

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101726848 A

(43) 申请公布日 2010.06.09

(21) 申请号 200910218116.1

(22) 申请日 2009.12.25

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 宣丽 穆全全 胡立发 曹召良
彭增辉 刘永刚 李大禹 鲁兴海

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所
22210

代理人 南小平

(51) Int. Cl.

G02B 26/06 (2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

兼具开环与闭环的液晶自适应光学系统

(57) 摘要

本发明属于自适应光学领域,是一种在开环自适应校正与闭环自适应校正功能之间能够进行切换的液晶自适应光学系统,涉及液晶校正器、波前探测器、波片和 PBS 分束器等光学元件的组合。提出了一种操作简单、装调难度低,稳定性能好的开环液晶自适应光学系统,且兼容闭环自适应校正模式。系统采用 PBS 偏振分束器替代普通偏振片,使液晶自适应光学系统的能量利用效率很高;由于 PBS 设置于液晶校正器之后进行偏振分束,并与旋光机构相结合,使得探测校正器的响应矩阵时无需旋转 PBS,避免了由于这一动作造成的光轴复位误差。另外系统可以切换为闭环自适应校正光学系统,可以在闭环模式下定量检测系统的校正性能,为装调开环液晶自适应系统提供了便利条件。

1. 一种兼具开环与闭环自适应校正模式的液晶自适应光学系统,其特征是:主光学系统由第一透镜(1)、快速振镜(2)、第二透镜(3)、第三透镜(4)、液晶校正器(5)、薄型反射镜(6)、第四透镜(7)、PBS分束器(8)、第五透镜(9)、成像CCD(10)、波前探测器(11)组成;快速振镜(2)位于第一透镜(1)和第二透镜(3)之间,其法线与第一透镜的光轴成45度配置;第三透镜(4)位于第二透镜(3)的焦点和液晶校正器(5)之间,第二透镜(3)与第三透镜(4)光轴平行,相距4mm~6mm;薄型反射镜(6)位于第三透镜(4)和第四透镜(7)之间,其法线分别与第三透镜(4)和第四透镜(7)的光轴成45度配置,且三者在同一平面上;PBS分束器(8)位于第四透镜(7)和波前探测器(11)之间;第五透镜(9)位于PBS分束器(8)和成像CCD(10)之间;快速振镜(2)、液晶校正器(5)、成像CCD(10)和波前探测器(11)均与存有自适应控制软件的计算机相联结,形成开环自适应校正模式系统;

开环自适应校正模式中响应矩阵的测量光路,是将 $\lambda/2$ 波片(14)插入主光学系统,放置于第四透镜(7)和PBS分束器(8)之间,且 $\lambda/2$ 波片(14)的晶轴与液晶校正器(5)中液晶的取向方向成45度角;点光源(15)放置于第一透镜(1)的前焦点处;响应矩阵测量后,将 $\lambda/2$ 波片(14)和点光源(15)撤离光路,开始开环自适应校正模式的工作;其中 λ 为点光源(15)的中心发光波长;

当系统切入闭环自适应校正模式时:须在主光学系统中将偏振片(13)插入第一透镜(1)与快速振镜(2)之间,且偏振片(13)的透光轴与液晶校正器(5)中的液晶取向方向平行;再将 $\lambda/4$ 波片(12)插入第四透镜(7)和PBS分束器(8)之间,且 $\lambda/4$ 波片(12)的晶轴与液晶校正器(5)中的液晶取向方向成45度角;点光源(15)放置于第一透镜(1)的前焦点处,系统即可在闭环自适应校正模式下工作。

2. 根据权利要求1所述的兼具开环与闭环自适应校正模式的液晶自适应光学系统,其特征是:

所述的液晶校正器(5)为LCOS型液晶校正器,位相调制深度是入射光中心波长的0.95~1.1倍,驱动电压的分度值即灰度级有128~256个;

所述的PBS偏振分束器(8),其中S偏振光或P偏振光的消光比为 1×10^{-3} ;

所述的点光源(15)为发光波长在以 λ 为中心的 $(\lambda-15\text{nm}) \sim (\lambda+15\text{nm})$ 范围内。

兼具开环与闭环的液晶自适应光学系统

技术领域

[0001] 本发明属于自适应光学领域,涉及液晶校正器、波前探测器、自适应光学控制器、波片和 PBS 分束器等光学元件的组合,具体地说是一种在开环自适应校正与闭环自适应校正功能之间能够进行切换的液晶自适应光学系统。

背景技术

[0002] 光波前自适应校正系统的功能是对入射光的畸变波前进行实时补偿校正,得到理想的光学成像。

[0003] 液晶校正器采用微电子技术,利用液晶器件高像素密度的特点,校正精度高,制备工艺成熟,因此液晶校正器的自适应系统具有很大的应用潜力。但液晶校正器须在偏振光中工作,如果自适应系统设计为通常的闭环自适应校正模式,能量利用率将减低 50%。在“无偏振光能量损失的液晶自适应光学系统”(中国专利,ZL 200610173382)中提出了一项开环液晶自适应光学系统的技术,解决了液晶自适应光学系统 50%的偏振能量损失问题。

[0004] 所说的闭环自适应校正系统是光束先通过偏振片、校正器,然后被分为两路,一路用于探测,一路用于成像,且两路的能量均为入射光能的 25%。而开环自适应校正系统是用 PBS 偏振分束器先将入射光分为两路偏振光,则大约 50%的能量用于探测,另外 50%的能量用于波前校正后进入 CCD 成像。闭环校正器与开环校正器在光路上是完全不同,导致了开环液晶自适应校正系统能量损耗很小。

[0005] 但是,开环自适应校正系统中测量液晶校正器对 Zernike 模式的响应矩阵时,需将前述的自适应校正系统中的 PBS 偏振分束器做一次旋转以将光路切换至内置光源,待响应矩阵测试完成后再将 PBS 旋转复原。由此带来的复位误差对成像效果影响比较大。要减小这个影响,需对转动器件的转动结构精度提出很高要求,很难做到。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种兼具开环与闭环的液晶自适应光学系统。本发明无需 PBS 分束器(PBS 偏振分束器)转动即可实现开环与闭环两种校正模式之间的切换,可以避免 PBS 分束器复位误差,降低了系统的装调难度和器件成本。当自适应光学系统处于开环校正模式时,能量利用率相对闭环模式提高近 1 倍;当自适应光学系统处于闭环校正模式时,可以监测校正精度与稳定性,弥补了单纯开环校正系统不能定量了解校正精度的缺陷。

[0007] 本发明是将 PBS 分束器放置于液晶校正器之后。由于液晶校正器只能对偏振光、即 e 光进行校正,而对 o 光没有校正效果,用 PBS 分束器将液晶校正器出射的 e 光和 o 光分开,分别对应 S 光和 P 光而分成两束;得到校正的 S 光进入 CCD 成像,未得到校正的 P 光进入探测器,使探测器测得校正前的畸变波前。这种校正方法属于开环校正模式。当测量探测器对液晶校正器的 Zernike 模式响应矩阵时,只需要在与外来光接收系统的对接处放置一点光源,点光源的发光波长在以 λ 为中心的 $(\lambda - 15\text{nm}) \sim (\lambda + 15\text{nm})$ 范围内,再在 PBS 分束器前插入一晶轴与液晶取向方向成 45 度角的 $\lambda/2$ 波片,经过 $\lambda/2$ 波片的光束,其偏

振态会旋转 90 度,使得 PBS 分束器分开的两束光中受到液晶校正器调制的 e 光对应成 P 光进入波前探测器,完成响应矩阵的测量。移出点光源和 $\lambda/2$ 波片,系统即可进行外目标的波前自适应校正成像。

[0008] 这个设计不再需要 PBS 分束器进行旋转,只需插入和抽出点光源和波片即可。波片元件是平板状单轴晶体,厚度非常均匀也很薄,它的插入和抽出不会影响光束的传播方向,所以不会影响到系统的校正成像性能。同时,这种光路允许在液晶校正器前插入偏振片和 PBS 分束器前插入 $\lambda/4$ 波片,使校正模式变为闭环校正,且偏振片和 $\lambda/4$ 波片的插入也都不会影响系统光轴的一致性精度。其原理是,插入的偏振片将入射光转换为偏振光,可以 100% 的实现液晶校正器的波前校正;然后通过一晶轴与液晶取向方向成 45 度角放置的 $\lambda/4$ 波片,使波前校正后的线偏振光转化为圆偏振光;圆偏振光再经过 PBS 分束器时被分为两束同样被校正的光束,分别进入波前探测器和成像 CCD,形成先校正后探测的闭环校正工作模式。虽然所兼容的这个闭环自适应校正模式使用了偏振片,造成 50% 光能损失而不适合对外目标进行自适应成像,但可用于系统校正性能的定量评价,便于液晶开环自适应光学系统的装调和工程化。

[0009] 本发明的主光学系统如图 1 所示,由第一透镜 1、快速振镜 2、第二透镜 3、第三透镜 4、液晶校正器 5、薄型反射镜 6、第四透镜 7、PBS 分束器 8、第五透镜 9、成像 CCD10、波前探测器 11 组成。快速振镜 2 位于第一透镜 1 和第二透镜 3 之间,其法线与第一透镜 1 的光轴成 45 度,同时使入射光束以 45 度反射到第二透镜 3;第三透镜 4 位于第二透镜 3 和液晶校正器 5 之间,第二透镜 3 的光轴与第三透镜 4 的光轴平行,相距 4mm ~ 6mm,以使从第三透镜 4 出射的光束能够入射到薄型反射镜 6 上;薄型反射镜 6 位于第三透镜 4 和第四透镜 7 之间,其法线与第三透镜 4 和第四透镜 7 的光轴成 45 度配置,且三者在同一平面上;PBS 分束器 8 位于第四透镜 7 和波前探测器 11 之间;第五透镜 9 位于 PBS 分束器 8 和成像 CCD10 之间。主光学系统为开环自适应校正模式。

[0010] 第一透镜 1 的前焦点与外目标的光学探测系统的焦面相接,将光学探测系统的出瞳成像于快速振镜 2 上;第二透镜 3 和第三透镜 4 为一对共轭透镜组,用于使快速振镜 2 与液晶校正器 5 共轭配置;第二透镜 3 与第三透镜 4 间的距离为二者的焦距之和;快速振镜 2 和第二透镜 3 的光轴为光轴一,第三透镜 4 和液晶校正器 5 的光轴为光轴二,这两条光轴相互平行,相距 4mm ~ 6mm;薄型反射镜 6 置于第二透镜 3 和第三透镜 4 之间,且位于光轴一相对于光轴二的镜像位置,实现焦点分光,保证薄型反射镜 6 不遮挡经第二透镜 3 入射到液晶校正器 5 上的光,还可以将液晶校正器 5 反射出来的光导入后续系统;第三透镜 4 和第四透镜 7 也是一对共轭透镜组,用于将液晶校正器 5 与波前探测器 11 共轭配置;成像 CCD10 置于第五透镜 9 的像面处。

[0011] 开环自适应校正模式下响应矩阵的测量光路如图 2 所示, $\lambda/2$ 波片 14 放置于第四透镜 7 和 PBS 分束器 8 之间,且 $\lambda/2$ 波片 14 的晶轴与液晶校正器 5 的液晶取向方向成 45 度角;在第一透镜 1 的前焦点处放置点光源 15。

[0012] $\lambda/4$ 波片 12 和偏振片 13 插入图 1 所述系统后,可将系统切换为闭环自适应校正模式。如图 3 所示,偏振片 13 放置于第一透镜 1 与快速振镜 2 之间, $\lambda/4$ 波片 12 放置于第四透镜 7 和 PBS 分束器 8 之间;点光源 15 作为闭环系统的成像目标,用于检测系统的校正精度与稳定性。

[0013] 本发明中所涉及快速振镜 2、液晶校正器 5、成像 CCD10 和波前探测器 11 均与一计算机相连接。计算机中存有自适应校正控制软件,其作用是:首先对波前探测器 11 获得的光学信号进行处理,给出波前函数和数值解,并将波前整体倾斜数据与高阶畸变数据分离,将波前整体倾斜数据反馈给快速振镜 2 以消除光束的抖动;高阶畸变数据反馈给液晶校正器 5,使波前的高阶畸变得以校正;此时成像 CCD10 所摄的像为校正后的无畸变像,计算机给出校正过程所拍摄像的显示。

[0014] 本发明可以高精度地实现开环与闭环两种校正模式之间的切换,降低了系统的装调难度和器件成本。

附图说明

[0015] 图 1 是本发明的开环自适应校正模式光路示意图。1 为第一透镜,2 为快速振镜,3 为第二透镜,4 为第三透镜,5 为液晶校正器,6 为薄型反射镜,7 为第四透镜,8 为 PBS 分束器,9 为第五透镜,10 为成像 CCD,11 为波前探测器。第一透镜 1 的前焦点与接收望远镜的焦点重合。

[0016] 图 2 是开环自适应校正模式下测量响应矩阵的光路示意图。14 为 $\lambda/2$ 波片,15 为点光源,放置于第一透镜 1 的前焦点处。其中 λ 为点光源 15 的中心发光波长。

[0017] 图 3 是系统的闭环自适应校正模式光路示意图。12 为 $\lambda/4$ 波片,13 为偏振片。

具体实施方式

[0018] 1) 第一透镜 1、第二透镜 3、第三透镜 4、第四透镜 7、第五透镜 9 均为双胶合消色差透镜,且表面镀有增透膜,口径均为 20mm,焦距分别为 200mm、400mm、300mm、140mm、200mm。

[0019] 2) 快速振镜 2 为闭环自适应驱动式快速振镜(德国 PI 公司),直径为 20mm,反射率大于 97%,表面平整度 PV 值小于 $\lambda/20$,其中 $\lambda = 633\text{nm}$,最大转动范围 2mrad,分辨率 $0.1 \mu\text{rad}$ 。

[0020] 3) 波前探测器 11 为夏克-哈特曼型波前探测器(俄罗斯 VisionicaLed.),3mm 接收孔径,微透镜阵列为 15×15 ,探测波段从 350nm ~ 1000nm,测量精度达到峰谷值 0.05λ ,均方根值 0.01λ 。

[0021] 4) 薄型反射镜 6,面积 $15\text{mm} \times 15\text{mm}$,厚度小于 2mm,反射率大于 98%。

[0022] 5) 液晶校正器 5 为 LCOS 型液晶校正器(美国 BNS 公司),响应时间 2.6ms,像素数 256×256 ,位相调制深度 633nm,位相调制深度是入射光中心波长的 0.95 ~ 1.1 倍,驱动电压的分度值即灰度级有 256 个。

[0023] 6) PBS 偏振分束器 8,尺寸为 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 25\text{mm}$,其 S 偏振光或 P 偏振光的消光比为 1×10^{-3} 。

[0024] 7) 成像 CCD10 为英国 ANDOR 公司 DV897 型号的产品,像素数 512×512 。

[0025] 8) 点光源 15,是光纤束耦合的 $\lambda = 633\text{nm}$ 、波长范围 618nm ~ 648nm 的光源,光纤束直径 1mm,单根光纤直径为 $25 \mu\text{m}$ 。

[0026] 9) $\lambda/2$ 波片 14, $\lambda/4$ 波片 12 和偏振片 13,口径均为 20mm,其中 $\lambda = 633\text{nm}$ 。

[0027] 10) 自适应光学系统的搭建:

[0028] 依据图 1 所示光路,利用 1) ~ 8) 所述的元件搭建液晶自适应光学系统,各元件的

位置与摆放方式严格按照“发明内容”所述的位置与方式摆放,并且快速振镜 2、液晶校正器 5、成像 CCD10 和波前探测器 11 均与存有自适应控制软件的计算机相连结。

[0029] 11) 开环自适应校正模式:

[0030] 测量波前探测器 11 对液晶校正器 5 的 Zernike 模式响应矩阵:

[0031] 按照图 2 所示位置,将点光源 15 和 $\lambda/2$ 波片 14 插入搭建的系统中, $\lambda/2$ 波片 14 的晶轴与液晶校正器 5 中液晶的取向方向成 45 度角,指令计算机依次发出前 36 项 Zernike 模式信号驱动液晶校正器 5;受到液晶校正器 5 调制的 e 光通过 PBS 分束器 8 进入波前探测器 11;计算机自动读取波前探测器 11 的光学响应信号,并进行数字化处理成为响应矩阵,存储在数据库中。

[0032] 开环自适应波前校正成像过程:

[0033] 得到响应矩阵后,将 $\lambda/2$ 波片 14 撤离光路,形成以点光源 15 为成像目标的开环自适应校正模式系统;指令计算机依据响应矩阵处理波前探测器 11 给出的系统像差,驱动液晶校正器 5;按照开环的数据处理方法自适应校正系统中存在的像差;观察成像 CCD10 上的光纤束成像。结果表明,自适应校正前分辨不出光纤芯,而校正后光纤芯清楚显现,说明光路中的像差得到校正。

[0034] 12) 切入闭环自适应校正模式:

[0035] 按照图 3 所示位置, $\lambda/4$ 波片 12 和偏振片 13 插入搭建的系统中,偏振片 13 的透光轴与液晶校正器 5 中的液晶取向方向平行, $\lambda/4$ 波片 12 的晶轴与液晶取向方向成 45 度角,系统切换为闭环自适应校正模式;点光源 15 作为成像目标,指令计算机依据响应矩阵处理波前探测器 11 给出的系统像差,驱动液晶校正器 5;按照闭环的数据处理方法自适应校正系统中存在的像差;观察成像 CCD10 上的光纤束成像。结果表明,自适应校正前分辨不出光纤芯,而校正后光纤芯也清楚显现,清晰程度与开环的效果没有区别。观察校正后波前探测器 11 中的波前残差,波前的峰谷差值 $PV = 0.1\lambda$ 、均方根值 $RMS = 0.03\lambda$,表明本发明的设计能够获得很高的校正精度。

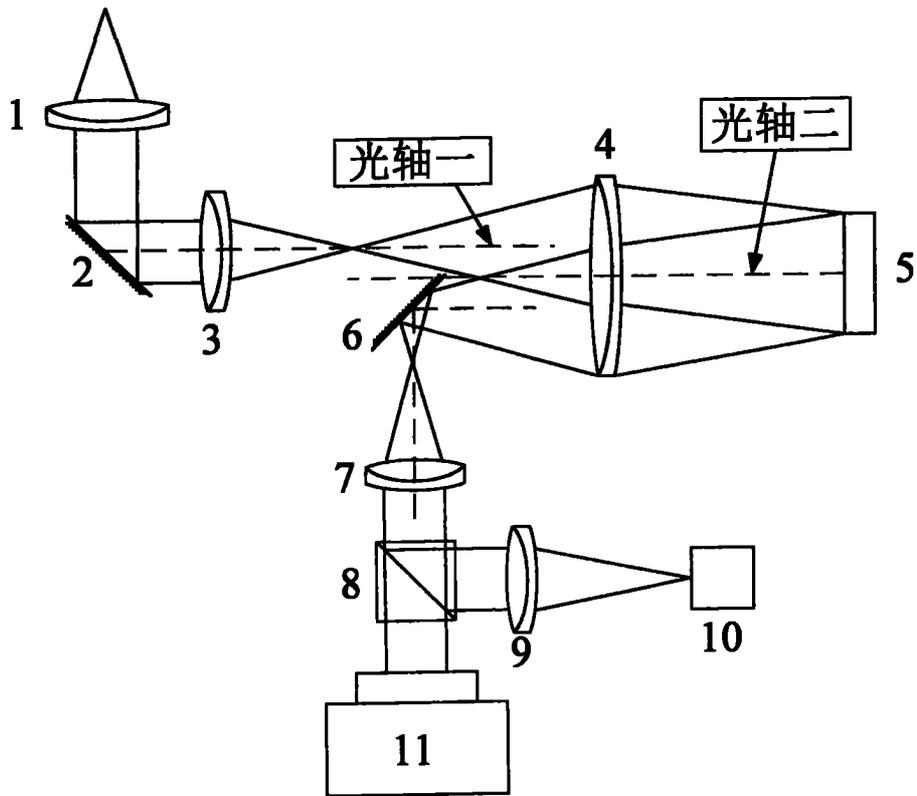


图 1

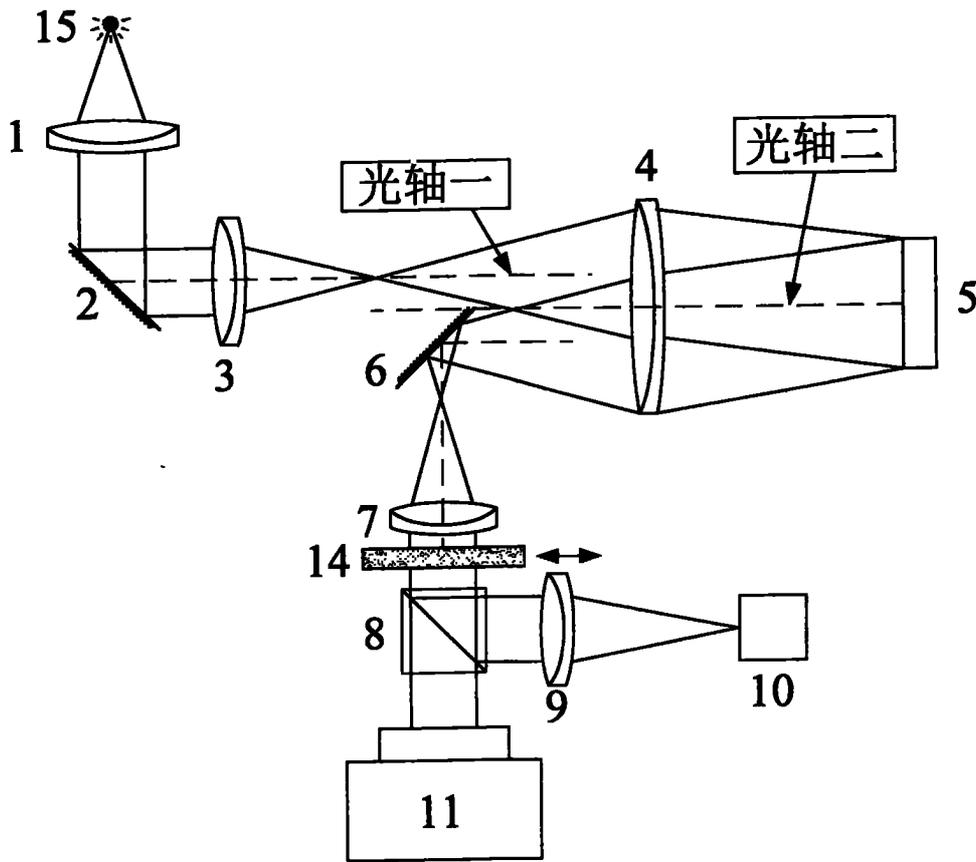


图 2

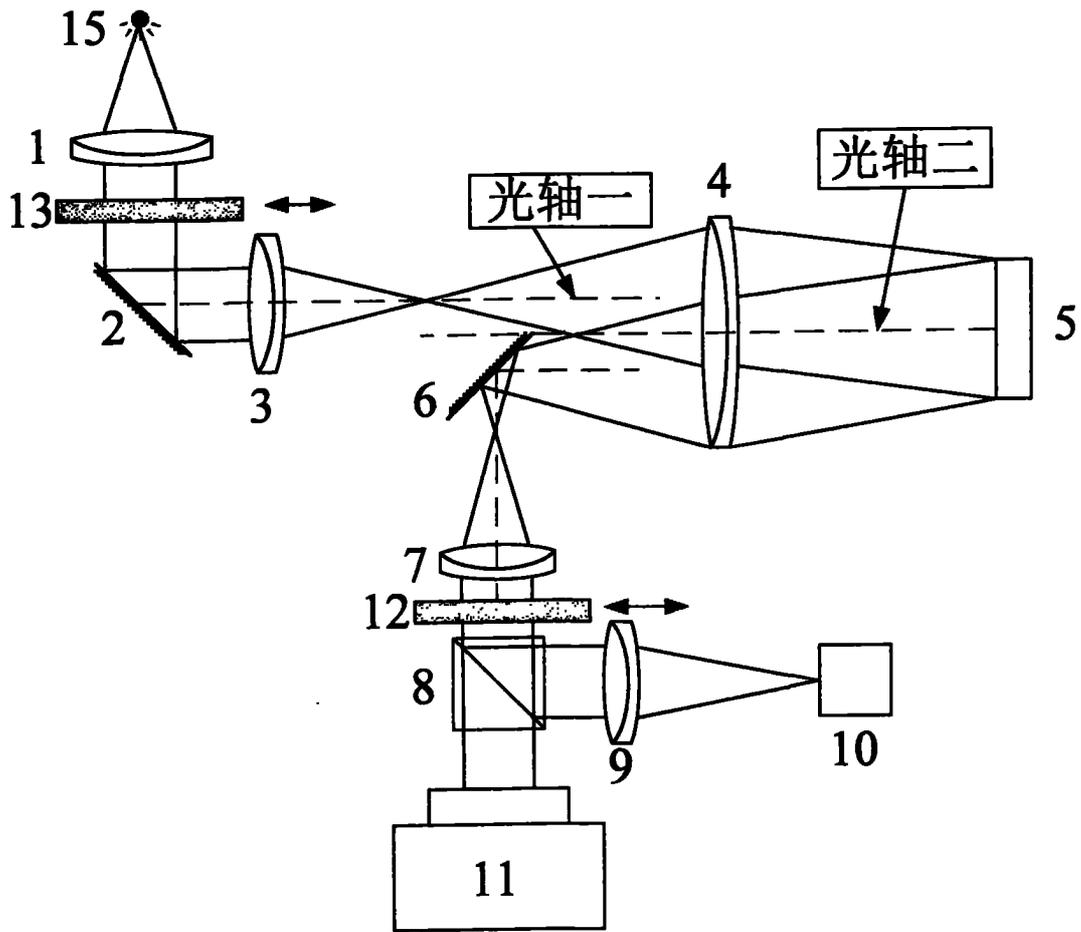


图 3