

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CSOE

中国光学工程学会团体标准

T/CE0E 0030—2026

激光干涉仪动态特性测试方法

Measuring Method for Dynamic Characteristics of Laser Interferometer

（报批稿）

（本草案完成时间：2026.4.18）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

光学工程学会 发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试条件 1

5 测量速度测试 2

 5.1 测试原理 2

 5.2 测试设备 2

 5.3 测试步骤 2

 5.4 数据处理 2

6 测量加速度测试 2

 6.1 测试原理 3

 6.2 测试设备 3

 6.3 测试方法 3

 6.4 数据处理 3

7 测量数据时延测试 3

 7.1 测量原理 3

 7.2 测试设备 4

 7.3 测试方法 4

 7.4 数据处理 4

8 测量数据更新率测试 4

 8.1 测量原理 4

 8.2 测试设备 5

 8.3 测试方法 5

 8.4 数据处理 5

9 位移动态测量示值误差测试 6

 9.1 测试原理 6

 9.2 测试设备 6

 9.3 测试方法 6

 9.4 数据处理 6

10 位移动态测量重复性测试 7

 10.1 测试原理 7

 10.2 测试设备 7

 10.3 测试方法 7

 10.4 数据处理 7

11 测试报告 7

附 录 A (资料性) 激光干涉仪位移动态测量示值误差测量结果不确定度评定示例 9

附 录 B (资料性) 激光干涉仪测量数据时延测量结果不确定度评定示例 11

附 录 C (资料性) 测试报告记录表 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国光学工程学会提出并归口。

本文件起草单位：哈尔滨工业大学、中国计量科学研究院、深圳领聚科技有限公司、北京航天计量测试技术研究所、清华大学、上海拍频光电科技有限公司。

本文件主要起草人：胡鹏程、刁晓飞、谈宜东、朱浩、谭欣然、张志平、杨睿韬、于亮、孙双花、徐欣、郭天茂、唐烽、王宁。

激光干涉仪动态特性测试方法

1 范围

本文件规定了激光干涉仪动态特性测试的测试条件、测量速度测试、测量加速度测试、测量数据时延测试、测量数据更新率测试、位移动态测量示值误差测试、位移动态测量重复性测试和测试报告等。本文件适用于激光干涉仪动态特性测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17163 几何量测量器具术语 基本术语
JB/T 5610 激光干涉仪
JJF 1001 通用计量术语及定义
JJF 1094 测量仪器特性评定
JJF 1130 几何量测量设备校准中的不确定度评定指南
JJG 739 激光干涉仪

3 术语和定义

GB/T 17163和JJF 1001界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态特性 **dynamic characteristic**

激光干涉仪与时间变化有关的仪器特性，包括：测量速度、测量加速度、测量数据时延、测量数据更新率、位移动态测量示值误差与位移动态测量重复性等特性。

3.2

接近式传感器 **proximity sensor**

无需接触被测对象可进行检测的传感器。

3.3

触发测量 **trigger measurement**

在收到外部或内部的触发信号时，在触发信号边沿时刻读取激光干涉仪位移测量值的过程。

3.4

测量数据时延 **measurement data age**

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

3.5

测量数据更新率 **measurement data update rate**

激光干涉仪在单位时间内输出测量结果的数量。

3.6

位移动态测量示值误差 **indication error of displacement under dynamic measurement**

在被测目标运动过程中，利用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之差为位移测量动态示值误差。

4 测试条件

- a) 温度：(20±1)℃，测试过程中的温度波动不大于0.2℃/h；
- b) 相对湿度：40%~65% RH，测试过程中的相对湿度波动不大于5%；

- c) 气压：测试过程中的气压波动不大于10 Pa；
- d) 被测试仪器在测试实验室内平衡温度的时间不小于4小时，测试时应先根据被测试激光器的要求进行预热；
- e) 测试环境内无影响测试正常工作的振动、噪声、电磁干扰和气流扰动等因素；
- f) 符合GB/T 7247.1-2024《激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求》测试条件的要求。

5 测量速度测试

5.1 测试原理

测量速度的测试系统如图1所示，测试系统包括高速直线运动台、接近式传感器和位移数据采集系统。高速直线运动台以设定速度往返运动，待测激光干涉仪对运动台进行位移测量，根据测量结果判断激光干涉仪能否达到相应测量速度。

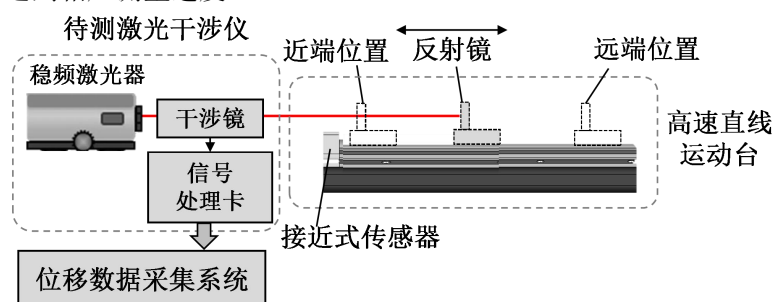


图1 测量速度测试示意图

5.2 测试设备

测试设备应符合下列规定：

- a) 高速直线运动台：不小于被测仪器标称最大速度的1.2倍，速度的相对不确定度不大于0.2% ($k=2$)；
- b) 接近式传感器：测量不确定度 $U_s \leq 5 \mu\text{m}$ ($k=2$)；
- c) 位移数据采集系统：同步采样频率不小于10 kHz，相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)。
- d) 激光安全等级：2M 类。

5.3 测试步骤

测试应按下列步骤执行：

- a) 将待测激光干涉仪安装在高速直线运动台上，使其测量光束与运动方向平行，将待测激光干涉仪的反射镜固定于高速直线运动台的滑台上。
- b) 使高速直线运动台的滑台静止于待测激光干涉仪近端位置，用接近式传感器测量滑台位置并记录为 L_{s1} ，同时将激光干涉仪的读数清零。
- c) 控制高速直线运动台的滑台在近端位置与远端位置之间往返运动，在此过程中，其往返的运动速度达到 v ，利用位移数据采集系统持续采集待测激光干涉仪测量值。
- d) 高速直线运动台的滑台返回并静止于近端位置时，分别读取待测激光干涉仪测量值 L_m 和接近式传感器测量值 L_{s2} 。

5.4 数据处理

数据处理应满足下列要求：

测试结果偏差 ΔL 应根据待测激光干涉仪测量值和接近式传感器测量值，按下式计算：

$$\Delta L = |L_{s2} - L_{s1} - L_m| \quad (1)$$

若 $\Delta L \leq U_s$ ，则待测激光干涉仪的测量速度可达到 v 。

6 测量加速度测试

6.1 测试原理

测量加速度的测试系统与5.1所述测试系统相同。高速直线运动台以设定加速度往返运动，待测激光干涉仪对运动台进行位移测量，根据测量结果判断激光干涉仪能否达到相应测量加速度。

6.2 测试设备

测试设备应符合下列规定：

- 高速直线运动台：最大运动加速度不小于 1 m/s^2 ；
- 接近式传感器：测量不确定度 $U_s \leq 5 \text{ } \mu\text{m}$ ($k=2$)；
- 位移数据采集系统：同步采样频率不小于 10 kHz ，相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)。
- 激光安全等级：2M 类。

6.3 测试方法

测试应按下列步骤执行：

- 按5.3中步骤 a) 安装调试待测激光干涉仪。
- 使高速直线运动台的滑台静止于待测激光干涉仪近端位置，用接近式传感器测量滑台位置并记录为 L_{sa1} ，同时将待测激光干涉仪的读数清零。
- 控制高速直线运动台的滑台在近端位置与远端位置之间往返运动，在此过程中，其往返的运动加速度达到 a ，利用位移数据采集系统持续待测采集激光干涉仪测量值。
- 高速直线运动台的滑台返回并静止于近端位置时，分别读取待测激光干涉仪测量值 L_{ma} 和接近式传感器测量值 L_{sa2} 。

6.4 数据处理

数据处理应满足下列要求：

测试结果偏差 ΔL_a 应根据待测激光干涉仪测量值和接近式传感器测量值，按下式计算：

$$\Delta L_a = |L_{sa2} - L_{sa1} - L_{ma}| \quad (2)$$

若 $\Delta L_a \leq U_s$ ，则待测激光干涉仪的测量加速度可达到 a 。

7 测量数据时延测试

7.1 测量原理

激光干涉仪的测量数据时延测试如图2所示，测试系统包括：标准激光干涉仪、高速直线运动台和位移数据采集系统。标准激光干涉仪与待测激光干涉仪同时测量同一运动目标，根据两干涉仪测量数据之间的测量时延之差，从而获得待测激光干涉仪的测量数据时延。

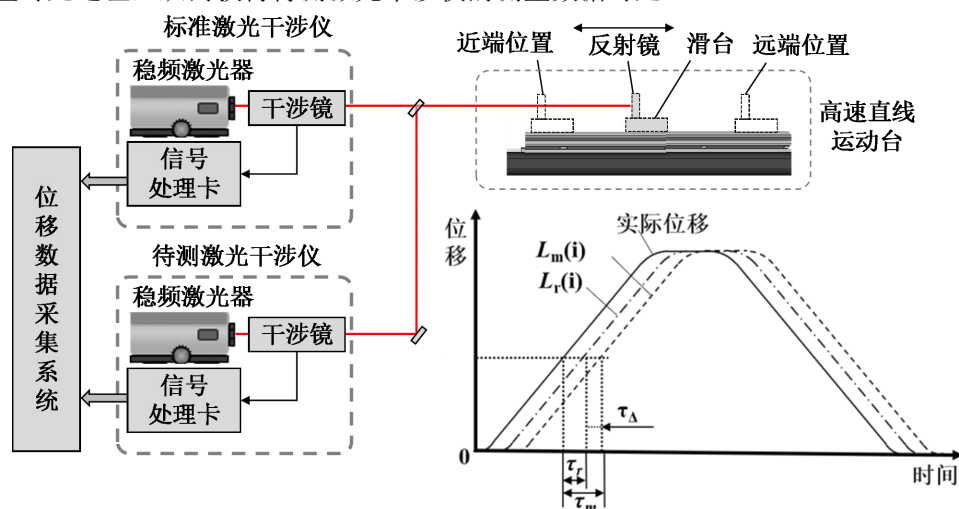


图2 测量数据时延测试示意图

7.2 测试设备

测试设备应符合下列规定：

- 标准激光干涉仪：最大测量速度不小于1 m/s，测量数据更新率不小于10 kHz，测量数据时延 τ_r 已知且不超过3.5 μs ；
- 高速直线运动台：最大运动速度不小于1 m/s，匀速段时间不小于0.1 s，速度的相对不确定度不大于0.2% ($k=2$)；
- 位移数据采集系统：具备硬件同步采样功能，同步采样频率不小于10 kHz；相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)。
- 激光安全等级：2M 类。

7.3 测试方法

测试可按下列步骤执行：

- 按5.3中步骤 a) 安装调试待测激光干涉仪。
- 调整测量光路，使待测激光干涉仪与标准激光干涉仪的光轴中心重合，并同时测量滑台上反射镜的位移，且标准干涉仪的干涉镜、待测干涉仪的干涉镜与反射镜之间光轴长度的差值不应大于50 mm。
- 使高速直线运动台的滑台静止于近端位置，将标准激光干涉仪与待测激光干涉仪的测量数据更新率均设定为 f_u 。配置标准环境参数：气压 $p=101.325 \text{ kPa}$ ，温度 $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $f=50\%$ ，分别置入标准激光干涉仪和待测激光干涉仪中进行位移测量，同时将两台干涉仪的测量值清零，并由位移数据采集系统同步采集两套干涉仪的位移数据。
- 使高速直线运动台的滑台向远端位置加速运动，当速度为 v 时保持匀速运动，匀速运动时间不小于0.1 s，随后减速至远端位置并保持静止。
- 在上述匀速运动段内，使用位移数据采集系统连续同步记录标准激光干涉仪与待测激光干涉仪输出的位移测量数据，分别记为 $L_r(i)$ 和 $L_m(i)$ ，其中 $i=1、2、\dots、N$ ， $N \geq 100$ 。

7.4 数据处理

数据处理应满足下列要求：

- 根据位移测量数据 $L_r(i)$ 和 $L_m(i)$ ，获得第 i 点数据对应的两套激光干涉仪时延之差 $\tau_{\Delta}(i)$ ，按下式计算：

$$\tau_{\Delta}(i) = \frac{L_r(i) - L_m(i)}{v} \quad (3)$$

- 两套激光干涉仪时延的平均差值 $\bar{\tau}_{\Delta}$ 可表示为：

$$\bar{\tau}_{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_{\Delta}(i) \quad (4)$$

- 可获得运动速度 v 时，待测干涉仪的测量数据时延 τ_m 可表示为：

$$\tau_m = \tau_r + \bar{\tau}_{\Delta} \quad (5)$$

8 测量数据更新率测试

8.1 测量原理

1) 计时器测试法。方法适用于数据更新率较低的情况，利用单位时间内更新数据的数量作为激光干涉仪测量数据更新率。

2) 高速运动台测试法。方法适用于数据更新率较高的情况，高速直线运动台匀速运动时，通过相邻测量值之差与速度计算测试测量数据更新率，原理如图3所示。

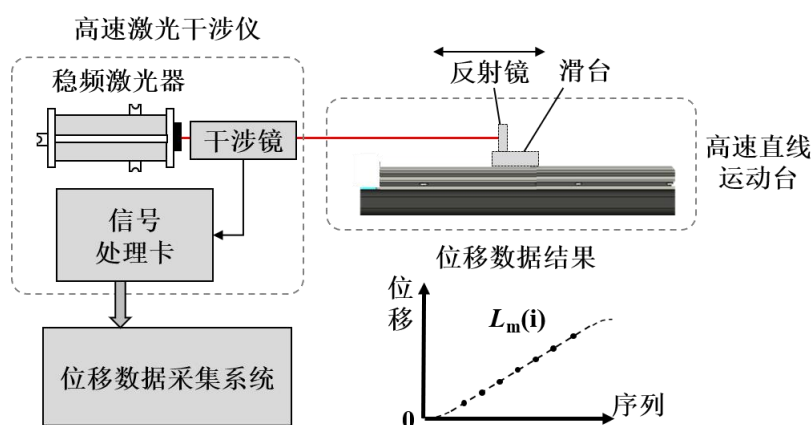


图3 高速直线运动台测试测量数据更新率示意图

8.2 测试设备

测试设备应符合下列规定：

- 计时器：相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)；
- 高速直线运动台：最大运动速度不小于1 m/s，匀速段时间不小于0.1 s，速度的相对不确定度不大于0.2% ($k=2$)；
- 位移数据采集系统：同步采样频率不小于10 kHz；相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)。
- 激光安全等级：2M 类。

8.3 测试方法

1) 计时器测试法

测试可按下列步骤执行：

- 将待测激光干涉仪测量数据更新率设定为仪器标称的最大值。
- 利用位移测量数据采集系统采集待测激光干涉仪输出的测量数据，同时采用计时器计时。
- 在10 s内采集到待测激光干涉仪输出的测量数据个数为 M 。

2) 高速运动台测试法

测试可按下列步骤执行：

- 将高速直线运动台放在待测激光干涉仪测量光束的延长线上，且高速直线运动台的运动方向与测量光束平行，将待测激光干涉仪的反射镜放置在高速直线运动台的滑台上。
- 将待测激光干涉仪测量数据更新率设定为仪器标称的最大值。
- 使高速直线运动台的滑台由静止开始加速，直到以速度 v 做匀速运动，匀速运动时间不小于0.1 s。
- 在匀速段，使用位移数据采集系统连续记录待测激光干涉仪输出的位移测量数据 $L_m(i)$ ，其中 $i=1, 2, \dots, N$ ， $N \geq 100$ 。

8.4 数据处理

数据处理应满足下列要求：

1) 计时器测试法

待测激光干涉仪的测量数据更新率 f_u 按下式计算：

$$f_u = \frac{M}{10} \quad (6)$$

2) 高速运动台测试法

待测激光干涉仪的测量数据更新率 f_u 按下式计算：

$$f_u = \frac{(N-1)v}{[L_m(N) - L_m(1)]} \quad (7)$$

9 位移动态测量示值误差测试

9.1 测试原理

位移动态测量示值误差的测试系统如图4所示，测试系统包括标准激光干涉仪、高速直线运动台和位移数据采集系统。将标准激光干涉仪与待测激光干涉仪测量同一高速直线运动台的移动距离，通过位移数据采集系统对两台干涉仪测量结果进行采集与处理，得到待测激光干涉仪的位移动态测量示值误差。

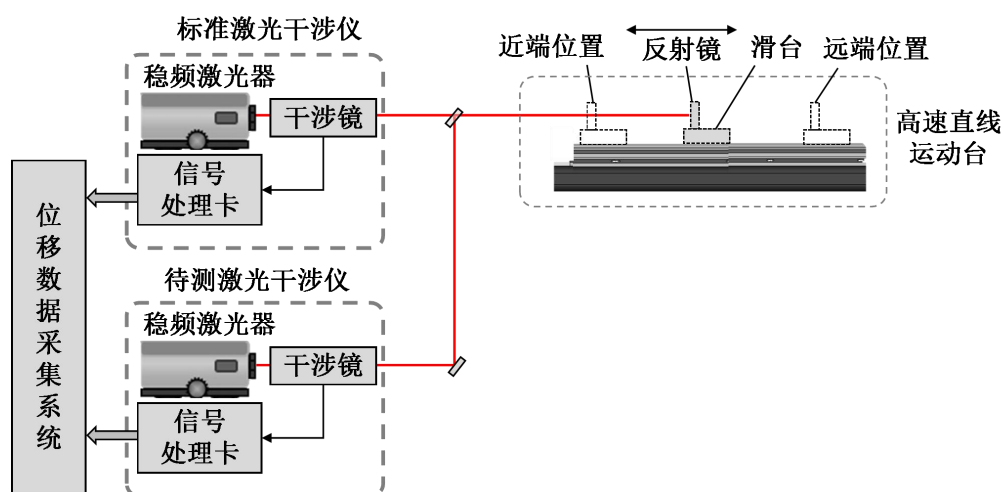


图4 位移动态测量示值误差测试示意图

9.2 测试设备

测试设备应符合下列规定：

- 标准激光干涉仪：最大测量速度不小于1 m/s，测量数据更新率不小于10 kHz，位移测量不确定度优于待测仪器位移测量不确定度的1/3；
- 高速直线运动台：最大运动速度不小于1 m/s，速度的相对不确定度不大于0.2% ($k=2$)；
- 位移数据采集系统：同步采样频率不小于10 kHz；相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)。
- 激光安全等级：2M 类。

9.3 测试方法

激光干涉仪的位移动态测量示值误差的测试，可按下列步骤执行：

- 按5.3中步骤 a) 安装调试待测激光干涉仪。
- 调整测量光路，使待测激光干涉仪与标准激光干涉仪的光轴中心重合，并同时测量滑台上反射镜的位移，且标准干涉仪的干涉镜、待测干涉仪的干涉镜与反射镜之间光轴长度的差值不应大于50 mm。
- 使高速直线运动台的滑台静止于近端位置，将标准激光干涉仪与待测激光干涉仪的测量数据更新率均设定为 f_u 。配置标准环境参数：气压 $p=101.325$ kPa，温度 $t=20$ °C，相对湿度 $f=50\%$ ，分别置入标准激光干涉仪和待测激光干涉仪中进行位移测量，同时将两台干涉仪的测量值清零，并由位移数据采集系统同步采集两套干涉仪的位移数据。
- 使高速直线运动台的滑台向远端位置加速运动，当速度为 v 时保持匀速运动，匀速运动时间不小于0.1 s，随后减速至远端位置并保持静止。
- 在上述匀速运动段内，使用位移数据采集系统连续同步记录标准激光干涉仪与待测激光干涉仪输出的位移测量数据，分别记为 $L_r(i)$ 和 $L_m(i)$ ，其中 $i=1、2、\dots、N$ ， $N \geq 100$ 。

9.4 数据处理

数据处理应满足下列要求：

根据运动速度为 v 时，标准干涉仪和待校干涉仪的同步测量数据 $L_r(i)$ 和 $L_m(i)$ ，计算获得速度为 v 条件下，待校干涉仪在第 i 个位移点的位移动态测量示值误差 $\Delta L_v(i)$ ，按下式计算：

$$\Delta L_v(i) = L_m(i) - L_r(i) \quad (8)$$

测量速度为 v 时，待校干涉仪的位移动态测量示值误差 ΔL ，按下式计算：

$$\Delta L = \pm \max_{1 \leq i \leq N} [|\Delta L_v(i)|] \quad (9)$$

10 位移动态测量重复性测试

10.1 测试原理

位移动态测量重复性的测试系统与9.1所述测试系统相同。测量标准激光干涉仪和待测激光干涉仪各点的示值误差，重复测量10次，以各点实验标准差最大值作为位移动态测量重复性。

10.2 测试设备

测试设备应符合下列规定：

- 标准激光干涉仪：最大测量速度不小于1 m/s，测量数据更新率不小于10 kHz，位移测量不确定度优于待测仪器位移测量不确定度的1/3；
- 高速直线运动台：最大运动速度不小于1 m/s，速度的相对不确定度不大于0.2% ($k=2$)；
- 位移数据采集系统：同步采样频率不小于10 kHz；相对不确定度不大于 1×10^{-7} ($k=2$)。
- 激光安全等级：2M 类。

10.3 测试方法

测试可按下列步骤执行：

- 激光干涉仪的位移动态测量重复性的测试，可以按9.3中步骤a)至 e)的方法，在运动速度为 v 时，测量标准激光干涉仪和待测激光干涉仪的示值误差，重复测量10次。计算各点10次测量结果的实验标准差 $s_v(i)$ ，作为各测量点的位移动态测量重复性。

10.4 数据处理

数据处理应满足下列要求：

测量速度为 v 时，待测激光干涉仪的位移动态测量重复性 s ，按下式计算：

$$s = \max_{1 \leq i \leq N} [s_v(i)] \quad (10)$$

式中：N 为测量点数量。

1 测试报告

测试报告应包含下列内容：

- 测试基本信息应包含下列内容：
 - 测试时间；
 - 测试地点；
 - 测试人员；
 - 测试环境条件；
 - 测试设备；
 - 仪器信息。
- 测试结果应包含下列内容：
 - 最大测量速度；
 - 测量加速度；
 - 位移动态测量示值误差；
 - 位移动态测量重复性；
 - 测量数据时延；

- 6) 测量数据更新率;
- c) 测试报告记录表格式见附录 C。

附录 A

(资料性)

激光干涉仪位移动态测量示值误差测量结果不确定度评定示例

A.1 测量方法

本标准按9方法,在工作状态下测量激光干涉仪的位移动态测量示值误差。

A.2 测量模型

线性位移示值误差应按下式计算:

$$\Delta L = L_m - L_r \quad \text{..... (A.1)}$$

式中:

ΔL ——线性位移示值误差;

L_m ——待测激光干涉仪的测量值;

L_r ——标准激光干涉仪的参考值。

A.3 灵敏系数

A.3.1 根据测量模型,输入量 L_m 和 L_r 之间互相独立不相关,根据不确定度传播规律,测量不确定度应按下式计算:

$$u_c^2(\Delta L) = c_1^2 u^2(L_r) + c_2^2 u^2(\lambda) + c_3^2 u^2(n) + c_4^2 u^2(\theta) + c_5^2 u^2(\tau) \quad \text{..... (A.2)}$$

式中:

L_r ——标准激光干涉仪的参考值;

λ ——被测干涉仪的激光波长值;

n ——空气折射率;

θ ——标准激光干涉仪与被测干涉仪光路的夹角;

τ ——为测量与采样中的测量数据时延。

A.3.2 灵敏系数应按下式计算:

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 1 \quad \text{..... (A.3)}$$

A.4 不确定度分量的分析

A.4.1 标准激光干涉仪参考值引入的标准不确定度分量 $u(L_r)$

由标准激光干涉仪测试证书得到测量不确定: $U = 10 \text{ nm} + 1 \times 10^{-7} L + 1 \times 10^{-8} s \times v$, ($k=2$), 式中, L 为测量位移, v 为反射镜运动速度。

当测量位移 $L=1 \text{ m}$ 、反射镜运动速度 $v=1 \text{ m/s}$ 时, $U=0.12 \mu\text{m}$, 应按下式计算:

$$u(L_r) = \frac{U}{k} = \frac{0.12 \mu\text{m}}{2} = 0.06 \mu\text{m} \quad \text{..... (A.4)}$$

A.4.2 激光波长误差引入的标准不确定度分量 $u(\lambda)$

由稳频激光器测试证书可以得到激光波长的相对不确定度为: $U_{rel} = 2.0 \times 10^{-8}$, ($k=2$)

当测量位移为 1 m 时, $U=0.02 \mu\text{m}$, 应按下式计算:

$$u(\lambda) = \frac{U}{k} = \frac{0.02 \mu\text{m}}{2} = 0.01 \mu\text{m} \quad \text{..... (A.5)}$$

A.4.3 空气折射率修正引入的标准不确定度分量 $u(n)$

激光干涉仪的工作波长值受空气折射率影响,宜采用Edlén公式对激光干涉仪测量结果进行空气折射率修正。在示值误差测量过程中,空气折射率修正引入的相对不确定度为 $U_{rel}=3 \times 10^{-8}$ ($k=2$)。当测量位移为 1 m 时, $U=0.03 \mu\text{m}$, 应按下式计算:

$$u(n) = \frac{U}{k} = \frac{0.03 \mu\text{m}}{2} = 0.015 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{A. 6})$$

A. 4. 4 余弦误差引入的标准不确定度分量 $u(\theta)$

若标准干涉仪与待测干涉仪两者光轴之间夹角为 θ ，相应的余弦误差应按下式计算：

$$\delta\theta \approx \frac{\theta^2}{2} L \dots\dots\dots (\text{A. 7})$$

设光轴夹角不超过 $\pm 0.1 \text{ mrad}$ ，符合均匀分布，当测量位移为 1 m 时，应按下式计算：

$$u(\theta) = \frac{(0.1 \times 10^{-3})}{\sqrt{3}} \times 1 \text{ m} \approx 0.006 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{A. 8})$$

A. 4. 5 测量数据时延引入的标准不确定度分量 $u(\tau)$

设激光干涉仪测量数据时延的不确定度为： $U=0.01 \mu\text{s}$ ， $(k=2)$ 。

当运动速度为 1 m/s 时， $U=0.01 \mu\text{m}$ ，应按下式计算：

$$u(\tau) = \frac{U}{k} = \frac{0.01 \mu\text{m}}{2} = 0.005 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{A. 9})$$

A. 5 不确定度分量汇总表

不确定度分量汇总表见表A.1。

表 A. 1 不确定度分量汇总表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源	标准不确定度值 $u(x_i) / \mu\text{m}$
$u(L_r)$	标准干涉仪参考值引入的标准不确定度分量	0.06
$u(\lambda)$	激光波长误差引入的标准不确定度分量	0.01
$u(n)$	空气折射率引入的标准不确定度分量	0.015
$u(\theta)$	余弦误差引入的标准不确定度分量	0.006
$u(\tau)$	测量数据时延引入的标准不确定度分量	0.005

A. 6 合成标准不确定度

表 A.1 中各分量互不相关，故合成标准不确定度应按下式计算：

$$u_c = \sqrt{0.06^2 + 0.01^2 + 0.015^2 + 0.006^2 + 0.005^2} = 0.063 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{A. 10})$$

A. 7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ， 则测量位移为 1m ，速度为 1m/s 时的扩展不确定度应按下式计算：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.063 \mu\text{m} \approx 0.13 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{A. 11})$$

附录 B

(资料性)

激光干涉仪测量数据时延测量结果不确定度评定示例

B.1 测试方法

本标准按7方法，在工作状态下测量激光干涉仪的测量数据时延。

B.2 测量模型

理想情况下，待测干涉仪的测量数据时延应按下式计算：

$$\tau_m = \tau_r + \bar{\tau}_\Delta \quad (\text{B.1})$$

考虑到其他影响因素后，应按下式计算：

$$\tau_m = \tau_r + \bar{\tau}_\Delta + \delta\tau_1 + \delta\tau_2 \quad (\text{B.2})$$

式中：

τ_m ——待测干涉仪的测量数据时延；

τ_r ——标准干涉仪的测量数据时延；

$\bar{\tau}_\Delta$ ——待测干涉仪与标准干涉仪的测量数据时延之间的平均差值；

$\delta\tau_1$ ——位移数据采集系统的采样不同步引入的测量误差；

$\delta\tau_2$ ——高速运动台运动速度不准确引入的测量误差。

B.3 灵敏系数

B.3.1 根据测量模型，输入量 τ_r 、 $\bar{\tau}_\Delta$ 、 $\delta\tau_1$ 和 $\delta\tau_2$ 之间互相独立不相关，根据不确定度传播规律，测量不确定度应按下式计算：

$$u(\tau_m)^2 = c_1^2 u(\tau_r)^2 + c_2^2 u(\bar{\tau}_\Delta)^2 + c_3^2 u(\delta\tau_1)^2 + c_4^2 u(\delta\tau_2)^2 \quad (\text{B.3})$$

B.3.2 灵敏系数： $c_1 = 1$ ； $c_2 = 1$ ； $c_3 = 1$ ； $c_4 = 1$ 。

B.4 不确定度的分析

由式(B.2)可知，激光频率测量不确定度主要来源于 τ_r 、 $\bar{\tau}_\Delta$ 、 $\delta\tau_1$ 、 $\delta\tau_2$ 。在各影响量中， $\bar{\tau}_\Delta$ 通过实测结果判断概率分布，按A类不确定度评定方法处理，其余影响量的不确定度按B类不确定度评定方法处理。

B.4.1 标准干涉仪测量数据延迟的标准不确定度分量

标准干涉仪测量数据延迟的标准不确定度为10 ns， $k=2$ ，应按下式计算：

$$u(\tau_r) = 5 \text{ ns} \quad (\text{B.4})$$

B.4.2 两干涉仪测量数据时延的平均差值的标准不确定度分量

两干涉仪测量数据时延的平均差值的标准不确定度，由4次不同运动速度下测量数据时延的测量中最大单次测量不确定度 $u_{\max}(\bar{\tau}_\Delta)$ 与4次测量的复现性引入的不确定度 $u_{re}(\bar{\tau}_\Delta)$ 合成获得，应按下式计算：

$$u(\bar{\tau}_\Delta) = \sqrt{u_{\max}(\bar{\tau}_\Delta)^2 + u_{re}(\bar{\tau}_\Delta)^2} \quad (\text{B.5})$$

其中，复现性引入的不确定度 $u_{re}(\bar{\tau}_\Delta)$ 为各次测量获得的数据时延平均差值最大值与最小值之差，即

$$u_{re}(\bar{\tau}_\Delta) = \bar{\tau}_{\Delta, \max} - \bar{\tau}_{\Delta, \min} \quad (\text{B.6})$$

4次数据时延测量的平均值分别为1121.2 ns、1117.7 ns、1116.2 ns和1119.3 ns，测量不确定度分别为5.8 ns、6.3 ns、5.9 ns和6.8 ns，则 $u_{\max}(\bar{\tau}_\Delta)=6.8 \text{ ns}$ ， $u_{re}(\bar{\tau}_\Delta)=1121.2 \text{ ns}-1116.2 \text{ ns}=5.0 \text{ ns}$ 。再将带入式(B.6)，可得 $u(\bar{\tau}_\Delta) = 8.4 \text{ ns}$ 。

B.4.3 采样不同步引入的标准不确定度分量

采样不同步引入的时延测量不确定度为20 ns ($k=2$)，其符合矩形（均匀）分布，应按下式计算：

$$u(\delta\tau_1) = 10 \text{ ns} \dots\dots\dots (B. 7)$$

B. 4. 4 高速运动台运动速度不准确引入的标准不确定度分量

高速运动台运动速度的相对不确定度 $u(\frac{sv}{v})$ 为0.2% ($k=2$)，则其引入的测量数据时延误差应按下式计算：

$$u(\delta\tau_2) = \bar{\tau}_\Delta \times u\left(\frac{sv}{v}\right) = 1118.6 \times 0.002 = 2.2 \text{ ns} \dots\dots\dots (B. 8)$$

B. 5 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表B.1。

表 B. 1 不确定度分量汇总表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源	标准不确定度值 $u(x_i)/\text{ns}$
$u(\tau_r)$	标准干涉仪测量数据延迟的标准不确定度分量	5
$u(\bar{\tau}_\Delta)$	两干涉仪测量数据时延的平均差值的标准不确定度分量	8.4
$u(\delta\tau_1)$	采样不同步引入的标准不确定度分量	10
$u(\delta\tau_2)$	高速运动台运动速度不准确引入的标准不确定度分量	2.2

B. 6 合成标准不确定度

表B.1中各分量互不相关，故合成标准不确定度应按下式计算：

$$u(\tau_m) = \sqrt{5^2 + 8.4^2 + 10^2 + 2.2^2} = 14.2 \text{ ns} \dots\dots\dots (B. 9)$$

B. 7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则测量数据时延的测量不确定度应按下式计算：

$$U = k \times u(\tau_m) = 2 \times 14.2 = 28.4 \text{ ns} \dots\dots\dots (B. 10)$$

附 录 C
(资料性)
测试报告记录表

测试报告记录表见表 C.1

表 C.1 激光干涉仪动态特性测试报告记录表

测试时间：		测试环境条件：	
测试地点：		温度：	相对湿度：
测试人员：		大气压：	振动速度：
测试设备 1：		测试设备 2：	
仪器厂家：		仪器型号/编号	
测试项目与测试结果：			
序号	测试项目	测试结果	
1	测量速度		
2	测量加速度		
3	测量数据时延		
4	测量数据更新率		
5	位移动态测量示值误差		
6	位移动态测量示值误差重复性		