

基于灌砂法的市政路基压实度检测分析技术

文 / 周 宏 珠海市金湾区建设工程质量监测站

摘要: 随着我国市政工程建设规模的持续提升, 如何保证道路安全, 提高路面承载力逐渐成为技术人员的研究课题, 而路基压实度作为反映道路结构稳定性与耐久性的关键指标, 可通过精准检测, 为日后的道路改建提供参考依据。但传统的检测方法经常出现效率低、误差大等不足之处, 为解决此类问题, 本文将围绕基于灌砂法的市政路基压实度检测分析技术实现路径开展分析讨论, 深入阐述灌砂法检测原理, 提出其在市政路基压实度检测中的具体应用流程, 包括仪器标定、现场检测、数据处理等, 并结合技术要点提出一系列针对性的优化措施, 以此提升检测结果的有效性与准确性。

关键词: 置换原理; 灌砂法; 仪器标定; 路基压实度检测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.057

引言

市政路基压实度检测分析技术是指借助特定方法与设备, 实现路基施工完成后的土体压实度状态量化评估, 其主要目标在于测定路基土体干密度与最大干密度的比值, 以此反映路基压实水平是否满足设计标准。但要注意, 以往采用的环刀法等技术手段, 经常出现检测效率低、检测结果不具备代表性等问题, 为此, 文章提出可采用灌砂法, 并通过适当融合人工智能技术, 提高检测效率以及检测结果的精确性。

一、基于灌砂法的市政路基压实度检测原理

灌砂法的检测原理是指, 利用标准砂具有一定密度的特性, 将其灌入试坑, 此时砂的体积等于试坑的容积。之后测量试坑内挖出的路基材料质量 m 以及试坑容积 v , 并可计算出材料干密度 ρ , 再与材料最大干密度相比 ρ_{max} , 便可得到目标对象的压实度大小 K , 具体公式如下。

$$\rho = m/v \quad K = \frac{\rho}{\rho_{dmax}}$$

该方法之所以能够替代传统路基压实度检测方法, 其主要原因在于可依靠量砂置换试洞内材料的形式, 更加直观、全面地获取试洞体积, 有效避免其他间接测量可能产生的测量误差。且灌砂法操作便捷, 使用场景广泛, 每个检测环节都有明确量化数据, 检测结果可追溯性强, 不会占用较高的检测成本, 具有极高的推广价值。

二、基于灌砂法的市政路基压实度检测技术具体应用流程

(一) 前期准备工作

在检测开始前, 需要工作人员预先做好仪器设备的性能调试与精度校准, 并设计好维护方法, 为后续的检测作业提供有效支持。灌砂法检测所需的仪器类型主要包括: 灌砂筒、电子天平、标准砂、铝盒、直尺、开凿工具等。其中灌砂筒的校准目标在于, 确保其下口直径、高度等符合规范标准。电子天平则要实施零点校准, 确认其量程是否符合工程需要, 依靠标准砝码完成精度验证, 将其误差范围控制在 $\pm 0.01g$ 。至于标准砂, 则要

组织密度标定, 每隔 1 个月重新标定一次, 使其密度波动不超过 $\pm 0.025g/cm^3$ 。

之后要进行量砂标定作业, 考虑到量砂作为灌砂法检测的关键介质, 因此其密度准确性将直接决定检测结果的可靠性以及应用价值。在量砂标定阶段, 应将其装入灌砂筒, 并流入标准容器, 待容器被完全填满后。称取标准容器与量砂的总质量 m_1 , 倒出量砂后, 再次称取标准容器质量 m_2 , 则量砂质量 $m = m_1 - m_2$ 。再根据标准容器的容积 V , 计算量砂密度, 重复上述操作至少 5 次, 取平均值作为量砂的最终密度。

最后要做好检测点位布置, 保证检测结果能够客观、准确、全面地反映路基压实效果。要求工作人员严格遵守《城镇道路工程施工与质量验收规范》中提出的各项操作要求, 按每 1000 m^2 不少于 3 个检测点的形式进行布置, 并在路基边缘、中部、接头区域, 进行加密检测。至于填方路基, 应保证每填高 1m 完成一层压实度检测。同时检测点位可采用随机抽样 + 重点检测的方式, 在提高检测工作效率的基础上, 还能确保检测结果的典型性与代表性。

(二) 现场检测操作

1. 试洞开挖

在选定的检测点位, 应使用开凿工具, 沿垂直方向开挖试洞, 要求试洞直径与灌砂筒下口直径保持一致, 对于细粒土路基来说, 通常试洞深度需控制在 16 ~ 20cm 之间。而对于粗粒土路基, 则要适当增加试洞深度, 但不超过 30cm, 且需挖至下一层顶面。在开挖阶段, 需保持试洞壁垂直、光滑, 严禁产生任何松动。将开挖出的材料取出后, 集中放入铝盒或塑料袋中, 密封保存, 直至称重结束后, 记录试洞材料的总质量。

2. 灌砂操作

工作人员需将灌砂筒放置在试洞上方, 保持灌砂筒下口与试洞中心对齐。使量砂自由流入试洞, 直至量砂停止下流后, 关闭开关。称量剩余量砂以及灌砂筒的总质量 m_5 , 此时灌入试洞的量砂质量 $m_{砂}$ 可通过灌砂前灌砂筒和量砂的总质量与 m_5 的差值计算而来。在灌砂

阶段,需时刻保持灌砂筒内,量砂高度超过15cm,用以保持量砂的流动速度稳定,防止量砂高度过低,影响检测结果准确性^[1]。

3. 含水量测定

从试洞材料中选取代表性样品,基于烘干法,准确测定其含水量大小。在操作时,需将样品放入烘干好的铝盒内,记录铝盒以及样品的总质量 m_3 ,再放入烘干箱内,设置在110℃左右,将其烘干至恒重,取出后,放入干燥器中冷却至20~25℃,再次称取铝盒以及烘干后样品的总质量 m_4 ,此时样品含水量 w ,可采用下述公式进行计算。

$$w = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_{\text{铝盒}}}$$

除此之外,在含水量测定时,应采用平行试验,保证两次试验结果的差值不超过1%,之后,将平均值作为最终含水量。

(三) 数据处理与结果计算

数据处理与结果计算的主要目的在于,根据现场检测获取的数据信息,计算出路基压实度结果,具体内容可分为以下几点:试洞体积计算 $V_{\text{试洞}}$,需要根据灌入试

洞的量砂质量以及量砂密度,计算试洞体积大小。计算时,应保留三位有效数字,从而提高计算结果的精确性;已知试洞材料的总质量 $m_{\text{总}}$ 和含水量 w ,通过以下公式可计算试洞材料的干密度 ρ_d 。

$$\rho_d = \frac{m_{\text{总}}}{(1+w)V_{\text{试洞}}}$$

其中, $m_{\text{总}}$ 、 $V_{\text{试洞}}$ 需代入实际测量值,保证干密度能够充分反映路基材料压实后的密实水平;压实度计算,是指依靠试洞材料的干密度与借助室内标准击实试验获得的最大干密度的比值,计算路基压实度。其中室内标准击实试验的核心原理是利用模拟现场压实条件的方式,对土样施加不同击实功,从而确定土体被压实的极限状态。根据市政路基压实度验收标准发现,一般路基压实度应超过95%,而对于桥头、涵洞台背等特殊路段,则要保证压实度高于96%。若发现计算结果尚未满足设计要求,则应第一时间通知施工单位,采取补压处理,即:利用振动压路机+小型强夯机,基于分层补压的形式,针对弹簧土、松散坑洞进行定点夯击,直至土体密实,具体的检测内容如表1所示。

表1 检测内容

检测项目	允许误差范围	检测频率	检测方法
量砂密度	±0.025g/cm ³	1个月一次	容器标定
试洞直径	±2mm	每点检测	直尺测量
试洞深度	±1cm	每点检测	直尺测量
含水量	平行试验差值不超过1%	每点检测	烘干法
压实度	符合设计要求即可	每1000m ² 不少于3点	灌砂法计算

(四) 检测过程质量控制要点

在灌砂法检测环节,为确保检测结果具有研究价值、应用价值,还需对各环节进行严格的质量控制,具体内容包包括:试洞开挖质量控制,需要保证在试洞开挖阶段,尽可能防止对周围土体造成扰动,通过超前注浆加固以及超前锚杆,固化土体,提高其稳定性。而在开挖后则要避免量砂长时间暴露在空气当中,减少水分蒸发,防止杂物混入;量砂流动状态控制,灌砂时,需保持量砂的连续流动,不得出现间断问题。一旦量砂流动不畅,可能是灌砂筒下口被堵塞,需及时清理灌砂筒,必要时可更换相应量砂。同时,也要控制好灌砂筒内量砂高度,保证压力不均;数据记录与复核,需要工作人员认真记录试洞材料质量、量砂质量、含水量等,要求数据记录清晰、完整,不得涂改。在检测结束后,第一时间核对数据的真实性。若发现数据异常,则要探明原因重新检测^[2]。

三、基于灌砂法的市政路基压实度检测分析技术的优化措施

(一) 仪器设备优化

基于灌砂法的市政路基压实度检测分析技术所涉及的仪器设备种类繁多,设备的性能质量将直接决定检测

结果的准确性与可靠性。为此,在数字化时代背景下,项目单位需要积极迎合时代发展潮流,加强对先进技术与数字化设备的学习与使用,对传统的检测仪器设备进行升级与改造,使其满足现代市政工程检测需求。比如:研发智能化灌砂设备,是指在灌砂装置上搭载人工智能算法,并安装螺旋输送机、传感器、驱动系统、中转驱动电机以及多个中转夹持机构,以此实现上料、灌砂、下料等工序的全自动化作业,切实降低人工干预以及劳动强度。依靠深度学习算法+控制程序,精确调节灌砂量,确保每次灌砂量完全一致,也能结合不同产品规格,根据用户输入指令,调节灌砂速度等参数,具备极强的适用性。同时,该设备还能集成自动计量、数据采集等功能,基于传感器动态监测量砂流量与压力大小,记录灌砂时间以及量砂质量,通过与计算机系统连接,实现数据的实时传输、在线共享与自动处理分析;应用高精度检测仪器,项目单位需要积极采购高精度电子天平以及激光测距仪(其原理如图1所示),保证电子天平精度可达0.001g,而激光测距仪则主要用于快速测量试洞直径以及深度,能够将误差范围控制在±1mm以内,提升检测结果的可靠性^[3]。

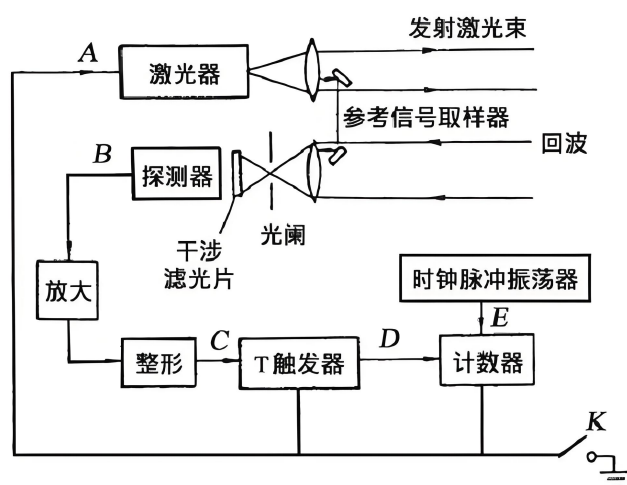


图 1 激光测距仪原理

（二）检测工艺优化

考虑到以往在测定含水量时，往往需要较长的烘干时间，导致检测效率缓慢。为解决此类问题，可采用快速含水量测定技术，比如常见的微波烘干法以及红外烘干法。前者是指基于微波热效应，将微波作用在物体，使物体中的极性分子随着微波的高频振荡，产生剧烈运动，通过分子间的摩擦与碰撞，促进物体升温，可在短时间内使样品水分迅速蒸发，将以往的测定时间缩短至10min左右。后者则是基于红外辐射加热样品，其优势在于加热均匀、速度快，含水量测定时间可缩短至15min以内。此类快速测定技术可在保证检测精度的基础上，显著提升检测效率；开发自动化数据处理系统，是指以数据识别、数据库、专家系统、云计算、神经网络，设计数据处理模块，该系统能够自动导入现场检测结果，根据内置的计算公式与原理，计算干密度与压实度大小，并生成检测报告。除此之外，系统还具备数据统计功能，绘制压实度分布曲线，直观展示路基压实质量水平。依靠数据预警功能，当压实度无法达到标准阈值时，自动发出警报，并提示相关人员及时处理^[4]。

（三）人员培训与管理优化

项目单位需要建立完善的检测人员培训机制，定期组织人员参加理论培训课程以及实操演练活动。在培训课程中，需要集中讲解灌砂法的检测原理、仪器设备操作要点以及质量控制措施，帮助检测人员熟练掌握灌砂法检测流程。利用邀请行业专家的方式，进行技术讲座，分享其宝贵经验，拓宽检测人员的专业视野，使其具备解决实际问题的能力。而在检测质量管理体系设置方面，则要进一步明确人员的岗位职责、工作任务，规范其操作行为。结合检测数据审核制度，推行检测人员自检、项目负责人复检的检测体系，确保检测数据真实、完整、准确、可靠。搭配检测质量追溯制度，对检测环节存在

的质量问题，追溯具体责任人，帮助相关人员树立良好的质量意识以及责任意识。

最后同样要引入信息化管理手段、智慧化程序，开发质量管理平台、信息管理系统。促进检测任务分配、审核流程、报告生成等环节的动态管理。由管理人员在系统内录入人员的工作资质、个人能力水平、擅长领域，在分析其工作负荷等情况后，自动分配检测任务。并通过系统的风险识别模块、图像分析模块，实时监控数据录入，对异常数据进行预警提示。同时，系统本身也要自动记录审核意见以及修改痕迹，通过提取审核结果，生成相应报表以及检测报告。结合完善的质量奖惩机制，对于工作人员进行定期考核，对于检测成果优秀的人员给予适当奖励，将其作为模范代表，调动人员的工作积极性与主动性，而对于考核成绩不佳，或是存在违反制度、造成检测质量问题的人员，则要予以相应处罚。

（四）多技术协同优化

项目单位需要认识到单一的灌砂法在面对复杂工况时，难以避免地会存在一定局限性，若想解决此类问题，可依靠多技术协同应用的形式，提升检测的全面性。比如：将灌砂法与无核密度仪有机融合，其中无核密度仪简单来说，便是利用电磁波原理，快速、无损探测路基表面及浅层的密度信息。在市政路基压实度检测前期，对大面积路基进行快速初筛，标记疑似压实度不足的位置。之后集中使用灌砂法实现精准检测，以此缩短检测时间，降低资源使用，在保证检测精度的同时，减少不必要的检测工作^[5]。

结语

综上所述，通过对基于灌砂法的市政路基压实度检测分析技术应用路径开展分析讨论，包括检测点布置、试洞开挖、灌砂、含水量测定、数据处理、质量控制。并提出开发智能化灌砂装置、引入高精度检测仪器、部署数据集成处理平台等方法，进一步提高市政路基压实度检测效果。在准确评估路基施工质量的同时，也能为后续道路结构优化提供参考依据。

参考文献

- [1] 林挺. 公路原有路基检测与评价方法研究 [J]. 江西建材, 2024, (10): 82-84.
- [2] 卢丽艳. 路基施工中压实度和承载能力的检测评定 [J]. 交通世界, 2024, (18): 59-61.
- [3] 程勇刚, 刘志楠. 高速公路路基压实质量快速检测研究 [J]. 山西建筑, 2024, 50(03): 132-134.
- [4] 王亚晓, 王来硕. 核子密度仪法与灌砂法检测路基压实度的相关性分析 [J]. 公路与汽运, 2022, (06): 68-70+74.
- [5] 陈康军, 徐有为. 路基压实度灌砂法自动检测设备的设计与关键技术 [J]. 湖南交通科技, 2022, 48(01): 31-33+59.