

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 17/08 (2006.01)
G01J 3/12 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410066548.2

[45] 授权公告日 2006年5月24日

[11] 授权公告号 CN 1257422C

[22] 申请日 2004.9.21

[21] 申请号 200410066548.2

[71] 专利权人 中国科学院上海技术物理研究所
地址 200083 上海市玉田路500号

[72] 发明人 刘银年 陈建新 王欣 王建宇
王跃明 黄健 黄立峰 姚志雄

审查员 蔡文臻

[74] 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司
代理人 张泽纯

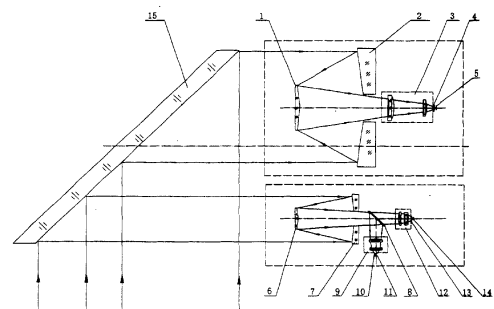
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

[54] 发明名称

一种用于星载多光谱成像仪的双筒折反射式光学系统

[57] 摘要

本发明公开了一种用于星载多光谱成像仪的双筒折反射式光学系统，其特征在于：光学系统从物方至像方按顺序由一个扫描反射镜，而后有两个分光学系统。该两个分光学系统分别由主反射镜、次反射镜和像差校正透镜组组成。本发明的优点是：系统结构简单、紧凑，加工、装校技术成熟，采用双光学系统整体上降低了光学系统设计、加工和装校的难度，提高了光学效率和像质。



1. 一种用于星载多光谱成像仪的双筒折反射式光学系统, 包括: 主反射镜、次反射镜和像差校正透镜组, 其特征在于:

光学系统从物方至像方按顺序由一个扫描反射镜(15), 而后有两个分光学系统, 第一分光学系统的工作波长为 $3.5\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ 和 $8.0\mu\text{m}\sim 12.0\mu\text{m}$, 第二分光学系统的工作波长为 $0.45\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$;

第一分光学系统从物方至像方按顺序由一个次反射镜(1)、一个主反射镜(2)、一个像差校正透镜组(3)和滤光片(4)组成;

第二分光学系统从物方至像方按顺序由一个次反射镜(6)、一个主反射镜(7)、一个将该分光学系统分成二路的分色片(8), 一路为像差校正透镜组(9)和滤光片(10)、另一路为像差校正透镜组(12)和滤光片(13)组成;

地球目标信号经扫描反射镜(15)反射, 分别进入第一分光学系统和第二分光学系统;

第一分光学系统: 来自经扫描反射镜(15)反射的地球目标信号射向主反射镜(2), 经其反射至次反射镜(1), 再由次反射镜(1)反射向像方, 依次通过像差校正透镜组(3)中的第一折射透镜(301)、第二折射透镜(302)后, 经滤光片(4)在像平面探测器(5)上成像;

第二分光学系统: 来自经扫描反射镜(15)反射的地球目标信号射向主反射镜(7), 经其反射至次反射镜(6), 再由次反射镜(6)反射向分色片(8), 由分色片(8)分成反射和透射二路光; 一路反射光依次通过像差校正透镜组(9)中的第一折射透镜(901)、第二折射透镜(902)后, 经滤光片(10)在像平面探测器(11)上成像; 另一路透射光依次通过像差校正透镜组(12)中的第

一折射透镜（1201）、第二折射透镜（1202）后，经滤光片（13）在像平面探测器（14）上成像；

所说的次反射镜（1、6）为凸双曲面反射镜，主反射镜（2、7）为凹双曲面反射镜，它们的曲面均为标准二次曲面；

所说的像差校正透镜组（3、9、12）的第一折射透镜（301、901、1201）和第二折射透镜（302、902、1202）均为球面透镜。

2. 根据权利要求1的一种用于星载多光谱成像仪的双筒折反射式光学系统，其特征在于：所说的分色片（8）的二表面平行度差为0.178度。

3. 根据权利要求1的一种用于星载多光谱成像仪的双筒折反射式光学系统，其特征在于：所说的像差校正透镜组（3、9、12）具有光焦度 φ ，组成它的各折射透镜，即第一折射透镜（301、901、1201）和第二折射透镜（302、902、1202）的光焦度 φ_{301} 、 φ_{901} 、 φ_{1201} 和 φ_{302} 、 φ_{902} 、 φ_{1202} 的分配应满足下列公式的要求：

$$h_{301,901,1201}^2 \frac{\varphi_{301,901,1201}}{\nu_{301,901,1201}} + h_{302,902,1202}^2 \frac{\varphi_{302,902,1202}}{\nu_{302,902,1202}} = 0, \quad (1)$$

$$h_{301,901,1201} \varphi_{301,901,1201} + h_{302,902,1202} \varphi_{302,902,1202} = h_{301,901,1201} \varphi, \quad (2)$$

公式中符号 h 表示光线入射各折射透镜时的高度， ν 表示阿贝常数。

一种用于星载多光谱成像仪的双筒折反射式光学系统

技术领域

本发明涉及光学元件、系统，具体是指一种用于星载多光谱成像仪的宽波段大视场光学系统。该光学系统可实现在 2.3° 视场下，对 $0.45\mu\text{m}\sim 12.0\mu\text{m}$ 波长范围内的 11 个波段分谱段成像。

背景技术

透射光学系统由于折射透镜会引入色差，因此很难实现宽波段的成像，目前只能实现较窄波段成象，如：瑞士威特厂的 RC-10 型航摄镜头、德国 Zeiss 的 Super Lamegon P15.6/90B 镜头（引自《光学技术手册下册》，王之江主编，第 976~985 页，机械工业出版社 1994 年出版），其成像带宽均在 $0.4\sim 0.9\mu\text{m}$ 波段。折反射光学系统可以实现宽波段范围内的成像，如我国的 FY-1C 气象卫星上的 10 波段可见-红外扫描辐射计，其波段范围覆盖从 $0.43\mu\text{m}$ 到 $12.5\mu\text{m}$ ，但视场只有 0.072° ，只能实现单元成像（红外与毫米波学报，第 19 卷，第 5 期，第 321 ~ 326 页）。全反射式光学系统可以实现宽波段大视场成像，如美国专利 US 4,265,510 “离轴消象散三反射镜望远镜系统”，但由于这种全反射式光学系统结构比较复杂，因此加工及系统装校较困难。

发明内容

本发明的目的是提出一种在 2.3° 视场下，对 $0.45\mu\text{m}\sim 12.0\mu\text{m}$ 波长范围内，即，可见光至长波红外波段的 11 个波段分谱段成像的双筒折反射式光学系统。

本发明的双筒折反射式光学系统如图 1 所示，来自地球目标信号经扫描反射镜 15 反射分别进入两个分光学系统：第一分光学系统实现中波和长波红外的

双波段成像；第二分光学系统实现从 $0.45\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ 波长范围内的 9 个波段的光谱成像。两个光学系统的视场配准可以通过常规的机械调整和图像处理的方法来实现。

第一分光学系统从物方至像方按顺序由一个次反射镜 1、一个主反射镜 2、一个像差校正透镜组 3 和滤光片 4 组成。

第二分光学系统从物方至像方按顺序由一个次反射镜 6、一个主反射镜 7、一个将该光学系统分成二路的分色片 8，一路依次有像差校正透镜组 9 和滤光片 10、另一路依次有像差校正透镜组 12 和滤光片 13 组成。

地球目标信号经扫描反射镜 15 反射，分别进入第一分光学系统和第二分光学系统。

第一分光学系统：来自经扫描反射镜 15 反射的地球目标信号射向主反射镜 2，经其反射至次反射镜 1，再由次反射镜 1 反射向像方，依次通过像差校正透镜组 3 中的第一折射透镜 301、第二折射透镜 302 后，经滤光片 4 在像平面探测器 5 上成像。

第二分光学系统：来自经扫描反射镜 15 反射的地球目标信号射向主反射镜 7，经其反射至次反射镜 6，再由次反射镜 6 反射向分色片 8，由分色片 8 分成反射和透射二路光。一路反射光依次通过像差校正透镜组 9 中的第一折射透镜 901、第二折射透镜 902 后，经滤光片 10 在像平面探测器 11 上成像。另一路透射光依次通过像差校正透镜组 12 中的第一折射透镜 1201、第二折射透镜 1202 后，经滤光片 13 在像平面探测器 14 上成像。

本发明的次反射镜 1 和 6 为凸双曲面反射镜，主反射镜 2 和 7 为凹双曲面反射镜，它们的曲面均为标准二次曲面，这种反射系统无色差，在小视场范围内校正球差和彗差。

所说的像差校正透镜组 3、9、12 用来校正光束经过主反射镜 2、7 和次反射镜 1、6 后的轴外像差，同时还用于校正系统本身的残余单色像差，它们分别由两片折射透镜组成，均为球面透镜。

第二分光学系统的像差校正透镜组 9、12 设计时，所用材料相同，而且光焦度为零，不会对光线起偏折作用，因此在消色差的情况下，只产生单色像差。第二分光学系统的分光采用分色片 8，分色片 8 的第一面即反射面与光轴夹角 45 度，第二面与第一面平行度为 0.178 度，用于使边缘光线的光程增加，达到补偿轴外视场光程差的目的。分色片 8 和像差校正透镜组 3、9 和 12 所选用的材料要求对它们各自选用的波段 $3.5\mu\text{m} \sim 12.0\mu\text{m}$ 、 $0.45\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 是透明的，如 Ge 晶体、石英晶体。

像差校正透镜组 3、9、12 中的第一折射透镜 301、901、1201 和第二折射透镜 302、902、1202 的消色差条件和光焦度分配应满足下列公式的要求：

$$h_{301,901,1201}^2 \frac{\varphi_{301,901,1201}}{\nu_{301,901,1201}} + h_{302,902,1202}^2 \frac{\varphi_{302,902,1202}}{\nu_{302,902,1202}} = 0, \quad (1)$$

$$h_{301,901,1201} \varphi_{301,901,1201} + h_{302,902,1202} \varphi_{302,902,1202} = h_{301,901,1201} \varphi. \quad (2)$$

公式中符号 h 表示光线入射各折射透镜时的高度， φ 表示光焦度， ν 表示阿贝常数。因为 $\varphi = 0$ ， $\nu_{301,901,1201} = \nu_{302,902,1202}$ ，根据公式 (1) 的要求，通过合理调配消色差校正镜组 3、9、12 中各透镜的光焦度，并控制光线入射高度 $h_{301,901,1201}$ 和 $h_{302,902,1202}$ ，可以消除校正镜组的色差。

滤光片 4、10、13 根据所选择的波段分别采用不同带通的滤光片。

本发明光学系统的优点是：系统结构简单、紧凑，加工、装校技术成熟，采用双筒折反射式光学系统整体上降低了光学系统设计、加工和装校的难度。第一光学系统的中、长波段成像探测器集结在一个焦面上，减少光学元件，提

高了系统的光学效率，可以用同一个制冷系统对红外探测器进行制冷，有利于降低系统的体积、重量、功耗，节省成本。采用一个扫描反射镜两个光学系统的方式，避免用分色片分光，提高了光学效率，降低了滤光片的镀膜工艺难度，降低了光学系统设计难度，用球面透镜代替非球面透镜校正像差方便加工。光学系统采用同一种光学材料，有利于保证光学系统对温度的稳定性。分色片的第二面与第一面之间存在一定角度，有利于平衡像差。像差校正透镜组的光焦度为零，校正了系统色差。

附图说明

图 1 为光学系统结构示意图，

图 2 为图 1 中的第一分光学系统的放大图，图中：

d1 为次反射镜 1 和主反射镜 2 间隔距离；

d2 为次反射镜 1 和像差校正镜组 3 间隔距离；

d3 为校正镜组 3 的第一折射透镜 301 与第二折射透镜 302 间隔距离；

d4 为第二折射透镜 302 与像面 5 间隔距离；

R1 为次反射镜 1 的顶点曲率半径；

R2 为主反射镜 2 的顶点曲率半径；

R3011 为校正镜组 3 的第一折射透镜 301 前表面曲率半径；

R3012 为校正镜组 3 的第一折射透镜 301 后表面曲率半径；

R3021 为校正镜组 3 的第二折射透镜 302 前表面曲率半径；

R3022 为校正镜组 3 的第二折射透镜 302 后表面曲率半径；

图 3 为图 1 中的第二分光学系统的放大图，图中：

d5 为次反射镜 6 和主反射镜 7 间隔距离；

d6 为次反射镜 6 和分色片 8 间隔距离；

d7 为分色片 8 和校正镜组 9 的第一折射透镜 901 间隔距离;

d8 为第一折射透镜 901 与第二折射透镜 902 间隔距离;

d9 为第二折射透镜 902 与像面 11 间隔距离;

d10 为分色片 8 和校正镜组 12 的第一折射透镜 1201 间隔距离;

d11 为校正镜组 12 的第一折射透镜 1201 与第二折射透镜 1202 间隔距离;

d12 为第二折射透镜 1202 与像面 14 间隔距离;

R6 为次反射镜 6 的顶点曲率半径;

R7 为主反射镜 7 的顶点曲率半径;

R9011 为校正镜组 9 的第一折射透镜 901 前表面曲率半径;

R9012 为校正镜组 9 的第一折射透镜 901 后表面曲率半径;

R9021 为校正镜组 9 的第二折射透镜 902 前表面曲率半径;

R9022 为校正镜组 9 的第二折射透镜 902 后表面曲率半径;

R12011 为校正镜组 12 的第一折射透镜 1201 前表面曲率半径;

R12012 为校正镜组 12 的第一折射透镜 1201 后表面曲率半径;

R12021 为校正镜组 12 的第二折射透镜 1202 前表面曲率半径;

R12022 为校正镜组 12 的第二折射透镜 1202 后表面曲率半径。

具体实施方式

根据图 1 的光学系统结构, 我们设计了一宽波段望远镜光学系统, 像质接近衍射极限。光学系统技术指标如表 1 所示, 光学系统具体设计参数如表 2 所示。

表1 光学系统的技术指标

名称	望远镜通光口径	工作波长	相对孔径	焦距	视场
第一分光学系统	$\phi 300$ mm	$3.5\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ 、 $8.0\mu\text{m}\sim 12.0\mu\text{m}$	1: 3.3	1000 mm	2.3°
第二分光学系统	$\phi 120$ mm	$0.45\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$	1: 5.83	700 mm	2.3°

表2 光学系统具体设计参数

元件名称		面序号	曲率半径 (mm)	非球面系数 (e^2)	间隔或厚度 (mm)	孔径 (mm)	材料
第一分光学系统	主反射镜 2	R2	-483.107	1.129172	160 (d1)	300	石英
	次反射镜 1	R1	-238.384	4.890628	171.97 (d2)	114	石英
	第一折射透镜 301	R3011	-91.422	-	9.316	60	锗
		R3012	-95.687	-	70.104 (d3)		
	第二折射透镜 302	R3021	-53.747	-	2.997	38	锗
R3022		-69.003	-	26.054 (d4)			
第二分光学系统	主反射镜 7	R7	-451.716	1.193938	139.991 (d5)	120	石英
	次反射镜 6	R6	-253.528	5.471814	174.996 (d6)	51.8	石英
	分色片 8				3.5	39.2	石英
					0.178度(两个面平行度)		
					54.996 (d7)		
	第一折射透镜 901	R9011	-59.942	-	3.496	31	石英
		R9012	-99.839	-	14.41 (d8)		
	第二折射透镜 902	R9021	83.733	-	5.727	29	石英
		R9022	-184.424	-	12.82 (d9)		
	第一折射透镜 1201	R1211	59.008	-	3.92	32	石英
		R1212	122.828	-	8.96 (d11)		
	第二折射透镜 1202	R1221	-97.229	-	9.43	29.8	石英
R1222		112.643	-	12.96 (d12)			

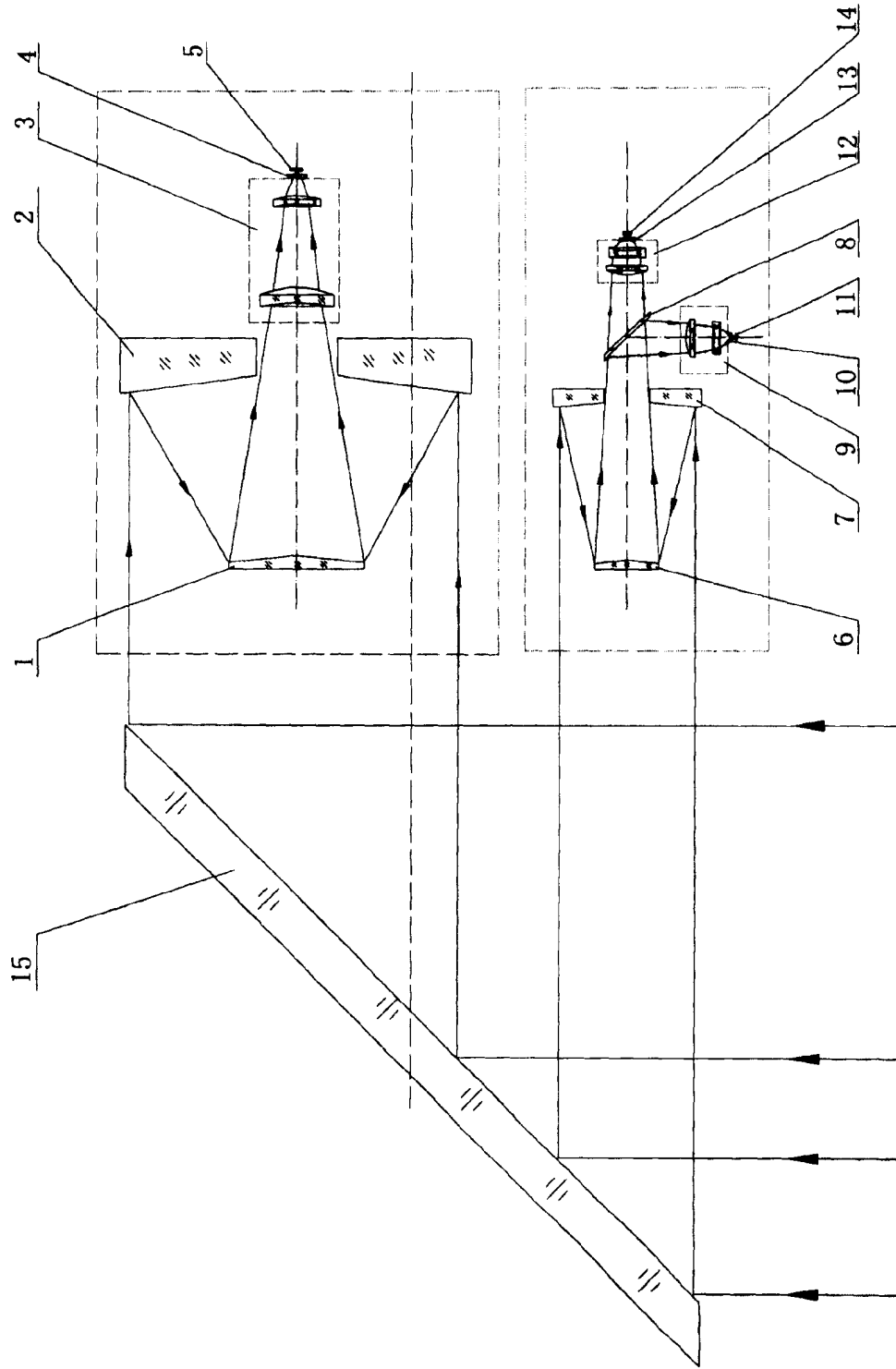


图1

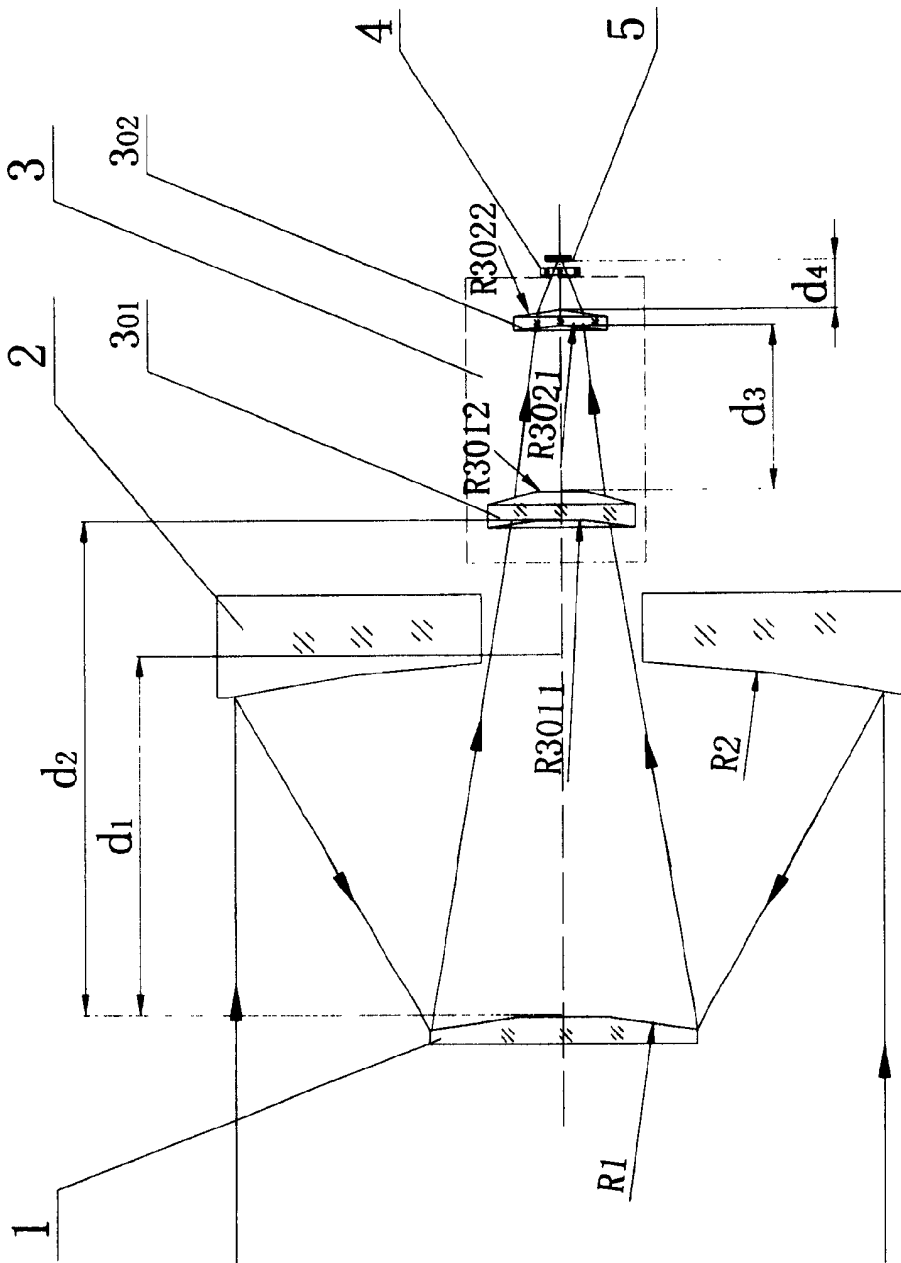


图2

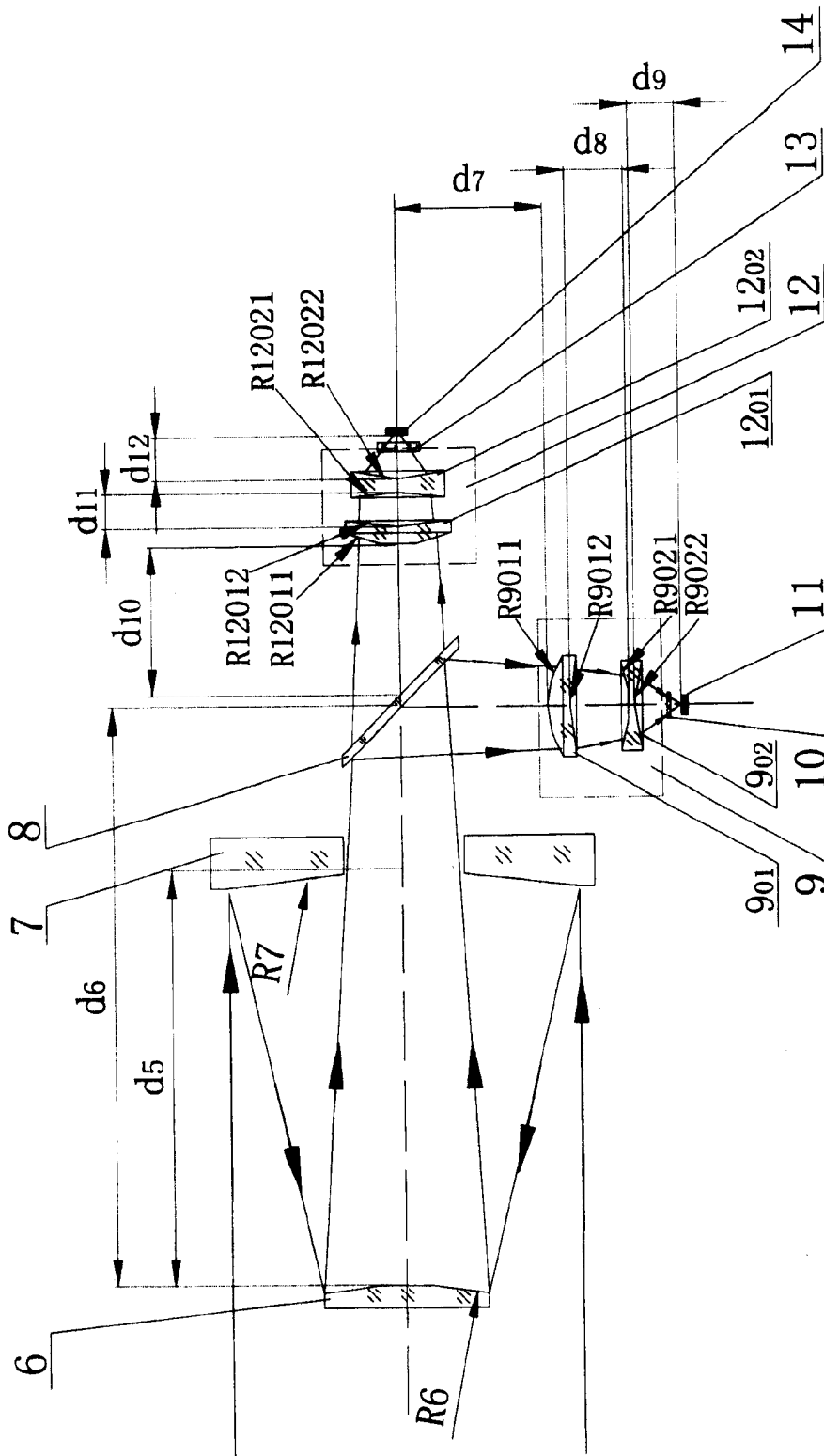


图3