

高填方路基压实度控制标准的设计研究

戴森昊

中铁长江交通设计集团有限公司 重庆 401121

【摘要】高填方路基作为公路、铁路等交通工程的核心结构，其压实度直接决定路基承载能力与长期稳定性。传统压实度控制标准存在问题，易导致路基沉降、裂缝等病害。本文匹配压实机械与工艺优化标准执行路径，引入智能检测技术实现标准落地闭环。工程应用表明，该标准为高填方路基质量管控提供科学依据，具有显著工程应用价值。

【关键词】高填方路基；压实度；控制标准；填料特性；动态调整；智能检测

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.086

1 高填方路基压实度的核心影响因素

1.1 填料类型

高填方路基常用填料分为三类，黏性土黏粒含量 $\geq 30\%$ ，最佳含水率范围窄，含水率过高易出现“橡皮土”，过低则压实困难；砂粒含量 $\geq 60\%$ ，透水性强，压实需依赖振动能量，易因颗粒级配不均导致压实度波动；土石混填含粒径 $>200\text{mm}$ 的石块，压实度受石块含量与粒径分布影响显著，传统检测方法难以精准量化。

1.2 环境条件

填料含水率偏离最佳值 $\pm 2\%$ 时，压实度可下降 $5\% \sim 8\%$ ，多雨地区因雨水浸润易导致含水率超标，干旱地区则因水分蒸发使填料过干；低温会使黏性土颗粒间黏结力增强，压实所需能量增加，冻融循环还会导致已压实路基出现疏松现象；斜坡地段高填方路基易出现侧向位移，需更高压实度抵抗剪切变形。

1.3 压实工艺

压实机械类型、碾压遍数、碾压速度、分层厚度一般 30cm ，土石混填 $\leq 40\text{cm}$ 直接影响压实度达标效果，工艺参数与压实度标准需协同匹配。

2 当前高填方路基压实度控制标准的痛点

2.1 填料类型适配性差

传统标准对不同填料采用统一压实度阈值，未考虑填料特性差异：黏性土因黏结力强，易达到较高压实度，但土石混填受石块架空影响，相同压实工艺下难以达到同等标准，导致“达标难”或“过度压实”。部分工程为满足标准盲目增加碾压遍数，不仅增加机械能耗，还可能破坏石块结构，降低路基强度。

2.2 忽略环境动态影响

现有标准未关联环境参数：多雨地区施工时，填料含水率

骤升，但标准未要求提高压实度预留值，导致雨水渗透后路基压实度下降；寒冷地区冬季施工，标准未调整压实工艺适配温度，易出现“表面压实达标、内部疏松”的假象，通车后因冻融引发裂缝。此外，斜坡地段未针对侧向位移风险提高压实度要求，后期路基滑移隐患突出。

2.3 压实工艺与标准脱节

传统标准仅规定压实度结果要求，未明确“工艺-标准”的匹配关系：如未说明砂性土应优先采用振动碾，也未规定土石混填的分层厚度与碾压遍数下限，导致施工单位仅凭经验操作。部分工程用光轮碾压实砂性土，虽碾压8遍仍未达标；部分工程土石混填分层厚度达 50cm ，远超合理范围，压实度检测时表面合格、深层不足。

3 高填方路基压实度控制标准的设计策略

3.1 基于填料类型的差异化控制标准设计

参考重型击实试验与工程实践，针对三类核心填料优化压实度要求（表1），确保标准与填料特性适配。

表1 填料类型的差异化控制标准设计类型

填料类型	下路堤 ($\geq\%$)	上路堤 ($\geq\%$)	路床 ($\geq\%$)	辅助要求
黏性土	93	94	96	含水率控制在最佳值 $\pm 1\%$
砂性土	92	93	95	优先采用振动碾，碾压 ≥ 8 遍
土石混填	91	92	94	石块含量 $\leq 30\%$ ，分层 $\leq 40\text{cm}$

黏性土采用环刀法检测；砂性土采用核子密度仪快速检测含水率与密度，适配砂性土透水性强的特点；土石混填引入面

波仪检测深度达 1.5m, 可穿透石块, 避免传统方法仅测表面的局限, 同时规定石块含量超 30% 时需破碎至≤200mm, 再按标准执行。

3.2 融合环境因素的动态调整机制设计

3.2.1 建立环境—标准关联模型

以含水率、温度、地形为核心参数, 设计标准动态调整规则。当填料含水率超出最佳值+2%时, 路床压实度提高 1%, 同时要求碾压后 4 小时内完成下一层覆盖, 防止雨水渗透; 含水率低于最佳值-2%时, 需洒水至最佳范围, 再按原标准执行; 气温<5°C 时, 黏性土压实度提高 1%, 且碾压遍数增加 2 遍; 气温<0°C 时暂停施工, 避免冻融破坏; 斜坡坡度>1:5 时, 下路堤至路床压实度均提高 2%, 同时增设土工格栅加固, 抵抗侧向位移。

3.2.2 制定环境应急预案

针对极端天气制定标准临时调整方案: 暴雨预警时, 未压实填料需覆盖防雨布, 已压实段压实度补充检测; 寒潮来袭前, 已施工路基需覆盖保温被, 未施工段暂停填料摊铺, 避免低温影响压实效果。

3.3 压实工艺与控制标准的协同匹配设计

3.3.1 明确“机械-工艺-标准”对应关系

针对不同填料制定工艺执行手册, 确保工艺支撑标准落地(表 2)。

表 2 填料类型

填料类型	推荐压实机械	分层厚度 (cm)	碾压遍数	碾压速度 (km/h)	核心控制要点
黏性土	羊角碾	25~30	6~8	2~3	碾压前检测含水率, 超限时晾晒
砂性土	振动碾(高频)	30~35	8~10	3~4	碾压中洒水(每遍洒水量 2L/m ²)
土石混填	重型振动碾	35~40	10~12	2~3	先静压 2 遍, 再振动碾压

3.3.2 建立工艺验证机制

施工前需进行工艺试夯: 选取 200m 试验段, 按设计工艺施工, 检测压实度达标率, 若不达标则调整工艺参数, 直至试夯合格后, 再推广至全路段, 确保工艺与标准的匹配性。

4 基于智能检测的标准落地管控体系设计

4.1 引入实时检测技术

在压路机上安装 GNSS 定位、振动传感器与数据传输模块, 实时采集碾压轨迹、振幅、压实度, 数据同步上传至管理平台, 当压实度未达标准时, 系统实时报警, 司机可立即补压, 避免“事后整改”; 采用搭载红外热成像仪的无人机, 每周对路基进行全覆盖巡检, 通过温度差异识别压实薄弱区域, 结合人工复核, 提升检测覆盖率; 现场配备核子密度仪、面波仪, 每 50m 随机抽检 1 点, 与智能压实系统数据比对, 确保检测准确性。

4.2 构建闭环管控流程

建立“检测-反馈-整改-复核”闭环, 智能压实系统每 10m 生成 1 个压实度数据, 无人机每日巡检 1 次; 平台自动生成“压实度不达标区域分布图”, 推送至施工负责人; 施工单位 2 小时内组织补压, 整改过程上传视频; 补压后用便携式检测仪复核, 达标后方可进入下一道工序, 将复核结果录入平台存档。

5 案例验证

5.1 案例背景

某高速公路 K120+300~K122+500 段为高填方路基工程, 填方高度 8~12m, 填料以土石混填为主, 局部路段为黏性土, 地处多雨山区, 斜坡坡度 1:4.5。传统标准施工时, 压实度合格率仅 82%, 通车 1 年后路基出现多处横向裂缝, 工后沉降量达 8cm, 需进行养护维修。

5.2 标准应用过程

5.2.1 差异化标准制定

执行表 1 中土石混填标准, 要求分层厚度≤40cm, 采用重型振动碾碾压 10 遍; 黏性土路段含水率控制在最佳值±1%, 路床压实度按 96% 执行; 斜坡路段压实度整体提高 2%, 增设双向土工格栅。

5.2.2 环境动态调整

施工期间遇暴雨天气, 填料含水率超最佳值 3%, 立即将路床压实度提高至 95%, 碾压后覆盖防雨布; 暴雨后补充检测, 发现 2 处压实度不达标, 用振动碾补压 3 遍后复核达标。

5.2.3 智能检测管控

全程采用智能压实系统与无人机巡检, 共识别 5 处压实薄弱区域, 均在 2 小时内完成补压, 复核合格率 100%; 便携式检测仪抽检 30 点, 与智能系统数据偏差≤1%, 检测准确性达标。

5.3 实施效果

压实度合格率从 82% 提升至 96%，其中路床达标率 100%；通车 1 年后沉降量 $\leq 3\text{cm}$ ，较传统标准减少 40%；未出现新裂缝，原有裂缝经修复后无扩展。智能检测使每公里施工周期缩短 5 天；避免返工成本约 80 万元，机械能耗因工艺优化降低 12%。

6 结论

综上所述，本文设计的高填方路基压实度控制标准，通过“差异化适配填料、动态关联环境、协同匹配工艺、智能检测管控”四大策略，解决了传统标准的核心痛点：差异化阈值适配不同填料特性，动态调整机制应对环境变化，工艺协同明确执行路径，智能检测实现实时管控。案例验证表明，该标准能显著提升压实度合格率与路基稳定性，同时优化施工效率与成本，为高填方路基质量管控提供可行方案。

参考文献：

- [1] 马松.公路项目高填方路基段沉降变形的影响因素分析[J].交通科技与管理,2023,4(09):117-119.
- [2] 李敏.高填方路基施工技术分析与应用[J].建筑技术开发,2021,48(15):65-66.