

· 光学设计与制造 ·

稳像振镜系统的设计

屈玉宝, 丛龙洋

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要: 主要介绍振镜系统的设计过程. 利用振镜系统高频率扫描方法可以对远程目标进行探测. 由于整个探测系统的转动惯量大, 所以采用铝合金材料使其刚性大, 质量轻, 并使用专用传感器进行控制, 从而更好地达到精确扫描探测的要求.

关键词: 振镜系统; 探测; 精确扫描

中图分类号: TH741.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)06-0025-02

Designing of the Stabilization Imaging Scanning-Mirror System

QU Yu-bao CONG Long-yang

(Key Laboratory of Electro-optical Information Control and Security Technology, Sanhe 065201, China)

Abstract: The process of designing the scanning-mirror system is mainly presented. Utilizing the high frequency scanning method of the scanning mirror system can detect the target at the long distance. Due to the big moment of inertia, the aluminum alloy material was used to make the detecting system with a good rigidity and light mass, which can be controlled by special sensor, and achieved the requirements for better precision scanning and detecting.

Key words: scanning-mirror system; detecting; precisely scanning

在远程光电探测中, 目标有可能在天空背景、大海背景或者是陆地背景下出现, 而且由于探测距离比较远, 大气气流会对系统探测过程中产生影响. 远程光电探测系统的瞬时视场一般不大, 快速扫描是实现系统视场的必要途径. 通过在方位和俯仰上有规律的扫描, 带动光学与传感器部件对不同的空域成像, 进而实现对空域的搜索. 所以在成像系统前端必须要用大口径大角度的振镜系统^[1].

1 稳像振镜光学视场原理

对远程目标的探测可以采用面阵探测器, 分步凝视的方法. 而在分步凝视过程中, 由于全系统(光学、传感器、机械转塔)的转动惯量较大, 所以必须设计振镜扫描的方法, 以实现分步凝视. 振镜通常使用在激光扫描等领域中, 其口径小, 一般在 20 mm 左

右, 振动幅度也很小. 大口径的振镜系统在天文望远镜系统中有应用, 但其振动幅度一般小于 $8'$, 不能满足远程探测需求. 而在远程目标探测系统中, 由于振镜摆角较大, 所以为避免离轴像差过大, 要把稳像振镜放置在成像系统的前面. 这样, 振镜的口径就必须与系统的入瞳口径相适应, 因此振镜的口径较大. 而由于振镜的振动幅度要与光学瞬时视场相匹配, 所以振镜的摆动角度也很大. 因此要实现大的方位视场, 必须快速搜索.

对于快速搜索问题可以采用高速稳像振镜, 在方位搜索的方向上反旋, 使得在红外探测器的积分时间内, 所采集的空域不变, 进而实现分步凝视和快速扫描. 如图 1 所示, 设远程目标探测系统的方位搜索速度为 ω , 探测器积分时间为 1 ms, 则在精确控制高速摆动的振镜运动和积分开始时条件下, 可以使探测器积分时间在 1 ms 内的凝视空域保持稳定.

收稿日期: 2010-09-06

作者简介: 屈玉宝(1980-), 男, 河北省廊坊市人, 学士, 主要研究方向为伺服控制技术.

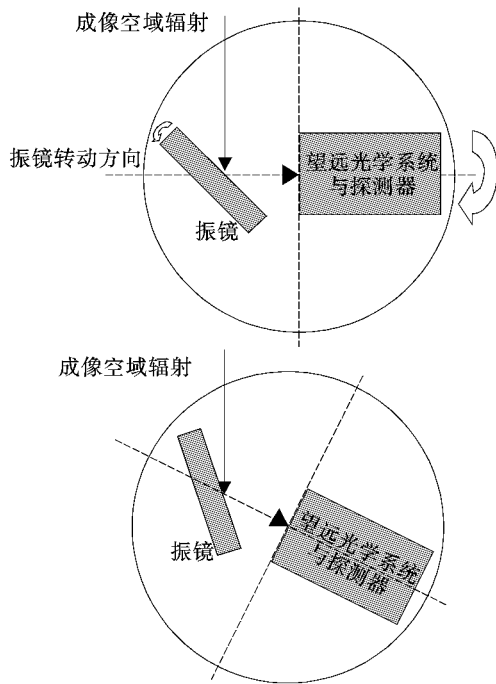


图 1 稳像振镜稳定光学视场原理图

在积分时间内由于系统方位的扫描,使得探测的空域发生变化,但同时振镜向方位扫描的反方向转动,转动角速度为方位扫描速度的一半,即 $\omega/2$,则探测的空域保持稳定^[2].

由于振镜是往复摆动的,而只有在振镜转动方向与系统扫描方向相反,积分时间内振镜必须保持匀速,且速度为方位扫描速度的一半,并且转动角位置为光学视场的一半时,凝视积分过程中空域才不变,所以积分时间必须与扫描以及振镜的运动严格配合.配合时序图见图 2 所示.

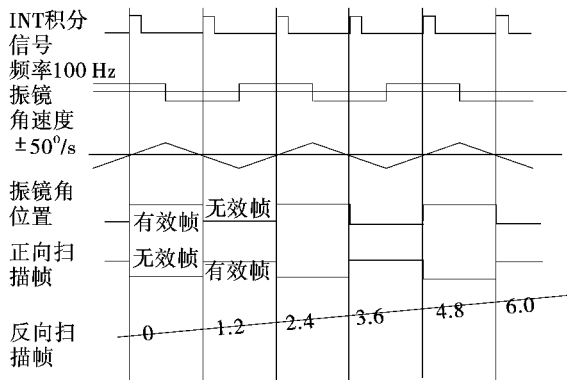


图 2 系统时序图

2 振镜系统的设计

(1) 振镜设计

振镜的主要结构性能包括转角范围、角分辨率、谐振频率和有效孔径等.转角范围即反射镜偏转的最大范围;谐振频率直接关系到控制系统带宽和响应速度;有效孔径是反射镜的通光孔径,其大小对结构的谐振频率、驱动力大小等有较大影响.

振镜部件主要包括基座、反射镜、弹性元件、驱动器、传感器及反射镜架.机械系统的设计主要满足光学系统的需要.镜子直径决定反射镜结构的大小.角行程和需要扫描的加速度决定了驱动器的大小.体积和质量决定了基座的设计.基座必须具有足够的刚度,以便驱动器的反作用力不激发基座振动.

反射镜除了要保证面形和精度以外,还要尽量减小质量,以提高结构的谐振频率.驱动器的性能不仅影响振幅而且影响结构的谐振频率,因此要求其负载能力强,作用范围大,刚度高.支撑镜架需要保持反射镜在控制轴方向上的运动,而且不因驱动力影响反射镜面形,同时要限制别的自由度^[3].

经上所述,将此振镜系统设计为柔性轴形式,音圈电机驱动.如图 3 所示.

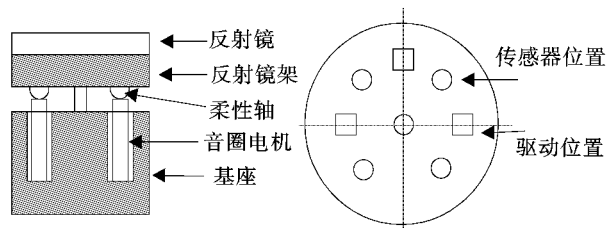


图 3 振镜部件结构形式

此振镜工作原理是带有微小转角运动的音圈电机驱动器接收来自伺服系统的驱动信号,2个驱动器产生一个驱动力偶,推动柔性轴产生一个转角,同时测角元件将偏差比较,准确控制反射镜的位置.这种柔性轴振镜或者称为无轴系统振镜的特点是:没有机械轴承,限制运动物体的位移自由度,但使某几个角度具有很好的柔性,而且结构没有摩擦力矩^[4].

(2) 振镜控制

设振镜以正弦规律振动,系统拟定频率为 f ,振幅为 A ,则振镜在任意时刻的角位置为

$$\theta = A \sin(2\pi ft) \tag{1}$$

振镜在任意时刻的角速度为

$$\omega = \theta' = 2\pi fA \cos(2\pi ft) \tag{2}$$

最大角速度为

$$\omega_{\max} = 2\pi fA \tag{3}$$

(下转第 30 页)

设计结果,其光学系统结构和成像质量如图 2、图 3 所示.从中可以看出,长波通道的 MTF 非常接近衍射极限,成像质量优良;而中波通道的成像质量稍差,但从几何弥散斑情况看,弥散斑尺寸基本满足小于像素尺寸的要求.

4 结 论

讨论了一种基于 K 镜消旋的大口径双波段周视扫描红外成像光学系统,它能同时对中、长波 2 个波段成像.改变 45° 旋转扫描反射镜的俯仰角度,还可以扩大周视扫描的范围,使系统能够覆盖更大的空域.通过详细分析影响系统总体性能的 K 镜组件的结构,合理地分配了系统各部分的参数,再经过计算机的优化,得到一个成像质量优良的结果.

参考文献

[1] 舒金龙,陈良瑜.国外红外搜索跟踪系统的研制现状与

发展趋势[J].现代防御技术,2003(4).

- [2] 李承选,朱斌.国外舰载红外搜索跟踪系统[J].国防科技,2005(4).
- [3] 张平静.扫描反射镜光学机械消像旋转方法[J].红外,2002(12).
- [4] Jamieson TH. Ultrawide waveband optics[J]. Optical Engineering,1984,23(2).
- [5] Jiang H, Qian Y, Rhee K T. High speed dual spectral infrared imaging[J]. Opt Eng,1993,32(6).
- [6] Ritter G X, Wilson J N, Davidson J L. Data compression of multispectral image[J]. SPIE,1987,829.
- [7] 张镔,龚惠兴.消除 45° 旋转扫描反射镜像旋转系统的研究及应用[J].红外与毫米波学报,1999(2).
- [8] 冯克成,刘景生.红外光学系统[M].北京:兵器工业出版社,1994.
- [9] 安连生.应用光学[M].北京:北京理工大学出版社,2002.

(上接第 26 页)

振镜任意时刻的角加速度为

$$\sigma = \omega' = 4\pi^2 f^2 A \sin(2\pi ft) \quad (4)$$

最大角加速度为

$$\sigma_{\max} = 4\pi^2 f^2 A \quad (5)$$

为了能够使振镜更好地达到要求,采用短路匝传感器对其进行控制.这种传感器稳定性大,可靠性很高,控制精度非常精确.

(3) 振镜材料

如前所述,振镜的角加速度很大,所以必须进行振镜和镜架的轻量化设计,转动惯量越小越好.假设镜体的半径为 r ,厚度为 l ,密度为 ρ ,则镜体转动惯量为

$$I = \pi r^2 l \rho \left(\frac{r^2}{4} + \frac{l^2}{12} \right) \quad (6)$$

为了尽可能地减小振镜控制转矩,实现大角度振动.但同时还要求振镜和镜架具备较高的刚性和机械谐振频率,以在振动中保持反射镜面形和系统的谐振特性等.所以采用铝合金材料,其刚性大,质量轻,设备加工组合后机械性能良好^[5].

3 结 论

利用光学视场成像原理和伺服控制技术设计振镜系统,使其在复杂背景下对不同空域成像,从而实现了空域的搜索.虽然在整体设计上仍有不足,比如在材料选取上有更好的镍铬合金.但成本太高,整体体积较大,质量偏重,但高精度、高转速的振镜系统作为一个新的技术将会有更广阔的发展空间.

参考文献

- [1] 梅遂生,王戎瑞.光电子技术[M].北京:国际出版社,2008.
- [2] 肖泽新,安连生.工程光学设计[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [3] 郁道银,谈恒英.工程光学[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [4] 张建民.机电一体化系统设计[M].北京:北京理工大学出版社.
- [5] 庞怀玉.机械制造工程学[M].北京:机械工业出版社.