(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102590993 A
(43)申请公布日 2012.07.18

(21)申请号 201210079058.0

(22)申请日 2012.03.23

(71)申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
地址 130033 吉林省长春市东南湖大路3888号

(72)发明人 赵文才 马军 任建军

(74)专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210
代理人 南小平

(51)Int.Cl.
G02B 17/06(2006.01)
G02B 13/18(2006.01)

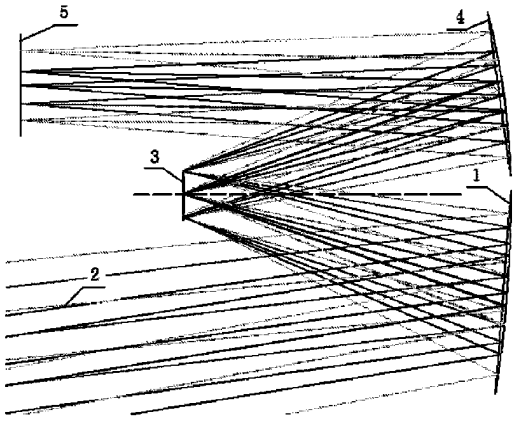
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54)发明名称

矩形大视场、消畸变离轴TMA光学系统

(57)摘要

矩形大视场、消畸变离轴TMA光学系统，属于空间光学技术领域，为解决现有离轴TMA光学系统的视场小、畸变大的问题，本发明的技术方案是，该光学系统包括入射光线、主反射镜、次反射镜、第三反射镜、光轴和成像接收器，所述入射光线入射至主反射镜，经主反射镜反射至次反射镜，经所述次反射镜反射至第三反射镜后被成像接收器接收；所述次反射镜设置在系统孔径光栏位置，所述主反射镜与次反射镜的距离和第三反射镜与次反射镜的距离相等，所述次反射镜为二次非球面，主反射镜为含十一次项和十五次项的高次非球面，第三反射镜为含九次项和十五次项的高次非球面，对大视场高分辨率成像光谱仪以及目标仿真模拟系统的设计提供了借鉴和实用参考价值。



CN 102590993 A

1. 矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统，包括入射光线 (1)、主反射镜 (2)、次反射镜 (3)、第三反射镜 (4) 和成像接收器 (5)，所述入射光线 (1) 入射至主反射镜 (2)，经主反射镜 (2) 反射至次反射镜 (3)，经所述次反射镜 (3) 反射至第三反射镜 (4) 后被成像接收器 (5) 接收，其特征是，所述次反射镜 (3) 设置在系统孔径光栏位置，所述主反射镜 (2) 与次反射镜 (3) 的距离和第三反射镜 (4) 与次反射镜 (3) 的距离相等，所述次反射镜 (3) 为二次非球面，主反射镜 (2) 为含十一次项和十五次项的高次非球面，第三反射镜 (4) 为含九次项和十五次项的高次非球面。

矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统

技术领域

[0001] 本发明属于空间光学技术领域，具体涉及矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统。

背景技术

[0002] 同轴反射系统因结构的约束，视场受到一定的限制，致使观测的画幅太小；同时，系统有中心遮拦，因而系统的 MTF 会急剧下降，影响系统的分辨率。

[0003] 离轴反射系统因能够做到大视场，无遮拦，使系统的分辨率得到提高，同时可抑制杂光等优点备受业界推崇，成为空间遥感领域研究的热点。但国际上离轴三反射光学系统设计做到大视场基本都采用长条形视场的方式，即弧矢视场较大，子午视场很小，这样，避免了子午视场像差难于校正的问题，而真正的圆形宽视场一般不超过 3°。

[0004] 现有技术的离轴 TMA 光学系统（光子学报，2006 年 35 卷第 4 期 P608 ～ 610），主镜为双曲面，次镜为椭球面，三镜为扁椭球面。该光学系统的结构视场不够大，只能达到 3° 的圆视场。而且光学系统传函 MTF 只做到了 0.4，像散较大，畸变大于 0.5%。

[0005] 为了克服上述缺点，特设计一种可适合于较大的视场角（5° ×5°），主镜到次镜的距离与三镜到次镜的距离相同，系统的结构简单，重量轻，并能获得小于 0.05% 的畸变和大于 0.69 的传递函数值（MTF）的光学系统。

发明内容

[0006] 本发明为解决现有离轴 TMA 光学系统的视场小、畸变大的问题，提供矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统。

[0007] 为实现上述目的，本发明的技术方案是：矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统，该光学系统包括入射光线、主反射镜、次反射镜、第三反射镜和成像接收器，所述入射光线入射至主反射镜，经主反射镜反射至次反射镜，经所述次反射镜反射至第三反射镜后被成像接收器接收；所述次反射镜设置在系统孔径光栏位置，所述主反射镜与次反射镜的距离和第三反射镜与次反射镜的距离相等，所述次反射镜为二次非球面，主反射镜为含十一次项和十五次项的高次非球面，第三反射镜为含九次项和十五次项的高次非球面。

[0008] 本发明的有益效果是，本发明光学系统中次反射镜设置在系统孔径光栏位置，主反射镜与次反射镜的距离和第三反射镜与次反射镜的距离相等，获得小于 0.05% 的畸变；次反射镜为二次非球面，主反射镜为含十一次项和十五次项的高次非球面，第三反射镜为含九次项和十五次项的高次非球面，可以获得 5° ×5° 的矩形大视场；本发明光学系统的结构简单，重量轻，应用方便。

附图说明

[0009] 图 1 为本发明所述的矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统的结构示意图；

[0010] 图 2 为本发明所述的矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统的传递函数示意图；

[0011] 图 3 为本发明所述的矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统的点列示意图；

[0012] 图 4 为本发明所述的矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统的畸变示意图；

[0013] 图 5 为本发明所述的矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统的波像差示意图；

[0014] 图 6 为本发明所述的矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统的能量分布示意图。

[0015] 图中：1、入射光线，2、主反射镜，3、次反射镜，4、第三反射镜，5、成像接收器。

具体实施方式

[0016] 如图 1 所示，本发明矩形大视场、消畸变离轴 TMA 光学系统，包括入射光线 1、主反射镜 2、次反射镜 3、第三反射镜 4 和成像接收器 5，所述入射光线 1 入射至主反射镜 2，经主反射镜 2 反射至次反射镜 3，经所述次反射镜 3 反射至第三反射镜 4 后被成像接收器 5 接收；所述次反射镜 3 设置在系统孔径光栏位置，所述主反射镜 2 与次反射镜 3 的距离和第三反射镜 4 与次反射镜 3 的距离相等，所述次反射镜 3 为二次非球面，主反射镜 2 为含十一次项和十五次项的高次非球面，第三反射镜 4 为含九次项和十五次项的高次非球面。

[0017] 结合图 2 至图 6，具体实施方式如下：

[0018] 光学系统技术指标要求 5° ×5° 的矩形大视场，畸变量小于 0.05%，本发明光学系统次反射镜 3 为光学系统孔径光栏位置，主反射镜 2 和第三反射镜 4 到次反射镜 3 的轴向距离都为 170mm，第三反射镜 4 到成像接收器 5 的轴向距离为 254.295mm，主反射镜 2 与第三反射镜 4 的离轴量分别为 50mm 和 52mm。

[0019] 本发明的光学系统技术指标如表 1 所示

[0020] 表 1

[0021]

技术参数	设计要求
光谱波段	0.4861~0.6563μm
相对孔径	1/8
视　　场（子午、弧矢）	5°×5°
角分辨率	小于 0.25mral
畸　　变	小于 0.1%
通光口径	φ50mm

[0022] 本发明的光学系统结构参数如表 2 所示

[0023] 表 2

[0024]

s	R/mm	d/mm	Conic	非球面高次项系数
主镜	-651.255	-170	-2.107	-8.024×10^{-1}，-1.979×10^{-15}
次镜	-238.658	170	-1.118	
三镜	-370.826	254.695	0.494	1.183×10^{-9}，1.225×10^{-14}

[0025] 相对孔径的确定：系统相对孔径的确定需要考虑以下因素，①受艾里斑大小及入射能量的限制，相对孔径不能太小；②受光学系统结构尺寸及设计难度的制约，相对孔径也不宜于过大。计算艾里斑的物理直径公式如式(1)，

[0026] $\psi = 2.44\lambda F^{\#}$ (1)

[0027] 式中，ψ 为艾里斑的物理直径，λ 为波长，$F^{\#}$ 为光学系统相对孔径的倒数。根据以上原则我们选 $F^{\#}$ 为 8，因此，相对孔径 D/f′ 为 1/8。

[0028] 系统焦距的确定：根据相对孔径，计算系统焦距为 f′ = 400mm。

[0029] 艾里斑的角直径可以由式(2)表示

[0030] $$\gamma = \frac{2.44\lambda}{D} \quad (2)$$

[0031] 式中，γ 为艾里斑的角直径，λ 为波长，D 为光学系统的通光口径。

[0032] 根据应用技术指标要求，取 λ 等于 0.5μm，通过公式(2)可计算出 γ = 0.024mral，可知大大满足角分辨率 θ 小于 0.25mral 的要求。

[0033] 系统分辨率的确定：根据艾里斑角直径和系统焦距，确定系统的分辨率为 10μm。因此，光学系统的 Nyquist 频率为 50lp/mm。

[0034] 本系统由于技术指标要求 5° ×5° 的矩形大视场，畸变量小于 0.05%，因此，如前所述在大视场、大相对孔径折射和折反式光学系统中，需采用特殊光学材料或复杂的结构来消二级光谱，所以透射和同轴反射系统都无法满足应用要求，只有离轴三反射光学系统可能达到要求。但 5° ×5° 的矩形大视场给光学系统的设计带来了很大难度，如慧差、场曲、像散、畸变等都会随着视场的变大而增大，尤其是畸变量与视场角的三次方成正比，这样会使畸变随视场角的增大而迅速增大。

[0035] 设计时采取以下思路：

[0036] 1) 次镜设为系统光栏位置，尽量使主镜和三镜与光栏结构对称，可以看到，当主镜和次镜的间隔与三镜和次镜的间隔趋于相等时，慧差、像散和畸变都有不同程度的改善；

[0037] 2) 选择合适的三个反射镜的半径，满足式(3)关系，即可校正场曲 SIV，同时可消除部分像散；

[0038] $1/r_1+1/r_3 = 1/r_2$ (3)

[0039] 3) 利用二次非球面系数 k_1 来控制子午球差，用 k_2 来控制子午慧差和场曲的平衡，k_3 来控制慧差和像散的平衡；

[0040] 4) 调整主镜和次镜的合适间隔，以控制高级球差和高级像散，因它们是相互矛盾的；

[0041] 5) 利用主镜和三镜的偏心和倾斜来消除慧差和像散；

[0042] 6) 利用非球面的高次项系数降低子午畸变及其他像差的高级量；

[0043] 7) 调整离轴角和三镜的倾斜进一步降低畸变。

[0044] 如图 2 所示，系统的调制传递函数(MTF)在整个波段和全视场范围内达到衍射极限，在空间频率 50lp/mm 处，MTF 优于 0.69，从图上也可看出，系统几乎无像散；

[0045] 如图 3 所示，光学系统的像元弥散斑的均方根半径均小于 7.0μm，远远小于艾里斑半径 19.5μm，可以说是完善成像；

[0046] 如图 4 所示，在整个波段和全视场范围内光学系统最大畸变小于 0.05%，远远低

于应用技术指标要求的 0.1％；

[0047] 如图 5 所示，系统波像差在整个波段和全视场范围内均方根波像差为 λ/40，成像完善；

[0048] 如图 6 所示，光学系统能量非常集中。

[0049] 本发明可应用于大视场高分辨率成像光谱仪，而大视场高分辨率成像光谱仪是空间遥感技术应用之一，大视场比小视场成像光谱仪能够获得多几倍甚至几十倍的地物信息，是成像光谱仪技术发展的重要方向之一。

[0050] 本发明亦可应用于目标仿真模拟系统，而目标仿真模拟系统主要是将模拟目标及复杂背景通过光学系统成像为无穷远目标，然后，再通过光学成像系统将其成像，同时，计算在各种复杂背景下，目标以不同速度及轨迹运动情况下的运动轨迹，从而掌握其运动规律。目标仿真模拟系统要想得到真正的应用，必须设计为大视场、消畸变光学系统。

[0051] 综上所述，这种新型的离轴 TMA 光学系统设计能够实现子午和弧矢都为 5° 的矩形双向大视场，全视场整个谱段最大畸变量小于 0.05％。对大视场高分辨率成像光谱仪以及目标仿真模拟系统的设计提供了借鉴和实用参考价值。

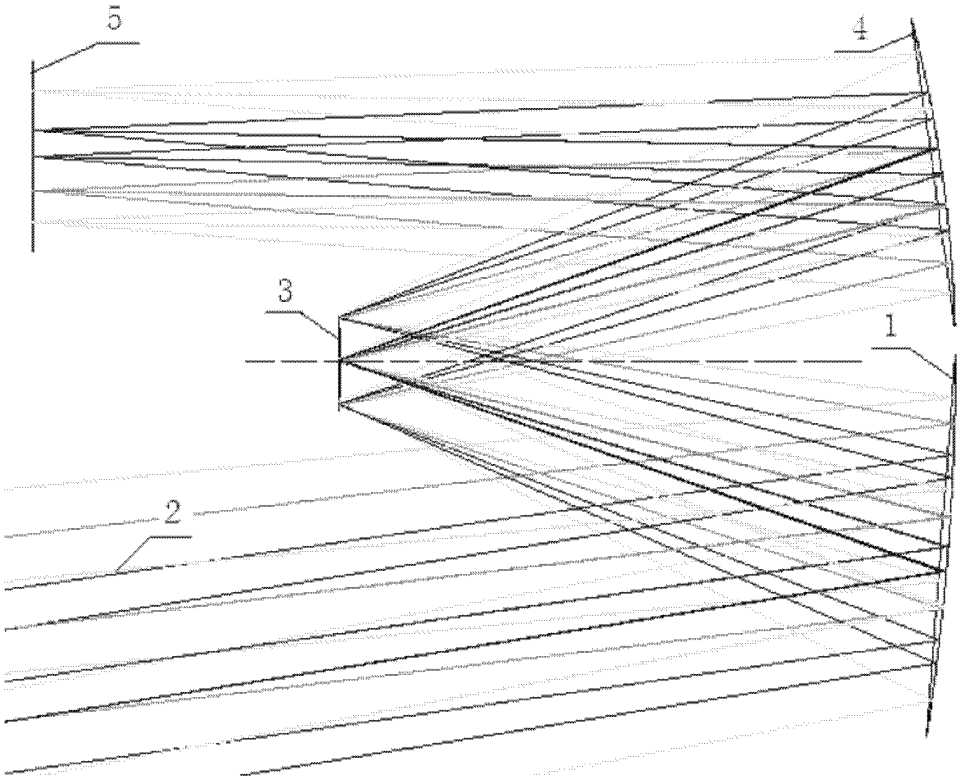


图 1

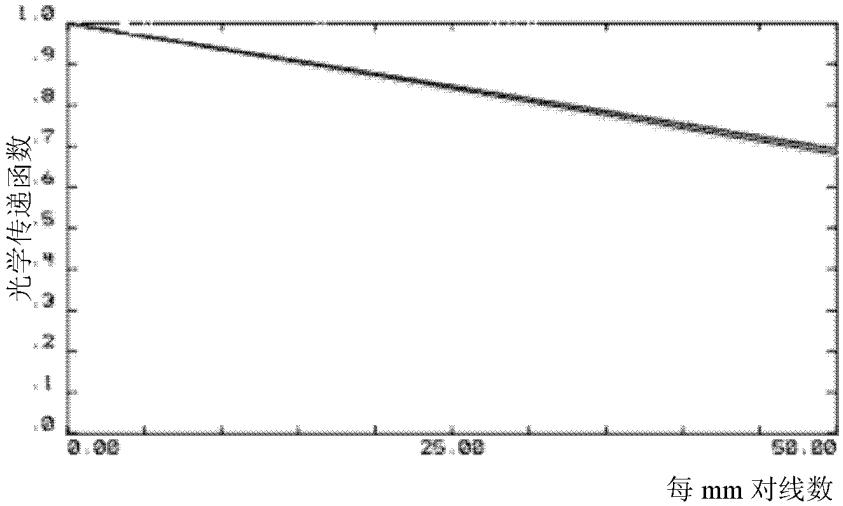


图 2

图 3

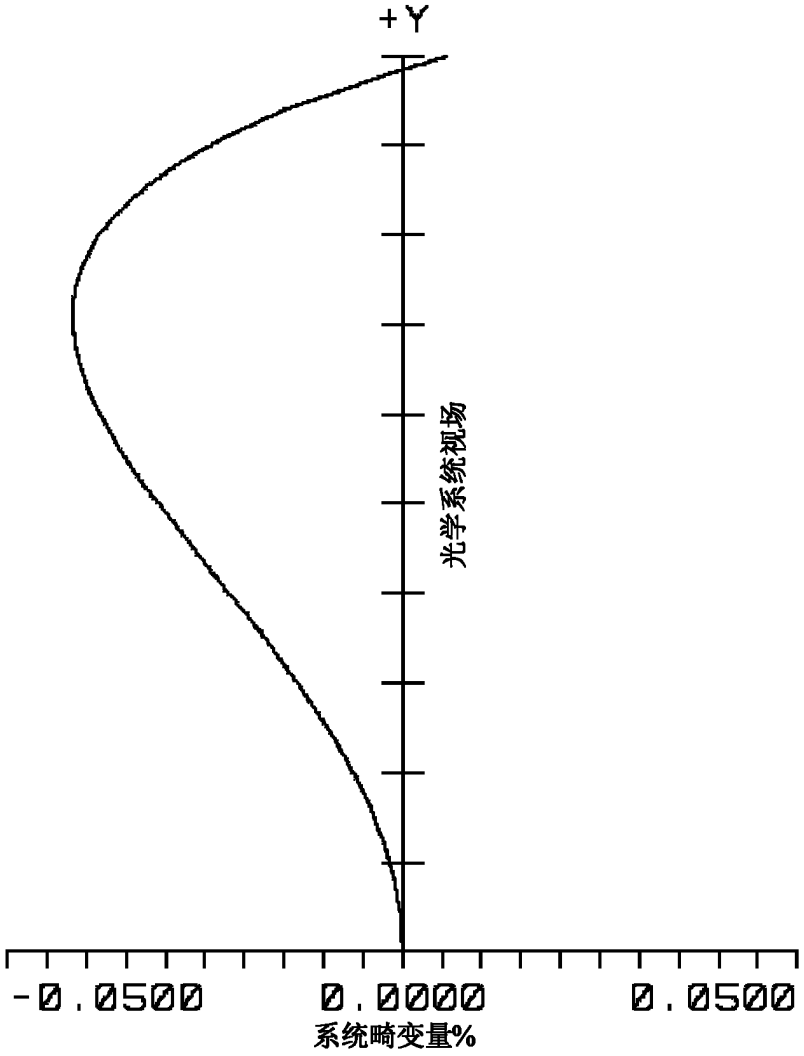


图 4

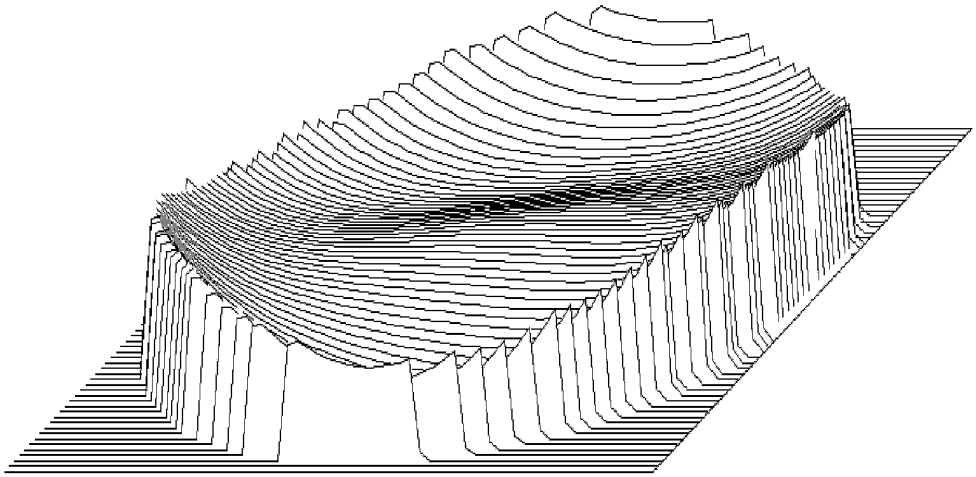


图 5

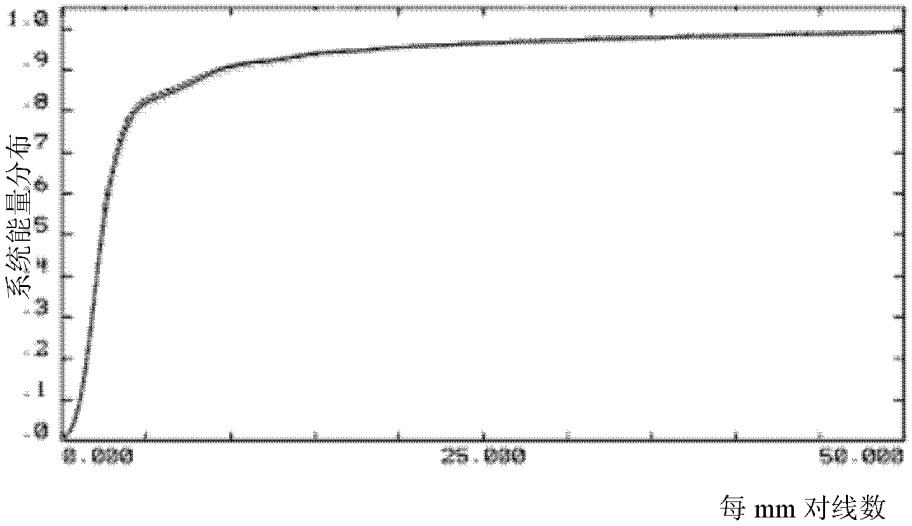


图 6