

贵州省地方计量技术规范

JJF (黔) 58-2021

地质雷达校准规范

Calibration Specification for Ground Penetration Radar

2021-11-22 发布

2022-02-22 实施

贵州省市场监督管理局 发布

地质雷达校准规范

Calibration Specification for Ground
Penetration Radar

JJF (黔) 58—2021

归口单位：贵州省市场监督管理局

主要起草单位：贵州省计量测试院

贵州道兴建设工程检测有限责任公司

参加起草单位：贵州航天计量测试技术研究所

本规范委托贵州省计量测试院负责解释

本规范主要起草人：

王菊凤（贵州省计量测试院）

林 键（贵州道兴建设工程检测有限责任公司）

张 宇（贵州省计量测试院）

参加起草人：

李金阳（贵州航天计量测试技术研究所）

黎 洪（贵州省计量测试院）

黄徐瑞晗（贵州省计量测试院）

袁 文（贵州航天计量测试技术研究所）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 地质雷达.....	(1)
3.2 相对介电常数.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 空气中雷达波速测量相对误差.....	(2)
5.2 厚度测量示值误差.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(6)
8.1 校准记录.....	(6)
8.2 校准结果的处理.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 校准原始记录格式.....	(7)
附录 B 校准证书内页格式.....	(8)
附录 C 空气中雷达波速测量相对误差的不确定度评定示例.....	(10)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》的内容制定。

地质雷达校准规范

1 范围

本规范适用于天线中心频率范围（400 MHz~2 GHz）的地质雷达校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 4-2015 钢卷尺检定规程

JJG(交通)124—2015 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达

JJG(交通)130—2016 桥梁隧道结构用工程雷达

JT/T 940—2014 公路断面探伤及结构层厚度探地雷达

JT/T 1060—2016 桥梁隧道结构用工程雷达

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 地质雷达 ground penetration radar

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

3.2 相对介电常数 relative permittivity

介电常数与真空中的介电常数的比值。

4 概述

地质雷达由天线、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。地质雷达工作原理示意图如图 1 所示。

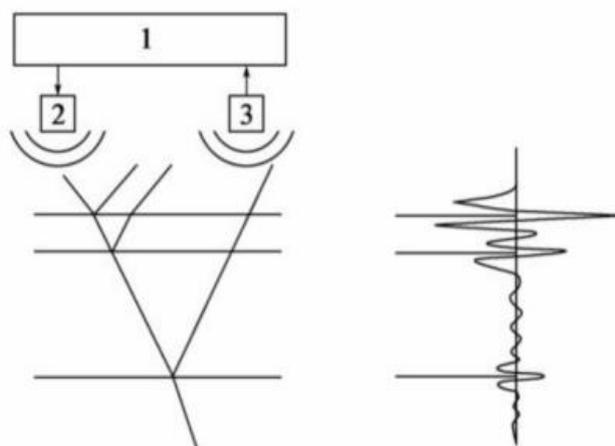


图1 地质雷达工作原理示意图

1——控制单元；2——发射天线；3——接收天线。

5 计量特性

5.1 空气中雷达波速测量相对误差

空气中雷达波速测量最大允许误差： $\pm 5\%$ 。

5.2 厚度测量示值误差

厚度测量最大允许误差见表1。

表1 厚度测量最大允许误差

天线类型	厚度测量最大允许误差	
	厚度 >100 mm	厚度 ≤ 100 mm
空气耦合	$\pm 3\%$	± 3 mm
地面耦合	$\pm 10\%$	± 10 mm

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境条件及要求如下：

- a) 环境温度： $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 环境相对湿度：不大于 85%；
- c) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 测距设备

6.2.1.1 允许误差： $\pm (0.1 \text{ mm} + 10^{-4}L)$ ， L 为测量长度，单位为m。

6.2.1.2 量程不小于5 m，分度值不大于1 mm。

6.2.2 厚度式样组

厚度式样组应能覆盖被校地质雷达天线中心频率范围对应的厚度，并应满足以下要求：

- a) 材料：均匀、稳定、无磁的非金属材料；
- b) 表面：上下表面平整；
- c) 标准厚度的扩展不确定度（ $k=2$ ）应不大于1.0 mm。

6.2.3 其他辅助设备

金属板：长、宽应分别不小于天线底面长、宽的2倍。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表2。

表2 校准项目一览表

序号	校准项目名称	校准方法的条款
1	空气中雷达波速测量相对误差	7.2.3
2	厚度测量示值误差	7.2.4

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

7.2.1.1 目测被校地质雷达及天线的外观，仪器名称、型号、制造单位和编号等标识清晰。

7.2.1.2 在环境条件符合6.1的规定下，被校地质雷达通电后，应正常运行。

7.2.2 校准点的选取

7.2.2.1 空气中雷达波速测量所用标准距离的选取：

- a) 标准距离应不小于2倍雷达波长，按公式（1）计算雷达波长：

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

式中:

λ ——雷达波长, mm;

v ——雷达波速, mm/ns;

f ——天线中心频率, Hz。

b) 均匀选取 3~5 个标准距离。

7.2.2.2 厚度测量示值误差所用厚度式样的选取:

a) 标准厚度应不小于 1/4 倍雷达波长, 按公式 (1) 计算雷达波长;

b) 在厚度式样组中合理选取 3~5 个厚度式样。

7.2.3 空气中雷达波速测量相对误差

7.2.3.1 按 7.2.2.1 选取的校准点, 调整被校地质雷达天线底面与金属板的标准距离, 使天线底面与金属板平行, 并使天线底面中心与金属板中心同轴。被校地质雷达启动测量。

7.2.3.2 稳定测量 1 min 后, 随机选取 5 个测量数据, 按公式 (2) 计算雷达波的双程走时平均值。

$$\bar{t}_i = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_i \quad (2)$$

式中:

\bar{t}_i ——雷达波的双程走时平均值, ns;

t_i ——雷达波的双程走时值, ns。

7.2.3.3 按公式 (3) 计算雷达波速。

$$v = \frac{2L}{t_i} \quad (3)$$

式中:

v ——雷达波速, mm/ns;

L ——被校地质雷达天线底面与金属板的标准距离, mm。

7.2.3.4 按公式 (4) 计算空气中雷达波速测量相对误差。

$$\delta = \frac{v - c_0}{c_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

δ ——空气中雷达波速测量相对误差;

c_0 ——空气中电磁波波速, $c_0=300$ mm/ns。

7.2.3.5 按 7.2.2.1 选取的校准点调整标准距离, 校准方法按 7.2.3.1~7.2.3.4 的规定进行。

7.2.4 厚度测量示值误差

7.2.4.1 按 7.2.2.2 选取的厚度式样中, 选取一个具有中间厚度的式样作为波速标定式样, 稳定测量 1 min 后, 随机取 10 个测量数据。记录波速标定式样中雷达波双程走时平均值, 按公式 (3) 计算波速标定式样中的雷达波速。

7.2.4.2 用被校地质雷达对第 i 个厚度式样稳定测量 1 min 后, 随机取 10 个测量数据, 记录雷达波双程走时平均值, 按公式 (5) 计算厚度式样的厚度。

$$L_{mi} = v_c \times \frac{\bar{t}_i}{2} \quad (5)$$

式中:

L_{mi} ——第 i 个厚度式样的厚度, mm;

v_c ——波速标定式样中的雷达波速, mm/ns;

\bar{t}_i ——厚度式样中雷达波双程走时平均值, ns。

7.2.4.3 厚度测量示值误差在厚度不大于 100 mm 时, 按公式 (6) 计算示值误差, 在厚度大于 100 mm 时, 按公式 (7) 计算相对示值误差。

$$\Delta_i = L_{mi} - L_{si} \quad (6)$$

$$\gamma_i = \frac{L_{mi} - L_{si}}{L_{si}} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

Δ_i ——第 i 个厚度测量示值误差, mm;

L_{si} ——第 i 个厚度式样标准厚度, mm;

γ_i ——第 i 个厚度式样相对示值误差。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准原始记录格式参见附录 A。

8.2 校准结果的处理

校准证书内页格式参见附录 B，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如证书编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识（如型号、产品编号等）；
- g) 进行校准的日期或校准证书的生效日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 校准员及核验员的签名；
- m) 校准证书批准人的签名；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A

校准原始记录格式

第 页 共 页

A.1 外观及工作正常性检查:

A.2 空气中雷达波速测量相对误差:

天线中心频率:									
标准距离 (mm)	双程走时 (ns)					雷达波速 (mm/ns)	空气中雷达波速测量相对误差	不确定度	
	测量值				平均值				

A.3 厚度测量示值误差:

天线中心频率:					天线类型:				
波速标定式样									
标准厚度 (mm)	双程走时 (ns)					雷达波速 (mm/ns)			
	测量值				平均值				
标准厚度 (mm)	双程走时 (ns)					厚度 (mm)	厚度测量示值误差	不确定度	
	测量值				平均值				

校准员:

核验员:

日期: 年 月 日

附录 B

校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明：				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/准确 度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第 X 页 共 X 页

校准结果

1 外观及工作正常性检查:

2 空气中雷达波速测量相对误差:

天线中心频率:		
标准距离(mm)	空气中雷达波速测量相对误差	不确定度

3 厚度测量示值误差:

天线中心频率:		天线类型:
标准厚度(mm)	厚度测量示值误差	不确定度

说明:

根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下_____个月校准一次。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

附录 C

空气中雷达波速测量相对误差的不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 环境条件

温度：22.5 °C，相对湿度：65%。

C.1.2 测量标准

钢卷尺。

C.1.3 被测对象

地质雷达，天线中心频率 900 MHz。

C.1.4 测量方法

用钢卷尺测量地质雷达天线底面与金属板的标准距离，让地质雷达正常工作，稳定测量 1 min 后，读取 5 个双程走时，计算其平均值。根据标准距离与双程走时平均值，计算雷达波速，与空气中电磁波波速 300 mm/ns 进行比较，计算出相对示值误差。

C.2 测量模型

测量模型按公式 (C.1) 建立。

$$\delta = \left(\frac{2L}{c_0 \bar{t}_i} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ ——空气中雷达波速测量相对误差；

L ——被校地质雷达天线底面与金属板的标准距离，mm；

c_0 ——空气中电磁波波速， $c_0=300$ mm/ns；

\bar{t}_i ——雷达波的双程走时平均值，ns。

C.3 标准不确定度评定

C.3.1 标准距离引入的标准不确定度 $u(L)$

雷达天线底面与金属板的标准距离 L 采用 I 级 5 m 钢卷尺进行测量，根据 JJG 4-2015《钢卷尺检定规程》，I 级钢卷尺的最大允许误差为： $\pm (0.1 \text{ mm} + 10^{-4}L)$ ，将 $L=5 \text{ m}$

带入得到最大允许误差为： $\pm 0.6 \text{ mm}$ 。按 B 类方法评定，区间半宽度 $a = 0.6 \text{ mm}$ ，在区间内认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(L) = \frac{a}{k} = \frac{0.6 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.35 \text{ mm}$$

C.3.2 双程走时引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$

雷达天线底面与金属板的距离不宜小于 2 倍的波长，根据空气中电磁波波速及天线中心频率 900 MHz 可计算出波长为 333 mm。调整被校地质雷达天线与金属板的距离为 1210 mm，同时使被校地质雷达天线底面与金属板平行，并保证被校地质雷达天线底面的中心与金属板的中心同轴，在相同环境条件下，重复测量 10 次，获得数据见表 C.1。

表 C.1 重复性测量数据

次数	天线底面与金属板的标准距离/mm	双程走时 x_i /ns
1	1210	7.9
2	1210	7.8
3	1210	7.8
4	1210	7.9
5	1210	7.9
6	1210	8.0
7	1210	7.9
8	1210	8.0
9	1210	7.9
10	1210	7.8

测量结果的平均值： $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 7.89 \text{ ns}$

单次测量值的实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.074 \text{ ns}$

以 5 次测量的算术平均值作为测量结果时，则测量结果的标准不确定度为：

$$u(\bar{t}_i) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.033 \text{ ns}$$

C.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度汇总表

输入量	不确定度来源	标准不确定度	概率分布	灵敏系数	不确定度分量
L	天线底面与金属板的标准距离	0.35 mm	正态	$\frac{2}{c_0 t}$	0.0003
\bar{t}_i	雷达波双程走时	0.033 ns	均匀	$\frac{-2L}{c_0 t^2}$	-0.0043

由于 L 与 \bar{t}_i 互不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta) = \sqrt{0.0003^2 + (-0.0043)^2} = 0.0043$$

C.5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则空气雷达波速相对误差的扩展不确定为：

$$U = k \times u_c(\delta) = 0.9\%$$
