线位移传感器动态参数校准规范

实验验证报告

征求意见稿

《线位移传感器动态参数校准规范》编写组

二○二四年三月

**《线位移传感器动态参数校准规范》实验验证报告**

**一、实验目的**

线位移传感器可用来测量位移、距离、位置和应变量等长度尺寸，在工程测试中应用广泛。典型的线位移传感器可以分为接触式传感和非接触式传感。线位移传感器输出信号种类多，绝大部分线位移传感器输出电信号，如不同频率的脉冲信号、电压或电流等模拟量；也有些线位移传感器已集成了信号转化功能，能直接以数字方式或其他方式输出长度尺寸。规范制定小组在参考相关的技术标准和各生产厂技术说明书的基础上，为了确认本规范的计量性能指标和校准方法是否合理，针对校准规范上确定的计量特性及校准项目，对线位移传感器动态参数的校准项目和校准方法进行实验。

以下实验是在确定没有影响计量特性因素的基础上进行的。

**二、实验结果**

2.1外观及附件

是否符合要求：**☑**是 🞎否

2.2线位移传感器频率响应

表1 线位移传感器频率响应实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 项目 | | | | | | | | | 标称参数 | | | | | | |
| 1 | 线位移传感器频率响应 | | | | | | | | | 45Hz | | | | | | |
| 测量数据（μm） | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | | 8 | 9 | 10 | | 11 |
| *Lij*-*yij*(×*VR*×10-3) | | 8 | 6 | 5 | 7 | 3 | | 5 | 5 | | 4 | 3 | 4 | | 4 |
| *αij*-*βij*(×π×10-3) | | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | | 5 | 2 | | 1 | 2 | 3 | | 4 |
| 是否满足*Lij*-*yij*≤±0.01×*VR*，*αij-βij*≤0.01×π | | | | | | | 是 | | | 频率响应(Hz) | | | | 45 | | |

2.3线位移传感器动态示值误差

表2 线位移传感器动态示值误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | 技术指标 | | | | |
| 1 | | 线位移传感器动态示值误差 | | | | | ±0.10% | | | | |
| 测量数据（%） | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.03 |
| 示值平均值 | 0.04% | | | | | 标准差 | | | 0.01% | | |

2.4线位移传感器动态重复性

表3 线位移传感器动态重复性实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 项目 | | | | | | 标称参数 | | | | |
| 1 | 线位移传感器动态重复性 | | | | | | 0.04% | | | | |
| 测量数据（%） | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.05 |
| 示值平均值 | | 0.03% | | | | | 标准差 | | 0.01% | | |

2.5线位移传感器分辨力

表4 线位移传感器分辨力实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | | 标称参数 | | | | |
| 1 | | 线位移传感器分辨力 | | | | | | 0.04% | | | | |
| 测量数据（%） | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | | | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 示值平均值 | 0.02% | | | | | | 标准差 | | | 0.007% | | |

2.6线位移传感器响应时间

表5 线位移传感器响应时间

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 项目 | | | | | | | 技术要求 | | | |
| 1 | 线位移传感器响应时间 | | | | | | | 0.01rad | | | |
| 测量数据（×10-3 rad） | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | | 3 | 5 | 4 | 6 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 示值平均值 | | 4 | | | | | 标准差 | | 1 | | |

**三、线位移传感器动态示值误差测量结果不确定度评定**

具体评定过程参见规范正文的附录B。

3.1 标准不确定度分量的计算

3.1.1 仪器示值引起的不确定度分量*u*1

线位移传感器的测量重复性引入的不确定度分量可以通过10次连续重复测量得到，对幅值为2000μm，频率为5Hz的正弦往复运动进行10次重复测量：2000.02，2000.04，2000.03，2000.05，2000.04，2000.03，2000.06，2000.052，2000.05，2000.03（mm），按贝塞尔公式计算10次实验标准偏差为：0.013μm。

采用A类方法进行评定，按近似正态分布考虑，则

 （3.1）

3.1.2 线位移传感器校准装置引入的不确定度分量*u*2

线位移传感器校准装置引入的不确定度，其来源主要包括激光干涉仪分辨力引入的不确定度分量*u*21；电感位移传感器回程误差引入的不确定度分量*u*22；电感位移传感器测量板卡分辨力引入的不确定度分量*u*23；电感传感器安装误差引入的不确定度分量*u*24。

3.1.2.1激光干涉仪分辨力引入的不确定度分量*u*21：

激光干涉仪分辨力引入的不确定度分量采用B类方法评定，激光干涉仪分辨力为0.01μm，按均匀分布，按100%置信概率，*k*取，则由此引入的标准不确定度为：

 （3.2）

3.2.2.2电感位移传感器回程误差引入的不确定度分量*u*22：

电感位移传感器的回程误差经校准装置测得为0.019%，传感器全量程内回程误差最大为26.6nm，采用B类方法评定，按均匀分布，按100%置信概率，*k*取，由此引入的标准不确定度为：

 （3.3）

3.2.2.3电感位移传感器测量板卡分辨力引入的不确定度分量*u*23：

电感位移传感器测量板卡采用16位AD芯片，则对于电感位移传感器140μm的量程，板卡的理论分辨力为2.136nm，板卡分辨力引入的不确定度分量采用B类方法评定，按均匀分布，按100%置信概率，*k*取，则由此引入的标准不确定度为：

 （3.4）

3.2.2.4 电感传感器安装误差引入的不确定度分量*u*24：

电感位移传感器的安装误差主要是指探针运动轴线与校准装置的运动轴线不共线所引起的阿贝误差，该误差引入的不确定度分量采用B类方法评定，阿贝误差为7.08nm，按均匀分布，按100%置信概率，k取，则由此引入的标准不确定度为：

 （3.5）

由此可知，由于线位移传感器校准装置引入的不确定度定*u*2为：

 （3.6）

3.6 合成标准不确定度*uc*

*u*1和*u*2均按近似正态分布，合成标准不确定度*u*c为近似正态分布，当测量动态径向回转误差为4.56μm的标准精密高速主轴时：

 （3.7）

3.7 拓展不确定度*U*

取*k*=2，则拓展不确定度为：

 （3.8）

**四、实验结论**

通过上述实验可知，校准规范确定的校准方法和计量特性可以满足对线位移传感器动态参数的校准要求。