

## 电子行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	主轴动态偏摆测量仪校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	/
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input type="checkbox"/> 重点 <input checked="" type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	广电计量检测集团股份有限公司		
联系人	赵莹	联系电话	18898814195
任务年限	1 年	申请经费	/
参加单位	/		
目的、意义和必要性	<p><u>1.该计量技术规范项目编制的目的、意义，解决产业的问题和编制必要性、迫切性</u></p> <p>在半导体行业、PCB 板加工行业等的精密加工中，主轴偏摆是一个重要的考量因素，直接影响加工精度和产品质量。主轴动态偏摆测量仪是一种高精度的偏摆量测量的仪器，可高精度的完成主轴偏摆的检测，检测范围涵盖电子行业 PCB 板的钻孔机主轴、PCB 板成型机主轴、半导体行业晶圆减薄机主轴、工业机器人减速轴加工主轴等领域，相比于传统用千分表检验主轴电机的轴深径向偏摆，采用主轴动态偏摆测量仪可以实时在线的对主轴的偏摆量进行测量，主轴的动态偏摆是将主轴运转到工作转速以测量其偏摆误差，和用千分表所做的测量有很大的差异，一般静态偏摆和动态偏摆特性不相关，对于在工作转速下的主轴偏摆量进行测量，对保障精密加工具有重要作用。</p> <p>目前高端精密机床、PCB 板钻床、工业机器人减速轴加工中大量使用了主轴动态偏摆测量仪，但该仪器尚没有校准规范，无法对主轴的偏摆量值进行溯源，阻碍了主轴在线监测技术的发展，因此迫切需要制定主轴动态偏摆测量仪校准规范。</p>		

	<p><u>2.先进性和亮点、社会效益和推广应用前景</u></p> <p>主轴动态偏摆测量仪在精密主轴的监测领域应用广泛，建立相应的校准规范，对于保障精密加工、高端机床的技术更新等具有重要的影响力，能够在先进制造领域进行广泛的推广。</p> <p><u>3.查新结果（国家、本行业或其他行业是否有相关技术规范）</u></p> <p>经查新，相关的国家、国际、行业标准有以下：</p> <p>GB/T 32666.2-2016 《高档与普及型机床数控系统 第 2 部分：主轴驱动装置的要求及验收规范》</p> <p>GB/T 21487.1-2008 《转轴振动测量系统 第 1 部分：径向振动的相对和绝对检测》</p> <p>GB/T 11348.1-1999 《旋转机械转轴径向振动的测量和评定》</p> <p>JJG 644-2003 《振动位移传感器检定规程》</p> <p>其中，GB/T 32666.2-2016 《高档与普及型机床数控系统 第 2 部分：主轴驱动装置的要求及验收规范》中对于主轴电动机凸缘止口对电动机轴线的径向圆跳动提出了要求，并提出了检验方法为采用千分表测量低速旋转下的主轴径向圆跳动。</p> <p>GB/T 21487.1-2008 《转轴振动测量系统 第 1 部分：径向振动的相对和绝对检测》提出了适用于转轴径向振动的绝对和相对检测系统。</p> <p>GB/T 11348.1-1999 《旋转机械转轴径向振动的测量和评定》标准提出了采用在旋转轴上直接测量的方法来测量和评定机械振动的总则。</p> <p>JJG 644-2003 《振动位移传感器检定规程》适用于振动测量传感器的校准。</p>
产业链应用	<p><u>1.重点产业链方向</u></p> <p>在集成电路载体 PCB 板钻孔机/成型机、芯片半导体晶圆减薄机、工业机器人减速轴加工主轴等领域有广泛和大量的应用。</p> <p><u>2.对本行业重点产业链的支撑作</u></p> <p>在 PCB 印刷电路板工业的钻孔过程中，10%~15%的报废与不</p>

良品是直接由主轴动态偏摆造成的，通过编制主轴动态偏摆测量仪的校准规范，能够促进在集成电路产业链中大量采用的 PCB 板钻孔机床、芯片半导体晶圆减薄机等的主轴振动监测的精度和质量保障，促进相关产业链的良性发展。

范围 and 主要  
计量特性

1. 计量技术规范的适用范围

适用于主轴动态偏摆测量仪的校准。

2. 以典型仪器或试验设备等（注明仪器型号）为依据，提出计量特性的技术指标，包括其名称、测量范围和最大允许误差

2.1 典型仪器

名称：主轴振动测定器，型号：OPTECH-RI-V，品牌：日本佑能，该仪器的图片如下图 1 所示。



图 1 OPTECH-RI-V 主轴振动测定器外观

该仪器的技术指标：

规格 Specifications			
形式	Model	OPTECH-RI-V	OPTECH-RI-Vplus
摆动 Run-out	测量范围	Measuring range 0.0~99.9 (μm)	
	分解能	Resolution 0.1 (μm)	
	测量精度 (20℃) ※1	Measuring precision 2 (μm) ※2	
	测量转速	Spindle speed 300~500,000 (min <sup>-1</sup> )	
转速 Spindle speed ※3	测量范围	-	High: 10,000~499,000 (min <sup>-1</sup> ) Low: 1,000~99,900 (min <sup>-1</sup> )
	分解能	-	High: 1,000 (min <sup>-1</sup> )、Low: 100 (min <sup>-1</sup> )
	测量精度 20℃) ※1	-	High: ±1,000 (min <sup>-1</sup> )、Low: ±100 (min <sup>-1</sup> )
标准棒尺寸	Gauge pin spec	1) φ3.175(mm), L=38.1(mm)、32(mm) 2) φ2.0(mm), L=25(mm) ※4	
光源	Light source	赤外LED Infrared LED	
显示功能	Display	3位、低电量显示、最后电量滚流显示 3 digits, low battery indicator, overflow indicator	
接口	Interface	RS-232C※5	
电源	Power source	DC9 (V) 006P干电池1个 电池寿命: 连续使用时约12小时 One battery (DC9V, 006P). Battery lifespan: 12 hours of continuous operation.	
使用温度范围	Operating temperature	5~40 (℃)	
重量	Mass	0.35 (kg)	
主体尺寸	Dimensions	150W×93D×21H (mm)	

※1. 不含量子化误差

※2. 测量范围超过50μm时，测量精度请另行向我司咨询。

※3. 测量原理上，有时会无法测量极微小的摆动量。另、因主轴差异，某些转速范围有时无法测量。

※4. 订货时请告知主轴夹头尺寸，敝司将进行相对应的出货。

Does not include quantization errors.  
Precision may vary when run-out exceeds 50μm - please consult.  
Spindle speed measurement requires perceptible run-out detection. The ability to accurately measure spindle speed may be affected by the condition and quality of each spindle.  
When ordering, please specify the collet size, so the unit can be calibrated accordingly

由以上典型产品的技术指标以及上述查新结果分析可以得出，  
主轴动态偏摆测量仪的技术指标有以下 3 项。

①偏摆示值误差和重复性

测量范围：(0.0~99.9) μm，5Hz~8000Hz，偏摆示值误差最大  
允许误差：±3%FS；重复性：不超过±1.0%。

②幅值线性度

测量范围：(0.0~99.9) μm；

最大允许误差：±1.0%。

③转速示值误差（如适用）

测量范围：1000r/min~500000r/min；

最大允许误差：±100r/min（1000r/min~99900r/min）  
±1000r/min（10000r/min~499000r/min）。

3.主要测量标准的技术指标；

①标准激光测振仪

标准激光测振仪应满足以下表 1 所示的性能要求。

表 1 标准激光测振仪的性能要求

测量范围	测量不确定度（k=2）	
位移：(0.0~99.9) μm 频率：(5~8000) Hz	频率范围	$U_{rel}$
	(0.005~10) Hz	0.5%
	(> 10~5000) Hz	0.2%
	(> 5000~8000) Hz	0.5%

②振动标准装置

振动标准装置包括标准振动台、函数发生器及功率放大器，应  
满足下列特性要求：

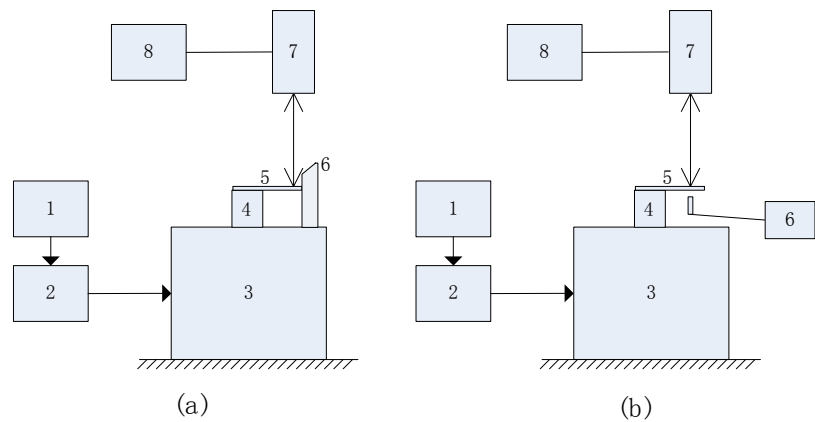
- 1) 频率的最大允许误差：±0.05%；
- 2) 频率稳定度：±0.05%；
- 3) 总谐波失真度：≤5%；
- 4) 横向振动比：≤10%（ $f \leq 1\text{kHz}$ ），≤20%（ $f > 1\text{kHz}$ ）。
- 5) 位移幅值稳定性：测量期间不超过读数的±0.1%。

#### 4.主要计量项目的技术原理

##### 4.1 偏摆示值误差和重复性

##### 4.1.1 校准步骤

偏摆值测量误差的校准示意图如下图 2 所示，由函数信号发生器设置振动频率  $f$ ,  $f=r/60$ ,  $r$  为转速，用转每分 r/min 表示，函数信号发生器输出正弦信号给功率放大器，功率放大器对信号进行放大，驱动振动台产生正弦振动，振动台面上固定标准棒并锁紧，标准棒在振动台带动下做一定位移幅值的正弦振动，振动幅值由激光测振仪进行测量作为振动位移的标准值，被校动态偏摆测量仪测量标准棒的位移量，并给出显示值，以 3 次测量平均值作为测量结果。改变振动频率分别测量对应于不同转速条件下被校对象的示值误差。对于光电式的主轴动态偏摆测量仪，按下图 3（a）所示的框图进行校准，对于电容传感器式的主轴动态偏摆测量仪，按下图 3（b）所示的框图进行校准。



1—函数信号发生器，2—功率放大器，3—振动台主体，4—振动台面，5—标准棒，6—被校设备，7—激光测振仪激光头，8—激光测振仪主机

图 2 偏摆值测试误差校准示意图

##### 4.1.2 偏摆值测量误差的计算

主轴动态偏摆测量仪偏摆值测量误差的计算如下式（1）：

$$\Delta = \frac{\bar{d} - d_0}{d_{\max}} \times 100\% \quad (1)$$

式中， $\bar{d}$ ——在一定频率下被校主轴动态偏摆测量仪的 3 次示值平均值， $\mu\text{m}$ ；

	<p><math>d_0</math>——在一定频率下激光测振仪测量同一点位置峰峰值，<math>\mu\text{m}</math>；</p> <p><math>d_{\text{max}}</math>——被检仪器测量上限，<math>\mu\text{m}</math>。</p> <p>重复性与偏摆示值误差的校准同时进行，由同一振动频率下同一点位移测量点的 3 次测量值，得出相互间的最大差值<math>\Delta_r</math>，按下式(2)计算重复性。</p> $\delta_{ri} = \frac{ \Delta_{ri} }{d_{\text{max}}} \times 100\% \quad (2)$ <p>式中：<math>\delta_{ri}</math>——第 <math>i</math> 个测量点的重复性；</p> <p><math>\Delta_{ri}</math>——第 <math>i</math> 个测量点的<math>\Delta_r</math>值。</p> <p>4.2 幅值线性度</p> <p>线性度校准示意图如图 2，在动态偏摆测量仪额定测量转速条件下，固定函数信号发生器输出信号的频率（推荐 250Hz、160Hz、80Hz、40Hz 或动态偏摆测量仪指定的转速对应的频率），在振动标准装置位移量程中均匀选取不少于 6 个位移值进行激振，分别测量各位移点的激光测振仪的位移幅值和被检主轴动态偏摆测量仪显示值，用式（1）计算每点的引用误差，取其最大值为幅值线性度。</p> <p>4.3 转速示值误差</p> <p>转速示值误差的校准示意图如图 2 所示，在被检主轴动态偏摆测量仪的转速量程内均匀选取至少 8 个校准点，按 <math>f=r/60</math>，<math>r</math> 为转速，<math>\text{r/min}</math>，计算各转速校准点对应的频率，并依次设置函数信号发生器的频率为以上各频率值，读取被检主轴动态偏摆测量仪的转速示值 5 次，每个校准点的转速示值误差按照式（3）计算。</p> $\delta = \bar{n} - n_0 \quad (3)$ <p>式中：</p> <p><math>\delta</math>——校准点的转速示值误差，<math>\text{r/min}</math>；</p> <p><math>\bar{n}</math>——校准点的测量平均值，<math>\text{r/min}</math>；</p> <p><math>n_0</math>——振动标准装置的频率对应的转速，<math>\text{r/min}</math>。</p>
水平	<div><input checked="" type="checkbox"/>国际先进</div> <div><input type="checkbox"/>国内先进</div>

<p>国内外情况 简要说明</p>	<p><u>1.与国内相关技术规范之间的关系</u></p> <p>GB/T 32666.2-2016 《高档与普及型机床数控系统 第2部分：主轴驱动装置的要求及验收规范》中对于主轴电动机凸缘止口对电动机轴线的径向圆偏摆的提出了要求，并提出了检验方法为采用千分表测量低速旋转下的主轴径向圆偏摆，与拟制的校准规范中被校准对象的测量原理不同。</p> <p>GB/T 21487.1-2008 《转轴振动测量系统 第1部分：径向振动的相对和绝对检测》提出了适用于转轴径向振动的绝对和相对检测系统，不涉及到仪器设备的校准方法的描述。</p> <p>GB/T 11348.1-1999 《旋转机械转轴径向振动的测量和评定》标准提出了采用在旋转轴上直接测量的方法来测量和评定机械振动的总则，不涉及到仪器设备的校准方法的描述。</p> <p>JJG 644-2003 《振动位移传感器检定规程》适用于（0~5000）Hz 频率范围内的用于机械振动测量的电感式、电容式及电阻式的位移传感器的检定，不涉及到转轴转速的相关描述，且频率范围不能涵盖主轴振动频率范围上限（8000Hz）。</p> <p>综上所述，目前尚没有相关的规程规范或标准适用于动态偏摆仪的校准工作，因此有必要编制专门的规范。</p> <p><u>2.指出是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况；</u></p> <p>未发现有知识产权问题。</p>
<p>推荐意见</p>	<p>主轴动态偏摆测量仪在集成电路产业链中广泛应用，主要用于高端精密机床、PCB 板钻床等的高精度主轴偏摆测量，但目前国家和行业尚无相关校准规范，不能满足计量需求，因此有必要编制本</p>

		规范。建议书提出的计量特性较科学，技术方案基本合理可行，建议立项。				
主要 起草 单位	(签字、盖公章)  月 日		技术 委员 会	(盖公章)  月 日	部委托 支撑 单位	(盖公章)  月 日

填写说明：1.表中第 2，3，11 行，请在选定的内容上填写 “■”的符号。  
2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。