

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T XXXXX—XXXX

形貌动态显微成像仪

Optical microscope for topography and dynamic characteristic

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 型式和基本参数	2
4.1 型式	2
4.2 基本参数	3
5 要求	4
5.1 主要技术要求	4
5.2 电气安全性能	4
5.3 激光安全	5
5.4 仪器外观及各部分相互作用	5
5.5 运输贮存基本环境试验	5
6 试验方法	5
6.1 总则	5
6.2 试验条件	5
6.3 面外振动频率测量偏差	6
6.4 面外振动速度测量偏差	7
6.5 面外振动速度测量线性度	9
6.6 面外振动位移测量分辨力	10
6.7 面外振动测量扫描范围	10
6.8 面内振动频率测量偏差	11
6.9 面内位移测量线性度:	12
6.10 面内位移测量分辨力	14
6.11 形貌垂直测量偏差	14
6.12 形貌垂直测量分辨力	15
6.13 电器安全性能	15
6.14 激光安全	17
6.15 外观及各部分相互作用	17
6.16 运输环境试验	17
7 检验规则	17
7.1 检验分类	17
7.2 出厂检验(即交货检验)	17
7.3 型式检验	17
8 标志、包装、运输及贮存	18
8.1 标志	18
8.2 包装	18

8.3 运输.....	18
8.4 贮存.....	18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国光学和光子学标准化技术委员会（SAC/TC103）归口。

本文件起草单位：中国科学院空天信息创新研究院、南京理工大学、凌云光技术股份有限公司、上海理工大学、上海光学仪器研究所。

本文件主要起草人：郝义伟、伍洲、张文喜、孔新新、王永彪、张瑞、戴玉、袁群、王浩宇、张薇、冯琼辉。

形貌动态显微成像仪

1 范围

本文件规定了形貌动态显微成像仪的术语和定义、型式和基本参数、要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输及贮存。

本文件形貌动态显微成像仪的设计、制造和质量评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 7247.1 激光产品的安全 第1部分 设备分类、要求

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划

GB/T 2829 周期检测计数抽样程序及表（适用于生产过程稳定性的检查）

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 13962 光学仪器术语

GB/T 25480 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

3 术语和定义

GB/T 13962界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

形貌动态显微成像仪 optical microscope for topography and dynamic characteristic

基于激光外差干涉技术、**频闪测量技术**（3.2）和白光扫描干涉技术，用于测量微纳器件的微机械量与微几何量的光学显微测量设备。

3.2

频闪测量技术 stroboscopic measurement technique

使频闪照明的频率与运动的频率相同，获得不同运动位置的图像，再利用图像运动估计算法计算出面内振动的位移量的方法。

注：频闪测量技术需要已知运动目标的振动频率，控制频闪光灯闪烁频率与振动频率一致。

3.3

形貌测量 topography measurement

利用白光相干扫描干涉技术对样品表面形貌进行测量。

3.4

参考平面 standard transmission plane

载物台平面，其法线方向与光束主能量方向平行。

3.5

面外振动 out-of-plane vibration

振动方向与**参考平面**（3.4）垂直的振动现象。

3.6

面内振动 in-plane vibration

振动方向与**参考平面**（3.4）平行的振动现象。

3.7

面内位移 in-plane displacement

质点在微小尺度下位置变化的物理量，其大小等于起点至终点的直线距离，方向由起点指向终点。

3.8

位移测量分辨力 displacement measurement resolution

在一定时间的振动位移测量结果中，得到的带宽为1Hz范围内、信噪比为0dB下的位移测量值的信号强度，其值为一段时间位移测量值作功率谱分析得出的噪声功率谱密度平方根有效值。

3.9

线性度 linearity

在一定范围内，测量量与测量结果的线性偏差程度，其值为测量量非线性误差与灵敏度的比值。

3.10

垂直分辨率 topography measurement

形貌测量中垂直方向的噪声分辨率。

注：垂直分辨率测量一般采用对测量光滑表面多次测量取均方根值来计算评估。

3.11

相位时间间隔 time interval of phase difference

面内振动（3.6）测量过程中，采集的两张图片间对应的相位时间差。

注：相位时间间隔可由设置的光源频闪频率与相位点数计算得出。

3.12

频率测量范围 frequency measurement range

仪器的所有频率量程的总集为频率测量范围，频率测量范围内各频率量程下典型频率值的频率测量结果偏差均满足规定的要求。

注：频率量程中的典型频率值一般取该量程1/2处的频率值。

3.13

速度测量范围 velocity measurement range

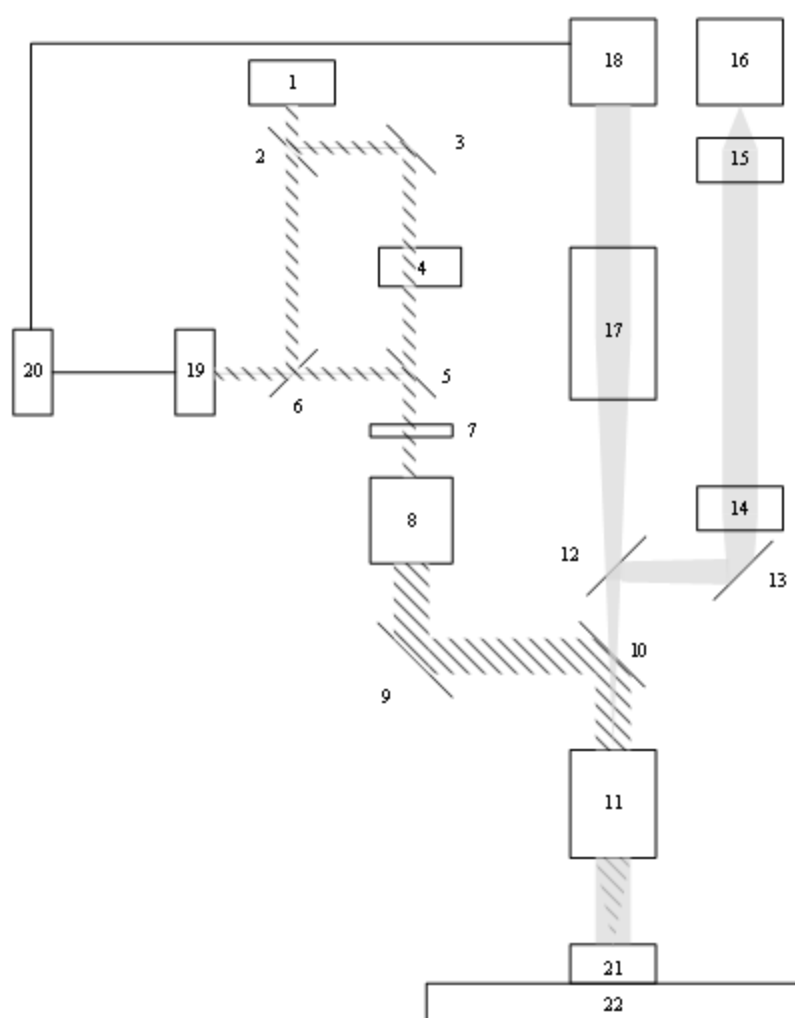
仪器的所有速度量程的总集为速度测量范围，速度测量范围内各速度量程下典型速度值的速度测量结果偏差均满足规定的要求。

注：速度量程中的典型速度值一般取该量程1/2处的速度值。

4 型式和基本参数

4.1 型式

形貌动态显微成像仪（以下简称仪器）采用马赫曾德干涉原理、频闪显微成像原理、白光显微干涉原理集成，其结构型式如图1所示。



标引序号说明:

- | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 1——激光光源; | 7——1/4波片; | 13——反射镜; | 19——光电探测器; |
| 2——偏振分光镜; | 8——扩束镜; | 14——会聚镜组; | 20——计算机; |
| 3——反射镜; | 9——反射镜; | 15——准直镜组; | 21——待测样品; |
| 4——声光移频器; | 10——短波通二向色镜; | 16——照明光源; | 22——振动台/载物台。 |
| 5——偏振分光镜; | 11——显微物镜系列; | 17——成像镜组; | |
| 6——分光镜; | 12——分光镜; | 18——相机; | |

图 1 仪器结构型式示意图

4.2 基本参数

仪器的基本参数如表1所示。

表 1 仪器的基本参数

序号	参数名称	单位	参数值
1	面外振动频率测量范围	MHz	0~25
2	面外振动速度测量范围	m/s	0~10
3	面外振动测量目标表面长度	mm	0~2
4	面内振动频率测量范围	MHz	0~2.5

5	面内位移测量范围	mm	0~2
6	形貌垂直测量范围	μm	≥ 250
7	载物台横向运动范围	mm^2	300×300
8	载物台承重范围	kg	≤ 2
9	显微成像放大倍率	—	5×、10×、20×、50×、100×
10	结构形式	—	光学头和控制器组合式
11	数据接口数量	个	2
12	数据接口形式	—	光口、网口
13	通信接口形式	—	网口
14	工作温度范围	$^{\circ}\text{C}$	15~30

5 要求

5.1 主要技术要求

仪器的主要技术要求应符合表2规定。

表2 仪器的主要技术要求

序号	项目	单位	要求
1	面外振动频率测量偏差	%	≤ 0.1
2	面外振动速度测量偏差	%	≤ 3
3	面外振动速度测量线性度	%	≤ 0.1
4	面外振动位移测量分辨力	$\text{fm}/\text{Hz}^{1/2}$	≤ 30
5	面外振动测量扫描范围	mm^2	$\geq 2 \times 2$
6	面内振动频率允许偏差	%	≤ 0.1
7	面内位移测量线性度	%	≤ 5
8	面内位移测量分辨力	nm	≤ 5
9	形貌垂直测量偏差	μm	≥ 250
10	形貌测量表面垂直分辨力	pm	≤ 45

5.2 电气安全性能

5.2.1 耐压

耐压试验的试验电压应符合表3的规定。

表3 耐压试验电压

单位为伏

采用交流试验时		采用直流试验时	
电源工作电压U	试验所施加电压（交流）	电源工作电压U	试验所施加电压（直流）

100<U≤150	1000	100<U≤150	1250
150<U≤300	1500	150<U≤300	2150

对仪器的电气施加电压，保持5s，应无击穿和飞弧现象。交流、直流试验方式可任选其一，能通过二者之一即可。一般情况选择交流试验；如果为了避免容性电流，可选择直流试验。

5.2.2 泄漏电流

受试仪器在常温常湿条件下的泄漏电流不应大于 1mA。

5.2.3 接地电阻

带有电源输入插座的仪器，在插座中的保护接地点与仪器所有可能被触及部位之间的接地电阻不大于0.1Ω。

带有不可拆卸电源线的仪器，电源线插头中的保护接地脚与仪器管所有可能被触及部位之间的接地电阻不大于0.2Ω。

5.3 激光安全

仪器所用的激光器，应符合GB 7247.1的要求规定。

5.4 仪器外观及各部分相互作用

5.4.1 外观

外观要求如下：

- 电镀表面不应有脱皮和斑点存在；
- 漆面不应有磕碰伤和显著色差；
- 零件表面不应有毛刺；
- 外部零件锐边应倒棱；
- 零件接合处应齐整。金属面不应有锈蚀、碰伤和显著的划痕，以及影响测量的其它缺陷。

5.4.2 光学零件的表面不应有明显的擦痕、麻点、水珠、霉点等毛病，及光学零件的胶合面不应有气泡和脱胶现象。

5.4.3 显示器上的样品图像应清晰，不同方法倍率与功能的显微物镜可以切换。

5.4.4 显示器上的干涉图应清晰，背景不应有亮斑、暗斑、阴影和异物。

5.4.5 所有紧固零件应保证紧固可靠。

5.4.6 仪器上所有刻度、刻字以及铭牌标记应清晰可见。

5.4.7 各活动部分转动、移动应平稳、顺畅，不应有卡滞和突变现象。

5.4.8 硬件及控制端指令应清晰，响应快速。

5.4.9 软件菜单界面图文应含义明确、易理解。

5.5 运输贮存基本环境试验

仪器在运输包装条件下的环境模拟试验，应按GB/T 25480中的高温、低温、相对湿度（25℃）及自由跌落项目进行试验。选用高温+70℃、低温-10℃、相对湿度（25℃）80%，自由跌落高度按包装件质量选定。

6 试验方法

6.1 总则

6.2~6.9规定的试验方法不是唯一的，如有其它能满足本文件要求的方法，也可采用。

6.2 试验条件

6.2.1 仪器应置于一个具有防振功能的气浮台上。

6.2.2 试验室环境应无明显的冲击、振动、电器辐射和强光。

6.2.3 试验室环境试验条件应符合表4的规定。

6.2.4 供电电源交流电压(220±20)V。

表4 环境试验条件

序号	项目	单位符号	要求
1	室温	℃	23±2
2	24h内的室温变化	℃	≤1
3	1h内的室温变化	℃	≤0.2
4	被检仪器和试验工具在室内的平衡温度时间	h	≥24
5	相对湿度	—	≤80%
6	洁净度	—	达到10,000级

6.3 面外振动频率测量偏差

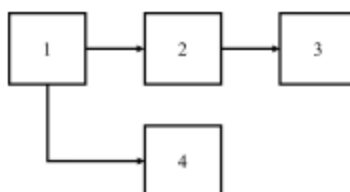
6.3.1 试验工具

试验工具如下：

- 标准振动源，频率范围0Hz~20kHz；
- 信号发生器，频率范围0Hz~25MHz；
- 频率计数器，精度0.1Hz；
- 模数转换电路，采样率100MHz，分辨率24位。

6.3.2 试验程序

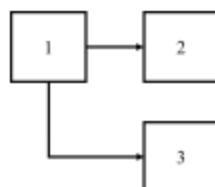
6.3.2.1 面外振动频率测量偏差测试示意图(频率≤20kHz时)见图2，面外振动频率测量偏差测试示意图(频率>20kHz时)见图3。



标引序号说明：

- 1—信号发生器；
- 2—标准振动源；
- 3—受试仪器；
- 4—频率计数器。

图2 面外振动频率测量偏差测试示意图(频率≤20kHz时)



标引序号说明：

- 1—信号发生器；
- 2—受试仪器；

3—模数转换电路。

图3 面外振动频率测量偏差测试示意图（频率>20kHz时）

6.3.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源，按要求连接试验设备，正常上电；打开仪器上位机控制软件，设置仪器为面外振动测量模式，根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。根据 GB/T 20485.41 中第 1 章描述，现有的振动发生设备还不能产生 >20kHz 的稳定、可溯源的高频振动信号，若需要测试该种仪器兆赫兹级频率振动，可以用电校准信号处理子系统方法评估，信号处理子系统输入相应的合成多普勒信号。

6.3.2.3 当频率量程 ≤ 20kHz 时，如图 2 所示，根据仪器划分的频率量程，以均匀分布形式选取量程内的参考频率点 $f_{\omega} (i=1,2,\dots,10)$ ，信号发生器依照参考频率输出激励信号，激励信号通过频率计数器同步测量得到频率值 $f_{\omega}' (i=1,2,\dots,10)$ ，作为参考频率实测值；激励信号同步作用于标准振动源，使用仪器测量每种激励下的频率值 $f_i (i=1,2,\dots,10)$ ，计算仪器测量频率与参考频率实测值的差值 $\Delta f_i = f_i - f_{\omega}'$ ，得到该差值与参考频率实测值的比值的绝对值 $\Delta f_i' = |\Delta f_i / f_{\omega}'| \times 100\%$ ，取 $\Delta f_i'$ 最大值，得到该频率量程下的最大相对频率偏差 $\Delta f_{i\max}'$ 。

6.3.2.4 当频率量程 > 20kHz 时，如图 3 所示，根据仪器划分的频率量程，以均匀分布形式选取量程内的参考频率点 $f_{\omega} (i=1,2,\dots,10)$ ，信号发生器依照参考频率输出对应合成多普勒信号，其合成多普勒信号的表达式为：

$$U(t) = C \sin[2\pi(f_B + A \sin 2\pi f_{\omega} t)t + \varphi] \quad (1)$$

式中：

$U(t)$ ——合成多普勒信号电压值；

C ——合成多普勒信号的幅值；

f_B ——仪器外差载波频率；

A ——调制信号幅值；

φ ——合成多普勒信号的初相位。

模数转换电路同步采集合成多普勒信号，经解调解算得到对应频率值参考频率实测值 $f_{\omega}' (i=1,2,\dots,10)$ ；合成多普勒信号接入仪器数据处理单元，仪器的电信号处理单元测量每种激励下的频率值 $f_i (i=1,2,\dots,10)$ 。计算仪器测量频率与参考频率实测值的差值 $\Delta f_i = f_i - f_{\omega}'$ ，得到该差值与参考频率实测值的比值的绝对值 $\Delta f_i' = |\Delta f_i / f_{\omega}'| \times 100\%$ ，取 $\Delta f_i'$ 最大值，得到该频率量程下的最大相对频率偏差 $\Delta f_{i\max}'$ 。

6.3.2.5 测量得到的最大频率偏差 ≤ 1%，则仪器面外振动频率测量范围包含此频率。各频率量程下的面外振动频率测量偏差即为测量得出的 $\Delta f_{i\max}'$ 。

6.4 面外振动速度测量偏差

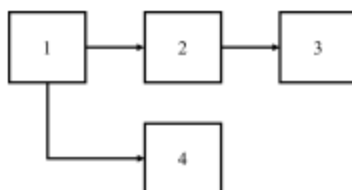
6.4.1 试验工具

试验工具如下：

- 标准振动源，频率范围 0Hz~20kHz；
- 信号发生器，频率范围 0Hz~25MHz；
- 数字多用表，最大允许误差 ±(4.5×读值+0.5×量程)×10⁻⁶；
- 频率计数器，精度 0.1Hz。

6.4.2 试验程序

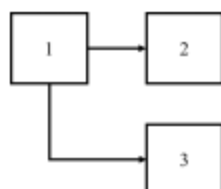
6.4.2.1 面外振动速度测量偏差测试示意图（速度 $\leq 0.5\text{m/s}$ 情况）如图4所示，面外振动速度测量偏差测试示意图（速度 $> 0.5\text{m/s}$ 情况）如图5所示。



标引序号说明：

- 1—信号发生器；
- 2—标准振动源；
- 3—受试仪器；
- 4—数字多用表。

图4 面外振动速度测量偏差测试示意图（速度 $\leq 0.5\text{m/s}$ 情况）



标引序号说明：

- 1—信号发生器；
- 2—受试仪器；
- 3—模数转换电路。

图5 面外振动速度测量偏差测试示意图（速度 $> 0.5\text{m/s}$ 情况）

6.4.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源，将设备按要求连接，并正常上电；打开仪器上位机控制软件，设置仪器为面外振动测量模式，测量量为速度，根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。如6.3.2.2所述，若需要测试该种仪器 $> 0.5\text{m/s}$ 较高速度值，可以用电校准信号处理子系统方法评估，信号处理子系统输入相应的合成多普勒信号。

6.4.2.3 速度量程 $\leq 0.5\text{m/s}$ 时，如图4所示，根据仪器划分的速度量程，以均匀分布形式选取量程内的参考速度点 $v_w (i=1,2,\dots,10)$ ，信号发生器依照参考速度和标准振动源的速度响应输出激励信号，激励信号通过数字多用表同步测量计算得到标准振动源的速度幅值 $v_w' (i=1,2,\dots,10)$ ，作为参考速度实测值；使用仪器测量每种参考速度下的标准振动源实际速度值 $v_i (i=1,2,\dots,10)$ ，计算仪器测量速度与参考速度的差值 $\Delta v_i = v_i - v_w'$ ，得到该差值与参考速度的比值的绝对值 $\Delta v_i' = |\Delta v_i / v_w'| \times 100\%$ ，取 $\Delta v_i'$ 最大值，得到该速度量程下的最大相对速度偏差 $\Delta v_{i\max}'$ 。

6.4.2.4 速度量程 $> 0.5\text{m/s}$ 时，如图5所示，根据仪器划分的速度量程，以均匀分布形式选取量程内的参考速度点 $v_w (i=1,2,\dots,10)$ ，信号发生器依照参考速度和仪器外差载波频率输出合成多普勒信号，合成多普勒信号表达式为：

$$U(t) = C \sin \left[2\pi \left(f_B + \frac{2v_w}{\lambda} \right) t + \varphi \right] \quad (2)$$

式中：

- $U(t)$ —合成多普勒信号电压值；
- C —合成多普勒信号的幅值；
- f_B —仪器外差载波频率；
- λ —仪器测量激光波长；

φ ——合成多普勒信号的初相位。

模数转换电路同步采集合成多普勒信号，经解调解算得到对应速度 $v_{0i}' (i=1,2,\dots,10)$ ，作为参考速度实测值；合成多普勒信号接入仪器数据处理单元，仪器的电信号处理单元测量每种激励下的速度值 $v_i (i=1,2,\dots,10)$ ，计算仪器测量速度与参考速度的差值 $\Delta v_i = v_i - v_{0i}'$ ，得到该差值与参考速度的比值的绝对值 $\Delta v_i' = |\Delta v_i / v_{0i}'| \times 100\%$ ，取 $\Delta v_i'$ 最大值，得到该速度量程下的最大相对速度偏差 $\Delta v_{i\max}'$ 。

6.4.2.5 各频率量程下的面外振动速度测量偏差即为测量得出的 $\Delta v_{i\max}'$ 。

6.5 面外振动速度测量线性度

6.5.1 试验工具

同6.4.1。

6.5.2 试验程序

6.5.2.1 试验装置如图4所示。

6.5.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源，将设备按要求连接，并正常上电；打开仪器上位机控制软件，设置仪器为面外振动测量模式，测量量为速度，根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。

6.5.2.3 选定仪器的速度档位，其中速度档位上限速度为 v_H ，下限速度为 v_L 。以信号发生器输出的正弦信号作为标准信号，作用于标准振动源输出振动频率为 1.6kHz 的参考速度峰值幅度 $v_i = v_L + (i-1) \times (v_H - v_L) / 10 (i=1,2,\dots,11)$ 。

6.5.2.4 用数字电压表重复读取6次对应参考速度峰值幅度 v_i 的测量值 $y_{ij} (j=1,2,\dots,6)$ ，计算各峰值幅度的6次测量平均值 \bar{y}_i ，计算 v_i 的平均值 \bar{v} ，计算 \bar{y}_i 平均值 \bar{y} ，则可按公式(1)计算出 v_i 与对应 \bar{y}_i 的相关系数（即灵敏度） G ，进一步得到 v_i 与 y_{ij} 关系的直流偏置 $D = \bar{y} - G\bar{v}$ ；

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{11} (v_i - \bar{v})(\bar{y}_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{11} (v_i - \bar{v})^2} \quad (3)$$

式中：

G ——灵敏度；

v_i ——参考速度峰值幅度；

\bar{v} ——参考速度峰值幅度的平均值；

\bar{y}_i ——参考速度峰值幅度的测量平均值；

\bar{y} —— \bar{y}_i 的平均值。

6.5.2.5 由相关系数 G 与直流偏置 D 形成的关于 v_i 的一次函数作为参考速度曲线，计算实际测量得到的 \bar{y}_i 与参考值的偏差 $\Delta \bar{y}_i = \bar{y}_i - (Gv_i + D)$ ，并取其最大值 $\Delta \bar{y}_{\max} = \max \{|\Delta \bar{y}_i|\}$ ；按公式(2)计算在此速度档位下的线性度：

$$L = \frac{\Delta \bar{y}_{\max}}{G(v_H - v_L)} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

- L ——面外振动速度测量线性度；
 $\Delta \bar{y}_{\max}$ ——实际测量得到的 \bar{y}_i 与参考值的最大偏差值；
 G ——灵敏度；
 v_H ——上限速度；
 v_L ——下限速度。

6.5.2.6 各速度量程下的面外振动速度测量线性度即为测量得出的 L 。

6.6 面外振动位移测量分辨力

6.6.1 试验工具

标准振动源，频率范围 0Hz~20kHz。

6.6.2 试验程序

6.6.2.1 面外振动位移测量分辨力测试示意图如图 6 所示。



标引序号说明：

- 1——标准振动源；
 2——受试仪器。

图 6 面外振动位移测量分辨力测试示意图

6.6.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源，将设备按要求连接，并正常上电；打开仪器上位机控制软件，设置仪器为面外振动测量模式，设置最小频率档位和最小位移档位，进入位移测量模式，根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。

如图 6 所示，使标准振动源静止，测量样品位移值，测量时间 $t = 10s$ ，对测量位移值进行加窗功率谱分析，得到以离散频率点 f_i 为横坐标的功率谱密度值 $S_x(f_i)$ ，以测量时间决定最小频率间隔 $\Delta f = 1/t$ ，

以最小频率间隔 Δf 和频率档位 f_H 决定计算累积点数 $n = \frac{f_H}{2\Delta f}$ ，按公式 (5) 计算位移测量噪声功率谱密度平方根有效值，得到位移噪声限分辨力。

$$x_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_x(f_i) \Delta f} \quad (5)$$

式中：

- x_{rms} ——位移噪声限分辨力；
 f_i ——离散频率点；
 $S_x(f_i)$ ——功率谱密度值；
 Δf ——最小频率间隔。

6.6.2.3 重复测量十次 x_{rms} ，取测量平均值为仪器的面外振动位移测量分辨力。

6.7 面外振动测量扫描范围

6.7.1 试验工具

标准测微尺，测量范围：-3mm~+3mm。

6.7.2 试验程序

6.7.2.1 试验装置如图 7 所示



标引序号说明:

1—标准测微尺;

2—受试仪器。

图 7 面外振动测量扫描范围测试示意图

6.7.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源,将设备按要求连接,正常上电;打开仪器上位机控制软件,设置仪器为面外振动测量模式,设置物镜为最小的放大倍率,根据上位机呈现的样品画面调整对焦距离和曝光时间,使样品和激光聚焦点在视场中清晰;调整标准测微尺基准线平行于画面横向像素。

6.7.2.3 如图 7 所示,设置激光聚焦点指向成像画面对应的边缘像素,并读取激光聚焦点在标准测微尺上指示的尺度信息 a_1 ;设置激光聚焦点指向画面对应另一边的边缘像素,并读取激光聚焦点在标准测微尺上指示的尺度信息 a_2 ;计算两数值差的绝对值 $|a_1 - a_2|$,重复测量十次,取平均值为仪器横向面外振动测量扫描范围 a 。

6.7.2.4 设置激光聚焦点指向成像画面对应的边缘像素,设置激光聚焦点指向成像画面对应的上边缘像素,并读取激光聚焦点在标准测微尺上指示的尺度信息 b_1 ;设置激光聚焦点指向画面对应另一边的边缘像素,并读取激光聚焦点在标准测微尺上指示的尺度信息 b_2 ;计算两数值差的绝对值 $|b_1 - b_2|$,重复测量十次,取平均值为仪器纵向面外振动测量扫描范围 b 。

6.7.2.5 面外振动测量扫描范围为 $a \times b$ 。

注:面外振动测量目标表面长度受面外振动测量扫描范围限制,若面外振动测量扫描范围满足要求,则面外振动测量目标表面长度满足表 1 要求。

6.8 面内振动频率测量偏差

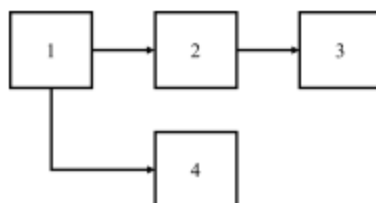
6.8.1 试验工具

试验工具如下:

- 标准面内振动样品,频率范围 0Hz~10kHz;
- 信号发生器,频率范围 0Hz~2.5MHz;
- 频率计数器,精度 0.1Hz;
- 光电探测器,响应频率范围 0Hz~2.5MHz;
- 模数转换电路,采样率 25MHz,分辨率 24 位。

6.8.2 试验程序

6.8.2.1 面内振动频率测量偏差测试示意图(频率 $\leq 10\text{kHz}$ 情况)如图 8 所示;面内振动频率测量偏差测试示意图(频率 $> 10\text{kHz}$ 情况)如图 9 所示。



标引序号说明:

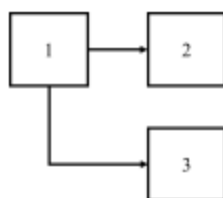
1—信号发生器;

2—标准面内振动样品;

3—受试仪器;

4—频率计数器。

图 8 面内振动频率测量偏差测试示意图(频率 $\leq 10\text{kHz}$ 情况)



标引序号说明：
1—光电探测器；
2—受试仪器；
3—模数转换电路。

图 9 面内振动频率测量偏差测试示意图（频率 > 10kHz 情况）

6.8.2.2 按照测试样品规范正确安装标准面内振动样品，将设备按要求连接，正常上电；打开仪器上位机控制软件，设置仪器为面内振动测量模式，根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。

6.8.2.3 当频率量程 $\leq 10\text{kHz}$ 时，如图 8 所示，根据仪器划分的频率量程，以均匀分布形式选取量程内的参考频率点 f_{0i} ($i=1,2,\dots,10$)，根据参考点频率设置激励组件输出正弦速度波形作激励信号，使样品依照激励信号作面内单频往复运动，设置仪器光源脉宽、等待时间、相机曝光时间、振动源灵敏度等相应参数后，选择相位点数 M ，将光源频闪频率设置为 $f_{st} = f_{0i}$ ，将测量周期设置为 $N=4$ ，对运动样品进行拍摄。

6.8.2.4 获得的图像代表不同相位处样品的运动状态。将测量参数与图像信息导入仪器软件的图像计算模块，解出每张图像时刻样品的实际位移 x_j ($j=1,2,\dots,M \times N$)。根据相位时间间隔 $\Delta t_{pi} = 1/Mf_{st}$ ，以每张图像代表相位的等效时刻 t_{pi} 为横坐标，以每张图像代表的样品的实际位移 x_j 为纵坐标，画出样品“位移-时间”图像，则图像结果为正弦信号。

6.8.2.5 对此正弦信号作时域傅里叶变换，去除直流量后求得频域峰值对应的频率值 f_{mi} ；计算解得频率值与设置频率值偏差 $\Delta f_i = f_{mi} - f_{0i}$ ，则频率测量相对偏差为 $\Delta f'_i = |\Delta f_i / f_{0i}| \times 100\%$ 。取 $\Delta f'_i$ 最大值，得到该频率量程下的最大相对频率偏差 $\Delta f'_{imax}$ 。

6.8.2.6 当频率量程 $> 10\text{kHz}$ 时，采用等效法评估，即对频闪光信号直接探测评估仪器振动频率测量水平，如图 9 所示。根据仪器划分的频率量程，以均匀分布形式选取量程内的参考频率点 f_{0i} ($i=1,2,\dots,10$)，设置仪器光源脉宽、等待时间、相机曝光时间和振动源灵敏度等相应参数后，选择相位点数 M ，将光源频闪频率设置为 $f_{st} = f_{0i}$ ，则理论相位时间间隔为 $\Delta t_{p0i} = 1/Mf_{st}$ ，频闪照明周期为 $\Delta t_{st} = 1/f_{st}$ 。将测量周期设置为 $N=4$ ，对光电探测器进行拍摄；光电探测器接模数转换电路，并将转换后的数字信号采集保存至仪器计算机。

6.8.2.7 根据模数转换电路的采样率 f_{st} 和采样时间 t_s ，以采样点 $n_j = j \times f_s$ ($j=1,2,\dots,t_s \times f_{st}$) 为横坐标，以光电信号幅值 V_j 为纵坐标，画出光电信号“幅值-采样点”图像，标记并计算每处光电信号脉冲峰值（几何平均处） V_k ($k=1,2,\dots,t_s \times f_s, V_j \in V_i$) 对应的采样点横坐标 n_k ；将 n_k 组成一组数据，对其进行差分运算，得到采样点时间差数据 $\Delta n_k = n_k - n_{(k-1)}$ ，与采样率 f_{st} 相比得到时间间隔 $\Delta t_{spk} = \Delta n_k / f_{st}$ 。

6.8.2.8 将时间间隔 Δt_{spk} 数据平均处理后得到中心值 $\bar{\Delta t}_{spk}$ ，则频率值测量偏差为 $\Delta f'_i = \left| \left(\frac{\Delta t_{st}}{M \bar{\Delta t}_{spk}} \right) - 1 \right| \times 100\%$ 。取 $\Delta f'_i$ 最大值，得到该频率量程下的最大相对频率偏差 $\Delta f'_{imax}$ 。

6.8.2.9 各频率量程下的面内振动频率测量偏差即为测量得出的 $\Delta f'_{imax}$ 。

6.9 面内位移测量线性度：

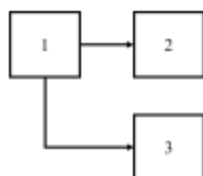
6.9.1 试验工具

试验工具如下：

- 位移测量干涉仪，精度 1nm；
- 运动台，运动范围：-20mm~20mm。

6.9.2 试验程序

6.9.2.1 面内位移测量线性度测试示意图如图 10 所示。



标引序号说明:

1—运动台;

2—受试仪器;

3—位移测量干涉仪。

图 10 面内位移测量线性度测试示意图

6.9.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源,将设备按要求连接,正常上电;打开仪器上位机控制软件,设置仪器为面内位移测量模式,根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离、曝光时间,使样品在视场中清晰,拍摄样品静止状态图像 P_0 。

6.9.2.3 根据仪器的位移档位,上限位移为 x_H ,下限位移为 x_L 。于测量视场外搭建位移测量干涉仪,使干涉仪测量方向平行于位移台运动方向与标准面内振动样品位移方向,控制运动台产生 $x_i = x_L + (i-1) \times (x_H - x_L) / 10 (i = 1, 2, \dots, 11)$ 的移动量。

6.9.2.4 用仪器拍摄对应 x_i 的图像 P_i ,与静止状态图像 P_0 经仪器计算机软件图像处理模块解出位移测量量 $y_j (j = 1, 2, \dots, 6)$,并用位移测量干涉仪测量对应 x_i 的参考位移量 z_j 。计算图像位移测量量的 6 次测量平均值 \bar{y}_i ,计算参考位移量的 6 次测量平均值 \bar{z}_i ,计算 \bar{y}_i 平均值 \bar{y} ,计算 \bar{z}_i 平均值 \bar{z} ,则按公式(4)计算出 \bar{z}_i 与对应 \bar{y}_i 的相关系数(即灵敏度) G ,进一步得到 z_j 与 y_j 关系的直流偏置 $D = \bar{y} - G\bar{z}$:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{z}_i - \bar{z})(\bar{y}_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^m (\bar{z}_i - \bar{z})^2} \quad (6)$$

式中:

G —灵敏度;

\bar{z}_i —参考位移量测量平均值;

\bar{z} — \bar{z}_i 的平均值;

\bar{y}_i —图像位移测量量的测量平均值;

\bar{y} — \bar{y}_i 的平均值。

6.9.2.5 由相关系数 G 与直流偏置 D 形成的关于 \bar{z}_i 的一次函数作为参考速度曲线,计算实际测量得到的 \bar{y}_i 与参考值的偏差 $\Delta \bar{y}_i = \bar{y}_i - (G\bar{z}_i + D)$,并取其最大值 $\Delta \bar{y}_{\max} = \max \{ |\Delta \bar{y}_i| \}$;按公式(7)计算在此速度档位下的线性度。

$$L = \frac{\Delta \bar{y}_{\max}}{G(x_H - x_L)} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

L ——线性度；

G ——灵敏度；

$\overline{\Delta y_{\max}}$ ——实际测量得到的 $\overline{y_i}$ 与参考值的偏差的最大值；

x_H ——位移档上限位移；

x_L ——位移档下限位移。

6.9.2.6 各位移量程下的面内位移测量线性度即为测量得出的 L 。

6.10 面内位移测量分辨力

6.10.1 试验工具

标准面内振动样品，频率范围：0Hz~10kHz。

6.10.2 试验程序

6.10.2.1 面内位移测量分辨力测试示意图如图 11 所示



标引序号说明：

1——标准面内振动样品；

2——受试仪器。

图 11 面内位移测量分辨力测试示意图

6.10.2.2 将设备按要求连接，并正常上电；打开仪器计算机控制软件，设置仪器为面内振动测量模式，根据计算机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。

6.10.2.3 如图 11 所示，设置样品保持静止，设置仪器光源脉宽、等待时间、相机曝光时间、和振动源灵敏度等相应参数后，选择相位点数 M ，将光源频闪频率设置为 1kHz，对运动样品进行拍摄 10 次。移动台面，使仪器成像区域改变，重复测量 6 次。

将测量参数与图像信息导入仪器软件的图像计算模块，解得每张图像与第一张图片的位移值 $x_{ij}(i=1,2,\dots,9)(j=1,2,\dots,6)$ ，计算 x_{ij} 第 j 次测量结果的标准差 s_j ；计算 6 组测量结果的标准差 s ，则面内振动位移测量分辨力 $R=s$ 。

6.11 形貌垂直测量偏差

6.11.1 试验工具

标准台阶样品，台阶高度测量不确定度 $\leq 0.5\%$ 。

6.11.2 试验程序

6.11.2.1 形貌垂直测量偏差测试示意图如图 12 所示。



标引序号说明：

1——标准台阶样品；

2——受试仪器。

图 12 形貌垂直测量偏差测试示意图

6.11.2.2 按照测试样品规范正确安装标准振动源，将设备按要求连接，并正常上电；打开仪器计算机控制软件的控制模块，设置仪器为形貌测量模式。

6.11.2.3 根据仪器划分的垂直测量量程，在量程范围内选择标准台阶样品，高度标称值为 h_0 。仪器对标准台阶测量十组数据 $h_i (i=1,2,\dots,10)$ ，计算仪器测量高度与样品高度标称的差值 $\Delta h_i = h_i - h_0$ ，得到该差值与高度标称的比值的绝对值 $\Delta h_i' = |\Delta h_i / h_0| \times 100\%$ ，取 $\Delta h_i'$ 最大值，得到最大相对高度偏差 $\Delta h_{i\max}'$ 。

6.11.2.4 各频率量程下的面内振动频率测量偏差即为测量得出的 $\Delta h_{i\max}'$ 。

6.12 形貌垂直测量分辨力

6.12.1 试验工具

试验工具如下：

a) 标准光滑平面光学元件，表面面形 $rms \leq 35nm$ 。

6.12.2 试验程序

6.12.2.1 形貌垂直测量分辨力测试示意图如图 13 所示。



标引序号说明：

1—标准光滑平面光学元件；

2—受试仪器。

图 13 形貌垂直测量分辨力测试示意图

6.12.2.2 正确安装标准振动源，将设备按要求连接，正常上电；打开仪器计算机控制软件，设置仪器为形貌测量模式，根据上位机呈现的样品画面调整合适的放大倍率、对焦距离和曝光时间，使样品在视场中清晰。

6.12.2.3 如图 13 所示，调整光学元件水平偏角，使视场内包含 1 至 2 个条纹。

6.12.2.4 设置测量范围和测量次数，获取 20 个测量图，不进行平均或横向平滑，从每个单独的图中减去一个最小二乘平面，使得每个得到的图 $(h_{x,y})_i (i=1,2,\dots,20)$ 的平均高度和倾斜都为零。

6.12.2.5 创建平均图 $\langle h_{x,y} \rangle$ ，从每个图 $(h_{x,y})_i$ 中减去平均图 $\langle h_{x,y} \rangle$ ，对每张差图的所有像素点计算均方根值 ε_i 。

6.12.2.6 计算 ε_i 的标准差 ε_{rms} ，则此值为形貌垂直测量直分辨力，需满足表 2 要求。

6.13 电器安全性能

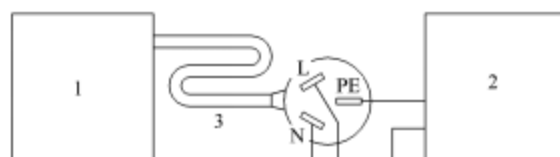
6.13.1 耐压

6.13.1.1 试验工具

具有耐压检测功能的测试仪，其测试电压 AC/DC 范围为(0~3)KV，变压器容量 500 VA。

6.13.1.2 试验程序

在确认测试仪电源已断开的情况下，将测试仪的高压输出线与仪器电源输入端的相线 L 和中性线 N 连接；将测试仪的另一测试线与仪器电源线的保护接地线 PE 连接，如图 14 所示。然后接通测试仪电源并将测试仪“电压调节”旋钮调整至 0V。按下“启动”按钮，向电压增大方向缓慢旋转“电压调节”旋钮，在 5s 内逐渐升至表 3 所规定的电压值，保持 5s（也可用定时开关），再将“电压调节”旋钮向电压减小方向旋至“0”位置，然后按下“复位”按钮，切断输出电压。



标引序号和符号说明:

- 1——受试仪器;
- 2——具有耐压检测功能的测试仪;
- 3——受试仪器电源线;
- L——相线;
- N——中性线;
- PE——保护接地线。

图 14 耐压试验示意图

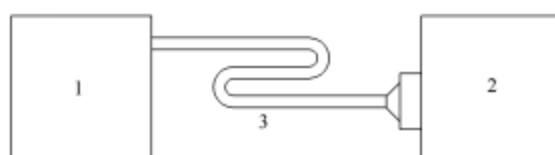
6.13.2 泄漏电流

6.13.2.1 试验工具

具有泄漏电流检测功能的测试仪，其测试电压范围为交流(110~260)V，漏电流测试范围为(0~5)mA 测量总阻为 1.5 K Ω ，试验变压器容量为 500 VA。

6.13.2.2 试验程序

按下测试仪“预置”开关，进入“预置”状态。将“测量总阻”置于1.5 k Ω 挡，然后按下“测量”开关，进入“测量”状态。在确认测试仪电压表指示为“0”，且测试红灯不亮的情况下，将受试仪器电源线插头插入测试仪面板上的“泄漏电流测试”插座，如图15所示。打开受试仪器电源开关，按下测试仪“启动”按钮，向电压增大方向缓慢旋转“电压调节”旋钮至输入电压达到受试仪器最高额定电压的110%，保持1min（也可用定时开关），读取测试仪电流表显示的泄漏电流值。



标引序号说明:

- 1——受试仪器;
- 2——具有泄漏电流检测功能的测试仪;
- 3——受试仪器电源线。

图 15 泄露电流试验示意图

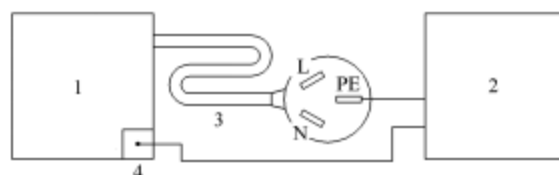
6.13.3 接地电阻

6.13.3.1 试验工具

具有交流接地阻抗检测功能的测试仪，其阻抗测试范围为(0~0.6) Ω ，测试电流范围为(5~30)A。

6.13.3.2 试验程序

在确认测试仪电压表指示为“0”，且测试红灯不亮的情况下，将测试仪“电压输出”端的两根测试线分别接至受试仪器电源输入端的保护接地线PE和受试干涉仪裸露金属面上，如图16所示。然后将测试电流调至25 A，按下测试仪“启动”按钮，2s后，读取接地电阻数值。



标引序号和符号说明:

- 1—受试仪器;
2—具有交流接地阻抗检测功能的测试仪;
3—受试仪器电源线;
4—受试仪器金属裸露处;
PE—保护接地线。

图 16 接地电阻试验示意图

6.14 激光安全

仪器所用的激光器,按GB 7247.1的规定试验。

6.15 外观及各部分相互作用

以目测及手动操作进行试验。

6.16 运输环境试验

在运输包装条件下按 GB/T 25480 的规定进行试验。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品的检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验 (即交货检验)

7.2.1 出厂检验的样品数根据 GB/T 2828.1 中的一般检查水平 I、正常检验一次抽样方案,或根据供需双方协商确定。通常从正常检验开始,根据检验结果,随时执行 GB/T 2828.1 规定的转移规则。

7.2.2 出厂检验不包括 5.5。

7.3 型式检验

7.3.1 型式检验应对标准中的技术要求全部进行检验,检验样品从已检验合格的产品批中随机抽取。

7.3.2 型式检验的抽样采用 GB/T 2829 中的一次抽样方案,各类不合格数以项目计,除 5.2 和 5.3 不允许不合格外,各类不合格项目类别、判别水平 DL、不合格质量水平 RQL 和抽样方案见表 5。

表 5 抽样方案

不合格类型	项目条款	RQL	抽样方案 (n Ac, Re)	DL
A	表 2 的序号 3、序号 4、序号 5、序号 7、序号 8、序号 10	30	3 (0, 1)	I
B	表 2 的序号 1、序号 2、序号 6、序号 9	65	3 (1, 2)	
C	5.4	100	3 (2, 3)	

7.3.3 型式检验的受试样品在按 GB/T 25480 的要求进行环境条件试验后,各项技术要求仍应符合标准要求。

7.3.4 产品在下列情况之一时,需进行型式检验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;

- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改进，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，定期或积累一定产量后，应周期性进行一次检验；
- d) 产品长期停产或被相关部门叫停后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时。

7.3.5 经过型式检验后的样品，不经过整理不允许作为合格品出厂。

8 标志、包装、运输及贮存

8.1 标志

每台产品至少应有如下标志：

- a) 制造厂名或注册商标；
- b) 产品型号或产品名称；
- c) 产品编号。

8.2 包装

产品包装应符合 GB/T 13384 的规定。

8.3 运输

允许用任何能有效遮蔽产品的运输工具运送。

8.4 贮存

有包装的产品应贮存在有遮蔽的干燥场所，周围无酸性气体、碱及其他有害物质。