

广西地球物理学会团体标准

T/GXGS 01—2026

道路隐性病害三维探地雷达检测技术规程

Technical specification for three-dimensional ground penetrating radar
detection of hidden road distress

2026 - 01 - 09 发布

2026 - 03 - 01 实施

广西地球物理学会 发布

目 次

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	2
5 检测项目分类及要求	3
6 检测系统	3
7 检测方法与流程	5
8 检测成果	9
9 附录	11

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文件可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西交投集团有限公司提出并宣贯。

本文件由广西地球物理学会归口。

本文件起草单位：广西交投集团有限公司、桂林理工大学、广西有色勘察设计院、广西壮族自治区地质环境监测站、广西壮族自治区交通运输综合行政执法局。

本文件主要起草人：杨庭伟、李静和、师虎峰、邹仁辉、林康、秦涛、马富安、吕玉增、王洪华、杜掀、郑涛、郑华斌、刘振宇、陀楚明、卢超波、梁明、宁晓斌、张斯、林超、祝俊、韦石、宋智成、熊春发、杨仕恒、韦宗科、覃钟钦、秦梓航、焦晓东、蓝天助

道路隐性病害三维探地雷达检测技术规程

1 范围

本文件规定了道路隐性病害三维探地雷达检测术语和定义、基本规定、检测项目分类及要求、检测系统、检测方法与流程、检测成果的要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内城镇道路的路基路面、地层内部或之间的隐性病害三维探地雷达检测。其他公路、厂区、机场、码头等区域的道路隐性病害三维探地雷达检测可参考使用。

本文件所述隐性病害为三维探地雷达检测深度范围内的道路路基路面及地层内部的疏松、脱空、空洞等病害类型。

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。

JJG（交通）124-2023 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达

JGJ/T 437 城市地下病害体综合检测与风险评估技术标准

CJJ/T73 卫星定位城市测量技术标准

JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程

T/CMEA 2 道路塌陷隐患雷达检测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 三维探地雷达技术 3D ground penetrating radar technology

采用阵列天线电磁波发射、接收技术，通过采集多通道反射信号反映地层纵剖面与横剖面地质情况，能够形成高密度三维立体电磁波数据的一种探地雷达技术，可用于道路结构层厚度、含水率、脱空、内部裂缝等检测，为一种无损检测技术。

3.2 探地雷达天线 GPR antenna

探地雷达发射和接收电磁波的装置，分为发射天线及接收天线。探地雷达天线分为脉冲式与频率步进式等类型。

3.3 相对介电常数 relative dielectric constant

介质相对于真空的介电常数。

3.4 时窗 time window

探地雷达接收信号的时间范围。

3.5 扫描率 scan rate

单位时间或距离内的扫描次数。

3.6 分辨率 resolution

分辨最小异常体的能力。

3.7 增益 gain

对探地雷达波信号进行放大或补偿的处理方法。

3.8 同相轴 events

探地雷达数据中相邻道振动相位相同的极值(波峰或波谷)的连线。

3.9 信噪比 signal-noise-ratio

有效信号功率与干扰信号(噪声)功率之比。

3.10 滤波 wave filtering

根据有效信号与干扰信号的频率分布差异,采用合理的滤波器,将干扰信号尽可能去除,保留更多有效信号的数据处理方法。

3.11 道路隐性病害 road hidden distress

对道路运行安全造成危害的路面路基、地层内部的空洞、脱空、疏松。

3.12 脱空 pavement void

净空高度小于 0.5 m 的道路路面结构层局部范围与路基不连续接触的现象。

3.13 空洞 cavity

净空高度大于或等于 0.5 m 的脱空以及地下发育的具有一定规模的洞穴。

3.14 疏松 unconsolidated soil

路面路基、地层内部的空洞、脱空、疏松密实度明显低于周边结构层,局部相对松散的现象。

3.15 隐性病害验证 verification of hidden distress

在道路隐性病害雷达检测成果的基础上,采取钻探、开挖、触探等方法对查明的病害进行验证,当不满足上述验证手段的实施条件时,可采用其他物探方法进行验证。

3.16 异常区域 abnormal area

介电常数存在较大差异,并能够在探地雷达图谱中通过电磁反射波振幅、同相轴及反射波频谱变化等特性明显显示出来的目标体(或地质体)。

3.17 距离测量装置(DMI) distance measure instrument

一种通过转动来测量距离的装置,每转动一圈产生固定的脉冲数,实际测距时根据脉冲数和测量轮的周长可以确定距离。

3.18 地理信息系统(GIS) geographic information system

在计算机硬、软件系统支持下,对整个或部分地球表层(包括大气层)空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。

3.19 定位系统 positioning system

通过卫星对地面目标进行准确定位的集合体或装置(部件),包括北斗卫星导航系统(BDS)、全球卫星定位系统(GPS)和全球卫星导航系统(GLONASS)、惯性导航系统、全站仪等。

4 基本规定

4.1 道路隐性病害三维探地雷达检测应遵循客观、系统、科学的原则,依据道路实际情况,并综合考虑影响道路雷达检测工作的因素,制定道路雷达检测方案。

4.2 检测单位应具备测绘资质或工程勘察专业类资质或 CMA 检验检测机构资质。检测负责人应具备道路隐性病害雷达检测经验。

4.3 检测设备应经过周期比对核查或检定,确保性能完好,方可投入使用。在使用、运输和保管过程中应防水、防潮、防尘、防高温、防寒等。核查或检定可参考 JJG(交通)130-2016 相关规定。

4.4 道路隐性病害三维探地雷达检测工作应以预防事故隐患为目标,严格防范道路塌陷或隆起,宜通过建设数字化信息平台对道路安全隐患进行预警、监测等数字化管理,降低道路塌陷等风险。

4.5 道路隐性病害三维探地雷达检测工作应结合工程地质条件、水文地质条件、气象条件及地下工程施工、已发生病害记录等资料有针对性地开展；尤其应在汛期后与冻融期加强检测。

5 检测项目分类及要求

5.1 项目基本分类

根据项目开展方式与检测要求，道路隐性病害检测工作宜分为定期检测、专项检测与应急检测。

5.2 定期检测

5.2.1 以下道路区域应开展定期检测工作，检测周期需满足如下要求：

- a) 城市主干路、快速路、次干路检测周期不宜超过1年，支路检测周期不宜超过2年；
- b) 在学校、医院、主要景区、主要商业街区等人流密集区域的道路上，检测周期不宜超过1年；
- c) 在重点管线区域、大型地下穿越工程沿线及周边区域的道路上，检测周期不宜超过1年；
- d) 在地下病害体修复的路段，应加强检测，检测周期不宜超过6个月。

5.2.2 对于发现的地下病害体应加强监测：

- a) 对于已处置病害体，复测周期应符合第7章相关规定；
- b) 对于未处置的病害体，应根据病害体规模及周边因素综合评估制定检测计划，定期对病害体开展复测。

5.3 专项检测

需要针对以下情况开展专项检测工作，并根据实际情况和相关要求及时安排检测工作：

- a) 重大地下工程应该在施工前、施工中、竣工后开展周边道路地下病害体检测，施工跨度超过6个月的应加密检测，检测频率不宜低于1次/月；
- b) 重点保障项目、重要大型活动、外交、大型体育赛事等文体活动举办地周边道路区域，在活动举办前1个月内进行检测；
- c) 根据汛期及汛期后、地下水位突然变化、道路荷载增加等环境变化的影响情况安排检测；
- d) 其他潜在安全风险区域，在周边影响路段灵活安排地下病害体检测工作。

5.4 应急检测

出现以下情况之一，应开展应急检测工作：

- a) 24小时内发生过塌陷事故；
- b) 建筑物、道路交叉口或管线累计沉降量超限，或地面出现明显沉降或塌陷；
- c) 地面累计沉降量报警，或地下工程发生渗水、涌水、漏砂、隆起等危险情况；
- d) 在对地下管渠或其附属设施进行排查、检测或养护工作中发现渗漏、破损、损坏等隐患；
- e) 管理单位认为有其他需要进行应急检测的情况。

6 检测系统

6.1 一般规定

6.1.1 检测系统应包括检测设备和数据软件。

6.1.2 检测设备应包括下列内容：

- a) 数据采集电脑等操作平台和控制系统；

- b) 三维探地雷达系统;
- c) 定位设备;
- d) 辅助设备。

6.1.3 检测设备应定期进行检定、自校或比对核查,确保性能完好,方可投入使用。检定、自校或比对核查性能指标及方法可参考 JJG (交通) 124-2023 有关规定。

6.1.4 数据软件应包括下列内容:

- a) 数据采集软件;
- b) 数据解译软件。

6.2 操作平台和控制系统

6.2.1 操作平台和控制系统一般为工业级控制计算机。要求坚固耐用,能适应车载震动、温湿度变化,显示单元宜具备高亮度、防眩光。控制系统界面应能显示雷达剖面、定位地图、系统状态、参数设置等。

6.3 三维探地雷达

6.3.1 三维探地雷达系统天线阵列应能实现三维采集,具有坐标定位和测距功能,自带三维电磁波数据处理、解释软件。

6.3.2 三维探地雷达系统参数符合下列规定:

- a) 多通道天线阵列布局应合理;
- b) 检测时窗宜为0~256ns;
- c) 信噪比应大于或等于70dB;
- d) 扫描速率应大于或等于300线/s;
- e) A/D转换的位数应大于或等于16位;
- f) 配置天线应具备屏蔽功能。

6.4 定位设备

6.4.1 定位设备应具备在道路病害雷达检测中快速、实时为检测系统定位的功能,提供目标、雷达和运载平台的空间位置及检测时的运行轨迹。

6.4.2 定位设备应包括下列功能:

- a) 定位设备应能与检测设备进行关联,检测设备通过获取定位设备端口、波特率、数据位长、停止位、奇偶校验等信息,可将地理信息系统连接到选定的定位设备,对定位数据进行管理显示;
- b) 雷达检测时,定位设备应能同步记录下每个检测点的X、Y、Z空间坐标,将该坐标导入到地理信息图形显示系统后,可实现检测工作的定位、导航;
- c) 定位设备应能显示检测点轨迹线,应能读取异常点坐标信息。

6.4.3 定位设备性能指标应符合 CJJ/T73 的有关规定。

6.5 辅助设备

6.5.1 同步控制系统应由距离测量装置(DMI)进行触发,并可单独控制各设备的触发间隔。

6.5.2 视频设备宜由摄像机、传输线缆、视频监控平台组成,可对雷达检测活动进行全程记录,并监测路况,辅助判别雷达异常区域。摄像机安装和使用应符合 T/CMEA 2 的规定。

6.6 数据采集软件

6.6.1 数据采集软件应能实现对检测系统的控制,包括对雷达数据和定位数据的实时采集、存储与显示。

6.6.2 数据采集软件应具备下列功能：

- a) 三维多通道探地雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- b) 定位设备参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- c) 基于地理信息系统的实时检测轨迹显示；

6.7 数据解译软件

6.7.1 数据解译软件应能实现对雷达数据和定位数据的处理，以识别并定位道路隐性病害异常区域。

6.7.2 数据解译软件应具备下列功能：

- a) 文件管理，包括数据打开、数据存储、项目管理、位图输出；
- b) 参数设置，包括文件编辑、数据显示方式设置、标记编辑；
- c) 数据预处理，包括数据合并与分割、剖面翻转；
- d) 雷达数据处理，包括去噪、滤波、反褶积、偏移、零点校正和增益放大等；
- e) 定位数据处理；
- f) 回放雷达数据、视频数据和检测轨迹；
- g) 层位追踪和厚度计算；
- h) 病害的识别、分析和定位。

7 检测方法与流程

7.1 一般规定

7.1.1 多通道探地雷达应配备不同频率天线，以满足不同检测深度要求，雷达天线中心频率选择应符合表1的规定。检测前应根据路面路基、地层物性情况进行检测深度试验。

表1 推荐天线中心频率与检测深度对应关系

最大检测深度 (m)	中心频率 (MHz)
1.0	>500
1.0~2.0	200~500
2.0~5.0	100~200

7.1.2 道路隐性病害雷达检测流程应包括下列内容：

- a) 现场踏勘与资料收集，如检测范围内的工程地质资料、地下管线资料、设计施工文件、已有检测资料等；
- b) 检测方案制定，包括项目概况、检测设备、检测工作计划等内容；
- c) 现场数据采集；
- d) 雷达数据解译；
- e) 解译结果复核；
- f) 疑似病害定位与复测；
- g) 病害异常类型判断；
- h) 成果验证，如钻探等；
- i) 成因分析与处置建议；
- j) 检测报告编写与提交。

7.1.3 道路隐性病害雷达检测流程应按图1进行。

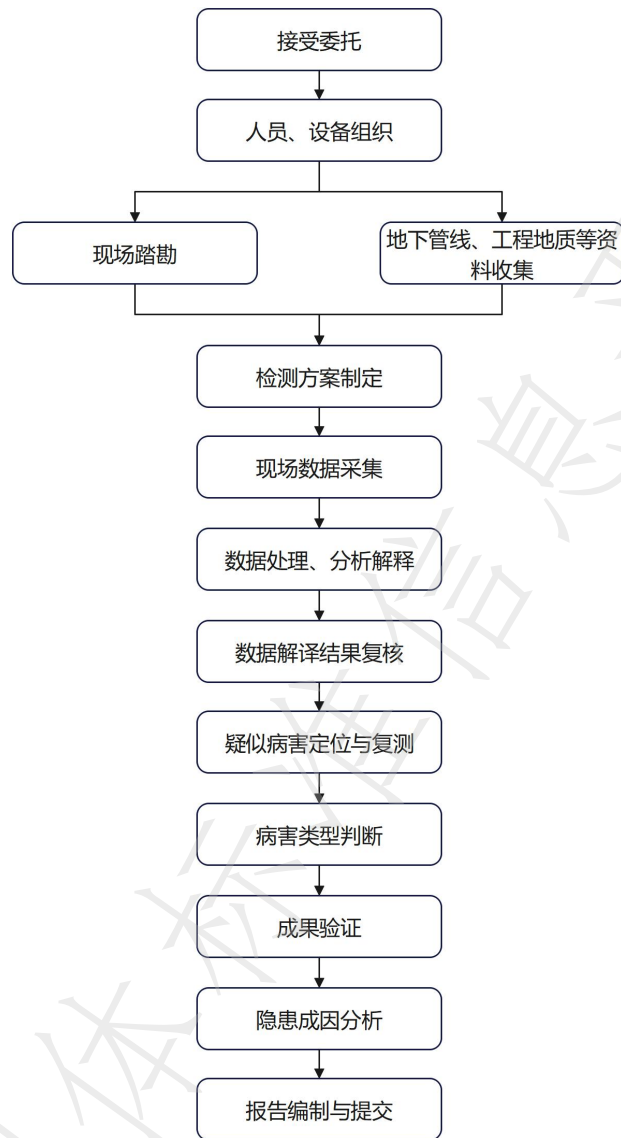


图 1 道路隐性病害雷达检测流程图

7.2 检测准备工作

- 7.2.1 雷达检测工作应避免在路面积水或积雪时进行，检测环境温度应为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 。
- 7.2.2 道路隐性病害雷达检测的技术准备工作应包括资料收集、现场踏勘、编写检测方案等内容。
- 7.2.3 检测工作开始前应进行仪器设备标定。

7.3 测线布设

7.3.1 测线布设应符合下列规定：

- a) 测线布设应完整、连续，应标记和尽量避开已知雷达干扰源；
- b) 首次检测测线布设应达到检测区域全面覆盖的目标，测线宜与车道平行；
- c) 重点检测区域或复查异常区域，测线应加密布设或交叉布设。

7.3.2 定期检测检测范围和测线布设应符合下列规定：

- a) 检测范围应达到检测区域全面覆盖的目标，道路交叉口、渠化岛弯道、小区出入口等区域宜适当扩大检测范围；

b)沿行车方向每个车道应至少布设1条测线，单条测线不宜超过5km；非车道场所测线布置应依照检测方案执行；

- c)测线末端宜超过检测区域边缘10m；
- d)复测时加密测线或交叉测线间距不应大于1m。

7.3.3 专项检测检测范围应根据现场踏勘、资料收集后，结合委托方要求，进行专项方案编制，测线布设按方案执行。

7.3.4 应急检测检测范围和测线布设应符合下列规定：

- a)采用网格化布设测线；
- b)沿道路轴线方向的测线长度应超过病害区域20m；
- c)垂直道路轴线方向的测线宜根据实际道路条件延长。

7.4 系统标定

7.4.1 测距轮标定选取平整、无坡度路面。标定距离应不小于100m，误差应不大于2%。当承载车胎压变化明显或日平均气温变化超过15℃时，应重复此项标定。

7.4.2 检测不同结构或材料的道路路基路面时，应标定结构或材料相对介电常数或电磁波传播速度。相对介电常数的标定距离不小于检测路段长度和5km中的小值；标定点位个数不少于4个，标定段内相对介电常数取平均值。病害较多时，应适当增加标定长度和标定点数。标定方法包括金属薄板法、钻芯实测法，参照附录A。

7.5 现场检测

现场检测步骤应符合下列规定：

- a)安装仪器设备，天线支架周围应配备警示灯、反光条带、警示牌；
- b)打开数据采集软件，进行探地雷达系统试运行；
- c)根据雷达天线宽度、检测目的、测区地形、工程地质情况提前布置测线，应做到行车道全覆盖，测线应沿车道前进方向布设；
- d)根据雷达天线频率合理调整车行驶速度；
- e)记录检测区域起点位置与终点位置，检测过程中记录路表病害位置信息；
- f)检测结束后，操作人员应检查数据文件，要求文件完整，内容正常，否则重新检测。
- g)现场检测记录信息参照附录B。

7.6 数据采集

7.6.1 检测参数设定应符合下列规定：

- a)检测参数设定能满足项目检测要求，并达到最佳检测效果；
- b)检测时窗宜根据最大检测深度和地下介质的电磁波传播速度综合确定；
- c)信号的增益宜使信号幅值不超过信号监视窗口的3/4；
- d)宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；

7.6.2 检测数据采集应符合下列规定：

- a)数据采集工作时间应综合考虑检测区域内交通车流、设施障碍的影响；
- b)天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；
- c)及时记录信号异常，并分析异常原因，必要时进行复测；
- d)及时记录各类干扰源及地面积水、积雪、变形等环境情况；
- e)发现疑似道路病害隐患时，应进行标记；
- f)检测区域局部不满足检测条件时，记录其位置和范围，待具备检测条件后补测；

- g) 数据采集过程中按本文件附录B表进行道路隐性病害三维雷达检测记录；
- h) 当采用差分GPS进行测线轨迹定位时，合理设置基准站，并进行定点测量验证。

7.6.3 检测数据质量管理应符合下列规定：

- a) 在检测过程中，检测单位应加强自检自查工作，定期进行过程检查及资料审核；当原始资料不完整或质量不合格时，应及时进行补检或重检；对遗漏路段，应进行补检；
- b) 原始数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- c) 数据预处理应符合信号保真性原则，有效信号深度应符合技术要求，预处理结果应满足解译需要；
- d) 现场记录应完整，且与检测数据保持一致；
- e) 数据采集时应合理设置增益，避免信号幅值过度饱和导致削波，确保有效信号清晰可辨；
- f) 数据剖面上不应出现连续的坏道。

7.7 数据解译

7.7.1 雷达数据解译应包括下列内容：

- a) 数据处理；
- b) 异常识别；
- c) 数据解译。

7.7.2 雷达数据处理应包括雷达检测、定位测量等数据的处理。

7.7.3 雷达数据处理应符合下列规定：

- a) 采集的数据应采用下列方法进行背景去除处理，去除干扰信号：
 - i. 根据电磁波遥感雷达数据频率分布，设定滤波参数，进行滤波处理；
 - ii. 对特定地下目标进行增益、偏移成像处理。
- b) 三维探地雷达应寻找各通道数据之间的相关性；
- c) 比对雷达图像和典型雷达图谱，确定异常点；
- d) 结合定位数据和视频数据，确定雷达异常点在道路上的准确位置；
- e) 原始数据应及时归档，保证溯源。

7.7.4 雷达数据异常识别要素应包括反射波能量、背景回波、波形的相似性、波形的连续性。

7.7.5 雷达数据综合解译应结合水文地质资料、地上和地下建筑物、构筑物资料及道路设施状况，剔除检测结果粗差，获取异常信息，并应解译该异常信息。

7.7.6 雷达数据异常点解译结果应包括地下空洞、脱空、疏松。

7.7.7 参考 JGJ/T 437 的相关规定，常见地下异常体雷达图谱特征可按附录 C 进行解译。

7.7.8 参考 T/CMEA 2 的相关规定，道路隐性病害类型应按附录 D 划分。

7.8 隐性病害雷达复测与钻孔验证

7.8.1 道路隐性病害位置信息应由定位设备确定。

7.8.2 道路隐性病害位置信息应包括坐标信息、影像信息、位置的文字描述信息和现场标注信息，并将信息汇总到道路隐性病害目标信息汇总表。

7.8.3 雷达复测病害的数量应不少于病害总数的 30%，且不宜少于 3 处。测线布设应符合下列规定：

- a) 采用网格化加密布设测线；
- b) 沿道路轴线方向的加密测线长度应超过异常区域（沿道路轴线方向）两边各不小于20m范围；
- c) 垂直道路轴线方向的加密测线宜根据实际道路条件宜尽可能延长；
- d) 加密测线的间距确保不应大于1m；
- e) 超出异常区域范围外仍应布设不少于2条测线。

7.8.4 道路隐性病害雷达检测成果的钻孔验证应确定病害的类型、埋深等属性。

7.8.5 成果钻孔验证点应根据隐性病害类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择。

7.8.6 成果钻孔验证点的数量应不少于病害总数的 20%，且不宜少于 3 处。

7.8.7 应根据岩土特性选择验证方法，应符合下列规定：

- a) 应优先选用钻探、挖探、触探等方法；
- b) 验证点应布设在隐性病害的雷达数据异常反应最强部位或中心部位；
- c) 当验证隐性病害边界时，宜在隐性病害边缘增设验证点；
- d) 当不具备钻探、挖探、触探等作业条件时，可选用其他物探方法进行验证。

7.8.8 钻探、挖探、触探验证完成后应按 JGJ/T 87 的规定进行回填。

7.9 隐性病害成因分析及处治

7.9.1 应根据隐性病害的类型、规模，结合隐患周边岩土、水文、地下管线、地铁工程等信息，判断道路隐性病害的成因。

7.9.2 道路隐性病害处置应参考病害的类型、等级、深度、面积、位置等信息按照 T/CMEA 2 进行，并应符合附录 E 的规定。

7.10 隐性病害动态管理

道路隐性病害应进行动态管理。病害进行处理后，应按照不同的周期进行复测，依据周期复测结果重新评定病害等级，并给出后续处置建议。周期复测结果满足对应条件后，隐性病害可消除，相关条件参照表2。

表 2 病害复测周期和消除条件

病害类型	复测周期	病害消除条件
空洞	3 个月	病害处理后连续 2 次周期复测无异常，消除
脱空	3 个月	病害处理后连续 2 次周期复测无异常，消除
疏松	6 个月	病害处理后连续 2 次周期复测无异常，消除

8 检测成果

8.1 一般规定

8.1.1 检测成果应遵循解译正确、科学有据、结论明确的原则。

8.1.2 检测成果应包括文字报告、成果图件和数据资料。

8.1.3 报告编写应根据检测项目任务书、设计书及有关标准进行。

8.1.4 成果图件应清晰明了。

8.2 检测成果编制

8.2.1 检测报告编制内容应详细、清晰、完整地反映整个检测过程。

8.2.2 检测报告应包括但不限于下列内容：

- a) 项目概况；
- b) 技术依据；
- c) 检测区域概况；
- d) 数据处理与解释；
- e) 检测成果；

- f) 成果验证;
- g) 病害成因分析;
- h) 结论及处置建议;
- i) 附图和附表。

8.2.3 道路隐性病害目标信息汇总表应包括病害编号、经纬度大地坐标、位置、规模尺寸及病害类型等，记录应符合附录 F 的规定。

8.2.4 道路隐性病害钻孔验证表应包括钻孔点位置、顶底埋深等，记录应符合附录 G 的规定。

8.2.5 道路隐性病害平面分布图应根据病害类型采用统一的代号、颜色和图例编制。

8.2.6 成果解释剖面图绘制应标明隐性病害的空间位置、形态及类型。

9 附录

附录 A 相对介电常数标定

A.1 金属薄板法

A.1.1 将长宽不小于 $3 \times 3\text{m}$ ，厚度不小于 5mm 的金属板放置于待测道路，将三维探地雷达连接并预热，将雷达天线阵列悬空置于金属板上方测得金属板反射振幅 A_p 。将金属板移除，将雷达天线阵列悬空置于相同位置，天线阵列悬空置于金属板上方测得公路面层反射振幅 A_r 。

A.1.2 利用公式(A.1)、(A.2)计算公路面层材料相对介电常数。

$$\sqrt{\epsilon_r} = \frac{1+R}{1-R} \quad (\text{A.1})$$

$$R = \frac{A_r}{A_p} \quad (\text{A.2})$$

式中：

R ——电磁波在不同介质界面的反射系数；

A_r ——公路面层反射波振幅；

A_p ——金属板反射波振幅。

A.1.3 金属薄板法仅适用于空气耦合探地雷达天线，且仅能测得公路面层材料相对介电常数。

A.2 钻芯实测法

A.2.1 将雷达天线阵列置于待测道路，测得公路路基路面电磁波反射时间 t 。在相同位置钻取公路路基路面芯样，量取面层、基层等厚度 d 。

A.2.2 电磁波在芯样内部传播双程时间 t 直接从探地雷达图像获取，按照公式(A.3)可计算得到材料相对介电常数。

$$\epsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2 \quad (\text{A.3})$$

式中：

t ——双程旅行时间（ns）；

d ——标定目标厚度（cm）。

A.2.3 钻芯实测法能够测得公路路基路面任意相对介电常数，但是结果代表性较差。

附录C 道路隐性病害雷达图谱特征及典型图谱

道路隐性病害的探地雷达图谱特征及典型图谱

地下病害体		波组形态	振幅	相位与频谱
脱空		1 顶部形成连续的同向性反射波组，表现为似平板状形态； 2 多次波明显。	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场。
空洞		1 似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态； 2 似方形空洞反射波表现为正向连续平板状形态； 3 绕射波明显； 4 多次波明显。	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场。
疏松体	严重疏松体	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 多次波较明显； 3 绕射波较明显； 4 内部波形结构杂乱。	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场。
	一般疏松体	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 多次波不明显； 3 绕射波不明显； 4 内部波形结构较杂乱。	整体振幅较强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场。

图 C-1 空洞特征图谱

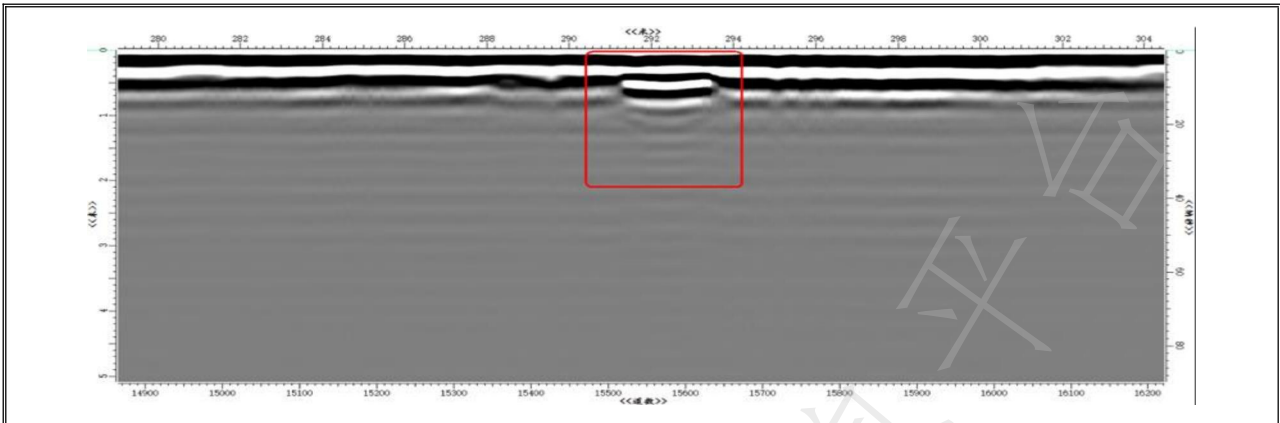


图 C-2 脱空特征图谱

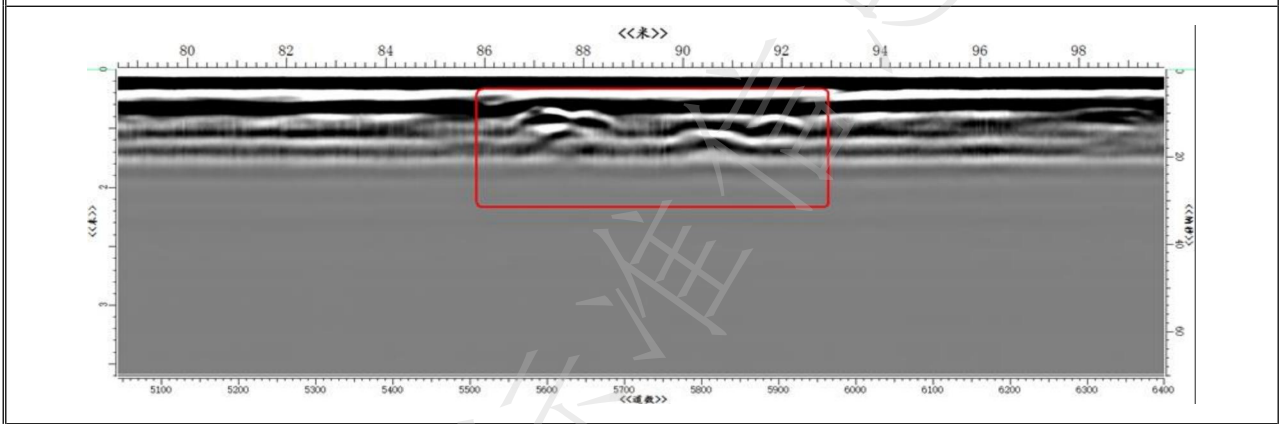


图 C-3 疏松特征图谱

附录D 道路隐性病害类型及特征

道路隐性病害类型及特征

病害类型	病害特征
疏松	(1) 结构层或土层孔隙率大、不密实、结构不均匀； (2) 松散程度大，强度低，压缩性强。
脱空	结构层之间或结构层与土层之间产生分离，分离净空小于 50cm。
空洞	(1) 分离净空大于或等于 50cm 及内部产生的空腔； (2) 位于土层中，其内部土体大量流失； (3) 上部一般为脱空区，下部为疏松区，对上部结构的稳定性构成威胁。

附录E 道路隐性病害处置措施汇总

道路隐性病害处置措施

隐患类型	规模	位置	危害程度	紧急程度	处置建议
空洞	规模较大	位于主路	危害严重	应立即处理	(1) 查明原因, 消除诱因; (2) 挖探、回填、碾压密实或注浆。
空洞	规模较小	位于主路	危害较大	应立即处理	(1) 查明原因, 消除诱因; (2) 挖探、回填、碾压密实或注浆。
空洞	规模较大	位于辅路	危害较大	应立即处理	(1) 查明原因, 消除诱因; (2) 挖探、回填、碾压密实或注浆。
空洞	规模较小	位于辅路	危害一般	应尽快处理	(1) 查明原因, 消除诱因; (2) 挖探、回填、碾压密实或注浆。
脱空	-	-	危害一般	应尽快处理	(1) 查明原因, 消除诱因; (2) 挖探、回填、碾压密实或注浆。
疏松	-	-	危害较小	应安排处理计划	挖探、回填、碾压密实或注浆。

附录F 道路隐性病害雷达检测信息表

道路隐性病害信息汇总表

第 页 共 页

项目名称				填报时间						
序号	文件名	道路名称	中心坐标位置		位置描述	异常区域				
			X	Y		长度 (m)	宽度 (m)	面积 (m ²)	深度范围 (m)	病害类型
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
备注:										

检测:

复核:

T/GXGS 01—2026

附录G 道路隐性病害钻孔验证表

道路隐性病害钻孔验证表

第 页 共 页

项目名称					钻孔时间			
序号	文件名	道路名称	钻孔点坐标	钻孔情况			病害情况	
				钻孔深 (m)	病害 类型	病害深度 范围 (m)		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

检测：

复核：