

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

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 3

5 基本规定 3

6 道路探测分类 5

 6.1 定期探测 5

 6.2 专项探测 5

 6.3 应急探测 6

7 塌陷隐患探测 6

 7.1 一般规定 6

 7.2 二维探地雷达法 8

 7.3 三维探地雷达法 12

 7.4 高密度电阻率法 13

 7.5 瞬态面波法 14

 7.6 地震映像法 15

 7.7 瞬变电磁法 16

 7.8 微动勘探法 17

8 验证与成因调查 18

 8.1 一般规定 18

 8.2 钻探法 19

 8.3 管道内窥法 19

 8.4 三维激光扫描法 21

9 风险评估与分级 21

 9.1 一般规定 21

 9.2 风险发生可能性评估 21

 9.3 风险等级划分 24

 9.4 风险控制措施 25

10 探测报告 26

附录 A（规范性） 道路塌陷隐患探测记录表格式 27

附录 B（规范性） 风险等级计算表 37

附录 C（规范性） 塌陷隐患信息卡 38

参考文献 39

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。

本文件由银川市城市管理局提出。

本文件由宁夏回族自治区住房和城乡建设厅归口并组织实施。

本文件起草单位：银川市城市管理局、中科云图科技有限公司、银川市市政工程管理处、宁夏大学、银川市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。

本文件主要起草人：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。

城镇道路塌陷隐患探测和风险评估 技术标准

1 范围

本文件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。

本文件适用于宁夏回族自治区行政区域内城镇道路路面以下 30m 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文件，但需专家论证。

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 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程
- CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
- CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准
- CJJ/T 8 城市测量规范
- CJJ 36 城镇道路养护技术规范
- CJJ 181 城镇排水管道检测与评估技术规程
- CJJ/T 210 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程
- CJJ/T 260 道路深层病害非开挖处治技术规程
- GA/T 900 城市道路施工作业交通组织规范
- 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

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。

3.2

道路塌陷隐患探测 road collapse vulnerabilities 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。

3.3

疏松体 loosely infilled body

密实度明显低于周边土体的地质体。

3.4

富水体 water-rich body

含水率明显高于周边土体的地质体。

3.5

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。

3.6

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。

3.7

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。

3.8

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。

3.9

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。

3.10 **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。

3.11

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。

3.12

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。

3.13

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。

3.14

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。

3.15

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。

3.16

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。

4 符号

下列符号适用于本文件。

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	——脱空或空洞覆跨比。
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	——道路区间规定检测周期。
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	——距新修或上次修复后时间。
x'	——横向分辨率。
ε_r	——相对介电常数。
λ	——电磁波波长。

5 基本规定

- 5.1 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。
- 5.2 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。
- 5.3 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：
 - a) 普查应对测区进行全面探测，并确定重点探测区；
 - b) 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。
- 5.4 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。

- 5.5 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 GA/T 900 关于交通安全围蔽措施的规定。
- 5.6 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。
- 5.7 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。
- 5.8 根据工程特征划分的道路塌陷隐患类型宜按表 1 确定。

表1 道路塌陷隐患工程特征

类型	工程特征
空洞	a) 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； b) 粉土、砂质粉土易形成空洞。
脱空	a) 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； b) 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。
富水体	a) 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； b) 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。
疏松体	a) 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； b) 疏松体强度随松散程度增大而降低； c) 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。

- 5.9 根据地球物理特征划分的道路塌陷隐患类型宜按表 2 确定。

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

- 5.10 疏松体等级划分宜按表 3 确定。

表3 疏松体等级划分

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

6 道路探测分类

6.1 定期探测

- 6.1.1 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。
- 6.1.2 参照 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 确定。

表4 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

- 6.1.3 定期探测时间宜选在春融后或汛期后。
- 6.1.4 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。
- 6.1.5 城镇道路塌陷隐患探测周期宜根据本文件 9.3 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。

6.2 专项探测

- 6.2.1 组织城镇道路塌陷隐患专项探测宜符合下列规定：
- a) 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；
 - b) 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；
 - c) 城市重大活动举行前，活动场馆周边及使用道路。

6.3 应急探测

6.3.1 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：

- a) 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；
- b) 管理单位认为的其他需要进行应急探测的情形。

6.3.2 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。

6.3.3 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。

6.3.4 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。

6.3.5 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。

6.3.6 应急探测出具应急探测报告后，宜跟进后续处置情况。

7 塌陷隐患探测

7.1 一般规定

7.1.1 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。

7.1.2 城镇道路塌陷隐患探测除应符合 CJJ/T 7，还应符合下列条件：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 选用的地球物理方法符合探测环境要求。

7.1.3 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：

- a) 资料收集；
- b) 现场踏勘；
- c) 探测方法选择；
- d) 有效性试验；
- e) 编写探测方案。

7.1.4 资料收集宜包括下列内容：

- a) 测区内的道路工程、地下工程等设计和施工资料；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 历年道路养护、塌陷隐患探测和修复资料；
- e) 测区内历年地面塌陷及管线破损等相关资料；
- f) 道路材料和特殊工艺技术等资料；
- g) 测区范围内典型干扰源的分布情况。

7.1.5 现场踏勘宜包含下列内容：

- a) 测区道路地形、地貌、通行、通视等工作环境条件；
- b) 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；
- c) 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；

- d) 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；
 - e) 测区道路地下带水管线堵塞、破损、漏水情况；
 - f) 测区道路所选探测方法的典型干扰源分布；
 - g) 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。
- 7.1.6 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 确定。

表5 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。
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						

7.1.7 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。

7.1.8 探测方案宜包括下列内容：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 探测依据的规范标准和有关的技术资料；
- d) 探测内容、探测方法、工作量及测点和测线布置方案；
- e) 探测实施步骤、工作进度计划和实施过程的控制；
- f) 拟投入的探测仪器设备、材料、人员组织计划；
- g) 拟提交的成果资料。

7.1.9 测线布置应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 测线宜沿道路行进方向布置，并覆盖交叉路口；
- c) 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；
- d) 详查测线宜以异常区域为中心，沿两个方向垂直布置，特殊情况可加密布置。

- 7.1.10 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：
- a) 宜选用屏蔽型探测设备；
 - b) 数据采集过程中，宜记录干扰源的类型和位置；
 - c) 数据处理时，宜对识别到的干扰信号进行针对性处理；
 - d) 数据解译时，宜结合干扰源特征，对结果进行综合判定。
- 7.1.11 城镇道路塌陷隐患探测的测量工作应符合现行行业标准 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。
- 7.1.12 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。
- 7.1.13 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。
- 7.1.14 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。

7.2 二维探地雷达法

- 7.2.1 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。
- 7.2.2 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。
- 7.2.3 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：
- a) 宜选择频率为 100 MHz~600 MHz 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；
 - b) 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；
 - c) 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。
- 7.2.4 探地雷达的设计探测深度与天线中心频率的选择应按表 6 确定：

表6 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

- 7.2.5 探地雷达工作环境宜满足下列条件：
- a) 环境温度应在 -20℃~50℃ 范围内；
 - b) 探测作业面不宜有雨雪或积水；
 - c) 检测设备应减少附近车辆干扰，无交通拥堵。
- 7.2.6 探地雷达测线布设符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 测线间距宜小于被测目标宽度的 1/2。

7.2.7 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宜按下式计算：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (1)$$

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。

7.2.8 探地雷达法的横向分辨率宜按下式计算：

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

式中：x' ——横向分辨率（m）；
 λ ——电磁波波长（m）；
 h ——探测目标深度（m）。

7.2.9 探地雷达法采集参数设置应符合下列规定：

- a) 探地雷达采样点数宜设置为 1024 点；
- b) 信号的增益宜使信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4；
- c) 采样频率不应低于所采用天线主频的 20 倍；
- d) 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；
- e) 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。

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

$$T = K \frac{2H}{c} \dots\dots\dots (3)$$

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。

7.2.11 介质参数标定应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 采集图谱中标定目标或地物界面反射信号应清晰、准确；
- d) 标定结果应按下式计算：

$$\epsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$v = \frac{2d_0}{t} \times 10^9 \dots\dots\dots (5)$$

式中：t ——双程走时（ns）；

d_0 ——标定目标体厚度或距离 (m)。

7.2.12 探地雷达法现场数据采集应符合下列规定：

- a) 当采用测量轮测距时，采集前应对其进行标定；
- b) 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；
- c) 天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 应及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时重测；
- g) 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；
- h) 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；
- i) 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；
- j) 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；
- k) 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。

7.2.13 普查记录应符合本文件附录 A.1 的规定，详查记录应符合本文件附录 A.2 的规定。

7.2.14 影响探地雷达探测的主要干扰源宜按下列因素统计：

- a) 地上干扰源：临近建构筑物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、金属围挡、金属栅栏、车辆等；
- b) 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；
- c) 电磁干扰源：变电室、架空输电线、信号发射塔、地下电缆等。

7.2.15 现场采集数据质量应符合下列规定：

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

7.2.16 探地雷达数据处理应符合下列规定：

- a) 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 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；
- g) 改变反射信号的振幅特征宜在其他方法处理完后进行。

7.2.17 探地雷达法资料解释方法应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 应结合现场记录和调查资料，排除干扰异常；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 雷达剖面图像上应标明道路塌陷隐患的位置及范围。

7.2.18 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 7 进行识别。

表7 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		a) 近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态; b) 近似方形空洞反射波表现为正向连续平板状形态; c) 多次波、绕射波明显。	整体振幅强, 雷达波衰减很慢。	a) 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; b) 频率高于背景场。
脱空		a) 顶部一般形成连续反射波组, 似平板状形态; b) 多次波、绕射波较明显。	整体振幅强, 雷达波衰减很慢。	a) 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; b) 频率高于背景场。
疏松体	严重	a) 顶部形成连续反射波组; b) 多次波较明显; c) 波形结构杂乱, 同相轴很不连续。	整体振幅强, 衰减很慢。	a) 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; b) 频率高于背景场。
	一般	a) 顶部形成连续反射波组; b) 多次波不明显; c) 波形结构较杂乱, 同相轴较不连续。	整体振幅较强, 衰减较慢。	a) 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向; b) 频率略高于背景场。
富水体		a) 顶部形成连续反射波组; b) 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。	a) 顶部反射波与入射波反向, 底部反射波与入射波同向; b) 频率低于背景场。

7.2.19 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。

7.2.20 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。

7.2.21 探地雷达在管道内部探测时宜具备下列条件:

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

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

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

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

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

- e) 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.3 管中雷达法现场探测记录表填写现场记录。
- 7.2.24 探地雷达在管道内部探测时，雷达数据处理方法和步骤应符合本节 7.2.16 规定。
- 7.2.25 探地雷达在管道内部探测时，雷达图谱特征识别应符合本节 7.2.18 中的规定。

7.3 三维探地雷达法

- 7.3.1 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。
- 7.3.2 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：
 - a) 雷达天线主频；
 - b) 天线阵列离地高度；
 - c) 定位装置精度及配置；
 - d) 采集方式和采集参数。
- 7.3.3 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：
 - a) 数据接收帧率应大于或等于 10 Hz；
 - b) 定位数据平面精度应优于 5.0 cm；
 - c) 定位数据高程精度应优于 20.0 cm；
 - d) 应支持差分信号接收功能；
 - e) 应支持接收 CORS 定位坐标。
- 7.3.4 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。
- 7.3.5 三维探地雷达测线束布设应符合下列要求：
 - a) 测线束布设应覆盖整个检测区域；
 - b) 测线束应覆盖交叉路口；
 - c) 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；
 - d) 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。
- 7.3.6 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 8 确定。

表8 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

- 7.3.7 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，宜参照本文件 7.2 的相关规定。
- 7.3.8 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。
- 7.3.9 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。
- 7.3.10 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 9 进行识别。

表9 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
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
	一般		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
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

7.3.11 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。

7.4 高密度电阻率法

7.4.1 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：

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

7.4.2 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。

7.4.3 高密度电阻率法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。

7.4.4 高密度电阻率法工作布置应符合下列规定：

- a) 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；

- b) 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；
 - c) 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；
 - d) 实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接；
 - e) 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；
 - f) 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；
 - g) 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；
 - h) 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。
- 7.4.5 高密度电阻率法外业探测宜按附录 A.4 高密度电阻率法现场探测记录表填写现场记录。
- 7.4.6 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：
- a) 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；
 - b) 地表存在干燥的沥青、混凝土路面等电性绝缘层；
 - c) 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；
 - d) 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；
 - e) 含铁磁性矿物土体。
- 7.4.7 高密度电阻率法资料解释应符合下列规定：
- a) 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；
 - b) 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；
 - c) 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；
 - d) 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。
- 7.4.8 高密度电阻率法探测塌陷隐患宜按表 10 高密度电阻率法探测塌陷隐患典型识别特征进行识别。

表10 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	a) 有水充填时，表现为相对低电阻率异常； b) 无水充填时，表现为相对高电阻率异常。
疏松体	a) 疏松体有水充填时，表现为相对低电阻率异常； b) 疏松体无水充填时，表现为相对高电阻率异常； c) 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。

7.4.9 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 JGJ/T 437 的规定。

7.5 瞬态面波法

- 7.5.1 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：
- a) 塌陷隐患与其周边介质之间应存在速度或波阻抗差异；
 - b) 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；
 - c) 探测区域不受交通影响。
- 7.5.2 深层地下管道塌陷隐患宜使用瞬态面波法进行探测。
- 7.5.3 瞬态面波法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。
- 7.5.4 瞬态面波法震源宜用锤击震源或电子震源。
- 7.5.5 瞬态面波法外业探测记录宜按附录 A.5 瞬态面波法现场探测记录表填写现场记录。
- 7.5.6 影响瞬态面波法探测的主要干扰源可按以下因素统计：
- a) 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；
 - b) 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。
- 7.5.7 当采用瞬态面波法探测时，塌陷隐患宜按表 11 进行识别。

表11 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。	a) 边界波组杂乱、振幅强，内部波组衰减明显； b) 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。

7.5.8 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 JGJ/T 437 的规定。

7.6 地震映像法

- 7.6.1 地震映像法探测塌陷隐患应具备下列条件：
- a) 塌陷隐患与周围介质之间存在明显波阻抗差异；
 - b) 塌陷隐患的长度或宽度与其埋藏深度之比不宜小于 0.1；
 - c) 探测区域不受交通影响。
- 7.6.2 道路地下采空区塌陷隐患宜使用地震映像法进行探测。
- 7.6.3 地震映像法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。
- 7.6.4 地震映像法震源宜用锤击震源或电子震源。
- 7.6.5 地震映像法探测塌陷隐患工作布置宜符合下列规定：
- a) 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；
 - b) 检波器可选择单道或多道，多道时可选择不同频率检波器；
 - c) 根据探测深度和精度要求确定点距、采样间隔、记录长度；
 - d) 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；
 - e) 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；

- f) 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；
 - g) 检波器应垂直地面安置，与地面耦合良好；
 - h) 同一测线各测点激发能量应均匀；
 - i) 应避开强震干扰时段作业，可采用叠加的方式提高信噪比；
 - j) 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；
 - k) 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。
- 7.6.6 地震映像法外业探测记录宜按附录 A.6 地震映像法现场探测记录表填写现场记录。
- 7.6.7 影响地震映像法探测的主要干扰源可按下列因素统计：
- a) 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；
 - b) 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。
- 7.6.8 地震映像法探测塌陷隐患宜按表 12 进行识别。

表12 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	a) 同相轴上凸或下凹现象明显，边界处同相轴明显错断； b) 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

- 7.6.9 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 JGJ/T 437 的规定。
- 7.7 瞬变电磁法
- 7.7.1 瞬变电磁法探测塌陷隐患应具备下列条件：
- a) 塌陷隐患与周边介质之间存在明显电性差异；
 - b) 测区内地表平坦；
 - c) 测区内没有强电磁干扰；
 - d) 探测区域不受交通影响。
- 7.7.2 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。
- 7.7.3 瞬变电磁法工作布置应符合下列规定：
- a) 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；
 - b) 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。
- 7.7.4 瞬变电磁法的测线布设应符合下列规定：
- a) 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；

- b) 发射和接收线框应避开铁路、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。

7.7.5 瞬变电磁法现场观测应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 对瞬间干扰应暂停观测，排除干扰后再进行探测；
- c) 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；
- d) 若曲线衰减变慢时，应扩大测道时间范围重复观测；
- e) 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；
- f) 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；
- g) 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。

7.7.6 瞬变电磁法外业探测记录按附录 A.7 瞬变电磁法现场探测记录表填写现场记录。

7.7.7 瞬变电磁法探测应统计如下干扰源：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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。

7.7.8 瞬变电磁法数据处理宜符合下列规定：

- a) 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；
- b) 宜剔除干扰大、质量差的数据；
- c) 宜对数据进行滤波处理；
- d) 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；
- e) 宜结合已有的资料及现场调查资料，进行反演处理；
- f) 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；
- g) 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；
- h) 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；
- i) 应结合调查资料进行塌陷隐患定性或半定量解释。

7.7.9 瞬变电磁法探测塌陷隐患宜按表 13 瞬变电磁法探测塌陷隐患典型识别特征进行识别。

表13 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	a) 当空洞有水充填时，二次场幅值大，衰减慢； b) 当空洞无水充填时，二次场幅值小，衰减快。	a) 当空洞有水充填时，表现为相对低阻异常； b) 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。

7.7.10 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 JGJ/T 437 的规定。

7.8 微动勘探法

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/195212213043011344>