

水文设施保护现状与关键技术研究

李猛

河北省衡水水文勘测研究中心

DOI:10.32629/hwr.v10i6.7030

[摘要] 水文设施是国家水资源监测、预报与管理体系的物质基础,其安全稳定运行直接关系到防洪减灾、水资源优化配置及水生态保护等核心公共职能的有效履行。当前,我国水文设施在自然损毁与人为破坏双重因素交织作用下,面临严峻的保护困境,呈现出设防标准偏低、侵占破坏频发、法规执行乏力及运维投入不足等系统性问题。因此系统审视水文设施保护的现状,并探寻具有工程适配性的关键技术路径,不仅是补齐流域监测体系短板的迫切命题,更是保障国家水安全的基础性工作。基于此,本文首先阐释了水文设施保护的战略意义,随后从自然损毁、人为破坏、法规约束及管护机制四个层面剖析了当前保护面临的现实困境,最后聚焦多源感知、冗余通信、耐久材料及智能告警与追溯四项关键技术展开论述,旨在为水文设施保护从被动应对向主动防御转型提供理论参照与实践路径。

[关键词] 水文设施保护; 现状; 关键技术

中图分类号: P331 文献标识码: A

Research on the Current Status and Key Technologies of Hydrological Facility Protection

Meng Li

Hebei Hengshui Hydrological Survey and Research Center

[Abstract] Hydrological facilities are the material foundation of the national water resources monitoring, forecasting, and management system. Their safe and stable operation is directly related to the effective performance of core public functions such as flood control and disaster reduction, optimized allocation of water resources, and water ecological protection. Currently, China's hydrological facilities are facing severe protection challenges due to the dual factors of natural and human damage, including low defense standards, frequent encroachment and destruction, weak enforcement of regulations, and insufficient investment in operation and maintenance. Therefore, systematically examining the significance and current status of hydrological facility protection, and exploring key technological paths with engineering adaptability, is not only an urgent proposition to fill the gaps in the watershed monitoring system, but also a fundamental work to ensure national water security. Based on this, this article first explains the strategic significance of hydrological facility protection, and then analyzes the current practical difficulties faced by protection from four levels: natural damage, human damage, regulatory constraints, and management mechanisms. Finally, it focuses on four key technologies: multi-source perception, redundant communication, durable materials, and intelligent alarm and tracing, aiming to provide theoretical reference and practical path for the transformation of hydrological facility protection from passive response to active defense.

[Key words] hydrological facility protection; present situation; key technology

引言

水是生存之本、文明之源,而水文数据则是认知水规律、防御水灾害、管理水资源的根本依据。作为获取这些宝贵数据的前哨与基石,水文站网及其附属设施遍布全国江河湖库,构成了规模庞大的水文监测体系。从江河源区孤悬的雨量观测场到干流峡谷中凌空架的测验缆道,从沿用数十年的水尺桩到集成

多声学剖面的自动测流平台,这些设施长期暴露于复杂多变的自然环境中,并日益频繁地受到高强度人类活动的扰动。因此,厘清当前水文设施保护的复杂现状,识别其面临的核心痛点,并在此基础上探究具有前瞻性与实用性的关键技术路径,不仅是一项迫切的工程管理命题,更是筑牢国家水安全屏障的战略必需。

1 水文设施保护的战略意义

水文设施保护不是一般意义上的资产管理行为,而是维系流域防洪减灾体系灵敏性与精准度的生命线工程,其战略意义体现在多个层面。首先是准确的实时水文数据是洪水预报预警模型运转的“原料”。如果监测设施因保护不力而损毁,尤其是在暴雨如注、洪峰过境的极端紧要时刻发生失能,预报链条将瞬间断裂,致使错失群众转移、工程调度的宝贵窗口期,直接威胁人民生命财产安全。其次长期、连续、稳定的水位、流量、泥沙等数据序列,是计算生态流量、划定水功能区纳污红线以及实施跨流域调水工程精准配水的裁判依据。水文设施物理实体的缺失必然导致数据谱系的残缺,进而动摇水资源刚性约束制度的科学根基。再者作为国家重要公共基础设施,水文设施及其附属的观测场地、专用通道、测绘标志等具有法律赋予的不可侵犯性。最后是水文设施多建于偏远险峻之地,单体建设与运维成本高昂。如果强化主动保护,并通过技术手段延长设施的无故障运行周期,其综合能效比远优于灾后重建与应急修复。因此对水文设施进行严格保护,是维护法律尊严、彰显公共管理秩序的必然要求。

2 水文设施保护的现状

2.1 自然损毁风险加剧,设施暴露环境严峻

水文设施依水而建、临水而作的本质属性决定了其必须承受持续性、高强度的自然应力考验。现状调查表明,极端气象水文事件频发已成为设施损毁的首要诱因。在山区河流,山洪携带的巨砾与漂浮物对水文缆道支柱、水位计台基造成猛烈撞击,所引发的结构失稳现象极为普遍。岸坡崩塌与河势演变同样具有渐进式破坏效应,原本稳固的观测房基础可能因主流顶冲点位移而掏空暴露,导致墙体开裂甚至整体倾覆。此外高寒地区的冻融循环加速了混凝土碳化与钢筋锈胀,高盐雾区的电化学腐蚀则使金属结构件的服役寿命大幅缩短。此类自然损毁往往呈现突发性强、损毁程度深且修复难度大的特点。然而由于基层运维经费长期紧张,许多设施的设防标准仅能应对常规工况,缺乏抵御超标准洪水或极端地质灾害的冗余韧性,导致设施在灾害链面前表现得极为脆弱。

2.2 人为破坏形态多样,侵占干扰屡禁不止

相较于有规律可循的自然风险,人为因素带来的破坏更具隐蔽性、突发性和顽固性。在城乡结合部及经济开发活跃区域,水文测验保护河段常被非法采砂、围垦种植或倾倒建筑渣土所挤占,导致断面地形发生剧烈变异,水位-流量关系彻底失准,致使设施实质上处于“数据存活但功能死亡”的尴尬境地。其次随着江河航运的飞速发展,船舶碰撞水位计、测流缆道铅鱼的事故频发,部分桥梁通航孔附近的监测设备更是险象环生,极易造成通讯中断,最终导致整站数据“黑屏”,对正处在汛期战时的防汛指挥系统构成致命打击。除此之外,垂钓、旅游等亲水活动的无序蔓延,也使得水尺、管道等附属设施容易遭受无意识的物理损坏与生物骚扰,最终导致管护压力与日俱增。

2.3 法规执行存在落差,保护红线约束力不强

尽管《中华人民共和国水文条例》及各省市区配套实施办法已明确划定水文监测环境保护区,并对禁止行为作出了详尽列举,但在现实执行层面仍面临“法不责众”与“界定模糊”的困境。比如保护范围的划定在图纸与文件上是清晰闭合的,但在广袤的野外物理空间中,界桩、警示牌的缺失或损毁常使法律边界变得模糊。当侵占事件发生时,水行政主管部门的执法力量捉襟见肘,往往缺乏现场制止与强制拆除的即战力,需依赖多部门联合执法。然而部门间的协调成本极高,常陷入“看得见的管不了,管得着的看不见”的治理僵局。此外对破坏行为的惩戒力度未能形成有效震慑,行政处罚额度相对于巨大非法获利往往畸轻,刑事追责的适用门槛与取证难度较高,导致违法成本明显低于守法成本,因而在客观上纵容了破坏行为的反复发作,使得法律划定的保护红线在部分地区沦为“橡皮图章”^[1]。

2.4 运维管护机制滞后,被动应对特征显著

当前水文设施的日常管护模式仍然以人工周期性巡检为主,巡检周期长、盲区多,以至于对故障的发现严重滞后于故障的发生。这种“出了事才知道”的被动响应机制,使得小病拖成大病,小患酿成大祸。例如螺栓松动若未被及时察觉并紧固,便会在风振作用下发展为结构节点的疲劳断裂;基础轻微的淘刷若不加以干预,终将招致整体垮塌。除此之外,在运维管护过程中,还存在维修养护的标准化、精细化程度不足等现象,且缺乏针对不同流域特性、不同设施类型的差异化维保手册,以至于现场操作多凭经验判断。这种管护模式与新时期水文实现全天候、全要素、全量程、全过程在线监测的要求严重不相适应,成为了制约水文监测能力提升的短板。

3 水文设施保护的关键技术

3.1 基于多源感知的设施状态在线监测技术

将“事后巡查”变为“事前预警”的首要前提,是赋予设施本体以实时的自我感知能力。该技术是运用微机电系统传感器、光纤光栅传感网络及计算机视觉等多源感知手段,对水文设施的物理性状进行高密度、多参数的全方位监控。具体表现在三个方面,首先是在水位计立柱、缆道塔架等关键结构节点部署三维加速度传感器与倾角仪,可实时捕捉振动频谱与倾斜角度的异常瞬变,从而提前数小时乃至数天预判结构失稳风险。其次是将分布式光纤温度与应变传感系统内嵌于水工混凝土内部或钢结构表面,利用布里渊散射效应实现对温度裂缝、应力集中区域的高精度空间连续定位,其监测精度与实时性远超传统的点式电阻应变片。最后是在盗窃多发站点布设集成红外热释电、微波多普勒与AI图像识别功能的复合侦测终端,当有非授权人员闯入电子围栏区域,或太阳能板出现非正常搬移遮罩时,系统能在秒级确认警情真伪并唤醒高清抓拍与远程喊话功能。这种多物理场、多技术路径交叉验证的感知体系,使得隐伏在冰水之下或钢铁肌体之内的微小损伤得以及时暴露,为主动检修提供了精准靶向^[2]。

3.2 融合水文特性的冗余自愈通信保障技术

水文设施多位于公网覆盖盲区或信号极不稳定的深山峡谷,

且汛期公网常因基站水淹、断电而瘫痪,因而构建一种专网与公网互补、有线与无线交织的抗毁通信网络势在必行。此技术主张以北斗三号短报文通信作为保底链路,充分利用其全天候、无盲区、不受地面灾害影响的特有优势,进而实现骨干水情数据与告警指令的双向可靠传输。与此同时,在现场局域组网层面,引入无线自组网技术,可使得邻近的多个水文站点、传感器节点之间能够自动建立动态路由的网状网络。当某一节点遭受物理损毁导致通信中断时,数据报文能够自动寻找剩余的跳转路径抵达汇聚节点,表现出极高的网络鲁棒性。尤为关键的是,通信协议需根据水文报汛的“定时、定段、定次”特征进行深度适配,设计报平安帧与报险帧的绝对优先级差异,以确保常规工况下的极低功耗运行与突发水毁灾害时高速率突发报文的成功碰撞规避,从而实现信道资源的高效利用与信息传输的零丢失^[3]。

3.3 抵御恶劣环境的工程材料耐久性提升技术

提升设施自身“筋骨皮”的物理抵御能力,是从本源上降低损伤易感性的关键。面对水文设施所耐受的多元强侵蚀环境,应全面推广高性能化、功能化的先进工程材料。针对钢制塔架、锚索及铅鱼悬索等金属构件在多介质界面下的严酷腐蚀,可采用热喷涂锌-铝-稀土合金长效复合涂层技术替代传统的防腐油漆。该涂层体系结合了牺牲阳极的阴极保护与致密片层的物理屏蔽双重功效,耐盐雾试验寿命可达传统油漆的3至5倍。对于水尺板、水位计井筒等受水流泥沙剧烈磨蚀的部位,则适宜采用含纳米碳化硅颗粒的环氧砂浆或高分子量聚乙烯抗冲磨板材进行包覆。这些材料通过增加表面硬度和改善疏水性能,极大地降低了微切削磨损与空蚀破坏速率。在水文观测房、栈桥等混凝土结构修复加固中,应用渗透结晶型防水涂料与自密实无收缩灌浆料具有显著优势。前者能遇水激发,生成不溶于水的枝蔓状结晶体,可深度封堵细微裂隙,让混凝土具备自我愈合的“生物”特性;后者则能保证在钢筋密集、无法振捣的复杂节点形成均匀密实的填充,从而恢复结构的整体承载刚度。这些材料的组合应用,能够将设施从环境胁迫的被动承受者,转变为具有高耐久、长寿命的坚固堡垒^[4]。

3.4 基于时空关联分析的智能告警与定位追溯技术

单点感知虽能捕捉异常,但要从复杂的自然脉动与偶发性扰动中精准剥离出真实的破坏事件,并形成可追溯的证据链,必须引入时空维度的关联解算。该技术的核心,是将分散的水文设施视为空间耦合的监测网络,利用多源数据的时间序列对齐与空间拓扑约束,进而滤除环境噪声、锁定危害行为。其实现路径体现为三个层面。第一是通过在同一流域带内振动、倾角、应变及水文要素等多维信号进行跨参数时间对齐,可区分出洪水

正常冲刷所致的同步渐变与船舶撞击、机械盗采引发的孤立突变。例如水位上涨期的缆道塔架倾斜缓慢增加属于水力加载响应,而无降雨条件下基座振动的瞬时逾限则高度指向非法挖掘。第二是利用设施群的地理分布与相邻节点信号的衰减梯度或到达时间差,以实现破坏源的空间交会推定。一旦某处防护围栏触发入侵告警,邻近水尺或视频终端的联动唤醒可接力追踪目标的移动方位与路径,从而避免单点视野局限带来的漏判。第三是将多次事件的位置时序与历史破坏热力图、河段开发活动图谱进行叠加分析,如此可识别出具有重复性、周期性的蓄意破坏行为模式,从而为定向执法与重点布控提供情报支持。由此可见,智能告警与定位追溯技术能够将保护响应从离散的“点”拓展至协同的“面”,使得破坏行为不仅被即时发现,还可以被精准定位与过程还原,真正实现了告警即锁定、溯源有依据的闭环管控^[5]。

4 结束语

随着水文监测从“有人值守”向“无人化、智能化”深度演进,多源感知、冗余通信与耐久材料等关键技术凭借其前置预警、抗毁保通及本体强固的综合效能,将在设施保护体系中占据日益核心的技术席位。然而从当前技术落地情况看,感知终端的野外长期稳定性、自组网协议与水文报汛体制的深度耦合等问题仍待工程化验证。因此在现阶段保护实践中,应根据流域风险特征、设施类型与运维条件,合理配置监测手段与防护等级,并通过技术与管理的高效协同确保各项措施落地见效,使关键技术在实际保护效能与投入产出比之间达成务实平衡,进而为水文设施由被动受损向主动免疫的转变提供可靠支撑。

【参考文献】

- [1]龙仕杰.复杂水文环境下码头工程咨询的风险识别,标准化管理与弹性应对策略[J].大众标准化,2026(6):102-104.
- [2]陈婷.四川省水文监测设施和监测环境保护的一些思考[J].四川水利,2026,47(1):166-168.
- [3]马晓榛,张鑫鑫.水环境保护中水质自动监测技术应用研究[J].科技创新与应用,2026,16(1):175-178.
- [4]阳蔚英.水质监测技术及水文水资源保护策略研究[J].数码设计(电子版),2024(10):0719-0721.
- [5]吴佳忠,吴丹.水文水资源监测现状及解决对策[J].进展:科学视界,2023(5):155-157.

作者简介:

李猛(1990—),男,汉族,河北省巨鹿县人,本科,工程师,从事水文水资源研究、水文监测、水文设施保护等工作。