

备案号：J 00000—2021

浙江省工程建设标准

DB

DB33/T 0000—2021

城镇道路探地雷达法检测技术规程

Technical specification for detection of urban road by
ground penetrating radar method

(报批稿)

2021-00-00 发布

2021-00-01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

前 言

根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发〈2020年度浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准编制计划〉（第二批）的通知》（浙建设函〔2020〕443号）的要求，规程编制组通过广泛调查研究，参考国内外的有关标准，并结合浙江省城镇道路探地雷达法检测的实践经验，制定了本规程。

本规程分为7章和4个附录，主要技术内容包括：总则，术语和符号，基本规定，检测设备，地下病害体检测，路面结构层厚度检测，信息化管理等。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，杭州市市政材料测试站有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请将意见和有关资料寄送杭州市市政材料测试站有限公司（地址：浙江省杭州市上城区复兴南街228号；邮编：310008），以供修订时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：杭州市市政材料测试站有限公司

中科云图科技有限公司

宁波思成建设工程质量检测有限公司

参 编 单 位：宁波市轨道交通集团有限公司

浙江省建设工程质量检验站有限公司

浙江省工程物探勘察设计院有限公司

杭州市勘测设计研究院有限公司

浙江中浩应用工程技术研究院有限公司

宁波市新铭建设工程测试有限公司

浙江大合检测有限公司

浙江翰达工程检测有限公司
浙江省工程勘察设计院集团有限公司
杭州咸亨国际精测科技有限公司
浙江中能工程检测有限公司
杭州市城市建设投资集团有限公司
绍兴高新技术产业开发区迪荡新城投资发展有限公司
浙江众城检测技术有限公司
杭州路通时代建设有限公司
浙江瑞诚检测有限公司

主要起草人：叶春艳 王继伟 赵宁宁 丁喆 金瑛
毛志勇 沈卓恒 赖波 徐敏翔 翁晓博
贺一 汪炅 吴宝杰 胡宏伟 吴荣本
奕峰 蒋庆明 汪继葵 周绍鹏 王辉
常骆新 蔡奖权 李宗帅 王辉 章勤辉
何冰 史平扬 丁一心 朱永茅 陈冠能
谢狄敏 黄林伟 周宗强 于振帅 王令想
王坚 谢克宪 金东君 徐敏 魏志范
童文华 余锦棠 林艳丹 施旭锋 王战国
陈涛 朱自强
主要审查人：李建华 游劲秋 熊永光 冯雷 黄隆
谢运华 童姝娟

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(4)
4	仪器设备	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	地面耦合探地雷达	(7)
4.3	空气耦合探地雷达	(9)
4.4	辅助设备	(10)
5	地下病害体探测	(12)
5.1	一般规定	(12)
5.2	准备工作	(12)
5.3	数据采集	(13)
5.4	数据处理与分析	(14)
5.5	异常验证	(16)
5.6	风险评估	(17)
5.7	探测成果	(22)
6	路面结构层厚度检测	(24)
6.1	一般规定	(24)
6.2	准备工作	(24)
6.3	数据采集	(25)
6.4	数据处理与分析	(27)

6.5 检测成果	(28)
7 信息化管理	(29)
附录 A 雷达法检测记录表	(31)
附录 B 现场标定记录	(32)
附录 C 检测原始记录	(33)
附录 D 检测报告示例	(34)
本规程用词说明	(54)
引用标准名录	(55)
附：条文说明	(57)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(4)
4	Testing equipment	(7)
4.1	General provisions	(7)
4.2	Ground – coupled ground penetrating radar	(7)
4.3	Air – coupled ground penetrating radar	(9)
4.4	Auxiliary equipment	(10)
5	Underground disease detection	(12)
5.1	General provisions	(12)
5.2	Preparation work	(12)
5.3	Data collection	(13)
5.4	Data processing and analysis	(14)
5.5	Data verification	(15)
5.6	Risk assessment	(17)
5.7	Test results	(22)
6	Pavement structure layer thickness detection	(24)
6.1	General provisions	(24)
6.2	Preparation work	(24)
6.3	Data collection	(25)
6.4	Data processing and analysis	(27)

6.5 Test results	(28)
7 Information management	(29)
Appendix A Radar detection record table	(31)
Appendix B On – site calibration record	(32)
Appendix C Detection original record	(33)
Appendix D Examples of test report	(34)
Explanation of wording in this specification	(54)
List of quoted standards	(55)
Addition: Explanation of provisions	(57)

1 总 则

1.0.1 为规范城镇道路探地雷达法检测技术的应用，提高城镇道路安全运行水平，保证检测质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省城镇道路探地雷达法检测技术的应用。

1.0.3 城镇道路探地雷达法检测技术的应用除应符合本规程外，尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 探地雷达 ground penetrating radar

向被探测目标体发射高频电磁波束，通过观测反射电磁波的时间滞后及强弱特征研究目标体特性的电磁勘探装置。

2.1.2 地面耦合探地雷达 ground - coupled ground penetrating radar

采用地面耦合天线进行贴地探测的探地雷达。

2.1.3 空气耦合探地雷达 air - coupled ground penetrating rader

采用空气耦合天线进行非接触探测的探地雷达。

2.1.4 地下病害体 underground disasters

存在于地面以下的空洞、脱空、疏松体、富水体等威胁城镇道路安全的不良地质体。

2.1.5 空洞 void

地下土体中自然发育或人工形成的具有一定规模的洞体。

2.1.6 脱空 cavity underneath pavement

道路结构层与地基土之间分离净高小于 0.5m 的洞体。

2.1.7 疏松体 loosely infilled void

密实度明显低于周边土体的不良地质体。

2.1.8 富水体 water - rich void

含水量明显高于周边土体的不良地质体。

2.1.9 风险等级 level of risk

根据地下病害体风险发生可能性等级及风险后果等级综合确定的风险程度。

2.1.10 路面 pavement

用各种筑路材料铺筑在道路路基上直接承受车辆荷载的层状构筑物。路面结构由面层、基层、垫层和必要的功能层组合而成。

2.1.11 道间距 trace interval

探地雷达数据采集时相邻两道数据之间的距离。

2.2 符 号

- c ——电磁波在真空中的传播速度；
- f ——雷达天线主频；
- H ——探测目标深度；
- h ——深度；
- K ——加权系数；
- v_{\max} ——天线最大移动速度；
- r_x ——横向分辨率；
- s_r ——扫描率；
- T ——记录时窗；
- t ——双程旅行时；
- w_a ——天线宽度；
- w_0 ——目标体大小；
- λ ——电磁波波长；
- ε_r ——相对介电常数。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路探地雷达法检测可应用于地下病害体探测和路面结构层厚度检测。

3.0.2 当进行地下病害体探测时，应选用地面耦合探地雷达；当进行路面结构层厚度检测时，宜选用空气耦合探地雷达。

3.0.3 城镇道路探地雷达法检测工作应结合既有岩土工程、市政设施、水文气象和已发生病害记录等资料开展。

3.0.4 城市道路地下病害体探测宜分为常规探测、专项探测和应急探测。

3.0.5 城市道路地下病害体的常规探测应定期进行，探测周期应符合表 3.0.5 的规定。

表 3.0.5 常规探测周期表

道路类型	探测区域	探测周期
重点道路	1 城市快速路（含地下快速路）和城市主干道路； 2 埋设箱涵、暗渠、排水主干管、年代久远的人防及地下管线等重要地下设施道路； 3 学校、医院、军事管理区和商业区等人口密集区域的道路； 4 临水区域及曾出现过地下病害或塌陷道路； 5 粉砂土、淤泥质粘土、盐渍土分布区及岩溶发育区等地质条件复杂区道路	1 年~3 年
常规道路	次干路、支路等	3 年~5 年

3.0.6 下列情形宜开展道路地下病害体专项探测：

1 地铁站点、地下盾构、深基坑、顶管等地下工程施工时，

应分别在施工前、施工中和竣工后对影响范围道路进行探测，且两次探测间隔最长不宜大于6个月；

2 汛期的排水管涵、暗渠、河道周边；

3 城市重大社会活动举办前，宜对涉及的道路区域进行探测；

4 既有道路改建、扩建或加固施工前。

3.0.7 当遇到下列情况时，应立即开展道路地下病害体应急探测：

1 管道检测发现错口、渗漏和破损等问题时；

2 当地铁站点、地铁隧道、深基坑和顶管、地下盾构作业点等结构发生严重变形或发生大量水土流失时；

3 当地面发生下沉、严重变形或塌陷事故时；

4 当地下管线发生爆管等事故时；

5 其他存在地下病害体潜在安全风险的区域。

3.0.8 探地雷达法地下病害体探测应采用初测和复测相结合的方式，并应符合下列规定：

1 初测应对测区进行全面探测，并应确定重点探测区；

2 复测应对重点探测区进行探测，并应查明地下病害体的属性。

3.0.9 探地雷达法路面结构层厚度检测应根据相关养护要求确定检测周期，并应符合下列规定：

1 道路日常管理与养护宜进行周期性检测；

2 道路工程竣工验收时可进行检测。

3.0.10 探地雷达法检测作业前应进行安全培训，作业时应在作业区域设置警示标志，并应符合现行国家标准《道路交通标志和标线 第4部分：作业区》GB 5768.4和浙江省标准《城镇道路养护作业安全设施设置技术规程》DB33/T 1236的规定。

3.0.11 道路检测定位工作应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8的规定。

3.0.12 应按照国家 and 浙江省相关保密要求对探测数据进行管理，妥善做好地下空间信息保密工作，并应建立信息化系统对地下病害体等地下空间信息进行管理与应用。

4 仪器设备

4.1 一般规定

- 4.1.1 仪器设备应包括雷达设备和辅助设备。
- 4.1.2 仪器设备应定期进行检定或校准，确保仪器的各项功能满足检测要求。
- 4.1.3 运输过程中应保证仪器设备安全，轻拿轻放，不应碰撞、强烈震动。
- 4.1.4 仪器设备应定期进行保养和清洁维护。

4.2 地面耦合探地雷达

- 4.2.1 地面耦合探地雷达应由控制主机、雷达发射机、雷达接收机和地面耦合天线组成。
- 4.2.2 地下病害体探测应选用 50MHz ~ 500MHz 屏蔽型多频段地面耦合探地雷达天线。
- 4.2.3 车载地面耦合探地雷达应选择不低于两种频段的的天线，并宜保证 50MHz ~ 200MHz 频段和 200MHz ~ 400MHz 频段天线至少各一副。三维探地雷达适用于浅层地下病害体探测，并宜同时具备两个频段，且至少一个频段应在 200MHz ~ 400MHz 区间。
- 4.2.4 地面耦合探地雷达天线主频选择应符合检测深度和精度的要求，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 重点区域及初测中确定的重点异常区探测应选用多种频率天线。
- 4.2.5 地下病害体探测中，地面耦合雷达的设计探测深度应由

天线中心频率确定，并宜符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 天线中心频率与最大探测深度的关系表

中心频率 (MHz)	最大探测深度 (m)
400 ~ 500	2.0
200 ~ 300	3.0
50 ~ 100	5.0

注：在地下水位较浅或回填疏松、含铁磁性土等地面耦合探地雷达信号衰减明显区域，应考虑其对探测深度的影响，设计探测深度不宜大于 3.0m。

4.2.6 地面耦合探地雷达设备的主要指标性能应符合下列规定：

- 1 扫描速率不应小于 300 线/s；
- 2 系统动态范围不应小于 120dB；
- 3 信噪比不应小于 110dB；
- 4 定位误差不应大于 0.5m；
- 5 短期幅度稳定性不应大于 3%；
- 6 长期幅度稳定性不应大于 5%；
- 7 时基精度不应大于 0.02%。

4.2.7 地面耦合探地雷达垂向分辨率宜取探地雷达电磁波波长的 1/2，电磁波在地下介质中传播的波长应按下式计算：

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (4.2.7)$$

式中： λ ——电磁波波长 (m)；

c ——电磁波在真空中的传播速度 (m/s)，取 $3 * 10^8$ ；

f ——雷达天线主频 (Hz)；

ε_r ——相对介电常数。

4.2.8 地面耦合探地雷达横向分辨率宜按下式计算：

$$r_x = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (4.2.8)$$

式中： r_x ——横向分辨率 (m)；

λ ——电磁波波长 (m);

h ——深度 (m)。

4.3 空气耦合探地雷达

4.3.1 空气耦合探地雷达应由控制主机、雷达发射机、雷达接收机和空气耦合天线组成。

4.3.2 空气耦合探地雷达应具备检测路面面层分层厚度、路面基层厚度及基层结构破损病害的功能。

4.3.3 当需要检测深度大于 0.5m 的目标时,应增加地面耦合天线共同完成检测。雷达天线中心频率应按照表 4.3.3-1 和表 4.3.3-2 确定。

表 4.3.3-1 天线中心频率与最大探测深度和最小检测厚度关系表

中心频率 (GHz)	最大探测深度 (m)	最小检测厚度 (cm)
$1.0 \leq f < 1.5$	0.5	7.0
$1.5 \leq f < 2.0$	0.3	4.0
$f \geq 2.0$	0.2	3.0

表 4.3.3-2 天线中心频率与检测内容对应关系表

中心频率 (GHz)	表面层厚度	中面层厚度	下面层厚度	基层厚度	基层结构破损病害
$1.0 \leq f < 1.5$	-	-	●	○	○
$1.5 \leq f < 2.0$	-	●	●	-	-
$f \geq 2.0$	●	●	○	-	-
地面耦合天线	-	-	-	●	●

注: ●代表推荐方法; ○代表可选方法; -代表不可选方法。

4.3.4 空气耦合探地雷达空气中雷达波速测量相对误差不应大于 5.0%, 其在介质中的厚度测量误差应符合下列规定:

1 当厚度小于 100mm 时, 误差不应大于 3mm;

- 2 当厚度为 100mm ~ 250mm 时，误差不应大于 5mm；
 - 3 当厚度大于 250mm 时，误差不应大于 10mm。
- 4.3.5 空气耦合探地雷达设备的主要性能指标应符合下列规定：
- 1 雷达扫描速率不应小于 300 线/s；
 - 2 系统动态范围不应小于 160dB；
 - 3 信噪比不应小于 70dB；
 - 4 短期信号稳定性不应大于 3%；
 - 5 长期信号稳定性不应大于 5%；
 - 6 时基精度不应大于 0.02%；
 - 7 A/D 转换位数不应小于 16 位；
 - 8 距离标定误差不应大于 0.1%；
 - 9 检测速度宜在 0km/h ~ 30km/h 范围内；
 - 10 外壳防护等级不应小于 IP54。
- 4.3.6 空气耦合雷达的垂向分辨率和横向分辨率应按式 4.2.7、式 4.2.8 计算。

4.4 辅助设备

- 4.4.1 辅助设备宜包括定位设备、摄影测量设备、数据采集处理软件和地下病害体验证设备等。
- 4.4.2 定位设备应包括下列功能：
- 1 定位设备应与探测设备进行关联；
 - 2 定位设备的选定应根据测量的精度和移动速度确定；
 - 3 定位数据平面精度应小于或等于 10cm；
 - 4 定位数据高程精度应小于或等于 30cm；
 - 5 数据采样时间间隔应小于或等于 0.05s。
- 4.4.3 摄影测量设备应与探地雷达、高精度定位设备同步工作，用于记录地理空间影像数据、街景数据及检测道路里程。
- 4.4.4 摄影测量设备应在检测车两侧及后方至少 3 个方向安装，并应符合下列规定：

- 1 帧率应大于或等于 25 帧/s;
 - 2 目标定位精度不应大于 1m;
 - 3 防护等级宜为 IP65。
- 4.4.5 数据采集处理软件应能实现对数据的实时采集、存储、显示与处理。
- 4.4.6 地下病害体验证设备应包括钻探、挖探或钎探等设备。

5 地下病害体探测

5.1 一般规定

- 5.1.1** 地面耦合探地雷达探测地下病害体应具备下列条件：
- 1 地下病害体具有一定的规模，并与周围土体之间存在介电性质差异；
 - 2 测区内地表相对平坦；
 - 3 地表无强反射或强衰减层。
- 5.1.2** 地面耦合探地雷达工作环境应满足下列条件：
- 1 环境温度应为 $-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
 - 2 检测作业面应无雨雪和积水；
 - 3 移动速度应均匀，并与雷达扫描率相匹配。
- 5.1.3** 地面耦合探地雷达法探测宜按下列程序进行：
- 1 探测准备；
 - 2 数据采集；
 - 3 数据处理与分析；
 - 4 数据验证；
 - 5 风险评估；
 - 6 探测成果总结。

5.2 准备工作

- 5.2.1** 地面耦合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 测区应有效覆盖，沿测线方向超过检测范围不应小于 2.0m ；
 - 3 管道、隧道需要进行检测时，测线位置宜在管道、隧道

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。

5.2.2 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。

5.2.3 当采用测量轮测距时，采集前应对其进行标定；采用手动标记定位时，应等间距标记，间距不宜大于 2.0m。

5.2.4 介电常数标定宜采用已知目的体深度标定法或宽角法。

5.3 数据采集

5.3.1 地面耦合探地雷达采样点数宜设置为 512 点或 1024 点，采样率宜设置为雷达主频的 20 倍。

5.3.2 地面耦合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，记录时窗可按下式计算：

$$T = K \frac{2H}{v} \quad (5.3.2)$$

式中： T ——记录时窗 (s)；

K ——加权系数，取 1.3 ~ 1.5；

H ——探测目标深度 (m)；

v ——电磁波在地下介质中的传播速度 (m/s)。

5.3.3 在数据采集过程中可根据干扰情况、图像效果调整采集参数。

5.3.4 点测时，应在天线静止时采集，道间距应保证至少有三个采样点落在目标体上；连续测量时，天线移动速度应均匀，并应与雷达的扫描率相匹配，初测时道间距不宜大于 5.0cm，复测时道间距不宜大于 2.0cm。

5.3.5 数据采集时应及时记录信号异常，分析异常原因，必要时进行复测，并应及时记录各类干扰源及地面积水、变形等环境情况。

5.3.6 当发现疑似地下病害体时，应进行标记，与周围管线分布等已知资料对比，并进行数据验证。

5.3.7 当探测区域局部不满足检测条件时，应记录其位置和范围，待具备探测条件后补充探测。

5.3.8 当采用 GNSS 系统进行测线轨迹定位时，应合理设置基准点，并应进行定点测量验证。

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

5.3.10 影响探地雷达探测的主要干扰源可按下列因素统计：

1 地上干扰：临近建（构）筑物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、钢板等临设、金属栅栏和车辆等；

2 地下干扰：地下管线、管沟及井室、地下通道、地下防空洞、地下加固体、旧基础和树根等；

3 电磁干扰：路灯、信号灯、变电室、架空输电线缆和发射塔等。

5.3.11 现场采集数据质量检查和评价应符合下列规定：

1 探测数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；

2 重复观测的数据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。

5.3.12 探测时应填写记录，记录表格式应符合本规程附录 A 的规定。

5.4 数据处理与分析

5.4.1 探地雷达法探测数据宜进行零点校正，明确地面反射点的位置。

5.4.2 自由连续采集的数据应进行水平距离归一化处理。

5.4.3 可根据需要选取增益调整、频率滤波、背景消除、反褶

积、偏移归位、空间滤波、数据平滑和地形校正等处理方法。

5.4.4 改变反射信号的振幅特征宜在其他方法处理完后进行。

5.4.5 探地雷达数据处理与分析应符合下列规定：

1 用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高；

2 宜根据雷达图像的波组形态、振幅、相位和频谱等特征进行异常识别和解释；

3 应结合现场记录和已知资料，排除干扰异常；

4 地下病害体宜结合地面变形、管线破损和历史塌陷等情况及测区地质资料进行综合解释。

5.4.6 雷达探测地下病害体可按表 5.4.6 地下病害体典型识别特征进行识别。

表 5.4.6 雷达检测地下病害体典型识别特征表

地下病害体		波组特征	振幅	相位与频谱
空洞		1 近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态； 2 近似方形空洞反射波组表现为正向连续平板状形态； 3 绕射波明显，重复次数较多	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向，底部反射不易观测； 2 频率高于背景场
脱空		1 脱空顶部一般形成连续反射波组，似平板状形态； 2 多次波较明显、绕射波较明显	整体振幅强，雷达波衰减很慢	1 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； 2 频率高于背景场
疏松体	严重	1 顶部形成连续反射波组； 2 多次波较明显、绕射波较明显； 3 内部波形结构杂乱，同相轴很不连续	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场
	一般	1 顶部形成连续反射波组； 2 多次波、绕射波不明显； 3 内部波形结构较杂乱，同相轴较不连续	整体振幅较强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率略高于背景场

续表 5.4.6

地下病害体	波组特征	振幅	相位与频谱
富水体	1 顶部形成连续反射波组； 2 两侧绕射波、底部反射波、多次波不明显	顶部反射波振幅强，衰减快	1 顶部反射波与入射波反向，底部反射波与入射波同向； 2 频率低于背景场

5.5 异常验证

5.5.1 探测结束后应根据雷达资料、定位数据和摄影测量数据综合确定异常点位，并采用辅助方法进行验证，宜进行钻孔验证。

5.5.2 异常点定位和钻孔验证应符合下列规定：

- 1 应对拟钻孔位置现场标注；
- 2 钻孔前，应查明地下管线情况，不得损坏或影响原有地下管线的运行和维护；
- 3 钻孔前，应及时对存在道路安全隐患区域进行围挡并放置警示标志；
- 4 宜在指定位置钻孔；
- 5 钻孔后应测量并拍摄影像资料存档；
- 6 钻孔成果应汇总成表并留档记录；
- 7 道路钻孔结束后，应及时封孔。钻孔回填材料结构强度应高于原结构强度。

5.5.3 钻孔验证现场作业应符合下列规定：

- 1 每回次钻孔进尺不宜大于 1.0m，宜采取减压、慢速钻进或干钻等方法；
- 2 宜对疏松体进行标准贯入试验或动力触探测试，可对富水体取样进行室内土工试验；
- 3 宜采用内窥设备记录地下病害体影像。

5.5.4 钻孔结果验证宜符合下列规定：

1 钻孔过程中发生掉钻时，宜判定地下病害体类型为空洞或脱空；

2 当钻孔过程中钻进速率较上部钻探层明显加快、标准贯入或动力触探击数较上部钻探层明显降低或挖深揭露的土体不密实时，宜判定地下病害体类型为疏松体；

3 提取土样为软塑—流塑或含水量变大时，宜判定地下病害体类型为富水体。

5.6 风险评估

5.6.1 城镇道路塌陷风险评估应以探测的整条或整段道路为评估对象，在地下病害体探测成果的基础上，结合探测时间和地下空间现状等信息，计算道路塌陷风险系数，确定塌陷风险等级，并提出相应的风险控制对策。

5.6.2 城镇道路塌陷风险评估应包括风险影响因素调查、道路塌陷风险系数计算以及风险分级与预警，并应符合现行行业标准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的规定。

5.6.3 道路塌陷风险应分为红、橙、黄、蓝四个级别进行预警和风险管控。

5.6.4 根据城镇道路塌陷风险评估的要求，应进行道路安全影响因素调查。城镇道路安全影响因素调查应包含下列内容：

1 探测道路的长度、宽度、等级和最近一次病害体修复时间；

2 探测道路地下病害体数量、类型、规模、位置和上覆土厚度等信息；

3 地下病害体处置方式及效果；

4 道路边界线30m范围内地下交通、管道顶管等地下空间工程及深基坑施工现状及历史状况。

5.6.5 道路风险等级应根据道路塌陷风险系数判定，整条道路

的风险系数计算中包括下列影响因素：

- 1 探测路段病害体数量 n ；
- 2 病害体平面面积 A ，单位为 m^2 ；
- 3 病害体净深度 d ，单位为 m ，整条道路最大值记为 d_{\max} ；
- 4 病害体上覆介质厚度 h_0 ，单位为 m ；
- 5 病害体总平面面积占道路总面积 S_0 之比，记为病害密度 M_0 ；
- 6 距新修或上次修复后时间长度 t_0 ，单位为月；
- 7 道路规定检测周期 P ，单位为月；
- 8 病害体上覆介质厚度 h_0 与病害体水平最大长度 (L_{\max}) 的比值，记为覆跨比 k ，整条道路最大病害体覆跨比 k_{\max} ；
- 9 非病害体区域路基变化面积 S_B 占道路总面积 S_0 之比，记为 B ；
- 10 环境影响因子 R_H 、病害处置因子 C 。

5.6.6 深度风险系数 R_D 应按表 5.6.6 取值。

表 5.6.6 深度风险系数 R_D 取值表

d_{\max}	R_D
$0 \leq d_{\max} < 0.5$	0 ~ 0.4
$0.5 \leq d_{\max} < 1.5$	0.4 ~ 0.7
$1.5 \leq d_{\max} < 3.0$	0.7 ~ 0.9
$3.0 \leq d_{\max} < 4.0$	0.9 ~ 1.0
$d_{\max} \geq 4.0$	1.0

注： $d_{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} d_i$

5.6.7 覆跨风险系数 R_K 应按表 5.6.7 取值。

表 5.6.7 覆跨风险系数 R_K 取值表

k_{\max}	R_K
$k_{\max} \geq 2.0$	0

续表 5.6.7

k_{\max}	R_K
$1.5 \leq k_{\max} < 2.0$	0 ~ 0.1
$1.0 \leq k_{\max} < 1.5$	0.1 ~ 0.3
$0.5 \leq k_{\max} < 1.0$	0.3 ~ 0.6
$0 \leq k_{\max} < 0.5$	0.6 ~ 1.0

注: 1 $k = \frac{h_0}{L_{\max}}$;

2 $k_{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} k_i$ 。

5.6.8 密度风险系数 R_M 应按表 5.6.8 取值。

表 5.6.8 密度风险系数 R_M 取值表

M_0	R_M
$0 \leq M_0 < 0.002$	0 ~ 0.4
$0.002 \leq M_0 < 0.005$	0.4 ~ 0.7
$0.005 \leq M_0 < 0.01$	0.7 ~ 0.9
$0.01 \leq M_0 < 0.02$	0.9 ~ 1.0
$M_0 \geq 0.02$	1.0

注: $M_0 = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{S_0}$

5.6.9 潜在危险系数 R_X 应按表 5.6.9 取值。

表 5.6.9 潜在危险系数 R_X 取值表

X	R_X
$0 \leq X < 30$	0 ~ 0.4
$30 \leq X < 60$	0.4 ~ 0.7
$60 \leq X < 90$	0.7 ~ 0.9
$90 \leq X < 120$	0.9 ~ 1.0
$X \geq 120$	1.0

注: 1 $q = \frac{d \cdot A}{h_0}$;

2 $X = \sum_{i=1}^n (q_i)$

5.6.10 时间风险系数 R_T 应按下式进行计算。

$$R_T = T_0 \cdot \frac{t_0}{P} \quad (5.6.10)$$

式中, T_0 ——为时间常数, 取 $\frac{1}{6}$;

t_0 ——距新修或上次修复后时间长度;

P ——规定检测周期。

5.6.11 环境风险系数 R_H 应按表 5.6.11 取值。

表 5.6.11 环境风险系数 R_H 取值表

环境条件	R_H
测区边界外 30m 之内无地下空间或深基坑施工	0
测区边界外 30m 之内有地下空间或深基坑施工	0 ~ 0.2
测区内有地下空间或深基坑施工	0.2 ~ 0.4
测区内道路下方管道破损或路面有明显沉降	0.4 ~ 0.6
测区边界外 30m 之内地铁隧道等地下空间或深基坑结构发生严重变形或发生大量水土流失	0.6

5.6.12 病害处置因子 C 应按表 5.6.12 取值。

表 5.6.12 病害处置因子 C 取值表

环境条件	C
病害体未处置	1.6
病害体已处置, 但未发现病害成因	0.32
病害体已处置, 且已消除病害成因	0
未发现病害体	

5.6.13 路基变化影响系数 R_B 应按表 5.6.13 取值。

表 5.6.13 路基变化影响系数 R_B 取值表

B	R_B
$B < 5‰$	0 ~ 0.1
$5‰ \leq B < 10‰$	0.1 ~ 0.4
$10‰ \leq B < 20‰$	0.4 ~ 0.7
$20‰ \leq B < 50‰$	0.7 ~ 1.0
$B \geq 50‰$	1.0

注：路基变化速率为 B ， $B = \frac{S_B}{S_0}$ 。

5.6.14 道路塌陷风险预警应综合上述 8 个参数建立数学模型计算塌陷风险系数，并应根据塌陷风险系数阈值对应 I、II、III、IV 四个风险等级进行预警。道路风险预警基础模型可参照公式 5.6.14 建立，随着周期性探测数据的积累，预警模型宜以大数据为基础逐步优化。

$$R = \left[(W_1 * R_D^2 + W_2 * R_K^2 + W_3 * R_M^2 + W_4 * R_X^2) * C + R_T + R_H \right] * (1 + R_B) \quad (5.6.14 - 1)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 1 \quad (5.6.14 - 2)$$

式中： R ——道路塌陷风险系数；

W_1 ——地下病害体深度风险权重，取 0 ~ 0.4；

W_2 ——地下病害体覆跨风险权重，取 0 ~ 0.4；

W_3 ——地下病害体密度风险权重，取 0 ~ 0.4；

W_4 ——地下病害体潜在危险权重，取 0 ~ 0.4。

5.6.15 城镇道路风险等级分级应符合表 5.6.15 的规定。

表 5.6.15 城镇道路风险等级表

风险等级	风险系数	风险预警颜色	风险描述
I	$R \geq 0.7$ 或 $R_D + R_X \geq 1.0$	红色	存在重大塌陷风险

续表 5.6.15

风险等级	风险系数	风险预警颜色	风险描述
II	$0.6 \leq R < 0.7$ 或 $0.8 \leq R_D + R_X < 1.0$	橙色	存在较大塌陷风险
III	$0.4 \leq R < 0.6$	黄色	存在一般塌陷风险
IV	$0.2 \leq R < 0.4$	蓝色	存在较小塌陷风险
安全	$0 \leq R < 0.2$	—	道路塌陷风险很低

5.7 探测成果

5.7.1 地下病害体检测应编制成果报告。

5.7.2 成果报告应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 技术依据；
- 3 地球物理特征；
- 4 资料收集；
- 5 工作方法；
- 6 仪器设备；
- 7 数据采集；
- 8 数据处理与解译；
- 9 异常验证；
- 10 主要成果分析；
- 11 风险评估；
- 12 结论与建议；
- 13 成果图件（附图附表）。

5.7.3 成果报告应内容全面、文字简练、结论明确、建议清晰、图表齐全，成果报告应符合本规程附录 D 中表 D.0.1 的规定。

5.7.4 成果报告的插图、插表宜包括方法原理图、典型曲线图、典型剖面图、对比分析图、工作量表、物性参数表、仪器技术参数表、成果解释列表和检测数据列表。

5.7.5 成果图件应符合下列规定：

- 1** 成果图件应清晰直观，层次清楚，说明性信息齐全；
- 2** 成果图件应包括工作现场布置图、地下病害体平面分布图、成果解释剖面图及原始数据；
- 3** 绘图比例尺应保证地下病害体在图件上得到清晰的展示；
- 4** 工作布置图和平面分布图应根据探测方法采用统一的编号、颜色和图例编制，图上应标明测线、测点、验证点、剖面起讫点的平面位置和编号；
- 5** 连续测线应在测线的起讫点、转折点、地形突变点以及其他重要的点位设置测线特征点，没有特征点的长测线宜设置测点标记；
- 6** 验证工作布置点位应按规定的代号、颜色和图例绘制标识；
- 7** 平面分布图宜在工作布置图上编制，并根据地下病害体类型采用统一的编号、颜色和图例编制，编制内容应包括地下空间编号、位置、范围和类型；
- 8** 成果解释剖面图编号宜沿用工作布置图中的测线编号，用“-”连接表示，并清晰表示地下病害体空间位置、形态及类型，同时宜包括验证点（孔）的位置及编号。

5.7.6 应根据安全隐患的类型、规模、土质和水质，结合周边地下管线、人防和地铁工程等信息，初步判断道路隐患成因，并给出相应的处置建议。

6 路面结构层厚度检测

6.1 一般规定

6.1.1 空气耦合探地雷达检测路面结构层厚度不适用于潮湿路面或用富含铁矿渣集料等介电常数较高的材料铺筑的路面。

6.1.2 空气耦合探地雷达法检测宜按下列程序进行：

- 1 准备工作；
- 2 数据采集；
- 3 数据处理与分析；
- 4 检测成果。

6.1.3 路面结构层厚度检测应现场踏勘、编制检测方案，并通过实验确定设备工作参数。检测工作开始前，应对检测方案进行评审。

6.2 准备工作

6.2.1 空气耦合探地雷达工作环境应满足下列条件：

- 1 环境温度应在 -20°C ~ 50°C 范围内；
- 2 环境湿度不应大于 85%；
- 3 风力不应大于 5 级；
- 4 现场应无积水、无冰雪、无雷电；
- 5 测线周围应无影响雷达正常工作的强电磁干扰。

6.2.2 空气耦合探地雷达测线布设应符合下列规定：

- 1 测线布设应完整覆盖待检测区域；
- 2 测线宜与车道线平行；
- 3 复测疑似病害体时布设测线应采取加密形式。

6.2.3 开始检测前应对仪器有效性进行验证。

6.2.4 空气耦合探地雷达进行路面结构层厚度检测前应开机预热至少 20min。

6.2.5 检测时应根据具体测试目的及现场雷达波形，设置采样点数、采样频率、道间距和增益等参数。

6.2.6 当采用距离触发采集方式时，应进行距离标定。

6.2.7 正式采集前，应获取幅度标定数据，获取标定数据步骤应符合下列规定：

1 应将面积不小于天线 2 倍的金属板放置在天线正下方，启动数据采集软件，获取金属板反射数据；

2 应将空气耦合天线对空放置，启动数据采集软件，获取雷达对空数据；

3 多个天线应分别获取金属板反射数据和对空数据。

6.3 数据采集

6.3.1 空气耦合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。

6.3.2 超过空气耦合探地雷达探测时窗的回波不应再被接收。记录时窗的确定宜按下式计算：

$$T = K \frac{2H\sqrt{\varepsilon_r}}{c} \quad (6.3.2)$$

式中： T ——记录时窗 (s)；

K ——加权系数，取 1.3 ~ 1.5；

H ——探测目标深度 (m)；

ε_r ——介质相对介电常数；

c ——电磁波在真空中的传播速度 (m/s)，取 $3 * 10^8$ 。

6.3.3 数据采集开始前应对各传感器进行校准。

6.3.4 空气耦合探地雷达检测路面结构层厚度时应在测线起点处，启动数据采集软件，承载车开始移动。

6.3.5 承载车到达测线终点停止移动后，应停止数据采集，并

检查数据文件。

6.3.6 现场检测时，应对道路结构层的相对介电常数或电磁波传播速度进行标定，每条道路不应少于3点。当道路结构层材料或含水量变化较大时，应适当增加标定点数。

6.3.7 当标定相对介电常数或电磁波传播速度时，采集模式应采用测距轮触发模式或点测模式。

6.3.8 相对介电常数标定应满足下列条件：

1 标定记录中界面反射信号应清晰、准确；

2 标定目标体的厚度不宜小于5cm，并宜与检测结构层厚度相一致。

6.3.9 标定结果应按下式计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{ct}{2d} \right) \quad (6.3.9)$$

式中： ε_r ——相对介电常数；

c ——电磁波在真空中的传播速度（m/s），取 $3 * 10^8$ ；

t ——双程旅行时（ns）；

d ——标定目标体的厚度（m）。

6.3.10 应及时填写现场标定记录，表格格式及内容应符合本规程附录B的规定。

6.3.11 检测时应采用距离触发方式，天线应移动平稳、速度均匀。

6.3.12 当采用空气耦合天线车载检测时，天线的移动速度应控制在计算的最大移动速度之内。最大移动速度应按下式计算：

$$v_{\max} < \frac{s_r}{20} (w_a + w_0) \quad (6.3.12)$$

式中： v_{\max} ——天线最大移动速度（m/s）；

s_r ——扫描率（scan/s）；

w_a ——天线宽度（m）；

w_0 ——目标体大小（m）。

6.3.13 检测数据质量管理应符合下列规定：

- 1 应由专人进行过程检查和资料审核；
- 2 检测结束后应对原始数据按不小于 10% 的比例进行复核；
- 3 原始数据不完整或质量不合格时，应及时进行补测或重测。

6.3.14 检测过程中应做完整现场记录，包括标段、测线号、车道信息和检测方向；应准确标记检测位置及桩号，随时记录可能对检测产生电磁影响的物体及位置，并绘制测线平面位置示意图。

6.3.15 应及时填写检测原始记录，表格格式及内容应符合本规程附录 C 的规定。

6.4 数据处理与分析

6.4.1 数据处理前，应核对原始数据完整性和有效性。

6.4.2 数据处理方法的选取应满足数据保真性和线性相位要求。

6.4.3 应根据各检测传感器间的相关性确定处理参数。

6.4.4 数据处理应以每次检测前重新获取的对空数据和金属板反射数据作为厚度反演基准。

6.4.5 厚度检测结果应根据现场实际情况进行校验，每公里校验点数不应小于 2 个。厚度检测结果应经过现场钻孔验证及校准。

6.4.6 检测结果应结合地质资料和测区相关设施资料综合解译。

6.4.7 路面结构层厚度应按下式计算：

$$d = \frac{ct}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (6.4.7)$$

式中： d ——结构层厚度（m）；

ε_r ——相对介电常数；

t ——双程旅行时（s）；

c ——电磁波在真空中的传播速度 (m/s), 取 $3 * 10^8$ 。

6.5 检测成果

6.5.1 空气耦合探地雷达检测路面结构层厚度应编制检测成果报告。

6.5.2 检测成果报告应包括下列内容:

- 1 项目概况;
- 2 原始记录;
- 3 检测及评定依据;
- 4 仪器设备及工作原理;
- 5 检测方法;
- 6 数据分析处理结果;
- 7 检测结果评定、结论与建议。

6.5.3 检测成果应包括文字报告、成果图件和数字资料, 且应数据真实、内容完整、解译正确、定位准确和结论明确。

6.5.4 路面面层厚度检测成果应包括下列内容:

- 1 各测定区间面层内部详细分层厚度平均值;
- 2 各测定区间面层内部详细分层厚度标准差。

6.5.5 路面基层厚度检测成果应包括下列内容:

- 1 各测定区间路面基层上表面深度;
- 2 各测定区间路面基层下表面深度;
- 3 各测定区间路面基层厚度平均值;
- 4 各测定区间路面基层厚度标准差。

6.5.6 检测成果报告应包括检测结论与养护建议, 并应符合现行行业标准《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 的规定。成果报告宜符合本规程附录 D 中表 D.0.2 的规定。

7 信息化管理

7.0.1 信息化管理与应用应包括检测数据管理、成果数字化管理和智能化应用等内容。

7.0.2 信息化平台宜具备下列功能：

- 1 检测数据的展示、入库、管理、编辑及输出；
- 2 地下病害体信息的输入、查询、统计、分析及输出；
- 3 数据挖掘、应用及风险预警。

7.0.3 系统网络应满足安全性、可靠性、可扩充性的相关要求。

7.0.4 信息化平台应以数据库软件为基础，数据内容宜包含检测数据、地下病害体信息、道路环境资料、现场影像资料和工程处理资料等。

7.0.5 信息化平台的数据库的构建初应符合现行国家标准《基础地理信息城市数据库建设规范》GB/T 21740 的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 应具有海量空间数据存储能力；
- 2 应支持空间数据和属性数据的统一存储；
- 3 数据入库前应进行质量检查；
- 4 数据应及时更新，保证其准确性与有效性，并应做好历史数据管理；
- 5 数据库应具备动态数据存储和管理功能；
- 6 应具有可靠的灾备机制。

7.0.6 信息化平台的数据库应根据周期性检测和工程处理资料及时更新，并应保留历史数据。

7.0.7 信息化平台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 的规定。

7.0.8 信息化平台的信息交换与应用服务应符合现行行业标准《城市基础地理信息系统技术规范》CJJ 100 的规定。

7.0.9 信息化平台建设和数据管理应符合国家和浙江省保密部门和行业主管部门的信息保密规定。

附录 A 雷达法检测记录表

表 A 雷达法检测记录表

项目名称		道路名称 (起止点)		日期		天气	
仪器型号 /编号		天线主频 (MHz)		时窗 (ns)		道间距 (m)	
文件名	测线方向	测线编号	测线起点/终点	测线长度 (m)	备注/异常情况		
现场草图	<p style="text-align: center;">示例：</p>						
说明							
操作员		记录员		复核员		第 页/共 页	

附录 B 现场标定记录

表 B 现场标定记录表

工程名称				项目名称			
检测依据				仪器名称及编号			
桩号	实测厚度 (mm)	双程旅行时 (ns)	相对介电 常数	电磁波速 (m/s)	备注		
标定		记录		标定日期			

附录 C 检测原始记录

表 C 检测原始记录表

工程名称					项目名称				
检测依据					仪器名称及编号				
测线号	里程		设计厚度值 (mm)	检测部位	记录文件名	采集参数			备注
	起点里程	起点里程				时窗 (ns)	扫描率	样点数	
检测		记录		审核		检测日期			第 页/ 共 页

附录 D 检测报告示例

D.0.1 地下病害体探测项目报告示例见表 D.0.1。

表 D.0.1 地下病害体探测项目报告

<p style="text-align: center;">* * * * 年道路检测项目 (项目名称) 成果报告</p> <p>报告编号: * * * * * * * * * * * * * * * *</p> <p>单位名称 * * * * * * * * * * * * * * * * 公司 * * * * 年 * * 月 * * 日</p>

续表 D.0.1

***年道路检测项目
(项目名称)
成果报告

探测人员:

审 核:

批 准:

备注:

- 1、报告涂改无效;
- 2、报告未加盖本单位红色“检验检测专用章”或公章无效;
- 3、报告复印件未重新加盖本单位红色“检验检测专用章”或公章无效;
- 4、报告无检测人、审核人和批准人签名无效;
- 5、本报告的检测结果只对检测样品或检测当时的状态有效;
- 6、对报告若有异议,请于报告签收之日起十五日内向本单位提出。

探测单位:

单位地址:

电 话:

邮 编:

续表 D.0.1

探测报告结论页	
报告编号	
委托单位	
项目名称	
项目地址	
探测单位	
探测项目	
探测时间	
探测结论	
建议	
备注	

续表 D.0.1

1 工程概况	
项目概况	
探测任务和 内容	
项目实施 完成情况	

续表 D.0.1

2 技术依据

续表 D.0.1

3 工程现场条件调查	
地理位置	
地区 地形地貌	
区域 地质构造	

续表 D.0.1

3 工程现场条件调查	
气象水文特征	
地下管线分布情况调查	
地下及穿越工程调查	
区域地质构造	

续表 D.0.1

4 工作方法	
探地雷达 方法原理	
设备仪器	
工作参数	
坐标定位	
测线布置	

续表 D.0.1

5 数据处理和解释	
数据处理	
雷达资料解释	
雷达数据评定 标准及分类	

续表 D.0.1

6 检测结果	
工作量 汇总表	
道路病害 检测结果	

续表 D.0.1

7 成果钻探验证及处置建议	
钻探验证流程	
钻探验证结果	
病害处置原则 和方案建议	

续表 D.0.1

8 病害体特征信息统计

续表 D.0.1

9 结论及处置建议	
检测结论	
处置建议	

续表 D.0.1

10 服务承诺

续表 D.0.1

附件一 道路塌陷隐患病害体信息卡

编号		道路名称		
检测日期		病害体原始文件号		
病害体类型		病害体中心坐标	经度	
病害体埋深 (m)			纬度	
病害体净深 (m)		平面面积 (m ²)		
具体位置				
雷达图谱		地图定位		
图片 1		图片 2		
现场环境图 (东西方向)		现场环境图 (南北方向)		
图片 3		图片 4		
病害周边地下管网图		钻孔验证芯样局部图		
图片 5		图片 6		
病害体内部图		病害体内部图		
图片 7		图片 8		
道路现状				
病害体与周边 管线相对位置				
初步成因分析				
处置建议				
病害跟踪 处置情况				
编制人		审核人		
填报单位				

续表 D.0.1

附件二 地图位置

续表 D.0.1

附件三 道路测线布置图



D.0.2 雷达检测结构层厚度报告示例见表 D.0.2。

表 D.0.2 雷达检测结构厚度报告

<p>检测单位</p> <p>检验检测报告</p>	
委托编号：_____	报告编号：_____
检测项目：_____	
委托单位：_____	
工程名称：_____	
检测道路：_____	
报告日期：_____	
检测声明：	<ol style="list-style-type: none">1、报告涂改无效；2、报告未加盖本单位红色“检验检测专用章”或公章无效；3、报告复印件未重新加盖本单位红色“检验检测专用章”或公章无效；4、报告无检测人、审核人和批准人签名无效；5、本报告的检测结果只对检测样品或检测当时的状态有效；6、对报告若有异议，请于报告签收之日起十五日内向本单位提出。
单位地址：	
服务电话：	邮编：

续表 D.0.2

<p style="text-align: center;">检测单位 雷达检测结构层厚度报告</p>					
委托编号		样品编号		报告编号	
结构层名称		检测类别		样品状态	
委托日期		委托人			
检测日期		见证人			
检测项目					
委托单位					
工程名称					
检测道路					
建设单位					
施工单位					
见证单位					
检测依据					
判别标准					
检测设备					
检测环境					
检测结论					
备 注					
批准：	审核：	检测：			

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《道路交通标志和标线 第4部分：作业区》GB 5768.4
- 《全球定位系统（GPS）测量规范》GB/T 18314
- 《基础地理信息城市数据库建设规范》GB/T 21740
- 《信息系统安全等级保护基本要求》GB/T 22239
- 《城镇道路养护技术规范》CJJ 36
- 《城市基础地理信息系统技术规范》CJJ 100
- 《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437
- 《城镇道路养护作业安全设施设置技术规程》DB33/T 1236

浙江省工程建设标准

城镇道路探地雷达法检测技术规程

DB33/T 0000 - 2021

条文说明

目 次

1	总 则	(61)
2	术语和符号	(62)
2.1	术语	(62)
3	基本规定	(63)
4	仪器设备	(65)
4.1	一般规定	(65)
4.2	地面耦合探地雷达	(65)
4.3	空气耦合探地雷达	(66)
4.4	辅助设备	(67)
5	地下病害体探测	(68)
5.1	一般规定	(68)
5.2	准备工作	(68)
5.3	数据采集	(69)
5.4	数据处理与分析	(70)
5.5	异常验证	(70)
5.6	风险评估	(71)
5.7	检测成果	(74)
6	路面结构层厚度检测	(76)
6.1	一般规定	(76)
6.2	准备工作	(76)
6.3	数据采集	(77)
7	信息化管理	(78)

1 总 则

1.0.2 探地雷达法是利用一个天线发射高频宽带电磁波，另一个天线接收来自地下介质界面的反射波而进行地下介质结构探测的一种电磁法。由于它是从地面向地下发射电磁波来实现探测的，故称为探地雷达，有时也被称作地质雷达。它是近年来在环境、工程探测中发展最快，应用最广的一种地球物理方法。

我国探地雷达仪器的研制始于 20 世纪年代初期，地矿部物探所、煤炭部煤科院，以及一些高校和其他研究部门均做过探地雷达设备的研制和野外试验工作。当时使用的是同点天线，以高频示波器显示回波，直接读取反射初至或照相记录波形。由于种种原因，这一研究未能正式用于实际。目前，国家地震局、水电勘测设计部门、煤炭部门、铁道部门、黄河水利委员会有关部门，以及一些工程勘测单位和一些高校相继引进了国外的仪器，探地雷达的应用和理论研究工作都得到了很大发展。

1.0.3 城镇道路检测工作是道路运行维护的重要组成部分，是保障城市公共安全的重要措施。在工作实施中，涉及施工、管理、养护、交通管理和国防保密等相关行业。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.2 因实际情况天线无法和地面直接接触时，天线底部距离地面的距离应控制在 5cm 以内。

2.1.4 地下病害体的成因与土体的性质和结构、水动力作用、动（静）荷载作用及其他环境因素密切相关。根据病害体的工程特征、地球物理特征和岩土工程特性等，结合工程实践经验将地下病害体分为脱空、空洞、疏松体和富水体 4 类。

2.1.5 当疏松土体在自重作用和环境振动作用下向下发展时，会导致局部土体与周边土体分离，发展至一定的规模时，即可形成空洞。道路结构层与地基土之间分离净高达到及超过 0.5m 的洞体同样具备较大的潜在危害，也属于空洞。

2.1.6 当空洞逐渐发展至地表，就变成了脱空。脱空常见于混泥土地面、半刚性基层沥青路面以及白改黑路面等刚性或半刚性面层下方，一般表现为平面尺寸大于垂直高度特点。

2.1.7 由于局部土体缺失后，上部土体在自重和其上动（静）载、机械振动的作用下，自身土体结构遭到破坏，密实度下降、孔隙度增大，逐渐变为松散土体，也就是疏松体。

2.1.8 在地下病害体形成的过程中，如果存在水的因素（不包括地层中赋存的具有承压性质的地下水），通过水的潜蚀、冲刷等动力作用，会加剧空洞的形成，同时水对局部土体的渗透也会改变土的原有结构，因而降低其工程特性，也就是富水体。

3 基本规定

3.0.1 当前工程中，对道路结构层厚度的确定，通常采用的是挖坑法或取芯法，这些方法确定的厚度虽然直观，但有其缺点，会对路面造成破损。随着探地雷达等无损检测仪器在工程中的广泛应用，探地雷达法以其超高的工作效率，无损的检测方式，可靠的检测结果，成为路面结构层厚度无损检测的新手段。

3.0.3 城镇道路探地雷达法检测要求在收集和分析测区内既有的岩土工程、市政设施和水文气象等资料的基础上，选用合适的雷达，查明检测区域内地下赋存的病害体类型、规模、埋深、位置和结构层厚度等属性，确定风险等级，对整条道路进行风险评估，并提出相应的处置对策。

3.0.5 城镇道路地下病害体形成和发展具有一定的随机性和动态变化，因此在日常管理中应根据本地发育程度，开展定期检测，及时发现病害体、监控其动态特征是有效降低其引发地面塌陷的重要保证，但是限于探测条件、经费支持等因素影响，对于城市每年进行全面探测是比较困难的。目前，国内外开展定期检测的城市，对重点路段检测频率一般为1年~3年。地下病害体的发生概率和发展受路基土体特性、下覆建（构）筑物、设施的影响，道路塌陷发生后导致损失大小受周边社会积极发展影响，宜将发生概率高、发生事故后损失大、影响大的区域作为重点路段适当加密检测。

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

3.0.6 地下工程施工扰动是引发地下病害体产生、发展的重要因素之一，为预防地下施工引发路面变形或塌陷事故，宜在地下工程施工前、竣工后进行探测工作；对地铁等长期施工项目，宜按施工进度安排施工中的地下病害体探测。对临近一次探测发现的塌陷风险较高的道路，宜适当缩短探测周期，并结合病害发展情况及发展趋势确定下一次探测时间；对临近一次探测发现的塌陷风险等级较低的道路，可适当延长探测周期，并结合病害发展情况及发展趋势确定下一次探测时间。

3.0.8 地下病害体探测初测宜对测区进行全面探测，根据探测成果、现场调查结果和资料分析结果确定重点探测区域；地下病害体探测复测工作应采用不同的方法进行。当发现埋深较浅、规模较大的空洞、脱空、严重疏松体等危险性较大的地下病害体时，考虑到事故的突发性特征，应及时通报相关部门，以采取合理措施，防止意外事故发生。

3.0.12 城镇道路探地雷达法采集的数据应按照国家 and 浙江省相关保密要求进行管理。地下病害体的形成和发展具有动态变化的特点，地下病害体作为地下空间开发利用过程中的重要信息，应对地下病害体探测资料进行信息化管理，做好长期跟踪管理工作，为城市建设、地下空间开发利用以及防灾减灾提供服务，是城市建设发展的实际需要，也是新型智慧城市建设的重要内容。城镇道路下方存在国防光缆、人防措施等保密设施，为了防止探测到的地下保密信息外泄，应对地下空间信息严格管理。

4 仪器设备

4.1 一般规定

4.1.1 仪器设备应包括雷达设备和辅助设备。探地雷达主要由主机（主控单元）、发射机、发射天线、接收机和接收天线五部分组成。主机是采集系统，用于向发射机和接收机发送一系列控制命令。发射机根据命令向地下发射电磁波，接收机根据命令进行数据采集。发射和接收天线则用于发射和接收电磁波。经过采样和 A/D 转换，接收的反射信号转换成数字信号被显示和保存。

4.1.2 检测要求包括检测速度、检测深度和定位精度。

4.2 地面耦合探地雷达

4.2.2 发射天线不断发射电磁波，电磁波可以穿透地下介质，但是对于不同的介质，它的介电常数不同。电磁波在地下传播，在介质层交界面发生发射和折射，接收天线接收多道反射回波，经过信号处理组成雷达图像，从而实现对不同目标体的检测、识别和定位等功能。选用多种频率天线组合探测，可兼顾埋藏深度及目标体尺寸大小两方面因素。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。

4.2.3 三维探地雷达更适用于路基及浅层土体密实度检测，其在城市探测的有效探测深度一般在 2.0m 以内；地址条件良好时，有效深度一般不超过 2.5m。因此当进行埋深较小的地下病害体探测时，可选用三维探地雷达，且天线主频宜选择 200MHz ~ 400MHz。

4.2.5 一般来说，电磁波频率越高，探测深度越浅，探测精度

越高；反之，频率越低、探测深度越深，探测精度越低。50MHz~500MHz 其它频率天线，可参照表 4.2.5 采用内插方式估算其最大探测深度。根据各地区的地下介质介电性质差异，探地雷达可探测地下 5m 范围内的地下病害体，在地下水位较高或介质含水量较大时，探地雷达的信号衰减加剧，有效探测深度会减小。

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

4.2.7 垂直分辨率是探地雷达在垂直方向（纵向）上能够分辨两个及两个以上反射界面的能力。无论地层或具体目标，都有上下 2 个面，假设这 2 个面跟围岩或上下地层有明显的电性差异，则在顶、底面上都能形成反射波，那么分辨率的概念就是分别从顶、底反射回来的 2 个脉冲不重叠，或重叠的不厉害，能进行区分。那么这段能分得开的最小距离就是垂直分辨率。

4.2.8 水平分辨率是探地雷达在水平方向上所能分辨的最小异常体的尺寸。

4.3 空气耦合探地雷达

4.3.3 不同频率天线的探测深度、分辨率也不相同，中心频率选择正确与否直接影响到工程探测的效果。天线频率越高，探测分辨率越高，探测深度越浅，反之亦然。中心频率的选择应根据探测深度及分辨率确定。

4.3.5 空气耦合探地雷达设备应至少配备中心频率约 1GHz 和 2GHz 的天线各一副。

4.3.6 空气耦合雷达的垂向分辨率和横向分辨率均可按地面耦合雷达进行计算。

4.4 辅助设备

4.4.1 辅助设备的电源供电方式应包括车体供电、蓄电池供电及两证兼用三种供电方式。

4.4.2 定位设备应通过获取定位设备端口、波特率、数据位长、停止位、奇偶校验等信息，把地理信息系统连接到选定的定位设备，对数据进行管理显示。雷达探测时，定位设备同步记录下每个探测点的 X、Y、Z 空间坐标，将该信息导入地理信息图形显示系统，对探测工作进行定位、导航，并实时显示其进展情况；发现异常情况时，定位设备可显示探测点轨迹线，可读取异常点坐标信息。

4.4.5 数据采集处理软件应实现对检测系统的控制，包括对雷达数据、定位数据和测量数据的实时采集、存储与处理。

5 地下病害体探测

5.1 一般规定

5.1.1 由于探地雷达法是基于地下介质之间的介电性质差异的探测方法，与其相关的最主要的参数是相对介电常数，通常使用功率反射系数来表征地下介质之间的介电差异。

5.2 准备工作

5.2.1 探地雷达法测线的布设应符合下列规定：

1 在城市道路上进行探测时，机动车道应采用车辆拖曳的形式进行探测，非机动车道一般采用人拖拉的方式进行探测，基于安全的考虑和检测实施的便捷性，测线要求沿车道行进方向进行布设；

2 相邻测线间距依据天线的主频大小而不同，一般频率越高的天线要求测线间距越小，测线间距需保证被测地下病害体能够得到有效覆盖。道路病害探测使用的天线频率一般在 100MHz ~ 400MHz 之间，100MHz 辐射宽度约为 2.0m，400MHz 天线辐射宽度约为 1.0m。

3 在隧道、管道内部进行探测时，考虑到地下病害体可能位置，建议在隧道、管道正上和斜上部位沿轴线布设测线；

4 初测时相邻测线间距不宜大于 2.0m，复测时相邻测线间距不宜大于 1.0m。

5.2.2 城镇环境下，影响探地雷达探测深度和精度的主要因素为天线主频、地下介质结构与介电特性、环境干扰因素等，在实际检测中应考虑检测深度和分辨率要求，充分了解检测区域地下介质的介电性质和环境干扰的影响因素。

5.2.4 介电常数的获取是探地雷达数据处理的重要内容，也是深度转化的重要参数，其准确与否直接关系到探测结果的准确程度。

宽角法：当地下存在一反射面时，保持一个雷达天线固定在地面某一点上不动，而另一个天线沿测线移动，记录地下各个不同层面反射波的双程走时，再进行计算获得介电常数。

已知目的体深度标定法：采用地下已知深度目的体，根据电磁波的传播平均时间进行计算，然后利用获得的速度来推断没有钻孔或已知目标区域地质体的深度。

5.3 数据采集

5.3.3 根据有效性试验确定的初始采集参数未必适应场区所有的位置，故可根据图像显示的效果合理调整采集参数，在同一区域的平行测线，建议采用相同的采集参数。

5.3.5 点测时，应在天线静止时采集；使用分离天线点测时，应调整天线间距以使采集的信号最强。一般情况下，分离天线的发射与接收方向增益在临界角方向最强，因此天线间距选择时尽量使最深目标体相对接收天线和发射天线的张角为临界角的2倍。

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

5.3.6、5.3.7 测线沿线各类干扰源、地面积水等会对探地雷达图像产生不同程度的干扰，造成物探探测结果解释的多解性，为有效避免后期探地雷达数据解释的误判，现场及时记录这些干扰源的位置及其对图像的影响。在地下异常解释时正确识别这些图谱异常的原因，做到真、假异常的识别，剔除假异常，正确解释真异常，有效降低多解性。

5.3.9 在对探地雷达测线进行定位时，可以根据数据中有明显反应的地物或干扰的信号，对测线的走向和局部位置进行校正。井盖、路灯和地下管线等在探地雷达图像上具有比较容易识别的特征，这些特征图像的中心与井盖、路灯或地下管线的位置相对应。因此，可以通过相关信息进行测线的定位和校核。

5.3.10 本条对探地雷达探测有影响的干扰源分为三类，并列出了一些典型的具体干扰源。

5.4 数据处理与分析

5.4.2、5.4.3 数据预处理包括切除多余信息、距离归一化（手动打标模式）、调整信号延时、抽道、加密、去漂移和剔除坏道等。在数据质量较好的情况下，如果通过预处理的数据即可进行分析解释，可不用再做其他常规处理或高级处理。

5.4.5 本条对探地雷达数据处理进行了规定，数据处理的目的是压制干扰、突出有效目标的信号，应根据干扰的类型或需要的图像效果合理选择数据处理方法，对数据处理的参数应有足够的理解，避免过度处理。地下空洞、脱空、疏松体和富水体在雷达图像上的反映与非异常区存在较大区别。依据雷达反射波的相位、频率与幅值变化综合判别，从异常中剔除地下管线、地下构筑物及地面各种干扰物引起的异常，并将确定的异常按严重程度进行划分。

5.4.6 根据疏松程度的不同，相应的风险等级及其处置措施差别也较大，故疏松体分为严重疏松体和一般疏松体两个等级。

5.5 异常验证

5.5.1 原则上应选用钻探、挖探或钎探等较直观方法进行验证，验证时可采用地质钻机、背包钻或钎探；验证点的位置宜布设在物探异常反应最强部位或中心部位，才能较好地揭露地下病害体的类型、深度和规模；对采用单一方法探测的地下病害体，当场

地不具备直观方法验证条件时，也可选用其他物探方法进行验证工作。对于埋深较浅或横向规模较大的空洞，考虑到钻探过程中有塌陷的危险，建议在病害体边缘进行验证。

5.5.3 如空洞等面积很大的病害体检测时，可钻 2 个孔验证，一个孔放置光源，另一个孔放置摄像头。必要时，可采用钻孔光学成像、声呐成像和激光成像等内窥方法记录地下病害体影像资料，用以查明地下病害体的三维尺寸等数据。

5.5.4 成果验证结果的判定依据包含但不局限于下列参数：钻进速度、掉钻现象、动力触探试验数据、含水量等。宜在成果验证结束后，相应地调整场地物性参数，修正物探判释结果。通过成果验证，可提供更加准确的判定地下病害体类型、规模、覆跨比、岩土体条件等参数。

5.6 风险评估

5.6.1 单一病害体风险评估可参照现行行业标准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的规定。本规程的道路风险评估重点以整条/段道路为评估对象，相对于评价单一地下病害体，对规划、设计、施工等工作更具有指导意义，也弥补了国内此领域的空白。

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

5.6.4 道路安全影响因素应尽可能详尽、准确地调查，以保证道路塌陷风险系数的更精确计算

5.6.5 风险影响因素的选择需要充分考虑因素与地下病害体风险的相关性；同时考虑到地下病害体、地下管线的隐蔽性，选择便于获取的指标。

5.6.6 ~ 5.6.13 公示中系数通常采用插值方式在各自取值区间内取值。

5.6.7 覆跨风险系数取值过程中，计算 $k = \frac{h_0}{L_{\max}}$ 时，当 h_0 小于 $0.1m$ ，该 k 值忽略，不参与覆跨风险系数计算。

5.6.10 病害处置因子指测区路面有较明显沉降指人工巡查发现的明显变形、沉陷、裂缝、坑槽、路面龟裂及轻微变形等情况。

5.6.14 在雷达探测中，建议根据实际情况选择合理的 $W_1 \sim W_4$ 权重值，在总结相关工程实践的基础上局部优化形成更适合浙江省各地市的数学模型。

5.6.15 根据杭州市和周边地质结构相近省份的地下病害体案例，计算了风险系数，计算结果与直观经验结果基本一致。经征求专家意见，认为该计算模型科学合理。

示例：2021 年杭州市富春路探测结果，病害发现和病害处置后的风险等级计算如表 5-1 和表 5-2 所示。

表 5-1 道路塌陷风险等级计算示例（发现病害体一个月内）

道路塌陷风险等级计算示例					
基本 信息	道路名称	富春路			
	路段长度	0.66km			
	车道数量	双向 8 车道			
	车道宽度	3.5 米			
	病害数量	3 处			
	探测周期	12 个月			
	施工因素	测区和测区边界外 30m 之内无地下施工或深基坑施工			
	评估时间	探测后一个月内			
病 害 信 息	序号	病害体长度 (m)	病害体宽度 (m)	病害体埋深 (m)	病害体净深 (m)
	1	2.7	1.6	0.40	0.50
	2	2.5	2.9	0.55	0.22
	3	2.6	4.3	0.25	0.70

续表 5-1

预警结果	深度风险系数 (R_D)	0.46
	覆跨风险系数 (R_k)	0.876
	密度风险系数 (R_M)	0.246
	潜在危险系数 (R_X)	0.496
	时间风险系数 (R_T)	0.014
	环境风险系数 (R_H)	0.0
	路基变化系数 (R_B)	0.0
	塌陷风险系数 R	0.641
	预警等级	Ⅱ级 (橙色)
<p>计算过:</p> <p>W_1: 深度风险中等, 病害体净深在 0.5m 左右, 取区间内中间偏大值 0.2;</p> <p>W_2: 覆跨风险很大, 取接近区间上限的数 0.3;</p> <p>W_3: 密度风险较小, 取区内较小值 0.1;</p> <p>W_4: 因所测路段为主路, 潜在塌陷风险中等偏上, 取区间平均数 0.2;</p> <p>C: 发现病害体后还未处置时进行风险测算, 病害体尚未处置, 按规定取 1.6;</p> $R = [(W_1 * R_D^2 + W_2 * R_k^2 + W_3 * R_M^2 + W_4 * R_X^2) * C + R_T + R_H] * (1 + R_B)$ $= [(0.25 * 0.462 + 0.35 * 0.8762 + 0.15 * 0.2462 + 0.25 * 0.4962) * 1.6 + 0.014 + 0.0] * (1 + 0.0) = 0.641$		

表 5-2 道路塌陷风险等级计算示例 (发现病害体并处置三个月后)

道路塌陷风险等级计算示例		
基本信息	道路名称	富春路
	路段长度	0.66km
	车道数量	双向 8 车道
	车道宽度	3.5 米
	病害数量	3 处
	探测周期	12 个月
	施工因素	测区边界外 30m 之内无地下空间或深基坑施工
	评估时间	探测三个月后

续表 5-2

病害信息	序号	病害体长度 (m)	病害体宽度 (m)	病害体埋深 (m)	病害体净深 (m)
	1	2.7	1.6	0.40	0.50
	2	2.5	2.9	0.55	0.22
	3	2.6	4.3	0.25	0.70
预警结果	深度风险系数 (R_D)		0.46		
	覆跨风险系数 (R_K)		0.876		
	密度风险系数 (R_M)		0.246		
	潜在危险系数 (R_X)		0.496		
	时间风险系数 (R_T)		0.042		
	环境风险系数 (R_H)		0.0		
	路基变化系数 (R_B)		0.22		
	塌陷风险系数 R		0.0512		
	预警等级		安全 (绿色)		
计算过: W_1 : 深度风险中等, 病害体净深在 0.5m 左右, 取区间内中间偏大值 0.2; W_2 : 覆跨风险很大, 取接近区间上限的数 0.3; W_3 : 密度风险较小, 取区内较小值 0.1; W_4 : 因所测路段为主路, 潜在塌陷风险中等, 取区间平均数 0.2; C : 3 个月后病害体已处置且已消除病害成因, 按规定取; $R = [(W_1 * R_D^2 + W_2 * R_K^2 + W_3 * R_M^2 + W_4 * R_X^2) * C + R_T + R_H] * (1 + R_B)$ $= [(0.25 * 0.462 + 0.35 * 0.8762 + 0.15 * 0.2462 + 0.25 * 0.4962) * 0.0$ $+ 0.042 + 0.0] * (1 + 0.22) = 0.0512$					

实例证明, 杭州市道路塌陷风险预警级别科学合理, 风险控制对策得当。

5.7 检测成果

5.7.1 成果报告是对地下病害体检测的工作总结, 是地下病害

体后续处理的重要依据。

5.7.6 应根据安全隐患的类型、规模、土质和水质，结合周边地下管线、人防和地铁工程等信息，初步判断道路隐患成因。地下病害体的工程特征是其分类的基本依据。地下病害体的成因与土体的性质和结构、水动力作用、动（静）荷载作用及其他环境因素密切相关。

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

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

6 路面结构层厚度检测

6.1 一般规定

6.1.1 介电常数随着路面结构设计厚度、集料类型、沥青产地、混合料类型、施工水平、密度以及湿度等的变化而不同，部分常见材料的相对介电常数范围见表 6-1。

表 6-1 部分常见材料的相对介电常数参考范围表

介质类型	相对介电常数范围
空气	1
干沥青	2~4
湿沥青	6~12
干粘土	2~6
干砂	2~6
湿砂	10~30
粘性干土	4~10
粘性湿土	10~30
湿粘土	5~40
干混凝土	4~40
湿混凝土	10~20
淡水	81
干壤土	4~10
湿壤土	10~30
干沙土	4~10
湿沙土	10~30

6.2 准备工作

6.2.1 检测环境内结构层应保持干燥，上下界面应具有明显的

介电性差异，并可作为探地雷达判别的标志层；待测场地内应平整、无障碍物，不可存放可干扰检测信号的金属构件。当有不可移动的金属构件时，可通过改变测线位置消除其干扰。

6.2.4 探地雷达的外观应干燥，无缺损、锈蚀，表面光滑、均匀，各部分说明文字、符号等应清晰完整。

6.3 数据采集

6.3.1 采样点数决定了每次扫描的样点数量，数值越大，表示每次扫描的信息量越大，反映地下介质的信息越丰富，但过大的样点数会占用较多的系统空间。一般情况下，扫描样点数调整系数，在使用高频天线时选低值，使用低频天线时选高值，且经计算后的结果应落到常用的样点数范围内。

6.3.8 介质的相对介电常数标定主要采用预埋金属薄板法和钻孔实测法。

预埋金属薄板法是在待测道路上预埋金属薄板，利用预埋的金属板的双程旅行时及该处的厚度求取相对介电常数。测量时，每处实测不宜少于3次，取3次的平均值计算最终结果。

钻孔实测法是利用钻孔取芯的方法实测结构层厚度，通过与探地雷达时间剖面上的双程旅行时进行相对介电常数计算。测量时，每条道路不应少于3点。每个芯样分别用钢板尺或卡尺沿芯样圆周对称的十字方向四处量取表面至底界面的高度，取其平均值作为该层的厚度，并求取该点处道路结构层的相对介电常数，取3点的平均值计算最终结果。

6.3.12 雷达的移动速度不宜过快。在一般情况下，欲查清目标体，至少应保证有20次扫描通过被扫描体，限制天线的最大移动速度，可以避免因车速过快导致的信息丢失。扫描率越大，对地下被探测体的扫描次数越多，对被探测体的形态查明就越清楚。但是过大的扫描率会严重影响系统响应。

7 信息化管理

7.0.1 当前，我国已进入新型智慧城市发展时期，地下空间开发利用已列为城市空间集约化、提升城市治理能力和水平的重要举措。地下病害体信息属于地下空间开发利用过程中的重要信息，探测完成后进行地下病害体信息管理，发挥病害体信息效益，为城市建设、地下空间体开发利用以及防灾减灾提供服务，是城市建设发展的实际需要，也是新型智慧城市建设的重要内容。城镇道路地下病害体严重威胁到居民出行安全，已经成为影响居民安全感和幸福感的一个重要问题。城镇道路管理与养护单位应通过数字化技术，实现较大塌陷隐患的预测预警，减少人员伤亡和财产损失。

7.0.2 地下病害体的产生、发展有一定的过程，因此宜将每次地下病害体探测和厚度检测的成果及相关资料纳入信息化统一管理，有助于分析和研究地下病害体的形成机理，掌握其发展规律，有助于后续检测工作的合理规划，提高后续检测成果的准确率。

7.0.5 在建立数据库时，应明确病害体信息和结构层厚度信息。病害体信息包括空间信息和属性信息。

7.0.6 病害体信息的分类、编号，道路结构层厚度的历年变化数据应及时更新，定期备份。