

城镇道路塌陷隐患探测和风险评估预警 技术标准

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

DB*-20****

批准部门：湖南省住房和城乡建设厅

施行日期： 20 ××年×月 日

××出版社

20××

前 言

根据湖南省住房和城乡建设厅《关于公布 2022 年湖南省工程建设地方标准制（修）订计划项目的通知》（湘建科函〔2022〕40 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准主要内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 探测分类与要求；5 前期准备；6 探测方法；7 验证与成因调查；8 风险评估与预警；9 探测成果管理与应用；10 探测报告编制。

本标准由湖南省住房和城乡建设厅负责管理，由湖南大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至湖南大学（地址：湖南省长沙市岳麓区麓山南路麓山门，邮编：410082）。

根据住房和城乡建设部《工程建设标准涉及专利管理办法》（建办标〔2017〕3 号）文件要求，主编单位声明：本标准不涉及任何专利情况，如在使用过程中发现涉及专利技术请及时与编制组联系。

本 标 准 主 编 单 位：湖南大学

中科云图科技有限公司

本 标 准 参 编 单 位：株洲市市政工程维护中心

郴州市市政公用设施维护服务中心

中国城市规划设计研究院

本标准主要起草人员：黄立葵 王继伟 刘定乾 郭永忠 陈燕申

杨 树 高云泽 赵 衡 罗 攀 欧阳潮

朱 峰 郭晓圣 王 岩 靳泽禹 王元钰

郭 旭 沈 勇 刘双伟 王定伦 薛光辉

李文彬 邵现州 徐培源

本标准主要审查人员：任俊杰 徐林荣 朱尚清 黄开宇 王 俏

吴超凡 段坚堤

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	5
4	探测分类与要求	6
4.1	定期探测	6
4.2	专项探测	6
4.3	应急探测	6
5	前期准备	8
6	探测方法	9
6.1	一般规定	9
6.2	二维探地雷达法	11
6.3	三维探地雷达法	15
6.4	高密度电阻率法	18
6.5	瞬态面波法	19
6.6	地震反射法	19
6.7	瞬变电磁法	20
7	验证与成因调查	22
7.1	塌陷隐患验证	22
7.2	成因调查	23
8	风险评估与预警	25
8.1	一般规定	25
8.2	风险发生可能性评估	25
8.3	风险等级划分	27
8.4	风险预警	28
9	探测成果管理与应用	30
10	探测报告编制	31
附录 A	探测记录表	32
附录 B	塌陷隐患探测成果统计表	37
附录 C	道路塌陷风险等级计算表	39
	本标准用词说明	40
	引用标准名录	41
	条文说明	42

1 总则

1.0.1 为规范湖南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，建立数字化应用系统，提高城镇道路安全运行水平，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于湖南省行政区域内城镇道路路面以下的塌陷隐患探测和风险评估预警工作，公路和其它道路可参照执行。

1.0.3 城镇道路塌陷隐患探测和风险评估预警工作除应符合本标准外，尚应符合国家和本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

对道路运行安全可能造成危害的各种不良地质体，包括疏松体、富水体、脱空、空洞。

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

局部密实度明显低于周边且易引发地面沉降的不良地质体。

2.1.4 富水体 water-rich body

含水率明显高于周边土体含水率的地质体。

2.1.5 脱空 cavity underneath pavement

路面与路基不连续接触的空间，净空高度小于 0.5m。

2.1.6 空洞 void

净空高度大于等于 0.5m 的脱空以及地下发育的洞穴。

2.1.7 净深 clear depth

塌陷隐患顶部与底部之间的净空高度。

2.1.8 覆跨比 thickness-span ratio

地下病害体上覆土层厚度与地下病害体水平方向最大跨度之比。

2.1.8 测线 survey line

由一系列地球物理观测点组成的线状轨迹。

2.1.9 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。

2.1.10 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，解决相关问题的一种电磁法探测方法。

2.1.11 高密度电阻率法 high density electrical method

采用电极阵列技术快速获得地下介质的二维、三维视电阻率观测数据，并据此研究地下介质电性分布的一种电法探测方法。

2.1.12 瞬态面波法 transmit surface wave method

利用人工震源激发产生的弹性波在介质中传播，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弹性波法探测方法。

2.1.13 地震反射波法 seismic reflected wave method

以介质之间的弹性和密度差异为基础，通过观测和分析地震波在介质中的传播特征，探测地下介质物理性质和界面形态的弹性波法探测方法。

2.1.14 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

采用脉冲电流场激发一次电磁场，在断电间隙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探测方法。

2.1.15 道路塌陷风险评估 risk evaluation of road collapse

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、道路养护等级，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进行预测。

2.2 符号

c	——电磁波在空气中的传播速度；
d	——塌陷隐患净深；
f	——探地雷达天线主频；
h	——探测目标深度；
h_0	——塌陷隐患埋深；
H	——最大探测深度；
k	——覆跨比；
K	——加权系数；
L	——塌陷隐患水平最大长度；
L_{rd}	——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	——第 i 个塌陷隐患的风险指数；
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	——道路塌陷风险发生可能性指数；
s	——塌陷隐患地面投影面面积；
t_0	——距新修或上次探测后时间；
T	——记录时窗；
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应结合既有岩土工程、水文气象、历史塌陷、道路勘察设计资料、地下管网资料，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，并进行风险评估，提出风险管控对策。

3.0.2 城镇道路塌陷隐患探测可分为定期探测、应急探测和专项探测。

3.0.3 城镇道路塌陷隐患定期探测宜在雨季结束后进行。

3.0.4 城镇道路塌陷隐患探测应采用初测和复测相结合的方式，并应符合下列规定：

- 1 初测应对测区进行全面探测，并确定重点探测区；
- 2 复测应对重点探测区进行探测，并查明塌陷隐患的属性。

3.0.5 城镇道路塌陷隐患探测机构应具有政府部门颁发的检验检测机构资质认定证书，成果报告应加盖 CMA 检测专用章。

3.0.6 进行探测作业的车辆应为经过备案的专项作业车，并应配置警示标志、灯具，车身应使用统一标志。占道围蔽探测时，应按《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900 做好交通安全围蔽措施。

3.0.7 应建立数字化系统对塌陷隐患等地下空间信息进行管理与应用；塌陷隐患探测数据应进行保密管理，探测机构应具有相关保密资质。

3.0.8 风险评估前应查明塌陷隐患数量、埋深、规模、成因、处置方式、道路等级等影响风险评估的因素。

3.0.9 道路塌陷隐患应在验证后立即进行风险评估，道路区间风险评估宜定期进行。

4 探测分类与要求

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、道路类型确定初始探测周期，定期进行塌陷隐患探测。

4.1.2 城镇道路塌陷隐患的初始探测周期应符合表 4.1.2 的规定，连续 2 个周期未探测出空洞或脱空，其探测周期可降低一个等级，且探测周期不宜超过 3 年。

表 4.1.2 定期探测周期

道路养护等级	探测区域	探测周期
I等	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	1 年
II等	除重点道路以外的次干路、步行街、支路中的商业街道	2 年
III等	除重点道路和普通道路以外的支路	3 年

4.1.3 城镇道路定期探测数据应与上一期数据进行对比分析，获取结构层厚度变化量、路基土体变化率、同一塌陷隐患变化趋势。

4.2 专项探测

4.2.1 城市重大活动举行前、洪涝灾害发生后、地下工程施工时应对影响范围内的道路进行专项探测。

4.2.2 城镇道路专项探测前应制定专项探测方案。

4.2.3 城镇道路塌陷隐患的专项探测时间应符合下列规定：

- 1 地铁站点、深基坑、顶管等地下工程施工时，应对影响范围道路进行专项探测；
- 2 城市重大活动举行前，应对活动场馆周边和活动使用道路进行专项探测；
- 3 洪涝灾害出现后，应对排水管涵、河道周边等重要路段进行专项探测；
- 4 新建、改扩建道路移交给管理单位前宜进行专项探测。

4.2.4 对专项探测发现的塌陷隐患应制定方案并处置，且应在处置后进行复测，对处理效果进行评价。

4.3 应急探测

4.3.1 发生路面塌陷、路面下沉、管道泄露、地下工程严重变形或水土流失时，应对影响范

围内的路段进行应急探测。

4.3.2 应急探测前应收集事故经过、现场条件、地下工程及附近地下管线状况等资料。

4.3.3 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，并采取临时围蔽管制安全措施。

4.3.4 应急探测时，作业人员必须穿反光背心，作业区域使用反光锥围蔽。

4.3.5 应急探测后应出具应急探测报告，并跟进应急结果后续处置情况。

4.3.6 应急探测流程要求宜按图4.3.6的规定执行。

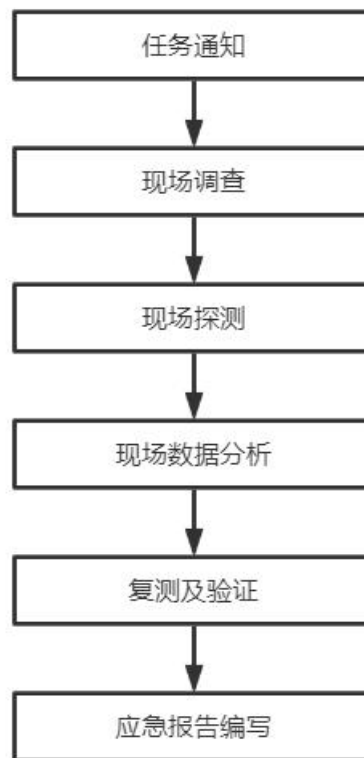


图4.3.6 应急探测流程

5 前期准备

5.0.1 城镇道路塌陷隐患探测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 探测方案编写。

5.0.2 探测前应收集的与探测有关的资料应包括下列内容：

- 1 测区内道路工程、地下工程的设计、施工和竣工资料；
- 2 测区内工程地质、水文地质、地形图和测量控制资料；
- 3 测区内地下管线分布、破损和漏水相关资料；
- 4 测区内历年道路塌陷信息和修复资料。

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

5.0.4 正式探测前应根据探测要求，通过有效性试验确定探测方法、采集方式和采集参数。

5.0.5 探测方案应包括下列内容：

- 1 探测目的、范围、道路养护等级和工期；
- 2 工程地质、水文地质和作业环境分析；
- 3 重难点分析和应对措施；
- 4 依据的标准、规范和技术文件；
- 5 测线布设及工作量；
- 6 仪器设备和人员组织；
- 7 进度计划和质量保证；
- 8 安全作业保障措施；
- 9 拟提交的成果内容。

6 探测方法

6.1 一般规定

6.1.1 城镇道路塌陷隐患探测方法应满足下列条件：

- 1 塌陷隐患激发的异常场应容易被观测，且干扰因素激发的异常场容易被识别；
- 2 塌陷隐患应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 选用的地球物理方法应符合探测环境要求。

6.1.2 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时宜采用多种方法综合探测。

6.1.3 城镇道路塌陷隐患探测方法或方法组合宜根据探测目的按表 6.1.3 确定。

6.1.4 城镇道路塌陷隐患探测测线布置应符合下列规定：

- 1 测线宜沿道路行进方向布置；
- 2 测线布置应覆盖整个测区；
- 4 应根据道路宽度和测线宽度计算测线条数；
- 5 测线宜延伸至交叉路口中间位置；
- 6 复测测线宜布设两个不同的方向。

6.1.5 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 1:200~1:2000。

6.1.6 城镇道路塌陷隐患探测应按照不同探测方法和工程性质及时填写现场记录，记录内容应清晰、准确、完整，探测记录表格式应符合本标准附录 A 的规定。

6.1.7 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。

表 6.1.3 探测方法的适用性

探测方法 \ 塌陷隐患	类型				埋藏深度 D	适用条件	优点	缺点
	脱空	空洞	疏松体	富水体				
二维探地雷达法	●	●	●	●	$D \leq 5.0\text{m}$	大面积普测，路面平坦、干燥、无积水。	快速，分辨率较高，不影响交通。	探测深度较浅。
三维探地雷达法	●	●	●	●	$D \leq 3.0\text{m}$	大面积普测，路面平坦、干燥、无积水。	快速，分辨率高，不影响交通，结果直观，不易误判。	探测深度浅。
高密度电阻率法	-	●	○	●	$3.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$	局部探测，接地条件良好，地下无电阻屏蔽层。	探测深度较大。	对路面局部破坏，效率低，分辨率低，交通影响大。
瞬态面波法	-	●	●	-	$3.0\text{m} < D \leq 20.0\text{m}$	局部探测，震动干扰小。	探测深度较大。	效率低，分辨率低，交通影响大。
地震反射波法	○	●	○	-	$D \leq 20.0\text{m}$	局部探测，无陡立面。	探测深度较大。	效率低，分辨率低，交通影响大。
瞬变电磁法	-	●	○	●	$3.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$	局部探测，无强电磁干扰。	探测深度较大。	效率低，分辨率低，交通影响大。

注：●—推荐；○—可选；- —不推荐。

6.2 二维探地雷达法

6.2.1 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。

6.2.2 车行道的塌陷隐患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可使用人工牵引的便携式探地雷达设备。

6.2.3 城镇道路塌陷隐患探测应选用 100MHz~600MHz 屏蔽型多频段雷达天线。

6.2.4 车载探地雷达应选择不低于两种频段的的天线,并宜保证 100MHz~200MHz 频段和 200MHz~600MHz 频段天线至少各一副。

6.2.5 城镇道路塌陷隐患探测中,探地雷达的设计探测深度及深度分辨率应由天线中心频率确定,并应符合表 6.2.5 的要求。

表 6.2.5 天线中心频率与最大探测深度和分辨率的关系

中心频率 (MHz)	最大探测深度 (m)	深度分辨率 (m)
600	1.0	≤ 0.833
500	1.5	≤ 0.100
400	2.0	≤ 0.125
300	2.5	≤ 0.167
200	3.0	≤ 0.250
100	5.0	≤ 0.500

6.2.6 探地雷达仪器设备的主要指标性能应满足下列要求:

- 1 雷达扫描速率不应小于 300 线/s;
- 2 系统动态范围不应小于 120dB;
- 3 信噪比不应小于 110dB;
- 4 定位误差不应大于 0.5m;
- 5 短期幅度稳定性不应大于 3%;
- 6 长期幅度稳定性不应大于 5%;

7 时基精度不应大于 0.02%。

6.2.7 探地雷达工作环境与要求应满足下列条件：

- 1 环境温度应在-20℃~50℃范围内；
- 2 探测作业面应无雨雪或积水。

6.2.8 探地雷达测线布设应符合下列规定：

- 1 探测城镇道路时，测线宜沿车道行进方向布设；
- 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，测线宜在其正上和斜上部位，沿轴线方向布设。

6.2.9 探地雷达天线主频选择应符合探测深度和精度的要求，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。

6.2.10 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：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.2.10)$$

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。

6.2.11 探地雷达法的横向分辨率宜按下式计算：

$$x' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (6.2.11)$$

式中： x' ——横向分辨率（m）；

λ ——电磁波波长（m）；

h ——深度（m）。

6.2.12 正式探测前应根据探测深度和精度要求，通过参数试验确定天线主频、采集方式和采集参数。

6.2.13 探地雷达采样点数宜设置为 1024 点，采样率宜设置为雷达主频的 20 倍。

6.2.14 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，记录时窗可按下式计算：

$$T = K \frac{2H}{c} \quad (6.2.14)$$

式中： T ——记录时窗（ns）；

K ——加权系数，取 1.3~1.5；

H ——最大探测深度（m）；

c ——电磁波在空气中的传播速度（m/ns），取 0.3。

6.2.15 探地雷达法数据采集应符合下列规定：

- 1 当采用测距轮触发采集时，采集前应对测距轮距离精度进行标定；
- 2 当采用时间触发连续采集时，雷达移动速度应均匀；
- 3 初测时道间距不宜大于 5.0cm，复测时道间距不宜大于 2.0cm；
- 4 当发现疑似塌陷隐患时，应进行标记，并及时进行复核；
- 5 当不满足探测条件时，应记录其位置和范围，待具备探测条件后补充探测；
- 6 测线轨迹定位时，应合理设置基准点，并进行定点测量验证。

6.2.16 影响探地雷达探测的主要干扰源可按下列因素统计：

- 1 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；
- 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、架空输电线缆、信号发射塔、地下电缆等。

6.2.17 现场采集数据质量检查和评价应符合下列规定：

- 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。

6.2.18 探地雷达法数据处理应符合下列规定：

- 1 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；
- 2 应对自由连续采集的数据进行水平距离归一化处理；
- 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 改变反射信号的振幅特征宜在其它方法处理完后进行。

6.2.19 探地雷达法塌陷隐患可按表 6.2.19 典型特征进行识别。

表 6.2.19 探地雷达塌陷隐患典型特征

塌陷隐患		波组特征	振幅	相位与频谱
空洞		<ol style="list-style-type: none"> 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 绕射波明显 	整体振幅强，雷达波衰减很慢	<ol style="list-style-type: none"> 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
脱空		<ol style="list-style-type: none"> 1 顶部一般形成连续反射波组，似平板状形态 2 多次波、绕射波较明显 	整体振幅强，雷达波衰减很慢	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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		<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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

6.2.20 探地雷达资料解释应符合下列规定：

- 1 宜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；
- 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译。

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

6.3 三维探地雷达法

6.3.1 三维探地雷达适用于地下 3.0m 以内的道路塌陷隐患探测，天线主频宜在 200MHz~600MHz 之间，对应探测深度和分辨率可参照表 6.2.5。

6.3.2 三维探地雷达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内容：

- 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。

6.3.3 三维探地雷达系统应包括雷达主机、天线阵列、采集触发装置、定位测量装置、采集控制软件、数据处理软件。

6.3.4 三维探地雷达硬件主要性能指标应符合下列要求：

- 1 系统增益应大于或等于150dB；
- 2 信噪比应大于或等于110dB；
- 3 动态范围应大于或等于160dB；
- 4 工作温度宜为-20℃~60℃；
- 5 雷达通道数应大于或等于8；
- 6 通道间距应小于或等于地下介质中波长的1/4；
- 7 扫描速度应不低于20km/h；
- 8 各通道时间不一致性应小于1%FS；
- 9 各通道幅度不一致性应小于2%FS。

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

6.3.6 影像记录设备应符合下列规定：

- 1 应至少安装在检测平台前、后、右3个方向；
- 2 分辨率应大于或等于1080P；
- 3 应具有夜视功能；
- 4 帧率应大于或等于25帧/s。

6.3.7 三维探地雷达采集控制软件应满足下列要求：

- 1 应具备调整时间窗口、道间距和硬件增益功能；
- 2 应具备实时显示定位坐标和定位状态功能；
- 3 应具备各通道数据实时显示或切换通道实时显示功能；
- 4 应具备雷达检测轨迹或轨迹切片实时显示功能；
- 5 应具备雷达速度限制提示、当前移动速度提示、速度预警和超速提醒功能；
- 6 应具备实时测线轨迹轮廓交叠预警和交叠提醒功能；
- 7 应具备雷达数据和定位数据实时采集、存储、显示功能。

6.3.8 三维探地雷达数据处理软件应满足下列要求：

- 1 应具备顺延道路方向切片显示功能；
- 2 应具备垂直道路方向切片显示功能；
- 3 应具备水平切片与地图轨迹叠加显示功能；
- 4 应具备可沿任意方向剖切显示功能；
- 5 应具备测线轨迹编辑和修正功能；
- 6 应具备塌陷隐患几何属性量取功能；
- 7 应具备三个切片方向独立信号处理功能；
- 8 应具备各切片之间塌陷隐患关联定位功能；
- 9 应支持导出CAD工程图；
- 10 应支持在线和离线地图切换。

6.3.9 搭载三维探地雷达系统的检测车辆应为经过备案的专项作业车，并应配备警示标志和警示灯具。

6.3.10 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 5cm。

6.3.11 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 测线束应延长至路口中间位置；
- 3 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。

6.3.12 三维探地雷达数据质量应满足以下要求：

- 1 测区数据覆盖率达到100%；
- 2 深度方向上目标信号跟直达波重叠时，应使用更高频率天线重新采集；
- 3 数据丢道超过10%时，应降低移动速度，对该区域重新进行数据采集；
- 4 定位信息偏离道路，造成测线轨迹混叠时，应重新采集混叠区域数据。

6.3.13 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。

6.3.14 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。

6.3.15 三维探地雷达数据解释应根据顺延切片上的相位、幅度、同相轴连续性，以及垂直切片和水平切片上的轮廓形态特征来综合分析判定。

6.3.16 三维探地雷达常见地下目标可按表 6.3.16 典型特征进行识别。

表 6.3.16 常见地下目标三维探地雷达典型特征

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

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
	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

6.3.17 三维探地雷达数据解释结果应结合视频记录信息、现场调查信息，排除地上干扰、地下干扰和电磁干扰后综合确定。

6.3.18 三维探地雷达数据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。

6.4 高密度电阻率法

6.4.1 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 塌陷隐患深度大于 3.0m；
- 2 塌陷隐患与周围介质之间存在明显的电阻率差异；
- 3 探测区内表层没有电阻屏蔽层；
- 4 探测区内没有强干扰存在；
- 5 探测区域不受交通影响；
- 6 探地雷达法无法覆盖的局部区域。

6.4.2 富水体、管道漏水点、人防、地下水位探测宜使用高密度电阻率法进行探测。

6.4.3 在路面存在明显沉降和裂缝时，探地雷达探测后未发现异常，可使用高密度电阻率法进行进一步探测。

6.4.4 高密度电阻率法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。

6.4.5 影响高密度电阻率法探测的主要干扰源包括金属管线、地下电缆、金属井盖等。

6.4.6 高密度电阻率法外业探测记录表见附录 A.0.2 高密度电阻率法外业探测记录表。

6.4.7 高密度电阻率法仪器设备的主要技术指标、测线布置、数据采集、资料解释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。

6.5 瞬态面波法

6.5.1 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 塌陷隐患深度大于 3.0m；
- 2 塌陷隐患与其周边介质之间应存在速度或波阻抗差异；
- 3 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；
- 4 探测区域不受交通影响；
- 5 探地雷达法无法覆盖的局部区域。

6.5.2 深层地下管道、地下岩溶、道路地质结构宜使用瞬态面波法进行探测。

6.5.3 在路面存在明显沉降和裂缝时，探地雷达探测后未发现异常，可使用瞬态面波法进行进一步探测。

6.5.4 瞬态面波法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。

6.5.5 瞬态面波法震源宜用锤击震源或电子震源。

6.5.6 影响瞬态面波法探测的主要干扰源包括行驶中的交通工具、地下管线、管沟、井室、地下通道、地下防空洞等。

6.5.7 瞬态面波法外业探测记录表见附录 A.0.3 瞬态面波法外业探测记录表。

6.5.8 瞬态面波法仪器设备的主要技术指标、测线布置、数据采集、资料解释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。

6.6 地震反射波法

6.6.1 地震反射波法探测塌陷隐患应具备下列条件：

- 1 塌陷隐患深度大于 3.0m；
- 2 塌陷隐患与周围介质之间存在明显波阻抗差异；
- 3 塌陷隐患的长度或宽度与其埋藏深度之比不宜小于 0.1；
- 4 探测区域不受交通影响；
- 5 探地雷达法无法覆盖的局部区域。

- 6.6.2** 探测道路地下岩溶、道路地下采空区时，宜使用地震反射波法进行探测。
- 6.6.3** 在路面存在明显沉降和裂缝时，探地雷达探测后未发现异常，可使用地震反射波法进行进一步探测。
- 6.6.4** 地震反射波法测线宜沿道路或隔离带边缘布设。
- 6.6.5** 地震反射波法震源宜用锤击震源或电子震源。
- 6.6.6** 影响地震反射波法探测的主要干扰源包括行驶中的交通工具、地下管线、管沟、井室、地下通道、地下防空洞等。
- 6.6.7** 地震反射波法外业探测记录表见附录 A.0.4 地震反射波法外业探测记录表。
- 6.6.8** 地震反射波法仪器设备的主要技术指标、测线布置、数据采集、资料解释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。

6.7 瞬变电磁法

- 6.7.1** 瞬变电磁法探测塌陷隐患应具备下列条件：
- 1 塌陷隐患深度大于 3.0m；
 - 2 塌陷隐患与周边介质之间存在明显电性差异；
 - 3 测区内地表平坦；
 - 4 测区内没有强电磁干扰；
 - 5 探测区域不受交通影响；
 - 6 探地雷达法无法覆盖的局部区域。
- 6.7.2** 探测含水地质如岩溶洞穴与通道、煤矿采空区、深部不规则水体时，宜使用瞬变电磁法。
- 6.7.3** 在路面存在明显沉降和裂缝时，探地雷达探测后未发现异常，可使用瞬变电磁法进行进一步探测。
- 6.7.4** 瞬变电磁法探测干扰源主要包括电视信号塔、通信基站、高压线、变电站、井盖、临近的车辆等。
- 6.7.5** 瞬变电磁法外业探测记录表见附录 A.0.5 瞬变电磁法外业探测记录表。
- 6.7.6** 瞬变电磁法仪器设备的主要技术指标、测线布置、数据采集、资料解释应符合现行行

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。

7 验证与成因调查

7.1 塌陷隐患验证

7.1.1 城镇道路塌陷隐患探测成果的验证应符合下列规定：

- 1 验证前，应进行地下设施辨识，确保验证点位避开地下设施；
- 2 验证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；
- 3 应确定塌陷隐患的类型、埋深、范围等信息。

7.1.2 城镇道路塌陷隐患验证点的数量应符合下列规定：

- 1 空洞、脱空塌陷隐患宜全部验证；
- 2 其他塌陷隐患的验证数量不宜少于总数的 20%，少于 3 处时应全部验证。

7.1.3 采用钻探法验证时应符合下列规定：

1 验证点宜选在塌陷隐患异常反映最强位置，隐患规模较大时，宜结合现场条件增加钻孔点数量；

- 2 钻探后宜进行标准贯入试验，对土体密实程度进行判别；
- 3 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；
- 4 钻孔结束后，应及时封孔，回填材料的结构强度应高于原结构强度。

7.1.4 现场不具备钻探实施条件时，可采用其它物探方法进行复核。

7.1.5 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。

7.1.6 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。

7.1.7 塌陷隐患验证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。

7.2 成因调查

7.2.1 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依据。

7.2.2 塌陷隐患形成原因调查应包括但不限于表 7.2.2 所列类型。

表 7.2.2 塌陷隐患形成原因分类

成因分类	诱发事件
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、基坑开挖
构筑物影响	管线破损、人防坍塌、井壁破损
运营维护影响	运营维护不当、超载、超过设计年限

7.2.3 宜将钻探结果、开挖结果与管道影像法、三维激光扫描法的探测结果相结合，对塌陷隐患成因进行综合判定。

7.2.4 地下管网密集区域的塌陷隐患可使用管道影像法检测周围管道的缺陷情况。

7.2.5 管道影像法检测塌陷隐患周围管道缺陷的具体操作应符合《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ181 的相关规定。

7.2.6 验证结果为空洞的塌陷隐患成因分析宜使用三维激光扫描法对空洞内部结构进行扫描。

7.2.7 采用三维激光扫描法对地下空洞内部结构进行扫描的具体操作应符合《地面三维激光扫描法作业技术规程》CH/Z 2017 的相关规定。

7.2.8 城镇道路塌陷隐患成因调查宜按图 7.2.8 规定的流程进行。

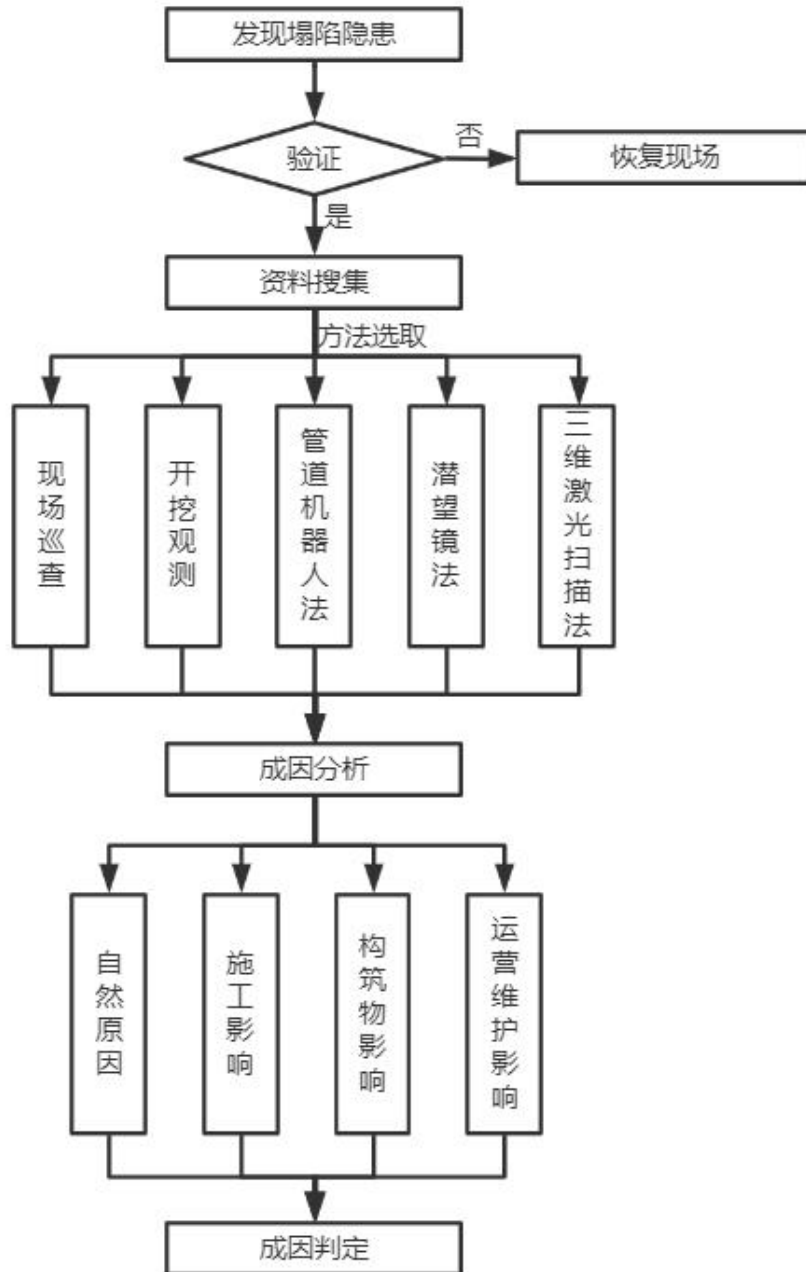


图 7.2.8 塌陷隐患成因分析流程

7.2.9 塌陷隐患成因调查结果宜包含地球物理探测结果、钻孔或开挖结果、影像或三维激光扫描结果及成因调查结论。

8 风险评估与预警

8.1 一般规定

- 8.1.1** 塌陷隐患和道路区间应分别进行塌陷风险评估与分级。
- 8.1.2** 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。
- 8.1.3** 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。
- 8.1.4** 当评估条件发生变化时，应重新进行塌陷风险评估。
- 8.1.5** 塌陷隐患风险等级和道路塌陷风险等级计算可参照本标准附录 C 进行。
- 8.1.6** 塌陷隐患风险等级和道路塌陷风险等级应分为红、橙、黄、蓝四个级别进行预警和风险管控。
- 8.1.7** 塌陷隐患风险等级达到 III 级（黄色）以上级别时，宜进行路面承载力评估。
- 8.1.8** 道路塌陷风险等级达到 III 级（黄色）以上级别时，应进行探测以排除风险。

8.2 风险发生可能性评估

8.2.1 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、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。

8.2.2 塌陷隐患净深风险系数 r_d 应根据塌陷隐患净深 d 按表 8.2.2 取值。

表 8.2.2 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

8.2.3 塌陷隐患面积风险系数 r_s 应根据其面积 S 按表 8.2.3 取值。

表 8.2.3 塌陷隐患面积风险系数 r_s 取值

S (㎡)	r_s
$0 \leq x < 3$	[0~0.4)
$3 \leq x < 10$	[0.4~0.7)
$10 \leq x < 15$	[0.7~0.9)
$15 \leq x < 30$	[0.9~1.0)
$x \geq 30$	1.0

8.2.4 塌陷隐患覆跨风险系数 r_k 应根据覆跨比 k 按表 8.2.4 取值。

$$k = \frac{h_0}{L} \quad (8.2.4)$$

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 8.2.4 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)
$0.5 < k \leq 1.0$	[0.7~0.9)
$0 \leq k \leq 0.5$	[0.9~1.0]

8.2.5 塌陷隐患成因风险系数 r_c 应按表 8.2.5 取值，应根据严重程度在对应取值区间内取值，同时满足多项成因时， r_c 取其中的较大值。

表 8.2.5 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
[0.1~0.3)	地表水下渗、地下水作用、冻融影响
[0.3~0.5)	井壁破损、深基坑开挖、运维不当、超载、超过设计年限
[0.5~0.8)	地铁施工、顶管施工
[0.8~1.0)	管线破损、人防坍塌

8.2.6 塌陷隐患处置风险系数 r_z 应根据处置情况按表 8.2.6 取值。

表 8.2.6 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

8.2.7 塌陷隐患时间风险系数 r_t 应按下式进行计算。

$$r_t = \frac{t_0}{P} \quad (8.2.7)$$

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）。

8.2.8 塌陷隐患风险发生可能性指数 r 应按下式计算，并根据计算结果按表 8.2.8 划分等级。

$$r = (0.25r_d + 0.25r_s + 0.25r_k + 0.25r_c) * r_z \quad (8.2.8)$$

表 8.2.8 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	风险发生可能性描述
<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

8.2.9 道路塌陷风险发生可能性指数 R 应按下式计算，并根据计算结果按表 8.2.9 划分等级。

宜按 1000 米长度划分道路区间，计算道路塌陷风险发生可能性指数。

$$R = \sum_{i=1}^n (r_i) / L_{rd} + r_t \quad (8.2.9)$$

式中， r_i —第 i 个塌陷隐患的风险指数，按式 8.2.8 计算；

n —道路区间塌陷隐患数量；

L_{rd} —道路区间长度；

r_t —时间风险系数。

表 8.2.9 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	风险发生可能性描述
<i>A</i>	$R \geq 7$	塌陷可能性很高
<i>B</i>	$5 \leq R < 7$	塌陷可能性较高
<i>C</i>	$2 \leq R < 5$	塌陷可能性中等
<i>D</i>	$0 < R < 2$	塌陷可能性较小

8.3 风险等级划分

8.3.1 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。

8.3.2 道路重要性宜根据《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 的规定，划分为下列三个等级：

1 一级：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：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：除一级道路、二级道路以外的支路。

8.3.3 塌陷隐患风险等级宜按表 8.3.3 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 8.3.3 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
a	I	I	II
b	I	II	III
c	II	III	IV
d	III	IV	IV

8.3.4 道路塌陷风险宜按表 8.3.4 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 8.3.4 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

8.4 风险预警

8.4.1 风险控制建议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。

8.4.2 塌陷隐患风险控制建议宜符合表 8.4.2 的规定。

表 8.4.2 塌陷隐患风险控制建议

风险等级	预警级别	风险控制建议
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
----	----	------------------------------------

8.4.3 道路塌陷风险控制建议宜符合表 8.4.3 的规定。

表 8.4.3 道路塌陷风险控制建议

风险等级	预警级别	风险控制建议
I	红色	1 探测周期内： 立即封闭围挡 立即工程处理； 2 探测周期外： 立即组织探测
II	橙色	1 探测周期内： 设置警示标志 尽快工程处理 每日巡视 1 次 2 探测周期外： 尽快组织探测
III	黄色	1 探测周期内： 设置警示标志 每周巡视 1 次 2 探测周期外： 尽快组织探测
IV	蓝色	每月巡视一次

8.4.4 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。

9 探测成果管理与应用

9.0.1 探测成果管理与应用应包括探测数据管理、成果数字化管理和智能化应用等内容。

9.0.2 探测成果管理与应用应以数据库软件为基础，对塌陷隐患数据、塌陷事故信息、道路环境资料、现场影像资料和工程处理资料进行数字化管理。

9.0.3 塌陷隐患数据应包括塌陷隐患空间位置、编号、属性、影像资料、成因分析、处置建议等。

9.0.4 塌陷隐患编号宜采用“行政区编号+探测时间+探测路段+探测方法+塌陷隐患编号”五段代码组合，并应符合下列规定：

1 行政区编号应符合现行国家标准《中华人民共和国行政区划代码》GB/T 2260 的规定；

2 探测时间应采用八位数字表示，包含探测年月日；

3 探测路段应采用路段名称首字母表示；

4 探测方法应采用探测方法首字母表示；

5 每条路的塌陷隐患从“01”开始编号；

6 同一个行政区的塌陷隐患编号应具有唯一性。

9.0.5 数字化平台的数据库构建应符合下列规定：

1 应具有海量空间数据存储能力；

2 应支持空间数据和属性数据的统一存储；

3 数据入库前应进行质量检查；

4 数据应及时更新，并具备历史数据对比分析能力。

9.0.6 数字化平台的数据库的构建还应符合现行国家标准《基础地理信息城市数据库建设规范》GB/T 21740 的相关规定。

9.0.7 数字化平台的安全设计应符合现行国家标准《信息系统安全等级保护基本要求》GB/T 22239 的相关规定。

9.0.8 数字化平台的信息交换与应用服务应符合现行行业标准《城市基础地理信息系统技术规范》CJJ 100 的相关规定。

9.0.9 数字化平台建设和数据管理应符合国家、湖南省保密部门和行业主管部门的信息保密规定。

10 探测报告编制

10.0.1 应编制道路塌陷隐患探测报告，报告应内容全面、文字简练、结论明确、建议清晰、图表齐全，具体宜包括下列内容：

- 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 数据处理与解译；
- 7 塌陷隐患成因分析；
- 8 塌陷隐患风险评估；
- 9 道路区间风险评估；
- 10 塌陷处置方案分析
- 11 结论与建议；
- 12 成果图件。

10.0.2 探测报告的插图、插表宜包括方法原理图、典型曲线图、典型剖面图、对比分析图、工作量表、物性参数表、仪器技术参数表、成果解释列表和探测数据列表。

10.0.3 成果图件应符合下列规定：

- 1 成果图件应包括测线布设图、数据剖面图和塌陷隐患信息卡；
- 2 测线布设图应标明测线、验证点、起讫点的平面位置和编号；
- 3 数据剖面图应包括原始数据剖面图和成果解释剖面图；
- 4 塌陷隐患信息卡应符合本标准附录B的规定。

10.0.4 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。

10.0.5 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 C 道路塌陷风险等级计算表

塌陷风险发生可能性等级计算表									
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	可能性等级	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：									

本标准用词说明

1 为便于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”。
- 2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，可采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《中华人民共和国行政区划代码》 GB/T 2260
- 2 《基础地理信息城市数据库建设规范》 GB/T 21740
- 3 《信息系统安全等级保护基本要求》 GB/T 22239
- 4 《给水排水管道工程施工及验收规范》 GB 50268
- 5 《城市道路施工作业交通组织规范》 GA/T 900
- 6 《城镇道路工程施工与质量验收规范》 CJJ 1
- 7 《城市测量规范》 CJJ/T 8
- 8 《城镇道路养护技术规范》 CJJ 36
- 9 《城市基础地理信息系统技术规范》 CJJ 100
- 10 《城镇排水管道检测与评估技术规程》 CJJ181
- 11 《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》 CJJ/T 210
- 12 《道路深层病害非开挖处治技术规程》 CJJ/T 260
- 13 《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》 JGJ/T 437
- 14 《地面三维激光扫描法作业技术规程》 CH/Z 2017

湖南省工程建设标准

**城镇道路塌陷隐患探测和风险评估预警技
术标准**

DB×-20××

条文说明

编制说明

《城镇道路塌陷隐患探测和风险评估预警技术标准》（DBX -20XX），经湖南省住房和城乡建设厅 年第 号公告批准发布。

本标准在制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了湖南省内城镇道路塌陷隐患探测风险评估预警的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，对本标准内容反复讨论、分析和论证，取得了重要技术参数。

为便于广大设计、施工、探测、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，《城镇道路塌陷隐患探测和风险评估预警技术标准》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	45
2 术语与符号	46
2.1 术语.....	46
3 基本规定	47
4 探测分类	48
4.1 定期探测.....	48
5 前期准备	49
6 探测方法	50
6.1 一般规定.....	50
6.2 二维探地雷达法.....	50
6.3 三维探地雷达法.....	51
7 验证与成因调查	56
7.1 风险验证.....	56
8 风险评估与预警	57
8.1 一般规定.....	57
8.2 风险发生可能性评估.....	57
9 探测成果管理与应用	58
10 探测报告编制	59

1 总则

1.0.2 根据湖南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,确定 30m 深度探测范围。30m 深度以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 30m 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行维护的重要组成部分,是保障城市公共安全的重要措施。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 术语与符号

2.1 术语

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面层下方，一般表现为平面尺寸大于垂向高度特点。

2.1.5 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 0.5m 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，为便于塌陷隐患定性、更好地指导探测和养护工作，本术语对空洞净空高度按大于等于 0.5m 进行了划分。

3 基本规定

3.0.1 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。

3.0.2 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。

3.0.3 塌陷隐患探测所采用的初测和复测方式对应了不同的探测阶段，当工程较小或工作量小时，建议直接采用复测的方式。

1 初测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、地面明显变形区和初测中发现的疑似塌陷隐患异常区域等。

3.0.5 由于道路塌陷隐患严重威胁市民人身和财产安全，而地球物理技术探测技术难度高、安全责任大。因此，为规范探测技术、保证探测质量，应该选用具备政府行政许可的检验检测资质及地质灾害防治相关资质的单位进行探测作业。

3.0.7 城镇路面下方存在国防光缆、人防设施等保密设施，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。

4 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，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。

4.1.3 多期数据对比是由静态检测升级为动态监测的必要手段，路基土体变化率需要保持计算方式的一致性，建议由计算机自动运算。

5 前期准备

5.0.2 道路塌陷隐患成因复杂，收集到丰富资料，有助于判断隐患成因，有利于在修复时更好地根治塌陷隐患。

6 探测方法

6.1 一般规定

6.1.1 本标准推荐的地球物理方法包括探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、地震反射波法和瞬变电磁法，塌陷隐患本身的参数差异、规模及现场的实施条件是进行探测工作的前提。

1 塌陷隐患尺寸相对于其埋藏深度或探测距离应具有一定的规模，以塌陷隐患产生的异常信号能被准确探测和识别为准。一般要求塌陷隐患尺寸相对于其埋藏深度或探测距离之比要大于 1: 10;

2 地球物理性质差异包括介电差异、电阻率差异、波阻抗差异等;

3 不同的地球物理方法对探测的实施条件有不同的要求，例如探地雷达法要求避开强电磁干扰、地震方法避开强震干扰等。

6.1.3 本条规定了塌陷隐患探测可供选择的工作方法，叙述了探测方法的应用范围，每种探测方法都有自己的适用条件和适用范围，针对性地选择探测方法，可以取得事半功倍的效果。

采用探地雷达法时，普查阶段应以三维雷达为主；详查阶段宜以双频或多频二维雷达为主；满足管中探地雷达工作的开放式管道，宜使用管中探地雷达作为辅助探测手段。

根据各地区的地下介质介电性质差异，探地雷达可探测地下 7.0m 深度范围内的塌陷隐患，在地下水位较高或介质含水率较高时，探地雷达的信号衰减加剧，有效探测深度会减小。高密度电阻率法、瞬态面波法、地震反射波法、瞬变电磁法发射波形频率较低，探测深度较大，可达几百米上千米，但是分辨率较低且在浅层有盲区，适合探测埋深较大且规模较大的塌陷隐患。

在城市塌陷隐患探测中，当要求探测深度不大于 7.0m，探测环境相对简单时，优先采用探地雷达法；当要求探测深度较大时，建议采用探地雷达法探测 7.0m 以内的塌陷隐患，采用其他有效的物探方法探测深部的塌陷隐患，而当探测环境复杂时，建议采用多种方法进行组合探测。

6.2 二维探地雷达法

6.2.1 探地雷达法是基于电磁辐射原理探测地下塌陷隐患的，如果含水率较高，或土质中有铁磁性物质时，会导致塌陷隐患上方介质电导率较大，从而影响雷达的辐射效应。

6.2.3 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，在实际探测中应考虑探测深度和分辨率要求，充分了解探测区域地下介质的介电性质和环境干扰的影响因素。

6.2.8 本条对探地雷达法测线的布设进行了规定。

1 在城镇道路上进行探测时，机动车道应采用车辆拖曳的形式进行探测，非机动车道一般采用人拖拉的方式进行探测，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；

2 在隧道、管道内部进行探测时，考虑到塌陷隐患可能位置，建议在隧道、管道正上和斜上部位沿轴线布设测线。

6.2.15 本条对探地雷达法探测有影响的干扰源分为三类，并列出了一些典型的具体干扰源。


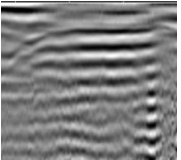
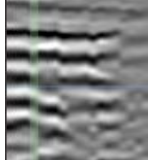

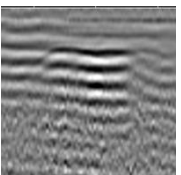
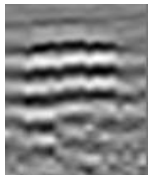

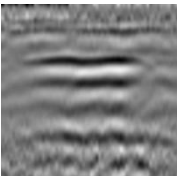
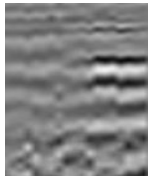

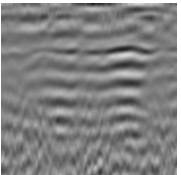

6.2.18 本条对探地雷达数据处理进行了规定，数据处理的目的是压制干扰、突出有效目标的信号，应根据干扰的类型或需要的图像效果合理选择数据处理方法，对数据处理的参数应有足够的理解，避免过度处理。

6.2.19 根据疏松程度的不同，相应的风险等级及其处置措施差别也较大，故疏松体分为严重疏松体和一般疏松体两个等级。

6.3 三维探地雷达法

6.3.16 三维探地雷达塌陷隐患解译可以参考表 1，地上和地下干扰排除可以参考表 2。

表 1 塌陷隐患分类及其三维探地雷达图谱特征

塌陷隐患		图像特征					振幅	相位与频谱	
		水平切片	顺延切片		垂直切片				
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		倒悬双曲线形态或平板状形态, 两端绕射波较明显		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	严重疏松体	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, 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
	一般疏松体			平板状形态, 绕射波不明显		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


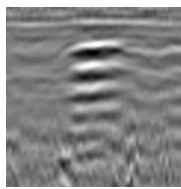

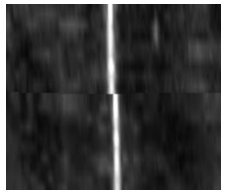
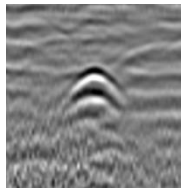

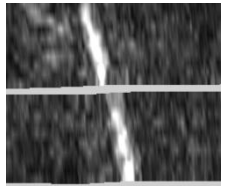
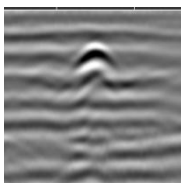
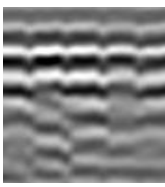

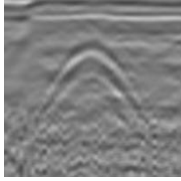
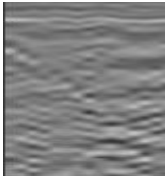
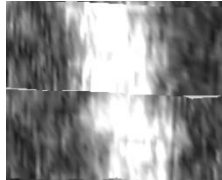
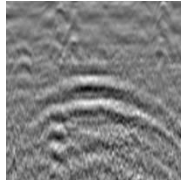
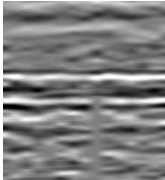

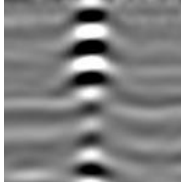
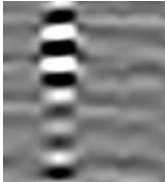
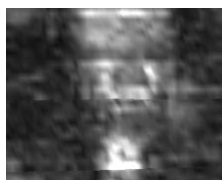
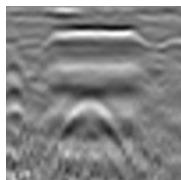
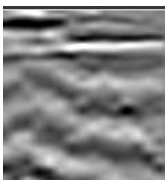

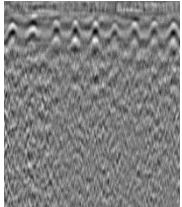
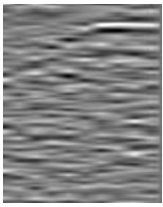

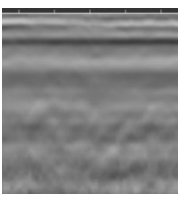
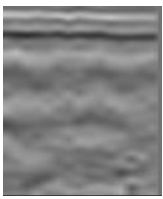
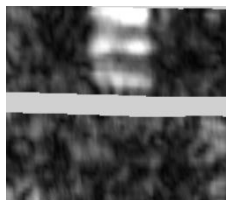
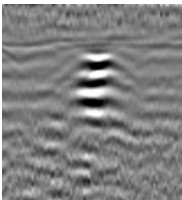
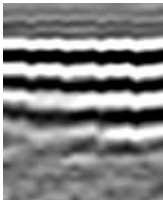
塌陷隐患	图像特征					振幅	相位与频谱	
	水平切片		顺延切片		垂直切片			
富水体	不规则多边形, 反射强度与周围明显不连续		平板状形态, 绕射波不明显		平板状形态, 绕射波不明显		振幅强	顶部反射波与入射波反向, 底部反射波与入射波同向; 频率低于背景场

表 2 干扰目标分类及其三维探地雷达图谱特征

异常体	图像特征					振幅	相位与频谱	
	水平切片		顺延切片		垂直切片			
金属管线	线状延伸分布, 反射强度与周围明显不连续		倒悬双曲线形态 多次波明显		同相轴连续 多次波明显		振幅强	反射波与入射波反向 频率高于背景场
非金属管线	线状延伸分布, 反射强度与周围较不连续		倒悬双曲线形态 多次波不明显 绕射拖尾短		同相轴连续		振幅较强	反射波与入射波同向 频率高于背景场

异常体	图像特征					振幅	相位与频谱
	水平切片		顺延切片		垂直切片		
灯杆	线状投影		倒悬双曲线形态 绕射拖尾较长		倒悬双曲线一半形态		振幅略强 反射波与入射波反向 频率略高于背景场
过街天桥	条带状延伸分布, 反射强度与周围较不连续		倒悬双曲线形态 多次波明显 绕射拖尾较长		同相轴连续 多次波明显		振幅较强 反射波与入射波同向 频率高于背景场
井盖	圆形亮斑, 反射强度与周围极不连续		从地面开始 多次反射极强		从地面开始 多次反射强烈		振幅极强 相位不适用 频率高于背景场
井室	矩形, 反射强度与周围不连续		平板状形态 绕射拖尾较长		平板状形态 拖尾不明显		振幅较强 顶部反射波与入射波同向 频率高于背景场

异常体	图像特征						振幅	相位与频谱
	水平切片		顺延切片		垂直切片			
钢筋网	网格状分布, 反射强度与周围明显不连续		密集双曲线形态 绕射拖尾较长		密集双曲线形态 绕射拖尾较长			反射波与入射波同向频率高于背景场
道路分层	均匀平面分布		同相轴连续 无绕射拖尾		同相轴连续 无绕射拖尾			反射波与入射波同向频率略高于背景场
箱涵	条带状延伸分布, 反射强度与周围较不连续		平板状形态 绕射拖尾较长		同相轴连续 多次波明显		振幅较强	顶部反射波与入射波同向频率高于背景场

7 验证与成因调查

7.1 风险验证

7.1.2 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，故应全部验证。

7.1.3 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。

7.1.4 对采用单一方法探测的塌陷隐患，当场地不具备直观方法验证条件时，选用其他物探方法进行探测，可以从另一个角度增加塌陷隐患的可信度。

8 风险评估与预警

8.1 一般规定

8.1.1 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。

8.2 风险发生可能性评估

8.2.2~8.2.7 根据湖南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、塌陷隐患随时间变化规律，综合确定各项塌陷风险系数。

8.2.8、8.2.9 风险指数划分根据长沙市、株洲市、湘潭市和周边地质结构相近省份的塌陷隐患案例进行了计算，案例计算结果与直观经验结果基本一致。

8.2.9 路段宜取相邻两个路口之间，长度超过 1000m 时，宜划分为若干个不大于 1000m 的区间，分别进行评估，以提高评估结果的精度。

9 探测成果管理与应用

9.0.1 城镇道路塌陷隐患严重威胁到居民出行安全,已经成为影响居民安全感和幸福感的一个重要问题。随着智慧城市建设的推进和信息技术的发展,技术上实现道路安全的智能化管理已经可行。通过对相关信息的智能化管理,有助于提高防灾减灾工作效率、提升防灾减灾工作水平。

10 探测报告编制

10.0.1 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。

10.0.5 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。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。