

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:

ΔB ——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 ± 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 ± 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±50μT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 μT 时，最大允许误差为±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

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