



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110579877 A

(43)申请公布日 2019.12.17

(21)申请号 201910896881.2

(22)申请日 2019.09.23

(71)申请人 中国科学院上海技术物理研究所
地址 200083 上海市虹口区玉田路500号

(72)发明人 郝沛明 郑列华

(74)专利代理机构 上海沪慧律师事务所 31311
代理人 郭英

(51)Int.Cl.

G02B 27/00(2006.01)

G01M 11/02(2006.01)

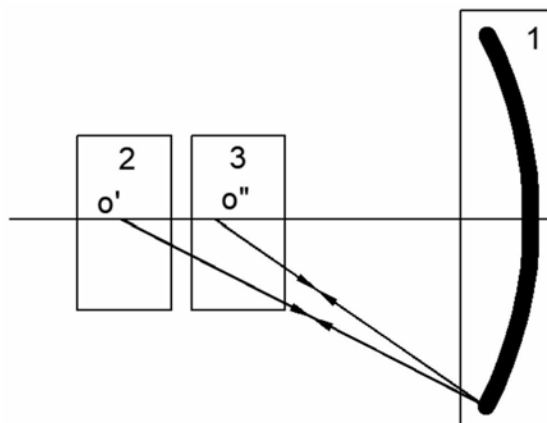
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

共轭校正检验非球面镜的光学系统及理论

(57)摘要

本发明公开了一种共轭校正检验非球面镜的光学系统及理论。检测设备中发光点发出的光线经校正透镜成像于待检非球面镜的共轭物点；待检非球面镜将共轭物点成像于共轭像点；共轭像点作为自准校正透镜的物点，光线经自准校正透镜自准原路返回。校正透镜和自准校正透镜生成球差可校正待检非球面镜在两个共轭点生成球差。共轭前后点与前区、中区、后区三个区间是相关的，大大提高了像差校正能力；自准面位于自准校正透镜上，光线两次通过待检非球面镜；自准校正透镜位于共轭前点前，校正扁球面能力强；校正透镜与自准校正透镜光路连接，校正能力更强。共轭校正检验可实现大口径、大相对孔径甚至超大口径、超大相对孔径的非球面镜检验。



1. 一种共轭校正检验非球面镜的光学系统,包括校正透镜(2)和自准校正透镜(3),待检非球面镜(1)有两个不消球差的共轭点,即共轭后点 O' 和共轭前点 O'' ,其特征在于,

由检测设备发出的光线经校正透镜(2)后至待检非球面镜(1)反射至自准校正透镜(3),并由自准校正透镜(3)中的镀有半透半反膜的透镜面反射回待检非球面镜(1),再经待检非球面镜(1)反射到自准校正透镜(3),经自准校正透镜(3)透射和校正透镜(2)透射原路回到检测设备;

校正透镜(2)将检测设备发出的光线成像于待检非球面镜(1)的共轭后点 O' 或共轭前点 O'' 上,该点作为待检非球面镜的共轭物点;待检非球面镜(1)将共轭物点成像于另一个共轭点上,该点为共轭像点;共轭前点 O'' 和共轭后点 O' 共轭为物像关系点;按两个共轭点划分区间成共轭后点、共轭前点、共轭前后点之间为中区 $O'O''$ 、共轭后点后为后区和共轭前点前为前区,共轭校正检验的共轭前后点和前区、中区、后区三个区间是相关的;校正透镜(2)和自准校正透镜(3)二者生成的球差校正待检非球面镜(1)在两个共轭点生成的球差;自准校正透镜(3)放置在共轭后点 O' ,共轭前点 O'' ,中区、后区或前区区间;光阑位于自准校正透镜(3)的自准面上,自准面镀有半透半反膜,光线两次经过待检非球面镜(1)。

2. 根据权利要求1所述的共轭校正检验非球面镜的光学系统,其特征在于:所述的校正透镜(2)和自准校正透镜(3)可合并成一个透镜。

3. 一种基于权利要求1所述的共轭校正检验非球面镜的光学系统的共轭校正检验非球面镜理论,其特征在于:所述校正透镜(2)和自准校正透镜(3)规化参数确定方法如下:

所述的各参数定义为 h_0 为光线在待检非球面镜(1)上的入射高度, $h_{校}$ 为光线在校正透镜(2)上的入射高度, $h_{自校}$ 为光线在自准校正透镜(3)上的入射高度, r_0 为待检非球面镜(1)顶点的曲率半径, u_0 为待检非球面镜(1)曲率中心到待检非球面镜(1)半口径处与光轴孔径角, u 和 u' 为入射和反射待检非球面镜(1)光线与光轴孔径角, n 和 n' 为入射和反射待检非球面镜(1)光线的折射率 $n=1, n'=-1$; O' 点和 O'' 点互为物像关系的两个共轭点, O' 点为共轭后点, O'' 点为共轭前点; l 为共轭前截距, l' 为共轭后截距, $\bar{P}_{非}$ 和 $K_{非}$ 为待检非球面镜(1)的初级球差参量, e^2 为待检非球面镜(1)的偏心率平方, $S_{1非}$ 为待检非球面镜(1)的初级球差系数, $P_{校}$ 为校正透镜(2)的初级球差参量, $S_{1校}$ 为校正透镜(2)的初级球差系数, $\bar{P}_{自校}$ 为自准校正透镜(3)的初级球差参量, $S_{1自校}$ 为自准校正透镜(3)的初级球差系数, S_1 为检验系统的初级球差系数; h_0 、 $h_{校}$ 、 $h_{自校}$ 、 r_0 、 u_0 、 u 、 u' 、 n 、 n' 、 l 、 l' 、 $\bar{P}_{非}$ 、 $K_{非}$ 、 e^2 、 $S_{1非}$ 、 $P_{校}$ 、 $S_{1校}$ 、 $\bar{P}_{自校}$ 、 $S_{1自校}$ 各个参数之间关系如下述公式,

$$\text{规化条件 } u_0 = \frac{h_0}{r_0} = 1 \quad (1)$$

对于凹非球面镜, $u_0=1, h_0=-1, r_0=-1$;

对于凸非球面镜, $u_0=1, h_0=1, r_0=1$;

利用近轴公式,对凸凹待检非球面镜,

$$\frac{n'-n}{r_0} = \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} \quad (2)$$

$$h_0 = lu = l'u' \quad (3)$$

$$\frac{(n'-n)h_0}{r_0} = n'u' - nu \quad (4)$$

$$u' + u = 2 \quad (5)$$

$$\bar{P}_{\text{非}} = \left(\frac{u' - u}{1/n' - 1/n} \right)^2 \left(\frac{u'}{n'} - \frac{u}{n} \right) = - \left(\frac{u' - u}{2} \right)^2 (u' + u) = -2(1-u)^2 \quad (6)$$

$$K_{\text{非}} = - \frac{n' - n}{r_0^3} e^2 = \frac{2}{r_0^3} e^2 \quad (7)$$

待检非球面镜(1)初级球差参量 $\bar{P}_{\text{非}}$ 和 $K_{\text{非}}$ 与初级球差系数 $S_{1\text{非}}$ 关系如公式(8),

$$S_{1\text{非}} = h_0 \bar{P}_{\text{非}} + h_0^4 K_{\text{非}} \neq 0 \quad (8)$$

将公式(6)和公式(7)带入初级球差系数 $S_{1\text{非}}$ 表示公式(8)中,可以得出公式(9),

$$S_{1\text{非}} = 2h_0 [e^2 - (1-u)^2] = 2h_0 [e^2 - (u'-1)^2] \quad (9)$$

对于凹待检非球面镜, $r_0 = -1, h_0 = -1$, 公式(9)变为公式(10),

$$S_{1\text{非}} = -2 [e^2 - (1-u)^2] = 2 [(1-u)^2 - e^2] \neq 0 \quad (10)$$

对于凸待检非球面镜, $r_0 = 1, h_0 = 1$, 公式(9)变为公式(11),

$$S_{1\text{非}} = 2 [e^2 - (1-u)^2] \neq 0 \quad (11)$$

光学系统初级球差系数 S_1 与 $S_{1\text{非}}$ 、 $S_{1\text{校}}$ 、 $S_{1\text{自校}}$ 关系为

$$S_1 = S_{1\text{校}} + S_{1\text{非}} + S_{1\text{自校}} = h_{\text{校}} P_{\text{校}} + h_0 \bar{P}_{\text{非}} + h_0^4 K_{\text{非}} + h_{\text{自校}} \bar{P}_{\text{自校}} \quad (12)$$

对于凹待检非球面镜, 公式(12)变为公式(13),

$$S_1 = h_{\text{校}} P_{\text{校}} + h_{\text{自校}} \bar{P}_{\text{自校}} + 2 [(1-u)^2 - e^2] = 0 \quad (13)$$

对于凸待检非球面镜, 公式(12)变为公式(14),

$$S_1 = h_{\text{校}} P_{\text{校}} + h_{\text{自校}} \bar{P}_{\text{自校}} + 2 [e^2 - (1-u)^2] = 0 \quad (14)$$

给定初始 $h_{\text{校}}$ 、 $h_{\text{自校}}$ 、 u 参数值, 通过解算公式(2)、公式(3)、公式(4)、公式(5)和公式(13)、(14)可以求出校正透镜(2)和自准校正透镜(3)的规化参数 $P_{\text{校}}$ 和 $\bar{P}_{\text{自校}}$ 。

共轭校正检验非球面镜的光学系统及理论

技术领域

[0001] 本发明涉及大口径、大相对孔径的非球面镜检验,甚至超大口径、超大相对孔径的非球面镜检验,具体是指基于共轭校正原理检验非球面镜的基础理论。

背景技术

[0002] 非球面镜光学包括像差理论、非球面镜光学系统设计、辅助光学系统设计、加工技术和像质评价等主要部分,其中,辅助光学系统设计起到非球面镜光学设计与非球面镜加工的桥梁作用,设计非球面镜的加工是通过辅助光学系统检验非球面镜实现的。回顾辅助光学系统设计的发展历史,非球面镜检验可分成两个主要类型:

[0003] 1. 经典非球面镜检验

[0004] 利用非球面镜自身消像差点进行自准检验,光栏位于辅助面上,光线两次经过待检非球面镜。具有代表性的典型方法:(1)凹抛物面自准检验。利用辅助平面镜自准检验凹抛物面。(2)亨德尔(Hindle 1931)凸双曲面检验。利用辅助球面镜,自准检验凸双曲面。(3)辛普森(Simpson 1974)凸双曲面检验。利用半反半透自准辅助球面,自准检验凸双曲面。(4)透射凸非球面镜检验(郝沛明1991)。待检凸非球面镜自身消球差,在折射的消球差点一方加自准辅助球面镜,自准检验凸非球面镜。

[0005] 上述的非球面镜自身消像差点自准检验方法适用于一般口径和小相对孔径的非球面镜检验。

[0006] 2. 零位补偿非球面镜检验

[0007] 利用补偿透镜生成的球差补偿待检凹非球面镜的法距差,进行自准检验。待检凹非球面镜是自准面,光栏位于待检凹非球面镜上,光线一次经过待检非球面镜。具有代表性的典型方法:(1)道尔(Dall 1947)凹非球面镜检验。利用位于待检凹抛物面与曲率半径球心之间的补偿正透镜,检验凹抛物面,待检凹抛物面是自准面,这是前零位补偿非球面镜检验。(2)改进的道尔(Dall)凹扁球面检验。利用位于待检凹扁球面与曲率半径球心之间的补偿负透镜,检验凹扁球面,待检凹扁球面是自准面,这是前零位补偿非球面镜检验。(3)奥夫纳尔(Offner 1863)凹非球面镜检验。利用位于待检凹非球面镜曲率半径球心后的补偿正透镜,检验凹抛物面,待检凹抛物面是自准面,这是后零位补偿非球面镜检验。(4)马克苏托夫(Maksutov 1957)凹非球面镜检验。利用位于待检凹非球面镜与曲率半径球心之间的补偿凹反射镜,检验凹抛物面,待检凹抛物面是自准面,这是前零位补偿非球面镜检验。(5)萨菲尔(Shafer 1979)凹非球面镜检验。利用位于待检凹抛物面与曲率半径球心之间的无光焦度三透镜组合生成的球差,补偿待检凹抛物面的法距差,待检凹抛物面是自准面,这是前零位补偿非球面镜检验。

[0008] 零位补偿非球面镜检验方法利用较小的补偿透镜或反射镜可实现大口径凹非球面镜检验,但利用零位补偿非球面镜检验的这些方法对于更大口径和更大相对孔径的凹非球面镜检验是比较困难的。

[0009] 为了实现大口径、大相对孔径的非球面镜检验,甚至实现超大口径、超大相对孔径

的非球面镜检验,提出共轭校正检验非球面镜的理论,其原理为:待检非球面镜可产生共轭前点和共轭后点(两个共轭点不消球差),校正透镜将物点(发光点)成像于一个共轭点,待检非球面镜将一个共轭点成像于另一个共轭点,另一个共轭点为自准校正透镜的自准点,共轭两点是物像关系,利用校正透镜和自准校正透镜二者生成的球差可校正待检非球面镜生成的球差。光阑位于自准校正透镜的自准面(内反射自准)上,光线两次经过待检非球面镜。相对于经典非球面镜检验和零位补偿非球面镜检验,共轭校正检验非球面镜区别在于:

[0010] 1. 经典非球面镜检验利用凸或凹非球面镜自身消球差点进行自准检验,适用于一般口径和小相对孔径的非球面镜检验。

[0011] 2. 零位补偿检验以近轴曲率中心为界,分前补偿和后补偿;自准面位于待检凹非球面镜上,光线仅一次通过待检凹非球面镜反射。零位补偿检验分前零位补偿检验和后零位补偿检验两个区间,两个区间是不相关的,这样大大的降低补偿(校正)能力,利用零位补偿检验大口径、大相对孔径的凹非球面镜是难以实现的。

[0012] 3. 共轭校正检验以共轭前后点为界,分前区、中区和后区,共轭前后点和三个区间是相关的,大大提高了校正能力;自准面位于自准校正透镜上,光线两次通过待检非球面镜反射;自准校正负透镜位于共轭前点前,校正扁球面能力强;校正透镜与自准校正透镜光路连接,达到校正能力更强的目的。共轭校正非球面镜检验可以实现大口径、大相对孔径的非球面镜检验,甚至实现超大口径、超大相对孔径的非球面镜检验。

发明内容

[0013] 共轭校正检验非球面镜适用于凸和凹非球面镜检验,为研究大口径、大相对孔径甚至超大口径、超大相对孔径的非球面镜检验提供了基础理论。一种共轭校正检验非球面镜的光学系统,包括校正透镜2和自准校正透镜3,待检非球面镜1有两个不消球差的共轭点,即共轭后点 O' 和共轭前点 O'' ,其特征在于,由检测设备发出的光线经校正透镜2后至待检非球面镜1反射至自准校正透镜3,并由自准校正透镜3中的镀有半透半反膜的透镜面反射回待检非球面镜1,再经待检非球面镜1反射到自准校正透镜3,经自准校正透镜3透射和校正透镜2透射原路回到检测设备。

[0014] 本发明所述的校正透镜2将检测设备发出的光线成像于待检非球面镜1的共轭后点 O' 或共轭前点 O'' 上,该点作为待检非球面镜的共轭物点;待检非球面镜1将共轭物点成像于另一个共轭点上,该点为共轭像点;共轭前点 O'' 和共轭后点 O' 共轭为物像关系点;按两个共轭点划分区间成共轭后点、共轭前点、共轭前后点之间为中区 $O'O''$ 、共轭后点后为后区和共轭前点前为前区,共轭校正检验的共轭前后点和前区、中区、后区三个区间是相关的;校正透镜2和自准校正透镜3二者生成的球差校正待检非球面镜1在两个共轭点生成的球差;自准校正透镜3放置在共轭后点 O' ,共轭前点 O'' ,中区、后区或前区区间;光阑位于自准校正透镜3的自准面上,自准面镀有半透半反膜,光线两次经过待检非球面镜1。

[0015] 本发明所述的校正透镜2和自准校正透镜3二者可合并成同一透镜。

[0016] 本发明所述的共轭校正检验非球面镜的光学系统的共轭校正检验非球面镜理论,其特征在于:所述校正透镜2和自准校正透镜3规化参数确定方法如下:

[0017] 所述的各参数定义为 h_0 为光线在待检非球面镜(1)上的入射高度, $h_{校}$ 为光线在校正透镜(2)上的入射高度, $h_{自校}$ 为光线在自准校正透镜(3)上的入射高度, r_0 为待检非球面镜

(1) 顶点的曲率半径, u_0 为待检非球面镜 (1) 曲率中心到待检非球面镜 (1) 半口径处与光轴孔径角, u 和 u' 为入射和反射待检非球面镜 (1) 光线与光轴孔径角, n 和 n' 为入射和反射待检非球面镜 (1) 光线的折射率 $n=1, n'=-1$ 。 O' 点和 O'' 点互为物像关系的两个共轭点, O' 点为共轭后点, O'' 点为共轭前点; l 为共轭前截距, l' 为共轭后截距, $\bar{P}_{\text{非}}$ 和 $K_{\text{非}}$ 为待检非球面镜 (1) 的初级球差参量, e^2 为待检非球面镜 (1) 的偏心率平方, $S_{1\text{非}}$ 为待检非球面镜 (1) 的初级球差系数, $P_{\text{校}}$ 为校正透镜 (2) 的初级球差参量, $S_{1\text{校}}$ 为校正透镜 (2) 的初级球差系数, $\bar{P}_{\text{自校}}$ 为自准校正透镜 (3) 的初级球差参量, $S_{1\text{自校}}$ 为自准校正透镜 (3) 的初级球差系数, S_1 为检验系统的初级球差系数。 $h_0, h_{\text{校}}, h_{\text{自校}}, r_0, u_0, u, u', n, n', l, l', \bar{P}_{\text{非}}, K_{\text{非}}, e^2, S_{1\text{非}}, P_{\text{校}}, S_{1\text{校}}, \bar{P}_{\text{自校}}, S_{1\text{自校}}$ 各个参数之间关系如下述公式,

[0018] 归化条件

$$u_0 = \frac{h_0}{r_0} = 1 \quad (1)$$

[0019] 对于凹非球面镜, $u_0=1, h_0=-1, r_0=-1$;

[0020] 对于凸非球面镜, $u_0=1, h_0=1, r_0=1$;

[0021] 利用近轴公式, 对凸凹待检非球面镜,

$$[0022] \quad \frac{n'-n}{r_0} = \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} \quad (2)$$

$$[0023] \quad h_0 = l u = l' u' \quad (3)$$

$$[0024] \quad \frac{(n'-n)h_0}{r_0} = n'u' - nu \quad (4)$$

$$[0025] \quad u' + u = 2 \quad (5)$$

$$[0026] \quad \bar{P}_{\text{非}} = \left(\frac{u'-u}{1/n' - 1/n} \right)^2 \left(\frac{u'}{n'} - \frac{u}{n} \right) = - \left(\frac{u'-u}{2} \right)^2 (u'+u) = -2(1-u)^2 \quad (6)$$

$$[0027] \quad K_{\text{非}} = - \frac{n'-n}{r_0^3} e^2 = \frac{2}{r_0^3} e^2 \quad (7)$$

[0028] 待检非球面镜 1 初级球差参量 $\bar{P}_{\text{非}}$ 和 $K_{\text{非}}$ 与初级球差系数 $S_{1\text{非}}$ 关系如公式 (8),

$$[0029] \quad S_{1\text{非}} = h_0 \bar{P}_{\text{非}} + h_0^4 K_{\text{非}} \neq 0 \quad (8)$$

[0030] 将公式 (6) 和公式 (7) 带入初级球差系数 $S_{1\text{非}}$ 表示公式 (8) 中, 可以得出公式 (9),

$$[0031] \quad S_{1\text{非}} = 2h_0 [e^2 - (1-u)^2] = 2h_0 [e^2 - (u'-1)^2] \quad (9)$$

[0032] 对于凹待检非球面镜, $r_0=-1, h_0=-1$, 公式 (9) 变为公式 (10),

$$[0033] \quad S_{1\text{非}} = -2 [e^2 - (1-u)^2] = 2 [(1-u)^2 - e^2] \neq 0 \quad (10)$$

[0034] 对于凸待检非球面镜, $r_0=1, h_0=1$, 公式 (9) 变为公式 (11),

$$[0035] \quad S_{1\text{非}} = 2 [e^2 - (1-u)^2] \neq 0 \quad (11)$$

[0036] 光学系统初级球差系数 S_1 与 $S_{1\text{非}}, S_{1\text{校}}, S_{1\text{自校}}$ 关系为

$$[0037] \quad S_1 = S_{1\text{校}} + S_{1\text{非}} + S_{1\text{自校}} = h_{\text{校}} P_{\text{校}} + h_0 \bar{P}_{\text{非}} + h_0^4 K_{\text{非}} + h_{\text{自校}} \bar{P}_{\text{自校}} \quad (12)$$

[0038] 对于凹待检非球面镜, 公式 (12) 变为公式 (13),

$$[0039] \quad S_1 = h_{\text{校}} P_{\text{校}} + h_{\text{自校}} \bar{P}_{\text{自校}} + 2[(1-u)^2 - e^2] = 0 \quad (13)$$

[0040] 对于凸待检非球面镜,公式(12)变为公式(14),

$$[0041] \quad S_1 = h_{\text{校}} P_{\text{校}} + h_{\text{自校}} \bar{P}_{\text{自校}} + 2[e^2 - (1-u)^2] = 0 \quad (14)$$

[0042] 给定初始 $h_{\text{校}}$ 、 $h_{\text{自校}}$ 、 u 参数值,通过解算公式(2)、公式(3)、公式(4)、公式(5)和公式(13)、(14)可以求出校正透镜2和自准校正透镜3的规化参数 $P_{\text{校}}$ 和 $\bar{P}_{\text{自校}}$,由 $P_{\text{校}}$ 、 $\bar{P}_{\text{自校}}$ 结合透镜具体结构形式可以获得透镜的规化参数。

[0043] 本发明所述的反射待检非球面镜1有两个共轭点, $0'$ 为共轭后点, $0''$ 为共轭前点,两个共轭点互为物像关系,这两个共轭点存在待检非球面镜1生成的球差。对于 $r_0 = -1$, $h_0 = -1$ 凹的待检非球面镜1,在近轴曲率中心右边的点为共轭前点 $0''$,在近轴曲率中心左边的点为共轭后点 $0'$ 。对于 $r_0 = 1$, $h_0 = 1$ 凸的待检非球面镜1,在反射待检非球面镜1右边的点为共轭前点 $0''$,在反射待检非球面镜1左边的点为共轭后点 $0'$ 。

[0044] 本发明所述的反射待检非球面镜1按两个共轭点划分区间,共轭后点、共轭前点、共轭前后点之间为中区 $0'0''$ 、共轭后点后为后区和共轭前点前为前区。对于前中后区,因在自准校正透镜3上入射光线高度和自准光线高度的不同,分为两个区。共轭校正检验的共轭前后点和前区、中区、后区三个区间是相关的,像差校正能力更强。

[0045] 本发明所述的校正透镜2和自准校正透镜3二者生成的球差可校正待检非球面镜1在两个共轭点生成的球差。共轭前点 $0''$ 和共轭后点 $0'$ 的间距(共轭点间距)与自准校正透镜3的位置和光线在自准校正透镜的入射高度有关。自准校正透镜3可放置在共轭后点 $0'$ 或共轭前点 $0''$,也可放置在中区、后区和前区区间。确定自准校正透镜3的位置和高度,就可以确定光学系统的结构。

[0046] 从共轭校正检验非球面镜原理分析和设计结果来看,共轭校正非球面镜检验能力远优于零位补偿非球面镜检验和经典非球面镜检验的能力。经典非球面镜检验利用凸或凹非球面镜自身消球差点进行自准检验,仅适用于一般口径和小相对孔径的非球面镜检验。零位补偿检验以近轴曲率中心为界,分前补偿和后补偿;光线仅一次通过待检凹非球面镜反射;前零位补偿检验和后零位补偿检验两个区间是不相关的,这样大大的降低补偿校正能力,利用零位补偿检验大口径、大相对孔径的凹非球面镜是困难的;国内外通常采用的办法是将球面补偿系统非球面镜化,提高补偿能力,但是这样降低了加工非球面镜的精度和延长加工周期,即使采用球面补偿系统非球面镜化,对检验超大口径、超大相对孔径非球面镜也是难以实现的。共轭校正光学系统都是球面,结构简单;共轭校正检验以共轭前后点为界,分前区、中区和后区,共轭前后点和三个区间是相关的,大大提高了像差校正能力;自准面位于自准校正透镜上,光线两次通过待检非球面镜反射;自准校正负透镜位于共轭前点前,校正扁球面能力强;校正透镜与自准校正透镜光路连接,达到校正能力更强的目的。共轭校正非球面镜检验可以实现大口径、大相对孔径的非球面镜检验,甚至实现超大口径、超大相对孔径的非球面镜检验。

附图说明

[0047] 图1为非球面镜共轭检验光路,1为待检非球面镜、2为校正透镜、3为自准校正透

镜。

[0048] 图2为三透镜共轭校正的检验光路,1为待检凹非球面镜、2-1为第一校正透镜、3为自准校正透镜,2-2为第二校正透镜。

具体实施方式

[0049] 本发明提出了共轭校正检验非球面镜的光学系统及基础理论。以下结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0050] 自准校正透镜3和第二校正透镜2-2位于待检凹非球面的球心。如图2所示,光线从轴上点O发出,经第一校正透镜2-1的球面R₁与球面R₂透射和自准校正透镜3的球面R₃与R₄透射,以及第二校正透镜2-2的球面R₅与R₆折射到待检凹非球面镜1上(成虚像于待检凹非球面镜1的共轭后点O'),经待检凹非球面镜1反射成像到共轭前点O'',光线入射到第二校正透镜2-2和自准校正透镜3,经自准校正透镜3自准面反射后,光线经过第二校正透镜2-2透射、待检凹非球面镜1反射、第二校正透镜2-2透射、自准校正透镜3透射和第一校正透镜2-1透射后按原路返回到像点O点。

[0051] 共轭校正检验凹非球面镜的步骤为:

[0052] 1.符号定义。顺光路时,符号上方的箭头为→。逆光路时,符号上方的箭头为←。

[0053] 2.光线发出的方向。为满足待检凹非球面镜1的入射高度 $h_{03}=-1$ 的规化条件,轴上物点发出光线指向光轴的下方。

[0054] 3.待检凹非球面镜的成像关系。共轭后点O'为物点,共轭前点O''为像点。

[0055] 4.光线在各面上的入射高度为h,初级球差参数为P、K。校正透镜2-1的球面R₁与球面R₂构成的初级球差系数 h_1P_{1-2} ,自准校正透镜3的球面R₃与R₄构成的初级球差系数 h_3P_{3-4} ,第二校正透镜2-2的球面R₅与R₆构成的初级球差系数 h_3P_{5-6} ,待检凹非球面镜1构成的初级球差系数 $h_{07}\bar{P}_7+h_{07}^4K_7$,经待检凹非球面镜1反射光线入射到第二校正透镜2-2的初级球差系数 $h_8\bar{P}_{8-9}$,再经过自准校正透镜3自准构成的初级球差系数 $h_8\bar{P}_{10-11}$ 。

[0056] 5.规化条件设置。镜面曲率半径为r,待检凹非球面镜1的曲率半径 r_{07} ,校正透镜2-1的球面R₁、R₂曲率半径分别为 r_1 、 r_2 ,自准校正透镜3的球面R₃、R₄曲率半径分别为 r_3 、 r_4 ,第二校正透镜2-2的球面R₅、R₆曲率半径分别为 r_5 、 r_6 ;入射各个光学面孔径角为u,入射待检凹非球面镜的孔径角为 u_{07} ,校正透镜2-1球面R₁入射光线的孔径角为 u_1 。规化条件为 $r_{07}=-1.0$, $h_{07}=-1.0$, $u_{07}=h_{07}/r_{07}=1$ 。

[0057] 6.球差校正。 e_7^2 为待检凹非球面镜1的偏心率平方,第一校正透镜2-1、自准校正透镜3、第二校正透镜2-2三透镜组合的共轭校正检验非球面消球差表示式为

$$[0058] \quad e_7^2 = \frac{h_1P_{1-2} + h_3(P_{3-4} + P_{5-6}) + h_{07}\bar{P}_7 + h_8(\bar{P}_{8-9} + \bar{P}_{10-11})}{2} \quad (15)$$

[0059] 其中 $h_3(P_{3-4}+P_{5-6})$ 和 $h_{07}\bar{P}_7$ 生成的球差较小。

[0060] 7.第一校正透镜2-1和第二校正透镜2-2、自准校正透镜3参数求解。给定 $h_8=0.10$ 、 $h_6=-0.10$ 、 $h_1=0.1$ 、 $u_1=-0.5$ 值,当 $e_7^2=1.0$ 时,根据公式(13)和公式(15)求解获得第一

校正透镜2-1、自准校正透镜3和第二校正透镜2-2的初级球差参量 $P_{1-2}=10$ 、 $\bar{P}_{8-9} + \bar{P}_{10-11}=10$ 。

由 $P_{1-2}=10$ 、 $\bar{P}_{8-9} + \bar{P}_{10-11}=10$ 结合透镜具体结构形式,采用玻璃材料为K9,可以获得第一校正透镜2-1、自准校正透镜3和第二校正透镜2-2的规化曲率半径分别为:

[0061] $r_1=0.0351$ 、 $r_2=3.3525$ 、 $r_3=0.7382$ 、 $r_4=-0.087$ 、 $r_5=-0.0378$ 、 $r_6=-0.0375$ 。

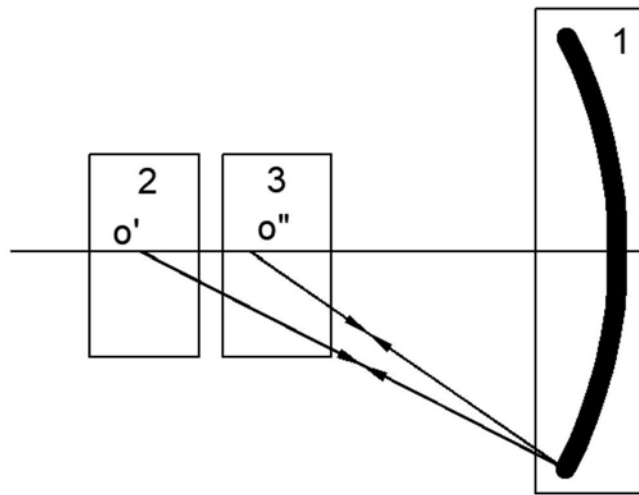


图1

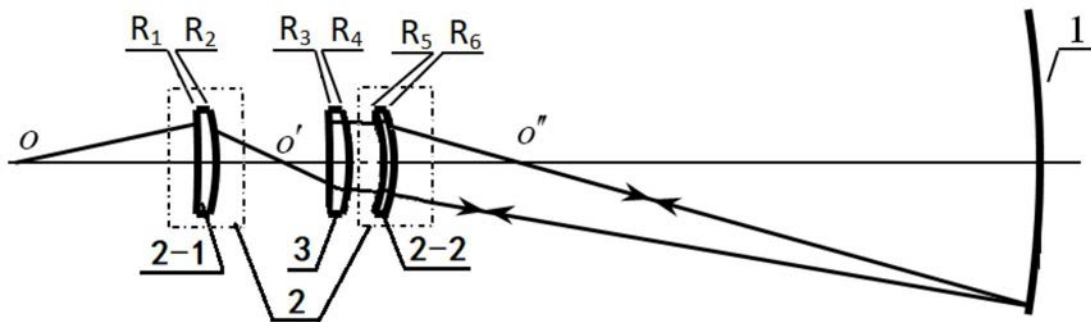


图2