

道路工程

基于三维探地雷达技术的路面病害分析和控制对策

魏克森¹, 陈 凯², 韩文扬², 韦金城²

(1. 山东建筑大学 交通工程学院, 山东 济南 250100; 2. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102)

摘 要: 路基损坏、施工不均匀等因素都会造成沥青路面损坏, 现有沥青路面病害检测大多数运用规范推荐的钻芯取样法, 但这种方法会破坏原有路面结构, 无法实现无损连续检测, 获得的数据点有限且数据代表性不足。从无损检测的角度, 运用三维探地雷达技术对路面进行全断面病害检测, 首先介绍了探地雷达的基本工作原理, 然后结合对安徽省合安高速公路进行雷达检测, 讨论了路面裂缝、沉陷、松散病害在三维探地雷达图像上的差异性, 分析了路面病害类型和成因, 进而提出了在施工过程中的控制措施。

关键词: 沥青路面; 三维探地雷达; 病害检测; 控制对策

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

文章编号: 1008-3383(2021)04-0001-03

DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2021.04.001

Pavement Disease Analysis and Control Countermeasures Based on 3D Ground Penetrating Radar Technology

WEI Ke-sen¹, CHEN Kai², HAN Wen-yang², WEI Jin-cheng²

(1. Institute of Transportation Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong 250100, China;

2. Shandong Transportation Institute, Jinan, Shandong 250102, China)

Abstract: Subgrade damage, uneven construction and other factors will cause damage to asphalt pavement. Most of the existing asphalt pavement disease detection uses the core drilling sampling method recommended by the specification. This method will damage the original pavement structure, and can not achieve non-destructive continuous detection. The data points obtained are limited and the data is not representative enough. From the perspective of non-destructive testing, this paper uses 3D ground penetrating radar technology to detect the full section disease of pavement. Firstly, the basic working principle of GPR is introduced. Then, combined with the radar detection of an expressway, the differences of pavement cracks, subsidence and loose diseases in 3D GPR images are discussed, and the types and causes of pavement diseases are analyzed and then puts forward the control measures in the construction process.

Keywords: asphalt pavement; 3D Ground Penetrating Radar; disease detection; control countermeasures

0 引 言

路面病害是影响沥青路面使用年限和使用性能的重要因素, 对于沥青路面施工后的病害检验, 常规的方法是通过现场取芯的方式, 然后在实验室进行检测, 从而得到一系列的参数, 如强度、厚度、压实度等指标。虽然这种方法具有操作简便、直观准确的优势, 但随机取样缺乏代表性, 而且钻芯取样过程会损害路面结构, 即使进行修补, 随着道路使用年限的增加, 取芯部位也会不可避免的出现坑槽、沉陷等病害。三维探地雷达(Three Dimensional Ground Penetrating Radar, 3D GPR)具有检测速度

快、范围广、定位明确的特点, 现被广泛应用于沥青路面厚度检测、密度检测和路面结构层内部病害调查等领域, 能够实现实时三维显示, 大幅度提高了路面的检测效率。本文通过对安徽省合安高速公路进行雷达检测, 描述了路面病害在雷达图像上的显示特征, 进行病害分析进而提出控制措施。

1 三维探地雷达的工作原理

三维探地雷达的工作原理如下: 三维探地雷达利用发射天线向地面发射高频电磁波, 在遇到异电界面 R_0 (两种不同介电常数介质的界面, 即空气和面层) 时, 会在分界面处发生反射和折射, 角度分别

收稿日期: 2020-08-03

作者简介: 魏克森(1997-), 男, 硕士, 在读研究生, 研究方向: 高性能道路材料及结构。

基金项目: 山东省重点研发计划(2019GGX101042); 国家重点研发计划(2018YFB1600100)

为 α_1 和 β_0 , 折射信号作为入射信号向下传播, 在 R_1 (面层与基层) 界面再次发生反射和折射, 分别为角度 β_1 和 γ_0 , 折射信号继续向下传播, 而反射回来的信号都会由接收天线接收, 经过信号处理机等一系列处理, 从而得到信号连续的测量剖面, 形成雷达剖面图, 具体详见图 1。

在介电常数发生变化的界面处高频电磁波会发生反射。在路面结构中, 裂缝、沉陷等病害区域通常孔隙率大, 含水率高。沥青混凝土、空气和水的介电常数明显不同, 当信号波到达路面病害区域时, 会发生反射, 这些电磁波是雷达成像的主要依据。

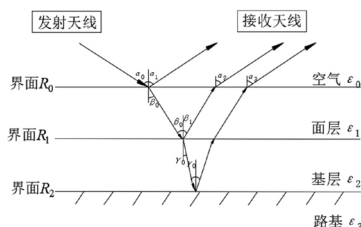


图 1 检测原理图

三维探地雷达系统采用了天线阵技术, 具有很高的分辨率。采用 GeoScope - TM 探地雷达天线阵, 如图 2 所示, 由 21 对电子扫描天线振子组成, 间距为 0.075 m, 可同时采集 21 条测线, 不仅提高了探测效率, 而且实现了三维成像。

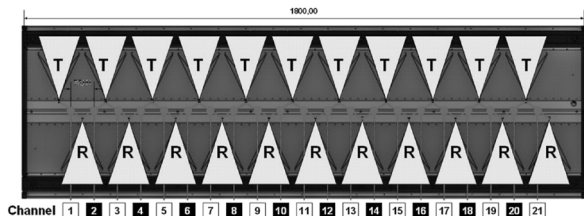


图 2 三维探地雷达天线内部振子排列图

2 沥青路面病害类型及其雷达图像特征

2.1 裂缝

根据电磁波的垂直叠加原理, 裂缝处在探地雷达图像中会形成特殊的垂直特征信号, 这是辨别裂缝的主要依据。由于水、空气和沥青混合料三者的介电常数差异较大, 因而导致电磁波在传播过程中造成影响, 使图像中的形状差异。裂缝在雷达图像上的识别特征如下: (1) 裂缝部位介电常数小于正常路面介电常数; (2) 同相轴不连续, 裂缝位置波形上凸, 雷达横断面图上可看到条形强反射区域; (3) 若裂缝中为空气, 从沥青路面进入裂缝, 相位为负, 少见明显负峰。

2.2 沉陷

路面沉陷在路面结构中存在明显的竖向位移, 在沉陷区域的介电常数和平整路面的介电常数存在很大差异, 进而在探地雷达图像上存在明显的区别。沉陷病害在雷达图像上的识别特征如下: (1) 沉陷部位介电常数明显小于正常部位介电常数; (2) 同相轴弯曲, 多表现为下凹, 沉陷严重部位出现

同相轴错动; (3) 沉陷部位出现强反射振幅。

2.3 松散

由于施工工艺不达标可能导致路面形成离析等。随着使用年限增加, 会降低路面的承载能力, 在外界环境的作用下, 会造成基础的塌陷。松散在雷达图像上的识别特征如下: (1) 松散部位介电常数要小于正常部位介电常数; (2) 同相轴不连续, 波形杂乱, 不规则, 波形杂乱程度随松散程度加大而加剧; (3) 介电常数变化导致振幅增大。

3 工程实例

为进一步研究路面中各种病害在三维探地雷达图像的差异性, 通过对安徽省合安高速公路改扩建项目, 桩号为 K68 + 950 ~ K69 + 950 路段进行探地雷达检测, 检测里程 1 km, 路面结构为 4 cm AC - 13 上面层 + 6 cm AC - 20 中面层 + 6 cm AC - 20 下面层 + 18 cm 泡沫沥青基层, 本检测流程如下。

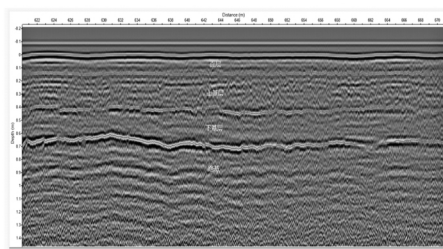


图 3 路面结构雷达剖面图
(K69 + 572 ~ K69 + 620)

- (1) 测线员确定测线起终点与测试方向。
- (2) 每次检测时, 雷达检测车自动采集横向 1.8 m 宽度的数据。
- (3) 每条测线的数据采集由巡检车跟随, 以保证行车安全。

对于实时采集到的数据, 现场分析人员进行初步分析。必要时调整频率, 进行追加检测再度进行数据采集。用三维雷达对路面结构进行扫描, 以了解路面结构的病害范围及深度, 典型路段雷达扫描图像描述如下。

图 3 是通过三维探地雷达最终绘制出的雷达剖面图, 可以根据层间的介电常数不同, 清楚地测出各个层位(路基、底基层、基层、面层), 进而进行观察、分析每一层的病害。以下对测得的路面进行病害分析, 如图 5 ~ 图 7 所示。

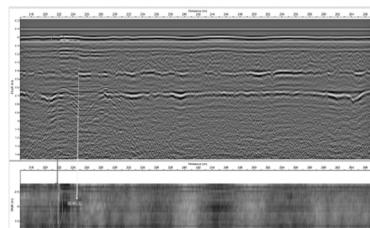


图 4 道路路面横向裂缝雷达剖面图及俯视图(K69 + 172)

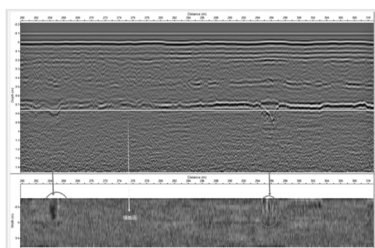


图5 路基沉陷雷达剖面图及俯视图
(K69+211~K69+214与K69+244~K69+247)

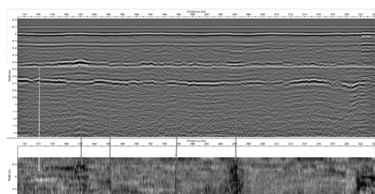


图6 道路基层内部破损、松散雷达剖面图及俯视图(K69+132~K69+154)

由图4所示,在K69+172处出现一道横向裂缝,在纵断面图中同相轴中断,波形局部上凸;在横断面图中,有带状异常雷达图像区域。经分析,由于路面的低温收缩或者半刚性基层收缩以及切缝不及时,施工过程中摊铺、碾压方式不当从而形成横向裂缝。由图5所示,在K69+211~K69+214与K69+244~K69+247两段分别出现了沉陷,基层出现强反射区域,波形杂乱,经分析,由于土路基的密实度不足,地质资料不够全面,对一些影响稳定性的地质构造如地下沟渠等不了解,导致路基沉陷。由图6所示,在K69+132~K69+154段出现部分松散,基层同相轴不连续,波形杂乱,不规则。经分析,由于基层材料质量不合格以及压实、搅拌工艺不规范,下层施工碾压后的标高低于设计标高,因此上层厚度需要加厚,而加厚之后超过了分层碾压厚度要求,则压实度达不到要求造成松散。

4 施工过程中的控制措施

根据对该高速公路路段进行雷达检测,病害个数汇总如图7所示,此路段的面层病害总数有10处,而基层病害总数有76处,可知基层的病害个数远远大于面层的病害个数,因此在施工过程中要注重对基层的质量检验,对于预防路面病害,针对施工过程中的控制有以下几点。

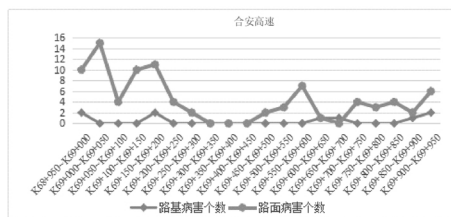


图7 合安高速公路病害汇总图

(1) 运输过程中的控制。在运输车顶部覆盖篷布,并且采用合理的装料和卸料方式,装料时分三

个不同的位置装料,按照在车厢前后中的顺序装料,这样会减小沥青混合料在运输车中的离析程度。当运输车将料卸入摊铺机料斗时,要尽量使混合料整体卸落,车厢底板应处于良好的封闭状态并内涂润滑剂,实现卸料均匀、快速。

(2) 摊铺过程中的控制。合理调整摊铺工艺,尤其注意摊铺机两侧的铺筑质量,避免粒径较大的集料集中在两侧造成离析。尽量减少摊铺机受料斗的受放次数以减少路面出现周期性局部离析。摊铺过程中应随时检查施工质量,出现缺料、离析等现象时及时补洒填料。为解决离析和平整度问题,对摊铺过程而言,主要是从螺旋分料器的结构设计和运动学参数来加以控制。

(3) 碾压过程中的控制。根据工程实际情况,确定初压、复压和终压遍数。合理调整压路机的压实功,以免在起振、停振过程中造成路面沉陷。压路机不得在碾压过程中随意制动,不得在碾压的路面上加水、加油,避免各种油类物质渗入路面产生病害。禁止压路机停留在已完成但尚未降到自然温度的路面上。

5 结论

通过运用三维探地雷达对路面进行检测,对测得的路面病害进行分析,从而得出的结论如下。

通过描述三维探地雷达天线阵技术,解释了探地雷达在路面病害检测中的工作原理,并提出了裂缝、沉陷、松散在雷达图像上的显示特征;

(2) 通过三维探地雷达对合安高速公路部分路段进行雷达检测,分析了裂缝、沉陷、松散在图像上的表现特征,进而根据施工情况分析病害产生的原因;

(3) 通过三维探地雷达检测出来的病害总数,分析了路段产生病害的原因,进一步提出了在施工运输、摊铺、碾压过程中的控制措施,为今后新建或改建道路施工提供借鉴。

参考文献:

- [1] 张华,郑彬彬,李苗鑫,等.无损检测技术在道路工程隐性病害中的研究进展[J].黑龙江交通科技,2019,42(6):37-41.
- [2] 李想堂,王端宜,张肖宁.探地雷达技术的回顾与展望[J].无损检测,2006,28(9):479-484.
- [3] 刘涛.基于无损检测方法的沥青路面介电特性与施工质量评价研究[D].广州,华南理工大学,2016.
- [4] 祝丽.基于三维探地雷达的沥青路面施工均匀性研究[D].济南,山东建筑大学,2018.
- [5] 罗传熙,张肖宁.基于介电常数沥青路面均匀性评价[J].科学技术与工程,2018,18(15):305-309.
- [6] Michal Janku, Petr Cikrle. CoMParison of infrared thermography, ground-penetrating radar and ultrasonic pulse echo for detecting delaminations in concrete bridges[J]. Construction and Building Materials, 2019, (225): 1098-1111.
- [7] 韩文扬,王林,韦金城.路用三维探地雷达技术应用指南[M].人民交通出版社,2020:19-30.