|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 广东省标准 | | | 说明: GD | |
|  | |  | DBJ/T\*\*-\*\*-202\*  备案号 J XXXXX-202\* | |
|  | | | | |
| **城市地下病害体探测与风险评估技术标准** | | | | |
| **Technical standard for detection and risk evaluation of underground disasters in urban area** | | | | |
|  | （公开征求意见稿） | | |  |
| **202x-**×**-**×发布 **202x-×-×实施**  **———————————————————————————————————————**  **广东省住房和城乡建设厅发布**  **本标准不涉及专利**  **本标准不涉及专利** | | | | |

**广东省标准**

**城市地下病害体探测与风险评估技术**

**标准**

Technical standard for detection and risk evaluation of underground disasters in urban area

**DBJ/T XXXX-202X**

住房和城乡建设部备案号：

批准部门：广东省住房和城乡建设厅

施行日期：202X年XX月XX日

**XXX出版**

**202×**

**广东省住房和城乡建设厅关于发布广东省标准**

**《城市地下病害体探测与风险评估技术标准》的公告**

粤建公告【20xx】x号

经组织专家委员会审查，现批准《城市地下病害体探测与风险评估技术标准》为广东省地方标准，编号为DBJ/T xx-xxx-2020，自202x年x月x日起实施。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由广州市中心区交通项目管理中心、广州地铁设计研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释，并在广东省住房和城乡建设厅门户网站（×××）公开。

广东省住房和城乡建设厅

202×年××月××日

**前 言**

根据《广东省市场监督管理局关于征集2021年第二批地方标准制修订计划项目的通知》（粤市监标准〔2021〕405号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内先进标准，并广泛征求意见，编制了本标准。

本标准共9章，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.地下病害体验证与成因分析；8.地下病害体风险评估；9.成果编制与信息化管理。

本标准由广东省市场监督管理局负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如有意见和建议，请反馈给广州市中心区交通项目管理中心（地址：广州市越秀区东风中路318号嘉业大厦16楼，邮编：510335，E-mail：dtbhbzz@163.com）。

本标准主编单位：广州市中心区交通项目管理中心

广州市交通运输局

广州地铁设计研究院股份有限公司

本标准参编单位：广州市道路事务中心

广州市城市规划勘测设计研究院

广州市市政工程设计研究总院有限公司

清华大学公共安全研究院

北京市勘察设计研究院有限公司

广东省建设工程质量安全检测总站有限公司

广州诚安路桥检测有限公司

广东省工程勘察院

深圳市市政设计研究院有限公司

中科云图科技有限公司

本标准主要起草人员：朱强 史海欧 朱章勇 柏文锋 王一兆 魏立新 彭卫平 徐世杨

孙晖 程俭廷 陈昌彦 黄佳铭 闵星 陈晓丹 杨春山 陈亚毅

鲍轶洲 赵文秀 刘伟强 陆卓豪 周梓滔 黄冬青 邓兴栋 王飞

杨向 周宏磊 张辉 段景川 曾奇 何钦 谢先明 崔志猛

本标准主要审查人员：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc148468221)

[2 术语和符号 2](#_Toc148468222)

[2.1 术语 2](#_Toc148468223)

[2.2 符号 4](#_Toc148468224)

[3 基本规定 5](#_Toc148468225)

[4 地下病害体分类 7](#_Toc148468226)

[5 技术准备 9](#_Toc148468227)

[5.1 一般规定 9](#_Toc148468228)

[5.2 资料收集 9](#_Toc148468229)

[5.3 现场踏勘 9](#_Toc148468230)

[5.4 方法选择 10](#_Toc148468231)

[5.5 方案编制 10](#_Toc148468232)

[6 地下病害体探测 11](#_Toc148468233)

[6.1 一般规定 11](#_Toc148468234)

[6.2 探地雷达法 11](#_Toc148468235)

[6.3 高密度电阻率法 16](#_Toc148468236)

[6.4 瞬态面波法 18](#_Toc148468237)

[6.5 地震映像法 19](#_Toc148468238)

[6.6 微动勘探法 21](#_Toc148468239)

[6.7 瞬变电磁法 22](#_Toc148468240)

[7 地下病害体验证与成因分析 24](#_Toc148468241)

[7.1 地下病害体验证 24](#_Toc148468242)

[7.2 地下病害体成因分析 24](#_Toc148468243)

[8 地下病害体风险评估 26](#_Toc148468244)

[8.1 一般规定 26](#_Toc148468245)

[8.2 风险因素调查 26](#_Toc148468246)

[8.3 风险发生可能性评价 26](#_Toc148468247)

[8.4 风险后果评价 34](#_Toc148468248)

[8.5 风险等级划分与控制对策 36](#_Toc148468249)

[9 成果编制与信息化管理 39](#_Toc148468250)

[9.1 一般规定 39](#_Toc148468251)

[9.2 成果编制 39](#_Toc148468252)

[9.3 信息化管理 40](#_Toc148468253)

[附录A 探地雷达法现场探测记录单 42](#_Toc148468254)

[附录B 地下病害体特征波形 43](#_Toc148468255)

[附录C 地下病害体信息卡样例 44](#_Toc148468256)

[附录D 高密度电阻率法现场探测记录单 45](#_Toc148468257)

[附录E 瞬态面波法现场探测记录单 46](#_Toc148468258)

[附录F 地震映像法现场探测记录单 47](#_Toc148468259)

[附录G 微动勘探法现场探测记录单 48](#_Toc148468260)

[附录H 瞬变电磁法现场探测记录单 49](#_Toc148468261)

[本标准用词说明 50](#_Toc148468262)

[引用标准名录 51](#_Toc148468263)

附[条文说明 52](#_Toc148468264)

Contents

1. **General Provision 1**
2. **Terms and Symbols 2**
   1. Terms 2
   2. Symbols 4
3. **Basic Requirements 5**
4. **Classification of Underground Disasters 7**
5. **Technical Preparation 9**
6. General Requirements 9
7. Collection of Data 9
8. Field Investigation 9
9. Selection of Method 10
10. Compilation of Scheme 10
11. **Detection of Underground Disasters 11**
12. General Requirements 11
13. Ground Penetrating Radar 11
14. High-density Resistivity Method 16
15. Transient Surface Wave Method 18
16. Seismic Imaging Method 19
17. Microtremor Exploration Method 21
18. Transient Electromagnetic Method 22
19. **Verification and Cause Analysis of Underground Disasters Identified by Detection….. 24**
20. Verification of Underground Disasters 24
21. Cause Analysis of Underground Disasters 24
22. **Risk Evaluation of Underground Disasters….. 26**
    1. General Requirements 26
    2. Investigation of Risk Factors 26
    3. Evaluation of Risk Probability 26
    4. Evaluation of Risk Consequence 34
    5. level of Risk and Control Countermeasures 36
23. **Surveying Report and Informatization Management….. 39**
    1. General Requirements 39
    2. Surveying Report 39
    3. Informatization Management 40

**Appendix A Field Record Sheet for GPR 42**

**Appendix B Characteristic Wave of Underground Disasters … 43**

**Appendix C Information Table of Underground Disasters 44**

**Appendix D Field Record Sheet for High-density Resistivity Method 45**

**Appendix E Field Record Sheet for Transient Surface Wave Method …… 46**

**Appendix F Field Record Sheet for Seismic Imaging Method 47**

**Appendix G Field Record Sheet for Microtremor Exploration Method ..…48**

**Appendix H Field Record Sheet for Transient Electromagnetic Method 49**

**Explanation of Wording in This Standard 50**

**List of Quoted Standards 51**

**Addition: Explanations of the Provisions 52**

1. 总 则

1.0.1 为规范我省城市地下病害体探测与风险评估工作，做到技术先进、经济环保、评估准确、成果可靠，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、广场以及地下市政基础设施沿线等区域，深度30米以内的地下病害体的探测及风险评估。

1.0.3 城市地下病害体探测及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。

1. 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 地下病害体 underground disasters

存在于地面以下的脱空、空洞、疏松体、富水体等威胁道路、管线、广场及地下工程等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、弹性波、电磁波等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

净空高度小于或等于0.3米的地面硬壳层与土基之间的不连续接触的空间。

2.1.4 空洞 void

净空高度大于0.3米的地面硬壳层与土基之间的洞体以及地下土体中的洞穴。

2.1.5 疏松体 loosely infilled void

密实度明显低于周边土体的局部松散地质体。

2.1.6 富水体 water-rich void

含水量明显高于周边土体的局部含水地质体。

2.1.7 测线 survey line

开展探测前布置的由一系列观测点组成的线状轨迹。

2.1.8 探地雷达法 ground penetrating radar method（GPR）

通过高频电磁波在介质中的传播来探测地下介质分布的一种电磁波方法。

2.1.9 高密度电阻率法 high-density electrical method（HEM）

通过接地电极将直流电供人地下，建立稳定的人工电场，在地表观测某点垂直方向或某剖面的水平方向的电阻率变化，从而了解岩层的分布的一种方法。

2.1.10 瞬态面波法 transient surface wave method

利用瑞雷波传播速度与介质的物理力学性质的密切相关性，获得的不同深度上介质的速度参数，从而推测介质的物质及结构属性的方法。

2.1.11 地震映像法 seismic imaging method

利用地震反射波进行人工地震勘探的方法，测量结果能较准确地确定界面的深度和形态，圈定局部构造，判断地层岩性。

2.1.12 微动勘探法 micro-motion exploration method

微动勘探又称被动源面波法，是面波勘探方法的一种。

2.1.13 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

瞬变电磁法又称为时间域电磁法（TEM），它是利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲磁场，在一次脉冲磁场间歇期间，利用线圈或接地电极观测二次涡流场的方法。

2.1.14 伪剖面 pseudo profile

反映地下介质对地球物理信号反射强弱、未经位置校准和真实性验证的剖面。

2.1.15 纵向切片 direction slice

沿探地雷达探测前进方向且垂直地面的剖面。

2.1.16 横向切片 cross line slice

垂直探地雷达探测前进方向且垂直地面的剖面。

2.1.17 时间切片 time slice

垂直于雷达波传播方向的不同时间或深度的切片。

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

在地球物理探测成果基础上，采取钻探、挖探、钎探、动力触探和其他的物探方法对疑似地下病害体的类型、埋深和规模进行确认的活动。

2.1.19 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、气象条件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，并提出相应的风险管理建议。

2.1.20 点评估 point evaluation

以单一地下病害体为对象开展风险评估。

2.1.21 评估单元 assessment unit

在一定长度和宽度范围内存在多个病害体的区域。

2.1.22 面评估 area evaluation

以评估单元为对象，结合点评估结果、致塌因素发育条件及周边环境，对评估单元的风险发生可能性等级和风险后果等级开展评估。

2.1.23 信息化管理 information management

将地下病害体探测、评估成果及地下空间相关信息进行数字化处理，利用信息系统实施统一管理。

2.2 符号

*c*——电磁波在空气中的传播速度；

*D*——最大探测深度；

*f0*——检波器自然频率；

*H*——最大要求探测深度；

——目标体顶部埋深；

——发射电流；

*K*——加权系数；

——发射回线边长；

——回线装置匝数；

*N*——噪声电平；

——最小测线束数；

——最低限度的信噪比；

——衰减时间；

*VRmin*——探测深度范围内预计平均面波相速度最小值；

——测区宽度；

——三维探地雷达阵列天线宽度；

——横向分辨率（m）；

——电磁波在介质中的波长（m）；

*β*——波长深度转换系数；

——最小可分辨电平；

——地层电阻率；

——周边介质相对介电常数；

——被探测对象相对介电常数。

1. 基本规定

3.0.1 城市地下病害体探测与风险评估应结合工程地质、市政设施、水文气象、历史塌陷等资料，选用合理的探测方法，查明探测区域内地下病害体的属性特征，对其进行风险评估，并提出风险管控对策，且开展地下病害体的信息化管理。

3.0.2 城市地下病害体探测可分为定期探测、专项探测和应急探测。

3.0.3 城市地下病害体定期探测区域及定期探测时间应符合下列规定：

1 城市快速路、城市主干路、城市次干道等重要道路探测周期不宜超过3年；

2 埋设供（排）水主干管、箱涵、暗渠及其他地下管线等地下设施的道路探测周期不宜超过3年，并结合地下管网市政设施的健康状况调整探测周期；

3 人口密集商业区或广场探测周期不宜超过5年；

4 历史上多次发生过地面塌陷的道路或区域探测周期不宜超过2年。

3.0.4 城市地下病害体专项探测区域及专项探测时间应符合下列规定：

1 城市重大活动举行前3个月内，宜对活动场馆周边的道路、广场、地下管线周边区域进行专项探测；

2 洪涝灾害发生后2个月内，宜对积水路段、广场等区域进行专项探测；

3 新建地下工程，施工过程中及竣工后一定时间内宜对影响范围内的道路进行专项探测；

4 新建、改扩建道路移交给管理单位前宜进行专项探测；

5 排水、供水等管线敷设施工后一定时间内宜对影响范围内的道路进行专项探测；

6 专项检测道路末次探测后宜按照本标准3.0.3规定，纳入相应定期探测范围。

3.0.5 不在定期探测、专项探测范围内的区域，宜择机进行检测。

3.0.6 对发生以下突发事件的影响区域，应开展城市地下病害体的应急探测。

1 当发生滑坡、崩塌、泥石流、塌陷、断层活动等地质灾害险兆前或事故后；

2 当地面发生下沉、严重变形或塌陷事故时；

3 当地下管线发生泄露、爆炸等事故时；

4 当地铁站点、隧道、深基坑、地下盾构作业点等结构监测发生超限报警或发生大量水土流失时；

5 当发生强烈地震、爆破作业、拆除作业等情况时，可开展相关探测。

3.0.7 城市地下病害体探测可采用普查和详查相结合的方式开展地下病害体探测，并应符合下列规定：

1 普查应对测区进行全面探测，并确定重点检测区；

2 详查应对重点检测区进行探测，并应查明地下病害体的属性。

3.0.8 城市地下病害体的探测方法和技术参数应根据病害体的物性、埋藏深度、潜在规模、场地环境等因素综合选择，并应根据有效性试验最终确定。

3.0.9 宜积极采用和推广经实践检验有效的新技术、新方法，并应符合下列规定：

1 采用的新技术新方法应能满足探测目的和要求，并经工程实践检验有效；

2 在检测工作方案中应予以说明，必要时应向委托方提供探测细则和检验标准。

3.0.10 探测前应对仪器进行校验，探测过程中应定期检查或校对仪器工作状态，确保探测仪器设备性能稳定、状态良好。

3.0.11 城市地下病害体探测机构，应依法取得相应资质，探测作业人员应经技术、安全培训合格后方可上岗。

3.0.12 数据质量检查不合格，应分析原因，对相关区域调整工作方案后重新进行探测。

3.0.13 在探测过程中，当发现危险性较大的地下病害体时，应及时报告相关管理单位。

3.0.14 探测发现的地下病害体应进行复核或验证。

3.0.15 现场探测与复核验证作业应按照道路交通安全管理要求设置警示标志，保障现场工作秩序和人员安全。

3.0.16 城市地下病害体探测与风险评估完成后，应编制成果报告并绘制成果图表。

3.0.17 对探测数据涉及的地下空间信息，应按照国家和广东省保密要求管理。

3.0.18 城市地下病害体探测工作可按照现场踏勘、方案编制、现场探测、数据处理、隐患识别、数据复核、验证、等级评定、成果编制和数据管理等程序开展。

1. 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 根据物性和形态特征划分的地下病害体类型宜按表4.0.2确定。

**表4.0.2 地下病害体按物性和形态特征分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 地下病害体类型 | 物性和形态特征 |
| 脱空 | 1 位于地面硬壳层与地基土之间，两者不连续接触，埋置深度浅；  2 一般表现为平面尺寸大于垂向高度、层状空隙的特点，常见于水泥混凝土路面、半刚性基层沥青路面以及白改黑路面等刚性面层下。 |
| 空洞 | 1 净空高度大于0.3米的地面硬壳层与土基之间的洞体以及地下土体中的洞穴；  2 位于地基岩土中，形态不规则，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；  3 在浅覆盖层岩溶发育区，常见土洞和溶洞，底部大部分充填流塑状黏性土。 |
| 疏松体 | 1 相对周边土体，具有结构不均匀、松散、密实度低、强度低、压缩性高等特点；  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 | 1 相对周边土体具有含水量高、强度很低、孔隙比较大、压缩性高、均匀性较差、灵敏度较高等特点；呈流塑或松散状态；  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 | 1 无水填充时，相对介电常数为1；  2 有水填充时，相对介电常数为81。 | 1 弹性波速度低  2 波阻抗低 | 1 无水填充时，电阻率大于周边土体，明显高阻异常；  2 有水填充时，电阻率小于周边土体，明显低阻异常。 |
| 空洞 |
| 疏松体 | 1 地下水位以上，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 地下水位以下，相对介电常数大于周边土体，疏松程度越高，相对介电常数越大。 | 1 弹性波速低；  2 疏松程度越高，速度越低。 | 1 地下水位以上，电阻率较大于周边土体，疏松程度越高，电阻率差异越明显，电阻率等值线形态不规则；  2 地下水位以下，电阻率较小于周边土体，疏松程度越高，电阻率差异越明显，电阻率等值线形态不规则。 |

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 |
| 富水体 | 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 | 电阻率小于周边土体；明显低阻异常。 |

4.0.4 根据岩土性质、工程特性和可钻性，参照《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437规定，将疏松体分为一般疏松体和严重疏松体。

1. 技术准备

5.1 一般规定

5.1.1 技术准备工作应包括资料收集、现场踏勘、探测方案编写等内容。

5.1.2 收集资料前需明确收集范围、对象、内容及成果要求。

5.1.3 编写探测方案前应组织开展现场踏勘，了解测区工作环境和可能存在的影响因素，并核实已收集的资料。

5.1.4 选择探测方法前应在现场踏勘及既有经验的基础上选择可能有效的物探方法开展有效性试验，为方法选择提供依据。

5.2 资料收集

5.2.1 收集的资料应包括下列内容：

1 地形图和测量控制资料；

2 工作区内既有相关的岩土工程、工程地质、水文地质、区域地质等地质资料及地球物理探测资料；

3 道路工程、地下工程等建（构）筑物的竣工资料或设计、施工资料；

4 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 既有地下病害体修复设计施工或竣工资料。

5.2.2 收集资料应提前了解待收集对象名称、所处位置等信息，联系建（构）筑物所在地的相关单位查询收集资料。

5.2.3 资料收集过程中，必要时需实地走访建（构）筑物的建设单位、权属单位、管理单位、设计单位、施工单位和监理单位等单位以便收集资料和了解情况。

5.2.4 宜收集相应比例尺的地形图、测区及其邻近测量控制点的坐标和高程等资料。

5.2.5 对测区发生过塌陷或因地下病害体引起的地面变形等情况，应收集既往探测或修复、施工的相关资料，收集塌陷位置、时间、规模、成因、修补及其变形等数据。

5.3 现场踏勘

5.3.1 现场踏勘应在收集、整理和分析已有资料的基础上进行。

5.3.2 现场踏勘宜包含以下内容：

1 了解测区地形地貌及其变化情况；

2 调查测区道路分布、路面修补、明显的路面变形及管井现况等；

3 调查测区内的干扰源类型和分布；

4 核实地形图、地下管线和历史塌陷等资料的完备性及可利用程度；

5 调查现场交通状况，分析对探测工作的影响；

6 调查对探测工作有影响的其它资料。

5.3.3 现场踏勘后宜根据踏勘情况评估后续现场探测作业风险。

5.4 方法选择

5.4.1 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。

5.4.2 探测方法选择应通过方法试验确认有效性和适应性。

5.4.3 试验工作应符合下列要求：

1 试验工作应遵循由已知到未知、由简单到复杂的原则；

2 试验地点应具有代表性，宜布置在有勘探孔或已知病害体位置或道路表面病害密集位置；

3 应根据试验结果选取仪器参数、物性参数和技术参数。

5.5 方案编制

5.5.1 探测方案应根据工作任务和要求，在资料收集、分析和现场踏勘及方法试验基础上编写。

5.5.2 城市地下病害体探测方案应包括下列内容：

1 项目概况；

2 工作目的、任务、范围、期限和测区位置等；

3 工作重难点及对策；

4 工作依据及方法选择、技术要求、工作方法有效性分析；

5 现场工作布置及工作量估算，附探测工作布置图；

6 与地质、测量、设计、施工、管理等其他专业的配合；

7 仪器、设备、材料、车辆等资源配置；

8 施工组织及工作进度计划；

9 作业质量、安全及环境保证措施；

10 拟提交的成果资料。

2. 地下病害体探测

6.1 一般规定

6.1.1 城市地下病害探测应符合下列基本条件：

1 地下病害体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；

2 地下病害几何尺寸应可分辨，一般与其埋藏深度或探测距离之比不应小于1/10；

3 探测区域应具备探测实施条件。

6.1.2 地下病害体探测方法或方法组合宜根据病害体类型及探测深度等因素参考《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437确定，在符合探测条件的管线分布区域可采用管道内窥摄像法配合探地雷达方法探测管线周边的地下病害体。

6.1.3 探测工作应遵循从简单到复杂，从已知到未知的工作原则进行，复杂探测环境宜采用多种方法综合探测。

6.1.4 在使用地球物理勘探方法时，测线布置应满足下列规定：

1 普查时宜沿道路方向布设测线，宜避开地形及其他干扰的影响，测线长度应保证探测目标的完整并具有足够的背景场；

2 详查时根据普查时确定的地下异常分布布设测线，宜垂直或大角度相交于地下异常；

3 当在测区边界附近发现重要异常时，应延长测线以追踪异常的分布范围；

4 对于历史塌陷区、大型交叉路口、建构筑物周边、地下工程施工区及附近区域等重点区域，测线宜适当加密，如具备探测条件宜呈网状布设。

6.1.5 地下病害体探测的测量工作应结合实时差分定位法(RTK)确定病害体的经纬坐标，并标注附近地形及重要标记物，测量精度应符合现行《城市测量规范》GJJ/T 8的要求。

6.1.6 地下病害体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。

6.1.7 对于在地下病害体探测中出现的新技术应采用传统方法加以详细验证，验证后可在类似探测中推广运用。

6.2 探地雷达法

6.2.1 探地雷达法主要适用于探测地下5m深度范围内孕育的脱空、空洞、疏松体和富水体等地下病害。

6.2.2 采用探地雷达法时应满足下列规定：

1 被探测对象与周围介质应存在较大的电性差异，功率反射系数应不小于0.01；

2 探测区域内不应存在大范围高导电屏蔽层或电磁干扰。

6.2.3 采用探地雷达法探测地下病害时宜采用平面法和剖面法结合的观测方式；如需求取地下介质的电磁波传播速度时，可采用宽角法或已知点验证法；当深部数据的信噪比较低，不能满足探测需要时，可采用共深度点法。

6.2.4 影响探地雷达探测的主要干扰源可按以下因素统计：

1 地上干扰源：临近建构筑物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、钢板等临设、金属栅栏、车辆等；

2 地下干扰源：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 电磁干扰源：路灯、信号灯、变电室、架空输电线缆、发射塔等。

6.2.5 探地雷达主要分为二维探地雷达、三维探地雷达、管中探地雷达；宜根据不同工作阶段组合使用，组合使用时应符合下列原则：

1 普查阶段应以三维雷达为主；

2 详查阶段宜以双频或多频二维雷达为主；

3 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。

6.2.6 在满足对检测范围全覆盖、无遗漏的原则下，宜将检测区域分为普通区域、重点检测区域。

6.2.7 普查阶段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 路口、管线密集区、历史塌陷区和明显变形区等重点区域及普查中确定的重点异常区宜采用网格状布设，不具备网格状布设条件时，可加密布设测线；

4 测线间距宜根据采用的天线主频确定；

5 测线布设边界应超过检测范围不小于5.0m；

6 在隧道、管道内部进行探测时，测线位置宜在隧道、管道正上和斜上部位，并沿轴线方向布设，测线间距根据作业空间适当调整；

7 车行道的地下病害体探测工作宜使用车载探地雷达设备，非车行道的地下病害体探测工作宜使用人工牵引的便携式探地雷达设备。

6.2.8 详查阶段探地雷达测线布设除了满足6.1.4规定之外，还应符合下列规定：

1 对于已知病害体位置的测区，宜采用正交形网格探测，网格间距应以0.4m~1.0m为宜；

2 对于正交形网格难以确定地下病害体位置的区域，可以正交形网格中心为原点增设直径不小于正交形网格区域的径向测线，径向测线夹角根据实际情况确定。

6.2.9 宜在探测开始前进行有效性试验，确定下列工作内容：

1 调整雷达参数适应该测区地质条件；

2 开展多次测量的一致性或不同频率天线探测的对比试验。

3 利用测区内已知位置的井盖、路灯或管线等的雷达回波对测线进行校核。

6.2.10 探地雷达天线主频选择应符合检测深度的要求，并应符合下列规定：

1 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 重点区域及普查中确定的重点异常区探测应选用多种频率天线；

3 地下病害体探测中，探地雷达的设计探测深度应由天线中心频率确定，并宜符合表6.2.10的规定。

**表6.2.10 探地雷达天线频率确定表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 中心频率（MHz） | 推荐最大探测深度（m） | 推荐深度分辨率（m） |
| 900 | 1.0 | 0.028 |
| 600 | 1.2 | 0.042 |
| 450 | 1.8 | 0.056 |
| 400 | 2.0 | 0.063 |
| 200 | 2.5 | 0.130 |
| 170 | 2.8 | 0.150 |
| 100 | 4.0 | 0.250 |

6.2.11 当地下水位较浅，或城市道路开挖修复的路段存在回填疏松、含铁磁性土等因素，探测深度大于3.0m时，不宜使用探地雷达法。

6.2.12 现场记录宜包含工程名称、工程地点、天气、仪器型号/编号、测试方式、天线主频、时窗、道间距、标记等内容，记录宜符合附录A的规定。

6.2.13 探地雷达法数据采集在满足《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437的要求下，尚应符合下列规定：

1 当采用测量轮测距时，采集前应对测距精度进行标定；采用手动标记定位时，应等间距标记，间距不宜大于2.0m；

2 点测时，应在天线静止时采集，道间距应保证至少有三道数据落在目标体上；连续测量时，天线移动速度应均匀，并应与雷达的扫描率相匹配；测距轮时，普查时道间距不宜大于5.0cm，详查时道间距不宜大于2.0cm；

3 普查阶段若采用车辆驱动天线，则车辆行驶速度不宜高于30km/h；

4 当采用北斗系统或GPS进行测线轨迹定位时，应合理设置基准点，并进行定点测量验证。

6.2.14 二维探地雷达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。

6.2.15 二维探地雷达数据可参照图6.2.15进行处理和解释，并应符合下列规定：

1 应进行零点校正，明确地面反射点的位置；

2 非测距轮模式下采集的数据，应进行水平距离归一化处理；

3 可根据数据处理目的选取增益调整，频率滤波、反褶积、偏移处理；

4 在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一段的干扰波；

5 当信噪比低时不宜对数据记录进行反褶积、偏移处理；

6 可用反褶积压制多次反射波干扰，且反射子波宜选择最小相位子波；

7 可采用空间滤波的有效道叠加或道间差方法，提高目标信号的连续性；

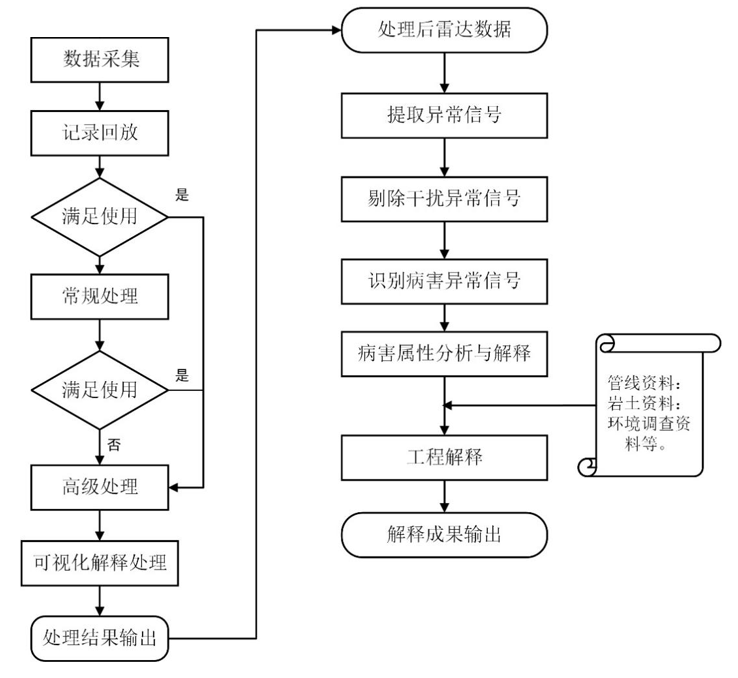
8 宜根据现场调查，剔除探地雷达干扰目标；

9 应根据信号的能量、同相轴、相位和频率等特征提取地下目标并进行解释；

10 宜结合地下管线类型和运行状况、路面裂缝、沉陷、历史塌陷等资料进行解释；

11 应在雷达剖面上标出目标反射波的位置或反射波组；

12 宜结合相邻测线探测结果确定地下病害的位置和范围。



**图6.2.15 二维探地雷达数据处理和解释流程**

6.2.16 地下病害体类型应根据探地雷达图像的波组形态、振幅强度、相位和频谱等特征区分，具体表征特征见附录B。

6.2.17 二维探地雷达法探测成果图件宜包括测线平面布置图、病害体分布图、病害体信息卡、病害体统计表格及解释性成果图，病害体信息卡样例见附录C。

6.2.18 当采用三维探地雷达进行探测时，应根据探测深度和精度要求，通过有效性试验确定通道数、天线主频和定位装置精度。

6.2.19 三维探地雷达应满足通道间距小于被测介质中雷达主频对应波长的1/4。

6.2.20 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。

6.2.21 三维探地雷达数据质量除应符合6.2.14的规定外，尚应满足下列要求：

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。

6.2.22 三维探地雷达数据处理步骤应符合下列规定：

1 应按6.2.15的规定对各通道数据进行单独处理；

2 三维成像处理前应进行测线轨迹校正；

3 应进行三维偏移处理以提高成像准确性。

6.2.23 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。

6.2.24 三维探地雷达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。

6.2.25 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，以及横向切片和水平切片上的轮廓形态特征来综合分析判定。

6.2.26 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，排除地上干扰源、地下干扰源和电磁干扰源后综合确定。

6.2.27 三维探地雷达数据解释结果应包括地下病害体的平面坐标、平面面积、埋藏深度、垂向尺寸和严重程度等信息。

6.3 高密度电阻率法

6.3.1 高密度电阻率法主要探测30m深度范围内的空洞、疏松体和富水体等地下病害。

6.3.2 高密度电阻率法进行地下病害体探测时应用条件应符合下列规定：

1 地下病害体应具有一定的规模，且与周边介质之间应存在较大的电性差异；

2 地形起伏不大，场地接地条件良好或能通过采取并联电极、浇盐水等措施加以改善；

3 地下浅层没有屏蔽地下深层信息的电阻屏蔽层；

4 测区内没有变电站、高压电缆等产生较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰存在。

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10Ω/km，芯间绝缘电阻应大于5MΩ/km。

6.3.4 高密度电阻率法的测线、测点布置除了应满足6.1.4的通用要求外，还应符合下列规定：

1 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；

2 应根据分辨率要求，选定点距、线距，异常部位应加密；测线上目标体的测点不应少于3个；局部异常地段的测线不应少于3条；每条测线上反映同一目标体的异常点位不应少于5个；

3 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，应布置在相对平坦的路面，尽可能减小地形和其它干扰因素的影响；

4 电极距宜等于测点距，且不宜大于2m；

5 测线或剖面还应尽量与测区中的地质勘探线、典型地质剖面相结合；

6 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 使用高密度电阻率法探测地下病害体前，应结合广东省区域特点开展有效性试验，宜包括下列工作内容：

1 场地的地电条件、干扰背景等，确定合适的工作方法；

2 了解场地地质勘探线、典型地质剖面、已知勘察钻孔资料；

3 确定采集装置及各类指标参数；

4 开展多次测量的一致性或多台仪器的一致性对比试验。

6.3.6 高密度电法的电极排列布置应符合下列规定：

1 应根据探测深度、规模和预期探测精度设置最小电极距、排列长度和隔离系数；

2 电极应安置在规定的位置上，最小电极距一般取1.0m~2.0m；

3 排列长度应大于探测深度的3倍；

4 隔离系数的最大值应保证有效探测深度超过要求探测深度的20%以上。

6.3.7 电极接地应符合下列规定：

1 供电电极接地电阻应小于10kΩ；

2 测量电极接地电阻应小于仪器输入电阻抗的1%。

6.3.8 高密度电阻率法的数据采集应符合下列规定：

1 复杂条件下，应采用不少于两种观测装置进行探测；

2 对于每个排列的观测，坏点总数不应超过测量总点数的1%，对意外中断后的续测，应有不少于2个深度层的重测值；

3 及时记录排列的位置，测量排列的关键定位点，确保测线位置的准确性；

4 当场地坡度大于15°或局部地形起伏大时，应测量各电极点的坐标和高程；

5 实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接重复测点不少于1个；

6 测线两端的探测范围应处于选用装置的有效范围之内，测线两端超出测区的长度不宜小于装置长度的1/3。

6.3.9 现场记录宜包含工程名称、工程地点、测试参数、测线编号、文件名、测线位置、地面异常环境等内容，记录宜符合附录D的规定。

6.3.10 高密度电阻率法的质量检查及评价应符合下列规定：

1 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；

2 质量检查统计的均方相对误差不得超过5%；

3 当抽查的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。

6.3.11 高密度电阻率法资料解释可按《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437规定执行，并按照表6.3.11进行病害体识别。

**表6.3.11 地下病害体的高密度电阻率法电性特征**

|  |  |
| --- | --- |
| 隐患类型 | 电性特征 |
| 疏松体 | 地下水位以上的疏松体的电阻率特征表现为相对高阻异常。 |
| 富水体 | 富水体的电阻率特征表现为相对低阻异常。 |
| 空洞 | 1 空洞有水充填时，其电阻率特征表现为相对低阻异常；  2 空洞无水充填时，其电阻率特征表现为相对高阻异常。 |

6.3.12 高密度电阻率法成果图件应符合下列规定：

1 成果图宜包括测线平面布置图、断面电阻率等值线图或反演电阻率剖面成果图、隐患平面分布图；

2 同一场地的电阻率等值线图应设置合理、统一的色标。

6.4 瞬态面波法

6.4.1 瞬态面波法主要探测20m深度范围内的空洞、疏松体等地下病害。

6.4.2 瞬态面波法进行地下病害体探测时应具备下列条件：

1 隐患与其周边介质之间应存在速度或波阻抗差异；

2 测区地表相对平坦，无临空面、陡立面，相邻检波器之间的高差应小于1/2道间距；

3 测区内不应存在较强的震动干扰。

6.4.3 瞬态面波法的震源应能激发出频率成分丰富的地震波，宜采用机械落重式、人工锤击式或电磁式震源。

6.4.4 瞬态面波法探测的仪器设备、检波器选型、数据采集、病害解释及异常特征识别等相关规定应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437有关规定。

6.4.5 瞬态面波法测线、测点布设除了应满足6.1.4的通用要求外，还应符合下列规定：

1 观测方式宜采用单端激发方式或CMP的激发方式，同一测线的观测排列方向应一致；

2 测点间距应根据探测任务和场地条件确定，不应小于最小目标体地面投影等效直径的1/3；每条测线或每个探测目标测点不得少于3个，且满足分辨率的要求；

3 应根据场地地形条件确定测线位置和检波器排列方式；

4 在满足测点间距要求的前提下，宜采用全排列移动、半排列移动或部分道移动的滚动排列方式追踪地下隐患的分布。

6.4.6 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 检波器应垂直插入地面，与地表耦合良好；

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；

3 排列的道间距应小于最小探测深度所需波长的1/2，最小偏移距应大于检波点距或道间距；

4 当波形有重要异常、畸变曲线时，应重复观测；

5 采样记录长度应满足最大源检距基阶面波的采集需要。

6.4.7 现场记录宜包含工程名称、工程地点、测试参数、测线编号、文件名、测线位置、环境干扰状况等内容，记录宜符合附录E的规定。

6.4.8 瞬态面波法数据处理及异常特征识别等相关规定应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437有关规定。

6.4.9 瞬态面波法探测成果图件宜包括测线测点平面布置图、典型时间记录、频散曲线图、面波相速度或视横波速度剖面图及地质解释成果图。

6.5 地震映像法

6.5.1 地震映像法应结合高密度电阻率法等其它方法对20m深度范围内的地下病害体进行复核。

6.5.2 地震映像法应根据探测目的、场地条件等因素选择多次覆盖观测系统或单次覆盖观测系统进行探测。

6.5.3 地震映像法进行地下病害体探测时应具备下列条件：

1 隐患与周边介质之间存在明显波阻抗差异，反射系数大于0.01；

2 探测对象的厚度不宜小于有效波长的1/4，宽度不宜小于地震波的第一菲涅尔带半径；

3 隐患的几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不小于0.1；

4 测区内地表相对平坦，无陡立面。

6.5.4 地震映像法仪器设备的主要技术指标应符合下列规定：

1 最高采样频率不应低于40kHz；

2 检波器的频带宽度应满足10Hz~1000Hz的范围内；

3 检波器的动态范围不应低于60dB。

6.5.5 探测前进行的有效性试验，应符合下列规定：

1 调查测区内不同时间段的干扰波和环境噪声类型、强度等，分析其对探测的影响；

2 确定合适的观测系统和采集参数，采集参数包括激振能量、炮检距、道间距、采样参数等；

3 试验位置宜选择在测区内地下目标体信息明确的区域。

6.5.6 地震映像法测线、测点布设除了应满足6.1.4的通用要求外，还应符合下列规定：

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，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 重点区域宜布设加密测线；

4 测线宜与其它探测方法测线一致。

6.5.7 地震映像法现场数据采集应符合下列规定：

1 同一条测线探测时应使用相同型号和参数的检波器，并进行道一致性检查和检波器一致性检查；

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现场工作；

4 当采用多次覆盖观测系统时，最大炮间距应小于地下异常的埋深；当单次覆盖观测系统时，偏移距应小于地下异常的埋深；

5 采样频率应大于40KHz，采样时间长度不得小于20ms；

6 当发现疑似地下病害体时，应记录位置，并复核。

6.5.8 现场记录宜包含工程名称、工程地点、检波器数量、测试参数、文件名、测线编号、测线位置和环境干扰状况等内容，记录宜符合附录F的规定。

6.5.9 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。

6.5.10 地震映像法数据处理及异常特征识别等相关规定应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》（JGJ/T437）有关规定。

6.5.11 地震映像法探测成果图件宜包括：

1 地震映像测线平面布置图、地震映像剖面图、隐患平面分布图；

2 地下病害平面分布图、解释成果图等。

6.6 微动勘探法

6.6.1 微动勘探法主要探测30m深度范围内的空洞、疏松体等地下病害。

6.6.2 微动勘探法进行地下病害体探测时应具备下列条件：

1 隐患与其周边介质之间存在波阻抗差异；

2 隐患的尺寸与其埋藏深度之比应大于1/10；

3 测区内地表应相对平坦。

6.6.3 微动勘探法的仪器设备、拾振器选型和布置、数据采集及成果解释等相关规定应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437有关规定。

6.6.4 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、十字形或密集台阵等观测方式。

6.6.5 现场记录宜包含工程名称、工程地点、台阵形式、测试参数、文件名、测线编号、测点编号、测试时间和环境干扰状况等内容，记录宜符合附录G的规定。

6.6.6 当采用微动勘探法探测时，地下病害体的微动勘探法异常特征可参考表6.6.6进行识别。

**表6.6.6 地下病害体的微动勘探法特征**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 隐患类型 | 面波相速度特征 | 视横波速度剖面特征 | 时间域特征 | 频率域特征 |
| 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。 | 高频段表现量值较大，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。 |

续表6.6.6

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 隐患类型 | 面波相速度特征 | 视横波速度剖面特征 | 时间域特征 | 频率域特征 |
| 空洞或脱空 | 与周边正常地层相比，速度降低明显。 | 与周边正常地层相比，表现为明显的低速异常，圈闭特征明显。 | 边界波组杂乱，局部存在镜像波。 | 高频段表现量值大，频散曲线变化剧烈，“之”字形拐点明显。 |

6.6.7 微动勘探法成果图件宜包括测线测点平面布置图、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、地质解释成果图等。

6.7 瞬变电磁法

6.7.1 瞬变电磁法主要探测30m深度范围内的空洞、疏松体和富水体等地下病害。

6.7.2 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。

6.7.3 瞬变电磁法的仪器设备、中心回线装置和等值反磁通装置选型、数据采集及数据处理等相关规定应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437有关规定。

6.7.4 瞬变电磁法的测线、测点布置除了应符合6.1.4的通用要求外，还应符合以下规定：

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。

6.7.5 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，记录宜符合附录H的规定。

6.7.6 瞬变电磁法资料解释可按现行行业标准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437规定执行，并按照表6.7.6进行病害体识别。

**表6.7.6 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 |
| 空洞或脱空 | 1 当空洞有水填充时，二次场幅值大，衰减慢；  2 当空洞无水填充时，二次场幅值小，衰减快 | 1 当空洞有水填充时，表现为相对低阻异常；  2 当空洞无水填充时，表现为相对高阻异常 |

续表6.7.6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地下病害体 | 二次场衰减 | 视电阻率 |
| 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 | 二次场幅值较大，衰减较慢 | 表现为相对低阻异常 |

6.7.7 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。

1. 地下病害体验证与成因分析

7.1 地下病害体验证

7.1.1 地下病害体验证范围应符合下列规定：

1 地下病害体探测成果的验证应明确地下病害体的类型、埋深、范围等属性；

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

7.1.2 地下病害体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%，少于3处时应全部验证。

7.1.3 采用钻探法验证时法应符合下列规定：

1 钻探时宜进行现场标准贯入试验，动力触探试验或取样与室内试验；根据试验结果指示，参考《建筑地基基础设计规范》DBJ 15-31的规定对土体密实程度进行判别；

2 钻探宜布设在地下病害的中心部位；

3 宜结合场地条件在地下病害体周边布设对照孔。

7.1.4 现场不具备钻探实施条件时，可采用其它地球物理方法对探测结果进行验证。

7.1.5 钻探验证结果为空洞的病害体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 钻孔验证后不再进行开挖验证的病害体应采用注浆和封孔方式处理。

7.1.7 地下病害体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 地下病害体成因分析

7.2.1 对于频繁出现地下病害体的道路，应综合调查地下病害体形成原因，为后续修复治理提供科学依据。

7.2.2 应查明病害体与地下管线、地下井室、地下工程等的直接关系。

7.2.3 宜将钻探结果、开挖结果与管道内窥摄像法、三维激光扫描法的探测结果相结合，对地下病害体成因进行综合判定。

7.2.4 地下管网密集区域的地下病害体可使用管道内窥摄像法检测周围管道的缺陷情况。

7.2.5 管道内窥摄像法检测地下病害体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 验证结果为空洞的地下病害体成因分析宜使用三维激光扫描法对空洞内部结构进行数字化扫描。

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 地下病害体成因分析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分析结论。

1. 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在地下病害体综合探测的基础上，开展风险影响因素调查、风险发生可能性评价、风险后果评价。

8.1.2 地下病害体点评估应采用单个地下病害体为评价对象，地下病害体单元风险评估应以评估单元为对象开展面评估。在点评估基础上开展面评估，确定单元风险发生可能性等级及后果等级，评价其综合等级，提出风险控制对策建议。

8.1.3 评估单元划分应综合考虑评估区域的范围、周边设施、管网、地质、病害体密度等要素。城市道路的评估单元宜沿走向的交通路口位置处划分，评估单元长度宜为20~300m，广场等开阔区域可根据实际情况进行评估单元区域划分。

8.1.4 风险发生可能性和风险后果评价宜采用指标体系法计算，宜在风险发生可能性等级和风险后果等级的基础上，根据风险矩阵计算并确定地下病害体风险等级。

8.1.5 风险评估指标及权重应根据地下病害体特征、地质环境、周边施工、地下管网、周边建（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 风险因素调查

8.2.1 根据风险评估的要求，城市快速路、主干路、居民和公共场所密集人群区建（构）筑物，应定期进行风险因素甄别调查。

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 调查对象应包括但不限于以下方面：管线破损、人防坍塌、地下工程施工、井壁破损、地表水下渗、地下水作用、土体自然沉降。

8.3 风险发生可能性评价

8.3.1 单一地下病害体的风险发生可能性评价指标宜按表8.3.1选取及取值。

**表8.3.1 单一地下病害体风险发生可能性评价指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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PA | 地下病害体面积PA1 | *S*≥15m2 | 90~100 |
| 10m2≤*S*＜15m2 | 70~90 |
| 3m2≤*S*＜10m2 | 50~70 |
| *S*＜3m2 | 20~50 |

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 |
| 地下病害体规模PA | 地下病害体高度PA2 | *d*＞4m | 90~100 |
| 2m＜*d*≤4m | 80~90 |
| 1m＜*d*≤2m | 70~80 |
| *d*≤1m | 60~70 |
| 地下病害体处理情况PA3 | 探测到病害体未处理 | 70~100 |
| 探测到病害体已处理 | 0~70 |
| 地质条件PB | 病害体所处地层PB1 | 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 |
| 病害体所处地层渗透性PB2 | 200m/d≤K | 80~100 |
| 10m/d≤K<200m/d | 60~80 |
| 1m/d≤K<10m/d | 30~60 |
| K≤1m/d | 0~30 |
| 不利地质条件（岩溶地质）PB3 | 30%<见洞率 | 80~100 |
| 10%≤见洞率≤30% | 40~80 |
| 见洞率<10% | 0~40 |
| 不利地质条件（易压缩地层）PB4 | 0.5MPa≤压缩系数S | 90~100 |
| 0.1MPa≤压缩系数S＜0.5MPa | 60~90 |
| 压缩系数S＜0.1MPa | 0~60 |
| 不利地质条件（易流失地层）PB5 | 级配不良 | 40~100 |
| 级配良好 | 0~40 |
| 不利地质条件（断裂带）PB6 | L＜100m  （L代表评估单元与断裂带最小水平距离） | 80~100 |
| 100m≤L＜200m | 60~80 |
| 200≤L＜400m | 40~60 |
| 400≤L＜1000m | 20~40 |
| 1000≤L | 0~20 |
| 邻近设施*PC* | 地下管线管龄 | 30年≤管龄Y | 80~100 |
| 5年≤管龄Y＜30年 | 40~80 |
| Y＜5年 | 0~40 |
| 地下管线管径 | 800mm≤管线直径D | 90~100 |
| 400mm≤D＜800mm | 70~90 |
| 100mm≤D＜400mm | 40~70 |
| 0mm＜D＜100mm | 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*PC* | 地下管线材质 | 石棉水泥、陶罐 | 80~100 |
| 砌体方沟、球墨铸铁 | 60~80 |
| 混凝土(硂）、塑料(硂） | 40~60 |
| 钢筋混凝土 | 20~40 |
| 钢、镀锌管、普通铸铁 | 10~20 |
| 其他 | 0~10 |
| 地下管线类别 | 排水管线 | 90~100 |
| 供水管线 | 70~90 |
| 其他有压管线 | 40~70 |
| 其他管线 | 0~40 |
| 地下管线埋深 | 0m＜管线埋深R＜1m | 90~100 |
| 1m≤管线埋深R＜2m | 70~90 |
| 2m≤管线埋深R＜3m | 40~70 |
| 3m≤管线埋深R | 0~40 |

8.3.2 单一地下病害体的风险发生可能性分值按下列公式进行计算：

（8.3.2-1）

（8.3.2-2）

式中：—地下病害体风险发生可能性分值；

—地下病害体规模指标；

—地质条件指标；

—邻近设施指标；

—地下病害体规模指标权重，取值宜在0.3~0.4之间；

—地质条件指标权重，取值宜在0.2~0.4之间；

—邻近设施指标权重，取值宜在0.3~0.4之间。

8.3.3 单一地下病害体的规模指标宜按下列公式计算：

（8.3.3-1）

（8.3.3-2）

式中：—地下病害体规模指标；

—地下病害体面积指标；

—地下病害体高度指标；

—地下病害体处理情况指标；

—地下病害体面积指标权重，取值宜在0.3~0.4之间；

—地下病害体高度指标权重，取值宜在0.2~0.3之间；

—地下病害体处理情况指标权重，取值宜在0.35~0.5之间。

8.3.4 单一地下病害体的地质条件指标宜按下列公式计算：

（8.3.4-1）

（8.3.4-2）

式中：—地质条件指标；

—病害体所处地层指标；

—病害体所处地层渗透性指标；

—不利地质条件(岩溶地质)指标；

—不利地质条件(易压缩地层)指标；

—不利地质条件(易流失地层)指标；

—不利地质条件(断裂带)指标；

—病害体所处地层指标权重，取值宜在0.15~0.25之间；

—病害体所处地层渗透性指标权重，取值宜在0.15~0.25之间；

—不利地质条件(岩溶地质)指标权重，取值宜在0.15~0.25之间；

—不利地质条件(易压缩地层)指标权重，取值宜在0~0.1之间；

—不利地质条件(易流失地层)指标权重，取值宜在0.2~0.4之间；

—不利地质条件(断裂带)指标权重，取值宜在0~0.1之间。

8.3.5 单一地下病害体的临近设施指标宜按下列公式计算：

（8.3.5-1）

（8.3.5-2）

式中：—邻近设施指标；

—地下管线管龄指标；

—地下管线管径指标；

—地下管线材质指标；

—地下管线类别指标；

—地下管线埋深指标；

—地下管线管龄指标权重，取值宜在0.15~0.25之间；

—地下管线管径指标权重，取值宜在0.05~0.15之间；

—地下管线材质指标权重，取值宜在0.25~0.35之间；

—地下管线类别指标权重，取值宜在0.2~0.3之间；

—地下管线埋深指标权重，取值宜在0.1~0.2之间。

8.3.6 单一地下病害体风险发生可能性等级如表8.3.6。

**表8.3.6 单一地下病害体风险发生可能性等级划分**

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

8.3.7 地下病害体单元的风险发生可能性评价指标宜按表8.3.7取值。

**表8.3.7 地下病害体风险评估单元风险发生可能性评价指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 一级指标 | 二级指标 | 评价依据 | 取值范围 |
| 风险评估单元内病害体情况 | 风险评估单元内病害体风险等级情况 | 评估单元内满足下列条件之一：  1 存在单一病害体发生可能性等级为A等级的病害体；  2 无A等级病害体但存在不少于2个B等级病害体；  3 病害体密度大于6/300m. | 80~100 |
| 风险评估单元中无A等级病害体但存在1个B等级病害体 | 60~80 |
| 风险评估单元中无A、B等级病害体但存在C等级病害体 | 50~60 |
| 风险评估单元中只存在D或E等级病害体 | 0~50（按病害体得分加权获得） |
| 风险评估单元内病害体范围 | 地下病害体总面积与风险评估单元面积比大于等于2% | 90~100 |
| 地下病害体总面积与风险评估单元面积比大于等于1%小于2% | 80~90 |
| 地下病害体总面积与风险评估单元面积比大于等于0.5%小于1% | 60~80 |
| 地下病害体总面积与风险评估单元面积比大于等于0.2%小于0.5% | 40~60 |
| 地下病害体总面积与风险评估单元面积比小于0.2% | 0~40 |

续表8.3.7

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 一级指标 | 二级指标 | 评价依据 | 取值范围 |
| 风险评估单元内病害体情况 | 风险评估单元位置情况 | 主机动车道 | 70~100 |
| 辅路 | 40~70 |
| 非机动车道 | 0~40 |
| 人行步道 | 20~40 |
| 绿化带 | 0~20 |
| 评估单元内病害体潜在风险 | 覆跨风险系数 |  | 80~100 |
|  | 60~80 |
|  | 40~60 |
|  | 0~40 |
| 病害体发展趋势风险 | 90≤X | 90~100 |
| 60≤X＜90 | 60~90 |
| 30≤X＜60 | 40~60 |
| X＜30 | 0~40 |
| 设施扰动 | 施工干扰 |  | 80~100 |
|  | 50~80 |
|  | 0~50 |
| 地面设施 |  | 90~100 |
|  | 70~90 |
|  | 40~70 |
|  | 0~40 |
| 地下工程 |  | 90~100 |
|  | 70~90 |
|  | 40~70 |
|  | 0~40 |
| 风险评估单元自身因素 | 道路现状 | 道路存在明显变形、沉陷等 | 90~100 |
| 道路存在明显裂缝、坑槽等 | 80~90 |
| 路面龟裂、轻微变形 | 70~80 |
| 路面完好 | 60~70 |
| 评估单元环境风险 | 风险评估单元内深基坑发生严重形变或大量水土流失 | 80~100 |
| 风险评估单元边界外30m内深基坑发生严重形变或大量水土流失 | 60~80 |
| 风险评估单元内存在基坑 | 40~60 |
| 风险评估单元边界外30m内存在基坑 | 0~40 |
| 路基平均沉降速率 | 120mm/m≤W | 80~100 |
| 30mm/m≤W＜120mm/m | 40~80 |
| 12mm/m≤W＜30mm/m | 20~40 |
| 0.3mm/m≤W＜12mm/m | 10~20 |
| 0mm/m≤W＜0.3mm/m | 0~10 |
| 道路平均载荷 | 机动车较频繁、重载车辆 | 80~100 |
| 自行车道或机动车较少的车道 | 40~80 |
| 人行道 | 0~40 |

注：1 地下工程包括但不限于地铁、地下隧道、地下人防工程、地下停车场等；

2 l为施工边界与病害体边界之间的距离；*Rgzw*为地下工程与地下病害体边界之间的距离与地下病害体跨度之间的比值；*Rdm*为地面设施与地下病害体边界之间的距离与地下病害体跨度之间的比值；*W*为每延米路基平均沉降速率；*X*为病害体潜在风险指标计算公式如条文说明所示，*Kmax*为覆跨风险指标计算公式如条文说明所示；

3 其中风险评估单元内评价指标中存在多种不同风险值的评价对象时，宜选择风险值最高的对象为结果。

8.3.8 地下病害体单元的风险发生可能性分值计算中具体的权重宜按照地区不同而变化，可能性分值按下列公式进行计算：

（8.3.8-1）

（8.3.8-2）

式中：—风险评估单元内病害体情况指标；

—风险评估单元内病害体潜在风险指标；

—设施扰动指标；

—风险评估单元内自身因素指标；

—风险评估单元内病害体情况指标权重，取值宜在0.3~0.4之间；

—风险评估单元内病害体潜在风险指标权重，取值宜在0.2~0.3之间；

—设施扰动指标权重，取值宜在0.2~0.4之间；

—风险评估单元内自身因素指标权重，取值宜在0.2~0.3之间。

8.3.9 地下病害体单元的病害体情况指标宜按下列公式计算：

（8.3.9-1）

（8.3.9-2）

式中：—风险评估单元内病害体情况指标；

—风险评估单元内病害体风险等级情况指标；

—风险评估单元病害体范围指标；

—风险评估单元位置情况指标；

—风险评估单元内病害体风险等级情指标况权重，取值宜在0.4~0.6之间；

—风险评估单元病害体范围指标权重，取值宜在0.2~0.4之间；

—风险评估单元位置情况指标权重，取值宜在0.1~0.3之间。

8.3.10 地下病害体单元的病害体潜在风险指标宜按下列公式计算：

（8.3.10-1）

（8.3.10-2）

式中：—风险评估单元内病害体潜在风险指标；

—覆跨风险系数指标；

—病害体发展趋势风险情况；

—覆跨风险系数指标权重，取值宜在0.5~0.7之间；

—病害体发展趋势风险指标权重，取值宜在0.2~0.4之间。

8.3.11 地下病害体单元的设施扰动指标宜按下列公式计算：

（8.3.11-1）

（8.3.11-2）

式中：—设施扰动指标；

—施工干扰指标；

—地面设施指标；

—地下工程指标；

—施工干扰指标权重，取值宜在0.3~0.4之间；

—地面设施指标权重，取值宜在0.1~0.2之间；

—地下工程指标权重，取值宜在0.4~0.6之间。

8.3.12 地下病害体单元的自身因素指标宜按下列公式计算：

（8.3.12-1）

（8.3.12-2）

式中：—风险评估单元自身因素指标；

—道路现状指标；

—评估单元环境风险指标；

—路基平均沉降速率指标；

—道路平均载荷指标；

—道路现状指标权重，取值宜在0.2~0.3之间；

—评估单元环境风险指标权重，取值宜在0.3~0.5之间；

—路基平均沉降速率指标权重，取值宜在0~0.2之间；

—道路平均载荷指标权重，取值宜在0.2~0.3之间。

8.3.13 若风险评估单元中仅存在n个D级、E级病害体时，其指标按照表8.3.4取值，风险发生可能性得分加权计算，其计算公式如下：

（8.3.13-1）

（8.3.13-2）

式中：—风险评价单元病害体风险发生可能性分值；

—风险评价单元内单个地下病害体风险发生可能性分值，i表示第i个病害体；

—风险评估单元内单个病害体风险发生可能性分值对应的权重值；

n—风险评估单元内D级、E级病害体数量。

8.3.14 地下病害体单元的风险发生可能性宜根据评估结果按表8.3.14划分为5个风险发生可能性等级。

**表8.3.14 地下病害体风险评估单元风险发生可能性等级划分**

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

8.4 风险后果评价

8.4.1 地下病害体风险评估单元风险发生后果评价应综合考虑不同影响因素，宜包括地下病害体范围、建（构）筑物分布情况、人员密集程度、财产密度和社会影响。

**表8.4.1 地下病害体风险评估单元风险发生后果评价指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评价指标 | 评价依据 | 取值范围 |
| 建（构）筑物分布情况 | 具有下列情况之一：  1 风险评估单元内有燃气或危险性较大的工业管线；  2 风险评估单元内有高层建筑、地铁、地下建筑、政府机构、医院等重要设施或建筑 | 90~100 |
| 具有下列情况之一：  1 风险评估单元内有热力或危险性较小的工业管线；  2 风险评估单元内有军事管线等重要设施；  3 风险评估单元内有多层建筑、防空洞等建筑 | 70~90 |
| 风险评估单元内有给水、排水或高压电力管线 | 50~70 |
| 风险评估单元内有电信管线或其他设施 | 20~50 |

续表8.4.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评价指标 | 评价依据 | 取值范围 |
| 人员密集程度 | 具有下列情况之一：  1 风险评估单元内有大型商场、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 风险评估单元内有公交车站、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 风险评估单元内有中小型商场、办公场所、居民楼等人员较多的场所；  2 风险评估单元所在道路车流量、人流量较大 | 60~80 |
| 其他情况 | 30~60 |
| 财产及危化品设施分布 | 风险评估单元范围内有金融机构、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，但风险评估单元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，但风险评估单元范围内有民房、危险性较低设施等，财产密度较低 | 30~60 |
| 风险评估单元范围内有较少的财产 | 10~30 |
| 处于偏远区域，风险评估单元范围内为草 地、农田、荒山等财产密度较低或极低的情况 | 0~10 |
| 社会影响 | 风险评估单元周边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 |
| 风险评估单元周边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 地下病害体风险评估单元风险发生后果分值计算中具体的权重宜按照地区不同而变化，采取层次分析法，进行权重确认后评估单元风险发生后果分值宜按照下列公式计算：

（8.4.2-1）

（8.4.2-2）

式中：地下病害体风险评估单元风险发生后果分值；

—建（构）筑物分布情况指标；

—人员密集程度指标；

—财产及危化品设施分布指标；

—社会影响指标；

—建（构）筑物分布情况指标权重，取值宜在0.1~0.3之间；

—人员密集程度指标权重，取值宜在0.3~0.4之间；

—财产及危化品设施分布指标权重，取值宜在0.2~0.4之间。

—社会影响指标权重，取值宜在0.2~0.3之间。

8.4.3 地下病害体风险评估单元风险发生后果宜按表8.4.3划分为5个等级。

**表8.4.3 地下病害体风险评估单元风险发生后果等级划分**

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

8.5 风险等级划分与控制对策

8.5.1 地下病害体风险评价单元综合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 地下病害体风险评估单元风险综合等级划分**

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

8.5.2 地下病害体风险评估单元综合风险等级说明按表8.5.2确定。

**表8.5.2 地下病害体风险评估单元综合风险等级说明**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风险等级 | 风险定义 | 风险发生可能性 | 风险发生后果 |
| I级 | 重大风险 | 地下病害体有较大概率在短期内发生地面塌陷事故 | 发生区域在人员密度较大（如商业街区等）或存在重要建筑物（如学校、商场）的区域，对人员、经济、环境等损失程度非常高 |
| II级 | 较大风险 | 地下病害体有较大概率近期发生地面塌陷事故 | 发生区域在人员密度较高、建筑物密集或存在重要建筑物（如学校、商场等）的区域，对人员、经济、环境等可能造成较大损失 |

续表8.5.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风险等级 | 风险定义 | 风险发生可能性 | 风险发生后果 |
| III级 | 一般风险 | 地下病害体有一定概率发生地面塌陷事故 | 发生在人员密度较低、建筑密度较小且不存在重要建筑（如学校、商场等）的区域，但可能对人员、经济、环境等造成一定程度损失 |
| IV级 | 低风险 | 地下病害体基本不可能引起地面塌陷事故 | 发生在人烟稀少的区域，发生后基本无人员伤亡，经济、环境等损失很小 |
| V级 | 极低风险 | 地下病害体基本不可能引起地面塌陷事故 | 发生在人烟稀少的区域，发生后基本无人员伤亡，无经济、环境等损失 |

8.5.3 针对不同风险等级，宜按表8.5.3确定控制对策。

**表8.5.3 风险等级与对策**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 风险等级 | 说明 | 对策 | | |
| 处置方式 | 控制要求 | 评估要求 |
| I级 | 风险极高 | 在II级风险控制基础上，对区域内地下管线进行定期综合治理，及时对病害体进行治理和动态风险评估，对周边重要建筑物进行定期单独评估，对于部分重要场所生活和工作人员进行定期安全培训和应急演练，必要时可提前进行转移 | 区域内严格管控新建工程的建设，对于特殊建筑物建设应当提前报备，经过专家论证后方可开工。严格控制病害体所在区域地下水的抽排，限制地面荷载的增加，规范私人建房的技术要求，最大限度降低引发地面塌陷地质灾害发生的外部风险 | 根据监控、监测数据对区域内重要道路、广场以及地下基础设施沿线进行周期性动态评估 |
| II级 | 风险较高 | 在III级风险控制基础上，对区域内重点建筑物所在地进行重点检测，提前制订应急救援预案，做好周围学校、商场等重要场所的安全培训和应急演练 | 对区域内地下管线状态进行安全监测和定期检查，区域内新建工程应该提前报备，经过专家论证后方可开工。区域内地下工程沿线状况应重点监控、定期检查 | 根据实时监测、监控数据，对地下病害体风险等级进行周期性动态评估 |
| III级 | 风险一般 | 对于区域内存在的可能影响地下安全的相关问题需要及时处理，如管线破损、地基下沉、工程建设、降雨量过大等，以免造成风险升级，引发地面塌陷 | 在周边区域内举行重大活动时需要报备，以免因人员车辆聚集造成因人为活动、地面载荷过大等引发地面塌陷事故 | 根据定期监测数据，对病害体风险等级进行周期性评估 |

续表8.5.3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 风险等级 | 说明 | 对策 | | |
| 处置方式 | 控制要求 | 评估要求 |
| IV级 | 风险较低 | 采用卫星监测地面沉降作为主要手段，对风险评估单元进行周期性监测 | 对病害体进行定期巡查和监控 | 设定相应的风险评估周期，定期重新对地下病害体进行风险评估 |
| V级 | 风险很低 |

1. 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宜包括文字报告和图表。

9.1.2 文字报告应内容全面、重点突出、结论明确、图表规范、数据齐全。

9.1.3 成果图表应标识清楚，图式、图例、注记和比例尺等要素齐全。

9.1.4 探测成果及相关资料宜纳入城市地下病害体信息管理系统及相关系统统一管理。

9.2 成果编制

9.2.1 文字报告大纲宜包括下列内容：

1 工程概况；

2 技术依据；

3 场地工程环境分析；

4 工作方法及质量评价；

5 探测工作设计与采集；

6 数据处理和解释；

7 成果验证与病害解释修正；

8 地下病害体风险评估；

9 病害体特征信息统计；

10 结论与建议；

11 附图、附表。

9.2.2 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。

9.2.3 工作布置图应根据探测方法采用统一的代号和图例编制，探测方法代号和图例宜按JGJ/T437规定执行，并应符合下列规定：

1 工作布置图应标明测线、测点、验证点、剖面起讫点等的平面位置、编号；

2 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；

3 验证工作布置应按规定的代号、颜色和图例统一编号绘制。

9.2.4 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，地下病害体在平面图的标注方法、代号和图例宜按《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437规定执行。

9.2.5 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，用“-”连接表示；

2 应清晰表示病害体的空间位置、形态及类型；

3 宜包括验证点（孔）的位置及编号。

9.3 信息化管理

9.3.1 地下病害体探测与风险评估工作应通过地下病害体信息管理系统进行录入和数据采集，统一数据底座、实现数据共享,并与城市监测预警等信息化平台能够进行数据交换。

9.3.2 通过构建地下病害体信息管理系统，实现地下病害体信息数据库管理、成果结构化分析和标准智能化应用，并为风险评估、辅助决策功能提供技术支撑。

9.3.3 地下病害体信息数据库管理应包括病害体的空间数据、属性数据、成因分析、处置建议等，并在统一数据编码和数据标准的基础上，融合已搜集的城市运行基础数据，纳入信息化管理系统的数据管理子系统中，实现地下病害体风险相关数据的数字化管理。

9.3.4 地下病害体数据库编码方式按照现行行业标准《城市运行管理服务平台数据标准》CJ/T545的规定执行。

9.3.5 地下病害体成果结构化分析应在病害体风险信息数据库建立基础上，在信息管理系统内进行信息的查询、统计、分析、输出等操作，并通过信息系统的初步研判结果，实现病害体风险等级的可视化展示及地下病害体信息一图统管，为探测工作的高效开展提供指导。

9.3.6 地下病害体风险相关数据信息化管理应是与信息管理系统实现信息共享服务的主要方式和过程。数据信息化管理服务应符合下列技术要求：

1 信息化系统应具有安全性、可靠性、海量数据储存能力及可扩充性；

2 应统一数据编码、数据标准格式；

3 应根据周期性探测和工程处理资料建立数据更新机制，确保数据信息化的完整及时、风险的提前识别和相关部门的主动响应。

9.3.7 地下病害体信息管理系统宜结合CIM技术，对地下病害体进行精细化管理，CIM相关要求应参照现行行业标准《城市信息模型基础平台技术标准》CJJ/T315-2022。

9.3.8 地下病害体信息管理系统应预留可供城市生命线信息系统、城市安全风险综合预警平台调用的数据接口。

9.3.9 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《信息系统安全等级保护基本要求》GB/T 22239及《广东省计算机信息系统安全保护条例》的有关规定。

9.3.10 其他关于地下病害信息化管理应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437的相关规定。

附录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** | **备注/异常情况** |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**操作： 记录： 检查： 日期： 第 页/共 页**

附录B 地下病害体特征波形

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地下病害 | 介电性能 | 波组形态 | 振幅 | 相位与频率 |
| 脱空 | 电阻率极高，相对介电常数一般为1，电磁波速度为0.30m/ns | 脱空顶部一般形成连续的同向反射波组，多次波发育，两侧绕射波发育明显 | 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；  频率高于背景场 |
| 空洞 | 电阻率极高，相对介电常数一般为1，电磁波速度近似为0.30m/ns | 近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线；  近似方形空洞反射表现为正向连续平板状双曲线，曲线顶部形态与空洞洞顶形态相似；  多次波发育，两侧存在明显绕射波 | 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；空洞的频率高于背景场的频率 |
| 严重疏松 | 电阻率高，相对介电常数很小，电磁波速度大于周边介质 | 顶部形成连续的同向性反射波组，波组形态由顶部形态决定；  多次波发育明显，两侧存在绕射波；  严重疏松体内部波形结构很杂乱，波形相同轴很不连续 | 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；病害的频率高于背景场的频率 |
| 一般疏松 | 电阻率高，相对介电常数较小，电磁波速度大于周边介质 | 顶部形成连续的同向性反射波组，波组形态由顶部形态决定；  多次波发育明显；  轻微疏松体内部波形结构较杂乱，波形同相轴较不连续 | 振幅强，雷达波衰减较慢 | 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；病害的频率高于背景场的频率 |
| 严重富水 | 电阻率低，相对介电常数大，一般近似为81，电磁波速度很小 | 顶部形成连续的同向性反射波组，波组形态由顶部形态决定，两侧绕射波和底部反射波不明显；多次波不发育 | 振幅强，雷达波衰减很快 | 顶部反射波与入射波反向，底部反射波与入射波同向；病害的频率低于背景场的频率 |
| 一般富水体 | 电阻率较低，相对介电常数较大，电磁波速度小于周边介质的速度 | 顶部形成较连续的同向性反射波组，波组形态由顶部形态决定，两侧绕射波和底部反射波不明显；  多次波不发育 | 振幅较强，雷达波衰减很快 | 顶部反射波与入射波反向，底部反射波与入射波同向；病害的频率低于背景场的频率 |

附录C 地下病害体信息卡样例

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **病害体编号** | | HPDD-1 | | **道路名称** | | | | 黄埔大道 | |
| **病害体类型** | | 脱空 | | **风险等级** | | | | Ⅳ | |
| **长（m）** | 33.7 | **宽（m）** | 2.1 | **中心坐标** | | | **E** | 113.32353193183 | |
| **埋深（m）** | 0.4 | **高度（m）** | 0.3 | **N** | 23.12990011100 | |
| **所在车道** | 车道五 | | **行车方向** | | | 西行 | | **探测时间** | 2023.06.11 |
| **位置信息** | 冼村公交站对出 | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | |
| 地理位置图 | | | | | 病害体范围照片 | | | | |
|  | | | | |  | | | | |
| 三维雷达图谱 | | | | | 病害体内部照片（2023.6） | | | | |
| 道路现状 | | 路面见明显凹陷、下沉 | | | | | | | |
| 病害体与周边管线相对位置 | | 病害体附近未发现明显管线 | | | | | | | |
| 风险发生可能性 | | 近期发生可能性较小，远期发生可能性较大 | | | | | | | |
| 风险后果 | | 后果影响较严重 | | | | | | | |
| 原因分析 | | 可能为新旧道路结合面施工质量不佳，在车辆荷载作用下所致 | | | | | | | |
| 处置建议 | | 建议工程处置，处理前进行定期巡视和探测，巡视频率不低于1次/15天；探测频率不低于1次/月 | | | | | | | |
| 备注 | | / | | | | | | | |

附录D 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E 瞬态面波法现场探测记录单

**工程名称： 工程地点： 天气： .**

**设备型号/编号： 道间距(m): 偏移距(m): .**

**接收道数： .**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **文件名** | **测线号** | **测试方向** | **测线位置** | **炮点位置** | **备注** |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**操作： 记录： 检查： 日期： 第 页/共 页**

附录F 地震映像法现场探测记录单

**工程名称： 工程地点： 天气：**

**设备类型/编号： 检波器主频(Hz)：**

**记录检波器数量： 道间距(m)：**

**偏移距(m)： 采样点数： 采样间隔(ms)：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **文件名** | **测线号** | **测线位置** | **检波点起始位置** | **备注** |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**操作： 记录： 检查： 日期： 第 页/共 页**

附录G 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H 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**

本标准用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1） 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4） 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

《信息系统安全等级保护基本要求》GB/T 22239

《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143

《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437

《城市运行管理服务平台数据标准》CJ/T 545

《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181

《地面三维激光扫描法作业技术规程》CH/Z 2017

《城市测量规范》CJJ/T 8

《建筑地基基础设计规范》DBJ 15-31

《广东省计算机信息系统安全保护条例》

广东省标准

**城市地下病害体探测与风险评估技术**

**标准**

DBJ/T XXX-XXXX

条文说明

**制订说明**

《城市地下病害体探测与风险评估技术标准》DBJ/T XXX-XXXX，经广东省住房和城乡建设厅XX年XX月XX日以第XX号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组进行了广泛调查研究，认真总结了广东省城市地下病害体探测及风险评估的实践经验，广泛征求了有关单位和专家的意见，对主要问题进行了反复讨论与修改。

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，《城市地下病害体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**

[3 基本规定 55](#_Toc148468265)

[4 地下病害体分类 56](#_Toc148468266)

[5 技术准备 58](#_Toc148468267)

[5.2 资料收集 58](#_Toc148468268)

[6 地下病害体探测 60](#_Toc148468269)

[6.1 一般规定 60](#_Toc148468270)

[6.2 探地雷达法 60](#_Toc148468271)

[6.3 高密度电阻率法 66](#_Toc148468272)

[6.4 瞬态面波法 67](#_Toc148468273)

[6.5 地震映像法 68](#_Toc148468274)

[6.6 微动勘探法 68](#_Toc148468275)

[6.7 瞬变电磁法 69](#_Toc148468276)

[7 地下病害体验证与成因分析 71](#_Toc148468277)

[7.1 地下病害体验证 71](#_Toc148468278)

[7.2 地下病害体成因分析 71](#_Toc148468279)

[8 地下病害体风险评估 73](#_Toc148468280)

[8.1 一般规定 73](#_Toc148468281)

[8.2 风险因素调查 73](#_Toc148468282)

[8.3 风险发生可能性评价 74](#_Toc148468283)

[8.5 风险等级划分与控制对策 75](#_Toc148468284)

[9 成果编制与信息化管理 82](#_Toc148468285)

[9.2 成果编制 82](#_Toc148468286)

[9.3 信息化管理 82](#_Toc148468287)

**3 基本规定**

3.0.3 城市道路地下病害体的形成和发展具有动态变化和随机性等特征，因此在城市道路日常养护管理中进行定期检测十分有必要，有利于提前消除安全隐患，降低地面道路塌陷的发生率。但是由于受财政经费等影响，对于每年进行全面探测相对困难，相关部门可根据实际情况合理安全探测周期，确保道路使用安全。

3.0.4 本条规定了专项探测的区域及时间。

1 城市重大活动是指外事活动、全国性及国际体育赛事、全国性庆典等规模较大活动。

3 一定时间是指工程竣工或施工后一个月内。地下工程施工，对土体的扰动是引发地下病害体产生、发展的重要因素之一，为了进一步预防地面塌陷的发生，宜在地下工程施工前、竣工后进行探测工作；对于地铁等施工工期长的地下工程项目，宜根据工程进度在施工过程中进行检测。

3.0.12 数据采集过程中要应注重数据质量的检查，应满足《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》（JGJ/T437）的相关规定。城市地下病害体探测主要采用探地雷达，数据质量检查内容包括检查观测的图像应与原始雷达图像的位置与形态对应；观测数据与原始数据保持一致；探测数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；现场记录的信息应完整、与数据保持一致。

**4 地下病害体分类**

4.0.2 砂土密实度等级、粉土孔隙比等级、黏性土状态等级宜根据《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版）相关规定执行：

砂土密实度等级宜按下表4-1进行划分。

**表4-1 砂土密实度分类**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标准贯入锤击数N | 密实度 | 标准贯入锤击数N | 密实度 |
| N≦10 | 松散 | 15<N≦30 | 中密 |
| 10<N≦15 | 稍密 | N>30 | 密实 |

粉土孔隙比宜按下表4-2进行划分，孔隙比较大一般指稍密或松散。

**表4-2 粉土密实度分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 孔隙比e | 密实度 |
| e＜0.75 | 密实 |
| 0.75≦e≦0.90 | 中密 |
| e＞0.9 | 稍密 |

黏性土状态等级可按下表4-3进行划分。

**表4-3 黏性土状态分类**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 液性指数 | 状态 | 液性指数 | 状态 |
| IL≦10 | 坚硬 | 0.75<IL≦1 | 软塑 |
| 0<IL≦0.25 | 硬塑 | IL>1 | 流塑 |
| 0.25<IL≦0.75 | 可塑 |  |  |

黏性土状态、土的压缩性等级、黏性土的灵敏度等级宜根据《广东省建筑地基基础设计规范》（DBJ 15-31-2016）相关规定执行：

黏性土状态可根据实测标准贯入击数进行划分，如表4-4所示。

**表4-4 黏性土的状态**

|  |  |
| --- | --- |
| 实测标准贯入试验锤击数N’ | 状态 |
| N’≦3 | 流塑 |
| 3<N’≦5 | 软塑 |
| 5<N’≦10 | 软可塑 |

续表4-4

|  |  |
| --- | --- |
| 实测标准贯入试验锤击数N’ | 状态 |
| 10<N’≦15 | 硬可塑 |
| 15<N’≦20 | 硬塑 |
| N’>20 | 坚硬 |

土的压缩性等级宜按下表4-5划分。

**表4-5 土的压缩性分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 压实模量Es（Mpa） | 状态 |
| Es≦5 | 高压缩性 |
| 5<Es≦10 | 中高压缩性 |
| 10<Es≦15 | 中低压缩性 |
| Es>15 | 低压缩性 |

黏性土的灵敏度等级宜按下表4-6划分，灵敏度较高一般指灵敏或极灵敏。

**表4-6 黏性土按灵敏度的划分**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 灵敏度 | 2≦St | 2<St≦4 | 4<St≦8 | St>8 |
| 灵敏度等级 | 不灵敏 | 中等灵敏 | 灵敏 | 极灵敏 |

**5 技术准备**

5.2 资料收集

5.2.1 各类建（构）筑物收集资料一般包括下列内容：

1 一般建筑物

1） 建筑竣工图（总平图、地下室平面图（如有地下室时）、首层平面图、剖面图、立面图等）；

2） 结构竣工图（结构说明、桩基础平面图、桩基础大样图等）；

3） 基坑支护（如有地下室时，设计说明、支护平面图、剖面图、桩大样图等）。

2 市政道路、桥梁、涵洞和隧道工程

1） 道路竣工图（设计说明、线路平面图、线路纵断面图、线路横断面图、软基处理等）；

2） 桥梁竣工图（设计说明、总平面图、桥型布置图、桩基础平面图、桩位坐标、桩大样图等）；

3） 涵洞竣工图（设计说明、平面图、立面图、剖面图和基础图等）；

4） 隧道工程含主体和支护工程竣工图（主体工程：设计说明、平面图、纵断面图、横断面图、桩基础平面图、桩大样图等；支护工程：设计说明、支护平面图、横断面图、剖面图、桩大样图等）。

3 轨道交通工程

1） 车站主体建筑竣工图（设计说明、总平面图、各层平面图、剖面图等）；

2） 车站主体结构竣工图（设计说明、各层平面图、剖面图、桩基础平面图、桩大样图等）；

3） 区间主体竣工图（设计说明、平面图、纵断面图等）；

4） 围护结构竣工图（设计说明、基坑平面图、剖面图、桩基础平面图、桩大样图等）；

5） 附属结构竣工图（设计说明、总平面图、平面图、剖面图、桩基础平面图、桩大样图等）。

4 高压电塔（电杆）竣工图（塔杆明细表、基础平面图、基础大样图等）。

5 信号铁塔竣工图（总平面图、基础平面图、基础大样图等）。

6 广告牌竣工图（总平面图、基础平面图、基础大样图等）。

7 加油站(含加油棚和地下油罐)竣工图（设计说明、总平面图、各层平面图、剖面图、基础平面图、基础大样图等）。

8 人防工程竣工图（设计说明、总平面图、各层平面图、剖面图、基础平面图、基础大样图等）。

9 水利工程（含水闸和堤岸）竣工图（设计说明、总平面图、平面图、纵断面图、剖面图、基础平面图、基础大样图等）。

10 文物除参照一般建筑物的调查要求外，还需要收集文物等级、保护控制范围及要求等内容。

11 军事工程及军用设施除参照一般建筑物的调查要求外，还需要收集退让要求和其他注意事项等内容。

12 既有地下管线资料（管线的竣工图及技术说明资料，包括地下管线的建设年代、类型、材料、大小、分布、运行状况、维修养护等资料）。

**6 地下病害体探测**

6.1 一般规定

6.1.2 根据《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》（JGJ/T437）规定，城市地下病害体探测方法宜根据表6-1确定。

**表6-1 城市地下病害体探测方法的适用性**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地下病害体探测方法 | 类型 | | | | 埋藏深度D |
| 脱空 | 空洞 | 疏松体 | 富水体 |
| 探地雷达法 | ● | ● | ● | ● | D<5.0m |
| 高密度电阻率法 | — | ● | ○ | ● | 3.0m<D≤30.0m |
| 瞬态面波法 | — | ● | ● | — | 3.0m<D≤20.0m |
| 地震映像法 | ○ | ● | ○ | — | D≤20.0m |
| 微动勘探法 | — | ● | ● | — | 3.0m<D≤30.0m |
| 瞬变电磁法 | — | ● | ○ | ● | 3.0m<D≤30.0m |
| 钻探法 | ● | ● | ● | ● | \ |
| 挖探法 | ● | ● | ● | ● | \ |

注：●—推荐；○—可选。

开展城市工程物探工作时，由于受地面交通、地下构筑物及地面电磁波和震动干扰影响，探测工作条件复杂。为了获得较好的探测效果，应当根据不同的地球物理方法技术要求，选择合理的物探方法，通过不同物探方法探测结果的分析、对比，提高探测结果的可靠性，管道内窥摄像法可作为病害分析的补充手段。

6.1.3 根据广东省探测的相关经验，对于城市道路浅层病害且地表相对平坦的测区，适用雷达法+钻孔验证进行探测；对于城市地下管道分布复杂的测区，适用雷达法+管道内窥摄像法探测；对于勘探、考古、施工工作中须探明的深层病害的测区，可采用高密度电阻率法+瞬态面波法；对于省内岩溶地区城市隧道施工过程中须探测的岩溶等病害体，可采用地震映像法+微动勘探法。

6.2 探地雷达法

6.2.2 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介质之间的介电差异。功率发射系数的计算公式为：

（6-1）

式中：—功率反射系数；

—周边介质相对介电常数；

—被探测对象相对介电常数。

在实际使用中，当功率发射系数≥0.01，认为其介电性质差异可在探地雷达法剖面上产生识别的信号反应。

6.2.3 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。

地下深度为d的水平界面的反射波的双程走时：

（6-2）

式中：—发射天线与接收天线之间的距离；

—发射界面的深度；

—电磁波的传输速度。

6.2.4 干扰目标分类及其探地雷达图谱样例如表6-2所示。

**表6-2 干扰目标分类及其探地雷达图谱样例**

| 异常体 | 图像特征 | | | | | | 振幅 | 相位与频谱 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间切片 | | 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 | dc3fc0d8a048dcc9c4566399b4c873f | 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 |
| 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 |

续表6-2

| 异常体 | 图像特征 | | | | | | 振幅 | 相位与频谱 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间切片 | | 顺延切片 | | 垂直切片 | |
| 井盖 | 圆形亮斑，反射强度与周围极不连续 | 7f62bfcde40cdb7f40a60d93736fea3 | 从地面开始多次反射极强 | 6928e25826d1ce0ee06ac4cf33b3049 | 从地面开始多次反射强烈 | 96c92e48149042bf3bc92cd74451b69 | 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 |
| 钢筋网 | 网格状分布，反射强度与周围明显不连续 | 55a1e2c2e74b0b8aa1c5f8372b9998a | 密集双曲线形态绕射拖尾较长 | b2805e85db12714d964059348fb0e1c | 密集双曲线形态绕射拖尾较长 | 643afca90517f495952c4c42479fc54 |  | 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 |

续表6-2

| 异常体 | 图像特征 | | | | | | 振幅 | 相位与频谱 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间切片 | | 顺延切片 | | 垂直切片 | |
| 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 |

6.2.6 各路口之间的普通路段区域宜采用普查方式进行检测，重点检测区段包括路口、桥区路段、历年塌陷区域和现状路面缺陷区域，上述重点检测区域应采用详查检测方式。

6.2.10 根据探测深度和精度、地下病害规模、环境干扰、探测方式等条件选择天线，应选择频率为80MHz~400MHz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，当电磁干扰不明显且探测深度较大时，可选择低频天线。

结合广东地区的地下水位高，城市道路地下输水管线复杂等环境因素，探地雷达法的垂向分辨率可取探地雷达电磁波波长的1/4，电磁波在介质中传播的波长宜按下式计算：

（6-3）

式中：—电磁波在介质中的波长（m）；

c—电磁波在空气中的传播速度（m/ns），取0.3m/ns；

f—天线主频（MHz）；

—介质的相对介电常数。

结合广州地区的地质条件和有关探测经验，建议取地下介质相对介电常数在7~9为宜，以=8为例，不同天线的垂向分辨率见表6-3：

**表6-3 不同天线的垂直分辨率参考表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 天线主频/MHz | 100 | 200 | 400 |
| 垂向分辨率/m | 0.27 | 0.13 | 0.06 |

横向分辨率宜按下式计算：

（6-4）

式中：x'——横向分辨率（m）；

λ——电磁波在介质中的波长（m）；

h——目标体顶部埋深（m）。

以地下介质相对介电常数=8为例，不同天线在不同深度的横向分辨率见下表6-4。

**表6-4 不同天线在不同深度的横向分辨率参考表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 天线主频/MHz  深度/m | 100 | 200 | 400 |
| 1.0 | 0.78 | 0.53 | 0.37 |
| 2.0 | 1.06 | 0.74 | 0.52 |
| 3.0 | 1.29 | 0.90 | 0.63 |
| 4.0 | 1.48 | 1.04 | 0.73 |
| 5.0 | 1.65 | 1.16 | 0.82 |

6.2.11 城市道路开挖修复的复杂路段，存在回填疏松、含铁磁性土明显等因素，同时广东地区地下水位较浅，导致探地雷达信号衰减明显，应充分考虑这些因素对探地雷达探测深度的影响。

6.2.13 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。

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。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，宜设置为目标深度对应回波时间的两倍，记录时窗可按（6-5）式计算：

（6-5）

式中：T—记录时窗（ns）；

K—加权系数，宜取1.3~1.5；

H—最大要求探测深度（m）；

—地层介质中的电磁波平均速度（m/ns）。

6.3 高密度电阻率法

6.3.1 高密度电阻率法在城市道路探测环境下存在不便安置电极和工作效率低的缺点，当地下病害位置埋深处于5m以下或遇复杂环境条件，采用探地雷达法难以探测时，可采用该方法进行探测。

6.3.2 场地内存在较强的游散电流、大地电流等电磁干扰时，会影响地下病害及相邻土体的电性分布，并且造成明显的假异常，严重影响数据的信噪比。此外，通常相邻电极之间的地面高差应远小于电极间距，否则地形变化造成的影响会带来明显的八字形假异常。

6.3.4 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3倍的最大要求探测深度。

6.3.5 影响介质电阻率的因素很多，应在数据采集前对现场进行环境调查，并尽可能收集相关的地质钻孔、测井、室内岩土试验等资料，以确定方法和方案的可行性。

6.3.6 高密度电法的有效探测深度约为最大供电极距1/6~1/3，当隔离系数逐次增大时，反映不同深度的测点将依次减小，从而导致整个剖面最后几层的数据量非常少，因此设计的探测深度通常取探测对象深度的1.5至2.0倍；同时由于剖面最后几层的数据量非常少，因此设计的探测深度通常为探测对象区域的分布长度加上两侧各H/2（探测深度的一半）的长度。

6.3.10 本条对高密度电阻率法的质量检查进行规定：质量检查统计的均方相对误差的计算公式如下：

（6-6）

（6-7）

式中：M—某项目的均方相对误差；

—某项目的测点个数；

—第个测点的相对误差；

—第个测点的基本观测值；

—第个测点的检查观测值。

6.4 瞬态面波法

6.4.2 多道瞬态面波法在数据采集时，如排列周边存在临空面、陡立面，将产生绕射或反射波，对频散曲线的提取造成很大影响。

6.4.3 瞬态面波法由于激振方式多采用重力式锤击方式，所以在城市道路运营阶段不便采用，多用于地质勘察或工程施工期间的城市地下病害体探测。

6.4.4 多道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；但开展有效性试验时，应采用24道或更多道进行全排列测试，以确定观测系统的最佳参数。

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 检波器自然频率宜选用4Hz~20Hz，可按下式计算：

（6-8）

式中：*f0*—检波器自然频率（Hz）；

*D*—最大探测深度（m）；

*VRmin*—探测深度范围内预计平均面波相速度最小值（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%。

4 检波器选择时，宜考虑交通振动干扰的影响；

5 检波器应垂直插入地面，与地表耦合良好，当不具备安插检波器条件时，可采用铁靴的方式。

在地下空洞的探测中，需要相对中高频的面波成分，因此可以选择4Hz~20Hz的检波器。

6.4.5 观测方式除单端激发方式外宜增加CMP法激发方式。CMP法激发方式：在排列的首尾及每两个拾振器中间进行激发，如24道的排列总有25个激发点。CMP法是一种新的面波法，也可称为瞬态面波直接剖面法，大大提高了瞬态面波的横向和垂向分辨率，对道路病害体探测（浅地层探测）有很高的价值。

6.4.8 半波长法中h=的取值为1/2，此法认为的面波速度代表半个波长深度以上介质的平均值，在无其它资料时，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值。

6.5 地震映像法

6.5.1 地震映像法仪器设备包括震源、接收装置和记录系统三个组成部分，震源主要为炸药爆炸激励，多用于大陆架油田探测，不宜在城市人口密集的测区使用。

6.6 微动勘探法

6.6.3 微动勘探法仪器设备的主要技术指标应符合以下规定：

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1μV。

微动勘探法使用的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，并应符合下列规定：

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，自然频率不宜大于2Hz。

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，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、上传和储存的功能，工作时各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。

工作前应检查台阵中各拾振器的振幅和相位一致性，一致性测试时可将全部仪器集中放置道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频谱之比、相干系数和相位差，对仪器的一致性做出评价。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°。

6.6.4 为精准探测并节约探测成本，对不同台阵的选择可按表6-5选取：

**表6-5 微动勘探法台阵选择建议**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 场地条件 | 台阵选择 | 检波器数量 |
| 场地优良 | 圆形台阵、内嵌三角形台阵 | 6、7 |
| 场地受限 | T形台阵、L形台阵、十字形台阵、U形台阵 | 6、6、9、7 |

6.7 瞬变电磁法

6.7.1 瞬变电磁法又称为时间域电磁法（TEM），它是利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲磁场，在一次脉冲磁场间歇期间，利用线圈或接地电极观测二次涡流场的方法。通过研究二次涡旋电磁场的时空分布特征，来解决诸如寻找地下矿产，探测地质构造，划分地下富水区等地质问题。

6.7.2 瞬变电磁法基本工作方法是：在地面或空中设置发射线圈，从而在其周围空间产生一次电磁场，并在地下导电岩矿体中产生感应电流；断电后，感应电流由于热损耗而随时间衰减。衰减过程一般分为早、中和晚期。早期的电磁场相当于频率域中的高频成分，衰减快，趋肤深度小；而晚期成分则相当于频率域中的低频成分，衰减慢，趋肤深度大。通过测量断电后各个时间段的二次场随时间变化规律，可得到不同深度的地电特征。



**图6-1 瞬变电磁法基本原理**

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、抗干扰能力强等特点，优先考虑选用此装置。

1 中心回线装置：用Rx线圈（或探头）观测感生电动势dBz/dt分量或磁通量B；

2 等值线反磁通量装置：在近地发射线圈（TX coil）正上方一定距离（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dBz/dt分量。

**7 地下病害体验证与成因分析**

**7.1 地下病害体验证**

7.1.2 探地雷达法普查城市地下病害体后的验证：采用探地雷达法完成城市地下病害体普查之后，应同步完成地下病害体的判别和统计工作。探地雷达法普查城镇地下病害体后的验证应符合下列规定：

1 宜选用钻探、挖探、钎探等方法；

2 验证点的布置设在地下病害体的雷达频谱异常反映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；

5 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。

为确定病害体坐标的准确性，在地下病害体验证前，采用如下三个步骤对病害体位置进行确定：

1 通过分析地下病害体检测数据，确定地下病害体坐标，必要时，可引入GIS系统确定地下病害体位置；

2 将地下病害体坐标导入RTK进行放样，或通过导入地图导航软件进行位置确定；

3 到达病害体坐标位置后，采用二维雷达进行复测，获得二维雷达数据与原三维雷达数据对比，确定病害体的位置，并根据病害体的平面形状确定钻孔的孔位。

7.1.3 钻探为地下病害验证的直接类方法。对照钻孔实施的目的主要是将其钻探及原位测试结果作为对比基数，衡量验证钻孔中原位测试所反映的病害类型及程度，因此标准钻孔有必要设立，同时应设立在非地下病害区域。此外，采用钻探法验证时，对于规模较大病害体可通过钻杆钻进阻力是否异常进行间接判断，对于厚度不大的脱空等病害建议钻孔后采用内窥镜检查，避免漏判。

**7.2 地下病害体成因分析**

7.2.1 地下病害体形成原因调查应包括但不限于以下方面：

1 管线破损；

2 人防坍塌；

3 地铁施工；

4 顶管施工；

5 深基坑开挖；

6 井壁破损；

7 地表水下渗；

8 地下水作用；

9 施工回填不密实；

10 土体自然沉降。

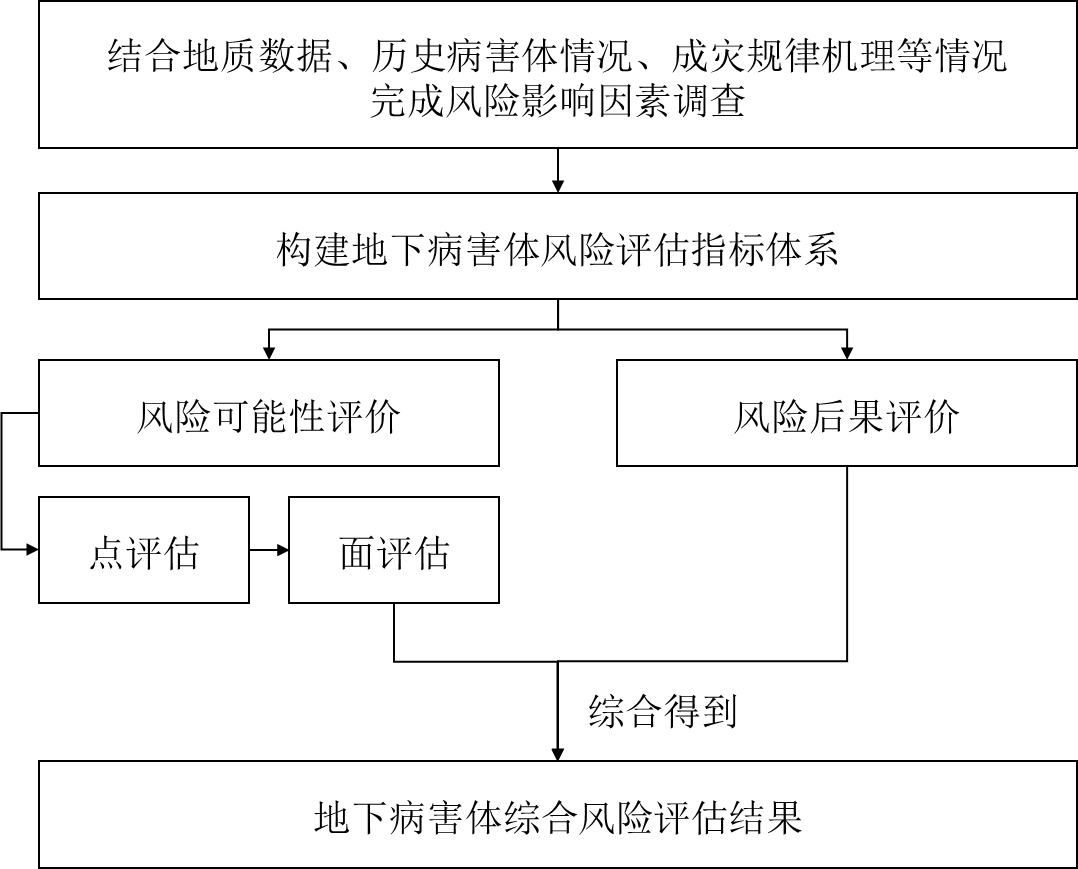
7.2.4 管道内窥摄像法作为辅助方法，主要探测地下管道结构损伤装口，对于管道内窥摄像法探测结果，应重点关注管道破裂、渗漏、结构材料脱落等可能会引起周围岩土结构的应力、变形状态发生改变的位置。

7.2.7 三维激光扫描法检测地下空洞流程应包括控制测量、测站与标靶布设、标靶测量、外业点云数据采集和数据检查。

**8 地下病害体风险评估**

**8.1 一般规定**

8.1.2 地下病害体风险评估流程如图8-1所示。



**图8-1 地下病害体风险评估流程**

8.1.5 风险评估指标的选择须以本标准指标体系为基础，同时也可根据情况自行扩充相关指标及指标体系。本标准中风险评估使用了层次分析法以及专家打分法得出相关指标权重以及最终的风险得分，实际使用过程中可根据评估区域实际情况进行调整或选用模糊集等其他方法。

**8.2 风险因素调查**

8.2.3 地下病害体风险因素调查的具体内容如下：

1 地下病害体类型、数量、规模、位置、埋深及覆跨比等信息；

2 地下病害体影响范围内地下工程、地下管线类别、埋设方式、结构材质、服役年限、运营状况及与地下病害体的相对位置关系；

3 道路、地下管线、地下建（构）筑物、地面设施、行驶车辆、工程地质、水文地质条件、气象水文条件、特殊地质条件、道路周围地面出现的变形、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；

4 地下病害体及其影响范围内道路、地下管线、地下结构等最近一次修复的时间、方法及质量；

5 地下病害体影响范围内地面出现的承载力、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；

6 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；

7 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；

8 地下病害体影响范围内的建（构）筑物情况，包括公共、居民建筑等人员密集场所，并评价人员、财产密集程度及社会影响程度；

9 道路周围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；

10 道路周围的地面开挖、地下工程和邻近建筑工程施工等现状及历史状况；

11 道路周围的建（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、8.3.7 针对地下病害体风险评估所需指标数据，标准应用过程中可根据地下病害体所处单元环境等因素，通过资料申请获取或经验值替代等方法，确定指标取值。

1 病害体类指标：来源于探测单位针对地下病害体探测后形成的成果报告及病害卡；

2 管线类指标：面向管线权属单位如住房和城乡建设局、规划和自然资源局、水务局等单位申请签订保密协议后查阅管线资料；当数据无法获取时，可基于管线设计及建设标准明确管线指标经验值，确定对应指标取值；

3 在建工程类指标：面向住房和城乡建设局、交通运输局等工程监督单位申请获取在建工程相关资料，确定对应指标取值。

4 地质类指标：协调病害体所在区域的地质勘察报告，作为地质指标取值依据；当无法获取所在区域的地质勘察资料时，可参考邻近区域的地质勘察资料。

8.3.2~8.3.5、8.3.8~8.3.12 本标准中所提到各项权重由层次分析法得出，如下公式所示：

（8-1）

（8-2）

该矩阵为方阵，即*m=n*的矩阵。

例如有三个指标P1、P2、P3，对应W1、W2、W3三个权重，通过对重要度打分可以得到如下表所示结果：

**表8-1 指标重要性打分**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指标  指标 | P1 | P2 | P3 |
| P1 | 1 | 2 | 5 |
| P2 | 1/2 | 1 | 2 |
| P3 | 1/5 | 1/2 | 1 |

表格表示三个指标之间的相对重要度，可由1~9定义9个等级，表示同等重要到极端重要，前者比后者重要程度越高，则等级越高。如P1-P3值为5，表示P1比P3明显重要，而P1-P1是同一个指标，所以值为1，表示相同重要，当指标顺序调换时，只需用倒数表示重要度即可，如P3-P1为1/5。之后由公式可得：

W1=(1+2+5)/(1+2+5+1/2+1+2+1/5+1/2+1)=0.6；

W2=（1/2+1+2）/(1+2+5+1/2+1+2+1/5+1/2+1)=0.26；

W3=（1/5+1/2+1）/(1+2+5+1/2+1+2+1/5+1/2+1)=0.14。

目前关于地下病害体风险评估的研究较多，传统评估模型在这个领域得到了很好的应用，如层次分析法、模糊综合评价法、加权评价法等根据评估指标体系、权重体系来达到评估目的。为针对机大规模、精确度高的目标，机器学习模型因其强大的非线性拟合和特征提取能力而被广泛应用，卷积神经网络（CNN）、人工神经网络（ANN）、支持向量机、随机森林等模型可应用于地下病害体、地面塌陷风险评估领域，该方法可利用评估指标体系和历史事故数据点位训练得到指标权重，从而更科学地确定指标权重，获得风险评估结果。

8.3.7 相关风险系数计算如下。

覆跨风险系数应按下式计算：

（8-3）

（8-4）

式中：—病害体上覆介质厚度；

—病害体水平最大长度。

潜在风险系数应按下式计算：

（8-5）

式中：—第i个地下病害体潜在风险系数，应按下式计算：

（8-6）

式中：d—病害体净深度；

1. 病害体平面面积；

—病害体上覆介质厚度。

**8.5 风险等级划分与控制对策**

8.5.1 计算示例

选取城市中某主干道进行评估单元划分，通过探测，发现LD\_1评估单元存在两个地下病害体编号分别为BH-1和BH-2，风险评估计算如下：

1 基础数据

病害体相关数据：BH-1和BH-2病害体面积分别为10.74m2、66.51 m2，高度分别为0.1m和0.4m，处置情况均为已处置，病害体跨度均为11.6m，病害体埋深均为0.7m。

地质条件数据：病害体所处地层为中密填土、粉土、沙土，土层渗透系数K约为0.5m/d，地层压缩系数S为0.09Mpa-1，与断裂带最小水平距离L为160m。

管网类数据：BH-1和BH-2附近管线管龄均为15年，管径分别为200mm和800mm，材质分别为其他材质和钢、镀锌管、普通铸铁材质，管线类别分别为电信管线和供水管线，埋深分别为0.41m和1.35m。

在建工程类数据：施工边界与病害体边界之间的距离l为150m，地下工程与地下病害体边界之间的距离99.11m，地面设施与地下病害体边界之间的距离93.57m。

参照基础数据可直接或间接计算得到各指标的对应分数。

2 风险可能性评价

（1）单一地下病害体风险评估

通过专家打分法确定了各级指标权重，基于基础数据，对照可得各指标评分如下：

**表8-2 单一地下病害体风险可能性评价指标**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 一级指标 | 一级权重 | 二级指标 | 二级权重 | BH-1得分 | BH-2得分 |
| 地下病害体规模 | 0.35 | 地下病害体面积 | 0.35 | 70.1 | 100 |
| 地下病害体高度 | 0.25 | 60 | 62.2 |
| 地下病害体处理情况 | 0.4 | 35 | 35 |
| 地质条件 | 0.3 | 病害体所处地层 | 0.2 | 80 | 80 |
| 病害体所处地层渗透性 | 0.2 | 15 | 15 |
| 不利地质条件(岩溶地质) | 0.2 | 20 | 20 |
| 不利地质条件(易压缩地层) | 0.05 | 53.8 | 53.8 |
| 不利地质条件(易流失地层) | 0.3 | 60 | 60 |
| 不利地质条件(断裂带) | 0.05 | 70.2 | 70.2 |
| 邻近设施 | 0.35 | 地下管线管龄 | 0.2 | 48.9 | 48.9 |
| 地下管线管径 | 0.1 | 44.1 | 90 |
| 地下管线材质 | 0.3 | 5 | 15 |
| 地下管线类别 | 0.25 | 20 | 95 |
| 地下管线埋深 | 0.15 | 92.4 | 73.1 |

分别计算单地下病害体风险发生可能性分值ST：

1）BH-1:

47.20

得分计算为44.99，对照风险可能性等级划分表可得BH-1单地下病害体风险等级为D级。

2）BH-2：

同理可计算得到BH-2的单地下病害体风险发生可能性得分为57.05，可得BH-2单地下病害体风险等级为C级。

（2）评估单元风险发生可能性评估

根据单地下病害体风险情况对评估单元内病害体情况各指标进行取值，基于地下病害体属性、周边工程、道路现状及路基沉降等数据确定各指标分值，具体如下：

**表8-3 地下病害体风险评估单元风险可能性评价指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 一级指标 | 一级  权重 | 二级指标 | 二级权重 | 得分 |
| 评估单元内病害体情况 | 0.35 | 评估单元内病害体风险等级情况 | 0.5 | 55 |
| 评估单元内病害体范围 | 0.3 | 83.3 |
| 评估单元位置情况 | 0.2 | 75 |
| 评估单元内病害体潜在风险 | 0.25 | 覆跨风险系数 | 0.6 | 64.2 |
| 病害体发展趋势风险 | 0.4 | 90.1 |
| 设施扰动 | 0.2 | 施工干扰 | 0.35 | 0 |
| 地面设施 | 0.15 | 0 |
| 地下工程 | 0.5 | 0 |
| 评估单元自身因 | 0.2 | 道路现状 | 0.25 | 85 |
| 评估单元环境风险 | 0.4 | 0 |
| 路基平均沉降速率 | 0.1 | 0 |
| 道路平均载荷 | 0.25 | 90 |

计算该评估单元风险发生可能性分值：

得到LD\_1评估单元的风险发生可能性分值为51.01，对应C级风险。

3 风险后果评价

依据路段周边情况，可得风险发生后果得分如下：

**表8-4 地下病害体风险评估单元风险发生后果评价指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指标 | 权重 | 得分 |
| 建（构）筑物分布情况 | 0.2 | 95 |
| 人员密集程度 | 0.3 | 45 |
| 财产及危化品设施分布 | 0.3 | 70 |
| 社会影响 | 0.2 | 70 |

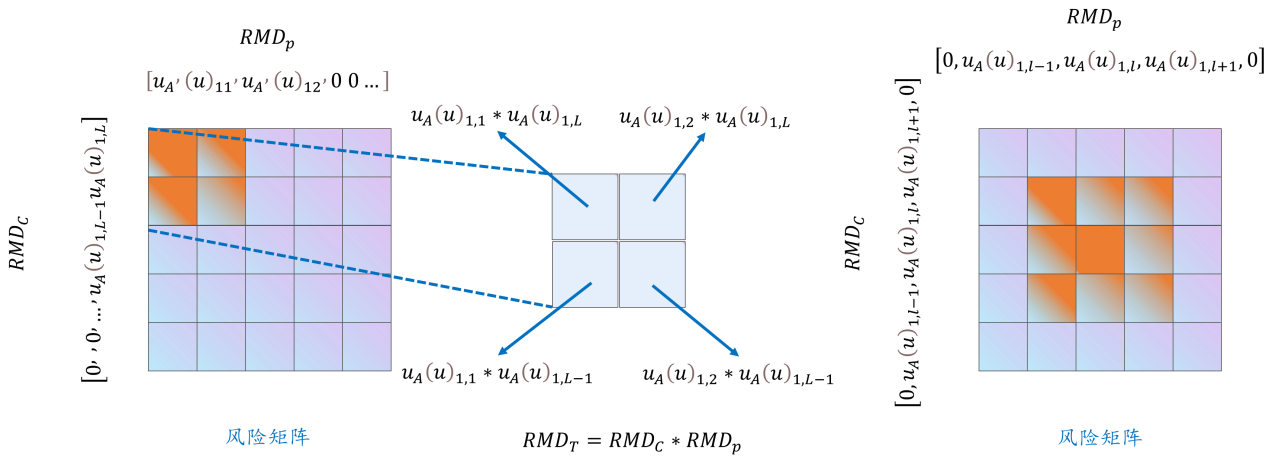
计算风险发生后果得分：

得到LD\_1评估单元的风险发生后果分值为67.5，对应评估单元风险发生后果等级划分表为2级。

4 风险评估单元综合风险等级确定

对照地下病害体风险评估单元风险综合等级划分表，可以得到该路段综合风险等级为II级，属于较大风险。

8.5.2 可采用可变模糊集隶属度方法量化各风险等级的概率。图8-2为可变模糊集结合风险矩阵的计算方式，可以看出结合了隶属度的风险矩阵法输出不再是定性的单一风险等级，而是定量化的各风险等级的概率值，输出的是该评估结果落在各风险等级的隶属度。



**图8-2 隶属度与风险矩阵计算方式**

可变模糊集隶属度计算公式如下：

（8-7）

（8-8）

式中：为可变模糊集隶属度；

x为实际得分；

a为分数对应等级区间的左边界值；

c为分数对应左边界值再小一级的边界值；

b为分数对应等级区间的右边界值；

d为分数对应右边界值再大一级的边界值；

p为系数，可取0~1；

M为区间边界值；

L为总风险等级级数；

l为当前风险等级序号。

若x落在最低风险等级区间，则隶属度计算规则如下：

（8-9）

若x落在最高风险等级区间，则隶属度计算规则如下：

（8-10）

若其落在中间风险区间，则隶属度计算规则如下：

（8-11）

当得分落于中间风险区间时，设定p=0.6当前风险得分为45分，风险等级为一级[0,20]、二级[20,40]、三级[40,60]、四级[60,80]、五级[80,100]。45分属于三级风险，三级风险区间a=40， b=60，c=20，d=80，L=5，l=3，计算得到M=50。所以对于三级风险而言，其位于三级风险的[a-M]即[40-50]区间内，代入对应隶属度计算公式可以计算出其属于三级风险的隶属度为0.8299。且风险得分45实际上还落在了四级风险的区间中，因为在四级风险的区间分值为a=60，b=80，c=40，d=100，风险得分45落于[c-a]即[40-60]区间中，代入对应隶属度计算公式可以计算出属于四级风险的隶属度值为0.0792，则其属于二级风险的隶属度为0.5-0.0792=0.4208；若得分不属于[a,M]区间，则需要利用上一级[c，a]区间计算式进行计算，例如设定p=0.6风险得分为55分时，落于三级风险区间[40,60]中，但由于M=50，所以55并不属于[a,M]区间，故取上一级四级区间[60,80]进行计算，其a=60，b=80，c=40，d=100，55落于[c,a]区间，代入公式计算得到55对应的四级风险隶属度为0.282，三级风险区间为1-0.282=0.718，二级风险区间为0.5-0.282=0.218。

当得分位于一级和五级风险时计算有所区别，例如，设定p=0.6当前风险得分为15分，则位于一级风险区间，a=0，b=20，L=5，l=5，计算得M=0，M和a值相等，此时不应用[a,M]区间上的计算式计算，而应改用二级风险区间[20,40]的[c,a]区间计算式进行间接计算，二级风险区间a=20，b=40，c=0，d=60，则15分落在了二级风险区间的[c，a]上，代入对应隶属度计算公式计算得四级风险隶属度0.282，一级风险隶属度值为1-0.282=0.718。设定p=0.6当前风险得分为90分，位于五级风险区间，此时a=80，b=100，L=5，l=1，计算得M=100，可直接用[a,M]区间的计算公式进行计算，代入可得对应五级风险区间隶属度为0.83，四级风险区间隶属度值为1-0.83=0.17。

需要注意隶属度计算仅反映得分落于各风险等级区间的概率，实际风险评级不会因隶属度计算而产生影响。在实际风险评估中，计算得到的分数直接对应风险等级即可，例如计算得到15分，可直接对应于风险区间[0,20]的等级，若得分刚好为风险区间的交界值，如60分，则可自行判定为上一级或下一级风险等级。

基于实际需求，可运用可变模糊集等方法自行定义参数，计算风险分值对应等级的隶属度后判定风险等级。

**9 成果编制与信息化管理**

**9.2 成果编制**

9.2.1 地下病害体探测成果附图宜采用统一坐标系。

**9.3 信息化管理**

9.3.1 地下病害体风险评估标准智能化应用应实现与地下信息管理系统的互动与支撑。标准的制定，在充分考虑不同探查技术的特点及适用性基础上，建立起针对南方高水位地区探地雷达技术手段受限条件下的地下病害体风险探查综合技术体系，并形成具有广泛适用性和针对性的风险感知支撑技术以及辅助决策支撑体系，建立起数据深度挖掘、风险精准识别、专家库智能辅助决策、现场验证及处置结果反馈更新的智能化、主动化的防控管理模式。