

水利工程临时扰动场地植被恢复侵蚀特征观测研究

贺会芳

嵩县水土保持监测站

DOI:10.32629/hwr.v10i8.7095

[摘要] 为明确水利工程临时扰动场地植被恢复过程中的土壤侵蚀演变规律,选取豫西山区某中型水利枢纽三类典型扰动坡面布设径流观测小区,开展18个月定位监测,对比不同恢复措施、不同扰动类型下的产流产沙特征与侵蚀形态演化。结果表明,植被盖度上升可有效阻滞坡面侵蚀进程,灌草混播措施在恢复12个月后减沙效益可达65%以上;不同扰动类型的侵蚀强度差异明显,松散堆土场的侵蚀模数约为压实施工便道的2.3倍。研究结果可为水利工程临时占地的侵蚀防控与植被恢复方案调整提供实测依据。

[关键词] 水利工程; 临时扰动场地; 植被恢复

中图分类号: TV 文献标识码: A

Observation Study on Erosion Characteristics of Vegetation Restoration in Temporary Disturbed Areas of Hydraulic Engineering

Huifang He

Songxian Soil and Water Conservation Monitoring Station

[Abstract] To clarify the evolution law of soil erosion during the vegetation restoration process of temporary disturbed areas of hydraulic engineering, a set of runoff observation plots were set up on three typical disturbed slope surfaces of a medium-sized water conservancy project in the western mountainous area of Henan Province. A 18-month positioning monitoring was carried out, and the sediment yield and erosion morphology evolution under different restoration measures and different disturbance types were compared. The results show that the increase in vegetation coverage can effectively block the erosion process of the slope surface. The sand reduction effect of the mixed planting of shrubs and grasses can reach over 65% after 12 months of restoration; the erosion intensity of different disturbance types is significantly different, and the erosion modulus of the loose piled soil area is approximately 2.3 times that of the construction road for laying the road surface. The research results can provide a measured basis for the erosion prevention and control and the adjustment of vegetation restoration schemes of temporary occupied areas of hydraulic engineering.

[Key words] Hydraulic Engineering; Temporary Disturbed Area; Vegetation Restoration

引言

水利工程建设过程中,临时堆土、施工便道、弃渣堆放等活动会大范围扰动原地貌,破坏地表植被与土壤结构,加剧区域水土流失风险^[1]。现有研究多聚焦于工程永久占地的长期生态修复,对施工期临时扰动场地的短期侵蚀动态观测相对不足,且缺少不同恢复阶段的连续实测数据支撑。

1 临时扰动场地侵蚀观测布设与实施

1.1 典型扰动场地筛选与立地本底调查

从工程建设的实际扰动类型入手,选取豫西山区某中型水利枢纽工程范围内的三类典型临时扰动场地作为观测对象,分别为表层土体松散的临时堆土场、机械碾压后的施工便道边坡、砾石含量较高的弃渣边坡。所有观测场地均处于同一流域内,

同属暖温带大陆性季风气候,降雨集中分布于每年7—9月,气候与背景降雨特征一致,坡度集中在20°—25°区间,避免地形因子带来的过大差异。

立地本底调查阶段,对每类场地分别设置3条调查样带,沿坡顶至坡底方向每隔5m采集1份表层土壤样品,测定土壤机械组成、容重、有机质含量与初始抗蚀性指标。经测定,三类场地的表层土壤容重分别为1.21g/cm³、1.68g/cm³、1.45g/cm³,砂粒占比均超过40%,整体抗蚀能力偏弱。受施工场地边界与作业通道限制,部分坡段无法布设固定观测设施,最终确定的有效观测区域均选在地形相对平整、无明显人为二次扰动的坡段,保障监测数据的连续性。

1.2 坡面侵蚀观测设施布设与监测流程

参照坡面侵蚀观测的通用技术规范,在每类扰动场地上布设标准径流小区,单块小区规格设为5m(宽)×20m(长),长边与坡面走向保持一致。每个小区下端设置集流槽,连接两级集流桶与分流桶,用于收集单次降雨产生的全部径流与泥沙。小区周边用铁皮围埂嵌入地下15cm,防止周边径流汇入,围埂高出地表10cm,阻挡坡面漫流溢出。

降雨观测采用自记式雨量计,布设在研究区域内开阔无遮挡的位置,每分钟记录一次降雨量与降雨强度数据。产流产沙监测以自然降雨事件为单位,每场降雨结束后24小时内完成取样与测定工作。取样前先搅拌集流桶内水体至均匀状态,采集1000ml水样作为泥沙含量测定样本,剩余径流直接计量总体积。针对少雨季节的微小降雨,若未产生明显坡面径流,则不单独取样,计入累计降雨背景值。

受冬季低温天气影响,每年12月至次年2月期间,降雪及冻融现象频发,集流桶内水体冻结后无法准确计量产沙量,该时段数据仅作参考,不纳入定量统计范畴。

1.3 植被恢复样地设置与指标测定方法

在每个径流小区内设置对应的植被恢复处理,同时设置裸地对照小区,排除自然恢复的干扰。恢复措施共设三类,分别为自然恢复、灌草混播、客土喷播,每类处理设置3次重复,保障数据的统计可靠性。灌草混播选用紫穗槐、狗牙根两类豫西本地适生物种,播种量按每平方米15g草种、5g灌木种子控制;客土喷播厚度设为8cm,混合有机基质与缓释肥料。

植被指标测定按季度开展,在每个小区内随机设置3个1m×1m的样方,采用针刺法测定植被盖度,记录物种数、平均株高与地上生物量。土壤侵蚀指标除产流产沙量外,同时观测坡面侵蚀形态的变化,每半年对坡面进行一次全断面测量,记录细沟的数量、长度、宽度与深度,计算细沟密度与侵蚀沟体积。土壤抗蚀性指标每年测定一次,采用湿筛法获取水稳性团聚体含量。测定过程中,针对植被盖度较低的初期阶段,适当增加样方数量至每小区5个,降低随机误差对结果的影响。

2 植被恢复进程中土壤侵蚀变化特征

2.1 不同恢复时段侵蚀产沙的动态规律

从18个月的连续监测数据来看,坡面侵蚀产沙量随植被恢复时长整体呈下降趋势,但并非匀速递减,不同阶段的波动幅度存在明显差异。恢复初期0~6个月内,植被处于出苗与定植阶段,盖度普遍低于30%,坡面土壤裸露面积大,该时段的产沙量占监测周期总产沙量的58%左右,且单次降雨间的产沙波动极大,最大单场产沙量可达最小场次的12倍。

恢复6~12个月,草本植物进入快速生长期,灌草混播与客土喷播样地的植被盖度逐步上升至50%~65%,坡面产沙量出现明显回落,月均产沙模数较初期下降42%~56%。自然恢复样地因物种定植速度慢,盖度提升幅度有限,产沙量下降幅度仅为21%。恢复12个月后,植被群落基本稳定,盖度维持在60%以上,产沙量进入低位波动阶段,单场降雨的产沙差异逐步缩小,整体趋于平稳。受每年夏季集中降雨的影响,各恢复阶段均会出现1~2次产沙峰值,

并非随时间推移持续走低,峰值出现时间与年内强降雨过程完全对应。

2.2 典型降雨工况下的产流产沙特征

按降雨量与降雨强度划分监测周期内的降雨事件,可分为小雨、中雨、大雨、暴雨四类工况,不同工况下的坡面产流产沙响应存在显著区别。小雨工况下,降雨量不足10mm,多数植被恢复样地不产生地表径流,仅裸地对照与初期恢复样地出现微量片蚀,产沙量可忽略不计。

中雨与大雨工况下,坡面产流随降雨时长逐步增加,径流系数与植被盖度呈明显负相关。以监测期内一场降雨量42mm、平均降雨强度8mm/h的大雨事件为例,裸地对照小区的径流系数达到0.32,灌草混播恢复12个月的小区径流系数仅为0.14,对应产沙量相差4.7倍。暴雨工况下,降雨冲击力足以破坏表层土壤结构,即使植被盖度较高的样地也会产生明显侵蚀。

2.3 不同扰动类型的侵蚀强度差异对比

三类典型扰动场地中,临时堆土场的整体侵蚀强度最高,监测周期内的年均侵蚀模数达到8920t/km²,远超过区域土壤容许流失量。堆土场土体未经压实,孔隙度大,降雨后极易发生土体溃散,片蚀与细沟侵蚀同步发育,是临时扰动场地中侵蚀防控的核心对象。

施工便道边坡因机械碾压作用,表层土壤容重大,入渗能力弱,产流量相对较高,但土体抗冲刷能力强于松散堆土,年均侵蚀模数约为3870t/km²。这类场地的侵蚀以沟蚀为主,径流沿车辙痕迹汇集后,逐步冲刷形成连续细沟,侵蚀量集中在少数几条主沟内,片蚀贡献占比不足20%。

弃渣边坡的砾石含量超过35%,土壤占比低,整体可侵蚀物质少,年均侵蚀模数约为5160t/km²,介于堆土场与施工便道之间。这类场地的侵蚀常伴随砾石下移现象,细沟发育深度受大块砾石阻挡,多呈现断续分布特征,侵蚀量的年际波动受大暴雨事件的影响更显著。

2.4 坡面侵蚀形态的空间演化特征

坡面侵蚀形态随植被恢复进程逐步演变,恢复初期以连片片蚀为主,坡面表层土壤均匀剥蚀,无明显集中冲刷沟道^[2]。随着降雨次数增加,坡面开始出现断续的细沟雏形,主要集中在坡中坡度稍大的位置,细沟深度多在1~3cm区间,横向分布较为零散。

恢复6个月后,裸地与自然恢复样地的细沟逐步延伸、合并,形成沿坡向分布的连续细沟,坡中部位的细沟密度达到最大,每米坡面分布细沟1.2~1.8条。坡下位置因坡度放缓,径流携带的泥沙出现沉积,侵蚀强度弱于坡中,坡顶部位因汇水面积小,侵蚀程度也相对较轻。植被恢复效果较好的样地,细沟发育会受到植被根系与枯落物的阻滞,常出现细沟在草丛处中断的现象,无法形成连续的侵蚀沟道。恢复12个月后,灌草混播与客土喷播样地基本无新增明显细沟,原有浅细沟逐步被淤积填平,坡面侵蚀形态回归到以微度片蚀为主的状态。

3 植被恢复的侵蚀调控效应与优化路径

3.1 不同植被恢复措施的减蚀效益评估

三类恢复措施中,客土喷播的初期减蚀效果最突出,恢复前6个月的减沙效益可达48%,能快速覆盖裸露坡面,应对施工期集中降雨的侵蚀风险。但受物种群落结构单一的影响,恢复12个月,其减沙效益的提升幅度收窄,与灌草混播措施的差距逐步缩小。

灌草混播措施的见效速度稍慢,前6个月减沙效益仅为27%,但进入快速生长期后,减蚀效果持续提升,恢复12个月时减沙效益达到66%,18个月时稳定在70%左右。草本植物的地表覆盖与灌木根系的固土作用形成互补,长期防控的稳定性更优,且物种更适合本地自然条件,后期管护成本更低。

自然恢复的减蚀效益在整个监测周期内均处于最低水平,18个月时减沙效益仅为32%,但无需额外投入种子与人工成本,适用于侵蚀风险低、对恢复时效要求不高的边角区域。三类措施的减流效益变化规律与减沙效益基本一致,但减流效益的整体数值低于减沙效益,说明植被对泥沙的阻滞作用强于对径流的削减作用。

3.2 土壤侵蚀关键影响因子贡献分析

通过对监测数据的关联分析,植被盖度、降雨强度、土壤容重、坡度四个因子对坡面侵蚀量的影响程度存在明显差异。其中植被盖度的关联度最高,是决定临时扰动场地侵蚀强度的核心因子,尤其在盖度从20%上升至60%的区间内,侵蚀量随盖度上升呈快速下降趋势。

降雨强度是影响单次侵蚀事件的主导外因,短历时强降雨对坡面的冲刷破坏能力远大于长历时小雨,暴雨工况下的单场产沙量可达大雨工况的5~8倍。当植被盖度超过60%后,降雨强度对侵蚀量的影响会被明显削弱,植被的缓冲作用可大幅降低强降雨带来的侵蚀风险。

土壤容重与坡度的贡献度相对靠后,且两者的影响程度受植被条件制约。植被盖度不足30%时,坡度每增加 5° ,侵蚀量上升18%左右;盖度超过60%后,坡度变化带来的侵蚀差异不足7%^[3]。土壤容重的影响与扰动类型直接相关,松散土体的侵蚀对容重变化更敏感,压实土体的侵蚀受容重影响很小。

3.3 临时扰动场地植被恢复优化策略

针对不同类型的临时扰动场地,搭配对应的恢复措施。侵蚀

风险最高的临时堆土场,优先选用灌草混播措施,堆置完成后立即播种。在坡脚设置临时挡土设施,搭配坡面苫盖作为降雨期的应急防护,填补植被定植前的防控空白期。

施工便道边坡恢复前,先对表层压实土壤进行浅翻疏松,厚度控制在10cm左右,再播撒草种,避免因土壤过于紧实导致种子无法扎根。提前梳理通畅道路两侧的汇水沟渠,防止径流汇集后冲刷坡面形成集中沟蚀。弃渣边坡先铺设一层5~8cm厚的客土,再进行灌草混播,砾石含量过高的坡段搭配铺设生态袋,为植物定植提供基础。

所有临时场地的植被恢复工作,尽量安排在主汛期来临前1~2个月完成,让植物在集中降雨前形成初步覆盖能力。后期管护阶段,重点关注恢复初期的补植与除草工作,避免杂草抢占本地物种的生长空间。对暴雨后出现的局部侵蚀沟,及时进行回填补播,防止沟道进一步扩张。

4 结语

本研究通过原位定位观测,明确了豫西水利工程三类临时扰动场地在植被恢复过程中的侵蚀动态特征,量化了不同恢复措施的减蚀效益,识别了侵蚀变化的关键影响因子。受监测时长限制,本次仅获取了18个月的短期观测数据,植被群落长期演替下的侵蚀响应规律仍需持续跟踪。后续研究可进一步深化植被根系固土的微观机制,结合更长时间序列的降雨数据完善侵蚀预测方法,为豫西地区水利工程临时扰动场地的水土流失防控提供更全面的技术支撑。

[参考文献]

[1]宋月君,廖凯涛,杨洁,等.塘背河小流域植被覆盖时空动态变化及水保驱动分析[J].水资源与水工程学报,2017,28(05):24-31.

[2]吕宋,魏少伟,姚建平,等.不同坡度下纤维结构团粒喷播技术的适用性研究与应用[J].铁道建筑,2021,61(02):79-82+94.

[3]杨琴,蒲红梅,赵学春,等.3种人工草地不同植被覆盖度实地测量方法比较[J].应用与环境生物学报,2021,27(01):220-227.

作者简介:

贺会芳(1980--),女,汉族,河南省洛阳市人,大专,工程师,主要从事水利水电,水土保持监测和水土侵蚀研究。