

数字化管理平台在核电厂检修中的应用

杜岩松 吴文同 钟 俊

浙江省中核浙能能源有限公司 浙江 宁波 315700

摘要: 核电厂传统检修模式存在诸多局限, 难以满足高质量发展需求。数字化管理平台依托云计算、数据库、大数据分析等技术, 契合核电厂检修的数字化需求, 包括实时数据采集、预测性维护、全生命周期管理等。该平台在核电厂检修中应用于设备健康管理、智能工单与资源调度、检修过程可视化与协同等方面, 有效提升检修效率与安全性, 降低运维成本, 推动核电厂检修向智能化、精准化转型。

关键词: 核电厂检修; 数字化管理平台; 智能运维; 全生命周期管理

引言: 核电厂设备检修关乎电站安全稳定运行, 传统检修模式以定期预防性维修为主, 受技术与管理限制, 存在过度维修、数据传递不畅、协同困难等问题, 无法满足核电厂发展需求。随着数字化技术发展, 数字化管理平台为核电厂检修带来新契机。其融合多种先进技术, 可实现实时监测、智能决策等功能, 满足核电厂检修的数字化需求, 为核电厂检修工作的高效开展提供有力支撑。

1 数字化管理平台的技术基础

数字化管理平台的高效运行依赖于坚实的技术基础, 涵盖多个关键领域。在底层架构上, 云计算技术是核心支撑。它提供弹性的计算资源与存储能力, 使平台能根据业务需求灵活扩展, 避免资源浪费与性能瓶颈, 保障系统稳定性和高可用性。数据库技术是数据存储与管理的基石。关系型数据库如MySQL、Oracle等, 确保结构化数据的准确存储与高效查询; 非关系型数据库如MongoDB、Redis等, 则擅长处理非结构化或半结构化数据, 满足多样化的数据存储需求, 为平台提供全面的数据支持, 大数据分析技术赋予平台智能决策能力。通过数据挖掘、机器学习算法, 对海量数据进行深度分析, 提取有价值的信息与洞察, 为企业经营管理提供精准的数据依据, 辅助决策制定^[1]。网络通信技术保障平台内外部信息畅通。高速稳定的网络连接, 确保数据实时传输与共享, 无论是内部员工协作, 还是与外部合作伙伴交互, 都能实现高效沟通。另外, 安全技术不可或缺, 加密算法、访问控制、防火墙等手段, 全方位保护平台数据安全与用户隐私, 防止数据泄露与恶意攻击, 为数字化管理平台营造安全可靠的运行环境。

2 核电厂检修场景的数字化需求分析

2.1 传统检修模式的局限性

核电厂传统检修模式以定期预防性维修为主, 受技

术手段与管理方式限制, 存在诸多难以规避的局限性, 严重影响检修效率与安全性, 已无法适配核电厂高质量发展需求。首先, 传统检修依赖人工经验开展, 检修计划制定缺乏精准数据支撑, 多采用固定周期检修模式, 易出现过度维修或维修不足的情况, 过度维修造成人力、物力、财力的浪费, 维修不足则留下设备安全隐患, 增加故障停机风险。其次, 数据采集与传递依赖人工记录、纸质单据流转, 效率低下且易出现数据错误、遗漏, 数据无法实时共享, 各检修环节信息脱节, 形成“数据孤岛”, 导致检修决策滞后。再者, 检修过程缺乏有效的实时监控与追溯手段, 检修质量难以把控, 一旦出现问题无法快速定位责任主体与问题根源, 不利于后续改进优化。另外, 传统检修模式下, 各专业、各岗位协同不畅, 检修资源调度不合理, 易出现工期延误、资源浪费等问题。

2.2 数字化检修的核心需求

2.2.1 实时数据采集与状态监测

实时数据采集与状态监测是核电厂数字化检修的基础需求, 核心是实现核电厂各类检修设备运行状态的全方位、实时化、精准化监测, 为后续检修工作提供可靠的数据支撑。核电厂设备种类繁多、结构复杂, 运行环境恶劣, 部分设备处于高辐射、高压场景, 人工监测难度大且存在安全风险, 因此需通过物联网技术部署各类智能传感器、监测终端, 实现对设备温度、压力、振动、辐射剂量等关键参数的实时采集。采集的数据需通过专用传输网络快速上传至数字化管理平台, 确保数据传输的实时性与准确性, 同时对采集的数据进行实时解析与异常识别, 一旦发现参数超出正常范围, 立即发出预警提示, 提醒工作人员及时处置。此外, 需实现数据采集的全覆盖, 涵盖核岛、常规岛及辅助系统的各类设备, 打破传统数据采集的时空限制, 避免数据遗漏, 确

保工作人员能够实时掌握设备运行状态,及时发现潜在故障隐患,为检修计划制定、故障诊断提供精准的数据支撑,从源头提升检修工作的针对性与有效性。

2.2.2 预测性维护与智能决策支持

预测性维护与智能决策支持是数字化检修的核心需求,旨在打破传统定期检修的局限,实现检修工作的精准化与智能化,降低故障风险与检修成本。核电厂设备运行稳定性直接关系到电站安全,传统定期检修模式无法精准预判设备故障,易出现过度维修或维修不及时的问题,因此需依托大数据、人工智能技术,构建设备故障预测模型,通过分析设备历史运行数据、检修记录、故障案例等,挖掘设备故障演变规律,精准预测设备剩余使用寿命与潜在故障点。平台需提供智能决策支持功能,针对预测到的故障隐患,自动生成最优检修方案,明确检修流程、所需资源、工期安排等,为工作人员提供专业指导,减少人工决策的主观性与失误率^[2]。此外,需结合实时监测数据,动态优化检修方案,确保检修工作的科学性与合理性,实现“早发现、早预判、早处置”,最大限度减少非计划停机时间,降低检修成本,提升核电厂设备运行的可靠性与安全性,助力实现检修模式从“被动维修”向“主动预防”的转变。

2.2.3 全生命周期管理(从设计到退役)

全生命周期管理是核电厂数字化检修的重要需求,核心是实现设备从设计、制造、安装、运行、检修到退役的全流程数据贯通与闭环管控,确保检修工作的连续性与规范性。核电厂设备使用寿命长、投资规模大,各生命周期阶段的信息相互关联,传统模式下各阶段数据分散存储、互不共享,导致检修工作缺乏全面的数据支撑,难以实现全流程优化。数字化检修需构建设备全生命周期数据库,整合设备设计参数、制造记录、安装验收报告、运行数据、检修记录、故障案例等各类信息,为每台设备建立专属“数字身份证”,实现信息可追溯、可查询。在检修阶段,可依托全生命周期数据,精准掌握设备历史状态与检修情况,制定针对性检修方案;在设备运行后期,可通过分析全生命周期数据,评估设备老化程度,合理制定检修与更换计划;在退役阶段,可基于全生命周期数据,规范退役流程,确保设备退役安全环保。

2.2.4 协同化与标准化作业流程

协同化与标准化作业流程是核电厂数字化检修的关键需求,旨在解决传统检修中协同不畅、流程不规范、质量难把控的问题,提升检修工作的效率与标准化水平。核电厂检修涉及多个专业、多个岗位,流程复杂、

协同要求高,传统模式下各专业、各岗位信息脱节,沟通成本高,易出现流程混乱、责任不清、工期延误等问题。数字化检修需搭建协同作业平台,打破部门与岗位壁垒,实现检修计划、工单分配、资源调度、进度反馈等信息的实时共享,确保各专业、各岗位协同联动,高效推进检修工作。同时,需制定标准化的检修作业流程,将检修步骤、操作规范、质量标准、安全要求等固化到平台中,工作人员严格按照标准化流程开展作业,避免人工操作的随意性,确保检修质量。此外,平台需实现检修流程的全程追溯,记录每一步作业的人员、时间、操作内容等信息,一旦出现质量问题,可快速定位责任主体与问题根源,便于后续改进优化^[3]。

3 数字化管理平台在核电厂检修中的具体应用

3.1 设备健康管理

设备健康管理是数字化管理平台在核电厂检修中的核心应用,聚焦于实现核电厂各类设备的全流程健康管控,保障设备安全稳定运行。平台依托物联网技术实时采集设备运行参数,结合大数据、人工智能算法,构建设备健康评估模型,对设备运行状态进行实时监测、异常识别与健康评级,精准判断设备健康状况,识别潜在故障隐患。通过平台,工作人员可实时查看设备健康报告,清晰掌握设备运行趋势,针对不同健康等级的设备采取差异化管控措施:对健康等级良好的设备,实施定期监测,减少不必要的检修;对健康等级异常的设备,发出预警提示,及时开展针对性检修;对存在严重故障隐患的设备,立即停机检修,避免故障扩大。同时,平台自动记录设备健康数据与检修记录,形成设备健康档案,为设备故障诊断、检修计划制定提供精准支撑,实现设备健康状态的动态管控与持续优化,有效降低设备故障发生率,延长设备使用寿命,提升核电厂设备运行的可靠性与安全性。

3.2 智能工单与资源调度

智能工单与资源调度是数字化管理平台的重要应用,旨在优化检修工单管理与资源配置,提升检修工作效率,减少资源浪费。平台结合设备健康状态、检修需求,自动生成检修工单,明确工单类型、检修内容、责任人员、工期要求、所需资源等信息,实现工单的智能生成、分配与跟踪。工作人员可通过平台接收工单、反馈作业进度,管理人员实时查看工单执行情况,及时协调解决工单执行过程中出现的问题,确保工单按时完成。在资源调度方面,平台整合检修人员、工具、备件、车辆等各类资源信息,建立资源数据库,根据工单需求与资源分布情况,自动优化资源调度方案,实现资

源的精准匹配与高效利用,避免资源闲置或短缺。同时,实时监控备件库存,当备件不足时自动发出补货提醒,确保检修工作顺利推进,有效提升检修效率,降低检修成本。

3.3 检修过程可视化与协同

检修过程可视化与协同应用旨在打破传统检修的信息壁垒,实现检修过程的全程可控、协同高效。平台依托数字孪生、视频监控等技术,构建核电厂检修场景的虚拟镜像,将检修现场的设备状态、作业人员、作业进度等信息实时映射到虚拟场景中,实现检修过程的可视化监控。管理人员可通过虚拟镜像实时查看检修现场情况,远程指导工作人员开展作业,及时发现并纠正不规范操作,确保检修质量与安全。同时,平台搭建协同作业模块,实现各专业、各岗位的实时沟通与信息共享,工作人员可通过平台上传检修现场照片、视频、数据等,实时反馈作业情况,协同解决检修过程中遇到的技术难题。平台支持多终端访问,工作人员可通过手机、平板等移动终端实时接收作业指令、反馈进度,实现移动办公,打破时空限制,提升协同效率。通过检修过程可视化与协同应用,实现检修工作的透明化、协同化,减少沟通成本,避免工期延误,提升检修质量与安全性。

3.4 风险预警与安全管控

风险预警与安全管控是数字化管理平台在核电厂检修中的关键应用,贴合核电厂高安全性的核心要求,旨在提前识别检修过程中的安全风险,实现风险的精准防控。平台整合检修现场的辐射剂量、温湿度、压力等安全监测数据,结合检修作业流程、设备状态等信息,构建安全风险评估模型,实时识别检修过程中的安全隐患,包括设备故障风险、人员操作风险、环境安全风险等。当识别到安全风险时,平台立即发出分级预警,通过短信、平台消息等方式推送至相关工作人员,明确预警内容、风险等级与处置建议,提醒工作人员及时采取防控措施。同时,平台实现检修安全流程的标准化管控,将安全操作规范、防护要求等固化到平台中,工作人员需严格按照安全规范开展作业,未完成安全交底、

未佩戴防护装备的人员无法开展作业,确保检修安全。

3.5 知识管理与经验复用

知识管理与经验复用应用旨在整合核电厂检修领域的各类知识与经验,实现知识的标准化管理与高效复用,提升检修队伍的专业水平。平台构建检修知识数据库,整合检修规程、技术标准、故障案例、检修经验、培训资料等各类知识资源,对知识进行分类归档、标准化梳理,确保知识的准确性与完整性^[4]。工作人员可通过平台快速查询所需的检修知识与故障案例,学习先进检修经验,解决检修过程中遇到的技术难题,提升自身专业能力。同时平台支持工作人员上传自身的检修经验与技术总结,经过审核后纳入知识数据库,实现知识的不断积累与更新。此外,平台结合人工智能技术,对知识数据库进行深度挖掘,为检修工作提供智能化知识推荐,例如根据设备故障类型,自动推荐相关的故障处置经验与检修方案,帮助工作人员快速解决问题。通过知识管理与经验复用,实现检修知识的传承与共享,减少重复劳动,提升检修效率与质量,打造专业化的检修队伍。

结束语

数字化管理平台在核电厂检修中的应用成效显著,通过设备健康管理、智能工单调度等功能,提升了检修效率与质量,降低了运维成本与安全风险,实现了检修模式的创新变革。未来,随着技术的持续进步,数字化管理平台将不断完善,为核电厂检修提供更强大的支持,推动核电厂向智能化、绿色化方向发展,保障核能安全高效利用,助力能源行业高质量发展。

参考文献

- [1]杨云斐,杜岩松,徐佳林,等.核电厂汽轮发电机组检修数字化管理研究[J].中国机械,2022(32):78-82.
- [2]韩霏斐,陈凯明.基于数字工包的核电厂数字化维修工作链构建与实施[J].中国核电,2024,17(3):331-338.
- [3]孙涛,杨博文.重水堆核电机组汽轮机检修数字化应用研究[J].中国战略新兴产业,2025(2):106-108.
- [4]苏锦成,王振中,赵晓山,等.遗传算法在核电厂检修路径规划中的应用[J].核科学与工程,2023,43(3):595-600.