

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”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 $\leq 200\text{mm}$ ，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 $<5^{\circ}\text{C}$ 时，黏性土压实度提高 1%，且碾压遍数增加 2 遍；气温 $<0^{\circ}\text{C}$ 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 $2\text{L}/\text{m}^2$ ） |
| 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 $\leq 40\text{cm}$ ，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 $\pm 1\%$ ，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 $\leq 1\%$ ，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.