

JJF(沪苏浙皖)

沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF(沪苏浙皖) 4013-2024

动平衡机校准规范

Calibration Specification for Dynamic Balancing Machines

2024-02-29 发布

2024-08-29 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) 4013-2024
代替 JJG (苏) 68-2006

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.....	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 测量标准及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法.....	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_{MAR} 校准.....	3
7.3 不平衡量减少率 URR 校准.....	4
7.4 单面动平衡机的偶不平衡干扰比 ISC 校准.....	4
8 校准结果表达.....	4
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。

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

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_{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) °C；

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 测量标准及其他设备

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 校准项目和校准方法

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 δ 。

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

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, °;

α ——相位读数, °;

α_s ——相位标称值, °。

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

式中:

δ ——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_{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 $1e_{\text{mar}}$ 以下。

7.3.2 选择两个 $5U_{\text{mar}}$ (或 $25U_{\text{mar}}$) 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° 或 60° 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° 或 60° , 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° 的位置上各加上一个试验质量, 读取不平衡量, 间隔 90° 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 。

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

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和应用有关时，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、仪器本身质量等诸多因素所决定的，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

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 δ (%)
0				
90				
180				
270				

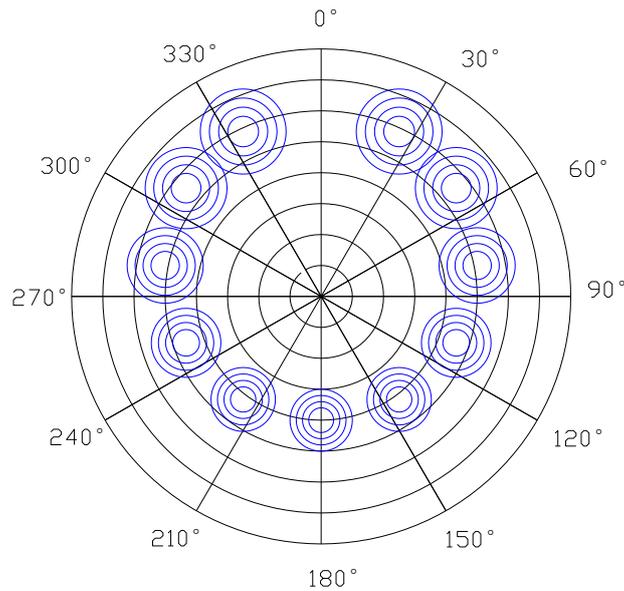
二、动平衡机的最小可达剩余不平衡量校准

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 :

第 页 共 页

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：

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

沪苏浙皖地方校准规范

动平衡机校准规范

JJF（沪苏浙皖）4013-2024