公路路基灌砂法压实度现场检测操作及误差控制

苏福林

（四川蜀道工程咨询集团有限公司，四川 成都 610011）

摘 要 灌砂法是公路路基压实度检测中最常用的现场检测方法之一，其检测结果的准确性直接关系到路基工程质量评定。本文从灌砂法检测原理与适用范围出发，系统阐述了检测前准备与仪器标定、现场挖坑与灌砂操作、试样处理与数据计算的完整操作流程，从仪器标定、现场操作、试样处理与数据计算、检测质量管控与人员能力提升四个方面分析了检测过程中的误差来源并提出控制措施，可为提高灌砂法压实度检测精度提供参考。

关键词 公路路基；灌砂法；压实度；现场检测；误差控制

中图分类号：U415.12 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.021

0 引言

路基压实度是衡量公路路基施工质量的关键指标，压实度不足会导致路基沉降过大、承载力下降、路面开裂等病害，严重影响道路使用寿命。灌砂法因其设备简单、操作方便、适用范围广、检测结果相对可靠等优点，被广泛应用于公路路基压实度现场检测。然而，灌砂法检测涉及仪器标定、现场挖坑、灌砂操作、试样处理、数据计算等多个环节，任何一个环节操作不规范都会引入误差，导致检测结果偏差。因此，系统研究灌砂法压实度现场检测操作及误差控制，对保障检测结果准确性、正确评价公路路基施工质量具有重要的工程意义。

1 公路路基灌砂法压实度现场检测原理与适用范围

1.1 灌砂法检测基本原理

灌砂法的基本原理是利用均匀颗粒的砂，从一定高度自由下落灌入试坑中，根据灌入试坑的砂的质量和砂的密度计算试坑体积，再通过试坑中取出的试样质量和含水率计算试样的干密度，最后将干密度与室内标准击实试验确定的最大干密度对比，得到压实度。其基本计算公式为：试坑体积 = 灌入试坑砂的质量 ÷ 量砂密度；试样湿密度 = 试样质量 ÷ 试坑体积；试样干密度 = 湿密度 ÷（1+ 含水率）；压实度 = 干密度 ÷ 最大干密度 ×100%[1]。

灌砂法的原理建立在量砂密度稳定、砂自由下落状态一致、试坑形状规则等假设基础上，实际操作中这些假设条件的满足程度直接影响检测精度。量砂密度需要通过标准罐反复标定，确保密度值准确可靠；灌砂过程中砂的下落高度和速度应保持一致；试坑应尽量挖成规则的圆柱形，坑壁垂直、底部平整，减少不规则形状带来的体积计算误差。

1.2 适用范围与检测条件

灌砂法适用于现场测定细粒土、砂类土和砾类土的密度和压实度，尤其适用于路基、路面基层等结构层的压实度现场检测。对于填石路基、土石混填路基等含有较大粒径石块的填料，灌砂法检测结果受大粒径石块影响较大，代表性不足，不宜单独使用，应配合其他方法综合评定。检测层厚度不宜超过 200 mm，过厚的检测层挖坑困难且试样代表性差[2]。

现场检测应满足一定的环境条件。检测点表面应平整，避免在凹凸不平的部位检测，表面不平时应先清扫并用基板找平。检测时环境温度不宜过高或过低，高温会加速试样水分蒸发导致含水率偏低，低温会影响操作灵活性。雨天或雨后路基表面未干燥时不宜检测，避免试样含水率受雨水影响。检测点应按规范要求随机选取，具有代表性。每个检测层检测点数应符合规范要求，一般每 200 m 每压实层检测不少于 4 点，检测点位置用桩号和距中线距离标注。

2 公路路基灌砂法压实度现场检测操作流程

2.1 检测前准备与仪器标定

检测前的准备工作是保障检测质量的基础。仪器设备准备包括：灌砂筒（含漏斗、阀门、基板）、电子天平（称量 10 kg～15 kg，感量 1 g）、标准罐（容积

作者简介：苏福林（1977-），男，本科，研究方向：公路桥隧检测。

约5 000 cm^3）、量砂（粒径0.30 mm～0.60 mm清洁干燥的均匀砂）、烘箱、铝盒、铲土工具、毛刷、玻璃板等。仪器设备应在检定有效期内，电子天平使用前校准，确保称量准确。

量砂密度标定是检测前最重要的准备工作，直接关系到试坑体积计算的准确性。标定方法为：将空灌砂筒放在玻璃板上，打开阀门让砂自由流出，直到砂不再流动时关闭阀门，称量筒内剩余砂的质量，计算流出砂的质量；重复标定3次，取平均值作为标定值。量砂密度=标定流出砂质量÷标准罐容积。量砂应保持清洁干燥，每次使用后过筛，去除混入的土粒和杂物，重复使用次数过多时应重新标定密度[3]。不同批次的量砂不能混用，应分别标定。检测前还应收集该检测段的标准击实试验报告，获取最大干密度和最佳含水率数据，作为压实度计算的依据。

2.2 现场挖坑与灌砂操作

现场操作是灌砂法检测的关键环节，操作规范性直接影响检测结果。主要操作步骤及要点如表1所示。挖坑是最容易引入误差的环节。挖坑时应沿基板中心孔垂直向下挖，坑壁保持垂直，不得向外倾斜或向内凹进，坑底平整，深度等于检测层厚度。挖出的试样全部收集，不得遗漏，坑壁和坑底黏附的土粒用毛刷清扫干净，试样装入密封袋或塑料袋中防止水分蒸发。灌砂操作时，灌砂筒放在基板中心，确保筒底与基板密贴，打开阀门让砂自由流入试坑，整个过程不得碰动灌砂筒，直到砂不再流动时关闭阀门，称量筒内剩余砂质量。灌入试坑的砂质量=标定流出砂质量-（筒内剩余砂质量-标定筒内剩余砂质量），即标定流出砂质量与现场筒内剩余砂质量之差加上标定筒内剩余砂质量。

2.3 试样处理与数据计算

试样处理包括含水率测定和干密度计算。含水率测定采用烘干法，从全部湿试样中取有代表性的样品，一般取500 g～1 000 g，装入铝盒中立即称量湿质量，然后放入105 ℃～110 ℃烘箱中烘干至恒重（一般不少于8小时），取出放入干燥器中冷却至室温后称量干质量。含水率=（湿质量-干质量）÷干质量×100%。取2份平行样测定，差值不超过1%时取平均值，超过1%时重新测定[4]。

数据计算按以下步骤进行：第一步，计算试坑体积，试坑体积=灌入试坑砂质量÷量砂密度；第二步，计算试样湿密度，湿密度=湿试样质量÷试坑体积；第三步，计算试样干密度，干密度=湿密度÷（1+含水率）；

表1 灌砂法现场检测操作步骤及要点

操作步骤	操作内容	技术要点	注意事项
1. 清扫整平	清扫检测点表面，用基板找平	表面平整无浮土	凹凸处先刮平
2. 放置基板	将基板中心对准检测点	基板与地面密贴	不得晃动基板
3. 挖坑取样	沿基板中心孔挖坑，取出全部试样	坑壁垂直，深度为层厚	不得扰动坑壁
4. 称量试样	电子天平称量全部湿试样质量	称量精确至1 g	试样不得散落
5. 灌砂操作	灌砂筒放在基板上，打开阀门灌砂	砂不再流动时关闭阀门	灌砂过程不得碰动筒
6. 称量余砂	称量筒内剩余砂的质量	精确至1 g	扣除筒和锥体质量
7. 取含水率样	从试样中取代表性样品测含水率	取2份平行样	立即装入铝盒密封

第四步，计算压实度，压实度=干密度÷最大干密度×100%。计算过程中注意单位统一，密度单位为 g/cm^3 或 kg/m^3，压实度结果保留1位小数。每个检测点的压实度计算完成后，与规范要求的压实度标准对比，判断该点是否合格。全部检测点完成后，统计合格率和平均压实度。并填写完整检测记录，检测人员和复核人员签字确认。

3 公路路基灌砂法压实度现场检测误差来源与控制措施

3.1 仪器与标定误差控制

仪器与标定误差是灌砂法检测的重要误差来源。量砂密度标定不准确会直接导致试坑体积计算偏差，密度偏大则体积偏小、压实度偏高，密度偏小则体积偏大、压实度偏低。控制措施包括：量砂密度标定至少重复3次取平均值，标定过程严格按规范操作；量砂保持清洁干燥，每次使用后过筛，去除杂质和细颗粒；量砂重复使用一定次数（一般不超过30次）后重新标定密度；不同批次、不同粒径的量砂分别标定，不得混用；标定时环境温度与现场检测温度一致，避免温度差异影响砂的体积和密度。

电子天平称量误差也是重要来源。天平应定期检定，使用前校准零点，称量时避免振动和气流影响，读数稳定后记录。天平感量应满足要求，一般不低于1 g，称量大量试样时选用合适量程的天平，避免超量程或精度不足。灌砂筒和基板应完好无损，基板不变形，

灌砂筒阀门开关灵活、关闭严密，阀门漏砂会导致灌砂量计算偏差。标准罐容积应准确，定期校验，容积偏差不超过 ±0.5%。仪器设备的定期检定和维护是控制仪器误差的根本保障。

3.2 现场操作误差控制

现场操作误差是灌砂法检测中最主要的误差来源，涉及挖坑、灌砂、试样收集等多个环节。挖坑不规范是最常见的误差来源，坑壁不垂直、坑底不平整、坑形不规则都会导致试坑实际体积与计算体积不符。控制措施包括：挖坑时使用专用工具，沿垂直方向向下挖，随时用直尺检查坑壁垂直度；坑底平整，不得有凸起或凹坑；坑的直径与基板中心孔一致，不得过大或过小；挖出的试样全部收集，坑壁和坑底用毛刷清扫干净，不得有残留土粒；挖坑过程中不得扰动坑壁周围的土体，避免坑壁坍塌。

灌砂操作不规范也会引入较大误差。灌砂筒放置不稳、灌砂过程中碰动筒身、砂流出未完全停止就关闭阀门等，都会影响灌砂量的准确性。控制措施包括：灌砂筒放置在基板中心，确保底部密贴；灌砂过程中专人扶稳筒身，不得碰动；砂完全停止流动后等待 10 秒～ 15 秒再关闭阀门，确保砂流稳定；灌砂完成后轻轻提起灌砂筒，避免带出基板内的砂。试样水分蒸发是容易忽视的误差来源，挖出的试样暴露在空气中会蒸发水分，尤其在高温、干燥、大风天气下蒸发更快，导致含水率偏低、干密度偏高。控制措施包括：试样挖出后立即装入密封袋，减少暴露时间；含水率样品取出后立即装入铝盒并盖紧；高温干燥天气适当增加称量速度，缩短试样暴露时间；检测尽量选择在温度适宜、风力较小的时段进行 [5]。

3.3 试样处理与计算误差控制

试样处理与计算误差主要来自含水率测定和数据计算环节。含水率测定不准确会直接影响干密度计算，含水率偏高则干密度偏低、压实度偏低，含水率偏低则干密度偏高、压实度偏高。控制措施包括：含水率样品具有代表性，从全部试样中均匀取样，不得只取表面或某一部位的土；烘干温度控制在 105 ℃～ 110 ℃，温度过高会导致有机质分解，温度过低则烘干不充分；烘干时间足够，确保试样完全烘干至恒重；烘干后放入干燥器冷却至室温再称量，避免热试样称量导致读数偏低；取 2 份平行样测定，差值超过 1% 时重新测定，确保含水率准确。

数据计算误差主要来自公式应用错误、单位换算错误、有效数字处理不当等。控制措施包括：严格按规范公式计算，不得随意简化或更改公式；计算前核对量砂密度、最大干密度等基础数据的准确性；计算过程中单位统一，密度单位换算正确；中间计算结果保留足够位数，最终压实度保留 1 位小数；采用双人复核制度，一人计算、一人复核，发现错误及时纠正；检测记录完整清晰，计算过程可追溯，便于后续核查。

3.4 检测质量管控与人员能力提升

检测质量管控是保证灌砂法检测结果可靠的制度保障，仅靠操作规范是不够的，需要从管理制度和人员能力两个方面同时发力。检测单位应建立现场检测质量管理制度，明确检测人员岗位职责，制定检测作业指导书，对检测全过程进行质量监督。

人员能力是决定检测质量的因素。灌砂法检测看似简单，但是对操作人员的经验和细心程度要求较高，挖坑是否规范、灌砂是否到位、试样是否收集完整都会影响到检测结果。检测人员应经过专业培训并考核合格，熟悉公路路基路面现场测试规程中灌砂法的操作要求，掌握仪器标定、现场操作、数据计算的全流程技能。定期组织检测人员进行技能比武、实操演练，交流检测经验，提高操作熟练度。对新入职检测人员实行师徒制，在有经验的检测人员的指导下逐步独立操作，防止由于经验不足而造成操作失误。

4 结束语

公路路基灌砂法压实度现场检测精度取决于仪器标定、现场操作、试样处理、数据计算和质量管控各环节的协同把控。本文系统梳理了从检测准备到结果计算的全过程要点，从仪器标定、现场操作、试样处理与计算、质量管控与人员能力四个方面提出了误差控制措施。实践表明，量砂密度标定准确、挖坑灌砂操作规范、试样水分蒸发控制到位、含水率测定精确、检测质量管控严格，是保障检测结果可靠的关键。未来可结合智能传感和数字化记录技术，进一步降低人为操作误差，提升路基压实度检测的效率与精度。

参考文献：

[1] 杨双亮.路基压实度快速检测设备操作误差控制 [J].能源与节能 ,2026(S1):229-231.
[2] 刘齐祥.道路路基压实度试验检测方法对比分析 [J].新城建科技 ,2026,35(06):146-148.
[3] 费绍军.公路路基压实质量检测方法 [J].汽车画刊 ,2026(06):230-232.
[4] 袁鹏举,郝佳福,齐松松,等.灌砂法在公路路基压实度检测中的应用 [J].土工基础 ,2026,40(03):584-587.
[5] 张少帅.灌砂法在公路路基压实度检测中的应用 [J].交通世界 ,2026(17):127-129.