JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF××××—××××

光谱共焦传感器
校准规范

Calibration Specification of Chromatic Confocal Sensors

（征求意见稿）

XXXX–XX–XX 发布　　XXXX–XX–XX 实施

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局发布

光谱共焦传感器
校准规范

JJF××××－××××

Calibration Specification of Chromatic Confocal Sensors

归口单位：全国几何量工程参量计量技术委员会

主要起草单位：
中国计量科学研究院
中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所
新疆维吾尔自治区计量测试研究院

参加起草单位：
河南省计量科学研究院
思显光电技术（上海）有限公司
厦门市计量检定测试院

本规范委托全国几何量工程参量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

朱小平（中国计量科学研究院）

李加福（中国计量科学研究院）

赵新丽（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究

赵宏亮（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

参加起草人：

黄玉珠（河南省计量科学研究院）

时博洋（思显光电技术（上海）有限公司）

郑伟峰（厦门市计量检定测试院）

目录

引言 1
1 范围 2
2 引用文件 2
3 概述 2
4 计量特性 3
4.1 测量重复性 3
4.2 示值漂移 3
4.3 线性误差 3
5 校准条件 3
5.1 环境条件 3
5.2 校准用的标准器及设备 3
6 校准项目和校准方法 3
6.1 校准前准备 3
6.2 测量重复性 3
6.3 示值漂移 4
6.4 线性误差 4
7 校准结果的表达 5
8 复校时间间隔 5
附录 A 校准证书内容 6
附录 B 测量结果不确定度评定（示例） 7
附录 C 参考中值线的数据处理方法实例 11
附录 D 典型光谱共焦传感器主要技术参数 12

引　言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2010《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》规定的规则编写。

本规范参考了 ISO25178-602 Geometrical product specifications(GPS)-Surface texture:Areal- Part 602:Nominal characteristics of non-contact(confocal chromatic prob) instruments、JJF1663-2017《激光测微仪校准规范》、JJF 1305-2011《线位移传感器校准规范》的相关内容。

本规范为首次发布。

光谱共焦传感器校准规范

1 范围

本校准规范适用于测量范围至 100mm、分辨力优于 10μm 的光谱共焦传感器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》

JJF1001-2010《通用计量术语及定义》

JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》

ISO25178-602 Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Areal- Part 602: Nominal characteristics of non-contact (confocal chromatic probe) instruments

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

光谱共焦传感器是一种通过光学色散原理建立距离与波长间的对应关系，利用光谱仪解码光谱信息，从而获得位置信息的装置。作为一种光学位移传感器，主要用于表面形貌、薄膜厚度及位移的测量，在微电子、半导体、液晶平板等领域中具有广泛的应用。如图 1 所示，LED 白光光源发出的光经过光阑成为点光源通过色散物镜产生光谱色散，即形成不同波长的单色光，在光轴上形成连续的单色光焦点，每一个单色光焦点对应于被测物体表面上不同的位置或距离。投射到物体表面被反射回来的测量光中，只有满足共焦条件的单色光通过小孔具有最大光强被光谱仪探测到，经光谱仪解码分析得到对应位置或距离。如图 1 为光谱共焦传感器工作原理，图 2 为光谱共焦传感器及控制器外观示意图。

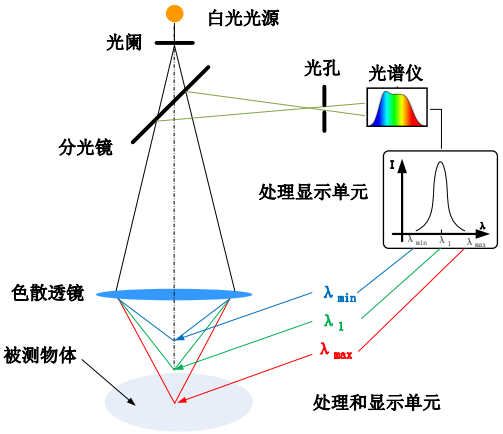


图 1 光谱共焦传感器工作原理

图 2 光谱共焦传感器及控制器外观示意图

4 计量特性

4.1 测量重复性

在传感器测量范围中心位置附近，按 10 次重复测量的标准偏差为测量重复性，标准偏差与满量程比值的百分数为相对重复性。

4.2 示值漂移

在 15 分钟内传感器示值变化量与满量程比值的百分数。

4.3 线性误差

在传感器测量范围内，取各测量点示值误差与满量程比值百分数的最大值。

5 校准条件

5.1 环境条件

a) 校准室环境温度：（20±5）℃；温度的稳定性：每小时变化不超过 1℃。

b) 相对湿度：≤75%RH。

c) 校准室内无影响测量的振动、光噪音、气流扰动等干扰源。

5.2 校准用的标准器及设备

光谱共焦传感器校准用标准器见表 1。

表 1 校准项目及校准用标准器

校准项目	校准用标准器及计量特性
测量重复性	激光干涉仪：MPE: $\pm(0.03+1\times10^{-6}L)$ μm 测长仪，测长机: MPE: $\pm(0.10+1\times10^{-6}L)$ μm L：测量长度(μm)
示值漂移	
线性误差	

注：允许采用满足测量不确定度要求的其它测量标准器。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

传感器与标准设备的等温时间不少于 2 小时，校准前应进行外观检查及开机试运行，包括光纤、探头、控制及处理显示单元等的功能，开机预热时间不少于 10min。在确保没有影响校准计量特性的因素后方可进行校准。

6.2 测量重复性

利用专用夹具，把光谱共焦传感器安装固定在专用工作台上，调整共焦传感器的位置和姿态，使其测量光轴与激光干涉仪或测长仪等长度标准仪器的测量光轴尽可能满足阿贝原则，安装固定传感器的配合目标（可选用量块、光学平面、测长仪的不锈钢测头，确保有足够的光强信号）和干涉仪的角锥测量镜在同一直线位移台上，通过控制直线位移台及配合目标轴向位置，使共焦传感器在有效测量行程内，传感器安装示意图见图 3、图 4。

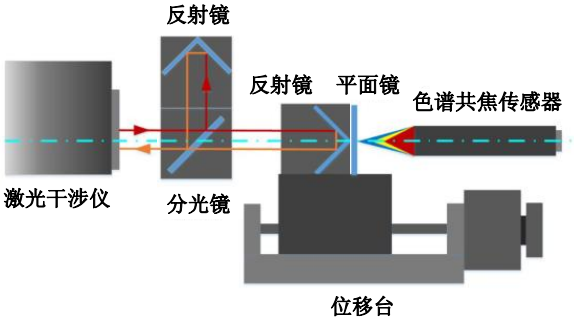


图 3 干涉仪方法安装示意图

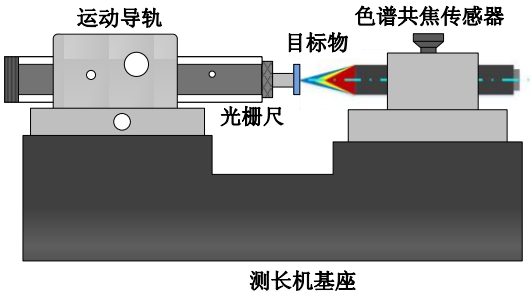


图 4 测长仪方法安装示意图

调整位移台位置使光谱共焦传感器的读数在量程中心附近，记录共焦传感器与激光干涉仪的读数差d_1，调整位移台做适当移动后再回到测量位置，再记录传感器与干涉仪的读数差d_2，如此重复测量 10 次，按公式（1）计算实验标准偏差s：

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i-\bar{d})^2}{n-1}} \qquad (1)$$

式中：d_i—第 i 次测量的仪器示值，μm;

$\bar{d}$—10 次测量的算术平均值，μm;

n—测量次数，n=10。

根据公式（2）计算相对测量重复性 r：

$$r=\frac{s}{FS}\times 100\% \qquad (2)$$

FS —光谱共焦传感器的满量程值。

测量前，如有必要可对传感器光强进行调整，以使共焦传感器处于最佳工作状态。

6.3 示值漂移

按 6.2 中方法进行安装和调整后，移动配合目标至大约在传感器的二分之一量程处，记录传感器与干涉仪的读数差，固定传感器、配合目标、激光干涉仪的相对位置，记录 15min 内传感器的示值变化量除以传感器的满量程值的百分数作为仪器的示值漂移。

测量前如有必要可对传感器的光强进行调整，以使共焦传感器处于最佳工作状态。

6.4 线性误差

按 6.2 中方法进行安装和调整后，对共焦传感器的光强进行调整，以使共焦传感器处于最佳工作状态。在传感器有效测量范围内等间隔选取 6~11 个测量点，由测量行程近端至远端分别测量记录传感器与干涉仪各点的正向示值差 D_{pi}，再由远端至近端逐点测量记录反向示值差 D_{ni}，计算各点正反向示值差的算术平均值 $\overline{D_i}$，基于这组平均值拟合计算参考中值线（参考附录 C），再计算各点与参考中值线的差值 Δ_i 除以传感器的满量程值 FS 的百分数作为该点的线性误差，取各点线性误差中最大值作为传感器的线性误差δ_i，按照公

式（3）计算：

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{FS} = \frac{\overline{D_i} - S_i}{FS} \times 100\% \qquad (3)$$

式中：$\overline{D_i}$ —第 i 个测量点传感器与干涉仪正反程示值差平均值：$\overline{D_i} = \frac{D_{pi} + D_{ni}}{2}$；

S_i—各点的参考中值；

FS —光谱共焦传感器的满量程值。

7 校准结果的表达

经校准后的光谱共焦传感器，应填发校准证书。校准证书应给出各项校准项目的测量结果及扩展不确定度。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071-2010 中 5.12 的要求，校准证书至少应包含附录 A 所含的信息。

8 复校时间间隔

光谱共焦传感器复校时间间隔由用户根据实际使用情况决定，建议一般不超过 1 年。

附 录 A

校准证书内容

校准证书应包括但不限于以下条目内容：

标题：校准证书；

实验室名称和地址；

进行校准的地点；

证书或报告编号、页码及总页数；

送检单位的名称和地址；

被校准仪器名称；

被校准仪器的制造厂、型号规格及编号；

校准所使用的计量标准名称及有效期；

本规范的名称、编号和对本规范的任何偏离、增加或减少的说明；

校准时环境温度与湿度情况；

校准项目的校准结果及不确定度；

校准人签名、核验人签名、批准人签名；

校准证书签发日期；

复校时间间隔的建议；

未经校准实验室书面批准，不得部分或全部复制校准证书。

附 录 B

测量结果不确定度评定（示例）

光谱共焦传感器示值误差校准结果的不确定度分析

B1 测量方法

光谱共焦传感器的示值误差是通过与激光干涉仪或高精度测长仪（机）比较测量进行校准的。首先把光谱共焦传感器、配合目标和角锥测量镜、位移台、激光干涉仪按近似阿贝原则进行安装后，调整配合目标至共焦传感器测量行程内，在传感器有效工作量程内均分 6~11 个测量点位，由近至远逐点测量并记录共焦传感器与激光干涉仪的示值差值作为各点的示值误差，各点示值误差与最小二乘法拟合的参考中值的差值，除以满量程值的百分数作为传感器的线性误差。

下面以分辨力 0.01μm、测量范围 300μm 的光谱共焦传感器的示值误差校准结果不确定度为例进行分析。

B2 测量模型

光谱共焦传感器的示值误差δ通过公式（B.1）进行计算：

$$\delta = d - D \tag{B.1}$$

式中：d—传感器测量值

D—干涉仪或其它长度标准仪器的测量值

B3 灵敏系数与合成标准不确定度

B.3.1 灵敏系数

传感器和干涉仪的测量读数示值相互独立，FS 为常数，所以

灵敏系数c_i：$c_1 = \dfrac{\partial \delta}{\partial d} = 1$，$c_2 = \dfrac{\partial \delta}{\partial D} = 1$

B.3.2 合成标准不确定度

令u_1与u_2分别表示d和D的标准不确定度，则合成标准不确定度u_c为：

$$u_c^2 = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 = u_1^2 + u_2^2 \tag{B.2}$$

B4 标准不确定度分量一览表

表 B.1 不确定度评定一览表

标准不确定度分量u_i	不确定度来源	传递因子	标准不确定度	说明
u_1	传感器测量值引入不确定度分量	1	0.01%	用 A 类方法进行评定
u_2	干涉仪测量值引入不确定度	1	0.005%	用 B 类方法评定

B5 标准不确定度分量的计算

B.5.1 光谱共焦传感器示值引起的不确定度分量u_1

B.5.1.1 光谱共焦传感器的测量重复性引入的不确定度分量u_{11}

光谱共焦传感器的测量重复性引入的不确定度分量，在相同条件下，可通过 10 次连续重复测量，按贝塞尔公式计算其实验标准偏差得到。

$$u_{11}=s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \tag{B.3}$$

引用共焦传感器的测量重复性要求，则该项不确定度分量为：

$$u_{11}=0.01\%$$

B.5.1.2 光谱共焦传感器的测量分辨力引入的不确定度分量u_{12}

光谱共焦传感器的显示分辨力一般为 0.01μm，按均匀分布处理，则：

$$u_{12}=\frac{0.01}{2\sqrt{3}}=0.003\mu m \tag{B.4}$$

比较测量重复性引入的不确定度分量u_{11}和分辨力引入的不确定的度分量u_{12}，取结果较小大者，则相对不确定度分量为：

$$u_{1(rel)}=u_{11}=0.01\% \tag{B.5}$$

B.5.2 激光干涉仪示值引入的不确定度分量u_2

干涉仪引入的不确定度主要来源于干涉仪长度测量的不确定度，按查询相关技术资料或校准报告，其扩展不确定度（$0.03+1.0\times10^{-6}L$）μm，k=2，L-测量长度(μm)。按近似正态分布考虑，则

$$u_2=\frac{0.03+1.0\times10^{-6}L}{2}=0.015+0.5\times10^{-6}L \tag{B.6}$$

当传感器满量程为 300μm，L 取值 300μm，则相对不确定度为：

$$u_{2(rel)}=\frac{0.015+0.5\times10^{-6}L}{FS}=\frac{0.015}{300}=0.005\%$$

线性误差是各点示值误差通过最小二乘法拟合计算得到参考中值线，经过处理后再得到各点的线性误差值，测量数据经过最小二乘法计算处理时引入的计算误差很小，由此带来的误差可忽略不计。

B6 合成标准不确定度u_c

u_1和u_2相互独立，按近似正态分布考虑，合成标准不确定度：

$$u_{c(rel)}=\sqrt{u_{1(rel)}^2+u_{2(rel)}^2}=0.01\% \qquad \text{（B.7）}$$

B7 扩展不确定度

取包含 k=2，则相对扩展不确定度为：

$$U_{rel}=2\cdot u_{c(rel)}=2\times 0.01\%=0.02\% \qquad \text{（B.8）}$$

校准结果的扩展不确定度中，由重复性引入的不确定度占比最大。要降低校准结果的不确定度，必须提高传感器本身的测量重复性。

不同测量范围和分辨力的光谱共焦传感器，示值误差校准结果不确定度评估方法类同。

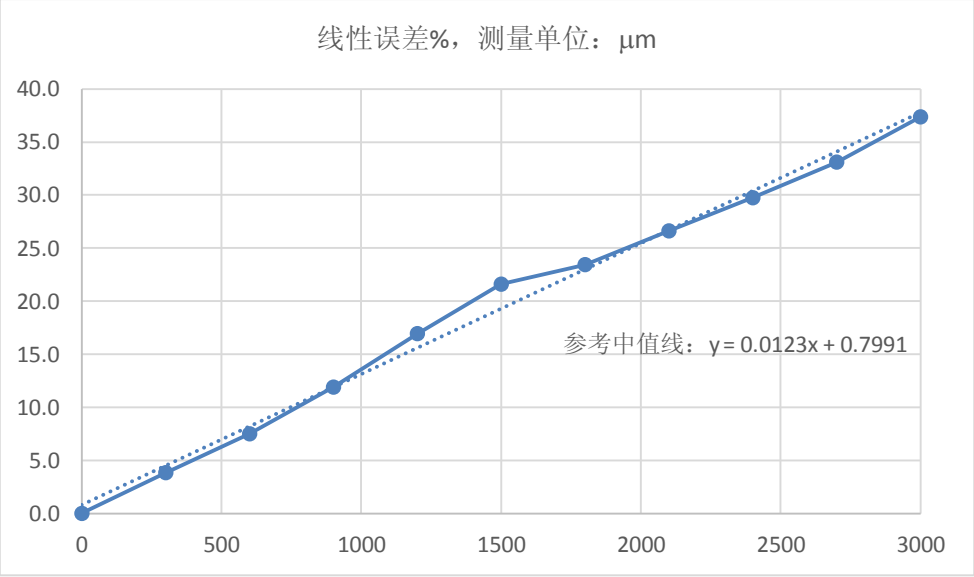
附 录 C

参考中值线的数据处理方法实例

表 C.1 参考中值线的数据处理方法实例 单位：μm

测量点 X_i	传感器与干涉仪的示值差 $\overline{D_i}$	中值线 S_i	偏差 $\Delta_i = \overline{D_i} - S_i$	线性误差(%) $\delta_i = \Delta_i / FS \times 100\%$
0	0.0	0.7991	-0.7991	-0.03
300	3.8	4.4891	-0.6491	-0.02
600	7.5	8.1791	-0.6791	-0.02
900	11.9	11.8691	0.0309	0.00
1200	16.9	15.5591	1.3809	0.05
1500	21.6	19.2491	2.3509	0.08
1800	23.4	22.9391	0.5009	0.02
2100	26.6	26.6291	-0.0091	0.00
2400	29.7	30.3191	-0.5791	-0.02
2700	33.1	34.0091	-0.9091	-0.03
3000	37.4	37.6991	-0.3391	-0.01

表中，根据示值差按最小二乘法拟合计算参考中值线，FS 为传感器的满量程值：3000μm，本例中传感器的线性误差为 0.08%。



附 录 D

典型光谱共焦传感器主要技术参数

表 D.1 典型光谱共焦传感器主要技术参数表

量程	重复性	线性误差最大允许值
不超过±300μm	0.01%	0.05%FS
≥±300μm~±10mm	0.01%	0.05%FS
≥±10mm~±100mm	0.01%	0.02%FS
注：实际计量特性参考制造厂商技术要求。		

注：由于校准工作只给出测量结果，不判断合格与否，上述计量特性仅供参考。