

智能化技术在轨道起重机电气设备检修中的应用探索

宋明超

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 本文聚焦于传感器技术、AI算法、边缘计算与机器人技术的融合应用,通过构建实时监测、智能诊断与预测性维护体系,实现轨道起重机电设备状态的精准感知与故障预警。研究发现,智能化检修可显著降低轨道起重机电设备停机时间与维修成本,提升检修效率与安全性。技术选型、人员转型和风险管理仍是制约其推广的关键因素。未来需进一步优化技术架构,强化复合型人才培养,推动智能化检修技术的规模化应用,为轨道起重机电设备检修的智能化升级提供支撑。

关键词: 智能化技术;轨道起重机;电气设备检修

1 智能化技术概述

在轨道起重机领域,智能化技术正深刻改变着电气设备的运行模式与管理方式。智能化技术以先进的信息处理、传感感知与自动控制技术为核心,为轨道起重机赋予了“智慧大脑”,使其具备自主感知、智能决策与高效执行的能力。轨道起重机电设备的智能化,主要体现在多个方面。借助高精度传感器,能实时监测起重机的运行状态、负载情况及环境参数,如起升高度、运行速度、电机温度等,为系统提供全面的数据支持。通过先进的通信技术,实现设备与控制中心、其他设备之间的信息交互与协同作业,构建起智能化的作业网络。智能控制算法的应用,让起重机能够根据作业需求与实时数据,自动调整运行参数,优化作业流程,提高作业效率与精度^[1]。智能化技术还具备强大的故障诊断与预警功能,能提前发现潜在故障隐患,及时采取措施,避免设备损坏与安全事故的发生。智能化技术还推动了轨道起重机的远程监控与维护,技术人员可通过远程平台实时掌握设备运行状况,进行故障排查与维护指导,降低运维成本,提高设备利用率。

2 轨道起重机电设备检修现状分析

2.1 电气设备构成与特点

轨道起重机电设备是保障起重机安全、高效运行的核心系统,主要由主电路系统、控制电路系统、保护装置及辅助电气设备等构成。主电路系统承担能量转换与传递功能,包括高压开关柜、变压器、变频器、电动机、齿轮箱等,负责驱动起重机的起升、运行等机构;控制电路系统通过PLC(可编程逻辑控制器)、接触器、继电器、触摸屏人机交互界面、工控机等实现逻辑控制、信号传输、操作信息和报警信息显示;保护装置涵盖重量保护、速度保护、运行边界保护、互锁保护、

短路保护、接地保护等,确保设备在异常情况下安全停机;辅助电气设备如照明、空调、通信系统等则为操作人员提供舒适的工作环境。轨道起重机电设备具有以下特点:高集成性,各子系统协同工作,任何一个环节故障均可能影响整体性能;环境适应性要求高,需承受粉尘、高温、潮湿等恶劣工况;安全冗余设计,通过双重保护机制降低事故风险;智能化趋势明显,现代设备普遍集成远程监控、故障诊断等智能功能。

2.2 传统检修方法及其局限性

传统轨道起重机电设备检修主要依赖“可计划的预防性检修”与“故障后的纠正性维修”两种模式。可计划的预防性检修通常以时间为周期(如月度、季度、年度),建立预防性检修大纲,通过人工巡检、定期更换易损件等方式预防故障;故障后的纠正性维修则针对已发生故障的设备进行修复。然而,这些方法存在显著局限性:(1)过度依赖人工经验。检修人员需通过目视检查、仪器或专用工具测量等方式判断设备状态,主观性强且难以发现潜在隐患。例如,电气部件老化、接线端子松动、电缆绝缘层老化等隐性故障常常难以发现和消除,直至引发严重事故^[2];(2)检修效率低下。计划检修需停机操作,影响生产连续性;故障后维修则需耗费大量时间排查故障点,平均修复时间较长。例如,某港口起重机因变频器故障停机24小时,导致日均货物吞吐量下降30%;(3)难以适应智能化需求。传统方法无法有效监测智能设备(如变频器、PLC)的运行参数,以及重要数据参数的变化趋势,无法利用其自诊断功能提前预警。例如,现在变频器可记录运行日志与故障代码,但传统检修方式仅关注硬件状态,忽视数据价值;(4)缺乏数据支撑。检修记录多以纸质形式保存,难以进行趋势分析与故障溯源。例如,某企业5年内发生12次

电机过热故障，但因缺乏数据关联分析，始终未找到根本原因。

3 智能化技术在轨道起重机电气设备检修中的应用策略

随着工业4.0与智能制造的推进，智能化技术已成为轨道起重机电气设备检修升级的核心驱动力。通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术，可实现从故障诊断到检修执行的全流程智能化，显著提升设备可靠性、降低运维成本。

3.1 故障诊断智能化

传统故障诊断依赖人工经验与离线检测，存在滞后性与误判风险。智能化故障诊断通过以下技术路径实现主动预警：一是多源数据融合感知；在起重机关键部位（如电机、变频器、接触器）部署高精度传感器，实时采集振动、温度、电流、电压等参数。结合设备运行日志、环境数据（如湿度、粉尘浓度），构建多维度数据模型。例如，通过振动传感器监测电机轴承磨损，结合温度数据识别过载工况，综合判断设备健康状态。二是AI驱动故障预测；利用机器学习算法（如长短期记忆网络、随机森林）对历史故障数据进行训练，建立故障预测模型。该模型可提前识别异常模式（如电流谐波异常、振动频率偏移），预测故障发生时间与类型。例如，某港口通过AI模型预测起重机减速机故障，提前72小时发出预警，避免了一次重大停机事故。三是知识图谱辅助诊断；构建电气设备故障知识图谱，将故障现象、原因、解决方案进行结构化关联。当系统检测到异常时，可快速匹配相似案例，提供维修建议。例如，针对“电机过热”故障，知识图谱可关联“散热风扇故障”“过载运行”等潜在原因，并推荐对应的检查步骤。

3.2 检修流程自动化

传统检修流程依赖人工计划与现场操作，存在效率低、风险高等问题。智能化检修流程通过以下技术实现自动化：（1）基于状态的检修；根据设备实时状态数据（如磨损程度、性能衰减率）动态调整检修计划，避免过度检修或漏检。例如，当电机绝缘电阻低于阈值时，系统自动生成检修工单，并分配优先级。（2）机器人辅助检修；部署协作机器人（如六轴机械臂）执行危险或重复性任务，如电缆接头检查、螺栓紧固等。机器人通过视觉识别与力反馈技术，确保操作精度与安全性。例如，某钢铁厂使用机器人进行起重机滑触线检查，效率提升4倍，人工风险降低90%。（3）数字孪生技术；构建起重机电气系统的数字孪生模型，模拟设备运行状态与故障场景。在虚拟环境中预演检修方案，优化操作流

程。例如，针对变频器故障，工程师可在数字孪生中模拟更换元件的过程，提前识别潜在风险点。（4）AR（增强现实）远程协作；检修人员佩戴AR眼镜，实时获取设备数据与维修指导。专家可通过远程平台标注故障位置、推送操作步骤，实现跨地域协同。

3.3 数据管理与分析智能化

传统数据管理存在数据分散、分析浅层化等问题。智能化数据管理通过以下技术实现价值挖掘：第一，工业物联网平台；搭建统一的数据采集与传输网络，整合传感器、PLC（可编程逻辑控制器）、SCADA（监控与数据采集）等系统数据。通过边缘计算节点对数据进行预处理，减少云端压力。例如，某起重机制造企业通过工业物联网平台，实现全球设备数据的实时同步与可视化^[3]。第二，大数据分析引擎；利用Hadoop、Spark等工具对海量数据进行存储与分析。通过关联分析、聚类分析等技术，挖掘设备运行规律与故障模式。例如，分析发现起重机在特定湿度环境下，接触器故障率提升30%，从而针对性优化维护策略。第三，预测性维护模型；结合设备运行数据与历史故障记录，构建预测性维护模型。该模型可输出设备剩余使用寿命、故障概率等指标，指导检修资源分配。

4 智能化技术在轨道起重机电气设备检修中的实施路径

随着智能化技术在工业领域的深度渗透，轨道起重机电气设备的检修模式正从传统人工维护向智能预测性维护加速转型。这一转型不仅需要先进的技术支撑，还需构建科学的实施路径与完善的管理体系。

4.1 技术选型与系统集成：构建智能化检修的技术底座

智能化检修技术的核心在于通过多技术融合实现设备状态的实时感知与智能决策。技术选型需遵循“适用性、兼容性、扩展性”原则，系统集成则需确保各子系统间的无缝协作。（1）技术选型策略；传感器技术：选择高精度、抗干扰的传感器（如振动传感器、温度传感器、电流传感器），实现对设备运行参数的精准采集。例如，采用MEMS（微机电系统）加速度计监测电机振动，分辨率可达0.01g，可有效识别早期故障特征。采用5G或工业以太网实现数据高速传输，确保传感器数据实时上传至云端或边缘计算节点。5G的低时延特性（< 10ms）可满足起重机远程控制与实时诊断的严苛需求。基于深度学习的故障预测模型（如长短期记忆网络LSTM、门控循环单元GRU）能够处理时序数据，以预测设备的故障概率。将专家系统与知识图谱相结合，可

以提高诊断的准确性和可解释性。机器人技术：协作机器人（例如UR系列）能够执行危险或重复性的任务，如电缆接头检查、螺栓紧固等，显著提升维护工作的效率和安全性。（2）系统集成方法；数据层集成：通过OPC UA、MQTT等协议实现传感器、可编程逻辑控制器（PLC）、监控与数据采集（SCADA）系统之间的数据互通，从而构建一个统一的数据平台。应用层集成：将故障诊断、预测性维护、检修流程管理等功能集成至工业互联网平台，以实现跨系统的协同作业。边缘计算与云端协同：在设备端部署边缘计算节点，以对实时性要求较高的任务（如振动异常检测）进行本地处理，从而降低云端的压力。

4.2 人员培训与管理：打造智能化检修的人才梯队

智能化检修技术的推广需依赖既懂设备又懂技术的复合型人才。人员培训需从培训体系、人员角色转变与激励机制三方面入手。一是构建培训体系；技术培训：针对传感器安装、数据分析、机器人编程等技能开展专项培训，提升员工实操能力。例如，某企业通过VR模拟系统，让员工在虚拟环境中反复练习起重机检修流程，缩短实操适应期。管理培训：培养员工对智能化系统的理解与运用能力，例如，如何解读故障预测报告、如何制定基于状态的检修计划。安全培训：强化对机器人操作、远程协作等新场景的安全规范培训，降低事故风险。二是人员角色转型；传统检修人员：从“经验型”向“数据驱动型”转变，学会利用系统提供的诊断报告与建议进行检修。数据分析师：负责故障数据挖掘与模型优化，为预测性维护提供数据支持。系统管理员：维护智能化检修平台的稳定运行，处理数据异常与系统故障。三是优化激励机制；设立技能认证体系，对通过培训考核的员工给予薪酬激励；设立智能化创新试验平台，鼓励员工参与智能化改进项目，分享创新成果，形成全员参与技术创新的氛围。

4.3 实施步骤与风险管理：确保智能化检修的平稳落地

智能化检修的实施需遵循“分阶段、分步骤”原则，同时建立完善的风险管理机制。第一，实施步骤规划；试点验证：选择1-2台起重机进行智能化改造，验证

技术可行性与经济效益。例如，某港口在1台岸桥起重机上部署振动传感器与AI预测模型，故障预警准确率达85%，验证了技术有效性。逐步推广：根据试点经验，分阶段推广至全厂设备。优先改造高故障率或关键设备，降低整体风险。持续优化：基于运行数据与用户反馈，迭代优化算法模型与系统功能。例如，通过机器学习自动调整故障预测阈值，提升模型适应性^[4]。第二，风险管理策略；技术风险：数据安全；采用加密传输与访问控制技术，防止数据泄露。系统兼容性：提前进行设备与系统的兼容性测试，避免因接口不匹配导致的数据丢失。人员风险：通过培训与实操演练提升员工能力，必要时引入外部专家支持。加强宣传与沟通，让员工理解智能化检修带来的效率提升与安全保障。运营风险：建立人工复核机制，避免因算法误判导致错误决策。制定应急预案，确保在系统故障时仍能通过传统方式保障设备运行。

5 结束语

智能化技术在轨道起重机电气设备检修中的应用，标志着设备运维从“事后维修”向“主动预防”的跨越。这一变革不仅提升了设备可靠性与生产效率，更推动了传统工业向数字化、智能化转型的进程。技术的落地仍需突破数据安全、系统兼容性及人员技能匹配等瓶颈。唯有坚持技术创新与管理体系同步升级，构建“技术-人才-管理”三位一体的实施路径，方能释放智能化检修的真正价值。期待行业同仁携手共进，以智能化为引擎，驱动轨道起重机电气设备运维迈向更高水平，为全球工业智能化发展贡献力量。

参考文献

- [1]郑宏远,卢宁.智能塔式起重机关键技术研究[J].机电工程.2023(03):435-443
- [2]张兆礼,谭大文.基于诊断评估的水电工程桥式起重机检修策略探讨[J].水电站机电技术.2024(03):82-83,108
- [3]苏峰.桥式起重机轻量化技术与智能化技术运用实践初探[J].中国设备工程.2023(04):30-32
- [4]潘一藩.门座式起重机回转支承轴承的故障研究[J].科技资讯,2020,18(20):3-4.