

# T/BMCA

## 北京市军民融合协同创新协会团体标准

T/BMCA 009—2022

### 目标磁特性超导测量系统技术要求和试验方法

Technical requirements and test methods for superconducting measuring system of target's magnetic characters

2022 - 10 - 10 发布

2022 - 10 - 10 实施

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由北京市军民融合协同创新协会提出并归口。

本文件起草单位：北京宇航世纪超导技术有限公司、哈尔滨工程大学、北京科技大学、中国舰船研究院、北京美尔斯通科技发展股份有限公司、北京斯奎德量子技术有限公司。

本文件主要起草人：赵赫、刘睿智、张朝晖、闫建峰、韩磊、邓志安、司伟建、张春杰、乔玉龙、侯长波、张天尧、潘小群、王鹏、赵泽学、王佳奇、温雯、王雅迪、赵平、丛柏利、李振、刘永锋、崔晓锦、李鸿儒、于怀福、陈杨、郭守林、王勇、许晓敏、赵长远、葛静茹、修仕全、邱凯、刘宇航。

# 目标磁特性超导测量系统技术要求和试验方法

## 1 范围

本文件规定了基于超导磁力仪的目标磁特性超导测量系统（以下简称“超导测量系统”）的系统组成、技术要求和试验方法等。

本文件适用于目标磁特性超导测量系统的设计和研制。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

- GJB 4.8—1983 舰船电子设备环境试验 第8部分：颠震试验
- GJB 150.3A—2009 军用装备实验室环境试验方法第3部分：高温试验
- GJB 150.4A—2009 军用装备实验室环境试验方法第4部分：低温试验
- GJB 150.9A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第9部分：湿热试验
- GJB 150.10A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第10部分：霉菌试验
- GJB 150.11A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第11部分：盐雾试验
- GJB 150.16A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验
- GJB 150.18A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验
- GJB 150.23A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第23部分：倾斜和摇摆试验
- GJB 151B—2013 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量
- GJB 899A—2009 可靠性鉴定和验收试验
- GJB 1448—1992 舰船电子对抗设备通用规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**目标磁特性** target magnetic characters

目标物异常磁场的特征曲线，包括磁场强度、相位、频率范围等。

### 3.2

**超导量子干涉器** superconducting quantum interference device

**SQUID**

主要由超导线圈和约瑟夫森结两种基本元件构成，在低温环境和特定电流偏置下，基于磁通量子化和约瑟夫森效应测量磁通的干涉器。

### 3.3

**超导磁力仪** superconducting magnetometer

以超导量子干涉器为核心，与无磁杜瓦、电子读出模组等一起构成的高灵敏度磁场测量装置，能够测量磁场的矢量分布和总强度。

### 3.4

**超导磁力仪阵列** superconducting magnetometer array

由两个及以上超导磁力仪组成的磁传感器测量阵列。

### 3.5

**测量系统** measuring system

用于进行目标磁特性测量的整套装置。用于获取或计算测量结果的软件也是测量系统的一部分。

### 3.6

**测量带宽** measuring band width

超导测量系统能够进行测量的频率范围，用Hz表示。

### 3.7

**无磁杜瓦** non-magnetic dewar

不会被外部磁场磁化，对外部磁场无畸变，磁噪声低于 $5 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}@10\text{Hz}$ ，且主要用于储藏制冷剂、维持超导元件保持4 K超低温状态的容器。

### 3.8

**正交度** orthogonality

磁力仪三分量线圈的三条轴线之间相互完全正交的程度。

### 3.9

**转向差** difference of readings at the opposite orientation

磁力仪在磁系的N极指向东、西两个方位读数的差值。

### 3.10

**模拟数字转换器** analog to digital converter

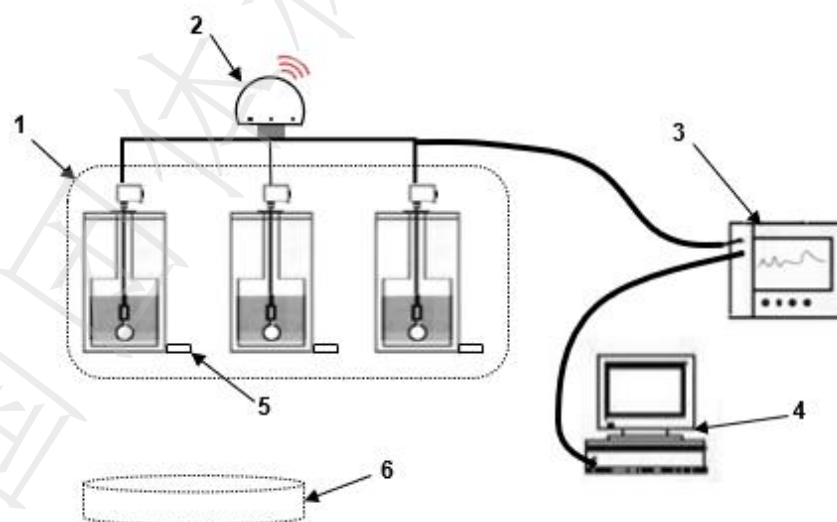
ADC

将模拟信号转换成数字信号的电路。

## 4 系统组成及功能

### 4.1 系统组成

超导测量系统主要由超导磁力仪阵列、导航定位系统、数据采集系统、数据处理系统、海底高度计等组成，见图1。



标引序号说明：

1—超导磁力仪阵列；

2—导航定位系统；

3—数据采集系统；

4—数据处理系统；

5—海底高度计；

6—测量对象。

图1 超导测量系统组成示意图

## 4.2 系统功能

超导测量系统应具有以下功能：

- a) 超导磁力仪阵列中的每一个超导磁力仪应能够独立测得磁强、相位和频率信号；
- b) 测量数据可从 USB 接口输出。

## 5 技术要求

### 5.1 硬件要求

- 5.1.1 硬件应至少具备两台超导磁力仪，及数据采集、数据处理、导航定位等功能子系统。
- 5.1.2 各子系统均需安装在可靠的平台上。
- 5.1.3 各子系统之间使用可靠接插件进行便捷连接。

### 5.2 软件要求

- 5.2.1 软件包括数据采集、存储、处理、显示和输出等模块。采用模块化结构，便于故障诊断和升级。
- 5.2.2 软件支持的数据格式应为 MAGZ 格式。
- 5.2.3 显示模块应提示阵列数据的来源。

### 5.3 子系统要求

#### 5.3.1 超导磁力仪阵列

超导磁力仪阵列应满足下列要求：

- a) 测量带宽为 0 Hz~1 kHz；
- b) 磁强测量误差不大于  $1 + 0.05\% R$  (nT)，其中 R 是磁强读数；
- c) 正交度小于  $\pm 0.1^\circ$ ；
- d) 转向差不大于  $\pm 30$  nT（地磁场垂直分量 46000 nT 时）。

#### 5.3.2 数据采集系统

数据采集系统应满足下列要求：

- a) 磁场信号分段采集，频带分别为 0 Hz~2 Hz、1 Hz~45 Hz、55 Hz~1 kHz、1 Hz~1 kHz 或 5 kHz；
- b) ADC 有效分辨率应不小于 18 bit。

#### 5.3.3 数据处理系统

数据处理系统应用于数据的存储、显示与处理。

#### 5.3.4 海底高度计

海底高度计在水下测量时，能够实时获取超导测量系统的水深，水深测量误差应小于  $\pm 0.1$  m。

#### 5.3.5 导航定位系统

导航定位系统应满足下列要求：

- a) 具备测量被测对象运动轨迹的能力，其动态定位误差应不大于  $\pm 0.2$  m，定位数据刷新率应不小于 10 Hz；
- b) 具备测量被测对象运动姿态的能力，测量误差应不大于  $\pm 0.3^\circ$ ，姿态刷新率应不小于 10 Hz；
- c) 具备被测对象导航定位能力，定位误差应不大于  $\pm 1$  m。

## 5.4 环境适应性

### 5.4.1 温度

超导测量系统应符合 GJB 1448—1992 中 3.10.1 中对设备工作温度范围的规定。

#### 5.4.2 冲击

超导测量系统的抗冲击性能应符合GJB 1448—1992中3.10.5的规定。

#### 5.4.3 振动

超导测量系统的振动应符合GJB 1448—1992中3.10.6的规定。

#### 5.4.4 颠簸

超导测量系统的颠簸应符合GJB 1448—1992中3.10.7的规定。

#### 5.4.5 湿度

超导测量系统的耐湿环境性能应符合GJB 1448—1992中3.10.8的规定。

#### 5.4.6 霉菌

超导测量系统的耐霉菌环境性能应符合GJB 1448—1992中3.10.9的规定。

#### 5.4.7 盐雾

超导测量系统的耐盐雾环境性能应符合GJB 1448—1992中3.10.10的规定。

#### 5.4.8 倾斜和摇摆

超导测量系统的倾斜和摇摆环境性能应符合GJB 1448—1992中3.10.14中表3的规定。

#### 5.5 电磁兼容性

超导测量系统的电磁兼容性应符合GJB 1448—1992中3.13的规定。

#### 5.6 可靠性

超导测量系统的平均无故障工作时间(MTBF)应不小于100 h。

#### 5.7 互换性

超导测量系统组成中,相同的构件在结构上和功能上应具有互换性。

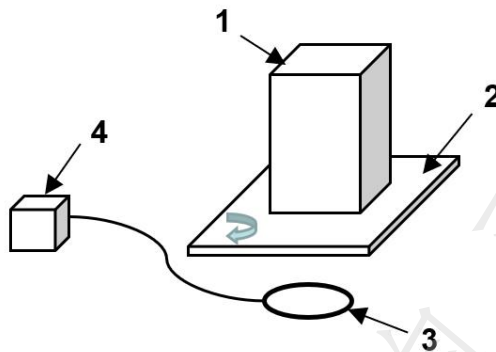
### 6 测试方法

#### 6.1 试验准备

试验用超导测量系统应进行下列预处理:

- a) 对每台超导磁力仪的无磁杜瓦抽真空;
- b) 往每台超导磁力仪的无磁杜瓦充灌液氮;
- c) 将标定线圈连接于一个能够产生0 Hz~300 Hz, 0 A~10 A的恒流源,并置于无磁杜瓦正下方,检测每台磁力仪的灵敏度。

磁特性测量装置测试连接见图2。



标引序号说明：  
 1——超导测量系统；  
 2——测试转台；  
 3——标定线圈；  
 4——恒流源。

图2 超导测量系统测试连接示意图

## 6.2 硬件运行试验

按照5.1要求，各模块安装稳固，接插顺畅，通电后系统正常响应。

## 6.3 软件试验

启动系统，观察系统运行是否存在卡顿、跳出或死机；数据格式、显示内容应符合5.2.2和5.2.3的要求。

## 6.4 超导磁力仪列阵

试验操作步骤如下：

- 由恒流源按每次 50 Hz 递增的方式产生 0 Hz~1 kHz 范围的信号，若需要扩展到 5 kHz 时，则超过 1 kHz 后按 1 kHz 递增，采集相应频率的信号，统计输入和输出信号频率失真率，如果该值小于 5% 的频率范围，则为测量带宽；
- 通过恒流源输出 10 mA 的电流，用专用软件计算磁场强度，记为磁场强度的真实值，用磁力仪测量标定线圈的磁场强度，记为测量值，计算真实值与测量值之间的误差，重复 10 次取平均值且不大于  $1 + 0.05\% R$  (nT)，其中 R 是磁强读数；
- 使用坐标量角器测量 SQUID 三分量传感器的正交度，测量值应小于  $0.1^\circ$ ；
- 顺时针旋转测试转台，分别在 N 极指向东、西两个方位时的磁场强度读数，其值应不大于  $\pm 30$  nT；
- 选择某一位置作为超导测量系统的基准高度  $h_0$ ，向上抬升 1m，使用海底高度计测量其高度值  $h_1$ ， $(h_1 - h_0 - 1)$  即为深度测量误差。按间隔 1m 的高度逐次提升 10m，分别记录每提升 1m 的测量值  $h_i$  与  $h_0$  加上提升高度  $i$  的差值  $(h_i - h_0 - i)$ 。取平均值且应小于 0.1m。

## 6.5 数据采集系统

试验操作步骤如下：

- 由恒流源分别产生 0 Hz~2 Hz、1 Hz~45 Hz、55 Hz~1 kHz、1 Hz~1 kHz 或 5 kHz 范围的信号，采集相应频率的信号，统计输入和输出信号频率失真率，如果该值小于 5% 的频率范围，则满足分段采集的要求；
- 对标定线圈施加特定交流电压，两倍的参考电压与增益系数（通常为 1）之比记为满量程输入范围（FSR），使用频谱分析仪在均方根模式下读取均方根噪声（RMS），按公式（1）进行计算。

$$ER = \log_2 \frac{FSR}{RMS} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

$ER$ ——ADC有效分辨率,单位为比特(bit);

$FSR$ ——满量程输入范围,单位为伏特(V);

$RMS$ ——均方根噪声,单位为伏特(V)。

## 6.6 数据处理系统

运行超导测量系统,使用目测法检查数据的存储、显示与处理情况。

## 6.7 导航定位系统

给测量对象安装定位导航设备和姿态仪,测量其位置和姿态的数值。使用超导测量系统进行测量,并对两个数值进行比较。误差应符合5.3.5的要求。

## 6.8 环境适应性

6.8.1 高温试验按 GJB 150.3A—2009 中规定的方法进行。低温试验按 GJB 150.4A—2009 中规定的方法进行。

6.8.2 冲击试验按 GJB 150.18A—2009 中规定的方法进行。

6.8.3 振动试验按 GJB 150.16A—2009 中规定的方法进行。

6.8.4 颠震试验按 GJB 4.8—83 中规定的方法进行。

6.8.5 湿度试验按 GJB 150.9A—2009 中规定的方法进行。

6.8.6 霉菌试验按 GJB 150.10A—2009 中规定的方法进行。

6.8.7 盐雾试验按 GJB 150.11A—2009 中规定的方法进行。

6.8.8 倾斜和摇摆试验按 GJB 150.23A—2009 中规定的方法进行。

## 6.9 电磁兼容性

电磁兼容性试验应按 GJB 151B—2013 第4章规定的方法进行。

## 6.10 可靠性

可靠性试验按 GJB 899A—2009 第5章规定的方法进行。

## 6.11 互换性

检查各种部件和备件能否互换。

---