
1.总则

1.0.1 为有效探测城镇道路下方深层病害体，保障道路通行安全，为改造设计、养护维修、病害排查提供可靠依据，制定本规程。

1.0.2 本规程旨在规范城镇道路深层病害体雷达探测评估流程，提高的工作效率。

1.0.3 本规程适用于城镇道路（机动车道、非机动车道和人行道）、公路、广场、地下基础设施沿线等区域，道路表层以下 5m 范围内的深层病害体综合探测与风险评估。

1.0.4 本规程适用于以探地雷达方法为主的探测项目管理。

1.0.5 城镇道路深层病害体雷达探测评估除应符合本规程外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2.术语和符号

2.1 术语

2.1.1 脱空 cavity und-erneath pavement

路基或管线周边土层中自然发育或人工形成的具有一定规模的不良洞体，净空小于 42cm。

2.1.2 空洞 void

路基或管线周边土层中自然发育或人工形成的具有较大规模的不良洞体，净空大于等于 42cm。

2.1.3 疏松体 loosely infilled void

路基或管线周边土层中自然发育或人工形成的结构相对松散，密实度明显低于周边土体的不良地质体。

2.1.4 富水体 water-rich void

路基或管线周边局部土体含水率明显高于（接近饱和）周边土体的不良地质体。

2.1.5 深层病害体 underground disasters

发生在道路表层以下 5m 范围内的空洞、脱空、疏松体、富水体等威胁城镇道路通行安全的不良地质体。

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

应用高频电磁波在介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等特性，解决相关问题的一种方法。

2.1.7 深层病害体探测 underground disasters detection

采用探地雷达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。

2.1.8 有效性试验 effective experiment

在地下病害探测之前，对探测方法、观测系统、探测参数选择等进行合理性验证的试验。

2.1.9 相对介电常数 relative dielectric constant

介质介电常数与真空介电常数之比值。

2.1.10 二维探地雷达探测 Two-dimensional ground penetrating radar detection

采用单一中心频率或组合频率天线的雷达采集系统，通过探测获得单条或多条时间（深度）剖面的探地雷达探测方法。

2.1.11 三维探地雷达探测 3D-pipeline ground penetrating radar detection

采用阵列天线技术实现对探测区域形成三维立体电磁波集成数据的雷达探测方法。

2.1.12 干扰源 interference source

影响雷达探测信号质量、数据信噪比和探测深度的各种不良因素。

2.1.13 测线 survey line

在工作状态下，单位数量探地雷达天线从起点到终点的位移轨迹。

2.1.14 深层病害体风险评估 risk evaluation of underground disasters

根据深层病害体的类型、埋深、规模，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，提出相应的风险控制建议。

2.1.15 风险等级 level of risk

根据深层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。

2.1.16 覆跨比 thickness-span ratio

病害体上覆最小土层厚度与病害体水平向最大跨度之比。

2.2 符号

P_r ——功率反射系数；

ε_r ——介质相对介电常数；
 d_{max} ——最大探测深度（m）；
 d ——病害体净空（m）；
 h ——目标体顶部埋深（m）；
 K ——加权系数；
 T ——时窗（ns）；
 v ——电磁波在介质中的传播速度（m/ns）；
 z' ——纵向分辨率（m）；
 x' ——横向分辨率（m）；
 λ ——电磁波波长（m）；
 c ——电磁波在真空中的传播速度， $c = 0.3\text{m/ns}$ ；
 f ——天线中心频率（MHz）；
 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_i ——风险后果评价分值；
 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 ——病害体面积（m²）；
 L ——管线与地下病害最近边界之间的水平距离（m）；
 l ——地下病害的最大跨度（m）；
 K_l ——风险后果评价附加系数；
 ρ ——病害密度（个/km）

3.基本规定

3.0.1 城镇道路深层病害体探测应结合既有的岩土工程、市政设施、水文气象等资料，查明探测区域内存在的地下病害体的属性特征，对其进行风险评估，并提出适宜的处置对策。

3.0.2 城镇道路深层病害体探测应优先选用探地雷达方法，查明道路表层以下 5m 范围内的地下病害，评价其对道路安全运营的影响。

3.0.3 城镇道路深层病害体探测分为应急探测、专项探测和定期探测。

3.0.4 重点探测区域的选择符合下列规定：

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，应立即进行应急探测；

2 道路工程竣工验收时，宜进行专项探测；

3 道路刨铣罩面等工程施工前，宜进行专项探测；

4 道路维护方案制定前，宜进行专项探测；

5 受地下工程影响的路段在施工前、竣工后应进行专项探测；

6 城镇重大社会活动举办前，对涉及的道路区域宜进行专项探测；

7 不良地质地段或者巡查过程中经常发生道路沉陷或者塌陷的路段应进行定期探测；

8 城镇人流密集的广场、商圈、繁华街道，应进行定期探测；

9 城镇公路、快速路、主干路、次干路、支路应进行定期探测；

10 城镇雨污水管涵、河道周边等区域，宜进行定期探测。

11 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，宜进行定期探测。

3.0.5 特殊区域的探测时限要求

1 道路塌陷发生后 24h 内对周边区域进行应急探测；

2 重要大型活动举办地周边路段在活动举办前三个月内完成探测；

3 已处理过的塌陷隐患区域，经过一个月使用时间后，对其进行复查。

3.0.6 探测周期应符合以下要求：

1 经常发生道路沉陷或者塌陷的路段探测周期为三个月；

2 地铁周边、人防、地下管线复杂路段、埋藏年代较久的地下基础设施区域路段探测周期为六个月；

3 较厚填土、软土、黄土等不良地质区探测周期为六个月；

4 城镇雨污水管涵、河道周边等区域，探测时间宜选在汛期前后；

5 城镇快速路、主干路、次干路、党政军等重要路段及商业繁华路段探测周期为一年；

6 城镇公路探测周期为两年；

7 城镇支路探测周期为两年。

3.0.7 城镇道路深层病害体探测应采用普查和验证相结合的方式，并应符合下列规定：

1 普查应对测区进行全面探测，并确定异常点；

2 验证应对异常点进行探测，并查明其类型。

3.0.8 深层道路雷达探测工作应根据探测对象、环境特性、探测深度和可能致塌因素等，优先选择三维探地雷达探测，当不满足三维探地雷达使用条件时选择二维雷达探测。

3.0.9 城镇道路深层病害体探测使用的雷达中心频率应根据探测对象、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。

3.0.10 开展城镇道路深层病害体探测前应对主要仪器设备进行比对或检定校准。

3.0.11 深层道路病害体探测时，当遇大风、暴雨、大雪、大雾等影响人员和设备安全、探测数据真实性、可靠性时，应暂停现场数据采集。雨后 24 小时内不宜进行数据采集。场地内有大量积水时严禁探测。

3.0.12 探测过程中发现危险性较大的空洞病害（风险等级为V级）时，应立即通报相关单位，采取应急处置措施。

3.0.13 道路深层病害体探测从业人员应通过相关专业技术培训并经考核合格后，方可从事相关工作。

3.0.14 当连续两年以上对同一段道路进行定期探测时，宜与上一期数据进行对比分析，获取病害变化趋势的基础数据。

3.0.15 深层道路病害体探测数据应进行保密管理，探测机构应具有相关保密程序。

3.0.16 城镇道路深层病害体探测与评估宜按前期准备、方案编制、现场检测、内业资料和售后服务的流程展开。当开展应急探测工作时，可简化相关流程。一般探测工作流程如下：

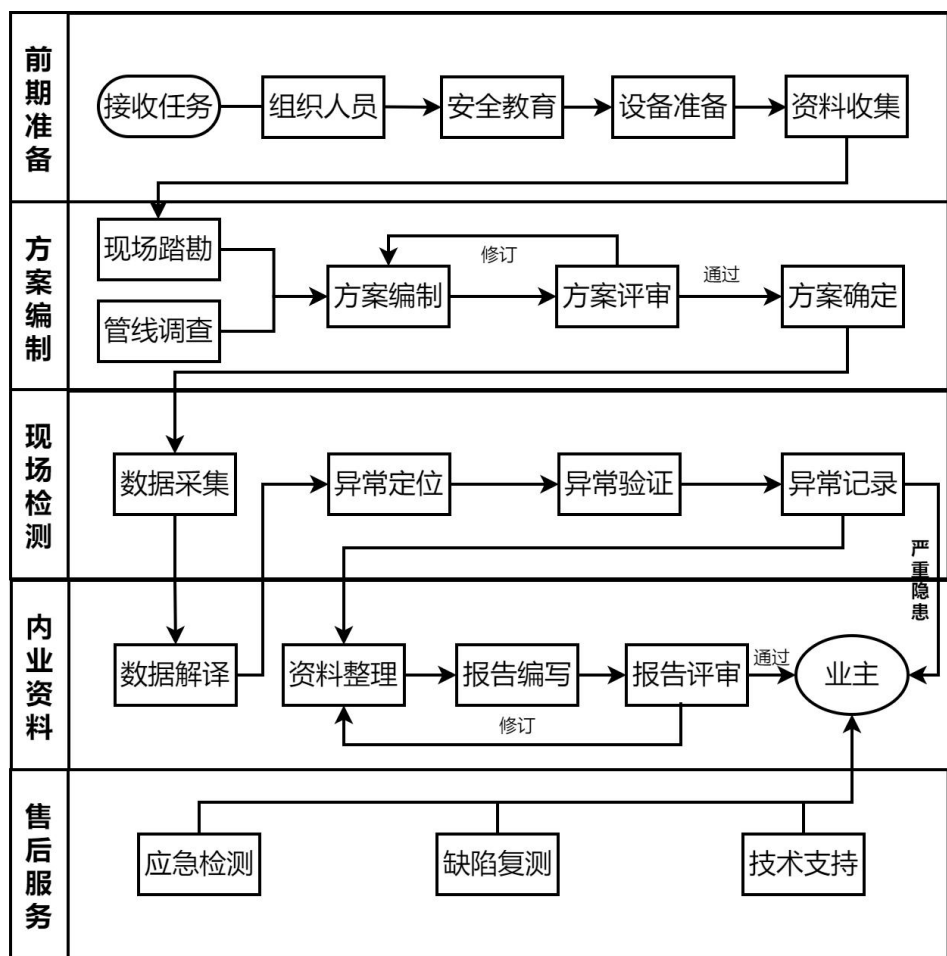


图 3.0.16 城镇道路深层病害体探测总体雷达探测评估工作流程图

4.深层病害体分类

4.1 深层病害体的分类

病害分类为空洞、脱空、疏松体、富水体 4 大类。疏松体可根据疏松程度分为严重疏松体、一般疏松体两个等级。

表 4.1 深层病害体分类

地下病害	工程特征(强度、密度、空间分布、含水等)
空洞	规模尺度较大，空腔的上下界面一般不平整且净空 $\geq 42\text{cm}$
脱空	规模尺度较小，空腔的上下界面一般不平整且净空 $< 42\text{cm}$
疏松体	1.具有不均匀、密实度低、湿陷性、强度低、高压缩性等特点； 2.强度会随土颗粒彼此间的孔隙增大而降低； 3.疏松土体范围逐渐扩大到一定程度，土颗粒间的孔隙不断增大直至土颗粒骨架丧失其承载力，内部土体发生坍塌，疏松区域演变为脱空或空洞。
富水体	1.具有均匀性较差、含水量极高、呈流塑状态、灵敏度较高，强度很低、孔隙比较大、压缩系数较大等特点； 2.富水病害中的固体成分被冲蚀后形成“水囊”。

4.2 深层病害体的地球物理特征

表 4.2 地球物理特征分类

隐患体类型	介电特征	弹性特征	电阻率特征
脱空 空洞	相对介电常数为 1	弹性波速度低 波阻抗低	电阻率大于周边土体，明显高阻异常
疏松体	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	弹性波速度低 疏松程度越高， 速度越低	电阻率较大于周边土体； 疏松程度越高，电阻率差异越明显； 电阻率等值线结构不规则
富水体	相对介电常数大于周边土体；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

5.深层病害体探测

5.1 技术要求

5.1.1 地下病害体探测应具备下列基本条件：

- 1 地下病害体与周边土体存在一定介电差异；
- 2 地下病害体几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不应小于 1/5；
- 3 探测区域应具备探测实施条件。

5.1.2 城镇道路深层病害体探测应遵循从简单到复杂原则，当探测目标不清晰时，可从已知到未知进行追踪。

5.1.3 应根据场地工作环境、探测条件和地球物理特征确定合理的技术参数。

5.1.4 探地雷达分辨率

(1) 垂向分辨率

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：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}}$$

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-----探地雷达天线中心频率（MHz）；

ϵ_r -----相对介电常数。（常见物质相对介质常数 ϵ_r 和电磁波传播速度 c 见附

录 H)

(2) 横向分辨率

探地雷达法的横向分辨率宜按下式计算:

$$\chi' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}}$$

式中: χ' -----横向分辨率 (m);

λ -----电磁波波长 (m);

h -----深度 (m)。

5.1.5 深层病害体探测的测量工作应符合下列规定:

1 应对测线的起止点、转折点和地形突变点等重要点位进行定位测量,并绘制在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《国家基本比例尺地图图式第 1 部分: 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图图式》GB/T 20257.1 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《城市测量规范》CJJ/T 8 的要求;

4 探测点位在相应比例尺平面图上的点位中误差和高程中误差,应符合现行《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定。

5.2 仪器设备

5.2.1 根据探测任务要求确定满足探测要求的主要探测设备、辅助设备、安全防护设备。

5.2.2 仪器设备应经检定合格或校准,并在有效期内使用。设备使用前,应经检查调试处于正常状态。

5.2.3 探地雷达应满足专用性、稳定性、便利性等要求,雷达天线应具备屏蔽功能。

5.2.4 三维探地雷达应集成定位系统,实现精确定位。

5.2.5 探地雷达应配备不同中心频率天线,天线中心频率宜选用 100 MHz ~600MHz,以满足不同探测深度要求。

5.2.6 探地雷达性能指标

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 具有实时显示、增益控制、信号叠加、实时滤波、点测、连续测量和位置标记等功能；
- 4 计时误差不应大于 1.0ns；
- 5 最小采样间隔应达到 0.5ns；
- 6 工作温度-20°C~60°C；
- 7 宜具备多通道采集功能。

5.2.7 辅助设备主要包括定位测量设备和验证设备。

5.2.8 定位测量设备可采用全站仪、RTK（载波相位差分技术）、高精度 GNSS（[全球卫星导航系统](#)），定位精度要满足探测规范的要求。

5.2.9 定位测量设备应满足数据采集和测线定位的精度要求，当采用 RTK 测量时，接收设备应满足下列规定：

- 1 平面测量定位误差不超过 10mm、比例误差系数不超过 2mm/ km；
- 2 高程测量定位误差不超过 20mm、比例误差系数不超过 4mm/ km。

5.2.10 验证设备应具备安全可靠、操作简单、对周边环境扰动小的特点。

5.2.11 安全防护设备主要包括安全防护车、反光服、锥桶、箭头导向灯等。

5.2.12 探测设备的检定、校准和保养

1 主要雷达设备应每 1 年进行一次检定校准并出具检定校准证书，当无法检定校准情况下可每 1 年进行一次比对校核并出具比对报告，要求比对方不少于 3 家；

2 定位采集设备应每 1 年进行一次检定校准并出具检定校准证书；

3 其他辅助设备检定应按其要求进行。

5.2.13 应授权有相应专业能力的人员操作、使用和维护仪器设备。

5.3 资料收集

5.3.1 资料搜集宜包含以下内容：

- 1 项目任务内道路统计表，确定探测范围；
- 2 测区内的道路工程、地下工程等设计和施工资料；
- 3 测区地形图和测量控制资料；
- 4 测区工程地质和水文地质资料；
- 5 测区内的地下管线现状资料、已有的排水管道内探测成果资料、给水管道漏水探测成果资料；

- 6 探测区域及周边地下工程在建施工情况；
- 7 探测路段近 3 年内路面塌陷相关信息；
- 8 历年道路病害位置、规模、治理方式等相关资料；
- 9 搜集现场工作环境条件及典型干扰源的分布，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。

5.3.2 现场踏勘应记录以下内容：

- 1 应核查待探测工作量：路段的长度、车道数量、宽度等；
- 2 应调查区域内的工作条件，调查可能影响探测工作的因素，核查探测路段是否具备探测条件；
- 3 应记录探测路段周边环境信息（包括地铁、人防、地下停车场、地下商场等分布情况）；
- 4 记录探测路段路面明显异常区域（包括路面网裂、沉陷、拥包以及降雨积水点等区域）情况；
- 5 记录道路中高架桥、高大建筑、树木等影响 RTK 定位的路段，记录道路两侧停车、施工围挡等信息；
- 6 管线调查时应核查一定数量检查井，与现有管线资料对比，验证其是否准确；
- 7 核查已收集资料的准确性及可利用程度；

5.4 方案编制

应在资料收集和踏勘的基础上，根据项目要求编制项目探测工作方案。主要探测方案宜包含以下部分：

- 1 工程概况：项目来源、探测范围、目的和内容；
- 2 编制依据：招投标文件、合同、相关任务书、国家相关标准及规范、类似的相关工程经验和专题总结；
- 3 探测要点：探测复杂程度、探测条件、作业环境、技术重难点；
- 4 探测方法和流程：通过技术、经济比选确定探测方法和探测顺序；
- 5 人员和设备配置：明确探测任务对人员、设备的配置和要求；
- 6 工期计划：根据项目要求、季节及天气变化等因素合理制定工期计划；
- 7 工程质量保障措施：质量目标、质量标准、保证措施和探测控制点、方法，预控方案；

8 安全文明保障措施：危险源辨识，安全保障措施、应急预控方案，文明施工及环保；

9 售后服务方案及承诺。

5.5 交通安全

5.5.1 保障探测车辆的行驶安全、探测人员的人身安全及过往群众和车辆的通行安全；

5.5.2 在道路探测期间，设立明显警告警示标志，最大限度的减少因探测带来交通运输的不便，确保探测过程中社会车辆能以一定的行车速度顺利通过；

5.5.3 进行探测作业的车辆应为经过工信部备案的专项作业车。占道围蔽探测时，应按《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900 做好交通安全围蔽措施。

5.5.4 交通安全措施

1 在有车辆通行的道路探测时需设置专职交通安全员；

2 所有探测人员必须穿戴反光安全服；

3 车载普查时在探地雷达天线的后方设置防护车辆，所有参与测试的工作车均需贴安全反光条、打开车辆示宽灯、打开 LED 箭头灯；

4 在管线调查和雷达详查时，应在探测范围周围码放安全反光锥筒，并设立相应的交通安全员，对过往车辆进行引导，确保探测工作的安全进行。

5.6 现场探测

现场探测工作包括：测距标定、参数设置、测线布置、数据采集、测线定位测量、现场记录、数据检查与评价。

5.6.1 测距标定

1 优先使用带测距系统的仪器设备进行探测。

2 采集前应对测距系统进行标定，标定距离不小于 200m，误差大于 0.1%时需要重新标定。

3 当采用自由触发进行采集时，应在测线两端做好标记，可短距离（小于 50m）进行采集。

5.6.2 参数设置

1 数据采集时仪器设备的工作参数设置正确、合理，需满足探测目的、探测内容的要求；

2 采集过程中应根据现场探测环境变化、周边干扰，及时调整采集参数；

3 主要采集参数包括：时窗、采样频率、信号增益、信噪比、介电常数、电磁波传播速度等。具体为：

a) 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：

$$T = K \frac{2H}{v}$$

式中：T-----记录时窗（ns）；

K-----加权系数，取 1.3~1.5；

H-----最大探测深度（m）；

v-----电磁波速度（m/ns）。

b) 采样频率。设置采样频率不宜低于所采用天线中心频率的 20 倍。

c) 信号增益。信号幅值不宜超出信号监视窗口的 3/4。

d) 信噪比。宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比，叠加次数的设置根据实验确定。

e) 电磁波速度。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方法等方法。

f) 介电常数。宜根据探测场地的地质环境推定或采用电磁波速度换算。

g) 采样道间距。普查时采样道间距不宜大于 15.0cm，详查时采样道间距不宜大于 2.5cm。

5.6.3 测线布置

1 测线布设应覆盖整个探测区域。

2 测线布置间距应根据任务要求、探测目标体的空间结构与埋深等因素综合确定；一般频率越高的天线要求测线间距越小。

3 重点区域进行局部加密并交叉布置测线，发现重要异常时，应进行网格式精细探测。

4 当探测区域土层结构复杂或确定目标病害体时，应使用不同频率雷达天线进行交叉比对。

5 机动车道、非机动车道、人行道优先选择车辆拖拽的形式进行探测，测线要求沿车道行进方向进行布设；探测时优先使用三维探地雷达，根据测区现场情况以道路中线为基准向两侧逐车道探测，两条测线覆盖边缘间距应小于 15cm。

6 不具备车载条件的, 优先使用手推式三维探地雷达进行全覆盖式探测; 对宽度较窄的特殊路段宜采用便携式二维雷达进行探测, 100MHz 天线测线间距不应大于 1.5m, 200MHz 天线测线间距不应大于 1.0m, 400MHz 天线测线间距不宜大于 0.5m。

7 停车位测线布设方式。在路段探测前进行踏勘, 组织专人负责与道路范围内临停车辆的车主进行沟通挪车, 保证探测车能顺利覆盖通行。未测区域后期具备探测条件后进行补测。对难以协调的停车位区域, 可采用便携式二维雷达, 于车辆四周进行探测, 尽量降低由于路面被占用不能探测到重大隐患的风险。

8 对道路加宽、加长、汇入汇出口、十字路口、绿化间隔断、行进有遮挡及绕行处等区域采取补测措施。

9 不可移动的围挡、不能协调挪走的障碍物等做好记录, 后期动态补测。

10 针对管线区域探测时, 应对管线上方中心线两侧 2.0~3.0m 范围对应地面位置进行探测, 测线宜沿管线走向布设。

5.6.4 现场采集

1 探测过程中, 时刻观测仪器设备的工作状态, 实时显示的图谱影像是否正确;

2 现场采集宜采用连续触发, 天线的移动应保持匀速, 根据设备性能, 天线移动速度应保证采集数据不出现丢道现象, 且要满足目标体分辨率的要求;

3 对现场测试时出现的不正常情况及时分析原因, 必要时重测;

4 当用差分 GNSS 进行测线轨迹定位时, 采用适合的定位系统, 当信号影响严重定位不准确时, 应合理设置一定数量的基站, 必要时进行定点测量验证; 单条测线的记录长度宜小于 3000m。

5 采用测距轮或者多普勒模式进行采集时, 单条测线的记录长度宜小于 1000m。

6 探测中发现疑似病害体时应进行现场标记。

5.6.5 现场记录规定

1 现场记录应包括项目名称、探测地点、文件号、测线参数、测线位置、测线长度、环境、围挡、停车等。

2 探测中异常情况如存在干扰源、地面积水、明显沉降等情况应及时准确记录。

5.7 处理解译

5.7.1 数据处理规定

1 处理流程和处理方法应按真实性、规则性和一致性的原则。

- 2 数据处理前应准备以下资料：工程技术要求、原始记录、原始数据。
- 3 数据处理前应对原始数据进行质量检查，检查合格后方可用于数据分析和解译。
- 4 处理带有定位信息的雷达数据时，应先进行轨迹信息的检查，当发现局部点位偏离时，应根据现场探测情况进行校正。
- 5 一般常规处理病害体解译应包含以下内容：零点校正、去直流漂移、带通滤波、增益。流程如下：

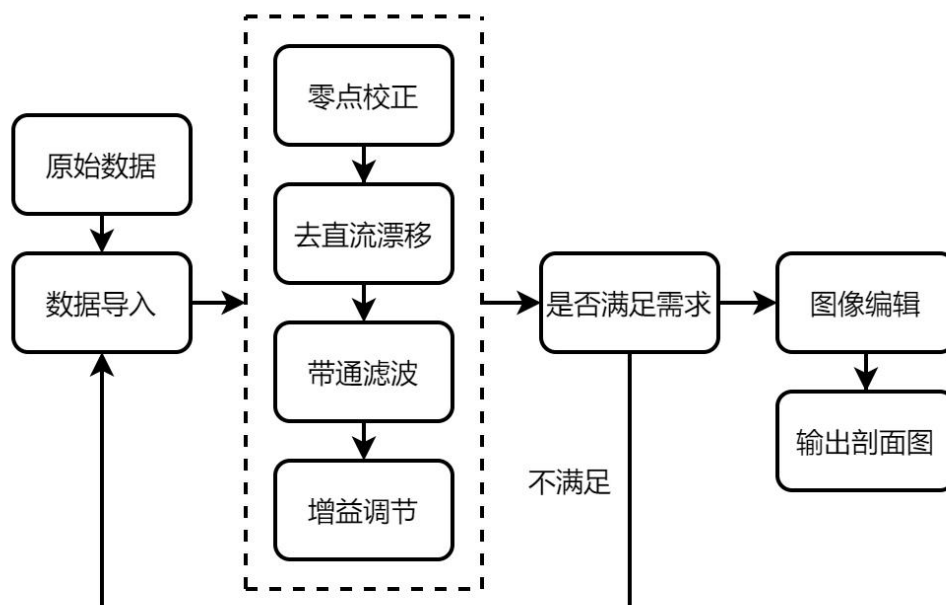


图 5.7.1 雷达数据一般处理工作流程图

- 6 当为了突出局部目标体使图谱更加精细化时，可采用高级处理。雷达数据高级处理包含背景消除、反褶积、偏移归位、数据平滑、地形校正等方法。

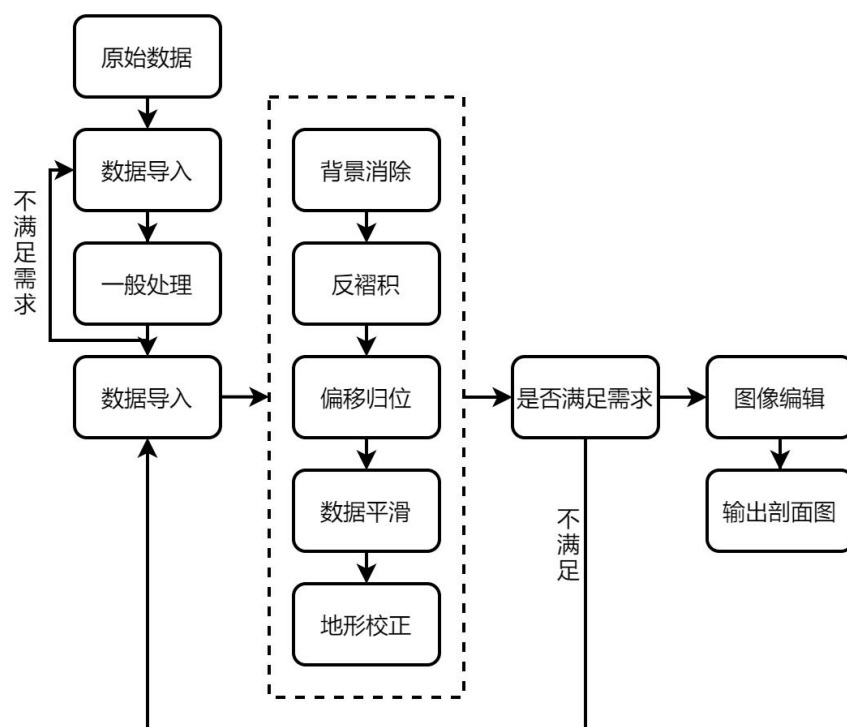


图 5.7.2 雷达数据高级处理工作流程图

7 显示色阶应以突出有效异常体为目的，对图像进行色标调整，以获得最佳解译效果，宜采用灰度图。

8 资料处理环节中应对数据处理流程和参数全面检查，对处理结果实施抽查，抽查率不低于 5%。

5.7.2 数据解译规定

- 1 解译前应准备以下资料：现场记录单、前期收集的各类资料、解译软件。
- 2 解释成果应采用专业语言描述，用于成果解释的雷达图谱应清晰、信噪比高。
- 3 宜根据信号的同相轴、振幅、相位和频率等属性特征提取异常。
- 4 应结合现场记录和调查资料，排除干扰异常。

5 探地雷达法对城镇道路进行探测的过程中，明显的干扰源主要有：地上干扰和地下干扰，具体情况如下表：

表 5.7.2-1 典型干扰源分类表

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、地面井盖及钢板、金属栅栏、车辆、路灯等
地下干扰	地下管线、管涵及井室、地下通道、地下加固体等

表 5.7.2-2 常见构筑物图谱特征

类型	图像特征	振幅	相位与频谱
过街天桥 高架桥	1 平行于桥面走向，顶部水平同相轴育； 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱； 3 垂直于桥面剖面，顶部表现为双曲线形态，跨度巨大； 4 图像位于雷达剖面较深部位。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向； 2 频率高于背景场。
路表井盖 路表篦子	1 图像起于雷达剖面顶部，水平向多呈规则形状，竖直向呈规则矩形； 2 多次波十分发育且随时间、深度变大而减弱。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向； 2 频率高于背景场。
路表钢板	1 图像起于雷达剖面顶部，水平向多呈规则形状，竖直向呈规则矩形； 2 多次波十分发育且随时间、深度变大而减弱； 3 图像跨度尺寸与钢板宽度较一致。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向； 2 频率高于背景场。
路灯杆	1 垂直于道路走向，顶部水平同相轴育； 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱； 3 垂直于路面剖面，顶部表现为双曲线形态，跨度大，一般可见多处双曲线连续出现； 4 图像位于雷达剖面较深部位。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向； 2 频率高于背景场。
钢筋	1 垂直于钢筋走向，顶部水平同相轴发育； 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱； 3 垂直于钢筋走向，顶部表现为月牙形态，钢筋间距较密时可见连续波浪形态；	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向； 2 频率高于背景场。
混凝土路面 胀缩缝	1 垂直于道路走向，顶部水平同相轴育； 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱； 3 垂直于路面剖面，顶部表现为平板状形态； 4 图像起于雷达剖面顶部，间距均匀连续出现。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向； 2 频率高于背景场。
铁轨	1 平行于铁轨走向，顶部水平同相轴育； 2 多次波十分发育且随时间、深度变大而减弱。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向；

		弱; 3 垂直于铁轨剖面, 顶部表现为波浪形态, 整体呈平板状; 3 图像跨度尺寸与铁轨宽度较一致。		2 频率高于背景场。
管线	金属 管线	1 平行于管线剖面, 顶部水平同相轴发育; 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱; 3 垂直于管线剖面, 顶部表现为双曲线形态; 4 绕射波明显; 5 多次波明显。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向; 2 频率高于背景场。
	非金属 管线	1 平行于管线剖面, 顶部水平同相轴发育; 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱; 3 垂直于管线剖面, 顶部表现为倒悬双曲线形态; 4 绕射波明显; 5 多次波明显。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波同向; 2 频率高于背景场。
	管涵	1 平行于管线剖面, 顶部水平同相轴发育; 2 多次波发育且随时间、深度变大而减弱; 3 垂直于管线剖面, 表现为正向连续平板状形态; 4 在管涵边界处绕射波较发育; 5 多次波明显。	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向; 2 频率高于背景场
	井室	1 由路表井盖及路面下井室部分组成, 井盖部位图像特征同路表井盖; 2 井室部位剖面顶部多呈平板状, 竖直向呈规则矩形; 3 井室部位多次波发育且随时间、深度变大而减弱。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向; 2 频率高于背景场。
	掩埋井盖	1 图像与路表井盖相似, 起于路面下方, 水平向多呈规则形状, 竖直向呈规则矩形; 2 多次波十分发育且随时间、深度变大而减弱。	整体振幅强	1 顶部反射与入射波反向; 2 频率高于背景场。

6 地下病害体解释宜结合地面变形、管线破损、历史塌陷、地质条件等调查资料进行。

7 地下病害体的位置、形态、规模宜结合相邻测线对比分析确定。

8 雷达解译流程如下:

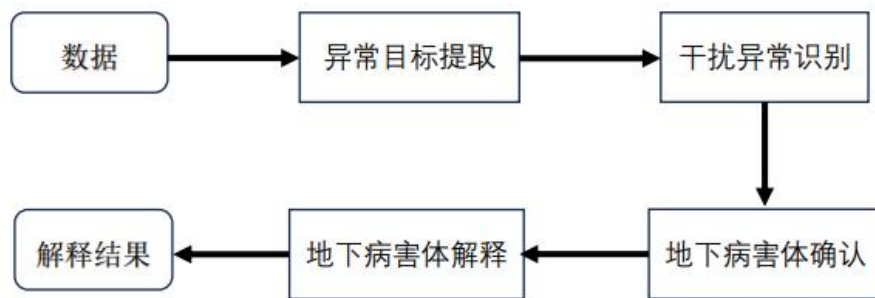


图 5.7.2 雷达法资料解释流程

9 地下病害体雷达图谱特征：

表 5.7.2-3 地下地下病害体雷达图谱特征

地下病害		波组特征	振幅	相位与频谱
脱空		脱空顶部一般形成连续反射波组，似平板状形态；多次波明显，重复次数较少	整体振幅强，雷达波衰减很慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向，底部反射不易观测；频率高于背景场
空洞		近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态；近似方形空洞反射波表现为正向连续平板状形态；多次波、绕射波明显，重复次数较多	整体振幅强，雷达波衰减很慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向，底部反射不易观测；频率高于背景场
疏松体	严重	顶部形成连续反射波组；多次波较明显、绕射波较明显；内部波形结构杂乱，同相轴很不连续	整体振幅强，衰减很慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率高于背景场
	一般	顶部形成连续反射波组；多次波、绕射波不明显；内部波形结构较杂乱，同相轴较不连续	整体振幅较强，衰减较慢	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率略高于背景场
富水体		顶部形成连续反射波组；两侧绕射波、底部反射波、多次波不明显	顶部反射波振幅强，衰减很快	顶部反射波与入射波反向，底部反射波与入射波同向；频率低于背景场

10 参考病害体的典型图谱特征提取出异常图谱，对异常体进行定性解译（空洞、脱空、疏松体和富水体）和定量解释（范围，埋深）。

11 应在雷达剖面图上标明地下病害体的位置、埋深和范围。

12 开展批量数据解释工作时，宜先采用 AI 人工智能识别技术圈定异常体图谱，再由专业技术人员针对识别出的异常体进行定性、定量解译。

6.病害体验证

6.1 一般规定

6.1.1 病害体验证包含**异常体复测**和**病害体开孔验证**两部分。

6.1.2 异常体复测应对解译推断的异常体进行详查，排除干扰图谱，确定病害异常体的位置、类型、面积。

6.1.3 病害体开孔验证应确定病害体的埋深、净空等属性。

6.1.4 在解译中发现重大塌陷隐患的病害图谱时，应第一时间进行开孔验证。

6.2 开孔数量

6.2.1 对于空洞、脱空异常，在保证安全生产的前提下全部开孔。

6.2.2 对严重疏松病害，开孔数量不少于严重疏松病害总数的 20%，且不少于 3 处。对一般疏松病害，开孔数量不少于一般疏松病害总数的 10%，且不少于 1 处。

6.3 开孔方法

6.3.1 异常点的开孔宜使用钻探、挖探、钎探等较直观方法进行，验证时可采用手提麻花钻、取芯钻机等设备。

6.3.3 开孔前应进行环境调查，开孔点应避开地下管线、电力电缆、构筑物等地下结构设施。必要时可利用管线探测仪对验证点地下管线进行探测和定位。

6.3.4 开孔点的位置宜布设在图谱异常反应最强部位或中心部位，当病害面积较大（不少于 20m^2 ）时宜不少于两个开孔点。当验证地下病害体边界时，宜在地下病害体边缘增设开孔点。

6.3.5 对于埋深较浅或平面规模较大的空洞，考虑到开孔过程中有塌陷的危险，宜首先在病害体边缘进行验证。

6.3.2 根据现场地面条件、病害埋深选择合适的方法对异常点进行开孔。病害体埋深在 1.5m 以内时优先选用手持钻机进行钻进，病害体埋深在 1.5-4.0m 时优先选用钎探进行验证，病害体埋深大于 4.0m 时优先选用取芯钻机进行验证。

6.3.6 当不具备开孔作业条件时，可选用其他物探方法进行验证。

6.3.7 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。

6.4 验证流程

6.4.1 粗略定位。可利用手机、影像、地图等设备粗略定位出异常位置，以便探测车携带

验证设备快速到达现场。

6.4.2 精确定位。利用 GNSS 放样方法精确定位出异常体位置。

6.4.3 现场封闭维护。抵达验证现场后先划定安全作业范围，并对作业范围采取封闭措施，摆放交通导流设施、警示牌，提示来往行人、车辆注意安全避让。作业人员做好自身安全防护措施。

6.4.4 圈定异常范围。利用便携式雷达对异常位置进行探测，根据雷达图谱现场圈定出异常范围边界、异常反应最强部位或中心部位。

6.4.5 开孔。采用钎探钻进时每次钻孔进尺不宜大于 0.1m、采用手持麻花钻机时每次钻孔进尺不宜大于 0.2m，采用工程钻机每次钻孔进尺不宜大于 0.5m，接近病害目标体时钻进进尺要适当缩小。开孔宜采取减压、慢速钻进或干钻等方法。

6.4.6 影像留存。开孔完成后，应采用内窥设备记录地下病害体影像，作为原始资料存档。

6.4.7 现场记录。记录病害的信息、地层情况，遇重大隐患时紧急对病害区域予以围挡并及时上报相关单位。

6.5 结果判定

空洞、脱空可采用钻探测试，疏松体可采用标准贯入试验或动力触探测试，富水体可采用室内土工试验。异常点验证结果可按下表判定。

表 6.5 异常点验证结果判定表

病害体类型	判定条件
空洞 脱空	钻进过程中发生掉钻时，初步判断地下病害体类型为空洞或脱空，利用内窥设备对空洞和脱空类型进行最终确认。（净空 $\geq 42\text{cm}$ 为空洞，净空 $< 42\text{cm}$ 为脱空）
疏松体	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时，可初步判定地下病害体类型为疏松体，结合钻探过程中取样岩土的性质，对疏松体类型进行最终确认。
富水体	当钻探过程提取土样的稠度为软塑-流塑或含水量极大（含水率 85%）或影像中可见明显水体时可判定地下病害体类型为富水体。

6.6 结果记录

6.6.1 根据验证结果修正解译结果：埋深和范围。

6.6.2 结果记录内容：类型、埋深、范围、净空、地理位置、影像、周边的管线草图、初步成因等信息。

7.病害风险评估

7.1 一般规定

7.1.1 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病害风险等级评估。

7.1.2 风险评估分为病害体风险评估和道路风险评估,并提出相应的风险对策。

7.1.3 病害体风险评估和道路风险评估应包括风险影响因素调查、风险发生的可能性、风险后果评价和风险等级评价。

7.1.4 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。

7.1.5 风险评价选取的指标应具有全面性、代表性和可行性。

7.2 病害体评估

7.2.1 根据风险评估的要求,应进行病害体自身及其周边环境影响因素调查。

7.2.2 病害体风险影响因素调查应包含基本因子和环境因子。

7.2.3 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:

$$R(P,C)=P \times C \quad (7.2.3)$$

式中: R ——风险值;

P ——风险发生可能性;

C ——风险后果。

7.2.4 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。

7.2.5 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:

$$P_1 = P_{11}W_{11} + P_{12}W_{12} + P_{13}W_{13} \quad (7.2.5-1)$$

$$P_2 = P_{21}W_{21} + P_{22}W_{22} + P_{23}W_{23} + P_{24}W_{24} + P_{25}W_{25} \quad (7.2.5-2)$$

$$P = P_1W_2 + P_2W_1 \quad (7.2.5-3)$$

$$\sum_{i=1}^m W_i = 1 \quad (7.2.5-4)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{ij} = 1 \quad (7.2.5-5)$$

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

式中: P_i ——风险发生可能性一级指标分值;

P_{ij} ——风险发生可能性二级指标分值;

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/438133021050006102>