

灌砂法在市政道路检测中的应用探讨

倪柯杰

浙江兴红建设工程检测有限公司 浙江 杭州 311200

摘要: 灌砂法作为市政道路压实度检测常用手段,基于体积置换原理,能规避环刀法对特定土样的检测局限。它适用于路基、基层与面层材料压实度检测,可精准适配不同路段与材料。不过,实际应用中存在标准砂标定、试坑规范、含水量测定等技术问题,以及现场环境、人工操作、检测效率等操作难题。可通过技术优化、操作规范强化、管理创新及探索替代技术等措施,提升其应用效果。

关键词: 灌砂法;市政道路检测;应用

引言:市政道路作为城市交通的关键脉络,其质量关乎城市运行效率与居民出行安全。压实度作为衡量道路质量的核心指标,直接影响道路的承载能力与耐久性。精准检测压实度,对保障市政道路施工质量至关重要。灌砂法凭借其成本低、结果可靠、操作灵活等优势,在市政道路压实度检测中广泛应用。然而,实际应用中仍面临诸多挑战。深入探讨其应用,对提升市政道路检测水平、保障工程质量意义重大。

1 灌砂法技术原理与操作规范

1.1 基本原理

(1) 基于体积置换法测定压实度,通过将标准砂填入挖掘的试坑,利用标准砂的已知体积替代试坑内被挖除的土样体积,结合土样干密度与最大干密度的比值,计算得到现场土基的压实度,该方法能有效规避环刀法等对松散或大粒径土样检测不准确问题。(2) 关键参数包括标准砂密度、试坑体积、含水量修正,其中标准砂需提前经烘干、筛分处理,通过密度瓶法或量筒法测定真实密度;试坑体积由灌砂质量与标准砂密度计算得出;含水量修正需取试坑土样烘干称重,根据湿密度与含水量关系换算干密度,消除水分对检测结果的影响。

1.2 操作流程与规范

(1) 检测前准备需完成设备校准与标准砂选择,校准灌砂筒容积、电子秤精度,确保误差符合要求;选择粒径0.3-0.6mm的洁净标准砂,避免含泥量过高或颗粒不均匀影响密度稳定性。(2) 现场操作步骤依次为挖坑、灌砂、称重、计算,挖坑时需与土基表面垂直,坑壁规整,尺寸匹配灌砂筒规格;灌砂前需打开灌砂筒开关让砂自由下落,待砂停止流动后关闭开关,称重剩余砂质量;通过灌砂总质量与剩余砂质量差值,结合标准砂密度计算试坑体积,再结合土样质量计算湿密度。(3) 数据处理与结果修正需考虑含水量、温度影响,含水量修

正按公式“干密度=湿密度/(1+含水量)”计算;温度每变化5°C,标准砂密度需修正0.001g/cm³,确保数据准确性^[1]。

1.3 相关标准与规范

(1) 引用《公路路基路面现场测试规程》(JTG3450-2019),其中明确规定灌砂法的适用范围、设备要求、操作步骤及数据处理方法,是公路工程压实度检测的核心依据。(2) 参考《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB50202-2018),对地基土压实度检测中灌砂法的应用场景、质量控制指标提出补充要求,适用于建筑地基领域检测工作。

2 灌砂法在市政道路检测中的具体应用

2.1 应用场景分析

(1) 在路基压实度检测中,灌砂法可适配填方与挖方两类核心路段。对于填方路段,市政道路施工中常采用分层填筑工艺,每层填筑厚度通常控制在20-30cm,灌砂法能精准挖掘对应深度的试坑,检测每层土料的压实度,避免因分层压实不足导致路基沉降;针对挖方路段,受原地面土质不均影响,需通过灌砂法在不同区域抽样检测,判断开挖后基底土的压实状态是否满足设计要求(一般市政路基压实度要求≥93%,特殊路段≥95%),防止因基底承载力不足引发路面开裂^[2]。(2) 在基层与面层材料压实度检测中,灌砂法可覆盖水泥稳定碎石、沥青混合料等主流材料。水泥稳定碎石基层施工后,需在7天养护期结束后检测压实度,灌砂法能避免对基层结构造成过大破坏,同时准确反映碎石颗粒间的密实程度;对于沥青混合料面层,尤其是SMA(沥青玛蹄脂碎石)等粗骨料含量较高的材料,灌砂法可通过匹配不同尺寸的灌砂筒(如150mm、200mm直径),适应面层厚度(通常4-10cm),检测沥青混合料的压实度是否达到规范要求(高速公路面层压实度≥96%,市政主干道≥95%),保

障路面抗车辙能力。

2.2 案例分析

(1) 以某市政主干道升级改造为例, 该工程路基采用粉质黏土填筑, 基层为30cm厚水泥稳定碎石, 面层为6cm厚AC-20沥青混合料。施工中采用灌砂法进行压实度检测, 共抽检30个路基本位、20个基层点位、15个面层点位。路基检测数据显示, 28个点位压实度在93%~96%之间, 符合设计要求, 2个点位因填筑时含水量过高, 压实度仅为91%~92%, 经重新翻晒、碾压后复检合格; 基层检测中, 18个点位压实度 $\geq 97\%$, 2个点位因碾压遍数不足(仅6遍, 设计要求8遍), 压实度为95%~96%, 补压2遍后达标; 面层检测全部合格, 压实度集中在95%~98%。通过灌砂法检测数据与施工记录的对比, 验证了该工程压实质量的稳定性, 为后续路面通车提供了数据支撑。(2) 不同材料类型对灌砂法的适用性存在差异。对于砂砾类材料, 因其颗粒级配较均匀、透水性强, 灌砂时标准砂不易流失, 检测误差较小(通常 $\leq 1\%$); 碎石类材料(如水泥稳定碎石)因颗粒间隙较大, 需选择与试坑尺寸匹配的灌砂筒, 避免标准砂填充不充分导致体积计算偏差; 沥青混合料因温度敏感性强, 检测需在路面冷却至常温(通常 $\leq 50^{\circ}\text{C}$)后进行, 防止高温导致标准砂密度变化, 同时需清理试坑内残留沥青, 避免影响土样质量称重, 相较于砂砾和碎石材料, 沥青混合料的灌砂检测操作更繁琐, 对检测人员的技术要求更高。

2.3 与其他检测方法的对比

(1) 核子密度仪法虽检测效率高(单个点位检测时间约5~10分钟, 灌砂法约30~40分钟), 可实现快速批量检测, 但存在辐射风险, 操作人员需持有辐射安全许可证, 且设备购置成本高(一台核子密度仪价格约10~20万元, 灌砂法设备约0.5~1万元), 同时受材料含水率、密度均匀性影响较大, 在粗骨料含量高的基层检测中误差易超过2%, 适用性受限。(2) 环刀法适用于细粒土(如粉质黏土、黏土)的压实度检测, 设备简单(环刀、天平), 操作便捷, 但局限性明显: 无法用于粗骨料含量 $> 15\%$ 的材料(如碎石、砂砾), 因环刀难以切入且土样易松散; 检测深度较浅(通常 $\leq 15\text{cm}$), 无法满足市政道路路基分层填筑(20~30cm)的检测需求, 且对土样扰动较大, 易导致密度计算偏差^[3]。(3) 灌砂法具有显著的综合优势: 成本低, 设备仅需灌砂筒、电子秤、标准砂等, 购置和维护费用低, 适合中小型市政工程单位; 结果可靠, 通过体积置换原理直接计算试坑体积, 结合土样干密度换算, 检测误差通常 $\leq 1.5\%$, 在各类材料中均能保持较高准确性; 操作灵活, 可通过更换不同规格的

灌砂筒(100mm、150mm、200mm直径), 适配路基、基层、面层不同厚度和材料类型的检测需求, 无需受材料颗粒级配、检测深度的严格限制, 是市政道路压实度检测中应用最广泛的方法之一。

3 灌砂法在市政道路检测应用中的问题与挑战

3.1 技术层面问题

(1) 标准砂密度标定误差对结果影响显著, 若标定前未彻底烘干(含水率 $> 0.5\%$)或筛分不彻底(含超粒径颗粒), 会导致标准砂实际密度与标定值偏差超 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$, 进而使试坑体积计算误差达3%~5%, 最终造成压实度结果偏离真实值。(2) 试坑尺寸与形状不规范易引发体积计算偏差, 如坑壁倾斜、底部凹凸不平, 或试坑直径未按规范匹配材料粒径(如检测粗粒土时试坑直径未达最大粒径的3倍), 会使标准砂填充体积与实际土样体积差值超2%, 影响检测准确性。(3) 含水量测定不准确会导致压实度修正误差, 若土样取样不具代表性(如仅取表层土)或烘干时间不足(未达恒重), 会使含水量测量偏差超1%, 按修正公式计算后, 压实度结果偏差可达1.5%~2%。

3.2 操作层面问题

(1) 现场环境干扰影响检测精度, 风力较大时(风速 $> 3\text{m/s}$)会导致灌砂过程中标准砂飞溅, 造成质量损失; 空气湿度较高(相对湿度 $> 85\%$)时, 标准砂易吸潮, 密度增大, 两者均会导致试坑体积计算不准确。(2) 人工操作熟练度差异大, 新手在挖坑时易出现坑壁坍塌、灌砂时开关控制不当(导致砂流不均匀), 会使单个点位检测误差超2%; 而熟练人员操作误差可控制在1%以内。(3) 检测效率低的问题突出, 单个点位需30~40分钟, 涉及挖坑、灌砂、称重等多道工序, 劳动强度大, 尤其在市政道路大规模检测时(需日均检测50+点位), 易延误施工进度。

3.3 管理层面问题

(1) 检测流程标准化程度不足, 部分单位未严格执行《公路路基路面现场测试规程》, 如省略标准砂二次标定步骤、试坑尺寸随意调整, 导致不同检测人员的操作差异大, 检测数据一致性差。(2) 数据记录与追溯机制不完善, 存在纸质记录潦草、关键信息(如检测时间、点位坐标)缺失的情况, 部分单位未建立电子数据库, 后续若需复核数据, 难以追溯原始信息, 增加质量管控风险。

4 灌砂法在市政道路检测应用的优化措施与改进方向

4.1 技术优化

(1) 引入自动化设备可大幅提升精度与效率, 电子

灌砂仪能自动控制砂流速度、精准称重,避免人工灌砂时的操作偏差,将标准砂质量测量误差控制在0.1g以内;激光测距仪可快速检测试坑直径、深度,自动计算体积,替代人工尺量,解决试坑形状不规范导致的体积计算偏差问题,使试坑体积测量误差降至1%以下。(2)开发智能数据处理软件,将检测数据(标准砂密度、灌砂质量、土样质量、含水量等)录入后,软件可自动套用公式计算压实度,减少人工计算失误,同时能实时对比规范标准值,自动标记不合格数据,提升数据处理效率,将单点位数据处理时间从10分钟缩短至2分钟^[4]。

4.2 操作规范强化

(1)制定标准化操作手册,明确设备校准、标准砂处理、试坑开挖等各环节的操作细节与参数要求(如标准砂烘干温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、试坑开挖深度与层厚一致);建立培训体系,定期组织操作人员参加理论培训与实操考核,考核合格后方可上岗,确保新手操作误差从超2%降至1%以内。(2)加强现场监督,每个检测小组配备专职监督员,对关键环节(如灌砂、取样)进行全程监督;建立质量复核机制,对当天10%的检测点位进行二次复检,若两次结果偏差超1%,需重新检测,保障数据真实性。

4.3 管理创新

(1)建立检测数据云平台,操作人员现场录入数据后,平台实时存储并同步至建设、监理、施工单位,实现数据共享;平台自动生成检测报告与数据追溯台账,记录检测人员、设备、时间等信息,后续可通过点位编号快速查询原始数据,解决数据追溯难问题。(2)结合BIM技术构建道路模型,将灌砂法检测的压实度数据关联至模型对应位置,通过动态模拟分析不同路段、不同层位的压实度分布情况,直观呈现质量薄弱区域,为后续补压、整改提供精准指引^[5]。

4.4 替代技术探索

(1)无损检测技术可辅助灌砂法应用,地质雷达通过电磁波探测路基内部密实度,快速排查大范围区域的压实质量问题,再用灌砂法对异常区域精准检测,减少灌砂法检测点位;落锤式弯沉仪能通过弯沉值间接反映压实度,与灌砂法结果相互验证,提升检测可靠性。(2)探索机器学习算法的潜力,收集大量灌砂法检测数据(压实度、材料类型、碾压参数等),训练算法模型,可根据施工中的碾压遍数、压路机吨位等参数,预测压实度,提前判断是否需补压,减少无效检测,提升施工效率。

结束语

灌砂法在市政道路压实度检测中发挥着不可替代的重要作用,凭借自身独特优势成为广泛应用的方法之一。尽管在技术、操作和管理层面存在一些问题与挑战,但通过技术优化、规范操作强化、管理创新以及探索替代技术等针对性措施,能够有效提升其检测精度与效率。未来,随着检测技术的持续发展,灌砂法将不断完善,为市政道路建设提供更坚实的质量保障,助力城市交通基础设施高质量发展。

参考文献

- [1]李宝凤.灌砂法检测路基压实准确度的影响因素[J].门窗,2024,(11):148-150.
- [2]胡蓉.灌砂法在公路路基压实度检测中的应用[J].中国新技术新产品,2020,(18):94-95.
- [3]程莘.灌砂法在公路路基试验检测中的应用研究[J].技术与市场,2020,27(4):103-104.
- [4]刘秀.灌砂法在市政道路检测中的应用探讨[J].全面腐蚀控制,2025,39(05):60-62.
- [5]陈鑫.灌砂法在市政道路检测中的应用研究[J].四川建材,2023,49(11):14-17.