

红外搜索跟踪系统中消旋棱镜的设计与调试

李荣刚, 刘琳, 张兴德
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:利用扫描反射镜扩大搜索范围是红外搜索跟踪系统中普遍采用的方式,扫描反射镜旋转产生的像旋可以由消旋棱镜进行消除。为得到符合实际工程需要的消旋棱镜,分析了棱镜影响系统的主要因素,并在此基础上,获得棱镜参数。为保证棱镜在系统中的正常工作,在分析棱镜装调误差的前提下,进行棱镜组件的调试。结果表明,棱镜设计与调试满足系统使用要求。

关键词:红外搜索跟踪系统;像旋;棱镜;光学装调

中图分类号:TN214 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.06.007

Design and adjustment of prism for offsetting image rotation in infrared search and tracking system

LI Rong-gang, LIU Lin, ZHANG Xing-de
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Using a scanning mirror to acquire large field of view is an usual scheme in infrared search and tracking system (IRST). When the scanner rotates around optical axes, the image rotates on the detector simultaneously. Half-speed prism can correct the image rotation. In order to find appropriate prism, it is necessary to analyze the prism factors impacting on IRST. The prism parameters are obtained based on the analysis. Before assembling the prism, it must be adjusted for working normally. Test results show that the prism satisfies the demand of IRST.

Key words: IRST; image rotation; prism; optical adjustment

1 引言

随着红外探测器技术的发展,红外搜索跟踪系统(IRST)已从单元探测器体制更新换代为多元大规模阵列器件^[1]。为了达到在有限的时间内获得尽可能大的搜索范围的目的,IRST往往具有不同形式的光机扫描体制^[2]。由于单一反射镜扫描方式具有结构简单、控制容易等优点,该方式是目前大多IRST普遍采用的扫描方式。由于扫描反射镜的转动造成了物方目标反射像方向的变化,系统产生像旋^[3],如不进行处理,将不利于目标的观测与捕捉。

目前消除像旋的方式基本可分为光学消旋与电子消旋两种方式。由于光学消旋方式具有良好的实时性,不会造成图像信息的延迟,是常用的消旋方式。但消旋部件的增加,会降低系统的通过率,增加

系统的体积与质量;为了减小消旋部件的不利影响,应对其进行合理的设计。

本文在采用光学棱镜——改进的道威棱镜实现对IRST的像旋校正的基础上,分析棱镜加工误差对光轴造成的影响;提出消旋棱镜的调试方法。

2 IRST光学系统组成

IRST光学系统主要由以下部分组成:窗口(或头罩)、扫描反射镜、红外望远镜、消旋棱镜、红外会聚系统、探测器等部分组成,如图1所示。系统中消旋棱镜为一个置于红外望远镜后经过改进的道威棱镜,并且其旋转速率为扫描反射镜旋转速率的1/2,实现像旋的校正^[4]。

作者简介:李荣刚(1977-),男,硕士,高级工程师,从事光机系统的设计与研究。E-mail: iroptics_lrg@yahoo.com.cn

收稿日期:2011-02-18; **修订日期:**2011-03-04

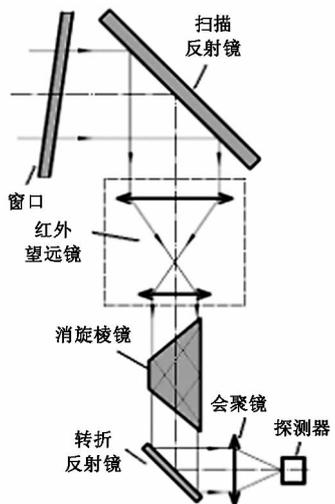


图1 IRST 光学系统组成

3 棱镜分析与设计

3.1 光轴偏角

IRST 系统中所采用的棱镜展开图如图 2 所示。根据折射定律及相关几何关系,可得:

$$\sin i' = \sin i \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 i} \sin \theta \quad (1)$$

其中, $\theta = \alpha - \beta$, α, β 分别为棱镜两底角; i, i' 分别为光线的入射角与出射角; n 为棱镜材料的折射率。当棱镜接近理想时, θ 很小, 此时式(1)可变为:

$$\theta = \frac{\sin i' - \sin i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \quad (2)$$

当 $\alpha \neq \beta$ 时, 有 $i \neq i'$, 即光轴方向发生变化。一般来说, 光轴偏角应小于探测器的一个像素, 设棱镜后会聚镜的焦距为 f' , 探测器像元尺寸为 d , 则棱镜误差造成的光轴变化 δ 为:

$$\delta = i - i' \leq \arctan(d/2f') \quad (3)$$

根据式(2)、(3)可以确定棱镜的加工误差。

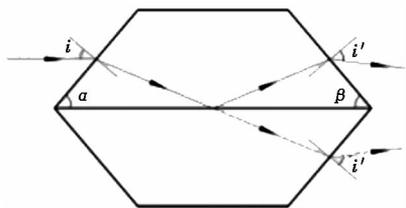


图2 棱镜展开图

3.2 色差

一般情况下, 道威棱镜的色差为^[5]:

$$\delta l_{FC} = \theta(\sqrt{2n_C - 1} - \sqrt{2n_F - 1}) \quad (4)$$

其中, n_C, n_F 分别为在工作波段范围内长波段与短波段的材料折射率。

由于消旋棱镜的 θ 值很小, 所以其引入的色差很小。为了进一步减小消旋棱镜的色差对系统的影响, 系统应尽量选择低色散率的光学材料。

3.3 吸收

对于各向同性的光学材料而言, 其透过率可表示为^[6]:

$$\tau = e^{-aL} \quad (5)$$

其中, a 为吸收系数(cm^{-1}), L 为光线传播路径方向光学材料的厚度。由式(5)可以看出, 为了提高系统的信噪比, 应该尽量减小光线在消旋棱镜内的传播路程, 同时选择低吸收的光学材料。改变棱镜的两底角 α, β 可以有效的改变光线在棱镜传播路程的长度。

3.4 棱镜设计

通过对不同光学材料的对比, ZnSe 材料在中波红外波段具有低吸收, 色差贡献较小等特点, 故选择其为制作棱镜材料; 为缩短光线在棱镜的传播路程, 确定棱镜的底角为 50° 。

设计完成的棱镜参数如表 1 所示。

表 1 棱镜参数

工作波段/ μm	3 ~ 5
材料	ZnSe
$\alpha, \beta / (^\circ)$	50
$\theta / (')$	0.3
体积(长 × 宽 × 高)/ mm^3	90 × 40 × 40

4 棱镜的调试

为了保证 IRST 在像旋消除过程中, 系统的光轴保持恒定, 以实现 IRST 对目标的稳定跟瞄, 在装配过程中必须对其进行调试。

4.1 消旋棱镜对光轴的影响

如图 3 所示, 棱镜绕 z 轴旋转实现消除像旋; 绕 y 轴旋转、沿 x, y 轴方向的移动只造成光轴的平移, 而不会造成光轴角度的变化; 绕 x 轴旋转会造成光轴角度的变化, 设棱镜绕 x 轴旋转 ν 角, 则光轴角度改 2ν 变角, 我们主要通过棱镜绕 x 轴的旋转完成对其的调试。

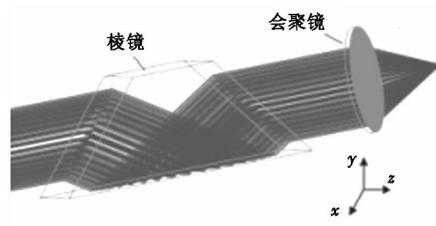


图3 棱镜误差分析示意图

4.2 调试

将消旋棱镜组件置于准直仪与长焦距红外成像仪之间, 并建立准直关系, 以减小棱镜组件与准直仪目标间的视轴误差。调试过程如图 4 所示, 图中未

含准直仪。

旋转棱镜,监视星点孔像点的运动轨迹,当轨迹恒定为一小时,则棱镜组件的形成的光轴与系统光轴一致。当两者光轴有偏差时,其运动轨迹可用式(6)描述^[7]:

$$\begin{cases} x = f'_i(2k\sin\beta + p\sin 2\beta) \\ y = f'_i(2k\cos\beta + p\cos 2\beta) \end{cases} \quad (6)$$

其中, f'_i 为长焦距热像仪焦距; β 为棱镜转角; k 为 x 轴偏离理想位置的角度; p 为棱镜组件与准直仪光轴的视轴误差。

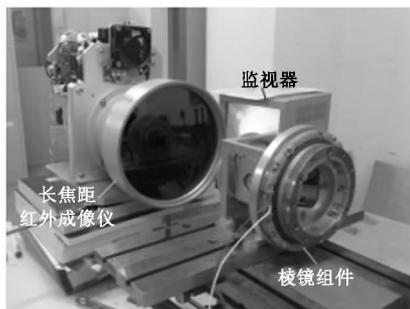


图4 调试过程

视轴误差 p 是由于棱镜组件与准直仪间的准直不精确造成的,可以通过微调准直仪星点孔的位置进行剔除。绕 x 轴微转消旋棱镜角度,观察星点孔像点运动轨迹,直至轨迹形成的近似圆直径最小。设近似圆直径为 D ,则棱镜组件造成的光轴偏离角度为:

$$\delta = \arctan(D/2f'_i) \quad (7)$$

通过调试,棱镜组件最终造成的光轴偏离量 $1.43'$,此光轴偏离量在IRST像面上形成尺寸小于探测器像元尺寸,满足IRST系统的使用要求。

5 小结

本文在分析棱镜光学特性的基础上完成消旋棱镜的设计,在长焦距红外成像仪辅助下完成消旋棱镜的调试。结果表明,消旋棱镜的设计与调试满足IRST系统使用要求。

参考文献:

- [1] Liu Zhichun, Yuan Wen, Su Zhen. Equipment and development tendency of the electro-optical warning reconnaissance technology [J]. Laser & Infrared, 2008, 7: 629 - 631. (in Chinese)
刘志春,袁文,苏震. 光电侦察告警技术的装备与发展 [J]. 激光与红外, 2008, 7: 629 - 631.
- [2] Yingli Wang. The third generation Infrared search and track (IRST) system [J]. Laser & Infrared, 2009, 10: 17 - 21. (in Chinese)
王颖丽. 第三代红外搜索和跟踪(IRST)系统 [J]. 激光与红外, 2009, 10: 17 - 21.
- [3] Zhang E, Gong Huixin. Research and application of system for offsetting imager rotation from 45° Rotating scan mirror [J]. J. Infrared Millim. Wave, 1998, 18(2): 127 - 132. (in Chinese)
张鄂,龚惠兴. 消除 45° 旋转扫描反射镜像旋转系统的研究与应用 [J]. 红外与毫米波学报, 1998, 18(2): 127 - 132.
- [4] Hu Jiasheng. Introduction to optical engineering [M]. 2nd Edition. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2005: 123 - 126. (in Chinese)
胡家升. 工程光学导论 [M]. 第2版. 大连:大连理工大学出版社, 2005: 123 - 126.
- [5] S K Gupta. Angle tolerance of dove prism [J]. Applied Optics, 1983, 22(20), 15 - 17.
- [6] Zhang Yimo. Applied optics [M]. Beijing: China Machine Press, 1982: 154 - 156. (in Chinese)
张以谟. 应用光学 [M]. 北京:机械工业出版社, 1982: 154 - 156.
- [7] Xu Zhiling, Zheng Yingjun. Practical course of adjustment for measuring instruments [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009: 50 - 52. (in Chinese)
徐志玲,郑颖君. 计量仪器装调技术实用教程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2009: 50 - 52.