

水利工程施工期水土流失动态监测与防控措施

王仙明

方远建设集团股份有限公司 浙江台州 318000

摘要：水利工程施工期水土流失易引发水质超标、生物多样性减少及工程安全风险等问题，凸显防控的紧迫性。本文围绕水土流失动态监测与防控措施展开研究，系统阐述了动态监测的概念、作用、内容指标、方法技术及数据管理，提出监测需整合地面观测、遥感与模型模拟技术，构建“空-地一体化”系统；同时从原则目标、工程性、生物性及管理性措施四个维度，构建了综合防控体系，强调工程措施的快速拦截、生物措施的生态修复与管理措施的制度保障相结合。研究表明，科学的动态监测与精准防控可有效控制流失量、降低生态影响、保障工程安全，为水利工程绿色高质量发展提供支撑。

关键词：水利工程；施工期；水土流失

引言

水利工程施工期因开挖、填筑、机械作业等活动，易造成地表扰动与植被破坏，引发严重的水土流失问题。泥沙入库可导致水质超标，植被覆盖率会加剧生物多样性减少，而淤积河道、弃渣场滑坡等风险更可能造成超千万元的经济损失。这些危害不仅威胁生态环境安全，还直接影响工程进度与运行安全，凸显了施工期水土流失防控的紧迫性与必要性。动态监测作为掌握流失规律、支撑精准防控的核心手段，需通过多维度指标体系与“空-地一体化”技术，实现对水土流失成因、过程及影响的实时追踪；防控措施则需融合工程拦截、生物修复与管理优化，构建“预防-治理-保障”的综合体系。本文基于水利工程施工期水土流失的现实挑战，系统梳理动态监测的内容方法与防控措施的实践路径，旨在为科学防控水土流失、推动工程生态保护提供理论与技术参考。

一、水利工程施工期水土流失机理分析

（一）水土流失的概念与类型

水土流失是指在水力、风力、重力及人类活动作用下，地表土壤及其母质被剥离、搬运和沉积的过程。根据作用方式，水土流失可分为水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀和人为侵蚀四大类型。水力侵蚀包括面蚀、沟蚀和洞穴侵蚀，常见于降雨集中区域；风力侵蚀主要发生在干旱、半干旱地区，表现为地表沙粒的吹扬与堆积；重力侵蚀则由坡度陡峭引发，如滑坡、崩塌；人为侵蚀特指施工活动导致的土壤扰动，如开挖、填筑、机械碾压等。明确水土流失的类型是制定监测与防控措施的基础，为后续机理分析提供理论支撑^[1]。

（二）水利工程施工对水土流失的影响因素

水利工程施工对水土流失的影响因素可分为自然因素与人为因素两大类。自然因素包括降雨强度、地形坡度、土壤类型和植被覆盖度，其中降雨强度直接影响径流量与侵蚀力，地形坡度加剧土壤冲刷，沙质土壤更易流失，植被覆盖度低于30%的区域侵蚀风险显著增加。人为因素则涉及施工方式、机械作业强度和临时占地范围，如大坝基坑开挖、土料场取土、道路修建等活动破坏地表结构，使土壤抗蚀能力下降50%以上。例如，某水利枢纽工程在施工期因大规模开挖与降雨叠加，导致项目区水土流失量达自然背景值的15倍，凸显了施工活动对水土流失的加剧作用。

（三）施工期水土流失的主要特征

施工期水土流失具有突发性、集中性和阶段性三大特征。突发性表现为强降雨或极端天气下，短期内土壤流失量急剧增加，如单次暴雨可占施工期总流失量的40%；集中性体现在流失区域集中于施工扰动区（如开挖面、弃渣场、临时道路），这些区域占项目总面积的20%却贡献了80%的流失量；阶段性则与施工工序密切相关，如土方开挖期流失强度最高，混凝土浇筑期因地表硬化而显著降低。某引水工程监测数据显示，施工期水土流失强度是运营期的5-10倍，且峰值出现在雨季与土方作业重叠期，这些特征为动态监测的重点区域与时段提供了科学依据。

（四）水土流失对生态环境的危害

水土流失对生态环境的危害表现为土壤退化、水

体污染、生物多样性减少和工程安全风险四个方面。土壤退化导致表层肥沃土壤流失，土地生产力下降30%~50%，影响后期植被恢复；水体污染表现为泥沙进入河流，使水体浊度升高，溶解氧下降，某水库施工期因泥沙入库导致水质超标率达60%；生物多样性减少则因栖息地破坏与土壤种子库流失，项目区植被覆盖率下降40%，鸟类与昆虫数量显著减少；工程安全风险包括淤积河道降低行洪能力、弃渣场滑坡威胁周边设施等，某水电站施工期因水土流失引发的边坡滑塌造成直接经济损失超千万元。这些危害凸显了施工期水土流失防控的紧迫性与必要性，为后续监测与防控措施研究提供了现实需求^[2]。

二、水利工程施工期水土流失动态监测

（一）动态监测的基本概念与作用

动态监测是指在水利工程施工过程中，对水土流失的发生、发展及其影响因素进行实时、连续、系统性的观测与记录。其核心作用在于及时掌握水土流失的时空变化规律，为防控措施提供科学依据。具体而言，动态监测可实现三方面功能：一是预警功能，通过实时数据分析识别高风险区域与时段，提前启动防控措施；二是评估功能，量化不同施工阶段的水土流失强度，评价现有防控措施的有效性；三是决策支持功能，为施工方案调整与资源配置提供数据支撑。例如，某大型水库工程通过动态监测系统，在施工期将水土流失量控制在设计标准的70%以内，避免了因超标导致的工期延误与罚款，体现了动态监测对工程管理的实际价值。

（二）监测内容与指标体系

监测内容涵盖水土流失的成因、过程与结果，具体包括自然因素、施工扰动、流失量与生态环境响应四类指标。自然因素指标包括降雨量、降雨强度、风速、坡度、土壤质地等，用于分析流失的外部驱动力；施工扰动指标包括开挖面积、填筑高度、机械作业强度、临时占地范围等，反映人类活动对地表的破坏程度；流失量指标包括土壤侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$)、径流含沙量 (kg/m^3)、泥沙输移比等，直接量化流失强度；生态环境响应指标包括植被覆盖率、土壤有机质含量、水体浊度等，评估流失对环境的影响。某引水工程建立的指标体系包含28项核心指标，通过权重分析确定降雨强度、开挖面积与侵蚀模数为关键监测参数，使监测效率提升40%，为精准防控提供了科学依据^[3]。

（三）监测方法与技术手段

监测方法与技术手段包括地面观测、遥感监测与模型模拟三大类。地面观测通过布设径流小区、沉沙池、

雨量计等设备，直接测量水土流失量，精度高但覆盖范围有限；遥感监测利用无人机、卫星影像获取地表扰动、植被覆盖等空间数据，具有大范围、高时效的优势，某工程通过无人机航拍实现了施工区每周一次的全覆盖监测；模型模拟则基于WEPP（水蚀预测项目）、RUSLE（修正通用土壤流失方程）等模型，结合实时数据预测流失趋势，为防控措施提供前瞻性指导。例如，某水利枢纽工程整合地面观测与遥感数据，构建“空-地一体化”监测系统，使监测精度达90%以上，数据获取周期缩短至3天，显著提升了监测的时效性与准确性。

（四）监测数据的采集与管理

监测数据的采集与管理包括数据获取、传输、存储与分析四个环节。数据获取通过自动化设备（如自记雨量计、在线浊度仪）与人工记录相结合，确保数据的完整性与可靠性；数据传输采用无线传感器网络（WSN）与4G/5G通信技术，实现监测点数据的实时回传，某工程通过该技术将数据延迟控制在5分钟以内；数据存储依托云平台与分布式数据库，按时间、空间、指标类型分类存储，支持PB级数据的长期保存；数据分析则通过GIS（地理信息系统）与大数据技术，生成水土流失风险图、趋势预测报告等可视化成果，为决策提供直观依据。例如，某流域治理工程通过建立数据管理平台，实现了10年监测数据的整合分析，识别出3个高频流失区域，指导防控措施优化后流失量减少35%，体现了数据管理对监测效能的提升作用^[4]。

三、水利工程施工期水土流失防控措施

（一）防控的基本原则与目标

水利工程施工期水土流失防控需遵循预防为主、综合治理、因地制宜、动态调整四大原则。预防为主强调在施工前通过科学规划减少扰动范围，如优化施工布局避开陡坡与生态敏感区；综合治理要求结合工程、生物与管理措施，形成多层次防控体系；因地制宜则根据地形、气候、土壤等条件选择适宜措施，如在干旱区优先采用砾石覆盖而非植被恢复；动态调整依据监测数据实时优化措施，如降雨集中期加强临时排水设施。防控目标包括三个层次：一是控制流失量，将土壤侵蚀模数控制在区域允许值（如南方红壤区 $\leq 500 t/km^2 \cdot a$ ）以内；二是降低生态影响，减少泥沙入河量与植被破坏面积；三是保障工程安全，避免因水土流失引发边坡失稳或淤积问题。例如，某引水工程通过落实上述原则，施工期水土流失量较设计值降低40%，生态恢复周期缩短50%，体现了防控原则与目标的实践指导价值。

（二）工程性防控措施

工程性防控措施通过物理结构拦截、疏导或固定土壤，是防控体系的核心组成部分。具体措施包括：一是拦挡工程，如沉沙池、挡土墙、拦渣坝，其中沉沙池通过减缓水流速度使泥沙沉淀，某大型水库施工期在出口处设置三级沉沙池，拦截泥沙效率达85%；二是排水工程，如截水沟、排水渠、盲沟，用于疏导地表径流，某高速公路项目在坡顶修建截水沟后，坡面冲刷量减少70%；三是覆盖工程，如防尘网、土工布、砾石覆盖，某露天矿场采用高密度防尘网覆盖裸露地表，风蚀量下降90%；四是固化工程，如喷浆、混凝土网格、生态袋，某水电站边坡通过喷锚支护与生态袋结合，稳定率达100%。工程性措施的优势在于见效快、效果稳定，适用于施工初期或高强度扰动区域，但需注意成本控制与后期维护，如某工程因未及时清理沉沙池导致淤积失效，凸显了工程管理的必要性^[5]。

（三）生物性防控措施

生物性防控措施利用植被与土壤生物的生态功能修复水土流失区域，具有长期性与可持续性。主要措施包括：一是植被恢复，如种植草本植物（狗牙根、紫花苜蓿）、灌木（胡枝子、沙棘）和乔木（刺槐、油松），某流域治理项目通过草灌乔组合模式，两年内植被覆盖率从15%提升至75%；二是土壤改良，如施加有机肥、微生物菌剂、保水剂，某干旱区工程通过添加保水剂使土壤含水率提高30%，植被成活率上升40%；三是生态缓冲带建设，在河道与施工区之间种植芦苇、香蒲等水生植物，某水库施工期通过20米宽缓冲带使入河泥沙量减少60%；四是生物篱笆，利用杨树、柳树等活体植物形成篱笆，某梯田工程通过生物篱笆减少坡面侵蚀量50%。生物性措施的优势在于成本低、生态效益显著，但需注意物种选择（如避免外来入侵种）与养护管理（如定期浇水、补植），某工程因未考虑当地气候导致乔木成活率仅20%，强调了科学规划的重要性。

（四）管理性防控措施

管理性防控措施通过制度、技术与人员手段规范施工行为，是防控体系的重要保障。具体措施包括：一是施工组织优化，如分区分段施工、减少裸露时间，某地铁工程通过分段开挖与及时回填，使地表裸露时间缩短60%；二是技术标准制定，如明确开挖坡度、堆渣高度、排水设计等参数，某水利枢纽工程通过制定《水土流失防控技术手册》，使施工合规率达95%；三是监测与反馈

机制，将监测数据与防控措施联动，如降雨量超阈值时暂停土方作业，某高速公路项目通过该机制避免强降雨导致的边坡滑塌；四是责任考核，将水土流失防控纳入施工单位绩效考核，某引水工程通过罚款与奖励制度使违规操作减少80%。管理性措施的核心在于执行力，需通过培训（如对施工人员进行水土保持知识教育）、监督（如专职监理每日巡查）与奖惩（如对达标单位给予工期奖励）确保落实。例如，某大型水利工程通过建立“监测-预警-处置”闭环管理体系，施工期水土流失投诉量下降90%，体现了管理性措施的综合效益。

结语

水利工程施工期的水土流失问题既复杂又严峻，其动态监测与防控措施需要多方协同、科学规划。通过本文的分析可以看出，施工期的水土流失不仅受自然因素和人为活动的双重影响，还表现出突发性、集中性和阶段性的特征，这些特点为监测与防控工作提供了明确的方向。动态监测作为核心手段，能够实时掌握流失状况并提供数据支持，而工程性、生物性和管理性防控措施则从不同层面构建了综合防治体系。未来，应进一步强化监测技术的智能化与精准化，同时注重防控措施的因地制宜和可持续性。只有将科学研究与实际工程紧密结合，才能有效降低水土流失对生态环境和工程安全的威胁，为水利工程的绿色高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 孙妍, 王文轩, 齐建怀. 水土流失动态监测质量控制方法与实践——以海河流域2019年度水土流失动态监测项目为例[J]. 中国水土保持, 2020(6): 5. DOI: CNKI: SUN: ZGSB.0.2020-06-019.
- [2] 陆惠萍. 甘肃省水土流失动态监测网络体系建设探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57(3): 3. DOI: 10.19645/j.issn2095-0144.2021.03.014.
- [3] 王燕. 隧道工程水土保持监测实施要点与分析[J]. 2021.
- [4] 李国强. 水土保持监测对水土保持的重要性与措施探讨[J]. 水电水利, 2022, 6(3): 56-58. DOI: 10.12238/hwr.v6i3.4292.
- [5] 邢鹏远, 尹其东. 高速公路重点部位水土流失动态监测及防治措施监测[J]. 建材发展导向, 2019, 17(1): 1. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1675.2019.01.165.