实际操作演示，帮助施工人员熟练掌握施工技术要点。搭建施工技术交流平台，鼓励施工人员分享工作经验与技术心得，促进整体技术水平的提升。定期对施工人员进行技术考核，将考核结果与薪酬、晋升挂钩，激励施工人员不断提升自身技术能力。建立健全项目进度监控与反馈机制，运用项目管理软件实时跟踪项目进度，定期对比实际进度与计划进度，及时发现进度偏差并深入分

析原因^[10]。制定详细的进度偏差纠正措施，明确责任人和整改时间节点。加强项目信息管理，搭建信息共享平台，确保各参与方能够及时、准确地获取项目信息，提高沟通协调效率。完善项目绩效考核制度，将项目进度、质量、安全等关键指标纳入考核体系，对项目团队成员进行全面考核，依据考核结果实施奖惩，充分调动项目团队成员的工作积极性与责任心。

（四）应对外部环境变化

企业应设立专门的政策研究部门或岗位，密切关注国家和地方政府关于新能源产业的政策法规动态。及时解读政策法规，深入分析其对项目的影响，并制定相应的应对策略。加强与政府部门的沟通与协调，积极参与政策制定过程，反馈项目实施过程中遇到的问题，争取政策支持。在政策补贴退坡的情况下，通过优化项目设计、降低建设成本等手段，提升项目的盈利能力与抗风险能力。建立市场风险预警机制，通过对市场需求、原材料价格、技术发展趋势等因素的持续监测与分析，提前预判市场波动风险。制定应对市场波动的预案，如适时调整项目产品定位、优化营销策略等，降低市场波动对项目进度的影响。对于不可抗力因素，购买相应的保险，如工程一切险、第三者责任险等，转移部分风险。在项目建设过程中，强化风险管理，提高项目的抗灾能力，合理规划施工现场布局，加强临时设施的加固等措施，减少自然灾害对项目的破坏。

四、结论

新能源项目进度管理是一项复杂的系统工程，受项目规划、资源配置、技术与管理、外部环境等多方面因素综合影响。项目规划中前期勘察和设计深度不足、整体规划缺乏系统性；资源配置存在人才短缺与调配不合理、物资设备供应问题；技术与管理方面，施工技术参差不齐、管理体系不完善；外部环境受政策法规、市场波动和不可抗力影响。剖析这些因素，针对性采取优化规划、合理配置资源、提升技术管理水平、增强应对环境变化能力等策略，能提升进度管理水平，确保项目按时高质量完成，为产业可持续发展提供支撑。未来，在新能源项目实践中，需不断总结经验，持续改进进度管理方法，以适应产业快速发展的新需求。

参考文献

- [1] 李国辉. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(04): 16-18.
- [2] 马春松. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制研究 [J]. 城市开发, 2024, (13): 146-147.
- [3] 胡正军. 新能源基建工程项目进度管理及影响因素分析 [J]. 低碳世界, 2024, 14(08): 192-194. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2024.08.036.
- [4] 邹万里. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制 [J]. 自动化应用, 2023, 64(S2): 161-162+165.
- [5] 孔贵. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2019, (11): 135. DOI: 10.16141/j.cnki.1671-8089.2019.11.128.
- [6] 沈兴林. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制 [J]. 智能城市, 2018, 4(03): 74. DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2018.03.043.
- [7] 魏峰. 新能源项目进度管理探析 [J]. 市场周刊·理论版, 2017, 0(26): 274.
- [8] 王杰, 纳日松. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制 [C]// 建筑技术与理论研究论坛论文集. 2024: 1-4.
- [9] 钱志坚, 张留, 王兵, 等. 新能源光伏工程项目质量管理与项目进度控制 [J]. 工程建设与设计, 2023(20): 213-215. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.10.270.
- [10] 苑国辉. 新能源基建工程项目进度管理的影响因素分析 [J]. 中国科技投资, 2022(30): 139-141.

基于系统方法实施电子产品技术状态管理

任晓梅, 刘天娇, 蔡戡, 张腾飞, 翁丰壕

工业和信息化部电子第五研究所, 广东 广州 511370

DOI:10.61369/ETQM.2025060021

摘 要 : 技术状态管理是企业做好质量管理的关键一环, AS 9100D 标准中要求组织应策划、实施和控制一个适合于组织及其产品和服务的过程来进行技术状态管理, 以确保整个产品生命周期中的物理和功能特性的标识和控制。电子产品作为整机的最基本单元, 对整机的性能和质量起着重要的作用。本文在简要介绍技术状态管理要求的同时, 对基于系统方法加强电子产品技术状态管理过程做以简要分析。

关 键 词 : 系统方法; 技术状态管理; 电子产品

Implementing Configuration Management of Electronic Products Based on Systematic Method

Ren Xiaomei, Liu Tianjiao, Cai Jian, Zhang Tengfei, Weng Fenghao

CEPREI, Guangzhou, Guangdong 511370

Abstract : Technical status management is a key link for enterprises to do a good job in quality management. AS 9100D standard requires organizations to plan, implement and control a process suitable for organizations and their products and services to manage technical status, so as to ensure the identification and control of physical and functional characteristics in the whole product life cycle. As the most basic unit of the whole machine, electronic products play an important role in its performance and quality. This paper briefly introduces the requirements of technical state management, and briefly analyzes the process of strengthening technical state management of electronic products based on system method.

Keywords : systematic method; configuration management; electronic products

引言

AS 9100D《航空、航天与国防组织质量管理体系 要求》标准适用于提供航空、航天与国防组织的产品和服务的设计、开发以及提供售后服务的组织, 包括给自己的产品提供维护、备件或材料的组织^[1]。AS 9100D标准中要求组织应策划、实施和控制一个适合于组织及其产品和服务的过程来进行技术状态管理, 以确保整个产品生命周期中的物理和功能特性的标识和控制^[1]。电子产品作为整机的最基本单元, 对整机的性能和质量起着重要作用, 核心电子产品或关键零部件往往是整机系统重点关注之一, 因此做好电子产品的技术状态管理尤为重要。AS 9100D引用 ISO 10007《质量管理 技术状态管理指南》来支持技术状态管理。本文就基于 ISO 10007标准的基础上, 对基于系统方法加强电子产品技术状态管理过程做以简要分析。

一、基于 ISO 10007 的技术状态管理要求

(一) 技术状态管理的机构

企业须确定其技术状态管理的责任部门或个人, 只有职责明确才能够保证技术状态管理活动落到实处。企业在实施技术状态管理过程中, 会涉及到相关的人员、知识、基础设施、信息(数据)、成本等资源, 企业应确定并提供相关资源。对数字化、信息化手段(工具)在企业的应用情况, 企业应确定技术状态数据

管理要求并组织落实相关要求, 包含了对技术状态相关数据的识别、应用、运维直至寿命结束。

(二) 技术状态管理过程

技术状态管理分为策划、标识、更改控制、纪实、审核五方面内容和活动。其中, 纪实活动是贯穿于策划、标识、更改控制、审核这四项活动的始终。

1. 技术状态管理策划

技术状态管理策划是技术状态管理过程的基础^{[2][3]}。技术状态

作者简介: 任晓梅(1980—), 女, 汉族, 陕西咸阳人, 工业和信息化部电子第五研究所认证中心工程师, 主要从事质量管理技术研究、培训、评审和审核等工作。

管理计划是策划活动的输出。将技术状态管理计划贯穿于产品全生命周期,是优质且高效研制出符合客户要求产品的前提保障。

2. 技术状态标识

技术状态标识是以文件的形式,对已经批准的产品技术状态进行描述和说明。技术状态标识是更改控制、记实、审核的基础,为更改控制、记实和审核活动建立并保持确定的文件依据。因此把技术状态标识做好,才可能管好技术状态。技术状态标识包括产品结构或服务能力与技术状态项的选择、技术状态信息和技术状态基线,具体为:

(1) 产品结构或服务能力与技术状态项的选择

企业应建立产品结构,确定产品组成以及技术状态项在产品结构中的位置。按生产、试验、维修等需要,在不改变产品、子产品的功能性能、装配安装关系和数量的前提下可对设计定义的产品结构进行转换和补充。当涉及改变时应结合技术状态控制活动进行。技术状态项的选择及其相互关系应能描述产品结构或服务能力。

(2) 技术状态信息

技术状态信息包括定义和使用信息,技术状态信息(文件)一般分为功能技术状态文件、分配技术状态文件、产品技术状态文件。

(3) 技术状态基线

通常技术状态基线包括功能基线、分配基线和产品基线,三者之间的关系循序渐进,对技术状态项的要求进行描述。

3. 更改控制

在技术状态基线建立之后,对提出的技术状态更改、偏离许可和让步申请进行的论证、评价、协调和审批,并将已批准的更改赋予实施的活动是更改控制。

4. 技术状态记实

对已批准的技术状态文件、更改、偏离许可和让步,以及已批准更改的执行状况实施正式记录和报告的过程是技术状态记实。记实会伴随标识和控制从第一份技术状态文件的生效开始,直至产品的全生命周期结束。

5. 技术状态审核

为了确定技术状态项与其技术状态文件的一致程度而开展的正式检查是技术状态审核,是在项目建立产品基线之前实施的技术状态管理活动,其结果是建立和批准产品基线。

二、基于系统方法开展电子产品技术状态管理

技术状态管理活动贯穿在产品全生命周期内,对于电子产品研制企业,技术状态管理是技术管理的核心,是技术管理的完善和提高。基于系统方法的视角,企业实施电子产品技术状态管理应做好以下几点:领导对技术状态管理工作的高度重视;建立管理组织;制定并实施适合本企业实际的技术状态管理程序;开展对涉及技术状态管理人员的培训,从理论上加强对技术状态管理的学习、理解和研究;要及时总结技术状态实施过程中的经验和教训^[4]。另外,企业在整个技术状态管理活动开展过程中,基于信

息技术/系统的应用,提升技术状态管理活动及相关数据传递的准确性、及时性、有效性和效率,强化应用效果和提升工作效率是非常值得推荐的方法。

(一) 建立技术状态的管理组织

企业建立技术状态管理的组织并明确其职责权限,可帮助其管理的技術状态活动的有效实施和开展。这种技术状态管理组织可以是技术状态管理委员会。企业在实施技术状态管理活动的过程中按项目内容和复杂程度,论证更改的必要性、实施的可行性、对进度和成本的影响等,从而确保技术状态管理活动与其他活动协调一致。

(二) 建立技术状态的管理程序、标准化和数据化

1. 建立技术状态管理程序

企业按照技术状态管理标准的要求建立技术状态管理程序。规定管理实施的职责权限、组织结构和管理流程等。从技术管理和质量管理两个维度落实,将技术和质量管理的方法应用于电子产品设计、制造和使用的全生命周期中。

2. 建立技术状态管理标准化

企业在实施技术状态管理过程中,应考虑构建技术状态管理标准化。通过建立保证体系、加强设计控制、完善工艺控制、检验产品质量、定期组织培训、落实技术管理等活动,对产品研制情况进行准确分析,并完成对标准数据的记录与分析,使产品研制过程具有安全性,质量更加可靠。

在产品研制过程中,对技术状态进行管理并做好标准化研究,有利于技术状态管理存在问题的发现,有利于发现问题后采取相应的纠正措施,有利于保障产品质量与技术标准达标。通过对标准化管理方案的落实,能够最大程度发挥技术状态价值,使得产品制造成本降低,符合市场需求^[5]。

3. 建立技术状态管理数据化

随着复杂产品研发模式从基于文档的系统工程向基于模型的系统工程(MBSE)转变^[6],通过构建信息化系统确保MBSE模式下产品技术状态管理的有效实施,为国内电子元器件研制单位在实施技术状态管理时提供一种思路和方法^[7]。企业可以通过新一代信息技术的融合应用,构建适用于技术状态管理活动的信息化系统,通过应用信息技术手段,赋能管理提质增效,实现数据在线监测和协同管控,加速技术状态管理活动的管控优化,确保技术状态管理有效实施和落地。

(三) 组织技术状态管理培训

企业应结合ISO 10007标准及企业自身的管理制度文件等定期组织开展技术状态管理培训,结合日常工作中发生的案例,开展有针对性的培训和讲解,以使员工在技术状态管理方面的意识逐步加强,从而提升其履行职责的能力和行为规范,使技术状态管理行为满足标准和制度要求,增强组织相关制度的执行力。

(四) 实施技术状态管理

企业要从技术状态管理策划、技术状态标识、更改控制、技术状态记实、技术状态审核五个方面着手实施,可通过执行技术管理制度、生产管理制度、不合格品管理、质量评审、技术文件归档、工程更改等管理方法来实施技术状态管理。实施内容应符

合技术状态管理计划的要求。

1. 技术状态管理策划

企业开展技术状态管理策划活动，制定技术状态管理计划，在产品全生命周期中贯彻，是高效且优质的研制出符合用户要求产品的保证，企业可参照 ISO 10007 标准附录 A 制定技术状态管理计划，在产品寿命周期实施技术状态管理，尤其应关注控制要求。

2. 技术状态标识

企业在方案阶段通过对项目进行工作分解来确定技术状态项，建立技术状态项清单。确定每个技术状态项处在不同阶段时所需技术状态文件的名称、编号、内容和责任主体等，整理并制定技术状态文件清单，开展技术状态管理。

技术状态基线（功能基线、分配基线和产品基线）建立的同时伴随着功能技术状态文件、分配技术状态文件、产品技术状态文件这三种文件的形成，三种文件应伴随电子产品生命周期不同阶段递进及研制过程深化而开展编制、批准及保持，并在文件的内容上逐级细化和完备。

企业应关注基线内容与所覆盖范围是否合适。对电子产品来讲，应重点关注产品基线的控制。产品技术状态文件通常包括产品图样、产品规范、工艺规范、材料规范及其它技术文件。

3. 更改控制

对于电子产品来讲，从方案阶段到批产阶段是实施技术状态管理的主要活动过程。可以通过执行电子产品的研制、定型、图样及设计文档管理要求等活动开展。设计更改和器材代用等是技术状态管理的核心部分。涉及到设计、制造等部门及供方、用户等多个相关方，企业应予以重视。可在项目执行初期从整体层面进行顶层策划和分析，制定每项更改的验证试验项目，通过试验验证的方式验证其可行性。

技术状态更改在设计定型之前发生一般按设计更改程序执行，在设计定型之后（各类技术状态文件已确认）发生则按技术状态更改程序执行。更改控制是确保产品更改到位的关键环节，企业应加强产品研制过程中对过程信息和数据的要求（如更改产品的原始测试检验数据、技术状态更改申请单、技术状态更改验证试验报告、更改通知单等），加强过程闭环控制的有效性，保证产品更改的落实。技术状态更改在执行中主要表现为更改申请单和更改通知单。各阶段基线文件的技术状态更改可由不同部门办理。

4. 技术状态记录

企业应及时做好技术状态的记录、报告、归档和维护工作。记录可以为技术状态进展过程的有效管理提供追溯，要记录技术

状态管理活动中的事项及产生的数据，可通过信息技术 / 系统的应用提升过程有效性和效率，突破部门间的信息壁垒，提升数据的一致性和共享程度，实现对过程的有效控制。

技术状态项各阶段记实文件和资料包括方案论证文件、功能基线文件、分配基线文件、产品基线文件、生产阶段文件、使用阶段文件，各阶段文件的更改 / 偏离许可 / 让步的控制文件等。如：设计纪实文件包括图样、技术文件、设计报告等，实物纪实文件包括更改记录、关键件跟踪记录卡、超差 / 代用记录、产品质量证明文件等，收集、识别、分类、发放、使用、保管及检索这类文件是技术状态记实开展的主要活动。

5. 技术状态审核

通常技术状态审核是结合产品的定型试验、设计定型资料审查以及设计定型审查进行。审核产品的图纸、规范、技术数据、已发放技术文件和反映已制造、已编码标识技术状态的质量控制记录等。企业也可在内部依照内部质量审核的要求开展项目技术状态审核，对过程执行进行监控，分析过程中的不足，开展持续改进，实现过程结果。

（五）总结经验教训并及时改进

企业应定期分析、研究并归纳在电子产品技术状态管理的监督检查及企业内 / 外部评审等活动中发现的问题和不足，总结经验教训，对问题进行改善，同时举一反三检查是否存在薄弱环节一并改善。企业通过总结已实施项目的经验和教训，将产品技术状态管理方法应用到类似的项目上，可以大大地提高产品研发及工程研制的质量和效率^[8]。

三、结束语

全寿命周期的技术状态管理是一种基于系统工程方法的工程管理控制技术，是需要企业内部各相关部门按职责分别进行的多项活动的总和，技术状态管理为提高产品研制全过程有效性的重要措施，需要基于技术状态管理特点以及内容，针对产品研制实际要求与特点，确定管理方式方法，通过各阶段的管理，来提高产品研制综合效率^[9]。企业将技术状态管理的思想和方法应用于电子产品产品的研制、生产和使用的全寿命周期中，通过技术状态管理，不但能保证产品状态的可追溯性和实物产品的质量稳定性，而且对型号产品的系列化发展和可靠性寿命增长有特别重要的作用^[10]，对电子产品研制企业的整体质量管理水平的提升也有重要作用。

参考文献

- [1] AS 9100D: 2016. Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space, and Defense Organizations[S]. 2016.
- [2] ISO 10007: 2017. Quality management – Guidelines for configuration management[S]. 2017.
- [3] GB/T 19017-2020《质量管理 技术状态管理指南》[S]. 2020.
- [4] 李军. 浅谈如何正确实施技术状态管理[J]. 低温与超导, 2011(04): 78-82.
- [5] 康毅、高山、纪新春、康勇、赵梦莹、高敏. 技术状态管理与标准化研究[J]. 中国设备工程, 2023(01): 40-42.
- [6] 韩皓睿、申雪儿、许瑞. 面向复杂产品研制的数字化技术状态管理系统[J]. 智能制造, 2022(04): 66-71.
- [7] 雷宇、李明、舒美. 电子元器件技术状态管理信息化探讨[J]. 信息技术与标准化, 2022(08): 83-87.
- [8] 辛浩、王俊江. 产品技术状态管理与工程实践[J]. 电子质量, 2024(08): 92-96.
- [9] 王金华. 产品研制过程中的技术状态管理与标准化探讨[J]. 军民两用技术与产品, 2018(02): 198.
- [10] 田凤欣. 浅谈航空产品型号研制生产中的技术状态管理[J]. 航空标准化与质量, 2014(04): 22-25.

基于配水管网漏损管控的 DMA 技术及泵阀联合调控的压力优化研究

林仁焕

浙江耐磨达科技有限公司, 浙江 丽水 323000

DOI:10.61369/ETQM.2025060010

摘要：城市管网是城市基础设施的重要组成部分，其运行效率直接影响着城市用水安全与资源高效利用。近年来，随着城市规模的不断扩大，用水量越来越大，与此同时，老管线老化也越来越严重，导致管网渗漏问题越来越严重。在我国，每年由于管网渗漏造成的损失高达数亿吨，不仅浪费了大量的水资源，而且对生态环境也产生了不利的影响。本研究从分区、减压阀优化布局、泵站阀联合联调等三个方面对管网压力分布进行优化，降低漏损程度。

关键词：供水管网；压力调控；漏损管理；DMA 分区；泵阀调控

Research on Pressure Optimization Based on DMA Technology and Combined Control of Pump and Valve for Water Distribution Network Leakage Control

Lin Renhuan

Zhejiang Lamad Technology Co., Ltd. Lishui, Zhejiang 323000

Abstract : Urban pipe network is an important part of urban infrastructure, and its operation efficiency directly affects urban water safety and efficient utilization of resources. In recent years, with the continuous expansion of the size of the city, more and more water consumption, at the same time, the aging of the old pipe line is becoming more and more serious, resulting in more and more serious leakage of the pipe network. In our country, every year the loss caused by pipe network leakage is up to hundreds of millions of tons, which not only wastes a lot of water resources, but also has an adverse effect on the ecological environment. In this study, the pressure distribution of pipe network is optimized from three aspects, such as zoning, optimal layout of pressure reducing valve, and valve joint adjustment in pumping station, so as to reduce the leakage degree.

Keywords : water supply network; pressure regulation; leakage management; DMA partition; pump valve control

水是生命的源泉，对人类社会的生存与发展起着至关重要的作用。然而，随着我国城市化进程的加快，城市给水管网规模不断扩大，管网漏损问题日益突出。根据有关资料，我国不少城市供水管网的漏损率为 15%~30%，个别地区甚至更高。这不仅浪费了大量的水资源，而且增加了供水公司的运行成本，影响到供水系统的稳定可靠运行。管网的漏损不仅造成了水资源的浪费，而且使有限的水资源得不到有效利用^[1]。大量的水在运输过程中被白白浪费掉了，这对缺水地区来说更是雪上加霜。

管网的漏损增加了供水公司的运行成本。为弥补因漏损而造成的损失，供水公司必须加大对水资源的开发、处理和运输的投入。这不仅增加了企业生产成本，同时也增加了水价，增加了居民、企业的经济负担。在管网泄漏控制中采用 DMA 技术和泵-阀联合调控压力优化是有实际意义的。深入研究与应用，可有效降低管网漏损率，提高水资源利用率，保证供水安全与稳定，为城市可持续发展提供强有力的支撑。

一、DMA 技术概述

独立计量区 (District Metering Area) 技术是指将供水管网划分成多个相对独立的计量区域，对各个区域的水量、压力等参数进行实时监测和精确分析，从而实现对管网漏损的有效控制。其核心是通过分区计量，打破了传统管网的粗放式管理方式，把

整个管网细化成一个个独立的小单位，以便更准确地把握各个区域的供水状况。DMA 技术工作原理图如下所示：

在实际应用中，DMA

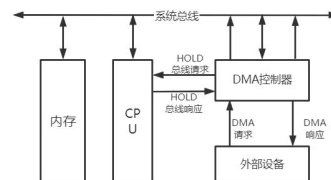


图1 DMA 技术工作原理图

技术需要一系列先进的设备和系统来实现。在每一个 DMA 区域的出口处，都安装了高精度流量计、压力传感器，就像是管网中的“神经末梢”，能实时感应到水流量、压强的变化，并将数据反馈给监控中心^[2]。通过分析这些数据，管理者能清楚地知道各个地区的用水状况，当发现某个地区的水量或压力出现不正常的波动时，可以快速判断出该地区可能存在的漏损问题。

二、基于配水管网漏损管控的 DMA 技术与泵阀联合调控的协同应用

(一) 基于 DMA 分区的泵阀调控模式

采用 DMA 分区泵—阀调节方式，以 DMA 分区为基本单位，根据各分区实时用水需求及压力状态，对泵阀进行精细调节。

对于商业区等用水需求波动较大的区域，白天营业高峰时段用水需求明显增加，这个时候，利用泵阀联合调节系统可以自动启动更多的水泵或者提高水泵的转速，同时适当地打开有关阀门的开度，保证这一区域的用水充足，满足商业用水需要。而到了晚上，用水的需求量就会大幅度降低，系统就会相应减少水泵的台数或者降低水泵的转速，同时把阀门开度关小，防止过量供水造成的压力过大，降低漏损的风险。

在地形起伏较大的地区，因各部位水压需求差异较大，需根据地形特点对泵、阀进行有针对性的调节。在低洼地区，为了避免因水压过大而引起的管道断裂、渗漏，可采用调整阀门大小，适当增大水流阻力，减小水压；对于地势较高的地区，为了保证用户的正常用水，需加大水泵扬程或加大水泵运转功率来提高水压。

在实际应用过程中，根据区域历史用水量及实时监测数据，构建了用水量预测模型。在精确预测各分区用水需求的基础上，提前调整泵阀操作参数，实现更精确的供水控制^[3]。采用时间序列分析和机器学习等方法，分析 DMA 地区过去一周、一个月甚至一年的用水数据，并与当日天气状况、节假日等因素相结合，对次日各个时段的用水需求进行预测。根据预报结果，提前启动备用泵或调节阀门开度，保证供水稳定可靠。

(二) 信息交互与联动控制

在信息交互方面，建立统一的信息管理平台，可以对区域内的流量、压力、水质等数据进行实时采集与整合，同时还可以对泵阀的工作状态、故障等信息进行实时采集与整合。将分布于管网各处的传感器和控制器与信息管理平台相连，以保证数据的快速准确传输。安装在 DMA 区域出口处的流量计及压力传感器，通过无线传输模块，实时监测流量、压力等数据，并将其传送到信息管理平台。同时，泵阀智能控制器还能将泵的转速、阀开度等工作参数传送到平台上进行汇总。信息管理平台采用大数据分析

建立了管网运行数据模型，对管网运行状态进行了实时评价与预测。通过实时分析 DMA 区域内的流量、压力数据，判断有无泄漏。如果发现某一区域的流量出现异常增长，但压力却相应降低，并且超出正常范围时，平台就会发出泄漏报警，从而确定可能的泄漏点。

在联动控制方面，根据分析结果，制定出一套科学、合理的控制策略；当信息管理平台检测到某一 DMA 区域内压力过大时，自动向泵阀联合调节系统发出命令，使水泵转速降低或泵的运行的台数减少，同时关闭有关阀门的开度，从而降低这一区域的管网压力。反之，若发现水压过低，则自动采取反向动作，加大水压。当 DMA 区域因突发性用水需求增加而出现压力骤降时，信息管理平台会快速将这些信息传送到泵阀联合调节系统中。系统收到指令后，立即启动备用水泵，调节有关阀门开度，提高供水范围，使压力恢复正常。为保证联动控制的实时性、准确性，设计了多个反馈机制，以保证联动控制的有效性。泵阀联动调节系统收到信息管理平台发出的指令后，再向平台反馈执行结果。平台实时监控与评估实施效果，若发现调控效果不能达到预期目标，则再次发出指令，直至管网压力与流量稳定。

三、泵阀联合调控压力优化的实例研究

(一) 管网概况与存在问题

该实际管网位于一个老旧城区，建成时间比较早，管网覆盖面积约5平方公里，服务人口超过10万。由于使用年限较长，有些管道由于使用年限较长，出现了腐蚀和结垢现象。

在压力方面，城市供水管网存在很多问题。管网压力分布不均匀现象较为突出。一些地区，特别是地势较高的地区，水压低，居民用水高峰时，经常会出现水量减少或无水的现象，对居民日常生活造成了很大的影响。据统计，这些地区在用水高峰时，平均水压不到0.1 MPa，与国家标准0.14 MPa相差甚远。在低洼地，水压过高，长时间处于0.4 MPa以上，远远超过设计压力。这不仅增加了管线的漏损风险，而且极易引起爆管事故。近几年来，该地区发生过5起因水压过高而爆管事故，不仅浪费了大量水资源，还给周边居民生活、交通造成了很大的不便。

通过对管网压力长期监测与分析，得出了管网压力波动较大的结论。用水高峰、低谷时，压力波动范围大于0.2 MPa。这种巨大的压力脉动，使其长期处于交变应力环境中，加速其老化与损伤，进而增加泄漏的可能性。

(二) 调控方案的设计与实施

在设计方案时，充分考虑了管网的实际状况、用水需求和今后的发展规划，以保证项目的科学、可行、有效。具体如下表所示：

表1 调控方案的设计与实施表格

方案环节	主要内容
设计方案	考虑管网现状、用水需求及发展规划，确保科学、可行、有效
关键节点设备安装	区域交界、地形起伏大、用水大户处安装压力传感器及智能阀
压力监测与控制	传感器实时监测压力，智能阀根据监控指令调整开度
水泵改造	采用变频调速水泵，提高运行效率，降低能耗
优化运行策略	通过数学模型分析水泵最优组合，合理安排运行

智能控制系统	计算机+通信+自动控制, 远程监控、自动调节、故障报警
野外调查与数据收集	收集管网布置、管径、阀门等信息, 分析用水需求
施工管理	施工计划制定、严格管理、保障施工质量
社区协调	提前沟通影响, 减少施工对居民和交通的干扰
系统测试与优化	模拟不同工况, 调整控制策略, 确保稳定运行
试运行与评估	运行监测, 优化方案, 提升调控效果

在管网关键节点, 如区域交界、地形起伏大、用水量大的区域, 设置压力传感器和智能阀门, 实现对管网压力的实时监控和智能调控。当用户用水量突增, 周边水压降低时, 智能阀门能迅速调节开度, 保证供水平稳。采用变频调速技术对管网泵进行变频调速, 根据压力的变化自动调整转速, 减少低谷时的能源消耗, 高峰时提高供水量。利用数学模型对水泵组合方案进行优化, 在保证供水需求的前提下降低能耗^[4]。该智能控制系统集计算机、通信和自动化技术于一体, 能对管网进行远程监测和自动调整, 并具有故障报警等功能, 便于管理者了解管网的运行情况。

在实施过程中, 对管网的布置、管径、阀门等进行了全面的收集, 对各个地区的用水需求进行了分析, 制定了详细的施工方案。严格按照规范要求, 加强施工管理, 保证压力变送器、智能阀门和水泵改造质量。同时, 要加强与当地居民及有关部门的沟通, 尽量降低施工对生活及交通的影响。系统安装调试完成后, 通过模拟不同工况对控制策略进行反复优化, 保证了系统的精确稳定运行。通过试验与评价, 进一步对方案进行优化, 提高管网压力调控效果, 达到高效稳定供水管理的目的。

（三）压力数据的监测与分析

在调节方案实施前、后, 连续监测了管网关键节点处的压力数据。利用压力传感器对管网压力进行实时监测, 可以直观地反映管网压力的变化。

调节前管网压力分布表现出明显的非均衡性。高海拔地区长期处于低压状态, 如 A 区, 用水高峰时段压力只能维持在 0.08–0.12 MPa, 远远低于正常供水标准, 导致该地区居民在用水高峰时段常面临水量小甚至无水的窘境。低层区域 B 段压力过大, 长期稳定在 0.45–0.5 MPa 左右, 远远超过了管线的安全承受极限, 导致管道破裂、泄漏等风险大大增加。采用泵阀联合调节方案, 使管网压力分布得到明显改善。在用水高峰时段, 智能控制系统可自动调整水泵转速及阀门开度, 使地势较高地区的压力得以有效提升。A 区压力稳定在 0.15–0.18 MPa 范围内, 可满足日常生活用水需要。同时, 对低区压力进行合理控制, B 区压力控制在 0.3–0.35 MPa 范围内, 既能保证供水稳定, 又能降低因高压引起的爆管、泄漏等问题。

从压力脉动情况看, 调节前管网压力波动较大, 高峰与低谷

之间波动幅度大于 0.2 MPa; 压力脉动不仅会破坏管道的结构完整性, 加速其老化与磨损, 而且会增加漏损概率。该智能控制系统可根据实际用水需求, 对泵阀操作参数进行准确调整, 从而有效地抑制管网压力波动。结果表明, 管网压力变化范围小于 0.05–0.1 MPa, 管网运行稳定可靠。通过对调节前后的压力数据进行详细分析, 可以看出泵–阀联合调节对管网压力分布的优化和压力的稳定具有明显的效果。

（四）漏损率的变化评估

漏损率作为衡量管网运行效率及漏损控制效果的重要指标, 在实际应用中具有重要意义。为准确评价泵阀联合调节对管网漏损的影响, 本研究通过对管网运行前后管网漏损状况的全面监测与统计, 以准确评价泵阀联合调节对管网漏损的影响。在实施调控之前, 通过对受水区水量的监测与分析, 得出管网漏损率高达 18%。由于管网渗漏造成大量水资源浪费, 给供水公司带来巨大的经济损失和运行成本。

经常、阀联合调节运行一段时间后, 再计算管网漏损率。结果表明, 该装置的漏损率明显降低到约 10%。该数据的大幅下降充分说明, 通过对管网的调节, 减少管网漏损是行之有效的。在此基础上, 进一步分析了造成漏损率下降的主要原因, 认为泵、阀联合调节是管网压力优化的结果。在调节前, 管网压力过高使管线受到较大应力, 易造成管线断裂、接口松动, 造成漏损。经过调整后, 合理的压力控制使管线承受的压力在安全范围之内, 降低了因高压引起的泄漏^[5]。在部分老管线集中地区, 调整前因压力过大, 常发生管道爆裂、漏水现象, 平均每个月 3–4 次。但在实施调控后, 这一状况明显好转, 每个月只有 1 起。调整方案采用 DMA 技术, 及时发现并修补漏损部位, 在降低漏损率方面发挥了重要作用。DMA 区域实时监控系统能迅速发现流量、压力的异常变化, 一旦发现有漏损征兆, 可快速定位漏损点, 安排检修人员及时抢修, 有效防止漏损扩大。

四、结语

展望未来, 随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断进步, DMA 系统将进一步向智能化方向发展。引入先进传感技术, 实现管网运行数据的实时、全面采集, 并结合大数据分析机器学习算法, 实现管网漏损预测与预警。在泵阀联合调节压力优化方面, 未来还需对不同工况下泵阀优化调控策略进行深入研究。针对气候变化、城市发展及用水习惯变化对管网用水需求的影响, 构建更为完善的管网用水模型, 实现泵送阀的实时精确调控。与太阳能、风能等新能源技术相结合, 为水泵阀的运行提供更清洁可持续的能量支撑, 减少水系统能耗及碳排放。

参考文献

[1] 郭天鸣. DMA 技术在管网漏损中的应用研究 [J]. 建筑与预算, 2024, (06): 10–12.
[2] 杨伟超, 吴永强, 李轩, 等. 基于 FCM 算法的 DMA 分区技术在城市供水管网管理中的应用 [J]. 河北建筑工程学院学报, 2024, 42(02): 154–158+217.
[3] 吴加强, 潘虹, 郑源, 等. 基于 SSA 的抽水蓄能电站技术供水系统泵阀优化调度研究 [J]. 水电能源科学, 2024, 42(03): 191–194+48.
[4] 陈欣. 基于 NB-IOT 和 DMA 技术相结合的市政管网漏损控制分析 [J]. 四川水泥, 2021, (12): 46–47.
[5] 王浩骅, 管光华, 饶柏京, 等. 长距离输水管渠结合系统闸阀联合调控方式研究 [J]. 节水灌溉, 2021, (05): 79–85.

电能分析在企业节能降耗中的应用与效益评估

吕国昭, 杨卓, 张雪

国网武汉市经开区(汉南区)供电公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ETQM.2025060013

摘要： 随着电能分析在企业节能降耗中的应用, 本文研究电能分析在企业节能降耗方面的应用和效益评估。开头介绍研究背景和意义, 说明电能分析和节能降耗很重要。接着阐述相关理论基础, 从生产、照明与空调、能源管理系统等方面说明电能分析的应用。还提出搭建平台、建立制度等实施办法。通过多维度效益评估, 证明电能分析能给企业带来经济效益、环境效益和社会效益。

关键词： 电能分析; 企业节能降耗; 效益评估

Application and Benefit Evaluation of Electric Energy Analysis in Energy Saving and Consumption Reduction of Enterprises

Lv Guozhao, Yang Zhuo, Zhang Xue

State Grid Wuhan Economic and Technological Development Zone (Hannan District) Power Supply Company,
Wuhan, Hubei 43000

Abstract： With the application of electric energy analysis in energy saving and consumption reduction of enterprises, this paper studies the application and benefit evaluation of electric energy analysis in energy saving consumption reduction of enterprises. It begins with the introduction of research background and significance, and explains the importance of electric energy analysis and energy saving. Followed by expounding the relevant theoretical, it explains the application of electric energy analysis from the aspects of production, lighting and air conditioning, and energy management system. It also proposes the implementation measures such as building platform establishing system. Through multi-dimensional benefit evaluation, it proves that electric energy analysis can bring economic benefits, environmental benefits and social benefits to enterprises.

Keywords： electric energy analysis; energy saving and consumption reduction of enterprises; benefit evaluation

引言

全球都在倡导节能减排, 企业面临能源成本上升和严格环保要求的压力。电能是企业生产运营中最主要的能源消耗类型, 对其进行科学分析, 是企业实现节能降耗的关键。一方面, 通过电能分析, 企业能找到高耗能环节, 采取节能措施, 降低成本, 提高竞争力。另一方面, 节能降耗也是企业履行社会责任, 响应国家可持续发展战略的体现。目前, 一些企业虽意识到节能的重要性, 但在电能分析应用上存在不足。因此, 研究电能分析在企业节能降耗中的应用, 有重要的现实意义。

一、电能分析与企业节能降耗理论基础

(一) 电能分析相关理论

1. 电能质量分析

电能质量是衡量电能好坏的重要指标, 包括电压偏差、谐波、三相不平衡等参数。电能质量出现问题, 会影响设备运行, 缩短设备寿命, 增加能耗。比如, 电压偏差过大, 可能导致电机转速不稳定, 增加电能消耗。通过实时监测和分析电能质量, 企

业能及时发现并解决问题, 保证设备高效运行, 降低因电能质量问题产生的额外能耗^[1]。

2. 电力负荷分析

电力负荷分析主要研究企业用电负荷的变化规律, 包括负荷曲线、峰谷差等。通过分析负荷曲线, 企业能了解不同时段的用电需求, 合理安排生产计划, 避开用电高峰, 降低高峰时段的用电成本。减小峰谷差, 还能提高电力系统稳定性, 降低电网损耗, 实现节能目标。

作者简介: 吕国昭(1994.11-), 男, 汉族, 湖北省武汉市人, 大学本科, 职称: 中级职称, 研究方向: 电力营销。

3. 电能消耗结构分析

电能消耗结构分析能明确企业内部各部门、各设备的电能消耗占比。通过分析,企业能找到主要耗能设备和部门,为节能改造提供方向。例如,制造业企业中,生产设备通常是主要耗能设备,分析其电能消耗,可针对性地进行设备升级或优化运行,实现节能降耗^[2]。

(二) 企业节能降耗理论

1. 能源效率理论

能源效率理论强调在生产过程中,用最少的能源投入获得最大产出。通过提高能源利用效率,企业能降低单位产品的能耗,实现节能目标。比如,采用先进生产技术和设备,优化生产工艺,减少能源在转换和传输过程中的损失,提高能源效率。

2. 节能管理理论

节能管理理论侧重通过科学管理方法和制度,实现企业节能目标。这包括建立完善的能源管理体系,制定合理的节能计划和目标,加强对能源消耗的监测和考核等。通过有效节能管理,企业能将节能措施落实到各个环节,提高员工节能意识,确保节能目标实现。

二、电能分析在企业节能降耗中的应用

(一) 电能分析在生产环节的应用

1. 优化生产设备运行

生产设备是企业电能消耗的主要部分,对其进行电能分析很重要。企业借助传感器,能实时监测设备的电流、电压、转速等参数,了解设备运行状态。以电机为例,电机运行时若电流异常波动、转速偏离额定值,可能是电机内部故障或运行效率降低。监测到电机运行效率低,企业可通过专业设备调整电机的频率、电压等运行参数,优化电机工作曲线,提高运行效率。若设备存在硬件问题,需及时维修,更换磨损部件。此外,部署智能控制系统,根据生产现场实际需求,实时调节设备运行功率。生产任务较轻时,降低设备输出功率,避免能源浪费,实现节能目标^[3]。

2. 调整生产工艺流程

电能分析为优化生产工艺流程提供方向。企业用专业数据分析工具,分析生产过程中各环节的电能消耗。以化工企业为例,研究反应过程的电能数据,发现反应时间过长、反应条件不合理会大幅增加能耗。企业可据此调整反应温度、压力等条件,缩短反应时长,降低电能消耗。同时,借助生产调度软件,合理规划生产顺序,根据设备产能和订单优先级安排生产。避免设备无任务时空转,或因生产安排不当导致设备闲置,提高生产效率,降低企业电能消耗。

(二) 电能分析在照明与空调系统中的应用

1. 照明系统节能改造

照明系统在企业电能消耗中占一定比例,对其进行电能分析后开展节能改造很有必要。企业用功率分析仪等设备,评估现有照明设备的能耗水平。传统白炽灯和荧光灯发光效率低,电能大

量转化为热能,造成能源浪费。将其更换为LED灯,LED灯发光效率高,相比传统灯具可节省约70%的电能,且使用寿命更长,能降低灯具更换成本。此外,安装智能照明控制系统,系统通过光传感器感知自然光线强度,结合人员活动探测器,自然光线充足时,自动降低照明亮度;无人区域自动关闭照明设备,实现节能,降低企业运营成本^[4]。

2. 空调系统优化运行

空调系统是企业的耗能大户,对其进行电能分析和优化运行很紧迫。企业借助能耗监测设备,了解空调系统的运行效率。实际使用中,不合理的温度和湿度设置,会使空调长时间高负荷运转,增加能耗。企业可根据不同季节、不同区域,合理设定空调的温度和湿度。夏季将室内温度设定在26℃左右,冬季设定在20℃左右。同时,安装空调智能控制系统,系统通过监测室内外温度、人员密度等因素,自动调节空调运行功率。人员稀少区域,降低空调制冷或制热功率,提高空调系统的能效比,降低能耗。

(三) 电能分析在能源管理系统中的应用

1. 实时监测与预警

能源管理系统通过在企业各个用电节点部署智能电表和传感器,实时监测电能消耗,快速采集、分析和处理电能数据。系统监测到电能消耗异常,如某设备电能消耗突然大幅增加,或功率因数严重偏离正常范围,会立即发出预警信号。同时,利用故障诊断算法,定位故障点,为维修人员提供设备型号、故障类型等信息。维修人员根据这些信息,提前准备维修工具和配件,快速处理故障,减少故障处理时间,避免设备故障持续运行造成额外能耗^[5]。

2. 决策支持

电能分析数据为企业能源管理决策提供支持。企业用数据挖掘和统计分析方法,分析历史电能数据,结合生产计划、季节变化等因素,预测未来电能需求。比如,夏季用电高峰期来临前,提前预测企业用电负荷,制定合理的能源采购计划,与供应商协商争取更优惠的电价。同时,评估已实施节能项目的效益,对比项目实施前后的电能消耗和成本支出,为企业后续节能投资决策提供依据,帮助企业合理配置资源,降低能源成本。

三、电能分析助力企业节能降耗的实施路径

(一) 搭建电能分析平台

1. 平台架构设计

搭建电能分析平台,合理的架构设计是保证平台稳定运行和扩展的关键。平台架构采用分层设计,包括数据采集层、数据传输层、数据存储层和应用层。数据采集层部署在企业各个用电节点,用智能采集设备收集实时电能数据。数据传输层用MQTT、HTTP等协议,确保数据高效、安全地传输到数据存储层。数据存储层用InfluxDB等时序数据库,满足海量电能数据的存储和管理需求。应用层通过可视化工具,为用户提供直观的数据分析和展示服务。分层设计提高了系统可靠性,便于各层独立升级和扩

展，保证数据的采集、传输和分析^[6]。

2. 数据采集与处理

数据采集是电能分析平台的基础。企业要在各类用电设备和关键环节安装智能电表、传感器等设备，建立全面的数据采集网络，实现对电能数据的实时监测。采集到的数据通常包含噪声和异常值，需要预处理。通过数据清洗，去除重复和错误数据；用去噪算法提高数据质量；用归一化技术统一数据格式。此外，引入数据挖掘和机器学习算法，深度分析电能数据。通过聚类分析，识别用电模式；用预测模型预测电能消耗趋势，挖掘数据价值，为节能决策提供支持。

（二）建立电能分析制度

1. 数据监测与报告机制

建立数据监测与报告机制，对及时采集和准确报告电能数据很重要。企业应制定详细的数据采集计划，明确采集时间间隔、数据类型和采集方法。比如，对重点设备实时采集，对一般设备按小时或日采集。同时，搭建自动化数据监测系统，实时跟踪数据质量。定期生成电能分析报告，报告内容包括企业电能消耗情况、节能措施实施效果等，用直观的图表和数据向管理层汇报。这些报告为决策提供数据支持，帮助企业优化能源管理策略，降低能耗^[7]。

2. 节能责任与考核制度

明确各部门和员工在节能降耗中的责任，建立节能责任与考核制度。将节能目标细化到各个部门和岗位，与员工绩效挂钩，提高员工节能积极性。比如，生产部门负责优化生产流程，降低单位产品能耗；后勤部门管理办公区域用电设备，减少不必要的能源浪费。通过定期考核，对节能工作表现突出的部门和个人进行表彰和奖励。对未完成节能目标的部门和个人问责，分析原因并制定改进措施。这一制度推动企业节能工作开展。

（三）开展节能培训与宣传

1. 员工节能培训

员工是企业节能降耗的主体，开展员工节能培训，对提高员工节能意识和技能很重要。培训内容包括电能分析知识、节能技术和设备应用、节能管理制度等。通过理论讲解和实际案例分析，让员工了解企业节能目标和任务。比如，介绍智能电表使用方法，让员工了解实时能耗；讲解节能设备操作技巧，提高能源利用效率。培训方式采用线上线下结合，方便员工参与。通过培训，员工能掌握节能方法和技巧，自觉参与节能降耗工作。

2. 节能文化建设

营造良好的节能文化氛围，让节能成为企业的价值观念和行为规范。通过张贴节能标语、举办节能知识竞赛等宣传活动，提高员工节能意识。比如，在办公区域张贴节能标语，提醒员工节约用电；组织节能知识竞赛，激发员工学习热情。同时，树立节能典型，宣传先进经验，发挥榜样示范作用。通过这些措施，形成全员参与的节能文化。

四、电能分析在企业节能降耗中的效益评估

（一）经济效益评估

1. 节能成本节约计算

通过电能分析和落实节能措施，企业在节能成本节约方面成果显著。在电费支出上，企业用智能电表等设备，记录实施节能措施前后的电能消耗数据，根据当地电价标准，算出电费减少额度。比如，某制造企业通过优化生产设备运行，一年耗电量从100万度降至80万度，当地工业电价0.8元/度，每年可节省电费16万元。此外，设备运行更稳定，维修频次降低，设备维修成本也减少。综合电费和设备维修成本的下降，能全面评估节能措施带来的经济效益。

2. 投资回报率分析

企业实施节能项目，需要投入资金用于设备购置、技术升级和系统搭建。投资回报率是评估节能项目投资效益的关键指标，计算方法是：在特定期限内，用节能项目获得的收益除以项目投资成本。以某企业投入50万元引入智能能源管理系统为例，系统使用后，每年节省电费和设备维修成本共20万元，该项目投资回收期2.5年，投资回报率40%。通过计算，企业能判断节能项目是否值得投资^[8]。

（二）环境效益评估

1. 碳排放减少量计算

电能消耗是企业碳排放的主要来源，实施节能措施降低电能消耗，能显著减少碳排放。计算碳排放减少量，要先统计节能措施实施前后的电能消耗差值，再乘以对应的碳排放系数。我国电网平均碳排放系数约0.85千克二氧化碳/千瓦时。假设某企业通过节能改造，每年减少电能消耗50万度，每年可减少碳排放42.5吨。碳排放降低，响应了全球应对气候变化的号召，有助于企业提升社会形象，增强市场竞争力^[9]。

2. 其他污染物减排效益

除碳排放外，电能消耗过程还会产生二氧化硫、氮氧化物等污染物。以火力发电为例，每消耗一度电，会产生一定量的这类污染物。企业通过节能降耗，降低电能消耗，相应减少这些污染物的排放。以某化工企业为例，实施节能措施后，每年减少用电量30万度，按每度电排放二氧化硫0.9克、氮氧化物0.7克计算，每年可减少二氧化硫排放270千克，氮氧化物排放210千克。这些污染物排放减少，改善了周边环境质量，降低了对生态系统的负面影响。

（三）社会效益评估

1. 对行业节能的示范作用

企业在节能降耗方面的成功经验，对同行业企业有借鉴价值。比如，一家企业在生产环节用电能分析技术优化工艺流程，分享设备选型、参数调控、生产调度等方面的经验，为同行业企业提供可行的节能方案。这些经验可通过行业研讨会、专业论

坛、企业间交流活动等途径传播。同行业公司借鉴后，能找到适合自己的节能路径，推动整个行业在节能技术创新和管理水平提升上取得进步，提高行业整体能源利用效率。

2. 对社会能源供应的影响

企业节能降耗行为对缓解社会能源供应压力有重要意义。众多企业实施节能措施，降低电能消耗，社会整体能源需求会减少。以制造业为例，若行业内多数企业通过节能改造，平均降低10%的用电量，将减轻电力供应压力。这有助于保障社会能源供应稳定，降低因能源短缺导致生产中断的风险，还能让能源供应部门有时间和资源调整能源结构，推动可再生能源开发利用，促进社会能源供应向绿色、可持续方向发展^[10]。

五、结语

电能分析在企业节能降耗中具有重要的应用价值。通过对电能数据的深入分析，企业可以找出节能降耗的潜力点，采取针对性的措施，实现能源的高效利用。同时，搭建电能分析平台、建立电能分析制度、开展节能培训与宣传等实施路径，为电能分析的应用提供了保障。通过多维度的效益评估，证实了电能分析不仅能为企业带来显著的经济效益，还能产生良好的环境效益和社会效益。在未来，随着技术的不断进步和管理的不断完善，电能分析将在企业节能降耗中发挥更加重要的作用，助力企业实现可持续发展的目标。

参考文献

[1] 王维光. 电能计量技术在电力企业节能降耗中的应用分析 [J]. 中国新技术新产品, 2019, (19): 124-125.
[2] 郭东玉. 电能计量技术在电力企业节能降耗中应用 [J]. 科学技术创新, 2018, (28): 180-181.
[3] 钱威. 基于设备综合效率的汽配企业节能降耗研究 [D]. 湖北工业大学, 2018.
[4] 桑圆. 电能计量技术在电力企业节能降耗中的应用分析 [J]. 中国新技术新产品, 2017, (20): 105-106.
[5] 余伟民. 电力企业节能降耗工作中电能计量技术的应用分析 [J]. 通讯世界, 2017, (18): 155-156.
[6] 向阳, 秦亮, 谭甜源, 等. 交直流配电网电能质量特性分析与研究进展 [J/OL]. 电网技术, 1-24[2025-03-29].
[7] 张祿, 邢其敬, 王立永, 等. 政策强度差异下电能替代推广研究——不同预设情景下电动汽车推广效果差异性分析 [J]. 价格理论与实践, 2024, (06): 84-89.
[8] 蔡祥梅, 赵文博, 杨明明, 等. 卫星信关站天线供电电能质量测试分析 [J]. 工程与试验, 2025, 65(01): 97-103.
[9] 林志辉, 陈宇啸, 沈海强. 三相三线制回路使用三相四线电能表计量的测量误差分析 [J]. 品牌与标准化, 2025, (02): 246-250.
[10] 徐耀辉, 马骏达, 程遥, 等. 金属制品企业电能成本分析与控制 [J]. 中国设备工程, 2025, (04): 62-64.

可再生能源发电制绿氢及其在氨、甲醇合成中的应用

王伟明¹, 刘滢洁²

1. 国家电力投资集团吉林电力股份有限公司, 吉林 长春 130000

2. 中石油克拉玛依石化有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000

DOI:10.61369/ETQM.2025060018

摘要 : 本文主要围绕着可再生能源发电制绿氢展开, 在文中系统地阐述了其在氨与甲醇合成中的应用策略。首先介绍了全球能源转型的背景, 以此引出绿氢的重要地位, 随后对于可再生能源发电制绿氢的原理与技术进行详细地阐述, 当中包括碱性电解水、质子交换膜电解水等, 均进行了深入地剖析。同时还探讨了制绿氢过程中面临的成本、技术等挑战。最终在氨与甲醇合成应用方面, 详细地讲解了反应原理与工艺流程, 并且结合实际案例分析了其应用成效, 还给出了具备针对性的优化策略。

关键词 : 可再生能源; 绿氢; 氨合成; 甲醇合成

Renewable Energy Generation for Green Hydrogen Production and Its Application in Ammonia and Methanol Synthesis

Wang Weiming¹, Liu Yingjie²

1. Jilin Electric Power Co., LTD., State Power Investment Corporation, Changchun, Jilin 130000

2. CNPC Karamay Petrochemical Co., LTD. Karamay, Xinjiang 834000

Abstract : This article mainly focuses on the production of green hydrogen from renewable energy generation, and systematically elaborates on its application strategies in the synthesis of ammonia and methanol. Firstly, the background of global energy transition was introduced to highlight the important role of green hydrogen. Then, the principles and technologies of renewable energy generation for producing green hydrogen were elaborated in detail, including alkaline electrolysis of water, proton exchange membrane electrolysis of water, etc., all of which were deeply analyzed. At the same time, the cost and technological challenges faced in the process of producing green hydrogen were also discussed. In the final application of ammonia and methanol synthesis, the reaction principle and process flow were explained in detail, and the application effectiveness was analyzed based on practical cases. Targeted optimization strategies were also proposed.

Keywords : renewable energy; green hydrogen; ammonia synthesis; methanol synthesis

引言

现阶段随着全球经济的持续发展, 传统的化石能源消耗在日益地增长, 使得储量逐渐减少, 导致能源危机的阴影愈发逼近。与此同时, 大量使用化石能源引发的环境污染和气候变化问题, 对于人类的生存和发展构成了严重的威胁。基于此背景, 全球各国纷纷加快自己能源转型的步伐, 积极地寻求清洁、低碳、可持续的能源解决方案。

氢气是一种理想的清洁能源载体, 它具有燃烧热值高、零碳排放、来源广泛等诸多优点。而在众多的制氢路径之中, 利用可再生能源发电电解水制绿氢, 被公认为是最具发展潜力的制氢方式, 因为它在整个生命周期内几乎不产生温室气体地排放。同时绿氢不仅可以直接应用于燃料电池, 能够为交通运输、分布式发电等领域提供动力, 还能在化工原料合成方面发挥重要的作用。尤其是在氨和甲醇的合成过程, 可以为减少化工行业的碳排放提供有效的途径, 因此在全球能源转型中占据着关键的地位。

一、可再生能源发电制绿氢技术

(一) 可再生能源发电技术概述

实际上, 太阳能、风能、水能等可再生能源发电技术的不断

进步, 是为绿氢的大规模制取提供了稳定的电力来源。其中太阳能光伏发电通过半导体材料的光电效应, 可将太阳光直接转化为电能, 它具有安装灵活、维护简单等优点, 但发电受到昼夜、天气等因素的影响较大。风力发电则是利用风力带动风机叶片旋

作者简介: 王伟明 (1997.05-), 男, 汉族, 吉林省长春市人, 学历: 硕士研究生, 职称: 中级工程师, 研究方向: 风电制绿氢合成绿色氢基能源 (氨、甲醇)。

转,进而驱动发电机发电,尽管风能资源丰富且分布广泛,但当存在着间歇性和波动性的问题。而水能发电凭借其技术成熟、发电稳定的优势,当前在可再生能源发电中占据重要地位,然而其开发会受到地理条件的限制^[1]。

(二) 电解水制氢原理与技术类型

作为获取绿氢的关键路径,电解水制氢凭借着多样化的技术,展现出了广阔的应用前景。当前主流的电解水制氢技术包含碱性电解水(AWE)、质子交换膜电解水(PEM)和固体氧化物电解水(SOEC),但它们在工作原理、性能表现以及应用场景上各有差异。

1. 碱性电解水(AWE)

碱性电解水技术历经了长期的发展与实践,它是当下最为成熟、应用范围最广的电解水制氢技术。该技术需要以碱性电解液构建反应的环境,当外接直流电源之后,水分子在电场的作用下会发生定向地移动。展开来说:在阴极水分子可获得电子,发生还原反应,从而生成氢气;在阳极水分子则会失去电子,被氧化为氧气。该反应过程可以通过如下方程式直观呈现:(阴极反应) $2\text{H}_2\text{O}+2\text{e}^-=\text{H}_2\text{O}\uparrow+2\text{OH}^-$, (阳极反应) $4\text{OH}^- - 4\text{e}^-=\text{O}_2\uparrow+2\text{H}_2\text{O}$ 。

此技术最大的优势在于设备成本相对较低。其原因在于:电解液常采用氢氧化钾(KOH)水溶液,而KOH价格低廉且来源广泛,以及电极材料多为镍基合金等,使得成本可控。然而碱性电解水技术也存在着明显的短板。一方面是电解过程的能耗较高,会导致电解的效率相对偏低;另一方面为碱性电解液具有较强的腐蚀性,电极在长期使用的过程中易被腐蚀,进而极大程度上缩短了设备的使用寿命,也增加了维护成本与更换频率^[2]。

2. 质子交换膜电解水(PEM)

质子交换膜电解水技术的核心在于其采用了质子交换膜作为核心电解质,凭借着独特的技术特性,已然在诸多的领域当中展现出了巨大的应用潜力。该技术的原理是在PEM电解槽中,阳极侧的水分子会在催化剂的作用下分解,从而产生氧气和氢离子,而氢离子带有正电荷,它在电场的驱动下会通过质子交换膜迁移至阴极。与此同时,电子将通过外部电路由阳极流向阴极,在阴极氢离子便会与电子结合,最终生成高纯度的氢气。其阳极反应为 $2\text{H}_2\text{O}=\text{O}_2\uparrow+4\text{H}^++4\text{e}^-$,而阴极反应为 $4\text{H}^++4\text{e}^-=2\text{H}_2\uparrow$ 。

PEM与碱性电解水技术相比而言,其优势更加显著。因为该技术能够在高电流密度下运行,且响应速度极快,可实现短时间内的启动和停止,进而满足不同场景下的制氢需求。不仅如此,此技术产出的氢气纯度极高,甚至可达99.99%以上。但不可忽视的是,PEM电解水技术对于水质的要求极为严格,在操作过程中需使用高纯度的去离子水,以防止杂质对于质子交换膜造成污染。此外质子交换膜和贵金属催化剂的成本高昂,于此提高了设备的初始投资,也限制了该技术的大规模应用^[3]。

3. 固体氧化物电解水(SOEC)

固体氧化物电解水技术属于高温电解水技术,其工作的温度通常需要维持在700-1000℃的高温区间。具体而言:基于高温环境,水分子在阳极会发生氧化反应,进而释放出氧气并产生电子,之后电子通过外部电路可传输至阴极,水分子在阴极即可获得电子,被还原为氢气。该过程的阳极反应为 $2\text{O}^{2-}=\text{O}_2\uparrow+4\text{e}^-$,阴极反应为 $2\text{H}_2\text{O}+4\text{e}^-=2\text{H}_2\uparrow+2\text{O}^{2-}$ 。

SOEC技术的突出优势在于其电解的效率,因此反应需要在高温下进行,因此可直接利用工业余热等高温热能,如此便降低了对电能的消耗,间接地实现了能量的高效利用。可高温条件对于设备的材料性能便提出了严苛的要求。基于此条件,设备需采用耐高温、耐腐蚀的特种陶瓷材料,而这无疑增加了设备的制造成本,并且设备的启动和停机过程比较复杂,需要相关人员耗费大量的时间和能源来升降温,此问题在一定程度上阻碍了该技术的商业化推广。

(三) 制绿氢面临的挑战

1. 成本问题

现阶段可再生能源发电成本和电解水设备的投资成本均居高不下,此方面是制约绿氢大规模生产的主要因素。尽管近年来太阳能、风能等可再生能源发电成本有所下降,但它与传统的化石能源发电相比来说,依然缺乏竞争力。另外电解水制氢设备中的关键材料,如质子交换膜、贵金属催化剂等,价格都比较昂贵,从而导致设备的初始投资成本过高。同时制氢过程中的运维成本、能耗成本等,也进一步增加了绿氢的生产成本。

2. 技术难题

目前电解水制氢技术在提高电解效率、降低能耗、延长设备寿命等多个方面仍存在着技术瓶颈。例如碱性电解水技术的电极腐蚀问题,影响着设备的长期稳定运行;PEM电解水技术当中质子交换膜的耐久性和抗污染性能依然有待提高;SOE技术的高温密封和材料兼容性问题,直接地限制了其商业化应用。

二、绿氢在氨合成中的应用

(一) 氨合成反应原理与工艺流程

传统的氨合成工艺采用的是化石能源制氢,该方式会产生大量的二氧化碳排放,而使用绿氢作为原料,则可以实现氨合成过程的低碳甚至零碳排放^[4]。

1. 反应原理

氨合成的化学反应方程式为 $\text{N}_2+3\text{H}_2\rightleftharpoons 2\text{NH}_3$,该反应是一个可逆的放热反应。而在实际的生产之中,为了提高氨的合成效率,通常需要在高温、高压以及催化剂的作用下进行。

2. 工艺流程

以绿氢为原料的氨合成工艺流程主要包括了氢气和氮气的制备、气体净化、压缩、合成反应以及氨的分离等环节。首先利用可再生能源发电制得绿氢,同时通过空气分离技术获取氮气。然

后再将氢气和氮气进行净化处理，目的是去除其中的杂质，以防止发生催化剂中毒的情况。经过净化后的气体需要使用压缩机压缩至一定的压力，并送入氨合成塔。此时在合成塔内，氢气和氮气在催化剂的作用下会发生反应生成氨，反应后的气体经过冷却、分离，即可得到液氨产品，而未反应的氢气和氮气则需要循环回合成塔继续参与上述反应。

（二）优化策略

1. 催化剂优化

如果能够研发出新型高效的氨合成催化剂，便能够提高催化剂的活性、选择性和稳定性，并降低反应的温度和压力，从而减少能耗和设备投资。例如采用新型的钌基催化剂来替代传统的铁基催化剂，即可显著地提高氨的合成效率，进而降低反应条件的苛刻程度。

2. 工艺流程优化

通过优化氢气和氮气的比例、循环气的流量、反应温度和压力等操作参数，能够使得氨的合成转化率得到提升。同时采用先进的节能技术，如余热回收、能量梯级利用等，能够降低生产过程中的能耗。此外对于工艺流程进行模块化设计，还能提高装置的灵活性和可扩展性，从而便于大规模地推广与应用^[9]。

三、绿氢在甲醇合成中的应用

（一）甲醇合成反应原理与工艺流程

1. 反应原理

甲醇合成的主要化学反应方程式为 $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$ 和 $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ 该反应同样是可逆的放热反应，其需要在合适的温度、压力和催化剂条件下进行。具体来说，该方式主要使用了绿氢参与甲醇合成，进而可以有效地降低甲醇生产过程中的碳排放，生产得到绿色的甲醇。

2. 工艺流程

绿氢参与的甲醇合成工艺流程包括了原料气制备、净化、压缩、合成反应以及甲醇分离等步骤。第一步将绿氢与一氧化碳、二氧化碳等原料气进行混合，此时原料气中的一氧化碳和二氧化碳可以通过工业尾气回收、生物质气化等方式获得。而混合后的原料气经过净化处理，去除当中的杂质后，需要压缩至一定压力，才能送入甲醇合成反应器^[9]。接着在反应器内，原料气在催化剂的作用下会发生反应生成甲醇，然后反应后的气体经过冷却、分离便可得到粗甲醇产品，粗甲醇还需要经过精馏提纯，才能得到高纯度的甲醇产品。

（二）优化策略

1. 催化剂研发

同样地，在操作过程中使用新型的甲醇合成催化剂，即可提高催化剂对二氧化碳加氢合成甲醇的选择性，达到降低反应温度和压力，与减少副反应发生的目的。如采用铜基催化剂与其他金

属或助剂进行复合，就可以改善催化剂的性能，进而提高甲醇的合成效率^[7]。

2. 反应条件优化

若优化原料气的组成、反应温度、压力和空速等操作条件，就能够提高甲醇的合成转化率和时空产率。基于此还可加强对反应过程的监测和控制，在实践中及时地调整操作参数，以确保反应的稳定进行。另外还需探索新的反应工艺，如将甲醇合成与其他化工过程进行耦合，进而实现资源的高效利用和节能减排。

四、可再生能源发电制绿氢及其在氨、甲醇合成中的协同发展策略

（一）能源协同

能源供应方、制氢企业与氨、甲醇生产企业应共同构建起可再生能源发电、制氢、氨合成和甲醇合成一体化的能源系统，借此系统实现能源的梯级利用与优化配置^[8]。以太阳能、风能资源丰富的地区为例，能源供应方可以将太阳能光伏电站、风力发电场与制氢企业的电解水制氢装置进行有机地结合。而在光照充足、风力强劲但发电量过剩时，即可将多余的电能用于电解水制氢，并且通过高压气态储存、低温液态储存等方式将氢气储存起来。若太阳能、风能发电因天气等原因不足时，制氢企业则可将储存的氢气供应给氨合成和甲醇合成企业，以此保障生产过程的稳定运行。

（二）技术协同

对于科研机构而言，应该与企业保持紧密的合作，合力加强可再生能源发电、制氢、氨合成和甲醇合成技术的研发与创新，目的是促进技术的协同进步。就应对可再生能源间歇性和波动性方面来说，科研机构可联合制氢企业，一同研发新型的电解水制氢技术^[9]。比如开发具有快速响应能力的电解水制氢设备，使其能够根据可再生能源发电量的变化，迅速地调整制氢规模；又如研究高效的储能与制氢耦合技术，以此实现多余电能的存储，将其用于发电低谷期的制氢应用。

（三）产业协同

可再生能源发电企业、制氢企业、氨和甲醇生产企业均要积极地推动彼此之间的合作与协同发展，多方共同发力打造出完整的产业链。展开来说：产业链上游的可再生能源发电企业，可以为中游的制氢企业提供更加稳定的电力供应；制氢企业则负责将生产的绿氢，供应给下游的氨和甲醇生产企业。最终通过上述这种紧密的合作模式，便能实现资源共享、优势互补，达到降低生产成本的效果^[10]。

五、结语

可再生能源发电制绿氢及其在氨、甲醇合成中的应用，在现

阶段是实现能源转型和化工行业低碳发展的重要途径。为此本文通过研究与分析相关的技术原理、工艺流程、应用案例和优化策略,表明了虽然目前该领域仍着面临成本、技术等方面的挑战,但通过技术创新、产业协同和政策支持,还是有望突破这些瓶颈,从而实现绿氢及相关产业的大规模发展。

未来随着可再生能源发电成本的进一步降低、电解水制氢技术的不断进步以及氨、甲醇合成工艺的优化,相信绿氢在氨、甲

醇合成中的应用将会变得更加广泛。因此以后的可再生能源发电制绿氢及其相关产业将会朝着规模化、低成本、高效益的方向发展,最终将为全球能源转型和可持续发展做出更大的贡献。同时相关人员需要进一步加强国际方面的合作,和国外力量共同推动技术地创新和产业地发展,合力探索更多绿氢的应用场景,如在航空航天、储能等领域的应用。

参考文献

[1]周君,安娟,杨宽辉,等.现代能源体系耦合绿氢化工应用的研究进展[J].低碳化学与化工,2023,48(04):46-54.DOI:10.12434/j.issn.2097-2547.20220383.

[2]孔燕,危伟,徐乐凯,等.电催化氮集成二氧化碳还原反应合成有机氮化合物[J].物理化学学报,2024,40(08):4-7.DOI:10.3866/PKU.WHXB202307049.

[3]中国科学院大连化学物理研究所.一种催化剂及其制备方法和在钢厂尾气耦合可再生能源制氢合成绿色甲醇中的应用:CN118634827A[P/OL].2024-09-13[2025-04-03].https://www.cqvip.com/doc/patent/3467862971.

[4]黑冬梅.绿色甲醇的生产方法及其在可再生能源中的应用[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(12)[2024-12-01].https://www.cqvip.com/doc/journal/2010228893235545089.

[5]王宇田.我国大型风光发电制绿氢主要装备发展现状及展望[J].当代石油石化,2024,32(10):42-46.

[6]谷莹秋.过渡金属基复合材料的制备及其催化氨分解制氢性质研究[D].山东省:山东大学,2016.

[7]朱家锦.PtM(M=Ru、Cu)/CNTs催化剂的制备及其电催化甲醇氧化性能的研究[D].陕西省:西安科技大学,2020.DOI:10.27397/d.cnki.gxaku.2020.001038.

[8]杨鹏威,于琳竹,王放放,等.氨储能在新型电力系统的应用前景、挑战及发展[J].化工进展,2023,42(08):4432-4446.DOI:10.16085/j.issn.1000-6613.2022-1817.

[9]段建斌,尹梦,康明,等.SiO₂@TiO₂催化剂载体在甲醇重整制氢中的应用研究[J].西南科技大学学报,2024,39(03):36-41.DOI:10.20036/j.cnki.1671-8755.2024.03.006.

[10]李晨鹏,李政,刘培,等.应用无碳氨的氨煤混燃机组平准化电力成本计算[J].动力工程学报,2022,42(11):1042-1050.DOI:10.19805/j.cnki.jcspe.2022.11.006.

火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术分析

安柠灿

贵州西电电力股份有限公司鸭溪发电运营分公司, 贵州 遵义 563108

DOI:10.61369/ETQM.2025060026

摘 要 : 在全球能源需求持续攀升的当下, 传统能源储备渐趋紧张, 加之节能减排已成为国际社会广泛遵循的刚性要求, 火力发电厂作为能源消耗与生产的关键主体, 提升自身能源利用效率迫在眉睫。锅炉尾部烟气在日常运行中携带了极为可观的余热, 若任其直接排入大气, 无疑是对宝贵能源的巨大浪费。而通过高效手段对这部分余热加以回收利用, 能够显著提升电厂整体热效率, 降低发电成本。

关 键 词 : 火力发电厂; 锅炉尾部烟气; 余热利用技术

Technical Analysis of Waste Heat Utilization of Flue Gas At the Tail of Boiler of Thermal Power Plant

An Ningcan

Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd., Yaxi Power Generation Operation Branch, Zunyi, Guizhou 563108

Abstract : As the global energy demand continues to rise, the traditional energy reserves are becoming increasingly tight, and energy conservation and emission reduction have become a rigid requirement widely followed by the international community. The flue gas at the tail of the boiler carries a considerable amount of waste heat in daily operation, and if it is allowed to be discharged directly into the atmosphere, it is undoubtedly a huge waste of precious energy. The recovery of this part of the waste heat through efficient means can significantly improve the overall thermal efficiency of the power plant and reduce the cost of power generation.

Keywords : thermal power plants; boiler tail flue gas; waste heat utilization technology

火力发电在全球电力供应中占据着重要地位。然而, 火力发电厂在运行过程中存在着能源浪费的问题, 其中锅炉尾部烟气带走了大量的热量。一般情况下, 锅炉尾部烟气温度在120–180℃之间, 这部分余热若直接排放到大气中, 不仅造成了能源的浪费, 还对环境产生热污染。随着能源危机的加剧和环保要求的不断提高, 如何高效利用锅炉尾部烟气余热已成为火力发电领域的研究热点。合理利用这部分余热, 不仅可以提高电厂的能源利用效率, 降低发电成本, 还能减少温室气体排放, 具有显著的经济和环境效益。因此, 深入研究火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术具有重要的现实意义。

一、锅炉尾部烟气余热利用的必要性

(一) 能源浪费现状

在火力发电厂的运行体系中, 锅炉承担着将煤炭等化石燃料的化学能转化为热能的关键任务, 产生的高温高压蒸汽驱动汽轮机旋转进而发电。然而, 受限于锅炉设备自身特性以及复杂的能量转换过程, 多种形式的热损失不可避免, 极大地制约了实际发电效率。其中, 锅炉尾部烟气所携带的热量损失极为显著。在传统火力发电系统中, 经严谨测算, 锅炉尾部烟气带走的热量占总输入热量的比例高达5%–15%。以一座装机容量为100万千瓦的大型火力发电厂为例, 若其年运行小时数为5000小时, 每小时消耗煤炭约300吨, 按10%的烟气余热损失率计算, 每年因烟气余

热未回收而浪费的能量, 折合成标准煤约达15万吨。这些本可利用的能量, 以高温烟气形式直排大气, 未参与发电环节, 致使大量煤炭等宝贵化石燃料被无端消耗, 在全球能源资源日趋紧张的当下, 解决此问题已刻不容缓^[1]。

(二) 环保压力

随着全球气候变化影响的日益凸显, 各国深刻认识到节能减排的重要性, 纷纷出台严苛的环保法规, 旨在严控温室气体与各类污染物排放。火力发电厂因庞大的能源消耗规模, 在燃料燃烧过程中, 向大气排放大量二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物以及颗粒物等污染物, 成为环保监管的重点对象, 承受着巨大压力。锅炉尾部排出的高温烟气, 不仅裹挟大量余热, 其携带的污染物更是环境污染的重要源头。借助余热利用技术降低烟气温度, 可从

两方面助力环保。一方面，减少能源消耗意味着从根源减少燃料燃烧量，从而间接削减污染物生成与排放。另一方面，较低的烟气温度能优化后续脱硫、脱硝、除尘设备运行工况，提升污染物脱除效率，为实现碳减排目标贡献关键力量，契合绿色发展的时代需求^[4]。

二、常见的锅炉尾部烟气余热利用技术类型

（一）传统省煤器与空气预热器技术

传统省煤器安装在锅炉尾部烟道内，利用烟气余热加热锅炉给水。其工作原理是通过热传导和对流换热，将烟气中的热量传递给管内流动的给水。给水温度升高后，进入锅炉汽包参与汽水循环，减少了锅炉燃料消耗。省煤器的结构相对简单，通常由一系列钢管组成，具有较高的可靠性和稳定性。空气预热器则用于加热燃烧所需的空气，同样安装在锅炉尾部烟道。它通过烟气与空气之间的热交换，使空气温度升高后送入炉膛。预热后的空气能促进燃料更充分地燃烧，提高燃烧效率，进而提升锅炉热效率。常见的空气预热器有管式和回转式两种，管式空气预热器结构紧凑，传热效率较高；回转式空气预热器则具有体积小、受热面大的特点^[5]。

（二）热管式余热回收技术

热管是一种高效的传热元件，由管壳、吸液芯和工作介质组成。热管式余热回收装置利用热管的高效传热特性，实现锅炉尾部烟气余热的回收。在热管的蒸发段，高温烟气将热量传递给管内的工作介质，使其蒸发汽化。蒸汽在压差作用下流向冷凝段，在冷凝段与被加热介质（如水或空气）进行热交换，放出热量后凝结成液体。液体在吸液芯的毛细力作用下回流至蒸发段，完成一个循环。热管式余热回收技术具有传热效率高、结构紧凑、等温性好等优点。它可以灵活布置在烟道内，适应不同的烟气温度和流量条件，并且能够有效避免冷热流体之间的泄漏问题^[6]。

（三）冷凝式余热回收技术

冷凝式余热回收技术主要针对锅炉尾部烟气中的水蒸气潜热进行回收。当烟气温度降低到露点温度以下时，烟气中的水蒸气会凝结成液态水，释放出大量的潜热。冷凝式余热回收装置通常采用特殊的换热器，通过与低温介质（如凝结水或空气）进行热交换，使烟气温度降低至露点以下，实现水蒸气的冷凝和潜热回收。该技术不仅可以回收烟气的显热，还能回收潜热，大大提高了余热回收效率。同时，水蒸气冷凝过程中还能去除烟气中的部分酸性气体和颗粒物，减轻后续环保设备的负担，具有良好的节能减排效果。

三、锅炉尾部烟气余热利用技术原理及优势

（一）技术原理

1. 热传导与对流换热原理

传统省煤器、空气预热器以及热管式余热回收装置等，均构建于热传导与对流换热这两大基础原理之上。在这些装置运行时，高温烟气以一定流速冲刷受热面，因烟气与受热面存在显著

温度差，依据对流换热原理，热量从高温烟气传递至受热面表面。在省煤器内，高温烟气横向掠过排列紧密的钢管管束，湍急的烟气流不断冲击钢管外壁，以对流换热的方式将大量热量传递给管壁。紧接着，基于热传导原理，热量穿过管壁，传递至管内流动的被加热介质，比如省煤器中的给水^[6]。管壁材质具有良好的导热性，热量能够快速、高效地传导，从而使给水温度稳步升高。同样，在空气预热器和热管式余热回收装置中，热传导与对流换热过程协同作用，将烟气余热有序传递给相应介质，此基础传热方式在火力发电领域凭借其稳定性与可靠性被广泛采用。

2. 相变传热原理

热管式余热回收技术与冷凝式余热回收技术深度依托相变传热原理。热管作为核心元件，内部充装特定工作介质，当热管蒸发段接触高温烟气时，工作介质吸收热量，从液态迅速沸腾转变为气态，发生剧烈相变。这一过程中，工作介质吸收大量汽化潜热，热量得以高效存储。气态工作介质在微小压差驱动下，快速流向冷凝段，此时，在冷凝段与低温被加热介质进行热交换，气态工作介质释放潜热后，重新凝结为液态，借助吸液芯的毛细力作用，回流至蒸发段，完成一次高效的热量传递循环。冷凝式余热回收装置中，当烟气温度降低至露点温度以下，烟气中蕴含的水蒸气在低温换热器表面遇冷，从气态转变为液态，释放出大量潜热。相较于仅涉及温度变化的显热传热，相变传热因相变过程中巨大的潜热释放，能够传递更多热量，极大地提升了余热回收装置的整体效能^[6]。

（二）技术优势

1. 提高能源利用效率

回收锅炉尾部烟气余热，是提升火力发电厂能源利用效率的关键举措。以省煤器为例，省煤器利用烟气余热将进入锅炉的给水温度大幅提升。根据热力学原理，给水温度升高后，锅炉将给水加热至饱和蒸汽状态所需的热量显著减少。这意味着在产生等量蒸汽时，可降低燃料投入量，进而降低发电煤耗。冷凝式余热回收技术则更进一步，不仅回收烟气显热，更突破性地将水蒸气潜热纳入回收范畴。通过精准控制烟气冷却过程，使水蒸气充分冷凝，释放出大量潜热用于加热其他介质，极大地增加了可利用热量总量，显著提升电厂整体热效率，有效减少能源在生产过程中的无端损耗，实现能源的高效利用^[7]。

2. 降低运行成本

能源利用效率提升所带来的直接效益便是燃料消耗的减少。火力发电厂的主要运行成本源于燃料采购，余热利用技术使单位发电量的燃料使用量降低，直接削减了燃料成本支出。同时，余热利用技术的应用，改变了电厂内部的能量供应格局。例如，空气预热器通过预热燃烧空气，改善燃料燃烧条件，让燃料燃烧更为充分，减少了因不完全燃烧导致的燃料浪费^[8]。而且，高效的余热回收系统可能替代部分传统辅助加热设备，减少设备运行时的电能、热能消耗，以及设备日常维护、维修成本，从多维度降低电厂整体运行成本，增强电厂的市场竞争力。

3. 环保效益显著

余热利用技术对环保的积极影响是多方面且深远的。首要的

是，因燃料消耗降低，煤炭等化石燃料燃烧产生的温室气体，如二氧化碳、甲烷等，以及各类污染物，像二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等的排放量随之减少。以冷凝式余热回收技术为例，在回收余热过程中，水蒸气冷凝形成的液态水会吸附并溶解烟气中的酸性气体，如二氧化硫等，同时对部分颗粒物也具有一定的捕集作用。这一过程在不额外增加复杂环保设备的前提下，协同实现了余热回收与污染物削减，显著提升电厂环保水平，助力缓解环境污染问题，为构建绿色生态环境贡献力量。

四、锅炉尾部烟气余热利用技术的发展趋势

（一）多技术耦合集成

未来，为了进一步提高锅炉尾部烟气余热利用效率，将多种余热利用技术进行耦合集成是发展趋势之一。例如，将热管式余热回收装置与冷凝式余热回收装置相结合，先利用热管式装置回收烟气的显热，降低烟气温度，再通过冷凝式装置回收剩余的显热和潜热。这种多技术耦合的方式可以充分发挥不同技术的优势，实现余热的梯级利用，提高整体余热回收效率。同时，还可以将余热利用技术与其他先进的能源转换和存储技术相结合，如与蓄热技术结合，将回收的余热在低谷电时段储存起来，在高峰电时段释放用于发电或其他用途，提高能源利用的灵活性和经济性^[9]。

（二）智能化控制与优化

随着信息技术的不断发展，智能化控制与优化将在锅炉尾部烟气余热利用技术中得到更广泛的应用。通过安装在余热回收系统中的各类传感器，实时监测烟气温度、流量、成分以及被加热

介质的温度、流量等参数。利用先进的控制算法和智能控制系统，根据这些实时参数自动调整余热回收设备的运行状态，如调节热管的工作温度、控制冷凝式余热回收装置的换热面积等，以实现余热回收系统的最优运行。智能化控制与优化可以提高余热回收系统的响应速度和控制精度，适应不同工况下的余热回收需求，进一步提高能源利用效率。

（三）新型材料与设备研发

为了提高余热回收设备的性能和可靠性，新型材料与设备的研发也是未来的重要发展方向。例如，研发具有更高导热系数和耐腐蚀性能的材料用于制造热管和换热器，以提高传热效率和设备的使用寿命。开发新型的高效冷凝换热器，能够更好地适应不同烟气成分和工况条件，提高水蒸气的冷凝效率和潜热回收效果。此外，还将注重研发体积小、重量轻、结构紧凑的余热回收设备，以减少设备占地面积，降低设备投资成本，提高余热回收技术的应用可行性和经济性^[10]。

四、结论

火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术对于提高能源利用效率、降低运行成本和减少环境污染具有重要意义。常见的余热利用技术包括传统省煤器与空气预热器技术、热管式余热回收技术和冷凝式余热回收技术等，它们各自基于不同的技术原理，在提高能源利用效率、降低运行成本和实现环保效益方面展现出显著优势。未来，锅炉尾部烟气余热利用技术将朝着多技术耦合集成、智能化控制与优化以及新型材料与设备研发等方向发展。通过不断创新和改进，这些技术将在火力发电行业中发挥更大的作用，助力火力发电厂实现可持续发展，在满足能源需求的同时，更好地应对能源危机和环境挑战。

参考文献

- [1] 韩志永. 火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术探究 [J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(02): 237-239. 版), 1-9[2025-04-11].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1212.tm.20231117.1608.002.html>.
- [2] 刘英龙. 火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术的实践分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(10): 305-307.D01: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.10.101.
- [3] 赵麟. 分析火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术 [J]. 中国设备工程, 2023, (05): 108-110.
- [4] 赵冠雄. 火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(07): 252-253+335.D01: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2022.07.098.
- [5] 王鸿飞. 火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术探索 [J]. 应用能源技术, 2021, (09): 51-54.
- [6] 吉廷伟. 机组负荷280MW以上锅炉尾部烟道低频振动问题的防治研究 [J]. 机电信息, 2020, (32): 46-47.D01: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2020.32.025.
- [7] 王代刚. 火力发电厂锅炉尾部烟气余热利用技术 [J]. 中国新技术新产品, 2016, (12): 79-80.D01: 10.13612/j.cnki.cntp.2016.12.052.
- [8] 温芝香, 支泽林. 火力发电厂锅炉尾部烟道低温腐蚀的危害与防范措施 [J]. 特种设备安全技术, 2016, (01): 10-11.
- [9] 尹延平. 火力发电厂锅炉尾部受热面区域检查养护技术 [J]. 工业设计, 2015, (10): 164+166.
- [10] 李小明, 赵建刚. 火力发电厂尾部烟道增设低压省煤器的实际应用 [J]. 科学之友, 2013, (09): 9-10.

风电混塔吊装过程中的安全与效率优化

吕文健

中电投东北新能源发展有限公司, 辽宁 沈阳 110623

DOI:10.61369/ETQM.2025060028

摘要：近年来，风力发电产业迅速发展，风电混塔是一种新的风力发电系统，在风力发电领域的应用日益增多。但其吊装过程中存在较大的安全隐患，不利于提高其运行效率对降低生产成本和促进产业发展。本文从人员操作、设备故障、环境因素和施工技术四个角度，对风电混塔式起重机的安全风险进行深入分析，并提出综合的安全管理对策，希望本项目的研究成果将为我国风电混塔吊装技术的发展提供理论依据和技术支撑。

关键词：风电混塔；吊装；安全风险；安全管理；效率优化

Safety and Efficiency Optimization of Wind Power Hybrid Tower Lifting Process

Lv Wenjian

China Power Investment Northeast New Energy Development Co., LTD. Shenyang, Liaoning 110623

Abstract： In recent years, the wind power industry has developed rapidly, and hybrid wind turbines are a new type of wind power system that is increasingly being applied in the field of wind power generation. However, there are significant safety hazards during their installation, which hinders improvements in operational efficiency, production cost reduction, and industrial development. This paper provides an in-depth analysis of the safety risks associated with hybrid wind turbine cranes from four perspectives: personnel operations, equipment failures, environmental factors, and construction techniques. It also proposes comprehensive safety management strategies, aiming to provide theoretical support and technical guidance for the development of hybrid wind turbine installation technology in China.

Keywords： wind power hybrid tower; hoisting; safety risk; safety management; efficiency optimization

引言

随着世界各国都在大力提倡清洁能源，风能作为一种可持续、无污染的新能源，受到越来越多的关注。近几年来，我国的风力发电装机一直处于高速发展阶段，风力发电技术也在不断地革新和发展。风电混塔是一种集混凝土与钢的优点于一身的新型塔筒结构，具有经济性好、结构稳定、适应复杂地形等优点，在风力发电领域得到越来越多的应用。但是风电混塔的提升是一个复杂的、高风险的工程，因为混凝土塔体积大、质量重，所以必须在高空和复杂的环境中进行吊装，这对施工人员的专业技能、设备的可靠性以及施工工艺的合理性都提出极高的要求。因此如何在风电混塔吊装过程中实现安全与效率的优化，成为了当前风电行业亟待解决的关键问题。

一、风电混塔吊装概述

（一）混塔结构特点

目前风电混塔的下部为混凝土结构，而其上部为普通的钢结构，该结构将混凝土的高强度、低成本和高的抗拉强度和良好的韧性结合起来，与完全钢结构塔比较，在塔底采用钢筋混凝土结构，可减少钢筋用量、节约造价。同时由于其体积大，地基的稳定性能也得到提高，从而提高塔架抗大风等严酷环境的能力。此外，考虑到不同的地形、风场等因素，可对其进行优化，如在风

荷载较大的区域可适当增大砣节段的高度与厚度，从而提升塔架的整体强度与稳定性。

（二）吊装工艺流程

施工阶段	具体内容
施工准备阶段	1. 勘察施工现场，保证场地平整、坚实，满足设备停放和运行要求 2. 全面检查和调试吊装设备，确保设备性能良好 3. 准备混塔各部件运输车辆、堆放场地及施工所需工具、安全防护设备

施工阶段	具体内容
基础施工阶段	按设计要求浇筑混凝土基础，控制钢筋布置和混凝土浇筑质量，预留地脚螺栓等连接件，保证基础强度和尺寸符合标准
混塔部件运输与堆放	将预制的混凝土段和钢塔部件运至施工现场，按吊装顺序合理堆放，采取防护措施防止部件受损
吊装作业阶段	1. 用起重机吊起混凝土底段并准确安装在基础上，紧固地脚螺栓，调整垂直度 2. 依次吊装其他混凝土段和钢塔段，严格测量校正，保证塔架整体垂直度和连接质量 3. 塔架安装完成后，吊装机舱、叶片等部件
电气系统安装与调试	完成塔架和机组设备安装后，进行电气系统布线和调试，确保风电机组正常运行

（三）常见吊装设备及选型要点

起重机类型	优点	适用场景	选型考虑因素
履带起重机	起重能力较强，越野性能良好，可在复杂地形作业；起吊高度和工作半径较大	适用于大型风电混塔的吊装	混塔部件的最大重量、吊装高度、施工现场的地形条件等
汽车起重机	机动性强，转移方便，能快速到达施工现场	适用于一些小型风电混塔或辅助性的吊装作业	行驶速度、转弯半径、不同工况下的起重性能
塔式起重机	起升高度较高，工作幅度较大，稳定性好	当施工现场空间有限且需要进行长时间、重复性的吊装作业的风电项目	起升速度、起重量曲线、附着装置的要求

二、安全风险分析

（一）人员操作风险

风电混塔吊装对技术熟练、经验丰富的建筑工人提出更高的要求，若工人不熟悉起重机械，不熟悉起重技术，就有可能在工作中误操作并且造成安全事故。比如起重机的升降、升降、回转等动作如果控制不好，就有可能发生与其它物体相撞的事故，从而导致设备的损坏和人身伤害。

由于吊装过程中往往是持续的，工人在长期的高强度工作中极易发生疲劳，疲劳会使建筑工人注意力分散，反应迟钝，误操作几率增大。比如在晚上的起重作业中，工人容易因疲劳而忽略某些安全警告，导致事故的发生^[1]。

（二）设备故障风险

起重机作为风力发电混输铁塔的关键设备，其各部分的失效将直接影响到整个吊装过程的安全性。比如起重机的刹车系统失效会造成失控，从高处掉下；提升装置的钢索折断会导致吊件突然脱落；旋转机械的失效会使起重机在旋转时出现卡滞和倾翻现象。

在吊装过程中，除起重机以外，还需用到其它设备，如运输车、焊接设备以及测试仪器等。这些设备的失效还会对起重机械的安全产生间接的影响。例如在输送混塔件时，如果有一辆货车的制动系统失效，则会造成交通意外；焊接装置的失效会对塔筒

构件的连接质量产生不利影响，进而影响塔筒的整体稳定。

（三）环境因素风险

风力发电工程多位于风能资源丰富的区域，而风载是其最大的环境风险，大风会引起起重设备的摆动，加大起重设备的负荷并且引起起重机的不稳定。同时由于风力的不确定，使得起重作业面临着极大的挑战，如起重过程中突然出现的风速突变，会导致起重设备发生偏转，撞击其它物体等。此外，工程场地的地形环境较为复杂，包括山地、丘陵和沼泽等，在这样的地质环境中，设备的停泊、运转都会受到一定的制约，从而增大设备发生倾倒的危险。如在山区建设中，起重机必须在山坡上工作，若基础处理不好极易造成车辆的侧翻。

（四）施工工艺风险

混凝土塔中段间的连接质量，对整个塔体的强度与稳定性有很大影响，在施工中，若接头处理不当，如焊接质量差、螺栓紧固不严，则有可能使塔体在使用中产生裂纹，严重时还会造成塔身坍塌。在混凝土结构中，预应力混凝土结构是一项非常重要的工作，若预应力作用不够充分或分布不均，则会对混凝土截面的受力性能产生不利影响，从而影响铁塔的安全。而且在施工中，若操作不当也会造成张拉装置的失效，甚至危及人身安全^[2]。

三、安全管理措施

（一）人员培训与资质管理

定期对建筑工人进行业务培训，并邀请业内专家、资深工程师为其授课，培训的主要内容有包括起重机械的操作技术、起重工艺的程序及要点、安全作业，在此过程中，需要采用理论与实践并重的方法，全面提升建筑工人的业务素质。在建筑工地上，要加强对建筑工人的安全意识教育，通过举办安全知识讲座，观看安全事故案例录像，让他们明白安全工作的重要性，从而提高施工人员的自我防护意识和安全防护意识。也需要对起重机械工人进行资格审核，保证起重机械操作人员具有相应的资质，定期对建筑工人进行资格复审，发现有资格过期或不合格的禁止其参与吊装作业。

（二）设备维护与检查制度

制定设备的例行维修管理体系，并规定运行人员每天在运行前、运行中、运行后都要进行检修，主要内容有外观有无破损、零件连接有无松动、润滑情况良好以及电气系统有无故障。及时发现和解决生产中出现的的问题，保证生产设备的正常运转。制订设备的周期检修计划，并对设备进行经常性的检修。主要检测设备的性能，检测关键零部件的磨损情况、检测安全保护装置的可靠性，根据检测结果，及时修理或更换零件，以保证产品在使用过程中的安全性能。

环境应对措施	具体操作	关键点
气象监测	在施工现场设置气象监测站，实时监测风速、风向、气温、湿度等气象参数	当风速超吊装允许最大值，立即停工并采取防风措施，如加固设备、固定吊物

环境应对措施	具体操作	关键点
地形与地质勘察	项目前期详细勘察施工现场的地形和地质；施工中处理地基，确保场地平整坚实；在地形复杂区域设置警示标志	依据勘察结果制定合理施工方案
应急预案制定	针对恶劣天气、地质灾害等突发情况，制定含应急组织机构、响应程序、救援措施等内容的应急预案，并定期组织应急演练	提升施工人员应对突发事件的能力

（三）环境监测与应对策略

（四）施工工艺质量控制

建立一套完善的搅拌塔拼焊工艺及质量验收规范，在拼焊过程中强化接头质量检验，应用先进的焊接工艺及检测仪器，保证接头的焊接质量，对各螺栓接头，应按规定力矩拧紧，拧紧力矩检查，保证接头牢固。

在预压施工之前，校正、调试张拉装置，保证张拉精度、可靠，并严格按设计要求施加预应力，并对张拉速率及张拉力进行控制。在预应力施工期间，要加强对砼的变形监控，对预应力进行适当地调整，保证预应力施加的均匀性和准确性^[3]。

（五）安全管理制度与监督机制

建立健全安全生产责任制并且落实安全生产责任制，建立安全检查和安全教育培训制度，事故报告和处理制度。在此基础上，对各级管理者及建筑工人的安全责任进行界定，保证安全生产的规章制度。建立安全督导团队，定期巡查工地。，主要内容有施工工人的作业行为、设备运行状态、安全防护设施的设置以及施工过程的实施等。对存在的安全隐患立即下发整改通知，责令责任单位在规定时间内进行整改，对整改不力的内容要严肃处理。

四、效率优化策略

（一）吊装方案优化

在项目前期，组织专业技术人员制定多种吊装方案，并对各方案进行详细的对比分析。从吊装设备的选择、吊装顺序的安排、施工场地的布置等方面进行综合评估，选择最优化的吊装方案。由此利用计算机模拟仿真技术，对吊装过程进行模拟分析。通过模拟，可以提前发现吊装方案中存在的问题，并进行优化调整。同时模拟仿真技术还可以为施工人员提供直观的操作培训，

提高施工人员的操作熟练程度。

（二）设备性能提升与技术创新

通过对已有提升装备的改造，提升装备的性能与效能，比如提升提升装置的起升机构、回转机构等，以提升装备的起升速度与旋转效率。并在此基础上，采取先进的节能措施减少装置的能源消耗。也需要采用智能吊装系统、无人机辅助吊装等新技术，利用传感器对吊装过程进行实时监控，实现吊装过程的自动控制，提升吊装精度与安全，该方法可应用于现场勘测，巡视设备，并对起重设备进行定位，从而大大提高工作效率^[4]。

（三）施工组织与协调优化

制定科学合理的施工进度计划，根据工程实际情况，并结合项目的具体条件对各个阶段的工期、任务进行合理的分配。在确保工程安全与质量的同时，尽可能地减少工期，应充分考虑天气、设备故障等对工程进度的影响，并给予适当的弹性工期。由此要加强与业主、监理、设计等方面的联系和配合，及时处理好建设中遇到的各种问题，保证工程的正常运行。比如在设备的进场时间和材料的供应上，双方要紧密合作，以免出现沟通不畅影响工程的进程。

（四）信息化管理在吊装中的应用

运用信息化技术，构建一个风电混塔吊装信息化管理平台，对施工进度、质量、安全、设备等信息进行实时监测与管理，使管理者能够通过手机、计算机等终端设备，随时掌握施工现场的状况并作出相应的决策^[5]。

通过在工地上设置各种传感器，对设备的操作、环境、人员的操作等进行实时的数据采集。在此基础上，对工程建设中出现的问题与隐患进行分析，进而提出相应的优化与预防措施，为以后的工程建设提供借鉴。

五、结语

风电混塔吊装的安全性和有效性是一项系统工程，涉及多方面的问题，本文在此基础上，提出一套行之有效的安全管理对策，使安全事故的发生率降到最低，保证建筑工人的生命安全和项目的成功实施。在今后的风力发电项目建设中，需要继续强化技术创新与管理创新，持续优化风力发电系统的安全性和有效性，将风力发电产业推向一个新的高度。

参考文献

[1] 张宇豪,吴香国,陈发桥,等.环段吊装方案对风电混塔管片变形的影响分析[J].混凝土与水泥制品,2024,(10):68-72.
[2] 吴学松.风电机组大型化发展及风机吊装设备选择[J].建筑机械化,2023,44(11):7-10.
[3] 彭国祥,王涵鑫,朱坤奇.160m风电机组钢混塔架施工技术研究[J].电力设备管理,2024,(19):197-199.
[4] 赵景战,贺素芳.机电安全系统在沥青拌和站中的集成与优化[J].交通建设与管理,2024,(06):192-195.
[5] 平煜.高层建筑施工中的脚手架安全管理与优化[J].河南建材,2024,(11):117-119.

电力监控网络安全智能分析管控系统

郭珍奇, 卢诗特

国网乌鲁木齐供电公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

DOI:10.61369/ETQM.2025060031

摘 要 : 提高系统运行稳定性和安全性。文章围绕电力监控网络安全智能分析管控系统进行论述, 根据电力系统安全防护要求, 首先阐述了电力监控网络安全内涵, 其次分析了电力监控系统数据智能化分析体系不健全、平台功能相割裂、计算机病毒、自动化应急处置手段单一等问题, 最后总结了一系列智能分析管控策略, 建立完善的电力监控网络安全智能分析管控系统, 全面提高电力监控系统安全防护水平。

关 键 词 : 电力监控系统; 网络安全; 管控系统; 智能分析

Intelligent Analysis and Control System for Power Monitoring Network Security

Guo Zhenqi, Lu Shite

State Grid Urumqi Power Supply Company, Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract : Improve system operation stability and security. This article focuses on the intelligent analysis and control system for power monitoring network security. Based on the security protection requirements of the power system, it first elaborates on the connotation of power monitoring network security, and then analyzes the problems of the incomplete intelligent analysis system of power monitoring system data, the separation of platform functions, computer viruses, and the simplicity of automated emergency response methods. Finally, it summarizes a series of intelligent analysis and control strategies, establishes a perfect intelligent analysis and control system for power monitoring network security, and comprehensively improves the security protection level of the power monitoring system.

Keywords : power monitoring system; network security; control system; intelligent analysis

电力监控是保障电力系统稳定运行的关键环节, 随着电力监控系统数据量增加, 不断接入的各类智能终端, 使得传统电力监控网络安全面临着严峻挑战, 一旦系统出现漏洞, 将导致大量重要信息泄露, 诱发严重的网络安全事故。例如, 2019年委内瑞拉电力系统受到网络攻击, 造成了大面积的停电事故, 严重威胁到国家安全。所以, 保障电力监控网络安全至关重要, 应坚持安全分区、网络专用等原则, 建立智能分析管控系统, 便于及时发现和解决安全威胁, 为电力监控系统安全、稳定运行提供坚实保障。

一、电力监控网络安全的内涵

当前我国电力事业飞速发展, 面对社会用电量激增带来的挑战, 保障电力监控网络安全, 对于保障电力生产和分配起到了重要作用。从信息安全角度来看, 电力监控网络涉及到大量敏感信息, 包含了用户用电数据、电网拓扑结构以及设备运行参数等信息, 这些信息一旦泄露容易被不法分子利用, 威胁电力系统运行安全和国家能源安全。例如, 不法分子恶意盗取电网关键节点参数, 推测电网的薄弱环节, 从而为后续恶意攻击提供支持。所以, 引入访问控制和数据加密等技术, 有助于全面保障电力监控数据传输和存储安全, 降低外部恶意攻击几率。

电力监控网络数据准确性和完整性, 有助于为电力系统稳

定、安全运行决策提供支持。如果电力数据被篡改, 依据此类数据决策部署, 可能会下达错误指令, 导致设备误动, 诱发大面积停电事故^[1]。如, 随意篡改电力设备保护定值, 设备故障时无法正常动作, 使得事故范围进一步扩大。所以, 采用数据校验以及数字签名等先进技术, 有助于保障电力数据传输和存储过程的完整性, 为社会建设和发展提供坚实保障。

二、电力监控网络安全现状和问题

(一) 现状

数字化、智能化时代背景下, 保障电力监控网络安全, 对于电力行业持续、稳定发展有着至关重要的作用。随着电力系统信

息化、智能化、自动化水平提升,不断有先进技术应用其中,形成了相较于完善的安全防护体系。如,网络边界布置IDS/IPS、防火墙等设备,能够有效拦截外部攻击行为。数据安全方面,部分企业采用加密技术保护敏感数据,使得数据传输、存储和分析过程中的保密性得到保障^[2]。一些大规模的电力企业创造性引入态势感知技术,实时监控电力监控网络安全状况,能够第一时间发现和解决安全隐患。

(二) 问题

1. 数据智能化分析体系不健全

现阶段电力监控网络安全面临诸多严峻挑战,尤其是多源异构数据的处理问题。PMU、SCADA等系统的数据标准不统一,导致不同系统之间数据无法正常的传输、共享,一定程度上增加了跨系统数据关联分析误差12%~15%左右。传统电力监控网络系统的响应速度滞后,数据批量处理延迟达到了300ms以上,而《电力监控系统安全防护规定》要求系统实时响应达到200s,仍然存在很大的距离。加之配套及其学习模型对于APT攻击误报率较高,达到了35%以上,严重威胁电力监控网络安全^[3]。

2. 平台功能相割裂

电力监控网络安全平台多样,平台功能相割裂,协同运作效率不高。对于系统的安全功能模块,分散在不同平台中,如,楼栋管理平台负责扫描系统漏洞,入侵检测平台则负责监测网络流量以及攻击行为等,此类平台之间数据交互标准不统一,阻碍数据传输和共享,最终陷入到信息孤岛的困境。此种情况下,安全管理人员需要频繁切换不同的平台,消耗过多的精力浪费在不必要行为中,影响系统整体运行效率^[4]。例如,某地区电网调度中心配备了7套独立安全系统,各系统平台之间的信息整合离不开人工手段支持,导致协同处置效率大打折扣。IEC 61850和Modbus协议转换过程中,可能丢失部分通信元数据;防火墙更新缓慢,同入侵检测系统之间存在协同延迟,大概8min~15min左右,从而出现安全防护真空期。

3. 计算机病毒

威胁电力监控网络安全的因素多样,其中计算机病毒问题最为典型。电力监控系统运行需要应用程序、操作系统、网络协议等提供支持,但由于系统和程序众多,不可避免地存在漏洞,一旦被病毒利用入侵,则会威胁到电力监控网络的运行安全^[5]。实际上,电力监控网络的设备类型多样,有些设备更新速度缓慢,由于型号老旧,无法技术升级,为计算机病毒高度入侵埋下可趁之机。例如,蠕虫病毒经由电子邮件以及网络共享等途径传播,电力监控网络一旦感染将会导致大量设备瘫痪,造成众多数据丢失。情况严重下,病毒会下达误动指令,威胁电力监控网络系统运行安全,甚至造成大面积停电事故。另外,2023年某换流站事件的爆发,反映出超过40%的病毒是经由USB调试接口传播,防护边界延伸到物理隔离区。从中可以看出,计算机传播方式、攻击手段日趋复杂,并且更加隐蔽,传统网络安全检测手段无法有效应对,为电力监控网络安全带来了严峻挑战。

4. 自动化应急处置手段单一

电力监控网络一旦出现突发事故,由于自动化应急处置手段

较为单一,使得系统出现数据泄漏和网络攻击等突发情况时,无法自动化应急处置。由于处置方式过于单一,系统无法根据事件严重程度和影响范围等因素智能化分析处置。例如,系统遭受网络攻击时,一刀切的断开网络连接,使得某些核心业务无法正常展开,不利于电力监控系统安全、稳定运行^[6]。实际上,电力监控网络系统响应速度缓慢,一旦出现突发事故,主站系统灾备切换消耗时间较长,大概45min~60min,而《电力网络安全应急演练指南》规定30min以内,不符合标准,应急响应能力不足,可能会造成重大的经济损失。

三、电力监控网络安全智能分析管控的策略

(一) 加强网络及电力二次安防设备加固

为了保障电力监控网络安全,应做好网络及电力二次安防设备加固处理,具体包括以下几点:①定期更新和升级软件,安装系统补丁,提高网络安全加固水平,降低运行成本。如,设置网络风险黑名单,设置最小权限开放IP地址与端口,安装升级补丁设备等^[7]。②完善电力监控系统硬件设施,加大资金投入,结合电力系统运行情况完善配套安防设备和软件,有效抵御各类新型网络病毒攻击。电力系统网络中设置入侵防御系统,并配备专门的网络安全态势感知设备,定期更新升级病毒管理中心。③二次评估电力系统运行安全区,电力监控系统升级后,综合评价系统的监测和控制能力,结合系统网络安全运行预测系统是否需要迁移升级^[8]。

(二) 建立安全防护体系

为了保障电站运行安全,坚持因地制宜原则建立安全防护体系。依据实际情况落实安全防护责任制,编制网络安全应急预案,督促相关人员依据安全防护方案规范落实安全管理工作,一旦出现突发事件第一时间启动应急预案,将危害控制在合理范围内;加强电压等级纵向加密管理,基于远程管理技术建立纵向加密技术,保证电力监控系统始终在远程加密控制状态下稳定运行;建立35kV安全监测管理体系,遵循采集原则和统一管控原则,提升电站安全防护体系规范化水平。

(三) 视频监控系统联动运作

在现有的电力监控网络安全智能分析管控体系中,加强视频监控联动运作,能够有效提高系统安全防护能力。建立统一的数据交互平台,提供标准化数据接口,能够兼容不同厂家和型号视频监控设备,实现电力监控数据统一传输和共享^[9]。例如,遵循MQTT物联网数据传输协议,汇集电力设备运行与数据、视频流数据、安全预警数据源等,运用大数据技术进行分析处理,从而提取有价值信息,为后续系统联动决策提供可靠的数据支持。另外,采用人工智能算法,智能分析电力监控网络数据、视频监控图像,从而实现安全事件关联运作,提高安全事件应急处置效果。

四、电力监控网络安全智能分析管控系统设计

(一) 总体框架设计

电力监控网络安全智能分析管控系统设计环节,应设计总体

框架,如图1。该系统框架自上而下分别是应用安全层、网址访问层以及运用安全层几个部分,能够极大地提高电力监控系统网络运行安全。网络路由器负责计算、传输和分析电力监控系统数据,并且通过有线或五险方式进行数据传输。应用安全层采用无源光纤网络传输数据,依托 TypeB 技术实现数据信息安全传输,最大程度上避免数据泄漏。电力监控系统采用交叉连接方式与其他业务和装置连接,联合运用 TypeB 技术和分光器,组成波长复用模式。基于此种安全保护方式,能够最大程度上实现网络数据存储、传输安全。而网址访问层有机整合虚拟局域网聚合技术,将电力监控信息和外部风险数据相隔离,并且在系统内部设立 FW 虚拟机,安全存储电力监控数据,提高数据信息处理能力。运营安全层采用改进 AC 算法,从电力监控系统中提取数据特征量,以 AC 算法加密数据格式传输和存储,最大程度上抵御外部攻击行为,全面提高数据信息安全性和完整性。

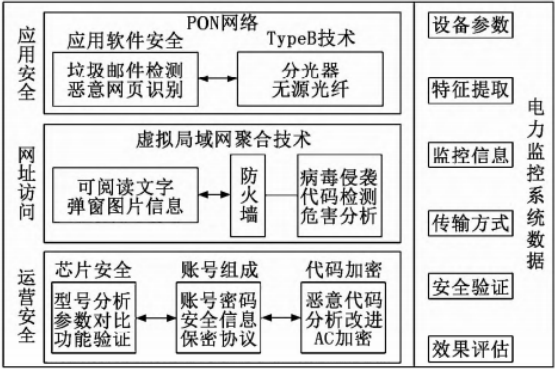


图1 电力监控网络安全智能分析管控系统框架

（二）硬件设计

系统硬件设计环节,根据要求配备网络路由处理器、分光器、无线通信模块以及存储器等部分。其中分光器构件配备了1×N端口,均匀分配光信号功率,控制工作波长在1269nm ~ 1650nm范围内,具有高隔离度以及低损耗等优势特点。网络路由处理器,采用 RTL8196 核心处理芯片,主频

2.4GHz,数据传输速率最高为300Mb/s,保证电力监控数据实时传输、处理。存储器采用型号为 W25Q64 的存储器,该型号具有成本少、小型化的优势特点,在执行存储代码方面实现数据连续高速传输,传输速率大概64Mb/s,具有高灵敏、快速响应的特点。无线通信适配器,遵循 FCC-CE 标准采用型号为 RTL8192CE 的通信适配器,传输速率达到了150Mb/s。具体的连接电路如图2。

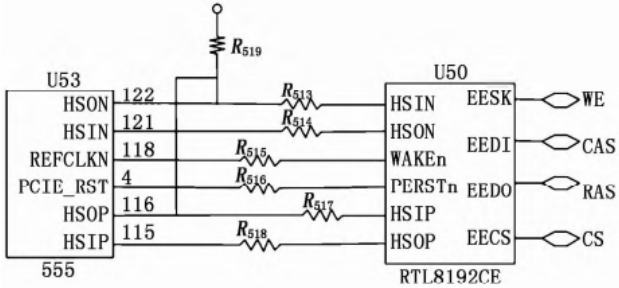


图2 无线适配器连接电路

（三）软件设计

电力监控网络安全智能分析管控系统设计中,软件设计是核心内容,微课实现电力监控数据信息安全传输,就可以采用 PON 网络 TypeB 防护技术实现^[10]。而在数据库设计中,适合建立 MySQL 数据库,高效收集、存储和存储各类数据,具体涵盖安全日志数据表、安全等级数据表、实时运行数据表以及历史数据等。为了保证系统实时响应,系统间隔 0.5s 更新一次数据。

五、结论

综上所述,电力监控系统运行中产生的数据规模较大,建立电力监控网络安全智能分析管控系统,有助于实时监控电力系统运行状况,及时发现和解决系统异常数据,从而快速定位和应急处置安全威胁,保障电力监控系统网络安全,助推电力事业持续稳定发展。

参考文献

[1] 翁昊. 基于网状关联分析的电力监控网络信息安全智能预警方法 [J]. 网络安全和信息化, 2024, (09): 46-48.
[2] 文辉辉, 苏楠. 智能变电站电力监控系统网络安全防护研究 [J]. 网络安全技术与应用, 2024, (06): 132-133.
[3] 曹小明, 张华兵, 叶思斯, 等. 结合 ECC 算法的电力监控网络智能接入协议 [J]. 沈阳工业大学学报, 2024, 46(01): 60-65.
[4] 虞明标. 基于智能照明系统的电力网络安全监测与控制 [J]. 灯与照明, 2023, 47(04): 63-66.
[5] 曹小明, 张华兵, 叶思斯, 等. 基于 ECC 算法的电力监控网络智能接入协议 [J]. 沈阳工业大学学报, 1-7.
[6] 梅发茂, 黎皓彬, 黄浩, 等. 新能源涉网电力监控网络非法接入阻断技术 [J]. 电子设计工程, 2023, 31(09): 177-180+185.
[7] 姜渭鹏, 张鹏望, 何兴谷. 基于泛终端边缘计算的智能图像电力监控系统网络安全防护方式的采用和研究 [J]. 电力大数据, 2023, 26(04): 82-89.
[8] 胡周达, 隆运鸿, 许丰, 等. 基于网状关联分析的电力监控网络信息安全智能预警方法 [J]. 现代电子技术, 2023, 46(03): 69-74.
[9] 陈明亮, 李鑫, 谢国强. 基于嵌入式技术的电力监控网络数据安全传输方法 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22(06): 33-37.
[10] 张亮, 屈刚, 李慧星, 等. 智能电网电力监控系统网络安全态势感知平台关键技术研究及应用 [J]. 上海交通大学学报, 2021, 55(S2): 103-109.

城市桥梁施工中预应力张拉技术应用研究

熊朝阳

浙江正立高科建设有限公司, 浙江 温州 325006

DOI:10.61369/ETQM.2025060007

摘要：目的：随着城市基础设施快速发展，桥梁建设数量不断增加，对结构安全性与施工质量提出更高标准。方法：为提升城市桥梁施工技术水平，引入预应力张拉技术成为提升工程质量与延长结构寿命的关键路径。通过文献资料整理与典型工程案例，对张拉工艺流程、张拉力控制精度及张拉系统监测机制进行对比研究，结合结构应力变化与施工周期等关键指标，评估其在实际工程中的适用性与效果。结果：该技术在增强桥梁承载能力、控制结构变形、提高施工效率等方面具有显著优势，同时可有效降低施工风险。结论：预应力张拉技术在城市桥梁施工中具有良好的推广价值，但需结合不同桥型结构特点与现场条件，优化张拉参数与工艺控制策略，以实现最佳工程效益。

关键词：预应力张拉技术；城市桥梁；施工质量；结构性能；施工效率

Research on the Application of Prestressed Tension Technology in City Bridge Construction

Xiong Zhaoyang

Zhejiang Zhengli Gaoke Construction Co., Ltd. Wenzhou, Zhejiang 325006

Abstract： Objective: With the rapid development of urban infrastructure, the number of bridge construction projects is continuously increasing, posing higher standards for structural safety and construction quality. Method: To enhance the technical level of city bridge construction, the introduction of prestressed tension technology has become a critical path to improve project quality and extend structural lifespan. Through the collation of literature and analysis of typical engineering cases, a comparative study was conducted on the tensioning process, tension control accuracy, and tension system monitoring mechanism. Combined with key indicators such as structural stress changes and construction cycles, the applicability and effectiveness of the technology in actual engineering were evaluated. Results: This technology has significant advantages in enhancing bridge bearing capacity, controlling structural deformation, and improving construction efficiency, while effectively reducing construction risks. Conclusion: Prestressed tension technology has good promotion value in city bridge construction, but it needs to be combined with the structural characteristics and site conditions of different bridge types to optimize tension parameters and process control strategies, so as to achieve optimal engineering benefits.

Keywords： prestressed tension technology; city bridge; construction quality; structural performance; construction efficiency

引言

随着城市化进程不断加快，道路交通压力日益增大，桥梁作为城市交通网络的重要组成部分，其数量和规模持续增长，承担着连接区域、疏导交通、推动经济发展的重要功能。然而，城市桥梁施工面临场地狭小、交通干扰大、工期紧张以及结构复杂等诸多技术挑战，传统施工方法在保障结构安全与施工质量方面存在一定局限。为满足现代城市对桥梁结构高强度、高耐久性与高效率施工的要求，预应力张拉技术被广泛引入桥梁工程中，以提升结构性能、控制裂缝发展、减小挠度并延长使用寿命。在复杂施工环境下，该技术对施工控制精度和设备性能提出更高要求。通过对预应力张拉技术在城市桥梁施工中的应用进行系统分析，有助于明确其技术优势、适用条件及优化路径。文章围绕预应力张拉技术的工程应用效果，结合相关工程案例，从技术机理、施工工艺、控制措施等方面展开研究，为今后城市桥梁高质量建设提供理论支撑与实践参考。

一、文献综述

预应力技术作为现代桥梁工程中的核心施工手段，经过近百年的发展，其理论体系逐渐成熟，施工方法不断优化，材料和设备也持续迭代升级。在国外，早期由法国工程师 Eugène Freyssinet 提出的预应力混凝土理论为该领域奠定了基础，美国、德国等国家在 20 世纪中后期推动了预应力施工技术的产业化和标准化，广泛应用于大型桥梁、隧道和高层建筑工程。国内自 20 世纪 50 年代起开始研究预应力技术，经过几十年的发展，在桥梁施工中积累了丰富经验，形成了一套具有中国特色的技术体系。

目前，钢绞线、高强度钢丝等材料性能不断提升，张拉设备向着智能化和模块化方向发展，使得张拉精度和安全性大幅提高。在众多工程中，预应力技术均取得显著成效，如国内某城市高架桥工程通过多阶段张拉技术成功控制主梁线形，提高结构刚度，并有效延长使用寿命；而欧美城市的桥梁工程则普遍采用智能张拉系统与结构健康监测技术，实时跟踪结构响应，确保张拉质量与长期安全。

尽管如此，当前研究仍存在一定不足，尤其是在城市复杂环境下的施工适应性方面缺乏系统研究。城市桥梁常处于狭窄施工区域或交通密集地段，现有张拉工艺往往难以满足空间限制与施工协同要求，同时施工过程中张拉力的实时监测与精确控制手段尚不完善，存在数据延迟与干扰因素影响的问题。因此，在实际工程中需针对城市环境特点对张拉工艺进行定向优化，提升施工适应性和灵活性。此外，通过引入数字化监测系统，如无线传感器网络和张拉数据可视化平台，可实现全过程动态监控与智能预警，显著提升施工安全性与精度控制水平。

二、研究方法

（一）研究设计思路

本研究以城市桥梁工程中预应力张拉技术的实际应用为核心，选择典型的城市桥梁施工项目作为研究对象，重点分析预应力张拉技术在桥梁结构性能、施工效率与安全控制等方面的具体表现。通过对比传统施工方法与采用预应力张拉技术的项目实施效果，评估其在提升桥梁承载能力、减少结构变形、缩短工期和降低施工风险方面的优势与潜在问题。研究聚焦于城市复杂施工环境下张拉技术的适应性与可靠性，借助实际工程案例深入剖析技术应用过程中的关键环节与优化空间，从而为该技术在城市桥梁领域的推广与完善提供可行路径。

（二）数据采集方式

数据采集涵盖工程前期设计资料、施工过程中的实时监测数据以及完工后的结构检测报告。结构性能方面，获取梁体张拉前后的应力应变变化数据，包括应力钢束的张拉力数据（张拉控制力设计值为 1570 MPa，实际张拉平均力为 1550 MPa，偏差率控制在 ±1% 以内），张拉过程中梁体挠度变化（最大挠度值控制在 12.3 mm 以内），结构变形测点布设密度及位移监测记录。施工效率方面，记录施工周期，从钢束布设到张拉完成的平均用时

（预应力段平均 6 天，传统段平均 9 天）。质量评估部分包括混凝土强度检测报告（C50 混凝土 28 天强度实测值平均达到 53.2 MPa）以及张拉完成后的张拉端头锚固情况和预应力损失率评估（平均损失率为 4.6%，优于设计控制值 5%）。此外，通过对现场施工人员、项目总工、监理工程师等进行访谈，收集他们对预应力张拉施工中的技术难点、安全控制、设备使用等方面的反馈，辅助验证数据可靠性与工程实效性。

（三）分析方法

在数据分析过程中，首先进行结构性能方面的统计分析，通过对比张拉与非张拉段在张拉后混凝土裂缝控制、变形控制、跨中挠度等指标的表现，量化预应力技术对结构稳定性与安全性的提升效果。其次进行工程经济分析，从直接施工成本（包括钢束材料费、设备租赁费、施工人工成本等）和间接成本（施工周期压缩带来的管理成本节约）进行评估，发现预应力段总成本较传统段略高约 8%，但整体工期缩短 33%，具备显著的经济效益优势。最后进行风险评估，围绕张拉过程中的关键控制点如张拉力误差控制、张拉顺序调整、锚具偏位问题进行定性分析与定量分析，结合监测数据识别潜在安全隐患，评估其对结构安全的影响，并提出对应的预警和控制措施。通过上述综合分析，系统评价预应力张拉技术在城市桥梁施工中的实用性、经济性与安全性，为后续技术推广提供数据支撑与工程建议。

三、研究结果

（一）案例项目基本情况介绍

选取的案例项目为“某市环城南路高架桥工程”，该工程为城市主干道改造项目，总长 2.6 公里，其中包含 8 联现浇箱梁桥段。桥梁结构形式为双向六车道、双幅连续箱梁桥，主跨跨度 40 米，采用 C50 混凝土与 $\phi 15.2\text{mm}$ 钢绞线作为主要构件材料。施工环境位于城市交通繁忙区域，场地狭窄，需保通施工，施工工期控制严格。项目划分为多个施工段，其中第 5 联桥梁采用预应力张拉技术施工，其余段落采用常规现浇施工方式，为对比研究提供了理想条件。

（二）张拉技术应用数据汇总

第 5 联桥梁张拉方案为分阶段张拉，使用前后张拉结合的方式布置纵向预应力。设计张拉力为 1560kN，实际张拉过程采用千斤顶编号 ZL-150 型，并配备张拉力数字监测系统，采集频率为 1 次/秒，张拉误差控制在 ±2%。梁体张拉前后进行变形监测，采用全站仪与位移传感器联合布控，控制断面最大变形为 11.7mm，张拉后回弹控制在 1.2mm 以内，符合设计规范要求。如表 1 所示。

表 1 张拉施工期间监测系统数据记录

项目编号	张拉控制力 (kN)	实测张拉力 (kN)	偏差率 (%)	张拉段最大挠度 (mm)	回弹值 (mm)
Z5-1	1560	1547	-0.83	11.4	1.1
Z5-2	1560	1551	-0.58	11.7	1.3
Z5-3	1560	1549	-0.71	11.2	1.0
Z5-4	1560	1550	-0.64	11.6	1.2

张拉设备运行稳定，实时张拉力曲线波动小于 1.5%，锚具锚

固后未发现滑移现象，张拉损失平均为4.4%，低于设计控制值5%。监测系统自动生成张拉曲线及施工日志，便于施工过程质量追溯与安全管理。

（三）对比结果分析

将采用预应力张拉技术的第5联桥梁与传统施工的第3联桥梁进行对比分析，比较其结构性能、施工周期及技术实施难度，如表2所示。

表2 对比结果分析

项目对比项	第5联（预应力张拉）	第3联（传统施工）
跨中最大挠度（mm）	11.7	16.3
混凝土裂缝长度（m）	0.5	2.8
工期（天）	18	27
材料成本（万元）	134	122
施工人工投入（人·日）	280	360
张拉误差控制（%）	±2	不适用

分析表明，采用预应力张拉技术的桥段结构刚度明显提高，挠度控制优于传统施工段，裂缝发展受控，有效提升桥梁整体性能。尽管材料成本略高8%，但工期缩短33%，人工投入减少22%，整体经济性更优。施工过程中虽增加了张拉设备调试和力值监控等工作，技术实施难度相对提高，但通过数字化设备的应用，张拉过程实现了自动化控制，施工质量更具可控性。该技术在城市复杂环境下表现出良好的适应能力，为后续桥梁工程提供了可复制、可推广的技术路径。

四、讨论

（一）研究结果解读

预应力张拉技术通过在桥梁构件中引入预先应力，形成与外部荷载方向相反的内力场，有效抵消部分工作应力，显著提升结构的承载能力与耐久性。张拉过程中通过合理布置钢束位置和控制张拉顺序，能够优化内力分布，减小跨中挠度，抑制裂缝发展，从而提高桥梁整体刚度和使用寿命。施工精度方面，张拉力控制精度直接关系到应力均匀性与锚固安全，通过引入自动化张拉监控系统，确保张拉力控制在设计误差范围内，有效防止局部过应力或锚固滑移，进一步保障结构安全。

（二）技术适应性分析

在城市桥梁施工中，由于场地受限、交通压力大，施工空间狭窄且作业窗口有限，传统大体积混凝土与长周期模板支架作业受限严重。预应力张拉技术具备构件轻量化与节段化施工优势，有效适应城市施工环境。通过模块化设备与分阶段张拉方式，张拉作业可在夜间或非高峰时段进行，最大限度减少对城市交通的干扰。此外，通过设置隔音屏障、采用低噪声设备和精细化施工组织，可控制施工对周边环境的影响，实现“绿色施工”目标。

（三）与前人研究的比较

本研究在继承和验证已有研究成果的基础上，进一步拓展了预应力张拉技术在城市复杂环境中的应用边界。传统研究多集中于高速公路或郊区大跨度桥梁的结构性能优化，侧重于张拉技术在提升桥梁承载力、延缓裂缝发展的作用，而本研究则以城市密

集区为应用背景，重点探索了复杂施工环境下的技术适应性与施工可靠性。在技术优化方面，研究围绕施工组织、张拉监控及适配性分析三个关键维度进行系统化提升：在施工组织层面，提出适应城市交通节奏的分阶段施工策略，实现低干扰、高效率作业；在张拉监控方面，引入自动化智能张拉系统，提升张拉力控制精度和实时反馈能力；在适配性分析上，结合工程实例细化技术参数与施工工艺，确保结构安全与施工可行性的平衡。研究聚焦于城市复杂施工环境下的实际问题，提出具有现实可操作性的解决方案，为预应力技术在城市桥梁建设中的推广应用提供了理论依据与实践指导，进一步丰富并完善了该技术在城市交通基础设施建设中的应用体系。

（四）潜在问题与改进建议

尽管张拉技术整体表现良好，但实际施工中张拉力控制仍存在一定误差，可能源于设备精度、摩阻损失估算偏差或施工环境波动等因素。建议采用高精度智能张拉设备，并结合实测摩阻值进行张拉力动态调整。技术人员操作能力差异也是影响质量的关键因素，应通过标准化作业流程培训与技术交底制度提升操作一致性，同时加强全过程监测和第三方质量巡检，确保施工质量稳步可控。

五、结论

（一）主要研究发现总结

通过对典型城市桥梁项目的实证分析和多维度数据比对，明确预应力张拉技术在提升桥梁结构性能、控制变形、缩短施工周期及提高施工精度方面具有显著优势。预应力张拉能有效改善桥梁内部受力状态，增强整体刚度，抑制裂缝发展，延长使用寿命。张拉过程借助数字化监控手段，可实现对张拉力和结构变形的全过程精准控制，确保施工质量稳定可控。同时，工期较传统工艺明显缩短，有效缓解城市施工对交通的干扰，提升了施工效率与经济性。

（二）实践应用价值

预应力张拉技术在城市桥梁建设中的成功应用，为今后的桥梁设计与施工提供了重要的技术路径和理论支持。在设计阶段，应更重视结构应力重分布与预应力路径布设的科学性，结合实际工况合理配置钢束形式与数量；在施工阶段，则需加强张拉过程中的数据监测与动态调整能力，确保结构性能达到预期标准。该技术的推广不仅可提升桥梁工程质量，也为城市复杂环境下实现精细化施工和可持续建设提供了有效手段。

（三）研究局限性

尽管本研究基于典型工程案例展开，结论具备一定代表性，但仍存在一定局限性。一方面，所选案例数量有限，尚不足以全面覆盖各类桥型结构及多样化城市环境；另一方面，研究未涉及极端气候条件下（如高温、严寒或潮湿环境）预应力张拉施工的性能表现与风险控制，因此在推广应用过程中仍需结合区域特点进行深入研究 with 适配优化。

（四）后续研究方向

未来可进一步结合物联网、大数据与人工智能技术，构建智

能化张拉监控系统，实现对张拉力、位移、应力等核心参数的实时采集与自适应调整，提高张拉过程的自动化与智能化水平。此外，建议开展不同气候、不同地质条件下的跨区域桥梁施工适应性研究，形成一套具有广泛适用性的预应力张拉技术应用标准与施工指南，推动该技术在更大范围内的高效落地与工程实践。

目管理团队的大力支持，特别感谢市环城南路高架桥项目部提供的第一手施工数据与技术资料。同时，感谢在张拉工艺分析、数据监测与结构评估等方面给予指导的专业人员，提供了宝贵的意见与建议。亦感谢在调研与资料整理过程中协助提供帮助的同仁与同行，有效保障了研究的顺利进行。在此一并致以诚挚谢意。

六、致谢

在本课题研究撰写过程中，得到了多位工程技术人员和项

参考文献

[1] 付凯华. 探究桥梁施工中预应力智能张拉技术应用措施 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (12): 173–175. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2024.12.056.

[2] 席晓伟. 预应力张拉技术在市政桥梁施工中的应用研究 [J]. 工程机械与维修, 2024, (01): 177–179.

[3] 辛崇升, 卢忠梅, 赵毅. 预应力数控智能张拉施工技术在桥梁施工中的应用 [J]. 科技展望, 2015, 25(23): 16–17.

[4] 刘健. 城市快速干道桥梁混凝土箱梁预应力张拉施工技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2013, (04): 188. DOI: 10.19981/j.cn.2013.04.183.

[5] 李超. 桥梁施工中大跨径连续桥梁技术的应用研究 [J]. 上海建材, 2024, (06): 105–108.

[6] 张敏, 韩振玉, 姚明新. 预应力施工技术在市政桥梁工程中的应用 [J]. 汽车画刊, 2024, (12): 162–164.

[7] 杨庆锋. 市政桥梁施工中现浇箱梁关键技术探究 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(22): 126–129. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2024.0797.

[8] 何智浩. 钢管混凝土拱桥在上跨城市道路中的施工应用 [J]. 交通建设与管理, 2024, (S1): 107–109+158.

[9] 林明敬. 市政公路桥梁箱梁预应力张拉及压浆施工控制探析 [J]. 交通世界, 2024, (23): 137–139. DOI: 10.16248/j.cnki.11–3723/u.2024.23.018.

[10] 王龙涛, 钟洪江, 曹悦志. 市政道路桥梁预应力施工技术要点 [J]. 大众标准化, 2024, (18): 77–79.

基于 BIM 技术的高速公路施工管理措施

余阳

重庆成渝垫丰武高速公路有限公司, 重庆 408512

DOI:10.61369/ETQM.2025060017

摘 要 : BIM技术是现代信息技术的一个分支, 可以利用数据信息构建模型, 并通过信息共享的方式提升信息的利用效率。当前 BIM技术已经被广泛应用到高速公路施工管理工作中, 通过对公路施工管理信息的整合, 可以形成更直观的工程项目空间结构, 使高速公路工程可视化, 提升高速公路施工管理效率。本文主要针对 BIM技术在高速公路施工管理中的优势和现状进行分析, 并提出高速公路施工管理措施, 提升高速公路施工管理水平。

关 键 词 : BIM技术; 高速公路; 模型

Highway Construction Management Measures Based on BIM Technology

Yu Yang

Chongqing Chengdu-Chongqing Dianfengwu Expressway Co., Ltd. Chongqing 408512

Abstract : BIM technology is a branch of modern information technology that can use data to construct models and improve information utilization efficiency through information sharing. Currently, BIM technology has been widely applied in highway construction management. By integrating highway construction management information, a more intuitive spatial structure of engineering projects can be formed, making highway engineering visualizable and improving highway construction management efficiency. This article mainly analyzes the advantages and current status of BIM technology in highway construction management, and proposes highway construction management measures to improve the level of highway construction management.

Keywords : BIM technology; highway; model

近年来, 我国高速公路的建设进程不断加快, 公里数不断增加, 同时对高速公路工程的质量和管理也提出新的要求。为了保证高速公路建筑质量, 施工单位不断优化建筑施工管理方式, 并将 BIM技术引入到高速公路施工管理中, 提升管理质量, 保证企业的竞争力^[1]。BIM技术的可视化和模拟化特点, 可以为高速公路施工管理提供更好的管理途径, 针对其中的质量问题提前预测, 并合理协调参建方的工作, 保证高速公路施工的顺利开展, 提升建筑施工质量。

一、BIM技术在高速公路施工管理中的优势

(一) 施工设计可视化

BIM技术在高速公路施工管理中的应用, 可以根据设计方案, 将高速公路工程形成三维立体模型, 保证模型展示的直观性。通过对3D模型的分析, 可以直观看到高速公路隧道、桥梁等结构情况, 以及各部分间的空间关系等。同时还可以观察高速公路工程的管线走向, 交叉情况以及标高冲突, 针对存在冲突和撞击的情况提前做好方案改进, 避免施工中出现设计变更, 减少施工损失, 保证施工进度^[2]。同时在施工的过程中, 还可以利用 BIM技术对施工进度进行可视化, 查看不同阶段的施工状态和进展, 并结合工程进展情况及时进行资源调配。此外, 可以将高速公路施工中不同的专业整合到一个可视化的模型中, 包括交通工程、桥梁以及绿化等, 更好的展现公路桥梁施工的线路、桥墩位置, 判断施工的可行性。不同专业的施工人员也可以利用 BIM

技术, 针对可视化模型进行沟通。比如, 施工人员发现施工问题后, 可以在模型上做标记, 设计人员根据标记查看设计问题, 并与施工人员以及建筑单位共同协商解决方案, 提升各专业间的沟通效率, 保证施工质量^[3]。

(二) 工程建设的模拟

BIM技术在高速公路施工中的应用, 可以对整个施工过程进行模拟, 根据施工的工序和施工进度等, 对施工不同阶段的场景进行模拟。比如模拟施工中的材料运输和存放, 模拟施工中各种机械的应用和施工设施的搭建等, 有利于提前发现施工中可能存在的不合理问题, 不断优化施工方案。同时针对施工过程中出现的各种工序问题进行模拟, 查找出现问题的主要原因, 并结合具体原因形成有效的分析结果, 进行针对性的资源分配^[4]。此外, 还可以利用 BIM技术实现对高速公路施工中的安全风险识别, 通过搭建施工现场模型, 标记施工中出现的各种危险区域, 比如深基坑施工、桥梁高空作业等。针对这些高风险施工位置进行模拟, 并根据模拟结果提出

相应的应急预案，保证工程施工的安全性^[6]。

二、BIM技术的高速公路施工中的应用现状

（一）应用程度较低

当前我国高速公路建设施工中，已经全面引入 BIM 技术手段，但是从技术的实际应用情况来看，应用的水平比较低（如表 1）。因此在高速公路施工管理中，BIM 的应用中仍然存在诸多的问题。比如，施工单位施工中 BIM 技术管理的应用意识不足，无法发挥 BIM 技术的实际作用。同时，虽然部分施工单位全面实施 BIM 技术管理，并认可 BIM 技术的管理效能，但是由于 BIM 技术的软件功能单一，以及使用效率低等因素的影响，导致 BIM 技术的应用中仍然存在诸多问题，不利于 BIM 技术功能的发挥。

表 1 BIM 技术的高速公路施工中的应用调查表

应用范围	占比
高速公路设计阶段	45%
高速公路施工阶段	25%
高速公路运营阶段	15%
其他	15%

（二）专业人才匮乏

BIM 技术在高速公路施工管理中的应用，需要依靠于高技术人才作为主导，但是从当前高速公路施工中 BIM 技术的应用情况来看，能够熟练掌握 BIM 技术的人员有限。同时高速公路施工管理中 BIM 技术人员不仅要在 BIM 技术的应用方面具有一定的优势，还需要了解高速公路施工。随着高速公路施工范围的不断扩大，这种复合型人才缺口也不断加大。首先，高速公路施工管理中的 BIM 技术人员需要具有多个专业的知识，包括高速公路设计、施工以及与其他部门的对接等能力。但是从现有的高速公路管理人才队伍结构情况来看，大部分人员都只体现在某一方面的专长，缺乏系统的知识体系结构，无法利用 BIM 技术解决实际问题^[6]。比如，部分 BIM 技术比较熟练的人员，不了解施工管理流程，在 BIM 技术操作中难以利用有限的信息构建管理模型，影响 BIM 技术应用效果。此外，高速公路施工单位在 BIM 专业人才培养中存在一定的难度，当前路桥施工管理专业中 BIM 技术的引入不多，或者 BIM 技术过于落后，无法与 BIM 技术发展保持同步。导致学生毕业后难以与实际工作需求的技术要求相匹配。企业在职人员的 BIM 技术培训中，由于缺乏系统的培训课程体系，也会影响人才培养效率。

（三）信息系统不足

高速公路建设项目规模结构庞大，其中涉及到的知识内容多。高速公路施工中需要做好对工程信息的收集，为高速公路工程开展提供有效的方案参考，但从我国当前的高速公路工程建设情况来看，信息管理体系并不完善，对信息的收集能力差，导致高速公路施工效率降低。主要表现在高速公路施工管理中形成的数据出现割裂的问题，因为软件格式不统一，导致信息传输中出现丢失和篡改的情况^[7]。

（四）激励作用有限

从我国当前关于高速公路建设的管理情况来看，仍然采用项

目分包制的模式，施工企业主要依靠承包费用获得一定的收益。在高速公路施工管理中通过 BIM 技术的应用，可以有效预测施工中的问题，并做好规避工作，避免影响施工进度，保证施工质量。但是 BIM 技术应用的专业性强，企业的复合型人才数量不足，必然会影响 BIM 技术应用的时效性。要想提升企业管理人员的 BIM 应用意识，需要采用激励机制，加强人才培养。但企业现有的激励机制并不完善，管理人员对 BIM 技术的学习和应用热情不高，部分管理人员因为不习惯 BIM 技术仍然采用传统的技术管理模式，不利于 BIM 技术在管理中的应用

三、基于 BIM 技术的高速公路施工管理措施

（一）加强 BIM 技术储备

从当前 BIM 技术在高速公路施工管理方面的应用情况来看，仍然存在诸多不完善的问题。究其原因，主要与施工单位对 BIM 技术的认知不足以及 BIM 技术的应用不规范具有直接的关系。为了提升高速公路施工管理中 BIM 技术的应用效率，企业需要加强对 BIM 技术能力建设，扩大企业中 BIM 技术的储备。首先，采用分层管理的技术方式，在企业内部构建 BIM 技术管理平台，促进企业管理以及项目工程管理的转型，提升企业高层领导以及各项目管理层对 BIM 技术的重视^[8]。同时促进 BIM 技术与高速公路施工工作的深度融合，从高速公路施工的立项开始，利用 BIM 技术模拟施工方案，比如针对一些比较复杂的节点利用 BIM 技术进行模拟，加强对施工方案的优化和施工工序的完善。同时在工程量计算中也需要利用 BIM 降低人工计算误差。大量的实践研究，可以帮助企业领导人员以及项目管理人员认识到 BIM 技术的优势，促进 BIM 技术应用平台不断完善。其次，构建高速公路 BIM 技术生态。要求所有的软件都要符合公路工程技术标准，保证管理的合规性。最后，加强对 BIM 技术相关插件的研究，结合高速公路建设管理需求，与软件公司合作，形成更有利于项目管理的各种插件，提升 BIM 技术的管理效率。此外，还可以尝试将 BIM 与其他技术融合，比如，BIM 与 GIS 技术融合，实现对高速公路施工场地的勘测和优化。

（二）注重 BIM 人才培养

高速公路施工管理中 BIM 技术人才不足是限制管理技术水平的关键要素，为了提升高速公路 BIM 技术的应用效率和管理水平，还需要加强对 BIM 技术的复合型人才培养。首先，企业可以与高校间建立人才培养合作机制。针对高校的土木工程、交通管理等专业中融入 BIM 技术的课程体系，培养复合型人才，保证学生毕业后可以快速与企业管理工作间形成有效的对接。同时企业还可以与高校间共同构建实训基地，为高校提供实践场所，不仅可以帮助学生掌握 BIM 技术，还可以为高速公路施工管理提供一定的参考。其次，加强企业内部培训。针对企业在职员工也需要进行 BIM 技术培养，可以结合不同的工作岗位，以及当前的技术能力和水平等，形成不同的人才培养计划。针对 BIM 在进度控制、质量管理以及资源配置等方面的功能进行深入培训，使企业现有项目管理人员可以快速掌握 BIM 技术手段，提升 BIM 技术的

应用水平。为了保证培训的效率，可以采用多元化的培训形式，包括邀请专家到企业中为企业管理人员讲座，讲解和分析当前BIM技术的前沿发展状态和项目管理经验。还可以构建线上线下学习平台，员工可以根据自己的时间灵活学习，保证企业人员的学习效率。最后，还可以派遣企业人员外出学习。比如参与行业研讨会或者企业交流会等，了解当前高速公路施工中BIM技术的最新技术发展和规范标准等，保证BIM技术应用理念的先进性。

（三）加强BIM系统建设

BIM技术在高速公路施工管理中的有效应用，需要配套的软硬件设施作为前提，构建完善的数字化系统^[9]。首先在软件的构建中，要结合高速公路施工管理特点选择相应的软件设施，比如AutoCAD软件，辅助高速公路建模。或者与Navisworks软件结合，针对高速公路项目进行施工模拟，保证软件间的数据兼容。其次，定期对配套软件进行升级管理，始终保证BIM技术运转的高效性和先进性。再次，完善BIM技术平台的数据管理体系。可以构建数据标准化规范管理体系，针对数据管理格式、命名等规则进行规范，保证BIM技术应用中各项数据的统一性，能够随时对数据进行共享，避免造成数据结构混乱或者出现乱码等情况。还可以构建数据平台，对高速公路施工管理中的各项数据进行集中管理，提升数据的上传和下载效率。为了避免数据丢失和泄露，在数据管理中可以采用权限管理方式，设置严格的数据访问权限，保证数据的安全性。

（四）强调BIM技术监管

BIM技术在高速公路施工管理中的应用，为了保证技术的有效落实，还需要加强对BIM管理工作的监管。首先，企业要制定科学的监管制度和技术应用规范。高速公路施工企业可以与企业协会联合，出台相应的规范标准，明确项目的规划以及BIM模型构建标准，保证信息化内容的全面覆盖，使各项工作开展都能找到有效的参考依据^[10]。其次，设置科学的BIM技术应用奖惩机制，针对利用BIM技术优化施工流程、控制施工质量以及缩短施工工期的部门和人员，给与一定的物质和精神奖励。针对BIM技术应用中出现重大失误的部门和人员，则可以给与一定的罚金处罚，提升管理人员和施工人员对BIM技术应用的重视。

四、结语

综上所述，BIM技术在高速公路施工管理中的应用，可以将工程施工流程和施工项目模型化和可视化，有利于发现施工中的问题，并提前制定预警机制和改善策略，避免施工中出现设计变更和返工等情况，保证建筑工程的施工质量。但是从当前BIM技术的应用情况来看，其中仍然存在诸多的问题影响BIM的应用效果。因此高速公路施工企业需要加强对BIM技术在施工管理中应用的关注，并做好对企业复合型人才的培养，优化BIM配套设施，提升BIM技术下高速公路施工的管理效率。

参考文献

- [1] 吴嵩. BIM技术在高速公路跨线桥施工安全管理中的应用研究[J]. 科学与信息化, 2025(1):141-143.
- [2] 杨哲, 孙一博, 王军鹏. BIM技术在公路项目施工阶段工程管理中的应用[J]. 河南建材, 2025(2):157-159.
- [3] 龙琰. 基于BIM技术的高速公路互通立交设计及施工管理[J]. 黑龙江交通科技, 2024, 47(7):23-26.
- [4] 余小晴, 曹林辉, 张春禄. BIM技术在建筑工程施工管理中的应用探索[J]. 砖瓦世界, 2025(4):211-213.
- [5] 李健, 李宛蓉, 邓云方, 等. 高速公路机电工程中BIM技术在施工管理中的应用研究[J]. 工程建设与发展, 2024, 3(11):49-51.
- [6] 傅梦媛. 高速公路工程施工中BIM技术的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(7):104-106.
- [7] 苗建, 马正吕, 陈其中, 等. 基于BIM的高速公路施工项目模块化总控管理研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(25):37-40, 44.
- [8] 饶舰, 龚啸, 王兴龙, 等. BIM技术在某高速公路项目建设管理中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2023, 15(3):119-124.
- [9] 赵欢. BIM技术在高速公路桥梁养护综合管理中的应用[J]. 工程技术研究, 2023, 8(16):123-125.
- [10] 曹才勇, 杨春会, 周栋, 等. 基于BIM的CSC平台在高速公路施工管理中的应用研究[J]. 湖南交通科技, 2023, 49(2):162-167, 188.

高速公路隧道施工超前支护施工技术的应用

涂臻

重庆成渝垫丰武高速公路有限公司, 重庆 408512

DOI:10.61369/ETQM.2025060019

摘 要 : 本文研究目的在于探讨超前支护施工技术在高速公路隧道施工中的应用。研究期间, 基于文献阅读、工程材料翻阅与梳理, 对高速公路隧道施工特点、超前支护概念与作用加以分析。随后, 从准备阶段到质量检测, 贯穿超前支护整个生命周期进行引用策略探讨。期望本文对我国高速公路施工团队、建设单位提供技术借鉴、参考价值, 从而全面降低隧道施工安全风险, 推动隧道工程经济与社会效益的双重获取。

关 键 词 : 隧道施工; 超前支护; 钻孔布设; 支护结构安装

Application of Advance Support Construction Technology in Highway Tunnel Construction

Tu Zhen

Chongqing Chengdu-Chongqing Dianfengwu Expressway Co., Ltd. Chongqing 408512

Abstract : The purpose of this study is to explore the application of advance support construction technology in highway tunnel construction. During the study, based on literature reading and review of engineering materials, the characteristics of highway tunnel construction, the concept and role of advance support were analyzed. Subsequently, from the preparation stage to quality inspection, the entire life cycle of advance support is explored through referencing strategies. It is hoped that this article will provide technical reference and reference value for China's highway construction teams and construction units, thereby comprehensively reducing the safety risks of tunnel construction and promoting the dual acquisition of economic and social benefits of tunnel engineering.

Keywords : tunnel construction; advance support; drilling layout; support structure installation

在高速公路隧道施工期间, 超前支护技术是通过提前加固隧道开挖面, 全面提高施工阶段安全性的重要技术。在复杂、不稳定的地质条件下, 如围岩破碎、存在突水风险地带, 这些安全隐患都会严重阻碍施工进度, 带来施工安全风险^[1]。超前支护, 可有效减小开挖的影响范围, 防止坍塌事故的发生同时一并优化施工进度, 减少围岩暴露时间, 降低施工风险以及可能面临的经济损失。故而, 对于隧道工程, 特别是地质复杂、对安全性有要求的高速公路隧道中, 超前支护无疑已经成为不可或缺的关键技术手段^[2]。

一、高速公路隧道施工特点

(一) 高度强调围岩稳定性评估

高速公路隧道通常会穿越山体, 因此, 隧道施工阶段围岩稳定性直接影响工程的安全^[3]。故而, 施工团队必须对围岩进行详细勘察、分类, 如利用地质雷达、钻探等手段深入了解岩层的结构、水文条件, 从而制定出具有针对性的科学支护方案。

(二) 多样化技术的应用

依据施工期间不同的围岩条件, 施工团队需要采用喷锚网、钢拱架、管棚等多样化的支护施工技术来确保隧道稳定性。如在隧道初期支护采用喷锚、钢拱架加固围岩, 形成初步的支撑结构。针对软弱围岩、富水地段, 需要使用管棚防止出现坍塌、突水现象。只有综合使用不同的支护技术组合, 才可以让施工过程适应复杂、多变的地质条件^[4]。

(三) 强调施工质量与环境保护并重

高速公路隧道施工, 强调施工质量控制与环境保护并重。一方面, 施工阶段, 需严格控制工程质量, 确保支护结构的可靠性、耐久性。例如使用前置录像、全断面收敛监测等技术手段及时发现、处理施工中的问题。另一方面, 为减小施工对环境、周边居民带来的消极影响, 施工团队需采取污染控制措施, 例如降尘降噪处理手段、废水处理等, 实现质量、环境保护的兼顾, 在确保隧道安全、使用寿命同时落实绿色工程建设目标^[5]。

二、超前支护技术概念与作用

(一) 超前支护技术概念

所谓超前支护技术, 是隧道开挖期间, 通过在开挖面前方预先设置支护结构来有效加固围岩、并减小其变形水平, 将潜在地

质灾害风险降至最低甚至杜绝的施工技术。超前支护技术核心是在隧道掘进施工的前期，利用对管棚、旋喷桩、超前小导管等支护结构的设置来有效控制围岩变形、支撑开挖面。具体实施过程中，施工各团队需要依据地质条件、工程的设计要求合理选择适当超前支护方式，保证隧道开挖施工过程中结构始终处于高度稳定状态^[6]。

（二）超前支护技术作用

1.提高围岩稳定性

隧道施工中，超前支护技术可以显著提高围岩稳定性。通过提前设置支护结构，继而加强围岩的自承能力，减缓围岩的变形速率。从技术层分析，超前支护通过设置管棚、钢拱架、超前锚杆等手段，能够有效地将围岩内的应力均匀分布，降低应力集中水平，提高围岩整体稳定性，

2.控制地表沉降

超前支护，可通过预先加固隧道周围土体来有效减缓失稳所导致的地表沉降现象。具体而言，超前支护如旋喷桩、管棚结构，可在隧道开挖前就形成一个稳定的支撑体系来维持地层完整性，继而达到减小地表沉降、幅度、范围的作用，避免地表建筑物、市政基础在施工中遭到损坏^[7]。

3.保障施工安全

施工安全为隧道工程项目的核心管理目标之一。超前支护技术，可为施工团队提供可靠的安全保障，有效预防塌方、涌水等一系列地质灾害。特别是在不良地质条件下，超前支护不仅可以保护施工人员生命安全，亦可保证施工机械设备长期处于正常运转状态^[8]。

三、超前支护施工技术在高速公路隧道工程中的应用

（一）准备阶段

隧道工程中，超前支护施工技术在高速公路隧道工程中的应用，准备阶段的核心在于精确的地质预报与详细的材料设备准备。其一，地质预报、风险预判为施工前必须开展的关键环节，旨在确保施工过程的安全性、可靠性。这一过程，可运用地质雷达（GPR）技术结合各隧道地震波预报（TSP）技术，在隧道开挖前探测前方30~50m范围内围岩富水、裂隙分布情况，确保项目团队能够绘制出详细的地质剖面图。其二，材料与设备的适配方面，为确保施工连续性，针对不同围岩等级（例如Ⅲ至Ⅴ级）需要选择适宜的支护材料，如钢拱架、喷射混凝土。围岩等级的差异，意味着差异化的物理性质、力学稳定性。同时，施工前，施工团队需确保注浆泵、钻机等设备调试完毕，保证其始终处于最佳工作状态避免施工中断。该环节下，地质预报精度需误差满足 $\leq 10\%$ ，材料储备应能保证连续72小时施工的需求。

（二）钻孔布设

超前支护的实施阶段，钻孔布设设计对于后续施工质量、效果有直接影响。布局优化设计阶段，需考虑科学布局与经济性。通常，可采用“梅花形”或“矩形”布孔形式，确保浆液可以覆盖开挖轮廓线之外3~5m范围，实现全面加固的效果。具体参数

设定方面，通常孔距应严格控制于0.8~1.5m之间，排距可设定在1.0~1.2m，保证支护结构具备均匀性、整体性。

钻孔阶段，钻孔参数控制同样至关重要。其中，仰角、深度设定直接影响浆液渗透、稳定性。钻孔仰角通常可设定为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 之间，轻微上仰角可以防止浆液回流且保证注浆效率。钻孔的深度，必须穿透松散层，同时需深入到稳定岩层至少2m深度，确保支护稳固性、长期效果。此外，孔径的设置需根据围岩硬度进行灵活调整，通常可设定40mm~80mm之间，适应不同地质条件下，为后期注浆创造良好条件。具体钻孔参数布置可参照表1：

表1 钻孔参数配置表

围岩等级	孔径 (mm)	孔深 (m)	孔距 (m)	排距 (m)	仰角 ($^{\circ}$)
V级	80	12~15	0.6	0.6	3
Ⅳ级	60~80	10~12	0.8	0.8	3
Ⅲ级	50~60	8~10	1.0	1.0	2

（三）注浆加固

注浆加固施工，旨在保证超前支护实现预期效果，注浆施工技术方法涉及浆液配比、渗透控制。浆液配比期间，应用水泥-水玻璃双液浆工艺，能够满足不同围岩条件下对注浆的需求，浆液配制阶段，水灰比控制在0.8~1.0范围，而水玻璃的浓度则应控制在30至35°Be’，模数设定为2.4~3.0。为进一步提高浆液早期强度，可加入2%~3%速凝剂，确保将凝结时间缩短至3~5min，大幅提升初期承载力。

注浆施工阶段，注浆压力、扩散半径的控制直接影响填充效果。注浆期间，压力必须经过精确、分阶段管理。初始阶段以0.5~1.0MPa低压力渗透为宜，保证初步的均匀灌注、裂隙填充，终压阶段可将压力提升至2.0~3.0MPa，达到高压固结的效果。扩散半径方面应设定 $\geq 1.5\text{m}$ ，确保浆液能够覆盖所有目标区段下的裂隙。针对不同浆液类型，应制定合理的水灰比、注浆压力以及扩散半径，具体注浆作业技术参数可参照表2：

表2 注浆施工参数参照表

参数	Ⅲ级围岩	Ⅳ级围岩	Ⅴ级围岩
浆液类型	水泥-水玻璃	水泥-水玻璃	超细水泥浆
水灰比	0.8~1.0	0.9~1.0	0.6~0.8
注浆压力（MPa）	1.0~2.0	1.5~2.5	2.0~3.0
扩散半径（m）	1.2~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5
凝结时间（min）	3~5	4~6	5~8

此外，注浆期间应使用声波检测仪来对浆体密实度进行检测，应确保密实度始终满足 $\geq 90\%$ 。

（四）支护结构安装

在支护结构安装过程中，应遵循分层渐进式安装原则，以优化施工效率和支护效果。具体实施步骤如下：

1.分段吊装

钢拱架安装期间，应采用“分段吊装+临时支撑”的工艺形式，确保安装精度以及操作阶段的安全性。安装期间，每榀拱架的间距应设置在0.5~1.0m之间，具体参数需根据不同围岩条件进行灵活调整。安装时，应安排专人利用激光投线仪对拱架轴线进行实时监测、控制，保证轴线偏差 $\leq 5\text{cm}$ ，提高安装精度且避免高位置操作引发安全隐患。

2. 喷射混凝土层

喷射混凝土层阶段，应采取2段喷射工艺，即实施初喷、复喷。初喷层厚度应控制在3cm，用于提供基础支撑。复喷层厚度则应控制在2cm，达到进一步增强整体支护效果的作用，喷射期间必须采用湿喷工艺，减少施工过程中的粉尘污染，达到改善施工环境目的。喷射混凝土初凝时间应严格控制5min以内，终凝时间控制10min以内，利用快速凝固特性确保施工进度顺利推进。

3. 动态调平与锁固

钢拱架完成安装后，应使用全站仪进行实时监测，确保支护结构高度稳定。检测期间，一旦发现任何节点出现 > 1cm 下沉或是偏移，立即使用液压千斤顶进行有效校正至拱架设计位置。此外，拱脚使用锁脚锚杆加以固定，锚杆长度应满足 ≥ 4m，直径 ≥ 25mm，通过锚杆、喷射混凝土的紧密结合来形成一个整体，提供强大抗拔力（ > 100kN ）。此外，针对不同围岩等级，应合理选择拱架材质，并合理设置喷射混凝土材料等级、拱架厚度以及脚锁锚杆间距，具体可参照表3：

表3 拱架动态调平与锁固技术参数

围岩等级	拱架材质	锁脚锚杆间距（m）	拱架厚度（mm）	喷射混凝土强度（MPa）
V级	钢管混凝土拱架	0.6×0.6	20–25	C35
IV级	工字钢（400×300）	0.8×0.8	15–20	C30
III级	H型钢（600×300）	1.0×1.0	12–15	C25

（五）质量检测

在高速公路隧道工程超前支护施工阶段，质量检测为确保施工安全、隧道稳定性之核心环节。质检阶段，施工团队应使用数据驱动的检测形式结合无损检测、破坏性试验^[9]，全面评估支护结构的完整性、强度、变形控制性能。其中，无损检测技术负责提供实时数据，揭示潜在的问题。破坏性试验负责对关键结构性

能开展深入验证。二者的结合可以使检测过程兼具广度、深度。

同时，施工阶段应引入 BIM（建筑信息模型）技术，利用模型对比实测数据形式来对施工阶段的偏差动态调整^[10]。具体检测项、检测方法、检测频率、合格标准可参照表4：

表4 超前支护质量检测项与方法

检测项目	检测方法	检测频率	合格标准
初期支护强度	回弹仪法； 钻芯取样抗压试验	每50m² 测1组	C25 ≥ 25MPa； C30 ≥ 30MPa
注浆体密实度	声波检测仪； 取芯抗压强度试验	每20m 测1断面	密实度 ≥ 90%； 单轴抗压 ≥ 5MPa
钢拱架安装精度	全站仪测量； 超声波探伤	每榀拱架全检	轴线偏差 ≤ 5cm； 焊缝无裂纹
拱顶沉降量	水准仪监测； 三维激光扫描	连续3天观测	日沉降量 ≤ 2mm； 累计 ≤ 10mm

四、结语

本文系统性地讨论高速公路隧道工程中超前支护技术的实施框架、核心机理。作为一种通过多阶段协同作用，实现隧道开挖阶段围岩稳定性强化的技术。研究阶段，应结合围岩评估，制定针对性的超前支护方案。准备阶段，应开展高质量的地质预报、材料适配。钻孔布设阶段，应合理选择钻布置形式，同时落实浆液渗透全覆盖，注浆加固时基于水泥－水玻璃双液浆、配比优化结合分阶段压力调控达成裂隙充填、早期强度提升的目的。支护结构安装阶段，本文提出分段吊装、动态调平技术策略，同时提出无损检测＋破坏检测、BIM模型比对实现质量闭环控制的策略。本文提出的该技术体系，可以有效解决隧道开挖阶段软弱围岩变形控制的难题，可以为我国复杂地质条件下的隧道施工提供安全、可靠的解决方案。

参考文献

[1] 陈彤. 汾石高速公路范火泉隧道超前支护施工技术[J]. 四川建材, 2025, 51(3): 174–177.
[2] 郗秀丽. 高速公路隧道工程超前支护结构及施工技术研究[J]. 河南科技, 2025, 52(1): 64–68.
[3] 杨洪. 超前支护技术在高速公路隧道施工中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2024(12): 78–80.
[4] 叶道华. 高速公路隧道工程中的超前支护施工技术[J]. 科学技术创新, 2023(21): 169–172.
[5] 赵丰革. 高速公路岩石隧道穿越岩体破碎带超前支护施工技术应用[J]. 石材, 2024(2): 95–97.
[6] 陆志涛. 高速公路改扩建工程大断面隧道超前支护技术研究[J]. 工程质量, 2024, 42(12): 55–60.
[7] 姚力. 隧道工程超前支护施工技术与质量管控要点[J]. 四川建材, 2024, 50(12): 199–201.
[8] 李青友. 高速公路隧道开挖支护施工技术研究[J]. 工程建设和设计, 2025(4): 112–114.
[9] 李文杰, 申铁军. 隧道超前支护双液注浆(C-S)施工技术[J]. 河南建材, 2025(2): 57–60.
[10] 杨文方. 高速公路隧道工程中的洞口超前支护施工技术[J]. 高铁速递, 2022(1): 171–173.

绿色公路建设中废旧材料再生利用技术探讨

宋丽福

中交二公局第三工程有限公司，陕西 西安 710016

DOI:10.61369/ETQM.2025060029

摘 要： 本文探讨绿色公路建设中废旧材料再生利用技术的价值维度、应用原则与实施策略。研究表明，废旧材料循环应用在工程全周期成本优化与碳排放控制领域展现重要价值。针对多样化废旧材料特性，文章提出分类分级利用、多元固废协同处置与技术创新引领三类策略，提升资源转化效能。工程案例验证了废旧沥青混合料、废弃混凝土等材料在路基填筑、基层构建等环节的应用成效，实现经济收益与环境价值的双重收获。绿色公路建设中废旧材料再生利用技术的持续精进，将为交通基础设施可持续发展奠定坚实基础。

关 键 词： 绿色公路；建筑废旧材料；再生利用技术

Discussion on the Recycling Technology of Waste Materials in Green Highway Construction

Song Lifu

China Communications Construction Second Public Works Bureau Third Engineering Co., LTD. Xi 'an, Shanxi 710016

Abstract： This paper explores the value dimensions, application principles, and implementation strategies of recycled material utilization in green road construction. The study shows that the cyclic use of waste materials plays a significant role in optimizing the total lifecycle cost and controlling carbon emissions in engineering projects. In response to the diverse characteristics of waste materials, the article proposes three strategies: classified and graded utilization, coordinated disposal of multiple solid wastes, and innovation-led approaches, to enhance resource conversion efficiency. Engineering case studies have verified the effectiveness of using recycled asphalt mixtures and discarded concrete in subgrade filling and base construction, achieving dual benefits in economic returns and environmental value. Continuous refinement of recycled material utilization technology in green road construction will lay a solid foundation for the sustainable development of transportation infrastructure.

Keywords： green highway; construction waste materials; recycling technology

交通基础设施建设规模扩张与更新改造需求增长背景下，公路工程产生的废旧材料量激增，处置难题日益凸显。传统公路建设模式中，大量废弃沥青混合料、水泥混凝土与路基材料被简单填埋或堆放，导致土地资源浪费及环境风险积累。同期，公路建设对原生材料的持续开采引发自然资源枯竭、生态系统破坏与碳足迹扩大等连锁反应。李明（2022）调研显示，我国年均公路维修改造工程产生废旧沥青混合料逾8000万吨，妥善再生可创造经济价值超400亿元。王建华（2023）研究证实，废旧路面材料再生技术能减少30%–90%碳排放，有效支撑国家“双碳”战略落地。国际视野下，发达国家公路废旧材料再生率已达85%以上，明显优于我国现阶段40%左右的水平。绿色发展视域中，创新废旧材料再生利用技术成为公路建设领域转型升级的战略支点。本研究立足工程实践，梳理绿色公路建设中废旧材料再生利用的技术脉络，期望为推动循环经济与生态文明建设贡献专业见解。

一、绿色公路建设中废旧材料再生利用技术价值

（一）全周期成本优化

全周期成本优化视角下的废旧材料再生利用贯穿绿色公路建设始终，赋予工程经济学全新内涵。传统建设模式侧重初始投资计算，忽略后期维护与报废处理费用，导致决策失衡。废旧材料

循环应用实质重塑了成本构成，使工程财务评估延伸至材料获取、施工应用、养护维修、更新改造及终端处置各环节。材料再生带来的经济红利并非短期体现，而是在漫长使用周期中逐步释放。精准量化废料回收利用减少的原材料开采、运输与废弃物填埋费用，将环境效益货币化纳入经济决策模型，方能揭示其真实价值。绿色公路全周期成本核算突破传统边界，融合经济与生态

双重效益，成为可持续交通基础设施建设的经济支撑点。废旧材料再生并非仅为节约当下建设资金，更是对未来成本的前瞻性控制，体现了工程经济学中长远规划的思维精髓。

（二）大幅降低碳排放

在绿色公路建设领域，废旧材料再生利用技术对于降低碳排放具有显著价值。材料生命周期评估表明，再生利用技术减少了原材料的开采、加工、生产等环节的能源消耗，从源头切断碳排放链。传统路面材料如沥青混凝土、水泥混凝土的生产过程存在能耗高、碳足迹大的问题，废旧路面材料的再生利用大幅削减了这些高能耗工艺。废旧沥青路面材料的热再生工艺较原生沥青混合料生产可减少约60%的碳排放，冷再生工艺则可降低90%以上的温室气体排放量。就地再生利用技术消除了长距离运输环节，进一步缩减了物流过程中的碳足迹。废弃混凝土、建筑垃圾等材料经过破碎、筛分、改性后应用于路基、路面基层，规避了填埋处理导致的甲烷等温室气体释放，同时替代了等量原生骨料，形成碳减排的倍增效应。环境经济学量化分析显示，废旧材料再生利用创造了可计量的碳汇价值，为公路建设领域实现碳交易与碳中和战略奠定了技术基础和经济支撑^[1]。

二、绿色公路建设中废旧材料再生利用技术应用原则

（一）安全性优先原则

安全性优先原则作为绿色公路建设中废旧材料再生利用技术应用的基本准则，体现了工程建设对人民生命财产安全的根本尊重。在材料再生利用过程中，安全性评估贯穿于材料选择、加工处理、性能测试及结构应用的全过程。废旧材料的物理力学特性往往因使用历史而呈现差异化特征，需进行严格的技术检测与评估，确保其在承载力、抗变形能力、耐久性等关键指标上满足工程规范要求。绿色理念推动再生技术发展，但任何环保与经济效益均不应以牺牲安全为代价。安全性评估应基于全寿命周期视角，关注材料在各种极端环境条件下的性能表现与劣化规律。当代绿色公路工程实践表明，废旧材料性能可经科学改性达到甚至超越常规材料，然工程设计仍应保持适当安全储备，建立完善的质量监控体系。材料再生利用创新应以国家相关技术标准为基础，结合实验室验证和工程试验段的长期监测数据，形成系统化的安全评价方法。绿色公路建设中的废旧材料再生利用，唯有将安全置于最高位置，方能实现真正意义上的可持续发展，为后代留下安全可靠的交通基础设施遗产^[2]。

（二）适用性匹配原则

适用性匹配原则立足于再生材料本质属性与工程功能要求之间的科学关联，强调废旧材料在绿色公路建设中应用时必须契合工程技术规范与标准。此原则要求废旧材料再生利用前须对材料物理特性、力学性能及耐久性进行全面评估，确定其适用范围及条件限制，使再生材料性能指标与工程部位功能需求形成合理对应。适用性匹配并非简单地寻求材料替代，而是基于工程结构层次、受力特点、环境条件等因素构建完整的匹配体系^[3]。绿色公路建设实践表明，废旧材料再生利用需遵循功能优先、质量导向

的基本思路，在保障工程质量安全前提下实现废旧资源价值转化。材料适用性评价应纳入全生命周期视角，综合考量材料老化机理、性能衰减规律及长期耐久性能，建立科学的适用性评价指标体系。当前工程领域对再生材料适用性评价研究日益深入，逐步形成了基于材料微观结构与宏观力学性能关联的多层次评价方法，为废旧材料再生利用提供了理论支撑与实践指导。恰当把握适用性匹配原则，有助于破解再生材料应用中的技术瓶颈，推动绿色公路建设迈向高质量发展阶段^[4]。

（三）环境友好原则

环境友好原则立足于绿色公路建设全生命周期的生态环境保护要求。该原则强调废旧材料再生利用技术应具备环境兼容性，确保材料从回收、处理到再利用的全过程对生态系统影响最小化。环境友好原则要求对再生材料进行严格的环境风险评估，监测其潜在有害物质含量及释放风险，确保应用安全。材料再生工艺选择需优先考量能耗效率与污染物排放指标，选用清洁生产技术。废旧材料再生利用过程中产生的副产品应进入资源化利用渠道，避免造成二次环境负担^[5]。该原则还涵盖再生材料应用后的环境适应性评价，关注其不同气候与环境条件下的稳定性与环境协调性。绿色公路建设中废旧材料再生利用遵循环境友好原则，将显著降低公路工程的资源消耗与环境足迹，推动公路建设向资源节约型、环境友好型方向发展，实现经济效益与生态效益的协同提升，为构建可持续交通基础设施体系奠定坚实基础^[6]。

三、绿色公路建设中废旧材料再生利用技术应用策略

（一）分类分级应用策略

分类分级应用策略是绿色公路建设中废旧材料再生利用的科学方法论基础。废旧材料在回收后需依据材质特性、老化程度、力学性能等关键指标进行系统分类，随后按照质量等级划分为高、中、低不同等级。高等级材料可直接替代原生材料用于公路结构层，中等级材料适合次要功能区域，低等级材料则可用于辅助设施或绿化工程。此策略实质是对废旧材料价值的精准评估与匹配利用，确保每种材料被安排在最适宜的应用场景中，实现资源价值最大化。质量分级利用避免了“一刀切”做法带来的安全隐患，为公路全寿命周期设计提供了技术支撑^[7]。

某省际高速公路改建工程中，旧路面废弃沥青混合料经破碎筛分后进行了严格检测分级。检测性能达到高等级标准的部分，经过加热再生处理后用于新路面基层；中等级部分添加稳定剂后用于路肩加固与便道建设；低等级部分则与当地土壤混合用于边坡防护与声屏障基础。废弃水泥混凝土同样依据强度与品质分级，高品质部分经破碎处理后作为优质骨料回用于新建路段的水泥混凝土层面，中品质部分用于道路附属工程如排水沟与隔离墩，低品质部分则用于填筑路基或绿化带地形塑造。此项目通过精确分级利用，废旧材料回用率达到95%以上，节约原材料成本3200万元，减少碳排放约4500吨，成为区域典范工程^[8]。

（二）多元固废协同利用策略

多元固废协同利用理念建立在材料学与生态文明建设的交叉

领域，将各类固体废弃物视为互补性资源进行整合应用。绿色公路建设过程中产生的废旧沥青混合料、水泥混凝土块、路基土方等与当地工业产生的粉煤灰、钢渣、矿渣等固废融合配置，形成物理性能与化学特性互补的复合材料体系。固废间的协同反应机理表现为颗粒级配优化、微观结构重构与活性成分互动，产生“1+1>2”的增益效应。此类协同模式突破了单一固废利用的技术瓶颈，提升了资源转化率，创造了固废增值利用的技术路径，实现了绿色公路建设的资源闭环^[9]。

（三）技术创新驱动策略

技术创新作为绿色公路建设中废旧材料再生利用的核心驱动力，催生了一系列前沿应用方案。创新技术在材料性能提升、工艺流程优化与环境友好性强化方面发挥关键作用。当代再生技术发展趋势呈现智能化、精准化与系统化特征，实现了对废旧路面材料物理特性与化学性能的全方位改良。先进的材料改性技术改变了传统再生材料性能不稳定的局限，材料循环利用效率与质量同步提升。创新驱动策略需建立在科学研究基础之上，形成产学研一体化发展模式，促使实验室成果向工程实践转化。在此过程

中，数字化与智能化技术为材料再生提供了精准决策支持，推动了绿色公路建设行业循环经济模式的持续优化^[10]。

四、结语

绿色公路建设中废旧材料再生利用技术标志着交通基础设施建设的发展方向。本文所构建的价值认知、原则框架与策略体系，为工程实践提供了理论依据与方法启示。废旧材料再生利用解决资源紧缺与环境负荷问题，创造经济与生态的双向增益。工程实证表明，废旧路面材料经专业处理后，完全达到工程质量与安全标准，部分性能指标甚至超越原生材料。后续研究方向应着眼于再生材料长效性能评估、智能化再生工艺革新与全生命周期评价体系健全，持续提升技术水准与应用效果。推进绿色公路建设中废旧材料再生利用技术发展，呼唤工程技术专家、科研院所与管理机构的深度合作，共同打造资源节约型、环境友好型的永续交通基础设施体系。

参考文献

[1]江龙进,吴承明.绿色公路设计在旧路改造中的应用[J].安徽建筑,2020,27(09):198-199.
[2]王勇,刘吉伟,尹易寒,等.绿色公路理念下的公路景观设计方法研究——以S327京山县三阳镇至绿林镇公路为例[J].工程与建设,2023,37(04):1167-1169.
[3]蒋鹏,龚斌,彭静,等.绿色公路下的景观设计——以银百高速大水坑服务区为例[J].中南农业科技,2023,44(03):181-185+190.
[4]黄宇哲.基于“创建绿色公路、打造品质工程”景观绿化设计研究——以广西融水至河池高速公路为例[J].绿色科技,2022,24(09):70-76.
[5]邵长爽.新型绿色公路工程的造价预算与成本控制研究[J].现代商业研究,2024,(03):50-52.
[6]苏晓君,赵阳阳.基于绿色公路理念的公路路线方案设计研究[J].交通世界,2024,(Z1):179-181+185.
[7]孙伟民,王红,王伟畅,等.基于绿色公路理念的高速公路改扩建模式决策[J].工程与建设,2023,37(05):1612-1615+1623.
[8]胡萌,张玮,殷承启.绿色公路管理体系构建[J].交通科技与管理,2023,4(16):34-36.
[9]彭小录,牛力达.绿色公路建设理念在甘南高寒区路基设计中的应用[J].黑龙江交通科技,2023,46(05):27-30
[10]王华峰,王勇,黄若楠,等.基于绿色发展背景下的绿色生态公路建设体系发展研究[J].工程建设与设计,2023,(07):109-112.

基于 BIM 技术的工程项目进度管理优化路径探析

赵仕明

河北建设集团股份有限公司, 河北 保定 071000

DOI:10.61369/ETQM.2025060032

摘 要 : 通过构建 BIM 技术与工程进度管理的协同机制, 整合三维可视化建模、施工过程模拟与进度计划动态调整, 实现施工全过程的信息化控制。借助 BIM 平台对施工节点、资源配置及工期安排进行实时监控和预测分析, 提升计划的准确性与执行力, 有效规避工期延误与资源浪费问题。基于数据驱动的管理模式, 推动信息共享与多方协同, 提升进度管理的科学性与精细化水平, 增强工程项目的整体管理效能与执行效率, 为工程建设提供可靠的技术支撑。

关 键 词 : BIM 技术; 工程进度管理; 三维建模; 动态控制; 信息集成

Exploration of Optimization Path for Engineering Project Progress Management Based on BIM Technology

Zhao Shiming

Hebei Construction Group Corporation Limited, Baoding, Hebei 071000

Abstract : By constructing a collaborative mechanism between BIM technology and project progress management, integrating 3D visual modeling, construction process simulation, and dynamic adjustment of the schedule plan, information control of the entire construction process is achieved. With the help of the BIM platform, real-time monitoring and predictive analysis of construction nodes, resource allocation, and scheduling arrangements are carried out to improve the accuracy and execution of the plan, effectively avoiding problems such as schedule delays and waste of resources. Based on a data-driven management model, it promotes information sharing and multi-party collaboration, improves the scientific and refined level of schedule management, enhances the overall management effectiveness and execution efficiency of engineering projects, and provides reliable technical support for engineering construction.

Keywords : BIM technology; engineering progress management; 3D modeling; dynamic control; information integration

引言

随着建筑工程规模和复杂程度不断提升, 传统进度管理方式在面对多专业协同和复杂施工节点时逐渐暴露出信息滞后、响应不及时等问题。BIM 技术凭借其可视化、数据化和协同化优势, 为工程项目进度控制提供了全新思路。通过三维模型与进度计划的深度融合, 不仅提升了施工过程的透明度, 还增强了进度执行的精准性与可控性, 正逐步成为推动建筑业数字化转型的重要支撑。

一、BIM 技术在工程进度管理中的集成优势分析

(一) 提升进度管理的可视化效果

BIM 技术通过三维建模, 能够将项目的各个环节、施工节点和资源配置直观呈现, 使得进度计划不仅限于抽象的图纸和时间表, 而是通过可视化的模型展示出施工过程中的每一个细节。这种可视化效果使得项目团队能够更直观地理解施工计划和进度安排, 减少了传统进度管理中信息传递中的误差与误解, 从而提升了进度的管理效率^[1]。

(二) 实现实时进度监控与动态调整

BIM 平台能够实时跟踪施工进度并与实际施工数据进行对比, 及时发现进度偏差。通过与项目管理软件的集成, BIM 可以实现工期预测与动态调整, 一旦发生延误或资源冲突, 系统能够及时发出警报并提供调整方案, 帮助项目经理迅速做出响应。这种动态控制功能有效避免了传统进度管理中滞后的信息反馈问题, 确保施工过程中能够对突发情况作出快速、精准的调整。

(三) 数据驱动的进度优化决策支持

BIM 技术不仅仅是一个可视化工具, 它还能够通过大数据分

析,为进度管理提供决策支持。通过对施工历史数据、资源使用数据及进度完成情况的分析,BIM系统能够识别潜在的瓶颈与风险点,帮助项目管理者在项目初期就做好风险预测与预防工作。此外,BIM平台能够对不同施工方案进行模拟,优化进度计划的安排,从而最大化资源的利用效率,缩短工期并降低成本^[2]。

(四) 促进多方协同与信息共享

工程项目涉及多个专业团队的协同工作,传统进度管理方式往往存在信息孤岛,导致沟通不畅与决策滞后。而BIM技术能够实现多方数据的集成与实时共享,确保各方在同一平台上协同作业。设计团队、施工团队和项目管理团队可以在同一个BIM平台上同步更新进度信息,及时解决问题并调整进度,确保项目进度在多个专业之间的协调一致。这种集成与协同优势使得进度管理更加高效、准确。

二、BIM驱动下的施工进度动态控制与预警机制构建

(一) 施工进度数据的实时采集与更新

在BIM驱动的施工进度管理中,实时数据采集是动态控制的基础。通过在施工现场部署传感器和智能设备,BIM平台可以直接获取工地上的实际施工数据,如施工进度、材料消耗、设备使用情况等。这些实时数据与BIM模型结合,使得施工进度的变化能够即时反映在模型中,确保进度控制与实际情况保持一致。与传统的手动更新方式相比,这种实时数据采集显著提高了进度管理的准确性,减少了因信息延迟或错误更新导致的决策偏差^[3]。

(二) 进度偏差监控与分析

基于BIM的进度动态控制不仅依赖于实时数据采集,还通过与原定进度计划的对比,实时监控施工进度偏差。BIM平台能够自动检测各个施工环节的进度差异,并进行数据分析,识别出延误或进度滞后的关键区域。通过对进度偏差的分析,BIM系统能够深入挖掘出造成进度延误的潜在原因,是否由于资源调配不当、设备故障或施工方法的不足等因素,从而为项目管理者提供精确的改进措施,确保工期得以顺利推进。

(三) 预警机制的构建与优化

BIM技术的进度预警机制通过将实时数据与进度计划相结合,在发现偏差的同时,能够提前预警潜在的工期风险。BIM平台通过设定关键路径、关键节点及工期浮动的阈值,一旦某个节点的进度偏离预设标准,系统便会自动发出预警信号。预警机制不仅局限于单一的时间延误,还可以扩展到资源短缺、人员不足、设备故障等方面。通过预警系统,项目管理者能够及时了解潜在风险,采取应对措施,如重新调配资源、调整施工策略或加派人手,从而避免进度拖延,降低项目风险^[4]。

(四) 动态调整与优化进度计划

BIM驱动的进度管理不仅是对施工进度实时监控和预警,更重要的是能够根据监控数据动态调整进度计划。当实际施工进度与预定计划出现偏差时,BIM系统可以自动生成调整建议,优化施工方案。例如,通过调整施工资源的配置,修改工序的顺序,或对施工工期进行合理延长等方法,确保整个项目能够按时

完成。通过这种灵活的动态调整机制,BIM系统实现了施工进度最大化控制,既能避免因小的进度偏差导致的整体延误,也能够减少由于强行赶工而引发的质量问题和成本浪费。

三、多方协同环境下基于BIM的进度计划优化路径

(一) 跨部门数据共享与协同工作机制

在多方协同的环境下,BIM技术能够打破传统施工管理中不同部门之间的信息孤岛,通过统一平台实现数据共享与实时更新。各个项目团队,包括设计、施工、采购和监理等部门,可以在同一BIM平台上进行实时信息交换和进度同步,确保所有成员都能在最短时间内获取到最新的进度数据与变更信息。这种信息共享不仅减少了误解与信息延迟,还提高了各部门的工作协同效率。通过集成化的数据平台,项目团队能够实时调整进度计划,以应对不同部门间可能出现的协作冲突和进度滞后,优化施工过程中各环节的衔接与协调^[5]。

(二) 进度计划优化的自动化与智能化

基于BIM的进度优化路径具有较高的自动化和智能化特性。BIM平台能够通过集成的算法,根据实时进度数据自动识别项目中的瓶颈和潜在风险,提出优化方案。借助智能化进度优化工具,BIM系统可以根据不同的资源限制、工期要求和施工条件,自动调整施工顺序、资源分配和工期安排,确保项目各阶段协调进行。此种自动化调度与优化减少了人为干预的可能性,避免了传统进度管理中常见的过度人工干预及进度计划修改失误,提升了进度计划的精准性与可操作性^[6]。

(三) 基于BIM的动态调整与灵活响应机制

在实际工程建设中,施工现场常常面临不可预见的因素,如恶劣天气、设备故障、材料供应不及时等,这些都可能对进度计划的偏差。基于BIM的动态调整与灵活响应机制能够实时监控这些变化,并根据实际情况进行快速调整。当进度滞后或资源配置出现问题时,BIM平台能够自动识别并重新安排任务的优先级,调整施工资源和工期安排,确保项目按计划推进。通过灵活的响应机制,BIM系统可以迅速适应施工现场的各种变动,减少因不可控因素引发的工期延误和额外成本,提升项目管理的应变能力和精准度,从而确保工程项目能够高效、顺利完成。

(四) 多方利益协调与优化目标统一

BIM在多方协同环境下的进度计划优化,还能够帮助各参与方协调彼此的利益与优化目标。施工项目往往涉及多方利益,如设计方、承包商、供应商等,各方的利益诉求和工作重点可能不同,这给进度管理带来了挑战。BIM平台能够通过统一的进度计划和资源调度工具,帮助各方达成共同的优化目标。例如,设计团队可以实时查看施工进度,及时修改设计方案,以适应施工进度调整;施工方可以根据进度变化动态调整资源配置,确保工期不受影响。通过这样全方位的协同优化,BIM技术能够帮助多方达成共识,提升项目整体执行力,最终实现施工进度和项目质量的双重优化^[7]。

四、BIM技术助力工程项目进度精细化管理的实践应用

（一）精确化进度计划的制定与可视化管理

BIM技术的三维建模功能为进度计划的精确制定提供了强大的支撑。在传统进度管理中，项目进度通常是通过二维平面图和时间表表示，无法全面展示各个施工环节的空间关系与进度衔接。而BIM技术通过三维建模将施工进度与实际物理空间紧密结合，帮助项目管理者制定更加精确的进度计划。通过BIM平台，施工人员和管理人员可以直观地看到每个施工任务与其他任务的空间和时间依赖关系，从而确保进度计划的合理性和可行性。此外，BIM技术的可视化管理使得项目各方能够共同检视进度计划，避免误解和沟通障碍，提高了进度制定的准确性。

（二）施工资源的精细化调度与优化

BIM技术不仅能优化进度计划，还能帮助实现资源的精细化调度。在工程项目中，资源（如人力、设备和材料）的合理配置对进度管理至关重要。借助BIM技术，项目经理可以在虚拟模型中模拟整个施工过程，分析不同资源的使用情况与分配策略，确保资源得到最大化的利用。例如，通过BIM模型，管理者可以实时了解每个施工阶段所需的材料数量、设备使用情况以及工人分配情况，避免出现资源闲置或短缺的情况。BIM的资源调度功能能有效减少由于资源管理不当导致的进度延误。

（三）进度风险的预测与实时监控

BIM技术使得进度风险的预测与监控更加精准，有效地避免了传统项目管理中往往在实际施工过程中才发现问题的局限。通过对项目数据的集成与分析，BIM系统能够在项目初期或施工过程中识别潜在的进度风险。例如，BIM平台可以通过模拟施工过程，预测可能出现的瓶颈、资源冲突或工期延误等问题。当某一施工节点出现进度滞后的趋势时，BIM系统会自动发出预警并提供风险评估报告，及时为项目管理人员提出优化建议。该系统不仅能提前识别问题，还能支持实时监控，确保项目管理者能够迅速采取应对措施，灵活调整施工计划和资源配置，从而最大程度减少风险带来的负面影响，确保工程进度能够按时完成^[8]。

（四）进度变化的自动化跟踪与反馈

BIM技术能够实现进度变化的自动化跟踪与反馈，通过与

施工现场的智能设备、传感器等数据采集系统集成，实时获取施工进度情况。通过与原定进度计划进行对比，BIM平台能够即时识别施工进度的偏差，并将其反馈给项目管理人员。当发现偏差时，系统会自动生成调整方案，优化施工安排，确保工程按计划推进。这种自动化的进度跟踪功能不仅提高了数据处理效率，还大大减少了人工干预的需求，避免了人为因素导致的错误，确保了进度管理的精准性和及时性^[9]。同时，自动化反馈机制能够让项目团队实时掌握项目动态，快速响应，最大程度降低延误风险，提高项目管理的响应速度和决策效率。

（五）多方协同下的进度信息共享与协调

BIM技术的核心优势之一在于其能够有效促进项目各方之间的协同合作，特别是在复杂的建筑项目中，涉及设计师、承包商、供应商、施工团队等多方的紧密配合。BIM平台通过集成所有相关方的数据，确保每个团队都能实时访问最新的进度信息和项目变更，消除了信息传递的延误和误差。当进度发生任何调整时，BIM平台会自动更新并即时推送最新信息给所有参与方，确保各方都在同一信息基础上进行决策和协作。这种信息共享不仅减少了沟通障碍，还提高了工作效率，尤其是在出现进度冲突时，BIM能够快速识别问题并提供协调方案，避免因信息不对称或沟通不畅造成的进度延误和成本浪费^[10]。

通过以上实践应用，BIM技术不仅提升了工程项目进度管理的精细化水平，还通过实时监控、资源调度和风险预测等功能，确保项目能够在复杂的施工环境中高效、精确地推进，最终实现项目按期、高质量的交付。

五、结语

BIM技术的引入为工程项目进度管理带来了革命性的变革，通过精细化管理、实时监控和智能化调整，提升了项目管理的效率和精度。通过多方协同、数据共享与进度优化，BIM技术不仅解决了传统进度管理中的信息滞后、沟通不畅等问题，还推动了资源配置的精确性与风险管理的有效性。施工过程中，BIM技术能够提供动态调整的灵活性，确保项目在面对复杂情况时仍能按时高效推进。此外，BIM平台的可视化和智能化功能极大地提升了进度控制的透明度和管理者的决策能力。

参考文献

- [1] 陈意志. BIM技术在H大数据中心项目进度管理应用研究[D]. 厦门大学, 2022.DOI:10.27424/d.cnki.gxmdu.2022.004427.
- [2] 罗淑贤. BIM技术在G工程项目进度管理优化中的研究[D]. 广州大学, 2023.DOI:10.27040/d.cnki.ggzdu.2023.000340.
- [3] 徐希鹏. BIM技术在德州市A项目进度管理中的应用研究[D]. 山东理工大学, 2023.DOI:10.27276/d.cnki.gsdgc.2023.000428.
- [4] 周志刚. 基于BIM技术的工程项目进度管理研究与应用[D]. 南京林业大学, 2022.DOI:10.27242/d.cnki.gnjlu.2022.000573.
- [5] 李宝宝. 利用BIM技术优化建设工程项目的成本控制与进度管理[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023,(12):91-93.DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2023.12.028.
- [6] 张龙宝. BIM技术在智慧工地项目进度管理中的应用研究[D]. 太原理工大学, 2022.DOI:10.27352/d.cnki.gylgu.2022.001404.
- [7] 方杨凡. 基于精益建造的WXC项目进度管理优化研究[D]. 华中科技大学, 2022.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.006638.
- [8] 陈意志. BIM技术在H大数据中心项目进度管理应用研究[D]. 厦门大学, 2022.DOI:10.27424/d.cnki.gxmdu.2022.004427.
- [9] 沈凤. 基于BIM技术的桥梁项目进度管理研究[D]. 重庆交通大学, 2020.DOI:10.27671/d.cnki.gcjtc.2020.001050.
- [10] 胡梦佳. 基于BIM云平台的精益建造项目进度管理研究[D]. 郑州大学, 2020.DOI:10.27466/d.cnki.gzzdu.2020.000659.

新基建背景下公路工程 BIM+GIS 数字化建设新模式探索

张明敏¹, 黄方², 王爽³, 彭均颖³

1. 新疆交通职业技术学院, 新疆乌鲁木齐 830000

2. 海军工程大学, 湖北 武汉 430033

3. 北京跨世纪软件技术有限公司, 北京 100080

DOI:10.61369/ETQM.2025060037

摘 要 : 随着信息技术的发展, BIM+GIS 融合技术在公路工程数字化建设中发挥着日益重要的作用。本文阐述了 BIM、GIS 技术的基本概念、特点及其融合技术的研究现状, 详细分析了该技术在公路规划设计、施工阶段的具体应用, 包括路线方案比选、全景漫游、临建场布、施工业务管理等。同时, 指出了 BIM+GIS 数字化建设新模式面临的数据兼容性差、技术标准不统一、专业人才短缺等问题, 并针对性提出开发数据转换接口、建立统一标准、加强多方合作制定规范以及多维度培养人才等策略。研究表明, BIM+GIS 融合技术有助于提升公路工程全生命周期管理水平, 但需解决现存问题以实现更广泛深入的应用。

关 键 词 : BIM 技术; GIS 技术; 公路工程; 数字化建设

Exploration of a New Digital Construction Model for Highway Engineering Based on BIM+GIS in the Context of New Infrastructure Development

Zhang Mingmin¹, Huang Fang², Wang Shuang³, Peng Junying³

1.Xinjiang Vocational and Technical College of Communications, Urumqi, Xinjiang 830000

2.Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033

3.Beijing Kuashiji Software Technology Co., Ltd. Beijing 100080

Abstract : With the development of information technology, BIM+GIS integration technology plays an increasingly important role in the digital construction of highway engineering. This paper describes the basic concepts, characteristics, and current research status of BIM and GIS technologies, as well as their integration. It provides a detailed analysis of the specific applications of this technology in highway planning, design, and construction stages, including route scheme comparison and selection, panoramic roaming, temporary construction site layout, and construction business management. At the same time, it points out the problems faced by the new digital construction model of BIM+GIS, such as poor data compatibility, inconsistent technical standards, and a shortage of professional talents. To address these issues, strategies such as developing data conversion interfaces, establishing unified standards, strengthening multi-party cooperation to formulate norms, and cultivating talents in multiple dimensions are proposed. The research shows that BIM+GIS integration technology helps improve the lifecycle management level of highway engineering, but existing problems need to be solved to achieve broader and deeper applications.

Keywords : BIM technology; GIS technology; highway engineering; digital construction

引言

新基建作为国家战略, 通过技术融合推动基础设施升级, 已成经济高质量发展驱动力。公路工程建设行业在新基建下需数字化转型, 政策要求构建全生命周期数字化管理体系, BIM 与 GIS 融合应用可实现公路全流程数字化管理, 提升效率质量, 推动管理模式革新。传统公路建设模式存在管理低效、数据利用不足等弊端。数字化建设借助技术实现全周期管理, 能提高设计精度、加强施工管控、优化资源配置, 还可通过数字孪生等技术助力运维。因此, 公路工程数字化建设是新基建时代的必然选择, 也是行业高质量发展的关键路径。

一、相关概述

（一）BIM技术概述

建筑信息模型（Building Information Modeling,BIM）技术是一种以数字化方式表达建筑项目物理和功能特性的技术，其核心在于通过三维模型集成几何、物理及成本等多维度信息，从而实现工程项目全生命周期的信息化管理。BIM技术的特点包括可视化、协调性、模拟性和优化性，这些特性使其在建筑行业中得到广泛应用，并逐步扩展至交通基础设施领域^[1]。在建筑领域，BIM技术已被证明能够显著提升设计效率、减少施工冲突并优化资源分配。而在公路工程中，BIM技术的应用则主要体现在参数化建模、智能化交底以及数字化管理平台的构建上。

（二）GIS技术概述

地理信息系统（Geographic Information System,GIS）是一种用于捕捉、存储、分析和展示地理空间数据的技术，其核心功能在于将地理位置与属性信息相结合，为决策提供科学依据。在公路工程中，GIS技术的应用优势尤为突出，因其能够有效处理大规模地形数据、支持线路选址优化以及实现环境影响的动态评估。具体而言，GIS技术可通过遥感影像和倾斜摄影技术获取高精度的地表信息，为公路规划提供可靠的基础数据。此外，GIS技术还能够与BIM技术相结合，形成宏观场景与微观构件相统一的多层级可视化管理平台。陈宇^[2]等人研究表明，通过融合GIS与BIM技术，可以实现对高速公路工程从宏观到微观的全方位管理，从而提升项目管理的智能化水平。尽管如此，GIS技术在公路工程中的应用仍面临数据精度不足和技术集成难度高等挑战，这些问题亟须进一步研究解决。

（三）BIM+GIS融合技术国内外研究现状

BIM与GIS融合技术的研究近年来在国内外均呈现出快速发展的态势，但技术路径和应用深度存在差异。国际上，该领域的研究重点集中在数据标准化与语义融合方面^[3]。例如，基于IFC（Industry Foundation Classes）与CityGML的数据转换技术被广泛探讨，旨在解决几何与语义信息丢失问题。欧洲多国在智慧城市建设中率先尝试BIM+GIS融合，通过CityGML的多层级细节模型（LOD）与BIM的精细化建模结合，支撑城市级三维空间分析，如热能传导模拟、灾害应急管理^[4]。

国内研究则更侧重于工程实践与平台开发。例如，中交公路规划设计院提出基于IFC与3D Tiles的数据协同框架，通过LOD层级优化和分布式渲染技术，解决了BIM模型在GIS大场景中的高效加载问题，并在独库公路等项目中验证了其可行性^[5]。在智慧城市领域，国内学者强调BIM与GIS的互补性，通过整合建筑内部属性与外部地理环境数据，构建城市信息模型（CIM），应用于城市规划、管网管理及应急响应^[6]。总体而言，国内外研究均致力于突破技术瓶颈，但国内更聚焦于工程落地与行业政策驱动，而国际则侧重基础理论与跨领域协同创新。

二、BIM+GIS技术在公路工程数字化建设中的具体应用

（一）公路规划设计阶段

BIM+GIS技术在公路工程规划设计阶段的应用主要体现在对

多路线方案的三维可视化比选和项目全景漫游应用上。

1. 多方案三维可视化比选

BIM+GIS技术融合可实现公路工程设计方案的多维比选与优化。通过卫星地图定位项目地理位置后，直接在三维地理场景中开展路线平面设计：通过交互式调整交点位置、转弯半径等参数，使路线走向与周边地形起伏、既有设施等空间特征动态匹配。结合遥感技术、无人机倾斜摄影以及地面测绘等手段，GIS系统能够高效采集公路规划区域的地形、地貌、地质等多源数据，为路线的纵断面设计提供量化依据。

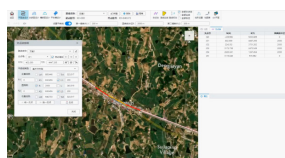


图1 路线平面生成

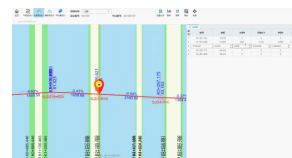


图2 路线纵断面生成

设计过程中，BIM模型同步关联平纵设计参数，实时生成包含道路、桥梁隧道、涵洞等各专业工程量数据在内的全线公路工程BIM三维设计方案。通过三维场景的直观展示，可对比多个路线方案与地形地貌的贴合度，并结合多项经济性指标数据进行可视化分析，有助于快速筛选出最优路线方案，有效提升路线规划设计的合理性，减少后期因施工调整造成的不必要成本。

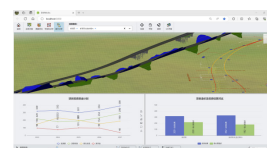
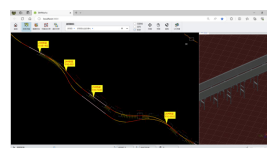


图3 三维设计方案比选

2. 全景漫游

BIM与GIS技术的深度融合，打造三维全景漫游系统，实现工程建设全要素的数字化呈现与交互式体验。BIM模型可在设计阶段精准还原公路工程各专业结构，GIS技术则集成项目所在区域的地理空间数据与地形特征，二者通过坐标匹配与数据互通，构建兼具结构细节与地理环境的虚实融合场景。在全景漫游中，通过行车、飞行等多视角自由切换，既能以宏观视角观察项目与周边地形、交通路网等空间关系，又能深入结构内部查看具体细节构造。系统同步关联工程标段划分等总体信息，在三维场景中直观展现不同标段的边界，辅助管理人员掌握工程全局。

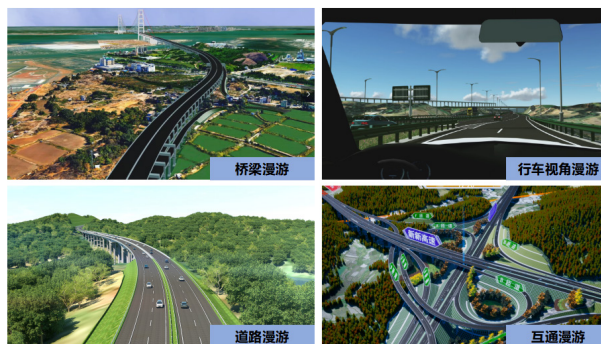


图4 全景漫游展示

（三）公路施工阶段

在公路施工阶段，BIM+GIS技术的协同应用为工程管理构建起智能化、精细化的管控体系，在大临设施场布、施工业务管理领域发挥着关键作用。

1. 大临设施场布

通过 BIM 与 GIS 技术融合的数字化临建规划方法，可实现公路工程施工前期场地布置的科学决策。基于卫星遥感影像或三维实景模型构建地理信息基底，通过交互式定点的方式划定施工场地边界，结合地形特征自动放坡的算法生成最优场地平整方案并计算填挖方量，辅助大临设施选址。在临时道路规划中，通过定点方式直接在三维地形表面进行线形设计，选取合适的便道断面和读取地面高程数据自动生成填挖方工程量，并允许通过更改路线的曲率半径、纵坡比等参数动态调整路线走向，实现便道的快速设计和优化。

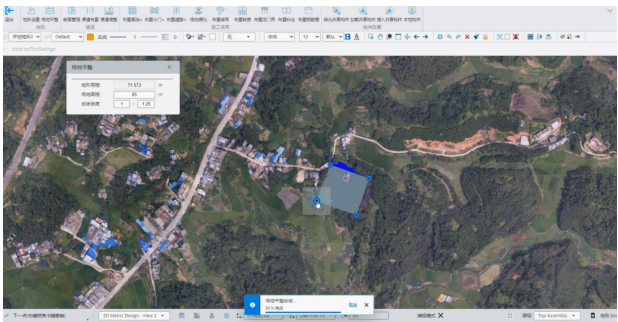


图5 场地布置

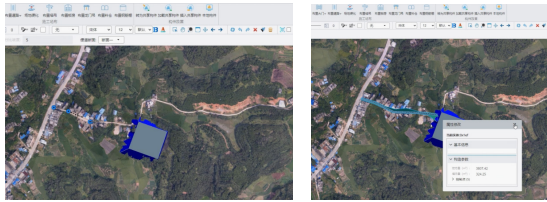


图6 便道设计

在此基础上，结合 BIM 参数化建模技术，构建包含围挡体系、施工机械、临时栈桥等元素的标准化临建族库，实现大临设备的智能布设，并可通过参数驱动机制快速响应构件调整需求。三维可视化临建场布模型可提前验证场地布局合理性，减少传统二维图纸的盲区误差，支持施工场地的动态优化迭代，为工程前期决策提供多维度数据支撑，显著提高场地布置方案的科学性与实施效率。

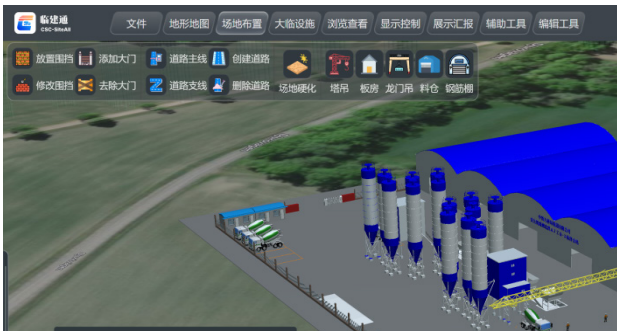


图7 临时设施参数化布置

2. 施工业务管理

在公路施工阶段，BIM+GIS技术的协同应用为工程管理构建起智能化、精细化的管控体系，在施工进度监控与质量管理领域发挥着关键作用。通过将施工进度计划深度嵌入 BIM 模型，借助移动终端设备实时采集施工现场数据，并即时上传至 BIM+GIS 平台，系统可自动对实际进度与计划进度进行动态比对分析，并以模型不同颜色高亮的方式向管理人员发出进度预警。这种智能化的进度监控模式可帮助管理人员快速定位进度滞后环节，及时调整施工资源与作业安排，确保项目各阶段任务按计划推进，为工程按期交付提供有力保障。



图8 临时设施参数化布置

在施工质量管理方面，BIM 模型与 GIS 定位功能形成优势互补的技术闭环。BIM 模型作为信息集成中枢，全面记录施工全流程中的材料检测报告、工艺参数、验收结果等质量信息；而 GIS 技术则凭借强大的空间定位能力，精准锁定施工区域。当出现质量问题时，GIS 的精准定位功能可第一时间确定问题发生的具体位置，同时结合 BIM 模型中存储的施工日志、人员责任信息、工序操作记录等详细数据，形成完整的质量追溯链条。以路面施工为例，若某路段质量检测不达标，对应的 BIM 模型会通过颜色变化高亮警示，管理人员通过 GIS 不仅能快速定位问题路段，还能回溯施工全过程，精准查找导致质量问题的关键因素，实现对质量隐患的快速响应与高效处置，显著提升公路工程施工质量管理水平^[7]。



图9 基于 BIM+GIS 的施工质量管控

三、BIM+GIS 数字化建设新模式面临的问题与策略

（一）数据兼容性问题与策略

在公路工程 BIM+GIS 数字化建设中，数据兼容性是制约技术

深度融合与应用的核心瓶颈。主流 BIM 软件核心技术多掌握在国外企业，其底层文件架构与数据接口封闭，导致软件间数据难以无缝转换。公路工程模型信息复杂，与施工管理数据存在断层，超大型文件对存储处理设备要求极高。同时，GIS 与 BIM 数据在格式、编码规则上差异显著，现有转换方案还存在信息丢失、精度衰减等问题，严重影响工程决策。突破这一困境需从技术创新与标准统一入手。技术层面，开发数据转换接口，利用中间件技术打破软件壁垒，如抚长高速人民大街出口工程通过定制化工具实现 BIM 与 GIS 数据融合^[2]。标准建设层面，构建统一的数据标准体系，规范数据格式、编码及交换协议，并结合轻量化算法优化 BIM 模型。

（二）技术标准不统一问题与策略

目前，BIM+GIS 融合技术在公路工程应用中，技术标准不统一的问题较为突出。由于各研究机构和企业技术路线、应用场景存在差异，导致 BIM+GIS 融合技术难以形成统一标准；在数据建模阶段，不同单位采用的标准不一致，使得数据在跨平台、跨领域共享交互时困难重重；加之公路工程涉及多专业领域，各领域对数据的需求和应用方式大相径庭，进而形成“信息孤岛”，极大降低了数据利用效率。对此，需要多方协同发力解决^[8]。行业协会与政府部门应展开合作，在制定标准时充分考量公路工程建设周期长、投资额大、工点分散等特点，重点关注数据交互、模型精度以及应用场景等方面要求；政府可通过政策引导和资金支持，推动技术标准在实际项目中的落地实施；行业协会则要充分发挥桥梁纽带作用，组织业内专家和企业共同参与标准的制定与修订工作，从而增强标准的科学性和实用性，推动 BIM+GIS 技术在公路工程领域的规范化应用。

（三）专业人才短缺问题与策略

公路工程数字化建设对兼具 BIM、GIS 技术与公路工程专业

知识的复合型人才需求迫切，但当前人才供给存在显著缺口^[9]。高校教育与企业实际需求脱节，课程设置偏重单一技术教学，缺乏对 BIM 与 GIS 融合技术的系统性培养；职业培训机构覆盖范围有限，培训内容多停留在理论层面，实践操作环节不足，致使专业人才培养滞后。这一现状直接影响项目推进，在实际工程中常因技术人员专业能力不足引发各类难题。为填补人才缺口，需多维度发力，高校应革新课程体系，融入 BIM 和 GIS 相关内容，开设“工程三维数字化”等跨学科课程，强化理论与实践结合^[10]；职业培训需针对在职人员特点，开展 BIM 模型构建、GIS 数据分析等专项技能培训；同时，鼓励学员投身实际工程项目，如抚长高速项目，在真实场景中积累经验，提升解决复杂问题的能力，从而为公路工程 BIM+GIS 数字化建设提供坚实的人才支撑。

四、结束语

BIM+GIS 融合技术为公路工程数字化建设带来了创新与变革，在规划、设计、施工等阶段展现出显著优势，能够实现从宏观地理环境分析到微观工程构件管理的全方位覆盖，有效提升项目管理的科学性、精准性和智能化水平，对推动公路工程行业高质量发展具有重要意义。然而，当前数据兼容性问题、技术标准缺失以及专业人才短缺等困境，严重制约了该技术的深度应用与广泛推广。未来，需行业各方协同合作，持续优化数据处理技术，加快统一技术标准体系建设，完善复合人才培养机制，从而突破技术瓶颈，充分发挥 BIM+GIS 技术在公路工程全生命周期管理中的潜力，促进公路工程数字化建设迈向新台阶。

参考文献

[1] 崔聪聪；尧逸民；陈国；张驰；李爱民；张斌. 基于 BIM+GIS 技术的公路工程施工阶段创新技术研究与应用 [J]. 江西交通科技, 2024, (2): 98–101.

[2] 陈宇；孙辉；张卫兵；黎旭；刘邦王. BIM 与 GIS 融合的工程数字孪生平台研究及应用 [J]. 西部交通科技, 2023, (11): 200–202.

[3] Yamamura S, Fan L, Suzuki Y. Assessment of urban energy performance through integration of BIM and GIS for smart city planning[J]. Procedia engineering, 2017, 180: 1462–1472.

[4] 赵杏英，陈沉，杨礼国. BIM 与 GIS 数据融合关键技术研究 [J]. 大坝与安全, 2019(2): 4. DOI: CNKI: SUN: DBAQ. 0. 2019-02-003.

[5] 吴峥. 基于 BIM 和 GIS 的数据协同体系研究 [J]. 互联网周刊, 2025(1): 1–10.

[6] 赵强. BIM 技术在智慧城市“数字孪生”建设中的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(3): 108–110.

[7] 于飞. 基于 BIM+GIS 技术的公路工程可视化管理平台 [J]. 中国交通信息化, 2021, (9): 30–34.

[8] 姜凤霞；陈世达；杨宝；李佳书；籍亮；陈冬强. BIM 模型与 GIS 场景的数据融合及轻量化的研究与应用 [J]. 吉林交通科技, 2024, (1): 28–32.

[9] 申鹏；邹育麟；彭华军；肖依桃；叶友刚；姜棋. 基于 BIM+GIS 技术的公路工程建设智慧管理平台探析 [J]. 中国交通信息化, 2022, (7): 26–29.

[10] 黄河；乔科；袁文丹；傅霆；王世法. 高速公路数字化场景技术与 BIM 轻量化方法 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2024, 16(2): 83–88.

