

# JJF(沪苏浙皖)

## 沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF(沪苏浙皖) XXXX—2023

### 动平衡机校准规范

Calibration Specification for Dynamic Balancing Machines

(报批稿)

20\*\*—\*\*—\*\*发布

20\*\*—\*\*—\*\*实施

上海市市场监督管理局  
江苏省市场监督管理局  
浙江省市场监督管理局  
安徽省市场监督管理局

发布



# 动平衡机校准规范

Calibration Specification for  
Dynamic Balancing Machines

JJF (沪苏浙皖) XXX—2023

归口单位：上海市市场监督管理局

江苏省市场监督管理局

浙江省市场监督管理局

安徽省市场监督管理局

主要起草单位：南京市计量监督检测院

参加起草单位：无锡市检验检测认证研究院

本规范委托江苏省力值硬度计量专业技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

崔 磊 (南京市计量监督检测院)

王亚磊 (南京市计量监督检测院)

王 珉 (南京市计量监督检测院)

**参加起草人：**

赵晓兵 (无锡市检验检测认证研究院)

钱 峥 (南京市计量监督检测院)

沈 沂 (南京市计量监督检测院)

唐小聪 (南京市计量监督检测院)

丁磊磊 (南京市计量监督检测院)

# 目 录

引 言.....	II
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 立式平衡机.....	(1)
3.2 卧式平衡机.....	(1)
3.3 校验转子.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 校准用仪器及配套设备.....	(2)
7 校准项目与校准方法.....	(2)
7.1 重复性、相位误差和转速误差校准.....	(2)
7.2 最小可达剩余不平衡量 $U_{\text{mar}}$ 校准.....	(3)
7.3 不平衡量减少率 $URR$ 校准.....	(4)
7.4 单面平衡机的偶不平衡干扰比 $ISC$ 校准.....	(4)
8 校准结果表达.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A.....	(6)
附录 B.....	(7)
附录 C.....	(10)
附录 D.....	(11)

# 引 言

本规范以 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性规范进行修订。

与 JJG (苏) 68-2006 的版本相比较, 本次修改的主要内容如下:

- 增加“引言”、“引用文件”, 修改了术语及定义;
- 删除专用平衡机、现场动平衡仪的校准;
- 增加重复性、转速误差、相位误差的计算公式;
- 优化了最小可达剩余不平衡量和不平衡量减少率的校准方法;
- 校验转子的选择变更为不再设具体限制, 见附录 A;
- JJG (苏) 68-2006

# 动平衡机校准规范

## 1 范围

本规范适用于立式、卧式动平衡机的校准。车轮动平衡机不适用于本规范，其他类型动平衡机涉及本规范的计量特性可以参照本规范进行。

## 2 引用文件

GB/T 6444-2008 机械振动 平衡词汇

GB/T 29714-2013 机械振动 平衡 平衡标准的用法和应用指南

GB/T 9239.21-2019 机械振动 转子平衡 第 21 部分：平衡机的描述与评定

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 立式平衡机 vertical balancing machines

被平衡转子的旋转轴线在平衡机上呈铅垂状态的平衡机。

### 3.2 卧式平衡机 horizontal balancing machines

被平衡转子的旋转轴线在平衡机上呈水平状态的平衡机。

### 3.3 校验转子 proving rotor

用于校验动平衡机或通过增加质量能够检测平衡参数的旋转构件。

## 4 概述

平衡机是用于测定转子不平衡量的设备，可以用于改善被平衡转子的质量分布，使轴颈每转一次的振动或作用于轴承的力在允许的范围内。平衡机按转子轴线的状态分类有卧式平衡机和立式平衡机，按试验平面数量可分为单面和双面平衡机。

平衡机有以下几个主要组成部分：

- 1) 支承转子并保证转子具有必要自由度的支承系统；
- 2) 使转子按一定转速旋转的驱动系统；
- 3) 测量转子不平衡量幅度和相位的测量系统。

## 5 计量特性

动平衡机的计量特性见表 1。

序号	计量特性名称
1	重复性
2	相位误差
3	转速误差
4	最小可达剩余不平衡量 $U_{\text{mar}}$
5	不平衡量减少率 $URR$
6	单面动平衡机的偶不平衡干扰比 $ISC$

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：(10~40)℃；

相对湿度：≤85%；

其他条件：校准时不得有影响校准结果的干扰源。

### 6.2 校准用仪器及配套设备

#### 6.2.1 校验转子

立式动平衡机采用 A 型校验转子，卧式动平衡机采用 B 型和 C 型校验转子，转子规格及计量特性要求见附录 A。

#### 6.2.2 试验质量块

与转子连接的试验质量块，其质量的最大允许误差：±0.5%。

#### 6.2.3 转速表

准确度等级优于 0.5 级。

#### 6.2.4 电子天平

准确度等级优于Ⅱ级。

## 7 校准项目与校准方法

### 7.1 重复性、相位误差和转速误差校准

7.1.1 选择相适应的校验转子，通过安装校正质量块使之平衡到剩余不平衡度小于  $5e_{\text{mar}}$ 。保持校正质量块安装位置和质量不变，旋转 90°，重新安装校验转子，剩余不平衡度仍然小于  $5e_{\text{mar}}$ ，则安装有效。

7.1.2 在校验转子任意两个试验面上，同时分别加上相当于  $10U_{\text{mar}}$  的试验质量块，两试验质量块的相对位置不应同相或反相。

7.1.3 按动平衡机规定的程序进行 3 次启动平衡，将试验质量块位置分别放置在试验面的 90°、



180°、270°处, 在每个位置上进行3次启动平衡, 任选一个位置用转速表测量动平衡机转速。按照公式(1)、公式(2)、公式(3)计算重复性 $R$ 、相位误差 $\Delta\alpha_{\max}$ 、转速误差 $\delta$ 。

$$R = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\bar{X}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$R$ ——重复性, %

$X_{\max}$ ——不平衡量最大值, g mm;

$X_{\min}$ ——不平衡量最小值, g mm;

$\bar{X}$ ——不平衡量读数平均值, g mm。

$$\Delta\alpha_{\max} = |\alpha - \alpha_s| \quad (2)$$

式中:

$\Delta\alpha_{\max}$ ——相位误差, °;

$\alpha$ ——相位读数, °;

$\alpha_s$ ——相位标称值, °。

$$\delta = \frac{n - \bar{n}}{\bar{n}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\delta$ ——转速误差, %;

$\bar{n}$ ——转速测量平均值, r/min;

$n$ ——转速标称值, r/min。

## 7.2 最小可达剩余不平衡量 $U_{\text{mar}}$ 校准

参照 GB/T9239.1-2019 中 11.6.8 的要求在试验平面上加上可产生  $10U_{\text{mar}}$  不平衡量的试验质量块, 安装位置选择 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330° (或 0°, 60°, 120°, 180°, 240°, 300°), 启动平衡, 测试相应动平衡机的读数  $A_i$ , 记入记录表并按照公式(4)计算  $\bar{A}$  及  $A_0$ 。每次启动只允许一次读数。

$$\bar{A} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} A_i \quad (\text{或 } \bar{A} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 A_i)$$

$$A_0 = \frac{\bar{A}}{10} \quad (4)$$

式中:

$A_i$ ——动平衡机读数, g mm;

$\bar{A}$ ——动平衡机读数的算术平均值, g mm;

$A_0$ ——相当于在某试验面上加上  $1U_{\text{mar}}$  的试验质量时平衡机相应读数。

### 7.3 不平衡量减少率 $URR$ 校准

7.3.1 通过校正质量块使校验转子平衡到剩余不平衡度小于  $1e_{mar}$  以下。

7.3.2 选择两个  $5U_{mar}$  (或  $25U_{mar}$ ) 的试验质量块, 分别安装在校验转子两试验面 (卧式为左右端面、立式为上下端面或设定的两个试验面), 两试验面的试验质量块的位置不应同相或反相。

7.3.3 保持一个试验质量块安装位置不变, 将另一个试验质量块按试验平面的  $30^\circ$  或  $60^\circ$  进行移动安装。记录固定试验质量块和移动试验质量块的位置。移动试验质量块每次增加  $30^\circ$  或  $60^\circ$ , 遇到固定试验质量块时应跳过。

7.3.4 每次安装好试验质量块之后进行测量, 记录不平衡量。

7.3.5 将读数画在  $URR$  极限圆上, 极限圆的画法见 GB/T9239.1-2019 附录 B, 并按照公式(5) 计算  $URR$ 。

$$URR = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$URR$  ——不平衡量减少率, %;

$U_1$  ——初始不平衡量;

$U_2$  ——一次平衡校正后的剩余不平衡量。

### 7.4 单面动平衡机的偶不平衡干扰比 $ISC$ 校准

在上、下试验面正好相隔  $180^\circ$  的位置上各加上一个试验质量, 读取不平衡量, 间隔  $90^\circ$  将偶不平衡试验质量连续换位三次, 每次换位读取一个新的读数, 按照公式 (6) 计算偶不平衡干扰比  $ISC$ 。

$$ISC = \frac{A_i - U_{mar}}{U_m} \quad (6)$$

式中:

$ISC$  ——偶不平衡干扰比;

$A_i$  ——动平衡机每次读数, g mm;

$U_{mar}$  —— 试验平面的不平衡量, g mm;

$U_m$  —— 所加不平衡力偶, g mm。

## 8 校准结果表达

经校准的动平衡机出具校准证书。校准证书的内页格式见附录 C。除上述校准结果信息外, 校准证书至少包括以下信息:

a) 标题: “校准证书”;

- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点;
- d) 证书的唯一性标识(如编号), 每页及总页的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用计量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及测量不确定度的说明, 校准结果的不确定度按 JJF1059.1-2012 的要求评定, 不确定度评定的实例见附录 D;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由动平衡机的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此送检单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 一般建议不超过 1 年。

## 附录 A

### 校验转子

#### A.1 校验转子规格

立式动平衡机校准选用 A 型校验转子，规格参数参照 GB/T 9239.21-2019 中附录 D.1 的要求；卧式动平衡机校准选用 B 型和 C 型校验转子，规格参数参照 GB/T 9239.21-2019 中附录 D.2 和附录 D.3 的要求。

#### A.2 专用校验转子

当上述的校验转子与平衡机不适应时，可根据用户要求选用与平衡机相适应的专用转子，但需要溯源其质量、直径、角度等基本参数。

#### A.3 校验转子溯源要求

校验转子质量通过电子天平进行测量，其最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ；

校验转子轴向位置、径向位置、角度位置通过坐标测量机进行测量，其最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ 。

## 附录 B

## 原始记录的推荐格式

## 动平衡机校准记录

证书编号:

客户名称				委托日期		
客户地址				校准日期		
被校器具	名称				型号	
	制造厂商				编号	
依据标准						
校准地点						
校准用计量器具和标准物质	名称	型号	编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	有效期	
环境条件	温度	°C		湿度	%RH	

## 一、动平衡机的重复性、相位误差、转速误差校准

转子质量		校正半径		试重质量		平衡转速		
实测转速 R								
记录项目 位置		左读数			右读数			
	相位 P	幅值 X			相位 P	幅值 X		
次数		1	2	3		1	2	3
0°								
90°								
180°								
270°								

第 页 共 页

校准位置 (°)	幅值平均值 $\bar{X}$	重复性 $R$ (%)	相位误差 $\Delta\alpha_{\max}$ (°)	转速误差 $\delta$ (%)
0				
90				
180				
270				

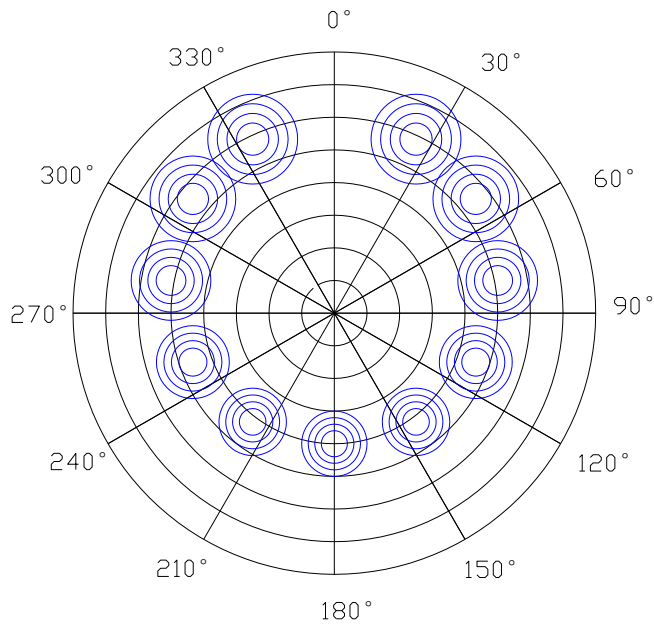
## 二、动平衡机的最小可达剩余不平衡量校准

转子质量 $M$		试重 $m$		校正半径 $R$										
平衡转速														
试重位置		度	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
读数	相位	度												
	幅值	格												
$\bar{A} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} A_i$														
$A_0 = \frac{\bar{A}}{10}$														
$8.8A_0$														
$11.2A_0$														

三、动平衡机的不平衡量减少率校准

转子质量 $M$	最小剩余不平衡量 $e_{mar}$	校正半径	平衡转速
固定试重 $m_1$	质量	位置	
移动试重 $m_2$	读数		标准相位
	幅值	相位	相位差
30°			
60°			
90°			
120°			
150°			
180°			
210°			
240°			
270°			
300°			
330°			
360°			

URR 极限圆如下:



不平衡量减少率  $URR$ :

## 附录 C

## 校准证书内页的推荐格式

序号	校准项目	校准结果
1	重复性	
2	相位误差	
3	转速误差	
4	最小可达剩余不平衡量	
5	不平衡量减少率	
6	偶不平衡干扰比较准(单面动平衡机)	
7	最小可达剩余不平衡量的测量不确定度: $U=$ , $k=2$	

以下空白



## 附录 D

## 动平衡机最小可达剩余不平衡量不确定度评定实例

在校准项目中，动平衡机的最小可达剩余不平衡量是关键参数。这里用以“卧式动平衡机最小可达剩余不平衡量”为例给出了不确定评定实例。

## D.1 测量方法

根据动平衡机的参数选择适当的标准转子、转速及试验质量块。将校验转子平衡到剩余不平衡度小于  $5e_{\text{mar}}$ 。用两个  $10U_{\text{mar}}$  的试验质量块，同时同相地分别加在端面的孔内，顺序任意，将相应的读数  $A_i$  记入记录表并算出算术平均值。每次启动只允许一次读数。

以下以一台最大测量质量 15 kg、标称最小可达剩余不平衡度  $e_{\text{mar}}=0.2 \text{ g mm}$  的平衡机为例计算测量不确定度。选取的标准转子质量为 5 kg，试验质量块质心半径 41 mm，转速 1000 r/min（约 100 rad/s），试验质量块质量为 0.61 g。

## D.2 数学模型

$$A = A'$$

式中：

$A$ ——最小可达剩余不平衡量标称值，g mm；

$A'$ ——最小可达剩余不平衡量测量值，g mm。

## D.3 最小可达剩余不平衡量不确定度来源

最小可达剩余不平衡量不确定度主要来自 4 个方面：

- (1) 测量重复性引起的不确定度分量，可以通过多次重复测量，采用 A 类评定方法求出；
- (2) 分辨力引入的不确定度分量，按 B 类方法评定；
- (3) 校验转子及质量块引入的不确定度分量，按 B 类方法评定；
- (4) 校验转子及试验质量块由于安装引入的不确定度分量，按 B 类方法评定。

## D.4 标准不确定度评定

D.4.1 重复测量引入的不确定度分量  $u_1$ 

为获得由重复测量引入的不确定度，在修正面上任一点重复测量 10 次，数据如下：

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
g mm	50.18	51.26	51.45	49.82	49.25	50.43	51.45	49.37	50.68	49.26

实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.88 \text{ g mm}$$

实际测量三次作为测量结果，则：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.51 \text{ g mm}$$

#### D.4.2 分辨力及读数引入的不确定度分量 $u_2$

分辨力及估读误差在半宽度  $a=0.05 \text{ g mm}$  的范围内服从均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.05 \text{ g}\cdot\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ g mm} \quad (\text{可忽略不计})$$

#### D.4.3 校验转子及质量块引入的不确定度分量 $u_3$

校验转子及试验质量块在试验前需平衡至  $5e_{\text{mar}}$ ，服从均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.2 \text{ g}\cdot\text{mm}\times 5}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ g mm}$$

#### D.4.4 校验转子及试验质量块由于安装引入的不确定度分量 $u_4$

校验转子及试验质量块由于安装位置等因素引入的误差估计为  $2e_{\text{mar}}$ ，服从均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的不确定度分量为：

$$u_4 = \frac{0.2 \text{ g}\cdot\text{mm}\times 2}{\sqrt{3}} = 0.23 \text{ g mm}$$

#### D.4.5 不确定度分量汇总

不确定度分量	不确定度来源	分量值(g mm)
$u_1$	测量重复性	0.51
$u_2$	分辨力及读数	0.029 (可忽略不计)
$u_3$	校验转子及质量块	0.58
$u_4$	安装位置	0.23

#### D.4.6 合成标准不确定

每组分量独立不相关，则合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{0.51^2 + 0.58^2 + 0.23^2} = 0.8 \text{ g mm}$$

#### D.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = ku_c = 2 \times 0.8 \text{ g mm} = 1.6 \text{ g mm}$$