

基于生态修复的边坡工程地质治理一体化方案设计与实践

关利进 满 昌 董红伟

天津华北地质勘查总院有限公司 天津 300000

摘要: 本文着眼于边坡工程地质灾害防控与生态保护的协同需求,探究“地质治理+生态修复”一体化方案的设计途径与实践意义。通过融合地质勘查、安全性分析、工程整治、生态修复等关键环节,组建“勘察诊断—方案设计—协同实施—监测评估”的完整技术体系。以公路边坡、矿山边坡当作实证案例,结合抗滑支护、地形重塑、植被重建等技术举措,达成地质安全与生态功能的同步增进。一体化方案可切实攻克传统治理中“重工程、轻生态”的难关,提高边坡稳定性以及生态系统的可持续性。

关键词: 生态修复; 边坡工程; 地质治理; 一体化方案; 协同实施; 绿色治理

引言

边坡工程作为交通建设、矿山开发等领域的关键构成要素,其地质稳定性直接关乎工程安全与区域生态安全。传统边坡治理以工程支护作为主要手段,虽说能在短时间内提高稳定性,然而却忽略了生态修复工作,很容易造成水土流失、植被退化等生态问题的出现,难以达成长期的可持续发展。伴随生态文明建设的逐步推进,“生态优先、绿色发展”理念获得普遍认同,边坡工程急需达成地质治理与生态修复的协同结合。一体化方案设计依旧遭遇技术融合程度浅、适配性能不佳、效果评估体系不健全等难题。本文全面搭建基于生态修复的边坡地质治理集成化技术架构,结合实际工程案例验证方案的可行性,为边坡工程的绿色优质治理给予实践支持。

一、一体化方案设计的核心理念与理论基础

依托生态修复的边坡工程地质治理综合化方案,重点是消除“工程治理”与“生态修复”的分离隔阂,达成“地质安全保障、生态功能恢复、景观价值提升”的三位一体目标。其设计思路依照“因地制宜、协同共生、长效稳定”三大准则:因地制宜着重整合边坡地质情形、区域气候特性与生态底子,制订差异化治理办法;协同共生着重工程手段与生态手段的互补整合,既借助工程办法迅速增强稳定性,又凭借生态治理达成长期可持续性。

一体化方案的理论根基涉及岩土工程学、恢复生态学、景观生态学等多学科交汇内容^[1]。岩土工程学为地基处理供给技术支持,借助稳定性剖析明确支护结构类别与参数,维护边坡地质稳定;恢复生态学引领生态修

复进程,依照生态系统演替规则,选用乡土物种打造稳定的植被群落;景观生态学聚焦边坡生态景观的整体改良,利用植被安排、地形修整等办法,达成边坡与周边自然环境的协调共处。

二、基于生态修复的边坡地质治理一体化技术框架构建

搭建“勘察诊断—方案设计—协同实施—监测评估”的全流程整合式技术架构,达成从地质状况剖析到治理成效检验的闭环管控。

勘察诊断作为一体化方案设计的先决条件,要进行“地质勘察+生态现状调查”的全面勘察工作。地质勘测采用无人机航拍、钻探、实地测试等技术,查清边坡地形地貌、岩土体属性、地质构造、水文情形等基础数据,借助稳定性分析来量化边坡失稳的风险等级;生态现状调研聚焦于边坡植被覆盖比率、物种构成情况、土壤质量状况、水土流失态势等指标,估量生态受损程度与修复潜力。选取某矿山边坡作为实例,经勘查得知边坡岩土体抗剪强度欠佳,有浅层滑动的隐患,与此同时植被覆盖比例不到10%,土壤瘠薄且重金属含量超出标准。

方案设计阶段要达成工程措施与生态措施的深度整合,重点包含地质治理方案、生态修复方案以及协同优化三部分^[2]。地质治理方案依据稳定性分析结论,挑选抗滑桩、锚杆框架、格构支护等工程手段,迅速增强边坡地质稳定性;生态修复规划参考生态现状勘查结果,拟定土壤改良、植被重建、水文调控等办法,让边坡生态功能恢复;协同优化保障工程举措与生态举措的适配性,比如在格构支护里预留植被栽种槽,使抗滑桩设置与植被带规划相融合,防止工程建设对生态修复产生干扰。

协同实施阶段着重施工组织的科学性与生态保护的同步性。动工之前制订细致的施工预案,明晰工程手段与生态手段的施工顺序以及技术规定,如先执行坡体加固工程,再推进生态修复作业;在施工期间运用环保施工工艺,削减扬尘、噪声以及水土流失现象,杜绝周边环境遭受二次破坏;强化施工质量把控,保障工程措施的稳固性与生态措施的实效性。针对某公路边坡工程,运用“抗滑桩施工→格构支护→土壤改良→植被种植”的施工步骤,往格构当中填充经过改良的土壤,种植本地的灌木以及草本植物,达成工程加固与生态修复的同步开展。

三、工程实例:一体化方案的实践应用与效果

以山区高速公路的边坡工程为例,细致说明一体化方案的设计与实践步骤。此边坡属于路堑边坡,全长是300m,其最大坡高为40m,边坡岩土体主要是粉质粘土与强风化砂岩,地质构造错综复杂,有潜在的滑坡隐患,而且原边坡的植被遭到严重损毁,土壤侵蚀加重,迫切需要开展地质治理与生态修复工作。

(一) 勘察诊断与方案设计

地质勘查采用无人机航空测量、钻探、原位检测等技术,查得边坡坡度为 38° – 45° 区间,坡体存有2处潜在滑动面,稳定安全系数仅为1.08,处于不稳定情形;岩土体的黏聚力取值为 $c=16\text{kPa}$,内摩擦角 ϕ 为 14° ,抗剪能力欠佳;地下水埋藏深度为6–8m,雨季时容易渗入坡体,提升失稳的风险,生态现状的调查结果表明,边坡植被覆盖度低于8%,基本上是杂草,土壤含水量少、有机质占比不足1%,水土流失强度达到中度。

依据勘查成果,制订“地质治理+生态修复”一体化计划。开展地质治理工作时,选用“抗滑桩+锚杆框架”联合支护手段:在坡脚处布置抗滑桩,抵御坡体滑动推力;坡面借助锚杆框架实施支护,提升坡体整体稳定性^[3]。针对生态修复领域,开展“土壤改良+植被重建+排水防渗”举措:对坡面土壤实施改善,增添有机肥料与保水制剂,增强土壤的肥沃程度与保水性能;选用乡土物种组建“灌木+草本”混交植被架构,灌木选定紫穗槐、沙棘,草本科目选种狗尾草、黑麦草;在坡顶建造截水沟,坡面安置排水渠,坡体内部设置渗流沟,降低地表水渗入与坡面侵蚀。

(二) 协同实施过程

施工流程切实依照“先加固、后修复,边施工、边保护”的关键准则,通过合理规划施工步骤、精准掌握技术要领、增强生态保护举措,保证地质治理与生态修

复得以协同高效实施,最大程度降低施工对坡体稳定状况以及周边环境所产生的扰动。地质加固工程作为生态修复的基本支撑,应率先开展并切实把控施工品质,首先开展抗滑桩施工作业,采用钻孔灌注桩方法,施工前结合勘察资料精确标定桩位,运用全站仪开展坐标放样工作,保证桩位偏差处于规范许可范围之内,在进行钻孔的流程中采用冲击钻达成成孔。依据岩土体特性实时调控钻进速率,碰到强风化砂岩等坚硬地层的时候适当调低转速,防止钻孔出现偏斜;同时装设孔壁防护装置,预防孔壁塌陷造成坡体扰动。成孔完毕后迅速开展清孔作业,运用泥浆循环方式去除孔底沉渣,保证沉渣厚度不超出10cm。混凝土浇筑借助导管法连贯浇筑,把控浇灌速度大概在2m/h,杜绝出现断桩、蜂窝等质量故障,在浇筑期间实时监控混凝土坍落度与浇筑高度,保障桩体强度达到要求,抗滑桩施工结束后,历经7天让桩体混凝土达到设计强度的70%以上,才进行锚杆框架施工。

于锚杆框架施工启动前,先对坡面开展初步清理工作,移除松动的岩土体与浮渣,保障坡面平整。地质钻机被用于进行锚杆钻孔作业,依照设计的角度与深度开展钻进作业,钻孔的直径与深度要严格依照设计规定,钻孔结束后马上开展清孔工作,采用高压空气将孔内的岩粉及积水吹扫清除,杜绝影响锚杆锚固效果。锚杆安装采用HRB400级螺纹钢。安装之前查验锚杆长度、锈蚀状况,保证达到设计标准;锚杆安装就位之后采用压力灌浆法灌注水泥砂浆,把注浆压力控制于0.5–1.0MPa,让浆液充实、无间隙,注浆结束后开展养护,养护时长不少于7天^[4]。框架浇筑选用C30钢筋混凝土,施工前把钢筋骨架绑扎起来,钢筋间距和保护层厚度切实依照设计要求把控,接着开展模板安装并实施加固,模板的接缝位置采用密封材料来处理,混凝土浇筑借助振捣棒分层振捣,让混凝土密实度达标,浇筑完毕后马上开展覆盖保湿养护,杜绝裂缝出现,维系框架结构强度与整体性。

地质治理工程整体竣工且经检验达标后,迈进生态修复施工阶段。首先对坡面实施精细化整顿,运用人力与小型机械协同作业的形式,把残留的浮土、碎石和施工废弃物彻底去除,针对坡面凹陷区域实施找平作业,保证坡面坡度均匀。随后开展土工格栅铺设作业,所选用的格栅为双向拉伸聚丙烯土工格栅,铺设之际沿着坡面从顶部往底部进行平铺,格栅的搭接宽度应不小于20cm,采用U型钉来实施固定,固定的间距设定为 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$,从而防止格栅出现移位,切实增强坡面土

壤的稳定性,减少水土流失现象,格栅敷设完成后,填入改良后的土壤,改良土由原坡面土壤、有机肥、保水剂、腐熟秸秆按6:2:1:1的比例进行混合制成,填充时进行分层铺展、压实,把压实度掌控在85%以上,防止后期出现土壤下沉。

(三) 监测评估与实施效果

搭建三维监测架构,施工阶段每半月开展一次监测,恢复阶段每月开展一次监测,运营阶段每季度开展一次监测。地质稳定性监测情况显示,方案执行6个月以后,边坡最大位移数值控制在3mm之内,稳定安全系数增长至1.42,实现稳定状态;生态功能监测显示,开展1年后坡面植被覆盖度提高到75%,物种多样程度增大,土壤有机物质含量增长到1.8%,水土流失的强度降低至轻度;综合成效评价表明,边坡岩土稳定性、生态效能与景观契合度皆符合设计标准,达成了地质安全与生态治理的协同共进。

该工程实践证明,一体化方案借助工程手段与生态手段的深度结合,既化解了边坡地质失稳难题,又让生态功能得到恢复,和传统治理办法相比,生态效益增进显著,而且长期稳定性更为突出,为同类边坡工程治理提供了可借鉴的实践经验。

四、一体化方案实施保障与发展趋势

(一) 实施保障措施

一体化方案的切实推行需要从技术、管理、政策等多层面打造保障体系。技术支撑层面,构建多领域专业群组,包括岩土工程、生态修复、景观设计等领域专家,为方案规划与落实给予全过程技术助力;推进技术创新升级,开展适应复杂地质状况的生态友好型工程材料与施工工艺的研发,增强方案适配度^[4]。于管理保障范畴,构建“设计—施工—监测—评估”全流程管理体系,界定各参与方义务,强化施工质量与进度把控;拟订应急计划,处理施工过程中或许出现的地质灾害与生态隐患。政策保障维度,健全边坡工程绿色治理相关准则与规程,明晰生态修复的强制要求;构建激励体系,鼓励企业采用一体化治理办法,对生态修复效果突出的项目给予政策倾斜。

(二) 发展趋势展望

边坡地质治理一体化方案依托生态修复将展现“技术智能化、方案精准化、功能多元化、模式产业化”的发展走向。技术智能化维度,采用人工智能、大数据、物联网等技术,达成勘察数据自动剖析、方案智能规划

与监测数据即时预警,提高治理效率与精确程度;针对方案精准化工作,整合高分辨率测绘、土壤传感器等技术,达成地质条件与生态现状的精准呈现,制订个性化治理规划;功能多维度拓展方面,除实现地质稳定和进行生态修复以外,增添碳汇、生态旅游、科普教育等功能,增强边坡综合价值;模式产业化进程里,促进边坡治理产业与生态修复产业的融合式发展,构建“技术研发—方案设计—工程实施—后期管护”的完备产业链条,推动绿色治理模式的规模化普及^[5]。

要强化跨区域、跨类型边坡工程的实例探究,归纳不同地质状况、气候环境下一体化方案的设计准则;留意极端气候对边坡稳定性及生态系统造成的影响,健全极端工况下的应急处治与生态修复技术;带动多学科深度整合,革新治理理论与技术手段,为边坡工程绿色高质量发展提供更稳固的支撑。

总结

本文创立了基于生态修复的边坡工程地质治理综合化技术框架,利用勘察诊断、规划谋划、协同执行、监测评测的全流程闭环调控,达成了地质治理与生态修复的协同契合。工程案例验证证实,该方案可切实增强边坡地质稳定性与生态功效,解决传统治理存在的生态短板难题。一体化方案的执行需要巩固技术、管理、政策多层保障。未来要朝着智能化、精准化、多元化路径迈进,本研究为边坡工程绿色治理给予了崭新的技术手段与实践指引,对促进生态修复和工程建设的协同进步、维护区域生态安全与工程安全有着重大价值。

参考文献

- [1] 陈祥,朱刚,冉成,等.废弃矿山高陡边坡生态修复治理技术研究与实践[J].水泥技术,2024(6):78-84.
- [2] 李聪聪,王佟,赵欣,等.边坡监测与治理技术在高寒矿区露天煤矿生态修复中的应用研究[J].中国矿业,2024,33(4):122-131.
- [3] 骆银辉,吴柳宗,蒋学广,等.工程边坡生态修复目标与技术方法[J].中国水土保持,2023(2):13-16.
- [4] 孟凯.苏南某矿山边坡生态修复工程设计探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(003):000.
- [5] 杨晓攀.以改性磷石膏为充填材料的露天矿坑修复方案研究[D].昆明理工大学,2023.