



中华人民共和国国家标准

GB/T 11168—XXXX
代替 GB/T 11168-2009

光学系统像质测试方法

Testing method for image quality of optical systems

(征求意见稿)

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 分类	3
5 分辨力测试方法	3
5.1 总则	3
5.2 试验装置	4
5.3 试验程序	5
6 几何像差测试方法	5
6.1 星点检验法	5
6.2 哈特曼检验法	9
6.3 场曲	13
6.4 畸变	13
7 波像差测试方法	14
7.1 总则	14
7.2 波面干涉图的生成	15
7.3 干涉仪	15
7.4 波面干涉图的照相采集和人工判读	15
7.5 波面干涉图像采集和数字处理	17
附录 A（规范性） 各类系统理论分辨力	18
参考文献	1

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。

本文件代替GB/T 11168—2009《光学系统像质测试方法》。与GB/T 11168—2009相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了封面英文名称（见封面，见2009版的封面）；
- 更改了范围（见第1章，见2009版的第1章）
- 更改了规范性引用文件（见第2章，见2009版的第2章）；
- 增加了“术语和定义”一章（见第3章）；
- 增加了“分类”一章（见第4章）；
- 对“像质测试方法”这一章进行了重新编写（见第5章、第6章和第7章，见2009年版的第3章）。

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：麦克奥迪实业集团有限公司、杭州海思国创光电智能科技有限公司、浙江省质量科学研究院、宁波永新光学股份有限公司、南京东利来光电实业有限责任公司、上海理工大学、上海光学仪器研究所、广州市明美光电技术有限公司、宁波华光精密仪器有限公司、浙江大学杭州国际科创中心、中国建筑材料科学研究总院有限公司、深圳明锐理想科技股份有限公司、东莞高伟光学电子有限公司、东莞市宇瞳光学科技股份有限公司、宁波市教学仪器有限公司、立景创新科技股份有限公司、浙江大学滨江研究院、南京凯视迈科技有限公司、宁波舜宇仪器有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司、福建富兰光学股份有限公司、梧州奥卡光学仪器有限公司、北京创思工贸有限公司、南京江南永新光学有限公司。

本文件主要起草人：陈木旺、刘世界、陈宁、崔志英、洪宜萍、张薇、冯琼辉、张春旺、孔燕波、匡翠方、独雅婕、刘鹏飞、邱小清、何剑炜、王国瑞、李帅、许迎科、崔远驰、王春梅、江丽、魏孝典、张韬、刘云龙、姚晨、黄永刚、周伟。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1989年首次发布为GB/T 11168—1989，2009年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

光学系统像质测试方法

1 范围

本文件规定了光学系统像质的分辨力、几何像差和波像差的测试方法。

本文件适用于可见光谱区内应用的无限远成像光学系统、远焦光学系统和有限距成像光学系统。对其它临近光谱区内应用的光学系统可参照使用。

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。

JB/T 5475 网格板

JB/T 5591 星点板

JB/T 6263 照相镜头 照相分辨率测试标板

JB/T 7473 照相镜头 分辨率测试图

JB/T 9328 分辨力板

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 分类

光学系统像质的测试方法可分为分辨力测试方法、几何像差测试方法和波像差测试方法。

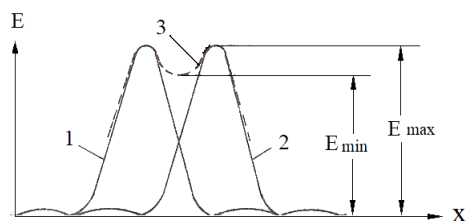
5 分辨力测试方法

5.1 总则

光学系统的分辨力是指其分辨物体细节的能力。

理想光学系统对一个发光物点所成的像是一个艾里斑，对两个相邻发光物点所成的像是两个艾里斑的迭加，形成叠加曲线（如图1所示）。

根据“瑞利准则”，两个相邻像点刚能分辨时，其对比度 C 应不低于15%，实际上 C 在2.6%左右人眼也能分辨。在通常测量中用黑白线条相间、宽度相等的矩形（或扇形）图案作为测量目标。各类系统理论分辨力见附录A。



标引序号说明:

1——艾里斑1;

2——艾里斑2;

3——叠加曲线;

E_{\min} ——最小光强;

E_{\max} ——最大光强。

图1 两个临近艾里斑的光强分布及其叠加曲线

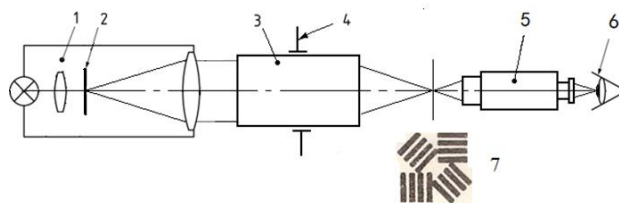
5.2 试验装置

试验装置由装有分辨力板的平行光管、夹持被测光学系统的夹持器和观察系统组成，如图2所示。也可使用光具座。

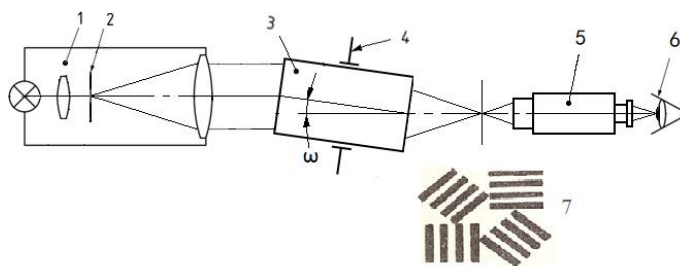
所有平行光管的准直物镜应是复消色差物镜，轴上波像差应小于 $\lambda/8$ 。通光孔径应大于被测光学系统入瞳直径的20%以上，焦距应大于被测光学系统焦距的2倍，

所用分辨力板应符合JB/T 6263、JB/T 7473、JB/T 9328的规定。

当测量轴上分辨力时，试验装置示意图如图2a)所示。当测量轴外分辨力时，被测光学系统光轴相对试验装置的光轴转过半视场角 ω ，试验装置示意图如图2b)所示。



a) 轴上分辨力试验装置



b) 轴外分辨力试验装置

标引序号说明

1——平行光管;

2——分辨力板;

3——被测光学系统;

4——夹持器;

- 5——观察系统；
6——观察者的眼睛；
7——焦平面上的分辨力板图案像。

图2 测量轴上和轴外分辨力试验装置示意图

5.3 试验程序

将被测光学系统安装在试验装置的夹持器上；调整观察系统焦距，使分辨力板成像清晰。从分辨力低的线组单元向分辨力高的线组单元依次序观察，直到刚能分辨出线组单元的全部四个方向的线条，根据单元号和分辨力板号，从相关分辨力板标准中查出对应的线距，作为分辨力认定线距。

远焦光学系统的分辨力以角分辨力 α 表示，其值按公式（1）计算：

$$\alpha = \frac{2\alpha_n}{f'_0} \cdot 206265 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- α ——角分辨力，单位为秒（"）；
 α_n ——认定线距，单位为毫米（mm）；
 f'_0 ——平行光管准直物镜的焦距，单位为毫米（mm）。

6 几何像差测试方法

6.1 星点检验法

6.1.1 总则

一个理想发光点所生成的衍射光斑，称为艾里斑。根据衍射理论，可计算出理想像面附近空间子午面上的光强分布，所得到的光轴截面上衍射光强分布图如图3所示。图中，焦平面前后对称截面上，具有相同的衍射图案。

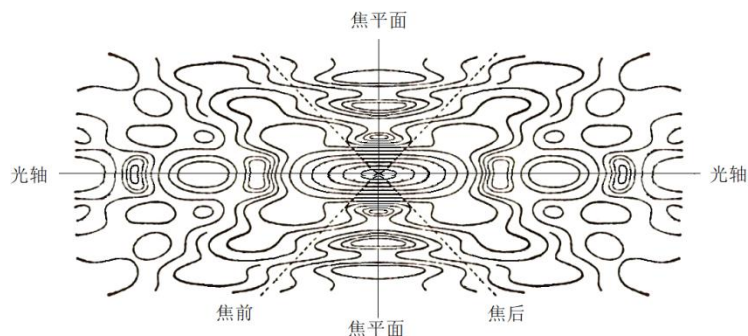


图3 星点衍射在焦平面附近的光强理论分布示意图

在实际应用中，用光源照射一个针孔，可以形成一个星点，用其来模拟发光点。

一个无像差光学系统焦平面上的星点像和光强分布如图4所示。对于有像差的光学系统，其星点像的光强分布和艾里斑与其理想状态会产生差异。根据其星点衍射图形以及像面前后不同截面上衍射图形的变化，可以判断像质的优劣。

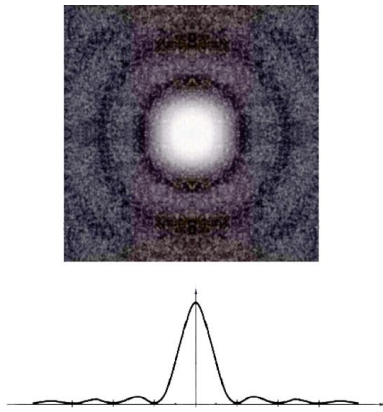
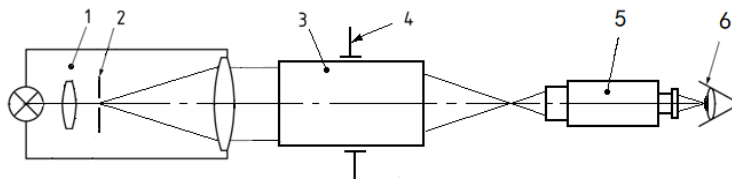


图4 无像差光学系统焦平面上的星点像和光强分布

6.1.2 试验装置

试验装置由装有星点板的平行光管、夹持被测光学系统的夹持器和观察系统组成，如图5所示。也可使用光具座。



- 标引序号说明：
- 1——平行光管；
 - 2——星点板；
 - 3——被测光学系统；
 - 4——夹持器；
 - 5——观察系统；
 - 6——观察者的眼睛。

图5 星点检验装置示意图

对试验装置各组成部分要求如下：

- a) 对平行光管的要求同 5.2（其中分辨力板更换为星点板）。如被测光学系统焦距很长，无法配置合适的准直物镜，则可将星点孔放在至少距离被测光学系统 10 倍焦距处进行试验。
- b) 所用星点板应符合 JB/T 5591 的规定。星点孔应安装在平行光管准直物镜的焦点上，聚光镜应将光源发射的光束聚焦于星点孔。试验所用星点孔直径应按公式（2）选取：

$$d_{\max} = 0.61 \cdot \lambda \cdot \frac{f'_0}{D'} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- d_{\max} ——试验允许的星点孔最大直径，单位为毫米（mm）；
- λ ——平行光管的光源波长，单位为毫米（mm）；
- f'_0 ——平行光管的物镜焦距，单位为毫米（mm）；
- D' ——被测物镜的有效孔径，单位为毫米（mm）。

- c) 当被测光学系统为无限远成像光学系统时，观察系统可以采用显微镜，其数值孔径应大于被测光学系统像方孔径，其像质应不影响试验结果，选择适当的显微镜倍率，为了保证人眼能分辨艾里斑，显微镜物镜的数值孔径应满足表 1 的规定。

表1

被测物镜的相对孔径 D'^a/f^b	显微镜物镜的数值孔径 NA
$< 1/5$	0.1
$1/5 \sim 1/2.5$	0.25
$1/2.5 \sim 1/1.4$	0.40
$1/1.4 \sim 1/0.8$	0.65

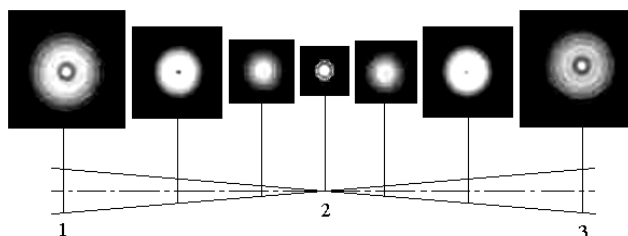
^a D' ——被测物镜的有效孔径。
^b f ——被测物镜的焦距。

- d) 当被测光学系统为远焦光学系统时，观察系统可以采用望远镜。
- e) 当被测光学系统为有限距成像光学系统时，测试条件应与被测光学系统的使用条件一致，星点和观察显微镜要求同 6.1.2b)、6.1.2c)。

6.1.3 试验程序

将被测光学系统安装在试验装置的夹持器上；调整观察系统焦距，使星点孔像斑清晰。

试验时，应在像斑焦点附近微量调焦，观察焦前、焦后像斑衍射图形变化。无像差的被测光学系统，焦点位置的像斑明亮，且能看到圆整的第一衍射环。相互对称的焦前、焦后位置上的衍射图形基本相同（如图6所示）。



标引序号说明：

- 1——焦前位置；
2——焦点位置；
3——焦后位置。

图6 无像差系统星点成像图例

6.1.4 像差判别

在试验程序进行中，可以依据以下现象判断被测光学系统的几何像差。

6.1.4.1 色差

用白光照明，当衍射像带有彩色时，则可认为被测光学系统具有色差。

6.1.4.2 球差

当被测物镜具有球差时，外层衍射环亮度增加，焦前、焦后位置上的衍射图形明显不相同，如图7所示。

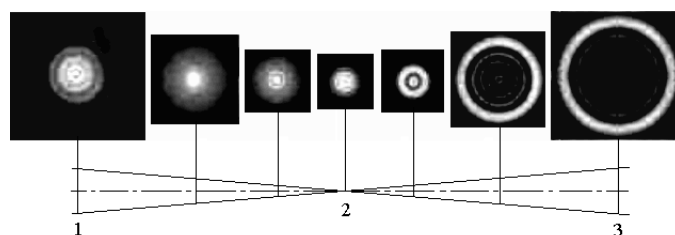


图7 球差图例

6.1.4.3 像散

当被测物镜具有像散时，在焦前、焦后位置上将形成相互垂直的明亮光带，如图8所示。



图8 像散图例

6.1.4.4 彗差

当被测物镜具有彗差时，衍射光斑将显现偏心，犹如彗尾。例如图7所示，自左至右，彗差从轻微到严重，如图9所示。



图9 彗差图例

6.1.5 其它缺陷判读

在试验程序进行中，可以依据以下现象判断被测光学系统的光学元件的某些材料缺陷和装配缺陷，如图10、图11和图12所示。



图10 光学元件材料内部存在结石、条纹的星点像图例



图11 光学元件材料内部存在应力的星点像图例



图12 光学系统存在偏心、光学元件定心不准确的星点像图例

6.2 哈特曼检验法

6.2.1 总则

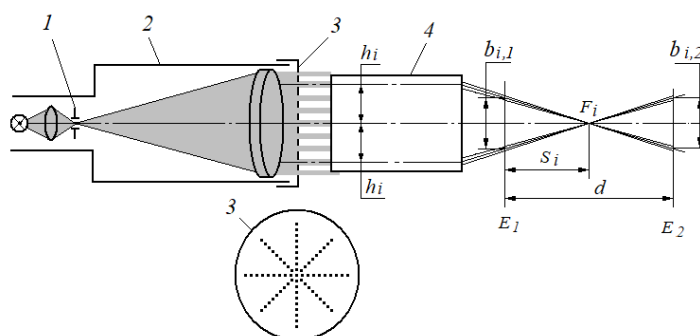
追迹通过被测光学系统全口径光束中的每一条细光束，考察它们与光轴交点位置的差异，是检验光学系统几何像差最直观、最基本的方法，其较常用的方法为哈特曼检验法。这种检验法使用按一定形式分布的许多小孔组成的哈特曼光阑，将全口径光束分解成许多细光束。小孔分布形式有多种，例如：一字形、八字形，十字形、米字形、牛角形、螺旋形等，本文件以“米字形光阑”和“牛角形光阑”为例。

6.2.2 采用米字形光阑的哈特曼检验法

6.2.2.1 试验装置

试验装置由平行光管和米字形光阑组成，如图13所示。也可使用光具座。被测光学系统与平行光管同轴安装。米字形光阑被安装在平行光管和被测光学系统之间，其米字交点应通过光轴。

检验过程中采用照相测量，应准备两块感光板和测量感光板显影后图形的测量显微镜。



标引序号和符号说明：

1——小孔光阑；

2——平行光管

3——米字形光阑；

4——被测光学系统；

d ——焦前和焦后两截面之间的距离，单位为毫米（mm）；

E_1 、 E_2 ——焦前截面和焦后截面；

- h_i ——米字形第*i*组孔的细光线到光轴的距离,单位为毫米 (mm) ;
- $b_{i,1}$ ——米字形第*i*组孔的细光束对,在焦前截面上两光斑的中心距,单位为毫米 (mm) ;
- $b_{i,2}$ ——米字形第*i*组孔的细光束对,在焦后截面上两光斑的中心距,单位为毫米 (mm) ;
- F_i ——米字形第*i*组孔的细光束对与光轴的会聚点;
- S_i ——米字形第*i*组孔的细光束对的细光束会聚点的位置坐标 (以焦前截面为参考面),单位为毫米 (mm) 。

图13 采用米字形光阑的哈特曼试验装置示意图

对平行光管的要求同5.2 (其中分辨力板更换为小孔光阑)。

根据被测光学系统的焦距和相对孔径,选择尺寸合适的米字形光阑,光阑孔要等距分布,其直径一般为被测物镜焦距的1/100~1/400。

为了使米字形光斑小而清晰,焦前截面和焦后截面到焦点的距离分别为被测光学系统焦距的1/7和1/5。

6.2.2.2 纵向球差试验程序

如图13所示,由平行光管射出的平行光通过米字形光阑3后,被许多小孔分割成许多不同高度的细光束。米字上的每一个小孔都有一个对称于米字中心分布的另一小孔与其相对应,二者称为一组 (*i*为组序号),其出射的两条细光束称为细光束对。如果测得相对光轴距离为 h_i 的细光束对在焦前截面 E_1 和焦后截面 E_2 上所形成光斑的中心距分别为 $b_{i,1}$ 和 $b_{i,2}$,则可按公式(3)推算出这对细光束的会聚点 F_i 的位置坐标 S_i (以焦前截面为参考面):

$$S_i = \frac{b_{i,1}}{b_{i,1} + b_{i,2}} d \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- S_i ——米字形第*i*组孔细光束对的会聚点的位置坐标 (以焦前截面为参考面),单位为毫米 (mm) ;
- d ——焦前和焦后两截面之间的距离,单位为毫米 (mm) ;
- $b_{i,1}$ ——米字形第*i*组孔细光束对,在焦前截面上两光斑的中心距,单位为毫米 (mm) ;
- $b_{i,2}$ ——米字形第*i*组孔细光束对,在焦后截面上两光斑的中心距,单位为毫米 (mm) 。

测量从子午截面最接近轴心的一对细光束开始,测出其焦前、焦后截面两光斑的中心距 $b_{0,1}$ 和 $b_{0,2}$,按公式(3)推算出这对细光束的会聚点 F_0 的位置坐标 S_0 。然后测量逐步向外扩展,测到视场边缘后,再扩展到弧矢截面和 $\pm 45^\circ$ 截面,直到测量出视场中最后一对光斑的焦前、焦后截面的中心距分别为 $b_{n,1}$ 和 $b_{n,2}$,按公式(3)推算出这对细光束的会聚点 F_n 的位置坐标 S_n 。

按以上程序得到通过被测光学系统的所有细光束对的会聚点位置坐标 $S_0, S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$ 。取其中最大值与最小值之差,作为被测光学系统轴上纵向球差的检验结果。

由于通过米字形光阑的细光束太多,直接在焦前、焦后截面测量光斑中心距的工作量太大,通常采用效率更高的照相法进行测量。其方法是:在试验装置和被测光学系统调整就绪后,先将1号感光板放在焦前截面位置,曝光采集焦前截面上的所有光斑图像,用暗盒保存后撤下;再将2号感光板放在焦后截面位置,曝光采集焦后截面所有光斑图像,用暗盒保存后撤下。在暗房中对两块感光板进行显影,然后用测量显微镜按上述程序对感光板上的光斑图像进行测量和计算。

6.2.2.3 纵向色差测量

选用与被测物镜消色差谱线一致的单色光源,在同一参考面下分别测量不同谱线的球差。

6.2.2.4 轴外像差测量

被测物镜的入瞳中心调整在光具座垂直转轴上，并相对准直物镜光轴转一角度。测量方法和球差测量方法相似，可测量轴外像散和色差。

6.2.3 采用牛角形光阑的哈特曼检验

6.2.3.1 试验装置

“牛角形光阑”（如图14a）所示）的光阑孔组呈V字形分布，V字两边的光阑孔，以一段通过V字底部尖端的圆弧为中线对称分布，似略微弯曲的牛角轮廓，故得名。图中共有4组直径不同的小孔组合供测量选择。

牛角形光阑应与“条形光阑”（如图14b）所示）组合使用（如图14c）所示），测量时，条形光阑套在平行光管的准直物镜框上，牛角形光阑通过当中的孔安装在条形光阑一端的小轴上（如图15序号11所示），二者的平面相互贴进，并可绕小轴相对转动，用于选择通光的一对小孔，并保证每个位置只有一对小孔通光。

观察显微镜的物面上应设置一块毛玻璃屏，用于截获细光束的光点；观察显微镜的移动台应具有标尺，以便读取移动长度。

试验装置中平行光管光学性能的要求同6.2.2.1；观察系统光学性能的要求同6.1.2。

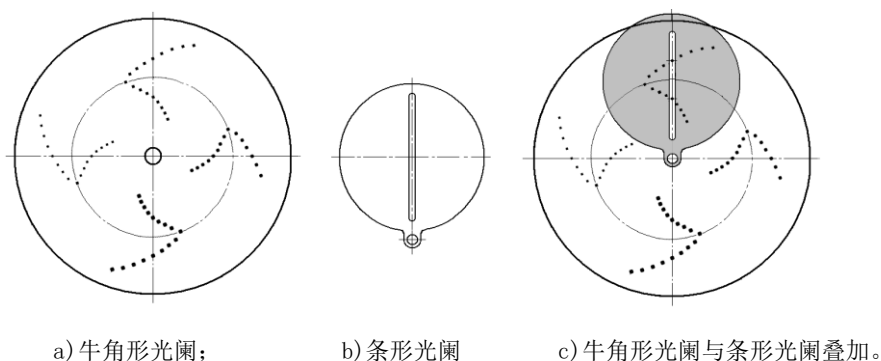
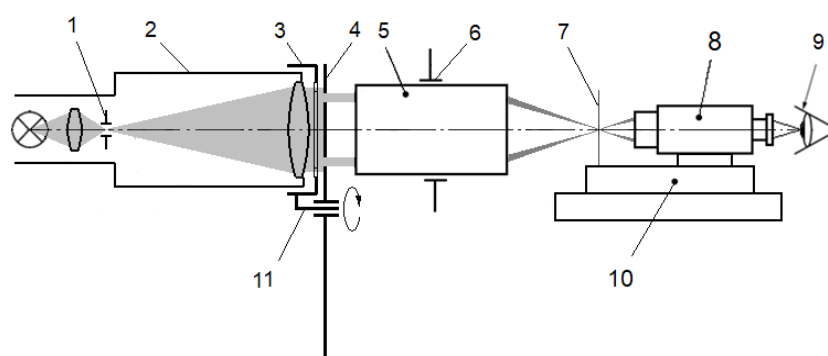


图14 牛角形光阑和条形光阑



引序号说明

- 1——小孔光阑；
- 2——平行光管；
- 3——条形光阑；
- 4——牛角形光阑；
- 5——被测光学系统
- 6——夹持器；

- 7——毛玻璃屏；
 8——显微镜；
 9——移动台；
 10——观察者的眼睛
 11——小轴。

图15 采用牛角形光阑的哈特曼试验装置

6.2.3.2 纵向球差试验程序

- 在牛角形光阑上选择一组光阑孔径适合被测光学系统的组合，将其转动到测试光路中；先将离“牛角尖”处距离最近的一对小孔移动到与条形光阑重合，使通过该对小孔的细光束在毛玻璃屏上形成两个光斑。
- 通过显微镜观察毛玻璃屏上的这两个光斑，同时借助移动台调整显微镜的轴向位置，使两光斑重合，读取移动台标尺读数 b_1 。
- 转动牛角形光阑至下一对小孔，重复程序 b)，获取读数 b_2 ；以此类推，直至视场能容纳的最后一对小孔，获取读数 $b_3, b_4, \dots, b_i, \dots, b_n$ ；
- 在 $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n$ 数组中，取最大和最小值，按公式(4)计算代数差，作为被测光学系统该轴上截面的纵向球差的度量如图 16 所示。

$$\delta L' = b_{\max} - b_{\min} \dots\dots\dots (4)$$

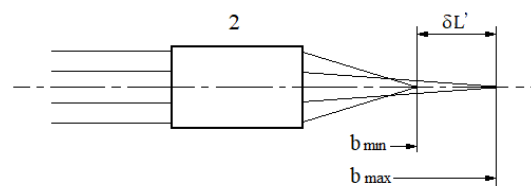
式中：

$\delta L'$ ——纵向球差；

b_{\max} ——数组中的最大值,单位为毫米 (mm)；

b_{\min} ——数组中的最小值,单位为毫米 (mm)。

- 根据需要，将被测光学系统绕自身轴线转一定角度，按以上程序测量其它轴上截面的纵向球差。
- 如果需要测试轴外球差，可将被测光学系统的入瞳中心调整在夹持器垂直转轴上，并相对测试光轴转一角度，按以上程序测量。



标引符号说明

$\delta L'$ ——纵向球差；

b_{\max} ——数组中的最大值；

b_{\min} ——数组中的最小值。

图16 球差的度量示意图

6.2.3.3 像散测量

比较6.2.3.2 e)项中不同轴上截面相同高度上细光束汇聚点的纵向位置的差异，可以获得被测光学系统的像散。

6.2.3.4 纵向色差测量

选用与被测物镜消色差谱线一致的单色光源，在同一试验状态下分别测量不同谱线的球差。

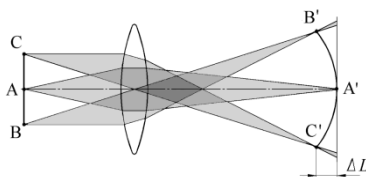
6.2.3.5 轴外像差测量

被测物镜的入瞳中心调整在光具座垂直转轴上，并相对准直物镜光轴转一角度。测量方法和球差测量方法相似，可测量轴外像散和色差。

6.3 场曲

6.3.1 总则

场曲是平面物体成曲面像的一种像差，如图17所示。



标引符号说明：

ΔL ——场曲；

C A B ——平面物体；

C'A'B'——曲面像。

图17 场曲

6.3.2 试验装置

场曲的试验装置与图2相同，但需将其中的星点板换成网格板。

所用网格板应符合JB/T 5475的规定。

观察显微镜的调焦移动台应具有标尺，以便读取调焦位置。

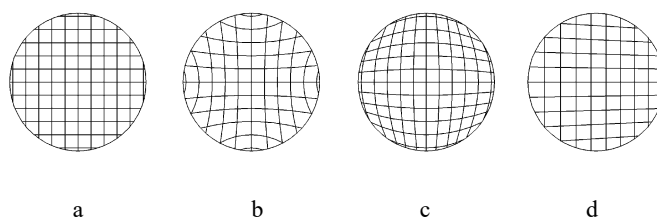
6.3.3 试样程序

将被测光学系统安装在试验装置的夹持器上；调整观察系统焦距，使视场中心的网格线成像清晰，记下观察系统轴向位置；再分别对被测光学系统视场边缘上、下、左、右四处的网格线进行调焦，分别记录网格线清晰时观察系统轴向位置，其中最大差异，就是被测光学系统场曲。

6.4 畸变

6.4.1 总则

畸变是由于光学系统横向放大率随着视场的增大而变化，引起物和像失去几何相似特性的一种像差。用光学系统观察网格板，典型的畸变像，如图18所示。



标引符号说明：

a ——无畸变；

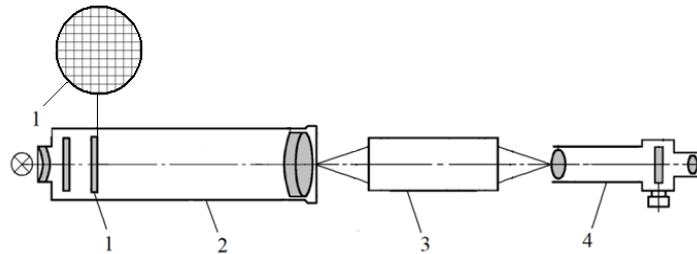
- b——正畸变；
- c——负畸变；
- d——非对称畸变。

图18 不含和含畸变的网格像示意图

6.4.2 试验装置

试验装置由装有网格板的平行光管、夹持被测光学系统的夹持器和带测微目镜的显微镜组成，如图19所示。也可使用光具座。

所用分辨力板应符合JB/T 5475的规定。



标引序号说明：

- 1——网格板；
- 2——平行光管；
- 3——被测光学系统；
- 4——带测微目镜的显微镜。

图19 畸变试验装置示意图

6.4.3 试验程序

将被测光学系统安装在试验装置的夹持器上；调整带测微目镜的显微镜焦距，使视场中的网格线成像清晰。

先用带测微目镜测量视场中心部位的网格宽度或网格对角线长度 y_0 ；再测量视场边缘网格变形最大处的网格宽度或网格对角线长度 y_z ，按公式（5）计算相对畸变。

$$q = \frac{y_z - y_0}{y_0} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- q ——相对畸变；
- y_z ——视场边缘网格变形最大处的网格宽度或网格对角线长度；
- y_0 ——视场中心部位的网格宽度或网格对角线长度。

7 波像差测试方法

7.1 总则

光学系统像质的优劣程度，可以通过检验出波像差的大小来体现。波像差是指通过光学系统光束的实际波面相对于理想波面的偏差。

测量波像差最常用的方法是干涉法。使被测光学系统光束的实际波面与参考波面（理想波面）产生干涉，形成波面干涉图。通过对干涉图的处理，得到波面的实际形状和波像差大小。

7.2 波面干涉图的生成

参与波面干涉图生成的参考波面可采用如下方法：

- 以参考镜反射所形成的波面作为参考波面。如泰曼-格林干涉仪，斐索干涉仪等。
- 以像面上小孔衍射所形成的波面作为参考波面，如点衍射干涉仪。
- 由被测波面本身不同部分作为参考波面，如波面剪切干涉法。常用波面剪切方式有横向、径向、旋转和翻转等方法，如图 20 所示。

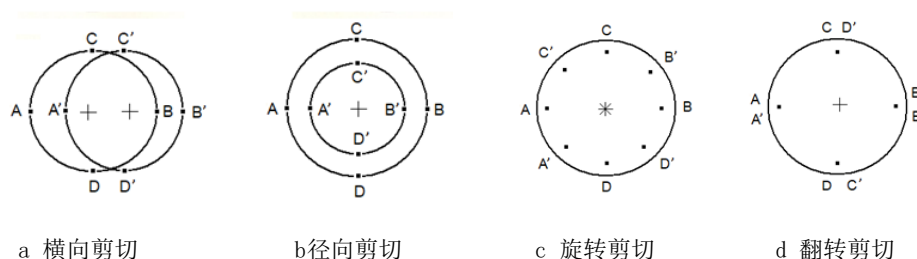


图20 剪切干涉波面的配置示意图

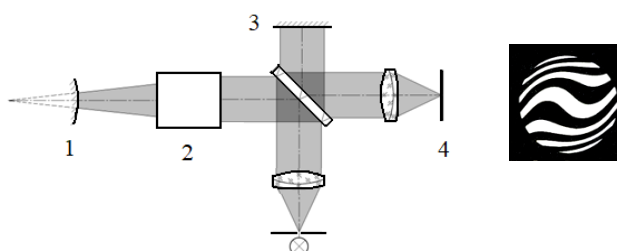
7.3 干涉仪

干涉仪包括照明系统、干涉系统和目视（摄影、摄像或图像实时处理）系统三个部分，其要求如下：

- 照明系统光源的光谱特性应符合被测光学系统的使用要求。光源为单色光，其谱线宽度 $\Delta\lambda$ 不应影响干涉条纹的对比度；
- 光阑尺寸应保证干涉条纹有足够的亮度又有较好的对比度；
- 准直物镜要求轴上波差小于 $\lambda/8$ ；
- 干涉系统本身产生的波差应小于 $\lambda/20$ 。在扫描干涉系统中，由于采用波面相减技术，可以校正仪器的系统误差，对元件要求可降低；
- 目视（照相、摄像或图像实时处理）系统要求畸变小，不影响判读干涉图形。

7.4 波面干涉图的照相采集和人工判读

将被测光学系统置于干涉仪（本条款以泰曼-格林干涉仪为例，以下简称干涉仪）的测量光路中（如图21所示）。调整标准球面镜位置，使之球心与被测物镜焦点重合；调整干涉仪，使其视场内出现含有5~7条干涉条纹的干涉图。利用干涉仪上的照相装置将干涉图在感光板上曝光；显影后，按以下程序对感光板上的干涉图样进行判读。



标引序号说明：

- 1——标准球面镜；
- 2——被测光学系统；
- 3——标准平面镜；
- 4——照相装置。

图21 泰曼-格林干涉仪

- a) 如图 22a) 所示，对两条最边缘干涉条纹与孔径边界的四个交点 AB 之间和 CD 之间用笔连接直线；用直尺度量 AB 和 CD 的长度，按公式 (6) 计算条纹平均间距；

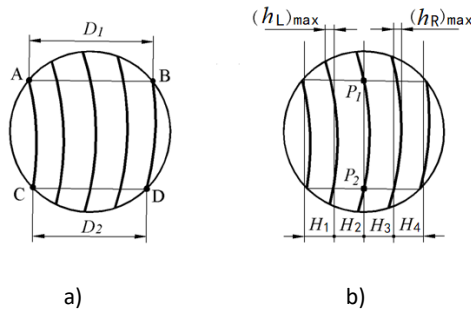


图22 判读干涉图

$$H = \frac{D_1 + D_2}{2(N - 1)} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- H ——条纹平均间距，单位为毫米 (mm)；
- D_1 ——AB之间的长度，单位为毫米 (mm)；
- D_2 ——CD之间的长度，单位为毫米 (mm)；
- N ——AB之间所含干涉条纹数。

- b) 如图 22b) 所示，通过中央条纹与 AB 线段的交点 P_1 和 CD 线段的交点 P_2 画直线，作为主参考线；以条纹平均间距 H 为间距，画出与主参考线平行的其它参考线；
- c) 用直尺度量各干涉条纹与参考线的左、右偏离量，然后找出偏离量最大值 $(h_L)_{max}$ 和 $(h_R)_{max}$ ；按 (7) 式计算波像差。

$$PV = \frac{|(h_R)_{max}| + |(h_L)_{max}|}{H} \times \frac{\lambda}{2} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

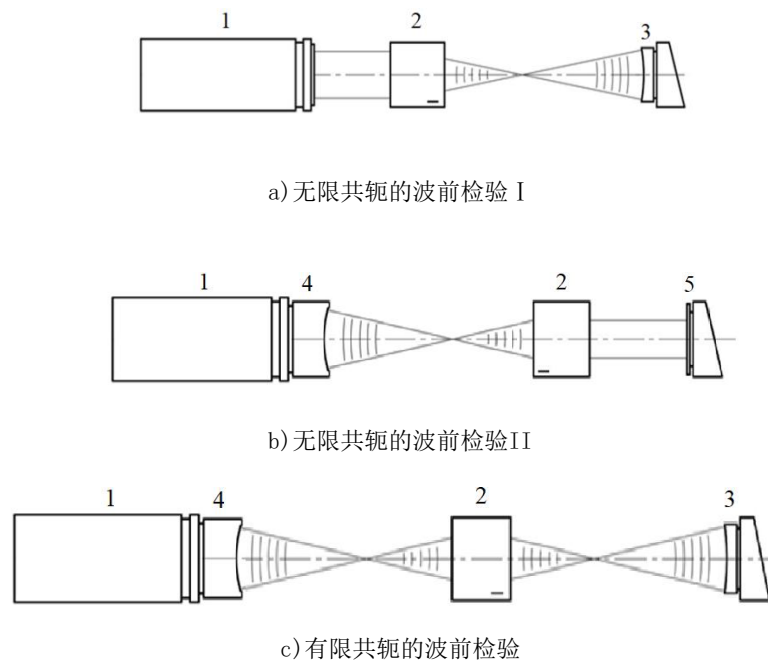
- PV ——波像差，单位为微米 (μm)；
- $(h_R)_{max}$ ——干涉条纹偏离参考线的右方最大值，单位为毫米 (mm)；
- $(h_L)_{max}$ ——干涉条纹偏离参考线的左方最大值，单位为毫米 (mm)；
- λ ——干涉仪照明光波长，单位为微米 (μm)；

H ——干涉条纹平均间距，单位为毫米（mm）。

7.5 波面干涉图像采集和数字处理

用数字相移干涉仪测量波像差，该仪器采用CCD摄像机接收整个波面干涉图，利用压电陶瓷微位移机构使干涉图产生相位移动，再通过软件计算，得到被测波面偏差，采样点可达百万数量级，不仅测量精度高，而且具有极高的测量效率。

波前差测量有三种典型配置（见图23），可依据被测光学系统类型选择。



标引序号说明：

- 1——数字相移干涉仪
- 2——被测光学系统；
- 3——标准凹面反射镜；
- 4——标准凹球面透镜；
- 5——标准平面反射镜。

图23 数字相移干涉仪测量波像差试验装置示意图

将被测光学系统置于数字相移干涉仪的测量光路中，调整其位置并调整数字相移干涉仪的标准反射镜和标准透镜标准平面透镜，使显示屏上出现具有干涉条纹的干涉图（干涉条纹数不超过3条）。用电脑采集干涉图。为了消除数字相移干涉仪的系统误差，无论按a)或b)哪一种光路布置进行试验，都需要采集4幅干涉图，每次采集后，将被测物镜绕其光轴旋转90°，重新调整干涉图，进行下一次采集。

通过软件，对所采集的4幅干涉图进行波面复原、数学旋转和叠加运算，在终端显示被测物镜的波面面形偏差，取其RMS值作为波像差试验结果。

附 录 A
(规范性)
各类系统理论分辨力

A.1 各类系统理论分辨力见表A1。

表 A.1

系统名称	单位	像的对比度	
		C=15%	C=2.6%
无焦系统	"	$\frac{1.22\lambda}{D} = \frac{140}{D}$	$\frac{1.05\lambda}{D} = \frac{120}{D}$
无限远成像系统	lp/ mm	$\frac{1}{1.22\lambda F} = \frac{1477}{F}$	$\frac{1}{1.05\lambda F} = \frac{1716}{F}$
显微系统	um	$\frac{0.61\lambda}{NA} = \frac{0.34}{NA}$	$\frac{0.52\lambda}{NA} = \frac{0.29}{NA}$

表A.1中:

D ——入瞳直径, 单位为毫米 (mm);

F ——光阑指数;

NA ——数值孔径;

λ ——光的波长, 通常采用 0.550 um

C ——像的对比度, 可按公式 (A.1) 计算得到。

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

I_{\min} ——像的最小光强, 单位为坎德拉 (cd);

I_{\max} ——像的最大光强, 单位为坎德拉 (cd)。

参 考 文 献

- [1] 徐德衍等, 现行光学元件检测与国际标准, 北京, 科学出版社, 2009
- [2] D. 马拉卡拉, 光学车间检验, 北京, 机械工业出版社, 1983