

防洪调度及水资源管理数据挖掘系统研究

张星星

南阳市鸭河口水库运行保障中心 河南 南阳 473000

摘要：防洪调度与水资源管理面临数据整合难、决策缺乏科学量化分析等困境。本研究设计防洪调度及水资源管理数据挖掘系统，采用分层架构，经多源数据采集、混合数据库管理，运用关联规则挖掘、时间序列分析等算法构建模型。系统具备防洪调度决策支持、水资源优化配置、水情预测预警及水资源评价与规划等功能，能实时呈现洪水态势、生成方案、预测需求、预警并规划，提升决策科学性。

关键词：防洪调度；水资源管理；数据挖掘系统

引言

水利工程作为社会经济发展的重要支撑，防洪调度与水资源管理在其中扮演着关键角色。但当下，防洪调度面临数据分散、过度依赖专家经验、模拟预测能力不足等难题；水资源管理则存在数据混乱、配置艰难、监测评估手段滞后等挑战。在信息技术蓬勃发展的当下，数据挖掘技术能挖掘数据价值。基于此，开展防洪调度及水资源管理数据挖掘系统研究，对整合数据、科学决策、提升管理水平意义重大。

1 防洪调度及水资源管理现状与问题

1.1 防洪调度现状与问题

目前，我国已初步建立了较为完善的防洪工程体系，包括水库、堤防、蓄滞洪区等，并形成了相应的防洪调度指挥系统。在防洪调度过程中，主要依据历史洪水资料、实时水文监测数据（如水位、流量、降雨量等）以及专家经验来制定调度方案^[1]。这种传统的防洪调度模式存在诸多问题。首先，数据来源相对单一且分散。虽然有水文监测站、气象站等数据采集点，但各部门之间的数据共享程度较低，信息孤岛现象严重。气象部门的降雨预报数据、水文部门的河道流量数据以及水利工程管理单位的水库运行数据，往往不能及时、有效地整合，导致防洪调度决策缺乏全面的数据支持。其次，传统的防洪调度决策多依赖专家经验，缺乏科学的量化分析方法。在面对复杂的洪水情况时，难以快速、准确地评估不同调度方案的效果，容易导致决策失误。此外，现有的防洪调度系统对洪水演进过程的模拟和预测能力有限，无法实时、动态地展示洪水的发展趋势，不利于及时调整调度方案。

1.2 水资源管理现状与问题

在水资源管理方面，我国已实施了一系列法律法规和管理制度，如最严格水资源管理制度，对水资源的开

发、利用、节约和保护进行规范。但在实际管理过程中，仍面临诸多挑战。水资源数据管理较为混乱，数据质量参差不齐。由于缺乏统一的数据标准和管理规范，不同部门、不同地区采集的数据在格式、精度、统计口径等方面存在差异，导致数据难以整合和分析。在水资源评价和规划过程中，因数据不一致而影响决策的科学性。水资源优化配置难度大，受经济发展、人口增长、气候变化等多种因素影响，水资源供需矛盾日益突出。传统的水资源配置方法多基于静态模型和简单的供需平衡分析，难以适应动态变化的水资源需求和复杂的水资源系统。对水资源利用效率的监测和评估手段相对落后，无法及时发现水资源浪费和不合理利用的问题，不利于水资源的可持续利用。

2 数据挖掘技术概述

2.1 数据挖掘的定义与特点

数据挖掘是从海量、复杂且充满不确定性的数据中，抽丝剥茧般提取隐藏信息与知识的过程。这些数据往往具有不完全性，存在缺失值；带有噪声干扰，包含错误或无效数据；具有模糊性，边界与定义不清晰；甚至呈现随机分布特性。它融合统计学的数据分析方法、机器学习的智能算法、数据库的数据管理技术以及模式识别的特征提取手段，打破传统数据处理的局限。其处理数据量庞大的特性在现代数据爆炸时代尤为关键。以水利行业为例，一个流域的水文监测站点每天产生的水位、流量、降雨量等结构化数据可达数万条，再加上气象卫星影像、地形测绘点云等非结构化数据，总量极为可观。数据挖掘技术借助分布式计算框架如Hadoop，可高效处理这些数据，挖掘出如降雨量与河道洪峰流量的量化关系等有价值信息。挖掘知识的隐性使数据挖掘成为洞察潜在规律的利器^[2]。在水资源管理中，传统分析难以发现的地下水水位变化与周边农业灌溉用水量、工

业排污量之间的关联规则,通过Apriori算法等关联规则挖掘技术,能揭示出当某区域工业用水量增加20%且降雨量低于均值时,一个月后地下水水位下降0.5-1米的隐藏规律。结果的预测性赋予数据挖掘强大的决策支持能力。在防洪调度场景下,基于历史洪水数据和实时监测信息,利用时间序列分析算法构建的预测模型,可提前一周预测洪峰到达时间与流量峰值,误差率控制在5%以内,帮助管理部门提前部署抢险物资与人员,相较于传统经验判断,极大提升了防洪决策的科学性与前瞻性。

2.2 常用的数据挖掘方法

关联规则挖掘专注于发现数据属性间的潜在联系,以支持度体现规则出现频率,置信度衡量规则可靠程度。经典Apriori算法通过迭代筛选频繁项集获取强关联规则。在水资源管理中,利用该方法分析降雨量、地下水水位与河道流量数据,可挖掘出三者间的关联关系,辅助预测水资源变化趋势,优化水库调度。分类与聚类分析是两类重要方法。分类基于有标签数据训练模型,如随机森林算法集成多棵决策树进行分类预测,在防洪调度中可依据降雨量、淹没面积等特征预测洪水等级。聚类则无需预先设定类别,像K-Means算法通过计算相似度划分数据,在水资源管理中,可按用水结构将地区聚类,助力制定差异化管理策略。时间序列分析针对随时间变化的数据,ARIMA模型通过差分、自回归和移动平均建模,常用于挖掘水文数据的趋势与周期,预测水位、流量变化,为防洪和水资源配置提供依据。LSTM神经网络能处理长序列依赖关系,可精准预测极端天气下的水位峰值。决策树算法以直观树状结构呈现决策逻辑,C4.5算法通过信息增益率优化节点分裂。在防洪调度中,结合实时水情数据训练决策树,可快速生成调度方案;在水资源管理时,能基于区域条件规划开发利用策略。

3 防洪调度及水资源管理数据挖掘系统设计

3.1 系统总体架构

防洪调度及水资源管理数据挖掘系统采用分层架构设计,由数据层、数据处理层、模型层、应用层和用户层协同运作,实现数据驱动的科学决策。数据层作为系统基础,通过多渠道采集存储多元数据。与气象、水文等部门建立API接口,实时获取降雨量、水位流量等动态数据;借助GIS平台对接地理信息系统,整合地形地貌、水利工程分布等空间数据;同时纳入人口分布、产业布局等社会经济数据,以及历史防洪调度方案、水资源管理记录,构建全方位数据资源池^[3]。数据处理层承担数据优化任务,运用ETL工具对原始数据清洗去噪,剔除重复错误信息,并通过FME平台统一多源异构数据格式。

利用主成分分析(PCA)等算法进行特征提取,降低数据维度,提升数据质量与挖掘效率,为后续分析筑牢根基。模型层集成多种数据挖掘算法,针对不同业务需求精准匹配。采用Apriori算法挖掘气象与水文数据的关联规则;利用随机森林算法构建洪水等级分类模型;借助ARIMA和LSTM神经网络融合,实现水位流量的高精度时间序列预测,深度提取数据价值。应用层将模型成果转化为实用功能,涵盖防洪调度决策支持、水资源优化配置、水情预测预警等模块,通过可视化界面直观展示分析结果,辅助制定科学管理策略。用户层则为不同角色定制交互界面,支持数据查询、模型调用及决策建议获取,以友好交互提升系统易用性,满足防洪调度与水资源管理的多样化需求。

3.2 数据采集与管理

数据采集构建多源协同机制,保障数据实时性与完整性。系统通过API接口与气象部门、水文监测中心、地理信息系统对接,实现降雨量、水位流量、地形地貌等数据的分钟级自动更新。针对缺失或特殊数据,开发标准化导入模板和人工录入界面,支持Excel、CSV等格式数据批量导入,并设置数据校验规则,确保补充数据的准确性。在关键区域部署物联网感知网络,于水库大坝、河道断面、水源地等位置安装智能传感器。雷达水位计实时监测水位变化,水质传感器动态采集pH值、浊度等指标,渗压计记录大坝渗流数据,所有监测数据通过4G/NB-IoT网络加密传输至数据中心,为防洪调度和水资源管理提供即时数据支撑。数据管理依托混合数据库架构,关系型数据库(Oracle、MySQL)存储结构化数据,通过建立数据仓库实现多维分析;非关系型数据库(MongoDB)处理半结构化和非结构化数据,灵活适配地理信息、设备日志等复杂数据类型。借助数据字典明确字段定义与业务含义,元数据管理系统记录数据全生命周期信息,保障数据一致性。

3.3 数据挖掘模型构建

(1) 防洪调度模型,洪水预测模型聚焦于对未来洪水过程的精准把握。运用时间序列分析算法,如ARIMA模型和LSTM神经网络模型,对历史水位、流量、降雨量等数据深度剖析。ARIMA模型通过差分平稳化数据,结合自回归与移动平均捕捉线性规律;LSTM神经网络凭借其记忆单元,有效处理数据的长期依赖。二者挖掘数据变化规律与趋势,预测洪峰流量、出现时间及洪水总量。接入气象部门降雨预报数据,对模型动态修正,以应对复杂天气,提升预测精度。防洪调度决策模型旨在为调度人员提供科学建议。基于关联规则挖掘和决策

树算法,分析历史防洪调度案例,挖掘洪水特征(如类型、规模、演进速度)与调度方案的关联,构建决策规则库。实际洪水发生时,依据实时洪水信息和规则库,快速提供合理调度方案建议。借助模拟仿真技术,评估比较不同方案在防洪效果、成本等方面的差异,辅助决策人员选出最优方案。(2)水资源管理模型,水资源需求预测模型借助回归分析、灰色预测模型等方法,结合社会经济发展指标与历史水资源利用数据,预测未来不同水平年的水资源需求总量和各行业用水量,并考虑气候变化影响优化模型。水资源优化配置模型以可持续利用和经济效益最大化为目标,建立多目标优化模型,综合考虑多种因素,运用遗传算法、粒子群优化算法求解,优化配置水资源,制定分配方案,同时评估反馈实施效果,及时调整策略。

4 防洪调度及水资源管理数据挖掘系统功能实现

4.1 防洪调度决策支持功能

系统实时接收气象、水文等监测数据,通过洪水预测模型对洪水发展趋势进行预测,并以可视化的方式展示洪水演进过程,包括洪水淹没范围、水位变化等信息。根据预测结果,结合防洪调度决策模型,自动生成多种防洪调度方案,并对各方案的防洪效果、可能造成的损失等进行评估和分析^[4]。防洪调度管理人员可通过系统界面查看不同方案的详细信息,进行方案对比和选择,同时还可根据实际情况对方案进行调整和优化。系统还提供历史防洪调度案例查询功能,方便管理人员借鉴以往经验,提高决策的科学性和合理性。

4.2 水资源优化配置功能

系统根据水资源需求预测模型预测的未来水资源需求情况,结合水资源的实际供给能力和水资源优化配置模型,制定水资源优化配置方案。该方案涵盖水资源在农业、工业、生活和生态等领域的分配比例,以及不同地区之间的水资源调配计划。通过可视化图表展示水资源配置的现状和优化后的效果,帮助水资源管理人员直观地了解水资源的供需平衡情况和配置合理性。系统支持对水资源配置方案进行动态调整,以适应水资源供需关系的变化。

4.3 水情预测预警功能

系统利用数据挖掘技术对气象、水文数据进行实时分析,及时发现水情异常变化。当监测数据超过预设的警戒阈值时,系统自动发出预警信息,并通过短信、邮件、APP推送等多种方式通知相关部门和人员。系统还对预警信息进行分级管理,根据水情的严重程度分为一般预警、重要预警和紧急预警,不同级别的预警采取不同的应对措施。系统提供水情预测功能,对未来一段时间内的水位、流量、降雨量等水情要素进行预测,为防洪和水资源管理提供提前量。

4.4 水资源评价与规划功能

系统收集和整合水资源相关数据,包括水资源量、水质状况、用水效率、水资源开发利用程度等,运用数据挖掘和评价模型对区域水资源状况进行综合评价,生成水资源评价报告。报告内容包括水资源的优势与劣势分析、存在的问题及原因等。根据水资源评价结果和社会经济发展规划,结合水资源优化配置模型,制定水资源规划方案,包括水资源保护规划、水资源开发利用规划、节水规划等,为水资源的可持续管理提供指导。

结语

防洪调度及水资源管理数据挖掘系统的探索与实践,为攻克传统管理难题开辟了新径。其分层架构整合多源数据,借多种数据挖掘算法,达成防洪调度决策、水资源优化配置、水情预测预警及评价规划等功能。该系统提升了防洪调度科学性与准确性,优化了水资源配置,可及时预警水情异常,助力水资源可持续管理。未来,随着技术迭代,系统将更完善,为水利事业发展添砖加瓦。

参考文献

- [1]纪传波.耦合水动力学的梯级水库防洪优化调度及系统集成研究[D].湖北:华中科技大学,2021.
- [2]王亚权,吴思琦,杜灿阳,等.珠江三角洲水资源配置工程智慧化管理体系研究[J].广东水利水电,2022(2):84-89.
- [3]张婷.供水系统智能管理模型研究[J].科学技术创新,2021(9):170-171.
- [4]余达征,蒋蓉.防洪调度及水资源管理数据挖掘系统研究[J].水利信息化,2020(2):33-35,51.