文章编号 1004-924X(2003)05-0438-04

一个新的泛卡塞格林望远镜系统

潘君骅
(苏州大学 现代光学技术研究所, 江苏 苏州 215006)

摘要:将卡塞格林系统的主镜及次镜都取球面,在焦面前加 2 片以上改正透镜,而将作为密封窗的平行平板的一面加 4 次方项,可以设计出具有相当大视场,像质优良的新光学系统。平板上的 4 次方非球面是凹面性质,它的制造,在周边铰支而外加均布载荷时可以加工为球面,释放均布载荷后该面即弹回成所要的 4 次非球面。所以,此系统从光学工艺角度看只有球面和平面。文中设计了 4 个不同相对口径系统: $F/3$, $F/5$, $F/8$, $F/10$。口径和视场相同: $\phi = 300$ mm, $2\omega = 1°$,像质都接近或达到衍射极限。

关 键 词:平行平板; 泛卡塞格林系统; 4 次方项; 均布载荷; 铰支
中图分类号:TH751 **文献标识码**:A

New pan-Cassegrain telescope system

PAN Jun-hua

(Institute of Modern Optic Technology, Suzhou University, Suzhou 215006, China)

Abstract: A new optical system with a fairly large field of view and excellent image quality can be designed by making both the surfaces of primary and secondary mirrors in the Cassegrain system spherical, adding two or more correcting lenses in front of the focal plane, and adding a 4^{th} order term to one surface of the parallel plates as a hermetically sealed chamber. The aspheric surface of the plate with 4^{th} order term is concave, and it can be made spherical by grinding it with hinge support around and equal loads applied, and after the equal loads being released, the surface springs back to form the desired aspherical surface with 4^{th} order term. So, from the viewpoint of optical technology, this system has spheres and planes only. Four systems with relative apertures of $F/3$, $F/5$, $F/8$ and $F/10$ have been designed with the same effective diameter and field of view: $\phi = 300$ mm and $2\omega = 1°$, and the image quality is close to or reaches the diffraction limit.

Key words: parallel plate; pan-Cassegrain system; 4^{th} order term; equally-spaced load; hinge support

1 引 言

在光学系统中,卡塞格林系统有很重要的地位,应用面很广,其缺点之一是没有满足正弦条件,像质优良的视场太小。为此,Ritchey 和 Crétien 提出了所谓 R-C 系统,但是 R-C 系统的视场也不过 20 左右是比较好的。如要再扩大视场,则必需在像面之前加 2 至 3 片改正透镜。经典的卡塞格林系统和 R-C 系统的主镜和次镜都是非球面,其制造比球面困难得多。Maksutov 为了在普及型的小卡塞格林望远镜中不用非球

收稿日期:2003-04-16;**修订日期**:2003-09-19.

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

球面,发明了 Maksutov 望远镜[1]。Maksutov 望远镜的弯月形改正镜虽然是球面的,但是比较厚;其缺点是材料代价高且制造公差很严。美国 ITE 公司的爱好者望远镜 TAL-200K,口径 200 mm,*F*/10 是 Klevtsov Cassgrain 系统[2],全用球面,副镜是 Mangin 镜,并在其很近处加一片弯月形透镜,声称能做到 *F*/6.5 ～ *F*/7。[3]Celestron 公司的 CGE 系列望远镜是 Schmidt Cassegrain 系统,从网上查到的材料知道,它除了有非球面改正板之外,要"在副镜上作精密修正"[4],可见副镜也是非球面。寻找一个新的,从光学设计和光学工艺的角度看都好于过去是本文的初衷。泛卡塞格林(Pan-Cassegrain)系统是作者为之取的名词,以便于称呼,简称之为 PC 系统。

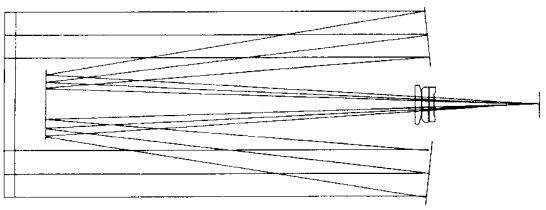
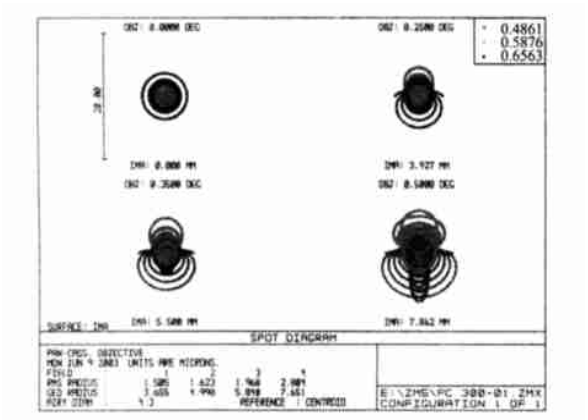


图 1　PC 系统光路图

Fig. 1　Optical layout of the PC system

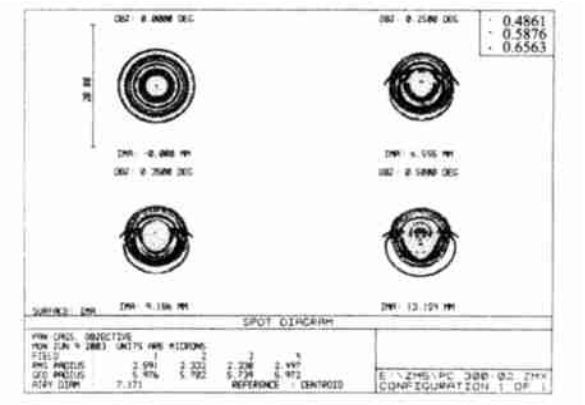
2　不同相对口径的 4 个系统设计结果

口径在 Φ500 mm 以内的卡塞格林型系统用处最广,相对口径和视场则根据用途而异。为了搞清 PC 系统的能力,以口径为 300 mm,视场 2ω = 1°,相对口径为 1:3,1:5,1:8 及 1:10 4 种不同情况设计,考察这种系统能做到的像质水平。



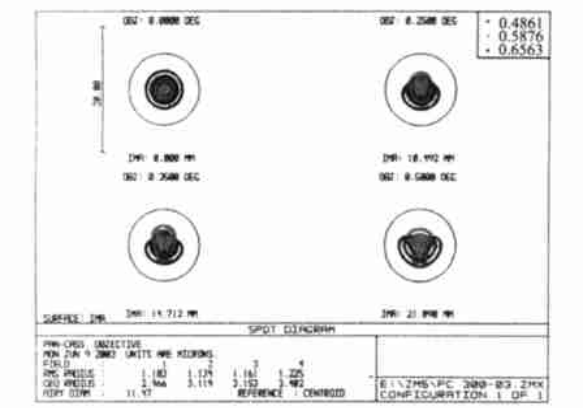
(a) *F*/3 PC 系统

(a) *F*/3 PC system



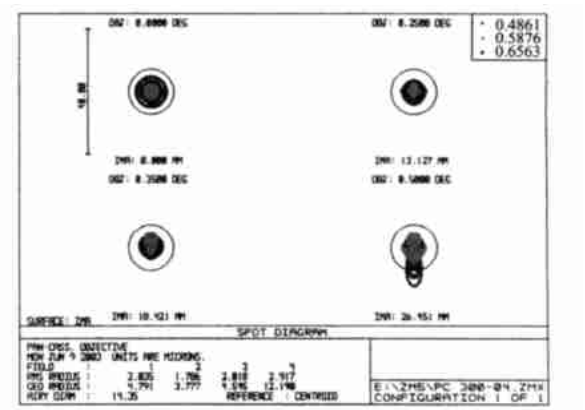
(b) *F*/5 PC 系统

(b *F*/5 PC system



(c) *F*/8 PC 系统

(c) *F*/8 PC system



(d) *F*/10 PC 系统

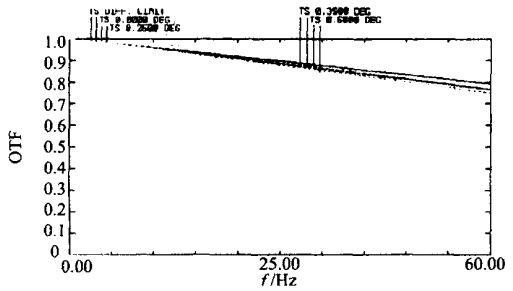
(d) *F*/10 PC system

图 2　各个 PC 系统的点图

Fig. 2　Spot diagram of each PC system

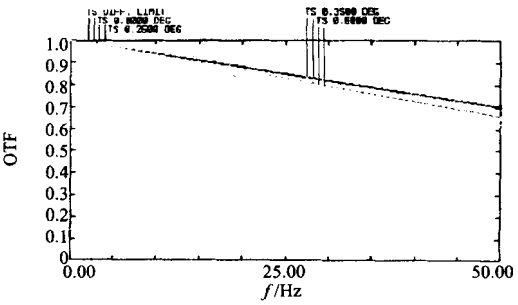
波长取 489.6,589.3 及 656.3 nm。图 1 为 PC 系统的光路示意图;图 2 为各系统的成像点图。图 3 为各系统的传函。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.



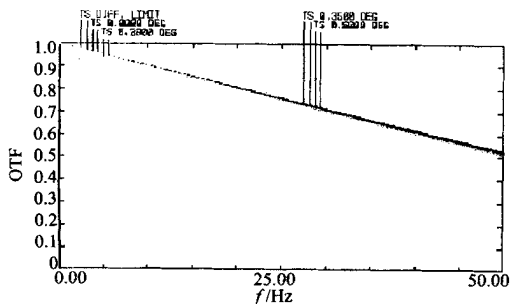
(a) *F*/3 PC 系统

(a) *F*/3 PC system



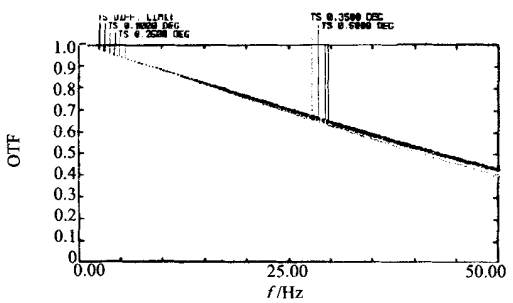
(b) *F*/5 PC 系统

(b) *F*/5 PC system



(c) *F*/8 PC 系统

(c) *F*/8 PC system



(d) *F*/10 PC 系统

(d) *F*/10 PC system

图 3　各个 PC 系统的传函

Fig. 3　Polychromatic diffraction MTF of each PC system

这 4 个系统的平板上的 4 次方非球面系数及最大非球面度如下:

系统	4 次方系数	最大非球面度
F/3	6.633 767 E-10	0.335 834 mm
F/5	2.317 474 E-10	0.117 322 mm
F/8	5.700 412 E-11	0.028 858 mm
F/10	3.903 137 E-11	0.019 760 mm

从设计结果可知, *F*/3 系统需要 3 片球面改正镜, *F*/5 及 *F*/8 系统需要 3 片球面改正镜,而 *F*/10 系统只需要 2 片球面改正镜就可以了。

3　平行平板上 4 次曲面的制造方法

根据材料力学公式,圆形平板在四周铰支条件下,如受到均布载荷,则其中心的弯曲变形量(挠度)由下面公式决定:

其中, $\delta = 0.7 \times q \times R^4 / E / h^3$

δ:平板的中心挠度

q:均布载荷的力(压力强度)

R:平板的半径

E:平板材料的弹性模量

h:平板的厚度

但是面形方程不是纯 4 次方,而是带有 2 次项的,如:

$$\Delta\rho = Q \times (\rho^4 + a\rho^2 + b)$$

其中, $Q = f(q, E, h)$,而系数 a, b 决定于板材泊桑比 ν,对于玻璃, $\nu = 0.25$,可算出 $a = -5.2$, $b = 4.2$。所以,变形后的曲面带有 2 次项。因此,如果平板在均布载荷下磨成平面,反弹后的曲面不是所要的纯 4 次方程。为得到纯 4 次方程,应该磨成一个半径很大的凹球面,而均布载荷应使被加工的面变成凹的。图 4 为平板加工示意图。

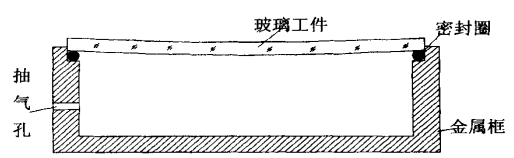


图 4　制造 4 次非球面的示意图

Fig. 4　Schematic diagram of making 4th order aspheric surface

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

4 结　论

(1) PC 系统可以得到较大视场、较大相对口径而像质优良的折反射光学系统,它引进的色差很小。

(2) PC 系统是靠密封窗一个面的高次非球面化,加上像面前的改正镜组消像差的。高次非球面一定是纯 4 次方程,需用改正镜的片数和系统相对口径大小有关。

(3) 高次非球面的加工可以用抽空减压办法,磨成半径很大的凹球面得到。

(4) 和美国 ITE 公司 Klevtsov Cassegrain 系统相比,在光学加工上大家都没有非球面,而 PC 系统可以得到更大的相对口径。

(5) 和美国 Celestron 公司 Schmidt Cassegrain 系统相比,PC 系统加工上没有非球面,而且相对口径可以更大。

(6) PC 系统可以用于科普型天文望远镜,无论目视的 *F*/ 10 系统或照相的 *F*/ 5-6 系统,也可以用于专业工作,代替 R-C 系统或经典卡塞格林系统。

参考文献:

[1] MATSUTOYD D. New catadioptric meniscus systems[J]. *JOSA*, 1944,34(5):212-213.

[2] KLEVTSOV Y A. Telescope of novel design[J]. *Zemlya Vselen*, 1991,(5):92-96.

[3] KLEVTSOV Y A. *New optical systems for small-size telescopes* [EB/OL]. http://www.telescopes.ru/articles/articlel.phtml.

[4] *Schmidt-Cassegrain telescopes* [EB/OL]. http://www.elestron.com/schmidt.htm.

作者简介:潘君骅(1930 -),男,江苏常州人,1993 年从南京天文仪器研究中心退休,2000 年受聘于苏州大学现代光学技术研究所,中国工程院院士,主要研究方向为非球面反射光学系统设计及光学非球面制造。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.