

团 体 标 准

T/SSC XX—XXXX

欧弗豪泽多参量磁力仪检测技术规范

Technical specification for test of overhauser multi-parameter magnetometer

(征求意见稿)

(本稿完成日期: 2022. 3. 20)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国地震学会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	3
5 测试方法	5
附录 A（资料性）欧弗豪泽磁力仪工作原理	7
附录 B（规范性）主要测试设备及要求	9
附录 C（规范性）地磁总场强度性能指标测试方法	10
附录 D（规范性）磁偏角和磁倾角性能指标测试方法	13
附录 E（规范性）温度漂移系数测试方法	15
参考文献	17

欧弗豪泽多参量磁力仪检测技术规范

1 范围

本文件规定了欧弗豪泽多参量磁力仪在地震观测中的技术要求及测试方法。
本文件适用于欧弗豪泽多参量磁力仪研究、设计、检测、评估和使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 4706.1—2005 家用和类似用途电器的安全 第1部分：通用要求

GB/T 6587—2012 电子测量仪器通用规范

GB 11464—1989 电子测量仪器术语

GB/T 18207.2—2005 防震减灾术语 第2部分：专业术语

GB/T 19531.2 地震台站观测环境技术要求 第2部分：电磁观测

DB/T 9 地震台站建设规范 地磁台站

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

3 术语和定义

GB 11464—1989、GB/T 18207.2—2005 和 JJF 1001—2011确立的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了GB/T 18207.2—2005中的某些术语和定义。

3.1

地磁场 geomagnetic field

地球的磁场，存在于地心到磁层边界的空间范围内，由主磁场、地壳磁场、变化磁场和感应磁场四部分构成。

[来源：GB/T 18207.2—2005，4.2.1]

3.2

地磁要素 geomagnetic element

描述空间某点地磁场强度矢量的各种分量。常用地磁要素为总强度F、磁偏角D、磁倾角I、水平强度H、垂直强度Z、北向分量X和东向分量Y等7个要素。

[来源：GB/T 18207.2—2005，4.2.2]

3.3

地磁绝对测量 absolute magnetic measurements

对地磁要素的绝对测量。

[来源：GB/T 18207.2—2005，4.2.12]

3.4

地磁（相对）记录 recording of magnetic variations

对地磁要素相对变化量的记录。

[来源：GB/T 18207.2—2005，4.2.13]

3.5

量子磁力仪 quantum magnetometer

基于量子磁共振原理，测量磁感应强度大小的仪器，是质子（旋进）磁力仪、欧弗豪泽磁力仪和光泵磁力仪的总称。

[来源：DB/T 28—2008，2.1.1]

3.6

质子磁力仪 protonr magnetometer

利用质子在磁场中旋进频率与磁场强度成正比原理，利用质子核磁共振方法，测量磁场总强度绝对值的仪器。

[来源：DB/T 30.2—2008，3.1，有改动]

3.7

欧弗豪泽磁力仪 overhauser magnetometer

利用质子的拉莫尔进动频率与外部磁场强度成正比原理，基于核磁共振和自由基溶液动态核极化效应，利用电子顺磁共振和质子核磁共振相结合的方法，测量磁场总强度绝对值的仪器。

3.8

零磁空间 magnetic field free space

采用磁屏蔽技术对外界磁场实施屏蔽，产生磁场强度近似为零的空间。

[来源：DB/T 28—2008，2.1.3]

3.9

比测室 instrument comparison room

用作地磁观测仪器对比观测场所的建筑物。

[来源：DB/T 9—2004，3.8，有改动]

3.10

替代比较法 substitution methode for comparison

用标准磁力仪和被测试磁力仪轮换测量同一位置处的地磁要素，对被测试磁力仪的性能指标进行测试的方法。

[来源：DB/T 28—2008，2.1.4，有改动]

3.11

标准磁场测试法 standard magnetic field test method

在零磁空间，用标准线圈生成的均匀磁场，对被测试磁力仪的性能指标进行测试的方法。

[来源：DB/T 30.2—2008，3.7，有改动]

3.12

基准磁场比测法 reference magnetic field contrast test method

在地磁基准台，用标准磁力仪和被测试磁力仪同步测量台站所在位置的地磁要素，对被测试磁力仪的性能指标进行测试的方法。

注：简称比测法，可用于对标准磁场测试法无法完成的被测试磁力仪相关性能指标进行测试。

3.13

拉莫尔进动 larmor precession

电子、原子核和原子的磁矩在外部磁场作用下产生的旋进运动。

3.14

霍姆赫兹线圈 helmholtz coil

由具有相同线圈匝数、相同线圈绕制方式且线圈半径等于线圈间距的一对或者多对线圈构成的线圈组合，可以在轴线附近产生均匀磁场的装置。

3.15

欧弗豪泽多参量磁力仪 overhauser multi-parameter magnetometer

由欧弗豪泽磁力仪和偏置线圈组成的磁力仪，可对多个地磁要素同步或组合测量。

4 技术要求

4.1 使用条件

4.1.1 电源电压：AC 200V~240V 或 DC +9V~+13.8V，交流和直流供电应能自动切换；

4.1.2 工作环境：温度范围-10℃~40℃，相对湿度不大于 85%。

4.2 性能指标要求

4.2.1 测量范围

4.2.1.1 总强度 F 测量范围：20,000nT~100,000nT。

4.2.1.2 磁偏角 D 测量范围：0°~±180°。

4.2.1.3 磁倾角 I 测量范围：0°~±90°。

4.2.2 测量分辨力

4.2.2.1 总强度 F 测量分辨力应优于 0.01nT。

4.2.2.2 磁偏角 D 和磁倾角 I 测量分辨力应优于 0.01'。

4.2.3 测量精密度

4.2.3.1 总强度 F 测量标准偏差不应大于 0.1nT。

4.2.3.2 磁偏角 D 和磁倾角 I 测量标准偏差不应大于 0.1'。

T/SSC XX—XXXX

4.2.4 最大允许误差

4.2.4.1 总强度 F 最大允许误差不应大于 0.3nT 。

4.2.4.2 磁偏角 D 和磁倾角 I 最大允许误差不应大于 $0.3'$ 。

4.2.5 稳定性

整机温度漂移系数不应大于 $0.01\text{nT}/^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.6 数据吐出率

全周期数据测量间隔不应大于1次/分钟。

4.2.7 数据存储容量

仪器内部应能存储不小于30天的原始观测数据和运行日志数据。

4.2.8 时间服务精度

在无任何校对的情况下，15天之内的系统时钟误差不应大于10秒。

4.2.9 通信接口

通信接口应包括网络接口RJ45和串行接口RS232C。

4.3 功能要求

4.3.1 地磁要素数据产出

应在正常运行状态下，自动产出地磁场总强度 F 、磁偏角 D 和磁倾角 I 等地磁要素的绝对测量值及其随时间变化。

4.3.2 网络通信功能

宜兼容中国地震局所属地球物理台网通信与控制协议，以及该协议规定的用户认证、参数设置、数据汇集、设备控制和状态监视等网络通信功能。

4.3.3 时钟系统校对功能

宜通过全球导航卫星系统（GNSS）自动授时，或通过网络服务器及人工指令进行时钟校对。

4.3.4 人机交互功能

宜通过人机交互界面，实现网络参数、工作参数以及表述参数的设置、查询和监控，时钟系统查询和校对，以及动态显示地磁场总场强度 F 、磁偏角 D 和磁倾角 I 等地磁要素测量结果的人机交互功能。

4.3.5 掉电保护功能

应在关机和掉电状态下，保持仪器的设置参数、时钟信息和观测数据不丢失。

4.4 安全要求

4.4.1 电击保护

电击保护性能应符合国家标准GB 4706.1-2005中规定的I类器具的要求。

4.4.2 电器强度电压

仪器的交流电压输入端与机壳之间应能承受1750伏特（有效值）电压1分钟。

4.4.3 泄漏电流

仪器交流变压器的次级对机壳漏电峰值应不大于3.5毫安。

5 测试方法

5.1 测试环境

5.1.1 实验室环境温度应在 $18^{\circ}\text{C}\sim 23^{\circ}\text{C}$ 范围内，比测室环境温度宜在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内。

5.1.2 相对湿度应在 $10\%\sim 85\%$ 范围内。

5.1.3 电源电压应在交流 $200\text{V}\sim 240\text{V}$ 范围内。

5.2 测试设备

主要测试设备包括：零磁空间、工作平台、标准线圈、高精度电流源、高精度数字电压表、标准量子磁力仪、标准比测DI仪、标准电阻、恒温箱、温度计等，技术要求参见附录B。

5.3 性能指标测试

5.3.1 地磁场总强度性能测试

宜采用附录C所示的标准磁场测试法，针对4.2.1.1所示的测量范围，对4.2.2.1、4.2.3.1和4.2.4.1所示的地磁场总强度F的测量分辨力、测量精密度以及最大允许误差等性能指标进行测试。

5.3.2 磁偏角和磁倾角性能测试

可采用附录D所示的比测法，对4.2.2.2、4.2.3.2和4.2.4.2所示的磁偏角D和磁倾角I的测量分辨力、测量精密度以及最大允许误差等性能指标进行测试。

5.3.3 稳定性测试

可选用附录E所示的标准磁场测试法和比测法，对4.2.5所示的稳定性指标进行测试。

5.3.4 时钟误差测试

宜在正常运行状态下，对仪器内部时钟系统的误差进行测试，测试方法和步骤如下所示：

- a) 被测试磁力仪主机进入正常运行状态；
- b) 在运行第一天的对仪器的内部时钟进行校对，其后30d内再不得对其进行时钟校对；
- c) 仪器正常运行满15d后，每天在相同的时刻，记下仪器的时钟与标准时间之间的绝对误差，以及与15d之前相同时刻的相对偏差；
- d) 仪器正常运行满15d后的15d内，每天与其15d前的相对偏差均小于10s，则判定为合格。

5.3.5 数据存储容量测试

宜在正常运行状态下，对数据存储容量进行测试，测试方法和步骤如下所示：

- a) 被测试磁力仪主机进入正常运行状态；

- b) 每天收集前一天的观测数据和观测日志;
- c) 仪器正常运行满15d后, 每天收集仪器内存的前15d观测数据和观测日志;
- d) 仪器正常运行满15d后的15d内, 每天从仪器收集的前15d观测数据和观测日志, 与已收集数据和观测日志完全一致, 则判定为合格。

5.4 功能要求测试

宜在正常运行的状态下, 对主要功能指标进行检测, 测试方法和步骤如下所示:

- a) 将被测试磁力仪安装在地磁基准台的比测室(或观测室)内, 并使该被测试磁力仪的主机通过网络传输接口(RJ45、RS232C等)与计算机连接;
- b) 接通电源, 预热10分钟后开始记录, 至少连续记录24小时以上;
- c) 检查被测试磁力仪的主要功能, 是否满足4.3所列的技术要求, 并将检查结果填入表1中;
- d) 若所有功能项检查结果均符合要求, 则判定为合格。

表1 被测试磁力仪主要功能要求测试检查记录表

功 能	检查结果符合要求? (Y/N)	备 注
地磁要素测量		
网络通信与控制		
时钟系统校对		
掉电保护		
显示功能		

5.4.1 基本安全试验

应按GB/T 6587—2012之5.8所示方法, 对4.4所列的被测试磁力仪基本安全性能进行测试和试验。

5.4.2 环境适应性试验

应按照GB/T 6587—2012之5.9所示方法, 并参照附录E.1所示的标准磁场测试法, 对4.1.2所列的被测试磁力仪的环境适应性能进行测试和试验。

附录 A

(资料性)

欧弗豪泽磁力仪工作原理

A.1 磁共振原理

对于具有磁矩 m 的粒子，在没有外磁场时处于某一能级，当存在外磁场 H 时，由于磁矩在外磁场中的不同取向（量子化取向），该能级分裂成几个次能级。相邻的两个次能级之间的能量差为：

$$\Delta E = \gamma \hbar H \dots\dots\dots (A.1)$$

当粒子所处的能级在这些次能级之间变化时，就要吸收或辐射能量为 $\hbar \omega$ 的电磁波。

$$\hbar \omega = \gamma \hbar H \dots\dots\dots (A.2)$$

由此，得到

$$\omega = \gamma H \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

γ ——为旋转磁比率（旋磁比），是一个物理常数，等于粒子的磁矩和动量矩之比；

\hbar ——为普朗克常数。

A.2 拉莫尔进动

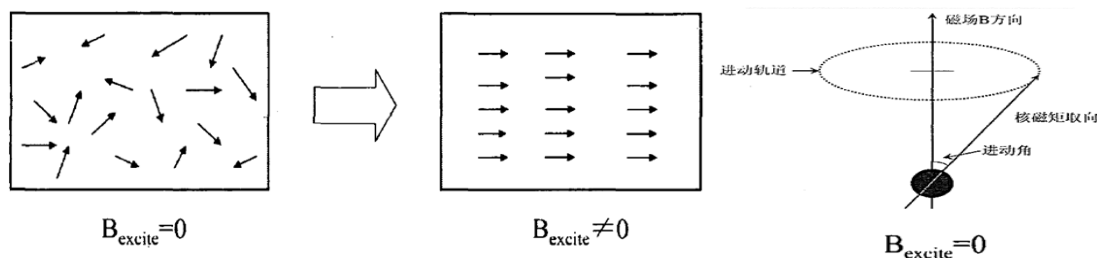
对富含氢质子的液体样品或溶液，例如水、煤油、酒精等，通过施加强直流磁场，使氢质子得到预极化（取向极化磁场），而当突然切断极化电流取消极化磁场时，氢质子将围绕外部磁场作旋进运动（取向外磁场），产生随时间衰减的自由旋进信号的过程，称之为拉莫尔进动（Larmor Precession）。

图 A.1 所示的拉莫尔进动过程中，氢质子的旋进信号频率与外部磁场成正比。

$$\omega = \gamma_p B \dots\dots\dots (A.4)$$

其中，依据 IAGA1992 年推荐的质子核磁比 γ_p 常数 $\gamma_p = 2.67515255 \times 10^8 T^{-1} S^{-1}$ (SI)， $\pi = 3.141592653$ ，则磁感应强度 $B = \frac{2\pi}{\gamma_p} f = 23.487204 f$ (nT)。

对某一确定样品，只要测定自由旋进信号的频率值，即可利用式 (A.4) 计算外部磁场的强度值。

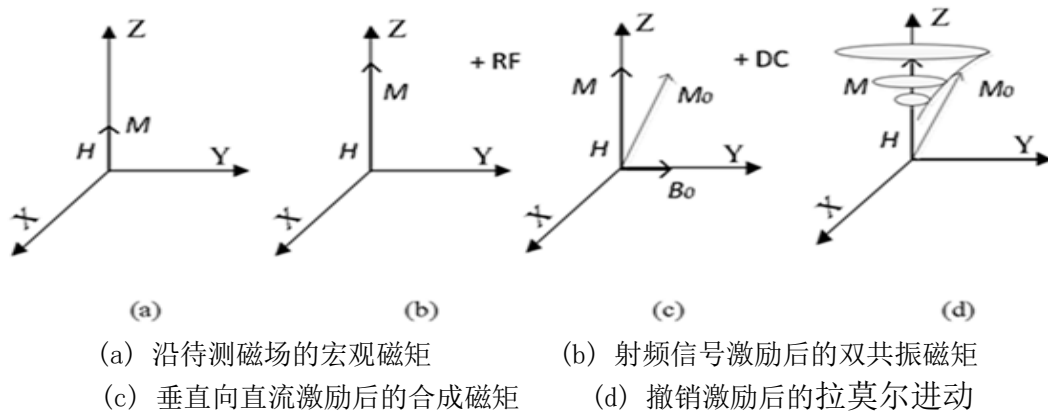


(a) 氢质子在外磁场作用下的预极化 (b) 氢质子绕外磁场作拉莫尔进动

图 A.1 拉莫尔进动原理及过程示意图

A.3 欧弗豪泽磁力仪

欧弗豪泽（Overhauser）磁力仪是基于质子（旋进）磁力仪测量原理发展而来的，以质子与电子的双共振效应为基础的磁力仪。欧弗豪泽磁力仪的基本原理为：针对含有化学性质比较稳定的自由基物质的溶液（以煤油、酒精等富含氢质子有机液体为溶剂），利用“电子—质子耦合作用”对氢质子进行极化，产生拉莫尔进动，通过测量该进动频率，计算其所在外部磁场的总强度 F 。其中，当对该自由基溶液施加频率与自由电子共振频率对应的射频磁场时，通过电子吸收该能量，产生共振跃迁，并通过电子—质子耦合将该能量传递给质子，对质子进行极化，如图 A.2 所示。此时，可在很短时间内产生比直流磁场极化大的多的极化场，并通过持续不断地施加极化场，产生不衰减的旋进信号，大幅度提高对其所在环境的外部磁场测量精度和响应速度。



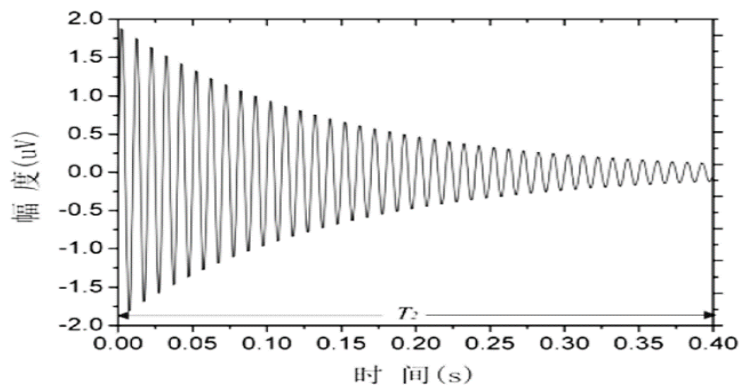
图A.2 欧弗豪泽传感器的工作过程示意图

依据图A.2所示的工作过程，欧弗豪泽传感器对其外部磁场的测量步骤如下所示：

a) 将传感器置于待测磁场 B 中，传感器工作物质中的质子系统会受到磁场的的作用而产生沿待测磁场方向的宏观磁矩 M ，如图A.2(a)所示。当有射频信号对传感器进行激励时，自由基中的电子系统会与质子系统相互耦合产生双共振，质子系统的宏观磁矩方向虽然没有改变，但在很大程度上的得到增强，增加的倍数即为动态核极化因子（DNP: Dynamic nuclear polarization），如图 A.2(b)所示。

b) 撤去射频激励，对传感器施加垂直于待测磁场方向的直流激励，产生直流磁场 B_0 ，如图 A.2(c)所示。此时，作用于质子系统上的为直流磁场与待测磁场所组成的合成磁场 M ，也将逐渐偏离原来的方向，最终沿着合成磁场的方向产生新的磁化强度 M_0 。

c) 撤去直流激励， M_0 会在稳定磁场 B 的作用下绕该磁场 B 进动，如图A.2(d)所示，最后 M_0 会慢慢回到图A.2(a)中的状态。此时，传感器的输出为图A.3所示的呈指数衰减的拉莫尔进动自由感应衰减信号（FID: Free Induction Decay），根据测得的FID信号的频率，可以计算得到外部待测磁场的准确值。



图A.3 拉莫尔进动产生的自由感应衰减信号(FID)示意图

附录 B

(规范性)

主要测试设备及要求

欧弗豪泽（Overhauser）多参量磁力仪的主要测试设备包括：零磁空间、工作平台、标准线圈、高精度电流源、高精度数字电压表、标准量子磁力仪、标准比测DI仪、标准电阻、恒温箱、温度计等，技术要求如表B.1所示。

表B.1 主要测试设备及要求

名称	技术要求	数量	备注
零磁空间	空间尺寸不小于2m×2m×2m，内部剩余磁场强度不大于20nT，噪声不大于0.01nT，剩余磁场的稳定性不大于0.3nT/h。	1个	依据白家瞳
标准线圈	空间尺寸不小于30cm×30cm×30cm，线圈常数不小于100nT/mA，磁场的非均匀度： $r=60\text{mm}$ 的球形区小于 1.2×10^{-6} ；线圈常数的温度系数小于 $1\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	1个	
工作平台	工作面与线圈轴线平行度误差不大于15"，水平度误差不大于15"，垂直（Z坐标）位置调节范围60mm，调节细度1mm，水平（X、Y坐标）位置调节范围100mm×100mm，调节细度1mm。	1个	
高精度电流源	最大输出电流1A，最大负载电阻50 Ω ，调节细度1 μA ，噪声小于1 μA ，稳定度 $1\times 10^{-5}/\text{h}$ ，纹波电压小于10 μV （取样电阻1 Ω ）	2台	KQ2055
高精度数字电压表	测量范围 $\pm 300\text{mV}\sim\pm 1000\text{V}$ ，分辨力100nV，最大允许误差 $\pm 0.0004\%$ 读数+0.0002%FS）@24h， $\pm 0.002\%$ 读数+0.002%FS）@1a	1台	5017
标准量子磁力仪	测量范围20000nT~120000nT，灵敏度0.0035nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @1Hz，分辨力0.0001nT，绝对精度 $\pm 0.1\text{nT}$	1台	光泵磁力仪
标准比测DI仪	检零传感器分辨力 $\pm 0.1\text{nT}$ ，磁偏角和磁倾角观测误差 $\pm 1.0''$	1台	MAG-01/DI
标准电阻	标称电阻值1 Ω ，0.002级，额定功率大于1W	1个	BZ3C/4
恒温箱	温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，温控精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	1台	
温度计	分辨力0.1 $^{\circ}\text{C}$ ，测量范围 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$	1台	

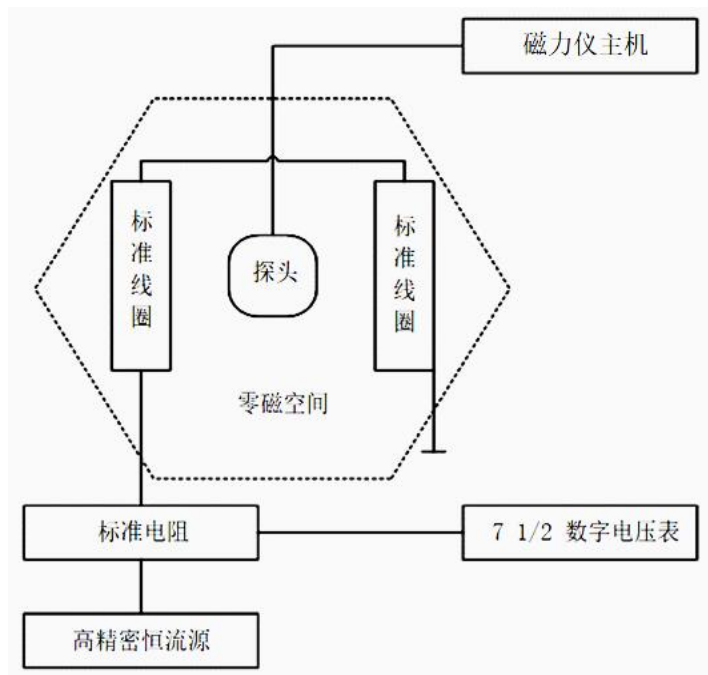
附录 C

(规范性)

地磁总场强度性能指标测试方法

C.1 测试系统

地磁场总强度的性能指标，宜采用标准磁场测试法进行测试。测试系统由图C.1所示的零磁空间、标准线圈、精密电流源、标准量子磁力仪、标准电阻和7位半数字电压表构成。



图C.1 标准磁场测试法系统连接框图

C.2 测试内容

在20000nT~100000nT之间，每隔10000nT选取一个磁感应强度值，在该状态下测试和计算被测试磁力仪的地磁场总强度 F 的测量分辨力、测量精密度和测量误差等性能指标。

C.3 测试步骤

C.3.1 系统准备

按照图C.1所示的标准磁场测试法，连接地磁场总强度参数测试系统，接通高精度恒流源、数字电压表、标准量子磁力仪的电源，高精度恒流源输出约300mA的电流，使系统至少预热1h。

C.3.2 标准磁场设置

将标准量子磁力仪的探头放置在工作平台的中心，使探头的中心位于标准线圈的中心，并使探头上表示磁场方向的箭头指向线圈磁场的方向（线圈轴方向）；

按照表C.1所列的标准磁场值，调整高精度恒流源，在零磁空间产生标准磁场，使用标准量子磁力仪测定该标准磁场的量值 B_i ，测量次数不小于10次，每次测量间隔不小于1分钟；

利用公式(C.1)和公式(C.2)所示方法,分别记录其算术平均值 \bar{B} 和标准偏差 S_B ,以剔除粗差(3倍标准偏差测量值)后的算术平均值 B_b 作为该标准磁场的设置结果(标准量值);

将所有测量和计算结果记录到表C.1和表C.2中。

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \dots\dots\dots (C.2)$$

C.3.3 标准磁场测量

在整体测量状态保持不变的情况下,用替代比较法,将标准磁力仪的探头和主机,分别替换为被测试磁力仪的传感器和主机,测量由C.3.2设置的标准磁场值 F_i ,测量次数不少于10次,每次测量间隔不少于1分钟;

利用公式(C.3)和公式(C.4)所示方法,分别记录其算术平均值 \bar{F} 和标准偏差 S_F ,以剔除粗差(3倍标准偏差测量值)后的算术平均值 F_b 作为被测试磁力仪的测量结果;

将所有测量和计算结果记录到表C.1和表C.2中。

$$S_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \dots\dots\dots (C.4)$$

C.3.4 测量分辨力指标测试

在步骤C.3.3标准磁场测量过程中,观察和记录被测试磁力仪的有效测量和显示数据,并将最低有效位数的最小示值差作为被测试磁力仪的测量分辨力性能指标,将观察结果记录到表C.1中。

C.3.5 精密度指标测试

在步骤C.3.3标准磁场测量过程中,将由公式(C.4)计算得到的标准偏差 S_F ,作为被测试磁力仪的精密度性能指标,并将计算结果记录到表C.1和表C.2中。

C.3.6 测量误差指标测试

依据C.3.2设置的标准磁场 B_b ,以及C.3.3对标准磁场的测量结果 F_b ,利用公式(C.5)计算被测试磁力仪在该标准磁场量值下的测量误差 ΔF 性能指标,将计算结果记录到表C.1和表C.2中。

$$\Delta F = |F_b - B_b| \dots\dots\dots (C.5)$$

C.3.7 测试结果

依据表C.1中所列的标准磁场值,重复C.3.2~C.3.6标准磁场设置和测试过程,并将测试和计算结果均记录到表C.1和表C.2中。

C.4 合格性判定

在表C.1所示标准磁场范围内，地磁场总强度F的测量分辨力、测量标准偏差和测量误差等性能指标的测试结果，均符合4.2所示的技术要求，则视为合格。

表C.1 地磁总场强性能指标测试记录表

单位：nT

标准磁场	标准量值 B_0	测量结果 F_0	测量分辨力	测量标准偏差 S_F	测试误差 ΔF	合格判定 (Y/N)
20000						
30000						
40000						
50000						
60000						
70000						
80000						
90000						
100000						

表C.2 地磁总场强度测试记录表

测试磁场：_____ nT

测量次序	B_i /nT	F_i /nT
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
算术平均值		
标准偏差		
剔除粗差均值		
测量误差		

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/675322131123012003>