

T/BMCA

北京市军民融合协同创新协会团体标准

T/BMCA 011—2022

超导磁导引系统技术要求和试验方法

Technical requirements and test methods for superconducting magnetic guiding system

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

本文件主要起草人：邓志安、闫建峰、韩磊、张天尧、赵赫、刘睿智、司伟建、张春杰、乔玉龙、侯长波、刘婧、王小雪、卓贤军、马骁睿、修仕全、邱凯、刘宇航、张朝晖、李鸿儒、于怀福、陈杨、郭守林、王勇、许晓敏、赵长远、崔骁锦、葛静茹、赵平、丛柏利、李振、刘永锋。

超导磁导引系统技术要求和试验方法

1 范围

本文件规定了超导磁导引系统的组成、技术要求和试验方法等。

本文件适用于基于超导磁力仪的对钢质目标进行跟踪的磁导引系统的设计和研制。

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

超导磁导引系统 superconducting magnetic guiding system

安装在搭载平台头部，基于超导磁力仪，利用磁场强度及其变化量，测量目标相对于搭载平台的位置参数并产生制导信息的系统。

3.2

灵敏度 detection sensitivity

系统能正常检测到磁目标并对磁目标建立稳定踪迹所必需的最小磁场强度，用T表示。

3.3

动态范围 detection dynamic range

系统的磁场强度最大不失真测量值与噪声测量值的比值的对数，用dB表示。

3.4

测向误差 direction-finding error

系统对磁目标的方向测量值与实际值之差的均方根，包括方位测向误差和俯仰测向误差，用度（°）表示。

3.5

视场角 field of view angle

系统对磁目标产生的磁场强度信号在满足侧向误差时的测量角度范围，用度（°）表示。

3.6

频率分辨率 frequency resolution

系统能够分辨幅值相同但频率不同的两个磁场强度信号的最小频率间隔，用Hz表示。

3.7

目标截获时间 target acquisition time

从系统的导引功能启动到系统确认钢质目标磁场强度信号并能够跟踪信号的时间，用ms表示。

3.8

去耦系数 decoupling coefficient

当系统安装所在的搭载平台发生单位姿态角变化时，系统输出的角度的变化量。

3.9

视场角速度范围 field of view angle rate range

钢质目标的视场角最大变化率，用rad/s表示。

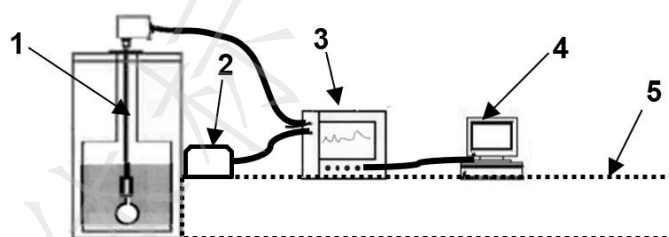
3.10

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。

4 系统组成及功能**4.1 系统组成**

超导磁导引系统主要由超导磁力仪（包括超导量子干涉器、无磁杜瓦、信号读出模组等）、陀螺仪、数据采集系统、数据处理系统、搭载平台等组成。



标引序号说明：

- 1——超导磁力仪；
- 2——陀螺仪；
- 3——数据采集系统；
- 4——数据处理系统；
- 5——搭载平台。

图1 超导磁导引系统组成示意图

4.2 系统功能

4.2.1 超导磁导引系统具有液氦循环接口装置，以确保在备战状态时能够随时补充液氦。

4.2.2 应用于水下环境时，能够将超导磁力仪封装于无磁壳体中。无磁壳体的强度能够满足超导磁导引系统的工作深度和搭载平台速度的条件。

4.2.3 陀螺仪能够使超导磁导引系统在使用环境中保持姿态稳定。

4.2.4 超导磁导引系统通过检测周围磁场强度及其变化量信号，能够确定钢制目标体相对于搭载平台的位置信息并进行实时跟踪制导。

4.2.5 每个超导磁力仪的测量数据均可从USB接口输出。

5 技术要求**5.1 硬件要求**

5.1.1 硬件应具备超导磁力仪、陀螺仪、数据采集、数据处理等功能子系统。

5.1.2 各子系统均需安装在可靠的搭载平台上。

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 软件包括定位、扫描、数据采集、处理和输出等模块。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。

5.3 导引性能

5.3.1 灵敏度

超导磁导引系统的灵敏度应不大于 1×10^{-13} T。

5.3.2 动态范围

超导磁导引系统磁场强度测量的动态范围应不小于90 dB。

5.3.3 测向误差

超导磁导引系统的方位测向误差和俯仰测向误差应不大于 $\pm 3^\circ$ 。

5.3.4 视场角

超导磁导引系统的方位视场角应不小于 $\pm 180^\circ$ ，俯仰视场角应不小于 $\pm 90^\circ$ 。

5.3.5 频率分辨率

超导磁导引系统的频率分辨率应不大于3 Hz。

5.3.6 目标截获时间

超导磁导引系统的目标截获时间应不大于800 ms。

5.3.7 去耦系数

超导磁导引系统的去耦系数应不大于5%。

5.3.8 视场角速度范围

超导磁导引系统的视场角速度范围应不小于0.3 rad/s。

5.4 环境适应性

5.4.1 温度

超导磁导引系统应符合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

超导磁导引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

超导磁导引系统的振动应符合GJB 1448—1992中3.10.6的规定。

5.4.4 颠震

超导磁导引系统的颠震应符合GJB 1448—1992中3.10.7的规定。

5.4.5 湿度

超导磁导引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

超导磁导引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

超导磁导引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

超导磁导引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

超导磁导引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

超导磁导引系统的平均无故障工作时间（MTBF）应不小于200 h。

5.7 互换性

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

试验用超导磁导引系统应进行下列预处理：

- a) 对超导磁力仪的无磁杜瓦抽真空；
- b) 往超导磁力仪的无磁杜瓦充灌液氦；
- 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，将其置于超导磁力仪正下方，需要时可调整标定线圈远离被测的磁导引系统；
- d) 准备两个测试转台，用于场源变化和被测磁导引系统的方位、俯仰和移动等调整。

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。

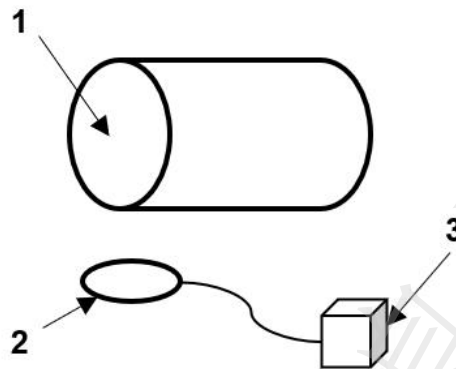
6.3 软件试验

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、显示内容符合5.2.2要求。

6.4 灵敏度

试验操作如下：

- a) 按图2所示连接试验装置，将标定线圈置于超导磁导引系统内的超导磁力仪的正下方；
- b) 通过恒流源在超导磁力仪下方产生一个从0逐渐增强的磁场；
- c) 观察数据处理系统的读数，当出现第一个可分辨的读数，该读数对应的磁场强度即为灵敏度；
- d) 该步骤重复操作10次，取平均值。



标引序号说明:

- 1——超导磁导引系统;
- 2——标定线圈;
- 3——恒流源。

图2 灵敏度测试连接示意图

6.5 动态范围

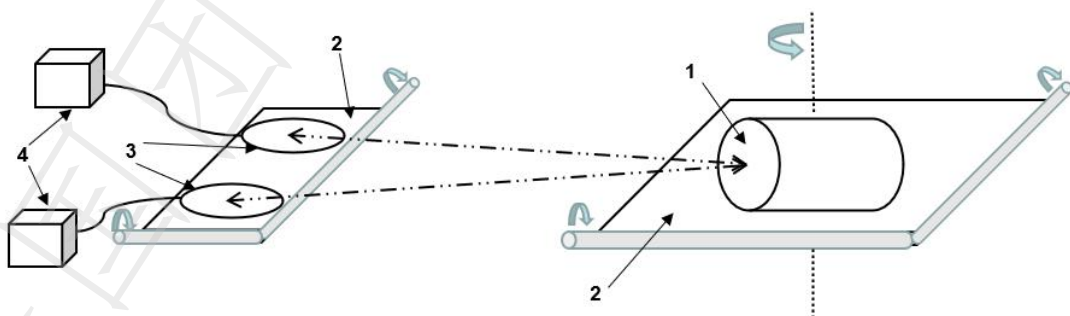
按照图2所示连接试验装置, 试验操作步骤如下:

- a) 从0逐渐增加恒流源的电流, 直到数据处理器的读数出现饱和, 记录此时的电流读数, 计算该读数对应的磁场强度;
- b) 计算所得的磁场强度与灵敏度比值的对数的20倍即为动态范围;
- c) 重复操作10次, 取平均值。

6.6 测向误差

试验操作如下:

- a) 按图3所示连接试验装置, 将超导磁导引系统固定在测试转台上, 将标定线圈放置在与超导磁导引系统底部的测试转台同一水平面且距离100 m位置处的另一个测试转台上;
- b) 对其中一个标定线圈通电;



标引序号说明:

- 1——超导磁导引系统;
- 2——测试转台;
- 3——标定线圈;
- 4——恒流源。

图3 测向误差试验装置连接示意图

- c) 保持被测超导磁导引系统的俯仰角为 0° , 通过水平旋转被测超导磁导引系统底部的测试转台改变被测超导磁导引系统的方位角, 在数据处理系统中读取方位角;
- d) 将读取的方位角与转台转动角度相比较, 其差值即为方位测向误差;

- e) 继续旋转被测超导磁导引系统底部的测试转台以增大方位角，每转动 10° 记录一次，并计算方位测向误差。
- f) 计算所有方位测向误差的均方根，即为最终的方位测向误差；
- g) 保持被测超导磁导引系统的方位角为 0° ，通过上下转动被测超导磁导引系统底部的测试转台改变被测磁导引系统的俯仰角，在数据处理系统中读取俯仰角；
- h) 将读取的俯仰角与转台转动角度相比较，其差值即为俯仰测向误差；
- i) 继续转动被测超导磁导引系统底部的测试转台以增大俯仰角，每转动 10° 记录一次直至 $\pm 90^\circ$ ，并计算俯仰测向误差；
- j) 计算所有俯仰测向误差的均方根，即为最终的俯仰测向误差。

6.7 视场角

试验装置连接同图3，并可与测向误差同时测试。按6.6的操作读取的方位角和俯仰角测向误差小于 $\pm 3^\circ$ 的范围即为视场角。

6.8 频率分辨率

试验装置连接同图3。试验操作步骤如下：

- a) 将两套恒流源和标定线圈分别记作线圈A和线圈B，并将它们置于距被测超导磁导引系统相同距离、高度一致、两套线圈相对于磁导引系统的夹角大于 10° 位置；
- b) 将线圈A通入频率为 f_A 的电流，并启动磁导引系统，从数据处理系统中读取线圈A的信号频率；
- c) 将线圈B通入幅值相同且频率为 $2f_A$ 的电流，按 $1\%f_A$ 的步距使 f_B 的电流频率下降至数据处理器读数中线圈A的信号频率发生变化，则此时 f_B 与 f_A 的差值即为频率分辨率。

6.9 目标截获时间

试验装置连接同图3。试验操作步骤如下：

- a) 将恒流源和标定线圈远离被测超导磁导引系统并位于可检测范围内，通过光学仪器调整标定线圈与被测超导磁导引系统的超导磁力仪线圈高度相同；
- b) 通过恒流源对其中一个线圈施加阶跃电流，使标定线圈产生跳变磁场；
- c) 启动被测超导磁导引系统，并开始计时；
- d) 从被测超导磁导引系统截获信号并给出正常跟踪指令后，计时结束；
- e) 从计时开始到计时结束的累计时间记为目标截获时间；
- f) 重复操作10次，取平均值。

6.10 去耦系数

试验装置连接同图3。试验操作步骤如下：

- a) 将恒流源和标定线圈远离被测超导磁导引系统并位于可检测范围内；
- b) 调整被测超导磁导引系统在底部测试转台上的位置，使其俯仰角和方位角均为 0° ，并通过光学仪器调整标定线圈与被测超导磁导引系统的超导磁力仪线圈高度相同；
- c) 通过恒流源对其中一个标定线圈通电；
- d) 启动被测超导磁导引系统底部的测试转台做角速度为 ω_1 的俯仰运动，在数据处理系统中读取目标的角速度值 ω_2 ；
- e) 读取的角速度值 ω_2 与测试转台的角速度值 ω_1 的比值即为去耦系数。

6.11 视场角速度范围

试验装置连接同图3。试验操作步骤如下：

- a) 将恒流源和标定线圈远离被测超导磁导引系统并位于可检测范围内；
- b) 调整被测超导磁导引系统在底部测试转台上的位置，使其俯仰角和方位角均为 0° ，并通过光学仪器调整标定线圈与被测超导磁导引系统的超导磁力仪线圈高度相同；
- c) 启动被测超导磁导引系统底部的测试转台，使其在水平方向上以角速度 ω_3 做匀速转动，记录数据处理系统显示的角速度 ω_4 ，两个角速度的差值即为角速度误差；

- d) 使测试转台从0到0.5 rad/s按0.1 rad/s的步距逐次增大,分别记录数据处理系统显示的角速度并计算相应的角速度误差;若出现角速度误差大于0.01 rad/s时,则0到该角速度值的区间即为视场角速度范围。

6.12 环境适应性

- 6.12.1 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。
- 6.12.2 冲击试验按 GJB 150.18A—2009 中规定的方法进行。
- 6.12.3 振动试验按 GJB 150.16A—2009 中规定的方法进行。
- 6.12.4 颠簸试验按 GJB 4.8—1983 中规定的方法进行。
- 6.12.5 湿度试验按 GJB 150.9A—2009 中规定的方法进行。
- 6.12.6 霉菌试验按 GJB 150.10A—2009 中规定的方法进行。
- 6.12.7 盐雾试验按 GJB 150.11A—2009 中规定的方法进行。
- 6.12.8 倾斜和摇摆试验按 GJB 150.23A—2009 中规定的方法进行。

6.13 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。

6.14 可靠性

可靠性试验按GJB 899A—2009第5章规定的方法进行。

6.15 互换性

检查各种部件和备件能否互换。
