

水文水资源监测数据精准分析方法研究

王志强

河北省张家口水文勘测研究中心

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6783

[摘要] 水文水资源监测数据是进行水资源科学管理的基础。由于设备性能、环境变化、人为操作等因素造成原始数据采集过程中出现缺失、异常和噪声等问题,传统分析方法精度以及实用性会受到影响。为了提高数据的使用价值,本文创建了包含数据质量控制、异常检测、时序分析、多源信息融合等各方面内容的精准分析体系。该体系依靠规范化的采集流程,实行多级一致性检验,采用统计和机理判别的办法来提高数据的可靠性。采用趋势分析、周期识别以及各种预测模型来发现水文要素变化的规律。融合地面观测、遥感等多源数据,经过时空配准、融合算法处理,得到高精度的分析成果,为水资源评价、防洪预警、环境保护等提供可靠支撑。

[关键词] 水文监测; 数据分析; 质量控制; 时间序列

中图分类号: P331 **文献标识码:** A

Research on Accurate Analysis Methods for Hydrological and Water Resources Monitoring Data

Zhiqiang Wang

Hebei Zhangjiakou Hydrological Survey and Research Center

[Abstract] Hydrological and water resources monitoring data is the foundation for scientific management of water resources. Due to factors such as equipment performance, environmental changes, and human operation, the accuracy and practicality of traditional analysis methods may be affected by missing, abnormal, and noisy data during the raw data collection process. In order to enhance the value of data utilization, this article has created a precise analysis system that includes various aspects such as data quality control, anomaly detection, temporal analysis, and multi-source information fusion. This system relies on standardized collection processes, implements multi-level consistency checks, and uses statistical and mechanistic discrimination methods to improve data reliability. Using trend analysis, cycle identification, and various predictive models to discover the patterns of hydrological element changes. By integrating ground observations, remote sensing and other multi-source data, and processing them through spatiotemporal registration and fusion algorithms, high-precision analysis results are obtained, providing reliable support for water resource assessment, flood control warning, environmental protection and other fields.

[Key words] hydrological monitoring; Data analysis; Quality Control; time series

水文水资源监测涉及到的数据种类繁多,有降水、径流、水位、水质等等,且这些数据来源多样、站点分散、时序性强。由于仪器性能、环境变化、人为因素等影响,监测数据常常会存在不完整、不一致、噪声等问题,进而影响到之后分析决策的准确性。传统的方法很难系统处理这些复杂的误差,容易造成水资源评价偏差和预报精度不足。在当前水资源管理越来越精细化、智能化的背景下,发展监测数据精准分析方法对提高数据利用率,支撑水资源科学调度和安全保障有重要意义。因此本文就数据全过程进行系统分析,从质量控制、时序建模到多源融合进行分析技术的研究,建立高效可靠的分析体系,为水资源管理及相

关研究提供方法支持。

1 监测数据质量控制技术

1.1 数据采集规范化管理

为了保证监测数据来源的质量,必须严格按照有关的技术标准和操作规程来办。水位监测一般采用自记式水位计或者压力传感器,测量精度要达到毫米级,汛期等重要时期要提高记录频次。流量测量可采用流速仪法或声学多普勒技术,断面选取及测点布置应符合规范。降雨量观测应使用标准雨量计,安装位置要开阔无遮挡。水质监测可以采取人工采样实验室分析同自动在线监测相结合的方式。所有的监测设备都应该定期的校准和

保养,而且要有完整的运行记录。自动监测系统最好配置可靠的数据远程传输模块。应当制定数据采集作业的标准程序,规定各个环节的操作方法以及记录要求。

1.2 数据完整性与一致性检验

数据质量控制要对完整性、一致性做全方位的检验。时间完整性检验的目的就是发现数据序列中缺少的时段,并分析缺失的原因。空间完整性检验是对流域内各个站点的数据同步获取情况进行检验。一致性检验是核心步骤,一般有阈值检验(判断数据是否在合理的物理范围内),变化范围检验(找到异常的突变),逻辑关系检验(检验如降雨-径流、水位-流量等水文要素间内在规律是否一致)。水位值不能超过历史极值,降雨量不能为负,相邻时刻的水位不能发生无物理原因的剧烈跳变^[1]。应实行站点自审、上级复核的多级审核制度来保证数据的质量。

1.3 异常数据识别与处理

异常数据识别要联系统计分析技术和水文专业知识。常用统计方法有以均值、标准差为基础的 3σ 准则、箱线图法、滑动窗口局部离群点检测法等。同时必须根据水文规律进行专业判断,在无降水的情况下出现流量突然增大或者强降雨期间径流响应缺失都可能是数据异常。对于识别出的异常数据,根据异常数据的性质及产生原因进行处理,明显错误的可以剔除或者标记为无效;缺失的数据根据序列特征采用线性插值、拉格朗日插值等方法进行插补,在站点之间相关性好的情况下,采用空间插值或者回归分析等方法进行估算。

2 时间序列数据分析模型

2.1 趋势分析与周期识别

水文序列可以被分成趋势、周期、随机三部分。趋势分析可以采用多种方法,移动平均法就是通过设置合适的时间窗口来平滑短期波动,突出长期变化趋势,线性回归法可以拟合时间与观测值之间的线性关系,斜率直接体现变化速率,Mann-Kendall检验属于非参数方法,不需要数据服从某种特定的分布,通过计算统计量并做显著性检验来判断趋势是否存在。周期识别主要用频谱分析和小波分析。频谱分析在频域内可以找出序列中的主要周期成分,其功率谱的峰值就对应主要的周期;小波分析具有时频局部化的特点,可以表现出不同时间尺度下周期的结构,有效分离出年内的季节变化和年际气候波动。

2.2 预测模型构建与应用

水文预测模型分为数据驱动的统计模型和机理驱动的物理模型。平稳时间序列一般用自回归移动平均模型,非平稳序列可以先差分平稳序列后建立ARIMA模型,然后用AIC或者BIC准则选择最优的模型阶数。季节性ARIMA模型又加入了季节差分和季节自回归项来刻画周期性的规律。以BP神经网络和LSTM为代表的神经网络模型有很强的非线性拟合能力,LSTM通过门控机制来处理长期依赖关系。支持向量机模型在小样本情况下泛化性好。模型精度一般用均方根误差、纳什效率系数等指标来评价,用历史数据进行验证。

2.3 相关性分析与因果关系识别

相关性分析就是用来找出水文变量之间存在什么样的统计联系。皮尔逊相关系数用来衡量线性相关,斯皮尔曼秩相关系数适合用来衡量单调的非线性关系。交叉相关分析可以研究两个变量在不同的时间滞后下相关性,常用来确定降雨和径流过程中的滞时^[2]。偏相关分析在排除了其他变量影响的情况下,可以考察两个变量之间直接的关联。多元回归分析可以建立多个自变量和一个因变量之间的定量关系,也可以筛选出显著性影响因子。格兰杰因果检验以预测思想为基础,通过比较包含与不包含某个变量历史信息的预测误差,用F检验来统计判断一个变量是否是另一个变量的原因,为理解水文过程内在机理提供了依据。

3 多源数据融合与综合分析

3.1 多源数据协同处理

水文监测数据来源有地面观测站、遥感卫星、雷达监测等。地面站点给出高精度的点数据,遥感影像给出空间分布信息,雷达监测得到实时的动态数据。多源数据融合充分利用各种数据的优势来提高分析结果的精度。数据融合之前要进行时空配准,统一不同的数据源的时间基准以及空间坐标系统。遥感影像几何校正去畸变,配准到地面坐标系。把时间序列数据插值到统一的时间步长上,使得不同的来源的数据可以对比。数据标准化处理消除量纲的影响,使用极差标准化或者Z-score标准化。权重分配属于数据融合的重要步骤,依据数据精度、可靠程度、空间分布状况来决定融合的权重。高精度数据的权重较大,不确定性大的数据的权重较小。加权平均法、卡尔曼滤波法、贝叶斯估计法等融合算法有不同的使用条件。加权平均法简单实用,适合于数据质量相差不大时。卡尔曼滤波法考虑数据动态变化和噪声特性,可以实现递推估计。

3.2 空间插值与分布估算

点监测数据进行空间插值得到区域分布图,反映水文要素的空间变化规律。根据数据特征以及使用需求来选择插值方法。反距离权重法以距离衰减为基础,距离越近的权重越大。幂次参数影响插值平滑度,一般取2。样条函数插值利用构造平滑曲面来拟合已知点数据,适合于地形起伏较大的区域。克里金插值法考虑数据的空间自相关性,用变异函数来表征空间结构特征。理论变异函数模型有球状模型、指数模型、高斯模型等,选择拟合效果最好的模型^[3]。普通克里金插值给出最优线性无偏估计,协同克里金插值用辅助变量提高估计精度。空间插值精度与站点密度、地形条件、插值方法等有关。用交叉验证法评价插值精度,逐个去掉已知点,用剩下的点插值估算该点的数值,比较估算值和实测值的偏差。插值结果要符合水文规律,降雨量随地形高度变化,河流水位沿程变化连续。

3.3 数据可视化与决策支持

数据可视化把复杂的监测数据变成直观的图表、地图,便于分析和决策。时间序列图表现水文要素的时间变化过程,折线图表现连续的变化,柱状图表示离散分布。多变量对比使用复合图表,在同一坐标系里画出不同的曲线,分析相互关系。空间分布

图用等值线图、色阶图、矢量图等形式来表示。降雨量分布图体现降水空间上的差别,水质分布图可以体现出污染区。三维地形图把地形数据同水文数据结合起来,立体地表现出流域的特征。动态可视化技术用以模拟水文过程的变化,洪水演进动画可以表现出淹没范围变化的过程。交互式可视化系统可以供用户自定义查询、分析,点击图表可以得到详细的统计数据信息。仪表盘能同时实现水流量、水位以及水质等参数的监测,在屏幕上可以实时体现上面的各项参数。预警阈值设置触发报警功能,超过阈值就发出提示。决策支持系统把数据分析模型同优化算法融合起来,从而得到水资源调度方案、洪水预警信息等决策建议。

4 数据分析结果应用与验证

4.1 水资源评价与规划应用

水资源评价和规划的基础就是监测数据分析。对长期径流序列进行分析可以得到年均径流量、丰枯特征、保证率流量等指标,为水资源供需分析提供依据^[4]。利用频率分析可以确定不同的保证率下的可利用水量,指导水资源的分配。水量平衡分析就是对降水、蒸发、径流等要素之间的转换关系进行分析,评价区域水资源盈亏情况。根据地下水动态和水质数据可以综合评价水资源量和质的情况,找到污染趋势和资源超载风险。最后根据水量、水质来开展水资源承载力评价,为区域人口经济预测和水资源优化配置提供科学依据。

4.2 洪涝灾害监测预警

水文监测数据属于洪涝灾害预警的关键依据。依据实时降雨、水位、流量等数据,通过水文水力学模型可以模拟和预测河道洪水过程,从而达到短期预报的目的。预警系统按照预报结果以及预设的阈值,发出蓝、黄、橙、红等不同的等级预警信息,经由多种途径迅速传递出去。通过高精度的地形、水动力模型来模拟各种情景下的洪水淹没范围和水深,得到洪水风险图,找出高风险区,给防洪规划及应急疏散提供决策支持。另外,对历史洪水数据进行规律分析可以找出洪水的季节性特征和空间分布规律,提高防灾减灾的针对性。

4.3 分析方法精度验证

为了保证分析方法的可靠,需要对分析的方法进行系统的精度验证。一般用独立数据集检验法,即保留一部分数据用来检验模型预测的效果。通过计算平均绝对误差、均方根误差、相对误差等指标,与允许误差范围比较合格率来量度模型精度。通过不同模型比较,选择最佳的方法。敏感性分析是用来找出对

输出结果影响大的参数。不确定性分析就是对输入数据误差、模型结构误差等综合影响最终结果进行量化,常用的方法有蒙特卡洛模拟法和贝叶斯方法。验证结果可以给方法的改进、选择和应用推广提供客观依据。

5 结论与展望

5.1 结论

水文水资源监测数据的精准分析,是达成水资源科学管理、高效决策的重要技术支撑。本文就监测数据常见的数据质量问题,系统地研究并建立了一套包含数据质量控制、异常识别、时间序列建模、多源信息融合的集成化分析技术体系。该体系从源头上规范了采集流程,用统计和机理的方法提高数据质量,用各种时序模型对数据演化规律做深入的分析,用地面观测、遥感等多种异构数据融合分析来提高分析的精度和可靠性。研究成果给水资源评价、防洪预警、水环境保护等实际应用提供可靠的数据分析方法和决策依据,有重要的实用价值。

5.2 展望

未来研究可以从以下几方面展开,一是推进人工智能、机器学习同水文分析模型的深度整合,改善对复杂非线性联系以及高维数据的剖析和预估水平。二是发展基于物联网、边缘计算技术的实时动态监测与智能分析技术,搭建一体化的、智能化的水文监测与决策支持平台。三是加强多学科交叉融合水文学、信息科学、遥感科学等多学科知识,探索多过程耦合、多尺度关联的综合分析方法。四是重视模型、算法的透明度、可解释性以及不确定性的量化,提高分析结果的可信度和决策支撑水平,从而为水资源的可持续利用和国家水安全保障提供更加先进、更加智能的技术方案。

[参考文献]

- [1]于莉,于锟.水文水资源监测存在的问题及对策研究[J].中国建材,2024,(08):114-116.
- [2]么嘉祺,常奂宇.新一代水文水资源监测卫星SWOT数据特征、应用与展望[J].地球科学进展,2024,39(4):374-390.
- [3]张玉明.水文水资源监测现状及数据维护管理措施[J].水上安全,2023,(06):31-33.
- [4]刘文.水文水资源监测现状及应对措施的思考[J].中国水运(下半月),2019,19(20):176-177.

作者简介:

王志强(1991--),男,汉族,河北省康保县人,本科,工程师,研究方向:水文监测。