**《挠度仪校准规范》**

**（征求意见稿）**

**实验报告**

**《挠度仪校准规范》编写组**

1实验目的

挠度检测仪校准规范属于首次制定，挠度检测仪（以下简称挠度仪）广泛的应用于公路、铁路、建筑等各个领域，对于桥梁、构筑物建筑物的位移监测方面起到了重要的作用，为了验证挠度检测仪校准规范（征求意见稿）规定的主要技术指标、校准条件和校准方法的合理性和可行性，对不同厂家不同型号的挠度仪做相关实验，进行验证。

2实验地点和环境条件

北京市朝阳区中国计量科学研究院几何量所恒温恒湿实验室（26m）。

北京市昌平区中国计量科学研究院几何量所恒温恒湿实验室（80m）。

北京市昌平区中国计量科学研究院基线场。

3实验设备

实验所使用的挠度仪的基本信息如表所示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **制造商** | **型号** | **编号** |
| 北京雷图科技有限公司 | BJQN-V | 202201-自编 |
| 清大智腾(北京)科技有限公司 | VMD | 202202-自编 |

实验所用标准器如表：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 测 量 范 围 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 精密二维位移测量装置 | 水平方向（0~50）mm  竖直方向（0~50）mm | MPE：±0.01mm | 用于工作距离（1~20）m的挠度测量 |
| 2 | 大范围二维位移测量装置 | 水平方向（0~1）m  竖直方向（0~1）m | MPE：±0.10mm | 用于工作距离（20~500）m的挠度测量 |
| 3 | 测距仪 | （0~500）m | 准确度等级Ⅱ | 用于工作距离测量 |
| 4 | 圆周动态位移测量装置 | 半径（100~300）mm | MPE：±0.02mm | 用于动态挠度测量 |

4实验方法及数据

4.1 工作距离

4.1.1校准方法

将挠度仪架设在距离目标固定位置处，精确整平仪器，通过二维位移测量装置进行测量，确保挠度仪可以正常工作，用测距仪测量挠度仪距离目标的实际距离，得出挠度仪的工作距离。

4.1.2 实验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | BJQN-V | | | | 编号 | | 202201-自编 | | |
| 制造厂商 | 北京雷图科技有限公司 | | | | | | | | |
| 温度℃ | | 19-23 | | 相对湿度% | | | | 20~50 |
| 试验人员 | 康瑶、蒋远林、李建双 | | | | | | | | |
| 试验地点 | 中国计量院昌平院区恒温恒湿实验室 | | | | | | | | |
| 试验用标准器 | 二维位移测量装置、动态位移测量装置、测距仪 | | | | | | | | |
| 仪器距离目标位置 | | | 工作距离测量结果 | | | 工作状态 | | | |
| 10m | | | 10.2m | | | 正常 | | | |
| 20m | | | 20.8m | | | 正常 | | | |
| 50m | | | 50.6m | | | 正常 | | | |

实验结论：仪器在规定的位置处，动态静态均可正常工作，可得出工作距离测量结果。

4.2 挠度示值误差

4.2.1 静态挠度示值误差校准方法

将目标固定在位移测量装置上，挠度仪架设于距离目标10m位置，精确整平仪器。用挠度仪望远镜或于CCD成像中瞄准目标，手动调焦使目标清晰成像于屏幕中间，调整适合的亮度及采样频率。

4.2.1.1根据仪器及目标放置情况，对被校仪器进行标定，应重复多次测量，得到竖向稳定的标定系数。

4.2.1.2标定系数后开始测量，获取基准点，竖向移动目标，挠度仪测量竖向挠度，按测量范围均匀分布至少10个测量位置，各位置的实测挠度值与标准值之差即为竖向挠度示值误差。

△*Li = Li - L*0*i* （1）

式中：△*Li* —第*i* 点挠度示值误差；

*Li* —第*i* 点挠度实测值；

*L*0*i*—第*i* 点标准值。

同理采用4.2.1方法测量静态横向挠度示值误差。

4.2.2实验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | BJQN-V | | | 编号 | 202201-自编 | | |
| VMD | | | 202202-自编 | | |
| 制造厂商 | 北京雷图科技有限公司 | | | | | | |
| 清大智腾(北京)科技有限公司 | | | | | | |
| 温度℃ | | 19.5-20.5 | 相对湿度% | | | 20~50 |
| 试验人员 | 康瑶、蒋远林、李建双 | | | | | | |
| 试验地点 | 中国计量院和平里院区恒温恒湿实验室  中国计量院昌平院区恒温恒湿实验室 | | | | | | |
| 试验用标准器 | 二维位移测量装置、动态位移测量装置 | | | | | | |

一、采用静态模式

仪器距离目标10m

（1）第一次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 0.99 | -0.01 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| 2.00 | 2.00 | 0.00 | 2.00 | 2.00 | 0.00 |
| 3.00 | 3.00 | 0.00 | 3.00 | 3.01 | 0.01 |
| 4.00 | 3.97 | -0.03 | 4.00 | 3.99 | -0.01 |
| 5.00 | 4.98 | -0.02 | 5.00 | 4.99 | -0.01 |
| 6.00 | 5.99 | -0.01 | 6.00 | 5.99 | -0.01 |
| 7.00 | 6.97 | -0.03 | 7.00 | 6.98 | -0.02 |
| 8.00 | 7.99 | -0.01 | 8.00 | 7.97 | -0.03 |
| 9.00 | 8.98 | -0.02 | 9.00 | 8.97 | -0.03 |
| 10.00 | 10.00 | 0.00 | 10.00 | 9.97 | -0.03 |
| 11.00 | 10.99 | -0.01 | 11.00 | 10.96 | -0.04 |
| 12.00 | 11.97 | -0.03 | 12.00 | 11.95 | -0.05 |
| 13.00 | 12.97 | -0.03 | 13.00 | 12.96 | -0.04 |
| 14.00 | 13.99 | -0.01 | 14.00 | 13.96 | -0.04 |
| 15.00 | 14.98 | -0.02 | 15.00 | 14.94 | -0.05 |
| 横向挠度示值误差 | | -0.03 | 竖向挠度示值误差 | | -0.05 |

（2）第二次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.99 | -0.01 |
| 2.00 | 2.01 | 0.01 | 2.00 | 2.01 | 0.01 |
| 3.00 | 2.99 | -0.01 | 3.00 | 3.00 | 0.00 |
| 4.00 | 3.98 | -0.02 | 4.00 | 3.99 | -0.01 |
| 5.00 | 4.98 | -0.02 | 5.00 | 4.98 | -0.02 |
| 6.00 | 5.99 | -0.01 | 6.00 | 5.99 | -0.01 |
| 7.00 | 6.98 | -0.02 | 7.00 | 7.98 | -0.02 |
| 8.00 | 7.98 | -0.02 | 8.00 | 7.97 | -0.03 |
| 9.00 | 8.97 | -0.03 | 9.00 | 8.97 | -0.03 |
| 10.00 | 9.99 | -0.01 | 10.00 | 9.97 | -0.03 |
| 11.00 | 10.98 | -0.02 | 11.00 | 10.96 | -0.04 |
| 12.00 | 11.97 | -0.03 | 12.00 | 11.95 | -0.05 |
| 13.00 | 12.97 | -0.03 | 13.00 | 12.96 | -0.04 |
| 14.00 | 13.97 | -0.03 | 14.00 | 13.96 | -0.04 |
| 15.00 | 14.98 | -0.02 | 15.00 | 14.96 | -0.04 |
| 横向挠度示值误差 | | -0.03 | 竖向挠度示值误差 | | -0.05 |

（3）第三次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 1.01 | 0.01 | 1.00 | 1.01 | 0.01 |
| 2.00 | 2.01 | 0.01 | 2.00 | 2.02 | 0.02 |
| 3.00 | 2.98 | -0.02 | 3.00 | 3.00 | 0.00 |
| 4.00 | 3.98 | -0.02 | 4.00 | 3.98 | -0.02 |
| 5.00 | 4.99 | -0.01 | 5.00 | 4.98 | -0.02 |
| 6.00 | 6.01 | 0.01 | 6.00 | 5.99 | -0.01 |
| 7.00 | 6.99 | -0.01 | 7.00 | 6.98 | -0.02 |
| 8.00 | 7.98 | -0.02 | 8.00 | 7.97 | -0.03 |
| 9.00 | 8.98 | -0.02 | 9.00 | 9.00 | 0.00 |
| 10.00 | 9.98 | -0.02 | 10.00 | 10.01 | 0.01 |
| 11.00 | 10.97 | -0.03 | 11.00 | 10.98 | -0.02 |
| 12.00 | 11.97 | -0.03 | 12.00 | 12.01 | 0.01 |
| 13.00 | 12.97 | -0.03 | 13.00 | 13.02 | 0.02 |
| 14.00 | 13.96 | -0.04 | 14.00 | 13.96 | -0.04 |
| 15.00 | 14.96 | -0.04 | 15.00 | 14.96 | -0.04 |
| 横向挠度示值误差 | | -0.04 | 竖向挠度示值误差 | | -0.04 |

（4）第四次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 1.02 | 0.02 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| 2.00 | 2.02 | 0.02 | 2.00 | 2.01 | 0.01 |
| 3.00 | 3.00 | 0.00 | 3.00 | 3.01 | 0.01 |
| 4.00 | 4.00 | 0.00 | 4.00 | 4.00 | 0.00 |
| 5.00 | 4.99 | -0.01 | 5.00 | 4.99 | -0.01 |
| 6.00 | 6.01 | 0.01 | 6.00 | 5.98 | -0.02 |
| 7.00 | 7.00 | 0.00 | 7.00 | 6.98 | -0.02 |
| 8.00 | 7.98 | -0.02 | 8.00 | 7.97 | -0.03 |
| 9.00 | 8.97 | -0.03 | 9.00 | 8.97 | -0.03 |
| 10.00 | 9.97 | -0.03 | 10.00 | 9.99 | -0.01 |
| 11.00 | 10.98 | -0.02 | 11.00 | 10.98 | -0.02 |
| 12.00 | 11.96 | -0.04 | 12.00 | 12.01 | 0.01 |
| 13.00 | 12.96 | -0.04 | 13.00 | 13.02 | 0.02 |
| 14.00 | 13.96 | -0.04 | 14.00 | 13.97 | -0.03 |
| 15.00 | 14.95 | -0.05 | 15.00 | 14.96 | -0.04 |
| 横向挠度示值误差 | | -0.05 | 竖向挠度示值误差 | | -0.04 |

仪器距离目标20m。

（1）第一次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 1.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| 2.00 | 2.01 | 0.01 | 2.00 | 1.99 | 0.01 |
| 3.00 | 3.02 | 0.02 | 3.00 | 3.02 | -0.02 |
| 4.00 | 4.02 | 0.02 | 4.00 | 4.00 | 0.00 |
| 5.00 | 5.03 | 0.03 | 5.00 | 4.99 | 0.01 |
| 6.00 | 6.02 | 0.02 | 6.00 | 6.01 | -0.01 |
| 7.00 | 7.05 | 0.05 | 7.00 | 7.02 | -0.02 |
| 8.00 | 8.04 | 0.04 | 8.00 | 8.00 | 0.00 |
| 9.00 | 9.05 | 0.05 | 9.00 | 8.98 | 0.02 |
| 10.00 | 10.05 | 0.05 | 10.00 | 10.00 | 0.00 |
| 11.00 | 11.07 | 0.07 | 11.00 | 10.98 | 0.02 |
| 12.00 | 12.07 | 0.07 | 12.00 | 11.95 | 0.05 |
| 13.00 | 13.08 | 0.08 | 13.00 | 12.94 | 0.06 |
| 14.00 | 14.08 | 0.08 | 14.00 | 13.96 | 0.04 |
| 15.00 | 15.09 | 0.09 | 15.00 | 14.95 | 0.05 |
| 横向挠度示值误差 | | 0.09 | 竖向挠度示值误差 | | 0.06 |

（2）第二次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 1.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| 2.00 | 2.01 | 0.01 | 2.00 | 2.01 | -0.01 |
| 3.00 | 3.01 | 0.01 | 3.00 | 3.01 | -0.01 |
| 4.00 | 4.00 | 0.00 | 4.00 | 3.99 | 0.01 |
| 5.00 | 5.03 | 0.03 | 5.00 | 5.00 | 0.00 |
| 6.00 | 6.03 | 0.03 | 6.00 | 5.99 | 0.01 |
| 7.00 | 7.05 | 0.05 | 7.00 | 7.00 | 0.00 |
| 8.00 | 8.04 | 0.04 | 8.00 | 7.97 | 0.03 |
| 9.00 | 9.03 | 0.03 | 9.00 | 8.98 | 0.02 |
| 10.00 | 10.03 | 0.03 | 10.00 | 9.98 | 0.02 |
| 11.00 | 11.04 | 0.04 | 11.00 | 10.97 | 0.03 |
| 12.00 | 12.03 | 0.03 | 12.00 | 11.96 | 0.04 |
| 13.00 | 13.05 | 0.05 | 13.00 | 12.95 | 0.05 |
| 14.00 | 14.07 | 0.07 | 14.00 | 13.98 | 0.02 |
| 15.00 | 15.06 | 0.06 | 15.00 | 14.96 | 0.04 |
| 横向挠度示值误差 | | 0.07 | 竖向挠度示值误差 | | 0.05 |

（3）第三次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 1.02 | 0.02 | 1.00 | 1.02 | 0.02 |
| 2.00 | 2.01 | 0.01 | 2.00 | 2.02 | 0.02 |
| 3.00 | 2.99 | -0.01 | 3.00 | 3.02 | 0.02 |
| 4.00 | 3.98 | -0.02 | 4.00 | 3.99 | -0.01 |
| 5.00 | 4.99 | -0.01 | 5.00 | 4.98 | -0.02 |
| 6.00 | 5.98 | -0.02 | 6.00 | 5.96 | -0.04 |
| 7.00 | 6.98 | -0.02 | 7.00 | 6.98 | -0.02 |
| 8.00 | 7.96 | -0.04 | 8.00 | 7.96 | -0.04 |
| 9.00 | 8.98 | -0.02 | 9.00 | 8.95 | -0.05 |
| 10.00 | 9.96 | -0.04 | 10.00 | 9.99 | -0.01 |
| 11.00 | 10.95 | -0.05 | 11.00 | 11.03 | 0.03 |
| 12.00 | 11.95 | -0.05 | 12.00 | 12.04 | 0.04 |
| 13.00 | 12.96 | -0.04 | 13.00 | 13.02 | 0.02 |
| 14.00 | 13.94 | -0.06 | 14.00 | 14.03 | 0.03 |
| 15.00 | 14.93 | -0.07 | 15.00 | 15.06 | 0.06 |
| 横向挠度示值误差 | | -0.07 | 竖向挠度示值误差 | | 0.06 |

（4）第四次实验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） | | | 竖向（Y） | | |
| 标准位移值 | 测量值 | 差值 | 标准位移值 | 测量值 | 差值 |
| 1.00 | 0.98 | -0.02 | 1.00 | 0.99 | -0.01 |
| 2.00 | 1.98 | -0.02 | 2.00 | 1.97 | -0.03 |
| 3.00 | 2.96 | -0.04 | 3.00 | 2.98 | -0.02 |
| 4.00 | 3.97 | -0.03 | 4.00 | 3.98 | -0.02 |
| 5.00 | 4.98 | -0.02 | 5.00 | 4.99 | -0.01 |
| 6.00 | 5.96 | -0.04 | 6.00 | 5.98 | -0.02 |
| 7.00 | 6.96 | -0.04 | 7.00 | 6.99 | -0.01 |
| 8.00 | 7.95 | -0.05 | 8.00 | 7.99 | -0.01 |
| 9.00 | 8.94 | -0.06 | 9.00 | 9.01 | 0.01 |
| 10.00 | 9.94 | -0.06 | 10.00 | 10.02 | 0.02 |
| 11.00 | 10.93 | -0.07 | 11.00 | 11.05 | 0.05 |
| 12.00 | 11.93 | -0.07 | 12.00 | 12.03 | 0.03 |
| 13.00 | 12.93 | -0.07 | 13.00 | 13.03 | 0.03 |
| 14.00 | 13.93 | -0.07 | 14.00 | 14.05 | 0.05 |
| 15.00 | 14.93 | -0.07 | 15.00 | 15.05 | 0.05 |
| 横向挠度示值误差 | | -0.07 | 竖向挠度示值误差 | | 0.05 |

二、采用动态模式

（1）仪器距离目标10m。

仪器距离标定采用BOSCH GLM250 VF手持式激光测距仪，测距精度指标±1.5mm

分别设定转速10rpm、30rpm、50rpm。

结果如下：

旋转半径标准值139.20mm

表1 速度10rpm -5组圆周数据单独拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| -9.489 | 138.959 | 139.282 | 0.032 |
| -9.478 | 138.945 | 139.284 | 0.033 |
| -9.481 | 138.938 | 139.278 | 0.035 |
| -9.482 | 138.944 | 139.289 | 0.034 |
| -9.496 | 138.932 | 139.280 | 0.032 |
| 标准差 | 0.007 | 0.010 | 0.004 | 0.001 |
| 均值 | -9.485 | 138.944 | 139.283 | 0.033 |
| 误差最大值 |  |  | 139.289 |  |
| 结果 | 0.07 | | | |

表2 速度30rpm -5组数据单独拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| 6.036 | -139.027 | 139.113 | 0.035 |
| 6.029 | -139.029 | 139.123 | 0.043 |
| 6.020 | -139.007 | 139.136 | 0.039 |
| 6.035 | -139.008 | 139.137 | 0.037 |
| 6.032 | -139.003 | 139.126 | 0.040 |
| 标准差 | 0.006 | 0.012 | 0.010 | 0.003 |
| 均值 | 6.030 | -139.015 | 139.127 | 0.039 |
| 误差最大值 |  |  | 139.113 |  |
| 结果 | -0.09 | | | |

表3 速度50rpm-5组圆周数据单独拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| -129.723 | -50.338 | 139.171 | 0.038 |
| -129.722 | -50.358 | 139.155 | 0.038 |
| -129.736 | -50.355 | 139.150 | 0.039 |
| -129.720 | -50.344 | 139.154 | 0.040 |
| -129.729 | -50.330 | 139.166 | 0.040 |
| 标准差 | 0.007 | 0.012 | 0.009 | 0.001 |
| 均值 | -129.726 | -50.345 | 139.159 | 0.039 |
| 误差最大值 |  |  | 139.150 |  |
| 结果 | -0.05 | | | |

10m位置动态挠度示值误差结果为-0.09mm

（2）仪器距离目标50m。

仪器距离标定采用BOSCH GLM250 VF手持式激光测距仪，测距精度指标±1.5mm

分别设定频率10rpm、20rpm、30rpm、40rpm、50rpm。

结果如下：

旋转半径标准值210.00mm

表1 速度10rpm-5组圆周数据单独拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| -161.081 | -133.421 | 209.073 | 0.213 |
| -161.006 | -133.093 | 208.792 | 0.148 |
| -161.157 | -133.653 | 208.952 | 0.145 |
| -161.221 | -133.456 | 209.138 | 0.165 |
| -161.116 | -133.404 | 209.000 | 0.139 |
| 标准差 | 0.081 | 0.201 | 0.132 | 0.030 |
| 均值 | -161.116 | -133.405 | 208.991 | 0.162 |
| 误差最大值 |  |  | 208.792 |  |
| 结果 | -1.21 | | | |

表2 速度20rpm-5组圆周数据合并拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| 128.391 | -164.946 | 209.054 | 0.187 |
| 128.472 | -164.936 | 209.083 | 0.221 |
| 128.241 | -164.888 | 209.020 | 0.166 |
| 128.405 | -164.897 | 209.036 | 0.196 |
| 128.328 | -164.916 | 209.144 | 0.206 |
| 标准差 | 0.087 | 0.025 | 0.049 | 0.021 |
| 均值 | 128.367 | -164.917 | 209.067 | 0.195 |
| 误差最大值 |  |  | 209.020 |  |
| 结果 | 0.98 | | | |

表3 速度30rpm-5组圆周数据合并拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| 128.515 | -164.529 | 208.975 | 0.225 |
| 128.470 | -164.521 | 209.045 | 0.184 |
| 128.482 | -164.571 | 209.122 | 0.151 |
| 128.496 | -164.603 | 209.085 | 0.224 |
| 128.507 | -164.538 | 209.006 | 0.236 |
| 标准差 | 0.018 | 0.034 | 0.059 | 0.036 |
| 均值 | 128.494 | -164.552 | 209.047 | 0.204 |
| 误差最大值 |  |  | 208.98 |  |
| 结果 | -1.02 | | | |

表4 速度40rpm-5组圆周数据合并拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| 127.078 | -166.045 | 209.040 | 0.230 |
| 126.998 | -166.118 | 209.025 | 0.184 |
| 126.969 | -166.190 | 209.083 | 0.167 |
| 127.007 | -166.170 | 209.050 | 0.137 |
| 127.099 | -166.109 | 208.940 | 0.207 |
| 标准差 | 0.056 | 0.057 | 0.053 | 0.036 |
| 均值 | 127.030 | -166.126 | 209.028 | 0.185 |
| 误差最大值 |  |  | 208.940 |  |
| 结果 | -1.06 | | | |

表5 速度50rpm-5组圆周数据合并拟合结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 圆心*x*坐标 | 圆心y坐标 | 半径*r*(mm) | 拟合圆半径的  标准偏差(mm) |
| 85.868 | -190.203 | 209.043 | 0.182 |
| 85.788 | -190.242 | 209.087 | 0.161 |
| 85.901 | -190.301 | 209.156 | 0.172 |
| 85.886 | -190.099 | 209.113 | 0.19 |
| 85.855 | -190.273 | 209.061 | 0.211 |
| 标准差 | 0.044 | 0.079 | 0.045 | 0.019 |
| 均值 | 85.860 | -190.224 | 209.092 | 0.183 |
| 误差最大值 |  |  | 209.043 |  |
| 结果 | -0.96 | | | |

50m位置动态挠度示值误差结果为-1.21mm

4.3 重复性

4.3.1 校准方法

将目标固定在距离挠度仪10m 位置处，对挠度仪进行标定后，采用静态挠度测量模式，获取基准点。将位移测量装置移动到3个随机位置进行挠度测量，每个位置测量10次，按公式（2）计算每个位置的挠度测量重复性。选取最大的为重复性测量结果。

（2）

式中： *s*—挠度测量重复性；

*L*i —第i 次挠度实测值；

 —挠度测量平均值。

4.3.2实验数据

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | BJQN-V | 编号 | 202201-自编 | |
| VMD | 202202-自编 | |
| 制造厂商 | 北京雷图科技有限公司 | | | |
| 清大智腾(北京)科技有限公司 | | | |
| 温度℃ | 19.5-20.5 | 相对湿度% | 30~50 |
| 试验人员 | 康瑶、蒋远林、李建双 | | | |
| 试验地点 | 中国计量院和平里院区恒温恒湿实验室  中国计量院昌平院区恒温恒湿实验室 | | | |

（1）第一次实验

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） 单位：mm | | | | | | | | | | | | |
| 标准  位移值 | 测量值1 | 测量值2 | 测量值3 | 测量值4 | 测量值5 | 测量值6 | 测量值7 | 测量值8 | 测量值9 | 测量值10 | 平均值 | 标准偏差 |
| 1.00 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.005 |
| 5.00 | 5.01 | 5.02 | 5.00 | 5.01 | 5.01 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.02 | 5.01 | 5.01 | 0.008 |
| 10.00 | 10.03 | 10.04 | 10.03 | 10.04 | 10.05 | 10.04 | 10.03 | 10.04 | 10.05 | 10.05 | 10.04 | 0.008 |
| 竖向（Y） 单位：mm | | | | | | | | | | | | |
| 标准  位移值 | 测量值1 | 测量值2 | 测量值3 | 测量值4 | 测量值5 | 测量值6 | 测量值7 | 测量值8 | 测量值9 | 测量值10 | 平均值 | 标准偏差 |
| 1.00 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 0.007 |
| 5.00 | 4.98 | 4.97 | 4.98 | 4.97 | 4.98 | 4.97 | 4.97 | 4.96 | 4.96 | 4.97 | 4.97 | 0.007 |
| 10.00 | 9.99 | 9.98 | 9.97 | 9.98 | 9.99 | 10 | 9.99 | 9.98 | 9.97 | 9.99 | 9.984 | 0.010 |

重复性结果：0.010mm

（2）第二次实验

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 横向（X） 单位：mm | | | | | | | | | | | | |
| 标准  位移值 | 测量值1 | 测量值2 | 测量值3 | 测量值4 | 测量值5 | 测量值6 | 测量值7 | 测量值8 | 测量值9 | 测量值10 | 平均值 | 标准偏差 |
| 2.00 | 2.01 | 2.00 | 2.01 | 2.01 | 2.02 | 2.00 | 2.01 | 2.00 | 2.02 | 2.00 | 2.01 | 0.008 |
| 8.00 | 7.98 | 7.99 | 7.98 | 7.98 | 7.99 | 7.98 | 7.97 | 7.98 | 7.97 | 7.98 | 7.98 | 0.007 |
| 15.00 | 14.98 | 14.98 | 14.99 | 14.98 | 14.99 | 14.98 | 14.97 | 14.98 | 14.97 | 14.98 | 14.98 | 0.007 |
| 竖向（Y） 单位：mm | | | | | | | | | | | | |
| 标准  位移值 | 测量值1 | 测量值2 | 测量值3 | 测量值4 | 测量值5 | 测量值6 | 测量值7 | 测量值8 | 测量值9 | 测量值10 | 平均值 | 标准偏差 |
| 2.00 | 1.97 | 1.97 | 1.98 | 1.98 | 1.97 | 1.96 | 1.96 | 1.97 | 1.97 | 1.98 | 1.97 | 0.007 |
| 8.00 | 7.99 | 7.98 | 7.98 | 7.99 | 7.98 | 7.97 | 7.98 | 7.97 | 7.97 | 7.98 | 7.98 | 0.007 |
| 15.00 | 15.05 | 15.04 | 15.04 | 15.04 | 15.04 | 15.04 | 15.05 | 15.06 | 15.06 | 15.05 | 15.047 | 0.008 |

重复性结果：0.008mm