

# 一个非轴对称的光刻用光学系统

王之江 李元康 江建忠

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

仅具一个对称面的光学系统一般难以校正象差。采用椭球焦点附近的成象特性和适当的球面校正系统,可以得出视场直径 50~70mm, N. A. 0.15~0.1, 象质接近衍射极限的设计。

绝大多数的通用的光学系统都是同轴的轴对称系统。也有一些非轴对称的例子,如离轴抛物面(这实际上是同轴系统的一个局部),柱面系统(它有两个对称面),但似乎还没有过只有一个对称面的例子。这是由于设计上的困难,破坏对称导致象差大大增加,增加的自由度比增加的要求(象差)要少得多<sup>[1]</sup>,但是在某些特殊条件下,形成非轴对称的高质量系统也并非不可能,本文介绍的就是一个只具一个对称面的例子。

集成电路技术的发展,要求有高质量的光学投影光刻系统。Wynne 曾设计过一倍成象的、物面和象面都通过球面球心的折反射光学系统<sup>[2]</sup>,据称象差校正良好,但看来未实用化,也许是由于杂光难以消除。这个简单结构所达到的性能却令人惊奇:在视场直径为 38mm, N. A. 0.35 时达到衍射极限的象,即达到  $j$  值<sup>[3]</sup>为 6.6, 就是考虑半边为物面另半边为象时,  $j$  值也  $>3$ 。我们知道一般投影光刻机上用的折射式光学系统,采用相当复杂的结构后,一般  $j$  值仅在 1~2 之间,因此,值得仔细考虑发展折反射式物镜作为高性能投影物镜的可能性。

作为球心位置理想成象系统的一种发展,考虑回转椭球的焦点,它和球面球心不同,有很大的彗差,彗差可以由二次采用椭球反射面以相消而校正,如图 1 所示,从而可以得到准确满足齐明条件的一倍成象,可以看出,图 1 所示的光学系统可以达到很大的数值孔径,并且可以是没有杂光的、理想的齐明成象,而前述的球心成象则达不到这个要求。

为了校正这种系统扩大视场时的象差,校正象散和象面弯曲,可以采用 Wynne 所述的与象点同心的球面折射面。由于这样形成的光学系统只有一个对称面,象差与轴对称系统有很大不同,使上述的基于轴对称系统的象差分析失去意义。为了避免由于失去对称而产生

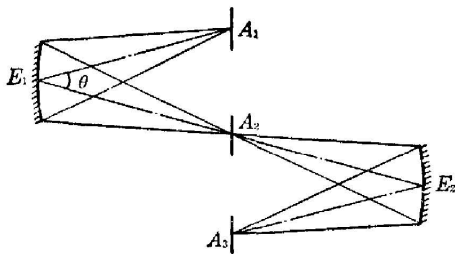


图 1

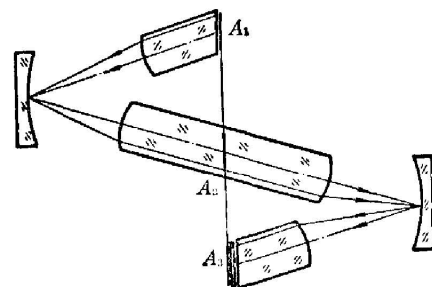


图 2

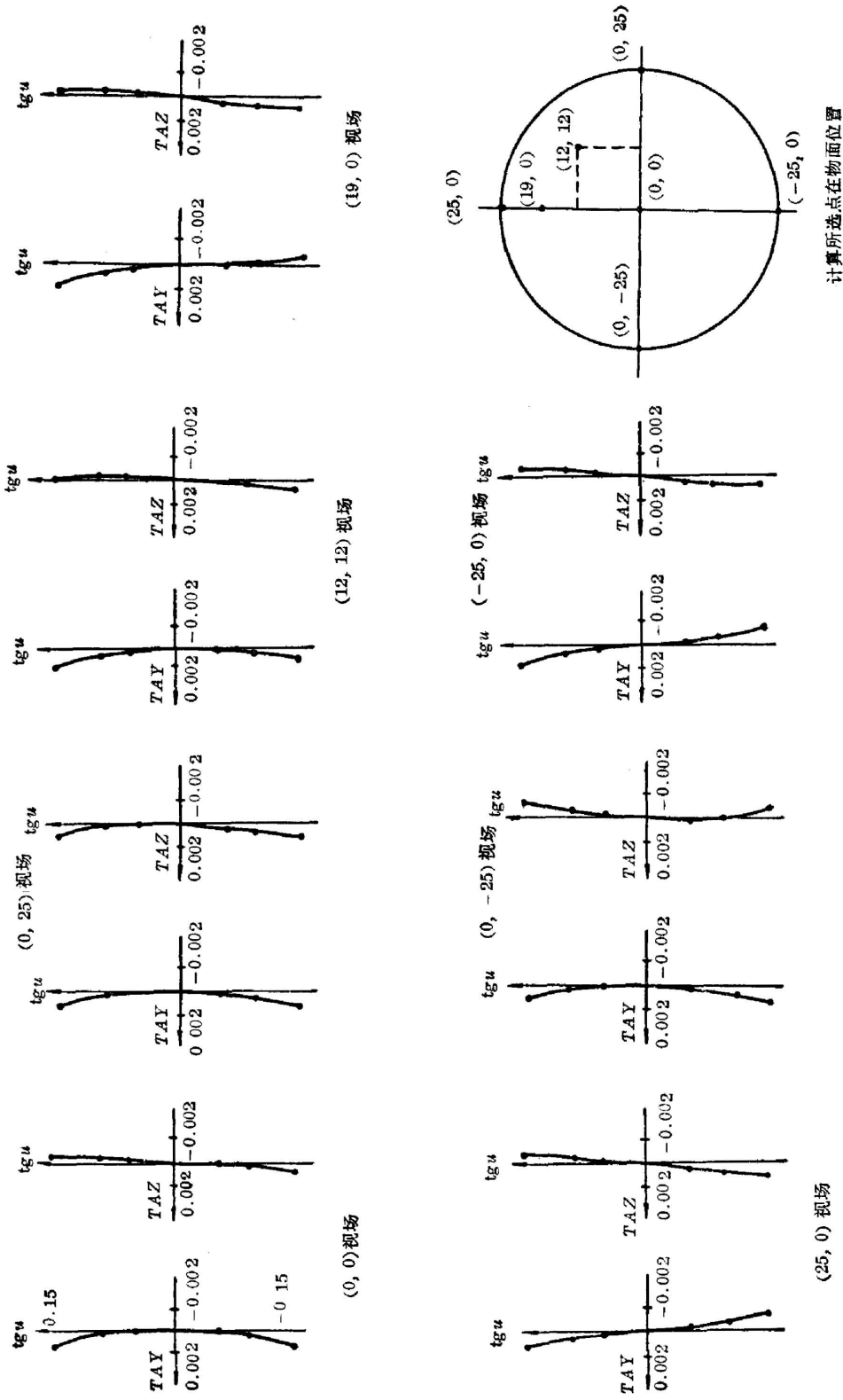


图 3 象差曲线  
Fig. 3 Aberration curve

过于大的象差,即较难以校正的象差,椭球的椭圆率不宜过大,即图1中的张角 $\theta$ 应较小。

图1所示是未加球面透镜前的齐明成象系统。图中 $A_1, A_2, A_3$ 分别是两个椭球反射面 $E_1, E_2$ 的两个焦点,每次都以一倍成象。 $E_1$ 和 $E_2$ 虽各是椭球的局部,实际上单从这个局部看却更象是个双曲面——所取的不是靠近椭球对称轴附近的局部。两椭球对称轴都是图中 $A_1A_2A_3$ 连线。取椭球的其它相对应的局部也同样可以组成准确的齐明成象系统,例如使主光线 $A_1E_1$ 和 $A_3E_2$ 都垂直于轴 $A_1A_2A_3$ ,即垂直于物面和象面,从而先成出放大的象于 $A_2$ ,然后缩小成出一倍的象。

校正象散和象面弯曲的折射面可以是一个以 $A_2$ 为球心的球。计算表明此时由于球面半径太小,它产生的高级象差太大,从而只能有较小的视场。为此可将Petzval和由四个折射面分担,四个球面各以 $A_1, A_2, A_3$ 为球心。适当的光焦度分配可以使结果优化,并使象散和象面弯曲基本得到校正。最后残余小量的不对称(相对 $A_3$ 点不中心对称)的象差,经计算分析,主要还是象散和象面弯曲的性质。可以在靠近象面处加一个柱面场镜而基本校正。

四个球面折射面的引入也导致视场边缘光束被遮拦,为此要求张角 $\theta$ 加大,这又使非轴对称的象差增加,从而限制了可用视场的大小,实际设计计算的结果表明,这种方案可以得到视场直径50~70 mm, N. A. 0.15的接近衍射极限的结果,亦即 $j$ 值可以做到4~5。在 $j=5$ 的时候光束边缘光线不能完全通过。结构如图2所示。

为计算这种非轴对称的非球面光学系统,我们曾编制了相应的光路程序。

我们曾实际试制了这个光学系统,由于椭球面(双曲面)加工上的困难,二反射面之一的星点尺度在 $3\mu\text{m}$ 的量级,从而使整个系统所达到的分辨能力未达到预期水平,但可看出设计的结果是正确的。由于非球面可能用复制的方式加工,使用它似乎不一定限制其应用的可能性。象差曲线见图3。

### 参 考 文 献

- [1] 王之江:《光学设计理论基础》, (科学出版社, 1965) 320; 293.  
 [2] J. H. Dickson ed.: 《Optical Instruments and Techniques》, (Oriel Press, 1970).

## A lithographic optical system having only one symmetric plan

WANG ZHILING LI YUANKANG AND JIANG JIANZHONG  
 (Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 27 January 1983)

### Abstract

Optical system having only one symmetric plan is difficult to correct aberrations. We consider the imaging properties of ellipsoid near the focus and of concentric spheric surface, and appropriately combine it. An optical system having field diameter 50~70 mm, N. A. 0.15~0.1, and image qualities near diffraction limit is obtained.