

公路填筑路基施工技术要点探究

王海青

(阿坝交投工程项目管理有限责任公司, 四川 阿坝 623000)

摘要 在公路工程高质量建设的背景下, 路基填筑作为公路主体施工的重要环节, 直接影响着道路承载能力。本文梳理公路填筑路基的工程特点, 分析基底预处理、填料筛选改良及排水布设等施工技术要点, 并提出优选摊铺平整设备、严控填料含水比率及规范分层填筑厚度等措施, 旨在从多方面优化施工工艺, 提高路基整体密实度, 为保障公路工程长期安全运行提供参考。

关键词 公路工程; 路基填筑; 路基基底预处理; 路基排水系统; 路基压实成型控制技术

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.014

0 引言

伴随交通强国建设战略的持续推进, 依据《公路路基施工技术规范》(JTG/T3610-2019)的行业标准指引, 国内公路工程建设正逐步进入高质量发展阶段。路网建设逐步向山区等复杂地貌拓展, 多变地质及水文条件提高路基填筑施工管控难度。路基是公路的承重主体, 探究其填筑施工技术要点, 有助于实现精细化管理, 优化工艺标准及现场管控, 继而提高施工质量, 对推动公路工程稳定发展具有一定的现实价值。

1 公路填筑路基特点

在路基填筑施工中, 受填料特性差异、压实工艺不规范、现场管控不到位等因素影响, 容易出现路基不均匀沉降、边坡滑塌、压实度不达标等问题, 不仅增加后期维修成本, 还可能引发交通安全隐患。公路填筑路基, 是由土石填料堆积压实形成的带状承重结构, 用于支撑路面, 并传递行车荷载, 其整体性能决定着公路的通行稳定性。该结构具备整体受力特征, 结合均匀布设的结构层传递车辆荷载及环境外力, 整体稳定性优于局部性能, 任何区域的缺陷都会制约路基的整体承载状态。路基采用分层填筑工艺, 逐层摊铺填料, 并碾压密实, 各结构层厚度与密实度相互制约, 层间结合状态会影响路基受力传导效果。另外, 填筑路基密切联系环境状况, 长期暴露于自然环境中时, 温湿度波动等外部条件会诱发路基结构变形, 继而削弱其稳定性^[1]。

2 公路填筑路基施工技术要点分析

2.1 路基基底预处理施工技术

基底承载力需对应路基荷载传递要求, 采用静力触探方式, 检测全域范围, 基底承载力数值稳定 $>1.2\times$

路基设计应力, 以防基底受力不均引发结构形变。同时, 需清除全域的基底表层杂物及腐殖土层, 清除深度控制在 $30\text{ cm}\sim 50\text{ cm}$ 区间, 消除软性夹层对填筑层的干扰。基底压实作业, 应遵循全域均质管控标准, 基底压实度参数 $\geq 90\%$, 基底压实沉降差控制在 $\leq 2\text{ mm}$ 的区间。施工期间, 可依据基底压实强度计算公式把控施工精度, 公式为:

$$P=\rho gh \quad (1)$$

式(1)中, P 为基底压实承载强度, ρ 为基底土体压实密度, g 为重力加速度, h 为基底压实厚度。处理基底后, 需维持表层平整均匀, 没有凹凸偏差, 表层倾斜度误差 $<1\%$, 保证后续填料摊铺压实的贴合度。

2.2 填筑填料筛选与改良技术

筛选填料, 以粒径级配及塑性特征为双控指标, 粗粒土最大粒径宜控制在层厚 $2/3$ 以内, 即 $\leq 200\text{ mm}$, 细粒土液限 $<50\%$, 且塑性指数 <26 。采用筛分法, 测定粒径分布, 不均匀系数 $C_u\geq 5$ 、曲率系数 $C_c=1\sim 3$ 时, 级配良好。填料改良围绕含水率调节及粗粒掺配两个方向, 高液限黏土天然含水率超出最优含水率 $\pm 3\%$ 范围时, 掺入 $3\%\sim 5\%$ 生石灰进行改性, 闷料 $24\text{ h}\sim 48\text{ h}$, 降低液限至 $<40\%$ 。砂性土黏结力不足时, 按照质量比 $5\%\sim 10\%$ 掺入黏土, 提高内聚力。采用烘干法, 测定填料含水率, 施工含水率允许偏差为最优含水率的 $-2\%\sim +1\%$ 。改良后填料的加州承载比(CBR)应 $\geq 8\%$, 压实度达 $\geq 96\%$ 时的含水率波动区间, 限定为最优含水率的 $\pm 2\%$ 。填料级配修正公式为:

$$P=\frac{d_{\max}-d}{d_{\max}-d_{\min}}\times 100\% \quad (2)$$

式(2)中, P 为小于某粒径的土粒质量百分率, d 为

作者简介: 王海青(1987-), 男, 专科, 研究方向: 道路与桥梁施工。

筛孔尺寸, d_{max} 为控制最大粒径, d_{min} 为控制最小粒径。凭借调整粗、细料掺配比例, 使级配曲线呈现平滑 S 形, 以防平台段。掺配过程中, 使用装载机及筛分机联合作业, 筛分去除超粒径料后, 按照计算比例分层堆放, 机械翻拌 3 遍以上, 保证混合料均匀, 变异系数 $< 5\%$ 。

2.3 路基排水系统布设施工技术

路基排水系统布设时, 应该遵循分层分区管控原则, 针对路基填筑体内部及外部区域, 实施差异化技术管控。布设地下排水结构, 基底盲沟埋设坡度控制在 $0.3\% \sim 0.5\%$, 保障地下水自然流通排出。盲沟内部, 填充硬质透水集料粒径 $20 \text{ mm} \sim 40 \text{ mm}$, 集料孔隙率 $35\% \sim 40\%$, 保障透水导水性能达标。路基横向排水结构, 需控制布设间距, 常规路段横向排水设施布设间距 $\leq 40 \text{ m}$, 低洼潮湿路段间距 $\leq 25 \text{ m}$, 保证快速下排路面积水。边坡排水结构, 要控制泄水孔孔径 $= 100 \text{ mm}$, 孔位垂直偏差 $\leq 5 \text{ mm}$, 泄水孔纵向排布高度差 $\leq 30 \text{ cm}$ 。排水结构连接路基填筑层的位置, 需设置防渗隔离层, 隔离层厚度 $8 \text{ mm} \sim 12 \text{ mm}$, 阻断外部渗水渗入路基填筑土体^[2]。

2.4 路基压实成型控制技术

压实成型依据振动能量输入实现填料颗粒重排、孔隙压缩, 核心为激振参数匹配填料力学响应。振动压路机激振频率 $28 \text{ Hz} \sim 32 \text{ Hz}$, 依靠共振错动粗细颗粒、减小层间摩擦, 形成骨料嵌锁结构。分层区分振幅: 下层初压 $1.8 \text{ mm} \sim 2.0 \text{ mm}$ 高振幅, 粗颗粒排布成型骨架; 表层终压 $0.8 \text{ mm} \sim 1.0 \text{ mm}$ 低振幅, 避免颗粒破碎与结构损伤。碾压速度 $2.5 \text{ km/h} \sim 4.0 \text{ km/h}$, 每层碾压 ≥ 6 遍, 末两遍沉降差 $\leq 2 \text{ mm}$ 。填料含水率偏差控制在最佳值 $\pm 2\%$, 黏性土取正向偏差、砂性土取负向偏差, 每 $2\,000 \text{ m}^2$ 取样测含水率, 超标雾化补水静置 30 min 后压实。分层双控压实度: 细粒土每 $1\,000 \text{ m}^2$ 两点灌砂法测干密度, 路床 $0 \text{ cm} \sim 80 \text{ cm}$ 压实度 $\geq 97\%$, 其余部位 $\geq 96\%$; 粒径 $> 40 \text{ mm}$ 粗粒土采用沉降观测, 连续三遍沉降 $\leq 1 \text{ mm}$ 判定合格。

2.5 衔接部位精细化填筑技术

依据原状土体模量, 确定台阶开挖几何参数, 内倾台阶宽度 $\geq 1.2 \text{ m}$, 高度控制在 $0.6 \text{ m} \sim 0.8 \text{ m}$, 台阶面内倾坡度取值 $2\% \sim 4\%$ 。相邻填筑层及台阶形成的模量渐变过渡要求压缩模量差值 $\leq 15 \text{ MPa}$ 。填料细粒化改性及压实阈值联动控制, 衔接区填料最大粒径 $\leq$ 层厚 $2/3$, 且 $\leq 10 \text{ cm}$, 细粒含量调整成 $8\% \sim 12\%$ 。压实度标准, 较一般路段提高 2% , 按 $\geq 98\%$ 控制, 对应 K30 检测值 $\geq 130 \text{ MPa/m}$ 。静压及振动压实切换阈值, 设定在填料厚度达到 0.9 m 时自动执行。利用应力连

续系数, 评价压实能量传递连续性, 相邻碾压带重叠宽度取值 $40 \text{ cm} \sim 50 \text{ cm}$, 压实遍数差值 ≤ 2 遍。衔接面垂直方向应力连续系数计算公式为:

$$K_c = \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{h_1}{h_2} \leq 1.15 \quad (3)$$

式 (3) 中, E_1 及 E_2 分别为相邻填筑层压缩模量 (MPa), h_1 及 h_2 为对应层厚 (m)。当 $K_c > 1.15$ 时, 表明层间刚度超标, 要调整填料级配。借助强夯方式补强, 按 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 网格布设点位, 单点夯击能取值 $600 \text{ kN} \cdot \text{m} \sim 800 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 每点位夯击 5 次 ~ 7 次, 消除竖向应力空洞^[3]。

3 路基填筑关键施工保障措施

3.1 优选摊铺平整设备, 提升填料均质程度

路基填筑施工的摊铺平整效果影响着填料分布均匀性及层间结合情况, 是保障路基压实度的基础环节。采用标准化摊铺设备施工, 可以按照分层填筑要求, 控制摊铺厚度及作业质量, 改善填料颗粒分布, 提高填筑层整体均匀性, 为路基成型质量提供保障。

省级干线公路改扩建路基施工, 按《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610-2019) 标准配置大型全自动智能摊铺机。设备搭载智能厚度控制系统及自动找平装置, 按分层填筑规范与设计参数, 设定摊铺速度 $2.5 \text{ km/h} \sim 4.0 \text{ km/h}$ 、预设摊铺厚度, 实现匀速自动化摊铺, 规避人工偏差, 控制表层倾斜度误差 $\leq 1\%$ 。施工中设备摊平填料、打散结块, 杜绝 200 mm 以上粗颗粒与细料空洞, 控制填料不均匀系数 ≥ 5 、曲率系数 $1 \sim 3$, 保证级配均匀。通过设备微调适配常规段与过渡段施工, 精细化摊铺保障整体平整度。摊铺后填筑层平整均匀、无凹凸堆积, 提升路基均质度。碾压后层间压缩模量差值 $\leq 15 \text{ MPa}$, 均衡路基受力, 控制压实沉降差 $\leq 2 \text{ mm}$, 消除沉降隐患, 满足高质量施工要求。

3.2 严控填料含水比率, 增强压实密实效果

土料在不同含水率下, 压实性能各有差异。含水率偏离最优含水率后, 土体摩擦力及黏聚力发生变化。含水率过低时, 颗粒间润滑不足, 摩擦阻力增大, 压实过程中颗粒移动受限, 密实度下降。含水率过高时, 孔隙水压力增大, 颗粒间有效应力降低, 碾压时容易出现“弹簧土”现象。处于最优含水率时, 颗粒表面形成适当水膜, 碾压后, 颗粒能够重新排列, 并填充孔隙, 干密度高^[4]。

某高速公路 K23+200-K28+600 路段路基填筑施工, 填料为沿线取土场低液限黏土, 经室内击实试验确定最优含水率 14.6% 、最大干密度 1.91 g/cm^3 。取土场填料天然含水率波动较大, 区间为 $11.2\% \sim 17.8\%$ 。现场

采用烘干法,每 2 000 m³ 填料检测一次含水率。低含水率填料采用洒水车雾状补水,按每立方米填料加水 25 kg ~ 35 kg 控制,补水后路拌机翻拌两遍,静置 30 min 以保证水分均匀。高含水率填料采用翻松晾晒工艺,推土机摊铺 30 cm 厚松铺层,旋耕机每日翻耕 3 次~4 次、晾晒 12 h,将含水率控制在 15.5% 以内。碾压前选取 5 个点位复测含水率,严格控制在 13.6% ~ 15.1%。压实后采用灌砂法检测,填料压实度均超 96%,88% 检测点压实度超 97%。工后沉降量远低于设计允许值,精准的含水率控制可有效提升路基压实效果与长期稳定性。

3.3 规范分层填筑厚度,保障受力均匀传递

路基由多层叠加组成,单层厚度超出规范>10%时,碾压无法穿透,形成表层密实,且内部疏松的夹层缺陷。厚度达不到规范值时,会增加 15% ~ 20% 的成本,影响层间受力连续性。控制分层厚度,可保证每层密实度均匀,层间压缩模量差≤15 MPa,减少应力集中引发的变形,提高路基稳定性^[5]。

因此,省级干线公路改扩建工程遵循现行路基施工规范,组织分层填筑作业,采用分区差异化厚度管控模式,搭配全程复测校验工艺,规避超厚填筑、薄层施工带来的各类质量缺陷,保障路基填筑层受力均匀连续。工程施工管控指标,严格对标行业标准执行(见表 1)。

表 1 路基分层填筑施工核心参数

检测项目	控制指标
线路总长	18.6 km
不均匀系数 Cu	5.2 ~ 6.0
曲率系数 Cc	1.8 ~ 2.5
路床填筑厚度及偏差	20 cm (±1 cm)
路堤填筑厚度及偏差	30 cm (±2 cm)
碾压频率	28 Hz ~ 32 Hz
路床压实度	≥ 97%
路堤压实度	≥ 96%
压缩模量差值	≤ 15 MPa
应力连续系数 Kc	≤ 1.15
碾压沉降差	≤ 2 mm
三遍碾压沉降量	≤ 1 mm
K30 地基系数	120 MPa/m ~ 135 MPa/m

路床区域控制摊铺厚度 20 cm,偏差控制在 ±1 cm。路堤区域,按照 30 cm 厚度施工,误差控制在 ±2 cm。选用符合级配要求的填料,控制不均匀系数及曲率系数在标准范围内,保证颗粒配合状态。完成摊铺后,采用 28 Hz ~ 32 Hz 碾压设备作业,并依据层厚,调整碾压参数,分层压实至规定压实度。在施工过程中,

监测沉降差及地基系数,控制层间指标变化,保证按照参数要求完成各工序。

3.4 加密压实质量检测,预防局部沉降变形

路基填筑压实成型后,不易再调整,若局部压实不足,后期会发展为沉降。常规点位检测覆盖范围有限,常遗漏局部问题。加密检测可以更细致地反映施工质量情况。在施工过程中,结合不同区域标准,布设检测点,并增加检测频次,重点检查压实度及沉降差等指标,发现不达标位置及时处理,使路基各部位压实状态更加均匀,减少局部沉降风险。

高速公路新建工程路基施工,结合高速路基重载、沉降控制标准高、施工工况复杂的特点,搭建全域加密压实检测体系。项目主线填筑段落 6.7 km,包含高填方、土石混填、桥涵过渡段,填筑厚度差异大,常规抽检无法全覆盖质量控制点。施工根据填筑层级与结构重要性分级加密检测,路床 0 cm ~ 80 cm 核心承重区域,检测频次由每 1 000 m² 两处提升至每 500 m² 两处,重点排查碾压交接区、高填方分层区域及土石掺配过渡带。高填方路基每层碾压后检测压实度与沉降差,杜绝内部压实不足。桥涵过渡段增设 K30 地基系数检测,核算应力连续系数,保障刚度平稳过渡。现场根据填料类型采用沉降观测法检测。该检测模式消除施工盲区,全线路基各项指标均达标。通车后路基受力均匀、结构稳定,有效保障路基填筑施工质量。

4 结束语

科学规范的路基填筑施工技术,是保障公路工程长期稳定运营的核心基础支撑。把控路基各施工环节技术要点,实施精细化填筑工艺,可以提高路基密实度,减少路基沉降隐患。同时,结合现场地质条件及填料特性,合理调整施工方案,依据现场检测数据,修正施工参数,从源头规避边坡滑移及压实不足等常见病害。未来,路基施工应继续贴合行业规范,不断优化设备配置及质量管控模式,使公路路基填筑施工朝着标准化方向发展。

参考文献:

[1] 杨光洪.高速公路路基填筑施工技术要点分析[J].运输经理世界,2026(07):49-51.
[2] 何博.高速公路路基填筑施工技术要点[J].山东交通科技,2025(S1):28-30.
[3] 吕艳宇.公路路基土石方施工技术要点分析[J].交通世界,2024(27):83-85,89.
[4] 周裕朋.高速公路填筑路基施工技术要点探究[J].交通科技与管理,2024,05(16):153-155.
[5] 叶宇翔.公路填石路基施工技术要点分析[J].黑龙江交通科技,2024,47(08):59-63.