

沥青路面压实度检测技术与质量控制研究

严佐庆

新疆北新科技创新咨询有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]压实度是沥青路面质量评估的重要参数, 关乎道路服务水平和寿命长短, 目前常用的沥青路面压实度测试方式有钻孔取芯法、灌砂法、核子密度计、无损密度计、智能碾压及地质雷达等, 不同的技术在测试原理、精密度、测试速度以及适用场合方面有着很大的区别。压实度是衡量沥青路面质量优劣的一个重要指标, 在公路工程的质量检测中沥青路面的质量检测中重要的一个环节就是压实度, 在沥青路面上如果出现压实度过低的情况那么将会导致整个沥青路面的使用寿命大大下降, 严重时还可能会引起交通事故的发生, 在实际检测过程中存在着数据波动幅度大、测试仪器不够精确以及外界影响较大等问题。对于以上问题, 在原材料控制、配合比调整、温度及碾压工艺控制、过程监控以及信息化管理等方面制定全面的质量管控措施, 以提高沥青路面压实度检测准确率及施工质量的可靠性。

[关键词]沥青路面; 压实度; 质量控制; 检测技术

DOI: 10.33142/ec.v9i5.19637

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Research on Compaction Testing Technology and Quality Control of Asphalt Pavement

YAN Zuoqing

Xinjiang Beixin Science and Technology Innovation Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Compaction degree is an important parameter for evaluating the quality of asphalt pavement, which is related to the service level and service life of the road. Currently, commonly used methods for testing the compaction degree of asphalt pavement include drilling core method, sand filling method, nuclear density meter, non-destructive density meter, intelligent rolling and geological radar, etc. Different technologies have significant differences in testing principles, precision, testing speed, and applicable scenarios. Compaction degree is an important indicator for measuring the quality of asphalt pavement. In the quality inspection of highway engineering, compaction degree is an important link in the quality inspection of asphalt pavement. If the compaction degree is too low on the asphalt pavement, it will greatly reduce the service life of the entire asphalt pavement and may even cause traffic accidents. In the actual inspection process, there are problems such as large data fluctuations, inaccurate testing instruments, and significant external influences. For the above issues, comprehensive quality control measures should be formulated in terms of raw material control, mix proportion adjustment, temperature and rolling process control, process monitoring, and information management to improve the accuracy of asphalt pavement compaction detection and the reliability of construction quality.

Keywords: asphalt pavement; compaction degree; quality control; detection technology

引言

沥青路面施工质量直接影响道路使用寿命以及行车安全, 压实度是衡量密实标准的关键参数, 它的好坏决定了道路寿命长短。目前常用的钻芯取样法、灌砂法较为精确但却具有破坏性以及耗时较长等问题, 无法应对大批量快速检测需求。无损检测技术的出现给压实度的快速评判带来了全新契机, 核子密度仪、无核密度仪、智能压实系统以及探地雷达等等一系列相关技术纷纷被用在实际工

程项目当中, 但是它们的应用范围、测量的准确性和可靠性的验证依然是工程界所关心的问题所在。压实度检测不是竣工后的检验方式, 而是应该作为施工过程中的一项质量监控措施, 做到由结果判断到过程把控的转变。对沥青路面对比强度测试方法进行综合考察, 对比各种测试方法的优点缺点以及适用范围等, 找出测试过程中存在的普遍性问题并给出相应的解决措施建议, 希望能给道路工程的设计施工提供技术支持。

1 沥青路面压实度检测概述

1.1 压实度的定义与技术标准

压实度指的就是沥青路面上经过碾压之后所形成的密度大小,在工程上习惯用施工现场实测密度与室内标准密度之比来表示,以百分数的形式表示。它是评价沥青混合料碾压好坏的关键指标,直观地反映了路面结构的紧密度以及其承载能力。根据《公路沥青路面施工技术规范》的要求,高速公路及一级公路沥青面层的压实度应满足 $\geq 96\% \sim 98\%$ 的标准,数值选取要看实际情况。压实度的技术含义包含了两个方面,一方面是对密度指标的测试,另一方面是对于标准密度的确认方式。施工现场密度的获得方式较多,但对标准密度的选择往往以马歇尔试件密度,最大理论密度或者试验段密度为依据。不同的标准密度选择方式会改变压实度的结果数量大小,在建设过程中要确定基数密度的种类来防止由于标准的不同造成质量上的误判。

1.2 压实度对路面服役性能的影响

压实度与沥青混凝土面层的工作性能有着紧密的关系,在压实度不够的情况下,混合料中的空隙率加大,使得水分容易进入到结构层当中,从而造成水损伤以及剥落等问题的发生。而压实度较低的沥青混凝土面层,在车辆行驶的过程中也很容易出现车辙现象,对行车的舒适性和安全性带来不利的影响。压实是高速公路沥青混凝土路面施工的一个重要组成部分,其压实情况好坏关系到整个面层的质量水平。如果过高的压实会导致沥青混合料里面的骨料发生坍塌,出现沥青膜开裂的情况,减少了该路段的抗弯能力。从力学性能的角度上看,提高沥青混合料的压实度可以增加沥青混合料的抗剪强度和抗压缩弹性模量,从而使路面结构可以有效的传递车辆带来的负荷。另外,压实度较高的路基可以降低沥青老化速度,增加路基服务年限。因此,对压实度的有效把控对提升沥青路面长期使用的质量产生着至关重要的影响。

2 沥青路面压实度检测核心技术

2.1 钻芯取样与灌砂法检测技术

钻芯取芯法是传统的沥青路面压实度检测方法,被用作检验其他检测手段正确与否的标准。它通过对路面钻取芯样,把芯样拿到实验室里测量它的毛体积密度并与标准密度相比较得出压实度;优点是精确度高、真实可靠,缺点是破坏路面结构以及修缮费较高等。钻芯取芯一般作为验收试验或者无损检测仪的参考依据。而灌砂法主要用于检测路基及基层的压实度,在现场挖出一个试洞,用量砂代替称重的方法测出试坑容积,最后得出材料的湿密度以及干密度。此法简单方便,但是容易受到人为误差的影

响。灌砂筒以及标定罐标定是否正确会影响压实度,标定罐深度每次减少 2.5cm,砂密度下降 3%左右,在现场试验过程中,试洞深度需要和测定层厚度相同,从而使得试验的结果可以准确地反映这一层的实际压实情况。再者,量砂级配、干净程度、砂面的高度等都会造成检测误差,应当严格按照规定执行。

2.2 核子密度仪与无核密度仪检测技术

核子密度仪基于放射性同位素释放 γ 射线对物质衰减的情况来确定密度大小,射线穿过待检物体时,强度随物体密度增大而降低,由探测到的透射或散射光线强度可计算出密度数值。核子密度仪反应迅速、无需损毁道路,但是辐射安全性差,仪器维护条件苛刻,测量结果还受到材料化学属性干扰,须定期进行标准标定。无核密度仪以电磁波形式测得沥青混合物介电参数并据此估算密度大小。相比于核子仪器来说安全性更强一些,使用也更加方便。无核密度仪在平整的沥青路上测试精确度远高于有巨大粗颗粒的表面层,需要针对不同测试环境和测试状况进行适当的校正,使得测得的偏差不超过 2%。该仪器应用于沥青路面施工过程中及时测量具有较好的适应性,可以迅速得到密实度数值,方便调整施工参数,但是混合料种类、气温、湿度、矿质组成的变化都会影响到其测定值,需要根据施工现场的具体情况来加以修正。

2.3 智能压实与探地雷达检测技术

智能化压实检测技术采用在压路机上安装的加速度计检测振动轮压入被压实路面时产生振动的信号,经过对信号频谱进行分析获取了与压实度有关的关键指标。运用振动频谱分析法建立用振动加速度预测压实度模型,可以克服目前道路压实度抽检样品代表性不足的问题,解决了质量评价滞后以及人工检测带来的误差较大等问题。智能化压实系统的应用可以做到全程实时监控,以图示形式展示出压实度空间变化情况,帮助管理人员更好地掌握碾压遍数、把握薄弱地段。该技术的应用让传统的经验化管理模式逐渐过渡到数据化精准管控上来。探地雷达探测方法运用高频电磁波在路基材料不同层次间的传输情况得出电参数,再据此构建电介电参数与密实度关系模型。沥青混凝土的电特性取决于它的构成材料体积比例、雷达波长以及路表温度等参数,在此基础之上设置组合式电介电模型就可以估算出沥青混凝土的压实程度。探地雷达可以在短时间内得到连续断面的密度变化情况,适合大面积区域进行压实检测。但是混合料含水量的变化会影响到电介电测量的精确度,而且该模型适用范围还不十分广泛是目前的研究难点所在。

表 1 各类沥青路面压实度检测技术对比

检测技术	检测原理	是否破损	检测速度	精度水平	适用场景	主要局限
钻芯取样	直接测定密度	破损	慢	高(标准方法)	验收检测、设备标定	破坏路面、修复费用高
灌砂法	置换称重	破损	较慢	较高	路基、基层检测	操作繁琐、人为因素影响大
核子密度仪	γ射线衰减	无损	快	较高	快速抽检	辐射安全隐患、需持证操作
无核密度仪	电磁场技术	无损	快	中等	过程抽检、快速评估	受材料介电特性影响、需标定
智能压实	振动反馈分析	无损	实时连续	趋势性	施工过程全程监测	需与芯样标定、不直接输出密度
探地雷达	电磁波反射	无损	快	趋势性	结构层均匀性评价	介电模型适用性受限、需专业解译

2.4 各类检测技术对比分析

由表 1 可知各种检测手段之间具有一定的互补作用。钻芯法、灌砂法精度高但耗时长、破坏性强适合用于验收阶段及对设备进行校准；核子法、无核法快速方便快捷但是核子法存在着放射性的危害因素，无核法则受介质属性的影响都需要现场校准；智能化压实能够实现动态监控及实时显示，并解决了点检法的局限性，但由于其输出结果是相对值，还需用钻芯法作为标准进行修正；而探地雷达适合大面积均匀性的检查，检测精度受到介质模型及测试人员水平的影响，只凭借一种方法很难满足不同的要求，所以在实际使用过程中应该依据检测目标和工程状况来制定综合多种方法的技术组合方式。

3 沥青路面压实度检测常见问题

3.1 检测数据离散性与设备精度问题

压实度检测数值分散现象也是工程建设过程中经常遇到的现象。一方面，沥青混合料本身是非均质材料，在空间上的密度是一定存在差异的，加上集料分离以及温度场分布不均等施工原因会使这一差异进一步扩大；另一方面，检测仪器自身的系统误差以及偶然误差也会造成数值波动较大。就检测仪器而言，检测仪器的工作原理决定其理论最高精度，而仪器的校准情况、使用期限及其维护保养状况也影响实际测得数值精度大小。在路段段和桥面段滚轮密度仪与芯样的测定值有所偏差，但是总体偏差不大于 3%。但是，3%的误差已经是非常大的了，在压实度合格标准的边缘已经可以被当作是一个很大的误差值来对待，需要进行合理的校准以及数据调整来弥补。

3.2 环境因素与施工工艺的干扰

环境因素会对压实度检测造成很大的影响。沥青混合料很怕温度的变化，一旦温度发生改变就会影响到混合料可压实性和压实后的密实程度，采样过程中气温、路表温度也会使无核密度仪、探地雷达等设备产生误差，还有，湿度条件下的灌砂法以及电磁类检测设备会产生诸如量

砂结块、电磁波衰减的现象，在含水状态下测得的介电常数比较大，从而影响到压实密度的估算。另外施工过程中摊铺机摊铺速率，压路机组合方式，碾压遍数、振动频率振幅等选择都会影响压实质量的均匀性，使得检测的结果具有不确定性。

4 沥青路面压实度质量控制策略

4.1 原材料与配合比控制

材料质量是沥青路面压实度的基础前提，沥青结合料的粘度、针入度及软化点等方面影响着混合料的压实可能性，矿质材料的粒径大小、形状以及棱角性均会影响其骨架结构的形成。要完善严格的材料进厂验收检测流程，保证各项指标达到规范标准，配合比的选择既要考虑其压实性能也要兼顾它的使用性能，采用马歇尔或者旋转压实试验来找出最优的油石比，在试验中要观察混合料不同的压实功能下密实程度，配合比的施工适用性能也需要经过试验路段来论证，如需要可对现场情况进行适当微调。

4.2 摊铺温度与碾压工艺优化

温度是决定沥青混合料压实质量的重要因素之一。摊铺温度偏低会使混合料粘度增大，不易经碾压达到良好的压实度，而温度过高又会引起沥青老化或者产生推挤现象。必须把好拌和、运输、摊铺、碾压这一系列工序中的温度关，结合不同的混合料种类，以及气候环境和运距来制定温度指标。碾压方法的选择主要是指压路机制作的选择及组合形式以及碾压速率以及碾压次数的选择，从压实机械的选择及布置、压实工艺参数的设定、压实实施的技术管理这三个方面着手，对压实机械的选取以及布置，压实工艺参数的设置还有碾压温度范围以及碾压路线的选择等提出具体的改进措施。应建立碾压作业指导书，明确各阶段的施工要点与质量控制要求。

4.3 压实过程动态监测与数据管理

压实过程的动态监控是进行精确质量管理的技术前

提。智能化压实设备的应用使得现场施工人员可以随时把握到压实度的分布状况以及发展态势。从实际施工情况来看智能化压实设备用于管控管理压实过程的效果是比较好的,可以保证高速公路路面对于沥青层的压实效果。动态监控数据需要纳入一个共同的信息化管理系统中来建设一个压实度数据库从而完成对数据存储、寻找以及剖析的功能。经过对动态监控数据的归纳汇总,找出压实不够的地方,进行相应的补压工作,比较动态监控数据与工程竣工之后的验收试验数据之间的差异,来改善试验方法以及评估准则。

4.4 信息化与智能化质量控制应用

信息化和智能化新技术的发展给沥青路面前场压实施工的品质监管带来新的技术手段和途径,通过以物联网为基础的施工质量监测系统可以做到从拌和楼到摊铺环节的全程信息采集和传递,形成完整的追溯体系,利用三维激光扫描技术可以对压实过程进行可视化控制,通过数字式采集设备和计算方式来给出沥青路面前场压实质量和管理的数字标准,同时大数据技术和机器学习的使用让前场压实度预测模型更加准确可靠,可以从历史数据分析出影响压实效果的主要因素以及这些因素的影响程度等。将来,智能化压实设备及无人驾驶压路机技术的结合会使沥青路面工程向着自动化与智能化的趋势不断发展。

5 结语

沥青路面压实度检测技术和质量管理是一项集材料科学、机械、检测技术以及管理于一体的综合性课题。就检测技术的发展趋势而言,无损、连续、智能是未来发展的必然趋势。目前不同的检测方法之间各有千秋,应该针对具体工程项目来加以选择并且配合适当的标定校正工作。压实度的质量管理应当基于全寿命周期的质量管理模式开展,围绕原材料、配合比、施工工艺和过程控制等方面制定一整套有效的质量管理体系。信息技术和智能检测技术的应用为压实质量控制带来了新的方式,可以预期未来会改善沥青路面施工质量的稳定性和可靠性。后续研究可以在多模态技术集成应用、检测准确性增强等方面继续探索,在智能判别模型的研究方面也可以进一步努力。

[参考文献]

- [1]李多玉.沥青路面压实度无损检测技术探讨[J].科技创新,2024(15):111-114.
- [2]张祥,康新胜.高速公路沥青路面智能压实系统应用探讨[J].中国公路,2024(8):117-119.
- [3]邓明超,曲大海.滚轮密度仪在沥青路面压实度检测中的应用研究[J].广东公路交通,2024,50(6):1-5.

作者简介:严佐庆(1986—),毕业于西北农业科技大学土木工程专业,中级工程师,现就职于新疆北新科技创新咨询有限公司。