

流域尺度降雨侵蚀驱动区域水土流失防控技术实践研究

王绚伟

内蒙古自治区乌兰察布市卓资县水利局

DOI:10.32629/hwr.v10i7.7058

[摘要] 降雨侵蚀是流域水土流失的核心驱动力,明确其作用机制与防控路径对提升区域生态治理效能具有重要意义。本文系统识别流域降雨侵蚀的三类关键驱动因子,解析侵蚀时空分异规律与水土流失非线性响应机制;立足全链条调控思路划分防控技术类型,明确多尺度空间适配规则,构建分层级多技术协同的集成防控体系;最终搭建分层实施、效能评估与长效优化的实践框架,可为流域水土流失精准防控与系统治理提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 流域尺度; 降雨侵蚀; 水土流失; 全链条调控

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A

Practical Research on Technologies for Preventing and Controlling Soil Erosion in River Basins Driven by Precipitation and Erosion at Different Scale Levels

Xuanwei Wang

Water Resources Bureau of Zhuozi County, Ulanqab City, Inner Mongolia Autonomous Region; Address: Inner Mongolia Ulanqab

[Abstract] Rainfall erosion serves as the primary driving force behind soil and water loss in river basins. Clarifying its mechanisms and control strategies is crucial for enhancing regional ecological governance effectiveness. This study systematically identifies three key drivers of rainfall-induced erosion, analyzes spatiotemporal variation patterns and nonlinear response mechanisms of erosion, categorizes prevention technologies based on a comprehensive chain-control approach, establishes multi-scale spatial adaptation principles, and develops an integrated control system featuring coordinated multi-technology applications across different levels. Finally, it proposes a practical framework encompassing layered implementation, performance evaluation, and sustainable optimization, providing theoretical support and practical guidance for precise prevention and systematic management of soil and water loss in river basins.

[Key words] watershed scale; rainfall erosion; soil erosion; whole-chain regulation

引言

水土流失是我国突出的生态环境问题,降雨作为水力侵蚀的核心动力,在流域尺度呈现复杂的驱动与分异特征。当前流域侵蚀防控存在技术适配性不足、长效性欠缺等问题,本文围绕降雨侵蚀全链条调控,构建防控技术体系与实践优化机制,为流域水土流失治理提供支撑。

1 流域尺度降雨侵蚀的驱动特征与水土流失响应规律

1.1 流域降雨侵蚀的关键驱动因子识别

流域尺度降雨侵蚀的发生与演化是多因子协同作用的结果,降雨动力核心因子、下垫面调节因子与流域空间格局及形态因子共同构成了侵蚀过程的完整驱动体系。降雨动力是触发水土流失的核心外营力,降雨总量、降雨强度、降雨历时及雨型结构

直接决定雨滴击溅侵蚀能力与径流冲刷搬运能力,短历时高强度降雨事件往往是引发流域集中产沙的主要动力来源。学界通常采用降雨侵蚀力R定量表征降雨的侵蚀动力潜能,通用经典计算表达式为:

$$R = \sum_{k=1}^n E_k \cdot I_{30k}$$

式中,R为次降雨侵蚀力,单位为(MJ·mm/(hm²·h));E_k为第k时段降雨对应的降雨动能,单位为MJ/hm²;I_{30k}为该次降雨过程中的最大30分钟降雨强度,单位为mm/h;n为单次降雨的时段划分数目。该公式综合体现了降雨能量与降雨强度的协同作用,是量化降雨动力驱动强度的核心指标。下垫面条件对降雨侵蚀过程起到关键调节作用,植被覆盖通过冠层截留、枯落物消能与

根系固土多重作用削弱侵蚀动力,土壤类型与理化性质决定土体自身的抗蚀抗冲能力,地形坡度、坡长则通过改变径流流速与汇流过程放大或减缓侵蚀效应。流域的空间格局与形态特征同样深刻影响侵蚀的发生发展,流域形状系数、沟壑密度、水系格局等要素控制着径流汇集路径与侵蚀泥沙的输移效率,狭长型流域与树枝状水系结构更易形成集中汇流,进而加剧沿程侵蚀与泥沙输移过程^[1]。

1.2流域尺度降雨侵蚀的时空分异规律

流域尺度降雨侵蚀在时间与空间维度均呈现出显著的分异规律,其动态演化与分布格局和驱动因子的时空异质性高度耦合。在时间维度上,降雨侵蚀的年内分布与降雨季节分配高度一致,侵蚀产沙过程集中于雨季与强降雨事件频发时段,呈现出明显的汛期集中性特征;年际尺度上,侵蚀强度随降雨丰枯周期发生波动,极端降雨年份的侵蚀产沙强度往往远高于平水年份,整体表现出显著的事件驱动特征。在空间维度上,流域侵蚀强度呈现出明显的梯度分异与斑块分布特征,地形起伏较大的上游山丘区、植被覆盖度较低的坡耕地与沟谷地带通常是侵蚀高值区域,而地势平缓、植被完好的中下游区域与河谷地带侵蚀强度相对较低;同时受土壤类型分布与土地利用格局的影响,侵蚀空间分布往往与下垫面条件的空间异质性形成对应关系,呈现出局部集中、整体分异的空间格局。

1.3水土流失对降雨侵蚀的响应机制

水土流失对降雨侵蚀的响应存在显著的非线性特征,既因下垫面条件不同呈现出响应程度的差异,也普遍存在侵蚀产沙的阈值效应与敏感性分异。不同下垫面条件下,流域侵蚀产沙对降雨侵蚀力的响应幅度存在明显区别,林草覆盖度较高的区域能够有效截留降雨、延缓径流形成过程,对降雨侵蚀的响应更为平缓,产沙增量相对有限;而裸地、坡耕地等下垫面对降雨侵蚀的响应更为敏感,同等降雨侵蚀力条件下产沙量显著提升,且易伴随沟蚀、坡面崩塌等剧烈侵蚀形式。与此同时,流域侵蚀产沙过程存在明显的阈值效应,当降雨侵蚀力低于某一临界值时,产沙量随侵蚀力提升呈缓慢增长趋势,一旦突破临界阈值,产沙量将出现非线性的快速跃升;不同流域因下垫面本底条件的差异,其侵蚀阈值与敏感程度各不相同,土壤可蚀性越强、地形越陡峭、植被覆盖度越低的流域,侵蚀响应阈值越低,对降雨侵蚀的敏感性也越强^[2]。

2 基于降雨侵蚀全链条调控的流域水土流失防控技术体系

2.1降雨侵蚀防控技术分类与作用原理

基于降雨侵蚀“雨滴击溅—径流冲刷—泥沙输移”的全链条作用过程,流域水土流失防控技术可按照作用环节与调控机理划分为三类,形成覆盖侵蚀发生全流程的技术支撑体系。降雨截留与能量耗散类技术作用于侵蚀起始阶段,通过在近地表面构建缓冲层削弱雨滴动能,从源头降低降雨对土壤的直接击溅破坏能力,其核心原理是利用植被冠层、枯落物层或人工覆盖材料承接、分散雨滴,将降雨势能逐步耗散,避免土体表面结构直

接遭受冲击破坏。径流调控与增渗减流类技术作用于坡面径流形成与演化阶段,通过改变坡面微地形、提升土壤渗透性能来延缓径流汇集过程、削减径流总量与流速,从而减弱径流对坡面土壤的冲刷搬运能力,是控制面状侵蚀与细沟侵蚀的核心技术类型。泥沙拦截与土壤固持类技术作用于泥沙输移与侵蚀深化阶段,一方面通过工程或植物措施构建泥沙拦截屏障,阻断泥沙向下游输移的路径,另一方面通过强化土体结构、提升土壤抗冲抗蚀能力,抑制沟蚀、重力侵蚀等剧烈侵蚀形式的发展。

2.2防控技术的流域空间适配性分析

在流域水土流失防控技术的空间适配性分析中,需依据不同空间尺度的侵蚀特征与防控目标,形成分层分类的配置方案。具体而言:坡面尺度以面蚀和细沟侵蚀为主要类型,防控核心在于源头减蚀、降低产流产沙量。适配技术以降雨截留耗散类和径流调控增渗类为主,配置逻辑强调以削减降雨动能与坡面径流为核心,并需结合坡度差异与土地利用类型进行差异化布设。沟道尺度主要应对沟蚀与重力侵蚀,防控目标聚焦于拦沙固坡、阻断泥沙输移通道。相应适配泥沙拦截类和土壤固持类技术,配置逻辑则以稳定沟道边界、梯次拦蓄泥沙为核心,沿沟道自沟头至沟口分级布设防控措施,形成梯级拦防体系。流域整体层面因多类型侵蚀叠加、泥沙沿程累积,防控目标为系统控蚀、提升整体效能。该尺度需采用多类别技术协同组合,配置逻辑在于统筹上下游功能衔接,构建覆盖全链条的防控格局,实现各级技术的功能互补。

在此基础上,各尺度还需结合具体立地条件进一步细化:坡面尺度中,陡坡应侧重固土保水措施,缓坡可结合生产需求灵活配置径流调控技术;沟道尺度需确保梯级拦防的连续性,避免单一措施过载失效;流域整体布局则需兼顾生态保护与区域生产功能,力求防控效益与地方发展协同并进。

2.3多技术协同的集成防控体系构建

单一防控技术的作用环节与适用范围相对有限,难以应对流域尺度复杂多样的侵蚀问题,需遵循科学的集成原则构建分层级的多技术协同防控体系。技术集成需坚持系统性核心原则,立足降雨侵蚀的全链条过程实现各环节的无缝衔接,避免出现防控盲区与功能重叠;同时坚持因地制宜与效益协同原则,在适配流域自然本底条件的基础上,兼顾生态防护效益与区域生产生活需求,提升技术体系的长效可持续性。在具体集成模式上,可按照空间层级形成分层递进的协同架构:坡面层级构建“截留耗散—增渗减流—土壤固持”的原位防控组合,实现侵蚀源头的就地管控;沟道层级构建“固坡—拦沙—导排”的过程防控组合,遏制侵蚀扩张与泥沙输移;流域层级构建“坡面阻控—沟道拦蓄—河道消纳”的梯级防控体系,通过不同层级技术的功能互补与效应叠加,实现流域水土流失的整体、长效防控^[3]。

3 流域尺度水土流失防控技术的实践体系与优化策略

3.1防控技术实践的分层实施路径

流域尺度水土流失防控技术的落地实施需遵循分层推进、系统协同的实施路径,以顶层系统规划为引领、分步有序落地为支撑,保障技术体系与流域降雨侵蚀特征、空间分异规律实现精准适配。在流域整体规划层面,需先完成流域降雨侵蚀特征排查与水土流失现状本底调查,结合流域空间格局与侵蚀分异规律明确防控重点区域与核心目标,再依据技术空间适配规则完成坡面、沟道及全流域的技术总体配置;规划阶段需同步开展技术可行性论证与效益预判,结合流域自然禀赋与社会经济条件筛选运维成本合理、适配性强的技术方案,同时统筹上下游、左右岸的功能联动,确保各防控环节形成闭环,避免零散布设导致的防控盲区与效能损耗。在分阶段落地过程中,可按照“先重点后全域、先源头后末端”的顺序推进实施,采用试点先行、逐步推广的策略,优先在侵蚀剧烈的典型区域开展技术示范与参数校核,验证适配性后再向全域拓展;各阶段同步做好质量管控与阶段性成效核查,根据实际立地条件动态微调技术参数,保障实施过程的科学性与落地成效。

3.2 防控技术实践的效能评估体系

构建科学完善的效能评估体系,是量化防控成效、识别技术短板、支撑方案优化的重要基础,需从多维度指标体系构建与规范化评估流程设计两方面系统推进。评估指标体系需覆盖侵蚀防控、生态环境与社会经济多个维度,既包含侵蚀模数降幅、径流调控效率、泥沙拦截率等直接防控效益指标,也纳入植被覆盖度提升、土壤理化性质改善、生物多样性恢复等生态效益指标,以及坡面灾害风险降低、土地生产能力提升等关联社会效益指标;同时需兼顾不同空间尺度的评估需求,坡面侧重原位减蚀效果,沟道侧重拦蓄稳定作用,流域侧重整体控蚀成效,形成分层分类的指标架构,避免单一指标造成的评估偏差。评估实施需融合原位定位监测、多时相遥感影像解译、分布式水文泥沙模拟等多种方法,按照本底基准值确立—建设期动态跟踪—实施后成效对比的标准化流程开展,同时设置合理的评估周期,区分短期工程成效与中长期生态效益,客观反映各项措施的实际效能与演化规律,为后续优化调整提供可靠依据^[4]。

3.3 技术实践的优化策略与长效机制

针对流域防控技术实践中普遍存在的共性问题,需从技术优化升级与长效机制建设双向发力,持续提升防控体系的场景适配性、运行稳定性与效益持续性。当前实践中较为突出的共

性问题包括:部分区域技术布设存在同质化倾向,未能充分匹配局地降雨侵蚀的差异化特征;重工程建设、轻后期运维的现象较为普遍,植被措施抚育不足、工程措施维护缺位,导致防控效能随时间逐步衰减;跨部门协同联动不足,防控资源未能形成合力,制约了整体治理效果的长效发挥。在技术优化升级方向上,需紧扣流域降雨侵蚀的动态演化特征,推动传统防控技术的本土化改良,提升措施对极端降雨事件的抵御能力;同时融合智能监测、数值模拟等数字化手段,构建侵蚀动态感知与精准响应体系,补齐侵蚀高发时段、敏感区域的防控短板。在长效保障层面,需建立权责清晰的分级分类管护机制,明确不同类型措施的管护责任主体与运维标准,配套稳定的资金保障与政策支撑,同时推动水土流失防控与区域生态产业发展相结合,引导多元主体参与治理与管护,形成多方共治的格局,实现防控体系的长期稳定运行与综合效益持续释放^[5]。

4 结语

综上所述,流域降雨侵蚀受多因子协同驱动,具有显著时空分异与非线性响应特征。依托全链条防控技术体系与分层级空间适配模式,配套完善的实施、评估与管护机制,可有效提升流域水土流失治理效能,为同类区域治理提供借鉴。

[参考文献]

- [1]任康.气候变化情景下极端降雨对水土流失的放大效应研究[J].黑龙江水利科技,2026,54(6):71-75+80.
- [2]刘倩文,张院,高玉娟,等.盐城市黄河故道地区侵蚀性降雨特征研究[J].亚热带水土保持,2026,38(2):12-16.
- [3]曲雪铭,王凌昕,强湔嵩,等.不同雨型下水土保持措施对皖南山区板栗林坡面水土流失的影响[J/OL].水土保持研究,1-12[2026-07-10].
- [4]徐锡蒙,杨千僖.基于多源卫星数据的黄河中游降雨侵蚀力时空分异特征[J].中国水土保持科学(中英文),2026,24(3):31-41.
- [5]陈慧颖.气候变化背景下极端降雨对渭河流域土壤侵蚀影响的预测研究[J].工程技术研究,2026,11(11):34-36.

作者简介:

王绚伟(1984--),男,蒙古族,内蒙古自治区呼和浩特市回民区人,本科,工程师,主要研究方向:从事水土保持工作。