

光学设计

基于选通晶体的多光谱变焦镜头设计

卢 鑫,王梓莹

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘 要 对于探测光谱特征,需要设计多光谱波段的光学镜头。根据设计需求,设计了一个基于声光可调滤波器选通晶体的多光谱镜头,该镜头采用变焦设计,以适应不同场景分辨率的使用要求,同时在设计的过程中,采用分段设计,对系统的出瞳和入瞳进行了优化匹配,并校正了色差,以及绘制出变焦曲线,为后期系统变焦制动方案提供了依据。

关键词 变焦;多光谱;声光可调滤波器;色差校正

中图分类号:O433.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2017)-03-0015-04

Camera Design of Multispectral Zooming Based on Gating Crystal

LU Xin, WANG Zi-ying

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: In order to detect spectral characteristics, there is a need of designing multispectral bands optics. According to design requirements, the multispectral camera based on acousto-optic tunable filter (AOTF) gating crystal is designed. The zooming design is adopted so as to adapt the resolution requirements at different situations. During the design process, the segmented design is adopted, while the exit pupil and the entrance pupil of the system are matched optimally. The chromatic aberration is corrected and the zooming curve is plotted. All the above provides the basis for the zoom braking project of the future system.

Key words: zooming; multispectral; acousto-optic tunable filter (AOTF); corrected chromatic aberration

在辨别不同景物光谱特征以及图像信息的时候,需要大范围的采集景物或目标信息,因此需要提供不同光谱的成像特征及信息,方便后期处理,对于多光谱系统的设计,通常采用的方法有:首先采用宽光谱镜头配合多光谱选通探测器,利用探测器端的选通实现多光谱应用,该方法器件少,利于集成,但是设计难度大,光谱范围有限;其次,就是通过声光可调滤波器的“选通效应”实现多光谱,将晶体放置于光学系统内部,通过选通晶体,对不同波段的光束进行光谱限制,通过改变出射光线角度,对所需要波段的光线进行选通,来达到多光谱应用,该方法利用AOTF晶体对光谱进行调制,使不同波段的衍射光分离后通过选择进入光学系统,在

应用上和设计上较为合适,而且可以将体积做小,光学系统中器件较少,需要注意在于设计环节需要增加对光谱分离以及色差校正等,本设计根据需求设计了一个基于选通晶体的多光谱变焦镜头。

1 设计需求指标计算及设计思路

该特定场景中,光谱特征的主要频率集中在可见到近红外的区域,因此,根据使用需要,同时将波长范围设定在480~1100 nm范围内;根据系统探测器目标的成像要求,需要大视场和小视场进行切换,并连续变焦,根据场景目标景物的探测需要,将系统的光学视场设定为 $12^\circ \times 12^\circ$ (对角线 17°) $\sim \pm 3^\circ$;

收稿日期:2017-05-09

基金项目:国家部委基金资助项目

作者简介:卢鑫(1984-),男,硕士,现主要从事光学设计及光学镜头研制工作。

由于该方案中需要选择 AOTF 晶体,经过调研,选择购买尺寸为 $\phi 10\text{ mm}\times 40\text{ mm}$ 的 AOTF 晶体,探测器选用 CMOS 探测器,其 $F/\#$ 为 4,像方对角线尺寸为 6.5 mm ,整体设备需要安装到机箱上,由于系统尺寸限制,需要将镜头长度控制在 300 mm 以内,因此在设计过程中将镜头长度方向限制为 300 mm 以内。指标如表 1。

表 1 光学系统设计指标

参数	数值
光谱范围	480~1 100 nm
光学视场	$12^\circ\times 12^\circ$ (对角线 17°) $\sim\pm 3^\circ$
$F/\#$	4
晶体尺寸	$\phi 10\text{ mm}\times 40\text{ mm}$;
像方视场	6.5 mm
外形尺寸限制	$\leq 300\text{ mm}$

根据光学系统设计指标,将光学系统进行分折,光学变焦镜头内部主要由光学变焦透镜组, AOTF 晶体,光学成像透镜组三部分组成。

由于系统指标为 $12^\circ\times 12^\circ$ (对角线 17°) $\sim\pm 3^\circ$,需要对光学系统进行变焦处理。如图 1。

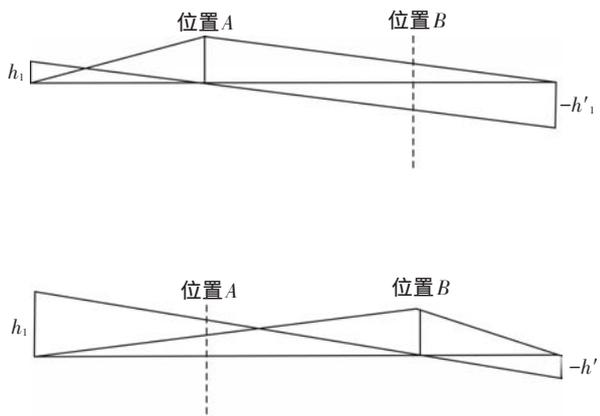


图 1 变焦系统物象交换示意图

根据系统共轭距离的变化,透镜组在位置 A 和位置 B 等不同的位置,其像高产生不同变化,在保持共轭距不变的前提下,系统倍率由 m_1 变为了 $1/m_1$,当透镜组运动到共轭距与初始位置共轭距相等的位置时,可使相面位置不变,同时两个位置的倍率互为倒数。

基于光学系统物象关系可知

$$y' = -f \tan w \quad (1)$$

$$y = f' \tan w' \quad (2)$$

变焦系统需要将孔径光阑设置在晶体中心,使有效光线能够全部通过晶体,对于同一个光学系统,各焦距位置的出瞳大小应当相同,对于位置固定的晶体,即晶体入瞳角度应当相同,因此,需要将变焦系统的出射角度固定,即 $\pm 3^\circ$ 。同时,像高 y 为一定值。

因此,有下式

$$y = y' \quad (3)$$

对于共轭的两个变焦位置,

$$f/f' = \tan w' / \tan w \quad (4)$$

将 17° 和 6° 代入式(4),可以得到,焦距比为 3:1,为一个 3 倍变焦系统。

本设计采用光学自动化设计软件 ZEMAX 进行设计,进行系统结构优化设计,其中采用前后两个固定镜头组,并在前后镜头组之间设置变倍组,同时,在变倍组后方设置补偿组。其中,变倍组的作用为 3 倍变焦,补偿组的作用是在变倍过程中,始终保持相面位置不变,同时前后固定组位置不变,经过优化设计,通过在后面加理想透镜,设置不同焦距,将视场进行变换,并限制像高,得到上图变视场光学系统。根据系统要求可以看到,经过初始设计,将前置变视场通过光学系统变为固定视场的出射光,出射光角度为 $\pm 3^\circ$ 。

声光可调滤波器(简称 AOTF)是一个选通器件晶体,通过超声波对晶体进行调制,使晶体产生衍射光栅效应,最终使有效光和衍射光分离。通过晶体的光学被分离,分为原发光(也称零级光)和衍射光,两种光线互成角度,在一定距离之外可以进行分离,因此,通过该方式可以将不同波段的光线分离出来单独进行分析。

根据声光可调滤波器晶体特性,当入射角度过大的时候,角度过大会使光线无法接收到,因此需要将入射光线进行压缩,使入射光控制在 $\pm 3^\circ$ 范围内。

经过校正色差的系统出来的光线,其不同波长的角度大致相同,因此,通过晶体的出射光线大致角度也相同,通过晶体将原发光和衍射光进行分离,即通过反射镜偏转一定角度,使原发光反射出系统视场,将衍射光收入系统视场中。

将前端变焦系统及晶体放置在新的光学系统前端,将后端系统结构设置为变量,通过优化设计,

使整个光学系统的初始结构成型。

通过晶体的衍射光成一定出射角度,通过设计后端的成像系统,将系统的光线会聚到探测器相面上,在一定的焦深范围内成清晰像。对于该系统,通过两组镜片进行配对,提供4组变量进行优化,首先将光束进行压缩,并对场曲等像差进行优化,使光线最终达到理想相面。

2 成像分析及设计结果

由于系统有较大色散产生,对于AOTF晶体,不同色散产生的角度影响较大,因此需要对前置光学系统进行色差的校正。

首先校正初级色差,即垂轴色差和倍率色差,如图2所示。图3为校正初始色差系统点列图。



图2 校正初始色差的系统

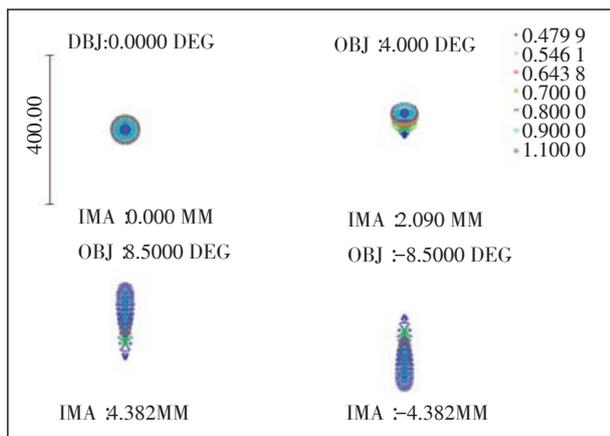


图3 校正初始色差系统点列图

可以看到,图3中弥散斑还是较大,各波长色差还是比较分散,因此需要对高级色差进行校正。通过ZEMAX软件参数设置,对二级光谱进行校正,设计后的弥散斑如图4所示。

经过优化后的变焦系统,通过导入到设计软件CodeV中,利用软件中的“变焦凸轮设计”功能,通过输入位移变化的表面,同时设定CAM步数,使得变焦组和前固定组之间的间隔为线性变化运动,可以得到一系列的间隔数值,补偿组采用相同的方法得到。将数值表输入到Matlab中进行拟合,可以得到

变焦组和补偿组的变化曲线。通过变焦曲线设计凸轮结构,利用凸轮对系统进行变焦。图5为CodeV拟合的变焦曲线图。

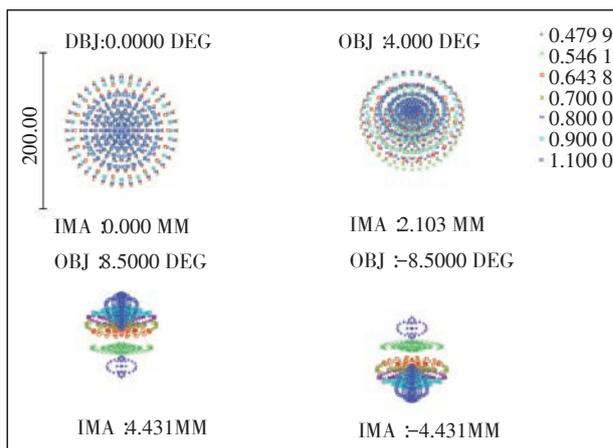


图4 校正高级色差的系统点列图

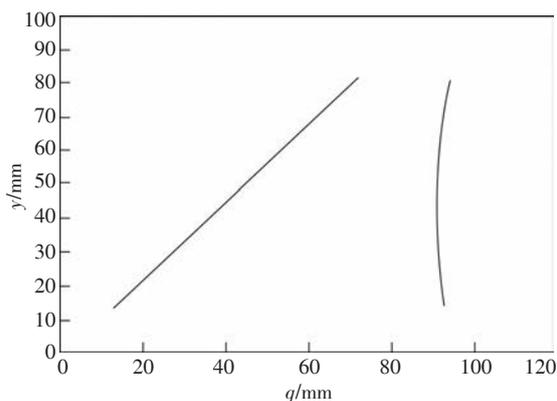


图5 CodeV拟合的变焦曲线

由于系统总长的限制,同时要求对原发光和衍射光进行区分,因此,设置了两个反射镜片,并对系统进行了重新优化。图6是设计结果图示。

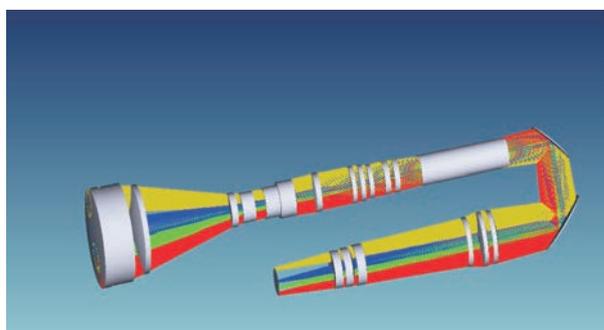


图6 系统立体示意图

整个光学系统的传函如下。经过优化,均满足在探测器件的衍射极限范围内,由于系统像元为 $12.7\ \mu\text{m}$,根据如下公式可知截止频率为

$$U=1/F\#\times M \quad (5)$$

其中, M 为像元大小。

通过代入相关数据可以得到系统的截止频率设置为39,通过优化设计,在截止频率范围内可以得到达到0.4以上,如图7所示。

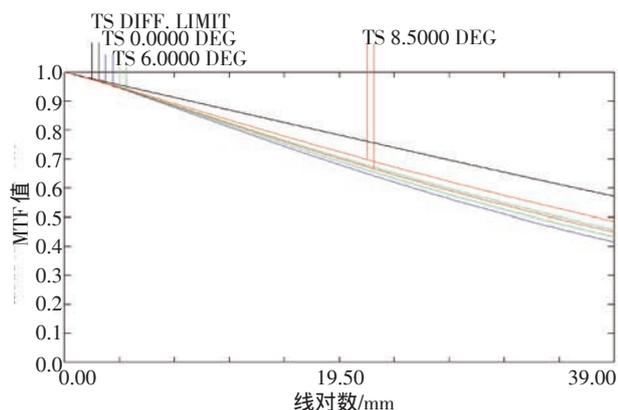


图7 系统传函图

3 结论

该设计对于不同场景的光谱特征进行了分析,利用光学系统对光谱进行了视场变换,并通过AOTF特性对光谱进行了分割,将原发光和衍射光进行分离;因系统设计要求,增加了前端变焦系统,设计了3倍光学变焦系统并绘制了凸轮曲线,方便系统的实现,另外对变焦系统的二级光谱进行了校

正,减少了前端系统的色散,改善成像效果;后端设计了成像系统,并进行了折转设计,减小了系统所占用的长度,利于系统集成,设计结果性能良好。

参考文献

- [1] 刘济帆,马艳华,张雷,等.基于AOTF的新型成像光谱系统[J].红外与激光工程,2013,42:3065-3069.
- [2] 常凌颖,赵葆常,邱跃洪.声光可调滤波器成像光谱仪光学系统设计[J].光学学报,2010,30(10):3021-3022.
- [3] 赵慧洁,周鹏威,张颖,等.基于胶合棱镜的AOTF成像光谱仪横向色差校正[J].光谱学与光谱分析,2013,33(10):2869-2874.
- [4] 姜庆辉,邱跃洪,赵葆常,等.AOTF偏振光谱成像数据采集系统设计[J].红外与激光工程,2012,41(1):218-221.
- [5] 邵帅.多波段共孔径红外系统光机热一体化设计[J].仪器仪表学报,2013,34(2):387-393.
- [6] 程伟宁,孙宏宇.基于AOTF的光学系统设计[J].光电技术应用,2016,31(2):1-4.
- [7] 刘喆,刘海鸥.基于ZEMAX的f-θ透镜的光学设计[J].光电技术应用,2016,31(2):5-10.
- [8] 夏元杰,刘志东,段红建,等.T型光电转台多传感器结构布局及多光轴平行性调校研究[J].光电技术应用,2016,31(2):15-18.
- [9] 孟令轩,延凤平,白燕,等.产生波长793 nm中空光束的双包层光纤的优化设计[J].光电技术应用,2017,32(1):1-5.
- [10] 刘典宏,张晓晖.分步法快速实现LED小视场角矩形均匀照明[J].光电技术应用,2017,32(1):6-9.

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊,并加入中国光学期刊网,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。