

# 水利水电遥测系统的规划和实行

卫宏杰

新疆维吾尔自治区克拉玛依水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6751

**[摘要]** 水利水电遥测系统是提升水资源精细化管理、强化水旱灾害防御能力的核心基础设施。某地区地处中亚造山带核心区域,属温带大陆性干旱半干旱气候,水文特征呈现冰川融雪补给主导、水量季节变异大、区域分异性显著、自然环境恶劣等鲜明特点,对遥测系统的适应性、可靠性提出严苛要求。本文基于某地区的水文特征实际,结合干旱半干旱地区水文监测体系建设实践,系统阐述水利水电遥测系统的规划原则与核心内容,重点探讨站网布设、设备选型、通信组网等规划要点,同时从施工实施、调试优化、运行维护三个维度梳理系统实行的关键环节。

**[关键词]** 水利水电; 遥测系统; 规划设计; 系统实行; 干旱半干旱地区

中图分类号: P331 文献标识码: A

## Planning and Implementation of Hydrological Telemetry System for Water Conservancy

Hongjie Wei

Hydrological Survey Center of Karamay City, Xinjiang Uygur Autonomous Region

**[Abstract]** Hydrological telemetry system for water conservancy is a core infrastructure to improve refined water resources management and strengthen the capability of flood and drought disaster prevention. Located in the core area of the Central Asian Orogenic Belt, Northern Xinjiang features a temperate continental arid and semi-arid climate, with distinct hydrological characteristics such as dominance of glacial and snowmelt recharge, significant seasonal variation in water volume, remarkable regional differentiation, and harsh natural environment. These characteristics impose stringent requirements on the adaptability and reliability of the telemetry system. Based on the actual hydrological characteristics of Northern Xinjiang and combined with the construction practice of hydrological monitoring system in arid and semi-arid areas, this paper systematically expounds the planning principles and core contents of the hydrological telemetry system for water conservancy. It focuses on the key planning points including station network layout, equipment selection and communication networking. Meanwhile, it sorts out the key links of system implementation from three dimensions: construction and execution, commissioning and optimization, as well as operation and maintenance.

**[Key words]** Water conservancy and hydrology; Telemetry system; Planning and design; System implementation; Arid and semi-arid areas

### 引言

在全球气候变化背景下,极端水文事件频发,水资源时空分布不均问题愈发突出,对水文监测的时效性、精准性提出更高要求。水文遥测系统通过自动化采集、网络化传输、智能化处理水文要素数据,实现对水位、流量、雨量等核心参数的实时监控,已成为水资源管理、防洪减灾、生态保护的关键技术支撑。北疆作为新疆社会经济发展的核心区域,河流众多且水资源时空分布极不均衡,伊犁河、额尔齐斯河等主要河流以高山冰川、融雪为主要补给来源,夏季汛期水量集中,冬季易断流,同时区域内存在低温严寒、风沙频繁、高雷区分布等恶劣自然条件,传统

水文监测方式难以满足现代化水利管理需求。

近年来,新疆持续推进水文基础设施建设,“十四五”期间已完成434条重要河流、出山口河流巡测工作,安装自记水位监测设备176台(套),并计划2025年在北疆中小河流密集区等重点区域新增50处水位自动监测设施,逐步构建与新疆水网相匹配的现代化水文监测体系。在此背景下,结合北疆水文特征开展水利水电遥测系统的规划与实行研究,对于提升区域水文监测自动化水平、夯实数字孪生流域数据基础具有重要现实意义。

### 1 北疆水文特征及对遥测系统的要求

### 1.1 北疆核心水文特征

北疆位于天山以北,属全球中纬度干旱区重要组成部分,受西风气流与地形共同影响,形成独特的水文特征。

(1)气候方面,北疆年均气温 $-4\sim 9^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温可达 $-42^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ,气温日较差、年较差显著,无霜期 $140\sim 185$ 天;年降水量 $150\sim 200$ 毫米,区域分异性明显,天山、阿尔泰山山地受西部湿润气流影响降水较丰富,年降水量 $200\sim 250$  mm,向东逐渐减少,准噶尔盆地则降水稀少,蒸发强烈。

(2)水文水资源方面,北疆河流以高山冰川、融雪补给为主,辅以少量降水补给,水量季节变化剧烈,夏季冰川融雪集中形成汛期,冬季径流锐减甚至断流;主要河流包括伊犁河、额尔齐斯河、乌伦古河等,其中伊犁河年径流量165亿立方米,额尔齐斯河117亿立方米,是区域水资源的核心载体。

(3)水体化学特征上,北疆三大水系(伊犁、准噶尔、额尔齐斯)总溶解固体(TDS)浓度普遍高于我国季风区和湿润区河流,也高于世界平均水平,水体主要阳离子为 $\text{Ca}^{2+}$ ,主要阴离子为 $\text{HCO}_3^-$ ,岩石风化是水化学成因的主导因素。

#### 1.2 北疆对遥测系统的特殊要求

基于上述水文与环境特征,北疆水利水文遥测系统需满足以下特殊要求:一是抗极端环境能力,设备需适应 $-42^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的宽温度范围,具备抗风沙、抗冻融、防雷击等性能;二是精准监测能力,针对冰川融雪型洪水的突发性,需提升监测频次和数据时效性,确保洪水预警的提前量;三是稳定传输能力,北疆部分区域地处偏远,公网覆盖薄弱,需构建多信道冗余通信网络,保障数据稳定回传;四是低功耗长效运行能力,野外站点供电困难,需采用节能设备和可靠供电方案,实现长期无人值守运行。

## 2 水利水文遥测系统的规划

### 2.1 规划原则

北疆水利水文遥测系统规划需遵循“因地制宜、精准适配、可靠优先、集约高效”的核心原则。首先,严格契合北疆水文特征,针对冰川融雪补给河流、中小河流密集区、出山口等关键区域强化监测覆盖,确保站网布局的针对性;其次,依据《水文自动测报系统规范(SL61-2015)》《水情站网规划技术导则(SL34-2013)》等规范要求,结合新疆水网建设目标,实现监测范围与管理需求的精准匹配;再次,优先保障系统可靠性,通过多信道通信、冗余设计、耐候性设备选型等措施,提升系统在极端环境下的稳定运行能力;最后,坚持集约高效,充分利用现有监测设施基础,避免重复建设,实现资源优化配置。这一规划思路与北疆中小河流水文监测的实际需求高度契合,也与相关研究提出的干旱区水文遥测站网优化核心思路一致。

### 2.2 核心规划内容

#### 2.2.1 站网布设规划

站网布设需结合北疆河流分布、水文特征和管理需求,构建“重点覆盖、全域感知”的监测网络。

(1)在空间布局上,重点聚焦北疆中小河流密集区、主要河流出山口、水库进出口等关键区域,这些区域既是洪水形成的关

键节点,也是水资源调控的核心环节,新疆“十四五”期间已在434条重要河流、出山口河流完成巡测工作,并计划2025年新增50处自动监测设施,进一步加密这些区域的监测站点。

(2)在站点类型上,根据北疆水文监测需求,合理布设水位站、雨量站、流量站和综合监测站:水位站重点布设在河流出山口、水库坝前、渠道关键断面,采用自动水位计实现连续监测;雨量站主要布设在山地降水集中区和中小河流上游,捕捉降水时空分布特征;流量站针对伊犁河、额尔齐斯河等主要河流干流及重要支流布设,结合北疆河流含沙量较高的特点,选用适应性强的流量监测设备;综合监测站则在生态敏感区布设,同步监测水位、流量、水质、气象等多参数,支撑生态流量管控。例如,在北疆供水工程沿线,已布设25个水情遥测站,覆盖渠道关键断面,实现水位、雨量的实时监测。

#### 2.2.2 设备选型规划

设备选型需充分考量北疆极端环境条件,优先选用技术先进、性能稳定、耐候性强的设备。

(1)水位监测设备方面,针对北疆低温、风沙环境,选用雷达水位计或超声波水位计,避免浮子式水位计在低温下结冰卡阻的问题,设备需满足 $-30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的工作温度范围,防护等级不低于IP67;流量监测设备针对高含沙水流特征,选用多普勒流速仪等非接触式或抗磨损的接触式设备,减少泥沙对设备的磨损;雨量监测设备选用翻斗式雨量计,具备防风、防沙、防冻功能,确保降水数据采集准确。

(2)遥测终端机(RTU)选用低功耗、高可靠性产品,满足值守电流 $\leq 500\mu\text{A}@12\text{VDC}$ 的低功耗要求,支持北斗信道、4G、超短波等多种通信方式,具备主备信道自动切换功能,可实现数据定时上报和增量加报,同时具备远程参数设置、故障报警等功能,平均无故障时间(MTBF) $> 100000$ 小时。供电系统采用太阳能蓄电池供电方式,结合北疆光照充足的特点,配置高效太阳能板和大容量蓄电池,确保蓄电池单独供电时可满足45天以上的运行需求,应对连续阴雪天气。此外,所有野外设备均需配备完善的防雷系统,包括电源防雷、信号防雷和接地装置,适应北疆高雷区环境要求。

#### 2.2.3 通信网络规划

结合北疆地域辽阔、地形复杂、公网覆盖不均的特点,构建“北斗+公网+超短波”多信道冗余通信网络,确保数据传输实时、可靠。对于有公网覆盖的平原地区和城镇周边,优先采用4G通信作为主信道,传输速率高、成本较低;对于公网未能覆盖的丘陵、山区和沙漠边缘区域,采用北斗卫星通信作为主信道,北斗通信不受地形和气候影响,可实现全域无死角覆盖;在地形相对平坦、站点距离较近的区域,辅以超短波通信作为备用信道,降低通信成本。通信网络设计需满足《水文监测数据通信规约(SL651-2014)》要求,确保数据传输误码率不大于 $1\times 10^{-4}$ ,在99%的时间内保持通信畅通。遥测站数据需同时发送至县水利局、地区水文局和自治区水文局三级管理中心,实现数据共享和多级管控,提升水资源调度和防洪减灾的协同能力。例如,头屯河

流域水情监测系统改造中,采用超短波作为主信道,GSM和北斗卫星作为备用信道,有效保障了数据传输的可靠性。

### 3 水利水文遥测系统的实行

#### 3.1 施工实施

新疆遥测系统施工需充分考虑区域气候和地形特点,合理安排施工时序,强化施工质量管控。施工时序上,避开冬季严寒和夏季酷暑时段,优先选择春秋两季施工,减少极端天气对施工人员和设备的影响;对于山区和沙漠边缘等交通不便区域,提前做好物资运输规划,采用适合地形的运输设备,保障设备和材料及时到位。

施工重点关注以下环节:一是站点基础施工,根据北疆冻土特征,合理设计基础埋深,确保基础埋深大于最大冻土深度,避免冬季冻土隆起破坏站点设施;在风沙较大区域,增设防风沙围挡,保护设备免受风沙侵蚀。二是设备安装调试,严格按照设备技术规范进行安装,确保设备安装牢固、接线规范;重点做好防雷接地系统施工,接地电阻需满足相关规范要求,降低雷击风险。三是供电系统安装,太阳能板需朝向南方,确保最大光照接收效率,蓄电池安装在保温防水的设备箱内,避免低温影响蓄电池性能。施工过程中,需建立严格的质量管控体系,对基础施工、设备安装、通信测试等环节进行全过程监理,确保施工质量符合设计要求。同时,加强施工安全管理,针对北疆复杂地形和恶劣天气,制定专项安全防护措施,保障施工人员安全。

#### 3.2 调试优化

系统调试分为站点单机调试、通信链路调试和系统联调三个阶段:(1)站点单机调试重点测试各传感器、RTU、供电系统的工作状态,校准水位、雨量等监测参数,确保设备采集数据准确。(2)通信链路调试测试主备信道的通信质量和切换功能,验证数据传输的稳定性和时效性,针对通信不畅的区域,优化天线位置或调整通信参数,必要时增设中继站。(3)系统联调通过模拟不同水文场景(如正常径流、暴雨、融雪洪水等),测试系统的数据采集、传输、处理和预警功能,验证系统整体运行效能。结合北疆水文特征,重点测试系统在低温、风沙等极端条件下的运行稳定性,通过低温环境试验验证设备的耐低温性能,通过风沙模拟测试设备的防护效果。针对调试过程中发现的问题,及时进行优化调整,如优化数据采集间隔、调整通信信道切换阈值、完善预警参数设置等,确保系统适配北疆水文监测需求。此外,调试过程中需同步完成数据对接工作,确保遥测系统数据与各级水文管理平台兼容,实现数据实时共享和统一管理。

#### 3.3 运行维护

建立“定期巡检、动态监测、快速响应”的运行维护机制,保障遥测系统长期稳定运行。

(1)定期巡检方面,结合北疆气候特点,制定差异化的巡检

计划:春季重点检查设备是否受融雪积水影响,清理设备表面的冰雪和杂物;夏季检查太阳能供电系统性能,及时清理太阳能板表面的灰尘和风沙,确保供电稳定;秋季对设备进行全面检修,为冬季运行做好准备;冬季重点监测设备低温运行状态,及时处理设备结冰、供电不足等问题。巡检周期根据站点环境确定,一般区域每季度巡检1次,恶劣环境区域每月巡检1次。(2)动态监测方面,利用系统远程管理功能,实时监控各站点设备运行状态和数据传输情况,对设备故障、数据异常等情况进行自动报警。建立故障响应机制,接到报警后,快速派遣维护人员赶赴现场处理,一般故障24小时内解决,重大故障48小时内解决,确保系统停机时间最短。同时,定期对监测数据进行校准和验证,与人工观测数据进行对比分析,及时修正数据偏差,保障数据质量。(3)此外,加强维护人员培训,提升其对北疆特殊环境下设备维护的专业能力,熟悉设备性能和故障处理流程;建立设备备件库,储备常用设备和配件,缩短故障修复时间。通过完善的运行维护机制,可显著提升遥测系统的运行可靠性和使用寿命,充分发挥其在水文监测中的作用。

### 4 结束语

未来,随着数字孪生、人工智能、物联网等技术的发展,新疆水利水文遥测系统可向智能化、精准化、全域化方向升级。一是构建空天地一体化监测网络,整合卫星遥感、无人机巡查和地面遥测站点,实现对北疆水资源全域覆盖监测;二是引入人工智能算法,对监测数据进行深度分析,提升洪水预报、水资源预测的精准度;三是推进系统智能化管理,实现设备故障自动诊断、修复和数据智能分析预警,降低运维成本。同时,需进一步加强北疆水文特征与遥测技术融合的研究,针对冰川融雪洪水监测、高含沙水流监测等难点问题,研发更具针对性的监测设备和技术方案;加强区域协同监测,实现北疆各流域遥测系统的数据共享和联动调度,提升水资源统筹管理能力。通过持续的技术创新和系统优化,可为北疆水资源安全和生态保护提供更加强有力的支撑。

#### [参考文献]

- [1]李刚.北疆中小河流水文遥测站网优化设计[J].陕西水利,2022,(8):134-136.
- [2]王文山.北疆水库水情自动测报系统改造设计[J].水利建设与管理,2019,(3):63-66.
- [3]彭佳.头屯河流域水情监测系统的改造及应用[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.

#### 作者简介:

卫宏杰(1984--),男,汉族,新疆石河子人,本科,工程师,研究方向为水文学水资源。