

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

地震电磁扰动观测仪校准规范

Calibration Specification for Electro-magnetic

disturbance observation instruments accessing to earthquake

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

地震电磁扰动观测仪校准规范

Calibration Specification for

Electro-magnetic disturbance observation

instruments accessing to earthquake

JJF XXXX-XX

归口单位：全国地震专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国地震局地震预测研究所

参加起草单位：江苏省地震局

甘肃省地震局

上海市地震局

本规范委托全国地震专用计量测试技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

王兰炜（中国地震局地震预测研究所）

张兴国（中国地震局地震预测研究所）

张 宇（中国地震局地震预测研究所）

参加起草人：

冯志生（江苏省地震局）

曾文浩（甘肃省地震局）

牛延平（甘肃省地震局）

朱培育（上海市地震局）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 电压测量误差	2
5.2 电压分辨力	2
5.3 磁场灵敏度	2
5.4 磁场噪声	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	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法	4
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	8
附录 A 电压测量误差校准不确定度评定示例	9
附录 B 校准原始记录格式	12
附录 C 校准证书内页格式	15

引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范规定了地震电磁扰动观测仪的计量特性和校准方法。

本规范为首次发布。

地震电磁扰动观测仪校准规范

1 范围

本规范适用于地震监测用电磁扰动观测仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 2231-2025 感应式磁传感器校准规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 地震电磁扰动观测仪 electro-magnetic disturbance observation instruments accessing to earthquake

以地震监测为目的，用来测量频率范围包含 0.1Hz~20Hz 地电场、地磁场变化的专用仪器。

3.2 电压分辨力 voltage resolution

电磁扰动观测仪能够识别的两个电压值之间的最小差值。

3.3 感应式磁传感器 inductive magnetic sensor

利用法拉第电磁感应原理，通过测量绕组上的感应电压来测量交变磁场的磁传感器。

[JJF 2231-2025，定义3.1]

3.4 磁场灵敏度 sensitivity of inductive magnetic sensor

在测量范围内，感应式磁传感器单位磁场的感应电压。单位为毫伏每纳特（mV/nT）。

3.5 磁场噪声 noise of inductive magnetic sensor

当外磁场磁感应强度为零时，感应式磁传感器输出值的随机变化量。

4 概述

地震电磁扰动观测仪是用于监测与地震孕育及发生相关的电磁扰动信号随时间变化的专用仪器，观测对象为选定频率范围的地电场和地磁场变化。主要由数据采集器、磁场观测装置（即感应式磁传感器）以及地电场观测装置等组成，数据采集器通过测量磁场观测

装置和地电场观测装置输出的电压信号，经过处理最终输出磁场变化与地电场变化。工作原理如图 1 所示。

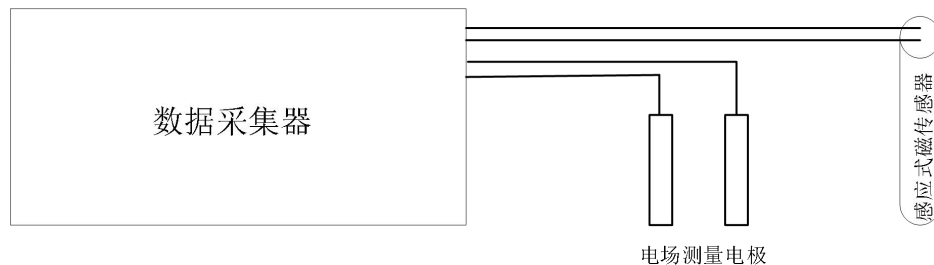


图 1 电磁扰动观测仪工作原理

感应式磁传感器是利用法拉第电磁感应原理测量交变磁场的传感器，完成磁电转换的功能，根据实际应用可分为 1 轴、2 轴和 3 轴等不同配置。地电场观测装置由在特定方向（通常为南北、东西）、间隔一定距离（一般不小于 200 米）的一对测量电极和连接其与数据采集器的外线路构成，通过测量地电场观测装置的电压，并除以电极间距离即可得到特定方向的地电场。

5 计量特性

5.1 电压测量误差

在量程范围和频带范围内，一般不超过 $\pm (0.5\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 满度值})$ 。

5.2 电压分辨力

在量程范围和频带范围内，一般不大于 0.01 mV。

5.3 磁场灵敏度

在 0.1 Hz~20 Hz 范围内，感应式磁传感器的灵敏度一般为 1 mV/nT~500 mV/nT。

5.4 磁场噪声

在 0.1 Hz~20 Hz 范围内，感应式磁传感器的噪声一般为 $1 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}} \sim 30 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

- a) 温度：(20±5) °C；
- b) 相对湿度：≤75%；

- c) 供电电源：直流 (12 ± 1) V 和交流 (220 ± 22) V、 (50 ± 1) Hz；
- d) 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 多功能电压源

- a) 直流电压：电压范围应包含 -1000 mV~ $+1000$ mV，电压准确度优于 0.01 级，电压分辨力优于 1 μ V；
- b) 交流电压：电压范围应包含 10 mV~ 300 V，频率范围包含 10 Hz~ 50 Hz，电压幅度最大允许误差 $\pm 0.1\%$ 。

6.2.2 低频信号发生器

- a) 频率范围：包含 0.1 Hz~ 20 Hz；
- b) 频率最大允许误差： $\pm 0.02\%$ ~ 2% ；
- c) 频率稳定度： $(0.02\%$ ~ $0.4\%)$ / 1 h；
- d) 电压幅度峰峰值： 10 mV~ 10 V；
- e) 电压幅度最大允许误差： $\pm 2\%$ ~ $\pm 10\%$ 。

6.2.3 动态信号分析仪

- a) 电压测量范围： ± 10 V；
- b) 频率范围：包含 0.1 Hz~ 20 Hz；
- c) 频谱幅值示值误差： $\pm 0.1\%$ ~ $\pm 2\%$ ；
- d) 电压噪声功率谱密度：在磁场噪声最低的频点，电压噪声功率谱密度应不大于 1 μ V/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 。

6.2.4 磁屏蔽装置

- a) 工作区长不小于 1.5 m；
- b) 磁场噪声功率谱密度： 1 pT/Hz $^{1/2}$ @ 0.1 Hz, 0.5 pT/Hz $^{1/2}$ @ 20 Hz。

6.2.5 磁场线圈

- a) 均匀度一般为 $(0.1\%$ ~ $10\%)$ @ 1.5 m；
- b) 线圈常数最大允许误差不超过被测磁传感器灵敏度的五分之一；
- c) 磁场范围 0.1 nT~ 100 nT。

6.2.6 交流稳流电源

- a) 电流范围一般为0.1 mA~20 mA (0.1 Hz~20 Hz) ;
- b) 电流输出误差一般在0.05%~0.1%。

6.2.7 交流电压表

- a) 测量范围10 mV~10 V (0.1 Hz~20 Hz) ;
- b) 最大允许误差绝对值应不超过被校感应式磁传感器灵敏度最大允许误差绝对值的四分之一。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目一览表见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	电压测量误差	7.2.2
2	电压分辨力	7.2.3
3	磁场灵敏度	7.2.4
4	磁场噪声	7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

7.2.1.1 外观

- a) 被校仪器外形结构完好，外露件等不应损坏或脱落，机壳、端钮等不应有影响正常工作的机械碰伤，按键无卡死或接触不良的现象；
- b) 被校仪器名称、制造厂家、仪器型号和编号等均应有明确标记；
- c) 通电检查被校仪器各测量功能、显示应完整；
- d) 按照被校仪器使用说明书的要求和规定进行预热和预调。

7.2.1.2 频率范围

按图2连接设备,将低频信号发生器的输出端与被校准电磁扰动观测仪的通道电压测量端连接。

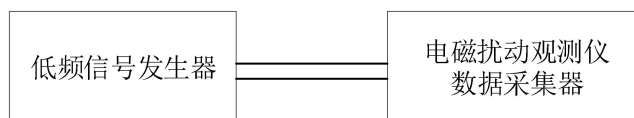


图2 频率范围检查连接图

- a) 至少选择3个频率检查点，也可参考电磁扰动观测仪使用说明书或根据客户的要求选取检查点，检查点要包含0.1 Hz和20 Hz；
- b) 低频信号发生器设置输出电压峰峰值为100 mV记作 V_0 ，依次按照检查点频率输出正弦信号，每个检查点的观测时间不小于10个信号周期；
- c) 利用整周期的快速傅里叶变换（FFT）计算每个检查点测量的峰峰值 V_{pp} ；
- d) V_{pp} 大于等于 V_0 的半功率点幅度70.7 mV（或通过计算 $20\log \frac{V_{pp}}{V_0} \geq -3$ dB），则数据采集器的频率范围包含0.1 Hz与20 Hz。

7.2.1.3 自检信号

- a) 将电磁扰动观测仪的自检信号输出端与动态信号分析仪的信号测量输入端相连；
- b) 设置动态信号分析仪工作模式为FFT模式，频率范围0.1 Hz~20 Hz，分析时长不少于100 s，单位选择峰峰值，平均次数不少于3次；
- c) 频率检查点选择0.1 Hz、20 Hz,或者根据需要进行添加；
- d) 首先设置电磁扰动观测仪自检信号输出频率为0.1 Hz, 输出幅度100 mVpp；
- e) 记录动态信号分析仪在0.1 Hz处的幅值，与给定信号幅值比较；
- f) 根据c)选择的频点，重复第d)、e)步操作，对其它频点进行检查。

7.2.2 电压测量误差

按图3连接设备。

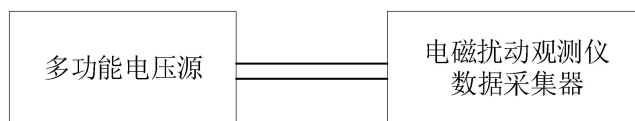


图3 电压测量误差连接图

- a) 校准点的选择：按使用要求选择，建议频率校准点选择直流和10 Hz，电压校准点可参考被校电磁扰动观测仪使用说明书或根据客户的要求选取，一般直流电压校准点选择包括覆盖量程10%、60%与90%的至少6个校准点，交流电压校准点不少于3个；
- b) 根据校准点设定多功能电压源的电压输出有效值 V_N ，待电磁扰动观测仪输出电压稳定后，重复计算10次的测值（交流信号测量时间不少于100个周期） V_0 ；
- c) 按照公式（1）计算被校仪器的电压测量误差：

$$\Delta V = V_0 - V_N \quad (1)$$

式中：

ΔV —各校准点上，被校仪器的电压测量误差值，mV；

V_N —多功能源输出的电压标准值，mV；

V_0 —各校准点上，电磁扰动观测仪的输出值，mV。

d) 对具有多个测量通道的被校仪器，每个通道分别重复b) -c) 的校准过程。

7.2.3 电压分辨力

如图3连接设备。

a) 校准点的选择：按使用要求选择，建议频率校准点选择直流和10 Hz，电压校准点应在被校仪器的电压有效值测量量程内，可参考被校仪器使用说明书或根据实际情况以及客户的要求选取，建议选择10%量程值校准点。

b) 根据校准点设定多功能电压源电压输出，被校仪器进行10次电压测量（交流信号每次计算时长不少于100个周期），10次测量值的算术平均值作为测得值 \bar{V} ；以被校仪器电压分辨力 Δ 为步进量，在校准点增加 Δ ，被校仪器再进行10次电压测量，10次测量值的算术平均值作为测得值 \bar{V}' ；

c) 按公式（2）计算实测电压增量值；

$$\Delta' = |\bar{V} - \bar{V}'| \quad (2)$$

d) 按公式（3）计算实测电压增量值 Δ' 与标准电压增量值 Δ 的比值：

$$\alpha = \frac{\Delta'}{\Delta} \quad (3)$$

式中：

Δ —标准电压增量值，mV；

Δ' —实测电压增量值，mV；

\bar{V} —校准点10次电压测量平均值，mV；

\bar{V}' —校准点增加 Δ 后10次电压测量平均值，mV；

α —实测电压增量值与标准电压增量值的比值。

e) 若 α 的值均在0.5~1.5之间，则可以确定被校仪器的电压分辨力为 Δ ；

f) 对具有多个电压测量通道的被校仪器，每个通道分别重复b) -d) 的过程。

7.2.4 磁场灵敏度

- a) 校准点建议选择0.1 Hz、1 Hz、10 Hz与20 Hz,必要时可增加;
- b) 校准方法按JJF 2231-2025 7.2.2规定的磁电转换系数的校准方法进行感应式磁传感器的灵敏度校准。

7.2.5 磁场噪声

- a) 校准点建议选择0.1 Hz与20 Hz,必要时可增加;
- b) 校准方法按JJF 2231-2025 7.2.3规定的磁场噪声的校准方法进行感应式磁传感器的噪声校准。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书(报告)上反应,校准证书(报告)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;
- g) 进行校准的日期,如果与校准结果的有效性和有关时,应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时,应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 对校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录B,校准证书(报告)内页格式见附录C。

9 复校时间间隔

投入使用前需进行校准，使用后根据实际使用情况决定复校时间间隔。

附录 A

电压测量误差校准不确定度评定示例

A.1 概述

地震电磁扰动观测仪的数据采集器通过采集来自感应式磁传感器磁电转换后的电压信号与电极电位差信号,通过一定的处理得到观测区域的变化磁场与变化电场,其数据采集器本质上是一种电压记录器,根据电磁扰动观测仪的入网技术要求,数据采集器的测量范围不小于 1000 mV,电压测量误差不大于 $\pm(0.5\%\text{读数}+0.1\%\text{满度})$ 。

采用多功能电压源作为测量标准,依据 7.2.2 中电压测量误差的校准方法,用多功能校准源输出直流幅度 600 mV,记录被校电磁扰动仪数据采集器示值。

A.2 测量模型

设 V_N 为多功能源输出标准值,被校仪器对标准电压多次测量,测得值的算术平均值为 \bar{V} 。由多功能校准源和电磁扰动观测仪的使用说明书可知,在标准条件下,温度、湿度等带来的影响可忽略,由此可得到:

$$\Delta V = \bar{V} - V_N \quad (\text{A.1})$$

考虑到被校仪器的电压测量分辨力对测量数据的影响,测量模型为:

$$\Delta V = \bar{V} - V_N + \delta V \quad (\text{A.2})$$

式中:

ΔV —被校仪器的电压测量误差, V;

\bar{V} —被校仪器多次电压测量值的算术平均值, V;

V_N —多功能校准源输出标准值, V;

δV —被校仪器的电压测量分辨力对测量结果的影响, V。

A.3 标准不确定度评定

A.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{V})$

多功能校准源输出直流电压 $V_N=1$ V,在相同环境条件下,重复测量 10 次,获得测量结果见表 A.1。

表 A.1 重复测量数据

测量次数	测量值 V_i/mV
1	600.028
2	600.031
3	600.030
4	600.030
5	600.031

6	600.030
7	600.030
8	600.030
9	600.029
10	600.029

测量结果的算术平均值:

$$\bar{V} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} V_i \approx 600.030 \text{ mV} \quad (\text{A.3})$$

单次测量数据的实验标准偏差:

$$s(V) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} = 0.9 \mu\text{V} \quad (\text{A.4})$$

式中:

$s(V)$ —被校仪器单次测量值的实验标准偏差, mV

V_i —被校仪器第 i 次的电压测量值, mV;

\bar{V} —被校仪器多次电压测量值的算术平均值, mV;

n —重复测量的次数, 此处 $n=10$ 。

A.3.2 由多功能校准源引入的标准不确定度 $u_2(V_N)$

校准中使用多功能源, 使用说明书中技术指标给出 600mV 直流电压最大允许误差为: \pm

$$(4.5 \times 10^{-6} \times 0.6 \text{ V} + 0.8 \mu\text{V}) = \pm 3.5 \mu\text{V}。$$

其半宽度 $a = 3.5 \mu\text{V}$, 在区间内认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则多功能校准源引入的标准不确定度为:

$$u_2(V_N) = \frac{a}{k} = \frac{3.5 \mu\text{V}}{\sqrt{3}} = 2.02 \mu\text{V} \quad (\text{A.5})$$

A.3.3 由被校仪器的电压测量分辨力引入的标准不确定度 $u_3(\delta V)$

由说明书已知被校仪器的电压测量分辨力 $\delta = 10 \mu\text{V}$ 。

记 e_δ 为电压测量分辨力的区间半宽度, 则 $e_\delta = \frac{10 \mu\text{V}}{2} = 5 \mu\text{V}$, 在区间范围内认为其服从均匀分布, 取

包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。因此, 由电压测量分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_3(\delta V) = \frac{e_\delta}{k} \approx 2.89 \mu\text{V} \quad (\text{A.6})$$

A.4 合成标准不确定度

不确定度分量的汇总见表 A.2, 灵敏度系数由公式 (A.1) 和 (A.2) 计算得到。

表 A.2 电压测量误差校准不确定度分量表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值/ μV
$u_1(\bar{V})$	电压测量重复性引入	0.9
$u_2(V_N)$	多功能校准源引入	2.02
$u_3(\delta V)$	电压测量分辨力引入	2.89

考虑到被测仪器的重复性和分辨力存在重复，在合成标准不确定度是将二者中较小值舍去，因此，合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{[u_2(V_N)]^2 + [u_3(\delta V)]^2} = \sqrt{(2.02\mu V)^2 + (2.89\mu V)^2} \approx 3.53\mu V \quad (\text{A. 7})$$

A. 5 扩展不确定度

选取包含因子 $k=2$ ，则当测量标准电压 $V_N=600 \text{ mV}$ 时，被校电磁扰动观测仪电压测量误差的扩展不确定度为：

$$U(\Delta V) = k \times u_c(\Delta V) = 2 \times 3.53\mu V \approx 7.06\mu V \quad (\text{A. 8})$$

A. 6 测量结果

测量结果表示为：600.030 mV \pm 0.007 mV。

附录 B

校准原始记录格式

地震电磁扰动观测仪校准原始记录

记录编号：

送校仪器信息：				
委托单号		送校单位		
名 称		制造单位		
型号/规格		出厂编号		
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）： JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示				
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 页 共 页

地震电磁扰动观测仪校准原始记录

记录编号：

校准结果记录

B.1 外观检查

检查结果	
------	--

B.2 频率范围检查

频率 f/Hz	通道 1 幅度 V_{o1}/mV	通道 2 幅度 V_{o2}/mV	通道 3 幅度 V_{o3}/mV	通道 4 幅度 V_{o4}/mV	通道 5 幅度 V_{o5}/mV	通道 6 幅度 V_{o6}/mV
频率 1						
频率 2						
频率 3						
检查结果						

B.3 自检信号检查

频率 f/Hz	频率测值 f_o/Hz	输出幅度 V_o/mV
0.1		
20		
检查结果		

B.4 电压测量误差原始记录

序号	通道号					
	V_1/mV	V_2/mV	V_3/mV	V_4/mV	V_5/mV	V_6/mV
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
平均值 \overline{V}/mV						
测量不确定度 / mV						
注： V_1 — V_6 分别为选定的6个电压校准点。						

B.5 电压分辨力原始记录

序号	通道 1		通道 2		通道 3		通道 4		通道 5		通道 6	
	(10%FS) /mV	(10%FS+ Δ) /mV	(10%FS) /mV	(10%FS+ Δ) /mV	(10%FS) /mV	(10%FS+ Δ) /mV	(10%FS) /mV	(10%FS+ Δ) /mV	(10%FS) /mV	(10%FS+ Δ) /mV	(10%FS) /mV	(10%FS+ Δ) /mV
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
平均值 /mV												
Δ' /μV												
实测 增量 值测 量不 确定 度/μV												
α												

B.6 磁场灵敏度原始记录

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT/mA})$	电流 I/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV/nT})$	相对扩展不确定度 $U_{r,k=2}$

B.7 磁场噪声原始记录

频率 f/Hz	电压噪声 $U_N/(\text{mV}/\sqrt{\text{Hz}})$	磁场噪声 $S_N/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}})$	扩展不确定度 $U/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}), k=2$

校准员:

核验员:

校准日期:

年 月 日

第 页 共 页

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

<校准机构授权说明>				
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求。				
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)

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

1.外观检查: _____

2.频率范围检查: _____

3.自检信号检查: _____

4.电压测量误差

通道号	标准值/mV	实测值/mV	测量误差/mV	测量不确定度 $U(k=2)$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

5.电压分辨力

通道号	校准点电压值/mV	标准增量值/mV	实测增量值/mV	增量比值	测量不确定度 $U(k=2)$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

6.磁场灵敏度

频率 f/Hz	灵敏度 $C/(\text{mV/nT})$	相对扩展不确定度 $U_r, k=2$

7.磁场噪声

频率 f/Hz	磁场噪声 $S_B/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}})$	扩展不确定度 $U/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}), k=2$

声明:

1. 仅对加盖“XXXXXX 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。

校准员:

核验员:

第 X 页 共 X 页