

# Application of Ground Penetrating Radar in the Detection of Road Collapse Hazards in Zhuozhou

Meng Yu<sup>1,2,3</sup> Jiangtao Cao<sup>1,2,3</sup> Chunbo Li<sup>1,2,3</sup> Lei Ren<sup>1,2,3</sup> Xiaohui Yan<sup>1,2,3</sup>

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

2. Hebei Jiuhua Geo-exploration and Surveying Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071051, China

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

## Abstract

From July 29th to August 1st, 2023, Zhuozhou City was affected by continuous heavy rainfall and floods from upstream rivers, resulting in severe waterlogging and multiple roads being submerged by floodwaters, leading to several road collapse accidents. To identify potential collapse hazards, emergency radar detection work for collapse hazards was carried out on the main roads in Zhuozhou City. Using the emergency detection workflow for road collapse hazards, vehicle-mounted three-dimensional ground-penetrating radar was used to collect data from the roads. The interpreted anomalies were verified and validated using two-dimensional ground-penetrating radar, drilling, endoscopy, and other methods. A total of 125 disease hazards were discovered. Through analysis of the causes of the diseases, it was believed that the formation of the hazards was closely related to the damage and leakage of underground pipelines. The work results provided an accurate basis for relevant departments to deal with road diseases and also provided a reference for future emergency detection work after floods and waterlogging.

## Keywords

urban waterlogging; road subsidence; 3d ground penetrating radar; Zhuozhou

## 探地雷达在涿州道路塌陷隐患检测中的应用

于蒙<sup>1,2,3</sup> 曹江涛<sup>1,2,3</sup> 李春波<sup>1,2,3</sup> 任磊<sup>1,2,3</sup> 闫晓辉<sup>1,2,3</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

2023年7月29日到8月1日, 涿州市区受到连续强降雨及上游河道洪水过境影响, 内涝严重多条道路被洪水淹没, 发生多起道路塌陷事故。为查明可能存在的塌陷隐患, 对涿州城区主要道路开展了应急塌陷隐患雷达检测工作。应用道路塌陷隐患应急检测工作流程, 利用车载式三维探地雷达对道路进行数据采集, 对解译的异常采用二维探地雷达、钻孔、内窥镜等手段进行复核、验证, 共发现125处病害隐患; 通过对病害成因进行分析, 认为隐患形成与地下管线破损、渗漏存在紧密联系, 工作成果为有关部门进行道路病害处置提供了准确依据, 也为今后开展洪涝灾后道路应急检测工作提供了一定的借鉴。

## 关键词

城市内涝; 道路塌陷; 三维探地雷达; 涿州

## 1 引言

2023年7月29日至8月1日, 受超强台风“杜苏芮”深入内陆影响, 京津冀地区遭遇特大暴雨, 海河流域发生流域性特大洪水<sup>[1]</sup>。受连续强降雨和上游河道洪水过境影响, 涿州市区发生严重内涝, 部分地段积水严重, 多条道路被洪

水淹没, 城市内涝往往会引起道路塌陷, 急需开展道路塌陷检测工作。

常用于道路塌陷隐患检测方法包括探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法、瞬变电磁法等<sup>[2]</sup>, 每种方法均有各自的优缺点和适用范围。其中, 高密度电阻率法因需要在地表打入电极, 不适用于在城市道路上开展工作<sup>[3]</sup>; 瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法的工作效率较低, 不适用于在城市道路上开展连续检测; 瞬变电磁法受电磁干扰影响严重, 对浅层目标的分辨能力弱, 同样不适用于在城市道路进行检测。

【基金项目】保定市科技计划项目(编号: 2211ZG004); 天津华北地质勘查局科研项目(编号: HK2023-B37)。

【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。

相较于其他方法，探地雷达具有高精度、高效率、连续无损、实时成像和结果直观等优点，在道路塌陷隐患检测中应用最为广泛。特别是车载式多通道三维探地雷达设备单次探测可以获得多条高密度测线数据，大大提高了工作效率，已经成为道路塌陷隐患检测的主流技术。间照涛等应用三维探地雷达对银川市部分道路进行检测，其研究表明三维探地雷达检测结果能够更好地突出脱空、疏松等病害异常以及识别管道、井盖等结构物；卢思同等在上海的研究表明采用三维地质雷达技术可准确圈定道路病害的范围及埋深，为道路病害风险评估、安全监测预警、灾害处治提供支撑；许泽善等利用三维探地雷达对同一路段进行多次检测，可以监测地下病害体发展变化过程，为道路养护提供更为合理的建议。

涿州洪涝灾后道路塌陷隐患检测工作具有应急性质，常规检测方法和设备无法满足进度要求，最终确定主要采用车载式三维探地雷达开展检测工作。

## 2 检测流程

涿州洪涝灾后道路塌陷隐患应急检测工作，需要对道路进行快速、准确检测，因此除做好组织协调工作以外，建立道路塌陷隐患检测流程显得尤为重要。检测流程的确定，不仅能使检测人员明确自身的职责分工，还能在动态调整人员、设备时减少适应、磨合时间，进一步提高检测效率，确保工作质量。因此，在检测工作开始之前，结合相关标准规范、工区现状、以往经验及政府有关部门的迫切需求，针对性的建立了本次道路塌陷隐患应急检测工作的标准流程（图2）。

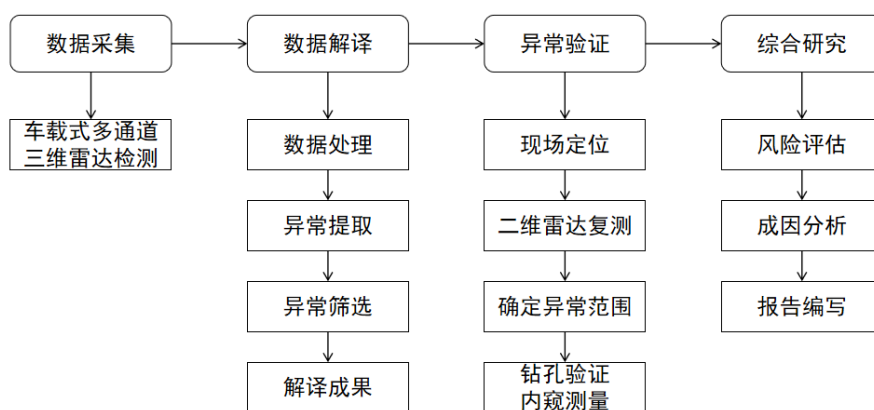


图2 检测流程示意图

### 2.1 数据采集

在检测工作正式开始前，在已知塌陷点处进行了数据参数试验，确定了探地雷达的数据采集参数；本着“隐患优先、主干优先”的原则，对待检道路进行分类、编号，按顺序依次进行检测。

道路塌陷隐患检测方法采用车载式多通道三维探地雷达，该方法在对道路检测时，将探地雷达设备拖挂在检测车后方，沿车道行进方向进行数据采集，不影响道路上车辆的正常通行，是一种绿色、环保、无损、快速的检测方法。

### 2.2 数据解译

数据解译主要包括数据处理、异常提取、异常筛选等步骤。本次工作使用 IQMaps 软件对采集的三维探地雷达数据进行处理，该软件是一种新的用于探地雷达数据分析的后处理软件，提供了用户和数据之间的快速接口，引入了实时处理和三维可视化，可以轻松地处理、分析和检查来自密集阵列雷达系统的数据。数据处理完毕后，采用自主研发的三维雷达图谱智能解析软件对图谱中的异常信息进行提取、汇总，之后以人工方式对异常进行逐个筛查，结合空洞、脱空、疏松、富水等病害隐患在雷达图谱上的典型特征（表2），对异常类型进行分类并剔除干扰异常，并提取异常点中心坐

标、埋深等信息，形成解译成果。

### 2.3 异常验证

异常验证主要包括异常点定位、二维雷达复测、雷达图谱现场判定、地面标记、钻孔、内窥镜查看、测量记录等。对每个异常点进行现场放点，使用便携式二维探地雷达对异常点及周边进行详细复测，现场判定异常类型和范围，并在路面喷涂标记；采用便携钻机进行钻孔验证，使用内窥镜查看病害内部情况，并详细记录。

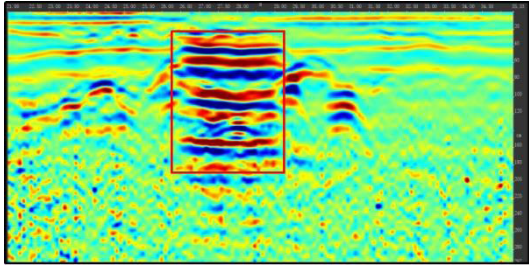
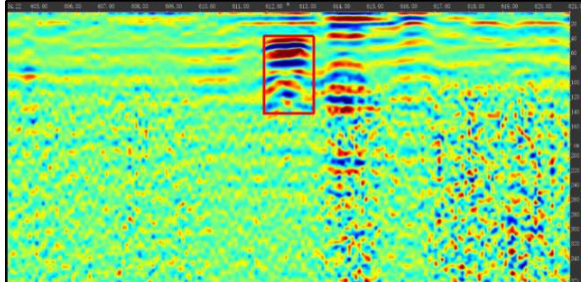
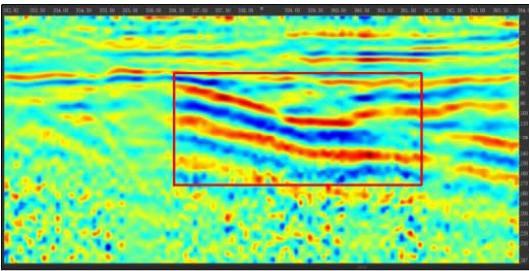
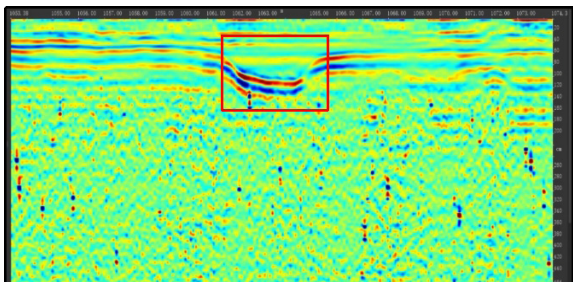
### 2.4 综合研究

综合研究工作包括病害点风险评估、成因分析以及成果报告编写等。风险评估是以单个病害点为对象，在综合探测的基础上，结合周边环境信息，确定其风险等级，提出风险控制对策建议。成因分析是通过调查病害周边环境，对病害的形成原因进行分析，以便提出更科学合理的处置建议。全部工作结束后，编制成果报告，提交至相关部门，为病害治理提供依据。

## 3 检测结果

本次道路应急检测，共发现 125 处病害，其中空洞 6 处，脱空 114 处，严重疏松 5 处。

表2 典型病害雷达图谱特征

病害类型	三维雷达图谱及特征	病害类型	三维雷达图谱及特征
空洞	 <p>反射信号能量强, 反射信号的频率、振幅、相位变化异常明显, 下部多次反射波明显, 边界可能伴随绕射现象。</p>	脱空	 <p>反射信号能量强, 反射信号的频率、振幅、相位变化异常明显, 下部多次反射波明显, 边界可能伴随绕射现象。</p>
疏松	 <p>反射信号能量变化大, 同相轴不连续, 波形杂乱、不规则。</p>	富水	 <p>顶面反射信号能量较强、下部信号衰减较明显; 同相轴较连续、频率变化不明显。</p>

#### 4 成因分析

道路塌陷隐患形成和发育的成因伴随着多方面复杂因素, 受道路地下土层、周边环境、气象因素、人为因素等多方面共同影响。一般而言, 可将其成因分为自然因素和人为因素。其中自然因素主要包括不良地质条件、不良地质作用、水文作用等, 人为因素主要包括工程施工扰动、地下管线渗漏、施工质量不佳等, 其中地下管线渗漏是诱发道路塌陷事故最主要的因素之一。据中国测绘学会地下管线专业委员会2023年11月发布的《2023度全国地下管线事故统计分析报告》统计, 在2022年10月-2023年9月发生的已知原因的138起道路塌陷事故中, 由地下管线问题导致的事故数量为84起, 占比高达61%。

本次涿州道路应急检测发现的125处病害中, 有102处位于雨污水管线上方或周边, 病害的形成和发育与雨污水管线之间存在密切的联系。在突发强降雨的情况下, 雨污排水管道满水、冒溢导致路面大量积水, 在水压力作用下地下管线出现严重渗漏现象, 渗流携带管线周边土体中的细颗粒, 进一步造成渗水通道的扩张、提高了渗流速度, 最终路基土层中的细颗粒逐步流失, 剩余较大颗粒以骨架形式保

留, 形成相对稳定的架空体系支撑路面结构, 在路面荷载作用下, 最终导致道路塌陷。

#### 5 结论

城市洪涝灾后是道路塌陷事故的高发期, 本次工作通过建立道路塌陷隐患应急检测工作流程, 利用车载式三维探地雷达对涿州市区主次干路开展全面检测, 利用二维探地雷达和钻孔等手段进行异常验证, 共发现各类病害125处, 为保障救灾通道的安全畅通、确保救灾工作进行和人民群众安全出行发挥了积极作用。本次工作发现的隐患形成与地下管线破损、渗漏存在紧密联系。因此除对发现的道路塌陷隐患点进行治理外, 还建议对城区雨污水管网进行全面排查, 对破损、渗漏处进行修复, 消除隐患。

#### 参考文献

- [1] 余锡平, 单楷越. 华北平原极端暴雨洪水事件共性机制探讨及对策建议[J]. 中国水利, 2023, (18): 24-28.
- [2] 安关峰, 胡群芳. 城市道路塌陷灾害防控技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022: 24-27.
- [3] 王洪华, 龚俊波, 王敏玲, 等. 三维探地雷达技术在道路塌陷空洞探测中的应用[J]. CT理论与应用研究, 2018, 27(5): 609-616.