



黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) 03-2014

航空发动机动静子同心度测量仪校准规范

Calibration Specification for Concentricity Measuring Instrument of
Aero-engine Rotor and Stator

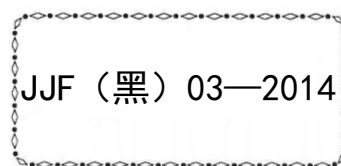
2014-08-12 发布

2014-09-01 实施

黑龙江省质量技术监督局 发布

航空发动机动静子同心度 测量仪校准规范

Calibration Specification for
Concentricity Measuring Instrument of
Aero-engine Rotor and Stator



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）

王 雷（哈尔滨工业大学）

刘文滨（黑龙江省计量检定测试院）

参加起草人：

孙传智（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 回转轴线平均线.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 同心度误差.....	(2)
5.2 主轴角回转误差.....	(2)
5.3 主轴径向回转误差.....	(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 校准项目.....	(2)
7.2 校准方法.....	(2)
8 校准结果的表达.....	(4)
9 复校时间间隔.....	(4)
附录 A 航空发动机动静子同心度测量结果不确定度评定	(5)
附录 B 校准证书内容	(9)
附录 C 校准证书内页格式	(10)

引 言

本规范经查询未见“航空发动机动静子同心度测量仪”的国际建议或国际标准，本规范的主要性能指标参考国家军用标准“GJB 1801-93 惯性技术测试设备主要性能试验方法”和黑龙江省地方标准“DB23/T 1527-2013 航空发动机动/静子同心度测量仪技术规程”。

本规范为首次制定文件。

航空发动机动静子同心度测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于航空发动机动静子同心度测量仪（同心度测量范围 $(0\sim 20)\mu\text{m}$ ）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 429-2000 圆度、圆柱度测量仪检定规程

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1094-2002 测量仪器特性评定技术规范

JJF 1130-2005 几何量测量设备校准中的不确定度评定指南

GB/T 26098-2010 圆度测量仪

GJB 1801-93 惯性技术测试设备主要性能试验方法

JB/T 7557-1994 同轴度误差检测

JB/T 9256-1999 电感位移传感器

DB23/T 1527-2013 航空发动机动/静子同心度测量仪技术规程

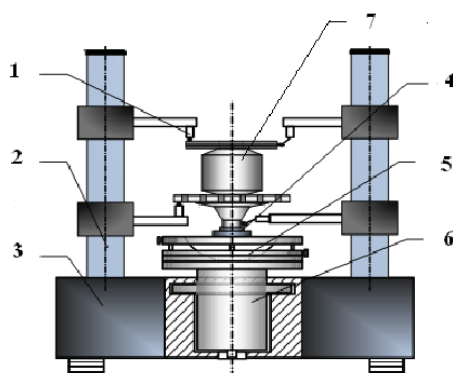
凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和定义

3.1 回转轴线平均线 axis average line

一条相对地固定在转台轴座上的参考线段，它恰好固定在转台轴回转轴线的平均位置。

4 概述



1-电感传感器；2-垂直导轨；3-基座；4-卡盘；5-调心调倾工作台
6-回转主轴；7-被测航空发动机

图1 航空发动机动静子同心度测量仪示意图

航空发动机动静子同心度测量仪（以下简称测量仪）主要用于航空发动机动静子装配过程中同心度的测量。测量仪包括以下基本核心单元：包括静压气浮回转主轴提供回转基准、两个静压气浮垂直导轨提供直线运动基准、纳米精度传感校准装置、精密调心调倾工作台和标准器组件等部分。所以测量仪校准规范主要针对发动机动静子同心度测量设备的同心度指标的校准，以及对测量仪核心单元部件的校准和测量。

5 计量特性

5.1 同心度误差

同心度误差不超过 $5\mu\text{m}$ ；

5.2 主轴角回转误差

主轴角回转误差不超过 $5''$ ；

5.3 主轴径向回转误差

主轴径向回转误差不超过 $0.5\mu\text{m}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

室内温度应在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，温度变化每小时不超过 2°C ；校准前被检仪器和标准器在室内平衡温度的时间不少于 3h；室内相对湿度应 $\leq 70\%$ ；

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 1。

表1 校准项目、测量标准和其他设备

序号	校准项目名称	测量标准和其他设备
1	主轴径向回转误差	标准玻璃半球（圆度：30nm）、电感传感器（测量范围 0mm~0.5mm，分辨力 5nm）
2	主轴角回转误差	标准玻璃半球（圆度：30nm）、电感传感器（测量范围 0mm~0.5mm，分辨力 5nm）、量块（高度 100mm，1 级）
3	同心度误差	同心度标准器（不确定度 50nm， $k=2$ ）、电感传感器（测量范围 0mm~0.5mm，分辨力 5nm）

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

需校准项目见表 1。

7.2 校准方法

首先检查被检测的测量仪的外观和各部分相互作用, 测量仪系统开机预热 30min, 运行应平稳无噪声, 确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

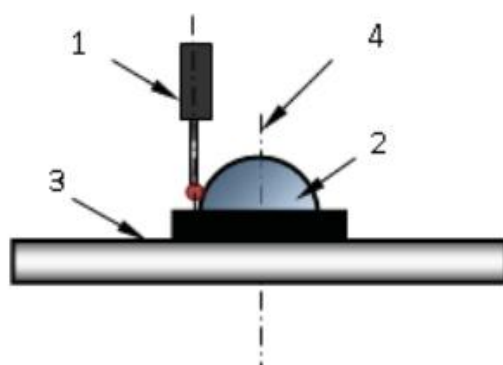
7.2.1 主轴径向回转误差

采用 JJG429-2000 中径向误差测量方法。滤波采用 (1~50) 波/转, 测杆为标准短测杆, 采用较小测力; 将标准半球至于调倾调心工作台中心, 调整标准短测杆测头与标准半球直径处接触, 如图 2 所示, 使标准半球与主轴回转轴准确对心, 且使传感器指示值指零附近。进行调心, 直到仪器正常使用的最高倍数。待主轴回转 3 圈后进行测量, 以最小区域法评定其圆度值, 作为检定结果。

$$\Delta E = \Delta R \cos \theta \approx \Delta R \quad (\mu\text{m})$$

式中: ΔE ——仪器径向回转误差;

ΔR ——测得值。

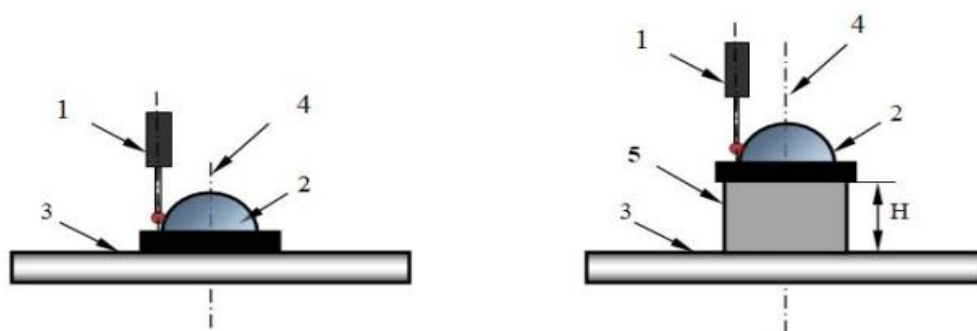


1-电感传感器; 2-圆度标准器; 3-主轴台面; 4-主轴理想回转轴线

图2 径向回转误差测量示意图

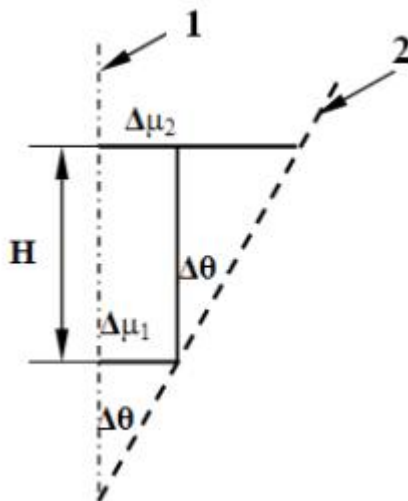
7.2.2 主轴角回转误差

如图3所示, 校准仪器包括电感传感器; 标准玻璃半球。标准半球安装在被测轴上, 将球心调整到轴线上, 转台匀速旋转, 电感传感器等间隔采样。对采样值进行滤波、消偏心及最小二乘圆度评定。评定得到的圆度值即为轴系径向回转误差 Δu_1 ; 利用垫块将圆度标准器抬高 H 高度, 重复上述测量过程, 得到 H 高度处径向回转精度 Δu_2 , 如图4和公式 (1) 所示, 利用两个截面径向回转精度和其几何关系计算得到被测转台角回转精度 $\Delta \theta$ 。



1-电感传感器；2-圆度标准器；3-主轴台面；4-主轴理想回转轴线；
5-垫块（高度为H）

图3 轴系角回转误差测量示意图



1-主轴理想回转轴线；2-实际轴线

图4 角回转误差计算原理示意图

$$\Delta\theta = \arctg\left(\frac{|\Delta u_2 - \Delta u_1|}{H}\right) \quad (1)$$

7.2.3 同心度误差

本方法采用较高回转精度的检测仪器，适用于对中、小规格的轴或孔类零件进行同心度误差校准。

校准步骤：

- 调整被测零件，使其轴线与仪器主轴的回转轴线同轴；
- 在被测零件的实际基准要素和实际被测要素上测量，记录数据；
- 根据测得数据，按最小二乘拟合，得到拟合圆心，计算出偏心量，偏心量的 2 倍即为所求的同心度。

8 校准结果的表达

经过校准的航空发动机动静子同心度测量仪出具校准证书，校准证书格式及内容参见附录 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，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

航空发动机动静子同心度测量结果不确定度评定

A.1 概述

对航空发动机动静子同心度测量结果不确定度,依据JJF 1130-2005《几何量测量设备校准中的不确定度评定指南》中 $U < U_T$ 的合格判据,对给定的测量任务判断其测量程序和测量条件的可行性和合格性。

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,测量航空发动机动静子同心度。

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,航空发动机动静子同心度测量结果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 $U_T=0.1\mu\text{m}$ 。

A.3 测量原理、方法和条件

A.3.1 测量原理和方法

利用同心度标准器和航空发动机动静子同心度校准进行比对测量,航空发动机动静子同心度校准结果与同心度标准器标准值进行比对。同心度校准结果与同心度标准器标准值之差即为示值误差。即

$$\begin{aligned} e &= D_i - D_s \\ D_i &= f(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6) \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

其中: e ——为航空发动机动静子同心度校准示值误差;

D_i ——为航空发动机动静子同心度测量的示值;

D_s ——为同心度标准器的标准值;

δ_1 ——为测量系统分辨力引入的误差分量;

δ_2 ——为测量系统线性误差引入的误差分量;

δ_3 ——为仪器主轴径向回转误差引入的误差分量;

δ_4 ——为消偏,消倾原理误差引入的误差分量;

δ_5 ——为同心度评定处理方法引入的误差分量；

δ_6 ——为角度测量系统引入的误差分量。

δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 、 δ_5 、 δ_6 分别用 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 、 u_5 、 u_6 表示，航空发动机动静子同心度测量不确定度用 u 表示。

A.3.2 方差和灵敏系数

$$\text{方差: } u^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2 \quad (\text{A.2})$$

灵敏系数: $c_1=1$; $c_2=1$; $c_3=1$; $c_4=1$; $c_5=1$; $c_6=1$ 。

A.3.3 测量条件

航空发动机动静子同心度校准的室内温度应在 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 范围内,温度变化每小时不超过 0.5°C ;校准前航空发动机动静子同心度测量设备在室内平衡温度的时间不少于3h;室内相对湿度应 $\leq 70\%$;室内气压为1个标准大气压;测量环境洁净度达到1000级。首先检查航空发动机动静子同心度校准装置的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。航空发动机动静子同心度测量装置系统开机预热(预热30min),运行应平稳,无部件干涉引起的噪声。

A.4 标准不确定度分量的来源和说明

见表A.1。

表 A.1 航空发动机动静子同心度测量不确定度分量来源和说明

序号	符号	不确定度分量名称	说明
1	u_1	测量系统分辨力引入的标准不确定度分量	由传感器的分辨力误差引入的误差分量
2	u_2	测量系统线性误差引入的标准不确定度分量	由传感器的线性误差引入的误差分量
3	u_3	仪器主轴径向回转误差引入的标准不确定度分量	航空发动机动静子同心度测量转台引入的测量误差
4	u_4	消偏,消倾模型原理误差引入的标准不确定度分量	航空发动机动静子同心度调心调倾台引入的误差分量
5	u_5	同心度评定处理方法误差引入的标准不确定度分量	由同心度评定算法引入的误差分量
6	u_6	角度测量系统误差引入的标准不确定度分量	航空发动机动静子同心度测量转台角度误差引入的误差分量

A.5 标准不确定度分量的说明和计算

A.5.1 测量系统分辨力引入的标准不确定度分量

用纳米级传感器检定同轴度测量系统的分辨力,其分辨力值为 $0.005\mu\text{m}$,按均匀分布且为全区间处理,则由此引入的标准不确定度为:

$$u_1 = 0.005 / (2\sqrt{3}) \approx 0.0014\mu\text{m}$$

A. 5. 2 测量系统线性误差引入的标准不确定度分量

传感器实际使用范围可调到 $-500\mu\text{m}\sim+500\mu\text{m}$ 范围内,传感器线性误差补偿后残差为 13nm ,按均匀分布处理,则由此引入的标准不确定度为:

$$u_2 = 0.013 / \sqrt{3} \approx 0.0075\mu\text{m}$$

A. 5. 3 仪器主轴径向回转误差引入的标准不确定度分量

用标准球检定仪器径向误差为 $0.03\mu\text{m}$,按均匀分布处理,则由此引入不确定度分量为:

$$u_3 = 0.03 / \sqrt{3} \approx 0.0173\mu\text{m}$$

A. 5. 4 消偏,消倾模型原理误差引入的标准不确定度分量

采用精确消偏公式消除倾斜和整体偏心,由此引起的原理误差主要取决于迭代计算时的收敛允差。本仪器使用允差 $\delta \leq 0.003\mu\text{m}$,按均匀分布处理,则由此引入的标准不确定度分量为:

$$u_4 = 0.003 / \sqrt{3} \approx 0.0017\mu\text{m}$$

A. 5. 5 同心度评定处理方法误差引入的标准不确定度分量

同心度误差评定收敛允差 $\tau = 0.003\mu\text{m}$,计算累加误差可以忽略,按均匀分布处理,则由此引入的标准不确定度分量为:

$$u_5 = 0.003 / \sqrt{3} \approx 0.0017\mu\text{m}$$

A. 5. 6 角度测量系统误差引入的标准不确定度分量

角度测量系统补偿后的误差为 $1''$,标准器的半径为 5mm ,按均匀分布处理,则由此引入的标准不确定度为:

$$u_6 = (10\pi \times 1000) / (360 \times 3600 \times \sqrt{3}) \approx 0.0138\mu\text{m}$$

A. 6 合成标准不确定度

以上分量彼此独立互不相关,根据公式(A.2),可得航空发动机动静子同心度测量结果的标准不确定度 u 为:

$$\begin{aligned}u &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \\&= (\sqrt{0.0014^2 + 0.0075^2 + 0.0173^2 + 0.0017^2 + 0.0017^2 + 0.0138^2}) \approx 0.0235 \mu\text{m}\end{aligned}$$

A.7 扩展不确定度

按正态分布计算，取 $k=2$ ，则位移静态示值的测量不确定度为：

$$U_{95} = k \times u = 2 \times 0.0235 = 0.05 \mu\text{m}$$

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. 同心度校准结果及其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)XX-XXXX 航空发动机动静子同心度测量仪校准规范				
校准环境：温度 °C；相对湿度： %；大气压： hPa				
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	主轴角回转误差扩展不确定度			
2	主轴径向回转误差扩展不确定度			
3	设备同心度测量扩展不确定度			
航空发动机动静子同心度测量不确定度：				

校准员：

核验员：

