

水土流失机理与防治技术研究

王雨哲

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要:为精准防控新疆区域水土流失,本研究系统分析水土流失核心影响因子,探究水力、风力及复合侵蚀的发生发展机理,构建并优化工程性、生态性及复合防治技术体系,同时建立“空天地”立体监测与信息化管理系统。研究识别出新疆水-风复合侵蚀、水资源时空分布不均等特色影响因子,明确不同侵蚀类型的耦合机制,提出适配区域特征的防治技术集成方案。结果可为新疆水土流失精准治理提供技术支撑与决策依据,对提升区域水土保持效益、保障生态安全具有重要意义。

关键词:水土流失;发展机理;防治技术;构建与应用

引言:新疆干旱半干旱区生态环境脆弱,水土流失(水力、风力及复合侵蚀)问题突出,严重威胁水资源安全、农牧业发展及生态系统稳定。当前区域水土流失治理存在技术适配性不足、监测精准度有限等问题。基于此,本研究以新疆区域为研究靶区,围绕水土流失影响因子、发生机理、防治技术及信息化管理开展系统研究。旨在分析不同侵蚀类型的形成机制,构建科学高效的防治技术体系,为区域水土流失综合治理提供理论与技术支撑,助力生态保护与高质量发展协同推进。

1 水土流失核心影响因子分析

1.1 自然因子对水土流失的驱动作用

自然因子是水土流失发生的基础驱动力,在新疆区域主要体现为气候、地形、土壤和植被四大要素。气候方面,新疆降水集中且强度大,短历时暴雨易引发坡面径流,加剧水力侵蚀;同时大风天气频繁,年均风速多在3-5m/s,为风力侵蚀提供了动力条件。地形上,新疆山地、丘陵占比高,多数区域坡度超过15°,坡面径流汇流速度快,侵蚀能力强;部分河谷阶地地势平缓但植被稀疏,易受风沙侵袭。土壤层面,新疆土壤以砂质土、栗钙土为主,土壤颗粒粗、黏结性差,抗蚀性弱,一旦地表植被破坏,极易发生侵蚀。植被作为防蚀屏障,新疆干旱区植被覆盖率普遍低于30%,且多为耐旱低矮灌木,对土壤的固持作用有限,难以有效阻挡水蚀和风蚀。

1.2 人为因子对水土流失的扰动机制

人为因子是加剧水土流失的关键扰动因素,与新疆区域经济发展和资源开发密切相关。一是水利工程建设扰动,部分灌区渠道开挖、水库修建过程中,土方开挖量较大,若防护措施不到位,会破坏地表土体结构,引发新增水土流失;二是农牧业开发影响,过度放牧导致草原退化、植被覆盖度下降,耕地开垦尤其是坡耕地开

垦,破坏了地表原生植被,加剧坡面侵蚀;三是城镇化与交通建设,城镇扩张、公路铁路修建过程中产生的弃土弃渣随意堆放,未采取有效防护措施,易在降水和风力作用下产生流失;不合理的水资源利用导致部分区域地下水位下降,植被枯萎死亡,进一步恶化了水土保持生态环境。

1.3 新疆区域特色影响因子识别与权重分析

结合新疆地域特征,识别出两大特色影响因子:一是“水-风复合侵蚀驱动因子”,新疆多数区域同时受水力侵蚀和风力侵蚀影响,春季大风引发风蚀,夏季暴雨引发水蚀,两者交替作用加剧了水土流失程度,其权重占区域总侵蚀驱动因子的35%-45%;二是“水资源时空分布不均因子”,新疆降水时空差异极大,南疆降水稀少、蒸发强烈,北疆降水相对较多但集中在夏季,水资源分布不均导致部分区域植被难以存活,土壤抗蚀能力弱化,该因子权重占比约20%-30%。通过层次分析法(AHP)测算,自然因子中气候因子权重最高,人为因子中农牧业开发和水利工程建设扰动权重居前,为后续针对性制定防治措施提供了数据支撑^[1]。

2 水土流失发生发展机理研究

2.1 水力侵蚀机理与过程模拟

水力侵蚀机理核心在于水体动能与土体抗蚀性的相互作用,过程呈现阶段性演化特征。(1)侵蚀启动机理:降水形成的雨滴动能冲击地表,破坏土体颗粒间黏结结构,使松散颗粒剥离;地表径流形成后,通过剪切力作用加剧土体颗粒悬浮与迁移。(2)侵蚀过程演化:依次经历雨滴溅蚀、坡面片蚀、细沟侵蚀至沟道侵蚀的递进过程,侵蚀强度随径流汇流面积扩大和流速提升而增强。(3)过程模拟核心:基于水文过程与侵蚀动力学关系,构建径流-侵蚀耦合模型,量化不同降水强度、地表坡度

条件下的侵蚀量时空分布特征。

2.2 风力侵蚀机理与沙化演化规律

风力侵蚀机理以气流与沙粒的动力耦合为核心，沙化演化呈现连续性与累积性特征。(1) 沙粒起动机理：当气流速度达到沙粒临界起动风速时，沙粒在气流剪切力、升力作用下脱离地表，形成跃移、悬移或蠕移运动。(2) 侵蚀强度演化：风力侵蚀强度与风速立方成正比，随地表粗糙度降低、沙源供给量增加而提升，形成“侵蚀-沙化-更易侵蚀”的正反馈循环。(3) 沙化演化规律：沙化过程沿“地表植被退化→表土风蚀剥离→沙粒堆积→土地沙化”递进，其速率受风力条件、地表覆盖状况及沙源分布的综合调控。

2.3 复合侵蚀（水风、冻融+水蚀）耦合机理

复合侵蚀耦合机理体现多营力叠加的协同效应，不同侵蚀类型的交互作用加剧水土流失程度。(1) 水-风复合侵蚀耦合：风力侵蚀导致地表植被破坏、表土粗化，降低土体抗蚀性，为后续水力侵蚀提供便利；水力侵蚀形成的沟道又成为风力搬运沙粒的通道，提升风力侵蚀范围与强度，两者在时间上交替、空间上叠加形成耦合效应。(2) 冻融-水蚀复合侵蚀耦合：冻融作用使土体产生冻胀融缩，破坏土体结构，降低土体抗剪强度；消融期土壤含水量升高，在降水径流作用下，极易发生侵蚀，冻融循环次数越多，土体结构破坏越严重，水蚀强度越大。(3) 耦合效应量化：通过分析不同侵蚀营力作用时序与强度叠加关系，构建复合侵蚀耦合系数，量化多营力叠加对水土流失的放大效应^[2]。

3 水土流失防治技术体系构建与应用

3.1 工程性防治技术体系构建与优化

工程性防治技术体系以调控地表径流、稳固土体结构、阻挡侵蚀营力为核心，通过科学布设各类工程措施形成系统化防护格局，同时结合区域水土流失特征进行技术优化。(1) 坡面工程技术构建：核心围绕径流调控与坡面稳固，包括梯田修筑技术、坡面截排水系统构建技术、鱼鳞坑与水平阶整地技术等；梯田修筑重点关注田面坡度控制（缓坡区域田面坡度不超过 5° ，陡坡区域控制在 8° 以内）、田埂材料选择（优先选用当地石材、夯土等生态友好型材料）与加固工艺（采用分层夯实、内坡植草防护等工艺），截排水系统注重汇流路径规划与排水沟断面设计，确保径流有序排出，避免冲刷坡面。(2) 沟道工程技术构建：聚焦沟道侵蚀控制与泥沙拦蓄，涵盖淤地坝、谷坊、沟岸防护等技术；淤地坝注重坝体结构设计（坝高、坝顶宽度需匹配流域面积）、溢洪道布局（采用侧槽式或正槽式溢洪道，保障泄洪安全）与坝基防

渗处理（采用黏土铺盖、土工膜防渗等技术），谷坊强调材料选型（土石谷坊、混凝土谷坊按需选用）与布设间距优化（根据沟道比降确定，一般间距为15-30米），沟岸防护采用挡墙、格宾网等技术稳固岸坡，防止沟岸崩塌扩张。(3) 风沙区工程技术构建：以阻挡风沙流、固定流沙为目标，包括沙障布设技术、引水拉沙造地技术、防风固沙林带配套工程技术等；沙障布设需根据风速、沙源分布确定类型与规格（草方格沙障规格多为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 或 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，砾石沙障厚度不低于 15cm ），引水拉沙技术注重水源调配（优先利用过境河流水资源）与沙体疏导路径设计，避免沙体淤积河道。(4) 技术优化方向：结合区域地形地貌与侵蚀类型，优化工程措施布设密度与空间布局，提升防护的针对性；引入新型材料与施工工艺（如生态混凝土、模块化挡墙等），增强工程耐久性与抗侵蚀能力；建立工程措施后期管护技术规范（定期监测坝体沉降、排水沟淤积情况，及时开展清淤、加固），保障长期防护效益。

3.2 生态性防治技术研发与应用

生态性防治技术以恢复与重建植被生态系统为核心，通过提升地表覆盖度、改善土壤理化性质增强水土保持能力，研发适配不同区域环境条件的技术模式。(1) 本土植被筛选与培育技术：基于区域气候与土壤条件，筛选耐干旱、耐盐碱、抗风沙的本土优势植物品种（如新疆地区优先选用梭梭、沙棘、沙蒿、碱蓬等）；研发植物种子处理技术（采用温水浸种、沙藏催芽、药剂拌种等方式提升发芽率）、育苗培育技术（采用容器育苗、地膜覆盖育苗等工艺），提升幼苗成活率与生长稳定性，降低植被恢复成本。(2) 植被配置与构建技术：根据侵蚀强度、地形部位等差异，采用乔灌草混交、灌木纯植、草本覆盖等不同配置模式；坡面注重植被带垂直布局（上坡段种植耐旱草本，中下坡段配置灌木，坡脚种植乔灌木），沟道侧重两岸植被缓冲带构建，风沙区强调防风固沙植被群落搭配（前沿布设灌木沙障带，内侧种植乔木林带），形成立体防护体系。(3) 土壤改良与植被促生技术：针对退化土壤，研发有机肥施用、生物炭改良、微生物菌剂调控等技术，改善土壤肥力与保水能力；推广植被覆盖下的免耕、少耕技术，减少地表扰动，提升土壤抗蚀性。(4) 生态修复辅助技术：研发径流集蓄与节水灌溉配套技术（采用鱼鳞坑集雨、滴灌或渗灌系统），解决干旱区域植被生长水分短缺问题；采用生态毯、植被纤维垫等材料覆盖地表（选用可降解椰丝生态毯，覆盖厚度 $2\text{-}3\text{cm}$ ），促进植被萌发与生长，同时临时阻挡侵蚀。(5) 技术应用要点：遵循生态适应性原则，确保所

选技术与区域环境条件匹配；分阶段实施植被恢复计划（前期培育幼苗，中期开展补植抚育，后期进行自然恢复），根据植被生长规律开展抚育管理；建立植被恢复效果监测技术体系（定期监测植被覆盖度、株高、土壤含水量等指标），动态调整技术方案。

3.3 工程-生态复合防治技术集成与优化

工程-生态复合防治技术通过整合工程措施与生态措施的优势，形成协同防护效应，针对复杂水土流失场景提升防治成效，其核心在于技术的科学集成与优化匹配。（1）坡面复合防治技术集成：结合坡面坡度与侵蚀强度，构建“工程+生态”协同模式；缓坡区域采用梯田工程搭配植被覆盖技术，陡坡区域布设截排水工程与灌木林带，实现径流调控与植被固土的双重保障；集成过程中注重工程措施与植被带的空间衔接，避免相互干扰。（2）沟道复合防治技术集成：以沟道综合治理为目标，整合坝体工程与沟岸植被缓冲带技术；淤地坝、谷坊等工程拦截泥沙后，在坝后与沟道两岸种植乡土植被，巩固工程防护效果，同时改善沟道生态环境；同步配套沟道水系生态修复技术，提升沟道生态系统稳定性。（3）风沙区复合防治技术集成：构建“沙障工程+植被恢复”复合模式；先通过沙障工程阻挡风沙流、固定流沙，为植被生长创造条件，再在沙障内种植耐旱植被，形成工程防护与生态固沙的协同体系；集成引水灌溉工程与植被培育技术，保障植被存活与生长。（4）技术优化匹配策略：根据区域水土流失主导类型与强度，确定工程措施与生态措施的搭配比例与实施时序；针对不同治理阶段的需求，动态调整复合技术方案，前期侧重工程措施快速控蚀，后期强化生态措施长效巩固；建立复合防治技术效益评估体系，通过量化分析优化技术组合，提升防治的经济性与有效性。（5）集成技术应用保障：制定复合防治技术实施规范，明确各技术环节的操作标准与衔接要求；加强技术推广与人员培训，提升技术应用的规范性与精准性；建立长效管护机制，保障工程措施与生态措

施的持续运行^[3]。

4 水土保持监测与信息化管理

构建智能化水土保持管理体系，提升监测精准度与决策科学性。（1）立体监测体系构建：整合无人机遥感与地面传感器网络技术，无人机负责大范围、高频次水土流失空间格局监测，精准获取植被覆盖度、侵蚀沟发育等信息；地面传感器网络定点布设雨量计、土壤含水量传感器、径流泥沙监测仪，实时采集核心水文泥沙数据，实现“空天地”一体化监测。（2）信息化平台与决策系统开发：基于GIS技术开发侵蚀风险动态评估平台，融合监测数据与地形、土壤等基础数据，实现侵蚀强度动态更新与风险分区可视化；构建大数据驱动的防治决策支持系统，通过数据挖掘分析不同防治技术适配性，为精准施策、效益评估提供智能化支撑^[4]。

结束语：本研究系统分析了新疆区域水土流失的核心驱动因子与发生发展机理，构建了涵盖工程、生态及复合模式的多元化防治技术体系，研发了“空天地”立体监测与信息化管理方案，形成了适配区域特征的水土流失治理技术框架。后续可进一步深化气候变化背景下水土流失的响应机制研究，拓展智能化技术在防治工程中的应用深度。期待本研究成果为新疆及同类干旱半干旱区水土流失精准治理提供实践指导，持续推动区域生态环境改善与可持续发展。

参考文献：

- [1]吴桂香.生态沟渠水土流失防治技术研究[J].水上安全,2025(14):85-87.
- [2]杨衡,彭艳平.东疆开发区生产建设项目人为水土流失防治措施策略研究[J].水利科技与经济,2025,31(4):1-6.
- [3]买买提·依明.乌鲁木齐西白杨沟小流域水土流失立体监测技术研究[J].陕西水利,2025(5):90-93.
- [4]华娟.无人机技术在水土流失动态监测中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(1):101-104.