

黑龙江省城镇道路三维探地雷达 探测技术规程

Technical specification for 3d ground penetrating radar
detection of urban road underground disasters

联系单位：黑龙江省科学院
联系人：孙思文
联系电话：13925201998
邮箱：915709973@qq.com

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

黑龙江省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 2

5 基本规定 2

6 项目类别及要求 2

7 隐患体分类与分级 3

8 地质雷达探测系统 5

9 方法与流程 8

10 成果的编制和提交 14

11 信息化管理 15

附录 A（资料性） 项目实施方案大纲..... 17

附录 B（资料性） 成果报告..... 18

附录 C（资料性） 雷达探测原始记录表..... 19

附录 D（资料性） 地面坍塌隐患复测验证记录..... 20

附录 E（资料性） 地面坍塌隐患成果汇总表..... 22

附录 F（资料性） 隐患信息卡..... 23

附录 G（资料性） 隐患分布图（示例图） 24

参考文献 25

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

黑龙江省城镇道路三维探地雷达探测技术规程

1 范围

本文件规定了黑龙江省城镇道路三维探地雷达探测技术规程的基本规定、项目类别及要求、隐患体分类与分级、地质雷达探测系统、方法与流程、成果的编制和提交、信息化管理。

本文件适用于城市市政道路、高快速路、工业区道路、公园广场等区域的地面坍塌隐患探测与管理。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范

CJJ 36 城镇道路养护技术规范

CJJ/T 100 城市基础地理信息系统技术标准

CJJ/T 210 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程(附条文说明)

JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程(附条文说明)

JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城镇道路地面坍塌隐患 the potential safety hazard of the ground collapse

存在于城镇道路地面以下的空洞、脱空、疏松体等不良地质体，可能造成地面坍塌事件、影响城市运营及市民生命财产安全的隐患。

3.2

空洞 cavity

发育在地面工程结构层内部净深大于 50cm 或发育在地面以下土体内的孔洞。

3.3

脱空 cavity underneath pavement

发育在地面工程结构层内部或结构层与下部岩土体之间净深小于 50 cm 的孔洞。

3.4

疏松体 loosely infilled cavity

地面下方发育的密实程度明显低于周边介质的不良地质体，在环境荷载及动水条件作用下进一步发育成空洞或脱空，根据其密实状态分为一般疏松体和严重疏松体。

3.5

三维地质雷达检测 three dimensional Geological radar detection

采用偏移、阵列天线技术，多道电磁波形成的三维立体集成数据的地质雷达检测方法。

4 符号和缩略语

T——记录时窗，单位为纳秒（ns）；
K——加权系数，取 1.3~1.5；
D——最大探测深度，单位为米（m）；
V——速度，单位为米每纳秒（m/ns）。

5 基本规定

- 5.1 检测单位应具备相关行业资质或检验检测机构资质（并含有相应参数）。
- 5.2 城镇道路塌陷隐患探测工作应以预防事故隐患为目标，严格防范道路塌陷，宜通过建设数字化信息平台对城市道路安全隐患进行预警、监测等数字化管理，降低道路塌陷风险。
- 5.3 城镇道路塌陷探测工作应结合工程地质条件、水文地质条件、气象条件及地下工程施工市政设施、已发生病害记录等资料有针对性地开展；东北高纬度地区应着重在汛期后与冻融期加强检测。
- 5.4 城镇道路进行塌陷隐患探测工作前应掌握当地道路基础资料及地质条件特征，查明探测区域内地下隐患的属性，确定探测发现的地下隐患的范围及规模，并提出相应处置对策。
- 5.5 在常年冻土层等穿越多个工程地质区的快速路及主干路进行雷达检测时，应充分收集工程地质、水文地质资料，结合道路工程施工特点（如道路结构层信息等），配置合理的设备、人员，并注重不同地质区的参数测定。
- 5.6 符合下列条件时应进行道路塌陷隐患雷达检测：
 - 应定期对城市快速路、主干路、次干路、支路、广场及重点管线区域进行检测，检测周期应小于 2 年；应定期对地铁沿线道路进行检测，检测周期应小于 1 年；
 - 地铁隧道、基坑、管涵（明挖、顶进等）等地下工程建设时，应在施工前、施工过程中、竣工后分别对施工影响区域内道路进行检测，其中施工过程中雷达检测应增加检测频次；
 - 当发生严重地面变形或路面塌陷事故、地下管线发生变形或破损时，应立即对周边影响区域进行检测；
 - 城市重大社会活动涉及的重要道路、广场、地下管线周边区域，应在活动举办前进行检测；
 - 冻土春融后、冬季降雪前，应对排水管涵、供水管涵、热力管涵及河道周边区域道路进行检测；
 - 对隐患多发的重点道路或区域应在每年汛期前后开展检测；
 - 对已修复的隐患应每隔 3 个月复测一次，确认修复效果；对暂未修复的中小型隐患应进行定期监测，应在隐患发现后的第 1 个月、3 个月、6 个月和 1 年时分别开展检测，在中小型隐患逐步发育成中大型隐患前及时发现并治理。

6 项目类别及要求

6.1 项目基本分类

根据项目开展方式与检测要求，道路塌陷探测工作应分为定期探测、专项探测与应急探测。

6.2 定期探测

6.2.1 以下道路区域应开展定期探测工作，探测周期需满足如下要求：

- 城市主干路、快速路、次干路探测周期不宜超过 1 年，支路探测周期不宜超过 2 年；
- 在学校、医院、主要景区、主要商业街区等人流密集区域的道路上，探测周期不应超过 1 年；
- 在重点管线区域、大型地下穿越工程沿线及周边区域的道路上，探测周期不应超过 1 年；
- 在地下病害体修复的路段，应需要加强监测，探测周期不应超过 6 个月。

6.2.2 对于发现的地下病害体应加强监测：

- 对于已处置病害体：应在处置后 1 星期进行第一次复测；在病害体处置后一个月，进行第二次复测工作，随后每隔六个月对已修复病害体开展复测；
- 对于未处置的病害体：应根据病害体规模及周边因素综合评估制定复测计划，定期对病害体开展复测，一旦发现病害体有扩大趋势危及道路安全，请及时通报业主单位开展处置。

6.3 专项探测

6.3.1 需要针对以下情况开展专项探测工作，并根据实际情况和相关要求及时安排探测工作：

- 重大地下工程应该在施工前、施工中、竣工后开展周边道路地下病害体探测，施工跨度超过 6 个月的应加密探测；
- 黑龙江省位于高纬度地区，道路冻融损伤造成的地面塌陷隐患较多，应加强冻融损伤路段探测，每年在春秋两季分别开展探测工作，针对冰期前道路路基富水体，与融化后路基疏松体进行专项探测；
- 汛期及汛期后、地下水位突然变化、道路荷载增加、岩溶发育期、地震断裂带等地下岩土环境变化区域道路，根据自然环境变化的影响情况安排探测；
- 重点保障项目、重要大型活动、外交、大型体育赛事等文体活动举办地周边道路区域，在活动举办前 3 个月内进行探测；
- 其他潜在安全风险区域，在周边影响路段灵活安排地下病害体探测工作；
- 历史上曾发生道路塌陷事故的区域，需要灵活安排周边路段的地下病害体探测工作。

6.4 应急探测

6.4.1 如果出现以下情况之一，应立即开展应急探测工作：

- 4 小时内发生过塌陷事故；
- 建筑物、道路交叉口或管线累计沉降量超限，或地面出现明显沉降或塌陷；
- 地面累计沉降量报警，或地下工程发生渗水、涌水、漏砂等危险情况；
- 在对地下管渠或其附属设施进行排查、探测或养护工作中发现渗漏、破损、损坏等隐患；
- 管理单位认为有其他需要进行应急探测的情况。

7 隐患体分类与分级

7.1 道路塌陷隐患探测结果应包括地下空洞、脱空、疏松体和富水体四种隐患体类型。

7.2 不同类型的隐患体应参考表 1 道路塌陷隐患体图谱特征，根据图谱中目标物相对介电特征及雷达波形特征进行划分，通过图谱波组形态、振幅、相位和频谱四个维度进行分析判定，具体参考 JGJ/T 437-2018 和表 1 地下病害体的探地雷达特征规定。

表1 道路塌陷隐患体图谱特征

序号	隐患体类型	介电特征	探地雷达波形特征		
			波组形态	振幅	相位和频谱
1	脱空	相对介电常数为 1	1. 顶部形成连续的同向性反射波组, 表现为似平板状形态; 2. 多次波明显	整体振幅强	1. 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 2. 频率高于背景场。
2	空洞	相对介电常数为 1	1. 似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线; 2. 似方形空洞反射波表现为正向连续平板状双曲线; 3. 绕射波明显; 4. 多次波明显	整体振幅强	1、顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 2、频率高于背景场
3	疏松体	严重疏松体	1. 顶部形成连续的同向性反射波组; 2. 多次波较明显; 3. 绕射波较明显; 4. 内部波形结构杂乱	整体振幅强	1. 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 2. 频率高于背景场
	一般疏松体	2. 疏松程度越高, 相对介电常数越小	1. 顶部形成连续的同向性反射波组; 2. 多次波不明显; 3. 绕射波不明显; 4. 内部波形结构较杂乱	整体振幅较强	1. 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 2. 频率高于背景场
4	富水体	1. 相对介电常数大于周边土体; 2. 含水量越高, 相对介电常数越大	1. 顶部形成连续的同向性反射波组; 2. 绕射波不明显; 3. 底部反射波不明显	顶部反射波振幅强, 衰减快	1. 顶部反射波与入射波反向, 底部反射波与入射波同向; 2. 频率低于背景场

7.3 地面坍塌隐患等级由高到低划分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级, 空洞和脱空宜根据隐患面积和净深等因素, 按照表 2 进行隐患等级评定, 并最终按照就高原则确定空洞和脱空的隐患等级。

表2 基于隐患面积和净深因素的空洞和脱空隐患等级评定

净深面积	$H < 0.5\text{m}$	$0.5 \leq H < 1.5\text{m}$	$1.5 \leq H < 4.0\text{m}$	$H \geq 4.0\text{m}$
$S < 3.0\text{m}^2$	IV	IV	III	III
$3 \leq S < 10\text{m}^2$	IV	III	III	II
$10 \leq S < 30\text{m}^2$	III	III	II	I
$S \geq 30\text{m}^2$	III	III	II	I

- 7.4 地面坍塌隐患检测中，应根据隐患等级及时通报隐患信息，并对 I 级和 II 级隐患 即时通知相关各方，及时采取应急处置措施。
- 7.5 应根据隐患等级、形成原因与施工条件等因素确定处置时机和处置方法。
- 7.6 地面坍塌隐患等级具有动态发展特征，应根据最新隐患等级采取相应的处置对策。
- 7.7 疏松体原则上不进行隐患等级评价，但当严重疏松体隐患临近雨污水管线和暗渠化河道、在施地下工程强烈影响区等周边致塌因素发育区时，可参照第 6.7 条规定评价隐患等级。
- 7.8 当城市举行重大社会活动时，对于活动涉及道路，可将隐患等级提高一级进行风险防控。
- 7.9 应根据地面坍塌隐患等级、处置条件等因素，按照表 3 的规定确定处置建议。

表3 地面坍塌隐患处置建议

隐患等级	处置建议
I	立即开展工程处理； 应对隐患区域封闭围挡、设置警示标志； 处理前应实行 24 小时值守； 应开展周边区域扩大坍塌风险可能性的检测评估
II	尽快开展工程处理； 应对隐患区域封闭围挡、设置警示标志； 24 小时监控发展动态； 宜开展周边区域的扩大坍塌风险的检测评估
III	开展工程处理，对脱空隐患，应按道路养护标准进行处置； 应对隐患区域设置警示标志； 处理前宜根据实际情况安排值守
IV	定期开展巡视或检测，对空洞设立警示标志，如有发展，结合新的隐患级别进行处置

- 7.10 对于处置后的地面坍塌隐患区域应进行处理效果检测，经过检测和评估后该区域不具有地面坍塌隐患特征时可以消除该隐患。

8 地质雷达探测系统

8.1 一般规定

8.1.1 仪器设备及其配件应性能稳定、牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性能良好，且具有一定的防尘、防水功能。

8.1.2 仪器设备使用前应检查调试，保证设备在有效的检校周期内。

8.1.3 应授权有相应专业能力的人员操作、使用和维护仪器设备。

8.2 技术设计

8.2.1 检测系统应包括检测设备和数据软件。检测设备应包括下列内容：

- 操作平台和控制系统；
- 车载式探地雷达系统；
- 便携式探地雷达；
- 定位设备；
- 辅助设备。

8.2.2 检测设备应经过周期比对核查或校准，确保性能完好，方可投入使用。在使用、运输和保管过程中应防水、防潮、防尘、防高温、防寒等。

8.2.3 数据软件应包括下列内容：

- 数据采集软件；
- 数据解译软件。

8.3 车载式三维多通道探地雷达

8.3.1 车载式三维多通道探地雷达系统天线阵列应至少具有 16 个通道，且每条车道布设测线数不少于 25 条。雷达宽度宜不超过 2.5 m，以避免在检测过程中妨碍正常交通次序。应能实现三维采集，具有坐标定位和测距功能，自带三维电磁波数据处理、解释软件包。

8.3.2 车载式三维多通道探地雷达系统参数符合下列规定：

- 天线的横向测线间距应小于或等于 14 cm；
- 天线阵列主频应为 200 MHz～500 MHz；
- 信噪比应大于或等于 90 dB；
- 测距误差应小于或等于 0.1%；
- A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- 配置天线应具备屏蔽功能。

8.4 便携式探地雷达

8.4.1 便携式探地雷达应设计小巧，轻便灵活，适应交叉路口、巷道、人行道等车载式探地雷达不便到达的区域的检测。

8.4.2 便携式探地雷达宜配备两种不同频率天线进行探测，天线布局应合理，以满足不同探测深度要求。

8.4.3 便携式探地雷达参数符合下列规定：

- 扫描速率应大于或等于 300 道/秒；
- 探测时窗应为 0 ns～512 ns；
- 信噪比应大于或等于 90 dB；
- 测距误差应小于或等于 0.1%；

- A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- 配置天线应具备屏蔽功能。

8.5 定位设备

8.5.1 定位设备应能在道路塌陷隐患雷达检测中快速、实时为检测系统定位，提供目标、雷达和运载平台的空间位置及检测时的运行轨迹及雷达数据联动视频。

8.5.2 定位设备应包括下列功能：

- 定位设备应能与检测设备进行关联，检测设备通过获取定位设备端口、波特率、数据位长、停止位、奇偶校验等信息，可将地理信息系统连接到选定的定位设备，对定位数据进行管理显示；
- 雷达检测时，定位设备应能同步记录每个检测点的 X、Y、Z 空间坐标，将该坐标导入到地理信息图形显示系统后，可实现检测工作的定位、导航；
- 定位设备应能显示检测点轨迹线，应能读取异常点坐标信息；
- 定位设备的选定应根据测量的精度和移动速度确定；
- 定位数据平面精度应小于或等于 500 mm；
- 数据采样间隔应小于或等于 0.2 秒。

8.6 辅助设备

8.6.1 辅助设备的电源供电方式应包括车体供电、蓄电池供电及两者兼用三种供电方式。

8.6.2 同步控制系统应由距离测量装置（DMI）进行触发，并可单独控制各设备的触发间隔。

8.6.3 视频设备宜由摄像机、传输线缆、视频监控平台织成，可对雷达检测活动进行全程记录，并监测路况，辅助判别雷达异常区域。摄像机安装和使用应符合 T/CMEA 2-018 和 RISN-TG 024 的规定。

8.7 数据采集软件

8.7.1 数据采集软件应能实现对检测系统的控制，包括对雷达数据和定位数据的实时采集、存储与显示。

8.7.2 数据采集软件应具备下列功能：

- 二维雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- 三维雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- 定位设备参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- 基于地理信息系统的实时检测轨迹显示；
- 雷达数据、视频数据同步回放；
- 雷达数据、视频数据关联定位；
- 对作业设备及周边环境进行实时监测；
- 对采集的数据进行导出。

8.8 数据解译软件

8.8.1 数据解译软件应能实现对雷达数据和定位数据的处理，以识别并定位道路塌陷隐患疑似点。

8.8.2 数据解译软件应使用国产解译软件，以避免地下空间涉密数据外流国外，造成泄密风险。

8.8.3 数据解译软件应具备下列功能：

- 对文件进行管理，包括数据打开、数据存储、项目管理、位图输出；

- 对参数进行设置，包括文件编辑、数据显示方式设置、标记编辑；
- 对数据进行预处理，包括数据合并与分割、剖面翻转；
- 对雷达数据进行处理，包括去噪、滤波、反褶积、偏移、零点校正和增益放大等；
- 对定位数据进行处理；
- 实时回放雷达数据、视频数据和检测轨迹；
- 层位追踪和厚度计算；
- 道路塌陷隐患的识别、分析和定位。

9 方法与流程

9.1 一般规定

9.1.1 道路塌陷隐患雷达探测工作流程应包括下列内容：

- 现场踏勘与资料收集；
- 检测方案制定；
- 现场数据采集；
- 雷达数据解译；
- 疑似隐患定位与复测；
- 成果验证；
- 成因分析与处置建议；
- 检测报告编写与提交。

9.1.2 道路塌陷隐患雷达检测流程应按图 1 进行。

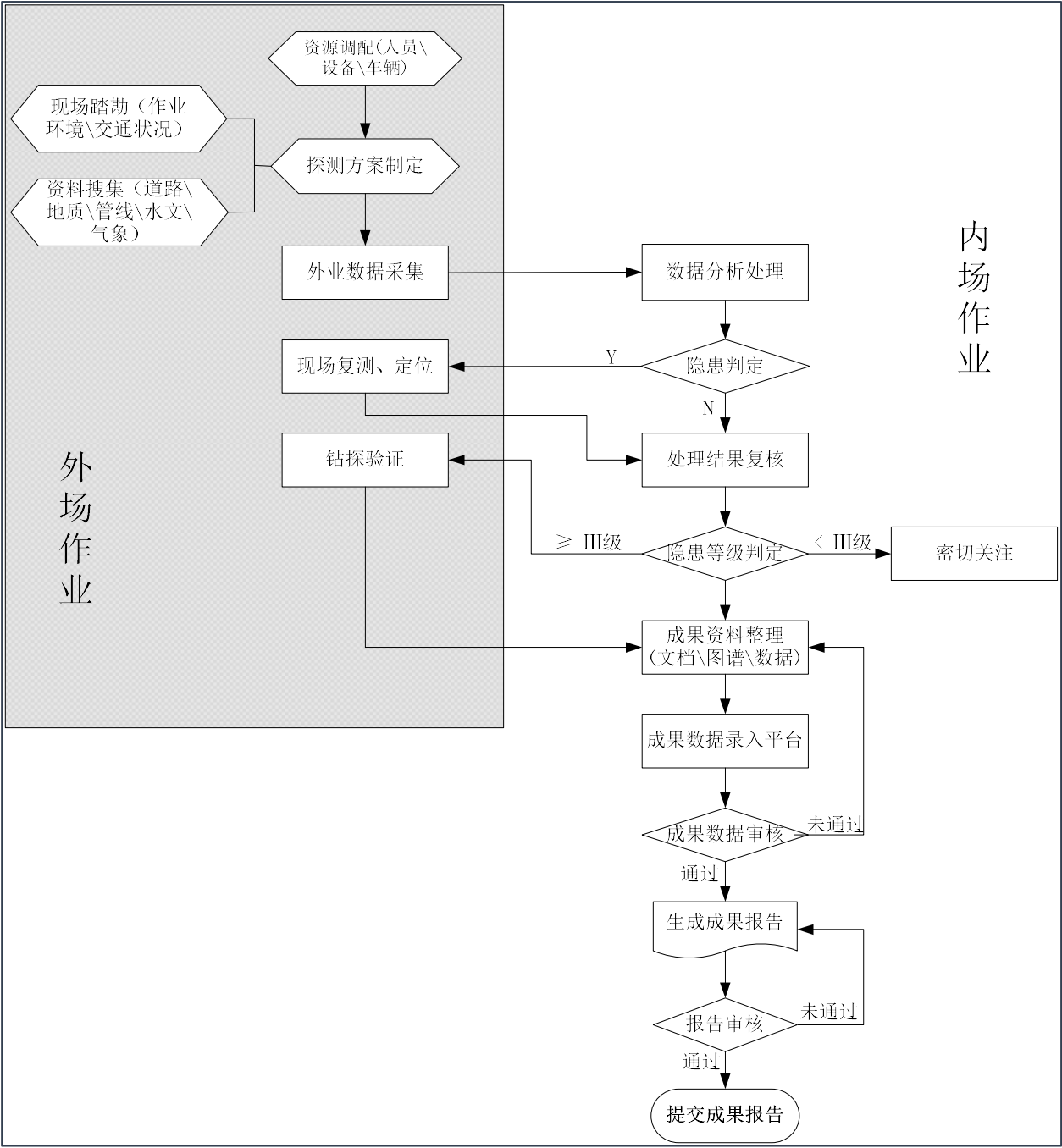


图1 作业流程图

9.1.3 采用三维探地雷达进行道路地下隐患探测作业时，应结合探测车辆的调头及转弯需要，充分考虑转弯车道及港湾式公交车站等特殊区域的作业要求，保证对整个道路实现全覆盖探测。进行测线规划时应遵循如下原则：

- 路段全覆盖，每条标准车道（3.75m）至少规划 2 条作业测线（每条作业测线不少于 16 通道雷达数据）；
- 测线应沿车辆前进方向；

- 每条测线的长度在 5km 以内为宜，如探测长距离路段应合理规划测区；
- 相邻作业测线边缘不应距离过大（<30cm），可以有小面积重合；
- 规划测区及测线时应充分考虑车辆调头及转弯需要；
- 充分考虑转弯车道及港湾式公交车站等特殊区域的覆盖。必要时可单独设立测线；
- 对测区范围内的地下管线分布情况调查清楚，管线周边区域应重点探查，不得有遗漏。

9.1.4 应急检测方法和流程如下图：

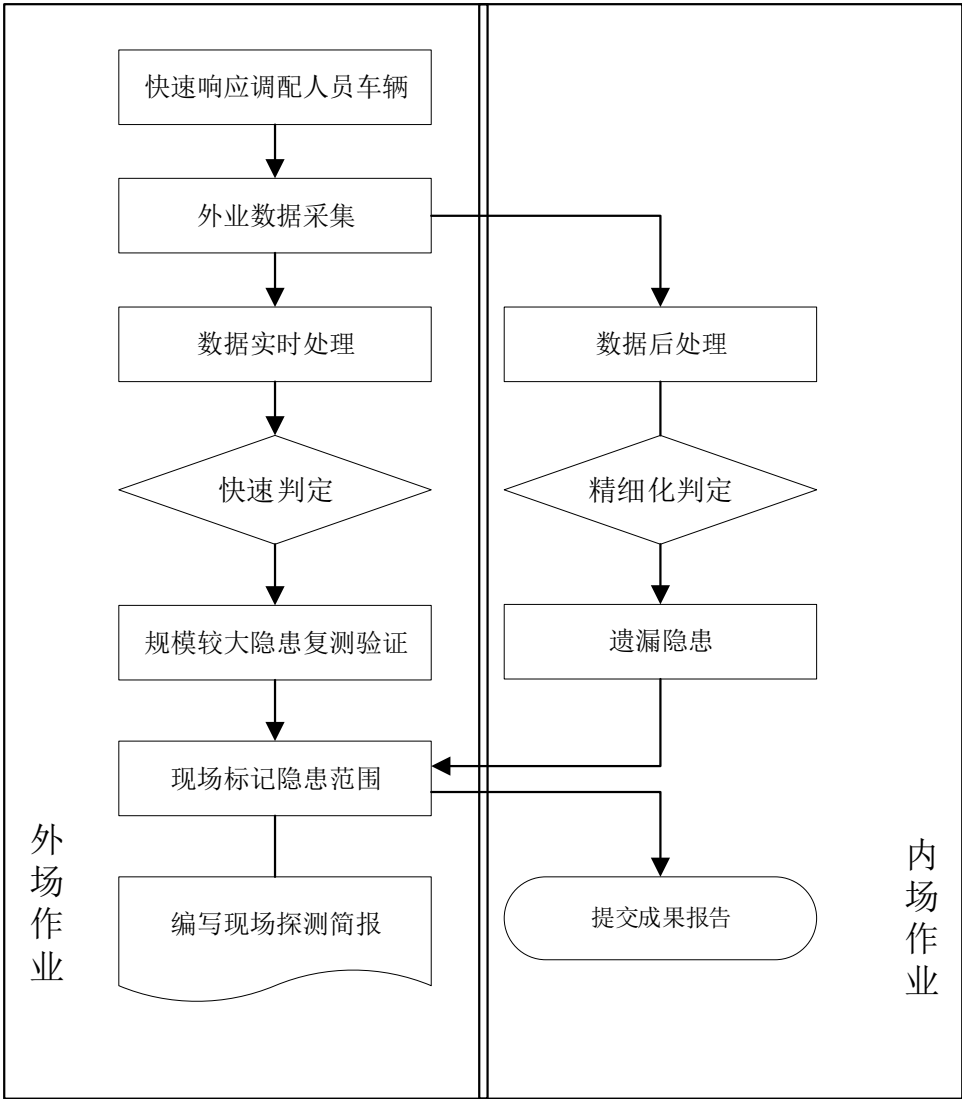


图2 应急检测作业流程图

9.1.5 应急检测检测方法应突出时效性，宜进行数据实时处理，采集完成后立刻进行复测验证工作，在外场作业场景中完成规模较大的隐患体筛选查找与现场隐患范围标记工作。（考虑单列为一条）

9.2 检测准备工作

- 9.2.1 雷达检测工作应避免在路面积水或积雪时进行，检测环境温度应为 - 25℃～45℃。
- 9.2.2 道路塌陷隐患雷达检测的技术准备工作应包括资料收集、现场踏勘、编写检测方案等内容。

9.2.3 资料收集应包括下列主要内容：

- 检测区地形图和测量控制点资料；
- 检测区内的地下管线现状资料、已有的各类地下管道检测成果资料、给水管道漏水检测成果资料；
- 检测区内的道路工程、各类地下工程的设计和施工资料；
- 检测区内岩土工程、工程地质和水文地质勘察资料
- 检测区内既有道路的塌陷隐患检测资料及其修复的设计及施工资料；
- 黑龙江本地资料可参考附录，并根据检测区分布做进一步细化补充。

9.2.4 现场踏勘应了解工作环境条件及典型干扰源的分布、地形地貌及其变化情况，核实已收集资料的完备性及可利用程度，评估现场作业条件及风险。

9.2.5 检测方法应根据工作要求、道路塌陷隐患属性、场地干扰因素和作业条件等选择。

9.2.6 检测方案应包括但不限于下列内容：

- 项目概况；
- 方案编制依据；
- 场地工程、地质环境条件分析；
- 工作流程和技术路线；
- 工作技术方法和措施；
- 检测组织；
- 项目实施保障措施。

9.2.7 项目实施方案按照附录 A 的形式进行编写。

9.2.8 检测工作开始前，应进行检测方案技术交底及相关安全培训。

9.3 雷达数据采集

9.3.1 雷达检测范围的设定应符合下列规定：

- 检测范围应达到检测区域全面覆盖的目标，道路交叉口、渠化岛弯道、港湾式公交站、小区出入口等区域应适当扩大检测范围；
- 测线末端宜超过检测区域边缘 10 m；
- 使用便携式雷达进行隐患复测时，应加密测线或交叉测线，测线间距不应大于 1 m。

9.3.2 检测参数设定应符合下列规定：

- 检测参数设定应能满足项目检测要求，并达到最佳检测效果；
- 检测参数应包括中心频率、探测时窗、采样频率和其它常用参数；
- 检测参数设定应在检测准备阶段进行，根据设备性能、检测环境及技术要求，实地测试后确定；
- 探测时窗宜根据最大探测深度和地下介质的电磁波传播速度综合确定，可按以下公式计算：

$$T = K \cdot 2D/v \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T——记录时窗，单位为纳秒（ns）；

K——加权系数，取 1.3~1.5；

D——最大探测深度，单位为米（m）；

V——速度，单位为米每纳秒（m/ns）；

- 信号的增益宜使信号幅值不超过信号监视窗口的 3/4；
- 采样率不应低于所采用的天线主频的 20 倍；
- 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；
- 调试测量参数，校检测量精度；
- 普测时道间距不应大于 5 cm，复测时道间距不应大于 2 cm。

9.3.3 地下介质的电磁波速度计算可采用宽角法、已知深度目标换算法或迭代偏移处理法，具体可参考附录 C 进行计算。

9.3.4 检测数据采集应符合下列规定：

- 数据采集工作时间应综合考虑检测区域内交通车流、设施障碍的影响；
- 应注意车行道和人行道对检测设备的客观限制，车行道宜选用车载式探地雷达进行检测，人行道应选用便携式探地雷达进行检测；
- 当采用距离测量装置触发时，采集前应对其进行标定；
- 天线的移动速度应均匀，并应与仪器的扫描率相匹配；
- 应及时记录信号异常，并应分析异常原因，必要时进行复测；
- 应及时记录各类干扰源及地面积水、积雪、变形等环境情况；
- 当发现疑似道路塌陷隐患时，应进行标记；
- 检测系统工作时，应采取必要的安全防护措施；
- 当检测区域局部不满足检测条件时，应记录其位置和范围，待具备检测条件后补测；
- 数据采集过程中应按本文件附录 D 中表 D.1 进行道路塌陷隐患雷达检测记录；
- 当采用差分 GPS 进行测线轨迹定位时，应合理设置基准站，并进行定点测量验证。

9.3.5 检测数据质量管理应符合下列规定：

- 在检测过程中，检测单位应加强自检自查工作，视检测进度，定期进行过程检查及资料审核；当原始资料不完整或质量不合格时，应及时进行补测或重测；对遗漏路段，应进行补测；
- 原始数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- 数据预处理应符合信号保真性原则，有效信号深度应符合技术要求，预处理结果应满足解译需要；
- 重复观测的数据与原始数据应一致性良好；
- 现场记录应完整，且与检测数据保持一致；
- 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；
- 数据剖面上不应出现连续的坏道。

9.4 雷达数据解译

9.4.1 雷达数据解译应包括下列内容：

- 数据处理；
- 异常识别；
- 数据解译。

9.4.2 雷达数据处理应包括雷达检测、定位测量等数据的处理。

9.4.3 雷达数据处理应符合下列规定：

- 数据处理前，原始数据应完整、可靠、有效，发现问题应重新检测或补测；
- 采集的数据应采用下列方法进行背景去除处理，去除干扰信号：

- a) 采用二维滤波处理，消除地上物体反射干扰；
 - b) 根据电磁波雷达数据频率分布，设定滤波参数，进行选波处理；
 - c) 对特定地下目标进行增益、偏移成像处理。
- 三维探地雷达应寻找各通道数据之间的相关性；
- 比对地表特征和雷达数据，排除人工埋藏物干扰；
- 比对雷达图像和典型雷达图谱，确定异常点；
- 结合定位数据和视频数据，确定雷达异常点在道路上的准确位置；
- 原始数据应及时归档，保证能够溯源。
- 9.4.4 雷达数据异常识别要素应包括反射波能量、背景回波、波形的相似性、波形的连续性。
- 9.4.5 雷达数据综合解译应结合水文地质资料、地上和地下建筑物、构筑物资料及道路设施状况，剔除检测结果粗差，获取异常信息，并应解译该异常信息。
- 9.4.6 雷达数据异常点解译结果应包括地下空洞、脱空、土体疏松及富水体。参考 T/CMEA 2-2018 中 5.4.7 的相关规定，对不同类型的异常点识别进行解译，雷达图像异常按相应规则进行等级划分。
- 9.4.7 应根据雷达数据解译结果，确定道路塌陷隐患的平面轮廓及埋深。
- 9.4.8 应根据定位信息，确定道路塌陷隐患的坐标和相对位置，并进行编号。
- 9.4.9 道路塌陷隐患雷达图谱解释，具体可参考附录 E。
- 9.5 疑似隐患定位与复测
- 9.5.1 道路塌陷隐患位置信息应由定位设备确定。
- 9.5.2 道路塌陷隐患位置信息应包括坐标信息、影像信息、位置的文字描述信息和现场标注信息，并将信息汇总到道路塌陷隐患疑似目标信息汇总表（附录 D 中表 D.2）。
- 9.5.3 雷达复测测线布设应符合下列规定：
- 采用网格化加密布设测线；
 - 沿道路轴线方向的加密测线长度应超过异常区域（沿道路轴线方向）两边各不小于 10 m 范围；
 - 垂直道路轴线方向的加密测线宜根据实际道路条件宜尽可能延长；
 - 加密测线的间距确保不应大于 1 m；
 - 超出异常区域范围外仍应布设不少于 2 条测线。

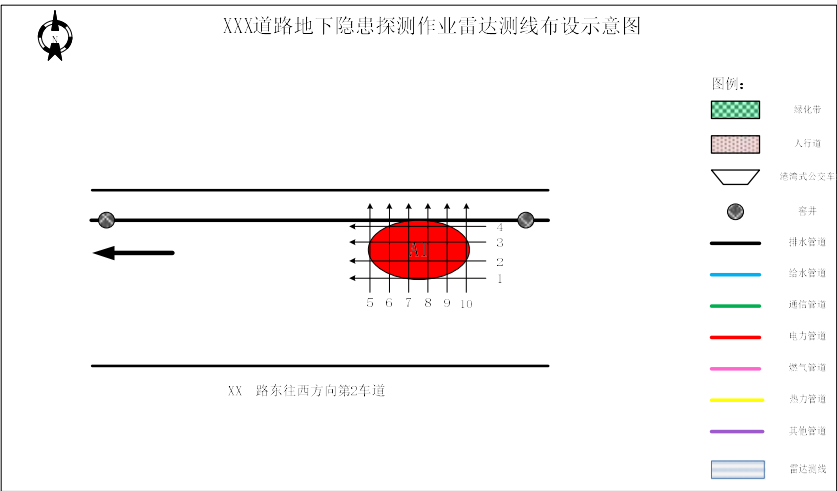


图3 XXX 道路地下隐患探测作业雷达侧线布设示意图

9.6 塌陷隐患成果验证

9.6.1 道路塌陷隐患雷达检测成果的验证应确定塌陷隐患的类型、埋深等属性。

9.6.2 成果验证点应根据塌陷隐患类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择。成果验证点的数量应符合下列规定：

- 空洞、脱空隐患应 100%验证；
- 其他类型塌陷隐患的验证数量不应少于总数的 20%，且不宜少于 3 处。

9.6.3 应根据技术要求和岩土特性选择相应的验证方法且应符合下列规定：

- 应优先选用钻探、挖探、触探等方法；
- 验证点应布设在塌陷隐患的雷达数据异常反应最强部位或中心部位；
- 当验证塌陷隐患边界时，宜在塌陷隐患边缘增设验证点；
- 当不具备钻探、挖探、触探等作业条件时，可选用其他物探方法进行验证。

9.6.4 当采用钻探法进行验证时，现场作业应符合下列规定：

- 钻探前应对拟钻孔位置进行现场标注；
- 钻探前，应查明地下管线情况，不得损坏或影响原有地下管线的运行和维护；
- 钻探前，应及时对存在道路安全隐患区域进行围挡并放置安全警示标志；
- 应在指定位置钻探；
- 应测量道路塌陷隐患规模，并拍摄隐患内部影像资料存档；
- 钻探结果应汇总到道路塌陷隐患钻探验证结果表附录 D 中表 D.3；
- 钻探验证结束后，应及时封孔。

9.6.5 成果验证结果的判定应符合下列规定：

- 当钻探过程中发生掉钻时，结合内窥镜影像，宜判定隐患类型为空洞或脱空；
- 当钻探过程中钻进速率加快、标准贯入或动力触探击数减低、挖探揭露的土体不密实时，宜判定隐患类型为土体疏松；
- 当提取土样相度为软塑-流塑或含水量变大时，宜判定隐患类型为富水体。

9.6.6 钻探、挖探、触探验证完成后应按 JGJ/T 87 的规定进行回填。

9.6.7 成果验证完成后应根据验证结果修正相关检测结论，确认塌陷隐患类型、规模及性状等特征。

9.7 成因分析及处置

9.7.1 应根据塌陷隐患的类型、规模，结合隐患周边岩土、水文、地下管线、地铁工程等信息，判断道路塌陷隐患成因。

9.7.2 道路塌陷隐患处置应参考道路塌陷隐患的类型、等级、深度、面积、位置等信息，参考 T/CMEA 2-2018 和 RISN-TG 024，应符合表 5 的规定。

9.7.3 根据道路塌陷隐患类型，结合隐患路段现场施工条件，应因地制宜选择开挖修复或非开挖修复，并应符合下列规定：

- 道路进行开挖修复应符合 CJJ 36 的规定；
- 管道进行开挖维修应符合 GB 50268 的规定；
- 管道进行非开挖修复应符合 CJJ/T 210 的规定。

10 成果的编制和提交

10.1 一般规定

10.1.1 道路塌陷隐患雷达检测成果应遵循解译正确、科学有据、结论明确的原则。

10.1.2 道路塌陷隐患雷达检测成果应包括文字报告、成果图件和数据资料。

10.1.3 报告编写应根据检测项目任务书、设计书及有关标准进行。

10.1.4 报告附图、附件应清晰明了，目的明确。

10.2 检测成果编制

10.2.1 检测报告编制内容应详细、清晰、完整地反映整个检测过程。

10.2.2 检测报告应包括但不限于下列内容：

- 项目概况；
- 技术依据；
- 检测区域概况；
- 数据处理与解释；
- 检测成果；
- 成果验证；
- 道路塌陷隐患成因分析；
- 结论及处置建议；
- 附图和附表。

10.2.3 道路塌陷隐患疑似目标信息汇总表应包括隐患编号、经纬度大地坐标、位置、规模尺寸及等级等，记录应符合附录 D 中表 D.2 的规定。

10.2.4 道路塌陷隐患信息卡应包括隐患编号、类型、位置、埋深、净深、雷达图谱、初步成因分析等，记录应符合附录 D 中表 D.6 的规定。

10.2.5 道路塌陷隐患平面分布图应根据塌陷隐患类型采用统一的代号、颜色和图例编制。

10.2.6 成果解释剖面图绘制应标明塌陷隐患的空间位置、形态及类型。

10.3 成果提交

10.3.1 检测成果应包括文档类成果、数据类成果及图件类成果。

10.3.2 文档类成果应包括下列内容：

- 检测方案；
- 应急检测专项报告
- 检测报告。

10.3.3 数据类成果应包括下列内容：

- 雷达原始检测数据；

10.3.4 同步路况数据图像电子文件（视频数据、图片等）。图件类成果应包括下列内容：

- 道路塌陷隐患平面分布图；
- 成果解译图册；
- 测线布设图；
- 检测同步路况图像。

10.3.5 相关检测成果提交和项目实施要点可参考附录 F。

11 信息化管理

11.1 一般规定

11.1.1 对于城镇道路塌陷隐患成果的管理，应建立基于空间地理信息的平台化系统，动态管理地面坍塌隐患的发展趋势。

11.1.2 地面坍塌隐患数据库应宜根据隐患的检测、监测和工程处理结果及时更新，并保留历史数据。

11.1.3 地面坍塌隐患信息交换与应用服务应符合现行行业标准 CJJ/T 100 和 JGJ/T 437 的相关规定。

11.1.4 地面坍塌隐患信息管理系统的安全设计应符合现行国家标准 GB/T 22239 的相关规定。

11.1.5 宜建设“道路出行安全监测预警平台”，将辖区道路地下隐患通过一张图形式清晰展示整体态势，整合辖区相关部门资源（应急、水务、交通、交警等部门），建立应急处置预案，实现道路隐患预警处置闭环管理。

11.2 数据管理

11.2.1 数据采用的坐标系应与道路塌陷隐患所在地基础地理信息采用的坐标系一致。

11.2.2 各类数据的数据结构应包括字段数量、字段名称、字段类型、字段长度、小数位数、完整性约束及说明等。

11.2.3 数据应以电子文件形式提供，文件类型可包括文本文件、雷达数据、GPS 数据、图像文件、图形文件、视频文件等，文件格式应符合规定。

11.2.4 数据种类应包括道路类型、路面状况、管线、地下建构筑物、地面设施、工程设施、岩土体、地面积水、地下水位、隐患分布、历年塌陷、交通状况、雷达检测历史数据等。

11.2.5 雷达数据应包括雷达扫描获取的原始信号数据、数据处理后得到的雷达影像、雷达测线、测线的特征点以及钻探验证点等数据，并应符合下列规定：

- 雷达信号数据应以文件的形式存储于数据库中，以其测线的编号进行命名，且应与测线一一对应；
- 当雷达图像数据存储于雷达测线数据表中时，可不单独建表。

11.3 监测预警平台

11.3.1 平台应包括以下内容：

- 道路检测状况，可通过不同颜色反映辖区道路的不同检测状态；
- 隐患分布情况；
- 隐患汇总情况；
- 灾情分析；
- 隐患监测管理；
- 隐患预警管理。

11.3.2 灾情分析宜通过图表形式多维度展示辖区内的地下隐患的发灾趋势：如“近三年塌陷事故趋势”、“各辖区灾害统计”、“塌陷原因统计”和“事故塌陷地点统计”等。

11.3.3 地下隐患会随着雨季、车流量、车辆超载等综合原因会逐步变大发展，通过周期性监测，监测平台在面对路面形成危害前及时触发预警功能。隐患发现后，通过系统触发预警流程，实现地下隐患的预警审核、下发通知、预警处理、预警关闭及隐患处理结果复核的全闭环监测预警功能。

附 录 A
(资料性)
项目实施方案大纲

- 一、项目概况
 - 1.1 概述
 - 1.2 工作目的和内容
 - 1.3 工作范围和工作量
 - 1.4 项目要求
- 二、方案编制依据
- 三、场地工程、地质环境条件分析
- 四、工作流程和技术路线
 - 4.1 项目工作流程
 - 4.2 项目技术路线
- 五、工作技术方法和措施
 - 5.1 地质雷达检测
 - 5.2 数据处理和解释
 - 5.3 坍塌隐患点的复核及验证
 - 5.4 坍塌隐患的风险评定及处置
 - 5.5 项目重点、难点应对措施
- 六、检测组织
 - 6.1 项目人员组织机构及人员配置
 - 6.2 项目设备配置
 - 6.3 项目进度计划安排
- 七、项目实施保障措施
 - 7.1 项目质量保障措施
 - 7.2 项目进度保障措施
 - 7.3 项目安全生产、文明施工保障措施
 - 7.4 突发应急预案

附 录 B
(资料性)
成果报告

成果报告宜包括下列内容：

- 一、概况
- 二、技术依据
- 三、场地工程、地质环境条件
- 四、工作方法及质量评价
- 五、数据处理和解释
- 六、成果验证
- 七、隐患等级评定
- 八、结论与建议
- 九、附图、附表

附录 C
(资料性)
雷达探测原始记录表

表C.1 雷达探测原始记录表

工程名称：委托单位：路段：
设备型号：天线主频：文件名：

测线名称	测线起止点		测线方向	测线长度	标记情况	备注/异常情况
	起点	终点				
测区概况：						
测线示意图：						

探测人员：记录人员：日期：第 页/共 页

附 录 D
(资料性)
地面坍塌隐患复测验证记录

表 D.1 地面坍塌隐患复测验证记录表

工程名称						委托单位			道路名称				
检测项目						检测日期			天气情况	☐ 晴朗 ☐ 阴天 ☐ 有雨			
仪器设备		☐ 二维雷达 () ☐ 三维雷达 ()				检测标准							
		☐ 其它:											
		天线主频 MHz	时窗:	ns	道间距:								
隐患编号						位置描述							
复测结果		☐ 空洞 ☐ 脱空 ☐ 疏松体 ☐ 富水体				验证方式	验证方式 ☐ 钻探 ☐ 开挖 其他_____						
		☐ 管涵井室 ☐ 回填 ☐ 干扰 ☐ 其他 _____				验证结果	☐ 空洞 ☐ 脱空 ☐ 疏松体(☐ 严重 ☐ 一般) ☐ 富水体 ☐ 管涵井室 ☐ 回填 ☐ 干扰 ☐ 其他_____						
长 (m)		宽 (m)		顶 深 (cm)		底深(cm)		验证结果描述					

复测结果描述				
是否需要验证	是 ☐ 否 ☐		初步成因分析及管位图	
测线编号	病害所在测线位置	测线布置图:		

探测人员：

记录人员：

复核：

附 录 E
(资料性)
地面坍塌隐患成果汇总表

表 E.1 地面坍塌隐患成果汇总表

序号	道路名称	隐患编号	长 (m)	宽 (m)	深度范围 (m)	净深 (m)	隐患 类型	面积 (m ²)	体积 (m ³)	隐患 等级	验证 情况	经纬度坐标		备注
												B	L	

附录 F
(资料性)
隐患信息卡

表 F.1 地面坍塌隐患信息卡

编号				验证时间		隐患等级	
长(m)		宽(m)		隐患类型			
埋深(m)		净深(m)		雷达型号			
面积(m²)		体积(m³)		天线主频(MHz)			
路面材质				经纬度坐标	L		
位置描述					B		
雷达图谱 1		雷达图谱 2		位置信息			
现场照片		孔中照片		周边管线相对位置图			
成因初步分析							
初步处置建议							
钻探及其他验证结果							

附录 G
(资料性)
隐患分布图 (示例图)

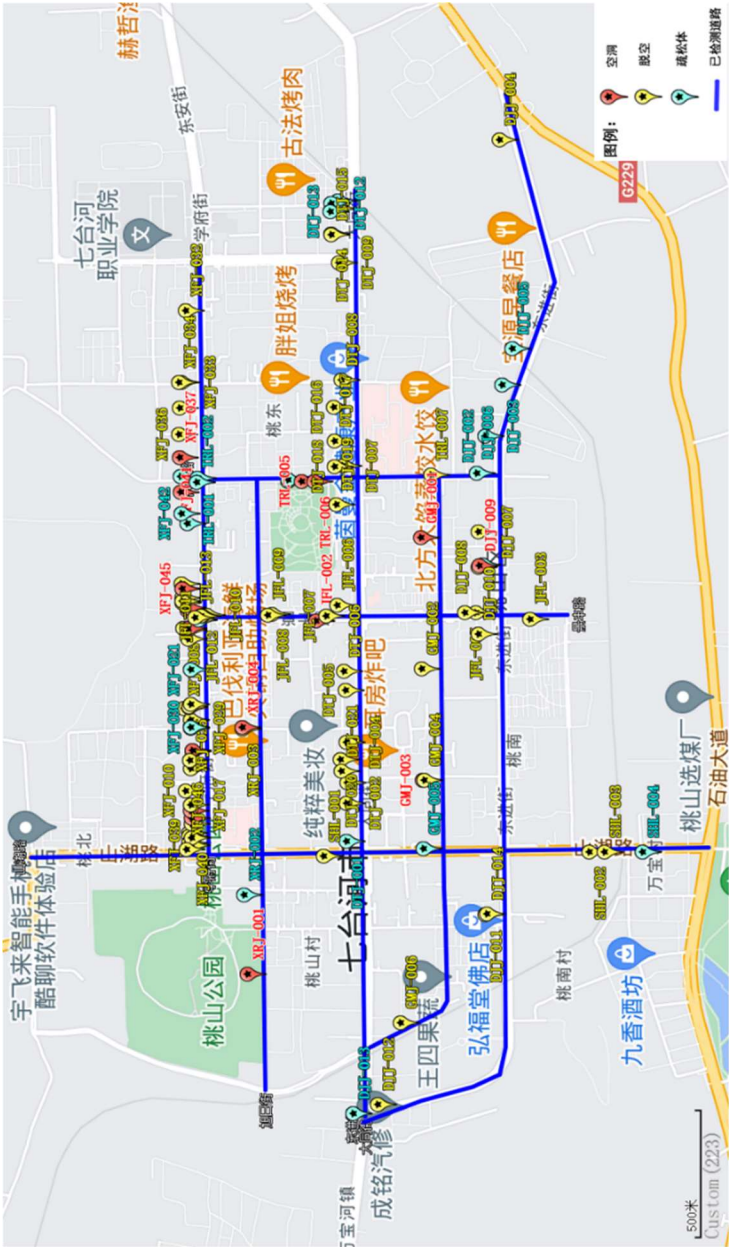


图4 隐患分布图 (示例图)

参 考 文 献

- [1] 《道路塌陷隐患雷达检测技术规范》 T/CMEA 2
 - [2] 《道路塌陷隐患雷达检测技术导则》 RISN-TG 024
-