

无核密度仪测量方法与测量精度研究

王江生¹, 郑宗利², 边庆华², 兰海¹

(1.长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2.甘肃省路桥建设集团有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 采用无核密度仪检测沥青路面压实度是施工质量控制的重要手段,若检测结果与路面实际压实度存在较大误差,将影响成型路面质量。为提高无核密度仪的测量精度,将无核密度仪测量方法分为相切法和相交法,比较 9 种测量方法测量结果的离散性。结果表明,测量圆小于 3 个时,相交法和相切法测量精度无明显差别;测量圆为 3 个及以上时,相交法测量误差降低幅度较大,测量精度明显提高;运用无核密度仪进行压实度测量时应采用相交法,且测量圆不少于 3 个;对仪器进行标定时,测量圆不少于 4 个。

关键词: 公路;无核密度仪;压实度;测量精度;测量方法

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0041-04

压实度是路面质量控制的重要指标之一,直接影响路面强度和使用寿命,在施工中和施工完成后都需进行压实度检测。现有路面压实度检测方法主要有钻芯取样法、核子密度仪法和无核密度仪法等。施工现场常采用钻芯取样法,该方法为一种微观损伤检测方法,其操作简单,但会对路面造成一定损坏,且检测周期较长,效率较低。无核及核子密度仪具有无损、实时检测、测量周期短和效率高等优点,但核子密度仪存在核辐射危险,需要专业人员操控,存在使用局限性。无核密度仪通过发射电磁波检测路面压实度,人力成本低且对人体无害,因而在压实度检测中具有良好的应用前景。但检测中许多因素影响其测量精度,如果测量方法不当,会导致测量结果出现较大误差。该文通过对不同测量方法在同一测点压实度测量结果的比较,确定无核密度仪合理的测量方法。

1 试验仪器及试验方案

1.1 试验仪器及其标定

试验采用 Trans-Tech 公司第三代无核密度仪 PQI380,其性能参数见表1。该仪器是最新一代

表 1 无核密度仪 PQI380 的性能参数

项目	参数值
测量直径/mm	27.9
测量深度/mm	25~100
测量温度/℃	-17.7~177.6
测量时间/(s·次 ⁻¹)	5

沥青路面密度测试仪,测量沥青面层时可同步测量面层温度和相对水分含量。

无核密度仪通过发射电磁波测量材料的介电常数,沥青混合料的介电常数与材料本身性质(如密度)有良好相关性,利用该特性将检测信号转化为电信号,通过相应算法得出混合料的密度。如图 1 所示,无核密度仪的感应盘由发射器、隔离环和接收器组成,工作时,感应盘中心位置发射器向下发出环形电磁波,电磁波穿过被测材料后由接收器接收。电磁波在穿过被测材料的过程中会损耗部分能量,损耗能量大小取决于材料的介电常数。无核密度仪通过一个环形电子电容感应场测定材料阻抗性,利用特定公式推导被测材料的介电常数,最后将检测电信号发送至微处理器,经过相应处理,得到密度、压实度、温度等。

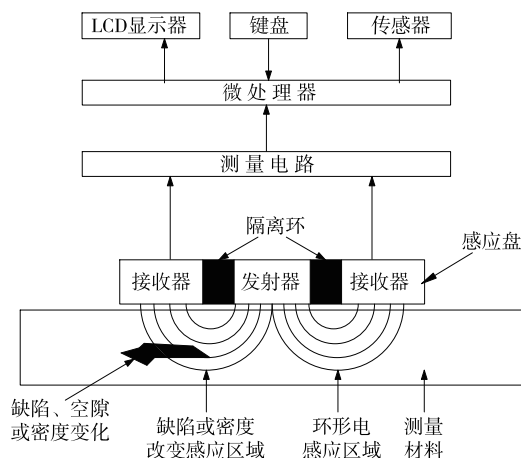


图 1 无核密度仪的工作原理

无核密度仪使用前需经过严格标定。现场标定通常采用偏差补偿法。方法如下:在平整度好、无污染的路段选取5个测点分别用无核密度仪、钻芯取样法测出各点的电磁密度和实验室密度,得到偏差补偿值。

无核密度仪测点密度测量方法主要有两种,分别为 Troxler Electronics lab 公司推荐的测量方法(见图3)和 Trans-Tech 公司推荐的测量方法(见图4)。前一种方法在同一测点对密度测量4次,每次将仪器旋转90°,取4次测量密度均值为测点的电磁密度。后一种方法在测点处以无核密度仪感应盘为轮廓画圆,测出一次密度,然后分别在该圆上60°、120°、240°、300°位置画出和感应圆盘同样大小的圆,并进行测量,取5次测量密度均值为该点的电磁密度。

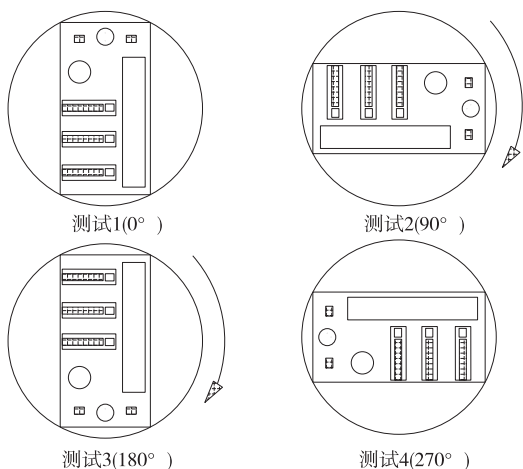


图2 Troxler Electronics lab 公司推荐的密度测量方法

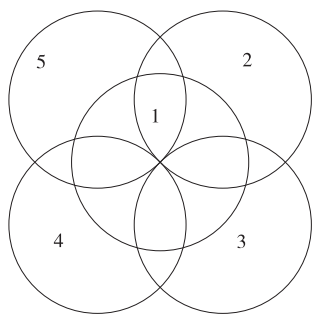


图3 Trans-Tech 公司推荐的密度测量方法

1.2 试验方案

1.2.1 测量方法

为找到一种简易且测量误差小的方法,进行9种测量方法对比分析(见表2)。其中:方法1为 Troxler Electronics lab 公司推荐的测量方法;方法9为 Trans-Tech 公司推荐的测量方法;其余方法

则按表2中的测量位置进行测量,取测量结果均值作为各方法在测点的压实度。

表2 测量方法方案

方法编号	测量圆数量/个	图示
方法1	1	
方法2	2	
方法3	2	
方法4	3	
方法5	3	
方法6	4	
方法7	4	
方法8	5	
方法9	5	

1.2.2 压实度测量

试验依托工程为 JY 长江公路大桥桥面,其下面层为 6 mm AC-20C,上面层为 4 mm SMA-10。由于上面层 SMA-10 碾压后更平整均匀,故选择上面层进行试验。

该项目上面层 SMA-10 采用高弹改性沥青,计算最大理论密度为 $2\,625\text{ kg/m}^3$ 。将面层的最大理论密度、测量厚度和集料尺寸等参数输入无核密度仪,按上述偏差补偿法进行标定。标定完成后,在该路段随机选择平整、无污染且干燥的测点进行试验,按表2中设计方法进行压实度测量,每种方法测量15次。

2 试验结果处理与分析

2.1 试验结果

按上述试验方案对同一测点压实度依次采用不同方法进行测量,测量结果见表3。

表 3 不同测量方法的压实度测量结果

测量 次数	各方法的压实度测量结果/%								
	方法 1	方法 2	方法 3	方法 4	方法 5	方法 6	方法 7	方法 8	方法 9
1	98.1	97.8	97.6	98.0	98.9	98.0	98.6	98.6	98.6
2	98.6	97.6	97.5	97.8	98.9	97.8	98.6	98.6	98.6
3	99.1	97.9	97.5	97.6	99.1	97.6	98.6	98.6	98.6
4	98.8	97.8	97.6	98.0	98.9	98.0	98.7	98.7	98.7
5	98.8	97.6	97.5	98.0	99.0	98.0	98.6	98.6	98.6
6	98.8	97.6	97.4	97.9	99.1	97.9	98.7	98.7	98.7
7	98.5	97.6	97.3	97.9	98.9	97.9	98.7	98.7	98.7
8	98.6	97.7	97.2	98.1	98.9	98.1	98.7	98.7	98.7
9	98.7	98.0	97.1	97.9	98.9	97.9	98.6	98.6	98.6
10	98.8	97.8	97.2	98.2	99.0	98.2	98.7	98.7	98.7
11	98.4	97.6	97.2	98.3	99.0	98.3	98.7	98.7	98.7
12	98.8	98.0	97.8	98.2	99.0	98.2	98.7	98.7	98.7
13	98.8	97.9	97.2	98.3	99.0	98.3	98.6	98.6	98.6
14	99.0	97.9	97.1	98.3	98.9	98.3	98.6	98.6	98.6
15	98.7	98.1	97.6	98.2	99.0	98.2	98.6	98.6	98.6

2.2 粗大误差处理

试验过程中,测量人员操作不当(测量位置偏移、读数错误、记录错误等)可能使测量结果产生异常值(坏值),而含有大误差数据会干扰试验结果分析,甚至歪曲试验结果。排除异常数据的常用准则有拉伊达准则、格拉布斯准则、肖维勒准则和狄克逊准则。前 3 种准则通过关系式 $v_i > k\sigma$ (k 为统计临界系数)判别异常值,临界系数 k 与测量次数 n 的关系见图 4;狄克逊准则利用极差比检测异常值,其临界系数与其他准则不具可比性。

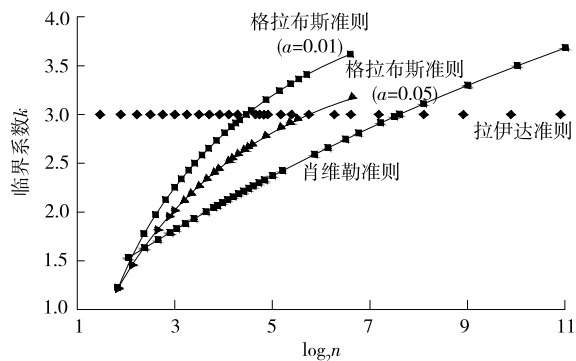


图 4 3 种准则统计临界系数对比

由图 4 可知:相同测量次数下,各判别准则的临界系数不同。以拉伊达统计临界系数 3 为线索, $n=25$ 次时,格拉布斯准则的统计临界系数达到 3 以上; $n=185$ 次时,肖维勒准则的统计临界系数刚好

达到 3。因此,根据测量次数与统计临界系数的关系划分 3 种准则适用范围如下: $n < 25$ 次时,用狄克逊准则或格拉布斯(显著水平 $\alpha = 0.01$)准则判别异常值; $25 \leq n \leq 185$ 次时,用格拉布斯(显著水平 $\alpha = 0.05$)或肖维勒准则判别异常值; $n > 185$ 次时,用拉伊达准则判别异常值。

该项目试验测量次数 $n=15$ 次,选择狄克逊准则进行异常值检验。检验过程如下:1) 将测量数据从小到大排列为 x_1, x_2, \dots, x_n ,其中 n 为测量次数。2) 分别按式(1)、式(2)计算异常统计量 γ 和 γ' 。3) 狄克逊检验临界值为 $D(\alpha, n)$, $\gamma > \gamma', \gamma > D(\alpha, n)$ 时, x_n 为异常值; $\gamma < \gamma', \gamma > D(\alpha, n)$ 时, x_1 为异常值;否则没有异常值。

$$\gamma = \frac{x_n - x_1}{x_n - x_3} \tag{1}$$

$$\gamma' = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1} \tag{2}$$

2.3 数据分析

按照狄克逊准则剔除表 3 中异常值后,计算每种方法测量数据的平均值、算术平均值的标准偏差和变异系数(见表 4)。使用同一无核密度仪对同一测点采用不同测量方法,测量结果精度不同,其中方法 5、7 和 9 测量数据的变异系数较小,表明采用上述 3 种方法测量时,数据的离散程度小。采用同一无核密度仪测量同一测点压实度时,数据离散程度

愈小,则偶然误差愈小,测量结果更准确。

表4 不同测量方法测量数据的处理结果

测量方法	测量结果	平均值	变异系数
	平均值/%	标准差/%	
方法1	98.70	0.060	0.24
方法2	97.77	0.044	0.18
方法3	97.36	0.056	0.22
方法4	98.06	0.050	0.20
方法5	98.97	0.015	0.06
方法6	97.50	0.058	0.23
方法7	98.60	0.011	0.04
方法8	97.77	0.049	0.19
方法9	98.60	0.012	0.05

将无核密度仪测量方法分为相切法和相交法,对两种方法的变异系数进行统计,绘制变异系数曲线(见图5)。由图5可知:使用相切法和相交法进行压实度测量,测量数据变异系数具有不同特征。相切法测量压实度的变异系数为0.2%左右,且变异系数不随测量圆数量的变化呈现某种趋势;相交法测量压实度的变异系数在3个圆相交(即方法5)时出现拐点,变异系数急剧下降到0.06%,且随着测量圆数量增加逐步稳定在0.04%附近。说明测量圆数量大于3时,相交法测量压实度的变异系数小于相切法测量压实度的变异系数。这是由于相交法测量位置相对于测点更集中,测点附近压实度变化对测点压实度测量的影响较小。使用无核密度仪对测点进行压实度测量,测量圆数量小于2个时,相交法和相切法测量结果的变异系数无明显差别;测量圆数量大于3个时,采用相交法进行测量时变异系数急剧降低并逐步趋于稳定。

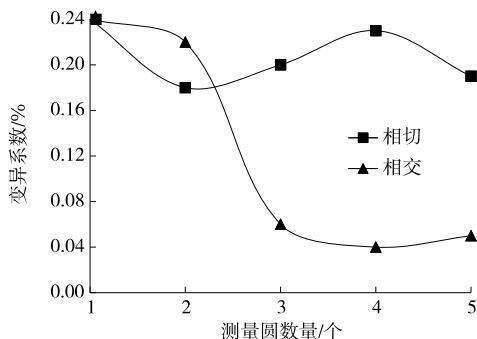


图5 不同测量方法变异系数曲线

根据以上分析,使用相交法进行压实度测量,测量圆数量大于3个时,测量结果的变异系数急剧降低。因此,现场应选择相交法进行测量,且测量圆数量不宜少于3个。对无核密度仪进行标定时,为使

标定结果更准确,应选择测量结果变异系数最小的方法进行压实度测量。根据图5,4个圆相交(方法7)时测量结果的变异系数最小,应采用不少于4个圆相交进行测量标定。

3 结论

使用无核密度仪进行压实度测量时,测量方法应根据测量精度进行合理调整。标定时,应采用不少于4个圆相交进行测点压实度测量,使无核密度仪的标定更准确。在进行现场压实度测量时,应采用相交法且测量圆数量不少于3个,以提高测量精度。

参考文献:

- [1] 汪顺宝.道路压实度的控制与测量讨论[J].智能城市,2018,4(18):95-96.
- [2] 李霞.浅谈沥青混凝土路面压实度的检测方法[J].科学之友,2011(1):59-60.
- [3] 梁富强,谢添,王鹏翀,等.基于无核密度仪的一种组合式压实度测量方法[J].北方交通,2013(11):11-14.
- [4] 张俊标,徐科.无核密度仪在沥青路面检测中的应用[J].广东交通职业技术学院学报,2007,6(2):13-16.
- [5] 吕金峰.PQI在沥青路面施工质量控制中的应用[J].交通世界,2018(26):62-63.
- [6] 杨冲.基于电磁波技术的沥青混凝土路面无损检测技术研究[D].西安:长安大学,2012.
- [7] 林春梅,潘洋.无核密度仪(PQI)在道路工程领域的应用现状[J].华东公路,2013(5):91-94.
- [8] 李国锋,黄思杰,李文辉,等.PQI检测影响因素分析及现场检测验证[J].筑路机械与施工机械化,2019,36(1):110-116.
- [9] 陈晓亮.无损检测技术在高速公路施工检测中的应用研究[J].福建交通科技,2019(3):26-29.
- [10] 交通部公路科学研究院.公路路基路面现场测试规程:JTG E60-2008[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [11] 李昌亭.热拌沥青混合料施工节能技术与检测方法研究[D].西安:长安大学,2018.
- [12] 赵海霞,周少娜,肖化.四种判别粗大误差准则的比较与讨论[J].大学物理实验,2017,30(5):105-107+129.
- [13] 熊艳艳,吴先球.粗大误差四种判别准则的比较和应用[J].大学物理实验,2010,23(1):66-68.
- [14] 应荣华,许雅俊,叶思华,等.影响无核密度仪精度的因素分析[J].公路与汽运,2015(5):122-124.
- [15] 付玉,吴少鹏,邱健,等.无核密度仪在沥青路面压实度检测中的应用[J].武汉理工大学学报,2007,29(9):22-23.