



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108106818 A

(43)申请公布日 2018.06.01

(21)申请号 201711310720.8

(22)申请日 2017.12.11

(71)申请人 中国科学院上海光学精密机械研究所

地址 201800 上海市嘉定区清河路390号

(72)发明人 董冠极 唐锋 王向朝 冯鹏  
彭常哲 严焱

(74)专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 31317

代理人 张宁展

(51)Int.Cl.

G01M 11/02(2006.01)

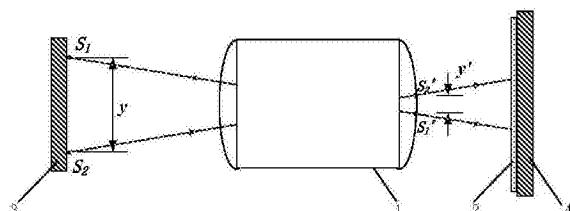
权利要求书4页 说明书11页 附图2页

(54)发明名称

光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置及测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置，包括至少两个点光源、面阵探测器、物方工作台、像方工作台，其中：由物方工作台承载的两个点光源位于待测光学成像系统的物方视场内，出射光来自同一光源并可相互干涉；而由像方工作台承载的面阵探测器位于待测光学成像系统的像方区域。采用上述装置测量待测光学成像系统的倍率与畸变：首先，测量成像系统中心视场沿物方工作台X和Y方向的倍率作为这两个方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ 和 $\beta_{y0}$ ；然后，通过测量相邻两个点光源间距及其经过成像系统后所成的两个像点间距，得到成像系统全视场X和Y方向的倍率分布；最后利用各视场点的倍率和坐标值，得到全视场X和Y方向上相对畸变分布。



A

CN 108106818

CN

1. 一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置，其特征在于包括：至少两个点光源、面阵探测器(2)、物方工作台(3)和像方工作台(4)；

所述的点光源位于待测光学成像系统(1)的物方视场内，出射光均来自同一光源且相互干涉；

所述的面阵探测器(2)位于待测光学成像系统(1)的像方区域，该面阵探测器(2)的面积大小能够确保接收两个点光源经过待测光学成像系统(1)后的全部光场；

所述的物方工作台(3)用于承载点光源，且具有XYZ三个方向的调节自由度并能反馈三个方向的移动位置；

所述的像方工作台(4)用于承载面阵探测器(2)，且具有XYZ三个方向的调节自由度，此外像方工作台(4)的XYZ三个自由度调节方向与物方工作台(3)的自由度调节方向平行。

2. 利用权利要求1所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置测量倍率与畸变的方法，其特征在于，在点光源为两个的情况时，该方法包括下述步骤：

第一步，采用干涉法标定两个点光源的距离d；

第二步，使两个点光源的连线方向沿物方工作台(3)X方向，安装于物方工作台(3)上，并使用物方工作台(3)调整两个点光源至待测光学成像系统(1)的中心视场位置，同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出的光场经过待测光学成像系统(1)后的全部光场；

第三步，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的距离 $d_{x0}'$ ；

第四步，计算待测光学成像系统(1)X方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ ，公式如下：

$$\beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d} \quad (1)$$

第五步，使用物方工作台(3)等间隔遍历全视场，同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场；遍历过程中，在待测光学成像系统(1)每个视场点位置上，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的距离 $d_x'$ ，然后计算当前位置X方向的倍率 $\beta_x$ ，公式如下：

$$\beta_x = \frac{d_x'}{d} \quad (2)$$

第六步，根据待测光学成像系统(1)每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ，计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ，公式如下：

$$q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (3)$$

结合各个位置的坐标值，得到全视场X方向上的相对畸变分布；

第七步，使两个点光源的连线方向沿物方工作台(3)Y方向，安装于物方工作台(3)上，并使用物方工作台(3)调整两个点光源至中心视场位置，同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场；

第八步，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的距离 $d_{y0}'$ ；

第九步,计算待测光学成像系统(1)Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ,公式如下:

$$\beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d} \quad (4)$$

第十步,使用物方工作台(3)等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统(1)每个视场点位置上,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_y'$ ,然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$\beta_y = \frac{d_y'}{d} \quad (5)$$

第十一步,根据待测光学成像系统(1)每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (6)$$

结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

3.利用权利要求1所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置测量倍率与畸变的方法,其特征在于,在点光源为三个的情况时,该方法包括下述步骤:

第一步,将三个点光源中任意一个点光源固定于物方工作台(3)后,将另外两个点光源安装于物方工作台(3)上,并使得它们与之前固定的点光源的连线方向分别沿物方工作台(3)X方向和Y方向;

第二步,采用干涉法标定相邻两个点光源的间距 $d_x$ 和 $d_y$ ;

第三步,使用物方工作台(3)调整沿物方工作台(3)X方向的两个点光源至待测光学成像系统(1)的中心视场位置,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出的光场经过待测光学成像系统(1)后的全部光场;

第四步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_{x0}'$ ;

第五步,计算待测光学成像系统(1)X方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ ,公式如下:

$$\beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d_x} \quad (7)$$

第六步,使用物方工作台(3)等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统(1)每个视场点位置上,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_x'$ ,然后计算当前位置X方向的倍率 $\beta_x$ ,公式如下:

$$\beta_x = \frac{d_x'}{d_x} \quad (8)$$

第七步,根据待测光学成像系统(1)每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ,计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ,公式如下:

$$q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (9)$$

结合各个位置的坐标值,得到全视场X方向上的相对畸变分布;

第八步,使用物方工作台(3)调整沿物方工作台(3)Y方向的两个点光源至待测光学成像系统(1)的中心视场位置,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场;

第九步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距d<sub>y0</sub>';

第十步,计算待测光学成像系统(1)Y方向上的理想倍率β<sub>y0</sub>,公式如下:

$$\beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d_y} \quad (10)$$

第十一步,使用物方工作台(3)等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统(1)每个视场点位置上,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距d<sub>y</sub>',然后计算当前位置Y方向的倍率β<sub>y</sub>,公式如下:

$$\beta_y = \frac{d_y'}{d_y} \quad (11)$$

第十二步,根据待测光学成像系统(1)每个视场点的Y方向的倍率值β<sub>y</sub>,计算相应位置Y方向的相对畸变值q<sub>y</sub>',公式如下:

$$q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (12)$$

结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

4. 利用权利要求1所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置测量倍率与畸变的方法,其特征在于,在点光源为三个以上的情况时,该方法包括下述步骤:

第一步,将点光源在沿物方工作台(3)X方向和Y方向上分别以r<sub>x</sub>×c<sub>x</sub>阵列和r<sub>y</sub>×c<sub>y</sub>阵列安装于物方工作台(3)上,其中,r<sub>x</sub>为点光源在沿物方工作台(3)X方向的阵列行数,c<sub>x</sub>为点光源在沿物方工作台(3)X方向的阵列列数,r<sub>y</sub>为点光源在沿物方工作台(3)Y方向的阵列行数,c<sub>y</sub>为点光源在沿物方工作台(3)Y方向的阵列列数,且r<sub>x</sub>和c<sub>y</sub>为奇数,r<sub>y</sub>和c<sub>x</sub>为偶数;

第二步,采用干涉法分别标定X方向和Y方向上相邻两个点光源的间距d<sub>xi</sub>和d<sub>yj</sub>(i=1,2,⋯,m-1,j=1,2,⋯,n-1),m和n分别为沿物方工作台(3)X方向和Y方向上点光源总数,m和n取值为

$$\begin{cases} m = r_x \times (c_x - 1) \\ n = (r_y - 1) \times c_y \end{cases} \quad (13)$$

第三步,使用物方工作台(3)调整第 $\frac{r_x-1}{2}$ 行的第 $\frac{c_x}{2}$ 个和第 $\frac{c_x}{2}+1$ 个点光源至待测光学成像系统(1)的中心视场位置,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出的光场经过待测光学成像系统(1)后的全部光场;

第四步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_{x0}'$ ;

第五步,计算待测光学成像系统(1)X方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ ,公式如下:

$$\beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d_x} \quad (14)$$

第六步,利用物方工作台(3)使得点光源阵列等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收X方向上任意两个相邻点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统(1)每个视场点位置上,使用干涉法测量X方向上两个相邻点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_x'$ ,然后计算当前位置X方向的倍率 $\beta_x$ ,公式如下:

$$\beta_x = \frac{d_x'}{d_x} \quad (15)$$

第七步,根据待测光学成像系统(1)每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ,计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ,公式如下:

$$q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (16)$$

结合各个位置的坐标值,得到全视场X方向上的相对畸变分布;

第八步,使用物方工作台(3)调整第 $\frac{c_y-1}{2}$ 列的第 $\frac{r_y}{2}$ 个和第 $\frac{r_y}{2}+1$ 个点光源至待测光学成像系统(1)的中心视场位置,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场;

第九步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_{y0}'$ ;

第十步,计算待测光学成像系统(1)Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ,公式如下:

$$\beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d_y} \quad (17)$$

第十一步,利用物方工作台(3)使得点光源阵列等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台(4)使得面阵探测器(2)能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统(1)后所成的全部光场。遍历过程中,在待测光学成像系统(1)每个视场点位置上,使用干涉法测量Y方向上两个相邻点光源经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距 $d_y'$ ,然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$\beta_y = \frac{d_y'}{d_y} \quad (18)$$

第十二步,根据待测光学成像系统(1)每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (19)$$

结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

## 光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置及测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学测量技术领域，尤其涉及光学成像系统倍率与畸变高精度测量方法。

### 背景技术

[0002] 光学成像系统在生物检测、生物医药、微电子、精密制造等领域有着广泛应用。成像系统的畸变是评价系统性能的重要性能指标之一。而倍率的高精度检测是进行光学成像系统畸变、波像差等像质参数检测的前提。对于畸变的测量，传统方法主要为精密测长法、精密测角法和星点法等。精密测长法是对标定过的标准网格板进行拍摄，然后利用测量显微镜或比长仪测量目标图案像，通过与计算得到的理想像比较求得系统畸变值。精密测角法是通过望远镜上观察被测系统所成的像，然后利用测角仪测量视场角，并结合网格板上物点坐标，通过与计算得到的理想像进行比较得到系统畸变值。星点法是通过采集不同视场位置的星点像，然后比较实测像高与理论像高得到系统畸变值。上述技术中存在的不可校正的系统误差导致测量精度受限，同时测量效率也不高。

[0003] 随着工艺水平的发展，一些高精度光学系统应用领域对于倍率和畸变的测量要求越来越高。以倍率和畸变的测量要求极高的高端光刻机为例，目前光刻投影物镜的倍率和畸变检测技术总体可以分为两类技术：基于硅片曝光的检测技术和基于空间像测量的检测技术。基于曝光的检测技术是通过光刻机对准系统或专用高精度图形对准与坐标测量系统测量对准标记实际成像位置，根据实际成像位置与理想成像位置的差别，可以计算得到倍率参数。另一种基于空间像传感器的原位检测技术直接对掩模上标记经投影物镜所成的空间像进行测量。虽然这两种技术能够实现倍率和畸变的高精度测量，但是其使用都依赖于光刻机及其分系统，无法应用于光学系统加工装调车间，以及其他科研和工业应用领域，不具备通用性。

### 发明内容

[0004] 本发明为了解决上述技术问题，提供一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置及测量方法，通过使用光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置，在X方向和Y方向上完成多视场点倍率的高精度测量，从而实现了光学成像系统畸变的高精度测量。

[0005] 为达到上述目的，本发明通过以下技术方案实现：

[0006] 一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置，其特点在于包括：至少两个点光源、面阵探测器、物方工作台和像方工作台；

[0007] 所述的点光源位于待测光学成像系统的物方视场内，出射光均来自同一光源且相互干涉；

[0008] 所述的面阵探测器位于待测光学成像系统的像方区域，该面阵探测器的面积大小能够确保接收两个点光源经过待测光学成像系统后的全部光场；

[0009] 所述的物方工作台用于承载点光源，且具有XYZ三个方向的调节自由度并能反馈

三个方向的移动位置；

[0010] 所述的像方工作台用于承载面阵探测器，且具有XYZ三个方向的调节自由度，此外像方工作台的XYZ三个自由度调节方向与物方工作台的自由度调节方向平行。

[0011] 利用所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置测量倍率与畸变的方法，其特点在于，在点光源为两个的情况时，该方法包括下述步骤：

[0012] 第一步，采用干涉法标定两个点光源的间距d；

[0013] 第二步，使两个点光源的连线方向沿物方工作台X方向，安装于物方工作台上，并使用物方工作台调整两个点光源至待测光学成像系统的中心视场位置，同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出的光场经过待测光学成像系统后的全部光场；

[0014] 第三步，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_{x0}'$ ；

[0015] 第四步，计算待测光学成像系统X方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ ，公式如下：

$$[0016] \quad \beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d} \quad (1)$$

[0017] 第五步，使用物方工作台等间隔遍历全视场，同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场；遍历过程中，在待测光学成像系统每个视场点位置上，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_x'$ ，然后计算当前位置X方向的倍率 $\beta_x$ ，公式如下：

$$[0018] \quad \beta_x = \frac{d_x'}{d} \quad (2)$$

[0019] 第六步，根据待测光学成像系统每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ，计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ，公式如下：

$$[0020] \quad q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (3)$$

[0021] 结合各个位置的坐标值，得到全视场X方向上的相对畸变分布；

[0022] 第七步，使两个点光源的连线方向沿物方工作台Y方向，安装于物方工作台上，并使用物方工作台调整两个点光源至中心视场位置，同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场；

[0023] 第八步，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_{y0}'$ ；

[0024] 第九步，计算待测光学成像系统(1)Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ，公式如下：

$$[0025] \quad \beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d} \quad (4)$$

[0026] 第十步，使用物方工作台等间隔遍历全视场，同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场；遍历过程中，在待测光学成像系统每个视场点位置上，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_y'$ ，然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ，公式如下：

$$[0027] \quad \beta_y = \frac{d_y'}{d} \quad (5)$$

[0028] 第十一步,根据待测光学成像系统每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$[0029] q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (6)$$

[0030] 结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

[0031] 利用所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置测量倍率与畸变的方法,其特点在于,在点光源为三个的情况时,该方法包括下述步骤:

[0032] 第一步,将三个点光源中任意一个点光源固定于物方工作台后,将另外两个点光源安装于物方工作台上,并使得它们与之前固定的点光源的连线方向分别沿物方工作台X方向和Y方向;

[0033] 第二步,采用干涉法标定相邻两个点光源的距离 $d_x$ 和 $d_y$ ;

[0034] 第三步,使用物方工作台调整沿物方工作台X方向的两个点光源至待测光学成像系统的中心视场位置,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出的光场经过待测光学成像系统后的全部光场;

[0035] 第四步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的距离 $d_{x0}'$ ;

[0036] 第五步,计算待测光学成像系统X方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ ,公式如下:

$$[0037] \beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d_x} \quad (7)$$

[0038] 第六步,使用物方工作台等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统每个视场点位置上,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的距离 $d_x'$ ,然后计算当前位置X方向的倍率 $\beta_x$ ,公式如下:

$$[0039] \beta_x = \frac{d_x'}{d_x} \quad (8)$$

[0040] 第七步,根据待测光学成像系统每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ,计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ,公式如下:

$$[0041] q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (9)$$

[0042] 结合各个位置的坐标值,得到全视场X方向上的相对畸变分布;

[0043] 第八步,使用物方工作台调整沿物方工作台Y方向的两个点光源至待测光学成像系统的中心视场位置,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场;

[0044] 第九步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的距离 $d_{y0}'$ ;

[0045] 第十步,计算待测光学成像系统Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ,公式如下:

$$[0046] \beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d_y} \quad (10)$$

[0047] 第十一步,使用物方工作台等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统每个视场点位置上,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_y'$ ,然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$[0048] \quad \beta_y = \frac{d_y'}{d_y} \quad (11)$$

[0049] 第十二步,根据待测光学成像系统每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$[0050] \quad q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (12)$$

[0051] 结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

[0052] 利用所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置测量倍率与畸变的方法,其特点在于,在点光源为三个以上的情况时,该方法包括下述步骤:

[0053] 第一步,将点光源在沿物方工作台X方向和Y方向上分别以 $r_x \times c_x$ 阵列和 $r_y \times c_y$ 阵列安装于物方工作台上,其中, $r_x$ 为点光源在沿物方工作台X方向的阵列行数, $c_x$ 为点光源在沿物方工作台X方向的阵列列数, $r_y$ 为点光源在沿物方工作台Y方向的阵列行数, $c_y$ 为点光源在沿物方工作台Y方向的阵列列数,且 $r_x$ 和 $c_y$ 为奇数, $r_y$ 和 $c_x$ 为偶数;

[0054] 第二步,采用干涉法分别标定X方向和Y方向上相邻两个点光源的间距 $d_{xi}$ 和 $d_{yj}$ ( $i=1, 2, \dots, m-1, j=1, 2, \dots, n-1$ ), $m$ 和 $n$ 分别为沿物方工作台X方向和Y方向上点光源总数, $m$ 和 $n$ 取值为

$$[0055] \quad \begin{cases} m = r_x \times (c_x - 1) \\ n = (r_y - 1) \times c_y \end{cases} \quad (13)$$

[0056] 第三步,使用物方工作台调整第 $\frac{r_x-1}{2}$ 行的第 $\frac{c_x}{2}$ 个和第 $\frac{c_x}{2}+1$ 个点光源至待测光学成像系统的中心视场位置,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出的光场经过待测光学成像系统后的全部光场;

[0057] 第四步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_{x0}'$ ;

[0058] 第五步,计算待测光学成像系统X方向上的理想倍率 $\beta_{x0}$ ,公式如下:

$$[0059] \quad \beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d_x} \quad (14)$$

[0060] 第六步,利用物方工作台使得点光源阵列等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收X方向上任意两个相邻点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统每个视场点位置上,使用干涉法测量X方向上两个相邻点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_x'$ ,然后计算当前位置X方向的倍率 $\beta_x$ ,公式如下:

$$[0061] \quad \beta_x = \frac{d_x'}{d_x} \quad (15)$$

[0062] 第七步,根据待测光学成像系统每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ,计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ,公式如下:

$$[0063] q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (16)$$

[0064] 结合各个位置的坐标值,得到全视场X方向上的相对畸变分布;

[0065] 第八步,使用物方工作台调整第 $\frac{c_y-1}{2}$ 列的第 $\frac{r_y}{2}$ 个和第 $\frac{r_y}{2}+1$ 个点光源至待测光学

成像系统的中心视场位置,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场;

[0066] 第九步,使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_{y0}'$ ;

[0067] 第十步,计算待测光学成像系统Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ,公式如下:

$$[0068] \beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d_y} \quad (17)$$

[0069] 第十一步,利用物方工作台使得点光源阵列等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台使得面阵探测器能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统后所成的全部光场。遍历过程中,在待测光学成像系统每个视场点位置上,使用干涉法测量测量Y方向上两个相邻点光源经过待测光学成像系统后所成的两个像点的间距 $d_y'$ ,然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$[0070] \beta_y = \frac{d_y'}{d_y} \quad (18)$$

[0071] 第十二步,根据待测光学成像系统每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$[0072] q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (19)$$

[0073] 结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

[0074] 与现有技术相比,本发明的有益效果:

[0075] 1)相比于现有测量装置,本发明的装置简洁,操作简便,不需要多人配合来完成测量,具有较高的测量效率;

[0076] 2)相比使用精密测长法、星点法等传统方法,本发明所提出的测量方法具有更高的测量精度;

[0077] 3)相比于光刻投影物镜倍率和畸变高精度检测技术,本发明具有更好的通用性,可以用于测量任意光学成像系统的倍率和畸变。

## 附图说明

[0078] 图1为本发明的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置示意图;

[0079] 图2为基于点光源阵列的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置示意图。

[0080] 图3为点光源间距测量示意图;

- [0081] 图4为物方两个点光源排布图；
- [0082] 图5为物方三个点光源排布图；
- [0083] 图6为物方点光源阵列的点光源排布图。

### 具体实施方式

[0084] 下面结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明的保护范围。

[0085] 实施例1：

[0086] 本实施例为点光源为两个的情况，具体如下：

[0087] 一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置，包括：两个点光源（点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>）、面阵探测器2、物方工作台3、像方工作台4，所述的待测光学成像系统1采用显微物镜元件；所述的面阵探测器2采用CCD元件；所述的点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>为单模光纤输出端面，其中：点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>位于待测光学成像系统1的物方视场内，两者出射光来自同一光源并可相互干涉；面阵探测器2位于待测光学成像系统1的像方区域，该面阵探测器的面积能够确保接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场；物方工作台3用于承载点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>，具有XYZ三个方向的调节自由度且能反馈三个方向的移动位置；像方工作台4用于承载面阵探测器2，且具有XYZ三个方向的调节自由度，此外像方工作台4的XYZ三个自由度调节方向与物方工作台3的自由度调节方向平行。

[0088] 一种采用所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置检测待测光学成像系统倍率与畸变的方法，包括下述步骤：

[0089] 第一步，采用干涉法标定点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>2</sub>的间距d，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8）；

[0090] 第二步，使两个点光源的连线方向沿物方工作台3X方向，安装于物方工作台3上，并使用物方工作台3调整点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>至中心视场位置，同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场；

[0091] 第三步，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>2</sub>' 的间距d<sub>x0</sub>'，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8）；

[0092] 第四步，计算待测光学成像系统1X方向上的理想倍率β<sub>x0</sub>，公式如下：

$$\beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d} \quad (20)$$

[0094] 第五步，使用物方工作台3等间隔遍历全视场，同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收两个点光源输出光场经过待测光学成像系统1后所成的全部光场；遍历过程中，在待测光学成像系统1每个视场点位置上，使用干涉法测量两个点光源经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>2</sub>' 的间距d<sub>x</sub>'，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8），然后计算当前位置X方向的

倍率 $\beta_x$ ,公式如下:

$$[0095] \quad \beta_x' = \frac{d_x'}{d} \quad (21)$$

[0096] 第六步,根据待测光学成像系统1每个视场点的X方向的倍率值 $\beta_x$ ,计算相应位置X方向的相对畸变值 $q_x'$ ,公式如下:

$$[0097] \quad q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (22)$$

[0098] 结合各个位置的坐标值,得到全视场X方向上的相对畸变分布;

[0099] 第七步,使点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>连线方向沿物方工作台3方向,安装于物方工作台3上,并使用物方工作台3调整点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>至中心视场位置,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后所成的全部光场;

[0100] 第八步,使用干涉法测量点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>2</sub>' 的间距d<sub>y0</sub>',见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8);

[0101] 第九步,计算待测光学成像系统1Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ,公式如下:

$$[0102] \quad \beta_{y0}' = \frac{d_{y0}'}{d} \quad (23)$$

[0103] 第十步,使用物方工作台3等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统1每个视场点位置上,使用干涉法测量点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>2</sub>' 的间距d<sub>y</sub>',见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8),然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$[0104] \quad \beta_y' = \frac{d_y'}{d} \quad (24)$$

[0105] 第十一步,根据待测光学成像系统1每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$[0106] \quad q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (25)$$

[0107] 结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

[0108] 实施例2:

[0109] 本实施例为点光源为三个的情况,具体如下:

[0110] 一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置,包括:三个点光源(点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>2</sub>和点光源S<sub>3</sub>)、面阵探测器(2)、物方工作台(3)、像方工作台(4),所述的待测光学成像系统1采用显微物镜元件;所述的面阵探测器2采用CCD元件;所述的点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>2</sub>和点光源S<sub>3</sub>为单模光纤输出端面,其中:点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>2</sub>和点光源S<sub>3</sub>位于待测光学成像系统1的物方视场内,三者出射光来自同一光源并可相互干涉;面阵探测器2位于待测光学成像系统1的像方区域,该面阵探测器的面积能够确保接收相邻的两个点光源输出光场经过待测

光学成像系统1后的全部光场；物方工作台3用于承载点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>2</sub>和点光源S<sub>3</sub>，具有XYZ三个方向的调节自由度且能反馈三个方向的移动位置；像方工作台4用于承载面阵探测器2，且具有XYZ三个方向的调节自由度，此外像方工作台4的XYZ三个自由度调节方向与物方工作台3的自由度调节方向平行。

[0111] 一种采用所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置检测待测光学成像系统倍率与畸变的方法，包括下述步骤：

[0112] 第一步，将点光源S<sub>1</sub>固定于物方工作台3后，将点光源S<sub>2</sub>和点光源S<sub>3</sub>安装于物方工作台3上，并使得它们与之前固定的点光源的连线方向分别沿物方工作台3X方向和Y方向；

[0113] 第二步，采用干涉法标定点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>2</sub>的间距d<sub>x</sub>以及点光源S<sub>1</sub>、点光源S<sub>3</sub>的间距d<sub>y</sub>，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8）；

[0114] 第三步，使用物方工作台3调整点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>至中心视场位置，同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场；

[0115] 第四步，使用干涉法测量点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>经过待测光学成像系统(1)后所成的两个像点的间距d<sub>x0</sub>'，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8）；

[0116] 第五步，计算待测光学成像系统1X方向上的理想倍率β<sub>x0</sub>，公式如下：

$$[0117] \beta_{x0} = \frac{d_{x0}'}{d_x} \quad (26)$$

[0118] 第六步，使用物方工作台3等间隔遍历全视场，同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后所成的全部光场；遍历过程中，在待测光学成像系统1每个视场点位置上，使用干涉法测量点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>2</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>2</sub>' 的间距d<sub>x</sub>'，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8），然后计算当前位置X方向的倍率β<sub>x</sub>，公式如下：

$$[0119] \beta_x = \frac{d_x'}{d_x} \quad (27)$$

[0120] 第七步，根据待测光学成像系统1每个视场点的X方向的倍率值β<sub>x</sub>，计算相应位置X方向的相对畸变值q<sub>x</sub>'，公式如下：

$$[0121] q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (28)$$

[0122] 结合各个位置的坐标值，得到全视场X方向上的相对畸变分布；

[0123] 第八步，使用物方工作台3调整点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>3</sub>至中心视场位置，同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>3</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场；

[0124] 第九步，使用干涉法测量点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>3</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>3</sub>' 的间距d<sub>y0</sub>'，见在先技术（参见：董冠极、唐锋等，双点光源间距的纳米精度测量方法，发明专利申请201710547369.8）；

[0125] 第十步,计算待测光学成像系统1Y方向上的理想倍率 $\beta_{y0}$ ,公式如下:

$$[0126] \quad \beta_{y0} = \frac{d_{y0}'}{d_y} \quad (29)$$

[0127] 第十一步,使用物方工作台3等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>3</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后所成的全部光场;遍历过程中,在待测光学成像系统1每个视场点位置上,使用干涉法测量点光源S<sub>1</sub>和点光源S<sub>3</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S<sub>1</sub>' 和像点S<sub>3</sub>' 的间距d<sub>y</sub>',见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8),然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$[0128] \quad \beta_y = \frac{d_y'}{d_y} \quad (30)$$

[0129] 第十二步,根据待测光学成像系统(1)每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值q<sub>y</sub>',公式如下:

$$[0130] \quad q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (31)$$

[0131] 结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

[0132] 实施例3:

[0133] 本实施例为点光源为三个以上的情况,在沿物方工作台(3)X方向和Y方向上两个方向上点光源阵列的部分点光源可以选择共用和不共用两种方式,本实施例为选择共用方式,具体如下:

[0134] 一种光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置,包括:面阵探测器2、物方工作台3、像方工作台4、点光源阵列5,所述的待测光学成像系统1采用显微物镜元件;所述的面阵探测器2采用CCD元件;点光源阵列5位于待测光学成像系统1的物方区域,所有点光源出射光均来自同一光源且相邻两个点光源可相互干涉;面阵探测器2位于待测光学成像系统1的像方区域,该面阵探测器的面积能够确保接收相邻的两个点光源输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场;物方工作台3用于承载点光源阵列5,具有XYZ三个方向的调节自由度且能反馈三个方向的移动位置;像方工作台4用于承载面阵探测器2,且具有XYZ三个方向的调节自由度,此外像方工作台4的XYZ三个自由度调节方向与物方工作台3的自由度调节方向平行。

[0135] 一种采用所述的光学成像系统倍率与畸变高精度测量装置检测待测光学成像系统倍率与畸变的方法,包括下述步骤:

[0136] 第一步,将点光源在沿物方工作台3X方向和Y方向上分别以3×4阵列和4×3阵列安装于物方工作台3上,其中,在沿物方工作台3X方向和Y方向上两个方向上点光源阵列共用点光源S<sub>1</sub>~S<sub>3</sub>、点光源S<sub>5</sub>~S<sub>7</sub>、点光源S<sub>9</sub>~S<sub>11</sub>。

[0137] 第二步,采用干涉法标定相邻两个点光源的间距d<sub>xi</sub>和d<sub>yi</sub>(i=1,2,⋯,9),见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8);

[0138] 第三步,选取点光源S<sub>1</sub>~S<sub>12</sub>组成X方向畸变测量的点光源阵列。使用物方工作台3

调整点光源S<sub>6</sub>和点光源S<sub>7</sub>至中心视场位置,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>6</sub>和点光源S<sub>7</sub>输出的光场经过待测光学成像系统1后的全部光场;

[0139] 第四步,使用干涉法测量点光源S<sub>6</sub>和点光源S<sub>7</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S'<sub>6</sub>和像点S'<sub>7</sub>的间距d<sub>x5'</sub>,见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8);

[0140] 第五步,计算待测光学成像系统(1)X方向上的理想倍率β<sub>x0</sub>,公式如下:

$$[0141] \beta_{x0} = \frac{d_{x5'}}{d_{x5}} \quad (32)$$

[0142] 第六步,利用物方工作台3使得点光源阵列等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>m</sub>和点光源S<sub>n</sub>(m=1,2,3,5,6,7,9,10,11;n=2,3,4,6,7,8,10,11,12)输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场。遍历过程中,在待测光学成像系统1每个视场点位置上,使用干涉法测量点光源S<sub>m</sub>和点光源S<sub>n</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S'<sub>m</sub>和像点S'<sub>n</sub>的间距d<sub>xi'</sub>(i=1,2,⋯,9),见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8),然后计算当前位置X方向的倍率β<sub>x</sub>,公式如下:

$$[0143] \beta_x = \frac{d_x'}{d_x} \quad (33)$$

[0144] 第七步,根据待测光学成像系统1每个视场点的X方向的倍率值β<sub>x</sub>,计算相应位置X方向的相对畸变值q<sub>x'</sub>,公式如下:

$$[0145] q_x' = \frac{\beta_x - \beta_{x0}}{\beta_{x0}} \times 100\% \quad (34)$$

[0146] 结合各个位置的坐标值,得到全视场X方向上的相对畸变分布;

[0147] 第八步,选取点光源S<sub>1</sub>~S<sub>3</sub>、S<sub>5</sub>~S<sub>7</sub>、S<sub>9</sub>~S<sub>11</sub>、S<sub>13</sub>~S<sub>15</sub>组成Y方向畸变测量的点光源阵列。使用物方工作台3调整点光源S<sub>6</sub>和点光源S<sub>10</sub>至中心视场位置,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收点光源S<sub>6</sub>和点光源S<sub>10</sub>输出光场经过待测光学成像系统1后的全部光场;

[0148] 第九步,使用干涉法测量点光源S<sub>6</sub>和点光源S<sub>10</sub>经过待测光学成像系统(1)后所成的像点S'<sub>6</sub>和像点S'<sub>10</sub>的间距d<sub>y0'</sub>,见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请201710547369.8);

[0149] 第十步,计算待测光学成像系统1Y方向上的理想倍率β<sub>y0</sub>,公式如下:

$$[0150] \beta_{y0} = \frac{d_{y5'}}{d_{y5}} \quad (35)$$

[0151] 第十一步,利用物方工作台3使得点光源阵列等间隔遍历全视场,同时移动像方工作台4使得面阵探测器2能够接收能够接收点光源S<sub>m</sub>和点光源S<sub>n</sub>(m=1,2,3,5,6,7,9,10,11;n=5,6,7,9,10,11,13,14,15)输出光场经过待测光学成像系统1后所成的全部光场。遍历过程中,在待测光学成像系统1每个视场点位置上,使用干涉法测量点光源S<sub>m</sub>和点光源S<sub>n</sub>经过待测光学成像系统1后所成的像点S'<sub>m</sub>和像点S'<sub>n</sub>的间距d<sub>xi'</sub>(i=1,2,⋯,9),见在先技术(参见:董冠极、唐锋等,双点光源间距的纳米精度测量方法,发明专利申请

201710547369.8),然后计算当前位置Y方向的倍率 $\beta_y$ ,公式如下:

$$[0152] \quad \beta_y = \frac{d_y'}{d_y} \quad (36)$$

[0153] 第十二步,根据待测光学成像系统1每个视场点的Y方向的倍率值 $\beta_y$ ,计算相应位置Y方向的相对畸变值 $q_y'$ ,公式如下:

$$[0154] \quad q_y' = \frac{\beta_y - \beta_{y0}}{\beta_{y0}} \times 100\% \quad (37)$$

[0155] 结合各个位置的坐标值,得到全视场Y方向上的相对畸变分布。

[0156] 相比于现有测量装置,上述实施例中的装置简洁,操作简便,不需要多人配合来完成测量,具有较高的测量效率。相比于现有方法,上述实施例在光学成像系统倍率和畸变的测量上具有更高的测量精度且兼具良好的通用性。

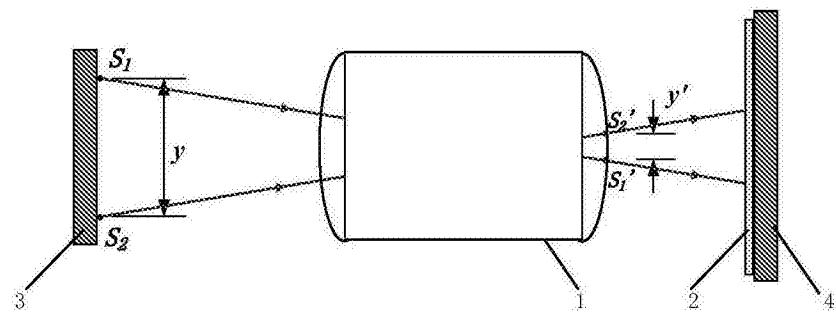


图1

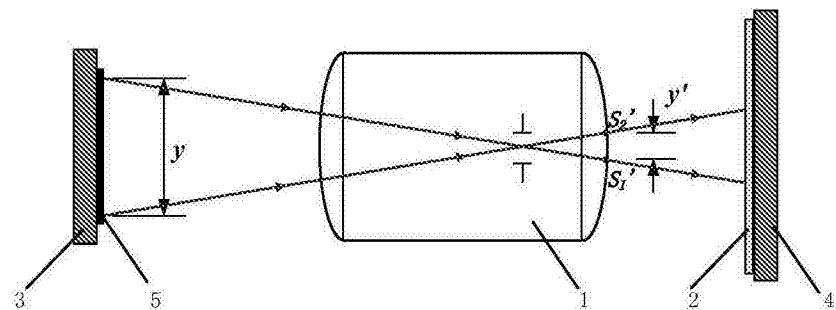


图2

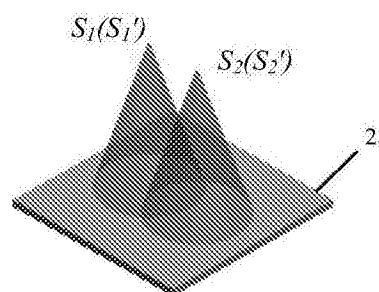


图3

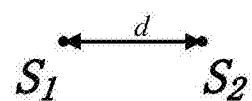


图4

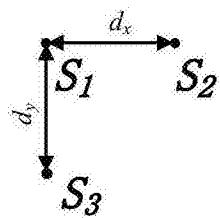


图5

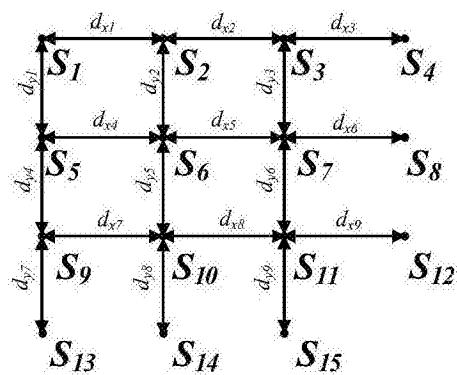


图6