

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 2132—2023

城镇道路无损检测应用技术规程

Technical specification for the application of non destructive
testing of urban roads

地方标准信息服务平台

2023 - 11 - 29 发布

2024 - 03 - 29 实施

湖北省住房和城乡建设厅
湖北省市场监督管理局

联合发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 基本规定	2
6 城镇道路路面无损检测及评价	4
6.1 一般规定	4
6.2 道路破损	5
6.3 抗滑性能	6
6.4 平整度	6
6.5 车辙深度	7
6.6 弯沉值	7
6.7 板底脱空	9
6.8 传荷能力	11
6.9 道路分层厚度	12
6.10 技术状况评定	14
7 道路地下无损探测方法及评价	19
7.1 一般规定	19
7.2 探地雷达法	20
7.3 高密度电阻率法	23
7.4 瞬态面波法	25
7.5 微动勘探法	27
7.6 浅层地震法	28
7.7 瞬变电磁法	30
7.8 道路地下综合物探法	31
7.9 城镇道路塌陷风险评估	32
7.10 专项风险评估	36
成果编制及信息化管理	41
8 成果编制及信息化管理	41
8.1 一般规定	41
8.2 成果编制	42
8.3 数字信息化管理	42
附录 A (资料性) 城镇道路无损检测范围及方法适用性表	44
附录 B (资料性) 常见岩土物性参数	45

附录 C (资料性)	板底脱空检测成果	46
附录 D (资料性)	探地雷达法现场探测记录表.....	47
附录 E (资料性)	瞬态面波法现场探测记录表.....	48
附录 F (资料性)	高密度电阻率法现场检测记录表.....	49
附录 G (资料性)	瞬变电磁法现场检测记录表.....	50
附录 H (资料性)	地震映像法现场检测记录表.....	51
附录 I (资料性)	微动勘探法现场检测记录表.....	52
附录 J (资料性)	检测成果统计表	53
条文说明	56

地方标准信息服务平台

前 言

本文件按照GB/T 1.1—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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由湖北省住房和城乡建设厅提出并归口。

本文件起草单位：武汉汇科质量检测有限责任公司、武汉市汉阳市政建设集团有限公司、长江地球物理探测（武汉）有限公司、武汉市承远市政工程设计有限公司、湖北省标准化与质量研究院、中南安全环境技术研究院股份有限公司、武汉市测绘研究院、中科云图科技有限公司、武汉科正工程技术有限公司、湖北神龙工程测试技术有限公司、湖北省建筑工程质量监督检验测试中心有限公司、武汉建筑业协会、武汉中和工程技术有限公司。

本文件主要起草人：陈琴、张建清、范涛、李立平、徐坤、聂帅、刘云鹏、吴俊、许超、郭聪、陈江平、胡颖、吴钰梁、邵金、邵璇、王继伟、汪林、万正华、郭洪军、魏逸飞、吴嵩、张云霞、李泽卫、余林、艾启胜、任旭、占正杰、鲁勇波、章杰、李明强、盛焕平、宋文杰、江威、龚小龙、喻言佳、张亚云、刘潜、黄金鑫。

本规程实施应用中的疑问，可咨询湖北省住房和城乡建设厅，联系电话：027-68873088，邮箱：mail.hbszjt.net.cn；对本文件的有关修改意见建议请反馈至武汉汇科质量检测有限责任公司，电话：027-84843381，邮箱737612008@qq.com。

地方标准信息服务平台

城镇道路无损检测应用技术规程

1 范围

本文件规定了城镇道路无损检测范围及检测方法，为设计、施工验收及运行维护提供可靠依据，使城镇道路无损检测工作满足操作规范、技术先进、数据准确、正确评价的要求。

本文件适用于湖北省行政区域内城镇道路路面及以下30m内的检测工作。本规程不适用于城市桥梁、隧道、涵洞等构筑物的检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准
- CJJ/T 8 城市测量规范
- CJJ 36 城镇道路养护技术规范
- CJJ 61 城市地下管线探测技术规程
- CJJ 181 城镇排水管道检测与评估技术规程
- JGJ/T 143 多道瞬态面波勘察技术规程
- JGJ/T 335 城市地下空间利用基本术语标准
- JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准
- JJG 075 车载式路面激光车辙仪
- JT/T 940 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达
- JTG 5210 公路技术状况评定标准
- JTG 3450-2019 公路路基路面现场测试规程
- JTG 5142 公路沥青路面养护技术规范
- SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程第1部分：物探

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

路面 pavement

路面是用各种筑路材料铺筑在道路上直接承受车辆载荷的层状构造物。路面结构由面层、基层、底基层和必要的功能层组合而成。

3.2

路基 subgrade

按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物，是路面的基础，承受由路面传来的行车荷载。

3.3

无损检测 non destructive testing

利用物质的弹性、声、光、磁以及电等特性，在不损害或不影响被检测对象使用性能的前提下，检测被检查对象中是否存在缺陷或不均匀性，给出缺陷大小，位置，性质和数量等信息。

3.4

检测周期 detection cycle

相邻两次检测之间的时间间隔。

4 符号

下列符号适用于本文件。

C——电磁波在空气中的传播速度；

d——病害体净深度；

d_{max} ——整条道路病害体净深度最大值；

f——探地雷达天线主频；

f_0 ——检波器的自然频率；

H——最大探测深度；

h——深度；

ϵ_r ——相对介电常数；

λ ——电磁波波长；

ρ ——地层电阻率；

V_R ——面波相速度；

F_s ——第一菲涅尔带的半径；

T——记录时窗；

K——路表弯沉温度修正系数。

5 基本规定

5.1 城镇道路无损检测应结合市政设施、岩土工程、水文气象等资料，检测路基路面破损，地下病害体的特征，并进行分析和评估，提出处置措施。

5.2 根据城镇道路重要性等级、地基复杂程度等级、城镇道路下部环境复杂程度等级，可按表1划分城镇道路无损检测等级（一级、二级、三级）。

表1 城镇道路无损检测重要性等级

道路重要性等级	无损检测等级								
	地基复杂程度等级、环境复杂程度等级								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	复杂环境			中等复杂环境			简单环境		
重要	一级			一级			一级		
次重要	一级		二级	一级	二级	三级	二级		三级
一般	一级	二级	三级	二级		三级	二级	三级	

表1 城镇道路无损检测重要性等级（续）

道路重要性等级	无损检测等级								
重要	地基复杂程度等级、环境复杂程度等级								
次重要	I	II	III	I	II	III	I	II	III
一般	复杂环境			中等复杂环境			简单环境		
<p>注1：城镇道路重要性等级：</p> <p>a) 重要城镇道路：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；</p> <p>b) 次重要城镇道路：除重要等级以外的次干路、步行街、支路中的商业街道；</p> <p>c) 一般城镇道路：除重要及次重要以外的支路。</p> <p>注2：地基复杂程度等级：</p> <p>a) I等（复杂地基）——有深厚淤泥、淤泥质土或承载力特征值低于80kPa的饱和黏性土层，或地下水埋藏高于路床底标高、对路基有较大影响；</p> <p>b) II等（中等复杂地基）——土质较差，浅部有易于流渐的粉土、粉砂层，地下水对路基有一定影响；</p> <p>c) III等（简单地基）——土质好，且地下水对路基影响轻微。</p> <p>注3：城镇道路下部环境复杂程度等级：</p> <p>a) 复杂环境：道路下部存在地下工程施工、或地下管线密集发生渗漏风险较大，易对路基造成损害的；</p> <p>b) 中等复杂环境：道路下部存在一定数量地下管线的，发生渗漏风险不大的；</p> <p>c) 简单环境：道路下部基本无地下管线的。</p> <p>注4：有历史塌陷记录的道路，无损检测等级应再提升一级。</p>									

- 5.3 一级的道路检测周期宜为2年一次，二级、三级的道路检测周期宜为3年~4年一次。
- 5.4 城镇道路无损检测重要性为二级及以上的应采用多种方法相结合进行综合检测。
- 5.5 城镇道路无损检测与评估应符合下列规定：
- 当地面发生严重变形或塌陷事故、地下管线发生变形或破损时，应立即进行；
 - 城市主干道路、广场及重点管线区域，宜定期进行；
 - 埋藏年代久远的地下基础设施区域，宜定期进行；
 - 当存在地下工程施工时，宜分别在施工前、竣工后进行；
 - 城市重大社会活动涉及的道路、广场、地下管线周边等区域，宜在活动举办前进行；
 - 排水管涵、河道周边等区域，宜在汛期后进行；
 - 其他存在地下病害体潜在安全风险的区域，宜择机进行。
- 5.6 城镇道路无损检测应采用普查和详查相结合的方式，并应符合下列规定：
- 普查应对检测区进行全面检测，并应确定重点检测区；
 - 详查应对重点检测区进行检测，并应查明病害体的属性特征。
- 5.7 对仪器设备应定期进行校验和维修保养。
- 5.8 城镇道路无损检测基本程序宜包括：
- 收集资料；
 - 现场踏勘；
 - 编制检测方案；
 - 仪器校验，数据采集；

- e) 数据处理与分析；
- f) 资料解释与图件编制；
- g) 结果复核与验证；
- h) 道路检测风险评估与合理化建议；
- i) 成果报告书编写；
- j) 成果提交与归档。

5.9 城镇道路无损探测方法或方法组合宜按表 2 确定。

表2 城镇道路无损检测范围及方法适用性表

被测目标		检测方法									
		落锤法	高密度电阻率法	探地雷达法	图像法	地震反射波法	面波法	瞬变电磁法	微动勘探法	激光探测仪法	
路面结构层	道路破损	—	—	—	●	—	—	—	—	—	●
	抗滑性能	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●
	平整度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●
	车辙深度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●
	裂缝深度	—	○	●	—	—	—	○	—	—	—
	传荷能力	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	板底脱空	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	弯沉值	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	压实度	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—
	道路分层厚度	—	—	●	—	—	—	○	—	—	—
路面结构层以下	空洞	—	●	●	—	●	●	●	●	—	—
	脱空	—	—	●	—	○	—	—	—	—	—
	孤石	—	—	○	—	●	○	○	—	—	—
	富水体	—	●	●	—	—	—	●	—	—	—
	疏松体	—	○	●	—	○	●	○	●	—	—
注1：●推荐方法；○可选											
注2：在路面结构层以下孤石的检测中，可采用探地雷达法、地震反射波法、面波法和瞬变电磁法组合											

6 城镇道路路面无损检测及评价

6.1 一般规定

6.1.1 下列情形宜进行城镇道路路面结构层无损检测：

- a) 道路刨铣罩面等工程施工前；
- b) 地铁、顶管等地下工程施工期间及施工后；
- c) 道路工程竣工验收对无损检测有要求时；
- d) 道路维护方案制定前；
- e) 道路日常管理与养护。

6.1.2 路面结构层无损检测内容包括但不限于：

- a) 道路破损；

- b) 板底脱空等病害体;
 - c) 抗滑性能;
 - d) 平整度;
 - e) 车辙深度;
 - f) 传荷能力;
 - g) 弯沉值。
- 6.1.3 检测环境应无积水、无冰雪、无污染。
- 6.1.4 路面结构层日常管理与养护应进行道路破损、板底脱空等结构变化及外观变化指标检测，周期性缺陷病害体检测时间宜选在汛期前、供热后期进行。
- 6.1.5 宜建立检测指标数据库，实现信息化管理。
- ## 6.2 道路破损
- 6.2.1 使用图像法进行道路破损无损检测。
- 6.2.2 道路破损检测系统应符合下列规定：
- a) 相机参数：分辨率 ≥ 4096 像素，机扫描频率 ≥ 20 kHz，视场覆盖宽度不小于一个车道宽度的70%，成像无明显畸变；
 - b) 最大检测速度 ≥ 100 km/h，最大检测速度下可连续记录路面图像；
 - c) 路面裂缝宽度最小识别宽度不应大于1mm，裂缝识别率应达到99.9%；
 - d) 检测宽度： ≥ 3.5 m；横纵向长度测量偏差： $\leq 5\%$ ；
 - e) 空间绝对定位精度 ≤ 1 m，路面损坏面积测量示值误差： $\pm 10\%$ ；
 - f) 应能实现检测图像和数据存储、分析、统计和数据导出功能。
- 6.2.3 使用图像法进行道路无损检测应做如下准备工作：
- a) 检查承载车轮胎是否达到规定的标准气压，车胎应清洁无异物；
 - b) 检查探测仪各传感器是否经过校准；
 - c) 启动检测系统，检查各部分工作是否正常。
- 6.2.4 使用图像法进行道路破损检测应采用以下步骤：
- a) 检测车停在测线起点50 m~100 m处，按待测路段检测要求设置系统参数；
 - b) 按正常检测速度驶入待测路段后，启动系统工作，行驶过程中避免急加速和急减速；
 - c) 检测车沿车道平行于车道线行驶，检测系统自动记录每个横断面激光成像和距离数据；
 - d) 检测过程中，应记录本次测线对应的车道信息；
 - e) 到达测线终点后，停止检测系统工作，并检查数据文件是否正常，保存并导出数据。
- 6.2.5 结果记录内容宜按表3中规定进行记录。

表3 现场试验记录表

测站编号	仪器型号	扫描方式	分辨率	标靶数量	测站位置	影像采集	备注
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

- 6.2.6 报告应包括以下内容：（其他方法均应体现）
- a) 测站位置信息（路名、车道号、桩号或板块编号）；
 - b) 道路破损扫描分析图像，损坏类型，长度、破损率；
 - c) 各测站道路损坏类型、破损面积、长度、破损率及道路综合破损率DR。

6.3 抗滑性能

6.3.1 摆式摩擦仪法

6.3.1.1 摆式摩擦仪法检测抗滑性能应符合下列规定：

- a) 道路表面应保持清洁、干燥；
- b) 需测试无刻槽水泥路面和沥青路面的摆式摩擦系数值 BPN。

6.3.1.2 使用摆式摩擦仪法进行抗滑性能检测应做如下准备工作：

- a) 应检查摆式仪的调零灵敏情况，使用前进行滑块压力的标定；
- b) 选择测试位置，每个测试位置布设 3 个测点，测点间距离为（3~5）m，测试位置应选在车道横断面上轮迹处，且距路面边缘不应小于 1 m；
- c) 用扫帚或其他工具将测点处路面上的浮尘或附着物打扫干净；
- d) 将仪器置于路面测点上，并使摆的摆动方向与行车方向一致后进行调平；
- e) 应进行零位标定和校核滑动长度。

6.3.1.3 使用摆式摩擦仪法进行抗滑性能检测应采用以下步骤：

- a) 将摆固定于水平释放位置；
- b) 用喷水壶浇洒测点处路面，使之处于湿润状态；
- c) 按下释放开关，使摆在路面滑过，然后使摆杆重新置于水平释放位置；
- d) 按照 a)~c) 的规定，重复操作 5 次，读记每次测试的摆值，5 个摆值中最大值与最小值的差值不得大于 3；如差值大于 3 时，应检查产生的原因，并再次重复上述各项操作，至符合规定为止。取 5 次测定的平均值作为单点的路面抗滑值（即摆值），取整数；
- e) 在测点处用温度计测记潮湿路表温度；
- f) 重复上述步骤，完成一个测试位置 3 个测点的摆值测试。

6.3.1.4 结果内容应按照 JTG 3450-2019 中附录 B 的方法，计算一个测试路段摆值的平均值、标准差、变异系数。

6.3.2 激光探测构造深度仪法

6.3.2.1 激光探测构造深度仪法检测抗滑性能应符合下列规定：

- a) 抗滑性能最大检测速度： ≥ 50 km/h；
- b) 纵向采样间距小于 2 mm，高程传感器分辨率不应大于 0.5 mm；
- c) 重复性检测变异系数不应大于 5%；

6.3.2.2 使用激光探测构造深度仪法进行道路抗滑性能检测技术准备工作应符合 6.2.3 的要求。

6.3.2.3 使用激光探测构造深度仪法进行抗滑性能检测步骤应符合 6.2.4 的要求。

6.3.2.4 结果内容应按如下规定进行记录：

- a) 按 JTG 3450-2019 中附录 B 的规定计算每一个测试路段构造深度的平均值、标准差、变异系数；
- b) 成果复核：相邻断面高差不应超过 20 mm，300 mm 基准计算长度内无效数据占总数比例不应超过 5%，100 mm 基准计算长度内无效数据占总数不应超过 20%，检查数据不一致时应结合现场检测记录进行修正。

6.4 平整度

6.4.1 激光探测平整度仪法检测平整度应符合下列规定：

- a) 激光传感器采样频率： ≥ 20 kHz；分辨率： ≤ 0.1 mm；
- b) 测量范围： $\geq \pm 100$ mm，测试精度 ≥ 1.0 mm，距离标定误差 $\leq 0.05\%$ ；

- c) 纵段高程采样间距： ≤ 0.01 m；速度影响误差： $\leq 5\%$ ；测量误差： $\leq 5\%$ ；
- d) 加速度仪测试范围： ≥ 2 g；传感器分辨率： ≤ 1 μ g；响应频率 ≥ 300 Hz；
- e) 平整度检测速度：30 km/h \sim 100km/h；采样间隔 ≤ 500 mm。

6.4.2 使用激光探测平整度仪法进行道路平整度检测技术准备工作应符合 6.2.3 的要求。

6.4.3 使用激光探测平整度仪法进行道路平整度检测前，应进行激光平整度检测值与精密水准仪检测值的相关性检定。其他具体检测步骤应符合 6.2.4 节。

6.4.4 结果内容应按如下规定进行记录：

- a) 检测路段国际平整度指数 IRI 平均值。
- b) 断面高程输出间距应为 0.1 m，检测数据应在设备有效检测速度和有效减速度范围内。

6.5 车辙深度

6.5.1 使用激光探测仪法进行车辙深度检测。

6.5.2 路面车辙测量系统应符合下列规定：

- a) 传感器参数：激光扫描传感器分辨率 $\geq 1600 \times 1200$ ；帧频 ≥ 65 fps；
- b) 横向断面有效检测宽度： ≥ 3.5 m；横向平均采样间距 ≤ 300 mm，不少于 13 点。纵向采样间距 ≤ 200 mm，建议采用 100 mm；横断面高程传感器分辨率： ≤ 1 mm；
- c) 检测速度：0 km/h \sim 100 km/h；车辙检测深度： ≤ 200 mm；测量误差： $\leq 10\%$ 。

6.5.3 使用激光探测仪法进行车辙深度检测技术准备工作应符合 6.2.3。

6.5.4 使用激光探测仪法进行车辙深度检测具体步骤应符合 6.2.4。

6.5.5 结果内容应按如下规定进行记录：

- a) 各测定区间的最大车辙深度和平均车辙深度；
- b) 所检测横断面数据应完整且在规范允许正常范围内。

6.6 弯沉值

6.6.1 用于评价沥青路面结构强度。适用于采用落锤式弯沉仪检测路表在冲击荷载作用下产生的路面动态弯沉，检测结果经与贝克曼梁检测结果建立线性回归关系后，换算成的沥青路面回弹弯沉值。

6.6.2 落锤法检测弯沉值设备要求应符合下列规定：

- a) 荷载发生系统：包括落锤、承载板和橡胶缓冲装置。一般情况下，落锤的质量为 200 kg \pm 10 kg，可产生 50 kN \pm 2.5 kN 的冲击荷载，分辨力应不大于 0.1 kN；承载板为十字对称分成四部分且底部有固定橡胶片，直径一般为 300 mm；
- b) 弯沉检测系统：由一个或一组位移传感器组成，分辨力应不大于 1 μ m，如图 1 所示。位移传感器自承载板中心至其 2500 mm 范围内呈线性布置。用于半刚性基层沥青路面结构层模量反算时，位移传感器应不少于 7 个，且应包含 0 mm、300 mm、600 mm、900 mm 四个测点；

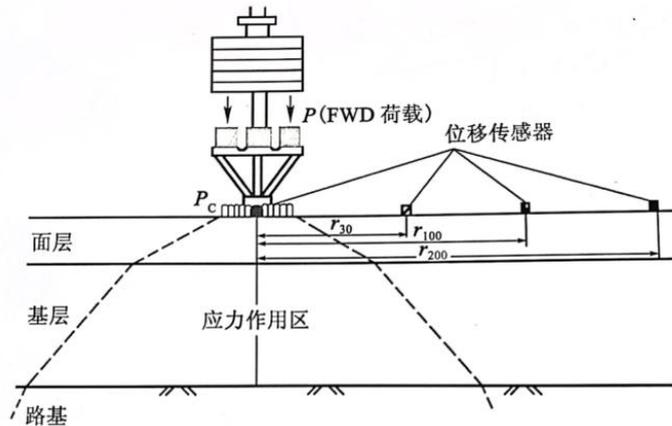


图1 落锤式弯沉仪传感器布置及应力作用状态示意图

- c) 控制系统：在冲击荷载作用瞬间，测量和记录冲击力及各位移传感器的变形值；
 - d) 牵引系统：牵引落锤式弯沉仪并装有控制系统的车辆。
- 6.6.3 使用落锤法进行道路弯沉值检测应做如下准备工作：
- a) 调整落锤的高度，使得落锤产生的冲击荷载满足 $50\text{ kN} \pm 2.5\text{ kN}$ 的冲击荷载的要求；
 - b) 检查牵引车车况及 FWD 设备的使用功能，确保牵引车及设备正常；
 - c) 将 FWD 设备牵引至测试路段，牵引 FWD 行驶速度不宜超过 50 km/h ；
 - d) 启动 FWD，对位移传感器进行标定。
- 6.6.4 使用落锤法进行道路弯沉值检测应采用以下步骤：
- a) 将 FWD 牵引至检测路段起点位置，输入检测路段的基本信息，设置相关检测参数；
 - b) 将承载板中心位置对准测点，一般沿车道轮迹带布置测点。放下落锤及位移传感器；
 - c) 启动荷载发生系统，落锤瞬时自由落下，冲击力作用于承载板上，随后落锤自动提升至原来位置固定，每个测点重复检测次数不少于 3 次。控制系统自动记录每次荷载及各位移传感器变形值，承载板中心位移传感器最大变形值即为该测点的弯沉值。测点检测完成后提起承载板及位移传感器；
 - d) 按检测频率将 FWD 牵引至下一测点，重复步骤 b) ~c)，完成测试路段的检测。
- 6.6.5 结果内容应按如下规定进行记录：
- a) 舍去每个测点的首次承载板中心检测弯沉值，其后几次弯沉值的平均值为该测点的动态弯沉值；
 - b) 按式（1）对动态弯沉值进行温度修正：

$$L_{20} = K \cdot L_t \dots\dots\dots (1)$$

式中：

L_{20} ——为修正后的路面动态弯沉值（ 0.01 mm ）；

L_t ——测为实测路面动态弯沉值（ 0.01 mm ）；

K ——路表弯沉温度修正系数，按式（2）计算确定，或根据当地经验确定（一般取 $0.8 \sim 1.3$ ，沥青面层中点温度越高、沥青层厚度越薄、平衡湿度状态下路基顶面回弹模量越小， K 值取下限，反之上限）；

$$K = e^{[9 \times 10^{-6} (\ln E_0 - 1) h_a + 4 \times 10^{-3}] (20 - T)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

T——弯沉测定时沥青面层中点实测或预估温度（℃）；

h_a ——沥青面层层厚（mm）；

E_0 ——平衡湿度状态下路基顶面回弹模量（MPa）。

c) 计算检测路段的弯沉平均值、标准差及代表值。

6.6.6 报告应包括以下内容：

a) 检测路段位置信息（桩号、幅别及沥青面层厚度等）；

b) 路表弯沉温度影响系数、弯沉；

c) 各检测路段的弯沉平均值、标准差及代表值。

6.7 板底脱空

6.7.1 落锤式弯沉仪法

6.7.1.1 用落锤式弯沉仪采用多级加载的方式检测水泥混凝土路面的板底脱空，为水泥混凝土路面养护、维修改造等提供设计依据。

6.7.1.2 使用落锤式弯沉仪法进行道路板底脱空检测应做如下准备工作：

a) 收集待检测路段的水泥混凝土路面桩号、厚度、结构类型等基本信息；

b) 现场标注出测点位置。检测板角弯沉值时，承载板边缘应距纵、横缝不大于 200mm。承载板检测位置示意图见图 2；

c) 将检测路段清扫干净，路面无明显砂石、泥土等；

d) 水泥混凝土板底脱空检测应避免高温时段及显著负温度梯度（夜晚或清晨）时段。

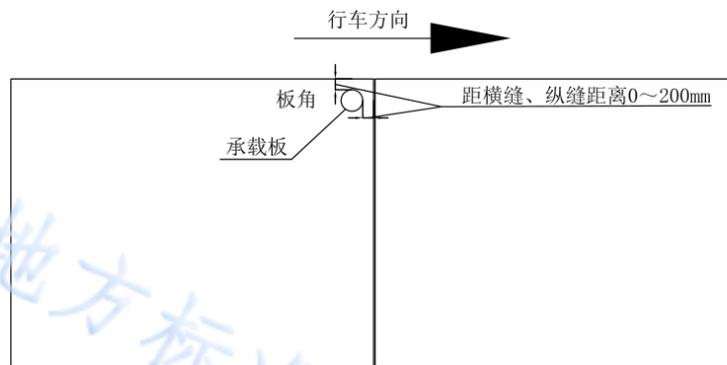


图2 承载板位置摆放示意图

6.7.1.3 应采用 6.6 的方法进行弯沉检测。采用截距值判定板底脱空时，对待测板角同一位置采用三级加载方式进行测试，推荐采用 50kN、70kN、90kN 三级荷载等级。采用弯沉比值判定板底脱空时，应采用同一恒定荷载对板角、板中和板边进行弯沉测试。

6.7.1.4 结果内容应按如下规定进行记录：

a) 截距值法：采用三级加载方式测得板角弯沉值，通过线性回归统计方法得到线性回归方程 $LFWD=m \cdot F+n$ ，其中 LFWD、F 分别表示落锤弯沉仪弯沉值（0.01mm）和落锤石弯沉仪逐级加载的力（kN）的弯沉值，m、n 为斜率和截距参数（0.01mm），当截距 n 大于 5 时即可判定为脱空；

- b) 弯沉比值法：通过测试出水泥板块不同位置的弯沉值，计算 $\lambda_1=W_{\text{板角}}/W_{\text{板中}}$ 和 $\lambda_2=W_{\text{板边}}/W_{\text{板中}}$ 的值，其中，其中 $W_{\text{板角}}$ 、 $W_{\text{板中}}$ 和 $W_{\text{板边}}$ 分别指同一块水泥混凝土板角、板边和板中的弯沉值，当 $\lambda_1>3.0$ 且 $\lambda_2>2.0$ 时可判定为脱空。

6.7.1.5 报告应包括以下内容：

- a) 测试位置信息（桩号、幅别等）；
- b) 线性回归系数 m、n 或弯沉比值 λ_1 、 λ_2 及相应的脱空判定标准；
- c) 脱空测点位置桩号。

6.7.2 探地雷达法

6.7.2.1 探地雷达法检测板底脱空适用范围应符合下列规定：

- a) 测线周围无影响雷达正常工作的强电磁干扰，路面表面无强反射或强衰减层。
- b) 当需要探测深度大于 0.5m 的缺陷病害体时，应增加地面耦合天线，共同完成探测。雷达天线中心频率选择参照表 4 和表 5。
- c) 多通道探地雷达空气中雷达波速测量相对误差 $\leq \pm 5.0\%$ ；
- d) 多通道探地雷达设备应满足如下指标：
 - 雷达扫描速率： ≥ 300 线/s；系统动态范围： ≥ 160 dB；
 - 短期信号稳定性： $\leq 3\%$ ；长期信号稳定性： $\leq 5\%$ ；
 - 距离标定误差： $\leq 0.1\%$ ；外壳防护等级： $\geq IP54$ ；
 - 检测速度范围：30 km/h~100 km/h。

表4 天线中心频率与探测分辨率和探测深度关系表

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

表5 天线中心频率与探测内容对应关系表

频率 (GHz)	探测目标				
	表面层厚度	中面层厚度	下面层厚度	基层厚度	缺陷病害体
$1.0 \leq f < 1.5$	-	-	●	-	○
$1.5 \leq f < 2.0$	-	●	●	-	-
$f \geq 2.0$	●	●	-	-	-
地面耦合天线	-	-	-	●	●

6.7.2.2 使用探地雷达法进行道路板底脱空检测应做如下准备工作：

- a) 设备安装：将雷达设备按照使用要求安装；
- b) 参数设置：设置采样点数、采样频率、道间距和增益等参数；
- c) 采用距离触发采集方式，应进行距离标定；获取标定数据应按下列步骤进行：
 - 将面积不小于天线2倍金属板放置在天线正下方，启动数据采集软件，获取金属板反射数据；
 - 将空气耦合天线对空放置，启动数据采集软件，获取雷达对空数据；
 - 多个天线需分别获取金属板反射数据和对空数据。

6.7.2.3 使用探地雷达法进行道路结构层板底脱空检测应采用以下步骤：

- a) 在测线起点处，启动数据采集软件，承载车开始移动；
- b) 检测过程应做完整现场记录，包括标段、测线号、车道信息和检测方向；
- c) 到达测线终点停止移动后，停止数据采集，并检查数据文件是否正常；
- d) 在需要标定厚度处钻芯取样，量取芯样的厚度，以该厚度值计算路面材料的介电常数。

6.7.2.4 结果内容应按如下规定进行记录：

- a) 空气耦合探地雷达指标及参数的确定：
 - 垂直分辨率：划分最薄层厚，一般把波长的1/4作为最小垂直厚度分辨率；
 - 水平分辨率：雷达入射波遇到界面所产生反射波由干涉方式形成能量增加或消减的带状分布，称为菲涅尔带。通常可认为水平分辨率为第一菲涅尔带半径。计算公式按式(3)所示：

$$F_s = \sqrt{\lambda d + \lambda^2/4} \approx \sqrt{\lambda d} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

F_s ——第一菲涅尔带的半径 (m)；

λ ——雷达波长 (m)；

d ——探测目标深度 (m)。

采样点数一般设置为1024点，采样率一般设置为雷达主频的20倍。

探测时窗可以按式(4)来确定：

$$T = 2 \cdot \frac{2D\sqrt{\epsilon}}{c} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

T ——探测时窗(ns)； D —目标深度(m)；

ϵ ——介质相对介电常数； c —电磁波在真空中的传播速度(m/ns)。

b) 探地雷达的数据处理宜采用以下方法：

- 不正常道处理；
- 偏移绕射处理；
- 数字滤波技术；
- 多次叠加技术。

c) 探地雷达检测成果应包括以下内容：道路板底脱空检测成果应包括缺陷病害体类型、位置和深度，详见附录C。

6.8 传荷能力

6.8.1 用落锤式弯沉仪测试水泥混凝土路面的板底脱空状况与传荷能力，为水泥混凝土路面的养护处治提供依据。

6.8.2 使用落锤法进行道路传荷能力检测应做如下准备工作：

- a) 收集水泥路面材料、结构、厚度等路面资料信息；
- b) 确定测试桩号，并标识测点位置。标出受荷板与未受荷板，承载板位置摆放如图3所示；
- c) 水泥混凝土传荷能力检测宜选择在早晚板块上下温度差较小时段或天气凉爽、温度变化不大的天气进行检测，避免高温时段及显著负温度梯度（夜晚或清晨）时段。

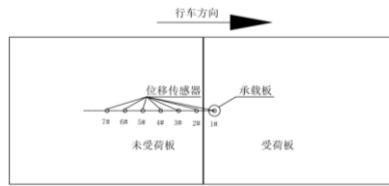


图3 水泥混凝土板传荷能力承载板布置平面示意图

6.8.3 使用落锤法进行道路传荷能力检测应采用以下步骤：按照 6.6 的方法进行弯沉检测。测定接缝传荷能力的试验荷载采用 50 ± 2.5 kN 的冲击荷载，将荷载施加在邻近接缝的路面表面（受荷板处），实测接缝两侧边缘的弯沉值。

6.8.4 结果内容应按如下规定进行记录：按式（5）计算接缝的传荷系数，接缝传荷能力评价分级标准见表 6。

$$k_j = \frac{D_2}{D_1} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

k_j ——接缝传荷系数（%）；

D_1 ——受荷板接缝边缘处的弯沉值（0.01 mm），采用 1 号传感器实测值（0.01 mm）；

D_2 ——未受荷板接缝边缘处的弯沉值（0.01 mm），采用 2 号传感器实测值（0.01 mm）。

表6 接缝传荷能力分级标准

等级	优良 (A)	中 (B)	次 (C)	差 (D)
接缝传荷系数 k_j	≥ 80	60~80	40~60	< 40

6.8.5 报告应包括以下内容：

- a) 测点位置信息（桩号或板块编号）；
- b) 判定接缝传荷能力的标准及等级。

6.9 道路分层厚度

6.9.1 探地雷达法

6.9.1.1 探地雷达法检测道路分层厚度适用范围应符合下列规定：

- a) 使用该方法探测道路结构层分层厚度时应避开电磁干扰区；
- b) 探地雷达法检测板底脱空工作环境、雷达天线中心频率选择、介质中厚度测量误差以及多通道探地雷达设备应满足条件应符合 6.7.2.1 中 a) ~d) 条。

6.9.1.2 使用探地雷达法进行道路分层厚度检测应做如下准备工作：探地雷达法进行道路结构层板底脱空检测技术准备应符合 6.7.2.2 中 a) ~c) 条。

6.9.1.3 使用探地雷达法进行道路分层厚度检测应采用以下步骤：探地雷达进行道路结构层板底脱空检测步骤应符合 6.7.2.3 中 a) ~d) 条。

6.9.1.4 结果内容应按如下规定进行记录：

- a) 空气耦合探地雷达指标及参数的确定应符合 6.7.2.4 中 a) 条；
- b) 钻芯取样数量宜符合下列规定：
 - 1) 探测路段长度小于 500 m 时，至少在起点、终点、中间点选取 3 个点钻芯取样，计算介电常数的平均值作为该路段介电常数；
 - 2) 探测路段长度大于 500 m 时，以 500 m 为单位随机增加钻芯取样点进行校准；

- 3) 道路材料存在差异时,重新钻芯取样计算介电常数。
- c) 探地雷达进行沥青层厚度计算宜采用以下步骤:
- 1) 去除雷达波形的直流偏置;
 - 2) 去除收发天线之间的直偶波;
 - 3) 校正机械结构抖动引起的雷达数据中的地表面起伏;
 - 4) 去除仪器自身及周围环境引起的水平层状反射;
 - 5) 采用自动算法拾取反射层位;
 - 6) 导出层位厚度报表。
- d) 探地雷达数据处理宜采用的方法应符合 6.7.2.4 节第 b) 条。
- e) 探地雷达检测成果应包括以下内容:路面层厚检测成果应包括厚度平均值、厚度标准差和厚度代表值,详见附录 D。

6.9.2 面波法

6.9.2.1 面波法检测道路分层厚度应符合下列规定:

- a) 要求各层介质之间存在横波速度差异;
- b) 探测道路分层厚度应使用瞬态面波法,分辨率高;
- c) 检测路基所选用面波法仪器应满足下列要求:
 - 1) 仪器放大器通道数不宜少于 12 通道;
 - 2) 通频范围应满足探测需要,低频端不宜高于 0.5 Hz,高频端不宜低于 4000 Hz;
 - 3) 仪器各信道的幅度和相位应一致,各频率点的幅度差在 5%以内,相位差不大于采样时间间隔的一半;
 - 4) 仪器采样时间长度保证距震源最远的通道采集完面波最大周期;
 - 5) 仪器动态范围不应小于 120 dB,应具备剖面滚动采集功能。
- d) 应用面波法探测路基应符合下列规定:
 - 1) 应选择瞬态工作方式,采用多道数字地震仪;
 - 2) 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求;
 - 3) 各检波器应具有相同的频响特性,固有频率应按式(6)计算:

$$f_0 \leq \beta \cdot \frac{V_{Rmin}}{H} \dots \dots \dots (6)$$

式中:

f_0 ——检波器的固有频率 (Hz);

H ——需探测的最大深度 (m);

$K \geq K_0$ ——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。

- 4) 面波法探测结果反映的是接收段内地层性质的平均结果,在地下介质物理性质水平方向变化较大测区,保证探测深度的前提下,应尽量使用较小的接收段。

6.9.2.2 使用面波法进行道路分层厚度检测现场数据采集应满足下列要求:

- a) 使用宽频带的脉冲震源,选择匹配的检波器;
- b) 排列长度不宜小于最大探测深度,道间距不宜小于最薄地层的厚度;
- c) 震源点的偏移距应根据试验结果选取,一般选取 20 m~40 m;
- d) 重锤震源应根据需要加不同材质垫板,采集过程中不宜进行滤波处理;
- e) 仪器应设置全通状态,遇地层情况变化时,应及时调整观测参数;
- f) 发现重要异常或发现畸变曲线时应重复观测。

6.9.2.3 使用面波法进行道路分层厚度检测应采用以下步骤:

- a) 通过试验确定本次勘测的参数;
- b) 道间距及道数、偏移距、探测深度,接收传感器使用一定频率垂直地震器,震源采用锤击方式,以固定重量铁锤提升固定高度自由落重锤击地面激发面波。
- c) 测网布置及采集步骤:测线布设以沿路基走向直线布置,均匀布设6条测线。瞬态面波法数据采集:
- d) 测量仪器连接,依据测线位置将大缆和检波器布置;
- e) 大缆与主机连接,输入参数并进行震动检测;
- f) 符合采集条件的入数据采集模式,采集数据。

6.9.2.4 结果内容应按如下规定进行记录:

- a) 面波法数据处理与解释应符合下列规定:
 - 1) 应剔除明显畸变点、干扰点,并将全部数据按频率顺序排列;
 - 2) 应绘制频散曲线,即相速度-频率曲线;
 - 3) 应结合钻探等资料判断曲线的拐点和曲率变化,求取对应层的瑞雷波相速度,并根据换算的深度绘制速度-深度曲线;
 - 4) 应结合已知资料求得瑞雷波相速度与横波速度对应关系,并利用瑞雷波相速度换算横波速度;
 - 5) 利用面波法换算深度、动力参数时,应优先利用已知资料标定。
- b) 面波法主要成果应包括典型记录、探测点频散曲线或速度-深度曲线、推断解释剖面或平面图、面波相速度或视横波速度剖面图及病害体解释成果图,详见附录E。

6.10 技术状况评定

6.10.1 一般要求

6.10.1.1 城镇道路应根据无损检测结果,定期进行巡查、检测,进行技术状况评价,并根据评价结果制定养护维修计划。

6.10.1.2 城镇道路技术状况评定宜以(两相邻交叉口)100m路段长度为基本评定单元。在路面类型、交通量、路面宽度和管养单位等变化处,评定单元的长度可不受此规定限制。

6.10.1.3 城镇道路路面技术状况评价应分为四个等级:A-优、B-良、C-合格、D-不合格。

6.10.1.4 重要交通节点或维修时限要求较高路段,宜采用快速检测评价及修复技术。

6.10.2 城镇道路技术状况评价

6.10.2.1 城镇道路及时状况基本要求包括:

- a) 沥青路面技术状况评价应包括路面技术状况评定(PQI)和结构强度指数评价(PSSI);
- b) 水泥混凝土路面技术状况评价应包括路面技术状况评定(PQI),当需结构强度评价时,须采用钻芯法对混凝土强度进行检测。

6.10.2.2 沥青路面技术状况评价(PQI)指标包括:

- a) 沥青路面技术状况评定
 - 1) 基本规定:沥青路面技术状况评定包括道路破损(PCI)、抗滑性能(SRI)、平整度(RQI)、车辙深度(RDI)四项内容。沥青路面技术状况评定应采用道路技术状况指数 PQI 评定。PQI 应按公式(7)计算:

$$PQI = w_{PCI} \cdot PCI + w_{SRI} \cdot SRI + w_{RQI} \cdot RQI + w_{RDI} \cdot RDI \dots\dots\dots (7)$$

式中:

w_{PCI} ——PCI在PQI中的权重,按表7的规定取值;

w_{SRI} ——SRI在PQI中的权重，按表7的规定取值；

w_{RQI} ——RQI在PQI中的权重，按表7的规定取值；

w_{RDI} ——RDI在PQI中的权重，按表7的规定取值。

表7 PQI 各分项指标权重

路面类型	权重	快速路、主干路	次干路、支路
沥青路面	w_{PCI}	0.3	0.6
	w_{SRI}	0.1	0.4
	w_{RQI}	0.3	—
	w_{RDI}	0.3	—

2) 道路破损状况指数 (PCI) 应按公式 (8) 和公式 (9) 计算:

$$PCI = 100 - a_0 DR^{a_1} \dots \dots \dots (8)$$

$$DR = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{i_0} w_i A_i}{A} \dots \dots \dots (9)$$

式中:

DR ——道路破损率 (%)；

a_0 ——沥青路面采用 15.00；

a_1 ——沥青路面采用 0.142；

A_i ——第 i 类路面损坏的累计面积 (m²)；

A ——路面检测或调查面积 (m²)；

w_i ——第 i 类路面损坏的权重或换算系数，见表 8；

i ——路面损坏类型，包括损坏程度 (轻、中、重)；

i_0 ——损坏类型总数，沥青路面取 21。

表8 沥青路面损坏类型、权重及换算系数

类型 i	损坏名称	损坏程度	计量单 (m ²)	权重 w_i	换算系数 w_i
1	龟裂	轻	面积	0.6	1.0
2		中		0.8	
3		重		1.0	
4	裂缝	轻	面积	0.6	2.0
5		重		0.8	
6	沉陷	轻	面积	0.6	1.0
7		重		1.0	
8	拥包	轻	面积	0.6	1.0
9		重		1.0	
10	坑槽	轻	面积	0.8	1.0
11		重		1.0	

3) 平整度 (RQI) 应按式 (10) 计算:

$$RQI = \frac{100}{1+a_0 e^{a_1 IRI}} \dots \dots \dots (10)$$

式中:

IRI ——国际平整度指数 (m/km)；

a_0 ——快速路和主干路采用0.026，次干路和支路采用0.0185；

a_1 ——快速路和主干路采用0.65，次干路和支路采用0.58。

4) 车辙深度状况指数 (RDI) 应按式 (11) 计算：

$$A \ RDI = \begin{cases} 100 - a_0 RD, & RD \leq RD_a \\ 90 - a_1 (RD - RD_a), & RD_a < RD \leq RD_b \\ 0, & RD > RD_b \end{cases} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

RD ——车辙深度 (mm)；

RD_a ——车辙深度参数，采用10.0；

RD_b ——车辙深度参数，采用40.0；

a_0 ——模型参数，采用1.0；

a_1 ——模型参数，采用3.0。

5) 路面抗滑性能指数 (SRI) 应按式 (12) 计算：

$$SRI = \frac{100 - SRI_{min}}{1 + a_0 e^{a_1 SFC}} + SRI_{min} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

SFC ——横向力系数；

SRI_{min} ——标定参数，采用35.0；

a_0 ——模型参数，采用28.6；

a_1 ——模型参数，采用-0.105。

b) 结构强度指数评价 (PSSI) 应按式 (13) 和式 (14) 计算：

$$PSSI = \frac{100}{1 + a_0 e^{a_1 SSR}} \dots\dots\dots (13)$$

$$SSR = \frac{l_0}{l} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

SSR ——路面结构强度系数，为路面弯沉标准值与路面实测代表弯沉之比；

l_0 ——路面弯沉标准值 (0.01 mm)；

l ——路面实测代表弯沉 (0.01 mm)；

a_0 ——模型参数，采用15.71；

a_1 ——模型参数，采用-5.19。

6.10.2.3 水泥混凝土路面技术状况评价 (PQI) 包括下列内容：

a) 基本规定：

1) 水泥混凝土路面常规性能评价应采用道路技术状况指数 PQI 评定，PQI 应按公式 (15) 计算：

$$PQI = w_{PCI} \cdot PCI + w_{SRI} \cdot SRI + w_{RQI} \cdot RQI \dots\dots\dots (15)$$

式中：

w_{PCI} ——PCI在PQI中的权重，按表9的规定取值；

w_{SRI} ——SRI在PQI中的权重，按表9的规定取值；

w_{RQI} ——RQI在PQI中的权重，按表9的规定取值。

表9 PQI 各分项指标权重

路面类型	权重	快速路、主干路	次干路、支路
混凝土路面	w_{PCI}	0.3	0.6
	w_{SRI}	0.1	0.4
	w_{RQI}	0.3	—
	w_{PCI}	0.3	—

2) 道路破损状况指数 (PCI) 公式 (16) 和公式 (17) 计算:

$$PCI = 100 - a_0 DR^{a_1} \dots \dots \dots (16)$$

$$DR = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{i_0} w_i A_i}{A} \dots \dots \dots (17)$$

式中:

DR ——道路破损率 (%) ;

a_0 ——水泥路面采用10.66;

a_1 ——水泥路面采用0.461;

A_i ——第*i*类路面损坏的累计面积 (m²) ;

A ——路面检测或调查面积 (m²) ;

w_i ——第*i*类路面损坏的权重或换算系数, 见表10;

i ——路面损坏类型, 包括损坏程度 (轻、中、重) ;

i_0 ——损坏类型总数, 水泥混凝土路面取20。

表10 水泥混凝土路面损坏类型、权重及换算系数

类型 i	损坏名称	损坏程度	计量单位 (m ²)	权重 w_i	换算系数 w_i
1	裂缝	轻	长度×1.0m	0.6	10
2		中		0.8	
3		重		1.0	
4	破碎板	轻	面积	0.8	1.0
5		重		1.0	
6	错台	轻	长度×1.0m	0.6	10
7		重		1.0	
8	拱起		面积	1.0	1.0
10	坑洞		面积	1.0	1.0

3) 平整度状况指数 (RQI)、路面抗滑性能指数 (SRI) 可按沥青路面技术状况评价中式 (10) 和式 (12) 计算。

b) 结构强度评价

1) 路面脱空率 (VR) 应按式 (18) 计算:

$$VR = \frac{n}{N} \times 100 \dots \dots \dots (18)$$

式中:

VR ——路面脱空率 (%) ;

n ——路面脱空点数;

N ——路面脱空检测总点数。

2) 接缝传荷系数 (K_j) 计算按照式 (5) 进行。

6.10.3 评定等级及建议

6.10.3.1 城镇道路路面技术状况评定应符合表 11 规定。

表11 城镇道路路面技术状况评定等级划分标准

评价 指标	A			B		
	快速路	主干路、次干路	支路	快速路	主干路、次干路	支路
PQI	[90, 100]	[85, 100]	[80, 100]	[75, 90)	[70, 85)	[65, 80)
评价 指标	C			D		
	快速路	主干路、次干路	支路	快速路	主干路、次干路	支路
PQI	[65, 75)	[60, 70)	[60, 65)	[0, 65)	[0, 60)	[0, 60)

6.10.3.2 城镇道路路面结构强度指数评定应符合下列要求：

- a) 沥青路面结构强度指数评价应根据沥青路面回弹弯沉值，将不同基层类型和交通量等级的沥青路面结构强度分为足够、临界和不足三个等级，并应符合表 12 和表 13 的规定；

表12 结构强度评价标准

评价 指标	碎砾石基层			半刚性基层		
	足够	临界	不足	足够	临界	不足
很轻	<98	98-126	>126	<77	77-98	>98
轻	<77	77-98	>98	<56	56-77	>77
中	<60	60-81	>81	<42	42-59	>59
重	<46	46-67	>67	<31	31-46	>46
特重	<35	35-56	>56	<21	21-35	>35

表13 交通量等级划分标准

交通量等级	很轻	轻	中	重	特重
交通量	<2000	2000-5000	5000-10000	10000-20000	>20000

- b) 水泥混凝土路面结构强度评价分为路面脱空率 (VR) 和接缝传荷系数 (K_j)，并应符合下列规定：

- 1) 根据路面脱空率 (VR)，将路面脱空分为 A、B、C、D 四个等级，相应等级的评价标准应符合表 14 的规定。
- 2) 接缝传荷系数 (K_j) 按照表 6 进行评定。

表14 路面脱空评价标准

评价指标	A			B		
	快速路	主干路 次干路	支路	快速路	主干路 次干路	支路
VR (%)	[0, 10)	[0, 20)	[0, 30)	[10, 20)	[20, 30)	[30, 40)
评价指标	C			D		
	快速路	主干路 次干路	支路	快速路	主干路 次干路	支路
VR (%)	[20, 30)	[30, 40)	[40, 50)	[30, 100]	[40, 100]	[50, 100]

6.10.3.3 城镇道路路面技术状况评价及养护对策应符合表 15、16 规定。

表15 沥青路面技术状况评价及养护对策

评价指标	PQI	结构强度
等级	A、B	足够
养护对策	预防性养护或保养小修	
评价指标	PQI	结构强度
等级	B、C	足够、临界
养护对策	保养小修或中修	
评价指标	PQI	结构强度
等级	C	临界、不足
养护对策	中修或局部大修	
评价指标	PQI	结构强度
等级	D	不足
养护对策	大修或改扩建工程	

表16 水泥混凝土路面技术状况评价及养护对策

评价指标	VR			
评价等级	A	B	C	D
养护对策	保养小修	保养小修或中修	中修或局部大修	大修或改扩建工程
评价指标	K_j			
评价等级	A	B	C	D
养护对策	保养小修	保养小修或中修	中修或局部大修	大修或改扩建工程

7 道路地下无损探测方法及评价

7.1 一般规定

7.1.1 城镇道路地下无损探测应用条件应符合下列规定：

- a) 道路地下病害体应与周围介质之间存在电性、磁性、弹性、密度等物理性质差异；
- b) 道路表面应保证一定的平整度，尽量保证干燥。

7.1.2 城镇道路地下无损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 城镇道路地下无损探测方法应根据探测对象、地球物理特性、环境特性、地质特性、探测深度和精度等因素综合选择。

7.1.4 城镇道路地下无损探测方法或方法组合见表 2。

7.1.5 城镇道路地下无损探测资料收集应包含下列内容：

- a) 探测区域的水文地质资料、地形图、地下管线图；
- b) 探测区域的地铁、顶管等地下工程施工资料；
- c) 探测区域的道路塌陷、沉降及裂隙相关资料；
- d) 探测区域地下管道检测资料；
- e) 道路维修与养护相关资料；
- f) 与探测有关的其他资料。

7.1.6 城镇道路地下无损探测测线布置应符合下列规定：

- a) 测线布置应根据探测目标规模确定，测线长度、间距应满足探测区域全部覆盖，且探测成果连续、完整、便于追踪的原则，对重点区域或异常区域应适当加密或网状布设；
- b) 测线宜在保障覆盖探测目标范围的前提下，避开环境干扰的影响；
- c) 测线宜通过或靠近已知点布设，测线长度宜覆盖探测目标；
- d) 定期复测的，普查测线宜固定布设。

7.1.7 城镇道路地下无损探测的测量工作应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 测量精度应符合 CJJ/T 8 的有关规定；
- c) 探测使用的底图比例尺宜介于 1:500~1:2000。

7.1.8 城镇道路地下无损探测应按照不同探测方法和工程性质及时填写现场记录班报，记录内容应清晰、准确、完整，探测记录表格式见本文件附录 D~附录 J。

7.1.9 城镇道路地下无损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调查资料。

7.1.10 城镇道路地下病害体探测成果的验证应符合下列规定：

- a) 应确定道路地下病害体的类型、埋深等属性；
- b) 成果验证点宜根据地下病害体类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择；
- c) 探测成果中的空洞、脱空、富水体宜全部验证；
- d) 位于地下构筑物上方埋藏较深、规模较大的疑似目标，可选择性进行验证；
- e) 疏松体的验证数量不宜少于总数的 20%，且不宜少于 3 处；
- f) 验证成果与探测结果不一致时，应分析原因，对探测成果重新进行判识，并重新组织验证。

7.1.11 对探测的严重地下病害处置措施建议：

- a) 对已观察到的城镇道路塌陷，应立即启动处置预案；
- b) 对已查明并钻孔验证的较大空洞（III~IV 级病害，详见表 27），宜在 12 小时内出具简要探测报告或病害信息卡 24 小时内向建设单位报备，并做好周围防护措施；
- c) 对已查明并钻孔验证的一般空洞、脱空（I~II 级病害详见表 27）等，宜在 24 小时内出具简要探测报告或病害信息卡，48 小时内向建设单位报备，并标注病害位置；
- d) 对已查明并现场验证的地下管道破损、渗漏等，且管道结构性缺陷等级在 III 级及以上的道路，宜在 12 小时内出具简要探测报告或病害信息卡，24 小时内向建设单位报备，并做好周围防护措施。

7.2 探地雷达法

7.2.1 探地雷达法可用于城镇道路地下脱空、空洞疏松体、富水体等病害的探测。

7.2.2 探地雷达法探测城镇道路地下病害体应用条件符合下列规定：

- a) 测区道路地表相对平坦，遇到塌陷、大型错台等时，重新布置测线；
- b) 测区道路无大量积水，或地表无强反射或强衰减层；
- c) 高架道路不适用本方法。

7.2.3 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。

7.2.4 城镇道路主干道地下无损探测的普查工作宜使用车载探地雷达设备，次干道、人行道等普查工作宜使用人工牵引的便携式探地雷达设备。

7.2.5 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。

7.2.6 在探测有地下管道经过的路面时，应结合管中雷达联合探测。使用管道机器人搭载探地雷达对管壁进行环形扫描，其探测成果作为道路地下无损探测的补充。

7.2.7 探地雷达法天线工作参数应符合下列规定：

- a) 城镇道路地下无损探测应选用 100 MHz~400 MHz 屏蔽型多频段雷达天线；
- b) 车载探地雷达应选择不低于两种频段的的天线，并宜保证 100 MHz~200 MHz 频段和 200 MHz~400 MHz 频段天线至少各一副；
- c) 探地雷达的设计探测深度及深度分辨率应由天线中心频率确定，并应符合表 17 的要求：

表 17 天线中心频率与最大探测深度和分辨率的关系

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

- d) 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；
 - e) 重点区域及初测中确定的重点异常区探测应选用多种频率天线；
 - f) 正式探测前应根据探测深度和精度要求，通过参数试验确定天线主频、采集方式和采集参数。
- 7.2.8 探地雷达法的分辨率选择应符合下列规定：

- a) 垂向分辨率宜取探地雷达电磁波波长的 1/2，电磁波在地下介质中传播的波长宜按下式 (19) 计算：

$$\lambda = 1000 \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \dots \dots \dots (19)$$

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。

- b) 探地雷达法的横向分辨率宜按下式 (20) 计算：

$$r_x = \sqrt{\frac{\lambda h}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \dots \dots \dots (20)$$

式中：

- r_x ——横向分辨率 (m)
 λ ——电磁波波长 (m)；
 h ——深度 (m)。

7.2.9 探地雷达法仪器设备主要指标性能应符合下列规定：

- a) 采样点数宜设置为 1024 点；
- b) 系统动态范围不应小于 120 dB；
- c) 信噪比不应小于 110 dB；
- d) 定位中误差不应大于 0.5 m；
- e) 短期幅度稳定性不应大于 3%；
- f) 长期幅度稳定性不应大于 5%；
- g) 时基精度不应大于 0.02%。

- h) 记录时窗宜设置为目标深度对应回波时间的两倍，记录时窗可按式 (21) 计算：

$$T = K \frac{2H}{C} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

T——记录时窗 (ns)；

K——加权系数，取1.3~1.5；

H——探测目标深度m；

C——电磁波在空气中的传播速度 (m/ns)，取0.3。

7.2.10 探地雷达法工作环境应符合下列规定：

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

7.2.11 探地雷达测线布设应符合下列规定：

- a) 探测城镇道路时，测线宜沿车道行进方向布设；
- b) 探测广场及学校、医院、商业区等人口密集区时，测线宜交叉布设；
- c) 初测时相邻测线间距不宜大于 2.0 m，复测时相邻测线间距不宜大于 1.0 m；
- d) 测线布设边界应超过检测范围不小于 2.0 m；
- e) 在隧道、管道内部进行探测时，测线位置宜在隧道、管道正上和斜上部位，并沿轴线方向布设，测线间距根据作业空间适当调整。

7.2.12 探地雷达法数据采集应符合下列规定：

- a) 当采用测量轮测距时，采集前应对其进行标定；采用手动标记定位时，应等间距标记，间距不宜大于 2.0 m；
- b) 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；
- c) 点测时，应在天线静止时采集，道间距应保证至少有三个采样点落在目标体上；连续测量时，天线移动速度应均匀，并应与雷达的扫描率相匹配，初测时道间距不宜大于 5.0 cm，复测时道间距不宜大于 2.0 cm；
- d) 应及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时复测；
- e) 应及时记录各类干扰源及地面积水、变形等环境情况；
- f) 当发现疑似地下病害体时，应进行标记，与周围管线分布等已知资料对比，并及时进行复核；
- g) 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；
- h) 当采用北斗系统或 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；
- i) 探地雷达测线的定位可利用测区已知位置的井盖、路灯或管线等地方的雷达回波对测线进行校核。

7.2.13 探地雷达法探测的主要干扰源如下：

- a) 地上干扰，临近建构筑物、过街天桥、高架桥、指示牌、井盖、钢板等临设、金属栅栏、车辆等；
- b) 地下干扰，地下管线、管沟及井室、地下通道、地下防空洞、地下加固体、旧基础、树根等；
- c) 电磁干扰，路灯、信号灯、变电室、架空输电线缆、发射塔等。

7.2.14 探地雷达法现场采集数据质量检查和评价应符合下列规定：

- a) 探测数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- b) 重复观测的数据应与原数据一致性良好；
- c) 现场记录信息应完整，且与探测数据保持一致；
- d) 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；

- e) 数据剖面上不应出现连续的坏道，连续坏道数不宜超过 5 道。
- 7.2.15 探地雷达法数据处理应符合下列规定：
- 宜进行零点校正，明确地面反射点的位置；
 - 应对自由连续采集的数据进行水平距离归一化处理；
 - 可根据需要选取增益调整、频率滤波、背景消除、反褶积、偏移归位、空间滤波、数据平滑、地形校正等处理方法；
 - 改变反射信号的振幅特征宜在其它方法处理完后进行。
- 7.2.16 探地雷达法无损探测可按表 18 探地雷达探测地下病害体典型识别特征进行识别。

表 18 探地雷达探测地下病害体典型识别特征

地下病害体		波组特征	振幅	相位与频谱
空洞		1 近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态； 2 近似方形空洞反射波表现为正向连续平板形态； 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 脱空顶部一般形成连续反射波组，似平板形态； 2 多次波明显。	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。
疏松体	严重	1 顶部形成连续反射波组； 2 多次波较明显、绕射波较明显； 3 内部波形结构杂乱，同相轴很不连续。	整体振幅强，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； 2 频率高于背景场。
	一般	1 顶部形成连续反射波组； 2 多次波、绕射波不明显； 3 内部波形结构杂乱，同相轴较不连续。	整体振幅较强，雷达波衰减较慢	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。

- 7.2.17 探地雷达资料解释应符合下列规定：
- 用于成果解释的探地雷达图像应清晰、信噪比高；
 - 宜根据探地雷达图像的波组形态、振幅、相位、频谱等特征进行异常识别和解释；
 - 应结合现场记录和已知资料，排除干扰异常；
 - 地下病害体宜结合地面变形、管线破损、历史塌陷等情况及测区地质资料进行综合解释；
 - 探地雷达法成果图件宜包括探地雷达测线平面布置图、地下病害体平面分布图、地下病害体探地雷达剖面图。

7.3 高密度电阻率法

7.3.1 高密度电阻率法可用于城镇道路地下空洞、富水体等病害探测。

7.3.2 高密度电阻率法探测地下病害体应用条件符合下列规定：

- 地下病害体与周围介质之间存在明显的电阻率差异；
- 具有良好的接地条件；
- 测区道路内表层没有电阻屏蔽层；
- 测区道路内没有强电磁干扰存在；

e) 高速公路、城镇快速路、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。

7.3.3 高密度电阻率法探测宜根据所需要探测深度合理选择电极间距和电极数量。一般地，高密度最大探测深度为表层电极布置长度的 1/6。

7.3.4 高密度电阻率法探测仪器设备应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 多芯电缆应具有良好的导电和绝缘性能，芯线电阻应小于 $10 \Omega/\text{km}$ ，芯间绝缘电阻应大于 $5 \Omega/\text{km}$ ；
- c) 电极 AB、MN 接头与外壳之间的绝缘电阻不应小于 $100 \text{ M}\Omega$ ；
- d) 输入阻抗不应小于 $50 \text{ M}\Omega$ ；
- e) 输出最大电流不应小于 3 A；
- f) 电位差测量允许误差不应大于 $\pm 1.0\%$ ，分辨率应优于 0.1 mV；
- g) 电流测量允许误差不应大于 $\pm 1.0\%$ ，分辨率应优于 0.1 mV；
- h) 对与 50Hz 工频干扰抑制不应小于 80 dB；
- i) 宜使用不锈钢电极或铜电极，电极长度不宜小于 30 cm、直径不宜小于 10 mm。

7.3.5 高密度电阻率法工作布置应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 实施滚动观测时，每个排列伪剖面底边应至少有 1 个数据重合点；当底边出现 2 个点以上的空白区时，应在成果图中标明或减小探测深度；
- e) 测线两端的探测范围应处于选用装置的有效范围之内，测线两端超出测区的长度不宜小于装置长度的 1/3；
- f) 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；
- g) 改善硬化地面电极接地条件时，不得破损地面结构或地下设施。
- h) 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；
- i) 正式测试之前，应测量接地电阻，且接地电阻应小于 3Ω ；
- j) 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；
- k) 现场记录宜包含探测地点、测试参数、测线编号、文件名、测线位置、地面及附近异常环境，包括主要干扰源等，详见附录 F。

7.3.6 高密度电阻率法探测的主要干扰源如下：

- a) 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；
- b) 地表存在干燥的沥青、混凝土路面等电性绝缘层；
- c) 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；
- d) 含铁磁性矿物土体。

7.3.7 高密度电阻率法探测数据采集应符合下列规定：

- a) 现场应在极化稳定和建立恒稳电流场后，测试供电；遇强电干扰时，应加大供电电流提高信噪比；
- b) 每种装置观测的坏点数不应超过 1%；意外中断恢复观测时，重复观测点数不应少于 2 个；
- c) 测试完成后，应进行检查观测，检查观测数量不小于观测总数的 5%；
- d) 现场观测数据应及时存储，并应记录现场条件。

- 7.3.8 高密度电阻率法的数据质量检查及评价应符合下列规定：
- 可选择两层或两列进行检查观测，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；
 - 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；
 - 当因地表及浅层含水量变化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异常点时，应剔除异常点后再进行质量评价，剔除点数不得超过该排列数据总点数的 1%；
 - 质量检查统计的均方差不得超过 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。
- 7.3.9 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：
- 当测区地形坡度大于 15° 时，应测量电极点坐标及高程并进行地形校正；
 - 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；
 - 对于数据突变点、畸变点，应结合相邻测点数值进行修正；
 - 地形校正时，除应对测点在断面中的位置进行归正外，还应对观测数据进行装置系数修正；
 - 建立初始模型时可采用伪剖面法、反投影法；
 - 反演成像时，应将正演获得的理论值与相应的实测值相减获得残差值，再利用反演计算获得电阻率的分布；
- 7.3.10 高密度电阻率法资料解释应符合下列规定：
- 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；
 - 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；
 - 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；
 - 应根据装置型式、测线布置方式、地形及探测任务要求，选择二维及带地形的反演算法进行电阻率图像处理；
 - 应根据反演后的二维电阻率分布成果图进行剖面解释；
 - 同一剖面多种装置的视电阻率断面图应对比解释。
 - 地下病害体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。
- 7.3.11 电阻率法探测地下病害体宜按表 19 高密度电阻率法探测地下病害体典型识别特征进行识别。

表 19 高密度电阻率法探测地下病害体典型识别特征

地下病害体	剖面电性特征
空洞/脱空	1 空洞有水充填时，表现为相对低电阻率异常； 2 当空洞无水充填时，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	表现为相对低电阻率异常

7.3.12 高密度电阻率法成果图件宜包括测线平面布置图、视电阻率断面或反演电阻率成果图、地下病害体平面分布图。

7.4 瞬态面波法

7.4.1 瞬态面波法可用于城镇道路地下空洞、疏松体等病害的探测。

7.4.2 瞬态面波法应用条件符合下列规定：

- a) 应根据工作条件和探测要求选择使用稳态或瞬态工作方式；
- b) 稳态面波法应采用稳态面波仪和稳态激振设备；
- c) 瞬态面波法可采用多道数字地震仪。

7.4.3 瞬态面波法采用仪器设备应符合下列规定：

- a) 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求。
- b) 各检波器应具有相同的频响特性，固有频率应满足探测要求；检波器固有频 f_0 应按下式 (22) 估算：

$$f_0 \leq \beta_t \cdot \frac{V_R}{H} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- f_0 ——检波器固有频率 (Hz)；
- H ——需要探测的最大深度 (m)；
- V_R ——探测深度范围内预计平均瑞雷波相速度的最小值 (m/s)；
- β_t ——波长深度转换系数。

- c) 可根据勘探深度和工作方式的不同，采用瞬态或稳态震源。

7.4.4 瞬变面波法现场工作布置应符合下列规定：

- a) 瞬变面波法应结合探测目的和已知资料，通过试验确定观测系统布置方式、采集参数和激发方式；
- b) 应视探测对象赋存状态布置成测线或测网；
- c) 多道瞬态面波法宜采用向前滚动观测方式，测线、测点布设应符合 JGJ/T 143 的相关规定。

7.4.5 稳态面波法观测应采用变频可控震源单端或两端激发，调整两个检波器间距和偏移距进行接收，取得不同频率的多种组合面波记录；测点间距应根据探测任务和场地条件确定，每条测线或每个探测目标测点不得少于 3 个。

7.4.6 稳态面波法的数据采集应符合下列规定：

- a) 激振器的安置应与地面紧密接触，并使其保持竖直状态；
- b) 工作时，应根据探测对象和任务要求选择相应固有频率的检波器，同一排列的检波器之间的固有频率差不应大于 0.1Hz，并应竖直安置并与地面紧密接触；
- c) 采用等幅振动信号的检波点距应小于探测深度所需波长的 1/2。最小偏移距可与检波点距相等；
- d) 观测频率间隔应通过试验选择；
- e) 重要异常及发现曲线畸变时应重复观测。

7.4.7 瞬态面波法的数据采集应符合下列规定：

- a) 采用重锤震源时应根据需要加不同材质的垫板；
- b) 检波点距或道间距应小于探测深度所需波长的 1/2，检波器排列长度应大于预期面波最大波长的 1/2；
- c) 仪器应设置全通状态；遇地层情况变化时，应及时调整观测参数；
- d) 多道瞬态面波法采样间隔的选择，应符合 JGJ/T 143 的相关规定；
- e) 重要异常及发现畸变曲线时应重复观测。

7.4.8 瞬态面波法质量检查与评价应符合下列规定：

- a) 原始记录的近源道不应出现削波，不应出现坏道；
- b) 检查工作量不应小于总工作量的 5%，检查记录与原记录波形应相似，频散曲线特征无明显改变；

- c) 频散曲线拐点和曲率变化的位置应无明显位移。
- 7.4.9 瞬态面波法资料处理与解释应符合下列规定：
- 应剔除明显畸变点、干扰点，并将全部数据按频率顺序排列；
 - 应区分面波和体波，并绘制频散曲线即相速度—频率曲线；
 - 如有合钻探等资料，应结合并判断曲线的拐点和曲率变化，求取对应层的瑞雷波相速度，并根据换算的深度绘制速度—深度曲线；
 - 应结合已知资料求得瑞雷波相速度与横波速度对应关系后，利用瑞雷波相速度换算横波速度；
 - 利用面波法换算深度、动力参数时，应首先利用已知资料标定。
- 7.4.10 当采用瞬态面波法探测时，宜按表 20 瞬态面波法探测地下病害体典型识别特征进行识别。

表 20 瞬态面波法探测道路地下病害体典型识别特征

道路地下病害体		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		与周边正常地层相比，速度降低明显	与周边正常地层相比，表现为明细的低速圈闭区	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
疏松体	严重	与周边正常地层相比，速度降低明显	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	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

7.4.11 瞬态面波法成果图应主要包括典型记录、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 微动勘探法可用于城镇道路地下脱空、空洞等病害的探测。

7.5.2 微动勘探法进行道路地下病害探测时应符合下列规定：

- 病害体与其周边介质之间存在波阻抗差异；
- 病害体的尺寸与其埋藏深度之比应大于 1/10。

7.5.3 微动勘探法仪器设备的主要技术指标应符合下列规定：

- 宜选用多通道数字地震仪或多台一体化数字地震仪；
- 采集时间长度应可控；
- 模数转换 (A/D) 位数不应小于 24 位；
- 采样率不应大于 10 ms，动态范围应大于 120 dB；
- 系统噪声不应大于 1 μ V。

7.5.4 微动勘探法使用的拾振器应符合下列规定：

- 台阵各道拾振器应符合幅值和相位一致性要求；
- 宜采用三分量速度传感器，自然频率不宜大于 2Hz；
- 记录仪应自带内置卫星导航定位信号接收装置，且具有实时时间校正和多台传感器同步、连续记录功能；
- 记录仪应有足够的数据存储容量，且具备低功耗性能。

7.5.5 微动勘探法工作准备及布置应符合下列规定：

- 应检查台阵中各拾振器的振幅和相位一致性；
- 调查测区内不同时间段的振动和环境噪声类型、强度等，分析对探测的影响；

- c) 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;
 - d) 应根据探测目的和深度、精度要求,选择台阵半径、仪器采集参数及记录长度。
- 7.5.6 微动勘探法的拾振器布置应符合下列规定:
- a) 应按设计位置布置,布设条件宜一致,并与地面耦合良好,应采取橡皮泥、特制胶泥、熟石膏、铁靴等方式实现耦合;
 - b) 拾振器应摆放在在密实地面上并调水平;
 - c) 台阵中各拾振器间的高差不宜大于 25cm。
- 7.5.7 微动勘探法现场数据采集应符合下列规定:
- a) 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;
 - b) 观测台阵应同步记录数据,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;
 - c) 应该避免在恶劣的天气条件下采集信号;
 - d) 应及时记录采集过程中的干扰情况;
 - e) 应进行微动数据的回放检查,记录数据有效且合格后方可进入下一点工作;
 - f) 现场记录宜包含工程名称、工程地点、台阵形式、台阵参数、测试参数、文件名、测线编号、测点编号、测试时间和环境干扰状况等内容,记录见附录 I。
- 7.5.8 微动勘探法数据质量评价应符合下列规定:
- a) 数据应与原始记录一致;
 - b) 应考虑微动数据在所需频率范围内的信噪比,宜大于 10 dB;
 - c) 对存在持续强震动干扰的数据,应重新采集。
- 7.5.9 微动勘探法的数据处理应符合下列规定:
- a) 宜采用 SPAC 法或 F-K 法,从微动数据中提取出瑞雷波相速度频散曲线,经过频散曲线反演获得台阵下方介质的横波速度,在进行成果解释;
 - b) 宜根据各拾振点的 H/V 曲线和台阵平均 H/V 曲线特征进行病害体的判别和解释。
- 7.5.10 微动勘探法的数据解释应符合下列规定:
- a) 空洞的 H/V 曲线在高频段表现宜为量值大;
 - b) 疏松体的 H/V 曲线在高频段表现宜为量值较大。
- 7.5.11 微动勘探法成果图件包括但不限于测线测点平面布置图、典型时间记录、频散曲线、H/V 曲线及视横波速度剖面或相速度剖面、病害体解释成果图、地下病害体平面分布图等。

7.6 浅层地震法

- 7.6.1 可用于城镇道路地下空洞等病害的探测。
- 7.6.2 应用浅层地震法进行道路地下无损探测时应符合下列规定:
- a) 测区内不应存在较强的振动干扰;
 - b) 病害体与周边介质之间存在明显波阻抗差异,反射系数大于 0.01;
 - c) 病害体的几何尺寸与其埋深或探测距离之比不小于 0.1;
 - d) 宜优先采用地震映像法进行道路地下无损探测。
- 7.6.3 浅层地震法仪器设备的主要技术指标应符合以下规定:
- a) 仪器设备及附件应具备稳定性、一致性,满足不同探测深度和分辨率的要求;
 - b) 应定期进行检查、校准和保养;
 - c) 应采用多通道数字地震仪,仪器放大器通道数不应少于 12 道;
 - d) 仪器放大器的通频带应满足 0.5 Hz~4000 Hz;

- e) 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；
 - f) 仪器动态范围不应小于 120 dB，模数转换（A/D）的位数不宜小于 20 位；
 - g) 应具有频响与幅度一致性的自检功能；
 - h) 应具备剖面滚动采集功能。
- 7.6.4 浅层地震法工作准备应符合下列规定：
- a) 调查测区内不同时间段的干扰波和环境噪声类型、强度等，分析对探测的影响；
 - b) 确定偏移距、激发方式及检波器频率等；
 - c) 试验位置宜选择在测区内地下目标体信息明确的区域；
 - d) 应根据探测深度和精度确定采样间隔和记录长度。
- 7.6.5 浅层地震法工作布置应符合下列规定：
- a) 测线宜平行于道路等间距布设；
 - b) 测线宜布设成直线，受道路弯曲时，测线宜布设成折线，当遇到高架桥、涵洞时，应另起新测线；
 - c) 测点间距宜小于最小目标体地面投影直径的 1/3，测线上反映目标体的测点不应少于 3 个。
- 7.6.6 浅层地震法现场数据采集应符合下列规定：
- a) 检波器应垂直路面安置，与路面耦合良好，不具备安插条件时，可采取橡皮泥、特制胶泥、熟石膏、铁靴等方式实现耦合；
 - b) 各点激发能量宜一致，锤击后，重锤与垫板应立即分开；
 - c) 宜选择振动干扰较小的时段进行现场工作；
 - d) 宜采用叠加的方式提高信噪比；
 - e) 当发现疑似道路地下病害时，应记录位置，必要时加密测点重复观测；
 - f) 采集数据剖面应记录清晰，信噪比应符合数据处理、解释的要求；
 - g) 现场记录宜包含工程名称、工程地点、检波器数量、测试参数、文件名、测线编号、测线位置和环境干扰状况等内容，记录宜符合但不限于本规程附录 H 的规定。
- 7.6.7 浅层地震法数据质量评价应符合下列规定：
- a) 质量检查应采用重复观测方式，检查量不应小于总工作量的 5%；
 - b) 复测记录应无明显变化及异常，反射同相轴无明显位移。
- 7.6.8 浅层地震法数据处理应符合下列规定：
- a) 应剔除坏道数据；
 - b) 宜采用带通滤波，消除环境干扰；
 - c) 可采用小波变换、深度学习、预测反滤波、频率-波数域滤波、速度分析等方法进行处理；
 - d) 宜对地震波反射能量随深度的衰减进行补偿。
- 7.6.9 宜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 21 识别地下病害体。

表 21 地下病害体的地震映像特征

地下病害体	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	同相轴上凸或下凹明显，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	波形结构变换较大，同相轴上凸或下凹较明显，地震波历时延长	频率低于背景场

- 7.6.10 浅层地震法探测成果图包括但不限于地震映像测线平面布置图、地震映像剖面图、地下病害体

平面分布图。

7.7 瞬变电磁法

7.7.1 瞬变电磁法可用于城镇道路地下空洞、疏松体等病害的探测。

7.7.2 瞬变电磁法应根据工作条件和探测任务选择使用重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、大定源回线装置等。

7.7.3 瞬变电磁法使用的仪器主要技术指标应符合下列规定：

- a) 发射动态范围不宜低于 140 dB；
- b) 通道灵敏度应达到 0.5 μV；
- c) 等效输入噪声应小于 1 μV；
- d) 对 50 Hz 工频干扰抑制能力不应小于 60 dB；
- e) 应采用三分量磁探头；
- f) 最大量程应大于 1 mT；
- g) 分辨率应小于 10 pT；
- h) 带宽不应窄于 3 kHz。

7.7.4 瞬变电磁法工作布置应符合下列规定：

- a) 布设激励源宜避开铁路、地下金属管道、高压线、变压器、输电线等，敷设线框时的剩余导线不宜过长，并应呈“之”字形铺于地面并应远离测区，发射线框与接收线框的间距宜通过实地试验选择；
- b) 接地线源长度应视探测深度和观测的信号强度确定；回线发射的线框边长 L、宜根据其最大发射电流强度 I、探测深度 h 的关系按公式 (23) 计算：

$$h = 0.55 \left(\frac{L^2 I \rho_{s1}}{\eta} \right)^{1/5} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

- h——中心回线装置估算极限探测深度 (m)；
- L——发射回线线框边长 (m)；
- I——发射电流强度 (A)；
- ρ_{s1} ——上覆地层电阻率 ($\Omega \cdot m$)；
- η ——最小可分辨电平 (dB)，按公式 (24) 计算：

$$\eta = R_m N \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- R_m ——最低限度的信噪比；
- N——噪声电平 (dB)。

- c) 布设精测剖面时，应垂直于异常走向且通过异常中心，且宜与测线重合，剖面长度应覆盖异常范围，点距大小应能够完整反映异常细节。

7.7.5 瞬变电磁法数据采集应符合下列规定：

- a) 时窗大小等观测参数应通过试验确定；
- b) 应进行工作装置、发射线圈边长、发射电流强度和接收线圈匝数的试验；
- c) 现场观测值应在噪声电平以上；
- d) 应在测区内均匀布置干扰水平观测点，并根据观测结果对全区按强、中、弱三级分区；
- e) 应根据测点上的干扰数据选择叠加次数；
- f) 当曲线出现畸变时，应查明原因后重复观测，或加密测点，并做详细记录；

- g) 每个测点观测完毕，应对数据或曲线进行检查，确认合格后方可搬站。
- 7.7.6 瞬变电磁法质量检查与评价应符合下列规定：
- 系统的质量检查应在相同点位、不同时间、重新布设线框独立进行，并应根据质量检查结果绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线；
 - 单个测点的观测、重复观测和检查观测曲线的形态和幅值应一致，且各观测道的最大均方相对误差不应大于 10%；
 - 一条测线或测区检查的最大均方相对误差不应大于 15%。
- 7.7.7 瞬变电磁法资料处理与解释应符合下列规定：
- 可对数据进行滤波处理和发射电流切断时间影响的改正处理；
 - 应计算和绘制视电阻率、视纵向电导断面图，也可计算视时间常数等；
 - 应根据响应时间特征和断面曲线类型划分背景场及异常场，确定地电模型和异常；
 - 应根据观测资料处理结果进行定性解释和异常的半定量、定量解释，编制平面剖面地质解释图。
- 7.7.8 瞬变电磁法道路地下病害体典型识别特征宜按表 22 所示进行识别。

表 22 瞬变电磁法探测地下病害体典型识别特征

道路地下病害体	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，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

7.7.9 瞬变电磁法成果图宜包括瞬变电磁测线平面布置图、多测道剖面曲线图，视电阻率拟断面图和地下病害体平面分布图。

7.8 道路地下综合物探法

7.8.1 城镇道路地下综合物探法可用于道路地下管道(廊)及地下建(构)筑物及地下软弱夹层，断层、破碎带，地下孤石岩溶等不良地质体病害的探测。

7.8.2 城镇道路地下综合探测应符合下列规定：

- 测区道路下方存在已知病害体或不良地质体，需要进一步查明的情况；
- 测区道路地下存在过塌陷、检修的情况。

7.8.3 城镇道路地下综合物探法包括但不限于探地雷法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、浅层地震法、瞬变电磁法等，当探测目标埋深大、地质条件复杂时，宜采用多种方法结合探测。

7.8.4 城镇道路地下管道(廊)、大埋深暗涵的探测应符合下列规定：

- 宜优先选择探地雷法和瞬变电磁法，相关检测应符合本文件 7.2 节和 7.7 节内容规定；
- 测线布置应规避周围电磁信号强、干扰性大的道路，或增加微动勘探和浅层地震等方法；
- 资料解释应结合不同物探方法综合分析，条件允许的情况下，还应结合城镇管网资料分析和核实。

7.8.5 城镇道路地下不良地质体的探测应符合下列规定：

- 城镇道路地下不良地质体包括但不限于软弱夹层，断层、破碎带，地下孤石，岩溶、溶洞等；
- 宜优先选择高密度电阻率法和微动勘探法，相关检测应符合本文件 7.3 节和 7.5 节内容规定；
- 高密度电阻率法的电极应插进路面下，且保证接地良好；

- d) 资料解释应结合不同物探方法综合分析, 条件允许的情况下, 还应结合地质资料、钻孔资料分析和核实。

7.8.6 道路地下管道(廊)及地下建(构)筑物及不良地质体病害典型识别特征宜按表 23 所示进行识别。

表 23 探测地下不良体典型识别特征

道路地下不良体	探地雷达法	高密度电阻率法	微动勘探法	浅层地震法
地下管线(廊)及地下构筑物	剖面上反射波组表现为倒悬双曲线形态, 强振幅。	对排水管道、金属管道表现为相对低阻异常 对 PVC 管、暗涵等表现相对高阻异常。	对排水管道、金属管道表现为相对低速异常。	剖面上表现同相轴不连续, 波形绕射明显。
软弱夹层, 断层、破碎带	剖面上绕射波明显, 同相轴不连续	表现为相对低阻异常。	表现视为相对低速异常	剖面上同相轴错断, 内部波形杂乱。
地下孤石、岩溶	二次场幅值大, 衰减慢。	孤石表现为相对高阻异常; 岩溶表现为相对低阻异常。	岩溶表现为低速异常; 地下孤石表现相对高速异常;	剖面上绕射波较明显, 强振幅, 伴随多次波。

7.8.7 技术状况评价道路地下综合探测成果图包括但不限于综合探测平面布置图、物探综合成果图、地下病害体平面分布图等。

7.9 城镇道路塌陷风险评估

7.9.1 一般规定

7.9.1.1 用于湖北省城镇道路主管部门管养的市政道路。

7.9.1.2 城镇道路塌陷风险评估工作应结合既有的岩土工程、市政设施、水文气象、已发生塌陷记录等资料开展。

7.9.1.3 应根据“总体到局部、一般到重点、定性到定量”的总体原则, 开展城市道路塌陷风险评估工作。

7.9.1.4 城镇道路塌陷风险评估应采用总体风险评估和专项风险评估相结合的方式, 根据总体风险评估结果, 进行塌陷隐患探测和专项风险评估。

7.9.1.5 城镇道路塌陷风险评估工作宜按照表 1 和 5.3~5.5 定期开展。

7.9.1.6 当遇到下列情况时, 应及时进行专项评估:

当道路发生严重变形或塌陷事故、地下给排水管线发生变形或破损渗漏时;

地铁、非开挖管道铺设等地下工程施工路段;

其他存在塌陷潜在安全风险的路段。

7.9.1.7 各级城镇道路养护管理单位应严格把控城镇道路塌陷风险评估工作实施单位的实力水平, 设置必要的资质要求和准入门槛, 实施单位应具备检验检测机构资质(CMA)或工程勘察资质, 选择专业性强、检测设备齐全、技术人员经验丰富的企事业单位, 确保道路塌陷风险评估工作的质量和效果。

7.9.2 总体风险评估

7.9.2.1 总体风险评估宜以区(县)直管道路为评估对象, 每公里道路为一评估单元, 根据道路工程的地质环境条件、气象条件、地下管线情况、在建工程活动情况、道路周边建构筑物 and 人员分布情况、

历史塌陷情况及人为抵御塌陷风险能力等孕险环境与致险因子，评估道路塌陷整体风险，估测其安全风险等级。评估结果可确定道路塌陷隐患探测的具体路段。

7.9.2.2 总体风险评估的依据主要有地质勘察报告、道路地下病害检测、施工图设计文件、道路地下管线图、评估人员的现场调查资料及行业标准、规范等。

7.9.2.3 总体风险评估可采用指标体系法。

a) 将影响城市道路塌陷的风险要素分为两大类，在指标分类的基础上，提出评估指标：

危险性要素包含：地质环境条件、气象条件和人为地质动力活动；

易损性要素包含：社会易损性因素、物质易损性因素和人为抵御风险能力。

b) 将各评估指标按重要性从高到低顺序进行排序，可采用权重系数对各评估指标重要性进行区分。权重系数应综合运用多种方法进行确定，推荐“按评估指标重要性排序确定权重取值”的方法，计算公式如式（25）所示。

$$S = \frac{2n-2m+1}{n^2} \quad (25)$$

式中：

S ——权重系数；

n ——评估指标（重要指标）项数；

m ——重要性排序号， $m \leq n$ 。

7.9.2.4 指标体系法的总体风险评估的工作流程见图（4）。



图4 指标体系法的总体风险评估的工作流程

7.9.2.5 根据各指标的具体情况建立评估指标体系，主要分为危险性要素、易损性要素两大类。在对具体道路进行评估时表24～表25所列12个指标不一定全部参与评估，可选取比较重要的指标进行排序。

表 24 城镇道路塌陷总体风险评估指标体系—危险性要素

分类	评估指标	分级	基本分值 (R _{ij})		权重系数	评估分值	
			分值范围	取值			
地质环境条件		松散填土、粉土和砂土；软土	90~100	R1	S1	X1=R1*S1	
		中密填土、粉土和砂土；松散卵（碎）砾石；粘性土	70~90				
		密实填土、粉土和砂土	50~70				
		中密~密实碎石土	20~50				
气象条件	年降雨量	>1200mm	100	R2	S2	X2=R2*S2	
		1000~1200mm	90~100				
		800~1000mm	80~90				
		<800mm	60~80				
人为地质动力活动	地下管线	管线脆弱性	混凝土、砌体方沟、石棉水泥、陶罐等易损材质	90~100	R3	S3	X3=R3*S3
			塑料等强度较小材料	70~90			
			铸铁等可靠性较低材料	50~70			
			钢管等可靠性较高材料	20~50			
	服役年限	>20年	90~100	R4	S4	X4=R4*S4	
		10~20年	70~90				
		5~10年	50~70				
		<5年	20~50				
	在建工程活动		地下轨道施工	90~100	R5	S5	X5=R5*S5
			深基坑施工	70~90			
			顶管施工	50~70			
			其它工程活动	20~50			

表 25 城镇道路塌陷总体风险评估指标体系—易损性要素

分类	评估指标	分级	基本分值 (R _{ij})		权重系数	评估分值	
			分值范围	取值			
易损性要素	社会易损性	人员密集程度	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 50m 内有公交车站、地铁站等；3、所在道路车流、人流量大	70~100	R6	S6	X6=R6*S6
			周边 100m 有中小型商场（超市）、办公场所、居民楼等人员较多的场所	50~70			
			其它情况	0~10			

表 25 城镇道路塌陷总体风险评估指标体系—易损性要素（续）

分类	评估指标	分级	基本分值 (R _{ij})		权重 系数	评估分值		
			分值范围	取值				
易损性要素	社会易损性	财产密度	周边 100m 有金融机构（含银行）、大型商场、企业总部、危险化学品设施等财产密集或危险性极大的场所	80~100	R7	S7	X7=R7*S7	
			不属于上述情况，但周边 100m 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高的场所	60~80				
			不属于上述两种情况，但周边 100m 有民房、危险性较低设施等财产密度较少	30~60				
			周边 100m 有较少的财产	10~30				
	社会影响		周边 200m 范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：国家、省市级标志性建筑；领事馆；国家党政军重要办公场所；著名景点、商场等标志性场所。	80~100	R8	S8	X8=R8*S8	
			周边 200-500m 范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：国家、省市级标志性建筑；领事馆；国家党政军重要办公场所；著名景点、商场等标志性场所	60~80				
			其它情况	30-60				
	物质易损性	设施易损性		具有以下情况之一：道路范围内有燃气或工业（介质危险性较大）管线；道路范围内有高层建筑、地铁、地下建筑等重要设施或建筑	90~100	R9	S9	X9=R9*S9
				具有以下情况之一：道路范围内有热力或工业（介质危险性较小，如惰性气体）管线；道路范围内有 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			
		道路易损性		近 5 年 1 公里道路内发生 5 次以上塌陷	80~100	R10	S10	X10=R10*S10
				近 5 年 1 公里道路内发生 3-5 次塌陷	60~80			
				近 5 年 1 公里道路内发生 1-2 次塌陷	30~60			
				近 5 年 1 公里道路内未发生塌陷	10~30			
	人为抵御风险能力	日常管理能力	D 级	80~100	R11	S11	X11=R11*S11	
C 级			60~80					
B 级			40~60					
A 级			0~40					
应急处置水平			D 级	80~100	R12	S12	X12=R12*S12	
			C 级	60~80				
			B 级	40~60				
			A 级	0~40				

7.9.2.6 城镇道路塌陷总体风险按式(26)、式(27)计算确定:

$$F = \sum X_{ij} \tag{26}$$

$$X_{ij} = R_{ij} * S_{i j} \tag{27}$$

式中:

X_{ij} ——评估指标的分值, $i=1, 2, 3, 4, 5$; $j=1, 2, \dots, n$ 。n为对应第i类评估指标包括重要指标的数量。

7.9.2.7 计算得出F值后, 对照表26确定道路塌陷总体风险等级。

表 26 道路塌陷总体风险分级标准

风险等级	F
等级IV (极高风险)	$F > 60$
等级III (高度风险)	$45 < F \leq 60$
等级II (中度风险)	$30 < F \leq 45$
等级I (低度风险)	$F \leq 30$
根据评估路段风险情况, 结合不同地区的经验, 可对表26的数值区间进行适当调整。	

7.9.3 专项风险评估

7.9.3.1 专项风险评估是在道路塌陷隐患探测基础上, 以单个塌陷隐患为评价对象, 结合周边环境信息, 确定其风险等级, 提出风险控制对策。

7.9.3.2 专项风险评估工作应包括风险发生可能性评价、风险后果评价及风险等级评定。

7.9.3.3 风险发生可能性和风险后果评价宜采用指标体系法, 专项风险评估等级评定宜采用风险矩阵法。

7.9.3.4 风险评估指标及权重应综合考虑道路塌陷隐患特征、地质环境、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。

7.9.3.5 道路塌陷隐患风险发生可能性评价应符合下列规定:

- a) 参与评价的指标应包括道路塌陷隐患、临近设施和环境因素指标, 并宜按表 27 建立指标体系;
- b) 各地市应根据其地方特点、经验确定指标权重。

表 27 道路塌陷隐患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	地下病害体面积 P_{A1}	$S \geq 15m^2$ (IV级病害)	90~100
		$10 \leq S < 15m^2$ (III级病害)	70~90
		$3 \leq S < 10m^2$ (II级病害)	50~70
		$S < 2m^2$ (I级病害)	20~50
	地下病害体类型 P_{A2}	空洞或脱空	100
		富水体	90~100
		严重疏松体	80~90

表27 道路塌陷隐患风险发生可能性指标体系（续）

一级指标	二级指标		评价指标取值	
			评价依据	取值范围
			一般疏松体	60~80
邻近设施 P_B	道路下方病害 覆跨比 P_{B1}	覆跨比 P_{B11}	$0 < r \leq 0.5$	90~100
			$0.5 < r \leq 1$	70~90
			$1 < r \leq 3$	40~70
			$R > 3$	0~40
		道路现状 P_{B12}	路面存在明显变形、沉陷等	90~100
			路面存在明显裂缝、坑槽等	80~90
			路面龟裂、轻微变形	70~80
			路面完好	60~70
	地下管线 P_{B2}	病害体与管线的相对位置 P_{B21}	1 管线 $<1m$, 管线上、下 1m 范围内	90~100
			1 管线 $<1m$, 管线下方 1~3m	80~90
			1m <1 管线 $<3m$, 管线下方 1~3m	70~80
			1m <1 管线 $<3m$, 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、砌体方沟、石棉水泥、陶罐等易损材质, 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}	$n \geq 30$ 年
		$5 \leq n < 30$ 年	70~90	
		$N < 5$ 年	50~70	
	地下构筑物(非管线) P_{B3}	R 地下构筑物 $\leq 1m$	90~100	
		$1m < R$ 地下构筑物 $\leq 2m$	70~90	
		$2m < R$ 地下构筑物 $\leq 3m$	40~70	
		R 地下构筑物 $> 3m$	0~40	
地面设施 P_{B4}	R 地面设施 $\leq 1m$	90~100		
	$1m < R$ 地面设施 $\leq 2m$	70~90		
	$2m < R$ 地面设施 $\leq 3m$	40~70		
	R 地面设施 $> 3m$	0~40		
环境因素 P_C	岩土体条件 P_{C1}	松散填土、粉土和砂土	80~100	
		中密填土、粉土和砂土; 松散卵(碎)砾石; 粘性土	60~80	
		密实填土、粉土和砂土	30~60	
		中密~密实碎石土	0~30	
	施工干扰 P_{C2}	$L \leq 5m$	80~100	
		$5 < L \leq 10m$	50~80	
		$L > 10m$	0~50	

表27 道路塌陷隐患风险发生可能性指标体系（续）

一级指标	二级指标	评价指标取值	
		评价依据	取值范围
	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、广场等	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 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
地下构筑物包括但不限于地铁、地下隧道、地下防空洞等。			

7.9.3.6 风险发生可能性 P 宜按下式 (28)、(29) 计算。

$$P = W_A P_A + W_B P_B + W_C P_C \dots\dots\dots (28)$$

$$W_A + W_B + W_C = 1 \dots\dots\dots (29)$$

式中：

W_A ——塌陷隐患属性指标权重，可取 0.4~0.6；

P_A ——塌陷隐患属性指标；

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 ——设环境因素指标权重，可取 0.1~0.2；

P_C ——环境因素指标。

7.9.3.7 塌陷隐患属性指标 P_A 宜按式 (30) 计算。

$$P_A = 0.7P_{A1} + 0.3P_{A2} \dots\dots\dots (30)$$

式中：

P_{A1} ——塌陷隐患规模指标；

P_{A2} ——塌陷隐患类型指标。

7.9.3.8 邻近设施指标 P_B 宜按式 (31) 计算。

$$P_B = \max_j(P_{Bj}) + 0.1(\sum_{j=1}^4 P_{Bj} - \max_j(P_{Bj})), j = 1, 2, 3, 4 \dots\dots\dots (31)$$

式中：

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

j ——数学标注符号，式中 j 取 1, 2, 3, 4；

P_B ——按下列方式取值：

a) 道路风险发生可能性 P_{B1} 综合考虑覆跨比和道路现状系数，按式 (32) 计算。

$$P_{B1} = 0.8P_{B11} + 0.2P_{B12} \dots\dots\dots (32)$$

式中：

P_{B11} ——覆跨比指标；

P_{B12} ——道路现状指标。

b) 地下管线风险可能性 P_{B2} 综合考虑管线位置、管线属性和服役年限，按下式 (33) 计算。

$$P_{B2} = 0.5P_{B21} + 0.4P_{B22} + 0.1P_{B23} \dots\dots\dots (33)$$

式中：

P_{B21} ——塌陷隐患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。

7.9.3.9 环境因素指标宜按下式计算。

$$P_C = W_{C1}P_{C1} + W_{C2}P_{C2} + W_{C3}P_{C3} + W_{C4}P_{C4} \quad (34)$$

$$W_{C1} + W_{C2} + W_{C3} + W_{C4} = 1 \quad (35)$$

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 0.05~0.10；

P_{C4} ——水环境条件指标。

7.9.3.10 道路塌陷风险发生可能性宜根据评价结果按表 28 规定分为 4 个等级。

表 28 塌陷隐患风险发生可能性等级

级别	风险值 (P)	说明
A	0~30	近期发生可能性小，远期可能会发生
B	30~60	近期发生可能性较小，远期发生可能性较大
C	60~90	近期发生可能性较大
D	90~100	近期发生可能性极大

7.9.3.11 城镇道路塌陷隐患风险后果评价的指标宜按表 29 取值。

表 29 塌陷隐患风险后果评价表

评价指标取值 (C)	评价指标取值	
	评价依据	取值范围
塌陷隐患范围 C1	$S \geq 15 \text{ m}^2$	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
设施危险性 C2	具有以下情况之一：道路范围内有燃气或工业（介质危险性较大）管线；道路范围内有高层建筑、地铁、地下建筑等重要设施或建筑	90~100
	具有以下情况之一：道路范围内有热力或工业（介质危险性较小，如惰性气体）管线；道路范围内有 7 层以下建筑、民房、防空洞等建筑。	70~90
	范围内有给水、排水或高压电力管线	50~70

表29 塌陷隐患风险后果评价表（续）

评价指标取值（C）	评价指标取值	
	评价依据	取值范围
	范围内有电信管线或其他设施	10~30
人员密集程度C3	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50m内有公交车站、地铁站等；3、所在道路车流、人流量大。	70~100
	1、周边100m有中小型商场（超市）、办公场所、居民楼等人员较多的场所；2、塌陷隐患所在道路车流量、人流量较大。	50~70
	其它情况	0~10
财产密度C4	周边100m有金融机构（含银行）、大型商场、企业总部、危险化学品设施等财产密集或危险性极大的场所	80~100
	不属于上述情况，但周边100m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高的场所	60~80
	不属于上述两种情况，但周边100m有民房、危险性较低设施等财产密度较少	30~60
	周边100m有较少的财产	10~30
	处于偏远区域，周边100m内为草地、农田、荒山等财产密度较低或极低的情况	0~10
社会影响C5	周边200m范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：国家、省市级标志性建筑；领事馆；国家党政军重要办公场所；著名景点、商场等标志性场所。	80~100
	周边200m~500m范围内有重要场所，包括但不限于下列情况：国家、省市级标志性建筑；领事馆；国家党政军重要办公场所；著名景点、商场等标志性场所。	60~80
	其它情况	30~60

7.9.3.12 风险后果 C 宜按式（36）计算。

$$C = W_1C_1 + W_2C_2 + W_3C_3 + W_4C_4 + W_5C_5 \quad (36)$$

$$\sum_{i=1}^5 W_i = 1 \quad (37)$$

式中：

- W₁——塌陷隐患范围指标权重，可取 0.3~0.4；
- C₁——塌陷隐患范围指标；
- W₂——设施危险性指标权重，可取 0.2~0.3；
- C₂——设施危险性指标；
- W₃——人员密集程度指标权重，可取 0.15~0.25；
- C₃——人员密集程度指标；
- W₄——财产密集程度指标权重，可取 0.05~0.15；
- C₄——财产密集程度指标；
- W₅——社会影响指标权重，可取 0.05~0.15；
- C₅——社会影响指标。

7.9.3.13 城镇道路塌陷隐患风险后果宜按表 30 划分为 4 个等级。

表 30 城市塌陷隐患风险后果等级

级别	对应分值	说明
1	0~25	后果影响较小
2	25~50	后果影响一般
3	50~75	后果影响较严重
4	75~100	后果影响很严重

7.9.3.14 应根据城市道路塌陷隐患风险发生可能性与风险后果判定结果，通过风险矩阵，按表 31 将塌陷隐患风险等级划分为 I（低）、II（一般）、III（较高）、IV（极高）四个等级。

表 31 城市塌陷隐患风险等级划分表

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

7.9.3.15 根据城镇道路塌陷隐患风险等级，制定相应的控制对策，预防道路发生塌陷，防治措施可按表 32 执行。

表 32 城镇道路塌陷隐患不同风险等级对应的处置措施

风险级	处置措施	分级管控	风险说明
I级 (低)	不建议立即处置。宜开展日常巡视，定期巡检，并按照相关养护规范正常养护。	1、日常巡视、检查、养护。	B 1、道路病害体规模小、以疏松、富水体为主，周围建构筑物少，人流量小； C 2、塌陷隐患近期发生可能性很小，远期可能
II级 (一般)	建议纳入处置治理清单。宜开展日常巡视，定期巡检，并按照相关养护规范正常养护，若远期检测结果恶化，可升级风险级别。	1、日常巡视、检查、养护； 2、监控预警； 3、作好整治准备。	1、道路病害体规模一般、以严重疏松、小范围脱空为主，周围有小部分建构筑物，人流量一般； 2、塌陷隐患近期发生可能性较小，远期发生可能性较大。
III级 (较高)	宜开展专项处置治理，整治结束后1月内进行复检，排除塌陷隐患。	部分专项整治	1、道路病害体规模较大、以大范围脱空、一般空洞为主，周围有较多构筑物，人流量较大； 2、塌陷隐患近期发生可能性较大。
IV级 (极高)	应立即处置，设置风险路段警示，开展全面整治措施，整治结束后1月内进行复检，排除塌陷隐患。	全面专项整治	1、道路病害体规模极大、以大范围空洞主，周围建构筑物密集，人流量极高； 2、塌陷隐患近期发生可能性极大。
注：除执行上表措施外，对于应急管控路段，举办重要活动、赛事路段，专项整治路段应按照相关管理部门要求执行。			

8 成果编制及信息化管理

8.1 一般规定

- 8.1.1 探测到的国防光缆、人防等保密设施信息应进行保密管理，确保涉密数据的安全。
- 8.1.2 涉密数据使用与管理应参照国家现行有关法律法规执行。
- 8.1.3 探测单位应具备涉密信息、涉密载体的保密能力。

8.2 成果编制

- 8.2.1 城镇道路无损检测成果应编制成果报告。
- 8.2.2 成果报告应内容全面、文字简练、结论明确、建议清晰、图表齐全。
- 8.2.3 成果报告应包括下列内容：
 - a) 项目概况；
 - b) 技术依据；
 - c) 地质环境分析；
 - d) 资料收集；
 - e) 工作方法；
 - f) 仪器设备；
 - g) 数据采集；
 - h) 数据处理与解译；
 - i) 主要成果分析；
 - j) 道路安全评估；
 - k) 结论与建议；
 - l) 成果图件。
- 8.2.4 成果报告的插图、插表宜包括方法原理图、典型曲线图、典型剖面图、对比分析图、工作量表、物性参数表、仪器技术参数表、成果解释列表和探测数据列表。
- 8.2.5 成果图件应符合下列规定：
 - a) 成果图件应清晰直观，层次清楚，说明性信息齐全；
 - b) 成果图件应包括工作现场布设图、地下病害体平面分布图、成果解释剖面图及原始数据；
 - c) 绘图比例尺应保证地下病害体在图件上得到清晰的展布；
 - d) 工作布设图和平面分布图应根据探测方法采用统一的编号、颜色和图例编制，图上应标明测线、测点、验证点、剖面起止点的平面位置和编号；
 - e) 连续测线应在测线的起止点、转折点、地形突变点以及其他重要的点位设置测线特征点，没有特征点的长测线宜设置测点标记；
 - f) 验证工作布设点位应按规定的代号、颜色和图例绘制标识；
 - g) 平面分布图宜在工作布设图上编制，并根据地下病害体类型采用统一的编号、颜色和图例编制，编制内容应包括地下空间编号、位置、范围和类型；
 - h) 成果解释剖面图编号宜沿用工作布设图中的测线编号，用“—”连接表示，并清晰表示地下病害体空间位置、形态及类型，同时宜包括验证点（孔）的位置及编号。
- 8.2.6 当采用多种探测方法完成一个探测项目时，应对所获取的资料综合分析，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。

8.3 数字信息化管理

- 8.3.1 数字信息化管理应包括探测数据管理、成果数字化管理和智能化应用等内容。
- 8.3.2 探测数据应包括路面情况及地下空间位置、编号、属性、影像资料、成因分析等。
- 8.3.3 数字化平台的数据库应根据周期性探测和工程处理资料及时更新，并应保留历史数据。

地方标准信息服务平台

附录 A
(资料性)

城镇道路无损检测范围及方法适用性表

表A.1给出了城镇道路无损检测范围及方法适用性。

表A.1 城镇道路无损检测范围及方法适用性表

被测目标		检测方法								
		落锤法	高密度电阻率法	探地雷达法	图像法	地震反射波法	面波法	瞬变电磁法	微动勘探法	激光探测仪法
路面结构层	道路破损				●					●
	抗滑性能									●
	平整度									●
	车辙深度									●
	裂缝深度		○	●			○			
	传荷能力	●								
	板底脱空	●								
	弯沉值	●								
	压实度						●			
	道路分层厚度			●			○			
路面结构层以下	空洞		●	●		●	●	●	●	
	脱空			●		○				
	孤石			○		●	○	○		
	富水体		●	●				●		
	疏松体		○	●		○	●	○	●	

注：●推荐方法；○可选

附 录 B
(资料性)
常见岩土物性参数

表B.1给出了常见岩土物性参数。

表B.1 常见岩土物性参数表

类别	名称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot m$)	纵波速度 v_p (m/s)	横波速度 v_s (m/s)	密度/ (g/cm^3)	相对介 电常数 ϵ_r	电磁波速 度/ (m/ns)
第四系 松散层	黏土	$1 \times 10^1 \sim 2 \times 10^2$	500~1800	100~400	1.75~2.1	8~12	0.06
	粉土	$1 \times 10 \sim 2 \times 10^2$	300~900	100~300	1.95~2.1	-	-
	干砂	$1 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$	200~800	100~500	1.7~2.4	3~5	0.15
	湿砂	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$	1500~2500	-	1.7~2.5	-	-
	卵石	$3 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$	1500~2500	-	1.7~2.4	-	-
	砾石	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$	800~2500	-	-	-	-
沉积 岩	页岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$	1300~4000	500~2300	1.8~2.7	7	0.09
	泥岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$	1800~3800	700~2200	1.2~2.4	15~20	-
	砂岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$	2200~4400	900~2300	1.2~2.7	9~11	-
	砾岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$	2500~4000	1100~2300	2.2~3.1	-	-
	石灰岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$	2500~6100	1100~3500	2.6~3.1	4~8	0.12
	泥灰岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$	2000~4400	800~2500	2.3~2.5	-	-
	白云岩	$1 \times 10^2 \sim 4 \times 10^3$	2500~5500	1100~3200	2.6~3.1	8	-
	煤	$1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$	2500~3500	-	1.1~1.3	-	-
	硬石膏	$1 \times 10^4 \sim 10^6$	2100~4500	1300~2800	2.4~2.6	-	-
	岩盐	$1 \times 10^4 \sim 10^6$	4200~5500	-	-	1	0.13
变质 岩	片岩	$2 \times 10^2 \sim 10^3$	4500~5500	2500~3200	2.7~2.9	-	-
	片麻岩	$1 \times 10^2 \sim 10^4$	4500~6000	2500~3200	2.65~2.8	8.5	-
	大理岩	$1 \times 10^2 \sim 10^4$	4500~5500	2500~3200	2.68~2.7	6	-
	石英岩	$1 \times 10^3 \sim 10^4$	5000~6000	2800~3400	2.65~2.75	0.07	1~100
	板岩	$1 \times 10^1 \sim 10^3$	3600~4500	2100~2600	2.31~2.75	-	-
	大理岩	$1 \times 10^2 \sim 10^4$	4500~5500	2500~3200	2.68~2.72	6	-
岩浆 岩	花岗岩	$6 \times 10^2 \sim 10^5$	4500~6500	2400~3800	2.3~2.96	0.13	4~6
	正长岩	$1 \times 10^2 \sim 10^5$	5000~6500	2500~3800	2.1~2.85	-	-
	闪长岩	$1 \times 10^2 \sim 10^5$	5700~6400	2800~3800	2.52~2.70	-	-
	辉长岩	$1 \times 10^2 \sim 10^5$	5300~6500	3200~4000	2.55~2.98	-	-
	玄武岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	4500~7500	3000~4500	2.53~3.3	4~6	-
	辉绿岩	$2 \times 10^2 \sim 10^5$	3000~6000	1500~3400	2.7~2.9	-	-
	凝灰岩	$1 \times 10^0 \sim 10^4$	2600~6200	1300~3500	2.5~3.1	6~8	-
其他	空气	-	-	-	-	0.3	1
	淡水	-	-	-	1	0.033	81
	海水	$5 \times 10^{-1} \sim 10^0$	-	-	-	0.1	81
	地下水	$1 \times 10^0 \sim 10^2$	1400~1600	-	1	-	-
	岩溶水	$1.5 \times 10^0 \sim 3 \times 10^1$	-	-	1	-	-
	冰	$1 \times 10^4 \sim 10^8$	3100~3700	-	0.8~0.9	0.16	3~4
	混凝土	-	2000~4500	1200~2700	2.4~2.7	6~8	-

附 录 C
(资料性)
板底脱空检测成果

表C.1给出了板底脱空检测成果表。

表C.1 板底脱空检测成果表

编号	病害类型	病害等级	病害深度/cm		病害面积/m ²	坐标	位置描述
			顶部埋深/cm	净空/cm			
位置描述							
地质雷达剖面图1-1				地质雷达剖面图1-2			
病害探测工作照				地理位置图			

单位（公章）：

批准：

复核：

试验：

地方标准信息服务平台

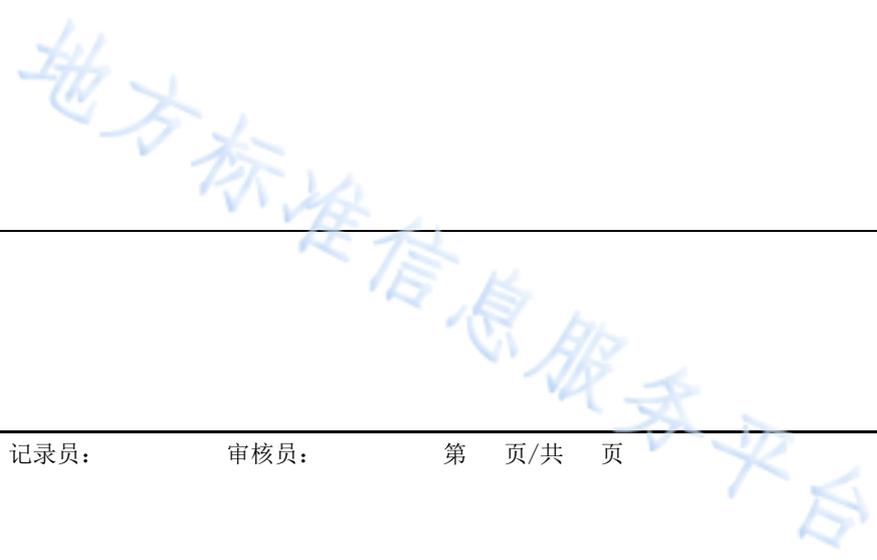
附 录 D
(资料性)
探地雷达法现场探测记录表

探地雷达法现场探测记录见表D.1。

表D.1 探地雷达法现场探测记录表

项目名称： 项目地点： 日期： 天气：

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

文件名	测线位置描述	测线长度(m)	道路分层厚度	标准差	代表值	备注
现场草图						
说明						

操作员： 记录员： 审核员： 第 页/共 页

附录 E
(资料性)

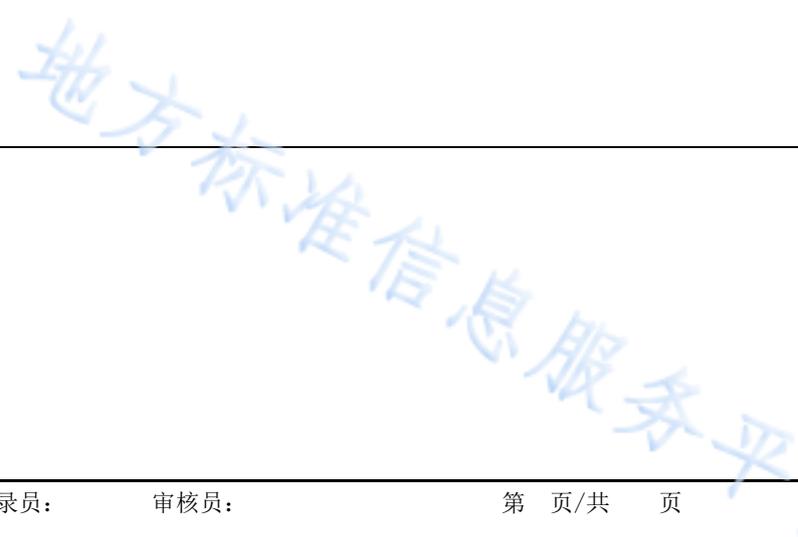
瞬态面波法现场探测记录表

瞬态面波法现场探测记录见表E.1。

表E.1 瞬态面波法现场探测记录表

项目名称： 项目地点： 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					

测试员： 记录员： 审核员： 第 ____ 页/共 ____ 页

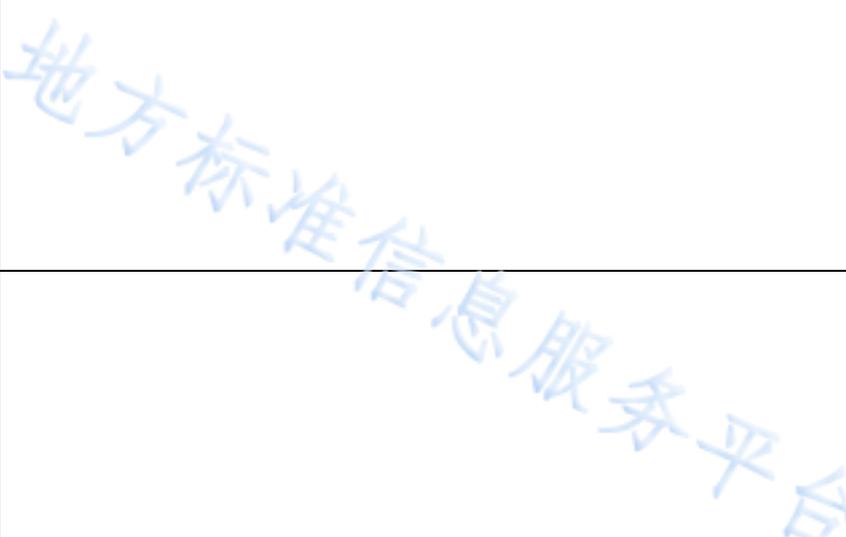
附录 G
(资料性)

瞬变电磁法现场检测记录表

瞬变电磁法现场检测记录见表G.1。

表G.1 瞬变电磁法现场检测记录表

项目名称： 项目地点： 日期： 天气：
 发射框边长 (m)： 发生电流 (A)： 发射频率 (Hz)：
 接收框面积 (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			

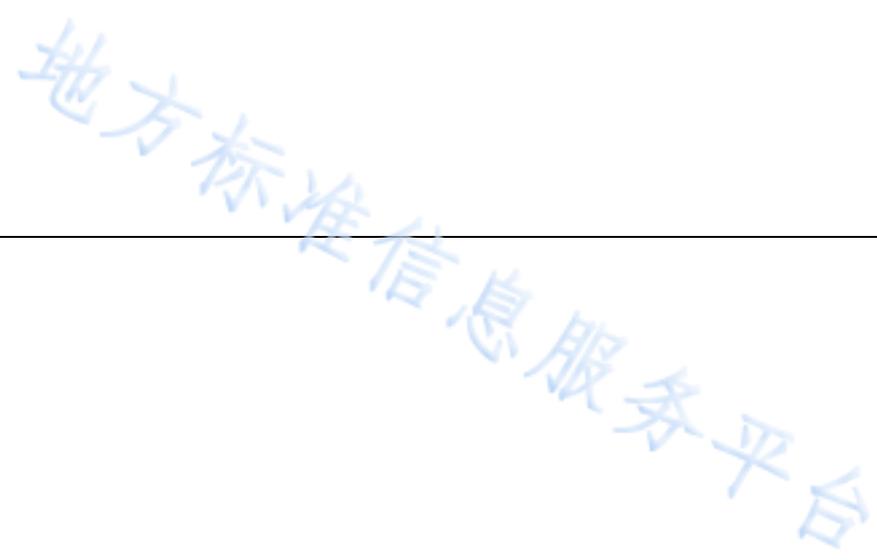
操作员： 记录员： 复核员： 第 页/共 页

附 录 H
(资料性)
地震映像法现场检测记录表

地震映像法现场检测记录见表H.1。

表H.1 地震映像法现场检测记录表

项目名称： 项目地点： 日期： 天气：
 仪器型号/编号： 检波器主频 (Hz)：
 记录检波器数量： 道间距：
 偏移距 (m)： 采样点数： 采样间隔 (ms)：

序号	测点编号	测线位置	检波点位置	测线方向	备注
现场草图					
说明					

测试员： 记录员： 复核员： 第 页/共 页

附录 I
(资料性)

微动勘探法现场检测记录表

微动勘探法现场检测记录见表I.1。

表I.1 微动勘探法现场检测记录表

项目名称： 项目地点： 日期： 天气：
 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
现场草图		地方标准信息服务平台						
说明								

测试员： 记录员： 复核员： 第 页/共 页

城镇道路无损检测应用技术规程

条文说明

地方标准信息服务平台

编制说明

《城镇道路无损检测应用技术规程》（DB /T 2132-2021）。本规程在制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了湖北省内城镇道路检测与探测的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，对本规程内容的反复讨论、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规程时能正确理解和执行条文规定，《城镇道路无损检测应用技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，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。

地方标准信息服务平台

1 范围

本规程规定了城镇道路无损检测、检测方法，为设计、施工验收及运行维护提供可靠依据，使城镇道路无损检测工作满足操作规范、技术先进、数据准确、正确评价的要求。

本规程适用于湖北省行政区域内城镇道路路面以下30m内的检测工作。本规程不适用于城市桥梁、隧道、涵洞等构筑物的检测。城镇道路无损检测工作除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和湖北省现行有关标准的规定。

本规程中，探测与检测的范围主要包括城镇道路路面、路基、道路结构层、自然地质体等静态存在于路面以下30m内自然形成的目标体。

本规程编制的目的，是通过对城镇道路建设进行定期健康检测与探测，精准把握城镇道路的安全运行状况，为设计、施工验收及运行维护提供可靠依据，同时为合理开发利用城市地下空间，优化城市空间结构和管理格局，提升优化城镇化质量，具有重要意义。

5 城镇道路路面无损检测

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了城镇道路路面无损检测的情形：

1 道路刨铣罩面等中小修施工深度较浅，一般不能触及到路面以下目标体。因此，在道路刨铣罩面等工程施工前探测地下目标体，并在铺设新路面之前处置隐患，可有效地提高道路质量、减少重复施工。

5 城镇道路路面检测目标形成和发展具有随机性和动态变化特征，因此，日常管理中有计划地周期性进行地下病害体探测十分必要。周期性探测能够及时发现目标隐患、监控其动态发育特征，能有效降低其引发的路面塌陷事故。

5.1.4 本条规定了无损检测准备工作中收集资料应注意的情况：

1 准备工作中收集的测区路面塌陷、沉降和地裂缝等资料期限建议为近2年。

5.4 平整度

5.4.1 激光平整度检测值与精密水准仪检测值的相关性检定可以按以下步骤进行：

1 选择4段IRI值大于1的不同平整度水平的路段，每段长度大于300m，选择坡度变化较小的平坦直线路段，标出起点到终点之间的测线轨迹。

2 沿每条路段同一测线重复检测5次，取其IRI计算值的平均值作为该路段的IRI测试值。

3 以精密水准仪作为标准仪器，测量标定路段上相同测线的纵断高程，采样间隔为250mm，高程测试精度为0.5mm；用IRI标准计算程序对纵断面高程测量值进行模型计算，得到标定路段的IRI标准值。

4 用数理统计的方法，将标定路段的IRI测试值和IRI标准值进行回归分析，建立相关方程，计算相关系数。

5 如果IRI测试值和IRI标准值得相关系数小于0.98，则激光探测仪不能作为路面平整度检测工具使用，应进行校准、调试或检修。

5.10 道路分层厚度

5.10.1 使用探地雷达法进行道路分层厚度检测雷达天线的选择：

为了同时满足分辨率和探测深度要求，雷达天线应至少包括两个频率。因为沥青面层一般分为上中下三层，厚度一般分别为4cm、6cm和8cm，必须选择合适的雷达天线，才可能将三层厚度都检测出来。层厚分辨率取决于雷达天线中心频率，频率越高，分辨率越高。在沥青面层中，中心频率为1GHz的雷达天线，其分辨率约7cm，中心频率为2GHz的雷达天线，其分辨率约为4cm。因此，检测表面层选用天线中心频率至少为2GHz。

6 道路地下无损探测

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定了城镇道路地下无损探测的地球物理条件和工作条件。

强调应用条件应符合下列规定：

- 1 地球物理条件包括电性、磁性、弹性、密度等差异；
- 2 道路条件要求，例如探地雷达法要求路表面保证平整和干燥。

6.1.2 本条规定了探测原则。即先充分收集待测道路病害资料、水文地质资料、地下管线资料等，确定已知病害，优先对其进行探测，标定设备参数；再对未知病害或复杂探测环境进行探测。尽管做到由单一探测对象到多个探测对象，由简单到复杂条件过渡，这样能有效控制多解性。

6.1.4 本条罗列了道路地下病害无损探测中常见的地球物理方法，如探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、浅层地震法、瞬变电磁法、微动勘探法等，不排除有其他无损探测方法。对于道路地下病害体如脱空、空洞、疏松体和富水体，且深度在7m范围内，优先推荐使用探地雷达进行探测；若对于探测深度较大，地下病害相对复杂，如存在地下管线（廊）及地下构筑物、软弱夹层，断层、破碎带和地下孤石、岩溶等不良因素时，推荐使用多种方法相结合的探测手段，达到探测目的。

根据地球物理特征划分，地下病害体的类型宜按表6.1.4确定。

表 6.1.4 地下病害体地球物理特征

地下病害体类型	介电特征	电性特征	波形、波速特征
脱空	不含水时，相对介电常数低；含水时，相对介电常数高。	不含水时，电阻率大于周围土体；含水时，电阻率小于周围土体。	波速较低、波阻抗变低，同相轴消失
空洞	不含水时，相对介电常数低，含水时，相对介电常数高。	不含水时，电阻率大于周围土体；含水时，电阻率小于周围土体。	波速较低、波阻抗变低，同相轴消失
疏松体	相对介电常数小于周边土体；疏松程度越高，相对介电常数越小	电阻率较大于周围土体；疏松程度越高，电阻率差异越明显。	波速较周围土体低，疏松程度越高，速度越低。
富水体	相对介电常数大于周边土体；含水量越高，相对介电常数越大	电阻率小于周围土体；低阻异常明显。	速度较周围地层低
断层、破碎带	相对介电常数小于周边地层	电阻率小于周围土体；低阻异常明显。	速度较周围地层低
地下孤石、岩溶	岩溶含水时，相对介电常数小于周边地层	孤石表现为相对高阻异常；岩溶表现为相对低阻异常。	岩溶表现为低速异常；地下孤石表现相对高速异常；

6.1.6 本条对城镇道路地下无损探测测线布置进行了规定。

6.1.7 本条对城镇道路地下无损探测测量工作进行了规定。需要注意的是，如要求采用指定的坐标系和高程，则转化为相对坐标系和高程。无其他说明的，执行《城市测量规范》CJJ/T-2011的测量规定。

6.2 探地雷达法

6.2.2 本条对探地雷达法的应用条件进行了说明，城镇道路一般地表相对平坦，适合探地雷达法的应用，在对道路无损探测宜优先使用该方法进行大面积普查，条件允许的情况下，可用车载雷达进行快速普查。

6.2.6 如果查明道路下方存在地下管道，特别是市政排水管道，可以在路面和管道中同时进行雷达探测，道路雷达测线沿着车流方向，管道雷达测线沿着管道走向。管道中雷达探测也可利用环形扫描方法对管壁周围的土（岩）体进行探测，综合分析道路病害情况。

6.2.7 本条对探地雷达天线选取进行说明。在城镇环境下，选择合理的雷达天线是道路地下有效探测的重要因素，而天线主频又是影响探地雷达探测深度和精度的主要因素。一般的，在实际探测中应考虑多套不同主频的雷达天线，多以 100MHz~400MHz 雷达天线为主，探测深度一般在 7m 范围内。

6.2.11 本条对探地雷达法测线的布设进行了规定。

1 在机动车道进行探测时，应采用车载式雷达的拖曳形式进行探测，在非机动车道采用人拖拉的方式进行探测。雷达测线应沿车道行进方向进行布设；

2 相邻测线间距依据天线频率确定，一般频率越高的天线要求测线间距越小，测线间距需保证被测地下病害体能够得到有效覆盖。道路病害探测使用的天线频率一般在 100MHz~400MHz 之间，100MHz 天线辐射宽度约为 2m，400MHz 天线辐射宽度约为 1m。

6.2.13 本条对探地雷达法探测的主要干扰源进行了规定。

6.2.15 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。

6.2 探地雷达法

6.3 高密度电阻率法

6.3.2 高密度电阻率法不宜在高速公路、城镇快速路、主干道等一级公路等机动车道进行探测，如有特殊需要。需在许可的条件下，在测区前后方 50m 距离内设置路障和交通导向牌，夜间作业还需配置爆闪灯，在做好安全警示标识后，方可作业。

6.3.3 本条补充说明高密度电阻率法电极布设方式，在硬化道路上探测时，使用铜电极用湿润泥土耦合路面，或者在路面钻孔，孔径略大于电极直径，深度大于电极长度，将电极插入钻孔中，加入适量盐水，增加导电性；在绿化带中探测时，宜将电极直接插入绿化带土体中，所有电极布置完成后，检查接地电阻满足探测要求。

6.3.5 本条对高密度电阻率法工作布置进行了规定。

6.3.6 本条对高密度电阻率法探测主要干扰源进行了规定。

6.4 瞬态面波法

6.4.3 在采集数据时，瞬态面波法采用的道数越多，数据精度越高，频率成份越丰富；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，采用 12 道~24 道即可满足探测需要，为提高工作效率可选择 12 道进行数据采集；但开展有效性试验时，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。

对于常规勘探、工程勘察，瞬态面波数据采集采用自然频率不小于 4Hz 的低频检波，但对于道路地

下空洞等病害体探测，需要相对丰富的中高频面波成分，因此宜选择 4Hz~20Hz 的检波器。

6.4.4 接收排列的中心位置等效为瞬态面波的记录点，测点间距指相邻两个面波记录点之间的距离，该距离应根据探测要求的精度确定，即应满足横向分辨率的要求。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。

测线位置的定位可采用全站仪、RTK 等测量的方式，也可采用 GPS 定位的方式。

6.4.9 半波长法中 $h=\beta R$ 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，在无其他资料时，可采用此方法；当场地具有已知的钻孔地质资料时，应根据钻孔资料标定 β 值。

6.4.11 频散曲线图为面波勘探的中间成果和基础资料。

6.5 微动勘探法

6.5.4 微动勘探法可使用应用于常规地震勘探的低频检波器（频率不大于 4Hz）作为拾振器，也可以使用一体化数字地震仪。使用单分量常规地震检波器时，通过电缆连接多个拾振器，再采用专门的地震仪进行数据采集；一体化数字地震仪有单分量和三分量，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。

6.5.5 进行一致性测试时，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 10min，计算各台仪器的功率谱之比、相干系数和相位差，对仪器的一致性进行评价。一般要求相干系数一致性优于 98%，相位差小于 2° 。

台阵观测方式建议采用圆形或内嵌三角形台阵，能顾及各方向微动信号。场地条件受限时，宜灵活采用 T 型、L 型和十字形等台阵观测方式，尽量避免对称布设。

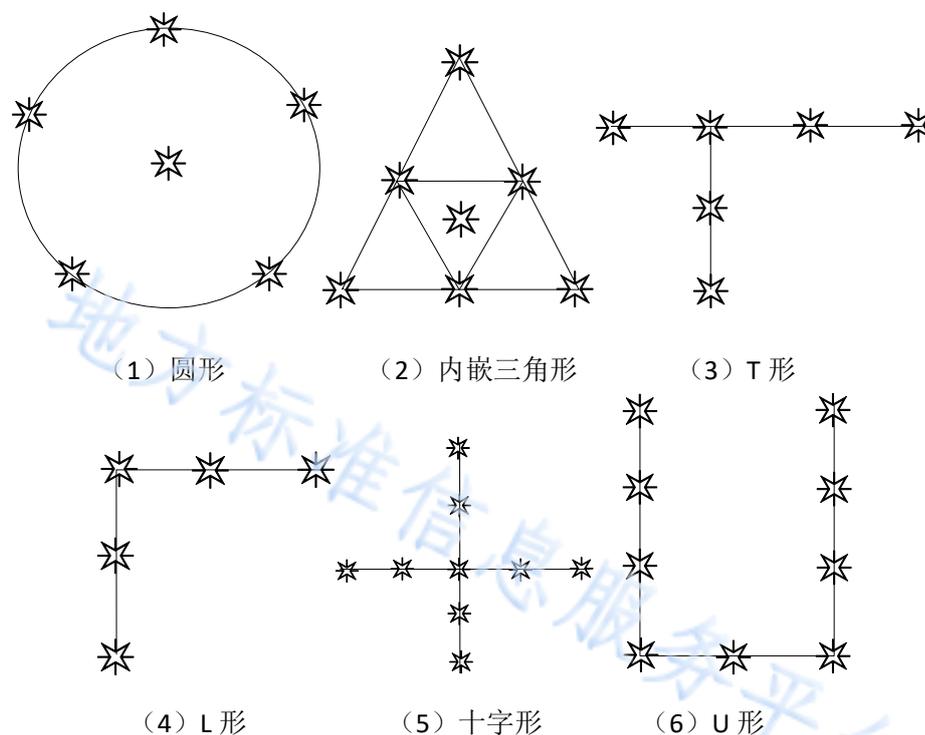


图 6.5.5 微动勘探法台阵布设平面示意图

6.5.6 拾振器不宜放置在各种井盖上。

6.5.7 微动勘探法的探测深度、精度与台阵的形式、半径、记录长度有关，一般半径越小，探测深度越小，精度越高。使用 2Hz 拾振器时，一般记录长度不小于 15min，当信噪比较低时，可延长采集时间，或重新采集。

6.5.8 微动勘探法的信噪比指相干信号与不相干信号功率谱的比值。

6.5.9 H/V 指水平分量与垂直分量功率谱的比值，H/V 峰值频率与松散覆盖层的横波共振频率相吻合，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 量值越大；H/V 曲线总体上反映从浅部地层到深部基岩的波阻抗变化规律，地下病害体的波阻抗变化大，H/V 曲线反应明显。

6.6 浅层地震法

6.6.4 偏移距是指激发点到检波器之间的距离，由上覆地层厚度和介质的地球物理性质决定，通过场地试验给出，尽量把反射波与直达波、面波等干扰分开，目的是为了获取地下目标体的有效波，提高信噪比，使接收到的反射波信号清晰、干扰少。

地震映像法可采用排列方式，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。

记录长度为采样间隔乘以采样点数，采样间隔是数据采集的重要参数，与剖面的垂直分辨率有关。一般情况下，采样间隔越小，地震波形的记录精度越高，相应的记录长度小；反之，采样间隔越大，地震波形的记录精度越低，相应的记录长度大。

6.6.5 测点间距根据探测目标体的具体情况选取，首先要保证水平方向的分辨率。当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。在异常部位主测线两侧增加旁测线或穿过异常中心位置增加交叉测线，确保各测线有效异常能够有清晰完整的反映。

6.7 瞬变电磁法

6.7.2 瞬变电磁野外工作有动源回线组合（包括重叠回线、中心回线等）；定源回线组合（包括大回线等）方式，一般说来，在给定的条件下，选择最佳的野外工作回线受许多因素的影响，主要受目的物的特性、地质环境、电磁噪声干扰等因素影响。动源回线组合的灵敏度随位置的变动是均匀的；定源回线组合的灵敏度随离开发射线圈的距离而降低。

在不知道目的物的埋深、或要求勘探深度较浅宜采用动源回线组合，而大固定源回线组合可以提供高磁矩，主要探测深层目标。

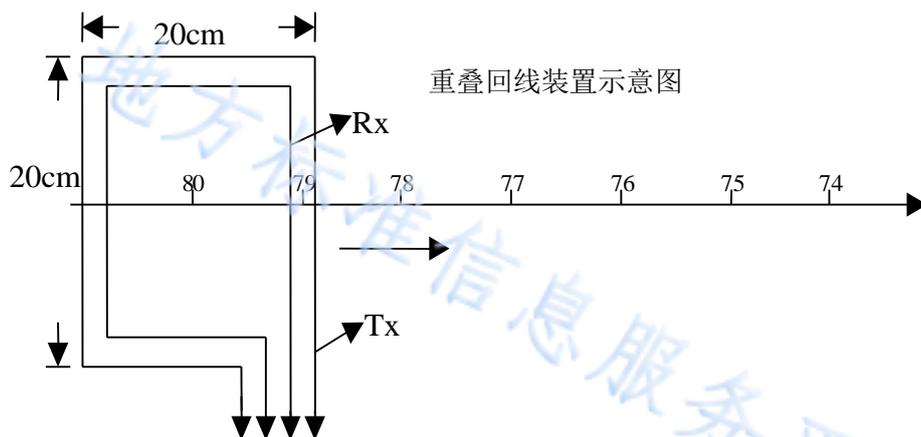


图 6.7.2-1 重叠回线装置示意图

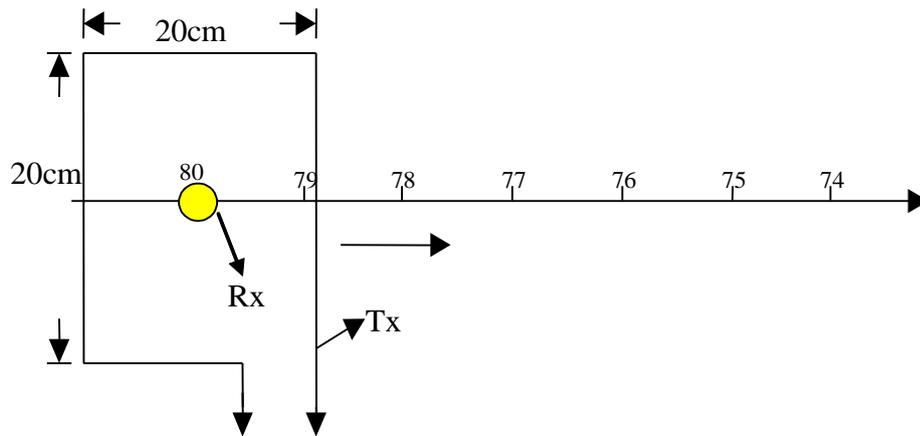


图 6.7.2-2 重叠回线装置示意图

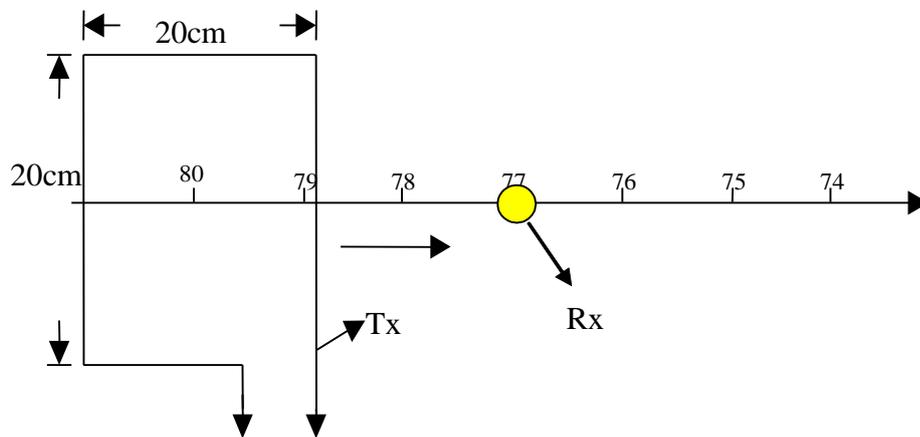


图 6.7.2-3 分离回线（偶极）装置示意图

1 动源回线组合装置的主要特点是发射、接收回线的中心点重合，对目标体的耦合响应最大，信号强；接收线圈的边长一般较大，频带宽；异常特征简单；适于测量深部目标体。

2 偶极装置的主要特点是发射、接收回线的中心点不重合，对目标体的耦合响应较小，信号弱；接收线圈为多匝绕制，边长一般较小，接收线圈的频率特性要求高；异常特征复杂；适于测量浅部目标体。

6.7.4 本条对瞬变电磁法工作布置进行了规定。

6.8 道路地下综合物探法

6.8.1-6.8.3 道路地下隐患包含的目标比较多，制定本规程的指导原则是针对道路运行安全及检修养护需求的病害隐患进行探测。城镇道路地下隐患分为两大类：一类是道路地下病害体，包括脱空、空洞、疏松体和富水体，此类病害埋藏较低，对道路路基危害较大，应重点关注并定期排查；另一类是道路地下综合隐患，包括地下管道（廊）等地下建（构）筑物和地下软弱夹层，断层、破碎带，地下孤石岩溶等不良地质体病害，此类探测对象一般埋藏深、范围较大，影响范围较广，一旦出现险情，波及影响大，处置难度大，宜对此类隐患道路段定期探测和监测。

对于道路地下病害体探测，一般的，优先推荐采用探地雷达法、瞬变电磁法等快速探测进行普查，再结合其他物探方法进行详查；对于地下综合隐患或者疑难路段地下隐患，采用 6.8 节的道路地下综合物探方法进行精确探测，综合成果分析。

6.8.4 本节对城镇道路地下管道（廊）、大埋深暗涵探测进行了规定。

6.8.5 本节对城镇道路地下不良地质体的探测进行了规定。

地方标准信息服务平台