

公路工程施工中填石路基施工技术研究

刘文阳¹ 韩香梅¹ 张月成²

1. 巴林左旗公路管护和运输保障中心 内蒙古 赤峰 025450

2. 巴林左旗交通运输综合行政执法大队 内蒙古 赤峰 025450

摘要:随着我国交通基础设施建设的快速发展,填石路基在山区、石料丰富地区的公路工程中应用日益广泛。本研究聚焦公路工程施工中填石路基施工技术,系统阐述其定义、特点及施工重要性。研究表明,填石路基施工关键技术涵盖施工准备、工艺流程及特殊路段的针对性技术方案。同时,结合行业发展趋势,提出高性能材料研发、智能化与信息化技术融合、绿色环保工艺推广及施工标准化规范等发展方向,为提升填石路基施工质量与工程耐久性提供理论与实践参考。

关键词:公路工程施工;填石路基施工;技术研究

引言:随着公路工程建设向山区及复杂地形区域延伸,填石路基因适应石料丰富区域、填筑效率高的特点成为关键施工形式。然而,填石路基施工中材料级配控制、压实工艺优化及特殊地质条件下的稳定性保障等问题,直接影响公路路基的承载能力与使用寿命。当前工程实践中,如何通过技术创新解决填石路基施工中的压实度不足、边坡失稳等难题,已成为行业关注重点。基于工程实践与技术发展,系统分析填石路基施工技术体系,探究其核心工艺与未来发展路径,为公路工程填石路基施工的规范化与高质量发展提供理论支撑。

1 公路工程施工中填石路基施工技术概述

1.1 填石路基的定义与特点

填石路基是以石料为主要填筑材料,经分层摊铺、压实形成的道路基础结构。石料来源广泛,常见于开山爆破、隧道开挖弃料,能有效降低工程成本并实现资源循环利用。其特点突出:一是强度高,石料的刚性赋予路基良好的承载能力,适用于重载交通路段;二是透水性强,可快速排出路基内部积水,减少水损害风险;三是施工效率高,相比土质路基,填石路基无需复杂的含水率控制,填筑速度更快。

1.2 填石路基施工的重要性

填石路基施工质量直接关系公路工程的整体性能与使用寿命。在山区、丘陵等石料丰富地区,采用填石路基既能就地取材,降低运输成本,又能减少取土对生态环境的破坏。其高强度和稳定性为路面结构提供坚实支撑,有效减少路基沉降,保障行车舒适性与安全性。此外,合理的填石路基施工可优化公路工程的全生命周期成本,减少后期维护频次与费用。随着交通量增长和重载车辆增多,填石路基施工技术的规范化与精细化,成

为提升公路工程质量、推动交通基础设施可持续发展的关键环节^[1]。

2 公路工程施工中填石路基施工的关键技术

2.1 施工准备

2.1.1 材料选择

填石路基的材料质量直接影响路基稳定性,选材时需严格把控。石料强度应不低于15MPa,软化系数大于0.75,确保在干湿交替环境下不易风化破碎。粒径方面,最大粒径不得超过层厚的2/3,且应控制细料(小于5mm颗粒)含量在20%-30%之间,以填充石料间隙,增强整体密实度。同时,要避免使用岩性差异过大的混合石料,防止因膨胀系数不同导致路基变形。对于特殊路段,如软土地基上方的填石路基,需选用质地均匀、级配良好的石料,降低不均匀沉降风险。合理的材料选择是保障填石路基施工质量的首要前提。

2.1.2 设备选型

设备选型是填石路基高效施工的重要保障。摊铺环节需配备大功率推土机或装载机,确保石料能快速、均匀地摊铺至设计厚度;整平作业则依赖平地机对石料表面进行精细修整,消除较大高差。压实设备的选择尤为关键,应根据石料特性和压实要求,优先选用自重18t以上、激振力不低于500kN的重型振动压路机,其高频低幅振动模式可有效提高深层石料的密实度。此外,还需配备小型夯实机械,对压路机难以压实的边角区域进行补充夯实。

2.1.3 试验段施工

试验段施工是优化施工参数、验证施工工艺可行性的关键步骤。在正式施工前,选取长度不小于100m的代表性路段进行试验,通过不同的松铺厚度(30-50cm)、

压实遍数（6-10遍）和压实机械组合，记录沉降差、压实度等数据。采用水准仪测量每层压实前后的高程变化，当连续两遍压实后的沉降差不超过5mm时，视为达到压实标准，由此确定最佳松铺厚度和压实遍数。同时，观察石料的破碎、嵌挤情况，评估施工工艺的合理性。试验段获取的数据将为大规模施工提供技术依据，有效避免因参数不当导致的返工，保障工程质量与进度。

2.2 施工工艺流程

2.2.1 基底处理

基底处理是填石路基施工的基础，直接关系到路基的整体稳定性。施工前需对原地面进行清理，清除表层草皮、树根、腐殖土等软弱杂物，确保基底无积水、无松散土体。对于普通路段，应将基底碾压至规定压实度；若基底为岩石，需凿除表面风化层，保证基底平整且具有一定粗糙度，增强与填石层的摩擦力。针对特殊路段，如软土地基，需根据设计要求采用换填、抛石挤淤、强夯等方法进行加固处理，提升基底承载能力。只有做好基底处理，才能为后续填石施工提供坚实可靠的基础，避免因基底沉降导致路基失稳。

2.2.2 分层填筑

分层填筑是确保填石路基压实质量的关键工序。填筑时应严格控制每层松铺厚度，一般不超过50cm，且从路基两侧向中间对称推进，以保证路基受力均匀。采用自卸汽车卸料时，需按照网格布料法控制卸料间距，避免石料堆积过高影响摊铺效率。不同粒径的石料应分层填筑，大粒径石料置于下层，以增强路基承载能力；小粒径石料及石屑填充上层和缝隙，提高整体密实度。同时，相邻作业段的交接处应设置阶梯形搭接，搭接长度不小于2m，确保路基衔接处的整体性。

2.2.3 摊铺与整平

摊铺与整平是使填石层达到设计平整度和厚度的重要步骤。摊铺作业采用大功率推土机进行初平，将卸下的石料均匀推开，消除明显高差；随后使用平地机进行精平，通过刮平、补料等操作，使填石层表面平整度误差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内。对于超粒径石料，需及时进行破碎或移除，防止其影响压实效果。在摊铺过程中，应严格控制填石层的横坡和纵坡，确保与设计要求一致，以利于路基排水。平整后的填石层表面应无明显坑洼和凸起，为后续压实工序创造良好条件，保障路基压实均匀性。

2.2.4 压实

压实是填石路基施工的核心环节，直接决定路基的强度和稳定性。采用重型振动压路机进行压实，遵循“先慢后快、先两侧后中间”的原则，先静压1-2遍稳

定石料，再开启振动功能进行压实。振动压实过程中，需控制压路机行驶速度在2-4km/h，通过逐步增加压实遍数（一般6-10遍），使石料相互嵌挤密实。每压实2-3遍后，需检测压实度和沉降差，当连续两遍压实后的沉降差不超过5mm且压实度符合设计要求时，方可停止压实。对于压路机难以压实的边角区域，采用小型夯实机械进行补充夯实，确保路基全范围压实达标，提升整体承载能力。

2.2.5 边坡码砌

边坡码砌对保障填石路基边坡稳定性和外观质量至关重要。码砌石料应选用质地坚硬、形状规则的大块石料，块石尺寸不小于30cm，且无风化、裂纹。码砌工作与分层填筑同步进行，每层填筑完成后，及时在边坡外侧进行码砌作业。码砌时石块需大面朝下、丁顺交错排列，石块间缝隙用小石块填塞紧密，形成稳固的嵌挤结构。边坡坡度应严格按照设计要求施工，码砌厚度一般不小于1m，确保边坡具有足够的抗滑和抗冲刷能力。通过规范的边坡码砌工艺，既能增强路基边坡的稳定性，又能美化路基外观，减少后期边坡防护工程量。

2.3 特殊路段施工技术

2.3.1 陡坡路段施工

陡坡路段地形复杂，填石路基易出现滑移、失稳问题。施工时需先对原坡面进行台阶式开挖，台阶宽度不小于2m且向内倾斜2%-4%，以增大填石层与原地面的摩擦力，防止路基下滑。采用分层填筑时，需加强边坡防护，在每层填筑完成后及时进行边坡码砌，并在坡脚处设置挡土墙或抗滑桩，增强边坡抗滑能力。同时，可通过铺设土工格栅增强填石层的整体性，格栅应锚固于台阶内，搭接长度不小于30cm。压实过程中，需采用小型压实设备对台阶边缘进行重点压实，确保填石路基在陡坡环境下的稳定性，避免因地形因素导致路基病害。

2.3.2 软土地基路段施工

软土地基承载力低、压缩性高，易造成填石路基不均匀沉降。施工前需根据软土厚度和性质选择合适的处理方法：当软土厚度较薄（小于3m）时，可采用换填法，挖除软土后换填透水性好的砂砾或碎石；厚度较大时，则需采用抛石挤淤、砂垫层预压或粉喷桩加固等技术。填筑过程中，应控制填石速率，采用“薄层慢填”方式，每层松铺厚度不超过30cm，并设置沉降观测点，实时监测路基沉降情况。压实作业优先选用轻型压实设备进行初压，避免因荷载过大导致软土地基破坏，待地基强度提高后，再采用重型压路机进行压实，确保填石路基与软土地基协同受力。

2.3.3 岩性差异路段施工

岩性差异路段因不同岩石的物理力学性质不同,易产生不均匀沉降。施工时需对不同岩性石料进行分类,避免将膨胀系数差异大、风化程度不同的石料混合填筑。对于岩性差异较大的交界处,可设置过渡层,采用级配良好的碎石或砂砾分层填筑,厚度不小于50cm,以缓冲岩性变化带来的影响。压实过程中,需根据不同岩性调整压实参数,对硬度较高的岩石增加压实遍数,对较软岩石降低激振力,防止软岩过度破碎。在路基顶面铺设土工合成材料,增强路基整体刚度,减少不均匀沉降对路面结构的损害,保障公路长期使用性能^[2]。

3 公路工程施工中填石路基施工技术的发展趋势

3.1 高性能填石材料的研发与应用

随着公路工程对路基耐久性和环保性要求的提升,高性能填石材料的研发成为行业焦点。新型材料通过优化石料级配、添加改性剂等方式,显著提升路基性能。例如,将工业废渣(如矿渣、钢渣)与石料混合,既能提高路基强度和水稳定性,又实现废弃物资源化利用;纳米改性材料可增强石料间的黏结力,降低孔隙率,有效抵御雨水侵蚀与冻融破坏。此外,仿生材料的应用模拟自然界岩石结构,使填石路基具备自修复能力,延长使用寿命。高性能材料的研发与应用不仅满足工程建设需求,还契合绿色发展理念,未来有望在更多复杂地质条件的公路项目中推广,推动填石路基材料技术革新。

3.2 智能化与信息化施工技术的融合

智能化与信息化技术的深度融合为填石路基施工带来变革。通过物联网技术,施工设备搭载传感器实时采集压实度、松铺厚度、碾压轨迹等数据,借助5G网络传输至云端平台,经大数据分析实现施工参数的智能调控,确保压实质量达标。无人机巡检与三维激光扫描技术可快速生成路基施工模型,精准定位薄弱区域,辅助施工决策。同时,BIM(建筑信息模型)技术贯穿设计、施工、运维全周期,实现施工流程可视化模拟与动态管理,提前规避风险。未来,人工智能算法将进一步优化施工工艺,如根据地质条件自动匹配最佳压实方案,推动填石路基施工向高效、精准、无人化方向发展,显著提升工程管理水平与施工效率。

3.3 绿色环保施工技术的推广

在“双碳”目标驱动下,绿色环保施工技术成为填石路基发展的必然趋势。一方面,采用低能耗、低排放

的新型压实设备与工艺,如电动压路机、振动压实与冲击压实结合技术,减少施工过程中的碳排放;另一方面,推广生态友好型施工方法,例如利用土工格室对边坡进行绿化防护,既稳固路基又恢复生态环境。此外,施工废弃物的循环利用技术不断成熟,通过破碎筛分设备将废弃石料加工成填料或基层材料,降低资源消耗。绿色环保技术的推广不仅有助于降低公路建设对环境的影响,还能提升企业社会责任感,符合可持续发展战略,未来将在政策支持下加速普及,成为行业主流技术方向。

3.4 施工工艺的标准化与规范化发展

随着公路建设规模扩大与技术迭代,施工工艺的标准化与规范化愈发重要。通过建立统一的填石路基施工技术标准,明确材料性能指标、施工流程、质量验收等要求,可有效避免因工艺差异导致的质量隐患。行业组织与科研机构联合开展技术攻关,将先进施工经验转化为标准规范,例如细化特殊路段(陡坡、软土地基)的施工指南,制定智能化施工设备操作标准等。同时,依托信息化平台实现施工过程的全程追溯与质量管控,确保每道工序符合规范。标准化与规范化发展有助于提升行业整体施工水平,降低工程管理成本,推动填石路基施工技术向专业化、精细化方向迈进,为公路工程高质量发展提供坚实保障^[3]。

结束语

填石路基施工技术作为公路工程建设的关键支撑,从基础工艺到前沿发展都深刻影响着工程质量与行业走向。文中系统剖析了施工技术要点与发展趋势,展现了其在保障工程性能、推动绿色智能转型中的重要价值。未来,随着高性能材料、智能化技术等持续创新应用,填石路基施工技术将更趋完善,为公路建设的高质量、可持续发展注入强劲动力,也为复杂地质条件下的交通工程建设提供更可靠的技术保障。

参考文献

- [1]黄平.填石路基施工技术在公路施工中的应用[J].建筑技术开发,2021,48(9):109-110.
- [2]高江.公路填石路基施工关键技术研究与应用[J].公路,2021,66(5):171-175.
- [3]罗国成.填石路基施工技术在公路工程中的应用[J].工程建设与设计,2021(9):157-158