



北京市地方计量技术规范

JJF（京）xxxx—202x

原子磁力仪计量校准规范

Metrological Technical Specification for Atomic Magnetometers

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

原子磁力仪计量校准规范

Metrological Technical Specification
for Atomic Magnetometer

JJF(京) xx-xxxx

归口单位：北京市市场监督管理局

起草单位：北京量子信息科学研究院

本规范委托 X X X X 负责解释

目 录

前 言	4
1 适应范围	5
2 引用文件	5
3 术语和计量单位	5
4 概述	7
5 计量特性	8
6 校准条件	9
7 校准项目和校准方法	11
8 校准结果的处理	25
9 复校时间间隔	25
附录 A	27
附录 B	30
附录 C	33

前 言

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

本规范针对原子磁力仪的校准需求，明确计量特性、校准条件及方法，为原子磁力仪的量值溯源提供技术依据。

本规范附录 A、附录 B、附录 C 为资料性附录，供校准实践中参考使用。

本规范为首次发布。

原子磁力仪计量校准规范

1 适应范围

本规范适用于基于碱金属原子自旋进动原理的标量及矢量原子磁力仪（以下简称“被校仪器”）的校准，测量范围为 $-10000\text{nT}\sim+100000\text{nT}$ 的恒定磁场。

本规范不适用于：

特殊环境专用原子磁力仪（如高温、强辐射环境）；

本规范适用于被校仪器的定型鉴定、首次校准、后续校准，使用中检验可参照本规范相关条款执行。

2 引用文件

本规范引用下列文件，其相关条款构成本规范的必备技术要求。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（包括所有修改单）适用于本规范。

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则

JJF (军工) 2—2012 国防军工计量校准规范编写规则

JJF (军工) 55—2023 光泵磁力仪校准规范

GB/T 3102.5—1993 电学和磁学的量和单位

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 塞曼效应 (Zeeman effect)

塞曼效应是在外磁场中原子或分子的光谱谱线发生分裂的现象。

3.1.2 光抽运效应 (optical pumping effect)

光抽运效应（也称光泵浦效应）的一种是利用原子对光的选择吸收来改变原子在能级上的正常布居，抽空某些能级上的原子，使其集中到其他能级的量子效应。

3.1.3 拉莫尔进动 (Larmor precession)

原子磁力仪中，处于外磁场中的原子磁矩，在磁矩与外磁场相互作用下，围绕外磁

场方向做周期性旋转的运动，即为拉莫尔进动。由于拉莫尔进动频率与外磁场强度直接相关，所以其是测量磁场强度的核心物理依据。

3.1.4 无自旋交换弛豫 (spin exchange relaxation free, SERF)

自旋交换弛豫是在碱金属原子系综内，原子之间发生自旋交换碰撞引起的一种弛豫机制。经过自旋交换碰撞后，原子的基态超精细能级布居数会发生改变，而处于不同超精细能级的原子拉莫尔进动方向相反，因此碰撞后会引入进动相位的突变，导致原子系综退极化。在近零磁场和高碱金属原子数密度条件下，当原子发生自旋交换碰撞速率远大于拉莫尔进动频率时，一个拉莫尔进动周期内自旋交换碰撞会导致每个原子遍历所有的基态塞曼子能级，实现动态平衡，宏观来看原子的基态超精细能级布居数不再发生变化，因此自旋交换碰撞导致的弛豫消失，这一效应被称为无自旋交换弛豫。

3.1.5 相干布居囚禁 (coherent population trapping)

相干布居囚禁是一种量子调控技术，用于控制量子系统的布居分布与相干性，简称 CPT 效应。其原理是：用两个相位差恒定的相干激光将原子基态的两个超精细能级耦合到一个共同的激发态，若两个激光的频率差严格等于原子基态的两个超精细能级差对应的频率，原子会被抽运到两个超精细能级的一个相干叠加态（即相干暗态），此时激发态无原子布居，原子将不再吸收光子，原子被相干布居囚禁在基态的两个超精细能级，表现为荧光光谱中出现尖锐的共振暗线。同时，相干囚禁在基态两个子能级的原子系综会形成宏观相干磁偶极矩，其振荡会辐射相干微波。

3.1.6 原子磁力仪 (atomic magnetometer)

原子磁强计是利用原子内部稳定能级在磁场中由塞曼效应引起的能级分裂间距和偏振态与外磁场的关系，通过测量跃迁频率来精确测量磁场强度的仪器，也称原子磁力仪。当原子处于特定的激光和磁场环境中，其自旋态会发生变化，通过检测该变化可以计算出磁场强度。原子磁强计具有极高的灵敏度和空间分辨率。

3.1.7 光泵磁强计 (optically pumped magnetometer)

光泵磁强计主要是指基于光磁共振效应工作的原子磁强计。其原理是利用光场和交变磁场与原子相互作用来测量磁场。偏振泵浦光有选择性地使原子在不同精细/超精细结构的塞曼子能级之间跃迁，形成原子数极化，然后对极化原子施加一个射频场，当射

射频频率等于基态塞曼子能级之间的跃迁频率，即拉莫尔频率时，发生磁共振效应。通过锁定共振时射频场的频率即可得到磁场值。贝尔和布鲁姆提出了使用调制光场代替射频场实现共振的方案，该方案对泵浦光功率、频率或偏振进行调制，无须射频场，因此也被称为全光磁强计。

3.1.8 相干布居囚禁原子磁强计 (atomic magnetic magnetometer based on coherent population trapping effect)

相干布居囚禁原子磁强计是基于相干布居囚禁效应和原子精细结构能级在磁场中的塞曼分裂现象的磁强计，简称 CPT 原子磁强计。

3.1.9 转向差 (directional error)

原子磁力仪的转向差是指原子磁力仪在测量同一磁场时，由于探头激光方向或仪器自身方向与磁场方向的夹角发生改变，由探头方向性响应特性导致测量结果出现差异的现象。

3.1.10 死区 (dead zone)

原子磁力仪的死区是指原子磁力仪在测量某些方向上的外部磁场时，出现不再灵敏或响应差、无法测量的角度区域，这是基于标量偏振光泵浦的光泵磁力仪等部分原子磁力仪的固有缺陷。

3.2 计量单位

本规范中磁感应强度单位为纳特斯拉 (nT)， $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$ ；角度单位为度 (°)；时间单位为秒 (s)；温度单位为摄氏度 (°C)。

4 概述

4.1 原子磁力仪工作原理

原子磁力仪是利用原子的量子力学特性对磁场进行高灵敏度探测和分析的精密仪器，其核心是通过原子与外磁场的相互作用来将磁场信号转化为可检测的光学或电信号。

4.2 矢量磁力仪和标量磁力仪

4.2.1 矢量磁力仪 (Vector Magnetometer)

矢量磁力仪的核心是获取磁场的矢量信息，即同时确定磁场在空间三维坐标系 (x、

y、z 轴）中每个分量的大小和方向。

4.2.2 标量磁力仪（Scalar Magnetometer）

标量磁力仪仅关注磁场的标量值，即磁场的总强度大小，不涉及方向信息。

4.3 应用领域

原子磁力仪具有灵敏度高、动态范围宽等特点，广泛应用于：

国防领域：水下目标探测、未爆弹药定位、磁异常监测。

科研领域：地球磁场精细测量、基础物理实验。

计量领域：弱磁场标准装置比对。

民用领域：地质勘探、生物磁成像和无损检测等。

5 计量特性

5.1 探头剩磁

一般不大于 1nT。

5.2 磁感应强度示值误差

在-100000~+100000nT 的测量范围内,磁感应强度最大允许误差一般不超过 ± 0.1 nT。

5.3 噪声功率谱密度

1Hz 处不大于 100pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 。

5.4 频响特性

交变磁场测量-3dB 带宽大于 0.1Hz。

5.5 噪声

在校准点测量时间 10 s 内：峰峰值一般不大于 50 pT；均方差一般不大于 20 pT。

5.6 时漂

在校准点连续测量 30 min，示值最大变化量应不超过仪器最大允许误差的 1/2。

5.7 温漂

在要求的工作温度范围内，示值漂移量应不超过 50 pT/°C。

5.8 转向差

在与被校仪器敏感轴垂直的平面内， $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内均匀选取适当的角度进行测量，磁感应强度的最大示值和最小示值之差应不超过仪器最大允许误差的 1/2。

5.9 死区

以敏感轴为 0° ，死区角度范围一般不超过 $\pm 15^\circ$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

校准所需的环境条件及其要求主要为：

6.1.1 环境温度： $-40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

6.1.3 干扰磁场：不大于被校原子磁力仪最大允许偏差的 $1/10$ 。

6.1.4 供电电压： $(220 \pm 22)\text{V}$ ，频率 $(50 \pm 1)\text{Hz}$ ；

6.1.5 机械环境：振动 $\leq 0.1\text{g}$ （频率 $10 \sim 100\text{Hz}$ ），避免气流直接吹拂仪器探头。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备需经过计量技术机构的检定或校准，不超过计量有效期。具体要求如下：

6.2.1 标准磁力仪

磁场测量范围 $-100000\text{nT} \sim +100000\text{nT}$ ，磁感应强度最大允许误差不大于被校仪器的最大允许误差的 $1/3$ 。

6.2.2 磁屏蔽

残余磁场： $\leq 0.1\text{ nT}$ ；

材料：内层为高磁导率坡莫合金，外层为无磁不锈钢。

6.2.3 标准磁场发生系统

标准磁场发生系统产生磁场的范围应覆盖被校仪器的磁场范围 1.5 倍以上，工作区应大于被校仪器的探头尺寸，产生的磁场漂移应不大于被校仪器的时漂的 $1/3$ 。工作区内各点的磁感应强度差值不大于 0.1nT ，均匀区内磁感应强度最大允许误差不大于被校仪器最大允许误差的 $1/4$ 。

标准磁场发生系统的主体部分是三轴亥姆霍兹线圈，可以在其中心区域产生一个均匀、稳定且可精确计算的三轴磁场矢量。线圈的常数（单位电流产生的磁场，如 nT/mA ）由更高一级的计量标准进行精确校准，并出具校准证书。

6.2.4 高精度电流源

高精度电流源与测量设备用于给线圈供电，并精确测量和监控输入三轴线圈的电流值。输出电流的覆盖范围应根据配套磁场发生装置的额定电流需求确定，且不小于被校磁力仪对应磁场量程所需驱动电流的 1.5 倍，确保满足全量程校准的磁场生成需求。

在规定的校准持续时间内，输出电流的短期稳定度不大于被校磁力仪对应磁场时漂指标所对应电流漂移量的 1/3；长期稳定度不大于被校磁力仪长期磁场漂移对应电流漂移量的 1/3，保障磁场发生装置输出磁场的稳定性。

在全输出量程范围内，电流输出的最大允许误差不大于被校磁力仪最大允许误差所对应电流误差量的 1/3，确保磁场发生装置输出磁场的精度满足校准要求。输出电流的纹波峰值-峰值应不大于磁场发生装置所允许的最大电流纹波的 1/3，避免因电流纹波导致磁场波动，确保输出磁场的平稳性，不干扰校准结果。

需适配磁场发生装置的线圈阻抗特性，在磁场发生装置规定的负载阻抗范围内，输出电流的变化量不超过额定输出电流的 0.01%，确保在磁场发生装置工作过程中稳定输出精准电流，保障磁场参数的一致性。

高精度电流源系统整体需经法定计量技术机构校准并出具校准证书，方可用于驱动磁场发生装置开展磁力仪等相关仪器的校准工作。

6.2.5 干扰磁场补偿系统

噪声校准时工作区的磁场波动峰-峰值应不大于 10pT，其他项目校准时工作区的磁场波动峰-峰值应不大于 100pT。

6.2.6 无磁高低温系统

无磁高低温系统温度范围应覆盖被校仪器的温度范围，且工作区应大于被校仪器的探头尺寸，具体要求如下：

控温精度： $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；

温度均匀性：工作区内各点温差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ ；

无磁性：系统自身产生的附加磁场 $\leq 1\text{ nT}$ 。

6.2.7 无磁转台

角度范围： $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ；

角度分辨率：0.1°；

无磁性：转台自身剩磁≤1 nT，转动时产生的磁场变化≤1 nT。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法与条款
1	外观和通电检查	7.2.1
2	探头剩磁	7.2.2
3	磁感应强度示值误差	7.2.3
4	噪声功率谱密度	7.2.4
5	频响特性	7.2.5
6	噪声	7.2.6
7	时漂	7.2.7
8	温漂	7.2.8
9	转向差	7.2.9
10	死区	7.2.10

7.2 校准方法

7.2.1 外观和通电检查

外观检查：

- （1）仪器铭牌应清晰标注制造商名称、型号、编号、测量范围、出厂日期；
- （2）机壳、探头无裂纹、变形等机械损伤，连接件（如电缆、接口）完好；
- （3）操作面板按键、显示屏功能正常，无卡顿、花屏现象。

通电检查：

- （1）按制造商说明书要求预热仪器（通常≥30 min），启动后无异常噪声；
- （2）软件系统运行稳定，可正常完成参数设置、数据采集及存储功能。

7.2.2 探头剩磁

（1）方法一：正反向法

采用正反向法来校准探头剩磁。首先，利用标准磁场发生系统产生校准点磁场，然

后被校仪器探头分别进行正向和反向测量。将两次测量的示值相减，得到两倍的探头剩磁，消除校准点的磁场影响。

7.2.2.1 根据被校仪器的使用量程和使用场景选定磁场校准点。如无特殊规定，磁场校准点一般选择 50000nT 左右，工作在近零场附近的磁力仪校准点一般选在 0nT 左右。

7.2.2.2 将被校仪器的探头放在标准磁场发生系统的工作区中心，由标准磁场发生系统产生所选择的标准磁场。

7.2.2.3 改变被校仪器的探头方向，当示值最大时固定探头方向，记录被校仪器的示值 B_1 。

7.2.2.4 将被校仪器的探头方向转动 180° ，记录被校仪器的示值 B_2 。

7.2.2.5 按公式（1）计算被校仪器的探头剩磁 B_{MR} 。

$$B_{MR} = \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (1)$$

式中：

B_1 ——改变探头方向时被校仪器的最大示值，nT；

B_2 ——被校仪器的反向示值，nT。

（2）方法二：零场法

采用零场法来校准探头剩磁。在磁屏蔽中通过主动补偿线圈系统，产生一个与探头剩磁大小相等、方向相反的磁场，使得原子气室处的总磁场为零。此时，补偿线圈所产生的磁场值就是探头剩磁的负值。

7.2.2.6 利用屏蔽筒内安装的基于三轴正交亥姆霍兹线圈的干扰磁场补偿系统，产生可控的补偿磁场。

7.2.2.7 将待测探头置于高性能磁屏蔽筒内部的近零磁环境中，在屏蔽筒内放置一台经校准的独立标量磁力仪，用于精确测量剩余磁场的总量值 $|B|$ 。

7.2.2.8 调节磁场补偿系统的三轴线圈电流，使辅助标量磁强计的读数 $|B|$ 达到最小值（理想情况下为零），此时认定原子气室位置处的总磁场矢量 $B_{total}=0$ 。

7.2.2.9 根据以下公式计算待测探头的剩磁 B_{re} ：

$$B_{re} = -B_{coil} \quad (2)$$

式中：

B_{re} ——待测探头的剩磁矢量值，nT；

B_{coil} ——补偿线圈产生的磁场值，可通过线圈常数和精确测量的电流计算得出，nT。

7.2.3 磁感应强度示值误差

(1) 标量磁力仪的磁感应强度示值误差测量

采用替代法校准磁感应强度示值误差，校准原理如图 1 所示。

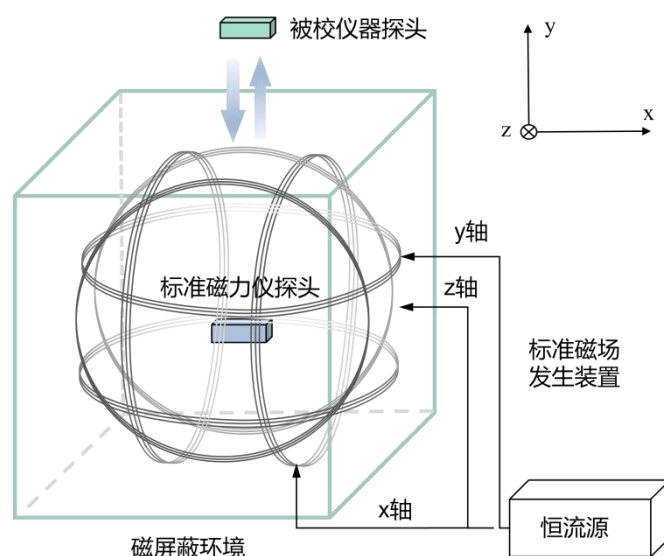


图 1 原子磁力仪磁感应强度示值误差校准示意图

7.2.3.1 选择至少 5 个被校点，一般包含被校仪器测量范围上下限和中间值，所选取的被校点需平均分布在所选量程上，必要时可适当增加或减少校准点。

7.2.3.2 将标准磁力仪探头放在标准磁场发生系统的工作区内。

7.2.3.3 标准磁场发生系统按校准点顺序依次输出磁场，每个点稳定时间 ≥ 30 s，记录标准磁力仪的示值 B_0 。

7.2.3.4 保持标准点磁场值不变，将标准磁力仪替换为被校仪器，标准磁场发生系统按校准点顺序依次输出磁场，每个点稳定时间 ≥ 30 s，记录被校仪器的示值。每个点重复测量 3 次，取平均值 B_x 。

7.2.3.5 按公式 (3) 记录被校仪器的磁感应强度示值误差。

$$\Delta B = B_x - B_0 \quad (2)$$

式中:

ΔB ——被校仪器的示值误差，nT；

B_x ——被校仪器的示值平均值，nT；

B_0 ——标准磁力仪的示值，nT。

7.2.3.6 在其他校准点，重复 7.2.1.1 ~7.2.1.6 的步骤进行测量。

(2) 矢量磁力仪的磁感应强度示值误差测量

7.2.3.7 将被校矢量磁力仪的探头固定在三轴线圈系统的中心均匀工作区内。确保探头的三轴 (x', y', z') 与线圈的三轴 (x, y, z) 尽可能对齐，任何未对准都会引入误差。

7.2.3.8 首先仅给 x 轴线圈通电，产生一个磁力仪响应区间内的磁场值。记录被校仪器的矢量读数 ($B_{x_sensor}, B_{y_sensor}, B_{z_sensor}$)。之后对 y 线圈和 z 线圈重复上述过程。

7.2.3.9 通过这三轴测量数据，计算转换矩阵 M，使得：

$$B_sensor = M \cdot B_coil \quad (4)$$

通过最小二乘法精确求解出矩阵 M。在后续的正式测量中，所有线圈产生的标准磁场值都需要通过 M^{-1} 变换到探头的坐标系下，再与探头读数进行比较。

7.2.3.10 选择至少 5 个被校点，一般包含被校仪器测量范围上下限和中间值，所选取的被校点需平均分布在三轴量程上，必要时可适当增加或减少校准点。

7.2.3.11 设置电流源输出值，标准磁场发生系统按校准点顺序依次输出矢量磁场，使线圈系统产生目标标准磁场矢量 B_coil 。等待磁场和读数稳定，计算标准磁场值。

7.2.3.12 标准磁场发生系统按校准点顺序依次输出磁场，每个点稳定时间 ≥ 30 s，记录被校仪器的示值 $B_measured$ 。每个点重复测量 3 次，并取平均值。测量时同时记录三轴数据 B_x , B_y , B_z ，以检验各通道间的串扰。

7.2.3.13 将标准磁场值 B_coil 通过变换矩阵的逆矩阵 M^{-1} 变换到探头坐标系，得到 B_sensor_frame 。

7.2.3.14 按公式 (5) 首先记录被校仪器的总场磁感应强度示值误差：

$$\Delta|B| = |B_measured| - |B_sensor_frame| \quad (5)$$

式中，

$B_measured$ ——被校仪器测量的总场磁感应强度示值；

B_sensor_frame ——坐标转换后的校准点磁场值。

7.2.3.15 根据记录的三轴数据 B_x , B_y , B_z , 按公式 (5) 依次计算矢量磁感应强度示值误差 ΔB_x , ΔB_y , ΔB_z 。

7.2.4 噪声功率谱密度

(1) 标量磁力仪的噪声功率谱密度测量

7.2.4.1 按使用要求选择磁场校准点、频率校准点及采样间隔。若无要求, 一般选择磁场校准点为 $50\mu\text{T}$, 频率校准点为 1Hz , 采样频率大于 10Hz 。

7.2.4.2 将被校仪器放置于恒定弱磁场装置的均匀区内。

7.2.4.3 标准磁场发生系统按校准点顺序依次复现校准点磁场, 每个点稳定时间 $\geq 30\text{ s}$ 。

7.2.4.4 待被校仪器工作稳定后, 记录数据, 记录时间不少于 60s 。

7.2.4.5 按公式 (6) 和公式 (7) 计算噪声功率谱密度: 每个校准点选取测试过程中的 60s 磁场测试数据, 定义为样本数 N ; 根据数据的采样率 f_s 和样本数 N 计算噪声功率谱密度, 得到噪声 (纵坐标, $\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$) 和相对频率 (横坐标, Hz) 的磁场噪声功率谱密度数据。

$$B_p(k) = \sqrt{\frac{2 \left| \sum_{n=0}^{N-1} \left[B_n e^{-2jkn \frac{2\pi}{N}} \right] \right|^2}{N f_s}}, k=1, 2, \dots, N/2-1 \quad (6)$$

$$f(k) = \frac{k f_s}{N} \quad (7)$$

式中:

$B_p(k)$ ——噪声功率谱密度值, $\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$;

B_n ——样本中的第 n 个磁感应强度示值, nT ;

N ——样本数;

f_s ——采样率;

$f(k)$ ——噪声功率谱密度横轴频率点, Hz 。

7.2.4.6 记录频率校准点对应的噪声功率谱密度值。

(2) 矢量磁力仪的噪声功率谱密度测量

7.2.4.7 将被校矢量磁力仪的探头固定在三轴线圈系统的中心均匀工作区内。确保探头的三轴 (x' , y' , z') 与线圈的三轴 (x , y , z) 尽可能对齐。任何未对准都会引入误差。

7.2.4.8 按使用要求选择磁场校准点、频率校准点及采样率.若无要求，一般选择单轴方向的磁场校准点为 50μT，频率校准点为 1Hz，采样频率大于 10Hz，确保被校仪器三轴数据同步采样。工作在近零场附近的被校仪器一般选择单轴方向的磁场校准点为 0 附近，频率校准点为 1Hz，采样频率大于 10Hz。

7.2.4.9 标准磁场发生系统按预设的校准点复现矢量校准磁场，每个校准点的磁场稳定时间≥30 s。如无特殊要求，依次按照 x、y、z 方向次序复现矢量校准磁场，确保主方向外的其他两轴磁场强度尽可能接近 0，各轴磁场分量同步稳定，避免分量间波动干扰。

7.2.4.10 待被校矢量磁力仪工作稳定后，同步记录三轴磁感应强度示值数据（B_x, B_y, B_z），单校准点的记录时间不少于 60s。

7.2.4.11 按公式（6）分别计算矢量磁力仪三轴的噪声功率谱密度：每个校准点选取测试过程中的 60s 磁场测试数据（三轴同步数据组），定义每组数据的样本数为 N；根据数据的采样率 f_s 和样本数 N 分别计算各轴及总场的噪声功率谱密度，得到三轴对应的噪声（纵坐标，pT/√Hz）和相对频率（横坐标，Hz）的磁场噪声功率谱密度数据。

7.2.4.12 记录频率校准点对应的三轴矢量噪声功率谱密度值，以及总场噪声功率谱密度值。

7.2.5 频响特性

（1）标量磁力仪的频响特性

7.2.5.1 按使用要求选择磁场校准点和频率校准点。若无要求，一般选择磁场校准点为 50μT，频率校准范围从 0.1Hz 逐渐增加至被校仪器最大采样率一半的频率点，交变磁场形式如下：

$$B_n \times \sin(2\pi ft) \quad (8)$$

其中，

B_n ——交变磁场峰峰值；

f ——交变磁场频率；

t ——时间。

7.2.5.2 将被校仪器放置于恒定弱磁场装置的均匀区内,结合被校仪器探头的死区特性及形状尺寸，精准调整探头位置。

7.2.5.3 标准磁场发生系统按校准点顺序依次复现校准点交变磁场，每个点稳定时间≥60

s。每变化一次磁场校准点，待稳定后依次复现频率校准点，并同步记录各校准点的频率值及被校仪器的磁感应强度示值。

7.2.5.4 按公式（9）计算各频率校准点的磁感应强度衰减量：

$$D_B(f_i)=20\lg\frac{B_{RAC}(f_i)}{B_{SAC}(f_i)} \quad (9)$$

式中，

f_i ——频率校准点，Hz；

$D_B(f_i)$ ——在频率 f_i 的磁感应强度衰减量，dB；

$B_{RAC}(f_i)$ ——在频率 f_i 的被校仪器测量值的交变磁场峰峰值，T；

$B_{SAC}(f_i)$ ——在频率 f_i 的交变磁场发生装置复现的交变磁场峰峰值，T；

7.2.5.5 重复 7.2.5.3 ~ 7.2.5.4 的操作步骤，完成所有选定校准点的频响特性测量、数据记录及衰减量计算。

7.2.5.6 记录磁感应强度衰减量为-3dB 处的频率点作为被校磁力仪的频率响应带宽。

（2）矢量磁力仪的频响特性

7.2.5.7 按使用要求选择磁场校准点、频率校准点.若无要求，一般选择磁场校准点为 50μT，频率校准范围从 0.1Hz 逐渐增加至被校仪器最大采样率一半的频率点，交变磁场形式按照公式（8）。

7.2.5.8 将被校矢量磁力仪放置于恒定弱磁场装置的均匀工作区内,结合被校仪器探头的死区特性及实际形状尺寸,精准调整探头姿态与位置,减少定位偏差对测量结果的影响。

7.2.5.9 标准磁场发生系统按校准点顺序依次复现校准点矢量交变磁场,每个点稳定时间 ≥60 s。与三轴方向平行的矢量交变磁场按照 x、y、z 轴的顺序依次施加，首先在 x 轴方向上复现第一个磁场校准点，同时确保其他轴向上的矢量磁场强度尽可能接近 0。同步记录各校准点的频率值及交变磁场磁感应强度值。

7.2.5.10 按公式（9）计算各频率校准点的磁感应强度衰减量。

7.2.5.11 重复 7.2.5.9 ~ 7.2.5.10 的操作步骤，依次完成 y、z 轴向上所有选定校准点的频响特性测量、数据记录及衰减量计算。重复 7.2.5.10 的操作步骤，记录被校磁力仪在 y、z 轴向上的频率响应带宽。

7.2.6 噪声

(1) 标量磁力仪的噪声校准

用磁感应强度均方差值表征噪声。用干扰磁场补偿法校准磁场噪声，干扰磁场补偿系统补偿工作区的各种磁场波动后形成稳定磁场，通过测量被校仪器在稳定磁场中的示值变化得到磁场噪声。

7.2.6.1 根据被校仪器的使用要求选定磁场校准点和采样时间间隔。如使用要求没有规定，磁场校准点一般选择 50000nT 附近点，采样时间间隔选择 1s 或被校仪器的最短采样间隔。

7.2.6.2 将被校仪器的探头放在标准磁场发生系统的工作区中心，标准磁场发生产生校准点的标准磁场。

7.2.6.3 开启干扰磁场补偿系统，保持标准磁场不变。

7.2.6.4 待被校仪器预热稳定后，记录不少于 10 个连续示值。

7.2.6.5 按公式（10）计算被校仪器磁场噪声均方差 B_{N_RMS} 。

$$B_{N_RMS} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (B_{x_i} - \bar{B}_x)^2} \quad (10)$$

式中：

n——被校仪器连续记录的示值个数；

B_{x_i} ——被校仪器连续记录的第 i 个示值，nT；

\bar{B}_x ——被校仪器连续记录的 n 个示值的平均值，nT。

(2) 矢量磁力仪的噪声校准

7.2.6.6 若使用要求无规定，x、y、z 三个轴向均选择典型工作点，工作在零场的磁力仪选择零场点附近，选择 1s 或被校仪器的最短同步采样间隔，测试时保证保证 x、y、z 三分量数据的同时采集，避免时间差引入误差。

7.2.6.7 将被校矢量磁力仪的探头置于标准磁场发生系统的工作区中心。调整探头姿态，使被校仪器的 x、y、z 坐标轴与标准磁场发生系统的参考坐标轴平行度误差 $\leq 0.1^\circ$ ，尽可能减少各分量测量的轴间串扰。

7.2.6.8 控制标准磁场发生系统，在当前校准轴向（如 x 轴）产生设定的标准磁场，其余两轴向（y、z）磁场控制在校准值的 0.1% 以内。

7.2.6.9 待被校矢量磁力仪预热至稳定状态，同步记录 x、y、z 三个轴向的连续示值，每个轴向记录数据个数不少于 10 个。

7.2.6.10 分别计算 x、y、z 三个轴向的磁场噪声均方差，公式如下：

$$\begin{aligned} BN_{RMS_x} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (B_{x_i} - \overline{B_x})^2} \\ BN_{RMS_y} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (B_{y_i} - \overline{B_y})^2} \\ BN_{RMS_z} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (B_{z_i} - \overline{B_z})^2} \end{aligned} \quad (11)$$

式中：

n——单个轴向连续记录的示值个数（ $n \geq 10$ ）；

B_{x_i} 、 B_{y_i} 、 B_{z_i} ——x、y、z 轴连续记录的第 i 个示值，nT；

$\overline{B_x}$ 、 $\overline{B_y}$ 、 $\overline{B_z}$ ——x、y、z 轴连续记录的 n 个示值的平均值，nT。

7.2.6.11 计算矢量磁力仪的总磁场总噪声均方差，可通过三轴向噪声矢量合成：

$$BN_{RMS_total} = \sqrt{(BN_{RMS_x})^2 + (BN_{RMS_y})^2 + (BN_{RMS_z})^2}$$

7.2.7 时漂

（1）标量磁力仪的时漂校准

7.2.7.1 根据实际使用要求选择磁场校准点。如使用要求没有规定，一般选择 5000nT 附近点作为磁场校准点。

7.2.7.2 根据使用要求选择测量时间间隔。如使用要求没有规定，则时间间隔一般不大于 3min，且不少于 20 个示值。

7.2.7.3 将被校仪器的探头放入标准磁场发生系统的工作区中心，标准磁场发生系统产生磁场校准点的标准磁场。按选定的时间间隔连续记录被校仪器的示值 B_{t_i} 。

7.2.7.4 按公式（12）计算被校仪器的时漂。

$$\delta B_t = B_{t_max} - B_{t_min} \quad (12)$$

式中：

δB_t ——被校仪器的时漂，nT；

B_{t_max} ——被校仪器测量时漂时的最大示值，nT；

B_{t_min} ——被校仪器测量时漂时的最小示值，nT。

(2) 矢量磁力仪的时漂校准

在稳定环境下连续记录三轴磁场输出及总场值，量化仪器随时间的漂移特性，以时漂率为核心计量指标。

7.2.7.5 根据实际使用要求选择磁场校准点。

7.2.7.6 根据使用要求选择测量时间间隔。如使用要求没有规定，则时间间隔一般不大于 3min，且不少于 20 个示值。

7.2.7.7 将被校矢量磁力仪的探头置于标准磁场发生系统的工作区中心。调整探头姿态，使被校仪器的 x、y、z 坐标轴与标准磁场发生系统的参考坐标轴平行度误差 $\leq 0.1^\circ$ ，尽可能减少各分量测量的轴间串扰。

7.2.7.8 标准磁场发生系统产生磁场校准点的标准磁场。按选定的时间间隔，同步连续记录续采样时刻 $t_0 \sim t_n$ 时刻的三轴磁场输出： $B_x(t_0), B_x(t_1), \dots, B_x(t_n)$ ， $(B_y(t_0), B_y(t_1), \dots, B_y(t_n))$ ， $(B_z(t_0), B_z(t_1), \dots, B_z(t_n))$ 。磁感应强度总场表示为：

$$|B(t)| = \sqrt{B_x(t)^2 + B_y(t)^2 + B_z(t)^2} \quad (13)$$

7.2.7.9 三轴同步记录被校仪器的示值 B_{t_i} ，连续记录时长通常超过 24h。

7.2.7.10 利用公式 (14) 对 x、y、z 轴及总场记录的示值数据序列，采用最小二乘线性拟合，拟合方程为：

$$B(t) = a \times t + b \quad (14)$$

式中，

a——拟合直线斜率，即时漂率 (nT/h)；

T——计量时间，单位 h；

b——拟合直线截距，即初始时刻 t_0 的磁场示值，单位 nT。

7.2.7.11 计算拟合优度 R^2 ，若 $R^2 < 0.95$ ，需检查温度稳定性（波动 $\leq \pm 0.2^\circ\text{C}$ ）或排除磁场

干扰，校正参数直至满足 $R^2 \geq 0.95$ 条件。

7.2.7.12 根据公式(12)计算 x、y、z 通道在计量时段 $\Delta t = t_n - t_0$ 内的时漂总量 δB_{x_t} 、 δB_{y_t} 、 δB_{z_t} 。

7.2.7.13 根据公式(12)计算总场数值在计量时段 $\Delta t = t_n - t_0$ 内的时漂总量 $\delta B_{\text{totle_t}}$ 。

7.2.8 温漂

使用无磁恒温法来校准原子磁力仪的温漂。

7.2.8.1 根据使用要求选定磁场校准点。如使用要求没有规定，一般选择 50000nT 附近点作为磁场校准点。

7.2.8.2 根据使用要求选择温度范围和温度间隔。如使用要求没有规定，选择均匀分布在温度范围内的至少 7 个温度点，应覆盖其上下限，选择室温作为起始温度。

7.2.8.3 将无磁恒温装置放置在标准磁场发生系统的工作区，并使两者工作区中心尽可能重合。将被校仪器的探头放置在不磁恒温装置的中心。

7.2.8.4 标准磁场发生系统产生稳定不变的磁场校准点。

7.2.8.5 无磁恒温系统复现选取的最低温度校准点，依次复现温度校准点并保温，一般保温不少于 10min，记录被校仪器在不同温度点的示值 BT_i , $i=1, 2, 3, \dots$ 。

7.2.8.6 画出被校仪器示值与温度的变化曲线。

7.2.8.7 按公式(15)计算被校仪器的温漂。

$$\delta B_T = B_{T_max} - B_{T_min} \quad (15)$$

式中：

δB_T —— 被校仪器的温漂，nT；

B_{T_max} —— 被校仪器测量温漂时的最大示值，nT；

B_{T_min} —— 被校仪器测量温漂时的最小示值，nT。

(3) 矢量原子磁力仪的温漂校准规程

在可控温环境下，通过改变环境温度并记录三轴磁场输出及总场值，量化仪器随温度变化的漂移特性，以温漂率为核心校准指标。

7.2.8.8 将被校矢量磁力仪的探头置于标准磁场发生系统工作区中心并处于温度可控工作区的中心。调整探头姿态，使仪器 x、y、z 坐标轴与标准磁场系统参考坐标轴平行度误差 $\leq 0.1^\circ$ ，减少轴间串扰。

7.2.8.9 设定标准磁场发生系统，使 x、y、z 三轴分别产生稳定磁场校准点，并保持标准磁场稳定。其余两轴磁场控制在标准值的 0.1% 以内。

7.2.8.10 根据被校仪器使用要求选择温度范围和温度间隔。如使用要求没有规定，选择均匀分布在温度范围内的至少 7 个温度点 T_k ($k=0,1,\dots,m$)，应覆盖其上下限，选择室温作为起始温度。

7.2.8.11 在每个温度校准点下，同步记录三轴磁场输出： $(B_x(T_k, t_0), B_x(T_k, t_1), \dots, B_x(T_k, t_n))$ 、 $(B_y(T_k, t_0), B_y(T_k, t_1), \dots, B_y(T_k, t_n))$ 、 $(B_z(T_k, t_0), B_z(T_k, t_1), \dots, B_z(T_k, t_n))$ ， $t_0 \sim t_n$ 为该温度下的连续采样时刻。总场表示为：

$$|B(T, t)| = \sqrt{B_x(T, t)^2 + B_y(T, t)^2 + B_z(T, t)^2}$$

7.2.8.12 在每个温度校准点下连续记录不少于 10 个同步示值并求取平均值，采样时间间隔选择 1s 或仪器最短同步采样间隔，确保三轴数据同时采集。

7.2.8.13 对每个温度校准点下的 x、y、z 轴及总场示值分别计算平均值： $\overline{B_x}(T_k)$ 、 $\overline{B_y}(T_k)$ 、 $\overline{B_z}(T_k)$ 、 $|\overline{B}|(T_k)$ ，作为该温度下的稳定示值。

7.2.8.14 利用最小二乘线性拟合，对温度与稳定示值数据序列建立拟合方程：

$$B(T) = c \times T + d \quad (16)$$

式中，

c——拟合直线斜率，即温漂率，单位 nT/°C；

T——环境温度，单位 °C；

d——拟合直线截距，单位 nT。

7.2.8.15 计算拟合优度 R^2 ，若 $R^2 < 0.95$ ，需检查温度稳定性（波动 $\leq \pm 0.2^\circ\text{C}$ ）或排除磁场干扰，重新校准直至满足 $R^2 \geq 0.95$ 条件。

7.2.8.16 根据拟合方程计算 x、y、z 通道在工作温度范围 $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ 内的温漂总量 δB_{x_T} 、 δB_{y_T} 、 δB_{z_T} 。

7.2.8.17 根据拟合方程计算总场在工作温度范围 $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ 内的温漂总量 δB_{total_T} 。

7.2.9 转向差

用旋转标定法校准转向差，校准原理如图 2 所示：

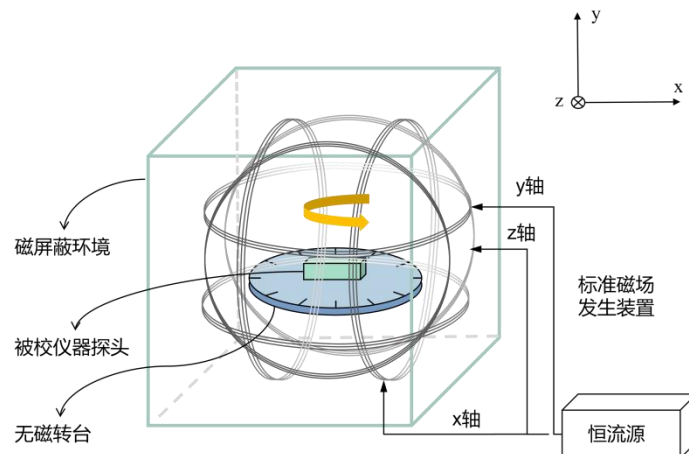


图 2 原子磁力仪磁感应转向差校准示意图

7.2.9.1 根据使用要求选定磁场校准点。如使用要求没有规定，一般选择 50000nT 附近点作为磁场校准点。

7.2.9.2 将无磁转台放置在标准磁场发生系统的工作区，并使两者工作区中心尽可能重合。

7.2.9.3 将被校仪器探头固定于无磁转台的中心，初始位置使敏感轴与磁场方向平行（0°）。

7.2.9.4 标准磁场发生系统产生稳定不变的磁场校准点。

7.2.9.5 根据使用要求选择转台的旋转角度间隔。如使用要求没有规定，选择均匀分布在 360°范围内的至少 12 个角度校准点，选择 0°作为起始角度校准点。每个角度校准点稳定 5 min 后记录示值 B_{θ} ；

7.2.9.6 按公式（17）计算被校仪器的转向差。

$$\delta B_{\theta} = B_{\theta_max} - B_{\theta_min} \quad (17)$$

式中：

δB_{θ} ：被校仪器的转向差，nT；

B_{θ_max} ：被校仪器测量转向差时的最大示值，nT；

B_{θ_min} ：被校仪器测量转向差时的最小示值，nT。

(4) 矢量磁力仪的转向差校准规范

通过无磁转台带动被校仪器在稳定标准磁场中旋转，记录不同角度下的磁场示值，量化仪器因旋转姿态变化产生的示值偏差。

7.2.9.7 根据被校矢量磁力仪的使用要求选定磁场校准点。

7.2.9.8 将无磁转台水平放置在屏蔽环境下的标准磁场发生系统的工作区内，调整转台位置，使转台旋转中心与标准磁场系统工作区中心重合，同轴度误差 $\leq 1\text{mm}$ 。标准磁场发生装置的 x 和 z 方向中心轴方向平行于转台工作平面，且中心轴穿过转台中心轴。初始方向与 x 或 z 方向对齐。

7.2.9.9 将被校矢量磁力仪的探头固定于无磁转台的中心位置，调整探头姿态，使仪器某一敏感轴与标准磁场方向初始平行（0° 起始位置），且仪器 x、y、z 坐标轴与转台参考坐标系平行度误差 $\leq 0.1^\circ$ ，减少轴间串扰。

7.2.9.10 根据使用要求选择无磁转台的旋转角度间隔。如使用要求没有规定，选择均匀分布在 360° 范围内的至少 12 个角度校准点（相邻角度间隔 30°，即 0°、30°、60°、...、330°）。以 0° 作为起始角度校准点，转台旋转至每个角度校准点后，稳定 1min 待仪器示值稳定，记录该角度下的三轴磁场示值 $B_{\theta-x}$ 、 $B_{\theta-y}$ 、 $B_{\theta-z}$ ，及总场值 $|B_{\theta}| = \sqrt{B_{\theta-x}^2 + B_{\theta-y}^2 + B_{\theta-z}^2}$ ，其中 θ 为当前旋转角度。

7.2.9.11 按公式（17）分别计算并记录被校仪器在 x、y、z 三轴方向上的转向差。

7.2.10 死区

7.2.10.1 根据使用要求选定磁场校准点。如使用要求没有规定，一般选择 50000nT 附近点作为磁场校准点。

7.2.10.2 将无磁转台放置在标准磁场发生系统的工作区，并使两者工作区中心尽可能重合。

7.2.10.3 将被校仪器探头固定于无磁转台的中心位置，初始位置使敏感轴与磁场方向平行（0°）。

7.2.10.4 标准磁场发生系统产生稳定不变的磁场校准点。

7.2.10.5 根据使用要求选择转台的旋转角度间隔。如使用要求没有规定，转台在 360°

旋转范围内以不大于间隔 1° 来选取校准点，选择 0° 作为起始角度校准点。每个角度校准点稳定 5 min 后记录示值 B_0 ，转台顺时针旋转依次在各个校准点记录被校仪器示值一次 B_{0+} ，之后逆时针旋转再次记录校准点被校仪器的示值一次 B_{0-} 。

7.2.10.6 取各校准点顺时针与逆时针测量结果的平均值，记录各校准角度示值 B_{0_i} 。

7.2.10.7 记录校仪器示值偏移量偏离磁场校准点 10% 时（例如 $50000 \text{ nT} \pm 10\%$ ）的角度校准点 θ_i ，

7.2.10.8 根据满足偏出范围的角度校准点 θ_i 中的边界值 θ_{i_min} 和 θ_{i_max} 确定被校仪器的死区为 $[\theta_{i_min}, \theta_{i_max}]$ 。

8 校准结果的处理

校准后出具校准证书或报告。校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题“校准证书”及唯一性编号，每页及总页数的标识；
- b) 校准实验室名称、地址、联系方式，进行校准的地点；
- c) 客户的名称和地址；
- d) 被校对象的描述和明确标识（名称、型号、编号、制造商等）；
- e) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- f) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- g) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- h) 校准环境的描述；
- i) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- j) 对校准规范的偏离的说明（无偏离时标注“无”）；
- k) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- l) 校准结果仅对本次被校对象有效的声明；
- m) 未经本实验室书面批准，不得部分复制本证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

若仪器出现以下情况，应提前校准：

- a) 经历剧烈振动、跌落或碰撞；
- b) 维修过核心部件；
- c) 测量结果与同类仪器偏差显著（超出允许误差 1/2）；
- d) 长期存放（超过 6 个月）后重新启用。

附录 A

磁感应强度测量不确定度评定示例

A.1 概述

以在标准磁场发生系统内校准磁力仪为例,说明磁感应强度示值误差的测量不确定度评定的程序。

A.2 测量模型

磁感应强度的测量模型为:

$$B_x = B_0 - B_e$$

式中:

B_x ——被校仪器的磁感应强度示值, nT;

B_0 ——标准磁力仪的磁感应强度示值, nT;

B_e ——被校仪器的磁感应强度示值误差, nT。

A.3 测量不确定度的主要来源

A.3.1 标准磁力仪磁感应强度示值校准的不确定度 $u(B_0)$ 的来源包括:

- a) 由标准磁力仪测量误差引入的不确定度分量 $u_1(B_0)$;
- b) 由标准磁场发生系统产生磁场的均匀性引入的不确定度分量 $u_2(B_0)$;
- c) 由工作区磁场波动引入的不确定度分量 $u_3(B_0)$ 。

A.3.2 被校仪器磁感应强度示值误差的不确定度 $u(B_e)$ 的来源包括:

由被校仪器测量重复性引入的不确定度分量 $u(B_e)$ 。

A.4 标准不确定度分量评定

A.4.1 由标准磁力仪示值引入的不确定度分量 $u(B_0)$ 。

A.4.1.1 由标准磁力仪测量误差引入的不确定度分量

标准磁力仪的最大允许误差为 ± 0.1 nT, 假设其服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则由标准磁力仪示值不准确引入的不确定度分量为:

$$u_1(B_0) = \frac{0.1 \text{ nT}}{\sqrt{3}} \approx 0.058 \text{ nT}$$

A.4.1.2 由标准磁场发生系统产生磁场的均匀性引入的不确定度分量

工作区内各点的磁场差值不超过 0.1 nT, 假设其服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则由由标准

磁场发生系统产生磁场的均匀引入的不确定度分量为：

$$u_2(B_0) = \frac{0.1 \text{ nT}}{\sqrt{3}} \approx 0.058 \text{ nT}$$

A.4.1.3 由工作区磁场波动引入的不确定度分量

工作区磁场波动不超过 0.01 nT，假设其服从均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则由工作区磁场波动引入的不确定度分量为：

$$u_3(B_0) = \frac{0.01 \text{ nT}}{\sqrt{3}} \approx 0.006 \text{ nT}$$

A.4.1.4 由标准磁力仪示值引入的不确定度分量 $u(B_0)$

由标准磁力仪测量误差、标准磁场发生系统产生磁场的均匀，以及工作区磁场波动作为标准磁力仪示值引入不确定度的分量，各分量不直接相关，则由标准磁力仪示值引入的不确定度分量为：

$$u(B_0) = \sqrt{u_1^2(B_0)+u_2^2(B_0)+u_3^2(B_0)} \approx 0.082\text{nT}$$

A.4.2 由被校仪器测量重复性引入的不确定度分量 $u(B_c)$

在同一状态下重复测量 10 次磁感应强度示值，被校仪器测量重复性引入的不确定度分量用测量结果的标准偏差表示。被校仪器重复性测量数据见表 A.1。

表 A.1 磁感应强度为 50000nT 的校准点重复性测量数据示例

测量序号	磁感应强度测量值/nT
第 1 次	49999.955
第 2 次	49999.923
第 3 次	49999.997
第 4 次	49999.966
第 5 次	49999.939
第 6 次	49999.972
第 7 次	50000.030
第 8 次	49999.951
第 9 次	49999.949
第 10 次	50000.014
平均值	49999.970

由被校仪器测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u(B_c) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{x,i}-\overline{B_x})^2}{n-1}} \approx 0.001 \text{ nT}$$

A.5 合成标准不确定度的计算

各不确定度分量之间不相关, 则被校仪器的磁感应强度校准的合成标准不确定度为:

$$u(B_x) = \sqrt{u^2(B_0) + u^2(B_e)} \approx 0.082 \text{ nT}$$

A.6 扩展不确定度的确定

用简易法, 取 $k=2$, 则质子磁强计磁感应强度校准的扩展不确定度为:

$$U(B_x) = k \times u(B_x) = 2 \times 0.082 \text{ nT} = 0.164 \text{ nT}$$

附录 B

校准原始记录格式（推荐）
磁力仪校准原始记录（一）

证书编号：

被校仪器信息：

委托单位名称			
委托单位地址			
委托仪器名称			
制造单位			
规格型号		仪器编号	

标准设备信息：

名称	型号	测量范围	准确度等级	证书编号	证书有效期 (YYYY-MM-DD)

本次校准所用测量标准的溯源性说明：

技术依据：

环境条件：

温度：湿度：

校准地点：

备注：

校准日期：

校准人员：

核验人员：

磁力仪校准原始记录 (二)

校准结果记录

1、外观和通电检查

2、探头剩磁

正向示值 B_1 /nT	反向示值 B_2 /nT	探头剩磁 B_{MR} /nT	扩展不确定度(k=2) U /nT

3、磁感应强度

序号	标准磁场 B_0 /nT	被校仪器示值				示值误差 ΔB /nT	扩展不确定度(k=2) U /nT
		B_{x_1} /nT	B_{x_2} /nT	B_{x_3} /nT	B_x /nT		
1							
2							
3							
.....							

4、磁场噪声

磁场校准点： μT ；采样时间间隔： s 。			
序号	被校仪器示值 B_{x_i} /nT	磁场噪声(峰-峰值/有效值) $B_{N_PP}(B_{N_RMS})$ /nT	扩展不确定度(k=2) U /nT
1			
2			
3			
.....			

5、时漂

磁场校准点： μT			
时间 t /min	被校磁强计示值 B_{t_i} /nT	时漂 δB_t /nT	扩展不确定度(k=2) U /nT

6、温漂

磁场校准点： μT			
温度 $T/^{\circ}\text{C}$	被校磁强计示值 B_{T_i}/nT	温漂 $\delta B_T/\text{nT}$	扩展不确定度(k=2) U/nT

7、转向差

磁场校准点： μT			
角度 $\theta/^{\circ}$	被校磁强计示值 B_{θ_i}/nT	温漂 $\delta B_{\theta}/\text{nT}$	扩展不确定度(k=2) U/nT

8、死区

磁场校准点： μT					
角度 $\theta/^{\circ}$	正反向被校仪器示值		被校磁强计示值 B_{θ_i}/nT	死区 $[\theta_{i_min}, \theta_{i_max}]$	扩展不确定度(k=2) U/nT
	$B_{\theta+}/\text{nT}$	$B_{\theta-}/\text{nT}$			

附录 C

校准证书内页格式

证书编号：××××××-××××

<p><校准机构授权说明></p> <p>校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。</p>					
校准环境条件及地点：					
温度		℃		地点	
相对湿度		%		其他	
校准所依据的技术文件(代号、名称): JJF 2229—2025 质子磁强计校准规范					
校准所使用的主要测量标准：					
名称	型号	测量范围	准确度等级	证书编号	证书有效期 (YYYY-MM-DD)

证书编号: ××××××-××××

校准结果

1 探头剩磁

在____ μT 磁场校准点, 探头剩磁:

B_{MR} =____ nT , U =____ nT , $k=2$ 。

2 磁感应强度

标准磁场 B_0/nT	被校磁强计示值 B_x/nT	示值误差 $\Delta B/\text{nT}$	扩展不确定度($k=2$) U/nT

3 磁场噪声

在____ μT 磁场校准点, 采样时间间隔____ s 时, 磁场噪声为:

$B_{N_PP}(B_{N_RMS})$ =____ nT ; U =____ nT , $k=2$ 。

4 时漂

在____ μT 磁场校准点, ____ h 内, 时漂为: δB_t ____, U =____ nT , $k=2$ 。

5 温漂

在____ μT 磁场校准点, 温度范围____ $^{\circ}\text{C}$ ~____ $^{\circ}\text{C}$ 内, 温漂为:

δB_T =____ nT , U =____ nT , $k=2$ 。

6 转向差

在____ μT 磁场校准点, 角度范围____ $^{\circ}$ ~____ $^{\circ}$ 内, 转向差为:

δB_{θ} =____ nT , U =____ nT , $k=2$ 。

7 死区

在____ μT 磁场校准点, 角度间隔____ $^{\circ}$, 死区为:

$[\theta_{i_min}, \theta_{i_max}]$, U =____ nT , $k=2$ 。

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“×××××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: