

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ/T 437 - 2018

备案号 J 2482 - 2018

城市地下病害体综合探测与风险 评估技术标准

Standard for comprehensive detection and risk
evaluation of underground disasters in urban area

2018 - 02 - 14 发布

2018 - 10 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

城市地下病害体综合探测与风险
评估技术标准

Standard for comprehensive detection and risk
evaluation of underground disasters in urban area

JGJ/T 437 - 2018

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 8 年 1 0 月 1 日

中国建筑工业出版社

2018 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1841 号

住房和城乡建设部关于发布行业标准《城市地下 病害体综合探测与风险评估技术标准》的公告

现批准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》
为行业标准，编号为 JGJ /T 437 - 2018，自 2018 年 10 月 1 日
起实施。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018 年 2 月 14 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2015年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2014]189号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

本标准主要技术内容是:1 总则;2 术语和符号;3 基本规定;4 地下病害体分类;5 技术准备;6 地下病害体探测;7 地下病害体验证;8 地下病害体风险评估;9 成果编制与信息化管理。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由北京市勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送北京市勘察设计研究院有限公司(地址:北京市海淀区羊坊店路15号,邮编:100038)。

本标准主编单位:北京市勘察设计研究院有限公司
北京市道路与市政管线地下病害工程技术研究中心

本标准参编单位:中国城市规划协会地下管线专业委员会
北京市城市道路养护管理中心
上海岩土工程勘察设计研究院有限公司
中航勘察设计研究院有限公司
机械工业勘察设计研究院有限公司
北京地下管线综合管理研究中心
正元地理信息有限责任公司

华北水利水电大学
中国冶金地质总局地球物理勘察院
深圳市水务规划设计院有限公司
广州市城市规划勘测设计研究院
福建省建筑设计研究院
保定金迪地下管线探测工程有限公司
北京市市政工程设计研究总院有限公司
沈阳地球物理勘察院
北勘国检（北京）工程检测有限公司
中国电子科技集团公司第二十二研究所
北京国电经纬工程技术有限公司

本标准主要起草人员：沈小克 陈昌彦 肖 敏 白朝旭
刘金光 贾 辉 李学军 张 辉
乔晓军 周宏磊 刘克会 康 凯
吴 琦 吴 奇 石怀清 刘宏岳
苏兆锋 胡 绕 王清泉 穆建强
王晓东 龚慧斌 杨胜彬 郭 印
王春和 刘会忠 赖刘保 王继伟

本标准主要审查人员：梁金国 杨 进 化建新 徐张建
周载阳 苏 强 张建清 王众毅
严建国 张建新

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	地下病害体分类	7
5	技术准备	10
6	地下病害体探测	11
6.1	一般规定	11
6.2	探地雷达法	12
6.3	高密度电阻率法	18
6.4	瞬态面波法	21
6.5	微动勘探法	23
6.6	地震映像法	25
6.7	瞬变电磁法	27
7	地下病害体验证	30
8	地下病害体风险评估	32
8.1	一般规定	32
8.2	风险影响因素调查	32
8.3	风险发生可能性评价	33
8.4	风险后果评价	37
8.5	风险等级划分与控制对策	40
9	成果编制与信息化管理	42
9.1	一般规定	42
9.2	成果编制	42

9.3 信息化管理	43
附录 A 探地雷达法现场探测记录单	45
附录 B 高密度电阻率法现场探测记录单	46
附录 C 瞬态面波法现场探测记录单	47
附录 D 微动勘探法现场探测记录单	48
附录 E 地震映像法现场探测记录单	49
附录 F 瞬变电磁法现场探测记录单	50
附录 G 地下病害体成果统计表	51
附录 H 地下病害体探测成果代号和图例	52
本标准用词说明	53
引用标准名录	54
附：条文说明	55

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
4	Classification of Underground Disasters	7
5	Technical Preparation	10
6	Detection of Underground Disasters	11
6.1	General Requirements	11
6.2	Ground Penetrating Radar	12
6.3	High-density Resistivity Method	18
6.4	Transient Surface Wave Method	21
6.5	Microtremor Exploration Method	23
6.6	Seismic Imaging Method	25
6.7	Transient Electromagnetic Method	27
7	Verification of Underground Disasters Identified by Detection	30
8	Risk Evaluation of Underground Disasters	32
8.1	General Requirements	32
8.2	Investigation of Risk Factors	32
8.3	Evaluation of Risk Probability	33
8.4	Evaluation of Risk Consequence	37
8.5	Level of Risk and Control Countermeasures	40
9	Surveying Report and Informatization Management	42

9.1	General Requirements	42
9.2	Surveying Report	42
9.3	Informatization Management	43
Appendix A	Field Record Sheet for GPR	45
Appendix B	Field Record Sheet for High-density Resistivity Method	46
Appendix C	Field Record Sheet for Transient Surface Wave Method	47
Appendix D	Field Record Sheet for Microtremor Exploration Method	48
Appendix E	Field Record Sheet for Seismic Reflection Method	49
Appendix F	Field Record Sheet for Seismic Imaging Method	50
Appendix G	Information Table of Underground Disasters	51
Appendix H	Symbols and Legends of Underground Disasters	52
	Explanation of Wording in This Standard	53
	List of Quoted Standards	54
	Addition: Explanation of Provisions	55

1 总 则

1.0.1 为规范城市地下病害体探测与风险评估，提高城市地下病害探测的工作效率、深度和精度，建立统一应用平台，保障城市运行安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城市道路、广场及地下基础设施沿线等区域，深度 30m 以内的地下病害体综合探测与风险评估。

1.0.3 城市地下病害体综合探测与风险评估除应符合本标准外，尚应符合国家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

存在于地面以下的空洞、脱空、疏松体、富水体等威胁城市安全的不良地质体。

2.1.2 地下病害体探测 underground disasters detection

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

2.1.3 脱空 cavity underneath pavement

地面硬壳层与地基土之间发育的具有一定规模的洞体。

2.1.4 空洞 void

地下土体中自然发育或人工形成的具有一定规模的洞体。

2.1.5 疏松体 loosely infilled void

密实度明显低于周边土体的不良地质体。

2.1.6 富水体 water-rich void

含水量明显高于周边土体的不良地质体。

2.1.7 干扰源 interference source

在地下病害体探测中，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。

2.1.8 H/V 曲线 H/V curve

微动勘探法中，面波数据水平分量 H 与垂直分量 V 功率谱的比值随频率的变化曲线。

2.1.9 地下病害体验证 verification of underground disasters identified by detection

在地下病害体地球物理探测成果的基础上，采取钻探、挖探、钎探等方法对疑似地下病害体进行验证的活动。

2.1.10 地下病害体风险评估 risk evaluation of underground disasters

根据地下病害体的类型、埋深、规模，地下结构完损状况，区域工程地质、水文地质条件，周边环境、施工干扰、道路荷载、气象特征等孕险环境与致险因子，评价其造成地面塌陷、地下管线破损等灾害的风险可能性和风险后果，综合判定其风险等级，并提出相应的风险控制建议。

2.1.11 风险等级 level of risk

根据地下病害体风险发生可能性等级及风险后果等级综合确定的风险程度。

2.1.12 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向跨度之比。

2.2 符 号

- c ——空气中的电磁波速度；
- C ——风险后果；
- C_i ——风险后果评价指标分值；
- d ——地下病害体高度；
- D ——最大探测深度；
- f ——探地雷达天线主频；
- f_0 ——检波器的自然频率；
- h ——深度；
- I ——发射电流；
- K ——系数；
- L ——发射回线边长；
- l ——地下构筑物、地面设施或施工边界与地下病害体边界之间的最小距离；
- l_{gx} ——地下病害体边界与管线边界的最小水平距离；
- M ——回线装置匝数；
- n ——地下管线服役年限；

- N ——噪声电平；
 P ——风险发生可能性；
 P_i ——风险发生可能性一级指标分值；
 P_{ij} ——风险发生可能性二级指标分值；
 r ——地下病害体覆跨比；
 R_{gzw} ——地下构筑物边界和地下病害体边界之间的最小距离与地下病害体最大跨度的比值；
 R_{dm} ——地面设施边界和地下病害体边界之间的最小距离与地下病害体最大跨度的比值；
 R_m ——最低限度的信噪比；
 S ——地下病害体投影面积；
 t ——衰减时间；
 T ——时窗；
 v ——电磁波速度；
 V_{Rmin} ——面波相速度最小值；
 V_R ——面波相速度；
 x' ——横向分辨率；
 β ——波长深度转换系数；
 ϵ_r ——相对介电常数；
 η ——最小可分辨电平；
 λ ——电磁波波长；
 ρ ——地层电阻率。

3 基本规定

3.0.1 城市地下病害体综合探测与风险评估应结合既有的岩土工程、市政设施、水文气象等资料，查明探测区域内赋存的地下病害体的属性特征，对其进行风险评估，并提出处置对策建议。

3.0.2 城市地下病害体综合探测与风险评估应符合下列规定：

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，应立即进行；

2 城市主干道路、广场及重点管线区域，宜定期进行；

3 埋藏年代久远的地下基础设施区域，宜定期进行；

4 当存在地下工程施工时，宜分别在施工前、竣工后进行；

5 城市重大社会活动涉及的道路、广场、地下管线周边等区域，宜在活动举办前进行；

6 排水管涵、河道周边等区域，宜在汛期后进行；

7 其他存在地下病害体潜在安全风险的区域，宜择机进行。

3.0.3 地下病害体探测可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，并应确定重点探测区；

2 详查应对重点探测区进行探测，并应查明地下病害体的属性。

3.0.4 地下病害体探测方法应根据探测对象、场地地球物理特性、环境特性、探测深度和精度等因素综合选择。

3.0.5 城市地下病害体综合探测与风险评估工作程序宜包括下列内容：

1 收集、分析相关资料，现场踏勘；

2 编制和审查探测工作方案；

3 进行有效性试验，现场数据采集；

- 4 数据质量分析和评价；
 - 5 数据处理与解释；
 - 6 成果复核与验证；
 - 7 地下病害体的风险评估；
 - 8 报告编写，成果提交与归档。
- 3.0.6** 探测仪器设备应性能稳定、状态良好，并应定期维护和保养。
- 3.0.7** 现场探测工作开始前应根据探测目的、场地环境等因素进行有效性试验，确定探测方法和工作参数。
- 3.0.8** 在探测过程中和完成后应进行数据质量检查，合格后方可用于解释。
- 3.0.9** 在探测过程中，当发现危险性较大的地下病害体时，应及时通报相关单位。
- 3.0.10** 对探测的地下病害体应进行复核或验证。
- 3.0.11** 对地下病害体应进行风险评估，确定风险等级并提出控制对策建议。
- 3.0.12** 地下病害体综合探测与风险评估完成后，应编写成果报告并绘制成果图。
- 3.0.13** 对地下病害体综合探测成果宜进行信息化管理。
- 3.0.14** 地下病害体探测作业人员应经技术、安全培训合格后方可上岗。

4 地下病害体分类

4.0.1 地下病害体可分为脱空、空洞、疏松体和富水体 4 类。

4.0.2 根据工程特征划分的地下病害体类型宜按表 4.0.2 确定。

表 4.0.2 地下病害体按工程特征分类

地下病害体类型	工程特征
脱空	位于地面硬壳层与地基土之间，埋置深度浅
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，对上部土体或结构具有失稳风险
疏松体	<ol style="list-style-type: none"> 1 相对周边土体，具有结构不均匀、松散、密实度低、强度低、高压缩性等特点； 2 强度随疏松体的松散程度增大而降低； 3 疏松体范围逐渐扩大到一定程度，其自身承载力降低，内部土体发生坍塌，疏松体上部发展为空洞，在路基与基层之间、基层和面层之间会出现脱空
富水体	<ol style="list-style-type: none"> 1 相对周边土体均匀性较差、含水量高、呈流塑状态、灵敏度较高；强度很低、孔隙比较大、压缩性高等特点； 2 富水体区域因局部水力作用，土体结构弱化，强度降低，工程性质变差，危及周边工程安全，其上部发展为空洞

4.0.3 根据地球物理特征划分的地下病害体类型宜按表 4.0.3 确定。

表 4.0.3 地下病害体按地球物理特征分类

地下病害体类型	介电特征	弹性特征	电阻率特征
脱空	相对介电常数为 1	1 弹性波速度低；	电阻率大于周边土体，明显高阻异常
空洞		2 波阻抗低	

续表 4.0.3

地下病害体类型	介电特征	弹性特征	电阻率特征
疏松体	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1 弹性波速度低; 2 疏松程度越高, 速度越低 	<ol style="list-style-type: none"> 1 电阻率较大于周边土体; 2 疏松程度越高, 电阻率差异越明显; 3 电阻率等值线结构不规则
富水体	<ol style="list-style-type: none"> 1 相对介电常数大于周边土体; 2 含水量越高, 相对介电常数越大 	弹性波速度低	<ol style="list-style-type: none"> 1 电阻率小于周边土体; 2 明显低阻异常

4.0.4 疏松体等级划分宜按表 4.0.4 确定。

表 4.0.4 疏松体等级划分

疏松体等级	岩土性质	工程特征	可钻性
严重疏松体	<ol style="list-style-type: none"> 1 碎石土: 骨架排列不规则, 基本不接触; 2 砂性土、粉土: 颗粒松散, 多呈蜂窝状结构; 3 黏性土: 孔隙率大, 呈蜂窝状结构; 4 其他密实度低, 极易变形的土体 	<ol style="list-style-type: none"> 1 不密实、孔隙较大; 2 在水的振动压力作用下且存在通道时, 易于产生水土流失; 3 易于产生压缩变形、固结沉降变形; 4 浸水后土的结构破坏而发生显著附加变形 	钻进容易, 孔壁易坍塌

续表 4.0.4

疏松体等级	岩土性质	工程特征	可钻性
一般疏松体	<p>1 碎石土：骨架排列错落，接触不良；</p> <p>2 砂性土、粉土：颗粒较为紧密，多呈絮状结构；</p> <p>3 黏性土：孔隙率较大；</p> <p>4 其他密实度较低，易变形的土体</p>	<p>1 基本不密实、存在部分孔隙浸水后连接强度减弱，遇通道易于流失；</p> <p>2 外力作用下易产生压缩变形</p>	<p>钻进较容易，孔壁较为稳定</p>

5 技术准备

5.0.1 技术准备工作应包括资料收集、现场踏勘、编写探测方案等内容。

5.0.2 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 测区地形图和测量控制资料；
- 3 测区岩土工程、工程地质和水文地质勘察资料；
- 4 测区内的地下管线现状资料、已有的排水管道内检测成果资料、给水管道漏水检测成果资料；
- 5 测区内既有的地下病害体探测资料及地下病害体修复的设计施工资料。

5.0.3 现场踏勘应了解工作环境条件及典型干扰源的分布、地形地貌及其变化情况，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。

5.0.4 探测方法应根据工作要求、地下病害体属性、场地干扰因素和作业条件等选择。

5.0.5 探测方案宜包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 工程地质条件与工作环境分析；
- 3 工作依据；
- 4 工作重难点分析及应对措施；
- 5 工作方法与仪器设备；
- 6 施工组织；
- 7 拟提交的成果资料。

6 地下病害体探测

6.1 一般规定

6.1.1 地下病害体探测应具备下列条件：

- 1 地下病害体与周边土体应存在一定的地球物理性质差异；
- 2 地下病害体尺寸相对于埋藏深度或探测距离应具有一定的规模；
- 3 现场应具备探测的实施条件。

6.1.2 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，复杂探测环境宜采用多种方法综合探测。

6.1.3 探测方法或方法组合宜根据探测目的按表 6.1.3 确定。

表 6.1.3 地球物理探测方法的适用性

探测方法 \ 地下病害体	类型				埋藏深度 D
	脱空	空洞	疏松体	富水体	
探地雷达法	●	●	●	●	$D < 7.0\text{m}$
高密度电阻率法	—	●	○	●	$3.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$
瞬态面波法	—	●	●	—	$3.0\text{m} < D \leq 20.0\text{m}$
微动勘探法	—	●	●	—	$3.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$
地震映像法	○	●	○	—	$D \leq 20.0\text{m}$
瞬变电磁法	—	●	○	●	$3.0\text{m} < D \leq 30.0\text{m}$

注：●—适用；○—可用。

6.1.4 测线布置应符合下列规定：

- 1 测线宜避开地形及其他干扰的影响；
- 2 测线宜通过已知点布设；
- 3 测线长度、间距应满足异常探测成果连续、完整，便于追踪；
- 4 对重点区域，测线宜适当加密或网状布设。

6.1.5 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 探测使用的底图比例尺不宜小于 1 : 1000；

4 宜采用当地城市坐标系。

6.1.6 探测中应按不同探测方法和工程性质填写现场记录，记录内容应清晰、准确、完整。

6.1.7 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。

6.2 探地雷达法

6.2.1 探地雷达法探测地下病害体应具备下列条件：

1 地下病害体具有一定的规模，与周边介质之间存在介电性质差异；

2 测区内地表相对平坦。

6.2.2 探地雷达仪器设备的主要指标性能应满足下列要求：

1 系统增益不应小于 150dB；

2 信噪比不应低于 110dB，动态范围不应小于 120dB；

3 分辨率不应小于 5ps；

4 计时误差不应大于 1.0ns；

5 宜具备多通道采集功能。

6.2.3 探测地下病害体宜采用剖面法；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。

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

1 宜选择频率为 80MHz~500MHz 的屏蔽天线，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；

2 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；

3 重点区域及普查中确定的重点异常区探测宜选用多种频率天线。

6.2.5 探地雷达法的垂向分辨率宜取探地雷达电磁波波长的1/4, 电磁波在地下介质中传播的波长宜按下式计算:

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.2.5)$$

式中: λ ——电磁波波长 (m);

c ——空气中的电磁波速度 (m/ns), 取 0.3;

f ——探地雷达天线主频 (MHz);

ϵ_r ——相对介电常数。

6.2.6 探地雷达法的横向分辨率宜按下式计算:

$$x' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (6.2.6)$$

式中: x' ——横向分辨率 (m);

λ ——电磁波波长 (m);

h ——深度 (m)。

6.2.7 探地雷达法测线布设应符合下列规定:

1 在城市道路上进行探测时, 测线宜沿车道行进方向布设;

2 在城市广场等非道路区域进行探测时, 测线宜沿场区长边方向布设;

3 在隧道、管道内部进行探测时, 测线宜沿隧道、管道轴向布设;

4 普查时测线间距不宜大于 2.0m, 详查时测线间距不宜大于 1.0m。

6.2.8 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天线主频、采集方式和采集参数。

6.2.9 探地雷达法采集参数设置应符合下列规定:

1 记录时窗宜根据最大探测深度和地下介质的电磁波传播速度综合确定, 可按下式计算:

$$T = K \frac{2D}{v} \quad (6.2.9)$$

式中： T ——记录时窗（ns）；

K ——加权系数，取 1.3~1.5；

D ——最大探测深度（m）；

v ——电磁波速度（m/ns）。

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 5.0cm，详查时道间距不宜大于 2.5cm。

6.2.10 地下介质的电磁波速度计算可采用宽角法、已知深度目标换算法或迭代偏移处理法。

6.2.11 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，并应与仪器的扫描率相匹配；

4 当测量轮触发连续采集时，天线移动速度应使采集数据不出现丢道现象；当自由连续采集时，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，应调整天线间距以使采集的信号最强；

6 自由连续采集时，应进行等间距标记，间距不宜大于 10m；

7 应及时记录信号异常，并应分析异常原因，必要时进行复测；

8 应及时记录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，并应进行复核；

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；

11 当采用差分 GPS 进行测线轨迹定位时，应合理设置基

准站，并应进行定点测量验证。

6.2.12 现场记录宜包含探测地点、测试参数、文件号、测线位置、地面异常环境等内容，记录宜符合本标准附录 A 的规定。

6.2.13 探地雷达测线的定位可利用测区内已知位置的井盖、路灯或管线等地物的雷达回波对测线进行校核。

6.2.14 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 重复观测的数据与原数据应一致性良好；
- 3 现场记录信息应完整，且与数据保持一致；
- 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。

6.2.15 根据数据质量及解释要求，数据处理方法和步骤（图 6.2.15）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；

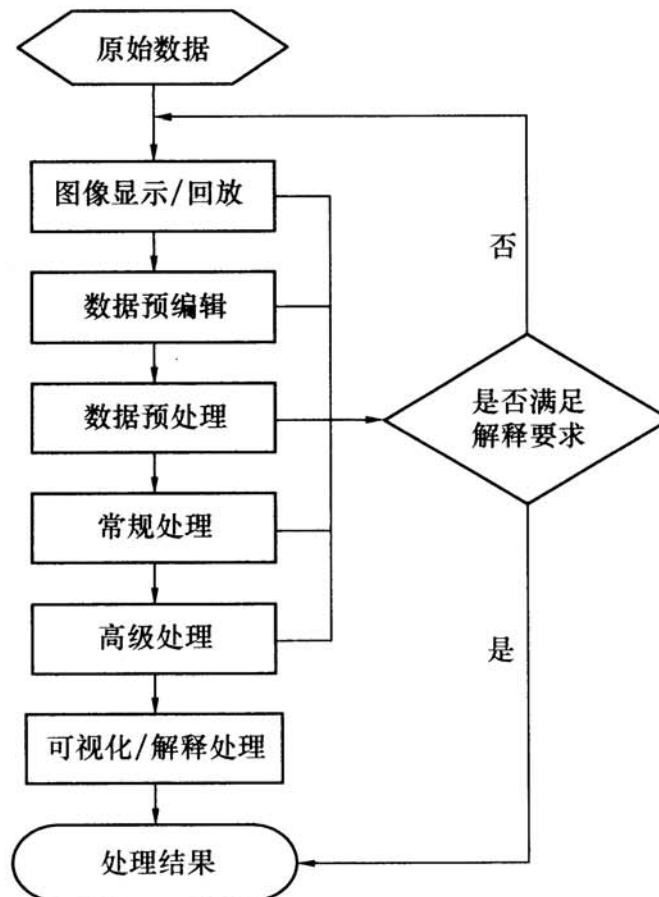


图 6.2.15 探地雷达数据处理流程

- 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 在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波；
- 5 当反射信号弱、数据信噪比低时，不宜对数据进行反褶积、偏移归位处理；
- 6 可采用反褶积压制多次反射波干扰，反射子波宜为最小相位子波；
- 7 可采用空间滤波的有效道叠加或道间差方法，提高异常信号的连续性、独立性和可解释性；
- 8 改变反射信号的振幅特征宜在其他方法处理完后进行。

6.2.16 影响探地雷达探测的典型干扰源类型可按表 6.2.16 划分。

表 6.2.16 影响探地雷达探测的典型干扰源分类

干扰源类型	典型干扰源
地上干扰	邻近建筑物，过街天桥，高架桥，指示牌，地面井盖及钢板，金属栅栏，车辆等
地下干扰	地下管线、管沟及井室，降水井，地下通道，地下加固体，防空洞，树根等
电磁干扰	路灯，架空线缆等

6.2.17 探地雷达法资料解释方法和流程（图 6.2.17）应符合下列规定：

- 1 解释成果应采用专业语言描述，用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高；
- 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 地下病害体解释宜结合地面变形、管线破损和历史塌陷

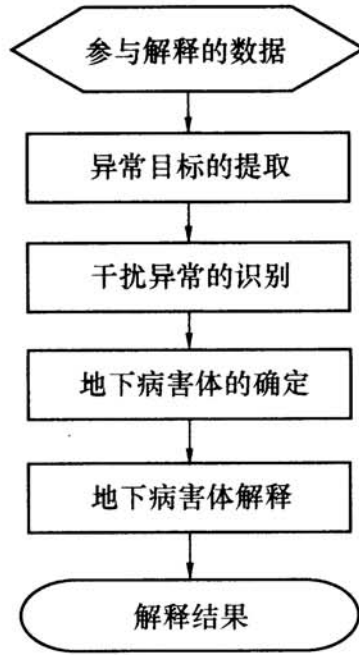


图 6.2.17 探地雷达法资料解释流程

等调查资料及测区地质资料进行；

5 地下病害体的位置、范围和规模宜结合相邻测线对比分析确定；

6 应在雷达剖面图上标明地下病害体的位置和范围。

6.2.18 当采用探地雷达法探测时，地下病害体宜按表 6.2.18 进行识别。

表 6.2.18 地下病害体的探地雷达特征

地下病害体	波组形态	振幅	相位与频谱
脱空	1 顶部形成连续的同向性反射波组，表现为似平板状形态； 2 多次波明显	整体振幅强	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
空洞	1 似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态； 2 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； 4 多次波明显	整体振幅强	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

续表 6.2.18

地下病害体		波组形态	振幅	相位与频谱
疏松体	严重疏松体	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 多次波较明显； 3 绕射波较明显； 4 内部波形结构杂乱	整体振幅强	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
	一般疏松体	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 多次波不明显； 3 绕射波不明显； 4 内部波形结构较杂乱	整体振幅较强	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
富水体		1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 绕射波不明显； 3 底部反射波不明显	顶部反射波振幅强，衰减快	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

6.2.19 探地雷达法成果图件宜包括探地雷达测线平面布置图、地下病害体平面分布图、地下病害体探地雷达剖面图。

6.3 高密度电阻率法

6.3.1 高密度电阻率法探测地下病害体应具备下列条件：

- 1 地下病害体具有一定的规模，且与周围介质之间存在较明显的电阻率差异；
- 2 测区内接地条件良好或能通过采取措施加以改善；
- 3 测区内没有电阻屏蔽层；
- 4 测区内地下没有高压电缆等强干扰存在。

6.3.2 高密度电阻率法仪器设备的主要技术指标除应符合现行行业标准《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7 的规定外，还

应符合下列规定：

- 1 输入阻抗不应小于 $50\text{M}\Omega$ ；
- 2 输出的最大电压不应小于 450V ；
- 3 输出的最大电流不应小于 3A ；
- 4 对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 80dB ；
- 5 宜具有即时显示电剖面功能；
- 6 应具有对电缆、电极接地、系统状态和参数设置的监测功能。

6.3.3 高密度电阻率法宜使用不锈钢电极或铜电极，多芯电缆芯线电阻应小于 $10\Omega/\text{km}$ ，芯间绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

6.3.4 高密度电阻率法的测线布置应符合下列规定：

1 在城市道路上探测时，宜沿道路延伸方向布设测线，在非道路区域探测时，宜沿场地长边方向布设测线；

2 测线上反映目标体的测点不应少于 3 个；

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 $1/5$ 。

6.3.5 正式探测前应进行有效性试验，确定观测装置、排列长度及电极距。

6.3.6 高密度电阻率法的数据采集应符合下列规定：

1 电极接地电阻应小于 $5\text{k}\Omega$ ；

2 复杂条件下，应采用不少于两种观测装置进行探测；

3 对每个排列的观测数据，坏点总数不应超过总测量点数的 1% ，对意外中断后的续测，应有不少于 2 个深度层的重测值；

4 对偶极装置，应观测电压和电流值，计算视电阻率值，远电极极距不应小于 5 倍最大供电极距；

5 实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接。

6.3.7 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、地面异常环境等内容，记录应符合本标准附录 B 的规定。

6.3.8 高密度电阻率法的质量检查及评价应符合下列规定：

1 可选择两层或两列进行重复观测，也可固定供电测量方式，采用相邻排列重合部分电极进行散点观测检查；

2 外业质量检查点应随机抽取、分布均衡，异常点或有疑问点应重点检查；检查量不应少于总工作量的 5%，且不应少于 1 个排列；

3 当因地表及浅层含水量变化或因地电干扰使得视电阻率的原始数据或系统观测数据出现奇异点时，应剔除奇异点后再进行质量评价；剔除点数不得超过该排列数据总点数的 1%；

4 质量检查统计的均方相对误差不得超过 5%；

5 当外业数据质量不满足要求时，应增加检查量；当检查量达到工作总量的 20%，质量仍不满足要求时，应重新探测。

6.3.9 高密度电阻率法数据处理应使用质量合格的数据，并应符合下列规定：

1 当地形坡度大于 15° 时，应进行地形校正；

2 数据预处理时，可进行数据平滑和滤波，对个别无规律的数据突变点，可结合相邻测点数值进行修正；

3 可进行二维或三维反演。

6.3.10 高密度电阻率法资料解释应符合下列规定：

1 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；

2 不同的探测剖面对比分析，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；

3 地下病害体属性应在分析异常电性特征的基础上，结合其他有关资料解释。

6.3.11 当采用高密度电阻率法探测时，地下病害体宜按表 6.3.11 进行识别。

表 6.3.11 地下病害体的高密度电阻率法剖面电性特征

地下病害体	剖面电性特征
空洞	1 当空洞有水充填时，其电阻率特征表现为相对低电阻率异常； 2 当空洞无水充填时，其电阻率特征表现为相对高电阻率异常
疏松体	疏松体的电阻率特征表现为相对高电阻率异常
富水体	富水体的电阻率特征表现应为相对低电阻率异常

6.3.12 高密度电阻率法成果图件宜包括测线平面布置图、视电阻率断面或反演电阻率断面图、地下病害体平面分布图。

6.4 瞬态面波法

6.4.1 瞬态面波法探测地下病害体应具备下列条件：

- 1 地下病害体与其周边介质之间存在速度或波阻抗差异；
- 2 测区内地表相对平坦，无临空面、陡立面，相邻检波器之间的高差小于 1/2 道间距。

6.4.2 瞬态面波法的震源宜采用机械落重式、人工锤击式或者电磁式震源。

6.4.3 瞬态面波法仪器设备的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 仪器放大器的通道数不应少于 12 道；
- 2 仪器放大器的通频带应满足 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一半；
- 4 仪器动态范围不应小于 120dB；
- 5 应具备剖面滚动采集功能。

6.4.4 瞬态面波法的检波器选择应符合下列规定：

- 1 应采用垂向的速度型检波器。
- 2 检波器的自然频率宜选用 4Hz~20Hz，并可按下式计算：

$$f_0 \leq \beta \frac{V_{Rmin}}{D} \quad (6.4.4)$$

式中： f_0 ——检波器的自然频率（Hz）；

D ——最大探测深度（m）；

V_{Rmin} ——面波相速度最小值（m/s）；

β ——波长深度转换系数，取 0.5。

3 同一排列检波器之间的自然频率差不应大于 0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差不应大于 10%。

6.4.5 瞬态面波法数据采集前应进行有效性试验，方法与内容应符合现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 的规定。

6.4.6 瞬态面波法测线布设应符合下列规定：

1 测点间距应小于最小目标病害体地面投影等效直径的 1/3；

2 应根据场地地形条件确定测线位置和检波器排列方式；

3 宜采用滚动排列的方式追踪地下病害体的分布；

4 排列的道间距应小于最小探测深度所需波长的 1/2。

6.4.7 瞬态面波法数据采集除应符合现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 的规定外，还应符合下列规定：

1 检波器应垂直地面安置，与地面耦合应良好；

2 记录的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 3 道。

6.4.8 现场记录宜包含探测地点、测试参数、文件名、测线号、测线位置、环境干扰状况等内容，记录宜符合本标准附录 C 的规定。

6.4.9 瞬态面波法数据处理和成果解释应符合下列规定：

1 宜选用频率-波数方法、高分辨率频率-波数方法或空间自相关方法等提取面波的频散曲线；

2 宜按半波长法进行深度转换，并应按地层泊松比进行系数校正，绘制相速度-深度曲线；

3 应结合现场调查资料和已有的钻探、其他物探资料等，对频散曲线的曲率变化进行解释；

4 宜根据相速度剖面或视横波速度剖面特征对地下病害体进行解释。

6.4.10 当采用瞬态面波法探测时，地下病害体宜按表 6.4.10 进行识别。

表 6.4.10 地下病害体的瞬态面波法特征

地下病害体	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	与周边正常地层相比，速度降低明显	与周边正常地层相比，表现为明显的低速异常，圈闭特征明显	边界波组杂乱，局部存在镜像波	频散曲线变化剧烈，之字形拐点明显
疏松体	与周边正常地层相比，速度降低较明显	与周边正常地层相比，表现为较明显的低速异常	波组杂乱，分布不规则	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

6.4.11 瞬态面波法探测成果图件宜包括探测点频散曲线图、面波相速度或视横波速度剖面图及病害体解释成果图。

6.5 微动勘探法

6.5.1 微动勘探法探测地下病害体应具备下列条件：

- 1 探测目标与其周边介质之间存在波阻抗差异；
- 2 探测目标的尺寸与其埋藏深度之比大于 0.1；
- 3 测区内地表相对平坦。

6.5.2 微动勘探法仪器设备的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 宜选用多通道数字地震仪或多台一体化数字地震仪；
- 2 采集时间长度应可控；
- 3 A/D 转换位数不应小于 24 位；

- 4 动态范围应大于 120dB;
 - 5 系统噪声不应大于 $1\mu\text{V}$ 。
- 6.5.3** 微动勘探法使用的拾振器应符合下列规定:
- 1 台阵各道拾振器应符合幅值和相位一致性要求;
 - 2 宜采用三分量速度传感器,固有频率不宜大于 2Hz。
- 6.5.4** 探测前应检查台阵中各拾振器的振幅和相位一致性。
- 6.5.5** 宜根据探测目标体的深度、现场工作条件等因素,选择采用圆形、内嵌三角形、T形、L形或十字形等台阵观测方式。
- 6.5.6** 应根据探测目的和深度、精度要求,确定台阵半径、仪器采集参数及记录长度。
- 6.5.7** 拾振器布置应符合下列规定:
- 1 应按设计位置布设,布设条件宜一致,并应与地面耦合良好;
 - 2 拾振器应摆放在密实地面上并调水平;
 - 3 台阵中各拾振器间的高差不宜大于 25cm。
- 6.5.8** 微动勘探法现场数据采集应符合下列规定:
- 1 应根据现场振动干扰情况,选择合适的采集时机,避开测点附近的持续强振动干扰;
 - 2 单次采集时间不宜少于 10min,探测现场存在非持续的干扰因素时,应延长信号采集时间;
 - 3 应避免在恶劣天气条件下采集信号;
 - 4 应及时记录采集过程中的干扰情况。
- 6.5.9** 现场记录宜包含探测地点、台阵形式、测线编号、测试参数、文件名、测点号、测试时间和环境干扰状况等内容,记录宜符合本标准附录 D 的规定。
- 6.5.10** 微动勘探法数据质量评价应符合下列规定:
- 1 数据应与现场记录一致;
 - 2 数据在所需频率范围内的信噪比宜大于 10dB;
 - 3 对存在持续强振动干扰的数据,应重新采集。

6.5.11 微动勘探法的数据处理和成果解释除应满足本标准第6.4.9条的规定外，还可根据各拾振点的 H/V 曲线和台阵平均 H/V 曲线特征进行地下病害体的判别和解释。

6.5.12 当采用微动勘探法探测时，地下病害体除应按本标准第6.4.10条识别外，还宜根据 H/V 曲线特征进行识别，并宜符合下列规定：

- 1 空洞的 H/V 曲线在高频段表现宜为量值大；
- 2 疏松体的 H/V 曲线在高频段表现宜为量值较大。

6.5.13 微动勘探法成果图件宜包括典型时间记录、频散曲线、 H/V 曲线及视横波速度剖面或相速度剖面、病害体解释成果图等。

6.6 地震映像法

6.6.1 地震映像法探测地下病害体应具备下列条件：

- 1 被探测对象与周围介质之间存在明显波阻抗差异；
- 2 被探测对象的几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不小于 0.1；
- 3 测区内地表相对平坦，无陡立面。

6.6.2 地震映像法仪器设备的主要技术指标应符合本标准第6.4.3条的规定。

6.6.3 探测前应进行有效性试验，确定偏移距、激发方式及检波器频率等。

6.6.4 应根据探测深度和精度的要求确定采样间隔和记录长度。

6.6.5 地震映像法测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜选择地形起伏较小、表层介质较为均匀的地段布设；
- 2 测线宜布设成直线；当受场地条件限制时，测线可布设成折线，当遇到陡坎时，应另起新测线；
- 3 测线上反映目标体的测点不应少于 3 个。

6.6.6 地震映像法现场数据采集应符合下列规定：

- 1 检波器应垂直地面安置，与地面耦合良好；
 - 2 各点激发能量宜一致；
 - 3 宜选择振动干扰较小的时段进行探测；
 - 4 可采用叠加的方式提高信噪比；
 - 5 当发现疑似地下病害体时，应记录位置，并复核。
- 6.6.7 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、测线位置和环境干扰状况等内容，记录宜符合本标准附录 E 的规定。
- 6.6.8 采集数据剖面应记录清晰，信噪比应符合数据处理、解释的要求。
- 6.6.9 地震映像法数据处理应符合下列规定：
- 1 应剔除坏道数据；
 - 2 宜采用带通滤波，消除环境干扰；
 - 3 可采用小波变换、预测反滤波、频率-波数域滤波、速度分析等方法进行处理；
 - 4 宜对地震波反射能量随深度的衰减进行补偿。
- 6.6.10 当采用地震映像法时，地下病害体宜按表 6.6.10 进行识别。

表 6.6.10 地下病害体的地震映像法特征

地下病害体	同相轴特征	频率特征
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，局部有散射现象	频率低于背景场
疏松体	波形结构变化较大，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

6.6.11 地震映像法探测成果图宜包括地震映像测线平面布置图、地震映像剖面图、地下病害体平面分布图。

6.7 瞬变电磁法

6.7.1 瞬变电磁法探测地下病害体应具备下列条件：

- 1 地下病害体与周边介质之间存在电性差异；
- 2 测区内地表相对平坦；
- 3 测区内没有强电磁干扰。

6.7.2 瞬变电磁法仪器设备的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 最小发射电流应大于 3A；
- 2 动态范围不应小于 120dB；
- 3 等效输入噪声不应大于 $1\mu\text{V}$ ；
- 4 对工频干扰抑制不应小于 60dB。

6.7.3 地下病害体探测宜选用等值反磁通装置或中心回线装置。

6.7.4 当采用中心回线装置时，发射回线边长可根据最大发射电流、最大探测深度按下列公式计算：

$$D = 0.55 \left(\frac{ML^2 I \rho}{\eta} \right)^{1/5} \quad (6.7.4-1)$$

$$\eta = R_m N \quad (6.7.4-2)$$

式中： D ——最大探测深度 (m)；

M ——回线装置匝数；

L ——发射回线边长 (m)；

I ——发射电流 (A)；

ρ ——地层电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)；

η ——最小可分辨电平 (V)；

R_m ——最低限度的信噪比；

N ——噪声电平 (V)。

6.7.5 当采用等值反磁通装置时，最大探测深度可按下式计算：

$$D = 28\sqrt{\rho t} \quad (6.7.5)$$

式中： D ——最大探测深度 (m)；

ρ ——地层电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)；

t ——衰减时间 (ms)。

- 6.7.6** 瞬变电磁法的工作布置应符合下列规定：
- 1 点距与线距应能完整反映探测目标的分布；
 - 2 测线宜按直线布置。
- 6.7.7** 瞬变电磁法的数据采集应符合下列规定：
- 1 应根据试验结果确定发射线框和接收线框的大小、发射和接收延时；
 - 2 应根据探测深度选取发射频率；
 - 3 现场观测时，除最后 5 个测道外，其余观测值均应在噪声电平以上；
 - 4 对瞬间干扰应暂停观测，排除干扰后方可进行探测；
 - 5 当曲线出现畸变时，应查明原因并重复观测；
 - 6 当曲线衰减变慢时，应扩大测道时间范围重复观测；
 - 7 应检查每个测点的数据和曲线，合格后方可进行下一点观测；
 - 8 应记录干扰源、地表变形等异常现象。
- 6.7.8** 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，记录应符合本标准附录 F 的规定。
- 6.7.9** 瞬变电磁法的数据质量评价应符合下列规定：
- 1 重复观测的数据的曲线形态和幅值应一致；
 - 2 各测道数据幅值的相对标准偏差宜小于 10%。
- 6.7.10** 瞬变电磁法数据处理应符合下列规定：
- 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。
- 6.7.11** 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和视电阻率断面图进行地下病害体解释；

2 应结合调查资料进行地下病害体定性或半定量解释。

6.7.12 当采用瞬变电磁法时，地下病害体宜按表 6.7.12 进行识别。

表 6.7.12 地下病害体的瞬变电磁法识别特征

地下病害体	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

6.7.13 瞬变电磁法成果图宜包括瞬变电磁测线平面布置图、多测道剖面曲线图、视电阻率拟断面图和地下病害体平面分布图。

7 地下病害体验证

7.0.1 地下病害体探测成果的验证应确定病害体的类型、埋深等属性。

7.0.2 成果验证点宜根据地下病害体类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择。

7.0.3 成果验证点的数量应符合下列规定：

- 1 空洞、脱空、严重疏松体应全部验证；
- 2 其他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。

7.0.4 成果验证的方法应符合下列规定：

- 1 宜选用钻探、挖探、钎探等方法；
- 2 验证点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；
- 3 当验证地下病害体边界时，宜在地下病害体边缘增设验证点；
- 4 对采用单一方法探测的地下病害体，当不具备钻探、挖探、钎探等作业条件时，可选用其他物探方法进行验证。

7.0.5 当采用钻探法进行验证时，现场作业方法应符合下列规定：

- 1 钻探操作应按现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 执行；
- 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 可采用内窥设备记录地下病害体影像。

7.0.6 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、含水量变化等信息；

2 钎探验证时应记录每 10cm 的击数及击数突变等信息；

3 挖探验证时应记录地下病害体起止深度、岩土体性状、地下病害体横向规模等信息。

7.0.7 成果验证结果的判定宜符合下列规定：

1 当钻探、钎探过程中发生掉钻时，宜判定地下病害体类型为空洞或脱空；

2 当钻探过程中钻进速率加快、标准贯入或动力触探击数降低、挖探揭露的土体不密实时，宜判定地下病害体类型为疏松体；

3 当提取土样稠度为软塑-流塑或含水量变大时，宜判定地下病害体类型为富水体。

7.0.8 钻探、挖探、钎探验证完成后应按现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的规定进行回填。

7.0.9 成果验证完成后应根据验证结果修正相关物探探测结论，完善物探解释标志，确认地下病害体类型、规模及性状等特征。

7.0.10 成果验证前应进行场地危险源辨识与评价，作业过程中应避开地下管线等市政设施。

8 地下病害体风险评估

8.1 一般规定

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

8.1.2 地下病害体风险评估应包括风险影响因素调查、风险发生可能性评价、风险后果评价及风险等级评定。

8.1.3 风险发生可能性和风险后果评价宜采用指标体系法，地下病害体风险等级评定宜采用风险矩阵法。

8.1.4 风险评估指标及权重应根据地下病害体特征、地质环境、建（构）筑物分布、人员分布、社会影响等因素确定，指标应具有代表性、针对性和全面性。

8.2 风险影响因素调查

8.2.1 根据风险评估的要求，应进行地下病害体自身及其周边环境影响因素调查。

8.2.2 风险影响因素调查可根据不同因素的特点，通过资料收集、现场调查等方式进行。

8.2.3 地下病害体风险影响因素调查应包含下列内容：

- 1 地下病害体类型、规模、位置和埋深等信息；
- 2 地下病害体影响范围内道路、地下管线、地下建（构）筑物、地面设施、行驶车辆等属性及与地下病害体的相对位置关系；
- 3 地下病害体周边工程地质、水文地质条件及气象水文条件；
- 4 地下病害体影响范围内地面出现的变形、沉陷、裂缝、

坑槽、积水等异常情况及其严重程度和历史塌陷情况；

5 地下病害体影响范围内的地下管线及管井淤堵、变形、破损等异常情况及其严重程度；

6 地下病害体影响范围内的地面开挖、地下工程和邻近建筑工程施工等现状及历史状况；

7 地下病害体影响范围内的建（构）筑物、人员分布等情况，包括商场、医院、学校、体育馆、领事馆、地标性建筑、居民住宅区等建（构）筑物情况及地铁站、公交车站、过街天桥或通道等人员密集场所，并评价人员、财产密集程度。

8.3 风险发生可能性评价

8.3.1 地下病害体风险发生可能性评价的指标宜按表 8.3.1 取值。

表 8.3.1 地下病害体风险发生可能性评价指标体系

一级指标	二级指标		评价指标取值	
			评价依据	取值范围
地下病害体规模 P_A	地下病害体面积 P_{A1}		$S \geq 15m^2$	90~100
			$10m^2 \leq S < 15m^2$	70~90
			$3m^2 \leq S < 10m^2$	50~70
			$S < 3m^2$	20~50
	地下病害体高度 P_{A2}		$d > 4m$	90~100
			$2m < d \leq 4m$	80~90
			$1m < d \leq 2m$	70~80
			$d \leq 1m$	60~70
邻近设施 P_B	道路 P_{B1}	覆跨比 P_{B11}	$0 < r \leq 0.5$	90~100
			$0.5 < r \leq 1$	70~90
			$1 < r \leq 3$	40~70
			$r > 3$	0~40

续表 8.3.1

一级指标	二级指标		评价指标取值	
			评价依据	取值范围
邻近设施 P_B	道路 P_{B1}	道路现状 P_{B12}	路面存在明显变形、沉陷等	90~100
			路面存在明显裂缝、坑槽等	80~90
			路面龟裂、轻微变形	70~80
			路面完好	60~70
	地下管线 P_{B2}	病害体与管线的相对位置 P_{B21}	$l_{gx} \leq 1m$, 管线上下 1m (含 1m) 范围内	90~100
			$l_{gx} \leq 1m$, 管线下方 1m ~ 5m (含 5m)	80~90
			$1m < l_{gx} \leq 3m$, 管线下方 1m ~ 5m (含 1m)	70~80
			$1m < l_{gx} \leq 3m$, 管线上下 1m 范围内	50~70
			其他情况	0~50
		管线脆弱性 P_{B22}	具有下列情况之一： 1 砌体、石棉水泥、陶罐等易损材质； 2 地下病害体处于管线接口处； 3 地下病害体周边存在供水、排水管线漏水现象	90~100
			塑料等强度较小材料	80~90
			灰口铸铁等可靠性较低材料	70~80
			混凝土、球墨铸铁、钢管等可靠性较高材料	60~70
		服役年限 P_{B23}	$n \geq 30$ 年	90~100
			$5 \text{ 年} \leq n < 30 \text{ 年}$	70~90
			$n < 5$ 年	50~70
		地下构筑物 (非管线) P_{B3}	$R_{gzw} \leq 1$	90~100
	$1 < R_{gzw} \leq 2$		70~90	
	$2 < R_{gzw} \leq 3$		40~70	
	$R_{gzw} > 3$		0~40	
	地面设施 P_{B1}	$R_{dm} \leq 1$	90~100	
		$1 < R_{dm} \leq 2$	70~90	
		$2 < R_{dm} \leq 3$	40~70	
$R_{dm} > 3$		0~40		

续表 8.3.1

一级指标	二级指标	评价指标取值	
		评价依据	取值范围
环境因素 P_C	岩土体条件 P_{C1}	松散填土、粉土和砂土	80~100
		中密填土、粉土和砂土，松散卵(碎)砾石，黏性土	60~80
		密实填土、粉土和砂土	30~60
		中密~密实碎石土	0~30
	施工干扰 P_{C2}	$l \leq 5m$	80~100
		$5m < l \leq 10m$	50~80
		$l > 10m$	0~50
	地表荷载 P_{C3}	机动车频繁、重载车辆通行区域	70~100
		自行车道或机动车较少的区域	50~70
		人行道、广场等	0~50
	水环境条件 P_{C4}	具有下列情况之一： 1 处于河流、湖泊等水体周边30m 范围内； 2 易发生严重积水	80~100
		排水条件一般，易发生积水	50~80
		排水条件较好，不易出现积水	0~50

注：1 地下构筑物包括但不限于地铁、地下隧道、地下人防设施、地下停车场等；

2 表中 S 为地下病害体投影面积 (m^2)； d 为地下病害体高度 (m)； l 为地下构筑物、地面设施或施工边界与地下病害体边界之间的最小距离 (m)； l_{RX} 为地下病害体边界与管线边界的最小水平距离 (m)； n 为地下管线服役年限 (年)； r 为地下病害体覆跨比； R_{grw} 为地下构筑物边界和地下病害体边界之间的最小距离与地下病害体最大跨度的比值； R_{dm} 为地面设施边界和地下病害体边界之间的最小距离与地下病害体最大跨度的比值。

8.3.2 风险发生可能性分值宜按下列公式计算：

$$P = K (W_A P_A + W_B P_B + W_C P_C) \quad (8.3.2-1)$$

$$W_A + W_B + W_C = 1 \quad (8.3.2-2)$$

式中： P ——风险发生可能性分值；

P_A ——地下病害体规模指标；

P_B ——邻近设施指标；

P_C ——环境因素指标；

K ——地下病害体类型系数，脱空取 1.0，空洞取 1.0，严重疏松体取 0.9，富水体取 0.7，一般疏松体取 0.5；

W_A ——地下病害体规模指标权重，取 0.1~0.2；

W_B ——邻近设施指标权重，取 0.4~0.6；

W_C ——环境因素指标权重，取 0.2~0.4。

8.3.3 地下病害体规模指标宜按下式计算：

$$P_A = 0.7P_{A1} + 0.3P_{A2} \quad (8.3.3)$$

式中： P_A ——地下病害体规模指标；

P_{A1} ——地下病害体面积指标；

P_{A2} ——地下病害体高度指标。

8.3.4 邻近设施指标宜按下列公式计算：

$$P_B = \max_j(P_{Bj}) + 0.1 \left[\sum_{j=1}^4 P_{Bj} - \max_j(P_{Bj}) \right], \quad j=1, 2, 3, 4 \quad (8.3.4-1)$$

$$P_{B1} = 0.8P_{B11} + 0.2P_{B12} \quad (8.3.4-2)$$

$$P_{B2} = 0.5P_{B21} + 0.4P_{B22} + 0.1P_{B23} \quad (8.3.4-3)$$

式中： P_B ——邻近设施指标，当计算结果大于 100 时，取 100；

P_{B1} ——道路指标；

P_{B2} ——地下管线指标；

P_{B11} ——覆跨比指标；

P_{B12} ——道路现状指标；

P_{B21} ——地下病害体与管线的相对位置指标；

P_{B22} ——管线脆弱性指标；

P_{B23} ——服役年限指标；

P_{B3} ——地下构筑物（非管线）指标；

P_{B4} ——地面设施指标。

8.3.5 环境因素指标宜按下列公式计算：

$$P_C = W_{C1}P_{C1} + W_{C2}P_{C2} + W_{C3}P_{C3} + W_{C4}P_{C4} \quad (8.3.5-1)$$

$$W_{C1} + W_{C2} + W_{C3} + W_{C4} = 1 \quad (8.3.5-2)$$

式中： P_C ——环境因素指标；

P_{C1} ——岩土体条件指标；

P_{C2} ——施工干扰指标；

P_{C3} ——地表荷载指标；

P_{C4} ——水环境条件指标；

W_{C1} ——岩土体条件指标权重，取 0.3~0.4；

W_{C2} ——施工干扰指标权重，取 0.3~0.4；

W_{C3} ——地表荷载指标权重，取 0.15~0.25；

W_{C4} ——水环境条件指标权重，取 0.05~0.15。

8.3.6 地下病害体风险发生可能性宜根据评价结果按表 8.3.6 划分为 5 个等级。

表 8.3.6 地下病害体风险发生可能性等级划分

等级	风险发生可能性分值	文字描述
A	$0 \leq P < 30$	近期不可能发生，远期发生可能性很小
B	$30 \leq P < 50$	近期发生可能性很小，远期可能会发生
C	$50 \leq P < 70$	近期发生可能性较小，远期发生可能性较大
D	$70 \leq P < 90$	近期发生可能性较大
E	$90 \leq P \leq 100$	近期发生可能性极大

8.4 风险后果评价

8.4.1 地下病害体风险后果评价的指标宜按表 8.4.1 取值。

表 8.4.1 地下病害体风险后果评价指标体系

指标 (C)	评价指标取值	
	评价依据	取值范围
地下病害体范围 C ₁	$S \geq 15\text{m}^2$	90~100
	$10\text{m}^2 \leq S < 15\text{m}^2$	80~90
	$3\text{m}^2 \leq S < 10\text{m}^2$	70~80
	$S < 3\text{m}^2$	60~70
建(构)筑物分布 C ₂	具有下列情况之一： 1) $2l_{\text{RX}}$ 范围内有燃气或危险性较大的工业管线； 2) $2l_{\text{RX}}$ 范围内有高层建筑、地铁、地下建筑等重要设施或建筑	90~100
	具有下列情况之一： 1) $2l_{\text{RX}}$ 范围内有热力或危险性较小的工业管线； 2) $2l_{\text{RX}}$ 范围内有军事管线等重要设施； 3) $2l_{\text{RX}}$ 范围内有多层建筑、防空洞等建筑	70~90
	$2l_{\text{RX}}$ 范围内有给水、排水或高压电力管线	50~70
	$2l_{\text{RX}}$ 范围内有电信管线或其他设施	20~50
人员密集程度 C ₃	具有下列情况之一： 1) 周边 100m 范围内有大型商场、体育场、演出场所、大型广场、学校等重要公共建筑物或人员聚集场所； 2) 周边 50m 范围内有公交车站、地铁站等； 3) 所在道路车流、人流量大	80~100
	具有下列情况之一： 1) 周边 100m 范围内有中小型商场、办公场所、居民楼等人员较多的场所； 2) 地下病害体所在道路车流量、人流量较大	60~80
	其他情况	30~60

续表 8.4.1

指标 (C)	评价指标取值	
	评价依据	取值范围
财产密度 C_1	周边 100m 范围内有金融机构、大型商场、企业总部、危险化学品设施等财产密集或危险性极大的场所	80~100
	不属于上述情况，但周边 100m 范围内有中小型商场、居民楼、办公场所、危险性较高设施等财产密度较高的场所	60~80
	不属于上述两种情况，但周边 100m 范围内有民房、危险性较低设施等，财产密度较低	30~60
	周边 100m 范围内有较少的财产	10~30
	处于偏远区域，周边 100m 范围内为草地、农田、荒山等财产密度较低或极低的情况	0~10
社会影响 C_5	周边 200m 范围内有重要场所，包括但不限于国家、省市级标志性建筑，领事馆，国家党政军重要办公场所，著名景点、商场等标志性场所	80~100
	周边 200m~500m 范围内有重要场所，包括但不限于国家、省市级标志性建筑，领事馆，国家党政军重要办公场所，著名景点、商场等标志性场所	60~80
	其他情况	30~60

8.4.2 风险后果分值宜按下列公式计算：

$$C=W_1C_1+W_2C_2+W_3C_3+W_4C_4+W_5C_5 \quad (8.4.2-1)$$

$$W_1+W_2+W_3+W_4+W_5=1 \quad (8.4.2-2)$$

式中：C——风险后果分值；

C_1 ——地下病害体范围指标；

C_2 ——建（构）筑物分布指标；

C_3 ——人员密集程度指标；

C_4 ——财产密集程度指标；

C_5 ——社会影响指标；

W_1 ——地下病害体范围指标权重，取 0.3~0.4；

W_2 ——设施危险性指标权重，取 0.2~0.3；

W_3 ——人员密集程度指标权重，取 0.15~0.25；

W_4 ——财产密集程度指标权重，取 0.05~0.15；

W_5 ——社会影响指标权重，可取 0.05~0.15。

8.4.3 地下病害体风险后果宜按表 8.4.3 划分为 5 个等级。

表 8.4.3 地下病害体风险后果等级划分

等级	风险后果分值	文字描述
1	$0 \leq C < 20$	后果影响可忽略
2	$20 \leq C < 40$	后果影响较小
3	$40 \leq C < 60$	后果影响一般
4	$60 \leq C < 80$	后果影响较严重
5	$80 \leq C \leq 100$	后果影响很严重

8.5 风险等级划分与控制对策

8.5.1 地下病害体风险等级应根据风险发生可能性与风险后果评价结果，按表 8.5.1 划分为 I、II、III、IV、V 五个等级。

表 8.5.1 地下病害体风险等级划分

风险发生可能性等级 \ 风险后果等级	风险后果等级				
	1	2	3	4	5
A	I	I	II	II	III
B	I	II	II	III	IV
C	II	III	III	IV	V
D	III	IV	IV	V	V
E	IV	IV	V	V	V

注：I—很低；II—较低；III—一般；IV—较高；V—极高。

8.5.2 风险控制对策应根据地下病害体风险等级及可实施条件等因素制定。

8.5.3 地下病害体风险控制对策宜根据风险等级按表 8.5.3 执行，并应对处理后的地下病害体进行处理效果检测。

表 8.5.3 地下病害体风险控制对策

风险等级	说明	控制对策
I	风险很低	1 定期巡视，巡视频率不低于 1 次/3 月； 2 定期探测，探测频率不低于 1 次/6 月
II	风险较低	1 定期巡视，巡视频率不低于 1 次/月； 2 定期探测，探测频率不低于 1 次/3 月
III	风险一般	1 建议工程处理，处理前进行定期巡视和探测； 2 巡视频率不低于 1 次/15 天； 3 探测频率不低于 1 次/月
IV	风险较高	1 限制使用，工程处理，处理前进行定期巡视和探测； 2 巡视频率不低于 1 次/3 天； 3 探测频率不低于 1 次/7 天
V	风险极高	禁止使用，工程处理

9 成果编制与信息化管理

9.1 一般规定

- 9.1.1 地下病害体探测成果应包括文字报告和成果图件。
- 9.1.2 宜对地下病害体探测成果及相关资料进行信息化管理。

9.2 成果编制

- 9.2.1 文字报告宜包括下列内容：
 - 1 项目概况；
 - 2 技术依据；
 - 3 场地工程环境分析；
 - 4 工作方法；
 - 5 数据处理和地下病害体识别；
 - 6 成果验证；
 - 7 地下病害体风险评估；
 - 8 结论与建议；
 - 9 附图、附表。
- 9.2.2 地下病害体成果表应包括病害体编号、类型、位置、中心点坐标、特征描述及风险等级等，记录应符合本标准附录 G 的规定。
- 9.2.3 成果图件应包括探测工作布置图、地下病害体平面分布图、成果解释剖面图等。
- 9.2.4 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、注记和比例尺等要素齐全；
 - 2 测线、测点、验证点等应根据测量成果展绘。
- 9.2.5 探测工作布置图应按本标准附录 H 的规定采用统一的代

号和图例编制，并应符合下列规定：

1 应标明测线、测点、验证点、剖面起止点等的平面位置和编号；

2 连续测线应在测线的起止点、转折点、地形突变点以及其他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、测点等的编号宜由探测方法代号和阿拉伯数字组成，且同一测区唯一；

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。

9.2.6 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 H 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探测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，且同一测区唯一。

9.2.7 成果解释剖面图绘制应符合下列规定：

1 剖面图编号宜沿用工作布置图中的测线编号；

2 应标明地下病害体的空间位置、形态及类型；

3 宜标明验证点的位置及编号。

9.3 信息化管理

9.3.1 地下病害体信息化管理宜基于现势基础地理信息，构建信息管理系统。

9.3.2 地下病害体信息化管理的内容除地下病害体探测成果外，宜包含病害体的周边环境资料、现场影像资料和工程处理资

料等。

9.3.3 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第 4.0.1 条的规定；

2 地下病害体信息应包括病害体空间信息和属性信息。空间信息应包括病害体坐标、埋深等，属性信息应包括病害体类型、规模、风险等级、处理状态等。

9.3.4 地下病害体数据库应根据病害体的探测、监测和工程处理结果及时更新，并应保留历史数据。

9.3.5 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。

9.3.6 地下病害体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标准》CJJ/T 100 的相关规定。

9.3.7 地下病害体信息管理系统的安全设计应符合现行国家标准《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 探地雷达法现场探测记录单

表 A 探地雷达法现场探测记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____ 天气：_____

仪器型号/编号：_____ 测试方式：_____ 天线主频 (MHz)：_____ 时窗 (ns)：_____ 道间距 (m)：_____ 标记 (m)：_____

文件名	测线方向	测线位置	测线起点/终点	测线长度 (m)	备注/异常情况

操作：_____ 记录：_____ 检查：_____ 日期：_____ 第 页/共 页

附录 B 高密度电阻率法现场探测记录单

表 B 高密度电阻率法现场探测记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____ 天气：_____

测线编号：_____ 装置类型：_____ 仪器型号/编号：_____

文件名	测线位置	电极数	电极距 (m)	隔离系数	备注/异常情况
现场草图					
说明					

操作：_____ 记录：_____ 检查：_____ 日期：_____ 第 页/共 页

附录 D 微动勘探法现场探测记录单

表 D 微动勘探法现场探测记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____ 天气：_____

仪器编号：_____ 测线编号：_____ 台阵类型：_____ 台阵尺寸 (m)：_____

文件名	测点 编号	台阵布置草图	里程 桩号 /距离 (m)	偏移 (m)	测线 方向	开始 时间	结束 时间	备注

操作： 记录： 检查： 日期： 第 页/共 页

附录 F 瞬变电磁法现场探测记录单

表 F 瞬变电磁法现场探测记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____ 天气：_____

发射框边长 (m)：___ 发射电流 (A)：_____ 发射频率 (Hz)：_____

接收框有效面积 (m²)：_____ 采集分量：_____ 工作装置：_____

文件名	测线号	测点号	备注

操作：_____ 记录：_____ 检查：_____ 日期：_____ 第 页/共 页

附录 H 地下病害体探测成果代号和图例

表 H 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	
	高密度电阻率法	GM	紫红			
	瞬态面波法	ST	紫红			
	微动勘探法	WD	紫红			
	地震映像法	DZ	紫红			
	瞬变电磁法	SB	紫红			
	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 实线表示，不同类型病害体可用不同内容填充； 2 中心位置用直径 1mm 圆表示	
	空洞	KD	大红			
	疏松体	严重疏松体	YS	蓝		
		一般疏松体	YB	绿		
	富水体	FS	褐			

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 《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 《城市基础地理信息系统技术标准》CJJ/T 100
- 6 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87
- 7 《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143

中华人民共和国行业标准

城市地下病害体综合探测与风险
评估技术标准

JGJ/T 437 - 2018

条文说明

编制说明

《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437-2018，经住房和城乡建设部 2018 年 2 月 14 日以第 1841 号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国城市地下病害体综合探测与评价的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，对本标准的内容进行反复讨论、分析和论证，取得了重要技术参数。

为便于广大施工、监理、设计、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，《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》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	58
2	术语和符号	59
2.1	术语	59
3	基本规定	60
4	地下病害体分类	62
5	技术准备	64
6	地下病害体探测	66
6.1	一般规定	66
6.2	探地雷达法	67
6.3	高密度电阻率法	78
6.4	瞬态面波法	78
6.5	微动勘探法	79
6.6	地震映像法	83
6.7	瞬变电磁法	84
7	地下病害体验证	87
8	地下病害体风险评估	88
8.1	一般规定	88
8.3	风险发生可能性评价	88
8.4	风险后果评价	89
8.5	风险等级划分与控制对策	89
9	成果编制与信息化管理	90
9.1	一般规定	90
9.2	成果编制	90
9.3	信息化管理	91

1 总 则

1.0.2 目前，根据城市地下病害体的发生发展情况，30m 深度内的地下病害体容易在短期内产生危害，是本标准的关注范围，而深度大于 30m 的地下病害体不属于本标准适用范围。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.2 本标准包含的地表地球物理方法有探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法和瞬变电磁法。

2.1.3 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 城市地下病害体综合探测与风险评估要求在收集和分析测区内既有的岩土工程、市政设施、水文气象等资料的基础上，采用合理的地球物理方法或方法组合，查明探测区域内地下赋存的地下病害体类型、规模、埋深、位置等属性，并对其安全风险进行评估，根据风险等级提出相应的处置对策。

3.0.2 地下病害体的形成和发展具有一定的随机性和动态变化，因此日常管理中定期进行病害体探测，及时发现病害体、监控其动态特征是有效降低其引发地面塌陷的重要保证，但是限于探测条件、经费支持等因素影响，对于城市每年进行全面探测是比较困难的，但是有计划、定期进行相关探测是非常必要的，因此本条规定了进行城市地下病害体综合探测与风险评估的情形及进行时机：

1 当城市地面严重变形或塌陷、地下管线发生变形或破损等事故时，将严重威胁城市安全运营和人们安全出行等，建议立即进行地下病害体综合探测与风险评估，查明事故影响范围，为事故处理提供技术支持。

2 对于城市主干道路、广场及重点管线区域，承载着城市交通、人员活动和地下生命线的安全，考虑地下病害体的隐蔽性、复杂性和动态发展特征，建议定期进行探测，评估其地下潜在风险情况。

3 对于年代久远的地下基础设施，如地下人防工程等，由于缺乏有效管理，可能会存在失稳的情况，建议定期进行探测工作。

4 地下工程施工扰动是引发地下病害体发生发展的重要因素，为预防由于地下施工引发地面变形或塌陷事故，建议在地下

工程施工前、竣工后进行探测工作，也可为相关方责任界定提供技术支持。施工中若需要排查地下病害体，也可以根据施工进度合理安排地下病害体综合探测与风险评估。

5 为保障城市重点项目的安全实施和重大社会活动的有序进行，建议对其涉及和影响的场所及其周边区域的道路和地下管线等进行地下病害体探测工作。

6 根据城市养护管理数据，城市地面变形或塌陷、地下管线变形或破损等事故在汛期后一段时间内，呈现出高发的情况，尤其是排水管涵周边和河道周边，故建议在汛期后，对排水管涵周边、河道周边进行地下病害体综合探测与风险评估。

7 其他存在地下病害体潜在安全风险的区域如废弃管线区域、挡土墙、原始沟谷回填区域和原始岩溶漏斗区域等。

3.0.3 地下病害体探测所采用的普查和详查方式对应了不同的探测阶段，当工程较小或工作量小时，也有直接采用详查的方式。

1 普查工作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，确定场区重点探测区域。

2 重点探测区包含：历史事故发生的区域、管线密集区、地面明显变形区和普查中发现的疑似地下病害体异常区域等。

3.0.4 在地下病害体探测中，由于其环境的复杂性，各类地球物理方法均存在优势与不足，探测深度和精度也都不相同，在选择探测方法时，需要综合考虑探测目标的深度、探测环境特性和探测精度要求，选择合理的地球物理方法。

3.0.9 探测时发现埋深较浅、规模较大的空洞、脱空、严重疏松、严重富水等危险性较大的地下病害体，考虑到事故的突发性特征，需及时告知相关单位采取合理措施，防止意外事故的发生。

4 地下病害体分类

4.0.1 本条对地下病害体的类型进行了规定。根据地下病害体的工程特征、地球物理特征、岩土工程特征等，结合工程实践经验将地下病害体分为脱空、空洞、疏松体和富水体 4 类。

4.0.2 地下病害体的工程特征是其分类的基本依据。地下病害体的成因与土体的性质和结构、水动力作用、动（静）荷载作用及其他环境因素密切相关。

地下病害体的形成通常是由于局部土体缺失后，上部土体在自重和其上动（静）荷载、机械振动作用下，自身土体结构遭到破坏，密实度下降、孔隙度增大，逐渐变为松散土体，本标准中称之为疏松体。当疏松土体在自重作用和环境振动作用下向下发展时，会导致局部土体与周边土体分离，发展至一定的规模时，即形成空洞；当这一过程逐渐发展至地表，空洞即变成了脱空。由上所述，疏松体、空洞、脱空的形成即是地下病害体由深至浅、由轻到重的发展过程，同时也对应了地下病害体形成的不同阶段。

在地下病害体形成的过程中，如果存在水的因素（这里的水不包括地层中赋存的具有承压性质的地下水），则通过水的潜蚀、冲刷等动力作用，会加剧空洞的形成，同时水对局部土体的渗透也会改变土的原有结构，因而降低其工程特性，因此本标准将这种不良地质体列为地下病害体的一种，称为富水体。

4.0.3 地下病害体的探测主要采用地球物理方法，探测时主要基于地下病害体与周边土体的地球物理场差异进行地下病害体类型的判别。其中探地雷达法主要基于介电特征差异，高密度电阻率法、瞬变电磁法主要基于电阻率特征差异，瞬态面波法、微动勘探法和地震映像法主要基于波阻抗差异。

4.0.4 根据疏松程度不同，本标准将疏松体分为严重疏松体和一般疏松体两个等级，主要考虑到不同程度的疏松体风险等级差异较大，相应的处置对策差别也较大。

5 技术准备

5.0.1 本条规定了探测的技术准备工作内容。技术准备是加强探测工作科学化管理与确保工作质量、效率的重要保证。对于特定的方法或规模较小的工程，准备工作可以适当简化。

5.0.2 本条规定了探测工作应收集的资料。

1 对于地下病害体的探测工作，多数处于道路区域，因此测区范围地下工程的施工设计资料是探测工作需要的基础资料。

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。在与管线关系较大的病害体探查中，如没有管线现状资料，宜进行管线探查工作。

由于地下管线的施工或介质渗漏均会产生地下病害体，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会提高探查工作的有效性。另外，如果现场曾发生过病害体塌陷等事故，并经过修复的情况，修复所采用的施工设计资料及原病害体的资料也是非常重要的，应尽可能收集到。

5.0.3 本条规定了探测工作现场踏勘的工作内容。踏勘工作，主要是了解现场的环境与地形地貌情况，了解探测测线布置的条件。由于地下病害体探查工作的特殊性，对于已经出现塌陷或裂缝的探查现场，了解现场的安全隐患，也是踏勘工作的重要任务，从而为探查时的安全措施选择提供参考。

5.0.4 本条规定了选择探测工作方法的主要因素。因为不同的物探方法，其探查的物性异常种类、目标大小、探查深度及分辨率不尽相同，因此方法选择时，应首先考虑探测的目的，特别是：探测目标异常的可能大小、可能性状、可能深度及其与周边

介质的物性差异等。另外，现场的干扰与影响因素也应考虑，如地电干扰、电磁干扰、振动干扰、温度干扰等，保证所选探测方法的应用效果。现场作业条件工作影响因素，如接地条件、交通、人流、场地狭窄及场地安全隐患等，也是直接影响探测工作实施的重要因素。

6 地下病害体探测

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、微动勘探法、地震映像法和瞬变电磁法，地下病害体本身的参数差异、规模及现场的实施条件是进行探测工作的前提。

1 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。

2 地下病害体尺寸相对于其埋藏深度或探测距离应具有一定的规模，以地下病害体产生的异常信号能被准确探测和识别为准。一般要求地下病害体尺寸相对于其埋藏深度或探测距离之比要大于 1 : 10。

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，地震映像法避开强震干扰等。

6.1.3 本条规定了病害体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。

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 7m 深度范围内的地下病害体。在地下水位较高或介质含水量较大时，探地雷达的信号衰减加剧，有效探测深度会减小。

在城市地下病害体探测中，当探测深度不大于 7.0m，探测环境相对简单时，优先采用探地雷达法；当探测深度较大时，建议采用探地雷达法探测 3.0m 以内的浅部地下病害体，采用其他有效的物探方法探测深部的地下病害体；而当探测环境复杂时，建议采用多种方法进行组合探测。

6.1.4 本条对地下病害体地球物理探测的测线布置进行了规定：

2 已知点包含有资料的钻孔或开挖点，可用于计算地下介质参数的已知埋藏目标点等（例如已知深度的地下管线处，可在探地雷达探测中用来计算介质电磁波速度）。

4 重点区域包含普查时发现的异常区、业主指定的重点区和调查划定的历史塌陷区、现状变形区等重点区。

6.1.5 在地下病害体探测过程中，测量工作包括测线、测点的定位测量、地下病害体位置测量、验证点测量等。

1 非均匀分布的测点包括：高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法和瞬变电磁法的不均匀布置的测点，也包括探地雷达点测时的不均匀分布点。

2 测量精度包含地物测量、测线定位测量、地下病害体定位测量的位置和高程精度。

4 采用相对坐标系时，与当地城市坐标系建立联系是必要的。

6.2 探地雷达法

6.2.1 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，与其相关的最主要的参数是相对介电常数，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：

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

式中： P_r ——功率反射系数；

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。

6.2.4 城市探测环境下，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。

1 考虑城市探测环境干扰因素影响，优先选择屏蔽天线进行探测，以获得较高质量的数据信息。目前市场上常用的探地雷达屏蔽天线主频可达到 80MHz~500MHz。为了探测较深目标体，优先选用低频屏蔽天线，以 80MHz~150MHz 天线为主，背景干扰弱的区域，可选用 20MHz~80MHz 低频天线；在满足探测深度时，选择相对高频的天线会有更好的分辨率。

根据若干城市对探地雷达各频率段天线探测深度能力的试验对比，常用屏蔽天线的探测能力如表 1 所示。

表 1 探地雷达常用天线主频的探测能力统计

有效探测深度 (m)	4.0~7.0	2.0~4.0	<2.0
天线主频 (MHz)	80~150	80~200	200~500

2 经对现场探测干扰源影响分析，区域内电磁干扰很小，为获得较大探测深度 (>7.0m) 时，可选择非屏蔽的低频天线，但相应的探测精度需满足测试的需要。

3 对于探测的重点区域和普查中发现的重点异常区，一般建议采用两种以上不同主频的天线进行组合测试，兼顾深部与浅部探测。多天线多测线综合解释，可更准确地探测地下病害体。

6.2.7 本条对探地雷达法测线的布设进行了规定。

1 在城市道路上进行测试时，机动车道建议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。基于安全的考虑和检测实施的便捷性，测线要求沿车道行进方向进行布设。

2、3 沿长边、轴向等方向能够获得更连续的剖面数据，有利于保障地下病害体异常信号的完整性。

4 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。测线间距需保证要求探测到的地下病害体规模能够得到有效覆盖。

6.2.9 本条对探地雷达法的采集参数进行了规定。

1 记录时窗的大小应保证要求探测深度内的目标能够得到完整的反映，地下介质的综合电磁波速度的计算公式可按 $v = c / \sqrt{\epsilon_r}$ 计算，其中 c 为空气中的电磁波速度 (0.3m/ns)， ϵ_r 为地下介质的相对介电常数。

以地下等效介电常数为 9 为例 ($v=0.1\text{m/ns}$)，要求探测深度 5m，按照 $K=1.3$ 计算所得的记录时窗为 130ns。

2 为尽量避免探测过程中出现“削波”的情况，要求其增益宜保持信号幅度不超出监视窗口的 3/4。

3 以 100MHz 主频的天线为例，其采样率应不低于 2000MHz，即采样间隔应小于 0.5ns。

4 叠加的方式可有效增强信号的信噪比，但叠加的道数应考虑天线前进的速度影响，保证不出现掉点的情况。

5 普查时要求每米采集的扫描数不宜少于 20 道，详查时每米采集的扫描数不宜少于 40 道。

6.2.10 地下介质电磁波速度的获取是探地雷达资料解释的重要内容，也是深度转化的重要参数，其准确与否直接关系到解释结果的准确程度。本标准推荐使用宽角法、已知深度目标换算法或迭代偏移处理法计算地下介质电磁波速度。

1 宽角法

当地下存在一反射面时，保持一个雷达天线固定在地面某一点上不动，而另一个天线沿测线移动，记录地下各个不同层面反射波的双程走时，这种测量方法称为宽角法，主要用来求取地下介质的电磁波传播速度。宽角法示意如图 1 所示。

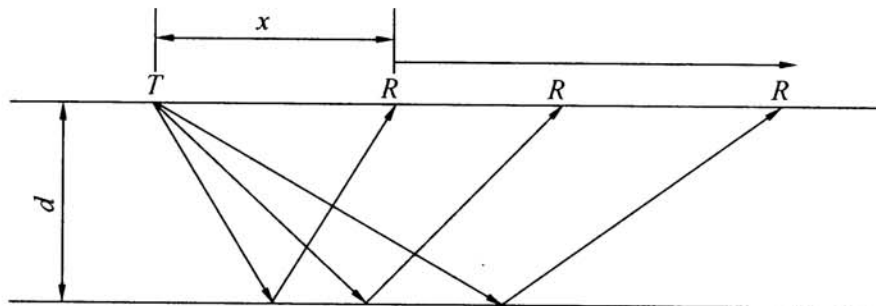


图 1 宽角法示意

地下深度为 d 的水平界面的反射波的双程走时：

$$t^2 = \frac{x^2}{v^2} + \frac{4d^2}{v^2} \quad (2)$$

式中： x ——发射天线与接收天线之间的距离；

d ——反射界面的深度；

v ——电磁波的传播速度。

地表直达波可看成是 $d = 0$ 时的反射波。上式中，当地层电磁波速度不变时， t^2 与 x^2 呈线性关系，亦即若以 t^2 为纵坐标， x^2 为横坐标，则宽角法所得的反射波走时线为直线，直线的斜率为速度，纵坐标的截距为反射界面的深度（以时间表示），所以，宽角法的测量结果可以用来确定地层等效电磁波速度以及反射面的深度。

2 已知深度目标换算方法

已知深度目标换算方法是最简单的方法，同时也是常用的方法。该方法采用地下已知深度的目标体，根据电磁波的传播平均时间进行计算，然后利用获得的速度来推断没有钻孔或已知目标区域地质体的深度。

3 迭代偏移处理法

偏移归位处理要求提供正确的速度，否则聚焦成像就不好，处理后的图像效果不好。由此，可以根据偏移处理的结果来反推选取速度的准确性。对一张雷达剖面选取不同的速度进行多次偏移处理实验，找到处理结果最好的速度；还可以根据不同深度的对象和层次选取不同的速度，由浅到深一层层地校准速度，最后可以得出反映速度变化规律的速度谱。

6.2.11 本条对探地雷达的现场采集进行了规定。

1 当采用测量轮测距时，为保证测量距离的准确性，一般在测试前选取一定距离进行多次测试，取测量轮记录的平均数作为标定数。

2 根据有效性试验确定的初始采集参数未必适应场区所有的位置，故可根据图像显示的效果合理调整采集参数，在同一区

域的平行测线，建议采用相同的采集参数。

4 采用自由连续采集模式时，探测时天线移动速度越快，其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，一般要求控制好天线移动的速度。

5 一般情况下，分离天线的发射与接收方向增益在临界角方向最强，因此天线间距选择时尽量使最深目标体相对接收天线和发射天线的张角为临界角的 2 倍，即：

$$S = \frac{2d_{\max}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

式中： d_{\max} ——目标体最大深度；

ϵ_r ——相对介电常数。

在有效探测深度范围内增加天线间距即增加来自深部探测信息。实际测量中，天线间距增大会增加测量工作的不便，同时会降低垂向分辨率，因此实际探测时通常小于理论计算值，常取目标体最大深度的 20%。

6 自由连续采集时，由于天线行进速度的不同，会导致数据横向上的疏密程度不相同，甚至差异很大，为避免数据定位误差的累积，要求必须每隔一定的距离进行标记，亦便于后期数据处理时的距离归一化处理。

7、8 测线沿线各类干扰源、地面积水等会对探地雷达图像产生不同程度的干扰，造成物探探测结果解释的多解性，为有效避免后期探地雷达数据解释的误判，现场及时记录这些干扰源的位置及其对图像的影响。在地下异常解释时正确识别这些图谱异常的原因，做到真、假异常的识别，剔除假异常，正确解释真异常，有效降低多解性。

10 例如临时压占场地、路面铺设钢板、临时施工或临时停靠车辆等不能探测的区域。

6.2.13 在对探地雷达测线进行定位时，可以根据数据中有明显反应的地物或干扰的信号，对测线的局部位置进行校正。井盖、路灯、地下管线等在探地雷达图像上具有比较容易识别的特征，

这些特征图像的中心与井盖、路灯或地下管线的位置相对应，因此可以通过相关信息进行测线的定位和校核。

6.2.15 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。

数据预编辑包括修改头文件、测线方向一致化、数据合并等，其不对数据信号本身造成改动，是数据处理最前期的整理阶段。

数据预处理包括切除多余信息、距离归一化（手动打标模式）、调整信号延时、抽道、加密、去漂移、剔除坏道等。在数据质量较好的情况下，如果通过预处理的数据即可进行分析解释，可不用再做其他常规处理或高级处理。

常规处理一般不会对数据进行不可逆破坏，常规处理包括增益调整、一维滤波、水平相关分析、小波变换等。在原始探地雷达数据质量不佳的情况下，可通过手动增益调整，使局部数据剖面的有效信号明显增强，从而保证数据的清晰、可追踪；一维滤波通常用于压制干扰，突出有效信号；水平相关分析主要用于改善明显的雪花噪声干扰。

高级处理对数据改动较大，有时会掩盖有效信息或产生新的未知异常，通常在针对特定异常信号，需要突出其信号特征时采用高级处理。高级处理包括二维滤波、反褶积、背景去除、信号偏移等。其中，原始数据存在形态规则、具有一定规律的多次波干扰，或类似多次波的谐振干扰时，可采用反褶积进行处理。对多次波进行压制时，预测步长不应大于多次波的双程走时，对谐振干扰进行压制处理时，预测步长不应大于谐振的周期。背景去除主要在数据中存在连续水平干扰时使用，可通过小波变换、均值背景去噪等方法实现，由于该项处理对数据的改动较大，数据处理时应慎用，通过试验和调整获得最佳处理效果。

可视化/解释处理是根据解释的需要或可视化的效果而进行

的处理，包括希尔伯特变换、提取或圈定异常、三维可视化等。

6.2.16 本标准将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。地上干扰的影响主要是这类物体在探地雷达探测时反射雷达电磁波，从而在雷达剖面上形成具有固定特征的图像（图2~图7）；电磁干扰主要是电磁类发射源发射的电磁波与探地雷达天线发射的电磁波相互影响所致（图8、图9）；地下干扰主要是在雷达图像上容易形成与地下空洞、疏松区等地下病害体类似的影像特征（图10~图15）。

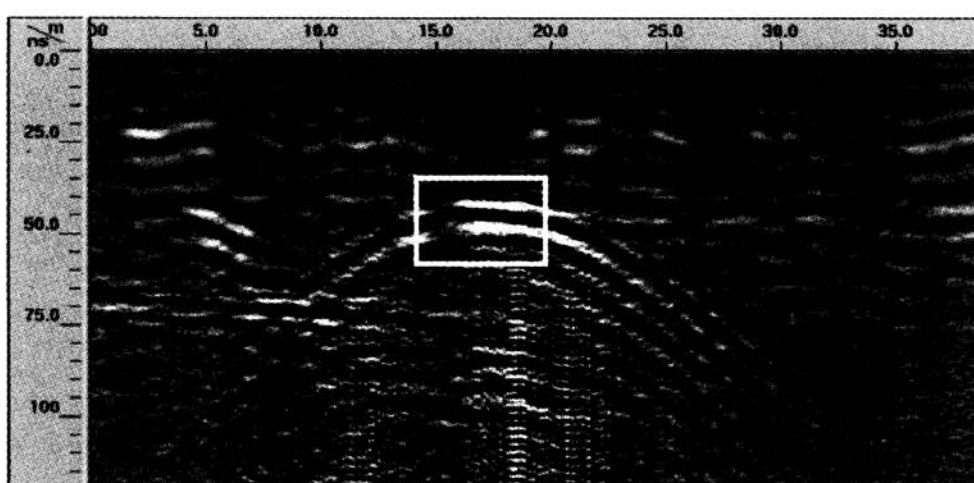


图2 过街天桥

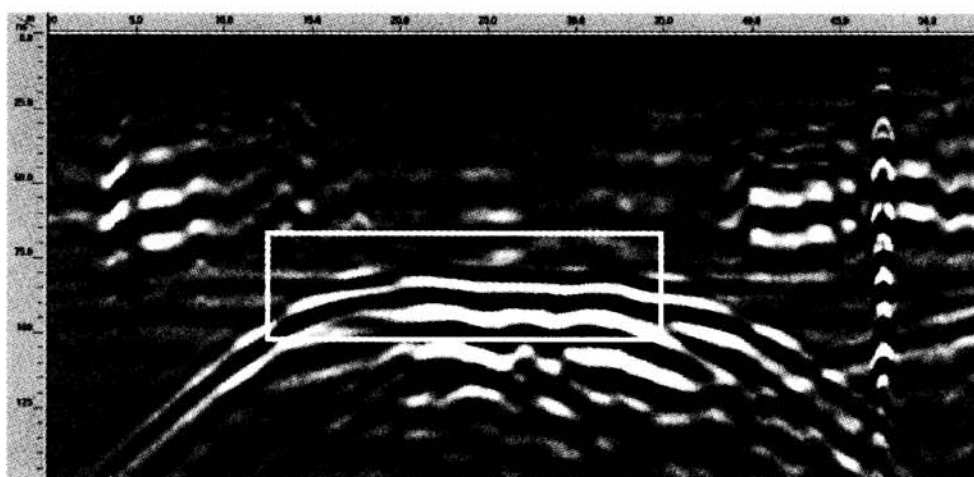


图3 高架桥

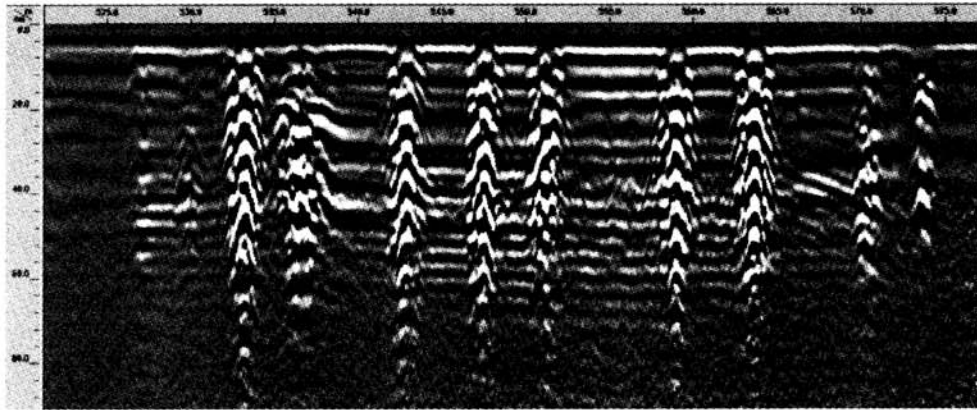


图 4 地表金属井盖

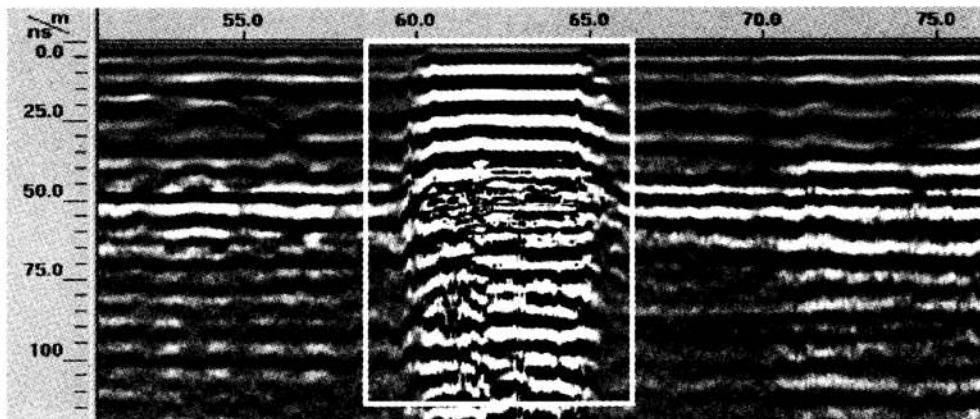


图 5 地面钢板

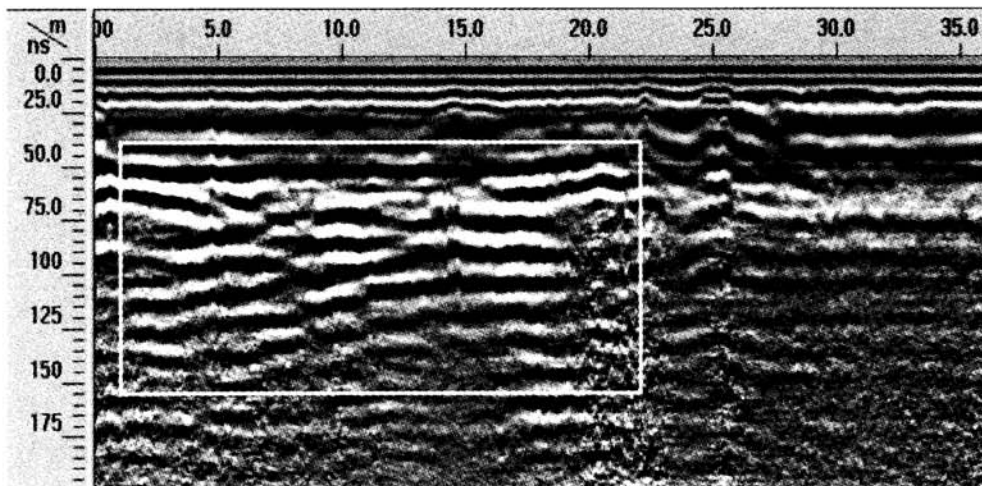


图 6 金属围挡

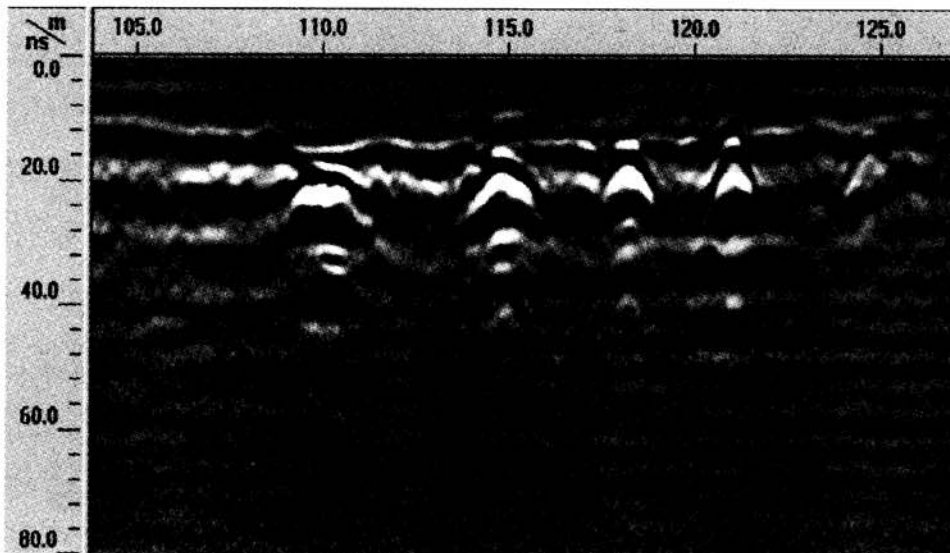


图 10 典型地下管线

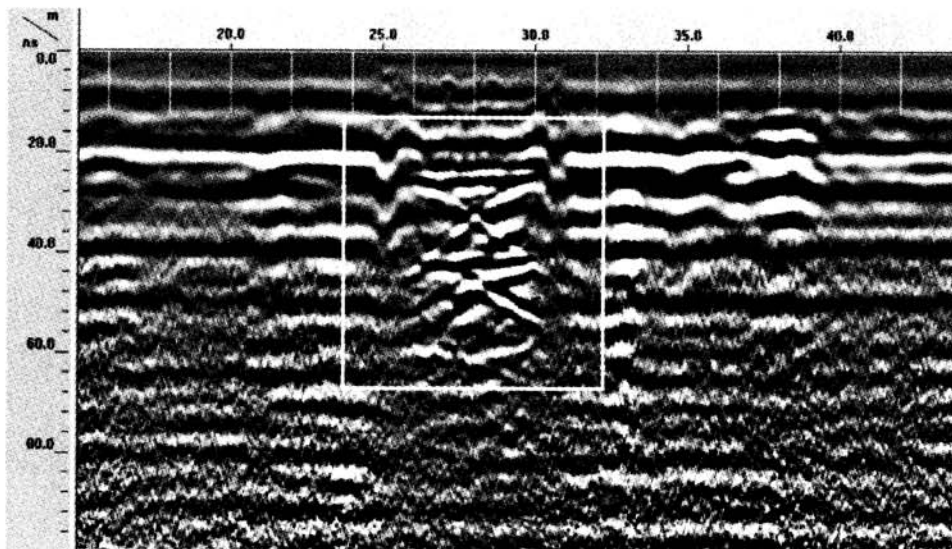


图 11 地下方形管沟

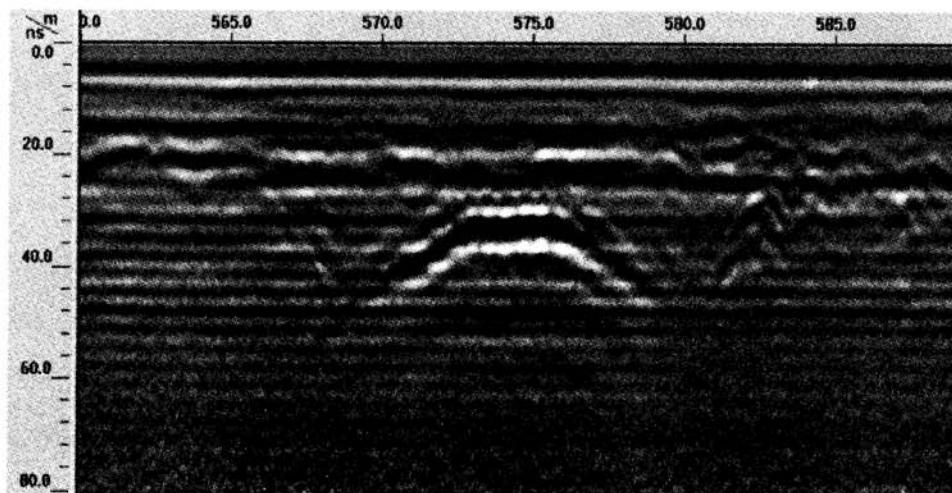


图 12 浅埋地下过街通道

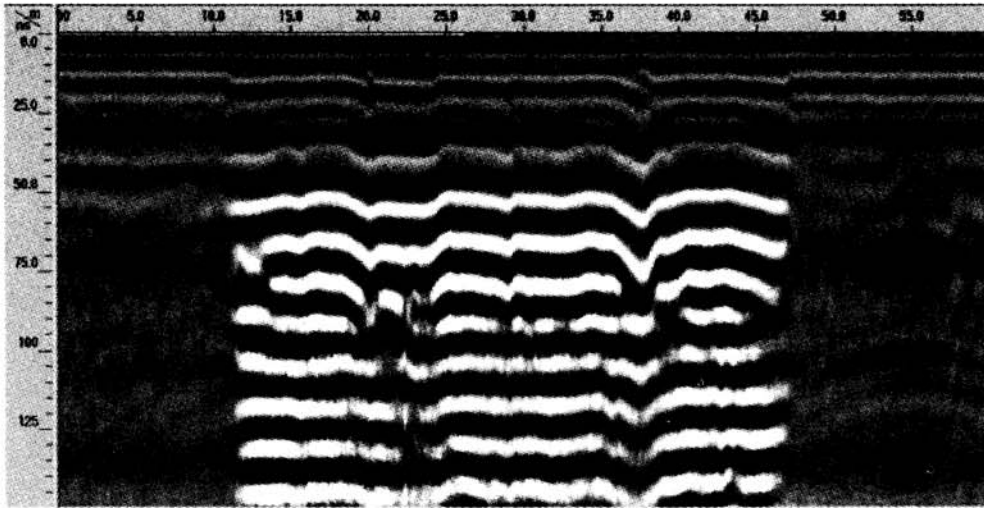


图 13 地铁过街通道

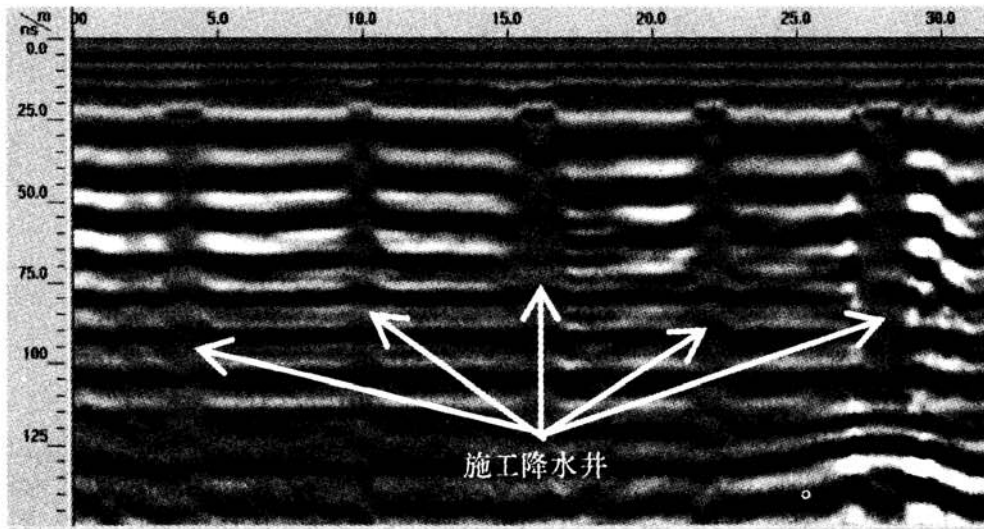


图 14 施工降水井

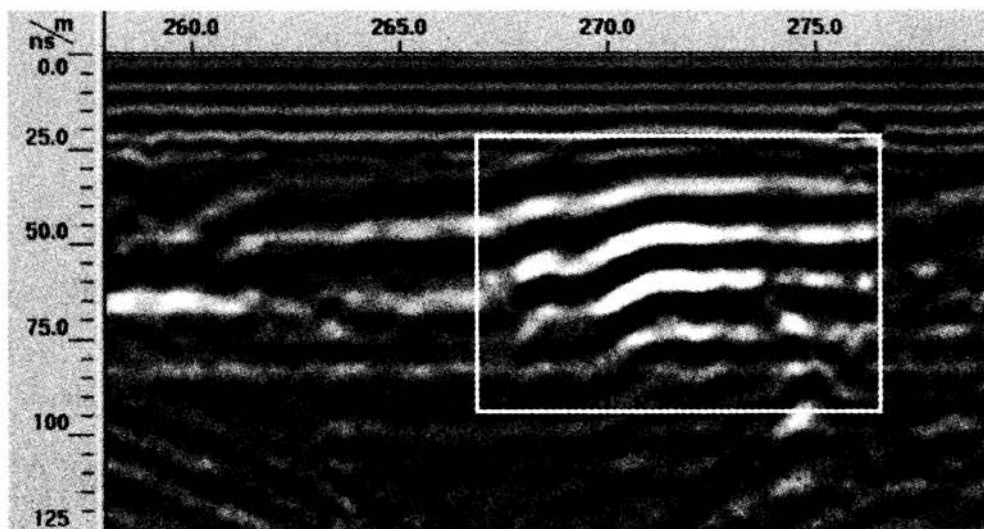


图 15 地下工程加固体（注浆）

6.3 高密度电阻率法

6.3.5 最小电极距建议同预期的水平分辨率相当；排列长度建议大于6倍的最大要求探测深度。

6.3.8 本条对高密度电阻率法的质量检查进行了规定：

4 质量检查统计的均方相对误差的计算公式如下：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n m_i^2} \quad (4)$$

$$m_i = 2 \frac{|\rho_{ai} - \rho'_{ai}|}{\rho_{ai} + \rho'_{ai}} \times 100\% \quad (5)$$

式中： M ——某项目的均方相对误差；

n ——某项目的测点个数；

m_i ——第 i 个测点的相对误差；

ρ_{ai} ——第 i 个测点的基本观测值；

ρ'_{ai} ——第 i 个测点的检查观测值。

6.4 瞬态面波法

6.4.3 瞬态面波法数据采集时采用的道数越多，数据的精度越高、频率成分越丰富，但提取的频散曲线是整个排列下的平均效应，因此排列不宜过长，采用12道~24道即能满足探测需要。为提高工作效率可选择12道进行数据采集。但进行有效性试验时，应采用24道或更多的道数进行全排列探测，以确定观测系统的最佳参数。

6.4.4 对于常规工程勘察，瞬态面波数据采集采用自然频率不小于4Hz的低频检波器，但对于地下空洞等病害体探测，需要相对丰富的中高频面波成分，因此宜选择4Hz~20Hz的检波器。

6.4.6 滚动采集的排列、震源等参数应保持不变，必要时可以用多条测线组成测网。测线间距和测点间距相当，以能够有效控制目标体规模为准。

6.4.9 半波长法中 $h = \beta \lambda_R$ 的 β 取值0.5，此法认为面波速度代

表半个波长深度以上介质的平均值，在无其他资料时，可采用此方法。当场地具有已知的钻孔地质资料时，应根据钻孔资料标定 β 值。

视横波速度，既不是面波的相速度，也不是横波速度，但可以使得横波速度在剖面上的变化明显突出出来，大大方便了地层岩性和构造变化的有效识别和解释。而且，经实际的各种替换公式试算和实际检测数据的检验，公式(6)对视横波的计算结果也最接近地层横波速度的真实值。在进行地质解释前，应收集尽可能多的已知钻孔资料和其他物探成果资料，综合已知因素后再进行地质解释。

$$V_{x,i} = \left(\frac{t_i \cdot V_{r,i}^4 - t_{i-1} \cdot V_{r,i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right)^{1/4} \quad (6)$$

式中： $V_{x,i}$ ——视横波速度 (m/s)；
 $V_{r,i}$ ——面波相速度 (m/s)；
 t_i ——周期 (s)。

6.4.11 测点频散曲线图为面波勘探的中间成果和基础资料，面波相速度或视横波速度剖面图分别为面波测深和面波剖面探测的成果。

6.5 微动勘探法

6.5.3 目前微动勘探法可以使用常规地震勘探使用的低频检波器（频率不大于4Hz）作为拾振器，也可以使用一体化数字地震仪。常规地震勘探用低频检波器通常为单分量，工作时多个拾振器通过与电缆连接，再采用专门的地震仪进行数据采集；一体化数字地震仪有单分量也有三分量，自身通常有数据采集、上传和存储的功能，工作时各个拾振器按设计的台阵方式布置，通过GPS授时功能实现各采集系统的同步信号采集。

微动勘探法采用三分量检波器，可通过计算同时获得面波频散曲线和 H/V 曲线，有利于地下目标的解释。

6.5.4 一致性测试时可将全部仪器集中放置到地面条件相同的

位置，同步记录不应少于 10min，计算各台仪器的功率谱之比、相干系数和相位差，对仪器的一致性作出评价。在有效频段范围，相干系数一致性一般要求优于 98%，相位差要求小于 2° 。

6.5.5 建议采用圆形台阵或内嵌三角形台阵，能顾及各个方向来的震动信号。场地条件受限制时，宜灵活采用 T 形台阵、L 形台阵、十字形台阵、U 形台阵等，台阵尽量避免对称布设（图 16）。一般而言，台阵中的检波器越多，提取的频散曲线越准确。采用 6 台检波器圆形台阵（圆心一台，圆周均匀分布 5 台）是最经济合理的方式。

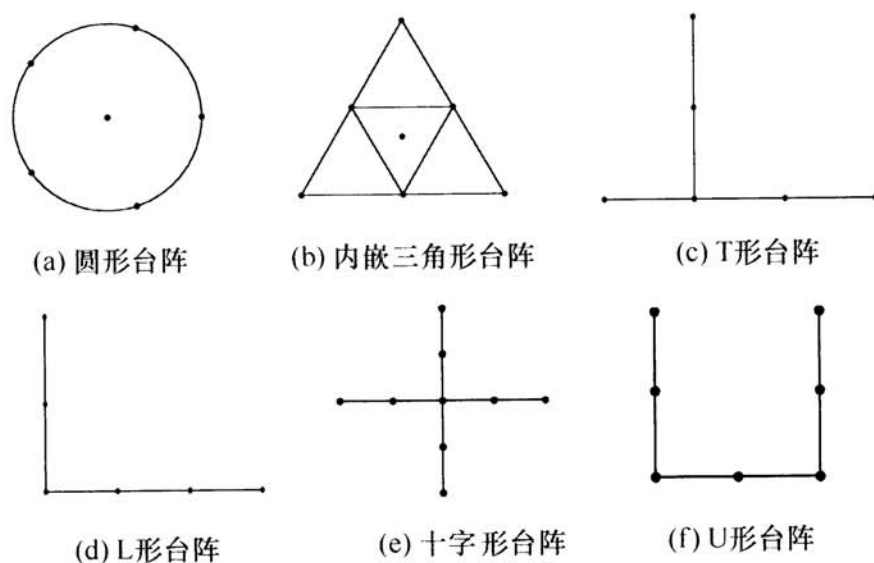


图 16 微动勘探法台阵布设方式示意

6.5.6 微动勘探法的探测深度、精度与台阵的形式、台阵半径、记录长度有关，一般半径越小，探测深度越小，精度越高。探测深度 20m~30m，使用 2Hz 拾振器时，一般记录长度不小于 10min，当信噪比较低时，可延长信号采集时间，或重新采集。

6.5.7 拾振器不宜安放在松软地表或柔软的人工介质上，不宜放置在各种井盖上。

6.5.10 计算采集数据的信号与噪声的比例，信噪比指相干信号与不相干信号功率谱的比值。

6.5.11 H/V 指水平分量与垂直分量功率谱的比值，实施起来

简单快捷，因而得到广泛的应用。微动 H/V 峰值频率与松散沉积层的横波共振频率相吻合，这和很多应用结果相符。 H/V 曲线中的频率峰值 f_0 与松散覆盖层的平均剪切波速度和覆盖层厚度相关，可以近似用如下公式表示：

$$f_0 = V_s / (4D_{OV}) \quad (7)$$

式中： V_s ——覆盖层加权平均剪切波速度 (m/s)；

D_{OV} ——松散覆盖层厚度 (m)。

H/V 曲线总体上反映了土层从浅部覆盖层到基岩的波阻抗变化规律，地下病害体的波阻抗变化大， H/V 曲线反映明显。

H/V 曲线的峰值频率与覆盖层的横波速度结构和厚度密切相关，对应峰值频率的 H/V 量值和覆盖层与下伏基岩的横波速度比呈一定比例，即速度比越大，峰值频率的 H/V 量值也越大。

6.5.12 正常地层速度剖面无明显异常（偏高或偏低），对应频段 H/V 曲线无峰值，则出现病害体的可能性很小（图 17）。局部速度（稍）偏高，对应频段 H/V 曲线中出现小峰值，该类异常对应的可能是波阻抗变化较大的岩土层分界面或者不均匀风化，出现病害体的可能性较小。局部速度明显偏高或偏低，对应

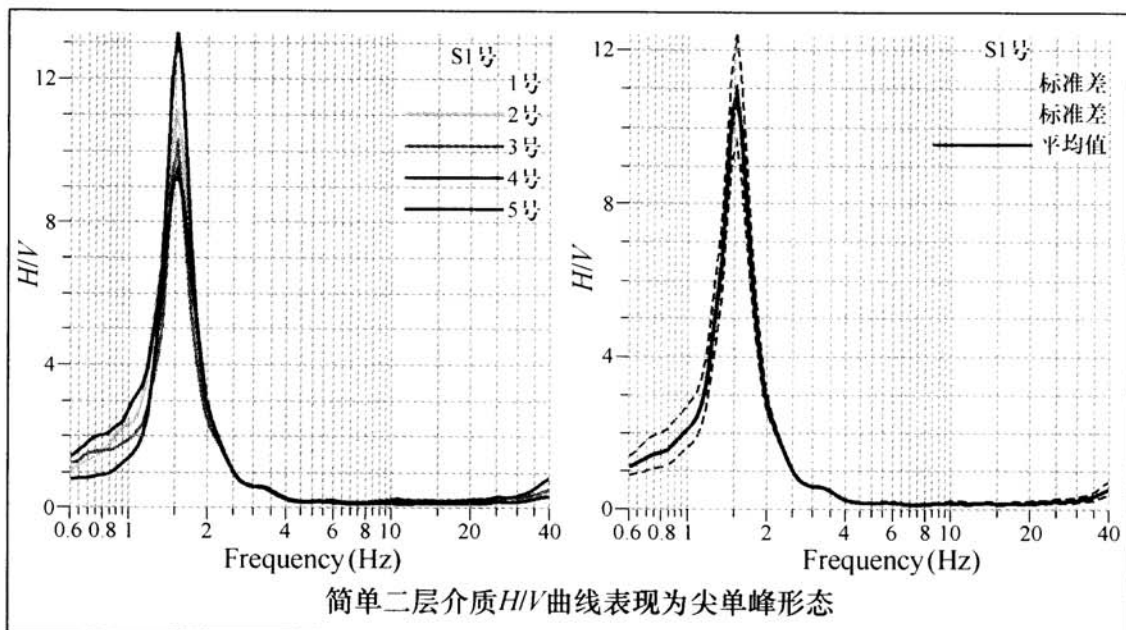


图 17 简单二层介质 H/V 曲线

频段 H/V 曲线出现较大峰值，出现病害体的可能性大（图 18 和图 20）；当对应频段 H/V 曲线量值大，多峰，杂乱时，说明土体结构已遭破坏，出现病害体的可能性大（图 19）。

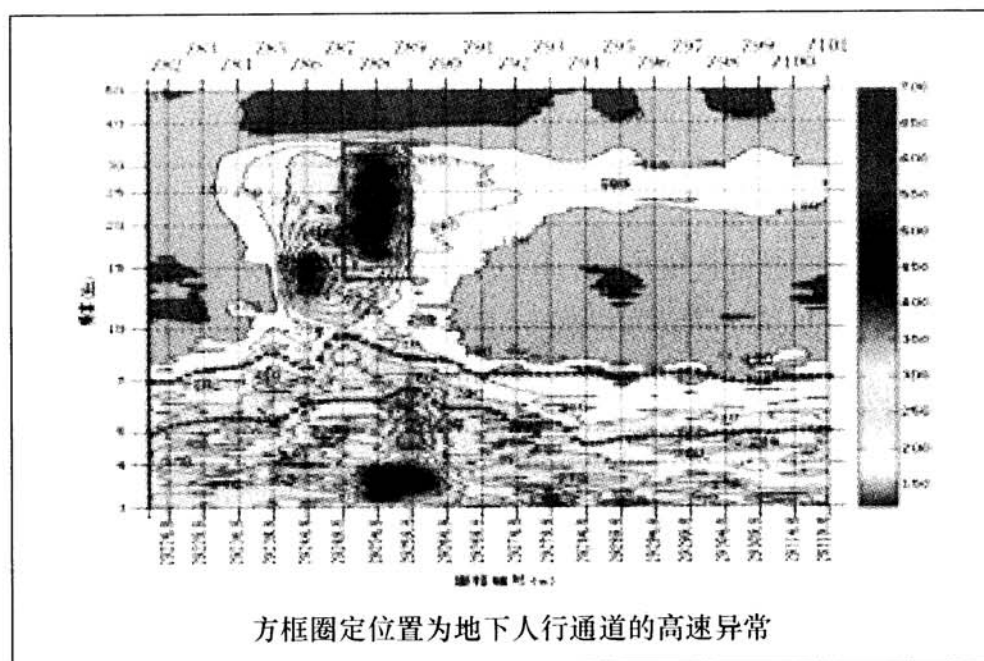


图 18 空洞相速度剖面

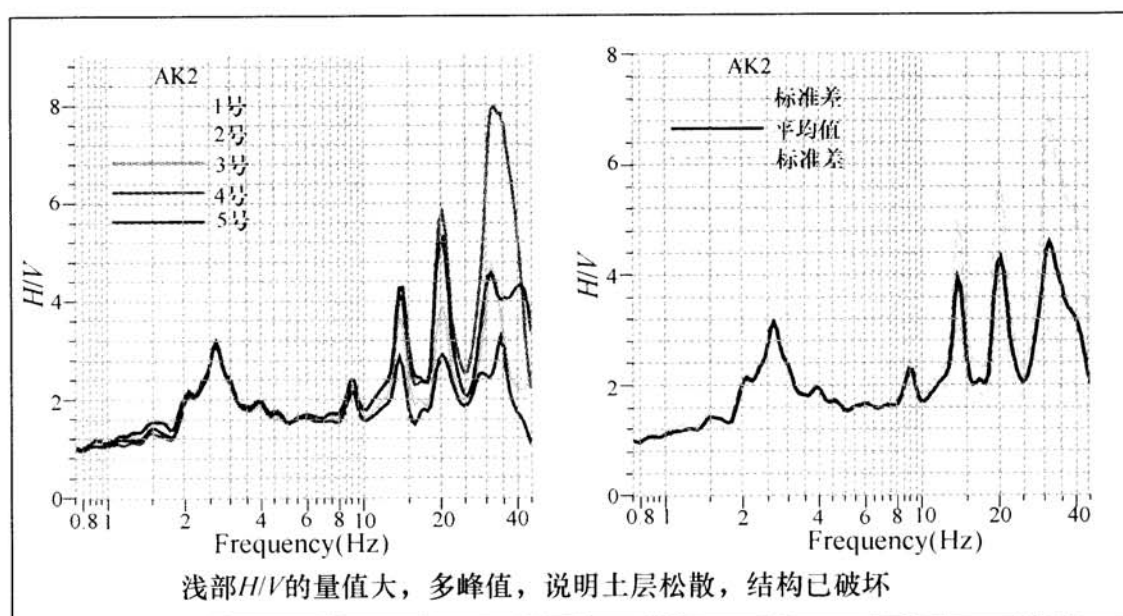


图 19 疏松体 H/V 曲线



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
CHICAGO, ILLINOIS
1950

反射波信号清晰、干扰少。

工作中可采用排列方式，一般选择 1 道~3 道，每道可采用不同频率的检波器，目的是观察在不同接收频率下的情况。

6.6.4 采样间隔乘以采样点数，即为仪器的记录长度。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。一般来说，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。

6.6.5 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的反映。

6.6.6 地震映像法现场数据采集时，如地表不具备检波器安插条件时，可采用铁靴装置安装的方式。

6.7 瞬变电磁法

6.7.3 瞬变电磁法探测常用装置有重叠回线装置、中心回线装置、等值反磁通装置、偶极装置、定源回线装置、电偶源装置等。由于地下病害体探测的特殊环境，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。

1 中心回线装置：用 R_x 线圈（或探头）观测感生电动势 dB_z/dt 分量或磁通量 B ，见图 21。

2 等值反磁通装置：在近地发射线圈（TXcoil）正上

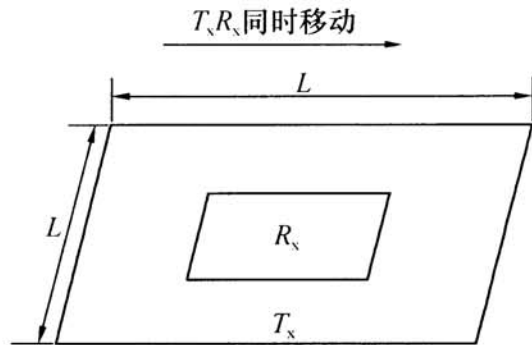


图 21 中心回线装置示意

方一定距离 ($2d$) 平行布置一个与发射线圈相同的反向线圈 (opposing coil), 两线圈中的电流 (I) 时间同步、大小相等方向相反, 二者组成双线圈源。接收线圈 (RX coil) 置于双线圈源的几何正中心一次场零磁通平面上, 并与双线圈源共轴, 观测感生电动势 dB_z/dt 分量, 见图 22。

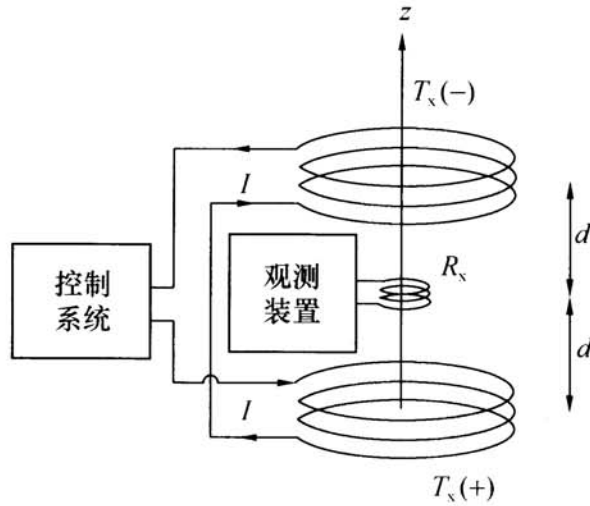


图 22 等值反磁通装置示意

6.7.5 等值反磁通装置的线圈大小和电流固定, 故可直接估算探测深度。

6.7.7 本条规定了瞬变电磁法数据采集的要求。

3 地下病害体探测中, 噪声电平的测量非常重要。噪声电平依据现场专门实测结果, 按噪声电平的大小分为弱、中、强三个区域加以统计计算, 其计算噪声电平的均方根值公式为:

一个区内 m 个测点的第 i 道:

$$N_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m N_j(t_i) \quad (8)$$

第 j 点所有道,

$$N_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_j(t_i) \quad (9)$$

一个区所有道,

$$N = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_j(t_i) \quad (10)$$

式中： $N_j(t_i)$ ——实测数据；

m ——专门的噪声实测点数；

n ——参加统计计算的噪声观测道数。

6.7.9 单点数据宜采用相对标准偏差进行数据质量评价，其相对标准偏差计算公式为：

$$S(t_i) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{V_j(t_i) - \bar{V}(t_i)}{\bar{V}(t_i)} \right)^2} \times 100\% \quad (11)$$

$$\bar{V}(t_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_j(t_i) \quad (12)$$

式中： $V_j(t_i)$ ——第 j 次观测第 i 道原始观测数据；

$\bar{V}(t_i)$ —— n 次观测第 i 道原始观测数据的算术平均值。

7 地下病害体验证

7.0.2 成果验证点的选择直接影响成果验证的效果，原则上宜综合考虑危害程度、场地是否具备验证作业条件、危害对象重要性等因素选择验证点；也可选择一定数量的物探异常不明显的不良地质体（对探测成果有疑问）进行验证。

7.0.3 空洞、脱空类不良地质体对城市安全影响较大，因此建议全部验证。

7.0.4 原则上应选用钻探、挖探、钎探等较直观方法进行验证，验证时可采用地质钻机、背包钻或钎探。验证点的位置宜布设在物探异常反应最强部位或中心部位，才能较好地揭露地下病害体的类型、深度、规模。对采用单一方法探测的地下病害体，当场地确不具备条件或条件有限的，也可选用其他物探方法进行验证工作。

对于埋深较浅或横向规模较大的空洞，考虑到钻探过程中有塌陷的危险，建议在病害体边缘进行验证。

7.0.5 必要时，可采用钻孔光学成像、声呐成像和激光成像等内窥方法记录地下病害体影像资料，用以查明地下病害体的三维尺寸等数据。

7.0.7 成果验证结果的判定依据包含但不局限于下列参数：钻进速度、掉钻现象、动力触探试验数据、含水量等。

7.0.9 在成果验证结束后应相应调整场地物性参数，修正物探判释结果。通过成果验证，可提供更加准确的地下病害体类型、规模、覆跨比、岩土体条件等参数。

7.0.10 因成果验证方法主要为钻探或挖探法，验证单位要注意安全施工，做好安全防护工作，有条件时可采用微孔真空开挖法。

8 地下病害体风险评估

8.1 一般规定

8.1.3 针对地下病害体风险评估所需资料、专业知识水平等特点，指标体系法相对成熟，风险矩阵法可以将风险可能性与后果严重程度相结合，因此本标准推荐采用指标体系法和风险矩阵法。

8.1.4 风险评估指标选择需充分考虑指标与地下病害体风险的相关性；同时考虑到地下病害体、地下管线的隐蔽性，选择便于获取的指标。

8.3 风险发生可能性评价

8.3.1 本标准依据工程经验、理论计算、案例分析等给出了指标评价标准，标准应用过程中可根据具体地下病害体所处的环境等因素，确定指标取值。

1 地下病害体规模

采用 Flac3d 对典型北京市土体环境条件下，球形和方形地下空洞对地下钢质管道影响作用进行数值模拟。研究发现，当地下空洞面积为 3m^2 左右时，地下空洞开始出现少量塌陷现象，但对管线的沉降和拉应力影响很小。当空洞面积大于 10m^2 时，地下空洞出现明显塌陷现象，导致的管线沉降和拉应力值增加相对较为明显。通过对空洞与附加载荷（超重车辆、建筑占压等）耦合作用模拟研究发现，在附加载荷条件下，空洞对管线沉降和拉应力的影响更为显著。

从空洞与管线的位置关系看，当空洞与管线之间的水平距离很近 ($l_{gx} \leq 1\text{m}$)，甚至管线与空洞相交时，空洞对管线运行安全的影响最大。其次是空洞位于管线正下方，再次为空洞位于管线

非正下方的情况。当空洞与管线之间的水平距离在 0~3m 时，空洞对管线有一定影响，且影响程度随着空洞与管线的距离减小而增大。当 $l_{gx} > 3m$ 时，空洞对管线的影响很小。

2 邻近设施

地下病害体通常位于道路或广场下方，同时周边可能存在地下管线、地下构筑物（非管线）、地面设施等多种设施。

3 环境因素

环境因素主要影响地下病害体的发展，包括静态因素和动态因素。静态因素主要考虑地下病害体存在的岩土体条件和周边水环境条件；动态因素主要考虑施工干扰和道路/地表载荷。

周边岩土体条件直接影响地下病害体的发展速度，可以参考现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 确定指标评分。

8.3.4 针对地下病害体可能对道路、管线、地面设施等一种或几种造成危害的情况，本标准中采用有序加权算法。该方法适合一种危险因素可能对一种或多种设施有影响的情况，其可以兼顾多种情景。情景 1：仅仅对某一种设施影响较大，对其他设施影响很小；情景 2：地下病害体可能对两种或两种设施以上影响较大。

8.4 风险后果评价

8.4.1 考虑地下病害体一旦形成事故造成的直接影响和间接影响。

8.5 风险等级划分与控制对策

8.5.1 地下病害体风险等级划分在风险发生可能性和风险后果评价基础上进行，评价方法及采用的指标体系经北京、深圳两地 300 多处案例试算，结果与实际情况相符，表明风险评估模型合理。

9 成果编制与信息化管理

9.1 一般规定

9.1.1 成果报告是对地下病害体探测工程的工作总结，是了解工程概况、所采用的技术措施、研究地下病害体及存在风险的重要技术资料，也是后续病害体处理的重要依据，因此，探测单位在工程结束后应编写成果报告。

9.1.2 地下病害体发生、发展有一定的过程，因此建议将每次地下病害体探测结果及各种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过程，掌握其发展规律。

9.2 成果编制

9.2.5 本条规定了工作布置图中测线、测点、验证点的编制方法。

1 地下病害体探测通常采用多种方法综合探测，且不同方法可能在同一位置重复布置，为了区分不同探测方法的工作布置，应采用不同颜色的测线或测点表示。

2 工作布置图应在测线的起止点、转折点、地形突变点以及其他重要的点位设置测线特征点。当测线太长没有特征点时宜适当增加测点标记，以便于读图。

3 单一测点及测线特征点等编号宜采用探测方法代号和数字编号表示。单一连续测线通常采用起点位置编号及终点位置编号中间加“—”表示，如 LD1-LD2 测线，表示起点为 LD1、终点为 LD2 的探地雷达法测线。连续测线长度较长或中间存在转折、地形突变及其他重要点位时，可采用两个以上的连续测线特征点中间加“—”表示。

9.2.6 本条文规定了地下病害体平面分布图的编制方法。

1 为便于病害体分布范围的确定，地下病害体平面分布图建议在探测工作布置图的基础上编制。

2 在分析已有探测资料及验证结果的基础上，采用规定的线型绘制病害体的范围线，并根据病害体类型及等级采用规定的图例填充，同时在病害体区域中心位置标识病害体类型编号、风险等级等，病害体编号应保证全测区唯一；中心位置坐标可根据病害体的形状、范围在平面分布图上确定。

9.3 信息化管理

当前，我国已进入新型智慧城市发展时期，地下空间开发利用已列为提升城市空间集约化、提升城市治理能力和水平的重要举措。地下病害体信息属于地下空间开发利用过程中的重要信息，探测完成后进行地下病害体信息管理，发挥病害体信息效益，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。本节对地下病害体综合探测与风险评估的信息管理作了原则性规定。

9.3.1 无论是防灾减灾还是城市治理，由于不能及时掌握地下病害体的分布、发育以及风险程度，给城市功能运转带来隐患和威胁。近年来，全国各地相继发生城市道路地面塌陷，为减少和避免塌陷造成的灾害，地下病害普查探测逐渐展开。推广先进技术方法，探测查明地下病害体，并对其风险作出评估后，规定建立信息管理系统，改变传统的被动管理方式，可以为病害体信息化管理、动态管理提供现代科学工具，实时为病害体的监测、治理提供信息服务。

9.3.3 规定了建立地下病害体数据库的要求。在建立数据库时，明确病害体信息包括空间信息和属性信息，规范病害体分类、编号以及数据结构设计工作，是建库的前提和基础。

9.3.5 地下病害体信息管理系统功能要求，其中基于 GIS 构建信息系统，除 GIS 的基本功能外，还要实现作为地下病害体信息应用功能的三维可视化、数据交换服务。