

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测

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.