

智能化技术在核电起重吊装设备中的应用与提升

李留维

上海国核机械有限公司，上海 200030

摘 要： 核电起重吊装设备在核电建设和运行过程中承担着关键性任务，其安全性、稳定性与作业效率直接影响核电工程的顺利进行。智能化技术的引入为提升设备性能、优化操作流程提供了新的解决方案，因此，探索智能化技术在核电起重吊装设备中的应用和提升策略意义重大。本文旨在深入探讨智能化技术在核电起重吊装设备中的具体应用，并分析提升策略，为相关企业和机构提供有益的参考，以促进核电工程中的智能化设备发展和应用。

关 键 词： 核电；起重吊装设备；智能化技术；应用；提升措施

Application and Improvement of Intelligent Technology in Nuclear Power Lifting and Hoisting Equipment

Li Liuwei

Shanghai Guohe Machinery Co., Ltd. Shanghai 200030

Abstract： Nuclear power lifting equipment plays a critical role in the construction and operation of nuclear power projects, and its safety, stability, and operational efficiency directly affect the smooth progress of nuclear power projects. The introduction of intelligent technology provides new solutions for improving equipment performance and optimizing operation processes. Therefore, exploring the application and improvement strategies of intelligent technology in nuclear power lifting equipment is of great significance. This article aims to explore in depth the specific application of intelligent technology in nuclear power lifting equipment, analyze improvement strategies, and provide useful references for relevant enterprises and institutions to promote the development and application of intelligent equipment in nuclear power engineering.

Keywords： nuclear power; lifting and hoisting equipment; intelligent technology; application; improvement measures

引言

起重吊装设备是核电站运行维护的关键装备，其性能与可靠性直接关系到电站的安全与效率。随着人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的快速发展，智能化已成为核电装备技术进步的重要方向。数据采集技术可实现对设备全生命周期的实时监控，智能控制系统能够精准把控吊装全过程，状态监测与故障预测则为设备健康管理提供了新思路^[1]。将智能化技术深度融合于核电起重设备，对于提升设备性能、延长使用寿命、保障吊装作业安全具有重要意义。因此，本文拟深入探讨核电起重设备智能化发展的突破口，为推动核电装备技术升级提供决策参考。

一、智能化技术在核电起重吊装设备中的应用

（一）数据采集技术，实时监控提升效率

在核电起重吊装设备的智能化进程中，数据采集技术的深度应用构建起设备运行状态的数字化映射。通过布设应变传感器、位移传感器、角度传感器等多维度感知单元，实现对起重机受力状态、空间位置、工作参数的全方位实时采集。这些数据流经工业以太网汇聚至边缘计算单元，经过数据清洗与特征提取后，为设备健康评估、故障预警、作业优化提供精准的数据支撑，使设备管理由被动响应转向主动预测^[2]。

在实际应用中，核电厂内的桥式起重机可通过分布式传感网络实现全面监控。在主梁、端梁等关键结构部位安装高精度应变传感器，实时监测结构应力分布；在大车、小车等运动机构配置多点位移传感器和角度传感器，精确跟踪空间位置和运动轨迹；在卷扬机构部署载荷传感器和速度传感器，准确把握起升载荷和作业工况^[3]。这些传感单元以100Hz以上的采样频率持续采集数据，通过现场总线传输至就近的边缘计算单元。同时，边缘计算单元依托嵌入式处理器，完成数据的预处理、时间同步和特征提取，将处理后的高价值数据传输至云端管理平台。管理平台基于机器学习算法，建立设备数字孪生模型，实现工况识别、健

作者简介：李留维（1988.05—），男，汉族，河北省衡水市故城县，本科，工程师，核电站施工建设。

康评估、故障预警等智能化功能。此外，系统可向现场操作人员推送设备状态、安全预警等关键信息，指导优化作业方案。这种智能化监控体系可以显著提升作业效率，数据采集与实时监控技术为核电起重吊装设备注入智慧基因，推动传统起重装备向数字化、网络化、智能化方向跨越发展^[4]。这一技术路线可以提升装备性能和作业效率，为核电站安全运营提供了坚实保障。

（二）智能控制系统，精准操控吊装流程

智能控制系统在核电起重吊装设备中的应用实现了对吊装全过程的精准把控。该系统基于模糊控制理论与动态规划算法，通过建立吊装物动力学模型，实时计算最优控制策略。系统将吊装对象的重量、尺寸、重心位置等关键参数纳入控制算法，结合工况数据动态调整控制参数，实现对起升速度、制动时机、摆动抑制等关键控制量的自适应优化，从根本上提升了吊装作业的安全性与精确度^[5]。

在核电站反应堆压力容器吊装过程中，智能控制系统的应用体现出显著优势。系统首先建立压力容器的三维数字模型，精确标定其重心位置与惯性参数。吊装前，控制系统根据容器重量与作业空间自动规划最优吊装路径，确定关键控制点位置。吊装过程中，系统通过多点位移传感器实时跟踪吊装物姿态，基于预置的动力学模型计算平衡状态，自动调节起重机大车、小车的运行速度，实现对吊装物的平稳输送。当检测到吊装物产生摆动时，系统能够根据摆动幅度和频率，智能调节横向位移补偿量，有效抑制摆动^[6]。在精准定位阶段，控制系统启动毫米级定位模式，通过激光导航与视觉定位系统配合，实现吊装物的精确就位。系统还集成了防撞功能，通过三维空间建模与实时碰撞检测算法，确保吊装过程中与周边设备和建筑物保持安全距离。操作人员可通过人机交互界面实时监控整个吊装过程，必要时进行人工干预。

（三）状态监测技术，故障预测与健康管理

智能化技术在核电起重吊装设备中的应用日益广泛。通过状态监测与故障预测，可以实现对设备运行状态的实时感知和健康状态的评估。这为核电起重设备的安全高效运行提供了重要的技术支撑。智能化的状态监测系统利用先进的传感器技术和数据采集方法，获取设备的振动、温度、应变等多源异构信息，经过特征提取、信号处理和模式识别等智能算法分析，实现对设备运行状态的精准刻画。同时，基于大数据挖掘和机器学习技术，智能化系统还能够对设备的退化趋势进行预测，及早发现潜在的故障隐患，从而为预防性维护和寿命管理决策提供依据。

在核电站的起重吊装作业中，智能化技术的应用主要体现在以下几个方面：首先，利用多传感器信息融合技术，对起重机的重要部件如钢丝绳、减速度器、制动器等进行状态监测。通过这些关键部位安装振动、应变等传感器，实时采集设备的动态响应信号。然后，运用小波分析、经验模态分解等信号处理方法，提取反映设备健康状态的敏感特征^[7]。再通过支持向量机、神经网络等机器学习模型，建立设备状态的智能诊断与预测模型。一旦发现设备的异常状态或劣化趋势，系统就会自动发出预警，提示运维人员采取相应措施。

此外，针对起重设备的典型失效模式，研究智能故障诊断与寿命预测方法。起重机的常见失效模式有齿轮磨损、轴承损伤、制动器故障等。通过对设备历史运行数据进行挖掘分析，总结不同失效模式的退化规律和预兆特征。同时，还可利用物联网、大数据等新兴技术，构建起重设备的远程监控和智能运维平台。通过在起重机上部署各类传感器，并将采集的海量监测数据上传至云端，利用大数据分析和可视化技术，实现对设备运行状态的集中监控和健康管理。这种方式可以提高故障诊断的效率和准确性，还能优化设备运维策略，减少不必要的停机检修，提高起重设备的工作效率。

二、智能化技术在核电起重吊装设备中的提升策略

（一）设备结构升级，强化技术融合应用

要进一步提升智能化技术在核电起重吊装设备中的应用效果，需要从设备结构优化入手，加强多学科技术的融合创新。传统的起重设备在设计之初往往缺乏对智能化的考虑，导致后续的状态监测和故障预测受到了一定限制。因此，应重新审视设备的结构布局，在关键部位预留传感器安装接口，为采集全面准确的设备状态信息奠定基础^[8]。同时，还要充分利用新材料、新工艺，优化设备构型，降低故障发生率。只有从源头上强化设备的可靠性和智能化适应性，才能最大限度地发挥智能技术的效能。

举例来说，在起重机的结构设计中，可以考虑将光纤传感器嵌入钢丝绳内部，实时监测绳芯应力状态，及早发现断股和疲劳破坏等隐患。在大齿轮等关键传动部件的表面，可以采用镶嵌式的压电或 MEMS 传感器，实现对齿面磨损、点蚀等微观形貌的动态表征。对于易发生裂纹的金属构件，可以引入声发射、超声导波等无损检测技术，并将其与智能诊断算法相结合，构建裂纹的在线监测与剩余寿命评估系统。此外，在起重机的整机设计中，还可以应用新型材料如复合材料、智能材料等，以减轻设备自重、提高动态性能，并为状态监测提供新的感知手段。

除了设备本体，还要注重强化智能装置与起重设备的一体化融合。传统的做法是在设备上附加各种传感器和采集器，通过外部电缆与监测系统相连，存在安装难、维护成本高、可靠性差等问题。而将智能装置与设备结构紧密集成，才能从根本上提升状态监测的稳定性和测量精度^[9]。例如，可以在起重机的驱动装置内设计专门的传感器安装舱，将振动、油液、电参量等传感器预置其中，实现状态信号的就地采集与处理。对于结构紧凑、安装空间受限的部位，还可开发一体化的智能结构，将传感器、数据处理与无线发送集为一体，大幅简化布线及通信方案。

（二）管理系统集成，增强设备运维效率

智能化技术的应用离不开高效的管理模式。在核电起重设备领域，要最大限度地发挥智能化的效能，就必须构建一个集中统一、互联互通的设备管理系统。这个系统要能够将分散在各个设备上的监测数据汇总到一起，实现状态信息的全面感知和融合分析；要能够统筹规划设备运行与维护策略，优化资源配置；还要能够及时将设备状态与决策指令反馈给一线操作人员，做到管理

流程的闭环贯通。只有打通全产业链条，才能形成设备、数据、人员的有机整合，提升核电站起重设备智能化管理的整体效率。

具体来说，要建立覆盖全站的起重设备监测网络，通过有线、无线等多种通信方式，将分散的智能装置连接起来，源源不断地将设备运行数据传输到中央管理系统。在此基础上，管理系统要建立一套统一的数据管理框架，采用先进的大数据处理技术，对异构海量的监测数据进行清洗、存储和管理，并提供灵活高效的数据访问接口，为后续的智能分析做好准备^[10]。另一方面，要在管理系统中植入各类智能算法模型，对设备运行数据进行深度挖掘。比如，可以运用机器学习算法，对设备的能耗、效率、故障等关键指标进行建模分析，找出影响设备性能的关键因素；可以运用数据关联分析，揭示不同设备参数之间的内在联系，预判故障发生的模式和先兆。

管理系统还要加强与其他业务系统的集成，实现数据和功能的互联互通。比如，与设备台账管理系统对接，获取设备的铭牌信息、维修历史、备件库存等关键数据，用于完善设备全生命周期的管理；与生产管理系统对接，获知设备所服务的生产任务和工艺要求，从而优化设备运行参数；与能源管理系统对接，引入电价等经济性指标，在设备优化控制中兼顾节能增效。设备运维管理系统要成为智能化的“中枢”，通过四通八达的数据链路，最大限度地释放数据价值，达到1+1大于2的集成效应。最后，要重

视管理系统的工程实施和人员培训。再完美的系统，如果没有将设计理念落地、融入实际工作流程，也难以发挥成效。因此，要制定周密的实施方案，组织专业团队，对智能管理系统进行反复测试、优化完善，确保其稳定性和实用性。同时，还要针对不同岗位人员，开展形式多样的培训教育，帮助其熟悉掌握系统的功能，引导其充分利用智能化手段开展工作。只有软硬件、人机环境的共同优化，才能将智能化管理的潜力彻底激发出来。

三、结束语

综上所述，通过本文的研究发现，智能化技术的应用拓展了核电起重吊装设备的功能边界，为传统装备的转型升级开辟了广阔前景。数据采集、智能控制、状态监测等新兴技术的深度融合，提升了设备的运行效率和安全水平。但智能化发展也面临设备适应性不足、核心技术缺失、系统集成度低等挑战。未来应立足核电特点，加强设备结构的智能化适应性设计，推动前沿技术在核电领域的交叉融合，打造集中统一、互联互通的智能管理平台。只有协同发力，在智能化的赛道上久久为功，才能持续拓展核电起重装备的应用边界，为保障核电安全运行、构筑清洁低碳的能源体系贡献更大力量。

参考文献

[1] 丁慧智, 张玉柱. ZCC32000型2000t履带起重机在核电吊装行业的应用 [J]. 建设机械技术与管理, 2023, 36(3):26-28.
[2] 缪波, 吴伟. 核电建设工程现场起重吊装安全管理探讨 [J]. 现代职业安全, 2022(3).
[3] 李今朝, 张峰, 辛晓亮, 王欢, 刘倩. 核电厂桥式起重机钢丝绳偏角异常事件处理分析 [J]. 起重运输机械, 2022(20):54-58.
[4] 马廷博, 刘应均. 受限空间条件下乏燃料运输容器吊装设备的研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(8):66-68.
[5] 渠东迪. 三代核电吊装施工用大型履带起重机适用性设计 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(26):67-69.
[6] 牛凯. 起重吊装作业安全管理研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(1):137-139.
[7] 三一履带起重机谱写核电吊装辉煌 [J]. 建筑机械 (上半月), 2011(11):42-43.
[8] 魏永春, 周巍, 赵记峰. 田湾核电10t电动单梁桥式起重机吊装工艺 [J]. 城市住宅, 2016, 23(9):125-126.
[9] 饶泽中, 黄公正. AP1000核电厂常规岛大型设备吊装常见问题分析 [J]. 科技经济导刊, 2015, 27(5):77-78.
[10] 廖小娟, 贾金廷, 彭燕荣. 核电大型设备吊装及运输智能仿真系统的开发及应用 [J]. 石油化工建设, 2019, 41(3):19-24.