

山区公路路基施工质量控制要点及沉降防治研究

李鸿昌

山西道合公路工程监理咨询有限公司 山西 太原 046000

摘要：山区公路地形、地质与水文条件复杂，路基施工易出现质量缺陷与沉降病害，严重影响道路通行安全与使用寿命。本文结合山区路基施工核心特点，系统剖析人为、材料、工艺、环境四大质量影响因素，梳理均匀、不均匀及次生病害三类沉降成因。从施工全流程明确质量控制关键点，构建事前预防、过程管控、后期治理的沉降防治技术体系，配套完善施工保障机制，可为山区公路路基施工提质降害提供实操参考。

关键词：山区公路；路基施工；质量控制要点；沉降防治

引言：山区公路是区域交通路网建设的重要组成部分，对山区经济发展、交通联通具有重要支撑作用。相较于平原公路，山区路基施工受复杂地形、特殊地质、多变水文气候制约，施工难度大、不可预见因素多，路基压实不达标、不均匀沉降等病害频发，直接降低公路工程质量与运营稳定性。为有效解决山区路基施工痛点，规范施工流程、防控沉降病害，本文针对性开展施工质量控制与沉降防治研究，助力提升山区公路路基施工标准化与精细化水平。

1 山区公路路基施工特点及质量、沉降影响因素分析

1.1 山区公路路基施工核心特点

(1) 地形条件复杂。山区地势起伏大、坡度陡峭，高填方与深挖方路基占比高，施工便道修筑困难，大型机械进场受限，作业面狭窄，土石方调配难度大，填挖交界处处理要求严苛。(2) 地质条件特殊。山区广泛分布软弱土层、风化岩层及岩溶地段，地基承载力差异显著，局部存在隐蔽性不良地质体，勘察阶段难以完全查明，施工中不可预见因素多，易诱发路基基底失稳。(3) 水文气候复杂。山区降雨集中且强度大，地表径流汇水速度快，地下水位随季节波动明显，土体含水率易超限，路基开挖后边坡暴露时间长，受雨水冲刷及地下水浸泡作用显著，抗渗与抗冲刷问题突出。

1.2 路基施工质量主要影响因素

(1) 人为因素。施工人员操作不规范、技术交底流于形式、质量自检体系运行失效，现场管理人员对隐蔽工程及关键工序管控松懈，质量责任落实不到位。(2) 材料因素。填料来源复杂，级配控制不严，含水率偏离最优含水率范围，违规使用腐殖土、软土等不合格填料，材料进场检验及过程抽检缺失，导致填筑质量先天不足。(3) 工艺因素。分层填筑厚度超标、压实遍数不足或碾压速度不当、基底软弱层未按要求置换或加固、

临时排水设施布设滞后，各工序衔接不紧密，工艺参数执行偏差大。(4) 环境因素。复杂地形制约施工机械效能发挥，突降雨干扰填筑作业连续性，高海拔地区昼夜温差影响压实效果，环境条件变化对施工工序及成型质量的扰动显著^[1]。

1.3 路基沉降主要类型及成因分析

(1) 均匀沉降。主要由路基填料在自重及行车荷载作用下固结压缩引起，沉降量沿路线纵向分布较均匀，速率平缓，对路面结构影响相对有限，可通过合理预留沉降量加以消化。(2) 不均匀沉降。因地基承载力差异大、填料性质及压实度横向分布不均、填挖交界处处理不当、局部排水失效引发，导致路基纵向开裂、错台及路面结构性破损，是山区公路沉降病害的主要表现形式。(3) 次生病害沉降。受山区强降雨冲刷、地下水长期浸泡软化、边坡蠕变滑移等因素影响，路基在运营期内产生渐进式附加沉降，具有隐蔽性强、发展周期长、处治难度大的特点。

2 山区公路路基全流程施工质量控制要点

2.1 施工准备阶段质量控制

(1) 现场勘察与方案优化。采用地质钻探、物探与现场踏勘相结合的综合勘察方法，精准查明沿线地质构造、水文条件、地形起伏及不良地质体分布，重点排查软弱地基、岩溶空洞、滑坡体及采空区等特殊路段。依据勘察成果编制专项施工方案，对高填方、深挖方及填挖交界等关键部位组织专家论证，优化土石方调配方案与施工工序衔接^[2]。(2) 原材料质量管控。严格筛选路基填料来源，优先选用级配良好、水稳性强、压缩性低的碎砾石类粗粒土及砂性土，严禁使用腐殖土、淤泥、生活垃圾及膨胀性黏土。建立材料进场检验台账，每批填料按规范频率抽检天然含水率、液塑限、CBR值、颗粒级配及有机质含量等指标，不合格材料坚决拒收并追

溯来源。(3)设备与技术准备。配备大吨位振动压路机、冲击压路机、平地机及洒水车等成套设备,进场前完成设备检定、调试与标定。完成施工测量放样及原地面复测,加密控制点布设。落实分级技术交底制度,覆盖项目技术负责人至一线作业班组全员,明确各工序质量标准、检测频率、验收指标及应急处置流程。

2.2 基底处理施工质量控制

(1)一般基底处理。彻底清除基底表层耕植土、腐殖土、杂草树根及建筑垃圾,清除厚度不小于30cm,清除范围超宽不小于50cm。基底采用大吨位压路机进退式碾压6~8遍,压实度不低于93%(高速公路不低于95%),局部弹簧土及软塑区挖除后换填合格填料并重新压实,检测合格后方可进入下道工序。(2)软弱基底处理。浅层软土(厚度小于3m)采用换填垫层法,换填材料选用级配良好的砂砾、碎石或灰土,分层回填,每层厚度不超过30cm,逐层压实至设计压实度。深层软土地基采用塑料排水板或袋装砂井联合堆载预压加速固结沉降,或采用CFG桩、预应力管桩等复合地基方案,桩长、桩径及桩间距由计算确定,处理结束后进行静载或动力触探检测,确保地基承载力满足设计要求^[3]。(3)特殊地段基底管控。水田及低洼地段先开挖纵横排水沟疏干地表水、清除淤泥后换填透水性材料并分层压实。陡坡地段(坡度大于1:5)基底开挖台阶,台阶宽度不小于2m,内倾坡度为2%~4%,台阶面密实无松散。岩溶地段采用注浆填充、回填片石并灌注水泥砂浆或钢筋混凝土板跨越等差异化处置方案,同时加强防渗处理,防止地下水渗流软化基底。

2.3 路基填筑与压实质量控制

(1)分层填筑管控。严格执行水平分层填筑、逐层压实工艺,每层松铺厚度根据压实机具经试验段确定,细粒土不超过30cm,粗粒土不超过40cm。填筑宽度每侧超宽不少于50cm确保边缘压实。填筑顺序遵循由低处向高处、由路中心向两侧的原则,不同填料不得混杂填筑,填层界面处理平整,杜绝超厚填筑及填料混杂问题。(2)含水率调控。针对山区雨量充沛、空气湿度大的气候特征,填料摊铺后采用快速水分测定仪检测含水率,超出最佳含水率($\pm 2\%$ 范围)时采取翻松晾晒、旋耕破碎或掺入消石灰、水泥等改良材料进行调控,确保碾压时含水率逼近最佳值,保障压实效果。雨季施工期间做好填料防雨覆盖。(3)压实作业管控。采用振动碾压与冲击碾压组合工艺,振动压路机碾压速度控制在2~4km/h,先静压1遍后振压6~8遍,碾压轮迹搭接宽度不小于1/3轮宽。路基边角、边坡边缘、桥涵台背及挡墙

背侧等薄弱区域采用液压夯或小型冲击夯补充夯实。压实度检测采用灌砂法,每层每200m测4点以上,压实度须100%达到设计值,不合格区域及时补压处理^[4]。

2.4 附属工程施工质量控制

(1)排水工程质量控制。边沟、截水沟、排水沟及盲沟严格按设计位置、断面尺寸、纵坡及标高施工,沟底平整顺直,纵坡不小于0.3%确保排水畅通,沟壁砌筑砂浆饱满、勾缝密实。盲沟内填洗净碎石并外包透水土工布作为反滤层,出水口设置合理避免冲刷路基。路基施工期间同步建设临时排水设施,形成完整的截、排、疏体系,杜绝地表水及地下水浸泡路基土体。(2)边坡防护质量控制。综合考虑山区地形坡度、岩土性质及水文条件,合理选用植物防护(客土喷播植草、三维网植草)、工程防护(浆砌片石护坡、主动防护网)及支挡防护(重力式挡土墙、锚杆框架梁、锚索挡墙)等综合防护体系。锚杆钻孔深度、倾角及孔径须符合设计,注浆密实度通过注浆量与压力双控。挡墙基础承载力经检测满足要求后方可浇筑,墙背回填随砌筑高度分层压实,泄水孔布设规范。防护工程坚持逐级开挖、逐级防护的施工原则,杜绝坡面长期裸露受雨水冲刷,切实保障边坡长期稳定性。

3 山区公路路基沉降防治技术与保障措施

3.1 路基沉降事前预防技术

(1)优化路基设计参数。基于山区精细化地质勘察成果,分段确定合理的路基填筑高度、边坡坡率及分级平台宽度,依据不同地基承载力条件差异化设计基底处理标准与工后沉降控制指标。对高填方及填挖交界路段进行沉降量专项验算,合理预留沉降加宽量与加高量,优化路堤断面形式,从设计源头有效规避沉降风险隐患。(2)填料改良优化。对天然含水率偏高、液限指数超标或强度不满足设计要求的填料,经室内配合比试验确定最优掺量后,掺入石灰、水泥或粉煤灰等固化材料进行改良处理,降低土体压缩性,提升水稳定性与抗剪强度指标,有效减少工后固结沉降量并增强路基整体承载能力。(3)地基预处理加固。对高填方、软土及岩溶发育等高风险沉降路段,提前实施强夯置换、堆载预压、振冲挤密或换填垫层等预处理工艺,加速深层软土固结沉降,提升基底整体承载力与抗变形能力,彻底消除工前潜在的不均匀沉降隐患,确保基底处理一次达标。

3.2 施工过程沉降动态管控技术

(1)分层沉降管控。严格执行分层填筑、分层摊铺整平、分层碾压压实、分层质量检测的四级管控程序,每层压实度、平整度、松铺厚度及横坡指标全部达标后方可

进行上层填筑。单层压实度不低于设计值且检测合格率为100%，从逐层累积叠加环节有效控制总沉降量。（2）动态监测预警。沿路基纵向按20~50m间距布设沉降观测桩，在填挖交界、涵洞台背、高填方断面等关键部位加密布点至10~15m间距。采用精密水准仪进行全过程跟踪测量，实时掌握施工期沉降速率与累计沉降量。建立分级预警机制，沉降速率超限时立即停工排查并调整填筑速率与碾压工艺参数^[5]。（3）排水降压防控。施工期间及时疏通临时排水沟渠，保持截、排、疏系统畅通有效，降低施工区地下水位。填筑工作面保持2%~4%的横坡以利排水，防止雨水下渗及地下水毛细上升对路基土体造成软化侵蚀，维持各填筑层处于最佳含水率状态。

3.3 后期沉降病害治理技术

（1）轻微均匀沉降处治：对工后沉降量在容许范围内且路面平整度轻微下降的路段，可采用铣刨后重新加铺沥青面层或进行局部罩面处理，配合裂缝灌缝封闭，恢复路面使用功能，防止地表水沿裂缝下渗引发次生病害。（2）不均匀沉降专项治理：对出现明显错台、纵向裂缝等不均匀沉降病害路段，首先查明沉降深层成因（如基底软弱带、隐蔽空洞或排水失效等），然后采取针对性措施——浅层问题采用开挖回填并加强压实；深层地基问题采用高压旋喷桩、CFG桩或素混凝土桩等复合地基加固技术，提高地基承载力和变形协调能力；填挖交界部位可采用土工格栅加筋补强，增强界面过渡区的整体性。（3）既有路基沉降补强升级：针对运营期持续沉降超限的老旧路段，在交通管制条件下实施冲击碾压补强或落锤式动力压实，重新挤密深层填土；对边坡失稳引发的路基滑移沉降，同步实施抗滑桩、锚索框架等边坡加固措施，并对全线排水系统进行排查改造，升级防渗与疏排能力，遏制沉降进一步发展。

3.4 施工质量与沉降防治保障体系

（1）制度保障。建立健全全流程质量巡检制度、工序交接验收制度及质量责任终身追溯制度，明确各岗位质量职责与考核标准。实行关键工序监理全程旁站与影

像资料留存，推行隐蔽工程举牌验收制，确保施工管控流程闭合、环节可追溯、责任可追究。（2）技术保障。落实经专家评审通过的专项沉降防治施工方案，积极推广冲击碾压补强、土工格栅加筋、高聚物注浆等山区路基沉降防治新型工艺。优先选用高强度、耐腐蚀的新型加固材料，施工前完成工艺性试验段验证，确保技术参数科学可靠，提升处治效果的持久性与可靠性。（3）管理保障。定期组织施工操作人员、质检试验人员开展专业技术与质量意识专项培训，考核合格后方可上岗。强化沉降监测数据采集、分析与反馈能力，建立从填料进场检验、施工过程控制到工后验收评估的全过程数据记录与信息化管理平台，实现质量与沉降防治工作的科学化、精细化、规范化管理。

结束语

本文全面梳理了山区公路路基施工的特点与病害成因，细化了施工全流程质量控制标准与操作要点，搭建了全周期沉降防治技术体系及综合保障机制。通过源头管控、过程严控、后期治理的闭环模式，可有效解决山区路基施工质量隐患与沉降难题。研究成果贴合山区施工实际，能够有效提升路基稳定性与工程耐久性，对同类山区公路路基施工建设、病害防治具有良好的借鉴与推广价值。

参考文献

- [1]王浩,陈勇.山区公路路基沉降监测与病害处置技术[J].公路,2023,68(07):201-206.
- [2]张磊,刘敏.软土-破碎岩复合地质路基加固技术优化与应用[J].施工技术,2024,53(15):98-103.
- [3]胡艳琼,康惠,李鸿洁.山区高填方路基稳定性监测分析与预测[J].福建交通科技,2023,21(09):86-92.
- [4]李泽霖.山区公路高填方路基的稳定性分析[J].交通世界,2025,18(Z1):133-135.
- [5]李洋洋.山区公路高填方段不均匀沉降及防治技术探讨[J].交通科技与管理,2023,24(05):135-137.