

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

## 高速激光干涉仪校准规范

Calibration Specification for High-speed Interferometer

(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

# 高速激光干涉仪校准规范

Calibration Specification for High-speed  
Interferometer

JJF XXXX-XXXX

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：哈尔滨工业大学

中国计量科学研究院

参加起草单位：中国电子科技集团公司第四十五研究所

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

# 目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	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 校准结果表达.....	8
9 复校时间间隔.....	9
附录 A 高速激光干涉仪位移测量动态示值误差测量结果不确定度评定示例 .....	10
附录 B 校准证书内容 .....	13
附录 C 校准证书内页格式 .....	14

# 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。

本规范为首次发布。

# 高速激光干涉仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于高速激光干涉仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 739-2005 激光干涉仪

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 17163-2008 几何量测量器具术语 基本术语

JB/T 5610-2006 激光干涉仪

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（包括所有的修订单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

本规范采用下列术语、定义和计量单位以及所有JJF1001、GB/T 17163中的术语、定义和计量单位，其中部分术语、定义和计量单位如下：

### 3.1 高速激光干涉仪 high speed interferometer

以激光波长为测量标准，按多普勒效应产生的多普勒频移进行几何量测量的快速、动态测量仪器，其最大测量速度不低于100mm/s，测量数据更新率不低于1kHz。

### 3.2 触发测量 trigger measurement

在收到外部或内部的触发信号时，高速激光干涉仪输出与触发信号边沿对应的位移值。

### 3.3 最大测量速度 maximum speed

保证激光干涉仪正常工作时测量反射镜的最大移动速度。

### 3.4 周期非线性误差 periodic nonlinear error

高速激光干涉仪为了获得高分辨力，在一个干涉周期内对干涉信号进行细分处理时，引起的位移测量误差。

### 3.5 测量数据时延 measurement data age

被测目标实际位移产生的时刻，到高速激光干涉仪输出该位移的时刻，两者之间存在的时间差。

### 3.6 测量数据更新率 measurement data update rate

高速激光干涉仪测量结果更新和输出的速度。

### 3.7 位移测量动态示值误差 indication error of dynamic displacement measurement

在被测目标运动过程中，利用高速激光干涉仪对被测目标位移进行连续触发测量，测量结果与真实位移的偏差为位移测量动态示值误差。

## 4 概述

高速激光干涉仪是以激光波长为基准，由多普勒频移累积的相位变化进行高速位移的实时动态测量的仪器。它是利用两束单频激光束，或两束具有固定频差的双频激光束，进行干涉测量的仪器。高速激光干涉仪也可通过多个位移量的同步测量与解算，获得角度变化等其它几何量。

高速激光干涉仪包括稳频激光器、干涉镜、反射镜、环境参数传感器、相位测量板卡与软件等。主要用于微电子加工装备、微电子量测装备、高端数控机床、纳米坐标机等装备中，运动目标的实时位姿检测与反馈控制。

## 5 计量特性

### 5.1 最大测量速度

高速激光干涉仪的最大测量速度不小于100mm/s。

### 5.2 周期非线性误差

高速激光干涉仪的周期非线性误差应不超过5nm。

### 5.3 测量数据时延

高速激光干涉仪的测量数据时延不超过3.5μs。

### 5.4 测量数据更新率

高速激光干涉仪的测量数据更新率应不小于1kHz。

### 5.5 位移测量动态示值误差

高速激光干涉仪的位移测量动态示值误差不超过  $\pm(0.02 + 0.2D + 0.02V)\mu\text{m}$ 。

$D$ ——被测长度，单位m；

$V$ ——被测目标运动速度，单位m/s。

注：以上所有指标不是用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

高速激光干涉仪校准的环境温度应在 $21^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内。一次校准过程中，测量环境温度变化不超过 $0.05^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度变化不超过5%RH，气压变化不超过50Pa。测量环境洁净度达到1000级。地基在水平和垂直方向振动速度的1/3倍频程谱在1Hz~100Hz内均小于 $2\mu\text{m/s}$ 。

### 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	测量标准和其他设备
1	最大测量速度	高速直线运动台（最大运动速度不小于2m/s）、接近式传感器（最大示值误差 $\sigma_s$ 优于 $\pm 5\mu\text{m}$ ）
2	周期非线性误差	微位移运动台（压电陶瓷开环行程大于 $2\mu\text{m}$ ，开环分辨力小于 $0.3\text{nm}$ ）
3	测量数据时延	高速直线运动台（最大运动速度不小于2m/s、匀速段速度相对均匀性优于0.05%）、参考高速激光干涉仪（最大测量速度不小于2m/s，测量分辨力优于1nm，测量数据更新率不小于1MHz，测量数据时延 $\tau_r$ 已知且不超过 $3.5\mu\text{s}$ ）
4	测量数据更新率	计时器（测量不确定度不超过1ms， $k=2$ ），位移测量数据采集系统；或直线运动台（最大运动速度不小于100mm/s，匀速段速度相对均匀性优于0.1%）；或光强调制设备（调制带宽不小于35MHz、调制深度不低于80%，谐波噪声优于-45dBc）、单频激光器（波长633nm，相对光强稳定度0.2%，光功率不小于1mW）
5	位移测量动态示值误差	高速直线运动台（最大运动速度不小于2m/s、匀速段速度相对均匀性优于0.05%）、参考高速激光干涉仪（最大测量速度不小于2m/s，测量分辨力优于1nm，测量数据更新率不小于1MHz，测量数据时延 $\tau_r$ 已知且不超过 $3.5\mu\text{s}$ ，位移测量动态示值误差优于 $\pm (0.01+0.1D+0.01V)\mu\text{m}$ 。）

注：可采用满足测量不确定度要求的其他测量标准及其他设备进行校准。

## 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

首先检查高速激光干涉仪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。

校准前高速激光干涉仪在室内平衡温度的时间不小于3h；对激光频率稳定度和位移测量性能校准前，稳频激光器需开机预热20min以上；位移测量性能校准前，稳频激光器和数据处理卡需开机预热20min以上，并在运行平稳后将仪器的数据处理卡输出置零。

### 7.2.1 最大测量速度

最大测量速度的校准如图 1 所示，用高速直线运动台和接近式传感器来测试高速激光干涉仪的最大测量速度。

a) 使高速直线运动台静止于运动台近端的零位，将待校准高速激光干涉仪清零，同时记录接近式传感器测量值  $D_{r1}$ 。

b) 控制高速直线运动台从零位开始向远端运动，在此过程中从静止加速到运动速度  $V$  后匀速运动，再经减速过程停止到远端。

c) 控制高速直线运动台从远端静止位置向近端零位运动，在此过程中从静止加速到目标速度  $V$  后匀速运动，再经减速过程停止到近端零位。

d) 同时读取待校准高速激光干涉仪测量值  $D_m$  和接近式传感器测量值  $D_{r2}$ ，若满足  $|D_m| \pm \lambda/2$  小于  $|D_{r1} - D_{r2}| \pm \sigma_s$ ，其中  $\lambda$  为激光波长，则待校准高速激光干涉仪的测量速度可达到高速直线运动台的运动速度  $V$ 。

e) 不断提高高速直线运动台的运动速度  $V$ ，重复上述步骤a) 到步骤d) 过程，确定校准高速激光干涉仪的最大测量速度。

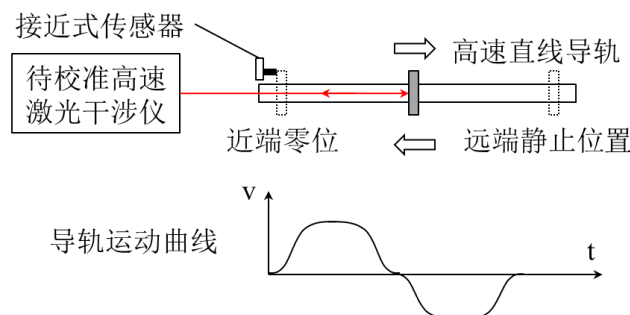


图 1 最大测量速度校准示意图

### 7.2.2 周期非线性误差

周期非线性误差校准如图 2 所示，用微位移运动台来测试高速激光干涉仪的周期非线性误差。

a) 将微位移运动台放在被测高速激光干涉仪测量光束的延长线上，且微位移运动台

的运动方向与测量光束平行。

b) 将被测高速激光干涉仪的线性位移测量反射镜放置在微位移运动台上。

c) 利用周期三角波电压驱动微动工作台的压电陶瓷使反射镜作匀速、往返扫描运动，且运动范围  $2\ \mu\text{m}$ -  $50\ \mu\text{m}$ ，运动速度范围  $0.1\ \mu\text{m/s}$ - $30\ \mu\text{m/s}$ 。

d) 在反射镜匀速、往返扫描运动过程中等周期采集被测高速激光干涉仪的测量值，采样周期不超过  $1\ \text{ms}$ ，采样周期不确定度不超过  $0.01\ \text{ms}$  ( $k=3$ )。

e) 周期非线性误差的计算

取反射镜在匀速、往返扫描运动中的任意一次单向运动过程的连续测量数据  $D_0 \sim D_i$ ，利用最小二乘法将  $D_0 \sim D_i$  拟合成为以  $i$  为横坐标，以  $i$  为纵坐标的一个三次多项式曲线和一条直线，将原数据曲线、三次多项式曲线和直线旋转相同的角度，使直线与  $x$  轴平行。此时，三次多项式曲线与原数据曲线之间垂直距离的极大值，即为被测高速激光干涉仪的周期非线性误差。

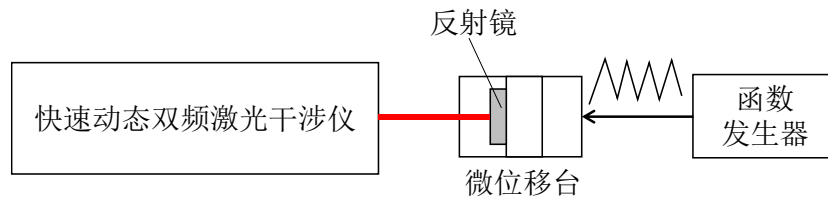


图 2 周期非线性误差校准示意图

### 7.2.3 测量数据时延

高速激光干涉仪的测量数据时延校准如图3所示，令时延已知为  $\tau_r$  的参考高速激光干涉仪与待校准高速激光干涉仪测量位于高速运动台上的同一待测目标。对两套高速激光干涉仪使用同一触发信号进行同步触发，随后使待测目标从静止开始做匀速运动。在测量结果的匀速段中，两套高速激光干涉仪达到同一位移所对应的时间差  $\tau_d$ ，即为两套高速激光干涉仪之间的时延之差。因此，待校准高速激光干涉仪的测量数据时延可以表示为  $\tau_r + \tau_d$ 。

可按照以下步骤进行：

- a) 首先令两套高速激光干涉仪测量轴与待测目标运动方向平行并与反射镜垂直，且参考干涉仪的两测量轴相对待校干涉仪的测量轴呈空间对称分布；
- b) 随后，使用相同长度数据线连接上位机与两套高速激光干涉仪，在目标静止时进行同步清零；

- c) 令待测目标由静止开始做1m/s匀速运动，将同一触发信号提供给两套高速激光干涉仪，使用上位机同步读取两套高速激光干涉仪在匀速段的测量数据 $x_{\text{ref}}$ 与 $x_{\text{dut}}$ ，其中 $x_{\text{ref}}$ 由参考干涉仪两测量轴结果取平均获得；
- d) 待校准高速激光干涉的数据周期计算。对两套高速激光干涉仪位移测量结果的匀速段做二次多项式拟合，获得的一次、零次项系数分别为 $a_r$ ， $b_r$ 与 $a_m$ ， $b_m$ 。则两套高速激光干涉仪时延之差可以表示为：

$$\tau_{\Delta} = \pm \left| \frac{b_r}{a_r} - \frac{b_m}{a_m} \right|$$

当待校准高速激光干涉仪位移测量结果滞后于参考高速激光干涉仪时，该式取正，反之取负。最后将其与参考高速激光干涉仪数据周期 $\tau_r$ 相加可获得待校准高速激光干涉仪的测量数据时延。

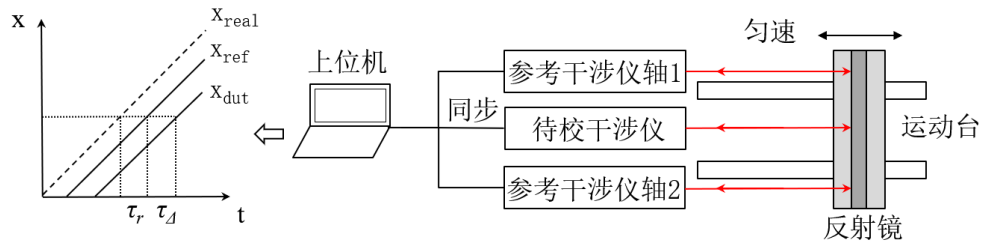


图3 测量数据时延校准示意图

## 7.2.4 测量数据更新率

### 7.2.4.1 计时器校准法

对于数据更新率较低的情况，将待校准高速激光干涉仪测量数据更新率设定为最大值时，利用位移测量数据采集系统来采集待校准高速激光干涉仪输出的测量数据并采用计时器计时，在10s内采集到的测量结果个数为N，取其平均值 $N/10$ 作为待校准高速激光干涉仪测量数据更新率的测量结果。

### 7.2.4.2 高速运动台校准法

对于数据更新率较高的情况，可选择使用高速运动台校准测量数据更新率，如图4所示。具体流程可按照以下步骤进行：

- 将待校准高速激光干涉仪测量数据更新率设定为最大值；
- 调整待校高速激光干涉仪测量轴与高速直线导轨运动方向平行，并与待测反射镜垂直；
- 令待测目标由静止开始加速，直到以速度 $V(V=100\text{mm/s})$ 做匀速运动，匀速运动

时间不小于0.1s;

- d) 在匀速段, 使用上位机连续记录待校准激光干涉仪输出的位移测量数据 $X_i$ , ( $i=1、2、\cdots\cdots 1001$ );
- e) 根据 $V/(X_i-X_{i-1})$ , ( $i=2、3\cdots\cdots 1001$ )计算测量数据更新率;
- f) 将d)中的多次计算结果取平均, 可得最终测量数据更新率的校准结果。

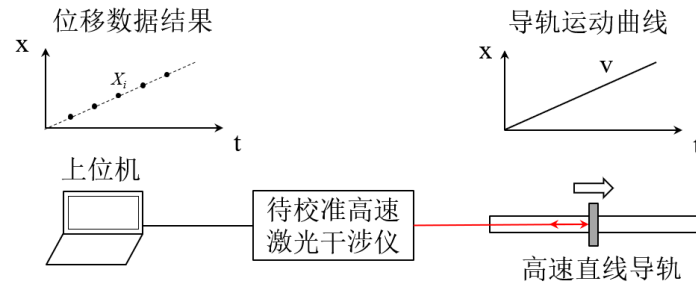
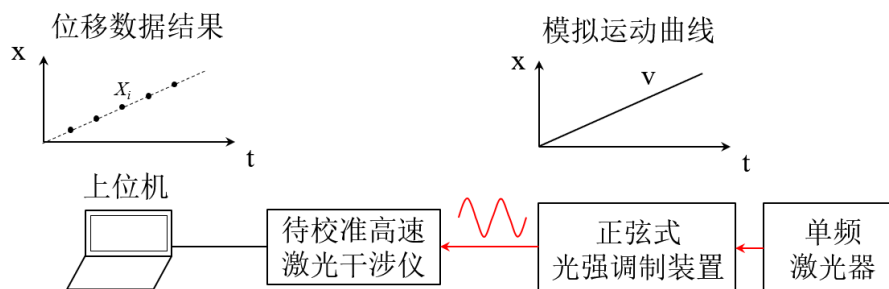


图4 高速运动台校准测量数据更新率示意图

#### 7.2.4.3 光强调制装置校准法

对于数据更新率较高的情况, 还可使用光强调制装置校准测量数据更新率, 如图5所示。具体流程可按照以下步骤进行:

- a) 将单频激光器出光接入正弦式光强调制装置, 令其输出调制频率为 $F_m$ 的光强调制光束, 等效于目标做速度 $V$ 为 $(F_m-F_r)*\lambda/N$  ( $F_r$ 为干涉仪参考信号频率,  $\lambda$ 为波长,  $N$ 为光学细分数) 匀速运动时的干涉光束;
- b) 令 $F_m$ 等于 $F_r$ , 此时等效于目标静止, 上位机对待校激光干涉仪清零;
- c) 令 $F_m$ 逐渐增大或减小至某一固定值, 此时等效于目标由静止逐渐加速至固定速度做匀速运动, 使用上位机连续记录在匀速段, 待校干涉仪输出的位移测量数据 $X_i$ , ( $i=1、2、\cdots\cdots 1001$ );
- d) 根据 $V/(X_i-X_{i-1})$ , ( $i=2、3\cdots\cdots 1001$ )计算测量数据更新率;
- e) 将d)中的多次计算结果取平均, 可得最终测量数据更新率的校准结果。



f) 图5 光强调制装置校准测量数据更新率示意图

### 7.2.5 位移测量动态示值误差

高速激光干涉仪的位移测量动态示值误差的校准，可以按照以下步骤进行：

- a) 利用测量数据时延已知为 $\tau_r$ 的参考高速激光干涉仪和测量数据时延为 $\tau_m$ （由7.2.3测试得到）的待校准高速激光干涉仪，测量高速直线运动台上的同一目标；
- b) 目标处于静止状态下，对两套高速激光干涉仪进行同步清零；
- c) 令待测目标由静止开始加速，直到以 $V_j=j*100\text{mm/s}$ , ( $j=1、2、3\cdots\cdots n$ )进行匀速运动后，以同一连续触发信号序列 $t_i=t_0+iT$ , ( $i=0、1、2\cdots\cdots n$ )，触发两套高速激光干涉仪进行同步测量，分别获得两套高速激光干涉仪的测量数据为 $D_r(i, V_j)$ 和 $D_m(i, V_j)$ ；
- d) 考虑两套高速激光干涉仪的测量数据相对时延为 $\tau_r-\tau_m$ ，则在 $V_j$ 匀速条件下，待校准高速激光干涉仪的示值误差可以表示为 $E(i, V_j)=D_m(i, V_j)-D_r(i, V_j)+(\tau_m-\tau_r)V_j$ ；
- e) 根据测量数据，利用最小二乘法将待校准高速激光干涉仪的示值误差 $E(i, V_j)$ 和参考干涉仪位移 $D_r(i, V_j)$ 拟合为以参考干涉仪位移 $D_r(i, V_j)$ 为横坐标、以待校准高速激光干涉仪的示值误差 $E(i, V_j)$ 为纵坐标的直线，该直线的斜率为待校准高速激光干涉仪的位移线性系数 $\beta$ ；
- f) 将待校准高速激光干涉仪的示值误差 $E(i, V_j)$ 减去 $\beta*D_r(i, V_j)$ ，得到与待测位移无关的待校准高速激光干涉仪的示值误差 $E_v(i, V_j)$ ，利用最小二乘法将待校准高速激光干涉仪的示值误差 $E_v(i, V_j)$ 和参考干涉仪位移 $D_r(i, V_j)$ 拟合为以参考干涉仪位移 $D_r(i, V_j)$ 为横坐标、以待校准高速激光干涉仪的示值误差 $E_v(i, V_j)$ 为纵坐标的直线，该直线的截距为待校准高速激光干涉仪的示值误差固定项 $\alpha$ ，该直线的斜率为待校准高速激光干涉仪的速度线性系数 $\gamma$ ；
- g) 根据上述完整过程，待校准高速激光干涉仪的位移测量动态示值误差可以表示为 $\pm(\alpha+\beta*D+\gamma*V)$ ，式中 $D$ 为待测目标位移值， $V$ 为高速直线运动台的匀速段速度值。

## 8 校准结果表达

经过校准的高速激光干涉仪出具校准证书，校准证书格式及内容参见附录C。

## 9 复校时间间隔

建议一般不超过 2 年。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

### 高速激光干涉仪位移测量动态示值误差测量结果不确定度评定示例

#### A.1 概述

依据JJF 1130-2005《几何量测量设备校准中的不确定度评定指南》，对高速激光干涉仪位移测量动态示值误差测量结果不确定度进行评定。

#### A.2 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，测量高速激光干涉仪的位移测量动态示值误差。

#### A.3 测量原理、方法和条件

##### A.3.1 测量原理和方法

利用参考高速激光干涉仪和待校准高速激光干涉仪进行比对测量，二者对同一运动目标进行共光路测量，两者测量光束方向的夹角不超过 $\pm 0.2 \text{ mrad}$ 。在运动时两者同步触发测量，对读数之差进行时延补偿即获得示值误差。即

$$\begin{aligned} E(i, V_j) &= D_m(i, V_j) - D_r(i, V_j) + (\tau_m - \tau_r)V_j \\ D_m(i, V_j) &= f(\delta_\theta, \delta_{nl}, \delta_{air}, \delta_{abbe}) \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

其中： $E(i, V_j)$ ——为位移测量动态示值误差；

$D_m$ ——为待校准高速激光干涉仪的示值；

$D_r$ ——为参考高速激光干涉仪的示值；

$\delta_\theta$ ——为余弦误差引入的误差分量；

$\delta_{nl}$ ——为非线性引入的误差分量；

$\delta_{air}$ ——为空气折射率不均等引入的误差分量；

$\delta_{abbe}$ ——为光束共轴不完善引入的阿贝误差分量。

$\delta_\theta$ 、 $\delta_{nl}$ 、 $\delta_{air}$ 、 $\delta_{abbe}$ 分别用 $u_\theta$ 、 $u_{nl}$ 、 $u_{air}$ 、 $u_{abbe}$ 表示，参考高速激光干涉仪测量不确定度用 $u_r$ 表示。

##### A.3.2 方差和灵敏系数

$$\text{方差: } u^2 = c_1^2 u_r^2 + c_2^2 u_\theta^2 + c_3^2 u_{nl}^2 + c_4^2 u_{air}^2 + c_5^2 u_{abbe}^2 \quad (\text{A.2})$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = 1; \quad c_2 = 1; \quad c_3 = 1; \quad c_4 = 1; \quad c_5 = 1。$$

##### A.3.3 测量条件

高速激光干涉仪校准的环境温度应在 $21^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 范围内。一次校准过程中，测量环境

温度变化不超过0.05℃，相对湿度变化不超过5%RH，气压变化不超过50Pa。测量环境洁净度达到1000级。地基在水平和垂直方向振动速度的1/3倍频程谱在1Hz~100Hz内均小于2μm/s。

#### A.4 标准不确定度分量的来源和说明

见表A.1。

表A.1 高速激光干涉仪位移测量动态示值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	$u_r$	参考高速激光干涉仪测量不确定度引入的标准不确定度分量	由参考高速激光干涉仪校准证书给出
2	$u_\theta$	余弦误差引入的标准不确定度分量	高速激光干涉仪与参考高速激光干涉仪之间光轴夹角 $\theta$ 引入的误差分量
3	$u_{nl}$	非线性引入的标准不确定度分量	共光路测量时非线性引入的测量误差
4	$u_{air}$	空气折射率不均等引入的标准不确定度分量	高速激光干涉仪与参考高速激光干涉仪两者光轴的空气折射率不均等引入的误差分量
5	$u_{abbe}$	光束共轴不完善引入的阿贝误差标准不确定度分量	光束共轴不完善时，高速激光干涉仪与参考高速激光干涉仪阿贝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 参考高速激光干涉仪测量不确定度引入的标准不确定度分量

参考高速激光干涉仪测量不确定度为 $(0.01 + 0.1D + 0.01V)\mu\text{m}$ ， $k=2$ ，则：

$$u_r = (0.005 + 0.05D + 0.005V)\mu\text{m}$$

##### A.5.2 余弦误差引入的的标准不确定度分量

高速激光干涉仪与参考高速激光干涉仪之间光轴夹角为 $\theta$ ，此时引入的余弦误差 $\delta_\theta$ 可表示为：

$$\delta_\theta \approx \frac{\theta^2 D}{2}$$

光轴夹角 $\theta$ 不超过 $\pm 0.2\text{ mrad}$ ，其符合矩形（均匀）分布，因此光轴夹角 $\theta$ 的标准不



确定度可以表示为：

$$u_{\theta} = \theta D u_{\delta\theta} = \frac{(2 \times 10^{-4})^2 D}{\sqrt{3}}$$

#### A. 5. 3 周期非线性误差引入的标准不确定度分量

周期非线性误差不超过 $\pm 5 \text{ nm}$ ，其符合矩形（均匀）分布，则：

$$u_{nl} = \frac{5 \text{ nm}}{\sqrt{3}}$$

#### A. 5. 4 空气折射率不均等引入的标准不确定度分量

高速激光干涉仪与参考高速激光干涉仪两者光轴的空气折射率不均等，空气折射率之差为 $5 \times 10^{-8}$ ，取 $k=3$ ，则：

$$u_{air} = \frac{5 \times 10^{-8} D}{3}$$

#### A. 5. 5 光束共轴不完善引入的阿贝误差标准不确定度分量

目标反射镜运动时，高速激光干涉仪与参考高速激光干涉仪光束同轴不完善引入的阿贝误差分量，阿贝误差不超过 $\pm 1 \text{ nm}$ ，其符合矩形（均匀）分布，则：

$$u_{abbe} = \frac{1 \text{ nm}}{\sqrt{3}}$$

#### 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)，可得位移动态测量示值的标准不确定度 $u$ 为：

$$u = \sqrt{\left((5 + 50D + 5V) \text{ nm}\right)^2 + \left(\frac{(2 \times 10^{-4})^2 D}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{5 \text{ nm}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{5 \times 10^{-8} D}{3}\right)^2 + \left(\frac{1 \text{ nm}}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$$\approx (7 + 57D + 5V) \text{ nm}$$

#### A. 7 扩展不确定度

按正态分布计算，取 $k=2$ ，则位移动态示值的测量不确定度为：

$$U = (14 + 114D + 10V) \text{ nm}$$

## 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. 最大测量速度、周期非线性误差、测量数据时延、测量数据更新率、位移测量动态示值误差的说明；
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 XXXX-XXXX 高速激光干涉仪校准规范				
校准环境：温度                      ℃；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	最大测量速度			
2	周期非线性误差			
3	测量数据时延			
4	测量数据更新率			
5	位移测量动态示值误差			
位移测量动态示值误差测量不确定度：				

校准员：

核验员：

注：校准证书的内容应符合 JJF1071《国家计量校准规范编写规则》的要求。由于各实验室对校准证书有自己的设计，本附录仅建议与校准内结果相关部分的内页格式。其中的部分内容可以由于实验室的证书格式不同而在其他部分表述。

中华人民共和国  
国家计量技术规范  
XXXXXXXXXX 校准规范  
**JJFXXXX—XXXX**  
国家市场监督管理总局发布