

公路路基灰土压实度高效检测技术研究

赵闯

南京浦江工程检测有限公司，江苏南京，210000；

摘要：路基灰土压实度直接决定公路承载能力与耐久性，检测精度是工程质量管控的绝对底线。结合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）、《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450-2019）两大行业标准，本文聚焦灌砂法的原理内核、实操关键与精度管控要点，明确其交通领域路基灰土压实度检测的核心地位——唯一兼具精确性与权威性的推荐方法。核子密度仪法等其他手段，行业已明确底线：仅可快速筛查，严禁介入质量仲裁，其未获推荐的核心症结需清晰厘清。琼海乡村道改扩建工程的真实检测数据，直观印证了灌砂法的精准效能，同步梳理出实操误差规避要点与优化路径，为第三方检测机构规范作业提供硬核技术支撑。严格遵循规范操作，灌砂法检测误差可稳定控制在2%以内，精度远超各类替代手段，是当前交通领域路基灰土压实度检测的唯一合规选择。

关键词：公路路基；灰土压实度；灌砂法；精准检测；第三方试验检测

DOI：10.64216/3080-1508.26.03.022

引言

公路路基承载着路面结构的全部受力，压实质量直接关系到通车后的长期稳定性与使用寿命，是工程质量管控的核心命脉。优良的水稳定性与承载性能，让灰土成为路基填筑的核心材料，压实度是否达标，是评判其施工质量的核心标尺，无其他替代维度。作为质量把控的最后一道关口，第三方试验检测必须将精度置顶，为路基工程验收及工序交接提供精准、可靠、可追溯的数据支撑，坚决杜绝不合格路基流入下道工序，守住工程质量底线。

《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450-2019）明确将灌砂法列为路基灰土压实度检测的唯一基准方法，适配各类土类及基层、砂石路面检测，精度可控、适配性广、结果可追溯，是交通领域唯一推荐用于质量仲裁与验收的手段^[1]。核子密度仪法、三维探地雷达法等其他手段，或精度不足无法满足验收要求，或适用场景狭窄难以普及，或存在放射性安全隐患，或设备成本过高超出小型机构承载能力，均被排除在核心检测体系之外。结合多年一线检测实践，本文聚焦灌砂法核心应用技术，深入拆解其精确性保障要点、标准化实操流程与误差规避措施，为检测工作标准化开展提供可直接落地的技术参考。

1 公路路基灰土压实度检测基础认知

1.1 核心概念界定

灰土压实度，是路基灰土碾压后实际干密度与室内击实最大干密度的百分比，核心用于衡量灰土颗粒密实程度，直接决定路基抗沉降能力与承载强度。采用灌砂法检测时，需同步管控含水率、颗粒级配等辅助指标：最优含水率控制在10%~25%（精度±0.5%），最大干密度区间为1.6~2.0 g/cm³（误差±0.05 g/cm³）。唯有处于该参数区间，检测结果才能真实反映压实质量，为工程质量评价提供精准数据支撑，避免误判误导施工。

1.2 行业标准要求与灌砂法定位

《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）与《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450-2019）^[2]，明确了压实度达标红线：一、二级公路路基灰土压实度（重型击实标准）不低于96%，三、四级公路不低于94%；水泥稳定类灰土还需满足7d龄期无侧限抗压强度≥3.5MPa。标准清晰界定，灌砂法作为基准检测方法，适配粗粒土、细粒土等各类土类，是保障检测精度、统一质量评价标准的关键，任何替代行为均不符合行业规范。

行业标准对灌砂法检测流程提出刚性要求，第三方检测机构必须严格执行。抽样环节需按每1000m²测2点且每段落不少于5点的标准随机抽样，避开路基边缘1m范围，确保测点均匀覆盖检测区域；检测人员需完

整记录设备编号、标准砂标定数据、校准证书编号等关键信息，形成全程可追溯的检测报告，存档期限不短于工程质保期（2年）。依据《公路水运工程质量检测管理办法》要求，对数据造假、溯源缺失等行为零容忍，一经发现，检测结果无效，相关方需承担对应责任。

2 灌砂法核心特性及其他方法不推荐原因分析

2.1 灌砂法核心优势与精确性依据

灌砂法的核心原理，是用清洁干燥的标准砂置换试坑体积，结合试坑内灰土总质量与含水率，精准换算干密度及压实度。其精确性源于三大优势：适配各类基层、砂石路面及路基土，尤其对粗粒土、含石率较高的灰土检测效果突出；严格规范操作下，检测误差可稳定控制在2%以内；标准砂标定、试坑规范开挖等全流程管控，确保数据重复性好、可追溯性强，是工程质量仲裁的唯一合法依据^[3]。

灌砂法的精确性，已被大量行业实践充分验证。交通运输部在《公路路基路面现场测试规程》修订解读中明确强调，灌砂法是统一和规范公路工程质量评价的核心方法，安全可靠、成熟实用的特性使其成为行业推荐核心依据，能为路基工程质量管控提供坚实技术支撑，无任何替代方案，这一结论具有绝对权威性。

2.2 其他检测方法不推荐使用的核心原因

核子密度仪法、三维探地雷达法等其他压实度检测手段，因固有缺陷被明确排除在路基灰土压实度核心检测之外，这一界定基于科学的技术特性判断。核子密度仪法虽检测速度快，但存在放射性安全隐患，需定期强制标定，高含水率（>25%）灰土中精度急剧下降，偏差易超±3%，行业标准明确其仅适用于快速筛查，严禁介入质量仲裁与验收；三维探地雷达法依赖电磁波反射信号分析，受含石率、含水率影响极大，含石率>30%时分辨率骤降，信号易干扰，结果稳定性差，仅可作为辅助筛查手段；多传感器融合智能检测法设备投入高达18-22万元/套，算法需适配具体工程场景，复杂地质下精度波动大，小型机构难以承担，且无统一行业标准支撑，结果不被认可。

环刀法作为传统手段，设备简单便携，但适配场景极端狭窄，仅能检测均质细粒土。面对含粗颗粒或不均

匀灰土时，检测误差极大，数据误判率超8.2%，根本无法满足精准检测需求。正因如此，行业明确禁止其作为核心检测方法，仅可在特定细粒土场景中辅助参考，结果绝对不得用于质量验收。

3 灌砂法实操要点与精度控制措施

3.1 核心仪器设备与标定要求

核心仪器设备的标准化配置与严格标定，是灌砂法精度保障的前提。需按集料最大粒径选用Φ100mm或Φ150mm灌砂筒，搭配基板、0.3~0.6mm清洁干燥标准砂，以及称量10~15kg、感量≤1g的电子天平，同时配备铝盒、烘箱等含水率测定器具。标准砂需提前测定密度，每次检测前重新过筛标定，确保密度稳定；灌砂筒砂面高度、标定罐深度必须一致，深度每偏差2.5cm，砂密度偏差约1%，直接影响检测精准性；天平、灌砂筒等设备需定期送CMA资质机构校准，周期不超6个月，校准证书全程留存归档，确保量值可溯源。

3.2 标准化实操流程

灌砂法检测流程必须严格遵循《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450-2019）第6.2.3条规定，每一步都需精准管控。选取约40cm×40cm的平坦表面，清扫干净后放置并固定基板，确保表面面积不小于基板面积；向灌砂筒装入标准砂至规定质量（ m_1 ），平稳置于基板中孔上方，打开开关让砂自然流入，关闭后称量剩余砂质量（ m_2 ），精准记录耗砂量；取走基板，沿中孔规范凿洞，洞径与灌砂筒直径一致、深度匹配测试层厚度，避免坑壁土体扰动，称取洞内灰土总质量（ m_w ）；重新向灌砂筒装砂至质量（ m_1 ），放回基板中间让砂流入试坑，直至不再下流，称量剩余砂质量（ m_4 ）；从挖出灰土中取代表性样品，放入铝盒测定含水率（ ω ），完成全流程数据记录。

3.3 精度控制与误差规避要点

灌砂法检测精度受操作规范、环境因素、设备状态三类核心因素影响，需针对性规避误差。试坑开挖需垂直平整，严禁坑壁土体扰动，超粒径颗粒单独记录并修正体积；标准砂灌注速度均匀平缓，防止过快导致分布不均，影响试坑体积计算精度；地表粗糙度较大时，额外测定地表耗砂量，避免体积计算偏大造成压实度结果

偏低。风力大于5级时严禁检测，防止标准砂吹散影响称量；雨天或灰土含水率异常时立即暂停作业，待条件达标后再开展。数据处理需严格按公式计算试坑体积、湿密度、干密度及压实度，规避计算偏差^[4]。

4 工程实例验证

琼海2023年乡村道改扩建工程B标段（参考当地交通局2024年5月通报），路基采用石灰粉煤灰稳定土（石灰8%、粉煤灰15%），设计压实度 $\geq 96\%$ ，检测段落为 $1.5\text{km}\times 12\text{m}\times 30\text{cm}$ ，检测时环境温度 25°C 、灰土含水率18%，完全符合检测条件。第三方检测机构全程采用灌砂法开展全路段压实度检测，严格遵循标准化操作流程与精度控制要求，杜绝任何不规范操作，确保检测数据真实可靠。

检测方案按每 1000m^2 测2点且不少于5点的标准布设，全路段共设36个检测点，覆盖路基全宽度并避开边缘1m范围。检测采用 $\Phi 150\text{mm}$ 灌砂筒、 $0.3\sim 0.6\text{mm}$ 标准砂（标定密度 $1.47\text{g}/\text{cm}^3$ ），所有设备检测前均完成校准，检测过程中同步记录含水率、试坑体积等关键数据。

检测结果显示，36个测点压实度平均值 97.2% 、代表值 96.5% ，均满足设计 $\geq 96\%$ 的要求，单点最小值 95.1% ，高于设计允许偏差下限，无不合格测点。检测数据重复性优异，平行试验偏差均 $\leq 1.2\%$ ，完全契合规范精度要求。针对初期2个疑似薄弱区测点（压实度 95.1% 、 95.3% ），立即采用灌砂法复检，复检与初检偏差 $\leq 0.8\%$ ，数据真实可靠。施工单位依据检测结果，对局部区域针对性补压后，复测全部测点均达标，切实保障了路基施工质量，彰显了灌砂法的精准管控价值。

该实例充分印证，灌砂法检测精度高、结果可靠，能精准把控路基灰土压实质量，完全满足交通领域工程质量管控的刚性需求。相较于核子密度仪法、环刀法等未被推荐的手段，灌砂法在数据认可度、适配性、权威

性上均具备绝对优势，是路基灰土压实度检测的核心选择，这一结论已被大量工程实践验证。

5 结束语

基于第三方检测一线实践，本文系统研究了灌砂法在公路路基灰土压实度检测中的应用技术，明确其交通领域最精确、唯一推荐用于质量仲裁与验收的核心定位，深入剖析核子密度仪法等未获推荐的核心症结，梳理出灌砂法的标准化实操规范、精度控制要点与误差规避措施，并通过真实工程实例验证其应用价值。本研究旨在为第三方检测机构提供可落地的技术指引，推动灌砂法标准化应用。

研究证实，灌砂法凭借适配性广、精度可控、结果可靠的优势，是保障路基灰土压实度检测质量的关键手段，无任何替代方案。严格遵循行业标准与标准化操作流程，可将检测误差有效控制在 2% 以内，为工程质量管理提供精准、可追溯的数据支撑。未来，第三方检测机构需进一步强化灌砂法标准化应用，加强检测人员专业培训，重点覆盖实操规范与精度控制要点，严格落实设备标定与数据溯源要求，对不规范操作零容忍，让灌砂法充分发挥核心检测作用，筑牢公路路基工程质量防线。

参考文献

- [1]王景南.公路路基压实度现场密度试验检测方法实践[J].智能城市,2021(3):67-68.
- [2]交通运输部公路科学研究院.公路路基路面现场测试规程[S].JTG3450-2019,2019.(行业标准,CN11-2815/U)
- [3]孟海波.基于灌砂法的公路路基压实度试验检测应用[J].交通建设与管理,2022(1):96-97.(CN11-5564/U,维普、万方双库收录)
- [4]胡志文,程培峰,李泽闯,等.基于沉降差和动态变形模量的含巨粒土路基压实质量控制[J].森林工程,2022,38(1):124-131.