

国家计量技术规范
高速激光干涉仪校准规范

编制说明

规范起草小组

2024年10月

《高速激光干涉仪校准规范》编制说明

一、 规范制定的必要性

与传统的静态和准静态激光干涉仪相比，高速激光干涉仪具有测量速度快（可达数米/秒）、测量数据更新率高（可达万次/秒以上）、测量时延较小（仅为数微秒）、时延稳定性较高（仅为数纳秒）、位移测量分辨力高（可达亚纳米量级）等独有的技术优势，是高速运动目标位移的动态测量与反馈控制场合中不可替代的核心基础仪器，在研制国产高端微电子装备、尖端超精密制造装备中被广泛应用。以微电子制造装备为例，目前最先进的系统要求使用 20 轴以上的高速激光干涉仪对高速运动的工件台和掩模台进行实时测量和精准定位：只有干涉仪的高速动态位移测量误差小于 10nm，才能研制 90nm 节点微电子制造装备，只有干涉仪的高速动态位移测量误差小于 1nm，才能研制 7nm 节点微电子制造装备。

但是，对于高速激光干涉仪这一如此重要的核心测量仪器，我国目前并无相关标准规范，导致该类仪器质量和性能一致性差，严重影响了该类仪器的推广和应用。目前国内仅有的静态/准静态激光干涉仪机械行业标准 JB/T 5610-2006，其仅要求最大测量速度 $\geq 0.05\text{m/s}$ ，分辨力 $\leq 160\text{nm}$ ，而我国的静态/准静态激光干涉仪检定规程 JJG739-2005，对激光干涉仪位移测量速度、测量数据更新率、测量时延及其稳定性和测量分辨力等参数无任何计量性能要求，显然无法用于规范高速激光干涉仪的质量和性能。因此，我国亟需制定针对高速激光干涉仪的标准，以满足我国国产高端微电子装备、尖端超精密制造装备的需求。

二、 任务来源

2023年，哈尔滨工业大学与中国计量科学研究院牵头，向全国几何量长度计量技术委员会申请制定《高速激光干涉仪校准规范》，2024年，国家

市场监督管理总局办公厅发布文件《市场监管总局办公厅关于印发2024 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》，将本规范纳入国家计量技术规范制定计划，由全国几何量长度计量技术委员会组织制定，哈尔滨工业大学与中国计量科学研究院作为主要起草单位承担具体制定任务。中国电子科技集团公司第四十五研究所参加起草。

三、 规范编制的主要原则及技术依据

1、 编制原则

起草小组在制定该规范的过程中，力求按以下原则完成规范的起草工作：

(1) 参照国际标准和国家相关法律法规，并尽量与国家标准保持一致，保证规范的先进性和可行性；

(2) 在检测用装置装备的选择上，既要采用先进的仪器设备，性能可靠，又要考虑经济性、便捷性、实用性；

(3) 在检测方法的设计上，在保证精度的基础上，兼顾测量方法的可行性、经济适用及操作方便等要求。

2、 技术依据

规范编制过程中重点参考了以下标准、规程、规范：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义技术规范。

JJF 1094-2002 测量仪器特性评定。

JJF1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》

JJF1001-2010 《通用计量术语及定义》

JJF 1130-2005 《几何量测量设备校准中的不确定度评定指南》

GB/T 17163-2008 《几何量测量器具术语 基本术语》

JJF1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

ISO25178-602 Geometrical product specifications(GPS)-Surface

texture:Areal- Part 602:Nominal characteristics of non-contact(confocal chromatic prob) instruments

JB/T 5610-2006 《激光干涉仪》

JJG 739-2005 《激光干涉仪》

四、 规范制定计划

1、 起草小组筹备和组成

起草小组于 2023 年 10 月开始筹备，考虑参编单位组成应包括计量技术机构和研发制造应用单位。相关的计量技术机构应在高速激光干涉仪计量校准方面有较好的技术基础和经验积累；相关的研发制造单位其产品在国内有较广泛的推广和应用，产品技术性能得到行业认可。

2023 年 11 月起草小组筹备完成。主要起草单位为哈尔滨工业大学与中国计量科学研究院，参与起草单位有中国电子科技集团公司第四十五研究所。

2、 起草过程

1) 规范起草小组于 2023 年启动规范编写工作，中国计量科学研究院于 2023 年 12 月完成了草案稿规划设计，就规范的框架，项目管理原则和分工，工作进度，试验安排，起草的重点和难点等内容进行了讨论和安排。

2) 2024 年上半年，起草组完成了初稿编写，同时进行了相关测量试验，对规范草案逐条进行了分析研究和讨论，对试验方法、试验结果，规范草案稿进行总结和修改；

4) 2024 年 7-10 月，起草小组对草案稿再次进行了逐条的认真分析和修改，对行文中的名词术语、描述、表达、数据处理方法进一步规范化，对引用的图示及原理图进行三维模型绘制，完成规范征求意见稿初稿。

五、 编制主要技术内容

高速激光干涉仪校准规范的主要内容包括：封面，扉页，目录，引言，范围，引用文件，术语和计量单位，概述，计量特性，校准条件，校准项目和校准方法，校准结果表达，复校时间间隔，附录（测量结果不确定度评定示例，校准证书内容，校准证书内页参考格式, ）。

六、 规范内容说明

- 1、 按“JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则”的要求，确定规范结构，包括目录、引言、范围、引用文件、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果的表达、复校时间间隔及附录等。
- 2、 规定了具体的校准环境条件以及配套设备的技术参数要求。
- 3、 关于本规范适用的测量速度范围：激光干涉仪制造商不在少数，成一定规模和商用化的国内国外有近十家，各厂家的仪器各自成体系，即便同一厂家的产品，规格种类变化也无规律，而且会根据用户需求定制产品。其在测量速度范围上，由静止状态到几米每秒以上，测量速度范围很宽。根据机械行业标准 JB/T 5610-2006，激光干涉仪的最大测量速度 $\geq 0.05\text{m/s}$ ；而我国的激光干涉仪检定规程 JJG739-2005，对测量速度没有规定，一般在静止状态进行检定校准。为了与传统静态/准静态激光干涉仪区分，且满足高速激光干涉仪的国内外仪器市场现状和光刻机等高端装备实际应用场景需求，规定了适用最大测量速度不低于 100mm/s 。
- 4、 关于本规范适用的测量数据更新率范围：高速激光干涉仪主要用于光刻机、高档数控机床、纳米坐标机等高端制造和测量装备的高速实时运动测量，在这些测量场景下，为保证运动位置测控的实时性和精准

性，一般要求的测量数据更新率达到 1KHz 及以上，目前机械行业标准 JB/T 5610-2006 和我国的激光干涉仪检定规程 JJG739-2005，对测量数据更新率没有规定，一般在静止状态进行检定校准。为了与传统静态/准静态激光干涉仪区分，且满足高速激光干涉仪的国内外仪器市场现状和高端装备运动测控中实际应用场景需求，规定了适用测量数据更新率不低于 1KHz。

- 5、充分考虑高速激光干涉仪在高端装备中对运动目标位移进行高速、实时、精密测量的使用特点后，规定了“最大测量速度”、“周期非线性误差”、“测量数据时延”、“测量数据更新率”、“位移测量动态示值误差”五个计量特性进行校准。
- 6、规定了高速激光干涉仪相关计量特性的校准方法和数据处理方法。
- 7、周期非线性误差的测试，考虑到高速激光干涉仪中，每当被测目标运动半个激光半波长时，周期非线性误差出现一次极值，同时高速激光干涉仪使用的激光波长一般不超过 $2\mu\text{m}$ ，因此本测试项目要求被测目标运动 $2\mu\text{m}$ 及以上。
- 8、测量数据更新率的测试，考虑到高速激光干涉仪测量数据更新率的高低和实际测试的方便性，可选用计时器校准法、高速运动台校准法和光强调制装置校准法三种方法来测试高速激光干涉仪最大测量数据率，其中计时器校准法最方便测试，但只适用于测量数据更新率较低的情况；高速运动台校准法和光强调制装置校准法均适用于对于数据更新率较高的情况，其中光强调制装置校准法的测试技术条件相对容易获取，且测试的技术能力要求和技术成本相对较低，但高速运动台

校准法其测试更加直接。

- 9、 复校时间间隔由送校单位根据实际使用情况自主决定, 一般建议复校时间间隔不超过 2 年。
- 10、 在附录 A 给出了测量结果不确定度评定示例, 附录 B 给出了校准证书内容, 附录 C 给出了校准证书内页格式。