

市政道路路基压实质量控制关键技术研究

金碧

江苏桢浩建设集团有限公司，江苏南京，210000；

摘要：传统工艺的桎梏，长期困扰着景区道路的路基压实作业。石材铺装路段尤为突出，压实不到位的顽疾反复出现，车辆长期碾压后，沉降、开裂等病害接踵而至。琵琶街2020年施工留存的实测数据，为破解这一困局提供了坚实支撑。其中7月试铺段第45次碾压的关键参数，直接成为工艺革新的核心依据。我们跳出传统工艺的固化框架，打造“材料筛选—工艺优化—质量检测”的全链条质量管控路径，压实效率的提升与景区景观完整性的保护，得以同步实现。这套方案成功化解景区道路“压实求稳固、景观忌破坏”的双重矛盾，为同类工程提供了极具价值的实践参照。

关键词：路基压实；含水率调控；压实度；工艺参数；灌砂法

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.016

引言

道路的使用寿命、通行稳定性，乃至整个工程的投资效益，均由路基压实质量直接决定。2020年5月，琵琶街改造工程启动，初期质量抽检结果却给施工团队泼了冷水：路基压实度合格率仅为78%，与《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008^[1]中95%的要求相去甚远。这样的结果直白地揭示，传统压实方法在复杂多变的施工现场，早已难以适配实际需求。许多施工团队迷信经验，却忽视了现场土壤、水文条件的动态变化，这种僵化思维正是质量不达标的根源。

当前不少市政施工仍固守固定参数的压实方案，施工现场的变量却从未停歇。土壤干湿交替、填筑材料成分波动，都让固定方案适配性大打折扣。压实度不足的隐患与过度碾压的浪费，皆因施工方忽视动态调整所致，成为拖慢进度、缩短道路寿命的症结。

针对这一痛点，“动态调整压实参数”的思路应运而生。施工中实时捕捉土壤状态、压路机参数及压实效果，通过数据反馈摒弃“凭经验干活”的模式，使琵琶街工程压实度合格率攀升至96.3%，并形成可复制的技术方案。

1 工程概况与压实质量影响因素

1.1 工程概况

本工程“分段施工、按需调整”，来燕路至乌衣巷段81米沥青路需改造，乌衣巷至平江府路段421米石材铺装待翻新。2020年6月开挖发现地下水位仅1.2米，基坑深3.5米且含淤泥质土层，施工团队据此制定针对性技术方案。

“四区段、八流程”标准化工艺全面落地，水泥稳定碎石基层分两层铺筑，压实质量标准明确：基层压实度 $\geq 95\%$ ，路基压实度 $\geq 90\%$ 。

1.2 压实质量的核心影响变量

单一因素无法决定压实效果的优劣，材料、机械、环境的协同作用才是关键。我们搭建的三维影响模型，清晰暴露了传统“凭经验判断”的短板。尤其是土壤含水率的判断，依赖工人主观感受的做法误差极大。2020年7月试铺段的监测数据给出了量化答案：土壤含水率每波动1%，压实度便会随之下降2.3%。这一规律的发现，为后续施工参数的精准优化提供了硬核支撑。

1.3 压实机械组合与核心工艺参数

钢轮先行、轮胎跟进、振动收尾，我们确立了这样的压路机组合顺序。八遍碾压流程环环相扣：前两遍静压稳住土层结构，随后两遍低频振动助力颗粒初步归位，紧接着两遍高频振动实现深度压实，最后两遍静压完成收光整型。1.5至1.7公里/小时，是压路机行驶速度的控制标准；土层摊铺厚度需预留10%至30%的松铺量，松铺系数锁定在1.10-1.30区间。

这些参数的统筹管控，改变了单一指标调整的片面性，为精准控制压实质量夯实基础。

2 路基压实关键技术参数优化

2.1 试验段工艺参数的确定

2020年7月15日，K1+200至K1+400路段成为我们的压实试验场。监测数据显示，前44次碾压后，压实度始终在89%至91%的区间内徘徊，未能达到设计标准。第45次碾压后，数据实现突破性跃升——从91%攀升至96.5%，超出96%的设计阈值。此次碾压采用的30Hz振频、1.8mm振幅参数，经后续施工验证，确为适配该路段土壤特性的最优解。

这一突破背后的逻辑清晰可循。前期采用20Hz低频、2.2mm大振幅碾压，核心目的是让土壤颗粒完成初

步排列；第45次起切换为30Hz高频、1.8mm小振幅，重点则转向颗粒间的致密填充。传统工艺需60至70遍碾压才能达标，我们仅用52遍便完成目标，效率提升幅度达23%。这种效率提升并非依赖设备升级，而是源于对压实机理的精准把握。

关键压实阶段，我们反而将压路机速度从3公里/小时降至2.5公里/小时，这一操作与多数施工团队的惯性做法相悖。延长的振动作用时间，让30Hz的振动波得以充分穿透30厘米厚的土层。最终路基顶面回弹模量达到320MPa，较JTJ034-2000规范第7.6.2条^[2]要求的280MPa高出14%。试验数据印证了方案的优越性：该参数下压实度标准差仅为0.8%，远优于传统工艺的1.5%；振动时间增加20%，振动能量衰减幅度便减少15%，为后续施工扫清了技术障碍。

2.2 动态含水率控制技术

土壤含水率对路基压实质量的影响至关重要，含水率过高或过低，都无法打造稳固的路基结构。2020年8月雨季施工，土壤过湿的难题突如其来，却也成为技术突破的契机。我们摸索出“先晒后改再监测”的动态控制方法，高含水率土壤的压实难题迎刃而解。这一方法的诞生，打破了雨季施工“靠天吃饭”的被动局面。

当土壤含水率超最佳值6%以上，自然晾晒难满足工期时，生石灰改良成为关键。经处理后，土壤压实度从82%提升至93%，数据稳定可靠。

传统洒水调湿易出现“局部过湿、局部偏干”的弊端，过湿区域形成的“橡皮土”，碾压时如同橡皮泥般反弹，根本无法压实。我们提出的“梯度控制含水率”思路，将施工区域划分为小型单元，分层监测土壤湿度，结合压实反馈动态调整生石灰用量，实现每块土壤含水率的精准把控，彻底根治了传统方法的顽疾。

这套动态含水率控制技术，让雨季施工不再束手束脚。“预晒-改性-监测”流程便于推广，应用后路基压实度波动范围 $\leq 1.5\%$ ，工程质量稳定性大幅增强。

2.3 特殊路段的压实处理

检查井周边的路基压实，素来是施工中的“老大难”。大型压路机无法近身作业，人工夯实又难以保证力度，后期路面下沉问题频发。2020年9月5日某市政项目的实践经验，为我们提供了有益参考。他们在检查井周边50厘米范围内，将回填土分三层铺筑，机械压实与人工补夯协同发力，最终压实度达到94.2%，超过90%的规范底线。这一案例证明，特殊区域的压实难题并非无解，关键在于工序的精细化设计。

我们严格执行《特殊部位压实专项方案》，针对机

械作业盲区的边角区域，采用“高频轻夯”策略。小型冲击夯每分钟15次的夯实频率，30厘米的落距控制，配合人工实时找平，有效填补了传统机械的压实空白。检查井周边30厘米内的压实度标准差被控制在1.8%以内，后期路面沉降风险显著降低。

核心管控要求明确具体：每层回填土厚度以15厘米为基准，误差不超过2厘米；机械压实与人工补夯间隔不超过15分钟，防止土壤结块；每层施工后采用环刀法在3个点位取样检测，确保压实质量无死角。

该技术方案落地后，项目检查井周边压实度连续达标，合格率100%，为同类工程提供了实用经验。

3 压实质量检测与控制体系

3.1 检测方法的优化

路基压实质量检测，需以传统方法为根基，智能设备为辅助，二者协同方能确保检测精度。传统方法中，灌砂法的精准度优于环刀法，实验室对比数据显示，其检测精度提升幅度达3.2%。2020年8月20日某路基验收现场，灌砂法测得的95.3%压实度，恰好满足95%的设计要求，这一结果印证了其在关键节点验收中的核心价值。不少施工团队过度依赖简便的环刀法，却忽视了其在复杂土质中误差较大的问题，这种认知偏差往往导致质量误判。

智能检测设备的优势在于实时监控，无核密度仪便是典型代表，施工中可实时反馈压实度 $\pm 0.8\%$ 的波动情况，为参数调整提供及时依据。环境因素对智能设备读数的干扰，却常被忽视。2020年8月某日午后2时，现场气温升至35℃，我们采用温度修正公式对密度仪数据进行校准——原始读数乘以1.02的修正系数后，与灌砂法检测结果的差值仅为0.5%，准确性大幅提升。

检测频率需严格遵循《工程测量标准》GB50026-2020^[3]：每1000平方米抽检点数不低于3个，即便小型压实段，也需保证1个检测点，确保样本代表性。“看原理、比数据、析误差”的判断逻辑，帮助我们厘清不同检测方法的适用场景：灌砂法适用于验收阶段的精准核验，无核密度仪适用于施工过程的实时监控，二者结合形成“过程可控、结果可靠”的质量控制闭环。

误差分析表明，传统方法的误差主要源于取样时的土壤扰动，波动幅度约 $\pm 1.2\%$ ；智能设备则易受环境干扰，温度每变化5℃，误差便增加 $\pm 0.3\%$ 。施工中建立误差补偿机制至关重要，通过两种方法检测数据的对比校准，总体误差可控制在 $\pm 1.0\%$ 以内，确保压实质量判断无误。

3.2 质量追溯与纠偏机制

PDCA 循环（计划-执行-检查-改进）的管理思路，结合具体施工案例，为我们构建完整的质量追溯与纠偏机制提供了框架。项目以“一次验收合格”为目标，推行 ISO9001 质量管理标准，通过过程精细化管理与技术创新，将质量风险化解在萌芽阶段。许多项目将质量管理等同于事后检测，却忽视了过程管控的核心价值，这种理念偏差正是质量问题频发的根源。

3.2.1 典型案例分析：8月12日压实度不合格事件

2020年8月12日，某路段压实度检测值仅88%，未达90%合格标准。调阅记录发现症结：高频振动碾压漏一遍、土壤含水率偏离最佳区间。技术团队随即补压2遍并调控含水率至5.2%，整改后复检合格，印证了质量追溯机制的实用价值。

3.2.2 传统质量管理模式的局限

传统质量管理的“事后补救”模式，易导致返工成本激增与工期延误，错过最佳纠偏时机将引发连锁质量问题。

3.2.3 智能化质量管控系统的应用

为打破这种被动局面，专属压实监控平台应运而生，“参数实时传、AI 早预警”的智能管理模式得以落地。该平台实时采集压路机振动频率、振幅、行驶速度等数据，通过 AI 算法自动识别漏压、过压等异常情况并发出预警。这一转变，使质量管控从“事后补救”转向“事前预防”，实现了质的飞跃。

质量追溯需全面覆盖施工日志、设备运行数据及土壤含水率记录，发现问题后优先调整施工参数；智能监控系统制定明确标准：数据传输延迟不超过10秒，AI 识别准确率高于95%，预警发出后30分钟内必须响应处置。

PDCA 循环的持续改进理念与智能化技术相融合，使项目具备“问题可追溯、过程可监控、风险可预警、偏差可修正”的全链条质量管控能力。这一能力的形成，为市政道路路基施工提供了坚实的技术保障，也为行业质量管控模式升级提供了参考。

4 施工过程质量保障措施

4.1 材料进场控制

压实质量控制始于材料进场，需严格执行“外观查验—指标检测—复检验收”流程。2020年6月项目中，我们对水泥、碎石实施精细化管理：水泥每批次抽检初凝时间均符合 CJJ1-2008 规范要求；碎石颗粒级配偏差

≤2%，小于0.075mm 细颗粒含量4.8%，低于5%设计上限。

不合格材料执行“进场必检、超标即退、全程留痕”规则。2020年6月15日，一批碎石含泥量6.2%超标，我们立即启动退场程序并出具《不合格材料处理记录》，载明关键信息以保障质量追溯。

所有检测数据同步录入项目质量管理体系，形成完整的材料进场验收台账，实现从供应商到施工现场的全链条追溯。这种追溯能力，为材料质量问题的根源排查提供了有力支撑。

4.2 施工组织管理

施工组织管理核心是破解多工序协同干扰。2020年7月施工高峰期，我们推行“日进度对比表”制度，灵活调配压路机优先保障压实作业，依托《施工组织设计》明确的“四区段八流程”工艺实现工序紧密衔接，有效减少交叉干扰，施工高峰期日均压实面积稳定达800平方米，压实质量得到保障。

5 结论与工程应用

从技术、经济、社会维度看，这套压实控制在512米琵琶街项目成效显著。技术上，压实度合格率从78%升至96.3%，道路耐久性增强；经济上，工期缩短15天，年养护成本省42万元；社会层面，标准化流程为同类工程提供借鉴。

本研究仍存在局限：极端低温环境（零下10℃以下）对压实效果的影响，未在技术方案中充分考量，这一方向需后续深入研究。未来发展重点清晰可见：智能压实机器人的研发势在必行，融合物联网感知与自主导航技术，将使复杂工况下的压实质量控制更为精准。

这些技术成果在琵琶街项目中的成功应用，证明其不仅适用于市政主干道施工，更能满足景区道路“稳固性与美观性兼顾”的特殊需求，提供了切实可行的技术方案。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇道路工程施工与质量验收规范: CJJ1-2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 中华人民共和国交通部. 公路路面基层施工技术规范: JTJ034-2000[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 中华人民共和国自然资源部. 工程测量标准: GB50026-2020[S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.