

水文监测数据质量控制与不确定性分析方法

杨磊

博尔塔拉水文勘测中心

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6040

[摘要] 随着水文事业的快速发展,水文监测数据的质量控制与不确定性分析日益成为行业关注的焦点。博尔塔拉地区水文监测工作面临着自然环境复杂、监测点位分散、数据采集过程易受多重因素干扰等挑战,这些问题直接影响着水文数据的可靠性与准确性。为提升水文监测数据质量,亟需建立系统的质量控制体系,并对监测数据的不确定性进行深入分析。

[关键词] 水文监测; 数据质量控制; 不确定性分析

中图分类号: P331 文献标识码: A

Quality Control and Uncertainty Analysis Methods for Hydrological Monitoring Data

Lei Yang

Bortala Hydrological Survey Center

[Abstract] With the rapid development of the hydrological industry, the quality control and uncertainty analysis of hydrological monitoring data have increasingly become the focus of attention in the field. The hydrological monitoring work in the Bortala region faces challenges such as complex natural environments, dispersed monitoring locations, and data collection processes susceptible to multiple factors, which directly affect the reliability and accuracy of hydrological data. To improve the quality of hydrological monitoring data, it is urgent to establish a systematic quality control system and conduct in-depth uncertainty analysis of the monitoring data.

[Key words] hydrological monitoring; data quality control; uncertainty analysis

引言

水文监测数据的质量控制是水文工作的基石,对于水资源管理和防洪减灾的科学决策具有至关重要的意义。这一过程涵盖了从现场数据采集、数据传输到数据处理的全方位管理,要求规范操作流程、强化设备维护,以确保数据的真实性和可靠性。通过实施系统的质量控制措施和不确定性分析方法,我们可以显著提升监测数据的准确性和可信度,为水文工作提供坚实的数据支撑。本文旨在从水文监测数据的采集、处理到不确定性分析等环节,提出相应的控制策略与分析方法,以期为提高博尔塔拉地区水文监测数据的质量提供有力的技术支持,并为水资源管理决策提供可靠的数据依据。

1 水文监测数据采集质量控制

水文监测数据采集质量控制是确保水文数据精确无误的首要步骤。该过程强调采用标准化的采集流程,定期对监测设备进行校准,严格遵守既定的操作规程,并对采集环境实施妥善管理,旨在最大限度地降低误差和不确定性。通过这些措施,我们能够收集到高质量、具有充分代表性的水文数据,为后续的研究提供坚实的基础。

1.1 水位、流量等要素现场测验规范化控制

新疆博尔塔拉河流域水文站点现场测验规范化控制是保障监测数据质量的关键环节,该区域现有监测站点50个,其中国家基本水文站4个、中小河流站5个、出山口河流41处;其中有16个监测点使用了自动化监测设备。要素测验需严格执行《水文监测规范》GB50179-2015中相关技术要求。水位测验中,测验人员需确保水位观测基准点稳定性,每年定期开展水准测量复测,基准点允许误差不超过 ± 0.5 厘米;而自动测验设备的采集时间间隔应设定为5分钟,采用雷达波传感器与人工水尺相互校核,确保水位数据准确度达到95%以上。流量测验方面,断面测验垂线数不少于任务书规定数,各垂线流速相对位置0.2、0.6、0.8处流速测验时间均不少于100秒,简测法不少于50秒;测验仪器精度必须符合1级要求,相对误差控制在 $\pm 2\%$ 以内。在博尔塔拉河流域汛期5-9月期间,测验频次随着水位变幅增加而增加,同时水位流量关系建立过程中保证水位波峰、腰、谷等关键节点的测验数据必须进行施测;此外,遇强降雨、融雪性洪水致使水位超过警戒水位时,需按各站任务书要求加密测验。测验现场需配备RTK-GPS定位系统,用于精确定位断面位置,定位精度优于 ± 2

厘米;而测验断面地形测量应每年至少完成2次,确保断面形态变化率控制在5%以内。通过规范化控制措施的实施,博尔塔拉地区水文站点的水位、流量测验合格率已提升至98.5%,为水文预报及水资源评价提供了可靠的数据支撑。

1.2 监测仪器设备定期检定与维护保养

博尔塔拉水文站点在监测仪器设备的定期检定与维护保养工作中,严格遵循了《水文仪器检定规程》JJG705-2014的标准要求。目前,该站点配备了多套专业设备,包括水位计、流速仪以及水质分析仪等。其中,水位自动监测设备每季度进行一次全面检定,检定内容包括传感器零点漂移、量程误差及线性度测试,其中零点漂移应控制在±2毫米以内,量程误差不超过满量程的0.1%;而流速仪检定周期为每年1次,检定项目涵盖转子起动流速、圆周偏差和仪器常数等参数,检定合格证书有效期为24个月。此外,各类水质监测仪器需每半年送至国家级计量检定机构开展检定,确保测量数据的溯源性和准确性。设备日常维护保养方面,测验人员需按照“月检查、季保养、年大修”的维护制度开展工作;而自动监测设备的维护频次则需提高至每周一次,重点检查供电系统、数据采集传输单元的运行状态^[1]。同时,针对博尔塔拉地区冬季气温低至-25℃以下的特点,采取设备防寒、除冰等特殊保护措施,确保仪器设备全年稳定运行率达到95%以上;通过建立设备管理台账,记录维护保养的具体内容、时间及人员信息,实现设备全生命周期的精细化管理。

1.3 原始记录与数据采集标准化

博尔塔拉水文站点原始记录与数据采集的标准化严格遵循《水文资料整编规范》SL247-2012要求,实现了从数据采集到记录管理的全过程规范化。水文测验原始记录采用统一格式的记录表格,包含水位、流量、降水量等13类要素的观测数据,每类要素均设置独立的记录本,测验人员需在现场完成原始数据填写,并由站点负责人审核签字确认;而自动监测设备采集的数据则采取专用网络实时传输至数据中心,传输成功率保持在98%以上。此外,原始记录的填写要求使用铅笔,字迹工整清晰,数据修改需用红色笔标注并由审核人签字确认,确保记录的真实性和可追溯性;同时,测验过程中的异常情况、天气状况等辅助信息也需详细记录,为后期数据分析提供参考依据。数据采集标准化方面,博尔塔拉地区7个水文站、2个水位站、41条出山口河流站点;16个监测点配备了数据采集终端设备,采用分层分级的数据传输体系,实现数据的自动采集、存储与传输。测验数据采集时间间隔根据不同要素分别设定:水位、水温、气温、降水数据每5分钟采集一次,降水量数据每1小时汇总一次,流量数据则根据水情变化情况确定采集频次;而数据传输采用专网传输机制,无信号及信号弱地区用北斗卫星通信系统,确保数据传输的可靠性。此外,数据采集终端设备具备本地存储功能,可保存近12个月的历史数据,有效防止因通信中断导致的数据丢失;通过建立完善的数据备份机制,测验数据每日进行3次备份,分别存储在本地服务器和云存储平台,数据安全性得到有效保障。

2 水文监测数据处理质量控制

在水文监测数据处理的质量控制中,核心环节包括数据预处理、异常值识别与数据订正。数据预处理负责清洗和统一格式,为分析打基础;异常值识别则针对可能因故障、错误或极端天气产生的异常数据,确保数据准确性;数据订正通过替换或插值等方法处理异常值,保障整体数据质量。这些步骤共同确保水文监测数据的准确性和可靠性。

2.1 数据预处理与异常值识别

博尔塔拉水文站点的数据预处理与异常值识别采用多重检验方法,确保监测数据的准确性与可靠性。数据预处理阶段主要包括数据格式统一化处理、缺测值标识及数据单位换算,对16个监测点采集的水位、流量、降水量等要素数据进行标准化处理;而异常值初步识别采用 3σ 准则,即将超出平均值±3倍标准差范围的数据标记为可疑值,年均识别出可疑数据点约占总数据量的2.3%。此外,系统还建立了基于历史数据的合理变幅检验机制,规定水位10分钟变幅不超过30厘米,流量小时变幅不超过15%,超出范围的数据将被自动标记并进行人工核查。针对博尔塔拉地区气候特征,建立了季节性异常值识别模型,将监测数据按照丰水期(5-9月)和枯水期(10-4月)分别处理;同时引入基于小波分析的异常值识别方法,通过对数据序列进行多尺度分解,识别出突变点和异常波动。通过空间相关性分析,对相邻站点同期数据进行交叉验证,相关系数低于0.85的数据将被列入重点核查对象;而基于水文要素之间的物理关系,建立了水位-流量、降水-径流等关联性检验模型,进一步提高异常值识别的准确率^[2]。

2.2 数据订正与补遗处理

数据订正采用分级审核制度,站点级订正由测验人员提出申请并附加订正依据,站长审核后报水文分中心复核;而分中心订正需经过技术人员论证,订正幅度超过原值20%的数据必须召开专家评审会。此外,系统设置了数据订正权限管理机制,规定站点级人员仅可订正本站近3个月内的数据,超出时限或跨站订正需上报分中心审批;同时,所有订正记录均需详细记载订正原因、方法和订正人信息,确保数据订正过程可追溯。数据补遗处理采用多种插补方法相结合的技术路线,针对不同类型的缺测数据选择适当的补遗方案。短时间(24小时以内)的缺测数据采用线性插值法进行补遗,插值精度需达到95%以上;而对于较长时段的缺测,则采用相关性分析法,选取相关系数大于0.90的邻近站点数据进行回归分析补遗。通过建立神经网络模型,利用降水、温度等气象要素与水文要素之间的关系进行数据补遗,模型验证精度需达到92%以上;此外,系统还建立了基于水量平衡原理的补遗验证机制,确保补遗数据的水文学合理性。

3 水文监测数据不确定性分析

水文监测数据的不确定性主要源于自然环境变化的随机性和模糊性、数据采集与传输过程中的多种影响因素,以及数据处理与分析阶段可能引入的新不确定性。这些不确定性共同作用,使得水文监测数据在获取、传输和处理的全过程中都可能存在

误差和变异性。因此,进行水文监测数据不确定性分析至关重要,其核心目的在于深入评估这些数据可能存在的误差和变异性,从而确保水文数据的可靠性,提升水资源管理和防洪减灾决策的科学性。不确定性分析作为确保数据质量的关键步骤,能够识别并量化数据中的潜在问题,为决策者提供更加坚实的数据支撑,助力他们做出更加明智、科学的决策。

3.1 误差来源识别与量化评估

博尔塔拉水文站网测验误差来源识别工作基于系统化分析方法,对16个监测点的测验过程进行全面评估。系统性误差主要来源于仪器设备、测验环境和人为操作三个方面,其中仪器设备误差包括水位计零点漂移(± 2 毫米)、流速仪器常数变化($\pm 1.5\%$)等;而测验环境误差主要受断面变形(年变化率5%)、水流条件改变等因素影响。此外,人为操作误差涉及观测时间误差(± 2 分钟)、垂线布设误差(± 0.3 米)、测点位置误差(± 2 厘米)等;同时,通过建立误差传播模型,量化各类误差源对最终测验结果的影响程度。误差量化评估采用不确定度分析方法,将随机误差和系统误差分别进行处理。随机误差评估采用标准差法,通过重复测验获取数据样本,计算各要素测验的标准不确定度;而系统误差则采用B类评定方法,根据仪器检定证书、技术规范等确定误差限。通过合成标准不确定度计算,该区域水位测验扩展不确定度为 ± 1.2 厘米(置信度95%),流量测验扩展不确定度为 $\pm 3.5\%$ (置信度95%);此外,系统建立了误差评估指标体系,包括测验环境指数、仪器状态指数和操作规范指数,综合评分达到92分以上的测验成果方可采用。

3.2 数据可靠性评价指标体系

建立水文监测数据可靠性评价指标体系是为了确保数据的准确性、完整性和一致性,提升决策科学性,优化数据采集与处理流程,并促进数据的共享与利用,从而为水资源管理和防洪减灾提供有力支持。

水文监测数据可靠性评价指标体系采用层次分析法构建,包含数据质量、测验环境和管理水平三个一级指标。数据质量

评价指标包括数据完整率(权重0.35)、数据准确率(权重0.40)和数据一致性(权重0.25),通过建立模糊综合评判矩阵进行量化评分;而测验环境评价指标涵盖站点代表性(权重0.30)、断面稳定性(权重0.35)和设备适用性(权重0.35),采用专家打分法确定各项得分。此外,管理水平评价指标包括人员素质(权重0.25)、制度执行(权重0.40)和资料管理(权重0.35)等方面;同时,系统设置了评价指标阈值,将评价结果划分为优秀(≥ 90 分)、良好(80-89分)、合格(60-79分)和不合格(< 60 分)四个等级。可靠性评价采用定量与定性相结合的方法,建立了基于模糊数学的综合评价模型。定量评价采用数理统计方法,计算各项指标的标准差和变异系数;而定性评价则通过建立评分标准,对难以量化的指标进行等级划分和赋分^[3]。

4 结束语

随着技术的不断进步,水文监测数据质量控制工作将迈向新的高度。通过融合人工智能、大数据等前沿科技,我们将进一步提升质量控制的智能化与自动化水平,确保水文监测数据的精准可靠。在博尔塔拉地区的水文工作中,我们将不断强化监测数据的全过程质量管理,持续完善质量控制体系,致力于水资源管理和防洪减灾决策提供坚实的数据支撑,推动该地区水文事业的持续健康发展。

[参考文献]

- [1]曹江涛,安欣欣.浅析水文高质量发展下水文监测能力提升对策[J].内蒙古水利,2024,(05):36-37.
- [2]林昌勇,游挺,林铠,等.福州水文信息综合平台水文监测数据质量控制体系构建[J].水利科技,2022,(03):15-17.
- [3]吴笑澎.水文监测工作中的问题与对策研究[J].黑龙江科学,2020,11(18):128-129.

作者简介:

杨磊(1990—),男,汉族,甘肃定西人,全日制本科,工程师,研究方向为水文勘测。