高速主轴动静态参数测量仪校准规范

实验验证报告

（征求意见稿）

《高速主轴动静态参数测量仪校准规范》编写组

二○二四年三月

**《高速主轴动静态参数测量仪校准规范》实验验证报告**

**一、实验目的**

高速主轴动静态参数测量仪可以用来测量主轴的动态和静态回转误差，在工业制造中广泛应用。主轴回转运动误差包含径向回转误差、轴向回转误差及倾角回转误差这三类，主轴测量仪可以测量其中一种或多种误差运动。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，对高速主轴动静态参数测量仪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精密高速主轴静态径向回转误差

表1 精密高速主轴静态径向回转误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 项目 | | | 精密高速主轴静态径向回转误差 | | | | | |
| 测量数据（μm） | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.84 | 0.85 | | 0.84 | 0.88 | 0.86 | 0.90 | 0.87 | 0.87 | 0.89 | 0.90 |
| 示值平均值 | | 0.87μm | | | | | 重复性 | | 0.02μm | | |

2.3精密高速主轴静态轴向回转误差

表2 精密高速主轴静态轴向回转误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 1 | | | 项目 | | 精密高速主轴静态轴向回转误差 | | | | | | |
| 测量数据（μm） | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 2 | 3 | | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.81 | | 0.83 | 0.83 | | 0.82 | 0.82 | | 0.79 | 0.81 | 0.84 | 0.81 | 0.84 |
| 示值平均值 | | | 0.82μm | | | | | 重复性 | | | 0.02μm | | |

2.4精密高速主轴动态径向回转误差

表3 精密高速主轴动态径向回转误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | | | 标称参数 | | | | |
| 1 | | 精密高速主轴动态轴向回转误差 | | | | | | | 4.56μm@6000r/min | | | | |
| 测量数据（μm） | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 4.53 | | 4.56 | 4.57 | 4.52 | 4.54 | | 4.53 | | 4.56 | 4.57 | 4.55 | 4.57 |
| 示值平均值 | | | 4.55μm | | | | 重复性 | | | | 0.02μm | | |

2.5精密高速主轴动态轴向回转误差

表4 精密高速主轴动态轴向回转误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | | | 标称参数 | | | | |
| 1 | | 精密高速主轴动态轴向回转误差 | | | | | | | 2.32μm@6000r/min | | | | |
| 测量数据（μm） | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 2.33 | | 2.36 | 2.35 | 2.33 | 2.32 | | 2.31 | | 2.37 | 2.33 | 2.33 | 2.37 |
| 示值平均值 | | | 2.34μm | | | | 重复性 | | | | 0.02μm | | |

2.6主轴测量仪静态径向回转示值误差

表5 主轴测量仪静态径向回转示值误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | | | 技术要求 | | | |
| 1 | | 主轴测量仪静态径向回转示值误差 | | | | | | | 0.10μm | | | |
| 测量数据 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.92 | | 0.90 | 0.95 | 0.93 | 0.94 | | 0.93 | 0.96 | 0.91 | 0.95 | 0.91 |
| 误差 | 0.05 | | 0.03 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | | 0.06 | 0.09 | 0.04 | 0.08 | 0.04 |
| 误差平均值 | | | 0.06μm | | | | 重复性 | | | 0.02μm | | |

2.7主轴测量仪静态轴向回转示值误差

表6 主轴测量仪静态轴向回转示值误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | | | 技术要求 | | | |
| 1 | | 主轴测量仪静态轴向回转示值误差 | | | | | | | 0.10μm | | | |
| 测量数据 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.88 | | 0.88 | 0.90 | 0.87 | 0.90 | | 0.87 | 0.90 | 0.97 | 0.86 | 0.87 |
| 误差 | 0.06 | | 0.06 | 0.08 | 0.05 | 0.08 | | 0.05 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| 误差平均值 | | | 0.07μm | | | | 重复性 | | | 0.01μm | | |

2.8主轴测量仪动态径向回转示值误差

表7 主轴测量仪动态径向回转示值误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 项目 | | | | | | | 技术要求 | | | |
| 1 | 主轴测量仪动态径向回转示值误差 | | | | | | | 1.00μm | | | |
| 测量数据 | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 5.49 | 5.52 | 5.52 | 5.51 | 5.48 | | 5.50 | 5.52 | 5.51 | 5.49 | 5.46 |
| 误差 | 0.94 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.93 | | 0.95 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.91 |
| 误差平均值 | | 0.95μm | | | | 重复性 | | | 0.02μm | | |

2.9主轴测量仪动态轴向回转示值误差

表8 主轴测量仪动态轴向回转示值误差实验验证

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验项目及结果 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | 项目 | | | | | | | 技术要求 | | | |
| 1 | | 主轴测量仪静态轴向回转示值误差 | | | | | | | 0.10μm | | | |
| 测量数据 | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 2.41 | | 2.41 | 2.43 | 2.43 | 2.43 | | 2.40 | 2.40 | 2.43 | 2.42 | 2.44 |
| 误差 | 0.07 | | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 0.10 |
| 误差平均值 | | | 0.08μm | | | | 重复性 | | | 0.01μm | | |

**三、****动态径向回转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

3.1.1.1 主轴动静态参数测量仪的测量重复性引入的不确定度分量*u*11

主轴动静态参数测量仪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，对标称动态径向回转误差为4.56μm@6000r/min的标准精密高速主轴进行10次重复测量：4.53，4.56，4.57，4.52，4.54，4.53，4.56，4.57，4.55，4.57（μm）。

采用A类方法进行评定，按近似正态分布考虑，实际测量是采用3次重复测量结果的平均值，则

, （3.1）

3.1.1.2 主轴动静态参数测量仪的测量分辨力引入的不确定度分量*u*12

主轴动静态参数测量仪的厚度读数显示分辨率一般为1.00μm，按均匀分布处理，则：

 （3.2）

测量重复性引入的不确定度分量*u*11和分辨力引入的不确定的度分量*u*12，取结果较大者，则：

 （3.3）

3.1.2 标准精密高速主轴引入的不确定度分量*u*2

标准精密高速主轴引入的不确定度主要来源于标准精密高速主轴的动态径向回转误差测量结果不确定度，可根据相关技术资料或校准数据给出的拓展不确定度来计算，其来源主要包括高感光相机对靶标点成像误差引入的不确定度分量*u*21；高感光相机光学系统轴线与被测主轴回转轴线的不平行引入的测量不确定度分量*u*22；图像处理算法引入的不确定度分量*u*23。

3.1.2.1高感光相机对靶标点成像误差引入的不确定度分量*u*21

当靶标位于相邻两像元之间时，由于像元感光的不确定性会造成相机成像误差，数值大小为1个像元。高感光相机中感光元件的像元尺寸为2.05μm，按均匀分布，则由此引入的标准不确定度为：

 （3.4）

3.1.2.2轴线不平行引入的不确定度分量*u*22

高感光相机与靶标式标准器相对高度设计为50mm，通过设计加工保证两者轴线平行度优于1՛，因此由轴线不平行引入的误差为：

 （3.5）

则由此引入的标准不确定度为：

 （3.6）

3.1.2.3图像处理算法引入的不确定度分量*u*23

由于图像处理引入的不确定度经标定后，约为1/4像元大小，即0.15μm。

由此可知，由于标准精密高速主轴的动态径向回转误差引入的不确定度定*u*2为：

 （3.7）

3.2 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：

 （3.8）

3.3 扩展不确定度*U*

取*k*=2，则扩展不确定度为：

 （3.9）

**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高速主轴动静态参数测量仪的校准要求。