

现代水文监测技术进展与应用研究

吕大远

鄂尔多斯水文水资源分中心 内蒙古 017000

【摘要】：水文监测是水资源调度以及防洪决策的数据来源，传统的人工观测模式在覆盖密度、响应速度等方面，如今已经很难契合当下的需求，卫星遥感、自动采集终端、无人机巡测等技术手段，为解决监测瓶颈提供了可行的路径。在实际应用过程中，暴露出设备采购成本制约基层配置能力、山区通信条件限制数据回传时效、部门间信息壁垒引发重复投资、专业人才短缺致使维护滞后等现实困境。针对这些障碍，构建财政分级负担与融资租赁相结合的投入体系、采用卫星通信与地面网络互补的传输方案、建设跨部门的数据汇聚平台、引入第三方专业运维服务等措施，可有效降低技术应用门槛，提升监测网络运行效能，为水资源精细化管理提供数据支持。

【关键词】：水文监测；自动采集；数据共享；运维外包；物联网传感

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.051

水文信息能否准确获取，会对防洪预警时效、水资源配置精度以及生态调度效果等多个环节的决策质量产生直接影响，以往依靠人工定时巡测、手工记录的传统方式，在监测频次、空间覆盖范围以及数据传输等方面存在不足。依据中国水文年鉴的统计数据，截至2024年末，全国自动水文站的数量已达到3.2万余处，数据自动传输率超过80%，相较于2020年提升了将近20个百分点。本文从技术落地的实际需求着手，梳理了制约因素并提出针对性的解决途径，以便为监测能力建设提供有可操作性的实施方案。

1 现代水文监测技术应用的必要性

1.1 传统人工监测覆盖面窄、时效性差

人工观测需要巡测人员定期前往站点读取数据，这一方式受到路况、天气以及人力配备等多种因素的限制，一般情况下，监测的频次维持在每日1至2次，在汛期的时候可以提升至4至6次，然而即便如此，还是无法捕捉到洪峰快速演进过程中水位跃变的细节。黄河中游某支流在2023年汛期的调度记录说明，人工观测的间隔平均为5小时，而在暴雨集中的时段，洪峰流量每小时上涨可达到1.8米，这使得部分河段的预警信息延迟发布超过3小时。数据从现场记录开始，经过逐级报送，最终到达决策部门接收，整个流程包含的环节众多。

1.2 极端天气频发对监测精度要求提高

在全球气候变化的大背景之下，极端降水事件的强度以及频次呈现出上升的趋势。依据国家气候中心数据可知，在2024年，全国范围内日降水量超过250毫米的暴雨站次相较于2010年至2020年的年均值增长了21%，在华北以及东北地区，极端降雨的重现期有所缩短，原本五十年一遇的降雨强度在部分区域演变成了20年至30年一遇。比如郑州“7·20”特大暴雨事件当中，单日降水量突破了历史极值，传统设备的量程以及采样频率没有办法契合突发强降雨的观测需求，部分站点因为水位超限致使数据缺失，影响到灾情评估以及应急响应。

1.3 水资源管理决策需要实时数据支撑

在水资源供需矛盾不断加剧的形势状况下，精细化调度已然成为提升水资源利用效率的关键路径。农业灌溉用水在全国总用水量当中占据着61%的比例，倘若不可精准地掌握渠道流量以及土壤墒情等各类实时信息，就很容易出现超量供水或者供水不足的情况。宁夏引黄灌区于2024年展开试点应用物联网监测系统，在各级渠道安装了流量计以及闸门自动控制装置，依据末端的需水量反向推算配水流量，使得灌溉水利用系数得到了提升。长江流域重点水域实施十年禁渔政策之后，生态流量是否达标直接对鱼类洄游通道的畅通产生影响。

2 现代水文监测技术应用面临的实际问题

2.1 监测设备投入成本高，基层站点配置困难

自动水文监测设备的采购成本相较于传统设施要高许多，单站建设所包含的组件有雷达水位计、数据采集传输仪、太阳能供电系统以及防护箱体等，这些组件使得费用变得很高，卫星遥感影像的购买费用会依据分辨率与时效性的不同而有所差异，每景的价格从数千到数万元不等。若是长期且高频次地获取特定区域的影像，那么年度支出可达到数十万元。专业级无人机在配备了激光雷达、多光谱相机之后，单套的投入成本较高，并且电池、备件等耗材还需要定期更换。

设备的维护与升级同样需要持续不断地投入，自动监测设备处于野外环境中，会受到雷击、洪水、泥沙淤积等多种因素的影响，导致故障率比较高，雷达水位计的天线罩需要定期进行清洗，传感器探头需要进行除锈防腐处理，数据采集仪的电路板容易受潮而损坏，平均每站每年的维护费用大约为2万元。

2.2 偏远山区通信信号差，数据无法实时传输

移动通信网络在平原以及城镇区域的覆盖状况较为良好，然而在山区、荒漠以及高原等地带，信号却较为薄弱，甚至会完全缺失。在西藏、青海、新疆等省区，部分水文站点处于海拔3000米以上的高原地区，距离最近的通信基站超过50公里，

4G 信号的覆盖比率不足 40%。

有线通信进行铺设时成本比较高昂，而且维护起来也存在险阻，光纤通信虽然有稳定可靠的特点，不过在山区进行架设时需要跨越峡谷、翻越山脊，每公里的造价较高，部分站点距离最近的光纤接入点超过 20 公里，仅仅通信线路的投入就超过百万元，这远远超过了站点本身的建设费用。卫星通信虽然可对偏远地区实现覆盖，但是流量费用却十分高昂，北斗卫星短报文通信单次传输数据量的上限为 1000 字节，仅仅够发送简要的水位、流量信息。

2.3 各部门数据不共享，重复建设造成资源浪费

水利、气象、环保以及自然资源等多个部门都肩负着水文监测的相关职能，它们各自构建了监测网络，然而这些网络在站点布局、观测要素以及数据标准等方面呈现出不同程度的差异。水利部门的数据遵循《水文资料整编规范》的标准，气象部门的数据采用《地面气象观测规范》，环保部门的数据依据《地表水环境质量监测技术规范》，这三类数据在时间分辨率、空间坐标系以及数值精度等方面均存在着差异。

部门之间数据共享机制的缺失致使信息孤岛现象极为普遍，尽管国务院办公厅在 2015 年印发《促进大数据发展行动纲要》，明确提出要打破信息壁垒，但是在执行层面，各部门对于数据所有权、使用权以及收益权的认识并不统一，担心数据共享之后会失去考核优势或者引发责任纠纷，对外开放的意愿并不强烈。

2.4 专业技术人员缺乏，设备故障维护不及时

现代水文监测设备涉及电子、通信以及软件等多个学科领域的知识，其操作与维护工作需要专业技能，基层水文站的技术人员大多是水利工程、水文水资源等传统专业背景。对于物联网传感器、数据采集仪以及通信模块的工作原理了解程度有限，在设备出现故障之后无法迅速进行诊断并排除。

技术人员的流失使得人才短缺的问题变得日益严重，基层水文站点大多处于偏远地区，工作条件较为艰苦，待遇水平也相对偏低，这对年轻技术人员的吸引力不足。当前水文站在编人员的平均年龄较大，对自动化设备的接受程度较低，更倾向于沿用传统的人工观测方式，导致已安装设备的闲置率较高。

3 现代水文监测技术的应用策略

3.1 建立分级投入机制，降低基层设备配置门槛

中央财政和地方财政依据监测站点的功能定位以及关键程度，施行差异化的投入策略，比如国家重点防洪河段、大型水库、跨流域调水工程等关键节点，其全部或大部分设备采购与运维费用由中央财政来承担，以此保证监测精度和数据可靠性。对于中小河流、一般蓄水工程站点，中央财政与省级财政按照 6:4 或者 7:3 的比例来分担费用，减轻基层的配套压力。

而县级以下的小型站点，则采取以奖代补的方式，地方先自筹一部分资金，之后中央给予一定比例的奖励，以此激励基层积极主动地参与进来。

借助引入设备租赁与融资租赁模式，来解决一次性投入过高的难题，水利部门与设备厂商、金融机构展开合作，运用分期付款或者租赁的方式来获取设备的使用权，把大额资本支出转变为年度运行成本，降低财政压力。比如，江西省在 2023 年于赣江流域试点融资租赁模式，县级水文站借助租赁方式配置自动监测设备，租期为 5 年，每年支付的租金是设备购置价的 22%，租期结束后设备所有权转移至地方，这样缓解了资金紧张的状况，又加快了设备更新的速度。

3.2 采用多种传输方式组合，解决偏远地区数据回传问题

在移动通信网络覆盖的区域，优先选用 4G/5G 进行传输，这样做成本较为低廉，速度比较快，而且维护起来也比较简便，5G 网络有大带宽以及低时延的特性，可支持高清视频以及高频次的数据传输，适合重点防洪区域开展密集监测工作。比如浙江省在 2024 年，于钱塘江流域开展了 5G 水文监测的试点工作，单站数据采集的频率提升到了每分钟一次，视频监控画面可实时回传，数据传输的时延降低到 50 毫秒以内。

在移动通信信号薄弱的区域，采用北斗卫星短报文与地面网络相结合的方式，北斗三号系统已经实现全球覆盖，短报文通信不会受到地形遮蔽的影响，虽然单次传输会受到数据量的限制，但是对于水位、流量等关键参数进行定时传输是足够使用的。在通信完全隔绝的极端偏远地区，采用短波电台或者微波通信作为应急备份，短波电台的通信距离可达到数百公里，不依赖基础设施，适用于高原、荒漠等无人区的站点，例如新疆塔里木河流域的某水文站，位于沙漠腹地，距离最近的通信基站有 180 公里，配置短波电台之后，与上级水文站建立点对点的通信链路，每天定时传输数据，虽然传输速率比较低，但是可保证数据不中断。

3.3 搭建统一数据共享平台，消除部门信息壁垒

构建起跨部门数据共享协调机制，以此清晰明确数据开放的范围以及相关的权责，由省级政府发挥牵头作用，组建水文数据共享工作组，其成员涉及水利、气象、环保、自然资源等多个部门，制定数据共享目录以及接口标准，确切明晰各部门需要开放的数据类型、更新的频率以及服务的方式。数据共享协议应当对数据使用权限给予界定，对于涉及国家安全、商业机密的数据，可以设置相应的访问权限，而一般性数据则向社会全面开放，以此消除部门的顾虑。

统一数据格式与接口标准可降低数据整合的难度，参照国家标准《水文数据存储与交换格式》来制定省级或者流域级的数据规范，该规范包含时间格式、空间坐标系、数值精度、质量控制标识等诸多要素，各部门在新建或者改造系统的时候要

严格加以执行。比如长江流域水资源管理平台在 2024 年接入水利、气象、环保三部门的监测数据，借助格式转换中间件达成数据的自动校正以及时空匹配，使得误差率有所下降。

3.4 推行运维服务外包模式，破解技术人员短缺难题

政府把设备日常巡检、故障排除以及数据质量控制等工作，委托给专业公司来做，这就是政府购买第三方运维服务，费用按照年度或者站点来支付，运维公司有专业技术团队，熟悉设备原理以及维护流程，响应速度快，服务质量也能得到保障。比如，湖南省在 2023 年把 150 个县级水文站的运维工作外包给了 3 家专业公司，服务内容涉及每月巡检、年度设备校准，以及故障 24 小时响应，单站年服务费比自行维护的人工与差旅成本要低，设备完好率有所提升，数据可用率提高。

外包合同要明确服务标准和考核指标，以此来保证服务质量，合同条款得包含巡检频次、故障响应时间、修复时限、数据传输成功率等量化指标，还要设置违约责任和扣款机制。另外要建立运维公司准入与退出机制来保障服务质量，政府采购

运维服务时，设置技术能力、人员资质、业绩经验等准入条件，依靠公开招标来挑选优质服务商。运维公司需要配备有持证技术人员，这些人员要有水文监测、电子通信等专业背景，还得参与过同类项目运维。

4 结论

现代水文监测技术可突破传统人工观测在覆盖范围、响应时效以及数据精度等方面存在的局限，为水资源调度、防洪决策以及生态保护等工作提供可靠的数据支撑。然而在技术推广过程中，面临着设备成本高昂、通信条件欠佳、数据处于孤岛状态以及人员短缺等一系列问题。破解这些难题，需要从资金筹措、通信保障、平台建设以及服务模式等多个维度共同努力，依靠建立分级投入与设备租赁机制，运用多元化通信手段，搭建统一共享平台，推行运维外包模式。目前该技术应用仍处在从试点示范朝着全面普及的过渡阶段，需要完善政策配套、加大资金支持力度、强化部门之间的协同合作，以此推动现代水文监测技术在更广泛领域、更深层次实现落地生根。

参考文献：

- [1] 金亚娇,时小雨.GPS 技术在水文水资源监测中的应用研究[C]//2024（第十二届）中国水生态大会论文集.黑河黄藏寺水利枢纽工程建设管理中心;甘肃祁丰水利水电开发有限责任公司,2024:216-222.
- [2] 路君鹏.自动化技术在水文监测的应用探讨[J].智能建筑与智慧城市,2024(08):182-184.
- [3] 孟令明,高宇,金子艺,姜岳良,李坚.互联网技术支持下的水文监测工作现状分析与对策[C]//2024（第十二届）中国水利信息化技术论坛论文集.松辽水利委员会水文局（信息中心）,2024:295-300.
- [4] 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.