

智能化技术在水电运维管理中的应用与探索

李志远 杨开鼎

国网甘肃省电力公司刘家峡水电厂 甘肃 永靖 731600

摘要：智能化技术正深刻改变着水电运维管理模式，为水电行业的现代化发展注入新动力。本文首先阐述了智能化技术在水电运维中的基础应用，包括自动化监控、数据分析预测维护、远程控制及智能化运维管理系统；接着探索高级应用，如人工智能、物联网与5G融合、数字孪生技术及绿色智能运维；最后从经济、社会、环境三方面评估智能化技术应用的效益。研究表明，智能化技术可提升水电运维效率、保障安全稳定，实现绿色可持续发展。

关键词：智能化技术；水电运维管理；应用；探索

引言

在水电行业蓬勃发展的当下，运维管理的高效与智能成为关键诉求。智能化技术凭借其独特优势，为水电运维管理带来全新变革。从基础应用实现设备、环境等多方面实时监测与自动化操作，到高级应用探索人工智能、物联网等前沿技术的深度融合，智能化技术正全方位重塑水电运维模式。本文将深入剖析其在水电运维管理中的应用，并评估其带来的经济、社会与环境效益。

1 智能化技术在水电运维中的基础应用

1.1 自动化监控系统

(1) 设备状态监测。运用传感器网络对水轮机、发电机等水电站关键设备运行状态进行实时监测。重点监测温度、振动、压力等参数，这些参数能直接反映设备的运行状况。通过持续收集和分析这些数据，可及时发现设备潜在的问题，为设备的维护和检修提供准确依据。(2) 环境监测。对水电站内外的环境因素展开连续监测，涵盖水位、水质、气象条件等。水位变化影响水电站的发电效率与安全；水质优劣关系到设备的使用寿命；气象条件可能引发洪水、雷电等自然灾害，威胁水电站安全。持续监测这些环境因素，能提前预警，采取相应措施保障水电站稳定运行。(3) 视频监控与安防。集成视频监控系统，实现远程监控与智能分析功能。在水电站关键区域布置摄像头，可实时查看现场情况，智能分析能自动识别异常行为或事件，提升安全防范能力，保障水电运维工作安全有序进行。

1.2 数据分析与预测维护

一是大数据平台构建。搭建水电运维数据库，将设备状态监测、环境监测等各类监测数据进行全面整合。这些数据来源广泛，涵盖温度、振动、水位、水质等多维度信息，为后续的数据分析筑牢坚实基础，确保分析结果能精准反映水电站运行状况。二是故障预测模型。

运用机器学习算法对整合后的历史数据展开深入分析。通过挖掘数据中的潜在规律和模式，构建精准的故障预测模型。该模型可提前预判设备可能出现的故障，使运维人员能在故障发生前采取预防性维护措施，有效降低设备故障率，减少非计划停机时间，保障水电站稳定运行^[1]。三是能效优化分析。对水电站运行数据进行深度剖析，重点关注水轮机运行参数。依据数据分析结果，优化水轮机的转速、流量等参数，使其在最佳工况下运行，从而提高发电效率，实现能源的高效利用。

1.3 远程控制与自动化操作

第一，远程监控中心。通过构建远程监控中心，能够将水电站的各类信息集中整合，实现对水电站的集中管理。运维人员无需亲临现场，借助先进的通信技术和监控设备，便可对水电站的设备运行状态、环境参数等进行实时查看与远程操控，极大地提高了管理效率和响应速度，为水电站的稳定运行提供了有力保障。第二，自动化调度。系统依据电网的实际需求以及来水情况，自动对发电出力进行精准调整。这种智能调度方式不仅能更好地满足电网的用电需求，还能充分利用水资源，提高水能利用率，实现发电效益的最大化，同时也有助于维持电网的稳定运行。第三，应急响应系统。当水电站发生异常情况时，应急响应系统能够迅速启动预先制定的应急预案，及时采取有效的应对措施，如设备紧急停机、人员疏散等，从而最大限度地减少事故损失，确保水电站的人员和设备安全。

1.4 智能化运维管理系统

(1) 运维流程数字化。通过将水电运维的各项工作流程，转化为数字化流程，利用信息系统进行管理和跟踪，这不仅使运维工作更加规范、有序，还能显著提高工作效率，减少因人工操作和纸质记录可能带来的人为错误。(2) 运维知识库。在水电运维过程中，会积累大

量的运维经验、故障处理方法、设备技术资料等。将这些知识进行系统整理和存储,形成运维知识库。当遇到类似问题时运维人员可以快速查询知识库,获取有效的解决方案,从而缩短故障处理时间,提高运维水平^[2]。(3) 运维决策支持。借助对运维过程中产生的各类数据进行分析,挖掘数据背后的规律和趋势。利用这些数据分析结果,为运维决策提供科学依据,例如合理规划设备维护周期、优化运维人员配置、精准采购运维物资等,实现资源的优化配置,降低运维成本。

2 智能化技术在水电运维管理中的高级应用探索

2.1 人工智能在运维决策中的应用

(1) 深度学习在故障诊断中的应用。水电设备结构复杂,故障类型多样,传统诊断方法难以精准识别。深度学习技术凭借其强大的数据处理和特征提取能力,可对设备运行数据、历史故障数据等进行深度挖掘,自动学习故障特征模式,从而快速、准确地判断设备故障类型及位置,极大提高故障诊断的准确性和效率。(2) 智能运维机器人的探索应用。水电站部分区域环境复杂,人工巡检和维修存在较高风险。智能运维机器人具备自主导航、环境感知、操作执行等功能,可在复杂环境下代替人员进行巡检和维修工作,降低人员面临的风险,同时能提高巡检的频率和质量。(3) 自然语言处理在运维报告生成方面具有重要意义。运维工作中需生成大量报告,人工编写耗时费力且易出错。自然语言处理技术可对运维数据进行自动分析和整理,按照预设模板和规则,将数据转化为规范、准确的文字内容,自动生成运维报告,提高工作效率。

2.2 物联网与5G技术的融合应用

第一,高速数据传输。5G技术具备高速率、低延迟的显著特性,在水电运维场景中,当进行远程监控和控制操作时,大量设备状态数据、环境监测数据等需要实时传输。5G技术能够确保这些数据快速、稳定地传送到远程监控中心,使运维人员可以及时获取现场信息,极大提升了远程监控和控制的实时性,保障对水电站运行状况的精准掌控和快速响应。第二,大规模设备连接。借助物联网技术,水电站内种类繁多、数量庞大的设备能够实现互联互通,形成一个庞大的设备网络。无论是关键的水轮机、发电机,还是各类辅助设备,都能纳入智能化管理体系,为全面实现水电站的智能化管理奠定坚实基础^[3]。第三,边缘计算。在设备端部署边缘计算节点,可对设备产生的数据进行初步处理和分析。这样能减少不必要的数据向云端传输,降低数据传输量,同时提高数据处理和响应速度,使设备能够更快地做出调整

和决策。

2.3 数字孪生技术在水电运维中的应用

一是虚拟模型构建。借助先进的建模技术和数据采集手段,为水电站构建精准的数字孪生模型,该模型能全面、细致地反映水电站物理实体的结构、运行状态等信息,实现物理世界与数字世界的一一映射。通过这个虚拟模型,运维人员无需亲临现场,就能直观了解水电站的实际情况,为后续的运维管理提供有力支撑。二是模拟仿真与预测。基于构建的数字孪生模型,可开展各种模拟仿真实验,模拟不同工况下水电站的运行情况,提前预测设备可能出现的故障、性能变化趋势以及运行状态。根据这些预测结果,运维人员能够制定科学合理的运维策略,提前安排维护计划,优化设备运行参数,有效降低运维成本。三是运维培训与演练。利用数字孪生模型创建逼真的培训场景,让运维人员在虚拟环境中进行操作训练,熟悉设备运维流程和应急处理方法,提高人员技能水平。

2.4 绿色智能运维的实践与探索

(1) 能效提升与减排。借助智能化技术,对水电站的运维策略进行全面优化。通过对设备运行数据的深度分析,精准调整水轮机、发电机等关键设备的运行参数,使其始终处于高效运行状态,从而降低能源消耗。利用智能监控系统实时监测能耗情况,及时发现并解决能源浪费问题,而且智能化技术还能助力减少温室气体及其他污染物的排放,通过优化发电流程、提高能源利用率等方式,降低水电站对环境的影响,实现绿色发展。(2) 生态友好型运维。在水电站的设计、建设和运维全生命周期中,采取一系列措施减少对生态环境的破坏。例如,合理规划水库水位调度,保障下游生态用水需求;采用生态友好型的运维材料和工艺,减少对水体和土壤的污染,实现水电开发与生态环境的和谐共生^[4]。(3) 循环经济与资源回收。积极探索运维过程中产生的废弃物的回收利用途径,对废旧设备、零部件等进行分类回收和再制造,提高资源利用率。同时,推动运维过程中产生的余热、废水等资源的循环利用,促进水电站向循环经济模式转型,实现经济效益与环境效益的双赢。

3 智能化技术应用的效益评估

3.1 经济效益评估

一是成本节约。智能化技术实现了运维流程的自动化与智能化,减少了人工操作环节,降低了对大量运维人员的依赖,从而有效节约了人力成本。同时,借助精准的设备状态监测和故障预测功能,能够提前发现设备潜在问题,进行预防性维护。二是效率提升。智能化系

统可快速分析设备故障,精准定位故障点,大幅缩短故障处理时间,减少设备停机时间,保障水电站的持续稳定发电。此外,通过对运行数据的深度挖掘和优化,能够调整水轮机等设备的运行参数,提高发电效率,增加发电量。三是投资回报率。通过详细核算智能化技术改造的初始投资成本,以及项目实施后带来的成本节约和效率提升所带来的收益,计算投资回报率。若投资回报率达到预期或较高水平,则表明该项目在经济上是可行的,能够为水电站带来良好的经济效益。

3.2 社会效益评估

(1) 安全保障。智能化技术通过构建全面的监控与预警系统,对水电站的人员操作行为和设备运行状态进行实时监测。一旦发现异常情况,如人员违规操作、设备温度过高、振动异常等,系统能立即发出警报,及时提醒人员采取措施,有效避免事故发生,切实保障了人员的生命安全和设备的稳定运行。(2) 能源供应稳定性方面,智能化技术发挥着关键作用。借助智能调度系统和精准的预测分析功能,水电站能够根据电网需求、来水情况以及设备状态等因素,自动调整发电出力,实现能源的优化配置。在极端天气或突发事件导致来水不稳定或设备突发故障时,智能化技术可快速做出响应,调整运行策略,确保能源的持续稳定供应。(3) 社会形象提升。先进的技术手段使水电站展现出高度的现代化和科技感,体现了企业对科技创新和可持续发展的重视,增强了公众对水电站的信任和认可,提升了企业社会中的美誉度和影响力。

3.3 环境效益评估

一是减排效果。智能化技术通过优化设备运行参数、提高能源利用效率等方式,有效降低了水电站运行过程中的能源消耗。基于此,可精确量化温室气体排放的减少量,如二氧化碳、甲烷等,这些量化数据直观展示了智能化

技术对环境保护的积极贡献^[5]。二是生态保护。智能化运维系统能够实时监测水电站周边生态环境的变化,通过对数据的分析评估运维活动对生态环境的影响程度,同时检验生态保护措施的有效性。三是可持续发展。智能化技术实现了资源的高效利用,通过精准的设备维护和优化运行,提高了水资源和能源的利用效率。同时,其环境友好的特性减少了对生态环境的负面影响,推动水电行业向更加绿色、可持续的方向发展。

结语

综上所述,智能化技术在水电运维管理中展现出巨大潜力与价值,从基础应用到高级探索,全方位提升了运维水平,带来显著的经济、社会与环境效益。其不仅实现了成本节约、效率提升与安全保障,还推动了绿色发展与生态保护。未来,应持续深化智能化技术应用,不断探索创新,为水电行业的可持续发展注入强大动力,助力实现更高效、安全、绿色的能源供应目标

参考文献:

- [1]史柳阳,任培培,曹正品,等.数字孪生与大数据技术融合在水电站智能化运维中的应用[J].水电站机电技术,2025,48(4):103-106.
- [2]贾祖光.智能化技术在水利水电工程管理中的应用与发展研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):118-121.
- [3]何超,王冠琪.电气自动化技术在智能化水电厂设备运行管理中的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(3):151-154.
- [4]毛家珍,李月明,张金良,等.智能化技术在变电运维中的应用[J].石河子科技,2025(5):11-12.
- [5]张科峰.智能化技术在流域水电站设备管理中的应用[J].电力安全技术,2024,26(6):20-22+43.