

文章编号:1001-5078(2008)06-0583-03

· 光电技术与系统 ·

22m 焦距太空望远镜光学设计

韩丽辉

(哈尔滨市光学仪器厂,黑龙江 哈尔滨 150010)

摘要:在三级像差理论上对大视场小体积的三反消像散系统进行了探讨,采用了共轴设计、偏置视场使用的成像方式,采用了拼接主镜,对系统进行了相应的误差分析,并在光路的中间像附近引入双折叠镜,通过多次反射压缩光路,有效降低系统体积。设计了一个长焦三反系统,焦距为22m,视场角为 $0.8^\circ \times 0.1^\circ$,引入折叠镜后系统总长约 $f'/5 \sim f'/5.5$,结构简单。

关键词:光学设计;折叠镜;三反消像散系统;太空望远镜

中图分类号:TH703 **文献标识码:**A

Optical Design of 22m Focal Length Space Telescope

HAN Li-hui

(Harbin Optical Factory, Harbin 150010, China)

Abstract: Based on third class optical aberration theory, a kind of three mirror anastigmatic system (TMA) with wide field of view (FOV) and compact construction is studied. On-axis system design is employed, and offset the FOV is used with double folded mirrors (DFMs) being inserted to compress. The primary mirror is segmented, and analysis the error character. A TMA system is introduced with 22m focal length, $0.8^\circ \times 0.1^\circ$ field of view (FOV). By using the DFMs, the total length is about $f'/5 \sim f'/5.5$.

Key words: optical design; folded mirror; TMA; space telescope

1 引言

空间光学中,同轴三反消像散系统无色差,可同时消除多种像差,平衡轴上和轴外点的成像质量,适于大视场长焦空间光学系统。但焦距的增加将使系统尺寸和质量随之增加,尤其是有中间像的长焦系统。拼接式合成孔径光学系统能满足下一代太空望远镜更大、更轻和可折叠的要求。这种形式的太空望远镜可以在发射时折叠,在轨展开,关键技术是子镜制造和拼接。子镜的面形误差和拼接产生的失调误差将大幅改变系统的光瞳函数,对像面复振幅分布造成较大影响。因此,子镜的面形精度、口径大小、数量分布和装调精度应在系统设计时作为一个整体考虑。

本文基于三反消像散系统,采用多子镜拼接和反射折叠镜压缩光路的技术,在满足大视场、长焦的同时,有效降低系统尺寸,给出了设计实例。

2 结构参数分析

三级像差理论给出了单色像差的一般表达式,

共五种:球差、慧差、像散、场曲和畸变,其三级像差系数分别为 $S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}$ 及 S_V 。在三镜全反系统中共有7个自由变量: $a_1 = L_2/f_1' \approx h_2/h_1$,为次镜对主镜的遮拦比,其中 f_1' 为主镜焦距, h_1 和 h_2 为主次镜的口径; $a_2 = l_3/l_1' \approx h_3/h_2$,为三镜对次镜的遮拦比, h_3 为三镜口径; $\beta_2 = L_2'/L_2 = u_2/u_2'$, $\beta_3 = L_3'/L_3 = u_3/u_3'$ 为次镜和三镜的放大率; e_1^2, e_2^2, e_3^2 分别为3个反射镜的二次项系数。另外, R_1, R_2, R_3 为三个反射面的曲率半径, f' 为系统总焦距, d_1, d_2 为主镜与次镜、次镜与三镜的间距。由此可确定这种系统有可能同时消除所有单色像差^[1]。三反光学系统的初始结构如图1所示。

$a_1, a_2, \beta_2, \beta_3$ 为与轮廓尺寸有关的变量,若要消除球差、慧差、像散和场曲,则有三个变量可自由安

作者简介:韩丽辉(1966-),女,主要从事产品设计,产品改造,产品工艺的编制,工装设计等工作。E-mail:hlh6610@163.com

收稿日期:2007-11-30

排。适当选择自由变量,将其带入 Seidel 像差系数公式,通过求解 $S_I = S_{II} = S_{III} = S_{IV} = 0$ 来确定 e_1^2, e_2^2, e_3^3 。满足总焦距和初级像差要求后,剩余变量可用来满足中心遮拦、工作距等外形尺寸要求^[2],其中成中间像的充分条件是: $a_1 < 0$ 或 $a_2 < 0$ 。

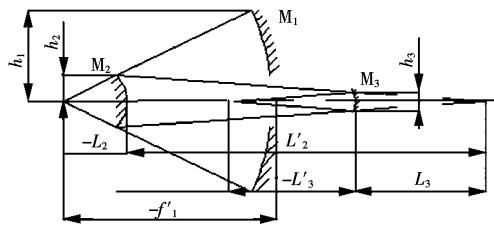


图1 三反系统的初始结构

为减轻质量和缩小体积,需要限制主次镜间距。且口径一定时,较大的主次镜间隔会增加轴外视场拦光,降低轴外视场的衍射调值函数。因此主次镜间隔应该足够小,直至高级像差的增加导致传递函数下降为止^[3]。同时,为减小三镜的体积和适当安排接受焦面,不可避免导致较长的后截距。视场较小时,可使用折叠镜配合三镜将光路压缩在主次镜间,可有效减小体积,但这种方法不适用于大视场的长焦系统^[4]。

由于主镜的体积、质量等因素限制,下一代大口径太空望远镜不可避免要采用拼接主镜。拼接主镜不可避免产生失调误差,使出瞳波前或波像差发生较大变化,影响光学系统的成像性能。在满足性能指标前提下,出瞳波前的变化还与子镜的面形精度、一致性和形状、大小、位置有关。对于误差的研究将贯穿于系统设计、加工、装调和在轨使用的全过程。

3 设计举例和性能分析

针对空间光学系统的长焦大视场要求,按三级像差理论要求反复计算,得到一有中间像的同轴三反系统(如图2所示),焦距22m,F#8,视场角 $0.8^\circ \times 0.1^\circ$,结构参数如表1所示。

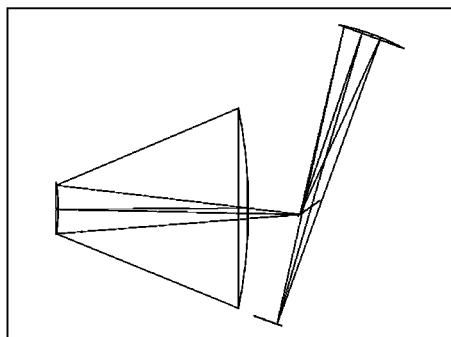


图2 同轴三反光学系统

表1 光学系统结构参数

系统结构	R/mm	e^2
主 镜	-6876.707	-0.9532
主次镜间距		-2611.27
次 镜	-2198.678	-2.344
次镜折叠镜间距		3440
折叠镜三镜间距		2543.35
三 镜	3241.74	-0.4635
三镜像面间距		4189.28

主镜、三镜为椭球面,次镜为双曲面,中间像在主镜后,像质可达到衍射限,此时系统的视场是长条状,通过视场偏置实现。传递函数曲线如图3所示,能量环包围半径如图4所示。

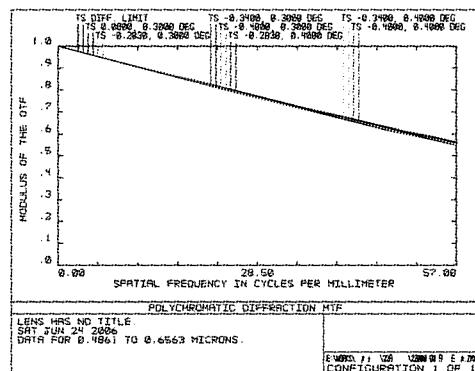


图3 系统的 MTF 曲线

由图2知,经三镜反射后的光线将再次通过折叠镜附近的位置,不可避免有遮光,且体积较大。为此改变折叠镜方向和位置,并增加一块折叠镜,利用两镜间的多次反射,使光线在折叠镜1上反射两次,在折叠镜2上反射三次,且折叠镜不再遮光,如图5所示。经两折叠镜压缩后,系统总长约为 $f'/5 \sim f'/5.5$,体积较小。

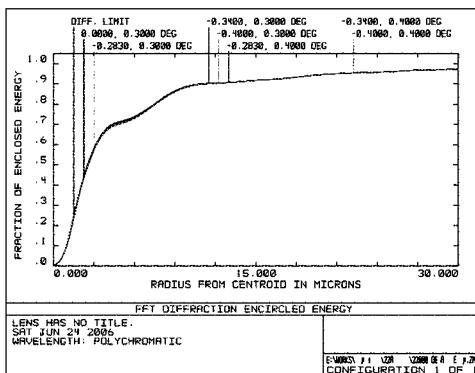


图4 包围能量环半径

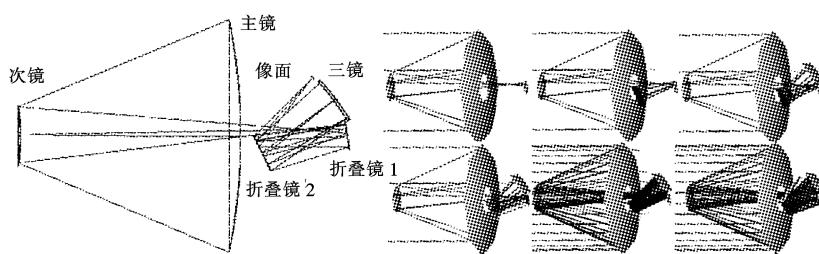


图 5 折叠镜压缩光路

4 结 论

三反消像散系统由于其独特优势,适于大型空间光学系统,采用多次反射折叠镜后可有效减小系统体积,主要有以下特点:

- 1) 系统通过视场偏置二次成像,杂光少,结构紧凑;
- 2) 在指定像面上一个狭长的视场光阑范围内成像质量好;
- 3) 光线在两块不平行的折叠镜间多次反射,不改变系统像质;
- 4) 折叠镜在中间像附近倾斜放置,可避免中心

遮光,且体积较小,装调精度要求较低。

采用多次反射折叠镜的长焦同轴三反消像散系统结构近似轴对称,体积小、质量轻、视场大,适合于推扫成像,在航天遥感领域具有很好的应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 潘君骅. 光学非球面的设计、加工和检验 [M]. 北京: 科学出版社, 1994, 157 - 167.
- [2] T Brel-Dibat, V Albouys, J Berthon, et al. Test of a high resolution three mirror anastigmatic telescope [J]. Proceedings of SPIE, 3870: 126 - 137.
- [3] 史光辉. 含有三个非球面的卡塞格林系统光学设计 [J]. 光学学报, 1998, 18(2): 238 - 241.
- [4] P Dierickx, A Ardeberg. A possible design and fabrication approach for the optics of the 25m telescope [J]. SPIE, 3352: 802 - 807.