

线性工程水土流失特征及防治技术

殷树强¹, 郑文娇², 王 敏²

(1. 重庆铁路投资集团有限公司, 重庆 400020;

2. 重庆师范大学 地理与旅游学院 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

[关键词] 线性工程; 水土流失; 防治技术; 监测技术

[摘 要] 线性工程具有线路跨度大、沿线地质地貌复杂、挖填土石方量大等特点, 施工过程中会破坏当地原有的地貌形态, 产生的水土流失危害较大。梳理线性工程水土流失特征及其防治技术, 对优化水土保持措施配置、有效防治水土流失具有重要意义。基于文献调研工作, 总结了不同类型线性工程水土流失特点, 评价了不同水土流失防治工程、植物措施技术和水土保持监测技术的优缺点及适用范围, 以期有效防治和科学监测线性工程水土流失提供参考。

[中图分类号] S157 [文献标识码] C [文章编号] 1000-0941(2023)09-0025-05

线性工程是指项目呈线状分布、里程数较大的生产建设项目, 主要包括公路、铁路、输变电路、输气(油)管道工程等, 关系到国家经济发展和人民群众生产生活。据统计, 截至 2021 年底, 全国电网 220 kV 及以上输电线路回路长达 84.3 万 km, 建成油气长输管道累计长达 15 万 km, 公路总里程达 528 万 km, 铁路营业里程突破 15 万 km(其中高铁营业里程超过 4 万 km)。随着交通强国等战略的推进, 线性工程建设投资规模仍将保持高位运行, 线性生产建设活动仍将大规模开展。

线性工程网络的迅速延伸, 筑成了国民经济发展的基石, 但同时也给生态环境带来了负面效应。与水利水电工程、采矿工程等集中布局、跨度小且分布呈点状的生产建设项目相比, 线性工程具有线路跨度大、沿线地质地貌复杂、挖填土石方量大等特点, 建设过程中破坏当地原有的地貌形态和自然水文系统, 扰乱土壤结构, 破坏植被, 削弱生态系统的水土保持功能, 加剧水土流失危害^[1-2]。线性工程建设造成的人为新增水土流失尤为严重, 据测算, 修建单位里程铁路造成的水土流失达 5 173 t/km, 公路、堤防、输气(油)管道分别约为 1 535、847、355 t/km; 输变电工程扰动面积小, 造成的水土流失相对较小, 约为 43 t/km^[3]。尤其是近 20 a 来, 我国大力发展高速铁路建设, 因其参建单位多、施工周期长、施工组织要求高、影响范围广, 故已成为生产建设项目水土流失防治的重中之重。总结不同类型线性工程的水土流失特征及其防治技术和水土保持监测技术, 对有效防治和科学监测线性工程水土流失具有重要作用。

1 线性工程水土流失特征

线性工程建设扰动面积大, 影响范围广, 往往跨越多个地质地貌类型区, 各区域侵蚀环境不同, 加上不同施工阶段的建造主体不同、施工工艺复杂多样, 可能形成多种侵蚀类型。同时, 线性工程侵蚀强度具有阶段性, 随着工程建设的推进, 线性工程造成的地表扰动和侵蚀强度逐步减轻。各类线性工程施工期水土流失强度均大于自然恢复期。施工期路基或基坑开挖、土石方开挖回填、弃渣临时堆放等活动极易产生水土流失; 到了自然恢复期各项工程已完工, 部分项目区地面已硬化, 扰动区域逐渐被建筑物覆盖或已实施绿化等, 水土流失强度迅速降低。

线性工程可根据工程布局、施工工艺、地表扰动类型等分为不同水土流失防治分区, 各防治分区水土流失特点和强度存在差异。通过文献调研, 梳理了公路^[4]、输变电路^[5]、铁路^[6]、管道^[7]、堤防^[8] 5 类线性工程的水土流失特征, 见表 1。公路工程的水土流失主要源于路基开挖和回填形成的纵深较大的沟壑和场地平整形成的裸露地表, 尤其路基工程区是水土流失重点区域; 输变电路工程的水土流失主要源于挖方段高陡边坡的滑坡、崩塌和填方段的沉陷、泻溜, 施工便道是其水土流失重点区域; 铁路工程的水土流失重点区域是路基工程区和弃渣场区, 大量堆积的弃渣极易产生水土流失; 管道工程的水土流失重点区域是管道作业带区, 大量堆土在管道两侧, 在雨水冲刷下极易产生水土流失; 堤防工程的水土流失主要来源于临时堆积的弃土弃渣, 且受到较强的水力、风力影响。针对不同类型线性工程的重点水土流失区域和水土流失特

征,制定相应的水土流失防治措施体系,才能科学有效 控制水土流失。

表 1 不同类型线性工程水土流失特征

工程类型	案例工程名称	工程概况	新增水土流失量/t	水土流失重点区域	水土流失特征
公路	东部过境高速公路工程	长度 32.2 km,扰动地表面积 330.88 hm ²	52 440	路基工程区水土流失量占总水土流失量的 50%~70%	水土流失主要源于路基开挖与回填形成的纵深较大的沟壑,以及场地平整产生的裸露地表
输变电线路	500 kV 红河输变电工程	长度 154.60 km,扰动地表面积 37.26 hm ²	4 107	施工便道区水土流失量占总水土流失量的 55%	局部挖方段形成的高陡边坡易产生滑坡、崩塌,填方段因松散堆积发生局部沉陷、泻溜或小规模滑坡,从而产生较大的水土流失
铁路	郑州至万州铁路重庆段工程	长度 183.87 km,扰动地表面积 637.48 hm ²	189 397	路基工程区和弃渣场区侵蚀模数比其他防治分区的 1.2~2.0 倍	弃渣大量堆积,地表土质变得十分松散且无植被覆盖,在雨水作用下水土流失严重
管道	粤北输气管道工程	长度 100 km,扰动地表面积 173.45 hm ²	8 600	管道作业带区水土流失量占总水土流失量的 80%~90%	管道作业带区开挖回填工程量大,开挖的临时堆土堆放于管道两侧,雨水冲刷下较易造成水土流失,水土流失整体以带状分布为主、点状为辅
堤防	头屯河堤防工程	长度 11.73 km,扰动地表面积 46.6 hm ²	9 359	临时弃土弃渣产生的水土流失量占总水土流失量的 90%以上	施工期间堆积的弃土弃渣造成的水土流失是堤防项目水土流失的主要来源,在项目区较强的水力、风力作用下流失极快

2 线性工程水土流失防治技术

2.1 工程措施

线性工程水土流失防治的核心是理水保土,恢复项目区破损的地貌至稳固状态,而工程措施是维持项目区地貌稳定的关键^[9]。表 2 总结了线性工程常用的水土流失防治工程措施,评价了其技术特点,并提出了适用范围。早期采用的工程措施,如护面墙、浆砌片

石、锚杆、喷浆等,水土流失防治效果显著,但因采用的防护材料耐久性差,时间久后强度下降严重,影响防护效果,因此在此基础上设计了抗滑桩防治技术、雷诺护坡技术等防护性能更强的技术。针对在降水强度大、岩土易风化的地区很难保证工程材料与边坡岩体的兼容性,SNS 柔性防护技术因具有主动防治系统和被动防治系统双重稳固的优势,而在线性工程水土流失防治中得到了广泛应用^[10]。

表 2 线性工程常用的水土流失防治工程措施

名称	概要	评价	主要适用范围
抗滑桩	在路路边坡脚先开挖抗滑桩,绑扎钢筋笼,一次性浇筑混凝土到地面以上的设计高度,常应用于路基、管道建设中开挖山体形成的多级边坡		
雷诺护坡	在坡面上平铺一层双铰合金属网,上方填充石料,石料的上方再盖上一层金属网,在金属网的节点部位及四周,用钢丝绑扎,形成牢固的石笼	固坡效果好,但整体环境景观和视觉效果不佳	公路、铁路路路边坡,管道穿越工程和输变电工程塔基施工区的高陡边坡
SNS 柔性防护	分为主动、被动防治系统;主动防治系统是在具有潜在失稳风险的坡面上覆加具有一定预应力的钢丝网;被动防治系统是一种能有效拦截并堆存崩落土块的柔性拦网,主要由固定系统、钢绳网、减压环和钢柱 4 部分组成,能防止边坡土体崩塌造成的水土流失		
表土剥离和利用	条带表土外移剥离法 分层平移表土剥离法	按条带由内向外剥离、搬运表土,主要应用于剔除地距复垦地区较远,或暂无法复垦而剔除后的表土仍须保存的特殊情况	有效保护地表熟土资源不流失
渣土拦挡	挡土墙 拦渣坝	包括重力式、悬臂式及扶壁式挡土墙,借助其自身重量来抵抗侧向土压力,防止墙后土体坍塌和水流冲刷	路路边坡或弃渣场堆积体
		坝址、坝型选择以及防洪标准的确定是渣土拦挡技术的重点	沟道中堆置的弃渣场

续表 2

名称	概要	评价	主要适用范围
截排水	截水 地表截水通常采用浆砌片石等修建截水沟,或设置阻水堤将水拦截,就地渗透蒸发;地下截水可以采用充气截排水的方式,向坡体后缘压入气体,驱除部分地下水,形成非饱和帷幕带,降低土体的渗透性		
	排水 地表排水通常设置截水沟、平台沟、边沟及涵洞,边沟下设排水盲沟、内置透水管,将渗水排出工程区;地下排水常在浅土层设渗沟、盲沟,在深土层排水区设泄水孔,进出口周围用塑料网袋装级配碎石填筑,防止细粒土堵塞管道	可快速有效地排除地表水,防止土壤流失和控制坡面沟蚀	弃渣场、隧道、路基等排水系统
	沟渠加固 包括水泥砂浆抹面加固、铺干砌片石加固、铺浆砌片石加固,以及利用植物防护作用进行沟渠加固		

表土剥离和利用技术主要包括条带表土外移剥离法和分层平移表土剥离法。施工准备阶段剥离并妥善保存表土,项目建成后对土地进行回覆平整,可减少适宜植被生长发育的土壤资源的流失,为植被恢复提供适宜的条件。弃渣场和路基边坡通常采用渣土拦挡,防止弃渣溜坡产生水土流失,主要包括挡土墙和挡土坝。截排水工程对土质边坡和路基的水土流失防治十分重要,施工过程中,坡面径流下泄渗透至路基,影响路基的稳定性,而截水工程和排水工程能够及时引导径流方向;同时,对截水沟、排水沟等沟渠进行不定期加固,进一步控制了线性工程沿线边坡与路基的水土流失。

2.2 植物措施

植物措施通过增加边坡、裸露地表的植被覆盖度,促进土壤水分入渗,减少项目区径流量和产沙量来控制水土流失,可以在防治水土流失的同时起到提升景观效果的作用,弥补工程措施无法协调周边景观环境的不足。表 3 总结了线性工程常用的植物措施,评价了其技术特点,并提出了适用范围。早期线性工程采用撒播草种、铺草皮、框架植草等相对简易的植物措施对边坡进行治理,工艺粗放,未形成技术体系。液压喷播植草技术的引进,实现了从人工作业到机械化施工的转变,提高了施工效率。在此基础上研发了土工材料植草技术,利用土工材料制作框架,在框架内喷播植

表 3 线性工程常用的水土保持植物措施

名称	概要	评价	适用范围
液压喷播植草	将草种、木纤维、保水剂、黏合剂、肥料、染色剂等与水的混合物,通过专用喷播机喷射到边坡坡面完成植草施工	施工简单,效率高,但常因品种选择不当和混合材料不足,后期形成侵蚀沟	道路旁的土质边坡,弃渣场,回填土地带
土工材料植草	土工格室植草 在展开并固定在坡面上的土工格室内填充改良客土,挂三维植被网,喷播植草		
	加筋固土植草 框架内加筋后填土,再挂三维网喷播植草		
	蜂巢式网格植草 在坡面上铺六边形混凝土砖形成蜂巢式网格,在网格内填土种植	为植被生长提供稳定、良好的环境,但对边坡坡度有限制,材料老化后可能造成土壤二次污染	坡度较缓的泥岩、灰岩、砂岩等岩质路堑边坡
	浆砌片石骨架植草 在坡面用浆砌片石形成框架,在框架内铺填种植土,随后铺草皮或喷播草种,截水型浆砌片石骨架可减少坡面冲刷,保护草皮生长		
可降解材料附着植草	植被袋 将选定的植物种子通过双层木浆纸固定在纤维材料编织袋内侧,并加入营养土,安置后定期浇水养护		
	植生带 采用专用机械设备,将草种、肥料和保水剂等按照特定的比例固定在不布上,然后经过机器的滚压和针刺,形成具有一定规格的护坡产品	基质不易流失,可以放置成任何贴合坡体的形状,施工简易,但大面积使用造价很高,植物生长缓慢	垂直或接近垂直的岩面,或硬质地块、滑坡山崩等应急工程
	植物纤维毯 植物纤维毯可控制地表侵蚀,促进植物生长,纤维毯降解后由植物发挥控制侵蚀作用		
客土喷播	客土喷播植草 按比例将客土加入纤维、侵蚀防止剂、肥料和种子的混合物中,充分搅拌,再通过专门的设备喷射到边坡表面上以恢复土壤和植被		
	厚层基材喷播 通过专门的喷播机将绿化基材跟植被种子混合喷射到提前挂网的坡面上,使不宜生长植被的坡面恢复植被	工期短,植被防护效果好,基本不需后期养护,但基材成本高	坡度较小的岩基坡面、硬质土砂地、道路边坡以及贫瘠土地
	TBS 植被护坡 使用改进的混凝土喷射机将拌和均匀的厚层基材混合物按设计厚度喷射到岩石坡面上,以供植物生长		

草,充分发挥了植物措施与工程措施相结合的优势,既能增强护坡能力,又能培育与周边自然环境相协调的植被,如土工格室植草、加筋固土植草、蜂巢式网格植草、浆砌石片骨架植草等。可降解材料附着植草技术,如植被袋、植生带、植被纤维毯等,进一步利用可降解的无纺布、纤维材料编织袋、植物纤维毯等作为草种的附着材料,具有一定的保水、保温作用,还能阻止雨水冲刷,提高种子发芽率和发芽速度^[11]。对于土壤贫瘠的边坡,通常采用客土喷播技术,包括客土喷播植草技术、厚层基材喷播技术以及适应性更好的 TBS 植被护坡技术^[12]。此外,线性工程建设活动再塑的地段及其他废弃场地,可使用原生植被恢复技术重建植物群落。植被恢复方案设计前,应进行立地条件分析评价,随后从生态适应性、和谐性、抗逆性和自我维持性等方面选择适合于当地生长的植物种^[9]。

3 线性工程水土保持监测技术

科学准确的水土保持监测可为生产建设项目水土

保持工作提供依据,需和工程建设同步进行。依照《生产建设项目水土保持监测与评价标准》(GB/T 51240—2018),监测内容主要包括水土流失影响因素、水土流失状况、水土流失危害、水土保持措施落实情况及防治效果等。线性工程水土保持监测工作开展前应进行详细的现场调查,编制科学完整的水土保持监测方案,选择合适的监测方法,才能获取完整、准确的监测结果。

表 4 总结了线性工程常用的水土保持监测方法,评价了其技术优点和缺点。传统水土保持监测技术主要包括径流小区法、测钎法、体积测量法,此类技术操作简单、成本较低,但数据精度较低,自动化水平不高,会出现监测结果和实际情况偏差较大的情况。随着新技术的发展,三维激光扫描、红外测距仪测量、相机摄影测量、GPS 测量、无人机航测等高新监测技术逐渐应用在水土保持监测工作中,大幅提高了监测效率和监测结果精度,但也存在技术要求高、成本投入高等问题。

表 4 线性工程常用的水土保持监测技术

类型	名称	优点	缺点
传统监测技术	径流小区法		
	测钎法	节省时间、成本较低、操作简单、灵活多变	数据准确度较低,仪器自动化水平不高
	体积测量法		
高新监测技术	三维激光扫描	以三维点云高精度数据的方式呈现彩色三维立体景观,测量的精确度较高	建模易失真,仪器成本高,对技术人员要求高
	红外测距仪测量	快速测量堆土、弃渣等占地面积和体积,测量精确度高,操作简便	测距较短,易受到波长相近的光、烟雾的干扰
	相机摄影测量	操作简单,设备简易,监测成本低	无法保证区域全覆盖
	GPS 测量	可同时对水土流失量、面积进行监测	成本较大,对技术人员要求高
	无人机航测	快速获取线性工程项目水土保持空间信息,可全过程动态监控,节省时间成本	无法保证监测区域全覆盖,飞行程序复杂

4 建议

通过多年的探索实践,目前已形成了适用于我国具体情况的线性工程水土流失防治技术体系和水土保持监测技术,有效控制了施工中产生的水土流失。今后应进一步提升水土流失防治技术,做到工程措施和植物措施的有机结合,充分发挥工程措施固定坡面、拦截径流的作用和植物措施固土蓄水、提升景观效果的作用,实现防治水土流失、维持生态系统平衡、提升周边区域景观效益的综合作用。此外,加强线性工程水土流失监测技术的精准性和实时性,在水土流失高风险位置安装视频监控等实时监测设备,同时调整监测方法的结构,形成小流域综合观测站、流域控制站、坡面径流场、侵蚀观测场等实地监测和现代化监测设备相结合,固定监测点和区域巡测相结合,日常监测和应急监测相结合的监测技术体系。

[参考文献]

[1] 杨海龙,贺康宁,曹恒,等. 开发建设项目水土保持课程教学内容与方法的探讨[J]. 中国水土保持,2014(6):59-61.

[2] 卓慕宁,李定强,郑煜基. 高速公路生态护坡技术的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报,2006,20(1):164-167.

[3] 孙厚才,赵永军. 我国开发建设项目水土保持现状及发展趋势[J]. 中国水土保持,2007(1):50-52.

[4] 黄启红. 深圳东部过境高速公路工程水土流失预测及防治措施评价[J]. 水利科学与寒区工程,2022,5(8):78-82.

[5] 刘卉芳,徐永年,池春青,等. 云南省输变电工程水土流失特点浅析[J]. 水土保持研究,2008,15(2):133-135,138.

[6] 胡红,严桥,刘京晶. 线型生产建设项目水土保持遥感技术监测与应用:以新建郑州至万州铁路重庆段工程为例[J]. 中国防汛抗旱,2021,31(增刊1):153-157.

[7] 邓灵敏,杨晶,崔豪,等. 管道工程水土流失特点及其防治措施探讨:以日照—濮阳—洛阳原油管道工程为例[C]//中国水利学会 2020 学术年会论文集(第二分册). 北京:中

岳西县小流域水土保持综合治理实践

刘宝林

(岳西县水利局, 安徽 岳西 246600)

[关键词] 水土保持; 跌水堰; 护岸; 深山区; 岳西县

[摘要] 深山区河道集水面积小, 河流坡降大, 汇流时间短, 受山洪冲刷影响, 沟道河床下切严重, 易发生岸坡崩塌, 危及农田和民房安全, 水土流失严重。安徽省岳西县地处大别山腹地, 具有典型的深山区地形地貌, 是国家级水土流失重点防治区。近年来, 岳西县积极探索河道内小型跌水堰和生态护岸工程建设的工程选址、结构选型、结构设计、施工要点等, 以小流域为单元开展水土流失综合防治, 有效控制了因泥沙下泄导致的河床下切, 维护了沟道岸坡稳定, 在防治水土流失的同时增加了河道水景观效果, 可为深山区水土流失综合防治提供成功经验。

[中图分类号] S157 [文献标识码] C [文章编号] 1000-0941(2023)09-0029-03

岳西县地处大别山腹地, 国土面积 $2\,373.34\text{ km}^2$, 是安徽省唯一的纯山区县, 地跨长江、淮河两大流域。县内山高坡陡, 水土流失严重, 是国家级水土流失重点防治区。近年来岳西县以小流域为单元开展水土流失综合防治, 积极探索河道内小型跌水堰和生态护岸工程建设, 构筑了河道生态屏障, 有效控制了因泥沙下泄导致的河床下切, 维护了沟道岸坡稳定, 实现了河畅、水清、岸绿、景美的目标。根据安徽省水土保持公报, 2018 年岳西县水土流失面积为 709.49 km^2 , 占国土面积的 29.89% ^[1]; 2021 年岳西县水土流失面积为 682.56 km^2 , 占国土面积的 28.76% ^[2], 相比于 2018 年水土流失面积减少了 26.93 km^2 , 降幅 3.80% 。2021 年岳西县被水利部评为国家水土保持示范县, 为新时代深山区水土流失综合防治和水土保持高质量发展提供了成功经验。

1 区域概况

岳西县属安徽省安庆市, 县境内分布有皖河、菜子

湖、杭埠河、淠河等, 共有河流 900 余条, 其中集水面积 5 km^2 以上的有 104 条, 河道总长 $11\,053.6\text{ km}$, 河网密度 4.7 km/km^2 , 河道平均坡降 $8\text{‰}\sim 75\text{‰}$ 。岳西县属亚热带湿润性季风气候区, 年均降水量约 $1\,500\text{ mm}$, 汛期(5—9 月)平均降水量约 900 mm , 年径流量约 20.53 亿 m^3 。河床地质主要有花岗岩、片麻岩、河卵石、砂砾石、砂壤土等。

陡峭的河道、脆弱的地质构造、汛期暴雨山洪的频发, 导致岳西县水土流失严重, 表现为上中游河段河床呈 V 形深切; 下游泥沙淤积, 发生侧蚀, 河道岸坡崩塌, 影响两岸耕地、村庄和道路安全。河道内水土流失影响河道的防洪功能和自净能力, 阻碍营养物质循环, 破坏河道景观和动植物生境, 造成生态系统服务功能下降。

2 岳西县河道水土流失综合防治措施

针对河道水土流失成因和现状, 岳西县以小流域为单元开展水土流失综合防治, 积极探索河道内小型

国水利水电出版社, 2020: 401-407.

[8] 陈延飞. 头屯河堤防工程水土流失预测分析初探[J]. 水利科技与经济, 2014, 20(12): 88-90.

[9] 赵永军. 生产建设项目水土流失防治技术综述[J]. 中国水土保持, 2007(4): 47-50.

[10] 陈建胜. 边坡柔性防护技术在岩质边坡工程中的应用[J]. 江西建材, 2022, 281(6): 200-201, 204.

[11] 孙莉. 斜坡式植生带草皮种植: 以江苏省南京市南京南站机场高速路段为例[J]. 中国农业信息, 2013, 157(19): 65.

[12] 王振强, 魏奇科, 王维说, 等. 客土喷播技术中锚筋合理间距的理论分析及工程应用[J]. 施工技术, 2016, 45(增刊 2): 371-374.

收稿日期: 2023-03-08

第一作者: 殷树强(1978—), 男, 内蒙古赤峰人, 学士, 主要从事铁路建设重大项目管理与水土保持管理工作。

E-mail: yinshuqiang781223@126.com

(责任编辑 李佳星)