

**中华人民共和国国家计量技术规范**

JJF××××─××××

光栅线位移测量装置（系统）校准规范**Calibration Specification of** **Linear Displacement Measurement Device (Systems) based on Gratings**

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**国 家 市 场 监 督 管 理 总 局** 发 布

**JJF xxxx—2024**

**代替JJG 341-1994**

**JJF 1682——2017 代替JJG 989——2004**

**JJF** ××××—202X

光栅线位移测量装置（系统）校准规范

**Calibration Specification of Linear Displacement Measurement Device (Systems) based on Gratings**



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

中国测试技术研究院

参加起草单位：xxxx

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：

高宏堂（中国计量科学研究院）

薛靓（中国测试技术研究院）

孙双花（中国计量科学研究院）

沈雪萍（中国计量科学研究院）

参加起草人：

康岩辉（中国计量科学研究院）

胡常安（中国测试技术研究院）

汤江文（中国测试技术研究院）

目 录

[引 言 I](#_Toc23578)

[1 范围 1](#_Toc11642)

[2 引用文件 1](#_Toc11520)

[3 术语和定义 1](#_Toc20143)

[4 概述 1](#_Toc22352)

[5 计量特性 2](#_Toc18709)

[6 校准条件 3](#_Toc4799)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc21254)

[8 校准结果表达 8](#_Toc3022)

[9 复校时间间隔 8](#_Toc16456)

[附录A 用激光干涉比长仪测量光栅栅线位值偏差测量不确定度评定 9](#_Toc25427)

[附录B 光栅线位移测量装置（系统）校准证书（内页）格式 13](#_Toc25080)

引 言

本规范的编写以JJF1071—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》、JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列文件。

本规范替代JJG 341-1994《光栅线位移测量装置》。

与JJG 341-1994相比，除编辑性修改外，本规范主要技术变化如下：

——本规范增加光栅线间距的栅线位值偏差和光栅信号周期偏差计量特性二项；

——修订了原规程中细分脉冲当量为单位表示的技术指标描述，例如光栅细分误差、回程误差、重复性、稳定度的细分脉冲当量为单位的技术指标修订为以长度单位表示，准确度测量的环境条件要求删除了气压和折射率变化的约束条件；

——准确度结果直接反映光栅的精度指标，删除原规程中规定的准确度等级规定；

——修改了原规程稳定度无测量约束参数的不足，增加了测试长度参数，优化了测试时长的规定；

——因采用干涉仪校准较为普及，将原来第五部分“用长光栅比较仪检定光栅线位移测量装置（系统）的准确度”删除；

光栅线位移测量装置（系统）校准规范

1. 范围

本规范适用于光栅线位移测量装置（系统）的校准。

1. 引用文件

本规范引用下列文件：

JB/T 9341.1-2013 计量光栅 第1部分：术语

JB/T 9341.2-2013 计量光栅 第2部分：数显表（卡）

JB/T 10030-2012 光栅线位移测量装置

GB/T 17421.2—2016/ISO 230-2:2006 第2部分：数控轴线的机床检验通则定位精度和重复定位精度的确定

JJF 1682-2017 光栅式测微仪校准规范

JB/T 13688-2019 光栅长度计

IEC/TS 62622 Nanotechnologies-Description, measurement and dimensional quality parameters of artificial gratings （纳米技术规范-刻制光栅几何质量参数及其测量的表述）

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）适用本规范。

1. 术语和定义
2. 栅线位置偏差

光栅栅线位置之间的实际值与设计值之间的差值。

1. 信号周期偏差

光栅尺测量读数头输出的光栅周期信号的周期实际值与设计值之间的差值。

1. 概述
   1. 构成原理

光栅线位移测量装置（系统）以刻线间距进行长度量值传递，其系统成基本原理如图1，主要由长度标准值的产生、探测、信号处理三部分组成，以光栅尺刻线间距（栅距）作为长度量值的标准源值，通过“测头”与“光栅尺”的相对位移扫描获得与光栅线刻划周期一致（或为倍数关系）的周期电信号，信号处理系统对周期电信号进行鉴相、倍频、细分后进行位移计算、误差修正补偿，最终输出位移结果。

光栅线位移测量装置（系统）具有多种类型划分方法，按结构可分为敞开式和封闭式，按型式分为带参考零位和不带参考零位，按照光栅栅线位置的探测原理可分为基于几何影像莫尔条纹原理和基于衍射后进行干涉测量的衍射光栅。

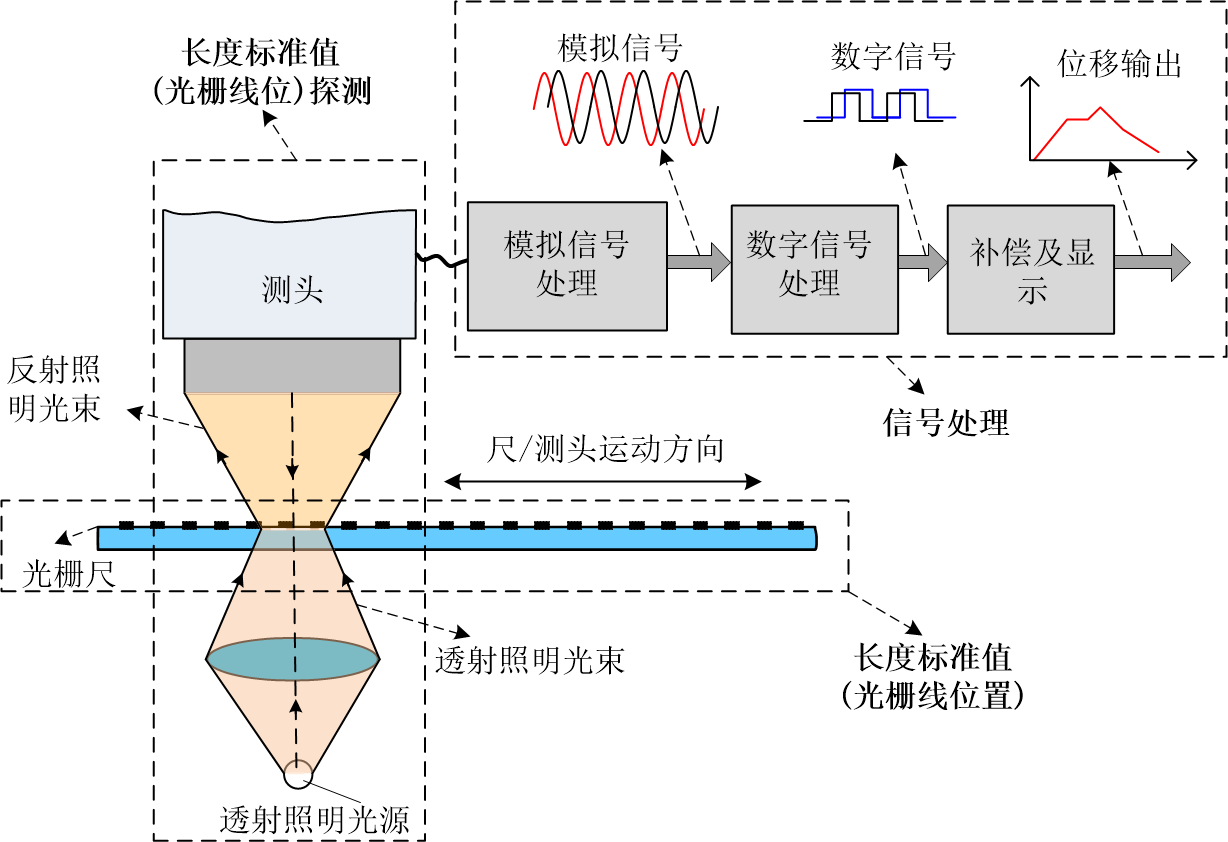


图1 光栅线位移测量装置（系统）基本构成原理示意图

* 1. 用途

光栅线位移测量装置（系统）主要用于数控机床、精密仪器实现位移测量和位置定位控制。

1. 计量特性
   1. 栅线位置偏差

5.2 信号周期偏差

5.3 细分误差

5.4 回程误差

5.5 重复性

5.6 稳定度

5.7 准确度

1. 校准条件

6.1环境条件

6.1.1 温度：（20±2）℃。

6.1.2 相对湿度：<70 %。

6.1.3 实验室内环境应符合光栅线位移测量装置（系统）保证其准确度等级所要求的工作条件。

6.2 校准项目和校准用标准器

光栅线位移测量装置（系统）校准项目和校准用标准器见表1。

表 1 光栅线位移测量装置（系统）校准项目和校准用标准器

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 标准器 |
| 1 | 栅线位值偏差 | 激光干涉比长仪或线纹干涉仪 |
| 2 | 信号周期偏差 | 激光干涉比长仪或线纹干涉仪 |
| 2 | 细分误差 | 激光干涉比长仪或激光干涉仪 |
| 3 | 回程误差 | 激光干涉比长仪或激光干涉仪 |
| 4 | 重复性 | 激光干涉比长仪或激光干涉仪 |
| 5 | 稳定度 | 激光干涉比长仪或激光干涉仪 |
| 6 | 准确度 | 激光干涉比长仪或激光干涉仪 |

1. 校准项目和校准方法

校准前，需确保光栅线位移测量装置（系统）处于正常的工作状态，根据光栅线位移测量装置（系统）的操作规程，正确安装以减小其安装所致误差和环境所致误差，排除影响校准计量性能的异常因素后方可进行校准。

7.1 栅线位值偏差

光栅尺刻线的栅线位置偏差主要反映了光栅的刻划精度，因测量使用时光栅尺全部刻线都参与测量过程，对全栅刻线进行栅线位置偏差测量具有应用意义，光栅的栅线位置偏差用式（1）表示：

 （1）

式中：*p*—光栅标称栅距，*Pi*—光栅第*i*个刻线的实际位置，*∆Pi*—第*i*个刻线位置偏差。

光栅线位移测量装置（系统）的光栅尺裸栅的栅线位置偏差可以通过激光干涉比长仪或线纹干涉仪进行测量获得，为了减小测量误差，激光干涉比长仪进行高精度的光栅刻线测量时，让光栅尺的姿态在0°和180°的两个方向分别测量，即以光栅尺起始一侧起始的刻线为“0”刻线，正向面对激光干涉比长仪时，让“0”刻线分别置于激光干涉比长仪（线纹干涉仪）运动方向左右两端分别进行测量，取两个方向测量结果的平均值为光栅刻线偏差结果。

7.2 信号周期偏差

当光栅线位移测量装置（系统）的光栅尺的裸栅刻线无法直接通过单线扫描探测时，采用从光栅线位移测量装置（系统）测头输出的一路信号作为刻线瞄准信号，所获得信号周期值为光栅裸栅多线扫描探测所获得栅线位置平滑结果。根据光栅测头探测类型的不同，所获得的信号周期与光栅局部平均栅距之间的关系为式中，光栅测头信号周期偏差用式（2）表示：

 （2）

式中：*T*—标称信号周期，*Ti*—第*i*个信号周期位置，*∆Ti*—第*i*个信号周期位置偏差。

7.3 细分误差

为了提高光栅测量系统分辨力，光栅线位移测量装置（系统）对一个光栅栅距*P*进行*N*倍分割（细分），细分方法一般采用光电结合的方法。光栅栅距*P*进行*N*倍细分获得的长度间隔通常以脉冲形式输出使用，则一个脉冲当量所对应数值就是光栅位移分辨力，光栅栅距与分辨力之间的关系用式（3）为：

 （3）

式中：*P*—光栅栅距；*N*—细分倍率；

7.3.1 说明

细分误差所反映的是光栅尺探测系统对光栅栅距进行细分的准确度。

7.3.2测量方法

在光栅线位移测量装置（系统）起始、中间和末端3个位置分别进行1个栅距范围的位移测量，当光栅线位移测量装置（系统）可以输出细分脉冲时，以光栅细分脉冲触发激光干涉比长仪（或干涉仪）进行测量，以细分间距为最小测量间隔进行示值误差的测量；如果光栅线位移测量装置（系统）不能输出细分脉冲，则在栅距范围内进行等至少10个等间隔的位移示值误差测量，光栅线位移测量装置（系统）示值误差绝对值表示为，式中*∆Ls*为激光干涉比长仪（或干涉仪）的示值，*∆Li*为光栅线位移测量装置（系统）示值。取示值误差绝对值最大值max(*δi*)为该位置的细分误差*δDivj* ，取3个位置的最大值max(*δDivj*)为光光栅线位移测量装置（系统）的细分误差。

7.4 回程误差

7.4.1 说明

回程误差反映光栅正反向位移测量一致性技术指标。

7.4.2 测量方法

光栅线位移测量装置（系统）从起始位置开始以测量间隔*∆l*（测量间隔参照表3）为测量间隔进行正反行程全范围位移测量，激光干涉比长仪（或干涉仪）与光栅线位移测量装置（系统）在相同位置下的位移正行程结果和反向行程结果之间差异绝对值为该位置的回程差，取全部测量间隔的最大值max(*δHc*)为光栅线位移测量装置（系统）回程误差。

7.5 重复性

7.5.1 说明

重复性反映光栅单向位移重复测量特性。

7.5.2 测量方法

对光栅线位移测量装置（系统）的以测量间隔*∆l*（测量间隔参照表3）进行3次单向重复位移测量（3次测量间隔的定位极差小于光栅一个栅距），激光干涉比长仪（或干涉仪）结果与光栅结果的差异值为，的变化量（极差值）为光栅线位移测量装置（系统）在位置的测量重复性，取全部测量位置最大值max(*δRi*)为光栅线位移测量装置（系统）重复性。

7.6 稳定度

7.6.1 说明

稳定度是光栅线位移测量装置（系统）处于最大测量长度情况下，其示值随时间变化的最大量。

7.6.2 测量方法

在测量环境稳定情况下，让光栅线位移测量装置（系统）处于最大测量长度位置，在长时间工作时段*T*内，对光栅示值进行连续监测，示值变化的峰峰值（示值最大变化量）与光栅测量时间的比值即为稳定度，时段*T*根据光栅测量系统工作时间进行选择，若无特别说明，测量时间建议不少于2h。

7.7 准确度

7.7.1 说明

示值作为光栅线位移测量装置（系统）位移输出结果，示值的误差是评定光栅线位移测量装置（系统）准确度的依据，可以直接用示值误差曲线形式表示，或者以±*A*/2形式表示（*A*为光栅测量范围内示值误差的峰峰值）。

7.7.2 测量方法

用激光干涉比长仪或激光干涉仪进行测量，激光干涉比长仪或激光干涉仪测长不确定度应小于被校准光栅线位移测量装置（系统）总不确定度的1/3。

7.7.2.1 安装及等温

调整光栅尺，使其符合产品安装的技术要求。尺调节后需要进行等温，等温结束后，方可开始进行测量。测量间隔以光栅实际长度、光栅尺误差补偿以及客户使用间隔等实际情况综合决定（一般检测间隔≤50mm）。

7.7.2.2 信号检查

对于开放可输出光栅模拟信号的光栅线位移测量装置（系统），信号质量技术要求可参考表2。

表2 信号质量技术要求

|  |  |
| --- | --- |
| 信号参数 | 全行程变化 |
| 信号失真度 | ≤10% |
| 正交性 | 90°±10° |
| 幅值变化率 | ≤10% |
| 直流电平变化率 | ≤10% |

注：幅值变化为光栅信号交流幅值的变化率

光栅线位移测量装置（系统）调整好后，用示波器、失真度测量仪、相位计、或其它基于波形采集卡采样后进行计算处理的方法（如谐波分析法、椭圆修正方法）对光栅线位移测量装置（系统）输出两路信号进行检查。

7.7.2.3 温度要求

校准时对温度环境的要求见表3。

表3 校准时对温度环境的要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 光栅尺温对20℃允许偏差（℃） | 一次测量中尺温变动（℃） | 一次测量中气温变动（℃） |
| ±0.5 | ≤0.05 | ≤0.06 |
| ±1.0 | ≤0.1 | ≤0.2 |
| ±3.0 | ≤0.5 | ≤0.8 |

7.7.2.4 测量间隔

较小的测量间隔有利于光栅的技术指标的校准和使用，但若采用静态校准方式校准光栅，较小测量间隔会使得测量效率低下而不利于校准工作，所以测量间隔需根据光栅线位移测量装置（系统）的准确度结合光栅的使用方式进行选择，推荐的测量间隔参见表4。

表4 推荐的测量间隔

|  |  |
| --- | --- |
| 行程（mm） | 测量间隔（mm） |
| ≤1000mm | ≤10 |
| ＞1000mm | ≤50 |

7.7.2.5 测量方式及结果

光栅线位移测量装置（系统）安装调整好后，可以采用动态取样测量方式，使用光栅线位移测量装置（系统）输出位置脉冲或者激光干涉比长仪（激光干涉仪）输出位置脉冲进行触发采样，也可以采用静态取样测量方式，按照表4中推荐间隔进行测量。

激光干涉比长仪（激光干涉仪）结果为标准值，光栅线位移测量装置（系统）结果为被检测值，则光栅线位移测量装置（系统）示值误差值表示为：

 （4）

式中：*i*表示第*i*个测量位置

按照设定间隔进行3次同向测量，以3次测量结果的平均值为示值误差，用示值误差曲线表示测量结果。测量结果也可以采用±*A*准确度形式进行表示，*A*为3次测量结果中的最大值与最小值差值的二分之一，即*A*=±[max(*Xi*)-min(*Xi*)]/2。

1. 校准结果表达

经过校准的光栅线位移测量装置（系统）出具校准证书，校准结果应至少包含下列内容：校准项目名称和校准结果。

1. 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般为1年。

**附录A** 用激光干涉比长仪测量光栅栅线位值偏差测量不确定度评定

基于激光干涉比长仪（线纹干涉仪）测量光栅线位移测量装置（系统）光栅尺的栅线位值偏差的测量不确定度来源主要影响因素为光干涉比长仪（线纹干涉仪）线距测长不确定度、光栅尺余弦误差、阿贝误差、材料温度引起的误差。

A.1 光栅线位移测量装置（系统）光栅栅线位值偏差（或信号周期偏差）的测量不确定度计算

A.1.1 测量模型

基于激光干涉比长仪（线纹干涉仪）测量光栅线位移测量装置（系统）光栅栅线位值偏差（或信号周期偏差）的测量数学模型可以表示为：

 (A.1)

式中：—第*i*个光栅栅线位置值（或第*i*个光栅信号周期位置值）；

—第*i*个光栅刻线位置（或第*i*个光栅信号周期位置）瞄准时，激光干涉比长仪（线纹干涉仪）测长大数值；

—第*i*个光栅刻线位置（或第*i*个光栅信号周期位置）瞄准时，激光干涉比长仪（干涉仪）测长小数值（光栅刻线位置瞄准值）；

—光栅尺材料线膨胀系数；

—光栅尺材料温度；

—光栅尺安装的余弦误差；

—光栅尺安装的阿贝误差；

A.1.2 灵敏系数和合成方差

从式A.1各个不确定度来源的变量进行偏导数计算获得灵敏系数*ci*：

，，，，，

用、、、、、分别表示式A.1各个误差来源的的标准不确定度，因这6个量相互独立，其合成方差可以表示为：

 （A.2）

式中：—干涉测长大数值标准不确定度；

—测长小数值（光栅刻线位置瞄准值）标准不确定度；

—光栅尺温度材料线膨胀系数标准不确定度；

—光栅尺材料温度标准不确定度；

—光栅尺安装余弦误差引入的不确定度；

—光栅尺安装阿贝误差引入的不确定度；

A.1.3 合成标准不确定度

 （A.3）

A.1.4 扩展不确定度

，*k*=2 （A.4）

A.2 计算示例

本示例给出光栅尺材料膨胀系数为，材料温度，光栅栅线位置标称值为1m的测量结果的不确定度评定。

A.2.1 光栅线位移测量装置（系统）干涉测长大数值引入的不确定度

干涉测长大数值是激光干涉比长仪（或线纹干涉仪）的测量光栅栅线位置的大数部分，当采用光电信号瞄准方法为所瞄准的栅线信号所触发的干涉长度值，若采用显微镜图像像瞄准的方法则是瞄准定位光栅栅线时激光干涉仪的位移值。其不确定数值为激光干涉比长仪（或激光干涉仪）的测长部分标准不确定度，通常情况下从激光干涉比长仪（或激光干涉仪）的技术指标或者溯源证书可以获得1m长度时的扩展不确定。例如激光干涉比长仪（或线纹干涉仪）间距测量扩展不确定度为，其中长度相关的扩展不确定度分量为，其中，标准不确定度为。

A.2.2 光栅线位移测量装置（系统）干涉测长测长小数值引入的不确定度

干涉测长小数值是激光干涉比长仪（或激光干涉仪）的测量光栅栅线栅距的小数部分，当采用光电信号瞄准方法对应为所瞄准的栅线信号经过信号处理后获得的栅线的精确瞄准位置，若采用显微镜图像像瞄准的方法则是瞄准定位光栅栅线时所采集的栅线图像经过像素标定计算获得栅线位置的精确值。其不确定来源主要为栅线位置瞄准重复性所引入，其数值通常情况下从激光干涉比长仪（或激光干涉仪）的技术指标或者溯源证书可以获得，也可以通过刻线瞄准重复性所确定的实验标准差。采用激光干涉比长仪（或激光干涉仪）的长度无关项的扩展测量不确定度为：。

则标准不确定度 。

A.2.3 光栅尺温度材料线膨胀系数引入的不确定度

的标准不确定度可以从光栅尺制造的材料技术指标或者溯源证书来确定，例如，则 ，则标准不确定度

A.2.4 光栅尺材料温度引入标准不确定度

材料温度的标准不确定度可以从溯源证书并结合实际使用情况来确定，

例如，则，则标准不确定度。

A.2.5 光栅尺安装余弦误差引入的不确定度

光栅尺装调所致余弦误差，设其为矩形分布，则，则标准不确定度为。

A.2.6 光栅尺安装阿贝误差引入的不确定度

在激光干涉比长仪上，光栅尺安装后的阿贝距离，导轨最大偏摆，设其为矩形分布，则，则标准不确定度。

A.2.3 标准不确定度分量一览表

输入量的标准不确定度分量汇总表见表A.1。

表A.1 不确定度分量一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度值/μm |
|  | 干涉测长大数值引入标准不确定度 | 0.050 |
|  | 测长小数值引入标准不确定度 | 0.035 |
|  | 温度材料线膨胀系数引入标准不确定度 | 0.015 |
|  | 材料温度引入标准不确定度 | 0.086 |
|  | 光栅尺安装余弦误差引入的不确定度 | 0.050 |
|  | 光栅尺安装阿贝误差引入的不确定度 | 0.030 |

A.2.4 合成标准不确定度



A.2.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为：



附录B 光栅线位移测量装置（系统）校准证书（内页）格式示例

（栅线位置参数为一种光栅测量结果，其它参数为另一种光栅测量结果）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 证书编号：××××——××××  校 准 结 果  1、栅线位值偏差 (偏差曲线)  栅线位值偏差曲线  说明：   1. 采用反射射照明； 2. 刻线中心瞄准测量； 3. 材料线膨胀系数设置为8.6×10-6/C； 4. 尺平放于测量台面上； 5. 测量结果不确定度：*U*=0.20 μm (*k*=2), *L*-m。   ----------------以下空白-------------  2、信号周期偏差  海德汉纳米光栅信号周期测量结果  信号周期位置偏差曲线  说明：   1. 采用光栅自带读数头获得一路信号进行测量； 2. 材料线膨胀系数设置为0.0×10-6/C； 3. 采用尺自带支撑架子进行测量； 4. 测量结果不确定度：*U*=(0.10+0.5*L*) μm (*k*=2), *L*-m。   ----------------以下空白-------------  3、位移参数   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 参数名称 | 测量结果 | 测量结果不确定度*U*(*k*=2) | | 细分误差 | 8nm | 1nm | | 回程误差 | 0.29μm | 0.05μm | | 重复性 | 0.21μm | 0.04μm | | 稳定度 | 0.21μm/4h | 0.10μm |   4、准确度  位移示值误差曲线  说明：   1. 光栅尺刻线面及位移轴线用光电显微镜瞄准定位后测量； 2. 光栅尺信号周期值设定为128nm； 3. 尺面字符正向面对时，位移方向为从左到右测量； 4. 测量结果不确定度：*U*=(0.04+0.5*L*) μm (*k*=2), *L*-m。   ----------------以下空白------------- |