



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 45570—2025

## 光学陀螺仪通用技术要求

General technology requirements for optical gyroscope

2025-04-25 发布

2025-08-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 产品分类 .....	3
5 技术要求 .....	3
6 试验方法 .....	6
7 标志、包装、贮存和运输 .....	10
附录 A (资料性) 典型激光陀螺仪产品主要性能指标 .....	11
附录 B (资料性) 典型光纤陀螺仪产品主要性能指标 .....	12
附录 C (资料性) 典型光学陀螺仪产品主要环境适应性指标 .....	13
附录 D (规范性) 陀螺仪常用性能参数试验方法 .....	14





## 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专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所、北京航天控制仪器研究所、国防科技大学、北京自动化控制设备研究所、北京航空航天大学、中国兵器工业第 203 研究所、浙江大学、中国船舶集团有限公司第七一七研究所、中航捷锐(西安)光电技术有限公司、北京航天时代光电科技有限公司、北京航天时代激光导航技术有限责任公司、湖南二零八先进科技有限公司、上海傲世控制科技股份有限公司、江西驰宇光电科技发展有限公司、浙江航天润博测控技术有限公司。

本文件主要起草人：谢良平、陈林峰、马海全、赵小宁、沙立、胡绍民、韩传锷、汪世林、雷建军、韩宗虎、杨洪友、王珂、万洵、冯驰、徐小斌、王晓章、胡慧珠、车驰骋、谷林、田振、张玮、周静淑、李超、徐鹏、肖茵静、张丽哲、高永红、许猛、魏天啸、刘星、张军军、卢广锋、韩军海、黄云、程文明。





# 光学陀螺仪通用技术要求

## 1 范围

本文件规定了光学陀螺仪的产品分类、技术要求、标志、包装、贮存和运输等方面的要求,描述了相应的试验方法。

本文件适用于航天(包括商业航天)、航空、船舶等领域应用的光学陀螺仪(简称陀螺仪),其他应用领域参照执行。

## 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。

GB/T 191	包装储运图示标志		
GB/T 321	优先数和优先数系		
GB/T 2423.1	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 A:低温
GB/T 2423.2	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 B:高温
GB/T 2423.3	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 Cab:恒定湿热试验
GB/T 2423.15	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 Ga 和导则:稳态加速度
GB/T 2423.16	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 J 和导则:长霉
GB/T 2423.17	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 Ka:盐雾
GB/T 2423.21	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 M:低气压
GB/T 2423.22	电工电子产品环境试验	第2部分:试验方法	试验 N:温度变化
GB/T 4937.18	半导体器件机械和气候	试验方法	第18部分:电离辐射(总剂量)
GB/T 34522	航天器热真空试验方法		

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 萨格纳克效应 **sagnac effect**

沿闭合光路相向传播的两束相干光波之间由于光路旋转引起光程差的效应。

### 3.2

#### 光学陀螺仪 **optical gyroscope**

利用光的萨格纳克效应工作的陀螺仪。

### 3.3

#### 激光陀螺仪 **laser gyroscope**

以萨格纳克效应为基础的由环形激光谐振腔构成的测量相对惯性空间的角速度或角度的装置。

3.4

**光纤陀螺仪 fiber optic gyroscope**

以萨格纳克效应为基础的由光纤环构成的测量相对惯性空间角速度或角度的装置。

3.5

**输入轴 input axis; IA**

垂直于闭合光路或光纤环等效平面的轴。

注：当陀螺仪绕该轴旋转时，将引起最大输出量。

3.6

**输入基准轴 input reference axis; IRA**

与陀螺仪安装面垂直的轴，名义上平行于输入轴。

3.7

**标度因数 scale factor**

陀螺仪输出量与输入量之比。

注：对于激光陀螺仪而言，标度因数的计量单位一般为  $P/(\prime)$ 。对于光纤陀螺仪而言，标度因数的计量单位一般为  $P/(\prime)$  或  $LSB/[(^\circ)/s]$ ，LSB(Least Significant Bit)为最低有效位。

3.8

**标度因数非线性度 scale factor nonlinearity**

在输入角速率范围内，陀螺仪输出量与输入量的比值相对于标度因数的最大偏差与标度因数之比。

3.9

**标度因数不对称度 scale factor asymmetry**

在输入角速率范围内，陀螺仪正、反方向输入角速率的标度因数差值与其平均值之比。

3.10

**标度因数重复性 scale factor repeatability**

在同样条件下及规定间隔时间，重复测量陀螺仪标度因数之间的一致程度，以各次测试所得标度因数的标准偏差与其平均值之比表示。

3.11

**标度因数温度灵敏度 scale factor temperature sensitivity**

相对于室温标度因数，由温度变化引起的陀螺仪标度因数变化量与温度变化量之比，一般取最大值表示。

注：计量单位为  $1/^\circ\text{C}$ 。

3.12

**输入轴失准角 input axis misalignment**

输入轴与输入基准轴之间的夹角。

注：计量单位为  $(^\circ)$ 。

3.13

**最大输入角速率 maximum input angular rate**

陀螺仪正、反方向输入角速率的最大值。

注 1：在此输入角速率范围内，陀螺仪标度因数非线性度满足规定要求。

注 2：计量单位为  $(^\circ)/s$ 。

3.14

**阈值 threshold**

陀螺仪能敏感的最小输入量，由该输入量产生的输出量至少等于按标度因数所期望输出值的 50%。

注：计量单位为  $(^\circ)/h$ 。

## 3.15

**零偏 bias**

当输入角速率为零时,陀螺仪的输出量,以规定时间内测得的输出量平均值相应的等效输入角速率表示。

注:计量单位为 $(^\circ)/\text{h}$ 。

## 3.16

**零偏稳定性 bias stability**

衡量陀螺仪输出量围绕其均值的离散程度,以规定时间内输出量的标准偏差相应的等效输入角速率表示。

注:计量单位为 $(^\circ)/\text{h}$ 。

## 3.17

**零偏重复性 bias repeatability**

在同样条件下及规定间隔时间,重复测量陀螺仪零偏之间的一致程度,以各次测试所得零偏的标准偏差表示。

注:计量单位为 $(^\circ)/\text{h}$ 。

## 3.18

**零偏温度灵敏度 bias temperature sensitivity**

相对于室温零偏,由温度变化引起的陀螺仪零偏变化量与温度变化量之比,一般取最大值表示。

注:计量单位为 $[(^\circ)/\text{h}]/^\circ\text{C}$ 。

## 3.19

**零偏磁场灵敏度 bias magnetic sensitivity**

由磁场引起的陀螺仪零偏变化量与磁场强度之比。

注:计量单位为 $[(^\circ)/\text{h}]/\text{mT}$ 。

## 3.20

**角度随机游走 angle random walk**

由白噪声产生的随时间累积的陀螺仪随机角误差系数。

注:计量单位为 $(^\circ)/\text{h}^{1/2}$ 。

## 3.21

**准备时间 set-up time**

陀螺仪在规定的条件下,从通电至达到规定性能所需要的时间。

注:计量单位为 s。

## 4 产品分类

本文件涉及的光学陀螺仪主要分为:

- 激光陀螺仪;
- 光纤陀螺仪。

## 5 技术要求

## 5.1 通则

陀螺仪应符合本文件和相应产品规范的规定。当本文件的要求与相应产品规范不一致时,应以相应产品规范为准。

## 5.2 一般要求

### 5.2.1 材料

激光陀螺仪谐振腔中的腔体和反射镜材料一般选取微晶玻璃,封装壳体材料一般选取铝合金,其余材料的选取按产品规范规定。

光纤陀螺仪光学敏感回路中的光纤一般选取单模光纤,光纤环填充胶一般选用与光纤外涂层模量匹配的有机材料,封装结构材料一般选取铝合金或软磁材料,其余材料的选取按产品规范规定。

### 5.2.2 功能与组成

陀螺仪应能敏感运动载体的角速度或角度,并能输出角速度或角度信息。陀螺仪一般由光学传感器、结构组件、陀螺仪控制电路(含软件)三部分组成。

### 5.2.3 外观质量

陀螺仪的外观质量应符合以下要求:

- a) 陀螺仪外表面清洁,无裂纹、撞痕和毛刺,无明显划伤,金属件无锈蚀,涂镀层完好;
- b) 紧固件、连接件牢固无松动;
- c) 陀螺仪的标志、印记清晰,并位于明显处,无短缺字符现象;
- d) 电连接器完整无损,带有保护套或保护盖,绝缘层完好。

### 5.2.4 外形尺寸

陀螺仪的外形尺寸应符合产品规范的要求,公差等级应不大于 IT12。

### 5.2.5 重量

陀螺仪的重量应符合产品规范的要求。

当电缆、电连接器、装配螺钉等作为陀螺仪的一部分提交时,陀螺仪的重量应包含这些零部件的重量。

### 5.2.6 供电要求

陀螺仪的供电要求应包含电源电压种类及精度、电流、功率等。

### 5.2.7 接口

#### 5.2.7.1 机械接口

陀螺仪的安装面宜与其输入轴垂直,机械接口的其他要求应符合产品规范的要求。

#### 5.2.7.2 电气接口

陀螺仪的电气接口应符合产品规范的要求。电气接口中的通信接口一般为 RS-422/RS-485,输出信息应包含角度或角速度信息和检测信息(一般含电参量、温度和状态字),其通信协议等要求应符合产品规范的要求。

### 5.2.8 绝缘电阻

陀螺仪相互绝缘的各端子之间、端子与壳体之间的绝缘电阻应不小于 50 M $\Omega$ 。

### 5.2.9 极性

陀螺仪的极性应为正。

注：按右手螺旋定则以四指指向陀螺仪旋转方向，拇指指向陀螺仪输入轴正方向。当陀螺仪绕其输入轴正向逆时针旋转时，其输出量相对于静止情况下增大，则陀螺仪极性为正，否则极性为负。

### 5.3 性能要求

陀螺仪的主要性能指标包括：

- a) 标度因数；
- b) 标度因数非线性度；
- c) 标度因数不对称度；
- d) 标度因数重复性；
- e) 标度因数温度灵敏度；
- f) 输入轴失准角；
- g) 最大输入角速率；
- h) 阈值；
- i) 零偏；
- j) 零偏稳定性；
- k) 零偏重复性；
- l) 零偏温度灵敏度；
- m) 零偏磁场灵敏度；
- n) 角度随机游走；
- o) 准备时间；
- p) 功耗。

航天、航空、船舶应用领域典型激光陀螺仪和光纤陀螺仪的主要性能指标分别见附录 A、附录 B。

### 5.4 环境适应性要求

陀螺仪的主要环境适应性指标包括：

- a) 低温工作；
- b) 低温贮存；
- c) 高温工作；
- d) 高温贮存；
- e) 温度冲击；
- f) 低气压(高度)；
- g) 加速度；
- h) 性能振动；
- i) 耐久振动；
- j) 机械冲击；
- k) 湿热；
- l) 霉菌；
- m) 盐雾；
- n) 热真空；
- o) 抗辐照；

p) 电磁兼容性。

航天、航空、船舶应用领域典型光学陀螺仪的主要环境适应性指标见附录 C。

## 5.5 可靠性要求

### 5.5.1 平均故障间隔时间(MTBF)

陀螺仪的平均故障间隔时间应不小于 5 000 h。

### 5.5.2 寿命

陀螺仪的寿命应符合下列要求：

a) 工作寿命不小于 1 000 h；

b) 日历寿命不小于 5a。

上述两项均为累计寿命，以先到为准。

## 6 试验方法

### 6.1 试验条件

#### 6.1.1 试验环境

在下述试验条件下进行：

a) 温度：15℃～35℃；

b) 相对湿度：20%RH～80%RH；

c) 大气压力：试验场所的气压；

d) 磁场强度：应小于  $1 \times 10^{-4}$  T。

#### 6.1.2 试验设备与测量仪器

试验设备及测量仪器的各种性能指标应符合国家规定的有关标准并持有计量部门的检定合格证。各应用领域根据相应精度要求，采用不同精度等级的仪器进行数据采集，但高一级精度的仪器可兼容满足下一精度等级的采集仪器。试验设备和测量仪器的精度，一般应高于被测对象精度 3 倍。

### 6.2 试验验证

#### 6.2.1 外观质量

在正常照明条件下，用目视法检查陀螺仪外观，必要时与标准样件对照。

#### 6.2.2 外形尺寸

用专用量具测量陀螺仪的外形尺寸。

#### 6.2.3 重量

用电子天平称陀螺仪的重量。

#### 6.2.4 接口

##### 6.2.4.1 机械接口

用测量精度满足规定的量具测量。

#### 6.2.4.2 电气接口

按产品规范规定的方法进行检测。

#### 6.2.5 绝缘电阻

陀螺仪处于非工作状态,按相关规范规定的测量点和规定的兆欧姆表测量绝缘电阻。

#### 6.2.6 极性

除另有规定外,按右手螺旋定则以四指指向陀螺仪旋转方向,拇指指向陀螺仪输入轴正方向。逆时针旋转陀螺仪,若其输出量相对于静止情况下增大,则陀螺仪极性为正。

#### 6.2.7 性能试验

##### 6.2.7.1 标度因数系列

###### 6.2.7.1.1 标度因数

标度因数的试验方法按附录 D。激光陀螺仪采用角度法(按 D.1.1),对于标度因数非线性度不大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用角度法,对于标度因数非线性度大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用速率法(按 D.2.1)。

###### 6.2.7.1.2 标度因数非线性度

标度因数非线性度的试验方法按附录 D。激光陀螺仪采用角度法(按 D.1.2),对于标度因数非线性度不大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用角度法,对于标度因数非线性度大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用速率法(按 D.2.2)。

###### 6.2.7.1.3 标度因数不对称度

标度因数不对称度的试验方法按附录 D。激光陀螺仪采用角度法(按 D.1.3),对于标度因数非线性度不大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用角度法,对于标度因数非线性度大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用速率法(按 D.2.3)。

###### 6.2.7.1.4 标度因数重复性

标度因数重复性的试验方法按附录 D。激光陀螺仪采用角度法(按 D.1.4),对于标度因数非线性度不大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用角度法,对于标度因数非线性度大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用速率法(按 D.2.4)。

###### 6.2.7.1.5 标度因数温度灵敏度



标度因数温度灵敏度的试验方法按附录 D。激光陀螺仪采用角度法(按 D.1.5),对于标度因数非线性度不大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用角度法,对于标度因数非线性度大于  $5 \times 10^{-6}$  的光纤陀螺仪应采用速率法(按 D.2.5)。

##### 6.2.7.2 输入轴失准角

输入轴失准角的试验方法按附录 D。激光陀螺仪按 D.1.6,光纤陀螺仪按 D.2.6。

##### 6.2.7.3 最大输入角速率

最大输入角速率的试验方法按 D.3。

#### 6.2.7.4 阈值

阈值的试验方法按 D.4。

#### 6.2.7.5 零偏系列

##### 6.2.7.5.1 零偏

零偏的试验方法按 D.5.1。

##### 6.2.7.5.2 零偏稳定性

零偏稳定性的试验方法按 D.5.2。

##### 6.2.7.5.3 零偏重复性

零偏重复性的试验方法按 D.5.3。

##### 6.2.7.5.4 零偏温度灵敏度

零偏温度灵敏度的试验方法按 D.5.4。

##### 6.2.7.5.5 零偏磁场灵敏度

零偏磁场灵敏度的试验方法按 D.5.5。

#### 6.2.7.6 角度随机游走

角度随机游走的试验方法按 D.5.6。

#### 6.2.7.7 准备时间

用计时器测量陀螺仪在规定条件下从通电开始至达到规定性能所需要的时间间隔。

#### 6.2.7.8 功耗

给陀螺仪通电,用电流、电压测试设备测量、记录各电源提供的输入电流和电压,电流与电压乘积的累积和即为陀螺仪的功耗。

#### 6.2.8 环境适应性

##### 6.2.8.1 低温工作

低温工作的试验方法按 D.6.1。

##### 6.2.8.2 低温贮存

陀螺仪处于非工作状态,按 GB/T 2423.1 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

##### 6.2.8.3 高温工作

高温工作的试验方法按 D.6.2。

##### 6.2.8.4 高温贮存

陀螺仪处于非工作状态,按 GB/T 2423.2 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.5 温度冲击

陀螺仪处于非工作状态,按 GB/T 2423.22 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.6 低气压(高度)

按 GB/T 2423.21 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.7 加速度

按 GB/T 2423.15 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.8 振动

##### 6.2.8.8.1 性能振动

性能振动的试验方法按 D.6.3。

##### 6.2.8.8.2 耐久振动

耐久振动的试验方法按 D.6.3。

#### 6.2.8.9 机械冲击

机械冲击的试验方法按 D.6.4。

#### 6.2.8.10 湿热

按 GB/T 2423.3 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.11 霉菌

按 GB/T 2423.16 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.12 盐雾

按 GB/T 2423.17 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.13 热真空

按 GB/T 34522 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

#### 6.2.8.14 抗辐照

按 GB/T 4937.18 规定的方法以及产品规范规定的试验条件进行试验。

陀螺仪抗单粒子效应的性能由元器件相关指标保证,根据具体辐照环境、屏蔽厚度、在轨工作时间对所有元器件进行分析。

#### 6.2.8.15 电磁兼容性

按产品规范规定的方法进行试验。

#### 6.2.9 可靠性

##### 6.2.9.1 平均故障间隔时间

按产品规范规定的方法进行试验。

#### 6.2.9.2 寿命

按产品规范规定的方法进行试验。

### 7 标志、包装、贮存和运输

#### 7.1 标志

陀螺仪的标志应包括下列内容：

- a) 型号规格；
- b) 名称；
- c) 出厂编号；
- d) 生产单位名称或商标；
- e) 输入轴标识。

陀螺仪外壳上标识出上述内容。当受限于位置时，至少应标注 a)、c)、e) 的内容，其他内容可标注在包装盒或使用说明书上。

#### 7.2 包装

陀螺仪的储运图示标志应符合 GB/T 191 要求。

每个产品应附上所有附件，插头(座)应戴上保护帽，在包装内部空隙处填充干燥洁净的减震填料。陀螺仪包装箱内应包括产品合格证、使用说明书、附件清单以及其他有关资料。

#### 7.3 贮存

包装好的陀螺仪应贮存在环境温度为  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  和相对湿度不大于 80% 的无腐蚀性气体影响的场所。

#### 7.4 运输

陀螺仪在运输过程中应有牢固的包装箱。

装有陀螺仪的包装箱允许用常用的交通工具运输，运输中避免剧烈振动、冲击、机械碰撞、雨雪直接淋袭和腐蚀性气体的腐蚀。

## 附录 A

(资料性)

## 典型激光陀螺仪产品主要性能指标

典型激光陀螺仪在航天、航空、船舶应用领域的主要性能指标见表 A.1。

表 A.1 典型激光陀螺仪产品主要性能指标

序号	典型项目名称	单位	指标		
			航天	航空	船舶
1	标度因数	P/(")	$\geq 0.25$	$\geq 0.25$	$\geq 0.50$
2	标度因数非线性度	$1 \times 10^{-6}$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5$
3	标度因数不对称度	$1 \times 10^{-6}$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5$
4	标度因数重复性	$1 \times 10^{-6}$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5$
5	标度因数温度灵敏度	$1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.2$
6	输入轴失准角	( $^{\circ}$ )	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$
7	最大输入角速率	( $^{\circ}$ )/s	$\geq 400$	$\geq 400$	$\geq 30$
8	阈值	( $^{\circ}$ )/h	$\leq 0.02$	$\leq 0.02$	$\leq 0.01$
9	零偏	( $^{\circ}$ )/h	-1~+1	-1~+1	-1~+1
10	零偏稳定性	( $^{\circ}$ )/h	$\leq 0.01$	$\leq 0.007$	$\leq 0.003$
11	零偏重复性	( $^{\circ}$ )/h	$\leq 0.01$	$\leq 0.007$	$\leq 0.003$
12	零偏温度灵敏度	[( $^{\circ}$ )/h]/ $^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.001$	$\leq 0.001$	$\leq 0.0005$
13	零偏磁场灵敏度	[( $^{\circ}$ )/h]/mT	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.03$
14	角度随机游走	( $^{\circ}$ )/h <sup>1/2</sup>	$\leq 0.002$	$\leq 0.0015$	$\leq 0.0006$
15	准备时间	s	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 60$
16	功耗	W	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 8$

## 附录 B

(资料性)

## 典型光纤陀螺仪产品主要性能指标

典型光纤陀螺仪在航天、航空、船舶应用领域的主要性能指标见表 B.1。

表 B.1 典型光纤陀螺仪产品主要性能指标

序号	典型项目名称	单位	指标		
			航天	航空	船舶
1	标度因数	LSB/[ $^{\circ}$ ]/s]	$\geq 5\ 000$	$\geq 5\ 000$	$\geq 5\ 000$
2	标度因数非线性度	$1 \times 10^{-6}$	$\leq 50$	$\leq 50$	$\leq 10$
3	标度因数不对称度	$1 \times 10^{-6}$	$\leq 50$	$\leq 50$	$\leq 10$
4	标度因数重复性	$1 \times 10^{-6}$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5$
5	标度因数温度灵敏度	$1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\leq 5$	$\leq 3$	$\leq 0.2$
6	输入轴失准角	$^{\circ}$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$
7	最大输入角速率	$^{\circ}/\text{s}$	$\geq 30$	$\geq 200$	$\geq 30$
8	阈值	$^{\circ}/\text{h}$	$\leq 0.02$	$\leq 0.02$	$\leq 0.01$
9	零偏	$^{\circ}/\text{h}$	$-1 \sim +1$	$-1 \sim +1$	$-1 \sim +1$
10	零偏稳定性	$^{\circ}/\text{h}$	$\leq 0.01$	$\leq 0.007$	$\leq 0.003$
11	零偏重复性	$^{\circ}/\text{h}$	$\leq 0.01$	$\leq 0.007$	$\leq 0.003$
12	零偏温度灵敏度	$[^{\circ}/\text{h}]/^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.005$
13	零偏磁场灵敏度	$[^{\circ}/\text{h}]/\text{mT}$	$\leq 0.1$	$\leq 0.2$	$\leq 0.03$
14	角度随机游走	$^{\circ}/\text{h}^{1/2}$	$\leq 0.002$	$\leq 0.001\ 5$	$\leq 0.000\ 6$
15	准备时间	s	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 60$
16	功耗	W	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 50$

## 附录 C

(资料性)

## 典型光学陀螺仪产品主要环境适应性指标

典型光学陀螺仪在航天、航空、船舶应用领域的主要环境适应性指标见表 C.1。

表 C.1 典型光学陀螺仪产品主要环境适应性指标

序号	典型项目名称	单位	指标		
			航天	航空	船舶
1	低温工作	°C	-45	-55	-20
2	低温贮存	°C	-55	-55	-20
3	高温工作	°C	+70	+85	+60
4	高温贮存	°C	+85	+85	+60
5	温度冲击	—	-55 °C ~ +85 °C, 转换时间不大于 2 min, 循环次数不少于 3 次	-55 °C ~ +85 °C, 转换时间不大于 2 min, 循环次数不少于 3 次	-20 °C ~ +60 °C, 转换时间不大于 2 min, 循环次数不少于 3 次
6	低气压	Pa	$1.33 \times 10^{-3}$	$\leq 3\ 500$	—
7	加速度	<i>g</i>	$\geq 18$	$\geq 15$	—
8	性能振动	<i>g</i> <sub>rms</sub>	$\geq 3$	$\geq 6.6$	$\geq 3.3$
9	耐久振动	<i>g</i> <sub>rms</sub>	$\geq 9$	$\geq 8.4$	$\geq 7.9$
10	机械冲击	<i>g</i>	$\geq 40(20\ ms)$	$\geq 15(11\ ms)$	$\geq 15(11\ ms)$
11	湿热	—	√	√	√
12	霉菌	—	√	√	√
13	盐雾	—	√	√	√
14	热真空	—	试验压力 $\leq 6.65 \times 10^{-3}\ Pa$ ; 温度变化范围: -45 °C ~ +85 °C; 循环次数不小于 3 次	—	—
15	抗辐照	总剂量辐射: krad(Si)	$\geq 20$ 或按任务技术条件确定	—	—
		单粒子	$\geq 10\ keV$ 或按任务技术条件确定	—	—
16	电磁兼容性	—	√	√	√

注 1: “√”表示由技术协议规定,并随系统验证;“—”表示无要求。  
注 2: *g* 为重力加速度;*g*<sub>rms</sub> 为振动加速度功率谱密度的均方根值。

附 录 D

(规范性)

陀螺仪常用性能参数试验方法

D.1 标度因数系列测试(角度法)

D.1.1 标度因数

D.1.1.1 测试设备

除另有规定外,测试设备及其要求如下:

- a) 具有角度输出的速率转台,转台的角位置精度、速率平稳度、转台速率范围满足产品性能要求;
- b) 陀螺仪测试系统;
- c) 计时器(计时精度优于  $10^{-3}$  s,可选);
- d) 周脉冲发生器(精度优于  $2''$ ,可选)。

D.1.1.2 测试程序

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 使速率转台转轴与地垂线平行,对准精度在若干角分之内;
- b) 将陀螺仪通过夹具固定到速率转台上,使 IRA 轴平行于转台转轴,对准精度在若干角分之内;
- c) 将陀螺仪与测试系统相连接;
- d) 转台每转  $360^\circ$ ,周脉冲发生器发出一个启动或停止计数的脉冲;
- e) 按 GB/T 321 的 R5 系列,适当圆整、均匀删除后,选取角速率测试点,测试点点数不小于 11 个(或与使用方协商确定),应包括最大输入角速率点;
- f) 接通陀螺仪电源,预热 30 min;
- g) 每个角速率测试点,转台连续正转  $m$  整圈,接着连续反转  $m$  整圈,记录正、反转陀螺仪的输出脉冲数;
- h) 对于能同时给定旋转角速率和转动角度的转台,可以采用定角测试方法,即陀螺仪以某一个给定的角速率正、反方向各转一定的角度,其转过的角度大小根据转台的定角精度决定,记录转动过程中陀螺仪输出总的脉冲数  $N'_{\pm i}$  和转台转过的角度  $\theta_{\pm i}$ ;
- i) 测试结束后,断开陀螺仪电源。

注:正转为逆时针转动,反转为顺时针转动。

D.1.1.3 计算方法

计算方法如下。

- a) 第  $i$  个角速率测试点正、反方向各转  $m$  圈的平均脉冲数  $N_{\pm i}$

$$N_{\pm i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m N_{\pm ij} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$N_{\pm ij}$ ——第  $i$  个角速率测试点、第  $j$  圈正、反转  $360^\circ$  时的累积脉冲数。

- b) 各角速率测试点标度因数

$$K_i = \frac{N_{+i} - N_{-i}}{2 \times 360 \times 3\,600} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

$K_i$ ——第  $i$  个角速率测试点的标度因数，单位为脉冲数每角秒[P/(°)]。

c) 当采用定角测试方法时，各角速率测试点标度因数

$$K_i = \frac{N'_{+i} - N'_{-i}}{(|\theta_+| + |\theta_-|) \times 3\ 600} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

$K_i$  ——第  $i$  个角速率测试点的标度因数，单位为脉冲数每角秒[P/(°)]；

$N'_{\pm i}$  ——第  $i$  个角速率测试点正、反转输出的总的脉冲数；

$\theta_{\pm i}$  ——第  $i$  个角速率测试点正、反转转台转过的角度，单位为度(°)。

d) 标度因数非线性模型方程：

$$K_i = K + W\Omega_i \dots\dots\dots (D.4)$$

用最小二乘法求得：

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \sum_{i=1}^n \Omega_i^2 - \sum_{i=1}^n K_i \Omega_i \sum_{i=1}^n \Omega_i}{n \sum_{i=1}^n \Omega_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Omega_i\right)^2} \dots\dots\dots (D.5)$$

$$W = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n K_i \Omega_i - \sum_{i=1}^n \Omega_i \sum_{i=1}^n K_i}{n \sum_{i=1}^n \Omega_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Omega_i\right)^2} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中：

$K$  ——标度因数，单位为脉冲数每角秒[P/(°)]；

$W$  ——标度因数变化最佳估计，单位为[P/(°)]/(°)/s；

$\Omega_i$  ——第  $i$  个角速率测试点的输入角速率，单位为度每秒[(°)/s]；

$n$  ——角速率测试点点数， $n \geq 11$ 。

## D.1.2 标度因数非线性度

### D.1.2.1 测试设备

除另有规定外，测试设备同 D.1.1.1。

### D.1.2.2 测试程序

除另有规定外，测试程序同 D.1.1.2。

### D.1.2.3 计算方法

标度因数非线性度  $K_n$  按公式(D.7)计算。

$$K_n = \frac{|K_i - K|_{\max}}{K} \dots\dots\dots (D.7)$$

式中：

$K_n$  ——标度因数非线性度。

## D.1.3 标度因数不对称度

### D.1.3.1 测试设备

除另有规定外，测试设备同 D.1.1.1。

**D.1.3.2 测试程序**

除另有规定外,测试程序如下。

- a) 测试开始和结束时,在转台多个对称位置上分别测试陀螺仪在转台转速为零时输出脉冲数(取采样间隔时间  $\tau=1\text{ s}$ ,采样点数  $n=300$ ),求其平均值  $\overline{N}_0$ ,以便在各角速率点的陀螺仪输出脉冲数中扣除。同时,测量转台在各角速率正、反转一周所经历的时间  $t_{\pm i}$ 。
- b) 其余同 D.1.1.2。

**D.1.3.3 计算方法**

分别求出扣除  $\overline{N}_0$  后正、反转情况下第  $i$  个角速率测试点的标度因数  $K_{+i}$ 、 $K_{-i}$ 。

$$K_{+i} = \frac{N_{+i} - \overline{N}_0 \times t_{+i}}{360 \times 3\ 600} \dots\dots\dots (D.8)$$

式中:

- $N_{+i}$  —— 第  $i$  个角速率测试点正转一圈的平均脉冲数;
- $t_{+i}$  —— 第  $i$  个角速率测试点正转一圈的时间,单位为秒(s);
- $\overline{N}_0$  —— 转台转速为零时多个对称位置上 1 s 时间间隔内陀螺仪的平均输出脉冲数。

$$K_{-i} = \frac{N_{-i} - \overline{N}_0 \times t_{-i}}{-360 \times 3\ 600} \dots\dots\dots (D.9)$$

式中:

- $N_{-i}$  —— 第  $i$  个角速率测试点反转一圈的平均脉冲数;
- $t_{-i}$  —— 第  $i$  个角速率测试点反转一圈的时间,单位为秒(s);
- $\overline{N}_0$  —— 转台转速为零时多个对称位置上 1 s 时间间隔内陀螺仪的平均输出脉冲数。

根据公式(D.4)、公式(D.5)求得正、反转情况下的标度因数  $K_+$ 、 $K_-$ ,从而求得标度因数不对称度  $K_a$ 。

$$K_a = \frac{|K_+ - K_-|}{(K_+ + K_-)/2} \dots\dots\dots (D.10)$$

式中:

- $K_a$  —— 标度因数不对称度。

**D.1.4 标度因数重复性**

**D.1.4.1 测试设备**

除另有规定外,测试设备同 D.1.1.1。

**D.1.4.2 测试程序**

除另有规定外,按照 D.1.1.2,在  $30^\circ/\text{s}$  条件下,重复测试 7 次,相邻两次测试陀螺仪关机断电间隔时间不少于 10 min,得到每次测试的标度因数。

**D.1.4.3 计算方法**

标度因数重复性  $K_r$  按公式(D.11)计算。

$$K_r = \left[ \frac{\sum_{j=1}^7 \left( K_j - \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 K_j \right)^2}{6} \right]^{1/2} \bigg/ \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 K_j \dots\dots\dots (D.11)$$

式中：

$K_r$  —— 标度因数重复性；

$K_j$  —— 按公式(D.2)或公式(D.3)求得的第  $j$  次测试的标度因数,单位为脉冲数每角秒[P/(")]

### D.1.5 标度因数温度灵敏度

#### D.1.5.1 测试设备

测试设备如下：

- a) 同 D.1.1.1a)~d)；
- b) 高低温试验箱,要求隔振,温控精度优于 $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

#### D.1.5.2 测试程序

除另有规定外,测试程序如下：

- a) 同 D.1.1.2a)~i)；
- b) 根据陀螺仪实际应用所需要的温度范围,温度点至少包括两个极限温度点和室温；
- c) 在温度变化过程中,陀螺仪断电,在每个测试点保温不少于 2 h,陀螺仪温度达到稳定状态后,按 D.1.1.2 通电测试。

#### D.1.5.3 计算方法

标度因数温度灵敏度  $K_t$  按公式(D.12)计算。

$$K_t = \left| \frac{K_i - K_{00}}{K_{00} \times (T_i - T_0)} \right|_{\max} \dots\dots\dots (D.12)$$

式中：

$K_t$  —— 标度因数温度灵敏度,单位为每摄氏度( $1/^\circ\text{C}$ )；

$K_i$  —— 第  $i$  个温度测试点的标度因数,单位为脉冲数每角秒[P/(")]

$T_i$  —— 第  $i$  个温度测试点的温度值,单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ )；

$K_{00}$  —— 室温标度因数,单位为脉冲数每角秒[P/(")]

$T_0$  —— 室温温度值,单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ )。

### D.1.6 输入轴失准角

#### D.1.6.1 陀螺仪轴向定义

除另有规定外,陀螺仪轴向定义如图 D.1,  $IA$  为陀螺仪输入轴方向,  $IRA$  为输入基准轴方向,  $XRA$  和  $YRA$  为垂直  $IRA$  的两个正交方向。其中  $XRA$  为由陀螺仪壳体安装面或壳体外部标志所规定方向的轴,名义上平行于安装面;  $YRA$  为平行于安装面,且垂直  $XRA$  方向的轴,三者满足矢量积的关系,即  $\vec{IRA} = \vec{XRA} \times \vec{YRA}$ 。

角  $\alpha$  为  $IA$  在  $IRA$  与  $XRA$  所在平面内的投影与  $IRA$  的夹角；

角  $\beta$  为  $IA$  在  $IRA$  与  $YRA$  所在平面内的投影与  $IRA$  的夹角；

角  $\gamma$  为  $IA$  与  $IRA$  的夹角,即陀螺仪的输入轴失准角。

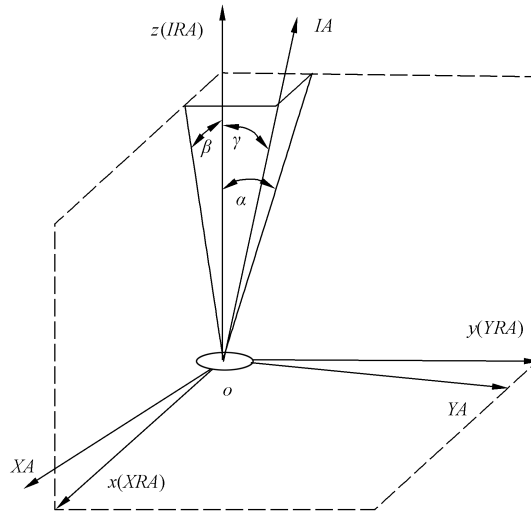


图 D.1 陀螺轴向定义

D.1.6.2 测试设备

同 D.1.1.1a)~d)。

D.1.6.3 测试程序

除另有规定外,角  $\alpha$  测试程序如下:

- a) 调整速率转台轴向与地垂线平行,误差小于若干角分;
- b) 将陀螺仪用夹具安装在转台上,并使 XRA 与转台转轴平行,平行度满足规定要求;
- c) 将陀螺仪与测试系统相连接,陀螺仪通电预热规定时间;
- d) 转台以给定的角速率正、反方向各转  $m$  圈,并记录每圈的累计输出脉冲数;
- e) 为消除测试夹具误差,将陀螺仪相对夹具绕 IRA 旋转  $180^\circ$ ,重复上述测试。

除另有规定外,角  $\beta$  测试程序如下:

- a) 将 YRA 平行于转台转轴,平行度满足规定要求;
- b) 其余同前。

D.1.6.4 计算方法

按公式(D.13)求出陀螺仪绕 IRA 翻转前、后,正反方向各转  $m$  圈,平均每圈累计输出脉冲数:

$$N_{\pm 1,2} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m N_{(\pm 1,2)i} \dots\dots\dots (D.13)$$

式中:

$N_{(\pm 1,2)i}$  —— 绕 IRA 翻转前、后,第  $i$  圈正、反方向各转  $360^\circ$  的累积输出脉冲数。

按公式(D.14)求出  $\alpha_{1,2}$ :

$$\alpha_{1,2} = \frac{N_{+1,2} - N_{-1,2}}{2 \times 360 \times 3600 \cdot K} \times \frac{180}{\pi} \dots\dots\dots (D.14)$$

式中:

$K$  —— 标度因数,单位为脉冲数每角秒[P/( $''$ )];

$\alpha_{1,2}$  —— 绕 IRA 翻转前、后,IA 在 IRA 与 XRA 所在平面内的投影与 IRA 的夹角,单位为度( $^\circ$ )。

按公式(D.15)求出  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \quad \dots\dots\dots (D.15)$$

按相同的计算方法,求出  $IA$  在  $IRA$  和  $YRA$  所在平面内的投影与  $IRA$  的夹角  $\beta$ 。

按公式(D.16)求出输入轴失准角  $\gamma$ ：

$$\gamma = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad \dots\dots\dots (D.16)$$

## D.2 标度因数系列测试(速率法)

### D.2.1 标度因数

#### D.2.1.1 测试设备

除另有规定外,测试设备及其要求如下：

- a) 具有速率输出的速率转台,转台的速率平稳度、转台速率范围指标满足产品性能要求；
- b) 陀螺仪测试系统。

#### D.2.1.2 测试程序

除另有规定外,测试程序如下：

- a) 使速率转台转轴与地垂线平行,对准精度在若干角分之内；
- b) 将陀螺仪通过夹具固定到速率转台上,使  $IRA$  轴平行于转台转轴,对准精度在若干角分之内；
- c) 将陀螺仪与测试系统相连接；
- d) 按规定设置采样间隔时间及采样次数  $n$ ,预热时间后开始测试；
- e) 按 GB/T 321 的 R5 系列,适当圆整、均匀删除后,选角速率测试点,测试点点数不小于 11 个(或与使用方协商确定),应包括最大输入角速率点；
- f) 转台正转,待转台平稳后测试陀螺仪输出,停转；转台反转,待转台平稳后测试陀螺仪输出,停转；
- g) 在每个角速率下分别记录陀螺仪输出  $F_{jp}$ ,按公式(D.17)求得该输入角速率下陀螺仪输出的平均值  $\overline{F}_j$ ；
- h) 在测试开始和结束时,按相同方法分别测试当转台静止时,陀螺仪输出的平均值,并从测试输入角速率点的陀螺仪输出平均值中扣除,作为各给定角速率下的陀螺仪输出值；
- i) 测试结束后,断开陀螺仪电源。

#### D.2.1.3 计算方法

每个输入角速率下陀螺仪输出的平均值  $\overline{F}_j$ ,按公式(D.17)计算：

$$\overline{F}_j = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n F_{jp} \quad \dots\dots\dots (D.17)$$

式中：

- $\overline{F}_j$  ——第  $j$  个输入角速率时陀螺仪的输出平均值,单位为最低有效位(LSB)；  
 $F_{jp}$  ——第  $j$  个输入角速率时陀螺仪第  $p$  次采样值,单位为最低有效位(LSB)；  
 $n$  ——采样次数。

整个测试过程,转台静止时陀螺仪的输出平均值按公式(D.18)计算：

$$\overline{F}_r = \frac{1}{2}(\overline{F}_s + \overline{F}_e) \quad \dots\dots\dots (D.18)$$

式中：

- $\overline{F}_r$  ——转台静止时,陀螺仪的输出平均值,单位为最低有效位(LSB)；

$\overline{F_s}$ ——测试开始,转台静止时按公式求得的陀螺仪输出平均值,单位为最低有效位(LSB);

$\overline{F_e}$ ——测试结束,转台静止时按公式求得的陀螺仪输出平均值,单位为最低有效位(LSB)。

去零偏与地速分量后,转台第  $j$  个给定角速率  $\Omega_{ij}$  下陀螺仪输出值按公式(D.19)计算:

$$F_{kj} = \overline{F_j} - \overline{F_r} \quad \dots\dots\dots(D.19)$$

陀螺仪输入输出线性模型用公式(D.20)表示:

$$F_{kj} = K \cdot \Omega_{ij} + F_0 + \nu_j \quad \dots\dots\dots(D.20)$$

式中:

$F_{kj}$ ——去零偏和地速分量后,转台第  $j$  个给定角速率下陀螺仪输出值,单位为最低有效位(LSB);

$K$ ——标度因数,单位为 LSB/[ $^{\circ}$ ]/s];

$\Omega_{ij}$ ——转台第  $j$  个给定角速率,单位为度每秒[ $^{\circ}$ ]/s];

$F_0$ ——拟合零位,单位为最低有效位(LSB);

$\nu_j$ ——拟合残差。

用最小二乘法线性拟合,陀螺仪标度因数  $K$  和拟合零位  $F_0$  按公式(D.21)和公式(D.22)计算:

$$K = \frac{\sum_{j=1}^M \Omega_{ij} \cdot \overline{F_{kj}} - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \Omega_{ij} \cdot \sum_{j=1}^M \overline{F_{kj}}}{\sum_{j=1}^M \Omega_{ij}^2 - \frac{1}{M} \left( \sum_{j=1}^M \Omega_{ij} \right)^2} \quad \dots\dots\dots(D.21)$$

$$F_0 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \overline{F_{kj}} - \frac{K}{M} \cdot \sum_{j=1}^M \Omega_{ij} \quad \dots\dots\dots(D.22)$$

式中:

$M$ ——输入角速率个数。

## D.2.2 标度因数非线性度

### D.2.2.1 测试设备

除另有规定外,测试设备同 D.2.1.1。

### D.2.2.2 测试程序

除另有规定外,测试程序同 D.2.1.2。

### D.2.2.3 计算方法

输入角速率范围按规定设置,除另有规定外,非线性度测试在最大角速率范围内进行。计算方法如下:

陀螺仪的输入输出关系用公式(D.23)表示:

$$\hat{F}_j = K \cdot \Omega_{ij} + F_0 \quad \dots\dots\dots(D.23)$$

式中:

$\hat{F}_j$ ——转台第  $j$  个给定角速率所对应拟合直线上计算的陀螺仪输出值,单位为赫兹(Hz)或最低有效位(LSB);

$K$ ——标度因数,单位为 LSB/[ $^{\circ}$ ]/s];

$\Omega_{ij}$ ——转台第  $j$  个给定角速率,单位为度每秒[ $^{\circ}$ ]/s];

$F_0$ ——拟合零位,单位为最低有效位(LSB);

陀螺仪的逐点非线性偏差  $a_j$  按公式(D.24)计算:

$$a_j = \frac{\hat{F}_j - F_{kj}}{|F_m|} \quad \dots\dots\dots(D.24)$$

式中：

$a_j$  ——转台第  $j$  个给定角速率下陀螺仪输出值的非线性偏差；

$F_{kj}$  ——去零偏和地速后，转台第  $j$  个给定角速率下陀螺仪输出值；

$F_m$  ——陀螺仪规定角速率下输出值(除另有规定外，为最大输入角速率下的输出值)。

陀螺仪非线性度  $K_n$  按公式(D.25)计算：

$$K_n = |a_j|_{\max} \dots\dots\dots (D.25)$$

式中：

$K_n$  ——标度因数非线性度。

### D.2.3 标度因数不对称度



#### D.2.3.1 测试设备

除另有规定外，测试设备同 D.2.1.1。

#### D.2.3.2 测试程序

除另有规定外，测试程序同 D.2.1.2。

#### D.2.3.3 计算方法

对 D.2.1 中计算得到的陀螺仪输出平均值按正向输入和反向输入重新分组，分别求出正向、反向输入角速率范围内陀螺仪标度因数及其平均值，陀螺仪标度因数不对称性  $K_a$  按公式(D.26)和公式(D.27)计算：

$$K_a = \frac{|K_{(+)} - K_{(-)}|}{\overline{K}_{(+,-)}} \dots\dots\dots (D.26)$$

$$\overline{K}_{(+,-)} = \frac{K_{(+)} + K_{(-)}}{2} \dots\dots\dots (D.27)$$

式中：

$K_a$  ——标度因数不对称性；

$K_{(+)}$  ——正向输入角速率范围内标度因数，单位为 LSB/[ $^{\circ}$ ]/s]；

$K_{(-)}$  ——反向输入角速率范围内标度因数，单位为 LSB/[ $^{\circ}$ ]/s]；

$\overline{K}_{(+,-)}$  ——正、反向标度因数平均值，单位为 LSB/[ $^{\circ}$ ]/s]。

### D.2.4 标度因数重复性

#### D.2.4.1 测试设备

除另有规定外，测试设备同 D.2.1.1。

#### D.2.4.2 测试程序

除另有规定外，按照 D.2.1.2，重复测试 7 次，相邻两次测试陀螺仪关机断电间隔时间不少于 10 min，得到每次测试的标度因数。

#### D.2.4.3 计算方法

陀螺仪标度因数重复性  $K_r$  按公式(D.28)计算：

$$K_r = \left[ \frac{\sum_{j=1}^7 \left( K_j - \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 K_j \right)^2}{6} \right]^{1/2} \bigg/ \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 K_j \dots\dots\dots (D.28)$$

式中：

$K_r$  —— 标度因数重复性；

$K_j$  —— 按 D.2.2 得到的第  $j$  次测试的标度因数，单位为 LSB/[ $(^\circ)$ /s]。

**D.2.5 标度因数温度灵敏度**

**D.2.5.1 测试设备**

测试设备如下：

- a) 同 D.2.1.1 条的 a)~b)；
- b) 高低温试验箱，要求隔振，温控精度优于  $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

**D.2.5.2 测试程序**

除另有规定外，测试程序如下：

- a) 同 D.2.1.2a)~i)；
- b) 根据陀螺仪实际应用所需要的温度范围，按 GB/T 321 的 R5 系列适当均匀选取不少于 5 个测试温度点，其中包括室温；
- c) 在温度变化过程中，陀螺仪断电，在每个测试点保温不少于 2 h，陀螺仪温度达到稳定状态后，按 D.2.1 通电测试。

**D.2.5.3 计算方法**

陀螺仪标度因数温度灵敏度  $K_t$  按公式(D.29)计算：

$$K_t = \left| \frac{K_i - K_{00}}{K_{00} \times (T_i - T_0)} \right|_{\max} \dots\dots\dots (D.29)$$

式中：

$K_t$  —— 标度因数温度灵敏度，单位为每摄氏度( $1/^\circ\text{C}$ )；

$K_i$  —— 第  $i$  个温度测试点的标度因数，单位为 LSB/[ $(^\circ)$ /s]；

$T_i$  —— 第  $i$  个温度测试点的温度值，单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ )；

$K_{00}$  —— 室温标度因数，单位为 LSB/[ $(^\circ)$ /s]；

$T_0$  —— 室温温度值，单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ )。

**D.2.6 输入轴失准角**

**D.2.6.1 陀螺仪轴向定义**

见图 D.1。

**D.2.6.2 测试设备**

同 D.2.1.1 a)~b)。

**D.2.6.3 测试程序**

除另有规定外，角  $\alpha$  测试程序如下：

- a) 调整速率转台轴向与地垂线平行，误差小于若干角分；
- b) 将陀螺仪用夹具安装在转台上，并使 XRA 与转台轴平行，平行度满足规定要求；
- c) 将陀螺仪与输出装置相连接，陀螺仪通电预热规定时间；
- d) 转台以给定的角速率  $\Omega$  正方向旋转，并记录每个速率点的平均输出脉冲数  $F_{(1+)}$ ；

- e) 转台以给定的角速率  $\Omega$  反方向旋转,并记录每个速率点的平均输出脉冲数  $F_{(1-)}$ ;  
 f) 为消除测试夹具误差,将陀螺仪相对夹具绕  $IRA$  旋转  $180^\circ$ ,重复上述测试,得到  $F_{(2+)}$  和  $F_{(2-)}$ 。

除另有规定外,角  $\beta$  测试程序如下:

- a) 将  $YRA$  平行于转台轴,平行度满足规定要求;  
 b) 按照相同方法,得到  $F_{(3+)}$  和  $F_{(3-)}$ ;  
 c) 为消除测试夹具误差,将陀螺仪相对夹具绕  $IRA$  旋转  $180^\circ$ ,重复上述测试,得到  $F_{(4+)}$  和  $F_{(4-)}$ 。

#### D.2.6.4 计算方法

$IA$  在  $yo_z$  平面内投影与  $IRA$  的夹角  $\alpha$ ,按公式(D.30)、公式(D.31)和公式(D.32)计算。

$$\delta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{F_{(1+)} - F_{(1-)}}{2K\Omega} \right) \dots\dots\dots (D.30)$$

式中:

- $\delta_1$  ——在第一个安装位置上,陀螺仪  $IA$  与水平面的偏差角;  
 $F_{(1+)}$  ——在第一安装位置上,速率转台正转时陀螺仪的输出平均值;  
 $F_{(1-)}$  ——在第一安装位置上,速率转台负转时陀螺仪的输出平均值;  
 $K$  ——标度因数;  
 $\Omega$  ——速率转台转速。

$$\delta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{F_{(2+)} - F_{(2-)}}{2K\Omega} \right) \dots\dots\dots (D.31)$$

式中:

- $\delta_2$  ——在第一个安装位置上,陀螺仪  $IA$  与水平面的偏差角;  
 $F_{(2+)}$  ——在第二安装位置上,速率转台正转时陀螺仪的输出平均值;  
 $F_{(2-)}$  ——在第二安装位置上,速率转台负转时陀螺仪的输出平均值;  
 $K$  ——标度因数;  
 $\Omega$  ——速率转台转速。

$$\alpha = \frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \dots\dots\dots (D.32)$$

按相同计算方法,求出  $IA$  在  $IRA$  和  $YRA$  所确定平面内的投影与  $IRA$  的夹角  $\beta$ ,按公式(D.33)、公式(D.34)和公式(D.35)计算。

$$\delta_3 = \sin^{-1} \left( \frac{F_{(3+)} - F_{(3-)}}{2K\Omega} \right) \dots\dots\dots (D.33)$$

式中:

- $\delta_3$  ——在第一个安装位置上,陀螺仪  $IA$  与水平面的偏差角;  
 $F_{(3+)}$  ——在第一安装位置上,速率转台正转时陀螺仪的输出平均值;  
 $F_{(3-)}$  ——在第一安装位置上,速率转台负转时陀螺仪的输出平均值;  
 $K$  ——标度因数;  
 $\Omega$  ——速率转台转速。

$$\delta_4 = \sin^{-1} \left( \frac{F_{(4+)} - F_{(4-)}}{2K\Omega} \right) \dots\dots\dots (D.34)$$

式中:

- $\delta_2$  ——在第一个安装位置上,陀螺仪  $IA$  与水平面的偏差角;

- $F_{(4+)}$  ——在第二安装位置上,速率转台正转时陀螺仪的输出平均值;
- $F_{(4-)}$  ——在第二安装位置上,速率转台负转时陀螺仪的输出平均值;
- $K$  ——标度因数;
- $\Omega$  ——速率转台转速。

$$\beta = \frac{\delta_3 - \delta_4}{2} \dots\dots\dots (D.35)$$

按公式(D.36)求出  $\gamma$ :

$$\gamma = \sqrt{a^2 + \beta^2} \dots\dots\dots (D.36)$$

### D.3 最大输入角速率

在标度因数非线性度满足规定要求的最大转台输入角速率即为该陀螺仪的最大输入角速率。

### D.4 阈值

#### D.4.1 测试设备

除另有规定外,测试设备及其要求如下:

- a) 双轴回转台,位置精度优于若干角秒;
- b) 陀螺仪测试系统。

#### D.4.2 测试程序

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 用夹具把陀螺仪安装在转台上,使  $IRA$  平行于转台转轴,对准精度在若干角分之内;
- b) 调整双轴回转台,让工作台面向南倾斜,其倾斜角为当地纬度;
- c) 将陀螺仪与测试系统相连接,接通陀螺仪电源,预热 30 min;
- d) 取采样间隔时间为  $\tau = 1$  s,采样点数为  $n = 600$ ,测试时间为  $t = 600$  s,测量陀螺仪输出脉冲数。计算陀螺仪每采样间隔时间内的输出脉冲数均值  $\bar{N}_0$ ;
- e) 依次改变双轴回转台台面向南倾斜的角度(亦即改变陀螺仪  $IRA$  与地轴之间的夹角  $\Psi_i$ ),并在每个角度  $\Psi_i$  位置上,取采样间隔时间为  $\tau = 1$  s,采样点数为  $n = 600$ ,测试时间为  $t = 600$  s,测量陀螺仪输出脉冲数  $N_{ij}$ ;
- f) 当  $\left| \frac{\bar{N}_i^* - \bar{N}_0}{N_i} \right| \geq 50\%$  时( $\bar{N}_i^*$  和  $N_i$  分别为陀螺仪在  $\Psi_i$  位置实测脉冲数均值和根据标度因数求得的采样间隔时间内陀螺仪输出脉冲数),测试结束,断开陀螺仪电源。

#### D.4.3 计算方法

计算方法如下。

- a) 当陀螺仪  $IRA$  与地轴间夹角为  $\Psi_i$  时,按公式(D.37)计算采样间隔时间内陀螺仪累计输出脉冲数。

$$N_i = K \cdot \Omega_e \cos \Psi_i \cdot \tau \dots\dots\dots (D.37)$$

式中:

- $\Omega_e$  ——地球自转角速率,取值  $15.041^\circ/\text{h}$ ;
- $\tau$  ——采样间隔时间,单位为秒(s)。

- b) 当陀螺仪  $IRA$  与地轴间夹角为  $\Psi_i$  时,陀螺仪实测累计输出脉冲数均值  $\bar{N}_i^*$ ,按公式(D.38)计算。

$$\bar{N}_i^* = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_{ij} \dots\dots\dots (D.38)$$

式中:

$N_{ij}$ —— $\Psi_i$  位置第  $j$  次采样陀螺仪的累计输出脉冲数。

c) 当  $\left| \frac{\bar{N}_i^* - \bar{N}_0}{N_i} \right| \geq 50\%$  可得公式(D.39)。

$$\left| \frac{\bar{N}_i^* - \bar{N}_0}{K \cdot \Omega_e \cos \Psi_i \cdot \tau} \right| \geq 50\% \dots\dots\dots (D.39)$$

此时对应的  $\Omega_e \cos \Psi_i$  的最小值即为陀螺仪阈值  $\Omega_i$ 。

## D.5 零偏系列测试

### D.5.1 零偏

#### D.5.1.1 测试设备

除另有规定外,测试设备及其要求如下:

- a) 经过调平的稳定平台,水平度优于若干角秒;
- b) 陀螺仪测试系统。

#### D.5.1.2 测试程序

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 将陀螺仪通过夹具固定在稳定平台上,使  $IRA$  与当地的地垂线平行,对准误差满足陀螺仪相应的精度要求;
- b) 将陀螺仪与测试系统相连接;
- c) 取采样间隔时间  $\tau$  为 1 s,测量时间为 1 h(或根据用户的应用需要确定测量时间),采样点数为  $n$ ;
- d) 陀螺仪通电,在满足准备时间后,立即开始采样,记录每一采样间隔时间内的累计脉冲数;
- e) 采数结束后,陀螺仪断电。

#### D.5.1.3 计算方法

按公式(D.40)计算。

$$B_0 = \frac{1}{\tau K} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i - 15.041 \times \sin \theta \dots\dots\dots (D.40)$$

式中:

- $B_0$ ——零偏,单位为度每小时[(°)/h];
- $N_i$ ——第  $i$  次采样的累计脉冲数;
- $n$  ——采样点数;
- $K$  ——标度因数;
- $\theta$  ——测试地点纬度,单位为度(°);
- $\tau$  ——采样间隔时间,单位为秒(s)。

### D.5.2 零偏稳定性

#### D.5.2.1 测试设备

测试设备同 D.5.1.1。

**D.5.2.2 测试程序**

测试程序同 D.5.1.2。除另有规定外,对采样间隔时间  $\tau=1\text{ s}$  的样本进行  $t=100\text{ s}$  或  $t=10\text{ s}$  累积,得到新的累积脉冲序列  $N'_i$  和采样点数  $m$  ( $m=n/100$  或  $m=n/10$ )。

**D.5.2.3 计算方法**

按公式(D.41)计算。

$$B_s = \frac{1}{tK} \left[ \frac{\sum_{i=1}^m \left( N'_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m N'_i \right)^2}{m-1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (D.41)$$

式中:

$B_s$ ——零偏稳定性,单位为度每时 $[(^\circ)/\text{h}]$ 。



**D.5.3 零偏重复性**

**D.5.3.1 测试设备**

测试设备同 D.5.1.1。

**D.5.3.2 测试程序**

除另有规定外,按照 D.5.1.2 的方法,重复测试陀螺仪零偏  $Q$  ( $Q \geq 7$ ) 次,在两次测量时间间隔内陀螺仪处于断电状态的时间不少于 1 倍陀螺仪工作时间。

**D.5.3.3 计算方法**

按公式(D.42)计算。

$$B_r = \left[ \frac{1}{Q-1} \sum_{i=1}^Q \left( B_{oi} - \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q B_{oi} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (D.42)$$

式中:

$B_r$  ——零偏重复性,单位为度每时 $[(^\circ)/\text{h}]$ ;

$B_{oi}$  ——第  $i$  次测得的零偏,单位为度每时 $[(^\circ)/\text{h}]$ 。

**D.5.4 零偏温度灵敏度**

**D.5.4.1 测试设备**

测试设备如下:

- a) 同 D.5.1.1a)~b);
- b) 高低温试验箱,要求隔振,温控精度优于  $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

**D.5.4.2 测试程序**

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 同 D.5.1.2a)~c);
- b) 根据陀螺仪实际应用所需要的温度范围,温度点至少包括两个极限温度点和室温;
- c) 在温度变化过程中,陀螺仪断电,在每个测试点保温不少于 2 h,陀螺仪温度达到稳定状态后,按 D.5.1.2 通电测试 1 h。

### D.5.4.3 计算方法

按公式(D.43)计算。

$$B_t = \left| \frac{B_i - B_{00}}{T_i - T_0} \right|_{\max} \dots\dots\dots (D.43)$$

式中：

- $B_t$  ——零偏温度灵敏度,单位为 $[(^\circ)/h]/^\circ\text{C}$ ;
- $B_i$  ——第  $i$  个温度测试点的零偏,单位为度每时 $[(^\circ)/h]$ ;
- $T_i$  ——第  $i$  个温度测试点的温度值,单位为摄氏度 $(^\circ\text{C})$ ;
- $B_{00}$  ——室温零偏,单位为度每时 $[(^\circ)/h]$ ;
- $T_0$  ——室温温度值,单位为摄氏度 $(^\circ\text{C})$ 。

### D.5.5 零偏磁场灵敏度

#### D.5.5.1 测试设备

除另有规定外,测试设备及其要求如下:

- a) 陀螺仪测试系统;
- b) 直流磁场发生器,在陀螺仪的最大外形范围内磁场均匀性优于 5%。

#### D.5.5.2 测试程序

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 将陀螺仪固定在磁场发生器中;
- b) 沿陀螺仪  $IRA$ 、 $XRA$  和  $YRA$  三个方向上分别施加磁场强度为  $H_b$  的正向磁场,按 D.5.1.2 的方法分别测试陀螺仪零偏,测量时间 10 min;
- c) 沿陀螺仪  $IRA$ 、 $XRA$  和  $YRA$  三个方向上分别施加磁场强度为  $H_b$  的反向磁场,按 D.5.1.2 的方法分别测试陀螺仪零偏,测量时间 10 min。

#### D.5.5.3 计算方法

按公式(D.44)计算。

$$B_h^{X,Y,1} = \frac{|B_{0+}^{X,Y,1} - B_{0-}^{X,Y,1}|}{2H_b} \dots\dots\dots (D.44)$$

式中：

- $B_h^{X,Y,1}$  ——分别沿陀螺仪  $XRA$ 、 $YRA$  和  $IRA$  方向施加磁场时,陀螺仪的零偏磁场灵敏度,单位为度每小时每毫特斯拉 $[(^\circ)/h/m\text{T}]$ ;
- $B_{0+}^{X,Y,1}$  ——施加正向磁场时的陀螺仪零偏,单位为度每时 $[(^\circ)/h]$ ;
- $B_{0-}^{X,Y,1}$  ——施加反向磁场时的陀螺仪零偏,单位为度每时 $[(^\circ)/h]$ ;
- $H_b$  ——磁场强度,单位为毫特斯拉(mT)。

### D.5.6 角度随机游走

#### D.5.6.1 测试设备

测试设备同 D.5.1.1。

#### D.5.6.2 测试程序

除另有规定外,按 D.5.1.2 的方法,以采样间隔时间  $\tau = 1$  s,预热时间不少于 30 min,测量时间为

8 h,测得的脉冲构成的序列为初始样本序列,在初始样本序列的基础上,依次成倍加长采样间隔时间  $\tau_k = 2^{k-1}\tau(k = 1, 2, 3, \dots)$  得到新的样本序列,对每一样本序列求陀螺仪零偏稳定性  $B_s(\tau_k)$ ; 再对  $B_s(\tau_k)$  组成的序列求陀螺仪的角度随机游走。

**D.5.6.3 计算方法**

计算方法如下。

a) 零偏稳定性模型方程见公式(D.45):

$$B_s^2(\tau_k) = \alpha_0 + \alpha_1 \left(\frac{1}{\tau_k}\right) + \alpha_2 \left(\frac{1}{\tau_k}\right)^2 \dots\dots\dots (D.45)$$

式中:

$B_s(\tau_k)$ ——零偏稳定性,单位为度每时[ $(^\circ)/h$ ];

$\tau_k$  ——采样间隔,单位为时(h)。

b) 用最小二乘法按公式(D.45)对  $B_s(\tau_k)$  序列做拟合,可求得系数  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 。按公式(D.46)计算 RWC:

$$RWC = \alpha_1^{1/2} \dots\dots\dots (D.46)$$

式中:

RWC——角度随机游走,单位为度每根号时[ $(^\circ)/h^{1/2}$ ]。

**D.6 环境试验**

**D.6.1 低温工作试验**

**D.6.1.1 试验设备**

试验设备如下:

- a) 陀螺仪测试系统;
- b) 高低温试验箱。

**D.6.1.2 试验程序**

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 将陀螺仪固定在高低温试验箱内的测试工作台上,温箱降温至规定的温度点,降温速率一般不大于  $1^\circ C/min$ ,在该温度点下陀螺仪保温一般不少于 2 h;
- b) 在该温度点测试陀螺仪 1 h;
- c) 试验结束后,断开陀螺仪电源,将温箱升温至高温烘干,然后关闭温箱,待陀螺仪自然冷却到常温后取出。

**D.6.1.3 数据处理**

除另有规定外,对所测得的陀螺仪数据按 D.5.1~D.5.2 进行处理,得到陀螺仪的零偏、零偏稳定性。

**D.6.2 高温工作试验**

**D.6.2.1 试验设备**

试验设备同 D.6.1.1。

**D.6.2.2 试验程序**

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 将陀螺仪固定在高低温试验箱内的测试工作台上,温箱升温至规定的温度点,升温速率一般不大于  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,在该温度点下陀螺仪保温一般不少于  $2\text{ h}$ ;
- b) 在该温度点测试陀螺仪  $1\text{ h}$ ;
- c) 试验结束后,断开陀螺仪电源,关闭温箱,待陀螺仪自然冷却到常温后取出。

### D.6.2.3 数据处理

除另有规定外,对所测得的陀螺仪数据按 D.5.1~D.5.2 进行处理,得到陀螺仪的零偏、零偏稳定性。

### D.6.3 振动试验

#### D.6.3.1 试验设备

除另有规定外,测试设备及其要求如下:

- a) 陀螺仪测试系统;
- b) 振动台。

#### D.6.3.2 试验程序

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 将陀螺仪通过夹具刚性连接固定到振动台上,使  $IRA$  与振动台的振动方向平行;
- b) 接通陀螺仪电源,先预热  $10\text{ min}$ ,按 D.5.1.2 条测量  $10\text{ min}$ ,并记录振动前陀螺仪输出脉冲数;
- c) 按要求施加振动(振动频谱、强度根据产品规范要求确定),对于性能振动条件在振动过程中以  $1\text{ s}$  采样时间进行采样,并记录陀螺仪输出脉冲数;对于耐久振动条件,振动过程中陀螺仪不通电;
- d) 振动结束后,陀螺仪工作  $10\text{ min}$ ,并记录陀螺仪输出脉冲数;
- e) 陀螺仪  $XRA$ 、 $YRA$  方向的振动试验参照上述步骤进行;
- f) 试验结束后,断开陀螺仪电源。

#### D.6.3.3 数据处理

除另有规定外,对于性能振动,对所测得的振动前、振动中和振动后的陀螺仪数据按 D.5.1 进行处理,得到陀螺仪振动前零偏  $B_{01}$ 、振动中零偏  $B_{02}$  和振动后零偏  $B_{03}$ 。按公式(D.47)计算性能振动中与振动前陀螺仪的零偏绝对误差,按公式(D.48)计算性能振动前后的零偏绝对误差。

$$\Delta B_{V12} = |B_{02} - B_{01}| \quad \dots\dots\dots (D.47)$$

$$\Delta B_{V13} = |B_{03} - B_{01}| \quad \dots\dots\dots (D.48)$$

对于耐久振动,对所测得的振动前和振动后的陀螺仪数据按 D.5.1 进行处理,得到陀螺仪耐久振动前零偏和振动后零偏。按公式(D.48)计算耐久振动前后的零偏绝对误差。

### D.6.4 机械冲击试验

#### D.6.4.1 试验设备

测试设备如下:

- a) 陀螺仪测试系统;
- b) 冲击台。

#### D.6.4.2 试验程序

除另有规定外,测试程序如下:

- a) 将陀螺仪通过夹具刚性连接固定到冲击台上,使 *IRA* 与冲击台的冲击方向平行;
- b) 接通陀螺仪电源,先预热 10 min,按 D.5.1.2 测量 10 min,并记录冲击前陀螺仪输出脉冲数;
- c) 按要求施加冲击(冲击波形、时间长短、冲击次数和强度根据产品规范要求确定),冲击过程中陀螺仪不通电;
- d) 冲击结束后,陀螺仪工作 10 min,并记录陀螺仪输出脉冲数;
- e) 陀螺仪 *XRA*、*YRA* 方向的冲击试验参照上述步骤进行;
- f) 试验结束后,陀螺仪断电。

#### D.6.4.3 数据处理

除另有规定外,对所测得的冲击前和冲击后的陀螺仪数据按 D.5.1 进行处理,得到陀螺仪的冲击前零偏和冲击后零偏,按公式(D.48)计算机械冲击前后的零偏绝对误差。







