

# 填石路基压实质量控制施工技术研究

杨立龙

新疆三利建筑有限责任公司 新疆 伊犁 833200

**摘要:** 填石路基因填料粒径不均、级配复杂,施工易出现压实不均、沉降变形及边坡失稳等病害,直接影响路基服役寿命。本文剖析填石填料特性与压实质量核心影响因素,梳理常见施工病害成因,优化基底处理、摊铺填筑、碾压压实及质量检测核心工艺,构建事前、事中、事后全过程质量控制体系。依托高速工程实例验证,该技术可有效降低孔隙率、提升压实合格率,大幅减少路基病害,具备极高工程推广价值。

**关键词:** 填石路基压实;质量控制;施工技术

引言:我国公路基建持续向山地丘陵区域延伸,填石路基凭借取材便捷、承载力强的优势被广泛应用。但填石填料颗粒差异性大、压实机理特殊,传统施工工艺易出现压实不达标、工后沉降超标等质量问题,制约道路施工质量与通行安全。为解决填石路基压实管控难点,本文系统研究其压实基础理论与质量影响因素,优化全套施工工艺与管控措施,旨在提升填石路基施工标准化、精细化水平,为同类工程提供技术参考。

## 1 填石路基压实基础理论与质量影响因素分析

### 1.1 填石路基填料基本特性

(1) 石料物理力学特性:石料强度(单轴抗压强度)、硬度(莫氏硬度)、耐磨性(洛杉矶磨耗损失)及抗风化性(软化系数)构成其核心力学指标。强度越高,颗粒在碾压过程中破碎越少,越有利于形成稳定的骨架结构;抗风化性差则会导致颗粒遇水软化、崩解,显著降低路基长期服役性能。(2) 填料颗粒级配特性:粒径大小、分布范围(不均匀系数 $C_u$ 、曲率系数 $C_c$ )及颗粒形状直接影响填筑体密实度与孔隙率。良好级配( $C_u > 5$ ,  $C_c = 1 \sim 3$ )可实现粗细颗粒相互填充,减小孔隙比;针片状颗粒含量过高会增大内摩擦角但降低压实效率,圆形颗粒则利于重新排列但抗剪强度较低<sup>[1]</sup>。(3) 填石填料压实机理:振动压实通过高频激振力使颗粒产生强迫振动,克服颗粒间摩擦阻力,促使细小颗粒滑移填充大颗粒间孔隙;静压压实依靠上覆静荷载缓慢压缩,逐步排出孔隙空气、消除颗粒架空状态。两者共同作用实现颗粒重新排列、孔隙压缩及整体密实。

### 1.2 填石路基压实质量核心影响因素

(1) 填料因素:石料岩性决定破碎难易,软岩过度破碎会改变级配、破坏骨架;超粒径颗粒( $>$  松铺厚 $2/3$ )形成局部“硬点”,阻隔能量下传;级配不良致孔隙难填,密度不达标;土石混填使含水率难控,易生

“弹簧土”。(2) 施工工艺因素:松铺过厚底部压实不足,过薄降效;碾压速度与遍数需协同——过快有效遍数减少,过多则“过压”致表层破碎;错轮、重叠碾压影响能量分布;压路机吨位及激振力选型不当,难以克服深层阻力。(3) 环境与基底因素:虽填石料对含水率敏感度低,但细料含量高时仍需控制最优含水率;基底承载力不足引起不均下沉;地形起伏致摊铺厚薄差异;高温、降雨、冰冻等气候通过改变填料含水状态和压实窗口,间接制约压实效果。

### 1.3 填石路基常见压实质量病害及成因

(1) 路基压实不均匀病害:主要表现为局部疏松、压实度离散性大。核心成因为摊铺过程中粗细颗粒离析,粗料集中区域孔隙无法被细料填充,形成“窝”状疏松区;碾压顺序不当或边缘地带漏压亦加剧虚实不均。(2) 路基沉降变形病害:压实度不足致使孔隙率过大,在长期交通荷载与自重作用下,颗粒间发生相对位移、孔隙持续压缩,产生路堤本体压缩沉降;若级配不良导致细料流失,还会引发差异沉降,造成路面开裂。(3) 路基边坡失稳病害:边坡区域压实能量衰减,密实度低于路堤内部,形成薄弱带;填料级配不合理(粗料过多)导致渗透性过强,雨水入渗降低抗剪强度,引发坡面冲刷、坍塌及滑移灾害。

## 2 填石路基压实核心施工工艺优化技术

### 2.1 施工前期准备质量控制技术

(1) 基底处理技术:施工前应彻底清除地表植被根系、腐殖土、杂填土等软弱层,清理厚度不小于30cm。基底平整后采用20t以上压路机进行全断面静压,压实度不低于90%。采用动力触探或载荷试验检测基底承载力,若低于设计要求(一般不小于150kPa),须采取换填、加固等补强措施,杜绝基底软弱引发的差异沉降隐患<sup>[2]</sup>。(2) 填料筛选与预处理技术:料源开采中严格剔除强风

化、泥包及强度低于30MPa的软质石料。设置筛分加工场地,对粒径超过松铺厚度2/3的超大颗粒采用破碎机加工至合格粒径。含泥量超标时辅以水洗或筛分处理,确保填料洁净度和力学性能满足规范要求。(3)施工测量与放样控制:依据设计图纸精确放样路基中线、边线及坡脚控制桩,纵向间距不大于20m。采用RTK实时动态定位系统完成标高测量,按填料方量划分卸料方格网(5m×5m或6m×6m),设置摊铺厚度控制墩,准确限定填筑边界与分层厚度。

## 2.2 分层摊铺与填筑施工技术

(1)分层松铺厚度控制:松铺厚度依据石料最大粒径、压路机激振力综合确定,一般控制在40~60cm范围。施工中采用水准仪多点抽检松铺厚度,检测频率不低于每1000m<sup>2</sup>不少于5点,严禁超厚填筑,确保压实能量有效传递至层底。(2)规范化摊铺工艺:严格执行“先低后高、先两侧后中间”的摊铺顺序,低洼处先行回填形成水平工作面,两侧先行确保边部嵌锁稳定。推土机初平后平地机精平,摊铺速度控制在2~4m/min,避免速度不均引发粗细颗粒离析。(3)粗细骨料调配技术:对级配不良填料,按设计级配曲线掺配粗细石料,使细料(粒径<5mm)含量控制在15%~25%,充分填充粗料骨架空隙。采用机械拌和确保均匀,取样筛分验证合格后方可填筑,有效降低孔隙率至设计标准以内。

## 2.3 压实碾压施工关键技术

(1)压实机械选型配置:主压设备选用工作质量≥22t的单钢轮振动压路机,激振力不小于350kN;辅压配备18~20t静压压路机用于收面。组合方案:底部采用大激振力低频碾压,中部采用中频中幅,表层以静压收光为主,确保能量逐层匹配。(2)碾压参数优化控制:通过试验段确定最优参数,碾压速度2.5~3.5km/h,振动遍数4~6遍,静压收面不少于2遍,振动频率28~32Hz。严格遵循“先静压消除松散、后振压深层密实、最后静压收平表面”的三阶段顺序,不得跳序作业<sup>[3]</sup>。(3)特殊部位压实技术:针对边坡边缘2m范围、新旧搭接带、涵背转角等盲区,采用小型振动压路机或液压振动夯补强压实,补压遍数较正常增加2~3遍,夯板重叠宽度不小于20cm,确保压实均匀无遗漏。

## 2.4 压实质量检测技术

(1)常规检测方法:沉降差法以最后两遍碾压沉降量≤2mm判定达标,采用水准仪逐点监测;孔隙率法采用灌水法测试填筑密度,每层每2000m<sup>2</sup>不少于4点,孔隙率不大于18%;压实度检测以振动成型试件最大干密度为基准分层判定。(2)无损检测技术:探地雷达通过电

磁波反射异常识别空洞、松散及含水异常区;智能压实监测系统(ICMS)实时采集振动轮加速度信号生成CMV压实值及彩色云图,实现全过程、全断面连续可视化质量评估。(3)检测数据分析与判定:汇总沉降差、孔隙率、CMV值等数据,对照规范逐项判定。单项不合格点超检测总数10%时评定为不合格,分析成因后全面补压并重新检测,确认达标后方可转入上层施工。

## 3 填石路基压实质量全过程控制措施与工程应用

### 3.1 施工事前质量控制措施

(1)完善施工技术交底制度:开工前由项目技术负责人组织全体施工、质检及管理人员的分级技术交底,系统讲解施工工艺、压实质量控制标准、检测方法及常见问题处置预案。明确各岗位职责与操作规范,将松铺厚度、碾压遍数、检测频率等关键参数以作业卡片形式下发至班组,交底内容须形成书面记录并经签字确认,确保质量责任逐级落实到人。(2)原材料进场严格检验:建立料源考察与进场双检制度,每批石料进场前进行岩性鉴定、单轴抗压强度试验及颗粒筛分分析,逐车目测初检并取样送检。建立专项填料质量台账,详细记录料源地、岩性类别、粒径分布、含泥量及检测结论,对强度不足、风化严重或级配不合格的填料一律拒收清退,从源头杜绝不合格材料进入施工断面<sup>[4]</sup>。(3)开展试验段施工:在大面积施工前选取具有代表性的路段(长度不小于200m,宽度为全幅)作为试验段,通过正交试验法比选不同松铺厚度(40cm、50cm、60cm)、碾压遍数(4遍、6遍、8遍)及机械组合方案下的压实效果,以沉降差和孔隙率为综合评判指标,确定最优施工参数组合,形成书面试验段总结报告并经监理审批,为大面积施工提供可靠的技术依据。

### 3.2 施工事中动态质量控制措施

(1)全过程旁站监督:配备专职质检员对填料运输、摊铺平整、碾压成型各工序实施全天候全程旁站,重点监控松铺厚度是否超限、碾压速度是否均匀、轮迹重叠宽度是否达标、边坡及转角是否漏压。发现不规范作业行为立即叫停纠正,并记录违规操作台账作为班组考核依据。(2)分层施工工序验收:严格执行“填筑一层、检测一层、验收一层”的工序管理流程,每层压实完成后按规范频率开展沉降差或孔隙率检测,检测数据经监理签认合格后方可进行下一层填筑,严禁未经工序验收擅自加盖,切实做到上不清、下不填<sup>[5]</sup>。(3)施工参数动态调整:安排地质与试验专员实时跟踪填料岩性变化、含水率波动及气候条件变化,雨后复工须检测表层含水率并增加排水措施;高温天气适当洒水润湿后再碾压;发现填料级配波动

时及时调整碾压遍数与振动频率,确保施工工艺与现场实际高度匹配,质量始终受控。

### 3.3 施工事后质量验收与病害处置措施

(1) 分层分段质量验收:每层每段填筑完成后按检测频率要求完成压实质量验收,系统整理施工记录、检测报告、旁站影像及隐蔽工程签证资料,建立“一层一档一编号”的质量追溯体系,确保每个施工段落的质量信息完整可查、责任明确可究。(2) 常见压实病害处置方案:针对局部疏松病害,采用补洒细料后重新碾压或局部挖除换填处理;孔隙率超标段落采取增加2~3遍振动碾压并辅以级配微调后补压;离析带采用人工翻拌细料填充粗骨料空隙后重新压实;对不均匀沉降隐患通过补强注浆或铺设碎石调平层予以消除,确保每项病害处置均有方案、有记录、有复查。(3) 路基成型后养护监测:路基封顶后按设计位置埋设永久沉降观测桩,按7d、14d、28d及后续每月定期开展沉降与位移观测,雨后增加加密观测频次,结合渗透性检查评估路基稳定性。监测数据汇总分析后纳入竣工档案,确保工后沉降量满足设计允许值(一般不超过30mm)。

### 3.4 工程实例应用与效果分析

(1) 工程概况:依托某新建高速公路K12+000~K15+000段填石路基工程,全长3.0km,设计为双向四车道,路基宽度26m,最大填筑高度18m。沿线为丘陵地貌,覆盖层厚薄不均,下伏基岩为中风化石灰岩,地下水位较高,部分段落基底为粉质黏土,承载力不足需换填处理。施工难点在于填料来源复杂、粒径差异大、雨季施工有效作业天数少、边坡高陡压实困难。(2) 技术方案应用:将本文优化的松铺厚度50cm、“先静后振再收面”三阶段碾压组合(静压2遍+振压5遍+静压2遍)、22t单钢轮振动压路机+智能压实监测系统协同作业等核心工艺,配套事前交底培训、事中动态检测、事后验收追

溯的全过程质量控制体系,全面应用于本工程各层填筑施工,对基底承载力不足段落预先采用碎石换填加固。

(3) 施工效果分析:优化方案实施后,现场检测数据表明路基压实孔隙率由初期试验段平均21.3%降至16.8%,沉降差合格率由82%大幅提升至96.5%,压实度一次性检测合格率达97.2%。工后6个月累计沉降量最大仅8.6mm,远小于设计允许值( $\leq 30\text{mm}$ );边坡表面平整密实,无开裂、坍塌迹象。与传统施工方案相比,压实质量稳定性显著增强,返工率降低约65%,验证了该套技术方案的可行性与优越性,为同类填石路基施工提供了可靠参考。

### 结束语

本文系统完成填石路基压实质量控制技术研究,明确了填料、工艺、环境等关键影响因素,优化了摊铺、碾压、检测等核心施工技术,建立了全流程质量管控体系。工程实例证明,优化后的施工技术可显著提升路基压实质量,降低工后沉降与病害发生率。后续可结合智能化施工设备,进一步优化动态压实参数,完善复杂工况下的质量控制方案,持续提升填石路基施工质量与长期稳定性。

### 参考文献

- [1]韩沛,李小勇,李梦娇.填石路基快速施工工艺与压实质量控制[J].山东交通学院学报,2024,32(01):29-36.
- [2]周杰,杨军,李想.填石路基梁场硬化层利用技术与压实质量控制研究[J].中外公路,2025,45(06):25-30.
- [3]段二兵.大粒径填石路基强夯加固模拟分析与质量控制[J].北方交通,2023,17(11):55-58.
- [4]张磊.山区高等级公路填石路基压实检测技术与质量管控[J].公路交通科技,2024,41(08):36-42.
- [5]王浩,陈超.土石混合高填方路基压实特性及施工质量优化措施[J].林业建设,2025,21(05):78-83.