



黑龙江省地方计量技术规范

JJF（黑）04-2014

标准超精密气浮导轨校准规范

Calibration Specification for Standard Ultra-precision Air Guide

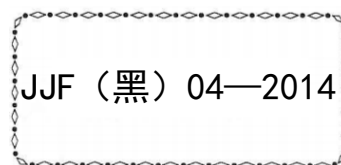
2014-08-12 发布

2014-09-01 实施

黑龙江省质量技术监督局 发布

标准超精密气浮导轨校准规范

Calibration Specification for
Standard Ultra-precision Air Guide



归口单位：黑龙江省质量技术监督局

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）

王晓亮（黑龙江省计量检定测试院）

黄景志（哈尔滨工业大学）

谷 伟（哈尔滨工业大学）

目 录

| | |
|-------------------------------------|------|
| 引 言..... | (II) |
| 1 范围..... | (1) |
| 2 引用文件..... | (1) |
| 3 概述..... | (1) |
| 4 计量特性..... | (1) |
| 4.1 直线度..... | (1) |
| 4.2 承载..... | (2) |
| 5 校准条件..... | (2) |
| 5.1 环境条件..... | (2) |
| 5.2 测量标准及其他设备..... | (2) |
| 6 校准项目和校准方法..... | (2) |
| 6.1 直线度..... | (2) |
| 6.2 承载..... | (3) |
| 7 校准结果表达..... | (3) |
| 8 复校时间间隔..... | (3) |
| 附录 A 标准超精密气浮导轨直线度测量不确定度评定(示例) | (4) |
| 附录 B 校准证书内容及内页格式 | (7) |

引 言

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》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成制定本校准规范的基础性系列规范。

本规范的附录 A 为资料性附录、附录 B 为规范性附录。

本规范为首次制定文件。

标准超精密气浮导轨校准规范

1 范围

本规范适用于长度为0~1000mm的标准超精密气浮导轨的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

JJF 1130-2005 几何量测量设备校准中的不确定度评定指南

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 概述

标准超精密气浮导轨用于形成直线运动基准，是利用气体（通常是空气，也可以是其它气体）作为润滑剂的滑动摩擦导轨，它通过向气浮导轨的气膜间隙内注入压缩气体，利用气膜压力作为支承，以分离相对运动的两个表面。标准超精密气浮导轨主要包括导轨和滑套两部分，导轨和滑套之间为气膜间隙。标准超精密气浮导轨结构示意图如图1所示，其中图(a)为全封闭式标准超精密气浮导轨，图(b)为半封闭式标准超精密气浮导轨。



1. 导轨； 2. 滑套。

(a) 全封闭式标准超精密气浮导轨

(b) 半封闭式标准超精密气浮导轨

图1 标准超精密气浮导轨结构示意图

4 计量特性

4.1 直线度

标准超精密气浮导轨在任意100mm长度上直线度不大于 $0.05\mu\text{m}$ ，在1000mm长度上

直线度不大于 $0.8\mu\text{m}$ 。

4.2 承载

标准超精密气浮导轨的承载不超过 50kg。

(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。)

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度： $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ ，温度变化不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C/h}$ ；

5.1.2 相对湿度： $\leq 65\%$ ；

5.1.3 气源压力： $(0.25\sim 0.6)\text{MPa}$ ；

5.1.4 校准前，将被校准的标准超精密气浮导轨与测量标准器一同放置在校准室内等温，其等温时间不少于 6 小时；

5.1.5 校准时，不应有影响校准结果的振动、漂尘。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 1。

表 1 测量标准及其他设备

| 序号 | 名称 | 计量特性 |
|----|--------|---------------------------|
| 1 | 平面平晶 | 1 等，直径 150mm |
| 2 | 电感传感器 | 非线性误差小于 0.5% |
| 3 | 光电自准直仪 | MPE： $\pm 0.1''$ |
| 4 | 专用重块 | 重量 $(50\pm 0.1)\text{kg}$ |

注：也可采用满足测量不确定度要求的其他测量标准及设备进行校准。

6 校准项目和校准方法

首先检查被校准的标准超精密气浮导轨外观和各部分相互作用，确定没有影响校准计量特性的因素后再进行校准。

6.1 直线度

当标准超精密气浮导轨长度小于等于 100mm 时，采用直径 150mm 的 1 等平面平晶进行测量。将平面平晶置于可调测量台架上，并将电感传感器通过连接机构固定在气浮导轨的滑套上，且与之同步运行；使传感器测头与平面平晶的工作面可靠接触，并调整平

面平晶的工作面和气浮导轨移动的轨迹平行；驱动气浮滑套带动传感器沿导轨匀速运行并以 5mm 或 10mm 的采样间距进行等间隔测量，记录测量数据并按最小二乘法进行直线度评定。连续测量三次，取三次测量结果的算术平均值作为标准超精密气浮导轨的直线度。

当标准超精密气浮导轨的长度为 $100\text{mm} < S \leq 1000\text{mm}$ 时，利用自准直仪法进行直线度测量。将平面反射镜固定于桥板上，然后将桥板置于标准超精密气浮导轨的滑套上，并调整光电自准直仪对准反射镜；驱动滑套等间隔运动，并根据标准超精密气浮导轨的长度确定具体步距(步距可为10mm、20mm或50mm)，每个运动位置的坐标值记为 X_i ，在每个运动位置上自准直仪的读数值记为 Z_i ，可获得测量数据组 (X_i, Z_i) ， $i=1, 2, \dots, n$ ；利用最小二乘法进行直线度评定。连续测量三次，取三次测量结果的算术平均值作为标准超精密气浮导轨直线度。

6.2 承载

在标准超精密气浮导轨的滑套上施加专用重块(或砝码)，检查标准超精密气浮导轨能否正常工作。

7 校准结果表达

经校准的标准超精密气浮导轨，出具校准证书，校准证书应给出校准结果及测量不确定度。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为一年。送校单位可根据实际使用情况自主决定。

附录 A

标准超精密气浮导轨直线度测量不确定度评定(示例)

C.1 校准任务

校准标准超精密气浮导轨的直线度。

C.2 原理、方法和条件

C.2.1 测量原理

接触式相对测量,利用平面平晶作为直线度基准,电感传感器固定在标准超精密气浮导轨上,并随其同步运动,电感传感器测头与平面平晶表面可靠接触,以此测量标准超精密气浮导轨的直线度。

C.2.2 测量方法

当标准超精密气浮导轨运动范围小于 100mm 时,采用直径 150mm 的 1 等平面平晶进行直线度校准。将平面平晶置于可调测量台架上,并将电感传感器通过连接机构固定在气浮导轨的滑套上,且与之同步运行;使传感器测头与平面平晶的工作面可靠接触,并调整平面平晶的工作面和气浮导轨移动的轨迹尽量平行;驱动气浮滑套带动传感器沿导轨匀速运行并等间隔进行测量,记录测量数据并按最小二乘法进行直线度评定。连续测量 3 次并取 3 次直线度评定结果的算术平均值作为标准超精密气浮导轨的直线度。

C.2.3 测量条件

- 环境温度 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, 温度变化每小时不应超过 $\pm 0.5^\circ\text{C/h}$, 环境相对湿度 $\leq 65\%$;
- 被校准标准超精密气浮导轨在实验室内平衡时间 6h 以上。

A.3 数学模型

标准超精密气浮导轨的直线度 Z 可表示为

$$Z = Z_c + \delta_p + \delta_s + \delta_a + \delta_t$$

式中: Z_c —测得的直线度的算术平均值;

δ_p —测量时使用的平面平晶对测量结果的影响;

δ_s —测量系统的非线性误差对测量结果的影响;

δ_a —平面平晶的安装误差对测量结果的影响;

δ_t —测量过程中温度变化对测量结果的影响。

A.4 不确定度分量

A.4.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(Z)$

在各种条件均不改变的情况下，用 1 等平面平晶进行标准超精密气浮导轨直线度测量重复性实验，连续测量 10 次的实验数据为（单位： μm ）：0.045、0.046、0.049、0.050、0.050、0.047、0.046、0.050、0.050 和 0.049。由贝塞尔公式计算得到实验标准差 $s_n(x)=0.002\mu\text{m}$ ，实际测量取三次测量的算术平均值为最终测量结果，则

$$u_1(Z) = u(Z_c) = 0.002 / \sqrt{3} = 0.001\mu\text{m}$$

A. 4. 2 由平面平晶引入的标准不确定度分量 $u_2(Z)$

平面平晶自身的平面度误差为 $0.06\mu\text{m}$ ，测量时选其直线度最小的区间为 $0.02\mu\text{m}$ ，半区间为 $0.01\mu\text{m}$ ，符合均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{21}(Z) = 0.01 / \sqrt{3} = 0.005\mu\text{m}$$

利用 Zygo 干涉仪对平面平晶进行校准时，其校准的扩展不确定度为 $0.01\mu\text{m}$ ， $k=2$ ，由此引入的标准不确定度为：

$$u_{22}(Z) = 0.01 / 2 = 0.005\mu\text{m}$$

则由平面平晶引入的标准不确定度分量 $u_2(Z)$

$$u_2(Z) = u(\delta_p) = \sqrt{u_{21}^2(Z) + u_{22}^2(Z)} = 0.007\mu\text{m}$$

A. 4. 3 由测量系统非线性误差引入的标准不确定度分量 $u_3(Z)$

在 $-3\sim+3\mu\text{m}$ 测量范围内，测量系统的非线性误差为 0.5% ，实际进行径向回转误差测量时，传感器的测量范围为 $-0.1\sim+0.1\mu\text{m}$ ，由此引入的非线性误差为 $0.1\mu\text{m} \times 0.5\% = 0.5\text{nm}$ ，按均匀分布处理， $k=\sqrt{3}$ ，则由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_3(Z) = u(\delta_s) = 0.0005 / \sqrt{3} = 0.0003\mu\text{m}$$

A. 4. 4 由温度变化引入的标准不确定度分量 $u_4(Z)$

温度的变化会影响标准超精密气浮导轨的直线度的测量结果，在测量前，平面平晶已经放置在测量室内充分恒温，避免温度变化引起的变形。平晶由光学玻璃制作，尺寸为 $\phi 150\text{mm}$ ，膨胀系数取 4.8×10^{-6} ，当温度在空间梯度上变化 0.01°C 时，产生的形状变形为 $\Delta l = 4.8 \times 10^{-6} \times 0.15 \times 0.01 = 0.007\mu\text{m}$ 。温度效应按三角分布处理，在 95% 的置信概率下 $k=1.90$ ，则由此引入的标准不确定度为：

$$u_4 = u(\delta_t) = \frac{0.007}{1.9} = 0.003\mu\text{m}$$

A. 4. 5 安装误差引入的标准不确定度分量 $u_5(J)$

测量时需要调整平晶与标准超精密气浮导轨的平行，但是难以调整到完全一致，存在一定安装误差。在数据处理时由于安装误差带来的偏心影响可以通过数据处理进行修正，残留误差影响在 $\pm 0.003\mu\text{m}$ 以内，符合均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_5(Z) = u(\delta_a) = 0.003 / \sqrt{3} = 0.002\mu\text{m}$$

A. 5 合成标准不确定度

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间没有值得考虑的相关性，则合成标准不确定度为：

$$u_c(Z) = \sqrt{u_1^2(Z) + u_2^2(Z) + u_3^2(Z) + u_4^2(Z) + u_5^2(Z)} = \sqrt{0.001^2 + 0.007^2 + 0.0003^2 + 0.003^2 + 0.002^2} = 0.008\mu\text{m}$$

5. 3 扩展不确定度计算：

取包含因子 $k=2$ ，则扩展标准不确定度 U ：

$$U(J) = k u_c(J) = 2 \times 0.008 = 0.016\mu\text{m}$$

附录 B

校准证书内容

- A.1 标题：“校准证书”；
- A.2 实验室名称和地址；
- A.3 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- A.4 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- A.5 客户的名称及地址；
- A.6 被校对象的描述和明确标识；
- A.7 进行校准的日期，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；
- A.8 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；
- A.9 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- A.10 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- A.11 校准环境的描述；
- A.12 校准结果及其测量不确定度的说明；
- A.13 对校准规范的偏离的说明；
- A.14 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- A.15 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- A.16 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

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)04-2014 标准超精密气浮导轨校准规范 | | | | |
| 校准环境：温度 °C；相对湿度： %；大气压： Pa | | | | |
| 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 | 直线度 | | | |
| 2 | 承载 | | | |
| 测量不确定度： | | | | |
| 校准员： | | 核验员： | | |

