

水利工程运行中设备故障预测与安全管理

刘彩侠¹ 咸秋爽² 张游³ 王玉波¹ 宗娜³

1. 徐州市南水北调工程管理中心, 中国·江苏 徐州 221008

2. 徐州市河湖管理中心, 中国·江苏 徐州 221000

3. 徐州市水利工程运行管理中心, 中国·江苏 徐州 221000

摘要: 水利工程作为国家基础设施的重要组成部分, 其设备的稳定运行至关重要。本研究聚焦于水利工程运行中设备的故障预测与安全管理。通过对水利工程设备常见故障类型、产生原因的深入分析, 探讨了基于大数据、传感器技术等先进手段的故障预测方法。详细阐述了构建完善的设备安全管理体系的关键要素, 包括设备状态监测、维护策略制定以及全生命周期管理等。旨在提高水利工程设备的可靠性和运行效率, 降低故障发生概率, 为水利工程的安全稳定运行提供有力保障, 具有重要的理论和实践意义。

关键词: 水利工程; 设备故障预测; 安全管理; 大数据; 传感器技术

Equipment Fault Prediction and Safety Management in the Operation of Water Conservancy Projects

Liu Caixia¹, Xian Qiushuang², Zhang You³, Wang Yubo¹, Zong Na³

1. Xuzhou South-to-North Water Diversion Project Management Center, China Jiangsu Xuzhou 221008

2. Xuzhou River and Lake Management Center, China Jiangsu Xuzhou 221000

3. Xuzhou Water Conservancy Project Operation Management Center, China Jiangsu Xuzhou 221000

Abstract: As an important part of national infrastructure, the stable operation of equipment in water conservancy projects is crucial. This study focuses on equipment fault prediction and safety management during the operation of water conservancy projects. Through in-depth analysis of common fault types and their causes of water conservancy project equipment, it explores fault prediction methods based on advanced technologies such as big data and sensor technology. It elaborates on the key elements of building a sound equipment safety management system, including equipment condition monitoring, maintenance strategy formulation, and full-life cycle management. The research aims to improve the reliability and operational efficiency of water conservancy project equipment, reduce the probability of faults, and provide strong guarantees for the safe and stable operation of water conservancy projects, which has important theoretical and practical significance.

Keywords: Water conservancy projects; Equipment fault prediction; Safety management; Big data; Sensor technology

0 引言

水利工程在防洪、灌溉、发电、供水等方面发挥着不可替代的作用。随着科技的不断发展, 水利工程中的设备也日益复杂和智能化, 如水轮机、闸门控制系统、泵站自动化装置等广泛应用, 显著提升了运行效率。然而, 设备在长期运行过程中难免会出现各种故障, 受环境湿度大、负载波动频繁等因素影响, 易出现磨损、腐蚀和控制系统失灵等问题, 这些故障不仅会影响水利工程的正常运行, 甚至可能引发严重的安全事故。因此, 对水利工程运行中设备进行故障预测与安全管理具有迫切性和重要性。通过有效的故障预测, 可以提前发现设备潜在问题, 及时采取维护措施; 通过安全管理, 能够保障设备始终处于良好的

运行状态, 延长使用寿命, 降低运维成本, 提高水利工程的整体效益与安全保障水平。

1 水利工程设备故障概述

1.1 常见故障类型

水利工程设备种类繁多, 常见故障类型多样。机械类设备如水泵、水轮机等, 易发生轴承磨损和叶片损坏。轴承长期运转因摩擦导致磨损, 引发振动加剧、噪音升高, 严重时造成设备停机; 叶片在高速水流冲刷下易产生裂纹、气蚀或腐蚀, 降低能量转换效率。电气设备如发电机、变压器常出现绝缘老化和短路问题, 绝缘性能下降会增加漏电与触电风险, 短路则可能引发电气火灾。控制系统故障包括传感器失灵、信号传输中断及程序逻辑错误, 致使设

备响应迟缓或误动作,影响整体运行稳定性。此外,环境湿热、水质不良与维护不足会加速故障发生。因此,需建立定期巡检、状态监测与预防性维护机制,及时发现隐患,保障水利设施安全高效运行。

1.2 故障产生原因

设备故障的产生原因是多方面的。从设备自身角度来看,制造质量不过关是重要因素之一。如果设备在生产过程中存在原材料缺陷、加工精度不够等问题,会使其在运行初期就埋下故障隐患。设备的设计不合理也会导致故障频发,例如某些部件的强度设计不足,无法承受实际运行中的负荷。运行环境也是导致故障的关键因素。水利工程设备通常处于潮湿、高温、高腐蚀等恶劣环境中,这会加速设备的老化和损坏。操作人员的不当操作和维护不及时也会引发故障。操作人员如果不按照操作规程进行设备启停、调节等操作,会对设备造成损害;维护人员未能按时对设备进行检查、保养,会使设备的小问题逐渐积累成大故障。

1.3 故障带来的影响

水利工程设备故障会带来严重的影响。在经济方面,设备故障不仅增加维修成本,如更换零部件和人工费用,还导致发电、供水等生产中断,直接影响工程效益,造成巨大经济损失。在安全方面,故障可能引发严重事故,威胁工作人员生命安全。例如,水轮机异常运行可能诱发水锤效应,导致管道破裂、机组损毁,甚至爆炸等灾难性后果。在社会影响方面,水利工程承担着供水保障、防洪减灾、农业灌溉等重要职能,设备故障可能导致城市停水、农田干旱或汛期泄洪不畅,加剧洪涝风险,扰乱居民生活,影响社会稳定与区域可持续发展。因此,加强设备维护与智能化监测,提升应急响应能力,是保障水利系统安全高效运行的关键举措。

2 水利工程设备故障预测方法

2.1 基于大数据的故障预测

随着信息技术的发展,大数据在水利工程设备故障预测中得到了广泛应用。通过在设备上安装大量的传感器,实时采集设备的运行数据,如温度、压力、振动、流量和转速等。这些数据包含了设备运行状态的丰富信息,结合气象、水文等外部环境数据,进一步提升了分析维度。利用大数据分析技术,对海量的历史数据和实时数据进行挖掘和分析,借助机器学习算法构建智能预测模型,识别设备劣化趋势。例如,通过建立数据模型,分析设备运行参数之间的关联关系,找出设备正常运行和故障状态下的数

据特征差异。当实时采集的数据出现异常变化时,系统能够及时发出预警,并定位潜在故障部位。基于大数据的故障预测具有准确性高、响应速度快、预测范围广等优点,能够提前发现设备的潜在故障,为设备的维护提供有力依据,实现从“事后维修”向“事前预防”的转变,显著提升水利系统的运行效率与安全性。

2.2 基于传感器技术的故障预测

传感器技术是设备故障预测的重要手段。不同类型的传感器可以对设备的不同参数进行监测。例如,温度传感器可以实时监测设备关键部位的温度变化,当温度超过正常范围时,可能表示设备存在异常发热问题,如电机绕组过热可能是由于过载或绝缘故障。压力传感器可以监测管道内的压力变化,判断设备的运行工况是否正常。振动传感器能够检测设备的振动情况,通过分析振动的频率、幅度等参数,判断设备是否存在机械故障,如轴承松动、转子不平衡等。传感器技术具有实时性强、精度高的特点,能够及时准确地反映设备的运行状态。通过将传感器采集的数据传输到监控系统,实现对设备的远程监测和故障预警。

2.3 基于人工智能算法的故障预测

人工智能算法在水利工程设备故障预测中展现出了巨大的潜力。神经网络算法可模拟人脑神经元结构,通过海量历史数据训练,自动提取设备运行中的异常模式与特征,实现对振动、温度、压力等多源信号的智能分析。当实时数据输入时,模型能迅速识别潜在故障并判断类型,提升响应效率。支持向量机则擅长在高维空间中构建最优分类边界,有效区分正常与故障状态,尤其适用于小样本、非线性数据场景。此外,随机森林、长短期记忆网络(LSTM)等算法也逐步应用于趋势预测与早期预警。人工智能算法具备自学习、强适应性和高效处理复杂非线性关系的能力,显著提升了故障预测的准确性、及时性与系统可靠性,为水利设备的智能化运维提供了有力支撑。

3 水利工程设备安全管理体系构建

3.1 设备状态监测

设备状态监测是安全管理体系的基础。建立完善的监测系统,综合运用各种监测手段。除了上述提到的传感器监测外,还可以采用无损检测技术对设备进行定期检测。例如,超声波检测可以检测设备内部的裂纹、缺陷等问题;红外热成像技术可以检测设备表面的温度分布,发现潜在的热点问题。对监测数据进行实时分析和处理,建立设备状态评估指标体系。通过对设备的各项运行参数进行

评估,判断设备的安全状态。例如,设定设备的温度、压力等参数的正常范围,当参数超出该范围时,对设备的安全状态进行降级评估。利用数据分析技术,对设备的状态变化趋势进行预测,为设备的维护决策提供依据。

3.2 维护策略制定

根据设备的状态监测结果,制定合理的维护策略。对于处于正常状态的设备,可采用定期维护策略,按预定周期进行检查、润滑、校准和易损件更换,预防潜在故障,延长使用寿命,保障系统稳定运行。对于状态异常但尚可运行的设备,应实施基于状态的维护(CBM),利用传感器和数据分析技术实时监控振动、温度、噪音等关键参数,动态评估安全状况,在最佳时机开展针对性维修,避免盲目停机和资源浪费。对于已发生故障的设备,须立即启动应急响应机制,制定详尽的维修方案,明确故障诊断流程、所需备件、工具及人员分工,严格执行作业规范,强化过程质量控制与安全监督,确保修复后设备性能达标并快速恢复生产。

3.3 全生命周期管理

水利工程设备的全生命周期管理包括设备的规划、设计、采购、安装、运行、维护、报废等各个阶段。在规划设计阶段,要充分考虑设备的可靠性、可维护性和经济性。选择合适的设备型号和技术参数,确保设备能够满足水利工程的实际需求。在采购阶段,要严格把控设备的质量,选择信誉良好的供应商。对设备进行严格的验收,确保设备符合设计要求。在安装阶段,要按照安装规范进行操作,保证设备的安装质量。在运行阶段,要加强设备的状态监测和维护管理,确保设备始终处于良好的运行状态。在设备达到使用寿命或无法修复时,要及时进行报废处理,避免安全隐患。通过全生命周期管理,能够提高设备的整体效益,降低设备的全生命周期成本。

4 水利工程设备安全管理的实施与保障

4.1 管理体系的建立与完善

建立健全的水利工程设备安全管理体系是实施安全管理的关键。应制定完善的管理制度和操作规程,明确各部门及岗位在设备全生命周期管理中的职责与权限,形成闭环管理机制。全面建立设备档案,系统记录设备型号、安装时间、运行参数、故障历史、维修保养等信息,实现“一机一档”动态管理。依托物联网、大数据和云计算技术,推进管理体系信息化建设,开发集成化设备管理平台,实现对泵站、闸门、水轮机等关键设备运行状态的实时监测、智能诊断与故障预警。定期开展设备安全评估,结合

运行数据与专家经验,科学制定维护计划,推动由被动维修向主动预防转变。同时,根据工程实际运行反馈和技术进步,持续优化管理流程与技术标准,提升管理的精细化、智能化水平,保障水利工程安全稳定高效运行。

4.2 人员培训与技术支持

人员的素质和技能是设备安全管理实施的重要保障。应系统化开展操作与维护人员的培训,涵盖设备结构原理、安全操作规程、常见故障识别、应急处理及预防性维护等专业知识。通过线上线下结合的方式定期组织培训课程、实操演练和技能竞赛,营造持续学习氛围,提升员工综合能力。同时,注重引进和培养高素质专业技术人才,构建多层次人才梯队。加强与高校、科研机构的产学研合作,联合攻关关键核心技术,推动故障预测算法优化、智能监测设备研发与大数据分析平台建设,将人工智能、物联网等先进技术融入设备安全管理体系,全面提升设备运行可靠性与管理智能化水平。

4.3 制度保障与监督评估

建立完善的制度保障体系,确保设备安全管理工作高效推进。制定科学的设备维护保养、故障报告和安全管理规章制度,细化各环节责任分工、操作流程与技术标准,明确岗位职责与考核机制,提升管理规范化与精细化水平。强化制度执行监督,通过日常巡查、专项检查、第三方评估及信息化监控平台,实现全过程、可追溯管理,及时发现并整改违规问题,保障制度落地见效。健全常态化监督评估机制,定期开展设备安全管理综合评价,重点考核故障率、维修成本、运行效率、使用寿命等关键指标。依托大数据分析深挖问题根源,识别高风险环节与共性缺陷,动态优化管理策略,推动预防性维护与智能监测深度融合,构建集状态感知、智能诊断、自动预警、快速响应于一体的运维闭环,全面提升设备运行可靠性、安全性与全生命周期管理效能。

5 结语

水利工程运行中设备的故障预测与安全管理是保障水利工程安全稳定运行的关键环节。通过对水利工程设备常见故障类型、产生原因和影响的分析,我们认识到设备故障的复杂性和严重性。基于大数据、传感器技术和人工智能算法等先进方法的故障预测,能够提前发现设备的潜在问题,为设备维护提供准确的信息。构建完善的设备安全管理体系,包括设备状态监测、维护策略制定和全生命周期管理,能够确保设备始终处于良好的运行状态。在实施设备安全管理过程中,建立健全的管理体系、加强人员培

训与技术支持以及完善制度保障与监督评估是必不可少的。

未来,随着人工智能、大数据和物联网技术的飞速发展,我们应深入探索智能化故障预测与安全管理系统(PHM),实现对水泵、闸门、发电机组等关键设备的实时监测与精准诊断。通过构建统一的数据平台,推动跨区域、跨工程的信息共享与协同管理,提升应急响应能力和运维效率。同时,加强行业标准制定与人才培养,促进先进经验和技术成果在不同水利工程间的推广应用,全面提升设备管理的科学化、精细化水平,为水利工程安全高效运行和国家可持续发展提供坚实支撑。

参考文献:

[1] 孙芳. 试论大中型水利工程机电设备常见问题分析与处理[J]. 区域治理, 2019,(11):215.

[2] 杨硕瀚, 陈铁. 基于灰色系统理论的水利工程电气主接线故障监控模型研究[J]. 水利水电技术, 2020,51(10):88-95.

[3] 徐晓莉, 刘哲, 钮月磊等. 水利工程机电设备故障细化诊断与智能运维方法研究[J]. 江西水利科技, 2023,49(1):39-44.

作者简介: 刘彩侠(1978-), 女, 江苏铜山, 本科, 研究方向: 水利工程运行管理。