

土建地基压实度现场检测影响因素及优化检测方法探究

吴冰杰

湖北精兴建设工程质量检测有限公司，湖北 荆门 448000

DOI:10.61369/ME.2026060001

摘 要： 土建地基压实度现场检测是评价填筑层密实状态与施工质量的重要依据。围绕环刀法、灌砂法及压实度计算原理，分析压实工艺参数、现场环境条件和检测仪器性能对检测结果的影响。结果表明，碾压次数由3次增至5次时，现场干密度由1.62 g/cm³提高至1.75 g/cm³，7次碾压后达到1.80 g/cm³，但增幅趋缓；粉质黏土填料含水率宜控制在12%—15%；灌砂筒未经规范标定时误差可达±2%，校准后可收敛至±0.5%。据此提出检测流程前置控制、含水率修正和异常点复检等优化策略，以提升压实度评价的准确性与工程适用性。

关 键 词： 土建地基；压实度检测；灌砂法；环刀法；含水率修正

An Exploration of Factors Affecting the Field Testing of Soil Foundation Compaction Density and the Optimization of Testing Methods

Wu Bingjie

Hubei Jingxing Construction Engineering Quality Inspection Co., Ltd. Jingmen, Hubei 448000

Abstract： The on-site testing of the compaction degree of civil engineering foundations is a crucial basis for evaluating the compactness of the embankment layer and the quality of construction. By focusing on the methods of ring penetrometry, sand injection, and the principles of compaction degree calculation, this analysis examines the impact of compaction process parameters, on-site environmental conditions, and the performance of testing instruments on the results. The findings indicate that when the number of compaction cycles was increased from 3 to 5, the on-site dry density increased from 1.62 g/cm³ to 1.75 g/cm³, and reached 1.80 g/cm³ after 7 cycles, albeit with a slower rate of increase. The moisture content of fine clay-based fill materials should be kept within the range of 12% to 15%. The error of the sand injection tube without proper calibration can be as high as ±2%, but this can be reduced to ±0.5% after calibration. Based on these findings, optimization strategies such as pre-control of the testing process, moisture content correction, and re-inspection of anomalies are proposed to enhance the accuracy and applicability of compaction degree evaluation.

Keywords： civil engineering foundations; compaction testing; sand injection method; ring coring method; moisture content correction

在土建工程与市政道路建设中，地基填筑层的压实质量直接关系到结构承载能力、沉降稳定性和后期使用安全。若压实不足，土体孔隙率偏大，易引发不均匀沉降、路面开裂和水损害等问题；若检测结果失真，则可能导致施工质量判断偏差，影响后续工序控制。现场压实度检测能够将室内击实试验成果与施工现场实际状态相联系，为碾压遍数、铺土厚度、含水率调节及质量验收提供依据。然而，检测结果常受施工工艺、气候环境、取样扰动和仪器精度等因素影响，单纯依赖原始检测数值难以全面反映填筑层真实密实状态。因此，有必要结合现场检测方法与影响因素开展系统分析，并提出更具操作性的流程优化和数据处理措施，以提高地基压实质量控制的可靠性。

一、土建地基压实度现场检测的基础理论

土建地基压实度是评价填筑土体经碾压后密实状态的基础指标，通常将现场干密度同室内击实试验获得的最大干密度进行比值换算。因为地基承载力、沉降变形以及水稳定性均会受到孔隙结构变化的影响，现场检测不只是质量验收环节，还可为碾压遍

数、含水率调整以及分层填筑厚度控制提供依据。环刀法将定容金属环切入细粒土层并取出原状样，借助称量以及烘干测定湿密度和含水率，适宜黏性土、粉质土等扰动敏感材料；灌砂法则运用标准砂置换试坑体积，再结合试坑内土样质量计算现场密度，较适宜砂砾填料以及路基填筑层检测。工程应用中，压实度技术指标需同设计等级以及规范要求相衔接，市政道路和一般路基施

工常将压实度标准值控制在不低于95%的范围内，特殊承载区还需结合地基处理方案进行复核。

$$K=\frac{\rho_d}{\rho_{dmax}}\times100\%$$

其中， K 表示压实度， ρ_d 表示现场干密度，单位为 g/cm^3 ， ρ_{dmax} 表示最大干密度，单位为 g/cm^3 。

二、土建地基压实度现场检测的关键影响因素分析

（一）压实工艺参数对检测结果的影响

压实工艺参数会将填筑土体的颗粒重排过程以及孔隙压缩程度直接传递到现场干密度检测结果中。由于市政道路地基填筑层通常按分层碾压组织施工，碾压次数不足时，土颗粒尚未形成较稳定的嵌挤结构，环刀法或灌砂法取得的现场干密度容易处于偏低水平；当碾压次数继续增加，土体内部大孔隙被逐步压缩，干密度呈现上升趋势，但过度碾压可能使细粒土出现局部剪胀以及表层扰动，检测值增长幅度会趋于减缓。碾压速度同样会影响压实能量传递，速度过快会缩短压路机振动轮对填筑层的作用时间，使深部土体难以获得充分压实；速度过慢则可能造成表层反复扰动，特别是在含水率接近最优含水率时更容易形成局部软化。铺土厚度也需结合压实机械吨位进行控制，厚度偏大时下部土层压实不足，试坑取样深度若覆盖该区域，检测结果会明显拉低^[1]。结合某市政道路地基工程的现场记录，不同碾压次数对应的干密度变化见表1，数据表明，5次碾压后干密度较3次已有明显提高，7次碾压仍有增长，但增幅有所收窄，说明碾压次数需同速度、铺土厚度以及填料含水状态协同确定。

表1 不同碾压次数对应的现场干密度值

碾压次数	现场干密度 g/cm^3
3次	1.62
5次	1.75
7次	1.80

（二）现场环境条件对检测结果的影响

现场环境条件会将土体含水状态以及取样扰动共同传递到压实度检测结果中，其中含水率属于最敏感的控制变量。最优含水率是指土体在既定击实能量下达到最大干密度时对应的含水状态，市政道路常见粉质黏土填料的适宜控制区间多集中在12%—15%。当现场含水率低于12%时，土颗粒表面水膜不足，颗粒间摩擦阻力偏大，碾压能量难以促使细颗粒充分滑移以及重新排列，环刀样或灌砂试坑计算得到的干密度容易偏低；当含水率高于15%时，孔隙水会占据可压缩空间，碾压荷载作用下容易形成弹簧土以及局部翻浆，检测值可能因表层挤密而短时偏高，也可能因取样塌边以及含水率测定误差而出现波动^[2]。

环境温度还会改变水分蒸发速率，夏季高温暴晒会使填筑层表面快速失水，造成上干下湿的含水梯度，若取样深度控制不一致，现场干密度便难以反映整层压实状态。雨天以及雨后短时间内开展检测时，雨水入渗会将表层孔隙水压力抬高，灌砂法试坑

边壁稳定性下降，标准砂置换体积容易被扰动放大。因此，现场检测需结合施工时段、降雨间隔以及表层晾晒情况进行判断，避免将环境诱发的含水率偏差误判为压实工艺不足。

（三）检测仪器性能对检测结果的影响

检测仪器性能会将量测环节中的系统误差直接放大到压实度判定之中，其中灌砂筒标定精度、称量设备灵敏度以及环刀容积误差最容易影响现场干密度计算。对于灌砂法而言，标准砂流速稳定性与筒体开关密封状态若控制不严，试坑回填砂量便会出现偏差，进而将试坑体积估算带偏；若仪器未按规程完成标定，测得压实度的误差范围通常可扩大至 $\pm 2\%$ ，而经过容积、砂密度以及流量一致性校准后的灌砂筒，误差一般可收敛至 $\pm 0.5\%$ 。在现场操作层面，试坑开挖边界不整齐、取样含有松散浮土以及称量前后未及时去除附着砂粒，都会造成数据波动。因此，检测结果并不单纯取决于土体密实程度，还取决于仪器精度、校准周期以及操作动作的规范化程度，只有将设备状态与取样流程同步纳入控制，压实度评价才更接近地基实际受力状态^[3]。

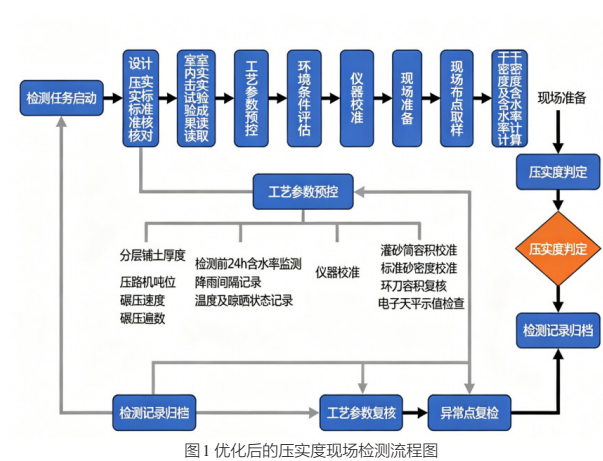
除了前面提到的情况之外，现场经常使用的烘干设备和取土工具会间接对检测结果产生干扰，烘箱温控如果失准就会导致土样含水率测定出现偏差，钢制取土铲和刮刀若磨损变形会破坏试坑原有形态与土体结构，便携式测距工具精度不足还会造成试坑深度和尺寸测算失误，各类小型辅助器具存在的老化和损坏问题常常容易被检测人员忽视，这些问题逐步累积形成综合误差进而降低压实度检测数据的真实性与可靠性，由此能够看出检测结果并非单纯取决于土体密实程度，还取决于仪器精度、校准周期以及操作动作的规范化程度，只有将设备状态与取样流程同步纳入控制压实度评价才能更接近地基实际受力状态。

三、土建地基压实度现场检测方法的优化策略

（一）基于影响因素的检测流程优化

面向土建地基填筑层压实度现场检测，流程优化应将施工控制信息前移到检测准备阶段，使检测活动不再局限于取样以及计算环节。因为压实工艺参数会直接影响现场干密度，检测前需核对设计压实标准、室内击实试验成果、分层铺土厚度、压路机吨位、碾压速度以及碾压遍数记录，将异常工况作为检测布点加密的依据。环境条件评估应围绕含水率开展连续观察，检测前24 h需监测填筑层表层以及代表性深度土样含水率，同时记录降雨间隔、晾晒时间以及现场温度变化；当含水率偏离最优含水率控制区间时，应将洒水、翻拌或晾晒处理后的复测结果纳入检测依据^[4]。

仪器校准环节需覆盖灌砂筒容积、标准砂密度、环刀容积以及电子天平示值稳定性，校准记录应同检测日期、检测人员以及样点编号建立对应关系。见图1，优化后的流程将工艺参数预控、环境条件评估以及仪器校准串联为检测前置门槛，并且将现场取样、数据复核以及异常点复检纳入闭环管理，从而减少含水率波动、试坑扰动以及设备误差对压实度判定的干扰。



（二）检测数据处理方法的优化

压实度现场检测数据在进入质量判定前，应将含水率偏离带来的密度波动纳入修正范围。由于粉质黏土填筑层对水分状态较为敏感，原始压实度若直接同设计标准进行比较，容易将上下湿、雨后入渗或暴晒失水形成的局部差异混同为碾压质量差异。数据处理环节可将室内击实试验确定的最优含水率当作基准值来使用，并且将现场实测含水率同该基准值的偏差转化为修正系数。当实测含水率高于最优含水率时，修正系数随偏差增大而降

低，用以削弱孔隙水对短时密实表象的影响；当实测含水率低于最优含水率时，修正结果可反映颗粒间摩擦阻偏大导致的压实不足风险。该方法不宜替代异常点复检，而应同样点深度、取样时段以及烘干含水率记录共同分析，使压实度评价更接近填筑层实际密实状态^[5]。在此基础上，还需对同批次检测数据开展横向比对，剔除明显偏离整体区间的异常数值，结合检测点位分布、施工时段做综合研判，避免单一数据误导质量验收。该方法不宜替代异常点复检，而应同样点深度、取样时段以及烘干含水率记录共同分析，使压实度评价更接近填筑层实际密实状态

四、结语

综上所述，土建地基压实度检测应从单一结果判定转向全过程质量控制。现场检测前需核查碾压工艺、铺土厚度、含水率状态和仪器校准情况，检测中应规范取样深度、试坑成型和称量操作，检测后还应结合含水率偏差、异常点复检和施工记录进行综合判断。通过将工艺预控、环境评估、设备校准和数据修正纳入闭环管理，可有效降低检测误差，使压实度评价更符合填筑层实际受力与稳定需求。

参考文献

[1] 张宇. 路基压实度室内试验及现场自动连续检测 [J]. 交通世界, 2025, (20): 76-78.
[2] 杨刚. 回填地基检测中的多源融合三维可视化技术 [J]. 水利技术监督, 2025, (11): 31-34.
[3] 杨碧兰. 基于现场检测的水闸软土处理效果分析与施工工艺研究 [J]. 珠江水运, 2025, (9): 128-130.
[4] 郭浩然. 建筑垃圾粒料填筑地基压实工艺及质量控制标准研究 [D]. 山东建筑大学, 2025.
[5] 谢强, 王端外, 严沁茹, 等. 回填土地基压实质量现场快速检测方法探究 [J]. 石河子科技, 2025, (5): 37-38+21.