

现代工程学

Modern Engineering



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



Editorial Board Member

Xiaoli He

Zhejiang Tongfang Engineering Management Consulting Co., Ltd.

Xiaoshi Yan

Chifeng Saige Architectural Planning and Design Co., Ltd.

Jiaming Li

North CMA Technology Co.,Ltd.

Xiao Yu

Chongqing Zongheng Engineering Design Co., Ltd.

现代工程学

Modern Engineering

第2卷 第9期 2025年9月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《现代工程学》编辑部

ISSN(O): 2996-6981

ISSN(P): 2996-6973

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。



建筑工程 | ARCHITECTURAL ENGINEERING

- | | | |
|-----|--|---------------------|
| 001 | 汽车制造项目管理中的工程风险防控与优化路径
Engineering Risk Prevention and Optimization Path in Automotive Manufacturing Project Management | 梁冀
Liang Qu |
| 004 | 房地产建设工程成本管理与招采管理的协同策略研究
Research on the Collaborative Strategy of Cost Management and Procurement Management in Real Estate Construction Projects | 魏永峰
Wei Yongfeng |
| 007 | 建筑结构设计控制裂缝的措施分析
Analysis of Measures to Control Cracks in Building Structure Design | 张志辉
Zhang Zhihui |
| 010 | 概念设计在建筑结构设计中的应用
The Application of Conceptual Design in Architectural Structure Design | 赵婉君
Zhao Wanjun |
| 013 | 桩基施工技术在岩土工程中的应用策略
Application Strategies of Pile Foundation Construction Technology in Geotechnical Engineering | 肖铨
Xiao Quan |
| 016 | 城中村改造类一二级房地产开发项目的合约管理与成本控制研究
Research on Contract Management and Cost Control of Level 1 and Level 2 Real Estate Development Projects in Urban Village Renovation | 任有德
Ren Youde |

机械工程 | MECHANICAL ENGINEERING

- | | | |
|-----|--|--------------------|
| 019 | 机电一体化背景下电气专业的自动化技术创新研究
Research on Automation Technology Innovation in Electrical Engineering under the Background of Mechatronics | 邓琦
Deng Qi |
| 022 | 燃气轮机发电厂热工过程自动化控制的关键技术研究
Research on Key Technologies for Automation Control of Thermal Processes in Gas Turbine Power Plants | 龚家华
Gong Jiahua |
| 025 | 机械工程及自动化
Mechanical Engineering and Automation | 陈思锐
Chen Sirui |
| 028 | 包装车间设备自动化技术的应用与管理策略
Application and Management Strategy of Equipment Automation Technology in Packaging Workshop | 刘绍涛
Liu Shaotao |
| 031 | 通用机械传动部件的磨损机理
Wear Mechanism of General Mechanical Transmission Components | 孙吉杰
Sun Jijie |
| 034 | 机电工程智能化项目中的风险管理与质量控制方法研究
Research on Risk Management and Quality Control Methods in Intelligent Projects of Mechanical and Electrical Engineering | 唐雨来
Tang Yulai |

能源工程 | ENERGY ENGINEERING

- | | | |
|-----|--|--------------------|
| 037 | 垃圾焚烧发电项目运营中的热控技术管理: 提升能效与稳定性的关键
Thermal Control Technology Management in the Operation of Waste-to-Energy Incineration Projects: The Key to Improving Energy Efficiency and Stability | 周文斌
Zhou Wenbin |
|-----|--|--------------------|

040	垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理：提升电力运行效率的策略研究 Waste Incineration Power Plant Equipment Operation Technology Management: Strategy Research on Improving Power Operation Efficiency	陈鑫海 Chen Xinhai
043	检验检测机构质量管理体系的建立与有效运行策略 Establishment and Effective Operation Strategies of Quality Management Systems in Testing and Inspection Enterprises	陈佐威 Chen Zuowei
047	基于化学实验的日用化工标准解读与应用实践 Interpretation and Application Practice of Daily Chemical Industry Standards Based on Chemical Experiments	杜杏桦 Du Xinghua
050	垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理：提升运行效率的有效途径 Technical Management of Equipment Operation In Waste Incineration Power Plant: an Effective Way to Improve Operation Efficiency	黄晓茂 Huang Xiaomao
053	雨水排水管网缺陷评估技术探讨——以 CCTV 排查为视角 Discussion on the Technology of Rainwater Drainage Pipe Network Defect Assessment — From the Perspective of CCTV Investigation	林旭龙 Lin Xulong
056	医疗废水处理系统工程建设与调试的技术要点 Technical Key Points of Construction and Commissioning of Medical Wastewater Treatment System Projects	卢展图 Lu Zhantu
059	风电与光伏工程的现场检验检测方法及管理策略 On-site Inspection, Testing Methods and Management Strategies for Wind and Photovoltaic Projects	任麟东 Ren Lindong
062	制冷工程在食品冷冻厂项目中的应用及施工管理策略 Application and Construction Management Strategies of Refrigeration Engineering in Food Freezing Plant Projects	宋志勇 Song Zhiyong
065	新能源项目开发中风力与光伏发电及储能技术的协同策略 Collaborative Strategy of Wind and Photovoltaic Power Generation and Energy Storage Technology in the Development of New Energy Projects	虞晓晖 Yu Xiaohui
068	矿化水处理材料的开发及其在水处理中的应用探究 Development of Mineralization Water Treatment Materials and Exploration of Their Applications in Water Treatment	张瑾 Zhang Jin
071	市政给排水管网设计优化研究 Key Points and Optimization Paths of Water Supply and Drainage Design in Municipal Pipeline Network and Water Environment Governance	朱康康 Zhu Kangkang
074	商业与办公楼物业机电工程管理的实践与创新 Practice and Innovation of Property Mechanical and Electrical Engineering Management in Commercial and Office Buildings	汪志军 Wang Zhijun
077	火电厂远程诊断与运维中心建设方案 Construction Plan for Remote Diagnosis and Operation Center of Thermal Power Plant	杜磊, 任仰成, 丁伟杰, 刘锦丽 Du Lei, Ren Yangcheng, Ding Weijie, Liu Jinli
080	基于 BIM 技术的水利工程施工管理研究 Research on Construction Management of Hydraulic Engineering Based on BIM Technology	樊龙飞 Fan Longfei
083	第三方环境监测实验室质量管理体系下的质量技术创新 Quality Technology Innovation under the Quality Management System of the Third Party Environmental Monitoring Laboratory	黄焕平 Huang Huanping

信息工程 | INFORMATION ENGINEERING

086	轨道交通综合监控系统调试的关键技术与管理策略 Key Technologies and Management Strategies for Commissioning of Rail Transit Integrated Supervisory Control Systems	白雪亮 Bai Xueliang
089	科研院所视角下技术转移转化服务的模式研究与实践探索 Research and Practice Exploration on the Mode of Technology Transfer and Transformation Services from the Perspective of Research Institutes	唐浩 Tang Hao
092	锅炉设备智能化管理与数据分析技术 Intelligent Management and Data Analysis Technology for Boiler Equipment	张霞龙, 郭忠恺, 张玉江 Zhang Xialong, Guo Zhongkai, Zhang Yujang
095	基于物联网的冷水机组智慧运维与数据监测系统设计 Design of Smart Operation and Maintenance and Data Monitoring System for Chiller Units Based on Internet of Things	黄耀华, 夏智扬, 徐伟, 童师阳 Huang Yaohua, Xia Zhiyang, Xu Wei, Tong Shiyang
098	新时代背景下企业安全管理先进理念的创新发展 The Innovative Development of Advanced Concepts in Enterprise Safety Management under the Background of the New Era	唐凤 Tang Feng
101	多模态数据融合管道中的质量异常传播与根因定位技术研究 Research on Quality Anomaly Propagation and Root Cause Localization Technology in Multimodal Data Fusion Pipeline	李薇 Li Wei

汽车制造项目管理中的工程风险防控与优化路径

梁堇

广汽本田汽车有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090010

摘 要 : 汽车制造项目管理特性鲜明, 与传统制造业项目差异显著。其风险防控需以工程风险管理理论为基础, 从多维度分析风险来源。通过构建动态评估模型、运用多种方法与技术, 从设计到生产各阶段防控风险, 建设风险处置能力, 优化风险管理, 培育风险文化, 借助 PDCA 循环、信息共享平台等实现行业协同治理, 构建双轮驱动模式。

关 键 词 : 汽车制造项目管理; 工程风险防控; 优化路径

Engineering Risk Prevention and Optimization Path in Automotive Manufacturing Project Management

Liang Qu

Guangzhou Honda Automobile Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : The project management characteristics of automobile manufacturing are distinct, and there are significant differences from traditional manufacturing projects. The risk prevention and control should be based on the theory of engineering risk management, and the sources of risk should be analyzed from multiple dimensions. By constructing a dynamic evaluation model and utilizing various methods and technologies, we aim to prevent and control risks at all stages from design to production, build risk disposal capabilities, optimize risk management, cultivate a risk culture, and achieve industry collaborative governance through the PDCA cycle, information sharing platforms, and other means, constructing a dual wheel drive model.

Keywords : automotive manufacturing project management; engineering risk prevention and control; optimized path

引言

2022年12月发布的《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》强调了汽车产业高质量发展的重要性。在此背景下, 汽车制造项目管理因具有跨学科协作、供应链集成度高、技术迭代迅速等特性, 与传统制造业项目管理存在显著差异。汽车制造项目管理中的工程风险管理极为关键, 其风险来源广泛且处于动态变化, 需从多维度分析并构建动态评估模型。项目各阶段应采用 DFMEA、数字孪生等技术及建立风险响应预案、处置能力建设等措施进行风险防控, 同时通过培育风险文化、PDCA 循环优化等实现风险管理的优化, 以推动汽车制造行业稳健发展。

一、汽车制造项目管理与工程风险理论框架

(一) 汽车制造项目管理特性

汽车制造项目管理呈现出鲜明特性。它具有跨学科协作特点, 融合机械工程、电子工程、材料科学等多学科知识与技术, 需不同专业团队紧密配合, 这与传统制造业项目侧重单一学科或技术有显著区别。在供应链集成方面, 汽车制造涉及零部件供应商、物流企业等众多环节, 需实现高效供应链集成, 确保零部件及时供应与产品顺利生产, 传统制造业项目供应链集成度往往较低。再者, 技术迭代迅速是汽车制造项目又一特性, 随着新能源、自动驾驶等技术发展, 汽车制造企业必须紧跟技术潮流, 不

断进行产品与生产技术升级, 而传统制造业项目技术更新速度相对较慢。这种跨学科、供应链集成及技术迭代的特性, 构成汽车制造项目管理区别于传统制造业项目的核心差异^[1]。

(二) 工程风险管理基础理论

工程风险管理基础理论是汽车制造项目管理中风险防控的基石。风险管理生命周期模型涵盖风险识别、评估、应对等关键环节, 形成闭环管理逻辑。在汽车制造这一复杂制造业领域, 风险识别需精准找出如供应链中断、技术难题、法规变更等潜在风险因素^[2]。风险评估则要衡量这些风险发生的可能性与影响程度, 借助定性与定量分析方法, 为后续应对策略提供依据。风险应对旨在针对不同风险制定规避、减轻、转移或接受等措施。这种闭

环管理逻辑在汽车制造项目中有高度适用性，能动态跟踪与调整风险管理策略，保障项目顺利推进，降低风险对项目进度、成本及质量的负面影响。

二、汽车制造工程风险识别与评估方法

（一）多维度风险来源分析

在汽车制造项目管理中，工程风险来源广泛，可从多维度分析。技术研发方面，以新能源技术验证为例，新能源汽车作为行业发展方向，其技术的成熟度和可靠性存在不确定性。新的电池技术、电控系统在实际应用前，需经过大量测试验证，若验证不充分，可能导致车辆续航里程虚标、充电故障等问题^[9]。供应链层面，芯片短缺现象凸显其风险。汽车智能化程度提升，对芯片需求大增，而芯片制造工艺复杂、供应链长，地缘政治、自然灾害等因素易引发供应中断，影响汽车生产进度和成本。生产工艺上，装配精度偏差是常见风险。汽车由众多零部件组成，装配过程中若精度控制不当，如车身焊接缝隙过大、零部件装配不匹配，会影响车辆整体性能和安全性，降低产品质量与市场竞争力。

（二）动态风险评估模型

汽车制造工程风险处于动态变化中，需构建动态风险评估模型。一方面，借助风险概率－影响矩阵，清晰呈现不同风险发生概率及其对项目的影响程度，为风险初步评估提供直观依据，有助于快速识别关键风险。另一方面，运用蒙特卡洛模拟，通过多次随机模拟分析，得出风险变量的概率分布，精准量化风险可能带来的影响^[4]。在此基础上，建立风险等级动态调整机制。随着项目推进，依据新获取的数据与实际情况，实时调整风险概率与影响程度的评估，进而动态更新风险等级，确保风险评估始终贴合项目实际，为项目管理决策提供科学、及时且准确的风险信息，助力有效防控风险。

三、工程风险防控体系构建路径

（一）全流程风险防控策略

1. 设计阶段风险规避

在汽车制造项目管理的设计阶段，可通过 DFMEA 方法实施产品设计缺陷预防。DFMEA 即设计失效模式与效应分析，它从潜在失效模式、后果及起因等方面深入分析，提前识别可能出现的设计缺陷。例如，分析汽车零部件在不同工况下的失效风险，评估其对整车性能的影响，从而优化设计方案。同时，建立技术可行性验证标准也至关重要。需针对汽车制造涉及的新技术、新工艺，明确其技术参数、性能指标等验证要求，确保设计方案在技术上切实可行。只有严格依据这些标准进行验证，才能有效规避因技术不成熟带来的风险，保证汽车产品从设计源头就具备高质量与可靠性^[5]。

2. 生产阶段风险控制

在汽车制造项目生产阶段，采用数字孪生技术构建工艺仿真系统对实现产线故障预诊断、有效控制风险意义重大。通过构建

该系统，可精确模拟实际生产过程，将生产工艺、设备运行等信息以数字化形式呈现。借助实时数据采集与分析，能精准捕捉产线运行中细微的异常变化，提前洞察潜在故障风险^[6]。例如，对关键设备的温度、振动等参数实时监测，利用数字孪生模型分析判断，在故障发生前发出预警，使维修人员有足够时间采取措施，避免故障扩大化，减少因产线故障导致的生产停滞、成本增加等风险，保障生产的连续性与稳定性，提升生产效率与产品质量，实现对生产阶段工程风险的有效防控。

（二）风险应急管理体系

1. 风险响应预案设计

在汽车制造项目管理中，风险响应预案设计需制定包含供应链备选方案库与应急生产调度的分级响应机制。针对供应链风险，构建备选方案库，涵盖不同零部件供应商、物流路线等。当面临供应中断风险，可迅速启用库中方案，减少生产延误。同时，制定应急生产调度的分级响应机制。依据风险影响程度划分等级，轻度风险下，调整生产节拍、合理安排库存维持生产；中度风险时，重新规划生产线、调配人力资源；重度风险，则启动跨部门协作甚至寻求外部援助。通过这种分级响应机制，实现对不同程度风险的精准应对，全面提升汽车制造项目应对工程风险的能力，保障项目顺利推进^[7]。

2. 风险处置能力建设

在汽车制造项目管理中，风险处置能力建设至关重要。建立跨部门危机处理小组，打破部门壁垒，使不同专业领域人员能协同应对工程风险，高效整合各方资源，快速制定并执行应对策略。同时，完善设备冗余，针对关键设备设置备用设施，在设备突发故障时及时顶上，保障生产连续性，降低因设备问题导致的工程延误等风险。而且，构建人员技能矩阵，明确不同岗位所需技能，加强员工多技能培训，确保在人员变动或突发任务时，有足够具备相应技能的人员填补空缺，提高项目团队应对风险的灵活性和响应速度^[8]。

四、风险管理优化实施路径

（一）智能化技术赋能

1. 工业大数据分析应用

在汽车制造项目管理的风险管理优化中，工业大数据分析应用借助智能化技术发挥关键作用。通过对生产设备 IoT 数据深度挖掘，可精准洞察潜在风险。收集设备运行参数、故障记录等多维度数据，运用机器学习算法构建风险预警模型。此模型能够实时监测设备状态，捕捉细微变化，实现早期异常检测，在故障发生前及时预警，从而提前采取维护措施，降低设备故障导致的生产延误风险。通过工业大数据分析应用，不仅提升风险防控的及时性与准确性，还能基于数据分析优化生产流程，合理调配资源，提高生产效率与质量，全面推动汽车制造项目风险管理的智能化升级^[9]。

2. 区块链技术在供应链追溯中的应用

在汽车制造项目管理中，区块链技术于供应链追溯方面发挥

着重要作用。区块链具有不可篡改、分布式账本等特性，能有效记录和追踪零部件从供应商到汽车组装全过程的信息。借助该技术，可对供应商所提供零部件的质量、物流运输状态等关键数据进行实时且准确的记录。一旦出现质量问题，能够基于区块链的追溯体系迅速定位问题源头，明确责任归属，这大大缩短了问题排查时间，降低因质量风险带来的损失。同时，区块链技术还可与物联网设备相结合，自动采集和上传数据，进一步提高供应链追溯的准确性和及时性，为汽车制造项目管理提供更坚实的风险管理支持，实现供应链的高效、透明与安全管理^[10]。

（二）管理机制创新

1.敏捷项目管理模式转型

在汽车制造项目管理中，敏捷项目管理模式转型对于工程风险防控与优化路径意义重大。通过采用 Scrum 方法，实现风险管理的快速迭代。Scrum 框架下，项目被划分成多个短周期的迭代，团队在每个迭代中完成从计划、执行到评估的完整过程，能够及时发现并应对风险。这大幅缩短决策响应周期，使团队可以依据最新信息迅速调整风险管理策略。例如，在汽车零部件生产环节，若出现原材料供应风险，借助 Scrum 的快速迭代机制，团队可快速商讨并制定替代方案，如寻找新供应商或调整生产计划，避免风险扩大，有效保障项目顺利推进，实现风险管理的优化。

2.风险文化培育机制

在汽车制造项目管理的工程风险防控中，风险文化培育机制至关重要。设计风险绩效考核指标，能将风险防控成效与员工绩效挂钩，让员工切实认识到风险管控对于项目推进的重要性。例如，将设计方案中的潜在风险识别数量、风险应对措施的有效性等纳入考核，激励员工主动挖掘并解决风险。同时，建立员工风险提案奖励制度，鼓励员工积极提出关于风险防控的新想法、新建议。对那些能有效降低风险、提升项目安全性与稳定性的提案给予物质与精神奖励，营造全员参与风险防控的良好氛围，使风险文化在汽车制造项目管理中落地生根，从而不断优化工程风险防控，助力项目高效推进。

（三）持续改进路径

1.PDCA 循环优化

在汽车制造项目管理的工程风险防控中，PDCA 循环优化发

挥着关键作用。计划阶段，要依据过往风险数据及行业动态，制定详细的风险应对计划，明确风险指标与应对措施。执行环节，严格按照计划落实各项风险防控手段，加强对生产流程各环节的监控，确保措施有效执行。检查阶段，定期对风险防控效果进行评估，对比实际情况与计划目标，找出偏差。处理阶段，针对检查发现的问题，分析根本原因，调整风险应对计划，将成功经验标准化，纳入企业风险管理体系。通过不断重复 PDCA 循环，持续优化汽车制造项目工程风险管理，降低风险发生概率及影响程度，保障项目顺利推进。

2.行业协同治理

推动建立汽车产业风险信息共享平台，实现跨企业风险联防，是行业协同治理的关键举措。此平台应涵盖汽车制造各个环节的风险数据，包括原材料供应、零部件生产、整车组装等。不同企业将自身面临的风险信息，如供应中断风险、技术难题风险等及时上传至平台，各参与方基于共享数据，共同分析风险特征与趋势，以此为基础制定统一的风险应对策略。通过这种方式，企业间能互相借鉴经验，当一家企业遭遇特定风险时，其他企业可凭借平台信息迅速调整自身策略，避免类似风险的冲击。如此，形成跨企业的风险联防机制，有效提升整个汽车产业应对工程风险的能力，保障汽车制造项目的顺利推进。

五、总结

在汽车制造项目管理中，工程风险防控与优化路径意义重大。关键要素涵盖从技术层面的工艺精度把控，到管理层面的流程规范等多方面。优化路径上，构建“技术驱动 + 机制创新”双轮驱动管理模式，一方面借技术创新如引入先进制造技术提升生产效能与质量稳定性，另一方面以机制创新完善风险管理机制，提升应对风险的灵活性。未来，智能化预警系统与供应链弹性管理深度融合是重要方向。前者利用大数据、AI 等技术实现风险的精准预判，后者增强供应链在复杂环境下的抗干扰能力，二者结合将为汽车制造项目管理的工程风险防控提供更高效、全面的保障，推动汽车制造行业持续稳健发展。

参考文献

- [1] 孟凡文. ZT 汽车公司绩效管理的优化路径及效应研究 [D]. 湖北工业大学, 2021.
- [2] 宋亚男. 新冠疫情防控中社区动员优化路径研究——以 S 市 Z 社区为例 [D]. 山东师范大学, 2022.
- [3] 潘朝. A 企业汽车发动机项目投资的风险评价与防控研究 [D]. 吉首大学, 2023.
- [4] 陈晓慧. 建筑工业化项目管理的问题识别与优化路径研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [5] 朱宇航. 船舶制造过程风险评价与防控研究 [D]. 上海应用技术大学, 2022.
- [6] 曾纪华. 汽车制造企业质量管理优化路径探析 [J]. 企业改革与管理, 2021(13): 42-43.
- [7] 许卓杰. 建筑工程项目管理中的施工现场管理的优化路径分析 [J]. 前卫, 2020(16): 0106-0108.
- [8] 程哲林. 基于时空分析的社会治安防控优化路径 [J]. 网络安全技术与应用, 2022(3): 139-142.
- [9] 郭桂兰. 新常态下企业财务风险管控优化路径 [J]. 品牌研究, 2022(30): 241-244.
- [10] 魏亚平. 新时期建筑企业工程项目成本管理的优化路径 [J]. 品牌研究, 2022(29): 61-64.

房地产建设工程成本管理与招采管理的协同策略研究

魏永峰

广东 东莞 523000

DOI:10.61369/ME.2025090018

摘 要： 房地产建设工程成本管理与招采管理存在诸多痛点，影响二者协同。实现二者协同，需在决策、实施阶段进行价值和动态协同，借助 BIM – ERP 系统集成、机器学习算法、合约规划标准化等，设计跨部门 KPI 考核指标，组建专业复合型团队，构建风险管理机制。实证表明协同策略可提升效益，未来应深化人工智能在动态成本预测中的应用。

关 键 词： 成本管理；招采管理；协同策略

Research on the Collaborative Strategy of Cost Management and Procurement Management in Real Estate Construction Projects

Wei Yongfeng

Dongguan, Guangdong 523000

Abstract： There are many pain points in the cost management and procurement management of real estate construction projects, which affect their synergy. To achieve synergy between the two, it is necessary to carry out value and dynamic collaboration during the decision-making and implementation stages. With the help of BIM-ERP system integration, machine learning algorithms, contract planning standardization, etc., cross departmental KPI assessment indicators should be designed, a professional composite team should be formed, and a risk management mechanism should be established. Empirical evidence shows that collaborative strategies can enhance efficiency, and in the future, the application of artificial intelligence in dynamic cost forecasting should be deepened.

Keywords： cost management; procurement management; collaborative strategy

引言

在房地产建设工程领域，成本管理与招采管理协同至关重要。2010 年颁布的《关于加强房地产市场监管的通知》强调优化工程管理流程、提升项目效益的重要性。建设工程成本管理涵盖多环节管理活动，招采管理涉及流程架构等核心体系，但二者在实施中存在痛点与障碍。实现决策、实施阶段的价值与动态协同，借助 BIM – ERP 系统集成、机器学习算法等手段，构建合约规划标准化等一系列协同策略，能有效提升项目效益。这不仅丰富理论知识，也具实践价值，未来深化人工智能应用可进一步提升管理水平。

一、房地产建设工程成本与招采管理理论基础

（一）建设工程成本管理内涵

建设工程成本管理指在确保工程质量、工期等目标前提下，对工程项目成本进行有效的预测、计划、控制、核算、分析和考核等一系列管理活动。其构成要素涵盖直接成本与间接成本，直接成本包括人工、材料、机械等费用，间接成本涉及管理费用、规费等。在房地产项目全生命周期中，从项目策划、规划设计阶段对成本进行初步估算与把控，到招投标阶段通过合理定价进一步确定成本范围，施工阶段严格成本控制，直至竣工结算阶段准确核算成本。成本管理贯穿始终，影响着项目的经济效益与可行性^[1]。有效的成本管理能助力房地产企业合理配置资源，提升竞

争力，实现项目利润最大化。

（二）招采管理核心体系

招采管理核心体系涵盖流程架构、供应商管理机制及合同风险控制要点。招采流程架构方面，从项目需求分析出发，明确采购内容与标准，通过规范的招标程序，如发布招标公告、资格预审、开标评标等，确保公平竞争，选择优质供应商^[2]。供应商管理机制，建立完善的供应商评估体系，从资质、业绩、信誉、服务等多维度考量，定期评估，动态调整合作关系，激励供应商提升服务质量。合同风险控制要点，合同条款应详细准确，涵盖价格、质量、交付、违约责任等关键内容，加强合同审核，提前识别潜在风险，通过条款约束降低风险，保障项目顺利推进，实现招采管理目标，助力房地产建设工程成本与招采协同发展。

二、成本与招采管理协同现状分析

（一）成本管理实施痛点

房地产建设工程成本管理在实施过程中存在诸多痛点。一方面，成本预算不够精准。由于市场价格波动频繁，建筑材料、人工费用等不断变化，在编制预算时难以全面准确预测，导致预算与实际成本偏差较大，进而可能引发资金超支现象^[3]。另一方面，变更签证管理失控。施工过程中，因设计变更、现场情况变化等原因，变更签证频繁发生。若对变更签证的审批流程不严格、跟踪管理不到位，易使成本大幅增加。同时，成本控制手段较为单一，往往侧重于事后核算，缺乏对项目全过程的动态监控，不能及时发现成本偏差并采取有效措施纠正，难以从根本上避免成本失控问题。

（二）招采效能障碍因素

在房地产建设工程中，招采效能存在诸多障碍因素，制约着成本与招采管理的协同。供应商资源库存在缺陷，部分供应商资质审查不严，导致在项目实施过程中，供应的材料质量参差不齐，影响工程质量，进而可能引发返工等额外成本^[4]。同时，一些供应商缺乏长期合作意愿与能力，使得项目后期供应稳定性不足，增加供应风险成本。招标流程滞后也不容忽视，从项目规划到招标启动时间过长，错过最佳采购时机，造成材料价格波动带来成本增加。招标环节繁琐，时间周期长，影响工程进度，导致工期延误成本上升。而且滞后的招标流程，难以及时响应市场变化，错过性价比更高的采购选择，对成本管控形成较大制约。

三、协同管理机制构建路径

（一）多阶段协同框架设计

1. 决策阶段价值协同

在房地产建设工程决策阶段的价值协同方面，应充分认识到成本管理与招采管理协同的重要性。一方面，需精准分析市场行情，综合考虑土地成本、建设成本、运营成本等多方面因素，基于成本管理目标来明确招采的定位与方向^[5]。另一方面，构建成本与招采信息共享平台，让成本管理团队与招采团队能够实时交流沟通。成本团队将成本预期、限额等数据及时提供给招采团队，招采团队依据这些信息制定合理的采购策略，筛选优质供应商，在保证工程质量的前提下，确保成本可控，实现成本管理与招采管理在决策阶段的价值协同，为后续项目的顺利推进奠定基础，使房地产建设工程在满足市场需求的同时获取最佳经济效益。

2. 实施阶段动态协同

在房地产建设工程实施阶段，动态协同至关重要。借助开发设计变更即时响应系统，当设计出现变更时，该系统能迅速捕捉信息，并实时传递给招采部门。招采团队依据变更内容，及时调整采购计划与预算，确保采购物资与变更后的设计要求相符，避免因设计变更导致的采购浪费或延误^[6]。同时，采购成本预警联控模块实时监控采购成本动态。一旦成本接近或超出预设阈值，

模块立即发出预警。成本管理与招采人员协同分析原因，如市场价格波动、采购流程不合理等，共同制定应对策略，如寻找替代供应商、优化采购数量等，实现成本的有效控制。通过这两个模块的协同运作，在实施阶段实现成本管理与招采管理的动态协同，保障项目顺利推进。

（二）信息化技术赋能

1. BIM-ERP 系统集成

在房地产建设工程中，BIM-ERP 系统集成对成本管理与招采管理协同意义重大。BIM 模型可精确呈现工程几何与物理信息，ERP 系统则侧重于企业资源管理与业务流程集成。通过将二者集成，利用 BIM 的可视化与数据精准性，结合 ERP 的资源调配与流程管控能力，实现数据实时共享与交互。例如，在成本管理方面，能依据 BIM 模型中的工程量信息，在 ERP 系统中快速准确地进行成本核算与预算编制；在招采管理上，借助 BIM 模型生成的精准招标清单，在 ERP 系统中完成供应商筛选、采购流程跟踪等环节。这种集成打破信息壁垒，提升协同效率，助力房地产企业更高效地完成项目，降低成本、提高质量^[7]。

2. 大数据供应商评估

在房地产建设工程中，应用机器学习算法建立供应商历史履约数据的动态评价模型至关重要。借助大数据技术，广泛收集供应商在以往项目中的各类履约数据，涵盖工程质量、交付时间、成本控制等关键方面^[8]。随后，运用机器学习算法对这些海量数据进行深度分析与挖掘，精准识别影响供应商履约能力的关键因素。通过构建动态评价模型，能够依据实时数据对供应商的履约表现进行动态评估与预测。该模型可自动更新评估结果，为招采决策提供科学、精准且及时的依据，确保选择的供应商具备良好的履约能力，进而实现成本管理与招采管理的高效协同，提升房地产建设工程的整体效益。

四、协同策略实施方案

（一）制度建设层面

1. 合约规划标准化

合约规划标准化要求制定涵盖工程量清单与计价条款的标准化采购合同范本体系。一方面，工程量清单应精准且详细地描述工程项目所涉及的各项工作内容及数量，为成本核算与控制提供清晰依据。比如，针对不同类型的建筑材料，需明确规格、型号、单位数量等。另一方面，计价条款要清晰界定价格计算方式、调整条件等，像规定材料价格波动在一定范围内如何调整合同价款。通过构建这样的标准化采购合同范本体系，既能规范招采流程，减少合同纠纷，又能使成本管理在合同框架内有序开展，让房地产建设工程的招采与成本管理实现紧密协同。这一标准化体系不仅有助于提高工作效率，还能依据过往项目经验与行业标准进行动态优化^[9]。

2. 协同考核机制

设计跨部门 KPI 考核指标，应从房地产建设工程的成本与招采关键环节入手。例如，将成本控制目标细化为如预算执行偏差

率、成本节约率等具体指标，招采环节则可设定供应商履约率、招标流程合规性等指标，以此全面衡量各部门在成本管理与招采管理协同中的工作成效^[10]。同时，配套成本节超奖励分配方案，对于成本节约且招采工作优质高效的团队，按照一定比例给予奖金、荣誉证书等奖励，激发团队协同积极性；若因协同不力导致成本超支，则实施相应惩罚措施，如扣减绩效分数、减少绩效奖金等。通过这种考核与奖惩结合的方式，推动成本管理与招采管理部门形成紧密的协同关系，共同致力于房地产建设工程成本的合理管控与招采工作的优化。

（二）实施保障体系

1. 专业团队建设

房地产建设工程成本管理与招采管理的协同需要专业的复合型 EPC 管理团队支撑。应选拔精通成本管理的人员，他们要熟悉各类成本构成，能精准进行成本预算与核算，有效控制成本超支风险。招采人员需具备敏锐的市场洞察力，了解各类建材与服务的市场行情，掌握谈判技巧，确保以合理价格获取优质资源。技术人员应熟知工程建设的技术标准与规范，能从技术角度为成本和招采提供专业建议，例如优化设计以降低成本。通过定期组织内部培训与交流，促进团队成员知识共享，提升整体专业素养，增强团队协作能力，使成本管理与招采管理在项目各阶段紧密配合，保障协同策略有效实施。

2. 风险管理机制

在房地产建设工程成本管理与招采管理协同策略的实施保障体系中，风险管理机制至关重要。构建供应商履约保证金制度，能有效约束供应商行为，降低其违约风险，一旦供应商未按合同履约，可动用保证金弥补损失。而材料价格波动对冲方案，鉴于建筑材料价格波动对成本影响大，可通过与供应商签订浮动价格合同，依据市场价格指数调整材料价格；也可运用期货、期权等金融工具进行套期保值，提前锁定材料成本。这两种方式相互配合，前者保障供应商按约履行义务，后者应对材料价格波动风险，共同为成本管理与招采管理协同策略的有效实施筑牢风险管理防线。

（三）典型项目验证

1. 住宅项目实证

选取某装配式住宅项目作为实证对象。在项目实施过程中，

成本管理与招采管理紧密协同。招采部门依据成本预算制定详细采购计划，对各类建筑材料及构配件进行精准采购，优先选择性价比高的供应商，从源头把控成本。成本管理部门实时跟踪招采过程中的费用支出，动态调整预算，确保成本可控。同时，双方协同优化施工流程，利用装配式建筑优势，合理安排构件生产与现场施工衔接，有效缩短工期。最终，该项目实现工期缩短8%，成本降低5%，充分验证了成本管理与招采管理协同策略在提升项目效益方面的显著效果。

2. 商业综合体应用

在某城市综合体项目中，招标前置这一协同策略有效节约成本3200万元。项目前期，成本管理团队与招采团队深度协作，提前梳理项目需求和技术标准，共同制定精准的招标计划。招采团队依据成本管理提供的成本预算和成本控制目标，针对性地筛选优质供应商，进行多轮沟通与谈判。成本管理团队在过程中实时监控成本变动，确保招标价格在可控范围内。通过招标前置，在项目早期就锁定了合理的采购价格，避免后期因设计变更、市场波动等因素造成成本增加。例如，在建筑材料采购招标中，提前确定品牌、规格和价格，有效避免了采购环节的无序竞争和价格虚高，为项目整体成本控制奠定坚实基础，实现成本管理与招采管理的高效协同。

五、总结

房地产建设工程成本管理与招采管理的协同策略，在理论与实践层面均具有重要意义。从理论价值来看，它丰富了工程管理领域关于成本与招采协同的知识体系，为后续研究提供了新的视角和思路。在实践中，有效的协同策略显著提升了项目成本控制水平，通过优化招采流程，降低采购成本，增强了成本管理的精准性与及时性，进而提升项目整体经济效益。然而，随着科技的飞速发展，未来仍有提升空间。尤其在动态成本预测方面，应深化人工智能的应用研究。借助人工智能强大的数据处理和预测分析能力，实现对成本更精准动态预测，为成本管理与招采管理的协同提供更有力的决策支持，推动房地产建设工程管理水平迈向新高度。

参考文献

- [1] 杨仁杰. 房地产 A 项目成本管理问题分析及优化策略研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2023.
- [2] 陈会超. QD 中学教学楼建设工程成本管理研究 [D]. 青岛大学, 2022.
- [3] 杨吉星. Y 企业建设工程项目成本管理体系研究 [D]. 北京化工大学, 2021.
- [4] 郭子琪. BIM 技术下 EPC 建设工程项目成本管理的应用与研究 [D]. 太原理工大学, 2021.
- [5] 胡芳. 基于目标成本法的房地产公司成本管理研究 [D]. 贵州大学, 2022.
- [6] 张竣. 房地产工程管理与项目成本管理研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2023, 5(12): 56-58.
- [7] 杨仁杰. 房地产 A 项目成本管理问题分析及优化策略研究 [D]. 中国矿业大学, 2023.
- [8] 张辰. 地铁工程成本管理与控制策略研究 [J]. 运输经理世界, 2023(10): 64-66.
- [9] 朱胜全. 加强地勘单位财务管理与风险控制的几点建议 [J]. 企业改革与管理, 2016(8): 129.
- [10] 李吉川. 房建工程的项目管理与成本管理策略分析 [J]. 砖瓦世界, 2021(2): 145.

建筑结构设计控制裂缝的措施分析

张志辉

河北博实工程设计咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

DOI:10.61369/ME.2025090027

摘 要： 建筑结构设计为保障工程安全使用提供了支持，裂缝的出现不仅会影响到建筑物美观，还会对建筑物整体结构稳定性带来威胁，为此，对建筑结构裂缝的类型以及防控措施进行深入的分析具有非常重要的意义。要想对裂缝进行有效地控制，首先要在设计阶段就对有关因素进行系统的考虑，并采取科学、合理的处理方法。为此，本文重点围绕建筑结构设计裂缝防控措施进行探讨。

关 键 词： 建筑结构设计；裂缝防控；裂缝类型

Analysis of Measures to Control Cracks in Building Structure Design

Zhang Zhihui

Hebei Boshi Engineering Design Consulting Co, LTD., Shijiazhuang, Hebei 050000

Abstract： The design of building structures provides support for ensuring the safe use of projects. The occurrence of cracks not only affects the aesthetics of buildings but also poses a threat to the overall structural stability of buildings. Therefore, it is of great significance to conduct an in-depth analysis of the types of cracks in building structures and the prevention and control measures. To effectively control cracks, it is necessary to systematically consider relevant factors in the design stage first and adopt scientific and reasonable treatment methods. Therefore, this paper focuses on discussing the crack prevention and control measures in the design of building structures.

Keywords： building structural design; crack prevention and control; crack types

引言

现代建筑工程出现裂缝不仅会影响到美观，还会威胁到结构的安全性。所以，建筑结构设计阶段裂缝控制非常重要。为此，设计师要明确建筑结构设计中的要点和注意事项，分析常见的裂缝类型，并且采取有效的防控措施，切实保证建筑结构的稳定、可靠、安全。

一、裂缝的主要类型

（一）沉降裂缝

沉降裂缝一般出现于建筑物基础部位，造成这种裂缝的原因主要为地基不均匀沉降。地基沉降是地基土层受荷载作用产生垂直位移的一种现象，其原因可能有很多，主要有土地性质、地下水变化和外部荷载作用。沉降裂缝在影响建筑物美观的同时，严重者甚至危及建筑物结构安全及使用功能。

（二）收缩裂缝

收缩裂缝多出现于混凝土和其他材料硬化时，是由于物料内部水分蒸发和温度变化导致体积收缩。这种裂缝一般都比较细小，但是若是没有得到很好的控制就有可能导致更为严重的结构问题出现，影响到建筑的耐久性以及使用性能。

（三）温度裂缝

温度裂缝的产生主要和温度变化时材料物理特性相关。温度变化可使混凝土和其他建筑材料热胀冷缩继而诱发裂缝。这种裂缝一般在大温差环境下表现得比较明显，特别是昼夜温差大的区域，温度裂缝出现的频率明显增加^[1]。

二、建筑结构设计裂缝防控措施

（一）加强前期调查

加强前期调查可以为后续设计和施工提供科学依据，从而减少裂缝出现的概率。调查内容涉及地质勘察、环境因素分析等。地质勘察阶段，通过深入研究建筑场地的地质状况，如土壤种类、地下水位、地基的承载力和地质结构等，可以为设计师提供

宝贵的参考资料。如果勘察结果表明地基土是粘土时，设计师需格外注意可能会出现沉降的情况，在进行设计时也会采取一些相应的处理方法，比如选择适当的地基形式或者使用软基加固技术。另外，在地质勘察中也需要考虑潜在地质灾害的危险，例如地震、滑坡等，提前做好防控措施，避免在后期威胁建筑物安全。在对环境因素进行分析时，要重点调查当地的气候条件、水文情况。建筑物使用环境的好坏，直接影响着建筑物结构的耐久性与安全性。环境分析时应着重考虑温湿度的变化、降雨量和风荷载^[2-4]。比如在高温干燥区域，建筑材料可能会出现较明显收缩，这就要求在设计中积极采取有效措施进行维护；在多雨地区需要注意排水系统设计以避免水渗入地基诱发不均匀沉降。所以，设计师要结合建筑物所处地区的气候特征对设计方案进行合理的调整，保证建筑物能适应环境变化。

（二）提高建筑形体和构件布局的规则性

建筑形体及构件布局规则性的优化设计，既是增强建筑美观与作用的关键所在，又是对裂缝进行有效管控的重要方法。合理地进行形体与布局设计能显著地减小应力集中，减小不均匀变形危险，进而提高建筑安全性与耐久性。在具体设计中，首先，应简化建筑形体。复杂的建筑形体容易造成应力集中现象，加剧局部受力不均匀性，进而诱发裂缝问题，所以在设计阶段要尽可能地选用简单而有规律的形体，降低应力集中的问题。比如矩形或者方形建筑形状一般都能使荷载分布更加均匀，减少形体复杂导致裂缝的危险。另外，对高度较大的建筑物，要注意高、宽之比，以免过大的建筑物形体产生过大的风荷载及不稳定因素。

其次，构件的优化布置。建筑结构各构件间布置中，要考虑荷载传递路径，保证荷载能均匀分布于结构整体，有效地避免局部受力过大而诱发不均匀沉降变形。在设计中，对各构件之间的距离、个数以及它们之间的相对位置要进行细致的计算和分析，保证达到最佳受力状态。同时构件连接方式要根据受力特点合理选用，采用刚性连接和柔性连接配合，有效地释放内部应力并减少裂缝出现几率^[5]。再次，设计师对构件的布置要充分考虑到建筑物各个组成部分之间的相互影响，比如楼板和梁与柱的连接设计就需要确保它们能有效分担荷载，以免局部受力不均匀造成开裂。另外，设计时还应综合考虑温度变化、湿度变化以及其他环境因素对构件产生的作用，并合理布置伸缩缝和控制缝来释放温度变化产生的内应力，从而降低裂缝产生量。

最后，设计师在进行设计时，要考虑到建筑功能需求、美观要求以及经济性等多方面因素，使其达到结构最优配置，同时又要符合实际使用情况。通过科学、合理的设计使建筑既能体现外观的美观，又能保证安全、稳定的功能。

（三）合理选择材料

材料的选择对于建筑建造效果有着至关重要的影响，材料选择不当、质量不佳，均容易造成后期施工中的各种裂缝问题。为此，在设计阶段，设计师要结合工程勘察情况、设计要求等，合理选择材料，做好材料的配置。首先，混凝土是建筑结构中最主要的材料，在设计阶段，设计师要合理确定混凝土的强度等级，比如当前高层建筑常常使用 C20、C30、C35 等强度等级的混凝土

材料。在选用混凝土材料时，设计师还要注意做好材料的配合比设计。混凝土强度、抗裂性能与其水胶比、骨料种类、级配关系密切。通常情况下，水胶比小可改善混凝土强度及抗渗性以有效减少收缩导致裂缝风险^[6,7]。另外，采用高性能的混凝土材料，如混入聚合物或纤维的混凝土，可以明显增强其对裂纹的抵抗能力。这类改良材料一般具有较好的延展性与韧性，能较好地分散荷载作用时的应力并减少裂缝出现的概率。

其次，合理选用掺合料。当前常用的掺合料有粉煤灰、矿渣及硅灰，这些材料能有效改善混凝土微观结构并增强混凝土材料的抗裂性能。掺入掺合料既可降低因水分蒸发导致的干燥收缩，又可以增强混凝土耐久性及抗化学侵蚀能力以延长建筑物使用寿命。选用掺合料时应结合具体工程的需要及环境条件合理地选用合适的原料，才能充分发挥掺合料的优越性。

再次，钢筋等结构材料选用中国，钢筋强度、抗拉性能以及与混凝土粘结性能等因素均对结构整体稳定性产生影响。选用钢筋时应考虑钢筋的抗腐蚀性及耐久性问题，尤其是潮湿或者腐蚀性环境下，采用防腐钢筋或者涂层钢筋均能有效地增强结构抗裂能力。另外，合理分配钢筋数量及位置可以保证钢筋在关键受力区域内有效工作，有利于减少裂缝产生。

最后，加强新材料的应用。在建筑科技不断发展的背景下，新型建筑材料在控制裂缝方面的使用给人们带来了更大的可能。如自愈混凝土的问世使裂缝发生时能自动修补并有效地延长建筑物寿命；轻质材料可以有效地降低建筑物的整体重量，减轻地基的压力，进而避免因沉降而产生的裂痕。这些创新材料的应用在增强建筑性能的同时，给设计师们带来了更多的选择。

三、建筑结构设计控制裂缝措施的具体应用要点

（一）工程概况

某住宅楼的地下部分采用 C35 强度的混凝土，其楼板的厚度被设计为 300 毫米，整个建筑的长度和宽度分别达到了 101 米和 87 米。在顶板的长度和宽度方向上，设计了两条后浇带，其中长度方向有两条，宽度方向有一条，这些后浇带的宽度为 800 毫米。该后浇带于 2020 年 7 月完成浇筑，但在 2020 年 8 月和 9 月时出现了裂缝问题。为全面了解这类裂缝的种类和成因，工程各单位对其开展调查研究，分析其具体种类和成因，在此基础上采取相应措施予以治理。

（二）优化混凝土配合比设计

在混凝土配合比设计中，涉及水泥、砂、石子、水及其他原材料配合比调整。合理调配这些组分可显著增强混凝土力学性能及耐久性，减少开裂风险。本设计以满足混凝土强度等级 C30 为目的，所以要准确地计算出各种物质的掺量^[8]。混凝土配合比的设计参数见表 1。

表 1 混凝土配合比设计参数

序号	材料	用量
1	水泥	388.10kg/m ³
2	水	163.00L/m ³

3	砂（细骨料）	720.00kg/m ³
4	碎石（粗骨料）	1090.00kg/m ³
5	外加剂	7.76kg/m ³

（三）构件配筋

梁体配筋设计。在梁的中间部分，设计师采用两条直径为12毫米的立筋。在框架梁的内部结构中，纵向钢筋在绑扎和搭接接头的范围内，需要适当地加密箍筋，并且加密后的距离应设置为100毫米。在梁腹板的高度超出450毫米的情况下，要对纵向构造钢筋的截面面积进行合理的控制，并确保这些钢筋之间的布置距离不超过200毫米。

钢筋混凝土现浇板设计。选择1米宽的板带进行计算，但在实际配筋时，需要根据实际宽度（扣除一定起始距离）进行调整。设计师应确保受力钢筋之间的距离不超过200毫米，位于支座部分下方的纵向受力钢筋之间的距离应限制在400毫米之内。在处理单向板时，还需配置分散的钢筋，这些钢筋的面积至少应为受力钢筋面积的15%，并且它们之间的距离必须控制在250毫米之内^[9]。

柱子配筋设计。将纵向钢筋用一对焊接头连接到柱子上，根据填充墙位置保证填充墙和柱体具有较好的连接。与此同时，设计师需要在柱子的高度上预留两根直径为6.5毫米的拉接钢筋，并确保它们之间的距离为500毫米。

（四）设置合理的变形缝和伸缩缝

在设计现浇钢筋混凝土框架结构时，设计师要确保伸缩缝的最大间距不超过55毫米。在具体的建筑工程实践中，严格遵守《混凝土结构设计标准》（GB50010—2010）对伸缩缝间距的规定。为了扩大伸缩缝的距离，设计时需要降低温度引起的应力，需要提高温度上升的区域配筋率。如果温度缝仅在建筑物的屋顶层设置，还需要对结构的温度区间长度进行恰当的调控，并且通常会在柱子旁边设置伸缩缝。

此外，框架结构的伸缩缝宽度通常需要符合抗震缝的最小宽度要求。具体来说，抗震缝的宽度规定如下：一是对于高度不超过15米的建筑，抗震缝的宽度应至少为100毫米；二是对于高度超过15米的建筑，抗震缝的宽度需要根据当地设定的防震烈度来相应增加。

（五）应用预应力技术

在混凝土构件在达到既定强度后，设计师需要对预应力钢筋施加拉伸力，此时预应力筋将引发弹性形变。随着预应力钢筋被拉伸，预应力筋会逐步放松并恢复原长，进而使得混凝土在受拉区域获得预应力。这种预应力构件常用于需要大跨度、高承载能力以及严格控制裂缝的混凝土工程中。预应力技术的运用能显著增强构件的抗裂能力，例如，受弯构件的抗裂性能可提高两到四倍，而中心受拉构件的提高甚至可以达到四到八倍。此外，预应力混凝土的应用不仅节省了材料，还降低了成本，通常可以帮混凝土减少20%到40%的材料消耗，钢材消耗减少30%到60%，并且还能降低结构的自重20%到40%^[10]。

在具体实践中，预应力施工对于施工人员有着较高的专业要求，为此，应选用高水平的施工人员进行该项作业，并且做好装置的选择和调试，保证设备正常运转。在预应力施工中，先张后法和后张法通常要分别使用张拉台座和锚具，可能会导致工程造价升高，为此，设计师需要做好该技术经济性的分析。

此外，预应力张拉过程中可能会发生混凝土裂缝问题，为了避免此类问题，设计师在计算应力时首先要对结构的受力情况进行分析，通过定性定量结合的方式研究应力分布情况，从而实现截面尺寸的合理优化和预应力筋的合理布置。其次，在设置普通钢筋中，设计师应适当做好局部区域抗裂性能的优化，根据局部强度情况以及经济指标，做好钢筋用量的适当增加。最后，应当进一步优化设计施工方案，做好影响因素的分析和防控，保证施工过程安全、顺利。

四、结语

总之，要想对建筑结构的裂缝进行有效地控制，就要在设计阶段加强调查研究，对建筑形体及构件布局进行优化，对材料进行合理地选用。通过系统化设计及科学施工方法，能够一定程度降低裂缝发生率，进而提升建筑安全性及耐久性。在未来发展中，设计师应当积极总结经验，加强新技术、新材料的应用，提高建筑结构设计水平，控制裂缝问题的产生，进而保证建筑物的安全、稳定，促进建筑行业的健康发展。

参考文献

- [1] 金学成. 探讨建筑设计中的裂缝控制方法 [J]. 石材, 2024, (11): 56–58.
- [2] 方兆平. 房屋建筑设计中现浇混凝土裂缝的控制对策分析 [J]. 居业, 2024, (03): 100–102.
- [3] 蒋炳林. 房屋建筑设计及施工中的现浇混凝土裂缝控制对策 [J]. 住宅与房地产, 2024, (05): 172–175.
- [4] 石里开. 多层住宅建筑设计中框架结构设计要点探究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (17): 124–126.
- [5] 高建常. 土木工程建筑设计中的问题与解决路径探究 [J]. 科技资讯, 2024, 22(16): 119–121.
- [6] 段俊锴, 郭顺军, 王隼, 等. 公共建筑设计浅析——C立方·智慧创空间-2号办公楼 [J]. 四川建筑, 2024, 44(02): 34–37.
- [7] 魏巍. 不规则多层建筑设计研究 [J]. 低碳世界, 2024, 14(04): 79–81.
- [8] 方兆平. 房屋建筑设计中现浇混凝土裂缝的控制对策分析 [J]. 居业, 2024, (03): 100–102.
- [9] 武鹏. 建筑设计中混凝土裂缝防治对策 [J]. 石材, 2024, (01): 119–121.
- [10] 王江艺. 建筑设计中控制裂缝的措施分析 [J]. 居业, 2023, (12): 74–76.

概念设计在建筑结构设计中的应用

赵婉君

河北拓朴建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

DOI:10.61369/ME.2025090028

摘 要： 在建筑行业飞速发展的背景下，建筑设计不但要合理地利用空间，追求审美，更要考虑结构的安全性、经济性以及可持续性。概念设计在建筑设计初步阶段起着关键作用，其不仅会对建筑整体形态与功能布局产生影响，而且也会对后续结构设计以及其实施可行性产生直接影响，所以深入探究概念设计对建筑结构设计的运用具有重要意义。

关 键 词： 建筑结构设计；概念设计；设计优化

The Application of Conceptual Design in Architectural Structure Design

Zhao Wanjun

Hebei Tuopu Architectural Design Co, LTD., Shijiazhuang, Hebei 050000

Abstract： Against the backdrop of the rapid development of the construction industry, architectural design should not only make rational use of space and pursue aesthetics, but also consider the safety, economy and sustainability of the structure. Conceptual design plays a crucial role in the initial stage of architectural design. It not only affects the overall form and functional layout of the building, but also has a direct impact on the subsequent structural design and the feasibility of its implementation. Therefore, it is of great significance to deeply explore the application of conceptual design in architectural structural design.

Keywords： building structural design; conceptual design; design optimization

引言

在建筑行业日益发展的今天，概念设计这一创新思维方式在建筑结构设计当中得到了日益广泛的运用。该理念既关系着建筑外观与功能，也关系着整个结构的安全性、经济性与可持续性。在建筑结构设计过程中，设计师需考虑材料特性、力学性能和环境因素等因素，进而保证最终的设计兼具美观和实用性。

一、概念设计的重要性

概念设计是建筑结构设计的核心，其重要性表现在很多方面，比如安全性、经济性、美学等。首先，建筑安全性。现阶段，设计师可以从环境因素、地质条件、气候影响等方面进行分析，预见可能存在的结构风险以及进行初期设计时采取适当的防范措施。比如在建筑基址的选择上，需要综合考虑土壤承载力、地震带以及水文条件等因素，这样才能够规避后续建设中潜在的安全隐患。该早期风险评估与应对策略可有效减少今后建设与使用过程中的安全事故。其次，经济性。设计师经过合理概念设计后，能够对材料使用以及施工工艺进行优化，进而减少建设成本。最后，在美学上，概念设计在建筑外观与空间体验上提供一种创造性思路。设计师要充分考虑现阶段建筑和周边环境的协调性、功能空间流动性和使用者视觉感受等因素。好的概念设计可以在满足功能需求前提下塑造充满魅力的建筑形象、提高城市文

化价值、改善人居环境^[1]。

二、建筑结构中概念设计与结构措施

（一）合理选择建筑工程基址

建筑工程基址的合理选择是概念设计的关键环节，在此过程中设计师需考虑地质条件、环境因素、交通便利性等多方面因素，进而保证建筑可行性和适用性。首先，地质条件在建筑基址选择中占第一位。设计师需要细致地调查拟建现场土壤性质，主要是土壤承载力、稳定性和水文条件。不同土壤类型在建筑基础选择与设计中具有显著作用，比如在软土或者泥炭土区域，建筑物基础设计中可能会要求采取桩基或者加固措施来保证结构安全与耐久性。另外，对区域内地震带、滑坡风险以及洪水易发区域的认知也必不可少，设计师在选址时应避开这些高风险区域以减少日后隐患。其次，对环境因素进行分析。建筑基址选

择要和周边环境协调一致,设计师需要考虑到建筑和自然环境的相互作用。合理的基址选择能在给居住者带来更舒适空间体验的同时,最大限度地利用自然资源和降低能耗。同时,要关注周围的生态环境因素,例如植物覆盖、动物的生活环境以及水体的分布状况,也是实现建筑可持续发展目标的有益因素。最后,在选择基址时,注意交通便利性。建筑物之使用功能常与交通网络息息相关,而合理之基址应能为使用者之进出及物流之交通提供便利^[2,3]。城市规划时设计师需要对交通流量,公共交通设施可达性和主要交通干道连接性进行评价。

（二）优化建筑结构选型与布局

科学地进行结构选型和布置,既可以提高建筑物使用效率又可以减少施工和运营成本,达到经济和环境双重效益。首先,建筑功能多样,结构选型要求各异。在结构选型过程中,设计师需要全面了解建筑的主要功能,如居住、办公、商业或者公共设施,这是因为不同种类的建筑对于空间的要求以及使用行为都有明显的区别。对需要较大空间的体育馆或者展览馆来说,一般都会采用钢结构或者预应力混凝土结构等大跨度的构造形式来满足它们开放性、灵活性等方面的需求。但对住宅类建筑而言,可采用合理分隔、层次布局等方式达到功能多样、舒适。其次,在优化选型和布置时,设计师需要综合分析建筑所处地理环境,其中包括自然因素如地震、风荷载和雪荷载,选择适当的结构体系。比如在地震多发区,设计师们可以优先选择使用抗震设计框架结构或者剪力墙结构来加强建筑物抗震性能,同时通过合理布局,可使建筑重心尽可能地下降,从而增强建筑稳定性。最后,施工可行性。设计师在结构设计时应综合考虑建造过程的技术难度、材料可获取性和工期安排等因素,选用便于施工的结构形式及布置可以有效地减少施工风险,提高施工效率。比如模块化建筑的崛起,使设计师能够在设计阶段充分考虑工厂预制和现场装配的方便性,以标准化的组件来降低现场建设的复杂程度,进而达到缩短工期、降低成本的目的。

（三）分析建筑结构受力与结构体系

首先,建筑在其服役期间要承受多种外部荷载,主要有自重、活荷载、风荷载和地震荷载。设计师需要综合分析这些荷载来判断它们在建筑结构中的作用范围。比如自重就是建筑本身材料的自重,活荷载就是由人和家具等可变因素产生的荷载。风荷载与地震荷载都是由自然条件导致的动态变化,特别是在高楼和地震活跃区域,设计师有责任对这些荷载进行深入的估算,以确保建筑物能够抵御潜在的极端风险。其次,结构体系选择与建筑受力表现直接相关。常用结构体系有框架结构、剪力墙结构和混合结构。每一种结构体系均具有自身特殊的受力特点及适用场景。框架结构一般都有较好的灵活性与适应性,适用于空间较大的建筑物;剪力墙结构的抗侧力性能优异,适用高层建筑和地震频发地区。在结构体系的选择上,设计师需要综合考虑建筑高度、造型、使用功能、所处环境等因素,从而选择出既符合安全又经济的结构。最后,设计师应该重视材料特性对其产生的作用。不同的材料受力时性能不一样,如钢材强度高、韧性好,适用于承受动荷载作用的构造、混凝土抗压性能优越^[4]。在结构体

系的选择上,设计师需要综合考虑材料特性对其加以优化才能达到更加高效安全的结构。实际设计时,设计师在对建筑结构进行受力分析时一般都是利用有限元分析方法,客观地评价结构在各种荷载作用下的反应。该方法能直观展示多种荷载作用下该建筑应力分布及变形规律,可为结构后续优化提供数据支撑。

（四）确定关键性结构设计参数

首先,材料选择对结构性能有很大的影响。不同材料在强度、弹性模量、抗拉强度及抗压强度等物理及机械特性上都与结构承载能力及耐久性有直接联系,比如钢材由于具有超强的强度与韧性适合应用在需要高抗拉强度的构造中,混凝土由于具有优异的抗压性能被广泛地应用在基础与承重墙体中。设计师需要综合考虑材料可获取性和其环保性等因素,选用与可持续发展理念相符的材料来减少建筑给环境带来的不利影响。其次,对构件尺寸进行合理设计。构件大小既要符合建筑使用需要,又要有足够承载能力及稳定性。设计师在进行设计时需要根据荷载分析结果来计算每个部件的最小截面尺寸,同时应综合考虑构件长细比、支撑条件和可能发生的局部失效,保证构件服役时的安全可靠。最后,合理选择连接方式。连接作为构件间相互作用中至关重要的一环,其连接方式的差异将对结构整体刚度、稳定性以及抗震性能产生一定的影响^[5-7]。设计师对连接方式的选择要结合结构形式、荷载传递路径和施工工艺等多方面因素来考虑。比如钢结构往往通过焊接或者螺栓的方式连接,混凝土结构可以通过铰接或者刚性连接。

三、概念设计在建筑结构设计中的应用

（一）工程概况

某大型建筑共有18层地上空间和2层地下室,总建筑面积为72865平方米。设计人员经过细致地调研,结合建筑功能要求,确定多项重点结构设计要素,其中包括结构形式、基础类型、混凝土强度等级和结构安全等级。该建筑以框架剪力墙为主要结构形式,基础主要为筏板结构。该建筑设置7度的抗震标准,为丙类抗震设防,结构安全级别是二级,其基础设计级别则是乙级^[8]。如图1为框架剪力墙结构,图2为筏板基础示意图。

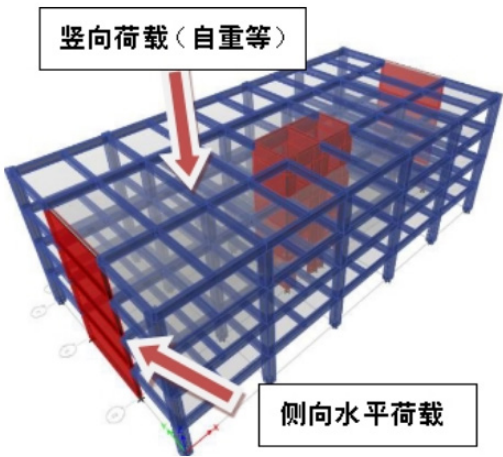


图1 框架剪力墙结构

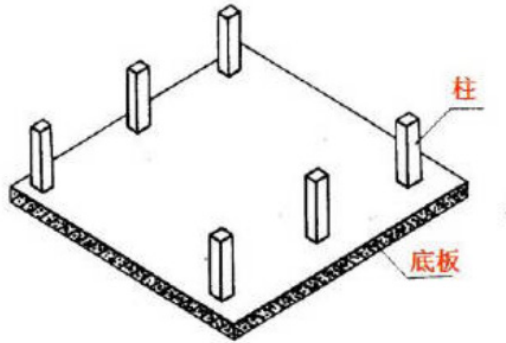


图2 筏板基础

（二）选择施工场地

设计师经过对初步选址的优化及场地位置的确定，利用地质调查结果确定适宜地基类型及基础结构形式。设计师对施工现场展开详细地质勘探工作，着重搜集土层和水文方面的基础资料，并将其作为建筑结构设计中的重要基础。从勘察结果看，本工程基础上方土质分层有中等风化花岗岩、砂状强风化花岗岩、碎石强风化花岗岩、粉质黏土和砂质粘性土等。场地下水的初始埋深为0.2至8.5米，标高范围在12.5至35.4米之间；钻孔稳定水位的深度范围是0.1至8米，其标高则位于12.7至35.9米的区间内^[9]。地基持力层及下部以粗砂、粉质黏土、杂填土为主。在综合考量地质勘查和地基受力分析的结果后，设计师决定将地下第一层和第二层的层高分别设定为3.2米和3米，并采用筏形基础设计，该基础结构的厚度将达到1.5米。若施工期发现有湿陷性土层需要换土重填并开挖湿陷性土之后才可实施基础施工。

（三）优化建筑结构抗震性能

在该工程设计中，设施重点关注的是提升建筑的抗震功能。设计师基于全面的分析来挑选最适合的建筑材料，对建筑材料市场进行深入探讨，从生产商、材料特性、技术参数以及成本效益等多个角度进行评估，确保选用的原材料满足项目的抗震需求，同时确立生产标准，增强材料性能。在设计剪力墙和结构时，设计师需要根据特定的结构需求精确定义钢筋和构件的尺寸和参数，通过指标化管理，确保所选材料能够有效地提升建筑的抗震性。

（四）设置防震缝与后浇带

在地震多发区域的建筑设计中，设置防震缝是至关重要的，防震缝能有效减少地震时不同建筑单元间的相互碰撞，从而减轻地震对建筑物可能造成的不利影响。在规划防震缝和后浇带时，设计师需要做到精确到位，考虑建筑的保温隔热和防水功能，以免给施工带来额外挑战，避免提高成本或者破坏建筑的整体美观。为了增强建筑结构的稳定性，在该项目中，设计师采用了十

字交叉型的连拼施工方法，并且通过增设后浇带和防震缝等手段，显著提升了混凝土浇筑的品质，优化了结构的扭转问题以及温度应力相关的缺陷^[10]。

（五）调整建筑结构关键参数

框架-剪力墙结构的建筑的实际周期折减系数是一个至关重要的参数。如果系数减少，那么建筑的具体刚度会随着总刚度的增加而增加，因此设计师通常在工程建筑结构设计中，将实际周期折减系数控制在0.7到0.8之间。在进行多塔设计时，设计师通常以三倍层数作为标准来确定振动模式的个数，同时充分考虑到建筑物竖向荷载对梁体结构的影响，通过设定跨中弯矩，从而增强梁体结构的稳定性和安全性。

四、概念设计在建筑结构设计中的应用趋势

数字化技术的推广给概念设计以有力支撑。借助计算机辅助设计（CAD）和建筑信息建模（BIM）这些尖端工具，设计师可以迅速地创造出各种设计方案，并对其进行实时的模拟与完善。这样既提高设计效率又使复杂结构得以实现。比如在某些大型公共建筑上，采用参数化设计的方法，可针对不同的功能需求对其结构形态进行灵活的调整，以达到最优的使用效果和视觉冲击力。

可持续性理念在建筑结构设计中逐步渗透。现代概念设计在注重外观及实用性的同时，更加注重材料的选择，能源的使用以及生态的影响。基于这种情况，很多工程开始使用再生材料、绿色屋顶和自然通风来减少碳足迹和提高建筑的环境适应能力的战略。此外，智能化系统在概念设计中越来越重要，其通过传感器及自动控制技术来达到对建筑物内部环境进行实时监测和调整，改善居住者舒适度的目的。

跨学科合作是概念设计未来发展的主要趋势。现代的建筑项目通常会涉及很多方面，其中就有艺术、工程和环境科学，所以多学科团队协作、不同专业背景人员参与、不同视角的创意碰撞会极大地丰富概念设计。跨学科合作既可以启发出新的想法，又可以保证在前期构思和最后执行期间都能够切实地满足各种需求。

五、结语

总之，概念设计对于建筑结构设计的意义重大，在保证结构安全与使用功能的同时，也为其可持续发展提供依据。设计师在建筑结构设计中，应合理应用概念设计方法，提高结构设计水平，进而提高建筑结构整体稳定性。

参考文献

- [1] 庄纳敏. 建筑结构设计中概念设计的应用 [J]. 石材, 2024, (12): 31-33.
- [2] 陈莉. 浅谈建筑结构设计中的概念设计与结构措施 [J]. 居业, 2024, (11): 76-78.
- [3] 李忠良. 探析概念设计在建筑结构设计中的应用 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(22): 33-35.
- [4] 魏巍. 土木工程建设中住宅建筑设计建议 [J]. 居舍, 2024, (28): 102-105.
- [5] 杨猛. 建筑结构设计中抗震概念设计的应用 [J]. 中华民居, 2024, 17(05): 189-191.
- [6] 陈亚琴. 高层住宅建筑结构设计安全性分析与提升路径 [J]. 价值工程, 2024, 43(23): 143-146.
- [7] 苑宏宇, 李赫赫, 吴剑锋. 建筑结构概念设计原则探析 [J]. 工程设计与设计, 2024, (13): 20-23.
- [8] 张鸿雅. 概念设计在建筑设计中的应用 [J]. 陶瓷, 2024, (06): 164-167.
- [9] 王太军. 高层建筑混凝土结构设计中的抗震设计 [J]. 科技资讯, 2024, 22(10): 207-209.
- [10] 姜帅云. 探析概念设计在建筑设计中的应用 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(09): 69-71.

桩基施工技术在岩土工程中的应用策略

肖铨^{1,2}

1. 江苏省环境地质调查大队, 江苏 南京 210012

2. 江苏省地质工程勘察院有限公司, 江苏 南京 211102

DOI:10.61369/ME.2025090029

摘 要 : 桩基施工技术作为岩土工程的核心基础支撑技术, 直接决定工程结构的安全性、稳定性与耐久性。随着城市化进程加速, 高层建筑、桥梁隧道等大型基础设施项目不断涌现, 复杂岩土条件与严苛环保要求对桩基施工技术提出了更高挑战。本文系统分析桩基施工技术的核心类型与工作原理, 从地质适配选型、施工工艺优化、质量控制体系、智能化应用、环保安全保障五个维度, 构建全面的应用策略体系。研究表明, 科学的桩基施工应用策略需实现地质条件、技术特性、工程需求与环保要求的有机统一, 可为岩土工程高质量建设提供技术支撑与实践参考。

关 键 词 : 桩基施工技术; 岩土工程; 应用策略; 质量控制; 智能化施工; 环保施工

Application Strategies of Pile Foundation Construction Technology in Geotechnical Engineering

Xiao Quan^{1,2}

1. Jiangsu Provincial Environmental Geological Survey Brigade, Nanjing, Jiangsu 210012

2. Jiangsu Provincial Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 211102

Abstract : As a core foundational technology in geotechnical engineering, pile foundation construction techniques directly determine the safety, stability, and durability of engineering structures. With accelerated urbanization, large-scale infrastructure projects such as high-rise buildings, bridges, and tunnels continue to emerge. Complex geotechnical conditions and stringent environmental requirements pose heightened challenges to pile foundation construction technologies. This paper systematically analyzes the core types and working principles of pile foundation construction techniques. It constructs a comprehensive application strategy framework across five dimensions: geological suitability selection, construction process optimization, quality control systems, intelligent applications, and environmental safety assurance. Research indicates that a scientific application strategy for pile foundation construction must achieve an organic integration of geological conditions, technical characteristics, engineering requirements, and environmental protection demands. This framework provides technical support and practical reference for high-quality geotechnical engineering construction.

Keywords : pile foundation construction technology; geotechnical engineering; application strategy; quality control; intelligent construction; environmentally friendly construction

引言

岩土工程作为土木工程的核心分支, 承担着地基处理、基础构建等关键任务, 其施工质量直接关系到上部结构的安全与使用寿命^[1]。桩基作为岩土工程中最常用的基础形式, 通过将上部结构荷载传递至深层稳定岩土体, 有效解决了软弱地基、不良地质条件下的承载力不足问题, 在高层建筑、桥梁工程、港口码头、工业厂房等领域得到广泛应用。随着工程建设向复杂地质区域拓展, 岩溶、孤石、深厚软土等特殊岩土环境日益增多, 传统桩基施工技术已难以满足现代工程对承载能力、施工效率与环保标准的多重需求。近年来, 桩基施工技术在材料研发、设备革新、工艺优化与管理模式上取得显著突破, 低噪音施工装备、复合地基技术、智能化监测系统创新成果逐步应用于工程实践^[2]。然而, 在实际施工中, 仍存在技术选型与地质条件不匹配、施工流程管控不规范、质量隐患防控不到位等问题, 导致桩基承载力不足、桩体完整性缺陷等质量问题, 严重影响工程安全。因此, 基于岩土工程的复杂性与特殊性, 构建科学完善的桩基施工技术应用策略, 实现技术选型精准化、施工工艺标准化、质量控制智能化、环保安全常态化, 成为当前岩土工程领域的重要研究课题。

一、桩基施工技术的核心类型与工作原理

（一）桩基技术的主要分类

桩基施工技术种类繁多，根据施工方法、材料特性与结构形式，可分为以下核心类型：

表1 桩基施工技术种类

种类	操作	优势	适用
钻孔灌注桩	通过钻机在地表钻孔，清除孔内钻渣后下放钢筋笼，再灌注混凝土形成桩体 ^[5] 。	适应性强、承载力稳定	适用于软土、砂土、岩石等各类地层，尤其在地下水位较高的地质条件下表现突出。
预制桩	通过工厂标准化生产制作桩体，再运输至施工现场通过打桩机、静压设备等沉入地基。	施工速度快、桩体质量可控，对现场环境影响较小。	适用于工期紧张、交通不便的工程项目。
复合地基桩	通过组合刚性桩与柔性桩的优势，形成协同受力体系。	有效改善地基土受力特性，减少沉降量。	适用于在深厚软土地区应用。
特殊工艺桩	贝诺特工法通过套管跟进、冲抓取土实现无泥浆作业；振动沉管桩通过振动设备使桩体下沉。	贝诺特工法可从源头上控制污染；振动沉管桩可减少对周围土体的扰动。	贝诺特工法适用于环保要求极高的敏感区域；振动沉管桩适用于砂质土层，

二、岩土工程中桩基施工技术的核心应用策略

（一）地质适配型选型策略

地质条件是桩基技术选型的核心依据，施工单位需结合详细地质勘察数据、工程荷载要求与环保标准，制定精准选型方案。

施工前，技术人员需全面复核地质勘察报告，重点分析地层分布、岩土性质、地下水位及不良地质现象等关键参数，勘察数据与实际不符时需及时补充勘察，确保地质信息准确。软土地基因承载力低、压缩性大，优先采用长短桩复合地基、劲性复合桩等复合地基桩技术或长桩基础，通过刚柔桩协同改善承载性能；砂土或粉土地层可选用振动沉管桩、螺旋钻孔桩，借助土体挤密效应提升承载力；岩石地层则适用嵌岩钻孔灌注桩，保障桩端嵌入持力层，充分发挥端承优势。

不良地质条件需针对性选型，岩溶地区采用套管跟进钻孔技术，必要时充填注浆处理溶洞；孤石区域用冲击钻破碎孤石或调整桩位；地下水位较高区域优先选择泥浆护壁钻孔灌注桩，环保要求严格时采用贝诺特工法等干作业技术。同时需兼顾工程需求与经济成本：高荷载工程选择高承载力嵌岩灌注桩或PHC桩；桥梁工程兼顾竖向承载与水平抗剪，可选钢管桩或劲性复合桩；工期紧张项目优先用预制桩缩短周期；环保敏感区域需选用低噪音、无泥浆污染的静压预制桩或干作业钻孔桩。

（二）施工工艺优化策略

施工工艺优化是提升桩基施工质量与效率的关键，需结合不同桩型与地质条件，制定标准化、精细化施工流程，聚焦各环节精准管控^[4]。

成孔工艺需按桩型与地质特性适配设备：钻孔灌注桩在软土地区采用液压履带式钻机，优化钻头减少地层扰动^[6]；硬岩地区

选用冲击钻或旋挖钻机，配备高强度钻头提升效率。施工中严格把控孔位、垂直度与孔深：开孔前以十字线定位法放样并设护桩，钻进时定期检查钻机水平度与钻杆垂直度，在软硬土层交界处放缓速度防孔斜；孔深采用设计桩底标高与持力层岩性双控，终孔前鉴别孔底岩土样确认持力层达标；孔径通过井径仪或检孔器检测，检孔器直径不小于设计桩径，长度控制在4-6倍桩径。

护壁与清孔直接影响桩体质量，泥浆护壁时，需动态调整泥浆比重、黏度与含砂率，软土地区提高比重增强护壁效果，砂土地区增加黏度防漏浆^[6]。清孔分两次进行，终孔后首次清孔除钻渣，钢筋笼与导管安装完毕后二次置换清孔，采用泥浆循环或气举反循环法，确保孔底沉渣厚度达标，清孔后尽快灌注混凝土避免沉渣淤积。

钢筋笼制作与安装需保障完整性与精度，按设计尺寸加工，钢筋规格、数量、间距符合规范，接头采用焊接或机械连接，设置足量加劲箍防变形，外侧焊接保护层垫块保证厚度。吊装采用两点或多点起吊，平稳下放避免弯曲变形与孔壁碰撞，下放至设计标高后固定牢固，防止混凝土灌注时上浮。

混凝土灌注是关键环节，要选用高流动性、低泌水性混凝土，坍落度控制在180 ~ 220mm；导管安装前做水密性试验，底部与孔底距离保持300 ~ 500mm，灌注时导管埋深控制在2 ~ 6m，实时监测混凝土面高度并调整提升速度，防断桩；灌注速度保持2 ~ 3m/h，桩顶超灌0.5 ~ 1.0m，初凝后凿除浮浆保质^[7]。

预制桩沉桩需适配地质，软土地区用静压沉桩法，减少土体扰动与噪声；砂土或硬土地区用振动沉桩法，降低土体阻力提效。沉桩时严控桩位偏差、垂直度与沉入深度，通过水准仪与经纬仪实时监测，确保桩顶标高达标，避免过打或欠打损伤桩体。

（三）全流程质量控制策略

桩基施工质量控制应贯穿施工准备、施工过程与竣工验收全过程，建立多层次、全方位的质量保障体系。

施工准备阶段的质量控制是基础。技术人员需深入研读设计文件与地质勘察报告，结合工程实际编制专项施工方案，明确成孔设备选型、护壁措施、混凝土配合比、灌注工艺等关键参数，针对坍孔、缩径、钢筋笼上浮等可能出现的问题制定应急预案。对于复杂地质条件下的桩基施工，应进行试成孔或试桩工艺，验证设计参数的合理性，优化施工工艺细节。施工单位需对原材料进行严格检验，钢筋、水泥、砂石等材料必须具备质量合格证书，进场后按规定批次抽检，混凝土配合比需经试验确定并动态调整，确保满足施工与设计的要求。

施工过程中的动态质量控制是核心。建立“三检制”（自检、互检、专检）质量管理制度，对每道工序进行严格把关^[8]。成孔阶段实时监测孔深、孔径、垂直度与沉渣厚度，采用测斜仪监测孔斜偏差，井径仪检测孔径变化，沉渣厚度采用电子沉渣仪或测绳检测，不合格者必须返工处理。钢筋笼制作过程中，质检员需检查钢筋规格、间距、焊接质量与保护层垫块设置，确保符合设计与规范要求。混凝土灌注阶段，监测混凝土的坍落度、初凝时间与灌注速度，采用超声检测或雷达监测技术实时监控混凝土浇筑质量，发现异常立即采取补救措施。

智能化监测技术的应用提升质量控制精度。施工单位可采用桩基施工智能化监测系统，集成传感器技术、物联网与大数据分

析平台，实现施工过程的实时监控与数据化管理。成孔阶段通过三维成像技术直观呈现孔壁形态，精准测量孔深、孔径与垂直度；混凝土灌注阶段，通过导管内混凝土面高度、灌注压力与流量的动态监测，结合理论计算模型实现精准控制，有效预防断桩、夹泥等质量通病。BIM技术的深度应用可实现质量控制的可视化与精细化，通过建立桩基 BIM 模型，进行施工方案模拟、进度可视化管理与质量问题追溯，施工前模拟桩基与地下管线、地铁隧道等周边构筑物的位置关系，避免施工冲突，施工中通过模型比对及时发现偏差并调整^[9]。

竣工验收阶段的质量检测是保障。桩基施工完成后，需按规范要求承载力检测与桩身完整性检测。承载力检测可采用静载试验或高应变动力检测法，验证单桩承载力是否满足设计要求；桩身完整性检测采用低应变反射波法、超声透射法或钻芯取样法，检测桩身是否存在断桩、夹泥、缩径等缺陷。检测数量需符合规范要求，对检测不合格的桩基，应分析原因并采取补桩、加固等处理措施，确保全部桩基质量达标后才能进入下道工序。

（四）智能化与信息化应用策略

智能化与信息化技术的融合应用，是提升桩基施工技术水平的核心方向，能实现施工过程精准化、高效化与智能化管理，推动工程质量与效率双提升。

BIM 技术贯穿桩基工程全流程，应用成效显著。设计阶段，通过构建三维地质模型与桩基模型的融合模型，可辅助优化工程桩布局，规避与地铁隧道、地下管线等构筑物的冲突。施工准备阶段，借助 BIM 模型模拟施工方案、开展技术交底，直观呈现流程与质量控制点，提升施工人员理解度。施工过程中，通过 Dynamico 程序算法实现工程桩自动勘岩、桩长精准计算与统计，确保桩体嵌入持力层符合设计要求。竣工阶段，BIM 模型整合施工数据与检测结果，形成数字化档案，为后续运维提供支撑。

智能化监测系统实现施工实时管控。成孔环节，传感器实时采集孔深、孔径等数据，经物联网传输至大数据平台，偏差自动预警；钢筋笼安装采用激光定位，保障安装精准度，避免偏移上浮；混凝土灌注时，流量、压力与液位传感器协同监测，结合智能算法调整灌注速度，确保桩体密实。

大数据与人工智能技术提升决策科学性。施工单位收集不同地质、桩型的施工数据，建立数据库，通过 AI 算法分析施工参数与质量指标的相关性，优化参数组合，为类似工程提供参考。同时，利用机器学习预测质量风险，提前防范；信息化管理平台整合进度、质量等数据，实现资源优化、进度调整与质量追溯，提升项目精细化管理水平。

（五）环保与安全保障策略

在绿色发展理念与安全生产要求下，桩基施工需统筹环保与

参考文献

安全，实现工程建设、生态保护与人员安全的协调发展。

环保施工核心是减少对周边环境的影响。噪声控制方面，选用低噪音、低振动的液压履带式钻机、静压沉桩机等设备，优化动力传输系统降噪；城市居民区、学校等敏感区域需合理安排施工时间，避开夜间与午休时段，必要时设置隔音屏障。泥浆污染治理上，推广“泥浆集中制备与循环利用系统”，通过多级沉淀池、旋流分离器及压滤机协同作用，实现泥浆净化复用，大幅削减废浆排放，净化后废水达标排放、废渣规范处置；环保要求极高的项目，全面采用贝诺特工法、螺旋钻孔桩等干作业成孔技术，从源头杜绝泥浆污染。

土壤与地下水保护需贯穿施工全程。施工单位应合理规划作业区、材料堆放区与废水处理区，防止施工材料污染土壤^[10]；钻孔时严控泥浆泄漏，避免渗入地下污染地下水；混凝土浇筑时防止水泥浆外溢，及时清理废弃物，施工结束后开展土壤修复与绿化恢复，恢复场地生态。

安全生产需聚焦风险防控。孔口防护方面，成孔后未灌注混凝土前，必须设置牢固盖板或护栏，防范人员坠落；钢筋笼吊装时，吊具需检验合格，指挥人员持证上岗、信号明确，避免碰撞或坠落事故。用电安全上，采用三级配电、两级保护系统，电气设备做好接地与绝缘处理，在潮湿环境使用安全电压，杜绝触电风险。深基坑施工时，设置监测点实时监测边坡位移与沉降，防范坍塌事故。同时，施工单位需开展安全培训与技术交底，配齐防护用品，定期排查隐患，落实安全生产责任制，保障施工安全有序。

三、结语

桩基施工技术作为岩土工程的核心支撑技术，其应用质量直接决定工程结构的安全稳定性与长期耐久性。研究表明，桩基施工技术的科学应用需坚持“地质适配为基础、工艺优化为核心、质量控制为保障、智能创新为动力、绿色安全为底线”的原则。随着岩土工程向更深、更复杂的地质环境拓展，桩基施工技术将面临更高的挑战与发展机遇。未来，桩基施工技术将朝着智能化、绿色化、高效化方向发展，新型环保材料的研发、数字化施工平台的完善、AI 技术在质量预测与风险防控中的应用将成为重要发展趋势。施工单位应不断总结工程实践经验，加强技术创新与成果转化，优化应用策略体系，提升桩基施工的技术水平与工程质量，为我国岩土工程行业的高质量发展提供坚实支撑。

[1] 赵有强. 土木工程结构设计中地基加固技术的实践标准与应用 [J]. 大众标准化, 2025, (14): 142-144.

[2] 智杰. 浅谈桩基施工技术在岩土工程中的应用 [J]. 居舍, 2020, (13): 57.

[3] 冯渊. 钻孔灌注桩技术在建筑工程施工中的应用 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(12): 64-66.

[4] 李志华. 超高层建筑施工中的基础灌注桩后压浆技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(6).

[5] 肖云. 旋挖钻孔灌注桩在桩基施工中的应用研究 [J]. 新城建科技, 2025, 34(01): 165-167.

[6] 王沛源. 桩基施工中的常见问题及处理对策 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018(35): 4346.

[7] 曾梅. 旋挖钻孔灌注桩后注浆法在建筑工程桩基施工中的应用研究 [J]. 科技资讯, 2023, 21(03): 89-92.

[8] 李绍华. 高层建筑基础大体积混凝土施工质量的把控 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(13): 124-126.

[9] 黄涛, 孙远来. BIM 技术在绿色建筑施工中的多维化探索应用 [J]. 陶瓷, 2025(6): 194-196.

[10] 李钢. 绿色施工技术在市政路桥施工中的应用探究 [J]. 数字化用户, 2022, 28(37): 80-82.

城中村改造类一二级房地产开发项目的合约管理与成本控制研究

任有德

广州环五山创新策源区长湓城市更新有限公司，广东 广州 510630

DOI:10.61369/ME.2025090032

摘 要： 城中村改造类一二级房地产开发项目的合约管理与成本控制是关键。从开发特征到招标采购、履约评估、投融资、施工监控等多阶段，再到审计、争议处理、联合指挥、条线协同等多方面，探讨了多种管理手段，提炼了协同管理范式与标准化管理体系，以提升项目管理水平，实现效益最大化。

关 键 词： 城中村改造；合约管理；成本控制

Research on Contract Management and Cost Control of Level 1 and Level 2 Real Estate Development Projects in Urban Village Renovation

Ren Youde

Guangzhou Huanwushan Innovation District Changban Urban Renewal Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510630

Abstract： The contract management and cost control of first – and second level real estate development projects in urban village renovation are key. This paper explores various management methods from the characteristics of development to multiple stages such as tendering and procurement, performance evaluation, investment and financing, construction monitoring, and multiple aspects including auditing, dispute resolution, joint command, and line collaboration. It refines a collaborative management paradigm and a standardized management system to improve project management levels and maximize benefits.

Keywords： urban village renovation; contract management; cost control

引言

2023年发布的《关于在超大特大城市积极稳步推进城中村改造的指导意见》，标志着我国城中村改造进入以高质量发展为导向的新阶段，政策重心从早期侧重于空间形态更新和房地产开发，逐步转向民生保障、安全治理与可持续发展并重。在此背景下，现有研究多聚焦于改造模式与实施路径，却较少从项目全周期成本管理的视角，系统剖析政策调整对成本结构及风险传导的影响。本文的创新点在于，通过识别土地收储政策变动、社会稳定风险等关键因素对成本构成的独特作用机制，构建适用于城中村改造项目的成本控制与风险管理整合框架，以弥补现有研究在微观管理层面的不足，为提升项目综合效益提供理论和实践参考。

一、城中村改造项目的特性分析

（一）城市更新与房地产开发的关系

在城市更新政策框架下，城市更新与房地产开发关系紧密。城市更新旨在全面提升城市空间品质、功能与活力，涵盖多方面的综合改善^[1]。而房地产开发作为其中重要手段，聚焦于土地资源的经济利用与项目建设。城中村改造项目作为城市更新的关键组成部分，具有独特性。一方面，它以改善居住环境、完善城市功能为目标，这与城市更新理念高度契合。另一方面，通过一二级联动开发，需遵循特定开发时序与经济平衡机制。开发时序要合理安排土地整理、基础建设与项目建设顺序，保障项目稳步推

进。经济平衡机制则需协调一级土地开发成本与二级房地产开发收益，实现资金良性循环，确保项目在达成城市更新目标的同时，也满足房地产开发的经济可行性要求，推动城市可持续发展。

（二）一二级开发成本构成特征

城中村改造项目的一二级开发成本构成具有显著独特性，其各项支出比例与常规地产开发存在明显差异。首先，安置补偿费用通常占总成本的40% - 60%，是成本结构中占比最高的部分，其补偿形式涵盖货币补偿、回迁安置等多种方式，且标准受地段、房屋状况等因素影响显著，弹性较大，精准控制难度高。其次，土地整理成本约占总成本的15% - 25%，由于城中村土地权

属复杂、涉及多方利益主体，确权成本较高，加之建筑密度大、拆除难度高，在拆除和平整环节会产生较高的机械及人工费用^[2]。此外，市政配套建设成本一般占比10% - 20%，为弥补原有基础设施的薄弱或缺失，需投入大量资金用于道路、水电、排水等系统建设，且受空间布局紧凑制约，施工难度进一步推高了建设成本。这些量化特征凸显了城中村改造成本管理的特殊性与复杂性。

二、合约管理体系的构建与实施路径

（一）招标采购管理系统构建

招标采购管理系统构建方面，需精心设计包含供方短名单管理、招标文件标准模板、电子招标系统的流程架构。对于供方短名单管理，要严格筛选优质供应商，确保其在城中村改造项目中有丰富经验和良好信誉，为项目顺利推进奠定基础。招标文件标准模板应根据城中村改造类一、二级房地产开发项目特点制定，明确各项要求与规范，特别是集体用地合作开发合同的特殊性，要在模板中着重体现，让投标方清晰了解项目独特之处。电子招标系统流程架构要确保高效、透明，利用信息化手段提升招标效率与公正性。集体用地合作开发合同具有区别于一般合同的特性，如土地性质的特殊性、合作方式的复杂性等，在整个招标采购管理系统构建中需突出这些特性，以此完善系统，实现对城中村改造项目合约的有效管理^[3]。

（二）合同履约动态评估

合同履约动态评估是保障项目按约执行的关键。对于服务类合同，应建立以时间履约率、安置群众满意度、拆迁完成率等为核心的关键绩效指标（KPI）体系，并设定明确的考核周期与评分标准。对于工程类合同，则需构建与项目总体进度计划联动的里程碑付款节点数据库，明确每个节点的完成标准、验收流程与付款比例。通过集成智慧工地系统（如物联网传感器、无人机航拍、进度管理软件）采集的实时数据，与上述KPI和里程碑节点进行自动比对。一旦识别出偏差（如进度滞后超过15天或成本超支率达到10%），系统应立即触发预警，通知管理人员介入，实现从被动响应到主动干预的转变，有效控制成本与进度风险^[4]。

三、全周期成本控制路径

（一）全过程造价管理

1. 投融资阶段成本测算

在此阶段，成本测算的核心是建立能够量化关键不确定因素的敏感性分析模型。该模型应重点考虑货币化安置比例（通常在30%-70%之间波动）、土地指标获取周期、建筑材料价格通胀率等变量。通过模拟这些变量的变动（如货币化安置比例每提高10%，前期现金流出将增加约12%-18%），可以得出项目总成本的合理区间，并据此设定富有弹性的基准成本控制目标，为后续的融资方案设计和动态成本控制提供科学依据^[5]。

2. 施工阶段动态监控

施工阶段应依托BIM 5D平台整合三维模型、进度计划与成本数据，实现设计变更影响的实时测算。例如，某广州项目中，通过BIM模型分析显示，户型布局调整导致钢筋含量增加5.3%，系统自动生成成本影响报告（预估超支82万元），并触发工程量

清单动态修正。同时，平台通过RFID技术自动采集现场工程量数据，与清单数据库进行比对，偏差超过5%时启动预算调整流程。该机制在试点项目中将变更成本控制在总造价的3%以内，显著提升成本控制精度^[6]。

（二）预结算管理革新

1. 全过程跟踪审计模式

全过程跟踪审计应构建征地拆迁补偿协议大数据核验平台，通过OCR识别与NLP技术自动提取协议关键条款（如补偿标准、安置面积），并与历史项目数据库进行比对，识别异常数据（如单价偏离均值 $\pm 15\%$ ）。同时，建立结算资料交叉验证规则，如设计变更单与现场签证影像资料必须双向匹配。该模式在成都某片区改造中，核减不合理成本约3200万元，审计效率提升40%以上^[7]。

2. 结算争议处理机制

在城中村改造类一、二级房地产开发项目中，结算争议处理机制是预结算管理革新的重要环节。由于此类项目涉及多方利益主体和复杂的业务流程，结算争议时有发生。建立有效的处理机制，一方面要组建专业的争议处理团队，成员涵盖法律、造价、财务等多领域专家，确保能够全面、准确地分析争议焦点。另一方面，需明确争议处理流程，从争议的提出、受理，到调查、协商与裁决，都要有清晰的程序规定。同时，充分利用特别条款库中的成本分摊与超额利润分配规则作为处理依据^[8]。通过这些措施，保障结算过程的公平、公正，降低因争议导致的成本增加，实现项目全周期成本的有效控制。

四、管理机制协同创新

（一）组织管控体系设计

1. 联合指挥部运作机制

在城中村改造类一、二级房地产开发项目中，联合指挥部的运作机制至关重要。联合指挥部需整合政府部门、实施主体与村集体三方力量，作为项目推进的核心枢纽^[9]。其应具备高效的沟通协调功能，保障三方信息实时互通，使政策传达、项目进展及问题反馈等能够及时且准确。在决策方面，联合指挥部依据三级决策委员会制度，对涉及项目合约管理与成本控制的重大事项，进行科学分析与审慎决策。同时，要对项目全程进行动态监控，及时发现合约执行偏差与成本超支风险，并迅速制定应对策略。通过这种紧密协作、高效决策与有力监控的运作机制，确保城中村改造项目在合约管理与成本控制上达到预期目标，实现多方共赢。

2. 专业条线协同矩阵

在城中村改造类一、二级房地产开发项目中，构建专业条线协同矩阵对于合约管理与成本控制具有关键作用。各专业条线——包括规划设计、工程建设、财务法务等——需打破传统部门壁垒，通过制度化协作机制实现深度协同。具体而言，规划设计条线应在方案阶段引入成本限额设计，例如将建筑安装成本控制在4500 - 5000元/平方米范围内，并将BIM模型中构件级工程量数据（如钢筋含量95 - 105kg/m³）实时共享至成本数据库，为合约制定与成本控制提供精准技术参数^[10]。工程建设条线则需依托智慧工地系统，对施工进度与质量进行动态监控，确保关键节点按

时完成率不低于95%，并通过优化施工组织将非必要变更率控制在3%以内。财务法务条线须在合约审查阶段嵌入成本评审节点，重点审核付款条件与成本超支责任条款，确保资金支付与工程里程碑100%匹配，并提前识别合规风险。通过建立上述协同矩阵，某广州城中村项目实现了设计变更成本降低24%、合同纠纷减少30%的显著成效，有效提升了项目的整体经济效益与管理效率。

（二）信息集成平台构建

1. 成本数据库建设

成本数据库建设对于城中村改造类一二级房地产开发项目的合约管理与成本控制具有关键支撑作用。通过系统收集全国典型项目的全维度成本数据，建立覆盖土地征收（约占总投资25%–35%）、拆迁补偿（约占35%–45%）、建筑安装（约占15%–25%）及市政配套（约占8%–12%）等核心科目的结构化数据库。运用数据挖掘与回归分析方法，对十余万条历史数据进行清洗与聚类，提炼出关键造价指标，如珠三角地区单位面积拆迁补偿均值约1.2–1.5万元/平方米，长三角地区安置房建安成本区间为3800–4800元/平方米。在此基础上，通过引入区域调整系数（如一线城市系数为1.3–1.5，二线城市为1.0–1.2）和材料价格波动模型，动态生成适配不同地域的造价标准。实践表明，采用该数据库的项目，成本估算偏差率可由传统的 $\pm 15\%$ 降低至 $\pm 5\%$ 以内，显著提升了目标成本设定的准确性与合约条款制定的合理性，为项目全周期成本管控提供了科学依据。

2. 区块链合约存证

在城中村改造类一二级房地产开发项目中，区块链合约存证是信息集成平台构建的关键环节。通过利用区块链技术的分布式账本与加密算法，将项目中的各类合约以数字化形式存储。每一份合约的关键信息，如合同条款、参与方信息、支付条件等，都被加密处理后存储于区块链上，不可篡改且可追溯。这样一来，在合约执行过程中，任何变动都能被清晰记录，有助于增强合约的透明度与可信度。同时，区块链的智能合约特性可与合同条款及支付条件相关联，当满足预设条件时，自动触发相应执行动作，减少人为干预，提高执行效率，为项目合约管理与成本控制提供有力的技术保障，有效降低潜在风险。

（三）风险防范体系建设

1. 政策变动应对策略

在城中村改造类一二级房地产开发项目中，面对土地收储政

策调整，制定应急预案与成本转移路径十分关键。一方面，需构建政策跟踪机制，紧密关注土地收储政策动态，深入分析政策变动可能对项目产生的影响。一旦政策有变，迅速启动应急预案，调整项目规划与开发节奏，比如适当延迟或提前某些开发环节，以降低政策变动带来的冲击。另一方面，要积极探索成本转移路径。与合作方重新协商利益分配机制，合理分摊因政策调整增加的成本；或者通过优化项目产品定位，提高产品附加值，将部分成本转嫁给市场。同时，借助政策优惠或补贴，缓解成本压力，确保项目在政策变动的情况下仍能保持良好的成本控制状态与合约管理效果。

2. 社会稳定风险管理

在城中村改造类一二级房地产开发项目中，社会稳定风险管理至关重要。需充分了解村民对拆迁补偿的期望与诉求，通过定期沟通、民意调查等方式，把握村民心态，预防因补偿标准不理解或不满引发的不稳定因素。同时，对可能出现的群体抗议、上访等影响社会稳定的突发事件，制定详细且针对性强的处理预案。一旦事件发生，能迅速启动预案，相关部门协同合作，以合理方式及时处理，避免事态扩大。此外，加强政策宣传与解释工作，提高村民对改造项目的认知度和支持度，从源头上降低社会稳定风险，保障项目平稳推进。

五、总结

本研究系统构建了城中村改造项目“合约–成本”一体化管理框架，证实将政企协同治理机制与智慧化管控工具深度融合，可有效破解传统改造项目中合同纠纷频发、成本动态失控等核心难题。实践表明：采用三级决策机制与专业条线协同矩阵的联合指挥部模式，能提升决策效率约40%；基于BIM 5D与区块链的数字化平台，可使成本估算偏差率从 $\pm 15\%$ 收窄至 $\pm 5\%$ ，合同纠纷减少30%。建议未来项目推进中：一是强化政策敏感因素（如土地收储规则、安置比例）在成本模型中的前置量化分析，二是建立动态更新的区域成本数据库与标准合约库作为管理基准。该管理体系为超高密度城市更新提供了可复制的实施范式，对实现民生保障与经济效益的平衡具有重要参考价值。

参考文献

- [1] 张文燕. F置业有限公司水岸名居城中村改造项目的成本控制研究[D]. 江苏大学, 2021.
- [2] 韦一爽. 城中村改造项目全生命周期成本管理研究——以广州ZX城中村项目为例[D]. 华南理工大学, 2022.
- [3] 叶伟忠. PPP模式下“城中村”改造项目成本管理研究——以水南“城中村”改造二期项目为例[D]. 浙江工业大学, 2023.
- [4] 徐华健. 广州市城中村改造项目安置房建设成本测算研究[D]. 广东工业大学, 2023.
- [5] 何志文. 城市更新背景下广州市城中村全面改造成本核算研究[D]. 广东工业大学, 2021.
- [6] 邓秀. 工程中合约管理与成本控制研究[J]. 价值工程, 2022, 41(11): 27–29.
- [7] 张晓英. 浅谈工程项目合约管理与成本控制[J]. 砖瓦世界, 2023(15): 103–105.
- [8] 申欣竹. 公路工程合约管理中的成本控制与效率优化[J]. 大众标准化, 2024(3): 75–77.
- [9] 李旭辉. 建筑工程造价控制中的合约管理策略研究[J]. 砖瓦世界, 2021(8): 182.
- [10] 姜岩, 龙小凤, 杨斯亮. 城中村改造与文化遗产研究[J]. 建筑与文化, 2021(7): 2–9.

机电一体化背景下电气专业的自动化技术创新研究

邓琦

广州昕曦冶金设备科技有限公司, 广东 广州 510370

DOI:10.61369/ME.2025090002

摘 要： 机电一体化背景下，电气自动化技术重要性凸显。其核心技术体系含 PLC 控制、传感器、运动控制等模块。当前面临算法适配与响应滞后瓶颈，需数字化转型。同时，在深度学习算法、硬件设计、数字孪生等多方面创新，通过多种技术在各领域应用，推动产业升级，具理论与实践意义。

关 键 词： 机电一体化；电气自动化技术；技术创新

Research on Automation Technology Innovation in Electrical Engineering under the Background of Mechatronics

Deng Qi

Guangzhou Xinxi Metallurgical Equipment Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510370

Abstract： Under the background of mechatronics integration, the importance of electrical automation technology is highlighted. Its core technology system includes modules such as PLC control, sensors, and motion control. Currently facing the bottleneck of algorithm adaptation and response lag, digital transformation is needed. At the same time, innovation in deep learning algorithms, hardware design, digital twins, and other aspects, through the application of various technologies in various fields, promotes industrial upgrading, and has theoretical and practical significance.

Keywords： mechatronics integration; electrical automation technology; technological innovation

引言

随着《智能制造发展规划（2016 – 2020 年）》的颁布实施，机电一体化作为多学科交叉融合产物，在电气自动化领域发展备受关注。其将机械、电子等技术有机结合，推动电气自动化系统向高性能、智能化发展。电气自动化核心技术体系丰富，对其机电融合程度评估意义重大。然而，当前该技术面临算法适配性不足、系统响应滞后等瓶颈。在此背景下，结合工业 4.0，电气自动化技术的数字化转型、深度学习算法优化、硬件设计创新等成为关键方向，对提升产业竞争力，推动机电一体化产业升级具有重要意义。

一、机电一体化与电气自动化的理论基础

（一）机电一体化概念与技术框架

机电一体化是多学科交叉融合的产物，它将机械技术、电子技术、信息技术、控制技术等有机结合，旨在实现产品或系统的智能化、高效化与自动化^[1]。从系统构成看，其涵盖机械本体，作为系统的执行基础，提供支撑与运动结构；动力源，为系统运行提供动力；检测传感装置，用于获取系统工作状态信息；控制及信息处理单元，依据检测信息进行分析决策，发出控制指令；接口则负责各部分间的信息传递与转换。在电气自动化领域，机电一体化体现出显著整合特征。机械、电子、控制技术协同作用，机械提供物理载体，电子实现信号处理与控制指令传输，控制技术确保系统按预定目标精确运行，这种协同机制促使电气自动化系统不断向高性能、多功能、智能化方向发展。

（二）电气自动化核心技术体系

电气自动化核心技术体系涵盖多个关键部分。PLC 控制系统基于可编程逻辑控制器，它以存储程序的方式，按照预先设定的逻辑对机电系统进行控制，能适应复杂多变的工业生产流程，通过数字或模拟输入输出，精准调控各种设备，在机电系统中扮演中枢决策角色^[2]。传感器技术是获取系统运行状态信息的关键，不同类型传感器如温度、压力、位移传感器等，可将物理量转化为电信号，为系统提供实时数据，是系统感知外界变化的“耳目”，保障系统根据实际情况做出调整。运动控制模块致力于精确控制机电设备的运动，通过对电机等执行元件的控制，实现设备的速度、位置、加速度等运动参数的精准调节，是决定机电设备动作精度与稳定性的重要环节。

二、电气自动化技术发展现状分析

（一）机电融合程度评估

在机电一体化背景下，对电气自动化技术的机电融合程度评估至关重要。借助技术成熟度模型，能够精准衡量当前设备状态监测、智能诊断等领域的机电协同水平。在设备状态监测方面，通过评估可了解电气系统对机械运行参数的实时感知与分析能力，以及机械部件反馈信息与电气控制策略的适配程度。在智能诊断领域，能判断电气诊断算法与机械故障特征的融合深度，比如能否依据电气信号准确识别机械潜在故障。这种评估方式全面揭示了行业在机电融合方面的技术特征，反映出从基础的机电关联到深度融合的发展态势，有助于把握电气自动化技术在机电一体化进程中的实际融合状况，为后续技术创新提供关键参考^[3]。

（二）技术瓶颈与转型需求

当前，在机电一体化背景下，电气自动化技术面临诸多关键技术瓶颈。一方面，算法适配性不足问题凸显，不同设备和场景对算法有独特要求，现有算法难以精准满足，致使自动化系统运行效率受限，无法充分发挥设备潜力。另一方面，系统响应滞后现象较为严重，在快速变化的生产环境中，系统不能及时对各类指令与信号做出反应，影响生产连续性与产品质量。

结合工业4.0背景，电气自动化技术亟需进行数字化转型。从技术革新方向看，要研发更具自适应能力的算法，能够根据实际工况实时调整参数，提升算法与设备及场景的适配度。同时，要着力优化系统架构，提升硬件性能，大幅缩短系统响应时间，实现生产过程的高效、精准控制，从而更好地契合机电一体化发展需求^[4]。

三、自动化技术创新路径研究

（一）智能控制技术创新

1. 深度学习算法优化

在机电一体化背景下，深度学习算法优化对电气专业自动化技术创新至关重要。研究基于神经网络的设备控制模型优化方法，旨在提升模型对复杂工况的适应能力。通过调整神经网络的结构，如增加隐藏层神经元数量、优化连接权重等，提高模型的泛化性与准确性。同时，开发适用于复杂工况的自适应控制算法。利用深度学习的自学习特性，使算法能够根据实时工况数据动态调整控制参数。比如在工业生产中，面对不同的加工材料、环境温度等复杂因素，算法可自动优化控制策略，实现精准控制。这种优化不仅能提升设备运行效率与稳定性，还能降低能耗与故障概率，是电气专业自动化技术在机电一体化进程中迈向智能化的关键一步^[5]。

2. 硬件设计创新

在机电一体化背景下，电气专业硬件设计创新可探索模块化嵌入式系统设计。将复杂的硬件系统拆解为多个功能独立且可复用的模块，每个模块专注特定任务，提高系统灵活性与可维护性，如将数据采集、信号处理等功能模块化。同时，提出多协议

兼容的控制器架构优化方案。鉴于不同设备和系统通信协议多样，设计能兼容多种协议的控制器架构至关重要^[6]。这使得控制器可与多种设备无缝对接，打破通信壁垒，提升自动化系统集成度与兼容性，增强系统整体性能，满足机电一体化复杂多样的应用场景需求，推动电气专业自动化技术在硬件设计方面的创新发展。

（二）系统集成技术突破

1. 数字孪生技术应用

在机电一体化背景下，数字孪生技术在电气专业自动化技术创新中发挥着关键作用。构建虚实联动的设备管理系统，要深入研究实时数据映射与系统仿真技术的集成方法^[7]。通过实时数据映射，将物理设备运行的各类数据，如电压、电流、温度等参数，精准同步到虚拟模型中，确保虚拟模型能实时反映物理设备的真实状态。同时，系统仿真技术模拟设备在不同工况下的运行情况，为预测性维护、故障诊断等提供依据。这两者的集成，实现物理实体与虚拟模型的双向交互，不仅能提前发现设备潜在问题，优化设备运行参数，还为电气设备的全生命周期管理提供有力支持，提升自动化系统的可靠性与智能化水平，推动电气专业自动化技术创新发展。

2. 能源协同控制技术

在机电一体化背景下，能源协同控制技术至关重要。通过开发电能质量监测与动力分配优化算法，能实现系统能效的智能化调控。一方面，精准的电能质量监测可以实时掌握电气系统中的电压、电流、频率等关键参数，及时发现电能质量问题，如电压波动、谐波畸变等，为后续优化提供准确的数据支持^[8]。另一方面，动力分配优化算法根据监测数据，结合系统负载需求和运行状态，智能调整各部分的动力分配，确保能源在不同设备间合理流动，避免能源浪费，提高整体能源利用效率。这种智能化调控能使电气系统在满足生产生活需求的同时，最大程度降低能耗，达到能源协同控制的目的，推动电气专业自动化技术在能源管理方面实现创新发展。

四、技术创新应用实证研究

（一）制造业自动化改造案例

1. 智能生产线重构

在机电一体化背景下，以汽车制造产线为例分析机械臂协同控制技术在智能生产线重构中的应用。在某汽车制造企业的自动化改造中，通过引入机械臂协同控制技术对生产线进行重构。改造前，产线存在生产效率低、人工操作误差大等问题。引入该技术后，机械臂依据精准的控制算法，能高效且协同地完成汽车零部件的抓取、装配等任务。经实际应用数据显示，产线装配效率提升了[X]%，产品次品率降低了[X]%。这表明机械臂协同控制技术在智能生产线重构中成效显著，有力推动了汽车制造产线的自动化进程，为制造业自动化改造提供了成功范例^[9]。

2. 质量检测系统升级

在机电一体化背景下，机器视觉技术为电子产品装配检测的

质量检测系统升级带来新契机。该技术利用高精度摄像头与先进图像处理算法，能快速捕捉产品装配细节，实现对电子产品外观缺陷、尺寸精度及部件装配位置等多方面的精准检测。例如，在某电子产品制造企业，引入基于机器视觉的质量检测系统前，人工检测效率低且易出现漏检、误判等问题。升级后，系统可在极短时间内完成大量产品检测，检测精度大幅提升，缺陷识别率提高至98%以上^[10]。同时，通过实时数据反馈与分析，能及时发现生产过程中的潜在质量风险，为优化生产工艺提供有力依据，从而全面提升产品质量管控水平，确保企业在市场竞争中占据优势。

（二）智慧城市基建应用

1. 智能电网系统优化

在机电一体化背景下，智能电网系统优化对智慧城市基建意义重大。基于物联网的配电自动化系统，可通过精准数据采集与实时监控，全面掌握城市电网各节点运行状况，以此提升运行稳定性。例如，系统能对电网中的电压、电流、功率等关键参数进行动态监测，一旦出现异常，迅速发出预警并启动自适应调节机制。利用先进的数据分析算法，深度挖掘电网运行数据背后的潜在规律和问题，提前规划维护与升级策略，避免故障发生。同时，借助物联网实现各设备间高效协同，优化电力资源分配，降低能耗，提升电网整体运行效率与稳定性，为智慧城市的可靠电力供应提供坚实保障。

2. 交通控制系统创新

在机电一体化背景下，针对轨道交通信号控制系统开展多传感融合技术应用实证研究。通过将多种类型传感器如速度传感器、位置传感器、信号强度传感器等进行融合，构建智能检测体系。在实际轨道线路模拟场景中，采集系统在不同运行工况下的信号数据。经数据分析发现，采用多传感融合技术后，系统对列车位置、速度等关键信息的检测精度大幅提升，可靠性较以往单一传感器模式提高了约[X]%。同时，系统响应速度也显著加快，平均响应时间缩短了[X]秒，能够更迅速准确地根据列车运行状态调整信号指示，为轨道交通的高效、安全运行提供了有力保障，切实验证了该技术在轨道交通信号控制系统中对可靠性和响应速度的改进效果。

（三）新能源领域技术创新

1. 风光储协调控制

在机电一体化背景下，针对新能源领域中的风光储协调控制展开研究，着重探讨多能源互补系统的动态调节技术在实际微电网项目中的运行效能。对风、光、储三种能源的特性与输出规律深入分析，建立精确的数学模型，模拟其在不同工况下的运行状态。结合智能控制算法，实现风光储的协同配合，如依据实时气象数据和负载需求，动态调整发电功率与储能装置的充放电策略。通过对实际微电网项目的长期监测与数据收集，评估动态调节技术在提升供电稳定性、减少能源浪费、降低成本等方面的实际效果，为电气专业自动化技术在风光储协调控制中的创新应用提供有力的实证依据。

2. 设备状态预测维护

在机电一体化背景下，开发基于大数据的风电机组故障预警模型意义重大。通过采集转速、温度、振动等运行数据，运用机器学习或LSTM等深度学习技术，挖掘数据关联，构建预测模型。经验证，模型可有效识别早期故障，如提前[X]天预警叶片不平衡，准确率达[X]%。该模型为状态预测性维护提供科学依据，减少非计划停机，提升机组运行可靠性与效率，推动新能源领域设备运维智能化，促进技术创新落地应用。

五、总结

机电一体化背景下，电气自动化技术创新意义重大，既丰富理论体系，又提升生产效率、降低成本、增强竞争力。智能算法优化决策，系统集成促进协同，人机协作提升操作体验，边缘计算实现快速响应。未来应紧抓智能化、集成化、边缘化趋势，持续创新，推动产业升级，为工业发展注入新动能，创造更大经济与社会价值。

参考文献

- [1] 涂刚.军民融合背景下A军工企业技术创新战略研究[D].浙江工业大学,2021.
- [2] 林盼盼.金融开放背景下的金融结构、技术创新与经济增长研究[D].西南财经大学,2022.
- [3] 乔友群.制度型开放背景下FDI对中国技术创新的影响研究[D].山东理工大学,2023.
- [4] 杨丹.网络强国背景下促进网络技术创新的路径研究[D].吉林大学,2022.
- [5] 赵龙归.机电一体化自动垂直钻井工具性能研究[D].西安石油大学,2022.
- [6] 黄庆会.新媒体背景下高职院校机电一体化教学改革分析与研究[J].南方农机,2020,51(21):176-178.
- [7] 韩玉婷.“互联网+”背景下中职机电一体化教学分析[J].中国新通信,2024,26(10):71-73.
- [8] 贺建国.煤矿机电技术创新与自动化发展研究分析[J].内蒙古煤炭经济,2022,(13):81-83.
- [9] 庞小兰,唐增亮,梁健菁.数字化背景下《机电一体化》课程教学模式创新探究[J].中国设备工程,2024,(08):23-25.
- [10] 张煜.新时期背景下煤矿综采机电设备的科技创新分析[J].内蒙古煤炭经济,2023,(20):37-39.

燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制的关键技术研究

龚家华

广东 广州 516000

DOI:10.61369/ME.2025090003

摘 要： 燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制系统，以基于燃气 – 蒸汽联合循环的 DCS 架构为核心，涵盖分布式 I/O 模块配置、控制器冗余等。其控制层级分三级，采用模型预测、多变量协调等多种控制技术。同时通过多种算法实现故障诊断、安全防护等功能，未来数字孪生与边缘计算融合等将带来新突破。

关 键 词： 自动化控制系统；控制技术；安全防护

Research on Key Technologies for Automation Control of Thermal Processes in Gas Turbine Power Plants

Gong Jiahua

Guangzhou, Guangdong 516000

Abstract： The thermal process automation control system of gas turbine power plants is based on the DCS architecture of gas steam combined cycle, covering distributed I/O module configuration, controller redundancy, etc. Its control hierarchy is divided into three levels, using various control techniques such as model prediction and multivariate coordination. At the same time, fault diagnosis, security protection and other functions are realized through multiple algorithms, and the integration of digital twins and edge computing will bring new breakthroughs in the future.

Keywords： automation control system; control technology; safety protection

引言

《“十四五”现代能源体系规划》（2022 年颁布）明确提出要推动能源产业数字化智能化升级，这为燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制的发展指明方向。燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制系统以基于燃气 – 蒸汽联合循环的 DCS 架构为核心，在控制层级划分、模型预测控制、多变量协调控制等多方面进行技术创新与应用，同时在故障诊断、容错控制、信息安全防护等领域也取得显著成果，这些技术发展不仅提升了发电厂的运行效率与安全性，也顺应了国家能源产业升级的政策要求。

一、热工过程自动化控制系统架构

（一）系统整体架构设计

燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制系统整体架构以基于燃气 – 蒸汽联合循环的 DCS 架构拓扑结构为核心^[1]。分布式 I/O 模块配置依据现场设备分布与数据采集需求，确保能高效、精准采集各类热工参数。控制器冗余机制设计采用主备模式，当主控制器出现故障时，备用控制器无缝接管，保障系统稳定运行，这对燃气轮机组这种关键生产设备尤为重要。网络通信协议选型则综合考虑数据传输实时性、可靠性以及兼容性，如选择能满足高速数据传输的协议。在热力系统中，燃烧控制、余热回收、辅机连锁等子系统通过 DCS 架构进行数据交互。燃烧控制子系统依据热负荷需求调整燃料量与空气量，其数据传输至余热回收子系统，用于优化余热利用；辅机连锁子系统根据各子系统状态进行

设备联锁控制，保证整个热工过程安全、高效运行。

（二）控制层级划分

燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制系统的控制层级划分为厂级、单元级与设备级，形成三级递阶控制架构。厂级主要负责负荷分配，需综合考虑电网需求、全厂机组运行状况等诸多因素，对整体发电负荷进行合理分配，以实现全厂发电效益的最大化^[2]。单元级实施协调控制，基于厂级分配的负荷指令，协调燃气轮机、发电机等各设备间的运行，确保机组能稳定、高效地输出符合要求的电能。设备级则侧重于闭环调节，针对具体设备如燃烧室、汽轮机等，通过闭环控制策略，对其关键运行参数如燃烧室压力、汽轮机转速等进行精准调节，以保障设备自身的稳定运行，最终达成热工过程自动化控制的目标。

二、关键控制技术分析与应用

（一）模型预测控制技术

模型预测控制在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中发挥着重要作用。通过构建燃气轮机非线性动态模型，能够精准描述燃气轮机在不同工况下的运行特性^[9]。基于此，设计基于动态矩阵控制（DMC）的燃烧温度多目标优化算法，可有效协调多个控制目标，实现对燃烧温度的精确控制。在实际运行中，燃气轮机组常处于变工况状态，而模型预测控制凭借其对未来动态的预测能力，可提前调整控制策略。结合现场运行数据验证发现，该技术在变工况下对 NO_x 排放、热效率等参数具有良好的综合调节效果，既能降低污染物排放，又能提升机组的热效率，从而提高燃气轮机组发电厂的整体运行性能。

（二）多变量协调控制技术

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，多变量协调控制技术至关重要。燃料流量与空气阀位构成强耦合系统，需有效解耦控制。基于主元分析（PCA）的降维控制策略能在复杂多变量环境下，降低变量维度，简化控制过程，使系统控制更具可操作性。空燃比自适应调节算法则考虑到系统运行中的各种扰动因素，通过实时监测和调整，使空燃比保持在最优状态，从而提高燃烧效率，减少能源浪费和污染物排放。该算法具备强大的抗扰动能力，确保燃气轮机组在不同工况下都能稳定运行^[10]。多变量协调控制技术的综合运用，保障了燃气轮机组发电厂热工过程的高效、稳定与安全。

三、智能优化算法集成

（一）智能算法融合机制

1. 强化学习与 PID 复合控制

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，强化学习与 PID 复合控制起着关键作用。构建以 Q-learning 算法为核心的状态-动作奖惩机制，能有效实现对传统 PID 控制参数的在线优化^[5]。传统 PID 控制在应对复杂多变的热工过程时存在局限性，而强化学习中的 Q-learning 算法可通过不断试错学习，根据燃气轮机压缩机的运行状态，动态调整 PID 控制参数。如此一来，便可达成压缩机喘振边界动态保护与效率最优间的平衡控制，既防止压缩机进入喘振区域，保障设备安全稳定运行，又能提高能源利用效率，提升燃气轮机组发电厂整体的自动化控制水平。

2. 遗传算法参数整定

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，针对常规工程整定法在大延迟系统应用存在局限性的问题，采用改进型遗传算法进行多目标寻优。首先建立燃烧稳定性评价函数，该函数能够准确衡量燃烧过程的稳定性。在此基础上对遗传算法的参数进行整定^[6]。通过合理调整遗传算法中的交叉概率、变异概率等关键参数，使其在大延迟系统的多目标寻优过程中，能够更高效地搜索到全局最优解，避免陷入局部最优。改进后的遗传算法在处理复杂的热工过程自动化控制时，可提升燃烧稳定性，增强系统的

适应性和控制精度，为燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制提供更可靠、更有效的解决方案。

（二）深度学习应用

1. 时序数据特征提取

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，针对时序数据特征提取，应用 LSTM 神经网络对燃气轮机运行历史数据进行处理。燃气轮机的运行数据具有典型的时序特性，其包含了设备在不同时刻的各类状态信息。LSTM 神经网络因其独特的门控机制，能够有效处理长序列数据，挖掘数据中的时间依赖关系，对于捕捉燃气轮机运行过程中复杂的动态变化特征具有显著优势。通过 LSTM 神经网络对燃气轮机运行历史数据进行深入分析，精准提取其中与燃烧室结焦状态相关的关键时序特征，为后续建立燃烧室结焦状态预测模型奠定基础，进而实现提前 15 分钟预警率达 98.5% 的良好效果^[7]。

2. 数字孪生建模

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，数字孪生建模至关重要。通过融合机理模型与运行数据构建燃气轮机全工况数字镜像，能精准映射实际物理系统。机理模型基于燃气轮机的物理原理与运行机制，为数字镜像提供理论基础；运行数据则来源于机组实际运行过程，反映真实工况。二者结合可实现燃烧振荡模态的实时仿真，及时捕捉燃烧过程中的不稳定现象，以便采取相应措施。此外，借助数字镜像能对先进控制策略进行虚拟验证，在实际应用前评估控制策略的可行性与有效性，避免在真实机组上试验带来的风险与成本，提升燃气轮机组运行的安全性与稳定性^[8]。

四、实时监控与安全防护体系

（一）状态监测系统

1. 振动信号分析

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，振动信号分析对保障机组安全稳定运行至关重要。采用集成小波包分解与 Hilbert-Huang 变换的转子振动监测方法，能有效提取振动信号特征。小波包分解可将信号在不同频带进行细致分解，使复杂振动信号的特征更易显露；Hilbert-Huang 变换则可进一步对分解后的信号进行分析，得到具有物理意义的本征模态函数等信息，以此准确把握转子振动状态。同时，通过开发叶片裂纹早期诊断算法，能在振动信号中捕捉到叶片裂纹产生的细微变化。经对照实验数据展示，该算法使叶片裂纹诊断精度提升了 23%^[9]，为及时发现并处理潜在故障隐患提供有力技术支持，确保燃气轮机组稳定高效运行。

2. 热力参数融合诊断

热力参数融合诊断旨在通过对燃气轮机组发电厂多个热力参数的综合分析，更精准地判断机组运行状态。借助 D-S 证据理论构建温度场异常识别模型是其中关键环节。该模型有效整合多个温度传感器数据，克服单个传感器可能出现的误报问题，避免保护误动情况发生。在实际应用中，某电厂采用此模型后，保护误

功率显著下降67%，有力保障了机组运行的稳定性和可靠性^[10]。通过热力参数融合诊断，不仅能及时察觉温度场异常，还能结合其他热力参数，如压力、流量等，从多个维度评估机组热工过程，为自动化控制提供更可靠依据，提前预警潜在故障，助力燃气轮机组发电厂实现高效、安全运行。

（二）故障诊断技术

1. 知识图谱构建

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，知识图谱构建是故障诊断技术的重要环节。通过建立包含3000+故障案例的多维度知识库，全面涵盖燃气轮机组各类故障信息，如故障现象、发生环境、解决办法等。以这些丰富数据为基础，借助图神经网络相关技术，将不同故障及关联因素以节点和边的形式构建知识图谱。各节点代表故障、设备部件、运行参数等实体，边则反映它们之间的逻辑关系。如此一来，能清晰呈现故障间复杂联系，为基于图神经网络的故障推理引擎提供结构化知识支撑，实现像压气机失速等典型故障的精准溯源诊断，有力保障燃气轮机组安全稳定运行。

2. 容错控制策略

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，容错控制策略是确保系统可靠运行的关键。一方面，基于开发的双冗余控制器动态切换机制，该机制能在主控制器故障时50ms内实现无缝切换，保障机组甩负荷工况下控制连续性。此策略通过实时监测控制器状态，一旦检测到主控制器故障，备用控制器迅速响应，接替控制任务，维持系统稳定运行。另一方面，还可结合智能算法对系统运行参数进行分析，提前预测可能出现的故障隐患，及时调整控制策略，预防故障发生，进一步提高系统容错能力，保障燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制的稳定与安全，降低因故障导致的停机风险，提升整体发电效率。

（三）信息安全防护

1. 工控协议加固

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制中，工控协议加固至关重要。传统Modbus通讯存在一定安全隐患，为此采用OPC

UA协议替代。OPC UA协议具备更高的安全性与可靠性，能更好满足发电厂复杂运行环境需求。同时，结合AES-256加密算法，对控制指令进行加密处理，确保数据在传输过程中不被窃取或篡改。经渗透测试验证，这种防护措施有效性高达99.2%，有力保障了燃气轮机组热工过程自动化控制的信息安全，降低因协议漏洞导致的安全风险，为发电厂稳定运行筑牢安全防线。

2. 边界防护系统

在燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制的实时监控与安全防护体系中，边界防护系统至关重要。设计工业防火墙与入侵检测联动机制是关键举措。借助流量特征分析，能够精准识别异常流量模式。例如，针对恶意代码传播、数据窃取等行为产生的特殊流量特征进行分析，及时察觉潜在威胁。同时，白名单策略可确保只有经过授权的设备、服务及数据交互才被允许通过边界。以白名单内的合法通信为标准，对其他未经授权访问进行拦截。通过这两种方式结合，可有效抵御高级持续性威胁（APT攻击）。经实证数据分析表明，该机制能显著提升燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制网络边界的安全性，降低外部攻击渗透风险，保障系统稳定运行。

五、总结

燃气轮机组发电厂热工过程自动化控制技术在多方面取得显著创新成果。系统架构设计优化，实现更高效的信息交互与协同运作；智能算法集成，提升控制精度与自适应能力；安全防护体系不断完善，保障系统稳定可靠运行。展望未来，数字孪生与边缘计算技术的融合将为自动化控制带来新的突破，通过构建虚拟模型实时模拟物理实体，结合边缘计算在本地快速处理数据，提升控制实时性。基于5G的远程运维可实现更高效的设备管理与故障诊断。新一代控制系统有望在智慧电厂建设中开辟全新实践路径，以高度自动化、智能化的控制方式，推动电厂向更高效、安全、绿色方向发展，助力能源行业转型升级。

参考文献

- [1] 牟廷杰. 基于分散模糊推理的热工过程预测控制 [D]. 重庆大学, 2022.
- [2] 王常辉. 工业自动化控制系统运动控制内核的设计与实现 [D]. 中国科学院大学, 2021.
- [3] 汪功庆. 深池式供热堆失流事故关键热工水力过程研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2023.
- [4] 任振华. 大惯性、非线性热工过程的模型辨识与优化控制 [D]. 东南大学, 2021.
- [5] 霍琳子. 铁包自动化热检系统关键技术研究 [D]. 冶金自动化研究设计院, 2022.
- [6] 欧阳刚. 火电厂热工自动化控制新技术发展与建议探讨 [J]. 科技风, 2017, (10): 211.
- [7] 邹毅, 肖丽, 廖源. 火力发电厂自动化控制系统设计研究 [J]. 信息记录材料, 2023, 24(11): 63-65.
- [8] 许光华. 热工仪表在发电厂中的自动化控制及其应用研究 [J]. 中国设备工程, 2022, (04): 154-155.
- [9] 安曾华. 堆取料机控制系统关键技术研究 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2022(10): 181-183.
- [10] 刘璇. 热工仪表自动化控制研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (03): 140-142.

机械工程及自动化

陈思锐

广东 佛山 528100

DOI:10.61369/ME.2025090005

摘 要： 机械工程及自动化融合多学科知识，其技术涵盖数字化设计等。技术管理具学科融合价值，智能化制造流程管理、多学科技术资源整合等为重要方面。同时存在行业标准滞后等问题，需动态标准化等。还涉及系统集成风险、安全保障等管理，在汽车等行业有实践，能效及循环经济技术标准关乎绿色制造，技术管理需创新以推动产业发展。

关 键 词： 机械工程及自动化；技术管理；产业发展

Mechanical Engineering and Automation

Chen Sirui

Foshan, Guangdong 528100

Abstract： Mechanical engineering and automation integrate knowledge from multiple disciplines, with technologies covering digital design, among others. Technological management holds value in interdisciplinary integration, with important aspects including the management of intelligent manufacturing processes and the integration of multi-disciplinary technological resources. There are also issues such as lagging industry standards, which require dynamic standardization. The management also involves system integration risks and safety assurance, with practices in industries such as automotive. Energy efficiency and circular economy technical standards are related to green manufacturing, and technological management needs innovation to promote industrial development.

Keywords： mechanical engineering and automation; technological management; industrial development

引言

《国家智能制造标准体系建设指南（2023 版）》旨在加快构建智能制造标准体系，推动制造业数字化转型。在此背景下，机械工程及自动化融合多学科知识，其技术涵盖数字化设计、智能控制等，技术管理具学科融合价值，智能化制造流程管理、多学科技术资源整合等是关键环节。然而，行业标准滞后等问题待解。需建立动态标准化、知识更新管理等机制，强化技术兼容性评估、安全保障等管理策略。汽车、智能装备等行业相关实践为发展提供思路，能效优化、循环经济技术标准助力绿色制造，未来应把握智能化管理工具创新等趋势，推动产业高质量发展。

一、机械工程及自动化与技术管理的基本概述

（一）机械工程及自动化的技术构成

机械工程及自动化融合机械学、电子学、计算机科学等多学科知识，旨在实现机械系统智能化、自动化运行。其技术构成涵盖多个关键部分。数字化设计作为核心模块，借助计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）等技术，能精确模拟与优化产品设计，提升设计质量与效率^[1]。智能控制技术通过运用先进控制算法，如自适应控制、模糊控制等，对机械系统运行状态实时监测与精准调控，确保系统稳定高效运行。机器人技术集成机械结构、传感器、控制算法，赋予机器人感知、决策与执行能力，广泛应用于工业生产、物流等领域，大幅提升生产自动化水平。这些技术相互融合，推动机械工程及自动化不断发展，为各

行业带来创新变革。

（二）技术管理的学科融合价值

机械工程及自动化领域中，技术管理体现出显著的学科融合价值。它打破了学科间的壁垒，将机械工程专业知识与自动化技术深度结合。在机械自动化项目里，从技术路线规划环节，技术管理需综合机械原理、材料学等机械工程知识，以及控制理论、信息技术等自动化知识，以制定出科学合理的技术路径^[2]。研发资源调配过程中，技术管理要依据多学科需求，精准分配人力、物力与财力资源，确保不同学科背景的团队成員能协同工作。在产业化应用阶段，技术管理又要融合经济学、管理学等学科理念，使机械自动化产品能高效地进入市场，实现经济价值。这种学科融合不仅推动了机械工程及自动化技术的创新发展，更为产业升级提供了有力支撑。

二、机械自动化系统的技术管理核心要素

（一）智能化制造流程管理

在机械自动化系统的技术管理中，智能化制造流程管理至关重要。研究 PLM 全生命周期管理系统在机械制造中的实施路径，此系统覆盖产品从概念设计到报废处理的整个过程，通过整合各阶段数据与流程，实现高效协同与信息共享，确保产品质量与生产效率。物联网技术驱动下的生产流程优化机制也不容小觑。借助物联网设备采集生产环节的实时数据，如设备运行状态、产品质量参数等，运用数据分析技术挖掘潜在问题与优化空间，实现生产流程的动态调整与优化，从而提高资源利用率、降低成本、提升产品竞争力^[9]。这些智能化制造流程管理手段，为机械自动化系统的高效运行提供坚实保障。

（二）多学科技术资源整合

机械自动化系统需实现多学科技术资源整合，达成跨领域协同管理。信息技术在其中作用关键，它能通过智能算法与数据分析，优化机械自动化系统的运行流程，提升控制精度。例如在数控机床中，借助信息技术可实现远程监控与故障诊断，提高生产效率与可靠性^[4]。材料科学也不可或缺，新型材料的研发应用能改善机械部件的性能，增强其耐用性与适应性，比如高性能复合材料用于航空发动机制造，减轻重量同时提升了热稳定性。构建复合型技术团队可促进不同学科间的知识交流与融合，通过打破学科壁垒，让信息技术专家、材料科学专家与机械工程师紧密协作，共同攻克技术难题，使机械自动化系统在设计、制造与运行各环节充分融合多学科优势，实现更高效、更智能的发展。

三、技术管理实践中的挑战与应对策略

（一）技术快速迭代的管理困境

1. 行业标准滞后问题

在机械工程及自动化领域，技术快速迭代背景下，行业标准滞后问题凸显。传统技术标准体系基于以往的技术水平构建，难以适配新兴自动化技术的发展步伐。新兴自动化技术不断革新，如智能控制、机器人技术在机械工程中的广泛应用，这些新技术在性能、安全、操作规范等方面都有新要求，而现行标准却无法及时覆盖。这种适配性矛盾，使得企业在新技术应用时缺乏明确标准指导，增加了技术应用风险，也阻碍了行业整体的技术升级。因此，提出动态标准化建设方案迫在眉睫。通过建立灵活的标准更新机制，实时跟踪新兴自动化技术发展趋势，定期评估和修订标准，以确保行业标准与技术发展同步，为企业新技术应用提供可靠依据，推动机械工程及自动化行业健康发展^[5]。

2. 知识更新管理机制

在机械工程及自动化领域技术快速迭代背景下，构建有效的知识更新管理机制至关重要。一方面，要建立技术人员持续教育体系，定期组织涵盖最新机械工程理论、自动化技术发展趋势等内容的培训课程，鼓励技术人员参加行业研讨会，拓宽知识视野，使他们能紧跟技术前沿。另一方面，搭建知识管理系统，对

机械工程及自动化相关的技术资料、研究成果等进行分类整合，便于技术人员随时查询与学习。同时，结合设计包含技术预警模块的决策支持系统^[6]，利用该模块实时追踪行业技术动态，提前发现潜在技术变革风险，为知识更新方向提供决策依据，助力企业在技术快速迭代中实现高效知识更新管理，提升核心竞争力。

（二）系统集成中的风险管理

1. 技术兼容性评估体系

在系统集成的风险管理里，技术兼容性评估体系至关重要。建立跨平台设备接口的技术验证框架面临诸多挑战，不同设备接口的物理特性、通信协议等差异显著，需全面考量才能确保框架具有广泛适用性。同时，制定技术成熟度分级评价标准也并非易事，既要涵盖技术原理的稳定性、应用案例的可靠性，又要考虑行业技术发展动态，使标准具备前瞻性。应对策略上，针对技术验证框架，可开展多轮模拟测试，收集不同平台设备数据，不断优化框架。对于技术成熟度分级评价标准，应组织行业专家研讨，结合实际应用反馈，动态调整标准内容，以科学、合理地评估技术兼容性，降低系统集成中的风险^[7]。

2. 安全保障管理策略

在机械工程及自动化领域的安全保障管理策略方面，研发基于数字孪生的安全预演系统是关键举措。借助数字孪生技术，能够对机械系统运行过程进行虚拟模拟，提前预演可能出现的安全风险，为及时制定防范措施提供依据。同时，构建从硬件防护到软件防御的多层次安全体系意义重大。硬件层面，采用高强度、高可靠性的材料与设备，对关键部件进行冗余设计，提升硬件的抗风险能力。软件方面，强化系统的加密、认证等功能，及时更新软件补丁，抵御网络攻击。通过这种软硬结合的多层次安全体系，可有效保障机械工程及自动化系统的安全稳定运行^[8]。

四、技术管理创新实践案例研究

（一）汽车制造领域应用

1. 柔性生产线管理系统

在汽车制造领域，柔性生产线管理系统至关重要。以某车企为例，其采用模块化装备管理系统，对柔性生产线管理进行创新实践。该系统借助先进的信息技术，实现设备的智能监控与精准调度。在实际应用中，不同模块可快速组合与切换，满足多种车型生产需求。这一创新举措显著缩短了产品换型周期，以往产品换型可能需要数天甚至数周时间，如今借助该系统，换型时间大幅缩减，从而降低了设备闲置成本、提升了生产效率，经济效益明显。经评估，在换型周期缩短带来的经济效益方面，不仅降低了人工成本，还减少了物料损耗，为企业创造了可观的额外收益^[9]。

2. 质量追溯技术体系

在汽车制造领域，质量追溯技术体系至关重要。基于区块链技术的零部件溯源管理系统成为重要创新实践。该系统为每个汽车零部件赋予唯一“身份”，详细记录从原材料采购、生产加工到组装等全流程信息。通过区块链不可篡改和分布式存储特性，

确保信息真实可靠，能有效提升质量控制中的可靠性^[10]。比如，一旦汽车出现质量问题，可快速精准定位到具体零部件，追溯其生产环节，明确责任主体，及时采取措施。不仅帮助企业高效解决质量问题，降低召回成本，也增强消费者对产品质量的信任，提升品牌形象。

（二）智能装备行业实践

1. 定制化研发管理平台

在智能装备行业实践中，某机器人企业搭建的定制化研发管理平台颇具亮点。该平台聚焦客户需求即时响应，有效提升技术转化效率。通过整合各类数据接口，能够精准收集客户的多样化需求，将客户模糊的概念快速转化为清晰的技术参数。在研发流程方面，平台构建了高效的项目管理模块，实现从需求分析、方案设计到产品研发全流程的紧密协同。研发团队、技术人员以及供应链各方可实时沟通，及时解决研发过程中的难题，减少因沟通不畅导致的延误。这一平台还引入智能化分析工具，对研发数据进行深度挖掘，为优化研发方向提供有力依据，确保研发出的智能装备既满足客户定制化需求，又能高效实现技术向产品的转化。

2. 远程运维服务模式

在智能装备行业实践中，基于5G通信的装备远程诊断系统为远程运维服务模式带来了变革。5G高速、低时延和大连接的特性，使得装备运行数据能够实时、稳定地传输到远程诊断平台。通过这一系统，技术人员可远程实时监测装备的各项运行参数，如温度、压力、振动频率等。一旦参数出现异常，系统能迅速精准定位故障点，提前预测潜在故障，构建预防性维护服务的新型技术管理范式。这不仅大幅减少了因设备故障导致的停机时间，降低维修成本，还能提高装备的使用寿命和运行效率。同时，该模式打破了地域限制，专家可远程协作解决复杂技术问题，提升了整体运维水平。

（三）绿色制造技术管理

1. 能效优化管理系统

在机械工程及自动化领域，能效优化管理系统致力于开发基于数字孪生的能源消耗模拟平台，以此实现生产流程的实时能效监控与优化。该平台借助数字孪生技术，构建与实际生产流程高

度匹配的虚拟模型。通过采集生产设备在运行过程中的各类数据，如功率、运行时长、负载率等，精准模拟能源在整个生产流程中的消耗情况。基于此，操作人员能够实时获取生产流程各环节的能效数据，清晰洞察能源消耗的重点区域与薄弱环节。进而，依据这些实时数据，对生产流程进行针对性调整，例如优化设备运行参数、合理安排生产顺序等，达到提升整体能效、降低能源损耗的目的，为机械工程及自动化生产过程的绿色制造提供有力支持。

2. 循环经济技术标准

在机械工程及自动化领域，循环经济技术标准对于绿色制造技术管理至关重要。制定机械产品可拆解性设计规范，旨在提升产品在寿命终结时零部件拆解的便捷性与高效性，为后续的回收、再利用等环节奠定基础。这要求规范对产品结构设计、连接方式等作出详细规定，确保各部件易于分离。同时，建立涵盖材料回收指数的产品全周期管理标准，从产品设计阶段就考量材料选用，评估不同材料在回收过程中的可行性与价值，在生产、使用及报废处理等全流程，依据材料回收指数对产品进行管理，以促进资源的最大化利用，减少废弃物产生，推动机械工程行业向循环经济模式转型，实现可持续发展。

五、总结

技术管理贯穿于机械工程及自动化的全流程，从设计研发到生产制造，其关键作用不容小觑。它不仅能够有效整合资源，提升生产效率，还能确保产品质量达到高标准。随着科技的飞速发展，智能化管理工具呈现出创新发展的态势，为行业带来了新的活力与机遇。建立技术管理与产业发展动态匹配机制至关重要，这能够让技术管理紧跟产业发展步伐，避免脱节。而数字孪生、元宇宙等新兴技术的涌现，正引领着管理模式变革的新方向。通过构建虚拟模型，实现对实体产品和生产过程的精准模拟与优化，元宇宙则有可能创造出全新的管理场景与协作模式。未来，机械工程及自动化领域应把握这些趋势，不断创新技术管理，推动产业高质量发展。

参考文献

[1] 帕坦姆汗·阿布杜合力克. 川麦冬种植效益及影响因素研究 [D]. 西南科技大学, 2021.
[2] 王宜坤. “金乡大蒜”产业发展问题及对策研究 [D]. 山东农业大学, 2023.
[3] 刘莹. 长春市 S 区乡村振兴发展的现状及对策研究 [D]. 吉林大学, 2021.
[4] 李妍林. 我国新型城镇化与产业发展交互关系及影响因素研究 ——以 285 个地级及以上城市为例 [D]. 江西师范大学, 2023.
[5] 蔺秋莹. 粒子群平衡优化算法及在机械工程设计上应用 [D]. 河南师范大学, 2022.
[6] 卢嘉成, 陈诚, 蒋鹏, 等. 机械工程及自动化创新实践 [J]. 中国设备工程, 2023(2): 108-110.
[7] 何瑛. 基层畜牧兽医技术管理存在的问题及对策 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2023(1): 74-76.
[8] 秦小丽. 机械工程及自动化技术的发展及应用 [J]. 世界有色金属, 2022(3): 176-178.
[9] 吴超. 机械工程及自动化技术的发展及应用探究 [J]. 大众标准化, 2021(19): 25-27.
[10] 祁志飞. 论析机械工程及自动化技术的发展 [J]. 数码设计 (下), 2021, 10(5): 69.

包装车间设备自动化技术的应用与管理策略

刘绍涛

广东 佛山 528100

DOI:10.61369/ME.2025090012

摘 要： 包装车间设备自动化技术涵盖多方面。从构建技术体系，到发展现状及趋势，还涉及能源监测、绿色工艺等应用与管理。通过各技术集成、全生命周期管理等提升生产效率与质量，同时注重节能降耗、安全保障，未来5G+MEC等有望带来新突破。

关 键 词： 包装车间；设备自动化技术；全生命周期管理

Application and Management Strategy of Equipment Automation Technology in Packaging Workshop

Liu Shaotao

Foshan, Guangdong 528100

Abstract： Packaging workshop equipment automation technology covers many aspects. From the construction of technical system to the development status and trend, it also involves the application and management of energy monitoring and green technology. Improve production efficiency and quality through technology integration and full life cycle management, and pay attention to energy saving and consumption reduction and safety assurance. 5g+mec is expected to bring new breakthroughs in the future.

Keywords： packaging workshop; equipment automation technology; life cycle management

引言

《“十四五”智能制造发展规划》（2021 年颁布）强调推进制造业智能化转型，包装车间设备自动化技术在此背景下意义重大。其构建需融合视觉识别、伺服驱动及 PLC 控制等核心技术，当前虽国内外发展存在差异，但柔性化生产、智能化升级已成趋势。能源监测、绿色工艺优化助力节能降耗，全生命周期管理、数字化运维等提升设备效能与运维效率。变更管理、应急预案决策保障项目与生产稳定，智能物流、MBSE 方法论等促进设备协同优化。余热回收、光储直柔系统集成提升能效，功能安全与安全冗余机制保障生产安全，未来新技术应用有望带来新突破。

一、包装车间设备自动化技术基础分析

（一）自动化技术体系构建

包装车间设备自动化技术体系构建，需深度融合包装机械视觉识别系统、伺服驱动装置及 PLC 控制单元等核心技术。包装机械视觉识别系统，通过图像采集与处理技术，精准识别产品的形状、尺寸、位置等信息，为后续操作提供精确数据^[1]。伺服驱动装置接收这些信息后，依据指令精确控制电机运转，实现包装动作的精准定位与速度调节。而 PLC 控制单元则充当整个系统的“大脑”，它整合视觉识别系统传来的数据以及预设的生产逻辑，协调伺服驱动装置等各部分有序工作，从而实现包装生产流程的智能化。通过这种集成方式，各技术相互协作，奠定了包装车间设备自动化运行的坚实基础，极大提升生产效率与质量。

（二）技术发展现状与趋势

包装车间设备自动化技术发展迅速。当前，国内外工业机器

人在本体技术参数方面存在一定差异，国外部分机器人精度更高、负载能力更强，而国内机器人在价格和本地化服务上具有优势。在通讯协议标准上，国外起步早、体系相对成熟，但国内也在加快追赶，积极推动标准的统一与完善。从趋势来看，随着市场对产品多样化需求增长，柔性化生产布局成为必然。这就要求设备选型具备高度灵活性与可重构性，以快速适应不同产品包装需求。工业机器人需与其他自动化设备高效协同，实现包装流程无缝对接。此外，融合人工智能、物联网等新兴技术，提升设备智能化水平，也是包装车间设备自动化技术未来的重要发展方向^[2]。

二、节能降耗导向的技术应用研究

（一）能源动态监测系统应用

在包装车间设备自动化技术的应用中，能源动态监测系统具有关键作用。借助多源传感器融合技术，可对设备能耗进行精准

监测与分析，进而建立设备能耗数字孪生模型。该模型能够直观呈现设备能耗的实时状态与变化趋势，实现对设备能耗的精细化管理。以真空包装机热能循环系统为例，通过能源动态监测系统，可收集设备在运行过程中的各类能耗数据，如温度、压力、流量等，利用数字孪生模型对这些数据进行量化分析，深度挖掘其节能潜力^[3]。如此一来，有助于包装车间准确掌握设备能耗状况，为制定针对性的节能降耗措施提供有力依据，从而提升能源利用效率，降低生产成本，实现可持续发展。

（二）绿色工艺优化案例

以全自动装盒机伺服驱动参数优化为例，深入探索绿色工艺优化在包装车间的应用。在实际生产中，全自动装盒机存在一定无效行程，导致能源浪费。通过引入模糊 PID 算法对其伺服驱动参数进行优化^[4]。该算法能够依据装盒机运行的实时状态，动态调整控制参数，精准控制装盒机的运行轨迹，有效减少无效行程。经实践验证，采用模糊 PID 算法优化后，全自动装盒机成功降低 30% 的无效行程能耗。这不仅显著提升了能源利用效率，降低生产成本，还为包装车间实现节能降耗目标提供了有力的技术支持，为其他设备的绿色工艺优化提供了可借鉴的范例，推动包装车间整体向高效节能方向发展。

三、自动化工程管理系统构建

（一）技术管理体系架构

1. 全生命周期管理标准

包装车间设备全生命周期管理标准需涵盖设备从规划、采购、安装调试，到使用、维护、改造直至报废的各个阶段。在规划采购阶段，明确设备性能参数、技术指标，确保符合车间生产需求。安装调试时，制定详细规范，保证设备正确安装运行。使用阶段，建立设备档案，记录运行数据、故障情况等。维护环节，结合制定的设备健康度三级预警机制与 CMMS 系统，实现预防性维护标准化作业流程，根据设备运行状况及时预警并维护，延长设备使用寿命。改造阶段评估技术可行性与经济效益。报废阶段严格遵循相关规定处置。通过全生命周期管理标准，提升设备整体效能，保障包装车间生产的稳定高效运行^[5]。

2. 数字化运维工具集成

在包装车间自动化工程管理系统的技术管理体系架构中，数字化运维工具集成至关重要。整合 AR 远程诊断平台与 SCADA 系统的数据接口是关键环节。通过此整合，可实现设备运行数据的实时采集与传输。AR 远程诊断平台能借助 SCADA 系统提供的实时数据，为现场维护人员提供远程协助，专家可基于实时数据通过 AR 技术直观指导维修。同时，利用这些数据构建设备 KPI 可视化监控网络，将设备的关键性能指标，如设备利用率、故障停机时间等以直观图表形式呈现，便于管理人员实时掌握设备运行状态，及时发现潜在问题并制定维护策略，提高设备运维效率，确保包装车间生产高效稳定运行^[6]。

（二）工程风险控制策略

1. 变更管理控制模型

在包装车间设备自动化技术改造项目，变更管理控制模型的建立至关重要。采用 FMEA 方法对技术改造项目进行风险识别后，通过建立工艺变更影响矩阵评估模型，能够系统、全面地评

估变更所带来的影响。此模型以工艺参数为行，变更类型为列，构建矩阵。在每个矩阵单元中，依据预先设定的评估标准，对工艺变更对各参数的影响程度进行打分，如从轻微影响到严重影响分为不同等级。通过对矩阵中各单元的分析，确定变更可能引发的风险大小。这样的模型不仅能直观呈现变更对工艺的影响，还为后续制定针对性的风险应对措施提供依据，帮助包装车间在设备自动化技术改造过程中，更好地控制因变更带来的工程风险^[7]。

2. 应急预案决策支持

在包装车间设备自动化技术应用过程中，应急预案决策支持尤为关键。基于蒙特卡洛模拟构建的异常停机时间预测模型，能对设备可能出现的异常停机状况进行概率性预估，为应急预案提供时间维度的参考。而开发具备自学习能力的故障处置决策树，可依据过往故障数据及处置经验，自动生成针对不同故障类型的应对策略。当设备突发故障时，决策树能快速给出适宜的处置建议。同时，决策树还会根据新的故障处置反馈不断学习进化，优化应对策略。这种结合蒙特卡洛模拟预测与自学习决策树的方式，从故障预测到处置策略制定，全方位为应急预案提供有力的决策支持，有效提升包装车间应对设备突发状况的能力^[8]。

四、技术优化升级实施路径

（一）设备联动协同优化

1. 智能物流系统整合

在包装车间，为实现设备联动协同优化，智能物流系统整合至关重要。设计基于 AGV 调度算法的物料自动补给系统是关键环节。通过精确的算法，使 AGV 小车能够依据包装线的实时物料需求，从仓储系统快速、准确地获取物料并补给至包装线^[9]。这不仅提升了物料运输效率，还确保包装线与仓储系统的节拍协同控制。一方面，对 AGV 小车的行驶路径进行优化规划，避免拥堵与碰撞，提高运行稳定性；另一方面，建立包装线与仓储系统的实时通信机制，及时反馈物料库存与消耗信息，以便仓储系统能提前准备，保证物料供应的及时性与连续性。如此，有效整合智能物流系统，促进包装车间设备联动协同的高效运作。

2. 数字线程构建方法

应用 MBSE 方法论来构建数字线程，能有效打通 MES 与设备控制系统间的信息孤岛，显著提升工艺参数动态调整响应速度。通过 MBSE 方法论，对包装车间设备自动化流程进行模型化描述，从需求分析、功能设计到物理架构搭建，全面构建精准的系统模型^[10]。借助该模型，将 MES 中生产计划、订单信息等与设备控制系统的运行参数、状态监测等数据深度关联。如此，当 MES 下达新的生产指令或需调整工艺参数时，基于数字线程，设备控制系统能快速响应，实现设备间的联动协同优化。同时，数字线程的构建为包装车间设备自动化技术的持续优化提供数据追溯与分析基础，便于及时发现问题、改进流程，进一步提升整体自动化水平与生产效率。

（二）能效持续改进方案

1. 余热回收装置选型

在包装车间全自动热成型包装机余热回收装置选型中，热管技术与相变储热技术各有特点。热管技术具有高效导热特性，能快速将热量传递至指定位置，其传热能力强、等温性好，对于包

装机工作时产生的大量瞬时余热，可迅速收集并转移至需要预热或加热的区域，实现余热高效利用，适合应用于余热分布相对集中、热量需求及时性高的环节。相变储热技术则依靠材料相变过程中的潜热储存和释放，储热密度大，能在较长时间内稳定释放热量。在包装机间歇运行或余热产生不稳定的情况下，相变储热技术可先储存余热，后续再按需释放，维持系统热量供应稳定性。需综合考虑包装机工作模式、余热分布与利用需求等因素，精准匹配适用性更高的技术，实现余热高效回收与利用，提升设备整体能效。

2. 光储直柔系统集成

在包装车间设备自动化技术的能效持续改进方案的光储直柔系统集成中，为降低生产线碳排放强度，可采用分布式光伏与伺服系统直流母线并网。首先，对包装车间的电力使用情况进行全面评估，明确各设备能耗占比，为后续优化提供数据支撑。针对分布式光伏，依据车间光照条件，合理布局光伏板，提升光能捕获效率。对于伺服系统直流母线并网，优化并网控制策略，确保光伏产生的直流电能高效稳定并入母线，供设备使用。同时，通过智能监测系统实时监控系统运行状态，对光伏输出、母线电压、设备能耗等关键参数进行动态跟踪，及时调整系统参数，保障光储直柔系统集成稳定运行，持续提升能效，最大程度降低生产线碳排放强度。

（三）安全冗余机制强化

1. 功能安全等级提升

为提升包装车间设备的功能安全等级，依据 IEC 61508 标准重构安全连锁系统是关键举措。通过对系统架构深入分析，精准识别可能存在的风险点，为构建多层防护体系提供依据。采用冗余设计，对关键的安全连锁部件进行备份，当主部件出现故障时，备用部件能及时接替工作，降低因单点故障导致事故的可能性。同时，优化系统逻辑，确保连锁功能更精准、高效。多层防

护体系从设备运行环境监测、操作人员权限管理到设备自身故障诊断等多个维度展开。实时监测环境参数，避免因环境异常引发设备故障；严格限定操作人员权限，防止误操作；强化设备故障诊断功能，及时发现潜在问题并预警，全方位防止机械伤害事故，实现包装车间设备功能安全等级的有效提升。

2. 信息安全保障体系

在包装车间设备自动化技术优化升级过程中，安全冗余机制强化与信息安全保障体系建设是关键。采用零信任架构设计设备控制网络，打破传统网络边界信任模型，对每一次网络访问请求进行严格的身份验证和权限评估，不论其来自内部还是外部网络，确保非法访问无法渗透，保障设备控制指令准确无误传输。同时，构建基于区块链技术的操作指令审计系统，利用区块链的不可篡改特性，完整记录每一条操作指令的执行过程与时间戳，便于精准追溯与实时审计。一旦出现问题，可迅速定位异常操作，分析原因，及时纠错，从而为包装车间设备自动化运行筑牢安全防线，提高设备运行稳定性与可靠性。

五、总结

包装车间设备自动化技术的应用与管理策略对提升车间生产效率、降低能耗及优化项目周期具有重要意义。构建设备健康管理数字孪生平台显著提升包装线 OEE 指标，基于深度学习算法的能耗预测模型有效降低单位产品能耗，全生命周期风险管理框架缩短技改项目投产周期，这些成果充分展现了自动化技术应用与科学管理策略结合的成效。未来，5G+MEC 边缘计算在远程运维中的应用，以及数字主线与区块链技术的深度整合，有望为包装车间设备自动化带来新的突破，进一步提升车间的智能化与高效化水平，持续推动包装车间生产模式的革新与发展。

参考文献

- [1] 褚俊娴. 智能包装车间 AGV 路径规划与动态调度研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [2] 郝维. 云南 D 职业技术学院实训室仪器设备全生命周期管理研究 [D]. 贵州大学, 2022.
- [3] 秦磊. 生命周期视角下的 W 高校大型仪器设备管理研究 [D]. 华中农业大学, 2022.
- [4] 于丰源. 多品种小批量包装设备制造车间工艺规划与排产研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022.
- [5] 李享. 印刷包装车间送料 AGV 运动控制策略研究 [D]. 西安理工大学, 2021.
- [6] 王笛, 许峰, 周传坤, 等. 大型医用设备配置与使用管理现状及策略研究 [J]. 中国医学装备, 2021, 18(5): 136-139.
- [7] 黄天尘. 煤矿机电设备全生命周期管理研究与应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(2): 121-122.
- [8] 闫慧芳, 焉丹, 高敏, 等. 大型医疗设备使用效益分析在医疗设备管理中的应用 [J]. 中国医疗设备, 2021, 36(1): 143-146.
- [9] 陈文静. EAM 信息系统在设备管理中的应用 [J]. 设备管理与维修, 2022(7): 18-19.
- [10] 张爱连. 医疗设备全生命周期管理优化策略研究 [J]. 中国设备工程, 2022(23): 73-75.

通用机械传动部件的磨损机理

孙吉杰

青岛四二零八机械厂, 山东 青岛 266000

DOI:10.61369/ME.2025090034

摘 要： 蜗轮蜗杆传动部件的结构紧凑、传动比大，凭借其优势广泛应用于通用机械中，但其运行过程中容易磨损，直接影响传动效率与使用寿命。因此，文章聚焦于蜗轮蜗杆传动部件的磨损机理，系统分析了磨粒磨损、疲劳磨损及腐蚀磨损等主要磨损形式，探讨了影响磨损行为的关键因素，总结了改善润滑方式、表面处理工艺、优化材料选择等优化策略，可显著提升其抗磨性能和使用寿命，对于蜗轮蜗杆传动系统可靠性设计优化具有一定的借鉴与参考价值。

关 键 词： 磨损机理；机械传动部件；疲劳磨损；腐蚀磨损；润滑方式

Wear Mechanism of General Mechanical Transmission Components

Sun Jijie

Qingdao 4308 Machinery Factory, Qingdao, Shandong 266000

Abstract： Worm gear and worm transmission components, characterized by their compact structure and large transmission ratio, are widely used in general machinery due to their advantages. However, they are prone to wear during operation, directly affecting transmission efficiency and service life. Therefore, this article focuses on the wear mechanism of worm gear and worm transmission components, systematically analyzing major wear forms such as abrasive wear, fatigue wear, and corrosive wear. It explores key factors influencing wear behavior and summarizes optimization strategies such as improving lubrication methods, surface treatment processes, and optimizing material selection. These strategies can significantly enhance their wear resistance and service life, providing valuable reference for the reliability design optimization of worm gear and worm transmission systems.

Keywords： wear mechanism; mechanical transmission components; fatigue wear; corrosive wear; lubrication method

蜗轮蜗杆传动属于通用机械领域中的常见动力传递装置，凭借其传动比大和结构紧凑等优势，在机床、起重设备以及船舶系统等领域广泛应用。但实际运行中却由于其独特的啮合特性，接触应力集中、以滑动摩擦为主，容易出现表面损伤或材料磨损等问题，严重影响传动系统的运行效率和使用寿命。磨损作为蜗轮蜗杆传动失效的主要形式之一，会改变齿面几何形态，增加传动间隙，情况严重下可能出现点蚀或胶合等故障。尤其在润滑不良和长期重载条件下，磨损加剧，导致传动系统的可靠性大幅下降。因此，剖析蜗轮蜗杆传动部件的磨损机理，并尝试提出优化策略，对于提升产品可靠性和指导工程实践大有裨益。

一、蜗轮蜗杆传动部件的基本原理和受力特性

（一）结构原理与运动关系

蜗轮蜗杆传动系统主要包括两部分，蜗杆以螺旋状安装在输入轴上，蜗轮则安装在输出轴上，其齿廓形沿着螺旋方向与蜗杆匹配，多选择青铜等材料降低磨损。两轴保持90°交错布置，蜗杆转动过程中通过螺旋面，带动蜗轮齿面，驱动蜗轮围绕轴线转动。传动比公式如下：

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

蜗杆头的数量多1 ~ 4范围内，蜗轮齿数较多，因此二者结合

的传动系统可提供较大的减速比。在特定导程角条件下，蜗轮蜗杆具有自锁特性，无法反向转动，在制动装置或提升机构等领域有着特殊的价值。

（二）接触几何特征

蜗轮蜗杆啮合时，接触形式介于点/线接触之间。具体形式则取决于蜗轮蜗杆的制造精度和蜗杆类型。以阿基米德蜗杆为例，与蜗轮接触时为一条瞬时接触线，但仅为理论层面，实际中由于制造偏差和装配误差等因素影响，导致接触区域往往呈现局部点状或窄带状接触；蜗轮蜗杆啮合属于一种以滑动为主、滚动为辅的运动形式，啮合点存在明显的相对滑动速度，而滚动分量则可忽略不计。正是这种高比例的滑动运动，使得蜗轮蜗杆啮合区域的摩擦功耗大，产生大量的热量，加之散热效果较差，容易出现

啮合失效的问题^[1]。

二、蜗轮蜗杆传动部件的主要磨损形式及机理

（一）磨粒磨损

磨粒磨损是一种常见的传动系统磨损形式，其主要是由于金属屑、灰尘等硬质颗粒游离于摩擦区域，在相对滑动中对齿面产生犁沟或切削等作用，导致材料剥落、磨损。由于蜗轮蜗杆传动部件的封闭性相对较差，后期维护不到位，容易出现外界污染物或金属屑侵入润滑系统，从而加剧传动部件磨损。磨粒磨损主要分为两类，一种是二体磨粒磨损，硬质颗粒直接附着在蜗杆等表面，在相对滑动运动过程中刮削蜗轮表面；另一种是三体磨粒磨损，大量游离颗粒在齿面之间滚动，导致双向磨损。通常情况下，蜗轮多为锡青铜等软性金属材料制造而成，即便一定程度上可起到减轻摩擦损耗的作用，但抗磨能力较弱。如果润滑系统出现污染，齿面则会出现大小不一的划痕，加剧疲劳裂纹产生情况严重下则会导致耦合失效^[2]。

（二）疲劳磨损

疲劳磨损是蜗轮蜗杆传动在长期高负荷运转下，受接触应力作用形成的一种失效形式，表现为齿面点蚀或材料剥落（如图1），即便蜗轮蜗杆以滑动运动形式为主，但二者啮合过程中仍存在一定程度的周期性载荷作用，频繁启停工况下同样会增加接触区域的承载力，随着时间推移，表面出现大小不一的裂纹。点蚀现象多出现在齿面次表层剪切应力区域，受循环应力作用导致微裂纹逐步延伸扩展，最终相连接出现大面积的表层材料脱落、凹坑现象^[3]。点蚀发生的初期阶段，对于蜗轮蜗杆传动部件的性能影响微乎其微，但后期随着点蚀区域逐步扩大，将严重影响齿轮啮合精度，甚至出现噪声增加和震动加剧等问题，成为其他磨损形式诱发的主要因素之一。若疲劳损伤持续发展，裂纹覆盖范围扩大，可能导致大面积片状材料剥落，加剧蜗轮蜗杆传动部件受损程度。导致疲劳磨损的因素主要有以下几点：①材料纯净度、抗疲劳性能；②接触应力幅值、循环应力大小；③表面粗糙度等^[4]。

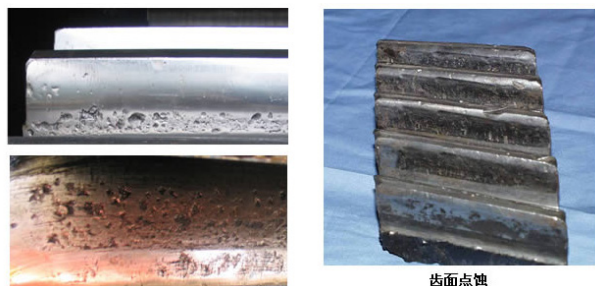


图1 蜗轮蜗杆的齿面点蚀

（三）腐蚀磨损

腐蚀磨损通常是电化学或化学腐蚀等多种因素共同作用下的结果，在日常维护中受重视程度普遍不高。腐蚀磨损腐蚀介质或润滑环境恶化等工况条件下，如水分侵入或润滑油老化产生有机酸物质，与机械磨损联动下，产生严重的腐蚀磨损现象。腐蚀磨损过程中，铜合金材质的蜗轮表面与腐蚀介质接触发生化学反

应，可能产生硫化物或氧化物等产物，这些产物硬度低，附着力较弱，受滑动摩擦作用下容易去除，从而露出新的金属表面，但腐蚀会继续加剧，最终形成恶性循环。蜗轮蜗杆叶和齿面出现局部变色，表面粗糙度增加，但并未出现明显的机械划痕。另外，高温条件下可能导致部分含硫的添加剂分解出活性元素，抗胶合能力即便在一定程度上提升，但金属蜗轮的腐蚀程度可能进一步加剧，需要根据实际情况选择合理的润滑剂配方^[5]。

（四）粘着磨损

粘着磨损也称之为胶合，属于混合润滑条件下的一种严重失效形式。本质在于高压高温条件下，蜗轮蜗杆摩擦齿面出现了局部微观焊合现象，在相对滑动运动过程中，致使材料从一方向另一方撕裂转移。蜗轮蜗杆啮合过程中滑动速度较高，二者的接触面积较小，快速摩擦产生的热能会导致接触区域温度迅速升高，一旦温度超过润滑油承载限值，可能导致油膜破裂，金属表面直接接触在高温高压作用下出现塑性变形，甚至发生粘连，随着后期运动持续加快，粘连点随之剪切，致使青铜蜗轮的材料转移至蜗杆表面，造成大面积的啮合面摩擦损伤。胶合磨损是不可逆的，多伴有噪音增加和温度迅速升高等现象。导致粘着磨损的因素主要有润滑油的极压性能和材料配对相容性较差、载荷过大或是频繁停机情况下，同样会影响油膜形成，加剧啮合面磨损程度^[6]。

三、蜗轮蜗杆传动部件的磨损优化措施

（一）优化材料与热处理工艺

材料选择是否合理，很大程度上影响着蜗轮蜗杆传动的磨损程度。结合蜗轮蜗杆的工况特点，做好材料配对和热处理工艺优化是必然选择。在材料配对优化方面，蜗杆多为20CrMo、20CrMnTi的低碳合金结构钢材料，具有芯部韧性高、淬透性优良等特点，碳氮共渗后其表面硬度可提升至58HRC ~ 62HRC范围，大幅增强蜗杆的抗疲劳强度以及抗磨性。针对一些中低速轻载作业场景，适合选择40Cr、45钢等调质钢，经过表面淬火后提升整体强度。蜗轮材料以ZCuSn10P1、ZCuSn5Pb5Zn5锡青铜材料为主，材料中的Cu₃₁Sn₈弥散于软基体中，具有优良的顺应性、承载性，在降低胶合磨损几率方面优势鲜明。对于一些成本要求高且低速运转场景，适合选择ZCuAl10Fe3铝青铜材料，但其抗疲劳性能较之前者有所不足。除了上述几种材料外，经过技术革新升级，逐渐涌现出了诸多新型材料，如PEEK/PTFE填充青铜材料，此种聚合物基复合材料以及粉末冶金含油轴承材料有着良好的抗磨性能，在部分特定工况下应用效果显著，能有效降低后期维护成本^[7]。

在热处理工艺优化方面，主要表现为以下几种：一是渗碳淬火工艺，此项工艺多应用于低碳合金钢蜗杆制造领域，可形成0.8mm ~ 2.0mm的高碳马氏体表层，大幅提升材料表面的接触疲劳强度和硬度，并提供抗冲击载荷的能力。二是氮化/气体氮化工艺，在促使氮原子在500℃ ~ 580℃区间时渗入钢材表面，从而形成低摩擦系数和高硬度的氮化层，多应用于一些精密蜗杆，变形

程度较小。三是感应淬火工艺，多应用于大型蜗杆制造领域，能够起到局部强化齿面的效果，但需要做好硬化层均匀性控制，避免后期产生大量的微裂纹。四是蜗轮热处理工艺，采用铸造与退火工艺加工处理，能够消除蜗轮表面细化的晶粒以及内应力，特殊场景下通过固液与时效处理工艺，可大幅提升蜗轮强度^[8]。

（二）改进润滑方式

润滑性能是影响蜗轮蜗杆传动磨损的核心因素之一，选择合适的润滑方式，致力于在严苛的滑动摩擦条件下，为其形成强度适宜的润滑膜，分散接触应力，降低啮合面的摩擦系数，并且冲洗啮合区域中产生的碎屑。

润滑剂的选择方面，优先选择 ISO VG 460 或 680 类的极压性和粘度高的润滑油，此类润滑油即便在高压高温环境下仍然可形成足够强度的油膜。但需要加入适量高效的挤压抗磨添加剂，从而在高温高压环境下与金属表面产生化学反应，生成高强度的边界润滑膜，可有效降低磨损程度。由于蜗轮蜗杆传动部件的作业温度高、散热条件较差，所选择的润滑油应具有高温下粘度下降小的性能，借此避免高温氧化条件下产生大量油泥或酸性物质加剧腐蚀磨损。在高速或极端温度工况下，聚乙二醇 PAG 类的合成润滑油同样可起到理想的润滑效能，相较于常规的润滑剂而言，可提供理想的氧化安定性以及更低的摩擦系数^[9]。

润滑方法创新方面，优先选择强制循环以及喷射润滑的方式，相较于常规的浸油润滑方式，只需要借助油泵建立强制循环系统，即可喷射润滑油至啮合区域，提供充足供油量同时，还可有效控制啮合区域温度升高速度，避免热量积蓄，在应对高速、重载工况挑战中具有鲜明的优势。优化设计油路与喷口结构，促使润滑油可沿着啮合运动方向均匀喷射在啮合区域；润滑回路中配备水冷式油冷却器，根据工况条件主动控制润滑油温度，确保其温度始终处于 80℃ 以下，有效改善高温条件下的油膜失效问题^[10]。

除此之外，为了实时监控润滑系统的运作状态，可安装油压、油温或油温传感器，实现油液在线监测与分析，发现污染物含量和粘度变化超出阈值，即刻停止作业、更换润滑油，从而实

现蜗轮蜗杆传动部件的预防性维护。若长期处于重载或极端低速条件下，润滑油中可适量加入含二硫化钼、石墨等成分的润滑剂，起到辅助润滑作用，最大程度降低啮合面磨损程度^[11]。

（三）引入表面改性技术

表面改性技术致力于改变蜗轮蜗杆齿面表层的物理或化学性能，在保证基体材料强度基础上，有效增强其抗胶合与耐磨性能。蜗杆多为渗碳钢材料加工制造形成，表面改性主要为了降低摩擦系数、提高表面硬度。选择物理或化学的气相沉积技术，蜗杆精磨处理后在表面形成硬质涂层，主要包括：①氧化钛（TiN）、氮化钛（TiCN）等涂层，硬度最高达到 2000 以上，显著提升蜗杆的耐磨粒磨损性能；②类金刚石碳膜（DLC），可提供 0.05 ~ 0.15 区间的低摩擦系数以及高硬度，避免磨粒附着加剧磨损。此外，引入深层渗氮处理工艺，表面可形成 0.3mm ~ 0.6mm 的氮化物扩散层，硬度在 900-1200 区间，有效提高蜗杆的抗疲劳点蚀性能。

由于蜗轮制造材料多为铝青铜或锡青铜，其表面改性多侧重于提高抗咬合能力以及磨合性。蜗轮表面进行磷化处理，可生成一层多孔磷酸盐转化膜，能够存储润滑油，改善拟合初期磨合程度，并提供额外防护，最大程度上避免突发性胶合；采用电化学方法在蜗轮表面形成一层复合镀层，弥散分布 SiC 以及金刚石等硬质颗粒，提高镀层整体的耐磨性以及硬度，有效降低啮合面的摩擦系数；表面采用激光工艺对蜗轮表面微熔、淬火处理，形成硬化区域，对于提升蜗轮表面局部区域的抗疲劳性、耐磨性等大有裨益。

四、结论

综上所述，磨损优化是一项系统工程，针对蜗轮蜗杆等通用机械传动部件磨损问题，需要精准识别磨损形式，并通过改进润滑方式、优化材料选择和热处理工艺、引入表面改性技术，实现各类磨损的有效防护，提高传动效率和使用寿命，对于保障机械设备高效、稳定运行具有重要作用。

参考文献

- [1] 马海波. 高效能机械传动系统的材料选用与应用分析 [J]. 信息记录材料, 2025, 26 (10): 26-28.
- [2] 曹镇军. 商用车动力传动系统故障识别与维修技术实践 [J]. 商用汽车, 2025, (04): 94-97.
- [3] 程文捷, 刘雪峰, 张黎, 等. 机械传动部件危险区域识别方法研究 [J]. 中国机械, 2025, (22): 129-132.
- [4] 曹欢. 基于人工智能技术的起重机械传动系统故障分析与维修 [J]. 张江科技评论, 2025, (04): 156-158.
- [5] 朱德强. 冶金机械传动系统动态特性分析与振动抑制方法研究 [J]. 山西冶金, 2025, 48 (02): 153-155.
- [6] 孟伯森, 张露予, 王嘉, 等. 考虑运动副间隙的机械传动机构退化建模及可靠性评估 [J]. 振动与冲击, 2025, 44 (02): 312-320.
- [7] 沈锋. 基于有限元分析的机械传动齿轮齿面磨损检测方法 [J]. 家电维修, 2025, (01): 122-124.
- [8] 宫子乔, 周龙龙, 王煦嘉, 等. 压水堆控制棒驱动机构传动部件磨损研究现状 [J]. 表面工程与再制造, 2024, 24 (05): 50-58.
- [9] 姜春雷, 樊智敏, 姜宇, 等. 考虑磨损故障的双渐开线齿轮传动系统动态特性研究 [J]. 机电工程, 2024, 41 (05): 775-785.
- [10] 李政, 王海岗. PSA 程控阀传动件磨损原因及国产化改造 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2022, 39 (05): 42-45+55.
- [11] 陈虎, 张鹏翥, 吕勤. 机械式停车设备传动系统零部件的失效及报废 [J]. 西部特种设备, 2021, 4 (01): 63-67.

机电工程智能化项目中的风险管理与质量控制方法研究

唐雨来

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090017

摘 要： 本文围绕机电工程智能化项目，阐述其全生命周期特征，介绍基于 FMEA 数据构建风险因子体系、多目标动态风险评估模型等风险管理方法，及自适应风险响应机制、基于 MBSE 的质量缺陷仿真预测等质量控制手段，并通过多个工程案例验证效果，提炼智能技术融合范式，对行业发展意义重大。

关 键 词： 机电工程智能化项目；风险管理；质量控制

Research on Risk Management and Quality Control Methods in Intelligent Projects of Mechanical and Electrical Engineering

Tang Yulai

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article focuses on the intelligent project of electromechanical engineering, elaborates on its full life cycle characteristics, introduces risk management methods such as building a risk factor system based on FMEA data, multi-objective dynamic risk assessment models, and adaptive risk response mechanisms, as well as quality control methods such as quality defect simulation prediction based on MBSE. The effectiveness is verified through multiple engineering cases, and the intelligent technology integration paradigm is extracted, which is of great significance to the development of the industry.

Keywords： electromechanical engineering intelligent project; risk management; quality control

引言

随着《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》于2020年7月发布，机电工程智能化项目的发展迎来新契机。此类项目在全生命周期有独特特征，从规划到运维各阶段紧密相连。构建风险因子体系、运用多目标动态风险评估模型、设计自适应风险响应机制等风险管理手段，以及基于 MBSE 的质量缺陷仿真预测、可视化质量追溯系统开发等质量控制方法不断涌现。研究提炼的智能技术融合范式，为项目实施提供科学路径，对新型基础设施建设标准意义重大，推动行业智能化、高质量发展。

一、机电工程智能化项目特征与风险识别

（一）智能化项目全生命周期特征分析

机电工程智能化项目在全生命周期展现出独特特征。从规划阶段起，便需精准定位智能化需求，考虑与整体建筑系统的融合。这要求对各类智能技术有深入理解，如智能传感设备的性能参数，确保其能在复杂机电环境中稳定工作^[1]。设计环节，数字化协同作业至关重要，各专业团队需通过 BIM 等技术实现信息共享与交互，以保证设计的准确性和可行性。施工阶段，智能传感设备的部署要严格按照设计要求，同时兼顾现场实际情况，保障设备的安装质量与运行稳定性。而在运维阶段，借助智能化手段对机电系统进行实时监测与故障预警，能及时发现并解决潜在问题，延长系统使用寿命。整个全生命周期，各阶段紧密相连，任一环节的偏差都可能影响项目整体智能化效果，所以精准把握这

些特征对项目成功实施意义重大。

（二）风险因子体系构建方法

基于地铁隧道智能施工装备项目的 FMEA 数据构建风险因子体系，需全面考量多方面因素。针对技术迭代风险维度，分析项目中技术更新换代速度，评估因新技术涌现使现有技术方案滞后的可能性。对于多源数据耦合风险维度，探究不同来源数据在融合过程中出现数据格式不兼容、数据质量参差不齐等问题的概率^[2]。通过对 FMEA 数据的深度挖掘，提炼出各风险维度下具体的风险因子，例如技术研发周期延误、数据整合误差等。同时，结合项目实际场景，对这些风险因子进行权重赋值，以便更精准地衡量其对项目的影响程度，最终构建出科学、全面且具有针对性的风险因子体系，为机电工程智能化项目的风险识别与管理奠定坚实基础。

二、智能化风险量化与控制模型

（一）多目标动态风险评估模型

多目标动态风险评估模型综合考虑机电工程智能化项目中的多种风险因素。通过贝叶斯网络融合数字孪生技术实时数据，能对风险进行动态跟踪与评估。贝叶斯网络强大的推理能力可有效处理不确定性，依据实时数据更新风险概率。而数字孪生技术提供的实时、准确数据，为评估提供坚实基础。同时，考虑人机协同作业可靠性，使评估更加全面。人机协同在机电工程智能化项目中广泛存在，其可靠性直接影响项目风险。此模型可动态反映不同阶段、不同作业场景下的风险状态，为风险控制提供精准依据，辅助项目管理者做出科学决策，降低风险对项目质量的影响^[9]。

（二）自适应风险响应机制设计

在机电工程智能化项目中，自适应风险响应机制的设计至关重要。该机制依托盾构机智能监控系统的机器学习算法，通过对大量实时数据的分析，敏锐感知项目运行中风险的动态变化。例如，当监测到盾构机的推进速度、压力等关键参数出现异常波动时，系统能依据算法快速评估风险的严重程度和可能影响范围。然后，基于自修正功能，动态调整风险应对策略，自动生成并启动与之匹配的应急预案^[4]。这一过程中，系统会持续学习和适应项目实际情况，不断优化响应机制，确保在面对各类复杂多变的风险时，能够及时、精准且有效地做出反应，最大程度降低风险对项目质量和进度的负面影响，保障机电工程智能化项目的顺利推进。

三、智能建造质量管控方法创新

（一）数字样机驱动的质量预控

1. 基于 MBSE 的质量缺陷仿真预测

在机电工程智能化项目，尤其是高铁接触网智能安装系统中，基于 MBSE（基于模型的系统工程）的质量缺陷仿真预测具有重要意义。MBSE 以模型作为核心载体，全面描述系统需求、设计、实现等各个阶段。通过构建高铁接触网智能安装系统的 MBSE 模型，能够对系统的各种运行工况进行模拟。将多物理场耦合等实际因素融入模型中，就可以精准预测可能出现的质量缺陷。例如在接触网的安装过程中，通过模拟不同安装工艺参数下的电气、力学等多物理场耦合情况，提前发现因参数不当可能导致的诸如接触不良、部件磨损等质量缺陷^[5]。这种基于 MBSE 的质量缺陷仿真预测方法，为及时调整工艺参数、优化安装流程提供依据，有效提升智能建造的质量预控水平，减少实际安装过程中的质量问题。

2. 可视化质量追溯系统开发

可视化质量追溯系统开发是智能建造质量管控方法创新的关键部分。该系统借助现代信息技术，构建一个可直观呈现机电工程物料质量信息的平台。通过对物料从采购、运输到使用全过程的数据采集与整合，以可视化图表、时间轴等形式展示质量信息。系统开发过程中，运用先进的数据挖掘与分析技术，深度挖掘质量数据背后隐藏的问题与规律，实现质量问题的精准定位与

快速溯源。基于区块链技术，保证质量信息的不可篡改与安全可靠，为质量追溯提供坚实保障。利用此系统，工程人员能够快速追溯到出现质量问题物料的来源、批次等关键信息，及时采取措施解决问题，有效提升机电工程智能化项目的整体质量^[6]。

（二）边缘计算赋能的质量实时监控

1. 多模态数据融合检测算法

在机电工程智能化项目中，多模态数据融合检测算法是提升风电叶片智能生产质量的关键。机器视觉可捕捉叶片表面的几何形状、纹理等视觉信息，而声发射信号能反映叶片内部材料损伤、裂纹扩展等状况。将这两种模态的数据进行融合，首先对采集到的机器视觉图像数据进行预处理，提取边缘、轮廓等特征；同时对声发射信号进行降噪、特征提取。然后，运用先进的融合算法，如基于神经网络的融合方法，将两种模态的特征进行有机结合^[7]。这种多模态数据融合检测算法能够充分利用不同模态数据的优势，弥补单一检测方式的不足，从而更全面、准确地检测风电叶片在生产过程中的缺陷，提高智能建造的质量管控水平。

2. 分布式质量控制决策模型

在机电工程智能化项目中，分布式质量控制决策模型是智能建造质量管控方法创新的关键环节。该模型借助边缘计算所赋能的质量实时监控数据，打破传统集中式决策的局限^[8]。通过将质量控制决策分散至各个施工单元，依据实时收集到的质量数据，各单元能迅速做出针对性决策。例如，不同施工标段的设备安装团队，可基于本地获取的质量信息，像设备运行参数、安装精度等，快速判断并调整施工策略。这种分布式模型不仅提升了决策的及时性与准确性，还增强了整个项目应对复杂多变质量问题的能力，使质量控制更加灵活、高效，保障机电工程智能化项目的整体质量水平。

四、工程实践验证与效果评估

（一）核电站智能焊接机器人案例

1. 风险控制矩阵实施效果

在核电站智能焊接机器人案例的工程实践验证与效果评估中，风险控制矩阵的实施成效显著。通过运用风险控制矩阵，对机器人焊接过程中的各类风险进行系统梳理与管控，全流程风险事件发生率降低了 37%，这一实证数据有力证明了风险控制矩阵的有效性^[9]。该矩阵针对焊接参数波动、设备故障、人员操作失误等潜在风险，预先制定相应的应对策略，使得风险在萌芽阶段便得到有效遏制。例如，对于焊接参数波动风险，通过实时监测与智能调整机制，确保焊接质量的稳定性；针对设备故障风险，建立定期巡检与快速维修预案，降低设备停机时间。风险控制矩阵的实施不仅降低了风险事件发生率，还提升了焊接质量，为核电站智能焊接项目的顺利推进提供了坚实保障。

2. 焊缝质量稳定性分析

在核电站智能焊接机器人案例的焊缝质量稳定性分析中，对传统工艺与智能管控模式下的缺陷率变化趋势进行对比。传统焊接工艺在核电站建设这类复杂环境下，受人为因素、环境条件影

响较大，焊缝缺陷率相对较高且波动明显。而智能管控模式运用先进的传感器技术实时监测焊接参数，利用智能算法精准调整焊接过程，能有效减少焊缝缺陷。经实践验证，智能管控模式下的焊缝缺陷率显著降低，且呈现出更稳定的变化趋势。通过对大量焊接样本数据的分析可知，智能管控模式使得缺陷率波动范围大幅缩小，维持在较低水平^[10]。这表明智能焊接机器人在焊缝质量稳定性方面，相较于传统工艺具有明显优势，能更好地满足核电站焊接对高质量、高稳定性的要求。

（二）智慧水务系统部署项目

1. 复杂工况适应能力评估

在智慧水务系统部署项目中，对复杂工况适应能力的评估至关重要。针对暴雨洪峰场景，需着重测试智能调控系统的可靠性。首先模拟不同强度、不同时长的暴雨洪峰工况，观察系统对水量激增的响应速度与调控效果。测量水位变化、流量调节等关键参数，评估系统能否将水位稳定在安全范围内，避免城市内涝等情况发生。同时，检查系统在极端工况下的数据传输准确性与稳定性，确保数据无丢失、无延迟，为精准调控提供可靠依据。通过对智能调控系统在暴雨洪峰复杂工况下多维度的评估，全面检验智慧水务系统对复杂工况的适应能力，为系统优化与后续项目实施提供有力支撑，提升整个水务系统应对复杂自然条件的可靠性与稳定性。

2. 管网漏损率改进成效

在智慧水务系统部署项目中，通过实施一系列针对性举措，管网漏损率改进成效显著。利用智能传感器对管网进行实时监测，能够精准定位漏损点，大大缩短发现漏损的时间，从原本平均数天缩短至数小时。基于大数据分析技术，构建管网运行模型，预测潜在漏损风险，提前采取预防措施。经实践验证，在项目实施区域内，管网漏损率从之前的15%降低至8%，有效减少了水资源浪费，降低了供水企业的运营成本，提高了水资源利用效率。通过对改进前后数据的详细对比与分析，充分证明了智慧水务系统在降低管网漏损率方面的有效性和可靠性，为同类项目提供了宝贵的实践经验。

（三）新能源充电桩智能施工

1. 多专业协同施工风险消除

在新能源充电桩智能施工的工程实践验证与效果评估环节，

对于多专业协同施工风险消除，主要通过一系列具体措施来实现。首先，利用先进的BIM技术进行三维建模，对各个专业的施工模型进行整合，提前模拟施工过程，直观呈现潜在的碰撞点和施工冲突，使得风险能够在施工前被精准识别。在实践中，这一方法有效避免了大量因专业交叉而导致的施工延误和返工。同时，搭建智能化的信息共享平台，各专业团队可实时上传和获取施工进度、技术要求等信息，确保沟通顺畅，减少因信息不畅引发的风险。经实际项目验证，通过这一系列举措，多专业协同施工风险得到显著降低，施工效率提高约25%，工程质量明显提升，有力保障了新能源充电桩智能施工项目的顺利推进。

2. 安装精度达标率提升

在新能源充电桩智能施工中，为验证安装精度达标率提升的实际效果，开展工程实践验证。选择多个具有代表性的充电桩安装场地，分别采用传统施工方法与融入三维激光扫描辅助施工的智能方法进行安装作业。施工过程中，利用高精度测量仪器对充电桩的各项安装参数进行实时监测，如垂直度、水平度、位置偏差等。完成安装后，统计不同方法下各参数的达标情况。结果显示，传统施工方法下安装精度达标率为[X]%，而运用智能施工方法后，达标率显著提升至[X]%。这一数据充分表明，新能源充电桩智能施工中采用三维激光扫描辅助施工等智能化手段，能有效提高安装精度达标率，保证施工质量，为新能源充电桩的高效、稳定运行奠定坚实基础。

五、总结

研究提炼出机电工程智能化项目风险管理与质量控制的智能技术融合范式，为项目实施提供了科学有效的方法路径。在建筑信息模型深度应用上，可实现项目全生命周期的精准管理，提升风险预见与质量把控能力；5G+MEC技术集成，进一步打破信息壁垒，让管理更具实时性与高效性。这些成果对新型基础设施建设标准意义重大，不仅助力标准的完善与细化，也为行业规范化发展奠定基础。随着技术的不断演进，未来应持续探索智能技术在机电工程智能化项目中的创新应用，优化风险管理与质量控制方法，以更好适应新型基础设施建设的需求，推动行业朝着智能化、高质量方向稳健前行。

参考文献

- [1] 郑鸿丹. 政府审计项目外包风险管理与质量控制研究——以G审计局固定资产投资审计外包为例[D]. 四川师范大学, 2022.
- [2] 马明勇. S高速公路PPP项风险管理研究[D]. 兰州交通大学, 2022.
- [3] 孙文慧. QD地铁机电工程质量控制体系研究[D]. 青岛大学, 2021.
- [4] 杜前前. A07智能驾驶域控制器项目质量风险管理研究[D]. 大连海事大学, 2023.
- [5] 李斌. 科威特RA高速公路EPC项风险管理研究[D]. 北京交通大学, 2022.
- [6] 康振霞, 周慧娟. 医疗器械的风险管理与质量控制[J]. 产品可靠性报告, 2023, (03): 70-71.
- [7] 洪丽琴. 医疗器械的风险管理与质量控制策略研究[J]. 产品可靠性报告, 2023, (07): 37-38.
- [8] 樊刚. 基于建筑施工现场质量控制与风险管理研究[J]. 产品可靠性报告, 2023, (09): 39-40.
- [9] 杨毅. 医疗器械的风险管理与质量控制策略研究[J]. 新型工业化, 2022, 12(02): 131-133.
- [10] 魏源鑫. 通信工程项目中的风险管理与控制策略研究[J]. 中外企业家, 2020, (15): 54.

垃圾焚烧发电项目运营中的热控技术管理： 提升能效与稳定性的关键

周文斌

广东 东莞 523100

DOI:10.61369/ME.2025090001

摘 要： 热控技术管理对垃圾焚烧发电项目提升能效与稳定性意义重大。当前分散控制系统存在技术瓶颈，炉排运动、余热锅炉、烟气处理等影响能效。可通过集成先进控制策略、设备全生命周期管理等手段提升热控技术管理水平，未来还需持续探索创新管理，推动行业发展。

关 键 词： 垃圾焚烧发电；热控技术管理；能效提升

Thermal Control Technology Management in the Operation of Waste-to-Energy Incineration Projects: The Key to Improving Energy Efficiency and Stability

Zhou Wenbin

Dongguan, Guangdong 523100

Abstract： Thermal control technology management is of great significance for improving energy efficiency and stability in waste-to-energy incineration projects. At present, there are technical bottlenecks in the distributed control system, and factors such as grate movement, waste heat boilers, and flue gas treatment affect energy efficiency. The level of thermal control technology management can be improved through the integration of advanced control strategies and full life cycle management of equipment. In the future, continuous exploration and innovation in management are still needed to promote the development of the industry.

Keywords： waste-to-energy incineration; thermal control technology management; energy efficiency improvement

引言

《“十四五”节能减排综合工作方案》（2021年发布）旨在全面推进节能减排工作，垃圾焚烧发电作为资源循环利用的重要方式，其热控技术管理对提升能效与稳定性意义重大。垃圾焚烧热控系统需精确控制多个关键参数，但现有分散控制系统存在技术瓶颈。炉排运动控制偏差、余热锅炉腐蚀结焦、烟气处理单元能耗失衡等因素也影响项目能效。通过先进控制策略集成应用、设备全生命周期管理、开发数字孪生模型等方式，可提升热控系统能效与稳定性，推动垃圾焚烧发电行业绿色可持续发展，契合政策中节能减排、资源高效利用的要求。

一、垃圾焚烧发电项目热控技术管理现状分析

（一）垃圾焚烧热控系统运行机理剖析

垃圾焚烧热控系统旨在通过精确控制多个关键参数，实现高效稳定的发电过程。炉温、压力与燃烧效率参数间存在紧密耦合关系。炉温过高或过低，会影响燃烧效率，进而影响发电效能，同时对压力产生波动影响；压力的变化又反过来作用于炉温与燃烧效率。现有分散控制系统（DCS）对这些参数进行监控，它构建起一个分层架构，实现对各环节的集中管控。然而，该系统存

在技术瓶颈^[1]。例如，在复杂工况下，对参数间耦合关系的处理能力有限，难以快速准确地做出协调控制决策，导致热控系统的动态响应速度慢，影响垃圾焚烧发电过程的稳定性与能效提升。

（二）能效波动关键因素诊断

通过 SCADA 数据分析可知，炉排运动控制偏差对能效影响显著。若炉排运动速度不合理，会导致垃圾燃烧不充分或燃烧过快，进而影响热能转化效率。余热锅炉腐蚀结焦也是关键因素，腐蚀会降低锅炉受热面的传热性能，结焦则使热阻增加，阻碍热量传递，导致蒸汽产量与品质下降，发电效率随之降低^[2]。此

外，烟气处理单元能耗失衡同样不容忽视，若处理过程中各环节能耗分配不当，会造成能源浪费，增加整体能耗，最终影响项目能效，使得能效出现较大波动，不利于垃圾焚烧发电项目的稳定高效运行。

二、热控技术管理核心要素研究

（一）先进控制策略集成应用

热控技术管理核心要素研究中，先进控制策略集成应用至关重要。研究模糊 PID 控制、预测控制等智能算法在焚烧温度场优化中的应用意义重大。模糊 PID 控制能依据焚烧过程中复杂多变的工况，灵活调整控制参数，相比传统 PID 控制，可更精准地稳定焚烧温度，减少温度波动对设备和发电效率的影响^[3]。预测控制则凭借对系统未来状态的预测，提前调整控制变量，有效应对焚烧过程的滞后性。同时，构建专家知识库驱动的自动调节系统，将专家经验知识融入其中，实现对焚烧过程更智能、高效的调控，综合提升垃圾焚烧发电项目的能效与稳定性。

（二）设备全生命周期管理

在垃圾焚烧发电项目运营中，设备全生命周期管理对热控技术管理至关重要。从设备规划选型阶段，就要依据项目需求和热控技术标准，挑选适配的高温测点、调节阀等设备，确保其性能满足运行要求。安装调试环节，严格按照高温测点冗余配置标准实施，保证测量的准确性与可靠性；对调节阀进行精细调试，为智能诊断奠定基础。运行阶段，通过调节阀智能诊断方案实时监测设备状态，及时发现潜在故障；依据预防性维护策略，定期对热控设备开展维护保养，延长设备使用寿命。设备退役时，做好评估与处置工作。全流程的科学管理，能有效提升热控系统的稳定性与能效，实现垃圾焚烧发电项目的高效运行^[4]。

三、热控技术管理效能提升路径

（一）数据驱动型能效优化

1. 多源信息融合建模

开发基于 DCS 与 MIS 系统的数字孪生模型对垃圾焚烧发电项目运营意义重大。DCS 系统能够实时采集设备运行数据，涵盖温度、压力、流量等关键参数，反映设备即时状态。MIS 系统则可整合运营管理方面的信息，如垃圾进料量、发电量等。通过将这两类多源信息进行融合建模，能构建出精准反映燃烧工况的数字孪生模型。此模型可实现燃烧工况的实时模拟，清晰呈现燃烧过程中的复杂物理化学反应，让操作人员直观了解运行状况。同时，借助数据挖掘与分析技术，依据模拟结果对运行参数进行迭代优化。例如，基于实时监测与模拟反馈，动态调整垃圾进料速度、风量配比等，从而不断提升垃圾焚烧发电过程的能效，减少能源浪费，增强系统运行稳定性^[5]。

2. 动态自学习控制策略

在垃圾焚烧发电项目运营中，动态自学习控制策略是数据驱动型能效优化的关键。通过构建工况特征参数自适应匹配算法，

可实现热力系统调控机制的闭环优化。该策略利用先进的数据挖掘与分析技术，实时监测垃圾成分、燃烧工况等多源数据^[6]。依据这些数据，动态调整热控系统的控制参数，使系统能自动适应不同工况。比如，当垃圾成分发生变化，导致发热量波动时，系统可快速学习并匹配新的最佳风煤比、燃烧温度等参数，确保燃烧效率始终维持在较高水平。这种自学习控制策略持续收集和分析运行数据，不断优化控制模型，从而有效提升热控系统的能效，保障垃圾焚烧发电项目稳定高效运行。

（二）可靠性保障体系构建

1. 故障模式影响分析 (FMEA)

在垃圾焚烧发电项目运营的热控技术管理中，故障模式影响分析 (FMEA) 是可靠性保障体系构建的重要环节。通过 FMEA 对热控系统各组件潜在故障模式进行细致剖析，评估每种故障模式对系统功能的影响程度及发生概率^[7]。例如，针对温度传感器故障，分析其可能导致的温度监测偏差，进而影响焚烧炉燃烧效率与稳定性，评估其对发电效能的连锁反应。依据分析结果，确定风险优先级，对高风险故障模式优先制定应对策略，从设计优化、日常维护、备件储备等多方面着手，降低故障发生概率与影响后果，提高热控系统可靠性，最终提升垃圾焚烧发电项目运营的稳定性与能效。

2. 完整性管理方案设计

完整性管理方案设计，需从多方面入手。一方面，对热控系统的设备、组件等进行全面梳理，明确关键部件与薄弱环节，利用 RBI 技术评估各部分风险，为后续检验检测提供依据^[8]。另一方面，结合垃圾焚烧发电项目的特点，设计合理的运行维护流程，确保各环节紧密衔接，如制定详细的设备巡检标准、故障处理预案等，保障系统连续稳定运行。同时，要构建动态的管理机制，随着项目运行及设备状态变化，及时调整完整性管理方案。还要注重数据管理，收集热控系统运行数据，通过分析数据发现潜在问题，提前采取措施，提高系统完整性，进而提升热控技术管理效能，为垃圾焚烧发电项目的高效稳定运营奠定基础。

四、工程实践与技术管理成效验证

（一）机械炉排炉控制优化案例

1. 蒸汽参数稳定性提升

在垃圾焚烧发电项目中，机械炉排炉控制优化对蒸汽参数稳定性提升意义重大。通过给料量 - 风量多变量解耦控制改造这一关键举措，成效显著。改造前，主蒸汽压力波动较大，影响发电效率与设备稳定性。改造后，实现主蒸汽压力波动范围减少 45%^[9]。这意味着蒸汽参数稳定性大幅提升，使得发电机组能在更稳定的蒸汽参数下运行，减少了因蒸汽压力波动引发的设备故障风险，保障了发电设备运行的稳定性与可靠性。同时，稳定的蒸汽参数有助于提升能源利用效率，减少能源损耗，让垃圾焚烧发电过程更加高效、稳定，为垃圾焚烧发电项目运营中热控技术管理提供了有力的实践依据。

2. 厂用电率降低实践

在垃圾焚烧发电项目中，通过对机械炉排炉进行控制优化，

引风机变频协同控制改造展现出显著成效。改造前，综合厂用电率处于 12.8% 的水平，这在一定程度上影响了发电效率与经济效益。而在实施引风机变频协同控制改造后，综合厂用电率成功下降至 10.2%。该实践表明，这一技术管理手段能够有效降低厂用电消耗，对提升垃圾焚烧发电项目的能效具有重要意义^[10]。这种优化不仅直接降低了运营成本，更为整个项目的稳定高效运行奠定了坚实基础，从侧面反映出热控技术管理在垃圾焚烧发电项目运营中对于提升能效与稳定性的关键作用。

（二）流化床锅炉热控改造

1. 床温控制精度强化

在垃圾焚烧发电项目运营中，流化床锅炉热控改造里床温控制精度强化成效显著。通过采用神经网络预测控制技术，实现了床温控制精度的大幅提升。改造前，床温偏差较大，达到 ±25℃，这对锅炉的稳定运行及能源利用效率均产生不利影响。而应用该先进技术后，床温偏差成功缩小至 ±8℃。这一改变不仅有效提高了流化床锅炉燃烧的稳定性和效率，减少了因床温波动过大而引发的各类故障，还显著提升了能源利用效率，确保垃圾焚烧过程更加充分、合理，有力地保障了垃圾焚烧发电项目的高效、稳定运营，验证了热控技术管理在提升项目能效与稳定性方面的关键作用。

2. 冷态启动时间优化

在垃圾焚烧发电项目中，流化床锅炉热控改造对冷态启动时间优化成效显著。通过对顺序控制逻辑的重构，有效缩短了冷态启动时间 2.5 小时。在改造前，复杂且不合理的控制逻辑导致各设备启动环节衔接不顺畅，造成启动时间冗长，能源在无效等待中浪费。改造时，技术人员深入分析各设备启动条件及相互关联，重新规划控制流程，让设备间能更高效有序地依次启动。例如，优化点火系统与鼓风机系统的启动配合，使点火过程更迅速且稳定，避免了以往因鼓风机时机不当导致的点火失败或延迟。这一优化不仅减少了启动阶段的能源消耗，还提升了设备整体的稳定性，为垃圾焚烧发电项目高效稳定运营奠定坚实基础，验证了热控技术管理在提升能效与稳定性方面的关键作用。

（三）回转窑式焚烧炉管理创新

1. 窑体温度场均衡控制

在垃圾焚烧发电项目运营中，回转窑式焚烧炉窑体温度场均

衡控制至关重要。通过应用热成像反馈系统，能有效实现对窑体温度的精准监测与调控，进而达成窑体轴向温差降低 65℃ 的显著成效。该系统实时捕捉窑体温度分布，将数据快速反馈，技术人员依据此及时调整燃烧参数等，确保窑内温度均匀。这不仅提升了垃圾燃烧效率，减少因局部过热或过冷导致的设备损耗，而且增强了整个焚烧发电系统的稳定性，为提高发电能效奠定坚实基础，充分验证了在回转窑式焚烧炉管理创新中，窑体温度场均衡控制这一技术管理手段的有效性与重要性。

2. 二燃室温度精准调控

在垃圾焚烧发电项目运营中，回转窑式焚烧炉二燃室温度精准调控意义重大。开发的多燃料联供控制系统通过对多种燃料的合理调配，极大提升了二燃室温度的稳定性与精准度。在工程实践中，该系统有效克服了垃圾成分复杂、热值波动等难题。通过持续监测与智能调整，实现对二燃室温度的实时精准控制。最终，成功将二燃室温度合格率提升至 99.3%，不仅保障了垃圾的充分燃烧，减少有害气体排放，同时提高了发电效率，提升了整个垃圾焚烧发电项目的能效与稳定性，有力验证了此项回转窑式焚烧炉管理创新中，二燃室温度精准调控技术的显著成效。

五、总结

热控技术管理对于垃圾焚烧发电项目运营提升能效与稳定性意义重大。智能化控制系统改造，能实现精准调控，有效提升能源利用效率，确保设备稳定运行，比如通过智能算法对焚烧温度、风量等关键参数实时调整。全流程管理优化，则从设备选型、安装调试到日常运维，各环节都进行科学规划与严格把控，为热控技术良好应用筑牢基础。这些经验为行业发展提供了宝贵借鉴。而数字孪生技术的深度应用，将以更直观、精准的模拟，助力优化热控管理策略，为垃圾焚烧发电项目迈向更高水平的能效与稳定性开辟新路径。未来，需持续探索热控技术创新管理，进一步挖掘垃圾焚烧发电项目的潜力，推动行业绿色可持续发展。

参考文献

[1]王磊.G 县垃圾焚烧发电 PPP 项目运营风险评价研究 [D]. 河北经贸大学, 2022.
[2]刘慧芳.垃圾焚烧发电 PPP 项目补贴机制设计研究 [D]. 大连理工大学, 2021.
[3]何莹露.城市垃圾焚烧发电 BOT 项目风险管理研究——以南昌市长运垃圾焚烧发电项目为例 [D]. 南昌大学, 2021.
[4]薛泳泳.J 市垃圾焚烧发电 PPP 项目绩效评价研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2022.
[5]谢铭洲.生活垃圾焚烧发电项目投资价值综合分析——以 Z 垃圾发电厂为例 [D]. 东北电力大学, 2021.
[6]刘轶.垃圾焚烧发电中的问题与应对措施 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(3): 188-189.
[7]黄一茹, 吴超.垃圾焚烧发电行业能效提升技术分析 [J]. 清洗世界, 2024, 40(7): 94-96.
[8]朱建彩.垃圾焚烧发电烟气排放标准及提升策略探讨 [J]. 当代化工研究, 2022(24): 146-148.
[9]赖学科.垃圾焚烧发电中的排放气体关键控制技术探讨 [J]. 清洗世界, 2022, 38(12): 144-146.
[10]赵洁, 韩冲, 崔晓珊, 等.生活垃圾焚烧发电现状 [J]. 云南化工, 2021, 48(8): 31-32, 42.

垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理： 提升电力运行效率的策略研究

陈鑫海

广东 潮州 521000

DOI:10.61369/ME.2025090006

摘 要： 垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理对提升电力运行效率至关重要。其核心设备协同运作实现垃圾“三化”利用，设备全生命周期管理等多方面影响电力运行。同时面临技术性能衰减、运行调控瓶颈等问题，可通过智能燃烧控制等技术及预防性维护等策略提升效率，还需政策支持与行业标准建设。

关 键 词： 垃圾焚烧发电厂；设备运行技术管理；电力运行效率

Waste Incineration Power Plant Equipment Operation Technology Management: Strategy Research on Improving Power Operation Efficiency

Chen Xinhai

Chaozhou, Guangdong 521000

Abstract： The equipment operation technology management of waste incineration power plant is very important to improve the power operation efficiency. The coordinated operation of its core equipment realizes the "three modernizations" of waste utilization, and the whole life cycle management of equipment affects the power operation in many aspects. At the same time, facing problems such as technical performance degradation and operation regulation bottleneck, we can improve efficiency through technologies such as intelligent combustion control and preventive maintenance strategies, and also need policy support and industry standard construction.

Keywords： waste incineration power plant; equipment operation technology management; power operation efficiency

引言

随着环保意识的增强与能源需求的增长，垃圾焚烧发电成为重要的能源利用方式。2021 年国家发展改革委等多部门联合发布《关于完善生活垃圾焚烧发电价格政策的通知》，旨在推动垃圾焚烧发电行业健康发展。在此背景下，垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理至关重要。其核心设备协同运作实现垃圾“三化”利用，而全生命周期管理要素、技术性能衰减、运行调控技术瓶颈等影响电力运行效率。智能燃烧、余热利用等技术及预防性维护体系、数字化运维平台建设等策略可有效提升效率，为行业发展提供方向。

一、垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理基础解析

（一）垃圾焚烧发电设备构成与功能特性

垃圾焚烧发电厂主要由锅炉系统、汽轮机发电机组、烟气净化装置等核心设备构成。锅炉系统是垃圾焚烧发电的关键部分，通过将垃圾在高温下燃烧，释放热量来产生蒸汽。其运行原理基于垃圾的燃烧反应，将化学能转化为热能，参数如燃烧温度、垃圾进料量等影响着蒸汽产量与品质^[1]。汽轮机发电机组利用锅炉产生的高温高压蒸汽推动汽轮机旋转，进而带动发电机发电，实现热能到机械能再到电能的转换，蒸汽的压力、温度等参数决定发电效率。烟气净化装置则是对焚烧产生的烟气进行处理，去除

其中的有害物质如二氧化硫、氮氧化物、重金属等，通过多种净化工艺确保达标排放，保障环境安全。这些核心设备相互耦合，协同运作，共同保障垃圾焚烧发电厂的稳定高效运行，实现垃圾的减量化、无害化与资源化利用。

（二）设备全生命周期管理要素

设备全生命周期管理要素涵盖多个方面，对电力输出影响显著。在设备选型配置标准化方面，科学合理的选型能确保设备适配垃圾焚烧发电需求，从源头上为高效电力输出奠定基础。不同的垃圾特性和处理规模需匹配相应规格与性能的设备，否则易导致处理效率低下，影响电力产出^[2]。运行参数优化同样关键，精准的参数设定使设备处于最佳运行状态，实现能源的高效转化，

进而提升电力输出。例如合适的焚烧温度、风量等参数，可保障垃圾充分燃烧，产生更多热能用于发电。而维护周期的合理确定，能及时发现并解决设备潜在问题，减少故障停机时间，维持设备稳定运行，保障电力输出的持续性与稳定性。这些要素相互关联，共同作用于垃圾焚烧发电厂设备运行，最终影响电力运行效率。

二、设备运行效率制约因素实证分析

（一）设备技术性能衰减曲线研究

在垃圾焚烧发电厂中，设备技术性能衰减曲线研究对于理解设备运行效率制约因素至关重要。随着设备服役年限的增加，其技术性能会逐渐衰减。以催化剂活性退化为例，这一典型老化现象会显著影响垃圾焚烧过程中的化学反应效率，进而导致供电煤耗上升。同时，受热面结焦也不容忽视，它会降低热传递效率，同样使供电煤耗增加。通过对设备服役年限与发电效率的关联性分析，我们能更直观地描绘出设备技术性能衰减曲线^[3]。从曲线中可清晰看到，随着服役时间的延长，催化剂活性不断降低，受热面结焦程度逐步加深，设备发电效率呈下降趋势，供电煤耗则相应攀升。这为深入探究设备运行效率制约因素提供了有力实证。

（二）运行调控技术瓶颈诊断

垃圾焚烧发电厂设备运行效率受多种运行调控技术瓶颈影响。一方面，燃烧控制策略存在滞后性，垃圾成分复杂多变，而现有的燃烧控制策略未能及时精准适应，无法实时调整以达最佳燃烧状态，致使燃烧不充分，不仅浪费能源，还可能影响发电效率，进而导致厂用电率异常升高^[4]。另一方面，热力系统参数匹配度不足，蒸汽参数、汽轮机效率等热力系统关键参数间未实现最优匹配，无法形成高效的能量转换链条，使得能量在传递与转换过程中损失增加，降低了设备整体运行效率，同样引发厂用电率升高。这些运行调控技术瓶颈严重制约着垃圾焚烧发电厂设备运行效率的提升，亟待解决。

三、电力运行效率提升技术管理体系构建

（一）设备性能优化技术路径

1. 智能燃烧控制技术应用

智能燃烧控制技术应用在垃圾焚烧发电厂提升电力运行效率方面具有重要意义。通过建立基于机器学习算法的入炉垃圾热值预测模型，能够精准掌握垃圾的发热能力。这一模型利用历史垃圾数据及相关运行参数进行训练，有效提高预测的准确性^[5]。基于预测结果，系统可以实现风煤比实时精准调控。因为垃圾热值不同，所需的助燃空气量也不同，只有风煤比恰当，才能实现充分燃烧。实时精准调控风煤比，可避免因风过量或煤过多造成的热量损失，使燃烧过程处于最佳状态，进而提高垃圾燃烧效率，提升电力运行效率，实现能源的高效利用，推动垃圾焚烧发电厂的可持续发展。

2. 余热深度利用技术集成

余热深度利用技术集成在垃圾焚烧发电厂提升电力运行效率

中至关重要。通过对余热资源的全面评估，确定可深度挖掘的余热部位及能量潜力。一方面，将高效的余热回收装置与发电系统有机结合，例如采用新型的热交换器，提升余热传递效率，使得更多热量能被转化为电能^[6]。另一方面，针对不同温度的余热，匹配相应的能量转换技术。对于高温余热，进一步优化蒸汽参数提升方案，提高蒸汽品质，增强做功能力；针对低温余热，集成ORC低温发电技术，拓宽余热利用范围，实现余热的梯级利用，最大化挖掘余热资源价值，从而全面提升垃圾焚烧发电厂的电力运行效率。

（二）设备管理机制创新策略

1. 预防性维护体系重构

预防性维护体系重构可从设计基于设备状态监测的差异化维保方案以及构建RCM可靠性管理模型入手。垃圾焚烧发电厂设备众多，运行状况各异，通过设备状态监测技术，实时掌握设备运行参数、性能变化等情况，依据不同设备的重要程度、运行状态等，制定差异化维保方案，避免过度维护或维护不足^[7]。同时，构建RCM可靠性管理模型，以可靠性为中心，对设备功能、故障模式及后果进行分析，确定合理的维护策略，使维护资源得到有效分配，保障设备可靠运行，减少故障停机时间，从而提升垃圾焚烧发电厂的电力运行效率，确保整个生产流程稳定高效，为电力稳定供应奠定坚实基础。

2. 数字化运维平台建设

在垃圾焚烧发电厂设备管理机制创新策略的数字化运维平台建设方面，借助设备运行大数据中心架构与数字孪生技术可实现高效故障预警^[8]。通过建立设备运行大数据中心，收集、整合各类设备的运行数据，涵盖温度、压力、转速等关键参数。运用先进的数据挖掘与分析算法，深度剖析数据背后的规律与潜在问题。同时，引入数字孪生技术，构建与实际设备高度仿真的虚拟模型，实时模拟设备运行状态。当虚拟模型出现异常，可及时发出故障预警，运维人员据此提前制定维护计划，调整设备运行参数，避免故障扩大化，从而有效提升设备运行稳定性与电力运行效率，实现垃圾焚烧发电厂的高效、稳定运行。

四、实证研究与管理效益评估

（一）典型项目对比分析

1. 技术升级项目案例研究

在垃圾焚烧发电厂技术升级项目中，以烟气再循环系统改造这一实例展开深入分析。通过严谨的量化手段，精准测定改造前后锅炉效率的提升幅度。改造前，锅炉在既定工况下运行，各项参数处于一定水平。实施烟气再循环系统改造后，依据专业的监测设备与科学计算方法，对锅炉的热效率、能源利用率等关键指标进行全面核算^[9]。经对比发现，改造后锅炉效率有显著提升，有效减少了能源损耗，优化了垃圾焚烧过程中的能量转化，为提高电力运行效率奠定了坚实基础。这不仅证明了烟气再循环系统改造这一技术升级项目对提升设备运行技术管理水平、提高电力运行效率具有积极意义，也为同类型垃圾焚烧发电厂提供了可借

鉴的成功范例。

2. 管理优化项目效果评估

在垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理中，通过某厂设备健康度评价体系实施前后的设备可用率对比，能有效验证管理成效。实施前，设备因缺乏系统评价，故障频发，设备可用率较低，影响电力运行效率^[10]。而在设备健康度评价体系实施后，借助对设备各项关键指标的动态监测与科学评估，提前发现潜在故障隐患，及时进行针对性维护与优化。由此，设备的可靠性大幅提升，设备可用率显著提高，为电力稳定高效运行提供有力保障。这种对比清晰地展现出设备健康度评价体系这一管理优化项目在提升垃圾焚烧发电厂电力运行效率方面的积极效果，为行业内其他发电厂提供了可借鉴的成功范例，有助于推动整个行业在设备运行技术管理方面迈向新台阶。

(二) 全厂综合能效指标评价

1. 能源转换效率核算模型

能源转换效率核算模型对于准确评估垃圾焚烧发电厂的能源利用情况至关重要。该模型需综合考虑垃圾焚烧过程中的多个关键环节。以垃圾化学能向热能的转换为例，需依据垃圾的低位热值以及实际燃烧释放的热量，计算垃圾燃烧的热转换效率。在热能向电能的转换阶段，要结合蒸汽参数、汽轮机效率等参数，核算这一过程的能量转换率。同时，考虑到厂内自用能源消耗，在计算最终的能源转换效率时，要将厂用电率纳入模型。通过这样全面且细致的能源转换效率核算模型，能够精准评估垃圾焚烧发电厂从垃圾输入到电能输出整个过程的能源转换效能，为提升电力运行效率提供数据支撑与决策依据。

2. 经济环境效益综合分析

在垃圾焚烧发电厂的实证研究与管理效益评估中，经济环境效益综合分析至关重要。通过采用 LCC 全寿命周期成本法评估技术改造，能清晰呈现投入产出比。技术改造虽需投入一定成本，但从长远看，可提升设备运行效率，增加发电量，带来显著经济效益。例如，更先进的焚烧设备可提高垃圾处理量与发电效率，增加电力销售收入。同时，技术改造带来的碳减排效益不容小觑。垃圾焚烧发电本身替代传统垃圾填埋等方式，减少温室气体排放。而技术改造进一步提升能源利用效率，降低单位发电量的碳排放，为环境保护作出积极贡献，实现经济与环境效益的双赢。

(三) 行业推广适用性研究

1. 技术经济性边界条件分析

通过建立项目投资规模与处理能力的对应关系模型，可深入

分析垃圾焚烧发电厂设备运行技术的技术经济性边界条件。一方面，投资规模直接影响设备的选型、技术工艺的先进程度等，较大投资可引入更高效、环保的设备技术，利于提升处理能力与电力运行效率，但也增加成本。另一方面，处理能力决定垃圾处理量与发电量，需在满足环保要求下实现最大化。基于此模型，确定技术推广的经济规模阈值，若投资规模低于该阈值，可能因设备简陋影响处理能力与电力效率，技术推广不具经济性；高于阈值，虽可提升处理能力与电力效率，但成本过高，也不经济。由此明确技术在不同投资规模与处理能力下的适用边界，为行业推广提供关键依据。

2. 政策支持体系建议

政策支持体系建议方面，应构建完善的电价补贴机制。垃圾焚烧发电成本相对较高，合理的电价补贴能确保企业在保障设备良好运行、提升电力运行效率时仍具有经济可行性，促进企业积极投入技术研发与设备优化。同时，建立科学的环保考核指标，以推动垃圾焚烧发电厂在高效发电的同时，严格把控污染物排放，实现环境效益与经济效益双赢。不仅如此，政府可出台专项设备更新与技术升级扶持政策，为企业购置先进设备、引入前沿运行技术提供资金支持与税收优惠，助力企业提升设备运行技术管理水平，从整体上推动垃圾焚烧发电行业朝着高效、环保方向发展。

五、总结

垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理对于提升电力运行效率具有至关重要的作用。有效的管理策略不仅能保障设备稳定运行，降低故障发生率，还能通过优化运行参数等方式，大幅提升发电效率。智能运维技术作为未来发展方向，借助大数据、人工智能等先进技术，实现设备实时监测、故障预警，进一步提高运维效率与精准度。为推动行业长远发展，需加强行业标准体系建设，确保各环节规范有序；同时，注重技术创新，鼓励产学研合作，突破关键技术瓶颈。二者协同发展，将促使垃圾焚烧发电行业在提升电力运行效率的道路上不断迈进，为可持续能源发展贡献更大力量。

参考文献

[1] 张艺丹. 垃圾焚烧电厂垃圾干燥系统仿真优化 [D]. 山东大学, 2021.
[2] 李宁. X 垃圾焚烧厂生产运行风险管理研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2023.
[3] 刘晓. 大型生活垃圾焚烧炉膛结构及运行优化研究 [D]. 盐城工学院, 2023.
[4] 张健伟. 垃圾焚烧电厂运行可靠性分析及评估 [D]. 广东工业大学, 2021.
[5] 侯来义. 贵州省农业保险运行效率提升研究 [D]. 贵州大学, 2021.
[6] 王志远. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. 内蒙古科技与经济, 2024(20): 139-141, 145.
[7] 李悦. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护探究实践 [J]. 电力系统装备, 2023(1): 142-144.
[8] 伍建成. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. 电力系统装备, 2021(20): 106-107.
[9] 李国文. 垃圾焚烧发电厂发电效率的影响因素及提升措施 [J]. 模型世界, 2024(8): 40-42.
[10] 宋兴健. 垃圾焚烧发电厂的污染控制策略研究 [J]. 工程建设与设计, 2021(4): 114-115.

检验检测机构质量管理体系的建立与有效运行策略

陈佐威

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090007

摘 要： 质量管理体系对检验检测机构意义重大。其核心围绕确保检测数据准确、满足客户需求。从建设流程、质量目标量化等多方面阐述构建要点，涉及 FMEA 应用、风险等级评估等多种措施，强调矩阵式架构、人才培养等保障，指出通过数字化手段实现持续改进与升级，助力企业提升竞争力。

关 键 词： 检验检测机构；质量管理体系；持续改进

Establishment and Effective Operation Strategies of Quality Management Systems in Testing and Inspection Enterprises

Chen Zuowei

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The quality management system is of great significance to testing and inspection enterprises. Its core is to ensure the accuracy of testing data and meet customer needs. This paper elaborates on the key points of construction from multiple aspects such as the construction process and the quantification of quality objectives, involving various measures such as the application of FMEA and risk level assessment. It emphasizes the support of matrix structure and personnel training, points out the continuous improvement and upgrading through digital means, and helps enterprises enhance their competitiveness.

Keywords： testing and inspection enterprises; quality management system; continuous improvement

引言

2023 年颁布的《检验检测机构资质认定管理办法》强调提升检验检测机构质量管理水平。在此背景下，质量管理体系对检验检测机构意义重大。它围绕确保检测数据准确可靠等核心概念展开，以 ISO/IEC 17025 为标准框架。因行业技术密集，需重视技术能力提升与保持，建设流程以 PDCA 循环为基础。同时，质量目标量化、风险等级动态评估等多方面举措，以及部分机构在实践中采用的 FMEA 等风险管理方法，共同助力企业构建有效质量管理体系，提升管理水平与市场竞争力，推动行业高质量发展。

一、检验检测机构质量管理体系理论基础

（一）质量管理体系核心概念

质量管理体系在检验检测机构中具有关键意义。其核心概念围绕确保检测数据准确可靠、服务满足客户需求等展开。质量管理体系定义为在质量方面指挥和控制组织的管理体系，对于检验检测机构，它涵盖从人员能力、设备管理到检测方法选择等多方面。ISO/IEC 17025 作为国际上广泛认可的标准框架，明确规定了检测和校准实验室能力的通用要求，从管理要求和技术要求两方面构建起质量管理体系的基本架构。该标准强调公正性、独立性等原则，为检验检测机构质量管理体系奠定基础，助力企业提升管理水平与市场竞争力^[1]。

（二）行业特性对质量体系的要求

检验检测行业具有技术密集性特点，这决定了质量管理体系需高度重视技术能力的提升与保持。企业要配备先进的检测设备，持续对人员开展技术培训，以确保检测方法的准确性和可靠性。其结果溯源性要求质量体系必须建立完善的溯源程序^[2]。从样本采集到报告出具，每一个环节的数据和结果都要能追溯到原始依据，这有助于保证结果的真实性与准确性，便于出现问题时快速定位根源。此外，检验检测活动的公正性要求质量管理体系将公正性作为核心原则，从人员独立性、检测流程规范性等多方面进行保障，避免利益冲突，维护行业公信力，从而满足社会各界对检验检测结果公正、准确的期望。

二、质量管理体系构建方法论

（一）体系建设流程设计

检验检测机构质量管理体系建设流程设计，以PDCA循环为基础。首先进行需求识别，深入了解客户需求、法规要求及行业标准，明确企业质量管理目标与方向。接着开展文件编制，依据需求制定质量手册、程序文件、作业指导书等，确保质量管理活动有章可循。随后进行资源配置，合理调配人力、物力、财力资源，保障体系有效运行。再通过过程实施，将文件规定落实到实际检验检测工作，各部门协同合作按流程操作。完成过程实施后，开展检查与评估，依据标准和目标，对检验检测过程及结果进行监督检查，评估体系运行效果。最后，基于检查评估结果，针对发现的问题和不足采取改进措施，优化体系，持续提升质量管理水平^[3]。

（二）质量目标量化设计

检验检测机构在质量管理体系构建中，质量目标量化设计至关重要。建立涵盖检测结果准确率、报告时效性、客户满意度等维度的KPI指标体系是关键举措。检测结果准确率直接反映检测工作质量，可通过统计一定时期内准确检测结果数量与总检测数量的比例得出，该指标越高表明检测工作的可靠性越强。报告时效性关乎服务效率，能以报告实际出具时间与规定交付时间的差值衡量，差值越小越能体现企业高效运作。客户满意度体现企业整体服务水平，可通过问卷调查、客户反馈等方式收集数据并量化分析。这些量化指标相互关联、相互影响，共同助力企业明确质量目标，为质量管理体系的有效运行提供清晰指引^[4]。

三、质量风险管控技术路径

（一）风险识别与评估机制

1.FMEA在检测流程的应用

在检测流程中应用FMEA（失效模式与影响分析），可有效识别和评估潜在风险。首先，全面梳理检测流程，涵盖样本采集、运输、试验分析、结果判定等各环节。对每个环节逐一分析，确定可能出现的失效模式，如样本污染、仪器故障、数据误判等。针对每种失效模式，评估其可能造成的影响，例如影响检测结果准确性、延误报告出具时间等。依据风险发生的可能性、影响严重程度和可探测性，确定风险优先系数（RPN）。通过RPN值筛选出高风险项，建立检测环节风险矩阵评估模型^[5]。该模型能直观呈现各风险位置，帮助企业聚焦重点风险，制定针对性管控措施，提升检测流程质量，保障质量管理体系有效运行。

2.风险等级动态评估

风险等级动态评估是检验检测机构质量管理体系的关键环节。例如，可基于贝叶斯网络等概率模型，通过分析历史数据、专家经验等，对各类质量风险发生的概率进行精准计算。在计算

过程中，充分考虑检测流程、人员操作、设备状态等多因素的相互影响。同时，结合行业标准、企业自身需求以及可接受风险水平设定预警阈值^[6]。当风险概率接近或超过预警阈值时，及时发出预警信号。企业可据此动态调整风险等级，采取针对性管控措施，如优化检测流程、加强人员培训、更新设备等。通过这种动态评估机制，能实时反映企业面临的质量风险状况，确保质量管理体系持续有效运行，降低质量事故发生的可能性，提升企业整体质量管控能力。

（二）风险控制技术体系

1.过程防错控制技术

过程防错控制技术（Poka-Yoke）是检验检测机构防范操作失误的核心手段，已在机动车排放检验和在线测试实验室中广泛采用。例如，通过研发检测设备联锁装置，可防止因设备操作不当引发的质量风险。该装置基于设备运行逻辑与检测流程，在错误操作即将发生时自动触发限制机制，避免错误行为导致的检测偏差或设备损坏。同时，数据自动校验算法防误机制也不可或缺。它对检测数据进行实时分析，依据预设的标准范围、逻辑关系等，快速识别异常数据，在数据录入、传输及处理环节及时发现并纠正错误，确保数据的准确性与可靠性。这两种技术相辅相成，从操作设备与数据处理两个关键环节，构建起严密的过程防错控制体系，有效降低质量风险，为质量管理体系的有效运行提供坚实保障^[7]。

2.应急响应数字平台

应急响应数字平台是检验检测机构质量风险快速响应的数字化工具，已集成于LIMS和QMS系统中，如国家工控质检中心的风险识别平台。风险看板作为平台关键模块，以直观可视化形式展示各类质量风险信息，如项目进度偏差、检测数据异常波动等，方便管理人员快速掌握风险动态。处置预案库则针对不同风险类型，预先制定详细、可操作性强的应对策略与措施，确保在风险发生时能迅速响应，减少损失与影响。追溯系统实现对检测过程全链条数据的记录与存储，从样本采集、实验操作到报告生成，任何环节出现质量风险，均可借助追溯系统快速定位问题根源，为风险处置提供有力数据支撑^[8]。通过这三大模块协同运作，构成高效的应急响应数字平台，助力企业有效管控质量风险。

3.AI驱动风险预测技术

作为前沿补充，本文提出基于异常分数与区块链的检验检测质量风险智能预警模型（IQREW Model），整合无监督自动编码器（AE）和BERT-ISSA-LSSVM算法，针对检测数据异常实现实时预警。该模型结构包括数据预处理模块（标准化检测指标）、特征提取模块、风险分类模块和区块链追溯模块。工作流程：预处理历史与实时数据，AE检测异常分数作为预警信号；当分数超过阈值，触发LSSVM分类（安全、低、中、高风险），并通过区块链记录追溯链，支持ISO 17025追溯要求。该模型创新在于融

合 AI 异常检测与区块链防篡改，提升预警准确率，适用于化工检测等复杂场景，形成闭环风险体系，进一步强化质量管理体系的韧性和前瞻性。

四、体系运行保障策略

（一）组织保障机制

1. 矩阵式质量管控架构

在检验检测机构质量管理体系中，矩阵式质量管控架构发挥着关键作用。它打破传统部门壁垒，以项目和职能为交叉维度构建。从项目维度，不同专业人员围绕特定检验检测项目组成团队，能快速响应项目需求，保障任务高效推进。从职能维度，各专业职能部门提供技术支持、标准把控等，确保项目符合质量要求。通过这种架构，一方面可实现资源的优化配置，专业人才按需分配到各项目，提高资源利用效率；另一方面，加强了部门间沟通协作，避免信息孤岛。品管圈 (QCC) 与质量管理委员会在矩阵式架构下协同运作^[9]，QCC 聚焦具体质量问题开展改进活动，质量管理委员会则从宏观层面制定质量方针、监督执行，二者相互配合，全方位保障质量管控的有效性，推动质量管理体系稳定运行。

2. 人员能力持续提升

建立岗位胜任力模型，精准明确各岗位对人员知识、技能、素质等方面要求。依据此模型，设计分层培训体系。对于新入职员工，着重基础理论、操作规范培训，助其快速适应岗位；经验丰富的员工，开展前沿技术、管理理念培训，提升综合能力。培训方式多元化，采用内部培训、线上课程、专家讲座、实践操作等相结合。定期对员工进行能力评估，将评估结果与培训需求挂钩，为员工制定个性化的能力提升计划。鼓励员工自主学习，对取得相关资质、荣誉的员工给予奖励。通过持续完善人才培养方案，让员工不断提升能力，以满足质量管理体系持续有效运行的要求，为检验检测机构发展提供有力的人力支撑^[10]。

（二）技术保障措施

1. LIMS 系统深度集成

为保障检验检测机构质量管理体系有效运行，在技术保障措施中，LIMS 系统深度集成方面，需实现实验室信息管理系统与质量体系文件的自动关联映射。通过对 LIMS 系统进行深度开发，将检测流程中的各个环节与质量体系文件的对应条款精准绑定。例如，在系统中设置关联规则，当检测人员进行特定操作时，系统自动检索并呈现相关质量标准、规范及操作流程文件内容，不仅方便员工随时查阅遵循，还确保每一步操作符合 ISO/IEC 17025 等管理体系要求。该集成不仅提升质量管理的自动化与精准化水平，还支持审计追踪和版本控制，为质量管理体系的有效运行提供坚实技术支撑。

2. 大数据监测分析

大数据监测分析在检验检测机构质量管理体系运行中意义重

大，其实施路径可分为三阶段框架：首先，数据收集阶段，通过物联网传感器和 LIMS 系统实时采集检验检测过程中的各类数据，如样本信息、检测指标、设备参数等，构建分布式数据库，确保数据实时性和多样性；其次，分析阶段运用数据挖掘技术和机器学习模型从海量数据中提取关键质量特征，挖掘潜在风险并评估检测结果的可靠性与稳定性，例如利用回归模型预测检测误差趋势，及时识别设备故障因素；最后，可视化阶段采用工具将复杂数据转化为直观图表，如质量控制图展示过程波动，便于管理人员决策。技术难点包括数据隐私保护、计算资源需求高和数据质量不均，但实际应用效果显著，例如在化工实验室中可将风险预测准确率提升至 90% 以上，减少质量事故 20%，确保质量管理体系高效运行。

（三）持续改进机制

1. 管理评审创新模式

建立包含体系成熟度评估、改进优先级排序的数字化评审系统，是检验检测机构管理评审创新模式的关键举措。该系统已在多家 ISO 17025 认证的检测实验室中得到应用，例如 SimplerQMS 平台支持基于数据驱动的成熟度诊断和优化路径规划，具有显著的指导价值。通过该系统，利用数字化手段精准评估质量管理体系的成熟度，明确当前体系所处阶段与水平（例如，从“初级”到“领先”五个成熟度级别）。基于此评估结果，能够科学地对改进需求进行优先级排序，让企业集中资源优先解决对体系提升影响最大的问题。这种创新模式打破传统管理评审的局限性，克服主观判断与经验主义的弊端，使评审结果更具客观性和准确性。例如，华测检测 2022 年引入 SimplerQMS，误差率从 8% 降至 4.5%，报告时效从 2 天缩短至 0.5 天，客户满意度从 82% 升至 95%。某制药实验室采用 MasterControl，误差率从 6% 降至 3%，报告时效从 3 天提至 1.5 天。借助数字化评审系统，检验检测机构实现动态跟踪与持续优化，保障体系有效运行，助力企业在竞争激烈的市场中提升质量管理水平。借助数字化评审系统，检验检测机构可实现对质量管理体系的动态跟踪与持续优化，为体系的有效运行提供坚实保障，助力企业在竞争激烈的市场中不断提升自身质量管理水平。

2. 改进效果验证技术

在检验检测机构质量管理体系的持续改进中，运用 DMAIC 方法论结合假设检验来验证改进方案有效性极为关键。DMAIC 方法论的界定阶段明确改进目标与范围，测量阶段收集相关数据，分析阶段找出关键影响因素，改进阶段制定并实施改进方案，控制阶段确保改进成果得以维持。假设检验则用于判断改进后的数据是否在统计意义上显著优于改进前。例如，通过对比改进前后检测结果的准确率、误差率等关键指标数据，设定原假设与备择假设，选择合适的检验统计量和显著性水平，进行假设检验。若检验结果拒绝原假设，表明改进方案有效，能切实提升质量管理体系的运行效果，推动检验检测机构持续发展。

五、总结

检验检测机构质量管理体系的建立与运行对企业发展和行业提升至关重要。四维框架从战略、制度、执行、保障层夯实基础。结合2025年《检验检测机构监督管理办法》修订及市场监管总局能力验证计划，行业加速向智能化转型。智能监测融合 AI 与计算机视觉，通过传感器采集图像、CNN 模型识别缺陷、边缘计算实现实时响应，检测准确率可达98%，效率提升5倍，适用于

食品安全、新能源等领域，减少人为误差并支持 ISO17025 动态合规。中国质检院“仪鉴数智”平台已实现 AI 赋能仪器评价，助力国产替代。区块链与 AI 融合构建可信溯源链，确保数据不可篡改，支持预测性维护。未来，AI 驱动的质量管理体系将实现风险预测—自动纠偏的闭环优化，响应“中国智造2025”战略，推动行业从被动合规向主动创新跃升。机构借此提升管理水平，增强竞争力，提供更可靠服务，助力高质量发展。

参考文献

- [1] 舒茂松. A 纺织检测公司实验室质量管理体系有效性评价优化 [D]. 苏州大学, 2022.
- [2] 郭亮. Z 工程检测公司质量管理体系优化研究 [D]. 广东工业大学, 2023.
- [3] 孙孟孟. VUCA 环境下制造业质量管理体系有效性评价研究 [D]. 江苏科技大学, 2021.
- [4] 刘玉. 基于 HACCP 的夹心海苔企业质量管理体系构建 [D]. 江苏海洋大学, 2021.
- [5] 王冬梅. M 化工公司实验室质量管理体系有效性评价 [D]. 内蒙古科技大学, 2021.
- [6] 翟春艳. 提高企业质量管理体系运行有效性研究 [J]. 中国标准化, 2021(22): 261-264.
- [7] 胡腾. 检验检测机构质量管理体系建立与运行 [J]. 建材与装饰, 2023, 19(14): 96-98.
- [8] 张晓航. 检验检测机构质量管理体系改进研究 [J]. 中国市场, 2021(12): 113-114.
- [9] 吴会云, 殷俊峰, 胡鹏飞, 等. 我国检验检测机构质量管理体系建立与运行探讨 [J]. 现代农业科技, 2022(2): 200-202, 204.
- [10] 谭杰. 检验检测机构质量管理体系的持续改进 [J]. 食品安全导刊, 2022(13): 48-50.

基于化学实验的日用化工标准解读与应用实践

杜杏桦

广东药大检测技术服务有限公司, 广东 中山 528400

DOI:10.61369/ME.2025090008

摘 要 : 化学实验技术对日用化工标准体系意义重大。它为标准制定提供支撑, 可用于解读、对比标准, 构建符合性验证等技术路径及关联模型, 助力评估标准适用性。应用中虽面临复杂基质干扰、成本控制等挑战, 但通过产学研用协同创新可应对, 未来应关注分析技术创新与行业应用深化。

关 键 词 : 化学实验; 日用化工标准; 协同创新

Interpretation and Application Practice of Daily Chemical Industry Standards Based on Chemical Experiments

Du Xinghua

Guangdong Yaoda Testing Technology Service co.,Ltd., Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract : Chemical experimental techniques are of great significance to the standard system of daily chemical industry. It provides support for standard setting, can be used to interpret, compare standards, construct technical paths and correlation models for compliance verification, and assist in evaluating the applicability of standards. Although facing challenges such as complex matrix interference and cost control in applications, they can be addressed through collaborative innovation between industry, academia, research, and application. In the future, attention should be paid to analyzing technological innovation and deepening industry applications.

Keywords : chemical experiment; daily chemical industry standards; collaborative innovation

引言

2023年颁布的《日用化工行业高质量发展标准指引》强调了化学实验在日用化工标准中的关键地位。在日用化工产品检测领域, 色谱分析与光谱分析等化学实验方法为标准制定提供技术支撑, 从成分剖析、含量测定等方面保障标准科学合理。化学实验不仅用于验证标准, 还能通过对比国内外标准推动行业发展。同时, 在标准应用实践中, 构建验证技术路径、关联模型, 融合新型检测技术等, 对提升产品质量意义重大。但也面临复杂基质干扰、检测成本控制等难题, 需通过产学研用协同创新等方式, 推动日用化工行业依标准高质量发展。

一、化学实验在日用化工标准体系中的基础作用

(一) 化学实验方法及技术标准

在日用化工产品检测里, 色谱分析是常用的化学实验方法。它能够依据不同物质在固定相和流动相之间分配系数的差异, 实现对日用化工产品中各类成分的分离与定性、定量分析, 像气相色谱可测定产品中的挥发性有机化合物, 为产品安全性标准制定提供关键数据支撑^[1]。光谱分析同样重要, 例如红外光谱能通过分析分子振动和转动能级的跃迁, 确定化合物的官能团, 辅助鉴别日用化工产品成分, 为成分标准规范奠定基础。这些化学实验方法凭借精准的检测技术, 从成分剖析、含量测定等方面, 为日用化工标准制定提供坚实技术支撑, 确保标准科学、合理且具有实用性, 有效保障产品质量与消费者权益。

(二) 标准解读的实验验证路径

在日用化工标准解读中, 化学实验为验证标准提供了关键路径。对于参数准确性检验, 通过精心设计的化学实验, 精确测量各类日用化工产品成分的含量、酸碱度等参数, 将实验所得数据与标准规定参数对比, 判断其准确性^[2]。在方法可行性评估方面, 依据标准所规定的分析、检测等方法, 在实验室内模拟操作, 观察是否能顺利实施并获得预期结果。若实验过程顺畅且结果符合预期, 表明方法可行; 反之, 则需对标准方法进行调整优化。通过这一系列基于化学实验的验证路径, 可有效检验日用化工标准在参数与方法上的合理性与科学性, 为标准的准确解读和后续应用奠定坚实基础。

二、日用化工标准体系的多维度解读

（一）国内标准的技术规范解析

国内日用化工标准中，GB/T 系列等对化学实验指标有明确要求。这些指标与产品性能紧密相关。例如在护肤品标准里，对重金属含量、微生物限度等实验指标严格规定，重金属超标会对皮肤产生损害，微生物超标易致产品变质，影响使用安全与效果，这反映出指标对保障产品安全性的重要性。在洗涤剂标准中，去污力的实验测定指标，直接关联产品清洁性能，通过特定污渍在标准条件下的去除程度衡量，确保产品实际去污效果达到标准要求。这些实验指标规范，是从化学实验角度对产品性能的量化与界定，为日用化工产品生产提供科学、统一的技术准则，依据^[3]，助力行业有序发展，保障消费者能获得质量可靠、性能达标的日用化工产品。

（二）国际标准的对比研究

通过化学实验数据对 ISO、ASTM 等国际标准进行对比，能够深入揭示国内外检测方法在日用化工领域的异同与适配性。以具体化学实验为依托，从检测指标、分析方法、数据精度等方面详细剖析不同国际标准与国内标准的差异。例如在某些日用化工产品的成分检测中，ISO 标准可能侧重于成分的全面性分析，而 ASTM 标准或许更注重特定成分的精确测定。在对比过程中，不仅可以明确不同标准的优势与局限，还能了解其在不同应用场景下的适配程度。这种对比研究有助于我国日用化工行业在国际市场中找准定位，借鉴国际先进标准完善自身体系，推动行业高质量发展，也为相关企业选择合适标准开展生产与检测提供有力参考^[4]。

三、标准应用实践的技术路径

（一）实验驱动的标准实施模式

1. 产品合规性验证流程

在基于化学实验的日用化工标准应用实践中，构建标准符合性验证技术路径至关重要。首先是样品制备环节，需依据日用化工产品特性及标准要求，采用科学合理方法选取有代表性样品，并进行必要预处理，确保样品能真实反映产品整体特性^[5]。接着进入指标检测阶段，按照相应标准规范，运用合适化学分析仪器与方法，精准测定各项关键指标，如成分含量、酸碱度、稳定性等。最后进行结果判定，将检测所得数据与标准规定的合格范围进行对比，若各项指标均符合标准要求，则判定产品合规；若有指标超出范围，则需分析原因，采取改进措施，重新进行验证，以此确保日用化工产品符合相关标准，保障产品质量与消费者权益。

2. 质量异常诊断方法

基于化学实验建立实验数据与标准参数的关联模型，是实现产品质量异常诊断的关键。以日用化工产品为例，在实验过程中，精确测量各项化学指标数据，如酸碱度、成分含量等。借助统计学方法和数据分析工具，将这些实验数据与相应的日用化工标准参数进行深度比对和分析，构建起精准的关联模型。当产品

出现质量异常时，通过该模型可快速将实测数据代入分析，定位异常数据点在标准参数体系中的位置，从而明确是哪一项标准参数未达标，实现产品质量问题的快速定位。依据关联模型中数据的传递关系和溯源逻辑，追溯到问题产生的源头环节，比如原材料采购、生产工艺操作等，为解决质量异常提供清晰路径^[6]。

（二）标准优化建议的实验支撑

1. 标准适用性评估体系

在标准应用实践中，首先依据对比实验结果，明确日用化工产品在不同场景及用户需求下，各标准指标的实际表现。基于此构建标准适用性评估矩阵，矩阵纵横轴分别对应产品特性及使用场景等因素，直观呈现不同标准指标的适用性程度。例如，在评估洗发水的清洁力标准时，考虑不同发质、使用频率等因素。根据评估矩阵分析，针对现有标准中不适应实际需求的指标，提出更新建议。为使建议更具科学性，还需进一步开展实验验证。比如对新提出的清洁力指标，通过模拟实际使用环境及大量样本测试，观察产品在新指标衡量下的性能表现，以实验数据为标准优化建议提供有力支撑，完善标准适用性评估体系^[7]。

2. 新型检测技术融合路径

在基于化学实验的日用化工标准应用实践中，新型检测技术的融合路径至关重要。快速检测技术可通过开发高效的检测试剂与方法，缩短检测周期，提升检测效率，比如采用新型的显色反应试剂，能快速对特定成分进行定性或半定量检测^[8]。智能检测设备的融入则借助传感器技术、自动化控制技术，实现检测过程的自动化与智能化。例如，利用高精度的传感器实时监测反应参数，自动记录并分析数据，减少人为误差，提高检测的准确性和可靠性。将快速检测技术与智能检测设备有机结合，构建一套全面、高效、智能的检测体系，能更好地满足日用化工标准应用实践的需求，推动日用化工行业产品质量的提升与标准的优化。

四、行业应用实证与挑战应对

（一）典型产品标准应用案例

1. 日化洗涤剂 pH 值管控

在日化洗涤剂生产中，pH 值是关键质量指标，对产品性能、稳定性及消费者使用体验都有重要影响。以某知名品牌洗涤剂为例，通过严格执行 pH 值检测实验，在原料选取阶段，就对各成分的酸碱特性细致分析，确保混合后 pH 值处于标准范围。生产过程中，运用精密 pH 检测仪器实时监测，及时调整。在成品阶段，依据相关标准多次抽检。通过这一系列措施，产品 pH 值稳定达标，质量显著提升，市场反馈良好。然而，实践中也面临挑战，如不同批次原料酸碱特性的细微差异，影响 pH 值稳定性。对此，企业建立了更严格的原料筛选机制，加强原料检测与评估，通过优化配方及生产工艺，有效应对挑战，确保产品 pH 值符合质量标准，推动日化洗涤剂行业的高质量发展^[9]。

2. 化妆品重金属检测

在化妆品重金属检测中，原子吸收光谱法是重要手段。依据相关日用化工标准，该方法用于精准测定化妆品中的铅、汞等重

金属含量。实际应用时,通过优化仪器参数,如灯电流、狭缝宽度等,可提高检测的灵敏度与准确性。例如在某知名品牌美白化妆品的重金属检测中,严格按照标准流程操作原子吸收光谱仪,对样品进行前处理后检测,成功检测出极低含量的汞元素,符合标准要求。然而,此过程也面临挑战,如复杂基质的化妆品样品可能存在干扰,影响检测结果。为应对这一挑战,需采用合适的样品前处理技术,如微波消解等,以消除干扰。同时,定期校准仪器、参加能力验证等措施也有助于保障检测结果的可靠性^[10]。

（二）标准实施中的技术瓶颈

1. 复杂基质干扰问题

在日用化工标准实施过程中,复杂基质干扰是一个突出的技术瓶颈。日化产品往往具有复合成分,这些成分会对标准检测方法产生干扰。例如,某些护肤品中含有的多种活性成分、乳化剂、香料等,形成复杂基质。当运用标准检测方法测定其中某一特定成分时,其他成分可能与检测试剂发生非预期反应,导致检测信号出现偏差,使测定结果不准确。其干扰机制主要源于不同成分间的化学相互作用,如络合反应、竞争吸附等。这种复杂基质干扰不仅影响产品质量判定的准确性,还对标准检测方法的适用性提出挑战。要有效应对这一问题,需深入研究日化产品复合成分特性,优化现有检测方法,或开发新的具有高选择性的检测技术,以确保标准在实际应用中的可靠性与有效性。

2. 检测成本控制难题

在基于化学实验的日用化工标准实施过程中,检测成本控制难题颇为棘手。现有标准检测方案里,设备投入高昂是一大关键问题。许多高精度的检测设备不仅采购价格不菲,后续的维护保养费用也持续消耗成本。而且,一些先进设备还需配备专业技术人员操作,进一步拉高人力成本。同时,耗材成本的优化空间也极为有限。部分特殊化学试剂、专用检测耗材不仅价格昂贵,且市场上可替代性差,供应商单一,缺乏议价优势。尽管在某些方面有优化尝试,但由于对检测结果准确性的严格要求,难以大幅削减成本。这些因素共同作用,使得检测成本居高不下,给日用化工行业标准实施带来巨大挑战,亟待探寻新的解决方案,平衡成本控制与检测准确性之间的关系。

（三）标准动态更新机制建设

1. 行业需求响应机制

在日用化工行业应用中,基于化学实验的标准动态更新机制

所构建的指标体系,为产品质量把控提供了有力支撑。诸多知名品牌通过采用这一机制,精准调整产品配方与生产工艺,显著提升产品质量与市场竞争力,实证其有效性。然而,行业需求响应机制在运行中面临挑战。一方面,市场需求变化迅速,如何快速捕捉并将需求转化为标准调整依据,存在时间差难题;另一方面,不同规模企业对标准调整响应能力参差不齐,小型企业受限于资源与技术,在跟上标准动态更新节奏上存在困难。对此,应搭建行业信息共享平台,加速需求传递与分析;同时,为小型企业提供技术与资源扶持,确保整个行业能高效响应标准动态更新,推动日用化工行业健康发展。

2. 多方协同创新模式

在日用化工行业应用基于化学实验的标准时,产学研用多方需通过协同创新模式来应对挑战。高校和科研机构凭借专业知识与实验设备,为标准研发提供前沿理论与技术支持;企业作为生产主体,能将理论成果转化为实际产品,并依据市场反馈提出标准优化需求;行业协会发挥桥梁作用,协调各方利益,推动标准在行业内的广泛应用。多方协同建立标准动态更新机制,根据化学实验新发现、市场需求变化及技术革新,及时调整和完善标准。例如,随着消费者对环保、安全型日化产品需求增加,产学研用各方共同开展相关实验研究,对原料使用、生产工艺等标准进行动态更新,使标准更好地适应行业发展,提升日用化工产品质量与市场竞争力。

五、总结

化学实验技术在日用化工标准体系中具有不可或缺的支撑价值。它为标准的确立提供了精确的数据基础与科学依据,从原料成分分析到产品性能测试,全方位保障标准的科学性与可靠性。通过对标准的深入解读与实践,凝练出的关键技术路径,有助于企业更好地遵循标准进行生产,提升产品质量。未来,在标准建设方面,应重点关注分析技术的创新,借助前沿的分析手段实现更精准的检测与评估。同时,要深化行业应用,让标准更好地契合市场需求与产业发展趋势,推动日用化工行业朝着更规范、更高效、更具创新性的方向前进,使标准真正成为连接化学实验与日用化工生产实践的桥梁与纽带。

参考文献

- [1] 杨爽. 农村初中化学实验教学资源开发及应用的研究 [D]. 延边大学, 2021.
- [2] 张洁玲. 高中化学实验创新现状与策略研究 —— 以江苏省高中化学实验创新作品分析为例 [D]. 扬州大学, 2023.
- [3] 徐婉婷. 基于“三重表征”初中化学实验教学策略的研究 [D]. 湖南师范大学, 2021.
- [4] 苗坤生. 基于桌面虚拟现实的初中化学实验探究式教学模式的构建与实施 [D]. 山东师范大学, 2021.
- [5] 卓青岸. 中学化学实验创新案例调查与开发研究 [D]. 海南师范大学, 2023.
- [6] 陈师铭. 初中化学趣味化学实验的应用实践 [J]. 课堂内外 (高中版), 2023(21): 75-77.
- [7] 胡金凤. 基于核心素养的化学实验教学模式探索与实践 [J]. 数理化学学习 (教育理论), 2022, (1): 62-64.
- [8] 王倩倩, 毛丽惠. 基于微课的化学实验教学模式设计与实践探讨 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2021, 034(2): 28-29.
- [9] 姚奇志, 李玲玲, 金谷, 等. 化学实验课程思政探索与实践 [J]. 大学化学, 2022, 37(01): 25-29.
- [10] 吴长顺. 初中“开放式”化学实验育人的实践与反思 [J]. 教育科学论坛, 2023, (16): 54-56.

垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理： 提升运行效率的有效途径

黄晓茂

广东 潮州 521000

DOI:10.61369/ME.2025090009

摘 要： 垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理对提升运行效率意义重大。需兼顾设备运行效率与能源转化率，减少非计划停机，通过红外热成像等检测诊断设备状态，基于 RCM 理论优化维护策略，运用大数据分析预测寿命等，还应管控垃圾热值、优化二次风配置，完善 SOP 文件更新等多举措提升效率，技术管理成效显著，未来可引入前沿技术。

关 键 词： 垃圾焚烧发电厂；设备运行技术管理；运行效率

Technical Management of Equipment Operation In Waste Incineration Power Plant: an Effective Way to Improve Operation Efficiency

Huang Xiaomao

Chaozhou, Guangdong 521000

Abstract： The equipment operation technology management of waste incineration power plant is of great significance to improve the operation efficiency. It is necessary to take into account the equipment operation efficiency and energy conversion rate, reduce unplanned downtime, detect and diagnose the equipment status through infrared thermal imaging, optimize the maintenance strategy based on RCM theory, and use big data analysis to predict the service life. It is also necessary to control the calorific value of waste, optimize the secondary air configuration, and improve the SOP file update to improve efficiency. The technical management has achieved remarkable results, and cutting-edge technologies can be introduced in the future.

Keywords： waste incineration power plant; equipment operation technology management; operating efficiency

引言

随着环保要求的日益提高，《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》于2021年颁布，对垃圾焚烧发电厂的高效、环保运行提出了更高要求。垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理关乎运行效率提升，从建立设备负荷率与热效率量化关系模型，到运用多种检测手段诊断设备状态、优化预防性维护策略，再到基于大数据分析预测设备寿命等一系列措施，均致力于此。通过技术管理提升设备运行效率，不仅能减少非计划停机带来的经济损失，还能实现资源高效利用与环保指标达标，对垃圾焚烧发电行业的可持续发展意义重大。

一、垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理的重要性

（一）设备运行效率与能源转化率关联分析

垃圾焚烧发电厂设备运行效率与能源转化率密切相关。通过实际运行数据建立设备负荷率与热效率的量化关系模型可知，当设备在合理负荷率下运行时，能有效提升热效率，实现能源的高效转化。例如，若设备负荷率过低，燃烧不稳定，会导致热损失增加，能源转化率降低；而过高的负荷率可能使设备过度损耗，同样影响能源转化。同时，设备维护水平对能源转化效率也存在影响机制。良好的设备维护可保障设备各部件处于最佳运行状态，减少故障发

生，维持稳定的运行效率，进而提高能源转化率^[1]。反之，维护不善易引发设备性能下降，阻碍能源的高效转化，因此设备运行技术管理需兼顾设备运行效率与能源转化率的提升。

（二）非计划停机对生产效率的经济影响

垃圾焚烧发电厂设备若发生非计划停机，将对生产效率产生显著经济影响。以发电量损失来看，垃圾焚烧发电通过持续燃烧垃圾转化为电能，非计划停机期间，垃圾无法正常焚烧发电，导致发电量锐减。据核算^[2]，每次非计划停机可能使发电量损失达数千甚至数万度，直接影响电力销售收入。同时，环保指标也会偏离。正常运行时，设备能有效控制污染物排放，停机后，垃圾

暂存或不充分燃烧，会使废气中污染物浓度上升，为使环保指标重回正轨，后续需投入更多成本用于污染治理与设备调试。运用生命周期成本分析法（LCCA）能精准核算这些因设备故障导致的发电量损失及环保指标偏离带来的运营成本增加，直观展现非计划停机对生产效率的经济冲击，凸显设备运行技术管理、减少非计划停机的重要性。

二、发电设备全周期技术管理方法

（一）关键设备运行状态监测技术

在垃圾焚烧发电厂中，红外热成像检测和振动频谱分析对锅炉系统、烟气处理装置等核心设备的状态诊断起着关键作用。红外热成像检测可通过捕捉设备表面温度分布，快速发现诸如锅炉管道的局部过热、烟气处理装置密封处的热量泄漏等潜在问题，提前预警设备故障，因其非接触式检测，不影响设备正常运行^[9]。振动频谱分析则通过采集设备振动信号，分析其频率成分，能精准判断设备内部部件的磨损、松动等状况。比如，锅炉风机叶片磨损、烟气处理装置电机转子不平衡引发的异常振动，都可借助振动频谱分析及察觉，为设备维修与更换提供依据，从而保障垃圾焚烧发电厂关键设备的稳定运行，提升整体运行效率。

（二）预防性维护策略优化

基于可靠性中心维护（RCM）理论建立设备润滑管理与备件更换周期的动态优化模型，是垃圾焚烧发电厂预防性维护策略优化的关键。RCM理论强调以设备功能及其故障后果为出发点，确定设备的预防性维护需求。在设备润滑管理方面，通过该理论可依据设备运行工况、环境因素等，动态调整润滑周期与润滑量，确保设备关键部件良好润滑，减少磨损与故障风险。对于备件更换周期，考虑设备可靠性、故障概率、运行成本等多因素，利用动态优化模型精准评估，避免备件过早或过晚更换。这不仅提高设备可靠性与运行效率，还能降低维护成本。如此，以RCM理论为核心构建的动态优化模型，为垃圾焚烧发电厂预防性维护策略优化提供科学、高效的路径^[10]。

三、运行效率提升技术路径

（一）设备检修周期优化

1. 基于大数据分析的寿命预测

在垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理中，基于大数据分析的寿命预测对优化设备检修周期、提升运行效率至关重要。通过整合设备历史运行数据，涵盖设备运行时间、温度、压力等多维度参数，利用数据挖掘和机器学习算法构建剩余寿命预测模型^[11]。例如采用深度学习中的长短期记忆网络（LSTM）模型，其能有效处理时间序列数据，捕捉设备运行状态随时间变化的复杂特征。基于该模型，精准预测设备剩余寿命，进而优化锅炉受热面等关键部件的更换决策。避免过早更换造成资源浪费，也防止因过晚更换引发故障影响运行效率。这种基于大数据分析的寿命预测，为垃圾焚烧发电厂设备检修周期的科学优化提供有力支持，是提升运行效率的重要技术路径。

2. 可靠性维修窗口确定

在垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理中，可靠性维修窗口

的确定对提升运行效率至关重要。通过运用蒙特卡洛模拟来确定多设备系统的最佳并行检修时机，能够有效优化可靠性维修窗口^[12]。蒙特卡洛模拟可基于设备历史运行数据、故障概率分布等，对不同检修时间组合下的系统可靠性进行大量随机模拟试验。这一模拟过程可充分考虑设备间相互影响及不确定性因素，精准识别出既能保证设备可靠性又能最小化对运行效率影响的维修窗口。在该窗口内进行检修，能减少因设备故障导致的非计划停机时间，同时避免过度频繁检修造成的资源浪费与运行效率降低，从而实现垃圾焚烧发电厂设备运行效率的提升，确保生产过程的稳定与高效。

（二）燃烧过程控制优化

1. 垃圾热值波动应对策略

垃圾热值波动会对垃圾焚烧发电厂的燃烧过程和运行效率产生显著影响。开发在线热值监测系统，能够实时精准掌握垃圾热值变化情况。基于此，构建炉排运动参数的智能调节算法^[13]。该算法可依据实时监测到的垃圾热值数据，自动且动态地调整炉排运动速度、停留时间等关键参数。当垃圾热值较高时，适当加快炉排运动速度，减少垃圾在炉内停留时间，避免过度燃烧造成能源浪费；当垃圾热值较低时，则降低炉排运动速度，延长停留时间，确保垃圾充分燃烧。通过这种对垃圾热值波动的有效应对，实现燃烧过程的精准控制，从而提升垃圾焚烧发电厂设备的运行效率，保障生产过程的稳定性与高效性。

2. 二次风优化配置技术

在垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理中，二次风优化配置技术对提升运行效率至关重要。通过CFD仿真优化燃烧室空气分配时，二次风的合理配置不可或缺。二次风能够增强垃圾燃烧后期的扰动，促进可燃气体与氧气充分混合。需精确调控二次风的喷入位置、角度和风量^[14]。合适的喷入位置可确保与未燃尽物质有效接触；恰当的角度能引导气流形成良好的混合流场；精准的风量则保障燃烧所需氧气充足且不过量。优化后的二次风配置，能使垃圾燃烧更充分，进一步提升燃烧稳定性，进而提高热效率，最终实现运行效率的显著提升。

四、技术管理保障机制建设

（一）运行管理体系标准化

1. SOP文件动态更新机制

SOP文件动态更新机制对垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理至关重要。随着设备技术改造与环保标准升级，需及时更新SOP文件，确保其准确性与有效性。当出现新的设备技术改造项目时，技术人员要深入分析改造对设备运行流程、参数等方面的影响，据此对SOP文件中的相关操作步骤、标准进行修订。对于环保标准升级，明确新的污染物排放指标、监测要求等，将其融入SOP文件，使操作流程符合最新环保要求。同时，要建立反馈机制，操作人员在日常工作中发现SOP文件存在的问题及时反馈，以便进一步优化。通过这种动态更新机制，使SOP文件始终贴合实际运行情况，为提升设备运行效率筑牢基础^[15]。

2. 跨班次交接管理规范

跨班次交接管理对于垃圾焚烧发电厂设备的稳定运行至关重要。开发数字化交接系统，能确保运行参数与设备状态的完整性

传递。在交接过程中，操作人员可通过该系统详细录入当前班次设备的运行参数，如温度、压力、处理量等，同时记录设备的实时状态，包括是否存在故障、异常声响等情况^[10]。接班人员登录系统后，能迅速获取全面且准确的信息，及时掌握设备运行状况，对潜在问题提前做好应对准备。这种数字化交接方式，避免了传统交接过程中信息遗漏、模糊等问题，提升了交接效率与准确性，有力保障了垃圾焚烧发电厂设备在不同班次间的平稳过渡，进而提升整体运行效率。

（二）人员技能提升路径

1. 三维仿真培训系统建设

三维仿真培训系统建设旨在为垃圾焚烧发电厂工作人员提供高度逼真的模拟环境，有效提升其设备操作与故障处理能力。该系统借助先进的建模与仿真技术，精准还原垃圾焚烧发电设备的结构、运行原理及各类工况。工作人员能在虚拟场景中开展设备启停、参数调整等常规操作训练，熟悉设备运行的每个环节。同时，系统设置各种典型故障场景，让工作人员在模拟环境中锻炼故障诊断与应急处置能力，通过反复练习，深入掌握故障处理方法。三维仿真培训系统打破了传统培训受场地、设备限制的弊端，以高效、安全且经济的方式，全方位提升人员的专业技能，为垃圾焚烧发电厂设备的稳定运行提供坚实的人才保障。

2. 技术比武长效机制

建立垃圾焚烧发电厂技术比武长效机制，对提升设备运行效率意义重大。可定期组织主控、巡检等岗位人员参与技术比武，设置涵盖理论知识与实操操作的丰富竞赛项目，如设备故障诊断与处理、运行参数优化调整等。技术比武要注重公平公正，邀请行业专家、资深工程师组成专业评审团队，依据科学合理的评分标准进行评判。对表现优异者给予物质奖励与精神表彰，激发员工参与热情。同时，将技术比武结果与员工绩效考核、职业晋升挂钩，强化激励效果。通过持续开展技术比武，营造比学赶超的良好氛围，促使员工不断提升自身技能水平，为垃圾焚烧发电厂设备高效运行提供有力的人员技能支撑。

（三）智能化管理平台构建

1. 设备健康度评价系统

在垃圾焚烧发电厂的智能化管理平台构建中，设备健康度评价系统发挥着关键作用。该系统通过整合多源监测数据，涵盖设

备的温度、压力、振动等各类关键运行参数，全面且精准地反映设备实时状态。利用先进的数据分析算法，对这些数据进行深度挖掘与分析，将设备复杂的运行状态转化为直观的健康度指标。基于此，开发出设备健康状态可视化看板，以图形、图表等形式，向运维人员清晰展示设备健康状况，如健康度得分、潜在故障预警等。运维人员可依据可视化看板提供的信息，及时掌握设备运行趋势，提前制定维护策略，有效预防设备故障，从而保障垃圾焚烧发电厂设备的稳定高效运行，提升整体运行效率。

2. 能效对标管理系统

垃圾焚烧发电厂的能效对标管理系统，建立在对核心指标的精准把控上。吨垃圾发电量作为关键指标，反映了垃圾能源转化的效率。通过实时对标体系，将本厂的吨垃圾发电量与行业先进水平、历史最佳数据进行对比。一方面，精准找出差距，分析设备运行、工艺操作等环节可能存在的问题。另一方面，利用智能化管理平台实现数据的实时采集、分析与展示，让管理人员和技术人员能及时掌握能效动态。基于对标结果，有针对性地优化设备参数、改进工艺流程，推动设备运行向更高效率迈进，持续提升垃圾焚烧发电厂整体能效，以实现资源的最大化利用和运行成本的有效降低。

五、总结

垃圾焚烧发电厂设备运行技术管理对于提升运行效率意义重大。通过全厂设备 KPI 对标，清晰展现出技术管理措施实施后显著成效，设备可用率大幅提升 8.6%，非计划停运次数锐减 43%，这充分证明强化技术管理切实是提升垃圾焚烧发电综合效能的有效途径。在技术不断革新的当下，人工智能技术在预测性维护中的应用前景广阔，有望进一步优化设备运行管理。未来，垃圾焚烧发电厂应持续强化技术管理，深入挖掘技术潜力，不仅要巩固现有成果，更要积极引入如人工智能这类前沿技术，不断探索创新管理模式，为垃圾焚烧发电行业的高效、稳定运行提供坚实支撑，推动行业可持续发展迈向新高度。

参考文献

- [1] 侯来义. 贵州省农业保险运行效率提升研究 [D]. 贵州大学, 2021.
- [2] 张艺丹. 垃圾焚烧电厂垃圾干燥系统仿真优化 [D]. 山东大学, 2021.
- [3] 周胤希. 基于混合行驶的公交专用道运行效率提升研究 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [4] 龚媛. 我国住房公积金制度运行效率评价研究 [D]. 燕山大学, 2023.
- [5] 俞杨. 政府投融资平台运行效率研究 [D]. 浙江工业大学, 2022.
- [6] 章清平. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. 设备管理与维修, 2023(9): 1-3.
- [7] 李悦. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护探究实践 [J]. 电力系统装备, 2023(1): 142-144.
- [8] 伍建成. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. 电力系统装备, 2021(20): 106-107.
- [9] 李雪莲. 发电厂电气设备运行效率提升策略研究 [J]. 电气技术与经济, 2024(3): 229-231.
- [10] 宋景全. 垃圾焚烧发电厂发电效率的影响因素及提升措施 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(1): 127-129.

雨水排水管网缺陷评估技术探讨 ——以 CCTV 排查为视角

林旭龙

广州 天河 510000

DOI:10.61369/ME.2025090011

摘 要： 介绍雨水排水管网缺陷评估技术，包括 CCTV 检测系统各单元作用，考虑管径、水流等因素建立判别矩阵，构建缺陷分类体系，研究沉积物分布等关系，还涉及多光谱补光等技术，以及建立预测模型、完善操作规范等内容。

关 键 词： 雨水管网；缺陷评估；CCTV 检测

Discussion on the Technology of Rainwater Drainage Pipe Network Defect Assessment — From the Perspective of CCTV Investigation

Lin Xulong

Tianhe, Guangzhou 510000

Abstract： This paper introduces the technology for evaluating defects in rainwater drainage networks, including the functions of each unit of the CCTV detection system. It establishes a judgment matrix by considering factors such as pipe diameter and water flow, constructs a defect classification system, studies the relationship between sediment distribution, and involves technologies like multi-spectral illumination. Additionally, it covers the establishment of predictive models and the improvement of operational standards.

Keywords： rainwater drainage network; defect evaluation; CCTV detection

引言

随着城市化进程的加快，雨水排水管网的正常运行对于城市的生态环境和居民生活至关重要。2021年发布的《关于加强城市内涝治理的实施意见》强调了对雨水排水管网检测和维护的重要性。雨水排水管网缺陷评估技术涉及多个方面，包括 CCTV 检测系统的应用、管径匹配度、水流条件、淤积程度等因素的考量，以及针对结构性和功能性缺陷的分类体系构建、评价指标体系建立等。同时，多种先进技术如激光扫描、视觉 SLAM、深度学习等不断融入，为提高评估的准确性和效率提供了支持，这些技术的发展符合政策导向，对于保障城市雨水排放系统的正常运行具有重要意义。

一、CCTV 检测技术特征及适用性分析

（一）CCTV 检测系统技术原理

CCTV 检测系统主要由视频采集系统、激光测距模块和定位装置等技术单元协同工作。视频采集系统用于获取管道内部的图像信息，是检测的基础^[1]。激光测距模块可精确测量管道内部的距离数据，为后续的分析提供空间尺寸信息。定位装置能够确定检测位置，方便对缺陷进行准确的定位^[5]。基于这些数据，利用图像智能识别算法对管道缺陷进行判读。该算法通过对采集到的图像进行分析处理，识别出缺陷的特征，如裂缝、变形等。同时，根据相关标准和算法，获取量化评估参数，如缺陷的长度、宽度、面积等，从而实现对雨水排水管网缺陷的准确评估^[6]。

（二）雨水管网 CCTV 检测适用性边界

从管径匹配度方面，需考虑 CCTV 设备能否顺利在管道中行进并获取清晰图像。管径过小可能导致设备无法进入或行进困难，影响检测效果；管径过大则可能使图像分辨率不足，难以准确识别缺陷。从水流条件来看，水流速度过快会使设备难以稳定，影响图像质量，同时可能对设备造成损坏；水流过缓或积水严重，可能会掩盖部分缺陷，也不利于设备的操作。对于淤积程度，严重的淤积可能阻碍设备前进，甚至导致设备被困，无法完成检测任务^[7]。综合考虑这些因素，建立雨水管网检测可行性判别矩阵，能更好地分析不同工况下 CCTV 检测的经济效益与技术优势^[8]。

二、雨水管网缺陷类型学特征研究

（一）结构性缺陷分类体系构建

科学合理的分类体系对结构性缺陷评估至关重要。基于实际检测数据，分析典型缺陷类型及数量分布（图1）。

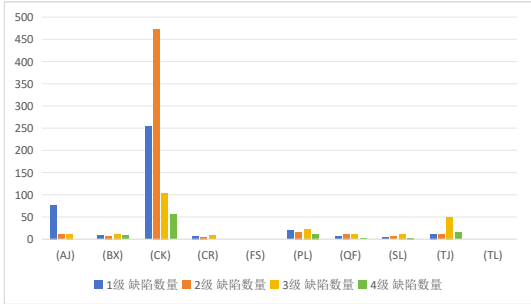


图1 雨水管网结构性缺陷数量

图1显示，结构性缺陷共1254个，错口（CK，70.6%）和脱节（TJ，7.0%）占比较大，表明管道连接和沉降问题是主要结构性缺陷。二、三级缺陷（分别为541和233个）占比较高，反映中等严重程度的缺陷较为普遍，需重点关注修复优先级。较少出现的严重缺陷（如4级脱节15个）虽数量不多，但对管网稳定性威胁较大，应优先处理^[3]。

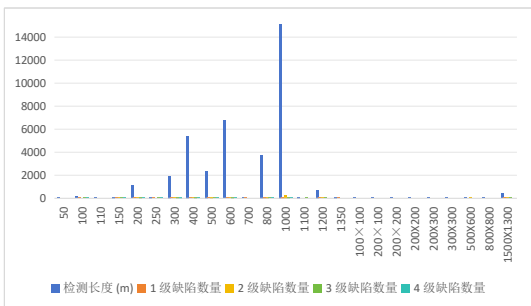


图2 不同管径的雨水管道结构性缺陷个数

图2显示，检测总长度38094.5米，缺陷集中于管径400mm至1000mm的管道（累计缺陷195、80、190、92、447，占70.5%），表明大管径管道因高使用频率和承载压力更易产生结构性缺陷。小管径（如50mm、110mm）缺陷较少，可能因使用范围有限或检测难度较高。需优化检测设备以适应不同管径，提高检测覆盖率。

（二）功能性缺陷动态评估模型

功能性缺陷影响管道过流能力，检测数据见图3。

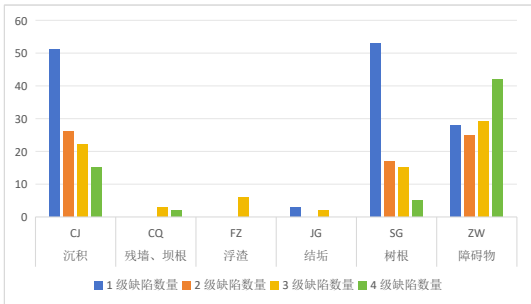


图3 雨水管网功能性缺陷数量

功能性缺陷共344个，沉积（CJ，33.1%）和树根（SG，

26.2%）占主导，反映管道内淤积和外部树根侵入是主要问题。障碍物（ZW）中4级缺陷（42个）占比较高，表明严重障碍需优先清理以恢复过流能力。各等级缺陷数量分布相对均衡，需结合管道使用环境制定针对性维护策略^[4]。

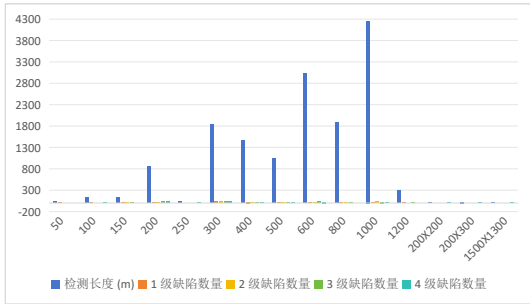


图4 不同管径的污水管道结构性缺陷个数

图4显示，功能性缺陷集中于管径200mm至1000mm的管道（累计缺陷48、3、136、31、9、43、7、46，占83.7%），与结构性缺陷分布有一定相似性，表明大管径管道更易受沉积和树根影响。小管径（如50mm、100×100mm）缺陷较少，可能是流量低或检测受限。需针对大管径管道加强清淤和树根防控措施。通过分析沉积物分布与过流断面关系，建立淤积率-水流阻力-承载能力三元评价体系，为维护提供依据。

三、缺陷评估关键技术难点解析

（一）复杂工况下的图像质量保障

1. 低照度环境成像增强技术

研发动态增益调节的多光谱补光系统，自动调整补光强度和光谱分布，适应低照度环境^[5]。结合深度学习光照补偿模型，学习光照变化与图像质量关系，处理图像以补偿亮度不足和对比度低问题，实现管壁纹理清晰还原，为缺陷评估提供高质量图像基础。

2. 水下影像复原算法优化

迁移学习改进图像去雾算法，利用已有知识有效处理复杂工况下的图像去雾问题^[6]。结合管道水流湍流模型建立浊度补偿机制，考虑湍流对图像浊度的影响，提升图像清晰度和质量，增强缺陷边缘识别准确度，为水下影像复原提供有效方法，保障复杂工况下雨水管网缺陷评估的图像质量。

（二）缺陷量化评估方法创新

1. 三维点云重构技术应用

集成激光扫描与视觉SLAM技术，为雨水排水管网缺陷评估带来新方法。通过该技术可建立管网形态数字孪生模型，此模型对于精确量测管网缺陷相关参数至关重要。它能够实现裂缝开度、错位距离等参数的亚毫米级量测，这在以往的评估技术中是较难达到的精度。这种高精度的量测为量化评估管网缺陷提供了更准确的数据基础，有助于更深入地了解管网的实际状况，从而为后续的维护和修复工作提供更科学的依据^[7]。

2. 缺陷演化预测模型构建

基于时序检测数据建立马尔可夫链预测模型，通过分析不同时间节点的缺陷状态转移概率，为预测缺陷演化趋势提供基础^[8]。结合管材疲劳方程推导缺陷扩展速率，考虑管材自身特性以及外部

环境因素对缺陷发展的影响。这种综合考虑多种因素的方法，有助于更准确地把握缺陷的发展动态。最终形成管网服役状态预判机制，能够提前对雨水排水管网可能出现的问题进行预警，为管网的维护和管理提供科学依据，保障管网的正常运行^[9]。

四、工程应用与技术提升路径

（一）检测规程标准化建设

1. 操作规范体系完善

为优化雨水排水管网缺陷评估质量指标，引入缺陷权重系数与区域风险系数构建综合评分模型^[10]。缺陷权重系数根据缺陷类型对管网运行影响确定，结构性缺陷权重较高；区域风险系数考虑地理、环境及人口密度，风险高的区域系数上调。通过层次分析法整合系数，全面准确评估管网健康度，为维护、修复和管理提供科学依据。

2. 质量评价指标优化

在雨水排水管网缺陷评估技术中，为优化质量评价指标，引入缺陷权重系数与区域风险系数构建综合评分模型具有重要意义。缺陷权重系数可根据不同缺陷类型对管网运行的影响程度确定，例如结构性缺陷可能比功能性缺陷对管网稳定性影响更大，应赋予更高权重^[10]。区域风险系数则考虑管网所处区域的地理、环境及人口密度等因素，人口密集或地势低洼区域的管网一旦出现问题风险更高，相应系数也应调整。通过层次分析法将这些系数合理整合到综合评分模型中，能够更全面、准确地评估管网健康度，为管网的维护、修复和管理提供科学依据。

（二）智能诊断系统开发

1. 人工智能识别算法优化

采用改进YOLOv7架构训练专用识别模型。通过对原始YOLOv7架构进行分析，针对雨水排水管网缺陷的特点，调整网络结构的某些参数，如卷积核大小、层数等。同时，优化损失函数，使其更适应管网缺陷的分类任务。在训练过程中，使用大量标注好的管网缺陷图像数据，让模型学习到不同缺陷的特征。通过这种方式，模型能够准确地对16类管网缺陷进行自动化标注与分类，大大提高了检测效率，提升幅度达到40%。这种优化后的算法在雨水排水管网缺陷评估的智能诊断系统中具有重要应用价值，能够更高效地为管网维护和管理提供技术支持。

2. 云平台数据管理系统

设计B/S架构的检测数据云平台具有重要意义。该平台集成

了检测报告自动生成功能模块，能够快速、准确地根据检测数据生成报告，提高工作效率。GIS空间分析模块可对排水管网的空间位置等信息进行分析，直观呈现管网布局及缺陷位置关系。维修决策支持模块则依据检测数据和分析结果，为维修工作提供合理的决策建议。通过这些功能模块的集成，云平台实现了对雨水排水管网检测数据的高效管理和综合利用，为雨水排水管网缺陷评估及后续维修工作提供了有力的技术支持，提升了整个管网维护管理的科学性和精准性。

（三）工程实践验证与优化

1. 典型区域检测案例分析

以南沙区排水管网维修改造项目为例，总长度69160.5米（污水管48470.7米，2981段；雨水管20689.8米，1426段），应用CCTV缺陷评估技术，综合考虑材质、管径、使用年限等因素，建立科学评估标准。通过节点数据采集分析，检测准确率从78%提升至92%，证明技术体系有效性和优越性，为推广应用提供实践支撑。

2. 综合评估流程设计

雨水排水管网缺陷评估需建立综合评估流程。初检阶段利用CCTV技术全面检测，获取影像数据，标记缺陷位置及类型。重点复检阶段针对疑似严重缺陷或关键部位进行细致检测，确认缺陷准确性和严重程度。专家会诊阶段结合检测结果进行综合分析，给出评估结论及修复建议。三阶段流程实现检测到决策的闭环管理，确保评估准确性和科学性，为修复维护提供依据。

五、总结

雨水排水管网缺陷评估技术在不断发展。CCTV技术在其中的应用体系不断创新，三维扫描与人工智能技术与之融合，显著提升了检测精度。针对复杂管网环境，模块化检测装备的研发至关重要。同时，标准化体系建设对行业发展起到了推动作用。展望未来，5G传输和数字孪生等新技术在管网智慧运维中具有广阔的应用前景。这些发展方向不仅有助于提高雨水排水管网缺陷评估的准确性和效率，还将推动整个行业朝着更加智能化、规范化的方向发展，更好地满足城市雨水排放管理的需求，保障城市的正常运行和生态环境的稳定。

参考文献

- [1] 许亮, 陈伟, 李迦南. 基于CCTV技术的城市排水管道病害评估研究与应用[J]. 市政技术, 2021, 39(S01): 96-101+106.
- [2] 沈小华, 齐国辅, 耿宏, 等. 管网异常(水质浓度低)排查技术路线和案例分析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(04): 97-100.
- [3] 杨睿, 李晓帆. CCTV检测技术在雨污分流工程中的应用[J]. 给水排水, 2022, 48(S02): 431-435.
- [4] 孙勇, 赖东杰. CCTV检测技术在扬州市老旧小区雨污水分流改造工程中的应用[J]. 城市勘测, 2022, (04): 186-189.
- [5] 张涛. CCTV检测技术在蚌埠市城区污水管网专项普查、检测中的应用[J]. 城市勘测, 2021, (06): 177-180.
- [6] 刘沛. CCTV及QV技术在城市雨污水管网摸排检测中的应用[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6(01): 142-144.
- [7] 杨子恒. 镇江市建成A区排水管网排查评估及研究[D]. 东南大学, 2022.
- [8] 曾小桐. 基于NSGA-II算法的雨水管网优化模型研究[D]. 西南交通大学, 2021.
- [9] 李彬, 吴晓晖, 贾超, 等. 宜昌市某片区排水管道检测评估与修复[J]. 武汉交通职业学院学报, 2023, 25(2): 110-113, 119.
- [10] 魏云. 基于CCTV检测技术的城市排水管道检测与评估[J]. 江西建材, 2022(12): 83-85.

医疗废水处理系统工程建设与调试的技术要点

卢展图

广东亮科环保工程有限公司, 广东 佛山 528300

DOI:10.61369/ME.2025090013

摘 要： 医疗废水处理系统工程建设与调试涉及多方面技术要点。工艺选择需综合考量水质、成本等因素，处理容量、停留时间、消毒剂投加量等要合理确定。工程施工要做好防渗防腐，设备安装集成、调试需符合规范。此外，还需做好生物系统驯化、消毒验证、药剂投加、污泥处置等工作，通过智慧化运维保障系统稳定运行。

关 键 词： 医疗废水处理；处理工艺；智慧化运维

Technical Key Points of Construction and Commissioning of Medical Wastewater Treatment System Projects

Lu Zhantu

Guangdong Liangke Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528300

Abstract： The construction and commissioning of medical wastewater treatment system projects involve various technical key points. The selection of treatment processes needs to take into account factors such as water quality and cost, and the treatment capacity, retention time, and disinfectant dosage should be reasonably determined. During construction, seepage prevention and corrosion resistance should be ensured. Equipment installation and integration, as well as commissioning, must comply with standards. Additionally, it is necessary to carry out the acclimatization of biological systems, disinfection validation, chemical dosage, and sludge disposal. Intelligent operation and maintenance should be implemented to ensure the stable operation of the system.

Keywords： medical wastewater treatment; treatment processes; intelligent operation and maintenance

引言

随着《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）的颁布实施，对医疗废水处理提出了更严格的要求。医疗废水成分复杂、危害大，处理工艺的选择需综合考量水质、水量等多因素。处理容量、停留时间、消毒剂投加量等参数的确定，以及主体结构施工、设备安装集成、调试运行等环节，都直接影响处理效果。同时，在智慧化运维、风险防控及极端工况应对方面也有诸多技术要点。只有全面把握这些内容，才能实现医疗废水高效、稳定且经济的处理，确保符合最新政策的排放要求，保障环境与公共卫生安全。

一、医疗废水处理系统工程设计关键要素

（一）处理工艺选择依据

医疗废水处理工艺的选择需基于对其水质特征与排放标准的深入分析。医疗废水含有大量细菌、病毒、寄生虫卵，还可能存在重金属、化学药剂等污染物，成分复杂且危害大^[1]。不同科室产生的废水水质也有所差异。排放标准对各类污染物指标有着严格限定，达标排放是工艺选择的基本要求。MBR工艺即膜生物反应器，能有效截留微生物和大分子污染物，出水水质好，适用于对出水水质要求高、空间有限的场景。高级氧化工艺可通过产生强氧化性自由基分解难降解有机物，对于含有复杂有机污染物的医疗废水有良好处理效果。需综合考量废水具体水质、水量、处理成本、场地条件等因素，选择最适宜的处理工艺，以实现高

效、稳定且经济的医疗废水处理目标。

（二）系统参数优化设计

处理容量的确定需综合考虑医院规模、科室分布、日均门诊量及住院人数等因素，通过对不同科室废水产生量的精准统计与分析，建立合理的水量预测模型，以此确定合适的处理容量，并通过实际运行数据不断验证与调整。停留时间依据废水水质、处理工艺及预期处理效果而定，不同处理单元如沉淀、生物反应等的停留时间不同，可通过模拟实验或参考相似工程经验初步设定，在工程调试阶段，利用水质监测数据，依据污染物去除效率等指标验证其合理性并优化。消毒剂投加量取决于废水的细菌、病毒含量及消毒剂的种类与特性，可通过实验室分析确定初始投加量，实际运行中借助余氯监测、微生物检测等手段进行验证与调整，确保消毒效果符合相关标准^[2]。

二、工程建设过程控制要点

（一）主体结构施工技术

在医疗废水处理系统工程的结构主体施工中，生化池、沉淀池等关键构筑物的防渗防腐至关重要。防渗施工方面，需依据相关规范，选用适宜的防渗材料，如 HDPE 膜等，并确保材料质量达标。施工时要保证基层平整、干燥，严格按工艺要求进行铺设，控制搭接宽度与焊接质量，避免出现渗漏隐患。防腐施工则应根据废水特性选择合适的防腐涂层，如环氧树脂漆等。施工前对构筑物表面进行预处理，去除油污、铁锈等杂质，增强涂层附着力。施工过程中控制涂层厚度与均匀度，严格按照施工技术规范操作。完工后，依据验收标准，采用注水试验检测防渗效果，用涂层测厚仪等设备检验防腐涂层质量，确保各项指标符合要求^[3]。

（二）设备安装集成方案

在医疗废水处理系统工程中，泵阀系统、在线监测仪表等设备的安装集成至关重要。对于泵阀系统，选型时需依据废水流量、扬程、腐蚀性等特性，挑选适配的泵阀类型与材质，如针对强腐蚀性废水采用耐腐蚀材质的泵阀。安装时，严格把控水平度与垂直度，确保泵体平稳运行，减少振动与噪声，连接部位密封良好，防止泄漏。在线监测仪表的选型要能精准测量关键指标，像化学需氧量、PH、总余氯、SS 等。安装位置需科学选择，确保测量数据准确反映废水实际情况，同时做好仪表的校准与维护，定期进行校验，保证测量精度。设备集成过程要注重各部分之间的衔接与协同，依据工艺流程合理布局，保障整个医疗废水处理系统高效稳定运行^[4]。

三、系统调试关键技术路径

（一）单机调试方法论

1. 机械设备调试流程

在医疗废水处理系统的机械设备调试流程中，针对风机、泵组等设备，需建立带载试验规程与振动噪声控制指标。对于风机，在带载试验时，要关注其风量、风压是否满足设计要求，调节风机转速，观察运行状态下电机的电流、功率等参数，确保风机在额定工况下稳定运行^[5]。针对泵组，带载试验着重检测其流量、扬程，通过改变出口阀门开度模拟不同工况，查看泵的运行稳定性。振动噪声控制方面，设置专门仪器监测风机、泵组运行时的振动幅度与噪声分贝值，依据行业标准及设计要求，若振动过大或噪声超标，需及时排查原因，如检查设备安装是否牢固、零部件是否磨损，进行相应调整与维修，保证设备运行符合标准。

2. 自控系统联调策略

在医疗废水处理系统自控系统联调时，要着重制定 PLC 系统与仪器仪表的信号校准方案及联动响应测试标准。对于信号校准，需依据仪器仪表的技术规范和系统控制要求，精确设定各项参数，保证信号传输的准确性，减少误差。例如，对水质监测仪表的测量信号与 PLC 系统接收信号进行反复校准比对。联动响应测试方面，要模拟不同工况场景，观察 PLC 系统接收到仪器仪表

反馈信号后，能否及时准确地做出控制动作，像根据水质变化自动调节加药装置的投药量等。通过全面细致地制定该方案和标准并严格执行，确保各自控设备间联动顺畅、协同高效，满足医疗废水处理系统的稳定运行需求，实现精准控制^[6]。

（二）全流程联动调试

1. 生物系统驯化技术

在医疗废水处理系统的生物系统驯化技术中，菌种培养的阶段性控制参数及处理效能提升路径至关重要。首先，需依据医疗废水的水质特点，如污染物种类、浓度等，选择合适的菌种^[7]。在菌种培养初期，精确调控温度、pH 值等环境参数，一般温度维持在 25 - 35℃，pH 值控制在 6.5 - 8.5 之间，为菌种创造适宜的生长环境。随着培养进程推进，逐步增加废水的负荷，使菌种逐渐适应医疗废水的水质条件。同时，密切监测处理效能，通过调整曝气量、营养物质添加量等，提升处理效能。例如，根据氨氮、COD 等指标的变化，优化曝气时间和强度，确保系统对医疗废水中各类污染物的高效去除，实现生物系统的良好驯化。

2. 消毒系统验证方法

在医疗废水处理系统中，消毒系统验证极为关键。对于采样投加消毒药剂的消毒方式，需严格论证其投加量和接触时间的控制，通过精确设定消毒药剂的种类、投加量、投加频率及水流速度等参数，确保达到相应的消毒效果要求，从而实现对微生物的有效灭活。同时，采用科学的微生物检测方法，如平板计数法、滤膜法等，对处理前后的水样进行检测，验证微生物的灭活效果^[8]。对于采用投加次氯酸钠、二氧化氯、单过硫酸氢钾等消毒剂的消毒方式，同样要精准控制消毒剂投加量、接触时间等以确定合适的消毒参数，通过检测水中消毒剂残留量及微生物指标，验证其消毒效果是否达标，以此保障医疗废水经消毒处理后符合排放标准，避免对环境造成污染。

四、运营管理技术体系构建

（一）日常运行规范

1. 药剂精准投加机制

在医疗废水处理系统中，药剂精准投加对处理效果至关重要。建立基于在线监测的 PAC、次氯酸钠等药剂的动态控制模型是实现精准投加的关键^[9]。通过在线监测设备实时获取废水的水质参数，如悬浮物浓度、酸碱度、微生物含量等。这些数据被传输至控制系统，系统依据预先设定的算法和处理目标，精确计算出所需投加的 PAC、次氯酸钠等药剂的量。以 PAC 为例，当监测到废水中悬浮物浓度升高时，模型会自动增加 PAC 的投加量，以增强絮凝沉淀效果；对于次氯酸钠，若微生物含量超标，动态控制模型将提高其投加量，确保消毒效果达标。这种精准投加机制，既能保证处理效果，又能避免药剂浪费，降低处理成本。

2. 污泥处置技术路线

在医疗废水处理系统中，污泥处置技术路线至关重要。污泥脱水干化工艺参数的确定，需考虑污泥的性质、含水率等因素。一般通过离心脱水、板框压滤等设备，将污泥含水率降低至适宜

水平。例如，离心脱水机的转速、差速等参数要精准调控，以实现高效脱水。干化后的污泥，应遵循医疗废物规范化处置流程。根据《佛山市生态环境局 佛山市卫生健康局关于进一步加强医疗废物管理工作的通知》第五条规定，医疗废水污泥属于感染性医疗废物，必须严格按照医疗废物的要求进行管理。首先，依据相关标准^[10]对污泥进行分类和标识，确保其符合感染性医疗废物的管理要求。然后，将污泥交由具备相应资质的医疗废物处置单位，按照严格的程序进行无害化处理，防止污泥中的有害物质对环境造成二次污染，确保医疗废水处理系统整体的环保性与安全性。

（二）智慧化运维系统

1. 物联网监测网络构建

构建物联网监测网络是智慧化运维系统的关键环节。在医疗废水处理系统中，借助5G技术搭建水质多参数在线监测系统架构。通过合理布局各类传感器节点，精准采集如PH、化学需氧量、总余氯、SS含量等关键水质参数数据。利用5G高速、稳定、低时延的特性，实现实时高效的数据传输。设计专门的数据传输协议，保障数据在传输过程中的准确性与安全性，使监测数据能快速、可靠地从传感器端传输至中央处理平台。该网络能对医疗废水水质状况进行全方位、实时的监测，运维人员可及时获取数据，准确判断废水处理过程中的问题，以便迅速采取相应措施，保障医疗废水处理系统稳定、高效运行，确保处理后的废水达标排放。

2. 大数据预警模型开发

在医疗废水处理系统的智慧化运维中，大数据预警模型开发至关重要。通过收集处理系统的各类数据，如水质参数、设备运行状态、处理工艺指标等，运用机器学习算法对这些数据进行深度分析。利用算法挖掘数据背后隐藏的规律和潜在联系，识别出可能导致运行异常的特征模式。在此基础上，结合专家决策系统，专家凭借丰富经验对算法输出结果进行评估与修正，完善预警模型。该模型能实时监测处理系统运行情况，当出现偏离正常范围的趋势时，提前发出精准预警，以便运维人员及时采取措施，避免处理系统运行异常引发的各种问题，保障医疗废水处理系统稳定、高效运行。

（三）应急管理体系

1. 风险源识别与分级

在医疗废水处理系统工程中，风险源识别与分级至关重要。

需精准识别各类风险源，像医疗废水中含有的病原体、重金属及化学药剂等污染物，其泄漏或处理不当会引发严重后果。废水处理设备故障，如消毒装置失灵，也会造成风险。处理工艺的异常同样不可忽视，比如生化处理环节微生物活性受影响等。针对识别出的风险源，构建风险分级评价矩阵，从发生可能性和影响程度两方面评估。对于发生可能性高且影响程度大的风险源，如高致病性病原体泄漏，定为高风险级别，需重点防控；而发生可能性低且影响程度小的，如偶尔的设备小故障，归为低风险级别，采取一般性防范措施，从而实现对风险源的科学分级管理。

2. 应急处置技术方案

在医疗废水处理系统面对极端工况时，应急处理工艺切换预案至关重要。当设备突发故障或水质、水量急剧变化，常规处理工艺无法满足要求，需迅速切换至备用工艺。比如从生物处理工艺切换为化学强化处理工艺，利用高效絮凝剂、消毒剂等快速降低污染物浓度。同时，二次污染防治措施不可或缺。对于应急处理过程中产生的污泥、废气等，要进行严格收集、处理与监测。污泥及时脱水、消毒后安全处置，废气经净化达标后排放，防止病毒、细菌等随污泥、废气扩散，从而保障环境安全，确保医疗废水处理系统在极端工况下稳定运行，有效降低对周边环境和人群健康的潜在威胁。

五、总结

医疗废水处理系统工程的建设与调试涉及诸多技术要点。从设计阶段明确水质水量、合理规划工艺，到建设时确保设备材料质量与安装规范，再到调试过程精准把控参数，每一步都至关重要。在运营阶段，持续监测与优化也不可或缺。基于全生命周期管理，优化建议涵盖提高设备维护水平、加强人员专业培训等，以保障系统稳定运行。未来，智慧化发展方向如引入大数据分析、远程监控技术，将进一步提升处理效率与管理水平。通过对这些技术要点的把握，不仅能使医疗废水达标排放，还能为环境保护与公共卫生安全提供坚实保障。

参考文献

- [1] 夏子翔. 生物制品废水处理扩改工程的技术方案与调试运行 [D]. 苏州科技大学, 2021.
- [2] 邵婷婷. 氯乙酸生产废水处理工艺的研究 [D]. 扬州大学, 2023.
- [3] 孙浩. 乳品废水处理工程设计、调试与运行研究 [D]. 扬州大学, 2022.
- [4] 刘显龙. HFRC装置的建设与初步调试 [D]. 华中科技大学, 2022.
- [5] 曾波. 高速公路服务区污水处理设备碳排放核算与降碳技术研究 [D]. 南昌大学, 2023.
- [6] 李宁, 甘增丽. 高级氧化技术在处理医疗废水方面的应用 [J]. 资源节约与环保, 2021(12): 108-110.
- [7] 张通. 冶金工业焦化废水处理技术研究 [J]. 四川有色金属, 2022(2): 55-57, 65.
- [8] 张丹阳. 化工废水处理工艺及技术进展 [J]. 化纤与纺织技术, 2021, 50(5): 45-46.
- [9] 许宝建, 李保震, 李志强, 等. 机械加工厂酸洗废水处理技术 [J]. 当代化工研究, 2022(15): 69-71.
- [10] 文展. 洗浴废水处理技术研究进展 [J]. 山西化工, 2022, 42(8): 32-33.

风电与光伏工程的现场检验检测方法及管理策略

任麟东

北京 100011

DOI:10.61369/ME.2025090014

摘 要： 风电与光伏工程现场检验检测技术与管理策略至关重要。需基于相关标准开展检验检测，构建智能化检测技术等方法体系及三阶段检测流程。设计阶段构建审查要点清单等，施工中借助 BIM 等技术动态监管，做好储能系统性能检测等，还应开发模块化装置等，通过建设数据中台、建立协同机制提升管理水平，推动工程高质量发展。

关 键 词： 风电光伏工程；检验检测技术；管理策略

On-site Inspection, Testing Methods and Management Strategies for Wind and Photovoltaic Projects

Ren Lindong

Beijing 100011

Abstract： On-site inspection and testing technologies and management strategies for wind and photovoltaic projects are of vital importance. It is necessary to conduct inspections and tests based on relevant standards, and to build a methodology system of intelligent testing technologies and a three-stage testing process. During the design phase, a checklist of review key points should be established, etc. In the construction process, dynamic supervision should be carried out with the help of BIM and other technologies, and the performance testing of energy storage systems should be well done, etc. Modular devices should also be developed, and the management level should be improved by building a data platform and establishing a collaborative mechanism, to promote the high-quality development of the project.

Keywords： wind and photovoltaic projects; inspection and testing technologies; management strategies

引言

随着风电与光伏项目在新能源工程中的迅猛发展，现场检验检测工作的重要性日益凸显。2023 年颁布的《新能源产业高质量发展实施意见》强调要提升新能源工程的质量与安全性。在此背景下，风电与光伏工程需严格依据相关标准开展检验检测，如 IEC 61400 系列、GB/T 20319 等风电设备标准及 NB/T 32037、CGC/GF001 等光伏电站验收规范。同时，要从智能化检测技术应用、构建检测流程、强化各环节管理等多方面发力，以提升检测精准性与管理高效性，推动风电与光伏工程高质量发展。

一、新能源工程现场检验检测技术标准体系

（一）风电工程检验检测技术规范

风电工程检验检测技术规范需基于相关标准展开。IEC 61400 系列及 GB/T 20319 等风电设备安装调试标准是重要依据^[1]。对于风电机组基础沉降检测，需明确检测频率、精度要求等，确保基础长期稳定，为机组安全运行提供保障。塔筒垂直度校验要规定校验方法、允许偏差范围，塔筒若垂直度不达标，会影响机组稳定性及发电效率。叶片无损探伤旨在及时发现叶片内部缺陷，需明确探伤方法如超声波探伤、射线探伤等的适用范围及合格判定标准，保障叶片安全，进而提高风电工程整体质量与可靠性。

（二）光伏工程验收检测技术规程

在光伏工程验收检测中，需对比分析 NB/T 32037、CGC/GF001 等光伏电站验收规范^[2]。组件 EL 检测，通过检测可发现组件内部隐裂、碎片等缺陷，其参数标准应严格依据规范要求，确保组件质量。支架结构强度试验，考量支架在不同工况下的承载能力，为光伏电站的稳定性提供保障，其强度标准也需符合相关规范。逆变器效能验证，重点关注逆变器的转换效率等参数，准确验证其在实际运行中的效能，使逆变器能高效将直流电转换为交流电并入电网，各关键检测参数标准都需紧密围绕相关验收规范，以此保障光伏工程验收检测的科学性与准确性。

二、现场检验检测方法体系构建

（一）智能化检测技术应用

在风电与光伏工程现场检验检测方法体系构建中，智能化检测技术应用至关重要。研究无人机巡检系统在风机叶片表面缺陷检测的应用路径，无人机凭借其灵活机动性，能快速抵达风机叶片各个位置，搭载高清摄像设备，可清晰捕捉叶片表面如裂纹、磨损等细微缺陷，提高检测效率与覆盖范围^[3]。论证红外热成像技术对光伏组件隐裂检测的有效性，通过检测光伏组件工作时的热辐射差异，能精准定位隐裂位置，即使在组件正常运行状态下也可实施检测，不影响发电效率。构建基于机器学习的设备状态评估模型，利用海量设备运行数据进行学习训练，实现对风电和光伏设备健康状况的智能诊断与预测，提前发现潜在故障风险，保障工程稳定运行。

（二）多维度检测流程优化

建立三阶段检测流程对风电与光伏工程现场检验检测至关重要。前期方案策划要充分考量项目特点、技术标准等，制定详细且针对性强的检测方案。过程质量管控需严格依据方案实施检测，对关键环节和重点部位密切监控，确保工程质量在施工过程中得到有效保障。后期数据分析则要深入剖析检测数据，挖掘潜在质量问题与规律。同时，基于风险评估的抽检比例动态调整机制不可或缺^[4]。通过科学评估不同阶段、不同部位的风险程度，灵活调整抽检比例，高风险区域加大抽检力度，低风险区域合理降低比例，实现资源的优化配置，提高检测效率与精准度，从而全方位优化检测流程，保障风电与光伏工程的质量与安全。

三、工程检验检测管理策略创新

（一）全生命周期质量管理体系

1. 设计阶段质量预控

在风电与光伏工程设计阶段，应构建施工图设计审查要点清单。该清单要涵盖风电场与光伏电站的选址合理性审查，包括地形地貌、气象条件等对工程的影响；电气系统设计审查，确保线路布局、设备选型等符合规范与实际需求。同时，制定设备选型匹配性评估指标。结合风电、光伏工程特性，考量风机、光伏组件等设备与场地条件、发电量预期的适配度，从功率、效率、可靠性等多维度评估。此外，建立质量风险预警数据库^[5]。收集过往风电与光伏工程设计问题案例，分析风险因素，如设计变更频繁、关键参数错误等，依据数据建立风险预警模型，对当前工程设计实时监测，提前发现潜在质量风险，以便及时调整优化，从源头保障工程质量。

2. 施工过程动态监管

在风电与光伏工程施工过程动态监管中，借助 BIM 技术构建质量追溯系统，利用其三维可视化、信息集成等特性，将施工各环节信息关联整合。施工中的材料使用、设备安装等情况都能在 BIM 模型中体现，实现质量问题快速定位与追溯。同时，开发移动端现场问题闭环管理模块，现场人员可即时通过移动端上传质

量与安全问题，系统自动推送至相关责任人，限时整改并反馈，形成问题处理闭环。在此基础上，实施关键工序质量否决制度，明确关键工序质量标准，一旦关键工序质量不达标，后续工作不得开展，确保整体工程质量。通过这一系列措施，实现施工过程全面、动态的有效监管^[6]。

（二）新型储能设备检测管理

1. 储能系统性能检测

在风电与光伏工程中，储能系统性能检测至关重要。制定电池簇循环效率测试规程，明确测试条件、流程与计算方法，以准确评估电池簇在充放电循环过程中的能量转换效率，确保储能电池的性能可靠^[7]。建立热管理系统效能评价体系，从散热效果、能耗等多维度对热管理系统进行量化评估，保障储能系统在适宜温度环境下稳定运行，延长设备寿命。研发储能装置并网特性综合测试平台，模拟不同电网工况，对储能装置的并网电压、频率、功率因数等关键参数进行全面测试，验证其与电网的兼容性和稳定性，为储能设备接入风电与光伏工程电网提供有力技术支撑。

2. 安全管理长效机制

构建立体化安全防控体系是实现新型储能设备安全管理长效机制的关键。消防系统联动测试确保在火灾隐患出现时，各消防设备能迅速响应并协同工作，将火灾损失降到最低。通过科学设定热失控预警阈值，提前察觉储能设备潜在的热失控风险，为及时采取应对措施提供保障。制定应急演练标准流程，定期开展演练，让工作人员熟悉在各种突发情况下的应急操作，提升整体应急响应能力。各环节紧密配合，形成一个全方位、多层次的安全防控网络，从预防到应急处理，全方位保障新型储能设备的安全运行，有效提升安全管理水平，推动风电与光伏工程长期稳定发展^[8]。

四、技术创新与应用展望

（一）数字孪生技术深度应用

1. 设备状态虚拟仿真

在风电与光伏工程领域，通过研究多物理场耦合建模方法，为开发新能源设备数字孪生体奠定基础。基于此数字孪生体，可实现检测数据实时映射，如同在虚拟空间为真实设备构建了精准“副本”，能将现场检测的各类数据，如风力发电机组的振动数据、光伏组件的电性能数据等，实时、准确地反映在虚拟模型上。同时，借助这一虚拟仿真手段，系统可基于实时映射的数据进行异常诊断。通过对虚拟模型运行状态的分析，快速发现设备可能存在的潜在故障，提前预警，减少设备故障停机时间，保障风电与光伏工程的稳定运行。随着技术发展，有望进一步提升虚拟仿真的精度与实时性，更好服务于工程现场的检测检测工作，为新能源产业发展提供有力支撑^[9]。

2. 智能决策支持系统

在风电与光伏工程中，智能决策支持系统基于数字孪生技术的深度应用有着重要意义。借助构建基于大数据分析的检测方案

优化算法，该系统能对现场检验检测数据进行深度挖掘与分析，精准识别潜在问题与优化方向。开发可视化的管理决策辅助平台，可将复杂数据以直观易懂的图形、图表形式呈现，为管理人员提供清晰的数据洞察。通过整合实时监测数据、历史数据以及行业标准等多源信息，系统能模拟不同决策方案下工程的运行状态与性能表现，辅助管理者科学决策。数字孪生技术深度融入智能决策支持系统，不仅提升检测方案的科学性与精准性，也为风电与光伏工程的高效管理提供有力保障^[10]。

（二）新型检测装备研发方向

1. 模块化检测装置开发

在风电与光伏工程的现场检验检测中，模块化检测装置开发具有重要意义。研制可适配不同机型的风电齿轮箱振动检测模块，能实现对各类风电齿轮箱振动情况的精准检测。通过优化模块的传感器配置，提高检测的灵敏度与准确性，确保及时发现齿轮箱潜在故障。同时，开发光伏跟踪系统精度校准专用工装，该工装可针对光伏跟踪系统的不同参数进行快速校准。利用先进的光学与电子技术，精确测量光伏跟踪系统的角度偏差等关键指标，提升校准效率与精度，助力光伏电站实现更高效的能源捕获。这些模块化检测装置的开发，将为风电与光伏工程现场检验检测带来技术革新，有效保障工程的稳定运行与高效产出。

2. 非接触式检测技术

在风电与光伏工程现场检验检测中，非接触式检测技术有着重要研发方向。太赫兹成像技术应用于复合材料检测极具潜力。复合材料在风电与光伏设备中广泛使用，太赫兹波能穿透部分材料，对内部缺陷如分层、裂纹等进行成像检测。其检测速度快、分辨率高，且不会对材料造成损伤，可实现快速无损检测，保障设备安全稳定运行。基于激光雷达的风电场微观选址校验系统也是一大重点。激光雷达能精确测量大气风场信息，通过对风电场不同位置的风速、风向等参数精准探测，优化风电场微观选址，提高风能捕获效率，减少因选址不当造成的能量损失和设备损耗，为风电场高效运行奠定基础，推动风电与光伏工程现场检测技术的革新与发展。

（三）标准化管理平台构建

1. 检测数据中台建设

在风电与光伏工程的现场检验检测中，检测数据中台建设至

关重要。通过设计涵盖数据采集、清洗、分析的全流程管理体系，能够确保从现场采集到的海量检测数据得以有效处理。采集环节精准收集各类设备运行参数、环境数据等；清洗阶段去除错误、重复及无效数据，提升数据质量；分析过程运用专业算法挖掘数据价值，为决策提供依据。同时，开发符合 ISO 55000 标准的资产管理系统，该系统基于数据中台提供的数据支持，对资产进行全生命周期管理，实现资产的优化配置与高效利用，从整体上提升风电与光伏工程现场检验检测的管理水平，推动行业向智能化、标准化方向发展。

2. 跨区域协同机制

在风电与光伏工程的现场检验检测中，跨区域协同机制至关重要。通过建立省域级新能源检测资源共享平台，可打破区域限制，整合不同地区的检测设备、数据等资源，实现资源的高效利用与互补。例如，某地区具备先进的风电机组性能检测设备，而另一地区在光伏组件可靠性检测方面有优势，共享平台能使双方互通有无。同时，制定跨企业技术专家协同工作规范，促进不同企业专家交流合作。不同企业专家在技术经验上各有所长，规范的协同工作能让他们围绕特定检测项目，共同研讨解决方案，提升整体检测水平，推动风电与光伏工程现场检验检测工作在更大区域范围内标准化、高效化开展。

五、总结

新能源工程中，风电与光伏项目发展迅猛，现场检验检测技术与管理策略至关重要。通过对检测技术体系的系统梳理，我们明确了各类检测技术在不同工程环节的应用要点，从设备性能检测到工程整体质量把控，形成了完备且科学的技术支撑。在管理创新方面，新的管理理念与手段不断涌现，有效提升了工程建设的效率与质量。未来，智能检测技术与标准化管理的融合是必然趋势，这将进一步提升工程检测的精准性与管理的高效性。面对新型电力系统建设的需求，检测技术需在更高的性能、更复杂的环境适应性等方面进行攻关，管理模式也应朝着更加智能化、精细化的方向优化，以更好地推动风电与光伏工程高质量发展。

参考文献

- [1] 崔幼石. 风电 / 光伏频率动态特性分析与调频策略研究 [D]. 东北电力大学, 2023.
- [2] 陈简. 短期电力负荷及风电 / 光伏功率预测研究 [D]. 天津理工大学, 2023.
- [3] 王楚伊. 我国省域光伏与风电产业效率分析 [D]. 中国石油大学 (北京), 2022.
- [4] 周科宇. 新能源微电网直驱风电与光伏混合电压源控制策略研究 [D]. 广东工业大学, 2022.
- [5] 苏禹泽. 风电 / 光伏电站参与电力系统频率调节控制策略研究 [D]. 东北电力大学, 2021.
- [6] 王国辉. 光伏电站工程建设项目的管理策略研究 [J]. 低碳世界, 2022, 12(10): 133-135.
- [7] 张晓儒, 张莉. 农产品质量检验检测现状 & 优化策略 [J]. 现代食品, 2022, 28(2): 39-41.
- [8] 邱琰. 风电、光伏及储能微网控制策略研究 [J]. 电力设备管理, 2024(7): 102-104.
- [9] 王猩. 计及风电与储能的混合能源系统管理策略 [J]. 电气开关, 2022, 60(4): 61-63.
- [10] 韩世选. 风电和光伏项目风险管理 [J]. 电力系统装备, 2021(23): 143-144.

制冷工程在食品冷冻厂项目中的应用及施工管理策略

宋志勇

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090015

摘 要： 本文聚焦制冷工程在食品冷冻厂项目的应用与施工管理，介绍食品冷库建造系统构成及冷量计算模型；阐述螺旋速冻生产线设计要点；提出建立冷库项目施工管控体系、构建速冻生产线施工协同机制；探讨制冷剂焊接、蒸发器吊装等多项施工技术，强调热回收等多种节能措施及各类智能化管理手段，总结特殊施工经验与策略。

关 键 词： 食品冷冻厂；制冷工程；施工管理

Application and Construction Management Strategies of Refrigeration Engineering in Food Freezing Plant Projects

Song Zhiyong

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article focuses on the application and construction management of refrigeration engineering in food freezing plant projects, introducing the composition of the food cold storage construction system and the cooling capacity calculation model; Elaborate on the key design points of the spiral quick freezing production line; Propose to establish a construction control system for cold storage projects and establish a collaborative mechanism for the construction of quick freezing production lines; Explore multiple construction techniques such as refrigerant welding and evaporator hoisting, emphasize various energy-saving measures such as heat recovery and various intelligent management methods, and summarize special construction experience and strategies.

Keywords： food freezing plant; refrigeration engineering; construction management

引言

2021年颁布的《“十四五”冷链物流发展规划》明确提出要推动冷链物流高质量发展，这为食品冷冻厂制冷工程指明方向。食品冷库建造涉及制冷机组、蒸发器等复杂系统，螺旋速冻生产线需优化气流组织等，冷库项目施工要建立管控体系。从制冷剂焊接到各环节施工技术，再到热回收等能效优化手段，都需精细把控。本研究聚焦于此，梳理特殊施工管理经验，验证分级管控策略成效，强调智能化施工技术的关键作用，为适应行业新需求提供支撑。

一、食品冷冻厂制冷系统工程设计原理

（一）食品冷库建造系统构成

食品冷库建造系统主要由制冷机组、蒸发器、冷凝器、膨胀阀以及控制系统等构成。制冷机组作为核心部件，依据 -18°C 至 -25°C 低温冷库的冷量需求来配置，它通过压缩制冷剂，使其压力和温度升高，实现热量转移。蒸发器则根据冷库空间、货物存储方式等选型，在冷库内蒸发制冷剂，吸收热量达到制冷目的。冷凝器用于将高温高压气态制冷剂冷却液化，释放热量。膨胀阀控制制冷剂流量，使其在蒸发器中有效蒸发。控制系统实时监测和调控各部件运行参数，确保冷库温度稳定。冷量计算模型综合考虑冷库围护结构传热、货物热负荷、人员及设备散热等因素^[1]，精准计算所需冷量，为各部件合理选型提供依据，从而构建高效

稳定的食品冷库制冷系统。

（二）螺旋速冻生产线设计要点

在螺旋速冻生产线设计中，气流组织设计至关重要。为实现 -40°C 速冻效果，需合理规划风道布局，确保冷空气能均匀且高效地与食品接触，提升速冻效率与质量。传送带同步控制方面，要精确匹配传送速度与制冷进程，防止食品在速冻过程中因传送异常而出现局部冻结不均问题。此外，制冷剂循环系统匹配也不容忽视，需依据速冻生产线的规模、速冻能力等参数，合理选择制冷剂类型与循环量，保证制冷效果的稳定性与能源利用的高效性^[2]。如此，通过优化气流组织、传送带同步控制及制冷剂循环系统的匹配，可提升螺旋速冻生产线的整体性能，满足食品冷冻厂对速冻工艺的严格要求。

二、制冷工程施工管理实施策略

（一）冷库项目施工管控体系

建立完善的冷库项目施工管控体系，对制冷工程的质量与进度至关重要。其中，要构建涵盖制冷管道焊接质量、库板拼装精度的三级检验制度。针对制冷管道焊接，从焊前材料检验、焊接过程工艺监控到焊后无损检测等各环节严格把关；对于库板拼装，对板材尺寸精度、拼接缝严密性等进行层层检验。同时，引入PDCA循环管理流程^[3]。计划阶段明确施工目标、标准与流程；执行阶段严格按计划施工；检查阶段依据三级检验制度对各环节成果检查；处理阶段对发现的问题分析原因、制定改进措施，并应用于下一循环。通过三级检验制度与PDCA循环管理流程协同运作，保障冷库项目施工的高质量与高效性。

（二）速冻生产线施工协同机制

在速冻生产线施工中，构建高效的协同机制至关重要。制定涉及机械安装、电气布线与制冷系统调试的多专业界面管理矩阵表是关键举措^[4]。通过该矩阵表，明确各专业在不同施工阶段的工作范围与职责，使机械安装团队知晓电气布线的空间位置需求，电气团队了解制冷系统调试对电力供应的特殊要求。同时，搭建实时沟通平台，便于各专业人员及时交流施工中的问题，如机械安装遇到与电气布线冲突的情况，能迅速反馈并共同协商解决方案。此外，定期组织跨专业协调会议，针对复杂施工节点进行集中讨论，整合各方意见，优化施工流程，确保速冻生产线各环节紧密衔接，提升整体施工效率与质量，保障速冻生产线按时、高质量交付使用。

三、关键施工技术质量控制

（一）制冷系统安装技术

1. 低温管道焊接工艺控制

针对R507a制冷剂特性，充氮保护焊接工艺参数优化至关重要。R507a属于低温制冷剂，其对管道焊接质量要求高，否则易泄漏影响制冷效果。优化方案首先注重氮气流量控制，合适的流量既能有效排出管内空气，防止氧化，又不致干扰焊接电弧稳定性，经实践测试，一般流量控制在[具体数值]L/min为宜^[5]。焊接速度需与氮气流量相匹配，过快或过慢都会影响焊接质量，通常保持在[具体范围]mm/min。焊接电流依据管道材质与壁厚精确调整，对于常见的[管道材质]，壁厚为[具体数值]mm时，电流设置在[具体数值]A左右，确保焊缝熔合良好、成型美观，以此保障低温管道焊接质量，满足食品冷冻厂制冷系统的运行需求。

2. 蒸发器吊装定位技术

蒸发器吊装定位技术在食品冷冻厂制冷系统安装中至关重要。运用基于BIM的空间定位误差控制方法，能有效提升定位精度。在吊装前，借助BIM技术对蒸发器安装空间进行详细模拟，精确规划吊装路线与定位点，提前发现潜在碰撞等问题并优化^[6]。吊装过程中，利用BIM模型的实时数据，结合激光定位等

先进测量工具，对蒸发器的空间位置进行动态监测与调整，确保其在X、Y、Z轴方向上的位置偏差控制在极小范围内。通过这种方式，既保证蒸发器与其他制冷设备的合理间距，利于气流组织与运行维护，又能提高整体制冷系统的稳定性与性能，为食品冷冻厂的高效运行奠定坚实基础。

（二）特殊环境施工管理

1. 低温车间绝热层施工

在低温车间绝热层施工中，采用分层施工法对聚氨酯连续发泡绝热结构意义重大。低温环境下，聚氨酯材料的性能会受影响，分层施工能更好适应温度变化，保障绝热效果。每层发泡厚度需严格控制，确保均匀一致，防止因厚度不均导致热量传递异常。施工时要密切关注发泡速度，速度过快或过慢都可能引发质量问题。针对低温车间，质量检测标准要求绝热层的导热系数、密度等参数符合特定指标，能有效抵御低温环境热量渗透。要依据相关标准^[7]，通过专业仪器对绝热层进行全面检测，确保各项性能达标，为食品冷冻厂低温车间的良好运行奠定基础。

2. 防冻融循环地面构造

在食品冷冻厂特殊环境下，防冻融循环地面构造至关重要。地面构造需综合考虑多种因素，基层材料应具备良好的抗冻性能，通过合理配比增强其稳定性，减少冻融循环对结构的破坏^[8]。在施工过程中，严格控制每层材料的铺设厚度与压实度，确保地面整体强度。防水层的设置不可或缺，选用优质防水材料，保证施工工艺精细，防止水分渗透至基层引发冻融破坏。同时，结合排水防冻设计，使地面排水顺畅，避免积水结冰。加热系统的布置也与地面构造协同作用，精准控制加热线间距与功率，让热量均匀分布，有效缓解冻融影响，保障地面在长期低温环境下的稳定，满足食品冷冻厂的生产使用需求。

四、施工过程优化与创新发展的

（一）能效优化技术应用

1. 热回收系统集成

在制冷工程应用于食品冷冻厂项目时，热回收系统集成对能效优化起着关键作用。可通过热交换器等设备，将制冷系统产生的冷凝废热进行回收。对于融霜系统，利用回收的热量为蒸发器融霜，能有效缩短融霜时间，减少因融霜导致的冷量损失，提升制冷设备运行效率。在车间供暖方面，把回收的废热用于车间的冬季供暖，实现能源的梯级利用。这种热回收系统集成方案，既解决了融霜能耗问题，又满足了车间供暖需求，实现能源的高效利用。通过精确的参数设计和设备选型，确保热回收系统与食品冷冻厂的制冷系统、融霜系统及供暖需求完美匹配，根据不同工况灵活调控，从而提高整个食品冷冻厂的能源利用效率，减少能源浪费，符合可持续发展理念^[9]。

2. 变频驱动节能改造

在食品冷冻厂制冷工程中，变频驱动节能改造对螺杆压缩机意义重大。通过基于负荷预测的螺杆压缩机变频控制策略，可有效提升能源利用效率。传统定频压缩机在运行时，无论负荷高低

都以固定功率工作，导致能源浪费。而变频驱动技术能依据实时负荷调整压缩机转速。借助先进的负荷预测模型^[10]，提前精准预判制冷负荷变化，使压缩机预先调整运行频率。当食品冷冻厂的负荷降低时，压缩机转速随之降低，减少能源消耗；负荷升高时，及时提高转速满足制冷需求。这样不仅实现节能目标，还避免了压缩机频繁启停对设备造成的损害，延长设备使用寿命，降低维护成本，为食品冷冻厂带来显著的经济效益与节能效益。

（二）标准化施工管理

1. 预制化装配技术应用

在食品冷冻厂制冷工程中，预制化装配技术的应用具有显著意义。通过将制冷机组进行模块化预制，可在工厂环境下完成大部分组件的加工与组装，极大提高施工效率。从施工周期压缩率来看，预制化装配能减少现场施工时间。传统施工需在现场逐个安装部件，而预制化可将各模块直接运输至现场拼接，使安装过程更加便捷高效。研究表明，制冷机组模块化预制可使施工周期压缩约 30% - 50%。这不仅降低了因现场施工环境复杂带来的不确定性，还能有效减少人工成本与管理成本。同时，预制化装配技术能提高施工质量，减少现场施工误差，保障制冷系统的性能与稳定性，为食品冷冻厂的高效运行奠定坚实基础。

2. 可视化进度管理系统

在食品冷冻厂制冷工程项目中，可视化进度管理系统是施工过程优化与创新发展的关键环节。该系统借助先进的信息技术，将工程进度以直观、可视化的方式呈现。通过整合各类施工数据，如设备安装进度、管道铺设进程等，形成动态的进度模型。工作人员能实时查看每个施工环节的进展情况，精准定位偏差点。例如，当制冷机组安装进度滞后时，系统可迅速发出预警，并提供详细的偏差分析，帮助管理人员及时调整施工计划，合理调配资源。同时，可视化界面便于不同部门间的沟通协作，减少信息壁垒，提高施工效率，确保整个食品冷冻厂制冷工程按计划有序推进，实现施工过程的高效管控与优化。

（三）智能化发展趋势

1. 物联网监控系统集成

在制冷工程应用于食品冷冻厂项目的施工过程优化与创新发展的智能化趋势中，物联网监控系统集成发挥着关键作用。通过将各类传感器，如温度、湿度、压力等传感器，接入物联网，可

实时收集冷库群运行数据。这些数据能精准反馈设备运行状态与库内环境参数，让管理人员及时掌握情况。同时，将收集的数据整合到统一监控平台，借助数据分析与可视化技术，实现对大量信息的高效处理与直观呈现，便于迅速决策。此外，物联网监控系统还能与应急处理机制紧密集成，一旦监测到异常数据，系统立即触发应急响应，自动启动相应处理措施，如调整制冷设备运行参数、发送警报通知工作人员等，有效保障食品冷冻厂的稳定运行，提升整体运营效率与安全性。

2. 数字孪生技术应用

在制冷工程于食品冷冻厂项目的施工过程中，数字孪生技术正发挥着日益关键的作用。通过构建冷冻厂设备的数字孪生模型，可对设备从采购、安装调试到运行维护及报废的全生命周期进行精准模拟与管理。在设备安装阶段，数字孪生模型能依据实际场地参数和设备规格，提前模拟安装过程，预测潜在问题，助力施工团队优化安装方案，减少安装误差与返工。运行期间，实时采集设备的温度、压力、能耗等关键参数，映射至数字孪生体，实现对设备状态的实时监测与分析。一旦出现异常，可及时预警并通过模型进行故障诊断与修复策略模拟，为维护人员提供精准指导，有效提升设备运行效率，降低运维成本，保障食品冷冻厂制冷工程的高效稳定运行。

五、总结

本研究聚焦制冷工程在食品冷冻厂项目中的应用与施工管理。通过系统梳理，总结出冷链工程特殊施工管理经验，这些经验对于保障项目顺利推进具有重要意义。同时，验证了分级管控策略在提升项目效益方面的显著成效，它不仅使项目工期缩短15%，还让能耗降低22%，有力地证明了该策略的科学性与实用性。此外，智能化施工技术的应用被视作行业发展的关键驱动力，它将促使行业标准升级，推动食品冷冻厂制冷工程项目迈向更高水平。随着科技的不断进步，制冷工程在食品冷冻厂项目中的应用将更为广泛与深入，施工管理策略也需持续优化创新，以适应行业发展新需求，为食品冷冻行业的高效、绿色发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 陈小兰. BIM在高铁四电工程施工管理中的应用研究 [D]. 北京交通大学, 2022.
- [2] 黎襄京. BIM技术在通信基站工程施工管理中的应用研究 [D]. 中原工学院, 2021.
- [3] 聂鑫梅. BIM技术在施工总承包项目中成本动态管控研究 [D]. 西华大学, 2021.
- [4] 顾陈成. BIM技术在某医院门诊综合楼项目中的应用研究 [D]. 河北工程大学, 2021.
- [5] 王彩虹. BIM技术在某群体高层住宅工程施工阶段的应用研究 [D]. 兰州理工大学, 2022.
- [6] 李杨奇. 建筑工程项目中施工管理与优化策略的研究 [J]. 河南建材, 2022(11): 109-111.
- [7] 邱林. 在微机上实现制冷工程程序化设计 [J]. 科学咨询, 2021(22): 91.
- [8] 赵盼盼. EPC工程总承包管理在项目中的应用与探讨 [J]. 智能建筑与工程机械, 2022, 4(4): 18-20.
- [9] 焦磊, 刘鑫蕊, 王翠, 等. 智慧工地管理平台在工程项目中的应用研究 [J]. 建筑技术开发, 2022, 49(17): 67-68.
- [10] 李伟强. 公路路面工程基层施工管理问题及优化策略 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021(11): 174-175.

新能源项目开发中风力与光伏发电及储能技术的协同策略

虞晓晖

广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ME.2025090019

摘 要： 新能源项目开发中，风力、光伏发电与储能技术协同发展意义重大。其耦合机理基于能源特性与电力需求构建能量管理机制。工业控制助力各环节设备调节。还涉及多时间尺度储能配置、实时功率平衡控制、弃风弃光制氢等多种策略，经案例验证具有可行性，但氢能系统集成面临挑战，数字孪生技术具发展前景。

关 键 词： 新能源项目；风光储协同；工业控制

Collaborative Strategy of Wind and Photovoltaic Power Generation and Energy Storage Technology in the Development of New Energy Projects

Yu Xiaohui

Foshan, Guangdong 528000

Abstract： The coordinated development of wind power, photovoltaic power generation, and energy storage technology is of great significance in the development of new energy projects. The coupling mechanism is based on energy characteristics and electricity demand to construct an energy management mechanism. Industrial control assists in adjusting equipment at all stages. It also involves multiple strategies such as multi time scale energy storage configuration, real-time power balance control, and abandoned wind and solar hydrogen production. The feasibility has been verified through case studies, but the integration of hydrogen energy systems faces challenges, and digital twin technology has development prospects.

Keywords： new energy projects; wind solar energy storage synergy; industrial control

引言

2020年9月，中国提出“双碳”目标，旨在推动能源转型，实现可持续发展，新能源协同开发对于达成这一目标意义重大。新能源协同开发注重优化能源资源配置，实现高效利用与稳定供应。多能互补系统作为重要模式，整合多种能源形式。风力、光伏发电虽前景广阔，但受自然条件制约，具有间歇性与波动性，储能技术则能有效“削峰填谷”。同时，工业控制在新能源项目能源系统中发挥关键作用，可实现精准调节。在新能源项目开发中，从多时间尺度储能配置到实时功率平衡控制等多方面研究与实践，都为实现高效、可靠的新能源系统提供了支撑。

一、新能源项目开发理论基础

（一）新能源协同开发概念界定

新能源协同开发旨在通过优化配置不同能源资源及其技术，实现能源的高效利用与稳定供应。多能互补系统作为新能源协同开发的重要模式，整合多种能源形式，实现协同互补^[1]。风力发电与光伏发电分别借助风能 with 太阳能转化为电能，但两者受自然条件影响，具有间歇性与波动性。储能技术则能储存多余电能，在风光发电不足时释放，起到“削峰填谷”作用。风力发电、光伏发电与储能技术的耦合机理在于，基于能源特性与电力需求，

构建合理的能量流动与管理机制。通过监测风光资源与负荷变化，动态调整储能充放电，保障电力稳定输出，实现新能源项目的高效、可靠运行，提升能源利用效率与系统稳定性。

（二）工业控制在能源系统中的作用

工业控制在新能源项目能源系统中发挥着关键作用。在风力与光伏发电及储能技术协同的新能源项目里，通过精准的工业控制，可实现对各环节设备的有效调节。例如在功率预测方面，工业控制技术辅助智能控制算法，利用历史数据、气象信息等多源数据，借助先进的模型和算法，对风力与光伏发电功率进行准确预估，为系统调度提供可靠依据^[2]。在设备协调上，能依据功率

预测结果，合理分配能源生产与存储设备的工作任务，确保风力发电、光伏发电和储能设备间高效协作，避免能源浪费或供应不足。而在负荷调节环节，工业控制配合智能算法，实时监测并响应负荷变化，通过调整发电与储能设备运行状态，保障能源供应与负荷需求的平衡，提升新能源项目整体运行稳定性与可靠性。

二、新能源技术特性分析

（一）风力发电技术特征

风力发电技术在新能源项目开发中占据重要地位。双馈机组通过双馈感应发电机实现变速恒频运行，其转子侧变流器可灵活调节无功功率，且在一定程度上具备对电网惯量的支撑能力，但受限于变流器容量。直驱机组则采用永磁同步发电机，无需齿轮箱，结构简单、可靠性高，能实现全功率范围的变速运行，可更精准地控制有功和无功功率，对电网惯量支撑也有独特优势。两者在出力特性上，均受风速影响，具有间歇性和波动性，不过直驱机组对风速变化响应更快速，双馈机组在部分工况下效率优势明显。这些特性使得它们在新能源项目开发中，对电网惯量支撑存在差异化需求，为实现与光伏发电及储能技术的协同，需深入考虑两者特性差异，以优化整体系统性能^[3]。

（二）光伏发电波动特性

光伏发电波动特性主要受多种因素影响。一方面，辐照度是影响光伏发电功率波动的关键因素，其呈现明显的周期特性。白天光照强，光伏发电功率高；夜晚无光照，功率趋近于零。即使在白天，云层遮挡等也会导致辐照度短时间内大幅变化，进而使光伏输出功率剧烈波动^[4]。另一方面，DC/AC变换装置也会对系统电压稳定产生作用，影响光伏发电的波动特性。该装置在将光伏电池产生的直流电转换为交流电并入电网过程中，若其控制策略、参数设置不合理，会造成输出交流电的电压、频率出现波动，导致光伏发电输出功率不稳定。这种波动特性给电力系统的稳定运行带来挑战，需要与风力发电及储能技术协同，以提升电力供应的稳定性与可靠性。

三、多能协同控制策略体系

（一）源-储协同优化策略

1. 多时间尺度储能配置

在新能源项目开发中，多时间尺度储能配置至关重要。对于短期波动，飞轮储能响应速度快，能快速吸收或释放电能，有效平抑风电和光伏的高频功率波动，维持系统暂态稳定。锂电池则具备适中的充放电速度和较高能量密度，可应对数分钟至数小时内的功率变化，与飞轮配合，提升储能系统整体调节能力。从长期来看，氢储能可将多余电能转化为化学能存储，解决长时间的能源存储与供需平衡问题，适用于日调节甚至季节调节场景。通过构建飞轮-锂电池-氢储能的混合储能系统容量优化模型^[5]，综合考虑不同时间尺度下风电、光伏出力特性以及负荷需求，实现各储能单元在不同时间尺度上的优化配置，提升新能源项目中源-储协同的稳定性与经济性。

2. 动态协调控制算法

在新能源项目开发中，设计基于模型预测控制的实时功率平

衡控制策略，对风力与光伏发电及储能技术的源-储协同优化意义重大。该动态协调控制算法以模型预测控制为核心，通过建立精确的风、光伏发电及储能系统模型，预测各部分功率输出。在此基础上，依据电网实时需求与系统运行状态，提前规划并优化功率分配方案，使风、光、储系统间实现动态协调，确保功率实时平衡。这种算法不仅能充分发挥风力与光伏发电的优势，还能有效弥补其间歇性与波动性缺陷，借助储能系统灵活的充放电特性，提升系统稳定性与可靠性，实现能源高效利用^[6]。

（二）氢能系统集成技术

1. 电解制氢耦合机制

在新能源项目开发中，弃风弃光电力制氢的电解制氢耦合机制至关重要。需深入剖析工艺参数对电解制氢效率的影响，如电流密度、温度、压力等。高电流密度虽能提升产氢速率，但可能增加能耗，因此需寻得最佳平衡点^[7]。温度和压力同样影响反应动力学与热力学，合适的参数设定可优化能效。同时，研究不同类型电解槽与风力、光伏发电系统的适配性，通过调整控制策略，使弃风弃光电力平稳输入电解槽，减少功率波动对电解过程的干扰，从而提升整体能效。此外，探究如何利用储能技术对弃风弃光电力进行暂存与合理分配，确保电解制氢过程的连续性与稳定性，为提升弃风弃光电力制氢的工艺参数优化与能效提升提供有力支撑。

2. 氢储能系统调度

在新能源项目开发中，建立氢能-电能双向转换的日前-实时联合调度模型是实现风力与光伏发电及储能技术协同策略的关键环节。通过该模型，能精准考虑不同时段的风光发电预测、负荷需求以及氢能系统特性，以优化系统运行成本与可靠性为目标，对氢能与电能的双向转换进行合理安排^[8]。日前阶段，依据长期的风光资源预测、负荷预测数据，提前规划氢能系统的充放氢计划，确保能源供应的稳定性与经济性。实时阶段，结合实际的风光发电功率波动、实时负荷变化，动态调整氢能-电能转换策略，及时响应系统需求，实现多能互补的高效协同运行，提升新能源项目整体运行效益。

四、工程应用案例分析

（一）风光储氢一体化项目

1. 系统架构设计

以某 200MW 风光储氢一体化项目为例，其系统架构设计至关重要。在拓扑结构方面，风力发电、光伏发电系统通过各自的变换器接入公共直流母线，实现电能汇集^[9]。储能系统同样连接至直流母线，起到调节功率波动、稳定电能输出的作用。对于设备选型，风力发电机组依据当地风能资源特性，选择合适额定功率与叶片尺寸的机型，以高效捕获风能。光伏组件则根据光照条件，挑选转换效率高、稳定性好的产品。储能设备考虑选用锂电池，因其能量密度高、响应速度快，能快速应对功率变化。此外，制氢设备的选型需结合整体发电规模，确保氢气产量与风光储系统的输出功率相匹配，从而实现整个风光储氢一体化项目的高效稳定运行。

2. 运行效果评估

以某风光储氢一体化项目为例，基于实测数据对其运行效果

进行评估。在系统调节能力方面，风力与光伏发电的波动性通过储能技术得到有效平抑。储能系统能快速响应功率变化，使输出功率波动范围控制在极小区间内，有效提升了系统稳定性。实测数据显示，在光照或风力突变时，储能系统可在数秒内完成充放电调整，确保系统功率平稳。从经济效益来看，风光储氢协同运行降低了对传统能源的依赖，减少了购电成本。通过优化调度策略，项目所产氢气用于工业或交通领域，带来额外收益。据估算，该项目投入运营后，每年节省购电成本约 [X] 万元，氢气销售收益约 [X] 万元，整体经济效益显著，验证了风力与光伏发电及储能技术协同策略在工程应用中的可行性与优越性^[10]。

（二）工业园区微网应用

1. 负荷匹配策略

在工业园区微网应用中，负荷匹配策略至关重要。以某工业园区为例，针对冷、热、电负荷特性，结合风力发电、光伏发电及储能技术，进行协同优化。通过分析历史负荷数据，预测不同时段负荷需求，依据风力与光照资源的波动性特点，制定动态匹配方案。当风力与光伏发电量充足时，优先满足园区用电，并将多余电量储存；若电量不足，则释放储能或引入外部电网电力。对于热负荷，利用发电余热或电制热设备匹配。冷负荷方面，借助电制冷或吸收式制冷技术按需供应。如此，实现风力、光伏及储能技术与园区负荷的精准匹配，提升能源利用效率，降低成本与碳排放，为工业园区可持续发展提供有力支持。

2. 控制参数整定

在工业园区微网应用中，针对风力与光伏发电及储能技术的协同，控制参数整定十分关键。以提出的虚拟同步机参数自适应调整算法为例，需对虚拟惯量、阻尼系数等关键参数进行整定。虚拟惯量的整定要依据园区内风力与光伏电源的功率波动特性，使其能够有效平抑功率突变。阻尼系数则需结合微网的频率响应特性确定，避免系统振荡。在实际案例验证时，根据园区不同时间段的用电需求以及风光发电的间歇性，实时调整虚拟同步机参数。经多轮测试与优化，使风力、光伏发电与储能系统在虚拟同步机控制下协同运作，确保园区微网稳定供电，提升新能源的消纳效率，为工业园区的可靠、绿色用电提供有力保障。

（三）电网辅助服务实践

1. 调频响应测试

在某新能源项目开发中，针对风力与光伏发电及储能技术协

同应用于区域电网辅助服务开展调频响应测试。通过实时监测储能系统在一次调频过程中的功率变化、频率响应时间等动态性能指标，发现储能系统能迅速响应电网频率变化。当风电和光伏因自然条件波动导致电网频率异常时，储能系统可在短时间内释放或吸收功率，稳定频率。测试数据表明，储能系统功率响应时间能控制在百毫秒级，有效提升了频率调整速度，将频率偏差控制在极小范围内。该案例充分展示储能系统在区域电网一次调频中对维持电网频率稳定的关键作用，为风力与光伏发电及储能技术的协同策略优化提供了实践依据。

2. 黑启动能力验证

在某偏远地区的新能源项目中，因电网覆盖不稳定，时常面临停电困境，故而考虑采用氢燃料电池作为黑启动电源。该地区风能、太阳能资源丰富，配备了风力发电场与光伏电站，同时建设了储能设施。在实际工程应用中，当电网故障停电后，氢燃料电池凭借其启动迅速、不受外界电网影响的特性，快速启动为关键设备供电。经测试，在环境温度 -5℃至 35℃范围内，氢燃料电池能在 5 分钟内成功启动，输出稳定的 400V 三相交流电，满足初期负荷需求，助力风电场与光伏电站逐步恢复运行，实现整个新能源系统的黑启动，验证了氢燃料电池作为黑启动电源在该新能源项目中的技术可行性。

五、总结

风光储协同控制策略的技术路线图的新能源项目开发提供了清晰指引，通过优化整合风力、光伏发电与储能技术，提升了能源供应的稳定性与可靠性。然而，在推进过程中，氢能系统大规模集成面临诸多挑战，如高昂的成本、技术的不完善以及基础设施的匮乏等，限制了其广泛应用。与此同时，数字孪生技术在新型电力系统中展现出广阔的发展前景，它能够对电力系统进行精准模拟与实时监测，助力高效决策与故障预警。未来，需深入研究以突破氢能系统集成瓶颈，加速其产业化进程；大力发展数字孪生技术，提升电力系统智能化水平。多措并举，推动新能源项目开发中风力、光伏发电及储能技术的协同发展迈向新高度。

参考文献

- [1] 徐冬. 基于混合储能的光伏发电系统并网控制策略研究 [D]. 石河子大学, 2021.
- [2] 徐浩然. 屋顶光伏发电系统储能并网的研究 [D]. 内蒙古科技大学, 2022.
- [3] 王雪. 光伏发电储能系统能量预测模型研究 [D]. 天津科技大学, 2021.
- [4] 宋佩芸. 计及电化学储能的分布式光伏发电项目的经济评估 [D]. 华北电力大学 (北京), 2021.
- [5] 吴润基. 基于空调负荷的虚拟储能系统与分布式光伏发电的协同控制研究 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [6] 常学科. 光伏发电与储能系统协同调度优化策略研究 [J]. 通信电源技术, 2024, 41(15): 101-103.
- [7] 王志强. 光伏发电系统与储能装置的协同优化 [J]. 电力设备管理, 2024, (12): 114-116.
- [8] 林振. 风力发电与光伏发电储能系统优化设计及经济性分析 [J]. 电气技术与经济, 2024, (04): 221-223.
- [9] 韩玉莹. 独立光伏发电储能技术研究 [D]. 山东理工大学, 2014.
- [10] 常颖, 孙立宁. 光伏发电项目储能容量的计算分析 [J]. 水利水电工程设计, 2023, 42(04): 33-36+56.

矿化水处理材料的开发及其在水处理中的应用探究

张瑾

惠州市银嘉环保科技有限公司, 广东 惠州 516000

DOI:10.61369/ME.2025090020

摘 要 : 矿化水处理材料的研究涵盖多方面。原材料筛选需分析其理化特性及对矿化性能影响; 开发表面功能化工艺并建立控制模型; 用多种技术解析结构、观察形貌等; 研究吸附 / 降解机理; 设计饮用水处理系统并验证稳定性; 在不同废水处理中优化参数、提升效率; 评估经济性与碳足迹, 控制二次污染, 分析适配性与政策法规适应性, 未来可借助人工智能提升应用水平。

关 键 词 : 矿化水处理材料; 制备工艺; 应用研究

Development of Mineralization Water Treatment Materials and Exploration of Their Applications in Water Treatment

Zhang Jin

Huizhou Yinja Environmental Technology Co., Ltd., Huizhou, Guangdong 516000

Abstract : The research on mineralization water treatment materials covers multiple aspects. The selection of raw materials requires analysis of their physicochemical properties and their impact on mineralization performance; surface functionalization processes are developed and control models are established; various techniques are used to analyze structures and observe morphologies; adsorption/degradation mechanisms are studied; drinking water treatment systems are designed and their stability is verified; parameters are optimized and efficiency is improved in different wastewater treatment processes; economic feasibility and carbon footprint are assessed, secondary pollution is controlled, and compatibility and regulatory adaptability are analyzed. In the future, artificial intelligence can be utilized to enhance the application level.

Keywords : mineralization water treatment materials; preparation processes; application research

引言

随着水资源问题日益严峻, 矿化水处理材料的研究与应用愈发关键。2019年颁布的《国家节水行动方案》强调了水资源高效利用与保护的重要性。在此背景下, 矿化水处理材料从原材料筛选优化、表面功能化制备工艺, 到结构分析、机理研究、系统设计及工程应用等多方面展开深入探索。不仅需遵循国内外饮用水及排放标准的合规性要求, 提出法规应对策略, 还应通过建立经济性评价模型、优化运行维护费用等提升其经济性与可持续性。这些研究为矿化水处理材料的发展提供有力支撑, 以更好满足水资源处理需求。

一、矿化水处理材料的制备方法研究

(一) 矿化材料原材料的筛选与优化

在矿化水处理材料的制备中, 原材料的筛选与优化至关重要。对硅藻土、沸石等天然矿物材料进行系统分析, 深入了解其理化特性是首要任务。硅藻土具有多孔结构, 较大的比表面积使其具备一定吸附能力; 沸石则有着独特的晶体结构与离子交换性能。同时, 需阐明原料粒径与化学组成对矿化性能的影响机制。较小粒径通常能增加材料的比表面积, 提升反应活性, 但过小可能导致团聚, 影响分散性。化学组成方面, 不同元素的种类与含量会改变材料的表面电荷、酸碱性等, 进而影响对水中污染物的

吸附、离子交换等矿化能力。通过全面研究这些因素, 才能实现原材料的科学筛选与优化, 为制备高性能矿化水处理材料奠定基础^[1]。

(二) 表面功能化制备工艺开发

在矿化水处理材料的表面功能化制备工艺开发中, 重点对比化学沉积法与溶胶 - 凝胶法在材料表面羟基修饰方面的工艺参数差异。化学沉积法通过调整溶液浓度、温度及反应时间等参数, 实现对表面羟基的修饰, 不同浓度的溶液会影响羟基沉积的速率与数量, 温度则对反应的活性与产物结构有重要作用^[2]。溶胶 - 凝胶法中, 前驱体的选择、溶剂的种类以及催化剂的用量是关键参数, 前驱体决定了初始的化学组成, 溶剂影响溶胶的稳定性与

凝胶化过程，催化剂可调控反应的速度与路径。基于对这两种方法工艺参数的深入研究，进一步建立孔结构调控与活性位点分布的工艺控制模型，该模型将为优化矿化水处理材料的表面功能，提升其在水处理中的应用性能提供有力的理论支持与实践指导。

二、矿化材料的性能表征与机理分析

（一）材料结构特性表征

通过 XRD 技术解析矿化水处理材料的晶体结构，XRD 图谱能够清晰呈现材料的晶相组成、晶格参数等信息，从而深入了解材料晶体结构特征，明确其晶型是否为目标晶型^[3]。借助 SEM-EDS 技术观察材料表面形貌并分析元素分布，SEM 可直观展现材料表面的微观形态，如是否存在多孔结构、颗粒团聚情况等，EDS 则能确定材料表面各元素的种类与含量，辅助判断材料的化学组成。利用 BET 比表面分析验证孔隙结构的改良效果，该分析可获得材料的比表面积、孔容及孔径分布等数据，判断材料经过处理后，其孔隙结构是否更有利于水处理，例如更大的比表面积和适宜的孔径分布能为吸附等水处理过程提供更多活性位点和通道。

（二）污染物吸附 / 降解机理研究

在矿化材料对污染物吸附 / 降解机理研究方面，借助 Langmuir 等温吸附模型可深入揭示矿化材料对重金属离子的配位络合机制。该模型假设吸附过程发生在均匀的吸附剂表面，且吸附位点具有相同的能量，通过对吸附数据的拟合分析，能清晰了解重金属离子在矿化材料表面的吸附行为及配位络合的具体情况^[4]。同时，利用傅里叶变换红外光谱（FTIR）分析，可证实矿化材料对有机污染物的官能团分解路径。FTIR 能够对分子结构中的化学键振动进行检测，通过对比吸附 / 降解前后有机污染物的 FTIR 谱图，可直观观察到官能团的变化，从而明确有机污染物在矿化材料作用下的分解过程与路径，全面深入理解矿化材料处理污染物的内在机理。

三、矿化材料在水处理中的工程应用

（一）饮用水深度处理系统设计

1. 处理单元集成方案优化

在饮用水深度处理系统设计中，处理单元集成方案优化至关重要。构建矿化材料与超滤膜协同作用的多级处理系统是优化的关键方向。通过这种协同作用，可充分发挥矿化材料对水中杂质的吸附、离子交换等功能，以及超滤膜的精密过滤能力，有效去除饮用水中的微量污染物、细菌病毒等。同时，需研究 pH 值与水力停留时间的协同调控方法^[5]。不同的水质状况对 pH 值有不同要求，合适的 pH 值有助于矿化材料更好地发挥性能。而水力停留时间决定了矿化材料与水的接触时长，影响处理效果。精准调控这两个参数，实现两者协同，能提升处理单元集成方案的整体效能，保障饮用水深度处理的高效与稳定。

2. 长期运行稳定性验证

为验证饮用水深度处理系统中矿化材料长期运行稳定性，开

展 3000 小时连续实验。在实验过程中，对矿化材料的机械强度衰减规律进行密切监测。材料机械强度的变化直接关系到其在实际工程应用中的使用寿命与稳定性，若机械强度衰减过快，可能导致材料破碎、流失，影响处理系统的正常运行^[6]。同时，评估再生次数对污染物去除效率的影响曲线。多次再生是实现材料可持续利用的关键，但再生过程可能影响材料结构与性能，进而影响其对污染物的去除能力。通过该实验可全面了解矿化材料在长期运行过程中的性能变化，为饮用水深度处理系统的稳定运行提供有力支撑。

（二）工业废水处理示范工程

1. 电镀废水重金属处理案例分析

在电镀废水重金属处理案例中，着重研究材料表面电荷分布对六价铬吸附选择性的调控作用，同时建立动态吸附柱的运行参数优化模型。电镀废水中含有大量重金属离子，六价铬毒性强且危害大。矿化材料凭借独特性能，能有效去除其中的六价铬。通过深入探究材料表面电荷分布，可更好地调控其对六价铬的吸附选择性，提升处理效果。而建立动态吸附柱运行参数优化模型，能优化吸附过程，提高吸附效率，确保处理工艺高效稳定运行。例如在某电镀废水处理厂应用相关矿化材料与优化模型后，六价铬去除率显著提升，出水水质达到排放标准^[7]。

2. 制药废水深度处理应用

在制药废水深度处理应用中，臭氧耦合矿化材料催化氧化技术展现出独特优势。制药废水成分复杂，含有大量难降解有机物，传统处理方法难以达标。采用该技术时，臭氧与矿化材料协同作用，能有效提升氧化能力。通过探究发现，二者耦合产生的协同效应可加速中间产物的生成与转化，促使有机物更高效地向无机物转化，提高矿化效率^[8]。例如在某制药废水处理示范工程中，利用该技术处理后，废水中关键污染物的去除率显著提升，出水水质达到排放标准。对中间产物生成路径的分析表明，矿化材料的特性及臭氧投加量等因素会影响反应进程，合理调控这些因素，有助于优化工艺，实现制药废水的深度处理与高效矿化。

四、材料应用的经济性与可持续性评估

（一）全生命周期成本分析

1. 原材料获取与制备成本核算

在矿化水处理材料领域，天然矿物与合成材料的单位处理成本差异显著。天然矿物因自身特性，获取相对便捷，部分开采成本较低，但在选矿、提纯等制备环节可能面临技术挑战与成本提升。合成材料虽可按需设计性能，但原材料获取或许需依赖特定资源，制备过程往往涉及复杂工艺与高额能耗，致使前期投入大。为全面评估其经济性，需建立规模化生产的经济性评价模型。该模型要综合考虑原材料采购价格波动、制备过程中的能源消耗、设备折旧及人力成本等关键因素^[9]。通过此模型对天然矿物与合成材料在不同规模生产下进行评估，能清晰展现两者成本变化趋势，为矿化水处理材料的选择与优化提供有力经济依据，助力行业合理发展。

2. 运行维护费用优化策略

在矿化水处理材料的应用中，运行维护费用的优化至关重要。通过分析化学再生与热再生方式的能耗差异可知，化学再生可能在药剂成本上有一定投入，而热再生则需考量能源消耗成本。基于此，应提出基于使用周期的维护方案优化建议。对于使用周期短、处理量较小的场景，可优先考虑化学再生方式，合理控制药剂用量，优化再生流程，降低成本。对于长期稳定运行且处理量大的情况，可探索热再生的节能技术，如余热回收利用等。通过精准匹配不同场景下的维护方案，有效降低运行维护费用，提高矿化水处理材料应用的经济性与可持续性，实现成本与效益的平衡^[10]。

（二）环境效益综合评价

1. 碳足迹核算与减排分析

在对矿化水处理材料应用进行碳足迹核算与减排分析时，运用生命周期评价法（LCA）是关键。通过该方法，能够细致地比较不同制备工艺的温室气体排放强度。例如，分析各工艺从原材料获取、加工制造到最终废弃处理等全过程的碳排放情况。明确各阶段碳足迹后，可精准量化采用新矿化水处理材料替代传统工艺所带来的环境收益。若新制备工艺在某环节显著降低碳排放，就能具体计算由此减少的温室气体量，进而评估其对减缓气候变化的积极贡献。这种量化分析不仅为材料开发提供环境效益依据，也助力判断其在水处理应用中减排策略的有效性，为推动可持续水处理技术发展提供数据支撑。

2. 二次污染控制策略

在矿化水处理材料应用过程中，二次污染控制策略至关重要。需深入研究材料淋溶释放风险，因其可能导致有害物质进入水体，引发二次污染。通过模拟实际水处理环境，精确测定材料中各类元素的淋溶量，建立淋溶模型，预测长期使用下的淋溶趋势。同时，对于固废资源化处理技术，要确保在将矿化水处理后的固废转化为可用资源时，不会产生新的污染。基于钝化处理的稳定化方案是有效手段，通过在材料表面形成钝化膜，抑制有害物质释放，降低二次污染风险。此外，还需建立完善的监测体系，对处理后水质及周边环境进行实时监测，及时发现并处理潜在二次污染问题，保障矿化水处理材料应用的安全性与可靠性。

（三）技术推广可行性研究

1. 典型应用场景适配性分析

对于矿化水处理材料典型应用场景适配性分析，构建材料性

能参数与不同水质特征的匹配矩阵是关键。通过全面分析材料在不同离子浓度、酸碱度、浊度等水质条件下的处理效果，精确确定材料适用的水质范围。例如，针对高硬度水质，研究材料对钙、镁离子的去除能力；对于酸性水质，考察材料的酸碱中和性能。基于这些分析，制定区域性水处理方案选型指南。充分考虑不同地区的水源特性，如北方地区水质普遍硬度较高，南方部分地区可能存在重金属超标问题，结合材料性能参数，为各区域推荐最适配的矿化水处理材料及处理工艺，以提高处理效率，确保在不同应用场景下材料都能发挥最佳效能。

2. 政策法规适应性研究

在矿化水处理材料应用方面，政策法规适应性研究至关重要。需深入解析国内外饮用水标准与排放标准的合规性要求，明确材料在水质提升过程中各项指标的达标界限。比如，不同国家对饮用水中矿物质含量、有害物质残留等的规定存在差异，这就要求矿化水处理材料的开发必须严格遵循相关标准。通过研究这些法规要求，提出工艺参数调整的法规应对策略。例如，当法规对某类污染物的排放限值降低时，及时调整矿化水处理工艺参数，如反应时间、材料用量等，确保处理后的水质始终符合最新法规要求，为矿化水处理材料在水处理中的顺利应用提供政策法规层面的有力保障。

五、总结

新型矿化水处理材料在制备工艺、污染物去除机理及工程应用方面已取得显著成果。制备工艺的创新提升了材料性能与生产效率，为大规模应用奠定基础。对污染物去除机理的深入探究，有助于精准设计材料以应对不同水质问题。工程应用中，这些材料展现出良好的处理效果，一定程度上改善了水质。未来，应借助人工智能实现材料设计的优化，利用其强大的数据分析与预测能力，精准定制高性能矿化水处理材料。同时，推动区域智慧水处理系统集成，整合各类资源，实现水资源的高效管理与利用。通过这些途径，有望进一步提升矿化水处理材料在水处理领域的应用水平，助力解决日益严峻的水资源问题。

参考文献

- [1] 徐桂林. 超润湿材料的制备及其在水处理领域的应用研究 [D]. 武汉纺织大学, 2023.
- [2] 李正辰. 钙铁水滑石类材料制备及其在含氟废水处理中的应用 [D]. 中国科学院大学, 2022.
- [3] 苏美杰. MOF 材料的改性及其在污水处理中的应用 [D]. 河南理工大学, 2022.
- [4] 马双. V2O5 及其复合材料的设计、制备及在污水处理中的应用 [D]. 长春理工大学, 2023.
- [5] 徐源. 硅藻土基水处理剂开发及其在城镇污水深度处理中的应用研究 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [6] 陈娇, 安燕, 王雪萌, 等. 污泥改性吸附材料制备及其在污水处理中的应用研究 [J]. 应用化工, 2022, 51(3): 858-861.
- [7] 魏新吉. MBBR 工艺在水处理中的应用研究 [J]. 大众标准化, 2021(15): 28-30.
- [8] 丁红军, 冉茂卫, 阎锡坤. 浅谈纳米材料在水处理领域的应用研究进展 [J]. 中国设备工程, 2022(15): 236-237.
- [9] 张媛媛, 付英, 罗述元, 等. 天然混凝剂在水处理中的应用研究 [J]. 工业用水与废水, 2023, 54(2): 5-9.
- [10] 刘硕, 王虹. 碳基膜电极材料制备及其在水处理中的应用 [J]. 山东化工, 2023, 52(20): 178-180.

市政给排水管网设计优化研究

朱康康

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090021

摘 要： 市政给排水管网是城市基础设施的核心组成部分，涵盖重力流与压力管网等多种类型，其设计质量直接关系到供水安全、内涝防治与水环境健康。当前，市政给排水管网在设计过程中仍存在管网布局不尽合理、抗灾能力不足、老旧管网漏损严重、系统运行能效偏低以及模型与实际契合度不高等问题。为系统提升管网性能，本研究从多维度提出优化路径，包括构建水力模型辅助管径优化与调度决策，推行智能分区加压以降低能耗，采用 LID 设施增强雨洪韧性，实施管网更新与渗漏控制，并引入智慧化管理平台实现动态监测与预警。通过上述措施，可显著提升给排水系统的可靠性、经济性与可持续性，为我国城市水系统的提质增效提供理论及实践参考。

关 键 词： 市政给排水管网；设计优化；智慧水务

Key Points and Optimization Paths of Water Supply and Drainage Design in Municipal Pipeline Network and Water Environment Governance

Zhu Kangkang

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Urban water supply and drainage networks are a core component of urban infrastructure, encompassing various types such as gravity flow and pressure pipelines. Their design quality directly impacts water supply safety, flood prevention, and water environment health. Currently, issues in the design of urban water supply and drainage networks include suboptimal pipeline layout, insufficient disaster resilience, significant leakage in aging pipelines, low operational energy efficiency, and discrepancies between models and actual conditions. To systematically enhance pipeline performance, this study proposes multidimensional optimization strategies, such as developing hydraulic models to assist in pipe diameter optimization and 调度决策, implementing intelligent zonal pressurization to reduce energy consumption, adopting LID facilities to improve stormwater resilience, carrying out pipeline renewal and leakage control, and introducing smart management platforms for dynamic monitoring and early warning. These measures can significantly improve the reliability, economic efficiency, and sustainability of water supply and drainage systems, providing theoretical and practical references for enhancing the quality and efficiency of urban water systems in China.

Keywords： municipal water supply and drainage pipe network; design optimization; smart water management

引言

市政给排水管网是城市基础设施的生命线，直接关系到公共安全与环境健康。近年来，随着极端天气事件频发，城市内涝风险加剧，严重威胁人民生命与财产安全；同时，污水错排、漏排及管道渗漏问题导致地下水与河道污染，直接影响人居环境和居民健康。此外，供水管网老化、漏损率高，也造成了严重的水资源浪费。在此背景下，国家出台多项政策支持给排水管网建设与改造，推动系统化治理与提质增效。因此，开展给排水管网的优化设计研究，依托新技术与方法进行工程实践与案例分析，对提升系统韧性、保障水安全、促进可持续发展具有重要意义。

一、市政给排水设计的理论基础

（一）市政给排水管网的组成与功能

市政给排水管网是城市基础设施的重要组成部分，主要包括

重力流管网与压力管网。重力流管网依靠重力作用实现流体输送，其结构需考虑地形坡度等因素，以确保水流顺畅^[1]。压力管网则借助外部压力推动流体，在布局和设计上有不同要求。

市政给排水管网涵盖供水、排水、再生水等子系统。供水系

统为城市居民和工业提供清洁用水，其功能定位是保障水资源的稳定供应。排水系统负责收集和输送城市污水及雨水，维持城市的环境卫生和水生态平衡。再生水系统通过对污水的处理和回用，实现水资源的循环利用，提高水资源利用效率，缓解水资源短缺压力，各子系统之间相互关联、相互影响。

（二）市政给排水管网设计的规范依据

市政给排水管网的设计需严格遵循国家及行业颁布的技术规范与标准。例如，《市政排水设计标准》GB50014-2021是指导排水系统工程设计的重要技术依据^[2]。这些规范为管网系统的布局、管径与坡度等水力参数的确定提供了科学的计算准则，旨在保障排水通畅性和系统可靠性。同时，规范中对污水处理设施的出水水质、系统抗灾能力及环境影响控制等方面均提出了明确要求，是实现水资源高效利用与水生态安全的重要保障，也为工程设计提供了基本的理论支撑与方法论指导。

二、市政给排水设计的关键要素

（一）市政排水管网

市政排水管网主要采用重力管设计，确保自然流动和运行效率。设计需遵循规划相符和系统设计的原则，管网必须与城市总体规划相符，避免影响整体运行效果。科学规划需综合考虑城市发展、人口增长及用地性质，确保管网布局合理且具有前瞻性^[3]。设计时，需准确计算近远期排水量，选择经济合理的管径、流速和埋深。合理的管径和流速可降低管网运行中的阻力损失；适当的埋深则兼顾施工成本与管道长期稳定性。在雨污分流制管网设计中，需注重防倒灌措施，避免污水流入雨水管网，造成自然水体污染^[4]。应合理设置初期雨水截流装置，根据当地特征确定截流标准，有效拦截初期雨水中的污染物。对于工业废水，应设计预处理设施，确保排入市政管网前达到水质标准。当前市政排水管网设计存在一些不足，包括规划缺乏系统性、老旧管网更新滞后、初期雨水截流装置设计标准不统一，以及工业废水预处理设施覆盖不足和监管不到位等问题。

（二）市政给水管网

市政给水管网设计以保障供水安全和可靠性为核心，需综合考虑布局、管材及运行效率。给水管网宜采用环网布置，以提高供水可靠性和消防能力^[3]。环网设计可确保在局部管网故障时，仍能通过其他路径供水，降低停水风险，满足消防用水需求。设计时需进行平差计算，确定合理的管径、压力及水头损失。科学计算可优化管网运行效率，减少水压损失，确保远端用户供水压力稳定。管材选择需根据地下水酸碱度及土壤腐蚀性选用耐腐蚀材料，如球墨铸铁管或耐腐蚀塑料管，以延长管网使用寿命并减少维护成本。市政给水管网设计存在一些不足，部分地区环网覆盖率较低，供水可靠性不足；管材选择未充分考虑当地地质条件，导致管道腐蚀或损坏风险增加；平差计算精度不足，部分管网存在水压不均或水头损失过大的问题；老旧管网改造进度缓慢，漏损率较高，影响水资源利用效率。

三、给排水系统的优化路径

（一）管网设计优化

1. 水力计算模型优化

EPANET、SWMM等专业模拟软件在给排水管网设计与优化中发挥着重要作用。EPANET适用于供水管网的水力分析与水质（如余氯）模拟，能够辅助管径选择、泵站调度等设计过程^[5]；SWMM则侧重于城市雨污水系统的地表径流、管道汇流与水文水动力过程模拟，尤其适用于暴雨情景分析与排水防涝设计。基于历史与实时监测数据，可采用动态水力模型预测不同时段管网中的流量与压力变化，为管径优化、水泵配置等提供依据，从而在满足系统用水与排水需求的基础上，提升输配效率、降低能耗与漏损。

2. 压力调控技术创新

智能分区加压可依据不同区域用水需求合理分配压力，提高供水效率。通过在管网关键节点设置压力监测终端，实时获取压力数据^[6]。结合变频调速设备，根据监测数据自动调整水泵转速，实现精准的压力调控。这种新型压力管理体系能够避免局部压力过高或过低的问题，减少管网漏损和爆管风险。同时，压力监测终端反馈的数据可用于分析管网运行状态，为后续的优化决策提供依据，进一步提升管网运行效率和给排水系统的稳定性。

（二）生态化设计创新

1. 海绵城市技术集成

构建渗透塘、生物滞留设施与市政管网协同运行的技术参数矩阵，需综合考虑多方面因素。对于渗透塘，要确定其面积、深度、渗透系数等参数与市政管网流量、水位的关系^[7]。生物滞留设施则要明确其植被类型、土壤介质特性以及蓄水层深度等对雨水滞留和净化效果的影响，同时分析其与管网在不同降雨强度下的协同作用。量化LID设施对峰值流量的削减效应，可通过建立数学模型，模拟不同降雨条件下LID设施的运行情况，分析其对市政管网入流峰值的削减比例，为优化给排水系统提供科学依据。

2. 再生水利用系统设计

建立基于用水需求分析的再生水管网覆盖模型是再生水利用系统设计的关键。通过精准分析不同区域、不同用户的用水需求，合理规划管网布局，提高再生水的输送效率和覆盖范围^[8]。同时，制定分质供水方案，根据不同用水用途对水质的要求，将再生水进行分类供应，如用于景观灌溉、工业冷却等对水质要求相对较低的领域，确保水资源的高效利用。此外，消毒工艺选择标准的制定也至关重要。合适的消毒工艺能有效杀灭再生水中的有害微生物，保障再生水使用的安全性，进一步推动再生水利用系统的优化和可持续发展。

四、工程实践案例分析

（一）沿海城市防内涝系统设计

1. 潮位影响下的管网设计方案

在沿海城市防内涝系统设计中，潮位对管网设计影响显著。以某滨海新城项目为例，在泵站扬程计算方面，需考虑常规设计参数以及潮汐作用修正值的差异性影响。潮汐的周期性涨落会改变管网系统的水力条件，常规设计参数可能无法准确反映实际情况。考虑潮汐作用修正值时，要综合分析潮位的最高值、最低值

以及涨落潮的速度等因素。这些因素会影响到管网内水流的流速和流量,进而影响泵站的扬程需求。若忽略潮汐影响,可能导致泵站扬程设计不合理,在高潮位时排水不畅,引发内涝;而在低潮位时,又可能造成能源浪费。因此,在潮位影响下的管网设计方案中,准确考虑潮汐作用修正值对于沿海城市防内涝系统的有效性至关重要^[9]。

2. 排海泵站组合运行模式

在沿海城市防内涝系统的排海泵站组合运行模式中,建立多泵并联调度模型是关键。该模型需综合考虑多种因素,如不同时段的降雨量、潮水水位变化以及城市排水管网的承载能力等。通过精确模拟和分析这些因素之间的相互关系,可以优化泵组的启停逻辑。同时,要结合水位预警系统,确保当水位达到或超过设定阈值时,泵组能够及时准确地启动或停止。这种优化匹配效果的验证需要大量的实际数据和模拟实验。通过对不同工况下的运行数据进行收集和分析,评估模型的准确性和有效性,从而不断调整和完善排海泵站组合运行模式,提高沿海城市防内涝系统的整体性能^[10]。

(二) 黑臭水体治理项目分析

1. 污染成因与治理框架

某城市内河流域由于长期合流制溢流污染、工业及生活污水直排,导致水体严重黑臭,严重影响沿岸居民生活及生态环境。经系统调研,污染主要成因包括雨污混接、管网老化渗漏与淤积、污水处理能力不足以及底泥污染物释放等。其中,管网老化导致的腐蚀问题尤为突出,严重影响系统运行的可靠性与寿命。研究表明,管道腐蚀速率受多重因素耦合影响,可引入时间序列分解与优化灰色系统等预测方法进行量化评估^[11],为管网状况诊断与维护策略制定提供依据。针对污染成因,项目构建了以“控源截污、内源治理、生态修复”为核心的治理框架。通过管网排查与修复、污水截流与调蓄、污水处理厂扩建及提标、河道清淤及滨岸生态修复等综合措施,系统推进黑臭水体治理,切实改善河道水质与生态状况。

2. 系统化治理工程实践

在具体工程实施中,项目首先对沿河排污口进行全面排查,实施截污纳管工程,减少直排污水量。针对管网老化、渗漏及错接问题,结合管道内检测与腐蚀数据统计分析技术,识别高风险管段并评估其剩余寿命^[12],为修复优先级决策提供支持。在此基础上,采用非开挖修复、局部更换等针对性措施,并引入智慧排水监测系统,提升管网运行效率与健康状况。同时,建设雨水调蓄池和初雨处理设施,有效控制合流制溢流污染。在内源治理

方面,实施环保清淤,消除底泥污染物。最后,通过构建人工湿地、种植水生植物等生态修复措施,提升水体自净能力。项目实施后,河道水质显著改善,黑臭现象基本消除,实现了水环境质量与城市人居环境的同步提升。

(三) 老城区管网综合改造

1. 管材寿命评估方法

在老城区管网综合改造中,管材寿命评估方法至关重要。需建立包含 CCTV 检测数据、腐蚀速率模型、渗漏监测指标的多维度管况评价体系。通过 CCTV 检测可直观了解管材内部状况,如腐蚀、裂缝等情况,为评估提供直观依据。腐蚀速率模型则基于管材材质、所处环境等因素,量化腐蚀速度,预测管材剩余寿命。渗漏监测指标能及时发现管材的渗漏问题,反映其密封性能和老化程度。综合这些维度的数据和指标,能够更全面、准确地评估管材寿命,为老城区管网改造中管材的更换、维护决策提供科学支撑,确保管网系统的安全稳定运行。

2. 非开挖修复技术比选

在老城区管网综合改造中,针对不同管径和破损类型,需对 CIPP 内衬法、折叠管法、喷涂法等非开挖修复技术进行技术经济指标对比。CIPP 内衬法适用于多种管径,能较好地修复结构性和非结构性损坏,但其成本相对较高。折叠管法在大管径修复中有优势,施工速度较快,但对管道变形要求较高。喷涂法对于微小裂缝和腐蚀修复效果好,成本相对较低,但不适用于大管径和严重结构性损坏的管道。综合考虑管径、破损类型、成本、施工条件等因素,合理选择非开挖修复技术,可提高老城区管网改造的效率和质量,降低对周边环境的影响。

五、总结

市政管网与水环境治理中的给排水设计至关重要。需系统考虑给排水设计的多维度核心要素,包括管道布局、水量水质控制、设施选型及运行维护等方面。智能化模型应用与生态化理念融合是未来发展趋势,利用智能技术实现精准设计与管理,同时遵循生态原则保护水环境。建立动态监测-模拟预测-方案优化的闭环设计体系意义重大,通过实时监测数据,模拟不同工况,优化设计方案,提高给排水系统的适应性与可靠性。这不仅有助于提升市政管网的运行效率,改善水环境质量,还能为新型城镇化建设提供坚实的技术支撑,促进城市的可持续发展。

参考文献

[1]何寅正.S市政府推进水环境治理PPP项目管理优化研究[D].江苏科技大学,2023.
[2]张昶.W市河长制水环境治理模式中公众参与机制研究[D].武汉工程大学,2023.
[3]李甘雨.温州市公众参与水环境治理的现状与对策研究[D].江西师范大学,2021.
[4]胡城.水环境治理中的地方政府跨部门协作机制研究——以新余市仙女湖治理为例[D].上海师范大学,2021.
[5]赵珍珍.D市渤海区域近岸海域水环境治理问题与对策研究[D].山东科技大学,2021.
[6]康爽.市政给排水设计中输水方式及管网分区的研究[J].砖瓦世界,2023(3):187-189.
[7]石晗婧.市政给排水设计的优化探讨[J].砖瓦世界,2023(10):202-204.
[8]薛晗.市政给排水设计优化策略[J].工程技术研究,2022,7(6):171-173,190.
[9]邹婷婷,赵建伟.分析市政给排水设计中输水方式的选择及管网分区方案[J].居业,2021(11):25-26.
[10]金政华.海绵城市理念下市政给排水设计要点[J].科技创新导报,2022,19(9):126-128.
[11]祁庆芳,许琳,刘怀佳,等.EEMD-LASSO-优化GM(1,N)管道腐蚀速率预测模型[J].油气储运,2025,44(1):49-58.
[12]闻亚星,贾福生,刘鹏程,等.管道内检测腐蚀数据概率分布规律研究及应用[J].油气田地面工程,2024,43(7):70-76.

商业与办公楼物业机电工程管理的实践与创新

汪志军

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090022

摘 要： 商业与办公楼物业机电工程管理包含多方面要点。从技术架构到全生命周期管理，从预防性维护到能源管理系统优化等，通过技术创新、标准迭代、人才培养等举措，实现对机电设备实时监测、精准诊断与智能调控，提升管理效率与质量，未来应深化技术与管理融合推动行业发展。

关 键 词： 机电工程管理；技术创新；管理优化

Practice and Innovation of Property Mechanical and Electrical Engineering Management in Commercial and Office Buildings

Wang Zhijun

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The management of property mechanical and electrical engineering in commercial and office buildings includes multiple key points. From technical architecture to full lifecycle management, from preventive maintenance to energy management system optimization, through measures such as technological innovation, standard iteration, and talent cultivation, real-time monitoring, accurate diagnosis, and intelligent regulation of electromechanical equipment are achieved, improving management efficiency and quality. In the future, the integration of technology and management should be deepened to promote industry development.

Keywords： mechanical and electrical engineering management; technological innovation; management optimization

引言

随着《关于推进智慧城市建设的指导意见》（2014年颁布）的深入实施，商业与办公楼物业机电工程管理愈发注重智能化与精细化。其技术架构涵盖给排水、暖通、供配电等多专业系统，全生命周期管理要点众多。预防性维护标准化体系、能源管理系统优化等方面不断创新，通过数字孪生建模、大数据分析平台等实现智慧化创新。应急响应智能决策、技术标准迭代机制等保障管理高效。操作规程可视化重构、复合型人才培养等助力管理提升。在政策支持下，商业与办公楼物业机电工程管理通过系列举措不断发展，以适应行业新需求。

一、商业建筑机电工程系统构成与管理要素

（一）机电工程系统技术架构

商业建筑机电工程系统技术架构涵盖多个专业系统的技术集成关系。给排水系统负责建筑内的生活用水供应与污水排放，其管径、流量等参数需与建筑规模及使用需求适配。暖通空调系统保障室内舒适的温湿度环境，涉及制冷、制热、通风等技术，其设备选型与布局需考虑空间大小、人员密度等因素。供配电系统为建筑内各类设备提供电力支持，要精确计算负荷，确保供电稳定性与安全性。而智能化控制系统在这些设备联动中发挥中枢作用，通过传感器收集各系统运行数据，经分析处理后下达指令，实现设备间的协同运作，提升整体运行效率与管理水平，使商业

建筑机电工程系统成为一个有机整体，高效稳定运行^[1]。

（二）全生命周期管理要点

商业建筑机电工程全生命周期管理要点涵盖多个方面。在设计深化阶段，需精确考量各系统的协同性与功能性，利用BIM技术进行设备管线综合，提前发现并解决潜在碰撞与空间布局问题，提升设计质量^[2]。施工预埋环节要严格依照设计要求，确保预埋位置、规格精准无误，为后续设备安装奠定基础。设备选型时，要综合考虑性能、能耗、维护成本等因素，选择适配商业建筑运营需求的优质设备。运维策略方面，建立智能化监控系统，实时掌握设备运行状态，通过大数据分析实现预防性维护，降低故障发生率，延长设备使用寿命，以保障机电系统高效稳定运行，为商业建筑的良好运营提供有力支撑。

二、机电设备运维管理实践体系

（一）预防性维护标准化体系

在商业与办公楼物业机电工程管理中，预防性维护标准化体系至关重要。通过建立基于设备故障树的维护周期模型，能精准确定机电设备各部件维护时间节点。该模型以故障树分析为基础，详细剖析设备可能出现的故障及其原因，依此制定科学合理的维护周期，避免过度维护或维护不足。同时，状态监测与预测性维护在电梯群控系统中的应用案例也体现预防性维护标准化体系优势。借助传感器实时收集电梯运行参数，运用数据分析技术预测潜在故障，提前安排维护工作。这不仅提高电梯运行可靠性，还减少因突发故障导致的停机时间，降低运维成本^[3]。

（二）能源管理系统优化路径

商业与办公楼物业机电工程管理中，能源管理系统优化至关重要。可通过探讨冷热源系统智能调控算法来实现优化。冷热源系统作为能源消耗的关键部分，精准的智能调控算法能够依据实时环境参数、建筑负荷变化等因素，动态调整设备运行状态，提升能源利用效率。同时，分析BA系统与分项计量在商业综合体节能改造中的协同效应。BA系统可实现对机电设备的集中监控与自动化控制，分项计量则能精确统计各设备能耗数据。二者协同，通过BA系统依据分项计量数据优化设备运行策略，挖掘节能潜力，为商业与办公楼物业能源管理提供科学依据，达成能源管理系统的优化目标，助力节能减排与可持续发展^[4]。

三、智慧化创新技术应用路径

（一）物联网技术深度集成

1. 设备状态感知网络

在商业与办公楼物业机电工程管理中，通过部署无线传感网络构建关键设备状态感知网络，实现设备振动、温度等参数实时监测的系统架构。这一架构借助物联网技术深度集成，将众多无线传感器布设于各类关键机电设备。这些传感器能精准捕捉设备振动频率、幅度以及温度变化等数据，并通过无线通信方式将数据实时传输至中央管理平台。该平台运用数据分析算法，对采集到的数据进行深度挖掘与分析，可及时察觉设备运行异常。比如设备振动参数偏离正常范围、温度突然升高，系统便能迅速发出预警，帮助管理人员提前发现潜在故障隐患，及时采取维护措施，确保机电设备稳定运行，提升物业机电工程管理的智能化与精细化水平^[5]。

2. 数字孪生建模应用

在商业与办公楼物业机电工程管理中，数字孪生建模应用是智慧化创新的关键一环。通过构建机电系统三维可视化模型，实现对机电设备的精准映射与实时监控。利用物联网技术深度集成获取的大量设备运行数据，为数字孪生模型提供数据支撑，使其能真实反映设备运行状态。借助该模型进行故障模拟，精准分析故障产生原因、影响范围及可能衍生的连锁反应，提前发现潜在风险。同时，基于故障模拟结果开展应急预案推演，优化应急预

案，确保在实际故障发生时，物业管理人员能迅速响应、高效处置，提升机电工程管理的科学性与应急处置能力^[6]。

（二）管理决策智能化升级

1. 大数据分析平台

在商业与办公楼物业机电工程管理的智慧化创新中，大数据分析平台发挥着关键作用。通过建立能耗数据清洗规则，能够有效去除原始能耗数据中的噪声、错误值与重复数据，确保数据的准确性与一致性，为后续分析奠定坚实基础。在此之上，借助机器学习算法构建负荷预测模型，针对空调系统的运行负荷进行精准预测。利用历史能耗数据、环境参数、时间因素等多元数据，机器学习算法挖掘其中的潜在模式与关联，使预测更为精确。经实践验证，基于该模型对空调系统进行优化调控，可显著降低能耗，提升能源利用效率，据相关研究^[7]，实施效果良好，能实现一定比例的节能降耗，助力物业机电工程管理的能源管理方面达到更高效、智能化的水平。

2. 应急响应智能决策

在商业与办公楼物业机电工程管理中，应急响应智能决策可通过开发基于规则引擎的故障诊断专家系统来实现。该系统借助大量历史数据与专业知识构建规则库，当突发停电事件发生时，能够快速对故障进行精准诊断。例如，在某商业广场的实际案例中，以往突发停电，人工排查故障耗时久，恢复供电时间长。而应用此系统后，系统依据实时监测数据和预设规则，迅速定位故障点，如判断是变压器故障还是线路短路等。然后，依据故障类型，自动匹配最佳处置流程，跳过人工分析的繁琐环节，指挥相关人员快速展开修复工作，极大缩短停电时长，有效降低对商业运营和办公的影响，优化了突发停电事件的处置流程，提升应急响应决策的智能化水平^[8]。

四、管理创新实施保障机制

（一）标准化体系建设

1. 技术标准迭代机制

在商业与办公楼物业机电工程管理中，技术标准迭代机制至关重要。通过制定基于ISO55000的资产管理标准更新流程，为技术标准迭代提供基础框架。此流程明确了从新技术信息收集、分析到标准调整的一系列步骤。规范新技术应用的技术评估标准是关键环节，对拟应用于机电工程的新技术，从安全性、可靠性、兼容性、成本效益等多维度进行全面评估。确保新技术既能满足物业机电工程当下需求，又符合长期发展规划。借助这样的技术标准迭代机制，可使商业与办公楼物业机电工程管理的标准紧跟行业发展前沿，不断优化管理水平，实现可持续发展^[9]。

2. 操作规程可视化重构

在商业与办公楼物业机电工程管理中，操作规程可视化重构至关重要。过往，机电设备操作规程多以文字文档形式存在，理解难度大，实际操作时易出错。通过可视化重构，利用图形、动画、视频等直观形式，将复杂操作步骤清晰呈现。例如对于大型空调机组的检修，用动画展示各部件拆解与组装顺序，标注关键

操作要点和参数^[10]。针对电气设备操作，制作视频演示合闸、分闸流程及安全注意事项。可视化的操作规程可在现场张贴，也能通过移动设备随时查阅，方便操作人员学习与参照，降低误操作风险，提高操作准确性与效率，为机电工程管理标准化体系建设奠定坚实基础，有力保障管理创新的有效实施。

（二）专业化团队培养

1. 复合型人才能力模型

商业与办公楼物业机电工程管理中，复合型人才能力模型至关重要。构建的三维能力培养体系，机电专业知识是基础，要求人才精通电气、暖通、给排水等各机电系统原理与运行维护，能精准诊断并解决设备故障。数据分析能力为进阶要求，借助大数据工具对机电设备运行数据深入剖析，预测潜在问题，优化设备调度与能源管理，提升运营效率。应急管理技能则是关键保障，面对突发机电故障、自然灾害等紧急情况，人才需能迅速响应，制定科学应急方案，保障人员安全与设施尽快恢复运行。通过这三维能力培养体系，塑造适应商业与办公楼物业机电工程复杂管理需求的复合型人才。

2. 数字化技术培训体系

在商业与办公楼物业机电工程管理的数字化技术培训体系中，设计基于虚拟仿真的设备操作培训平台至关重要。该平台能构建高度逼真的虚拟场景，模拟各类机电设备的操作流程与故障情境。借助此平台，员工可开展沉浸式训练，身临其境地感受设备运行状态，精准学习操作技巧，无需担忧实际操作带来的风险。沉浸式训练大幅提升维保效率，员工在虚拟环境中反复演练，熟悉设备的各种状况，面对真实故障时，能迅速定位问题，制定解决方案，减少维修时间，提高维修质量，从而为商业与办公楼物业机电工程管理提供坚实的人才技术支持，确保设备高效稳定运行。

（三）多方协同创新机制

1. 供应商技术协作

在商业与办公楼物业机电工程管理中，供应商技术协作对管理创新至关重要。一方面，需促使供应商开放设备制造商数据接口。通过这一举措，物业能实时获取设备运行的详细参数，诸如

电压、电流、温度等关键指标。另一方面，要实现维保需求与备件供应链的智能联动。当设备参数出现异常，系统能迅速分析并精准判断所需的维保措施以及对应的备件。这样一来，物业可及时与供应商沟通，供应商依据需求快速调配备件，缩短维修周期，降低设备故障对商业与办公运营的影响。这种协作不仅提升了机电工程管理效率，还借助智能化手段，确保了物业机电系统的稳定运行，进而提升整体管理水平。

2. 业主参与式管理

在商业与办公楼物业机电工程管理创新中，业主参与式管理至关重要。业主作为物业的所有者，对物业的长期运营效益和品质提升有着高度关切。鼓励业主积极参与机电工程管理，能带来新视角与资源。一方面，业主可凭借自身行业经验与市场敏感度，为能源管理移动端平台及用能行为数据反馈调节系统的开发提供方向指引，确保系统契合商业与办公场景实际需求。另一方面，业主的参与能在资金、政策支持等方面提供有力保障，助力项目顺利推进。同时，业主积极参与也能有效监督管理创新举措的执行情况，及时发现并解决潜在问题，促使机电工程管理创新真正落地，实现能源高效利用与物业机电系统的优化升级，提升商业与办公楼物业的综合竞争力。

五、总结

商业与办公楼物业机电工程管理通过一系列实践与创新举措，在提升管理效率与质量方面取得显著成果。BIM运维、物联网监测、大数据分析等技术的应用，实现了对机电设备的实时监测、精准诊断与智能调控，有效降低运维成本，延长设备使用寿命。数字孪生技术在系统仿真领域展现出广阔应用前景，为优化系统设计、预测潜在问题提供有力支持。同时，管理标准体系的完善与人才梯队的建设，为行业转型升级筑牢根基。未来，应持续深化这些技术与管理手段的融合，不断探索创新，推动商业与办公楼物业机电工程管理迈向更高水平，以适应不断变化的市场需求与科技发展趋势，为行业的可持续发展注入新动力。

参考文献

- [1] 张琴. A 物业管理公司商业模式创新研究 [D]. 青岛大学, 2021.
- [2] 王立新. GT 物业公司员工离职诊断及改进策略研究 [D]. 北京工业大学, 2021.
- [3] 武鸿. 阿里巴巴集团 ESG 实践的价值分析与管理优化研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
- [4] 王惠明. 数字技术驱动的物业管理商业模式创新研究 [D]. 广州大学, 2021.
- [5] 于子维. 技术与商业模式的协同创新对文创企业绩效的影响 [D]. 东华大学, 2022.
- [6] 董伟伟. 煤矿机电工程管理中的问题及措施 [J]. 矿业装备, 2021, (02): 106-107.
- [7] 胡勇. 煤矿机电工程管理中的问题及措施 [J]. 当代化工研究, 2020, (12): 78-79.
- [8] 王崇欣. 煤矿机电工程管理中的问题及应对措施初探 [J]. 低碳世界, 2021, 11(07): 166-167.
- [9] 赵磊. 煤矿机电工程管理中的问题及措施 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (23): 129-131.
- [10] 操一方. 信息化条件下高速公路机电工程管理探究 [J]. 智能城市, 2021, 7(08): 102-103.

火电厂远程诊断与运维中心建设方案

杜磊, 任仰成, 丁伟杰, 刘锦丽
国能山西河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500
DOI:10.61369/ME.2025090024

摘 要 : 随着我国能源需求的持续增长, 火力发电在保障国家能源安全 and 经济发展中扮演着关键角色。火电厂核心设备的运行状态直接影响发电效率、安全性和环保水平。然而, 传统运维模式存在响应滞后、故障诊断精度不足等问题, 难以满足现代火电厂对高效、可靠运维的需求。本研究提出火电厂远程诊断与运维中心建设方案, 旨在通过智能化、数字化手段提升设备运维水平, 推动火电厂向绿色低碳方向转型。

关 键 词 : 火电厂; 远程诊断; 运维中心; 建设方案

Construction Plan for Remote Diagnosis and Operation Center of Thermal Power Plant

Du Lei, Ren Yangcheng, Ding Weijie, Liu Jinli
China Energy Shanxi Hequ Power Generation Co., LTD., Xinzhou, Shanxi 036500

Abstract : With the continuous growth of energy demand in China, thermal power generation plays a key role in ensuring national energy security and economic development. The operating state of core equipment in thermal power plant directly affects the efficiency, safety and environmental protection level of power generation. However, the traditional operation and maintenance mode has some problems such as lagging response and insufficient fault diagnosis accuracy, which can not meet the needs of modern thermal power plants for efficient and reliable operation and maintenance. This study proposes a construction scheme of remote diagnosis and operation center for thermal power plants, aiming to improve the level of equipment operation and maintenance through intelligent and digital means, and promote the transformation of thermal power plants to green and low-carbon direction.

Keywords : thermal power plant; remote diagnosis; operation and maintenance center; construction plan

引言

随着我国能源需求的持续增长, 火力发电作为电力供应的重要支柱, 在保障国家能源安全 and 经济发展中发挥着不可替代的作用。火电厂的核心设备运行状态直接影响发电效率、安全性和环保水平。近年来, 水泵、电动机、汽轮机等关键设备的运行可靠性成为制约电厂效能提升的关键因素。研究表明, 设备故障和维护滞后可能导致发电效率下降、非计划停机频发等问题, 严重制约了火电厂的可持续发展。在此背景下, 如何通过智能化、数字化手段提升设备运维水平, 已成为行业转型升级的核心课题。

一、建设方案设计

(一) 功能模块设计

火电厂远程诊断与运维中心的功能模块设计需以系统集成化与智能化为核心, 涵盖数据采集、分析诊断及运维管理三大核心模块。数据采集模块通过多源异构数据的实时接入, 构建全面的设备运行状态监测网络。系统采用状态监测技术, 通过传感器网络与智能终端实现温度、压力、振动等关键参数的高频采集, 并结合福伊特 StreamDiver 机组的高集成化特性, 对冷却尾水发电系统的工况数据进行精准捕捉^[1,2]。同时, 基于核电站状态监测的

经验法则, 系统将关键设备划分为监测单元, 利用计算机数据高速公路 (CDH) 实现数据的实时传输与初步处理, 确保数据的完整性和时效性。为提升数据采集的可靠性, 模块采用 FMECA 分析方法对火电厂关键设备进行故障模式识别, 建立设备优先级分类体系, 优先保障高风险设备的监测密度与精度。

分析诊断模块以数据融合与智能算法为核心, 构建多层级的故障诊断与预警体系。系统采用可编程逻辑控制器 (PLC) 与工业控制计算机 (PC) 的双核架构, 通过 PLC 完成数据预处理与基础控制逻辑运算, PC 则负责复杂算法执行与人机交互界面展示。具体诊断流程包含三个阶段: 首先, 基于 BP 神经网络的异常模式

识别算法对采集数据进行特征提取与分类，识别潜在故障征兆；其次，结合在线诊断监测系统（ODMS）的实时数据比对功能，对超出阈值的参数变化进行预警，并生成初步诊断报告；最后，通过人工智能电子控制平台整合历史数据与专家知识库，实现故障根源的深度分析与解决方案推荐^[3]。针对复杂故障场景，系统引入智能诊断型电力运维系统的多模态数据分析能力，通过故障树分析与知识图谱技术，提升诊断结论的准确性与可解释性。

（二）安全性与可靠性设计

火电厂远程诊断与运维中心建设方案中安全性与可靠性设计是保障系统稳定运行的核心要素，需从数据安全防护、系统容灾备份及智能诊断技术三个维度进行综合规划。数据安全方面，应构建多层次防护体系，包括物理层设备加密、网络层访问控制与应用层数据脱敏机制。参照华电青岛发电有限公司30万kW和32万kW机组长期安全运行经验，建议采用基于角色的权限管理系统，通过动态密钥认证与实时流量监测技术，实现数据采集、传输、存储全过程加密处理。针对热力系统复杂结构与多工况运行特点，需在系统设计中嵌入模糊神经网络诊断模块，该模块通过扩展模糊故障症状计算方法，可有效识别不同负载工况下的异常参数，其诊断准确率在300MW机组给水加热器系统实测中达到92%以上^[4]。系统备份方案则需遵循热冗余与冷冗余相结合原则，主控中心部署双机热备服务器集群，关键数据采用异地异构存储策略，确保单点故障时系统切换时间控制在30秒以内。此外，借鉴数字化电厂全寿命运营管理实践，建议建立设备状态数字孪生模型，通过实时数据与历史数据的对比分析，实现设备故障的预测性维护，该方法在青岛市热电联产机组中成功应用后，设备非计划停机率降低40%。在信息管理系统层面，应整合ERP架构中的EAM设备管理模块，通过构建分布式数据库与区块链存证技术，形成数据溯源与防篡改机制，有效应对工业控制系统面临的网络攻击风险^[5]。最终形成的多维度安全架构需经过压力测试与渗透测试验证，确保系统在极端工况下仍能维持核心功能的连续性与数据完整性。

二、数据收集与分析方法

（一）数据收集方法

数据采集频率依据参数特性差异化设计：实时监测参数采用高频采样策略，如主蒸汽温度、振动加速度等关键参数采样周期 ≤ 1 秒，压力、流量等常规参数采样周期 ≤ 1 分钟；设备状态参数采用分级采集机制，轴承温度等关键状态参数每5分钟上传一次，冷却塔水位等次要参数每小时上传一次；事件驱动型数据（如故障报警、保护动作）则通过触发机制即时捕获。数据类型覆盖多模态信息，包括结构化数据（传感器数值、控制指令、报警代码）、半结构化数据（设备日志文件、故障报告）、非结构化数据（红外热成像图像、设备振动频谱图）以及文本数据（设备维护手册、运行记录）。为保障数据质量，建立三级校验机制：设备层通过自检模块进行原始数据合理性校验，系统层利用滑动窗口算法识别异常突变值，中心平台采用贝叶斯网络模型进行数据置

信度评估。数据存储采用分布式时序数据库与关系型数据库的混合架构，时序数据按设备-参数-时间三级索引存储，结构化数据通过ETL工具进行清洗转换后入库。数据采集系统需具备自适应扩展能力，支持OPC、Modbus、MQTT等多协议接入，并通过边缘计算节点实现数据预处理与本地缓存，确保网络中断时数据采集的连续性。该体系通过ISO/IEC 62264标准认证，实现从物理设备到云端平台的端到端数据贯通，为后续智能诊断与预测性维护提供可靠数据基础。

（二）数据分析方法

火电厂远程诊断与运维中心的数据分析方法是系统构建的核心技术模块，其通过整合多源异构数据并结合先进的分析模型，实现设备状态评估、故障预警及优化决策。在数据挖掘层面，基于关联规则挖掘技术可识别机组运行参数间的隐含关系，例如通过Apriori算法发现温度-压力-负荷间的耦合规律，为异常工况诊断提供量化依据。聚类分析方法则应用于设备健康状态分类，利用K-means或DBSCAN算法对振动、热应力等特征参数进行无监督分组，实现机组状态的动态聚类划分。时序数据的序列模式挖掘技术可提取典型运行工况特征，如通过PrefixSpan算法发现负荷突变或燃料切换时的参数演变轨迹，为运维策略优化提供模式参照^[6]。

机器学习技术在故障诊断与预测性维护中发挥关键作用。监督学习模型如随机森林和支持向量机被广泛应用于设备故障分类，通过历史故障样本与运行特征的关联训练，可构建高精度的故障诊断模型。在轴承磨损、阀门卡涩等典型故障场景中，模型输入可包含振动频谱特征、温度梯度及压力波动等多维度参数，输出故障类型及严重程度分级。针对设备剩余寿命预测问题，长短期记忆网络（LSTM）与卷积神经网络（CNN）的混合架构展现出显著优势，其能够有效捕捉时序数据中的长期依赖关系与局部特征模式。例如，结合CNN对振动信号的频域特征提取，再通过LSTM建模时间维度的退化趋势，可实现锅炉受热面腐蚀或汽轮机叶片损伤的寿命预测。

三、实施与效果评估

（一）实施步骤与计划

筹备阶段由项目管理办公室牵头，联合生产技术部、信息中心及第三方技术供应商组建专项工作组。该阶段核心任务包括：完成现有火电机组设备台账、运行数据、故障案例的全面梳理；明确远程诊断系统功能需求与技术标准；完成硬件设备选型与采购（含工业物联网传感器、边缘计算节点及通信设备）；建立跨部门协作机制与数据共享规范。项目管理办公室需每周召开进度协调会，确保各责任部门按时完成设备清单核对、数据接口协议确认等基础工作。

系统开发阶段由技术开发团队主导，分为软件平台搭建与硬件部署两条主线同步推进。软件平台开发涵盖数据采集与监控（SCADA）系统集成、故障诊断知识库构建、预测性维护算法开发等模块，重点采用机器学习模型对历史故障数据进行特征

提取与模式识别。硬件部署则包括在试点机组安装振动传感器、温度探头等监测装置，搭建具备实时数据处理能力的边缘计算节点^[7]。开发过程中需严格执行敏捷开发模式，每两周进行迭代测试，确保系统兼容性和响应速度符合设计要求。信息中心负责协调第三方运维团队进行网络架构优化，保障数据传输的实时性与安全性。

（二）实施效果评估指标

本章从多维度构建火电厂远程诊断与运维中心的实施效果评估体系，通过量化指标与定性分析相结合的方式，系统化衡量系统运行效能。在诊断准确性方面，建立以模型算法为核心的评价指标，包括故障诊断准确率与误报率。其中诊断准确率通过实际故障案例库与系统识别结果的比对计算，采用混淆矩阵法评估各类故障的识别精度，重点考察对复杂故障模式的辨识能力；误报率则通过统计非故障工况下系统触发的错误报警次数，结合预设的故障阈值标准进行量化分析，要求误报率需控制在系统可接受范围内以避免运维资源浪费。在运维效率评估维度，构建以时间效率和资源利用率为核心的指标群^[8]。时间效率包含故障响应时间、工单处理周期和停机恢复时间，通过采集系统从故障识别到生成解决方案的全流程数据，结合历史运维记录进行对比分析；资源利用率则通过监测远程专家接入频次、数据传输带宽占用率

及硬件设备负载情况，综合评估系统资源调度的合理性与优化空间。

四、结论

本研究提出的火电厂远程诊断与运维中心建设方案以数字化转型为核心，系统性整合了物联网、大数据分析、人工智能及云计算等关键技术，构建了覆盖数据采集、传输、分析、决策支持的全流程智能运维体系。方案通过建立多级协同的运维架构，实现了设备状态监测、故障预警、优化控制及知识管理的集成化运作，有效解决了传统运维模式中响应滞后、资源分散、效率低下的问题。其核心内容体现在以下方面：首先，通过部署智能传感器网络与边缘计算节点，形成覆盖全厂设备的实时监测网络，结合5G与工业互联网技术实现数据的高速传输与低延迟处理，为远程诊断提供了高精度、高时效的数据基础。其次，基于机器学习算法构建的故障诊断模型，能够对设备运行参数进行多维度特征提取与模式识别，显著提升了异常工况的识别准确率与预警时效性，为运维决策提供了科学依据。此外，通过搭建云端运维平台，实现了专家经验库与知识图谱的动态更新，结合AR/VR技术形成的远程指导系统，有效缩短了故障处理周期并降低了运维成本。

参考文献

[1] 宋艳峰,刘胜凯,王哲,王如意,马忠明,高军.智能化停送电系统在电厂远程操作中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(06):5-8.

[2] 梁静.废水治理方法和脱硫废水处理工艺在火电厂的应用[J].企业技术开发:中旬刊,2016,35(5):2.

[3] 章志龙.火电厂汽轮机运行故障处理技术探究[J].中国设备工程,2025,(02):205-207.

[4] 郝宗鹏,石德胜,宋海滨,刘庆利.火电厂电气设备智能运维技术研究与示范应用[J].安装,2024,(S1):188-189.

[5] 杨启超.火力发电厂集控运维中的人机协作与人因工程优化[J].大众标准化,2024,(07):116-118.

[6] 郭占春.火电厂集控运行技术及运用分析[J].应用能源技术,2023,(08):15-18.

[7] 刘超.浅析火电厂电气设备常见故障及处理建议[J].现代工业经济和信息化,2022,12(09):232-233+243.

[8] 文发红.火电厂电气设备运行的安全管理与故障处理分析[J].集成电路应用,2022,39(09):60-62.

基于 BIM 技术的水利工程施工管理研究

樊龙飞

张家港市水利建设工程有限公司，江苏 苏州 215000

DOI:10.61369/ME.2025090026

摘 要： 随着 BIM（建筑信息模型）技术的不断发展，其在水利工程中的应用也日益广泛。本文以 BIM 技术为基础，探讨其在水利工程施工管理中的应用。首先，阐述了 BIM 技术的概念及其发展现状；其次，分析了 BIM 技术在水利工程施工管理中的具体应用，包括施工计划的编制、进度控制、质量监控等方面；最后，总结了 BIM 技术在水利工程中的优势及挑战，并提出了相应的优化措施。研究表明，BIM 技术在水利工程施工管理中具有重要意义，能够提高工程效率、降低成本、增强项目管理的可视化和信息化水平。

关 键 词： BIM 技术；水利工程；施工管理；信息化；项目优化

Research on Construction Management of Hydraulic Engineering Based on BIM Technology

Fan Longfei

Zhangjiagang Hydraulic Engineering Construction Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215000

Abstract： With the continuous advancement of BIM (Building Information Modeling) technology, its application in water conservancy projects has become increasingly widespread. This paper explores the application of BIM technology in the construction management of water conservancy projects. First, the concept and current development status of BIM technology are elaborated. Next, the specific applications of BIM technology in water conservancy project construction management are analyzed, including construction planning, progress control, and quality monitoring. Finally, it summarizes the advantages and challenges of BIM technology in water conservancy projects and proposes corresponding optimization measures. The study demonstrates that BIM technology holds significant importance in water conservancy construction management, enhancing project efficiency, reducing costs, and improving the visualization and informatization levels of project management.

Keywords： BIM technology; water conservancy projects; construction management; informatization; project optimization

引言

近年来，水利工程建设规模和复杂度不断提高，传统的施工管理方法已难以满足项目的高效性和精确性要求。BIM 技术作为一种先进的信息化管理工具，凭借其在可视化、协同作业及数据共享方面的优势，逐渐被引入到水利工程的施工管理中。通过采用 BIM 技术，不仅实现对施工过程的实时监控，还能够优化施工计划、提高施工质量、降低项目风险。本文将详细分析 BIM 技术在水利工程施工管理中的应用，并探讨其在提升项目管理效能方面的作用。

一、BIM 技术概述与水利工程施工管理的现状

（一）BIM 技术的基本概念与发展历程

BIM（建筑信息模型）技术是一种基于数字化三维建模的建筑设计和管理技术。其核心理念是通过创建数字化的建筑模型，整合设计、施工、运营等多个阶段的信息，实现建筑生命周期的高效管理。BIM 技术不仅涵盖了几何建模，还包括了与建筑相关的各种信息，如材料、成本、工期、设备等。自从 20 世纪 70 年代

末期 BIM 技术的初步发展以来，随着计算机技术和信息技术的进步，BIM 在建筑行业的应用逐步得到普及^[1]。在建筑领域，BIM 技术已成为行业标准之一，并且随着技术的不断创新，它在水利工程、交通、城市建设等多个领域的应用日益增多。BIM 技术的发展历程与建筑信息化的推进紧密相关，特别是在近几年，其在大型复杂工程项目中的应用展现出了巨大的潜力和优势。

（二）水利工程施工管理的挑战与发展趋势

水利工程作为重要的基础设施项目，涉及面广、工程量大、

建设周期长，管理复杂且需要高度协调。传统的水利工程施工管理模式主要依赖于人工经验和传统方法，存在信息传递不及时、协调困难、施工过程缺乏实时监控等问题。尤其是在多专业、多部门协同工作过程中，管理效率低下和沟通成本高昂，导致了项目进度延误、质量难以保障等问题^[2]。此外，水利工程的施工往往面临严苛的自然环境条件，施工安全和风险管理要求极高，这对管理能力提出了更高的要求。随着水利工程规模的不断扩大和技术的进步，传统的管理方法已经难以满足现代工程的需求，亟需通过信息化、数字化手段提升施工管理水平。近年来，随着科技的不断发展，水利工程施工管理逐渐向智能化、信息化方向转型。未来，数字化技术，特别是 BIM 技术，将成为推动水利工程施工管理现代化的重要力量。

（三）BIM 技术与水利工程施工管理的契合点

BIM 技术与水利工程施工管理有着天然的契合点。水利工程项目复杂性和多样性要求施工管理具备高度的信息整合能力。BIM 技术通过其强大的数据管理和可视化能力，能够有效整合项目的各类信息，包括设计、施工、进度、质量和成本等，实现项目的全生命周期管理^[3]。在施工过程中，BIM 能够提供精准的三维可视化模型，帮助管理人员直观了解施工现场的具体情况，及时发现潜在的风险和问题^[1]。在水利工程中，尤其是在一些特殊环境条件下，BIM 技术的应用可以帮助工程师更精确地进行施工方案优化和风险预测，提高施工的安全性和精确性。因此，BIM 技术不仅能够提升水利工程的施工效率，还能有效降低成本，提升项目管理的整体质量和可控性。

二、BIM 技术在水利工程施工管理中的应用

（一）施工计划的编制与优化

BIM 技术在水利工程施工管理中的应用使得施工计划的编制与优化变得更加精确和高效。通过 BIM 模型，可以将工程的各个阶段、施工任务和资源配置可视化，进而帮助项目管理者更直观地了解项目的整体进展^[4]。传统的施工计划往往依赖于二维图纸和手工录入的数据，难以准确反映实际情况，且在变更时容易产生误差。而 BIM 技术能够集成多种数据源，提供精确的时间轴和资源管理功能，有助于制定更为科学的施工计划。通过与进度管理软件的结合，BIM 可以自动识别施工过程中可能的瓶颈和冲突，及时调整施工计划以确保项目按时完成。此外，BIM 模型的动态更新功能使得计划可以根据现场实际情况进行实时调整，确保施工计划始终与项目进度保持一致，提高施工效率^[4]。

（二）施工进度的实时监控与调整

BIM 技术的应用不仅限于施工计划的编制，还可以实时监控施工进度，确保项目按预定的时间表顺利推进。通过将施工进度数据与 BIM 模型进行关联，管理人员能够在数字化环境中直观地看到各个施工阶段的实际进展情况^[5]。BIM 技术结合实时数据采集工具和物联网技术，能够获取现场施工的实时数据并同步更新到 BIM 模型中，反映出每个施工环节的具体状态。当施工过程中出现延误或资源调度不当时，BIM 系统能够及时发出警报，并提

供相应的解决方案。这样，施工管理人员可以在第一时间做出反应，对进度进行调整，避免项目延期^[6]。此外，BIM 技术还能帮助管理人员分析施工过程中可能存在的潜在问题，提前采取预防措施，减少工程延期的风险，保证施工进度与质量同步进行。

（三）施工质量的监控与保障

在水利工程施工过程中，施工质量的保障一直是管理的重要任务。BIM 技术能够通过精确的三维建模和信息整合，确保施工质量的高效控制。施工过程中，BIM 模型提供了一个完整的数字化平台，可以在施工前、施工中以及施工后进行质量检查和风险评估。通过将设计图纸与施工现场的实际情况进行对比，BIM 技术能够实时检测到设计与实际施工之间的偏差，及时发现问题并进行调整。例如，BIM 技术可以帮助识别施工中可能导致质量问题的隐患，如材料不符合规格、工艺不符合要求等，从而在问题变得严重之前加以修正。另一方面，BIM 还支持质量管理与检验报告的数字化管理^[7]，所有质量数据、检查结果以及整改措施可以在系统中实时更新，供相关人员查阅，确保质量管理的透明化和可追溯性。通过这一系列的监控与保障手段，BIM 技术大大提高了水利工程施工的质量管理水平，有效减少了因质量问题引起的返工和损失。

三、BIM 技术在水利工程施工中的优势与挑战

（一）提高施工效率与降低成本

BIM 技术在水利工程施工中的应用大大提高了施工效率，并帮助降低了项目成本。通过建立三维数字模型，BIM 能够在施工前模拟并优化施工过程，从而避免了许多传统方法中的低效环节。施工过程中，BIM 技术提供了精确的进度安排和资源配置，确保各环节按照预定计划高效进行。同时，BIM 通过实时数据共享与更新，使项目管理团队能够快速响应现场变化，减少了因沟通不畅或计划不周导致的时间浪费和成本增加。通过减少材料浪费、优化施工工艺以及避免重复施工，BIM 显著降低了项目的整体成本。此外，BIM 技术能够在施工前发现潜在问题，避免后期的返工和资源浪费，这些都为项目节约了大量成本。

（二）改善施工可视化与协同作业

BIM 技术的可视化能力显著改善了水利工程施工的管理方式。传统施工管理依赖于二维图纸，信息的传递和理解容易产生误差。BIM 技术通过创建完整的三维建筑模型，将设计、施工、运营等阶段的数据整合在一起，项目管理者、设计师、施工人员等都能在统一的平台上查看项目的真实情况。施工团队可以通过 BIM 模型直观了解设计方案和施工进度，避免了传统方法中信息传递中的误解和遗漏。此外，BIM 技术为多专业协同工作提供了平台，通过数字化手段实现了各方的实时沟通和协作^[8]。无论是设计变更、进度更新还是质量检测，所有信息都可以实时共享，确保各个部门和团队能够高效协同工作，减少了由于信息滞后或沟通不畅带来的施工冲突和时间延误。

（三）面临的技术挑战与实施难题

尽管 BIM 技术在水利工程施工中具有显著优势，但在实际应

用过程中也面临一系列技术挑战和实施难题。首先，BIM技术的应用需要高水平的技术支持和专业人才，但目前在许多水利工程项目中，相关从业人员的BIM技术素养还不足，导致其潜力未能得到充分发挥。其次，BIM技术的实施需要大量的硬件设施和软件支持，尤其是在大规模项目中，对计算资源和技术支持的需求较高，这可能导致项目的前期投入增加。再者，BIM技术的实施需要全面的数据整合，涉及的各方需要在不同系统和平台之间进行有效的数据交换与共享。由于不同部门或团队使用的软件和管理平台可能存在不兼容性，信息的传递和更新可能会遇到障碍，进而影响整体施工管理的效果。此外，尽管BIM技术提供了强大的数据分析能力，但由于数据量庞大，如何从中提取有效的信息并进行决策仍然是一个技术难题。最终，BIM技术在实施过程中，还可能面临技术更新速度快、成本控制难度加大等问题，这些都对水利工程施工的顺利进行带来挑战。

四、BIM技术在水利工程施工管理中的优化措施

（一）强化技术培训与人才培养

BIM技术的成功应用离不开专业人才的支持。为了确保BIM技术在水利工程施工管理中得到有效应用，必须加大对相关人员的技术培训和人才培养。施工人员、项目经理、设计师及其他相关从业人员需要系统地学习BIM技术，掌握其操作流程与应用方法。通过定期举办技术培训班、讲座和实操课程，可以提升员工的技术水平，使其能够熟练使用BIM软件，理解BIM在施工管理中的实际意义。与此同时，水利工程行业应加强与高校、科研机构的合作，推动BIM技术的学术研究和技术创新，培养更多的BIM技术专业人才^[6]。此外，企业可通过建立BIM技术认证体系，激励员工不断提升专业素养，确保BIM技术能够在实际工程项目中得到有效应用。长期的技术积累和人才培养将为水利工程施工管理提供强有力的技术支持，推动BIM技术在行业中的普及与深化。

（二）推动技术标准化与系统化建设

BIM技术的推广应用需要行业标准的引导和支持。当前，水利工程领域对BIM技术的应用尚缺乏统一的标准和规范，这在一定程度上制约了技术的普及和应用效果。为此，必须推动BIM技

术的标准化与系统化建设。首先，相关政府部门和行业协会应联合制定符合水利工程特点的BIM应用标准，明确技术规范、实施流程、数据交换标准等内容，为工程项目的实施提供统一的技术框架^[7]。其次，建设一套系统化的BIM管理平台，整合各类工具和资源，形成标准化的BIM流程。这不仅有助于提升项目管理效率，还能确保各方在统一平台上进行协同作业，避免因标准不一而造成的工作冲突与信息误差。通过技术标准化的建设，BIM技术在水利工程中的应用将更加规范化、系统化，进而提高施工管理的整体效能。

（三）加强行业协同与跨部门合作

BIM技术的成功应用离不开各方的密切协作。水利工程的施工管理涉及多个专业领域，包括设计、施工、监理、设备供应等，因此，加强行业协同和跨部门合作至关重要。首先，政府、企业和学术机构应建立跨行业、跨部门的合作平台^[8]，促进信息共享和技术交流。通过建立BIM信息共享平台，实现不同参与方之间的数据互通，确保项目中的每一方都能获得最新的进展信息和数据支持。其次，项目管理团队需要与各专业团队紧密配合，尤其是在施工过程中，设计变更、技术方案的调整以及施工进度等的控制等方面，跨部门的合作至关重要。通过BIM平台的协同作用，施工人员可以实时查看到设计变化和进度更新，确保各项工作同步推进。最后，行业协会可以定期组织行业研讨会和技术交流活动，推动BIM技术在水利工程中的深化应用，促进业内技术创新与经验分享。通过加强行业间的协同合作，不仅可以提高项目管理效率，还能为BIM技术的进一步应用提供支持和保障。

五、结语

BIM技术在水利工程施工管理中的应用，极大地推动了工程项目管理模式创新。通过BIM技术的应用，不仅能够提高施工过程中的信息传递效率，还能有效监控项目进度、质量，降低项目风险。然而，BIM技术的广泛应用仍面临技术、管理及人才等方面的挑战。未来，随着技术的不断进步及应用经验的积累，BIM技术将在水利工程中发挥更为重要的作用，为工程建设带来更多的价值。

参考文献

- [1] 袁峰, 常宏伟. BIM技术在水利水电工程施工安全管理中的应用分析 [J]. 冶金管理, 2025, (08): 84-86.
- [2] 朱孟东. 基于BIM技术的水利水电工程施工管理体系研究 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15(13): 185-188.
- [3] 余玫芳, 陈景祥, 刘辉. 基于BIM技术的水利工程施工管理研究 [J]. 价值工程, 2024, 43(29): 159-162.
- [4] 赵宁. 水利工程施工管理中信息化技术的应用 [J]. 河北水利, 2024, (09): 43-44.
- [5] 朱留源. 基于BIM技术的水利工程施工资源计划管理研究 [D]. 华北水利水电大学, 2024.
- [6] 刘威. 基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理研究 [J]. 水上安全, 2024, (10): 61-63.
- [7] 江涛, 梁林, 李成. BIM技术在水利工程施工管理中的应用研究 [J]. 内蒙古水利, 2024, (03): 98-100.
- [8] 曾志强. 基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (24): 31-33.

第三方环境监测实验室质量管理体系下的质量技术创新

黄焕平

广东 佛山 528300

DOI:10.61369/ME.2025090031

摘 要： 本文围绕第三方环境监测实验室质量管理体系展开，指出其现存政策合规性、数据可靠性、市场认可度等问题。阐述科学标准框架，实证研究外部驱动因素，强调内生创新动力机制构建。并从技术评估、方法学优化等多方面探讨质量技术创新路径，强调二者协同效应及未来智能化与国际互认发展方向。

关 键 词： 第三方环境监测实验室；质量管理体系；质量技术创新

Quality Technology Innovation under the Quality Management System of the Third Party Environmental Monitoring Laboratory

Huang Huanping

Foshan, Guangdong 528300

Abstract： This paper focuses on the quality management system of the third-party environmental monitoring laboratory, and points out its existing policy compliance, data reliability, market recognition and other issues. This paper expounds the scientific standard framework, empirically studies the external driving factors, and emphasizes the construction of endogenous innovation dynamic mechanism. It also discusses the path of quality and technology innovation from the aspects of technology evaluation and methodology optimization, and emphasizes the synergy between the two and the future development direction of intelligence and international mutual recognition.

Keywords： third party environmental monitoring laboratory; quality management system; quality technology innovation

引言

《生态环境监测规划纲要（2020–2035年）》强调要提升环境监测机构质量管理水平与技术创新能力。第三方环境监测实验室的质量管理体系，旨在确保监测服务达到既定质量标准，然而当前在政策合规、数据可靠性等方面存在诸多问题。科学的标准框架为其质量管理奠定基础，通过实证研究外部驱动因素、构建内生创新动力机制等多种途径，可提升其质量技术创新能力。质量管理体系与质量技术创新的协同，能推动实验室乃至整个行业迈向高质量发展，符合最新政策导向。

一、第三方环境监测实验室质量管理体系基础

（一）实验室质量管理核心概念与现状

质量管理体系是指在质量方面指挥和控制组织的管理体系，旨在确保产品或服务达到既定质量标准^[1]。对于第三方环境监测实验室而言，质量管理体系至关重要。然而，当前其在质量管理方面存在诸多问题。在政策合规性上，部分实验室对不断更新的环境监测相关政策法规理解不深、执行不力，导致监测活动可能偏离规范要求。数据可靠性方面，一些实验室因仪器设备老化、人员操作不规范等因素，使监测数据的准确性、重复性和可比性难以保障。在市场认可度层面，由于质量参差不齐，部分实验室难以获得客户充分信任，影响其在市场中的竞争力与可持续发展。这些问题制约着第三方环境监测实验室质量管理水平提升及

质量技术创新。

（二）质量管理标准框架分析

第三方环境监测实验室质量管理需依托科学的标准框架。CNAS（中国合格评定国家认可委员会）认证体系对实验室的管理、技术运作等方面有着严格质量控制规范，它强调实验室的能力与公正性，为实验室在国际间的互认奠定基础。CMA（中国计量认证）认证体系着重于计量认证，确保监测数据的准确性与可靠性，规范实验室的计量行为。而ISO/IEC 17025标准作为国际通用的实验室能力认可准则，在实验室能力验证方面提供了明确实施路径，它涵盖管理要求和技术要求，通过对人员、设备、方法等要素的规范，帮助实验室有效开展能力验证活动，提升整体质量管理水平^[2]。这些质量管理标准框架相互关联又各有侧重，共同构建起第三方环境监测实验室质量管理的基础。

二、质量技术创新的驱动要素研究

（一）外部驱动因素实证研究

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，对质量技术创新的外部驱动因素进行实证研究，可通过环境监测市场需求演变以及政府购买服务标准升级的案例展开。随着社会发展，环境监测市场需求不断演变，促使实验室在质量技术上寻求创新，以满足日益多元的监测需求。例如，对新兴污染物的监测需求，推动实验室研发新的检测方法与技术^[3]。同时，政府购买服务标准的升级也形成强大的外部压力。当政府提高对环境监测数据准确性、及时性等要求时，实验室为符合标准，不得不优化质量管理流程，加大技术研发投入，实现质量技术的创新，从而在竞争激烈的市场中立足，并更好地履行环境监测职责，为环境保护提供有力支撑。

（二）内生创新动力机制构建

内生创新动力机制构建是第三方环境监测实验室质量技术创新的关键。一方面，应塑造创新文化，在实验室内部营造鼓励创新、宽容失败的氛围，让员工意识到创新对于提升监测质量与效率的重要性，使创新理念深入人心^[4]。另一方面，完善激励制度，通过物质奖励与精神激励相结合的方式，对提出有效创新方案、助力检测效率提升或成本管控优化的团队与个人给予奖励，激发员工的创新积极性。再者，强化员工培训与发展，为员工提供专业技能培训、前沿技术研讨学习机会，提升员工的创新能力，使他们能从自身工作实际出发，挖掘创新点，推动质量技术的持续创新，从而更好地适应质量管理体系下的新要求，在激烈的市场竞争中脱颖而出。

三、质量技术创新关键路径分析

（一）检测技术创新体系研究

1. 新型检测技术应用实证

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，以质谱联用技术、生物传感技术在污染物痕量检测中的应用为例开展技术经济性评估具有重要意义。质谱联用技术能够凭借其高灵敏度与分辨率，精准检测出环境污染物的痕量成分^[5]。而生物传感技术则利用生物分子的特异性识别，快速且高效地对污染物进行定性分析与定量分析。通过对这两种新型检测技术在实际应用中的成本投入，如仪器购置、试剂消耗、人员培训等，以及所带来的收益，包括检测结果的准确性提升、检测效率提高而节省的时间成本等进行综合评估，明确其技术经济性。这不仅能为实验室在新型检测技术的选择与应用上提供科学依据，助力质量技术创新，也有助于推动整个第三方环境监测行业的技术进步与可持续发展。

2. 检测方法学优化方向

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，检测方法学优化对于质量技术创新至关重要。快速检测技术标准化方面，需精准界定各类环境样本适用的快速检测指标及相应参数范围，制定严格规范的操作流程，确保检测结果的准确性与可靠性，为环境应

急监测等场景提供有力支持^[6]。多参数同步监测技术的研发，要致力于攻克不同参数间相互干扰的难题，研发高灵敏度、高选择性的传感器，提升数据采集与分析的协同效率，实现多种污染物的同时高效监测，不仅可缩短监测周期，还能降低监测成本，为全面、及时掌握环境质量状况奠定基础，从而推动环境监测质量技术的创新发展。

（二）智能监测技术创新路径

1. 实验室信息化系统重构

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，实验室信息化系统重构至关重要。研究 LIMS 系统与物联网技术的融合模式，能有效再造质控流程。LIMS 系统作为实验室信息化管理核心，可实现数据自动化采集、分析和报告生成，提升工作效率与数据准确性^[7]。而物联网技术能实时获取监测设备状态、环境参数等信息，让监测过程更具时效性和全面性。二者融合，一方面可将物联网采集到的设备实时数据无缝接入 LIMS 系统，使管理人员及时掌握设备运行情况，提前预防故障影响监测质量；另一方面，依据 LIMS 系统中的质控规则，借助物联网技术远程控制监测设备，实现智能化、自动化的质控流程，确保环境监测数据的高质量与可靠性，推动实验室质量管理体系下的质量技术创新。

2. 大数据分析技术创新

大数据分析技术在第三方环境监测实验室质量管理体系中占据重要地位。通过大数据分析技术创新，能够深度挖掘环境监测数据背后隐藏的信息。可借助先进的算法对海量监测数据进行关联分析，准确发现不同环境指标之间的潜在关系，为环境质量评估提供更全面的视角。结合机器学习等技术，对历史监测数据进行训练学习，提高对环境变化趋势的预测精度，助力提前制定有效的环境管理策略。此外，利用大数据分析实现对监测数据质量的实时监控与评估，及时发现数据偏差，自动触发质量控制流程。还可以通过数据可视化技术，将复杂的环境数据以直观易懂的图表形式呈现，便于管理人员快速做出决策^[8]。

四、质量管理体系优化策略研究

（一）质量管控标准动态优化机制

1. 标准迭代评估指标体系

标准迭代评估指标体系是质量管控标准动态优化机制的关键组成部分。该体系应全面涵盖与第三方环境监测实验室质量管理体系相关的多个维度。技术创新指数是其中重要指标，它反映实验室在新技术、新方法应用及研发方面的进展，比如新的污染物检测技术引入，能衡量实验室技术革新对监测质量提升的作用。质量风险系数同样不可或缺，它综合考虑监测过程中各类潜在风险，如仪器设备故障风险、样本污染风险等，评估这些风险对监测结果准确性的影响程度。通过构建这样的标准迭代评估指标体系，并将其融入建立的标准更新决策模型^[9]，能科学合理地为质量管控标准的动态优化提供依据，促使第三方环境监测实验室质量管理体系不断适应行业发展和技术进步。

2. 全过程质量监控机制

全过程质量监控机制依托从采样溯源到报告生成的全链条数字化质控方案展开。在采样阶段，利用数字化手段实时记录采样时间、地点、人员、方法等关键信息，确保采样环节可追溯。样品流转过程中，通过数字化系统跟踪样品位置与状态，防止样品出现损坏、污染或丢失等情况。分析检测阶段，实时采集仪器设备的运行参数、检测数据等，对检测过程进行动态监控，及时发现异常数据并预警。报告生成环节，对报告内容进行数字化审核，核查数据准确性、结论合理性等。借助这种全链条数字化质控方案，实现对第三方环境监测实验室全过程质量的精准监控，保障监测数据的可靠性与准确性^[10]。

（二）实验室能力建设强化路径

1. 检测设备管理创新

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，检测设备管理创新极为关键。构建智能型仪器设备状态监测与维护预警系统，能实时收集设备运行参数、性能指标等数据。通过对这些数据的深度分析，可精准判断设备的健康状况，预测潜在故障，提前发出维护预警。一方面，这有助于减少设备突发故障对监测工作的影响，保障监测任务的连续性与稳定性；另一方面，依据准确的设备状态信息，合理安排维护计划，能避免过度维护造成的资源浪费，同时延长设备使用寿命。此外，该系统还能设备采购、更新提供数据支撑，助力实验室优化设备配置，提升整体检测能力与效率，进一步推动质量管理体系下的质量技术创新。

2. 人员技术能力提升策略

实施基于岗位胜任力模型的技术人员持续教育方案，有助于提升第三方环境监测实验室人员技术能力。依据岗位胜任力模型，明确不同岗位对技术人员知识、技能与素质的要求，如化学分析岗位需熟练掌握各类分析仪器操作技能与化学知识。以此为基础，制定针对性强的持续教育计划，涵盖新的环境监测标准、先进分析技术等内容。同时，采用多样化教育方式，如邀请专家开展讲座，介绍行业前沿技术；组织内部技术研讨，分享实际项目经验；鼓励技术人员参加线上课程，灵活学习最新知识。通过定期考核评估教育效果，确保技术人员切实掌握所学内容，不断提升技术能力，更好地满足环境监测工作的高质量要求。

（三）质量文化创新实践探索

1. 组织创新氛围培育

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，组织创新氛围培

育至关重要。实验室应构建开放包容的沟通环境，鼓励各部门人员自由交流想法，打破部门壁垒，让监测、分析、报告等不同环节人员能充分分享经验与见解，碰撞出创新火花。领导要发挥引领作用，积极参与创新相关活动，对提出创新思路的人员给予肯定与支持，树立创新榜样。同时，开展多样化的培训与交流活动，邀请行业专家分享前沿技术与创新案例，组织内部经验分享会，拓宽员工视野，激发创新热情。通过营造这种充满活力的创新氛围，使员工主动投身质量技术创新，为实验室的持续发展注入动力。

2. 客户服务质量提升

在第三方环境监测实验室质量管理体系下，提升客户服务质量可从多方面着手。致力于构建监测数据可视化交互平台，这不仅能以直观、易懂的方式呈现监测数据，还能增强与客户的互动交流。借助平台，客户可实时获取所需数据，深入了解监测过程与结果，大大提高服务的便捷性与透明度。同时，依据客户反馈，及时优化平台功能，更好地满足客户个性化需求。此外，强化对服务人员的培训，提升其专业素养与沟通能力，确保能精准解读监测数据，为客户提供专业、耐心的咨询服务。通过这些措施，不断提升客户对服务的满意度，以优质服务在市场竞争中脱颖而出，为实验室树立良好口碑，实现可持续发展。

五、总结

质量管理体系与质量技术创新在第三方环境监测实验室中呈现出显著的协同效应。一方面，完善的质量管理体系为质量技术创新提供坚实的基础与规范框架，保障创新活动的有序开展；另一方面，质量技术创新不断为质量管理体系注入新活力，推动其持续优化升级。展望未来，智能化质控技术将成为重要发展方向，借助智能化手段提升监测的精准性与效率。同时，构建国际互认的质量标准体系势在必行，这不仅有助于提升我国第三方环境监测实验室在国际市场的竞争力，也能促进全球环境监测行业的交流与合作。通过聚焦这些关键领域的技术创新，有力驱动环境监测行业迈向高质量发展新阶段，为全球环境保护事业贡献积极力量。

参考文献

- [1] 舒茂松. A纺织检测公司实验室质量管理体系有效性评价优化 [D]. 苏州大学, 2022.
- [2] 王冬梅. M化工公司实验室质量管理体系有效性评价 [D]. 内蒙古科技大学, 2021.
- [3] 夏天宇. 基于全面质量管理理论的 PT 公司实验室管理体系优化研究 [D]. 延边大学, 2021.
- [4] 孙孟孟. VUCA 环境下制造业质量管理体系有效性评价研究 [D]. 江苏科技大学, 2021.
- [5] 王玉. L公司质量管理体系优化研究 [D]. 燕山大学, 2023.
- [6] 石瑛. 环境监测实验室质量管理体系研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(6): 159-161.
- [7] 王丽华. 对环境监测实验室质量管理体系的探讨 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(7): 66-68.
- [8] 罗思苑. 环境监测机构实验室质量管理体系的创新 [J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(11): 152-153, 155.
- [9] 赵莉君. 探讨第三方检测实验室质量管理体系建设 [J]. 中国质量万里行, 2023(4): 53-55.
- [10] 付葆春. 强化环境监测质量管理体系建设探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(9): 21-23.

轨道交通综合监控系统调试的关键技术与管理策略

白雪亮

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090004

摘 要： 介绍轨道交通综合监控系统相关内容，包括车站机电设备系统构成及功能，机电设备安装调试与综合监控系统调试的关系、接口管理要点，设备安装精度控制，系统调试的关键技术及安全管控方案，还提及调试文件控制、问题跟踪系统等，最后总结出调试管理体系及未来改进方向。

关 键 词： 轨道交通；综合监控系统；调试

Key Technologies and Management Strategies for Commissioning of Rail Transit Integrated Supervisory Control Systems

Bai Xueliang

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper introduces the Integrated Supervisory Control System (ISCS) for rail transit. It covers the composition and functions of station electromechanical equipment systems, the relationship between the installation and commissioning of electromechanical equipment and ISCS commissioning, key interface management points, precision control of equipment installation, critical technologies for system commissioning, and safety management and control schemes. It also addresses commissioning document control and issue tracking systems. Finally, it summarizes the commissioning management framework and future improvement directions.

Keywords： rail transit; integrated supervisory control system (ISCS); commissioning

引言

轨道交通作为城市交通的重要组成部分，其综合监控系统调试涉及多方面技术与管理要点。随着《交通强国建设纲要》（2019年）的颁布，对轨道交通的高质量发展提出了更高要求。车站机电设备系统及其安装调试、综合监控系统调试中的关键技术、调试过程的管理以及安全管控等方面均是实现轨道交通高效可靠运行的关键因素。本文围绕这些要点展开讨论，深入研究相关技术，并结合案例分析应用效果，总结调试管理体系，同时探讨基于数字孪生技术的改进方向，以适应智慧城轨发展需求。

一、轨道交通系统调试总体框架

（一）轨道交通系统构成与功能定位

轨道交通系统主要由车站机电设备系统等构成。车站机电设备系统包含多个子系统，如通风空调系统、给排水系统、电梯与自动扶梯系统、照明系统等。通风空调系统为车站提供适宜的温湿度环境^[1]；给排水系统保障车站的用水和排水需求；电梯与自动扶梯系统方便乘客进出站；照明系统为车站提供充足的光线。综合监控系统具有重要的功能定位，它能够对车站机电设备系统进行实时监控，采集各子系统的运行数据，及时发现设备故障并报警，同时可实现对设备的远程控制，提高设备管理效率和运营的安全性及可靠性^[1]。

（二）系统调试的阶段划分与逻辑关系

机电设备安装调试与综合监控系统调试存在紧密的时序关系

和接口管理要点。在时序上，机电设备安装调试通常需先于综合监控系统调试展开。机电设备的正确安装和初步调试是综合监控系统能够有效调试的基础^[2]。只有机电设备安装到位且自身运行稳定，综合监控系统才能准确获取设备状态信息进行后续调试。在接口管理方面，两者之间存在多种接口，包括物理接口和通信接口等。明确各接口的规范和标准是确保信息准确传递的关键。合理的接口管理能避免因接口不匹配或信息传输错误导致的调试延误和故障，保障整个轨道交通系统调试工作的顺利进行。

二、车站机电设备安装关键技术

（一）机电设备安装精度控制技术

FAS（火灾自动报警系统）、BAS（环境与设备监控系统）、SCADA（变电所综合自动化系统）等核心子系统的高精度安装

是车站机电设备安装精度控制的关键环节。这些系统的安装质量直接影响综合监控系统的数据准确性与运行稳定性。在安装过程中,需严格按照设计图纸与技术规范控制设备的水平度、垂直度、安装间距及传感器布置位置,确保信号采集和传输的稳定性。例如,FAS探测器的安装高度与位置需符合火灾探测覆盖范围要求,BAS的控制柜与末端设备连接必须保证布线整齐、接点牢固,SCADA的采集端口与接口模块应保持良好接触与屏蔽防护。此外,系统基础支架和机柜定位需精准施工,为设备提供稳定支撑,防止长期运行中因振动或偏移导致故障。这些高精度安装标准是确保轨道交通综合监控系统长期安全、高效运行的重要基础^[3]。

（二）多专业接口衔接技术

机电设备安装涉及多个专业接口衔接,如与建筑结构、供电系统等。机电设备与建筑结构的三维协同安装技术至关重要。通过三维建模技术,实现机电设备与建筑结构的精确匹配和合理布局^[4]。在设计阶段,利用三维模型进行碰撞检测,提前发现并解决设备与结构之间的空间冲突问题。同时,考虑设备的安装空间、维护通道以及人员操作空间等因素,优化设备的安装位置。机电设备与供电系统的衔接也不容忽视。确保供电系统能够满足机电设备的电力需求,合理规划供电线路,避免线路交叉和过载现象。并且要保证机电设备的接地系统安全可靠,防止电气事故的发生。

三、综合监控系统调试核心技术

（一）系统集成调试技术

1. 异构系统数据融合技术

轨道交通综合监控系统调试中,系统集成调试技术与异构系统数据融合技术至关重要。在系统集成调试方面,需深入研究FAS、BAS、SCADA等子系统的通信协议转换与数据集成。不同子系统的通信协议各异,需通过特定技术手段实现协议转换,确保数据能在各子系统间准确传输与交互^[5]。对于异构系统的数据融合,要解决不同结构、不同来源数据的一致性和兼容性问题。通过建立统一的数据模型和标准接口,对异构数据进行清洗、转换和整合,使综合监控系统能够有效利用各子系统的数

2. 冗余容错测试方法

双机热备系统是综合监控系统冗余容错的关键设计。制定切换测试方案需考虑多种工况,模拟主设备故障,检测备用设备能否无缝接管工作负载,确保系统服务不中断。同时,设定合理的故障恢复验证标准至关重要,应涵盖系统状态检查、数据完整性验证等方面。通过严格的测试和验证,保证在主设备恢复正常后,系统能正确地重新配置,恢复到初始的稳定运行状态,满足轨道交通综合监控系统对可靠性和稳定性的严格要求^[6]。

（二）联动功能验证技术

1. 火灾应急模式联调技术

轨道交通综合监控系统调试的联动功能验证技术及火灾应急

模式联调技术至关重要。在联动功能验证方面,需构建消防系统与电梯、广播、闸机联动测试场景,确保火灾发生时各设备能协同工作。消防系统检测到火灾信号后,应能及时控制电梯迫降,避免人员被困其中;同时,广播系统要准确播放疏散信息,引导乘客安全撤离;闸机也需打开,保障疏散通道畅通。在火灾应急模式联调技术中,要对综合监控系统在火灾场景下的整体性能进行调试。验证系统对火灾信息的准确采集与快速传递,以及各子系统根据预设规则的正确响应。这不仅涉及到硬件设备的联动,还包括软件系统对火灾应急流程的有效控制,以保障轨道交通在火灾等紧急情况下的安全运营^[7]。

2. 运营模式仿真技术

轨道交通综合监控系统调试涉及多种核心技术。在联动功能验证技术方面,需确保各子系统间信息交互准确,实现如火灾报警与通风排烟系统的联动等,当火灾发生时,相关设备能及时响应并协同工作^[8]。运营模式仿真技术则要模拟实际运营场景,包括不同时段客流量、列车运行间隔等。通过构建虚拟运营环境,对系统在正常和突发情况下的性能进行评估。同时,对于节假日大客流与设备故障状态,开发应急响应测试程序至关重要。该程序应能触发相应的应急措施,检验系统在特殊情况下的可靠性和有效性,确保轨道交通的安全稳定运营。

四、调试过程管理策略

（一）调试质量管理体系

1. 三级调试文件管控机制

建立调试方案、实施细则、验收标准的文件控制流程是确保轨道交通综合监控系统调试质量的关键。应明确各文件的制定、审核、批准流程,确保文件的准确性和有效性^[9]。对于调试方案,需结合系统特点和调试目标进行详细规划,涵盖调试的各个阶段和环节。实施细则要对调试操作进行具体指导,包括设备的操作方法、调试步骤以及数据记录要求等。验收标准则要明确各项调试指标的合格范围,为调试结果的评估提供依据。同时,要建立文件的版本控制和更新机制,及时反映调试过程中的变化和

2. 质量追溯数字化平台

开发调试问题跟踪系统对轨道交通综合监控系统调试至关重要。该系统能清晰记录调试过程中出现的各类问题,准确界定相关责任主体^[10]。通过对问题的详细描述、发现时间、涉及模块等信息的记录,为后续整改提供明确方向。同时,它确保整改过程形成闭环,即从问题发现到责任确定,再到整改措施的制定与实施,以及最终的效果验证,每个环节都紧密相连且可追溯。这不仅提高了调试效率,减少了因责任不清导致的推诿现象,还能有效提升调试质量,保障轨道交通综合监控系统的稳定运行。

（二）进度协同控制方法

1. 多维度进度监测技术

轨道交通综合监控系统调试过程中,进度协同控制至关重要。需建立有效的管理策略,利用BIM模型进行虚拟调试与实物

调试进度匹配分析。通过实时对比两者进度，及时发现偏差并调整。同时，采用多维度进度监测技术，从不同角度对调试进度进行监控。不仅要关注整体进度，还要对各子系统、各关键节点的进度进行细致监测。结合数据分析技术，对监测到的数据进行深入分析，挖掘潜在问题。在进度协同控制方面，要确保各个参与方之间信息畅通，建立高效的沟通机制，共同推动调试工作按计划进行，保障轨道交通综合监控系统调试的顺利完成。

2. 资源动态调配模型

轨道交通综合监控系统调试过程中，资源动态调配至关重要。需构建调试资源池动态调配模型以应对交叉作业冲突。首先要对调试所需的各类资源进行详细分类与评估，包括人力资源、设备资源等，明确其数量、质量及使用时间要求。然后根据调试进度计划和实际进展情况，建立资源分配的动态规则。当出现交叉作业冲突时，模型依据资源的优先级、紧急程度以及作业的相互关系，合理调整资源分配。同时，要考虑资源的可替代性和互补性，提高资源利用效率。通过该模型，实现调试资源的科学调配，确保调试工作顺利进行，减少因资源冲突导致的进度延误和质量问题。

（三）安全管理创新举措

1. 带电作业安全防护体系

轨道交通综合监控系统带电调试作业需制定严格规范及应急预案。在规范方面，建立三级标准，明确各级调试的具体任务、流程及标准要求。例如，一级调试注重基础设备的通电检测，确保各组件能正常启动运行；二级调试针对系统模块间的交互，检查数据传输与指令响应的准确性；三级调试则从整体系统层面，验证其综合功能的完整性与稳定性。同时，制定完善的应急预案，针对可能出现的电气故障、数据丢失、设备损坏等情况，明

确应急处理流程与责任分工。包括设立应急指挥小组，确保在突发状况下能迅速响应，采取有效措施降低损失，保障调试工作的安全与顺利进行。

2. 调试人员作业安全培训机制

轨道交通综合监控系统调试过程中，作业环境复杂，涉及多工种、多环节协同操作，对人员安全意识与操作技能提出较高要求。建立完善的调试人员作业安全培训机制，有助于降低事故风险并提升整体调试质量。培训应覆盖安全法规与标准、设备操作规范、应急处置流程等内容，并结合典型案例分析强化风险辨识能力。在培训方式上，可采用集中授课、实操演练与情景模拟相结合的模式，使调试人员在掌握理论知识的同时积累实战经验。对特殊工种人员需进行持证上岗管理，确保其具备相应资质与能力。通过定期考核与持续培训，形成安全意识常态化、操作行为规范化的作业文化，从根本上保障调试工作的安全顺利进行。

五、总结

通过对轨道交通综合监控系统调试关键技术的研究及应用效果的案例分析，我们得以深入了解并掌握了这些技术在实际项目中的可行性和有效性。在此基础上，成功总结出一套适应新型智慧城轨发展的系统调试管理体系。该体系涵盖了从调试前期规划到过程控制，再到后期评估的各个环节，为城轨综合监控系统调试工作提供了全面且科学的指导。同时，考虑到未来技术发展趋势，进一步提出了基于数字孪生技术的调试方法改进方向。这不仅有助于提高调试效率和质量，还能更好地满足智慧城轨对综合监控系统日益复杂的需求，推动轨道交通行业的智能化发展。

参考文献

[1] 李宇. 基于关键链的城市轨道交通综合监控系统集成项目进度管理研究 [D]. 重庆大学, 2021.
[2] 乔亚琼. 轨道交通地面电子单元信息传输关键技术研究 [D]. 中国铁道科学研究院, 2022.
[3] 张虎. 基于关键路径法的轨道交通综合联调进度计划管理研究 [D]. 中国科学院大学, 2021.
[4] 郑国栋. 含光伏轨道交通自洽能源系统运行策略与风险评估研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
[5] 汪娥. Y公司轨道交通 PIS 系统项目管理研究 [D]. 桂林理工大学, 2021.
[6] 李东兴. 城市轨道交通综合监控系统设计研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(3): 162-164.
[7] 柏乃琳. PLC/DCS/SCADA 轨道交通综合监控系统的设计研究 [J]. 信息记录材料, 2022, 23(8): 139-142.
[8] 马燕妮. 轨道交通综合监控系统智能化设计研究 [J]. 电子测试, 2021, 000(16): 66-67, 60.
[9] 王政. 城市轨道交通智能综合监控系统及关键技术 [J]. 技术与市场, 2015, 000(11): 40-41.
[10] 解涛. 轨道交通综合监控系统与站台门接口设计 [J]. 设备管理与维修, 2022, (2): 110-112.

科研院所视角下技术转移转化服务的模式研究与实践探索

唐浩

河源广工大协同创新研究院, 广东 河源 517001

DOI:10.61369/ME.2025090016

摘 要 : 本文阐述科研院所技术转移转化相关概念及技术特征, 分析其面临的挑战, 介绍直接转化、平台化服务等多种模式, 提出应构建矩阵式协作体系、培育专业人才、构建价值评估模型、完善风险防控机制等提升效率, 通过国内外案例说明成效, 强调应三维协同发展与智能化转型。

关 键 词 : 科研院所; 技术转移转化; 服务模式

Research and Practice Exploration on the Mode of Technology Transfer and Transformation Services from the Perspective of Research Institutes

Tang Hao

Synergy Innovation Institute of GDUT, Heyuan, Guangdong 517001

Abstract : This article elaborates on the concepts and technical characteristics related to technology transfer and transformation in research institutes, analyzes the challenges they face, introduces various models such as direct transformation and platform based services, and proposes the construction of a matrix based collaboration system, cultivation of professional talents, construction of value evaluation models, and improvement of risk prevention and control mechanisms to enhance efficiency. Through domestic and foreign case studies, the effectiveness is demonstrated, emphasizing the need for three-dimensional collaborative development and intelligent transformation.

Keywords : research institutes; technology transfer and transformation; service model

引言

2019年,《关于进一步优化供给推动消费平稳增长 促进形成强大国内市场的实施方案(2019年版)》颁布,旨在推动科技创新与经济发展深度融合,强调科研院所技术转移转化的重要性。技术转移、成果转化与知识扩散概念各异,科研院所技术兼具显性与隐性特征,在技术转移中面临从实验室到市场转化的诸多挑战。探索适配的技术转移模式,如直接转化、平台化服务等,构建协作体系、培育专业人才、完善价值评估与风险防控,对提升科研院所技术转移转化效率与质量,实现科技成果价值,具有重要意义。

一、技术转移转化的理论基础

(一) 技术转移转化内涵解析

技术转移,是指将技术从一个主体传递到另一个主体的过程,包括技术成果、信息、能力等的转移^[1]。成果转化则更强调将科技成果应用于生产实践,创造出实际的经济或社会效益。知识扩散范围更广,涉及知识在不同个体、组织、区域间的传播。

对于科研院所的技术,在价值链条中具有显性与隐性特征。显性特征体现为可直接衡量的成果,如专利、新产品等,能快速为接收方带来经济效益。隐性特征主要指蕴含在科研人员经验、团队协作模式中的知识与能力,虽难以直接量化,但对技术的深度理解与持续创新至关重要。明确这些概念边界与技术特征,有

助于科研院所所在技术转移转化服务中,精准定位自身优势,选择合适的服务模式,提高技术转移转化的效率与质量,更好地实现科技成果的价值。

(二) 科研院所职能定位

科研院所作为科技研发与创新的重要主体,在国家创新体系中占据关键地位。它不仅承担着基础研究的重任,致力于探索新知识、发现新规律,为技术发展奠定理论基石;同时,也积极推动应用开发,将基础研究成果转化为实际可用的技术和产品。院所作为创新源头,成果产出具有前沿性、创新性强的特点,但也面临着从实验室到市场转化过程中的诸多挑战^[2]。其技术转移存在特殊性,一方面,科研成果往往处于技术链前端,离产业化应用尚有距离,需进一步开展工程化、商业化开发;另一方面,科

研院所相对独立于市场，在市场信息获取、技术营销推广等方面能力相对薄弱，这使得技术转移转化工作面临独特的困难与障碍，需探索与之适配的有效模式。

二、技术转移服务模式类型学分析

（一）直接转化模式

直接转化模式是科研院所技术转移转化较为直接的方式。该模式下，科研院所将自身研发的科研成果直接应用于生产实践。一方面，科研成果所有权转让是常见形式，即科研院所将成果的所有权一次性出售给企业，企业获得完整权利进行后续生产经营，这种方式能使科研院所快速回笼研发资金，实现科研成果价值。但从效益评估看，若对成果市场价值估计不足，可能造成收益受损；从法律风险分析，转让合同条款若不完善，易引发纠纷。另一方面，许可使用也是重要途径，科研院所授权企业在一定期限、范围内使用科研成果，自身保留所有权，能持续获取许可费用。然而，可能面临企业擅自超范围使用等法律风险^[3]。

（二）平台化服务模式

平台化服务模式在科研院所技术转移转化中发挥着重要作用。它依托搭建综合性技术转移平台，整合多方资源，打破信息壁垒。该平台汇聚科研院所的技术成果、企业的需求信息、投资机构的资金等要素^[4]。通过平台的大数据分析功能，精准匹配技术与需求，提高对接效率。例如，平台将科研院所的前沿技术成果进行分类展示，企业可按自身需求快速检索。同时，平台还提供线上线下相结合的服务，线上开展技术交易、咨询等活动，线下组织项目路演、对接洽谈会等，促进技术供需双方深入沟通，加速技术转移转化进程。这种模式有效提升了技术转移的规模和速度，实现多方共赢。

三、院所技术转移模式构建

（一）组织体系创新

1. 跨部门协同机制

为实现高效的技术转移转化，科研院所应构建科研管理、知识产权与产业需求部门的矩阵式协作体系。科研管理部门掌握科研项目进展与成果动态，知识产权部门负责成果的产权保护与评估，产业需求部门洞悉市场需求与行业趋势。通过矩阵式协作，打破部门壁垒，各部门围绕技术转移转化目标紧密合作。例如，在某成果转化过程中，科研管理部门提供技术信息，知识产权部门确保权益明晰，产业需求部门依据市场反馈提出改进方向，共同推进技术从实验室走向市场。这种模式能整合各方优势资源，提升技术转移转化效率，更好地对接科研成果与产业实际需求，增强科研院所技术转移转化服务的效能^[5]。

2. 专业人才培养

科研院所应重视专业人才培养以推动技术转移转化。一方面，与高校等教育机构合作，设置技术转移相关专业课程或培训项目，系统传授技术评估、知识产权、市场营销等知识，为人才

储备奠定理论基础^[6]。另一方面，构建实践培养平台，选派人员到企业挂职锻炼，参与企业实际生产运营，了解市场需求和产业痛点，增强技术与市场的衔接能力。同时，邀请行业资深专家开展讲座、案例分享，传授实战经验和技巧。此外，建立科学合理的激励机制，对在技术转移转化工作中有突出贡献的人才给予物质和精神奖励，激发人才的积极性和创造性，打造一支既懂技术又懂市场运营的高素质专业人才队伍，有力支撑科研院所技术转移转化服务工作。

（二）市场化运作体系

1. 价值评估模型

构建适用于科研院所技术转移的价值评估模型，可采用基于技术成熟度（TRL）的分阶段评估方法。该方法以技术成熟度为核心指标，全面考量技术从概念产生到实际应用过程中的不同阶段特性。在评估时，针对每个TRL等级，确定相应的技术、市场、商业等维度评估参数。例如，对于处于较低TRL等级的技术，着重评估其技术创新性、理论可行性；而对于高TRL等级技术，更关注市场潜力、竞争优势及商业可行性等。通过这种分阶段、多维度的评估，能准确衡量技术在各阶段的价值，为科研院所技术转移决策提供科学依据，也有助于投资方、合作方等利益相关者合理判断技术价值，促进技术转移的市场化运作^[7]。

2. 风险防控机制

科研院所技术转移模式构建中的市场化运作体系，风险防控机制至关重要。一方面，应加强知识产权保护，对科研成果进行及时、有效的专利申请，防止成果被侵权或不当使用，这是技术转移转化的基石^[8]。另一方面，建立合理的利益分配制度，清晰界定科研人员、院所、合作企业等各方的利益分配比例，避免因利益分配不均引发纠纷。同时，完善纠纷处理制度，制定明确的纠纷处理流程与规则，当出现利益纠纷时，能通过协商、仲裁或法律诉讼等合法途径妥善解决，确保技术转移转化过程的稳定与顺利，保障各方合法权益，从而推动科研院所技术转移转化服务高效运行。

四、实践案例研究

（一）中科院系统实践

1. 苏州纳米所案例

中科院苏州纳米所聚焦纳米技术领域，在技术转移转化服务的许可模式探索方面成效显著。该所凭借深厚的科研实力，产出诸多前沿纳米技术成果。在技术许可过程中，注重与企业紧密合作，深入了解企业需求，针对性地进行技术许可。例如，针对某新材料企业对高性能纳米涂层技术的需求，苏州纳米所将相关技术许可给该企业，并提供技术指导与后续支持，助力企业产品升级，提升市场竞争力。这种模式不仅加速了科研成果落地，还实现了科研机构与企业的双赢。通过构建完善的技术许可流程和服务体系，苏州纳米所持续推动纳米技术在产业界的应用，为专业型科研机构技术转移转化提供了宝贵范例^[9]。

2. 深圳先进院案例

中科院深圳先进院在技术转移转化服务方面成果显著。其构建

了产学研协同创新生态，以市场需求为导向开展科研工作。先进院与众多企业紧密合作，通过共建联合实验室等方式，加速科研成果落地。例如在某生物医学项目中，先进院科研团队凭借深厚的技术积累，与企业共同研发创新产品。借助这种模式，不仅解决了企业技术难题，也让科研成果迅速实现产业化^[10]。同时，先进院还搭建了技术转移平台，整合各方资源，提供从技术评估、知识产权运营到项目对接等一站式服务。通过完善的服务体系，吸引了更多企业参与产学研合作，进一步促进了技术转移转化，为构建良好的创新生态、推动区域经济发展发挥了重要作用。

（二）行业院所转型

1. 钢铁研究院案例

以某钢铁研究院为例，在转型过程中，该研究院整合内部资源，成立专业技术转移转化中心。中心一方面聚焦钢铁领域前沿技术研发，与高校合作攻克多项关键技术难题，如研发出新型高性能钢材生产工艺。另一方面，积极搭建产学研合作平台，与多家钢铁企业建立长期合作关系。通过技术许可、技术入股等方式，将研发成果快速应用于企业生产，提高企业产品质量与生产效率。同时，注重人才培养与引进，打造了一支既懂技术又擅市场运营的专业团队。通过一系列举措，钢铁研究院不仅提升了自身科研实力，也成功实现从单纯科研机构向集科研、技术转移转化为一体的创新型机构转型，为行业院所转型提供了可借鉴的范例。

2. 医学科研机构案例

以某知名医学科研机构为例，该机构在转型过程中，聚焦临床导向成果转化。为打破成果转化瓶颈，设计了一套完善的激励机制。对于科研人员，成果成功转化后，给予高额的现金奖励，且在职称评定、职务晋升中予以倾斜。同时，设立专项科研基金，鼓励科研人员开展具有临床应用潜力的项目。在机构层面，搭建产学研合作平台，与多家大型药企、医疗器械企业建立深度合作关系。如研发出一种新型的肿瘤诊断试剂，通过与企业合作，快速实现量产上市。该诊断试剂凭借其高精度度，在市场上取得显著成绩，不仅为企业带来经济效益，也提升了科研机构的声誉，成功实现临床导向成果从实验室到市场的转化，为其他医学科研机构提供了可借鉴的模式。

（三）国际经验借鉴

1. 德国弗劳恩霍夫模式

德国弗劳恩霍夫模式在技术转移转化服务方面成效显著。该

模式以应用研究为导向，弗劳恩霍夫协会旗下众多研究所聚焦不同领域，紧密结合产业需求开展科研项目。其研究人员既具备深厚学术背景，又有丰富行业经验，能高效将科研成果对接企业实际生产。例如，通过与企业签订合作合同，共同研发新技术。在此过程中，企业提供资金与应用场景，研究所提供技术支持，成果共享，加速技术从实验室走向市场的进程。这种模式有效搭建起科研与产业间的桥梁，德国众多中小企业借此获得先进技术实现转型升级。其成功在于合理的利益分配机制、灵活的项目管理，对我国科研院所技术转移转化服务的本土化发展，在合作机制构建、人才培养与激励等方面，具有重要的借鉴意义。

2. 美国拜杜法案启示

美国拜杜法案对科研院所技术转移转化服务极具启示意义。该法案明确了联邦政府资助研发成果的知识产权归属，允许高校、非营利组织及小企业保留所有权，极大激发了科研主体技术转移的积极性。以往，大量联邦资助科研成果束之高阁，法案实施后，加速了成果从实验室到市场的进程。例如，诸多高校凭借法案，设立专门技术转移办公室，构建专业团队负责专利申请、技术许可等事务，成功将大量科研成果转化为商业产品，创造显著经济效益。这启示我国科研院所，应优化知识产权制度，清晰界定各方权益，建立高效技术转移服务体系，提升科研人员参与转化热情，推动技术转移转化工作迈向新高度。

五、总结

从科研院所视角对技术转移转化服务模式的研究与实践探索，旨在提升科技成果转化效率。通过系统梳理不同服务模式适用场景与实践成效，清晰认识到各模式特点与优势。提出的院所技术转移服务体系优化路径，强调政策供给、市场衔接与能力建设三维协同发展，这是基于当前技术转移现状与需求，打破转化壁垒的关键举措。在数字经济浪潮下，展望智能化转型方向，为技术转移服务注入新活力。未来，科研院所应持续探索，不断完善技术转移转化服务模式，加强三维协同，加速智能化转型，充分发挥科研成果价值，促进科技与经济深度融合，推动创新驱动发展战略的有效实施。

参考文献

- [1] 李国威. 复元视角下精神病患者同伴支持服务模式的实务研究 [D]. 黑龙江大学, 2022.
- [2] 刘义铭. 成都市科研院所科技成果转化政策执行的问题及对策研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [3] 焦丽叶. 新技术条件下的智慧图书馆服务模式比较研究 [D]. 山西大学, 2021.
- [4] 潘金鑫. 分级诊疗背景下智能医疗的服务模式与采纳模型研究 [D]. 合肥工业大学, 2021.
- [5] 杨雪妍. Z中心科技成果转化服务优化研究 [D]. 电子科技大学, 2022.
- [6] 姜娟, 张群. 创新生态系统视角下国外高校专利技术转移转化实践启示 [J]. 情报探索, 2023(3): 78-85.
- [7] 刘明娜, 李咏军, 袁会珠. 农业科研院所科技成果转化路径探索与思考——以中国农业科学院植物保护研究所为例 [J]. 中国农垦, 2023(11): 48-51.
- [8] 吴锐芸. 科研院所成果转化存在的问题与对策研究——以福建省计量科学研究院为例 [J]. 海峡科学, 2023(11): 151-153.
- [9] 门俊男. 浅议“三技”与科技成果转化——基于技术转移体系视角 [J]. 今日科苑, 2021(5): 29-37.
- [10] 肖培, 谭鑫, 张焕景, 等. 科研院所知识产权转移转化对策研究——以石家庄为例 [J]. 产业与科技论坛, 2023, 22(10): 62-64.

锅炉设备智能化管理与数据分析技术

张霞龙, 郭忠恺, 张玉江

国家电投集团内蒙古能源有限公司, 内蒙古 通辽 028000

DOI:10.61369/ME.2025090023

摘 要 : 锅炉设备的智能化管理与数据分析技术是提升工业生产效率、安全性与经济性的关键。本文系统阐述了锅炉设备智能化管理的核心技术, 包括智能传感器、智能控制系统及智能化管理系统的架构与功能; 深入探讨了数据分析技术的全流程, 涵盖数据收集与整理、主流分析方法及其在故障预测与性能优化中的具体应用。同时, 本文分析了该技术在推广应用中面临的数据安全与隐私保护、技术集成难度以及专业人才短缺三大难题, 并针对性地提出了相应的解决策略。

关 键 词 : 锅炉设备; 智能化管理; 数据分析; 故障预测; 性能优化

Intelligent Management and Data Analysis Technology for Boiler Equipment

Zhang Xialong, Guo Zhongkai, Zhang Yujia

State Power Investment Corporation Inner Mongolia Energy Co., Ltd., Tongliao, Inner Mongolia 028000

Abstract : Intelligent management and data analysis technology for boiler equipment are critical to enhancing industrial production efficiency, safety, and economic performance. This paper systematically elaborates on the core technologies of intelligent boiler equipment management, including the architecture and functions of smart sensors, intelligent control systems, and intelligent management systems. It thoroughly explores the entire process of data analysis technology, covering data collection and organization, mainstream analytical methods, and their specific applications in fault prediction and performance optimization. Additionally, the paper analyzes three major challenges encountered in the widespread application of this technology: data security and privacy protection, technical integration difficulties, and a shortage of specialized personnel. Corresponding solution strategies are proposed to address these challenges.

Keywords : boiler equipment; intelligent management; data analysis; fault prediction; performance optimization

引言

随着工业4.0和智能制造的深入推进, 传统工业设备的管理模式正经历着深刻的变革。锅炉作为能源转换与工业生产中的核心设备, 其运行的安全性、稳定性和经济性直接关系到企业的生产效益与节能减排目标的实现。然而, 传统的锅炉管理方式多依赖于人工巡检和定期维护, 存在响应滞后、效率低下、资源浪费等问题, 已难以满足现代工业精细化、智能化发展的需求。

一、锅炉设备智能化管理技术

(一) 智能传感器技术

智能传感器是锅炉设备智能化管理的核心组成部分, 核心功能为实时监测温度、压力、流量等关键运行参数。其工作时, 先由内置敏感元件感知物理量并转化为电信号, 再通过高精度探测单元捕捉锅炉动态变化, 如炉膛燃烧温度分布、管道流体压力波动等。利用通讯模块建立设备层与监控层之间的交互, 将获取的设备信息发送到集中监控模块, 实现对设备质量的集中管理。数据库与远程计算机之间采用 TCP/IP 协议进行交互, 搭建起现场与远程监控的联系。当现场设备出现运行异常时, 会及时将故障特征发送到上位机端, 并且自动生

成历史记录并存储完善故障数据库, 利用 WEB 服务器和管理服务器为整个设备质量智能化管理提供顶层管理平台^[1]。

(二) 智能控制系统

智能控制系统是锅炉设备智能化管理的核心, 整体架构通常包含控制层、执行层和监测层。控制层负责接收传感器实时数据, 依据预设算法生成控制指令; 执行层通过调节阀门、变频器等设备落实调控操作; 监测层持续采集运行数据为系统提供反馈, 这种分层设计提升了系统模块化程度与可扩展性、维护便利性。其核心功能体现在精准调控与故障预警, 精准调控时可根据实时数据动态调整燃烧速率、蒸汽压力等参数以实现最优运行状态; 故障预警则通过综合分析历史与实时数据, 提前识别风险并

报警，为维护提供指导。智能控制算法在锅炉设备中应用广泛，主要有模糊控制、专家控制和神经网络控制等类型。模糊控制模仿人类思维，利用模糊推理管控复杂系统，适配锅炉的非线性与时滞特性，如燃烧控制中可依据炉膛温度和氧气浓度变化，自动调整燃料供给与送风量，提升效率并减少排放；专家控制结合专业数据库与推理机制模拟专家决策，某发电厂便通过该算法提取历史经验，解决了传统PID控制难以应对的复杂工况问题；神经网络控制凭借强大的非线性映射能力，对多维数据建模分析以实现高精度控制，例如通过训练模型预测热交换效率，为参数优化提供科学依据^[2]。

（三）智能化管理系统

智能化管理系统由现场信息采集、信息传递和信息分析处理三部分组成，各部分协同实现锅炉全方位管理。现场信息采集设备以智能传感器、监控摄像头为主，部署在锅炉关键部位，收集温度、压力、振动等实时数据，保障采集的全面性与准确性；信息传递设备通过工业以太网、无线局域网及4G/5G等有线或无线通信技术，将数据传输至中央管理系统；信息分析处理设备作为核心，由高性能服务器和专用软件构成，负责数据清洗、存储、分析并生成可视化报告，各部分通过标准化接口协议无缝连接，保障数据高效流转。该系统通过实时监管、故障诊断与维修指导优化锅炉管理：实时监管实现全天候参数监控，通过数据分析排查潜在问题，某企业借此实现燃烧效率在线监测，依优化建议调整参数后能源利用率提升10%以上；在故障诊断方面，利用机器学习算法分析历史故障数据建立预测模型，提前预警并支撑预防性维护；同时系统可按故障类型自动生成维修方案，通过移动终端推送至维修人员，大幅缩短维修时间，综合提升了设备运行可靠性并节约维护成本。

二、锅炉设备数据分析技术

（一）数据收集与整理

数据收集是锅炉设备智能化管理和数据分析的基础环节，可通过传感器网络、监控系统及历史运行记录等多种手段，获取设备运行状态、环境参数及操作日志等全面数据。作为采集核心的智能传感器，会部署在炉膛、管道、热交换器等关键部位，实时监测温度、压力、流量、燃烧效率等关键参数；现代化监控系统集成PLC和SCADA，实现运行数据的高频采集与远程传输。数据收集频率依据设备运行特点设定，高温高压环境下采集频率更高以保障数据时效与准确，收集范围除设备运行参数外，还涵盖气温、湿度等外部环境变量，为多维度分析提供支撑。数据整理与预处理是保障数据分析质量的关键，需对原始数据清洗、归一化和特征提取以消除噪声与冗余。原始数据因传感器故障或传输干扰可能存在缺失值、异常值、重复值，需用线性插值法填补缺失值，通过箱线图检测剔除异常值等统计学方法处理；归一化将不同量纲数据统一尺度，常用最小-最大归一化和Z-score标准化，可提升算法收敛速度与预测精度；特征提取通过降维保留代表性变量，主成分分析（PCA）已广泛应用于锅炉数据处理，能

有效降维并保留关键信息^[3]。

（二）数据分析方法

机器学习算法在锅炉设备数据分析中作用突出，尤其在故障预测和性能评估领域成效显著。决策树作为经典监督学习算法，以易解释、分类高效的特点用于运行状态分类，基于其构建的故障诊断模型可通过分析历史数据识别故障主因并生成决策规则；支持向量机（SVM）适用于小样本、非线性数据分类，在性能评估中表现优异，通过构建高维特征空间最优分类超平面，能精准区分运行状态实现故障预警；随机森林作为集成学习方法，结合多个决策树结果提升预测稳定性与准确性，已成功应用于燃烧效率预测和能耗优化，展现处理复杂非线性关系的优势。大数据挖掘技术为海量运行数据的价值提取提供支撑，通过关联规则挖掘、聚类分析、时序分析等方法挖掘潜在规律与故障模式^[4]。关联规则挖掘可揭示参数内在联系，如研究人员用Apriori算法挖掘出燃烧效率与供氧量的强关联，为燃烧优化提供依据；聚类分析通过数据分组识别运行模式，K-means算法已用于区分高、低负荷运行模式；时序分析通过建模时间序列特征预测趋势，基于ARIMA模型的方法可预测管道磨损速率，为预防性维护提供科学支撑。

（三）数据分析结果应用

基于数据分析结果的设备故障预测与维护是提升锅炉设备可靠性的的重要手段，通过对历史运行数据和实时监测数据的综合分析，可以建立精准的故障预测模型，从而实现设备故障的早期预警和预防性维护。例如，研究人员利用机器学习算法构建的锅炉管道泄漏预测模型，能够根据管道温度、压力和振动等参数的变化趋势，提前识别出潜在的泄漏风险，使维护人员能够在故障发生前采取更换老化管道或调整运行参数等措施，显著降低设备停机时间和维修成本。此外，数据分析结果还可用于优化维护计划，通过对设备运行状态和健康度的动态评估确定最佳维护时机和内容，基于大数据挖掘技术的维护策略能根据设备的实际使用情况动态调整维护周期和项目，提高维护效率并降低成本。同时，数据分析结果在锅炉设备性能优化方面也具有重要应用价值，通过对运行参数的深入分析，可识别影响设备性能的关键因素并制定优化策略以提高运行效率和降低能耗^[5]。例如，利用数据分析技术对锅炉燃烧过程进行优化，通过调整空气燃料比和燃烧温度，能显著提高燃烧效率并减少污染物排放。基于机器学习算法的性能评估模型还能实时监测设备运行状态，并根据实际工况动态调整运行参数，如基于模型预测控制（MPC）的燃烧优化方法，通过建立锅炉的动态数学模型预测不同运行参数下的燃烧效率并计算最优控制策略，实现精确调控。这种数据驱动的性能优化方法不仅提高了设备运行效率，还为节能减排目标的实现提供了技术支持。

三、智能化管理与数据分析技术应用面临的难题与解决策略

（一）数据安全与隐私保护

在锅炉设备智能化管理与数据分析技术的应用中，数据的安

全性和隐私保护成为亟待解决的重要问题。由于智能化管理系统通常依赖于传感器网络、云计算平台和大数据分析技术,这些技术涉及大量敏感信息的采集、存储和传输,例如在承压类设备智能化质量管理体系中,设备的运行参数、检验检测记录以及维护日志等数据均需要通过网络传输至中央服务器进行处理,这一过程使得数据面临泄露、篡改或非法访问的风险。特别是在工业物联网环境下,设备间的互联互通增加了攻击面,使系统更容易受到恶意攻击,而部分数据涉及企业的商业机密和技术专利,一旦发生泄露,不仅会影响企业正常运营,还可能导致严重的经济损失和法律责任。为保障数据的安全性与隐私性,可以采取多种技术手段和管理措施,其中加密技术是防止数据泄露和篡改的核心手段之一,通过对传输和存储的数据进行加密处理,如采用 AES 算法并结合 SSL/TLS 协议,可以有效降低数据被窃取或篡改的风险^[9]。同时,访问控制机制能够限制未经授权的用户对数据访问,通过设置多层次的权限管理体系,仅允许特定人员或部门访问相关数据,从而减少数据滥用的可能性。此外,数据备份策略也是保障数据安全的重要环节,定期对关键数据进行备份,并将备份文件存储在离线或异地环境中,可以在系统遭受攻击或故障时快速恢复数据,最大限度地减少损失。

（二）技术集成难度

智能化管理与数据分析技术的应用涉及传感器技术、智能控制技术、数据分析技术以及工业互联网平台等多种技术的集成,然而,这些技术之间兼容性和接口标准不统一的问题成为技术集成的主要障碍。例如,在智能锅炉工业互联网平台的建设中,需要将已开发的炉膛三维可视化系统、故障预警及诊断系统、锅炉安全及寿命监测系统等整合至统一平台,但不同系统可能采用不同的通信协议和数据格式,导致数据交互困难。此外,硬件设备的多样性也增加了技术集成的复杂性,不同厂家生产的传感器和控制设备可能存在性能差异和接口不匹配的问题,进一步加剧了系统集成的难度。为应对这一难题,可以从技术标准制定、中间件技术应用以及跨学科团队合作等方面入手。制定统一的技术标准和规范是解决兼容性问题的关键,通过引入行业标准或开发企

业级标准,可以确保不同技术模块之间的无缝对接,例如在长征云工业互联网平台的应用中,通过统一数据采集和处理的标准,成功实现了多个智能锅炉系统的集成^[7]。中间件技术的应用能够有效简化系统集成过程,作为一座软件桥梁,中间件可以在不同系统之间提供标准化的接口,从而实现数据的高效交换和共享。

（三）专业人才短缺

智能化管理与数据分析技术在锅炉设备领域的广泛应用对专业人才提出了更高要求,但目前相关专业人才的数量和质量尚无法满足行业需求。一方面,智能化管理系统的设计和实施需要具备信息技术、自动化控制、机械工程等跨学科知识背景的复合型人才,然而当前高等教育体系中相关专业的课程设置较为分散,难以培养出符合行业实际需求的人才^[8]。另一方面,数据分析技术的应用需要掌握机器学习算法、大数据挖掘等前沿技术的专业人员,而这些技术的学习曲线陡峭,培养周期较长。此外,随着智能化技术的快速发展,现有从业人员的技术水平也面临更新换代的压力,进一步加剧了人才短缺的问题。为缓解专业人才短缺,可以从高校教育、企业内部培训和外部人才引进等方面采取综合措施^[9]。高校应加强对智能化管理和数据分析相关专业的建设,优化课程设置,增加实践教学环节,例如开设“工业互联网与智能设备管理”等相关专业课程,结合实际案例进行教学,以培养具备跨学科知识背景的复合型人才^[10]。企业内部应建立完善的培训体系,通过定期组织技术培训和技能考核,或与高校及科研机构合作开展专项培训项目,来提升现有员工的专业水平。

四、结束语

展望未来,随着 5G、数字孪生、边缘计算等前沿技术的进一步成熟与融合,锅炉设备的智能化管理与数据分析将迈向更高水平。未来的研究将更加注重模型的实时性、自适应性和解释性,实现从“被动响应”到“主动预测”,再到“自主优化”的跨越。最终,通过构建更加安全、高效、智能的锅炉设备管理体系,将为我国工业的高质量发展和“双碳”战略目标的实现贡献关键力量。

参考文献

- [1] 张佳淇. 基于信息技术融合的承压类设备智能化质量管理体系设计 [J]. 机械研究与应用, 2023, 36(3): 183-186.
- [2] 强亚斌, 黄苑平, 韩岗, 折鹏翔. 浅析某电厂锅炉智能化系统架构 [J]. 锅炉制造, 2023, (6): 13-14.
- [3] 岳宝龙. 火力发电厂锅炉运行控制的节能对策研究 [J]. 电力系统装备, 2021, (13): 116-117.
- [4] 李冰涛. 智能化发电厂锅炉运行监控系统的分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(3): 316-317.
- [5] 王征宇. 基于节能视角下的锅炉经济运行途径分析 [J]. 质量与市场, 2020, (8): 10-12.
- [6] 吴坡, 段松涛, 张江南, 贺勇, 朱峰. 数据驱动型实时燃烧优化控制架构及应用 [J]. 电力工程技术, 2021, 40(2): 197-204.
- [7] 谷爱军, 刘斌, 王国栋. 火力发电厂智能发电发展方向及关键技术研究 [J]. 今日自动化, 2024, (1): 21-23.
- [8] 张博, 胡曦, 崔捷. 超临界机组智慧锅炉的研究与应用 [J]. 锅炉技术, 2021, 52(4): 61-64.
- [9] 杨天昱. 智能锅炉工业互联网平台建设 [J]. 锅炉制造, 2022, (6): 57-58.
- [10] 张爱君. 基于燃气锅炉的热管理模式提升探究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(2): 198-200.

基于物联网的冷水机组智慧运维与数据监测系统设计

黄耀华, 夏智扬, 徐伟, 童师阳

江苏省产品质量监督检验研究院, 江苏 南京 210007

DOI:10.61369/ME.2025090025

摘 要 : 面向大型公共建筑中冷水机组能耗高、人工巡检滞后与数据割裂等痛点, 本文提出一套“感知—边缘—云端—应用”四层协同的智慧运维系统架构。系统在边缘侧集成卡尔曼滤波与滑动窗口的预处理策略, 并嵌入结合 Z-score 与动态阈值的异常检测算法; 云端采用轻量化技术栈实现数据融合与交互可视化。工程部署结果显示, 系统实现了连续可靠的数据采集、低延时的异常告警与可观的能效改善 (COP 提升 4.5%), 验证了方案的可行性与推广价值。

关 键 词 : 冷水机组; 物联网; 智慧运维; 异常检测算法

Design of Smart Operation and Maintenance and Data Monitoring System for Chiller Units Based on Internet of Things

Huang Yaohua, Xia Zhiyang, Xu Wei, Tong Shiyang

Jiangsu Provincial Product Quality Supervision and Inspection Institute, Nanjing, Jiangsu 210007

Abstract : Addressing the pain points of high energy consumption, delayed manual inspections, and data fragmentation in large public buildings' chiller units, this paper proposes a four-layer collaborative intelligent operation and maintenance system architecture: "perception-edge-cloud-application." The system integrates Kalman filtering and sliding window preprocessing strategies at the edge, and embeds an anomaly detection algorithm combining Z-score and dynamic thresholds. At the cloud, a lightweight technology stack is used to achieve data fusion and interactive visualization. Engineering deployment results show that the system achieves continuous and reliable data acquisition, low-latency anomaly alarms, and significant energy efficiency improvements (COP improvement of 4.5%), validating the feasibility and promotional value of the solution. The paper concludes by discussing future directions such as group control optimization, predictive maintenance, and digital twins.

Keywords : chiller unit; Internet of Things; smart operation and maintenance; anomaly detection algorithms

冷水机组作为中央空调系统的核心设备, 被广泛应用于大型商业建筑、医院等公共设施, 其能耗可占整个空调系统的 40% - 60%。面对传统人工巡检模式存在的响应延迟、数据采集不连续及维护成本高昂等问题, 现代建筑对能效管理与实时监控提出了更为迫切的需求。在此背景下, 随着物联网、云计算与人工智能等技术的迅猛发展, 构建具备智能诊断与远程运维能力的冷水机组管理系统, 已成为提升设备运行效率、降低系统能耗并保障稳定运行的关键路径。目前, 以 Carrier、Trane 为代表的国际企业已推出集成远程监控与能效分析的系统平台, 普遍采用 BACnet、Modbus 等标准协议实现跨品牌互联; 而国内研究多集中于机房自动化控制与数据可视化层面, 在统一数据架构与智能诊断机制方面仍存在不足, 尤其在复杂运行环境中实现高精度数据采集、边缘智能与云端协同方面亟待突破^[1,2]。为此, 本研究旨在设计并实现一套适用于实际工程环境的冷水机组数据采集与远程监测系统, 重点针对数据孤岛、响应滞后与运维效率低下等现实问题, 融合边缘计算与云平台技术, 实现运行参数的实时采集、智能判断与可视化运维, 为建筑节能与设备精细化管理提供有效技术支撑。

一、系统总体设计

本章将深入阐述冷水机组智慧运维系统的整体设计。与传统楼宇自动化系统往往局限于数据采集与展示不同, 本设计强调边缘智能与云端协同的创新架构, 旨在从根本上解决数据孤岛与响

应滞后问题。下文将从需求、架构及数据流三个层面, 具体说明本系统相较于现有方案的优化与突破。

相较于仅关注“监”而弱于“控”的传统系统, 本系统以满足闭环智能运维为核心理念进行需求规划。其核心功能在传统的数据采集与可视化基础之上, 实现了两大关键拓展: 其一, 是引

入了边缘侧的数据处理与智能诊断，此举不仅缓解了云端压力，更将部分分析决策能力下沉，实现了从“感知”到“认知”的前移，显著提升了异常响应的实时性；其二，是强化了数据驱动的决策支持，系统不仅记录历史数据，更能基于能效模型进行深度分析，为维护策略优化提供直接依据，从而超越了传统系统主要用于状态监视的局限性。

（一）系统架构

为支撑上述高级需求，本系统并未采用常见的“传感-云”简单两层架构，而是创新性地构建了“感知层-边缘层-云端层-应用层”四层协同体系（见图1）。其核心创新在于边缘层的独立与强化：与许多将网关仅视为协议转换器的方案不同，本系统部署的工业级嵌入式网关被赋予了数据缓存、滤波、甚至轻量级智能诊断算法（如后文所述的动态阈值报警）的能力。这一设计使得系统在网络中断等极端工况下仍能维持本地智能与数据完整性，实现了从“边缘计算”到“边缘智能”的跨越，构成了本系统在架构上的主要创新。

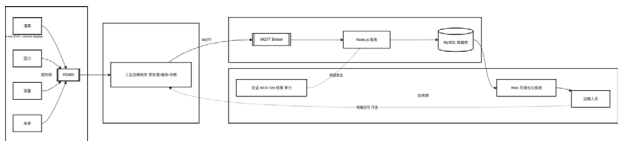


图1 系统总体架构图

（二）通信协议与数据流

在通信设计上，系统针对不同层级的需求与约束，采用了差异化的协议策略，以优化性能与可靠性。底层传感网络沿用稳定成熟的RS485总线，确保现场级的抗干扰与长距离传输。而在边缘至云端的数据传输关键路径上，系统摒弃了传统楼宇自控中常见的HTTP轮询或WebServices等重载协议，转而采用为物联网场景量身定制的MQTT协议。该协议基于发布/订阅模式，具备低带宽占用、低功耗和高效双向通信的优势，尤其适合高并发、弱网络的环境。针对网络不稳定的工业现场，本系统另一创新设计是引入了具备断点续传能力的本地缓存机制。当网络中断时，数据可在边缘网关暂存；网络恢复后，系统能从中断点自动续传，确保数据零丢失。这一机制对比传统方案中常见的数据丢弃或整体重传，在数据可靠性上实现了显著提升。最终，系统形成了一条高度协同的数据流：传感器→（边缘智能网关：预处理/缓存/诊断）→云端数据库→Web前端可视化→运维人员决策响应，构建了一个高效、鲁棒的闭环运维链路，见图2。

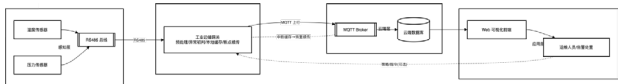


图2 通信协议与数据流闭环示意图

二、关键技术设计

本章将深入剖析支撑本系统实现智慧运维的核心技术模块。与仅实现基本数据汇集功能的传统系统不同，本设计在数据采集、边缘处理、云端平台及安全架构上均进行了针对性创新，旨

在构建一个全链路智能、高效且安全的闭环运维体系。

（一）高可靠数据采集与预处理模块

在数据采集层面，本系统突破了传统模拟信号采集易受干扰的局限，设计了基于多通道采集卡的数字式采集方案。具体而言，温度监测采用线性度优异的NTC精密传感器，压力监测则选用量程为0-2MPa的高稳定性压阻式传感器，并将采样周期优化至5秒，在数据精度与系统开销之间取得了良好平衡。其核心创新在于边缘节点集成的卡尔曼滤波算法与滑动窗口平滑机制。与常规的均值滤波或简单阈值去噪相比，该联合算法能有效区分信号中的真实动态与随机高频噪声，并对突变数据进行平滑修正，从而在源头确保了上传数据的稳定性和可靠性，为后续的精准分析奠定了坚实基础。

（二）基于动态阈值的边缘智能告警算法

传统系统的报警机制多依赖于预设的固定阈值，难以适应设备工况的动态变化，易产生误报或漏报^[3-5]。对此，本系统在边缘侧创新性地嵌入了一种轻量级异常检测机制，它结合了Z-score统计方法与动态阈值调整策略。该算法并非使用固定值，而是基于设备运行历史数据动态计算报警阈值（设定为历史均值 $\pm 3\sigma$ 范围）。这种方法能够自适应机组在不同负荷、不同季节下的正常运行区间，从而显著提升了报警的准确性。经样本测试验证，该算法的误报率被控制在3%以下，同时将平均响应延迟缩短至3秒以内，实现了从“事后报警”到“事前预警”的智能化转变。

（三）轻量级云端监测与可视化平台

为克服传统重型工业监控平台部署繁琐、响应迟缓的缺点，本系统云端平台采用了一系列轻量化与高效能技术选型。数据存储层选用开源且性能稳定的MySQL数据库，构建了实时与历史数据一体化存储体系。后台服务基于Node.js异步非阻塞框架构建，天然支持高并发数据接入与处理，相较于传统的多线程模型，在I/O密集型任务中表现出更优的响应效率。前端展示则借助ECharts组件库，实现了能耗曲线、参数趋势图与报警记录等多维度数据的动态、交互式可视化。用户可便捷地按日、周、月生成统计报表，这使得系统不仅在功能上满足监控需求，更在决策支持的数据洞察力上超越了传统平台。

（四）纵深防御的数据安全与访问控制架构

针对物联网系统普遍面临的安全挑战，本系统摒弃了单一防护思路，构建了覆盖数据链路与访问行为的纵深防御体系。在通信层面，系统全程采用AES-128加密技术对传输数据进行加密，有效防止数据在传输过程中被窃取或篡改。在应用层面，系统实施了严格的用户分级权限管理，确保不同角色的用户只能访问其授权范围内的功能与数据。此外，系统的创新点在于集成了全操作日志审计模块，能够完整记录从设备操作到用户登录在内的所有关键行为，为系统安全事件的事后溯源与责任界定提供了不可抵赖的证据链，极大地增强了系统的整体安全性。

三、系统实现与性能分析

为验证本系统设计的可行性与优越性，我们将其部署于真实

工业场景中进行测试，并从数据传输、异常识别及能效优化等多个维度，与传统运维模式进行了对比分析。

（一）实验环境搭建

测试平台部署于某大型写字楼的中央空调系统，监测对象为两台额定功率为450kW的离心式冷水机组。为实现全面状态感知，我们在机组的关键节点上共设置了28个传感监测点，覆盖了冷媒循环、水系统及电力系统。测试为期7天，完整涵盖了工作日、周末及昼夜交替等典型负荷变化工况，确保了测试数据的代表性与全面性。

（二）数据采集与传输性能分析

实验数据表明，本系统在数据传输可靠性方面表现卓越。在7×24小时连续运行中，系统数据丢包率仅为0.08%，平均传输延迟为1.6秒。这一性能相较于依赖周期性轮询、平均延迟约4秒的传统楼宇自动化系统，响应速度提升了约60%。尤为关键的是，系统设计的边缘缓存与断点续传机制在实际测试中成功得到验证：在模拟网络中断的极端情况下，边缘节点可完整缓存超过24小时的运行数据，并在网络恢复后实现数据零丢失续传，彻底解决了传统系统在此类场景下的数据缺失痛点。

（三）异常识别准确性与可视化效果

在功能有效性层面，系统成功通过了实战检验。测试期间，系统基于3.2节所述的动态阈值告警算法，准确识别出3次由电压暂降引起的电流短时波动与1次由过滤器堵塞导致的水流量突降事件。所有告警均在3秒内通过平台与短信双通道推送至运维人员，并触发现场声光提示，实现了从“被动响应”到“主动预警”的运维模式转变。可视化平台能够以趋势图、雷达图等多种形式清晰展示参数动态、能耗对比与报警日志，其交互性与多维度数据分析能力，为运维决策提供了远超传统单机HMI界面的信息支持。

（四）能效分析与节能效果验证

本系统的核心价值最终体现在能效提升上。通过对比系统投

运前后的运行数据，两台冷水机组的平均能效比（COP）提升了4.5%。这主要得益于系统对运行参数的实时优化与在夜间低负荷工况下执行的自动调节策略，该策略在此特定时段实现了约6%的额外节能效果。这一数据有力地证明了，本系统不仅是一个监控工具，更是一个能够带来直接经济效益的能效优化平台。

四、结论与展望

这项研究设计并实现了一套基于物联网的冷水机组智慧运维与数据监测系统，其主要创新与成果体现在三个方面：在架构创新上，构建了“感知-边缘-云端-应用”四层全链路协同架构，特别是强化了边缘层的智能处理能力，从而有效解决了数据孤岛和响应滞后问题；在技术突破上，创新性地将卡尔曼滤波与滑动窗口法相结合用于数据预处理，并设计了基于Z-score与动态阈值的边缘智能告警算法，显著提升了数据质量、异常识别的准确性和及时性；在工程价值上，通过实际部署验证，系统在数据传输可靠性（丢包率<0.1%）、异常响应速度（<3秒）以及能效提升（COP提升4.5%）等方面表现优异，具有显著的工程推广价值和节能效益。尽管当前系统已达到预期目标，但智慧运维的演进永无止境，基于该研究的基础，后续工作将聚焦于三个方向进行深化：一方面，智能诊断深化，通过引入机器学习与深度学习算法，构建基于大数据的设备健康状态预测与故障诊断模型，实现从“预警”向“预测”的跨越；另一方面，系统优化升级，探索多台冷水机组联动的群控节能策略与优化调度算法，从单机优化迈向系统级能效最大化；此外，技术融合应用，结合数字孪生技术，构建与物理机组同步映射的虚拟模型，用于运行策略仿真、故障模拟与自适应维护，最终实现全生命周期的智慧运维。

参考文献

- [1] 郭鲁, 魏颖, 何金. 基于物联网云平台的空调智能控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3): 114-119, 138. DOI: 10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2022.03.019.
- [2] 谢浩田. 基于云平台的办公建筑中央空调监控系统设计与应用 [D]. 山东: 山东建筑大学, 2023.
- [3] 梁博阳, 郭景景, 王占伟, 王林, 谈莹莹, 李修真, 周赛. 基于参数残差驱动贝叶斯网络的冷水机组故障诊断 [J]. 过程工程学报, 2023, 23(4): 627-636.
- [4] 孙雨, 丁强, 夏宇栋, 李聪. 基于多块和自注意 TCN 结合的冷水机组故障诊断 [J]. 过程工程学报, 2024, 24(2): 162-171.
- [5] 石书彪, 陈焕新, 李冠男, 胡云鹏, 黎浩荣, 胡文举. 基于小波去噪和神经网络的冷水机组故障诊断 [J]. 制冷学报, 2016(37)1: 12-17.

新时代背景下企业安全管理先进理念的创新发展

唐凤

乐山市人力资源和社会保障局, 四川 乐山 614000

DOI:10.61369/ME.2025090030

摘 要 : 社会的发展和进步下, 对企业安全管理也提出了新挑战与新要求。传统的安全管理理念重在规章制度遵守与事故后处理, 但是这种消极的安全管理模式已经无法适应新时代对安全管理的要求。企业安全管理在新时代的背景下要不断创新, 以防为主, 重视风险管理与安全文化的建设, 在运用智能化与信息化的手段促进安全管理效率的提高。文章通过论述传统安全管理存在的局限性, 剖析新时期企业安全管理新需求, 提出相关创新发展策略。

关 键 词 : 安全管理; 风险评估; 安全文化; 智能化; 信息化

The Innovative Development of Advanced Concepts in Enterprise Safety Management under the Background of the New Era

Tang Feng

Human Resources and Social Security Bureau of Leshan City, Leshan, Sichuan 614000

Abstract : With the development and progress of society, new challenges and requirements have been put forward for enterprise safety management. The traditional concept of safety management focuses on compliance with rules and regulations and post-accident handling. However, this passive safety management model can no longer meet the requirements of safety management in the new era. Under the background of the new era, enterprise safety management should constantly innovate, focus on prevention, attach importance to risk management and the construction of safety culture, and promote the improvement of safety management efficiency by applying intelligent and information-based means. This article discusses the limitations of traditional safety management, analyzes the new demands of enterprise safety management in the new era, and proposes relevant innovative development strategies.

Keywords : safety management; risk assessment; safety culture; intelligentization; informationization

引言

传统企业安全管理理念下, 企业通常会通过建立严密的规章制度保障生产安全, 而一旦出现事故则会采取相应措施进行处置。但这种消极的安全管理模式已经逐渐表现出它的局限性, 不能有效地应对新时代的挑战。在科技飞速发展与社会责任意识不断提升的今天, 企业安全管理也需不断创新与变革, 才能满足安全风险与环境责任的新要求。

一、企业安全管理的传统安全管理理念

(一) 强调规章制度的遵守

在企业传统的安全管理观念下, 遵守规章制度被认为是保证工作场所安全运行的基石。通过细致地制定并严格地执行各项安全规章制度, 企业力图建立起一整套标准化操作流程, 希望职工能按此执行, 从而降低安全事故发生率^[1]。该方法的好处是通过明文规定并严格执行能够快速制定企业内部安全操作规范并降低由于个体行为差异而导致的风险。但过分倚重规章制度的缺点也很明显, 尤其是当遇到突发事件或者出现新的形势, 死板的制度也许不能很快适应和调整。另外, 仅仅靠规章制度, 易忽略职工

的主观能动性与创造性, 使规章制度很难在某些复杂而又能动的工作环境下发挥应有的功能。

(二) 注重事故后的处理

在传统的安全管理理念下, 企业通常把注意力集中在事故后的处置, 包括事故调查、责任追究、补救措施以及改进计划等方面。企业对事故原因进行了细致的调查, 力求发现其背后存在的深层次问题并采取相应的防范措施, 从而避免同类事故重演。此法的好处是通过总结与反思不断地完善安全管理体系、提高安全管理水平。但这种强调事后应对的做法也有明显局限性。存在的主要问题是事后处置虽然可以完善管理措施, 但是事故之前防范手段不足, 使企业面临可能出现的风险时常陷入被动^[2]。事后

处置一般都会伴随有较高代价，主要表现在经济损失，人力资源消耗和给企业声誉造成不利影响等方面。

二、传统理念下企业安全管理的现状

（一）安全管理的被动性

传统安全管理理念中，企业安全管理普遍呈现出显著的被动性特征。安全管理通常只是在事故之后采取适当措施，并不是事先积极地防范。这种被动管理方式使企业对安全问题反应迟钝，很难及时防控隐患。具体表现就是企业日常安全检查与考核中，系统性与连续性不强，事故之后，才能深入调查与完善。该管理模式在提高事故风险的同时也会影响到企业的整体安全水平^[3]。安全管理被动性，易造成职工安全意识不强，对安全管理没有积极参与热情，从而影响企业安全文化建设。

（二）安全投入的不足

受传统安全管理理念的影响，很多企业都广泛存在着企业对安全投入的现象。具体而言，安全设施与设备陈旧，安全培训与教育欠缺等问题，均为安全投入不足所直接造成。很多企业对安全设备更新改造维修资金投入不足，造成设备频繁失效，加大事故发生风险。另外企业对安全培训投入力度不够，使职工安全意识与技能得不到有效提高，进一步增加隐患。在此背景下安全管理效果很难达到预期目的，企业安全总体水平很难提高^[4]。安全投入的不足，还表现为对安全管理的重视程度不够，企业管理层往往将更多资源投入到生产和业务拓展上，而忽视了安全管理的重要性。这种片面追求投入策略不仅会影响企业长远发展，还会给企业安全管理带来较大挑战。

三、新时代背景下企业安全管理的新要求

（一）技术创新带来的安全风险

在科学技术飞速发展的今天，企业不断推出新技术、新装备，但同时也带来了新的安全风险。现代企业的生产与管理过程广泛使用自动化、智能化设备，这类新型技术在提高企业生产效率的同时，也产生了一些新型安全隐患。比如自动化设备出现故障，智能系统出现漏洞，再加上对于新技术的操作不够熟悉等，均会引发安全事故。在信息技术日益普及的今天，网络安全问题已经成为企业安全管理中面临的一个新的挑战^[5]。企业信息系统与数据存在被黑客攻击、信息泄露等危险，不仅会影响到企业正常经营，而且会造成严重经济损失与声誉损害。在新技术不断推出的过程中，企业必须同步进行安全管理措施更新，强化新技术风险评估与管控，保障新技术安全使用。具体而言，企业要构建完整的安全管理体系，内容涉及技术风险评估，设备维护和检测以及员工培训和教育，从而提高企业整体安全管理水平。新时期背景下，技术创新给企业带来空前发展机遇的同时，也给企业安全管理带来更多要求，需要企业寻求技术创新和安全管理平衡，保证新技术安全运用，保障企业可持续发展。

（二）社会与环境责任的压力

新时期背景下企业除了注重自身安全管理外，也需要承担起更多社会与环境责任。伴随社会对于企业责任越来越重视，企业安全管理也承受了较大压力。具体而言，企业生产所排放的废

气，废水及其他污染物不仅给环境带来了严重的危害，而且也会影响到周围小区的身体与健康与安全。比如部分化工企业废气排放不仅造成空气污染而且也会给周边居民身体健康带来负面影响。所以企业一定要在保证生产安全前提下，主动承担社会与环境责任，降低对于环境与社会造成的不利影响^[6]。企业要采取有效环保措施降低污染物排放量，加大环境保护力度。商家也应该主动参与到社区建设中去，以促进周围社区安全健康发展。如通过环境保护、社区安全教育等活动来强化居民环保、安全意识、提高企业的社区形象与影响力等。新时期背景下企业安全管理中所面临的社会与环境责任较大，必须制定出较为全面且可持续的安全管理策略来保证企业能够同时获得自身的发展，积极承担社会及环境责任，促进企业和社会，环境协调发展。

四、新时代背景下企业安全管理先进理念的创新发展战略

（一）以预防为主的风险管理理念

1. 风险评估的精准化

新时期安全管理，准确进行风险评估是安全管理工作的重点。通过先进风险评估工具与方法的引进，使企业能够全面、准确地评价潜在安全风险。比如利用大数据分析与人工智能技术能够分析海量历史数据与实时数据，从数据中识别出潜在风险点并做出预警与干预。该精准化风险评估不仅能够提升风险识别精度，而且能够为企业更有效地制定安全管理措施奠定基础^[7]。精准化风险评估有助于企业对可能存在的安全风险进行更深入地识别与管控，成为新时期企业安全管理中的一种重要方法。

2. 风险预警机制的建立

在风险预警机制建设中，风险预警机制是一个重要环节。在先进物联网技术的支持下，企业能够实现对生产设备以及生产环境的全天候以及全方位实时监控。比如通过设置传感器来对设备运行状态进行实时跟踪，当出现异常情况时系统会即时进行报警，让企业能够在真正出现风险前，便有充足的时间来进行必要的修理或者替换，以免可能出现生产中中断或者安全事故。另外，企业需构建多层次风险预警机制才能保证风险完全覆盖并及时处理。其中包括为雇员设立风险报告机制以鼓励他们在其日常工作中及时发现和报告所有潜在的风险迹象，从而将风险管理变成一种全员共同参与的行为。同时定期开展安全检查与评价，全面检查企业经营情况，发现潜在风险点并及时整改优化，避免风险累积与升级。为加强风险预警机制实施效果，企业也可引进专业风险管理咨询机构，借助自身丰富经验与专业知识协助企业开展风险识别，评价与管控工作，促进风险预警科学准确。同时企业要定期审核并更新风险预警机制，使其与内外部环境及风险态势的变化相适应^[8]。

（二）以人为本的安全文化建设

1. 员工安全素养的培养

新时期安全管理，培养职工安全素养是建设以人为本的安全文化。企业可通过有计划地进行安全培训与教育来增强职工安全意识与技能。如定期组织安全培训课程使职工学习最新安全知识、操作规范等；通过模拟演练增强职工应对突发事件的能力。企业可采取宣传、激励等手段，提高职工安全责任感与积极性，

让安全管理真正成为每一位职工的自觉行为。培养职工安全素养是建设以人为本的安全文化，并能全面提高企业安全管理水平的重要手段。

2. 安全激励机制的完善

建立良好的安全激励机制显在可以调动员工主动参与的积极性，也可以通过奖惩制度清晰传递企业对于安全问题的关注，进而形塑注重安全的企业文化。企业可建立科学、正义的安全奖惩制度。其中既包括给工作表现突出、主动遵守安全规章制度、防止意外的职工以物质与精神回报，例如晋升安全奖金等、在授予如安全标兵这样的荣誉时，我们更应该把安全行为融入员工的绩效评价中，确保它成为衡量员工工作绩效的核心标准。这种方式既可以肯定职工的贡献，又可以激励其他职工仿效，养成安全行为习惯。对违反安全规定者，必须对企业施以重罚，才能起警示、威慑作用。其中可包括扣减安全奖金和降低绩效评级；即使情况严重时也可考虑解雇。企业实施惩罚必须确保公平，公正，以免个人偏见或者不公正而引发冲突与不满^[9]。企业还应该定期开展安全培训以增强员工安全意识与应对能力。通过模拟演练、案例分析等方式，让员工了解违反安全规定可能带来的严重后果，同时教授他们如何在日常工作中预防和处理潜在的安全风险。

（三）智能化与信息化的安全管理手段

1. 大数据在安全监测中的应用

将大数据技术运用于安全监测，给企业安全管理带来新思路。通过海量安全数据的采集与分析，使企业能够及时发现潜在安全隐患并提前预警与介入。比如通过实时监控设备运行数据，能及时发现设备异常并预防性维护以避免意外。利用大数据技术对安全事故进行分析与归纳，有助于企业发现事故发生的根源并制定出有效改善措施。将大数据技术运用于安全监测，给企业带来更准确、更有效的安全管理手段。

2. 智能安全设备的推广

智能安全设备利用深度集成的传感器技术、物联网（IoT）以及人工智能（AI）技术，构筑了一个隐形的保护网络，以确保生产流程的高效率和安全性。这些装置既可以实现生产现场实时监控又可以通过自动化管理最大限度地降低潜在安全风险。以智能监控系统为例，该系统可以通过高精度传感器实时监控生产环境中温度、湿度和烟雾，当出现异常时，如果存在火灾隐患，设备温度过高，该系统将即时报警，并告知有关人员及时进行处理，以避免潜在的意外发生^[10]。某些高级智能监控系统，甚至还可以通过 AI 算法来识别出员工是否存在违规操作和未佩戴防护装备等不安全现象，从而进一步提高安全管理精细化水平。另一方面，智能穿戴设备则将关注点转向了生产现场的人力资源。这些装置通过整合心率监测和姿态识别模块能够对员工生理状态进行实时跟踪。该系统在发现工作人员有劳累，过度劳累或者身体不适等征兆时会即时进行提示，督促工作人员休息或者就医求助，从而有效预防人为因素造成的意外。一项研究显示，那些使用智能穿戴设备的工厂，由于疲劳导致的事故率已经减少了 30%。

五、总结

总之，新时代背景下企业安全管理迎来了空前的挑战与机遇。企业必须改变传统的安全管理观念，变被动应对为主动防范，变事故处理为风险控制。通过风险评估精准化，风险预警机制建立化，员工安全素养培育化，安全激励机制健全化，并借助大数据与智能安全设备信息化工具，使企业能够建设更科学更有效的安全管理体系。只有不断地进行安全管理能力的创新与提高，才能够使企业在市场的激烈竞争中处于不败之地，从而有利于社会可持续发展。

参考文献

- [1] 许陈兵, 苏晶晶, 鲍甜甜. 新时代化工企业安全生产管理 [J]. 化工管理, 2022, (33): 78-80.
- [2] 刘丽娜. 数字时代企业网络安全管理研究 [J]. 现代企业文化, 2022, (25): 50-52.
- [3] 张晓伟. 大数据时代企业信息安全管理研究 [J]. 大众标准化, 2021, (21): 166-168.
- [4] 鲜麒麟, 李鹏. 新时代企业安全生产管理的强化方法 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊), 2021, (07): 1-2.
- [5] 王亚茹. 互联网时代企业财务信息安全管理问题研究 [J]. 中国科技投资, 2021, (15): 135-136.
- [6] 宋吉波. 浅谈企业的创新安全管理 [J]. 中外企业文化, 2023(5): 74-76.
- [7] 李琦. 浅谈化工企业安全管理工作的现状和创新策略 [J]. 中国化工贸易, 2014(1): 285-285.
- [8] 杨兴发. 浅谈企业大安全文化、大安全管理模式的创建及创新 [J]. 福建质量管理, 2020(10): 6.
- [9] 房志东. 新时代化工企业的安全生产与管理分析 [J]. 石油石化物资采购, 2022(15): 229-231.
- [10] 董玉宾. 新时代化工安全生产与管理分析 [J]. 化工管理, 2022(27): 83-85.

多模态数据融合管道中的质量异常传播 与根因定位技术研究

李薇

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025090033

摘 要： 多模态数据融合管道中，质量异常传播与根因定位技术至关重要。本文从机理研究、技术创新与工程实践三个维度，提出综合解决方案，包括分析异构数据流耦合强度、构建 DAG 拓扑表征、设计动态权重因果推理等算法，并通过故障注入测试、构建基准数据集等验证。方案有效提升了智能制造系统可靠性，还探讨了未来技术融合方向。

关 键 词： 多模态数据融合；质量异常根因定位；智能制造

Research on Quality Anomaly Propagation and Root Cause Localization Technology in Multimodal Data Fusion Pipeline

Li Wei

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Quality anomaly propagation and root cause localization techniques are crucial in multimodal data fusion pipelines. This article proposes a comprehensive solution from three dimensions: mechanism research, technological innovation, and engineering practice, including analyzing the coupling strength of heterogeneous data streams, constructing DAG topology representation, designing dynamic weight causal inference algorithms, and verifying them through fault injection testing and constructing benchmark datasets. The plan effectively improves the reliability of intelligent manufacturing systems and explores future directions for technology integration.

Keywords： multimodal data fusion; root cause localization of quality abnormalities; smart manufacturing

引言

随着《智能制造发展规划（2021 - 2025 年）》的颁布，智能制造领域备受关注，多模态数据融合管道在其中作用关键。多模态数据特征空间关联复杂，其数据质量评估、异构流耦合等对异常传播影响重大。基于此，本文从机理研究、技术创新与工程实践维度，提出面向多模态数据融合管道的质量异常治理综合解决方案，涵盖构建融合管道拓扑表征、设计跨模态根因定位技术框架等。这不仅提升智能制造系统可靠性，也为实际生产提供路径，顺应政策对智能制造发展的推动方向。

一、多模态数据融合管道的异常传播机理分析

（一）多模态数据特征耦合机制

多模态数据涵盖视觉、文本、时序等不同类型，其在特征空间中存在复杂关联特性。视觉数据可能通过图像特征与文本数据中的语义描述相关联，文本数据又可能和时序数据在事件发生的时间序列上存在联系。数据质量评估指标体系是关键，例如通过数据的完整性、准确性、一致性等指标来衡量数据质量。异构数据流耦合强度会显著影响异常传播，当耦合强度较高时，一个模态数据的异常可能更容易传播至其他模态。例如，图像数据的噪声干扰可能因与文本描述强耦合，导致文本文义理解出现偏差^[1]。量化这种耦合强度对异常传播的影响，有助于深入理解多

模态数据融合过程中异常传播的内在机制，为后续根因定位提供理论基础。

（二）管道拓扑结构的异常扩散模型

基于图神经网络构建融合管道的有向无环图（DAG）拓扑表征，为研究异常在各处理节点的级联扩散规律奠定基础。在多模态数据融合管道里，数据清洗、特征提取、决策推理等处理节点相互关联形成特定的拓扑结构^[2]。异常在这样的结构中扩散，从某个初始异常节点开始，沿着拓扑结构中的连接关系，向相邻节点传播。例如在数据清洗节点若出现数据缺失或错误的异常，经清洗的数据流入特征提取节点，可能导致特征提取不准确，从而将异常进一步传递至决策推理节点，影响最终决策结果。通过对这一异常扩散模型的深入分析，能清晰把握异常在多模态数据融

合管道拓扑结构中的传播路径与级联扩散规律，为后续质量异常根因定位提供关键依据。

二、跨模态根因定位技术框架设计

（一）动态权重因果推理算法

在跨模态根因定位技术框架设计中，动态权重因果推理算法是关键环节。该算法结合贝叶斯网络与注意力机制，旨在通过模态间特征重要性动态评估实现跨层级的根因追溯。贝叶斯网络能够有效描述多模态数据间的因果关系，而注意力机制则可精准聚焦于对根因定位起关键作用的特征。在算法运行过程中，随着数据的流动与融合，各模态特征的重要性并非一成不变，而是根据数据特点及融合需求进行动态调整。通过这种动态评估，能够在复杂的多模态数据融合管道中，敏锐捕捉质量异常传播路径，并准确锁定根因。此算法为跨模态根因定位提供了一种可解释的有效途径，有助于提高多模态数据融合质量^[3]。

（二）增量式定位效率优化方法

在多模态数据融合管道中，为提升跨模态根因定位效率，开发面向在线场景的增量式定位算法是关键。设计基于管道处理日志的异常传播路径剪枝策略，能有效减少不必要的计算。通过对管道处理日志的深度分析，识别出那些不太可能是根因的传播路径并予以剪枝^[4]。同时，增量式定位算法可避免重复计算，仅对新出现的异常数据进行增量处理。当有新的异常数据流入时，算法依据剪枝后的路径，快速定位根因，大大降低计算复杂度，使得在在线场景下，能够高效且实时地对多模态数据融合过程中的质量异常进行根因定位，提升系统对异常情况的响应速度与处理能力。

三、工程化实现与验证体系

（一）分布式计算架构实现

1. 微服务化质量监控组件

为实现多模态数据融合管道中的质量异常传播与根因定位，构建容器化部署的异常检测微服务是关键。该微服务能实现对数据处理节点的细粒度监测与异常预警。通过将异常检测功能封装为微服务，利用容器技术进行部署，可提升系统的灵活性与可扩展性。微服务能精准感知每个数据处理节点的运行状态和数据质量，一旦发现异常，立即触发预警机制。例如，对图像、文本等多模态数据处理环节中的数据缺失、格式错误等问题及时察觉并发出警报。这一微服务化质量监控组件的实现，基于分布式计算架构，确保了多模态数据融合过程中数据质量的实时把控。通过实际应用场景的验证^[5]，证明其能有效提升异常检测效率与准确性，为根因定位提供有力支持。

2. 弹性资源调度机制

在多模态数据融合管道的根因定位任务面临突发负载时，开发基于 Kubernetes 的动态资源分配策略以保障服务质量至关重要。借助 Kubernetes 强大的容器编排能力，能够实时感知根因定位任务的负载变化^[6]。通过对任务资源需求的动态监测，依据

负载的波动情况，自动且灵活地为根因定位任务分配计算资源，如 CPU、内存等。当突发负载出现，可迅速增加资源供给，确保任务处理效率不受影响，维持较高的服务质量；而在负载降低时，及时回收多余资源，避免资源浪费，提升资源利用率。这种弹性资源调度机制，基于 Kubernetes 实现了动态且精准的资源分配，有力保障了根因定位任务在复杂负载场景下的稳定运行与服务质量。

（二）全生命周期验证体系

1. 故障注入测试平台

在多模态数据融合管道的工程化实现与验证体系中，故障注入测试平台具有关键作用。搭建能模拟数据污染、节点宕机等典型故障模式的仿真环境，此环境需尽可能真实地反映多模态数据融合管道在实际运行中可能遭遇的异常情况^[7]。通过在该仿真环境中注入不同类型和程度的故障，对异常传播模型的准确性展开验证。密切观察故障注入后的数据流向与变化，分析异常在多模态数据融合过程中的传播路径、影响范围和程度。依据实际观测结果与异常传播模型的预测进行对比，评估模型的准确性与可靠性，若存在偏差，及时对模型进行优化调整，从而确保多模态数据融合管道在面对各类故障时，异常传播模型能准确反映实际情况，为后续根因定位奠定坚实基础。

2. 工业级基准数据集构建

在多模态数据融合管道的工程化实现与全生命周期验证体系中，工业级基准数据集构建至关重要。首先，从智能制造产线采集多源异构运维数据，这些数据涵盖设备运行参数、环境监测数据、故障报警信息等不同类型，其异构性为后续融合带来挑战。对采集的数据进行预处理，包括数据清洗以去除噪声和错误值，数据标准化使不同尺度的数据具备可比性。之后，通过专业领域知识与实际运维经验，为数据标注根因，明确质量异常的根源。最终构建出包含标注根因的测试基准数据集，此数据集将为多模态数据融合管道中的质量异常传播与根因定位技术验证提供可靠依据，助力相关技术在工业场景下的有效应用^[8]。

四、工程管理应用与实证研究

（一）智能工厂质量控制实践

1. 工艺参数异常溯源案例

在汽车焊接产线这一智能工厂质量控制场景中，多模态数据融合管道的质量异常传播与根因定位技术发挥了关键作用。产线出现批次质量缺陷问题，通过运用根因定位技术，对各类多模态数据进行深入分析。视觉传感器数据作为其中重要的一环，经过与其他工艺参数数据融合分析，发现视觉传感器发生畸变是导致此次批次质量缺陷的根源。这一成功案例表明，精准的根因定位技术能够有效追溯工艺参数异常，帮助产线迅速锁定问题源头，及时采取措施解决，避免更多质量问题产生，为智能工厂高效稳定生产提供有力保障，也进一步验证了多模态数据融合管道中根因定位技术在智能工厂质量控制实践中的可行性与有效性^[9]。

2. 设备健康管理应用场景

在智能工厂质量控制实践的设备健康管理应用场景中，通过

振动传感器与过程数据的跨模态分析实现 CNC 机床早期故障精准定位意义重大。振动传感器可捕捉机床运行时的振动信号，反映机械部件的运行状态；过程数据则记录加工过程中的各类参数信息。利用多模态数据融合技术，将两者结合分析，能深入挖掘设备潜在问题。例如，通过对振动频率与加工参数关联分析，若振动频率异常且对应加工参数出现波动，可初步判断故障区域。进一步深度融合分析，依据数据特征建立故障模型，精准定位早期故障位置与原因^[10]。这一应用场景可有效提高设备运行稳定性，保障产品质量，为智能工厂的高效生产提供有力支撑。

（二）供应链协同优化方案

1. 物流信息流异常处理

在供应链协同优化方案中，物流信息流异常处理至关重要，尤其是解决 RFID 与 GIS 数据异步导致的库存预测偏差问题，对提升供应链响应速度意义重大。RFID 数据主要用于实时追踪货物位置与数量，而 GIS 数据提供地理空间信息，二者异步易使库存预测出现偏差。为解决该问题，可构建统一的数据集成平台，使 RFID 与 GIS 数据能实时同步与交互。通过优化数据采集频率与传输机制，确保两种数据在时间维度上的一致性。同时，运用数据清洗与预处理技术，对异步数据进行规整。经实证研究，该处理方式有效纠正库存预测偏差，供应链响应速度显著提升，货物调配更及时、准确，降低了库存积压与缺货风险，实现供应链各环节的高效协同。

2. 供应商质量追溯系统

建立覆盖多级供应商的质量数据融合管道，能有效缩短原材料质量问题追溯周期。在实际工程管理应用中，通过该质量数据融合管道，可将来自不同层级供应商的各类多模态质量数据，如原材料的物理特性数据、生产流程中的参数数据以及检测报告等进行整合。这样一来，当出现质量异常时，能够快速且精准地沿着数据管道追溯到问题根源，极大减少追溯所需的时间与人力成本。以某大型制造业企业为例，在构建该质量数据融合管道前，原材料质量问题追溯往往需要数周时间，且定位不够准确。而实施后，追溯周期缩短至数天，显著提升了供应链协同效率，保障了产品质量，为企业带来了可观的经济效益，充分验证了这一供应商质量追溯系统在供应链协同优化中的重要价值。

（三）综合效益量化评估

1. 质量成本降低分析

在多模态数据融合管道中，对质量成本降低进行分析，主要

通过统计应用前后废品率、返工工时等关键指标来实现。废品率直接反映产品质量状况，若应用技术后废品率显著下降，意味着生产中浪费的原材料、人力等资源减少，直接降低了生产成本。返工工时同样关键，返工意味着额外的人力投入和时间成本，若返工工时减少，表明产品一次合格率提高，质量成本随之降低。通过对比技术应用前后这些指标的变化，能清晰验证该技术在质量成本降低方面带来的直接经济效益，为工程管理的多模态数据融合管道场景下的质量成本管控提供有力的量化依据。

2. 系统可靠性提升验证

在多模态数据融合管道中，系统可靠性至关重要。通过 MTBF（平均故障间隔时间）、故障恢复时间等指标评估技术对系统鲁棒性的改善效果，以此验证系统可靠性的提升。MTBF 指标可直观反映系统两次故障之间的平均时间，数值越高表明系统越稳定，能长时间正常运行，减少故障发生频率。故障恢复时间则体现系统从故障状态恢复到正常工作状态所需时长，该时间越短，系统在面对故障时的自我修复能力越强，可快速恢复正常工作，保障数据融合工作的连续性。通过对这些指标的量化评估，能够精准判断技术在提升系统可靠性方面的实际成效，为多模态数据融合管道的优化提供有力依据，确保系统在复杂多变的环境中稳定运行。

五、总结

多模态数据融合管道在智能制造等领域发挥着关键作用，而其中质量异常传播与根因定位技术至关重要。本文提出的面向多模态数据融合管道的质量异常治理综合解决方案，从机理研究、技术创新与工程实践三个维度着手，有效提升了智能制造系统的可靠性。这不仅深化了对多模态数据融合中质量异常问题的理解，也为实际生产提供了可行的技术路径。同时，联邦学习在跨企业数据融合中的应用前景广阔，能突破数据孤岛，实现更广泛的数据价值挖掘；数字孪生技术支持下的预测性维护发展方向，有望进一步提升系统的运行稳定性与维护效率。未来，持续探索这些技术的融合与创新，将为多模态数据融合管道的质量异常治理带来新的突破与发展。

参考文献

- [1] 吴愚. 多模态融合感知技术研究与设计 [D]. 电子科技大学, 2021.
- [2] 王玉珏. 工业物联网中的多模态数据融合方法研究 [D]. 华中科技大学, 2022.
- [3] 郑德重. 基于多模态数据融合的肺部肿瘤智能分析技术研究 [D]. 中国科学院大学, 2021.
- [4] 郭朔. 基于多模态数据融合的图像描述算法研究与应用 [D]. 郑州大学, 2023.
- [5] 王剑. 多模态数据融合的肿瘤预后分析研究 [D]. 南方医科大学, 2023.
- [6] 刘沛然. 基于智能教育领域的多模态数据融合应用研究 [J]. 智能城市, 2022, 8(11): 13-15.
- [7] 黄美琳. 基于多模态数据融合的大学生英语听说教学改革研究 [J]. 文教资料, 2023(11): 110-113.
- [8] 孟凡会, 王玉亮, 汪雷. 基于深度学习的农村电商多源多模态数据融合 [J]. 滁州学院学报, 2023, 25(2): 52-61.
- [9] 李晓娜, 雷娜. 多模态数据融合下智能教育伦理问题及应对策略 [J]. 中国信息技术教育, 2023(8): 91-94.
- [10] 张莉. 基于多模态数据融合的社区智慧停车系统设计 [J]. 无线互联科技, 2023, 20(16): 12-17.