

高海拔高寒地区高速公路路基施工质量控制技术研究 ——以 G0613 香格里拉至丽江高速公路建设项目为例

徐其静

云南省建筑劳务有限公司, 云南 昆明 650000

[摘要]G0613 香格里拉至丽江高速公路是云南省海拔最高的高速公路, 也是国家绿色公路示范项目, 线路海拔跨度为 2000m~3280m, 全线近 50%路段海拔超过 2500m, 具备“三高、二复杂、一脆弱、一艰巨”的典型工程特征, 即高海拔、大高差、高地震烈度, 地形地质复杂、气候条件复杂, 生态环境极度脆弱, 施工建设难度极大。为攻克高寒山区路基质量管控难题, 保障工程建设品质, 本文以香丽高速实际施工工况为基础, 系统梳理高海拔高寒地区路基施工质量现存问题, 探究病害形成机理, 总结适配区域环境与地质条件的路基施工质量控制技术及现场管控策略, 为西南高寒山区高速公路路基工程高质量建设提供实践支撑。

[关键词]高速公路; 路基施工; 质量控制技术

DOI: 10.64635/ja.2026.1251

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research on Quality Control Technologies for Expressway Subgrade Construction in High-Altitude and Cold Regions: A Case Study of the G0613 Shangri-La-Lijiang Expressway Construction Project

Xu Qijing

Yunnan Construction Labor Service Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000, China

Abstract: The G0613 Shangri-La-Lijiang Expressway is the highest-altitude expressway in Yunnan Province and also a national green highway demonstration project. The route has an altitude range of 2,000 m to 3,280 m, and nearly 50% of the whole line is located at an altitude of more than 2,500 m. It has typical engineering characteristics summarized as “three highs, two complexities, one fragility, and one arduousness,” namely high altitude, large elevation difference, high seismic intensity, complex topographical and geological conditions, complex climatic conditions, extremely fragile ecological environment, and great construction difficulty. To overcome the difficulties in subgrade quality control in high-altitude and cold mountainous areas and ensure the quality of engineering construction, this paper takes the actual construction conditions of the Shangri-La-Lijiang Expressway as the basis, systematically reviews the existing problems in subgrade construction quality in high-altitude and cold regions, explores the formation mechanisms of related defects, and summarizes subgrade construction quality control technologies and on-site management strategies adapted to regional environmental and geological conditions. The research provides practical support for the high-quality construction of expressway subgrade projects in high-altitude and cold mountainous areas of Southwest China.

Keywords: expressway; subgrade construction; quality control technology

1 项目工程概况与施工环境特征

1.1 项目基本概况

G0613 香丽高速位于云南省迪庆州、丽江市境内, 线路全长约 140km, 是连接香格里拉与丽江的关键交通枢纽, 也是滇西北重要的经济通道与旅游通道。项目全线穿越高山峡谷地貌, 最大高差达 1100m, 地处Ⅷ度高地震烈度区,

沿线山体破碎、滑坡与崩塌体多发, 岩土体稳定性差^[1]。项目路基工程以深挖方、高填方路基为主, 局部路段存在季节性冻土、软弱夹层与松散坡积层, 路基填筑与基底处理施工难度大、质量管控要求高。同时, 项目属于高寒生态脆弱区, 沿线分布水源涵养区与生态保护带, 路基施工需兼顾质量安全与生态保护, 严禁大规模扰动原生地貌。

1.2 高寒区域路基施工核心环境特征

一是低温冻融循环频繁。项目区域年均气温低、冬季漫长、昼夜温差极大,全年存在反复冻融现象,土体冻胀、融沉效应显著,极易破坏路基土体结构,引发路基变形开裂。二是有效施工期短^[2]。高海拔区域冬季封冻、雨季集中,全年可开展路基标准化施工的时段不足6个月,工期紧张易导致施工工序压缩、质量管控不到位。三是地质条件复杂。沿线多破碎岩体、软弱土层、季节性冻土,土体承载力低、稳定性差,填方路基沉降变形风险高,挖方路基边坡易失稳坍塌。四是生态约束严格。区域属于西南生态安全屏障核心区域,原生植被脆弱、水土保持能力差,路基施工扰动后极易引发水土流失、生态破坏,对施工工艺与场地管控提出更高要求。

2 高海拔高寒地区高速公路路基施工现存质量问题

2.1 冻融病害突出,路基变形不均匀

冻融循环是高寒地区路基最核心的质量病害诱因。香丽高速沿线季节性冻土广泛分布,路基基底与填筑土体内部含水孔隙在低温环境下结冰膨胀,产生冻胀应力,导致路基路面隆起、开裂;气温回升后冰层融化,土体含水率骤增、强度大幅下降,出现融沉、压缩变形,引发路基不均匀沉降^[3]。同时,高原昼夜温差剧烈,浅层路基土体反复冻胀融沉,长期循环作用下会导致路基结构松散、整体性下降,出现路面龟裂、路基沉陷、纵向裂缝等病害,严重影响道路通行稳定性。

2.2 路基填筑压实质量不达标,整体稳定性差

高海拔高寒环境严重影响路基填筑压实效果。一方面,高原空气稀薄、机械设备动力衰减,常规压实设备压实效率、压实度大幅下降,难以达到设计压实标准;另一方面,低温环境下土体含水率难以精准控制,低温冻土、湿软土体直接填筑碾压,易出现表层压实达标、下层土体松散、夹层空洞等隐蔽质量问题。同时,部分施工段为追赶工期,未严格执行分层填筑、分层碾压工艺,填筑层厚度超标、碾压遍数不足,导致路基填筑整体密实度不均,后期沉降变形隐患突出,无法满足高等级公路路基承载要求。

2.3 边坡防护薄弱,失稳与冲刷风险较高

香丽高速多高山峡谷路段,路基高填深挖段落多,边坡坡度大、岩土体破碎严重。高寒环境下,边坡土体受冻风化作用,岩体裂隙持续扩张、土体结构松散,抗剪强度大幅降低,极易出现边坡剥落、滑塌、坍塌等问题。同时,区域雨季降水集中,雨水冲刷松散边坡土体,叠加冻

土融化后土体透水性提升,边坡排水不畅、积水入渗,进一步加剧边坡失稳风险。此外,部分边坡防护施工适配性不足,常规防护工艺无法适配高寒冻融环境,防护结构易开裂、脱落,防护长效性不足。

2.4 施工工艺适配性不足,标准化程度低

现阶段多数路基施工工艺沿用平原地区常规技术,未结合高海拔高寒气候、地质条件优化调整。在冻土处理、基底加固、填料选择、碾压施工、养护保温等关键环节缺乏专项工艺标准,存在冻土基底未彻底处理、填料耐寒性差、低温养护缺失等问题。同时,高寒地区施工人员专业能力不足,对冻土路基施工要点、温控标准、质量管控重点掌握不熟练,施工随意性较强,技术交底不细致、工序管控不严格,导致工艺落实不到位,同类质量病害反复出现。

2.5 现场管控体系不完善,工期与质量矛盾突出

高海拔高寒地区有效施工期短,项目普遍存在重进度、轻质量的管控问题。施工单位未建立适配高寒环境的专项质量管控体系,冻融监测、温控管理、压实检测、隐患排查等常态化管控机制缺失。质量检测多依赖常规人工检测,无法实时监测路基土体温度、含水率、沉降变形动态,隐蔽性质量隐患难以提前识别。同时,高寒地区施工条件艰苦、管控难度大,巡查频次不足、工序验收不严,问题整改闭环不彻底,导致路基施工质量稳定性难以保障。

3 高海拔高寒地区高速公路路基施工核心质量控制技术

3.1 季节性冻土基底处理技术

针对香丽高速沿线季节性冻土路基病害,采用“清冻、换填、加固、隔水”一体化基底处理技术,从源头杜绝冻融隐患。首先,施工前彻底清理路基基底冻土层、软弱土层与松散坡积土,清除深度结合冻土分布厚度确定,杜绝残留冻土隐患。其次,采用级配碎石、砂砾等耐寒、透水、稳定性强的优质填料进行换填处理,替代原有冻敏性土体,提升基底整体稳定性。对承载力不足的基底段落,采用高压注浆加固技术,填充土体裂隙、密实基底结构,提升地基承载力。同时,在基底铺设复合土工膜隔水层与保温隔热层,阻断地下水毛细上升与外界低温传导,减少土体冻融扰动,有效解决基底冻胀、融沉问题,适配高寒冻土区域路基施工需求。

3.2 高寒路基分层压实精准控制技术

结合高原设备动力衰减、低温压实难度大的特点,优化路基填筑压实工艺,保障填筑密实度达标。一是优选填筑填料,优先选用碎石土、砂砾土等低冻敏性、高强度、

稳定性好的填料,严禁使用粉质土、腐殖土、冻土块作为填筑材料,严控填料含水率,通过晾晒、洒水微调等方式将含水率控制在最佳区间,规避低温湿软土体碾压难题。二是严格执行薄层填筑标准,将常规填筑厚度 30cm 缩减至 20cm~25cm,分层填筑、分层碾压、分层检测,杜绝厚层填筑压实不彻底问题。三是适配高原工况调整碾压参数,选用大吨位压实设备,适当增加碾压遍数,遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的碾压原则,弥补高原设备动力不足的缺陷。碾压完成后及时开展压实度检测,确保路基压实度、平整度、沉降差全部达标。

3.3 路基温控保湿与防冻养护技术

针对高寒昼夜温差大、低温冻融频繁的特点,建立路基全程温控养护体系,避免成型路基受冻破损。路基填筑完成后,及时覆盖保温棉被、防水土工布,形成保温保湿防护层,减少路基土体热量散失,抵御夜间低温冻害。冬季低温时段暂停路基填筑施工,已成型路基及时封闭保温,严禁冻土直接覆盖碾压;雨季施工完善临时排水系统,快速排出路基积水,防止雨水入渗软化土体、加剧冻融病害。同时,布设路基温度监测点位,实时监测土体表层与深层温度变化,动态调整保温养护措施,确保路基成型后 72 小时内不受低温冻融影响,保障土体结构稳定成型。

3.4 高寒路基边坡稳定与生态防护技术

结合香丽高速高陡边坡、破碎地质、生态脆弱的特点,采用“工程加固+生态防护”双重防护技术,保障边坡稳定与生态兼容。对于高填方边坡,采用分层填筑、分层夯实工艺,放缓边坡坡度,增设边坡平台,提升边坡整体稳定性;对于深挖方破碎岩体边坡,采用锚杆框架、主动防护网加固,封堵岩体裂隙,防止冻融风化导致岩体脱落。同时,适配高寒生态环境选用耐寒植被,实施客土喷播、植草护坡等生态防护技术,替代传统硬质防护,兼顾边坡加固与水土保持效果。同步完善边坡排水系统,设置截水沟、排水沟、泄水孔,快速排出坡面与坡体积水,规避积水冻胀、冲刷引发的边坡失稳问题。

4 高海拔高寒地区路基施工质量现场管控优化策略

4.1 构建高寒专属质量管控体系,细化施工标准

结合香丽高速高寒施工特点,建立适配高海拔、冻土、复杂地质条件的专项质量管理制度,摒弃平原通用管控模式。细化冻土处理、填料填筑、碾压施工、保温养护、边坡防护各工序的专项技术标准与验收规范,明确高寒施工质量控制点与管控细则。落实全员质量责任制,划分路基

施工责任区域,将质量管控责任细化到岗位、个人,严格执行工序“三检制度”,未达标工序严禁进入下一施工环节,从制度层面杜绝粗放施工、质量失控问题。

4.2 优化施工工期规划,规避恶劣气候影响

针对高寒地区有效施工期短、冻融灾害集中的特点,科学统筹施工计划,实行错峰施工。充分利用每年 4-10 月气候温和、无大面积冻土的黄金施工期,集中开展路基填筑、基底处理、边坡防护等核心工序施工;冬季低温、雨雪天气优先开展室内筹备、设备检修、方案优化等工作,严禁低温冻土环境下盲目填筑施工。通过科学规划工期,规避极端气候对路基施工质量的影响,从源头减少冻融病害,平衡施工进度与质量的矛盾。

4.3 强化人员设备专项管控,适配高原施工工况

开展高寒路基施工专项培训,针对冻土处理、温控养护、压实工艺、边坡防护等核心技术开展技术交底与实操教学,提升管理人员与作业人员对高寒施工工艺、质量标准、病害防控的认知水平,杜绝人为操作失误。针对高原设备动力衰减问题,提前对压实、挖掘、检测设备进行调试增压、保养维护,配备备用设备,保障施工设备稳定运行。同时,优化设备作业流程,避开低温凌晨、夜间施工,选择气温适宜的白天集中作业,提升施工效率与施工质量。

4.4 深化全过程精细化管控,严控隐蔽工程质量

推行路基施工全流程精细化管控,重点强化隐蔽工程与关键工序质量把控。施工前核查基底冻土清理、地基加固质量;施工中全程旁站监督填料摊铺、分层碾压、温控养护等工序,实时核查填筑厚度、碾压遍数、含水率、压实度等关键参数;施工后严格开展质量验收与影像留存。重点把控冻土基底、路基夹层、边坡基底等隐蔽部位质量,杜绝隐蔽性质量隐患。同时,建立质量问题台账,对施工缺陷、病害问题实行“排查-整改-复核-销号”闭环管理,持续优化施工工艺。

依托香丽高速绿色公路建设要求,构建质量与生态协同管控模式。路基施工严格控制场地扰动范围,严禁超范围开挖、占地,及时对施工裸露坡面、临时占地进行生态恢复。优化土石方调配方案,减少土方开挖与弃土堆放,规避大面积地貌扰动引发的水土流失与生态破坏。将生态防护、水土保持纳入路基质量验收体系,实现路基结构稳定、施工质量达标、生态环境可控的多重目标,适配高寒脆弱生态区的建设要求。

5 结语

本文以 G0613 香丽高速项目为工程实例,总结高寒

山区路基施工环境与工程特点,系统梳理了冻融变形、压实不足、边坡失稳、工艺适配性差、现场管控薄弱等核心质量问题,针对性提出冻土基底处理、精准压实、温控防冻养护、生态边坡防护、动态监测预警等成套核心施工技术,从制度建设、工期规划、人员设备、精细管控、生态协同五个维度制定现场质量优化策略。研究成果可为滇西北及全国同类高海拔高寒山区高速公路路基工程建设提供技术参考,助力高寒山区交通工程高质量、绿色化、可持续建设。

[参考文献]

- [1]陈伟深.房屋建筑施工质量管理问题及优化措施[J].住宅与房地产,2025,(5):126-128.
 - [2]赵大鹏.建材质量检测与质量控制技术[J].城市建筑空间,2022,29(S2):764-765.
 - [3]谢超.浅谈以优化现场管理提升建筑工程施工质量[J].中国建筑装饰装修,2022,(4):106-107.
- 作者简介:徐其静(1988.04—),男,汉族,云南省宣威市人,大专学历,工程师,研究法方向:公路工程。