



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102519593 A

(43) 申请公布日 2012.06.27

(21) 申请号 201110443301.8

(22) 申请日 2011.12.27

(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 钟兴 金光 张元 任秉文

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 刘树清

(51) Int. Cl.

G01J 3/28(2006.01)

G01J 3/02(2006.01)

G02B 13/06(2006.01)

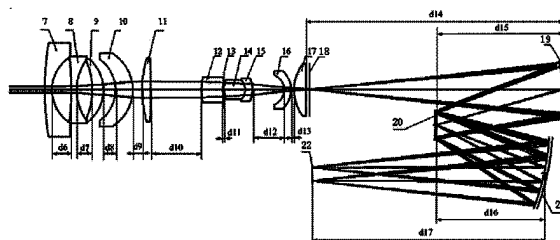
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 4 页

## (54) 发明名称

一种超广角短波红外推扫超光谱成像仪的光学系统

## (57) 摘要

一种超广角短波红外推扫超光谱成像仪的光学系统,属于空间光学遥感技术领域,涉及的一种光谱成像光学系统。本发明要解决的技术问题是:提供一种超广角短波红外推扫超光谱成像仪的光学系统。解决的技术方案是由前置物镜组和光谱成像反射镜组构成,前置物镜组和光谱成像反射镜组中的各光学元件之间的间隔距离使用光学设计软件优化确定,为校正像差且提高透过率,使用了普通光学玻璃中短波红外谱段有优良透过率的玻璃材料,光谱反射镜组和前置物镜组采用了组合设计方法校正像差,使系统在 $1\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ 谱段具有优良的成像质量,能够实现超广角成像,视场角达到 $90^\circ$ 。



1. 一种超广角短波红外超光谱推扫成像光学系统,其特征在于:该光学系统由前置物镜组和光谱成像反射镜组构成,其中前置物镜组包括第一透镜(7)、第二透镜(8)、第三透镜(9)、第四透镜(10)、第五透镜(11)、第六透镜(12)、孔径光阑(13)、第七透镜(14)、第八透镜(15)、第九透镜(16)、第十透镜(17);光谱成像反射镜组包括入射狭缝(18),主反射镜(19)、凸面光栅反射镜(20)、第三反射镜(21)、线阵 CCD(22);在前置物镜组中,在同一光轴上自左至右依次排列第一透镜(7)、第二透镜(8)、第三透镜(9)、第四透镜(10)、第五透镜(11)、第六透镜(12)、孔径光阑(13)、第七透镜(14)、第八透镜(15)、第九透镜(16)、第十透镜(17),其中第一透镜(7)和第二透镜(8)之间的间隔距离为  $d_6$ ,第二透镜(8)和第三透镜(9)之间的间隔距离为  $d_7$ ,第三透镜(9)和第四透镜(10)之间的间隔距离为  $d_8$ ,第四透镜(10)和第五透镜(11)之间的间隔距离为  $d_9$ ,第五透镜(11)和第六透镜(12)之间的间隔距离为  $d_{10}$ ,第六透镜(12)和孔径光阑(13)之间的间隔距离为  $d_{11}$ ,第七透镜(14)在孔径光阑后 0.1mm 处,第七透镜(14)的后表面和第八透镜(15)的前表面胶合在一起构成胶合面,第八透镜(15)和第九透镜(16)之间的间隔距离为  $d_{12}$ ,第九透镜(16)和第十透镜(17)之间的间隔距离为  $d_{13}$ ;光谱反射镜组为同心三反射成像光学系统,在光谱反射镜组中,主反射镜(19)与前置物镜组中的第十透镜(17)在同一光轴上,在第十透镜(17)和主反射镜(19)形成的光路中,在前置物镜组的后焦面处放置入射狭缝(18)主反射镜(19)与前置物镜组中第十透镜(17)之间的间隔距离为  $d_{14}$ ,凸面光栅反射镜(20)在主反射镜(19)的反射光路上,与主反射镜(19)的间隔距离为  $d_{15}$ ,第三反射镜(21)在凸面光栅反射镜(20)的反射光路上,与凸面光栅反射镜(20)的间隔距离为  $d_{16}$ ,线阵 CCD(22)在第三反射镜(21)的反射光路上,与第三反射镜(21)的间隔距离为  $d_{17}$ 。

## 一种超广角短波红外推扫超光谱成像仪的光学系统

### 技术领域：

[0001] 本发明属于空间光学遥感技术领域，涉及的一种超广角短波红外推扫超光谱成像仪的光学系统。

### 背景技术：

[0002] 在空间科学及地球信息科学领域，超光谱成像系统能同时获得观测目标的空间几何信息及光谱信息，是重要的目标特征获取手段，在国民经济及科学研究等方面具有很广泛的应用前景，同时随着当今红外焦平面的尺寸增大，迫切需求大视场、高灵敏度的红外波段超光谱成像仪。

[0003] 与本发明较为接近的超光谱短波红外成像光谱仪的光学系统是中国科学院上海技术物理研究所王欣等人设计的《一种棱镜分光成像光谱仪的光学系统》（专利申请号：200910197304.0），如图 1 所示，包括狭缝 1，准直离轴反射镜 2，色散棱镜 3，成像离轴反射镜 4，离轴球面校正透镜 5，像面 6。准直离轴反射镜 2 和狭缝 1 的距离为  $d_1$ ，准直离轴反射镜 2 和成像离轴反射镜 4 的间隔距离为  $d_2$ ，色散棱镜 3 位于准直离轴反射镜 2 的反射光路上，和准直离轴反射镜 2 的间隔距离为  $d_3-d_2$ ，成像离轴反射镜 4 位于色散棱镜 3 的反射光路上，和色散棱镜 3 的间隔距离为  $d_3$ ，离轴球面校正透镜 5 位于成像离轴反射镜 4 的反射光路上，和成像离轴反射镜 4 的间隔距离为  $d_4$ ，像面 6 和离轴球面校正透镜 5 的间隔距离为  $d_5$ 。准直离轴反射镜 2 和成像离轴反射镜 4 分别为二次双曲面反射镜和椭球面反射镜，它们的焦距分配考虑总系统的焦距要求，并分别将光束准直和会聚；色散棱镜 3 的两个面的角度设计既要满足系统的光谱分辨率要求，同时也要满足系统的光谱弯曲和光谱非线性要求；离轴球面校正透镜 5 的设计用来校正轴外大视场光束的像差，减小光谱弯曲，由于该系统设计不含前置物镜，校正像差能力有限，视场角仅能达到 1.43 度，无法满足大视场应用的需求，而国内外目前尚未见到超广角短波红外超光谱成像系统设计报道。

[0004] 已有的超光谱成像系统的前置物镜大都和光谱成像系统分开设计，在校正整体像差上能力有限，并且在短波红外成像系统设计中普遍选用了红外波段材料，红外波段材料尽管能够在红外波段有效的提升能量透过率，但是红外波段材料的加工性能无法和普通光学玻璃材料相比，难以设计出大视场低畸变高质量的光学系统，而且红外材料价格非常高昂。

### 发明内容：

[0005] 为克服已有技术存在的设计视场角较小、成本较高等缺陷，本发明的目的在于：获取超广角短波红外超光谱成像光学系统，最大限度的增大能够获得的地面目标光谱信息。

[0006] 本发明要解决的技术问题是：提供一种超广角短波红外推扫超光谱成像仪的光学系统。解决技术问题的技术方案如图 2 所示，是由前置物镜组和光谱成像反射镜组构成，其中前置物镜组包括第一透镜 7、第二透镜 8、第三透镜 9、第四透镜 10、第五透镜 11、第六透镜 12、孔径光阑 13、第七透镜 14、第八透镜 15、第九透镜 16、第十透镜 17；光谱成像反射镜

组包括入射狭缝 18、主反射镜 19、凸面光栅反射镜 20、第三反射镜 21、线阵 CCD22。

[0007] 在前置物镜组中,在同一光轴上自左至右依次排列第一透镜 7、第二透镜 8、第三透镜 9、第四透镜 10、第五透镜 11、第六透镜 12、孔径光阑 13、第七透镜 14、第八透镜 15、第九透镜 16、第十透镜 17,其中第一透镜 7 和第二透镜 8 之间的间隔距离为  $d_6$ ,第二透镜 8 和第三透镜 9 之间的间隔距离为  $d_7$ ,第三透镜 9 和第四透镜 10 之间的间隔距离为  $d_8$ ,第四透镜 10 和第五透镜 11 之间的间隔距离为  $d_9$ ,第五透镜 11 和第六透镜 12 之间的间隔距离为  $d_{10}$ ,第六透镜 12 和孔径光阑 13 之间的间隔距离为  $d_{11}$ ,第七透镜 14 在孔径光阑后 0.1mm 处,第七透镜 14 的后表面和第八透镜 15 的前表面胶合在一起构成胶合面,第八透镜 15 和第九透镜 16 之间的间隔距离为  $d_{12}$ ,第九透镜 16 和第十透镜 17 之间的间隔距离为  $d_{13}$ ;光谱反射镜组为同心三反射成像光学系统,在光谱反射镜组中,主反射镜 19 与前置物镜组中的第十透镜 17 在同一光轴上,在第十透镜 17 和主反射镜 19 形成的光路中,在前置物镜组的后焦面处放置入射狭缝 18 主反射镜 19 与前置物镜组中第十透镜 17 之间的间隔距离为  $d_{14}$ ,凸面光栅反射镜 20 在主反射镜 19 的反射光路上,与主反射镜 19 的间隔距离为  $d_{15}$ ,第三反射镜 21 在凸面光栅反射镜 20 的反射光路上,与凸面光栅反射镜 20 的间隔距离为  $d_{16}$ ,线阵 CCD22 在第三反射镜 21 的反射光路上,与第三反射镜 21 的间隔距离为  $d_{17}$ 。

[0008] 本发明的工作原理是:用于推扫成像时,来自不同视场的地物目标信息进入前置物镜组,依次通过第一透镜 7、第二透镜 8、第三透镜 9、第四透镜 10、第五透镜 11、第六透镜 12、孔径光阑 13、第七透镜 14、第八透镜 15、第九透镜 16、第十透镜 17,在前置物镜组后焦点处形成特定的条形视场。各透镜之间的距离通过使用光学设计软件优化,充分考虑了系统像差校正,前置物镜组中选用了几种在短波红外波段有优良透过率的玻璃(例如 ZBAF4 和 ZF12),即满足透射率要求同时更加容易校正色差,场曲。

[0009] 通过入射狭缝 18 的不同视场光线经过主反射镜 19 准直入射到凸面光栅反射镜 20 上,入射的光线在凸面光栅反射镜 20 表面发生衍射,经光栅衍射的各波段光通过第三反射镜 21 会聚反射至线阵 CCD22 上,实现不同波段成像。主反射镜 18、凸面光栅反射镜 19、第三反射镜 20、线阵 CCD21 之间的间隔距离经过光学设计软件优化,满足系统对焦距的需求。在光谱成像反射镜组中采用新式的凸面反射光栅同心三反射成像(Offner)结构,其中将凸面设置为光栅反射镜,并且光谱反射镜组采用和前置物镜组组合设计的方法,由于前置物镜组存在一定的非远心特征,因此光谱成像反射镜组中三个反射镜的通光尺寸略有变化。例如凸面光栅反射镜 20 在光谱成像系统的单独设计中为孔径光阑,应该为圆形,但在系统组合后变为长圆形,光谱成像系统反射镜孔径形状如图 3 所示。

[0010] 本发明的积极效果是:

[0011] 在短波红外波段实现超光谱、大视场,其视场角达到  $90^\circ$ ,推扫成像,无运动部件,能量集中度高。光谱成像系统采用新式的凸面反射光栅同心三反射成像(Offner)结构,系统更加紧凑,降低了系统重量,且色畸变小,无谱线弯曲。

[0012] 采用前置物镜和光谱成像系统组合设计,使该光学系统在  $1\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$  波段内具有良好的成像质量,系统各视场调制传递函数(MTF)均大于 0.4。

[0013] 本系统在前置物镜组中大量采用了普通光学玻璃材料校正短波红外像差,在获得优良像质的同时,极大降低了设计成本。

**附图说明：**

- [0014] 图 1 为已有技术的光路结构示意图。  
[0015] 图 2 为本发明的光学系统结构示意图。  
[0016] 图 3 为本发明中光谱成像反射镜组各反射镜的孔径平面示意图。  
[0017] 图 4 为本发明的光学系统各元件的具体参数表格。

**具体实施方式：**

[0018] 本发明按照图 2 所示的光学系统结构实施,为了增加光学系统的能量透过率,对前置成像物镜组的玻璃进行了挑选。在普通玻璃中,有几个牌号的玻璃在短波红外谱段具有优良的透过率,例如 ZBAF4 和 ZF12。因此,本发明在满足透射率要求的基础上大量采用了这两种普通玻璃材料来校正色差,场曲。其中第一透镜 7、第三透镜 9、第六透镜 12、第九透镜 16、第十透镜 17 为熔石英材料,第二透镜 8、第四透镜 10、第八透镜 15 为重火石光学玻璃材料 ZF12,第五透镜 11 为重钡火石光学玻璃材料 ZBAF4,第七透镜 14 为氟化钙光学晶体材料。

[0019] 光学系统设计指标为光谱范围  $1\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ , 256 条光谱通道,前置物镜组具体设计参数指标如下:

- [0020] 焦距 :15mm ;  
[0021] 相对孔径 :1/4.5 ;  
[0022] 视场角 : $2\omega = 90^\circ$  ;  
[0023] 光谱范围 :1000nm  $\sim$  2500nm ;  
[0024] 外形 : $\Phi 53\text{mm} \times 150\text{mm}$  ;  
[0025] 光谱成像系统具体设计参数指标如下 :  
[0026] 工作波长 :1000nm  $\sim$  2500nm ;  
[0027] 狭缝长度 :30.12mm ;  
[0028] 狭缝像色散宽度 :7.68mm ;  
[0029] 色畸变 :0.35  $\mu\text{m}$  ;  
[0030] 谱线弯曲 :0.22  $\mu\text{m}$  ;  
[0031] 光栅频率 :72 线 /mm ;

[0032] 要实现上述两组光学系统参数指标,前置物镜组和光谱反射镜组中的光学元件技术要求需按图 4 所示表格内的技术数据执行。

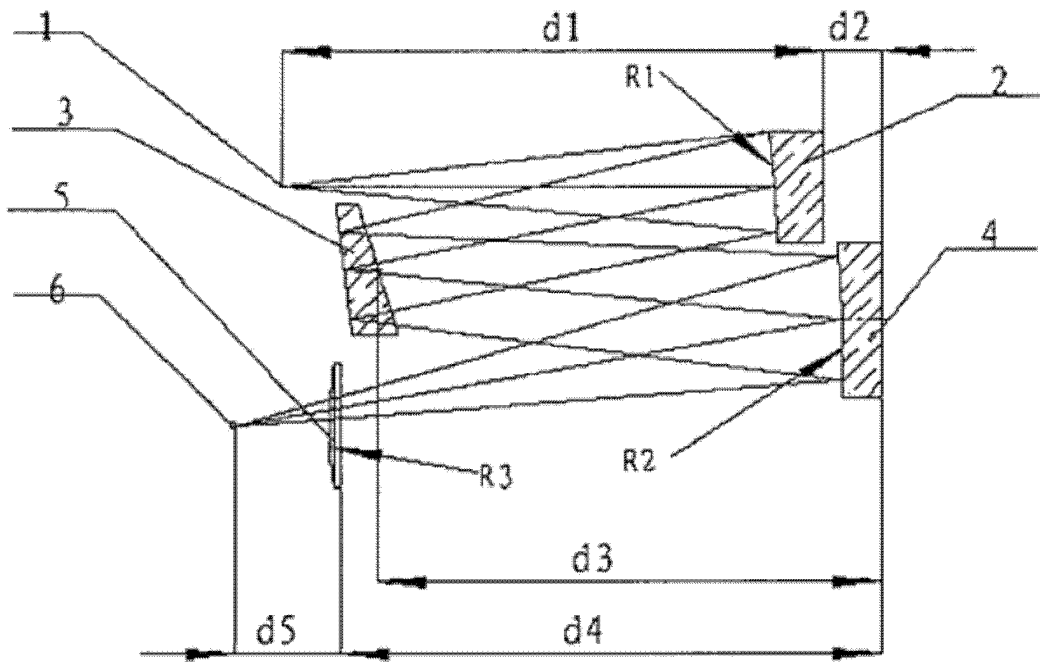


图 1

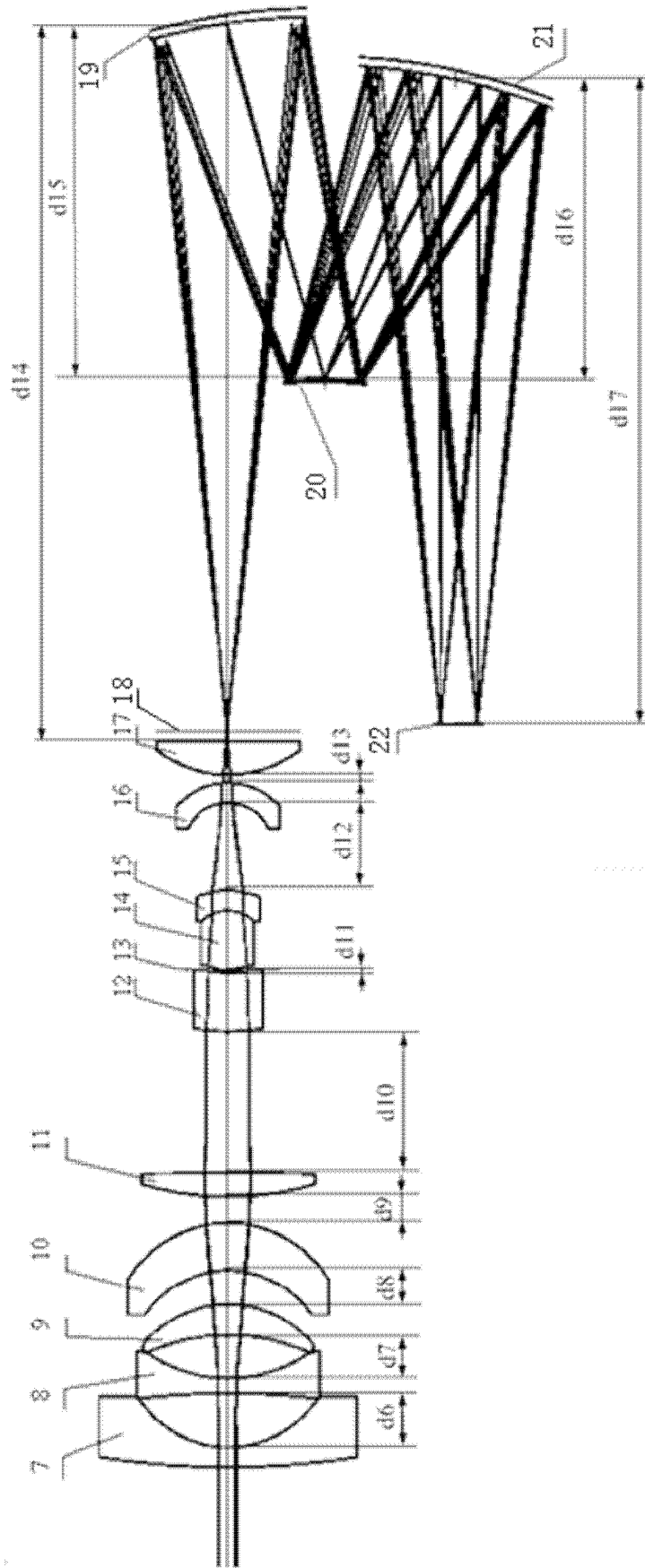


图 2

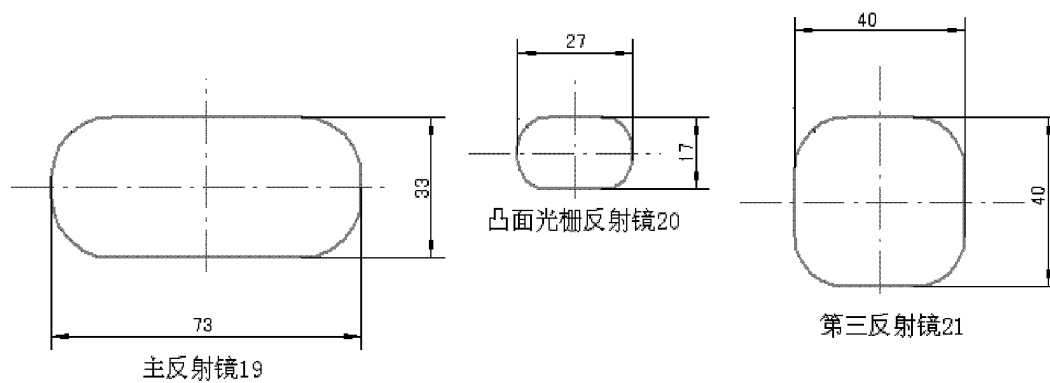


图 3



元件名	面型	曲率半径 (mm)	间隔或厚度 (mm)	材料	孔径 (mm)
第一透镜	凸面	167.408	4	熔石英	27.8
	凹面	22.54	10.886		18.696
第二透镜	凹面	187.703	4	ZF12	18.696
	凹面	29.79	8.935		16.96
第三透镜	凹面	41.378	7.36	熔石英	16.96
	凸面	23.82	7.354		18.5
第四透镜	凹面	21.48	8.98	ZF12	17.437
	凸面	24.681	0.625		21.4
第五透镜	凸面	72.379	4.98	ZBAF4	19.2
	凸面	831.8	31.827		19.2
第六透镜	凸面	38.238	11.32	熔石英	8
	凹面	16.677	0.66		4.228
孔径光阑	平面		0.1		4.163
第七透镜	凸面	11.012	13.04	氟化钙	6
	凸面	8.091	0		6
第八透镜	凹面	8.091	4.27	ZF12	6
	凸面	17.848	17.972		8.2
第九透镜	凹面	9.772	4.77	熔石英	8.801
	凸面	15.266	0.191		12.6
第十透镜	凸面	26.09	6.81	熔石英	16.1
	平面		147.628		15.136
主反射镜	凹面	144.789	73.67		42.345
凸面光栅反射镜	凸面	70.796	63.896		12.47
第三反射镜	凹面	134.827	134.456		37.999

图 4