

大型水库汛期调度中泄洪设施操作规范性分析

张洁蔚

信阳市鲇鱼山水库事务中心 河南信阳 465350

DOI: 10.12238/ems.v8i1.17709

[摘要] 泄洪设施操作规范性是保障大型水库汛期安全运行的核心要素。本文围绕大型水库汛期调度需求,构建了泄洪设施操作规范性分析体系。通过建立涵盖操作流程、设备状态、环境监测等维度的规范性指标,运用多源数据采集技术整合泄洪过程与设备数据;借助数据分析与建模算法实现操作行为精准评估;设计操作规范制定、执行监督与动态优化流程,建立完善的管理机制;规范实施流程并进行效果验证与改进。该体系旨在提升泄洪设施操作的科学性、安全性与有效性,降低洪涝灾害风险,保障水库工程安全与区域防洪安全。

[关键词] 大型水库;汛期调度;泄洪设施;操作规范;数据分析算法

在水利工程管理中,汛期泄洪调度是大型水库抵御洪水灾害、保障区域安全的关键环节。传统的泄洪设施操作存在流程不规范、应急响应滞后等问题,难以应对复杂多变的洪水形势。操作规范性作为衡量泄洪设施运行管理水平的重要标准,将其融入汛期调度体系,能够依据实时水情与工程状态科学决策,充分发挥水库防洪减灾作用。构建基于操作规范性的泄洪调度管理体系,有助于提升水库安全运行能力,保障人民生命财产安全。

1 泄洪设施操作规范性指标构建与数据采集

1.1 操作规范性指标体系设计

泄洪设施操作规范性指标需涵盖操作流程、设备状态、环境监测等多维度。操作流程维度可设置指令响应时间、操作步骤完整性等细分指标。以指令响应时间为例,当遭遇突发洪水险情时,从接收调度指令到启动泄洪设备的时间需严格控制在5分钟以内,以确保应急处置的及时性;操作步骤完整性则要求操作人员严格按照《水利工程泄洪操作标准规程》执行,杜绝漏操作、误操作现象。设备状态维度包含闸门启闭精度、设备运行稳定性等内容,其中闸门启闭精度需达到±2厘米误差范围,通过定期校准与维护保障设备精准运行;设备运行稳定性则通过监测电机振动频率、轴承温度等参数,结合故障预测模型进行评估。环境监测维度则关注上下游水位变化、气象预警信息等方面,借助卫星遥感与雷达监测技术,实时获取流域内降雨分布与河道行洪能力数据。

指标设计需遵循科学性、合理性、可操作性原则,通过文献研究、行业调研、水库实际运行情况等方式,结合泄洪设施特点,确定各指标权重。采用层次分析法(AHP)构

建判断矩阵,例如在某中型水库中,操作流程维度权重占比40%,设备状态维度占35%,环境监测维度占25%,确保规范性指标能够真实反映操作管理水平。同时引入德尔菲法,组织10位以上水利领域专家进行多轮意见征询,对指标体系进行优化完善。

1.2 多源数据采集技术

数据采集需整合泄洪过程数据与设备运行数据。泄洪过程数据可通过水位传感器、流量监测仪记录实时水位、泄洪流量等,其中水位传感器采用高精度压力式水位计,测量精度达±1厘米,支持远程无线传输;流量监测仪则采用多普勒超声波流量计,可在复杂水流条件下实现非接触式精准测量。设备运行数据借助自动化控制系统记录闸门开度、电机运行参数等,通过安装在设备关键部位的传感器,将数据实时上传至云平台进行存储与分析。环境数据则收集气象部门预警信息、上下游水文站点监测数据等,与气象局、水文局建立数据共享接口,实现分钟级数据更新。

采集过程中需采用数据加密、脱敏等技术,保障水利数据安全。采用国密SM4算法对传输数据进行加密,对涉及个人信息、工程核心参数等敏感数据进行脱敏处理。同时对采集的数据进行清洗与预处理,利用Python编写数据清洗脚本,通过异常值检测(3σ原则)、重复值去除、缺失值插补(K近邻算法)等操作,去除无效数据,为后续操作规范性评估提供高质量数据源。建立数据质量评估体系,从完整性、准确性、及时性三个维度对数据进行评分,确保数据可用率不低于98%。

2 数据分析算法在操作规范性评估中的应用

2.1 数据统计分析在操作规范性评估中的应用

在操作规范性评估方面，数据统计分析技术可对泄洪过程与设备运行数据进行处理。通过描述性统计分析，计算均值、标准差等指标，了解操作效率与设备运行的整体水平。例如，对某水库近一年的闸门启闭时间进行统计，计算出平均启闭时间为 8 分钟，标准差为 1.5 分钟，据此评估设备运行效率与稳定性。利用分组统计分析不同操作人员、时段的操作表现差异，将操作人员分为初级、中级、高级三个组别，对比分析不同组别在指令响应速度、操作失误率等指标上的差异；按季度划分时段，分析汛期与非汛期操作规范性变化趋势。结合预设的规范标准，判断操作是否达标及存在的问题，实现对操作行为的量化评价。建立操作行为评分模型，将统计分析结果转化为具体分数，为人员考核与培训提供数据支持。

2.2 建模预测算法

建模预测算法用于制定合理的操作规范标准。基于历史泄洪数据，运用回归分析、时间序列分析等算法，建立操作行为与影响因素的数学模型。以某流域洪水调度为例，通过分析过去 20 年的降雨、水位、泄洪流量等数据，构建基于 ARIMA 模型的洪水演进预测模型，预测不同洪水工况下的合理操作流程与参数。通过机器学习中的决策树、随机森林等算法，对操作行为进行分类与预测。收集操作人员在不同场景下的操作数据，训练决策树模型，实现对操作行为的合规性自动判断；利用随机森林算法预测未来洪水发生概率及强度，为动态调整操作规范提供依据。引入强化学习算法，通过模拟不同操作策略下的泄洪效果，自动优化操作规范，确保规范标准的科学性与前瞻性。

2.3 异常检测算法优化操作管理

利用异常检测算法识别泄洪过程中的异常操作数据，如违规操作步骤、设备异常运行情况。通过聚类分析、孤立森林等算法，发现偏离正常操作模式的数据点。以孤立森林算法为例，对设备运行参数进行实时监测，当检测到电机电流突然升高超过正常范围 150% 时，系统自动发出预警。深入分析异常原因，通过关联规则挖掘技术，分析异常数据与其他参数之间的潜在关系，例如发现电机电流异常与闸门卡滞存在强关联。及时纠正违规操作或调整设备运行状态，建立异常处理专家系统，根据异常类型自动推送处理方案，避免因异常操作导致的安全风险，实现精准的操作管理与风险防控。

同时建立异常操作案例库，定期对案例进行复盘分析，总结经验教训，持续优化异常检测算法。

3 泄洪设施操作规范性协同管理机制设计

3.1 操作规范制定流程

在泄洪设施操作规范制定过程中，成立由水利工程、水文气象、运行管理等部门组成的规范管理小组，负责收集运行数据、分析泄洪设施特点。采用项目管理模式，明确各部门职责与分工，例如水利工程部门负责设备技术参数分析，水文气象部门提供洪水预测数据，运行管理部门反馈实际操作问题。先通过历史数据统计与行业对标确定初始操作规范标准，收集国内外同类水库的操作规范，结合本水库实际情况制定初稿。再组织操作人员参与讨论，开展“规范制定-操作反馈-优化完善”的循环迭代。通过现场座谈会、问卷调查等方式收集操作人员意见，例如某水库在规范制定过程中，收集到 32 条有效建议，涉及操作流程简化、设备参数调整等方面，根据反馈对规范进行调整优化，确保规范标准既具有指导性，又符合实际操作需求。建立规范制定专家评审制度，邀请行业权威专家对规范进行论证，确保规范的科学性与权威性。

3.2 执行监督设计

设计合理的执行监督机制，将操作规范性执行情况与人员考核直接挂钩。设置基础考核保障操作基本要求，将指令响应时间、操作步骤完整性等核心指标纳入基础考核，未达标者扣除相应绩效分数。绩效奖励根据规范执行质量进行浮动发放，建立操作质量评分体系，从操作效率、设备维护、安全记录等维度进行评分，评分前 10% 的人员给予双倍绩效奖励。对严格遵守规范且表现突出的人员给予额外奖励，例如授予“操作标兵”称号，并给予物质奖励与职业发展倾斜。对于违规操作行为，建立责任追溯与处罚机制，利用操作日志与视频监控系统，对违规操作进行全过程追溯，根据违规严重程度给予警告、罚款、停职等处罚。通过明确的考核规则，让操作人员清晰了解操作规范与奖惩关系，强化规范执行意识。同时建立考核申诉机制，保障操作人员合法权益。

3.3 动态优化机制

建立动态优化机制，根据水库运行工况、洪水特性、技术进步等因素，定期对操作规范与监督方案进行评估与调整。制定年度评估计划，每年组织一次全面评估，采用 SWOT 分析法对操作规范性管理体系进行分析，识别优势、劣势、机会

与威胁。当水库工程改造、设备升级时，及时更新操作规范，例如某水库进行闸门自动化改造后，重新制定了闸门远程控制操作规范。依据洪水预报与实际调度经验，优化操作流程与参数，利用数值模拟技术对不同操作方案进行仿真分析，选取最优方案。引入新技术、新方法对管理体系进行升级，例如将物联网、大数据技术应用于操作规范性管理，实现智能化监测与决策。建立反馈驱动的优化机制，将操作人员反馈、设备运行数据、洪水调度效果等作为优化依据，持续改进操作规范性管理体系，确保其始终适应水库运行需求。

4 实践实施与效果保障

4.1 实施流程管理

制定详细的实施流程，明确各环节的时间节点与操作要求。在准备阶段，完成数据采集、操作规范制定与考核方案设计。成立数据采集专项小组，按照既定的数据采集方案，完成各类传感器安装与调试，确保数据采集系统稳定运行；组织规范编制小组，完成操作规范初稿编制；设计考核方案，明确考核指标、考核方式与奖惩标准。实施阶段，严格按照方案执行，做好操作人员培训与宣贯。采用“理论培训+实操演练”的培训模式，邀请专家进行理论授课，组织操作人员在模拟环境下进行实操训练；通过张贴海报、发放手册、开展知识竞赛等方式进行宣贯，提高操作人员对规范的认知度。监控阶段，实时跟踪操作数据与考核情况，建立监控预警平台，对操作数据进行实时分析，当出现异常时自动报警；定期对考核情况进行汇总分析，及时发现问题并采取措施解决。最终对实施效果进行总结评估，从操作规范性提升、设备运行效率改善、安全事故减少等方面进行全面评估，为后续改进提供参考。对实施过程中的关键操作进行记录，利用区块链技术确保记录的真实性和不可篡改，便于追溯与问题分析。

4.2 实施效果验证与改进

通过多种方式验证实施效果的有效性。对比实施前后水库泄洪调度效率、设备故障率的变化，采用统计学方法对数据进行显著性检验，分析操作规范性管理体系对水库运行的促进作用。例如某水库实施操作规范性管理后，泄洪调度效率提升 20%，设备故障率降低 30%。收集操作人员对规范执行与考核方案的满意度反馈，设计满意度调查问卷，从规范合理性、考核公平性、培训效果等维度进行调查，根据调查结果对管理措施进行优化。结合防洪减灾效益与运行成本指标，

检验规范管理的合理性。通过建立效益评估模型，计算减少的洪水损失、节约的设备维护成本等效益；对比实施前后的运行成本，评估规范管理的经济性。根据验证结果，及时调整操作指标、优化考核机制或改进协同管理流程。例如根据操作人员反馈，对操作规范中部分复杂流程进行简化；根据成本效益分析，调整考核指标权重，持续提升泄洪设施操作规范性管理效果。建立持续改进机制，将效果验证与改进纳入常态化管理，推动泄洪设施操作规范性管理水平不断提升。

5 结束语

随着水利工程管理向智慧化方向持续发展，以及物联网、大数据分析等前沿技术在水利行业的深度应用，该管理体系将围绕三个维度进行系统性升级。其一，通过引入实时监测预警系统，构建动态化操作风险评价模型，实现调度流程的智能预警与自适应优化；其二，结合区块链技术搭建操作记录追溯平台，建立从调度指令下达至操作完成的全流程数据链，强化责任溯源机制；其三，基于操作人员能力图谱开发个性化培训模块，将操作技术创新与人才培养体系深度融合。通过这一系列举措，不仅能精准适配水库动态调度管理需求，还将通过管理优化与技术创新的良性互动，全面提升水库运行管理效能。值得关注的是，该研究成果所形成的“技术驱动-管理优化-人才赋能”三位一体模式，可为流域防洪调度、水利枢纽运行等多领域的管理体系改革提供可复制的实践路径，在智慧水利建设浪潮中发挥广泛的示范价值。

[参考文献]

- [1] 许晓瑞, 李瑞, 张敏. 某水库汛期防洪调度方案研究[J]. 中国水运, 2024, 24(16): 85-87.
- [2] 袁晶, 杨成刚. 三峡水库汛期沙峰预报技术及排沙调度实践[J]. 长江科学院院报, 2024, 41(07): 1-7.
- [3] 张验科, 张建新, 卢焱键, 等. 中小水电站水库汛期运行调度多目标风险分析[J]. 水电能源科学, 2023, 41(12): 58-62.
- [4] 李松鹤. 洮儿河流域察尔森水库汛期调度方案分析[D]. 吉林大学, 2018.
- [5] 彭帅, 高金燕, 潘飞. 科学研判统筹兼顾灵活调度充分发挥桃林口水库拦洪调蓄作用——桃林口水库 2024 年汛期调度运用回顾[J]. 河北水利, 2024, (11): 12-13+16.