

城镇道路地下病害体探测技术标准

Technical standard of underground disasters detection for urban road

2019-02-27 发布

2019-05-01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

山东省工程建设标准

城镇道路地下病害体探测技术标准

Technical standard of underground disasters detection for urban road

DB37/T 5135—2019

主编单位：山东正元地球物理信息技术有限公司

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：2019 年 05 月 01 日

2019 北京

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局关于印发《2018 年第一批山东省工程建设标准制修订计划》的通知（鲁建标字〔2018〕9 号）的要求，标准编制组认真总结实践经验，经过深入调查研究和广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 地球物理探测方法；5 地下病害体验证；6 地下病害体风险分级；7 报告编制与信息化管理。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东正元地球物理信息技术有限公司负责具体技术内容的解释。如有意见或建议，请寄送山东正元地球物理信息技术有限公司（地址：济南市高新区颖秀路 3366 号；邮编：250101；电话：0531-66770701）。

主编单位：山东正元地球物理信息技术有限公司

参编单位：正元地理信息有限责任公司

山东正元工程检测有限公司

山东大学

山东交通学院

中电科（青岛）电波技术有限公司

山东泉建工程检测有限公司

济南市勘察测绘研究院

淄博市城建档案和地下管线管理处

主要起草人员：张善法 李学军 李术才 张顺东 孙怀凤 于景兰

赵宪堂 韩延礼 陈允泉 张鲁刚 史美纯 欧阳伟

史 红 邢方亮 武丰雷 迟炳章 刘智江 葛颜慧

李卫东 刘甲军 尹纪超

主要审查人：刘元生 刘俊岩 陈昌彦 武道吉 于师建 徐华文

扶涛涛 王怀洪 连 峰

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	2
3 基本规定.....	4
4 地球物理探测方法.....	7
4.1 一般规定.....	7
4.2 探地雷达法.....	9
4.3 高密度电阻率法.....	14
4.4 瞬态面波法.....	17
4.5 地震映像法.....	21
4.6 瞬变电磁法.....	24
4.7 井中探测法.....	27
5 地下病害体验证.....	31
6 地下病害体风险分级.....	33
7 报告编制与信息化管理.....	34
7.1 一般规定.....	34
7.2 报告编制.....	34
7.3 信息化管理.....	36
附录 A 地下病害体工程特性、地球物理特征表.....	38
附录 B 地下病害体成果统计表.....	39
附录 C 地下病害体探测成果代号和图例.....	40
本标准用词说明.....	41
引用标准名录.....	42
附：条文说明.....	43

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	Basic Requirements.....	4
4	Geophysical detection methods.....	7
4.1	General Requirements.....	7
4.2	Ground Penetrating Radar.....	9
4.3	High-density Resistivity Method.....	14
4.4	Transient Surface Wave Method.....	17
4.5	Seismic Imaging Method.....	21
4.6	Transient Electromagnetic Method.....	24
4.7	Borehole Geophysical Method.....	27
5	Verification of Underground Disasters Identified by Detection.....	31
6	Risk Rank of Underground Disasters.....	33
7	Surveying Report and Informatization Management.....	34
7.1	General Requirements.....	34
7.2	Surveying Report.....	34
7.3	Informatization Management.....	36
Appendix A	Engineering and Geophysical characteristics Table of Underground Diseases.....	38
Appendix B	Statistical Table of Underground Diseases.....	39
Appendix C	Symbols and Legends of Underground Disasters	40
	Explanation of Wording in This Standard.....	41
	List of Quoted Standards.....	42
	Addition:Explanation of Provisions.....	43

1 总则

1.0.1 为规范我省城镇道路地下病害体探测工作，提高探测成果质量，保障道路运行安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于山东省行政区域内城镇道路，深度 30m 以内的地下病害体地球物理探测工作。

1.0.3 城镇道路地下病害体探测工作，除应符合本标准外，尚应符合国家和我省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 地下病害体 underground disasters

存在于城镇道路地面以下的脱空、空洞、疏松体、富水体等影响城镇道路安全的不良地质体。

2.1.2 地下病害体探测 underground disasters detection

采用地球物理方法探测城镇道路地下病害体，查明其类型、位置和规模等属性特征的活动。

2.1.3 空洞 void

道路地下土体中自然发育或人工形成的具有一定规模的洞体。

2.1.4 脱空 pavement void

道路硬壳层与地基土脱离形成的洞体。

2.1.5 疏松体 loosely soil

道路地下密度明显低于周围土体的不良地质体。

2.1.6 富水体 water-rich soil

道路地下含水率明显高于周边土体的不良地质体。

2.1.7 干扰源 interference source

影响地下病害体探测信号质量、数据信噪比的各种干扰因素。

2.2 符号

ε_r ——相对介电常数；

P_r ——地下介质电磁波反射系数；

v ——地下介质等效电磁波速度；

λ ——电磁波波长；

c ——电磁波在空气中的传播速度；

f_0 ——探地雷达天线主频/检波器自然频率；

ρ_s ——视电阻率；

V_R ——面波相速度；

β ——面波波长深度转换系数，一般取 0.5；

η ——最小可分辨电平（nV/m）；

R_m ——最低限度信噪比；

N ——噪声电平。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路地下病害体探测工作应结合既有的岩土工程、市政设施、水文气象、已发生病害记录等资料开展。

3.0.2 城镇道路地下病害体探测工作应定期进行。重点路段探测周期宜为1年~3年进行，普通路段探测周期宜为3年~5年进行，亦可根据道路养护或工程建设需要安排探测。当遇到下列情况时，探测周期宜相应缩短或立即进行探测：

- 1 当地面发生严重变形或塌陷事故、地下管线发生变形或破损时；
- 2 汛期的排水管涵、河道周边等区域；
- 3 存在地铁、非开挖管道铺设等地下工程施工路段；
- 4 其他存在地下病害体潜在安全风险的区域。

3.0.3 城镇道路重点路段宜按下列条件划分：

- 1 城镇快速路与主干路；
- 2 埋设重点管线区段；
- 3 埋置有年代久远的人防等地下基础设施区段；
- 4 湿陷性黄土、砂土、淤泥质软土、膨胀土、盐渍土分布区及岩溶发育区等地质条件复杂区。

3.0.4 地下病害体探测宜按下列程序进行：

- 1 接受委托；
- 2 资料收集、现场踏勘；
- 3 方法试验等准备工作；

- 4 制定探测方案；
- 5 现场实施；
- 6 数据质量分析和评价以及数据处理与解释；
- 7 成果复核与验证；
- 8 报告编写。

3.0.5 收集资料宜包括下列内容：

- 1 测区内道路、市政设施等地下工程的竣工资料；
- 2 测区地形图和测量控制资料；
- 3 测区工程地质、水文地质资料；
- 4 测区地下管线现状资料；
- 5 测区既有的地下病害体探测资料及地下病害体修复资料。

3.0.6 现场踏勘应了解工作环境条件及典型干扰源的分布、类型及其变化情况，核实已收集资料的完备性及可用性，评估现场作业风险，编制探测方案。

3.0.7 探测方案宜包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 工作任务；
- 3 工作依据；
- 4 工程地质、水文地质及工作环境条件分析；
- 5 工作重点、难点分析及措施；
- 6 工作方法技术；
- 7 安全生产、质量和环境保护、信息安全措施

8 人员、设备投入等施工组织措施；

9 拟提交的成果资料。

3.0.8 探测仪器设备应定期维护、保养、检定或校准，保持性能稳定、状态良好。

3.0.9 现场探测工作开始前应根据探测目的、工程和水文地质条件以及环境条件等因素进行方法试验，确定探测方法和工作参数。

3.0.10 对于已明确特定方法或规模较小的工程以及应急处置工程可简化工作程序。

3.0.11 对探测的地下病害体异常应逐一复核；当发现危险性较大的地下病害体时，应及时通报。

3.0.12 地下病害体宜分为空洞、脱空、疏松体、富水体四类，疏松体按疏松程度可分为严重疏松体和一般疏松体，其工程特性、地球物理特征可参考本标准附录 A。

3.0.13 城镇道路地下病害体探测作业应设置警示标志隔离车辆、行人。

3.0.14 对地下病害体探测成果宜进行信息化管理。

4 地球物理探测方法

4.1 一般规定

4.1.1 地下病害体进行地球物理方法探测应具备下列条件：

- 1 地下病害体与周围土体应存在地球物理性质差异；
- 2 地下病害体应能产生可被观测的地球物理异常场；
- 3 干扰场强度应不影响有效异常辨识，或能被识别；
- 4 工作现场应具备布置探测装置和实施探测的条件。

4.1.2 地下病害体探测应遵循从简单到复杂、从已知到未知的原则，对重点、难点路段，应适当加密测线、测点布置；环境复杂或单一方法存在多解性时宜采用多种方法综合探测。

4.1.3 探测方法或方法组合宜根据探测目的按表 4.1.3 选择。

表 4.1.3 地球物理探测方法适用性

地下病害体 探测方法	脱空	空洞	疏松体	富水体	埋藏深度 D
探地雷达法	●	●	●	●	$D < 7.0\text{m}$
高密度电阻率法	—	●	○	●	$1.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$
瞬态面波法	○	●	●	—	$1.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$
地震映像法	○	●	○	—	$D \leq 30.0\text{m}$
瞬变电磁法	—	●	○	●	$3.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$
井中探测法	●	●	●	●	$D \leq 30.0\text{m}$
注：●为适用，○为可用，—为不适用；其他探测方法应根据方法试验确定其适用性。					

4.1.4 地下病害体探测方法选择时尚应考虑场地地质条件对不同方法适用性、多解性、探测深度的影响，在下述区域工作时应在已知点对方法适用性和有效探测深度进行现场试验：

- 1 鲁北黄泛平原区、鲁西南、鲁东滨海河口及低平海岸带等地下水位埋深较浅区域；

2 鲁北黄泛平原及鲁西南的盐渍土分布区；

3 鲁中及鲁东含铁磁性矿物的砂土分布区。

4.1.5 地球物理探测工作布置应符合下列规定：

1 测网布置应根据探测目标规模确定，测线长度、间距应满足探测成果连续、完整、便于追踪的要求，重点区域或异常区域应适当加密或网状布设；

2 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；

3 测线宜通过或靠近已知点布设，测线长度宜覆盖探测目标；

4 定期复测的测线宜固定布设。

4.1.6 地下病害体探测的测量工作应符合下列规定：

1 测线的起止点、转折点、地形突变点、非均匀分布的各测点、重要的探测异常点及验证的点位，应进行平面和高程测量；

2 测量点测量精度应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定；

3 探测使用地形图比例尺不应小于 1 : 1000。

4.1.7 探测中应按不同探测方法和探测目的需要填写现场记录，记录内容应清晰、准确、完整；电子记录应及时备份。

4.1.8 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、干扰源及周边工程环境等调查资料进行。

4.1.9 地球物理方法采集数据应经质量检查合格后，方可用于解释，质量检查应符合现行行业标准《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7

的有关规定。

4.2 探地雷达法

4.2.1 地下病害体与周围土体之间存在介电常数差异，且地表无强反射层或强衰减层时宜采用探地雷达法探测。

4.2.2 在地下水位埋深较浅或回填疏松、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。

4.2.3 仪器设备应符合下列规定：

1 探地雷达主机应满足下列要求：

- 1) 应具有实时监测显示功能；
- 2) 系统增益不应小于 150dB，计时误差不应大于 0.2ns；
- 3) 信噪比不应低于 110dB，动态范围不应小于 120dB；
- 4) 车载时，最大扫描速度应不低于 256scan/s。

2 车载探地雷达系统宜由承载车辆、多通道探地雷达系统、定位设备、视频记录设备等组成，并应符合下列规定：

1) 车载探地雷达系统探地雷达天线支架设计牢固、拆卸方便，可同时挂接不少于四副天线，宜具有遇障碍自动翻转保护设计；

2) 车载探地雷达系统承载车辆车尾及车四周宜安装明显警示闪光系统；

3) 车载探地雷达系统宜不少于四通道，采用不同频段天线组合，满足道路地下病害连续探测要求；

4) 车载探地雷达系统采用差分 GNSS 进行测线轨迹定位时，更新

频率不应小于 10Hz;

5) 宜可同步触发、同步采集。

3 车载视频设备宜能对道路前方、侧方道路设施及道路表面进行实时视频采集, 并应满足下列要求:

1) 1280×960 像素时, 拍摄帧率不应低于 25fps;

2) 满足不应低于 50km/h 车速拍摄需要;

3) 目标定位误差不应大于 1m;

4) 摄像头防护等级不应低于 IP66。

4 排水等管涵中探测时, 天线防水等级不应低于 IP68。

4.2.4 探地雷达探测方法应符合下列规定:

1 探地雷达天线主频选择应符合探测深度和精度要求, 并应符合下列规定:

1) 优先选择屏蔽天线, 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, 当工作环境电磁干扰弱且探测深度较大时, 可选择非屏蔽的低频天线;

2) 道路普查时测线距不宜大于 2.0m, 沿单一管线探测时不宜少于 2 条测线;

3) 重点区域及普查中确定的重点异常区详查探测时, 宜选用多种频率天线组合探测。

2 机动车道地下病害普查工作宜采用车载探地雷达系统实施, 采集时速宜选用 10km/h~30km/h。

3 在地面干扰因素大或不易开展工作且地下埋设有排水等管涵

的，可采用管中探测方式，探测方向应为管涵上部，测线沿管涵轴线方向布置。

4 采集信号的增益宜使信号削波部分不超过全剖面 5%。

5 点测时，应在天线静止时采集，道间距应保证至少有三个采样点落在目标体上；连续测量时，天线移动速度应均匀，并应与仪器的扫描率相匹配，普查时道间距不宜大于 5.0cm，详查时道间距不宜大于 2.5cm。

6 采用测量轮测距时，采集前应对其进行标定；采用手动标记定位时，应等间距标记，间距不宜大于 5m。

7 点测时，可采用叠加采集方式提高信号的信噪比；使用分离天线点测时，可调整天线间距以使采集的信号最强。

8 现场记录宜包含地点、测试参数、文件号、测线位置、各类干扰源及地面积水、变形等环境情况。

9 当发现疑似地下病害体时，应进行标记，与周围管线分布等已知资料对比，并及时进行复核。

10 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或采用其他方法探测。

11 数据剖面上不应出现连续的坏道，重复观测数据应一致性良好。

4.2.5 影响探地雷达探测的主要干扰源可按以下因素统计：

1 地上干扰：临近建（构）筑物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、铁磁性材料临设、金属栅栏、车辆等；

2 地下干扰：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；

3 电磁干扰：路灯、信号灯、变电室、架空输电线、发射塔等。

4.2.6 探地雷达数据处理应符合下列规定：

1 探测数据信噪比应满足数据处理、解释的需要；

2 数据处理分为数据整理及编辑、信号分析、增益调整、滤波、背景消除、反褶积、偏移归位、数据平滑、地形校正等数字信号处理手段、目标特性识别及提取等步骤；

3 消除背景干扰可采用带通滤波、小波分析、点平均、道平均方法；

4 突出反射波边界拐点可使用反褶积、小波分析法；

5 可采用反褶积压制多次反射波干扰，反射子波应为最小相位子波；

6 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。

4.2.7 探地雷达探测地下病害体宜按表 4.2.7 进行识别。

表 4.2.7 探地雷达探测地下病害体典型识别特征

地下病害体	波组特征	振幅	相位与频谱
脱空	脱空顶部一般形成连续反射波组，似平板状形态；多次波明显，重复次数较少	整体振幅强，雷达波衰减很慢	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；频率高于背景场

续表 4.2.7

地下病害体		波组特征	振幅	相位与频谱
空洞		近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态；近似方形空洞反射波表现为正向连续平板状形态；多次波、绕射波明显，重复次数较多	整体振幅强，雷达波衰减很慢	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；频率高于背景场
疏松体	严重	顶部形成连续反射波组；多次波较明显、绕射波较明显；内部波形结构杂乱，同相轴很不连续	整体振幅强，衰减很慢	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	顶部形成连续反射波组；多次波、绕射波不明显；内部波形结构较杂乱，同相轴较不连续	整体振幅较强，衰减较慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率略高于背景场
富水体		顶部形成连续反射波组；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	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

4.2.8 探地雷达资料解释应符合下列规定：

- 1 用于成果解释的探地雷达图像应清晰、信噪比高；
- 2 宜根据探地雷达图像的波组形态、振幅、相位、频谱等特征进行异常识别、解译；
- 3 应结合现场记录和已知资料，排除干扰异常；
- 4 地下病害体宜结合地面变形、管线破损、历史塌陷等情况及

测区地质资料进行综合解译；

5 探地雷达法探测成果图件宜包括探地雷达剖面图及地下病害体解释成果图。

4.3 高密度电阻率法

4.3.1 地下病害体与周围介质之间存在较明显的电阻率差异、表层没有电阻屏蔽层,且具有良好的接地条件或能通过采取措施加以改善时可采用高密度电阻率法探测。

4.3.2 仪器设备应符合下列规定:

1 仪器应具有即时采集、显示功能以及对电缆、电极、系统状态和参数设置的监测功能;

2 多芯电缆应具有良好的导电和绝缘性能,芯线电阻应小于 $10\ \Omega/\text{km}$,芯间绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega/\text{km}$;

3 AB、MN 插头和外壳之间的绝缘电阻不应小于 $100\text{M}\Omega$;

4 输入阻抗不应小于 $50\text{M}\Omega$;

5 电位差测量允许误差不应大于 $\pm 1.0\%$,分辨率应优于 0.1mV ;

6 电流测量允许误差不应大于 $\pm 1.0\%$,分辨率应优于 0.1mA ;

7 对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 80dB ;

8 宜使用不锈钢电极或铜电极。

4.3.3 高密度电阻率探测方法应符合下列规定:

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应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，每个排列伪剖面底边应至少有 1 个数据重合点；

5 复杂条件下，宜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。

4.3.4 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 地表存在电阻率非常低的电性屏蔽层：地表富水区段、埋设金属构件的区段、铁磁性渣土回填区段等或电阻率非常高的电性绝缘层：干燥的沥青、混凝土路面等；

2 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；

3 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；

4 含铁磁性矿物土体。

4.3.5 高密度电阻率法数据处理应使用质量检查合格的数据，并应符合下列规定：

1 当存在坡度大于 15° 的地形起伏时，应进行地形校正；

2 数据预处理时，可进行数据平滑、异常点剔除和滤波，对于个别无规律的数据突变点，可结合相邻测点数值进行修正，无法判断的测点可以删除；

3 反演成像时，可将正演获得的理论值与相应的实测值相减获得残差值，再利用反演计算获得电阻率分布；

4 有钻孔资料或已知资料时，宜结合已知地层电性资料对反演计算进行约束。

4.3.6 高密度电阻率法探测地下病害体宜按表 4.3.6 进行识别。

表 4.3.6 高密度电阻率法探测地下病害体典型识别特征

地下病害体	典型识别特征
空洞	空洞有水充填时，表现为相对低电阻率异常；当空洞无水充填时，表现为相对高电阻率异常
疏松体	疏松体有水充填时，一般表现为相对低电阻率异常；疏松体无水充填时，表现为相对高电阻率异常；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	表现为低电阻率异常

4.3.7 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 应根据单剖面或不同剖面对比分析，确定剖面图中规模基本相同或相似的电性结构，在分析电性结构的基础上，结合其他有关资料综合推断电性异常；

3 成果解释宜结合钻孔或其他相关资料修正深度转换系数或解释深度，识别假异常；

4 高密度电阻率法探测成果图件宜包括视电阻率或反演电阻率断面图及地下病害体解释成果图。

4.4 瞬态面波法

4.4.1 地下病害体与周围介质间存在波阻抗差异，且地表平坦、无临空面、陡立面时可采用瞬态面波法探测。

4.4.2 瞬态面波法仪器设备应符合下列规定：

- 1 记录通道数不应少于 12 通道；
- 2 仪器放大器的通频带应为 0.5Hz~4000Hz；
- 3 放大器各通道的幅度和相位应一致，各频率点的幅度差应小于 5%，相位差不应大于采样间隔的 1/2；
- 4 仪器动态范围不应小于 120dB；
- 5 仪器应具有频响与幅度一致性自检功能。

4.4.3 检波器的选择应符合下列规定：

- 1 宜采用速度型检波器；
- 2 检波器的固有频率宜选择 4Hz~20Hz 的低频检波器；
- 3 同一排列检波器之间的固有频率差不应大于 0.1Hz，灵敏度和

阻尼系数差不应大于 10%；

4 同一排列检波器的幅值差不应大于 5 %，相位时差不应大于所用采样间隔的 1/2；

5 绝缘电阻应大于 10M Ω 。

4.4.4 瞬态面波探测方法应符合下列规定：

1 数据采集时，宜采用剖面方式追踪病害体的分布范围。

2 瞬态面波法测线位置应根据探测目的、待测场地地形条件及规避干扰的需要，合理布设。

3 数据采集前应进行有效性试验，仪器通道及检波器一致性试验。

4 通过采集参数试验，确定道间距、偏移距、采样间隔、记录长度等参数：

1) 偏移距应根据探测深度要求确定，并能够分离基阶面波与高阶面波，偏移距一般不宜小于道间距，最小偏移距可与道间距相等；

2) 道间距应根据最大探测深度、病害体规模确定，一般应小于最小探测深度所需波长的 1/2；

3) 采样间隔的选取要兼顾垂向分辨率及勘探深度的要求，样点数不宜少于 1024 点；

4) 记录长度应满足最大偏移距基阶面波的采集需要。

5 应根据探测深度要求、介质条件等确定激振方式，震源点应布设在排列的延长线上。

6 瞬态面波法检波器布置应满足下列要求：

1) 检波器位置应准确，与地面耦合良好；

2) 检波器的安置应尽量以直线形式等道间距排列，如条件不允许，检波器沿垂直排列方向的移动距离不得大于道间距的 $1/5$ ，沿测线方向移动时，移动距离不得大于道间距的 $1/10$ 。

7 瞬态面波法数据采集系统应满足下列要求：

1) 宜采用线性排列方式，排列长度应大于预期面波波长的 $1/2$ ，同一测线的排列方向应一致；

2) 排列中点位置等效为面波勘探记录点的位置；

3) 仪器各通道应处于全通状态，且各通道增益应一致；

4) 近震源道不应出现削波，不应出现相邻坏道，非相邻坏道不应超过使用道数的 10%；

5) 检波器与电缆连接应正确，避免漏电、短路、反向及接触不良；

6) 测点间距应根据探测任务与场地条件确定，应满足横向分辨率的要求。

8 激震时，宜采用单边激发方式，激发能量宜保持一致，在信噪比较低时，可进行多次叠加。

9 记录中噪声振幅不应大于基阶面波主同相轴振幅的 10%，噪声干扰过大时，宜避开强震干扰时段测试。

10 采集过程中应填写现场采集班报记录，记录应包括工程名称、工程地点、测线号、文件名、测点位置、炮点位置等内容。

4.4.5 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。

4.4.6 瞬态面波法数据处理应符合下列规定：

1 数据处理时，应剔除明显的畸变点、干扰点数据。

2 频散曲线提取应符合下列规定：

1) 应在 $f-K$ 域中提取频散曲线；

2) 二维滤波计算应突出基阶面波能量。

3 频散曲线的分层应依据拐点、斜率及频散点疏密等特征确定。

用于计算地层速度的频散曲线应具有收敛的特征；不收敛段的起始拐点可解释为地层界线。

4 应结合已知的钻探资料、其他物探资料对曲线的拐点和曲率变化做出正确解释，计算对应层的面波相速度，绘制相速度-深度曲线，或根据需要进行速度反演，绘制剪切波速度-深度曲线。

4.4.7 瞬态面波法探测地下病害体宜按表 4.4.7 进行识别。

表 4.4.7 瞬态面波法探测地下病害体典型识别特征

地下病害体	波速特征	波组特征	频谱特征
空洞	与周边正常地层剖面对比，表现为明显的低速圈闭区	边界波组杂乱、振幅强，内部波组衰减明显；局部存在镜像波	频散曲线变化剧烈，存在明显“之”字形拐点

续表 4.4.7

地下病害体	波速特征	波组特征	频谱特征
严重疏松体	与周边正常地层剖面相比,表现为较明显的低速区	整体波组杂乱,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,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

4.4.8 瞬态面波法资料解释应符合下列规定:

- 1 利用面波法换算深度、力学参数时,宜首先利用已知资料标定;
- 2 瞬态面波法探测成果图件宜包括测点频散曲线图、面波相速度或视剪切波速度剖面图及地下病害体解释成果图。

4.5 地震映像法

4.5.1 地下病害体与周围介质间存在明显波阻抗差异,且地表平坦时可采用地震映像法探测。

4.5.2 地震映像法仪器设备的主要技术指标应符合本标准第 4.4.2 条的规定,并具备剖面滚动采集功能。

4.5.3 检波器的选择应满足下列要求:

- 1 宜采用速度型检波器;
- 2 检波器的固有频率应满足现场激振频率响应要求;
- 3 检波器灵敏度与阻尼应满足探测分辨率要求;
- 4 检波器的最小动态范围不应小于 54dB;
- 5 绝缘电阻应大于 10M Ω 。

4.5.4 地震映像探测方法应符合下列规定：

- 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 应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病害体投影长度的 $1/2$ ，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 检测器应垂直地面安置，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。

4.5.5 影响地震映像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。

4.5.6 地震映像法数据处理应符合下列规定：

1 数据预处理工作包括道炮编辑、振幅恢复（补偿）、去噪和静校正等；

2 应剔除坏道数据；

3 宜采用带通滤波，消除环境干扰；

4 对复杂的重点异常，可采用小波变换、速度分析、偏移等进行处理。

4.5.7 地震映像法探测地下病害体宜按表 4.5.7 进行识别。

表 4.5.7 地震映像法探测地下病害体典型识别特征

地下病害体	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	同相轴上凸或下凹现象明显，边界处同相轴明显错断；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

4.5.8 地震映像法资料解释应符合下列规定：

1 应根据剖面中地震波的波形、振幅、频谱、相位等异常变化并结合已知资料对地下病害进行综合解释；

2 换算异常深度、规模时，应首先利用已知资料标定；

3 地震映像法探测成果图宜包括地震映像剖面图、地下病害体

解释成果图。

4.6 瞬变电磁法

4.6.1 地下病害体与周边介质之间存在电性差异，且场区无强电磁干扰时，可采用瞬变电磁法探测。

4.6.2 瞬变电磁法仪器设备应符合下列规定：

- 1 发射电流可调整；
- 2 动态范围不宜小于 120dB，对工频干扰抑制不宜小于 60dB；
- 3 等效输入噪声应小于 $1\mu\text{V}$ ；

4.6.3 瞬变电磁探测方法应符合下列规定：

1 城镇道路地下病害体探测宜选用等值反磁通装置或中心回线装置。

2 探测前应进行有效性试验，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。

3 采用中心回线装置时，发射回线边长 (L) 可根据最大发射电流 (I)、探测深度 (H) 等按下式计算：

$$H = 0.55 \left(\frac{L^2 I \rho_1}{\eta} \right)^{1/5} \quad (4.6.3-1)$$

$$\eta = R_m N \quad (4.6.3-2)$$

式中： H ——探测深度 (m)；

L ——发射回线边长 (m)；

I ——电台大发射电流 (A)；

ρ ——上覆地层电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)；

η ——最小可分辨电平，一般为 $0.2\text{nV/m} \sim 0.5\text{ nV/m}$ ；

R_m ——最低限度的信噪比；

N ——噪声电平。

4 采用等值反磁通装置时，可按下式计算探测深度：

$$H = 28\sqrt{\rho t} \quad (4.6.3-3)$$

式中： ρ ——上覆地层电阻率（ $\Omega \cdot m$ ）；

H ——探测深度（m）；

t ——衰减时间（ms）。

5 瞬变电磁法的工作布置应符合下列规定：

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。

6 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) 对临时性干扰应暂停观测，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。

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。

4.6.4 影响瞬变电磁法探测的主要干扰源可按以下因素统计:

1 附近的周期性电磁信号, 如工业、民用电网产生的工频干扰、矿区的工频干扰和磁性矿藏的干扰、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。

4.6.5 瞬变电磁法数据处理应符合下列规定:

1 应剔除干扰大、质量差的数据;

2 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;

3 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;

4 宜结合测区工程地质资料进行反演处理。

4.6.6 瞬变电磁法探测地下病害体宜按表 4.6.6 进行识别。

表 4.6.6 瞬变电磁法探测地下病害体典型识别特征

地下病害体	典型特征
空洞	二次场幅值小，衰减快，多测道图微小下凹；表现为高电阻率异常，与背景差异不明显，体积小时一般难以识别； 有水或泥质充填时：衰减较慢，多测道图上凸，表现为低电阻率异常
疏松体	无水充填时，表现为高电阻率异常； 疏松体有水充填时，衰减曲线衰减较慢，多测道图上凸，表现为低电阻率异常
富水体	二次场衰减缓慢，多测道图上凸，表现为低电阻率特征

4.6.7 瞬变电磁法资料解释应符合下列规定：

- 1 应根据瞬变电磁多测道剖面图、视电阻率断面图进行地下病害体识别与解释；
- 2 应结合已知资料进行地下病害体定性或半定量解释；
- 3 瞬变电磁法成果图宜包括多测道剖面图、视电阻率断面图和地下病害体解释成果图。

4.7 井中探测法

4.7.1 井中探测法主要包括采用电阻率、弹性波、电磁波等地球物理特性的井间层析成像以及钻孔全景光学成像观测。应根据场地条件，通过现场试验，选择适宜的方法、设备，确定观测装置及工作参数。

4.7.2 仪器设备除应符合耐压、防震、防水的一般要求外，其他性能指标应符合下列规定：

- 1 深度测量误差应不大于 0.5%；

2 电阻率层析成像地面仪器之间及其对地、绞车集流环对地、供电电源对地的绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$ ；电缆缆芯对地、电极系各电极之间、井下仪器线路与外壳之间的绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ ；

3 弹性波层析成像井下震源激发能量应能够在观测井中产生足够的信号强度，且不破坏钻井套管；检波器为带有放大器的水听器，宽频，具备垂直叠加功能，采样间隔不应大于井间最小走时的 1%；

4 电磁波层析成像设备应具有频率扫描功能，发射机瞬间输出功率不应小于 10W ，接收机噪声水平应低于 $0.2\mu\text{V}$ ，测量范围为 $20\text{dB}\sim 140\text{dB}$ 。

4.7.3 井中探测法现场探测应符合下列规定：

1 深度标记间隔应与深度比例尺相适应，长度相对误差不应大于 0.2%；

2 测试钻孔（套管）内径不宜小于 75mm ；

3 测井深度比例尺宜与钻孔柱状图比例尺一致，同一测区宜采用同一深度比例尺；

4 原始测井数据或曲线应准确标记深度；

5 连续测井方法在测试时电缆的升降速度应均匀，升降速度应保证深度准确、数据清晰；

6 弹性波层析成像时钻孔应无金属套管且有井液，宜等间距激发、等间距接收，且间距不应大于要求探测目标体的尺寸；可在孔间地表处补加发射、激发点或观测点，提高水平分辨率；

7 电磁波层析成像时钻孔应无套管，对孔壁完整性差的可安装

塑料套管；工作频率应由现场试验确定，每个剖面在完成一次完整的观测后，发射机和接收机应互换后实施第二次测量；

8 电阻率层析成像时钻孔应无套管、静充水，宜采用高密度电阻率法探测。

4.7.4 井中探测法数据处理与解释应符合下列规定：

1 钻孔深度应以孔口为深度零点；

2 探测成果推断应根据测井资料结合地质、钻探等有关资料进行综合解释；

3 弹性波井间层析应抽取共激发点道集，拾取初至时间，并宜交替采用共接收点道集、共激发点道集检查初至拾取的准确性；

4 成像区域宜按正方形剖分，边长应等于激发点间距、接收点间距的最小值；成像的影像宜采用伪彩色色块、等值线方式；同一场区采用统一的色谱、色标；

5 成果图件应包括影像图、地下病害体解释成果图；

6 当孔深大于 15m 时，井间层析宜进行井斜校正。

4.7.5 钻孔全景光学成像可用于观测钻孔、塌陷坑洞中空洞延展情况；可用于地下管涵内窥，观测管涵内壁破损、腐蚀、渗漏情况等。

1 钻孔全景光学成像应于干孔、清水孔或管道中进行，当水质透明度不足时，应采用清水循环冲洗或排干水；

2 摄像机分辨率不应低于 500 万像素，摄像角度宜为 360° ，方位精度不应小于 1° ；

3 光学成像可相片与连续影像相结合，也可对异常部位静止拍

摄影像；

4 成像图像宜展开，拼接成分段连续的图片，横向宜沿从左到右，按北、东、南、西方向展开，并标注方位；垂向应标注深度和高程。

4.7.6 井中探测法探测地下病害体宜按表 4.7.6 进行识别。

表 4.7.6 井中探测法地下病害体典型识别特征

地下病害体	典型识别特征
空洞	1 弹性波井中探测呈现低速或空白异常区； 2 电阻率井中探测呈现高阻异常区，充水时呈现低阻异常区； 3 电磁波井中探测呈现低电导率或低吸收系数异常区，充水时呈现高电导率或高吸收系数异常区
疏松体	1 弹性波井中探测呈现低速或不均匀异常区，频率低于背景场； 2 电阻率井中探测呈现高阻异常区，疏松程度越严重与背景场相比电阻率越高，充水时呈现低阻异常区； 3 电磁波井中探测呈现低电导率或低衰减系数异常区，充水时呈现高电导率或高衰减系数异常区
富水体	1 电阻率井中探测呈现低阻异常区； 2 电磁波井中探测呈现高电导率或高衰减系数异常区

5 地下病害体验证

5.0.1 地下病害体探测成果的验证应符合下列规定：

- 1 应确定地下病害体的类型、埋深等属性；
- 2 探测成果中的脱空、空洞、严重疏松体宜全部验证；
- 3 其它地下病害体的验证数量不宜少于总数的 20%，且不宜少于 3 处；
- 4 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识，并重新组织验证。

5.0.2 成果验证的方法应符合下列规定：

- 1 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，验证点位应避开地下管线等市政设施；
- 2 宜采用钻探、开挖、钎探等方法；
- 3 验证点位置宜布设在地下病害体的物探异常反应最强部位或中心部位；
- 4 如现场不具备钻探、开挖、钎探等作业条件，可选用其它物探方法进行验证。

5.0.3 钻探验证现场作业应符合下列规定：

- 1 钻探操作应执行《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T 87) 的相关规定，验证完成后，应及时回填；
- 2 每回次钻孔进尺不宜大于 1.0m，宜采取减压、慢速钻进或干钻等方法；
- 3 宜对疏松体进行标准贯入试验或动力触探测试，可对富水体

取样进行室内土工试验；

4 宜采用内窥设备记录钻探所揭露空洞范围、影像。

5.0.4 成果验证的记录应符合下列规定：

1 钻探过程中应记录地下病害体起止深度、岩土体性状、钻进状态等信息，可记录塌孔状态、含水率变化等信息；

2 钎探验证时宜记录每 10cm 的击数及击数突变等信息；

3 开挖验证时应记录地下病害体起止深度、岩土体性状、病害体横向规模等信息。

5.0.5 成果验证结果应按如下原则判定：

1 钻探、钎探过程中发生掉钻，可判定地下病害体类型为空洞或脱空；

2 钻探过程中钻进速率较上部土层明显加快、标贯或触探击数较上部土层明显降低或开挖揭露土体松软不密实时，可判定地下病害体类型为疏松体；

3 提取土样为软塑至流塑或含水率明显升高时，宜判定地下病害体类型为富水体。

5.0.6 成果验证完成后宜根据验证结果修正相关物探探测结论，完善物探解释，确认地下病害体类型、规模及性状等特征，可按本标准附录 B 规定编制地下病害体统计表。

6 地下病害体风险分级

6.0.1 地下病害体风险评估应采用单个地下病害体为评价对象，在地下病害体探测的基础上，结合周边环境条件，确定其风险等级，提出风险控制对策建议。

6.0.2 实施地下病害体风险评估可执行《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437 的有关规定。

6.0.3 实施城镇道路地下病害体应急探测、小规模探测或地下病害体数量较少时，可按表 6.0.3 对地下病害体进行简单风险分级。

表 6.0.3 地下病害体风险等级划分表

病害类型	风险等级	处理建议
空洞	III	钻孔验证，注浆处理或开挖回填
脱空	II	钻孔验证，注浆处理或开挖回填
严重疏松体	II	钻孔验证，注浆处理
一般疏松体	I	加强巡视，定期探测
富水体	I	加强巡视，定期探测

7 报告编制与信息化管理

7.1 一般规定

- 7.1.1 地下病害体探测成果应包括文字报告和成果图件。
- 7.1.2 成果报告编制中引用收集到的已有资料，在探测成果验证后，亦应根据验证结果对已有资料进行辨析，确认无误后方可使用。
- 7.1.3 宜对地下病害体探测成果及相关资料进行信息化管理。

7.2 报告编制

- 7.2.1 文字报告宜包含下列内容：
 - 1 项目概况；
 - 2 工作依据；
 - 3 工程地质、水文地质及工作环境条件分析；
 - 4 工作方法技术及质量评价；
 - 5 数据处理和解释；
 - 6 成果验证；
 - 7 结论与建议；
 - 8 附图、附表。
- 7.2.2 地下病害体成果表宜包括病害体编号、类型、位置、中心点坐标、情况描述、风险等级及处置建议等，可按本标准附录 C 执行。
- 7.2.3 成果图件应包括探测工作布置图、地下病害体平面分布图、解释成果图等。
- 7.2.4 成果图件应符合下列规定：
 - 1 成果图件应层次清晰，图式、图例、注记、比例尺等要素齐

全；

2 成果图件的比例尺应保证地下病害体在图件上得到清晰的展布；

3 测线、测点、验证点等应根据测量成果展绘。

7.2.5 探测工作布置图宜按本标准附录 C 的规定采用统一的代号和图例编制，并应符合下列规定：

1 工作布置图应标明测线、测点、验证点、剖面起止点等的平面位置、编号；

2 连续测线应在测线的起止点、转折点、地形突变点以及其它重要的点位设置测线特征点，当测线太长没有特征点时宜设置测点标记；

3 测线特征点、测点等宜由探测方法代号和阿拉伯数字组成，且保证同一测区唯一；

4 单点点测应采用与方法相应颜色的测点图例表示，连续测线应采用相应颜色实线连接测线特征点表示；

5 验证工作布置应按规定的代号、颜色和图例统一编号绘制。

7.2.6 地下病害体平面分布图应根据地下病害体类型采用统一的代号、颜色和图例编制，地下病害体代号和图例可按本标准附录 C 的规定执行，并应符合下列规定：

1 地下病害体平面分布图宜在工作布置图的基础上编制；

2 编制内容应包括病害体编号、位置、范围、类型等；

3 病害体编号宜设置在病害体区域中心位置处，由病害体类型

代号和顺序号组成，且保证同一测区唯一。

7.2.7 解释成果图绘制应符合下列规定：

- 1 成果图编号宜沿用工作布置图中的测线编号，用“-”连接表示；
- 2 应标明病害体的空间位置、形态及类型；
- 3 宜标明验证点（孔）的位置及编号。

7.3 信息化管理

7.3.1 地下病害体信息化管理宜基于现实基础地理信息，构建信息管理系统。

7.3.2 地下病害体信息化管理的内容除包含地下病害体探测成果外还宜包括病害体周边地下管线、市政设施、建（构）筑物等环境资料、现场影像资料、历次探测方法数据和病害体工程处理资料等。

7.3.3 地下病害体数据库的构建除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 的相关规定外，还应符合下列规定：

- 1 地下病害体类型应符合本标准分类规定；
- 2 地下病害体信息应包括病害体坐标、范围、埋深、类型、规模、风险等级、处理状态等；
- 3 属性数据中的地下病害体三维表达数据项、内容以及相应的精度应符合三维建模要求。

7.3.4 地下病害体信息管理系统应基于 GIS 平台构建，应具备数据输入、编辑、查询、统计、分析等基本功能，宜具备三维可视化、数

据交换服务等应用功能。

7.3.5 地下病害体信息管理系统宜建立动态更新机制，可根据时间轴展现不同历史时期病害发展过程。

7.3.6 地下病害体信息交换与应用服务应符合行业标准《城市基础地理信息系统技术标准》CJJ/T 100 的相关规定。

7.3.7 地下病害体信息管理系统的安全设计应符合国家标准《信息安全技术 信息系统安全等级保护基本要求》GB/T 22239 的相关规定。

附录 A 地下病害体工程特性、地球物理特征表

表 A 地下病害体工程特性、地球物理特征

类型	工程特性	地球物理特征
脱空	位于道路硬壳层与地基土之间，埋置深度浅	1 相对介电常数为 1，明显小于周边土体；
空洞	位于地基土中，规模大小不一，其上下界面一般均不平整，其上部土体或结构具有失稳风险	2 波阻抗趋近于 0，明显小于周边土体； 3 电阻率明显高于周边土体，充水时电阻率低于周边土体。
疏松体	严重 1 相对周围土体，具有结构松散、密实度低、强度低、高压缩性等特点，浸水后极易变形或流失； 2 土体主要为骨架颗粒排列很乱、基本不接触的碎石土或松散的砂土、流塑的黏性土以及其他密实程度很低、极易变形的土体； 3 钻进容易，孔壁易坍塌，钻孔回填欠缺量大； 4 疏松体范围扩大、松散程度增大，自身强度降低，内部土体易发生坍塌，致使上部发展为空洞、脱空或发生沉陷	1 相对介电常数小于周边土体，疏松程度越高，相对介电常数越小； 2 疏松程度越高，相对周边土体波阻抗越低，弹性波速度越低； 3 疏松程度越高，相对周边土体电阻率越高，电阻率等值线不均匀；富水时电阻率低于周边土体。
	一般 1 相对周围土体，具有结构不均匀、略松散、密实程度较低，完整性较差等特点，浸水后易变形或流失； 2 土体主要为骨架颗粒排列较乱、大部分不接触的碎石土或稍密~中密的砂土、软塑至可塑的黏性土以及其他密实程度较低、易变形的土体； 3 钻进较容易，孔壁较易坍塌，钻孔回填欠缺量较大； 4 强度随疏松体的松散程度增大而降低	
富水体	1 相对周边土体，具有含水率高、流塑状、灵敏度高、强度低、孔隙比大、高压缩性等特点； 2 富水体区域因水力作用，土体结构弱化，强度降低，其上部宜发展为空洞、脱空或发生道路沉陷	1 相对介电常数大于周边土体，富水性越高，相对介电常数越大； 2 富水性越高，相对周边土体电阻率越小，电阻率等值线不均匀。

附录 B 地下病害体成果统计表

表 B 地下病害体成果统计表

[illegible]

附录 C 地下病害体探测成果代号和图例

表 C 地下病害体探测成果代号和图例

名称		代号	颜色	图例	说明
探测方法 及验证点	探地雷达法	LD	蓝	 以雷达测线为例	1 测点、测线特征点用直径 0.5mm 实心圆表示 2 连续测线用线宽 0.2mm 实线连接测线特征点表示
	高密度电法	GM	紫红		
	瞬态面波法	RL	紫红		
	地震映像法	DZ	紫红		
	瞬变电磁法	SB	紫红		
	井中探测法	JZ	大红	JZ1 	用 2mm 小圆表示
	验证点	YZ	大红	YZ1 	用 2mm 小圆和 1mm 同心实心圆表示
地下病害体类型	脱空	TK	大红		1 范围线用线宽 0.3mm 虚线表示, 不同类型病害体用不同符号填充 2 中心位置用直径 1mm 圆和中心加点表示
	空洞	KD	大红		
	疏松体	严重	YS	蓝	
		一般	YB	绿	
	富水体	FS	褐		

本标准用语说明

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) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“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 标准条文中指明应按其它有关标准、规范执行时,写法为“应符合.....的规定”或“应按.....执行”。

引用标准名录

- 1 《基础地理信息城市数据库建设规范》GB/T 21740
- 2 《信息安全技术 信息系统安全等级保护基本要求》GB/T
22239
- 3 《地基动力特性测试规范》GB/T 50269
- 4 《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7
- 5 《城市测量规范》CJJ/T 8
- 6 《城市基础地理信息系统技术标准》CJJ/T 100
- 7 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87
- 8 《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437

山东省工程建设标准

城镇道路地下病害体探测技术标准

DB37/T 5135—2019

条文说明

编制说明

本标准在制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了山东省内地下病害体综合探测与评价的实践经验，同时参考了有关国际和国内先进技术法规、技术标准，对本标准内容进行反复讨论、分析和论证。

为便于广大设计、施工、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.....	46
2 术语和符号.....	47
2.1 术 语.....	47
3 基本规定.....	48
4 地球物理探测方法.....	52
4.1 一般规定.....	52
4.2 探地雷达法.....	555
4.3 高密度电阻率法.....	57
4.4 瞬态面波法.....	58
4.5 地震映像法.....	60
4.6 瞬变电磁法.....	61
4.7 井中探测法.....	61
5 地下病害体验证.....	633
6 地下病害体风险分级.....	644
7 报告编制与信息化管理.....	65
7.1 一般规定.....	65
7.3 信息化管理.....	65

1 总则

1.0.2 根据山东省内城镇道路地下病害发生发展情况，考虑地铁、顶管施工、深基坑施工影响深度，确定 30m 深度探测范围，深度大于 30m 的地下病害一般应为采空塌陷、岩溶塌陷等所致，不属于本标准适用范围。

1.0.3 城镇道路地下病害体探测工作是道路养护、城市公共安全的重要组成部分，在工作实施中，涉及施工、管理、修复、养护、交通管理等相关行业。因此，地下病害体的探测除应符合本标准外，尚应符合现行国家、我省有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.4 脱空常见于混凝土地面、半刚性基层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。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路地下病害体探测所采用地球物理方法为根据地下病害体与周围介质间地球物理特征差异选择合适的方法或方法组合,是一种间接方法,需要通过从已知到未知的方法试验确定其适用性、有效性,同时探测数据又有其多解性。探测工作应充分收集和分析既有的岩土工程、市政设施、水文气象、已发生病害记录等资料。

3.0.2 城镇道路地下病害体形成和发展具有一定的随机性和动态变化,应根据本地发育程度,开展定期探测。目前,国内外开展定期探测的城市,对重点路段探测频率一般为1年~3年。地下病害体的发生概率和发展受路基土体特性、下覆建(构)筑物、设施影响,道路塌陷发生后导致损失大小受周边社会经济发展影响,宜将发生概率高、发生事故后损失大、影响大的区域作为重点路段适当加密探测。

1 当道路地面发生严重变形或塌陷事故、地下管线发生变形或破损时,将严重威胁城市公共安全和人们出行安全,应立即进行地下病害体探测,查明事故影响范围,为事故处理提供技术支持。

2 根据统计数据,地下病害体引发的地面变形或塌陷等事故在汛期及其后一段时间内,呈明显高发趋势,尤其是排水管涵周边和河道周边,故在汛期后对排水管涵、河道周边应进行地下病害体探测。

3 地下工程施工扰动是引发地下病害体产生、发展的重要因素之一,为预防地下施工引发地面变形或塌陷事故,宜在地下工程施工前、竣工后进行探测工作,对地铁等长期施工项目,宜按施工进度安排施工中的地下病害体探测。

4 其他存在地下病害体潜在安全风险的区域,如废弃管道区域、挡土墙、古河道、原始沟谷回填区和岩溶漏斗发育区等。

3.0.3 重点路段的划分以地下病害体易发性和城市安全运营中的重要性为主要判断标准,重点路段以外的道路为普通路段。

2 重点管线主要包括排水、供水、供暖、燃气等液体输送管道及压力管道。

3 年代久远的地下基础设施,如人防、管涵等,可能存在失稳情况。

4 土层因工程地质特征的不同,易直接或间接引发地下病害体,其主要类型和分布范围如下:

1) 湿陷性黄土发生湿陷时宜引发管道破损或排水,给水管道破损漏水时宜引发黄土湿陷,从而形成地下病害体,其主要分布于胶济铁路线附近山前地带。

2) 砂土由于其高渗透率,发生排水、给水管道破损、水位升降等水力波动时易随水流流失,从而形成地下病害体,其主要分布于鲁北黄泛平原、鲁南、鲁东地区。

3) 淤泥质软土由于其含水率不同对土体承载力影响大,易产生不均匀沉降导致管道受损,形成水土流失通道,易于地下病害体的形成,其主要分布于鲁西、北黄泛平原区及鲁东滨海河口及低平海岸带。

4) 膨胀土遇水易膨胀导致管道受损,形成水土流失通道,易于地下病害体的形成,其主要分布于临沂、蓬莱等地的一级、二级阶地。

5) 盐渍土对地下混凝土、金属等材质管道腐蚀严重,加速管道、

地下建（构）筑物老化、破损，形成水土流失通道，易于地下病害体的形成，其主要分布于鲁北黄泛平原、鲁西南地区。

6) 当上述土体分布深度、范围存在地下管线、人防、管涵等设施埋置时应按重点路段划分，当其分布范围内无相关地下设施分布，路基工程处理保持良好时，可按普通路段划分。

3.0.5 本条规定了探测工作应收集的资料。对于地下病害体的探测工作，多数处于道路下方，因此，原道路及测区范围地下工程的施工设计资料是探测工作最需要的基础资料。

4 地下管线现状资料宜包括：管线的种类、位置、材质、规格、埋深、高程及相互位置关系等，尤其是已有的排水管道内检测和给水管道漏水检测资料。在与管线关系较大的病害体探查中，没有管线现状资料时，应先行开展管线探查工作。由于地下管线的施工或介质渗漏均会引发地下病害体形成，其内窥检测资料是判断病害体成因的重要依据之一；同时，地下管线在物探的探查剖面上会有异常信号出现，所以收集地下管线的现状资料及其内窥检测资料可提高探查工作的准确率，剔除假异常、干扰因素。

5 发生过道路塌陷或地下病害体修复的，修复所采用的施工设计资料及原病害体的资料也应收集，以便正确辨识异常。

3.0.9 在地下病害体探测中，由于不同场地环境的复杂性，各类方法均存在其优势与局限性，每个场地探测工作开始前均应根据探测目的、场地工程和水文地质条件以及环境条件等因素进行方法试验。

3.0.10 已明确特定方法的工程，一般在试验区或前期探测中已明确

方法的有效性，可简化方法试验、探测方案等准备环节；实施局部路段探测的规模较小工程以及应急处置工程一般具有时效性和应急性的特点，该类工程资料收集、踏勘、方法试验等工作程序应尽量合并、简化，以满足应急需要为主。

3.0.11 地下病害体探测复核工作应采用依据不同地球物理特征辨识异常体的方法进行。当发现埋深较浅、规模较大的空洞、脱空、严重疏松体等危险性较大的地下病害体时，考虑到事故的突发性特征，应及时通报相关方，以便采取合理措施，防止意外事故发生。

3.0.12 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。

3.0.14 地下病害体的形成和发展具有动态变化的特点，地下病害体作为地下空间开发利用过程中的重要信息，应对地下病害体探测资料进行信息化管理，做好长期跟踪管理工作，为城市建设、地下空间开发利用以及防灾减灾提供服务，是城市建设发展的实际需要，也是新型智慧城市建设的重要内容。

4 地球物理探测方法

4.1 一般规定

4.1.1 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、地震映像法、瞬变电磁法、井中探测法。实施地球物理方法探测，地下病害体本身的参数差异、埋深、规模及现场环境应具备一定的前提条件。

1 地球物理性质差异包括介电常数差异、电阻率差异、波阻抗差异等。

2 地下病害体相对于其埋藏深度或探测距离应具有一定规模，以地下病害体产生的异常信号能被准确探测和识别为准。地球物理方法一般要求地下病害体尺寸相对于其探测距离之比紧小应满足1:10~1:5，考虑城市作业环境复杂性，可探测的地下病害体直径不宜小于0.5m。

3 不同地球物理方法有不同的干扰因素，如：探地雷达法应避开强电磁干扰，地震映像法应避开强震干扰等，对于不能识别的强干扰应选择避开或变更作业方法。

4 不同地球物理方法对探测的实施条件有不同的要求，如高密度电阻率法要求较好的接地条件，探地雷达法（车载）要求通行条件和通畅的展开范围。

4.1.3 每种探测方法都有各自的适用条件和范围，本条推荐了各探测方法的应用范围。当探测环境相对简单，探测深度浅时，宜优先采用探地雷达法；当场地地质条件和探测环境复杂时，应采用多种方法

进行组合探测；当采用单一方法普查时，对于疑似地下病害体详查时应采用其他方法复核，以提高准确率。

4.1.4 本条对山东省境内影响地球物理方法探测效果的主要水文、地质条件进行了统计。实际工作中，应结合已知资料对测区进行详细划分。

1 地下水位埋深较浅区域对探地雷达法信号衰减剧烈，有效探测深度缩减明显；

2 盐渍土自身含盐量的变化对探地雷达法、高密度电阻率法探测存在干扰，易形成假异常或掩盖地下病害体异常；

3 含铁磁性矿物的风化砂土对探地雷达法、高密度电阻率法、瞬变电磁法探测存在干扰，易形成假异常或掩盖地下病害体异常。

4.1.5 本条对地下病害体探测的测线布置进行了规定。

3 经过已知点布置测线，可用于计算、标定地下介质参数，如已知深度的地下管线处，可在探地雷达法探测中用来计算介质电磁波速度；

4 地下病害体产生和发展存在动态性特点，固定测线定期复测，可以对不同期次探测数据进行比对工作，对异常发展情况实现动态分析，有利于提高探测效率和准确率。

4.1.6 地下病害体探测中，测量精度包含地物测量、测线定位测量、地下病害体位置和高程测量的精度。

2 测量点测量精度可按现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 关于细部点精度有关规定执行。

4.1.7 地球物理方法数据质量直接决定后续探测成果的解译，对采集数据应实施严格质量检查，并进行数据质量分析和评价。

4.2 探地雷达法

4.2.1 探地雷达法是基于地下介质之间的介电性质差异的探测方法，电磁波传播过程中要存在足够强的反射/散射，并且要求介质衰减不要太大，系统的信噪比满足接收机接收到目标回波、系统识别出目标信号的条件。

通常使用功率反射系数来表征地下介质之间的介电差异，功率反射系数的计算公式为：

$$P_r = \left(\frac{\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}} \right)^2 \quad (1)$$

式中： ε_{r1} —周边介质相对介电常数；

ε_{r2} —被探测对象相对介电常数。

当功率反射系数 $P_r \geq 0.01$ ，认为其介电性质差异可在探地雷达法剖面上产生可识别的信号反映。覆盖层存在强反射层时会阻挡信号的穿透，形成多次强反射干扰。

电磁波在地下有耗介质中传播，同时存在衰减，其衰减程度受到介质电导率、电磁波频率等因素影响，存在强衰减层时，信号衰减剧烈，难以接收到有效反射信号，探地雷达法一般适用于电导率 $\sigma \leq 10\text{mS/m}$ 的介质。

4.2.2 探地雷达法在地下水位埋深较浅或回填疏松、含铁磁性土等探地雷达信号衰减明显区域，有效探测深度缩减明显，应根据现场试验确定；方案设计时可采用探地雷达法探测 3.0m 以内浅部地下病害体，采用其他方法进行深部探测。

4.2.4 本条对探地雷达探测方法进行规定。

1 天线中心频率的选择需兼顾目标深度、目标最小尺度及天线尺寸是否符合场地需要等因素，可由下式计算：

$$f_0 = \frac{150}{x\sqrt{\varepsilon}} (MHz) \quad (2)$$

式中， x ——要求的空间分辨率，m；

ε ——围岩的相对介电常数。

详查时，测线间距依据天线主频大小而不同，一般频率越高，测线间距应越小，测线间距需保证探测目标规模能得到有效覆盖，探地雷达所采用天线影响宽度一般为 0.5m~2m 不等，兼顾效率和覆盖目标需要，普查时测线间距建议不大于 2m，机动车道每车道不宜少于 2 条测线；沿排水等单一管线探测时考虑地下病害体发生位置不确定性，沿轴向布置不宜少于 2 条测线。

3) 选用多种频率天线组合探测，可兼顾埋藏深度及目标体尺寸大小两方面因素。

2 机动车道采用车载探地雷达系统兼具经济性和安全性的特点。采集时速越快在单位距离上采集到的有效扫描数就越少，为满足水平分辨率的要求，最大时速不应大于道间距与扫描速度之积。

4 削波影响对波组特征的辨识，应控制削波比例。

5 连续测量时，天线移动速度的不同，会导致数据疏密程度不同，甚至差异很大。

6 采用测量轮测距时，为保证测量距离的准确性，采集前应选取一定距离进行多次测试，取其平均值作为标定数；测线距离较长时，为避免定位误差的累计，宜间隔一定距离进行标记。

7 使用分离天线点测时，分离天线的发射与接收方向增益在临界角方向最强，故天线间距尽量使最深目标体相对接收和发射天线的张角为临界角的 2 倍。实际探测时，常取目标体最大深度的 20%。

9 在进行地下异常解释时，与周围管线分布等已知资料对比，正确识别异常原因，可便于剔除假异常，有效降低多解性。

4.2.5 本条对城镇环境进行探地雷达探测的干扰源进行了统计。探地雷达工作时，发射机经发射天线向地下发射短脉冲高频电磁波，发生球状散射，来自空中的电线等强导电金属物体、过街天桥等大型建筑物，地下埋设的管网、管沟、井盖、人防工事等地下隐蔽设施会产生反射，接收机经接收天线记录到反射或散射信号，在雷达主机上同样会呈现异常反应。这就需要结合现场踏勘情况，对照干扰源典型图像，剔除假异常。

4.2.7 本条对探地雷达探测地下病害体典型识别特征进行了统计，鉴于城镇环境和地下地质条件的复杂性，对不同场地应根据已知点试验和异常验证进行更细化和针对性的异常特征识别。

4.3 高密度电阻率法

4.3.1 表层存在积水等低阻体分布时，会影响人工电场电流向深部传导，形成屏蔽层，导致无法反映地下真实信息。

4.3.3 本条对现场探测方法进行了规定：

1 最小电极距应保证至少有三个测点落在目标体上，排列长度应大于 4 倍的最大探测深度，地层含水率高时可根据现场试验适当延长。

2 高密度电阻率法测线应结合探测目标体位置，尽量避开金属管线、电力管线等易产生离散电流的设施布置。

4.3.4 高密度电阻率法探测时，电力管线、配电设施等产生离散电流会对人工电场形成噪声干扰，测线附近的低阻体及地下的建（构）筑物影响人工电场电流的传导，呈现异常反应，需要结合现场踏勘情况，剔除假异常。本条对城镇环境进行高密度电阻率法探测的主要干扰源进行了统计。

4.4 瞬态面波法

4.4.1 瞬态面波法现场探测时，检波器排列范围或附近存在较大尺度的沟、坎、墙等具有临空面及陡立面的障碍物时，会导致面波发生反射或散射现象，因此，在上述障碍条件下，不宜使用面波法进行勘探。

4.4.2 本条规定了对瞬态面波法探测仪器的要求。

1 瞬态面波法数据采集时，采用的道数越多，采集到数据的精度就越高，所获取的频率成分就越丰富。但往往在数据分析时，提取到的频散曲线是整个排列的平均效应曲线，排列越长，平均效应越严重。因此，在满足勘探深度要求的前提下，排列不宜过长，12道接收一般即可满足探测的需要。

4.4.3 本条规定了对检测器的要求。

2 瞬态面波数据采集时，对检波器的频率要求为低频，但对于浅部地下空洞等异常体，需要相对丰富的高频面波成分，因此宜选择4Hz~20Hz主频的检波器。

4.4.4 本条规定了对现场探测的相关规定。

3 面波探测是利用地震波的运动学和动力学特性而进行的一种探测，使用频响与幅度一致性不合格的仪器采集数据时，会影响面波频散曲线的可靠性与准确性。探测用的各检波器在固有频率、灵敏度、阻尼不一致时，会直接导致采集到信号的相位发生畸变，进而导致面波信息的计算错误。因此，探测之前，应对仪器通道及检波器进行一致性试验。

4 偏移距的选择与探测界面处发生频散的波长有关系，具有随勘探深度增大的规律，同时，由于波长是面波速度和频率的函数，因此偏移距选择正确与否，会直接关系到有效面波的采集，因此，偏移距大小的选择宜通过现场试验确定。

4.4.5 瞬态面波探测时常见的干扰源主要为低频或中高频率的震动，某些震动的频率可能会与面波探测时所需要的频率相近，且这些干扰是随机的，数据采集时，会与震源所产生的震动一同被检波器记录下来，形成噪音干扰或假异常；地下管线、防空洞等地下建（构）筑物，也会形成异常反应，需要结合现场踏勘情况，剔除假异常。

4.4.6 本条规定了对瞬态面波数据处理的相关规定：

3 因为地层速度增大是有限度的，因此，有效频散曲线应该是收敛的，相应曲线的变化会逐渐趋于稳定。不收敛现象一般发生在频散曲线的下部，原因是有效低频能量无法穿透对应的地层。不收敛段的数据不是对应地层频散曲线的真实反映，因而不能用于计算地层速度，但不收敛曲线的起点可解释为地质界线。频散曲线的拐点、斜率

及频散点的疏密变化是地层界面、地层速度的反映。

4 可采用式 4.4.6 近似换算视横波速度 V_x 。

$$V_{x, i} = \left(\frac{t_i \cdot v_{r, i}^4 - t_{i-1} \cdot v_{r, i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right)^{1/4} \quad (3)$$

式中： V_x ——面波速度；

t_i ——时间。

4.5 地震映像法

4.5.3 目前常用的检波器是动圈型电磁式速度检波器，其特点是只有当所需测的振动的频率大于检波器固有频率时，检波器所测得的振动幅值畸变及相位畸变才小，检波器的固有频率宜不大于所测地震波主频的 1/2。地下介质为土层时宜采用固有频率小于 50Hz 的检波器，地下介质为岩层时宜采用固有频率为 100Hz 左右的检波器。

4.5.4 探测前应对所用地震仪、检波器进行试验检查。重点检查地震仪、检波器的一致性，通过试验确定工作参数。采样间隔是数据采集的重要参数，它与剖面的垂直分辨率有关，采样间隔越小，地震波形的记录精度就越高，相应的记录长度小；反之，采样间隔越大，对地震波形的记录精度降低，相应的记录长度大。通过展开排列，选择适宜的偏移距，尽量把反射波与直达波、面波等分开，提高信噪比。

4.5.5 地震映像探测时，附近的震动会在数据采集时被检波器记录下来，形成噪声干扰或假异常；地下管线、防空洞等地下建（构）筑物也会形成异常反应，需要结合现场踏勘情况，剔除假异常。

4.5.6 地震映像数据处理、分析前应对现场记录进行整理。数据处理应按程序进行。对处理过程中出现的坏道应剔除,校正极性反转的道,对微弱信号进行增强处理。

4.6 瞬变电磁法

4.6.1 瞬变电磁法易受到外界干扰影响,不应在高压线等强干扰源、强磁场附近布置,另外由于金属会对接收信号造成影响,接收端也应避免放在金属物附近。

4.7 井中探测法

4.7.1 井中探测法具有精度高、探测环境干扰因素弱的优点,也具有效率低和需提前施工破坏性钻孔的特点,可在地面方法受限、对精度有特殊要求的重点路段或存在其他方法难以解决的疑难问题路段实施;井间层析成像探测时,探测目标体应位于探测钻孔之间,井深不应小于井间距的1.5倍;应结合探测目标特点、井壁质量、泥浆条件、井间距和成像精度选用成像方法。

4.7.3 本条对现场探测进行了规定。

2 测试钻孔(套管)内径应满足测试探头自如进出的需要,故不宜小于75mm。

6、7、8 钻孔安装套管尤其是金属套管对探测信号传播影响较大,故不应安装金属套管;弹性波、电阻率传播需要通过介质传播,故需要井液。

4.7.4 本条对井中探测法数据处理与解释进行了规定。

4 同一场区采用统一的色谱、色标,具有可比性。

6 由于钻孔会不同程度的存在倾斜；当孔深大于 15m 时，钻孔倾斜层析成像质量影响明显，宜进行井斜校正。

4.7.5 本条对钻孔全景光学成像方法进行了规定。

1 当水质透明度不足时，将影响钻孔全景光学成像观测，应采用清水循环冲洗或排干水后观测；

4 成像图像展开，按顺序拼接，便于辨识、解释。

5 地下病害体验证

5.0.1 由于地球物理探测异常具有多解性，且空洞、脱空、严重疏松体对城市安全影响较大，建议对此类异常全部验证；其他病害体按比例验证；也可选择一定数量的物探异常不明显的不良地质体（探测成果有疑问或不易确定的异常）进行验证。

5.0.2 探测成果验证点的选择直接影响验证效果，原则上宜综合考虑病害体危害程度、场地安全作业条件、危害对象重要性等因素选择。验证点位置一般选在物探异常反应最强或中心部位，便于较好的揭露地下病害体的类型、深度、规模，对于埋深较浅或横向规模较大的空洞，考虑钻探过程中的塌陷危险，可在病害体边缘进行验证。因钻探、挖探等方式具有破坏性，选点时尚应避免地下管线等市政设施。

成果验证方法主要为钻探、挖探等机械施工方式，作业环境为城镇道路，应注意安全施工，应提前进行公共交通安全和场地危险源辨识与评价，做好相应安全防护措施。

6 地下病害体风险分级

6.0.1 地下病害体风险评估应采用单个地下病害体为评价对象，在地下病害体探测的基础上，宜结合周边环境条件，确定其风险等级。

6.0.3 考虑地下病害体探测作为预防道路塌陷事故的特殊属性和地下病害体验证方法的破坏性环节与后续处理流程的连贯性，尤其是应急探测和小范围重点区域探测的需要，进行简单的地下病害体风险等级划分，以便于实际应用、管理。

7 报告编制与信息化管理

7.1 一般规定

7.1.1 成果报告是对地下病害体探测的工作总结，是地下病害体后续处理的重要依据。

7.1.3 地下病害体的产生、发展有一定的过程，因此宜对每次地下病害体探测成果及相关资料纳入系统统一管理，有助于分析和研究地下病害体的形成机理、掌握其发展规律，有助于后续探测工作的合理规划，提高后续探测成果的准确率。

7.3 信息化管理

7.3.1 近年来，各地不断发生道路塌陷事故，为防灾减灾，地下病害体探测工作逐渐展开，构建地下病害体信息管理系统，改变传统的被动管理方式，为地下病害体动态监测、治理提供信息服务。

7.3.2 地下病害体易因地下管线、地下建（构）筑物的影响而产生的同时，已产生的病害体对其周边管线、市政设施、建（构）筑物也存在安全隐患。故地下病害体信息管理系统建议除包含地下病害体探测及其成果资料、处理资料外，尚应包含其可能影响的地下管线、市政设施、建（构）筑物等。