

# The Application of Integrated Geophysical Method in Cause Survey of Asphalt Pavement Cracks

Meng Yu<sup>1,2,3</sup> Chunbo Li<sup>1,2,3</sup> Li Zhang<sup>1,2,3</sup> Zhiguang Hou<sup>1,2,3</sup> Peng Cui<sup>2,3</sup>

1. 519 Team of North China Geological Exploration Bureau, Baoding, Hebei, 071051, China

2. Hebei Jiuhua Surveying and Mapping Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071051, China

3. Hebei Urban Geological Safety Risk Early Warning Technology Innovation Center, Baoding, Hebei, 071051, China

## Abstract

In order to analyze the causes of longitudinal cracks in a municipal road in Tianjin, the geological radar method and the micro-motion detection method were used to detect the lateral along the road, and the detection results were verified by drilling. The results show that the geological radar map is not coherent on both sides of the pavement crack, and there is an obvious downward trend on one side. The micro-motion detection data show that there is a low-velocity layer 4-8 m below the pavement. It is speculated that the soil of this layer is soft soil, and the soil of this layer is muddy clay verified by drilling. Based on the results of geological radar and microtremor detection, it is considered that the cause of pavement cracks is related to the uneven settlement of soil caused by the decrease of bearing capacity of silty clay layer. The research results can provide reference for relevant departments to carry out road maintenance.

## Keywords

ground penetrating radar; microtremor detection; asphalt pavement crack; cause survey

## 物探方法在沥青路面裂缝成因调查中的应用

于蒙<sup>1,2,3</sup> 李春波<sup>1,2,3</sup> 张丽<sup>1,2,3</sup> 侯志广<sup>1,2,3</sup> 崔鹏<sup>2,3</sup>

1. 华北地质勘查局五一九大队, 中国·河北 保定 071051

2. 河北九华勘查测绘有限责任公司, 中国·河北 保定 071051

3. 河北省城市地质安全风险预警技术创新中心, 中国·河北 保定 071051

## 摘要

为分析天津某市政道路纵向裂缝的形成原因, 采用地质雷达法和微动探测法沿道路横向进行探测, 对探测结果进行钻孔验证。结果表明, 地质雷达图谱在路面裂缝两侧不连贯、一侧有明显向下倾斜趋势, 微动探测数据显示路面下方4~8 m存在一层低速层, 推测该层土体为软土, 经钻孔验证确定该层土体为淤泥质粘土。综合地质雷达和微动探测结果, 认为路面裂缝的形成的原因与淤泥质粘土层承载力降低导致的土体不均匀沉降有关, 研究成果可为有关部门进行道路维修提供参考。

## 关键词

地质雷达; 微动探测; 沥青路面裂缝; 成因调查

## 1 引言

裂缝是沥青路面常见的病害类型之一, 具体可分为横向裂缝、纵向裂缝、龟裂和块裂等类型<sup>[1]</sup>, 其成因一般与设计不合理、施工质量不佳、路基不均匀沉降、交通荷载过大等因素有关<sup>[2-3]</sup>。张国亮等<sup>[4]</sup>总结出天津滨海新区沥青路面早期裂缝的成因主要为沥青面层温缩开裂、基层受拉开裂以及路基不均匀沉降; 吴晓伟<sup>[5]</sup>通过在路面取芯分析认为天津中新生态城沥青道路裂缝成因与路基不均匀沉降、基础松散、面层偏薄及层间粘结不佳有关。

【作者简介】于蒙(1986-), 男, 满族, 中国河北承德人, 本科, 工程师, 从事城市地质安全调查评价研究。

天津某市政道路建成于2009年10月, 2023年11月路面开始出现纵向裂缝, 并且裂缝发育范围持续扩大, 至2024年6月纵向裂缝总长度约200 m。为查明裂缝形成原因, 在裂缝处沿道路横向进行了综合物探勘察研究工作, 以期查明路面纵向裂缝的形成原因, 为道路维修提供参考。

## 2 研究区概况

该道路为双向四车道, 横断面布置为3 m人行道+19 m车行道+3 m人行道; 路面结构为4 cm细粒式沥青混凝土(AC-13)+6 cm中粒式沥青混凝土(AC-20)+15 cm石灰粉煤灰碎石(8:12:80)(骨架密实型)+15 cm石灰粉煤灰碎石(10:45:45)(悬浮密实型)+15 cm石灰土(12%), 总厚度55 cm; 人行道结构为6 cm彩色花砖+3 cm砂垫层+15

cm 石灰土 (12%) + 15 cm 石灰土 (10%)，总厚度 39 cm。

经现场调查，路面主要发育纵向裂缝，总长度约 200 m，主要位于东侧两车道；裂缝宽度不一，最宽处达 4 cm；利用内窥镜查看裂缝内部，在路面结构层下方可见轻微脱空；人行道边为 3 m 高砖砌围墙，围墙有开裂、倾斜迹象，围墙以东为林地，标高略低于路面；道路以西 15 m 为住宅小区，中间为绿化带。

### 3 研究方法

#### 3.1 地质雷达法

地质雷达是利用高频电磁波探测地下介质分布的一种地球物理方法<sup>[6]</sup>。其工作原理为地质雷达的发射天线以宽频带脉冲形式向地下发射高频电磁波，经地下介质反射或透射，被接收天线接收，高频电磁波在介质中传播时，其路径、电磁场强度和波形将随所通过介质的电性质及集合形态而变化，通过对接收信号的采集、处理和分析，可推测地下介质的位置、结构、形态、埋深等信息<sup>[7]</sup>。由于道路各结构层之间存在明显的介电常数差异，且地质雷达具有无损、方便、快捷、抗干扰能力强等优点，因此地质雷达常用于道路结构层厚度检测及空洞、脱空、疏松、裂缝等道路病害探测工作中<sup>[8-9]</sup>，是一种高效的道路结构层检测和病害探测方法。

#### 3.2 微动探测法

微动是指地球表面存在的天然微弱振动，是一种由体波和面波组成的复杂振动，信号中面波的能量占总能量的 70% 以上<sup>[10]</sup>。微动探测法通过提取天然场源微动信号中的瑞雷波频散信息，通过反演获取地下介质的横波速度结构，分析目标体与周围介质间的波速差异，从而查明或解决地质问题的一种地球物理方法<sup>[11]</sup>。该方法具有抗干扰能力强、场地限制小、探测深度大、施工方便快捷等优点，目前已成为城市地下空间结构探测的重要手段之一<sup>[12-13]</sup>。

在数据采集时，微动探测常用的观测阵列主要有嵌套三点圆形阵列、十字阵列、圆形阵列、线性阵列等。由于城市地区受施工现场条件限制，嵌套三点圆形、十字、圆形等阵列观测方式难以实现长剖面数据的高密度、高效采集，因此线性阵列是最为常用的在城区内进行微动探测的方式<sup>[14]</sup>。

### 4 数据采集与解译

#### 4.1 数据采集

本次研究在路面裂缝最宽处布设两条探测剖面，分别为 L1 和 L2，如图 1 所示。其中，地质雷达探测长度为整个剖面，微动探测长度为路面宽度。

##### 1) 地质雷达数据采集与处理

地质雷达探测使用意大利 IDS 公司生产的 RIS Fastwave 双频地质雷达，天线频率为 200 MHz 和 600 MHz，采样点数设为 512，采样间隔设为 0.10 m，记录时窗设为 150 ns，探测深度为 2.5 m。探测前，先使用 RTK 对剖面起点和终点进行放样并在地面做好标记，再铺设测绳以保证探测方向的

准确无误。探测时，采用手推方式自西向东推动地质雷达匀速前进，做好数据采集记录。

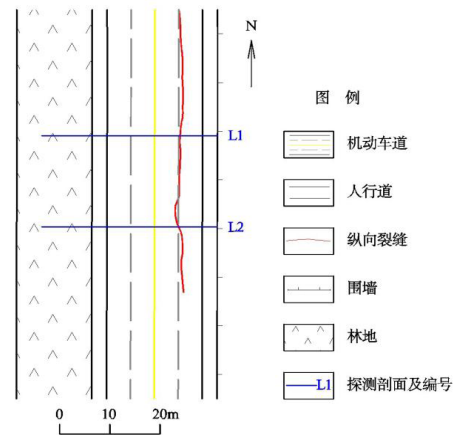


图 1 探测剖面位置示意图

##### 2) 微动数据采集与处理

微动探测使用 SmartSolo 公司生产的 IGU-16HR 1C 5Hz 单分量智能地震传感器，采用线性台阵观测方式，采样间隔 0.1 ms，探测点距 1 m，24 个采集站为 1 个排列。探测前，先使用 RTK 对全部测点进行放样并在地面做好标记，然后再将传感器依次放置在地面，全部传感器开机并开始采集数据后，开始记录同步时间，同步采集时长 30 min。

#### 4.2 数据解译

图 2 为地质雷达探测结果，两条剖面中路面结构层 (0 ~ 0.5 m) 主要层位连续，表明路面结构质量良好；结构层下方 (0.5 ~ 2.5 m) 主要层位连续，未发现异常；路面裂缝两侧层位雷达图谱不连贯，图谱反应深度为 0.8 ~ 1.5 m，表明路面裂缝为深层反射裂缝；东侧人行道深部层位有向下倾斜趋势，反应出深部土体存在不均匀沉降现象。

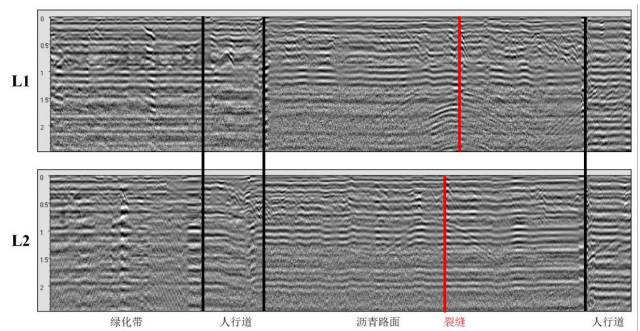


图 2 地质雷达探测结果

图 3 为微动探测视横波反演剖面图，两条剖面中浅部 0 ~ 3.5 m 在数据处理时未提取到频散曲线，为探测盲区；4 ~ 8 m 为整体表现为低速，剖面东侧视横波速度值小于于西侧；8 ~ 11 m 表现为中速，顶部界面略有起伏；11 ~ 20 m 表现为高速，界面相对平整。一般情况下，视横波速度值与土体的松散、软弱程度有关，软土的速度值小于坚硬土体，据此推测 4 ~ 8 m 土层较为软弱，下部土体相对较坚硬。

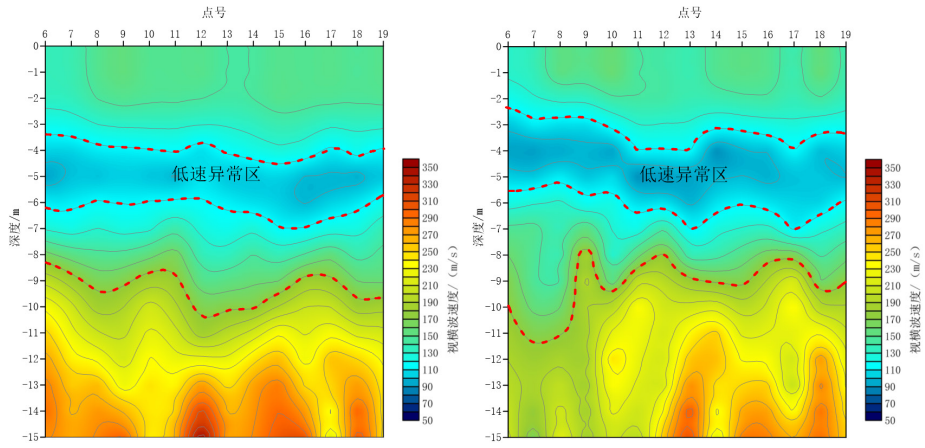


图3 微动探测结果

## 5 裂缝成因分析

根据地质雷达探测结果,道路结构层雷达图谱层位连续,未发现明显的异常区域,表明道路结构层质量良好,路面裂缝的形成原因与结构层无关;东侧人行道深部层位的雷达图谱有向下倾斜趋势,反应出深部土体存在不均匀沉降现象,结合道路东侧2条机动车道有明显沉陷、围墙开裂、倾斜等情况,认为路面裂缝的形成原因与道路下方土体不均匀沉降有关。

根据微动探测结果,路面下方4~8m土层表现为低速,8~20m土层表现为中-高速,根据面波在土层中的传播规律,推测4~8m土层土层较为软弱,下部土体相对较坚硬。结合地质雷达探测结果,综合分析认为道路下方土体不均匀沉降与4~8m的软弱土层有关。

为验证物探勘察结果,在L1剖面的右侧人行道位置进行了钻探验证。钻探结果显示,0~0.6m为人工填土,0.6~3.5m为粘土,3.5~7.0m为淤泥质粘土,7.0~9.0m为粉质粘土,9.0~15.0m为粘土。钻探验证结果证实了道路下方土体中软土的存在,且物探勘察结果与钻探验证结果对应较好。

综合现场调查、物探勘察及钻探验证结果,路面裂缝发育与路面下方3.5~7.0m淤泥质粘土层有关。道路西侧为住宅小区、东侧为林地,道路两侧地基土的承载能力不一致、沉降量不一致,经过长时间的沉降积累形成区域不均匀沉降,是路面裂缝发育的主要原因;2023年7月底海河流域普降暴雨,道路东侧空地地势较低,在强降雨条件下易造成积水,致使局部地下水位发生变化,对道路下方的软弱土层造成扰动,降低了土体的承载能力,加剧了区域土体不均匀沉降,是路面裂缝发育的主要诱因。

## 6 结论

1) 地质雷达探测结果表明道路结构层质量良好,东侧人行道处深部土体存在不均匀沉降;微动探测结果发现路面下方4~8m存在一处软弱土层,钻探结果与微动解译结果基本一致,证实了软弱土层的存在。

2) 路面纵向裂缝发育的主要原因为道路两侧地基土的承载能力不一致、沉降量不一致,经过长时间的沉降积累形成区域不均匀沉降;地下水对软弱土层的扰动进一步降低了土体的承载能力,是裂缝发育的主要诱因。

## 参考文献

- [1] 曹明明, 陈金蓉, 张洲洋, 等. 高温多雨区沥青路面裂缝率演化规律研究[J]. 市政技术, 2023, 41(12): 134-139.
- [2] 刘刚刚. 公路沥青路面裂缝产生原因与处理措施[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(7): 161-163.
- [3] 王原宁. 市政工程沥青混凝土路面裂缝的探究[J]. 甘肃科技, 2024, 40(2): 17-20.
- [4] 张国亮, 蒋宏伟, 杜立平. 滨海新区城市道路沥青路面早期裂缝原因及防治[J]. 山西建筑, 2013, 39(3): 126-128.
- [5] 吴晓伟. 中新天津生态城沥青路面反射裂缝的研究[J]. 中国市政工程, 2012, (S1): 24-26.
- [6] 李成香, 强建科, 王建军. 地质雷达在公路裂缝检测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2004, (3): 282-286.
- [7] 郭显锋. 地质雷达在道路质量与病害检测中的应用[J]. 四川建材, 2023, 49(3): 25-27.
- [8] 胡艳杰, 余湘娟, 高磊, 等. 探地雷达在道路结构层厚度检测中的应用[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2017, 34(4): 37-41.
- [9] 江凯. 城市道路结构层材料介电特性及其应用研究[D]. 西南交通大学, 2016.
- [10] 田宝卿, 丁志峰. 微动探测方法研究进展与展望[J]. 地球物理学进展, 2021, 36(3): 1306-1316.
- [11] 高艳华, 黄溯航, 刘丹, 等. 微动探测技术及其工程应用进展[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(23): 146-155.
- [12] 石科, 杨富强, 李叶飞, 等. 利用微动探测研究城市地下空间结构[J]. 矿产与地质, 2020, 34(2): 355-365.
- [13] 李得博, 李井冈, 廖武林. 微动线型台阵快速探测方案设计[J]. 大地测量与地球动力学, 2023, 43(11): 1205-1210.
- [14] 陈基伟, 赵东东, 宗全兵, 等. 基于线形台阵的高精度微动技术在城区岩性地层精细划分中的应用[J]. 物探与化探, 2021, 45(2): 536-545.