

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

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

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。

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		
注1：城镇道路重要性等级： 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； 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； c) 一般城镇道路：除重要及次重要以外的支路。 注2：地基复杂程度等级： 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； 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； c) III等（简单地基）——土质好，且地下水对路基影响轻微。 注3：城镇道路下部环境复杂程度等级： 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； 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； c) 简单环境：道路下部基本无地下管线的。 注4：有历史塌陷记录的道路，无损检测等级应再提升一级。									

- 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：
- a) 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；
 - b) 城市主干道路、广场及重点管线区域，宜定期进行；
 - c) 埋藏年代久远的地下基础设施区域，宜定期进行；
 - d) 当存在地下工程施工时，宜分别在施工前、竣工后进行；
 - e) 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；
 - f) 排水管涵、河道周边等区域，宜在汛期后进行；
 - g) 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：
- a) 普查应对检测区进行全面检测，并应确定重点检测区；
 - b) 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：
- a) 收集资料；
 - b) 现场踏勘；
 - c) 编制检测方案；
 - d) 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 $\geq 100\text{km/h}$ ，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： $\geq 3.5\text{ m}$ ；横纵向长度测量偏差： $\leq 5\%$ ；
 - e) 空间绝对定位精度 $\leq 1\text{m}$ ，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： $\geq 50\text{km/h}$ ；
- 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的比例不应超过 5%，100 mm 基准计算长度内无效数据占总数的比例不应超过 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： $\geq 20\text{kHz}$ ；分辨率： $\leq 0.1\text{mm}$ ；
- b) 测量范围： $\geq \pm 100\text{mm}$ ，测试精度 $\geq 1.0\text{mm}$ ，距离标定误差 $\leq 0.05\%$ ；

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

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： $\geq 65\text{fps}$ ；
- b) 横向断面有效检测宽度： $\geq 3.5\text{ m}$ ；横向平均采样间距： $\leq 300\text{ mm}$ ，不少于 13 点。纵向采样间距： $\leq 200\text{ mm}$ ，建议采用 100 mm ；横断面高程传感器分辨率： $\leq 1\text{mm}$ ；
- c) 检测速度： $0\text{ km/h}\sim 100\text{ km/h}$ ；车辙检测深度： $\leq 200\text{ mm}$ ；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 $200\text{ kg}\pm 10\text{ kg}$ ，可产生 $50\text{ kN}\pm 2.5\text{ kN}$ 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 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，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；

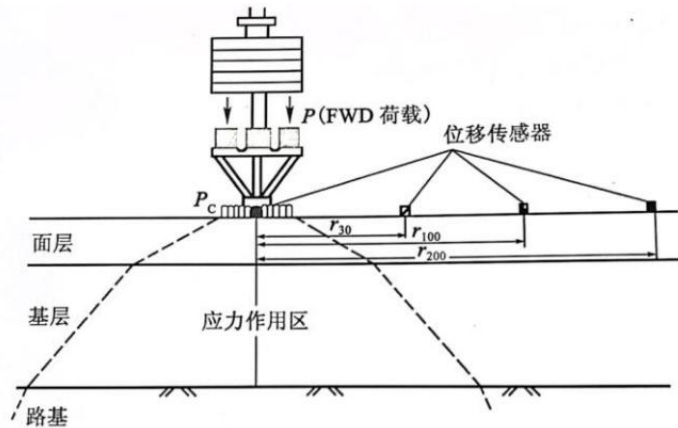


图1 落锤式弯沉仪传感器布置及应力作用状态示意图

- 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（ 0.01mm ）；
 L_t ——测为实测路面动态弯沉值（ 0.01mm ）；

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。

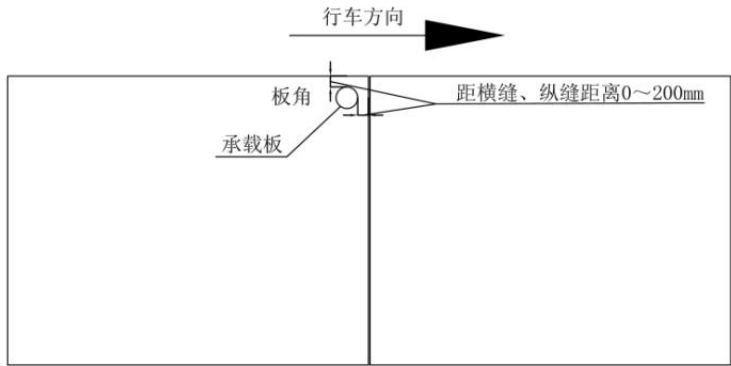


图2 承载板位置摆放示意图

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， $W_{\text{板角}}$ 、 $W_{\text{板中}}$ 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：

- 测试位置信息（桩号、幅别等）；
- 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；
- 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：

- 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。
- 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。
- 多通道探地雷达空气中雷达波速测量相对误差 $\leq \pm 5.0\%$ ；
- 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： $\geq \text{IP54}$ ；
 - 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：

- 设备安装：将雷达设备按照使用要求安装；
- 参数设置：设置采样点数、采样频率、道间距和增益等参数；
- 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于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。

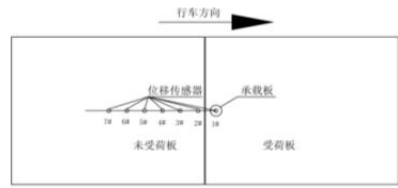


图3 水泥混凝土板传荷能力承载板布置平面示意图

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 $50 \pm 2.5 \text{ kN}$ 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（0.01mm），采用1号传感器实测值（0.01mm）；
- 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（0.01mm）。

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~40m;
- 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：

$$PQI = W_{PCI} \cdot PCI + W_{SRI} \cdot SRI + W_{RQI} \cdot RQI + W_{RDI} \cdot RDI \cdots \cdots (7)$$

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:

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

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:

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

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:

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

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

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 (0.01mm);

l ——路面实测代表弯沉 (0.01mm);

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:

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

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 PQ I 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>i</i>	损坏名称	损坏程度	计量单位 (m²)	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（ r_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（ r_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	r _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 $3\ \Omega$ ；
- 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：
- a) 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；
 - b) 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；
 - c) 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%；
 - d) 质量检查统计的均方差不得超过 5% ；
 - e) 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：
- a) 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；
 - b) 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；
 - c) 对于数据突变点、畸变点，应结合相邻测点数值进行修正；
 - d) 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；
 - e) 建立初始模型时可采用伪剖面法、反投影法；
 - f) 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：
- a) 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；
 - b) 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；
 - c) 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；
 - d) 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；
 - e) 应根据反演后的二维电阻率分布成果图进行剖面解释；
 - f) 同一剖面多种装置的视电阻率断面图应对比解释。
 - g) 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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/505334340010012040>