

ICS 号
中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/CHTS XXXXX-XXXX
代替的团体标准编号

公路路基路面隐性病害三维雷达检测技术规程

Technical Regulation of 3D Ground Penetrating Radar detection
for hidden defects of road subgrade and pavement

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国公路学会 发布

团体标准

公路路基路面隐性病害三维雷达检测技术规程

**Technical Regulation of 3D Ground Penetrating Radar detection
for hidden defects of road subgrade and pavement**

T/CHTS XXXXX-20XX

主编单位：哈尔滨工业大学
发布单位：中国公路学会
实施日期：××××年××月××日

××××××(出版单位)

中国公路学会关于发布 《公路路基路面隐性病害三维雷达检测技 术规程》的

公 告

×××× (文号)

现发布中国公路学会标准《公路路基路面隐性病害三维雷达检测技术规程》(T/CHTS ×××××—×××××), 自××××年××月××日起实施。

《×××××××××》(T/CHTS ×××××—×××××) 的版权和解释权归中国公路学会所有, 并委托主编单位哈尔滨工业大学负责日常解释和管理工作。

中国公路学会

××××年××月××日

中国公路学会标准征求意见稿

前 言

本规程是在系统总结国内三维探地雷达路基路面隐性病害检测技术研究成果和工程经验的基础上编制而成。

本规程按照《中国公路学会标准编写规则》(T/CHTS 10001)编写。共分为8章和3个附录,主要内容包括:1总则;2术语和符号;3检测设备;4检测准备;5现场作业;6数据处理;7路基路面隐性病害识别与评价;8成果报告;附录A公路材料相对介电常数标定记录表;附录B隐性病害记录表;附录C三维探地雷达现场记录汇总表。

本规程实施过程中,请将发现的问题和意见、建议反馈至哈尔滨工业大学(主编单位)(地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路73号哈尔滨工业大学交通科学与工程学院,联系电话:13946329803,电子邮箱:dawei.wang@hit.edu.cn),供修订时参考。

本规程由哈尔滨工业大学提出,受中国公路学会委托,由哈尔滨工业大学负责具体解释工作。

主编单位: 哈尔滨工业大学

参编单位: 北京市市政工程研究院、香港理工大学、欧美大地仪器设备中国有限公司、内蒙古自治区交通运输科学发展研究院、山东省交通科学研究院、云南省交通规划设计研究院有限公司、哈尔滨市城市道路桥梁服务中心、北京市道路工程质量监督站、福建省交通科研院有限公司、太原理工大学、香港城市大学

主要起草人: 王大为、张锋、汤伏蛟、谭忆秋、田春艳、冷真、张袁备、张洪伟、韦金城、陈亮亮、关剑明、薛忠军、王家主、张脩、洪斌、邢超、陆国阳、郭晗、白旭、王颀奇、樊泽鹏、王学营、王琦、吕浩天、叶呈森

主要审查人: ×××、×××、×××

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	检测设备	6
3.1	设备组成	6
3.2	三维探地雷达系统	6
3.3	设备要求	7
4	检测准备	8
4.1	前期准备工作	8
4.2	现场准备工作	8
5	现场作业	10
5.1	采集参数选择	10
5.2	相对介电常数标定	11
5.3	雷达数据采集	15
6	数据处理	16
6.1	一般规定	16
6.2	处理方法	16
7	病害识别与评价	18
7.1	一般规定	18
7.2	病害分类及特征	18
7.3	病害评价与验证	20
8	成果报告	21
8.1	成果报告编制	21
8.2	成果报告提交	21
附录 A	公路材料相对介电常数标定记录表	23
附录 B	隐性病害记录表	24
附录 C	三维探地雷达现场记录汇总表	25

公路路基路面隐性病害三维雷达检测技术规程

1 总则

1.0.1 为规范当前国内三维探地雷达高效检测公路路基路面内部缺陷，保证公路质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于二级及二级以上公路路基路面隐性病害缺陷的检测，可作为交竣工工程质量、既有公路工程质量评价的技术依据。本规程不适用于材料过度潮湿或饱和、连续配筋混凝土以及富铁元素集料等介电常数或导电率较高的道路铺筑材料。

1.0.3 应用本规程要从检测区实际情况出发，合理布置测线，合理选择天线阵列几何尺寸、频率范围、采集模式、采集参数等指标。

1.0.4 应用三维探地雷达进行公路路基路面隐性病害检测除应符合本规程的规定外，尚应符合有关法律、法规及国家、行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 三维探地雷达 3D ground penetrating radar

采用雷达主机发射/接收多通道天线阵电磁波，可实现包括横剖面、纵剖面和水平剖面检测的一种探地雷达。

2.1.2 探地雷达天线 GPR antenna

由发射、接收天线组成，能够发射并接收高频电磁波信号，具有一定分辨率和较强抗干扰能力的装置。

2.1.3 时间脉冲式探地雷达 time impulse GPR

一次性发射电磁波脉冲信号，采用宽带接收器接收电磁波脉冲回波信号的一种时间域探地雷达。

2.1.4 频率步进式探地雷达 step-frequency GPR

按照频率步阶连续发射、接收电磁波信号，通过逆傅里叶变换获得电磁波时间域响应的一种频率域探地雷达。

2.1.5 垂直分辨率 vertical resolution

雷达所能够分辨的垂向最小尺寸，以长度为单位。

2.1.6 主频 main frequency

最大有效频率与最小有效频率的平均值。

2.1.7 带宽 band width

最大有效频率与最小有效频率之差。

2.1.8 时窗 time window

数据分析软件中显示的雷达天线发射并接收信号的时间范围。

2.1.9 相对介电常数 relative dielectric constant

某介质的介电常数与真空介电常数的比值，为无量纲的物理参数。

2.1.10 共中心点法 common midpoint method

将三维探地雷达收发天线以一定距离按中心线对称排列的采集方法。

2.1.11 同相轴 event

电磁波回波信号沿采集方向回波振幅相位相同的极值（波峰或波谷）的连线。

2.1.12 隐性病害 concealed defect

路表不可见的隐藏缝、空洞、富水、松散等公路结构层内部病害。

2.1.13 隐藏缝 concealed crack

基层、路基由于道路材料的疲劳、温差膨胀、收缩或者地基沉陷产生的内部裂缝。

2.1.14 空洞 void

公路结构层中自然发育或人工扰动形成的具有一定规模的洞体。

2.1.15 富水 water-rich void

道路材料表现出含水量明显高于周边土体的现象。

2.1.16 松散 loose

道路结构层出现不均匀、不连续、密实度低的现象。

2.1.17 脱空 pavement void

公路结构层之间有一定延伸宽度的小规模洞体。

2.1.18 层间粘结不足 poor interlayer bonding

公路各面层之间或面层与基层之间抗剪强度不足，易发生层间剪切滑移破坏的道路内部结构病害。

2.1.19 沉陷 pavement depression

路基或地基因内部缺陷在受到地下水、行车荷载等因素作用后产生的不良竖向变形。

2.1.20 带通滤波 band-pass filtering

过滤探地雷达脉冲带通信号之外干扰信号的数据处理方法。

2.1.21 时频转换 time-frequency conversion

通过傅里叶变换及其逆变换将数据在时域和频域之间转换的数据处理方法。

2.1.22 信号降噪 signal noise reduction

识别并剔除外部干扰信号源异常频率的数据处理方法。

2.1.23 零时校正 time-zero correction

以地面为参考作为零时点的数据处理方法。

2.1.24 背景去除 background removal

通过对选定信号在整个剖面消除一致性的噪声，抑制水平一致性的能量，达到使雷达电磁波信号清晰的数据处理方法。

2.1.25 增益调节 gain adjustment

通过调节雷达反射信号的幅值达到信号各部分显示效果均衡的数据处理方法。

2.1.26 偏移归位 migration

探地雷达图谱中将地下反射曲线还原到反射物本体形状和位置的数据处理方法。

2.2 符号

A_0 —— 公路表面反射波振幅；

A_p —— 金属板反射波振幅；

H —— 公路路面结构层厚度；

H_m —— 目标探测深度；

k_1 —— 加权系数；

k_2 —— 加权系数；

R —— 电磁波在不同介质界面的反射系数；

T —— 时窗长度；

X_{01} —— T_1 与 R_1 间的距离；

X_{02} —— T_2 与 R_2 间的距离；

X_1 —— 雷达发射-接收天线对 T_1R_1 信号传播至公路结构层表面时的距离；

X_2 —— 雷达发射-接收天线对 T_2R_2 信号传播至公路结构层表面时的距离；

c —— 电磁波在空气中的传播速度；

F —— 中心频率或带宽；

t —— 双程传播时间；

v —— 电磁波在道路材料介质中的传播速度；

x —— 最小分辨率；

ε_r —— 公路路面结构层平均相对介电常数；

Δt —— 采样间隔；

Δt_1 —— 雷达发射—接收天线对 T_1R_1 测量的路面检测层顶部与底部波峰时间差；

Δt_2 —— 雷达发射—接收天线对 T_2R_2 测量的路面检测层顶部与底部波峰时间差。

3 检测设备

3.1 设备组成

3.1.1 主要检测设备应为三维探地雷达系统。辅助检测设备可为二维探地雷达系统、隐性病害可视化验证系统。

3.1.2 三维探地雷达系统应包括雷达主机、阵列天线、采集触发系统、承载车，宜包括定位系统、摄像系统等。可同步采集三维探地雷达图像、坐标位置、路表特征等多种数据信息。

3.1.3 二维探地雷达系统配置应包括雷达主机、天线、显示器、采集触发系统。可用于隐性病害复测与定位。

3.1.4 隐性病害可视化验证系统应包括取芯机、钻机、工业内窥镜，宜包含围挡设施、照明设备等。

3.2 三维探地雷达系统

3.2.1 三维雷达系统按信号调制方式可分为时域脉冲式和频率步进式。

3.2.2 应根据工作目的、探测层位、探测深度以及探测分辨率等因素综合分析选择时域脉冲式探地雷达中心频率或频率步进式探地雷达带宽。

3.2.3 三维探地雷达天线阵列可分为空气耦合式天线和地面耦合式天线。

3.2.4 空气耦合式天线距路表高度宜在 10 cm-60 cm 范围内，检测速度宜在 20 km/h-80 km/h 范围内。

3.2.5 地面耦合式天线距路表高度宜不超过 10 cm。地面耦合式天线贴地检测时，检测速度不宜超过 20 km/h；天线离地检测时，检测速度不宜超过 50 km/h。

条文说明

地面耦合式天线贴地检测数据质量最佳。天线检测速度要根据现场路面平整状况而选择，以免损伤天线。

3.3 设备要求

3.3.1 三维探地雷达系统应每 2 年进行检验、校准和保养,检验项目及性能指标应符合《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》(JT/T 940)的有关规定。

3.3.2 定位系统可选择厘米级 RTK 测量接收机、全自动全站仪等,其性能指标应符合《卫星定位城市测量技术标准》(CJJ/T73)的有关规定。

3.3.3 三维探地雷达设备主要性能应满足以下要求:

- 1 天线阵列通道数不应少于 10 道,各通道频率和间距应保持良好的 consistency。
- 2 A/D 转换位数不应小于 16 bit。
- 3 系统工作环境温度宜为-30 ℃-40 ℃。

4 检测准备

4.1 前期准备工作

4.1.1 雷达数据采集前应进行检测路段资料调查。检测路段资料调查宜包括下列内容：

- 1 路基路面结构、材料等相关资料；
- 2 三年内路基路面养护及维修等相关资料；
- 3 历年路基路面隐性病害检测结果；
- 4 检测工作相关的其他资料。

4.1.2 检测路段资料调查后应进行现场踏勘。现场踏勘应包括下列内容：

- 1 应校核检测路段内的车道数与坐标控制点；
- 2 应记录主要干扰源的分布；
- 3 应核实已收集资料完整性及有效性，评估现场作业可行性。

4.2 现场准备工作

4.2.1 现场准备工作宜包括路段环境检测、设备安装与开机、距离标定、测线布置。

4.2.2 现场作业前应检查检测路段环境。检测路段环境应符合下列要求：

- 1 气温应在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内；
- 2 路面宜清洁、平整，无大块凸起物；
- 3 周围应无强电磁干扰信号；
- 4 路面应无明显积水，无降雨、降雪及沙尘干扰。

4.2.3 现场作业前应进行设备安装与开机。设备安装与开机应符合下列要求：

- 1 应按照设备厂商提供的安装方法将雷达主机、阵列天线、采集触发设备、定位设备等安装牢固。
- 2 应检查设备各连接线安装无误。
- 3 设备开机应预热，时间应不低于厂商规定。

4.2.4 现场作业前应进行距离标定。距离标定应符合下列要求：

- 1 标定路段路面应平整、无坡度；
- 2 标定距离应不小于 50 m，误差应不大于 2 %；
- 3 当承载车胎压变化明显或日平均气温变化超过 15 ℃时，宜重复此项标定。

4.2.5 测线应根据雷达天线宽度、工程地质、检测路段环境等因素提前布设。测线布设应符合下列要求：

- 1 测线应沿车道前进方向布设。
- 2 测线间距应不大于雷达天线阵列宽度的 0.5 倍。
- 3 测线布设宜完整覆盖检测路段。

5 现场作业

5.1 采集参数选择

5.1.1 采集参数应根据检测设备、检测深度等因素综合分析确定。

5.1.2 天线中心频率或带宽可按下列公式计算：

$$F = k_1 \frac{c}{2x\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.1.2)$$

式中：F——中心频率或带宽（GHz）。当天线为时域脉冲式时为中心频率；当天线为频率步进式时为带宽；

k_1 ——加权系数。当天线为时域脉冲式时取 1。当天线为频率步进式时，充分考虑全频率信号衰减，干扰源种类小于等于 4 种或干扰源距天线大于 3 m 时，取 1.1；干扰源种类大于 4 种或干扰源距天线小于 3 m 时，取 1.2；

x ——分辨率（cm）；

ϵ_r ——公路结构层平均相对介电常数；

c ——电磁波在空气中的传播速度，取 30 cm/ns。

5.1.3 雷达数据采集时窗长度可按下列公式计算：

$$T = k_2 \frac{2H_m}{v} \quad (5.1.3)$$

式中：T——时窗长度（ns）；

k_2 ——加权系数，取 2.0-2.5，考虑目标深度的变化，目标深度越小，加权系数越大；

H_m ——目标深度（cm）；

v ——电磁波在道路材料介质中的传播速度（cm/ns）。

5.1.4 公路结构层材料相对介电常数无法现场快速确定时，可按表 5.1.4 选择三维探地雷达系统采集参数。

表 5.1.4 三维探地雷达系统采集参数选择表

深度（m）	测量误差允许范围（cm）	中心频率（GHz）	带宽（GHz）	时窗长度（ns）
0.3-0.5	±2.0	2.0-3.5	2.0-3.5	5-15

0.4-0.8	±4.0	1.3-2.0	1.5-2.3	8-20
0.8-1.2	±6.0	0.8-1.3	1.0-1.8	15-40
1.2-2.0	±10.0	0.2-0.5	0.2-0.6	20-100
2.0-5.0	±25.0	0.1-0.2	0.1-0.3	40-300
5.0-8.0	±50.0	0.05-0.1	0.1-0.15	120-400

条文说明

公路结构层材料相对介电常数参考本规程第 5.2 节进行确定。当多种频率的天线均能满足分辨率要求时，宜选择频率相对低的天线；当多种频率的天线均能满足检测深度要求时，宜选择频率相对高的天线。

5.2 相对介电常数标定

5.2.1 相对介电常数标定方法应根据检测路段环境、检测深度等因素综合分析确定。数据格式应符合本规程附录 A 的有关规定。

5.2.2 钻芯取样法可用于路基路面各层材料相对介电常数标定。采用钻芯取样法时应符合下列要求：

- 1 数据采集模式应设定为常规采集模式。
- 2 检测路段每 20 km 车道应至少取 4 个芯样进行标定。
- 3 钻取芯样宜整层取出。
- 4 取芯位置应根据随机取样原则选择。
- 5 检测路段内工程地质、路面病害等发生明显变化时，应增加标定点数。

5.2.3 采用钻芯取样法时，相对介电常数应采用下式计算：

$$v = \frac{2H}{t} \quad (5.2.3-1)$$

$$\epsilon_r = \left(\frac{ct}{2H} \right)^2 \quad (5.2.3-2)$$

式中： v ——电磁波在道路材料介质中的传播速度（cm/ns）；

t ——双程走时（ns）；

H ——公路结构层厚度（cm）。

条文说明

钻芯取样法应符合《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450)的有关规定。采集过程中在采集软件及路面雷达天线中心对应位置处做标记,钻取芯样并量测芯样高度。

雷达天线阵列接收天线接收相邻两个发射天线的电磁波反射信号,为常规采集模式,具体信号收发示意图如图 5-1 所示。常规采集模式单次可采集与收发天线对通道数相同的雷达数据。

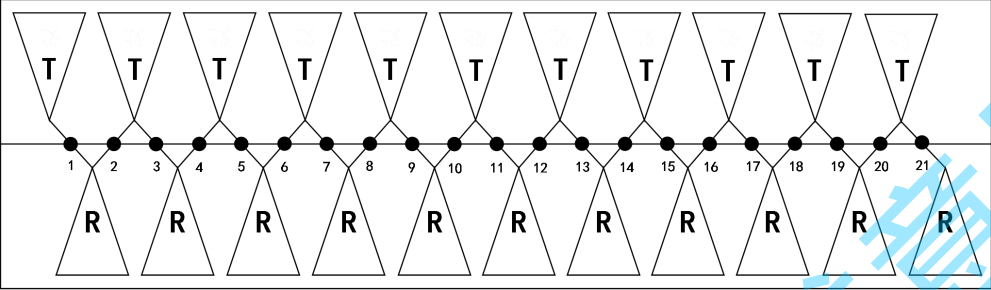


图 5-1 三维探地雷达常规采集模式信号收发示意图

5.2.4 预置金属板法可用于路表相对介电常数标定,如图 5.2.4 所示。采用预制金属板法时应符合下列要求:

- 1 数据采集模式应设定为常规采集模式。
- 2 检测路段每 20 km 车道应至少取 4 个位置进行标定。
- 3 金属板长×宽应不小于 3 m×3 m,厚度应不小于 5 mm。
- 4 金属板与路面应完全贴合。
- 5 标定位置应根据随机取样原则选择。
- 6 检测路段内工程地质、路面病害等发生明显变化时,应增加标定位置。

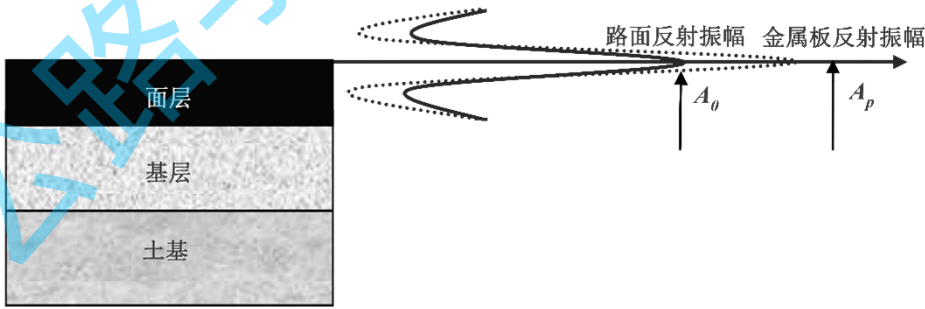


图 5.2.4 探地雷达金属板法测量相对介电常数示意图

5.2.5 采用预置金属板法时,相对介电常数应采用下式计算:

$$R = \frac{A_0}{A_p} \tag{5.2.5-1}$$

$$\sqrt{\varepsilon_r} = \frac{1+R}{1-R} \quad (5.2.5-2)$$

式中： R ——电磁波在不同介质界面的反射系数；

A_o ——公路表面反射波振幅（V/m）；

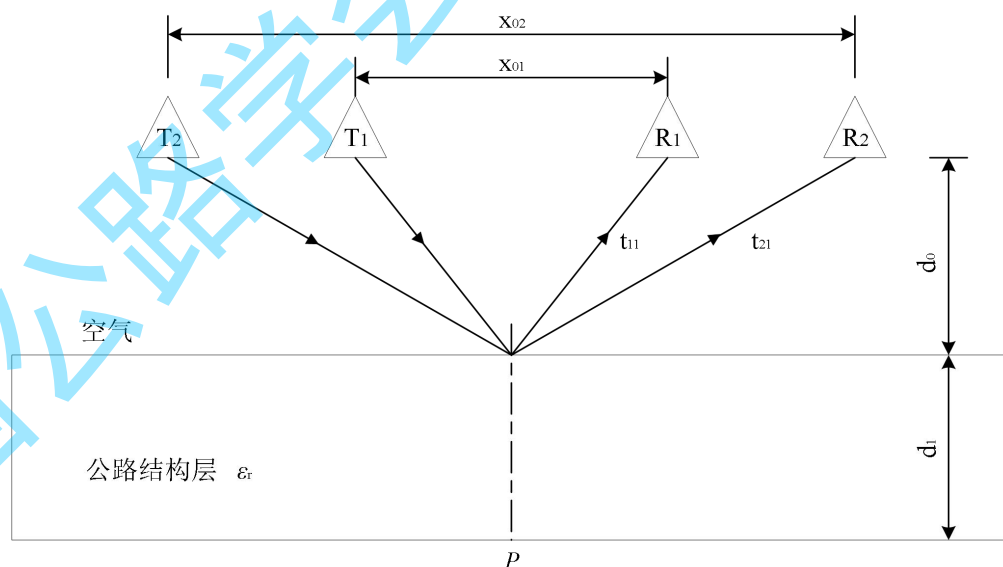
A_p ——金属板反射波振幅（V/m）。

条文说明

预置金属板法是将雷达天线阵列悬空置于金属板上方获取金属板反射振幅；移除金属板将雷达天线阵列悬空置于相同位置，天线阵列悬空置于原金属板位置上方获取公路表面反射波振幅。预置金属板法假定路面材料无损、均匀，能测定路表材料相对介电常数，一般用于新建公路交竣工工程质量评价。

5.2.6 共中心点法可用于路基路面各层材料相对介电常数标定，如图 5.2.6 所示。采用共中心点法时应符合下列要求：

- 1 数据采集模式应设定为共中心点采集模式。
- 2 检测路段每 20 km 车道应至少采集 500 m 共中心点数据，不足 20 km 时宜采集 500 m 数据。
- 3 检测路段内工程地质、路面病害等发生明显变化时，应增加标定距离。



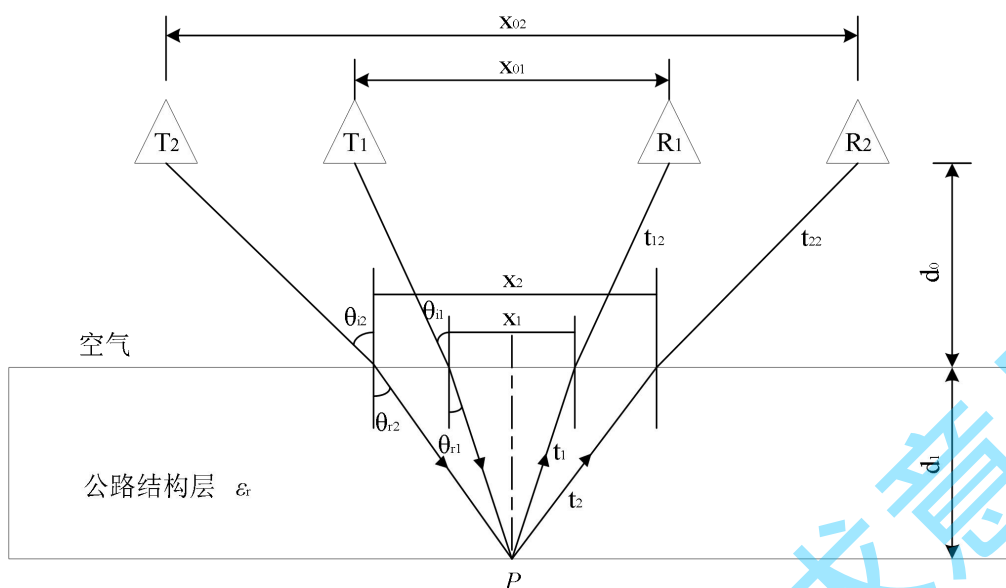


图 5.2.6 探地雷达共中心点法测量相对介电常数示意图

5.2.7 采用共中心点法时，相对介电常数应采用下式计算：

$$\varepsilon_r = \frac{c^2 (t_2^2 - t_1^2)}{X_2^2 - X_1^2} \quad (5.2.7-1)$$

$$\left(\frac{X_{01} - X_1}{2d_0} \right)^2 + 1 = \frac{t_1^2 (X_2^2 - X_1^2)}{t_1^2 (X_2^2 - X_1^2) - c^2 X_1^2 (t_2^2 - t_1^2)} \quad (5.2.7-2)$$

$$\left(\frac{X_{02} - X_2}{2d_0} \right)^2 + 1 = \frac{t_2^2 (X_2^2 - X_1^2)}{t_2^2 (X_2^2 - X_1^2) - c^2 X_2^2 (t_2^2 - t_1^2)} \quad (5.2.7-3)$$

$$t_1 = \Delta t_1 + \frac{\sqrt{4d_0^2 + X_{01}^2}}{c} - \frac{\sqrt{4d_0^2 + (X_{01} - X_1)^2}}{c} \quad (5.2.7-4)$$

$$t_2 = \Delta t_2 + \frac{\sqrt{4d_0^2 + X_{02}^2}}{c} - \frac{\sqrt{4d_0^2 + (X_{02} - X_2)^2}}{c} \quad (5.2.7-5)$$

式中： Δt_1 、 Δt_2 ——雷达发射—接收天线对 T_1R_1 与发射—接收天线对 T_2R_2 测量的路面检测层顶部与底部波峰时间差；

X_{01} —— T_1 与 R_1 间的距离；

X_{02} —— T_1 与 R_2 间的距离；

X_1 、 X_2 ——雷达发射—接收天线对 T_1R_1 信号传播至公路结构层表面时的距离。

条文说明

雷达天线阵列各对发射、接收天线中点通过同一几何中心，为共中心点采集模式，具体信号收发示意图如图 5-2 所示。共中心点采集模式可设置多个几何中心，可计算电磁波在介质中的传播速度，单次可采集与设置几何中心数量相同的雷达数据。该方法适用于单通道信号采样数较高的检测场景。

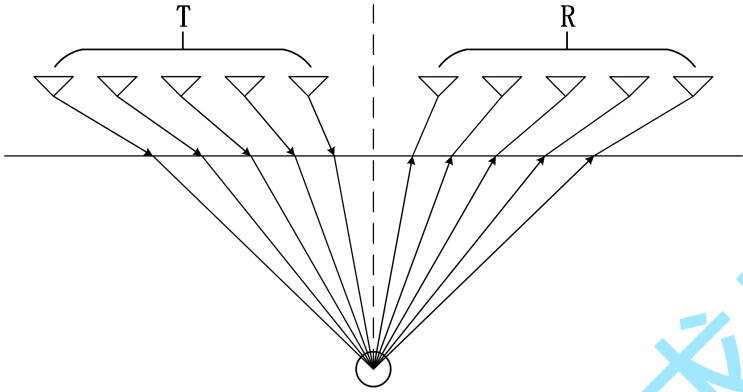


图 5-2 三维探地雷达共中心点采集模式信号收发示意图

5.2.8 同一检测路段标定相对介电常数时，可采用共中点法与钻芯取样法或预置金属板法与钻芯取样法相结合的方式。当共中点法或预置金属板法与钻芯取样法标定同一位置相对误差大于 10%时，宜以钻芯取样法为准。

5.3 雷达数据采集

5.3.1 相对介电常数标定后可进行数据采集。数据采集过程应符合下列要求：

- 1 雷达系统应在检测前试运行。
- 2 承载车行驶速度应根据检测深度、雷达天线种类型号及检测路段环境综合确定，宜符合本规程第 3.2 节的有关规定。
- 3 检测过程中应记录检测路段相关信息及路表病害类型及位置信息，记录格式应符合本规程附录 B 的有关规定。

5.3.2 数据采集结束后应进行数据检查评定。数据检查评定应符合下列要求：

- 1 数据信噪比应满足数据处理、解释、解译的要求。
- 2 数据应完整，无信号中断、位置信息缺失等情况。
- 3 数据宜全面覆盖检测路段。

5.3.3 为消除外界环境、定位信号对雷达检测的影响，应对雷达检测信号异常位置进行复测验证。复测验证比例不少于异常信号位置总数的 10%。

6 数据处理

6.1 一般规定

- 6.1.1 数据处理流程、步骤宜简单高效，应避免过多主观性操作。
- 6.1.2 数据处理宜尽可能减弱干扰信号增强有效信号，提高信噪比。
- 6.1.3 应检查原始数据坐标信息准确性。
- 6.1.4 数据时间零点应与路表位置对应。
- 6.1.5 数据的有效信号深度应在目标检测结构层厚度范围内。

6.2 处理方法

6.2.1 时域脉冲式探地雷达数据处理方法应符合下列内容：

- 1 带通滤波：包括高通、低通滤波；
- 2 去直流漂移；
- 3 零时校正；
- 4 背景去除；
- 5 增益调节：包括线性增益、指数增益、反比增益等；
- 6 偏移归位。

6.2.2 频率步进式探地雷达数据处理方法应符合下列内容：

- 1 时频转换；
- 2 信号降噪；
- 3 零时校正；
- 4 背景去除；
- 5 增益调节：包括线性增益、指数增益、反比增益等；
- 6 偏移归位。

6.2.3 探地雷达数据处理宜包含数据预编辑、数据预处理、常规处理、高级处理、解释处理，雷达数据流程应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》（JGJ/T 437）的有关规定。

条文说明

合理的数据处理方法能够有效消除干扰，提高雷达数据的信噪比、分辨率等。常用的数据处理方法和流程如图 6-1 所示

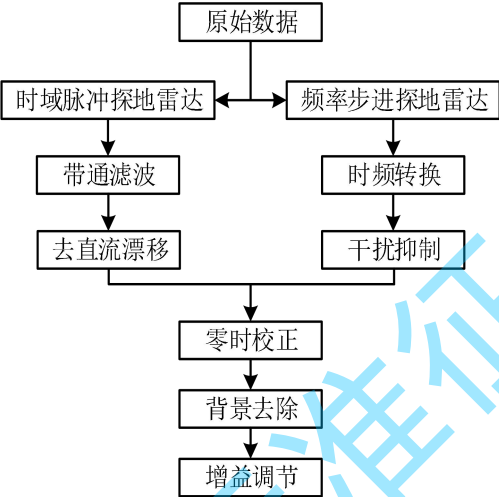


图 6-1 数据处理流程示意图

7 病害识别与评价

7.1 一般规定

7.1.1 用于病害识别的雷达图像数据应清晰、信噪比高。当数据受干扰信号影响过大，难以有效识别病害时，可排查现场干扰源，重新采集数据。

7.1.2 病害识别宜参考不同剖面的雷达图像综合分析判定。

7.1.3 可采用三维探地雷达图像隐性病害智能识别技术进行初步识别，再由专业技术人员对初步识别结果进行二次判别与评价。

7.1.4 应根据现场踏勘和干扰源资料，排除干扰信号。

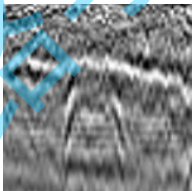
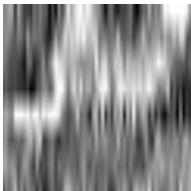
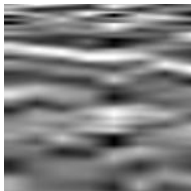
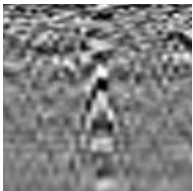

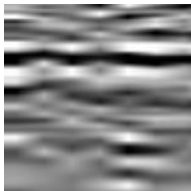
7.1.5 进行病害识别时宜结合地面变形、历史塌陷等调查资料及测区地质资料进行综合分析。

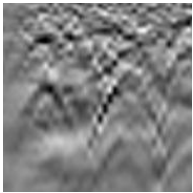
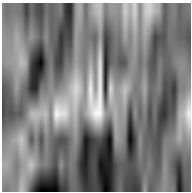
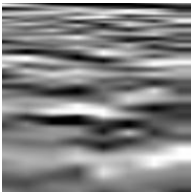
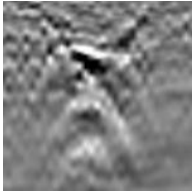

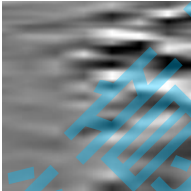


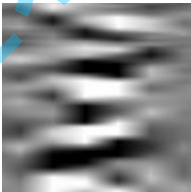
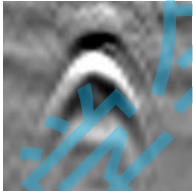
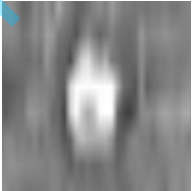
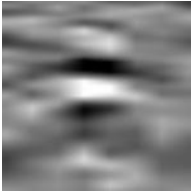
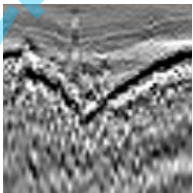
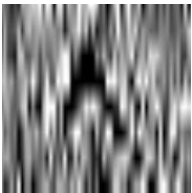
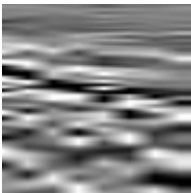
7.1.6 应确定隐性病害的位置、尺寸、埋深，并在雷达图像上标注。

7.2 病害分类及特征

7.2.1 公路路基路面隐性病害可按表 7.2.1 进行分类和识别。

表 7.2.1 公路路基路面隐性病害三维雷达图像特征表

类型	纵剖面探地雷达图像	水平剖面探地雷达图像	横剖面探地雷达图像
层间粘结不足	中部较强振幅的连续同相轴，两端绕射波较明显	较强振幅呈现区域化分布	局部较强区域振幅的连续同相轴
			
隐藏缝（横向）	开口向下对称“双曲线”形，顶端振幅强，有间断，衰减慢	裂纹状“细条带”，沿裂缝发展方向分布	较强振幅同相轴，有间断
			
松散	振幅较强，同相轴不连续，内部波形杂乱，多次波明显，绕射波较明显	较强振幅呈现区域化分布，雪花状明显	较强振幅，无明显同相轴

			
脱空	开口向下“双曲线”形，绕射波明显，多次波较明显	较强振幅呈现区域化分布，区域较小	较强振幅，多次波较明显
			
富水	振幅强，波形规律性强，绕射波不明显，多次波明显	强振幅呈现区域化分布	振幅强，多次波明显
			
空洞	开口向下较大跨度“双曲线”形，绕射波明显，多次波明显	强振幅呈现区域化分布	开口向下“双曲线”形，振幅强，多次波明显
			
沉陷	同相轴向下凹陷、不连续，振幅较强，绕射波不明显	较强振幅呈现区域化分布，雪花状较明显	振幅较强，同相轴非水平
			

条文说明

公路隐性病害在不同剖面具有典型图谱特征。相较于其他无损检测技术，三维探地雷达技术能够多维度分析公路隐性病害。

7.2.2 典型干扰源可分为物体干扰和电磁干扰，具体如表 7.2.2 所示：

表 7.2.2 典型干扰源分类

干扰源类型	典型干扰源
物体干扰	围挡、栏杆、车辆、高架桥、指示牌、排水渠等
电磁干扰	路灯、手机、信号基站、线缆等

7.3 病害评价与验证

7.3.1 宜对严重隐性病害进行复测，进一步确定病害位置和规模。可采用三维或二维雷达网格化加密布置测线束复测，复测区域宜完全覆盖病害。

7.3.2 确定病害范围后，应记录其位置坐标。宜在实地做标记。

7.3.3 病害验证应确定其类型、位置、埋深、净深、尺寸等属性。

7.3.4 病害验证点宜布设在病害雷达图像反映最强的部位或中心部位。

7.3.5 验证可采用钻探的方式进行。验证完成后的回填工作应符合《建筑工程地质勘探与取样技术规程》（JGJ/T 87）的有关规定。

7.3.6 病害验证信息应根据验证方式和现场情况填写于附录 B。

8 成果报告

8.1 成果报告编制

8.1.1 成果报告宜包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 检测设备及工作原理；
- 3 病害识别评定依据；
- 4 现场检测方案；
- 5 检测完成情况及质量评述；
- 6 检测结果；
- 7 结论及病害处治建议；
- 8 成果图。

8.1.2 成果报告应真实完整、文字简洁流畅、结论明确、病害处治建议全面、图表齐全。

8.1.3 病害处治建议应根据隐性病害类型、规模，结合土质、地下水分布及周边管线等信息，初步判断隐性病害成因，并给出相应建议。

8.1.4 成果图应清晰直观、配置合理、符合工程规范要求。

8.1.5 成果图宜包括下列内容：

- 1 各隐性病害三维剖面图；
- 2 各隐性病害平面位置图；

8.2 成果报告提交

8.2.1 文档类成果应包括成果报告、附录 A、附录 C。

8.2.2 数据类成果宜包括下列内容：

- 1 原始检测数据文件；
- 2 最终数据处理文件；
- 3 隐性病害复测数据文件。

8.2.3 图件类成果宜包括下列内容：

- 1 现场工作布设图；
- 2 隐性病害平面分布图；

8.2.4 隐性病害平面分布图宜在工作布设图的基础上编制，宜标注隐性病害类型、编号、位置及规模。

附录 A 公路材料相对介电常数标定记录表

工程名称: _____ 仪器型号: _____ 天线主频/带宽 (GHz): _____

路段名称			测定距离 (m)		实测距离 (m)	显示距离 (m)	距离误差 (%)	
测定路段编号	方法	层位	双程走时 (ns)	实测厚度 (cm)	电磁波速度 (cm/ns)	相对介电常数	平均相对介电常数	变异系数 (%)
	钻芯取样法							
测定路段编号	方法	层位	金属板反射振幅	表面反射波振幅	反射系数	相对介电常数	平均相对介电常数	变异系数 (%)
	预置金属板法							
测定路段编号	方法	层位	Δt_1 (ns)	Δt_2 (ns)	天线悬空高度 (cm)	相对介电常数	平均相对介电常数	变异系数 (%)
	共中心点法							

操作人: _____ 记录人: _____ 校核人: _____ 日期: 第 ____ 页/共 ____ 页

附录 B 隐性病害记录表

工程名称：_____ 仪器型号：_____ 天线主频/带宽（GHz）：_____

编号				公路名称			
病害类型				位置描述			
长/m		宽/m		中心坐标	N		
埋深/m		高度/m			E		
三维剖面图							
地理位置图				病害规模图			
道路现状							
风险发生可能性							
处治建议							
复测验证结果							
周围环境图				雷达复测图			
复测验证图							

操作人：_____ 记录人：_____ 校核人：_____ 日期：第 ____ 页/共 ____ 页

附录 C 三维探地雷达现场记录汇总表

工程名称：_____ 探测地点：_____

仪器型号：_____ 天线主频/带宽（GHz）：_____ 编号：_____

测线编号	测线方向	测线所在车道及位置描述	测线起终点		测线长度 (m)	采集参数		路表病害类型及位置	备注
			起点	终点		相对介电常数	采样间距		

操作人：_____ 记录人：_____ 校核人：_____ 日期：第 页/共 页

用词说明

1 本标准（规范/规程/指南……）执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《×××××》（×××）的有关规定”。

2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本标准（规范/规程/指南……）第×章的有关规定”、“应符合本标准（规范/规程/指南……）第×.×节的有关规定”、“应按本标准（规范/规程/指南……）第×.×.×条的有关规定执行。”