

路基压实度试验检测方法优化研究

苟 樾

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300)

摘 要 路基压实质量直接影响到公路工程的整体稳定性及使用寿命, 压实度是反映路基压实质量的重要指标, 压实度试验检测结果的准确性、可靠性十分重要。目前常用的路基压实度试验检测方法存在着操作烦琐、效率低、检测精度不够等缺陷, 不能满足现代公路工程高质量、快速施工的要求。本文以实际公路工程为依托, 对现有的路基压实度试验检测方法的应用现状及存在的问题进行系统的分析, 并提出相应的改进措施, 通过试验验证优化方法的可行性与优越性, 提高路基压实度检测的精度、效率和适用性, 旨在为公路路基施工质量控制提供参考。

关键词 路基压实度; 试验检测; 环刀法; 灌砂法; 压实质量

中图分类号: U416.06

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.014

0 引言

公路路基是公路工程的核心基础承载结构, 既要承受上部路面传递而来的车辆荷载, 同时承担自身结构重量。路基压实质量不够会造成公路运行过程中出现下沉、开裂、车辙等病害, 不但会破坏公路的通行能力, 还会对公路的使用寿命造成影响, 甚至引发交通安全事故^[1]。路基压实度指的是路基土在压实之后达到的干密度与该土最大干密度之比, 是评价路基压实质量好坏的重要指标^[2]。目前国内外常用检测方法有环刀法、灌砂法、核子密度仪法、贝克曼梁法等, 这些方法各有优劣, 但是都存在操作复杂、周期长、精度不稳定、成本高或者适用范围小等问题。随着公路工程由低级向高级、大跨度、规模化发展, 传统的检测方法已经不能满足要求, 对其进行优化研究有重大的理论意义和工程实践价值。

1 工程概况

本文依托某高速公路工程项目, 起讫桩号为K0+000~K25+600, 线路全长 25.6 km, 设计等级为双向四车道高速公路, 设计行车速度 100 km/h。该项目路基宽度 26 m, 其中行车道宽度 2×7.5 m, 硬路肩宽度 2×3.5 m, 土路肩宽度 2×0.75 m。

项目所在区域属于温带季风气候, 四季分明, 年平均气温 12.5 ℃, 平均年降水量 680 mm, 降水主要集中在 7-8 月份。本项目路基施工采用重型压实标准, 设计压实度要求如下:

路基顶面以下 0~80 cm 范围内压实度不小于 96%, 80~150 cm 范围内压实度不小于 94%, 150 cm 以下范

围内压实度不小于 93%。在施工过程中, 需对路基各分层压实质量进行全程试验检测, 及时发现压实不足的区域并进行补压处理, 确保路基压实质量符合设计要求。

该项目施工工期紧、任务重, 传统的压实度检测方法检测效率低, 不能满足施工进度要求, 部分检测方法检测精度不稳定, 多次出现检测结果与实际压实质量不符的情况。因此, 亟须对现有的路基压实度试验检测方法进行改进, 提高检测的效率和精度, 保证工程的质量和进度。

2 现有路基压实度试验检测方法应用分析

2.1 环刀法

环刀法是路基压实度检测中使用最广泛的一种方法, 它的基本原理是用环刀切取路基土样, 测定土样的湿密度和含水量, 求得干密度, 再与最大干密度比较来得到压实度。该方法所用设备简单, 主要为环刀、天平、烘箱、刮刀等, 设备成本低, 操作方便, 适合于细粒土路基压实度检测。本工程前期施工中环刀法主要用在路基下路床、上路堤的压实度检测上, 检测频率为每 200 m 每压实层检测 3 点。但是实际使用中发现, 环刀法有明显的缺点。取样时人为操作使土样受到扰动, 造成土样结构破坏, 影响检测精度。取样深度不能准确控制, 一般会与实际压实层厚度有偏差, 造成检测结果失真^[3]。

2.2 灌砂法

灌砂法属于精度较高、应用广泛的压实度检测手段, 可对各种土路基及砂石路基的压实度实施检测, 特别适合于粗粒土与巨粒土路基。其原理是开挖路基

作者简介: 苟樾 (1993-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路与桥梁。

压实层一定体积的试坑,用标准砂均匀灌入试坑,测得灌入砂的体积即为试坑体积,测得试坑中挖出的土样质量及含水量,求出干密度和压实度。该方法所用设备有灌砂筒、标准砂、天平、铁锹等,在本工程中主要用来检测路基顶面及上路床的压实度,检测频率为每 200 m 每压实层检测 4 点。灌砂法的优点是检测精度高、受人为操作影响小,但是也有许多缺点。操作流程繁杂,开挖试坑要耗费大量的人力和时间,每一个检测点需要 40~50 min,检测效率很低。标准砂标定过程复杂,标定不准确会造成试坑体积测量精度下降,从而造成压实度计算误差。

2.3 核子密实度仪法

核子密实度仪法是一种快速检测方法,其原理是利用放射性元素发射的射线穿透路基土层,通过测量射线的衰减程度来确定路基土的密度和含水量,进而计算出压实度。该方法所需设备为核子密实度仪,操作便捷,检测速度快,每检测一个点仅需要 5~10 min,适用于大面积快速检测,在本工程中主要用于路基压实质量的快速筛查。核子密实度仪法的优势是检测效率高,能够快速获取检测结果,便于及时发现压实不足的区域。但该方法也存在明显弊端:设备成本高,一台核子密实度仪价格在 10 万元以上,增加了工程检测成本;设备存在放射性,对检测人员的身体健康有一定危害,需要检测人员佩戴防护装备,且设备需要定期进行校准,校准成本较高。

2.4 贝克曼梁法

贝克曼梁法主要用于检测路基的回弹模量,间接反映路基压实质量,其原理是通过在路基表面施加一定的荷载,测量路基的回弹变形,根据回弹变形计算出回弹模量,进而判断路基压实度是否满足要求。该方法所需设备包括贝克曼梁、百分表、荷载装置等,在本工程中主要用于路基压实质量的辅助检测,与其他检测方法配合使用。贝克曼梁法的优势是能够间接反映路基的承载能力,检测结果与路基实际使用性能相关性较强。但该方法存在检测效率低、操作复杂等问题,每检测一个点需要消耗 1 h 左右,且检测结果受荷载大小、加载速度、检测人员操作技能等因素影响较大,检测精度稳定性差。

3 路基压实度试验检测方法优化方案

3.1 环刀法优化

针对环刀法取样扰动大、检测精度低、检测速度慢的问题,从取样工具、操作流程和数据处理三个方面进行优化。取样工具优化方面,将传统的普通环刀

替换为特制的螺纹环刀,螺纹环刀内壁设置细密螺纹,能够减少取样过程中土样与环刀内壁的摩擦,降低土样扰动,同时螺纹结构能够增强环刀与土样的结合力,避免土样脱落。螺纹环刀的直径改为 120 mm,高度改为 180 mm,增大土样体积,减少检测误差^[4]。操作流程优化方面,取样前先对路基表面进行清理,去除浮土和杂物,采用水平仪确保取样面平整。取样时将螺纹环刀垂直按压入土中,避免倾斜,按压速度均匀,直至环刀完全进入土中,再用刮刀将环刀表面多余的土样刮平,确保土样饱满。取样后立即将环刀两端用保鲜膜密封,防止土样水分流失,影响含水量测量精度。数据处理优化方面,采用加权平均法计算土样含水量,选取环刀不同部位的土样进行含水量检测,每个土样检测 3 次,取加权平均值作为最终含水量,减少单一检测点的误差。同时,建立环刀法检测误差修正模型,根据路基填料类型和含水量,对检测结果进行修正,提升检测精度。

3.2 灌砂法优化

针对灌砂法操作烦琐、检测效率低、标准砂标定复杂的问题,从试坑开挖、标准砂标定和操作流程三个方面开展优化。试坑开挖优化采用特制开挖器替代铁锹,其直径与灌砂筒保持一致,确保试坑形状规则、上下口径统一。开挖深度依据路基压实层厚度确定,开挖中及时清理坑内残留土样,并用深度尺实时监测,保障开挖深度精准,减少体积测量误差。标准砂标定优化先采用烘干法将标准砂烘干至恒重,去除水分以保证密度均匀。标定选取不同体积容器,将标准砂均匀灌入后测量质量与体积,计算堆积密度,每个容器标定 5 次取平均值,同时建立堆积密度与环境温度的关联模型,根据检测温度修正参数,提升测量精度。在操作流程上,将灌砂筒与漏斗一体化设计,减少标准砂洒落,提高灌砂效率。灌砂时调整筒身高度,使下口与试坑上口平齐,待标准砂不再下沉后关闭阀门,测量剩余砂质量并计算试坑体积。同时采用精度 0.1 g 的电子天平替代传统机械天平,进一步降低质量测量误差,全面提升灌砂法的检测效率与精度。

3.3 核子密实度仪法优化

针对核子密实度仪法设备成本高、有辐射、检测精度受影响因素多的问题,从设备校准、检测参数和辅助修正三个方面开展优化。在设备校准优化中,将传统每半年一次的校准周期缩短至每三个月,确保设备检测精度稳定。校准选用已知干密度和含水量的标准土样,多次检测并调整参数,使结果与标准值一致;同时增加校准点,选取不同含水量、不同颗粒级配的

标准土样,扩大校准范围,提升设备对各类路基土的适应性。检测参数优化结合路基填料类型和压实层厚度,细粒土路基检测深度调整为 10~20 cm、射线强度设为中档,粗粒土路基调整为 20~30 cm、射线强度设为高档;同时将单次检测时间从 5 min 缩短至 3 min,在保障精度的前提下提升效率。在辅助修正方面,建立检测结果修正模型,检测时同步测量路基土含水量和颗粒级配,结合参数通过模型调整压实度结果,有效减少检测误差^[5]。

3.4 综合检测方法优化

单一检测方法各有缺陷,无法全面兼顾路基压实度检测的精度与效率,因此结合各类方法优势,提出综合检测方法优化方案,实现互补使用。综合优化的核心是根据路基不同施工阶段和部位,选用适配方法并明确检测频率与标准。在路基施工中,采用核子密实度仪法快速筛查,每 100 m 每压实层检测 3 点,及时发现压实不足区域并补压;补压后用灌砂法精准检测,每 200 m 每压实层检测 4 点,保障压实度达标。细粒土路基采用优化后环刀法辅助检测,与灌砂法结果对比验证精度;路基顶面等关键部位,采用灌砂法与核子密实度仪法联合检测,取平均值提升结果可靠性。同时建立综合检测数据管理系统,统一管理分析数据、排查异常;明确检测人员岗位职责,加强技能培训,规范操作流程,减少人为误差,全面提升检测质量与适用性,适配工程施工需求。

4 优化方法试验验证

4.1 试验准备

试验依托某高速公路路基施工工程,选取 K5+000~K5+200 路段作为试验段,该路段路基填料为粉质黏土,压实层厚度为 20 cm,设计压实度为 96%。试验前,对试验段路基进行平整压实,确保路基表面平整,无浮土杂物,压实度初步达到设计要求。试验所需设备包括优化后的螺纹环刀、灌砂筒、核子密实度仪、贝克曼梁、电子天平、烘箱等,所有设备均经过校准,确保设备性能良好,检测精度符合要求。试验人员共 6 名,均经过专业技能培训,熟练掌握优化后的检测方法和操作流程,能够规范完成检测工作。试验前,制定详细的试验方案,明确试验目的、试验步骤、检测频率和数据处理方法,确保试验工作有序开展。同时,准备试验所需的标准砂、保鲜膜、深度尺、水平仪等辅助材料,标准砂经过烘干处理,确保堆积密度均匀。

4.2 试验结果与分析

试验选取试验段不同检测点,分别采用传统与优化后检测方法,对比分析检测精度、效率及适用性,

具体数据如表 1 所示。由表 1 可知,优化后各类检测方法的平均压实度均提升,标准差减小,检测精度显著提高;单点位检测时间大幅缩短,效率提升明显。其中核子密实度仪法效率提升最显著,灌砂法精度优化效果突出。综合来看,优化后的检测方法操作便捷、结果稳定,适用性更强,能够满足现代公路路基压实质量检测需求,可应用于实际工程。

表 1 不同检测方法精度及效率对比表

检测方法	平均压实度 (%)	标准差 (%)	单点位检测时间 (min)
传统环刀法	95.2	1.3	32
优化环刀法	95.8	0.8	20
传统灌砂法	95.5	1.1	45
优化灌砂法	96.1	0.6	28

5 结束语

路基压实度试验检测是公路路基施工质量把控的重要部分,检测手段是否科学合理直接关系到检测成果是否精确可靠,进而对公路工程整体质量及寿命产生影响。本文以实际公路工程为例,对目前路基压实度试验检测方法应用现状及存在的问题进行系统的分析,并对环刀法、灌砂法、核子密实度仪法、贝克曼梁法四种常用检测方法的优缺点进行分析,提出相应的优化措施,建立综合检测方法互相补充的检测体系,提高检测精度和检测效率。试验结果表明,优化后的试验方法可以克服传统试验方法的诸多缺点,操作简便、成本低廉、结果可靠,可以广泛应用于公路路基压实度检测。未来可以结合不同的填料以及施工环境,对压实度检测方法进行优化,完善压实度检测标准,加强智能化检测技术的应用,使压实度检测技术不断发展。

参考文献:

- [1] 肖崇禹.路基压实度快速检测方法现场对比试验[J].时代汽车,2026(02):187-189.
- [2] 罗永升.灌砂法在公路路基压实度试验检测中的应用[J].产品可靠性报告,2025(08):201-202.
- [3] 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.
- [4] 朱明开,张紫薇.公路工程试验检测常见问题及解决办法[N].科学导报,2025-05-08(B03).
- [5] 邓亚萍.公路路基压实度试验检测要点[J].运输经理世界,2024(22):59-61.