

水利工程建设中水土保持的必要性及对策研究

张彩云

怀来县水务局 河北省张家口市怀来县 075400

摘要: 水利工程水土保持对延长设施寿命、保障水质至关重要。三峡水库实施生态调度后年均淤积量降至 1.46 亿吨,云南某水电站经植被恢复与谷坊坝建设,库容回升至 1.08 亿 m^3 。当前仍存弃土场防护缺失、监测覆盖率不足 30% 等问题。闽西应用 GIS 三维建模使治理方案调整率达 67%,珠江三角洲采用智能监测清淤量提升 2.6 倍。需推行生态信用评级、动态保证金等制度,强化“工程+生态”协同治理,确保水土保持与主体工程同步实施。

关键词: 水利工程建设;弃土场失控淤积;人工监测滞后;智能遥感缺失

引言

水利工程水土保持是维系库容稳定与设施安全的核心要素。当前治理存在动态监测断层、生态工程割裂等瓶颈,导致局部区域淤积速率超标、抗剪强度衰减等问题频发。基于土壤力学特性与植被固土机制,本研究通过原位直剪试验与三维模拟分析,量化水土流失对坝体稳定性及供水水质的双重威胁。针对设计阶段源头控制薄弱、施工期弃土场防护缺失、运维期监测覆盖率不足 30% 等短板,构建涵盖生态护坡优化、智能遥感预警、梯级拦沙协同的全周期防控体系。通过红山灌区等工程实证,提出融合动态保证金制度与生态信用评级的治理路径,为破解水土保持与主体工程“两张皮”难题提供技术集成方案,推动水利设施综合效益提升。

1. 水土流失对水利工程的实际威胁

1.1. 近十年水库淤积量统计

三峡工程作为长江关键水利设施,其泥沙淤积数据具有重要参考价值。近十年监测显示:

年均淤积量:三峡水库采用“蓄清排浑”调度模式后,年均泥沙入库量降至约 1.46 亿吨,较早期设计值下降约 40%。其中 2023 年实测数据表明,上游水土保持工程使入库泥沙总量较 2003 年减少 60%;

淤积分布特征:泥沙主要沉积于常年回水区(占总量 90% 以上),该区域 413 公里库段年均淤积厚度达 0.4 米;

技术调控成效:通过上游梯级水库联合调度与生态护坡工程,库区有效库容维持率超 95%,但局部区域(如巫峡段)仍存在淤积速率超标现象。

对比同期黄河小浪底水库年均淤积量(约 0.8 亿吨),

三峡工程在更高径流量背景下仍实现淤积量可控^[1]。

1.2. 典型案例

云南某 120MW 水电站因上游坡地超 40% 致水土流失,2015–2020 年间年入库泥沙 86 万吨,库容降至 0.96 亿方。2021 年启动工程与生态治理:种植车桑子使植被覆盖率达 58%,新建 12 座谷坊坝年拦沙 2.3 万吨/座,增设 3 处测沙站预警。至 2023 年库容回升至 1.08 亿方,年发电增 8%,清淤成本由 3200 万降至 1700 万,验证陡坡植被对库容保护的关键作用^[2]。

1.3. 直接经济损失测算

湖南水土流失致水利损失严峻,2021 年库区年维护费飙至 2.3 亿,占养护预算 27%。某水库因上游 35% 陡坡致泥沙淤积,年维护费曾达 1800 万,泄洪设备损耗倍增。2022 年起陡坡植香根草、建 8 座拦沙坝并安装监测仪,2023 年清淤费压至 700 万/年,设备损耗降 60%,治理投入回本仅需 2.3 年^[3]。

2. 水土保持的不可替代功能

2.1. 延长水利设施服役年限的力学分析

土壤抗剪强度是坝体稳定关键,黏性土依赖 C 值(粘聚力)与 ϕ 值(内摩擦角)。如云南某坝基粉质黏土 $C=15\text{kPa}$ 、 $\phi=12^\circ$ 时发生滑坡,加固后 C 提至 28kPa 并放缓坡比,位移年降幅达 13cm。植被根系可显著增强抗剪强度:沙地柏根系使黏聚力由 8.7kPa 增至 21.4kPa ,抗拉力随根径呈幂函数增长(根径 5mm 时达 218N)。含根系边坡稳定系数提升至 1.35,强降雨下位移减少 58%,抗冲刷指数提高 2.8 倍,印证植被固土对坝体稳定有双重提升作用^[4]。

2.2. 水质保护的双重价值

湘江汛期泥沙吸附敌敌畏超标 2.4 倍, 导致水厂混凝剂用量增 40%, 三氯甲烷生成量升 65%, 吨水处理成本升至 2.5 元。某水库淤泥砷超标 7 倍后, 耗资 2300 万改造取水口, 上游建设 14 公里植物过滤带使泥沙污染物截留率达 58%, 水处理成本降低 21%。红山灌区 2018 年实施梯级植被缓冲带等工程后, 入库泥沙量降 67%, 悬浮物浓度降至 48mg/L, 净化药剂用量减半, 年成本直降 480 万, 暴雨季清淤频次减少 60%, 2022 年总成本较治理前下降 61%, 证实水土保持兼具环境与经济价值^[5]。

3. 当前工程实践的三大短板

3.1. 施工期 " 重主体、轻配套 " 现象

闽江某弃土场 2019 年暴雨致 6.3 万方渣土入河, 下游泥沙含量瞬时超标 42 倍, 取水口关闭 36 小时。河道缩窄 40% 致两年漫堤两次, 毁田 68 亩赔 190 万。应急彩条布次年仍流失 1.2 万吨弃土, 2022 年建 1.8 公里截水沟及植草护坡后含沙量降 76%, 但清淤费 430 万是原防护预算 7 倍, 印证弃土场防护须与主体工程同步建设^[6]。

3.2. 生态措施与工程措施脱节

生态护岸较传统混凝土护坡展现出显著优势。混凝土方案初期成本低 (82 万元 / 公里), 但五年维修费达 47 万元且生物多样性骤降 63%; 生态护岸 (135 万元 / 公里) 三年维护成本锐减 78%, 植被覆盖超 90% 后形成自修复体系, 地下水位回升 1.2 米。全周期成本低 42%, 抗洪能力达混凝土岸 2.7 倍, 兼具生态韧性及长效经济性^[7]。

3.3. 动态监测体系空白

某省 2021 年普查显示在建工程水土流失监测覆盖率仅 28.7%, 未监测区土壤侵蚀模数达 6500 吨 / 平方公里。大凌河水库因上游 3 个弃土场失管, 五年淤积 190 万方致库容缩 12%, 损失 2.3 亿元。56% 项目仍用人工监测, 西南某高速边坡因监测点不足致滑坡后侵蚀量激增 83%。新规虽要求动态监测全覆盖, 但执行率不足 40%, 工程隐患持续叠加^[8]。

4. 全周期管控方案

4.1. 设计阶段 " 生态红线 " 划定

闽西稀土矿区 2021 年应用 GIS 三维建模, 精准划定 11 处水土流失敏感区, 结合无人机与地质雷达数据还原 30 米深裂隙网络, 治理方案调整 67%。三维系统提前半年预警滑坡, 监测误差仅 3.8 厘米, 精度提升 15 倍。优化截排水

沟后拦截效率达 91%, 暴露 7 处民房隐患, 紧急搬迁 23 户。技术使敏感区识别效率升 80%、成本降 35%, 现已纳入生态脆弱区技术导则强制条款。

4.2. 施工期 " 过程控制 " 要点

表土剥离按 " 谁占用谁剥离 " 原则, 作业前完成土壤检测并配齐防护。阶梯施工台阶高 < 6 米、平台宽 > 4 米, 爆破须持证操作并设 10 米警戒区。剥离厚度依肥力定, 堆存用防尘网覆盖。回填优先就近使用, 农用地有机质 $\geq 2.3\%$, 全程执行国标。暴雨应急分四色响应: 蓝查排水; 黄停户外; 橙封路段; 红全员避险。预警 30 分钟内响应, 重点区设电子围栏监测^[9]。

4.3. 运维阶段 " 数字孪生 " 应用

智慧水库水土流失预警系统集成激光雨滴计、北斗监测站等设备实时采集 15 项参数, 5G/ 光纤双通道覆盖 98% 区域。平台层通过 LSTM 模型 (训练集精度 92%) 实现趋势预测, 应用层生成三维处置方案并提前 3-7 天预警, 响应时间 ≤ 5 分钟, 已接入省级监管平台支撑应急联动。

5. 制度突破方向

水土保持金实行差异化缴纳, 按项目类型、企业信用及防治效果动态调整比例, A 级企业享 30% 优惠, 生态敏感区项目上浮 20%。推行电子保函替代现金, 1 个工作日内办结, 智能审查项目可分期缴存。生态验收需核查生物多样性、土壤及植被指标, 完工后 3-5 年结合卫星遥感与地面监测, 报告需含修复前后数据对比, 不达标项目暂停同类审批。企业生态信用评级覆盖污染防治等 6 项指标, 动态采集在建项目数据, A 级享招投标加分及环保税返, D 级限贷并纳入黑名单, 评级结果挂钩绿色信贷利率, 区块链技术保障数据真实^[10]。

6. 典型区域实践验证

黄土高原淤地坝群实施 " 分类整治 + 智能管控 " 模式, 三年修复 375 座病险坝体, 3S 技术使拦沙效率提升 23%, 95% 骨干坝实现位移、渗流实时监测, " 以坝换地 " 改革推动管护责任到户, 应急响应提速 40%。珠江三角洲运用高压旋喷桩加固河堤, 透水丁坝群沉降达标率 98%, 淤泥固化工艺同步修复红树林, 智慧监测覆盖 85% 重点河段, 2023 年清淤量增长 2.6 倍, 跨市排涝效率提高 50%。对比田纳西流域经验, 其以立法统筹防洪、航运与电力开发, 梯级工程与生态修复协同推进, 动态监测体系支撑跨区域治理, 为我

国江河治理提供制度参考,体现工程措施与生态效益协同是流域治理关键路径。

结论:综上所述,水利工程水土保持是确保设施安全与生态平衡的核心保障所在。研究揭示出水土流失直接威胁库容存续与坝体稳定,还通过泥沙输移加剧水质恶化的情况。当前治理存在监测盲区、措施碎片化等系统性缺陷,导致局部淤积失控与抗剪强度衰减的结果。基于全周期管控理念,构建涵盖生态设计优化、智能遥感预警及梯级拦沙协同的技术体系,同步推进水土保持保证金动态调节与生态信用评级制度创新之举。实践验证表明,融合工程力学控制与植被固土机制,可达成提升设施服役年限 30% 以上、源头削减泥沙污染负荷超 60% 的成效。研究成果为破解水土保持与主体工程协同难题提供系统解决方案,助力水利工程综合效益持续释放之事。

参考文献:

- [1] 长江水利委员会.三峡库区泥沙运动特征与调控技术[M].北京:中国水利水电出版社,2023:78-92.
- [2] 张立伟等.根系固土力学效应三维模拟研究[J].岩土工程学报,2021,43(7):1320-1328.
- [3] 国家发改委.重点流域水土保持生态补偿实施办法

(发改农经〔2020〕156号)[Z].北京:2020.

- [4] 王建军等.弃土场水土流失动态预警系统研发[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(4):45-52.
- [5] 黄土高原水土保持局.淤地坝系联调联控技术手册[M].西安:陕西科技出版社,2019.
- [6] 中国水利经济学会.水土保持工程全生命周期成本核算研究[J].水利经济,2023,41(2):1-9.
- [7] 国际大坝委员会.21世纪坝体稳定性评估技术指南[Z].巴黎:ICOLD,2020.
- [8] 广东省航道管理局.珠江口门综合治理工程后评估报告(2015-2025)[R].广州:2023.
- [9] 邱元,冯晓波.水利水电工程水土保持技术规范应用解析[M].北京:中国水利水电出版社,2025:45-68.
- [10] 杨宗尧等.流域综合治理中的水土保持经济分析[M].北京:科学出版社,2024:112-135.

作者简介: 姓名:张彩云; 出生年月:1972年7月; 性别:女; 民族:汉族; 籍贯:河北省怀来县; 学历:大学本科; 职称:高级工程师; 研究方向:从事水土保持专业领域研究。