

Research on Quality Control of Highway Subgrade Slope Protection Construction

Haiyang Jiang

Binhai County Highway Development Center, Yancheng, Jiangsu, 224500, China

Abstract

To address the issues of lax quality control and frequent diseases in the construction of slope protection for highway subgrades, this study, combining theoretical analysis with engineering practice, systematically explores the quality control paths for slope protection construction. First, clarify the role, types, and three key influencing factors of subgrade slope protection: geology and hydrology, construction technology, and management mechanism. Subsequently, from the three stages of construction preparation, core construction, and acceptance, the key control points such as raw material inspection, process standardization, and physical inspection are disassembled. Finally, a three-dimensional optimization strategy for technology, management and personnel is proposed. Research shows that a full-cycle and multi-dimensional quality control system can effectively enhance the stability of protective engineering and provide a reference for the safe operation of highways and the optimization of full life cycle costs.

Keywords

Highway subgrade; Slope protection; Construction quality

公路路基边坡防护施工质量控制研究

蒋海洋

滨海县公路事业发展中心, 中国·江苏·盐城 224500

摘要

为解决公路路基边坡防护施工中质量管控不严、病害频发等问题, 本研究结合理论分析与工程实践, 系统探究边坡防护施工质量控制路径。首先明确路基边坡防护的作用、类型及地质水文、施工技术、管理机制三大关键影响因素; 随后从施工准备、核心施工、验收三阶段, 拆解原材料检验、工序规范、实体检测等控制要点; 最后提出技术、管理、人员三维优化策略。研究表明, 全周期、多维度的质量控制体系可有效提升防护工程稳定性, 为公路安全运营与全生命周期成本优化提供参考。

关键词

公路路基; 边坡防护; 施工质量

1 绪论

在我国交通基础设施持续完善的背景下, 公路建设逐步向山区、丘陵等复杂地质区域延伸, 路基边坡作为公路结构的关键组成部分, 其稳定性直接决定了公路运营安全与使用寿命。据交通运输部数据显示, 近五年山区公路因边坡失稳引发的坍塌、滑坡事故占公路安全事故总数的 32%, 不仅造成直接经济损失超 50 亿元, 更对过往车辆与人员安全构成严重威胁。同时, 极端天气频发加剧了边坡病害风险——强降雨导致的边坡冲刷、冻融循环引发的防护结构开裂等问题, 进一步凸显了边坡防护施工质量的重要性。

在此背景下, 开展公路路基边坡防护施工质量控制研究具有重要现实意义。从理论层面, 可完善复杂地质条件下

边坡防护的质量管控体系, 填补特殊工况施工控制的研究空白; 从实践层面, 能为施工单位提供标准化的质量控制流程与技术要点, 减少因质量问题引发的安全事故与经济损失, 同时助力公路工程实现“全生命周期”成本优化, 为交通基础设施的安全、高效运营提供保障。

2 公路路基边坡防护相关理论基础

2.1 路基边坡防护的作用与类型

路基边坡防护的核心作用体现在三个维度, 三者相互支撑形成完整防护体系: 一是稳定性保障, 通过结构加固或植被固土, 抵抗岩土体自重、车辆振动等产生的下滑力, 避免边坡坍塌、滑坡等灾害, 这是公路安全运营的基础; 二是冲刷防护, 抵御雨水冲刷、地表径流侵蚀对边坡表层的破坏, 防止出现冲沟、表层溜塌, 尤其在多雨地区或坡率较陡的路段, 该作用尤为关键; 三是生态协同, 通过植被种植或生态化防护结构, 修复工程建设对周边地貌的破坏, 减少水

【作者简介】蒋海洋(1971-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 高级工程师, 从事公路桥梁管理研究。

土流失,实现公路与自然环境的融合,符合当前绿色交通建设要求。

从技术路径划分,防护类型主要分为三类:工程防护侧重“刚性抵御”,常用形式包括浆砌片石护坡、锚杆框架防护、喷射混凝土防护等,适用于岩质边坡或地质条件较差、需快速形成防护能力的路段,优点是强度高、稳定性强,但生态性较弱;植物防护侧重“柔性固土”,如喷播绿化、植草灌、铺设三维植被网等,通过植物根系缠绕土体、枝叶截留雨水实现防护,生态性好、成本较低,但防护效果见效慢,需长期养护;综合防护则结合两者优势,例如锚杆框架内植草、浆砌片石骨架植草等,既通过工程结构保障核心稳定性,又借助植被提升生态性与景观性,是当前山区公路、生态敏感区公路的主流防护形式。

2.2 影响路基边坡防护质量的关键因素

影响防护质量的关键因素可归纳为三大类,贯穿防护工程全周期:首先是地质水文因素,这是先天基础条件——岩土性质决定防护方案适配性,如砂性土边坡易溜塌需加强锚固,黏性土边坡易开裂需注重排水;降水强度与频率直接影响冲刷风险,暴雨易引发表层侵蚀;地下水水位过高会软化岩土体、降低抗剪强度,导致边坡失稳,因此地质勘察数据的准确性是质量控制的前提。其次是施工技术因素,这是质量实现的核心——材料选择需匹配工况,如浆砌片石需满足强度等级要求,绿化苗木需选用耐旱、耐贫瘠品种;工艺操作的规范性直接决定防护效果,例如锚杆锚固力不足、喷播厚度不均等,都会导致防护工程“先天不足”。最后是管理因素,这是质量保障的支撑——人员配置方面,若施工人员缺乏专业培训、技术交底不到位,易出现操作失误;流程管控方面,若未建立“事前检验、事中巡检、事后验收”的全流程机制,易遗漏质量隐患,例如原材料未抽检、隐蔽工程未验收就进入下一道工序,最终影响整体防护质量^[1]。

3 公路路基边坡防护施工各环节质量控制要点

3.1 施工准备阶段质量控制

施工准备是质量控制的“前置关卡”,需从源头规避隐患。在原材料质量检验环节,需针对不同防护类型制定差异化检验标准:工程防护用砂石需检测颗粒级配与含泥量,确保符合设计要求(如浆砌用砂含泥量 $\leq 3\%$),水泥需查验出厂合格证与进场复试报告,避免使用受潮或过期产品;植物防护用苗木需筛选根系发达、无病虫害的幼苗,种植土需检测有机质含量与透气性,若土质贫瘠需提前掺入腐熟有机肥改良。检验需执行“抽样送检+现场核查”双流程,不合格材料坚决清退出场。

施工方案审核需聚焦“适配性”与“可行性”双重维度:先核对防护类型是否匹配现场地质条件(如岩质高边坡优先选用锚杆框架防护,土质缓边坡宜采用植物防护),避免“一刀切”设计;再审查工艺细节的可操作性,例如高边坡锚杆

施工方案需明确脚手架搭设规范与吊装安全措施,喷播绿化方案需确定喷播厚度(通常为 3-5cm)与混合基质配比。对审核中发现的问题(如方案未考虑雨季排水),需要求设计单位优化后重新报审。

现场勘查与放线复核是衔接设计与施工的关键:施工前需联合勘察单位复测边坡坡率、岩土分布情况,若实际地质与勘察报告存在偏差(如发现隐藏裂隙),需及时调整防护方案;放线时需使用全站仪精准定位防护结构边界、锚杆孔位等关键点位,复核偏差值(平面位置偏差 $\leq 5\text{cm}$,高程偏差 $\leq 3\text{cm}$),并设置永久性控制桩,防止后续施工中点位偏移。

3.2 核心施工阶段质量控制

核心施工阶段需按防护类型细化控制要点。工程防护施工中,浆砌片石防护需控制砂浆饱满度($\geq 80\%$),采用“坐浆法”砌筑,禁止干砌或通缝;锚杆框架防护需重点检测锚杆锚固力(需达到设计值的 90% 以上),钻孔后清理孔内岩屑,注浆时确保浆液连续饱满,框架混凝土浇筑需振捣密实,防止出现蜂窝麻面。每道工序完成后需经班组自检、技术人员复检合格,方可进入下一道工序。

植物防护施工需兼顾“存活”与“防护”效果:种植土铺设需分层夯实,厚度误差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 内,避免后期沉降;苗木种植需控制株距(通常为 30-50cm)与种植深度(比原土痕深 2-3cm),种植后及时浇透定根水;喷播绿化需均匀喷混混合基质(草种、有机肥、粘合剂等),喷播后覆盖无纺布保湿,定期洒水养护(初期每天 1-2 次),确保 28 天内出苗率 $\geq 80\%$ 。

特殊工况控制需建立专项应对机制:雨季施工前需在边坡顶部设置截水沟,坡脚开挖排水沟,防止雨水浸泡边坡;高边坡施工需搭设防护网,作业人员系挂安全带,严禁在大风、暴雨天气作业;冬季施工若温度低于 5°C ,工程防护需采取混凝土保温措施(如覆盖棉被),植物防护需暂停施工或选用耐寒品种,避免冻害影响质量^[2]。

3.3 验收阶段质量控制

验收阶段需实现“外观+实体+资料”全方位把控。外观质量检查需直观判断防护效果:工程防护检查结构表面平整度(偏差 $\leq 5\text{mm}$)、有无裂缝或空鼓,框架线条是否顺直;植物防护检查绿化覆盖率(需达到设计值的 90% 以上)、苗木生长状态,有无枯萎或缺株。对外观缺陷(如局部浆砌不平整),需标注位置并要求施工单位整改后复验。

实体质量检测需借助专业设备量化指标:工程防护采用回弹仪检测混凝土强度、锚杆拉拔仪检测锚固力,每个检验批抽样比例不低于 3%;植物防护检测种植土厚度(采用钎探法)、苗木根系发育情况(随机选取 3-5 株开挖检查)。检测数据需记录成册,若发现强度不足、锚固力不达标等问题,需启动返工程序并重新检测。

验收资料审核与归档需确保“完整、准确、可追溯”:

审核资料是否涵盖原材料检验报告、隐蔽工程验收记录、检测报告等关键文件，核对数据与现场实际是否一致（如锚杆锚固力检测报告与施工记录的孔位编号需对应）；归档时按“分部分项”分类整理，装订成册后移交建设单位，为后期养护与病害处理提供依据。未通过资料审核或实体检测的防护工程，不得通过竣工验收。

4 提升公路路基边坡防护施工质量的优化策略

4.1 技术优化：推广新型防护材料与工艺，强化技术适配性

技术优化需以“提质、高效、生态”为核心，优先推广适配性强的新型材料与工艺。在材料应用上，针对传统浆砌片石生态性差、施工周期长的问题，可推广生态袋防护技术——选用抗老化、透水不透土的高分子生态袋，内填改良种植土，堆叠后形成柔性防护结构，既能通过袋体连锁增强边坡稳定性，又能通过袋内植被实现生态修复，尤其适用于土质边坡与生态敏感区。对于植物防护，可替代传统单一植草，采用三维植被网+灌木混播工艺：三维植被网能固定表层土体、减少雨水冲刷，搭配耐旱灌木（如紫穗槐）与草本植物混播，形成“草-灌”立体防护体系，大幅提升植被覆盖率与防护耐久性，较传统植草的水土流失量降低 60% 以上。

同时，需注重技术与工况的精准匹配：针对高陡岩质边坡，可引入喷射混凝土+锚杆格构联合工艺，通过高压喷射混凝土快速封闭岩面裂隙，结合锚杆格构加固深层岩体，解决传统工艺锚固力不足的问题；针对季节性冻土区，可采用泡沫混凝土轻质填料，其轻质特性可减少边坡自重荷载，保温性能可降低冻融循环对边坡的破坏，提升低温环境下的防护稳定性。

4.2 管理优化：构建全流程质量管控体系，压实管控责任

管理优化的关键是建立“事前预防、事中控制、事后追溯”的全流程体系。首先需明确责任分工机制，按“项目经理-技术负责人-质检员-施工班组”分级划分质量责任，签订质量责任书，将原材料检验、工序验收等关键环节责任落实到人，避免出现“多头管理、无人负责”的漏洞。其次需完善动态巡检机制：施工期间，质检员需按“每日巡检+关键工序旁站”模式开展工作，例如锚杆钻孔时全程旁站，记录孔深、孔径等参数；对巡检发现的问题（如砂浆配比偏差），需立即下达整改通知书，明确整改期限与复查标准，

形成“问题发现-整改-复核”的闭环管理^[3]。

此外，可引入数字化管控手段提升效率，例如采用 BIM 技术建模，将边坡防护结构、地质参数等信息录入模型，施工中通过模型比对实际施工数据，实时预警尺寸偏差、工艺不符等问题；建立质量台账数据库，将原材料检验报告、检测数据等上传至云端，实现质量信息可追溯，便于后期核查与病害分析，避免因资料缺失导致的质量溯源困难。

4.3 人员优化：强化施工人员能力培养，筑牢质量意识根基

人员优化需从“技术能力”与“质量意识”双维度发力。在技术培训上，需构建分层培训体系：针对技术管理人员，开展新型工艺（如生态袋施工、BIM 应用）专项培训，邀请行业专家讲解工艺原理与操作要点，确保其能精准指导现场施工；针对一线施工班组，采用“理论+实操”结合模式，例如组织浆砌片石砌筑培训时，先讲解砂浆配比、砌筑规范，再通过现场示范、学员实操考核，确保施工人员掌握关键操作技巧，考核不合格者不得上岗。

5 结论

本研究围绕公路路基边坡防护施工质量控制展开，通过理论分析、环节拆解与策略推导，得出三方面核心结论：其一，路基边坡防护质量受地质水文、施工技术、管理机制三重因素协同影响，需针对不同防护类型（工程、植物、综合防护）制定差异化控制逻辑，不可采用单一标准管控；其二，施工全周期质量控制需聚焦关键节点——施工准备阶段的原材料检验与方案审核是“源头防线”，核心施工阶段的工序规范与特殊工况应对是“核心保障”，验收阶段的实体检测与资料归档是“最终把关”，三者缺一不可；其三，提升防护质量需从技术、管理、人员三维度同步发力，新型材料工艺的推广能突破传统技术局限，全流程管控体系的构建可压实责任，施工人员的能力与意识培养是质量落地的基础，三者协同可形成质量提升的闭环，为公路路基边坡防护工程的稳定、高效实施提供支撑。

参考文献

- [1] 谢海良.O形预制块挡墙技术在公路边坡防护工程中运用[J]. 交通科技与管理,2024(24)
- [2] 赵淑红.生态砌块技术在公路边坡防护施工中的应用[J]. 黑龙江交通科技,2024(04)
- [3] 赵亦婷,李华章,张才亮,蒲爽.浅析山区公路边坡防护技术[J]. 江西建材,2024(11)