



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1210—2008

低速转台校准规范

Calibration Specification for Rate Table

2008—09—27 发布

2009—01—01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

低速转台校准规范

Calibration Specification for Rate Table

JJF 1210—2008

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2008 年 9 月 27 日批准，并自 2009 年 1 月 1 日起施行。

归口单位：全国振动冲击转速计量技术委员会

起草单位：中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所

本规范委托全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

彭 军（中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）

何 群（中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）

参加起草人：

徐晓梅（中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）

孙丰甲（中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）

目 录

1	范围	(1)
2	引用文献	(1)
3	术语	(1)
4	概述	(1)
5	计量特性	(1)
6	校准条件	(2)
6.1	校准环境条件	(2)
6.2	测量标准及设备	(2)
7	校准项目和校准方法	(3)
7.1	轴回转误差校准	(3)
7.2	角速率误差及稳定性校准	(5)
7.3	角位置定位及重复性校准	(6)
7.4	转台动态特性校准	(7)
7.5	两轴垂直度校准	(8)
7.6	台面端跳校准	(8)
7.7	台面平面度校准	(8)
8	校准结果表达	(8)
9	复校时间间隔	(9)

低速转台校准规范

1 范围

本规范适用于角速率不大于 $2000^{\circ}/\text{s}$ 的低速转台（以下简称转台）的校准。

2 引用文献

JJG 117—2005 平板

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

JJF 1114—2004 光学、数显分度台校准规范

JJF 1115—2004 光电轴角编码器校准规范

GJB 1728—1993 速率转台通用规范

GJB 1801—1993 惯性技术测试设备主要性能试验方法

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语

3.1 角速率 angular velocity

单位时间内的角位置变化量。即 $\omega = \frac{\theta}{T}$ 。

式中 θ ——定角间隔；

T ——转过定角间隔所用的时间。

3.2 幅值误差 amplitude error

转台给定幅值与测量解算得到的角运动量幅值的相对误差。

3.3 相位误差 phase error

转台激励信号相位角与测量解算得到的角运动量相位角的差值。

3.4 轴线垂直度 orthogonality

轴线之间的角度与 90° 的偏差角。

4 概述

转台是用于对惯性器件进行姿态角位置、角速率和动态特性校准的一种专用测量装置，它可分为位置转台、速率转台、速率位置转台、仿真台等。转台按台体的结构可分为台面式转台和框架式转台；按旋转轴数可分为：单轴、双轴和多轴转台。

5 计量特性

转台的计量特性见表 1。

表 1 计量特性

序号	计量特性名称		指标	备注
1	轴回转误差		$<20''$	
2	角速率	角速率范围	$0.0001^{\circ}/s\sim 2000^{\circ}/s$	
		角速率误差	1×10^{-5}	定角间隔 360°
			2×10^{-4}	定角间隔 10°
			2×10^{-3}	定角间隔 1°
			2×10^{-2}	定角间隔 0.2°
		角速率平稳性	1×10^{-5}	定角间隔 360°
			2×10^{-4}	定角间隔 10°
			2×10^{-3}	定角间隔 1°
			2×10^{-2}	定角间隔 0.2°
3	角位置定位	角位置定位范围	$0^{\circ}\sim 360^{\circ}$	
		角位置定位误差	$\leq 30''$	
		角位置定位重复性	$\leq 20''$	
		角位置定位分辨力	$\leq 30''$	
4	角运动特性	频率范围	$0.5\text{ Hz}\sim 100\text{ Hz}$	
		幅值误差	$\pm 2\%$	
		相位误差	$\pm 2^{\circ}$	
5	两轴垂直度		$<30''$	
6	台面端跳		$<50\text{ }\mu\text{m}$	
7	台面平面度		$<30\text{ }\mu\text{m}$	
注：以上指标不是作为合格性判别，仅提供参考。				

6 校准条件

6.1 校准环境条件

- 6.1.1 温度： $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$
- 6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$
- 6.1.3 周围无强电磁场，无腐蚀性气体或液体，无强振源。
- 6.1.4 供电电压 $(380\pm 38)\text{ V}$ ， $(220\pm 22)\text{ V}$ 。

6.2 测量标准及设备

6.2.1 速率测量系统

由测角圆光栅、读数头、安装芯轴、标准时基，细分电路和数据采集卡等组成。
角速率测量范围： $0.0001^{\circ}/s\sim 2000^{\circ}/s$ 。

角速率误差: 2.5×10^{-6}	定角间隔 360°
5×10^{-5}	定角间隔 10°
5×10^{-4}	定角间隔 1°
2×10^{-3}	定角间隔 0.2°

6.2.2 频率计

测量日稳定性优于 2×10^{-7} 。

6.2.3 光电自准直仪

定位误差 $\leq 2''$ 的转台用分度值 $\leq 0.1''$ 的自准直仪；

定位误差 $\leq 10''$ 的转台用分度值 $\leq 0.2''$ 的自准直仪；

定位误差 $\leq 30''$ 的转台用分度值 $\leq 1''$ 的自准直仪。

6.2.4 棱体

定位误差 $\leq 2''$ 的转台用不少于 17 面的 2 等多面棱体；

定位误差 $\leq 10''$ 的转台用不少于 16 面的 3 等多面棱体；

定位误差 $\leq 30''$ 的转台用不少于 12 面的 3 等多面棱体。

6.2.5 电子水平仪

示值误差：I 挡不超过 $\pm 2''$ 。

II 挡不超过 $\pm 1''$ 。

6.2.6 动态测量系统

由测角圆光栅、读数头、安装芯轴、数据采集卡等组成。进行频率范围 $0.5 \text{ Hz} \sim 100 \text{ Hz}$ 的转台幅值误差和相位误差的测量。

幅值测量误差： $\pm 2\%$ 。

相位测量误差： $\pm 2^\circ$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 轴回转误差校准

转台轴的回转误差可以用电子水平仪校准，也可采用平面镜和光电自准直仪校准。一般垂直轴采用电子水平仪校准，水平轴采用平面镜和光电自准直仪校准。

7.1.1 电子水平仪校准方法

一台电子水平仪分两次互相垂直放置在工作台面的某一位置上（或将两台电子水平仪互相垂直放置），见图 1 所示。

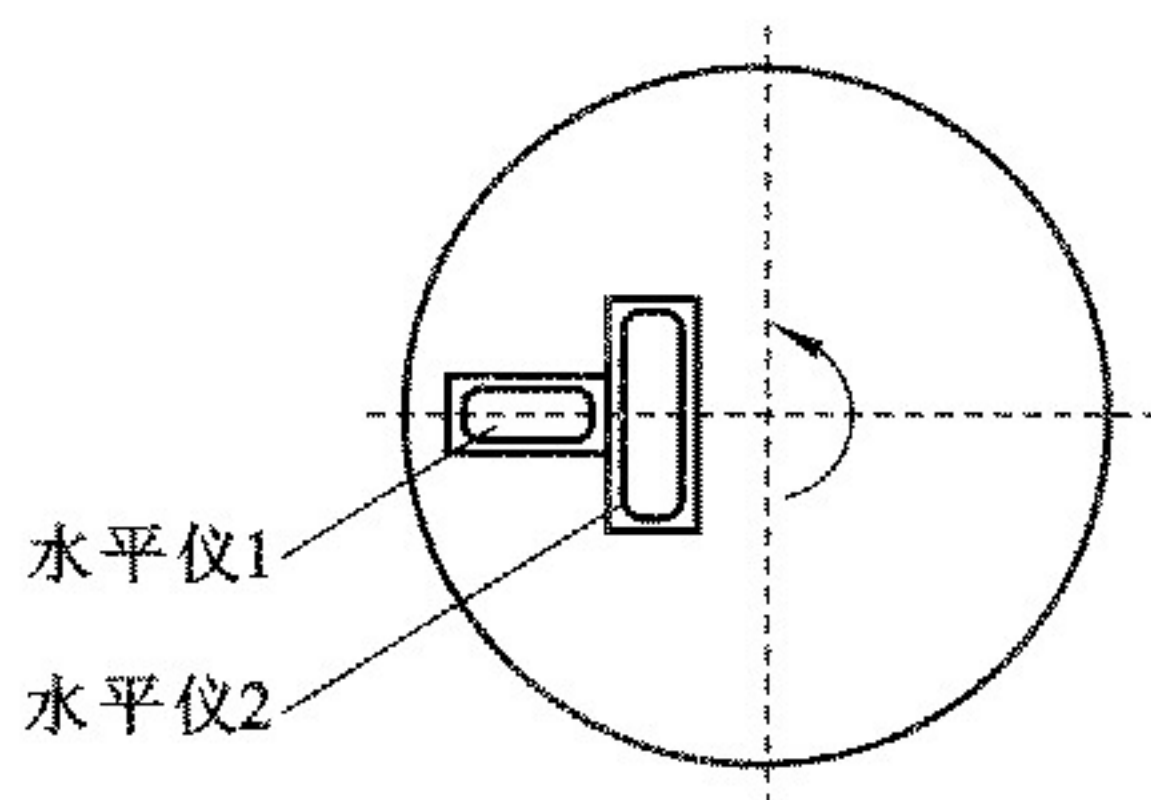


图 1 用水平仪校准回转误差示意图

旋转被测轴，被测轴按 30° 间隔转动一周，被测轴角位置 $\theta = i \times 30^\circ$, $i = 1, 2, \dots, 12$ 。记下被测轴在各相应位置水平仪的读数 W_{xi} ，将水平仪调转 90° 测量，被测轴按 30° 间隔转动一周，记下水平仪的读数 W_{yi} 。

利用傅立叶分析法对周期函数 W_{xi} , W_{yi} 进行展开，去除台面安装与回转轴不垂直造成的零次和一次谐波分量。

$$W_{xi} = \frac{a_{x0}}{2} + \sum_{k=1}^i [a_{xk} \cos(k\theta) + b_{xk} \sin(k\theta)] \quad (1)$$

$$W_{yi} = \frac{a_{y0}}{2} + \sum_{k=1}^i [a_{yk} \cos(k\theta) + b_{yk} \sin(k\theta)] \quad (2)$$

式中： $i = 1, \dots, n$;

k 为谐波次数;

零次和一次项傅氏系数为 a_{x0} , a_{y0} 和 a_{x1} , b_{x1} , a_{y1} , b_{y1}

$$a_{x0} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{xi} \quad (3)$$

$$a_{x1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{xi} \cos \theta \quad (4)$$

$$b_{x1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{xi} \sin \theta \quad (5)$$

$$a_{y0} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{yi} \quad (6)$$

$$a_{y1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{yi} \cos \theta \quad (7)$$

$$b_{y1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{yi} \sin \theta \quad (8)$$

倾角回转的两个正交分量 ΔW_{xi} , ΔW_{yi}

$$\Delta W_{xi} = W_{xi} - \frac{a_{x0}}{2} - a_{x1} \cos \theta - b_{x1} \sin \theta \quad (9)$$

$$\Delta W_{yi} = W_{yi} - \frac{a_{y0}}{2} - a_{y1} \cos \theta - b_{y1} \sin \theta \quad (10)$$

轴回转误差:

$$W_i = \sqrt{\Delta W_{xi}^2 + \Delta W_{yi}^2} \quad (11)$$

$$W = \pm \{W_i\}_{\max} \quad (12)$$

7.1.2 平面镜——光电自准直仪校准方法

如图 2 所示，在工作台面上或被测件安装位置处安装一可以调整的平面镜，光电自准直（简称：光管）和被测轴机座放置在同一基础上。调整光管位置使光轴与被测轴线初步对准，按照方法 7.1.1 记下被测轴在相应角位置上光管在 X 和 Y 方向上的读数 W_{xi} , W_{yi} 。数据处理及结果评定同 7.1.1。

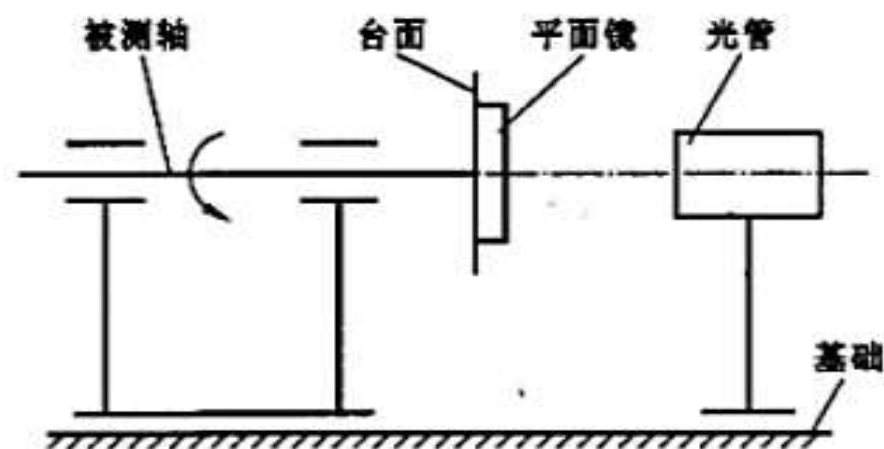


图2 水平轴回转误差测量示意图

7.2 角速率误差及稳定性校准

在进行角速率 ω 测量时, 根据测量的角速率大小选取测量的角度间隔, 见表 2。

表2 测量的角度间隔表

序号	角速率	测量的角度间隔
1	$\omega \leq 0.001^\circ/\text{s}$	0.2°
2	$0.001^\circ/\text{s} < \omega < 1^\circ/\text{s}$	1°
3	$1^\circ/\text{s} \leq \omega < 10^\circ/\text{s}$	10°
4	$\omega \geq 10^\circ/\text{s}$	360°

测量点的选择根据转台的角速率范围而定, 一般应包括最大转速、最小转速, 在整个范围内不少于 10 个测量点。

除有明确规定外, 应在转台额定负荷下测量。

7.2.1 速率测量系统校准方法

1	$\omega \leq 0.001^\circ/\text{s}$	0.2°
2	$0.001^\circ/\text{s} < \omega < 1^\circ/\text{s}$	1°
3	$1^\circ/\text{s} \leq \omega < 10^\circ/\text{s}$	10°
4	$\omega \geq 10^\circ/\text{s}$	360°

测量点的选择根据转台的角速率范围而定，一般应包括最大转速、最小转速，在整个范围内不少于 10 个测量点。

除有明确规定外，应在转台额定负荷下测量。

7.2.1 速率测量系统校准方法

将速率测量系统中的光栅安装在被测轴上，并使光栅与被测轴轴线重合，同轴度误差不大于 0.02 mm，安装调整光栅读数头，并转动被测轴，使其信号输出工作正常。如图 3 所示。转台处于速率工作状态，按给定的速率 ω 指令稳速运转。根据速率指令大小选择定角间隔 θ ，计算采样时间，待转台以规定的角速率稳定运行后，同步锁存角度测量值，计算出角速率值 ω_i ，连续测量 10 次。角速率低于 $0.001^\circ/\text{s}$ 时，测量次数不少于 4 次。

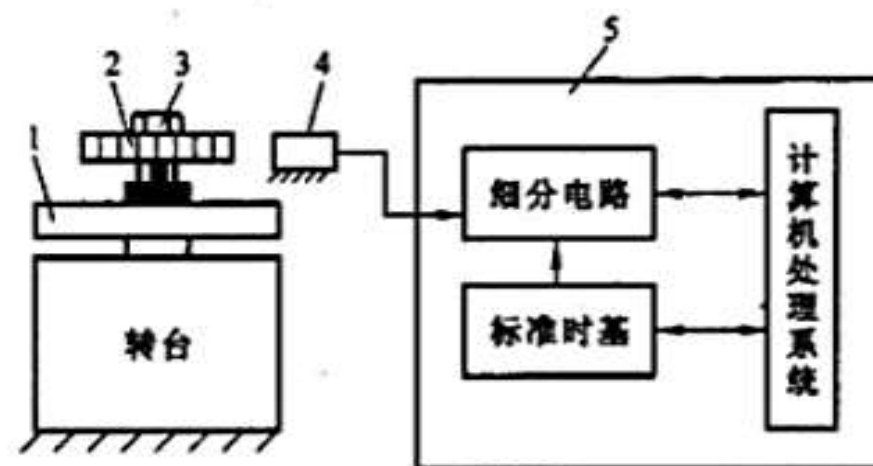


图 3 速率测量系统校准角速率示意图

1—台面；2—光栅；3—芯轴；4—读数头；5—数据采集处理系统

$$\bar{\omega} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (13)$$

$$\Delta_{\text{稳}} = \frac{1}{\bar{\omega}} \times \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\omega_i - \bar{\omega})^2} \quad (14)$$

式中： ω_i ——单次测量的角速率值；

$\bar{\omega}$ —— n 次测量的角速率平均值；

n ——某角速率点连续测量次数；

$\Delta_{\text{稳}}$ ——角速率的平稳性。

7.2.2 频率计校准方法

用频率计测量转台的同步脉冲输出信号，根据转台提供的同步角度间隔脉冲，测量相邻脉冲的时间间隔，连续测量 10 次得到 T_i ($i=1, 2, \dots, 10$)。角速率低于 $0.001^\circ/\text{s}$ 时，测量次数不少于 4 次（用此方法检测速率时必须检测角度信号的准确程度，并在不确定度计算中加入此分量）。同时记录转台测试系统显示的角速率值。

$$\text{平均时间} \quad \bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (15)$$

$$\text{角速率平均值} \quad \bar{\omega} = \frac{\theta}{\bar{T}} \quad (16)$$

$$\text{稳定性:} \quad \Delta_{\text{稳}} = \frac{1}{\bar{T}} \times \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \quad (17)$$

式中： T_i ——单次测量的时间；

$\bar{T}$ —— n 次测量的时间平均值；

n ——某角速率点连续测量次数；

$\bar{\omega}$ ——角速率平均值；

θ ——角速率测量的定角间隔；

$\Delta_{\text{稳}}$ ——角速率的平稳性。

角速率误差：输入给定转台的角速率 ω （标称值）与标准装置所测角速率的平均值 $\bar{\omega}$ 的相对偏差。

$$E_{\omega} = \frac{\omega - \bar{\omega}}{\bar{\omega}} \times 100\% \quad (18)$$

7.3 角位置定位及重复性校准

将棱体安装在转台被测轴的旋转中心，将光管安装于良好的隔震基础上，使光管光轴线垂直于棱体或平面镜。启动转台测控系统，使其工作正常、稳定。安装如图 4 所示。

棱体从被测轴角度测量系统数字显示 0 位置起，记下光管的初读数 b_1 ，转台测角系统显示的角度值 d_1 ，依次使轴转动棱体面规定的角度 α ，记下光管相应的读数 $b_2, \dots, b_n$ ，同时记录转台测角系统显示的角度值 $d_2, \dots, d_n$ 。正向测一周后，同样的方法反方向测一周，记为 b'_i, d'_i 。

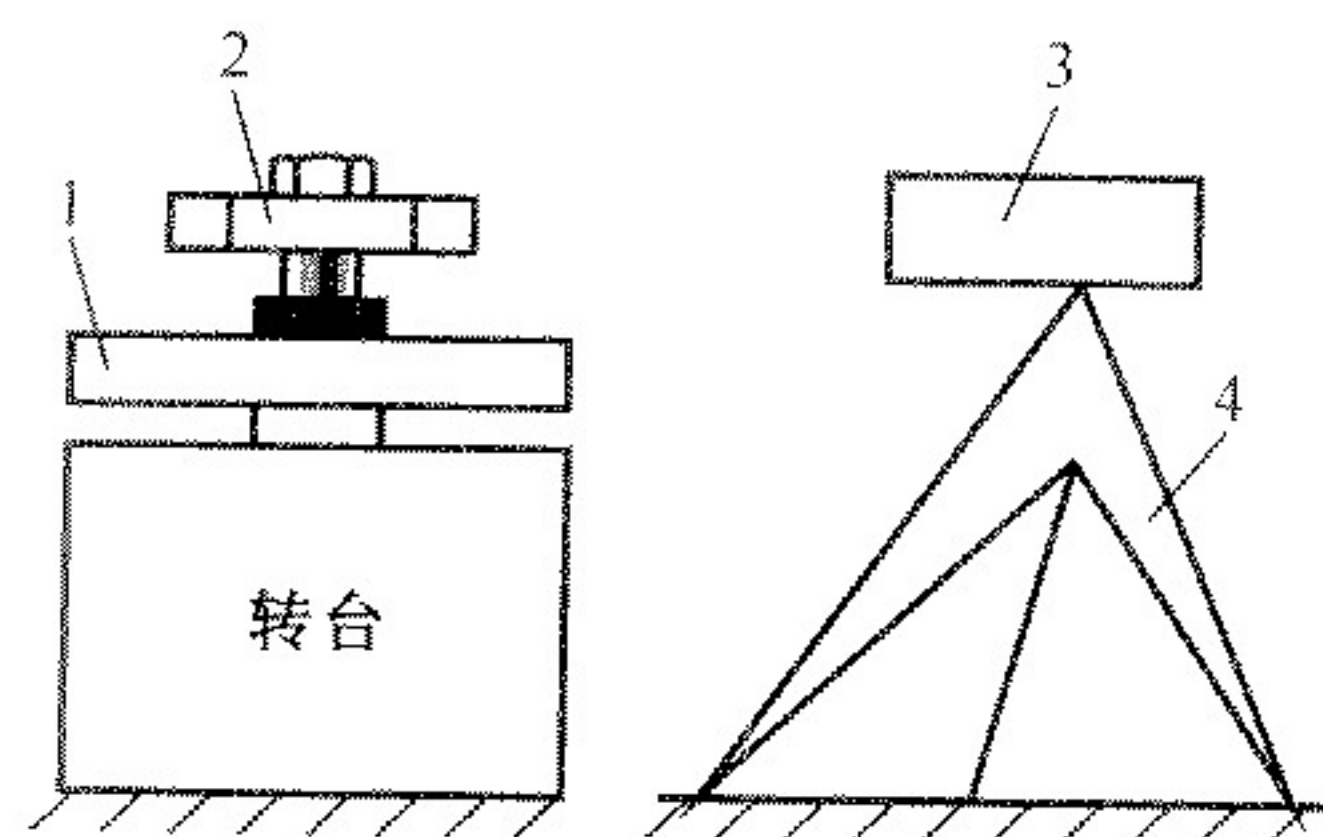


图4 角位置校准示意图

1—转台台面；2—棱体；3—光管；4—光管支架

转台各测点角位置定位误差计算公式：

$$e_i = (d_i - d_1) - (b_i - b_1) - c_i \quad (19)$$

式中： b_i ——自准直仪第*i*测点的读数；

c_i ——棱体第*i*面与第1面的夹角；

d_i ——转台测角系统第*i*测点的数显读数；

$i=1, 2, \dots, n$ ；

n ——棱体面数；

e_i ——转台第*i*测点的误差值。

转台角位置定位误差取各校准点误差的最大值和最小值之差的 $\frac{1}{2}$ 作为校准结果，公式表示为：

$$E_\theta = \pm \frac{1}{2} [(e_i)_{\max} - (e_i)_{\min}] \quad (20)$$

转台角位置定位重复性计算公式：

$$\begin{aligned} f_i &= b_{i+1} - b_i \\ f'_i &= b'_{i+1} - b'_i \end{aligned} \quad (21)$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (f_i - f'_i)^2} \quad (22)$$

式中： b_i ——正方向自准直仪第*i*测点的读数；

b'_i ——反方向自准直仪第*i*测点的读数；

f_i ——正方向相邻测点读数值之差；

f'_i ——反方向相邻测点读数值之差；

$i=1, 2, \dots, n$ ；

n ——棱体面数；

Δ ——角位置定位重复性。

7.4 转台动态特性校准

将动态测量系统中的光栅安装在被测轴上，并使光栅与被测轴轴线重合，同轴度误差不大于0.02 mm，安装调整光栅读数头，将其信号接入数据采集系统的输入通道，并转动被测轴，观测其信号是否正常。同时将被校转台的激励信号接入数据采集系统的

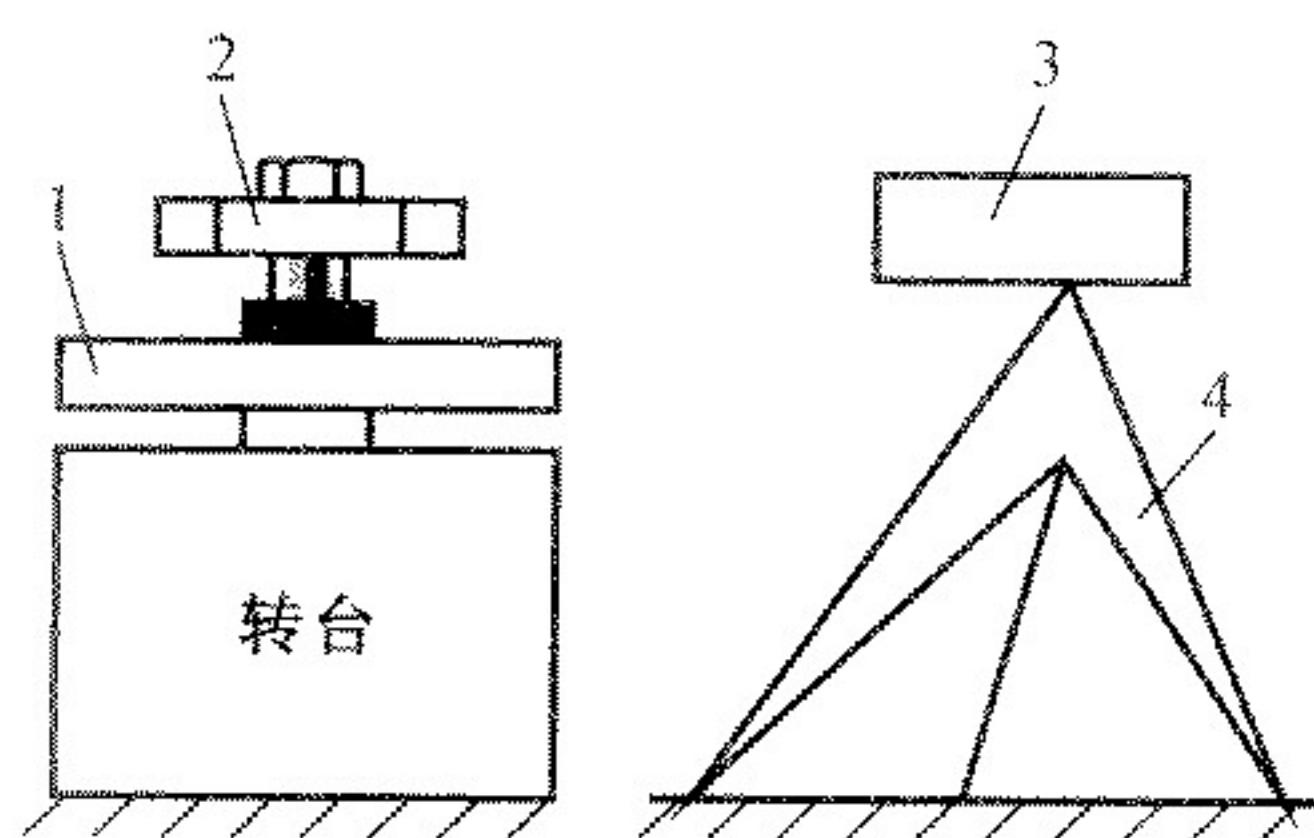


图4 角位置校准示意图

1—转台台面；2—棱体；3—光管；4—光管支架

转台各测点角位置定位误差计算公式：

$$e_i = (d_i - d_1) - (b_i - b_1) - c_i \quad (19)$$

式中： b_i ——自准直仪第 i 测点的读数；

c_i ——棱体第 i 面与第 1 面的夹角；

d_i ——转台测角系统第 i 测点的数显读数；

$i=1, 2, \dots, n$ ；

n ——棱体面数；

e_i ——转台第 i 测点的误差值。

转台角位置定位误差取各校准点误差的最大值和最小值之差的 $\frac{1}{2}$ 作为校准结果，公式表示为：

$$E_\theta = \pm \frac{1}{2} [(e_i)_{\max} - (e_i)_{\min}] \quad (20)$$

转台角位置定位重复性计算公式：

$$\begin{aligned} f_i &= b_{i+1} - b_i \\ f'_i &= b'_{i+1} - b'_i \end{aligned} \quad (21)$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (f_i - f'_i)^2} \quad (22)$$

式中： b_i ——正方向自准直仪第 i 测点的读数；

b'_i ——反方向自准直仪第 i 测点的读数；

f_i ——正方向相邻测点读数值之差；

f'_i ——反方向相邻测点读数值之差；

$i=1, 2, \dots, n$ ；

n ——棱体面数；

Δ ——角位置定位重复性。

7.4 转台动态特性校准

将动态测量系统中的光栅安装在被测轴上，并使光栅与被测轴轴线重合，同轴度误差不大于 0.02 mm，安装调整光栅读数头，将其信号接入数据采集系统的输入通道，并转动被测轴，观测其信号是否正常。同时将被校转台的激励信号接入数据采集系统的

另一个通道。如图 5 所示。转台工作于角振动工作状态，使其按给定的频率 f 与幅值（角位移 A 、角速度 ν 和角加速度 ϵ ）进行振动，数据采集系统同步采集光栅读数头及转台的激励信号，计算光栅测量的角位移 A' 和相位 θ_1 及激励信号的相位 θ_2 。在其频率和幅值范围内，选取不少于 6 个测量点进行测量。每个测量点读取 3 个有效值，将 3 个有效值的平均值作为该点的测量值（角位移 A' 、角速度 ν' 和角加速度 ϵ' ）。

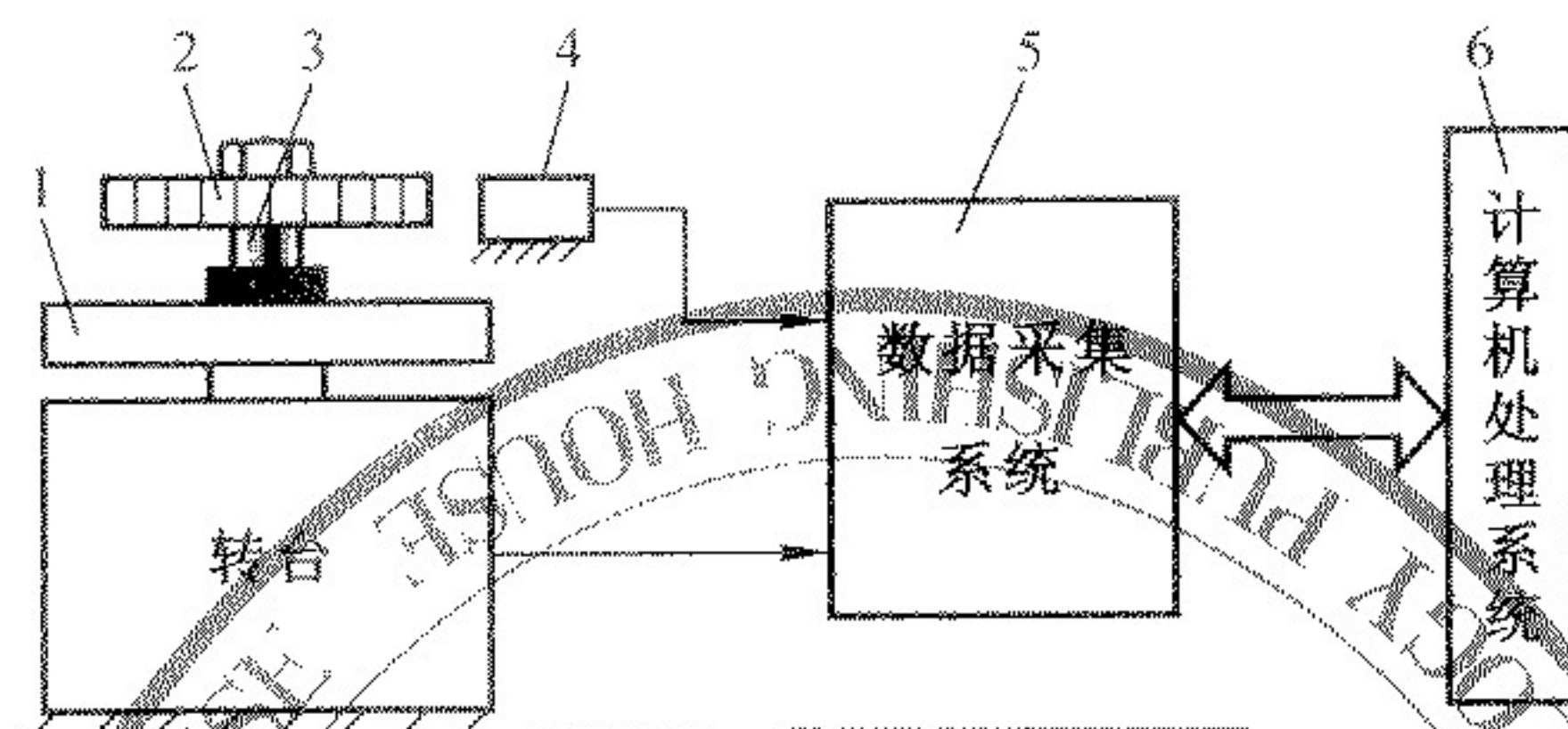


图 5 动态特性校准示意图

1—台面；2—光栅；3—芯轴；4—读数头；5—数据采集系统；6—计算机处理系统

$$\text{被校转台的角速度: } \nu = 2\pi f A' \quad (23)$$

$$\text{被校转台的角加速度: } \epsilon' = (2\pi f)^2 A' \quad (24)$$

$$\text{被校转台角位移幅值误差: } E_A = \frac{A - A'}{A'} \times 100\% \quad (25)$$

$$\text{被校转台相位误差: } \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (26)$$

7.5 两轴垂直度校准

参照 GJB 1801—1993《惯性技术测试设备主要性能试验方法》中的方法 103。

7.6 台面端跳校准

参照 JJF 1114—2004《光学、数显分度台校准规范》中 6.2 条校准方法。

7.7 台面平面度校准

参照 JJG 117—2005《平板》中 6.3.4 条检定方法。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告至少应包括以下信息：

- 标题，“校准证书”或“校准报告”；
- 实验室名称和地址；
- 证书或报告的编号，每页及总页数的标识；
- 校准单位校准专用章；
- 送校单位的名称和地址；
- 被校转台的名称、制造厂、型号规格、编号；
- 进行校准的日期；
- 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- i) 本次校准所用的测量标准的名称、出厂编号、准确度/等级、证书编号、溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境条件的描述,包括:温度、湿度等;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- l) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务,以及签发日期;
- m) 校准试验的操作人及核验人的签名;
- n) 校准结果仅对被校转台有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位可根据实际使用情况自主决定。

中华人民共和国
国家计量技术规范

低速转台校准规范

JJF 1210—2008

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

<http://www.zqjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1 字数13千字

2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷

印数1—2 000

统一书号 155026—2382 定价: 24.00元