

水库供水工程水土保持监测技术类型及其应用

胡磊 韩笑 仇知雨 夏禹

江苏省水利勘测设计研究院有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8539

[摘要] 随着现代化社会的发展,水利基础设施建设规模持续扩大,水库供水工程重要性日益凸显,具有保障水资源供应、调节生态环境等关键作用。然而,水库供水工程建设及运行,可能会扰动地表、破坏植被,引发一定水土流失问题,对周边生态环境造成负面影响,降低供水工程环境效益。通过引入水土保持监测技术,能够实时、动态监测水土流失情况,为水土保持措施实施提供数据支撑,具有较强的应用价值。文章通过分析水库供水工程水土保持监测技术创新,提出加强监测人员队伍建设、深度使用数智技术手段、完善水土保持监测体系等方案,更好地预防并治理水土流失,促进水土保持事业可持续发展。

[关键词] 水库;供水工程;水土保持监测技术;水土流失

[中图分类号] S157;TV62

Types and Applications of Soil and Water Conservation Monitoring Technologies for Reservoir Water Supply Projects

Hu Lei Han Xiao Qiu Zhiyu Xia Yu

Jiangsu Provincial Water Resources Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] With the development of modern society, the scale of water conservancy infrastructure construction continues to expand, and the importance of reservoir water supply projects is increasingly prominent, playing a key role in ensuring water resource supply and regulating the ecological environment. However, the construction and operation of reservoir water supply projects may disturb the surface, damage vegetation, cause certain soil erosion problems, have negative impacts on the surrounding ecological environment, and reduce the environmental benefits of water supply projects. By introducing soil and water conservation monitoring technology, real-time and dynamic monitoring of soil erosion can be achieved, providing data support for the implementation of soil and water conservation measures and having strong application value. The article analyzes the innovation of soil and water conservation monitoring technology in reservoir water supply projects, proposes plans to strengthen the construction of monitoring personnel team, deeply use digital technology, and improve the soil and water conservation monitoring system, in order to better prevent and control soil erosion and promote the sustainable development of soil and water conservation.

[Key words] reservoir; Water supply engineering; Soil and water conservation monitoring technology; soil erosion

水库供水工程中,水土保持监测技术包括遥感监测技术、GIS(地理信息系统)技术、GPS(全球定位系统)技术、三维激光扫描技术等,通过创新监测技术,能够更及时、准确获取水土流失数据,为制定水土保持方案提供有效依据,有利于促进水库供水工程安全进行。然而,目前水库供水工程水土保持监测技术的应用中,还存在高素质监测人才相对短缺、缺少数智技术的灵活运用、水土保持监测机制不完善等问题,难以构建更有效的水土保持监测技术体系,降低水土保持有效性。因此,有必要探索更高效的监测方法、手段,进一步提升水库供水工程水土保持工作水平,确保工程与环境协同发展。

1 水库供水工程水土保持监测技术应用价值

在水库供水工程建设中,水土保持监测技术是实现工程建设与生态保护协同发展的核心支撑,可有效遏制水土流失、保障工程安全、提升资源利用率。

其一,依托3S、无人机航测等技术,能精准识别水土流失高风险区,捕捉微小地形变化与植被破坏迹象,为布设植草护坡等措施提供依据,保护区域生态。其二,通过高精度GNSS、渗压计等设备,实时监测施工区稳定性,及时捕捉水土流失引发的地基沉降、边坡溜塌风险,为应急加固提供支撑,保障工程推进^[1]。其三,量化分析施工对水土资源的扰动,为优化施工方案、动态调配土石方提供数据支撑,减少资源浪费,实现施工资源集约化利用。

例如,浙江省温州市飞云河流域的水务工作中,通过在岸边每间隔 300 米布置卫星遥测水位柱,配合自动巡库无人机,可实现流域水量的实时掌控。

2 水库供水工程的水土保持监测技术

2.1 遥感监测技术

1) 数据采集。根据水土保持监测需求,选择高分辨率遥感卫星或无人机等,进行数据采集;使用无人机时,应基于施工现场提前规划航线,在水库周边,飞行高度控制在 100~150m、航时为 15~20min,以网格状、航线往复等方式,对施工区域及周边进行全方位影像采集,分辨率达 0.1~0.5m。

2) 数据处理。获取采集影像后,先进行辐射校正,消除因大气散射、吸收等因素,造成的辐射误差;再进行几何校正,减少因传感器姿态、地形起伏引起的几何变形,完成影像预处理工序。最后,利用图像分类算法,比如随机森林、支持向量机等,结合人工解译样本,精准分类识别影像各地物,包括植被、裸地、水体、建筑物等,将采集影像转化为可分析的数据成果。

3) 应用分析。对比水库供水工程建设前、中、运营期等阶段遥感影像,基于植被指数计算模型,准确获取植被覆盖率变化数据,直观反映工程建设对生态环境的影响;基于遥感影像,可监测水土流失区域动态变化,为水土保持决策提供有效依据。

2.2 GIS 技术

1) 多源异构数据融合。针对水库供水工程水土保持监测的动态性需求,整合高分辨率地形数据(精度 1~5m)、多时相遥感影像(涉及植被 NDVI 指数反演数据)、土壤理化属性数据库(包括有机质含量、抗蚀性系数等)、实时气象观测数据(分钟级降雨强度、风速矢量数据)。另外,还需引入无人机航拍的厘米级实景三维模型数据,基于坐标配准技术,与 GIS 数据实现空间关联,避免数据源单一导致微地形变化捕捉不足。

2) 构建智能数据库。采用时空数据模型,对采集信息进行矢量化处理,按照基础地理、工程要素、生态要素,分类存储矢量图层,建立包括空间拓扑关系的动态数据库;开发数据质量校验模块,自动识别异常值,通过比对基准站数据,实现快速修正,确保数据可用性^[2]。

3) 深度空间分析与决策支持。基于改进 RUSLE 模型(修正土壤可蚀性因子算法),将各种因子图层进行加权叠加分析,生成水土流失敏感性分级图谱,精度达到 10m×10m,精准定位高风险区域;利用 GIS 三维可视化功能,动态模拟不同施工阶段下,水土流失扩散路径,为精准施策提供量化依据。

2.3 GPS 技术

1) 部署设备。在水库大坝、边坡等关键监测点,与水土保持设施等区域,安装毫米级定位精度的 GPS 接收机,每隔 50~100m 部署一个,全面覆盖监测点关键部位,对于高陡边坡,可适当加密监测点;在远离工程现场、地质稳定的区域,设立基准站,为监测点数据处理提供基准。

2) 数据处理。GPS 接收机可持续采集卫星信号数据,基于

无线传输或数据存储设备等,将采集数据传输至数据处理中心;再结合差分 GPS 技术,将采集数据与基准站数据进行比对,消除卫星信号传播误差、时钟误差等,获取监测点精准三维坐标信息,包括经纬度与高程。

3) 监测应用。定期分析监测点三维坐标数据,通过比较不同时期的坐标值,精准计算监测点在水平、垂直方向上的位移变化,预警潜在水土流失隐患,为后续加固处理提供数据支撑;GPS 技术还可精准定位水土保持设施,标记植被恢复区域边界,生成相应的电子地图,便于后续管理及维护。

2.4 三维激光扫描技术

1) 数据采集。基于水库周边地形地貌,根据复杂程度、监测需求等,合理规划扫描站点位置,相邻站点间距控制在 50~200m 内;各扫描站点中,使用地面三维激光扫描仪,高速发射激光束,对目标区域进行全方位扫描,实时获取物体表面点云数据;扫描过程中,必须保证扫描角度、范围完整覆盖监测区域,对于地形起伏较大、遮挡较多的区域,应适当增加扫描站点数量,确保数据采集完整度、准确性。

2) 构建模型。数据采集后,将多站点获取的点云数据导入至软件,进行拼接处理,通过同名点匹配、坐标转换等技术,将所有数据集成到同一坐标系中,构建完整的点云数据集;对数据集进行去噪处理,去除因扫描误差、环境干扰等形成的噪点;基于点云数据,构建高精度三维模型,全面展示监测区域地形地貌、工程设施等空间信息。

3) 监测分析。比较不同时期构建的三维模型,利用专业分析软件,精准分析边坡坡度、坡向等信息,及时发现潜在的滑坡风险;并监测水库周边地形地貌动态演变,评估水土保持工程效果。

3 水库供水工程水土保持监测技术应用现状

3.1 水库供水工程水土保持监测技术应用问题

3.1.1 高素质监测人才相对短缺

水库供水工程水土保持监测技术应用中,高素质监测人才相对短缺,难以高效利用水土保持监测技术,降低技术应用率。第一,相关部门虽然组织了一些专业培训,但实际成效不佳,难以切实提高监测人员技术应用能力,不利于发挥新型水土保持监测技术的作用^[3]。第二,相关部门缺少完善的线上交流渠道,降低监测人员间沟通效率,难以分享水土保持监测技术应用经验,不利于改进水土保持方案,影响到水库供水工程有序进行。第三,相关部门未改善监测人员待遇水平,难以吸引高素质、复合型人才就职,降低水土保持监测队伍专业性,不利于灵活使用水土保持监测新技术。

3.1.2 缺少数智技术的灵活运用

当前水库供水工程水土保持监测中,数智技术应用碎片化、浅层化,为形成感知、分析与决策闭环,监测精度、响应效率不足,无法适配工程生态风险防控需求。

一是技术融合度低,多数监测场景中,单一使用遥感、GIS 技术,未构建空天地一体化监测网络,如未实时联动无人机航拍数据、地面土壤墒情传感器数据,难以实现数据互补,导致水土流失隐患难识别,增减监测误差。

二是智能分析缺位,目前的监测数据处理,仍以人工统计为主,未引入AI、大数据技术,无法根据机器学习算法挖掘数据间隐性关联,如降雨强度、土壤质地与流失量,导致水土流失预测准确率下降。

三是自动化水平不足,目前的水土保持监测工作中,仍以人工巡检为主,较少使用自动化技术,难以实时预警水土流失风险,动态响应机制不及时。

3.1.3 水土保持监测机制不完善

水库供水工程水土保持监测机制不完善,缺少相应的规章制度,不利于增强技术应用规范性,影响到水土保持工作可持续发展。其一,不同地区、部门执行的监测标准中,还存在一定差异,如水土流失强度分级指标不一致,导致数据缺乏可比性,难以形成全国性监测成果。其二,在监测工作中,工程建设、设计、施工等多方主体职责划分模糊,常出现相互推诿现象,影响监测工作正常开展。其三,政府部门对监测工作的监管,多依赖定期检查,缺乏全过程动态监管,对监测数据造假、漏报等问题,惩处力度不足^[4]。其四,监测成果与水土保持方案优化、生态补偿机制等政策衔接不足,导致监测工作对工程建设的指导作用未能充分发挥。

3.2 水库供水工程水土保持监测技术应用问题成因

人才培养与保障机制缺位,对于水库供水工程,专业培训体系针对性不足,未注重数智技术实操与多技术的融合应用,难以强化监测人员综合性能力;且线上渠道缺失,导致技术经验共享不畅,同时缺乏人才激励机制,待遇竞争力弱,难以吸引并留住复合型监测人才,不利于发挥水土保持监测技术应用效能。

数智技术融合应用存在壁垒,现有的水土保持监测技术集成度低,缺乏空天地一体化监测网络,难以协同运用多源数据,比如遥感、传感器与无人机监测数据等,未发挥数据互补性优势。并且,智能分析、自动化技术应用不足,仍依赖人工处理数据,难以动态预测水土流失,降低监测响应效率。

监测体系与监管机制不完善,目前行业内缺乏统一监测标准,导致各参与方缺乏明确责任界定;监管模式以定期检查为主,未创新全过程动态监管,对数据造假等违规行为惩处力度不足;未有效利用监测成果,未形成监测与应用闭环,难以强化监测工作指导价值。

4 水库供水工程水土保持监测技术创新应用策略

4.1 加强监测人员队伍建设

水库供水工程水土保持监测技术应用中,应当加强监测人员队伍建设,提高监测人员业务水平,加强对水土保持监测技术的应用。第一,相关部门应邀请领域内专家,举办“水土保持监测+新技术”专题讲座,详细说明各种技术应用要点,加深监测人员对新技术的认识,能够灵活使用监测技术及方法,精准掌握水土流失状况。第二,相关部门应完善在线交流平台,便于监测人员互相沟通,分享水土保持监测技术应用经验,总结行之有效的监测方法,更好地应对水土流失问题。第三,相关部门应改善监测人员待遇水平,吸引创新型、复合型人才就职,优化监测队伍结构,增强水土保持监测队伍专业性,为技

术创新提供人才保障。第四,监测人员应强化自身创新意识,积极学习水土保持监测新技术,推动水库供水工程有序进行奠定基础。

4.2 深度使用数智技术手段

相关部门应当深度使用数智技术手段,构建更全面的水土保持监测技术体系,并引入各种信息化、数字化技术,推动水库供水工程转型升级。首先,相关部门应完善综合监测系统,集成遥感、物联网、AI算法等技术,实现空天地一体化监测,进一步强化监测精度及广度,充分发挥水土保持监测技术的作用。其次,监测人员应灵活使用大数据、AI技术等,高效分析水土保持采集数据,自动预测水库周边水土流失发生概率,为制定水土保持措施提供技术支撑^[5]。再次,相关部门应部署自动化监测设备,在关键区域部署智能传感器网络,由此强化水土保持监测及时性,进一步扩大自动化监测覆盖范围。

4.3 完善水土保持监测体系

相关部门应当完善水土保持监测体系,形成统一化技术标准,建立健全相应的规章制度,推动水土保持监测技术规范应用。其一,水土保持监测工作中,应由行业主管部门牵头,制定统一的监测技术规范,明确监测指标、方法和数据格式,建立标准化数据共享平台。其二,相关部门应利用区块链技术,实现监测数据不可篡改存证,建立政府、企业、公众共同参与的监督机制,对违规行为实施联合惩戒。其三,相关部门应推动监测成果的有效应用,加强与工程设计、施工优化、生态补偿政策的深度融合,建立“监测-反馈-治理”闭环管理机制,提升监测工作的决策支撑价值。其四,工程合同中,应明确各方监测责任,建立建设单位总负责、施工单位实施、第三方机构监理的责任体系,促进水土保持工作有序进行。

5 结束语

综上所述,水库供水工程水土保持监测技术应用中,还存在高素质监测人才相对短缺、缺少数智技术的灵活运用、水土保持监测机制不完善等问题,降低技术应用效果。文章通过分析水库供水工程水土保持监测技术创新,提出加强监测人员队伍建设、深度使用数智技术手段、完善水土保持监测体系等措施,促进水土保持监测技术持续优化。

[参考文献]

- [1]王潇媛,马园园,褚宇.水库供水工程水土保持监测技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(14):220-222.
- [2]周军.无人机遥感技术在水土保持动态监测中的创新应用[J].工程技术研究,2025,10(09):214-216.
- [3]李玥菡.水土保持的生态环境监测技术研析[J].中国战略新兴产业,2024,(17):110-112.
- [4]史明昌,赵永军.新时代水土保持监测技术体系[J].中国水土保持科学(中英文),2023,21(05):146-154.
- [5]高宇婷,李狄嘉.某水库供水工程水土保持监测技术初探[J].水利技术监督,2022,(08):57-60.

作者简介:胡磊(1997.11.06-),男,汉族,江苏邳州人,硕士研究生,研究方向:水土保持规划设计。