

长距离输水工程水土保持动态监测与效果评价

牟雨薇

新疆智维瑞佳水务有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v10i7.7081

[摘要] 长距离输水工程是保障区域水资源安全、促进经济社会发展的重要基础设施。工程建设与运行不可避免地扰动地表,加剧水土流失风险。为科学评估工程的水土流失影响及防治成效,本文重点探讨适用于特殊干旱区与绿洲区的水土保持动态监测技术体系,包括遥感监测、地面观测与数字化平台。通过对典型区段的长期监测数据分析,构建涵盖水土流失控制、植被恢复、土壤改良等多维度的效果评价指标体系,并进行定量与定性相结合的综合评价。研究表明,实施系统的水土保持动态监测与效果评价,能够及时反馈防治措施的有效性,为工程区生态保护与修复决策提供科学依据,实现水资源调蓄与生态环境保护的双重目标。

[关键词] 长距离输水工程; 水土保持; 动态监测; 效果评价; 干旱区

中图分类号: S157 **文献标识码:** A

Dynamic monitoring and effectiveness evaluation of soil and water conservation in long-distance water conveyance projects

Yuwei Mou

Xinjiang Zhiwei Ruijia Water Co., Ltd

[Abstract] Long distance water transmission projects are important infrastructure for ensuring regional water resource security and promoting economic and social development. Engineering construction and operation inevitably disturb the surface and exacerbate the risk of soil erosion. To scientifically evaluate the impact and prevention effectiveness of soil erosion in engineering, this article focuses on exploring the dynamic monitoring technology system for soil and water conservation applicable to special arid and oasis areas, including remote sensing monitoring, ground observation, and digital platforms. By analyzing long-term monitoring data of typical sections, a multi-dimensional effectiveness evaluation index system covering soil erosion control, vegetation restoration, soil improvement, etc. is constructed, and a comprehensive evaluation combining quantitative and qualitative methods is conducted. Research has shown that implementing systematic dynamic monitoring and effectiveness evaluation of soil and water conservation can provide timely feedback on the effectiveness of prevention and control measures, provide scientific basis for ecological protection and restoration decisions in engineering areas, and achieve the dual goals of water resource regulation and ecological environment protection.

[Key words] long-distance water conveyance project; water and soil conservation; Dynamic monitoring; Effect evaluation; arid zone

引言

新疆属于我国西北内陆干旱地区,水资源在时间上、空间上的分布不均匀,给社会发展造成不良的影响。长距离输水工程是解决水资源短缺问题的重要途径,对调蓄水量、保证供水起着不可替代的作用。但是此类工程规模大,施工期开挖、回填、弃渣等活动以及运行期渠道沿线区域,都会或多或少地破坏原生地表结构和植被覆盖,在强风、融雪和偶尔的暴雨等外营力的作用

下,很容易造成水土流失,危及工程安全,影响周边生态环境。因此,对工程建设和运行全过程的水土保持动态监测,对采取的水土流失防治措施进行系统的评价,对及时掌握水土流失动态、改善防治措施、保证工程长期稳定运行、促进区域生态安全有重要的理论和现实意义。本文主要研究新疆地区输水工程水土保持动态监测技术及效果评价体系。

1 研究区概况与工程水土流失特点

新疆长距离输水工程大多穿越荒漠、戈壁、绿洲、山前冲洪积扇等不同的地貌单元, 沿线气候极端干旱, 降水稀少且集中, 蒸发强烈, 风大沙多, 生态环境极其脆弱。工程引水渠道、隧洞、渡槽、倒虹吸、调蓄水库和施工道路等线性及点状构筑物的建设, 形成了一个持续不断的、带状的人为扰动区。水土流失特点有以下几点: (1) 施工期以水力侵蚀(沟蚀、面蚀)、重力侵蚀(滑坡、坍塌)为主, 运行期及沿线风蚀作用全年持续, 荒漠戈壁段风沙活动对渠道淤积影响大。(2) 侵蚀强度有明显的时空分布特征, 在施工活动集中的时期侵蚀强度最大, 不同地貌、土壤类型区的侵蚀模数差别很大, 春季融雪和夏季偶尔发生的暴雨是引发水蚀的两个关键期, 而春秋季节的大风则是风蚀的主要动力。(3) 生态扰动和恢复困难, 工程建设破坏了地表结皮、低矮灌丛等天然防护层, 土壤结构变差, 养分流失, 自然条件下植被自我恢复周期长或者不能逆转, 人工修复成本高、技术要求严格。(4) 具有长远的影响, 水土流失会造成土地资源退化、工程设施(渠道边坡稳定性、水库库容等)受到破坏, 并且还会加快沿线荒漠化的进程, 给绿洲生态安全带来一定的隐患。因此, 对于上述特点, 创建出一套准确、有效、适合的动态监测和效果评价体系就显得十分重要^[1]。

2 水土保持动态监测技术体系构建

2.1 监测内容与指标体系

水土保持动态监测的重点是全方位、系统化、连续地获取反映水土流失状况和防治效果的有关信息。监测内容要包含水土流失状况、防治措施落实情况和防治效果这三个方面。水土流失状况监测要包含侵蚀面积、侵蚀强度(风蚀模数、水蚀模数)、土壤流失量、侵蚀沟发育动态等内容, 防治措施实施情况监测要追踪工程措施(拦渣坝、护坡、排水沟、沉沙池)、植物措施(林草植被创建、绿化带)和临时措施(覆盖、拦挡)的数量、质量、分布和完好率, 防治效果监测才是评价的关键, 重视土壤侵蚀控制程度、植被覆盖度和恢复度、土壤理化性质(有机质、含水量、含盐量)的改变、拦渣保土效益以及对周边生态环境的改良效果。因此建立一个包含定性描述和定量指标的动态监测指标体系, 该体系应该具有科学性、可操作性和针对性, 可以灵敏地反映新疆干旱区输水工程沿线特殊的水土流失问题, 为之后效果评价提供翔实、连续的数据支持^[2]。

2.2 监测技术与方法集成

对新疆长距离输水工程线路长、范围广、环境复杂的特性而言, 监测工作应该创建起“天-空-地”一体化的综合技术体系。遥感监测(RS)是进行大范围、周期性、快速监测的主要方法。用多光谱、高光谱和雷达卫星影像, 利用影像分类、变化检测、植被指数(NDVI)反演等方法, 可以在宏观上对地表扰动范围、植被覆盖动态、土壤湿度和风蚀沙化趋势进行监测。尤其是高分辨率的影像可以识别出小的侵蚀沟、微地貌的变化。其次, 无人机(UAV)低空遥感具有灵活性和高精度的特点, 可以对重点地段(陡峭边坡、弃渣场、施工迹地等)进行精细的调查, 用倾斜摄影生成高精度三维模型, 可以测量边坡稳定性、土方量和侵蚀沟体

积。第三, 地面定点观测是得到准确的定量数据的前提。布设标准径流小区、风蚀观测场、测钎法风蚀观测点、土壤水分和养分监测点, 用自动化传感器(土壤湿度传感器、风速风向仪等)进行连续数据采集。定期进行人工调查, 土壤剖面调查、植被样方调查、工程措施完好性巡查等。最后地理信息系统(GIS)是数据的存储、管理和分析平台, 它把各种各样的时空数据进行整合, 完成空间查询、叠加分析、模型模拟(土壤流失方程修正模型RUSLE在风蚀水蚀复合区的应用)以及动态可视化, 给管理决策提供直观的依据^[3]。

2.3 监测实施与数据管理

有效的动态监测需要有组织、有计划的组织实施以及规范的数据管理。监测实施要按照工程阶段(施工准备期、施工期、试运行期、运行期)来制订不同的监测方案及频率。施工期监测频率高, 主要是对高强度扰动区进行监测; 运行期侧重定期普查、重点部位连续观测。工程沿线要科学布置代表性监测断面和点位, 包括不同的地貌单元、侵蚀类型和防治措施类型。数据管理要形成标准流程, 野外数据采集用移动终端保证规范性, 数据传输、质量审核、数据库入库(关系型数据库和空间数据库相结合)以及元数据描述。在此基础上开发或者应用专门的水土保持监测信息管理系统, 对监测计划的制定、任务的下达、数据的上报、在线的审核、统计分析、报表的生成和成果的展示等全过程进行数字化管理, 保证监测数据的及时性、准确性、可追溯性, 为动态评价和预警提供可靠的数据支撑^[4]。

3 水土保持效果评价体系与应用分析

3.1 评价指标体系构建原则与方法

创建科学合理的水土保持效果评价指标体系, 客观地衡量防治效果。其建立要遵循如下原则, 即科学性原则, 指标应该能够真实、客观地反映水土流失状况和防治措施之间的内在联系以及生态效应; 系统性原则, 指标体系应该包含水土流失控制、生态恢复、工程安全、社会经济效益等各个方面, 形成一个有机的整体; 可操作性原则, 指标应当容易量化、数据可得、方法成熟; 区域性原则, 必须结合新疆干旱区和输水工程的特点, 突出风蚀控制、节水植被恢复、土壤盐碱化防治等重点问题; 动态性原则, 可以反映不同时期的效果变化。从方法上可以采用频度分析法、理论分析法和专家咨询法(德尔菲法)相结合的方式进行指标的筛选。初步形成的指标体系可以分为目标层、准则层和指标层。目标层为水土保持综合效果; 准则层可以设为水土流失控制效果、植被恢复与生态改善效果、土壤质量维护效果、工程安全影响、综合效益等; 指标层为具体的定量或者定性的指标, 例如土壤侵蚀模数降低率、植被覆盖度增长率、土壤有机质含量变化量、渠道泥沙淤积量、防治措施保存率等。各个指标权重的确定可以使用层次分析法(AHP)或者熵权法来体现各个指标在综合评价中所占的比重^[5]。

3.2 评价模型与综合指数法应用

在确定了指标体系以及权重之后, 就要选取合适的数学模型来进行综合评价。综合指数法由于直观、综合性好而被广泛

使用。基本步骤有:第一,对各项评价指标进行标准化(归一化),消除量纲、量级的差别。正向指标(植被覆盖度)用不同的标准化公式,负向指标(侵蚀模数)用不同的标准化公式。第二,将标准化后的指标值与相应的权重相乘,得到各个准则层的分项指数。第三,用各分项指数再加权汇总得到水土保持效果综合指数(SSCEI)。该指数值在0到1之间,数值越大表示防治效果越好。为了更准确地划分出效果的等级,可采用聚类分析或者专家经验来确定优、良、中、差这四个等级的区间。除此之外还可以使用模糊综合评价法来处理评价中的模糊性、不确定性,或者使用物元分析法建立效果评价的物元模型,解决评价指标不相容的问题。利用综合指数的时间序列比较,可以清楚地看出防治效果的变化趋势,找出效果好的时段和区域以及效果变坏的时段和区域,为措施的改进指明方向。

3.3 基于监测数据的典型区段效果评价实践

选取新疆一个典型的长距离输水工程一段,即穿越荒漠戈壁和绿洲交错带的渠道及沿线弃渣场作为评价对象。该区段原生植被稀少,风蚀严重,施工期形成了大面积裸露地表。通过获取该区段3个监测周期(施工结束期、运行1年后、运行3年后)的“天-空-地”一体化监测数据,利用前面建立的评价指标体系和综合指数模型来进行效果评价。根据数据分析可知,在施工结束时期,由于扰动剧烈,综合指数很低,侵蚀模数远超背景值,植被覆盖度接近于0,土壤质地粗化。运行1年后,工程护坡、砾石覆盖、临时草方格等措施使风蚀模数降低约60%,但是植被恢复缓慢,综合指数提高到中等水平。运行三年后,采用滴灌植被恢复工程(选用耐旱、耐盐碱本地物种)进行植被恢复,植被覆盖度由不足5%提高到25%以上,土壤表层细颗粒物有所增加,风蚀模数下降到接近背景值的程度,综合指数为良好等级。

3.4 不同防治措施类型的专项效果评价

长距离输水工程的水土保持措施体系一般有工程措施、植物措施和临时措施。专项效果评价可以辨别各种措施的真正贡献,进而指导优化配置。工程措施有混凝土衬砌、浆砌石护坡、拦渣坝等,评价重点是结构稳定性、抗侵蚀耐久性、拦蓄泥沙效率。对边坡稳定性(有无裂缝、坍塌)、措施完好率、下游沉沙淤积量等指标进行监测评价。评价结果表明,在强风区,干砌石护坡局部因为风沙磨蚀而出现松动,需要加强维护。对植物措施,即渠道两侧防护林带、边坡植草、弃渣场复绿等进行评价时

主要从植被成活率、保存率、覆盖率、群落结构演替、根系固土效果等几个方面入手。监测结果表明,滴灌技术应用于乔灌草结合模式的绿洲边缘区时,成活率高、生态效益好;而极端干旱的戈壁段,草本植物措施成活率低,必须和工程覆盖措施相结合。对施工期临时防尘网苫盖、临时排水沟、草袋拦挡等措施,在使用期间的临时防护效果以及撤除后的环境影响进行评价。专项评价结果表明,在新疆环境下工程措施见效快、稳定性好,但是生态功能弱;植物措施生态效益长远,但是初期投入大、管护要求高、见效慢;临时措施对于控制施工期水土流失至关重要。因此最优策略是因地制宜、因时制宜地组合使用工程固本、植物养源、临时管控的立体防护体系。

4 结语

新疆长距离输水工程水土保持工作,对保证工程安全、保护脆弱生态环境、实现水资源可持续利用有着战略意义。本文对新疆地区水土保持动态监测技术体系和效果评价方法进行了系统的探究。研究发现,采用天-空-地相结合的遥感、无人机、地面观测以及GIS等多种技术手段开展的动态监测,是获得全面、准确水土流失信息的有效方法之一,创建起包含多个方面、多种指标的科学评价体系,并用综合指数法等模型进行定量化评价,可以客观、动态地表现防治措施的落实状况。经由典型区段的实践应用和专项措施评价,证明了该监测与评价体系的实用性及有效性,也表现出目前工作中存在的某些问题。

【参考文献】

- [1]王全锋,李政伟,韩珊珊.黄河流域长距离调水工程预处理方案设计[J].工程建设,2026,58(03):42-47.
- [2]冀明欣,郑树海,杨之恒.长距离输变电工程水土保持设施验收重难点分析[J].中国水土保持,2026,(03):32-34+38.
- [3]安慧娟.长距离调水工程闸站智能消防应急照明与疏散指示系统的应用分析[J].中国照明电器,2026,(02):137-140.
- [4]席娟,毕磊,刘红旺.引调水工程长距离输水中机电设备的应用思考[J].水电站机电技术,2026,49(02):121-124.
- [5]李长生.长距离输水工程水土保持及防治措施分析[J].山西水土保持科技,2022,(02):48-49.

作者简介:

牟雨薇(1993--),女,汉族,四川阆中人,本科,工程师,研究方向:水土保持综合治理与沙漠化防治。