

福建省工程建设地方标准 DB

工程建设地方标准编号：DBJ/T 13-500-2025

住房和城乡建设部备案号：J 183 08 - 2025

城镇道路塌陷隐患雷达探测与风险 预警技术标准

Technical standard for ground penetrating radar detection and
risk warning of urban road collapse hazards

2025-08-12 发布

2025-11-01 实施

福建省住房和城乡建设厅 发布

福建省工程建设地方标准

城镇道路塌陷隐患雷达探测与风险预警技术标准

Technical standard for ground penetrating radar detection and risk
warning of urban road collapse hazards

工程建设地方标准编号： DBJ/T 13-500-2025

住房和城乡建设部备案号： J 1 8 3 0 8 - 2 0 2 5

主编单位： 福 州 市 市 政 工 程 中 心
健 研 检 测 集 团 有 限 公 司
中 科 云 图 科 技 有 限 公 司
批准部门： 福 建 省 住 房 和 城 乡 建 设 厅
实施日期： 2 0 2 5 年 1 1 月 1 日

2025 年 福州

前 言

根据《福建省住房和城乡建设厅关于公布全省住房和城乡建设行业 2022 年第五批科学技术计划项目的通知》（闽建〔2022〕33 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 探测分类；5. 探测方法；6. 验证与成因调查；7. 风险评估与预警；8 探测报告。

本标准由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由福州市市政工程中心负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送福建省住房和城乡建设厅科技与设计处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）和福州市市政工程中心（地址：福州市台江区德榜路 79 号，邮编：300004），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：福州市市政工程中心
健研检测集团有限公司
中科云图科技有限公司

本标准参编单位：中国矿业大学（北京）
中科地星信息技术有限公司
龙岩市市政维护中心
泉州市排水中心
漳州市市政工程中心
福建省建筑工程质量检测中心有限公司
海峡建工集团有限公司

海颐建工集团有限公司

厦门市湖里区建设服务中心

本标准主要起草人：刘培荣 朱三凡 王继伟 林 鸿
高云泽 陈春毅 叶艺超 陆秋水
张宇超 傅理达 苏群勇 杨为太
宋志锋 李双燕 徐静涛 林云腾
陈树辉 卢惟铭 温孝辉 黄荣鑫
本标准主要审查人：余印根 夏樟华 蔡辉腾 钟洪德
陈 鹏 曾凡森 潘万南

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	4
3	基本规定	6
4	探测分类	7
4.1	定期探测	7
4.2	专项探测	7
4.3	应急探测	8
5	探测方法	9
5.1	一般规定	9
5.2	二维探地雷达法	13
5.3	三维探地雷达法	16
5.4	管中雷达法	18
6	验证与成因调查	20
6.1	一般规定	20
6.2	钻探法	20
6.3	成因调查	21
7	风险评估与预警	24
7.1	一般规定	24
7.2	风险评估	24
7.3	风险等级划分	27
7.4	风险预警对策	28
8	探测报告	30

附录 A 探地雷达法普查记录表 31

附录 B 探地雷达法详查验证记录表 32

附录 C 道路塌陷隐患探测成果汇总表 33

本标准用词说明 34

引用标准名录 35

附：条文说明 36

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Regulations	6
4	Classification of Detection	7
4.1	Regular Detection	7
4.2	Specialized Detection	7
4.3	Emergency Detection	8
5	Detection Method	9
5.1	General Requirements	9
5.2	2D Ground Penetrating Radar Method	13
5.3	3D Ground Penetrating Radar Method	16
5.4	Pipe Penetrating Radar Method	18
6	Verification and Causation Investigation	20
6.1	General Requirements	20
6.2	Drilling Method	20
6.3	Causation Investigation	21
7	Risk Assessment and Early Warning	24
7.1	General Requirements	24
7.2	Evaluation of Risk Probability	24
7.3	Level of Risk	27
7.4	Risk Early Warning Measures	28
8	Detection Report	30

Appendix A	General Detection Sheet of GPR	31
Appendix B	Detail Detection Sheet of GPR	32
Appendix C	Summary Table of Road Collapse Hazard Detection Results	33
	Explanation of Wording in this Standard	34
	List of Quoted Standards	35
	Addition: Explanation of Provisions	36

1 总 则

1.0.1 为规范福建省城镇道路塌陷隐患探测工作,统一道路塌陷风险评估与预警方法,提高城镇道路安全运行水平,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于福建省行政区域内城镇道路路表以下 5.0 m 内的道路塌陷隐患探测和风险评估预警工作。

1.0.3 城镇道路塌陷隐患探测、风险评估预警工作除应符合本标准外,尚应符合国家、行业和福建省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 道路塌陷隐患 road collapse hazard

存在于道路下方的空洞、脱空、疏松体、富水体等可能造成塌陷事件的不良地质体。

2.1.2 道路塌陷隐患探测 road collapse hazard detection

采用地表地球物理方法探测地下空洞、脱空、疏松体、富水体等不良地质体，查明其类型、位置和规模等属性特征，并以钻探、挖探、钎探等手段进行验证的活动。

2.1.3 空洞 void

地下土体中自然发育或人工形成的具有一定规模的洞体。

2.1.4 脱空 cavity underneath pavement

地面硬壳层与地基土之间发育的具有一定规模的洞体。

2.1.5 疏松体 loosely infilled body

道路地下局部土体密实度明显低于周边土体的不良地质体。

2.1.6 富水体 water-rich body

道路地下局部土体含水率明显高于周边土体的不良地质体。

2.1.7 覆跨比 thickness-span ratio

塌陷隐患上覆土层厚度与塌陷隐患水平方向最大跨度之比。

2.1.8 二维探地雷达法 2D ground penetrating radar method

采用天线电磁波发射、接收技术，通过采集单通道反射信号反映地下介质剖面地质情况的一种电磁波法。

2.1.9 三维探地雷达法 3D ground penetrating radar method

采用阵列天线技术，通过单次扫描，形成高密度立体电磁波数据的一种探地雷达法。

2.1.10 管中雷达法 pipe penetrating radar method

采用移动设备搭载探地雷达，在非金属管道中向管道周边发射电磁波进行探测，反映管道外部剖面地质情况的一种电磁波法。

2.1.11 普查 general detection

按照一定的测线网格，对目标区域进行全覆盖探测的活动。

2.1.12 详查 detail detection

根据普查结果，对可能存在道路塌陷隐患的重点区域进行进一步加密测线探测的活动。

2.1.13 测线 detection line

由一系列雷达测点组成的线状轨迹。

2.1.14 干扰源 interference source

在塌陷隐患探测中，影响探测信号质量、数据信噪比和探测深度的各种干扰因素。

2.1.15 验证 verification

根据详查结果，对疑似道路塌陷隐患区域，采取钻探手段或其他方法进行验证的活动。

2.1.16 风险评估 risk evaluation

根据道路塌陷隐患的数量、规模、埋深、成因、处置方式、探测时间、道路等级，评价所有塌陷隐患的塌陷风险，并结合多期塌陷隐患探测结果，对所在路段的塌陷风险变化趋势进行预估。

2.1.17 风险等级 level of risk

根据塌陷风险发生可能性等级及风险后果等级综合确定的风险程度。

2.1.18 风险预警 risk warning

对城镇道路塌陷隐患进行探测、分析和评估，以便提前发现并及时采取措施避免或减轻可能的损失。

2.2 符 号

- c —— 电磁波在空气中的传播速度；
- d —— 塌陷隐患最大净深；
- d_0 —— 标定目标体厚度或距离；
- f —— 探地雷达天线主频；
- H —— 最大要求探测深度；
- h —— 探测目标深度；
- h_0 —— 塌陷隐患埋深；
- K —— 加权系数；
- k —— 塌陷隐患覆跨比；
- L —— 塌陷隐患水平最大长度；
- L_r —— 道路区间长度；
- n —— 道路区间塌陷隐患数量；
- P —— 道路区间规定探测周期；
- r —— 塌陷隐患塌陷风险指数；
- r_c —— 塌陷隐患成因风险系数；
- r_d —— 塌陷隐患净深风险系数；
- r_i —— 道路区间第 i 个塌陷隐患风险指数；
- r_k —— 塌陷隐患覆跨风险系数；
- r_s —— 塌陷隐患面积风险系数；
- r_t —— 塌陷隐患时间风险系数；
- r_z —— 塌陷隐患处置风险系数；
- R —— 道路塌陷风险指数；
- S —— 塌陷隐患地面投影面面积；
- t —— 双程走时；
- t_0 —— 距新修或上次探测后时间；
- T —— 记录时窗；
- v —— 电磁波在介质的波速；
- x' —— 横向分辨率；

ε_r —— 相对介电常数；

λ —— 电磁波波长。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

3 基本规定

3.0.1 城镇道路塌陷隐患探测应遵循从简单到复杂、从已知到未知的原则，复杂探测环境或单一方法存在多解性时宜采用多种方法综合探测。

3.0.2 根据城镇道路塌陷隐患探测的情形，探测类型宜分为定期探测、应急探测和专项探测三类。

3.0.3 道路塌陷隐患可分为空洞、脱空、疏松体和富水体四类，塌陷隐患的工程特征与地球物理特征应符合现行行业标准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的规定。

3.0.4 城镇道路塌陷隐患探测宜结合既有岩土工程、市政设施、水文气象、历史塌陷、城镇道路勘察设计资料、既有建（构）筑物、道路地下管网等资料，选用合理探测方法，查明探测区域内道路塌陷隐患的属性特征。

3.0.5 城镇道路塌陷隐患探测宜采用普查和详查相结合的方式。

3.0.6 进行探测作业的车辆应为经过备案的专项作业车，占道围蔽探测时，应符合现行行业标准《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900 的规定。

3.0.7 城镇道路塌陷隐患探测后，应对塌陷隐患和道路区间进行塌陷风险评估，提出风险管控对策。

3.0.8 道路塌陷隐患探测宜纳入城镇道路养护工作中，并与道路养护计划相结合，纳入道路养护系统和档案管理。

3.0.9 探测到的国防光缆、人防等保密设施信息应参照现行相关法律法规进行管理，探测单位对探测成果应进行保密。

4 探测分类

4.1 定期探测

4.1.1 城镇道路应按照地质条件、地下管线状况及道路类别确定探测周期，定期进行塌陷隐患探测。

4.1.2 城镇道路养护级别可分为 I 等养护、II 等养护与 III 等养护三个等级，道路塌陷隐患定期探测周期宜参考表 4.1.2 确定，探测周期宜根据城市道路塌陷隐患评估结果适当调整。

表 4.1.2 定期探测周期

城镇道路养护等级	探测周期
I 等养护的城镇道路：快速路、主干路、广场、商业繁华街道、重要生产区道路、外事活动路线、游览路线、地铁穿越道路、增加填方道路、大型地下设施上跨道路	1 年
II 等养护的城镇道路：除 I 等养护以外的次干路、步行街、支路中的商业街道	2 年
III 等养护的城镇道路：除 I、II 等养护以外的支路	3 年

4.1.3 道路塌陷隐患定期探测时间宜选在雨季前、后进行。

4.1.4 城镇道路定期探测数据应与上一期数据进行对比分析，以获取道路塌陷隐患规模、数量变化趋势。

4.2 专项探测

4.2.1 道路影响范围内发生以下情况时，按下列规定开展专项探测工作：

- 1 I等养护的城镇道路工程竣工验收前，应进行专项探测；
- 2 道路改造工程方案制定前与竣工验收前，应进行专项探测；
- 3 地铁站点、地下盾构、深基坑、顶管等地下工程施工时与竣工验收后，应对影响范围内道路进行专项探测；
- 4 城市重大活动举行前，宜对活动场馆周边和活动使用道路进行专项探测；
- 5 洪涝、地震等自然灾害发生后，宜对相关影响区域进行专项探测。

4.2.2 城镇道路专项探测前应制定专项探测方案，应包括探测方法、探测流程、安全措施等内容。

4.2.3 对专项探测发现的塌陷隐患应制定处置方案，且应在处置后进行复测，对处置效果进行评价。

4.3 应急探测

4.3.1 道路影响范围内发生以下情况时，应立即开展应急探测工作：

- 1 区域内突发事件异常情况，包括道路塌陷、地下管道破损漏水、路面明显沉降、在建地下工程发生涌水、塌陷等；
- 2 管理单位认为的其他需要进行应急探测的情形。

4.3.2 应急探测流程宜按现场调查、现场探测、现场数据分析、验证、出具应急报告的顺序执行。

4.3.3 应急探测现场调查应收集事故经过、现场地质条件、地下工程及附近地下管线状况等资料。

4.3.4 应急探测时应进行塌陷隐患类型现场判定，如果发现安全风险较高的塌陷隐患，应立即通知主管单位，并采取临时围挡等安全措施。

4.3.5 应急探测应跟进应急结果后续处置情况，必要时在处置后进行复测，对处置效果进行评价。

5 探 测 方 法

5.1 一般规定

5.1.1 城镇道路塌陷隐患探测时，测区条件应满足下列要求：

- 1 测区表面相对平坦，表层无低阻屏蔽层；
- 2 场地内无大范围的金属体、强无线电发射源等人工电磁波干扰。

5.1.2 资料收集宜包含下列内容：

- 1 测区的岩土工程、工程地质和水文地质勘察资料；
- 2 测区的地下管线图与相关管线现状资料、排水管渠内窥检测成果资料、给水管道的漏水检测成果资料；
- 3 测区的道路、地铁、顶管、基坑等地下工程施工资料；
- 4 测区的道路塌陷、管线破损、沉降及裂缝等相关资料；
- 5 测区既有的塌陷隐患探测资料及塌陷隐患修复的设计施工资料。

5.1.3 现场踏勘宜包含下列内容：

- 1 了解测区道路的车流量、车道数、占道等工作现状条件，选择合理探测时段，必要时宜选择夜间探测；
- 2 了解测区道路探地雷达典型干扰源的分布情况；
- 3 了解测区道路明显下陷、破损、开裂、修补等区域的分布情况；
- 4 了解测区道路探测时段内地下顶管、基坑、地铁等施工区域分布与现状；
- 5 核实已收集资料的完备性及可利用程度，评估现场作业风

险与探测重难点区域。

5.1.4 探地雷达天线主频宜根据分辨率与有效性试验进行确定，以满足探测深度和精度的要求。

1 探地雷达法的垂向分辨率 x 宜取探地雷达电磁波波长的 $1/2$ ，电磁波在地下介质中传播的波长宜按式 (5.1.4-1) 计算：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.1.4-1)$$

式中： λ ——电磁波波长 (m)；

c ——电磁波在空气中的传播速度 (m/ns)，取 0.3；

f ——探地雷达天线主频 (MHz)；

ϵ_r ——相对介电常数。

2 探地雷达法的横向分辨率宜按式 (5.1.4-2) 计算：

$$x' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (5.1.4-2)$$

式中： x' ——横向分辨率 (m)；

λ ——电磁波波长 (m)；

h ——探测目标深度 (m)。

3 宜选择测区内有代表性的位置进行有效性试验。

5.1.5 探地雷达天线主频选择除应满足探测深度和精度的要求，还应遵循下列原则：

1 电磁干扰较小且探测深度较大时，宜选择非屏蔽低频天线；

2 多种频率的天线均能满足分辨率要求时，宜选择频率相对较低的天线；

3 多种频率的天线均能满足探测深度要求时，宜选择频率相对较高的天线，或选择多种频率天线。

5.1.6 有效性试验除了确定天线主频，还应确定天线离地高度与采集参数。

5.1.7 采集参数设置宜符合下列规定：

- 1 探地雷达采样点数可设置为 1024 点；
- 2 信号的增益宜使信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4；
- 3 采样频率不宜低于所采用天线主频的 20 倍；
- 4 普查时道间距不宜大于 5.0 cm，详查时道间距不宜大于 2.5 cm；

5 探地雷达记录时窗应为雷达接收数据的时间长度，超过记录时窗的回波不再被接收，记录时窗可按式 (5.1.7) 计算：

$$T = K \frac{2H}{c} \quad (5.1.7)$$

式中： T ——记录时窗 (ns)；

K ——加权系数，取 1.3~1.5；

H ——最大要求探测深度 (m)；

c ——电磁波在空气中的传播速度 (m/ns)，取 0.3。

5.1.8 探测前宜对测区的平均介电常数或电磁波平均速度做现场标定，标定工作应符合下列规定：

1 每个独立测区标定应不少于 1 处，每处实测不少于 3 次，取标定结果平均值作为该测区的介电常数或电磁波速。当测区超过 3 公里、介质或含水量变化较大时，应适当增加标定点数；

2 标定应针对普遍性的区域对已知深度的目标或地物进行测量及雷达图谱采集，采集图谱中标定目标或地物界面反射信号应清晰、准确；

3 标定结果应按式 (5.1.8-1) 与式 (5.1.8-2) 计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2} \right)^2 \quad (5.1.8-1)$$

$$v = \frac{2d_0}{t} \quad (5.1.8-2)$$

式中： ε_r ——相对介电常数；

t ——双程走时 (ns)；

v ——电磁波在介质的波速 (m/ns)；

d_0 ——标定目标体厚度或距离 (m)。

5.1.9 车行道的塌陷隐患普查工作宜优先使用二维多通道车载探地雷达设备或三维车载探地雷达设备，非车行道的塌陷隐患普查工作可使用人工或其他非机动车牵引的便携式探地雷达设备。

5.1.10 车载探地雷达系统宜包含定位测量装置、影像记录设备与数据采集控制软件。

5.1.11 定位测量装置宜采用 RTK 和惯性导航的组合测量模式，并应符合下列规定：

- 1 数据接收帧率宜大于或等于10Hz；
- 2 定位数据平面精度宜大于或等于5.0cm；
- 3 定位数据高程精度宜小于或等于20.0cm；
- 4 应支持差分信号接收功能；
- 5 应支持接收CORS定位坐标。

5.1.12 影像记录设备应符合下列规定：

- 1 宜安装在探测车前、后、右3个方向；
- 2 分辨率应大于或等于1080P，帧率应大于或等于25fps；
- 3 宜具有夜视功能。

5.1.13 影响探地雷达探测的典型干扰源可按表 5.1.13 分为地上建（构）筑物干扰、地下建（构）筑物干扰和电磁干扰。

表 5.1.13 影响探地雷达探测的典型干扰源分类

干扰源类型	典型干扰源
地上建（构）筑物干扰	过街天桥、高架桥、不同材料路面衔接区段、地表金属物、道路金属护栏、金属围挡等
地下建（构）筑物干扰	地下通道、地下管线、施工降水井、废弃管沟、地下工程施工加固体等
电磁干扰	架空输电线、路灯杆、电子广告牌、架空道路指示牌、大型信号发射装置、地电干扰、天然电场等

5.1.14 为消除或减弱干扰源的影响,进行道路塌陷隐患探测时宜符合下列规定:

- 1 数据采集过程中,宜记录干扰源的类型和位置;
- 2 数据解译时,宜结合干扰源特征,对结果进行综合判定。

5.1.15 城镇道路塌陷隐患探测的测量工作,应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 的规定。

5.1.16 现场普查记录宜包含探测日期、工程名称、探测依据、探测地点、探测仪器、天线频率、测线图、文件名、探测人员、地面异常环境等内容,记录宜符合附录 A 的规定。

5.1.17 现场详查验证记录宜包含探测日期、工程名称、探测地点、道路塌陷隐患编号、道路塌陷隐患属性、道路塌陷隐患规模、道路塌陷隐患位置描述、周边管线、文件名、探测人员等内容,记录宜符合附录 B 的规定。

5.2 二维探地雷达法

5.2.1 现场测线布设应符合下列规定:

- 1 城镇道路塌陷隐患普查时,测线沿车行道车辆行进方向布设,测线间距不宜大于 2.0m;
- 2 城镇道路塌陷隐患详查时,测线在疑似道路塌陷隐患发育区域与管线密集区域应加密或网状布设,测线间距不宜大于 1.0m;
- 3 测线宜避开地形、障碍及其他干扰的影响,测线长度应根据塌陷隐患发育规模和范围确定,保证塌陷隐患探测成果连续、完整,便于追踪。

5.2.2 现场数据采集应符合下列规定:

- 1 视测区情况,调整雷达天线,宜使之与地面平行,且其离地高度宜小于 5cm;
- 2 天线的移动速度应均匀,并与扫描率相匹配;
- 3 距离触发模式连续数据采集时触发间距不宜大于 5cm,天

线移动速度应使数据不出现丢道现象或出现少量丢道但不影响数据判读；

4 应及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时重测；

5 应及时记录各类干扰源及其位置以及地面积水、变形等环境情况；

6 当探测区域局部不满足探测条件时，应记录其位置和范围，待具备探测条件后补充探测；

7 当需要分段探测时，相邻探测段应衔接紧密，准确记录每个探测段的起、终点。

5.2.3 数据质量检查和评价应符合下列规定：

1 重复观测的数据应与原数据一致性良好；

2 现场记录信息应完整，且与探测数据保持一致；

3 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；

4 数据剖面上不应出现连续的坏道。

5.2.4 数据处理方法和步骤（图 5.2.4）应符合下列规定：

1 处理流程和处理方法应保持简单，应按真实性、规则性和一致性的原则；

2 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；

3 可根据需要选取增益调整、频率滤波、背景消除、反褶积、偏移归位、空间滤波、数据平滑、地形校正等处理方法；

4 在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波；

5 当反射信号弱、数据信噪比低时，不宜对数据进行反褶积、偏移归位处理；

6 可用反褶积压制多次反射波干扰，子波宜是最小相位子波；

7 可用空间滤波的有效道叠加或道间差方法，提高异常信号的连续性、独立性和可解释性；

8 改变反射信号的振幅特征宜在其他方法处理完后进行。

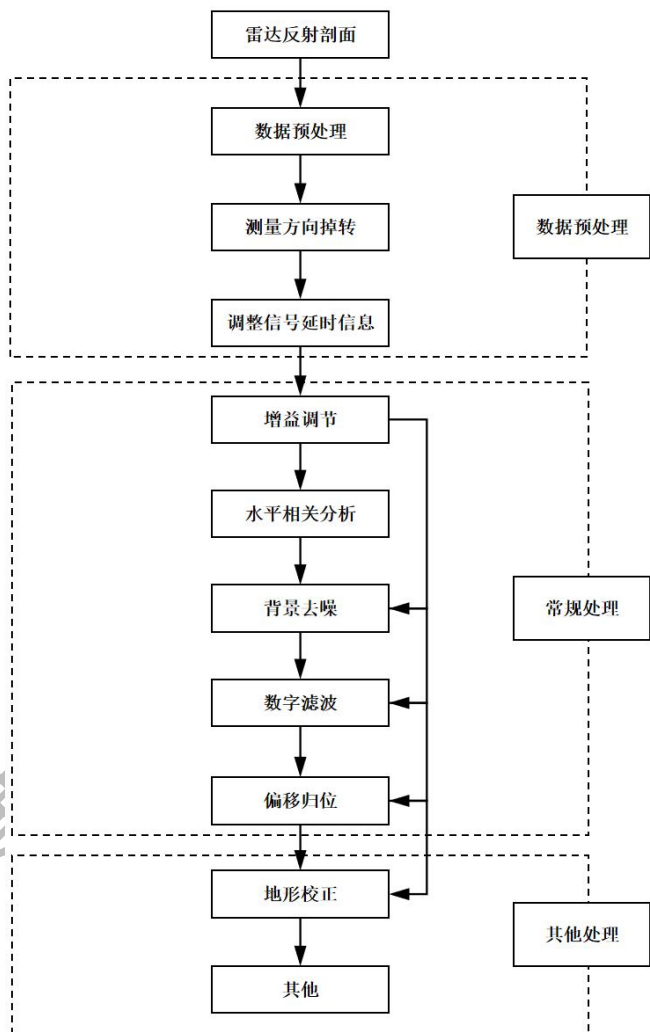


图 5.2.4 探地雷达数据处理流程

5.2.5 数据解释应符合下列规定：

- 1 应根据探地雷达图像的振幅、相位、频谱等特征进行异常识别和解译，并应符合现行行业标准《城市地下病害体综合探测

与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的规定；

- 2 应结合现场记录和已知资料，排除干扰异常；
- 3 宜结合地面变形、管线破损、历史塌陷等情况进行综合解释；
- 4 解释成果应采用专业语言描述，用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高；
- 5 道路塌陷隐患的位置、范围和规模宜结合相邻测线对比分析确定；
- 6 雷达剖面图像上应标明道路塌陷隐患的位置及范围。

5.3 三维探地雷达法

5.3.1 三维探地雷达测线束布设应符合下列要求：

- 1 测线束布设应覆盖整个探测区域；
- 2 测线束应延长至路口中间位置；
- 3 测线束长度、间距应使探测的异常体连续、完整，确保能够形成测区三维数据体，便于追踪；
- 4 测线束之间应有一定重叠，且重叠跨度宜不小于阵列天线通道间距。

5.3.2 现场数据采集应符合 5.2.2 的规定，并确保相邻测线束数据能够形成测区三维数据体。

5.3.3 现场采集数据质量检查和评价应符合 5.2.3 的规定。

5.3.4 数据处理方法和步骤（图 5.3.4）除应符合 5.2.4 的规定外，还应符合下列规定：

1 数据处理时雷达数据应带有坐标信息。若采用 RTK 方式进行测线束的定位测量，宜对测量数据进行空间滤波的有效叠加与道间差分处理，以提高定位测量的精度以及异常信号的连续性、独立性和可解释性；

2 三维探地雷达水平轨迹切片发生异常扭曲时，应对扭曲偏

离点采用手动纠偏处理，扭曲长度超过测线长度 10%时，应放弃处理，重新采集该测线数据；

3 对重点或复杂区域除按切片显示处理外，还宜做旋转、透视、开挖等三维显示处理。

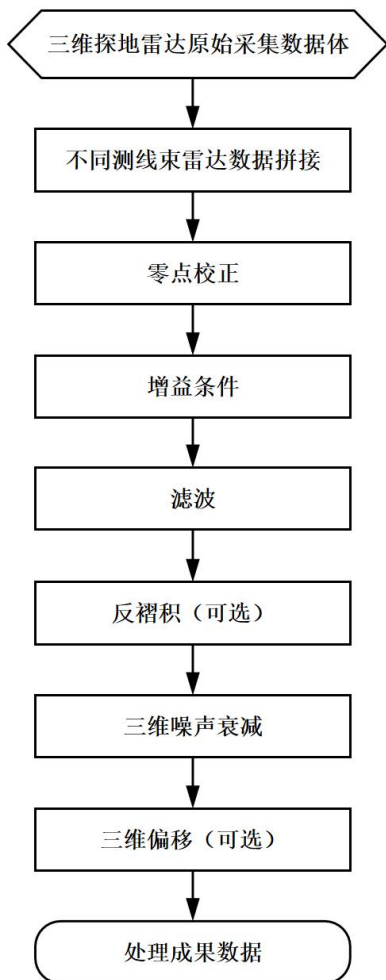


图 5.3.4 三维探地雷达资料处理方法和流程

5.3.5 数据解释除应符合 5.2.5 的相关规定外，还应符合下列规定：

- 1 宜根据三维探地雷达不同方向切片的同相轴及振幅、相位和频率等属性特征提取异常体；
- 2 宜通过多个不同方向切取三维雷达数据形成图像，至少包含纵横向垂直剖面和时间切片；
- 3 塌陷隐患时间切片图像特征宜按表 5.3.5 进行识别；

表 5.3.5 道路塌陷隐患的时间切片图像特征

道路塌陷隐患	时间切片图像特征
脱空	顶部呈与脱空水平形状相近的闭合图形，图形内部色系较单一
空洞	顶部呈与空洞水平形状相近的闭合图形，图形内部色系单一，随着时间、深度变大，图形形状随着空洞的变化而变化，图形内部逐渐变成雪花状
疏松体	顶部呈与疏松水平形状相近的闭合图形，图形内部呈雪花状，随着时间、深度变大，图形形状随着疏松的变化而变化
富水体	顶部呈现与富水体影响范围大小相近的闭合图形，图形内部色系单一，随着时间、深度变大，图形形状随着富水体影响范围的变化而变化

4 解释结果应包括塌陷隐患的平面坐标、平面面积、埋藏深度、垂向尺寸和严重程度等信息。

5.4 管中雷达法

5.4.1 地下管网密集区域和排水管道沿线道路塌陷隐患探测，除使用其他探测方法外，必要时宜结合管中雷达法进行探测。

5.4.2 管中雷达法管道机器人平台上应集成探地雷达和闭路电视系统，两者应具有同步显示与电缆长度计数测距功能。

5.4.3 测线布设除应符合 5.2.1 相关规定外，还应符合下列规定：

- 1 测线布设应以管道纵向为主，并记录测线准确位置；
- 2 根据管径大小应至少在管道顶部布设 1 条测线，管径较大

时，应适当在管道两侧或底部增设测线；

3 同步电视影像显示管道出现破损、开裂、渗漏等位置，测线应适当加密布设。

5.4.4 管中雷达现场数据采集时，除应符合 5.2.2 中的相关规定外，还应符合下列规定：

1 探测前应现场标定电缆盘计数轮；

2 探测时应根据管径调整雷达天线位置，使其紧贴管道内壁；

3 单个数据记录长度不宜大于 100m，宜以检查井位置进行划分；

4 雷达扫描到的异常区域应进行编号和现场标记，在同步电视影像中输入文字信息进行标注。

5.3.5 现场采集数据质量检查和评价应符合 5.2.3 的规定。

5.4.6 数据处理方法和步骤应符合 5.2.4 的规定。

5.4.7 数据解释除应符合 5.2.5 的相关规定外，还应结合同步管道内部电视影像进行综合判定。

6 验证与成因调查

6.1 一般规定

6.1.1 道路塌陷隐患验证宜优先选择钻探法进行验证,当不具备钻探作业条件时,可选用其他方法进行验证,比如挖探法、钎探法、管道内窥法或其他物探方法。

6.1.2 道路塌陷隐患探测成果验证应确定塌陷隐患的属性及平面尺寸、埋深、净深等参数。

6.1.3 成果验证点宜根据道路塌陷隐患类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择。成果验证前应进行公共交通安全和场地危险源辨识与评价。

6.1.4 塌陷隐患点的验证数量应符合下列规定:

1 空洞、脱空应全部验证;

2 其他道路塌陷隐患的验证数量不宜少于总数的 20%,且不宜少于 3 个,当数量少于 3 个应全部验证;

3 当道路塌陷隐患规模较大时,应在其边缘增设至少 4 个验证点确定塌陷隐患边界。

6.1.5 对于探测或巡查发现的塌陷隐患,应调查其形成原因,为后续修复治理提供科学依据。

6.2 钻探法

6.2.1 钻探法现场作业应符合下列规定:

1 钻探前,应查明地下管线、井室等构筑物情况,不得损坏或影响原有地下构筑物;

2 宜在指定位置钻孔，钻孔位置宜在排除塌陷风险的情况下选取道路塌陷隐患雷达图谱异常反应最强部位或中心部位；

3 道路钻孔结束后，应及时封孔。

6.2.2 钻探法钻孔后宜结合内窥镜、钢卷尺等设备确定塌陷隐患属性与发育规模。

6.2.3 无法使用内窥设备进行判定时，宜按下列情况进行判定：

1 钻探过程中发生掉钻，宜判定塌陷隐患类型为空洞或脱空；

2 钻探过程中未发生明显掉钻，但钻进阻力小、速率加快，宜判定道路塌陷隐患类型为疏松体；

3 当钻出土样为软塑或流塑状，钻孔内可见积水，宜判定道路塌陷隐患类型为富水体。

6.2.4 钻探验证结果为空洞的塌陷隐患宜采用开挖方式进一步验证，并在确定并消除诱因后采用分层压实的方式处理。

6.2.5 成果验证完成后应根据验证结果修正相关探测结论，完善物探解释标志，确认道路塌陷隐患类型、规模及性状等特征，验证记录宜符合附录 B 的规定。

6.3 成因调查

6.3.1 塌陷隐患成因调查内容应包括但不限于表 6.3.1。

表 6.3.1 成因调查内容

成因分类	成因调查内容
自然原因	地下水作用、地表水下渗、土体自然沉降
施工影响	路基回填不密实、地铁施工、顶管施工、深基坑开挖
构筑物影响	管线破损、人防坍塌、井壁破损
运维影响	运营维护不当、超载、超过设计年限

6.3.2 塌陷隐患成因调查宜按图 6.3.2 规定流程进行。

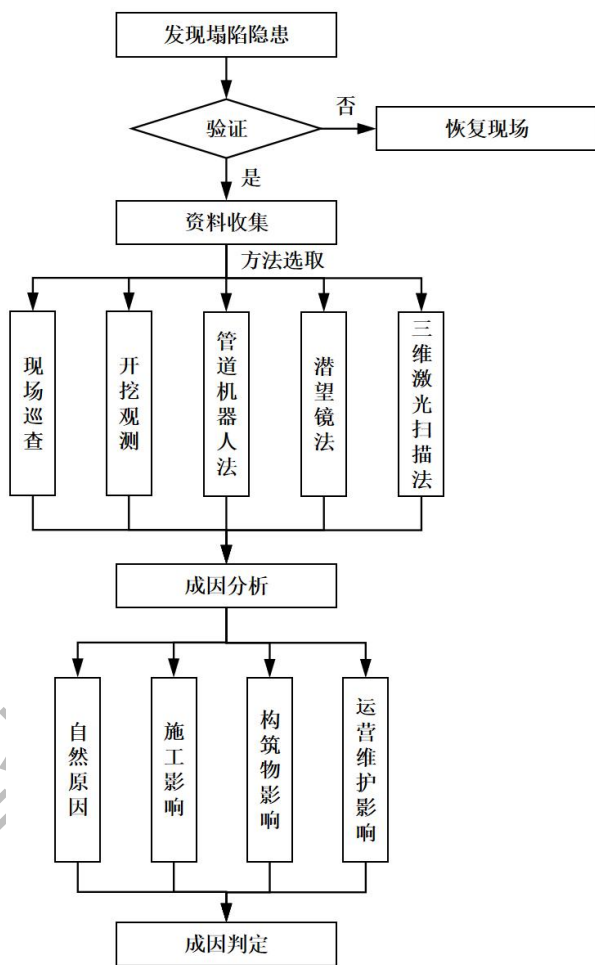


图 6.3.2 塌陷隐患成因分析流程

6.3.3 塌陷隐患成因调查应根据现场环境选择 1 种或多种方法综合判定，调查方法包括但不限于现场巡查、开挖观测、管道机器人法、潜望镜法、三维激光扫描法。

6.3.4 采用管道机器人法进行成因调查应符合现行行业标准《城

镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的规定。

6.3.5 采用潜望镜法进行成因调查应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的规定。

6.3.6 采用三维激光扫描法进行成因调查应符合现行行业标准《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017 的相关规定，并宜满足下列要求：

- 1 空洞净深不小于 2.0m；
- 2 空洞路面投影面积不小于 10.0m²。

6.3.7 塌陷隐患成因调查结果应包含探地雷达探测结果、钻孔或开挖结果、影像或三维激光扫描结果以及成因分析结论。

7 风险评估与预警

7.1 一般规定

- 7.1.1 塌陷隐患和道路区间应分别进行塌陷风险评估与预警。
- 7.1.2 风险评估与预警应按照风险因素调查、风险评估及风险等级评定的程序进行。
- 7.1.3 风险评估与预警应以塌陷隐患数据为基础，风险评估宜采用指标体系法，风险等级宜结合风险发生可能性与道路等级，采用风险矩阵法综合确定。
- 7.1.4 道路探测成果验证后应立即进行风险评估，复测后或评估条件发生变化时，应重新进行评估。

7.2 风险评估

- 7.2.1 风险评估应包括风险影响因素调查、风险发生可能性系数计算及风险发生可能性等级划分。
- 7.2.2 风险评估前应进行下列风险影响因素调查：
 - 1 探测道路长度、宽度、等级；
 - 2 道路塌陷隐患数量、类型、空间位置、几何尺寸、覆跨比和成因；
 - 3 塌陷隐患处置情况；
 - 4 道路距新修或上次探测后时间。
- 7.2.3 风险评估应根据塌陷隐患净深风险、面积风险、覆跨风险、成因风险、处置风险、时间风险等因素综合确定。
- 7.2.4 塌陷隐患净深风险系数 r_d 应根据塌陷隐患净空最大高

度 d 按表 7.2.4 取值。

表 7.2.4 塌陷隐患净深风险系数 r_d 取值

$d(\text{m})$	r_d
$0 \leq d < 0.5$	$[0 \sim 0.4)$
$0.5 \leq d < 1.0$	$[0.4 \sim 0.7)$
$1.0 \leq d < 2.0$	$[0.7 \sim 0.9)$
$2.0 \leq d < 4.0$	$[0.9 \sim 1.0)$
$d \geq 4.0$	1.0

7.2.5 塌陷隐患面积风险系数 r_s 应根据其面积 S 按表 7.2.5 取值。

表 7.2.5 塌陷隐患面积风险系数 r_s 取值

$S(\text{m}^2)$	r_s
$0 \leq S < 3$	$[0 \sim 0.5)$
$3 \leq S < 10$	$[0.5 \sim 0.7)$
$10 \leq S < 15$	$[0.7 \sim 0.9)$
$15 \leq S < 30$	$[0.9 \sim 1.0)$
$S \geq 30$	1.0

7.2.6 塌陷隐患覆跨风险系数 r_k 应根据覆跨比 k 按表 7.2.6 取值，覆跨比 k 按式 (7.2.6) 计算：

表 7.2.6 陷隐患覆跨风险系数 r_k 取值

k	r_k
$k > 10.0$	0
$3.0 < k \leq 10.0$	$[0 \sim 0.4)$
$1.0 < k \leq 3.0$	$[0.4 \sim 0.7)$
$0.5 < k \leq 1.0$	$[0.7 \sim 0.9)$
$0 \leq k \leq 0.5$	$[0.9 \sim 1.0]$

$$k = \frac{h_0}{L} \quad (7.2.6)$$

式中： k ——空洞或脱空覆跨比；

h_0 ——塌陷隐患埋深 (m)；

L ——塌陷隐患水平最大长度 (m)。

7.2.7 塌陷隐患成因风险系数 r_c 应按表 7.2.7 取值。

表 7.2.7 塌陷隐患成因风险系数 r_c 取值

塌陷隐患成因	r_c
土体自然沉降、施工回填不密实、路基岩性变化	[0~0.1)
地表水下渗、地下水作用	[0.1~0.3)
井壁破损、基坑开挖、运营维护不当、超载、超过设计年限	[0.3~0.5)
地铁施工、顶管施工	[0.5~0.8)
管线破损、人防坍塌	[0.8~1.0)

7.2.8 塌陷隐患处置风险系数 r_z 应根据处置情况按表 7.2.8 取值。

表 7.2.8 塌陷隐患处置风险系数 r_z 取值

处置情况	r_z
未处置	1.0
已处置但未消除成因	0.2
已处置且已消除成因	0

7.2.9 塌陷隐患时间风险系数 r_t 应按式 (7.2.9) 进行计算:

$$r_t = \frac{t_0}{P} \quad (7.2.9)$$

式中: r_t ——时间风险系数;

t_0 ——距新修或上次探测后时间 (月);

P ——道路区间规定探测周期 (月)。

7.2.10 塌陷隐患风险发生可能性指数 r 应按式 (7.2.10) 计算, 并根据计算结果按表 7.2.10 划分为四个等级。

$$r = (0.3r_d + 0.25r_s + 0.25r_k + 0.2r_c) \times r_z \quad (7.2.10)$$

表 7.2.10 塌陷隐患风险发生可能性等级

风险发生可能性等级	风险发生可能性指数 r	风险描述
a	$r \geq 0.7$	存在重大塌陷风险
b	$0.5 \leq r < 0.7$	存在较大塌陷风险
c	$0.2 \leq r < 0.5$	存在一般塌陷风险
d	$0 \leq r < 0.2$	存在较小塌陷风险

7.2.11 道路塌陷风险发生可能性指数 R 应按式 (7.2.11) 计算, 并根据计算结果按表 7.2.11 划分为 A、B、C、D 四个等级。宜按 1000m

长度划分道路区间，计算道路塌陷风险发生可能性指数。

$$R = \sum_{i=1}^n (r_i) / L_r + r_i \tag{7.2.11}$$

式中： r_i ——第 i 个塌陷隐患的风险指数，按式 (7.2.10) 计算；
 n ——道路区间塌陷隐患数量；
 L_r ——道路区间长度。

表 7.2.11 道路塌陷风险发生可能性等级

风险发生可能性等级	风险发生可能性指数	风险描述
<i>A</i>	$R \geq 7$	重大安全风险
<i>B</i>	$5 \leq R < 7$	较大安全风险
<i>C</i>	$2 \leq R < 5$	一般安全风险
<i>D</i>	$0 < R < 2$	较小安全风险

7.3 风险等级划分

7.3.1 应结合风险发生可能性等级与道路重要性等级，采用风险矩阵法，划分塌陷隐患风险等级和道路塌陷风险等级。

7.3.2 城镇道路重要性宜根据 4.1.2 的规定划分为三个等级，I 等养护的城镇道路为一级；II 等养护的城镇道路为二级；III 等养护的城镇道路为三级。

7.3.3 塌陷隐患风险等级宜按表 7.3.3 划分为I、II、III、IV四个等级，分别对应红、橙、黄、蓝四个预警级别。

表 7.3.3 塌陷隐患风险等级

道路等级 塌陷隐患 风险发生可能性等级	一	二	三
<i>a</i>	I	I	II
<i>b</i>	I	II	III
<i>c</i>	II	III	IV
<i>d</i>	III	IV	IV

7.3.4 道路塌陷风险宜按表 7.3.4 划分为I、II、III、IV四个等级。

表 7.3.4 道路塌陷风险等级

道路等级 道路塌陷 风险发生可能性等级	一	二	三
A	I	I	II
B	I	II	III
C	II	III	IV
D	III	IV	IV

7.4 风险预警对策

7.4.1 风险预警对策应根据塌陷隐患风险等级、道路塌陷风险等级与可实施条件等因素制定。

7.4.2 塌陷隐患风险预警对策应根据风险等级制定,并宜符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 塌陷隐患风险预警对策

风险等级	预警级别	风险预警对策
I	红色	1 路段围挡 2 调查塌陷隐患成因 3 修复塌陷隐患成因 4 开挖回填治理修复
II	橙色	1 局部围挡 2 调查塌陷隐患成因 3 修复塌陷隐患成因 4 开挖回填或注浆治理修复
III	黄色	1 调查塌陷隐患成因 2 修复塌陷隐患成因 3 定期巡视或修复治理
IV	蓝色	1 调查塌陷隐患成因 2 修复塌陷隐患成因 3 定期巡视

7.4.3 道路塌陷风险预警对策宜符合表 7.4.3 的规定。

表 7.4.3 道路塌陷风险预警对策

风险等级	预警级别	风险预警对策
I	红色	1 立即封闭围挡 2 立即工程处理
II	橙色	1 设置警示标志 2 尽快工程处理
III	黄色	1 设置警示标志 2 定期巡视
IV	蓝色	1 定期巡视

7.4.4 塌陷隐患风险等级为 1~III 级时，宜进行路面承载力评估，并应进行雷达探测以排除风险。

7.4.5 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方式，并应符合下列规定：

1 道路进行开挖修复应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 和《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 的规定；

2 道路进行非开挖修复应符合现行行业标准《道路深层病害非开挖处治技术规程》CJJ/T 260 的规定；

3 管道进行开挖维修应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的规定；

4 管道进行非开挖修复应符合现行行业标准《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》CJJ/T 210 的规定。

8 探测报告

8.0.1 道路塌陷隐患雷达探测成果应由文字报告和成果图件组成。

8.0.2 当采用多种探测方法完成一个探测项目时,应对所获取的资料综合研究分析,编写综合探测成果报告;当采用一种探测方法完成一个探测项目时,应编写单项探测成果报告。

8.0.3 道路塌陷隐患雷达探测文字报告应包括下列内容:

- 1 雷达数据解译结果;
- 2 道路塌陷隐患位置信息;
- 3 塌陷隐患点定位与钻探验证图像;
- 4 道路塌陷隐患成因分析及处置建议;
- 5 道路塌陷隐患探测成果汇总表(附录 C);
- 6 路段塌陷隐患密度和塌陷隐患成因统计分析。

8.0.4 探地雷达成果图件宜包括测线平面布置图、塌陷隐患平面分布图、塌陷隐患探地雷达剖面图。

8.0.5 雷达数据解译结果信息应包括隐患类型、形状、埋深及规模等。

8.0.6 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。

附录 A 探地雷达法普查记录表

工程名称				探测日期	
探测仪器				天线频率	
探测依据				GPS 数据文件名	
测线编号	测线起点 编号	测线终点 编号	测线长度 (m)	雷达数据 文件名	备注/干扰
测线布设说明及示意图					
审核		校核		测试	

附录 B 探地雷达法详查验证记录表

工程名称					探测仪器		GPS 文件		探测日期	
病害编号	病害类型	埋深/m	净深/m	平面尺寸/m	雷达文件	管线/井室	位置			
审核				校核			测试			

附录 C 道路塌陷隐患探测成果汇总表

工程名称					探测仪器		GPS 文件	探测日期	
病害编号	病害类型	埋深/m	净深/m	平面尺寸/m	位置	风险等级	处置建议		
审核				校核			测试		

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《给水排水管道工程施工及验收规范》 GB 50268
- 2 《城市道路施工作业交通组织规范》 GA/T 900
- 3 《城镇道路工程施工与质量验收规范》 CJJ 1
- 4 《城镇道路养护技术规范》 CJJ 36
- 5 《城镇排水管道检测与评估技术规程》 CJJ 181
- 6 《城市测量规范》 CJJ/T 8
- 7 《道路深层病害非开挖处治技术规程》 CJJ/T 260
- 8 《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》 CJJ/T 210
- 9 《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》 JGJ/T
437
- 10 《地面三维激光扫描作业技术规程》 CH/Z 3017

福建省工程建设地方标准

城镇道路塌陷隐患无损探测与风险
预警技术标准

DBJ/T 13-500-2025

条文说明

编制说明

《城镇道路塌陷隐患雷达探测与风险预警技术标准》DBJ/T 13-500-2025，经福建省住房和城乡建设厅 2025 年 8 月 12 日以闽建科（2025）16 号文批准发布，并经住房和城乡建设部备案，备案号为 J 18308-2025。

本标准制订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国近年来城镇道路塌陷隐患探测经验，同时参考了国内有关技术规范、技术标准，对本标准的内容进行反复讨论，分析和论证，取得了重要技术参数。

为便于广大检测、设计、施工、监理、科研等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则	39
2 术语和符号	40
2.1 术 语	40
3 基本规定	41
4 道路探测分类	43
4.1 定期探测	43
4.2 专项探测	43
4.3 应急探测	43
5 道路探测方法	44
5.1 一般规定	44
5.2 二维探地雷达法	45
5.3 三维探地雷达法	48
5.4 管中雷达法	49
6 验证与成因调查	50
6.1 一般规定	50
6.2 钻探法	50
7 风险评估与预警	51
7.1 一般规定	51
7.2 风险评估	51
7.3 风险等级划分	53
8 探测报告	54

1 总 则

1.0.2 根据福建省内城镇道路塌陷隐患发生、发展情况，考虑地铁等地下空间施工的影响深度及现有地质雷达设备性能，最终确定 5.0m 深度探测范围。5.0m 深度内的塌陷隐患容易在短期内产生危害，是本标准关注的范围，而深度大于 5.0m 的塌陷隐患不属于本标准适用范围。城市广场、居民生活区等区域塌陷隐患探测与道路探测技术一致，可参照此标准执行。

1.0.3 城镇道路塌陷隐患探测工作是道路运维的重要组成部分。在工作实施中，涉及设计、施工、管理、养护、交通管理、国防保密等相关行业。因此，塌陷隐患的探测除遵守本标准外，尚应遵守现行国家、地方强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.3 空洞和脱空对道路安全影响程度差别较大,但暂无国家标准和行业标准对空洞和脱空进行定量区分的技术标准。为更好地规范和指导道路塌陷隐患探测工作,起草单位通过对省内部分城镇道路管理养护单位调研,并对省内城镇道路塌陷隐患进行统计发现,净空高度大于 0.2m 的洞体对道路安全威胁相对更大,处置方式与净空较小空洞也有所不同,《深圳市地面坍塌隐患检测技术导则》也按照 0.2m 为空洞与脱空的分界。因此,为便于塌陷隐患定性,更好地指导探测和养护工作,建议将净空高度不小于 0.2m 的塌陷隐患界定为空洞。

2.1.4 脱空常见于混凝土路面、半刚性沥青路面以及白改黑路面等刚性或半刚性硬壳层下方,一般表现为平面尺寸大于垂向高度特点。

3 基本规定

3.0.1 塌陷隐患雷达探测是一种定性的探测方法,存在一定的不确定性与多解性,因此应遵循从简单到复杂、从已知到未知的原则减小对结果的误判。当遇到复杂的探测环境,各类干扰源可能对探地雷达图像产生不同程度的干扰,造成数据解释的多解性,此时宜结合其他方法进行综合探测,提高解释的准确性。

3.0.2 本条贯彻了国家关于市政设施精细化养护的要求,根据城镇道路塌陷隐患探测的情形,把探测类型归纳为定期探测、应急探测和专项探测,从而制定更精准、更经济、更科学技术方案。

3.0.4 城镇道路塌陷隐患是严重威胁市民出行的安全隐患,地球物理技术探测技术难度高、安全责任大,且得到的探测结果具有非接触、非视觉可视的特点,因此,作业前要尽量充分收集资料,选用最合理的探测方法。

3.0.5 塌陷隐患探测所采用的普查和详查方式对应了不同的探测阶段,当工程较小或工作量小时,建议直接采用详查的方式。

1 普查工作建议对测区进行全面探测,根据探测成果、现场调查结果和资料分析结果,确定重点探测区域;

2 重点探测区包含:历史事故发生的区域、管线密集区、地面明显变形区和普查中发现的疑似塌陷隐患异常区域等。

3.0.7 道路塌陷可能导致交通中断、车辆事故、人员伤亡等严重后果,道路塌陷隐患探测后,应立即对塌陷隐患和道路区间进行塌陷风险评估,提出风险管控对策,及早发现并处理道路塌陷隐患,可以减少事故发生的可能性,避免因事故带来的修复成本和资源浪费。通过有效的风险评估和管控对策,可以在资源有限的

情况下，实现对道路隐患的及时处理和管理，从而节约成本和资源，提高城市管理的效率和水平。

3.0.9 城镇地下常埋设有很多国防光缆、人防设施等保密设施，而地球物理方法探测这些人工设施的精准度一般远高于塌陷隐患。地球物理方法探测塌陷隐患时，同步采集到了上述保密设施信息。因此，为了防止探测到的地下保密信息外泄，应该对地下空间信息严格管理，无论城镇道路管理养护单位，还是塌陷隐患探测单位均有义务对信息保密。为保证地下空间涉密信息的安全，有条件的地区建议选择具备国家相关保密资质的探测单位。

4 道路探测分类

4.1 定期探测

4.1.2 为了更精准养护,本条根据道路重要性和交通密度等因素,同时参考现行行业标准《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 与福建道路特点,探测道路分为 I 等养护的城镇道路、II 等养护的城镇道路和 III 等养护的城镇道路三类,并对应不同探测周期。城镇道路塌陷探测应是城市道路常规性运营养护的一项,探测周期可以根据探测后道路塌陷隐患评估结果适当调整,一是减少费用支出;二是给各级单位根据资金情况和城镇道路规模制定适当的探测计划预留开口。

4.1.4 多期数据对比是由静态探测升级为动态监测的必要手段,获取道路塌陷隐患规模、数量变化趋势是精准管理的需求。

4.2 专项探测

4.2.1 本条明确规定了专项探测的适用场景。主要是为了保障道路使用安全、维护基础设施稳定、预防事故灾害,并为城市的发展和公共活动提供安全保障,促进城市管理的高效和可持续发展。

4.3 应急探测

4.3.1 本条规定了应急探测的适用场景。应急探测可以及时应对道路影响范围内的突发情况,保障公众的生命财产安全,以及维护城市基础设施的正常运行。

5 道路探测方法

5.1 一般规定

5.1.2 本条规定了道路塌陷隐患探测工作应收集的基础资料。

1 塌陷隐患是指发育在道路下方的不良地质体，因此测区范围内岩土工程、工程地质和水文地质勘察资料是探测工作需要的基础资料。

2 地下管线资料宜包括：管线分布图、管线的种类、位置、材质规格、埋深、高程及相互位置关系等相关现状资料。地下管线周边是空洞等塌陷隐患的高发区，地下管线的施工或介质渗漏均可能产生空洞等塌陷隐患，排水管内窥检测资料、给水管检测资料是判断塌陷隐患成因的重要依据之一，同时，地下管线在物探的探查剖面上会有异常信号出现，所以收集地下管线的现状资料及其内窥检测资料会提高探查工作的有效性。

3 工程施工特别是地下工程施工控制不当，极易导致周边水土流失或回填不密实等情况，也是塌陷隐患的高发区，因此收集测区地铁、顶管、基坑等地下工程施工资料有助于划定重点探测区域，避免误判、漏判。

4 如果现场曾发生过塌陷、管线破损、严重沉降等事故，并经过修复的情况，说明地基或管线曾经出现问题，修复时如未重视，诱因消除不彻底，极易再次发育空洞等塌陷隐患。

5.1.3 本条规定了探测工作现场踏勘的工作内容。现场踏勘主要是了解现场的车流量、车道数、占道等工作现状条件，了解探测线布置的条件。由于地下塌陷隐患探查工作的特殊性，对于已

经出现塌陷、明显下陷、破损、开裂、修补等情况的探查现场，了解现场的安全隐患，也是踏勘工作的重要任务，从而为探查时的安全措施选择提供参考。

5.1.4、5.1.5 探地雷达设备存在横向分辨率与垂向分辨率，横向分辨率一般是指水平方向上，能够区分物体的最小尺寸；垂向分辨率一般是指垂直方向上，能够区分两种介质的最小间距。只有塌陷隐患规模发育达到或超过其分辨率，雷达设备才可以将其分辨出来；另外只有当探测目标体与周边介质存在较大的介电性质差异，电磁波在其分界面才会发生较强的反射，以至于目标体可以被探测。

城镇道路环境下，影响探地雷达探测深度和精度的主要因素为天线主频、地下介质结构与介电特性、环境干扰因素等，在实际探测中应充分考虑探测深度要求、分辨率要求与设备性能，了解探测区域地下介质的介电性质和环境干扰因素，选择合适的天线主频。

原则上，多种频率的天线均能满足分辨率要求时，宜选择频率相对较低的天线，这样可以在保证探测精度的条件下又能增加探测深度；而多种频率的天线均能满足探测深度要求时，宜选择频率相对较高的天线，或选择多种频率天线，这样可以在保证探测精度的条件下又能增加探测精度。

5.1.13 本标准将雷达探测的干扰源分为地上干扰、地下干扰与电磁干扰三类，并列出了一些典型的具体干扰源（图1～图8）。

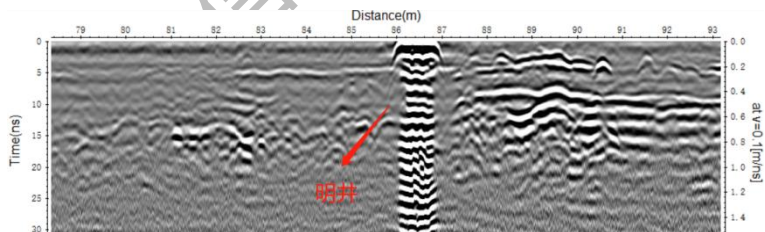


图1 明井

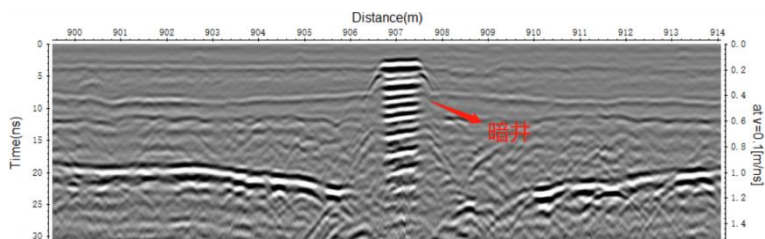


图2 暗井

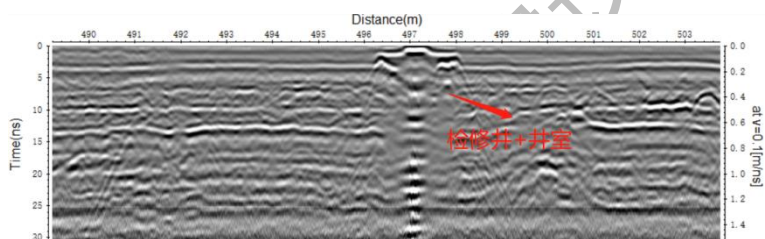


图3 检修井室

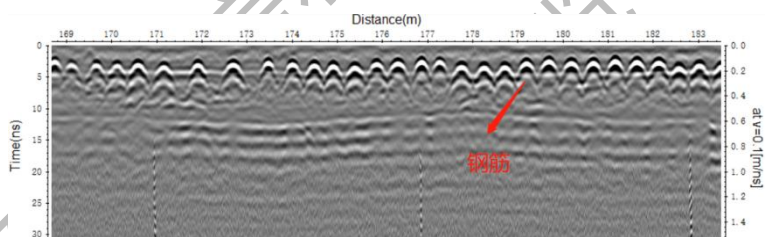


图4 钢筋

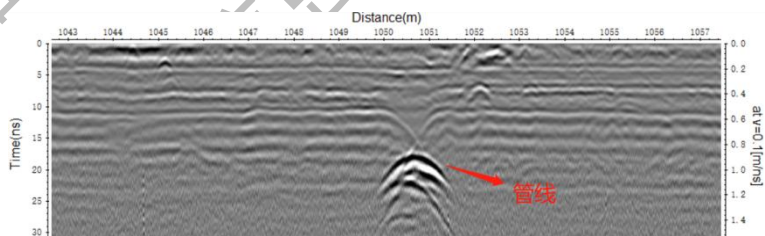


图5 排水管

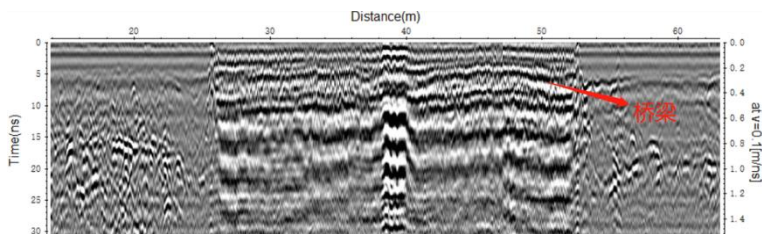


图6 桥梁

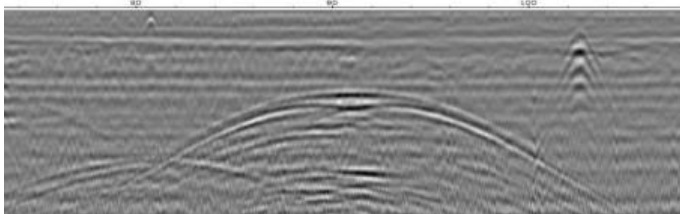


图7 路灯及指示牌

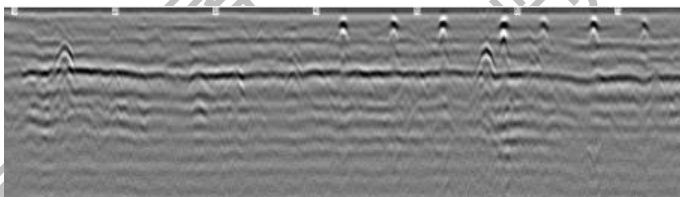


图8 顺路管线井盖及井室

5.2 二维探地雷达法

5.2.1 本条对探地雷达法测线的布设进行了规定。

1 基于安全的考虑和探测实施的便捷性,测线要求沿车道行进方向进行布设。测线间距依据天线的主频大小而不同,一般频率越高的天线要求测线间距越小,测线间距需保证被测道路塌陷隐患能够得到有效覆盖。

5.2.5 本条对探地雷达资料解释进行了规定。

在进行地下异常解释时，与现场记录、地面变形、管线破损、历史塌陷、周围管线分布等已知资料对比，并结合相邻测线的雷达图谱，可便于剔除假异常，正确识别异常原因，有效降低多解性。

5.3 三维探地雷达法

三维探地雷达相比于单通道探地雷达具有数据密度高的优势，能对地下目标以三维电磁波点云方式成像，捕获目标形貌细节。三维探地雷达的主要优势包括塌陷隐患的空间多维直观展示、快速有效区分地下干扰物和空洞等。在城市探测的有效探测深度一般在 3.0m 以内，地质条件良好时，有效深度一般也不会超过 5.0m。一般在 3.0m 以内的浅层地下塌陷隐患探测，可考虑使用三维探地雷达。

5.3.1 测线束是指三维探地雷达单幅全部通道的测线集合，测线束长度是指三维探地雷达阵列天线移动轨迹的真实长度。三维雷达测线束的布设原则应根据探测区域的范围、道路情况、交通条件，选择合适的时间段尽可能地覆盖整个探测区域以保证能够采集整个区域完整的数据。

5.3.2 三维雷达的数据采集是探测工作中很重要的一个环节，设备安装、操作、探测路径与方式等均需满足一定的要求。三维雷达检查连接线安装无误后开机预热，预热时间参照使用说明规定。按照安装方法将雷达主机、雷达天线、拆卸式支架、采集触发设备、定位设备等安装牢固，雷达天线应安装于承载车后方，视测区情况，应调整三维探地雷达天线与地面的距离，一般宜小于 5cm。

5.3.4 本条对三维雷达数据处理进行了规定。

1 在三维雷达数据处理方法中，空间滤波的有效叠加和道间差方法是常用的数据处理技术，用于提高异常信号的连续性、独立性和可解释性。空间滤波的有效叠加：空间滤波是一种在三维

雷达数据处理中常用的信号处理方法，通过对雷达数据进行空间上的滤波处理，可以去除噪声、增强目标信号，并提高数据的质量。在有效叠加中，多个雷达回波数据可以被叠加在一起，以增强目标信号并减少噪声的影响，从而提高数据的清晰度和可靠性。

道间差方法：道间差方法是一种在三维雷达数据处理中常用的方法，通过对相邻道数据之间的差异进行分析，可以揭示目标信号的特征和变化规律。道间差方法可以帮助识别目标与噪声之间的差异，提高异常信号的独立性和可解释性，有助于准确地探测和分析目标信息。

5.4 管中雷达法

5.3.2 管中地质雷达机器人搭载 CCTV 高清摄像头和地质雷达，进入非金属管道中，向管道周边发射电磁波进行探测，同步采集管道内部视觉影像和机器人坐标位置等信息，可以有效可靠地探测地下管道周边存在的空洞、脱空、疏松体、富水体等病害的大小与分布，为城市地下安全维护、管线管理、基建施工等提供依据，有效预防城市道路塌陷。

6 验证与成因调查

6.1 一般规定

6.1.4 本条对塌陷隐患点的验证数量进行了规定。

1 空洞、脱空是严重威胁道路安全的塌陷隐患，对城市安全影响较大，故建议全部验证。

6.2 钻探法

6.2.1 本条对钻探法现场作业进行了规定。

2 钻探法可采用地质钻机、背包钻等设备，验证点的位置通常选在雷达图谱异常反应最强部位或中心部位，才能较好地揭露塌陷隐患的类型、深度、规模。

7 风险评估与预警

7.1 一般规定

7.1.1 本标准涵盖了独立塌陷隐患、塌陷隐患的道路区间的风险评估与分级。

7.1.3 风险评估采用指标体系法。指标体系法也称层次分析法，是一种多准则决策方法，是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次，引入数学检验，分析各因素的内在联系，在此基础上开展定性和定量分析的决策方法。

7.2 风险评估

7.2.2 塌陷隐患空间位置、几何尺寸关系如图 1 所示：

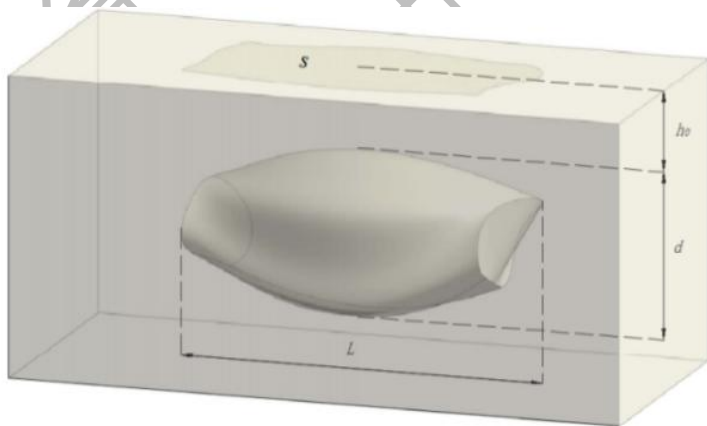


图 1 道路地下塌陷隐患示意图

注：图中， S ——面积； d ——净深； h_0 ——埋深； L ——为水平最大长度。

7.2.4-7.2.6 风险系数 r_d 、 r_s 、 r_k 在各取值区间内按线性插值法取值。

7.2.4 参考现行行业标准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 中地下病害体高度的区间划分和取值范围，对塌陷隐患净深风险系数 r_d 进行了调整。在道路探测中，净深大于等于 0.5m 的空洞已经对道路安全的影响较大，所以，对 $\leq 1\text{m}$ 的区间细分为 0~0.5 m 和 0.5~1.0 m，是为了更好地与道路探测实际相对应。

7.2.7 风险系数 r_c 在各区间内按严重程度取值，严重取大值，不严重取小值。

7.2.8 塌陷隐患处置风险系数是经过大量现场实践、反复试验形成的经验取值，“未处置”“已处置但未消除成因”这两种塌陷隐患处置方式，在塌陷隐患再次形成的风险之间有基本的比例，本条在取值上进行了归一化分别取 1.0 和 0.2；“已处置且已消除成因”的处理方式如果没有突发情况，不容易再形成塌陷隐患。

7.2.9 r_t 是一个随时间变化的系数，不管探测周期规定为多长，每满一个周期后 r_t 即会增加 1，道路坍塌风险发生可能性指数 R 也随之增大。目前探测的全国 80 多个城市都是距上次探测后时间越长，发现地下病害越多、越严重，所以，现在开展探测的绝大多数城市都是每年进行一次道路探测。为了与实际情况相符，在风险评估中特意增加了时间风险系数。道路区间一般取包含塌陷隐患的相邻两个路口之间。

7.2.10 按照层次分析法，经过层次结构模型构建、判断矩阵构造、层次排序即指标权重确定，经过实测数据总结和验证，最终确定净深风险、面积风险、覆跨风险、成因风险的权重系数分别为 0.3、0.25、0.25、0.2。 r 的取值与风险对应关系是根据大量案例中管养单位对风险的定位总结归纳得到的。

7.3 风险等级划分

7.3.3 风险等级划分为红、橙、黄、蓝四个预警级别，是为了更加符合常规，更容易区分等级高低。红、橙、黄、蓝四个预警级别分别与风险等级I、II、III、IV相对应。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

8 探测报告

8.0.1 成果报告是对塌陷隐患探测工程的工作总结,是了解工程概况、所采用的技术措施、研究塌陷隐患风险、道路安全状况的重要技术资料,也是塌陷隐患处置和周期性探测工作计划设计的重要依据。文字报告应内容全面、重点突出、立论有据、结构严谨、文字简练、结论明确、图表齐全。成果图件应清晰直观、层次清楚,图式、图例、注记和比例尺等要素齐全。

8.0.6 道路塌陷隐患位置信息一般包括坐标信息、影像信息、位置的文字描述信息和现场标注信息。道路塌陷隐患位置信息应及时存档,便于维修养护人员准确定位和后期追溯。