



中华人民共和国国家标准

GB/T 27667—2011/ISO 9039:2008

光学系统像质评价 畸变的测定

Quality evaluation of optical systems—Determination of distortion

(ISO 9039:2008, Optics and photonics—Quality evaluation of optical systems—Determination of distortion, IDT)

2011-12-30 发布

2012-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 被测系统的分类	3
3.1 无限远物距、有限远像距系统	3
3.2 无限远物距、无限远像距系统	3
3.3 有限远物距、有限远像距系统	3
3.4 有限远物距、无限远像距系统	3
4 试验方法	3
4.1 概述	3
4.2 装置	4
5 测量的基本要求	8
5.1 被测光学系统的参考角	8
5.2 坐标原点	8
5.3 像高选择	9
6 评价	9
6.1 参量 a 、 a' 、 m 或 Γ 的计算	9
6.2 畸变的计算	9
7 测量结果的表达	9
8 测试报告	10
附录 A (资料性附录) 变换测量原点的方法举例	11
附录 B (资料性附录) 图像几何畸变值	14
参考文献	15

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 9039:2008《光学和光子学 光学系统像质评价 畸变的测定》。为便于使用,本标准还做了下列编辑性修改:

——“本国际标准”一词改为“本标准”;

——删除国际标准的前言。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国光学和光子学标准化技术委员会(SAC/TC 103)归口。

本标准负责起草单位:上海理工大学、华东师范大学、江南永新光学有限公司、宁波永新光学股份有限公司、南京东利来光电实业有限公司、宁波市教学仪器有限公司、宁波华光精密仪器有限公司、宁波舜宇仪器有限公司、梧州奥卡光学仪器公司、广州粤显光学仪器有限责任公司、麦克奥迪实业集团有限公司、重庆光电仪器有限公司、贵阳新天光电科技有限公司、苏州一光仪器有限公司。

本标准主要起草人:黄卫佳、章慧贤、王蔚生、李晞、曾丽珠、杨广烈、王国瑞、徐利明、胡森虎、张景华、黄文勇、肖倩、夏硕、胡清、顾洁。

光学系统像质评价 畸变的测定

1 范围

本标准规定了光学系统径向畸变的测量方法。

本标准适用于光谱范围在 100 nm~15 000 nm 内,且具有旋转对称特性的光学系统。对于符合旋转对称特性的电子光学图像系统,亦可参照使用。

本标准不适用于变形光学系统。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

畸变 distortion

横向放大率随视场的增大而变化所引起的一种失去物像相似的一种像差。

注:如果像面在无限远,像的位置用视场角的正切表示。

2.2

参考平面 reference plane

测量、校准的基准面,它与测量装置的物理特征相对应,例如安装法兰或其他专用的部件。

2.3

绝对畸变 absolute distortion

V_a

被观测像点到理想像点之间的径向距离。单位用毫米或微米表示。

2.4

相对畸变 relative distortion

V_r

用绝对畸变 V_a 相对于理想像高 h'_0 的百分比表示。

2.5

物高 object height

h

物点到测试样本旋转对称光轴之间的距离。单位用毫米表示。

2.6

像高 image height

h'

像点到测试样本旋转对称光轴之间的距离。单位用毫米表示。

2.7

物方视场角 object pupil field angle

ω_p

边缘物点的主光线与光轴夹角的两倍。

2.8

像方视场角 image pupil field angle

$$\omega'_p$$

边缘像点的主光线与光轴夹角的两倍。

2.9

物距 object distance

$$a$$

自光学系统物方主点到轴上物点的距离。单位用毫米表示。

2.10

像距 image distance

$$a'$$

自光学系统像方主点到轴上像点的距离。单位用毫米表示。

2.11

物平面 object plane

过物点并垂直于光轴的平面。

2.12

像平面 image plane

过像点并垂直于光轴的平面。

2.13

理想像高 ideal image height

$$h'_0$$

由几何透视投影得到的无畸变的像高。单位用毫米表示。

2.14

理想视场角 ideal image field angle

$$\omega'_0$$

由几何透视投影得到的无畸变的像方视场角。单位用弧度或度表示。

2.15

角放大率 angular magnification

$$\Gamma$$

通过轴上像点的光线与光轴夹角的正切和通过物点的共轭光线与光轴夹角的正切之比值。

角放大率 Γ 按公式(1)计算：

$$\Gamma = \lim_{\omega_p \rightarrow 0} \frac{\tan \omega'_p}{\tan \omega_p} \dots\dots\dots (1)$$

2.16

横向放大率 lateral magnification

$$m$$

光学系统成像时,像的大小与物的大小之比值。

横向放大率 m 按公式(2)计算：

$$m = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h'}{h} \dots\dots\dots (2)$$

3 被测系统的分类

3.1 无限远物距、有限远像距系统

参量是像距 a' ,按公式(3)计算:

$$a' = \lim_{\omega_p \rightarrow 0} \frac{h'}{\tan \omega_p} \dots\dots\dots(3)$$

绝对畸变 V_a 按公式(4)计算:

$$V_a = h' - a' \tan \omega_p \dots\dots\dots(4)$$

相对畸变 V_r 按公式(5)计算:

$$V_r = \frac{h' - a' \tan \omega_p}{a' \tan \omega_p} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

对于远心成像系统,像距 a' 用光阑到物方主点的距离代替,该光阑位于主光线通过像方焦点处。

如果像方焦点位于像面上,则像距 a' 与焦距等效。对于摄影测量镜头,用镜箱焦距代替像距 a' 来计算绝对畸变 V_a 。镜箱焦距是用特定的方法,根据视场范围内畸变最小和分布均匀的原则确定的焦距值。

3.2 无限远物距、无限远像距系统

参量是角放大率 Γ 。相对畸变 V_r 按公式(6)计算:

$$V_r = \left(\frac{\tan \omega'_p}{\Gamma \tan \omega_p} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

3.3 有限远物距、有限远像距系统

参量是横向放大率 m 。绝对畸变 V_a 按公式(7)计算:

$$V_a = h' - hm \dots\dots\dots(7)$$

相对畸变 V_r 按公式(8)计算:

$$V_r = \left(\frac{h'}{hm} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

3.4 有限远物距、无限远像距系统

参量是物距 a ,按公式(9)计算:

$$a = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h}{\tan \omega'_p} \dots\dots\dots(9)$$

相对畸变 V_r 按公式(10)计算:

$$V_r = \frac{a \tan \omega'_p - h}{h} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

对于远心成像系统,物距 a 用光阑到像方主点的距离代替,该光阑位于主光线通过像方焦点处。

4 试验方法

4.1 概述

为了测定畸变,必须测量出物空间和像空间共轭关系的参数值。对于物空间有物方视场角 ω_p 或物高 h ,像空间有像方视场角 ω'_p 或像高 h' 。对物空间和像空间的理解必须与镜头实际使用情况吻合。

测量方向原则上应从物空间到像空间。测量方向的不同会改变畸变的形状,但为了测量的方便也

可以考虑反方向测量。

通过对照明分划板或一组分离的照明狭缝或单个照明狭缝的位置测量,来表述有限远物距系统,反方向测量则表述有限远像距系统。平行光管表述无限远物距系统,而望远镜则表述无限远像距系统(反方向测量也一样)。

为了测量物方或像方视场角,被测平行光管或望远镜的像面或物面的相互位置应有利于对应角度的测量。为了使光线充满系统整个孔径,达到较大的视场角,旋转光轴应通过被测系统入瞳或出瞳的中心。

为了测量有限远像距或物高,检测装置的位置应能测量,或在测量面上安装一把标尺。

按第3章给出的公式,根据测量值计算畸变。

注:反方向测量时,像方、物方必须分清,否则畸变的符号会颠倒。

4.2 装置

4.2.1 通用要求

对无限远物距或无限远像距系统,可采用自准直仪代替平行光管或望远镜,其光轴应校正到垂直于被测系统的参考平面。参考平面、物平面和像平面三者应相互平行,此时的物方视场角 $\omega_p=0^\circ$,或像方视场角 $\omega'_p=0^\circ$ 。

测量装置的系统误差应不超过畸变值的十分之一到五分之一。对于畸变值很小的系统,实际测量准确度应在测试报告中予以规定。

对测量装置的稳定性,尤其是旋转精度应进行误差评定。

测量装置的照明系统、光谱特性、相干性能、光束限制以及主光线的取向应尽可能地与被测系统的实际使用情况相适应。

对于测量光路中的附加光组,应具有良好的像质和足够大的通光孔径,以保证测量过程中不产生拦光现象,不影响测量值。

测量中应精确调焦,保证测量的像平面精确地与实际使用的像平面相一致。

如果测量精度较高,应详细规定调焦过程,保证像面位置的正确。

4.2.2 无限远物距、有限远像距系统

4.2.2.1 一般要求

测量时尽可能做到物方视场角 ω_p 和像高 h' 成对测量。

4.2.2.2 测量装置

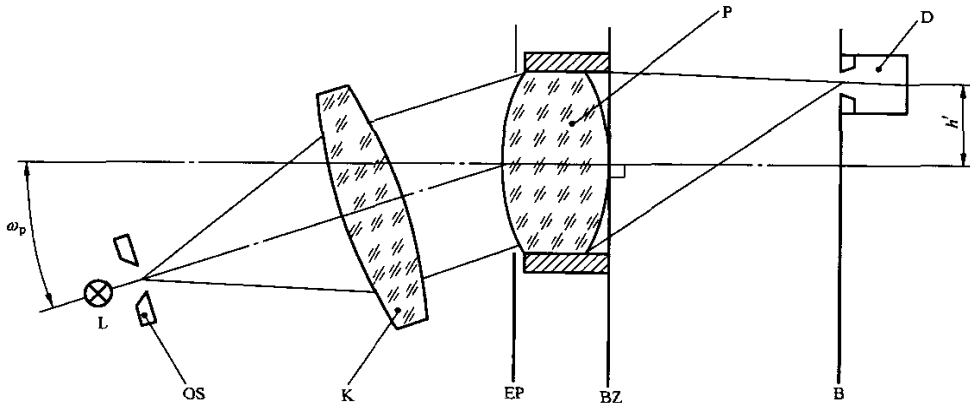
平行光管焦面上安置一非相干光照明的狭缝,其出射光模拟了无限远物距,经被测光学系统后成像于它的像面上,像面上安装有位移测量装置。平行光管和像面上装有位移测量装置的被测系统,这两个部件都可以转动,且转动角度均可测得。测量时哪个部件转动哪个部件固定都不重要,但转动轴必须垂直于平行光管的光轴,转动轴位置要通过被测系统的入瞳中心,且与被测系统像面垂直的光轴相垂直。

测量物方视场角时,用带角度分划的旋转平台或用经纬仪以替代不同角度安置的若干平行光管。

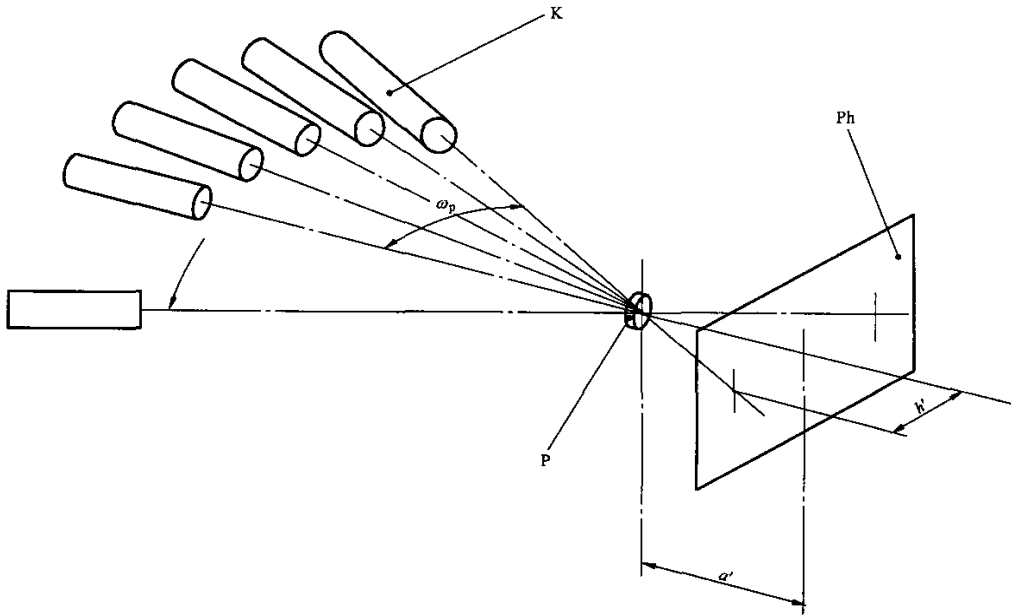
开始测量之前,应校正好像探测器的位移方向,使其平行于被测系统的参考平面。平行光管的出射光束垂直于参考平面,此时定物方视场角 $\omega_p=0^\circ$,以像平面上所瞄准的像点作为像高的测量原点。

用自准直望远镜进行相应的校正后,采用带十字分划板的显微镜或光电显微镜对像点进行瞄准测量。在测量准确度要求不太高的情况下,可在像面上安装一已知格值的标尺进行测量[见图1a)]。

如图1b)所示,在像平面上用照相干板拍摄目标像,经显影、定影处理后,对像高进行测量。干板在显影、定影过程中所引起的微小位移,应在测量允许误差范围内。



a)



b)

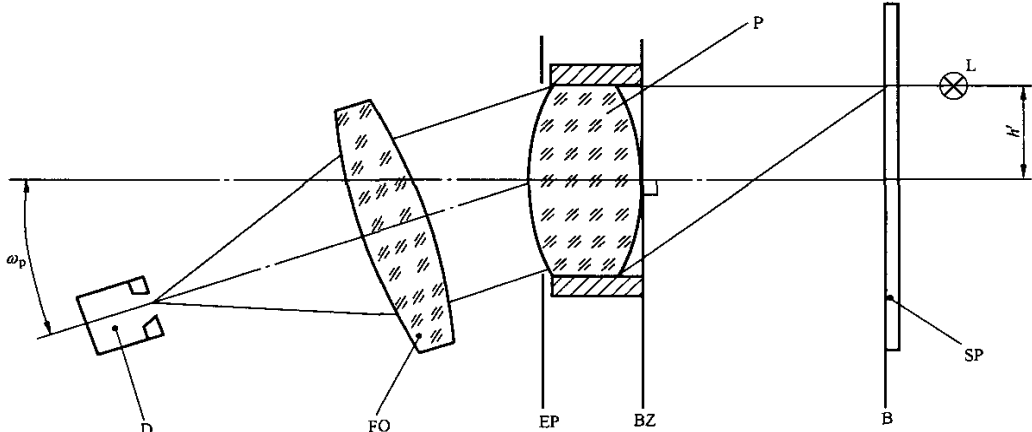
说明:

B——像面；
 BZ——被测光学系统的参考平面；
 D——检测装置；
 EP——入瞳；
 K——平行光管；
 L——照明系统；

P——被测光学系统；
 Ph——照相干板；
 OS——分划板或狭缝；
 a' ——像距；
 h' ——像高；
 ω_p ——物方视场角。

图 1 测量装置

图 2 所示的是物、像颠倒的一种安置,在被测光学系统的像平面上安置一十字分划板或一组照明狭缝,在像方用带十字分划板的望远镜替代平行光管进行测量。或用自准直望远镜更为理想。

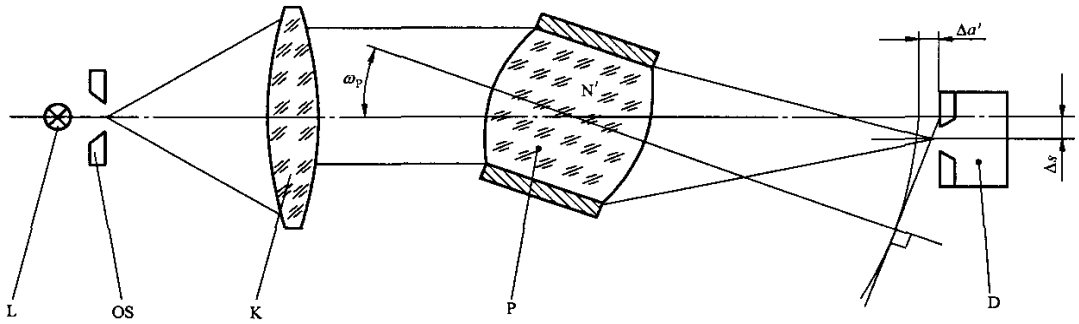


- 说明:
- B——像面;
 - BZ——被测光学系统的参考平面;
 - D——检测装置;
 - EP——人瞳;
 - FO——望远物镜;
 - L——照明系统;
 - P——被测光学系统;
 - SP——分划板;
 - h' ——像高;
 - ω_p ——物方视场角。

图 2 物、像颠倒的测量装置

4.2.2.3 节点滑动法

如图 3 所示,在平行光管的焦面上安置一非相干照明狭缝,平行光管的孔径光阑应足够大,能充满被测系统视场的孔径光阑。被测光学系统安置在旋转工作台上,使其能绕垂直轴旋转。当平行光管的出射光束垂直于被测系统的参考平面时,定为物方视场角 $\omega_p = 0^\circ$ 。被测光学系统沿光轴方向移动,使旋转轴通过系统后节点。在像平面上安置一测量装置例如带十字分划板的显微镜来测量像高。



- 说明:
- D——检测装置;
 - K——平行光管;
 - L——照明系统;
 - N' ——被测光学系统第二主面;
 - P——被测光学系统;
 - Δs ——偏移量;
 - $\Delta s'$ ——调焦量;
 - ω_p ——物方视场角;
 - OS——分划板或狭缝。

图 3 节点滑动法装置

沿光轴方向移动被测系统,直到被测系统绕测量装置的垂直轴作小角度摆动时,在显微镜中看不到像点位移为止,这时表明被测系统的后节点已调在垂直轴的轴线上。

为了测量被测光学系统转动 ω_p 角的畸变,测量装置应重新调焦,调焦量 $\Delta a'$ 按公式(11)计算:

$$\Delta a' = \frac{a'(1 - \cos\omega_p)}{\cos\omega_p} \dots\dots\dots(11)$$

重新调焦后,像距 a' 应足够精确。当测量装置的视场为平视场时,不必重新调焦。通过测量装置测出被测系统像平面上像点的偏移量 Δs ,按公式(12)计算畸变 V_a :

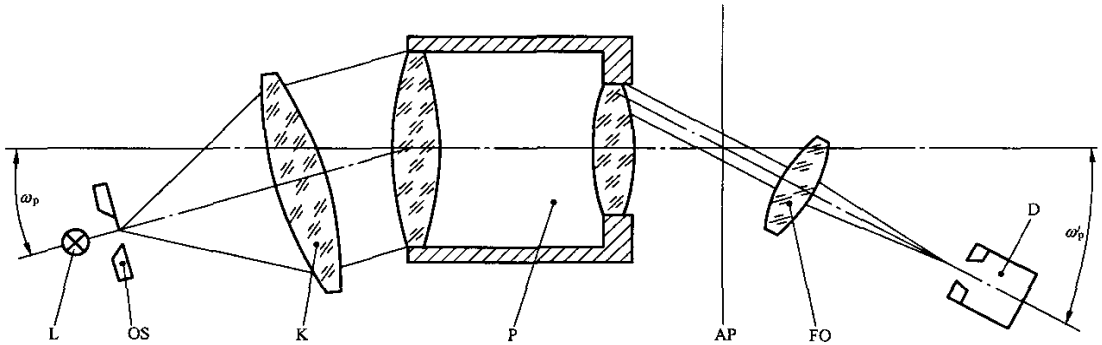
$$V_a = \frac{\Delta s}{\cos\omega_p} \dots\dots\dots(12)$$

4.2.3 无限远物距、无限远像距系统

测量装置应能测定物方视场角 ω_p 和像方视场角 ω_p' 对应的共轭值,其装置类似于 4.2.2.2 的描述。只是用望远物镜替代像面上可移动测量装置,望远物镜能绕位于被测光学系统出瞳中心的垂直轴转动,望远物镜的焦面上安装十字分划板或带光电接收器的狭缝。

测量前应校正测量装置,使其处于 $\omega_p = 0^\circ$ 和 $\omega_p' = 0^\circ$ 的位置。测量时调整被测光学系统,使目标像处于 $\omega_p' = 0^\circ$ 时测量装置瞄准点仍在同一位置上。

如图 4 所示,望远物镜的旋转轴与平行光管的旋转轴应相互平行。测量装置中哪个部分固定哪个部分可移动,这并不重要,重要的是角度能被测出。



- 说明:
- | | |
|-----------|----------------------|
| AP——出瞳; | OS——分划板或狭缝; |
| D——检测装置; | P——被测光学系统; |
| FO——望远物镜; | ω_p ——物方视场角; |
| K——平行光管; | ω_p' ——像方视场角; |
| L——照明系统。 | |

图 4 无限远系统的畸变测量装置

4.2.4 有限远物距、有限远像距系统

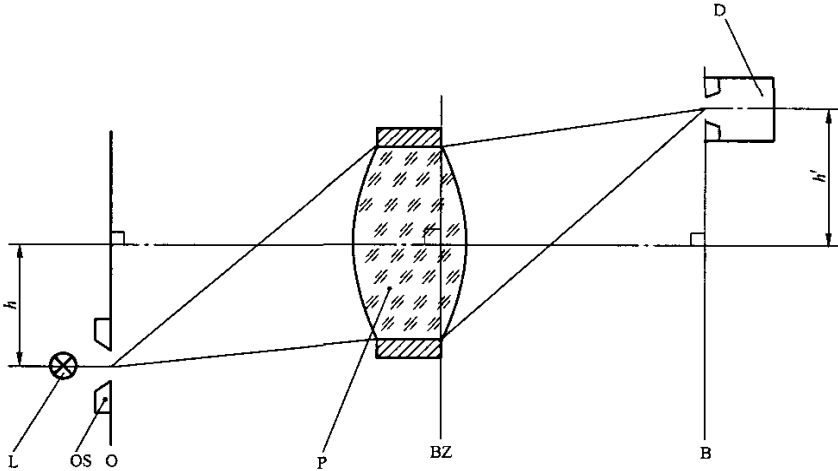
如图 5 所示,测量装置的物平面和像平面应调至规定的共轭距,测量方向从物空间到像空间,在物平面上安置一十字分划板或一组照明狭缝或单个照明狭缝,在被测光学系统的像平面上安置图像测试装置并校正到物平面、像平面和参考平面相互平行。

在像平面上也可用照相干板拍摄目标像,经显影、定影处理后,对像高进行测量。

当测量方向从像空间到物空间时,在像平面上安置十字分划板,物平面上安置测试装置。

也可以将图像投影到显示屏上进行测量。当物距要求太长,在实验室无法完成时,按 4.2.2 的方

法,将平行光管或望远镜调焦至物距,此时应增大视场角重新调焦,重新调焦后不应发生轴向位移,最好用准直望远镜。



说明:

- | | |
|------------------|-------------|
| B——像面; | OS——分划板或狭缝; |
| BZ——被测光学系统的参考平面; | P——被测光学系统; |
| D——检测装置; | h——物高; |
| L——照明系统; | h'——像高; |
| O——物面。 | |

图 5 有限远物、像距系统的畸变测量装置

4.2.5 有限远物距、无限远像距系统

测量装置应能测定物高 h 和像方视场角 ω'_p 对应的共轭值,测量装置的安置与 4.2.2 相同,测量方向与 4.2.2 相反。

5 测量的基本要求

5.1 被测光学系统的参考角

应当在像平面两个互相垂直的方位进行畸变测量。当被测光学系统的图像呈正方形并且方位已知,则应在图像的对角线方向进行测量,参考角的方位应在被测光学系统中标明。

5.2 坐标原点

对无限远物距系统,平行光管光轴应垂直于参考平面。对有限远像距系统,由平行光管和被测光学系统形成的像点即为像平面的坐标原点。对无限远像距系统,像方视场角的零方位用同样方法得到。

对有限远物距和有限远像距系统,首先按上述方法确定无限远物距的坐标原点,然后像点到达垂直于参考平面的有限远物距的像平面。如果被测光学系统不是无限远物距系统,测量的坐标原点只能估计。

对有限远物距和无限远像距系统,像方视场角的零方位即为坐标原点。

5.3 像高选择

按表 1 列出的像高或视场角顺序进行测量。

表 1

像 高	视 场 角
$\pm h'_{\max}$	$\pm \omega'_{P,\text{MAX}}$
$\pm 0.85h'_{\max}$	$\pm 0.85\omega'_{P,\text{MAX}}$
$\pm 0.7h'_{\max}$	$\pm 0.7\omega'_{P,\text{MAX}}$
$\pm 0.5h'_{\max}$	$\pm 0.5\omega'_{P,\text{MAX}}$
$\pm 0.3h'_{\max}$	$\pm 0.3\omega'_{P,\text{MAX}}$
$\pm 0.2h'_{\max}$	$\pm 0.2\omega'_{P,\text{MAX}}$
$\pm 0.1h'_{\max}$	$\pm 0.1\omega'_{P,\text{MAX}}$
注：不同像高或视场角的测试结果应相互对比,但对特殊的应用应选择不同的像高。	

6 评价

6.1 参量 a 、 a' 、 m 或 Γ 的计算

按 $0.1 h'_{\max}$ 、 $0.2 h'_{\max}$ 、 $0.3 h'_{\max}$ 或 $0.1 \omega'_{P,\text{MAX}}$ 、 $0.2 \omega'_{P,\text{MAX}}$ 、 $0.3 \omega'_{P,\text{MAX}}$ 条件下测出的测量值,分别用公式(9)、(3)、(2)、(1)计算参量 a 、 a' 、 m 或 Γ 。

6.2 畸变的计算

6.2.1 根据被测系统物、像关系的类型,按第 2 章、第 3 章中的公式计算各视场的畸变。

6.2.2 一般在测量原点两侧所测得的畸变值是不相等的。原因有:

- a) 被测光学系统旋转对称性不良;
- b) 测量装置的不完善;
- c) 测量中对测量原点选取不当(对有限远物距、有限远像距系统是主要的)。

因此,通过变换测量原点而重新确定一个新的测量原点,将畸变值的非对称性减到最低程度,变换测量原点的方法参见附录 A(资料性附录)。

对电视摄像镜头可以用偏离理想图像几何形状的参量“图像几何畸变(PHD)值”表示,“图像几何畸变(PHD)值”的计算方法参见附录 B(资料性附录)。

7 测量结果的表达

7.1 应以最佳对称零点为基准确定畸变值,同时应注明测量原点偏移量的大小。

7.2 所选择的两参考角应表达为像高或视场角的函数。

7.3 测量结果应用视场对角线四端点处畸变值的平均值表达。

7.4 测量结果用曲线或表格的形式表达。

8 测试报告

测试报告的主要内容应包括：

- a) 测试单位名称；
- b) 被测光学系统名称、制造商及编号；
- c) 测试方法；
- d) 参量 a 、 a' 、 m 或 Γ ；
- e) 被测系统的参考角 Φ ；
- f) 测量波长 λ 或光谱评价函数；
- g) 数值孔径(NA)或 f 数；
- h) 调焦准则；
- i) 测量或计算值的必要说明；
- j) 附加因素；
- k) 测试环境条件。

附 录 A
(资料性附录)
变换测量原点的方法举例

A.1 方法描述

A.1.1 对于无限远物距、有限远像距系统,最佳对称测量原点的平均位移量按公式(A.1)计算:

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_{i1} - V_{i2}}{2 \tan^2 \omega_i} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- d ——位移量;
- $V_{i1}、V_{i2}$ ——对称视场角 ω_i 所测得的绝对畸变值;
- n ——所测视场角个数。

变换后的测量原点作为新的最佳对称测量原点。

A.1.2 对于有限远物、像距系统,最佳对称测量原点的平均位移量按公式(A.2)计算:

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h_{i1} - h_{i2}}{2} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $h_{i1}、h_{i2}$ ——对称视场下所测得的像高值。

如果确定最佳对称测量原点之后,在所要求的测量准确度范围之内,仍未能得出足够的对称性,应进行多次测量来改善测量原点的对称性。如果变换位移量 d 的前后,畸变值的差超过所要求的测量准确度,应重新进行测量。

A.2 无限远物距、有限远像距系统的公式推导

A.2.1 公式推导

为了重新计算畸变值,应计算对称于测量原点的每一对像点的位移量 d_i 。物方视场角作为独立变量代替像高进行同样的推导,见图 A.1。

对称于测量零位的像点 $P_{i1}、P_{i2}$ 的绝对畸变值按公式(A.3)、(A.4)计算:

$$V_{i1} = h'_i - a' \tan \omega_{i1} \dots\dots\dots (A.3)$$

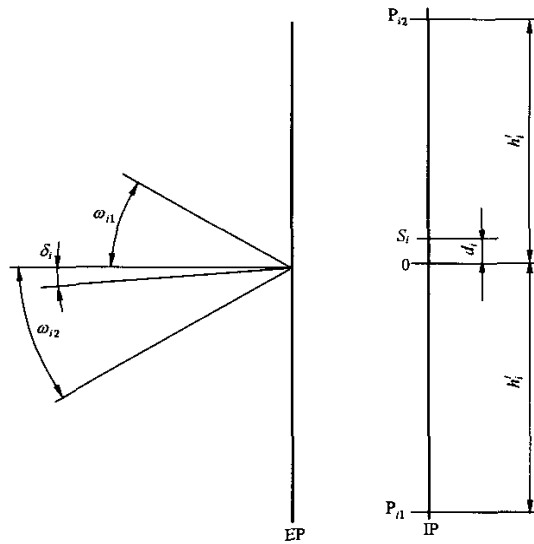
$$V_{i2} = h'_i - a' \tan \omega_{i2} \dots\dots\dots (A.4)$$

测量零位位移 d_i 距离到达 S_i 点后的绝对畸变值按公式(A.5)、(A.6)(A.7)计算:

$$V_{i1,s} = (h'_i + d_i) - a' \tan(\omega_{i1} + \delta_i) \dots\dots\dots (A.5)$$

$$V_{i2,s} = (h'_i - d_i) - a' \tan(\omega_{i2} - \delta_i) \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\tan \delta_i = \frac{d_i}{a} \dots\dots\dots (A.7)$$



说明:

- | | |
|--|--------------------------------|
| EP——入瞳; | IP——像面; |
| ω_{i1} 、 ω_{i2} ——物方视场角; | S_i ——对称测量原点; |
| 0——物方视场角 $\omega_p=0$ 时的像点; | δ_i ——相对于 S_i 的物方视场角; |
| P_{i1} 、 P_{i2} ——对称于测量零位的像点; | d_i ——对称测量原点的位移量; |
| h'_i ——像高。 | |

图 A.1 畸变的对称测量原点

$\tan^2 \delta_i$ 很小, 可以忽略, 并由公式(A. 8)得到公式(A. 9)、(A. 10)。

$$\frac{1}{1+x} \approx 1-x \quad \dots\dots\dots (A. 8)$$

$$V_{i1,S} \approx V_{i1} - d_i \tan^2 \omega_{i1} \quad \dots\dots\dots (A. 9)$$

$$V_{i2,S} \approx V_{i2} + d_i \tan^2 \omega_{i2} \quad \dots\dots\dots (A. 10)$$

由于 $\omega_{i1} \approx \omega_{i2} \approx \omega_i$, 则位移量 d_i 按公式(A. 11)计算:

$$d_i \approx \frac{V_{i1} - V_{i2}}{2 \tan^2 \omega_i} \approx \frac{\Delta V_i}{2 \tan^2 \omega_i} \quad \dots\dots\dots (A. 11)$$

所有被测像点成对分布在一条对角线上, 每对像点对称于一个公共参考点。计算每一对像点的位移量 d_i , 其算术平均值即为最佳对称测量原点 S 的平均位移量 d , 见公式(A. 12)。

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_{i1} - V_{i2}}{2 \tan^2 \omega_i} \quad \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中 n 是被测像点数的一半, V_{i1} 、 V_{i2} 由公式(A. 5)、(A. 6)中将 d 代替 d_i 得到。

A.2.2 计算实例

A.2.2.1 像距 a' 的计算见表 A.1

表 A.1

参数	i=1	i=2	i=3
h'_i	2	4	6
ω_i	2.253	4.499	6.730
$\tan\omega_i$	0.039 34	0.078 68	0.118 00
$a'_i = \frac{h'_i}{\tan\omega_i}$	50.833	50.838	50.850
$a' = \frac{a'_3 h_1^{1/2} h_2^{1/2} (h_2^{1/2} - h_1^{1/2}) - a'_1 h_3^{1/2} h_2^{1/2} (h_2^{1/2} - h_3^{1/2}) + a'_2 h_1^{1/2} h_3^{1/2} (h_1^{1/2} - h_3^{1/2})}{(h_1^{1/2} - h_3^{1/2})(h_2^{1/2} - h_1^{1/2})(h_2^{1/2} - h_3^{1/2})} = 50.832$			

A.2.2.2 绝对畸变 V_i 的计算见表 A.2

表 A.2

参数	左侧				右侧			
	21	18	15	11	11	15	18	21
h'_i	21	18	15	11	11	15	18	21
ω_i	21.995	19.274	16.357	12.191	12.204	16.394	19.319	22.085
$\tan\omega_i$	0.403 92	0.349 68	0.293 50	0.216 05	0.216 28	0.294 20	0.350 57	0.405 75
V_i	0.468	0.225	0.081	0.018	0.006	0.045	0.180	0.375

A.2.2.3 位移量 d 的计算见表 A.3

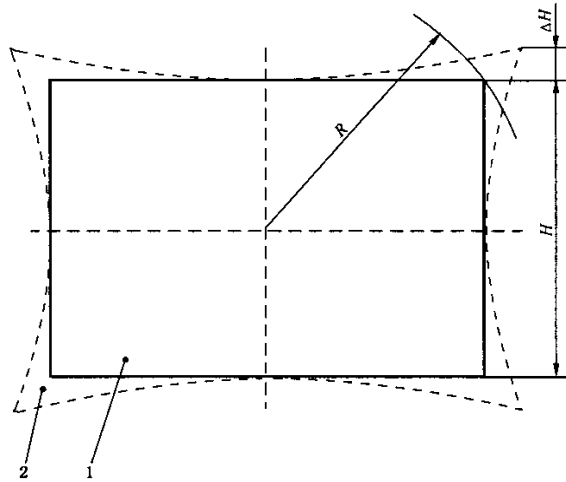
表 A.3

ΔV_i	0.093	0.045	0.036	0.012	$d=0.202$			
$\tan^2\omega_i$	0.163	0.122	0.086	0.046 6				
$V_{i,s}$	0.435	0.200	0.064	0.008 6	0.015	0.062	0.204	0.408

附录 B
(资料性附录)
图像几何畸变值

对有些镜头(例如电视摄像镜头),用偏离理想图像几何形状的参量“图像几何畸变(PHD)值”,来表示其特性是很实用的。

然而,当用“图像几何畸变(PHD)值”测量畸变时,会出现零畸变情况,但视场内存在畸变,这种情况在实际应用中是不允许的。



说明:
1——内接矩形;
2——图像几何边界。

图 B.1 图像几何畸变

图像几何畸变(PHD)值按公式(B.1)计算:

$$PHD = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

如果图像几何边界的四个角远离图像中心(呈枕形),则 PHD 值为正,接近图像中心(呈桶形),则 PHD 值为负。最终的 PHD 值应为四个角上 PHD 值的平均值。

图像几何畸变可以用一个近似于镜头尺寸的矩形物体进行直接测量,或者通过公式(B.2)用相对畸变 V_r 计算其近似值。

$$PHD = \frac{1}{2} [V_r(R) - V_r(H/2)] \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:
 $V_r(H/2)$ ——像高为图像几何尺寸高度一半时的相对畸变;
 $V_r(R)$ ——像高为图像几何尺寸对角线一半时的相对畸变。

参 考 文 献

- [1] ISO 9334:2007 Optics and photonics—Optical transfer function—Definitions and mathematical relationships.
-