

探地雷达技术在公路沥青路面 面层厚度检测中的应用

孙海华

(四川路航建设工程试验检测有限公司, 四川 乐山 614000)

摘要 探地雷达检测技术属于无损检测, 能实现沥青路面面层厚度的高质量检测。本文结合工程案例分析了探地雷达技术在路面面层厚度检测中的实践应用情况。首先对工程案例进行简要介绍, 分析了探测线布置以及探地雷达设备及关键检测参数的设定情况, 然后详细分析了路面面层厚度的探地雷达检测原理, 研究了数据的处理基本流程。实践结果表明, 探地雷达检测技术具有较高的测量精度, 误差完全在可接受的范围内, 检测成本与传统的取样检测方法相比压缩了 40% 左右, 并且具有更高的检测效率。本文旨在为推广探地雷达检测技术的合理应用提供借鉴。

关键词 高速公路; 沥青路面; 面层厚度; 探地雷达

中图分类号: U416

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)08-0031-03

我国建设了大量的公路沥青路面, 路面建设和维护成为重要的民生工程。沥青路面面层厚度是决定公路建设质量的关键指标, 建设和维护时要对其厚度进行严格控制, 在不对路面面层造成破坏的情况下, 实现高精度检测是公路建设与维护领域需要重点解决的问题^[1]。近年来, 探地雷达作为一种无损检测技术, 逐渐在公路沥青路面厚度检测中得到了广泛应用^[2]。已有的实践经验表明, 探地雷达具有高精度、高效率、无损检测等优点, 在沥青路面面层厚度检测领域展现出了明显优势^[3]。本文主要结合工程案例详细分析了公路沥青路面面层厚度检测过程中探地雷达的实际应用情况。实践经验表明, 此项技术具有非常好的应用效果, 值得其他类似工程项目借鉴。

1 工程案例分析

1.1 基本情况介绍

为了分析探地雷达在公路沥青路面中的实践应用情况, 本文选取国内某省级高速公路为案例进行分析, 该高速公路的起始里程为 K0+520, 结束里程为 K2+740, 此段高速公路原先属于水泥混凝土路面结构, 运行一段时间后为了进一步提升路面行驶的舒适性, 对其进行了改造, 现为沥青混凝土路面结构, 设计的运行年限为 15 年。公路路面整体上划分成两层结构, 下部为水稳级配碎石基层, 上部为沥青层, 结构总厚度为 64 cm, 其中下部分厚度为 48 cm, 上部分厚度为 16 cm。其中沥青层自下而上可以进一步细分为四个结构, 设计的厚度分别为 1 cm、6 cm、5 cm 和 4 cm。

1.2 探测测线布置与参数选择

针对检测的省级高速公路, 分别在左幅和右幅路面上设置纵向连续测量线, 利用探地雷达技术对纵向方向的路面面层厚度进行检测。同时每间隔 100 m 设置一条横向测量线, 本工程在整个高速公路上共设置有 20 条横向测量线。

本工程利用脉冲式探地雷达进行面层厚度测量, 已有的理论和实践经验表明, 利用脉冲电磁波开展测量工作时, 设置的电磁波频率越高, 在垂直方向上达到的分辨率越高, 但是能够实际探测的深度越小。所以具体应用时要充分考虑待检测面层厚度以及分辨率要求等, 合理设置频率。考虑到本工程的面层厚度相对较小, 且要求具备比较高的检测分辨率, 因此最终选用的是 SIR-14H 型探地雷达, 将探地雷达工作的频率设置为 900 MHz, 采样天线时窗长度设置为 20 ns, 将测量设备设置为自动增益检测模式, 可以达到比较理想的测量结果。

2 探地雷达路面面层厚度检测原理

2.1 检测原理分析

在公路沥青路面建设过程中, 自上而下包含不同结构层, 每层都由均匀介质施工获得, 相邻两层结构之间的介质属性存在一定差异。探地雷达发射的脉冲电磁波在均匀介质中传播时几乎沿直线传播, 但是在两层结构之间传播时, 由于不同结构层物理属性的差异, 导致脉冲电磁波偏离原有直线方向, 同时有部分电磁波反射。脉冲电磁波在接触沥青路面时反射到

接收物的时间记为 t_1 ，在面层中传播后在面层底部反射回来到达接收物的时间为 t_2 ，时间差 $\Delta t = t_2 - t_1$ 就是脉冲电磁波在沥青路面面层来回传播的时间。基于此，根据以下公式可计算得到路面面层的厚度大小^[4]： $\Delta d = \frac{v\Delta t}{2}$ ， $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ ，其中 Δd 表示检测的沥青路面面层厚度； v 表示脉冲电磁波在沥青面层中的传播速度； c 表示脉冲电磁波在空气中的传播速度，可近视认为电磁波在真空中的传播速度，即 3×10^8 m/s； ϵ_r 表示检测沥青路面的介电常数。基于以上原理分析可知，利用探地雷达测量面层厚度时，关键是要准确测量两个数据：一是时间差 Δt ；二是路面的介电常数。

2.2 关键参数的测量

当脉冲电磁波反射到接收物上时，会在接收物产生明显的反射波，对两个反射脉冲到达的时间差进行统计，即可得到想要的结果。具体操作时必须确保沥青路面面层顶面和底面反射回来的电磁波不出现重叠，若出现重叠会产生非常显著的测量误差。具体使用时可以在反射波上选择比较显著的点进行比较测量，比如可以选择两个反射波波峰之间的差值，也可以选择两个反射波的波谷之间的差值^[5]。

脉冲电磁波在沥青路面层结构中的传播速度与该结构的介电常数存在直接联系，因此准确确定介电常数直接决定了厚度的测量精度。就当前技术手段而言，测量介电常数的方法主要分为两种：一是钻芯取样法；二是反射系数法。本工程案例利用第一种方法测量介电常数，此方法通过取样的方式对材料的参数进行测量，并将其视为整个沥青路面的介电常数。根据上文所述的沥青路面面层厚度测量原理公式，可以反推出面层结构材料介电常数的计算公式：

$$\epsilon_r = \frac{c^2}{v^2} = \frac{c^2 \Delta t^2}{4 \Delta d^2}$$

其中时间差 Δt 按上文所述方法测量， Δd 利用钢板尺进行测量。

3 数据处理以及检测结果

3.1 数据处理

如图1所示为沥青路面面层厚度检测与处理示意图，首先利用专业设备获得探地雷达的原始图像，原始图像为灰度显示，如图1(a)所示。为了使沥青面层和水稳基层之间的界限更加明显，对原始灰度图像进行二次化处理，使其以黑白显示，如图1(b)所示。在二值化图像基础上继续处理，找到最大连通区域的分离线，该分离线即为沥青面层和水稳基层之间的分界线，如图1(c)所示。图的横坐标表示沿着公路设定的测量方向，纵坐标反映的是测量得到的时间，利

用时间可以计算得到面层厚度，图1(d)反映的是沥青面层厚度沿着测量方向的变化情况。

3.2 检测结果讨论

对结果进行统计时，沿着左幅路面和右侧路面两条纵向检测线，每间隔10 m取1次数据进行统计，在横向检测方向每间隔1 m取1次数据进行统计。这样统计得到的数据信息可以全面覆盖公路不同位置的面层厚度大小。对公路路面沥青层的厚度进行统计分析，发现沥青层的平均厚度只有15 cm，而工程项目设计的沥青路面厚度为16 cm，可见实际检测结果与设计厚度之间存在1 cm的差距。本次检测中还在水稳基层的厚度进行了检测，发现实际检测厚度比设计厚度薄1.2 cm，说明实际施工厚度比设计厚度要小。出现这种情况的原因可以归结为两点：一是高速公路沥青路面在长时间的服役使用过程中，受到车轮压力作用厚度有所减薄；二是探地雷达测量技术在应用时受各方面因素的影响，本身存在一定的误差。

4 探地雷达应用的准确性与经济性分析

4.1 准确性分析

为了对探地雷达路面面层厚度检测的精度进行验证，将K0+520~K0+920路段作为试验段进行分析。在该路段首先利用探地雷达技术对面层厚度进行检测，同时通过钻芯取样方法在现场取样后对实际面层厚度进行检测，将探地雷达测量结果与实际结果进行对比，验证该项技术的检测精度。在测量面层厚度时，先在试样的上端面对称画出十字线，该十字线与圆柱体端面圆周产生4个交点，在4个交点位置测量面层厚度，对4个测量结果取平均值，视为面层厚度实际测量结果，测量时精度控制在0.1 cm。第1个试样作为标定试样，利用上文所述方法对面层结构的介电常数进行测量，并将该介电常数作为其他位置厚度测量的依据。结果表明，探地雷达测量结果与实际结果之间存在一定的偏差，其中最小偏差为0.02 cm，最大偏差为0.34 cm，基于此可以计算出相对偏差率为2.125%。测量结果与实际结果虽然有一定的偏差，但是偏差相对较小，在可以接受的范围以内。传统的取样测量方法虽然能够达到比较好的测量精度，但是会对原始路面造成破坏，并且工作量相对较大，与探地雷达测量技术相比仍然有一定的劣势，因此探地雷达测量技术具有非常大的推广和应用价值。

4.2 经济性分析

利用探地雷达技术对所述的高速公路沥青路面面层厚度进行检测时，产生的费用包括材料费、人工费、机械使用费、其他费用等，对应的费用分别为0.21万元、

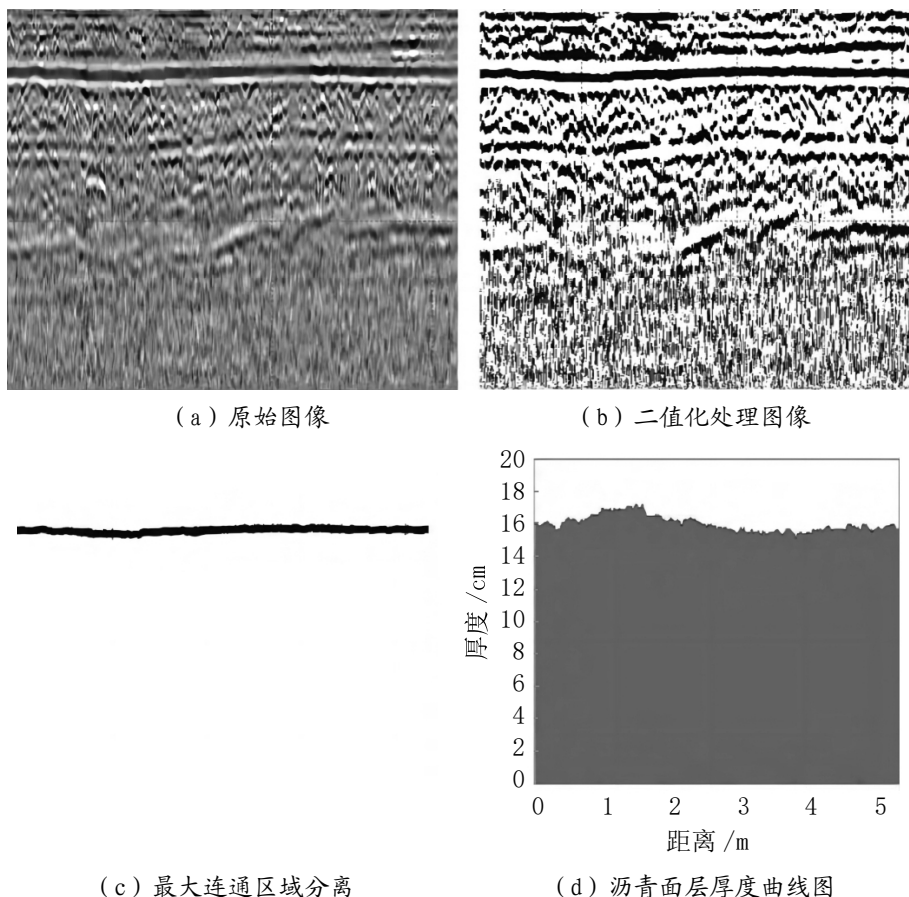


图 1 沥青路面面层厚度检测与处理示意图

0.34 万元、0.35 万元、0.95 万元，全部费用合计为 1.85 万元。如果利用传统的钻芯取样方法对面层厚度进行测量，需要的工作量相对更大，产生的费用会更多。根据以往的工程经验，针对所述的省级高速公路长度，如果采用传统方法进行面层厚度检测，产生的费用类别与探地雷达技术相似，但是对应的费用分别为 0.48 万元、1.21 万元、0.35 万元、0.95 万元，全部费用合计为 2.99 万元。对比可以发现两种技术手段在机械使用费和其他费用上完全相同，主要差别在于材料费以及人工费，由于传统检测方法工作量的增加，导致需要使用的材料费和需要投入的人力更多，所以产生的费用也更多。通过对比可知，利用探地雷达技术进行检测比传统技术检测产生的费用投入降低 40% 左右，且检测效率更高，新技术的投入使用产生了良好的经济效益，值得进一步在沥青路面面层厚度检测中推广应用。

5 结束语

在公路沥青路面面层厚度检测中，探地雷达无损检测技术与传统检测方法相比较展现出了显著优势，近年来在实践中的应用越来越多。但在实际操作时，

为了提高检测精度，必须结合现场实际情况，对相关参数进行准确设定，比如沥青面层结构的介电常数必须在现场进行测定后再设置。通过本工程的分析，发现探地雷达技术不仅能够降低检测成本，还能显著提升检测效率，检测精度在要求的范围内，完全能够满足工程实际使用基本需求。

参考文献：

- [1] 王冠. 基于探地雷达的沥青路面结构层厚度检测研究 [J]. 西部交通科技, 2022(12):86-89,97.
- [2] 詹腾飞. 探讨地质雷达检测沥青面层厚度的影响因素 [J]. 城镇建设, 2021(08):147-148.
- [3] 王林, 寇战策. 探地雷达在路面面层厚度检测中的应用与分析 [J]. 卷宗, 2021(17):349.
- [4] 邓滔, 杨梦, 宋涛. 机场高速公路沥青路面大修改造试验研究 [J]. 湖南交通科技, 2022,48(04):82-85.
- [5] 武星伟. 沥青路面上面层施工工艺及质量控制 [J]. 交通世界, 2023(11):92-94.