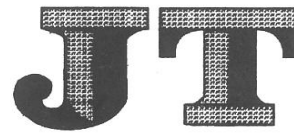


ICS 93.080.99

P96

备案号: XXXX-XXXX



# 中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T XXX-XXXX

## 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达

Highway structure defeat and layer thickness ground penetration radar

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国交通运输部 发布

## 目次

前 言.....	3
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 产品结构与工作原理.....	1
5 技术要求.....	2
6 试验方法.....	4
7 检验规则.....	9
8 标志、包装、运输和贮存.....	10

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由全国交通工程设施（公路）标准化技术委员会公路工程材料与仪器设备专业标准化工作组提出并归口。

本标准起草单位：交通运输部公路科学研究院，中国电波传播研究所，重庆交通大学，北京市道路工程质量监督站，浙江交科工程检测有限公司

本标准主要起草人：常成利，王春和，刘恒柏，施兴华，张凯，邢燕颖，张朝荣，葛慧娟，张武毅

# 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达

## 1 范围

本标准规定了公路断面探伤及结构层厚度探地雷达（以下简称探地雷达）的产品结构与工作原理、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。

本标准适用于公路断面探伤及结构层厚度探地雷达的生产、检验和使用。

隧道衬砌厚度、结构层缺陷、钢架支撑或钢筋定位，桥梁构件钢筋或预应力束定位、结构厚度及钢筋保护层厚度、钢筋埋深等检测用雷达的生产、检验和使用可参考本标准。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB 6587.4 电子测量仪器振动试验

GB 6587.5 电子测量仪器冲击试验

GB 9969.1 工业产品使用说明书总则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**探地雷达** ground penetration radar

向被探测目标体发射高频电磁波束，通过观测反射电磁波的时间滞后及强弱特征研究目标体特性的电磁勘探装置。

### 3.2

**冲击脉冲雷达** impulse radar

在时域中获取数据的雷达。

### 3.3

**天线系统** antenna system

包括发射机、接收机、发射天线和接收天线四部分，发射天线将发射机发射的脉冲信号转换为电磁波，接收机将接收天线接收到的电磁波信号转换为电信号。

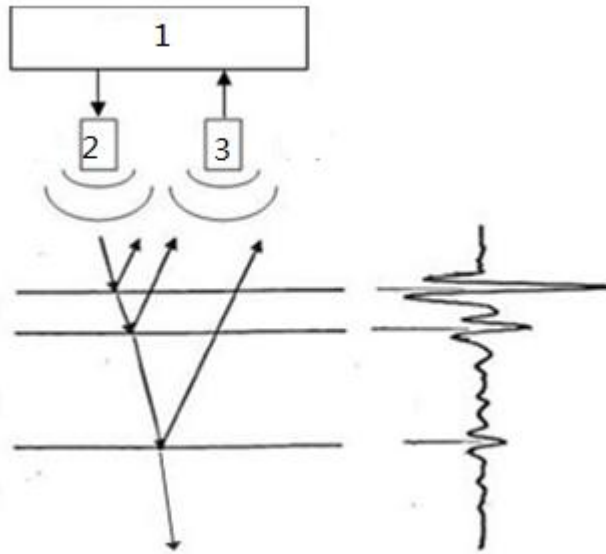
### 3.4

**天线带宽** antenna bandwidth

天线工作的频率范围通常为最大功率（中心频率）衰减 3dB 范围内最高和最低频率之差。

## 4 产品结构与工作原理

探地雷达由天线、控制单元和电缆等部件组成。发射天线按照控制单元的指令向介质中发射特定频率范围的电磁波，电磁波在传播过程中遇到物性变化的介质时将发生反射和折射，反射的电磁波被接收天线所接收并传回控制单元，从而探测出需要的目标或界面信息。雷达系统的结构示意图及工作原理见图 1。



说明：1—控制单元；2—发射天线；3—接收天线  
图 1 探地雷达结构及工作原理

## 5 技术要求

### 5.1 工作环境

- 5.1.1 环境温度：-15℃~50℃。
- 5.1.2 环境湿度：不大于 85%RH。

### 5.2 外观

外观应干燥、无缺损、无锈蚀，表面光滑、均匀，各部位说明文字、符号、铭刻标志、屏幕显示等清晰、完整。

### 5.3 通用要求

#### 5.3.1 结构设计

- 5.3.1.1 结构设计应充分考虑工程现场操作的便携、快速特性。
- 5.3.1.2 天线应采用一体化设计，满足便携及车载工作需要。
- 5.3.1.3 控制电缆可卷曲，便于携带，同时具备防水、防电磁干扰等能力。
- 5.3.1.4 应配置测距装置。
- 5.3.1.5 应具有卫星定位系统接口。
- 5.3.1.6 防尘防水等级不低于 IP54 要求。

#### 5.3.2 硬件与软件

- 5.3.2.1 天线中心频率应涵盖 50MHz~2GHz 范围，适应天线类型包括地表耦合天线和空气耦合天线。
- 5.3.2.2 量化位数不低于 16 位。
- 5.3.2.3 显示屏宜选用彩色显示屏，分辨率不低于 800×600。
- 5.3.2.4 工作电源应选用轻便可充电电池，能保证系统连续工作 4h 以上；
- 5.3.2.5 各项采集参数设置应具有自动设置和参数记忆的功能，可以保存用户自定义设置的参数，也可以载入已保存的参数设置。
- 5.3.2.6 采集软件至少应包含伪彩图、波形堆积图和单道瞬变波形图等显示方式，在采集过程中可随

时切换。

5.3.2.7 数据采集触发模式应包含时间触发、距离触发和单次触发三种模式。

5.3.2.8 采集软件应设置桩号修正功能。当采集软件上显示的桩号同实际桩号不一致时，可输入现场实际桩号进行校正，或经后期处理能够进行校正。

5.3.2.9 采集软件中应具有自动或手动添加标记功能。

5.3.2.10 采集软件应具有数据自动实时存储功能，同时可以回放已存储的测试数据。

5.3.2.11 后处理软件可对数据文件进行拆分、合并，单个文件可按照给定的标记间距自动进行插道、抽道处理。

5.3.2.12 后处理软件可定位目标物的深度、水平位置，同时可对多目标信息进行统计并输出。

5.3.2.13 后处理软件可自动或手动追踪结构层位，显示和输出层厚数据和曲线图像。

5.3.2.14 采集软件和后处理软件应有中文版本。

#### 5.4 性能要求

探底雷达要求见表 1。

表 1 探地雷达性能要求

序号	参数类别	名称	要求
1	工作环境适应性	振动	抗振性试验后技术性能和测试性能均满足要求
2		冲击	抗冲击性试验后技术性能和测试性能均满足要求
3	采集参数可选性	增益	-20dB~+130dB
4		时窗	5ns~1500ns
5		扫描速率	涵盖 8 道/秒~300 道/秒
6		每道最大采样点数	≥512
7		信号叠加次数	≥3
8		单个文件最大容量	≥10000 道
9	技术性能参数	时间抖动	≤1%
10		振幅抖动	≤5%
11		长时间的时间稳定性	≤1%
12		长时间的振幅稳定性	≤3%
13		时窗线性度	≤2%
14		信噪比	≥20
15		穿透能力	≥20%
16	测试性能参数	深度测试误差	10cm 厚度以上： ≤3%（空气耦合） ≤10%（地面耦合） 10cm 厚度以下： ≤3mm（空气耦合） ≤10mm（地面耦合）
17		测距传感器误差	≤0.1%

## 6 试验方法

### 6.1 试验仪器和器具

- a) 全站仪：光电测距准确度等级 II 级；
- b) 游标卡尺：量程 20cm，分辨率 0.02mm；
- c) 钢卷尺：量程 5m，分度值 1mm；
- d) 高精度支架：竖向高度调节为螺旋式；
- e) 温湿度计：温度量程-10℃~60℃，分度值 0.2℃；湿度量程 1~100%，分度值 1%；
- f) 振动台：符合 GB 6587.4 试验要求；
- g) 冲击台：符合 GB 6587.5 试验要求。

### 6.2 外观

用目测和手感检查控制器、发射与接收天线、显示器、传输线缆的外观，应符合 5.2 的要求。

### 6.3 工作环境适应性

#### 6.3.1 抗振性

- a) 振动试验：按照 GB 6587.4 第 II 组要求试验；
- b) 振动试验结束后，按照 6.5 方法检验探地雷达系统技术性能参数是否满足 5.4 的要求，所有项目均满足要求表明系统抗振性符合要求。

#### 6.3.2 抗冲击性

- a) 冲击试验：按照 GB 6587.5 第 II 组要求试验；
- b) 冲击试验结束后，按照 6.5 方法检验探地雷达系统技术性能参数是否满足 5.4 的要求，所有项目均满足要求表明系统抗冲击性符合要求。

### 6.4 采集参数可选性

6.4.1 增益、时窗、扫描速率、每道采样点数、信号叠加次数的检验可在系统启动预热后，在采集参数设置界面中查看其调节范围是否满足 5.4 相应要求。

6.4.2 单个采集文件最大容量检验可以通过雷达系统启动预热后，以时间或距离驱动模式采集数据，查看其文件最大容量是否满足 5.4 要求。

### 6.5 技术性能参数

#### 6.5.1 时间抖动

试验步骤如下：

- a) 调节测试空间温度为 20℃±2℃；
- b) 如图 2 布置测试现场，将天线夹持固定在高精度运动平台上并使其底面水平，天线辐射面与金属板的距离为天线波长的 2 倍，允许误差±2mm；
- c) 按产品技术条件规定设置参数，开机预热后，连续采集不少于 300 道数据，抽取中间连续 100 道数据，不进行滤波和背景消除等实时处理；
- d) 用 $\Delta t$ 表示金属板回波的波至时间，即从直达波峰值点到金属板回波峰值点之间的时间间隔，时间抖动 $J_{time}$ 由式（1）计算得到。

$$J_{time} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\Delta t_{ave}} \times 100\% \quad (1)$$

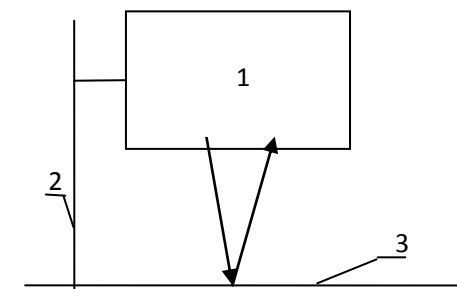
式中:

$J_{time}$ —时间抖动, %;

$\Delta t_{max}$ —100 道记录中, 波至时间最大值, ns;

$\Delta t_{min}$ —100 道记录中, 波至时间最小值, ns;

$\Delta t_{ave}$ —100 道记录中, 波至时间平均值, ns。



说明: 1—天线; 2—高精度支架; 3—金属板。

图 2 雷达性能检验布置示意图

### 6.5.2 振幅抖动

试验步骤如下:

a)测试空间温度和测试现场布置同 6.5.1a)、b);

b)按产品技术条件规定设置参数, 其中增益采用固定增益, 使反射波的幅度为满量程的 60%, 开机预热后连续采集不少于 300 道数据, 抽取中间连续 100 道数据, 不进行滤波和背景消除等实时处理;

c)振幅抖动  $J_{amp}$  由式 (2) 计算得到。

$$J_{amp} = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{ave}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$J_{amp}$ —振幅抖动, %;

$A_{max}$ —100 道数据中, 金属板回波波形的振幅最大值;

$A_{min}$ —100 道数据中, 金属板回波波形的振幅最小值;

$A_{ave}$ —100 道数据中, 金属板回波波形的振幅平均值。

### 6.5.3 长时间的时间稳定性

检验步骤如下:

a)测试空间温度和测试现场布置同 6.5.1a)、b);

b)按产品技术条件规定设置参数, 开机预热后连续采集数据 120min, 然后每隔 1min 抽取一道数据, 共抽取 120 道数据, 取反射时间最大值  $T_{max}$ 。

c)根据式 (3) 计算长时间的时间稳定性  $LT$ 。

$$LT = \frac{|T_{max} - T_{20}|}{T_{20}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:



$LT$ ——长时间的时间稳定性，%；

$T_{max}$ ——为 20min 到 120min 间测量到的波至时间最大值，ns；

$T_{20}$ ——为 20min 时测量到的波至时间，ns。

#### 6.5.4 长时间的振幅稳定性

检验步骤如下：

a)测试空间温度和测试现场布置同 6.5.1a)、b)；

b)按产品技术条件规定设置参数，开机预热后连续采集数据 120min，然后每隔 1min 抽取一道数据，共抽取 120 道数据，取振幅最大值  $A_{max}$ 。

c)根据式 (4) 计算长时间振幅稳定性  $LS$ 。

$$LS = \frac{|A_{max} - A_{20}|}{A_{20}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$LS$ ——长时间振幅稳定性，%；

$A_{max}$ ——为 20min 到 120min 间金属板回波波形的振幅最大值；

$A_{20}$ ——为 20min 时金属板回波波形的振幅值。

#### 6.5.5 时窗线性度

检验步骤如下：

a)测试空间温度同 6.5.1；

b)如图 2 布置测试现场，将天线夹持固定，使其底面水平。按产品规范规定开机预热，按产品技术条件规定设置参数，不进行滤波和背景消除等实时处理；

c)调节平台升降螺杆，将测试用天线置于金属板的反射信号在时窗的 25%位置，测量天线底面距金属板的高度  $h_1$ ，作全反射试验，并从相应记录波形中求出金属板回波的波至时间  $t_1$ ；

d)重复步骤 c)，分别将测试用天线置于金属板的反射信号在时窗的 50%位置和金属板的反射信号在时窗的 75%位置高度处作全反射试验，测量天线底面距金属板的高度  $h_2$ 、 $h_3$ ，并从相应记录波形中求出金属板回波的波至时间  $t_2$ 、 $t_3$ ，则两个时间因素系数分别定义为：

$$C_1 = (h_2 - h_1) / (t_2 - t_1) \quad (5)$$

$$C_2 = (h_3 - h_2) / (t_3 - t_2) \quad (6)$$

e) 时窗非线性系数可由下式求得：

$$V = \frac{|C_2 - C_1|}{(C_2 + C_1) / 2} \times 100\% \quad (7)$$

#### 6.5.6 信噪比

试验步骤如下：

a)调节测试空间温度为  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ；

b)如图 2 布置测试现场，将天线夹持固定，使其底面水平，天线高度为天线波长的 2 倍，允许误差  $\pm 2\text{mm}$ 。按产品规范规定开机预热，按产品技术条件规定设置参数，其中增益采用固定增益，使反射波的幅度为满量程的 60%，连续采集不少于 100 道数据，不进行滤波和背景消除等实时处理；

c)根据公示 (8) 计算每道数据的信噪比  $SNR_i$ ：

$$SNR_i = \frac{AMP_i}{AN_i} \quad (8)$$

式中:

$SNR_i$ ——第  $i$  道数据的信噪比;

$AMP_i$ ——第  $i$  道数据中金属板回波信号的最大振幅值;

$AN_i$ ——第  $i$  道数据中金属板回波后信号的最大振幅值;

取 100 道数据的信噪比均值  $SNR_{ave}$  作为系统信噪比:

$$SNR_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^N SNR_i}{N} \quad (9)$$

式中:

$SNR_{ave}$ ——信噪比;

$SNR_i$ ——第  $i$  道数据的信噪比;

$N$ ——记录道数, 取 100;

### 6.5.7 穿透能力

探地雷达系统的穿透能力不仅与仪器本身性能特性有关, 还与探测介质特性有关。检验时, 采用介电特性相对稳定的纯净水作为对比环境, 以穿透水介质和空气的能力比值来衡量探地雷达系统的深度穿透能力, 试验设备布置如图 3 所示。试验水深  $T_a$  为 10cm。

检验空气耦合天线深度探测能力时在水底面放置一个  $1m \times 1m$  的金属板, 天线底面距离水面为天线中心频率的两倍波长, 允许误差  $\pm 2mm$ 。

检验地面耦合天线深度探测能力时将面积四倍于天线底面的金属板平放在充满水的池底, 并调节天线固定平台使天线底面恰好紧贴水面, 水面到金属板的距离为一个波长 (水中), 允许误差  $\pm 2mm$ 。

试验步骤如下:

a) 调节测试空间温度为  $20^\circ C \pm 2^\circ C$ , 保持 30 分钟后开始试验;

b) 按产品规范规定开机预热, 按产品技术条件规定设置参数, 记录在水中金属板的反射幅度  $A_w$ ; 然后将容器移走, 将天线放到金属板正上方一倍波长 (空气), 允许误差  $\pm 2mm$ , 记录在空气中金属板的回波幅度  $A_{air}$ 。用式 (10) 计算深度穿透指数:

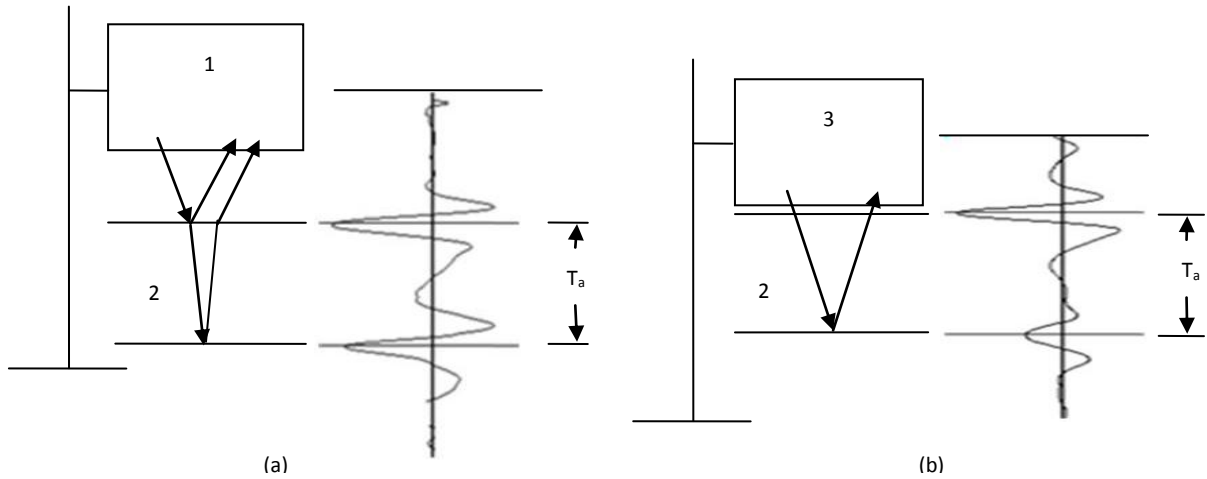
$$DPI = \frac{A_w}{A_{air}} \times 100\% \quad (10)$$

式中:

$DPI$ ——深度穿透指数, %;

$A_w$ ——穿透水层后的金属板回波幅度;

$A_{air}$ ——空气中金属板的回波幅度。



说明：1——空气耦合天线；2——试验水体；3——地面耦合天线

图 3 雷达穿透能力检验示意图

## 6.6 系统测试性能参数

### 6.6.1 深度测试误差

空气耦合天线按照图 3 (a) 安装天线，在水底面放置一个  $1\text{m} \times 1\text{m}$  的金属板，天线底面距离水面为天线中心频率的两个波长。地面耦合天线按照图 3 (b) 安装天线，将面积四倍于天线辐射面的金属板平放在充满水的池底，并调节天线固定平台使天线底面恰好紧贴水面。按照下面步骤试验：

- 实验前将试验用纯净水放置在试验空间 2 小时以上，调节测试空间温度为  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ；
- 将雷达系统各组件用线缆连接好，开启并预热好系统；
- 水槽中注入试验用纯净水，深度不超过 10cm，用游标卡尺测量水深并记录  $d_1$ ；
- 启动系统检测 100 道，记录雷达系统的水体双程走时平均值，并根据式 (11) 计算水体深度

测试值  $h_1$ ：

$$h_1 = v_w \times \frac{t_w}{2} \quad (11)$$

其中：

- $v_w$ —经过标定的电磁波在纯净水中的速度，m/ns；
- $t_w$ —电磁波在水中的双程走时，ns；
- e) 根据式 (12) 计算探测深度误差  $\Delta h$ ，须满足 5.4 要求；

$$\Delta h = |h_1 - d_1| \quad (12)$$

f) 提升天线，增加水槽中纯净水至不低于 10cm 深，用游标卡尺测量水深并记录  $d_2$ ，天线底面恰好紧贴水面。

g) 重复步骤 d)，计算出水体深度的测试值  $h_2$ ，按照公式 (13) 计算相对误差  $e$ ，须满足 5.4 要求。

$$e = \frac{|h_2 - d_2|}{d_2} \times 100\% \quad (1)$$

## 6.6.2 距离测量误差

### 6.6.2.1 非车载测距轮标定误差:

- a) 将雷达系统各组件用线缆连接好, 开启并预热好系统;
- b) 准备好平整直线路段, 用全站仪量取 10m 试验长度, 并分别在起始、终止点做标记;
- c) 将非车载测距轮中心线对准起始点横线, 启动探地雷达系统开始检测, 匀速推动测距轮向前移动, 当测距轮中心线与终点横线对准时停止, 记录探地雷达系统输出的距离测试值, 精确至 0.005m。按照式 (14) 计算测距轮相对误差, 应符合 5.4 的要求。

$$\Delta L_1 = \frac{|L_{\text{测}} - L_{\text{标}}|}{L_{\text{标}}} \times 100\% \quad (14)$$

式中:  $\Delta L_1$ —测距传感器相对误差, %;

$L_{\text{测}}$ —测距传感器测试值, 米;

$L_{\text{标}}$ —试验长度标准值, 米。

### 6.6.2.2 车载测距轮标定误差:

- a) 将雷达系统各组件用线缆连接好, 开启并预热好系统;
- b) 选择合适的平整直线路段, 用全站仪量取 100m 试验长度, 并分别在起始、终止点做标记;
- c) 将车载测距轮中心线对准起始点横线, 启动探地雷达系统开始检测, 检测车出发沿车道线平行方向驶向终点, 当测距轮中心线与终点横线对准时停止, 记录探地雷达系统输出的距离测试值, 精确至 0.005m。按照公式 (14) 计算测距轮的误差, 应符合 5.4 的要求。

## 7 检验规则

### 7.1 检验分类

公路断面探伤及结构层厚度探地雷达的检验包括型式检验和出厂检验。

### 7.2 型式检验

7.2.1 有下列情况之一时, 应进行型式检验:

- a) 新产品定型或产品转产鉴定时;
- b) 正式生产后, 如果重要结果、材料、工艺有较大变更, 可能影响产品性能时;
- c) 产品停产半年以上, 重新恢复生产时;
- d) 进口产品首台引进使用前;
- e) 国家质量技术监督部门和行业管理部门提出型式检验时。

7.2.2 型式检验按表 2 规定的项目进行。

### 7.3 出厂检验

每台产品出厂前, 均要求检验。检验结果应满足第 6 章所有技术要求才可以认定为合格产品。

## 8 标志、包装、运输和贮存

### 8.1 标志

在探地雷达明显位置固定铭牌，铭牌上的字应清晰，并标志下述内容：

- a) 产品名称及型号规格；
- b) 产品编号；
- c) 制造日期；
- d) 生产企业名称、地址及商标。

表 2 检验项目

序号	参数类别	检验项目	型式检验	出厂检验
1	环境工作适应性	振动	+	+
2		冲击	+	+
3	采集参数可选性	增益	+	-
4		时窗	+	-
5		扫描速率	+	-
6		每道采样点数	+	-
7		信号叠加次数	+	-
8		单个文件最大容量	+	-
9	探地雷达系统技术性能参数	时间抖动	+	+
10		振幅抖动	+	+
11		长时间的时间稳定性	+	+
12		长时间的振幅稳定性	+	+
13		时窗线性度	+	+
14		信噪比	+	+
15		穿透能力	+	+
16	探地雷达系统测试性能参数	深度测试误差	+	+
17		测距传感器误差	+	+

注：凡需检验的项目用“+”表示，不需检验的项目用“-”表示。

### 8.2 包装

包装箱内应附有产品合格证、符合 GB 9968.1 要求的使用说明书及必要的装箱清单。包装箱上应标有下述内容：

- a) 制造厂名；
- b) 产品名称和型号；
- c) 数量和毛重；
- d) 外形尺寸；
- e) 搬运注意事项。

### 8.3 运输

运输过程中应避免剐蹭、撞击，防止机械性损伤，避免接触腐蚀性气体、液体。

#### 8.4 储存

产品应储存在通风，干燥，防尘，无腐蚀性气体或液体的仓库中。

---