

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

质子磁强计校准规范

Calibration Specification for Proton Magnetometer

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 质子磁强计校准规范

Calibration Specification for  
Proton Magnetometer

JJF XXXX-XX

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：××××××

参加起草单位：××××××

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

××× (×××××××)

××× (×××××××)

××× (×××××××)

参加起草人：

××× (×××××××)

××× (×××××××)

××× (×××××××)

××× (×××××××)

# 目 录

引言.....	II
1 范围.....	3
2 引用文件.....	3
3 术语和计量单位.....	3
3.1 质子磁强计.....	3
3.2 转向差.....	3
3.3 噪声.....	3
3.4 时漂.....	3
4 概述.....	4
5 计量特性.....	4
5.1 磁感应强度.....	4
5.2 转向差.....	4
5.3 噪声.....	4
5.4 时漂.....	4
6 校准条件.....	5
6.1 环境条件.....	5
6.2 测量标准及其他设备.....	5
7 校准项目和校准方法.....	5
7.1 校准项目.....	6
7.2 校准方法.....	6
8 校准结果表达.....	9
9 复校时间间隔.....	9
附录 A 测量不确定度评定示例.....	10
附录 B 校准原始记录格式.....	12
附录 C 校准证书校准结果页格式.....	13

# 引言

本规范依据 JJF 1071-2010《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》进行编制。

本规范为首次发布。

## 质子磁强计校准规范

### 1 范围

本规范适用于质子磁强计的校准。

### 2 引用文件

本规范引用以下文件。

JJF 1013 磁学计量常用名词术语及定义

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

JJF 1013 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

#### 3.1 质子磁强计 proton magnetometer

利用质子在磁场中能级分裂的共振吸收效应测量磁场的磁强计。

#### 3.2 转向差 diversionary error

当外输入磁场不变时，因质子磁强计探头方向变化引起的磁场测量结果的最大变化量。不同的磁场校准点，有不同的转向差。

转向差的单位为纳特（nT），用符号  $B_{\theta}$  表示。

#### 3.3 噪声 noise

当输入磁场不变时，质子磁强计示值在短时间内的随机变化，噪声的大小一般与测量时间和采样频率有关。质子磁强计的噪声一般有峰峰值、有效值等几种评价方式。

噪声的峰峰值单位为纳特（nT），用符号  $B_{N,PP}$  表示。噪声的有效值单位为纳特（nT），用符号  $B_{N,RMS}$  表示。

#### 3.4 时漂 time drift

当输入磁场不变时，质子磁强计示值随时间的缓慢变化。

时漂的单位为纳特（nT），用符号  $B_t$  表示。

#### 3.5 梯度容限 gradient tolerance

质子磁强计可正常工作的最大梯度磁场。

梯度容限的单位为微特每米 ( $\mu\text{T}/\text{m}$ ), 用符号  $B_{G,T}$  表示。

### 3.6 温漂 temperature drift

当输入磁场不变时, 质子磁强计示值随温度的变化。当该变化为线性时, 可以用示值相对温度的变化率来表示质子磁强计的温漂, 单位为皮特每摄氏度 ( $\text{pT}/^\circ\text{C}$ ), 用符号  $B_T$  表示; 当该变化为非线性时, 可用示值随温度的最大变化量来表示质子磁强计在该温度范围内的温漂, 单位为纳特 ( $\text{nT}$ ), 用符号  $\delta B_T$  表示。

## 4 概述

质子磁强计处在均匀恒定磁场中时, 其质子进动频率与恒定磁场有按公式 (1) 所述的关系。

$$B = \frac{2\pi f_p}{\gamma_p} \quad (1)$$

式中:

$B$ ——恒定磁场的磁感应强度, T;

$f_p$ ——质子进动频率, Hz;

$\gamma_p$ ——质子旋磁比, Hz/T。

质子磁强计用于弱磁场的测量。

## 5 计量特性

### 5.1 磁感应强度

在  $20 \mu\text{T} \sim 100 \mu\text{T}$  范围内, 磁感应强度示值最大允许误差一般为  $\pm (0.3 \sim 3) \text{nT}$ 。

### 5.2 转向差

转向差一般为  $0.01 \text{nT} \sim 1 \text{nT}$ 。

### 5.3 噪声

噪声的峰峰值  $\geq 10 \text{pT}$ ; 噪声的有效值  $\geq 4 \text{pT}$ 。

### 5.4 时漂

在规定时间内, 时漂为  $0.1 \text{nT} \sim 3 \text{nT}$ 。

### 5.5 梯度容限

梯度容限一般为  $0.1 \mu\text{T}/\text{m} \sim 10 \mu\text{T}/\text{m}$ 。

### 5.6 温漂

在规定的温度范围内，温漂一般为  $1 \text{ pT}/^\circ\text{C} \sim 100 \text{ pT}/^\circ\text{C}$ （最大变化为  $0.1 \text{ nT} \sim 3 \text{ nT}$ ）。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境条件及其要求如下：

- a) 温度： $15 \text{ }^\circ\text{C} \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：不大于 80%；
- c) 磁场波动：噪声校准时工作区的磁场波动峰峰值应不大于  $10 \text{ pT}$ ，其他项目校准时工作区的磁场波动峰峰值应不大于  $0.1 \text{ nT}$ ；
- d) 供电电源： $(220 \pm 22) \text{ V}$ ， $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ 。

### 6.2 测量标准及其他设备

校准所用仪器设备应经过计量技术机构检定（或校准），并在有效期内。

#### 6.2.1 标准磁强计

磁场测量范围应覆盖被校质子磁强计的磁场范围，磁感应强度最大允许误差不大于被校质子磁强计最大允许误差的  $1/3$ 。

#### 6.2.2 标准磁场系统

磁场测量范围应覆盖被校质子磁强计的磁场范围，工作区应大于被校质子磁强计的探头尺寸，工作区内非均匀性应不大于被校质子磁强计最大允许误差的  $1/3$ 。

#### 6.2.3 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  $10 \text{ pT}$ ，其他项目校准时工作区的磁场波动峰峰值应不大于  $0.1 \text{ nT}$ 。

#### 6.2.4 梯度磁场复现系统

最大梯度磁场不小于  $10 \text{ } \mu\text{T}/\text{m}$ ，最大允许误差  $\pm 0.1 \text{ } \mu\text{T}/\text{m}$ ，工作区应大于被校质子磁强计的探头尺寸。

#### 6.2.5 无磁恒温系统

温度范围应覆盖被校质子磁强计的温度工作范围，温度波动不超过  $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ，工作区剩磁应不大于  $1 \text{ nT}$ ，工作区应大于被校质子磁强计的探头尺寸。

## 7 校准项目和校准方法



## 7.1 校准项目

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	磁感应强度	7.2.1
2	转向差	7.2.2
3	噪声	7.2.3
4	时漂	7.2.4
5	梯度容限	7.2.5
6	温漂	7.2.6

## 7.2 校准方法

## 7.2.1 磁感应强度

7.2.1.1 一般应选择包含被校质子磁强计测量范围上下限及中间值的 5 个点；必要时，可适当增加校准点。

7.2.1.2 将被校质子磁强计的探头放在磁场线圈的中心，调整探头，使探头磁轴与磁场线圈的磁轴平行。

7.2.1.3 调节稳流源输出电流，使磁场线圈工作区复现第一个校准点的磁场。标准磁场值通过标准磁强计测量或根据线圈常数与电流大小计算得到。

7.2.1.4 记录被校质子磁强计的示值。

7.2.1.5 按式（2）计算被校质子磁强计的磁感应强度示值误差。

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

式中：

$\Delta B$ ——被校质子磁强计的示值误差，nT；

$B_x$ ——被校质子磁强计的示值，nT；

$B_0$ ——标准磁场系统复现的磁场值，nT。

7.2.1.6 在其他校准点，重复 7.2.1.3~7.2.1.5 的操作。

## 7.2.2 转向差

7.2.2.1 根据被校质子磁强计的技术要求选定磁场校准点；如技术要求没有规定，一般选择地磁场作为转向差校准点。

7.2.2.2 保持输入磁场不变，分别记录质子磁强计探头与磁场方向同向、反向时的输出值。

7.2.2.3 按式（3）计算被校质子磁强计的转向差。

$$B_0 = \frac{B_+ - B_-}{2} \quad (3)$$

式中：

$B_+$ ——被校质子磁强计的正向示值，nT；

$B_-$ ——被校质子磁强计的反向示值，nT。

### 7.2.3 噪声

7.2.3.1 根据被校质子磁强计的使用要求选定磁场校准点及测量时间；如使用要求没有规定，磁场校准点可选择 50  $\mu$ T 附近点，测量时间可选择 20 s，采样时间间隔选择 2 s。

7.2.3.2 在磁场校准点上保持输入磁场不变，根据选定的采用时间与时间间隔，连续记录被校质子磁强计的示值。

7.2.3.3 按式（4）计算噪声的峰峰值。

$$B_{N,PP} = B_{N,max} - B_{N,min} \quad (4)$$

式中：

$B_{N,max}$ ——噪声校准时被校质子磁强计的最大示值，nT；

$B_{N,min}$ ——噪声校准时被校质子磁强计的最小示值，nT。

7.2.3.4 按式（5）计算噪声的有效值。

$$B_{N,RMS} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2} \quad (5)$$

式中：

$n$ ——记录的被校质子磁强计示值组数；

$B_i$ ——被校质子磁强计的第*i*个示值，nT；

$\bar{B}$ ——被校质子磁强计  $n$  个示值的平均值，nT。

### 7.2.4 时漂

7.2.4.1 根据使用要求选定磁场校准点；如使用要求没有规定，一般选择地磁场作为磁场校准点。

7.2.4.2 根据使用要求选择记录时间间隔；如使用要求没有规定，选择可确保记录不少 20 次示值的时间间隔。

7.2.4.3 将被校质子磁强计探头放入工作区内，保持输入磁场不变，按选定的时间间隔连续记录被校质子磁强计的示值。

7.2.4.4 按式(3)计算被校质子磁强计的时漂。

$$B_t = B_{\max} - B_{\min} \quad (3)$$

式中:

$B_t$ ——被校质子磁强计的时漂, nT;

$B_{\max}$ ——在选定的漂移时间内被校质子磁强计的最大示值, nT;

$B_{\min}$ ——在选定的漂移时间内被校质子磁强计的最小示值, nT。

## 7.2.5 梯度容限

7.2.5.1 根据使用要求选定背景磁场;如使用要求没有规定,一般选择地磁场作为背景磁场。

7.2.5.2 将被校质子磁强计探头放入梯度磁场系统工作区内,并按选定的要求保持背景磁场不变。

7.2.5.3 在背景磁场方向复现梯度磁场,按  $0.1 \mu\text{T/m}$  的步进逐步增大梯度磁场,直至被校质子磁强计不能正常工作。

7.2.5.4 记录被校质子磁强计可正常工作的最大梯度磁场。

## 7.2.6 温漂

7.2.6.1 根据使用要求选定磁场校准点;如使用要求没有规定,一般选择地磁场作为磁场校准点。

7.2.6.2 根据使用要求选择温度间隔;如使用要求没有规定,一般选择每  $10^\circ\text{C}$  作为一个温度校准点。

7.2.6.3 将无磁恒温系统的恒温箱体放置在磁场复现系统的工作区,并使两者工作区中心重合;将被校质子磁强计探头放置在恒温箱体中心。

7.2.6.4 磁场复现系统复现选定的磁场校准点,并保持校准过程中磁场恒定。

7.2.6.5 无磁恒温系统复现最低温度校准点,一般应保温不少于  $30 \text{ min}$ ,记录被校质子磁强计的示值  $B_{T,1}$ 。

7.2.6.6 按选定的温度校准点,逐步升高温度,每个温度点一般应保温不少于  $30 \text{ min}$ ,记录被校质子磁强计在不同温度点的示值  $B_{T,i}$ 。

7.2.6.7 画出被校质子磁强计示值与温度的变化曲线。

7.2.6.8 对于线性变化的质子磁强计,按最小二乘法拟合计算温漂;对于非线性变化的质

子磁强计，按公式（4）计算温漂。

$$\delta B_T = B_{T_{\max}} - B_{T_{\min}}$$

式中：

$B_{T_{\max}}$ ——被校质子磁强计在不同温度点的最大示值，nT；

$B_{T_{\min}}$ ——被校质子磁强计在不同温度点的最小示值，nT。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反映，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

建议复校时间间隔为 12 个月。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A 测量不确定度评定示例

### 质子磁强计测量不确定度评定示例

#### A.1 测量不确定度评定参数

根据 JJF 1059.1 规定的方法，对磁感应强度进行测量不确定度评定。

#### A.2 磁感应强度的测量不确定度

##### A.2.1 测量模型

$$B_x = B_0 - \Delta B$$

式中：

$B_x$ ——被校质子磁强计的磁感应强度示值，nT；

$B_0$ ——标准磁场，nT；

$\Delta B$ ——被校质子磁强计的示值误差，nT。

##### A.2.2 测量不确定度的主要来源

磁感应强度的测量不确定度主要来源有：

- a) 由测量重复性引入的测量不确定度分量  $u_r$ ；
- b) 由标准磁强计引入的测量不确定度分量  $u(B_0)$ ；
- c) 由标准磁场的非均匀性引入的测量不确定度分量  $u(B_G)$ ；
- d) 由磁场波动引入的测量不确定度分量  $u(B_\delta)$ 。

##### A.2.3 各分量的测量不确定度评定

###### A.2.3.1 由测量重复性引入的测量不确定度分量

测量重复性引入的测量不确定度分量用测量结果的实验标准差表示，假设为 0.1 nT，则：

$$u_r = \frac{s(B_i)}{\sqrt{n}} = 0.1 \text{ nT}$$

式中：

$s(B_i)$ ——多次测量结果的实验标准差；

$n$  ——重复测量次数， $n \geq 6$ 。

###### A.2.3.2 由标准磁场引入的测量不确定度分量

标准磁场应经过校准，假设其按包含因子  $k=2$  给出的扩展不确定度为  $U(B_0)=0.3 \text{ nT}$ ，则由标准磁场引入的测量不确定度分量为：

$$u(B_0) = \frac{U(B_0)}{k} = \frac{0.3\text{nT}}{2} = 0.15\text{nT}$$

#### A.2.3.3 由标准磁场非均匀性引入的测量不确定度分量

标准磁场工作区的梯度不超过 0.1 nT，假设其服从均匀分布，则由标准磁场非均匀性引入的测量不确定度分量  $u(B_G)$  为：

$$u(B_G) = \frac{B_G}{\sqrt{3}} = \frac{0.1\text{nT}}{\sqrt{3}} = 0.06\text{nT}$$

#### A.2.3.4 由磁场波动引入的测量不确定度分量

工作区磁场波动不超过 0.01 nT，假设其服从均匀分布，则由干扰磁场引入的测量不确定度分量  $u(B_\delta)$  为：

$$u(B_\delta) = \frac{B_\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.1\text{nT}}{\sqrt{3}} = 0.006\text{nT}$$

#### A.2.4 合成标准不确定度

各个测量不确定度分量独立不相关，并考虑影响量，则被校准质子磁强计磁感应强度的合成标准不确定度  $u_c(\Delta B)$  为：

$$u_c(\Delta B) = \sqrt{u_r^2 + u^2(B_0) + u^2(B_G) + u^2(B_\delta)} \approx 0.2\text{nT}$$

#### A.2.5 扩展不确定度

被校准质子磁强计磁感应强度的扩展不确定度  $U(\Delta B)$  为：

$$U(\Delta B) = k_p \times u(\Delta B)$$

式中：

$k_p$ ——置信概率为  $p$  的包含因子。

假设  $k_p=2$ ，则被校准质子磁强计磁感应强度的扩展不确定度  $U(\Delta B)$  为：

$$U(\Delta B) = 2 \times 0.2\text{nT} = 0.4\text{nT}$$

## 附录 B 校准原始记录格式

## 质子磁强计校准原始记录格式

## 1 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 $\Delta B/nT$	测量不确定度 $U(\Delta B)/nT$

## 2 转向差

被校磁强计正向示值 $B_+/nT$	被校磁强计反向示值 $B_-/nT$	零偏 $B_0/nT$	测量不确定度 $U(B_0)/nT$

## 3 噪声

序号	被校磁强计示值 $B_x/nT$	噪声 $B_N/nT$
1		
2		
3		
.....		

## 4 时漂

时间 $t/min$	被校磁强计示值 $B_{tx}/nT$	时漂 $B_t/nT$	测量不确定度 $U(B_t)/nT$

## 5 梯度容限

## 附录 C 校准证书校准结果页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

## 校准结果

1 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 $\Delta B/nT$	测量不确定度 $U(\Delta B)/nT$
2 转向差			
正向示值 $B_+/nT$	反向示值 $B_-/nT$	转向差 $B_\theta/nT$	测量不确定度 $U(B_\theta)/nT$
3 噪声			
4 时漂			
时间 $t/min$	被校磁强计示值 $B_{tx}/nT$	时漂 $B_t/nT$	测量不确定度 $U(B_t)/nT$
5 梯度容限			
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求。			
敬告： 1. 被校准仪器修理后，应立即进行校准。 2. 在使用过程中，如对被校准仪器的技术指标产生怀疑，请重新校准。 3. 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。			

校准员：

核验员：