

# 大相对口径大线视场光学系统的设计

潘君骅

(南京天文仪器研制中心, 南京 210042)

**[摘要]** 文章论述了用于红外远距离探测的光学应是全反射式的大相对口径、大视场的离轴非球面系统。给出了一个通光口径为 $\phi 600$  mm, 相对口径1:1.67, 线视场为 $\pm 5^\circ$ 的设计结果。

**[关键词]** 红外探测; 相对口径; 大视场; 离轴系统; 非球面

## 1 问题的提出

利用大气红外透过窗口进行远距离搜索、探测及跟踪敌意目标的活动是现代高科技国防重要手段之一。由于微波雷达一方面存在盲区, 另一方面极容易受到电子对抗而失效, 所以被动式的红外探测成为关注的焦点。现在, 国外碲镉汞红外探测器的探测度( $D^*$ )可达 $10^{11}$ 以上, 而且已具备制成线阵的技术。 $77^\circ\text{K}$ 不间断制冷技术也很成熟。这样, 适应红外探测要求的光学系统就成为急待解决的难题。

综合各方面的因素来考虑, 用大的线视场进行一维扫描是目前最可取的探测模式。系统的口径取决于目标辐射的强弱及探测距离要求, 系统的焦距则与视场大小、角分辨率及接收器尺寸等有关。口径一定, 焦距愈长则相对口径愈小, 光学系统的设计及加工相对容易, 但对同一角视场而言, 线视场尺寸就愈大, 线阵接收器的长度就愈长, 杜瓦瓶的设计制造愈麻烦, 同时, 光学系统总尺寸愈长。因此, 焦距长短的选择是要综合考虑各方面的因素而定。从另一方面看, 如果像元对应的瞬时视场一定, 则焦距愈短, 像元尺寸就愈小, 探测器的本征噪音也愈小。总的来讲, 红外探测系统的焦距往往只能很短, 也就是光学系统的相对口径往往要很大。

## 2 技术难点及解决途径

首先, 红外波段 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 及 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 的透射材料可选用的很少, 这给光学设计限定了选择反射系统的方向。而大视场, 例如 $2\omega = 10^\circ$ 甚至更大, 如果用同轴反射系统则光学系统中心遮拦将很严重, 实际上是不能接受的。加之相对口径较大, 往往要1:2甚至更大, 构成了光学设计的主要困难。Schmidt系统具有做成大视场、大相对口径的潜力, 但用于军事方面的红外系统则有以下几点困难难以克服: a. Schmidt的筒长是焦距的两倍, 尺寸上很不利, 且视场是弯的, 也难以做到 $\pm 5^\circ$ ; b. 若取透射式, 则其校正板必须用单晶锗来做, 其加工、检验及装调都非常困难; c. 如用反射式, 则视场更小; d. 若为同轴式, 则中心遮拦虽比纯反射式两镜或三镜系统小, 仍要占一定比例; 而且离轴式则相对口径及视场均要受限制。所以, Schmidt系统在这里实际上是不可能被采用的。

同轴三镜系统在大视场、大相对口径的情况下, 中心遮拦大得无法接受。若离轴使用, 在中心视场光束平行于三镜的公共光轴情况下, 且不论其横向结构尺寸变得很大, 其像差按一般手段(即不考虑仅要求线视场的条件)优化, 也是得不到满意的结果, 这是经过实际计算的结论。

我们经过摸索, 并参考了国外一个F/4系

**[收稿日期]** 2000-05-19

**[作者简介]** 潘君骅(1930-), 男, 江苏常州市人, 中国工程院院士, 中国科学院南京天文仪器研制中心研究员, 博士

统<sup>[1]</sup>，找到了一种斜入射的高轴三镜系统结构。设计了一个通光口径  $\phi 600$  mm，焦距  $f = 1\ 000$  mm，线视场  $\pm 5^\circ$ ，最大像斑直径均方根 (rms) 值小于  $40\ \mu\text{m}$  的高轴三镜系统。

### 3 设计结果及讨论

光学系统的子午截面图形如图 1 所示。线视场垂直于纸面。中心视场入射光束的子午截面在纸面上，与三镜面的公共光轴成  $9^\circ$  角。各视场像斑尺寸见图 2。系统的光学长度为 853 mm，第二镜及第三镜均为高达  $y^{16}$  的非球面，主镜达  $y^6$ 。

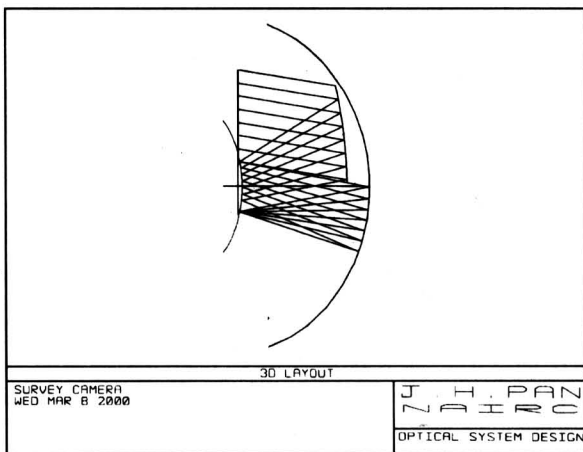


图 1 光路图

Fig.1 Optical layout

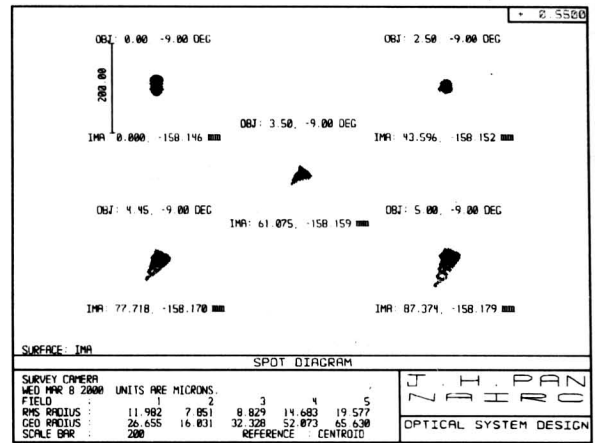


图 2 像斑点列图

Fig.2 Spot diagram

这个系统的缺点是经第二镜反射的光束的上光线有一小部分被主镜的下边缘遮挡。并且，为了使像斑更小，必须将第三镜再往后移。这样，第三镜的尺寸将更大，系统的光学尺寸更长，同时上述的遮拦也将更多。从实用的角度考虑，只好取折衷。

致谢 感谢朱永田同志在计算该光学系统中做出的努力。

#### 参考文献

- [ 1 ] Figoski J W. Development of a three-mirror wide-field sensor, from paper design to hardware [A]. SPIE Reflective Optics II [C], 1989, 1113: 126~131

## Design of the Optical System with Large Relative Aperture and Large Linear Field of View

Pan Junhua

(Nanjing Astronomical Instrument Research Center, Nanjing 210042, China)

[Abstract] In this paper following discussion the author concluded that the optical system for IR detecting in the distance should be an total reflecting off-axis aspheric system with large relative aperture and large field of view. A system with diameter  $\phi 600$  mm,  $f = 1\ 000$  mm, and linear field of view  $\pm 5^\circ$  was designed.

[Key words] IR detecting; relative aperture; large field of view; off-axis system; aspheric surface