



中华人民共和国国家计量检定规程



JJG 1066—2011

精密离心机

Precision Centrifuge

2011-04-12 发布

2011-07-12 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布



精密离心机检定规程

Verification Regulation
of Precision Centrifuge

JJG 1066—2011

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 4 月 12 日批准，并自 2011 年 7 月 12 日起施行。

归口单位：全国振动冲击转速计量技术委员会

主要起草单位：中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：中国兵器工业第二〇三研究所

中国工程物理研究院计量测试中心

本规程委托全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

董雪明（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

龙祖洪（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

熊 磊（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

欧阳恒（中国兵器工业第二〇三研究所）

武 强（中国工程物理研究院计量测试中心）

目 录

1 范围·····	(1)
2 引用文献·····	(1)
3 术语·····	(1)
4 概述·····	(1)
4.1 原理和结构·····	(1)
4.2 分类·····	(2)
4.3 用途·····	(2)
5 计量性能要求·····	(2)
5.1 主要性能·····	(2)
5.2 其他性能·····	(3)
6 通用技术要求·····	(3)
6.1 外观及附件要求·····	(3)
6.2 其他技术要求·····	(3)
7 计量器具控制·····	(3)
7.1 检定条件·····	(3)
7.2 检定项目·····	(4)
7.3 检定方法和数据处理·····	(5)
7.4 检定结果的处理·····	(11)
7.5 检定周期·····	(11)
附录 A 精密离心机其他性能的检测方法和数据处理 ·····	(12)
附录 B 离心机检定原始记录格式 (主要检定项目) ·····	(23)
附录 C 离心机检定原始记录格式 (可选项目) ·····	(26)
附录 D 检定证书内页格式 ·····	(29)
附录 E 检定结果通知书内页格式 ·····	(30)

精密离心机检定规程

1 范围

本规程适用于准确度等级 0.1 级~0.000 1 级精密离心机（以下简称离心机）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文献

GJB 585A—1998 惯性技术术语

GJB 1801—1993 惯性技术测试设备主要性能试验方法

JJF 1156—2006 振动 冲击 转速计量术语及定义

使用本规程时应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语

3.1 离心机回转轴线 axis of centrifuge rotation

离心机主轴绕其旋转的直线。

3.2 离心机回转平均轴线 axis average line of centrifuge

离心机回转轴线的几何中心线。

3.3 静态工作半径 static working radius

在静止状态下，离心机回转平均轴线至加速度计检测质量中心的距离。

3.4 工作半径动态变化量 dynamic change of working radius

离心机在工作状态下，相对静态工作半径的变化量。

3.5 静态俯仰失准角 static pitch misalignment

静止状态下被检定加速度计的输入轴在铅垂平面内相对离心机工作半径方向的偏角。

3.6 静态方位失准角 static azimuth misalignment

静止状态下被检定加速度计的输入轴在水平面内相对离心机工作半径方向的偏角。

3.7 主轴铅垂度误差 plumb error of main axis

离心机回转轴线平均线对当地铅垂线的角偏差。

3.8 不平衡晃动误差 sway error from unbalance

离心机旋转体因自身不平衡引起的主轴径向位移和角位移。

3.9 重力场校准装置 calibition equipment in gravity

利用重力加速度的分量作为标准加速度校准加速度计偏值、标度因数等性能参数的装置。

4 概述

4.1 原理和结构

4.1.1 离心机工作原理

在电机驱动下,工作平台(或悬臂)绕回转轴线旋转,当旋转角速率为 ω 时,离心机在工作半径为 R 处产生的向心加速度为: $a=\omega^2 R$,该向心加速度就是离心机复现的标准加速度。使用该标准加速度检定或校准加速度计时,需要考虑主轴铅垂度、失准角、导电滑环等影响。

4.1.2 离心机组成

离心机的组成包括绕回转轴转动的旋转体、稳速系统、加速度计安装定位及质心找正系统、静态及动态半径测量系统、失准角测量系统、数据采集与处理系统、环境监测系统等部分。其结构如图1所示。

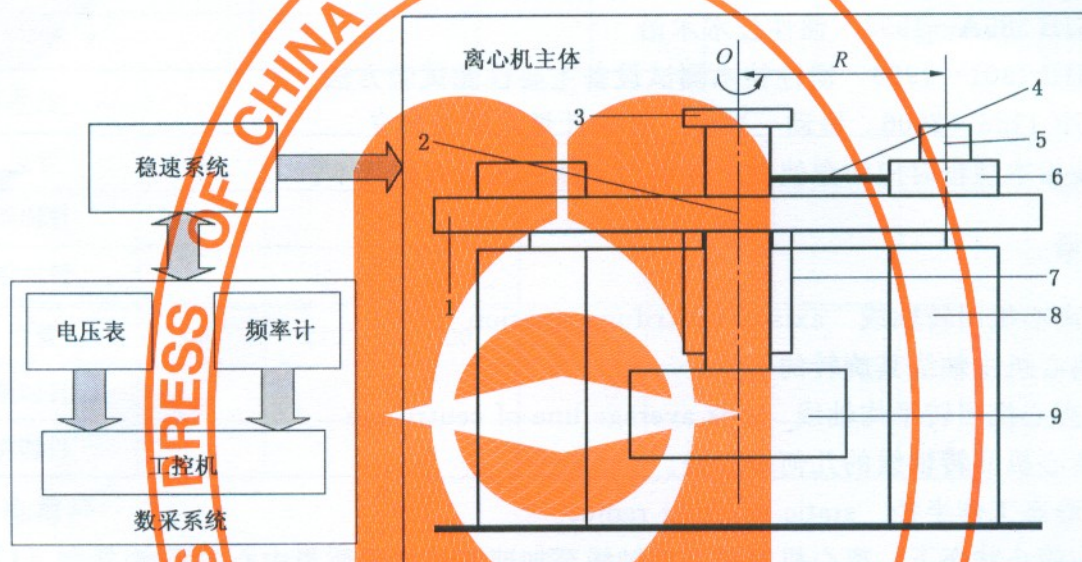


图1 离心机组成

1—回转平台(或回转悬臂); 2—主轴; 3—测速装置(光栅等); 4—工作半径动态变化量测量装置(电感测微仪等); 5—产品; 6—加速度计安装定位及质心找正装置; 7—静压轴承; 8—隔振基础; 9—驱动电机

4.2 分类

离心机按加速度测量不确定度分类如表1所示。

表1 离心机等级分类

离心机加速度测量不确定度	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
离心机准确度等级	0.1 级	0.01 级	0.001 级	0.000 1 级

4.3 用途

离心机主要用于对加速度计的线性度(非线性)、高次项系数(二阶、三阶等)、滞后误差、静态输入量程等性能指标的检定、校准或测试。也可对电子元器件、仪器、仪表等进行功能测试。

5 计量性能要求

5.1 主要性能

根据离心机准确度等级不同，主要性能要求如表 2 所示。

表 2 主要性能及要求

离心机准确度等级		0.1 级	0.01 级	0.001 级	0.000 1 级
工作半径合成标准不确定度		5×10^{-4}	5×10^{-5}	7×10^{-6}	7×10^{-7}
角速率示值误差		1×10^{-4}	1×10^{-5}	1×10^{-6}	2×10^{-7}
主轴铅垂度 (")		100	50	10	2
导电滑环	绝缘电阻	在电压为 500 V 时，应大于 200 M Ω			
	静态接触电阻	不大于 1 Ω	不大于 0.5 Ω	不大于 0.1 Ω	
	动态接触电阻变化量	不大于 200 m Ω	不大于 100 m Ω	不大于 50 m Ω	不大于 50 m Ω
静态俯仰失准角 (")		50	10	5	2.5
静态方位失准角 (")		100	50	10	5

5.2 其他性能

离心机的其他性能（包括主轴回转误差、不平衡晃动误差、离心机安装基础振动、加速度范围、工作台面噪声、工作台面磁场强度、工作台面水平度、最大工作负载、离心机加速度测量不确定度等），应满足生产厂家的出厂指标，具体检测方法参见附录 A。

6 通用技术要求

6.1 外观及附件要求

6.1.1 离心机应具有铭牌，表明装置的名称、型号、规格、出厂编号、制造厂家或研制单位等。

6.1.2 离心机系统应配套齐全、连接可靠，应备有使用和维护说明书以及保证其正确使用信息、通用标志和符号。

6.2 其他技术要求

离心机的生产厂家或研制单位应给出离心机系统的最大使用功率、安全电流、安装要求、隔振要求和最长工作时间等。

离心机系统应有应急处理系统，出现异常情况能够尽可能保护系统不受损坏（如急停装置），应有相应的过压、过流和过热等保护装置。

离心机应配备独立的控制系统，系统通电后应能正常运转。

7 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检查。

7.1 检定条件

7.1.1 检定环境条件

环境条件及其要求如下：

a) 环境温度：环境温度要求见表 3。

表3 环境温度要求

离心机准确度等级	0.1 级	0.01 级	0.001 级	0.000 1 级
环境温度	20 ℃±5 ℃	20 ℃±2 ℃	20 ℃±1 ℃	20 ℃±0.5 ℃

b) 相对湿度：30%~70%。

c) 实验室应有接地装置，接地电阻要求见表4。

表4 接地电阻要求

离心机准确度等级	0.1 级	0.01 级	0.001 级	0.000 1 级
接地电阻	不大于 5 Ω	不大于 2 Ω	不大于 1 Ω	不大于 0.5 Ω

d) 供电电源：AC 380 (1±10%) V，50 Hz，三相；
AC 220 (1±10%) V，50 Hz。

7.1.2 检定用仪器的技术要求

检定用仪器的技术要求如表5所示。

表5 检定用仪器、设备及指标要求

序号	名称	测量范围	技术指标*
1	精密量块	(0.5~1 000)mm	$U=0.05 \mu\text{m}+0.5\times 10^{-6}L$, $k=2.62$, L 为量块标称长度
2	电感(电容)测微仪	(0~100) μm	最大允许误差：±1%
3	频率计	0~100 MHz	最大允许误差：±5×10 ⁻⁷
4	电子水平仪	-0.5°~+0.5°	示值误差：0.2"
5	绝缘表(兆欧表)	0.01 MΩ~500 MΩ	±(2.5%×读数+5 字)
6	毫欧表	0.1 mΩ~1 kΩ	±(1.5×读数+60 字)/10 ⁵
7	接触电阻测量仪	0.1 mΩ~2 kΩ	优于 1 mΩ
8	双轴动态光电准直仪	X 轴：-300"~+300" Y 轴：-200"~+200"	示值误差： X 轴：±0.3" Y 轴：±0.5"
注：“*”项目中， k 值未给出时， $k=2$ 。			

7.2 检定项目

检定项目见表6。

表6 检定项目表

序号	检定项目		首次检定	后续检定	使用中检查
1	外观、附件和工作正常性		+	+	-
2	工作半径	静态工作半径	+	-	-
		工作半径动态变化量	+	+	+
3	角速率示值误差		+	+	+

表 6 (续)

序号	检定项目		首次检定	后续检定	使用中检查
4	主轴铅垂度		+	+	+
5	导电滑环	绝缘电阻	+	—	—
		接触电阻	+	+	—
		动态电阻变化量	+	+	+
6	失准角 ^[*]	静态俯仰失准角	+	+	—
		静态方位失准角	+	+	—
注 1：表中“+”表示必须检定的项目；“—”表示可不检的项目。					
注 2：[*]：0.1 级、0.01 级离心机可以不检“失准角”。					

7.3 检定方法和数据处理

7.3.1 外观及功能性检验

外观及功能性检验应满足第 6 章的要求。

7.3.2 工作半径的检定

离心机工作半径包括静态工作半径和工作半径动态变化量两部分, 应分别进行检定。

7.3.2.1 静态工作半径

a) 检定过程

采用经事先检定或校准的精密量块、基准环及电感(电容)测微仪分段测量离心机轴线平均线到加速度计安装定位装置(下称定位装置)轴线(或基准面)的距离 L , 见图 2、图 3。图中量块的数量依半径大小不同可选用 1~3 块, 当加速度计检测质量中心与定位装置轴线(或基准面)重合时, R_j 等于 L , 不重合时, R_j 为 L 与被校加速度计检测质量中心到定位装置轴线(或基准面)距离 l 的代数和。

即 $R_j = L$; 或 $R_j = L + l$ 。

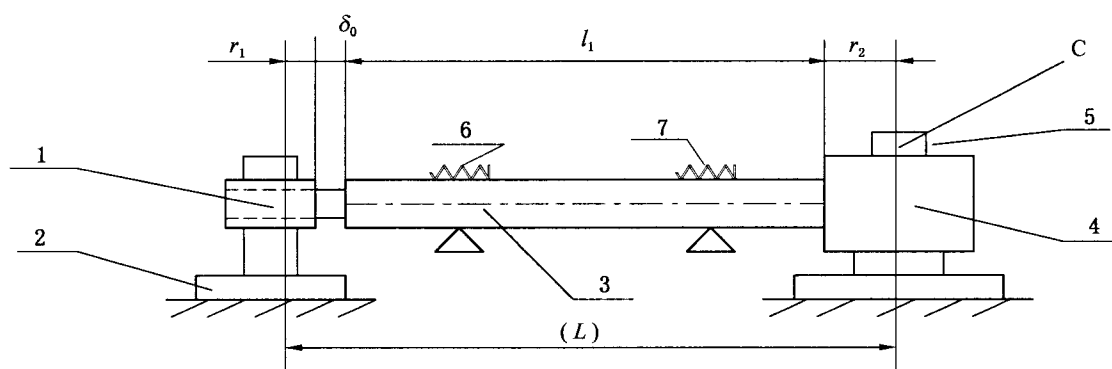


图 2 静态工作半径及其动态变化量测量原理图

1—测微仪；2—基准环（与离心机同轴）；3—精密量块；4—安装定位装置；5—被校加速度计；
6—静态压紧弹簧；7—动态压紧弹簧；C—被校加速度计检测质量中心

检定步骤如下：

- 1) 借助动态压紧弹簧使精密量块顶在安装定位装置的基准面上，电感（电容）测微仪触头顶在量块的左端面；
- 2) 摆动量块的一端，找到最小回转点，并调电感（电容）测微仪对零；
- 3) 松开动态压紧弹簧，借助静态压紧弹簧使量块左移，量块端推动测微仪直至顶到基准环上，记下电感（电容）测微仪输出 δ_0 ，记录格式见附录 B。

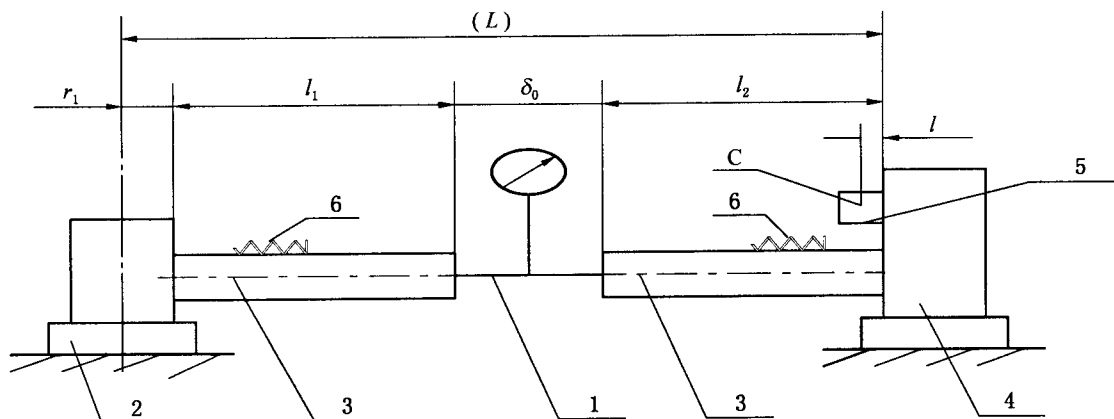


图3 静态工作半径测量原理图

1—测微仪；2—基准环（与离心机同轴）；3—精密量块；4—安装定位装置；
5—被校加速度计；6—压紧弹簧；C—被校加速度计检测质量中心

b) 数据处理

离心机静态工作半径按式（1）或式（2）计算。

对于图2所示装置：

$$R_j = L = r_1 + \delta_0 + l_1 + r_2 \quad (1)$$

式中： R_j ， L ——离心机静态工作半径，m；

r_1 ——基准环半径，m；

δ_0 ——离心机启动前电感（电容）测位仪实测的静态间隙，m；

l_1 ——精密量块的长度，m；

r_2 ——质心找正装置（安装定位装置）的半径，m。

对于图3所示装置：

$$R_j = L - l = (r_1 + \delta_0 + l_1 + l_2) - l \quad (2)$$

式中： l ——加速度计检测质量中心到定位装置轴线（或基准面）距离，m；

l_1 ， l_2 ——精密量块的长度，m。

7.3.2.2 工作半径动态变化量

a) 检定过程

- 1) 把电感（电容）测微仪及其配套装置安装固定在离心机上；
- 2) 启动离心机以给定的角速率旋转，并达到稳定；
- 3) 读取电感（电容）测微仪在离心机给定的角速率下的输出，采集10个数取算术平均值，记为 δ_i 。

b) 数据处理

工作半径动态变化量按式 (3) 计算。

$$R_d = \delta_i, \quad (3)$$

式中: R_d ——离心机工作半径动态变化量, m;

δ_i ——测微仪在离心机给定的角速率下的输出值, m。

7.3.2.3 工作半径的合成标准不确定度

离心机工作半径按式 (4) 计算。

$$R = R_j + R_d \quad (4)$$

式中: R ——离心机工作半径, m;

R_j ——离心机静态工作半径, m;

R_d ——离心机工作半径动态变化量, m。

工作半径的合成标准不确定度按式 (5) 计算。

$$u(R) = \sqrt{u(R_j)^2 + u(R_d)^2} \quad (5)$$

式中: $u(R)$ ——离心机工作半径合成标准不确定度;

$u(R_j)$ ——离心机静态工作半径测量不确定度;

$u(R_d)$ ——离心机工作半径动态变化量测量不确定度。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.3.3 角速率示值误差的检定

7.3.3.1 检定过程

在离心机工作角速率范围内选择 7 个以上的角速率点 (含最高及最低角速率点), 采用定角测时法测量, 角度间隔为 360° (离心机旋转一周), 测量步骤如下:

- 按 60 s 采样周期, 将定角信号接入频率计, 并设置频率计的采样时间及间隔。
- 启动和调整离心机角速率至待测角速率点达稳定运行状态。
- 连续记录频率计输出周期 10 次, 得到一组数, 记为 T_i ($i=1, 2, \dots, 10$)。
- 按选定的角速率点 (从第二个角速率点开始), 重复 a)、b)、c)。

7.3.3.2 数据处理

a) 角速率计算

平均周期按式 (6) 计算。

$$\overline{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (6)$$

式中: $\overline{T}$ ——测量周期的平均值, s;

T_i ——给定角速率点的测量周期, s;

n ——采样次数, $n=10$ 。

角速率按式 (7) 计算。

$$\omega = 2\pi \frac{1}{\overline{T}} \quad (7)$$

式中: ω ——角速率, rad/s。

b) 角速率示值误差计算

利用式 $T_{0j}=2\pi/\omega_j$ 计算给定角速率 ω_j ($j=1, 2, \dots$) 时理论周期 T_{0j} 。
角速率示值误差按式 (8) 计算。

$$\delta_{\omega_j} = \frac{|T_{0j} - \overline{T_j}|}{T_{0j}} \quad (8)$$

式中: δ_{ω_j} ——角速率为 ω_j 时的示值误差;

T_{0j} ——角速率为 ω_j 时的离心机转动一周所用时间的理论值;

$\overline{T_j}$ ——角速率为 ω_j 时的离心机转动一周测量时间的平均值。

取 δ_{ω_j} 中最大值作为角速率示值误差。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.3.4 主轴铅垂度的检定

7.3.4.1 检定过程

将电子水平仪放在离心机台面边缘 (或臂端小平板) 上, 按 $\varphi=360^\circ/n$ (n 可以取 8、10 或 12) 的角度间隔缓慢转动离心机, 顺、逆时针各一周, 依次记下离心机停在每个转角位置上水平仪的输出 N_{φ_i} (顺时针) 及 N'_{φ_i} (逆时针), $i=1, 2, \dots, n$, 记录格式见附录 B。

7.3.4.2 数据处理

离心机正反转到同一位置时, 水平仪输出的平均值按式 (9) 计算。

$$\overline{N}_{\varphi_i} = \frac{N_{\varphi_i} + N'_{\varphi_i}}{2} \quad (9)$$

式中: $\overline{N}_{\varphi_i}$ ——离心机正反转到同一位置时, 电子水平仪输出的平均值, mV;

N_{φ_i} ——离心机正转到第 i 个位置时, 电子水平仪输出的平均值, mV;

N'_{φ_i} ——离心机反转到正转时第 i 个位置时, 电子水平仪输出的平均值, mV。

在相差 180° 的转角位置上两 $\overline{N}_i$ 的差值按式 (10) 计算。

$$\Delta N = \overline{N}_{\varphi_i} - \overline{N}_{(\varphi_i+180)} \quad (10)$$

式中: ΔN ——在两组相差 180° 的转角位置上电子水平仪输出平均值的差值。

主轴铅垂度按式 (11) 计算。

$$\gamma = \frac{\Delta N_{j\max}}{2D} \quad (11)$$

式中: γ ——主轴铅垂度, rad;

$\Delta N_{j\max}$ ——在两组相差 180° 的转角位置上电子水平仪输出平均值的差值的最大值, mV;

D ——电子水平仪灵敏度, mV/rad。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.3.5 导电滑环的检定

7.3.5.1 绝缘电阻

用 500 V 兆欧表 (绝缘表) 测量各导电滑环之间、导电滑环与壳体之间的电阻值, 并记录。记录格式见附录 B。

选取各导电滑环之间绝缘电阻最小值作为导电滑环之间的绝缘电阻。

选取各导电滑环与壳体之间绝缘电阻最小值作为导电滑环与壳体之间的绝缘电阻。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.3.5.2 接触电阻

(1) 导电滑环静态接触电阻

将导电滑环在离心机转盘上的各环路端点短接在一起，在导电滑环的输出端选取两个环路接到接触电阻测量仪上，按 45° 间隔正反方向各一周，测量环路的接触电阻 R_{H-H_i} ($i=1, 2, \dots, 16$)，记录格式见附录 B。取最大值，减去引出导线的电阻，即为该环路的静态接触电阻值。

依次测量各环路的接触电阻，并按式 (12) 计算。

$$R_{H-H_c} = \frac{R_{H-H_m} - R_{H-H_0}}{2} \quad (12)$$

式中： R_{H-H_c} ——静态接触电阻；

R_{H-H_m} ——环路电阻最大值；

R_{H-H_0} ——引出导线电阻值。

检定结果应满足 5.1 的要求。

(2) 导电滑环接触电阻变化量

a) 检定过程

- 1) 在离心机工作台面的导电滑环引出端接线；
- 2) 把导电滑环另一引出端接线对应接到多路采集卡或多通道端子上；
- 3) 在离心机正常工作的角速率范围内，选择 5~10 个角速率点（必须包括离心机最低、最高工作角速率点）；
- 4) 以给定角速率点工作，在每个角速率点下用数字电压表测量导电滑环之间电阻，并记录，计为 R_{H-H_j} ($j=1, 2, \dots, n$, n 值与 3) 中选择的角速率点个数一致； $i=1, 2, \dots, 10$)；

5) 停止离心机。

6) 重复 1)、2)、3)、4)、5)，按上述方法，完成其余导电滑环检测。

b) 数据处理

1) 被测导电滑环在给定角速率下输出电阻平均值

按照被测导电滑环分别计算该导电滑环在不同角速率下的测量电阻平均值，并按式 (13) 计算。

$$\bar{R}_{H-H_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{H-H_i} \quad (13)$$

式中： $\bar{R}_{H-H_j}$ ——在给定角速率下两被测导电滑环之间的电阻值的平均值， Ω ；

R_{H-H_i} ——在给定角速率下两被测导电滑环之间的电阻值， Ω ；

n ——测量次数， $n=10$ 。

2) 被测导电滑环动态电阻变化量

在给定的角速率范围内，选择被测导电滑环电阻平均值的最大值和最小值，两者之差即为导电滑环接触电阻的动态变化量。

导电滑环动态电阻变化量按式 (14) 计算。

$$\Delta R_{H-H_c} = \bar{R}_{H-H_{\max}} - \bar{R}_{H-H_{\min}} \quad (14)$$

式中: ΔR_{H-H_c} ——被测导电滑环动态电阻变化量, Ω ;

$\bar{R}_{H-H_{\max}}$ ——在全部角速率范围内被测导电滑环电阻的平均值的最大值, Ω ;

$\bar{R}_{H-H_{\min}}$ ——在全部角速率范围内被测导电滑环电阻的平均值的最小值, Ω 。

3) 整个导电滑环的动态电阻变化量

取所有被测导电滑环动态电阻变化量的最大值作为整个导电滑环的动态电阻变化量。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.3.6 失准角的检定

失准角包括俯仰失准角和方位失准角。

7.3.6.1 静态俯仰失准角

按图 4 缓慢转动离心机一周, 记录双轴动态光电准直仪俯仰角输出的最大值 $V_{j\alpha_{\max}}$ 及最小值 $V_{j\alpha_{\min}}$, 记录格式见附录 B。

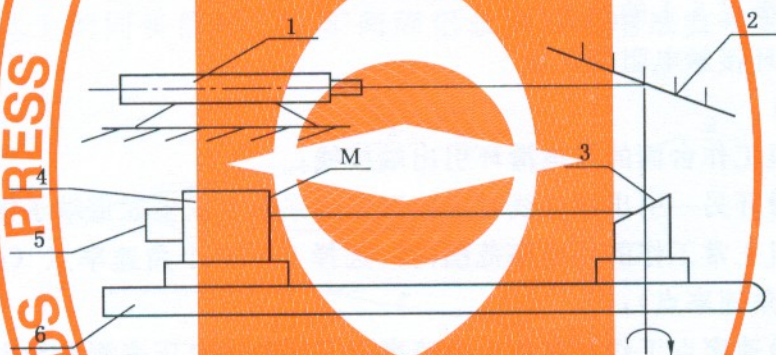


图 4 静、动态俯仰、方位失准角测量(准直法)原理图

1—双轴动态光电准直仪; 2—45°静反射镜; 3—45°动反射镜; 4—精密六面体;
5—加速度计; 6—离心机转盘(或悬臂); M—反射面

静态俯仰失准角按式 (15) 计算。

$$\alpha_j = 3\,600 \times \frac{180}{\pi} \times \frac{V_{j\alpha_{\max}} - V_{j\alpha_{\min}}}{2\lambda_\alpha} \quad (15)$$

式中: α_j ——静态俯仰失准角, '';

$V_{j\alpha_{\max}}$ ——双轴光电准直仪俯仰角输出最大值, mV;

$V_{j\alpha_{\min}}$ ——双轴光电准直仪俯仰角输出最小值, mV;

λ_α ——双轴光电准直仪俯仰角灵敏度, mV/rad。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.3.6.2 静态方位失准角

同 7.3.6.1, 记录双轴动态光电准直仪方位角输出的最大值 $V_{j\beta_{\max}}$ 及最小值 $V_{j\beta_{\min}}$, 记录格式见附录 B。

静态方位失准角按式 (16) 计算。

$$\beta_j = 3\,600 \times \frac{180}{\pi} \times \frac{V_{j\beta_{\max}} - V_{j\beta_{\min}}}{2\lambda_\beta} \quad (16)$$

式中： β ——静态方位失准角，°；

$V_{i\beta_{\max}}$ ——双轴光电准直仪方位角输出最大值，mV；

$V_{i\beta_{\min}}$ ——双轴光电准直仪方位角输出最小值，mV；

λ_{β} ——双轴光电准直仪方位角灵敏度，mV/rad。

检定结果应满足 5.1 的要求。

7.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的离心机发给检定证书，检定证书内页格式见附录 D；经检定不符合本规程要求的发给检定结果通知书（内页格式见附录 E），并应注明不合格项。

7.5 检定周期

离心机的检定周期为 1 年。

附录 A

精密离心机其他性能的检测方法和数据处理

A.1 主轴回转误差

主轴回转误差包括倾角回转误差和径向回转误差，应分别进行检测。

A.1.1 倾角回转误差

如图 A.1 所示，利用光学自准直原理测量回转轴线的倾角回转误差。在工作台面或加速度计安装面，安装可调平面镜自准直仪，和被测轴机座放在同一基础上，通过五棱镜对准平面镜。

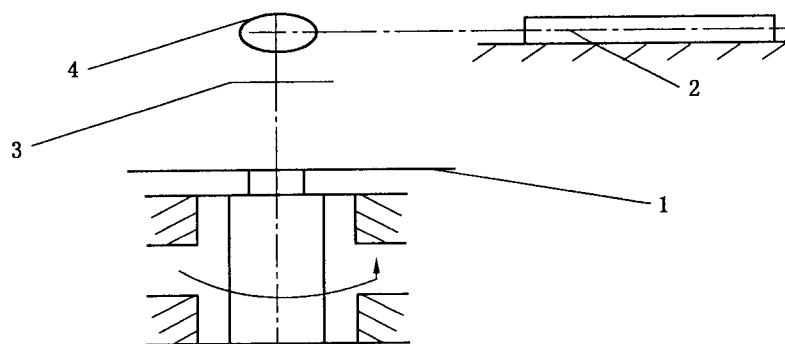


图 A.1 光学自准直原理测量倾角回转误差原理图

1—被测面；2—光电自准直仪；3—硅油盘；4—五棱镜

旋转被测轴，调整平面镜，使平面镜与主轴回转中心线垂直度小于 $10''$ ；被测轴按 5° 间隔旋转一周，被测轴角位置 $\theta_i = i \times 5^\circ$ ， $i = 1, 2, \dots, 72$ 。记录被测轴在各相应角位置上自准直仪的读数 W_{x_i} ， W_{y_i} 。

测量值 W_{x_i} ， W_{y_i} 是被测轴角位置 $\theta_i = \omega t$ 的周期函数。将其展开成傅氏级数，扣除自准直仪零位和平面镜与主轴不垂直度引起的零次和一次谐波分量，得倾角回转误差的两个垂直分量 ΔW_{x_i} ， W_{y_i} ，合成得 ΔW_i 。

按以下步骤进行：

a) 傅氏级数展开

按式 (A.1) 进行傅氏级数展开。

$$W_{x_i} = \frac{a_{x_0}}{2} + a_{x_1} \cos \omega t + b_{x_1} \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_{x_k} \cos k\omega t + b_{x_k} \sin k\omega t) \quad (\text{A.1})$$

式中： W_{x_i} ——X 向双轴光电准直仪的测量值；

a_{x_0} ——X 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数；

a_{x_1} ， b_{x_1} ——X 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数；

k —— $k=2, \dots, n$ ，为谐波次数， n 一般为 5；

a_{x_k} ， b_{x_k} ——X 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

按式 (A.2) 进行傅氏级数展开。

$$W_{y_i} = \frac{a_{y_0}}{2} + a_{y_1} \cos \omega t + b_{y_1} \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_{y_k} \cos k\omega t + b_{y_k} \sin k\omega t) \quad (\text{A. 2})$$

式中： W_{y_i} ——Y 向双轴光电准直仪的测量值；

a_{y_0} ——Y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数；

a_{y_1} , b_{y_1} ——Y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数；

a_{y_k} , b_{y_k} ——Y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

X 向零次项谐波系数 a_{x_0} 按式 (A. 3) 计算。

$$a_{x_0} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{x_i} \quad (\text{A. 3})$$

X 向一次项谐波系数 a_{x_1} 按式 (A. 4) 计算。

$$a_{x_1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{x_i} \cos \theta_i \quad (\text{A. 4})$$

X 向一次项谐波系数 b_{x_1} 按式 (A. 5) 计算。

$$b_{x_1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{x_i} \sin \theta_i \quad (\text{A. 5})$$

Y 向零次项谐波系数 a_{y_0} 按式 (A. 6) 计算。

$$a_{y_0} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{y_i} \quad (\text{A. 6})$$

Y 向一次项谐波系数 a_{y_1} 按式 (A. 7) 计算。

$$a_{y_1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{y_i} \cos \theta_i \quad (\text{A. 7})$$

Y 向一次项谐波系数 b_{y_1} 按式 (A. 8) 计算。

$$b_{y_1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{y_i} \sin \theta_i \quad (\text{A. 8})$$

b) 扣除安装误差，从傅氏级数中扣除自准直仪零位和平面镜与主轴不垂直度引起的零次和一次谐波分量，得倾角回转误差的两个垂直分量 ΔW_{x_i} 、 ΔW_{y_i} 。

倾角回转误差的两个垂直分量 ΔW_{x_i} 、 ΔW_{y_i} 按式 (A. 9)、式 (A. 10) 计算。

$$\Delta W_{x_i} = W_{x_i} - \frac{a_{x_0}}{2} - a_{x_1} \cos \theta_i - b_{x_1} \sin \theta_i \quad (\text{A. 9})$$

式中： ΔW_{x_i} ——倾角回转误差的垂直分量。

$$\Delta W_{y_i} = W_{y_i} - \frac{a_{y_0}}{2} - a_{y_1} \cos \theta_i - b_{y_1} \sin \theta_i \quad (\text{A. 10})$$

式中： ΔW_{y_i} ——倾角回转误差的垂直分量。

c) 倾角回转误差计算

倾角回转误差按式 (A. 11) 计算。

$$\Delta W_i = \sqrt{\Delta W_{x_i}^2 + \Delta W_{y_i}^2} \quad (\text{A. 11})$$

式中： ΔW_i ——倾角回转误差。

取 ΔW_i 中绝对值最大值为倾角回转误差。

A. 1.2 径向回转误差

如图 A.2 所示, 利用电容 (电感) 测微仪测量回转轴线的径向回转误差。将两台电容 (电感) 测微仪在水平面内相互垂直地安装在被测轴机座上, 在主轴端面上安装带座标准钢球。被测轴按 5° 间隔旋转一周, 被测轴角位置 $\theta_i = i \times 5^\circ$, $i = 1, 2, \dots, 72$ 。记录被测轴在各相应角位置上两台电容 (电感) 的读数 W_{x_i} , W_{y_i} 。

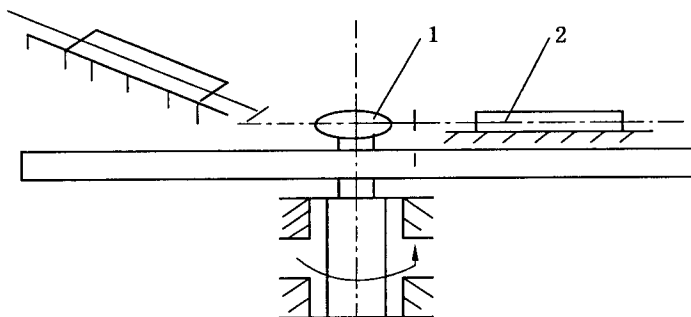


图 A.2 主轴径向回转误差测量

1—标准钢球；2—电容测微仪

数据处理同倾角回转误差。

A.2 不平衡晃动误差

不平衡晃动误差包括整机晃动误差和主轴径向振动以及主轴角振动三部分, 应分别进行检测。

A.2.1 整机晃动误差

根据结构分析及试验, 把离心机整机晃动最大处定为测试点, 并按图 A.3 所示位置安装电容测微仪。同时安装同步信号发生器, 确定起始位置 t_0 。按选定的角速率点转动离心机, 采集同步信号 t_0 , 并按 5° 间隔记录电容测微仪的输出 D_i 。

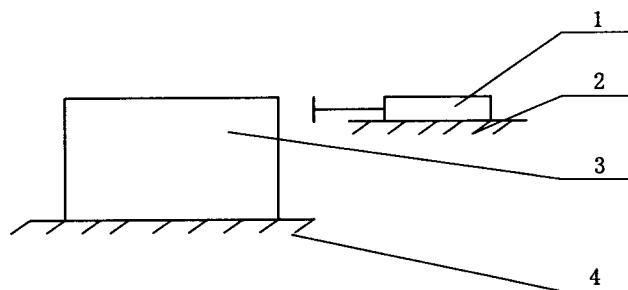


图 A.3 整机晃动测量原理图

1—电容测微仪；2—安装基础；3—离心机；4—机座

测试点的线振动为离心机轴转角 $\theta = \omega t$ 的周期函数。将 D_i 展开成傅氏级数, 如式 (A.12) 所示, 其一次分量即为整机晃动误差。

$$D_i = a_0 + a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_k \cos k \omega t + b_k \sin k \omega t) \quad (\text{A.12})$$

式中: D_i ——电容测微仪的输出;

a_0 ——电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数;

a_1, b_1 ——电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数;

a_k, b_k ——电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

按 A.1.1 方法计算一次项谐波系数 a_1, b_1 。

整机晃动误差按式 (A.13) 计算。

$$D = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad (\text{A.13})$$

式中: D ——整机晃动误差。

A.2.2 主轴径向振动

a) 如图 A.4 所示, 将标准钢球装到离心机主轴端部, 使球心与主轴回转中心线重合。两台电容测微仪在水平面内成直角安装到基座上, 分别在 x 、 y 两个方向对准钢球。

b) 启动控制程序, 按选定的角速率点转动离心机。

c) 利用 A.2.1 的同步信号, 按 5° 间隔记录 x 、 y 向电容测微仪的输出 r_{x_i} 、 r_{y_i} 。

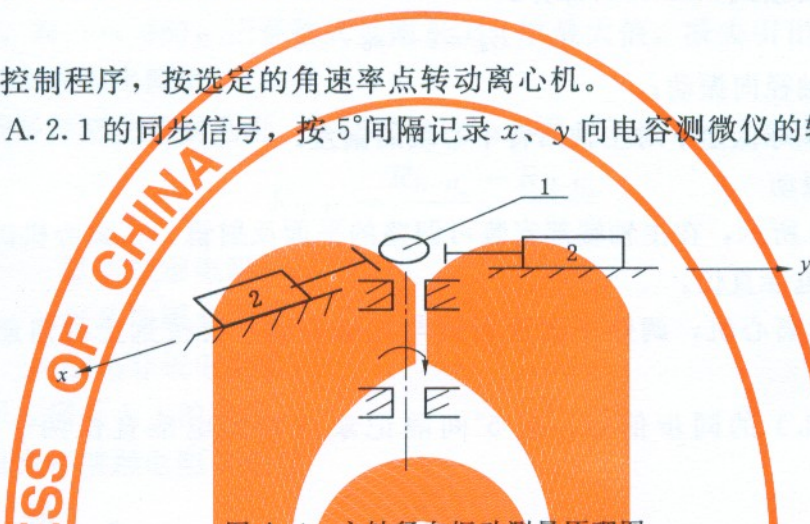


图 A.4 主轴径向振动测量原理图

1—标准钢球; 2—电容测微仪

r_{x_i} 、 r_{y_i} 是被测轴转角位置 $\theta = \omega t$ 的周期函数, 可展开成傅氏级数如式 (A.14)、式 (A.15)。

$$r_{x_i} = a_{x_0} + a_{x_1} \cos \omega t + b_{x_1} \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_{x_k} \cos k \omega t + b_{x_k} \sin k \omega t) \quad (\text{A.14})$$

式中: r_{x_i} —— x 向电容测微仪的测量值;

a_{x_0} —— x 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数;

a_{x_1} —— x 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数;

b_{x_1} —— x 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数;

k ——谐波次数;

a_{x_k} —— x 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数;

b_{x_k} —— x 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

$$r_{y_i} = a_{y_0} + a_{y_1} \cos \omega t + b_{y_1} \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_{y_k} \cos k \omega t + b_{y_k} \sin k \omega t) \quad (\text{A.15})$$

式中: r_{y_i} —— y 向电容测微仪的测量值;

a_{y_0} —— y 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数;

a_{y_1} —— y 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数;

b_{y_1} —— y 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数;

a_{y_k} —— y 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数;

b_{y_k} —— y 向电容测微仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

按 A.1.1 方法计算一次项谐波系数 a_{x_1} 、 b_{x_1} 、 a_{y_1} 、 b_{y_1} ， x 向傅氏级数展开式一次分量 a_x ， y 向傅氏级数展开式一次分量 a_y 。

x 、 y 向傅氏级数展开式一次分量按式 (A.16) 合成。

$$e = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (\text{A.16})$$

式中： e —— x 、 y 向傅氏级数展开式一次分量。

主轴径向振动按式 (A.17) 计算。

$$E_d = e - e_0 \quad (\text{A.17})$$

式中： E_d ——主轴径向振动；

e_0 ——标准球低速下对主轴回转中心线的偏差。

A.2.3 主轴角振动

a) 如图 A.5 所示，在主轴端部安装可调整的平面反射镜，在离心机的同一基础上水平安装双轴光电准直仪。

b) 缓慢转动离心机，调整平面反射镜与光轴垂直，再按选定的角速率点转动离心机。

c) 利用 A.2.1 的同步信号，按 5° 间隔记录双轴光电准直仪两个方向的输出 w_{x_i} 、 w_{y_i} 。

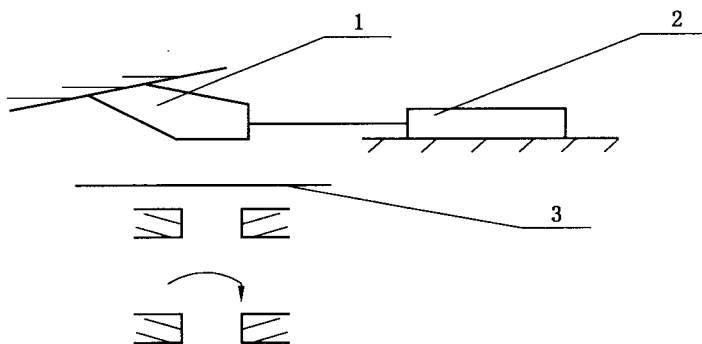


图 A.5 主轴角振动测量原理图

1—五棱镜；2—双轴光电准直仪；3—平面反射镜

w_{x_i} 、 w_{y_i} 是被测轴转角位置 $\theta = \omega t$ 的周期函数，可展开成傅氏级数如式 (A.18)、式 (A.19)。

$$w_{x_i} = a_{x_0} + a_{x_1} \cos \omega t + b_{x_1} \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_{x_k} \cos k \omega t + b_{x_k} \sin k \omega t) \quad (\text{A.18})$$

式中： w_{x_i} —— x 向双轴光电准直仪的测量值；

a_{x_0} —— x 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数；

a_{x_1} —— x 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数；

b_{x_1} —— x 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数；

a_{x_k} —— x 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数；

b_{x_k} —— x 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

$$w_{y_i} = a_{y_0} + a_{y_1} \cos \omega t + b_{y_1} \sin \omega t + \sum_{k=2}^n (a_{y_k} \cos k \omega t + b_{y_k} \sin k \omega t) \quad (\text{A.19})$$

式中： w_{y_i} —— y 向双轴光电准直仪的测量值；

a_{y_0} —— y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式零次项谐波系数；

a_{y_1} —— y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数；

b_{y_1} —— y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式一次项谐波系数；

a_{y_k} —— y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数；

b_{y_k} —— y 向双轴光电准直仪的测量值的傅氏级数展开式 k 次项谐波系数。

x 向一次项谐波系数按式 (A. 20) 合成。

$$a_x = \sqrt{a_{x_1}^2 + b_{x_1}^2} \quad (\text{A. 20})$$

式中： a_x —— x 向傅氏级数展开式一次分量。

y 向一次项谐波系数按式 (A. 21) 合成。

$$a_y = \sqrt{a_{y_1}^2 + b_{y_1}^2} \quad (\text{A. 21})$$

式中： a_y —— y 向傅氏级数展开式一次分量。

x 、 y 向傅氏级数展开式一次分量按式 (A. 22) 合成。

$$w_i = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (\text{A. 22})$$

式中： w_i —— x 、 y 向傅氏级数展开式一次分量。

主轴角振动按式 (A. 23) 计算。

$$\phi_d = \Delta w = w_i - w_0 \quad (\text{A. 23})$$

式中： ϕ_d ——主轴角振动；

w_0 ——低速下的主轴倾角及平面镜与主轴回转中心线垂直误差的和。

A. 3 离心机安装基础振动

A. 3.1 线振动

将 3 个加速度计按 X 、 Y 、 Z 三个正交轴方向安装到离心机隔振基础上。按图 A. 6 连接检测仪器。

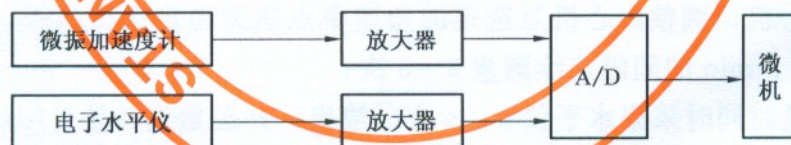


图 A. 6 隔离基础振动测量原理图

a) 调整加速度计至工作状态；

b) 选定放大倍数，接通放大器电源；

c) 将测试软件装入微机，进入测量状态；

d) 在静止状态下以每小时为间隔连续测量 72 次，每次同时采集三个方向的加速度计的输出，取样时间 6 s，采样数 1 K；

e) 启动离心机，调整离心机至选定的角速率点达到稳定运行状态，然后在选定的工作角速率下以 5 min 的间隔连续测量 3~5 次。每次采集方法和要求同“d)”；

f) 用傅立叶变换进行谱分析，得到每次测量在三个方向上的功率谱图。

x 、 y 、 z 向的线振动计算：

由打印记录的 72 组 x 、 y 、 z 三个方向的功率谱，可得到每一个功率谱上一系列分布在 $0 \sim 30$ Hz 之间的功率谱估计数，分别求其均方根 A_{x_i} 、 A_{y_i} 、 A_{z_i} ，并按式 (A. 24)、式 (A. 25)、式 (A. 26) 计算其静态及动态下的平均值。

$$A_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{x_i} \quad (\text{A. 24})$$

式中： A_x —— x 方向功率谱估计数均方根的平均值；

A_{x_i} —— x 方向功率谱估计数均方根。

$$A_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{y_i} \quad (\text{A. 25})$$

式中： A_y —— y 方向功率谱估计数均方根的平均值；

A_{y_i} —— y 方向功率谱估计数均方根。

$$A_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{z_i} \quad (\text{A. 26})$$

式中： A_z —— z 方向功率谱估计数均方根的平均值；

A_{z_i} —— z 方向功率谱估计数均方根。

A_x 、 A_y 、 A_z 应分别小于或等于隔振基础在 x 、 y 、 z 三方向允许的线振动。

A. 3.2 角振动检测

将电子水平仪的 x 、 y 向按 X 、 Y 方向安装在离心机隔振基础上。按图 A. 6 连接检测仪器。

检测步骤如下：

a) 调整电子水平仪至工作状态；

b) 选定放大倍数，接通放大器电源；

c) 将测试软件装入微机，进入测量状态；

d) 在静止状态下以每小时为间隔连续测量 72 次；

e) 启动离心机，调整离心机至选定的角速率点达到稳定运行状态，然后在选定的工作角速率下以 5 min 的间隔连续测量 3~5 次；

f) 每次测量时同时采集水平仪 x 、 y 方向输出，并经量值转换打印记录 ψ_{x_i} 、 ψ_{y_i} 。

数据处理：

x 、 y 向的角振动按式 (A. 27)、(A. 28) 计算。

$$\psi_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \psi_{x_i} \quad (\text{A. 27})$$

式中： ψ_x ——水平仪 x 方向输出值的平均值；

ψ_{x_i} ——水平仪 x 方向输出值；

n ——测量次数，静止状态 $n=72$ ，运动状态 $n=3$ 、4 或 5。

$$\psi_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \psi_{y_i} \quad (\text{A. 28})$$

式中： ψ_y ——水平仪 y 方向输出值的平均值；

ψ_{y_i} ——水平仪 y 方向输出值。

ϕ_x 、 ϕ_y 应分别小于或等于隔振基础在 x 、 y 方向允许的角振动。

A.4 工作台面噪声

分别测量直流和交流噪声，测量步骤如下：

- a) 给离心机各系统通电，所有系统处于正常工作状态（离心机未旋转）。
- b) 选择离心机所有可用工作台面、导电滑环接线端作为测量点。
- c) 利用示波器测量 b) 中各点的电噪声。
- d) 启动离心机以最高角速率旋转，用示波器测量导电滑环接线端的电噪声。

A.5 工作台面磁场强度

- a) 给离心机各系统通电，所有系统处于正常工作状态（离心机未旋转）。
- b) 选择离心机所有可用工作台面、导电滑环接线端、主轴附近等作为测量点。
- c) 利用特斯拉计测量 b) 中各点的磁场强度。
- d) 按照特斯拉计与测量点的距离（高度）分几段（根据被测件安装位置高度分段，如 10 mm、20 mm、30 mm 等）进行测量，重复 c)，并分别记录。

选择测量数据中最大值作为离心机工作台面磁场强度。

A.6 工作台面水平度

- a) 将两台电子水平仪调整到绝对零位；
- b) 将两台电子水平仪垂直放在工作台面底座上，稳定后读取两台电子水平仪显示值，按等间隔 i ($i=360/n$, $n=4, 6, 8$) 顺时针人工转动离心机转盘（或悬臂），分别记录各位置两台电子水平仪的显示值；
- c) 按等间隔 i ($i=360/n$, $n=4, 6, 8$) 逆时针人工转动离心机转盘（或悬臂），分别记录各位置两台电子水平仪的显示值；
- d) 重复 b)、c) 3 次。

在测量数据中选取两台电子水平仪 3 次测量读数的最大值和最小值，两者的差值即为工作台面平面度。

A.7 最大工作负载

在离心机工作角速率范围内选择 3~5 个角速率点（最低、最高角速率点必须选择）。根据离心机生产厂家给出的负载能力，选择合适配重物分别安装在离心机工作台面的两端（必须等重对称安装）。启动控制程序，控制离心机以选定的角速率分别运转。如果离心机在加载情况下的角速率测量不确定度满足指标要求，则可以给出离心机的最大负载；否则，减小负载，重复上述过程，直到满足角速率测量不确定度要求，此时离心机所加负载就是离心机最大工作负载。

A.8 加速度计质心找正装置

如图 A.7 所示，加速度计安装在调心装置的微位移机构上，输入轴沿调心装置转子半径方向安装。离心机起转前转子从 (0~300) r/min 逐级升速，在每一级角速率下，加速度计借助微位移机构沿半径方向移动，直至其输出接近或等于零位值，转子停转，微位移机构锁紧定位。此时，调心装置自转轴的轴线平均线即是加速度计的检测质量中心位置。

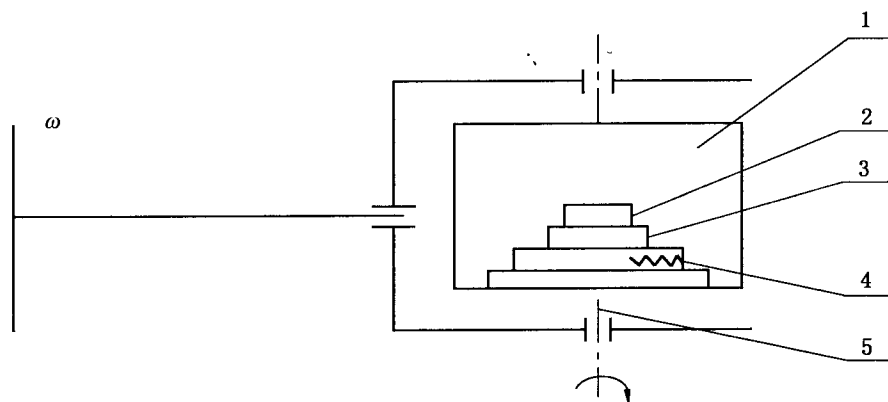


图 A.7 加速度计检测质量中心测量原理图

1—加速度计调心装置；2—加速度计；3—安装定位装置；4—微位移机构；5—调心装置自转轴
检测质量中心的检测标准差按式（A.29）计算。

$$\Delta_r = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2} \quad (\text{A.29})$$

式中： δ_1 ——加速度计零位稳定性引起的调心标准差， μm ；

δ_2 ——方法原理引起的标准差， μm ；

δ_3 ——质心找正装置自转轴回转标准差， μm ；

δ_4 ——转子不平衡引起的晃动标准差， μm ；

δ_5 ——微位移机构的锁紧定位标准差， μm 。

Δ_r 应小于或等于允许的检测质量中心位置标准差。

A.9 加速度范围

A.9.1 最小加速度

a) 选择离心机的名义工作半径作为工作半径 R_0 ，取离心机生产厂家给出的最小加速度 $a_{\min}$ ，利用公式 $\omega_{\min} = \left(\frac{a_{\min}}{R_0}\right)^{\frac{1}{2}}$ 计算出此时的角速率。

b) 启动离心机以角速率 $\omega_{\min}$ 运转，并稳定。

c) 利用定角测时法测量一组数据，检测方法同 7.3.3.1。

数据处理方法同 7.3.3.2。

如果处理结果达到离心机角速率测量不确定度要求，则 $a_{\min}$ 即为该离心机的最小加速度。否则，增大 $a_{\min}$ ，重复 7.3.3.1 过程，直到满足要求为止，此时离心机的最小加速度为 $a_{\min}$ 与增量之和。

A.9.2 最大加速度

a) 选择离心机的名义工作半径作为工作半径 R_0 ，取离心机生产厂家给出的最大加速度 $a_{\max}$ ，利用公式 $\omega_{\max} = \left(\frac{a_{\max}}{R_0}\right)^{\frac{1}{2}}$ 计算出此时的角速率。

b) 启动离心机以角速率 $\omega_{\max}$ 运转，并稳定。

c) 利用定角测时法测量一组数据，检测方法同 7.3.3.1。

数据处理方法同 7.3.3.2。

如果处理结果达到离心机角速率测量不确定度要求，则 $a_{\max}$ 即为该离心机的最大加

速度。否则，减小 $a_{\max}$ ，重复 7.3.3.1 过程，直到满足要求为止，此时离心机的最大加速度为 $a_{\max}$ 与减小量之差。

A.10 离心机加速度测量不确定度

离心机加速度测量不确定度按以下步骤进行：

a) 工作半径

选择 7.3.2.1 和 7.3.2.2 中方法检测离心机的静态工作半径和工作半径动态变化量。

b) 角速率

选择 7.3.3 中方法检测离心机的角速率。

c) 主轴铅垂度

选择 7.3.4 中方法检测离心机的主轴铅垂度。

d) 失准角

选择 7.3.6.1 和 7.3.6.2 中方法检测离心机的失准角。

e) 需修正的附加加速度，根据离心机的测量不确定度等级，在以下干扰加速度中考虑：

- 1) 主轴回转误差产生的径向加速度及引入的重力分量 i_1 ；
- 2) 不平衡晃动误差产生的径向加速度及引入的重力分量 i_2 ；
- 3) 隔振基础的线振动及因角振动引入的重力分量 i_3 ；
- 4) 地球自转引起的哥氏附加加速度 i_4 ；
- 5) 地球潮汐引起的暂时性重力变化 i_5 ；
- 6) 空间引力场（主要是月球引力） i_6 。

根据离心机的工作原理，并考虑到加速度计输入轴与水平面的夹角所引入的重力场分量，它产生的加速度可按式 (A.30) 计算。

$$a = \bar{\omega}^2 \cdot (R_j + R_d) \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta + g \cdot \sin\alpha + g \cdot \sin\gamma \cdot \sin(\bar{\omega}t + \Phi) + \Delta a_i \quad (\text{A.30})$$

式中： $\bar{\omega}$ ——离心机的平均角速率，rad/s；

R_j ——离心机的静态工作半径，m；

R_d ——离心机的工作半径动态变化量，m；

α ——俯仰失准角，rad；

β ——方位失准角，rad；

γ ——主轴回转铅垂度，rad；

Φ ——安装初始角，rad；

Δa_i ——各种附加加速度的未定系统误差及随机误差，m/s²；

g ——本地重力加速度，m/s²。

离心机加速度合成标准不确定度按式 (A.31) 计算。

$$\begin{aligned} u_c^2(a) = & (\bar{\omega}^2 \cos\beta \cdot \cos\alpha)^2 u_c^2(R) \\ & + [2\bar{\omega}R \cos\alpha \cdot \cos\beta + g \sin\gamma \cdot \cos(\bar{\omega}t)]^2 u_c^2(\bar{\omega}) \\ & + (-\bar{\omega}^2 R \cos\alpha \cdot \sin\beta)^2 u_c^2(\beta) \\ & + (-\bar{\omega}^2 R \cos\beta \cdot \sin\alpha + g \cos\alpha)^2 u_c^2(\alpha) \\ & + [g \cos\gamma \cdot \sin(\bar{\omega}t + \Phi)]^2 u_c^2(\gamma) \end{aligned} \quad (\text{A.31})$$

式中： $u_c(a)$ ——离心机向心加速度测量不确定度；

R ——离心机工作半径， $R=R_j+R_d$ ；

$u_c(R)$ ——离心机工作半径测量不确定度；

$u_c(\omega)$ ——离心机角速率测量不确定度；

$u_c(\alpha)$ ——离心机俯仰失准角测量不确定度；

$u_c(\beta)$ ——离心机方位失准角测量不确定度；

$u_c(\gamma)$ ——离心机主轴铅垂度测量不确定度。

加速度计离心试验时，沿输入轴的加速度除离心机的向心加速度外，还有各种附加加速度，须在数据处理中根据需要予以修正，修正后离心机加速度的合成标准不确定度按式（A.32）计算。

$$u_{r_a} = \sqrt{(u_r)^2 + \frac{1}{A^2} \sum_{j=1}^n (\sigma_{a_j}^2)} \quad (\text{A. 32})$$

式中： u_{r_a} ——离心机系统加速度的测量不确定度；

u_r ——离心机向心加速度的相对不确定度；

σ_{a_j} ——精密离心试验时沿加速度计输入轴的各种附加加速度的未定系统误差及随机误差， m/s^2 ；

A ——离心机向心加速度， m/s^2 。

附录 B

离心机检定原始记录格式 (主要检定项目)

1. 工作半径

(1) 静态工作半径:

基准环半径: _____ m

精密量块 1 长度: _____ m

精密量块 2 长度: _____ m

精密量块 3 长度: _____ m

质心找正装置半径: _____ m

静态间隙测试结果:

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
电感测微仪读数 (μm)											

(2) 工作半径动态变化量 (最大值):

角速率	次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值

(3) 工作半径合成标准不确定度:

2. 角速率

角速率	次数	频率计输出 (s)										平均值
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

角速率示值误差: _____

3. 失准角

(1) 静态俯仰失准角

测量次数	测量值 (")							
1								
2								

(2) 静态方位失准角

测量次数	测量值 (")							
1								
2								

4. 铅垂度

位置	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°
顺时针								
逆时针								
位置	240°	270°	300°	330°				
顺时针								
逆时针								

5. 导电滑环

(1) 绝缘电阻

环与环

不合格:

合格最小值:

环与壳体

不合格:

合格最小值:

(2) 接触电阻

测量次数	测量值 (Ω)							
	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环
1								
2								
3								
4								
5								

(3) 动态电阻变化量

角速率	测量值 (Ω)							
	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环	环 环
最小角速率								
最大角速率								



附录 C

离心机检定原始记录格式（可选项目）

1. 工作台面噪声

测量次数	测量值 (dB)							
1								
2								

2. 工作台面磁场强度

测量次数	测量值 (mT)							
1								
2								

3. 工作台面平行度

测量次数	测量值 (")							
1								
2								

4. 最大工作负载

5. 主轴回转误差

(1) 倾角回转误差

位 置	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
顺时针								
逆时针								
位 置	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
顺时针								
逆时针								
位 置	80°	85°	90°	95°	100°	105°	110°	115°
顺时针								
逆时针								
位 置	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°
顺时针								
逆时针								

表 (续)

位 置	160°	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°
顺时针								
逆时针								
位 置	200°	205°	210°	215°	220°	225°	230°	235°
顺时针								
逆时针								
位 置	240°	245°	250°	255°	260°	265°	270°	275°
顺时针								
逆时针								
位 置	280°	285°	290°	295°	300°	305°	310°	315°
顺时针								
逆时针								
位 置	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°
顺时针								
逆时针								

(2) 径向回转误差

位 置		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		80°	85°	90°	95°	100°	105°	110°	115°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								

表 (续)

位 置	160°	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°
顺时针								
逆时针								
位 置	200°	205°	210°	215°	220°	225°	230°	235°
顺时针								
逆时针								
位 置	240°	245°	250°	255°	260°	265°	270°	275°
顺时针								
逆时针								
位 置	280°	285°	290°	295°	300°	305°	310°	315°
顺时针								
逆时针								
位 置	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°
顺时针								
逆时针								

(2) 径向回转误差

位 置		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		80°	85°	90°	95°	100°	105°	110°	115°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								

表 (续)

位 置		120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		160°	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		200°	205°	210°	215°	220°	225°	230°	235°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		240°	245°	250°	255°	260°	265°	270°	275°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		280°	285°	290°	295°	300°	305°	310°	315°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
位 置		320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°
顺时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								
逆时针	自准直仪 1								
	自准直仪 2								

6. 不平衡晃动误差

7. 离心机基础振动

附录 D

检定证书内页格式

1. 外观及附件检验

(1) 外观:

(2) 附件:

2. 角速率:

显示值 (r/min)	实测值 (r/min)	角速率示值误差

角速率示值误差:

3. 工作半径

静态半径:

工作半径动态变化量:

工作半径合成标准不确定度:

4. 主轴铅垂度

5. 导电滑环接触电阻

6. 导电滑环动态电阻

7. 导电滑环绝缘电阻

外壳—环:

环—环:

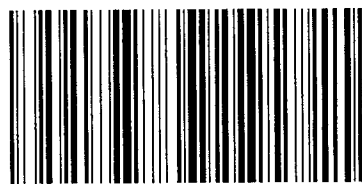
附录 E

检定结果通知书内页格式

1. 检定结果

序号	不合格项目	实际检定结果

2. 检定条件



JJG 1066-2011

版权专有 侵权必究

*

书号:155026·J-2601

定价: 33.00 元