

公路工程路基施工质量控制技术研究

热依汗古丽·苏拉依曼

新疆新筑路桥建设有限责任公司，新疆省乌鲁木齐市，830021；

摘要：文章旨在研究公路工程路基施工质量控制技术，来应对路基沉降、冻胀、纵向裂缝等常见质量问题，提升道路长期性能。首先分析路基质量问题的成因及不良后果，提出施工前期准备、填料质量控制、压实工艺、排水工程质量控制的关键技术。通过严格控制填料质量与含水量、构建排水体系及实施全过程质量检测，能减少路基质量问题，保证路基均匀密实、排水顺畅、结构稳定，对提升公路使用寿命、降低维护成本具有重要作用。

关键词：公路工程；路基施工；质量控制

DOI：10.69979/3029-2727.26.03.062

引言

大规模基础设施建设需要坚实可靠的路基工程作为载体，然而路基沉降、裂缝等质量问题的发生，会明显影响道路使用性能与使用寿命，还会带来高昂的维护成本，加之地质条件和气候环境复杂多变，需要强化路基施工质量控制效果。随着可持续发展理念已渗透基础设施领域，质量控制目标已从短期达标向长期性能稳定转变。因此，为了构建完备的质量控制体系，保障路基工程的内在品质与长效性能，支撑交通运输系统的安全、高效、可持续发展，需要研究公路工程路基施工质量控制技术。

1 公路工程路基常见的问题

1.1 路基沉降

路基沉降是路基主体在竖向发生的超过设计允许范围的塑性变形、压密变形，一般来说，如果使用没有经过改良的高压缩性土，或者具有特殊工程性质的湿陷性黄土、膨胀土，材料自身结构强度低、孔隙率高，在长期静载与动载的共同作用下，这些材料固结过程缓慢且变形量很大，成为后持续沉降的内在原因。压实工艺参数选择不当或者执行不严格，导致压实功不够，就不能让土颗粒重新排列到最密实的状态，路基内部会残留大量初始孔隙^[1]。孔隙在后续使用阶段，会在行车荷载的反复振动与冲击下逐渐被压缩，表现为持续的、不均匀的竖向位移。压实度在路基断面内分布不均匀，就会形成明显的“软弱区”，在相同荷载下会产生大的压缩变形，进而引发差异沉降。地基承载能力不足或者存在软弱下卧层，是导致大规模、灾难性沉降的深层原因，如果勘察没有准确揭示或者处理措施不到位，路堤自重

及附加荷载会引发地基土体的剪切破坏，或者产生远超过预期的固结沉降。这种由下至上传递的沉降往往难以控制。路基沉降带来的不良后果是连锁式的，一旦路面平整度完全丧失，形成波浪、坑槽、桥头跳车等情况，就会严重影响行车舒适性，迫使车辆减速，增加运营成本与能耗。

1.2 路基冻胀

路基冻胀是季节性冻土地区公路周期性出现的典型病害，由于路基土体中水分冻结成冰导致体积膨胀，将土体或局部抬升。当路基填料选择不当，大量采用粉性土、粘性土等细粒土，其丰富的毛细孔隙为水分的迁移提供高效通道。在冻结期，土体内部形成温度梯度，未冻区的水分在毛管力、渗透压等作用下，不断向冻结锋面迁移积聚，使冰层持续增厚。产生的膨胀力逐渐克服上覆土体自重及周围约束，导致路基表面隆起，因为土质、水分、温度在空间分布上的不均匀性，冻胀量在横断面和纵向上必然存在差异，所以路基表面会产生扭曲、鼓包等不规则变形。到春季融化期，伴随气温回升，冰晶体融化，会释放出大量水分，因为融化通常自上而下，融化水难以下渗或排出，路基上层土体含水量在短时间内达到饱和甚至过饱和状态，导致土体强度指标急剧衰减，承载力大幅下降甚至丧失，使土体由固态转变为可塑甚至流动状态，此时在行车荷载作用下，软土体被挤压、推移，形成“弹簧土”、翻浆、车辙等破坏形态。融化后的土颗粒在饱和状态下重新沉积排列，通常变得更为松散，表现为孔隙比增大，密实度下降。经过多个周期的累积，路基抗压强度、抗剪强度、回弹模量等都会持续降低，对水分侵入的抵抗力也越来越弱。

1.3 纵向裂缝

纵向裂缝的形成主要源于差异沉降与内部应力集中,如在半挖半填、填挖交界或新旧路基拼接等部位,一旦结合面处理工艺存在缺陷,台阶开挖尺寸不足、结合面未压实或未采取的加筋措施,会导致新填路基与原有地基(或旧路基)之间存在显著的刚度差异。在自重和外部荷载作用下,刚度较低一侧的压缩变形大,在结合面附近产生剪切或张拉应力超过界面抗剪或抗拉强度时,就会形成纵向裂缝^[2]。施工中,压路机对路基中部的压实效果通常优于两侧边缘区域,会导致路基横断面形成“中间密实、边缘疏松”的压实度分布,在运营荷载下,边缘部分产生的压缩变形大于中部,不均匀沉降趋势会在靠近路肩的区域诱发纵向张拉裂缝。在软土地基上,如果地基处理宽度不足或路堤坡脚外未得到处理,路堤中心沉降大于坡脚外沉降,路基边缘就会被“撕裂”而形成裂缝。纵向裂缝一旦产生,水分就会沿着裂缝壁快速侵入,浸泡并软化裂缝两侧的土体,使其强度降低,水分下渗至路基深层甚至地基,引发大范围的湿软和次生沉降,又会使裂缝加宽、延长。严重的纵向裂缝会显著削弱路基的整体性和承载能力,导致裂缝一侧的路基土体在荷载和水的作用下发生侧向滑移,引发路面边缘塌陷、沉陷,甚至引发边坡失稳的问题,必须予以高度重视。

2 公路工程路基施工质量控制的技术

2.1 做好施工前期准备

施工前期准备直接决定后续施工的顺利实施及最终质量,准备工作的首要环节是细致的现场勘察与调查,工作人员需全面勘探路线范围内的地形地貌、水文地质条件、气候特征、既有构筑物及管线等,基于详实的勘察数据,恢复并复核路线中线、边线、水准点等关键控制桩,为路基开挖、填筑提供依据。依据勘察结果与设计文件,编制可行且具有针对性的施工组织设计与专项施工方案,内容要涵盖施工工艺流程、关键工序技术参数、机械设备选型与配置计划、材料供应计划、质量检验标准与方法、进度控制节点、安全环保措施及应急预案等,对于特殊路基和复杂工点,需制定专门的处置与施工技术方。前期准备还需高度重视人员与设备配置,要对管理人员、技术人员及作业人员进行全面的技术交底与岗前培训,让他们明确技术标准、操作要点及质量

要求,全面检查、调试、保养拟投入的施工机械设备,满足施工工艺要求。同时,对于场地的准备工作也不能忽视,需要完成清表、拆除障碍物、修筑临时排水设施等工作,为正式施工创造良好的作业面,实现“方案指导施工、资源保障施工、人员胜任施工”。

2.2 严格控制路基填料质量

路基填料直接决定路基的强度、稳定性与耐久性,选择填料时,要坚守“因地制宜、就地取材、经济”原则,优先选用强度高、水稳性好、压缩性低的粗粒土,像砂砾、碎石土、砾类土等这类材质能提升路基承载能力,适应公路长期通行需求^[3]。细粒土如粘土、粉质土工程性质较差,要谨慎选用,必要时采取改良处理,掺加石灰、水泥、粉煤灰等固化材料调整材质结构,优化其物理力学性能,满足路基填筑标准。填料含水量应接近其最佳含水量,允许偏差按常规控制在 $\pm 2\%$ 范围,含水量过高时,碾压过程中容易出现“弹簧”现象,土体难以达到规定压实标准,后续使用中还会因强度不足引发路基沉降、变形等问题。含水量过低时,土粒间摩阻力增大,压实作业难度提升,同样无法实现设计压实度。施工前,需全面检测填料含水量,一旦超出标准,就采取翻晒方式降低含水量,或掺加吸湿材料调节,含水量不足时,可洒水闷料补足水分。

2.3 路基压实

压实是使松散填料转变为密实、稳定、具有足够承载力和抗变形能力路基结构的关键技术,其质量控制应涵盖参数选择、工艺执行与质量检验全过程。具体可用铺筑试验段验证适合具体工程条件的最佳松铺厚度、碾压机械组合、碾压遍数、碾压速度及行走轨迹等关键要素。松铺厚度与压实质量息息相关,厚度超标会导致下层填料无法达到规定压实度,遗留路基沉降隐患,厚度过薄则浪费机械台班与施工时间,降低作业效率,还造成表层粒料破碎,影响路基强度,因此每层松铺厚度通常不超过30cm,最终取值以试验段结果为准^[4]。

碾压作业要遵守既定原则,按照先轻后重、先慢后快、先静后振、由边到中、纵向进退、轮迹重叠的顺序推进,直线段碾压从两侧路肩向路中心逐步推进,曲线段则从内侧路肩向外侧路肩作业,轮迹重叠宽度要按机械类型调整,振动压路机重叠 $1/3 \sim 1/2$ 轮宽,三轮压路机重叠后轮 $1/2$,碾压速度保持匀速缓慢,振动压路机

时速控制在2~4km/h。碾压作业完成后,要开展压实度检测,常用方法有环刀法、灌砂法、核子密度仪法等。不同检测方法适合不同填料类型,检测频率严格遵循规范要求,一般每200m每压实层至少检测4处,全面覆盖填筑区域。压实度标准依据路基部位不同有所区分,路床、上路堤、下路堤各自对应不同标准,都要符合设计文件规定。通常以重型击实试验最大干密度的百分数表征,路床压实度需满足 $\geq 96\%$ 要求,检测合格后方可启动上一层填筑施工。

2.4 排水工程的质量控制

排水工程质量控制要贯彻“防、排、截、疏相结合,与路基防护、地基处理相协调”的原则,兼顾地表排水、路面排水和地下排水,形成全方位综合治理体系。地表排水设施目标是迅速排除路基范围内的地表水,阻断地表水渗透路基内部及冲刷边坡的路径,尺寸要符合设计标准,纵坡坡度一般不低于0.3%。沟底要修整平整,线形保持顺畅连贯,无凹凸起伏及弯折死角。砌筑或浇筑作业要保证结构牢固。浆砌工程中,砂浆强度要达标,砌筑时砂浆填充饱满,勾缝工艺精细,设施进出口处理尤为关键,要与天然沟渠或桥涵衔接平顺,过渡自然,用于分散水流冲击力^[5]。

路面排水聚焦雨水管控,路拱横坡按常规设置为1.5%~2%,让雨水向路面两侧流动,配合硬化路肩、拦水带、集水槽和泄水口等设施,形成完整的路面排水系统,雨水经路拱横坡汇集至路面两侧后,由拦水带拦截导向集水槽,再通过泄水口快速引离路面,最终排入边沟或排水沟。地下排水针对危及路基稳定的地下水,以拦截、降低、排除等方式,消除地下水对路基的不良影响,其质量控制要贴合水文地质条件及设计要求,位置、坡度要严格参照水文地质勘察结果布设,偏差控制在允许范围。反滤层的层级划分、材料粒径级配要严格遵循设计方案,级配阻挡细粒土随水流迁移,管道接缝要密封严密,无渗漏隐患。透水管外包反滤织物要保持

完好,无破损、脱落情况,设施出口要妥善处理,做好防护措施。值得注意的是,排水工程要与路基施工同步推进,衔接有序,并重视施工期间临时排水布设,搭建临时排水设施,快速排除施工用水及自然雨水。

3 结语

在交通运输网络持续完善、基础设施建设向长效化发展的当下,路基是公路工程的核心承载基础,其施工质量与道路通行安全、使用年限与运维成本息息相关。而复杂的地质条件、多变的气候环境以及施工环节的多重变量,一直对路基稳定性构成挑战。因此,施工前期要做好人员、设备与场地的全方位准备,坚守强度高、水稳性好的原则选择填料。进行压实作业要先通过试验段确定最佳参数,再严格遵循规范流程,保证路基密实均匀。排水工程要构建地表、路面、地下全方位体系,阻断水分对路基的侵蚀,从源头规避质量隐患。希望通过持续深化技术研究、完善质量控制体系,为交通运输系统的安全、高效、可持续发展提供支撑。

参考文献

- [1] 贾耀强. 浅谈公路工程路基施工质量控制技术[J]. 工程管理与技术探讨, 2025, 7(21).
- [2] 刘基发. 公路工程中石灰土路基施工技术应用及质量控制措施[J]. 工程建设与设计, 2024(8): 109-111.
- [3] 张琳政. 公路工程路基施工质量控制的关键技术研究[J]. 运输经理世界, 2025(3): 40-42.
- [4] 王伟. 公路工程高填方路基施工技术要点及质量控制措施分析[J]. 运输经理世界, 2024(14): 5-7.
- [5] 郭帅. 高速公路路基工程施工技术与质量控制研究[J]. 工程管理与技术探讨, 2024, 6(21).

作者简介: 热依汗古丽·苏拉依曼; 1982-4-20; 女; 维吾尔族; 新疆新筑路桥建设有限责任公司; 新疆省乌鲁木齐市; 830021; 工程师; 研究方向: 公路工程。