

ICS:
CCS:

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

JXXXXX-2025

DB65/XXXXX-2025

城镇道路地下病害探测与风险评估 技术标准

Technical standard for underground disease detection and
risk assessment of urban roads
(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅
新疆维吾尔自治区市场监督管理局

发布

新疆维吾尔自治区地方标准

城镇道路地下病害探测与风险评估 技术标准

Technical standard for underground disease detection and
risk assessment of urban roads

JXXXXX-2025

DB65/XXXXX-2025

主编部门：新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅

批准部门：新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅

新疆维吾尔自治区市场监督管理局

实施日期：2025 年 XX 月 XX 日

XXXX 出版社

2025 北京

前 言

根据新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅《关于发布 2024 年第二批自治区工程建设地方标准制（修）订计划的公告》要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合新疆维吾尔自治区实际情况，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共 10 章和 2 个附录，主要技术内容有：总则、术语和符号、基本规定、探测分类、道路风险评估、探测方法、验证与成因调查、地下病害风险评估、成果报告及数字化管理与应用。

本标准由新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅管理，由新疆大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至新疆大学（地址：新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市新疆大学博达校区西区；邮编：830000）。

主 编 单 位： 新疆大学

中科云图科技有限公司

参 编 单 位： 新疆建筑科学研究院

乌鲁木齐市市政设施监测中心

乌鲁木齐市城建设计研究院

中国地质大学（北京）

新疆建筑科学研究院（有限责任公司）

新疆胜平土木工程技术有限公司

北山工程设计有限公司

主要起草人： 冉武平 王继伟 高云泽 程 龙 黄建军

张乃天 索 冀 艾贤臣 冉 晋 马昕骏

任俊杰 傅子铭 陈 鑫 马胜明 杨 波

侯宪明 王乃印 李培政

主要审查人： 吴兰昊 康文霞 杨镜明 潘登耀 王怀义

郭春生 杜含辰

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定	6
4 探测分类	7
4.1 定期探测	7
4.2 专项探测	7
4.3 应急探测	8
5 道路风险评估	9
6 探测方法	14
6.1 一般规定	14
6.2 二维探地雷达法	16
6.3 三维探地雷达法	20
6.4 高密度电阻率法	22
6.5 瞬态面波法	24
6.6 地震映像法	25
6.7 瞬变电磁法	26
6.8 微动勘探法	28
7 验证与成因调查	30
7.1 一般规定	30
7.2 钻探法	30
7.3 管道内窥法	31
7.4 三维激光扫描法	31
8 地下病害风险评估	33
9 成果报告及数字化管理与应用	34
9.1 成果报告	34
9.2 数字化管理与应用	35
附录 A 探测记录表	37
附录 B 地下病害探测成果统计表	43
本标准用词说明	45
引用标准名录	46
附：条文说明	47

1 总则

1.0.1 为规范新疆维吾尔自治区城镇道路地下病害探测工作，统一道路塌陷风险评估方法，建立数字化应用系统，提高城镇道路安全运行水平，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新疆维吾尔自治区内城镇道路路面以下 30m 内的道路地下病害探测以及风险评估工作。

1.0.3 城镇道路地下病害探测和风险评估工作除应符合本标准外，尚应符合国家和新疆维吾尔自治区现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 道路地下病害 underground road distress

对道路运行安全造成危害的地下空洞、地层脱空、土质疏松体和富水体等不良地质体。

2.1.2 道路地下病害探测 underground road distress detection

采用地球物理方法探测道路地下病害，查明其类型、位置和规模等属性特征的活动。

2.1.3 定期探测 periodic detection

在城镇道路开展周期性地下病害探测工作。

2.1.4 专项探测 special detection

根据道路养护或工程建设需要安排的专项道路地下病害探测工作。

2.1.5 应急探测 emergency detection

遇到道路塌陷、沉降、地震等突发灾害事故时开展的探测工作。

2.1.6 疏松体 loosely infilled void

局部密实度明显低于周边土体的不良地质体。

2.1.7 富水体 water-rich void

含水量明显高于周边土体的不良地质体。

2.1.8 脱空 cavity underneath pavement

净空高度小于 0.5m 的路面与路基不连续接触的空腔。

2.1.9 空洞 void

净空高度大于 0.5m 的路面与路基不连续接触的空腔及地下发育的洞穴。

2.1.10 二维探地雷达法 2D ground penetrating radar method

通过研究高频电磁波在介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等，探查地下介质的一种电磁波法。

2.1.11 三维探地雷达法 3D ground penetrating radar method

采用阵列天线技术，通过单次扫描，能够形成高密度立体电磁波数据的探地雷达方法。

2.1.12 高密度电阻率法 multielectrode resistivity method

通过电极阵列技术同时实现电测深和电剖面测量，获得二维或三维电阻率分布，进而研究解决相关问题的电阻率法。

2.1.13 瞬态面波法 surface wave exploration

利用人工震源激发产生的弹性波在介质中传播的特性,通过分析所接收记录的瑞雷面波的频散特性,解决有关地质问题的方法。

2.1.14 地震映像法 seismic imaging method

利用人工震源激发,以相同偏移距逐步移动激发点和接收点,通过分析所接收反射波数据的幅度和相位信息,探查地质结构的方法。

2.1.15 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲激发电磁场,在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中的二次感应涡流场,从而探测地下介质电性分布特征的一种电磁法,属于时间域电磁法。

2.1.16 微动勘探法 microtremor exploration

利用天然微动信号激发产生的弹性波在介质中传播,通过分析、处理和提取所接收记录的面波频散信息,反演获得地下横波速度变化规律,进而探查地质结构的方法。

2.1.17 测线 survey line

由一系列测点组成的线状轨迹。

2.1.18 干扰源 interference source

在地下病害探测中,影响探测数据信噪比、探测深度等信号质量的各种干扰因素。

2.2 符号

- C ——城镇道路风险后果值；
- C_1 ——道路养护等级评价指标；
- C_2 ——设施重要性评价指标；
- C_3 ——财产密度评价指标；
- C_4 ——人员密集程度评价指标；
- C_5 ——社会影响评价指标；
- c ——空气中的电磁波速度；
- d ——地下病害净空高度；
- d_0 ——标定目标体厚度或距离；
- f ——探地雷达天线主频；
- H ——最大探测深度；
- h ——探测目标深度；
- K ——加权系数；
- P ——城镇道路风险发生可能性值；
- P_A ——道路现状评价指标取值；
- P_{A1} ——岩土条件评价指标取值；
- P_{A2} ——积水状况评价指标取值；
- P_{A3} ——道路荷载评价指标取值；
- P_B ——地下管线脆弱性评价指标取值；
- P_C ——道路工程活动评价指标取值；
- P_D ——道路病害历史评价指标取值；
- P_{D1} ——路基病害评价指标取值；
- P_{D2} ——路面病害评价指标取值；
- S ——地下病害面积；
- T ——记录时窗；
- t ——双程走时；
- W_A ——道路现状评价指标权重；

W_B ——地下管线脆弱性评价指标权重；

W_C ——道路工程活动评价指标权重；

W_D ——道路病害历史评价指标权重；

W_1 ——道路养护等级评价指标权重；

W_2 ——设施重要性评价指标权重；

W_3 ——财产密度评价指标权重；

W_4 ——人员密集程度评价指标权重；

W_5 ——社会影响评价指标权重；

x' ——横向分辨率；

y ——地下介质中的电磁波速度；

ϵ_r ——相对介电常数；

λ ——电磁波波长。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路地下病害探测应结合工程地质与水文地质条件、市政基础设施、气象条件、历史塌陷等资料，选用合理探测方法，查明探测区域内道路地下病害的属性特征，并进行风险评估，提出风险管控对策。

3.0.2 城镇道路地下病害探测可分为定期探测、专项探测和应急探测。

3.0.3 定期探测前宜对城镇道路进行全面风险评估，并根据评估结果确定定期探测范围。

3.0.4 道路地下病害探测后，宜进行地下病害风险评估，并根据评估结果制定病害风险管控对策。

3.0.5 城镇道路地下病害探测应采用初测和精测相结合的方式，并应符合下列规定：

- 1 初测应对测区进行全面探测，并确定重点探测区；
- 2 精测应对重点探测区进行再次探测，并查明地下病害的属性。

3.0.6 进行探测作业的车辆应为符合交通管理规定的专项作业车，并应配置警示标志、灯具，车身应使用统一标志。占道围蔽探测时，应符合《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900的规定。

3.0.7 宜将道路地下病害探测与道路养护计划相结合，纳入道路养护系统和档案管理。

3.0.8 城镇道路地下病害探测宜与城市智慧管网系统相结合，利用管道渗漏智能检测、水压智能检测等设备，及时发现地下病害区域。

3.0.9 应建立数字化系统对地下病害等地下空间信息进行管理与应用，地下病害探测数据应进行保密管理。

4 探测分类

4.1 定期探测

4.1.1 城镇道路定期探测周期宜考虑当地经济条件和社会需求，并宜按照地质条件、地下空间现状、道路类型确定探测周期。

4.1.2 参照《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 规定的道路养护等级，同时结合自治区内特殊地质条件，将道路分为重点道路、常规道路、一般道路，定期探测周期宜符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 定期探测周期

道路类型	道路描述	探测周期
重点道路	快速路、主干路、广场、商业繁华街道、重要生产区道路、高填方道路、外事活动路线、游览路线、地铁穿越道路、大型地下设施上跨道路、湿陷等级为II级及以上的可能受水浸泡的湿陷性黄土区域道路	1 年
常规道路	除重点道路以外的次干路、步行街、支路中的商业街道、湿陷等级为I级的可能受水浸泡的湿陷性黄土区域道路	2 年
一般道路	除重点道路和常规道路以外的支路	3 年

4.1.3 城镇道路定期探测宜在春融后或汛期后进行。

4.1.4 城镇道路定期探测数据宜与上一期数据进行对比，分析道路地下病害规模、数量变化趋势。

4.2 专项探测

4.2.1 重大活动举行前、洪涝灾害发生后、重大工程施工时，应对影响范围内的道路进行专项探测。

4.2.2 城镇道路地下病害专项探测时间应符合下列规定：

- 1 地铁站点、深基坑、顶管等地下工程施工完成后，应对影响范围内的道路进行专项探测；
- 2 城市重大活动举行前，应对活动场馆周边和活动使用道路进行专项探测；
- 3 洪涝灾害出现后，应对排水管涵、河道周边、过水道路等路段进行专项探测；
- 4 新建道路发生过塌陷事故、进行过管道非开挖施工或超期移交时，宜在移交前进行专项探测；
- 5 区域地下水位突然变化或道路荷载增加时宜进行专项探测。

4.2.3 城镇道路专项探测前应制定专项探测方案，方案应包括探测方法、探测流程、安全措施等内容。

4.2.4 城镇道路专项探测后应对探测发现的地下病害制定专项报告及处置方案。

4.2.5 城镇道路经专项探测后应按照本标准 4.1.2 规定，纳入相应定期探测范围。

4.3 应急探测

4.3.1 城镇道路影响范围内出现以下情况时，应立即开展应急探测工作：

- 1** 24 h 内发生塌陷事故的道路；
- 2** 安装监测设备路段路面累计沉降量报警或巡查路段路面出现明显沉降、裂缝的区域；
- 3** 建（构）筑物或管线（道）累计沉降量超限的区域；
- 4** 地下管廊、地沟或其附属设施出现渗漏、破损、变形等隐患的区域；
- 5** 已有、在建地下工程发生渗水、涌水等险情的区域；
- 6** 管理单位认为的其他需要进行应急探测的情形。

4.3.2 应急探测前，应进行现场调查，收集现场环境、事故背景、附近地下管线分布、水文地质情况等资料。

4.3.3 应依据现场调查及成因简析，明确应急探测方案。

4.3.4 根据应急探测成果进行地下病害类型现场判定。如果存在安全风险较高的地下病害，应立即通知主管单位，并采取临时围蔽等安全措施。

4.3.5 应急探测宜按现场调查、现场探测、现场数据分析、精测及验证、应急报告编制的流程进行。

5 道路风险评估

5.0.1 定期探测前宜对城镇道路进行道路风险评估，并根据评估结果确定探测范围。

5.0.2 道路风险评估的评估单元宜为两路口之间，且不宜超过 1km。

5.0.3 道路风险评估应结合风险发生可能性和风险后果采用风险矩阵法确定。

5.0.4 道路风险评估前应进行风险影响因素调查，调查应包括下列内容：

- 1 风险发生可能性因素：道路现状、地下管线脆弱性、道路工程活动、道路病害历史；
- 2 风险后果因素：道路养护等级、设施重要性、财产密度、人员密集程度、社会影响。

5.0.5 城镇道路风险发生可能性评价指标宜按表 5.0.5 取值。

表 5.0.5 风险发生可能性评价指标

评估指标		指标权重	分级	取值范围
道路现状 P_A	岩土条件 P_{A1}	W_A	松散填土、松散粉土和松散砂土	[90, 100]
			中密填土、中密粉土和中密砂土；松散卵（碎）砾石；黏性土	[70, 90)
			密实填土、密实粉土和密实砂土	[50, 70)
			中密~密实碎石土	[30, 50)
	积水状况 P_{A2}		易发生严重积水	[80, 100]
			排水条件一般，易发生积水	[50, 80)
			排水条件良好，不易积水	[0, 50)
	道路荷载 P_{A3}		重载车辆通行区域	[90, 100]
			机动车频繁通行区域	[70, 90)
			自行车道或机动车较少通行区域	[50, 70)
	人行道、广场等	[30, 50)		
地下管线脆弱性 P_B		W_B	近3年评估单元地下带水管线发生4次及以上破损漏水	[90, 100]
			近3年评估单元地下带水管线发生3次破损漏水	[70, 90)
			近3年评估单元地下带水管线发生2次破损漏水	[50, 70)
			近3年评估单元地下带水管线未发生破损漏水	[30, 50)
道路工程活动 P_C		W_C	地下轨道施工	[90, 100]
			地下空间基坑施工	[70, 90)
			管道非开挖施工	[50, 70)
			无工程活动或其他影响较小的工程活动	[30, 50)
	路基病害 P_{D1}	W_D	近3年评估单元内发生2次及以上塌陷，或近3年道路探测发现5处及以上空洞或脱空	[90, 100]

道路病害 历史 P_0		近3年评估单元内发生1次塌陷，或近3年道路探测发现3处以上空洞或脱空	[70, 90)
		近3年道路探测发现2处及以下空洞、脱空	[50, 70)
		近3年评估单元内道路探测发现存在疏松体、富水体	[30, 50)
	路面病害 P_{02}	路面存在明显变形、沉陷等	[90, 100]
		路面存在明显裂缝、坑槽等	[70, 90)
		路面龟裂、轻微变形	[50, 70)
		路面完好	[30, 50)

注：1 各评估指标分值范围应与其分级相对应，得分宜保留一位小数；

2 同一分级内依据严重程度由轻到重，分值宜由小到大取值；

3 同一指标出现符合多种分级情况时，宜按最高分级取值；

4 道路工程活动指一个探测周期内道路范围内进行的工程活动。

5.0.6 城镇道路风险发生可能性值 P 宜按下列公式计算确定：

$$P = W_A P_A + W_B P_B + W_C P_C + W_D P_D \quad (5.0.6-1)$$

$$W_A + W_B + W_C + W_D = 1 \quad (5.0.6-2)$$

式中： P ——城镇道路风险发生可能性值；

P_A ——道路现状评价指标取值；

P_B ——地下管线脆弱性评价指标取值；

P_C ——道路工程活动评价指标取值；

P_D ——道路病害历史评价指标取值；

W_A ——道路现状评价指标权重，取 0.2~0.3；

W_B ——地下管线脆弱性评价指标权重，取 0.2~0.3；

W_C ——道路工程活动评价指标权重，取 0.2~0.3；

W_D ——道路病害历史评价指标权重，取 0.2~0.3。

5.0.7 道路现状评价指标宜按下式计算确定：

$$P_A = 0.3 P_{A1} + 0.4 P_{A2} + 0.3 P_{A3} \quad (5.0.7)$$

式中： P_A ——道路现状评价指标取值；

P_{A1} ——岩土条件评价指标取值；

P_{A2} ——积水状况评价指标取值；

P_{A3} ——道路荷载评价指标取值。

5.0.8 道路病害历史评价指标宜按下式计算确定：

$$P_D = 0.6 P_{D1} + 0.4 P_{D2} \quad (5.0.8)$$

式中： P_D ——道路病害历史评价指标取值；

P_{D1} ——路基病害评价指标取值；

P_{D2} ——路面病害评价指标取值。

5.0.9 应根据风险发生可能性值 P 按表 5.0.9 确定城镇道路风险发生可能性等级。

表 5.0.9 城镇道路风险发生可能性值与等级对应关系

城镇道路风险发生可能性值 P	等级	风险描述
$P \geq 80$	A	可能性高
$60 \leq P < 80$	B	可能性较高
$40 \leq P < 60$	C	可能性一般
$P < 40$	D	可能性较低

5.0.10 城镇道路风险发生后果评价指标宜按表 5.0.10 取值。

表 5.0.10 风险后果评价指标

评估指标	指标权重	分级	取值范围
道路养护等级 C_1	W_1	I等养护的城镇道路：快速路、主干路、广场、商业繁华街道、重要生产区道路、外事活动路线、游览路线	[80, 100]
		II等养护的城镇道路：除I等养护以外的次干路、步行街、支路中的商业街道	[60, 80)
		III等养护的城镇道路：除I、II养护以外的支路	[40, 60)
设施重要性 C_2	W_2	具有以下情况之一： a) 道路范围内有燃气或其他危险性较大的工业管线 b) 道路范围内有地铁、地下建筑等重要设施	[80, 100]
		具有以下情况之一： a) 道路范围内有热力或其他危险性较小的工业管线 b) 道路范围内有防空洞等重要设施	[60, 80)
		道路范围内有给水、排水或高压电力管线	[40, 60)
		道路范围内有电信管线或其他设施	[20, 40)
财产密度 C_3	W_3	道路两侧有金融机构、大型商场、企业总部等财产密集或危险性大的场所	[80, 100]
		道路两侧有中小型商场、居民楼、办公场所等财产密度较高的场所	[60, 80)
		道路两侧有民房等，财产密度较低	[40, 60)
		道路两侧有较少建筑	[20, 40)
人员密集程度 C_4	W_4	道路两侧有大型商场、体育场、演出场所、大型广场、学校、大型医院等重要公共建筑物或人员聚集场所	[80, 100]
		道路两侧有中小型商场、办公场所、居民楼、公交车站、地铁站等人员较多的场所	[60, 80)
		其他情况	[40, 60)
社会影响 C_5	W_5	道路两侧有重要场所，包括但不限于国家、省级标志性建筑，领事馆，国家及省级党政军重要办公场所，4A级以上景区、大型商场等标志性场所	[80, 100]
		道路两侧有较重要场所，包括但不限于市级标志性建筑，市级党政军重要办公场所，著名景区、中小型商场等场所	[60, 80)

	其他情况	[40, 60)
注：1 各评估指标分值范围与其分级相对应，得分保留一位小数； 2 同一分级内依据严重程度由轻到重，分值由小到大取值； 3 同一指标出现符合多种分级情况时，按最高分级取值； 4 道路养护等级指标依据《城镇道路养护技术规范》CJJ 36确定； 5 依据《商店建筑设计规范》JGJ 48确定商场规模。		

5.0.11 城镇道路风险后果值 C 宜按下列公式计算确定：

$$C=W_1C_1+W_2C_2+W_3C_3+W_4C_4+W_5C_5 \quad (5.0.11-1)$$

$$W_1+W_2+W_3+W_4+W_5=1 \quad (5.0.11-2)$$

式中： C ——城镇道路风险后果值；

C_1 ——道路养护等级评价指标；

C_2 ——设施重要性评价指标；

C_3 ——财产密度评价指标；

C_4 ——人员密集程度评价指标；

C_5 ——社会影响评价指标；

W_1 ——道路养护等级评价指标权重，取 0.15~0.25；

W_2 ——设施重要性评价指标权重，取 0.15~0.25；

W_3 ——财产密度评价指标权重，取 0.15~0.25；

W_4 ——人员密集程度评价指标权重，取 0.15~0.25；

W_5 ——社会影响评价指标权重，取 0.15~0.25。

5.0.12 城镇道路风险后果等级应根据风险后果值 C 按表 5.0.12 确定。

表 5.0.12 城镇道路风险后果等级

城镇道路风险后果值 C	等级	风险描述
$C \geq 80$	1	严重后果
$60 \leq C < 80$	2	较严重后果
$40 \leq C < 60$	3	一般后果
$C \leq 40$	4	轻微后果

5.0.13 城镇道路风险等级应按表 5.0.13 划分为I、II、III、IV四个等级。

表 5.0.13 城镇道路风险等级划分

城镇道路 风险发生可能性 等级	城镇道路风险后果等级			
	1	2	3	4
A	I	I	II	II
B	I	II	II	III
C	II	II	III	IV

D	III	III	IV	IV
---	-----	-----	----	----

5.0.14 城镇道路风险控制对策应根据道路风险等级按表 5.0.14 确定：

表 5.0.14 城镇道路风险控制对策

城镇道路 风险等级	控制对策
I	应立即开展道路地下病害探测。
II	应于一个月内开展道路地下病害探测。
III	应于六个月内开展道路地下病害探测。
IV	日常巡查养护。

6 探测方法

6.1 一般规定

6.1.1 城镇道路地下病害探测宜遵循从已知到未知，由浅入深的原则，宜按照技术准备、数据采集、数据处理与解释、成果验证、报告提交的流程开展，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。

6.1.2 城镇道路地下病害探测除应符合《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7，还应符合下列条件：

- 1 地下病害引起的异常场容易被观测，且干扰因素引起的异常场容易被识别；
- 2 地下病害与周围介质之间存在明显的电性、磁性、弹性、密度等物理性质差异；
- 3 场地内有金属体或强无线电发射源等人工电磁干扰时，应采用抗干扰的方法；
- 4 选用的地球物理方法符合探测环境要求。

6.1.3 城镇道路地下病害探测技术准备应包括下列内容：

- 1 资料收集；
- 2 现场踏勘；
- 3 探测方法选择；
- 4 有效性试验；
- 5 探测方案编写。

6.1.4 探测前收集的资料宜包括下列内容：

- 1 测区内道路工程、地下工程等设计和施工资料；
- 2 测区内工程地质、水文地质、地形图和测量控制资料；
- 3 测区内地下管线分布、检测及巡查相关资料；
- 4 测区内近三年道路地下病害探测成果报告；
- 5 测区内近三年道路地下病害修复资料。

6.1.5 探测方案应包括下列内容：

- 1 探测目的和范围；
- 2 工程地质、水文地质和作业环境分析；
- 3 重难点分析和应对措施；
- 4 依据的标准、规范和技术文件；

- 5 测线布设及工作量；
- 6 仪器设备和人员组织；
- 7 进度计划和质量保证；
- 8 安全作业保障措施；
- 9 拟提交的成果内容。

6.1.6 探测方法选取宜参照探测目的、设计探测深度按表 6.1.6 确定。

表 6.1.6 地球物理探测方法的适用性

地下病害 探测方法	地下病害类型				设计探测深度 (m)
	脱空	空洞	疏松体	富水体	
二维探地雷达法	●	●	●	●	$H \leq 7.0$
三维探地雷达法	●	●	●	●	$H \leq 5.0$
高密度电阻率法	○	●	○	●	$0.5 < H \leq 30.0$
瞬态面波法	○	●	●	-	$0.5 < H \leq 20.0$
地震映像法	○	●	○	-	$3.0 < H \leq 30.0$
瞬变电磁法	-	●	○	●	$3.0 < H \leq 30.0$
微动勘探法	○	●	●	-	$H \leq 30.0$
注：●—适用；○—可选；- —不适用					

6.1.7 正式探测前应根据探测深度和精度要求，通过有效性试验确定采集设备、采集方式和采集参数。

6.1.8 城镇道路地下病害探测的测线布设宜符合下列规定：

- 1 测线布置应根据探测目标规模确定，测线长度、测线间距应满足探测区域全覆盖，且探测成果连续、完整、便于追踪的原则；
- 2 测线宜沿道路行进方向布设，并覆盖交叉路口；
- 4 测线宜在保障覆盖探测范围的前提下，避开环境干扰的影响；
- 5 精测测线宜以异常区域为中心，沿两个方向垂直布设，特殊情况可加密布设。

6.1.9 使用地球物理方法进行道路地下病害探测时应消除或减弱干扰源的影响，并宜符合下列规定：

- 1 宜选用屏蔽型探测设备；
- 2 数据采集时，宜记录干扰源的类型和位置；
- 3 数据处理时，宜对识别到的干扰信号进行针对性处理；

4 数据解译时，宜结合干扰源特征，对结果进行综合判定。

6.1.10 城镇道路地下病害探测的测量工作应符合下列规定：

- 1 地下病害中心平面坐标误差不大于 5cm；
- 2 地下病害尺寸测量误差不大于 1cm；
- 3 探测使用的底图比例尺宜介于 1:500~1:2000。

6.1.11 城镇道路地下病害探测应按照不同探测方法和工程性质及时填写现场记录，记录内容应清晰、准确、完整，探测记录表格式宜符合本标准附录 A 的规定。

6.1.12 城镇道路地下病害探测成果解释应结合探测区域的地质资料、地上和地下设施及周边工程环境等资料进行。

6.2 二维探地雷达法

6.2.1 二维探地雷达法道路地下病害探测的适用条件宜符合下列规定：

- 1 测区内道路相对平坦，路面干燥无积水；
- 2 宜用于非车行道地下病害探测；
- 3 不宜用于地下设施复杂区域的道路地下病害探测。

6.2.2 二维探地雷达进行道路地下病害探测宜采用剖面法，当深部数据信噪比较低不能满足探测要求时宜采用点测法，通过增加静态叠加次数来提升信噪比。

6.2.3 二维探地雷达天线主频选择应符合探测深度和精度的要求，并宜符合下列规定：

- 1 宜选择频率为 100MHz~600MHz 的屏蔽天线，当初测中确定重点探测区时，宜选用多种频率天线；
- 2 当多种频率的天线均能满足分辨率要求时，宜选择频率相对较低的天线；当多种频率的天线均能满足探测深度要求时，宜选择频率相对较高的天线，或采用多种频率天线；
- 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。

6.2.4 二维探地雷达的设计探测深度与天线中心频率的选择宜按表 6.2.4 确定。

表 6.2.4 设计探测深度与天线中心频率对应关系

中心频率 (MHz)	设计探测深度 (m)
600	≤1.5
500	≤2.0
400	≤2.5
300	≤3.0

中心频率（MHz）	设计探测深度（m）
200	≤4.0
100	≤7.0

6.2.5 二维探地雷达工作环境宜满足下列条件：

- 1 环境温度应在-20℃～50℃范围内；
- 2 探测作业面不宜有雨雪或积水；
- 3 探测过程中应减少附近干扰源影响。

6.2.6 影响二维探地雷达探测的主要干扰源宜按下列因素统计：

- 1 地上干扰源：临近建构筑物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、金属围挡、金属栅栏、车辆等；
- 2 地下干扰源：管线、管沟、管廊、井室、地下通道、防空洞、掩埋井盖、树根等；
- 3 电磁干扰源：变电室、架空输电线、信号发射塔、地下电缆等。

6.2.7 二维探地雷达测线布设宜符合下列规定：

- 1 探测城镇道路时，宜沿道路行进方向布设，且两端覆盖路口全部范围；
- 2 探测广场及学校、医院、厂区等人口密集区时，测线宜交叉布设；
- 3 在隧道、管道内部探测时，测线宜在其正上和斜上部位沿轴线方向布设。

6.2.8 二维探地雷达法垂向分辨率宜取地下介质中电磁波波长的 1/2，电磁波在地下介质中传播的波长宜按下式计算：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.2.8)$$

式中： λ ——电磁波波长（m）；

c ——电磁波在空气中的传播速度（m/ns），取 0.3；

f ——探地雷达天线主频（MHz）；

ϵ_r ——相对介电常数。

6.2.9 二维探地雷达法横向分辨率宜按下式计算：

$$x' = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (6.2.9)$$

式中： x' ——横向分辨率（m）；

λ ——电磁波波长（m）；

h ——探测目标深度（m）。

6.2.10 二维探地雷达法数据采集时的参数设置应符合下列规定：

- 1 信号的增益宜使信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4；
- 2 采样频率不宜低于所采用天线主频的 20 倍；
- 3 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；
- 4 初测时道间距不宜大于 5.0 cm，精测时道间距不宜大于 2.5 cm。

6.2.11 二维探地雷达数据采集时的记录时窗宜按下式确定：

$$T = K \frac{2H}{v} \quad (6.2.11)$$

式中： T ——记录时窗（ns）；

K ——加权系数，取 1.3~1.5；

H ——最大探测深度（m）；

v ——地下介质中的电磁波速度（m/ns）。

6.2.12 地下介质的介电常数和电磁波传播速度标定应符合下列规定：

- 1 探测前应根据探测区域介质的平均介电常数或电磁波平均速度做现场标定，且每个独立探测区域应不少于 1 处，每处实测不少于 3 次，取平均值为该探测区域的介电常数或电磁波速。当探测区域超过 3 km、介质或含水率变化较大时，应适当增加标定点数；
- 2 标定应针对普遍性的区域对已知深度的目标或地物进行测量；
- 3 采集图谱中标定目标或地物界面反射信号应清晰、准确；
- 4 标定结果应按下式计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2} \right)^2 \quad (6.2.12-1)$$

$$v = \frac{2d_0}{t} \times 10^9 \quad (6.2.12-2)$$

式中： t ——双程走时（ns）；

d_0 ——标定目标体厚度或距离（m）。

6.2.13 二维探地雷达法现场数据采集应符合下列规定：

- 1 采用距离触发采集时，采集前应进行距离标定，移动速度应确保采集数据不出现丢道现象；
- 2 自由连续采集时，移动速度应均匀并符合水平分辨率的要求；
- 3 点测时，应在天线静止时采集；使用分离天线点测时，应保持方向不变，同时调整

天线间距以使采集的地下目标信号最强；

- 4 应及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时重测；
- 5 应及时记录各类干扰源及其位置以及地面局部积水、变形等环境情况；
- 6 当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；
- 7 当需要分段探测时，相邻探测段应衔接紧密，准确记录每个探测段的起、终点；
- 8 当采用 GNSS 进行测线轨迹定位时，应合理设置基准站，并进行定点测量验证。

6.2.14 地下管道密集区域地下病害探测，可在管道内部由内往外探测，探测时宜具备下列条件：

- 1 被测管道为非金属管道；
- 2 管道内径宜大于 600 mm；
- 3 管道内没有积水或淤堵。

6.2.15 二维探地雷达法现场探测记录表填写应符合本标准附录 A.0.1 的规定。

6.2.16 二维探地雷达法现场采集数据质量应符合下列规定：

- 1 探测数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- 2 重复观测的数据应与原数据一致性良好；
- 3 现场记录信息应完整，且与探测数据保持一致；
- 4 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；
- 5 数据剖面上不应出现连续的坏道。

6.2.17 二维探地雷达数据处理应符合下列规定：

- 1 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；
- 2 可根据需要选取背景消除、频率滤波、空间滤波、反褶积、偏移归位、地形校正、增益调整等处理方法；
- 3 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；
- 4 当反射信号弱、数据信噪比低时，不宜对数据进行反褶积、偏移归位处理；
- 5 可用反褶积压制多次反射波干扰，反射子波宜是最小相位子波；
- 6 可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；
- 7 改变反射信号的振幅特征宜在其他方法处理完后进行。

6.2.18 二维探地雷达法资料解释方法宜符合下列规定：

- 1 用于成果解释的雷达图像应清晰、信噪比高，解释成果应采用专业语言描述；
- 2 宜根据信号的同相轴及振幅、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 道路地下病害解释宜结合地面变形、管线破损和历史塌陷及测区地质资料进行；
- 5 道路地下病害的位置、范围和规模宜结合相邻测线对比分析确定；
- 6 雷达剖面图像上应标明道路地下病害的位置及范围。

6.2.19 二维探地雷达法地下病害识别宜根据雷达图像的波组形态、振幅、相位和频谱特征按表 6.2.19 进行。

表 6.2.19 道路地下病害的二维探地雷达特征

地下病害		波组形态	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表现为正向连续平板状形态； 3 多次波、绕射波明显。	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。
脱空		1 顶部一般形成连续反射波组，似平板状形态； 2 多次波、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； 3 波形结构杂乱，同相轴很不连续。	整体振幅强，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； 2 频率高于背景场。
疏松体	一般	1 顶部形成连续反射波组；2 多次波不明显； 3 波形结构较杂乱，同相轴较不连续。	整体振幅较强，衰减较慢。	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。
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，衰减很快。	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。

6.2.20 二维探地雷达法成果图件宜包括测线平面布置图、地下病害平面分布图、地下病害雷达剖面图。

6.3 三维探地雷达法

6.3.1 三维探地雷达法道路地下病害探测的适用条件宜符合下列规定：

- 1 适合大面积精细化探测；
- 2 测区内道路相对平坦，路面无积水；

3 宜用于地下设施复杂区域的道路地下病害探测。

6.3.2 正式探测前，应根据深度和精度要求，通过参数试验确定下列技术指标：

- 1 雷达天线主频；
- 2 天线阵列离地高度；
- 3 定位装置精度及配置；
- 4 采集方式和采集参数。

6.3.3 三维探地雷达定位测量装置宜采用卫星定位和惯性导航的组合测量模式，并应符合下列规定：

- 1 数据接收帧率应大于或等于 10Hz；
- 2 定位数据平面精度应优于 5.0cm；
- 3 定位数据高程精度应优于 20.0cm；
- 4 应支持差分信号接收功能；
- 5 应支持接收 CORS 定位坐标。

6.3.4 三维探地雷达应采用距离触发模式采集数据，且触发间距不应大于 5 cm。

6.3.5 三维探地雷达法现场探测记录表填写应符合本标准附录 A.0.1 的规定。

6.3.6 三维探地雷达测线束布设应符合下列要求：

- 1 测线束布设应覆盖整个探测区域；
- 2 测线束应覆盖交叉路口；
- 3 测线束长度、间距应使探测的异常体连续、完整；
- 4 测线束之间应有一定重叠，且重叠跨度宜不小于阵列天线通道间距。

6.3.7 三维探地雷达的设计探测深度与天线中心频率的选择宜按表 6.3.7 确定。

表 6.3.7 三维探地雷达天线中心频率与设计探测深度对应关系

中心频率（MHz）	设计探测深度（m）
900	≤1.0
600	≤1.5
400	≤2.5
200	≤3.0
100	≤5.0

6.3.8 三维探地雷达垂向分辨率计算、横向分辨率计算、时窗计算、介质参数标定、主要干扰源，宜参照本标准 6.2 的相关规定。

6.3.9 三维探地雷达水平轨迹切片发生异常扭曲时，应对扭曲偏离点采用手动纠偏处理，扭曲长度超过测线长度 10%时，应放弃处理，重新采集该测线数据。

6.3.10 三维探地雷达探测时，对重点或复杂区域除按切片显示处理外，还宜做旋转、透视等三维显示处理。

6.3.11 三维探地雷达常见异常体宜根据三维探地雷达图像的图谱特征、振幅、相位和频谱结构等基本特征按表 6.3.11 进行识别。

表 6.3.11 三维探地雷达常见异常体图像特征

异常体	图谱特征				振幅	相位与频谱
	水平切片		纵向切片	横向切片		
管线	金属	线状延伸分布	同相轴连续，多次波明显	倒悬双曲线形态，多次波明显	振幅强	顶部反射波与入射波反向；频率高于背景场
	非金属		同相轴连续	倒悬双曲线形态	振幅较强	顶部反射波与入射波同向；频率高于背景场
箱涵	条带状延伸分布		同相轴连续	平板状形态，两端绕射波较明显	振幅较强	顶部反射波与入射波同向；频率高于背景场
空洞	不规则多边形，反射强度与周围明显不连续		倒悬双曲线形态或平板状形态，两端绕射波明显	倒悬双曲线形态或平板状形态，两端绕射波明显	振幅强	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率高于背景场
脱空	不规则多边形，反射强度与周围明显不连续		平板状形态，有轻微绕射波	倒悬双曲线形态或平板状形态，两端绕射波较明显	振幅强	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率高于背景场
疏松体	严重	不规则多边形，反射强度与周围较不连续	平板状形态，绕射波不明显	平板状形态，有轻微绕射波	振幅较强	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率高于背景场
疏松体	一般	不规则多边形，反射强度与周围较不连续	平板状形态，有轻微绕射波	平板状形态，绕射波不明显	振幅略强	顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向；频率高于背景场
富水体	不规则多边形，反射强度与周围明显不连续		平板状形态，绕射波不明显	平板状形态，绕射波不明显	振幅强	顶部反射波与入射波反向，底部反射波与入射波同向；频率低于背景场

6.3.12 三维探地雷达数据解释结果应包括地下病害的位置、埋深、面积、净空高度和体积。

6.4 高密度电阻率法

6.4.1 高密度电阻率法道路地下病害探测的适用条件应符合下列规定：

- 1 地下病害与周围介质之间存在明显的电阻率差异；
- 2 探测区接地条件良好，没有电阻屏蔽层及强离散电流干扰；
- 3 无金属体和强电磁干扰；
- 4 探测区域不受交通影响。

6.4.2 富水体、管道漏水点、人防等附近位置地下病害宜使用高密度电阻率法进行探测。

6.4.3 高密度电阻率法工作布置宜符合下列规定：

- 1 正式探测前应进行方法试验，以确定观测装置、排列长度、电极距等关键参数；
- 2 高密度电阻率法的测线不宜布置在地下管线的正上方或靠近地下管线的区域，尤其是金属管线、电力管线；
- 3 同一排列的电极应呈直线布置，电极接地位置在沿排列方向上的偏差不宜大于极距的 $1/10$ ；在垂直排列方向上的偏差不宜大于极距的 $1/5$ ；
- 4 实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接；
- 5 复杂条件下，应采用抗干扰能力和分辨率不同的至少两种观测装置进行探测，但不得相互替代观测数据；
- 6 对于每个排列的观测，坏点总数不应超过测量总数的 1% ，对意外中断后的续测，应有不少于 2 个的重复点；
- 7 完成一种装置形式的测量，对同一条测线开始新装置形式测量之前，应重新测量接地电阻。

6.4.4 高密度电阻率法现场探测记录表填写宜符合本标准 A.0.2 的规定。

6.4.5 城镇道路高密度电阻率法探测的主要干扰源可按以下因素统计：

- 1 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；
- 2 地表存在干燥的沥青、混凝土路面等电性绝缘层；
- 3 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；
- 4 测线附近存在的水池、沟渠、金属管线、变电站、配电箱等低阻体以及地下管线、防空洞、加固体等地下建构筑物；
- 5 含铁磁性矿物土体。

6.4.6 高密度电阻率法资料解释应符合下列规定：

- 1 绘制电阻率等值线图时应设置色标，同一场地的色标宜保持一致；
- 2 单个探测剖面应分析确定剖面中的电性结构及其异常区；并结合地形、地质条件、

干扰体位置等资料，剔除干扰因素引起的异常；

3 不同的探测剖面应对比分析，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；

4 地下病害属性应在分析异常电性特征的基础上，结合钻孔或其他相关资料解释。

6.4.7 高密度电阻率法探测地下病害宜按表 6.4.7 高密度电阻率法探测地下病害典型识别特征进行识别。

表 6.4.7 高密度电阻率法探测地下病害典型识别特征

地下病害	剖面电性特征
空洞或脱空	1 有水充填时，表现为相对低电阻率异常； 2 无水充填时，表现为相对高电阻率异常。
疏松体	1 疏松体有水充填时，表现为相对低电阻率异常； 2 疏松体无水充填时，表现为相对高电阻率异常； 3 在不易区分时，可以在高水位与低水位时分别探测，进行对比解释。
富水体	富水体表现为相对低电阻率异常。

6.4.8 高密度电阻率法进行道路地下病害探测除应符合上述规定外，还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。

6.5 瞬态面波法

6.5.1 瞬态面波法道路地下病害探测的适用条件宜符合下列规定：

- 1 地下病害与其周边介质之间应存在速度或波阻抗差异；
- 2 测区内地表宜相对平坦，无临空面、陡立面，相邻检波器之间的高差应小于 1/2 道间距；
- 3 无金属体和强电磁干扰；
- 4 振动噪声干扰小；
- 5 探测区域不受交通影响。

6.5.2 深层地下管道周边地下病害宜使用瞬态面波法进行探测。

6.5.3 瞬态面波法道路地下病害探测的震源宜用锤击震源或电子震源。

6.5.4 瞬态面波法现场探测记录表填写应符合本标准附录 A.0.3 的规定。

6.5.5 影响瞬态面波法探测的主要干扰源可按以下因素统计：

- 1 位于测区或附近运转的工厂设备、施工的工程机械、行驶的工具等；
- 2 地下管线、管沟及井室、地下通道、地下防空洞、地下加固体、旧基础、树根等。

6.5.6 当采用瞬态面波法探测时，地下病害典型识别特征宜按表 6.5.6 确定。

表 6.5.6 瞬态面波法探测地下病害典型识别特征

塌陷 隐患	面波 相速度	视横波速度剖面特征	时间域特征	频率域特征
空洞或 脱空	与周边正常地层相比，速度降低明显。	与周边正常地层相比，表现为明显的低速圈闭区。	1 边界波组杂乱、振幅强，内部波组衰减明显； 2 局部存在镜像波。	频散曲线变化剧烈，存在明显“之”字形拐点。
严重疏松体	与周边正常地层相比，速度较降低明显。	与周边正常地层剖面相比，表现为较明显的低速区。	波组杂乱，分布很不规则。	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。
一般疏松体	与周边正常地层剖面相比，速度降低较明显。	与周边正常地层剖面相比，表现为低速区。	波组略杂乱，分布不规则。	能量团略分散，频散曲线“之”字形拐点不明显。

6.5.7 瞬态面波法进行道路地下病害探测除应符合上述规定外，还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。

6.6 地震映像法

6.6.1 地震映像法道路地下病害探测的适用条件宜符合下列规定：

- 1 地下病害与周围介质之间存在明显波阻抗差异；
- 2 无持续震动噪声；
- 3 地表宜平坦，无临空面、陡立面；
- 4 地下病害的长度或宽度与其埋藏深度之比不宜小于 0.1；
- 5 探测区域不受交通影响。

6.6.2 道路地下采空区地下病害宜使用地震映像法进行探测。

6.6.3 地震映像法道路地下病害探测的震源宜用锤击震源或电子震源。

6.6.4 地震映像法探测地下病害工作布置宜符合下列规定：

- 1 探测前应进行方法试验，确定偏移距、激发方式及检波器频率等；
- 2 检波器可选择单道或多道，多道时可选择不同频率检波器；
- 3 根据探测深度和精度要求确定点距、采样间隔、记录长度；
- 4 测线宜选择地形起伏较小、表层介质较为均匀的地段沿道路走向布设；

5 测线宜布设成直线，当测区条件限制时，测线可布设成折线，遇到陡坎时，应另起新测线；

6 测线间距应不大于探测要求最小目标地下病害投影长度的 1/2，测线上反映目标体的测点不应少于 3 个，测点间距应不大于探测要求最小目标体地面投影宽度的 1/3；

7 检波器应垂直地面安置，与地面耦合良好；

8 同一测线各测点激发能量应均匀，并保证偏移距一致；

9 应避开强震干扰时段作业，可采用叠加的方式提高信噪比；

10 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；

6.6.5 地震映像法现场探测记录表填写应符合本标准附录 A.0.4 的规定。

6.6.6 影响地震映像法探测的主要干扰源可按下列因素统计：

1 位于测区或附近运转的工厂设备、施工的工程机械、行驶的交通工具等；

2 地下管线、管沟及井室、地下通道、地下防空洞、地下加固体、旧基础、树根等。

6.6.7 地震映像法探测时，地下病害典型识别特征应按表 6.6.7 确定。

表 6.6.8 地震映像法探测地下病害典型识别特征

地下病害	波组特征	频谱特征
脱空	同相轴消失或分叉。	频率低于背景场
空洞	1 同相轴上凸或下凹现象明显，边界处同相轴明显错断； 2 内部振幅衰减明显，局部有散射现象，呈现空白带。	频率低于背景场
严重疏松体	波形结构变化大，同相轴上凸或下凹现象较明显，地震波历时延长。	频率低于背景场
一般疏松体	波形结构变化较大；同相轴连续性差，有上凸或下凹现象，地震波历时延长。	频率略低于背景场

6.6.8 地震映像法进行道路地下病害探测除应符合上述规定外，还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。

6.7 瞬变电磁法

6.7.1 瞬变电磁法道路地下病害探测的适用条件应符合下列规定：

1 地下病害与周边介质之间存在明显电性差异；

2 测区内地表平坦；

3 测区内无金属体或强电磁干扰；

4 探测区域不受交通影响。

6.7.2 探测含水地质区域如煤矿采空区、深部不规则水体的地下病害时，宜使用瞬变电磁法。

6.7.3 瞬变电磁法工作布置应符合下列规定：

1 城镇道路地下病害探测宜选用等值反磁通装置或中心回线装置；

2 探测前应进行参数选择试验，以确定观测装置形式、发射线圈参数、接收参数、观测基频等关键参数。

6.7.4 瞬变电磁法的测线布设应符合下列规定：

1 测线应尽量布置在与异常目标走向垂直的方向上，点距与线距应能完整覆盖探测目标的分布范围；

2 发射和接收线框应避开铁路、地下金属管道、高压线、变压器、输电线等，测线宜按直线布置，当受场地条件限制时，可布置成折线。

6.7.5 瞬变电磁法现场观测应符合下列规定：

1 现场观测时，除最后 5 个测道外，其余观测值均应在噪声水平以上，否则应查明原因，并重复观测；

2 对瞬间干扰应暂停观测，排除干扰后再进行探测；

3 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；

4 若曲线衰减变慢时，应扩大测道时间范围重复观测；

5 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；

6 应设计不少于总数量 10% 的检查点，进行重复观测和一致性验证；

6.7.6 瞬变电磁法现场探测记录表填写应符合本标准附录 A.0.5 的规定。

6.7.7 瞬变电磁法道路地下病害探测应统计如下干扰源：

1 附近的周期性电磁信号，如工业和民用电网产生的工频干扰、工业机械产生的稳定电磁源、低频电台或广播、附近电力管线产生的信号源等；

2 附近的电磁干扰源，如金属建（构）筑物、临近的车辆、机械以及其引擎的电火花放电等；

3 地下管线、管沟及井室、地下通道、防空洞、加固体、旧基础等建构筑物。

6.7.8 瞬变电磁法数据处理应符合下列规定：

- 1 宜进行发射电流切断时间影响的改正处理，消除一次场影响；
- 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 宜结合已有的资料及现场调查资料，进行反演处理；
- 6 应绘制每个测点的衰减曲线、其对应的视电阻率曲线、反演结果曲线；
- 7 应按测线绘制多测道图曲线，视电阻率剖面、反演结果模型剖面用于综合对比与解释；
- 8 应根据瞬变电磁多测道剖面图和视电阻率断面图进行地下病害解释；
- 9 应结合调查资料进行地下病害定性或半定量解释。

6.7.9 瞬变电磁法探测时，地下病害典型识别特征宜按表 6.7.9 确定。

表 6.7.9 瞬变电磁法探测地下病害典型识别特征

地下病害	二次场衰减	视电阻率
空洞	1 当空洞有水充填时，二次场幅值大，衰减慢； 2 当空洞无水充填时，二次场幅值小，衰减快。	1 当空洞有水充填时，表现为相对低阻异常； 2 当空洞无水充填时，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。

6.7.10 瞬变电磁法进行道路地下病害探测除应符合上述规定外，还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。

6.8 微动勘探法

6.8.1 微动勘探法道路地下病害探测的适用条件宜符合下列规定：

- 1 适用于闹市区和电磁干扰严重的环境；
- 2 地表宜平坦，无临空面、陡立面；
- 3 无持续电磁干扰。

6.8.2 微动勘探法干扰源为测区周围连续性振动。

6.8.3 微动勘探法现场探测记录表填写宜符合本标准附录 A.0.6 的规定。

6.8.4 微动勘探法的数据处理宜符合下列规定：

- 1 宜选用频率一波数方法（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的解释。

6.8.5 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、识别道路地下病害性质；
- 4 微动勘探法探测时，可根据面波频散曲线按表 6.8.5 确定道路地下病害识别特征。

表 6.8.5 微动勘探法道路地下病害识别特征

地下病害类型	面波频散速度
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。
疏松体	与周围正常地层对比，面波速度相对小。

6.8.6 微动勘探法进行道路地下病害探测除应符合上述规定外，还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。

7 验证与成因调查

7.1 一般规定

7.1.1 城镇道路地下病害探测成果验证应确定其属性及平面尺寸、埋深、净空高度等参数；对于探测或巡查发现的地下病害，应调查其形成原因，为修复治理提供依据。

7.1.2 城镇道路地下病害验证与成因调查可根据现场条件，采用钻探法、管道内窥法、三维激光扫描法。

7.1.3 城镇道路地下病害验证点的数量应符合下列规定：

- 1 空洞、脱空宜全部验证；
- 2 其他地下病害的验证数量不宜少于总数的 20%，少于 3 处时应全部验证。

7.1.4 当单一方法无法判断成因时，宜将钻探结果、开挖结果与管道内窥法、三维激光扫描法结果结合，综合判定地下病害成因；上述方法仍无法判断成因时，宜采用开挖方式进一步查明并消除成因，后采用回填、注浆等方式处理。

7.1.5 城镇道路地下病害成因调查宜包括但不限于表 7.1.5 所列内容：

表 7.1.5 地下病害形成原因分类

成因分类	诱发事件
自然原因	地表水下渗；地下水位变化；土体自然沉降；湿陷性土的湿陷；冻融影响。
施工影响	路基回填不密实；地铁施工；管道非开挖施工；深基坑开挖。
构筑物影响	管线破损；地下建（构）物坍塌式损坏；井壁破损。
运维影响	道路运营维护不当；超载；超过设计年限；地下管道渗漏。

7.1.6 地下病害验证与成因调查结果应包括现场文字记录、照片或视频等数字化资料及验证结论，成果记录表格式宜符合本标准附录 B 的规定。

7.2 钻探法

7.2.1 宜优先选择钻探法进行道路地下病害验证。

7.2.2 使用钻探法进行道路地下病害验证时，现场作业应符合下列规定：

- 1 钻探前，应查明地下管线、井室等构筑物情况，不得损坏或影响地下构筑物的运行和维护；

- 2 钻探前,应及时在验证点周围进行围挡并放置警示标志;
 - 3 钻孔位置宜选取病害探测数据反应最强部位或中心部位;
 - 4 钻探后,宜采用内窥设备对地下病害内部结构、规模、含水状态等进行影像采集,并测量其埋深、净空高度等信息;
 - 5 对确定的地下病害应进行现场标注与坐标采集,并记录其位置和环境影像信息;
 - 6 道路钻孔结束后,应及时封孔,回填材料强度应不低于原路面强度。
- 7.2.3** 当钻孔结果无法使用内窥设备进行判定时,判定结果宜符合下列规定:
- 1 钻探过程中发生掉钻时,宜判定病害类型为空洞或脱空;
 - 2 钻探过程中未发生明显掉钻,但钻进阻力小、速率加快,宜判定病害类型为疏松体;
 - 3 当钻出土样为软塑或流塑状,钻孔内可见积水,宜判定病害类型为富水体。

7.3 管道内窥法

7.3.1 钻探法验证后地下病害内部有积水或水淤痕迹时,应使用管道内窥法对临近排水管道进行结构性缺陷检测。

7.3.2 管道内窥法包括管道潜望镜检测法和管道机器人检测法,验证时宜具备下列条件:

- 1 采用管道潜望镜法时,管涵内水位不宜大于管径的 1/2,距离验证位置不宜大于 50 m;
- 2 采用管道机器人法时,管道内水位不宜大于管道内径的 20%;
- 3 进行验证前宜对被检测管涵做疏通、清洗。

7.3.3 地下病害管道内窥法验证流程应包括影像采集、影像判读和结果验证。

7.3.4 管道潜望镜检测和管道机器人检测具体操作和成果资料管理应符合现行行标《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的规定。

7.4 三维激光扫描法

7.4.1 满足下列情况之一,宜使用三维激光扫描法调查空洞内部结构:

- 1 空洞净空高度大于 2.0 m;
- 2 空洞路面投影面积大于 10 m²;
- 3 空洞内部有管线通过;
- 4 破路挖掘受限。

7.4.2 三维激光扫描法空洞验证流程应包括点云数据采集、数据处理和结果验证。

7.4.3 采用三维激光扫描法对空洞内部结构进行调查的具体操作应符合《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017 的相关规定。

7.4.4 三维激光扫描法空洞内部空间数据分析宜符合下列规定：

- 1 应根据点云数据提取空洞三维轮廓；
- 2 宜根据彩色点云制作空洞内部空间展开图；
- 3 宜根据彩色点云绘制空洞内部空间属性分析图。

8 地下病害风险评估

8.0.1 地下病害验证后应立即进行风险评估，评估条件发生变化时，应重新进行评估。

8.0.2 应根据地下病害的规模大小评定病害风险等级。

8.0.3 地下病害风险等级由高到低划分为I级、II级、III级、IV级，分别对应红、橙、黄、蓝四个级别进行风险管控。

8.0.4 地下病害风险等级宜根据其面积和净空高度按照表 8.0.4 确定。

表 8.0.4 地下病害等级划分

面积 (m^2)	净空高度 (m)					
	$d \leq 0.2$	$0.2 < d \leq 0.5$	$0.5 < d \leq 1$	$1 < d \leq 2$	$2 < d \leq 4$	$d > 4$
$S < 3$	IV	IV	IV	IV	III	III
$3 \leq S < 10$	IV	IV	IV	III	III	II
$10 \leq S < 15$	IV	III	III	III	III	II
$15 \leq S < 30$	IV	III	III	III	II	I
$30 \leq S < 100$	IV	III	III	II	I	I
$S \geq 100$	IV	III	II	I	I	I

8.0.5 地下病害风险控制措施应根据地下病害风险等级与可实施条件按表 8.0.5 确定：

表 8.0.5 地下病害风险控制措施

风险等级	预警级别	风险控制措施
I	红色	1 路段围挡 2 调查地下病害成因 3 针对性修复，消除地下病害成因 4 工程修复 5 定期巡视
II	橙色	1 局部围挡 2 调查地下病害成因 3 工程修复 4 定期巡视
III	黄色	1 调查地下病害成因 2 工程修复 3 定期巡视
IV	蓝色	1 调查地下病害成因 2 工程修复 3 定期巡视

8.0.6 对处置后的地下病害区域宜进行处理效果检测，检测后不具有病害特征的可消除相应地下病害。

9 成果报告及数字化管理与应用

9.1 成果报告

9.1.1 应编制道路地下病害探测报告，报告应内容全面、文字简练、结论明确、建议清晰、图表齐全，宜包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 技术依据；
- 3 地球物理特征；
- 4 工作方法；
- 5 仪器设备；
- 6 数据采集；
- 7 数据处理与解译；
- 8 成果验证与成因分析；
- 9 风险评估；
- 10 结论与建议；
- 11 成果图件。

9.1.2 探测报告的插图和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、成果统计表，成果统计表填写宜符合本标准附录B.0.2的规定。

9.1.3 成果图件编制应符合下列规定：

- 1 应采用统一的编号、颜色和图例编制，图件应清晰直观，层次清楚，说明性信息齐全；
- 2 成果图件应包括探测工作布设图、地下病害平面分布图、成果解释剖面图、地下病害信息卡；
- 3 探测工作布设图应标明车行道、人行道、隔离带、路口、测线分布；
- 4 地下病害平面分布图编制内容应包括地下病害编号、位置、范围和类型；
- 5 成果解释剖面图编号宜沿用工作布设图中的测线编号，应标明地下病害的空间位置、形态及类型，同时宜标明验证点的位置及编号；
- 6 地下病害信息卡应包含地下病害属性描述、地图定位、现场照片、成果解释剖面图、成因分析、处置建议。

9.1.4 当采用多种探测方法完成一个探测项目时，应综合研究分析所获取的资料，编写综合探测成果报告；当采用一种探测方法完成一个探测项目时，应编写单项探测成果报告。

9.2 数字化管理与应用

9.2.1 道路检测后宜建立信息系统对检测相关信息进行数字化管理。

9.2.2 系统应开放接口，可与相关行业系统进行数据交换和业务融合。

9.2.3 系统应具备数据汇聚、地图定位、监督检查、监测分析、决策建议、数据交换和系统维护等功能。

9.2.4 数字化管理内容应包括道路数据、定位数据、检测数据、病害点数据、塌陷点数据，并具备对这些数据的空间分布和变化趋势的统计分析功能。

9.2.5 地下病害信息应包括标识码、等级、位置、规模、处置措施等，具体数据项应包括下表所列内容。

表 9.2.5 地下病害数据字段

序号	数据项	序号	数据项	序号	数据项
1	标识码	12	责任人联系方式	23	现场照片
2	病害名称	13	病害位置	24	处置单位
3	病害状态	14	引发因素	25	处置措施
4	病害等级	15	坐标 X	26	处置照片
5	病害来源	16	坐标 Y	27	处置负责人
6	发现时间	17	病害长度	28	处置负责人联系方式
7	上报单位	18	病害宽度	29	处置完成时间
8	上报人员	19	病害高度	30	初测雷达图
9	上报人员联系方式	20	病害面积	31	复测雷达图
10	责任单位	21	病害体积	32	地图定位图
11	责任人	22	覆土厚度	33	现场验证图

9.2.6 地下病害标识码宜采用“行政区编号+检测时间+检测路段+检测方法+顺序编号”组合，并应符合下列规定：

- 1 行政区编号应符合 GB/T 2260 的规定；

- 2 检测时间应采用八位数字表示，包含检测年月日；
 - 3 检测路段宜采用道路名称首字母表示，重复时应增加数字编号；
 - 4 检测方法应采用检测方法首字母表示；
 - 5 每条路的地下病害从“001”开始顺序编号；
 - 6 同一个行政区的地下病害编号应具有唯一性。
- 9.2.7** 数字化管理应以数据库软件为基础，数据库构建应符合下列规定：
- 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，并具备历史数据对比分析能力。
- 9.2.8** 病害检测成果资料应进行保密管理，严格执行相关保密条例和行业主管部门的保密管理要求。

附录 A 探测记录表

A.0.1 探地雷达法现场探测宜按表 A.0.1 进行记录。

表 A.0.1 探地雷达法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

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

测线号	文件名	车道	方向	测线长度 (m)	坐标	备注
现场 草图						
说明						

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

A.0.2 高密度电阻率法现场探测宜按表 A.0.2 进行记录。

表 A.0.2 高密度电阻率法现场探测记录表

项目名称：_____道路名称：_____日期：_____天气：_____

工作方法：_____装置类型：_____仪器型号/编号：_____

测线号	文件名	车道	方向	电极数	电极距 (m)	隔离 系数	坐标	备注
现场 草图								
说明								

操作员：_____记录员：_____复核员：_____项目负责人：_____第__页/共__页

A.0.3 瞬态面波法现场探测记录宜按表 A.0.3 进行记录。

表 A.0.3 瞬态面波法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 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	文件名	车道	方向	震源位置/距离 (m)	坐标	备注
现场 草图						
说明						

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

A.0.4 地震映像法现场探测记录宜按表 A.0.4 进行记录。

表 A.0.4 地震映像法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

设备型号/编号：_____ 检波器主频（Hz）：_____ 检波器数量：_____

道间距：_____ 偏移距（m）：_____ 采样点数：_____ 采样间隔（ms）：_____

测线号	文件名	车道	方向	检波点 起始位置	坐标	备注
现场 草图						
说明						

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

A.0.5 瞬变电磁法现场探测记录按表 A.0.5 进行记录。

表 A.0.5 瞬变电磁法现场探测记录表

项目名称：_____ 道路名称：_____ 日期：_____ 天气：_____

发射框边长（m）：_____ 发射电流（A）：_____ 发射频率（Hz）：_____

接受框有效面积（m²）：_____ 采集分量：_____ 工作装置：_____

测线号	文件名	车道	方向	测点号	坐标	备注
现场 草图						
说明						

操作员：_____ 记录员：_____ 复核员：_____ 项目负责人：_____ 第__页/共__页

A.0.6 微动勘探法现场探测记录宜按表 A.0.6 进行记录。

表 A.0.6 微动勘探法现场探测记录表

项目名称: _____ 道路名称: _____ 日期: _____ 天气: _____

仪器编号: _____ 测线编号: _____ 台阵类型: _____ 台阵尺寸 (m): _____

[illegible]

操作员: _____ 记录员: _____ 复核员: _____ 项目负责人: _____ 第 _____ 页/共 _____ 页

附录 B 地下病害探测成果统计表

B.0.1 地下病害探测成果统计宜按表 B.0.1 进行记录。

表 B.0.1 地下病害探测成果统计表

[illegible]

记录员: _____ 复核员: _____ 项目负责人: _____ 第 _____ 页/共 _____ 页

B.0.2 地下病害信息卡宜按表 B.0.2 进行记录。

表 B.0.2 地下病害信息卡

编号		道路名称	
探测日期		探测方法	
原始文件名		隐患类型	
风险等级		埋深 (m) / 净空高度 (m)	
平面面积 (m ²)		中心点坐标	
具体位置			
初测图谱		精测图谱	
地图定位		临近管网图	
现场环境图 (东西方向)		现场环境图 (南北方向)	
钻孔验证图		病害内部图	
路面状况			
与临近管线 相对位置			
成因分析			
处置建议			
处置情况			
编制人		审核人	
填报单位			

本标准用词说明

为了便于在执行本标准条文时区别对待，对规定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”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版本适用于本标准。

《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7

《城镇道路养护技术规范》CJJ 36

《商店建筑设计规范》JGJ 48

《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181

《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437

《城市道路施工作业交通组织规范》GA/T 900

《地面三维激光扫描作业技术规程》CH/Z 3017

新疆维吾尔自治区地方标准

城镇道路地下病害探测与风险评估 技术标准

Technical standard for underground disease detection and
risk assessment of urban roads

JXXXXXX-2025

DB65/XXXXXX-2025

条文说明

目 次

1	总则	49
2	术语和符号	50
2.1	术语	50
3	基本规定	51
4	探测分类	52
4.1	定期探测	52
4.2	专项探测	52
5	道路风险评估	53
6	探测方法	54
6.1	一般规定	54
6.2	二维探地雷达法	54
6.3	三维探地雷达法	56
6.4	高密度电阻率法	57
6.5	瞬态面波法	58
6.6	地震映像法	58
6.7	瞬变电磁法	59
6.8	微动勘探法	59
7	验证与成因调查	61
7.1	一般规定	61
9	成果报告及数字化管理与应用	62

1 总则

1.0.2 本条阐述本标准的适用范围及主要内容。根据自治区内城镇道路地下病害发生发展情况，城镇道路地下病害绝大多数是由于管线、雨水井、污水井破损漏水、地下工程施工等产生，而这些问题引起的地下病害深度基本不会超过 30m。而深度大于 30m 的地下病害不属于本标准适用范围。公路、广场等区域地下病害探测与道路探测技术相近，可参照此标准执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.8 脱空常见于刚性、半刚性路面下方，一般表现为平面尺寸大于垂向高度特点。

2.1.9 空洞和脱空对道路安全影响程度差别较大，但暂无国家标准和行业标准对空洞和脱空进行定量区分。为更好地规范和指导道路地下病害探测工作，起草单位通过对自治区内部分城镇道路管理养护单位调研，并对自治区内城镇道路地下病害进行统计发现，净空高度大于 0.5m 的洞体对道路安全威胁相对更大，处置方式与净空较小空洞也有所不同。所以，根据调研实践经验，为便于地下病害定性、更好地指导探测和养护工作，一般将空洞净空高度按大于等于 0.5m 进行划分，脱空净空高度按小于 0.5m 进行划分。

3 基本规定

3.0.1 城镇道路地下病害是严重威胁人员出行的安全隐患，地球物理技术探测技术难度高、安全责任大，且得到的探测结果具有非接触、非视觉可视的特点，因此，作业前要尽量充分收集资料，选用最合理的探测方法。

3.0.2 本条贯彻了国家关于市政设施精细化养护的要求，根据城镇道路地下病害探测的情形，把探测类型归纳为定期探测、专项探测和应急探测，从而制定更精准、更经济、更科学技术方案。

3.0.3 推荐在道路地下病害定期探测前对道路进行道路风险评估，确定道路风险等级。根据道路评估结果，将高风险路段纳入定期探测范围。

3.0.4 对探测中发现的地下病害进行风险评估，确定每个病害的风险等级，并制定相应的风险管控对策。

3.0.5 初测是对车行道、人行道进行全覆盖扫描探测，判别疑似病害及其大致规模及定位；精测是根据定位对疑似病害逐一排查确认，排除地下管网、暗井等构筑物，并将空洞、脱空、疏松体、富水体病害保留，进一步确定其精确定位及规模。

3.0.9 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提升城市空间集约化、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信息数字化管理，发挥病害信息效益，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的重要内容。

4 探测分类

4.1 定期探测

4.1.2 推荐在城镇道路地下病害探测前进行道路风险评估，根据评估结果确定探测范围，这样可以提高探测效率，节约成本。表 4.1.2 的规定参考《城镇道路养护技术规范》CJJ 36 中道路养护等级的规定，并结合自治区冻土、湿陷性黄土特点。

4.1.3 春融和汛期是地下病害高发时期，因此在春融后或汛期后进行定期探测可发现更多病害。

4.1.4 多期数据对比是由静态检测升级为动态监测的必要技术手段。

4.2 专项探测

4.2.1 本条明确规定了专项探测的范围和时间。《重大活动和突发事件档案管理办法》规定，重大活动是指在中华人民共和国境内外组织举办的，对党和国家、行业、地方具有重大意义或者重要国际影响的会议、会展、赛事、纪念、庆典等大型活动。

5 道路风险评估

5.0.2 风险评估单元长度越大，风险评估准确性越低，精细化程度越低。风险评估单元越小，虽然准确性提高，但是会大大增加风险评估工作的困难程度。考虑到风险评估工作的准确信和可实操性，宜把两个相邻路口之间的道路划分为一个评估单元。

5.0.3 风险矩阵法结合了定性分析和定量分析的优点。该方法首先对风险因素进行定性评估，然后根据给定的标准将其转化为定量值。该方法不仅考虑了风险的相关因素，还提供了可视化的矩阵，以帮助决策者更好地理解和管理风险。风险矩阵法便于理解和决策，能够识别潜在的未知风险并对其进行量化，基于专业知识和经验来开发和解释结果。

5.0.6 为保证评估结果的准确性，各评估指标宜因地制宜确定其权重取值。 W_A 、 W_B 、 W_C 、 W_D 四项指标权重宜根据不同城市实际情况在给定区间 0.2-0.3 取值，且确保四项指标权重和为 1。

5.0.10 财产密度、人员密集程度、社会影响三个指标，在城市环境中具有一定相关性，但为保证风险后果评价的准确性，应该分别打分。

5.0.11 为保证评估结果的准确性，各评估指标宜因地制宜确定其权重取值。 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 五项指标权重宜根据不同城市实际情况在给定区间 0.15-0.25 取值，且确保四项指标权重和为 1。

6 探测方法

6.1 一般规定

6.1.2 道路地下病害本身的参数差异、埋深、规模及现场环境是使用地球物理方法进行探测的前提；地球物理方法探测存在横向分辨率与垂向分辨率，只有地下病害规模发育达到或超过其分辨率，才可以将其分辨出来；只有当探测目标体与周边介质存在较大的物性差异，发射的各类探测信号在其分界面才会发生较强的反射，以至于目标体可以被探测；道路地下病害相对于其埋藏深度或探测距离应具有一定规模，以道路地下病害产生的异常信号能被准确探测和识别为准。考虑城市作业环境复杂性，一般要求可探测的道路地下病害平面尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不应小于 1/5。

6.2 二维探地雷达法

6.2.1 探地雷达法是一种较新地球物理方法，它利用宽带的电磁波，以脉冲形式来探测地表之下或确定不可视物体的内部结构。经过几十年的发展，探地雷达逐渐趋于成熟，由于其具有高分辨率、高效率等优点，因而广泛应用于工程、环境、资源等浅部地球物理领域，并取得很好的效果。探地雷达仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求：

- 1 系统增益不应小于 150dB；
- 2 信噪比不应低于 110dB，动态范围不应小于 120dB；
- 3 分辨率不应小于 5ps；
- 4 计时误差不应大于 1.0ns；
- 5 宜具备多通道采集功能。

6.2.4 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，在实际探测中应充分考虑探测深度要求、分辨率要求与设备性能，了解探测区域地下介质的介电性质和环境干扰因素，选择合适的天线主频。

6.2.17 探地雷达数据处理流程宜按图 1 进行：

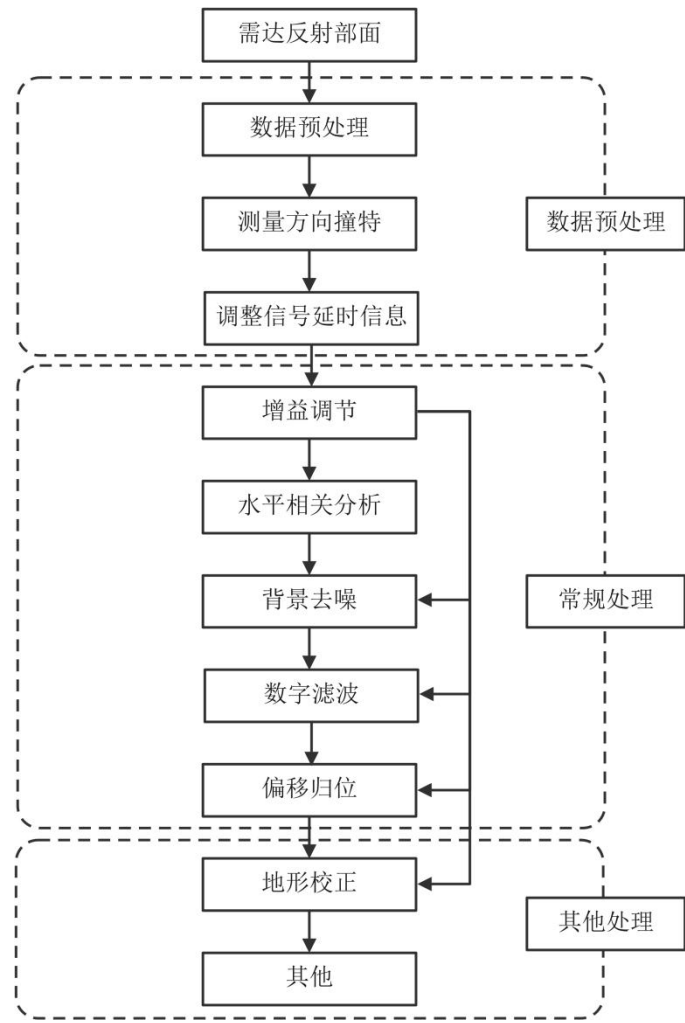
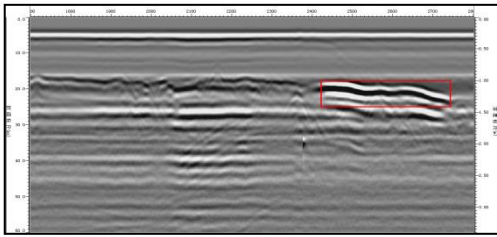
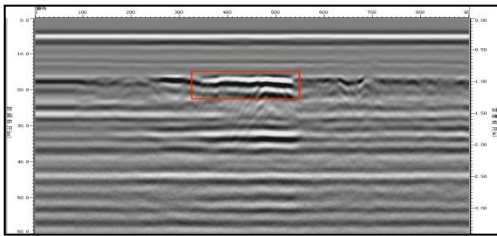
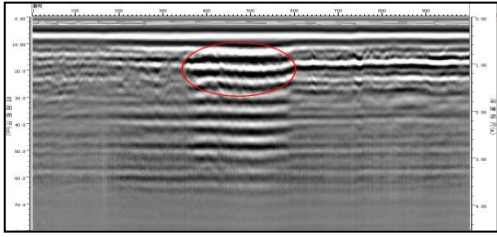


图 1 探地雷达数据处理流程

6.2.19 二维探地雷达探测地下病害可按表 3 特征进行识别。

表 1 二维探地雷达地下病害典型特征

地下病害	典型图谱
空洞	
脱空	

地下病害		典型图谱
疏松体	严重	
	一般	
富水体		

6.3 三维探地雷达法

6.3.1 三维探地雷达相较于二维探地雷达，采用多通道天线阵列，可同时从多个方向和位置进行数据采集，能获取一个区域内的三维空间数据，使得数据采集更高效和更精准，适用于大型工程建设的前期勘查、复杂地质区域的详细调查、考古遗址的大面积勘探以及对地下空洞、隧道等大型目标体的精确探测等。三维探地雷达相比于二维探地雷达具有数据密度高的优势，能对地下目标以三维电磁波点云方式成像，捕获目标形貌细节。三维探地雷达的主要优势包括地下病害的空间多维直观展示、快速有效区分地下干扰物和空洞等。在城市地下设施复杂区域探测的有效探测深度一般在 3m 以内。一般在 3m 以内的浅层地下病害探测，推荐使用三维探地雷达。三维探地雷达仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求：

- 1 系统增益应大于或等于 150dB；
- 2 信噪比应大于或等于 110dB；
- 3 动态范围应大于或等于 120dB；
- 4 工作温度宜为-20℃~50℃；
- 5 雷达通道数应大于或等于 8；
- 6 通道间距应小于或等于地下介质中波长的 1/4；
- 7 扫描速度应不低于 20km/h；

8 各通道时间不一致性应小于 1%FS;

9 各通道幅度不一致性应小于 2%FS。

6.3.6 测线束是指三维探地雷达单幅全部通道的测线集合,测线束长度是指三维探地雷达阵列天线移动轨迹的真实长度。三维雷达测线束的布设原则应根据探测区域的范围、道路情况、交通条件,选择合适的时间段尽可能地覆盖整个探测区域以保证能够采集整个区域完整的数据。

6.3.7 三维探地雷达由于极化方式和天线排布方式影响,探测深度较垂直极化的二维探地雷达浅一些,结合自治区内实际三维探地雷达探测结果,确定了如本表所示的自治区内三维探地雷达探测深度。

6.4 高密度电阻率法

6.4.1 高密度电阻率法是一种阵列勘探方法,它以岩、土导电性的差异为基础,研究人工施加稳定电流场的作用下地中传导电流分布规律。测量时只需将全部电极(几十至上百根)置于观测剖面的各测点上,然后利用程控电极转换装置和微机工程电测仪便可实现数据的快速和自动采集,当将测量结果送入微机后,还可对数据进行处理并给出关于地电断面分布的各种图示结果。从物性差异的角度来说,高密度电阻率法的理论基础是静电场理论,是以探测目标体和周围介质存在明显的电性差异为探测前提的。也就是说如果在低阻背景中对空洞进行探测,空洞不能被水或其他低阻物质充填。而在高阻背景中对空洞进行探测、必须要求空洞被水或其他低阻物质充填。否则便不能进行有效探测。从探测目标体的几何尺寸来说,洞径埋深比一直是人们评定是否对空洞进行有效探测的指标。在早期的电法研究中,许多学者从电场理论的角度结合对计算电测深、电剖面曲线和实测曲线的分析。认为洞径埋深比为 1:1,最小为 1:2 为有效探测的界限。高密度电阻率法仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求:

- 1 输入阻抗不应小于 50M Ω ;
- 2 输出的最大电压不应小于 450V;
- 3 输出的最大电流不应小于 3A;
- 4 对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 80dB;
- 5 宜具有即时显示电剖面功能;
- 6 应具有对电缆、电极接地、系统状态和参数设置的监测功能。

6.4.2 高密度电阻率法对低阻的水和高阻的空气反应敏感，因此探测富水体、管道漏水、人防空间效果较好。

6.5 瞬态面波法

6.5.1 瞬态面波法是一种新兴的岩土原位测试勘探方法，通过锤击、落重及炸药等震源在地表产生瞬态激振力，从而产生一定频率范围的瑞雷面波。这些不同频率的瑞雷面波相互叠加，以脉冲信号的形式向外传播。在地面上沿波的传播方向以相同道间距布设多个检波器，接收这些面波信号。

瞬态面波法仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求：

- 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%，相位差不应大于采样间隔的一半；
- 4 仪器动态范围不应小于 120dB；
- 5 应具备剖面滚动采集功能。

6.5.3 在城市环境下，为了安全考虑，震源不宜使用炸药震源，锤击震源或电子震源影响较小。

6.6 地震映像法

6.6.1 地震映像法是通过等偏移距单道连续采集，利用波场特征分析地下介质结构的工程地震勘探方法。其理论基础是基于反射波法中的最佳偏移距技术，在每一测点都采用相同的偏移距进行激发和接收，在该偏移距接收到的有效波具有较好的信噪比和分辨率，不同测点的连续记录能够反映地质体沿垂直和水平两个方向上的变化，可实现 30m 以内的浅表层管线、覆盖层等地质目标体探测。地震映像法仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求：

- 1 仪器放大器的通道数不小于 12 道；
- 2 仪器放大器的通频带应满足 0.5Hz~400Hz；
- 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%，相位差不应大于采样间隔的一半；
- 4 仪器动态范围不应小于 120dB；
- 5 应具备剖面滚动采集功能。

6.6.4 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地反映。地震映像法现场数据采集时，如地表不具备检波器安装条件时，可采用铁靴装置安装的方式

6.7 瞬变电磁法

6.7.1 瞬变电磁法，是利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲磁场，在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中引起的二次感应涡流场，从而探测介质电阻率的一种方法。其基本工作方法是：于地面或空中设置通以一定波形电流的发射线圈，从而在其周围空间产生一次电磁场，并在地下导电岩矿体中产生感应电流：断电后，感应电流由于热损耗而随时间衰减。根据瞬变电磁法对低阻体反应敏感的特点，可查明含水地质如煤矿采空区、深部不规则水体等。瞬变电磁法在提高探测深度和在高阻地区寻找低阻地质体是最灵敏的方法，具有自动消除主要噪声源，且无地形影响，同点组合观测，与探测目标有最佳耦合，异常响应强，形态简单，分辨能力强等优点。瞬变电磁法仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求：

- 1 最小发射电流应通过试验确定,不宜小于 3A;
- 2 动态范围不小于 120dB;
- 3 等效输入噪声不大于 1 μ V;
- 4 对工频干扰抑制不小于 60dB。

6.7.3 瞬变电磁法探测常用装置有重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、定源回线装置、电偶源装置等。由于道路地下病害探测的特殊环境，要求二次场信号强、抗干扰性强、布设方便、横向分辨率高，本标准推荐使用等值反磁通装置或中心回线装置。等值反磁通装置消除了收发线圈之间的感应耦合，获得了纯二次信号，兼具便携性、抗干扰强等特点，优先考虑选用此装置。

6.8 微动勘探法

6.8.1 微动勘探法的微动信号主要有两个来源：一是人类日常活动，像各种机械振动、道路交通等，产生的信号频率一般大于 1Hz，称为常时微动；二是自然现象，如海浪对海岸的撞击、河水流动、风、雨、气压变化等，产生的信号频率一般小于 1Hz，叫作长波微动。

微动信号没有特定震源，其振幅和形态随时间和空间变化，但在一定时空范围内有统计稳定性，可用时间和空间上的平稳随机过程来描述。因微动勘探法是被动源法，电磁干扰严重的环境，电磁法使用受限，而微动勘探法接收的是机械波，不受电磁干扰影响。微动勘探法仪器设备的主要指标性能宜满足或优于下列要求：

- 1 宜选用多通道数字地震仪或多台一体化数字地震仪；
- 2 采集时间长度应可控；
- 3 A/D 转换位数不应小于 24 位；
- 4 动态范围应大于 120dB；
- 5 系统噪声不应大于 $1\mu\text{V}$ 。

7 验证与成因调查

7.1 一般规定

7.1.3 空洞、脱空是严重威胁道路安全的地下病害，对城市安全影响较大，故建议空洞、脱空全部验证。

7.2 钻探法

7.2.1 原则上宜优先选用钻探方法进行验证，钻探法验证快速高效。验证时可采用地质钻机、背包钻。验证点的位置宜布设在物探异常反应中心部位，才能较好地揭露地下病害的类型、深度、规模。

9 成果报告及数字化管理与应用

9.1 成果报告

9.1.1 成果报告是对地下病害探测工程的工作总结，是了解工程概况、所采用的技术措施、研究地下病害风险、道路安全状况的重要技术资料，也是地下病害处置和周期性探测工作计划设计的重要依据。