

北京市地方标准 **DB**

编号：DB11/xxxx—201x

备案号：Jxxxx—201x

城市道路与管线地下病害探测及评价 技术规范

Technical Code for city road and pipeline underground disease
detection and evaluation

(送审稿)

201x-0x-xx 发布

201x-0x-xx 实施

北京市规划和国土资源管理委员会
北京市质量技术监督局

联合发布

北京市地方标准

城市道路与管线地下病害探测及评价 技术规范

Technical Code for city road and pipeline underground disease
detection and evaluation

DB11/**—201***

主编单位：北京市勘察设计研究院有限公司

批准部门：北京市规划和国土资源管理委员会

北京市质量技术监督局

实施日期：201*年**月**日

201*北京

前 言

根据《北京市“十二五”时期城乡规划标准化发展规划》与北京市质量技术监督局《关于印发 2015 年北京市地方标准制修订项目计划的通知》（京质监发[2015]22 号）的要求，北京市勘察设计研究院有限公司等组成规范编制组，在充分调研基础上，结合科研和应用技术成果，认真总结实践经验，经过反复讨论和广泛征求意见，制定本规范。

本规范的主要技术内容有：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 地下病害探测；5 地下病害识别和验证；6 地下病害风险评价；7 探测成果及数据信息化。

本规范由北京市规划和国土资源管理委员会归口管理，北京市勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容解释工作，标准日常管理机构为北京市城乡规划标准化办公室。

在执行本规范过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，并将意见和建议送北京市勘察设计研究院有限公司技术质量科研处（北京市海淀区复兴门外羊坊店路 15 号，邮编：100038，联系电话：63955268，邮箱：bgi2015@163.com）以便日后修订时参考。

本规范主编单位：北京市勘察设计研究院有限公司

本规范参编单位：北京市交通委路政局

北京市市政市容管理委员会

北京市城市道路养护管理中心

中航勘察设计研究院有限公司

北京市新技术应用研究所

北京工业大学

中国矿业大学(北京)

北京市测绘设计研究院

北京市道路工程质量监督站

北京建业通工程检测技术有限公司

北勘国检（北京）工程检测有限公司

本规范主要起草人员：周宏磊、陈昌彦、贾辉、侯小明、肖敏、陶连金、白朝旭、吴其伟、张丽宾、刘金光、张辉、刘克会、杨峰、苏兆锋、康凯、张涛、张爱军、贾光军、曾新霞、安军海、唐建华

本规范主要审查人员：

目 次

前 言	III
1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定	6
4 地下病害探测	7
4.1 一般规定	7
4.2 技术准备	8
4.3 探地雷达法	10
4.4 高密度电法	16
4.5 多道瞬态面波法	19
4.6 地震反射法	22
5 地下病害识别和验证	23
6 地下病害风险评价	27
6.1 一般规定	27
6.2 风险评价方法	27
6.3 城市道路地下病害风险评价	29
6.4 管线周边地下病害风险评价	33
6.5 风险处置对策	36
7 探测成果及数据信息化	37
7.1 一般规定	37
7.2 成果报告基本要求	37
7.3 地下病害信息化管理	39
本规范用语说明	40
附录 A 探地雷达野外测试记录单	41
附录 B 高密度电法野外测试记录单	42
附录 C 多道瞬态面波法野外测试记录单	43
附录 D 地震反射法野外测试记录单	44
附录 E 地下病害信息汇总表	45
引用标准名录	46

1 总 则

1.0.1 为规范城市道路、公路及管线地下病害探测工作，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于北京地区城市道路及公路地下病害探测、管线周边土体病害探测及地下病害的风险评价。

1.0.3 城市道路与管线地下病害探测，除应符合本规范外，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 underground disease

城市道路下方及管线周边产生的路面脱空、空洞、土体疏松、土体富水等威胁城市道路、管线安全运营的不良地质体。

2.1.2 地下病害探测 underground disease detection

采用地球物理或其它方法探测地下病害类型、位置和规模等信息。

2.1.3 空洞 cavity

道路、公路路基或管线周边土层中发育的影响道路或管线结构安全的洞穴。

2.1.4 路面脱空 pavement void

道路面层与路基结构层不连续的现象，常见于混凝土路面、半刚性基层沥青路面以及白改黑路面下方。

2.1.5 土体疏松 soil porosity

由于道路施工、外部荷载作用、地下工程施工扰动、土体工程特性弱化等原因使路基或管线周边局部范围土体密实度明显低于周边土体，形成了局部相对松散结构异常，引起道路或管线的差异变形或塌陷等病害。

2.1.6 土体富水 rich water soil

指路基或管线周边局部土体松散且含水率明显高于周边土体，造成地基工程性质下降的地下病害。

2.1.7 有效性试验 effective experiment

为确定有效的工作方法和参数，在地下病害探测之前，对探测方法、不同探测方法的观测系统、探测参数的选择等进行的试验。

2.1.8 干扰源 Interference source

城市道路及管线周边地下病害探测中，影响探测数据质量、数据信噪比和探测深度的各种干扰因素。

2.1.9 相对介电常数 relative dielectric constant

介质在外加电场时会产生极化电荷而削弱电场，真空中的电场与介质中电场的比值即为相对介电常数，又称电容率。

2.1.10 频散曲线 dispersion curve

根据瑞利面波在不均匀介质传播过程的频散特征,将不同的频率和对应的相速度绘制而成的曲线为面波频散曲线。

2.1.11 地下病害风险评价 risk evaluation of underground disease

根据城市道路或管线地下病害的埋深、规模及周边环境影响等孕险环境与致险因子,评价道路路面塌陷或地下管线破损的风险,估测其安全风险等级,并提出相应的风险控制措施。

2.1.12 风险发生可能性 risk possibility

地下病害对城市道路或地下管线致灾风险发生的可能性及等级。

2.1.13 风险后果 risk consequence

地下病害导致道路塌陷或地下管线破损产生的风险所引发的人员伤亡、财产损失、社会影响及严重程度。

2.1.14 风险值 value of risk

采用指标体系法对地下病害风险发生可能性及风险后果计算所得的值。

2.2 符号

2.2.1 探地雷达法使用的符号应符合下列规定：

Pr —功率反射系数；

ε_r ——地下介质相对介电常数；

d_{\max} —最大要求探测深度（m）；

h —目标体埋深；

K —加权系数；

T —时窗；

v —地层介质中的综合电磁波速度（m/ns）；

x' —横向分辨率；

λ —电磁波波长；

C ——电磁波在空气中的传播速度，可取 $C = 0.3m/ns$ ；

f ——天线主频（MHz）。

2.2.2 高密度电法使用的符号应符合下列规定：

错误!未找到引用源。—视电阻率（ $\Omega \cdot m$ ）；

K —装置系数。

2.2.3 多道瞬态面波法使用的符号应符合下列规定：

f_0 ——检波器的自然频率；

f ——面波的频率；

H ——探测深度；

V_R ——面波相速度；

β ——波长深度转换系数；

λ_R ——面波波长。

2.2.4 地下病害风险评价使用的符号应符合下列规定：

R —风险值；

P —风险发生可能性；

C —风险后果；

P_i ——风险发生可能性一级指标分值；

C_i ——风险后果评价指标分值；

W_i ——风险发生可能性一级指标权重（风险后果评价指标权重）；

F_{ij} ——风险发生可能性二级指标分值；

W_{ij} ——风险发生可能性二级指标权重；

m ——风险发生可能性一级指标数量（风险后果评价指标数量）；

n ——风险发生可能性二级指标数量；

S ——地下病害规模（ m^2 ）；

l ——地下病害与管线的距离（ m ）；

D ——管线内径（ mm ）；

K_1 ——风险发生可能性评价附加系数；

K_2 ——风险后果性评价附加系数。

3 基本规定

3.0.1 城市道路与管线地下病害探测应选择合适的地球物理方法，查明一定深度范围内的地下病害，评价其对道路或管线安全运营的影响。

3.0.2 地下病害按工程性质、成因类型可划分为路面脱空、空洞、土体疏松、土体富水四种类型。

- 1 土体疏松可根据疏松程度分为严重疏松、中等疏松、轻微疏松三个等级；
- 2 土体富水可根据富水程度分为严重富水和一般富水两个等级。

3.0.3 城市道路与管线地下病害探测时机应符合下列规定：

- 1 宜按相关规定对城市道路和管线敷设区域开展周期性地下病害探测；
- 2 当道路下方或管线临近区域存在工程施工时，应在施工前后分别开展地下病害探测；
- 3 当存在重大城市活动时，应在活动前对活动涉及区域内的道路及地下管线开展地下病害探测。

3.0.4 地下病害探测宜按资料搜集、现场踏勘、方案策划、数据采集、数据处理、地下病害识别和验证、地下病害风险评价、成果报告编写的流程开展工作。

3.0.5 地下病害探测方法宜根据探测深度和精度、探测环境和地球物理场特征等因素确定。

3.0.6 应对探测的中度及以上地下病害进行验证。

3.0.7 应对地下病害进行风险评价，确定风险等级，提出处置对策。

3.0.8 在探测过程中，当发现危险性较大的地下病害时，应及时通报项目管理单位及附近管线的权属单位。

3.0.9 测量工作宜采用北京地方坐标系和高程系，当测试条件较简单或无特殊要求时可采用独立坐标系。

3.0.10 地下病害探测应积极采用和推广经实践检验有效的新技术、新方法。

4 地下病害探测

4.1 一般规定

4.1.1 地下病害探测应满足下列基本条件：

- 1 地下病害与周边土体存在一定物性差异；
- 2 地下病害几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不应小于 1/5；
- 3 探测区域应具备采用探测方法的实施条件。

4.1.2 地下病害探测采用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 仪器设备及附件应具备稳定性、一致性，满足不同探测深度和分辨率的要求；
- 2 应定期进行检查、校准和保养。

4.1.3 应根据场地工作环境、探测条件和地球物理特征开展探测方法有效性试验，确定合理的探测方法和技术参数，探测方法选择应符合下列规定：

- 1 当探测深度不大于 5m，探测环境简单时，宜优先采用探地雷达法；
- 2 当探测深度大于 5m 时，宜采用探地雷达方法探测 5m 以内的浅部地下病害，采用其它方法探测 5m 以下的地下病害；
- 3 当探测区域存在地下工程施工、地下管线密集、干扰源多样或分布有历史塌陷等复杂条件时，宜采用多种方法相结合进行探测。

4.1.4 地下病害探测可采用普查和详查相结合的方式，应符合下列规定：

- 1 普查应对测区进行全面探测，初步判定地下异常；
- 2 详查应对普查中划分的地下异常进行校核或验证。

4.1.5 测线和测网的布置应满足下列规定：

- 1 宜考虑任务要求、探测方法及试验结果、探测目标体的规模与埋深、测区的地形、现场环境等因素进行测线和测网的布置；
- 2 普查阶段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；
- 3 详查阶段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；
- 4 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；
- 5 对于历史塌陷区、大型交叉路口、建构物周边、新近地下工程施工区、

等重点区域，测线宜适当加密，如具备测试条件宜呈网状布设；

6 测线宜穿过钻孔或与其他方法测线重合。

4.1.6 地下病害探测的测量工作应符合下列规定：

1 应对测线的起止点、转折点、地形突变点及其它重要点位进行定位测量，并将测点展布到相应比例尺的地形图或其他平面图上；

2 探测工作中使用的地形图比例尺、图幅分幅和编号应与北京市基本比例尺地形图相一致，宜使用比例尺不小于 1:500 的地形图；

3 测网控制基点应联测测量控制点，测量精度应符合现行国家标准《工程测量规范》（GB 50026）的要求；

4 探测点位在相应比例尺平面图的点位中误差和高程中误差，应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ8 的有关规定；

5 探测工作使用的比例尺不应小于同阶段、同工程的岩土工程、水文地质工程所用的比例尺；

6 当测线较长时，应选取中间点测量；

7 平行测线可采用相邻测线的定位点进行测线定位。

4.1.7 探测工作应遵循从简单到复杂、从已知到未知的工作原则。

4.1.8 地下病害探测中应及时填写现场记录，所有记录不应擦去或撕页，记录内容应齐全。

4.1.9 地下病害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，对比不同物探方法的结果进行综合解释。

4.1.10 地下病害探测人员和车辆应配备必要的安全设备，工作前应进行安全作业培训，探测中采取安全作业方式，现场工作人员应着安全作业服装，现场作业车辆应安装醒目的交通导改、警示装置，可采用双闪行进的方式。

4.2 技术准备

4.2.1 地下病害探测技术准备包括资料搜集、现场踏勘、方法有效性试验、方案策划等工作。

4.2.2 搜集的资料宜包括下列内容：

1 测区地形图、工程地质和水文地质条件、测量基点和历史探测成果等资料；

2 道路的建成年代、级别、维修和养护等资料；

3 地下管线和建构筑物的建设年代、类型、材料、大小、分布、运行状况、维修养护资料等；

4 历史塌陷位置、时间、规模、成因、修补及其变形等数据；

5 地下工程施工时间、类型、埋深、施工方法等资料。

4.2.3 现场踏勘宜包括下列内容：

1 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；

2 调查测区内的干扰源类型和分布；

3 核实地形图、地下管线和历史塌陷等资料；

4 调查现场交通状况，分析对探测工作的影响。

4.2.4 宜根据探测目的、场地环境开展方法有效性试验，确定合理的探测方法与工作参数。

4.2.5 应根据工作任务和要求，在资料搜集、分析和野外踏勘基础上编制工作方案，内容宜包括编制依据、工作的重难点及对策、详细技术方案、设备和工具、人员组织、进度计划、安全作业措施、成果内容和形式等。

4.3 探地雷达法

4.3.1 探地雷达法主要探测 5m 深度范围内的地下病害。

4.3.2 采用探地雷达法探测地下病害时宜采用剖面法观测方式；如需求取地下介质的电磁波传播速度时，可采用宽角法；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。

4.3.3 应用探地雷达法时除应满足本规范第 4.1.1 条的规定外，尚应满足下列规定：

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 测区内不应存在大范围金属构件或较强的电磁干扰。

4.3.4 探地雷达仪器性能除满足本规范第 4.1.2 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 系统增益不小于 150dB；

2 信噪比不小于 110dB，动态范围不小于 120dB；

3 应具有实时显示、增益控制、信号叠加、实时滤波、点测和连续测量、位置标记等功能；

4 计时误差不应大于 1.0ns；

5 最小采样间隔应达到 0.5ns，A/D 转换位数不小于 16bit；

6 工作温度-20° C~40° C；

7 宜具备多通道采集功能；

8 宜具备测距功能。

4.3.5 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，应符合下列规定：

1 地面探测时宜选择频率为 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；

2 不同探测深度下探地雷达天线可按表 4.3.5 选择；

表 4.3.5 探地雷达天线选择

探测深度 (m)	2.0-5.0	0.0-3.0
天线主频 (MHz)	80-200	200-400

3 当电磁干扰不明显且探测深度较大时，可选择非屏蔽低频天线。

4.3.6 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，电磁波在介质中传播的波长宜按下式计算：

$$\lambda = 1000 \frac{C}{f \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (4.3.6)$$

式中：C——电磁波在空气中的传播速度（m/ns），可取 0.3m / ns；

f——天线主频（MHz）；

ε_r ——介质的相对介电常数。

4.3.7 横向分辨率 x' 宜按下式计算：

$$x' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (4.3.7)$$

式中： λ ——电磁波波长（m）；

h ——目标体埋深（m）。

4.3.8 测线的布设除满足本规范第 4.1.5 条的规定外，尚应符合下列要求：

- 1 测线宜沿车道行进方向布设；
- 2 测线间距宜根据采用的天线主频确定，普查时宜取 2.0m~4.0m，详查时宜取 1.0m~2.0m，当采用 200MHz~400MHz 天线时宜取小值；
- 3 人行步道探测时宜按 1.0m~2.0m 间距布置测线；
- 4 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，可布置加密测线。

4.3.9 测试之前应选择测区内有代表性的位置进行有效性试验，确定合适的观测系统和采集参数。

4.3.10 现场采集参数的设置应符合下列要求：

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

$$T = K \frac{2d_{\max}}{v} \quad (4.3.10)$$

式中：T——记录时窗（ns）；

K——加权系数，宜取 1.3~1.5；

d_{\max} ——最大要求探测深度（m）；

v ——地层介质中的综合电磁波速度（m/ns）。

- 2 信号的增益宜保持信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4;
- 3 采样率应不低于所采用天线主频的 20 倍;
- 4 普查时道间距不宜大于 5.0cm, 详查时道间距不宜大于 2.5cm;
- 5 可采用叠加采集的方式提高信号的信噪比;

4.3.11 计算地下介质的电磁波平均速度应符合下列规定:

- 1 当目标深度已知时, 宜采用已知深度目标换算法, 通过剖面中已知深度目标的电磁波反射走时, 计算地下介质的电磁波平均速度;
- 2 当地下管线的双曲线反射弧特征明显时, 宜采用迭代偏移法, 根据反射弧特征进行迭代偏移, 计算其速度作为地下介质的电磁波平均速度;
- 3 当采用分离天线探测时, 宜采用宽角法, 通过调整双天线间距获得不同层位的反射波双程走时, 计算地下介质的电磁波传播速度。

4.3.12 现场数据采集应符合下列规定:

- 1 如采用测量轮测距, 测试前应对测量轮进行标定;
- 2 数据采集过程中应根据干扰情况、图像效果及时调整采集参数;
- 3 天线的移动速率应均匀并与仪器的扫描率相匹配, 并应满足数据剖面的水平分辨率;
- 4 连续采集时, 80MHz~150MHz 天线移动速率不宜大于 10km/h, 200MHz~400MHz 天线移动速率不宜大于 20km/h;
- 5 点测时, 应在天线静止时采样;
- 6 使用分离式天线时, 应选取合理的天线间距, 以增强目标体的反射信号强度;
- 7 采用测量轮触发采集时, 测量轮自动标记的距离不宜大于 5m;
- 8 应及时记录信号异常的位置和相关信息, 分析异常原因;
- 9 及时记录各类干扰源及地面变形、积水等周边环境情况;
- 10 发现疑似地下病害时, 宜在相应位置做好标记, 并采用多种天线重复观测进行复核;
- 11 局部测试区域不满足测试条件时, 应记录其位置和范围, 具备探测条件后补充测试。
- 12 现场数据采集记录可参照本规范附录 A 的格式。

4.3.13 探地雷达测线的定位测量除应满足本规范第 4.1.6 条的规定外,还可利用测区内井盖、路灯和已知管线等资料对测线定位进行校核。

4.3.14 现场采集数据质量检查和评价应满足下列规定:

- 1 测试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记录的一致性应良好;
- 3 记录信息应完整,且与数据记录保持一致;
- 4 数据信号削波部分不超过全剖面的5%;
- 5 数据剖面上不应出现连续的坏道;
- 6 数据剖面上应能分辨出路面基层的反射信号。

4.3.15 根据数据质量及解释要求,可参考图 4.3.15 确定数据处理方法和步骤,并应符合下列规定:

- 1 应行零点校正,明确地面反射点的位置;
- 2 非测量轮模式下采集的数据,应进行水平距离归一化处理;
- 3 可根据数据处理的目选取增益调整、频率滤波、反褶积、偏移归位、空间滤波或数据平滑等处理方法;
- 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记录进行反褶积、偏移归位处理;
- 6 可用反褶积压制多次反射波干扰,且反射子波宜是最小相位子波;
- 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它方法处理完后进行;
- 9 可采用平滑数据的点平均法消除信号中的高频干扰,参与计算的点数最大值宜小于采样率与低通频率之比。

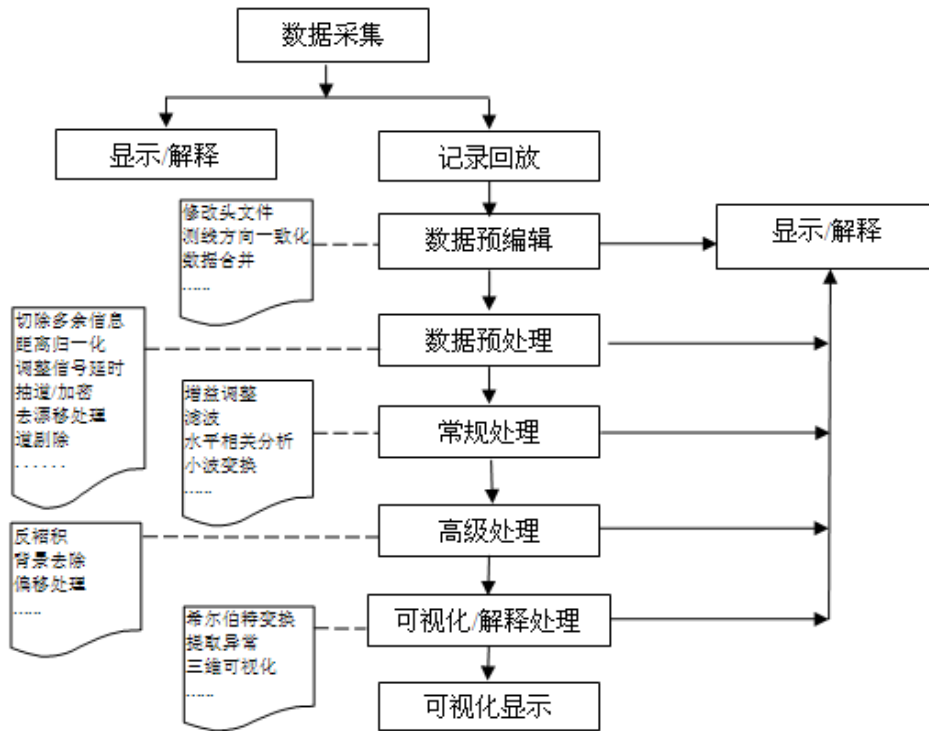


图 4.3.15 探地雷达数据处理流程

4.3.16 探地雷达的资料解释流程可参考图 4.3.16，并应符合下列规定：

- 1 解释成果应当采用相关专业语言描述，用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高；
- 2 根据现场记录和调查，剔除干扰异常；
- 3 根据信号的能量、同相轴、相位和频率等特征提取探地雷达异常并进行解释；
- 4 宜结合地下管线类型和运行状况、路面裂缝、沉陷、修补或历史塌陷等调查资料进行解释；
- 5 雷达剖面图像上应标出目标反射波的位置或反射波组；
- 6 宜结合相邻测线对比分析确定地下病害的位置和范围。

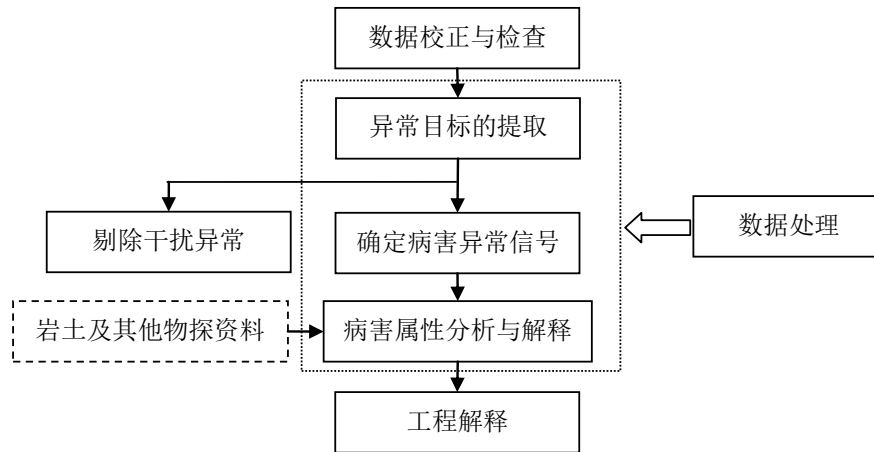


图 4.3.16 探地雷达探测地下病害解释流程

4.3.17 城市探测环境下典型探地雷达干扰源主要包括地上建（构）筑物、地下建（构）筑物和电磁干扰三类（图 4.3.17）。

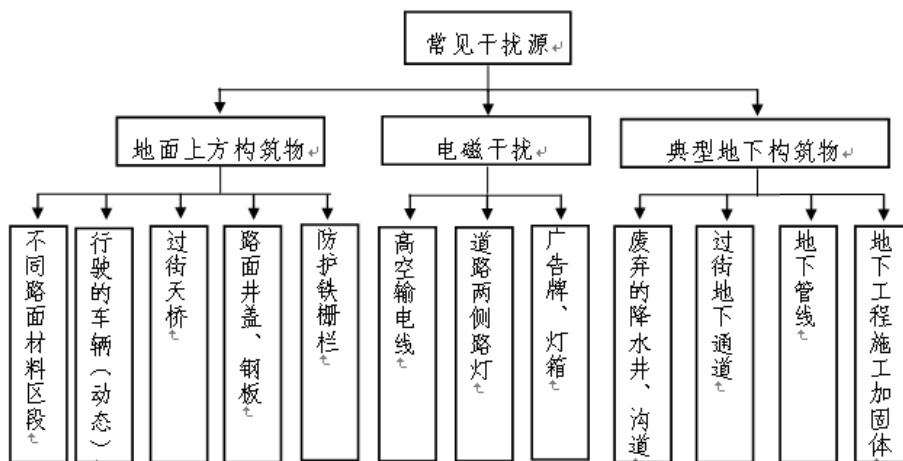


图 4.3.17 城市环境下探地雷达探测的典型干扰源

4.3.18 探地雷达成果图表应满足下列规定：

1 图件宜包括探地雷达测线平面布置图、地下病害平面分布图、地下病害雷达剖面图；

2 地下病害特征表格应汇总说明地下病害的发育特征，包括编号、病害性质、位置、坐标、埋深、规模、异常特征分析、地表变形情况、风险等级、处置建议等；

3 相关图件可以合并。

4.4 高密度电法

4.4.1 高密度电法主要探测 20m 深度范围内的空洞、土体疏松和土体富水等地下病害。

4.4.2 应用高密度电法时除应满足本规范第 4.1.1 条规定外，尚应满足如下规定：

- 1 地下病害与相邻土体存在明显的电性差异；
- 2 地下病害具有一定的规模，且埋深不大；
- 3 地形起伏不大，接地条件良好；
- 4 场地内无较强的游散电流、大地电流或其它电磁干扰。

4.4.3 高密度电法仪器除应符合本规范的第 4.1.2 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 宜采用具有即时采集、显示电性剖面的专门仪器；
- 2 仪器电压测量动态范围为 $\pm 10 \mu V \sim \pm 10V$ ，电流测量范围为 $0.01mA \sim 2A$ ；
- 3 测电流的标准电阻的误差应小于 1%；
- 4 仪器应有良好的绝缘、防潮和抗震性能，仪器内部电路与外壳间绝缘电阻不小于 $300M\Omega$ ；
- 5 仪器的输入阻抗应大于 $20M\Omega$ ；
- 6 直流供电的最大功率不小于 300W；
- 7 具有自动极化补偿功能；
- 8 仪器应有良好的屏蔽性能，人体和仪器外壳接触时所产生的感应电位差不得大于 $0.02mV$ ；
- 9 具有较强的抗干扰能力，对 50Hz 的工频干扰抑制应大于 60dB；
- 10 使用的多芯供电和测量电缆应具有良好的导电和绝缘性能，芯线电阻不应大于 $10 \Omega/km$ ，芯间绝缘电阻不应小于 $20M \Omega/km$ 。

4.4.4 应在探测前应开展有效性试验，宜包括下列工作内容：

- 1 了解场地的地电条件、干扰背景等，确定最佳工作方法；
- 2 确定采集装置及参数；
- 3 试验最大供电极距及供电功率；
- 4 测量工作区干扰电平；
- 5 多次测量的一致性或多台仪器的一致性对比试验。

4.4.5 地下病害探测中，宜考虑场地条件、干扰影响、探测目的等因素优先选用温纳或斯伦贝尔装置。

4.4.6 测线布置除满足本规范第 4.1.5 条的规定外，尚应满足下列规定：

1 测线（或剖面）应顺路方向布设，并应尽可能避免或减小地形影响和其它干扰因素的影响，布置在平坦的路面；

2 通过局部异常地段的测线不应少于 2 条，每条测线上反映同一目的体的异常点不应少于 3 个；

3 当以平面等值线图形式反映地质体各向异性时，电极距和线距宜一致；

4 测线的重叠长度应根据装置形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等确定；

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 如电极沿垂直排列方向偏移时，移动距离不得超过道间距的 1/5，在沿测线方向偏移时，移动距离不得超过道间距的 1/10。

4.4.7 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 最小电极距一般取 1.0m ~2.0m，电极应均匀布设；

3 排列长度应大于要求探测深度的 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。

4.4.8 电极接地应符合下列规定：

1 应尽量避免接地条件差的地方，保证供电电极接地电阻应小于 $100k\Omega$ ，供电电流应大于 50mA；

2 测量电极接地电阻应小于仪器输入阻抗的 1%；

3 在干燥的混凝土路面布置电极时，需打孔，并在电极周围泼洒盐水以减小接地电阻；如难以直接打孔，可采用导电泡棉电极或电容耦合电极；

4 如需增加电极和地层的接触面积，可在单点布设多根细电极并联而成的电极，并确保电极打入相同深度且间隔相等；

5 电极宜安置在规定的位罝上，接地电阻过大时，可采取浇盐水、挖坑填土、加深电极、采用电极组等方法。

4.4.9 数据采集应符合下列规定：

- 1 每个排列的观测数据坏点总数不应超过测量总数的 1%；
 - 2 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；
 - 3 当场地内地形坡度大于 15° 时，应测量各电极点的坐标和高程；
 - 4 应记录排列中可能对数据造成影响的环境因素及地质、地形异常点的位置。
- 5 现场数据采集记录可参照本规范附录 B 的格式。

4.4.10 数据质量评价应符合下列要求：

- 1 因地表及浅层湿度变化造成视电阻率规律性偏差，在评价质量时，允许将该段剔除；
- 2 因地电干扰等原因造成的无规律畸变，可将其剔除后再进行质量评价，但剔除点数不应超过观测数据总数的 3%。

4.4.11 资料处理与解释应符合下列规定：

- 1 数据预处理应进行数据平滑、异常点剔除和滤波；
- 2 可结合相邻点数值修正个别无规律的突变点数据；
- 3 地形校正时应进行测点在断面中的位置归正和装置系数校正；
- 4 对电阻率断面图中呈八字形、捺形等虚假异常数据应剔除或不予解释；
- 5 对于有钻孔资料的区段，应结合地层分布与电性分布特征进行深度解释的校正。

4.4.12 高密度电法成果图应满足下列规定：

- 1 成果图应包括断面电阻率等值线图、彩色图或灰度图、地质异常解释图(推断图)；
- 2 同一场地的电阻率等值线图应设置合理、统一的色标。

4.5 多道瞬态面波法

4.5.1 多道瞬态面波法主要探测 20m 深度范围内的空洞、土体疏松等地下病害。

4.5.2 采用多道瞬态面波法时除满足本规范第 4.1.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 地表宜平坦，无临空面、陡立面，相邻检波器之间的高差应控制在 1/2 道间距长度范围内；

2 测线不宜穿越暗河、地下通道和防空洞等地下构筑物；

3 接收排列周围地形平坦，无临空面；

4 测区内不应存在较强的震动干扰。

4.5.3 采集仪除满足本规范第 4.1.2 条的规定外，尚应满足下列规定：

1 仪器采集和放大器的通道数应满足不同面波模态采集的要求，一般不少于 12 通道；

2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求；

3 仪器放大器各通道的幅度和相位应一致，各频率点的幅度差在 5%以内，相位差不应大于所用采样时间间隔的一半；

4 应具备滚动采集、多次叠加等功能。

4.5.4 检波器的选择和安置应符合下列规定：

1 采用垂向的速度型检波器；

2 检波器的自然频率应满足采集最大面波周期（相当于探测深度）的需要，宜选用自然频率 4Hz~20Hz 的检波器；

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别不应大于 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；当不具备地表安插检波器条件时，可采用铁靴的方式。

4.5.5 数据采集前应进行有效性实验，应包括以下工作内容：

1 有效性试验包括仪器通道一致性试验和检波器一致性试验，应分析输出的频响与幅度曲线等是否满足仪器通道和检波器一致性要求；

2 检波器宜优先选用自然频率较低的检波器，自然频率可参考下式计算：

$$f_0 \leq \beta \frac{V_R}{H} \quad (4.5.5)$$

式中： f_0 ——检波器的自然频率（Hz）；

H ——需探测的最大深度（m）；

V_R ——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，一般取值为 0.5。

3 通过展开排列获得的地震记录上基阶面波的优势段，确定偏移距、道间距、采样间隔、记录长度等采集参数。

4 震源类型可根据探测深度、地下介质组成、现场环境条件等试验确定，一般可用大锤（不小于 18 磅）、落重（60kg）或具有自相关叠加技术的夯击震源。

4.5.6 测线布设除满足本规范第 4.1.5 条规定外，尚应符合下列规定：

1 测线宜沿道路方向呈直线布设，在具备条件的情况下，宜采用纵横网格布设，以利于提高探测精度；

2 测点间距应根据探测任务和场地条件确定，应满足横向分辨率的要求；

3 在具有钻探资料的场地，测线或测网宜结合钻孔位置布设，以便于资料对比分析。

4.5.7 检波器排列布置应满足下列规定：

1 道间距应根据最大探测深度、病害体的规模和工作效率确定，一般应小于最小探测深度所需波长的 1/2，且不大于 2m；

2 排列的长度根据最大有效探测深度确定，一般应大于预期面波最大波长的一半；

3 偏移距应根据探测深度试验确定，并能够分离基阶面波和高级面波，一般不宜小于道间距，最小偏移距可与道间距相等。

4 检波器的安置应尽量以直线形式排列，如沿垂直排列方向偏移时，移动距离不得超过道间距的 1/5；检波器在沿测线方向偏移时，移动距离不得超过道间距的 1/10；

5 检波器应尽量避开传输电缆。

4.5.8 接收排列的中心位置等效为多道瞬态面波的记录点，可采用仪器测量或参照可靠地物对首道或末道检波器进行准确定位，计算面波探测的记录点位置。

4.5.9 数据采集时应符合下列规定：

- 1 观测方式宜采用单端激发方式，同一测线的观测排列方向应一致；
- 2 采样间隔应根据采样记录长度确定，记录长度应满足最大源检距基阶面波的采集需要；
- 3 每次激震的震源能量应保持一致；当信噪比较低时，可采用重复激振方式进行信号叠加，提高信噪比；为保证数据采集的效率，信号叠加的次数不宜过大；
- 4 当发现有重要异常、畸变曲线时，应重复观测。
- 5 现场数据记录可参照本规范附录 C 的格式。

4.5.10 现场数据质量检查和评价应符合下列规定：

- 1 原始记录不应出现削波，不应有坏道；
- 2 记录中噪声振幅不应大于基阶面波主同相轴振幅的 1/10；
- 3 采集记录的长度应能满足最大源检距基阶面波接收。

4.5.11 数据处理和成果解释应符合下列规定：

- 1 数据处理时应剔除明显的畸变点、干扰点，对资料进行预处理后，准确区分面波和体波，正确绘制频散曲线；
- 2 应结合已知的钻探、其它物探等资料对曲线的“之”字形拐点和曲率变化做出正确解释，计算面波相速度，绘制相速度-深度曲线；或根据需要进行速度反演，绘制横波速度-深度曲线；
- 3 深度转换应根据土层的泊松比，参照半波长法进行校正。

4.5.12 成果图件宜包括：

- 1 平面图、典型记录、频散曲线、速度-深度曲线等；
- 2 面波速度剖面或反演得到的横波速度剖面。

4.6 地震反射法

4.6.1 地震反射法主要配合探地雷达等其它方法对 20m 深度范围内的地下病害进行复核。

4.6.2 地震反射法应根据探测目的、场地条件等选择多次覆盖叠加或单次覆盖观测系统进行探测。

4.6.3 地震反射法的应用条件除满足本规范第 4.1.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 测区内不应存在较强的震动干扰；
- 2 探测对象与周围介质存在明显的波阻抗差异，反射系数大于 0.01；
- 3 探测对象的高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。

4.6.4 地震反射探测设备性能除满足本规范第 4.1.2 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 A/D 转换位数不宜低于 24bit；
- 2 最高采样频率不应低于 40KHz；
- 3 检波器的频带宽度应满足 10Hz~1000Hz 的范围；
- 4 检波器的动态范围不应低于 60dB。

4.6.5 数据采集前应进行有效性试验，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，分析其对探测影响；
- 2 确定合适的观测系统和采集参数，采集参数包括激震能量、炮检距、道间距、采样参数等；
- 3 试验位置宜选择在测区内有已知地下目标体或有已知目标的区域。

4.6.6 测线的布设除满足本规范第 4.1.5 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 测线应呈直线布置，当受场地条件限制时，可布置成非纵测线；
- 2 测线布设应能控制地下病害范围和走向；
- 3 重点区域宜布设加密测线，测线间距参考本规范第 4.3.6 条规定；
- 4 测线宜与其它探测方法测线一致。

4.6.7 数据采集时应符合下列规定：

- 1 每次激震的震源能量应保持一致；
- 2 同一条测线探测时应使用相同型号和参数的检波器；
- 3 当采用多次覆盖叠加观测系统时，最大炮间距应小于拟复核地下异常的埋深；当采用单次覆盖观测系统时，偏移距应小于拟复核地下异常的埋深；
- 4 采样频率应大于 40KHz，采样时间长度不得低于 20ms；
- 5 现场数据记录可参照本规范附录 D 的格式。

4.6.8 地震反射法数据处理应符合下列规定：

- 1 多次覆盖观测系统的叠前处理工作程序为道炮编辑、真振幅恢复（补偿）、去噪、动校正及共中心点道集提取、剩余静校正和共中心点叠加等；
- 2 单次覆盖观测系统预处理工作程序为道炮编辑、真振幅恢复（补偿）、去噪、和动校正；
- 3 叠后剖面或单次覆盖观测系统预处理后剖面宜进行一维滤波、小波变换、二维滤波或维纳反滤波等数据处理，区分有效波与干扰波，提高信噪比。

4.6.9 根据地震反射波的波形、振幅、频谱、相位等异常变化并结合环境调查信息综合解释空洞、疏松等病害体。

4.6.10 地震反射成果图表宜满足下列规定：

- 1 图件宜包括地震反射平面布置图、地下病害平面分布图、地下病害地震反射剖面图和地质成果剖面图；
- 2 采用表格汇总说明地下病害的情况，包括编号、病害性质、位置坐标、埋深、规模、异常特征分析、地表变形情况等；

5 地下病害识别和验证

5.0.1 地下病害的识别应根据不同方法的地球物理特征、周边环境资料，剔除假异常，确定地下病害类型。

5.0.2 采用探地雷达探测地下病害时，可参照表 5.0.2 的规定识别地下管线。

表 5.0.2 地下管线的探地雷达图谱特征

地下管线	介电性能	波组形态	振幅	相位与频率
------	------	------	----	-------

金属管线	电阻率较低；相对介电常数一般取 1	圆形管线表现为倒悬双曲线，管线半径越大或埋深越大时，反射弧的曲率越大；似方形断面管线表现为有限平板状同相轴，两侧各为向下开口的半支抛物线；一般无多次波	强振幅，顶部产生全反射，反射波振幅最强，两翼逐渐减弱	顶部反射波与入射波同向，一般无管线底部反射波
非金属管线	电阻率较高；干燥情况下，相对介电常数取 4~10，潮湿情况下，相对介电常数取 10~20	圆形管线表现为倒悬双曲线，管线半径越大或埋深越大，反射弧的曲率越大；似方形断面管线表现为有限平板状同相轴，两侧各为向下开口半支抛物线；存在多次波	振幅相对较强，两翼逐渐减弱，顶部产生部分反射	当管线介电常数小于上层介质时，管线顶部反射波与入射波同向，反之则反向；存在管线底部反射波

5.0.3 当采用探地雷达探测地下病害时，可根据探地雷达图像的波组形态、振幅强度、相位和频谱结构等的变化，参照表 5.0.3 的规定识别地下病害。

表 5.0.3 基于探地雷达波特征的地下病害的识别方法

地下病害	介电性能	波组形态	振幅	相位与频率
路面脱空	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性反射波组，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；近似方形空洞反射波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，严重疏松内部波形结构很杂乱，波形同相轴很不连续	振幅强，衰减很慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；病害的频率高于背景场的频率
中等疏松	电阻率较高，相对介电常数小，电磁波速度大于周边介质	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，多次波发育，两侧存在绕射波，中等疏松内部波形结构杂乱，波形同相轴不连续	振幅较强，衰减慢	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

轻微疏松	电阻率略高，相对介电常数较小，电磁波速度略大于周边介质的速度	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，多次波发育不明显，轻微疏松内部波形结构较杂乱，波形同相轴较不连续	振幅较强，衰减较慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；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，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	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，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

5.0.4 采用高密度电法识别地下病害时应符合下列原则：

- 1 根据电阻率的等值线分布特征识别地下病害；
- 2 未充填的空洞及土体疏松病害表现为明显的高阻异常；
- 3 充填水的空洞或土体富水病害表现为明显的低阻异常；
- 4 在确定地下病害影响范围时应注意体积效应的影响。

5.0.5 采用多道瞬态面波法识别地下病害时应符合下列原则：

- 1 在时间域，土体疏松病害对应的面波记录波组杂乱，分布不规则；空洞对应的面波记录上存在镜像波；
- 2 在频率域，空洞或土体疏松病害对应的频散曲线存在“之”字形拐点；当地下病害规模较大时，频散曲线揭示的探测深度较浅；
- 3 在面波速度结构剖面或反演的横波速度结构剖面上，土体疏松和空洞病害位置与周边正常土层相比存在明显的低速异常区。

5.0.6 采用地震反射法识别地下病害时应符合下列原则：

- 1 波组形态上，空洞边界存在明显绕射波，空洞内波形杂乱、同相轴不连续；土体疏松病害两侧边界的绕射波不发育，但其内部波形较杂乱，同相轴土体疏松程度不同连续性变化较大；
- 2 土体疏松病害的频谱结构一般为低频特征；
- 3 空洞病害的振幅减弱，能量衰减；土体疏松病害多表现为较强振幅特征。

5.0.7 地下病害的验证应针对识别出的地下病害，查明地下病害的类型、严重程

度、土质条件等特征。

5.0.8 地下病害的验证应符合下列规定：

1 具备条件时宜采用钻探的方法，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；根据试验的结果指标，按《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ 11-501-2009 的规定对土体密实程度进行判别；

2 钻探孔宜布设在地下病害的中心部位，并结合场地条件，在地下病害区外围布设对照钻孔；

3 现场不具备钻探类实施条件时，可采用物探类方法对探测结果进行复核。

5.0.9 地下病害验证的数量应符合下列规定：

1 对识别的空洞、路面脱空、严重疏松和严重富水应全部验证；

2 对识别的中等疏松，验证数量应不少于中等疏松总数的 10%，且不应少于 2 处。

5.0.10 应对验证钻孔进行回填处理，回填应符合《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ / T87-2012 的规定。

6 地下病害风险评价

6.1 一般规定

6.1.1 应评价地下病害可能对道路或管线运行造成的危害，进行风险分级，提出风险处置对策。

6.1.2 应根据探测成果，结合搜集和调查的相关资料，采用定性或定量方法进行地下病害风险评价。

6.1.3 风险评价选取的指标应具有全面性、代表性和易取性。

6.2 风险评价方法

6.2.1 风险评价包括风险发生可能性与风险后果评价，风险值按下式计算：

$$R(P,C) = P \times C \quad (6.2.1)$$

式中：R——风险值；

P——风险发生可能性；

C——风险后果。

6.2.2 风险发生可能性和风险后果评价宜采用指标体系法，根据指标重要性确定权重系数。

6.2.3 风险发生可能性评价宜采用二级指标体系，按下列公式计算：

$$P = \sum_{i=1}^m P_i W_i = \sum_{i=1}^m W_i \sum_{j=1}^n F_{ij} W_{ij} \quad (6.2.3-1)$$

$$\sum_{i=1}^m W_i = 1 \quad (6.2.3-2)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{ij} = 1 \quad (6.2.3-3)$$

($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)

式中： P_i ——风险发生可能性一级指标分值；

F_{ij} ——风险发生可能性二级指标分值；

W_i ——一级指标权重；

W_{ij} ——二级指标权重；

m ——一级指标数量；

n ——二级指标数量。

6.2.4 风险后果评价宜采用一级指标体系，按下列公式计算：

$$C = K_2 \sum_{i=1}^m C_i W_i \quad (6.2.4-1)$$

$$\sum_{i=1}^m W_i = 1 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (6.2.4-2)$$

式中： C_i ——风险后果评价指标分值；

K_2 ——风险后果评价附加系数。

6.2.5 风险等级划分宜采用风险矩阵法。

6.3 城市道路地下病害风险评价

6.3.1 城市道路地下病害风险发生可能性的评价指标和权重宜按表 6.3.1 取值，按本规范第 6.2.3 条规定进行计算。

表 6.3.1 城市道路地下病害风险发生可能性评价指标及权重

一级指标		二级指标				
指标 (P _i)	权重 (W _i)	指标 (P _{ij})	权重 (W _{ij})	说明	分值范围	取值 (F _{ij})
基本因子 P ₁	0.6	覆跨比 P ₁₁	1.00	0<r≤0.5	90~100	K ₁ F ₁₁
				0.5<r≤1	70~90	
				1<r≤2	40~70	
				r>2	0~40	
环境因子 P ₂	0.4	施工干扰 P ₂₁	0.25	周边存在在建工程或周边管线多次开挖	80~100	F ₂₁
				周边存在完工 3 年（含）内的地下工程、周边管线开挖或道路历史修复	60~80	
				周边存在完工 3 年以上的地下工程、周边管线施工、道路历史修复	30~60	
				其它	0~30	
		管线状况 P ₂₂	0.20	存在废弃井或管井变形、积水情况；周边管线分布较多	50~100	F ₂₂
				存在带水、带压管线	20~50	
				无管线或存在非带水管线	0~20	
		地表水作用 P ₂₃	0.15	排水不畅，地表严重积水	70~100	F ₂₃
				排水条件一般，存在积水	40~70	
				排水条件较好，无积水或积水较少	0~40	
		周边岩土体条件 P ₂₄	0.15	松散~中密填土、砂土、卵砾石	60~100	F ₂₄
				密实填土、粉土	30~60	
				粘性土	0~30	
		道路现状 P ₂₅	0.15	路面存在明显变形、沉陷等	70~100	F ₂₅
				路面存在明显裂缝、坑槽等	50~70	
				路面龟裂、轻微变形	20~50	
		道路荷载 P ₂₆	0.10	机动车较频繁、重载车辆	70~100	F ₂₆
				自行车道或机动车较少的车道	50~70	
				人行道	40~50	

注：

- 1、覆跨比：地下病害上覆土层厚度与地下病害水平向跨度之比 $r=h/l$ ，其中 h —病害顶部埋深， l —病害的最大跨度；
- 2、对基本因子评价取值时，根据不同地下病害类型确定附加系数 K_1 ：空洞（脱空）1，严重富水 0.9，严重疏松 0.8，一般富水 0.7、中等疏松 0.6，轻微疏松 0.3；
- 3、“施工干扰”评价中 L 为施工边界与地下病害边界之间的最小距离。

6.3.2 城市道路地下病害风险发生可能性宜根据评价结果按表 6.3.2 规定分为 5 个等级。

表 6.3.2 城市道路地下病害风险发生可能性分级表

级别	风险值 (P)	说 明
A	0~30	近期不可能发生、远期发生可能性很小
B	30~50	近期不可能发生, 远期可能会发生
C	50~70	近期发生的可能性较小, 远期可能会发生
D	70~90	近期发生可能性较大
E	90~100	近期发生可能性极大

6.3.3 城市道路地下病害风险后果的评价指标和权重宜按表 6.3.3 取值, 按本规范第 6.2.4 条规定进行计算。

表 6.3.3 城市道路地下病害风险后果评价指标及权重

评价指标 (C _i)	权重 (W _i)	说 明	分值范围	取值 (F _i)
病害范围 C ₁	0.30	S ≥ 15 m ²	90~100	F ₁
		10 m ² ≤ S < 15 m ²	80~90	
		3 m ² ≤ S < 10 m ²	70~80	
		< 3 m ²	60~70	
地下病害影响范围内的管线 C ₂	0.25	有压管线	70~100	F ₂
		排水管线	50~70	
		电力电信	20~50	
		其他管线	≤ 20	
道路位置 C ₃	0.20	主路机动车道	80~100	F ₃
		辅路	60~80	
		自行车道	40~60	
		人行步道	20~40	
		绿化带	≤ 20	
社会影响 C ₄	0.15	周边 200m 范围内有重要场所, 包括但不限于下列情况: 国家、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	F ₄
		周边 200m~500m 范围有重要场所, 包括但不限于下列情况: 国家、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	
		其它情况	30~60	
人员密度 C ₅	0.10	具有以下情况之一: 1、周边 100m 有大型商场、体育场、演出场所、大型广场、学校等人员密集型场所; 2、周边 50m 内有公交车站、地铁站等; 3、所在道路车流、人流量大。	80~100	F ₅
		具有以下情况之一: 1、周边 100m 有中小型商场 (超市)、办公场所、居民楼等人员较多的场所; 2、地下病害所在道路车流量、人流量较大。	60~80	
		其它情况	30~60	

注: 1、病害影响范围中, 预计道路风险影响范围越大, 后果越严重; 道路位置中, 道路级别越高, 后果越

严重；周边管线中，若周边多种管线时，按照最高分判断；

2、对地下病害进行风险后果评价取值时，根据地下病害类型确定附加系数 K_2 ：空洞（脱空）1，严重富水 0.95，严重疏松 0.9，一般富水 0.85、中等疏松 0.8，轻微疏松 0.7。

6.3.4 城市道路地下病害风险后果宜根据评价结果按表 6.3.4 划分为 5 个等级。

表 6.3.4 城市道路地下病害风险后果分级表

级别	风险值 (C)	说 明
1	0~30	后果影响可忽略
2	30~50	后果影响较小
3	50~70	后果影响一般
4	70~90	后果影响较严重
5	90~100	后果影响很严重

注：特殊政治事件发生期间及涉及其发生区域情况下，风险后果直接判定为 5 级。

6.3.5 宜根据城市道路地下病害风险发生可能性及风险后果等级划分结果，通过风险矩阵按表 6.3.5 规定将城市道路地下病害风险等级划分为 I（很低）、II（较低）、III（中等）、IV（较高）、V（极高）5 个等级。

表 6.3.5 城市道路地下病害风险等级划分表

风险后果 风险可能性	1	2	3	4	5
A	I	I	II	II	III
B	I	II	II	III	III
C	II	III	III	IV	IV
D	III	IV	IV	V	V
E	IV	IV	V	V	V

6.4 管线周边地下病害风险评价

6.4.1 管线周边地下病害风险发生可能性的评价指标和权重宜按表 6.4.1 取值，按本规范第 6.2.3 条规定进行计算。

表 6.4.1 管线周边地下病害风险发生可能性评价指标和权重

一级指标		二级指标						
指标 (P _i)	权重 (W _i)	指标 (P _{ij})	权重 (W _{ij})	说明	分值范围	取值 (F _{ij})		
地下病害体 P ₁	0.40	规模 P ₁₁	0.50	S ≥ 15 m ²	90-100	K ₁ F ₁₁		
				10 m ² ≤ S < 15 m ²	80-90			
				3 m ² ≤ S < 10 m ²	70-80			
				< 3 m ²	60-70			
		与管线的位置关系 P ₁₂	0.50			l < 1m, 管线上、下 1m 范围内	90-100	K ₁ F ₁₂
						l < 1m, 管线下方 1~5m	80~90	
						1m < l < 3m, 管线下方 1~5m	60~80	
						1m < l < 3m, 管线上、下 1m 范围内	40-60	
						l < 2m, 管线下方 5m~10m	20-40	
						其它情况	0-20	
管线自身 P ₂	0.35	管线材质 p ₂₁	0.30	混凝土	90	F ₂₁		
				砌体方沟、钢筋混凝土	80			
				塑料、石棉水泥、陶罐	70			
				铸铁	50			
				钢	30			
		输送介质 p ₂₂	0.20			给排水、供暖水	90	F ₂₂
						液化石油气	80	
						燃气	70	
						电力	50	
						通信	30	
		埋设方式 p ₂₃	0.20			管线直埋	90	F ₂₃
						敷设在沟槽内	70	
						设置在隧道内	50	
		服役年限 p ₂₄	0.20			n ≥ 30	100	F ₂₄
						5 ≤ n < 30	4 × (n-5)	
n < 5	0							
管线内径 p ₂₅	0.10			D ≥ 800mm	100	F ₂₅		
				100mm < D < 800mm	30 + D/10			
				D ≤ 100mm	30			
环境因素 P ₃	0.25	施工干扰 p ₃₁	0.40	周边存在在建工程或周边管线多次开挖	80~100	F ₃₁		
				周边存在完工 3 年(含)内的地下工程、周边管线开挖或道路历史修复	60~80			
				周边存在完工 3 年以上的地下工程、周边管线施工、道路历史修复	30-60			
				其它	0~30			

	周边岩土体 条件 P_{32}	0.30	松散~中密填土、砂土、卵砾石	60~100	F_{32}
			密实填土、粉土	30~60	
			粘性土	0~30	
	道路现状 P_{33}	0.15	路面存在明显变形、沉陷等	70~100	F_{33}
			路面存在明显裂缝、坑槽等	50~70	
			路面龟裂、轻微变形	20~50	
	道路荷载 P_{34}	0.15	机动车较频繁、重载车辆	70~100	F_{34}
			自行车道或机动车较少的车道	50~70	
			人行道	40~50	

注：1、对地下病害体指标评价取值时，根据不同地下病害类型确定附加系数 K_1 ：空洞（脱空）1，严重富水 0.9，严重疏松 0.8，一般富水 0.7、中等疏松 0.6，轻微疏松 0.3；

2、“与管线的位置关系”评价中， l 为管线与最近的地下病害边界之间的水平距离，当该取值为 0 时，不对该管线进行风险评价；

3、施工干扰评价中， L 为施工边界与地下病害边界之间的最小距离。

6.4.2 管线周边地下病害风险发生可能性宜根据评价结果按表 6.3.2 划分为 5 个等级。

6.4.3 管线周边地下病害风险后果的评价指标和权重宜按表 6.4.3 取值，按本规范第 6.2.4 条规定进行计算。

表 6.4.3 管线周边地下病害风险后果评价表

指标 (C_i)	权重 (W_i)	说明	分值 范围	取值 (F_i)
管线种类 C_1	0.30	燃气（煤气、天然气、液化石油气）、工业气体（工业用气体、液体燃料）	90~100	F_1
		热力、工业气体（化工原料、排废排渣）	60~90	
		电力、给水、排水	30~60	
		电信	10~30	
周边管线数量 C_2	0.20	周边 5m 内有 6 种以上管线	80~100	F_2
		周边 5m 内有 4~5 种管线	50~80	
		周边 5m 内有 1~3 种管线	30~50	
		无	0	
地下病害体规模 C_3	0.15	$S \geq 15 m^2$	90~100	F_3
		$10 \leq S < 15 m^2$	80~90	
		$3 \leq S < 10 m^2$	70~80	
		$< 3 m^2$	60~70	
人员密度 C_4	0.15	具有以下情况之一： 1、周边 100m 有大型商场、体育场、演出场所、大型广场、学校等人员密集型场所； 2、周边 50m 内有公交车站、地铁站等； 3、所在道路车流、人流量大。	80~100	F_4
		具有以下情况之一： 1、周边 100m 有中小型商场（超市）、办公场所、居民楼等	60~80	

		人员较多的场所； 2、地下病害所在道路车流量、人流量较大。		
		其它情况	30-60	
财产密度 C ₅	0.10	周边 100m 有金融机构（含银行）、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	F ₅
		不属于上述情况，但周边 200m 有中小型商场（超市）、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 有民房、危险性较低设施等财产密度较少。	30~60	
		周边 100m 有较少的财产。	10~30	
		处于偏远区域，周边 100m 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 ₆	0.10	周边 200m 范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：国家、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	F ₆
		周边 200m~500m 范围有重要场所，包括但不限于下列情况：国家、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	
		其它情况	30-60	

注：对地下病害进行风险后果评价取值时，根据地下病害类型确定附加系数 K₂：空洞（脱空）1，严重富水 0.95，严重疏松 0.9，一般富水 0.85、中等疏松 0.8，轻微疏松 0.7。

6.4.4 管线周边地下病害风险后果宜根据评价结果按表 6.3.4 划分为 5 个等级。

6.4.5 宜根据管线周边地下病害风险发生可能性及风险后果等级划分结果，通过风险矩阵按表 6.3.5 规定将管线周边地下病害风险等级划分为 I（很低）、II（较低）、III（中等）、IV（较高）、V（极高）5 个等级。

6.5 风险处置对策

6.5.1 应根据风险评价结果，按表 6.5.1 的规定对不同风险等级的地下病害采取相应的处置对策。

表 6.5.1 不同风险等级相应的处置对策

风险等级	处置对策
I 很低	对地下病害区域进行巡视和探测，巡视频率不少于 1 次/3 月，探测频率不少于 1 次/半年 如病害级别变化按相应级别采取措施
II 较低	暂时不用工程处理； 对地下病害区域进行巡视和定期探测，巡视频率不少于 1 次/月，探测频率不少于 1 次/3 个月； 如病害级别变化按相应级别采取措施
III 中等	宜工程处理； 处理前进行巡视，频率不少于 1 次/10 天； 定期探测，频率不少于 1 次/月； 如病害级别变化按相应级别采取措施 处理后进行处理效果检测；
IV 较高	尽快工程处理； 处理前进行巡视，频率不少于 1 次/3 天，定期探测，频率不少于 1 次/周； 处理后应进行处理效果检测；
V 极高	立即工程处理 处理前加强巡视； 处理后应进行处理效果检测；

7 探测成果及数据信息化

7.1 一般规定

7.1.1 探测成果报告编制应依据全部原始资料，包括搜集到的已知资料、各类物探方法原始数据和工程地质测绘与调查，以及由试验取得数据资料，均应检查、整理、分析、鉴定，确认无误后方可使用。

7.1.2 探测成果应根据不同的探测方法，对探测出的地下病害进行有针对性的风险评价。

7.1.3 成果报告应经过校核和审查批准后才能交付使用，并应及时按照有关规定进行归档。

7.1.4 成果报告应形成相应的电子信息，为未来可能的信息化管理提供基础数据。

7.2 成果报告基本要求

7.2.1 探测成果报告宜包括下列内容：

成果报告内容应包括工程概况、场地的工程环境和地球物理条件、探测依据、工作方法、仪器设备、探测成果、结论和建议、成果附表和附图等。

1 工程概况

应包括探测工程的位置、探测范围；探测目的和内容；项目实施情况（委托情况、实施时间、完成的大致工作量）等。

2 场区的工程环境和地球物理条件

概括场区的地球物理条件，分析工程环境对不同探测方法的影响及实施中应对的措施。

3 探测依据

探测工作所依据的规范、标准、任务书、合同或相关技术文件。

4 工作方法

工作流程、工作方法、工作方式及参数选择、测网布设、室内数据处理、解释方法等。

现场探测工作应包括：各种方法技术、测量等的工作布置；测网的选择、测线方向、测点距的选择、仪器性能、观测方法等；采用每一种方法所解决的具体

问题，以及方法的有效性和合理性。

室内工作应包括室内信号、数据处理、资料解释，并给出整理方法与内容，评价资料整理工作的质量。

5 仪器设备

项目实施过程中投入的主要仪器设备、数量及性能指标。

6 探测成果

探测成果应包括不同探测方法的探测结果分析；根据分析结果汇总的地下病害信息；根据已知资料、土体病害的信息、周边环境等因素对地下病害进行的风险评价等。

7 结论及建议

论述探测工作的结论，应指出存在的问题；应提出进一步开展探测工作和验证工作的建议，以及对土体病害的初步处置意见。

8 成果附表和附图。

7.2.2 成果图的绘制宜满足下列要求：

- 1 应根据不同探测方法的特点，提供成果表达图件；
- 2 成果图宜包括测线（点）布置图、成果数据剖面、地下病害位置分布图等；成果数据剖面上应标明地下病害的位置、平面影响范围和深度影响范围；
- 3 对管线地下病害探测，应提供地下病害周边的管线分布图，图中应明确管线与地下病害的位置关系。

7.2.3 成果表的编制宜满足下列要求：

- 1 成果表宜包括工作量汇总表、地下病害信息汇总表、地下病害风险评价表等；地下病害信息汇总表可参照本规范附录 E 的格式；
- 2 地下病害信息宜包括：编号、位置、坐标、规模、埋深、地下病害类型、风险评价等级等；对管线地下病害信息的统计，还应包括地下病害可能影响的管线及种类。

7.3 地下病害信息化管理

7.3.1 地下病害信息化管理主要为城市道路和地下管线维修、保养，病害治理，以及道路和管线相关管理部门开展地下病害检测工作策划提供依据。

7.3.2 地下病害信息化管理宜采用构建地下病害管理信息系统的方式，该系统应功能实用、运行稳定、信息现势性好、技术先进。在功能特性、应用服务、开发模式等方面应为地下病害信息管理与应用提供服务。

7.3.3 地下病害信息管理系统应具备信息查询功能、信息动态更新机制、安全保密措施、信息共享服务。

7.3.4 地下病害信息应按《政务信息资源目录体系 第4部分 政务信息资源分类》GB/T 2106 3.4 的规定建立科学合理的信息资源目录体系，并提供目录查询服务。

7.3.5 地下病害信息目录查询应提供包括空间数据的基本标识信息、服务质量信息、发布信息、应用信息、联系信息、访问地址信息等。

7.3.6 地下病害信息数据分发服务应是实现信息共享服务的主要方式和过程。数据分发服务应符合下列技术要求：

- 1 应包括“分发”和“方位”服务；
- 2 应提供标准化的数据；
- 3 应建立加密、数字签名、访问控制、数据完整性等机制，确保数据和信息安全。

本规范用语说明

1 为便于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“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 规范条文中指明应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附录 A 探地雷达野外测试记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____

仪器型号/编号：_____ 天线主频 (MHz)：_____ 标记 (m)：_____

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

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

附录 B 高密度电法野外测试记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____

测线编号：_____ 工作方法：_____ 仪器型号/编号：_____

文件号	测试方向	电极数	电极距 (m)	隔离系数	备 注/异常情况
现场草图					
说 明					

测试：_____ 记录：_____ 日期：_____ 第 页/共 页

附录 C 多道瞬态面波法野外测试记录单

工程名称：_____ 工程地点：_____

设备型号/编号：_____ 测试日期：_____

测线号	文件号	测试方向及测线位置描述	参数设置	备注
			道间距(m): _____ 偏移距(m): _____ 接收道数: _____ 采样间隔(ms): _____ 采样长度(ms): _____	
			道间距(m): _____ 偏移距(m): _____ 接收道数: _____ 采样间隔(ms): _____ 采样长度(ms): _____	
			道间距(m): _____ 偏移距(m): _____ 接收道数: _____ 采样间隔(ms): _____ 采样长度(ms): _____	
			道间距(m): _____ 偏移距(m): _____ 接收道数: _____ 采样间隔(ms): _____ 采样长度(ms): _____	

测试：

记录：

第 页/共 页

附录 D 地震反射法野外测试记录单

工程名称: _____ 工程地点: _____

设备型号/编号: _____ 检波器主频 (Hz): _____ 测试日期: _____

测线编号: _____ 道间距 (m): _____ 采样间隔 (ms): _____

炮点编号	文件名	炮点位置	检波点起始桩号	备注

测试: _____ 记录: _____ 第 ____ 页/共 ____ 页

附录 E 地下病害信息汇总表

序号	地下病害 类型和程度	道路名称/地 下病害位置	地下病害中心坐标		地下病害规模		风险 等级	备注
			横坐标	纵坐标	平面范围 (m×m)	影响深度 (m)		

引用标准名录

- 1 《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》 DBJ 11-501
- 2 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》 JGJ / T87
- 3 《政务信息资源目录体系 第 4 部分 政务信息资源分类》 GB/T 2106