

能源电力工程中的机电技术管理与安全风险防控

唐明

叙永鑫福煤业有限公司，四川 泸州 646400

DOI:10.61369/ETQM.2025110032

摘 要： 能源电力工程中机电技术管理与安全风险防控的协同优化是新型电力系统安全运行的关键。研究通过分析设备全生命周期管理、动态风险评估与智能化技术应用，揭示机电技术管理与安全防控的交互机制，提出数字孪生驱动风险预测、多部门协同责任体系及行业标准动态迭代的优化路径。典型案例表明，智能监控与冗余设计可使故障预警准确率提升至92%，应急响应效率提高60%。研究为高比例新能源接入下的系统韧性提升提供理论支撑，同时指出需在氢能储运、分布式能源聚合等新兴领域深化风险防控技术验证。

关 键 词： 机电技术管理；安全风险防控；协同优化

Mechanical and Electrical Technology Management and Safety Risk Prevention in Energy and Power Engineering

Tang Ming

Xuyong Xinfu Coal Industry Co., LTD., Luzhou, Sichuan 646400

Abstract： The collaborative optimization of electromechanical technology management and safety risk prevention in energy and power engineering is crucial for the safe operation of new power systems. This study analyzes equipment lifecycle management, dynamic risk assessment, and the application of intelligent technologies to reveal the interaction mechanisms between electromechanical technology management and safety prevention. It proposes an optimization path driven by digital twins for risk prediction, a multi-department collaborative responsibility system, and dynamic iteration of industry standards. Typical cases show that intelligent monitoring and redundant design can increase fault warning accuracy to 92% and emergency response efficiency by 60%. The research provides theoretical support for enhancing system resilience under high proportions of new energy integration, while also highlighting the need to deepen the validation of risk prevention technologies in emerging fields such as hydrogen storage and transportation and distributed energy aggregation.

Keywords： mechanical and electrical technology management; safety risk prevention and control; collaborative optimization

引言

随着全球能源结构向低碳化转型，能源电力工程领域正经历深刻变革。国家能源局发布的《2025年能源工作指导意见》提出提升非化石能源发电装机比例，并加快构建新型电力系统。机电技术作为核心支撑，其管理效能影响系统运行的可靠性与安全性。然而，新能源占比增加、电力电子设备应用及电网复杂性带来了宽频振荡、设备故障和操作风险等挑战^[1]。尽管国内外在机电设备监测和风险评估方面有所进展，但缺乏针对新型电力系统的系统性协同机制研究。政策如“电力安全治理体系建设专项行动”强调健全特高压输电与配电网安全管理规范。本文分析机电技术管理与安全风险防控的交互作用，通过优化设备全生命周期管理和智能运维，结合动态风险评估和多层级防护策略，探讨二者协同机制，提供理论和技术支持，回应新型能源体系下机电安全一体化管理的需求，并提出多维度政策建议^[2]。

一、能源电力工程机电技术管理的关键要素

（一）机电系统设计优化与管理

机电系统设计优化是保障能源电力工程可靠运行的基础。设备选型需遵循标准化与兼容性原则，重点考量新型电力系统中新

能源设备（如光伏逆变器、储能变流器）与常规机组的协同适配能力，同时结合《2025年能源工作指导意见》中“提升设备智能化水平”的要求，强化设备接口标准化与通信协议统一化设计^[3]。集成化设计则强调多设备功能模块的耦合优化，通过拓扑结构重构与参数匹配降低系统损耗，例如采用模块化多电平换流

器（MMC）提升交直流混联电网的稳定性。全生命周期成本与效能平衡策略需贯穿设计、运维至退役阶段，通过建立全寿命周期成本（LCC）模型，量化设备初始投资、维护费用与能效收益的关联性，并借助数字孪生技术模拟不同工况下的设备退化路径，动态调整冗余配置与维护周期，实现经济性与可靠性的动态均衡^[4]。

（二）运维技术管理创新

运维技术管理创新是应对复杂电力系统安全风险的核心手段。状态监测技术依托高精度传感器与物联网（IoT）架构，实时采集设备振动、温度、绝缘状态等多维度数据，结合边缘计算实现局部故障特征提取，例如通过局部放电监测提前预警变压器绝缘缺陷。预防性维护技术则基于大数据驱动故障预测模型，利用历史运维数据与实时状态参数的融合分析，构建设备健康指数（HI）评估体系，精准制定差异化检修策略。数字化运维平台通过集成 SCADA、GIS 与云计算资源，实现跨区域设备的全景可视化监控与资源调度优化；智能诊断系统借助深度学习算法（如 LSTM、CNN）对海量故障样本进行模式识别，提升故障定位准确率与修复效率。此类技术符合“电力安全治理体系建设专项行动”提出的“智能化风险预警能力提升”要求，为高比例新能源接入下的系统安全提供技术保障^[5]。

二、能源电力工程安全风险防控体系构建

（一）安全风险识别与评估方法

安全风险识别与评估是防控体系构建的科学基础。基于 FMEA（故障模式与影响分析）与 FTA（故障树分析）的多层次风险识别模型，可系统解构新型电力系统中新能源设备、柔性输电装置及智能终端的潜在失效模式，通过建立“设备-子系统-系统”三级故障传播链，揭示多源风险耦合机理。定量风险评估（QRA）通过蒙特卡洛模拟与贝叶斯网络融合算法，量化极端天气、设备老化、人为操作失误等风险因子的发生概率与损失后果，结合动态风险等级划分机制，依托实时运行数据与数字孪生模型动态调整风险阈值，例如针对大规模储能电站的热失控风险，构建温度-电压-SOC（荷电状态）多维预警指标体系。此类方法契合《电力安全生产标准化基本规范（2025年修订版）》中“风险动态分级管控”要求，为精准防控提供决策依据^[6]。

（二）安全风险控制策略

安全风险控制需技术标准与防护技术的协同推进。工程安全标准与规范体系完善重点在于整合分散的行业标准，针对特高压换流站、分布式光伏集群等新型场景，细化设备准入、安装调试及运维检测技术要求。例如参照《新能源并网安全技术导则（2025版）》强化逆变器低电压穿越能力验证流程。人-机-环境协同防护技术通过智能安全帽、AR 远程巡检系统等智能终端实时采集人员行为数据，结合环境监测传感器网络（如 SF6 气体泄漏检测、微气象监测）与设备状态信息，构建多源异构数据融合的风险防控闭环。该策略响应“电力安全治理体系建设专项行动”提出的“人机环智能联动”目标，显著降低高压作业触电、设备过载爆炸等事故发生率，提升系统整体韧性。

三、机电技术管理与安全防控的协同机制

（一）技术管理对安全风险的主动干预

1. 设备可靠性提升与故障率降低路径

设备可靠性提升需从材料性能优化与智能监测技术融合入手，例如采用碳化硅半导体器件降低功率模块热损耗，结合 AI 驱动的剩余寿命预测算法动态调整维护策略。通过数字孪生技术模拟设备在极端工况下的退化轨迹，精准定位薄弱环节并优化冗余配置，可系统性降低故障率。某特高压换流站实践表明，基于 LCC（全生命周期成本）模型的预防性维护计划使关键设备年均故障次数下降 28%，运维成本减少 19%^[7]。

2. 智能化技术对人为失误的抑制效应

智能化技术通过自动化流程与智能决策支持减少人为操作偏差，例如智能巡检机器人搭载高精度红外热像仪与声纹传感器，可自主识别设备过热、局部放电等隐性缺陷，避免人工巡检中的主观误判。操作票智能校核系统内置电力系统拓扑逻辑库，实时拦截违反安全规程的操作指令，某省级电网应用后调度误操作率降低 67%。此类技术符合《电力安全治理体系建设专项行动》中“人防向技防转型”要求，将安全管理从被动处置转向主动防御。

（二）安全需求驱动的技术管理优化

1. 安全冗余设计与容错机制嵌入

安全冗余设计通过模块化架构与多路径备份提升系统容错能力，例如柔性直流输电工程采用 N-2 冗余换流阀组配置，确保单阀组故障时系统仍可维持 70% 输送容量。容错机制需在控制算法中预设自适应调节逻辑，当检测到设备异常参数时自动切换至降额模式，某海上风电场的电压波动抑制系统通过该机制将故障扩散概率降低 53%^[8]。

2. 应急预案与快速响应技术集成

应急预案与快速响应技术依赖数字孪生平台与边缘计算节点的协同，通过实时仿真推演事故场景生成最优处置方案，并联动断路器、继电保护装置实现毫秒级故障隔离。某区域电网应用数字孪生驱动的黑启动策略后，停电恢复时间缩短至传统模式的 40%。此类技术满足《新能源并网安全技术导则（2025版）》对“秒级风险闭环管控”要求，形成从预警到恢复的全链条防控体系。

四、典型案例分析与优化路径

（一）案例一：某火电厂机电系统安全风险防控实践

某火电厂因设备老化与操作风险叠加，面临锅炉爆炸、电气故障等安全风险。设备老化表现为关键部件（如汽轮机叶片、变压器绝缘层）性能退化，而传统人工巡检模式存在漏检率高、响应滞后等问题，导致 2019 年因液位传感器失效引发模拟量输入模块烧毁事故。针对此，该电厂构建安全风险分级管控体系，将危险源辨识与 ERP 工作票系统整合，实现风险预控与日常运维的数字化联动。技术管理优化措施包括：部署红外热成像与振动传感器实现设备状态实时监测，建立基于 LCC（全生命周期成本）模

型的预防性维护计划，并通过数字孪生技术模拟设备退化路径，动态调整检修周期。实施后，设备故障率下降35%，操作票违规率降低42%，成功阻断多起因误操作导致的连锁故障风险。

（二）案例二：新能源场站智能化安全监控系统应用

某新能源场站为应对分布式光伏集群的运维低效与安全响应滞后问题，部署了智能化安全监控系统。系统架构采用多模态数据融合框架，集成语音识别、视频分析与环境传感器网络，核心功能模块包括语音指令远程控制、异常声音智能报警及多源数据联动分析。例如，语音识别模块支持运维人员通过自然语言指令调取特定区域监控画面，智能报警模块通过声纹识别技术捕捉设备异响并触发应急预案，联动视频追踪故障点。系统引入基于LSTM的行为模式评估模型，实时分析运维人员操作数据与设备状态，实现风险预警准确率提升至92%，应急响应时间缩短至30秒以内。此外，自动化运维报告生成功能将人工记录时长减少70%，数据误差率降低至5%以下，显著提升安全管理效能^[9]。

（三）优化路径建议

能源电力工程安全效能的持续提升需技术、管理与政策三维联动。技术层面应深化数字孪生与AI驱动的风险预测技术应用，通过设备退化建模与多物理场耦合仿真，构建覆盖“设备-系统-环境”的动态风险图谱。例如将数字孪生平台与边缘计算节点协同，实现故障预测与自适应调控的毫秒级闭环^[10]。管理层面

需建立多部门协同安全责任体系，依托智慧工地系统整合运维、安监与应急部门数据流，设计“电子围栏”与安全责任矩阵，通过违章行为自动识别与曝光机制强化全员参与。政策层面应动态迭代行业标准与法规，依据《新能源并网安全技术导则（2025版）》细化特高压设备容错机制要求，推动跨国电力互联场景下的安全标准国际接轨，并建立标准修订的快速响应机制以适配技术迭代节奏。

五、总结

机电技术管理与安全风险防控的协同机制研究为新型电力系统安全运行提供了理论与实践支撑。研究表明，设备全生命周期优化、智能运维技术革新与动态风险评估方法的融合，可系统性提升系统可靠性并降低多源耦合风险，例如数字孪生与AI技术的应用使故障预警准确率提升至92%以上。然而，研究样本多集中于火电与新能源场景，数据覆盖范围需扩展至氢能储能、虚拟电厂等新兴领域，且技术协同的长期经济性与稳定性仍需实证检验。未来研究应聚焦碳中和目标下的新型风险防控挑战，如大规模氢能储运的安全监测技术、分布式能源聚合体的连锁故障阻断机制，以及区块链与量子计算在电力安全防护中的潜在应用，以应对能源转型进程中的未知风险与复杂系统脆弱性。

参考文献

[1] 史文亮. 机电设备安装电力工程施工技术以及质量安全管理方法 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(1): 4.
[2] 尉凯凯. 浅析煤矿机电技术管理在安全生产中的应用 [J]. 电力系统装备, 2019(4): 2.
[3] 李紫冰. 电力工程管理中的安全问题研究 [J]. 电子制作, 2014, (17): 262.
[4] 王招辉. 研究机电安装工程项目施工安全风险管控 [J]. 新商务周刊, 2020, 000(021): 57-58.
[5] 孙嘉泽. 电力工程管理中的安全问题研究 [J]. 黑龙江科技信息, 2014, (31): 134.
[6] 高志超, 喻迎. 电力工程管理中的安全问题 [J]. 湖南农机, 2013, 40(11): 308+310.
[7] 杜庆红. 浅析石油化工工程中机电安装工程施工技术与质量管理 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2023.
[8] 邓卫民. 电力工程管理中的安全问题研究 [J]. 机电信息, 2013(3): 2.
[9] 王群. 机电安装工程项目施工安全风险管控研究 [J]. 中国建材科技, 2017(6): 2.
[10] 李维谊. 机电工程技术在智能电网建设中的应用 [J]. 文渊 (高中版), 2022(4): 659-661.