

水文数据在工程运行调度中的实操应用方法

陈楠

乐清市水利局, 浙江省乐清市, 325600;

摘要: 本文围绕水文数据在工程运行调度中的实操应用方法展开深入研究。首先系统介绍了水文数据的采集方式, 包括实地监测、遥感技术、气象站数据整合及共享平台建设等, 并阐述了数据清洗、缺失值填补、标准化等预处理关键步骤。在此基础上, 剖析了基于水文数据的水资源评估与风险预警原理, 揭示其在工程决策中的核心作用。针对水利、水电、航运三类典型工程, 分别探讨了水文数据在水库调度、灌溉管理、堤防维护、发电优化、航道规划等场景的具体应用策略。同时, 研究了机器学习与统计分析两类数据驱动模型的构建方法, 以及交叉验证、特征优化、集成学习等模型优化策略。研究旨在为工程运行调度提供科学方法与思路, 助力提升工程运行的安全性与效率, 具有重要的实践价值。

关键词: 水文数据; 工程运行调度; 应用方法; 模型构建

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 08. 029

水文数据作为工程运行调度的基础性资源, 其应用水平直接影响工程决策的科学性与可靠性。当前, 随着物联网、遥感等技术的快速发展, 水文数据采集已实现从传统单点监测向全域实时监测的转变, 数据规模与精度显著提升。然而, 如何将海量多源的水文数据有效转化为工程调度的决策支持信息, 仍是行业面临的关键技术难题。这既涉及数据预处理方法的创新, 也需要针对不同工程类型建立差异化的应用框架, 同时要求数据驱动模型具备更强的泛化能力。本文聚焦水文数据在工程运行调度中的实操应用, 旨在构建系统化的应用方法体系, 为提升工程运行的经济效益与社会效益提供切实可行的解决方案。

1 水文数据的采集与预处理

1.1 水文数据的采集方法

水文数据的采集是工程运行调度的基础, 其采集方法多种多样。常用的有实地监测法, 通过在河流、湖泊等水域设置水位计、流速仪等设备, 实时获取水位、流量等数据^[1]。这种方法能够提供较为准确和详细的现场数据, 但监测范围有限, 且需要投入大量的人力和物力进行设备维护和数据记录。

遥感技术也是重要的采集手段之一。利用卫星、无人机等遥感平台, 能够大范围、快速地获取水域的面积、水位变化等信息。遥感数据具有覆盖范围广、更新速度快的优点, 但数据的精度相对较低, 需要进行后期的校正和处理。

此外, 还可以通过气象站获取降水、气温等气象数

据, 这些数据与水文情况密切相关, 能够为水文数据的分析和预测提供辅助信息。同时, 建立水文数据共享平台, 整合不同部门和地区的水文数据, 也是丰富数据来源的有效途径。

1.2 水文数据的预处理

采集到的原始水文数据往往测量误差、数据缺失等问题, 需要进行预处理^[2]。首先是数据清洗, 通过设定合理的阈值, 去除明显异常的数据点。例如, 当水位数据出现超出历史记录极大值或极小值时, 可判断为异常数据并进行剔除。

对于缺失值的处理, 可以采用插值法进行填补。常用的插值方法有线性插值、样条插值等。线性插值是根据相邻两个数据点的值, 按照线性关系估算缺失值; 样条插值则能够提供更平滑的插值曲线, 适用于数据变化较为复杂的情况。

数据标准化也是预处理的重要环节。将不同类型、不同量级的水文数据进行标准化处理, 使其具有相同的尺度和范围, 便于后续的数据分析和模型构建。常用的标准化方法有 Z-score 标准化、Min-Max 标准化等。

2 水文数据在工程运行调度中的应用原理

2.1 基于水文数据的水资源评估

水资源评估是工程运行调度的重要依据。通过分析水文数据中的流量、水位等信息, 可以计算出水资源的总量和可利用量。例如, 根据多年的流量数据, 采用频率分析方法, 确定不同保证率下的水资源量。

同时, 结合降水数据和蒸发数据, 评估水资源的补

给和消耗情况。在干旱地区,降水数据对于判断水资源的稀缺程度至关重要;而在湿润地区,蒸发数据则会影响水资源的有效利用。

此外,还可以利用水文数据评估水资源的质量。通过监测水中的污染物含量、酸碱度等指标,判断水资源是否符合工程用水的要求^[3]。对于水利工程而言,优质的水资源能够减少设备的腐蚀和损坏,提高工程的运行效率。

2.2 基于水文数据的风险预警

水文数据能够为工程运行中的风险预警提供关键信息。通过实时监测水位、流量等数据,当数据超过设定的警戒值时,及时发出预警信号。例如,在洪水期,当水位快速上涨接近警戒水位时,可提前启动防洪预案,采取泄洪等措施,保障工程和周边地区的安全。

同时,结合气象预报数据和历史水文数据,进行洪水、干旱等灾害的预测。利用数值模拟模型,分析不同气象条件下的水文变化趋势,提前做好应对准备。对于水电工程而言,准确的风险预警能够避免因洪水等灾害导致的设备损坏和停电事故。

此外,还可以对水质恶化等风险进行预警。当水中污染物含量突然升高时,及时采取措施,如调整取水口位置、加强水质净化处理等,保障工程用水的安全。

3 不同类型工程中水文数据的应用策略

3.1 水利工程中的应用

在水利工程中,水文数据是水库调度的核心依据,其精准性直接影响调度决策的科学性^[4]。通过实时监测入库流量、水位变幅及流域降水过程,可动态调整水库蓄泄策略:洪水期结合洪水预报模型,分时段控制泄洪流量,将下游河道水位控制在安全阈值内,如淮河某水库通过流量数据联动调度,使下游防洪压力降低30%;枯水期则依据来水预测,按梯级分配出库流量,保障沿岸城市供水与农业灌溉的基本需求。

基于水文数据的灌溉调度可实现水资源高效利用。通过整合土壤墒情传感器数据、区域降水频次及作物生育期需水曲线,构建动态灌溉模型。例如,华北平原灌溉区利用降水距平百分率与土壤湿度数据,精准制定小麦拔节期的灌溉周期与单次灌水量,使水资源利用率提升15%-20%。

堤防工程的安全运维同样依赖水文监测数据。通过布设水位计与流速仪,实时追踪河道水位涨幅与行洪流速,结合堤防结构参数评估抗滑稳定系数。当监测数据

超出预警值时,及时启动抛石固脚、防渗灌浆等应急加固措施,如长江中游堤防通过该机制成功规避多次管涌风险。

3.2 水电工程中的应用

在水电工程中,水文数据是平衡发电效率与运行安全的关键。通过实时监测流量与水头数据,动态优化水轮机运行参数:丰水期流量充足时,调增导叶开度提升出力,如三峡电站汛期利用流量数据实现单机效率提升5%;枯水期流量偏小时,则通过调整转轮转速避免设备空转,减少机械损耗。

基于水文数据的水库优化调度可最大化发电效益。结合入库流量预测、水位变幅限制及电网发电计划,构建多目标调度模型,如溪洛渡电站通过该模型使年发电量增加2-3亿千瓦时。

水文数据对电站安全运行至关重要。洪水期通过加密监测入库流量与洪峰演进速度,提前启动闸门预泄、机组停机等防洪措施,如小浪底电站利用流量数据成功应对多次超标准洪水,保障设备与人员安全。

3.3 航运工程中的应用

在航运工程中,水位和流速数据是航道规划与船舶调度的核心依据。依据实时水位数据核定航道实际水深,当水位低于通航标准时,及时启动疏浚作业以保障船舶吃水安全;水位超限时,通过智能航标系统引导船舶分道航行,降低碰撞风险,如长江中下游航道借此将事故率降低25%。

流速数据直接影响船舶能耗与航速规划。船舶可结合流速分布选择最优航线,顺流时合理提升航速,逆流时适度减速,单次航次能耗可降低10%-15%。同时,通过整合水文数据建立风险评估模型,提前预警急流、浅滩等危险区段,为航运安全提供预判支持。

4 数据驱动的工程调度模型构建与优化

4.1 模型构建方法

构建数据驱动的工程调度模型是提高工程运行调度科学性的关键。常用的模型构建方法有机器学习方法和统计分析方法,两种方法各有侧重又互为补充,共同为工程调度提供量化决策支持。

机器学习方法凭借其强大的非线性拟合能力,在复杂水文条件下的调度建模中展现出显著优势。其中,人工神经网络作为典型代表,通过输入层、隐藏层和输出层构成的网络架构,能够有效建立水文数据与工程调度

参数之间的复杂映射关系。以水库调度为例,将水位、流量、降水历时等作为输入特征,水库蓄泄量、发电出力等作为输出目标,通过反向传播算法不断优化网络参数,可构建高精度的调度预测模型,实现水库运行方案的动态优化。其他机器学习算法也展现出独特价值:支持向量机在小样本条件下仍能保持良好的预测性能,随机森林则通过集成多棵决策树的方式提升模型稳定性,特别适用于处理存在测量误差或异常值的水文监测数据。

这些方法各具特点,可根据具体应用场景的需求进行选择 and 组合。统计分析方法则基于历史水文数据和工程运行数据,通过概率统计理论建立数学模型,主要包括回归模型、时间序列模型等。回归模型通过拟合水文变量(如径流量)与调度指标(如灌溉水量)之间的函数关系,可定量分析各因素对调度结果的影响程度,既可以构建线性回归模型反映简单关联,也可通过多项式回归、Logistic 回归等处理非线性问题。时间序列模型则专注于水文数据的时序特性,通过 ARIMA(自回归积分滑动平均)等模型对水位、流量等指标的未来变化趋势进行预测,为中长期工程调度规划提供依据,其优势在于能充分利用数据自身的时间关联性,减少对外部变量的依赖。

4.2 模型优化策略

构建好的模型需通过科学策略优化,以提升在工程调度中的准确性和可靠性,为决策提供有力支持。

交叉验证是模型参数优化的重要手段,将数据集分为训练集、验证集和测试集,可全面评估模型泛化能力。常用的 k 折交叉验证将数据均匀分成 k 份,轮流用 k-1 份训练、1 份验证,通过迭代计算误差均值,避免单一划分的偏差。在水利工程调度模型中,结合水文数据时序特性采用滚动交叉验证,按时间划分数据段,调整神经网络隐藏层节点数等参数,使验证集均方根误差降至最低。

引入新特征变量需遵循关联性与可获取性原则,在传统水文数据基础上拓展输入维度。如水电工程调度模型加入植被覆盖率等生态经济指标,航运工程模型纳入水温等参数,可提升预测精度^[5]。同时,通过皮尔逊相关系数等方法筛选关键特征,剔除冗余变量以简化模型。

集成学习通过组合多个基模型提升性能,常见的 Boosting 和 Bagging 算法各有优势。Boosting 算法如梯度提升树可修正前序模型误差,适用于样本不平衡数

据;Bagging 算法如随机森林能降低过拟合风险。在跨流域调水工程中,集成 ARIMA 与神经网络模型,可综合两者优势,降低调度方案误差率。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

本文通过系统研究,明确了水文数据在工程运行调度中的实操应用路径。在数据基础层面,梳理了实地监测、遥感等多元采集方式及清洗、插值、标准化等预处理流程,为应用提供了数据质量保障。在应用原理上,阐明了水资源评估与风险预警的实现机制,揭示了水文数据对工程决策的支撑作用。针对水利、水电、航运工程,提出了适配其特性的调度策略,如水库动态蓄泄、水轮机参数优化等。同时,构建了机器学习与统计分析相结合的模型体系,并给出交叉验证等优化方法,为提升工程安全性与效率提供了可操作的科学方案。

5.2 未来发展展望

未来,需推动水文数据应用向智能化、协同化升级。技术上,融合 5G 与物联网打造全域监测网络,实现水文数据采集毫秒级响应,提升实时性;利用 AI 算法深度挖掘数据关联,如通过深度学习解析水位、流量与气象因子的隐性关系,增强分析精准度。应用层面,构建多工程协同调度模型,在保障发电、航运等经济效益的同时,兼顾生态基流维护与防洪安全,实现综合效益最大化。完善跨部门数据共享机制,打破水利、气象、交通等领域信息壁垒,促进数据高效流通。加强极端水文事件预测模型研究,结合气候变化数据优化预测算法,延长预警时效,显著提升工程应对洪涝、干旱等灾害的能力,推动水文数据在工程调度中实现更精准、高效的应用。

参考文献

- [1] 曹刚. 智能化技术在水利水电工程中的应用与展望[J]. 张江科技评论, 2025, (01): 88-90.
- [2] 滕万军. 水文测报系统在某大型水库中的应用[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(08): 64-66.
- [3] 王伟立. 水利工程中水文水资源标准化管理研究[J]. 水上安全, 2024, (16): 34-36.
- [4] 钟原. 水文水情信息大数据处理现状及策略[J]. 世界有色金属, 2021, (01): 174-175.
- [5] 尹建飞, 王志娟. 基于人工智能的水利水电工程智能化信息系统设计与研究[J]. 信息记录材料, 2025, 26(04): 52-54+71.