

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CSOE

中国光学工程学会团体标准

T/CSOE 0010—2025

干涉型光纤位移传感器

Interferometric Fiber Optic Displacement Sensor

（征求意见稿）

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

中国光学工程学会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统概述 2

 4.1 系统原理 2

 4.2 系统结构 2

5 系统功能 3

6 技术要求 3

 6.1 外观及功能 3

 6.2 测量范围 3

 6.3 分辨力 3

 6.4 测量频率 3

 6.5 激光波长 3

 6.6 重复性 3

 6.7 漂移 3

 6.8 示值误差 4

 6.9 环境适应性性 4

 6.10 电磁兼容性 4

7 试验方法 4

 7.1 试验条件 4

 7.2 试验用主要仪器 4

 7.3 测试方法 5

8 检验规则 8

9 标志、包装、使用说明书、运输和贮存 9

附录 A（资料性）干涉型光纤位移传感器测试记录格式 10

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：北京航天计量测试技术研究所、广东工业大学、哈尔滨工程大学、湖北三江航天红峰控制有限公司、中国航发四川燃气涡轮研究院、北京理工大学、北京品傲光电科技有限公司、北京信维科技股份有限公司、广东富思精仪科技有限责任公司等。

本文件主要起草人：裴雅鹏、杨军、黎雄威、苑勇贵、喻张俊、彭志强、郭光辉、魏国华、洪浚杰、李云、林蹉富、朱瑶、徐显、宋金城、孙增玉、赵兵、王勇、陈昱舟等人。

干涉型光纤位移传感器

1 范围

本文件规定了干涉型光纤位移传感器的术语和定义、系统结构、系统功能、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、使用说明书、运输和贮存

本文件适用于测量范围为（1~30）mm的聚焦探头和测量范围为（10~1000）mm的准直探头的干涉型光纤位移传感器。

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 191-2008 包装储运图示标志

GB/T 9969-2008 工业产品使用说明书总则

GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法试验A：低温

GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法试验B：高温

GB/T 2423.4-2008 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法试验Db：交变湿热（12h+12h循环）

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容试验和测量技术静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3-2016 电磁兼容试验和测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4-2018 电磁兼容试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5-2019 电磁兼容试验和测量技术浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.6-2017 电磁兼容试验和测量技术射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 9969-2008 工业产品使用说明书总则

GB/T 10111-2008 随机数的产生及其在产品质量抽样检验中的应用程序

GB/T 18901.1-2002 光纤传感器第1部分：总规范

JJG（军工）292-2024 532~1542nm稳频激光器检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

准直探头 Collimating Probe

将激光光束转化为准直光束的传感探头。

3.2

聚焦探头 Focusing Probes

将激光光束汇聚为高能量密度光斑的传感探头。

3.3

测量范围 Measurement Range

传感器所能够测量的最小位移/距离与最大位移/距离之间的范围。

3.4

分辨力 Resolution

引起传感器位移/距离示值产生可觉察到变化的被测量的最小变化。

3.5

测量频率 Measurement Frequency

传感器在一定时间内对位移/距离信号进行采样的次数。

3.6

激光波长 Laser Wavelength
激光器输出的激光波长。

3.7

重复性 Repeatabilit
传感器在一组重复性测量条件下的测量精密度。

3.8

漂移 Drift
由于传感器计量特性的变化引起的位移/距离示值在一段时间内的连续或增量变化。

3.9

示值误差 Error of Indication
传感器位移/距离示值与对应输入量的参考量值之差。

4 系统概述

4.1 系统原理

光纤位移传感器基于光的干涉原理,通过检测光程变化引起的干涉信号相位差来实现非接触的精密位移/距离测量。测量过程中,光纤位移传感器由解调器内部光源出射激光光束,经光纤送到传感探头,探头出射光到达被测物表面后,经过被测物表面反射,由传感探头接收反射光信号,经光纤送入解调器内部探测器。在被测物位移作用下,接收的反射光与传感探头参考光产生干涉信号,经过解调器内部信号解调和测量软件数据处理,得到位移/距离测量结果。

4.2 系统结构

光纤位移传感器主要由传感探头、光纤、解调器和测量软件组成,其组成示意图图1。传感探头包括准直探头与聚焦探头两种类型,准直探头与聚焦探头光路示意图如图2所示。

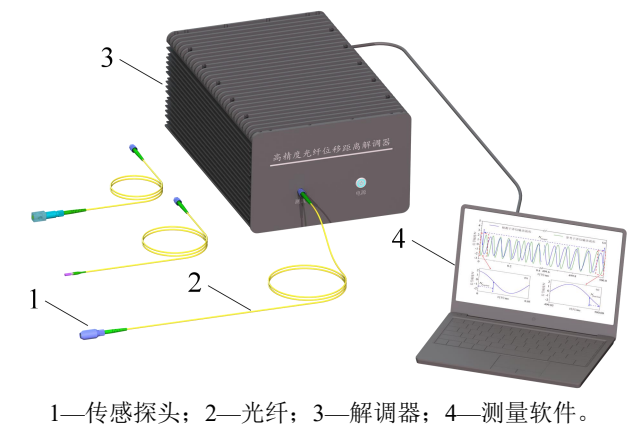


图 1 光纤位移传感器组成示意图

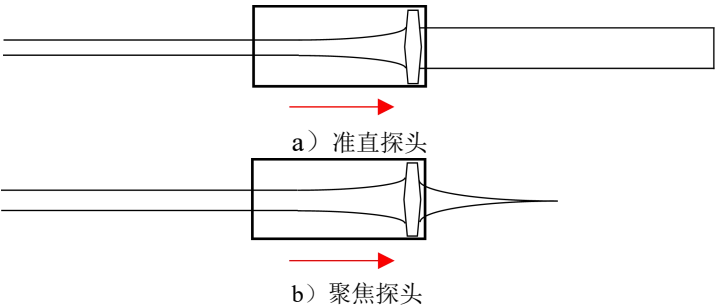


图 2 探头光路示意图

5 系统功能

光纤位移传感器主要功能为精密位移/距离的非接触测量，适用于用于非合作目标，且表面粗糙度 $Ra \leq 6.3$ 。

6 技术要求

6.1 外观及功能

- 传感器外观及功能应符合以下要求：
- a) 传感探头表面应无影响使用的划伤等缺陷；
 - b) 传感器铭牌标识应字迹清晰、完整、醒目。
 - c) 解调器开机工作正常，传感探头出光正常，测量软件通信正常；

6.2 测量范围

- 传感器测量范围应满足下列要求：
- a) 聚焦探头，测量范围：（1~30）mm；
 - b) 准直探头，测量范围：（10~1000）mm；

6.3 分辨力

- 传感器分辨力应满足下列要求：
- a) 测量范围在0%~10%时，分辨力应不低于0.01%。
 - b) 测量范围在10%~100%时，分辨力应不低于0.1%。

6.4 测量频率

传感器测量频率根据客户应用场景定制，具体数值由客户自行确定。

6.5 激光波长

激光波长的相对扩展不确定度应符合 1×10^{-7} ($k=3$)。

6.6 重复性

重复性要求见表 1。

表 1 重复性要求

单位：μm

探头类型	重复性
聚焦探头	0.5
准直探头	1.5

6.7 漂移

传感器漂移特性要求见表 2。

表 2 漂移特性要求

单位：μm

分辨力R	漂移
$R < 0.5$	$\leq 2R$
$R \geq 0.5$	$\leq R$

6.8 示值误差

示值最大允许误差要求见表 3。

表 3 计量特性

探头类型	示值误差
聚焦探头	MPE: $\pm (1\mu\text{m}+0.3\times 10^{-4}L)$
准直探头	MPE: $\pm (2\mu\text{m}+8\times 10^{-6}L)$

6.9 环境适应性

在下列环境条件下，传感器应能正常工作：

- a) 环境温度：-10℃~55℃。
- b) 相对湿度：≤98%(非冷凝)。

6.10 电磁兼容性

- a) 传感器应能通过GB/T 17626.2规定的严酷等级为3级的静电放电抗扰度试验，评价等级为A。
- b) 传感器应能通过GB/T 17626.3规定的严酷等级为2级的射频电磁场辐射抗扰度试验，评价等级为A。
- c) 传感器应能通过GB/T 17626.4规定的严酷等级为2级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，评价等级为A。
- d) 传感器交流电源端口应能通过GB/T 17626.5规定的严酷等级为3级的浪涌（冲击）抗扰度试验，评价等级为B。传感器直流电源端口和信号端口应能通过GB/T 17626.5规定的严酷等级为2级的浪涌（冲击）抗扰度试验，评价等级为B。
- e) 传感器应能通过GB/T 17626.6规定的严酷等级为3级的射频场感应的传导骚扰抗扰度试验，评价等级为A。
- f) 试验后，传感器应符合6.8的规定。

7 试验方法

7.1 试验条件

环境条件要求如下：

- a) 环境温度（20±2）℃，温度变化不大于 0.5℃/h；
- b) 相对湿度不大于 75%。

7.2 试验用主要仪器

试验用主要仪器应经过计量技术机构检定（或校准），满足试验使用要求，并在有效期内。试验用主要仪器及技术指标见表 4。

表 4 试验用仪器及指标要求

校准用设备	技术要求
波长标准激光器	国际计量委员会（CIPM）推荐的用于复现SI基本单位米的高稳定度稳频激光波长。
频率计数器	频率范围：0.001 Hz~1.5 GHz 最小采样频率：≥10 Hz 测量误差：≤1 Hz
频谱分析仪	响应带宽：≥1 GHz
计时器	测量不确定度：≤1ms

激光干涉仪	MPE: $\pm (0.03\mu\text{m} + 1.5 \times 10^{-6}L)$
注：允许采用满足测量不确定度要求的其他测量标准器	

7.3 测试方法

7.3.1 外观及功能检查

用目测方法观察外观及功能。确认传感探头表面无影响使用的划伤等缺陷，传感器铭牌标识字迹清晰、完整、醒目；解调器开机后工作正常，传感探头出光正常，测量软件通信正常。
记录检查结果，格式参见附录A。

7.3.2 测量范围

测量范围测试装置结构示意图如图3所示。激光干涉仪安装在传感器检测平台上，光纤位移传感器的传感探头安装在可调平台上，通过对传感探头空间位置的调整，使其安装尽量满足阿贝原则。使用激光干涉仪作为长度标准器，由干涉型光纤位移传感器的测量软件读取位移测量结果。

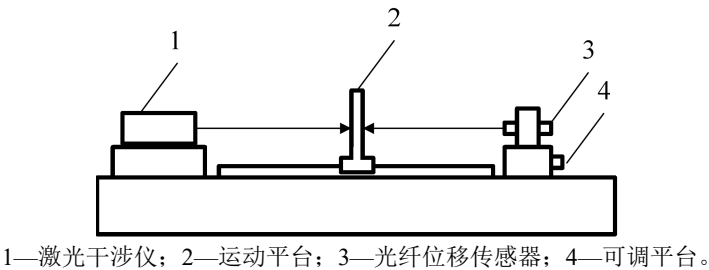


图3 测试平台结构示意图

测量范围测试步骤如下：

- a) 将运动平台移至与传感探头前端相接触，此时激光干涉仪清零。
- b) 沿传感器出光方向移动运动平台，待传感器测量软件显示测量结果，移动运动停止运动，记录激光干涉仪数值 L_1 ；
- c) 沿传感器出光方向继续移动运动平台，待传感器测量软件测量结果丢失，移动运动停止运动，记录激光干涉仪数值 L_2 ；

传感器测量范围为： $(|L_1| \sim |L_2|)$ mm。
记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.3 分辨力

分辨力测试装置结构示意图如图3所示。移动运动平台，使运动平台与传感探头之间距离满足光纤位移传感器安装距离，此时将光纤位移传感器和激光干涉仪示值均置零；
运动平台沿传感器出光方向移动，产生传感器测量范围5%的位移，查看测量范围在0%~10%内时传感器测量位移数据的小数点后有效数字的位数。
运动平台沿传感器出光方向移动，产生传感器测量范围50%的位移，查看测量范围在10%~100%内时传感器测量位移数据的小数点后有效数字的位数。
记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.4 测量频率

在传感器测量软件中，将传感器测量频率设定为标称值，通过测量软件数据采集系统采集光纤位移传感器获取的位移/距离数据，并采用计时器计时，在10s内采集到的测量数据个数为N，取其平均值 $N/10$ 作为待校准光纤位移传感器测量频率的测量结果。
记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.5 激光波长

激光波长测试根据JJG（军工）292—2024 532nm~1542nm稳频激光器检定规程进行。

记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.6 重复性

测试光纤位移传感器重复性的安装示意图如图3所示。

测试重复性步骤如下：

- a) 移动运动平台，使运动平台与传感探头之间距离满足光纤位移传感器安装距离，此时将光纤位移传感器和激光干涉仪示值均置零；
- b) 沿光纤位移传感器正方向（或负方向）移动运动平台，选择光纤位移传感器量程范围 1/2 处作为初始测量位置 P；
- c) 沿光纤位移传感器负方向（或正方向）移动运动平台测量轴，直到光纤位移传感器的示值有明显变化后停止移动，再按相反方向轻移安装平台测量轴，使激光干涉仪的示值与初始测量位置 P 示值相同，在此移动途中不应改变方向，记录光纤位移传感器的示值 L_1 ；

重复步骤c)的操作5次，共得到光纤位移传感器6次读数数值 L_i ($i=1, 2, \dots, 6$)，按照贝塞尔公式(1)计算标准偏差作为重复性测试值。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- s —— 重复性，单位为毫米（mm）；
- L_i —— 光纤位移传感器读数数值，单位为毫米（mm）；
- $\bar{L}$ —— 光纤位移传感器读数数值平均值，单位为毫米（mm）；
- i —— 第 i 次测量， $i=1, 2, \dots, 6$ 。

记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.7 漂移

测试光纤位移传感器漂移，按图3所示安装激光干涉仪与光纤位移传感器。将光纤位移传感器的测量轴固定在任意位置，使光纤位移传感器读数数值在工作距离范围内，调整光纤位移传感器探头使其尽量满足阿贝原则。记录传感器读数数值 L_0 。在保持状态不变的情况下，30分钟后记录光纤位移传感器的读数数值 L_1 ，以两次读数数值差值的绝对值作为漂移校准值。

记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.8 示值误差

7.3.8.1 位移示值误差

测试光纤位移传感器的位移示值误差，按图3所示安装激光干涉仪与光纤位移传感器。调整光纤位移传感器探头使其尽量满足阿贝原则。

测试位移示值误差具体操作如下：

- a) 设置光纤位移传感器为位移测量模式，在光纤位移传感器位移测量范围内均匀选取包含两端点在内的 5~11 个校准点进行测量。将运动平台移动到光纤位移传感器负向读数的最大点，将光纤位移传感器和激光干涉仪示值均置零；
- b) 按照正方向进行测量，运动平台按照选定的校准点移动相应的位移量，分别记录光纤位移传感器的位移读数 $L_1, L_2, \dots, L_i$ ；激光干涉仪的读数 $a_1, a_2, \dots, a_i$ 。

光纤位移传感器的位移示值误差按公式（2）计算。

$$\delta_i = L_i - |a_i| \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- δ_i —— 第 i 个校准点的位移示值误差，单位为毫米（mm）；
- L_i —— 第 i 个校准点光纤位移传感器位移读数数值，单位为毫米（mm）；

a_i —— 第*i*个校准点激光干涉仪读数值，单位为毫米（mm）。

记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.8.2 距离示值误差

测试光纤位移传感器的距离示值误差，按图3所示安装激光干涉仪与光纤位移传感器。调整光纤位移传感器探头使其尽量满足阿贝原则。

测试距离示值误差具体操作如下：

- a) 设置光纤位移传感器为距离测量模式，在光纤位移传感器距离测量范围内均匀选取包含两端点在内的5~11个校准点进行测量。将运动平台移动到光纤位移传感器负向读数的最大点，将光纤位移传感器和激光干涉仪示值均置零；
- b) 按照正方向进行测量，遮挡光纤位移传感器测量光，运动平台按照选定的校准点移动相应的距离，恢复测量光，分别记录光纤位移传感器的距离读数 $D_1, D_2, \dots, D_i$ ；激光干涉仪的读数 $b_1, b_2, \dots, b_i$ 。

光纤位移传感器的距离示值误差按公式（3）计算。

$$\delta_i = D_i - |b_i| \dots\dots\dots (3)$$

式中：

δ_i —— 第*i*个校准点的距离示值误差，单位为毫米（mm）；

D_i —— 第*i*个校准点光纤位移传感器距离读数值，单位为毫米（mm）；

b_i —— 第*i*个校准点激光干涉仪读数值，单位为毫米（mm）。

记录测试结果，格式参见附录A。

7.3.9 环境适应试验

7.3.9.1 低温工作试验

按 GB/T 2423.1-2008 中试验 Ab 方法进行。试验过程中，在温度为 $(-10 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时，通电稳定 2h 后，测定测量误差。以后每小时测定 1 次测量误差，共 3 次。取其算术平均值作为测定值。

7.3.9.2 高温工作试验

按 GB/T 2423.2-2008 中试验 Bb 方法进行。试验过程中，在温度为 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时，通电稳定 2h 后，测定测量误差。以后每小时测定 1 次测量误差，共 3 次。取其算术平均值作为测定值。

7.3.9.3 交变湿热试验

按 GB/T 2423.4-2008 中的试验 Db 方法进行。试验过程中，在温度为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $(93 \pm 3)\%$ 条件下，持续时间为 12d；绝缘电阻和工频耐压试验后按 GB/T 2423.4 中规定的方法进行恢复和最终检测，检查外观、主要技术指标和功能。

7.3.10 电磁兼容试验

7.3.10.1 静电放电抗扰度试验

按 GB/T 17626.2-2018 的规定进行试验布置，传感器处于正常监视状态。按 GB/T 17626.2-2018 规定的试验方法，对传感器及耦合板施加符合严酷等级为 3 级的静电放电干扰。条件试验结束后，按 7.2.3.3 规定的方法进行测量误差测定。

7.3.10.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

按 GB/T 17626.3-2016 的规定进行试验布置，传感器处于正常监视状态。按 GB/T 17626.3-2016 规定的试验方法，施加符合严酷等级为 2 级的射频电磁场辐射干扰。条件试验结束后，按 7.2.3.3 规定的方法进行测量误差测定。

7.3.10.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按 GB/T 17626.4-2018 的规定进行试验布置，传感器处于正常监视状态。按 GB/T 17626.4-2018 规定的试验方法，施加符合严酷等级为 2 级的电快速瞬变脉冲群干扰。条件试验结束后，按 7.2.3.3 规定的方法进行测量误差测定。

7.3.10.4 浪涌(冲击)抗扰度试验

按 GB/T17626.5-2018 的规定进行试验布置，传感器处于正常监视状态。按 GB/T 17626.5-2018 规定的试验方法，对交流电源端口施加符合严酷等级为 3 级的浪涌（冲击）干扰，对直流电源端口和信号端口施加符合严酷等级为 2 级的浪涌（冲击）干扰。条件试验结束后，按 7.2.3.3 规定的方法进行测量误差测定。

7.3.10.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

按GB/T17626.6-2017的规定进行试验布置，传感器处于正常监视状态。按GB/T17626.6-2017规定的试验方法，施加符合严酷等级为2级的射频场感应的传导骚扰。条件试验结束后，按7.2.3.3规定的方法进行测量误差测定。

8 检验规则

8.1 概述

传感器的检验分出厂检验和型式检验，检验项目见表5。

表 5 检验项目表

序号	检验项目	试验要求	试验项目条款	出厂检验	型式检验
1	外观及功能检查	6.1	7.3.1	√	√
2	测量范围	6.2	7.3.2	√	√
3	分辨力	6.3	7.3.3	√	√
4	测量频率	6.4	7.3.4	√	√
5	激光波长	6.5	7.3.5	√	√
6	重复性	6.6	7.3.6	√	√
7	漂移	6.7	7.3.7	√	√
8	示值误差	6.8	7.3.8	√	√
9	温湿度试验	6.9	7.3.9	×	√
10	抗电磁干扰试验	6.10	7.3.10	×	√

注：表中“√”为检验项目，“×”为不检验项目。

8.2 出厂检验

出厂前应由制造厂质量检验部门逐台进行检验，检验合格并发给合格证后方可出厂。

8.3 型式检验

8.3.1 检验条件

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品试验鉴定或老产品转厂生产时。
- 正式生产后如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时。
- 正常生产的传感器每两年一次。
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。
- 国家有关机构提出要求时。

8.3.2 检验单位

型式检验应由国家授权的质量监督检验机构负责进行。

8.3.3 抽样

从出厂检验合格的传感器中按GB/T 10111-2008规定的方法进行。抽样基数不少于10台，抽样数量不少于3台。

8.3.3判定规则

受检传感器为3台。在检验中，如有1台项及以上不合格，项目加倍复检，如仍有不合格项目，判为不合格产品，否则合格。

9 标志、包装、使用说明书、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 概述

外壳明显处应设有牢固的铭牌。铭牌材质宜选用塑料或铝材质，其应至少包含下列内容：

- a) 产品型号和名称。
- b) 主要技术参数。
- c) 出厂编号和日期。
- d) 制造厂名称。

9.1.2 包装标志

包装标志应符合：

- a) 发货标志应符合有关运输规定。
- b) 作业标志应符合 GB/T 191-2008 的规定。

9.2 包装

包装应采用复合防护包装类型，具有防雨、防潮、防尘、减振能力。包装箱内应有下列文件：

- a) 产品合格证。
- b) 产品使用说明书。
- c) 装箱单。

9.3 使用说明书

传感器的使用说明书按 GB/T 9969-2008 的规定编写。

9.4 运输

包装好的产品应避免雨雪直接淋袭的条件下应适于公路、铁路、水路、航空运输。

9.5 贮存

传感器应存放在通风良好无腐蚀性气体的库房内。

附录 A
(资料性)
干涉型光纤位移传感器测试记录格式

客 户				测 试 时 间	年 月 日	
被 检 设 备				环 境 温 度	℃	
型 号 / 规 格				相 对 湿 度	%	
编 号				测 试 地 点		
制 造 商				依 据 文 件		
1 外观及功能检查						
检查项目		结 果				
外观及功能	外观					
	功能					
2 测量范围						
检查项目		结 果				
测量范围						
3 分辨力						
检查项目		结 果				
分辨力	测量范围：0%～10%					
	测量范围：10%～100%					
4 测量频率						
检查项目		结 果				
测量频率						
5 激光波长						
检查项目		结 果				
激光波长不确定度						
6 重复性						
检查项目		结 果				
重复性	L_1 mm	L_2 mm	L_3 mm	L_4 mm	L_5 mm	L_6 mm
7 漂移						
检查项目		结 果				

漂移	L_0 mm			L_1 mm	
8 示值误差					
检查项目	结 果				
位移示值误差	序号	L mm	a mm	示值误差 mm	扩展不确定度 U μm
距离示值误差	序号	D mm	b mm	示值误差 mm	扩展不确定度 U μm
9 环境适应性					
检查项目	结 果				

低温环境试验	
高温环境试验	
交变湿热试验	
10 环境适应性	
检查项目	结 果
静电放电抗扰度试验	
射频电磁场辐射抗扰度试验	
电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	
浪涌(冲击)抗扰度试验	
射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	

测试人：

核验人：

