

道路桥梁施工中的填石路基施工技术

李 鹏 李毓鑫

陕西恒纳尔工程科技有限公司 陕西 西安 710000

摘要：道路桥梁施工中，填石路基施工技术以爆破开采或天然块石为填料，通过科学级配控制与分层压实工艺，形成高承载力路基结构。其核心优势在于抗压强度高、透水性强、抗沉降性能优异，适用于山区高填方、软土地基换填及桥头跳车防治等场景。施工中需严格检测石料粒径、饱和单轴抗压强度，并配合机械化压实设备与信息化监测技术，确保路基稳定性与施工效率。

关键词：道路桥梁施工；填石路基；施工技术

引言：在道路桥梁建设中，填石路基技术凭借其高强度、低沉降及适应复杂地形的能力，成为山区、高填方及软土地基路段的核心解决方案。与传统填土路基相比，填石路基通过优化石料级配、分层压实及边坡防护工艺，有效解决了高填方工后沉降、桥头跳车等工程难题。本文从材料特性、施工工艺、质量控制及信息化管理四方面系统阐述填石路基技术要点，为提升道路耐久性与行车安全性提供技术支撑。

1 道路桥梁施工中的填石路基技术特点与适用性分析

1.1 填石路基的工程特性

(1) 材料特性：核心用料为爆破开采的石料或天然块石，粒径分级严格遵循规范标准，通常分为超巨粒（粒径 > 1000mm）、巨粒（500-1000mm）、粗粒（200-500mm）等类别。材料来源多就近选取山区石料，减少外运成本，但需对石料强度、风化程度进行严格检测，避免使用软化系数低于0.75的风化岩，确保路基整体稳定性。(2) 力学性能：优势在于天然高抗压强度，饱和单轴抗压强度普遍 > 30MPa，压实后压缩模量可达1500MPa以上，能有效抵抗车辆荷载与路基自重产生的沉降。但抗剪强度受颗粒级配影响显著，级配连续的石料内摩擦角可达35°-45°，而级配间断或单一粒径石料易出现咬合性差问题，需通过掺配细料优化级配。(3) 透水性：因石料颗粒间隙大，渗透系数通常为 10^{-1} - 10^{-3} cm/s，透水性远高于填土路基。强透水性虽能快速排出地表积水，但易导致地下水或雨水渗入路基内部，冲刷细颗粒造成空洞，故必须结合排水设计，如设置碎石盲沟、土工布反滤层等，阻断水分侵蚀路径^[1]。

1.2 适用场景

(1) 山区、丘陵地区高填方路基：此类区域地形高差大，路基填方高度常超过8m，填石路基的高承载特性可避免高填方引发的不均匀沉降。同时，利用当地石

料可减少借方运输距离，降低工程成本，契合山区工程“就地取材”的建设原则。(2) 软土地基处理中的换填或加固层：软土地基承载力低（通常 < 80kPa），直接填筑路基易出现失稳。采用填石路基进行换填（换填深度一般2-4m）或作为加固层，可提高地基整体刚度，增强路基抗滑稳定性，适用于软土分布较浅的路段。(3) 桥梁台背回填及桥头跳车防治：桥梁台背与路基衔接处易因沉降差产生跳车，填石路基压实后沉降量小（工后沉降通常 < 5cm），能有效减小台背与路基的变形差异。施工中配合冲击碾压工艺，可进一步提升台背回填密度，缓解桥头跳车问题，保障行车舒适性。

2 道路桥梁施工中的填石路基施工关键技术要点

2.1 施工准备阶段

(1) 材料选择与质量控制：施工前需对石料来源进行实地考察，严格禁止使用风化岩、膨胀性岩石及含有软弱夹层的石料，确保石料饱和单轴抗压强度 ≥ 15 MPa，其中路床填料强度需提升至 ≥ 20 MPa，满足行车荷载对路基顶部的承载要求。粒径分级实行分层管控，路床层填筑厚度严格控制在 ≤ 30 cm，填料最大粒径 ≤ 10 cm，避免大粒径石料突出导致路面结构受力不均；下路堤层填筑厚度 ≤ 50 cm，粒径 ≤ 15 cm，且需通过筛分设备对石料进行分级筛选，不合格粒径石料需破碎处理后再使用，严禁超粒径填料直接填筑。(2) 地基处理：首先清除地表腐殖土、杂草等杂土，清理深度根据地表土层性质确定，一般为0.3-0.5m，清理后对地基表面进行碾压夯实，压实度需达到90%以上。对于填石路基与原状土路基衔接段，需设置宽度 ≥ 2 m的砂砾过渡层，过渡层粒径控制在5-20mm，防止填石路基中的细颗粒向原状土地基迁移，造成路基空洞。若地基为软土地基，需根据软土厚度和承载力要求选择处理方式，软土厚度 < 3m时可采用换填法，换填材料选用碎石或砂砾，

换填深度需超出软土层0.5m;软土厚度 > 3m时,宜采用强夯法(单击夯击能 $\geq 2000\text{kN}\cdot\text{m}$)或碎石桩(桩径50-60cm,桩间距1.5-2.0m)进行加固,处理后地基承载力需达到 $\geq 120\text{kPa}$,满足填石路基填筑要求^[2]。

2.2 摊铺与整平技术

(1) 分层填筑:采用“水平分层法”自上而下分层填筑,每层填筑厚度需根据填料最大粒径确定,为填料最大粒径的1.2倍,例如最大粒径15cm的石料,单层填筑厚度控制在18cm,确保碾压机械能充分压实填料。运输车辆卸料前,需在路基两侧设置标高控制线,按“挂线施工”原则均匀卸料,卸料间距控制在3-5m,避免局部填料堆积。卸料完成后,先用推土机进行粗平,将大粒径石料推平并嵌入填料中,防止石料架空;粗平后采用人工精平,对局部凸起的石料进行破碎或移除,对凹陷处填充细粒石料,确保路基表面平整度误差 $\leq 5\text{cm}$,为后续压实工序奠定基础。(2) 级配控制:填筑过程中需严格控制填料级配,对于粗粒填料(粒径 > 5cm),需采用人工嵌缝的方式,将小粒径石料填入粗粒石料的空隙中,增强填料的咬合性;对于路基顶层和路床层,需掺入细粒填料(如石屑,粒径 < 5mm),掺量为填料总量的10%-15%,填充石料间隙,提高路基密实度。施工中需每200m取1个检测点,采用筛分法检测填料级配,确保级配曲线符合设计要求,避免出现级配间断现象,防止压实后路基出现孔隙率过大的问题。

2.3 压实技术

(1) 机械选型与组合:根据填石路基的填筑厚度和填料特性选择压实机械,常规路段采用 $\geq 18\text{t}$ 的振动压路机(激振力 $\geq 300\text{kN}$)与20-25t轮胎压路机联合使用,振动压路机负责破碎大粒径石料并压实填料,轮胎压路机通过静压力进一步挤密石料间隙,提升路基整体密实度。对于填方高度 > 10m的高填方路段,需增设强夯机械,采用强夯法进行补充压实,强夯机械选用单击夯击能 $\geq 3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 的设备,有效消除深层填料的孔隙,减少工后沉降。(2) 碾压工艺:碾压施工需遵循“先慢后快、先轻后重、先两侧后中间”的原则,振动压路机碾压速度控制在 $\leq 5\text{km/h}$,避免速度过快导致填料推移。碾压过程中,纵向碾压重叠宽度为40-50cm,横向碾压重叠宽度 $\geq 2\text{m}$,确保无碾压死角。常规路段碾压次数为6-8遍,第1-2遍采用静压,第3-8遍采用振动碾压(频率25-30Hz,振幅1.5-2.0mm);高填方路段在振动碾压完成后,需进行冲击碾压补压,冲击压路机激振力 $\geq 40\text{t}$,行驶速度 $\geq 8\text{km/h}$,冲击次数为20-25次/ m^2 ,补压后路基压实度需达到95%以上(采用灌水法检测)。碾压完成后,

需对路基表面进行平整度检测,误差 $\leq 3\text{cm}$,同时检测路基压实沉降量,单次碾压沉降量 $\leq 1\text{mm}$ 时,判定为压实合格^[3]。

2.4 边坡防护技术

(1) 边坡码砌:边坡码砌与路基填筑同步进行,码砌石料选用粒径 $\geq 30\text{cm}$ 的块状石料,且石料强度 $\geq 20\text{MPa}$,无明显裂隙。码砌厚度根据路基填筑高度确定,填筑高度 $\leq 6\text{m}$ 时,码砌厚度 $\geq 1\text{m}$;高度6-12m时,厚度 $\geq 1.5\text{m}$;高度 > 12m时,厚度 $\geq 2\text{m}$,确保边坡整体稳定性。码砌过程中采用“丁顺交错”的方式砌筑,石料之间咬合紧密,严禁出现通缝,码砌完成后边坡坡度需符合设计要求(一般为1:1.5-1:2.0),坡面平整度误差 $\leq 10\text{cm}$ 。(2) 生态防护:对于边坡高度 $\leq 8\text{m}$ 、坡度较缓($\geq 1:2.0$)的路段,采用植物防护,先在边坡表面铺设椰纤维毯(厚度 $\geq 5\text{mm}$),再喷播草籽(选用狗牙根、紫花苜蓿等耐旱耐贫瘠品种),喷播厚度为2-3cm,喷播后覆盖无纺布保湿,确保草籽发芽率 $\geq 80\%$ 。对于边坡高度 > 8m或坡度较陡($< 1:1.5$)的路段,采用工程防护与生态防护结合的方式,先砌筑浆砌片石挡墙(墙厚 $\geq 60\text{cm}$,砂浆强度等级M7.5),再在挡墙顶部和边坡平台处种植灌木(如紫穗槐),形成立体防护体系,既保障边坡结构安全,又提升生态环境效益。施工完成后,需定期对边坡防护工程进行检查,及时修补破损部位,确保防护效果长期稳定。

3 道路桥梁施工中的填石路基施工质量控制措施

3.1 质量检测标准

(1) 压实度检测:根据填石路基填料特性,采用灌砂法与沉降差法结合的方式检测。灌砂法适用于路床层及下路堤表层,检测时需选取代表性点位,每200 m^2 设置1个检测点,挖坑直径需大于最大粒径的2倍,确保检测数据准确反映填料密实度,要求压实度 $\geq 95\%$ (路床层 $\geq 96\%$)。沉降差法适用于中下路堤及高填方路段,在每层碾压完成后,选取5个以上固定观测点,使用水准仪测量碾压前后的高程差,要求每层压实后沉降差 $\leq 5\text{mm}$,若沉降差超标,需增加碾压遍数或调整压实参数,直至满足要求。(2) 平整度控制:采用3m直尺进行检测,检测频率为每100m测3处,每处连续测量3次。将3m直尺紧贴路基表面,测量直尺与路基表面的最大间隙,要求偏差 $\leq 15\text{mm}$,且单处不合格点数不得超过1处。若平整度超标,需对局部凸起部位进行破碎或刮平,对凹陷部位填充细粒石料并重新压实,确保路基表面平整,为后续路面施工提供良好基础。

3.2 常见问题防治

(1) 沉降不均: 首先加强地基处理质量管控, 软土地基处理后需进行承载力检测, 确保承载力 $\geq 120\text{kPa}$; 对于填石路基与原状土路基、桥梁台背等衔接部位, 设置过渡层并加密压实检测频次。分层填筑时严格控制填料级配与压实度, 避免粒径分布不均或压实不到位, 同时在高填方路段每填筑3-5m设置一层沉降观测层, 定期监测沉降数据, 若发现沉降速率过快(日均沉降 $> 1\text{mm}$), 需暂停填筑并分析原因, 采取补压或加固措施后再继续施工。(2) 边坡失稳: 优化边坡坡率设计, 根据填料特性与填筑高度调整, 一般高度 $\leq 8\text{m}$ 时坡率为1:1.5, 高度8-15m时坡率为1:1.75, 高度 $> 15\text{m}$ 时坡率为1:2.0。对于地形复杂或边坡高度 $> 12\text{m}$ 的路段, 增设浆砌片石挡土墙或抗滑桩, 挡土墙基础需嵌入稳定岩层 $\geq 1\text{m}$, 抗滑桩间距控制在3-5m, 桩长需穿透潜在滑动面 $\geq 2\text{m}$, 增强边坡抗滑稳定性。施工中定期检查边坡码砌质量, 若发现码砌石料松动或坡面开裂, 需及时修补加固, 防止边坡坍塌。(3) 排水失效: 完善地表与地下排水系统, 地表设置路拱横坡 ($\geq 2\%$), 并在路基两侧设置排水沟, 沟宽 $\geq 60\text{cm}$ 、深度 $\geq 80\text{cm}$, 确保地表雨水快速排出。地下排水系统采用盲沟与渗沟结合, 在填石路基底部设置纵向盲沟(间距30-50m), 盲沟内填充碎石(粒径20-50mm)并包裹土工布, 防止细粒堵塞; 在边坡平台处设置横向渗沟, 与纵向盲沟连通, 将路基内部积水引入排水沟。施工中定期清理排水设施, 避免杂物堵塞, 确保排水系统通畅, 防止雨水或地下水侵蚀路基导致结构破坏^[4]。

3.3 信息化施工管理

(1) 北斗定位智能压实系统应用: 在振动压路机上安装北斗定位终端、压实传感器及数据传输模块, 实时采集碾压轨迹、碾压遍数、激振力、行驶速度等参数, 并上传至云端管理平台。管理人员通过平台可直观查

看施工进度与质量, 若发现碾压遍数不足(低于设计要求的6-8遍)、速度超标 ($> 5\text{km/h}$) 或轨迹重叠不足, 可实时向现场下达调整指令, 确保压实过程符合规范要求。同时系统自动记录沉降数据, 生成沉降曲线, 为沉降预测与质量评估提供数据支撑。(2) BIM技术应用: 利用BIM技术构建填石路基三维模型, 将设计参数(如分层厚度、边坡坡率、排水设施位置)导入模型, 模拟施工全过程, 优化工序衔接, 避免各环节交叉冲突。施工中通过BIM模型与现场实际施工对比, 实时核查填料级配、压实度等关键指标与设计的符合性, 若发现偏差, 及时调整施工方案。此外, 将质量检测数据、沉降观测数据录入BIM模型, 形成完整的数字化档案, 便于后期运营维护查阅, 提升施工管理效率与质量管控水平。

结束语

填石路基施工技术作为道路桥梁工程中应对复杂地形与高承载需求的关键手段, 其科学应用显著提升了工程的经济性与耐久性。通过严格把控石料质量、规范分层填筑与压实工艺、强化边坡防护及排水设计, 并结合北斗定位、BIM等数字化技术实现动态管控, 可有效规避沉降不均、边坡失稳等质量通病。未来, 随着智能化施工装备与绿色建材的推广, 填石路基技术将进一步向精细化、生态化方向演进。

参考文献

- [1] 李嘉. 道路桥梁施工中填石路基施工技术要点分析[J]. 现代工程科技, 2024, 3(14): 21-24.
- [2] 汤冬. 公路桥梁填石路基施工技术应用分析[J]. 运输经理世界, 2024, (18): 109-111.
- [3] 黎武. 市政道路工程中填石路基施工及压实技术要点[J]. 石材, 2023, (07): 66-68.
- [4] 曹彦峰. 浅谈公路填石路基施工技术要点[J]. 四川建材, 2024, 50(2): 166-168.