

住房和城乡建设部备案号：J17807-2024

DB64

宁夏回族自治区地方标准

DB 64/T 2025—2024

城镇道路塌陷隐患探测和风险评估
技术标准

Technical standard for detection and risk evaluation of
urban road collapse hazard

2024-08-26 发布

2024-11-26 实施

宁夏回族自治区住房和城乡建设厅
宁夏回族自治区市场监督管理厅 发布

宁夏回族自治区住房和城乡建设厅

公 告

(2024) 165 号

自治区住房和城乡建设厅关于发布 《近零能耗民用建筑技术标准》 等 3 项地方标准的公告

经自治区住房和城乡建设厅会同自治区市场监督管理厅组织审查，批准《城镇道路塌陷隐患探测和风险评估技术标准》（DB64/T 2025-2024）、《建筑太阳能光伏一体化技术规程》（DB64/T 2026-2024）、《近零能耗民用建筑技术标准》（DB64/T 2027-2024）等 3 项标准为宁夏回族自治区地方标准，以上标准自 2024 年 11 月 26 日起实施。

执行过程中发现问题，请反馈宁夏工程建设标准管理中心。

宁夏回族自治区住房和城乡建设厅
2024 年 9 月 10 日

前 言

根据《自治区市场监管厅关于下达 2023 年宁夏地方标准制（修）订计划的通知》（2023）176 号要求，标准编制组经详细调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准的主要内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 道路探测分类；5 塌陷隐患探测；6 验证与成因调查；7 风险评估与分级；8 探测报告。

本标准由宁夏回族自治区住房和城乡建设厅负责管理，由中科云图科技有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送中科云图科技有限公司（地址：北京市丰台区郭公庄中街 20 号院 2 号楼 12 层，邮编：100160），以便今后修订。

本标准主编单位：银川市城市管理局

中科云图科技有限公司

本标准参编单位：银川市市政工程管理处

宁夏大学

银川市政建设集团有限公司

银川市规划建筑设计研究院有限公司

吴忠市市政建设管理中心

中卫市住房和城乡建设局

本标准主要起草人：王继伟 谢翌鹤 王梅婷 崔娇娇

高云泽 周 慧 刘晓娟 马洪明

刘重玲	张 华	余 璐	赵江洪
张渝龙	马晓东	马万福	杨 斌
郭永利	伍成龙	马 锐	王建亮
柳 杰	郭 明	江丽杰	赵迎辉
毛紫剑	徐静涛	靳泽禹	李 哲
倪峥嵘	韩自刚	吴运强	姚 虎
许彩琦	梅淑红	白姜艳	

本标准主要审查人：

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	道路探测分类	10
4.1	定期探测	10
4.2	专项探测	11
4.3	应急探测	11
5	塌陷隐患探测	13
5.1	一般规定	13
5.2	二维探地雷达法	17
5.3	三维探地雷达法	26
5.4	高密度电阻率法	30
5.5	瞬态面波法	33
5.6	地震映像法	34
5.7	瞬变电磁法	37
5.8	微动勘探法	39
6	验证与成因调查	42
6.1	一般规定	42
6.2	钻探法	43
6.3	管道内窥法	45

6.4	三维激光扫描法	47
7	风险评估与分级	49
7.1	一般规定	49
7.2	风险发生可能性评估	49
7.3	风险等级划分	54
7.4	风险控制措施	56
8	探测报告	58
附录 A	(资料性) 道路塌陷隐患探测记录表格式	60
附录 B	(资料性) 风险等级计算表	70
附录 C	(资料性) 塌陷隐患信息卡	71
	本标准用词说明	72
	引用标准名录	73
附:	条文说明	75

1 总 则

1.0.1 为规范宁夏回族自治区城镇道路塌陷隐患探测工作，建立本区城镇道路塌陷风险评估机制，提高本区城镇道路塌陷隐患探测的精准度和应用水平，编制本标准。

1.0.2 本标准适用于宁夏回族自治区行政区域内城镇道路路面以下 30 m 内道路塌陷隐患探测和风险评估工作。采空区探测可引用本标准，但需专家论证。本标准规定了城镇道路塌陷隐患探测和风险评估的基本规定、道路探测分类、塌陷隐患探测、验证与成因调查、风险评估与分级、探测报告编制等基本要求。

1.0.3 城镇道路塌陷隐患探测工作除应符合本标准外，尚应符合国家、行业、自治区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

对于道路运行安全造成危害的地下空洞、脱空、疏松体和富水体等道路结构异常形态。

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

采用地球物理方法探测道路塌陷隐患，查明其类型、位置和规模等属性特征的活动。

2.1.3 疏松体 loosely infilled body

密实度明显低于周边土体的地质体。

2.1.4 富水体 water-rich body

含水率明显高于周边土体的地质体。

2.1.5 脱空 cavity underneath pavement

面层与基层或基层与路基之间发育有一定规模的不规则洞体。

2.1.6 空洞 void

路面下方土体内部发育形成的具有一定规模的不规则洞体。

2.1.7 覆跨比 thickness-span ratio

塌陷隐患上覆介质厚度与塌陷隐患水平方向最大跨度之比。

2.1.8 探地雷达法 ground penetrating radar method

通过研究高频电磁波在介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等，探查地下介质的一种电磁波法。

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，能够形成高密度立体电磁波数据的探地雷达方法。

2.1.1.10 高密度电阻率法 multielectrode resistivity method

通过电极阵列技术同时实现电测深和电剖面测量，获得二维或三维电阻率分布，进而研究解决相关问题的电阻率法。

2.1.1.11 瞬态面波法 surface wave exploration

利用人工震源激发产生的弹性波在介质中传播的特性，通过分析所接收记录的瑞雷面波的频散特性，解决有关地质问题的方法。

2.1.1.12 地震映像法 seismic imaging method

利用人工震源激发，以相同偏移距逐步移动激发点和接收点，通过分析所接收反射波数据的幅度和相位信息，探查地质结构的方法。

2.1.1.13 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲激发电磁场，在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中的二次感应涡流场，从而探测地下介质电性分布特征的一种电磁法，属于时间域电磁法。

2.1.1.14 微动勘探法 microtremor exploration

利用天然微动信号激发产生的弹性波在介质中传播，通过分析、处理和提取所接收记录的面波频散信息，反演获得地下横波速度变化规律，进而探查地质结构的方法。

2.1.1.15 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。

2.1.1.16 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指标。

2.2 符号

- c —— 电磁波在空气中的传播速度；
- d —— 塌陷隐患净深；
- 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 —— 空洞或脱空覆跨比；
- 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 —— 道路区间塌陷风险发生可能性指数；
- r —— 塌陷隐患风险发生可能性指数；
- 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；
- S —— 塌陷隐患面积；

T ——记录时窗；

t ——双程走时；

t_0 ——距新修或上次探测后时间；

x' ——横向分辨率；

ε_r ——相对介电常数；

λ ——电磁波波长。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路塌陷隐患探测宜结合既有地质、水文、气象、市政设施、历史塌陷、城镇道路勘察设计资料、地下管网资料，并宜选用合理探测方法，查明探测区域内道路塌陷隐患的属性特征。

3.0.2 城镇道路塌陷隐患探测可分为定期探测、专项探测和应急探测。

3.0.3 城镇道路塌陷隐患探测宜采用普查和详查相结合的方式，并应符合下列规定：

- 1 普查应对测区进行全面探测，并确定重点探测区；
- 2 详查应对重点探测区进行探测，并查明塌陷隐患的属性、影响范围及影响深度。

3.0.4 宜全面调查地下塌陷隐患的空间属性和形成原因，结合道路养护等级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。

3.0.5 进行探测作业的车辆应为符合交通管理规定的专项作业车，并应配置警示标志、灯具，车身宜使用统一标志。占道围蔽探测时，应符合《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900 关于交通安全围蔽措施的规定。

3.0.6 城镇道路塌陷隐患探测成果应编制成果报告，报告应内容全面、文字简练、图表齐全、结论明确、建议清晰。

3.0.7 塌陷隐患探测成果资料应进行保密管理，严格执行相关保密条例和行业主管部门的保密管理要求。

3.0.8 根据工程特征划分的道路塌陷隐患类型宜按表 3.0.8 确定。

表 3.0.8 道路塌陷隐患工程特征

类型	工程特征
空洞	<p>1 空洞位于路基土中，规模大小不一，易造成上部土体或道路结构失稳；</p> <p>2 粉土、砂质粉土易形成空洞。</p>
脱空	<p>1 脱空一般位于面层与基层或基层与路基之间，是地基局部沉降或土体流失形成，净深较小；</p> <p>2 湿陷性黄土受水浸湿后，在行车荷载的反复作用下，土体结构迅速破坏，土体逐渐下沉，路基与路面之间形成脱空，使路面出现断裂、沉陷，影响道路路面结构安全。</p>
富水体	<p>1 富水体是路基土体局部受水浸湿形成的局部富水软弱异常体，相对周边土体具有均匀性差、结构弱化，含水率高、流塑性强、孔隙比大、强度低等特征；</p> <p>2 当富水体周边具有潜在排泄通道时，土体易流失，造成疏松，并发展形成空洞，危及周边工程安全。</p>
疏松体	<p>1 疏松体易于地下水渗透，遇水内部结构极易被破坏，固结强度低；</p> <p>2 疏松体强度随松散程度增大而降低；</p> <p>3 湿陷性黄土在水作用下，发生塌缩形成的疏松体具有高压缩性、大孔隙比、渗透性强等特点。</p>

3.0.9 根据地球物理特征划分的道路塌陷隐患类型宜按表 3.0.9 确定。

表 3.0.9 道路塌陷隐患地球物理特征

类型	电磁特征	弹性特征	电阻率特征
空洞	1 相对介电常数为 1;	1 弹性波速度低;	1 电阻率大于周边土体;
脱空	2 电磁波速度高。	2 波阻抗低。	2 明显高阻异常。
富水体	1 相对介电常数大于周边土体; 2 含水率越高相对介电常数越大; 3 电磁波速度低。	弹性波速度较高。	1 电阻率小于周边土体; 2 明显低阻异常。
疏松体	1 相对介电常数小于周边土体; 2 疏松程度越高相对介电常数越小; 3 电磁波速度较低。	1 弹性波速度低; 2 疏松程度越高速度越低。	1 电阻率较大于周边土体; 2 疏松程度越高, 疏松体与周边土体电阻率差异越明显; 3 电阻率等值线结构不规则。

3.0.10 疏松体等级划分宜按表 3.0.10 确定。

表 3.0.10 疏松体等级划分

等级	岩土性质	工程特征	可钻性
严重	<p>1 砂性土：颗粒松散，级配差，多呈蜂窝状结构；</p> <p>2 碎石土：骨架排列不规则，基本不接触；</p> <p>3 黏性土：颗粒细，孔隙小而多；</p> <p>4 湿陷性黄土：湿陷性等级为Ⅲ、Ⅳ级。</p>	<p>1 作为水力通道时，易产生土体流失；</p> <p>2 易产生固结沉降变形；</p> <p>3 浸水后土的结构破坏而发生自陷沉降变形。</p>	极易钻进，孔壁稳定性差。
一般	<p>1 砂性土：颗粒较为紧密，多呈絮状结构；</p> <p>2 碎石土：骨架排列错落，接触不良；</p> <p>3 黏性土：颗粒较细，孔隙率较大；</p> <p>4 湿陷性黄土：湿陷性等级为Ⅰ、Ⅱ级。</p>	<p>1 密实度差、土体部分浸水后；</p> <p>2 土的结构强度较低，遇通道易于流失；</p> <p>3 外力作用下易产生压缩变形。</p>	钻进较容易，孔壁较稳定。

4 道路探测分类

4.1 定期探测

4.1.1 城镇道路塌陷隐患定期探测周期宜考虑当地经济条件和社会需求，并宜按照地质条件、地下空间现状、道路类型确定探测周期，定期进行塌陷隐患探测。

4.1.2 参照《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 规定的道路养护等级，同时结合自治区内特殊地质条件，将道路分为重点道路、常规道路、一般道路，城镇道路塌陷隐患定期探测周期可参考表 4.1.2 确定。

表 4.1.2 定期探测周期

道路类型	探测区域	探测周期
重点道路	快速路、主干路、广场、商业繁华街道、重要生产区道路、填方道路、外事活动路线、游览路线、大型地下设施上跨道路、可能受水浸泡的Ⅱ级及以上自重湿陷性黄土区域道路。	1 年~2 年
常规道路	除重点道路以外的次干路、步行街、支路中的商业街道、可能受水浸泡的Ⅱ级以下非自重湿陷性黄土区域道路。	2 年~3 年
一般道路	除重点道路和常规道路以外的支路。	3 年~5 年

4.1.3 定期探测时间宜选在春融后或汛期后。

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

4.1.5 城镇道路塌陷隐患探测周期宜根据本标准 7.3 风险等级划分结果进行调整，连续两次塌陷风险等级小于 III 级，探测周期宜调低一个级别。

4.2 专项探测

4.2.1 组织城镇道路塌陷隐患专项探测应符合下列规定：

- 1 城镇道路区域内地下有施工扰动破坏，或施工扰动破坏后应恢复未恢复及恢复不到位，包括地下盾构、深基坑、管道非开挖施工等；
- 2 城镇道路区域内突发地质、气象等灾害时，包括洪涝灾害、地震、地下水头突变等；
- 3 城市重大活动举行前，活动场馆周边及使用道路。

4.3 应急探测

4.3.1 道路影响范围内发生以下情况之一，应立即开展应急探测工作：

- 1 有突发事件异常情况，包括道路塌陷、管道破损漏水、路面明显沉降、在建地下工程发生涌水、坍塌等；
- 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 应急探测前，宜进行现场调查，收集现场环境、附近地下管线分布、水文地质等资料，有条件时可查阅城建档案等资料。

4.3.4 宜依据对突发情况的现场调查及成因简析，确定现场应急探测方法及探测设备型号。

4.3.5 应根据应急探测成果进行塌陷隐患类型现场判定,如果存在安全风险较高塌陷隐患,应立即通知主管单位,并采取临时围蔽等安全措施。

4.3.6 应急探测出具应急探测报告后,宜跟进后续处置情况。

5 塌陷隐患探测

5.1 一般规定

5.1.1 城镇道路塌陷隐患探测宜遵循从已知到未知，由浅入深的原则，宜按照技术准备、数据采集、数据处理与解释、成果提交的流程开展，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。

5.1.2 城镇道路塌陷隐患探测除应符合《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7，还应符合下列条件：

- 1 塌陷隐患引起的异常场容易被观测，且干扰因素引起的异常场容易被识别；
- 2 塌陷隐患与周围介质之间存在电性、磁性、弹性、密度等物理性质差异；
- 3 场地内无大范围的金属体或强无线电发射源等人工电磁干扰；
- 4 选用的地球物理方法符合探测环境要求。

5.1.3 城镇道路塌陷隐患探测前应进行技术准备，技术准备应包括下列内容：

- 1 资料收集；
- 2 现场踏勘；
- 3 探测方法选择；
- 4 有效性试验；
- 5 编写探测方案。

5.1.4 资料收集宜包括下列内容：

- 1 测区内的道路工程、地下工程等设计和施工资料；

- 2 测区工程地质、水文地质、岩土工程、地形图、城建档案和测量控制资料；
- 3 测区内地下管线现状资料、排水管道内检测成果资料、给水管道漏水检测成果资料；
- 4 历年道路养护、塌陷隐患探测和修复资料；
- 5 测区内历年地面塌陷及管线破损等相关资料；
- 6 道路材料和特殊工艺技术等资料；
- 7 测区范围内典型干扰源的分布情况。

5.1.5 现场踏勘宜包含下列内容：

- 1 测区道路地形、地貌、通行、通视等工作环境条件；
- 2 测区道路车流量、车道数、路侧停车、占道等工作现状条件，选择合理探测时段；
- 3 测区道路明显沉降、破损、修补及可能建设轨道交通等区域的分布；
- 4 测区道路探测时段内基坑、管道非开挖施工等施工区域及周边建筑分布与现状；
- 5 测区道路地下带水管线堵塞、破损、漏水情况；
- 6 测区道路所选探测方法的典型干扰源分布；
- 7 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。

5.1.6 城镇道路塌陷隐患探测选用单一方法或多方法组合探测宜根据探测目的按表 5.1.6 确定。

表 5.1.6 探测方法的适用性

塌陷隐患 探测方法	类型				适宜深度 (m)	适用条件
	脱空	空洞	疏松 体	富水 体		
二维探地雷 达法	●	●	●	●	$H \leq 7.0$	大面积全域快速普查， 测区内道路相对平坦， 路面干燥无积水。
三维探地雷 达法	●	●	●	●	$H \leq 5.0$	大面积全域快速普查， 测区内道路相对平坦， 路面干燥无积水。
高密度电阻 率法	-	●	○	●	$3.0 < H \leq 30.0$	局部小范围，接地条件 良好，地下无高阻屏蔽 层及强高压干扰。
瞬态面波法	-	●	●	-	$3.0 < H \leq 20.0$	局部小范围探测，地表 宜平坦，震动噪声干扰 小。
地震映像法	○	●	○	-	$3.0 < H \leq 30.0$	局部小范围探测，地表 宜平坦，无临空面、陡 立面。
瞬变电磁法	-	●	○	●	$3.0 < H \leq 30.0$	局部小范围探测，无强 电磁干扰。

续表 5.1.6

塌陷隐患 探测方法	类型				适宜深度 (m)	适用条件
	脱空	空洞	疏松 体	富水 体		
微动勘探法	-	●	●	-	$3.0 < H \leq 30.0$	局部小范围探测,电磁干扰小,震动噪声较大,地表宜平坦,无临空面、陡立面。
注: ●—适用; ○—可选; - —不适用						

5.1.7 正式探测前应根据探测深度和精度要求,通过有效性试验确定采集设备、采集方式和采集参数。

5.1.8 探测方案宜包括下列内容:

- 1 工程概况:探测时间、地点、目的、范围、道路等级、路面结构层组成及各层厚度、工期等;
- 2 工程地质、水文地质、气候条件和作业环境分析,工作重难点分析和应对措施;
- 3 探测依据的规范标准和有关的技术资料;
- 4 探测内容、探测方法、工作量及测点和测线布置方案;
- 5 探测实施步骤、工作进度计划和实施过程的控制;
- 6 拟投入的探测仪器设备、材料、人员组织计划;
- 7 拟提交的成果资料。

5.1.9 测线布设宜符合下列规定:

- 1 测线布置应根据探测目标规模确定，测线长度、间距应满足探测区域全覆盖，且探测成果连续、完整、便于追踪的原则；
- 2 测线宜沿道路行进方向布设，并覆盖交叉路口；
- 3 测线宜在保障覆盖探测目标范围的前提下，避开环境干扰的影响；
- 4 详查测线宜以异常区域为中心，沿两个方向垂直布设，特殊情况可加密布设。

5.1.10 使用地球物理方法进行道路塌陷隐患探测时应消除或减弱干扰源的影响，并宜符合下列规定：

- 1 宜选用屏蔽型探测设备；
- 2 数据采集过程中，宜记录干扰源的类型和位置；
- 3 数据处理时，宜对识别到的干扰信号进行针对性处理；
- 4 数据解译时，宜结合干扰源特征，对结果进行综合判定。

5.1.11 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 的有关规定，探测使用的底图比例尺宜介于 1:500~1:2000。

5.1.12 现场普查记录宜包含工程名称、探测日期、探测地点、探测依据、探测仪器、天线频率、测线图、数据文件名、探测人员、地面异常环境等内容。

5.1.13 现场详查记录宜包含工程名称、探测日期、探测地点、塌陷隐患编号、塌陷隐患位置、塌陷隐患规模、周边管线、数据文件名、探测人员等内容。

5.1.14 城镇道路塌陷隐患探测成果解释应结合探测区域的地质资料、地上和地下设施及周边工程环境等调查资料进行。

5.2 二维探地雷达法

5.2.1 车行道初测工作宜使用车载探地雷达设备,非车行道的塌陷隐患初测工作宜使用人工牵引的便携式探地雷达设备。

5.2.2 二维探地雷达进行道路塌陷隐患探测宜采用剖面法,当深部数据信噪比较低不能满足探测要求时宜采用共深度点法。

5.2.3 探地雷达天线主频选择应符合探测深度和精度的要求,并宜符合下列规定:

- 1 宜选择频率为 100MHz~600MHz 的屏蔽天线,当普查中确定重点探测区时,宜选用多种频率天线;
- 2 当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;当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,或采用多种频率天线;
- 3 当电磁干扰不明显且探测深度较大时,可选择非屏蔽的低频天线。

5.2.4 探地雷达的设计探测深度与天线中心频率的选择宜按表 5.2.4 确定。

表 5.2.4 天线中心频率与设计探测深度对应关系

中心频率 (MHz)	设计探测深度 (m)
600	1.5
500	2.0
400	2.5
300	3.0
200	4.0
100	7.0

5.2.5 探地雷达工作环境宜满足下列条件：

- 1 环境温度应在-20℃~50℃范围内；
- 2 探测作业面不宜有雨雪或积水；
- 3 检测设备应减少附近车辆干扰，无交通拥堵。

5.2.6 探地雷达测线布设符合下列规定：

- 1 探测城镇道路时，宜沿道路行进方向布设且延长至两个端点，覆盖路口全部范围；
- 2 探测广场及学校、医院、厂区等人口密集区时，测线宜交叉布设；
- 3 在隧道、管道内部探测时，测线宜布设在其正上和斜上部位，沿轴线方向布设；
- 4 测线间距宜小于被测目标宽度的 1/2。

5.2.7 探地雷达法的垂向分辨率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按下式计算：)

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.2.7)$$

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。

5.2.8 探地雷达法的横向分辨率宜按下式计算：

$$x' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (5.2.8)$$

式中： x' ——横向分辨率（m）；

λ ——电磁波波长（m）；

h ——探测目标深度（m）。

5.2.9 探地雷达法采集参数设置宜符合下列规定：

- 1 探地雷达采样点数宜设置为 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 采样频率不应低于所采用天线主频的 20 倍；
- 4 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；
- 5 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。

5.2.10 探地雷达记录时窗应为雷达接收数据的时间长度，记录时窗可按式计算：

$$T = K \frac{2H}{c} \quad (5.2.10)$$

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。

5.2.11 介质参数标定应符合下列规定：

- 1 探测前应根据探测区域介质的平均介电常数或电磁波平均速度做现场标定，且每个独立探测区域应不少于 1 处，每处实测不少于 3 次，取平均值为该探测区域的介电常数或电磁波速。当探测区域超过 3 km、介质或含水率变化较大时，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；
- 3 采集图谱中标定目标或地物界面反射信号应清晰、准确；
- 4 标定结果应按式计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2} \right)^2 \quad (5.2.11-1)$$

$$v = \frac{2d_0}{t} \times 10^9 \quad (5.2.11-2)$$

式中： t ——双程走时（ns）；

d_0 ——标定目标体厚度或距离（m）。

5.2.12 探地雷达法现场数据采集应符合下列规定：

- 1 当采用测量轮测距时，采集前应对其进行标定；
- 2 在数据采集过程中可根据干扰情况、图像效果调整采集参数；
- 3 天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；
- 4 测量轮触发连续采集时，天线移动速度应确保采集数据不出现丢道现象；自由连续采集时，天线移动速度应符合水平分辨率的要求；
- 5 点测时，应在天线静止时采集；使用分离天线点测时，应保持方向不变，同时调整天线间距以使采集的地下目标信号最强；
- 6 应及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时重测；
- 7 应及时记录各类干扰源及其位置以及地面局部积水、变形等环境情况；
- 8 当发现疑似道路塌陷隐患时，应做好标记并记录准确位置，采用多种频率天线进行复核；
- 9 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；
- 10 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；

11 当采用 GNSS 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。

5.2.13 普查记录宜符合本标准附录 A.0.1 的规定，详查记录宜符合本标准附录 A.0.2 的规定。

5.2.14 影响探地雷达探测的主要干扰源宜按下列因素统计：

- 1 地上干扰源：临近建构物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、金属围挡、金属栅栏、车辆等；
- 2 地下干扰源：管线、管沟、管廊、井室、地下通道、防空洞、掩埋井盖、树根等；
- 3 电磁干扰源：变电室、架空输电缆、信号发射塔、地下电缆等。

5.2.15 现场采集数据质量宜符合下列规定：

- 1 探测数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- 2 重复观测的数据应与原数据一致性良好；
- 3 现场记录信息应完整，且与探测数据保持一致；
- 4 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；
- 5 数据剖面上不应出现连续的坏道。

5.2.16 探地雷达数据处理宜符合下列规定：

- 1 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 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；
- 5 可用反褶积压制多次反射波干扰，反射子波宜是最小相位子波；

6 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；

7 改变反射信号的振幅特征宜在其他方法处理完后进行。

5.2.17 探地雷达法资料解释方法宜符合下列规定：

1 用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高，解释成果应
采用专业语言描述；

2 宜根据信号的同相轴及振幅、相位和频率等属性特征提取
异常；

3 应结合现场记录和调查资料，排除干扰异常；

4 道路塌陷隐患解释宜结合地面变形、管线破损和历史塌陷
等调查资料及测区地质资料进行；

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。

5.2.18 道路塌陷隐患宜根据二维探地雷达图像的波组形态、振 幅、相位和频谱结构等基本特征按表 5.2.18 进行识别。

表 5.2.18 道路塌陷隐患的二维探地雷达特征

塌陷隐患	波组特征	振幅	相位与频谱
空洞	1 近似球形空洞反 射波组表现为倒悬 双曲线形态； 2 近似方形空洞反 射波表现为正向连 续平板状形态； 3 多次波、绕射波 明显。	整体振幅 强，雷达波 衰减很慢。	1 顶部反射波与入 射波同向，底部反 射波与入射波反 向，底部反射不易 观测； 2 频率高于背景 场。

续表 5.2.18

塌陷隐患		波组特征	振幅	相位与频谱
脱空		1 顶部一般形成连续反射波组，似平板状态形态； 2 多次波、绕射波较明显。	整体振幅强，雷达波衰减很慢。	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向，底部反射不易观测； 2 频率高于背景场。
疏松体	严重	1 顶部形成连续反射波组； 2 多次波较明显； 3 波形结构杂乱，同相轴很不连续。	整体振幅强，衰减很慢。	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。
疏松体	一般	1 顶部形成连续反射波组；2 多次波不明显； 3 波形结构较杂乱，同相轴较不连续。	整体振幅较强，衰减较慢。	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率略高于背景场。
富水体		1 顶部形成连续反射波组； 2 两侧绕射波、底部反射波、多次波不明显。	顶部反射波振幅强，衰减很快。	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。

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

5.2.20 地下管网密集区域和排水管道沿线道路塌陷隐患探测，可采用管道内部探测方式进行探测。

5.2.21 探地雷达在管道内部探测时宜具备下列条件：

- 1 管道内径宜大于 600 mm；
- 2 管道内水位不宜大于管道内径的 20%且水深不宜大于 300 mm；
- 3 管道内部没有淤堵。

5.2.22 探地雷达在管道内部探测的主要技术指标除宜符合本节上述规定外，还宜符合下列规定：

- 1 可检测新建排水管道任意纵向位置；
- 2 宜具备信号叠加、实时滤波、增益等实时处理功能；
- 3 宜具备时间触发和距离触发采集功能，具备位置标记功能；
- 4 宜具备实时监测雷达天线偏转位置功能和偏转校正功能；
- 5 雷达扫描图像和电视检测影像宜具有同步显示功能；
- 6 应具有电缆长度计数测距功能；
- 7 雷达天线应具有屏蔽功能。

5.2.23 探地雷达在管道内部探测时，除宜符合本节上述规定外，还宜符合下列规定：

- 1 探测前应根据管道周边环境设置参数和标定介电常数；
- 2 探测前应现场标定电缆盘计数轮；
- 3 探测时应根据管径调整雷达天线位置，使其紧贴管道内壁；
- 4 单个数据记录长度不宜大于 100m，宜以检查井位置进行划分；

5 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,并宜按附录 A.0.3 管中雷达法现场探测记录表填写现场记录。

5.2.24 探地雷达在管道内部探测时,雷达数据处理方法和步骤宜符合本节 5.2.16 规定。

5.2.25 探地雷达在管道内部探测时,雷达图谱特征识别宜符合本节 5.2.18 中的规定。

5.3 三维探地雷达法

5.3.1 三维探地雷达法宜用于地下设施复杂区域的道路塌陷隐患探测。

5.3.2 正式探测前,应根据深度和精度要求,通过参数试验确定下列技术指标:

- 1 雷达天线主频;
- 2 天线阵列离地高度;
- 3 定位装置精度及配置;
- 4 采集方式和采集参数。

5.3.3 三维探地雷达定位测量装置宜采用卫星定位和惯性导航的组合测量模式,并应符合下列规定:

- 1 数据接收帧率应大于或等于 10Hz;
- 2 定位数据平面精度应优于 5.0cm;
- 3 定位数据高程精度应优于 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。

5.3.4 三维探地雷达应采用距离触发模式采集数据,且触发间距不应大于 5 cm。

5.3.5 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检测区域；
- 2 测线束应覆盖交叉路口；
- 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，便于解释；
- 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。

5.3.6 三维探地雷达的设计探测深度与天线中心频率的选择宜按表 5.3.6 确定。

表 5.3.6 三维探地雷达天线中心频率与设计探测深度对应关系

中心频率 (MHz)	设计探测深度 (m)
900	1.0
600	1.5
400	2.5
200	3.0
100	5.0

5.3.7 三维探地雷达垂向分辨率计算、横向分辨率计算、时窗计算、介质参数标定、主要干扰源，宜参照本标准 5.2 的相关规定。

5.3.8 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。

5.3.9 三维探地雷达探测时，对重点或复杂区域除按切片显示处理外，还宜做旋转、透视等三维显示处理。

5.3.10 三维探地雷达常见异常体宜根据三维探地雷达图像的

图谱特征、振幅、相位和频谱结构等基本特征按表 5.3.10 进行识别。

表 5.3.10 三维探地雷达常见异常体图像特征

异常体	图谱特征			振幅	相位与频谱	
	水平切片	纵向切片	横向切片			
管线	金属	线状延伸分布	同相轴连续，多次波明显	倒悬双曲线形态，多次波明显	振幅强	顶部反射波与入射波反向；频率高于背景场
	非金属		同相轴连续	倒悬双曲线形态	振幅较强	顶部反射波与入射波同向；频率高于背景场
箱涵	条带状延伸分布		同相轴连续	平板状形态，两端绕射波较明显	振幅较强	顶部反射波与入射波同向；频率高于背景场
空洞	不规则多边形，反射强度与周围明显不连续		倒悬双曲线形态或平板状形态，两端绕射波明显	倒悬双曲线形态或平板状形态，两端绕射波明显	振幅强	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率高于背景场

续表 5.3.10

异常体	图谱特征			振幅	相位与频谱
	水平切片	纵向切片	横向切片		
脱空	不规则多边形, 反射强度与周围明显不连续	平板状形态, 有轻微绕射波	倒悬双曲线形态或平板状形态, 两端绕射波较明显	振幅强	顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 频率高于背景场
疏松体	严重 不规则多边形, 反射强度与周围较不连续	平板状形态, 绕射波不明显	平板状形态, 有轻微绕射波	振幅较强	顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 频率高于背景场
疏松体	一般 不规则多边形, 反射强度与周围较不连续	平板状形态, 有轻微绕射波	平板状形态, 绕射波不明显	振幅略强	顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; 频率高于背景场

续表 5.3.10

异常体	图谱特征			振幅	相位与频谱
	水平切片	纵向切片	横向切片		
富水体	不规则多边形, 反射强度与周围明显不连续	平板状形态, 绕射波不明显	平板状形态, 绕射波不明显	振幅强	顶部反射波与入射波反向, 底部反射波与入射波同向; 频率低于背景场

5.3.11 三维探地雷达数据解释结果应包括塌陷隐患的中心平面坐标、平面面积、埋藏深度、垂向尺寸。

5.4 高密度电阻率法

5.4.1 使用高密度电阻率法进行道路塌陷隐患探测应符合下列条件:

- 1 塌陷隐患与周围介质之间存在明显的电阻率差异;
- 2 探测区内表层没有电阻屏蔽层;
- 3 探测区内没有强电磁干扰存在;
- 4 探测区域不受交通影响。

5.4.2 富水体、管道漏水点、人防等附近位置塌陷隐患宜使用高密度电阻率法进行探测。

5.4.3 高密度电阻率法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。

5.4.4 高密度电阻率法工作布置应符合下列规定:

- 1 正式探测前应进行方法试验, 以确定观测装置、排列长度、电极距等关键参数;

- 2 高密度电阻率法的测线不宜布置在地下管线的正上方或靠近地下管线的区域，尤其是金属管线、电力管线；
- 3 同一排列的电极应呈直线布置，电极接地位置在沿排列方向上的偏差不宜大于极距的 1/10；在垂直排列方向上的偏差不宜大于极距的 1/5；
- 4 实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接；
- 5 复杂条件下，应采用抗干扰能力和分辨率不同的至少两种观测装置进行探测，但不得相互替代观测数据；
- 6 对于每个排列的观测，坏点总数不应超过测量总数的 1%，对意外中断后的续测，应有不少于 2 个的重复点；
- 7 完成一种装置形式的测量，对同一条测线开始新装置形式测量之前，应重新测量接地电阻；
- 8 现场记录宜包含探测地点、测试参数、测线编号、文件名、测线位置、地面及附近异常环境等。

5.4.5 高密度电阻率法外业探测宜按附录 A.0.4 高密度电阻率法现场探测记录表填写现场记录。

5.4.6 城镇道路高密度电阻率法探测的主要干扰源可按以下因素统计：

- 1 地表存在富水区段、埋设金属构件的区段、铁磁性渣土回填区段等电性屏蔽层；
- 2 地表存在干燥的沥青、混凝土路面等电性绝缘层；
- 3 地下存在的游散电流，以及工业输电线路意外裸露造成的接地放电等；
- 4 测线附近存在的水池、沟渠、金属管线、变电站、配电箱等低阻体以及地下管线、防空洞、加固体等地下建构筑物；
- 5 含铁磁性矿物土体。

5.4.7 高密度电阻率法资料解释应符合下列规定：

- 1 绘制电阻率等值线图时应设置色标，同一场地的色标宜保持一致；
- 2 单个探测剖面应分析确定剖面中的电性结构及其异常区；并结合地形、地质条件、干扰体位置等资料，剔除干扰因素引起的异常；
- 3 不同的探测剖面应对比分析，研究异常特征、性质，找出这些剖面中电性特征类似的异常区域；
- 4 塌陷隐患属性应在分析异常电性特征的基础上，结合钻孔或其他相关资料解释。

5.4.8 高密度电阻率法探测塌陷隐患宜按表 5.4.8 高密度电阻率法探测塌陷隐患典型识别特征进行识别。

表 5.4.8 高密度电阻率法探测塌陷隐患典型识别特征

塌陷隐患	剖面电性特征
空洞或脱空	1 有水充填时，表现为相对低电阻率异常； 2 无水充填时，表现为相对高电阻率异常。
疏松体	1 疏松体有水充填时，表现为相对低电阻率异常； 2 疏松体无水充填时，表现为相对高电阻率异常； 3 在不易区分时，可以在高水位与低水位时分别探测，进行对比解释。
富水体	富水体表现为相对低电阻率异常。

5.4.9 高密度电阻率法进行道路塌陷隐患探测除应符合上述规定外，还应符合《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。

5.5 瞬态面波法

5.5.1 瞬态面波法宜用于存在横波速度差异的分层介质探测，并应具备下列条件：

- 1 塌陷隐患与其周边介质之间应存在速度或波阻抗差异；
- 2 测区内地表宜相对平坦，无临空面、陡立面，相邻检波器之间的高差应小于 1/2 道间距；
- 3 探测区域不受交通影响。

5.5.2 深层地下管道塌陷隐患宜使用瞬态面波法进行探测。

5.5.3 瞬态面波法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。

5.5.4 瞬态面波法震源宜用锤击震源或电子震源。

5.5.5 瞬态面波法外业探测记录宜按附录 A.0.5 瞬态面波法现场探测记录表填写现场记录。

5.5.6 影响瞬态面波法探测的主要干扰源可按以下因素统计：

- 1 位于测区或附近运转的工厂设备、施工的工程机械、行驶的交通工具等；
- 2 地下管线、管沟及井室、地下通道、地下防空洞、地下加固体、旧基础、树根等。

5.5.7 当采用瞬态面波法探测时，塌陷隐患宜按表 5.5.7 进行识别。

表 5.5.7 瞬态面波法探测塌陷隐患典型识别特征

塌陷隐患	面波相速度	视横波速度剖面特征	时间域特征	频率域特征
空洞或脱空	与周边正常地层相比，速度降低明显。	与周边正常地层相比，表现为明显的低速圈闭区。	1 边界波组杂乱、振幅强，内部波组衰减明显； 2 局部存在镜像波。	频散曲线变化剧烈，存在明显“之”字形拐点。
严重疏松体	与周边正常地层相比，速度较降低明显。	与周边正常地层剖面相比，表现为较明显的低速区。	波组杂乱，分布很不规则。	能量团较分散，频散曲线存在“之”字形拐点，不易提取完整的频散曲线。
一般疏松体	与周边正常地层剖面相比，速度降低较明显。	与周边正常地层剖面相比，表现为低速区。	波组略杂乱，分布不规则。	能量团略分散，频散曲线“之”字形拐点不明显。

5.5.8 瞬态面波法探测进行道路塌陷隐患探测除应符合上述规定外，还应符合《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。

5.6 地震映像法

5.6.1 地震映像法探测塌陷隐患应具备下列条件：

- 1 塌陷隐患与周围介质之间存在明显波阻抗差异；

- 2 塌陷隐患的长度或宽度与其埋藏深度之比不宜小于 0.1；
 - 3 探测区域不受交通影响。
- 5.6.2** 道路地下采空区塌陷隐患宜使用地震映像法进行探测。
- 5.6.3** 地震映像法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。
- 5.6.4** 地震映像法震源宜用锤击震源或电子震源。
- 5.6.5** 地震映像法探测塌陷隐患工作布置宜符合下列规定：
- 1 探测前应进行方法试验，确定偏移距、激发方式及检波器频率等；
 - 2 检波器可选择单道或多道，多道时可选择不同频率检波器；
 - 3 根据探测深度和精度要求确定点距、采样间隔、记录长度；
 - 4 测线宜选择地形起伏较小、表层介质较为均匀的地段沿道路走向布设；
 - 5 测线宜布设成直线，当测区条件限制时，测线可布设成折线，遇到陡坎时，应另起新测线；
 - 6 测线间距应不大于探测要求最小目标塌陷隐患投影长度的 1/2，测线上反映目标体的测点不应少于 3 个，测点间距应不大于探测要求最小目标体地面投影宽度的 1/3；
 - 7 检波器应垂直地面安置，与地面耦合良好；
 - 8 同一测线各测点激发能量应均匀；
 - 9 应避开强震干扰时段作业，可采用叠加的方式提高信噪比；
 - 10 采集数据剖面应记录清晰，信噪比满足数据处理、解释的需要；
 - 11 现场记录宜包含探测地点、检波器数量、测试参数、文件名、测线号、测线位置、环境干扰情况等。
- 5.6.6** 地震映像法外业探测记录宜按附录 A.0.6 地震映像法现场探测记录表填写现场记录。
- 5.6.7** 影响地震映像法探测的主要干扰源可按下列因素统计：

- 1 位于测区或附近运转的工厂设备、施工的工程机械、行驶的工具等；
- 2 地下管线、管沟及井室、地下通道、地下防空洞、地下加固体、旧基础、树根等。

5.6.8 地震映像法探测塌陷隐患宜按表 5.6.8 进行识别。

表 5.6.8 地震映像法探测塌陷隐患典型识别特征

塌陷隐患	波组特征	频谱特征
脱空	同相轴消失或分叉。	频率低于背景场
空洞	1 同相轴上凸或下凹现象明显，边界处同相轴明显错断； 2 内部振幅衰减明显，局部有散射现象，呈现空白带。	频率低于背景场
严重疏松体	波形结构变化大，同相轴上凸或下凹现象较明显，地震波历时延长。	频率低于背景场
一般疏松体	波形结构变化较大；同相轴连续性差，有上凸或下凹现象，地震波历时延长。	频率略低于背景场

5.6.9 地震映像法进行道路塌陷隐患探测除应符合上述规定外，还应符合《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。

5.7 瞬变电磁法

5.7.1 瞬变电磁法探测塌陷隐患应具备下列条件：

- 1 塌陷隐患与周边介质之间存在明显电性差异；
- 2 测区内地表平坦；
- 3 测区内没有强电磁干扰；
- 4 探测区域不受交通影响。

5.7.2 探测含水地质区域如煤矿采空区、深部不规则水体的塌陷隐患时，宜使用瞬变电磁法。

5.7.3 瞬变电磁法工作布置宜符合下列规定：

- 1 城镇道路塌陷隐患探测宜选用等值反磁通装置或中心回线装置；
- 2 探测前应进行参数选择试验，以确定观测装置形式、发射线圈参数、接收参数、观测基频等关键参数。

5.7.4 瞬变电磁法的测线布设应符合下列规定：

- 1 测线应尽量布置在与异常目标走向垂直的方向上，点距与线距应能完整覆盖探测目标的分布范围；
- 2 发射和接收线框应避免铁路、地下金属管道、高压线、变压器、输电线等，测线宜按直线布置，当受场地条件限制时，可布置成折线。

5.7.5 瞬变电磁法现场观测应符合下列规定：

- 1 现场观测时，除最后 5 个测道外，其余观测值均应在噪声水平以上，否则应查明原因，并重复观测；
- 2 对瞬间干扰应暂停观测，排除干扰后再进行探测；
- 3 曲线出现畸变时，应查明原因并重复观测；必要时，可移动点位避开干扰源重测，并记录；
- 4 若曲线衰减变慢时，应扩大测道时间范围重复观测；

- 5 每个测点观测完毕后，应检查数据和曲线，合格后方可进行下一点观测；
- 6 应设计不少于总数量 10% 的检查点，进行重复观测和一致性验证；
- 7 现场记录宜包含探测地点、装置参数、测试参数、文件名、测线号、测点号和环境干扰状况等内容。

5.7.6 瞬变电磁法外业探测记录按附录 A.0.7 瞬变电磁法现场探测记录表填写现场记录。

5.7.7 瞬变电磁法探测应统计如下干扰源：

- 1 附近的周期性电磁信号，如工业和民用电网产生的工频干扰、工业机械产生的稳定电磁源、低频电台或广播、附近电力管线产生的信号源等；
- 2 附近的电磁干扰源，如金属建（构）筑物、临近的车辆、机械以及其引擎的电火花放电等；
- 3 地下管线、管沟及井室、地下通道、防空洞、加固体、旧基础等建构筑物。

5.7.8 瞬变电磁法数据处理宜符合下列规定：

- 1 宜进行发射电流切断时间影响的改正处理，消除一次场影响；
- 2 宜剔除干扰大、质量差的数据；
- 3 宜对数据进行滤波处理；
- 4 可根据需要计算出视电阻率、视深度、视时间常数、视纵向电导等参数；
- 5 宜结合已有的资料及现场调查资料，进行反演处理；
- 6 应绘制每个测点的衰减曲线、其对应的视电阻率曲线、反演结果曲线；

- 7 应按测线绘制多测道图曲线，视电阻率剖面、反演结果模型剖面用于综合对比与解释；
- 8 应根据瞬变电磁多测道剖面图和视电阻率断面图进行塌陷隐患解释；
- 9 应结合调查资料进行塌陷隐患定性或半定量解释。

5.7.9 瞬变电磁法探测塌陷隐患宜按表 5.7.9 瞬变电磁法探测塌陷隐患典型识别特征进行识别。

表 5.7.9 瞬变电磁法探测塌陷隐患典型识别特征

塌陷隐患	二次场衰减	视电阻率
空洞	1 当空洞有水充填时，二次场幅值大，衰减慢； 2 当空洞无水充填时，二次场幅值小，衰减快。	1 当空洞有水充填时，表现为相对低阻异常； 2 当空洞无水充填时，表现为相对高阻异常。
疏松体	二次场幅值较小，衰减较快。	表现为相对高阻异常。
富水体	二次场幅值大，衰减慢。	表现为相对低阻异常。

5.7.10 瞬变电磁法进行道路塌陷隐患探测除应符合上述规定外，还应符合《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。

5.8 微动勘探法

- 5.8.1** 微动勘探法适用于闹市区和电磁干扰严重的环境。
- 5.8.2** 微动勘探法干扰源为测区周围连续性震动。
- 5.8.3** 微动勘探法外业探测记录按附录 A.0.8 微动勘探法现场探

测记录表填写现场记录。

5.8.4 微动勘探法的数据处理宜符合下列规定：

- 1 宜选用频率—波数方法（F-K）、空间自相关方法（SPAC）等方法提取面波的频散曲线；
- 2 采用三分量检波器时，可根据需要计算各拾振点的 H/V 曲线和台阵平均 H/V 曲线，并根据曲线特征进行道路塌陷隐患的判别和解释；
- 3 宜根据需要绘制面波相速度剖面或视 S 波速度剖面进行道路塌陷隐患的解释。

5.8.5 微动勘探法资料解释宜符合下列规定：

- 1 应根据微动成果图件结合地质资料进行解释；
- 2 面波的深度转换可选用半波长法，并按泊松比进行系数校正，也可参照测区地质资料进行对比解释；
- 3 宜结合已知资料、剖面连续性等判断、识别道路塌陷隐患性质；
- 4 可根据面波频散曲线、H/V 曲线或速度剖面宜按本标准表 5.8.5 的规定，识别道路塌陷隐患。

表 5.8.5 微动勘探法道路地下塌陷隐患的识别特征

塌陷隐患类型	面波频散速度	H/V 曲线
空洞	空洞充空气时对应深度或频率段高阶波发育，表现为高速异常。空洞有软弱充填物或充水时表现为低速异常。	H/V 曲线在高频段表现为量值大。
疏松体	与周围正常地层对比，面波速度相对小。	H/V 曲线在高频段表现为量值较大。

5.8.6 微动勘探法进行道路塌陷隐患探测除应符合上述规定外，还应符合《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。

6 验证与成因调查

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 道路塌陷隐患验证与成因可根据现场条件，采用钻探法、管道内窥法、三维激光扫描法。

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 成果验证时，空洞、脱空、富水体应全部验证。

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，为修复治理提供依据。

6.1.6 城镇道路塌陷隐患探测成果的成因调查宜符合下列规定：

- 1 调查点宜根据塌陷隐患类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择；
- 2 调查过程中应确定塌陷隐患的类型、埋深、规模及形成原因；
- 3 成因调查结果应包括现场文字记录、照片或视频等数字化资料及验证结论。

6.1.7 对于频繁出现塌陷隐患的道路，应综合调查塌陷隐患成因，为修复治理提供依据。

6.1.8 当单一方法无法判断成因时，宜将钻探结果、开挖结果与管道内窥法、三维激光扫描法结果结合，综合判定塌陷隐患成因。

6.1.9 塌陷隐患形成原因调查宜包括但不限于表 6.1.9 所列内容：

表 6.1.9 塌陷隐患形成原因分类

成因分类	诱发事件
自然原因	地表水下渗；地下水位变化；土体自然沉降；湿陷性土的湿陷；冻融影响。
施工影响	路基回填不密实；管道非开挖施工；深基坑开挖。
构筑物影响	管线破损；地下建（构）物坍塌式损坏；井壁破损。
运维影响	运营维护不当；超载；超过设计年限。

6.2 钻探法

6.2.1 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辅助验证，例如管道内窥法或其他物探方法。

6.2.2 钻探法现场作业宜符合下列规定：

- 1 钻探前，应查明地下管线、井室等构筑物情况，不得损坏或影响地下构筑物的运行和维护；
- 2 钻探前，应及时在验证点周围进行围挡并放置警示标志；
- 3 钻孔位置宜选取塌陷隐患探测数据反应最强部位或中心部位，当塌陷隐患横向或纵向范围大于 3 m 且条件允许时，横向 10 m~15 m 间距，纵向 15 m~30 m 间距各增加 1 个对比钻孔；

- 4 条件允许时，路面下 0.5 m、1.0 m、1.5 m、2.5 m 处应采取原状土样，如以下仍存在软弱土层或湿陷性土层，取样深度不应小于软弱土层或湿陷性土层下限，2.5 m 以下取样间距为 1.0 m；所取土样应测定含水率、饱和度、孔隙比等指标，必要时测定压实系数；
- 5 钻探时，宜进行标准贯入试验或动力触检测试，对路基土体强度进行测试；
- 6 钻探后，宜采用内窥设备对隐患体内部结构、规模、含水状态等进行影像采集，并测量其埋深、净深等信息；
- 7 对确定的道路塌陷隐患应进行现场标注与坐标采集，并记录其位置和环境影像信息；
- 8 钻孔成果应汇总到附录 A.0.9 道路塌陷隐患钻探验证结果表；
- 9 道路钻孔结束后，应及时封孔，回填材料强度应不低于原路面强度。

6.2.3 当钻孔结果无法使用内窥设备进行判定时，判定结果应符合下列规定：

- 1 钻探过程中发生掉钻时，宜判定道路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，并在寻找成因后采用回填方式处理。

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，确认道路塌陷隐患类型规模及性状等特征，并按

本标准附录 A.0.10 道路塌陷隐患探测成果统计表填写记录。验证成果与探测结果不一致时，应分析原因，对探测成果重新进行判断，并重新组织验证。

6.3 管道内窥法

6.3.1 管道内窥法包括管道潜望镜检测法和管道机器人检测法，适用于地下管涵结构性缺陷引起道路塌陷隐患的成因调查，调查时宜具备下列条件：

- 1 采用管道潜望镜法时，管涵内水位不宜大于管径的 $1/2$ ，管段长度不宜大于 50 m；
- 2 采用管道机器人法时，不宜带水作业。当现场条件无法满足时，应采取降低水位措施，确保管道内水位不大于管道内径的 20%；
- 3 当管道内水位不符合以上要求时，应对管道实施封堵、导流，使管内水位满足设备要求；
- 4 进行验证前宜对被检测管涵做疏通、清洗。

6.3.2 管道机器人法数据采集宜符合下列规定：

- 1 爬行器行进方向宜与水流方向一致，直向摄影行进速度不宜超过 0.15 m/s；
- 2 摄像镜头移动轨迹应在管道中轴线上，对异形管道进行检测时，应调整摄像镜头位置获取最佳图像；
- 3 将载有摄像镜头的爬行器安放在检测起始位置后，应将计数器归零；测线起点与管段起点位置不一致时，应做补偿设置；
- 4 每一管段检测完成后，应根据电缆上的标记长度对计数器显示数值进行修正；

- 5 爬行器行进过程中，图像应保持正向水平，不应改变拍摄角度和焦距；
 - 6 使用变焦功能时，爬行器应保持在静止状态，再次行进；
 - 7 侧向摄影时，爬行器宜停止行进，调整拍摄角度和焦距获得最佳图像；
 - 8 检测过程中，影像资料不应产生画面暂停、间断记录和画面剪接现象；
 - 9 检测过程中，爬行器宜保持匀速移动。拍摄缺陷时，应保持摄像头静止并调节镜头的焦距，连续、清晰地拍摄 10s 以上；
 - 10 对造成道路塌陷隐患的各种缺陷、特殊结构和检测状况应作详细判读和量测；
 - 11 验证完毕，应现场对检测资料进行复核确认。
- 6.3.3** 当有下列情形之一时，应终止管道机器人法验证：
- 1 爬行器在管道内无法行走或推杆在管道内无法推进；
 - 2 管道内水位过高或完全堵塞；
 - 3 管道内充满雾气、镜头沾有污物等干扰，影响图像质量；
 - 4 其他原因造成设备无法正常运行。
- 6.3.4** 管道机器人法影像数据处理宜符合下列规定：
- 1 缺陷的类型、等级应由检测人员初步判读并记录，现场检测完毕后，再由复核人员对检测资料进行复核；
 - 2 缺陷尺寸可依据管径或相关物体的尺寸判定；
 - 3 无法确定的缺陷类型或等级应在报告中说明；
 - 4 缺陷部位宜调节最佳角度现场抓拍图片，或采用录像截图的方式获取缺陷部位清晰的图片；
 - 5 对结构性缺陷抓取的图片数量不宜少于 2 张，且宜多角度辨别缺陷类型和等级；

- 6 宜将管道缺陷影像资料与道路塌陷隐患检测数据进行综合分析。
- 6.3.5** 管道潜望镜法数据采集宜符合下列规定：
- 1 镜头中心应竖直保持在管道中心线的水面以上，可清晰看到管道内部全景；
 - 2 设备运行时，不宜过快变动焦距。拍摄缺陷时，应保持摄像头静止并调节焦距，连续、清晰地拍摄 10s 以上；
 - 3 拍摄检查井内壁时，应保持摄像头缓慢、连续地移动；拍摄缺陷时，应保持摄像头静止；
 - 4 发现造成道路塌陷隐患的缺陷时，应详细判读和记录；
 - 5 验证完毕，应在现场对检测资料进行复核确认。
- 6.3.6** 下列情况之一时，应中止管道潜望镜法检测：
- 1 管道潜望镜仪器的光源不能保证影像清晰度；
 - 2 镜头沾有泥浆、水沫或其他杂物；
 - 3 管道内水位过高，无法看清管道内状况；
 - 4 管道充满雾气，影响图像质量；
 - 5 其他原因设备无法正常运行。
- 6.3.7** 管道内窥法的成果资料管理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。

6.4 三维激光扫描法

- 6.4.1** 满足下列情况之一，宜使用三维激光扫描法调查空洞内部结构：
- 1 空洞净深大于 2.0 m；
 - 2 空洞路面投影面积大于 10.0 m²；
 - 3 空洞内部有管线通过；
 - 4 破路挖掘受限。

6.4.2 三维激光扫描法空洞验证流程应包括点云数据采集、数据处理和结果验证。

6.4.3 采用三维激光扫描法对空洞内部结构进行调查的具体操作应符合《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017 的相关规定。

6.4.4 空洞内部空间数据分析宜符合下列规定：

- 1** 应根据点云数据提取空洞三维轮廓；
- 2** 宜根据彩色点云制作空洞内部空间展开图；
- 3** 宜根据彩色点云绘制空洞内部空间属性分析图。

7 风险评估与分级

7.1 一般规定

- 7.1.1** 道路塌陷隐患和道路区间应分别进行塌陷风险评估与分级。
- 7.1.2** 风险评估与分级应按照风险因素调查、风险发生可能性评估及风险等级评定的程序进行。
- 7.1.3** 风险评估与分级应以塌陷隐患数据为基础，风险发生可能性评估宜采用指标体系法，风险等级划分宜采用风险矩阵法。
- 7.1.4** 道路探测成果验证后宜立即进行风险评估，复测后或评估条件发生变化时，宜重新进行评估。
- 7.1.5** 塌陷隐患风险等级和道路区间塌陷风险等级计算可参照本标准附录 B 风险等级计算表进行。
- 7.1.6** 塌陷隐患风险等级和道路区间塌陷风险等级应分为红、橙、黄、蓝四个级别进行风险管控。
- 7.1.7** 道路区间塌陷风险等级达到 III 级及以上级别时，宜进行探测以排除风险。

7.2 风险发生可能性评估

- 7.2.1** 风险发生可能性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、养护等级；
 - 2 塌陷隐患数量、面积、净深、埋深和成因；
 - 3 塌陷隐患处置方式及时间。
- 7.2.2** 塌陷隐患风险发生可能性指数 r 宜按下式计算，并根据计算结果按表 7.2.2 划分为四个等级。

$$r = (0.3r_d + 0.25r_s + 0.25r_k + 0.2r_c) * r_z \quad (7.2.2)$$

式中： r —塌陷隐患风险发生可能性指数；

r_d ——塌陷隐患净深风险系数；

r_s ——塌陷隐患面积风险系数；

r_k ——塌陷隐患覆跨风险系数；

r_c ——塌陷隐患成因风险系数；

r_z ——塌陷隐患处置风险系数。

表 7.2.2 塌陷隐患风险发生可能性等级表

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>	$r \geq 0.7$	塌陷可能性很高
<i>b</i>	$0.5 \leq r < 0.7$	塌陷可能性较高
<i>c</i>	$0.2 \leq r < 0.5$	塌陷可能性中等
<i>d</i>	$0 < r < 0.2$	塌陷可能性较小

7.2.3 道路区间塌陷风险发生可能性指数 R 宜按下式计算，并根据计算结果按表 7.2.3 划分为 A、B、C、D 四个等级。宜把两个相邻路口之间的道路划分为一个评估单元。

$$R = \sum_{i=1}^n (r_i) / L_r + r_t \quad (7.2.3)$$

式中： r_i ——道路区间第 i 个塌陷隐患的风险发生可能性指数，按式（7.2.2）计算；

n ——道路区间塌陷隐患数量；

L_r ——道路区间长度，无量纲，1 km 记作 1。

表 7.2.3 道路区间塌陷风险发生可能性等级表

风险发生可能性等级	风险发生可能性指数	风险描述
A	$R \geq 7$	塌陷可能性很高
B	$5 \leq R < 7$	塌陷可能性较高
C	$2 \leq R < 5$	塌陷可能性中等
D	$0 \leq R < 2$	塌陷可能性较小

7.2.4 塌陷隐患净深风险系数 r_d 宜根据塌陷隐患净深 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 (m)	r_d
$0 \leq d < 0.5$	[0,0.4)
$0.5 \leq d < 1.5$	[0.4,0.7)
$1.5 \leq d < 3.0$	[0.7,0.9)
$3.0 \leq d < 4.0$	[0.9,1.0)
$d \geq 4.0$	1.0

7.2.5 塌陷隐患面积风险系数 r_s 宜根据其面积 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 (m ²)	r_s
$0 \leq S < 3$	[0,0.5)
$3 \leq S < 10$	[0.5,0.7)
$10 \leq S < 15$	[0.7,0.9)
$15 \leq S < 30$	[0.9,1.0)
$S \geq 30$	1.0

7.2.6 塌陷隐患覆跨风险系数 r_k 宜根据覆跨比 k 按表 7.2.6 取值。

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

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）。

表 7.2.6 塌陷隐患覆跨风险系数 r_k 取值

k	r_k
$k > 10.0$	0
$3.0 < k \leq 10.0$	[0,0.4)
$1.0 < k \leq 3.0$	[0.4,0.7)
$0.5 < k \leq 1.5$	[0.7,0.9)
$0 < k \leq 0.5$	[0.9,1.0]

7.2.7 塌陷隐患成因风险系数 r_c 宜按表 7.2.7 取值。

表 7.2.7 塌陷隐患成因风险系数 r_c 取值

r_c	塌陷隐患成因
[0,0.1)	土体自然沉降、施工回填不密实、路基岩性变化
[0.1,0.3)	地表水下渗、地下水作用、湿陷性土的湿陷、冻融影响
[0.3,0.5)	井壁破损、深基坑开挖、运营维护不当、超载、超过设计年限
[0.5,0.8)	管道非开挖施工
[0.8,1.0)	管线破损、人防坍塌
注：当病害有多种成因时，按成因风险系数最大的成因取值。	

7.2.8 塌陷隐患处置风险系数 r_z 宜根据处置情况按表 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 宜按下式进行计算。

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

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）。

7.3 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区间塌陷风险等级。

7.3.2 城镇道路重要性宜参照《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 关于道路养护等级的规定，划分为以下三个等级：

- 1 一级，重要城镇道路，对应 I 等养护的城镇道路，包括快速路、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；
- 2 二级，较重要城镇道路，对应 II 等养护的城镇道路，包括除一级道路以外的次干路、步行街、支路中的商业街道；
- 3 三级，一般城镇道路，对应 III 等养护的城镇道路，包括除一级道路、二级道路以外的支路。

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

塌陷隐患 风险发生可能性等级	道路等级		
	一	二	三
a	i	i	i
b	i	ii	iii
c	ii	iii	iv
d	iii	iv	iv

7.3.4 道路区间塌陷风险宜按表 7.3.4 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 7.3.4 道路区间塌陷风险等级

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

7.4 风险控制措施

7.4.1 风险控制措施宜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 塌陷隐患风险及对宜的风险控制措施宜符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 塌陷隐患风险控制措施

风险等级	预警级别	风险控制措施
i	红色	1 路段围挡 2 调查塌陷隐患成因 3 消除塌陷隐患成因 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 消除塌陷隐患成因 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 消除塌陷隐患成因 3 定期巡视或修复治理
iv	蓝色	1 调查塌陷隐患成因 2 消除塌陷隐患成因 3 定期巡视

7.4.3 道路区间塌陷风险等级及风险控制措施宜符合表 7.4.3 的

规定。

表 7.4.3 道路区间塌陷风险控制措施

风险等级	预警级别	风险控制措施
I	红色	1 立即封闭围挡 2 立即处理
II	橙色	1 设置警示标志 2 尽快处理
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 应根据塌陷隐患类型和塌陷隐患所在路段现场施工条件，因地制宜选择开挖修复或非开挖修复，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 道路塌陷隐患探测成果应由文字报告和成果图件组成。文字报告宜内容全面、重点突出、立论有据、结构严谨、文字简练、结论明确、图表齐全。成果图件宜清晰直观、层次清楚，图式、图例、注记和比例尺等要素齐全。

8.0.2 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；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。

8.0.3 道路塌陷隐患探测文字报告和成果图件应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 技术依据；
- 3 工作方法；
- 4 仪器设备；
- 5 数据采集；
- 6 数据解译结果；
- 7 道路塌陷隐患位置信息；
- 8 成因分析；
- 9 塌陷隐患风险评估；
- 10 道路区间风险评估；
- 11 结论与建议；
- 12 成果图件。

8.0.4 数据解译结果信息宜包括异常类型、埋深及规模等。

8.0.5 道路塌陷隐患位置信息应包括坐标定位、周围影像、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。记录表格式应

符合附录 C 塌陷隐患信息卡的规定。

8.0.6 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，探测单位应具备涉密信息、涉密载体的保密能力。

附录 A 道路塌陷隐患探测记录表格式

表 A.0.1 探地雷达法普查记录表

工程名称 _____ 道路名称： _____ 日期： _____ 天气： _____

仪器型号/编号： _____ 天线频率： _____ GPS 数据存储文件名： _____

测线编号	测线 起点编号	测线 终点编号	测线长度 (m)	雷达数据存储 文件名	备注/干扰
测线布置说明及示意图					

审核： _____ 记录： _____ 测试： _____ 项目负责人： _____ 第 _____ 页/共 _____ 页

表 A.0.3 管中雷达法现场探测记录表

工程名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

仪器型号：_____ 天线频率：_____ 通道数量：_____

管道材质、埋深及管径：_____

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 存储文件名	备注/干扰
测线布置说明及示意图					

审核：_____ 记录：_____ 测试：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

表 A.0.5 瞬态面波法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

设备型号/编号：_____ 道间距 (m)：__ 偏移距 (m)：__ 接收道数：__

测线号	文件名	车道	方向	震源位置/距离 (m)	备注
现场 草图					
说明					

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

表 A.0.6 地震映像法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

设备型号/编号：_____ 检波器主频（Hz）：_____ 检波器数量：_____

道间距：_____ 偏移距（m）：_____ 采样点数：_____ 采样间隔（ms）：_____

测线号	文件名	车道	方向	检波点 起始位置	备注
现场 草图					
说明					

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第_____页/共_____页

表 A.0.7 瞬变电磁法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

发射框边长 (m)：_____ 发射电流 (A)：_____ 发射频率 (Hz)：_____ 接
受框有效面积 (m²)：_____ 采集分量：_____ 工作装置：_____

测线号	文件名	车道	方向	测点号	备注
现场 草图					
说明					

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

附录 B 风险等级计算表

表 B 风险等级计算表

基本信息	道路名称								
	隐患数量								
	探测周期								
	探测时间								
	道路长度								
	道路等级								
塌陷隐患信息	序号	净深 (m)	长度 (m)	宽度 (m)	埋深 (m)	成因	处置 方式	可能 等级	风险 等级
道路区间风险发生可能性等级									
道路区间风险等级									
备注：									
计算				项目负责人					
复核				第 页/共 页					

附录 C 塌陷隐患信息卡

表 C 塌陷隐患信息卡

编号		道路名称	
探测日期		探测方法	
原始文件名		隐患类型	
风险等级		埋深 (m) / 净深 (m)	
平面面积 (m ²)		中心点坐标	
具体位置			
初测图谱		复测图谱	
地图定位		临近管网图	
现场环境图 (东西方向)		现场环境图 (南北方向)	
钻孔验证图		病害内部图	
路面状况			
与邻近管线 相对位置			
成因分析			
处置建议			
处置情况			
编制人		审核人	
填报单位			

本标准用词说明

1 为了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的写法为:“应按……执行”或“应符合……要求(或规定)”

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 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 3 《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7
- 4 《城市测量规范》CJJ/T 8
- 5 《城镇道路养护技术规范》CJJ 36
- 6 《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181
- 7 《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》CJJ/T 210
- 8 《道路深层病害非开挖处治技术规程》CJJ/T 260
- 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 《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900
- 11 《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017

宁夏回族自治区地方标准

城镇道路塌陷隐患探测和风险评估技术标

DB64/T 2025-2024

条文说明

编 制 说 明

《城镇道路塌陷隐患探测和风险评估技术标准》（DB64/T 2025-2024），经宁夏回族自治区住房和城乡建设厅（2024）165号公告批准、发布。

本标准修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结了道路塌陷隐患探测实践经验，同时参考了有关国家标准和国内发达省区的先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准遵循科学性、实用性和可操作性的原则，在广泛调研，多次研讨、征求意见、认真总结、整理分析的基础上，最后经相关部门组织审查定稿。

请各单位在执行过程中，结合工程试验，不断总结经验，积累资料，并将意见和建议反馈到标准编制组，以供修订时参考。

为便于设计、施工、质量监督、工程监理、科研、学校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，对部分条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了详细的解释和说明。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	79
2	术语和符号	80
2.1	术语	80
3	基本规定	81
4	道路探测分类	82
4.1	定期探测	82
4.2	专项探测	84
5	塌陷隐患探测	85
5.1	一般规定	85
5.2	二维探地雷达法	87
5.3	三维探地雷达法	91
5.4	高密度电阻率法	92
5.5	瞬态面波法	93
5.6	地震映像法	93
5.7	瞬变电磁法	94
5.8	微动勘探法	94
6	验证与成因调查	95
6.1	一般规定	95
6.2	钻探法	95
7	风险评估与分级	96

7.1	一般规定	96
7.2	风险发生可能性评估	96
7.3	风险等级划分	97
8	探测报告	98

1 总 则

1.0.1 本条阐述制定本标准的目的。

1.0.2 本条阐述本标准的适用范围及主要内容。根据自治区内城镇道路塌陷隐患发生发展情况，城镇道路塌陷隐患绝大多数是由于管线、雨水井、污水井破损漏水、地下工程施工等产生，而这些问题引起的塌陷隐患深度基本不会超过 30m。而深度大于 30m 的塌陷隐患不属于本标准适用范围。农村道路、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相近，可参照此标准执行。本标准中一些地球物理探测方法也适用于采空区探测，可参照执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.2 本标准的道路塌陷隐患探测只采用地球物理方法。

2.1.5 脱空常见于刚性、半刚性路面下方，一般表现为平面尺寸大于垂向高度特点。

2.1.6 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。为更好地规范和指导道路塌陷隐患探测工作，起草单位通过对自治区内部分城镇道路管理养护单位调研，并对自治区内城镇道路塌陷隐患进行统计发现，净深大于 0.5m 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。所以，根据调研实践经验，为便于塌陷隐患定性、更好地指导探测和养护工作，一般将空洞净深按大于等于 0.5m 进行划分，脱空净深按小于等于 0.5m 进行划分。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路塌陷隐患是严重威胁人员出行的安全隐患，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。

3.0.2 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、专项探测和应急探测，从而制定更精准、更经济、更科学技术方案。

3.0.3 普查是对目标探测区域进行的全覆盖探测，目的是查找重点塌陷隐患区域，为进一步详查提供基础。详查是根据普查结果，对重点区域进行的进一步探测，以查明塌陷隐患的严重程度、位置坐标、规模等。初测是对目标探测区域进行的首次探测，包括普查和详查。复测是初测之后对探测到的地下塌陷隐患进行的后续定期探测，以确定地下塌陷隐患的发展变化趋势。

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、交通密度、道路养护等级等因素，把定期检测道路分为重点道路、常规道路和一般道路三类，并对应不同探测周期。宁夏南部地区为湿陷性黄土地区，在行政区划上包括固原、西吉、彭阳、海原（东部）、同心等县市。根据中国湿陷性黄土工程地质分区略图，均属Ⅱ区，即陇东—陕北—晋西区。该地区湿陷性黄土层厚度较大，以8m~20m为主，部分高阶地地区湿陷性土层厚度大于20m，湿陷性等级以Ⅲ~Ⅳ级自重湿陷性为主。宁夏湿陷性土层主要为浅层填土、新近堆积黄土和全新世黄土状土。土层成分以粉土为主，粉质黏土次之；颗粒成分以粉粒为主，其次为砂粒，黏粒含量较少。

以海原县凤凰园岩土工程勘察数据为例，其粒径组成及各项物理力学指标统计详见表1。砂粒含量平均值较高，接近30%。土层的天然含水量平均值较小，低于10%，湿陷性土层中，填土和新近堆积黄土的含水量在一般情况下低于平均值，湿陷性系数较大，压缩性指标较差，为高压缩性土。

表 1 宁夏湿陷性黄土粒径组成份及各项物理力学指标统计表

统计	平均值	最小值	最大值	标准差	变异系数	样本数
砂粒<0.05mm /%	28.8	16.2	49	4.71	0.16	494
粉粒<0.005mm /%	63.4	41.2	75.3	4.58	0.07	494
黏粒<0.005mm /%	7.8	5.9	11.5	0.89	0.11	494
天然含水量 w/%	9.9	2.9	20	2.92	0.3	1080
天然重度 $\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	14.1	12.3	16.9	0.06	0.04	1080
干重度 $\gamma d / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	12.9	11.3	15.8	0.05	0.04	1080
天然孔隙比 e_0	1.099	0.705	1.391	0.083	0.08	1080
饱和度 $S_r / \%$	24.3	7.5	49.8	7.13	0.29	1080
压缩模量 E_s / MPa	9.17	1.03	30.3	5.24	0.57	1080
湿陷系数 δ_s	0.07	0.015	0.209	0.03	0.45	889
自重湿陷系数 δ_{zh}	0.045	0.015	0.196	0.02	0.54	890
湿陷超始压力 δ_{sh} / kPa	73.8	6	200	45.52	0.62	1038

4.1.4 多期数据对比是由静态检测升级为动态监测的必要手段。

4.2 专项探测

4.2.1 本条明确规定了专项探测的范围和时间。《重大活动和突发事件档案管理办法》规定，重大活动是指在中华人民共和国境内外组织举办的，对党和国家、行业、地方具有重大意义或者重要国际影响的会议、会展、赛事、纪念、庆典等大型活动。

5 塌陷隐患探测

5.1 一般规定

5.1.2 道路塌陷隐患本身的参数差异、埋深、规模及现场环境是使用地球物理方法进行探测的前提；地球物理方法探测存在横向分辨率与垂向分辨率，只有塌陷隐患规模发育达到或超过其分辨率，才可以将其分辨出来；只有当探测目标体与周边介质存在较大的物性差异，发射的各类探测信号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；道路塌陷隐患相对于其埋藏深度或探测距离应具有一定规模，以道路塌陷隐患产生的异常信号能被准确探测和识别为准。考虑城市作业环境复杂性，一般要求可探测的道路塌陷隐患平面尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不应小于 1/5。

5.1.5 宜选择夜间探测。

5.1.6 各地球物理探测方法优缺点可参考表 2。

表 2 各地球物理探测方法优缺点

塌陷隐患探测方法	优点	缺点
二维探地雷达法	经济、快速高效、交通影响小、适用面广，可探测空洞、脱空、疏松体、富水体四种塌陷隐患。	探测深度较浅。理想状态下探测深度约为 7m；在地下水位较浅或含铁磁性土等探地雷达信号衰减明显区域，应考虑其对探测深度的影响，设计探测深度不宜大于 3.0m。

续表 2

塌陷隐患 探测方法	优点	缺点
三维探地 雷达法	经济、快速高效、交通影响小、适用面广，探测准确率较二维探地雷达法更高，可探测空洞、脱空、疏松体、富水体四种塌陷隐患。	探测深度浅。理想状态下探测深度约为 5m；在地下水位较浅或含铁磁性土等探地雷达信号衰减明显区域，应考虑其对探测深度的影响，设计探测深度不宜大于 2.0m。
高密度 电阻率法	较经济，探测深度较大。	效率低、接地耦合困难、交通影响大、对道路造成局部破坏。分辨率较差，只能探测大型空洞。
瞬态面波 法	较经济，探测深度较大。	效率低、震动噪声干扰大、交通影响大。分辨率较差，只能探测大型空洞。
地震映 像法	较经济，探测深度较大。	效率低、交通影响大、适用面窄。分辨率较差，只能探测大型空洞。
瞬变电 磁法	探测深度较大，较经济、效率较高。	交通影响较大。分辨率较差，只能探测大型空洞。
微动勘 探法	探测深度较大，施工简单。且宁夏地区无地铁等大型地下交通管网设施，微动勘探法所受干扰较小。	经济性较差、效率较低、交通影响大。分辨率较差，只能探测大型空洞。

当使用探地雷达法时，在地下水位较浅或含铁磁性土等探地雷达信号衰减明显区域，应考虑其对探测深度的影响，设计探测深度不宜大于 3.0m。区内的部分地下水位大于 3m 深，故由地下水影响导致雷达信号衰减的影响较小。小部分地区地下水位小于 3m，使用探地雷达法检测是需考虑地下水导致的雷达信号衰减影响。

5.1.9 本条对各地球物理探测方法测线的布设原则进行了规定，基于安全的考虑和检测实施的便捷性，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 二维探地雷达法

5.2.3 城镇环境下，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。

5.2.16 数据采集后，探地雷达数据处理流程宜按图 1 进行：

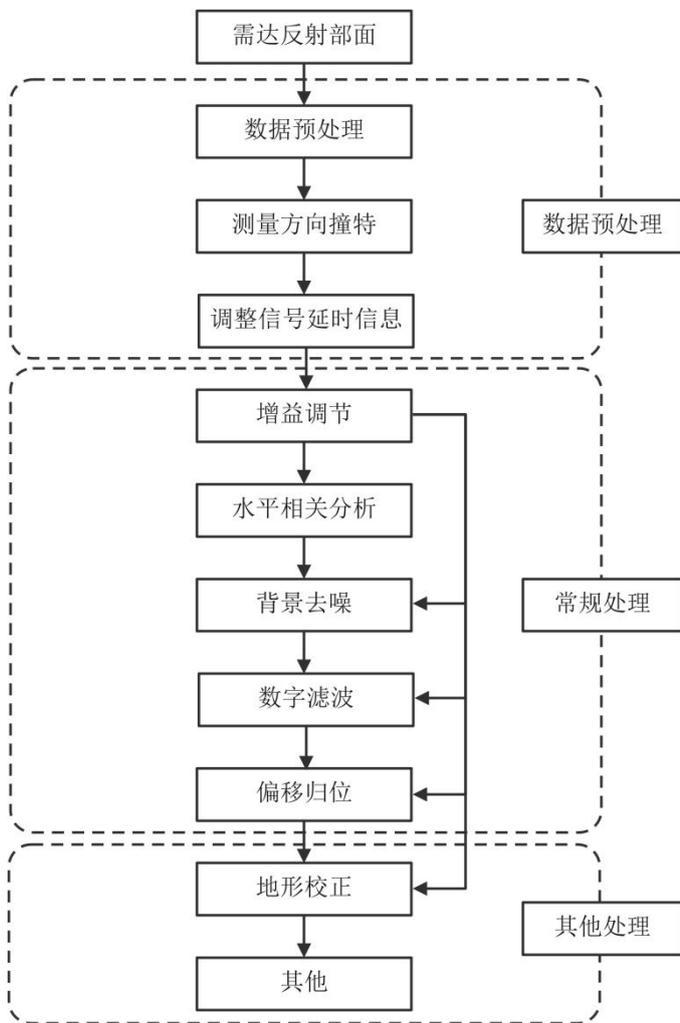


图 1 探地雷达数据处理流程

5.2.17 探地雷达资料解释方法和流程宜按图 2 进行：

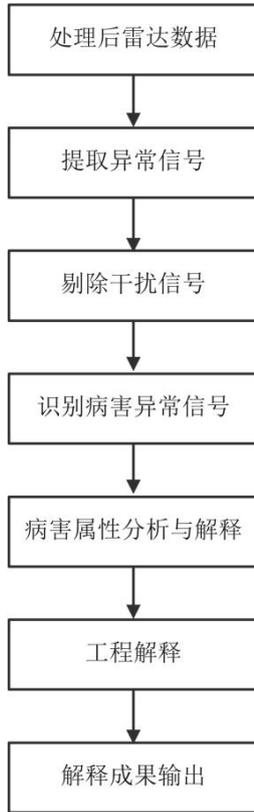
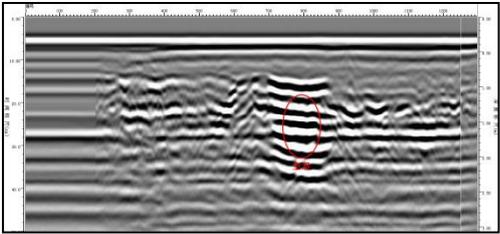
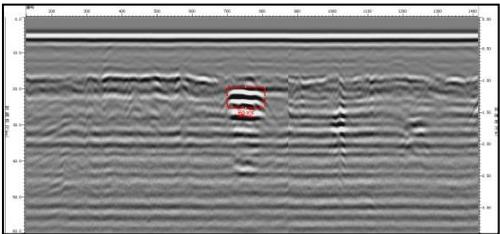
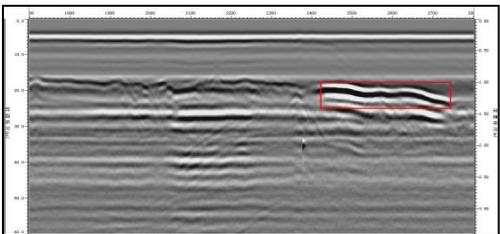
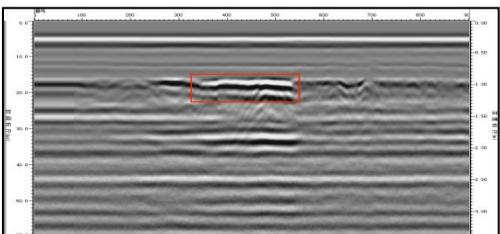


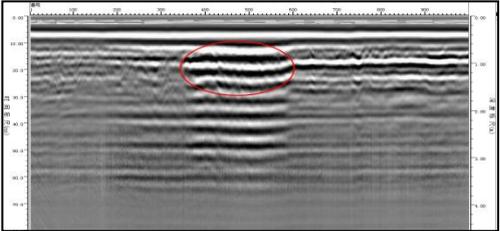
图 2 探地雷达法资料解释流程图

5.2.18 二维探地雷达探测塌陷隐患可按表 3 特征进行识别。

表 3 二维探地雷达塌陷隐患典型特征

塌陷隐患		典型图谱
空洞		
脱空		
疏松体	严重	
	一般	

续表 3

塌陷隐患	典型图谱
富水体	

5.3 三维探地雷达法

5.3.1 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 3m 以内。一般在 3m 以内的浅层地下塌陷隐患探测，宜使用三维探地雷达。

5.3.5 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。

5.3.6 三维探地雷达由于极化方式和天线排布方式影响，探测深度较垂直极化的二维雷达浅一些，结合自治区内实际三维探地雷达探测结果，确定了如本表所示的自治区内三维探地雷达探测深度。

5.3.9 三维探地雷达资料处理流程应按图 3 的规定进行。

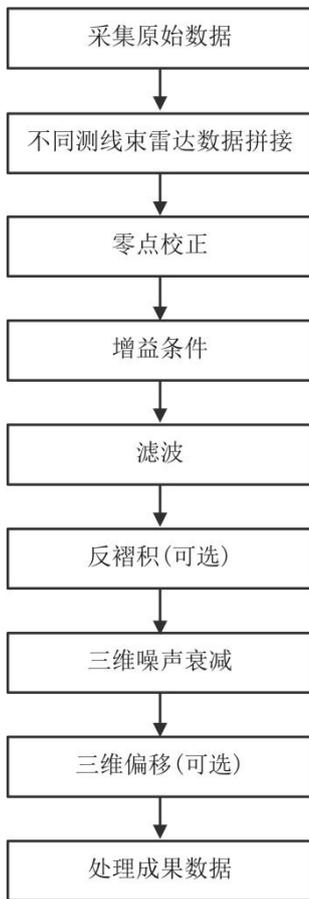


图3 三维探地雷达资料处理流程

5.4 高密度电阻率法

5.4.1 从物性差异的角度来说，高密度电阻率法的理论基础是静电场理论，是以探测目标体和周围介质存在明显的电性差

异为探测前提的。也就是说如果在低阻背景中对空洞进行探测，空洞不能被水或其他低阻物质充填。而在高阻背景中对空洞进行探测、必须要求空洞被水或其他低阻物质充填。否则便不能进行有效探测。从探测目标体的几何尺寸来说，洞径埋深比一直是人们评定是否对空洞进行有效探测的指标。在早期的电法研究中，许多学者从电场理论的角度结合对计算电测深、电剖面曲线和实测曲线的分析。认为洞径埋深比为 1:1，最小为 1:2 为有效探测的界限。

5.4.2 高密度电阻率法对低阻的水和高阻的空气反应敏感，因此探测富水体、管道漏水、人防空间效果较好。

5.4.3 高密度电阻率法测线沿道路或隔离带边缘布设，减小了对交通的影响，接地条件也更好一些。

5.5 瞬态面波法

5.5.4 在城市环境下，为了安全考虑，震源不宜使用炸药震源，锤击震源或电子震源影响较小。

5.6 地震映像法

5.6.1 地震映像法对隐伏地层或目标体进行连续扫描，可实现 30m 以内的浅表层管线、覆盖层等地质目标体探测。

5.6.5 测点间距根据探测目标体的具体情况选取，首先要保证其水平方向的分辨率。当探测的地下目标体为有限物体时，要保证其边界的有效精度，点距应尽量减小。在发现异常部位沿主测线两侧增加旁测线或穿过异常中心增加交叉测线，保证各测线有效异常有清晰完整地反映。地震映像法现场数据采集时，如地表不具备检波器安装条件时，可采用铁靴装置安装的方式

5.7 瞬变电磁法

5.7.1 瞬变电磁法，是利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲磁场，在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中引起的二次感应涡流场，从而探测介质电阻率的一种方法。其基本工作方法是：于地面或空中设置通以一定波形电流的发射线圈，从而在其周围空间产生一次电磁场，并在地下导电岩矿体中产生感应电流；断电后，感应电流由于热损耗而随时间衰减。根据瞬变电磁法对低阻体反应敏感的特点，可查明含水地质如煤矿采空区、深部不规则水体等。瞬变电磁法在提高探测深度和在高阻地区寻找低阻地质体是最灵敏的方法，具有自动消除主要噪声源，且无地形影响，同点组合观测，与探测目标有最佳耦合，异常响应强，形态简单，分辨能力强等优点。

5.7.3 瞬变电磁法探测常用装置有重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、定源回线装置、电偶源装置等。由于道路塌陷隐患探测的特殊环境，要求二次场信号强、抗干扰性强、布设方便、横向分辨率高，本标准推荐使用等值反磁通装置或中心回线装置。等值反磁通装置消除了收发线圈之间的感应耦合，获得了纯二次信号，兼具便携性、抗干扰强等特点，优先考虑选用此装置。

5.8 微动勘探法

5.8.1 因为微动勘探法是被动源法；电磁干扰严重的环境，电磁法使用受限，而微动勘探法接收的是机械波，不受电磁干扰影响。

6 验证与成因调查

6.1 一般规定

6.1.4 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；富水体极易快速发展为脱空或空洞。故建议全空洞、脱空、富水体部验证。

6.2 钻探法

6.2.1 原则上应选用钻探方法进行验证，验证时可采用地质钻机、背包钻；验证点的位置宜布设在物探异常反应中心部位，才能较好地揭露塌陷隐患的类型、深度、规模。

7 风险评估与分级

7.1 一般规定

7.1.1 本标准涵盖了独立塌陷隐患和包含塌陷隐患的道路区间的风险评估与分级。

7.1.3 常用风险评估方法有定性分析法和定量分析法。定性分析法是依赖主观判断和经验对风险进行评估的方法，通常适用于缺乏足够数据或难以量化的领域。定性分析可能受到主观偏见和缺乏客观标准的影响，难以比较不同风险之间的相对重要性，难以验证和重复。定性分析法包括事件树分析法、失效模式与影响分析法、危险源与操作控制分析法等。定量分析法是使用数学模型和统计分析对风险进行量化的方法。它需要对大量数据进行分析，以便准确地衡量风险概率和潜在影响。定量分析依赖于客观数据和严格的数学方法，有助于减少主观偏见。定量分析法可能无法识别潜在的未知风险，模型可能过于简化现实情况。定量分析法包括敏感性分析法、可靠性分析法、风险价值分析法等。本标准风险矩阵法结合了定性分析和定量分析的优点。该方法首先对风险因素进行定性评估，然后根据给定的标准将其转化为定量值。该方法不仅考虑了风险的相关因素，还提供了可视化的矩阵，以帮助决策者更好地理解和管理风险。风险矩阵法便于理解和决策，能够识别潜在的未知风险并对其进行量化。

7.2 风险发生可能性评估

7.2.2 根据宁夏本地塌陷隐患的深度分布区间、埋深和跨度范

围、面积、成因、处置情况、塌陷频次等调查数据，综合确定各项塌陷风险系数，涉及的系数采用线性插值方式在各自取值区间内取值。

7.2.3 风险评估单元长度越大，风险评估准确性越低，精细化程度越低。风险评估单元越小，虽然准确性提高，但是会大大增加风险评估工作的困难程度。考虑到风险评估工作的准确信和可实操性，宜把两个相邻路口之间的道路划分为一个评估单元。

7.3 风险等级划分

7.3.2 《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 中，根据各类道路在城镇中的重要性将城镇道路划分为 3 个养护等级。本标准参照 CJJ 36 中关于道路养护等级的规定，确定城镇道路重要性等级。

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。

8.0.6 城镇地下常埋设有很多保密设施，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，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。