



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102520506 A

(43) 申请公布日 2012. 06. 27

(21) 申请号 201110452699. 1

(22) 申请日 2011. 12. 30

(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 张新 王灵杰

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 王淑秋

(51) Int. Cl.

G02B 17/08(2006. 01)

G02B 13/18(2006. 01)

G02B 1/02(2006. 01)

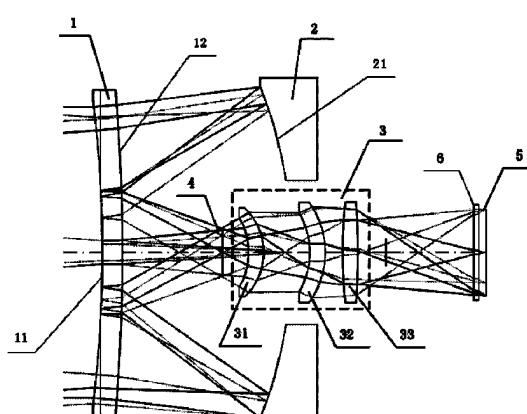
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统

(57) 摘要

本发明涉及一种紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统，该系统包括次镜、主反射镜、中继镜；所述次镜为负光焦度的折反射式光学元件，由环形透光部分和中心曼金镜构成；来自物方的光束透过次镜的环形透光部分入射到主反射镜，经主反射镜反射后入射到次镜的曼金镜，由曼金镜折反聚焦，使得目标成像在第一像面上；再由中继镜将第一像面上的目标转象并重新聚焦到第二像面上；所述第二像面与成像接收器的焦平面重合。本发明可实现长焦距成像，结构紧凑、视场大，可应用于航空、航天等光电成像领域。



1. 一种紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,包括次镜(1)、主反射镜(2)、中继镜(3);其特征在于所述次镜(1)为负光焦度的折反射式光学元件,由环形透光部分和中心曼金镜构成;来自物方的光束透过次镜(1)的环形透光部分入射到主反射镜(2),经主反射镜(2)反射后入射到次镜(1)的曼金镜,由曼金镜折反聚焦,使得目标成像在第一像面(4)上;再由中继镜(3)将第一像面(4)上的目标转象并重新聚焦到第二像面(5)上;所述第二像面(5)与成像接收器的焦平面重合。

2. 根据权利要求1所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述次镜(1)的前表面(11)为凸非球面,主反射镜(2)的反射面为凹非球面。

3. 根据权利要求2所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述主反射镜(2)的反射面为标准二次曲面或高次非球面。

4. 根据权利要求2或3所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述次镜(1)的前表面(11)为标准二次曲面或高次非球面。

5. 根据权利要求1所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述中继镜(3)由沿同一光轴顺序放置的第一折射透镜(31)、第二折射透镜(32)和第三折射透镜(33)组成;其中第一折射透镜(31)、第二折射透镜(32)为弯月镜,第三折射透镜(33)为双凸透镜。

6. 根据权利要求5所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于第一折射透镜(31)和第二折射透镜(32)的前表面为非球面,第一折射透镜(31)和第二折射透镜(32)的后表面、第二折射透镜(32)的前表面和后表面均为球面。

7. 根据权利要求5所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述次镜(1)、第一折射透镜(31)、第二折射透镜(32)和第三折射透镜(33)采用Ge晶体。

8. 根据权利要求5所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述次镜(1)、第一折射透镜(31)、第二折射透镜(32)和第三折射透镜(33)采用ZnS晶体。

9. 根据权利要求5所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于所述次镜(1)、第一折射透镜(31)、第二折射透镜(32)和第三折射透镜(33)采用ZnSe晶体。

10. 根据权利要求6所述的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统,其特征在于次镜(1)、主反射镜(2)、第一折射透镜(31)、第二折射透镜(32)、第三折射透镜(33)的光学表面曲率半径、非球面系数、各光学表面之间沿光轴方向的距离如表1所示:

表 1

光学元件序号		曲率半径 (mm)	非球面系数 (e^2)	间隔距离或 厚度 (mm)
次镜 1	前表面 11	-247	0	4
	后表面 12	-315.83	-32.4	
主反 射镜 2	反射面 21	-92	0.69	24.59
				-33
第一 透镜 31	前表面 311	-23.052	2.3	3
	后表面 312	-12.749	0	
第二 透镜 32	前表面 321	-16.1833	0.40	9
	后表面 322	-16.72	0	
第三 透镜 33	前表面 331	83.56	0	3.5
	后表面 332	-124.17	0	
成像接收器焦平面				3
				22.7

紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统

技术领域：

[0001] 本发明属于光学技术领域，涉及一种紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统。

背景技术：

[0002] 红外光学系统应用越来越广泛，工作环境越来越复杂，对红外光学系统的成像质量要求越来越高，设计能够工作在恶劣环境条件下的高性能红外光学系统成为必然。环境温度变化将引起材料折射率的变化、系统焦距改变、像面位移（离焦）、成像质量恶化等。这种光学系统的热不稳定性尤以红外光学系统为甚，这主要是由于红外光学材料的热稳定性较差，多数红外光学材料的折射率随温度变化明显。因此，在设计红外光学系统的过程中，必须采用一定的补偿技术以消除温度效应的影响，使红外光学系统能够在一个较大的环境温度范围内保持良好的成像质量。

[0003] 传统的无热化设计方法可分为三类：(1) 机械被动式；(2) 机电主动式；(3) 光学被动式。其中光学被动补偿方式由于结构相对简单、尺寸小重量轻、系统可靠性高等特点，受到了极大的重视。

[0004] 折反射光学系统由于主次镜分担大部分光焦度，有利于系统无热化设计；利用反射镜折叠光路，缩小了镜头的体积和减轻了质量，长度可以做到比焦距短。综上所述，在红外光学系统要求轻质紧凑的场合，一般采用折反射式光学系统设计形式。

[0005] 美国专利 US4,431,917 (公开日 19840214) 公开了一种“紧凑高冷阑效率光学系统”，该系统采用折反射式光学结构，由主反射镜、次镜和中继镜构成，其中主反射镜和次镜都采用反射镜。由于光学系统的主反射镜、次镜都采用反射镜，因而其焦距短，视场小，体积大。

发明内容：

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种可实现长焦距成像，结构紧凑、视场大的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统。

[0007] 为了解决上述技术问题，本发明的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统包括次镜、主反射镜、中继镜；所述次镜为负光焦度的折反射式光学元件，由环形透光部分和中心曼金镜构成；来自物方的光束透过次镜的环形透光部分入射到主反射镜，经主反射镜反射后入射到次镜的曼金镜，由曼金镜折反聚焦，使得目标成像在第一像面上；再由中继镜将第一像面上的目标转象并重新聚焦到第二像面上；所述第二像面与成像接收器的焦平面重合。

[0008] 本发明次镜采用光焦度为负的折反射式光学元件，曼金镜可以实现折射和反射两种功能，其余部分为环形透光部分，只能实现折射功能，因而增大了入射光的视角，同时缩短了次镜与第一像面之间的距离。本发明可实现长焦距成像，结构紧凑、视场大，可应用于航空、航天等光电成像领域。

- [0009] 所述次镜的前表面为凸非球面,主反射镜的反射面为凹非球面。
- [0010] 所述主反射镜的反射面为标准二次曲面或高次非球面。
- [0011] 所述次镜的前表面为标准二次曲面或高次非球面。
- [0012] 目标通过本发明的光学系统后成像在红外焦平面成像接收器上,从而得到目标的数字图像;焦平面成像接收器可以是非制冷式长波红外探测器,也可以是制冷式长波红外探测器。
- [0013] 所述中继镜由沿同一光轴顺序放置的第一折射透镜、第二折射透镜和第三折射透镜组成;其中第一折射透镜、第二折射透镜为弯月镜,第三折射透镜为双凸透镜。
- [0014] 第一折射透镜和第二折射透镜的前表面为非球面,第一折射透镜和第二折射透镜的后表面、第二折射透镜的前表面和后表面均为球面。
- [0015] 所述第一折射透镜、第二折射透镜和第三折射透镜采用 Ge 晶体。
- [0016] 所述第一折射透镜、第二折射透镜和第三折射透镜采用 ZnS 晶体。
- [0017] 所述第一折射透镜、第二折射透镜和第三折射透镜采用 ZnSe 晶体。
- [0018] 次镜材料选用折射率温度系数较大的红外晶体,次镜、中继镜及镜体支撑材料选择轻质、低线涨系数结构材料,通过互相匹配可消除系统热差,实现光学系统被动无热化。通过主反射镜、次镜和中继镜的光焦度合理匹配可实现系统色差的消除,光学畸变小,传递函数高,可实现大温度范围光学补偿无热化成像。

附图说明

- [0019] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。
- [0020] 图 1 为本发明的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统结构示意图。
- [0021] 图中:1 为次镜;2 为主反射镜;3 为中继镜;31 为第一折射透镜;32 为第二折射透镜;33 为第三折射透镜;4 为第一像面;5 为第二像面,即成像接收器焦平面;6 为成像接收器窗口。
- [0022] 图 2 是中继镜放大图。
- [0023] 图 3 是本发明采用的坐标系示意图。

具体实施方式

- [0024] 如图 1、2 所示,本发明的紧凑型折反射式长波红外无热化成像光学系统从物方到像方按顺序由一个次镜 1、一个主反射镜 2 和一个中继镜 3 组成。成像接收器采用面阵长波红外探测器,用于对电磁波谱中 $8 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ 热辐射成像。
- [0025] 本发明的光学系统按 xyz 右手空间坐标系有序排列, z 轴方向定为光轴方向, y 轴在图 1 所示平面内,x 轴垂直于 yz 平面,yz 坐标平面为光学系统的子午面,见图 3。
- [0026] 系统所有光学元件布置在同一光轴上,主反射镜 2 的反射面 21 与次镜 1 的后表面 12 相对排布,第一折射透镜 31、第二折射透镜 32、第三折射透镜 33 布置在第一像面 4 与第二像面 5 之间,成像接收器窗口 6 和第二像面 5 的布置满足非制冷式长波红外探测器的设计要求。主反射镜 2 和次镜 1 构成前组光学系统,第一折射透镜 31、第二折射透镜 32 和第三折射透镜 33 构成中继光学系统;所有光学元件的中心都在 yz 平面上(x 坐标均为零)。次镜 1、第一折射透镜 31、第二折射透镜 32 和第三折射透镜 33 的材料均选用同种晶体材

料。镜筒材料为铝或钛合金。

[0027] 来自物方的光束透过次镜 1 的环形透光部分, 经主反射镜 2 反射, 再由次镜 1 的曼金镜折反聚焦, 使得目标成像在第一像面 4 上; 由中继镜 3 将第一像面 4 上的目标转象并重新聚焦到第二像面 5 上, 第二像面 5 与成像接收器的焦平面重合。

[0028] 目标通过光学系统后成像在成像接收器的焦平面上, 从而得到目标的数字图像; 焦平面成像接收器可以是非制冷式长波红外探测器, 也可以是制冷式长波红外探测器。

[0029] 次镜 1 采用折反射式光学元件, 其中心部分为曼金镜, 可以实现折射和反射两种功能; 其余部分为折射元件, 只具有折射功能。主反射镜 2 的反射面 21 和次镜 1 的前表面 11(即反射面) 是标准二次曲面, 即抛物面、椭球面或双曲面, 也可以是高次非球面; 主反射镜的凹反射面 21 和次镜的反射面 11 的面形可以相同也可以不同。次镜 1 的后表面 12 为球面。

[0030] 次镜 1 为负光焦度元件, 材料选用折射率温度系数较大的红外晶体(如 Ge 晶体、ZnS 晶体或 ZnSe 晶体等)。

[0031] 中继镜 3 由一片或多片折射透镜组成, 一般采用三片折射透镜实现。其中的第一折射透镜 31 的前表面 311 和第二折射透镜 32 的前表面 321 为非球面(标准二次曲面, 即抛物面、椭球面或双曲面, 也可以是高次非球面), 第一折射透镜 31 的后表面 312 和第二折射透镜 32 的后表面 322 为球面; 第三折射透镜 33 的前表面 331、后表面 32 均为球面; 三片折射透镜采用同一种材料, 所选用的材料是对 $8 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ 波段透明的 Ge 晶体、ZnS 晶体或 ZnSe 晶体。

$$[0032] \text{光焦度分配要求: } \sum_{i=1}^n h_i \phi_i = \phi$$

$$[0033] \text{消轴向色差要求: } \Delta f_b^T = \left(\frac{1}{h_i \phi} \right) \sum (h_i^2 w_i \phi_i) = 0$$

$$[0034] \text{系统消热差公式: } df_b^T / dt = \left(\frac{1}{h_i \phi} \right)^2 \sum (h_i^2 \chi_i \phi_i) = \alpha_h L$$

[0035] 式中, h_i 为第一近轴光线在各透镜组的高度, h_1 为第一近轴光线在透镜组第一片透镜上的高度, ϕ_i 为各个透镜组的光焦度, ϕ 为系统的总光焦度, Δf_b 为焦距变化量, ω_i 为每个光学元件的色散因子, x_i 为光热膨胀系数, α_h 为机械结构材料的线膨胀系数, L 为机械结构件的长度。

[0036] 本发明的光学系统的优点是: 可实现长焦距成像、结构紧凑, 视场大, 畸变小, 传递函数高, 可实现大温度范围光学补偿无热化成像。

[0037] 根据图 1 的光学结构, 我们设计了一套长波红外望远光学系统, 像质接近衍射极限。系统技术指标如下:

[0038] 望远镜通光口径: $\phi 64\text{mm}$;

[0039] 相对孔径: 1 : 2;

[0040] 焦距: 120mm ;

[0041] 视场: $4.5^\circ \times 4.5^\circ$;

[0042] 工作波长: $8 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$;

[0043] 系统总长: 70mm ;

[0044] 畸变： $< 1\%$ ；

[0045] 工作温度： $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$

[0046] 光学系统总重：200g。

[0047] 次镜 1、主反射镜 2、第一折射透镜 31、第二折射透镜 32、第三折射透镜 33 的光学表面曲率半径、非球面系数、各光学元件材料、各光学表面之间沿光轴方向的距离（包括各光学元件的厚度及各光学元件之间的空气隙厚度）如表 1 所示。表 1 中第 5 列数据由上至下依次为主光轴上次镜 1 前表面 11 到后表面 12 的距离、次镜 1 后表面 12 到主反射镜 2 反射面 21 的距离、主反射镜 2 反射面 21 到第一透镜 31 前表面 311 的距离、第一透镜 31 前表面 311 到后表面 312 的距离、第一透镜 31 后表面 312 到第二透镜 32 前表面 321 的距离、第二透镜 32 前表面 321 到后表面 322 的距离……、第三透镜 33 后表面 332 到成像接收器焦平面的距离。

[0048] 表 1

[0049]

光学元件序号		曲率半径 (mm)	非球面系数 (e^2)	间隔距离或 厚度 (mm)	材料
次镜 1	前表面 11	-247	0	4	锗单晶
	后表面 12	-315.83	-32.4		
主反 射镜 2	反射面 21	-92	0.69	24.59	
				-33	
第一 透镜 31	前表面 311	-23.052	2.3	3	锗单晶
	后表面 312	-12.749	0		
第二 透镜 32	前表面 321	-16.1833	0.40	9	锗单晶
	后表面 322	-16.72	0	3	
第三 透镜 33	前表面 331	83.56	0	3.5	锗单晶
	后表面 332	-124.17	0	3	
成像接收 器焦平面				22.7	

[0050] 本发明不限于上述实施方式，第一折射透镜、第二折射透镜、第三折射透镜还可以采用其他种类的透镜。应当理解的是，凡是在本发明权利要求 1 技术方案基础上作出的任何简单变形都在本发明意图保护范围之内。

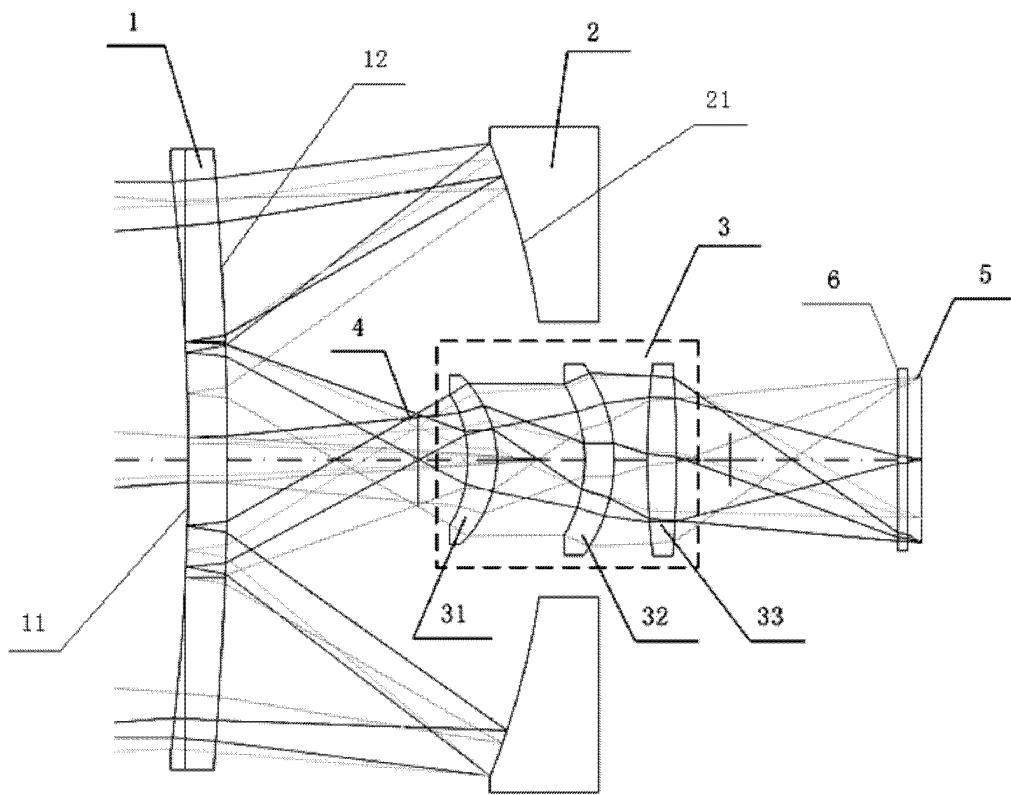


图 1

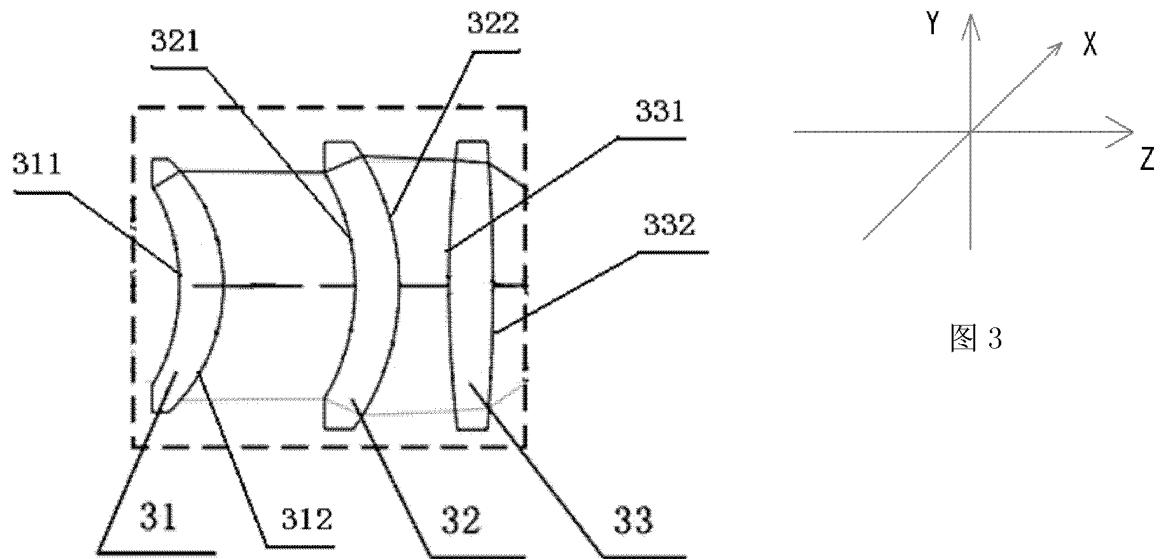


图 3

图 2