

短脉冲雷达测试系统应用研究

韩春来

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 结合历年来短脉冲雷达无损检测经验,通过数理统计,给出了沥青路面介电常数的分布范围,通过相邻芯样标定方法对设备的稳定性进行技术确认;结合某工程实例,计算了介电常数偏差对检测数据的影响及介电常数值波动对厚度的影响,并就现场检测时如何保证检测数据的准确性提出了相关建议。

关键词: 公路;短脉冲雷达;介电常数;沥青路面;现场测试

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0112-03

短脉冲雷达测试系统因技术成熟、数据量大、效率高、无损等优点而被广泛应用于路面面层厚度检测。根据雷达检测原理,路面厚度根据路面材料的介电常数推算得出,但介电常数会受路面厚度、材料类型及湿度等多种因素影响,而介电常数的变化会直接导致路面厚度推算出现偏差。该文采用美国派垂达雷达对佛山市新建沥青路面进行厚度检测。

1 沥青路面介电常数分布范围

佛山市高速公路主要采用半刚性基层沥青路面结构,沥青面层总厚度,桥面为 10 cm,路基段为 18 cm。对 2015—2017 年面层厚度为 10、18 cm 的交工验收项目中实际标定的介电常数进行统计,结果见表 1。

表 1 2015—2017 年沥青面层介电常数标定统计结果

设计 厚度/cm	标定 数量/处	介电常数				是否服从 正态分布	95%置信 区间	实际所占 比例/%
		平均值 \bar{X}	标准差 s	最大值	最小值			
10	186	3.63	0.28	4.47	2.93	是	[3.08, 4.18]	96.7
18	146	5.61	0.58	7.15	4.11	是	[4.47, 6.75]	91.7

注:95%置信区间范围为 $[X-1.96s, X+1.96s]$ 。

从整体大数据来看,佛山市沥青路面较均匀,按 95%置信区间计算得设计厚度 10 与 18 cm 的介电常数分别为[3.08, 4.18]、[4.47, 6.75],超出该范围的介电常数有较大概率率为异常值,应通过增加标定数量的方式对介电常数值进行确认,并查明原因,复核无误后方可采用。

2 设备稳定性确认

JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》中对短脉冲雷达的稳定性未作要求,为了解设备的稳定性,在通车 2 年的路基段(设计厚度 18 cm)与桥面段(设计厚度 10 cm)分别取芯进行设备验证。通过雷达扫描,初步选取路基段与桥面段面层厚度偏厚与偏薄部位各 1 处(共 4 处),在每处采样 2 次,采样距离相距约 20 cm。取芯得到芯样的真实厚度

后,反算出路面材料的介电常数,根据 $v = c/\sqrt{\epsilon}$ (c 为常数,为 300 mm/ns; ϵ 为介电常数)计算雷达波在材料中的传播速度,通过介电常数与波速判断设备是否稳定。测试结果见表 2。

表 2 雷达稳定性测试结果

设计厚度/cm	芯样 编号	抽芯厚 度/mm	时差/ ns	实测介 电常数 ϵ	介电常 数差值	传播速度/ (mm · ns ⁻¹)
10	1-1	99.5	1.17	3.11	0.12	170.1
	1-2	101.5	1.07	2.99		173.5
	2-1	86.0	1.45	6.40	0.18	118.6
	2-2	89.5	1.53	6.58		117.0
18	3-1	180.5	3.10	6.64	0.28	116.4
	3-2	178.5	3.00	6.36		119.0
	4-1	164.0	2.83	6.70	0.26	115.9
	4-2	165.5	2.80	6.44		118.2

由表 2 可知:通车 2 年后,介电常数波动较大。相邻芯样间的传播速度相差最大为 3.4 mm/ns,时差 Δt 为 1.36 ns,计算得出厚度偏差为 4.6 mm,满足规范中对短脉冲雷达系统允许偏差为 ± 5 mm 的测量精度要求。传播速度的波动约 2%。因此,设备的重复性可满足使用要求。

3 介电常数偏差影响计算

JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》对段落划分与介电常数的标定未作明确要求。实际检测中,不同部位标定的介电常数值均不一致,往往

采用对标定的介电常数取平均值的方法来推算总体厚度。从实际经验来看,沥青路面刚施工完成时介质较均匀,介电常数值基本相当,但偶尔也会出现较大偏差的情况。

为了解介电常数值对厚度的影响,对通车 1 年、设计厚度为 10 cm 的某工程项目中的 B 匝道(360 m)、C 匝道(328 m)与 Y 辅道(1 600 m)、Z 辅道(1 600 m)分别进行数据采集,每路段均匀分布取样标定 2 处。采用 2 处介电常数的均值,分别计算路段的厚度均值、代表值与合格率,计算结果见表 3。

由表 3 可知:1) 相比交工时标定的介电常数,

表 3 采用不同介电常数的厚度计算结果对比

路段		介电常数	厚度/mm	标准差	代表值/mm	合格率/%	交工时介电常数
B 匝道	测试值 1	7.36	90.3	8.4	87.8	53.1	4.76
	测试值 2	5.58	104.4	8.4	101.9	96.9	
	均值	6.47	96.6	8.4	94.1	81.3	
C 匝道	测试值 1	5.31	93.2	6.3	92.1	65.3	3.42
	测试值 2	3.96	106.9	6.3	105.8	100.0	
	均值	4.64	99.3	6.3	98.2	96.9	
Y 辅道	测试值 1	5.21	99.9	6.2	98.9	97.5	3.70
	测试值 2	5.27	99.4	6.2	98.4	95.6	
	均值	5.24	99.7	6.2	98.7	96.3	
Z 辅道	测试值 1	4.80	99.4	6.7	98.3	93.8	3.53
	测试值 2	4.91	98.3	6.7	97.2	88.8	
	均值	4.86	98.8	6.7	97.7	93.8	

在通车 1 年后,介电常数均明显增大。2) 桥面段的 B、C 匝道的介电常数极不稳定,芯样的介电常数分别相差 1.78、1.35,与在桥面进行雷达稳定性测试时的情形一致;路基段的 Y、Z 辅道的介电常数则相对较稳定。3) 介质较接近的条件下,采用介电常数均值推算的厚度基本一致(如 Y、Z 辅道);介电常数区别较大时(如 B、C 匝道),厚度推算会发生结论性偏差。若路段较长,应进一步细分路段并分段标定;若路段较短,建议采用抽芯法对其厚度进行评定。

4 介电常数波动范围的影响

分别选取设计厚度为 10、18 cm 的典型工程项目的检测数据进行试算。根据 $T = \Delta t \times c / (2\sqrt{\epsilon})$ (Δt 为短脉冲雷达实测值; c 为常量),面层厚度与雷达波在路面面层的双程走时与介电常数相关,在假定其不变的情况下,通过调整介电常数分析介电常数对厚度的影响。根据历年介电常数值分布范

围,设计厚度为 10 cm 时介电常数为 3.0~4.2,设计厚度为 18 cm 时介电常数为 4.5~6.5,分别进行试算,以 3.0、4.5 作为基准值,试算结果见表 4、表 5。

表 4 介电常数对厚度的影响(设计厚度 10 cm)

介电常数	对厚度的影响值/mm	介电常数	对厚度的影响值/mm
3.0	—	3.9	—3.7
3.3	—4.8	4.2	—3.3
3.6	—4.2		

注:对厚度的影响值为与上一个介电常数相比得出的结果。下同。

表 5 介电常数对厚度的影响(设计厚度 18 cm)

介电常数	对厚度的影响值/mm	介电常数	对厚度的影响值/mm
4.5	—	6.0	—8.7
5.0	—11.6	6.5	—7.7
5.5	—9.9		

由表4、表5可知:1)介电常数对厚度的影响程度随介电常数的增加而减小,随厚度的增加而增加。2)佛山地区沥青路面厚度为10、18 cm时,介电常数平均值分别为3.63、5.61,介电常数波动达到0.3、0.5时,对厚度的影响程度达到4.2、9.9 mm,对检测结果的影响较大,建议重新划分段落,增加芯样标定数量,以保证检测数据的准确性。

5 结论

(1)沥青面层设计厚度为10、18 cm时,介电常数值有较大概率分别为[3.08,4.18]、[4.47,6.75],若超出该范围,需予以确认。

(2)沥青路面通车后介电常数值会增大,若介电常数值区别较大,则采用介电常数均值推算厚度会发生结论性偏差。若路段较长,应细分检测路段并分段标定;若路段较短,建议采用抽芯法对厚度进行评定。

(4)设计厚度为10、18 cm时,介电常数值波动达到0.3、0.5时,对厚度检测结果的影响较大,建议

增加芯样标定数量,以保证检测结果的准确性。

参考文献:

- [1] 魏华.探路雷达在路面基层检测中的应用研究[D].郑州:郑州大学,2016.
- [2] JTGE60—2008,公路路基路面现场测试规程[S].
- [3] 黎侃,姚奇,郭朝阳,等.基于可靠度理论的沥青路面结构安全性评价及示例[J].广东公路交通,2011(增刊1).
- [4] 刘小明,马昆林.公路工程试验与检测[M].长沙:中南大学出版社,2015.
- [5] 罗伟国.基于探地雷达的沥青路面隐性探伤应用技术研究[D].西安:长安大学,2014.
- [6] 张明华.探地雷达在路面厚度检测中的应用及可靠性分析[J].科学技术创新,2013(31).
- [7] 刘亚娟,万成华.地质雷达在路面厚度检测中的应用[J].筑路机械与施工机械化,2012,29(9).
- [8] 李成.探地雷达厚度检测影响因素分析[J].公路与汽运,2013(1).

收稿日期:2018-01-06

(上接第69页)

要求,路面的抗垂直变形能力优异。

3.4 裂缝检测

试验段铺筑完成通车3年内进行连续的路面病害检测,结果表明试验段未出现贯穿裂缝,产生的细微裂缝对行车不造成影响。可见,采用聚酯纤维沥青混合料作为路面面层,路面的抗裂性能优异。

4 结论

(1)掺入聚酯纤维可显著提高沥青混合料的高温稳定性,聚酯纤维掺量从零增加到0.35%时增强效果明显。

(2)聚酯纤维掺量增加的过程中,沥青混合料的低温抗裂性能呈递增趋势,掺量为0.3%时低温抗裂性能最佳。

(3)沥青混合料的冻融劈裂强度比在掺入聚酯纤维后得到一定提升,掺量为0.3%时其值最大,但仅稍大于规范要求的85%标准值。

(4)掺入聚酯纤维后,沥青混合料的疲劳性能得到显著提高,且随着聚酯纤维掺量的增加疲劳性能逐渐增强。

(5)考虑经济性与路用性能,聚酯纤维在沥青

混合料中的最佳掺量建议取0.25%~0.3%。

(6)根据工程应用结果,采用聚酯纤维改性沥青混合料作为路面面层,路面强度、抗裂与抗变形能力优异。

参考文献:

- [1] 张慧斌.聚酯纤维沥青混凝土动态参数与相位角研究[J].山西交通科技,2016(6).
- [2] 蔡晓斌,陈爱文.聚酯纤维加筋沥青混凝土设计与施工[J].交通科技,2007(3).
- [3] 杨振才,武慧娟.改性沥青及纤维增强沥青混合料应力松弛性能试验研究[J].交通标准化,2003(11).
- [4] 张争奇,胡长顺.纤维加强沥青混凝土几个问题的研究和探讨[J].长安大学学报:自然科学版,2004,20(1).
- [5] 郭乃胜,赵颖华,李刚.聚酯纤维沥青混凝土的低温抗裂性能分析[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2004,20(1).
- [6] JTGF40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [7] JTGE20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [8] JTGE60—2008,公路路基路面现场测试规程[S].
- [9] JTGF80/1—2004,公路工程质量检验评定标准[S].

收稿日期:2017-06-20