

《激光准直测量仪校准规范》

编制说明

（征求意见稿）

激光准直测量仪校准规范编写组

2024 年 2 月

《激光准直测量仪校准规范》制定编制说明

一、制定背景

激光准直测量仪以其方便快捷灵活的使用特点，广泛应用于包括航天航空、船舶、核电、精密机械装备、仪器仪表、汽车、轻工、工程监测等行业的装配、调试及测量现场。随着半导体激光技术以及光电位置传感器的技术日益成熟，其适用场景也日益拓展。该项目的校准测量经过近二十年的摸索，已日渐成熟，为更好地满足使用单位的有效溯源诉求，为技术机构提供科学合理客观的评价方法，编制校准规范的需求明确而必要。

根据市检计量发[2023]56号文件《市场监管总局办公厅关于印发2023年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》的要求，受全国几何量工程参量计量技术委员会的委托，上海市计量测试技术研究院、浙江省计量科学研究院、中国计量科学研究院、广东省计量科学研究院、杭州光尺科技有限公司、雷尼绍（上海）贸易有限公司共同承担《激光准直测量仪校准规范》的制定工作。

二、规范制定技术依据

本规范制定主要依据：

JJF 1071—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

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

JJF 1915—2021 倾角仪校准规范

参考依据：

JJF 1166—2007 激光扫平仪校准规范

JJF 1663—2017 激光测微仪校准规范

ISO 17123-6:2012(E) Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 6: Rotating lasers

ANSI/ASA S2.75-2017/Part 1 Shaft Alignment Methodology, Part 1: General Principles, Methods, Practices, and Tolerances

三、规范制定情况说明

激光准直测量仪根据适用场合不同，可以有各种配置，就目前而言，按主要实现的测量功能大致分为：对中测量和几何测量。对中测量可分为轴对中、孔对中、皮带轮对中等，其激光发射单元和测量单元可以合成一体，也可能是独立的，测量单元大多以一维或二维形式实现测量，个别型号测量单元同时具备两个位置传感器。实现几何测量功能的激光准直测量仪，采用一个旋转的激光发射单元与一个或多个测量单元配合使用，旋转激光可以配合 90° 转角棱镜将水平激光折转为垂直激光。所有激光准直测量仪基本都具备倾角传感器及数据采集处理单元。

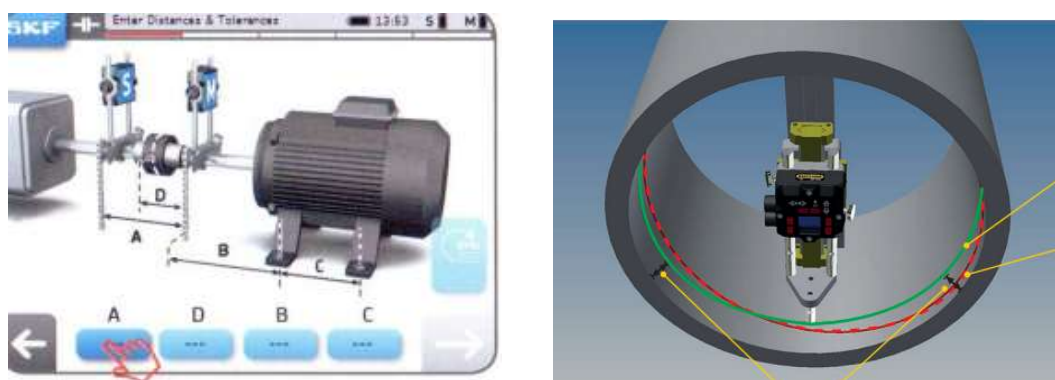


图 1. 激光准直测量仪-对中测量

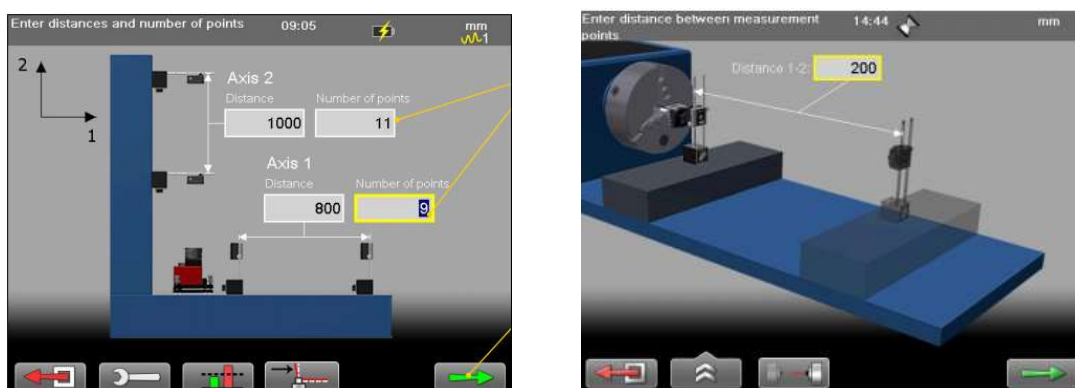


图 2. 激光准直测量仪-几何测量

亮度高和方向性好作为激光的基本特性是激光准直测量仪测量原理的基础，测量单元给出垂直于激光光轴的一维或二维位移值以及倾角值，通过上述测量值或这些测量值配合激光发射单元的某些计量特性，实现特定的测量功能。测量单元可以是基于光电位置传感器或图像传感器实现位移测量。对于以位置传感器为敏感元件的测量单元，由于探测的是激光光斑的能量中心，因此光斑的形状理论

上不影响测量结果的可靠性；以图像传感器为敏感元件的测量单元，理论上通过算法，可以避免光斑形状的影响，但使用成本高。目前常见的测量单元以位置传感器为敏感元件。此外光斑形状可以通过调整激光光轴与测量单元的垂直保证。因此激光光斑形状对测量单元的线位移示值误差影像可忽略。

对于以长水准器为测量基准的旋转激光发射单元，扫平误差不仅可以综合描述仪器旋转轴、激光光轴与旋转轴的加工、装配质量，同时通过扫平误差的评价可以评估长水准器的质量状态，因此编制组认为激光扫平误差的校准是必要的。对于配置了 90° 转角棱镜的旋转激光发射单元，考虑到转角棱镜的角度误差和装配带入的误差，因此编制组认为验证光轴的垂直度误差是必要的。

激光准直测量仪通常配置了数据采集处理单元，该单元通过功能模块实现：将测量单元的实测原始数据由供应商提供的软件解算出对中偏差值，直线度、平面度、平行度误差等计算值。对于计算软件的科学性、合理性及可靠性，编制组认为不应在校准规范中体现，而应在产品定型环节确认完成，并在随后的制造过程中不再随意更新涉及算法的部分。基于上述原因，本规范的计量特性以测量仪器本身的技术参数，结合产品说明书给出。

规范编制组成员通过学习国内外的技术规范和产品使用说明、成员间的相互交流和讨论，同时在不同机构的实验室对计量特性校准方法进行了实验验证，形成了征求意见稿。

四、主要制定内容

1. 计量特性的确定

市场现有的激光准直测量仪型式多样，其实现的测量功能也非常多样，但对于实际进行直线度、垂直度、平面度测量时，对于测量不确定度的评定，用户存在一定困难。因此，有用户在溯源过程中提出对直线度、垂直度、平面度测量的功能给出技术指标。针对上述情况，规范编制组成员参考了各家的产品说明书，认真学习了 JJF 1001—2011 通用计量术语及定义校准规范、JJF 1094—2002 测量仪器特性评定校准规范、JJG 739—2005 激光干涉仪检定规程、JJF1242—2010 激光跟踪三维坐标测量系统校准规范等技术规范，认为校准规范仅应给出测量仪器本身的计量特性，对于与使用方法、计算方法相关的功能不应作为仪器的计量特性

列出。因此确定了下述计量特性：测量单元线位移示值误差、测量单元测量重复性、倾角示值误差、倾角零位误差、激光扫平误差和激光光轴垂直度误差等，共 6 个参数。

2. 校准方法的确定

2.1 测量单元线位移示值误差的校准方法

测量单元的敏感元件以位置传感器(PSD)为主，根据一维位置检测误差特性曲线可知，越接近中心位置，测量误差越小，使用 PSD 测量光斑位置时，应尽量使光斑接近其中心位置。同时，产品说明书中对于测量单元的测量范围的描述也以 $\pm a$ 的形式表述，因此校准测量时以绝对中心位置附近为测量起始位置，分别向 4 个不同方向进行；考虑到实际使用时位移发生的方向性，因此设计为每个测量方向以进、回程方式进行；根据测量单元实际使用方法，设计了中心位置小间隔校准、测量区间 $> |\pm 0.5\text{mm}|$ 时，大间隔校准的测量方法。

校准方法中，关于校准距离有这样的描述：激光出射口与测量面的距离 D 由供应商提供或用户规定。由于激光准直测量仪的测量原理与激光干涉仪不同，测量单元受空气扰动的影响更明显，且评估困难，为减小测量单元校准时空气扰动引入的误差，同时兼顾用户需求，因此将校准距离 D 做上述描述，同时在校准条件中规定了无明显空气扰动。

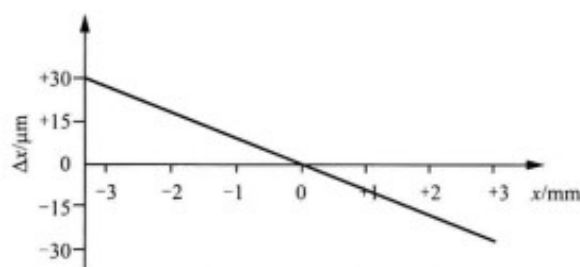


图 3. 一维 PSD 位置检测误差特性曲线

2.2 测量单元测量重复性的校准方法

采用激光进行测量的仪器，不可避免受空气扰动的影响明显，为降低校准时空气扰动带来的影响，因此测量重复性采用重复 10 次测量的方法，而没有采用示值误差重复 3 次测量的方法。

2.3 测量单元倾角零值误差的校准方法

引用 JJF 1915 倾角仪校准规范相关条款。

2.4 测量单元倾角示值误差的校准方法

引用 JJF 1915 倾角仪校准规范相关条款。

2.5 激光扫平误差的校准方法

修改采用了 JJF 1166—2007 激光扫平仪校准规范 6.2.2 条款（修改采用了国际建议 ISO 17123-6:2012(E)），主要改变了观测点间的距离 D ，将 JJF 1166—2007 中规定的(30~50)m 改为(5~10)m。通过激光扫平误差测量不确定度评定，扫平误差的测量不确定度合成公式为： $u_c^2(e) = \frac{3}{8D^2} \sum_{i=1}^n u_i^2(\Delta V) + \frac{e^2}{D^2} u^2(D) + u^2(s)$ 。由公式可知，扫平误差的测量不确定度与 D 成反比，距离越大，测量不确定度越小。编制组对扫平误差的测量不确定度进行了评估，分量主要来源是高度测量值，下述原因使激光准直测量仪扫平误差校准测量时，该部分分量的引入小于激光扫平仪的测量条件。具体原因如下：

- （1）测量仪器溯源环境不同：激光扫平仪校准规范针对测绘用扫平仪，在室外实现校准测量，空气的扰动明显；激光准直测量仪作为工业用测量仪器，在室内校准，空气扰动远小于室外。因此示值可靠性提高。
- （2）激光扫平仪配合水准尺，进行校准测量，水准尺以圆水准器为指示器，尺面在测量过程中保持相同姿态困难；激光准直测量仪的测量单元在平台保持相同姿态的能力相对较强。
- （3）钢瓦水准尺任意厘米的分划误差 $\pm 0.5\text{mm}$ ，最小分划为 5cm，由于激光发散角等原因，实际读数误差估计值在 $\pm 1\text{mm}$ ，在 30m 距离上引入的不确定度分量约为 $66.7\mu\text{m/m}$ ；激光准直测量仪的测量单元的 1mm 位移的示值误差 MPE 为 $\pm 0.02\text{mm}$ ，在 5m 距离上引入的不确定度分量约为 $2.3\mu\text{m/m}$ 。

综上，在保证测量能力的前提下，减小观测点间的距离 D 可以降低对测量场地的要求，减少测量时的无效用时。

2.6 激光光轴的垂直度误差的校准方法

激光光轴的垂直度误差指水平方向激光轴与竖直方向激光轴的夹角与 90° 的偏差值。在本规范中采用与多齿分度台直接比较。由于两光轴的交点隐于仪器的内部，测量时很难精确找同心，因此设计了远近点测量偏差值，通过计算消除由于偏心带来的测量不确定度。

3 关于不确定度评定

编制组对测量单元线位移示值误差、激光光轴垂直度误差进行了测量不确定度评定；同时根据本规范调整后的方法及实际实验情况，参照 JJF 1166—2007 激光扫平仪校准规范附录 C 对激光扫平误差的测量不确定度进行了评定。

五、总结

由于激光准直测量仪器的种类繁多、不同生产厂家在表述技术参数时存在一定的差异、仪器的参数涉及位移、角度、测绘等多个长度专业，起草工作小组在尽可能涵盖上述内容时可能存在一定的局限性，对于本规范存在的不足之处，请各位专家批评指正。同时也感谢其它兄弟计量机构和代理机构在规范起草过程中给予的帮助和支持。

《激光准直测量仪校准规范》编制组

2024.02.19