

文章编号: 1005-0523(2005)04-0042-04

探地雷达检测路面厚度的质量评价方法探讨

刘峰¹, 万保安², 梅志华¹, 糜向荣³

(1. 江西省交通科学研究院, 江西 南昌 330008; 2. 江西公路开发总公司, 江西 南昌 330006; 3. 江西省交通厅基建处, 江西 南昌 330003)

摘要: 结合现行规范, 运用数理统计分析方法, 探讨探地雷达用于路面结构层厚度检测数据的分析处理和评价的相关问题, 提出评价样点数、评价路段长度、评价指标的建议。

关键词: 探地雷达; 路面厚度; 质量评价

中图分类号: TM392.3

文献标识码: A

0 引言

九十年代末以来, 雷达探测技术在我国公路路面结构层厚度检测中得到了大量的应用, 探地雷达检测是一种无损检测, 它可以沿所测路线对路面进行连续扫描, 获取大量的结构层厚度数据。如何科学地对结构层厚度数据进行处理、分析, 从而作出合理的评价, 是值得研究和探讨的问题。本文将从数理分析入手, 并结合实践结果分析, 探讨探地雷达在公路路面结构层厚度检测与评价中的相关问题。

1 探地雷达检测路面厚度基本原理及主要特点

探地雷达是运用瞬态电磁波在介质中传播的基本原理, 通过宽带时域发射天线向路面下发射高频窄脉冲电磁波, 波在地下传播过程中遇到不同电性介质界面时产生反射, 由接收天线接收介质反射的回波信息, 再由计算机将收到的数字信号进行分析计算和处理, 即可识别不同反射层的空间形态和介质特性, 得出路面结构层的厚度数据。

同传统的钻孔取芯法相比, 探地雷达进行路面厚度检测速度快, 每小时可检测 15—20 km; 检测数量多, 剪表性强, 每公里 5 000—10 000 个测点; 无破损, 检测的连续厚度剖面真实反映了测量路线的厚度变化情况。

2 现有路面结构层厚度测试评价方法及主要特点

路面厚度是路面工程施工质量验收必须检验的主要质量指标之一。根据《公路工程质量检验评价标准》(JTJ 071-98) (以下简称《标准》)、《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059-95) (以下简称《规程》), 规定通过测量钻孔试件厚度或挖坑测量深度为检测路面厚度的标准试验方法, 均属破坏性样本检验。为减少已建路面的损害, 测定点数应尽量减少, 水泥混凝土面层板厚度检测频率为每公里每 200 m 每车道 2 处, 沥青混凝土面层厚度检测频率为每公里每 200 m 每车道 1 点。在评价公路路面结构层厚度时, 每个评价路段路面厚度抽样检测所得数值, 采用数理统计方法计算平均值 \bar{X} 、标准差、变异系数 C_v 和代表值 X_j , 进行质量评价。

《规程》规定, 测试路段的质量评价或验收时,

收稿日期: 2004-12-18

作者简介: 刘峰(1971-), 男, 河南光山人, 江西省交通科学研究院工程师, 工学学士。

以1—3 km 为一个评价路段,也就是说:若按 1 km 作为一个评价路段,则每车道水泥混凝土面层只有 10 个点用于评价 1 km 路段的质量,每车道沥青混凝土面层只有 5 个点用于评价 1 km 路段的质量.显然,仅利用 10 个点或 5 个点去评价 1 km 的路段厚度的质量评价指标,受抽样部位和样本数量的影响较大.

3 取样点数对路面结构层厚度评价的影响

根据数理统计规律,当样点数一定时,要提高代表值的精确度,则保证率就会降低;提高代表值的保证率,则精确度就会降低;若既要提高精确度,又要提高可靠性,则只有增大样点数.而现有评价方法只能保证每公里每车道 5 个点或 10 个点,在利

用这个数量级的样点数所得检测数据对路面厚度进行质量评价时,同时保证代表值的精确度和保证率,给评价结果带来的误差也较难控制.

为能具体体现样点数对统计结果的影响,利用计算机对某高等级公路(设计厚度 12 cm)1 km^{5 000} 个样点的探地雷达检测结果模拟人工取芯,采用随机抽样的方法,在 5 000 个样点数值范围内分别按抽取 5、10、20、100、450、800 个样点数分组,计算出在各数组不同取样点数条件下的厚度平均值,每种取样点数各做十次随机取样(相当于派十个检查小组独立检测十次),将所得抽检结果进行数据处理,结果列于表 1.表 1 最后一项误差,指不同样点数每次抽样的厚度平均值 \bar{X}_i 与样点数 $n=5\ 000$ 时厚度平均值(127.3 mm)之差.由表 1 可知

表 1 计算机模拟现行钻孔取样计算路面厚度值的各项结果

样点数 (个)	平均值 (mm)	标准差 (mm)	变异系数 (%)	代表值 (mm)	误差 (mm)	样点数 (个)	平均值 (mm)	标准差 (mm)	变异系数 (%)	代表值 (mm)	误差 (mm)
5	129.2	23.2	17.9	107.1	1.9	10	128.6	10.1	7.9	122.7	1.3
5	128.0	8.5	6.6	119.9	0.7	10	127.8	12.1	9.5	120.8	0.5
5	130.0	7.5	5.8	122.8	2.7	10	127.3	18.2	14.3	116.7	0.0
5	126.6	5.8	7.0	118.2	-0.7	10	129.1	13.6	10.5	121.2	1.8
5	121.2	16.4	13.5	105.6	-6.1	10	127.8	13.5	10.6	120.0	0.5
5	124.4	3.6	2.9	120.9	-2.9	10	122.7	10.4	8.4	116.7	-4.6
5	119.6	7.4	6.2	112.5	-7.7	10	128.8	11.9	9.2	121.9	1.5
5	122.0	19.2	15.8	103.7	-5.3	10	131.2	11.8	9.0	124.4	3.9
5	132.0	17.0	12.8	115.8	4.7	10	122.2	11.3	9.2	115.7	-5.1
5	124.6	11.1	8.9	114.1	-2.7	10	116.1	6.7	5.7	112.2	-11.2
20	125.3	10.0	8.0	121.5	-2.0	100	126.7	11.7	9.3	124.7	-0.6
20	126.2	13.2	10.4	121.1	-1.1	100	127.2	11.9	9.4	125.2	-0.1
20	126.6	11.8	9.3	122.0	-0.8	100	127.7	12.0	9.4	125.8	0.4
20	130.1	14.3	11.0	124.6	2.8	100	127.4	12.0	9.4	125.4	0.1
20	131.3	9.6	7.3	127.5	3.9	100	128.3	11.9	9.3	126.3	1.0
20	127.6	12.5	9.8	122.8	0.3	100	127.0	11.3	8.9	125.1	-0.3
20	126.1	10.2	8.1	122.1	-1.2	100	127.0	12.5	9.8	124.9	-0.3
20	127.5	11.5	9.0	123.1	0.2	100	127.2	11.3	8.9	125.3	-0.2
20	125.0	12.0	10.0	120.2	-2.3	100	127.8	11.6	9.1	125.9	0.5
20	127.1	12.0	9.4	122.4	-0.3	100	127.2	12.0	9.5	125.2	-0.1

样点数 (个)	平均值 (mm)	标准差 (mm)	变异系数 (%)	代表值 (mm)	误差 (mm)
450	127.4	12.2	9.6	126.4	0.1
450	127.2	12.1	9.5	126.2	-0.1
450	127.1	12.1	9.5	126.2	-0.2
450	127.2	11.9	9.4	126.3	-0.1
450	127.4	12.4	9.7	126.4	0.1
450	127.2	12.0	9.4	126.3	-0.1
450	127.3	12.0	9.4	126.4	0.0
450	127.2	12.1	9.5	126.3	-0.1
450	127.4	12.3	9.6	126.4	0.1
450	127.2	12.1	9.5	126.3	-0.1

样点数 (个)	平均值 (mm)	标准差 (mm)	变异系数 (%)	代表值 (mm)	误差 (mm)
800	127.3	11.9	9.4	126.6	0.0
800	127.3	12.1	9.5	126.6	0.0
800	127.3	12.1	9.5	126.6	0.0
800	127.3	12.0	9.5	126.6	0.0
800	127.2	12.1	9.5	126.5	-0.1
800	127.4	12.1	9.5	126.7	0.1
800	127.3	12.1	9.5	126.6	0.0
800	127.3	12.0	9.5	126.5	0.0
800	127.2	12.1	9.5	126.5	-0.1
800	127.2	12.1	9.5	126.5	-0.1

1) 样点数对厚度平均值的影响

样点数 $n \leq 20$ 时, 各组数据的离散性较大, 最大厚度平均值误差为 +4.7 mm, 厚度最小平均值误差为 -11.2 mm, 每次抽样结果有好有坏. 这就意味着派 10 个检查组对 1 km 路段做 10 次取芯, 得到 10 个不同的结果, 有结果很好, 有结果很差; 将导致原本合格的路段误判为不合格, 而不合格的也可能误判为合格. 这种结果显然具有较大的随意性. 随着样点数的增大, 厚度平均值误差逐渐减小. $n > 100$ 之后, 厚度平均值误差才较稳定的小于 ± 1 mm, $n \geq 800$ 时, 厚度平均值误差基本上为零.

由上述分析, 若要同时保证代表值精确度和较高的保证率, 样点数宜大于 450 个点.

2) 样点数对代表值的影响

由《标准》中路面厚度评价的代表值 $X_1 = \bar{X} - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}}$, $(-t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}})$ 项为代表值相对于平均值的下限偏差, 显然, 若评价路段的厚度算术平均值正好等于设计厚度, 那么, 代表值相对于平均值的偏差就是《标准》中的允许偏差. 允许偏差实际上就是对标准差 S 的限制. 假设 \bar{X} 和 S 已知且固定不变, 那么代表值只随 $t_\alpha = \frac{S}{\sqrt{n}}$ 而变. 由 t 分布表可知, t_α 是 n 的单调递减函数, 因此, 允许偏差也是一个单调递减函数, 且其递减速度远较 t_α 快, 也就是说, 代表值 X_1 是 n 的单调递增函数. 如果我们规定的允许偏差一成不变, 那么随着样点数 n 的增大, 原来不合格的那些代表值就会变得合格. 由允许偏差可知, 当 $n > 500$ 之后, 即使标准差大到 20 mm, 代表值相对于平均值的偏差也只有一个 -1 mm, 这时, 代表值几乎失去意义, 可直接以平均值来评价厚度质量. 只是平均值必须大于或等于设计厚度, 且对标准差 S 作出一定的限制.

4 评价段长度的选择

《标准》规定, 评价段长度可选为 1—3 km. 然而, 从大量的雷达路面厚度实测数据中发现, 结构层厚度变化不完全是随机的, 而存在有系统性的变化. 从雷达剖面图上可直观地反映出哪些地段厚了, 哪些地段薄了, 厚、薄的范围有多大, 不过雷达剖面图只是一种形象概念, 而没有准确的数的概念, 必须选定一定的长度来进行计算分析, 根据前面的分析, 对某一路段路面厚度检验评价的检测统计样点数尽可能多一些, 这里, 是否也存在度的问题, 也就是说选择评价路段的长度对评价结果是否有相关性, 为此, 选取一实例进行分析. 某段高速公路设计厚度值为 160 mm 的沥青砼路面, 代表值允许偏差为 -8 mm, 按 1 km 和 100 m 评价段来进行评价, 评价结果见表 2. 由表 2 可见:

表 2 某段高速公路沥青砼面层厚度 1 km 和 100 m 的评价结果

评估段 长度	平均值 X(mm)	标准差 S(mm)	变异系数 C _v (%)	代表值 X _L (mm)		
1km	154.3	20.8	13.49	152.7		
	以下统计	154.3	11.9	7.74	147.4	
	1	176.0	11.9	6.78	175.1	
	2	164.1	39.8	24.25	161.2	
	3	150.2	19.7	13.13	148.8	
	4	143.5	15.0	10.43	142.4	
	100m	5	161.2	8.8	5.45	160.6
		6	144.4	8.1	5.58	143.8
		7	145.5	6.6	4.50	145.0
		8	153.7	14.6	9.50	152.6
9		137.7	10.3	7.50	136.9	
10		163.5	14.5	8.88	162.5	

1) 若依据 1km5000 个样点全部参与评价, 路面厚度评价代表值

为 152.7 mm, 满足评价要求, 为合格的路段。

2) 将上述 1 km 路段按 100 m, 分成 10 个基本评价段来进行评价, 即代表值小于 152 mm 的评价段为不合格路段, 那么表中第 3、4、6、7、9 五段为不合格段; 对 10 段 100 m 路段的平均值按 10 个采样点进行统计计算, 代表值为 147.4 mm, 这是不合格路段。

由此可知, 评价段较长时, 会掩盖掉许多局部细节问题, 使不合格的路段变为合格路段, 因此评价段的设定应以短距离为佳, 这样, 评价结果能较全面、真实地反映路面厚度的变化情况, 同时也便于施工单位和建设单位及时地在较小范围内采取相应的补救措施, 确保路面工程的施工质量。

5 结束语

1) 目前, 探地雷达检测结果对路面厚度结构层的评价没有现行的规范标准, 同一路段检测结果采用不同的方法进行评价得出不同的评价结果。鉴于探地雷达能大量的采集数据, 单车道每公里约 5 000 个点, 100 m 就达 500 个点, 根据前面分析, 评价样点数宜大于 450, 评价段的设定应以短距离为佳, 因

此, 采用探地雷达检验评价路面结构层的评价段宜取 100 m 长。

2) 采用探地雷达检测路面结构层厚度, 其评价指标可取消代表值, 采用厚度平均值、标准差为主要控制指标。

3) 鉴于各地对路面的设计、施工情况有所不同, 如何确定标准差的允许范围值得研究。

4) 采用探地雷达检测路面厚度具有无破坏性, 检测速度快, 信息量大, 代表性强等特点, 已在公路建设质量控制中得到推广使用, 如何规范其检测工作和评价方法, 提高其科学性和权威性, 亟待研究解决。

参考文献:

- [1] 公路工程质量检验评价标准(JTJ 071—98)。
- [2] 公路路基路面现场测试规程(JTJ 059—95)。
- [3] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

Discussion on Evaluating Method in Detecting Road Thickness by GPR

LIU Feng¹, WAN Bao-an², MEI Zhi-hua¹, MI Xiang-rong³

(1. Jiangxi Provincial Communications Institute, Nanchang 330008; 2. Jiangxi Highway Development Co. Ltd, Nanchang 330006; 3. Jiangxi Provincial Communications Bureau, Nanchang 330003, China)

Abstract: Combining with the active specifications and using statistics analytical method, relational problems in analyzing and evaluating the detection data of road surface thickness by GPR is discussed in this paper. Some suggestions for sampling number, length of road section and index in evaluating

Key words: GPR; structure layer thickness; quality evaluating of road surface thickness are put forward.