

JJF

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

## 直流磁屏蔽筒校准规范

Calibration Specification of DC Magnetic Shielding Cylinder

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 直流磁屏蔽筒校准规范

Calibration Specification of DC Magnetic  
shielding cylinder



归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：无锡市检验检测认证研究院

国防科技工业弱磁一级计量站

湖南省计量检测研究院

参加起草单位：怀化市检验检测中心

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：**

严海东（无锡市检验检测认证研究院）

周昌剑（国防科技工业弱磁一级计量站）

王冠钧（无锡市检验检测认证研究院）

徐 昱（湖南省计量检测研究院）

**参加起草人：**

刘 娣（无锡市检验检测认证研究院）

张海波（国防科技工业弱磁一级计量站）

刘友良（怀化市检验检测中心）

# 目 录

引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 概述 .....	1
4 术语和计量单位 .....	1
4.1 直流磁屏蔽筒 .....	1
4.2 内部剩磁 .....	1
4.3 直流屏蔽系数 .....	2
5 计量特性 .....	2
5.1 内部剩磁 .....	2
5.2 直流屏蔽系数 .....	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 .....	2
7 校准项目和校准方法 .....	2
7.1 校准项目 .....	2
7.2 校准方法 .....	2
8 校准结果表达 .....	4
9 复校时间间隔 .....	4
附录 A 直流磁屏蔽筒的不确定度评定示例 .....	5
附录 B 直流磁屏蔽筒校准原始记录内页格式 .....	10
附录 C 校准证书内页格式 .....	11

## 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。

本规范是首次制定的国家计量校准规范。

# 磁屏蔽筒校准规范

## 1 范围

本规范适用于对新制造的、新购置的、使用中和修理后的直流磁屏蔽筒（以下简称磁屏蔽筒）的内部剩余磁场  $0.3\text{nT}\sim 100\text{nT}$  的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1013-1989 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 概述

直流磁屏蔽筒是通过高导磁材料制成的腔体壁与其所包围的空间形成并联磁路，在设计限定范围内产生低强度、较均匀的零磁空间，可以屏蔽恒定磁场及干扰磁场。广泛应用于航天、航空、航海、地质、地磁物理等科研生产中，是磁通门传感器、磁阻传感器、数字磁罗盘、陀螺仪、霍尔磁强计、弱磁场测试仪、原子钟等磁产品和仪器进行性能筛选的必要设备，也是鱼雷、水雷磁引信、炮弹测姿、航空惯导导航仿真与检测技术中必须的测量设备。

## 4 术语和计量单位

### 4.1 直流磁屏蔽筒 DC Magnetic shielding cylinder

直流磁屏蔽筒是通过高导磁材料制成的腔体壁与其所包围的空间形成并联磁路，在设计限定范围内产生低强度、较均匀的零磁空间，可以屏蔽恒定磁场及干扰磁场。

### 4.2 内部剩磁 Internal residual Magnetic field

直流磁屏蔽筒内部剩余的磁感应强度。

磁感应强度的单位为纳特（nT），用符号  $B_i$  表示。

### 4.3 直流屏蔽系数 DC shielding coefficient

外磁场变化量和磁屏蔽筒内相应磁场变化量之比值，单位为 dB，用符号  $S_0$  表示。

## 5 计量特性

### 5.1 内部剩磁

直流磁屏蔽筒的内部剩磁不超过 100nT。

### 5.2 直流屏蔽系数

直流磁屏蔽筒的直流屏蔽系数一般不超过 120dB。

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

环境温度：15℃～25℃；

相对湿度：≤80%；

干扰磁场：没有影响正常校准的强电磁干扰。

### 6.2 测量标准及其他设备

单分量磁通门磁强计：漂移 0.1nT/10min。

磁场线圈系统：磁场范围-60 μT～+60 μT，最大允许误差±10%。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

表 3 校准项目

序号	校准项目	校准方法条款
1	内部剩磁	7.2.1
2	直流屏蔽系数	7.2.2

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 内部剩磁

a) 将磁屏蔽筒放置在水平台架上，开口方向东西朝向。

b) 单分量磁通门磁强计固定在测量支架上，使其敏感轴方向与磁屏蔽筒的中心轴平行，放入磁屏蔽筒工作区内，盖上屏蔽盖。

c) 根据磁屏蔽筒中心轴的长度，选择测量点位置（以使用要求为准），以磁屏蔽筒的工作区中心点为中心，可以选择 5~7 个测量点位置，应覆盖工作区。

d) 移动测量支架，并记录磁通门磁强计测量的磁感应强度值和对应的测量点位置距离。

e) 将单分量磁强计反向安装在测量支架上，在以上的测量点位置重复测量，记录磁感应强度值。

f) 按公式（1）计算剩磁。

$$B_n = \frac{|B_{n+} - B_{n-}|}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$B_n$ ——第  $n$  个测量点轴向的磁感应强度数值，nT；

$B_{n+}$ 、 $B_{n-}$ ——第  $n$  个测量点磁强计正向、反向测量的磁感应强度数值，nT。

### 7.2.2 直流屏蔽系数

a) 将磁屏蔽筒放置在磁场线圈的均匀区内，开口方向与线圈磁轴方向一致。

b) 单分量磁通门磁强计固定在测量支架上，使其敏感轴方向与磁屏蔽筒的中心轴平行并置于其中心点。

c) 使磁场线圈分别复现  $\pm 50\mu\text{T}$  左右的磁感应强度值并记录复现磁场的磁感应强度值。

d) 记录正向磁场、反向磁场下单分量磁强计测量的磁感应强度值。

e) 按公式（3）计算直流屏蔽系数。

$$S_D = -20\lg \left| \frac{B_1 - B_2}{B_{0+} - B_{0-}} \right| \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$S_D$ ——直流屏蔽系数，dB；

$B_{0+}$ 、 $B_{0-}$ ——线圈复现的正、反向磁感应强度数值，nT；

$B_1$ ——正向磁场时磁通门磁强计测量的磁感应强度数值，nT；

$B_2$ ——反向磁场时磁通门磁强计测量的磁感应强度数值，nT。

## 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

建议复校时间间隔为一年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A 直流磁屏蔽筒的不确定度评定示例

## 直流磁屏蔽性能的不确定度评定

## A.1 内部剩磁校准不确定度评定

## A.1.1 测量方法

- 1) 将磁屏蔽筒放置在水平台架上，开口方向东西朝向。
- 2) 单分量磁通门磁强计固定在测量支架上，使其敏感轴方向与磁屏蔽筒的中心轴平行，放入磁屏蔽筒工作区内，盖上屏蔽盖。
- 3) 根据磁屏蔽筒中心轴的长度，选择测量点位置。
- 4) 移动测量支架，并记录磁通门磁强计测量的磁感应强度值和对应的测量点位置距离。
- 5) 将单分量磁强计反向安装在测量支架上，在以上的测量点位置重复测量，记录磁感应强度值。

## A.1.2 测量模型

$$\Delta B = \left| \frac{B_{n+} - B_{n-}}{2} \right| \quad (\text{A.1})$$

式中：

$\Delta B$ ——磁屏蔽筒的单方向内部剩磁，nT；

$B_{n+}$ ——正向磁场时磁通门磁强计测量的磁感应强度值，nT；

$B_{n-}$ ——反向磁场时磁通门磁强计测量的磁感应强度值，nT。

各输入量之间不相关，不确定度传播可用公式 (A.2) 表示。

$$u_c^2(\Delta B) = c^2(B_{n+})u^2(B_{n+}) + c^2(B_{n-})u^2(B_{n-}) \quad (\text{A.2})$$

式中：

$$c(B_{n+}) = \frac{\partial \Delta B}{\partial B_{n+}} = \frac{1}{2}, \quad c(B_{n-}) = \frac{\partial \Delta B}{\partial B_{n-}} = \frac{1}{2}$$

$u_c(\Delta B)$ ——磁屏蔽筒的单方向剩磁的合成标准不确定度，nT；

$u(B_{n+})$ ——正向磁场时磁通门磁强计测量引入的标准不确定度，nT；

$u(B_{n-})$ ——负向磁场时磁通门磁强计测量引入的标准不确定度，nT。

### A.1.3 标准不确定度来源

#### A.1.3.1 $u(B_{n+})$ 的来源

- a) 由磁通门磁强计测量引入的标准不确定度分量  $u_1(B_{n+})$ ；
- b) 由磁通门磁强计探头放入磁屏蔽筒的位置引入的标准不确定分量  $u_2(B_{n+})$ 。

#### A.1.3.2 $u(B_{n-})$ 的来源

- a) 由磁通门磁强计测量引入的标准不确定度分量  $u_1(B_{n-})$ ；
- b) 磁通门磁强计探头放入磁屏蔽筒的位置引入的标准不确定分量  $u_2(B_{n-})$ 。

### A.1.4 标准不确定度评定

#### A.1.4.1 正向磁场时磁通门磁强计测量引入的标准不确定度 $u(B_{n+})$

- a) 磁通门磁强计测量引入的标准不确定度分量  $u_1(B_{n+})$

磁通门磁强计允许误差为 $\pm 0.1$  nT，估计为均匀分布，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则由磁通门磁强计测量引入的不确定度分量  $u_1(B_{n+})$  为：

$$u_1(B_{n+}) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06\text{nT}$$

- b) 磁通门磁强计探头放入磁屏蔽筒的位置引入的标准不确定分量  $u_2(B_{n+})$

磁通门磁强计探头放入磁屏蔽筒的位置引入的标准不确定度由测量重复性引入，在重复性条件下进行连续 10 次独立测量，得到的测量数据见表 A.1。

表 A.1 正向磁场时磁通门磁强计重复性测量数据

第 $i$ 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (nT)	1.8	1.7	2.0	2.1	1.8	1.9	2.0	1.7	1.9	1.8

由其实验标准差得到： $u_2(B_{n+}) = 0.13\text{nT}$

#### A.1.4.2 负向磁场时磁通门磁强计测量引入的标准不确定度 $u_2(B_{n+})$

- a) 磁通门磁强计测量引入的标准不确定度分量  $u_1(B_{n-})$

磁通门磁强计允许误差为 $\pm 0.1$  nT, 估计为均匀分布, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$ , 则由磁通门磁强计测量引入的不确定度分量 $u_1(B_{n-})$ 为:

$$u_1(B_{n-}) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ nT}$$

b) 磁通门磁强计探头放入磁屏蔽筒的位置引入的标准不确定分量 $u_2(B_{n-})$

磁通门磁强计探头放入磁屏蔽筒的位置引入的标准不确定度由测量重复性引入, 在重复性条件下进行连续 10 次独立测量, 得到的测量数据见表 A. 2。

表 A. 2 负向磁场时磁通门磁强计重复性测量数据

第 $i$ 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (nT)	-1.4	-1.7	-1.6	-1.4	-1.5	-1.7	-1.5	-1.4	-1.5	-1.7

由其实验标准差得到:  $u_2(B_{n-}) = 0.13 \text{ nT}$

#### A. 1. 5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量见表 A. 3。

表 A. 3 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	$k$ 值	标准不确定度
$u_1(B_{n+})$	正向磁场时磁通门磁强计测量误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.06 nT
$u_2(B_{n+})$	正向磁场时磁通门磁强计测量重复性	A	正态	/	0.13 nT
$u_1(B_{n-})$	负向磁场时磁通门磁强计测量误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.06 nT
$u_2(B_{n-})$	负向磁场时磁通门磁强计测量重复性	A	正态	/	0.13 nT

#### A. 1. 6 合成标准不确定度

各个标准不确定度分量独立互不相关, 并考虑影响量, 则合成标准不确定度为:

$$u(B_{n+}) = \sqrt{u_1^2(B_{n+}) + u_2^2(B_{n+})} \approx 0.14 \text{ nT}$$

$$u(B_{n-}) = \sqrt{u_1^2(B_{n-}) + u_2^2(B_{n-})} \approx 0.14 \text{ nT}$$

$$u_c(\Delta B) = \sqrt{c^2(B_{n+})u^2(B_{n+}) + c^2(B_{n-})u^2(B_{n-})} \approx 0.1 \text{ nT}$$

## A.1.7 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U(\Delta B) = ku_c(\Delta B) = 0.2\text{nT}$$

## A.2 直流屏蔽系数校准不确定度评定

## A.2.1 测量方法

- a) 将屏蔽装置放置在磁场线圈的均匀区内，开口方向与线圈磁轴方向一致。
- b) 单分量磁通门磁强计固定在测量支架上，并使其敏感轴方向与屏蔽装置的中心轴平行置于其中心点。
- c) 使磁场线圈分别复现  $\pm 50\mu\text{T}$  左右的磁感应强度值并记录复现磁场的磁感应强度值。
- d) 记录正向磁场、反向磁场下单分量磁强计输出的磁感应强度值。

## A.2.2 测量模型

$$S_D = -20\lg \left| \frac{B_{\text{内}}}{B_{\text{外}}} \right| \quad (\text{A.3})$$

式中：

$S_D$ ——直流屏蔽系数，dB；

$B_{\text{内}}$ ——磁屏蔽筒内部测量的磁感应强度值，nT；

$B_{\text{外}}$ ——磁场线圈输出的磁感应强度值，nT。

因为  $B_{\text{内}} \ll B_{\text{外}}$ ，所以这里只考虑  $B_{\text{外}}$  引入的标准不确定度。

不确定度传播可用公式 (A.4) 表示。

$$u_c^2(S_D) = c^2 u^2(B_{\text{外}}) \quad (\text{A.4})$$

式中：

$$c = \frac{\partial S_D}{\partial B_{\text{外}}} = \frac{20}{B_{\text{外}} \times \ln 10}$$

$u_c(S_D)$ ——磁屏蔽筒的直流屏蔽系数的标准不确定度，dB；

$u(B_{\text{外}})$ ——磁场线圈输出磁感应强度值引入的标准不确定度，nT。

## A.2.3 标准不确定度评定

磁场线圈输出磁感应强度  $50 \mu\text{T}$  时，最大允许误差为  $\pm 10\%$ ，估计为均匀分布，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则由磁场线圈输出磁感应强度引入的不确定度  $u(B_{\text{外}})$  为：

$$u(B_{\text{外}}) = \frac{50000 \times 10\%}{\sqrt{3}} = 2886.8 \text{ nT}$$

标准不确定度  $u_c(S_D)$  为：

$$u_c(S_D) = c \times u(B_{\text{外}}) = \frac{20}{50000 \times \ln 10} \times 2886.8 \approx 0.5 \text{ dB}$$

#### A. 2. 4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U(S_D) = k u_c(S_D) = 1.0 \text{ dB}$$

## 附录 B 直流磁屏蔽筒校准原始记录内页格式

## 一、基本信息

记录编号:	证书编号:
委托方:	委托方地址:
器具名称:	型 号:
制造厂名:	器具编号:
温 度:                    ℃	相对湿度:                    %
校 准 员:	核 验 员:
校准日期:	校准地点:
校准前后样品状态描述:	

## 二、校准用主要计量标准器:

名称	型号规格	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至
磁通门磁强计						
磁场线圈						

## 三、校准结果记录:

## 1 内部剩磁

测试位置距离 (cm)	$B_{n+}$ (nT)	$B_n$ (nT)	$B_n$ (nT)	测量不确定度 $U, k=2$
1				
2				
.....				

## 2 直流屏蔽系数

测试次数	$B_1$ (nT)	$B_2$ (nT)	$B_{0+}$ (nT)	$B_{0-}$ (nT)	$S_D$	测量不确定度 $U, k=2$
1						
2						
.....						

## 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

(校准项目及校准结果)

证书编号 XXXXXX-XXXX

## 校准结果

(校准项目及校准结果)

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。

校准员:

核验员:

JJF X X X X - X X X X

---

---