

道路深层病害探地雷达无损检测技术规范

地方标准信息服务平台

2023 - 10 - 31 发布

2024 - 01 - 29 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
5 检测系统	2
6 检测前准备	4
7 数据采集	6
8 数据处理解释验证	8
9 检测报告	8
附录 A（资料性） 记录和统计表样式	10
附录 B（资料性） 雷达图谱特征及示例	13

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专利的责任。

本文件由河南省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：河南万里交通科技集团股份有限公司、河南省航空物探遥感中心、金华市测绘院、河南万里交通科技集团无损检测加固技术有限公司、河南省地球物理空间信息研究院、河南工程学院、河南省地质调查院、郑州大学、河南省交通规划设计研究院股份有限公司、河南省地质局矿产资源勘查中心、河南交科公路研究院有限公司。

本文件主要起草人：节昌录、刘澜波、殷浩、郭士礼、宋凯、蔡文才、岳光华、朱涛、杨亚星、袁洪杰、田朋飞、张波、万晨光、杨路明、杨修伟、职志攀、李蕊、李宁、赵修军、张箐、刘善彬、杨彪、刘东亚、刘稳超、伊少峰、解攀、尚大菊、安黎明、秦鹏举、王子高、郭炎朝、王亚杰、霍光忙、原晓建。

地方标准信息服务平台

道路深层病害探地雷达无损检测技术规范

1 范围

本文件规定了道路深层病害探地雷达无损检测的基本规定、检测系统、检测前准备、数据采集、数据处理解释验证和检测报告。

本文件适用于对各等级道路深层病害无损检测。

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 8 城市测量规范

CJJ 61 城市地下管线探测技术规程

JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准

JJG（交通）124 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达检定规程

JTG/T 3222 公路工程物探规程

JTG 3450 公路路基路面现场测试规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

道路深层病害

存在于道路结构内部的裂缝、松散、脱空、空洞、富水等病害，它们对道路结构的连续性和完整性有着不同程度的影响，降低道路结构层的强度、稳定性和耐久性。

[来源：JGJ/T 437—2018，2.1，有修改]

3.2

有效异常

由道路结构内部存在的裂缝、松散、脱空、空洞、富水等病害引起的雷达波形异常。

3.3

干扰异常

由病害以外的其它因素所引起的雷达波形异常。

4 基本规定

4.1 道路深层病害的物理特征见表1。

表1 道路深层病害的物理特征

病害类型	物理特征
裂缝	由基层温缩、干缩效应或车辆动载引起的道路结构层开裂，其内部充填介质通常为空气，介电常数小于周边介质
松散	面层、基层混合料粘结料缺失，形成集料松散，空隙率大；或路基土体不密实，空隙率高于周边土体，介电常数小于周边介质
脱空	混合料或土体在水冲刷下粘结料及细料流失或路基自然沉降，形成层间脱离、不连续，多为扁平状空腔，内部一般充填介质为空气，介电常数小于周边介质
空洞	混合料或土体流失形成影响道路结构安全的洞体，内部一般充填介质为空气，介电常数小于周边介质
富水	由于裂缝渗水、管道渗漏等，形成土体含水率明显增高的区域，介电常数大于周边介质

4.2 道路深层病害探地雷达无损检测宜采用地面耦合天线。

4.3 道路深层病害所处层位、深度不同时，选用的天线类型及中心频率参见表2。

表2 不同检测深度对应的天线类型及中心频率

检测深度/m	天线类型	中心频率/MHz
0~0.15	地面耦合、屏蔽天线	1500~2500
0.15~0.3	地面耦合、屏蔽天线	1000~1500
0.3~0.6	地面耦合、屏蔽天线	700~1000
0.6~1.5	地面耦合、屏蔽天线	400~700
1.5~3.0	地面耦合、屏蔽天线	100~400
>3.0	地面耦合、非屏蔽天线	50~100

4.4 检测设备使用前宜进行一致性测试，包括单台及不同型号多台设备的一致性测试。单台设备的一致性测试采用相同的参数对同一位置的已知地下构筑物进行多次探测，测试结果一致。不同型号多台设备一致性测试采用相同参数分别对同一位置的已知地下构筑物进行探测，测试结果也一致。

4.5 道路深层病害探地雷达无损检测包括检测前准备、数据采集、数据处理解释验证和检测报告编写。

4.6 道路深层病害探地雷达无损检测，遵循外业是基础、内业指导外业、内外业同步进行的原则，发现原始数据中存在问题，应立即补测。

4.7 同时检测不同深度的道路深层病害时，宜采用多种频率天线同步检测。

4.8 道路深层病害探地雷达无损检测应采用初测和复测相结合的方式，并符合下列规定：

- a) 初测确定疑似病害区域和病害类型；
- b) 复测应在疑似病害区域采用加密测线、多种频率天线组合检测的方式，查明道路深层病害的类型、分布范围、深度。

5 检测系统

5.1 一般规定

- 5.1.1 检测系统包括探地雷达系统、高精度定位系统、摄影测量系统、数据采集系统、辅助设备。
5.1.2 检测系统在使用、运输和保管过程中应采取防水、防曝晒和防剧烈震动等措施。

5.2 探地雷达系统

5.2.1 探地雷达系统主要由以下组成：

- a) 操作平台和控制系统；
- b) 天线系统（宜为多通道天线或三维天线）；
- c) 测距装置；
- d) 其他配套设备。

5.2.2 工作环境应符合下列要求：

- a) 环境温度范围： $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 环境湿度不大于 85%；
- c) 测区内路面相对平坦；
- d) 测区内无法避免有水时，电缆、插接头要做防水处理，利用防水布保护天线；
- e) 检测环境内不宜有大范围金属构件或较强电磁干扰。

5.2.3 设备外观应干燥、无缺损、无锈蚀，各部位说明文字、符号、铭刻标志等应清晰、完整。

5.3 高精度定位系统

现场测量应符合CJJ/T 8的规定，高精度定位系统采用全球导航卫星系统（GNSS）进行轨迹定位，在检测过程中能实时为检测系统提供定位信息，显示检测区域覆盖程度。宜满足以下要求：

- a) 具备卫星定位导航和惯性导航模式；
- b) 刷新频率不低于 10 Hz，采集速度不小于 20 km/h；
- c) 当卫星信号覆盖率（可接收有效卫星信号路段长度与检测路段总长的百分比）不小于 70%时，测线上 95%的测点平面定位允许误差在 1 m 以内；
- d) 当卫星信号覆盖率小于 70%时，95%的测点平面定位允许误差在 5 m 以内。

5.4 摄影测量系统

- 5.4.1 摄影测量系统宜与探地雷达系统、高精度定位系统同步工作。
5.4.2 摄影测量系统应清晰记录道路周边及路表影像数据。
5.4.3 摄影测量系统宜在检测车前方、后方、侧方至少 1 个方向安装。

5.5 数据采集系统

5.5.1 数据采集系统可对雷达数据进行实时采集、显示、存储和调取。

5.5.2 数据采集系统宜具备下列功能：

- a) 参数设置；
- b) 雷达数据与定位数据、影像数据同步采集；
- c) 时间触发、距离触发和单次触发三种模式；
- d) 手动添加标记；
- e) 数据之间相互关联；
- f) 数据导出。

5.6 辅助设备

辅助设备主要包括：钻孔设备、内窥镜、照明设备、示警设备等。

6 检测前准备

6.1 资料收集

收集的资料主要包括：检测路段的设计资料、结构物信息、沉降变形信息、地下管线资料等。

6.2 现场踏勘

6.2.1 高速公路、国道、省道、农村公路，应踏勘下列内容：

- a) 路面沉降变形情况；
- b) 路面的整洁、积水与破损情况；
- c) 路肩、边坡、护坡的完整性与冲刷情况；
- d) 里程桩号的完整性和准确性；
- e) 检测路段沿线的工程地质、地形地貌等。

6.2.2 市政道路，除踏勘 6.2.1 内容外，还宜调查下列信息：

- a) 检测路段地下基础设施分布情况；
- b) 检测路段沿线干扰源分布情况。

6.2.3 地下基础设施中的管线种类、代号标注应符合 CJJ 61 的规定。

6.3 设备调试

正式检测前，应进行设备调试，检查检测系统工作状态，包括：

- a) 检查雷达主机、天线，处于正常状态；
- b) 雷达天线静止时信号应稳定；
- c) 定位系统工作状态、雷达主机状态、影像系统工作状态、电源设备状态等。

6.4 采集参数试验与选择

6.4.1 正式检测前，根据检测任务要求进行试验性检测，操作应符合 JJG（交通）124 的规定，确定最佳采集参数，主要包括：天线中心频率、时窗、采样率、道间距、增益、数据采集模式等。

6.4.2 试验前宜编制试验方案，并按照试验方案对采集参数逐一进行试验。试验过程中要求试验参数变化单一。

6.4.3 雷达天线中心频率的确定，可从以下方法中选择：

- a) 天线中心频率宜按公式（1）计算。

$$f_0 = \frac{150}{r_v \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- f_0 ——天线中心频率，单位为兆赫兹（MHz）；
- r_v ——纵向分辨率，单位为米（m）；
- ϵ_r ——相对介电常数。

- b) 天线中心频率亦可根据探测深度直接查表 2 确定。天线中心频率的选定要在满足探测深度的前提下，使用较高分辨率的天线，并考虑天线大小是否符合检测场地要求。

6.4.4 采用分离式天线时，发射天线与接收天线的间距按公式（2）计算。

$$s = \frac{2h_{\max}}{\sqrt{\varepsilon_r}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

s ——发射天线与接收天线的间距，单位为米（m）；

h_{\max} ——最大探测深度，单位为米（m）。

6.4.5 采用一体式天线检测时，发射天线与接收天线的间距为固定值。

6.4.6 时窗选择宜按公式（3）计算。

$$w = 1.3 \times \frac{2h_{\max}}{v} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

w ——时窗，单位为纳秒（ns）；

v ——电磁波在介质中的传播速度，单位为米每纳秒（m/ns）。

6.4.7 采样率选择应符合 JTG/T 3222 的规定。

6.4.8 探地雷达电磁波波速宜按下列方法计算，现场可根据实际情况选择：

- a) 利用已知深度目标体计算电磁波波速，深度不小于 15 cm，且界面反射信号清晰、准确。电磁波波速宜按公式（4）计算。

$$v = \frac{2d}{t} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

d ——目标体的深度，单位为米（m）；

t ——双程走时，单位为纳秒（ns）。

- b) 利用已知介质相对介电常数计算探地雷达电磁波波速，宜按公式（5）计算。

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

c ——电磁波在空气中的传播速度， $c=0.3$ m/ns。

6.4.9 通过取芯方法确定相对介电常数时，取芯过程应符合 JTG 3450 的规定，在已知厚度部位对应的雷达数据中取得双程走时，宜按公式（6）计算相对介电常数。

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

6.4.10 无法通过取芯计算相对介电常数时，宜参照表 3 的范围并结合经验确定相对介电常数。

表3 常见材料的相对介电常数

介质名称	相对介电常数
空气	1.0
水	81.0
冰	3.0~4.0
水泥	4.0~6.0
沥青	4.0~5.0
干砂	3.0~5.0
饱和砂	23.0~30.0
黏土	8.0~12.0
土壤	2.6~15.0
橡胶	2.0~3.0
花岗岩	5.0~8.0
砂岩	6.0
石灰岩	7.0~9.0
玄武岩	8.0~9.0

7 数据采集

7.1 测线布置

7.1.1 测线位置选择应符合 JGJ/T 437 的规定，纵向测线宜沿车道方向布置，横向测线宜垂直于待测目标体走向布置，雷达测线宜为直线。

7.1.2 测线起终点参照已有的参照物或里程桩号信息。当检测现场无参照物或里程桩号等信息时，应在雷达测线的起终点设置明显标记。

7.1.3 使用多通道或三维雷达系统对道路深层病害进行检测时，检测路段各车道均应布置测线。

7.1.4 使用多通道或三维雷达系统对道路深层病害进行全覆盖检测时，相邻测线间距宜小于天线覆盖宽度。

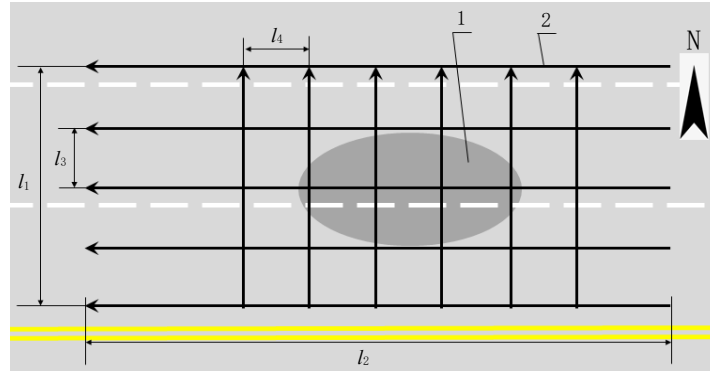
7.1.5 在检测市政道路时，除 7.1.1~7.1.4 要求外，还宜符合下列要求：

- a) 使用单通道雷达初测时，相邻测线间距不大于 2 m，复测时相邻测线间距不大于 1 m；
- b) 在道路交叉口、渠化岛弯道、小区出入口等区域适当扩大检测范围；
- c) 测线末端超过检测区域；

d) 检测中发现较大范围空洞、脱空、松散等病害时加密测线。

7.1.6 绘制测线布置示意图，见图 1：

单位为米



l_1	l_2	l_3	l_4
8	15	2	2

标引序号说明：

1——病害区域；

2——测线。

注： l_1 、 l_2 表示测线长度， l_3 、 l_4 表示测线间距。

图1 测线布置示意图

7.2 采集方法

7.2.1 使用探地雷达检测时，检测方法按下列要求进行：

- 按操作手册依次连接探地雷达系统各部件，检查无误后开启设备；
- 打开数据采集软件，按照试验确定的采集参数，设置天线中心频率、时窗、采样率、道间距、增益、滤波参数、图像显示模式等参数并校准发射子波的信号位置；
- 采集方式优先选择距离触发方式，无法使用距离触发时，可使用时间触发模式或单次触发模式，时间触发模式应符合 JTG/T 3222 的规定；
- 时间触发模式雷达天线应沿测线匀速前进；
- 单次触发模式应按拟定的测量点距在测线上做出测点标记，或在测线上铺设皮尺逐点测量。

7.2.2 数据采集过程中，按下列规定操作：

- 地面耦合天线在数据采集过程中设备应紧贴路面；
- 探地雷达信号的幅度出现异常时，记录并判别信号异常的原因，必要时进行复测；
- 数据采集完毕后，先关机再断开线缆。

7.3 采集记录

7.3.1 检测过程中应全程记录检测信息。

7.3.2 检测记录应保证真实性、准确性、完整性，并做好保密工作，记录表样式见表 A.1。

7.3.3 对检测过程中遇见的典型干扰源应详细记录，包括干扰源位置及对应的雷达数据文件、起始终止道号等信息。

7.4 数据质量控制

- 7.4.1 加强现场检测数据质量管理，建立数据质量评判制度。
- 7.4.2 进行数据核查时，应符合下列要求：
 - a) 覆盖范围合理；
 - b) 有效信号深度应包含检测目标体；
 - c) 信噪比满足数据处理的要求；
 - d) 相邻测线的数据具一致性；
- 7.4.3 数据检查过程中发现质量不合格、数据不完整等问题应重新采集数据。

8 数据处理解释验证

8.1 数据处理

- 8.1.1 数据处理前，输入真实里程桩号，确保定位信息准确。
- 8.1.2 数据处理应选择合理方法提高信噪比、分辨率。
- 8.1.3 对处理流程和参数进行反复的试验优选，确保处理流程合理、处理参数适当、处理结果准确。

8.2 数据解释

- 8.2.1 数据解释时，宜遵循下列原则：
 - a) 在掌握相关物性参数和结构信息的基础上，结合地面变形、管线破损、历史塌陷、测区地质资料等情况，按由已知到未知、定性指导定量的原则进行综合解释；
 - b) 根据现场记录，分析干扰源与数据异常的位置关系，区分有效异常和干扰异常；
 - c) 根据取芯数据计算介质的介电常数和波速，进行时深转换。
- 8.2.2 无病害和不同类型病害的雷达图谱特征及示例见附录 B。
- 8.2.3 数据解释结果应包括异常类型、空间位置、规模等信息。

8.3 数据验证

- 8.3.1 使用定位设备回溯病害位置，使用探地雷达复测病害。
- 8.3.2 根据查明的病害范围、深度及周边设施情况，选定钻孔点进行钻孔。
- 8.3.3 钻孔优先选用易携带、口径小、噪音低的钻孔设备。
- 8.3.4 钻孔验证宜符合下列规定：
 - a) 钻孔位置现场标注并重新测量；
 - b) 查明地下管线情况；
 - c) 对存在道路安全隐患区域进行围挡或放置警示标志；
 - d) 钻孔后测量并拍摄影像资料；
 - e) 验证结果记录并汇总成表；
 - f) 验证结束及时封孔；
 - g) 封孔材料抗老化、塑性好、不透水。

9 检测报告

- 9.1 报告内容应全面、文字简练、结论准确、附图等资料齐全。
- 9.2 采用多种检测方法完成的检测任务，应综合分析所获得的各种资料，编写检测报告。
- 9.3 检测报告主要包含下列内容：

- a) 检测目的：任务来源及目的、检测要求；
- b) 项目概况：检测地点、检测对象简介、工作环境、检测日期、工程量等；
- c) 检测依据：技术标准、规范、任务书、设计及变更文件、合同文件等；
- d) 仪器设备及检测原理：投入的主要仪器设备、数量及性能指标，设备的工作原理；
- e) 工作方法：工作流程、测量方式、参数选择、测线布置、数据质量控制、数据处理与解释等；
- f) 检测结果：根据要求可使用病害信息卡（见表 A.2）和检测病害结果统计表（见表 A.3）的样式，内容应包括病害类型、病害位置、病害范围、钻孔验证影像资料等信息；
- g) 结论及建议；
- h) 附件：检测病害结果统计表、病害信息卡、雷达图谱等。

地方标准信息服务平台

表 A.2 病害信息卡

病害编号:					
病害类型	病害位置描述 ^a	病害坐标及桩号 ^b	病害范围	现场路面情况	病害成因分析
			长/m: 宽/m: 投影面积/m ² : 病害顶部深度/m: 病害底部深度/m: 净高/m:		
位置示意图			病害验证照片		
雷达图谱			现场照片		
建议 ^c :					
^a 病害的地址信息, 无 RTK 设备时可根据此信息找到病害位置。 ^b 病害经纬度坐标及桩号信息, 能满足病害的信息化管理需求, 快速定位病害位置。 ^c 针对病害的处治建议。					

附 录 B
(资料性)
雷达图谱特征及示例

表B.1描述了无病害和裂缝、松散、脱空、空洞、富水等道路病害的雷达图谱特征及示例。

表 B.1 无病害和不同类型病害的雷达图谱特征及示例

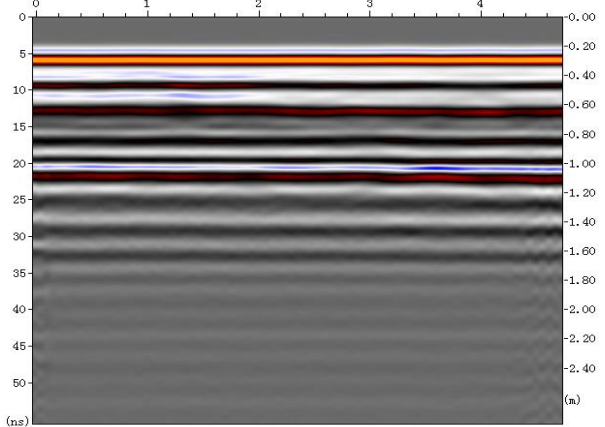
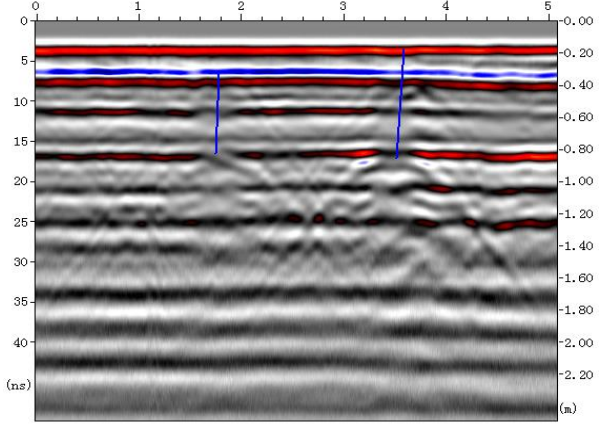
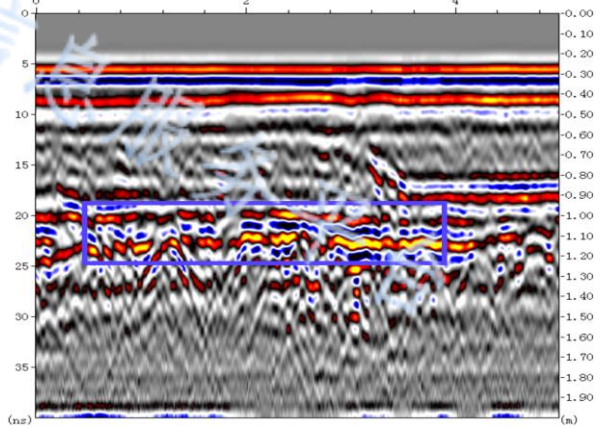
类别	雷达图谱特征	雷达图谱示例
无病害	各结构层反射波同相轴连续性好且能量均匀，反射波能量规律性衰减	
裂缝	裂缝顶、底端点位置各对应一条绕射波，同相轴可能存在错断、不连续	
松散	反射信号能量变化大，同相轴不连续，波形杂乱、不规则	

表 B.1 无病害和不同类型病害的雷达图谱特征及示例（续）

类别	雷达图谱特征	雷达图谱示例
脱空	<p>反射信号能量强，反射信号的频率、振幅、相位变化异常明显，边界伴随轻微绕射波</p>	
空洞	<p>反射信号能量强，反射信号的频率、振幅、相位变化异常明显，多次波发育，绕射波明显</p>	
富水	<p>反射波极性出现反转，顶部反射信号能量较强、下部信号衰减较明显，同相轴较连续、频率变化不明显</p>	