

探地雷达在公路改扩建工程检测中的应用

李 军

(广东省高速公路有限公司, 广州 510640)

摘要:公路改扩建工程在广东省正处于快速发展时期,如何准确得到路面病害情况,是旧路处治方案制定面临的主要问题。依托开阳高速改扩建工程,采用三维探地雷达对旧路进行病害检测,得到道路表面及内部的病害分布情况,并分别与人工徒步调查路况及开挖后内部实际情况进行比对。结果表明:当三维探地雷达检测采样间距设置为 2.0 cm、驻波时间设置为 0.6 ms、时窗设置为 85 ns 时,可达到较好的检测精准度;三维探地雷达可实现对路面结构内部不同深度位置的裂缝病害进行探测,精确识别 3 mm 宽裂缝,并了解裂缝的发展方向及性质。

关键词:公路改扩建;三维探地雷达;病害检测;裂缝

中图分类号:U414 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)08-0295-06

随着粤港澳大湾区发展规划的实施,大湾区城市群紧紧联系在一起,发达的公路网络更是为大湾区城市群的联系、发展提供了强有力的支持^[1]。截至 2020 年 12 月,广东省高速公路通车里程达到 9 895 km。广东省高速公路改扩建工程正处于快速发展阶段,准确探测原路面技术状况,针对性设计处治方案,有助于提升工程质量^[2-5]。Lee 等通过脉冲探地雷达检测路面厚度,表明了路面实际厚度与实际测试值具有极高的匹配性^[6]。许松燕等通过实例和模型试验研究,指出探地雷达可实现路面脱空病害的检测,脱空的雷达反射波振幅与脱空的垂向高度之间符合近似正比的关系^[7]。许献磊等提出一种基于差值检测的道路地下病害检测方法,用于解决地下病害一次性检测中存在严重环境干扰和检测精度低的问题,经工程验证,该方法能够有效提高病害检测的精度^[8]。郑正龙通过西安机场高速检测,表明探地雷达可准确探测出基层病害,具有人为因素干扰少、探测效率高的特点^[9]。童峥总结雷达成像原理后,提出了裂缝、沉降和层间脱空等病害在探地雷达剖面图上的异常波场信号特征,借助 CNN 模型和探地雷达图像可实现路面病害类型的识别^[10]。

改扩建一般采取边通车边施工的方式,在车辆荷载不断作用下,病害将持续发展^[11-13]。因此,历年定检表面数据目前已不能完全反映路面的整体状况,采用三维路面探地雷达检测旧路全断面路面

结构内部(深至土基)病害,确定路面结构内部病害的分布,对实现改扩建路面结构内部病害的精准探测具有重要意义。

1 工程概况

开阳高速公路是广东省“十纵五横两环”高速公路主骨架中第五条横线的一段,发挥着重要的交通运输作用,2004 年建成通车后,交通量稳步上升,现状全线交通量平均已达 6.9 万辆/d(折算小客车),交通拥堵的情况普遍存在,特别是在节假日期间,堵塞尤为严重。2017 年,开阳高速八车道改扩建工程正式开始施工,路基标准宽度有原来的 28 m 扩建至 42 m,按速度 120 km/h 的双向八车道高速公路标准设计。旧路路面结构为 19 cm 沥青层+36 cm 水稳基层+20 cm 水稳底基层,需加铺 10 cm 沥青层(4 cm SMA-13+6 cm AC-20C),全面处治旧路病害,对于提高加铺后路面使用寿命具有重要意义。

选取开阳高速公路 K3252+020~K3258+360 段作为对象。改扩建路面施工前,养护单位采用路面多功能检测车对路表病害进行了定期检测,多功能检测车在程序设定方面,不计入已维修处理过的路面表面损坏,但实际中发现,存在较大比例的路面裂缝压缝带损坏或未完全贴缝,坑槽修补出现掉粒、松散、透水等情况;且随着车辆荷载的作用,病害会持续发展甚至产生新的病害。因此,多功能检测车的检测结果不能完全反映路面的整体状况。

收稿日期:2021-03-02

基金项目:国家自然科学基金(51678251)。

作者简介:李军(1970—),男,河南信阳人,广东省高速公路有限公司,高级工程师,研究方向为道路工程。

为了对该路段的路表状况检测结果进行验证,采用人工徒步调查的方式对路表病害进行检测,更精确获得现阶段的路表损坏状况数据,并对相关数据进行统计分析,如图 1 所示。

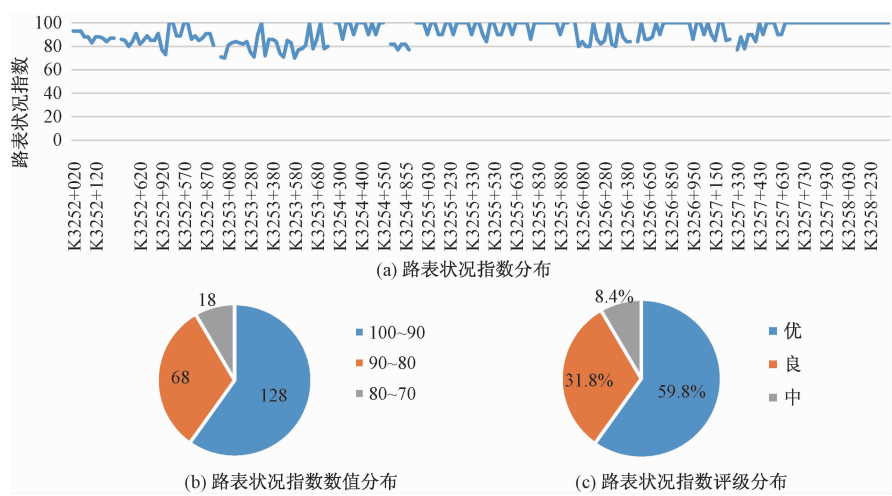


图 1 旧路面路表技术状况

根据该路段路表状况指数的结果分析,路表状况指数评级优良率超过 90%,评级为中的比例约占 8.4%,路段表面状况表现优良。

2 三维探地雷达检测

2.1 检测设备

检测所采用三维探地雷达系统可三维成像,大大减小了过去在二维成像状况下对道路内部结构的误判情况。三维探地雷达系统主要包括 GeoscopeTM MKIV 雷达主机、DXG 系列多通道地面耦合天线阵,如图 2 所示。

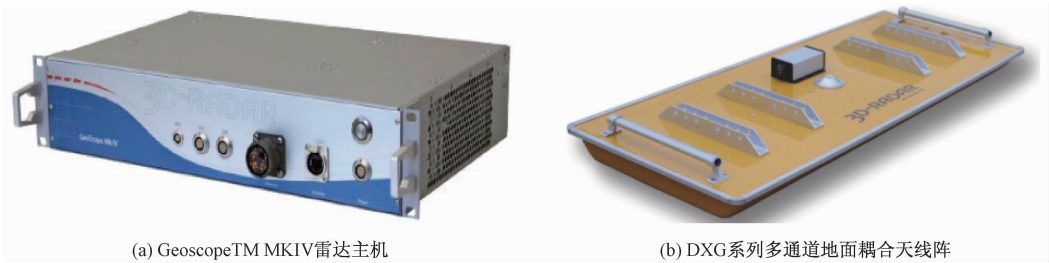


图 2 三维探地雷达系统

2.2 检测原理

三维探地雷达检测融合了电磁技术、现代电子技术和信息技术,可快速实现道路全断面的无损检测。基本原理是地面耦合天线阵向路面内部发送脉冲形式的高频电磁波,并将反射的电磁波接收、处理、分析,获得道路结构相关状况。雷达检测原理如图 3 所示。

电磁波在地下介质传播过程中,当遇到管道、脱空、路面结构层分界处等差异介质时,电磁波便发生反射,反射信号最终由地面耦合天线阵接收。经过信号处理机分析和整理后,形成相应的波形显示,依据得到的雷达波形、强度和双程走时等参数,准确判断地下目标体的空间分布、

几何形态和结构形式,进而实现探测地下隐蔽物的目标。

当接收天线发生移动时,即可接收到连续的探地雷达反射波,采用肖宁道路工程技术研究事务所自编程序对其进行后期数据处理,即可形成清晰直观的高分辨率三维雷达图像,如图 4 所示。

2.3 检测方法

检测路段的桩号为右幅 K3252+020~K3258+360,检测宽度为 7.5 m,单次检测宽度为 1.5 m,设置 5 个检测道,以实现主车道和超车道的全宽覆盖检测。三维探地雷达检测参数如下:采样间距 Trigger Spacing 设置为 2.0 cm,驻波时间 Dwell Time 设置为 0.6 ms,时窗 Time Window 设置为

85 ns。以 10 km/h 的速度逐条扫描检测道,全断面覆盖待测区域,记录每个数据矩阵对应的检测道编

号、起点桩号及终点桩号。三维探地雷达检测现场如图 5 所示。

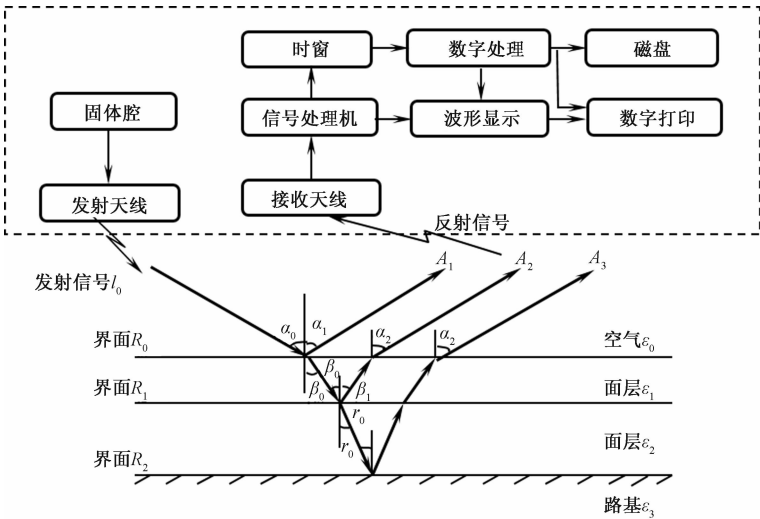


图 3 雷达检测原理

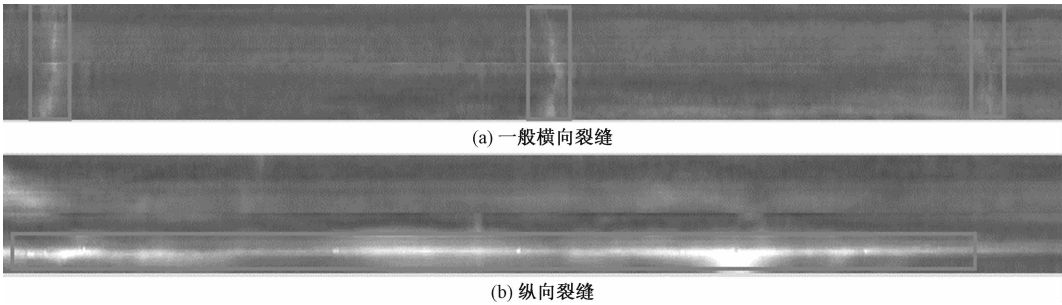


图 4 一般横向裂缝和纵向裂缝病害概览图雷达特征信号示例图



图 5 三维探地雷达检测现场

3 结果及分析

采用三维探地雷达对路面进行全断面覆盖扫描,探明路面结构损伤位置以及相关指标(体积、面积、长度以及最大高程差等),检测结果汇总见表 1。

由表 1 可知,旧路路面病害以裂缝为主,因此,

旧路路面内部病害推荐以裂缝率作为主要的评价指标。另外,对比人工徒步调查结果发现,三维探地雷达检测路表病害结果具有较高的准确度,达到 95% 的匹配率。

根据检测结果,计算面层裂缝率和基层裂缝率,分析检测范围内裂缝分布情况,计算公式为

$$\gamma = \frac{l_c}{A_{\text{rea}}} \times 100 \tag{1}$$

式中: γ 为裂缝率, $\text{m}/100 \text{ m}^2$; l_c 为段落内面层、基层裂缝长度, m ; A_{rea} 为段落面积, m^2 。

对开阳高速公路 K3252+020~K3258+360 段深度为 8 cm 的面层裂缝率和 24 cm 的基层裂缝率进行汇总分析,裂缝率分布情况如图 6 所示。

由雷达检测裂缝率结果分析可知:

1)路面结构基层裂缝率呈现非常明显的高位集中,在 K3252+020 和 K3254+400 附近,裂缝率超过 $50 \text{ m}/100 \text{ m}^2$,基层裂缝的密集程度明显高出

其他位置,其他位置的基层裂缝率基本在 10 m/ 100 m² 以下。

表 1 路面结构损伤汇总

病害 结构层	裂缝			坑槽		网状开裂		沉陷		脱空		松散	
	数量	长度/m	裂缝率/(m/100 m ²)	数量	面积/m ²	数量	面积/m ²	数量	面积/m ²	数量	面积/m ²	数量	面积/m ²
面层	158	974	6.2	7	42	3	56			—	—	—	—
基层	80	624	7.8	—	—	6	90	—	—	5	3.9	5	46
底基层	62	453	7.3	—	—	5	82	—	—	2	1.5	3	30
土基	—	—	—	—	—	—	—	3	198	—	—	—	—

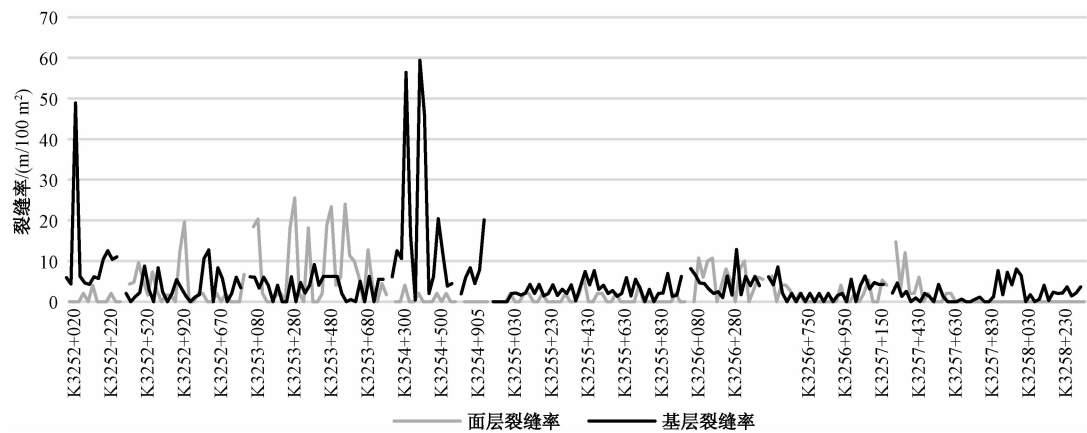


图 6 路面面层裂缝率和基层裂缝率分布状况

2) K3252 + 020、K3254 + 400、K3254 + 900、K3258 + 000 附近,24 cm 深度位置基层裂缝率明显大于 8 cm 深度位置面层裂缝率,基层干缩裂缝、纵向裂缝和网裂病害非常明显,而面层裂缝较少。8 cm 深度位置面层为原 4 cm 上面层 + 4 cm 罩面层,上基层表面裂缝向上反射尚未贯穿路面表面,另外,由于该段落表面罩面处治时间不长,部分反射裂缝被修复。

3) 沥青路面的 8 cm 深度面层裂缝率小于 20 m/100 m²,K3252 + 920、K3253 + 280 ~ K3253 + 630、K3257 + 330 附近 8 cm 深度位置面层裂缝率明显大于 24 cm 深度位置基层裂缝率,路面表面除了基层反射裂缝外,还存在一小部分自上而下发展的疲劳裂缝和温缩裂缝。

选取 K3254 + 320 - 400 段路面进行开挖验证,该段各结构层雷达影像如图 7 所示。

雷达图像结论:面层有小量轻微裂缝,下基层整体开裂情况基本和上基层一致,存在较严重的网状开裂,底基层仍然有较多裂缝,略少于下基层,土基整体状况良好。

结合现场情况与雷达图像分析:对于路表,主

车道有铣刨,超车道未铣刨,超车道出现裂缝而主车道未出现裂缝。雷达可以识别主车道基层的裂缝,实现隐形病害的探测,开挖后基层病害情况如图 8 所示。

从开挖验证结果来看,三维探地雷达检测的病害结果与开挖后发现的路面病害结果在三维空间上具有高度的吻合性,实现了对 3 mm 裂缝的探测。

4 结论

依托开阳高速公路改扩建工程,开展了人工调查路表、三维探地雷达检测病害与开挖验证等工作,研究探地雷达的应用效果,得到如下结论:

1)三维探地雷达检测参数设置不同影响精度,当采样间距设置为 2.0 cm、驻波时间设置为 0.6 ms、时窗设置为 85 ns 时,可达到较好的检测精准度。

2)三维探地雷达对毫米级病害依然敏感,缝宽为 3 mm 时,三维探地雷达可识别出面层、基层横向、纵向裂缝、网状裂缝等。

3)三维探地雷达可实现对路面结构内部不同深度位置的裂缝病害进行探测,并据此了解裂缝的发展方向及性质。

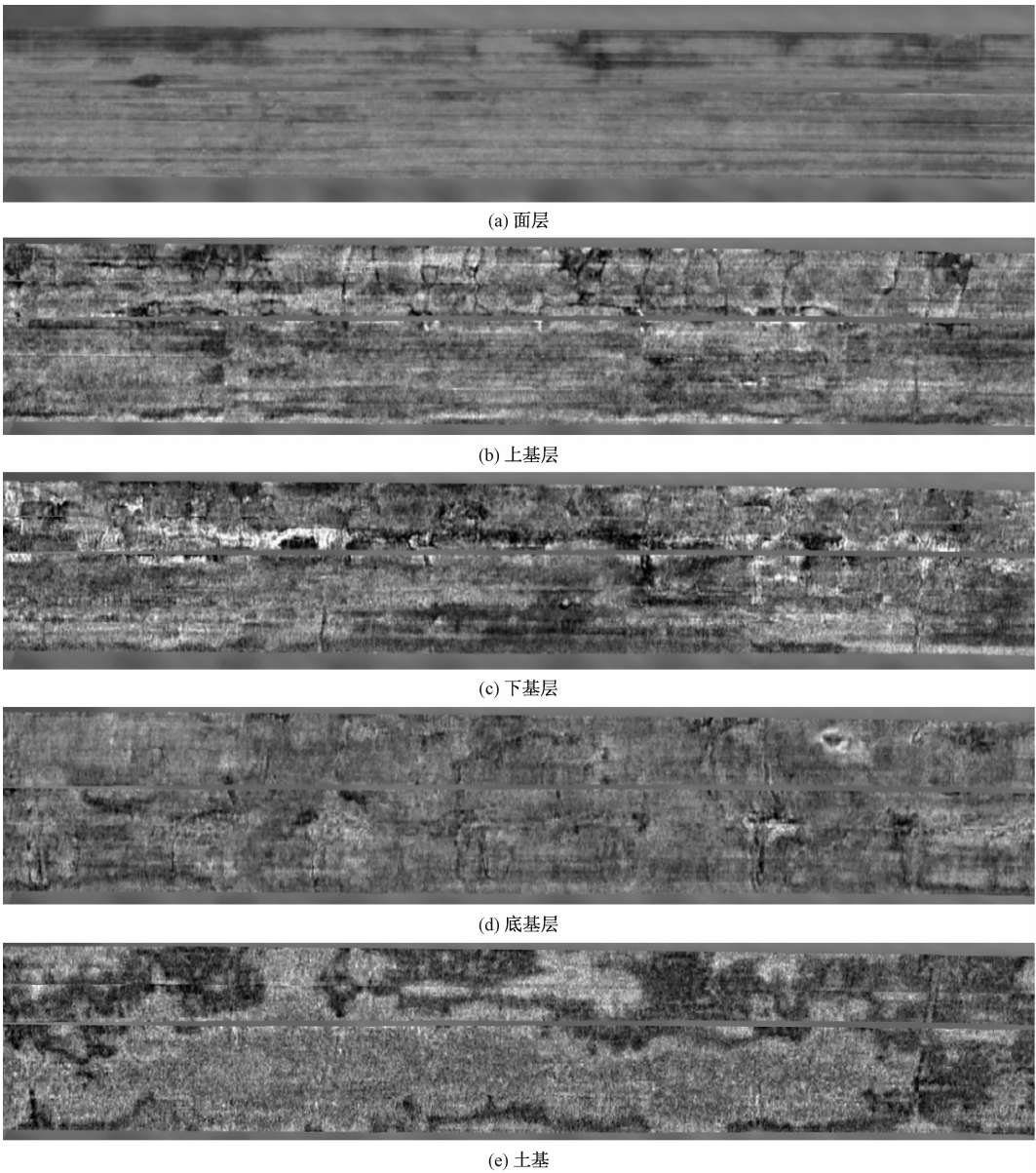


图 7 K3254+320—400 路面各结构层雷达影像



图 8 开挖后基层病害情况

参考文献

[1] 杨锐烁,张海霞,李华. 粤港澳大湾区建设背景下的南沙交通发展策略[C]//交通治理与空间重塑——2020 年中国城市交通规划年会论文集. 北京:中国城市规划学会城市交通规划学术委员会,中国城市规划设计研究院城市交通专业研究院,2020:6.

[2] 广东省交通运输厅关于高速公路改扩建管理的办法[J]. 广东省人民政府公报,2018(32):52—54.

[3] 宁宝骞. 探地雷达在公路工程检测中的应用探究[J]. 建材与装饰,2020(12):267—268.

[4] 姚国鑫. 高速公路改扩建工程旧路的检测及改善设计[J]. 低碳世界,2019,9(1):219—220.

[5] 沈蕴虹. 高速公路改扩建工程原沥青路面病害处治技术探

究[J]. 中国公路, 2020(22):118—120.

[6] LEE J S, NGUYEN C, SCULLION T. A novel, compact, low-cost, impulse ground-penetrating radar for nondestructive evaluation of pavements[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, 53 (6): 1502—1509.

[7] 许松燕, 葛如冰, 郭生浦. 地质雷达在公路路面脱空检测中的应用研究[J]. 华南地震, 2009, 29(S1):108—112.

[8] 许献磊, 杨峰, 乔旭. 基于 GPR 的城市道路地下病害差值检测方法研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(12):83—88.

[9] 郑志龙. 三维雷达在路面基层检测中的应用[J]. 内蒙古公路与运输, 2020(5):60—62.

[10] 童峥. 基于深度学习和探地雷达技术的路面结构病害检测研究[D]. 西安: 长安大学, 2018.

[11] 苏兴波. 高速公路改扩建期间交通组织优化研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2015.

[12] 王彬. 高速公路改扩建期交通分流的效益分析[D]. 西安: 长安大学, 2011.

[13] 孔祥杰. 沥青路面性能衰变预测及养护维修决策方法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2015.

The Application of Ground Penetrating Radar in Inspection of Highway Reconstruction and Extension Projects

LI Jun

(Guangdong Expressway Co. , Ltd. , Guangzhou 510640, China)

Abstract: The highway reconstruction and expansion project is in a period of rapid development in Guangdong Province. How to accurately obtain the condition of the road surface disease is the main problem faced by the formulation of the old road treatment plan. Relying on the Kaiyang Expressway reconstruction and expansion project, the three-dimensional ground penetrating radar was used to detect the disease on the old road, and the disease distribution on the surface and inside of the road was obtained, and the road conditions were compared with the actual conditions after the manual walk and the excavation. The results show that when the 3D ground penetrating radar detection sampling interval is set to 2.0 cm, the standing wave time is set to 0.6 ms, and the time window is set to 85 ns, better detection accuracy can be achieved. Detect cracks at different depths, accurately identify 3 mm wide cracks, and direct the development direction and nature of the cracks.

Key words: highway reconstruction and expansion; three-dimensional ground penetrating radar; disease detection; cracks