



黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) 01-2014

动压气浮轴系刚度测量仪校准规范

Calibration Specification for Stiffness-measuring Instrument of
Air-floated Dynamic Pressure Bearing

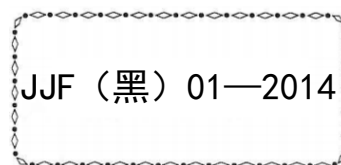
2014-08-12 发布

2014-09-01 实施

黑龙江省质量技术监督局 发布

动压气浮轴系刚度测量仪校准规范

Stiffness-Measuring Instrument of Air-
Floated Dynamic Pressure Bearing



归 口 单 位：黑龙江省质量技术监督局

主要起草单位：哈尔滨工业大学

黑龙江省计量检定测试院

本规范由黑龙江省质量技术监督局负责解释

本规范主要起草人：

谭久彬（哈尔滨工业大学）

黄向东（哈尔滨工业大学）

张海波（黑龙江省计量检定测试院）

参加起草人：

王重阳（哈尔滨工业大学）

王成宇（哈尔滨工业大学）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
3.1 动压气浮轴系.....	(1)
3.2 零间隙定位误差.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 校准项目及测量设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果的表达.....	(4)
9 复校时间间隔.....	(4)
附录 A 动压气浮轴系刚度测量仪间隙示值误差测量结果不确定度评定	(5)
附录 B 校准证书内容	(8)
附录 C 校准证书内页格式	(9)

引 言

本规范经查询目前未见到“动压气浮轴系刚度测量仪”的国际建议、国际标准或国内校准。本规范的主要性能指标参考了黑龙江省地方标准 DB 23/T1546-2014《动压气浮轴系刚度测量仪技术要求》。

本规范为首次制定文件。

动压气浮轴系刚度测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于气膜间隙范围为不大于 $200\mu\text{m}$ 的两点式动压气浮轴系刚度测量仪的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件

- JJG 644-2003 振动位移传感器检定规程
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
JJF 1310-2011 电子塞规校准规范
JJF 1094-2002 测量仪器特性评定
JJF 1130-2005 几何量测量设备校准中的不确定度评定指南
GB/T 7665-2005 传感器通用术语
GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标的计算方法
DB 23/T1546-2014 动压气浮轴系刚度测量仪技术要求

凡是注明日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范;凡不注日期的引用文件,其最新版本适用于本规范。

3 术语和定义

3.1 动压气浮轴系 air-floated dynamic pressure bearing

是指轴系高速旋转并稳定工作时,由轴、转子和气膜构成的轴系称为动压气浮轴系。

轴系在高速稳定工作时,轴与转子间的气膜产生一定刚度,由流体压力和阻尼特性将轴系维持在一定的转动精度内,利用气膜产生对转子的支承和润滑作用。

3.2 零间隙定位误差 positioning error at zero clearance

是指仪器测量中,被测件和传感器被固定在旋转机械台上,在旋转 180° 前后,被测件的安装位置会发生机械位置变化,机械位置变化所产生的测量误差。

4 概述

动压气浮轴系刚度测量仪主要应用于对动压马达的气膜刚度进行测量。

测量原理是利用非接触微位移传感器,对气膜厚度在转子的重力作用下产生的变化

量进行测量，然后利用刚度计算公式完成气膜刚度的测量。

气膜刚度测量系统结构如图 1 所示。测量时马达处于高速平稳工作中，首先在 0° 位置上对转子位置进行一次测量，记为 $d1 (\mu\text{m})$ ；然后利用旋转驱动器 4 使测量机构旋转 180° ，再对转子位置进行一次测量，记为 $d2 (\mu\text{m})$ ； $D = \frac{d1-d2}{2}$ 为被测轴系在转子重力作用下转子质心位置的变化。此时气膜刚度可表示为：

$$K_r = \frac{W}{D} \quad (1)$$

式中： K_r 表示气膜刚度 ($\text{g}/\mu\text{m}$)；

W 表示转子产生的质量 (g)。（该值在实际应用中通常由厂方给出）。

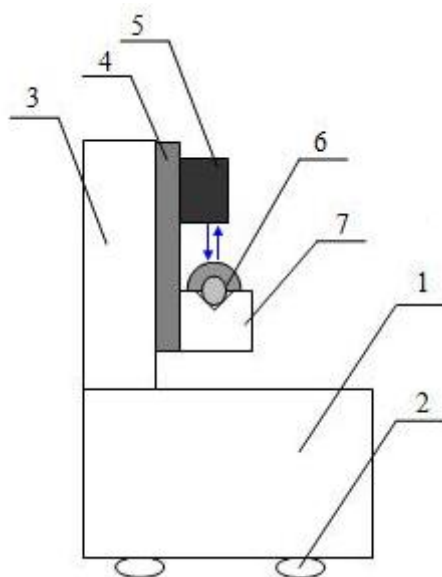


图 1 刚度测量系统结构

1 隔振平台；2 气足；3 机械定位机构；4 旋转驱动器；
5 非接触式位移传感器；6 为被测轴系；7 轴系夹具

5 计量特性

计量特性见表 1 所示。

表 1 动压气浮轴系刚度测量仪计量特性

序号	名称	最大允许值 (μm)
1	间隙测量范围	200
2	间隙示值误差	± 0.12
3	间隙测量重复性	0.03
4	漂移	± 0.08
5	零间隙定位误差	± 0.02

（注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性的指标仅供参考。）

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温、湿度环境条件

表 2 环境条件

室内温度 (℃)	室 温 变 化 (℃/h)	相 对 湿 度 (%)	被检仪器在室内平衡温度的时间 (h)
20±1	0.5	≤75	≥4.0

6.1.2 电源电压：(220±10%) V，室内应避开强交变电磁场或近距离的交变磁场（如电机、电焊机等）的干扰。

6.2 校准项目及测量设备

表 3 校准项目及测量设备

序号	校准项目	测量设备
1	间隙测量范围	1 等量块 (mm) 1.0, 1.005, 1.05, 1.08, 1.09, 1.10, 1.11, 1.12, 1.18, 1.2
2	间隙示值误差	
3	间隙测量重复性	
4	漂移	
5	零间隙定位误差	标准轴 (直径 40mm, 表面粗糙度 Ra1.6μm, 质量 200g)

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 3。

7.2 校准方法

首先检查仪器外观和各部分相互作用，确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

7.2.1 间隙测量范围

根据被校仪器测量范围选择一组量块，首先安装第一块量块，进行读数并将位移传感器读数置零；然后更换下一块量块，定位面与第一块量块定位面保持一致，记录当前测量值，即为间隙测量值。

7.2.2 间隙示值测量误差

首先将一量块置于测量位置，由非接触位移传感器测得“零位”测量值 l_0 ；然后更换另一标准量块，按上述方法测得第二测量值 l 。

第 i 次测量单次示值误差 e_i 按式 (2) 计算：

$$e_i = l_i - l_0 - a \quad (2)$$

式中： l_i —第 i 次测量量块的仪器读数值；

l_{i0} —第 i 次测量标准量块“零位”的示值；

a —两量块的实际值之差；

i —测量次数。

按上述方法，在测量范围内选择上、中、下 3 个测量点；每点重复测量 6 次，并计算算术平均值；取 3 个测量点中算术平均值的最大值作为示值误差测量结果。

7.2.3 间隙测量重复性

采用两个不同尺寸的量块形成标准值。测量值记为 x_i ($i=0, 1, 2, \dots, n$)， x_{i0} 为初始量块， $e_i = x_i - x_{i0}$ ；在重复性或复现性条件下独立测量 10 次，有 e_1, e_2, \dots, e_n ， \bar{e} 为算术平均值。实验标准差 $S(e_i)$ ：

$$S(e_i) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} \quad (3)$$

建议对 100 μm 间隙进行重复性测量。

7.2.4 漂移

将一块量块置于测头测量范围内，保持测头与被测件不动，每隔 3 min 读一次数，连续记录 30 min，以 30 min 内示值的最大变化量作为漂移测量结果。

7.2.5 零间隙定位误差

将一标准轴固定安装于测量仪上，利用非接触传感器读取第一次数 S_1 ；然后旋转台位置旋转 180° ，读取第二次数 S_2 ；计算 $S_2 - S_1$ 的值，该值即为零间隙时的测量值。

重复上述过程，获得 10 次零间隙测量值，计算算术平均值作为测量结果。

8 校准结果表达

经校准的刚度测量仪，出具校准证书。校准证书内容及内页格式见附录 B、C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为一年。注：由于复校时间间隔的长短是由仪器使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可按实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

动压气浮轴系刚度测量仪间隙示值误差测量结果不确定度评定

A.1 概述

依据本规范对动压气浮轴系刚度测量仪的间隙示值误差测量结果进行不确定度评定, 评定过程符合 JJF 1130-2005《几何量测量设备校准中的不确定度评定指南》中的规定。

A.2 测量任务和目标不确定度

A.2.1 测量任务

用规范规定的技术要求、测量原理、测量条件、测量方法和测量程序, 测量动压气浮轴系刚度测量仪的间隙示值误差。

A.2.2 目标不确定度

根据 JJF 1094-2002《测量仪器特性评定技术规范》的规定, 动压气浮轴系刚度测量仪间隙示值误差的扩展不确定度与其最大允许误差的绝对值之比, 应小于或等于 1:3。

由此可以得到与规范技术要求相对应的目标不确定度 $U_T = 0.04 \mu\text{m}$ 。

A.3 测量原理、方法和条件

A.3.1 测量原理和方法

利用动压气浮轴系刚度测量仪和标准量块进行比对测量, 按照 7.2.2 规范所述进行测量, 测量仪获得的间隙值与量块实际长度差为示值误差 e_i 。即:

$$e_i = (l_i - l_{i0}) - a \quad (\text{A.1})$$

式中: l_i —第 i 次测量标准量块的示值;

l_{i0} —第 i 次测量标准量块“零位”的示值;

a —两量块的实际长度之差;

i —测量次数;

l_i , l_{i0} 的不确定度分量用 u_{re} 表示, a 对应的不确定度分量分别用 u_L 、 u_T 表示。

A.3.2 方差

$$\text{方差: } u^2 = u_{re}^2 + u_L^2 + u_T^2 \quad (\text{A.2})$$

A.3.3 测量条件

校准的室内温度应在 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内，一次测量中空气温度变化不超过 0.5°C/h ；室内相对湿度范围不大于75%；电源电压 $(220\pm 10\%) \text{ V}$ ，室内应避开强交变电磁场或近距离的交变磁场（如电机、电焊机等）的干扰。

A.4 标准不确定度分量的来源

见表A.1。

表A.1 动压气浮轴系刚度测量仪间隙示值误差测量不确定度分量来源

序号	符号	不确定度分量名称	说明
1	u_{re}	间隙测量重复性引入的标准不确定度分量	实际测量中被测件重复安装后引入的误差分量
2	u_L	量块测量不确定度引入的标准不确定度分量	由标准量块校准证书给出
3	u_T	温度引入的标准不确定度分量	量块线胀系数变化引入的误差分量

A.5 标准不确定度分量的说明和计算

A.5.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{re}

采用两个不同尺寸的量块进行测量。测量值记为 $x_i(i=0,1,2, \dots, n)$ ， x_0 为初始量块， $e_i=x_i-x_0$ ；在重复性或复现性条件下独立测量 10 次，有 e_1, e_2, \dots, e_n ， \bar{e} 为算术平均值。以 $S(e_i)=0.03\mu\text{m}$ 为例，则，重复测量 6 次，引入的标准不确定度分量为 u_{re} 。

$$u_{re} = \sqrt{\frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} = \frac{0.03}{\sqrt{6}} = 0.012\mu\text{m} \quad (\text{A. 3})$$

A.5.2 标准间隙引入的不确定度分量 u_L

采用一等量块的实际值作为长度标准值，对于 $L=1\text{mm}$ 1 等量块组的中心长度的不确定度为 $U_{99}=0.02\mu\text{m}+0.2\times 10^{-6}L \text{ mm}$ ， $k=2.58$ ，则，两块量块的中心长度差引入的标准不确定度分量为 u_L 。

$$u_L = \sqrt{2} \times \frac{U_{99}}{k} = \sqrt{2} \times \frac{0.021}{2.58} = 0.011\mu\text{m} \quad (\text{A. 4})$$

A.5.3 量块偏离标准温度，两量块线膨胀系数半宽引入的标准不确定度分量

量块温度偏离标准温度为 1°C 时，两量块之差（间隙）为 $200\mu\text{m}$ 为例，钢的线胀系数 $(11.5\pm 1)\times 10^{-6}$ ，两量块的线胀系数半宽为 2×10^{-6} ，假定服从三角分布。

$$u_T = \frac{200}{\sqrt{6}} \times 2 \times 10^{-6} \times 1^0 C = 0.00016 \mu\text{m} \quad (\text{A. 5})$$

A. 5.4 合成标准不确定度

以上分量彼此独立，根据公式(A.2)，可得间隙示值误差的合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{u_{re}^2 + u_L^2 + u_T^2} = 0.016 \mu\text{m} \quad (\text{A. 6})$$

A. 5.5 扩展不确定度

测量值接近于正态分布，取 $k=2$ ，则间隙示值误差的扩展不确定度为：

$$U_{95} = k u_c = 0.032 \mu\text{m} \quad (\text{A. 7})$$

A. 5.6 不确定度概算讨论

测量不确定度概算结果表明：在评定动压气浮轴系刚度测量仪的间隙测量示值误差时，满足了测量不确定度合格判据 $U_{95} < U_T = 0.04 \mu\text{m}$ 的要求，说明本规范具有合理性和可行性。

附录 B

校准证书内容

1. 标题：校准证书；
2. 实验室名称和地址；
3. 证书或报告的唯一标识（如编号）、每页及总页数的标识；
4. 送校单位的名称和地址；
5. 被校对象的描述和明确标识；
6. 进行校准的日期；
7. 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代码；
8. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
9. 校准环境的描述；
10. 仪器测量不确定度的说明；
11. 校准证书或校准报告签发人的签名或等效标识，以及签发日期；
12. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
13. 未经校准实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

附录 C

校准证书内页格式

证书编号：

校准所依据的技术文件（代号、名称）： JJF (黑) 01-2014 动压气浮轴系刚度测量仪校准规范				
校准环境：温度 ℃；相对湿度： %；				
校准地点：				
本次校准所用测量标准				
名称	测量范围	准确度/等级	证书编号	有效日期
校准项目与校准结果				
序号	校准项目	校准结果		
1	间隙测量范围			
2	间隙示值误差			
3	测量重复性			
4	漂移			
5	零间隙定位误差			
间隙示值误差测量不确定度：				

校准人员：

核验人员：

