

Study on the risk control measures in the operation and dispatching of water conservancy and hydropower projects

Yuefeng Zhou Yongpo Guo Zhida Feng

Jiaozuo Yellow River Bureau Wen County Yellow River Bureau, Jiaozuo, Henan, 454000, China

Abstract

The operation and scheduling of water conservancy and hydropower projects is directly related to the project benefit and the utilization efficiency of water resources, but due to the influence of various uncertain factors, the dispatching process faces great risks. Hydrometeorological changes, equipment operation status, scheduling decision quality and human operation may lead to project operation deviation and even cause serious consequences. Based on the basis of analyzing the basic theory of operation scheduling of water conservancy and hydropower projects, combing the main risk points of operation scheduling, including hydrometeorological uncertainty risk, equipment operation and maintenance risk, scheduling management risk and artificial operation and emergency risk, and puts forward corresponding control strategies for these risks, which helps to improve the stability and security of operation scheduling of water conservancy and hydropower projects.

Keywords

water conservancy and hydropower projects; operation scheduling; risk analysis; management and control strategy; safety management

水利水电工程运行调度中的风险管控措施研究

周跃峰 郭永坡 冯志达

焦作黄河河务局温县黄河河务局, 中国·河南焦作 454000

摘要

水利水电工程运行调度直接关系到工程效益与水资源利用效率,但受多种不确定性因素影响,调度过程面临较大风险。水文气象变化、设备运行状况、调度决策质量及人为操作均可能导致工程运行偏差,甚至引发严重后果。本文在分析水利水电工程运行调度的基本理论基础,梳理运行调度中的主要风险点,包括水文气象不确定性风险、设备运行与维护风险、调度管理风险以及人为操作与突发事件风险,并针对这些风险提出相应的管控策略,有助于提升水利水电工程运行调度的稳定性和安全性。

关键词

水利水电工程; 运行调度; 风险分析; 管控策略; 安全管理

1 引言

水利水电工程是水资源开发与利用的重要基础设施,承担着防洪、灌溉、供水、发电等多重功能,其运行调度的科学性和合理性直接影响区域水资源的优化配置。然而,在复杂的自然环境和运行条件下,水利水电工程调度面临诸多风险,涉及水文气象变化、设备运行状态、管理决策水平及突发事件应对能力等多个方面。近年来,随着极端气候事件频发,水资源的不确定性加剧,调度管理的难度进一步上升,传统调度方式在适应性和安全性方面面临挑战。如何科学识别运行调度中的风险点,并采取有效的管控措施,成为提升工程运行效率和安全性关键问题。本文基于水利水电工程

运行调度的理论基础,分析其主要风险类型,并提出针对性的风险管控策略,以期水利水电工程的安全、高效运行提供理论支撑和实践指导。

2 水利水电工程运行调度的理论基础

水利水电工程运行调度是指在特定水文、气象、用水需求和电力负荷条件下,通过科学合理的调度手段,对工程设施进行优化控制,以实现水资源和电能的高效利用。调度涉及水库蓄放水管理、水电站负荷调整、泄洪调控等环节,依托实时监测和预测数据,对来水、库容、发电量及下游需求进行综合平衡。调度方式包括常规调度、优化调度和应急调度,依据不同的运行目标和环境条件进行动态调整。高效的调度管理能够最大限度地减少水资源浪费,保障供水安全,提升水电效益,同时降低洪水灾害风险,提高工程运行的整体安全性与稳定性。水利水电工程运行调度的目标是优

【作者简介】周跃峰(1981-),男,中国河南温县人,工程师,从事水利水电工程运行与管理研究。

化水资源配置,提高水能利用率,保障供水、防洪、灌溉及发电等功能的协调运行。

3 水利水电工程运行调度中的风险点分析

3.1 水文气象不确定性风险

水文气象变化直接影响水利水电工程的运行调度,全球气候变化导致极端天气事件频发,增加调度的不确定性。近年来,中国部分流域年降水量波动幅度超过20%,长江流域最大洪峰流量在近10年内增长约15%,而黄河流域部分区域径流量下降超过10%。突发性暴雨可能在短时间内引发洪水,例如2021年河南暴雨24小时最大降水量达624.1毫米,超过多年平均月降水量的3倍,导致多个水库超汛限水位,调度难度显著上升。枯水期来水减少直接影响水电站发电能力,2022年四川枯水期水电发电量下降30%以上,导致大规模限电。水文预测误差进一步加剧调度难度,当前洪水预报平均误差在15%以内,但局部短时暴雨误差仍超过30%,影响调度决策的科学性。

3.2 设备运行与维护风险

水利水电工程运行涉及大量机电设备,设备故障将影响调度安全与效率。全国大型水电站机组平均运行寿命约40年,但部分机组已连续运行超过50年,老化问题导致故障率上升。近5年,中国主要水电站年均设备故障率约为2%,个别老旧机组故障率超过5%,直接影响电力输出稳定性。水轮机叶片磨损、主轴轴承过热、电气系统短路等问题是常见故障类型,导致设备检修不足,突发故障增多。应急备件供应不足也是关键问题,部分核心零部件采购周期长达6个月,延误维修进度,影响调度可靠性。

3.3 调度决策与管理风险

水利水电工程运行调度需要精准决策,调度管理风险主要来源于信息不完善、调度方案滞后以及应急处置能力不足。当前我国部分流域调度数据采集覆盖率不足80%,部分水文站点数据更新滞后2小时以上,影响实时调度精度。调度方案依赖历史经验,部分调度指令响应周期超过6小时,在突发情况下难以及时调整。管理协调问题也会增加风险,全国70%以上的大型水电站由多个管理部门联合调度,不同部门间的信息共享和指令协调存在延迟,目前全国约40%的水电站仍依赖人工调度,缺乏智能优化手段,导致调度效率受限。

3.4 人为操作与突发事件风险

水利水电工程运行涉及大量人工操作,人员误操作可能引发严重事故。统计数据显示,全国每年因人为失误导致的水利工程运行事故占比超过25%,部分事故造成严重经济损失。例如,某水电站因值班人员误操作泄洪闸门,导致下游水位急剧上涨,经济损失超1亿元。部分水电站运行人员专业素质参差不齐,全国水电站运行人员持证上岗率约为85%,部分小型水电站低于60%,培训体系不足增加操作风

险。夜间值班管理薄弱也是风险因素,统计表明60%以上的误操作事故发生在夜间值守期间。突发事件方面,地震、泥石流等自然灾害可能对调度造成直接威胁,2022年四川泸定地震导致某水库大坝变形超10厘米,紧急调度失败增加工程风险。网络安全风险同样不可忽视,近年来针对水电站控制系统的网络攻击事件增加,某水电站曾因黑客入侵导致调度系统短暂失灵,影响供电长达2小时。

4 水利水电工程运行调度风险的管控策略

4.1 水文气象不确定性风险的管控策略

4.1.1 强化水文监测与预报精准度

提升水文监测与预报精准度需要依托先进技术和完善的监测体系,建设高密度水文监测站点,提高实时数据采集的覆盖率和更新频率。应用雷达测雨、遥感技术及无人机巡测,提高降水、径流及库水位变化的监测精度,减少数据误差。优化水文模型算法,结合历史水文数据和气象变化趋势,提高洪水及枯水期预测的准确性。利用大数据分析和人工智能技术,增强短临预报能力,实现对突发性极端天气的快速响应。加强跨部门水文信息共享机制,提高水库、流域管理机构 and 气象部门之间的数据互通效率,确保调度人员能够实时掌握精确的水情信息,为科学调度提供有力支撑。

4.1.2 优化调度方案的适应性调整机制

构建灵活的调度方案调整机制需要提升调度策略的动态适应能力,根据水文气象变化实时优化调度方案。建立多层次调度预案库,针对不同水情场景设置可行性方案,提高突发情况下的响应速度。引入智能调度系统,结合实时监测数据和预测结果,自动优化水库蓄泄水计划,提高调度精准度。加强流域协调管理,建立上下游联动调度机制,实现多座水库的联合优化调度,减少个别水库承受极端水文条件的压力。完善调度风险评估体系,定期模拟不同水情下的调度执行情况,及时发现方案缺陷并进行调整,提高调度方案对极端气候事件的适应能力。

4.2 设备运行与维护风险的管控策略

4.2.1 强化设备巡检与故障预警系统

构建高效的设备巡检与故障预警系统需要提升巡检频率,建立全面的设备状态监测网络,确保运行参数实时监控。引入智能监测传感器,实现对水轮机、变压器、闸门等关键设备的远程实时监控,提高异常工况识别能力。优化巡检流程,采用无人机、机器人等智能巡检技术,提高巡检覆盖率和精准度,减少人工巡检盲区。建立数据驱动的设备预测模型,通过历史数据分析设备运行趋势,实现对关键部件的寿命预测,提前采取预防性措施。加强巡检人员培训,提高专业素养,确保能够准确判断设备状态,及时发现并处置潜在故障,降低突发故障带来的调度风险。

4.2.2 优化设备维护与应急维修机制

完善设备维护体系需要构建科学的维护管理制度,推

行预防性维护模式,减少突发故障对调度的影响。建立设备运行健康评估系统,定期进行检测和诊断,提前发现隐患并进行针对性维修,减少因设备故障导致的非计划停运。优化备件储备策略,建立关键零部件快速供应机制,缩短维修周期,提高故障处置效率。完善应急维修预案,建立专业维修团队,确保突发情况下能够快速响应,减少设备故障对调度运行的影响。加强维修人员培训,提高应急处理能力,确保在极端天气或突发事故情况下能够高效完成设备抢修,保障水利水电工程运行调度的稳定性。

4.3 调度决策与管理风险的管控策略

4.3.1 强化调度管理制度与应急响应体系

完善调度管理制度需要构建规范化、科学化的调度流程,明确各级管理机构 and 调度人员的职责,确保调度指令执行的高效性和一致性。建立调度风险评估机制,定期开展运行分析和演练,提前识别潜在调度风险,优化调度预案。强化多部门协调管理,建立信息共享平台,提高水库、流域管理单位及电力调度中心的协同作业能力。健全应急响应体系,完善极端水文事件和设备故障情况下的调度预案,确保调度人员能够在突发情况下迅速调整水库运行策略。定期组织应急演练,提高调度人员在紧急情况下的决策能力,减少调度管理失误对工程安全和供水稳定性的影响。

4.3.2 优化智能调度系统与数据分析支持

提升调度智能化水平需要引入先进的信息技术,构建基于大数据分析和人工智能的智能调度系统,提高调度决策的精准度和时效性。建立水文、设备运行和电力负荷等多源数据融合平台,实现实时监测数据的高效整合和分析,提高调度策略的科学性。优化调度算法,结合历史运行数据和气象预测结果,动态调整水库蓄泄方案,提升调度灵活性。引入智能预警模型,通过数据分析自动识别潜在风险,提高调度响应速度。加强调度系统的可视化展示功能,提升调度人员对水库运行状态的掌控能力,提高调度方案的执行效率和适应能力。

4.4 人为操作与突发事件风险的管控策略

4.4.1 强化人员培训与操作规范监督

提高调度人员的专业能力需要建立系统化培训机制,定期组织水利水电工程调度相关知识、设备操作及突发情况应对的专项培训,确保调度人员具备应对复杂工况的能力。推行标准化操作流程,严格执行调度规程和技术规范,减少人为误操作的可能性。建立调度操作监督体系,引入实时监控和审核机制,对调度指令执行过程进行记录和分析,发现

异常情况及时纠正。完善持证上岗制度,提高调度岗位准入门槛,确保操作人员具备合格资质。定期开展技能考核,通过模拟实操演练检验人员应急处置能力,增强对突发事件的响应速度和执行能力,提高调度管理的安全性和规范性。

4.4.2 优化突发事件应急处置预案

完善应急处置体系需要建立针对不同突发事件的分类应急预案,提高调度管理的快速响应能力。构建实时监测与预警系统,提升极端气象、设备故障、水库超载等突发状况的识别效率,确保调度人员能够迅速采取应对措施。建立应急指挥机制,明确调度指令的传递流程,减少决策延误,提高应急响应速度。优化水库调度预案,制定灵活的水位调控方案,确保在突发情况下能够快速调整蓄泄水策略,降低事故风险。组织定期演练,模拟不同类型突发事件,提高调度人员的应急实战能力,确保调度指令能够高效执行,最大程度减少突发事件对水利水电工程运行的影响。

5 结语

水利水电工程运行调度涉及多种不确定性因素,科学合理的风险管控对于保障工程安全、高效运行至关重要。水文气象变化、设备故障、调度管理缺陷及人为操作失误均可能对调度效果产生不利影响,需要通过强化水文监测、优化调度方案、提升设备管理水平、完善调度决策机制及加强人员培训等手段降低风险。智能调度技术和数据分析支持能够提高调度精准度,增强对突发事件的应对能力。健全应急管理体系,提升协调调度能力,有助于减少极端水文事件和设备故障造成的损失。水利水电工程的运行调度需要在科学管理和技术创新的基础上不断优化,提高调度体系的适应性和稳定性,以应对未来复杂多变的水资源和能源需求,确保水资源的合理利用和电力供应的安全稳定。

参考文献

- [1] 王凤羽.水利水电工程运行调度中的风险管理探讨[J].水电站机电技术,2024,47(03):105-108.
- [2] 刘小莲.梯级泵站调水工程调度运行关键技术及应用实践研究[M].中国水利水电出版社:202307.
- [3] 段政.调水工程调度运行过程风险分析及对策[J].科技资讯,2023,21(01):142-145.
- [4] 李智勇.综合利用水利工程PPP项目收益损失计算和补偿方法研究[M].中国水利水电出版社:202211.
- [5] 李强,龙镇.水利水电工程运行调度中的风险管理[J].中国防汛抗旱,2021,31(S1):41-43.