

青海省工程建设地方标准

DB

DB63/T XXXX-20XX

青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测
与风险评估技术标准

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

青海省住房和城乡建设厅
青海省市场监督管理局

发布

青海省工程建设地方标准

青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险 评估技术标准

DB63/T XXXX-20XX

主编单位：青海省建筑建材科学研究院有限责任公司

参编单位：苏交科集团股份有限公司

中科云图科技有限公司

批准部门：青海省住房和城乡建设厅

青海省市场监督管理局

实施日期：20XX年XX月XX日

发 布 公 告 页

前 言

本标准是根据青海省市场监督管理局《关于印发 2022 年青海省地方标准制修订项目计划的通知》（青市监函〔2022〕119 号）文件要求进行编制的。

本标准是为了规范青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险评估工作，以形成安全、科学、经济、适用的湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险评估技术体系为目标，进一步提高城市道路地下病害的应对管理水平，保障城市运行安全。由青海省住房和城乡建设厅组织，经青海省建筑建材科学研究院有限责任公司和参编单位广泛调查总结研究，参考国内外相关标准和应用研究成果进行编制，并在广泛征求意见的基础上，制订了本标准。

本标准按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》、DB63/T1789-2020《地方标准制定工作规范》、《青海省地方标准管理办法（试行）》（青市监标〔2021〕86 号）、《青海省工程建设地方标准编制规程（试行）》（青建标中〔2021〕3 号）的相关规定起草编制。

本标准是青海省科技计划项目《城镇道路塌陷检测监测预警关键技术研究》（项目编号：2021-SF-159）的重要成果之一。

本标准的主要内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.青海省湿陷性黄土分布与特征；5.城市道路地下病害体分类；6.技术工作路线；7.道路地下病害探测与监测；8.道路地下病害体验证；9.道路地下病害风险评估与控制；10.道路地下病害体治理措施；11.信息化管理与应用；12.成果报告编制。

本标准由青海省住房和城乡建设厅负责归口管理，授权由青海省建筑建材科学研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中

如有意见或建议，请寄送青海省建筑建材科学研究院有限责任公司(地址：西宁市城西区五四西路建研巷 6 号，邮编：810008，电话：6335092)。

本标准主编单位：青海省建筑建材科学研究院有限责任公司

本标准参编单位：苏交科集团股份有限公司

中科云图科技有限公司

主要起草人员：星文太 保长林 周 程 曹瑞普 孟艳玲
王永涛 王 瑾 朱朝发 刘传新 夏 炎
张 明 王继伟 高云泽

主要审查人员：

目 录

1 总 则.....	1
2 术语与符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	3
3 基本规定.....	6
4 青海省湿陷性黄土分布与特征.....	10
5 城市道路地下病害体分类.....	13
6 技术工作路线.....	15
7 道路地下病害探测与监测.....	17
7.1 一般规定.....	17
7.2 探地雷达法.....	21
7.3 高密度电阻率法.....	29
7.4 瞬态面波法.....	32
7.5 微动勘探法.....	35
7.6 地震映像法.....	38
7.7 瞬变电磁法.....	40
7.8 钻探.....	43
7.9 井探.....	43
7.10 钎探.....	44
7.11 地下管线探测.....	45
7.12 人工巡查与自动化监测.....	46
8 道路地下病害体验证.....	48

9 道路地下病害风险评估与控制.....	50
9.1 一般规定.....	50
9.2 风险影响因素调查.....	51
9.3 风险发生可能性评价.....	51
9.4 风险后果评价.....	56
9.5 风险等级划分.....	59
9.6 风险控制措施.....	60
10 道路地下病害体治理措施.....	61
11 信息化管理与应用.....	63
12 成果报告编制.....	66
12.1 一般规定.....	66
12.2 文字报告.....	66
12.3 成果图件.....	67
附录 A 探地雷达外业探测记录表.....	69
附录 B 探地雷达病害信息记录表.....	70
附录 C 高密度电阻率法外业探测记录表.....	71
附录 D 瞬态面波法外业探测记录表.....	72
附录 E 微动勘探法外业探测记录表.....	73
附录 F 地震映像法外业探测记录表.....	74
附录 G 瞬变电磁法外业探测记录表.....	75
附录 H 钻探、井探现场记录表.....	76
附录 R 钎探现场记录表.....	77
附录 J 道路地下病害体成果统计表.....	78
附录 K 道路地下病害体探测成果代号和图例.....	79
本标准用词说明.....	81

引用标准名录.....82

条文说明.....83

1 总 则

1.0.1 为规范青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险评估工作，提高城市道路地下病害风险管控能力，保障城市运行安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险评估。

1.0.3 城市道路地下病害体探测与风险评估工作除应符合本标准外，还应符合国家、青海省现行有关行业法律、法规和标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 道路地下病害体

存在于城市道路路面以下的空洞、脱空、疏松体、富水体等威胁城市道路及地下管线等设施安全运营的不良地质体。

2.1.2 地下病害体探测

采用多种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

地面硬壳层与地基土之间发育有一定规模的洞体。

2.1.4 空洞

地下土体中发育形成的具有一定规模的洞体。

2.1.5 疏松体

密实度明显低于周边土体的不良地质体。

2.1.6 富水体

含水量明显高于周边土体的不良地质体。

2.1.7 干扰源

在地下病害体探测中，影响探测信号质量、数据信噪比和探测深度的各种干扰因素。

2.1.8 地下病害体验证

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

2.1.9 地下病害体风险评估

根据地下病害体的埋深、规模及周边环境影响等孕险环境与致险因子，评估地下病害对道路、管线的危害性影响程度，划分安全风险等级，并提出相应的风险控制建议。

2.1.10 风险等级

根据地下病害风险发生可能性和对应的风险后果等级综合判定的风险等级。

2.1.11 覆跨比

地下病害体上覆土厚度与地下病害体水平向跨度之比。

2.1.12 湿陷性黄土

在一定压力下受水浸湿，土结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。

2.1.13 自重湿陷性黄土

在上覆土的自重压力下受水浸湿，发生显著附加下沉的湿陷性黄土。

2.1.14 塌陷

在自然或人为因素的作用下地面向下陷落，并形成凹陷或坑洞的过程和现象。

2.1.15 InSAR

合成孔径雷达干涉测量技术。

2.1.16 地球物理性质

地球物理性质主要包括密度、应力场、重力场、温度场、地磁场、地电场及弹塑性等。

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 —相对介电常数；

D —最大探测深度；

d —地下病害体高度；

h —病害体顶部埋深；

K —加权系数；

T —时窗；

t —衰减时间；

v —电磁波在介质中的传播速度（m/ns）；

χ' —横向分辨率；

λ —电磁波波长；

c —电磁波在空气中的传播速度， $c = 0.3\text{m/ns}$ ；

f —雷达天线主频（MHz）。

2.2.2 高密度电法使用的符号应符合下列规定：

ρ —视电阻率（ $\Omega\cdot\text{m}$ ）；

K —装置系数；

M_0 —病害密度；

N —噪声电平。

2.2.3 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（Hz）；

D —探测深度（m）；

V_{Rmin} —面波相对速度最小值（m/s）；

β —波长深度转换系数。

2.2.4 瞬变电磁法使用的符号应符合下列规定：

D —最大探测深度；

M —回线装置匝数；

L —发射回线边长；

I —发射电流；

ρ —地层电阻率（ $\Omega\cdot\text{m}$ ）；

η —最小可分辨电平；

R_m —最低限度信噪比；

N —噪声电平;

t —衰减时间(ms)。

2.2.5 道路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);

P_{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 —道路地下病害投影面积 (m^2);

L —地下构筑物、地面设施与道路地下病害体之间的最小距离;

$R_{地下构筑}$ —地下构筑边界和病害体之间的最小距离与病害体最大跨度的比值;

$R_{地面设施}$ —地面设施边界和病害体之间的最小距离与病害体最大跨度的比值;

l —道路地下病害与管线的距离 (m);

r —道路地下病害体覆跨比;

D —管线内径 (mm);

n —地下管线服役年数;

K_l —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 青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害体探测应采用多种手段，对病害体进行准确识别、科学评估，以降低或消除安全隐患为目标。

3.0.2 青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害体探测工作应根据风险区域内岩土工程条件、水文气象特征结合现场市政设施布设及历史病害记录等资料有针对性的开展。

3.0.3 青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害体探测应查明探测区域一定深度内可能存在的地下病害体属性特征，并对其进行风险评估，提出相应风险处置建议。

3.0.4 针对城市道路地下病害体的发育特征以及对社会造成的危害性特点，探测区域与探测周期应按城市道路管养部门规定执行，并充分考虑当地经济水平，当无相关规定时，探测可分为定期探测、专项探测和应急探测。

3.0.5 定期探测

以下区域建议定期开展探测工作：

1 湿陷等级为Ⅲ级及以上的区域道路，快速路、主干路，曾存在地下病害体的道路区域经修复后两年内需加强探测频次，探测周期不宜少于1次/年；

2 湿陷等级为Ⅱ级的区域道路，次干路，学校、大型医院、主要景区、主要商业街区等人流密集区域的道路，城市次干路、地下管线密集的道路、城市下穿隧道、城市轨道交通区域沿线道路探测周期不宜少于1次/2年；

3 湿陷等级为Ⅰ级的区域道路，支路及其他区域道路的区域道路探测周期不宜少于1次/3年；

4 定期探测范围与频率应适应当地经济发展水平。

3.0.6 专项探测

以下情况应开展专项探测工作，应根据实际情况和相关要求及时安排探测工作：

1 历史上发生过道路塌陷事故的区域，对周边路段及时安排道路地下病害体探测工作；

2 春融后、汛期后、区域地下水位突然变化、道路荷载增加等区域道路及时安排探测工作；

3 遇重要大型活动、外交、大型体育赛事等文体活动举办地周边区域道路，活动举办前 1 个月内进行探测；

4 新建道路竣（交）工验收前，宜进行道路地下病害专项探测；

5 其他潜在安全风险区域，在周边影响路段及时安排地下病害体探测工作。

3.0.7 应急探测

发生以下情况之一，应立即开展应急探测工作：

1 道路区域刚发生过（24 小时内）影响安全运营的塌陷事故；

2 建（构）筑物、道路交叉路口或管线（道）累计沉降量超限，或路面出现明显沉降或塌陷区域；

3 安装监测设备路段路面累计沉降量报警或已有在建地下工程发生渗水、涌水等险情时；

4 对道路区域地下管廊、地沟或其附属设施进行排查、探测或养护工作中发现渗漏、破损、变形等隐患；

5 管理单位认为的其他需要进行应急探测的情形。

3.0.8 承担城市道路地下病害体探测与风险评估工作的单位应符合下列要求：

1 具有独立法人资格；

2 具备相应专业人员、仪器设备和良好资信；

3 具备相应勘察、物探检测资质。

3.0.9 道路地下病害体探测可采用普查、详查及两者相结合的方式，并应符合下列规定：

1 定期探测采用普查方式，应对测区进行全面探测，应根据结果划分重点探测区；

2 专项探测、应急探测采用详查方式，应对重点探测区进行详细探测，查明道路地下病害体的属性特征，必要时可采用普查、详查结合方式进行探测。

3.0.10 道路地下病害体探测方法应根据探测对象、场地岩土条件、地球物理特性、环境条件、探测深度和精度要求等因素综合选择。

3.0.11 道路地下病害体探测与风险评估工作程序宜包括下列内容：

1 收集、分析相关资料，现场踏勘；

2 编制和审核探测工作方案；

3 探测方法有效性试验；

4 实施探测并进行数据采集；

5 数据分析与处理解释；

6 成果复核与验证；

7 道路地下病害体风险评估；

8 报告编写，成果提交与归档。

3.0.12 探测仪器设备应性能稳定、状态良好，并应定期校准、维护与保养。

3.0.13 现场探测前应根据探测目的、场地环境等因素进行有效性试验，确定探测方法和工作参数。

3.0.14 探测过程中和完成后应进行数据质量检查，合格后方可用于解释。

3.0.15 在探测过程中，当发现危险性较大的地下病害体时，应及时通报相关单位。

3.0.16 对道路地下病害体风险评估时，应确定风险等级并提出风险控制建议。

3.0.17 对道路地下病害体综合探测成果应利用地理信息系统进行数字化管理。

3.0.18 道路地下病害体探测作业人员应经过技术、安全培训合格方可上岗。工作前应进行技术、安全作业交底，探测中应根据交通安全作业要求开展现场探测工作。

3.0.19 道路地下病害体探测的资料管理，应严格执行相关保密条例和行业主管部门的保密管理要求；成果（包括传真、电子文档）的获取、使用、销毁等必须建立有效的档案管理制度。

4 青海省湿陷性黄土分布与特征

4.0.1 青海省范围内的湿陷性黄土分为东西两个特征区，东区分布于黄河、湟水流域，行政区划包括西宁、海东、海南（共和县除外）、海北、黄南，该区湿陷性黄土分布广泛，湿陷性黄土层厚度通常大于 10m，湿陷等级多为Ⅲ~Ⅳ级，湿陷程度中等—强烈；西区主要分布于柴达木盆地东缘冲、洪积扇中上部，河流阶地及山麓斜坡地带零星分布，行政区划包括海西、海南（共和县）、果洛、玉树，一般为非自重湿陷性黄土场地，湿陷性黄土层厚度一般小于 8m，湿陷等级为Ⅰ~Ⅱ级，局部为Ⅲ级，湿陷程度轻微—中等。

4.0.2 青海省地理环境特征在空间分布上差异很大，湿陷性黄土分布面积虽然小，但由于省域面积辽阔，全省范围内湿陷性黄土特征变化较大，黄土颗粒组成随低阶地向高阶地、洪积裙、低山丘陵区过渡，黄土的黏粒含量较少，粉粒和砂粒含量较大。

4.0.3 青海地区黄土的易溶盐含量相对较高，主要与该地区气候干燥，年降水量少、蒸发量大的气候特征有关。

4.0.4 青海地区湿陷性黄土的地球物理物理参数，见表 4.0.4。

表 4.0.4 青海地区湿陷性黄土的地球物理参数统计表

地球物理参数 黄土类型	相对介电 常数	电磁波速 (m/ns)	横波速度 (m/s)	电阻率 ($\Omega\cdot m$)
湿陷性黄土	5~11	0.086~0.11	130~280	15~60

4.0.5 青海地区湿陷性黄土的物理力学性质指标，见表 4.0.5。

4.0.5 青海地区湿陷性黄土的物理力学性质指标

分区	地貌	黄土厚度 (m)	湿陷黄土厚度 (m)	物理力学性质指标							
				含水量 w (%)	天然密度 ρ (g/cm ³)	液限 w_L (%)	塑性指数 I_p	孔隙比 e	压缩系数 $\alpha_{0.1-0.2}$ (MPa ⁻¹)	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}
东区	低阶地	4~20	3~16	10.3~27.1	1.5~1.9	21~31	4~16	0.76~1.08	0.12~0.32	0.020~0.105	0.007~0.029
	高阶地	15~80	8~35	6~21	1.3~1.9	21~33	5~14	0.80~1.16	0.16~0.50	0.022~0.179	0.08~0.082
西区	—	3~20	2~10	8~22	1.4~1.8	21~27	6~9	0.81~1.12	0.15~0.32	0.015~0.066	0.005~0.027

4.0.6 黄土的湿陷性是其物质成分和微观结构特征共同决定的，微观结构是其主要方面，初始含水率和组成物质对其有一定的影响，矿物成分对其影响较小。与黄土湿陷系数密切相关的物理指标是孔隙比、干密度、含水率和塑性指数。

4.0.7 黄土遇水湿陷是道路地下病害体产生的主要因素，指导道路地下病害体探测与评估工作时，应按现行国家黄土标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 进行黄土定名、湿陷类型、等级划分等。

5 城市道路地下病害体分类

5.0.1 城市道路地下病害体可分为富水体、空洞、脱空和疏松体 4 类。

5.0.2 根据工程特征划分的道路地下病害体类型宜按表 5.0.2 确定。

表 5.0.2 道路地下病害体按工程特征分类

类型	工程特征
富水体	1 湿陷性黄土在地下水、雨水及外界气候环境的作用下，路基土体局部受水浸湿，形成局部富水软弱异常体，相对周边土体具有均匀性差、结构弱化，含水量高、流塑性强、孔隙比大、强度降低等特征 2 当富水体周边具有潜在排泄通道时，极易水土流失，导致产生疏松，并发展形成空洞，危及周边工程安全 3 根据富水体的含水量对土体强度的弱化程度，可以分为严重、中等、一般，富水体的危害性较疏松体严重，极易发展为严重疏松或空洞病害
空洞	1 湿陷性黄土场地路基下，未经工程处理自然存在于黄土层中的土洞、陷穴以及早期墓穴等，一般路基疏松体塌缩或者水土流失形成的空腔体，对上部土体或道路结构具有失稳风险 2 青海部分湿陷性黄土含盐量高，含盐黄土遇水后结构溶解破坏，在重力的作用下，土体崩解，颗粒流失，形成空腔体；在水的反复作用下，洞壁不断坍塌，逐渐扩大形成空洞
脱空	1 脱空一般位于路面硬壳层与路基之间，为地基局部沉降或水土流失形成，埋深较浅 2 湿陷性黄土受水浸湿后，在行车荷载的反复作用下，土体结构会迅速破坏，水土流失、产生附加下沉，路基与原地基之间形成脱空 3 工程处理欠缺的湿陷性黄土地基仍具有结构疏松、孔隙发育等特征，受水浸湿后极易使道路结构层间脱空，路面出现断裂、沉陷等现象，影响道路路面结构的安全与完整性
疏松体	1 湿陷性黄土利于地下水渗透，遇水极易破坏内部结构，固结强度降低，形成疏松体 2 道路施工质量控制不严引起路基密实度降低 3 在动荷载和水作用下，内部土体发生塌缩形成疏松体，其具有高压缩性、大孔隙比、渗透性好等特点

5.0.3 根据地球物理特征划分的地下病害体类型宜按表 5.0.3 确定。

表 5.0.3 道路地下病害体按地球物理特征分类

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	1 电阻率小于周边土体 2 明显低阻异常
空洞	相对介电常数为 1	1 弹性波速度低 2 波阻抗低	电阻率大于周边土体，明显高阻异常
脱空			
疏松体	1 相对介电常数小于周边土体 2 疏松程度越高相对介电常数越小	1 弹性波速度低 2 疏松程度越高速度越低	1 电阻率教大于周边土体 2 疏松程度越高，电阻率差异越明显 3 电阻率等值线结构不规则

5.0.4 疏松体等级划分宜按表 5.0.4 确定。

表 5.0.4 疏松体等级划分

等级	岩土性质	工程特征	可钻性
严重	1 路基填土结构松散，级配差，压实效果较差 2 黄土湿陷性等级为Ⅲ、Ⅳ级 3 其他碎石土、砂土、黏性土密实度低，极易压缩变形的土体	1 孔隙大、不密实，结构松散 2 作为水力通道时，易产生水土流失 3 易产生固结沉降变形 4 浸水后土的结构破坏而发生自陷沉降变形	极易钻进，孔壁稳定性差
一般	1 路基填土压实效果一般，级配不良 2 黄土湿陷性等级为Ⅰ、Ⅱ级	1 密实度差、土体部分浸水后土的结构强度较低，遇通道易于流失 2 外力作用下易产生压缩变形	钻进较容易，孔壁较稳定

6 技术工作路线

6.0.1 道路病害体探测应进行技术准备，技术准备工作包括资料搜集、现场踏勘、编写探测方案等主要内容。

6.0.2 资料搜集包括下列内容：

- 1 测区内工程地质、水文气象、地形图、测量控制等基础资料；
- 2 测区内道路工程、地下工程等设计施工资料；
- 3 测区内地下管线现状资料、已有排水管道检测资料、给水管道漏水检测资料；
- 4 测区内道路塌陷、沉降及裂缝等相关维修与养护资料；
- 5 测区内既有道路地下病害体探测资料及修复设计施工资料；
- 6 测区内应进行工程地质调绘工作，对收集的资料进行验证、补充、修正；
- 7 与探测有关的其他资料。

6.0.3 现场踏勘应了解工作环境条件及典型干扰源的分布、地形地貌及其变化情况，核实已收集资料的有效性，调查探测区交通状况，评估现场作业风险，调查对探测工作有影响的其它资料。

6.0.4 道路地下病害体探测应提前向相关管理部门报备申请，征得同意后后方可作业。

6.0.5 安全保障工作应符合以下要求：

- 1 保护探测工作相关资料的安全和知识产权；
- 2 探测前进行安全培训，设置专职安全员；
- 3 保障设备、车辆及系统的运行安全；
- 4 确保各方人员和财产的安全；
- 5 作业符合交通管理部门相关规定，穿戴反光安全服、佩戴警示灯，所有设备均粘贴反光标识；
- 6 不得对外泄漏或发布任何与探测工作相关的成果，不得将未经授权的探测资料用于其他用途。

6.0.6 道路地下病害体探测应根据工作要求、病害体属性、场地干扰因素和作业条件综合确定采用的探测方法，并进行有效性试验。

6.0.7 城市道路地下病害体探测工作宜采用“普查、详查、验证”的技术流程。

6.0.8 编制探测方案应包括下列内容：

1 项目概况：任务来源、工作目的与任务、工作量、作业范围和主要内容等；

2 测区概况：工程地质条件、地球物理条件、地下设施情况以及工作环境分析；

3 执行的标准规范或其他技术文件；

4 工作重难点分析及应对措施；

5 探测仪器、设备等计划；

6 作业方法与技术措施；

7 施工组织方案与质量、安全与进度措施；

8 拟提交的成果资料。

7 道路地下病害探测与监测

7.1 一般规定

7.1.1 道路地下病害体探测应符合下列条件：

- 1 道路地下病害体应与周围介质应存在明显的地球物理性质差异；
- 2 道路地下病害体的尺寸相对于其埋藏深度或探测距离应具有一定的可分辨规模；
- 3 现场应具备探测的实施条件。

7.1.2 道路地下病害体探测应遵循从简单到复杂、从已知到未知的原则，复杂探测环境或单一方法存在多解性时宜采用多种方法综合探测。

7.1.3 探测方法或方法组合宜根据探测目的按表 7.1.3 确定。探测前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，选择合理的探测方法，应满足如下要求：

1 基于城市道路探测工作时效性较强的特点，在具备开展三维探地雷达探测工作条件时，优先采用三维探地雷达法进行全覆盖式道路地下病害体探测普查工作，对于异常病害点宜采用多种天线组合的二维探地雷达进行详查复核工作；

2 在湿陷性黄土地区开展道路地下病害探测时，路面以下 5m 内病害体探测应采用地雷达法；不具备开展地质雷达法工作条件、勘探范围较小路段、特殊环境等情况下，宜采用高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法、瞬变电磁法进行道路地下病害体的详查工作；

表 7.1.3 道路地下病害体探测方法的适用性

病害体 探测方法	类型				埋藏深度 D	适用条件	优缺点
	富水体	空洞	脱空	疏松体			
探地雷 达法	●	●	●	●	$D < 7\text{m}$	大面积全域快速探测,测区内道路相对平坦,路面干燥无积水	经济、快速高效、交通影响小、适用面广、探测深度较浅
高密度 电阻率法	●	●	—	○	$3 < D \leq 30\text{m}$	局部小范围,测区内道路需钻孔与地面紧密耦合,接地条件良好,地下无高阻屏蔽层及强高压干扰	较经济、效率低、接地耦合困难、交通影响大、对道路造成局部破坏
瞬态面 波法	—	●	—	●	$3 < D \leq 20\text{m}$	局部小范围探测,地表宜平坦,电磁干扰小,震动噪声干扰小,病害体需具有一定规模	较经济、效率低、震动噪声干扰大、交通影响大
微动勘 探法	—	●	—	●	$3 < D \leq 30\text{m}$	局部小范围探测,电磁干扰小,震动噪声较大,地表宜平坦,无临空面、陡立面,病害体需具有一定规模	施工简单、经济性较差、效率较低、交通影响大
地震映 像法	—	●	○	—	$3 < D \leq 30\text{m}$	局部小范围探测,地表宜平坦,无临空面、陡立面,病害体需具有一定规模	较经济、效率低、交通影响大、适用面窄
瞬变电 磁法	●	●	—	—	$3 < D \leq 30\text{m}$	局部小范围探测,无强电磁干扰	较经济、效率较高、交通影响较大
钻探	●	●	●	●	$D \leq 30\text{m}$	地下无管线道路区域	效率高、破坏较小
井探	●	●	●	●	$D \leq 15\text{m}$	病害体具有一定规模,不具备钻探时	识别率高、破坏较大
钎探	—	○	○	○	$D \leq 3\text{m}$	查明、验证浅层病害体	效率高、破坏较小

备注: ●—推荐, ○—可选, —为不适用; 其他探测方法应根据方法试验确定其适用

3 在机械振动噪声较大的场地，可选择地质雷达法、微动勘探法、瞬变电磁法或者高密度电阻率法；

4 振动噪声较小的场地，可选择探地雷达法、瞬态面波法、地震映像法、瞬变电磁法或者高密度电阻率法；

5 电磁干扰较大的场地不适宜开展电（磁）法，宜采用瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法；

6 道路地下病害体的验证主要采用钻探、井探、钎探，结合内窥设备确定病害体的发育规模；

7 管线探测查明地下含水管道的（雨水、污水、给水、供热）的管材、管径、埋深、走向、建设年代等信息、管道是否存在破损、渗漏等病害类型；

8 对城市重点路段进行人工巡查及数字自动化监测（沉降量监测、管道流量监测、管道压力监测、道路周边附属物位移监测），分析监测数据，及时发现可能发生病害的异常位置并进行治理修复，防止病害进一步扩大。

7.1.4 道路地下病害探测应采用普查、详查、多种技术手段验证相结合的方式，应符合下列规定：

1 普查时应对测区进行全面探测，初步划定道路地下异常区域；

2 详查时应对普查中划分的道路地下异常区域进行校核、验证，确定异常区域内病害体位置及规模。

7.1.5 测线布置宜考虑任务要求、探测方法及有效性试验结果、探测目标体的规模与埋深、测区的地形、现场环境等因素，并应符合下列规定：

1 测线宜避开地形及其他干扰的影响；

2 测线宜通过已知点布设；

3 测线长度、距离应满足异常探测成果连续、完整，便于追踪；

4 对重点区域，测线宜加密或网状布设；

5 定期复测的，测线宜固定布设。

7.1.6 探测的测量工作应符合下列规定：

1 测线的起止点、转折点、地形突变点、非均匀分布的各测点、重要的探测异常点及验证的点位，应进行平面和高程测量；

2 测量精度应符合现行行业标准《工程测量标准》GB 50026 的有关规定；

3 普查探测时使用的底图比例尺不宜小于 1:2000，专项探测时不小于 1:500；

4 测量平面坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系，必要时可采用当地城建坐标系。

7.1.7 道路地下病害探测工作开展前，应向道路运维、交通管理部门报备申请，由管理单位根据道路交通状况确定探测时段，确保探测工作安全有序开展；道路探测过程中，应设置安全警示标志，并严格执行现行安全及操作规程的具体规定；雨雾、冰雪天气暂停道路探测工作。

7.1.8 探测过程中应及时按不同探测方法和工程性质填写现场记录，记录内容应清晰、准确、完整，采用电子记录时应及时备份。

7.1.9 探测成果解释时应比对不同探测方法同时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综合进行。

7.1.10 地球物理方法采集数据须经质量检查合格后，方可用于解释。

7.1.11 城市道路塌陷隐患探测工作宜采用“普查、详查、验证”的技术流程。

1 通过车载地质雷达对道路塌陷隐患全覆盖、高效率和高质量的普查，发现异常区域；

2 通过多种物探方法复核详查，精确对比分析、判定塌陷隐患类型，明确其位置、平面尺寸、埋深等信息；

3 通过钻探/井探、内窥镜的验证，获得隐患内窥图像，明确其净高等信息。

7.2 探地雷达法

7.2.1 探地雷达法探测道路地下病害体时应具备下列条件：

1 道路地下病害体应具有一定的规模，与周边介质之间应存在介电性质差异；

2 道路表面应保证一定的平整度，尽量保证干燥；

3 在地下水位较浅或回填土疏松等区域，探地雷达信号衰减明显，应考虑其对探测深度的影响，设计探测深度不宜大于 3.0m。

7.2.2 探地雷达法可用于城市道路地下脱空、空洞、疏松体、富水体等病害的探测。

7.2.3 在进行普查探测过程中，宜使用车载三维探地雷达进行全面探测，根据探测结果划分重点探测路段，再使用车载二维探地雷达进行复测，查明道路地下病害体的属性特征。

7.2.4 车载式三维多通道探地雷达系统天线阵列应至少具有 8 个通道，应能实现三维采集，具有坐标定位和测距功能，自带三维电磁波数据处理、解释软件包。

7.2.5 车载式二、三维一体化多通道探地雷达系统应同时具备采集二维和三维数据的功能，应配置至少 2 种频率的天线，实现二维雷达数据和三维雷达数据相互融合，满足不同探测深度要求。雷达天线中心频率选择应符合表 7.2.9 的规定。

7.2.6 车载式二、三维一体化多通道探地雷达系统参数符合下列规定：

1 三维雷达天线阵列与二维雷达天线阵列布局应合理，由同一控制单元控制，保证工作时互不干扰；

2 三维雷达天线的横向测线间距应小于或等于 14cm；

3 天线阵列主频应为 200MHz~500MHz；

4 探测时窗应为 0ns~512ns；

5 信噪比应大于或等于 90dB；

6 测距误差应小于或等于 0.1%；

7 A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；

8 外壳防护等级应大于或等于 IP54；

9 配置天线应具备屏蔽功能。

7.2.7 便携式探地雷达应设计小巧，轻便灵活，适用于交叉路口、巷道、人行道等车载式探地雷达不便到达的检测区域；便携式探地雷达宜配备两种不同频率天线进行探测，天线布局应合理，以满足不同探测深度要求，雷达天线中心频率选择应符合表 7.2.9 的规定。

7.2.8 便携式探地雷达参数符合下列规定：

1 扫描速率应大于或等于 300 线/s；

2 探测时窗应为 0ns~512ns；

3 信噪比应大于或等于 90dB；

4 测距误差应小于或等于 0.1%；

5 A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；

6 配置天线应具备屏蔽功能。

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

1 城市道路地下病害体探测应选用 100MHz~500MHz 屏蔽型多频段雷达天线；探地雷达探测深度、垂向分辨率由天线中心频率确定，关系如表 7.2.9 所示；

表 7.2.9 天线中心频率与探测深度、分辨率关系表

中心频率（MHz）	最大探测深度（m）	垂向分辨率（m）
100	7.0	0.5
200~300	3.5	≤0.25
400~500	2.0	≤0.125

2 车载探地雷达应选择不低于两种频段的天线，并宜保证 100MHz~200MHz 频段和 200MHz~400MHz 频段天线至少各一副；

3 当电磁干扰不明显且探测深度较大时，可选择非屏蔽的低频天线；

4 重点区域及普查中确定的重点异常区宜选用多种频率天线进行探测；

5 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。

7.2.10 探地雷达法工作环境应符合下列规定：

- 1 环境温度应在-20℃～50℃范围内；
- 2 探测作业面应无雨、雪和积水；
- 3 移动速度应均匀，并与雷达扫描速率相匹配。

7.2.11 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应按下式计算：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (7.2.11)$$

式中： λ —电磁波波长（Hz）；

c —电磁波在空气中传播的速度(m/ns)，取 0.3；

f —探地雷达天线主频(MHz)；

ε_r —相对介电常数。

7.2.12 探地雷达法的横向分辨率应按下式计算：

$$\chi' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (7.2.12)$$

式中： χ' —横向分辨率（m）；

λ —电磁波波长（Hz）；

h —深度(m)。

7.2.13 探地雷达法测线的布设应符合下列规定：

- 1 在城市道路进行探测时，测线宜沿车道行进方向布设；
- 2 普查时测线间距不宜大于 2m，详查时测线间距不宜大于 1.0m；
- 3 测线设置应保证道路全面覆盖，三维探地雷达测线探测范围应重叠覆盖，保证探测工作的完整，便于后续追踪；
- 4 测线宜避开地形及其他干扰的影响，垂直或大角度相交于探测目标；

5 对重点区域，测线宜适当加密或网状布设；

6 测线宜通过已知点布设。

7.2.14 正式探测前应根据测区工程地质条件、探测深度和精度要求，通过有效性试验确定合适的天线主频、采集方式和采集参数。

7.2.15 探地雷达法采集参数的设置应符合下列规定：

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

$$T = K \frac{2D}{v} \quad (7.2.15)$$

式中： T —记录时窗（ns）；

K —加权系数，取 1.3~1.5；

D —最大探测深度(m)；

v —电磁波波长（Hz）。

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 采样率不应低于所采用天线主频的 20 倍；

4 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；

5 普查时道间距不宜大于 5.0cm，详查时道间距不宜大于 2.5cm。

7.2.16 计算地下介质的等效电磁波速度可采用宽角法、已知深度目标换算法或迭代偏移处理法。

7.2.17 探地雷达法现场数据采集应符合下列规定：

1 当采用测量轮测距时，采集前应对其进行校准；

2 在数据采集过程中可根据干扰情况、图像效果调整采集参数；

3 天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；

4 测量轮触发连续采集时，天线移动速度应保证采集数据不出现丢道现象；自由连续采集时，天线移动速度应保证水平分辨率的要求；

5 点测时，应在天线静止时采样；使用分离天线点测时，应采用合理的天线间距；

6 自由连续采集时，应进行等间距标记，间距不宜大于 10m；

- 7 应及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时进行复测；
- 8 应及时记录各类干扰源及地面积水、变形等环境情况；
- 9 疑似地下病害体异常时，应做好标记，与周围管线分布等已知资料对比，并进行复核；

10 探测区域局部不满足探测条件时，应记录其位置和范围，待具备探测条件后补充探测，若不具备条件时可采用其他适用的探测方法；

11 采用差分 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。

7.2.18 现场记录宜包含探测地点、主要测试参数、测线编号、测线位置、地面异常环境等内容，记录单格式可按本标准附录 A 的规定。

7.2.19 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。

7.2.20 现场采集数据质量检查和评价应符合下列规定：

- 1 探测数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- 2 重复观测的数据与原数据记录应一致性良好；
- 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宜超过全剖面的 5%；
- 5 数据剖面上不应出现连续的坏道。

7.2.21 根据数据质量及解释要求，可参考图 7.2.21 确定数据处理方法和步骤，并应符合下列规定：

- 1 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；
- 2 自由连续采集的数据，应进行水平距离归一化处理；
- 3 可根据需要选取增益调整、频率滤波、反褶积、偏移归位、空间滤波、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 采用平滑数据的点平均法消除高频干扰，最大值宜小于采样率与低通频率之比。

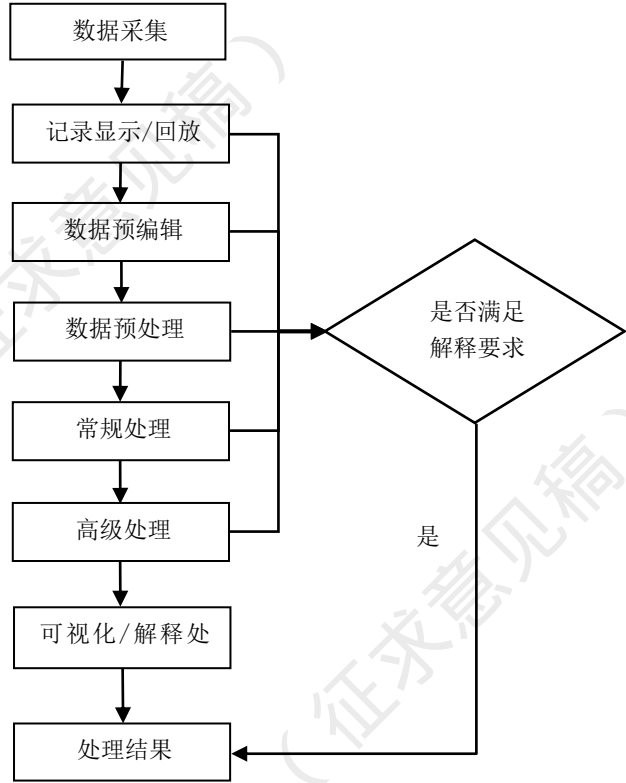


图 7. 2. 21 探地雷达数据处理流程

7. 2. 22 探地雷达法成果的解释可按本标准图 7.2.22 的规定进行，并应符合下列规定：

- 1 解释成果应采用专业语言描述，用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高；
- 2 宜根据信号的同相轴变化及振幅、相位和频率等属性特征提取异常；
- 3 应结合现场记录和调查资料，排除干扰异常；
- 4 宜结合地面变形、管线破损和历史塌陷等调查资料，并结合测区地质资料进行道路地下病害体解释；
- 5 宜结合相邻测线对比分析确定道路地下病害体的位置、范围和规模；
- 6 雷达探测解译成果可按本标准附录 B 的规定进行病害信息统计；
- 7 雷达剖面图上应标明道路地下病害体的位置。

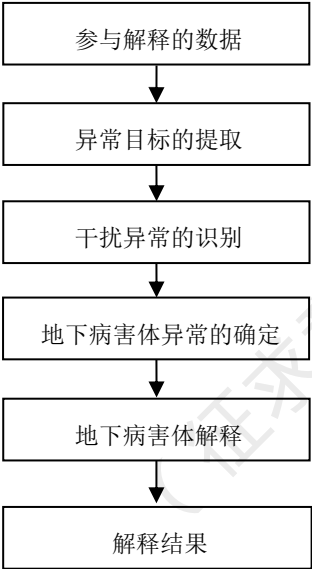


图 7.2.22 探地雷达探测地下病害体解释流程

7.2.23 在城市道路探测时，对探地雷达探测有明显干扰影响的典型干扰源可按本标准表 7.2.23 分为 3 类。

表 7.2.23 探地雷达在城市探测环境下的典型干扰源汇总表

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

7.2.24 根据探地雷达图像的波组形态、振幅、相位和频谱结构等变化, 可按本标准表 7.2.24 的规定识别地下病害体类型。

表 7.2.24 探地雷达法道路地下病害体的识别特征

病害体类型	波组形态	振幅	相位与频谱
富水体	1 形成连续的同向性反射波组 2 多次波不明显 3 绕射波不明显 4 底部反射波不明显	顶部反射波振幅强衰减快	1 顶部反射波与入射波反向, 底部反射波与入射波同向 2 频率低于背景场
空洞	1 近似球形空洞反射波组多表现为倒悬双曲线形态 2 近似方形空洞反射波多表现为正向连续平板状形态 3 绕射波明显 4 多次波明显	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向 2 频率高于背景场
脱空	1 顶部形成连续的同向性反射波组, 多表现为平板状形态 2 多次波明显	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向 2 频率高于背景场
疏松体	1 顶部形成连续的同向性反射波组 2 多次波较明显 3 绕射波较明显 4 内部波形结构杂乱, 随疏松程度加大, 不规则性增强	整体振幅较强	1 顶部反射波与入射波同向, 底部反射波与入射波反向 2 频率高于背景场

7.2.25 探地雷达成果资料应包括检测成果报告、原始数据、雷达图像电子文件、探地雷达测线平面布置图、道路地下病害体平面分布图、道路地下病害体信息卡片。

7.3 高密度电阻率法

7.3.1 高密度电阻率法探测道路地下病害体时应具备下列条件：

1 道路地下病害体应具有一定的规模，且与周围介质之间存在较明显的电阻率差异；

2 测区内接地条件良好或能通过采取措施加以改善；

3 测区内没有较高的电阻屏蔽层；

4 测区内地下没有高压电缆等强干扰存在；

5 城市快速路、主干道等一级公路不宜使用高密度电法探测，有特殊要求的除外。

7.3.2 高密度电阻率法可用于城市道路地下空洞、富水体等病害探测。

7.3.3 高密度电阻率法仪器主要技术指标除应符合现行行业标准《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7 的规定外，还应符合下列规定：

1 仪器应具有即时采集、显示功能以及对电缆、电极、系统状态和参数设置的监测功能；

2 输入阻抗不应小于 $50\text{M}\Omega$ ；

2 AB、MN 插头和外壳之间的绝缘电阻不应小于 $100\text{M}\Omega/500\text{V}$ ；

3 极化补偿范围应满足 $\pm 500\text{mV}$ ；

4 电位差测量允许误差不应大于 $\pm 1.0\%$ ，分辨率应优于 0.1mV ；

5 电流测量允许误差不应大于 $\pm 1.0\%$ ，分辨率应优于 0.1mA ；

6 对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 80dB 。

7 接地电极应使用不锈钢电极或铜电极；

8 多芯电缆芯线电阻应小于 $10\Omega/\text{km}$ ，芯间绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

7.3.4 高密度电阻率法探测的主要干扰源如下：

1 在地表存在富水区段、埋设金属构件的区段、铁磁性渣土回填区段等电性屏蔽层；地表存在干燥的沥青、混凝土路面等电性绝缘层；

2 地下存在的游散电流，以及工业输电线路意外裸露造成的接地放电等；

3 含铁磁性矿物土体。

7.3.5 高密度电阻率法的测线布置应符合下列规定：

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

2 测线上反映目标体的异常数据点不应少于 3 个；

3 同一排列的电极应呈直线布置，电极接地位置沿排列方向上的偏差不宜大于极距的 $1/10$ ；垂直排列方向上的偏差不宜大于极距的 $1/5$ 。

7.3.6 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。

7.3.7 高密度电阻率法的数据采集应符合下列规定：

1 电极接地电阻应小于 $5\text{K}\Omega$ ；

2 复杂条件下，应分别采用不少于两种观测装置进行探测；

3 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；

4 对于偶极、井间和三维观测装置，应观测电压和电流值，计算视电阻率值；远电极极距 OB 不应小于 5 倍供电电极距 OA ；实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接；

5 现场观测数据应及时存储，并应记录现场条件。

7.3.8 宜按本标准附录 C 的规定记录现场工作，并注明特殊环境因素的类型和位置。

7.3.9 高密度电阻率法的质量检查及评价应符合下列规定：

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

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

3 当可以确定由于地表及浅层含水量变化使得视电阻率数据的系统观测出现规律性偏差时或因地电干扰使得视电阻率的原始数据或系统观测数据出现奇异点时，应剔除奇异点后再进行质量评价，剔除点数不得超过 1%；

4 质量检查统计的均方相对误差不得超过 5%；

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

7.3.10 高密度电阻率法数据处理应使用质量合格的数据，并应符合下列规定：

1 当地形坡度大于 15° 时，应进行地形校正；

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

7.3.11 高密度电阻率法资料解释应在分析各项物性资料的基础上，利用各种已知资料，按照从已知到未知、先易后难、点面结合、定性指导定量的原则进行，还应符合下列规定：

1 应对单个探测剖面进行分析，确定出剖面中的电性结构及其异常区；分析时应充分利用地形、地质条件、干扰体位置等已知信息，剔除各种干扰因素引起的异常；

2 应对不同的探测剖面进行对比分析，研究异常特征、性质，找出这些剖面中电性特征类似的异常区域；

3 应在分析异常电性特征的基础上，结合其它有关资料，解释地下病害体属性。

7.3.12 城市道路地下病害体应根据高密度电阻率法剖面电性特征进行识别，可按表 7.3.12 识别道路地下病害体。

表 7.3.12 高密度电阻率法道路地下病害体的识别特征

病害体类型	剖面电性特征
空洞	1 空洞有水充填时，在电阻率剖面上表现为相对低电阻率异常 2 空洞无水充填情况下，在电阻率剖面上表现为相对高电阻率异常
疏松体	1 疏松体有水充填情况下，其电阻率特征表现为相对低电阻率异常 2 疏松体无水充填情况下，其电阻率特征表现为相对高电阻率异常
富水体	富水体的电阻率特征表现应为相对低电阻率异常

7.3.13 高密度电阻率法成果图表应符合下列规定：

- 1 图件宜包括高密度电阻率法测线平面布置图、视电阻率断面图或反演电阻率成果图、地下病害体平面分布图；
- 2 进行多剖面工作时，各剖面图应采用相同的比例尺；
- 3 绘制电阻率剖面图应合理设置色标，同一场地应统一色标设置。

7.4 瞬态面波法

7.4.1 瞬态面波法探测道路地下病害体时应具备下列条件：

- 1 道路地下病害体与其周边介质之间应存在速度或波阻抗差异；
- 2 地表宜平坦，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 不宜将整条排列布置在混凝土、方砖等大面积刚性物体表面。

7.4.2 瞬态面波法可用于城市道路地下空洞、疏松体等病害的探测。

7.4.3 瞬态面波法的震源宜采用机械落重式、人工锤击式或者电磁式震源。

7.4.4 瞬态面波法仪器设备应符合下列规定：

- 1 仪器放大器的通道数不应少于 12 道；
- 2 仪器放大器的通频带应满足 0.5Hz~4000Hz；
- 3 放大器各通道的幅度和相位应一致，各频率点的幅度差应小于 5%，相位差不应大于所用采样间隔的一半；
- 4 仪器动态范围不应低于 120dB，模数转换（A/D）的位数不宜小于 20 位；
- 5 应具备频响与幅度一致性的自检功能、剖面（滚动）采集功能。

7.4.5 瞬态面波法的检波器选择应符合下列规定：

- 1 应采用垂向的速度型检波器；
- 2 检波器的固有频率应满足最大面波周期的需要，宜选用固有频率不低于 4.0Hz 的检波器，自然频率可参考下式计算：

$$f_0 \leq \beta \frac{V_{Rmin}}{D} \quad (7.4.5)$$

式中： f_0 ——检波器的自然频率（Hz）；

D ——需探测的最大深度(m)；

V_{Rmin} ——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。

- 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 5%。

7.4.6 瞬态面波法数据采集前应进行有效性试验，宜包括下列内容：

- 1 仪器通道一致性和检波器一致性试验；
- 2 采集参数试验，确定偏移距、道间距、采样间隔、记录长度等采集参数；
- 3 激振方式试验，确定满足勘探深度和分辨率的震源的频带宽度和激振方式。

7.4.7 瞬态面波法测线布设应符合下列规定：

1 测点间距应小于最小目标病害体地面投影等效直径的 1/3；
2 应根据场地地形条件，考虑规避干扰波的需要，确定测线位置和检波器排列方式；

- 3 宜采用滚动排列的方式追踪病害体的分布；
- 4 排列的道间距应小于最小勘探深度所需波长的二分之一；
- 5 宜通过已知钻孔和目标区域。

7.4.8 瞬态面波法数据采集时应符合下列规定：

- 1 所选的观测系统，应满足主要目的层探查的需要；
- 2 采用重锤震源时应根据需要加不同材质的垫板；
- 3 仪器应设置在全通状态，各通道增益应一致；
- 4 采样点不少于 1024 点，采样间隔的选取要兼顾分辨率与勘探深度的需要；
- 5 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。

7.4.9 宜按本标准附录 D 的规定做好现场记录工作。

7.4.10 瞬态面波法数据处理和成果解释应符合下列规定：

1 可选用频率—波数方法($F-K$)、高分辨率频率—波数方法 ($HRFK$)或空间自相关方法 ($SPAC$)等方法提取面波的频散曲线，或通过计算绘制相速度—深度曲线，深度转换时应根据地层的泊松比，按半波长法进行计算；

2 应结合已知的钻探和其它物探等资料对曲线的曲率变化做出正确解释；

3 宜根据面波相速度频散曲线，计算视 S 波速度，绘制视 S 波速度剖面，或直接采用面波相速度绘制相速度剖面，进行地下病害体解释。

7.4.11 瞬态面波法可参考表 7.4.11 对道路地下病害体进行识别。

表 7.4.11 瞬态面波法道路地下病害体的识别特征

病害体类型	面波速度	视 S 波速度剖面特征	时间域记录	频率域记录
空洞	与周边正常地层对比, 速度变化明显, 频散曲线变化剧烈	与周边正常地层剖面对比, 出现明显的低速圈闭区	边界波组杂乱, 局部存在镜像波	频散曲线变化剧烈, 存在明显“之”字形拐点
疏松体	与周边正常地层对比, 速度降低变化明显, 频散曲线反应为低速带	与周边正常地层剖面对比, 表现为低速区, 但速度变化有限	波组杂乱, 分布不规则	F—K 域能量团较分散, 频散曲线存在“之”字形拐点, 不易提取完整的频散曲线

7.4.12 瞬态面波法探测应提交成果报告、成果图件应包括典型记录、频散曲线或速度—深度曲线、推断解释剖面或平面图。

7.5 微动勘探法

7.5.1 微动勘探法探测道路地下病害体时应具备以下条件:

- 1 探测目标与其周边介质之间应存在波阻抗差异;
- 2 探测目标的尺寸与其埋深之比应大于 0.1;
- 3 地面应相对平坦。

7.5.2 微动勘探法可用于城市道路地下脱空、空洞等病害的探测;

7.5.3 微动勘探法记录系统应符合下列规定:

- 1 检波器宜采用垂直分量、速度型传感器或加速度型传感器, 也可选用三分量检波器; 宜选用自然频率不低于 4Hz 的检波器;
- 2 检波器应具有水平调平功能;
- 3 A/D 转换位数不应小于 24 位, 采样间隔不应大于 10ms;

4 动态范围不宜小于 128dB,具有实时时间校正和多台传感器同步、连续记录功能;宜自带内置卫星导航定位信号接收装置;

5 采用低通滤波功能的多通道放大器,其通道幅值一致性偏差不应大于 1%,通道相位一致性偏差不应大于最小采样间隔的一半,折合输入端的噪声水平应低于 $1\mu\text{V}$,电压增益应大于 80dB;

6 台阵中各数据采集系统应具有振幅一致性和相位一致性,采集与记录装置宜采用多通道数字采集和存储系统;

7 开展微动谱比法时,应采用三分量传感器进行数据采集。

7.5.4 开展工作前,应进行台阵检波器的振幅和相位一致性检查。

7.5.5 宜根据探测目标体的深度、现场工作条件等因素,选择采用圆形、内嵌三角形、“T”形、“L”形或“十字”形等台阵观测方式;微动“L”形台阵、线形台阵与微动源的位置关系要求波前正交,应进行相位校正;在微动源方向尚不能确定的测区,宜采用三角圆形台阵和十字形台阵;未经试验确认,不宜采用“L”形台阵、线形台阵这两种观测台阵方式。

7.5.6 应根据探测目的和深度、精度要求,选择合适的台阵半径、仪器采集参数及记录长度。

7.5.7 检波器布置应符合下列规定:

1 检波器在水泥或沥青路面安置时,应用橡皮泥、黄油或熟石膏等将检波器牢固粘于地面或采用铁靴装置安置,每个铁靴的重量应保证检波器与大地耦合良好;

2 检波器应摆放在密实地面上并调水平,水平角应小于 2° ;

3 台阵中各检波器间的高差不宜大于 25cm。

7.5.8 微动勘探法现场数据采集应符合下列规定:

1 应根据现场振动干扰情况,选择合适的采集时机,避开测点附近的持续强震动干扰;

2 单次采集时间不宜少于 15min,探测现场存在非持续的干扰因素时,应延长信号采集时间;

3 应该避免在恶劣的天气条件下采集信号;

4 应及时记录采集过程中的干扰情况。

7.5.9 现场记录宜按本标准附录 E 的规定，包含测点编号、台阵形式、测试时间及环境干扰状况等。

7.5.10 微动勘探法数据质量评价应符合下列规定：

1 数据应与原始记录一致；

2 数据质量评价应考虑微动数据在所需频率范围内的信噪比，信噪比宜大于 10；

3 对于存在持续强震动干扰的数据或记录、内容模糊且无法修正的数据等不合格台阵数据，应重新采集。

7.5.11 微动勘探法的数据处理应符合下列规定：

1 可选用频率—波数方法（ $F-K$ ）、空间自相关方法（SPAC）等方法提取面波的频散曲线；

2 宜根据需要计算各拾振点的 H/V 曲线和台阵平均 H/V 曲线，根据曲线特征进行道路地下病害体的判别和解释；

3 应宜根据需要绘制面波相速度剖面或视 S 波速度剖面进行道路地下病害体的解释。

7.5.12 微动勘探法资料解释应符合下列规定：

1 应根据微动成果图件结合地质资料进行解释；

2 面波的深度转换可选用半波长法，并按泊松比进行系数校正，也可参照测区地质资料进行对比解释；

3 宜结合已知资料、剖面连续性等判断、识别道路下病害体性质；

4 可根据面波频散曲线、 H/V 曲线或速度剖面按本标准表 7.5.12 的规定，识别道路地下病害体。

表 7.5.12 微动勘探法道路地下病害体的识别特征

病害体类型	面波频散速度	H/V 曲线
空洞	空洞充空气时对应深度或频率段高阶波发育，表现为高速异常。空洞有软弱充填物或充水时表现为低速异常。	H/V 曲线在高频段表现为量值大
疏松体	与周围正常地层对比，面波速度相对小。	H/V 曲线在高频段表现为量值较大

7.5.13 微动勘探法成果应包括：原始数据、勘探成果报告、频散曲线（ V_r-f ）、 H/V 曲线，及测线视横波速度剖面图、病害体解释成果图等。

7.6 地震映像法

7.6.1 地震映像法探测道路地下病害体时应具备下列条件：

- 1 被探测对象与周围介质之间存在明显波阻抗差异；
- 2 被探测对象的几何尺寸与其埋深或探测距离之比不应小于 1/10；
- 3 测区内地形应基本平坦，无陡立面，不应存在较强的振动干扰。

7.6.2 地震映像法可用于城市道路地下空洞等病害的探测。

7.6.3 采集仪器可选用单道或多道地震仪，仪器要求可参考本标准 7.5.3 条的规定。

7.6.4 探测前应进行有效性试验，确定偏移距、激发方式及检波器频率等。

7.6.5 应根据探测深度和精度的要求确定采样间隔和记录长度。

7.6.6 地震映像法测线布设应符合下列规定：

- 1 测线宜选择地形起伏较小，表层介质较为均匀的地段布设；
- 2 测线宜布设成直线，受场地条件限制时，测线可布设成折线，当遇到台阶或陡坎时，应另起新测线；

- 3 测点间距应不大于最小目标病害体地面投影直径的 1/3;
 - 4 测线间距不应大于最小目标病害体地面投影直径的 1/2。
- 7.6.7 地震映像法现场数据采集应符合下列规定:
- 1 检波器应垂直插入地面,与地面耦合良好,不具备安插条件时,可采用铁靴装置安装;
 - 2 激发能量宜保持一致,锤击后铁锤与垫板迅速分开;
 - 3 宜选择振动干扰较小的时段进行探测;
 - 4 可采用叠加的方式提高信噪比;
 - 5 发现疑似道路地下病害体时,应做好记录,必要时加密测点重复观测。
- 7.6.8 现场记录宜按本标准附录 F 的格式记录。
- 7.6.9 采集数据剖面应记录清晰,信噪比满足数据处理、解释的需要。
- 7.6.10 地震映像法数据处理应符合下列规定:
- 1 应剔除坏道数据;
 - 2 宜采用带通滤波,消除环境干扰;
 - 3 可采用小波变换、预测反滤波、 $F-K$ 域滤波、速度分析等方法进行处理;
 - 4 宜对地震波反射能量随深度的衰减进行补偿。
- 7.6.11 可根据地震映像剖面同相轴的连续性、频率变化等属性指标按表 7.6.11 识别道路地下病害体。

表 7.6.11 地震映像法道路地下病害体的识别特征

病害体类型	同相轴连续性	频率变化
脱空	多表现为同相轴消失或分叉	频率低于背景场
空洞	同相轴下凹,边界处同相轴明显错断,局部有散射现象	频率低于背景场
疏松体	同相轴下凹,地震波历时延长	频率低于背景场

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

7.7 瞬变电磁法

7.7.1 瞬变电磁法探测道路地下病害体时应具备下列条件：

- 1 道路地下病害体与周边介质之间存在电性差异；
- 2 测区内地形较平坦；
- 3 测区内没有强电磁干扰。

7.7.2 瞬变电磁法可用于城市道路地下空洞、疏松体、富水体病害的探测。

7.7.3 道路地下病害体探测宜选用等值反磁通装置或中心回线装置。

7.7.4 瞬变电磁法仪器的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 最小发射电流大于 3A；
- 2 发射动态范围不宜低于 140dB；
- 3 通道灵敏度应达到 $0.5 \mu V$ ；
- 4 等效输入噪声应小于 $1 \mu V$ ；
- 5 对 50Hz 工频干扰抑制能力不应小于 60dB；
- 6 应采用三分量磁探头；
- 7 最大量程应大于 1mT；
- 8 分辨率应小于 10pT；
- 9 带宽不应窄于 3kHz。

7.7.5 采用中心回线装置时，发射回线边长可根据最大发射电流、探测深度按下式计算：

$$D = 0.55 \left(\frac{ML^2 I \rho}{\eta} \right)^{1/5} \quad (7.7.5-1)$$

$$\eta = R_m N \quad (7.7.5-2)$$

式中： D —最大探测深度(m)；

M —回线装置匝数；

L —发射回线边长(m)；

I —发射电流(A)；

ρ —上覆地层电阻率($\Omega \cdot m$)；

η —最小可分辨电平，取 $0.2nV/m \sim 0.5nV/m(A)$ ；

R_{min} —最低限度的信噪比；

N —噪声电平。

7.7.6 采用等值反磁通装置时，可按下式计算探测深度：

$$D = 28\sqrt{\rho t} \quad (7.7.6)$$

式中： D —最大探测深度 (m)；

ρ —上覆地层电阻率 ($\Omega \cdot m$)；

t —衰减时间 (ms)。

7.7.7 瞬变电磁法的工作布置应符合下列规定：

- 1 点距与线距应能完整反映探测目标的分布；
- 2 测线宜按直线布置，当受场地条件限制时，可布置成折线。

7.7.8 瞬变电磁法的数据采集应符合下列规定：

- 1 根据试验结果确定发射线框与接收线框间距；
- 2 根据探测深度选取发射频率；
- 3 现场观测时，除最后 5 个测道外，其余观测值均应在噪声电平以上。否则应查明原因，并重复观测；
- 4 对瞬间干扰应暂停观测，排除干扰后再进行探测；
- 5 曲线出现畸变时，应查明原因并重复观测；必要时，可移动点位避开干扰源重测，并记录；
- 6 遇异常点时，应重复观测，必要时应加密测点；
- 7 若曲线衰减变慢时，应扩大测道时间范围重复观测；
- 8 每个测点观测完毕后，应检查数据和曲线，合格后方可进行下一点观测；

- 9 现场观测时，应记录干扰源、地表变形等异常现象。
- 7.7.9 宜按本标准附录 G 的规定进行现场记录。
- 7.7.10 瞬变电磁法的数据质量评价应符合下列规定：
- 1 重复观测的数据的曲线形态和幅值应一致；
 - 2 各测道数据幅值的相对标准偏差宜小于 10%。
- 7.7.11 瞬变电磁法数据处理应符合下列规定：
- 1 为消除一次场的影响，宜进行发射电流切断时间影响的改正处理；
 - 2 宜剔除干扰大、质量差的数据；
 - 3 宜对数据进行滤波处理；
 - 4 可根据需要计算出视电阻率、视深度、视时间常数、视纵向电导等参数；
 - 5 宜结合测区工程地质资料，对数据进行反演处理。
- 7.7.12 瞬变电磁法资料解释应符合下列规定：
- 1 应根据瞬变电磁多测道图和视电阻率拟断面图的曲线形态和振幅的变化进行道路地下病害体解释；
 - 2 应结合调查资料进行道路地下病害体定性或半定量解释。
- 7.7.13 瞬变电磁法应根据二次场衰减和视电阻率等特征，按本标准表 7.7.13 识别道路地下病害体。
- 7.7.14 瞬变电磁法成果资料包括：原始数据、成果图件、成果报告；成果图宜包括瞬变电磁测线平面布置图、多测道（ $V(t)/I$ ）异常剖面曲线图、视电阻率拟断面图和道路地下病害体平面分布图。

表 7.7.13 瞬变电磁法道路地下病害体的识别特征

病害体类型	二次场衰减	视电阻率
空洞	二次场幅值小，衰减快	表现为相对高阻异常
疏松体	二次场幅值较小，衰减较快	表现为相对高阻异常
富水体	二次场幅值大，衰减慢	表现为相对低阻异常

7.8 钻探

7.8.1 钻探可查明空洞、脱空、疏松体、富水体的规模、地层结构及岩土物理特征，为病害体的治理设计方案提供岩土参数依据；同时可对病害探测结果进行验证。

7.8.2 钻探工作应根据场地区域、地质资料，周边及地下环境条件，确定钻探技术要求。

7.8.3 钻探操作人员应履行岗位职责，并应执行操作规程。现场编录人员应详细记录、分析钻探过程和岩芯情况。采样和原位测试应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定执行。

7.8.4 勘探道路地下浅部土层可采用下列钻探方法：

- 1 小口径麻花钻(或提土钻)钻进；
- 2 小口径勺形钻钻进；
- 3 回转钻进。

7.8.5 对于钻进深度和岩土层分层深度的量测精度，最大允许偏差为 $\pm 0.05\text{m}$ ；钻进过程中应校正孔深，并宜在变层处校核孔深。

7.8.6 钻孔的编录应由专业技术人员承担：记录应真实、及时，详细记录病害体起止深度及岩土体性质。

7.8.7 宜按本标准附录 H 的规定进行现场记录。

7.8.8 钻探成果可用钻孔柱状图表示，岩土芯样可根据工程要求保存一定期限或长期保存，亦可拍摄岩芯、土芯彩照纳入勘察成果资料。

7.9 井探

7.9.1 当钻探方法难以准确查明病害体特征时，可布设相应数量的井探进行探查，人工探井时深度不宜超过 8m，且不得超过地下水位。

- 7.9.2 探井中取I级黄土样，进行含水量、容重、孔隙比、易溶盐、湿陷系数等试验，分析试验结果，查明病害核心区黄土各项试验指标随深度变化的趋势；若黄土中易溶盐含量大于 0.3%时，还须查明路基填料属性与地基土的溶陷、盐胀、腐蚀等不良工程特性。
- 7.9.3 井探应验证地下管网埋深，确定空洞、塌陷范围及影响深度。
- 7.9.4 宜按本标准附录 H 的规定进行现场记录。
- 7.9.5 对井探除文字描述记录外，尚应以剖面图、展示图等反映井壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位试验位置，并辅以代表性部位的影像资料。

7.10 钎探

- 7.10.1 钎探适用于湿陷性黄土地区道路地下病害体的探测与验证。
- 7.10.2 主要机具：
- 1 人工打钎：由直径 $\phi 22\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 的钢筋制成，钎头呈 60° 尖锥形状，一般钎长 $1.8\text{m}\sim 2.0\text{m}$ ；锤重 $8\sim 10$ 磅；
- 2 机械打钎：轻型动力触探，应按现行国家标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定执行。
- 7.10.3 作业程序：
- 1 根据地下病害探测方案编制钎探孔位平面布置图。如设计无特殊规定时，可按表 7.10.3 执行；

表 7.10.3 钎探探测深度及间距

排列方式	道路或基坑宽（m）	探测深度（m）	探测间距
两排错开	<2.0	1.5	一般 $0.5\text{m}\sim 1.5\text{m}$,出现明显异常时，需加密至足够掌握异常边界
梅花型	≥ 2.0	$1.5\sim 3.0$	

2 夜间施工时，应有足够的照明设施，并要合理地安排钎探顺序，防止错打或漏打；

3 人工打钎：将钎尖对准孔位，一人扶正钢钎，一人站在操作凳子上，用大锤打钢钎的顶端；锤举高度一般为 50cm~70cm，将钎垂直打入土层中。

7.10.4 现场记录宜包含探测地点、钎探编号、测试深度、钎探击数并注明过硬或过软孔号及其深度，记录单格式可按本标准附录 R 的规定。

7.11 地下管线探测

7.11.1 地下管线探测在满足《城市地下管线探测技术规定》CJJ61-2017 的相关规定下，还应满足下列规定：

1 应搜集区域管道布置图，当无可用资料时必须查明区域管道布设现状，明确管道与道路病害体的位置关系；

2 引用已有管道探测资料成果的，应与现场情况进行验证，确认无误后方可使用；

3 分析评价管道与道路地下病害体发育的关联程度，为风险等级划分提供依据并对后续病害体处置提出应注意的问题。

7.11.2 重点道路区域应加强地线关系的探测力度。

7.11.3 地下管线探测作业时应采取相应的安全保护措施，探测作业人员必须进行过专业培训方可上岗。

7.11.4 地下管线探测可采用的方法有人工调查法、地球物理探查法，人工调查法应查明地下管道类别、位置、埋深、走向、管材、管径等属性；地球物理探查法常用方法：金属管线仪探测金属管线走向、埋深；地质雷达法探测地下未知 PE 管道、金属管道的埋深、走向、管径；应使用管道潜望镜、管道机器人、管道测漏仪等对管道病害进行探查。

7.11.5 地下管线探测外业工作结束后，应编制探测总结报告、绘制综合管线图、专业管线图。

7.12 人工巡查与自动化监测

7.12.1 对普查后划定的重点区域道路及周边附属物应进行人工巡查或自动化监测，实时掌握重点区道路的运营状态，明确潜在病害体位置，并及时提出相应防范措施。

7.12.2 人工巡查的对象应包括：道路排水不畅、积水路段，塌陷、沉陷、翻浆、断板等病害分布区域；自动化监测的对象应包括：重点城市道路及附近雨水管道、污水管道、下穿隧道、人防工程、道路附近建（构）筑物。

7.12.3 人工巡查应由经过培训的技术人员或养护人员负责，日常巡查以目测为主，应对路面外观变化、结构变化、道路施工作业情况及附属设施等状况进行检查，并应做好相关记录。

7.12.4 人工巡查应按道路等级、病害体可能产生的风险等级、极端天气条件、地质灾害影响确定重点区域道路的巡查计划，巡查周期结合现场实际可采用实时巡查或定期巡查。

7.12.5 人工巡查应包括下列内容：

1 路面外观的完好情况，路面主要损坏类型按表 7.12.5 分类：

表 7.12.5 路面主要损坏类型

部 位		主要损坏类型
车行道	沥青路面	裂缝、拥包、车辙、沉陷、翻浆、剥落、坑槽、啃边、路框差、唧浆、泛油
	水泥混凝土路面	裂缝、板边剥落、板角断裂、接缝损坏、坑洞、错台、脱空、唧浆、沉陷

2 道路范围内的施工作业对道路设施的影响。

3 道路易出现翻浆、积水、沉陷及其他异常现象。

7.12.6 通过自动化监测对道路进行沉降监测，对道路区域给排水管道流量进行实时监测，监测参数包括：沉降量、倾斜量、管道流量、管道压力等；通过监测数据的异常，划定异常区域，判定管道监测数据出现异常的原因。

7.12.7 人工巡查与自动化监测结果应可视化，宜建立信息管理系统。

8 道路地下病害体验证

8.0.1 道路地下病害体成果的验证应符合下列规定：

- 1 应确定道路地下病害体的类型和严重程度；
- 2 对探测的空洞、脱空、富水体、严重疏松体应全部验证；
- 3 其它道路地下病害体的验证数量不宜少于其总数的 20%，且不宜少于 3 处；

4 成果验证结果与探测结果不一致时，应分析原因，对探测成果进行重新判识，并按本条规定重新组织验证。

8.0.2 成果验证点的选择宜考虑以下因素：

- 1 道路病害体类型及规模；
- 2 场地条件、现场环境；
- 3 确保道路区域地下设施运行正常；
- 4 对探测成果有疑问。

8.0.3 成果验证的方法应符合下列规定：

- 1 宜选用钻探、井探、钎探、开挖等方法；
- 2 验证点的位置宜布设在道路地下病害体的物探异常反应最强部位或中心部位；

3 验证病害体属性时，宜布置一个验证点；若需验证病害体边界时，可在病害体边缘增设验证点；

4 若遇地下情况复杂，不得采用钻探、钎探方法，可采用井探、开挖进行验证，若上述方法不可行可选用本标准表 7.1.3 中的物探方法进行验证。

8.0.4 采用钻探法验证道路地下病害体时，现场作业方法应符合下列规定：

1 钻探操作的具体方法应按现行标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 执行；

2 每回次钻孔进尺宜控制在 1.0m 内，宜采取减压、慢速钻进或干钻等适宜的方法和工艺；

3 对疏松体进行标准贯入试验或动力触探测试，对富水体取样进行室内土工试验；

4 钻探取得的土样应进行物理力学指标试验、易溶盐含量测定，为后续道路设计、施工、养护提供相应依据；

5 必要时可采用内窥设备记录病害体影像。

8.0.5 成果验证时应记录钻孔所揭露到的道路地下病害体起止深度、岩土体性状、钻进状态、潮湿程度等描述。

8.0.6 成果验证结果可按如下原则判定：

1 钻进速率高、标准贯入击数低，且所钻取芯样与标准贯入芯样压缩、拉长等灵敏性增大时；对采取的试样进行含水量、颗粒级配、孔隙比、密度、击实等试验数据分析，当含水量明显高于塑限含水量或含水量超过 20%时，可判定病害体类型为富水体；

2 钻探钻进速率陡增、钎探贯入度快时，可判定病害体类型为空洞或脱空；

3 钻探过程中钻进、贯入速率较上部土层明显增大，标准贯入试验击数较上部土层明显降低或开挖揭露土体松软不密实时；地基土颗粒级配不良、压实度低、松散或稍密时，可判定病害体类型为疏松体。

8.0.7 钻探、钎探、开挖验证完成后应按现行标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87、《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 的规定完成回填。

8.0.8 成果验证完成后应根据验证结果修正相关物探探测结论，最终确定道路地下病害体类型、规模及发育特征。

8.0.9 成果验证前应进行公共交通安全和场地危险源辨识与评价，作业过程中应避开地下管线等市政设施。

9 道路地下病害风险评估与控制

9.1 一般规定

9.1.1 道路地下病害体探测结束后进行病害体风险评估，评估应以单个道路地下病害体为评价对象。在综合探测的基础上，结合周边环境信息，确定其风险等级，提出风险控制建议。

9.1.2 道路地下病害体风险评估包括风险影响因素调查、风险发生可能性评价、风险后果评价及风险等级划分。

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

9.1.4 风险评估指标及权重应综合考虑地下病害体特征、岩土条件、建（构）筑物、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。

9.1.5 根据湿陷性黄土地区城市道路地下病害体发育特征以及对社会造成的危害性特点，以下情况宜进行快速风险评估：

1 水作诱因产生的道路地下病害体，宜根据病害体自身属性进行快速风险等级划分；

2 类比同条件下病害评估案例，病害体特征相近时，可采用快速评估法确定病害体风险等级。

9.1.6 快速风险评估的病害体应急处置后，宜根据地下病害体风险发生可能性与风险后果判定结果，通过风险矩阵，评定风险等级。

9.2 风险影响因素调查

9.2.1 根据风险评估的要求，应开展道路地下病害体自身及其周边环境影响因素调查。

9.2.2 根据不同因素的特点，可通过资料搜集、现场查勘等方式进行风险影响因素调查。

9.2.3 道路地下病害体风险影响因素调查应包含下列内容：

- 1 道路地下病害体类型、规模、位置等；
- 2 道路地下病害体影响范围内道路、地下管线、地下建（构）筑物、地面设施等的类型、规模、状态，及周边设施与地下病害体之间的相对位置关系；
- 3 道路地下病害体周边岩土条件；
- 4 道路地下病害体影响范围内道路出现的变形、沉陷、裂缝、坑槽、积水等异常情况及其严重程度，以及历史塌陷情况；
- 5 道路地下病害体影响范围内的地下管线及管井淤堵、变形、破损等异常情况及其严重程度；
- 6 道路地下病害体影响范围内的地面开挖、地下工程和邻近建筑工程施工等现状及历史状况；
- 7 道路地下病害体影响范围内的建（构）筑物、人员分布等情况，包括商场、医院、学校、体育馆、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 其他有关资料。

9.3 风险发生可能性评价

9.3.1 道路地下病害体风险发生可能性评价应符合下列规定：

参与评价的指标应包括道路地下病害体、临近设施和环境因素指标，并宜按本标准表 9.3.1 建立指标体系。

表 9.3.1 道路地下病害体风险发生可能性指标体系

一级指标	二级指标		评价指标取值	
			评价依据	取值范围
地下病害体属性 P_A	地下病害体规模 P_{A1}		$S \geq 15\text{m}^2$	90~100
			$10 \leq S < 15\text{m}^2$	70~90
			$3 \leq S < 10\text{m}^2$	50~70
			$S < 3\text{m}^2$	20~50
	地下病害体类型 P_{A2}	空洞或脱空		100
邻近设施 P_B	道路下方病害覆跨比 P_{B1}	覆跨比 P_{B11}		
	道路现状 P_{B12}	道路现状 P_{B12}		

续表 9.3.1 道路地下病害体风险发生可能性指标体系

一级指标	二级指标		评价指标取值	
			评价依据	取值范围
邻近设施 P_B	地下管线 P_{B2}	病害体与管线的相对位置 P_{B21}	$L_{\text{管线}} < 1\text{m}$, 管线上、下 1m 范围内	90~100
			$L_{\text{管线}} < 1\text{m}$, 管线下方 1~3m	80~90
			$1\text{m} < L_{\text{管线}} < 3\text{m}$, 管线下方 1~3m	70~80
			$1\text{m} < L_{\text{管线}} < 3\text{m}$, 管线上、下 1m 范围内	50~70
			其它情况	0~50
	管线脆弱性 P_{B22}	混凝土、管道地沟、石棉水泥等易损材质, 或病害体处于管线接口处	90~100	
		塑料等强度较小材料	80~90	
		铸铁等可靠性较低材料	70~80	
		钢管等可靠性较高材料	60~70	
	服役年限 P_{B23}	$n \geq 20$ 年	90~100	
		$10 \leq n < 20$ 年	70~90	
		$5 \leq n < 10$ 年	50~70	
		$n < 5$ 年	20~50	
	地下构筑物(非管线) P_{B3}	$R_{\text{地下构筑物}} \leq 1\text{m}$	90~100	
		$1\text{m} < R_{\text{地下构筑物}} \leq 2\text{m}$	70~90	
		$2\text{ m} < R_{\text{地下构筑物}} \leq 3\text{ m}$	40~70	
		$R_{\text{地下构筑物}} > 3\text{ m}$	0~40	
	地面设施 P_{B4}	$R_{\text{地面设施}} \leq 1\text{ m}$	90~100	
		$1\text{ m} < R_{\text{地面设施}} \leq 2\text{ m}$	70~90	
		$2\text{ m} < R_{\text{地面设施}} \leq 3\text{ m}$	40~70	
$R_{\text{地面设施}} > 3\text{ m}$		0~40		
环境因素 P_C	岩土条件 P_{C1}	松散填土、粉土和砂土; 黄土湿陷等级为Ⅳ级	80~100	
		中密填土、粉土和砂土; 松散卵(碎)砾石; 粘性土; 黄土湿陷等级为Ⅲ级	60~80	
		密实填土、粉土和砂土; 黄土湿陷等级为Ⅱ级	30~60	
		中密~密实碎石土; 黄土湿陷等级为Ⅰ级	0~30	

续表 9.3.1 道路地下病害体风险发生可能性指标体系

一级指标	二级指标	评价指标取值	
		评价依据	取值范围
环境因素 P_c	施工干扰 P_{c2}	$L \leq 5m$	80~100
		$5 < L \leq 10m$	50~80
		$L > 10m$	0~50
	地表荷载 P_{c3}	机动车频繁、重载车辆通行区域	70~100
		自行车道或机动车较少的区域	50~70
		人行道	0~50
	水环境条件 P_{c4}	具有以下情况之一： 1 处于河流、湖泊等水体周边 30m 范围内 2 绿化带、水系景观、低洼路段等易发生严重积水	80~100
		排水条件一般，易发生一般积水	50~80
		排水条件较好，不易出现积水	0~50

注：地下构筑物包括但不限于地铁、地下隧道、地下防空洞等。

9.3.2 风险发生可能性 P 宜按下式计算。

$$P = W_A P_A + W_B P_B + W_C P_C \quad (9.3.2-1)$$

$$W_A + W_B + W_C = 1 \quad (9.3.2-2)$$

式中： W_A ——地下病害体属性指标权重，可取 0.4~0.6；

P_A ——地下病害体属性指标；

W_B ——临近设施指标权重，可取 0.3~0.4；

P_B ——临近设施指标；

W_C ——环境因素指标权重，可取 0.1~0.2；

P_C ——环境因素指标。

9.3.3 地下病害体属性指标 P_A 宜按下式计算。

$$P_A = 0.7 P_{A1} + 0.3 P_{A2} \quad (9.3.3)$$

式中： P_{A1} ——地下病害体规模指标；

P_{A2} ——地下病害体类型指标。

9.3.4 邻近设施指标 P_B 宜按下式计算。

$$P_B = \max(P_{Bj}) + 0.1(\sum P_{Bj} - \max(P_{Bj})), j=1、2、3、4 \quad (9.3.4-1)$$

式中, P_2 最大值为 100, 如果上式计算结果大于 100, 则 $P_2=100$ 。

公式 (9.3.4-1) 中参数宜按下列规定计算:

1 道路风险发生可能性综合考虑覆跨比和道路现状系数, 按下式计算。

$$P_{B1} = 0.8 P_{B11} + 0.2 P_{B12} \quad (9.3.4-2)$$

式中: P_{B11} ——覆跨比指标;

P_{B12} ——道路现状指标。

2 地下管线风险可能性综合考虑管线位置、管线属性和服役年限, 按下式计算。

$$P_{B2} = 0.5 P_{B21} + 0.4 P_{B22} + 0.1 P_{B23} \quad (9.3.4-3)$$

式中: P_{B21} ——病害体与管线的相对位置指标;

P_{B22} ——管线脆弱性指标;

P_{B23} ——服役年限指标。

9.3.5 环境因素指标宜按下式计算。

$$P_C = W_{C1} P_{C1} + W_{C2} P_{C2} + W_{C3} P_{C3} + W_{C4} P_{C4} \quad (9.3.5-1)$$

$$W_{C1} + W_{C2} + W_{C3} + W_{C4} = 1 \quad (9.3.5-2)$$

式中: W_{C1} ——岩土体条件指标权重, 可取 0.3~0.4;

P_{C1} ——岩土体条件指标;

W_{C2} ——施工干扰指标权重, 可取 0.3~0.4;

P_{C2} ——施工干扰指标;

W_{C3} ——地表荷载指标权重, 可取 0.15~0.25;

P_{C3} ——地表荷载指标;

W_{C4} ——水环境条件指标权重, 可取, 0.05~0.15;

P_{C4} ——水环境条件指标。

9.3.6 城市道路地下病害体风险发生可能性宜根据评价结果按表 9.3.6 规定分为 5 个等级。

表 9.3.6 道路地下病害体风险发生可能性等级

级别	风险值 (P)	说明
A	0~30	发生可能性很小
B	30~50	发生可能性较小
C	30~60	发生可能性一般
D	60~90	发生可能性较大
E	90~100	发生可能性极大

9.4 风险后果评价

9.4.1 道路地下病害体风险后果评价的指标宜按本标准表 9.4.1 取值：

9.4.2 风险后果 C 宜按下式计算。

$$C = W_1 C_1 + W_2 C_2 + W_3 C_3 + W_4 C_4 + W_5 C_5 \quad (9.4.2-1)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 1 \quad (9.4.2-2)$$

式中： W_1 ——道路地下病害体范围指标权重，可取 0.3~0.4；

C_1 ——道路地下病害体范围指标；

W_2 ——设施危险性指标权重，可取 0.2~0.3；

C_2 ——设施危险性指标；

W_3 ——人员密集程度指标权重，可取 0.15~0.25；

C_3 ——人员密集程度指标；

W_4 ——财产密集程度指标权重，可取 0.05~0.15；

C_4 ——财产密集程度指标；

W_5 ——社会影响指标权重，可取 0.05~0.15；

C_5 ——社会影响指标。

表 9.4.1 道路地下病害体风险后果评价表

指标 (C)	评价指标取值	
	评价依据	取值范围
地下病害体 范围 C_1	$S \geq 15\text{m}^2$	90~100
	$15\text{m}^2 > S \geq 10\text{m}^2$	70~90
	$10\text{m}^2 > S \geq 3\text{m}^2$	50~70
	$S < 3\text{m}^2$	20~50
设施危险性 C_2	具有以下情况之一： 2I 范围内有燃气或工业（介质危险性较大）管线； 2I 范围内有高层建筑、轨道交通、地下建筑等重要设施或建筑	90~100
	具有以下情况之一： 2I 范围内有热力或工业（介质危险性较小）管线； 2I 范围内有 7 层以下建筑、民房、防空洞等建筑	70~90
	2I 范围内有给水、排水或高压电力管线	50~70
	2I 范围内有电信管线或其他设施	10~30
人员密集程 度 C_3	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、学校等重要公共建筑物或人员聚集场所； 2 周边 30m 内有公交车站、地铁站等； 3 所在道路为快速路、主干路，车流、人流量大	70~100
	具有以下情况之一： 1、周边 50m 有中小型商场(超市)、办公场所、居民楼等人员较多的场所； 2、地下病害体所在道路为次干路、支路，车流量、人流量较大	50~70
	其它情况	0~10

续表 9.4.1 道路地下病害体风险后果评价表

指标 (C)	评价指标取值	
	评价依据	取值范围
财产密度 C_d	周边 50m 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
	不属于上述情况，但周边 50m 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 50m 有民房、危险性较低设施等财产密度较少	30~60
	周边 50m 有较少的财产	10~30
	处于偏远区域，周边 50m 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_s	周边 100m 范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：省市级标志性建筑；重要办公及公共场所；著名景点、商场等标志性场所	80~100
	周边 100~200m 范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：省市级标志性建筑；重要办公及公共场所；著名景点、商场等标志性场所	60~80
	其它情况	30~60

9.4.3 城市道路地下病害体风险后果宜按表 9.4.3 划分为 5 个等级。

表 9.4.3 城市道路地下病害体风险后果等级

级别	对应分值	说明
1	0~20	后果影响可忽略
2	20~40	后果影响较小
3	40~60	后果影响一般
4	60~80	后果影响较严重
5	80~100	后果影响很严重

9.5 风险等级划分

9.5.1 根据城市道路地下病害体风险发生可能性与风险后果判定结果，通过风险矩阵，按本标准表 9.5.1 将城市道路地下病害体风险等级划分为I（很低）、II（较低）、III（中等）、IV（较高）、V（极高）5 个等级。

9.5.2 根据详查后发现的病害体现状，若水作诱因而产生的病害体，应现场进行病害体快速风险等级划分，按本标准表 9.5.2 将城市道路地下病害体分为I（很低）、II（较低）、III（中等）、IV（较高）、V（极高）5 个等级。

表 9.5.1 城市道路地下病害体风险等级划分表

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

表 9.5.2 城市道路地下病害体快速风险等级划分

风险等级	病害体类型	划分依据
I	疏松体	1 土层空隙率大、不密实、结构不均匀 2 松散程度大，强度低，压缩性强
II	富水体	1 路基含水量增大，强度低，压缩系数大，承载力低 2 土体结构弱化，其上部容易发展为空洞
III	脱空	埋深较浅，结构层与土基之间产生分离，分离净空小于 30cm
IV	空洞	1 分离净空大于或等于 30cm 及土体内部产生的空腔 2 位于地基土中，其土基内部土体大量流失 3 上部一般为脱空区，下部为土体疏松区，对上部土体结构的稳定性构成

续表 9.5.2 城市道路地下病害体快速风险等级划分

风险等级	病害体类型	划分依据
V	空洞脱空	水作为诱因而产生的空洞、脱空病害

9.6 风险控制措施

9.6.1 应根据风险评估结果，综合考虑风险承受能力，制定风险控制措施。

9.6.2 不同风险等级的控制对策宜按本标准表 9.6.2 执行。

表 9.6.2 不同风险等级对应的控制措施

风险等级	预警等级	控制措施
I（很低）	无预警 安全	巡查不少于 1 次/3 月；探测不少于 1 次/6 个月；
II（较低）	蓝色	暂时不用工程处理；进行巡查和定期探测，巡查不少于 1 次/2 月，探测不少于 1 次/3 个月；
III（中等）	黄色	建议工程处理；处理前巡视不低于 1 次/15 天；定期探测不少于 1 次/月；
IV（较高）	橙色	立即对病害体区域封闭围挡、设置警示标志，尽快工程处理；
V（极高）	红色	立即对病害体区域围挡封闭、设置警示标志，立即工程处理；

注：巡查、探测过程中或处理后应根据风险等级变化按相应级别采取措施。

10 道路地下病害体治理措施

10.0.1 道路地下病害体治理宜遵循“少开挖、降干扰、标本兼治”的治理原则。

10.0.2 病处治前，应研究分析病害体成因类型、危害程度，结合道路设计、施工、交通量、地下设施分布等基础资料提供最优治理方案。

10.0.3 道路地下病害体常用治理措施包括：开挖回填、注浆加固、复合地基等。开挖回填主要适用于病害体埋深较浅，范围较大，地下管线及构筑物影响较小地段，交通限制较小路段；注浆加固主要适用于病害体规模较小，对交通和地下设施干扰较小路段；复合地基一般适用于病害体规模较大路段。

10.0.4 病害处治前，应研究分析病害体成因类型、危害程度，结合道路设计、施工、交通量、地下设施分布等基础资料提供最优治理方案。

10.0.5 不同风险等级的道路地下病害体治理应符合以下要求：

1 对V（极高）风险等级的病害体，应在1小时内电话通知管理单位，立即围挡、进行病害体开挖回填治理或复合地基治理；

2 对IV（较高）风险等级的病害体，应在24小时内通知管理单位，并尽快进行开挖回填治理；

3 对III（一般）风险等级的病害体，宜进行钻孔注浆治理；

4 对II（较低）、I（很低）风险等级的病害体，宜进行定期巡查检测、动态监控病害体的发育情况，需进行治理时应及时治理。

10.0.6 开挖回填处置措施应符合下列规定：

1 应根据地下设施分布特点制定开挖回填方案；

2 开挖回填的步骤为开挖、回填、夯实、修复；

3 开挖时应注意保护已查明的地下管线等构筑物，如机械开挖作业时，必须避开管线等构筑物，在距离管线1m范围内应采用人工开挖。

10.0.7 钻孔注浆应符合下列规定：

1 结合管线特点及行业规范制定钻孔注浆方案；

2 在进行钻孔注浆施工前应通知相关地下设施运营单位，对设施制定保护措施，避免对设施造成损坏引发次生灾害。

10.0.8 复合地基施工应符合现行国家、行业规范的规定，施工前应通知相关地下设施运营单位，对设施制定保护措施，避免对设施造成损坏引发次生灾害。

10.0.9 道路地下病害体治理结束后应进行质量验收，并定制合理监测周期，防止病害体再次形成。

11 信息化管理与应用

11.0.1 建议城市道路相关管养单位构建道路地下病害体信息化管理的数据库，并符合现行国家标准《基础地理信息城市数据库建设规范》GB/T21740 的相关规定。

11.0.2 道路地下病害体信息管理应基于地方基础地理信息系统。

11.0.3 道路地下病害体信息管理应包含地下病害体数据处理与建库，数据库应包括现状数据库、历史数据库。

11.0.4 道路地下病害体数据应包括病害体的空间数据和属性数据，并应符合下列规定：

1 空间数据应包括平面位置、高程、埋深；

2 属性数据应包括类别、规模、风险等级、控制状态等，并可根据应用需要进行扩展；

3 属性数据中的地下病害体三维表达数据项、内容以及相应的精度应符合病害体三维建模要求；

11.0.5 道路地下病害体数据应在病害体分类基础上，进行病害体数据处理。数据处理应包括下列内容：

1 应进行病害体编号和风险等级、控制状态编码；

2 应进行数据分层；

3 应进行数据结构设计；

4 可编绘地下病害体图件。

11.0.6 道路地下病害体编号应采用“地下病害体类别代号+顺序号+年代号”三段代码组合，并应符合下列规定：

1 地下病害体类别代号应符合本标准附录 K 的规定；

2 顺序号应由 4 位标示地下病害体顺序的数字表示；

3 年代号应以发现的年月，采用六位表示；

4 地下病害体编号应具有唯一性。

11.0.7 道路地下病害体风险等级应按本标准第 9.5.1 条规定，分别对应采用数字“0”、“1”、“2”、“3”、“4”进行编码。

11.0.8 道路地下病害体的控制状态应按“已处理”、“未处理”，分别采用数字“0”、“1”进行编码。

11.0.9 道路地下病害体根据图形表达形式应按点、面、注记类型进行分层，以“地下病害体类别+数据类型”组合方式命名图层。

11.0.10 道路地下病害体数据结构应确定字段数量、字段名称、字段类型、字段长度、小数位数、完整性约束。

11.0.11 数据处理编绘的道路地下病害体平面分布图应符合本标准第 11.0.4 条的规定，编绘病害体平面分布图宜使用现势基础地形图。

11.0.12 数据库建立应在需求分析基础上进行数据库设计，并应根据设计选择数据库平台。

11.0.13 建立数据库应提供数据检查工具。

11.0.14 建立数据库时，病害体数据应按分类、分层方式存储，并进行二维符号设计。

11.0.15 建立数据库时，应根据数据处理结果分别进行地下病害体属性数据建设和图形数据建设。建设三维地下病害体数据时，应建立二、三维一体化的数据库，并应实现二、三维地下病害体属性数据的对应关联。

11.0.16 建立数据库时，应将自动化监测数据及病害体周边管线（主要为含水管线）调查信息、管道缺陷信息、检测数据及成果进行基于 GIS 的可视化信息管理。

11.0.17 道路地下病害体数据交换应规定交换格式、交换内容。

11.0.18 道路地下病害体信息管理宜建立信息管理系统，进行地下病害体信息的动态管理和应用服务。

11.0.19 道路地下病害体信息管理系统应具备病害体数据输入、更新维护和病害体信息查询、统计、分析等基本功能，并可进行系统管理与信息服务。

11.0.20 道路地下病害体信息管理系统应选择使用 GIS 平台软件，并应符合下列规定：

- 1 应支持对商业数据库中的空间数据和属性数据的统一操作；
- 2 应具备海量空间数据的处理能力，在客户端达到基本的运行性能；
- 3 应支持不同类型基础地理信息数据的管理能力；
- 4 应具备满足数据处理要求的数据编辑功能；
- 5 应具有空间数据的拓扑查询和分析能力；
- 6 应具备数据分发服务功能；
- 7 应支持通用的编程语言及二次开发。

11.0.21 道路地下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 的有关规定。

11.0.22 建议推广干涉合成孔径雷达（简称 InSAR）技术，应用于对城市道路沿线沉降分析，识别沉降异常区域或点位，评估沿线重点工程、控制点区域、重要基础设施及建筑沉降风险分级，从整体风险管理的角度为建设、施工、养护、科学决策、合理安排、管控风险提供客观的基础数据分析与技术支持。

12 成果报告编制

12.1 一般规定

- 12.1.1 道路地下病害体探测成果宜包括文字报告和成果图件。
- 12.1.2 提交的文字报告应内容全面、重点突出、立论有据、结构严谨、文字简练、结论明确、图表齐全。
- 12.1.3 提交的成果图件应清晰直观，层次清楚，图式、图例、注记齐全。
- 12.1.4 成果报告编制中引用收集到的已有资料，也需要根据验证结果对其进行辨识，确认无误后方可引用。
- 12.1.5 报告编制完成后，应组织专家评审，根据专家评审意见对评估报告进行修改，形成最终报告。
- 12.1.6 城市道路地下病害体探测的成果及相关资料应纳入地下病害体信息管理系统统一管理。

12.2 文字报告

- 12.2.1 文字报告宜包括下列内容：
 - 1 工程概况；
 - 2 工作依据；
 - 3 岩土工程条件及工作条件分析；
 - 4 已有资料的利用情况评述；
 - 5 工作方法及质量评价；
 - 6 数据处理和解释；
 - 7 成果验证；

8 地下病害体风险评估；

9 结论与建议；

10 附图、附表。

12.2.2 道路地下病害体成果表应包括病害体编号、类型、位置、中心点坐标、情况描述、风险等级及处置建议等，格式可按本标准附录 J 执行。

12.3 成果图件

12.3.1 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。

12.3.2 成果图件应保证测线及地下病害体在平面图中有效表示，并符合下列规定：

1 物探成果图件的比例尺应保证地下病害体在图件上得到清晰的反映；钻探、井探、钎探成果图件竖向比例尺不小于 1:200、平面比例尺不小于 1:1000；

2 测线、测点、验证点等应根据测量成果展绘。

12.3.3 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可按本标准附录 K 的规定执行，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 连续测线应在测线的起讫点、转折点、地形突变点以及其它重要的点位设置测线特征点，当测线太长没有特征点时宜设置测点标记；

3 测线特征点、测点等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；

4 单点测应采用与方法相应颜色的测点图例表示，连续测线应采用相应颜色实线连接测线特征点表示；

5 验证工作布置应按规定的代号、颜色和图例统一编号绘制。

12.3.4 道路地下病害体平面分布图应根据地下病害体类型采用统一的代号、颜色和图例编制，地下病害体代号和图例可按本标准附录 K 的规定执行，并应符合下列规定：

- 1 地下病害体平面分布图宜在工作布置图的基础上编制；
- 2 编制内容应包括病害体编号、位置、范围、类型等；
- 3 病害体编号宜设置在病害体区域中心位置处，由病害体类型代号和顺序号组成，且保证同一测区唯一。

12.3.5 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。

附录 A 探地雷达外业探测记录表

工程名称：_____道路名称：_____

日期：_____天气：_____

仪器型号/编号：_____测试方式：_____

天线主频（MHz）：_____时窗（ns）：_____道间距（m）：_____

文件号	测线 编号	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
现场 草图						
说 明						

操作人员：第 页/共 页

记录员：_____

复核员：_____

附录 B 探地雷达病害信息记录表

编号		路段		验证 时间		隐患 等级	
长(m)		宽(m)		隐患类型			
埋深(m)		净深(m)		经度（E）			
面积(m²)				纬度（N）			
位置描述							
雷达图谱							
地图位置							
处置建议							

附录 C 高密度电阻率法外业探测记录表

工程名称：_____工程地点：_____

日期：_____天气：_____

仪器型号/编号：_____测线编号：_____

测线方向：_____工作装置：_____电极距：_____

排列号	文件名称	起点位置	终点位置	电极数	隔离系数	备注/异常情况
现场 草图						
说明						

操作员：_____记录员：_____复核员：_____

第 页/共 页

附录 D 瞬态面波法外业探测记录表

工程名称：_____工程地点：_____

日期：_____天气：_____设备型号/编号：_____

道间距（m）：_____偏移距（m）：_____接收道数：_____

测线号	文件号	测试 方向	测线位置	炮点位置/距离 (m)	备注
现场 草图					
说明					

操作员：_____记录员：_____复核员：_____

第 页/共 页

附录 E 微动勘探法外业探测记录表

工程名：_____日期：_____

天气：_____工程地点：_____

仪器编号：_____测线编号：_____

台阵类型：_____台阵半径/间距(m)：_____

序号	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

操作员：_____记录员：_____复核员：_____

附录 F 地震映像法外业探测记录表

工程名称：_____工程地点：_____

日期：_____天气：_____

设备型号/编号：_____检波器主频（Hz）：_____

测线编号：_____道间距（m）：_____采样间隔（ms）：_____

文件名	测线号	测线位置	检波点起始位置	备注
现场草图				
说明				

操作员：

记录员：

复核员：

第 页/共 页

附录 G 瞬变电磁法外业探测记录表

工程名称：_____工程地点：_____

日期：_____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
现场 草图			
说明			

操作员：_____记录员：_____复核员：_____

第 页/共 页

附录 H 钻探、井探现场记录表

工程名称：_____工程地点：_____

钻孔（井探）编号：_____钻机型号：_____

孔（井）口标高：_____ 钻孔口径：开孔_____m 终孔_____m

孔（井）坐标：X_____Y_____ 地下水位：初见_____m 静止_____m

起止时间：_____

地层 编号	起止深度		地层名称	地层描述	取样		原位测试 成果	备注
	自	至			编号	深度		

钻探单位：

技术负责人：

记录员：

复核员：

第 页/共 页

附录 R 钎探现场记录表

工程名称： _____

工程地点： _____ 工作日期： _____

编号		钎探坐标		X:		Y:		
套锤重		自由落距				钎径		
顺序号	各步锤击数							
	0~30 cm	30~60 cm	60~90 cm	90~120 cm	120~150 cm	150~180 cm	180~210 cm	备注

钎探单位： _____ 技术负责人： _____

记录员： _____ 复核员： _____

附录 J 道路地下病害体成果统计表

编号	病害 体类 型	病害体 位置	病害体区域 中心点坐标 (m)		病害体区 情况描述		病害 体特 征	风险 等级	处置 建议	备注
			X	Y	面积 (m ²)	深度 (m)				

附录 K 道路地下病害体探测成果代号和图例

名称		代号	颜色	图例	说明
探测方法 及验证点	探地雷达法	LD	蓝	 以雷达测线为例	1 测点、测线特征点用直径 0.5mm 实心圆表示 2 连续测线用线宽 0.2mm 实线连接测线特征点表示
	高密度电法	GM	紫红		
	瞬态面波法	RL	紫红		
	微动勘探法	WD	紫红		
	地震映像法	DZ	紫红		
	瞬变电磁法	SB	紫红		
	验证点	YZ	大红	 YZ1	用 2mm 小圆和 1mm 同心实心圆表示
地下病害体类型	脱空	TK	大红	 TK1	1 范围线用线宽 0.3mm 实线表示，不同类型病害体用不同符号填充 2 中心位置用直径 1mm 圆和中心加点表示
	空洞	KD	大红	 KD1	
	疏松体	SS	绿	 SS1	
	富水体	FS	褐	 FS1	

(征求意见稿)

(征求意见稿)

(征求意见稿)

(征求意见稿)

本标准用词说明

1.0.1 对条文要求严格程度不同的用词，说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：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用词：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用词：正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

1.0.2 条文中指定应按其他有关标准、规范或其它有关规定执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……要求”。非必须按所指定的标准、规范或其它规定执行时，写法为“可参照……”。

引用标准名录

- 1 《基础地理信息城市数据库建设规范》 GB/T 21740
- 2 《信息系统安全等级保护基本要求》 GB/T 22239
- 3 《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB 50025
- 4 《城市工程地球物理探测标准》 CJJ/T 7
- 5 《城市测量规范》 CJJ/T 8
- 6 《城市基础地理信息系统技术标准》 CJJ/T 100
- 7 《多道瞬态面波勘察技术规程》 JGJ/T 143
- 8 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》 JGJ/T 87
- 9 《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》 JGJ 437
- 10 《城市道路地下病害体探测工作规范》 DB3301/T 0360
- 11 《城镇道路地下病害体探测技术标准》 DBJ41/T 233

青海省工程建设地方标准

青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险
评估技术标准

DB63/T XXXX-20XX

条文说明

(征求意见稿)

(征求意见稿)

(征求意见稿)

(征求意见稿)

编制说明

《青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害探测与风险评估技术标准》DB63/T XXX-2022，经青海省住房和城乡建设厅 20XX 年 XX 月 XX 日以第 XX 号公告批准发布。

本标准在制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了青海省内地害体综合探测与评价的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，对本标准内容的反复讨论、分析和论证，取得了重要技术参数。

为便于广大设计、施工、检测、监理、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，《青海省湿陷性黄土地区城市道路地下病害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。

(征求意见稿)

(征求意见稿)

(征求意见稿)

(征求意见稿)

目 次

1 总 则.....	89
2 术语与符号.....	90
2.1 术 语.....	90
3 基本规定.....	91
4 青海省湿陷性黄土分布与特征.....	93
5 城市道路地下病害体分类.....	95
6 技术工作路线.....	97
7 道路地下病害探测与监测.....	99
7.1 一般规定.....	99
7.2 探地雷达法.....	100
7.3 高密度电阻率法.....	105
7.4 瞬态面波法.....	106
7.5 微动勘探法.....	107
7.6 地震映像法.....	109
7.7 瞬变电磁法.....	109
7.8 钻探.....	110
7.9 井探.....	110
7.12 人工巡查与自动化监测.....	111
8 道路地下病害体验证.....	112
9 道路地下病害风险评估与控制.....	113
9.1 一般规定.....	113
9.3 风险发生可能性评价.....	113
9.4 风险后果评价.....	114
10 道路地下病害体治理措施.....	115

11 信息化管理与应用.....	116
12 成果报告编制.....	117
12.1 一般规定.....	117
12.2 文字报告.....	117
12.3 成果图件.....	117

1 总 则

1.0.2 湿陷性黄土的病害是由外力引起的，由上到下的规律变化，城市地下管网埋深一般在 2m~5m，按最高湿陷等级Ⅳ级，路基处理深度一般为 5m~6m，复合地基处理深度一般为 15m，青海省地下防空工程，海南州、海西州埋深约为 7m~10m，西宁、海东地区埋深约 12m~15m。北川河西岸三级阶地进行的代表性黄土浸水试验，浸水深度为 2m~3m，结合城市道路地下病害体的发生发展情况，路面以下 15m 深度内的病害体易产生危害，因此，道路地下病害探测深度宜为 15m 以内，道路下存在人防设施，黄土不良地质现象发育，浸水深度大时宜加深探测深度。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.2 本标准包含的探测方法主要指探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映射法、瞬变电磁法、钻探、井探、钎探等。

2.1.3 脱空常见于混凝土地面、半刚性基层沥青路面以及白改黑路面等刚性或半刚性面层下方，一般表现为平面尺寸大于垂向高度特点。

2.1.12 湿陷性黄土是一种非饱和的欠压密土，具有大孔和垂直节理，在天然湿度下，其压缩性较低，强度较高，但遇水浸湿时，土的强度显著降低，在附加压力或在附加压力与土的自重压力下引起的湿陷变形，是一种下沉量大、下沉速度快的失稳性变形，对其上建、构筑物等基础设施的危害性大。

3 基本规定

3.0.2 城镇道路地下病害体探测要求在搜集和分析测区内既有的岩土工程、市政设施、水文气象等资料的基础上,采用合理的地球物理方法或方法组合,查明探测区域内地下赋存的地下病害体类型、规模、埋深、位置等属性,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。

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

3.0.5 本条规定了适合进行定期探测的工程范围,同时建议了定期探测的周期,因为探测频率和探测范围决定了财政支出的大小,不同城镇在使用规范确定探测范围和探测频率时应适应当地经济发展水平。

3.0.6 专项探测主要适用于易造成地下病害体产生的场地岩土、水文地质等环境因素发生较大改变时进行;同时为了保证重点项目、重要大型活动、外交、大型体育赛事等文体活动的顺利举办,提前对可能存在的安全隐患进行排除时进行。春融为每年3~4月,汛期为每年6~9月。

3.0.7 应急探测主要适用于地下病害体已经产生危害或显露危害即将发生的特征时,对病害体规模的应急性探测,以作为危害可能进一步发生的评估及病害体治理依据。

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

1 普查工作对测区进行全面探测,根据探测成果、现场调查结果和资料分析结果,确定场区重点探测区域。

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

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

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

4 青海省湿陷性黄土分布与特征

4.0.1 湿陷性黄土在青海地区分布广泛，主要分布在黄河上游、湟水流域、大通河等河谷阶地及柴达木盆地东南部的山坡、丘陵区，在青海湖附近及山麓地貌也有零星分布。青海东部地区湿陷性黄土具有独特的分布特征，黄土地貌形态以梁、峁为主，因地形切割，黄土水平分布不连续、厚度变化大，大多黄土层的厚度从低阶地向高阶地逐渐变厚，主要沿湟水干流南北两岸支沟分布，分布区海拔多在 2000m~3000m。青海西部地区湿陷性黄土主要分布在柴达木盆地东南部，地貌主要为高原山麓地貌和微型河流阶地地貌，地形呈缓坡状。

青海地区湿陷性黄土按行政区划分为东区和西区，东区包括西宁、海东、海南（共和县除外）、海北、黄南；西区包括海西、海南（共和县）、果洛、玉树。

4.0.5 青海地区黄土的主要物质来源于青藏高原内部。湿陷性黄土的成因以风力作用为主、水流作用为辅。东区低阶地湿陷性黄土黏粒含量较大，西区的湿陷性黄土砂粒含量高于黏粒含量，天然重度和干重度较其他区域偏大，土颗粒之间的结合密度高。不同的地域条件，黄土含水量有很大的差别。

黄土物理参数通过调查全省典型的黄土区基建项目土工试验和资料收集及野外调查统计，具有代表性的青海地区湿陷性黄土的物理力学性质指标。参考的省内项目有，东区的《西宁市生物园区体育公园项目》、《西宁城东颐锦园项目》、《民和 330kV 输变电工程（开关站）站址二》、《西宁中梁南川项目》《乐都区达拉土族乡人民政府综合服务中心项目》、《贵德县河阴镇西家嘴高科技项目》、《循化县西门广场及地下停车场建设项目》等；西区的《海南州共和县城市过街通道工程》、《刚察县 2022 年学前教育发展项目》、《海南州贵南县茫曲镇南环路工程》等。

4.0.7 湿陷性黄土的湿陷等级划分应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025 的相关规定。

5 城市道路地下病害体分类

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

5.0.2 地下病害体的工程特征是其分类的基本依据。地下病害体的成因与土体的性质和结构、水动力作用、动（静）荷载作用及其他环境因素密切相关。地下病害体的形成通常是由于局部土体缺失后，上部土体在自重和其上动（静）荷载、机械振动作用下，自身土体结构遭到破坏，密实度下降、孔隙度增大，逐渐变为松散土体，本标准中称之为疏松体。当疏松土体在自重作用和环境振动作用下向下发展时，会导致局部土体与周边土体分离，发展至一定的规模时，即形成空洞；当这一过程逐渐发展至地表，空洞即变成了脱空。由上所述，疏松体、空洞、脱空的形成即是地下病害体由深至浅、由轻到重的发展过程，同时也对应了地下病害体形成的不同阶段。在地下病害体形成的过程中，如果存在水的因素（这里的水不包括地层中赋存的具有承压性质的地下水），则通过水的潜蚀、冲刷等动力作用，会加剧空洞的形成，同时水对局部土体的渗透也会改变土的原有结构，因而降低其工程特性，因此本标准将这种不良地质体列为地下病害体的一种，称为富水体。富含水体的含水量 $W \geq 30\%$ 时，判定为严重富水体，含水量 $20\% \leq W < 30\%$ 时，判定为中等富水体，含水量 $W < 20\%$ 时，判定为一般富水体。

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

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

6 技术工作路线

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

6.0.2 本条规定了探测工作应收集的资料。

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

3 地下管线现状资料宜包括：管线的种类、位置、材质、规格、埋深、高程及相互位置关系等。在与管线关系较大的病害体探查中，如没有管线现状资料，宜进行管线探查工作。

由于地下管线的施工或介质渗漏均会产生地下病害体，其内窥检测资料是判断病害体成因的重要依据之一，同时，地下管线在物探的探查剖面上会有异常信号出现，所以收集地下管线的现状资料及其内窥检测资料会提高探查工作的有效性。另外，如果现场曾发生过病害体塌陷等事故，并经过修复的情况，修复所采用的施工设计资料及原病害体的资料也是非常重要的，应尽可能收集到。

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

6.0.4 本条规定了选择探测工作方法的主要因素。因为不同的物探方法，其探查的物性异常种类、目标大小、探查深度及分辨率不尽相同，因此方法选择时，应首先考虑探测的目的，特别是：探测目标异常的可能大小、可能性状、可能深度及其与周边介质的物性差异等。另外，现场的干扰与影响因素也应考虑，如地电干扰、电磁干扰、振动干扰、温度干

扰等，保证所选探测方法的应用效果。现场作业条件工作影响因素，如接地条件、交通、人流、场地狭窄及场地安全隐患等，也是直接影响探测工作实施的重要因素。

7 道路地下病害探测与监测

7.1 一般规定

7.1.1 本标准推荐的地球物理方法包括探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法和瞬变电磁法，地下病害体本身的参数差异、规模及现场的实施条件是进行探测工作的前提。

1 地球物理性质差异包括介电差异、电阻率差异、波阻抗差异等。

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

3 不同的地球物理方法对探测的实施条件有不同的要求，例如探地雷达法要求避开强电磁干扰、地震方法避开强震干扰等。

7.1.3 本条规定了地下病害体探测可供选择的工作方法，叙述了探测方法的应用范围，每种探测方法都有自己的适用条件和适用范围，针对性地选择探测方法，可以取得事半功倍的效果。

根据各地区的地下介质介电性质差异，探地雷达可探测地下 7m 深度范围内的地下病害体，在地下水位较高或介质含水量较大时，探地雷达的信号衰减加剧，有效探测深度会减小。

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

7.1.5 本条对地下病害体地球物理探测的测线布设方式进行了规定：

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

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

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

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

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

4 采用相对坐标系时,与当地城市坐标系建立联系是必要的。

7.2 探地雷达法

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

7.2.9 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,在实际探测中应考虑探测深度和分辨率要求,充分了解探测区域地下介质的介电性质和环境干扰的影响因素。

1 考虑城市探测环境干扰因素影响,优先选择屏蔽天线进行探测,以获得较高质量的数据信息。目前市场上常用的探地雷达屏蔽天线主频可达到 100MHz~500MHz。为了探测较深目标体,优先选用低频屏蔽天线,以 100MHz~200MHz 天线为主,背景干扰弱的区域,可选用

80MHz~100MHz 低频天线；在满足探测深度时，选择相对高频的天线会有更好的分辨率。

根据若干城市对探地雷达各频率段天线探测深度能力的试验对比，常用屏蔽天线主频 100MHz 时，探测深度约 4m~7m；主频 200MHz~300MHz 时，探测深度约 2m~4m；主频 400MHz~500MHz 时，探测深度小于 2m。

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

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

7.2.13 本条对探地雷达法测线的布设进行了规定：

1 在城市道路上进行探测时，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~500MHz 之间，100MHz 辐射宽度约为 2.0m，400MHz 天线辐射宽度约为 1.0m。

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

1 宽角法

当地下存在一反射面时，保持一个雷达天线固定在地面某一点上不动，而另一个天线沿测线移动，记录地下各个不同层面反射波的双程走

时，这种测量方法称为宽角法，主要用来求取地下介质的电磁波传播速度。

2 已知深度目标换算方法

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

3 迭代偏移处理法

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

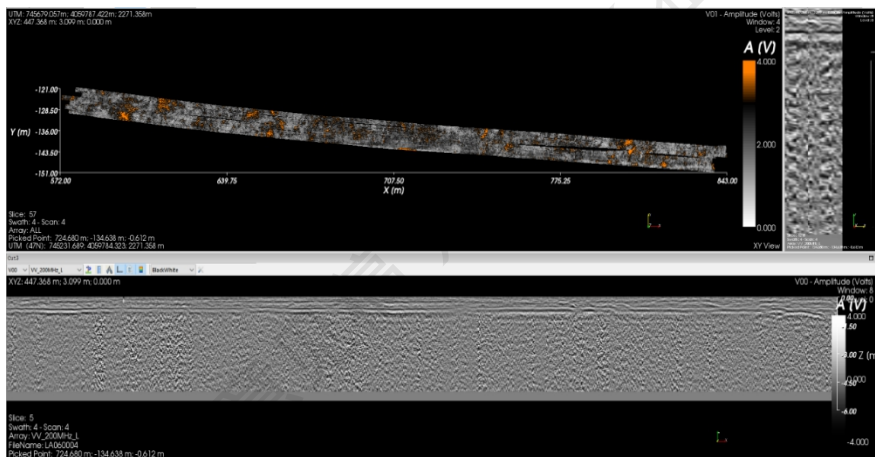
7.2.17 本条对探地雷达的现场数据采集进行了规定。

7.2.19 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、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。

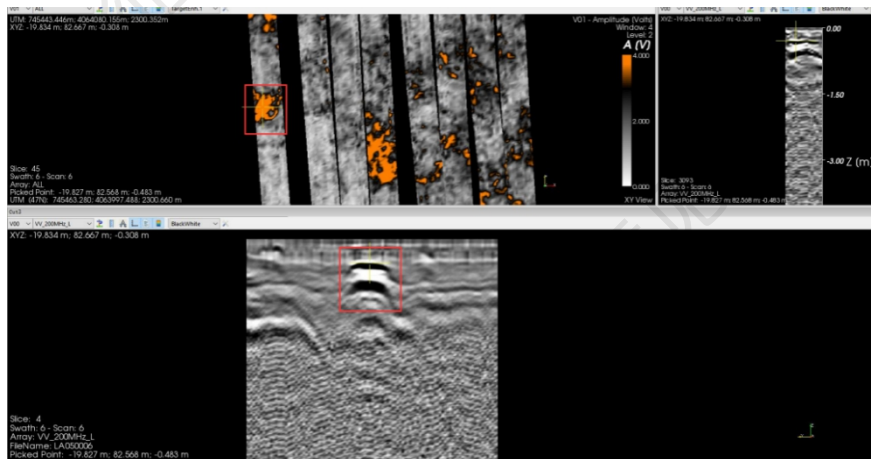
7.2.21 本条对探地雷达数据处理进行了规定，数据处理的目的是压制干扰、突出有效目标的信号，应根据干扰的类型或需要的图像效果合理选择数据处理方法，对数据处理的参数应有足够的理解，避免过度处理。

7.2.23 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。

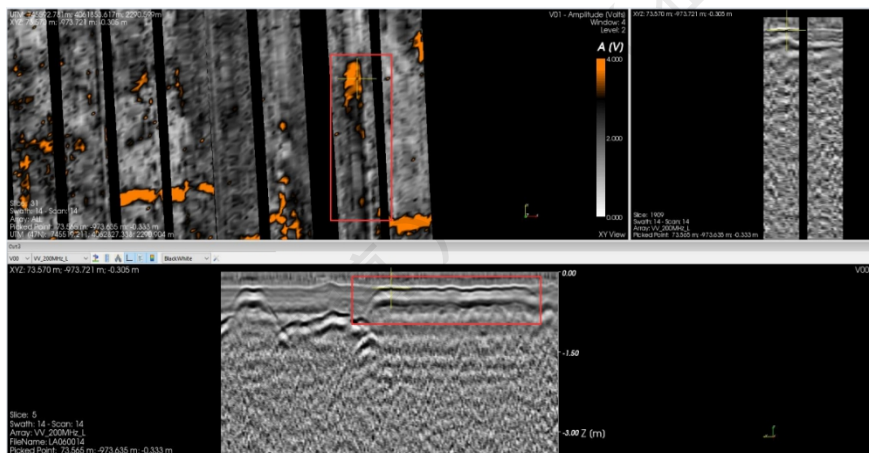
7.2.24 地下空洞、脱空、疏松体、富水体在雷达图谱上的反映与非异常区存在较大区别。依据雷达反射波的相位、频率与幅值变化综合判断，识别道路地下病害体类型，湿陷性黄土地区的道路正常路段图谱与常见道路地下病害体特征图谱，如图 1～图 5 所示。



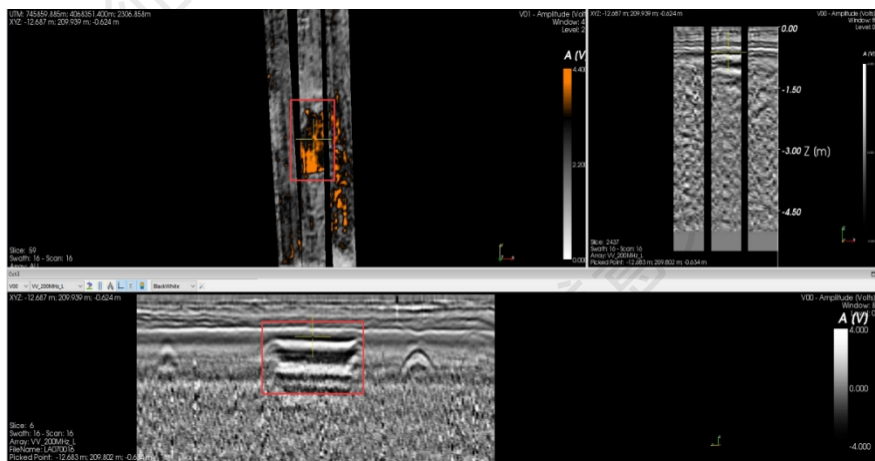
图一 正常路段雷达特征图谱



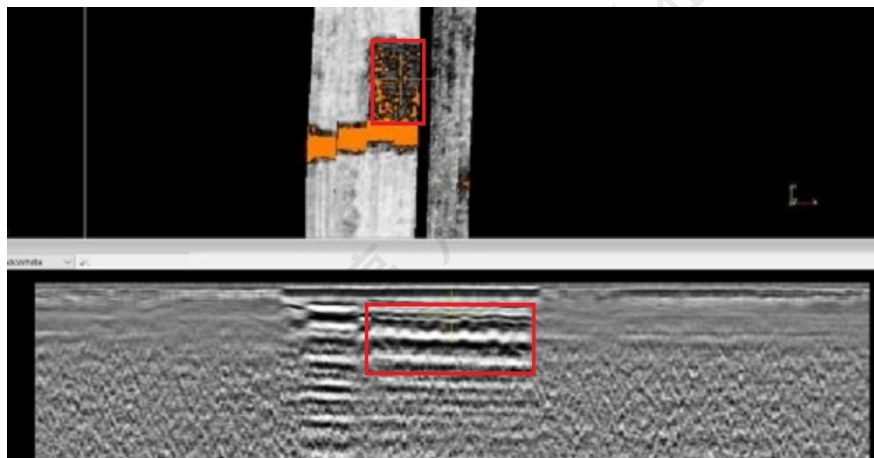
图二 空洞雷达特征谱图



图三 脱空雷达特征谱图



图四 疏松体雷达特征图谱



图五 富水体雷达特征图谱

7.3 高密度电阻率法

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

7.3.4 使用高密度电阻率法探测时，电力管线、配电设施等产生离散电流会对人工电场形成噪声干扰，测线附近的低阻体及地下的建构筑物影响人工电场电流的传导，呈现异常反应，需要结合现场踏勘情况，剔除假异常。本条对城镇环境进行高密度电阻率法探测的主要干扰源进行了统计。

7.3.9 本条对高密度电阻率法的质量检查及评价进行了规定：

4 质量检查统计的均方相对误差的计算公式如下：

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

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

式中： M —某项目的均方相对误差；

n —某项目的测点个数；

m_i —第 i 个测点的相对误差；

ρ_{ai} —第 i 个测点的基本观测值；

ρ'_{ai} —第 i 个测点的检查观测值。

7.4 瞬态面波法

7.4.4 使用瞬态面波法数据采集时，采用的道数越多，数据的精度就越高、频率成分就越丰富，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，一般采用 12 道~24 道即能满足探测需要。为提高工作效率建议选择 12 道进行数据采集。但进行有效性实验时，应采用 24 道或更多道数进行全排列探测，以确定观测系统的最佳参数。

7.4.5 由于地下病害体探测需要相对丰富中高频的面波成分，故建议选择不低于 4Hz 的检波器。

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

7.4.10 半波长法中 $h=\beta\lambda R$ 的 β 取值 0.5，此法认为面波速度代表半个波长深度以上介质的平均值，在无其它资料时，可采用此方法。当场地具有已知的地质钻孔资料时，应根据钻孔资料标定 β 值。

视横波速度，既不是面波的相速度，也不是横波速度，但可以使得横波速度在剖面上的变化凸显出来，极大方便了地层岩性和构造变化的有效识别和解释。而且，经实际的各种替换公式试算和实际检测数据的检验，公式（3）对视横波的计算结果也最接近地层横波速度的真实值。

在进行地质解释前，应收集尽可能多的已知钻孔资料和其他物探成果资料，综合已知因素后再进行地质解释。

$$V_{x, i} = \left(\frac{t_i \cdot V_{r, i}^4 - t_{i-1} \cdot V_{r, i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right)^{1/4} \quad (3)$$

式中：\$V_{x, i}\$—视横波速度；

\$V_{r, i}\$—面波相速度。

7.5 微动勘探法

7.5.3 由于地下病害体一般埋深较浅，需要获取相对丰富的中高频的信息数据，故建议选择 4Hz~10Hz 的检波器。目前微动勘探法可以使用一体化数字地震仪有单分量也有三分量，自身通常有数据采集、上传和存储的功能，工作时各个拾振器按设计的台阵方式布置，通过 GPS 授时功能实现各采集系统的同步信号采集。微动勘探法采用三分量检波器，可通过计算同时获得面波频散曲线和 H/V 曲线，有利于地下目标的解释。

7.5.4 一致性测试时可将全部仪器集中放置到地面条件相同的位置，同步记录不应少于 15min，计算各台仪器的功率谱之比、相干系数和相位差，对仪器的一致性作出评价。在有效频段范围，相干系数一致性一般要求优于 98%，相位差要求小于 2°。

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

7.5.6 微动勘探法的探测深度、精度与台阵的形式、台阵半径、记录长度有关，一般半径越小，探测深度越小，精度越高。探测深度 20m~30m

时，一般记录长度不小于 15min，当信噪比较低时，可延长信号采集时间，或重新采集。

7.5.7 检波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。

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

7.5.11 H/V 指水平分量与垂直分量功率谱的比值，实施起来简单快捷，因而得到广泛的应用。微动 H/V 峰值频率与松散沉积层的横波共振频率相吻合，这和很多应用结果相符。H/V 曲线中的频率峰值 f_0 与松散覆盖层的平均剪切波速度和覆盖层厚度相关，可以近似用如下公式（4）表示：

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

式中： V_s —覆盖层加权平均剪切波速度（m/s）；

D_{ov} —松散覆盖层厚度（m）。

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

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

7.5.12 正常地层速度剖面无明显异常（偏高或偏低），对应频段 H/V 曲线无峰值，则出现病害体的可能性很小。局部速度（稍）偏高，对应频段 H/V 曲线中出现小峰值，该类异常对应的可能是波阻抗变化较大的岩土层分界面或者不均匀风化，出现病害体的可能性较小。局部速度明显偏高或偏低，对应频段 H/V 曲线出现较大峰值，出现病害体的可能性大；当对应频段 H/V 曲线量值大，多峰，杂乱时，说明土体结构已遭破坏，出现病害体的可能性大。

7.6 地震映像法

7.6.4 偏移距是指激发点到检波器之间的距离，由施工场地的上覆地层厚度和介质的地球物理性质决定，通过试验干扰剖面给出。尽量把反射波与直达波、面波等干扰波分开，目的是为了获得地下目的物的有效波，提高地震映像法的信噪比。使接收到的反射波信号清晰、干扰少。

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

7.6.5 采样间隔乘以采样点数，即为仪器的记录长度。采样间隔是数据采集的重要参数，它与剖面的垂直分辨率有关。一般来说，采样间隔越小，地震波形的记录精度就越高，相应的记录长度小；反之，采样间隔越大，对地震波形的记录精度降低，相应的记录长度大。

7.6.6 测点间距根据探测目标体的具体情况选取，首先要保证其水平方向的分辨率。当探测的地下目标体为有限物体时，要保证其边界的有效精度，点距应尽量减小。在发现异常部位沿主测线两侧增加旁测线或穿过异常中心增加交叉测线，保证各测线有效异常有清晰完整的反映。

7.6.10 地震映像探测时，附近的震动，会在数据采集时被检波器记录下来，形成噪音干扰或假异常；地下管线、防空洞等地下建构筑物，也会形成异常反应，需要结合现场踏勘情况，剔除假异常。

7.7 瞬变电磁法

7.7.1 瞬变电磁法易受到外界干扰影响，不应在高压线等强干扰源、强磁场附近布置，另外由于金属会对接收信号造成影响，接收端也应避免放在金属物附近。

7.7.4 本条对瞬变电磁法仪器设备应符合的条件进行了规定：

- 1 考虑城镇环境复杂性，对发射电流要求相对较高。

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

$$S(t_i) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{v_j(t_i) - \bar{V}(t_i)}{\bar{V}(t_i)} \right)^2} \times 100\% \quad (5)$$

$$\bar{V}(t_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_j(t_i) \quad (6)$$

式中： $V_j(t_i)$ —第 j 次观测第 i 道原始观测数据；

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

7.8 钻探

7.8.6 本条规定钻孔的记录和编录应由经过专业训练的人员承担，由于物探工作的验证涉及岩土和埋藏物不同地球物理特点，专业的编录人员会进行针对性的钻孔描述。

7.9 井探

7.9.1 由于钻探采取的截面尺寸较小，对物探异常体的尺寸揭示不足，必要时可采用井探进一步查明异常体。人工探井成孔依据青海省住房和城乡建设厅《关于建筑地基人工挖孔桩适用范围的通知》（青建设〔2013〕27号）文件，结合路基结构确定人工探井深度不宜超过 8m。

7.12 人工巡查与自动化监测

7.12.2 人工巡查和自动化监测各有其优势和劣势，根据工程的不同特点和需要采取人工巡查或自动化监测及时掌握道路及附属设施的技术状况。

7.12.4 人工巡查应根据工程特点及对工程的影响因素变化制定合理的频次。

8 道路地下病害体验证

8.0.1 空洞、脱空、严重疏松体类不良地质体对城市安全影响较大，因此建议全部验证。

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

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

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

8.0.4 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。

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

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

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

9 道路地下病害风险评估与控制

9.1 一般规定

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

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

9.1.5 湿陷性黄土遇水湿陷、极易流失，因水作诱因而产生的病害体极易快速发育，对道路运营造成更大的危害，因此在探测工作结束后，结合病害体的发展趋势，可对发现的病害体进行现场快速风险评估，确定病害体风险等级，对IV级及以上的病害体进行应急处置，以防止发生次生灾害事故。

9.3 风险发生可能性评价

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

1 道路地下病害体的规模

道路地下病害体的规模大小和空间位置远近，对上部荷载和地下管线的变形影响显著。

2 邻近设施

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

3 环境因素

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

周边岩土体条件直接影响地下病害体的发展速度，可以参考现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 确定指标评分。

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

9.4 风险后果评价

9.4.1 考虑地下病害体一旦形成事故造成的直接影响和间接影响。

10 道路地下病害体治理措施

10.0.1 本条规定了地下病害体治理的基本原则，治理方案设计时就应考虑，原则应协调，少开挖和降干扰应在标本兼治的前提下考虑。

10.0.3 道路地下病害体处置常用开挖回填、注浆加固、复合地基等，治理措施应符合现行国家标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的相关规定，确保治理措施有效。

10.0.4 城市道路地下管网错综复杂，在机械开挖作业时，在距离管线1m 范围内应采用人工开挖，可以防止作业时对管线造成破坏，造成意外事故，施工符合《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008。

10.0.6 治理完成后应进行必要的验收工作和后期跟踪监测，防止病害体的再次形成。

11 信息化管理与应用

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

11.0.4 本条规定了道路地下病害体数据应包括病害体的空间数据和属性数据。

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

12 成果报告编制

12.1 一般规定

12.1.1 成果报告是对道路地下病害体探测工程的工作总结，是了解工程概况、所采用的技术措施、研究地下病害体风险、道路安全状况的重要技术资料，也是地下病害体处置和周期性探测工作计划设计的重要依据。因此，探测单位在探测结束后应编写成果报告。

12.2 文字报告

12.2.1 本条规定了文字报告应包括的主要内容。

12.3 成果图件

12.3.3 本条规定了工作布置图中测线、测点、验证点的编制方法。

12.3.4 本条规定了道路地下病害体平面分布图的编制方法。