

公路边坡锚杆框架梁防护施工技术及管理措施分析

罗玉昊

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 山区公路边坡开挖易破坏原有岩土应力平衡，诱发滑坡、坍塌、风化剥落等病害，严重威胁道路施工及运营安全。锚杆框架梁防护兼具锚固加固与坡面防护双重优势，是公路高边坡综合治理的核心工艺。本文依托山区公路边坡实体工程，系统阐述锚杆框架梁防护结构原理与技术特点，梳理坡面修整、钻孔施工、锚杆安装、压力注浆、框架梁钢筋模板、混凝土浇筑、养护成型全流程标准化施工工艺，分析钻孔偏位、注浆不密实、梁体开裂、锚固力不足等常见质量缺陷成因，构建全工序精细化质量管控体系。工程实践表明，规范施工与精准质控可显著提升边坡整体稳定性与耐久性，病害发生率大幅降低，可为同类公路边坡防护工程提供技术借鉴。

[关键词] 公路边坡；锚杆框架梁；边坡防护；施工技术；质量管控

DOI：10.64635/ja.2026.1521

中图分类号：U416.14

文献标识码：A

Analysis of Construction Technology and Quality Control Measures for Anchor-Rod Frame Beam Protection of Highway Slopes

Luo Yuhao

Xinjiang Beixin Road & Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: Slope excavation in mountainous highway projects can easily disturb the original stress balance of rock and soil masses, inducing defects such as sliding, collapse, weathering, and spalling, which seriously threaten road construction and operation safety. Anchor-rod frame beam protection has the dual advantages of anchoring reinforcement and slope surface protection, and is a core technology for the comprehensive treatment of highway high slopes. Based on a practical mountainous highway slope project, this paper systematically expounds the structural principles and technical characteristics of anchor-rod frame beam protection, and reviews the standardized construction process covering slope surface trimming, drilling construction, anchor-rod installation, pressure grouting, reinforcement and formwork for frame beams, concrete pouring, curing, and forming. It analyzes the causes of common quality defects such as drilling deviation, insufficient grouting compactness, beam cracking, and inadequate anchoring force, and constructs a refined whole-process quality control system. Engineering practice shows that standardized construction and precise quality control can significantly improve the overall stability and durability of slopes, greatly reduce the occurrence rate of defects, and provide technical reference for similar highway slope protection projects.

Keywords: highway slope; anchor-rod frame beam; slope protection; construction technology; quality control

引言

山区公路建设伴随大量深挖路堑与高填边坡作业，边坡开挖打破岩土体原始应力状态，在降雨入渗、岩土风化、车辆荷载及温差循环作用下，极易出现裂隙扩张、表层溜塌、整体滑移等安全隐患，直接制约公路工程施工进度与长期运营安全。锚杆框架梁属于柔性锚固防护结构，通过锚杆深层锚固锁定稳定岩层，结合框架梁整体约束坡面岩土，兼顾深层加固与浅层封闭防护效果，适配土石混合边坡、破碎岩质边坡等复杂地质工况。

相较于浆砌片石、喷射混凝土等传统防护工艺，该技术抗变形能力强、适配性广、生态效果好，但现

场工序繁杂、质控要点多，粗放施工易出现锚固失效、梁体开裂、注浆空洞等质量通病。为提升边坡防护施工质量，本文结合实体工程施工经验，细化整套施工工艺，针对性提出全过程质量管控措施，为公路边坡安全、耐久施工提供实践参考。

1 锚杆框架梁防护技术概述

1.1 结构工作原理

锚杆框架梁防护由锚固系统、框架梁结构、坡面防护层三部分协同受力。锚杆深入边坡深部稳定基岩，通过注浆砂浆固结形成锚固体，利用岩层锚固力抵抗边坡土体下滑推力，实现深层受力加固；现浇钢筋混凝土框架梁交叉布设，形成网格约束体系，将分散锚

杆连接为整体结构，均匀传递边坡岩土应力，限制坡面土体变形、裂隙扩张；框架网格内部可结合植草、喷播等生态防护，封闭裸露坡面，减少雨水冲刷与岩体风化，实现“深层锚固抗滑、浅层整体约束、表层生态防护”的综合治理效果。

1.2 技术优势与适用工况

锚杆框架梁防护技术工程优势显著：一是加固深度大、抗滑性能强，可有效约束边坡深层及浅层变形，适配高陡、破碎、软弱岩土边坡；二是结构柔性好，可适应边坡微小沉降变形，不易出现整体开裂破坏，耐久性优于刚性防护；三是透水透气，网格结构利于边坡土体排水，降低水损害诱发的滑移风险；四是施工灵活、适配性强，可根据边坡坡度、高度、地质条件动态调整锚杆长度与框架尺寸；五是生态兼容性好，可实现防护与绿化结合，改善山区公路沿线生态环境。

该工艺主要适用于公路土石混合高边坡、强风化岩质边坡、浅层不稳定边坡治理，不适用于淤泥质软土、极松散无粘结土体等难以成孔、无法提供有效锚固力的特殊地层。

1.3 施工常见质量通病

结合大量现场施工实践，锚杆框架梁施工高频质量缺陷主要包括：锚孔偏位、孔径孔深不达标；锚杆安装倾斜、保护层不足；注浆不饱满、存在空洞裂隙，锚固力不达标；框架梁钢筋保护层偏差、绑扎松散、模板漏浆；混凝土浇筑振捣不实、后期干缩开裂、梁体平整度差；各工序衔接不当导致层间结合薄弱、整体受力不均等。以上缺陷会直接降低边坡锚固体系整体稳定性，后期易诱发边坡局部变形、溜塌病害。

2 工程概况

本项目为山区二级公路改扩建工程，沿线深挖路堑边坡较多，试验段边坡最大坡高 32m，边坡坡度 1:1.0 ~ 1:1.25，边坡岩土以强风化砂岩、粉质黏土混合地层为主，岩体破碎、裂隙发育，土体粘结性差，雨季易发生表层溜塌。本路段采用锚杆框架梁综合防护方案，锚杆采用 HRB400 螺纹钢，框架网格尺寸 2.5m×2.5m，框架梁截面尺寸 30cm×30cm，采用 C30 现浇混凝土施工，锚杆注浆采用 M30 水泥砂浆，全面提升边坡整体稳定性，规避边坡失稳安全风险。

3 标准化施工工艺流程

本工程严格遵循坡面修整→测量放样→锚孔钻孔→清孔验孔→锚杆加工安装→压力注浆→钢筋绑扎→模板安装→混凝土浇筑→拆模养护→坡面生态防护的

标准化流程施工，严控每一道工序施工质量。

3.1 坡面修整与清理

正式施工前对边坡坡面进行全面修整，人工配合机械清除坡面松动危石、松散浮土、杂草杂物，平整凹凸不平坡面，消除局部悬空土体与凸起岩块。对坡面张开型裂隙进行封堵清理，保证坡面平整坚实，为后续放样、钻孔、框架施工提供规整作业面，避免坡面起伏过大造成框架梁受力不均、贴合度不足等问题。

3.2 精准测量放样

采用全站仪结合水准仪开展精准放样，严格按照设计图纸标定锚杆孔位、框架梁纵横轴线位置，做好醒目标记。锚孔放样偏差严格控制在 ±20mm 以内，框架轴线放样精准顺直，杜绝偏移错位。放样完成后进行双人复核验收，确保孔位、网格尺寸、梁体位置完全符合设计要求，从源头规避结构布局偏差问题。

3.3 锚孔钻孔施工

根据坡面地质条件选用合适钻机设备，调整钻机机位与钻杆倾角，严格按照设计倾角、孔深施工，保证锚孔顺直、无弯曲。钻孔过程匀速钻进，实时记录地层变化、钻进速度，遇见破碎岩层、裂隙发育区段放缓钻进速率，避免塌孔、扩孔、孔径不均问题。钻孔深度需超出设计深度 50mm 以上，彻底清除孔底沉渣，保障锚杆锚固长度满足规范要求。

3.4 清孔与验孔

钻孔完成后禁止立即安装锚杆，采用高压风、高压水联合清孔工艺，反复清理孔内岩粉、沉渣、积水，直至孔内干净无杂物。清孔完成后对孔径、孔深、倾角、孔位逐一验收，不合格锚孔必须返工重钻，严禁带病施工，防止岩粉残留降低砂浆与孔壁岩体粘结强度，导致锚固力不足。

3.5 锚杆加工与安装

锚杆采用国标 HRB400 螺纹钢，按照设计长度统一集中加工，钢筋切割平整、无毛刺、无锈蚀弯折。锚杆外侧均匀焊接对中支架，保证锚杆居中布设，保护层厚度均匀达标，避免钢筋贴壁裸露锈蚀。加工完成后人工平稳送入锚孔底部，确保锚杆到位、无倾斜、无偏移，严禁强行挤压安装造成锚杆变形、孔壁破损。

3.6 压力注浆施工

注浆采用 M30 水泥砂浆，严格按照试验确定的配合比精准配料，控制水灰比与拌合时间，保证砂浆均匀密实、流动性适配注浆作业。采用孔底反向压力注浆工艺，注浆压力稳定控制在 0.3 ~ 0.5MPa，注浆过程连续匀速，直至孔口溢出浓浆、无气泡排出后稳

压封堵。针对破碎岩层、易漏浆区段采用间歇补浆工艺,杜绝注浆空洞、不饱满缺陷,养护至砂浆强度达标后方可开展后续工序。

3.7 框架梁钢筋绑扎

锚杆注浆强度达到设计 70% 后,开展框架梁钢筋绑扎作业。清理梁槽底部浮渣杂物,铺设砂浆垫层,按照设计间距绑扎纵横钢筋,保证钢筋搭接长度、锚固长度达标,绑扎牢固不松动。布设高强度砂浆垫块,严格控制钢筋保护层厚度,杜绝钢筋外露锈蚀。节点交叉位置重点加密绑扎,保证框架整体钢筋骨架整体性、稳定性。

3.8 模板安装施工

框架梁采用高强度钢模板施工,模板进场前打磨除锈、清理干净,拼接处粘贴密封胶条防止漏浆。模板安装顺直稳固,严格控制截面尺寸、标高与平整度,支撑体系加密布设,杜绝浇筑过程模板位移、鼓包、变形。模板安装完成后复核尺寸、线形、密封性,验收合格后方可进入混凝土浇筑工序。

3.9 混凝土浇筑与振捣

采用 C30 商品混凝土浇筑,浇筑前湿润模板与基底,分层连续浇筑、分层振捣,使用插入式振捣器匀速振捣,杜绝漏振、欠振、过振问题,保证混凝土密实无空洞、无蜂窝麻面、无气泡孔隙。梁体浇筑一次性成型,杜绝随意留设施工冷缝,浇筑完成后及时人工收面找平,保证梁体线形顺直、表面平整光洁。

3.10 拆模与养护成型

混凝土强度达到规范要求后分期拆除模板,拆模过程轻拆轻放,避免撞击磕碰损坏梁体边角。拆模完成后立即采用土工布全覆盖保湿养护,山区温差较大,养护周期不少于 7d,全程保持坡面湿润,规避高温暴晒、低温风干引发的干缩裂缝、表层起砂病害。养护期间禁止踩踏、撞击梁体结构,保障混凝土强度稳步增长。

4 核心质量缺陷成因分析

4.1 锚固力不足、注浆不饱满

主要成因:清孔不到位,孔内岩粉残留阻隔砂浆粘结;砂浆配合比失衡、拌合不均匀,砂浆强度不足;注浆压力偏低、注浆不连续,孔内气体无法完全排出;破碎岩层裂隙漏浆,未及时补浆,形成空洞缺陷;锚杆偏移偏心,保护层不均,锚固受力不均。

4.2 框架梁开裂、平整度差

成因:混凝土水灰比偏大、骨料级配不佳,收缩变形过大;振捣不均匀、收面不规范,表层密实度不

足;养护不及时、保湿不到位,干湿温差引发干缩裂纹;模板支撑不牢、浇筑位移,造成梁体线形偏差;节点钢筋布设不合理,局部应力集中引发裂缝。

4.3 孔位偏差、成孔质量差

主要诱因:放样复核不到位、钻机机位调整不精准;破碎岩层钻进速率过快,钻杆偏移倾斜;坡面凹凸不平,钻机受力不稳造成成孔倾角、孔位偏差;施工过程未实时监测校正,人工操作误差累积。

5 全过程精细化质量管控措施

5.1 原材料质量管控

建立原材料进场抽检制度,钢筋、水泥、砂石、外加剂全部具备合格证书与检测报告,进场后抽样复检,不合格材料严禁进场使用。严控水泥砂浆、混凝土配合比,根据现场温湿度微调参数,固定拌合时间、水灰比,保障材料性能稳定。钢筋杜绝锈蚀、弯折、超标偏差,模板、支架材料刚度强度满足施工荷载要求。

5.2 钻孔与锚固工序管控

落实放样双人复核制度,每孔施工前校准机位倾角、孔位参数。破碎岩层采用低速慢钻、反复清孔工艺,杜绝塌孔沉渣。严格把控孔深、孔径、倾角偏差,所有锚孔必须验收合格后方可安装锚杆注浆。锚杆统一标准化加工,对中支架间距规范布设,保证居中受力,提升锚固体系稳定性。

5.3 注浆施工专项管控

严格执行孔底反向压力注浆工艺,全程稳压匀速注浆,漏浆区段采用间歇补浆、封堵裂隙措施,确保注浆饱满密实。全程记录注浆压力、注浆量、拌合参数,建立一孔一档施工台账。注浆完成后封闭孔口,自然养护,严禁提前扰动、提前后续施工,保障砂浆锚固强度达标。

5.4 钢筋模板工序管控

钢筋绑扎严格遵照设计规范,严控搭接长度、保护层厚度、节点构造,杜绝少绑、漏绑、松动问题。模板安装严控线形、截面尺寸、密封性,加密支撑体系,浇筑前全面检查验收,杜绝漏浆、跑模、变形隐患,保障框架梁成型精度。

5.5 混凝土浇筑与养护管控

混凝土随到随浇、连续浇筑,严控浇筑厚度与振捣频次,消除内部孔隙缺陷。优化收面工艺,二次压面减少表层收缩裂纹。落实全天候保湿养护制度,高温时段增加洒水频次,低温时段做好保温防护,杜绝干湿交替引发的结构性、干缩性裂缝,保障梁体成型

质量与耐久性。

5.6 成品检测与验收管控

施工完成后开展锚杆拉拔试验、混凝土强度检测、坡面外观质量验收,随机抽检锚杆锚固力,确保锚固性能满足设计要求。对梁体开裂、漏浆、平整度超标等缺陷及时修补整改,确保整体防护工程质量达标。

6 施工效果与综合效益分析

6.1 质量效果分析

通过全流程精细化施工与质控措施,本项目锚杆成孔合格率、注浆饱满度、钢筋模板安装精度、混凝土成型质量均达到优良标准。锚杆拉拔试验全部合格,锚固力稳定达标,无锚固失效、滑移隐患;框架梁线形顺直、密实完整,无蜂窝麻面、大面积开裂、变形缺陷。经过雨季冲刷与长期观测,边坡无溜塌、滑移、裂隙扩张病害,坡面稳定性显著提升,防护效果完全满足设计及规范要求。

6.2 综合效益分析

技术效益方面,优化后的施工工艺与质控体系彻底解决传统边坡防护施工通病,深层锚固与表层约束协同受力,大幅提升边坡抗滑、抗风化、抗冲刷能力,结构耐久性强,长期服役性能稳定。经济效益方面,施工返工率极低,减少病害维修养护成本,施工周期可控,无需大规模封闭交通,节约综合工程投资。社会效益方面,有效消除山区公路边坡安全隐患,保障道路通行安全,防护与绿化结合,改善公路沿线生态景观,适配山区公路建设高质量发展需求,推广应用价值极高。

7 结论与展望

7.1 结论

本文依托山区公路边坡实体工程,系统研究锚杆框架梁防护施工技术与质量管控措施,得出结论如下:

(1) 锚杆框架梁防护通过深层锚杆锚固与浅层框架整体约束协同作用,可有效解决山区破碎岩土边

坡滑移、溜塌、风化病害,是适配公路高边坡治理的优质防护技术。

(2) 成孔质量、注浆密实度、钢筋模板精度、混凝土养护效果是决定防护工程质量与耐久性的核心控制点。

(3) 通过原材料严控、工序标准化施工、全过程动态质控、成品专项检测,可有效杜绝锚固力不足、梁体开裂、注浆空洞等质量通病,显著提升边坡防护施工质量。

(4) 该施工工艺成熟、稳定性强、综合效益突出,适配各类山区公路土石混合、破碎岩质高边坡防护工程,可大范围推广应用。

7.2 展望

本次研究聚焦常规公路边坡锚杆框架梁施工质控,后续可针对高陡边坡、软弱破碎边坡、多雨高寒特殊工况开展工艺优化研究。同时可结合智能化监测设备、新型防腐锚杆、生态复合防护材料,进一步提升边坡防护结构耐久性、智能化管控水平,完善山区公路边坡绿色、高效、耐久的防护施工技术体系。

【参考文献】

- [1] 交通运输部. JTG/T 3334-2018 公路边坡防护设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2018.
- [2] 刘晓丹. 公路工程路基高边坡锚杆框架梁施工技术研究[J]. 工程技术研究,2026,11(05):89-91.
- [3] 字国栋. 高边坡锚杆框架梁施工质量控制要点研究[J]. 中外公路,2025,45(02):167-171.
- [4] 曹素娟. 复杂地质边坡锚杆框架梁支护施工工艺优化[J]. 路基工程,2024(03):145-149.
- [5] 李凤翔. 公路边坡锚杆框架梁病害成因及质控对策[J]. 筑路机械与施工机械化,2023,40(07):73-77.

作者简介:罗玉昊(1991.02—),男,汉族,籍贯:重庆綦江,学历:本科,职称:中级,研究方向:公路工程。