



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103293162 B

(45) 授权公告日 2015.03.11

(21) 申请号 201310241705.8

(22) 申请日 2013.06.17

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38号

(72) 发明人 杨甬英 刘东 李璐 曹频

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公
司 33200

代理人 杜军

(51) Int. Cl.

G01N 21/88(2006.01)

G02B 15/16(2006.01)

(56) 对比文件

CN 101086482 A, 2007.12.12, 全文.

US 6621568 B1, 2003.09.16, 全文.

JP H11330178 A, 1999.11.30, 全文.

WO 2012069304 A1, 2012.05.31, 全文.

CN 1563957 A, 2005.01.12, 说明书第3页具

体实施方式第1-3段,图1.

CN 202305966 U, 2012.07.04, 说明书第
0008、0014段,图1-2.

CN 102636496 A, 2012.08.15, 全文.

CN 102519975 A, 2012.06.27, 全文.

CN 101930114 A, 2010.12.29, 全文.

CN 101135653 A, 2008.03.05, 全文.

CN 101609205 A, 2009.12.23, 全文.

CN 102519975 A, 2012.06.27, 全文.

CN 102253472 A, 2011.11.23, 全文.

王科等. 球面光学元件表面疵病检测技术
研究.《光学仪器》.2013,第35卷(第2期),7-14.

杨甬英等. 光学元件表面缺陷的显微散射
暗场成像及数字化评价系统.《光学学报》.2007,
第27卷(第6期),1031-1038.

杨甬英等. 超光滑表面瑕疵的光学显微成
像和数字化评价系统.《红外与激光工程》.2010,
第39卷(第2期),325-329.

审查员 张素

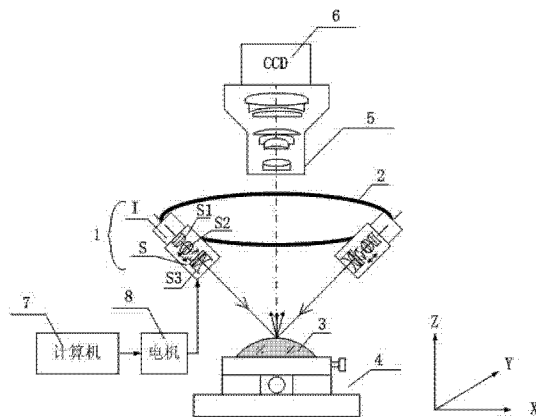
权利要求书1页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明
系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于球面光学元件表面疵
病暗场检测的照明系统及方法。本发明包括球面
光源、光源支架、待测光学元件、光学元件多维
夹持装置、显微成像系统、电荷耦合元件、计算
机、电机。球面光源包括均匀面光源和变焦透
镜组镜筒，多个球面光源环形等间距安装在光
源支架上，变焦调节组件包括变焦透镜组镜筒
、前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组、变焦
镜筒、齿轮、滑轨。光源支架下方设置有待测
光学元件和夹持装置，上方设置有显微成像系
统和电荷耦合元件，显微成像系统的光轴、多
个光源组成的环形面的圆心和待测光学元件
的球心共轴。本发明对球面光学元件表面疵
病检测的暗场照明，所成像为暗背景上的亮
疵病像，对比度好，易于后续图像处理。



CN 103293162 B

1. 用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统,其特征在于包括球面光源、光源支架、待测光学元件、光学元件多维夹持装置、显微成像系统、电荷耦合元件 CCD、计算机、电机;球面光源由均匀面光源 I 和变焦调节组件 S 组成,多个球面光源环形等间距安装在光源支架上;变焦调节组件 S 包括前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组,通过计算机控制电机的转动,从而控制变焦调节组件 S 焦距变化;光源支架下方设置有待测光学元件和光学元件多维夹持装置,待测光学元件放置在光学元件多维夹持装置上方;光源支架上方设置有显微成像系统和电荷耦合元件 CCD,显微成像系统固定设置在电荷耦合元件 CCD 正下方;显微成像系统的光轴、多个球面光源组成的环形面的圆心和待测光学元件的球心共轴;

所述的变焦调节组件 S 包括变焦透镜组镜筒、前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组、变焦镜筒、齿轮、滑轨,前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组设置在变焦透镜组镜筒内,且前固定镜组和后固定镜组设置在变焦镜组的两侧,变焦镜组固定在变焦镜筒内,变焦镜筒上设有齿条,该齿条与齿轮相啮合,电机的输出轴与齿轮相连接;电机转动时,带动齿轮转动,齿轮与齿条配合,使得变焦镜筒能够在滑轨内做直线运动,改变变焦镜组与前固定镜组、后固定镜组的相对位置,从而实现整个变焦调节组件的焦距调节;变焦调节组件 S 的焦距能够根据待测光学元件的半径调节;

所述的待测光学元件为球面,包括凹面和凸面,包括各种半径;

所述的均匀面光源 I 发出平行光;

所述的夹持装置为多维可旋转可平移装置,通过多维夹持装置能对测光学元件进行多维度旋转和平移实现对全口径的照明。

2. 用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明方法,其特征在于包括如下步骤:

步骤 (1) 均匀面光源 I 发射出平行光,平行光经过变焦调节组件 S 后形成会聚球面波,具体如下:

平行光进入变焦透镜组镜筒内,依次通过前前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组后形成会聚球面波,同时在计算机内输入待测光学元件的半径,计算机自动计算出齿轮的旋转角度,控制电机转动,带动齿轮旋转,从而使变焦镜筒在滑轨内直线移动到特定位置;

步骤 (2) 变焦调节组件 S 形成的会聚球面波照射到待测光学元件上;

若待测光学元件表面无疵病,则待测光学元件的反射光不进入显微成像系统;若待测光学元件表面有疵病,则待测光学元件表面疵病诱发的散射光进入显微成像系统,并在电荷耦合元件 CCD 上成像;

步骤 (3) 对待测光学元件的某一孔径成像完成后,光学元件多维夹持装置带动待测光学元件旋转和平移,对待测光学元件的另一孔径成像;随着光学元件多维夹持装置的旋转和平移,整个待测光学元件都会被会聚球面波照射到,若待测光学元件表面有疵病,则均能在电荷耦合元件 CCD 上成像,被检测出来。

用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学元件表面疵病检测技术领域,特别涉及一种用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统及方法。

背景技术

[0002] 随着科学技术的进一步发展,对光学元件的要求越来越高,特别是在光刻镜头、激光核聚变的片放等高精度元件中,需要对光学元件表面疵病做精密的、定量的检测。

[0003] 国内外对于疵病检测,基本上是采用目视法,低通、高通滤波成像法,自适应滤波成像法,角谱分析法等。但其中大多数方法只是原理性方案,往往局限于视场受限、难以定量等技术障碍而无法建立高效、自动化的检测分析设备。

[0004] 目前,采用暗场照明方式,检测平面光学元件表面疵病,已有很大进展,可以实现平面光学元件表面疵病的自动化定量检测。但是对于球面光学元件,还停留在人眼检测的水平,重复性差,无法定量检测。当采用与平面检测相同的照明光源检测球面光学元件时,由于球面光学元件有一定的曲率半径,在 CCD (电荷耦合元件) 上会形成白色反光光斑,并且光斑大小随球面光学元件的曲率半径、凹凸情况变化,难以实现暗场照明,更无法进行后续检测。

[0005] 因此,需要研究一种新颖的可用于球面光学元件暗场照明的方法,可随被检球面半径、凹凸面形状而照明孔径 NA 可变的环形疵病无盲点的光源系统,以便后续实现球面光学元件表面疵病自动化定量检测。

发明内容

[0006] 本发明的目的是针对现有技术的不足,提供一种用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统及方法。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案如下:

[0008] 用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统,包括球面光源、光源支架、待测光学元件、光学元件多维夹持装置、显微成像系统、电荷耦合元件 CCD、计算机、电机。球面光源由均匀面光源 I 和变焦调节组件 S 组成,且均匀面光源 I 和变焦调节组件 S 共光轴放置;多个球面光源环形等间距安装在光源支架上。变焦调节组件 S 包括前固定镜组 S1、变焦镜组 S2、后固定镜组 S3;通过计算机控制电机的转动,从而控制变焦调节组件 S 焦距变化;光源支架下方设置有待测光学元件和光学元件多维夹持装置,待测光学元件放置在光学元件多维夹持装置上方;光源支架上方设置有显微成像系统和电荷耦合元件 CCD,显微成像系统固定设置在电荷耦合元件 CCD 正下方;显微成像系统的光轴、多个球面光源组成的环形面的圆心和待测光学元件的球心共轴。

[0009] 变焦调节组件 S 由变焦透镜组镜筒、前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组、变焦镜筒、齿轮、滑轨组成,前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组设置在变焦透镜组镜筒内,且前固定镜组和后固定镜组设置在变焦镜组的两侧,变焦镜组固定在变焦镜筒内,变焦镜筒上设

有齿条,齿条与齿轮啮合;电机的输出轴与齿轮相连接,电机转动时,带动齿轮转动,齿轮与齿条配合,使得变焦镜筒能够在滑轨内做直线运动,改变变焦镜组与前固定镜组、后固定镜组的相对位置,从而实现整个变焦调节组件的焦距调节。变焦调节组件 S 的焦距能够根据待测光学元件的半径调节;本发明可暗场照明的光学元件包括各种半径的凹面、各种半径的凸面,通过变焦调节组件 S 的焦距改变,能够实现各种半径的球面照明。

[0010] 所述的待测光学元件为球面,包括凹面和凸面,包括各种半径;

[0011] 所述的均匀面光源 I 发出平行光;

[0012] 所述的夹持装置为多维可旋转可平移装置;由于照明系统的照明口径有限,所以通过多维夹持装置对待测元件进行多维度旋转和平移实现对全口径的照明,后续处理中采用子孔径拼接即能实现全口径的复现。

[0013] 用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明方法,具体包括如下步骤:

[0014] 步骤(1)均匀面光源 I 发射出平行光,平行光经过变焦调节组件 S 后形成会聚球面波,具体如下:

[0015] 平行光进入变焦透镜组镜筒内,依次通过前固定镜组、变焦镜组、后固定镜组后形成会聚球面波,同时在计算机内输入待测光学元件的半径,计算机自动计算出齿轮的旋转角度,控制电机转动,带动齿轮旋转,从而使变焦镜筒在滑轨内直线移动到特定位置。

[0016] 步骤(2)变焦调节组件 S 形成的会聚球面波照射到待测光学元件上;

[0017] 若待测光学元件表面无疵病,则待测光学元件的反射光不进入显微成像系统;若待测光学元件表面有疵病,则待测光学元件表面疵病诱发的散射光进入显微成像系统,并在电荷耦合元件 CCD 上成像。

[0018] 步骤(3)对待测光学元件的某一孔径成像完成后,光学元件多维夹持装置带动待测光学元件旋转和平移,对待测光学元件的另一孔径成像;随着光学元件多维夹持装置的旋转和平移,整个待测光学元件都会被会聚球面波照射到,若待测光学元件表面有疵病,则均能在电荷耦合元件 CCD 上成像,被检测出来。

[0019] 本发明有益效果如下:

[0020] 本发明能够根据被测球面元件的曲率半径改变变焦调节组件的焦距,实现对球面光学元件表面疵病检测的暗场照明,与明场照明相比,所成像为暗背景上的亮疵病像,具有对比度好,易于后续图像处理等优点。并且,本照明系统为球面光学元件表面疵病后续的检测提供了基础和实施的可能。

附图说明

[0021] 图 1 是本发明的整体系统图。

[0022] 图 2 是球面光源的机械结构图。

[0023] 图 3(a) 是采用普通平行光源照明凹面光学元件。

[0024] 图 3(b) 是采用本发明照明凹面光学元件。

[0025] 图 4(a) 是采用普通平行光源照明凸面光学元件。

[0026] 图 4(b) 是采用本发明照明凸面光学元件。

[0027] 图 5 是变焦透镜组的变焦曲线图。

[0028] 图 6 是球面半径和变焦透镜组的焦距关系曲线图。

[0029] 图中,球面光源 1、光源支架 2、待测光学元件 3、光学元件多维夹持装置 4、显微成像系统 5、电荷耦合元件 CCD6、计算机 7、电机 8、均匀面光源 9 (均匀面光源 I)、前固定镜组 10 (前固定镜组 S1)、变焦镜组 11 (变焦镜组 S2)、后固定镜组 12 (后固定镜组 S3)、变焦镜筒 13、齿轮 14、滑轨 15、变焦透镜组镜筒 16。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0031] 如图 1 所示,用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统,包括球面光源 1、光源支架 2、待测光学元件 3、光学元件多维夹持装置 4、显微成像系统 5、电荷耦合元件 CCD6、计算机 7、电机 8。球面光源 1 由均匀面光源 9 和变焦调节组件 S 组成,多个球面光源 1 环形等间距安装在光源支架 2 上。变焦调节组件 S 包括前固定镜组 S1、变焦镜组 S2、后固定镜组 S3, 计算机 7 能够控制电机 8 的转动,从而控制变焦调节组件 S 焦距变化;光源支架 2 下方设置有待测光学元件 3 和光学元件多维夹持装置 4,待测光学元件 3 放置在光学元件多维夹持装置 4 上方;光源支架 2 上方设置有显微成像系统 5 和电荷耦合元件 CCD6,显微成像系统 5 固定设置在电荷耦合元件 CCD6 正下方;显微成像系统 5 的光轴、多个球面光源 1 组成的环形面的圆心和待测光学元件 3 的球心共轴。

[0032] 如图 2 所示,球面光源 1 由均匀面光源 9 和变焦调节组件 S 组成,且均匀面光源 9 和变焦调节组件 S 共光轴放置。变焦调节组件 S 由变焦透镜组镜筒 16、前固定镜组 10、变焦镜组 11、后固定镜组 12、变焦镜筒 13、齿轮 14、滑轨 15 组成。前固定镜组 10、变焦镜组 11、后固定镜组 12 设置在变焦透镜组镜筒 16 内,且前固定镜组 10 和后固定镜组 12 设置在变焦镜组 11 的两侧,变焦镜组 11 固定在变焦镜筒 13 内,变焦镜筒 13 上设有齿条,与齿轮 14 啮合;电机 8 的输出轴与齿轮 14 相连接,电机 8 转动时,带动齿轮 14 转动,齿轮 14 与齿条配合,使得变焦镜筒 13 能够在滑轨 15 内做直线运动,改变变焦镜组 11 与前固定镜组 10、后固定镜组 12 的相对位置,从而实现整个变焦调节组件的焦距调节。变焦调节组件 S 的焦距能够根据待测光学元件的半径调节;本发明可暗场照明的光学元件包括各种半径的凹面、各种半径的凸面,通过变焦调节组件 S 的焦距改变,能够实现各种半径的球面照明。

[0033] 所述的待测光学元件 3 为球面,包括凹面和凸面,包括各种半径;

[0034] 所述的均匀面光源 I 发出平行光;

[0035] 所述的光学元件多维夹持装置 4 为多维可旋转可平移装置;由于照明系统的照明口径有限,所以通过多维夹持装置对待测元件进行多维度旋转和平移实现对全口径的照明,后续处理中采用子孔径拼接即能实现全口径的复现。

[0036] 用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明方法,具体包括如下步骤:

[0037] 步骤 (1) 均匀面光源 I 发射出平行光,平行光经过变焦调节组件 S 后形成会聚球面波,具体如下:

[0038] 平行光进入变焦透镜组镜筒 15 内,依次通过前前固定镜组 10、变焦镜组 11、后固定镜组 12 后形成会聚球面波,同时在计算机 7 内输入待测光学元件 3 的半径,计算机自动计算出齿轮 14 的旋转角度,控制电机转动,带动齿轮旋转,从而使变焦镜筒 13 在滑轨 15 内直线移动到特定位置。

[0039] 步骤 (2) 变焦调节组件 S 形成的会聚球面波照射到待测光学元件 3 上;

[0040] 若待测光学元件 3 表面无疵病,则待测光学元件 3 的反射光不进入显微成像系统 5;若待测光学元件 3 表面有疵病,则待测光学元件 3 表面疵病诱发的散射光进入显微成像系统 5,并在电荷耦合元件 CCD6 上成像。

[0041] 步骤(3)对待测光学元件 3 的某一孔径成像完成后,光学元件多维夹持装置 4 带动待测光学元件 3 旋转和平移,对待测光学元件 3 的另一孔径成像。随着光学元件多维夹持装置的旋转和平移,整个待测光学元件都会被会聚球面波照射到,若待测光学元件表面有疵病,则均能在电荷耦合元件 CCD6 上成像,被检测出来。

实施例

[0042] 本实施例为可用于球面光学元件表面疵病暗场检测的照明系统。

[0043] 照明系统如图 1 所示,包括球面光源 1、光源支架 2、待测光学元件 3、夹持装置 4、显微成像系统 5、电荷耦合元件 CCD6、计算机 7、电机 8。

[0044] 球面光源 1 由均匀面光源和变焦透镜组镜筒组成,多个光源 1 环形等间距安装在光源支架 2 上。变焦调节组件 S 的机械结构如图 2 所示,变焦调节组件 S 由变焦透镜组镜筒 16、前固定镜组 10、变焦镜组 11、后固定镜组 12、变焦镜筒 13、齿轮 14、滑轨 15 组成。前固定镜组 10、变焦镜组 11、后固定镜组 12 设置在变焦透镜组镜筒 16 内,且前固定镜组 10 和后固定镜组 12 设置在变焦镜组 11 的两侧,变焦镜组 11 固定在变焦镜筒 13 内,变焦镜筒 13 上设有齿条;电机 8 与齿轮 14 相连接,电机 8 转动时,带动齿轮 14 转动,齿轮 14 与齿条配合,使得变焦镜筒 13 能够在滑轨 15 内做直线运动,改变变焦镜组 11 与前固定镜组 10、后固定镜组 12 的相对位置,从而改变焦距,实现整个变焦调节组件的焦距调节。

[0045] 光源支架 2 下方设置有待测光学元件 3 和夹持装置 4,待测光学元件 3 设置在夹持装置 4 正上方;光源支架 2 上方设置有显微成像系统 5 和电荷耦合元件 CCD6,显微成像系统 5 固定设置在电荷耦合元件 CCD6 正下方;显微成像系统 5 的光轴、多个光源 1 组成的环形面的圆心和待测光学元件的球心共轴。

[0046] 所述的变焦调节组件 S 的焦距能够根据待测光学元件的半径调节;本发明可暗场照明的光学元件包括各种半径的凹面、各种半径的凸面,通过变焦调节组件 S 的焦距改变,能够实现各种半径的球面照明。凹面和凸面的球面半径和变焦调节组件的焦距关系如图 6 所示。

[0047] 表 1 为用于本照明系统的一种变焦透镜组参数。变焦透镜组满足变焦过程中,后主面位置基本不变。变焦透镜组由三片胶合透镜组成:前固定透镜 S1、变焦镜 S2 和后固定透镜 S3。其中,前固定透镜和后固定透镜固定不动,通过变焦镜前后移动改变系统的焦距。

[0048] 表 1 变焦透镜组参数

[0049]

名称	半径 mm	厚度 mm	材料	口径 mm
前固定透镜	-30.966	5.5	K9	φ24
	Infinity	4	F2	
	-55.83	12*		
变焦镜	41.448	5	K9	φ26
	27.484	6	F2	
	-47.624	8*		
后固定透镜	-28.188	2	K9	φ22
	-29.365	2	F2	
	-17.45	2	K9	
	42.6			

[0050] 其中星号所标的距离是变焦透镜移动时可变的距离,变焦透镜前表面与前固定透镜后表面距离为 d_1 ,变焦透镜后表面与后固定透镜前表面距离为 d_2 , d_1 和 d_2 可变,但保持数值和为 20mm。变焦透镜的变焦曲线如图 5 所示,变焦范围可以在 100mm 到 3000mm 之间变化。

[0051] 计算机根据输入的待测光学元件的半径,依据图 6 和图 5,计算出 d_1 的大小,并根据 d_1 的当前位置,计算出变焦透镜的移动量和齿轮旋转的角度、方向,并控制电机转动,电机带动齿轮运动,从而能够对待测光学元件实现暗场照明。

[0052] 本发明可暗场照明的光学元件包括各种半径的凹面、各种半径的凸面。通过变焦实现不同半径的凹、凸面光学元件检测,图 3(a) 为采用普通平行光源照明凹面光学元件,可以看到,光线经过凹面反射后,会进入显微照明系统,CCD 上所得的图像为一片白色,无法得到球面光学元件表面的疵病图像。图 3(b) 为采用本发明照明同样的凹面光学元件,可以看到,球面光源发出的光经过球面反射后,不会进入显微照明系统,可以实现暗场照明,在 CCD 上可以得到暗背景下的亮疵病,图像边界清晰、对比度好。图 4(a) 为普通平行光源照明凸面光学元件,图 4(b) 为本发明照明同样的凸面光学元件。通过对比可以发现,本发明能够实现暗场照明,得到不同半径的球面的暗场疵病图像。

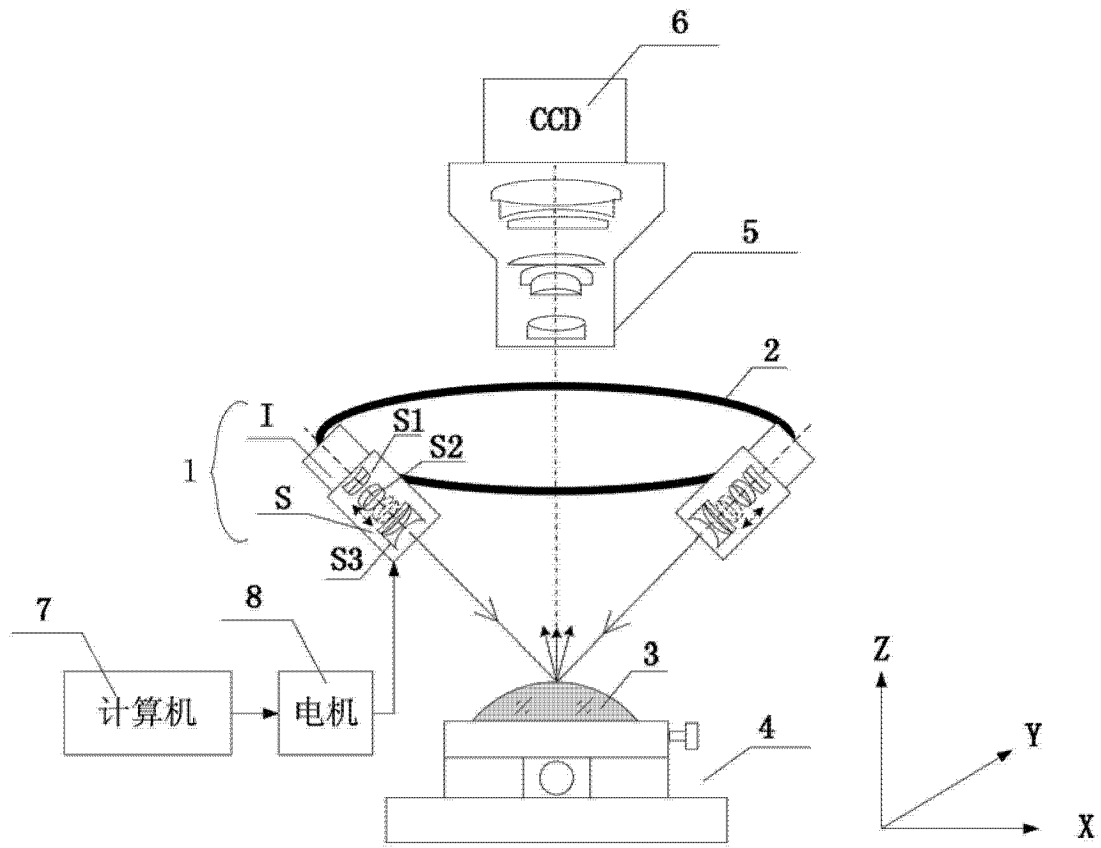


图 1

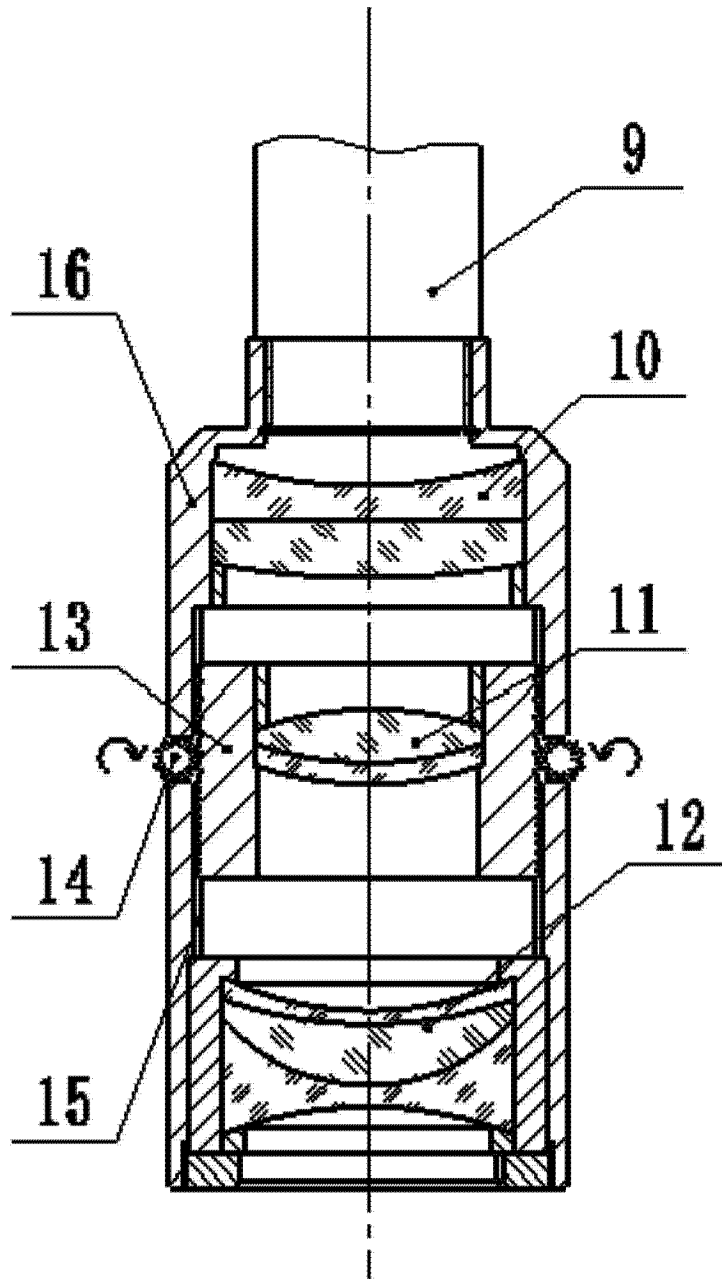


图 2

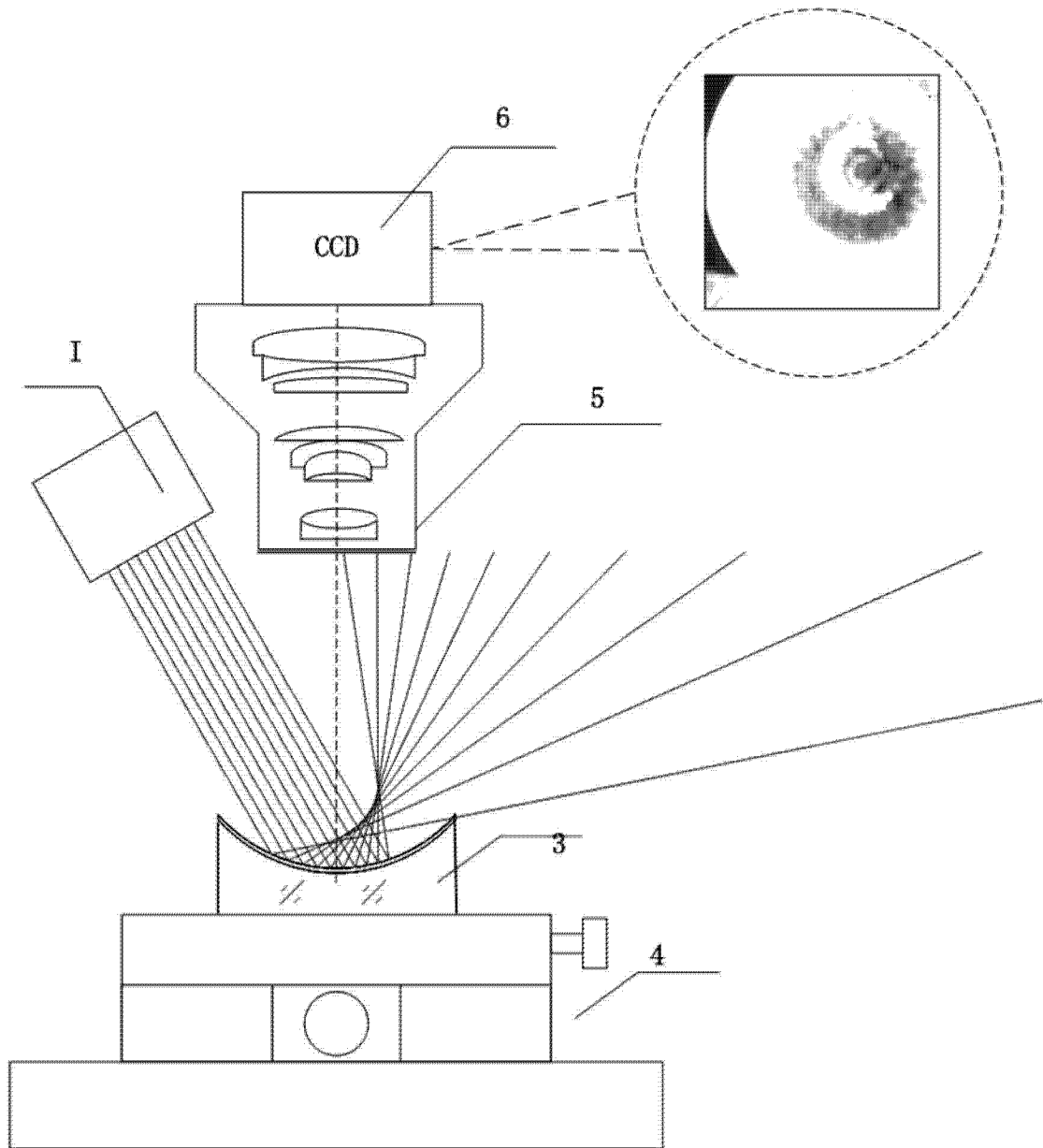


图 3(a)

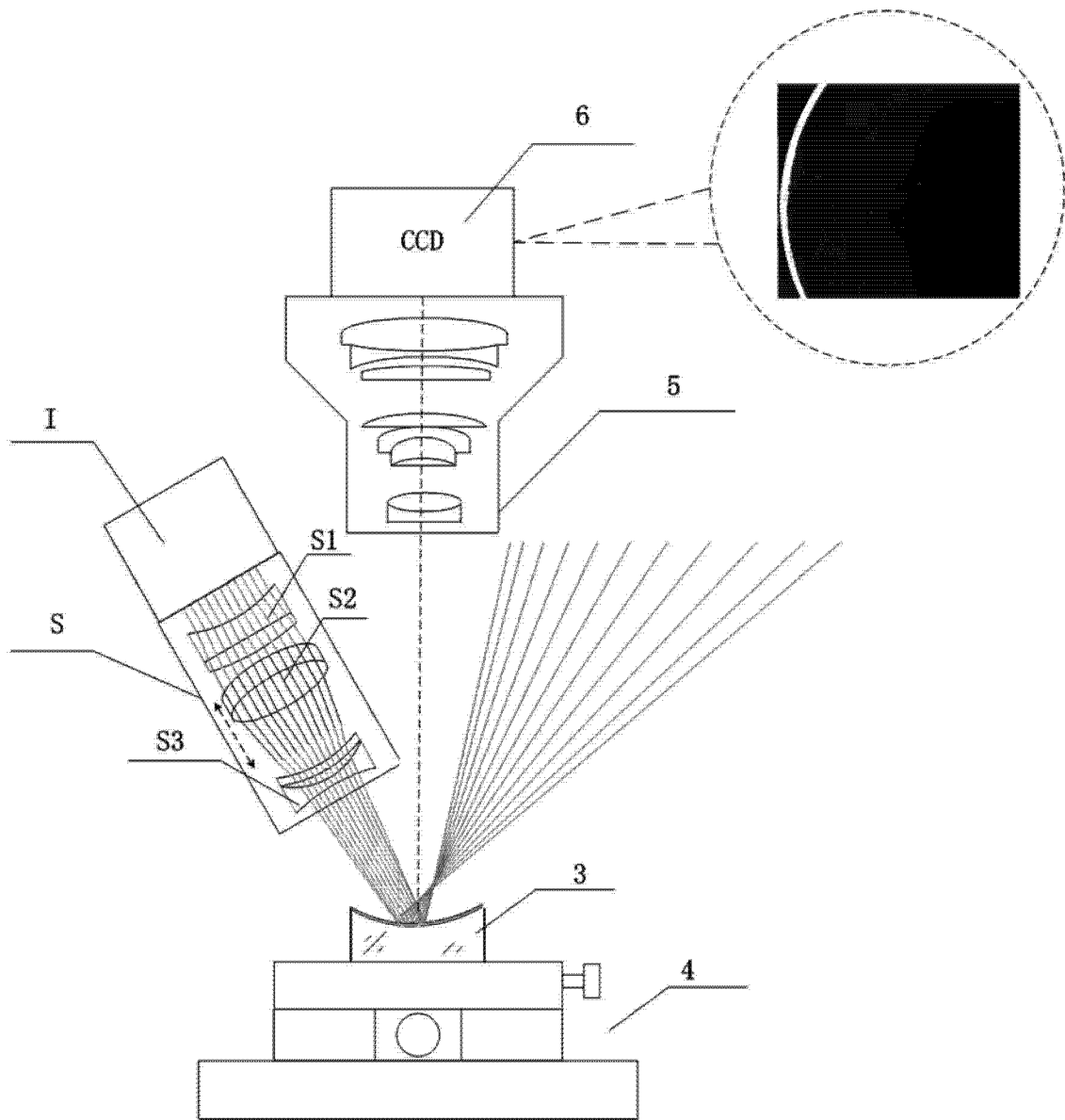


图 3(b)

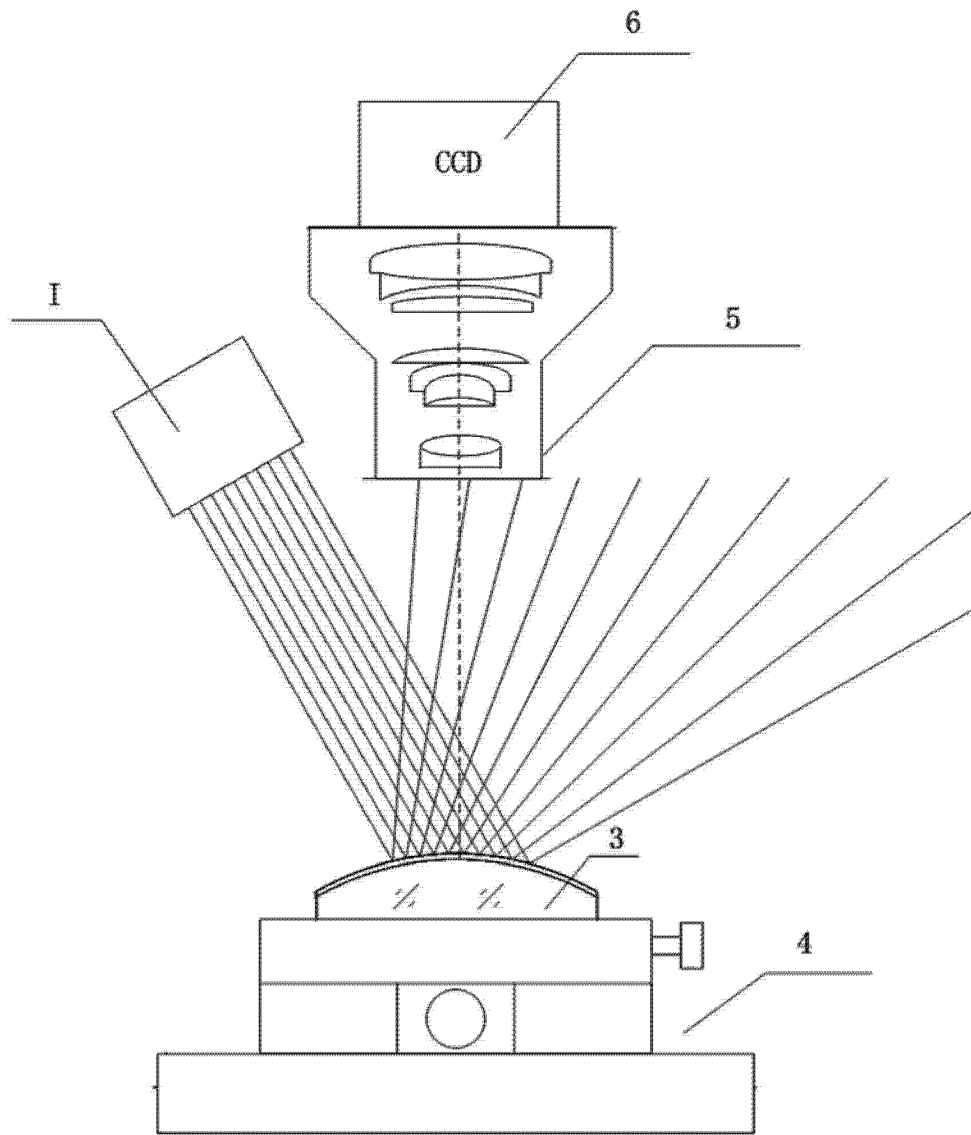


图 4(a)

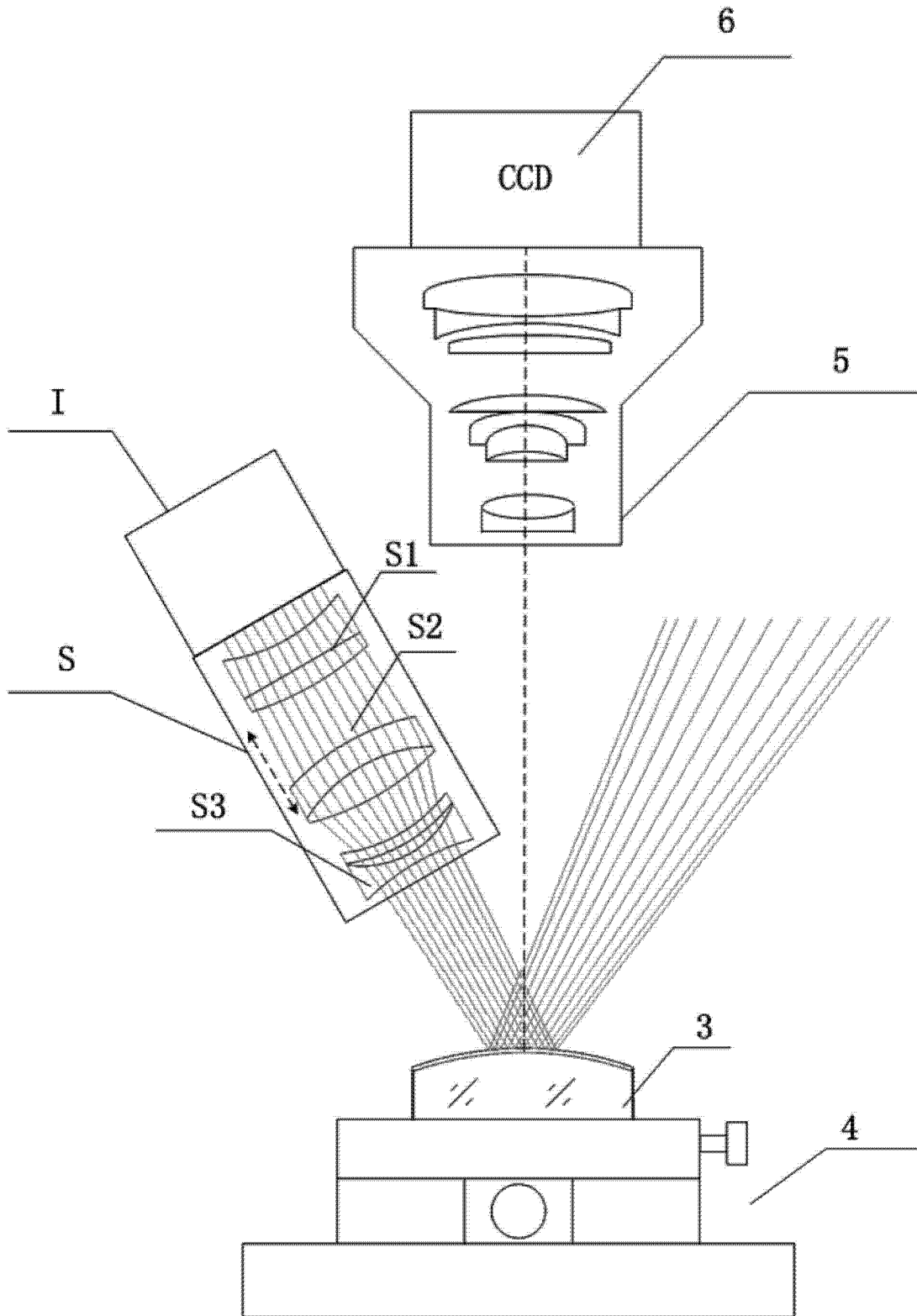


图 4(b)

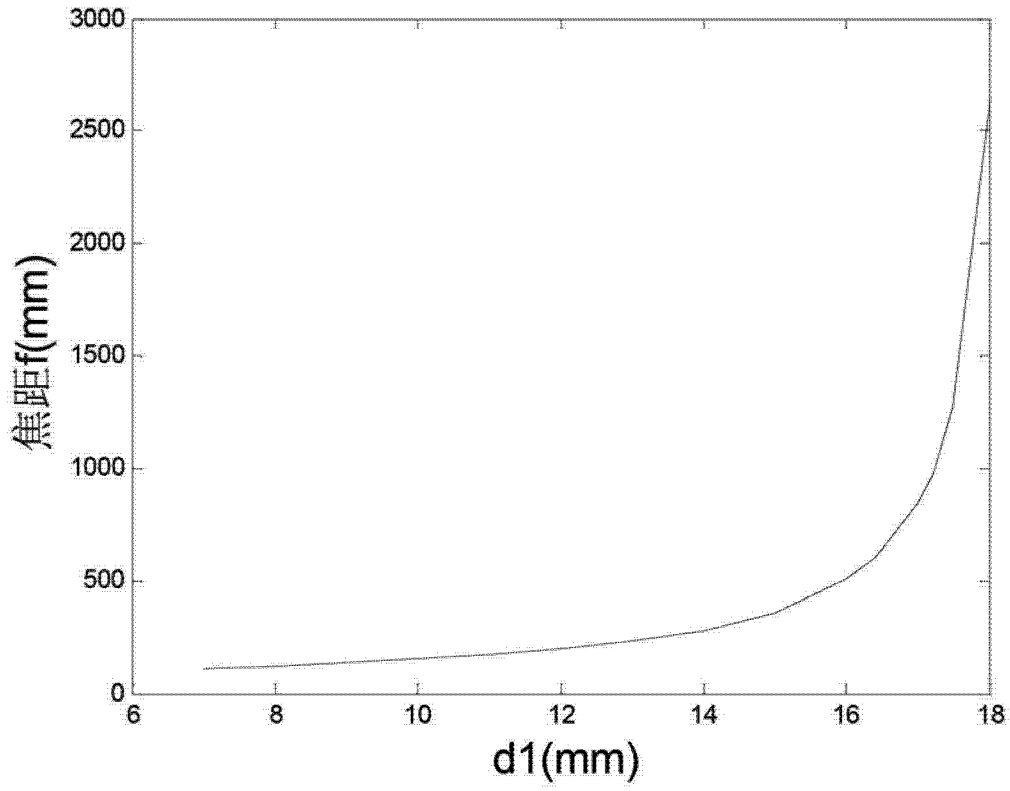


图 5

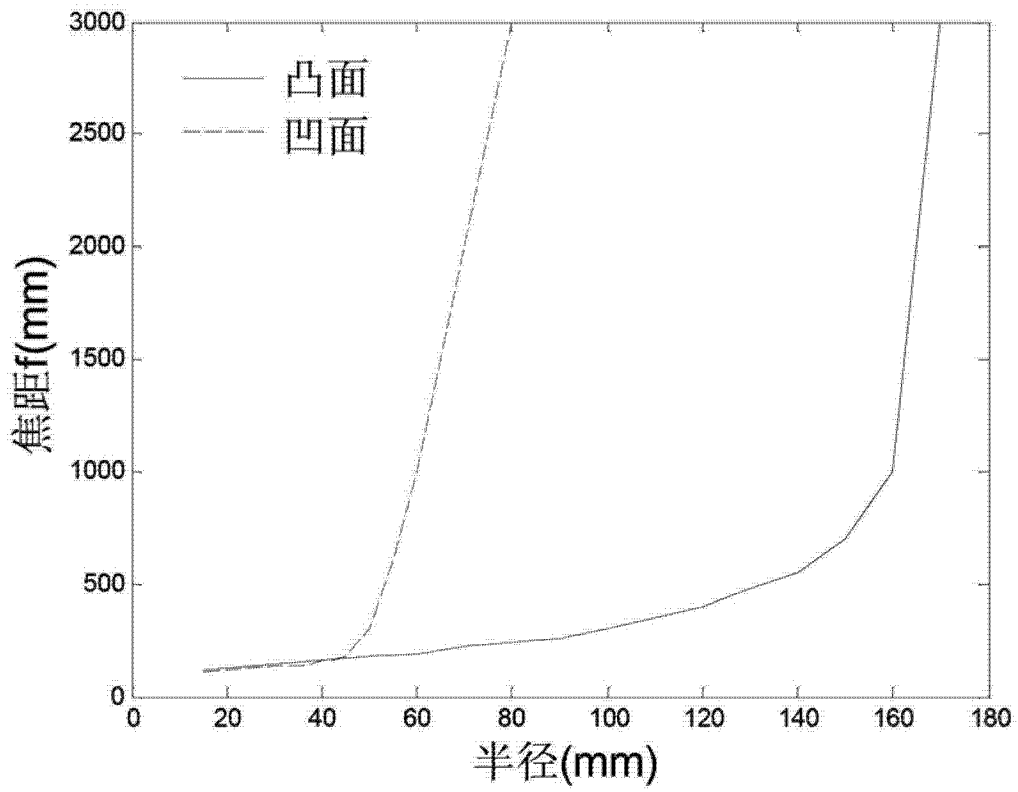


图 6