

文章编号: 1002-1582(2001)06-0566-02

非球面光学系统设计、加工及检验的综合考虑^{*}

潘君骅

(苏州大学 现代光学技术研究所, 江苏 苏州 215006)

摘 要: 某研究所要求研制一台夜间红外观测系统, 观测波段为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$, 焦距 $f = 900 \text{ mm}$, 相对口径为 $1/4$, 视场角 $2\omega = 0.8^\circ$ 。红外焦平面是已有的, 其冷屏直径为 $\Phi 5 \text{ mm}$, 冷屏至焦面的距离为 20 mm 。由于从设计开始, 要求完成的时限很短, 因此必须将缩短加工周期的问题作为重要因素来考虑。工作在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段, 首选的必然是非球面反射系统, 而非球面的加工与检验的难易直接和其参数有关。因此在评价设计结果时, 不能仅从像质好坏来看, 还要看其需要的加工周期长短。接受到任务之后, 首先找到了可行的方案, 然后设计了几个具体的系统, 在比较了两个最可行的设计结果之后, 选择了其中之一。

关 键 词: 红外光学系统; 光学检验; 光学加工

中图分类号: TH706 文献标识码: A

Comprehensive consideration on aspherical optical system design, fabrication and testing

PAN Jun-hua

(The institute of modern optical technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: An institute in Wuhan asks an optical system for night IR observation at $\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$. Focal length of the system is $f = 900 \text{ mm}$, relative aperture $F/4$, visual field $2\omega = 0.80^\circ$. IR focal plane is already existing. The diameter of the hole of cooling plate is $\Phi 5 \text{ mm}$, which is located at 20 mm in front of the focal plane. The schedule of the contract is very close, so we must take account of how long the optical element will be made. As the system works at $\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$, so the reflecting aspherical system is the first priority for selecting. But the difficulty in making aspheric surface depends directly on the parameters of the aspherical surface. So when we estimate the optical system of design, we must consider the time need for its fabricating. Two systems have been designed and compared each other. One of them is selected for building.

Key words: IR optical system; optical inspection; optical fabrication

1 光学系统的设计

红外焦平面是任务提出方已有的, 又叫红外热像仪, 是一个密封好的整体。从窗口到冷屏的距离为 15 mm , 从冷屏到红外接收器的距离为 20 mm , 冷屏直径为 $\Phi 5 \text{ mm}$, 光敏面尺寸为 $9.6 \times 7.18 \text{ mm}^2$ 。焦距 900 mm 是使用者提出的要求。这样, 系统通光口径 $\Phi 225 \text{ mm}$ 和视场角 $2\omega = 0.8^\circ$ 也就一定了。

在这里, “冷屏”实际上是系统的出射光瞳, 若希望主镜的口径最小, 则入瞳应在主镜面上。因此光瞳的匹配与现有的“热像仪”相适应是这个光学设计的前提条件。经过试算及思考

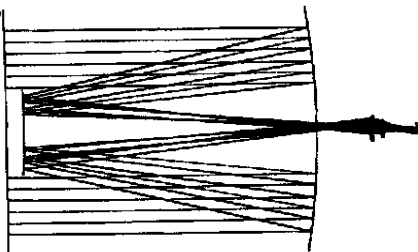


图1 红外观测系统光路图

之后, 发现: 双反射系统加一个小的锩透镜是满足要求的最佳方案(见图1)。但要求入瞳正好在主镜面上, 而且还要与冷屏共轭是比较困难的。换句话说, 入瞳难免要偏离主镜面, 这样,

主镜的口径就会变得大于 $\Phi 225 \text{ mm}$ 。

一开始做出了一个像质较好的结果, 但主镜口径偏大, 且主、副镜的加工、检验及锩透镜的凸非球面的检验均比较麻烦。后来又进行了优化, 找出了一个系统, 其像斑略大于前者, 但还是在衍射极限之内。两个系统像质的点图及传递函数见图2和图3。

第一方案的像斑尺寸略好于第二

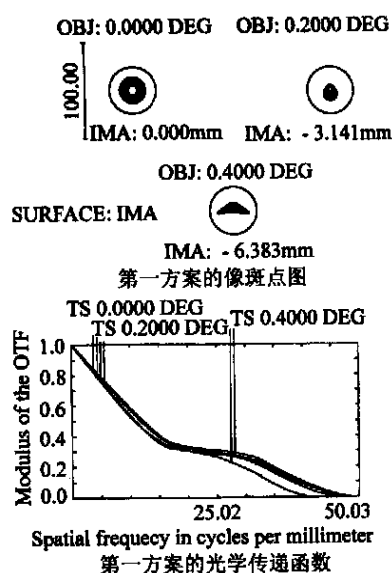


图2

^{*} 收稿日期: 2001-05-22

作者简介: 潘君骅(1930-), 男, 江苏省常州市人, 苏州大学现代光学技术研究所研究员(中国工程院院士), 主要从事非球面光学系统设计、加工及检验方面的研究。

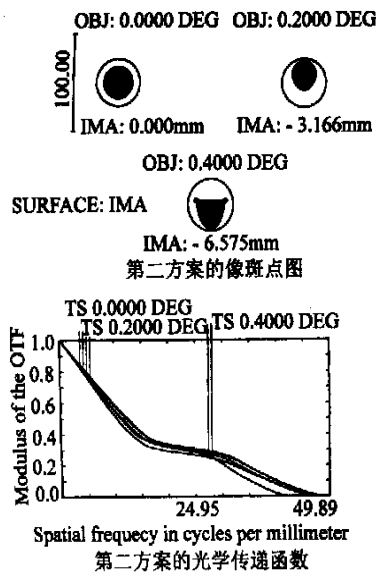


图 3

方案,然而两个方案都在衍射斑 $50\text{ }\mu\text{m}$ 之内,第一方案的系统总长比第二方案只短 8 mm ,但通光口径第一方案比第二方案大 35 mm 。

2 光学检验方案的比较

两个方案的非球面参数列于表 1。

表 1 两个方案的非球面参数

		第一方案	第二方案
主镜	通光口径	$\Phi 271.6\text{ mm}$	$\Phi 236.6\text{ mm}$
	顶点半径	- 900 mm	- 900 mm
	K 值	- 1.392617	- 0.5283346
副镜	通光口径	$\Phi 93.3\text{ mm}$	$\Phi 87.5\text{ mm}$
	顶点半径	- 667.24 mm	- 637.52 mm
	K 值	- 19.3218	1.377294
锲镜	通光口径	$\Phi 27.5\text{ mm}$	$\Phi 23.9\text{ mm}$
	顶点半径	38.74 mm	78.7mm
	K 值	- 0.7977247	- 11.47486

根据表 1,将各镜的检验方法及需用的辅助镜列于表 2。

由上述比较可以看出,第一方案的主、副镜检验各需一块球面辅助镜,口径分别为 $\Phi 280\text{ mm}$ 和 $\Phi 190\text{ mm}$ 。而第二方案主镜不需要辅助镜,副镜只需一块 $\Phi 163\text{ mm}$ 的球面镜。而锲镜的第一方案是一个凸的椭球镜,其光学检验方案是个难题。可以设想的是用非球面样板或设计一个比较复杂的自准透镜组,补偿

表 2 各镜的检验及需用的辅助镜参数

		检验方案	辅助镜口径及曲率半径
主镜	第一方案	Hindle 法 ^[1]	球面镜 $\Phi 280\text{ mm}$ R = 5150 mm
	第二方案	共轭焦点	无
副镜	第一方案	Hindle 法	球面镜 $\Phi 190\text{ mm}$ R = 250 mm
	第二方案	反射补偿法 ^[2]	球面镜 $\Phi 163\text{ mm}$ R = 728.632mm
锲镜	第一方案	非球面样板或用 3~4 片透镜补偿	(未作设计计算)
	第二方案	Hindle 法 *	球面镜 $\Phi 60\text{ mm}$ R = 51.05 mm

* 为了缩小检验光束孔径角,此方案还要加一个孔径压缩系统。

椭球面的法线像差。第二方案则可以用 Hindle 法,只是由于锲镜的中心部分也要用到,辅助球面镜中心不能钻较大的孔,且检验光路的光束角度太大,需要一个孔径角变换系统。笔者用了—个 $F/1.5$ 的照相镜头和一个 $\Phi 35\text{ mm}$ 的双胶合透镜实现了孔径角的变换。

3 方案选择及结果

笔者在详细比较了两个方案后选用了第二方案,主要原因是对加工检验的考虑。第二方案只需两块辅助球面镜,口径不大,容易加工。而第一方案除了 $\Phi 280\text{ mm}$ 和 $\Phi 190\text{ mm}$ 两个辅助球面镜之外,锲透镜的凸椭球面检验方案尚难选定。用透镜组进行自准补偿检验估计要 3~4 片透镜,且像质不会太好。而用非球面样板则更是下策。

选择第二方案还有一个原因是去掉锲透镜,第一次成像时轴上点的像质是好的。这便于主、副镜组合装配时用可见光检验。这一步检验是十分必要的,一方面是检查加工、装配结果好不好,另一方面是找到正确的第一次成像的轴向位置。

这个方案的光学件加工在两个月之内全部完成,与机械设计、加工正好同步。经过光学装调、环境试验等,准时交付使用单位进行红外联调。系统的角分辨率达到了 $13''$,满足了设计任务书的要求。

参考文献：

[1] Hindle J. H. A New Test for Cassegrainian and Gregorian Secondary Mirrors [J]. Mon Not R Astron Soc, 1931, 91: 592.
[2] 潘君骅. 检验大望远镜中二次凸非球面的新方法 [J]. 天文学报, 1960, 8(1): 70.

《光学技术》杂志简介：

本刊由国防科学技术委员会主管,中国兵工学会、北京理工大学、中国北方光电工业总公司主办,北京理工大学光电工程系、中国兵工学会光学专业委员会承办,光学技术杂志社编辑出版的国内外公开发行的国家级技术类科技期刊。1975 年创刊,双月刊,96 页,A4 版本,每单月 20 日出版。国内统一刊号为 CN11-1879/O4(国内邮发号为 2-830),国际连续出版号为 ISSN 1002-1582(国外邮发号为 4127 BM),广告经营许可证号为京海工商广字 0067 号。

本刊为美国工程索引(EI)收录期刊,中国科技论文统计与分析统计源用刊,中国学术期刊光盘版入编期刊,中国科学引文数据库来源期刊,中国学术期刊综合评价数据库来源期刊,中国期刊网全文收录期刊,万方数据源系统数字化期刊群入网期刊。另外,据中国科学技术信息研究所 1999 年度中国科技论文统计与分析年度研究报告报道,在 1999 年,由世界三大检索系统之一的美国工程索引(EI)在收录中国科技论文数较多的 100 种期刊中,本刊排名为第 17 名,被收录的论文数为 156 篇,本刊在当年发表的论文数为 180 篇,收录率为 87%。本刊的期刊影响因子在同类期刊中仍然名列前茅。

本刊的发行范围较广,覆盖了国内整个光电行业。凡是国内从事光电行业的科技管理部门、大专院校、科研院所、工矿企业等都是本刊的订户。本刊的主要栏目有:光学工艺、光学测量、光学材料、光电仪器和光学设计、全息和图像处理、波导和纤维光学以及与上述内容有关的技术专题报告和综述。欢迎订购本刊杂志。