



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110989142 B

(45) 授权公告日 2021.07.06

(21) 申请号 201911388676.1	CN 103913234 A, 2014.07.09
(22) 申请日 2019.12.30	CN 104006883 A, 2014.08.27
(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 110989142 A	CN 205720847 U, 2016.11.23
(43) 申请公布日 2020.04.10	CN 103926677 A, 2014.07.16
(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与 物理研究所	CN 1849541 A, 2006.10.18
地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888号	CN 206906678 U, 2018.01.19
(72) 发明人 梁静秋 任俊 吕金光 王惟彪 秦余欣 陶金 赵百轩	CN 202939354 U, 2013.05.15
(74) 专利代理机构 长春众邦菁华知识产权代理 有限公司 22214	CN 204028439 U, 2014.12.17
代理人 朱红玲	CN 104535185 A, 2015.04.22
(51) Int. Cl. G02B 13/00 (2006.01) (续)	CN 108351513 A, 2018.07.31
(56) 对比文件	CN 102636863 A, 2012.08.15
JP 2018010218 A, 2018.01.18	CN 105223674 A, 2016.01.06
JP 2017211474 A, 2017.11.30	CN 202257030 U, 2012.05.30
JP 2017097201 A, 2017.06.01	CN 107250870 A, 2017.10.13
CN 104516096 A, 2015.04.15	CN 105068224 A, 2015.11.18
JP H05145937 A, 1993.06.11	CN 204515222 U, 2015.07.29
WO 2013183320 A1, 2013.12.12	CN 202281857 U, 2012.06.20
	EP 0539914 A1, 1993.05.05
	EP 1081525 A2, 2001.03.07
	CN 209400780 U, 2019.09.17
	CN 202661702 U, 2013.01.09
	CN 201993515 U, 2011.09.28 (续)
	审查员 胡瑞
	权利要求书2页 说明书5页 附图6页

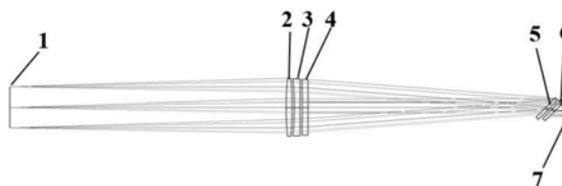
(54) 发明名称

一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头

(57) 摘要

一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,涉及光谱成像技术领域,解决现有宽波段红外望远系统中存在的问题,按光路走向从物方到像方依次设置的孔径光阑、第一透镜、第二透镜、第三透镜、分束器、补偿板和阶梯镜。第一透镜为正屈光度的凸透镜,第二透镜为负屈光度的凹透镜,第三透镜为负屈光度的凹透镜。本发明所述的系统采用了像方远心光路,像面边缘相对照度接近1,双波段内的畸变量均小

于-0.2%,在10lp/mm处传涵值均接近衍射极限,系统焦深满足阶梯镜总高度,设计结果显示在不同阶梯高度位置成像时的MTF值最大变化率不超过0.9%,同时系统还拥有大口径、高通量等优点。



CN 110989142 B

[接上页]

(51) Int.Cl.

G02B 13/22 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 206497246 U, 2017.09.15

CN 106197949 A, 2016.12.07

CN 204515222 U, 2015.07.29

CN 204373782 U, 2015.06.03

US 6842298 B1, 2005.01.11

CN 108351513 A, 2018.07.31

WO 2006130275 A1, 2006.12.07

于建冬等. “成像光谱仪大孔径前置物镜设计研究”. 《光学学报》. 2015, 第35卷(第2期),

李晚侠等. “紧凑型静态傅里叶光谱仪光学系统设计”. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技辑》. 2018, (第11期),

1. 一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,采用三片式折射结构作为共口径望远系统,工作波段为3-5 μm 和7-10 μm ;按光路从物方到像方依次设置孔径光阑(1)、第一透镜(2)、第二透镜(3)、第三透镜(4)、分束器(5)、补偿板(6)和阶梯微反射镜(7);其特征是:

所述第一透镜(2)、第二透镜(3)以及第三透镜(4)的前表面均为球面,第一透镜(2)和第二透镜(3)的后表面为球面,第三透镜(4)的后表面为柱面,

入射光线经孔径光阑(1)后依次经第一透镜(2)、第二透镜(3)、第三透镜(4)后由分束器(5)和补偿板(6)后在阶梯微反射镜(7)上成像;

所述第一透镜(2)为正屈光度的凸透镜,材料为硒化锌;第二透镜(3)为负屈光度的凹透镜,材料为硫化锌;第三透镜(4)为负屈光度的凹透镜,材料为单晶锗;所述分束器(5)、补偿板(6)均为平行平板,材料均为硒化锌;根据不同材料在不同波段的阿贝数差异来进行的材料匹配,分配三个镜片的光焦度,使之满足光焦度分配方程,同时也分别满足两个波段内的消色差方程,最终实现双波段内的消色差设计。

2. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,其特征在于:所述第一透镜(2)、第二透镜(3)、第三透镜(4)的表面均镀红外增透膜,增透波段为3-10 μm ,平均透过率大于等于98%。

3. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,其特征在于:所述分束器(5)后表面镀半反半透膜,后表面镀红外增透膜。

4. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,其特征在于:所述孔径光阑(1)设置于该镜头的物方焦点处,用于实现像方远心。

5. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,其特征在于:所述阶梯微反射镜(7)的表面镀金属反射膜,每个阶梯高度为0.625 μm ,阶梯数为128,阶梯总高度为80 μm 。

6. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,其特征在于:所述镜头的焦深大于阶梯微反射镜总高度。

7. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,其特征在于:透镜组中各透镜元件需同时满足光焦度分配方程、两个波段内的色差方程为:

$$\varphi = \frac{1}{h_1} \sum h_i \varphi_i$$

$$L_{1ch} = \frac{1}{h_1^2 \varphi^2} \sum h_i^2 C_{1i} \varphi_{1i}$$

$$L_{2ch} = \frac{1}{h_1^2 \varphi^2} \sum h_i^2 C_{2i} \varphi_{2i}$$

式中, φ_i 分别为各透镜的光焦度, φ 为光学系统光焦度, φ_{1i} 、 φ_{2i} 分别为每个透镜在两个不同波段的光焦度, h_i 为近轴孔径光线在各个透镜表面的入射高, C_{1i} 、 C_{2i} 为每个透镜在两个波段的规化色差系数,其值等于阿贝数的倒数; L_{1ch} 、 L_{2ch} 为两个不同波段内的位置色差。

8. 根据权利要求1所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头, 其特征在于:

所述孔径光阑(1)到第一透镜(2)前表面距离为700mm; 第一透镜(3)厚度范围为12~16mm, 前表面曲率半径范围为680~750mm, 后表面曲率半径范围为-700~-850mm, 后表面到第二透镜(3)前表面距离范围为4.9~6mm; 第二透镜厚度范围为12~16mm, 前表面曲率半径范围为-700~-800mm, 后表面曲率半径范围为-1.2E+04~-2.1E+04, 后表面到第三透镜(4)前表面距离范围为5~6mm; 第三透镜(4)厚度范围为10~15mm, 前表面曲率半径范围为-3000~-3900mm, 后表面曲率半径范围为-3E+05~-4E+05, 后表面到分束器(5)前表面距离范围为550~600mm; 分束器(5)厚度为8mm, 分束器后表面到补偿板(6)前表面距离为8mm; 补偿板厚度为8mm, 补偿板(6)后表面到阶梯微反射镜像面(7)距离为30mm。

一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头

技术领域

[0001] 本发明涉及光谱成像技术领域,具体涉及一种基于阶梯微反射镜的时空联合调制型傅里叶变换红外成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头。

背景技术

[0002] 随着光谱探测技术的成熟,光谱仪器对探测谱段提出了越来越高的要求,由于绝大多数物质红外特征吸收峰都是集中在中、长波红外波段,因此需要光谱仪器能够同时对这两个波段进行探测。

[0003] 为实现对中、长波红外波段的的同时探测,现有宽谱段光谱仪器的前置成像系统一般采用两种解决方案。第一种是使用两个分立的中、长波前置镜头分别对两个波段成像,优点是设计难度较低,只需在相对较窄的波段内消色差、消像差。缺点是需要占用更大的空间位置。第二种解决方案是采用离轴三反(TMA)共口径结构,由于反射系统不存在色差,能量损失小、系统光通量高,且离轴三反系统自由度较高,容易实现系统大口径和宽谱段消像差。缺点是较大的尺寸与重量,镜片加工难度与成本较高,装调校准难度极大。

[0004] 区别于同类型的光谱仪,基于阶梯微反射镜的光谱仪使用阶梯微反射镜来代替透镜系统,在设计与其匹配的前置共口径成像系统时需要额外考虑:光学系统远心度、桶型或枕型畸变等问题导致的干涉混叠;光学结构紧凑性设计问题;光学系统宽谱段消色差问题;像面边缘照度低导致的图谱信息缺失问题;系统焦深小于阶梯微反射镜总高度导致的无法获得全画幅清晰图像问题;装调及校准难易程度等问题。本发明正是在这样的背景下做出的。

[0005] 基于上述问题,本发明设计了一种工作在中、远红外波段的应用于基于阶梯微反射镜的时空联合调制型傅里叶变换成像光谱仪的前置共口径消色差镜头。

发明内容

[0006] 本发明为解决基于阶梯微反射镜的时空联合调制型傅里叶变换成像光谱仪宽谱段消色差,像面边缘照度低导致的图谱信息缺失,系统焦深小于阶梯微反射镜总高度导致的无法获得全画幅清晰图像,以及系统装调及校准困难等问题,提供一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头。

[0007] 一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,采用三片式折射结构作为共口径望远系统,工作波段为3-5 μm 和7-10 μm ;按光路从物方到像方依次设置孔径光阑、第一透镜、第二透镜、第三透镜、分束器、补偿板和阶梯微反射镜;所述第一透镜为正屈光度的凸透镜,第二透镜为负屈光度的凹透镜,第三透镜为负屈光度的凹透镜;所述第一透镜、第二透镜以及第三透镜的前表面均为球面,第一透镜和第二透镜的后表面为球面,第三透镜的后表面为柱面,所述分束器、补偿板均为平行平板;

[0008] 入射光线经孔径光阑后依次经第一透镜、第二透镜、第三透镜后由分束器和补偿板后由阶梯微反射镜接收。

[0009] 本发明的有益效果：

[0010] 1、本发明所述的双波段消色差镜头采用紧凑型三片式透射结构，大大减小了系统体积与重量，实现了3-5 μm 和7-10 μm 双波段消色差设计。

[0011] 2、本发明通过设置光阑的位置，实现了光学系统的像方远心设计，减小了边缘视场在像面上的入射角，提高了不同视场之间的一致性，使获取的图像图谱信息更加准确。

[0012] 3、本发明所述的双波段消色差镜头只使用了一个柱面，其余均为球面。有效平衡了由迈克尔逊干涉系统中的倾斜平板所产生的大数量级像散，系统成像质量保持较高水平的同时降低了加工难度。系统为传统透射式结构，后期装调校准简单，与干涉系统对准容易。

[0013] 4、本发明光学材料使用硫系玻璃与单晶锗相组合，加工成本较低。

[0014] 5、本发明在双波段下的畸变均小于-0.2%，保证了不同阶梯级次的干涉不发生混叠。

[0015] 6、本发明系统像面边缘照度接近1，保证了探测器获取的图谱信息不会丢失。

[0016] 7、本发明系统焦深满足大于总阶梯高度，在阶梯微反射镜边缘位置能够清晰成像。

附图说明

[0017] 图1为本发明所述的傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头的结构示意图；

[0018] 图2为基于阶梯微反射镜的傅里叶变换成像光谱仪干涉结构示意图；

[0019] 图3为本发明所述的傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头中的阶梯微反射镜的示意图；

[0020] 图4中图4A和图4B分别为本发明所述的傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头在中波和长波波段下的MTF曲线图；

[0021] 图5中图5A和图5B分别为本发明所述的傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头在中波、长波波段下像面的相对照度曲线图；

[0022] 图6中图6A和图6B分别为本发明所述的傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头在中波、长波波段下的畸变随视场变化曲线图；

[0023] 图7中图7A和图7B分别为本发明所述的傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头在中波、长波波段下不同高度阶梯面所成像的MTF曲线变化图。

具体实施方式

[0024] 具体实施方式一、结合图1至图7说明本实施方式，一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头，采用了三片式折射结构作为共口径望远系统，按光路走向从物方到像方依次设置的孔径光阑1、第一透镜2、第二透镜3、第三透镜4、分束器5、补偿板6、阶梯微反射镜7(像面)。所述第一透镜2为正屈光度的凸透镜，材料为硒化锌，第二透镜3为负屈光度的凹透镜，材料为硫化锌，第三透镜4为负屈光度的凹透镜，材料为单晶锗。分束器5、补偿板6均为平板，材料为硒化锌。根据不同材料在不同波段的阿贝数差异来进行合理的材料匹配，合理分配三个镜片的光焦度，使之满足光焦度分配方程，同时也分别满足两个波

段内的消色差方程,最终实现双波段内的消色差设计。

[0025] 本实施方式中,所述第一透镜2、第二透镜3以及第三透镜4的前表面均为球面,可加工性高。第三透镜4的后表面为柱面,用于平衡在成像光束中由分束器、补偿板引起的大量像散,且有利于后期干涉系统的装调对准。

[0026] 上述三个透镜的表面均镀红外增透膜,增透波段为3-10 μm ,平均透过率大于等于98%,因此该折射系统能保证较高的光通量。

[0027] 本实施方式中,所述分束器5后表面镀半反半透膜,后表面镀红外增透膜。孔径光阑1设置于该镜头的物方焦点处,以实现像方远心,保证了边缘像面的成像质量和干涉信息的完整性。

[0028] 所述阶梯微反射镜7,阶梯数为128,表面镀金属反射膜,系统焦深满足大于总阶梯高度的要求。

[0029] 本实施方式中,由于同一材料在不同波段具有不同的色散特性,例如材料锗,在长波红外波段具有较大阿贝数,在中波红外波段却较小的阿贝数。同时,由于不同材料在同一波段的阿贝数也不相同,可以利用不同材料在不同波段内的阿贝数不同来实现互补,来实现类似于可见光波段的双胶合透镜消色差的功能。

[0030] 本实施方式中采用薄透镜理论对所涉及的模型进行描述。为了使红外光学系统同时满足两个波段的消色差要求,各透镜元件需同时满足光焦度分配方程、两个波段内的色差方程:

$$[0031] \quad \varphi = \frac{1}{h_1} \sum h_i \varphi_i(1)$$

$$[0032] \quad L_{1ch} = \frac{1}{h_1^2 \varphi^2} \sum h_i^2 C_{1i} \varphi_{1i}(2)$$

$$[0033] \quad L_{2ch} = \frac{1}{h_1^2 \varphi^2} \sum h_i^2 C_{2i} \varphi_{2i}(3)$$

[0034] 式中, φ_i 分别为各透镜的光焦度, φ 为光学系统光焦度, φ_{1i} 、 φ_{2i} 分别为每块透镜在两个不同波段的光焦度, h_1 为近轴孔径光线在各个透镜表面的入射高, C_{1i} 、 C_{2i} 为每块透镜在两个波段的归化色差系数,其值等于阿贝数的倒数, L_{1ch} 、 L_{2ch} 为两个不同波段内的位置色差。通过求解上述方程,进行光学系统优化设计。

[0035] 本实施方式所述的一种傅里叶变换成像光谱仪前置共口径双波段消色差镜头,工作波段为3-5 μm 和7-10 μm ,焦距为667mm,全视场角度为3.5°,F数为6.7。

[0036] 结合图2说明本实施方式,图2为基于阶梯微反射镜的傅里叶变换成像光谱仪干涉结构示意图。干涉过程为:由本实施方式所述的前置成像系统的像方成像光束经过分束器5、补偿板6后分别成像在阶梯微反射镜7和平面反射镜8上,阶梯微反射镜7对空间光场进行相位调制形成干涉。

[0037] 结合图3说明本实施方式,图中为阶梯微反射镜7的阶梯数为128,单个阶梯高度为0.625 μm ,阶梯总高度为80 μm 。

[0038] 结合图4说明本实施方式,图4A和4B分别为光学镜头在双波段下的MTF曲线图。在双波段范围内,各视场传递函数在10lp/mm处均接近衍射极限,边缘视场传递函数保持较高的水平。

[0039] 结合图5说明本实施方式,5A和5B分别为光学镜头在双波段下像面的相对照度曲线图。由图可看出,中、长波波段下的边缘视场相对照度均匀性很好,边缘视场照度接近1。

[0040] 结合图6说明本实施方式,图6A和6B,分别为光学镜头在双波段下系统畸变随视场变化曲线。在中、长波两个波段,系统边缘视场畸变均小于-0.2%。

[0041] 结合图7说明本实施方式,图7A和7B分别为光学镜头在不同像面位置(离焦)情况下的系统MTF曲线变化图,其中直线代表的是系统子午与弧矢视场平均衍射极限,散点代表系统各视场子午与弧矢方向的平均MTF值。在中、长波两个波段范围内,在不同阶梯位置即不同像面位置的情况下系统像面的MTF值最大变化率不超过0.9%,本发明镜头满足焦深大于阶梯微反射镜总高度的要求。

[0042] 本实施方式中,所述孔径光阑1到第一透镜2前表面距离为700mm;第一透镜2厚度范围为12~16mm,前表面曲率半径范围为680~750mm,后表面曲率半径范围为-700~-850mm,后表面到第二透镜3前表面距离范围为4.9~6mm;第二透镜厚度范围为12~16mm,前表面曲率半径范围为-700~-800mm,后表面曲率半径范围为-1.2E+04~-2.1E+04,后表面到第三透镜4前表面距离范围为5~6mm;第三透镜4厚度范围为10~15mm,前表面曲率半径范围为-3000~-3900mm,后表面曲率半径范围为-3E+05~-4E+05,后表面到分束器5前表面距离范围为550~600mm;分束器5厚度为8mm,分束器后表面到补偿板6前表面距离为8mm;补偿板厚度为8mm,补偿板6后表面到像面7距离为30mm。

[0043] 本实施方式中,进一步优选的,所述孔径光阑1到第一透镜2前表面距离为700mm;第一透镜2厚度为13mm,前表面曲率半径为690mm,后表面曲率半径为-710mm,后表面到第二透镜3前表面距离为5mm;第二透镜厚度为13mm,前表面曲率半径为-710mm,后表面曲率半径为-1.3E+04,后表面到第三透镜4前表面距离为5.2mm;第三透镜4厚度为11mm,前表面曲率半径为-3100mm,后表面曲率半径为-3.1E+05,后表面到分束器5前表面距离为550mm;分束器5厚度为8mm,分束器后表面到补偿板6前表面距离为8mm;补偿板厚度为8mm,补偿板6后表面到像面7距离为30mm。

[0044] 本实施方式中,进一步优选的,所述孔径光阑1到第一透镜2前表面距离为700mm;第一透镜2厚度为15mm,前表面曲率半径为730mm,后表面曲率半径为-820mm,后表面到第二透镜3前表面距离为5.8mm;第二透镜厚度为15.5mm,前表面曲率半径为-790mm,后表面曲率半径为-2.0E+04,后表面到第三透镜4前表面距离为5.7mm;第三透镜4厚度为14mm,前表面曲率半径为-3800mm,后表面曲率半径为-3.9E+05,后表面到分束器5前表面距离为590mm;分束器5厚度为8mm,分束器后表面到补偿板6前表面距离为8mm;补偿板厚度为8mm,补偿板6后表面到像面7距离为30mm。

[0045] 本实施方式中,进一步优选的,所述孔径光阑1到第一透镜2前表面距离为700mm;第一透镜2厚度为14mm,前表面曲率半径为710mm,后表面曲率半径为-750mm,后表面到第二透镜3前表面距离为5.5mm;第二透镜厚度为14mm,前表面曲率半径为-750mm,后表面曲率半径为-1.5E+04,后表面到第三透镜4前表面距离为5.5mm;第三透镜4厚度为13mm,前表面曲率半径为-3500mm,后表面曲率半径为-3.5E+05,后表面到分束器5前表面距离为570mm;分束器5厚度为8mm,分束器后表面到补偿板6前表面距离为8mm;补偿板厚度为8mm,补偿板6后表面到像面7距离为30mm。

[0046] 本实施方式采用三片透镜紧凑设计,实现了系统的模块化要求,大大降低了加工

成本与装调难度,系统采用了像方远心光路,像面边缘相对照度接近1,双波段内的畸变量均小于-0.2%,在10lp/mm处传函值均接近衍射极限,系统焦深满足阶梯微反射镜总高度,设计结果显示在不同阶梯高度位置成像时的MTF值最大变化率不超过0.9%,同时系统还拥有大口径、高通量等优点。

[0047] 在上述说明的基础上,其基本元件就可做出其它不同形式的变化或变动而不超出本公开的范围,这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

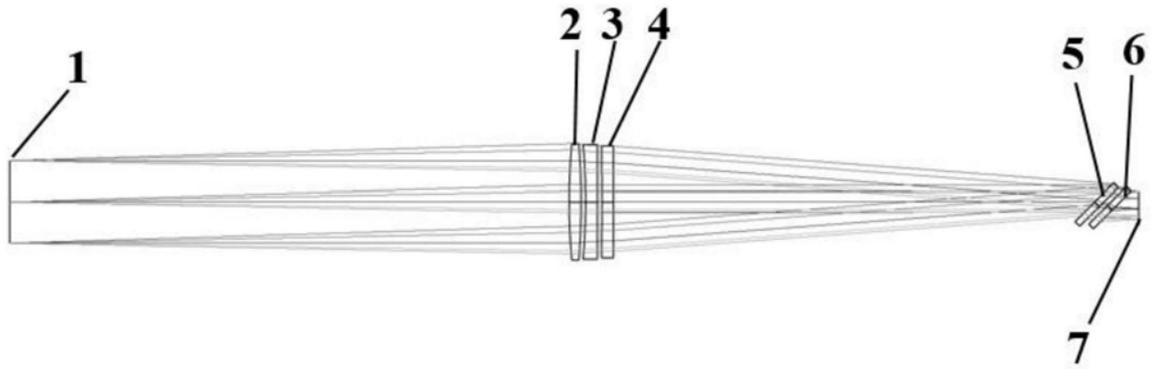


图1

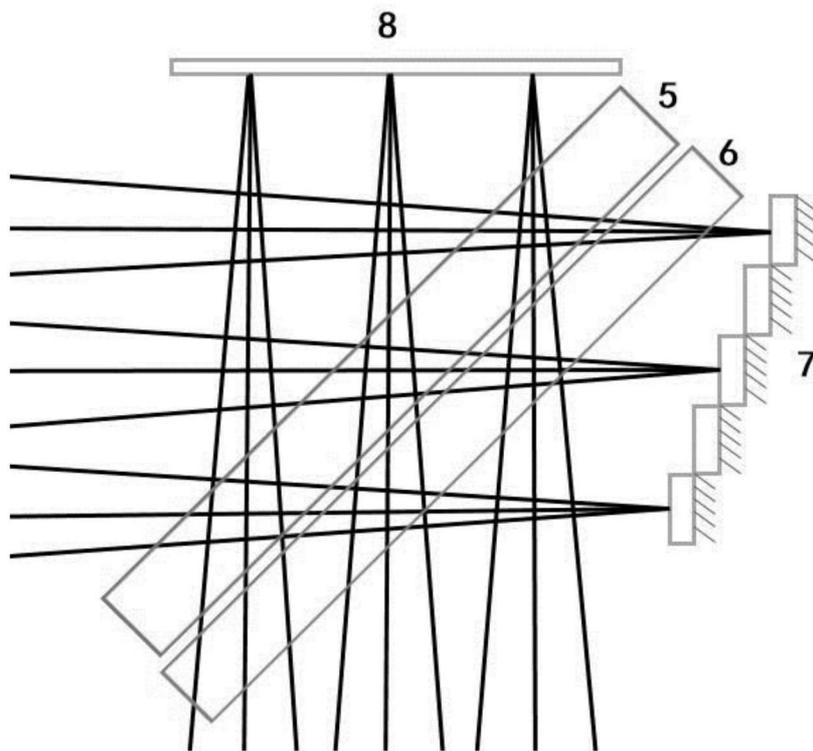


图2

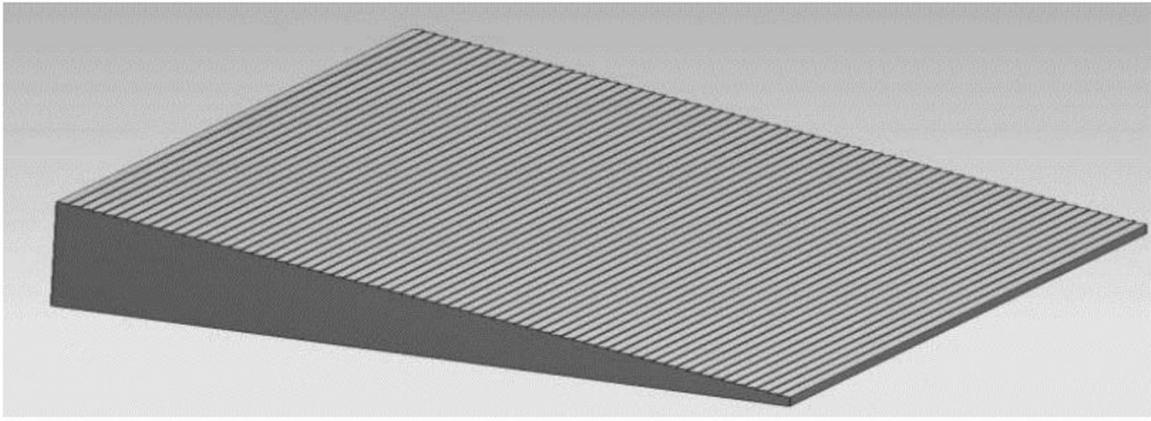


图3

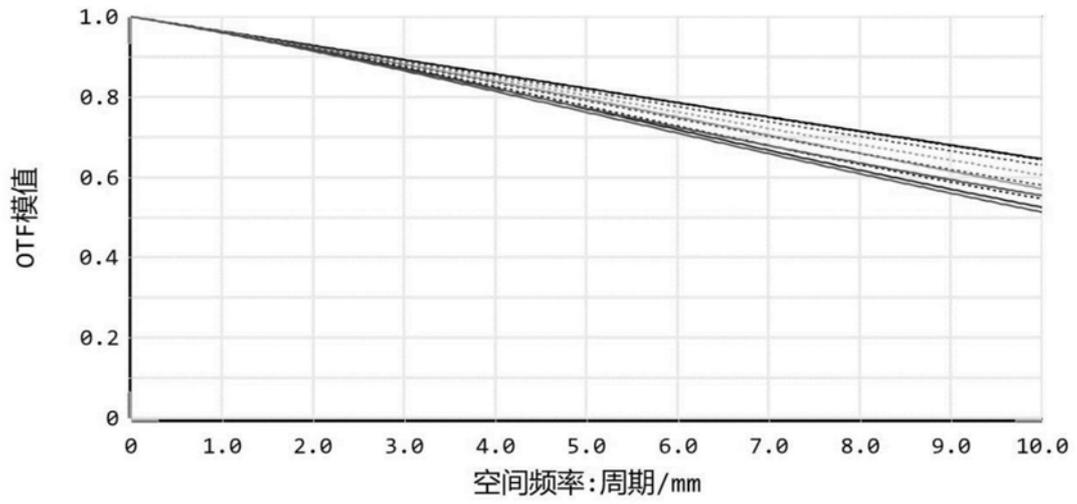


图 4A

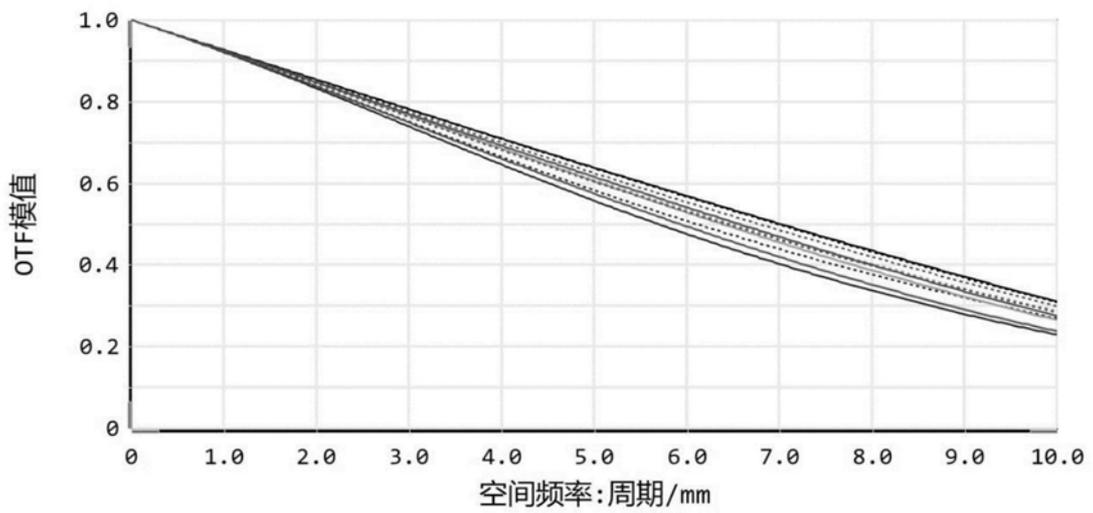


图 4B

图4

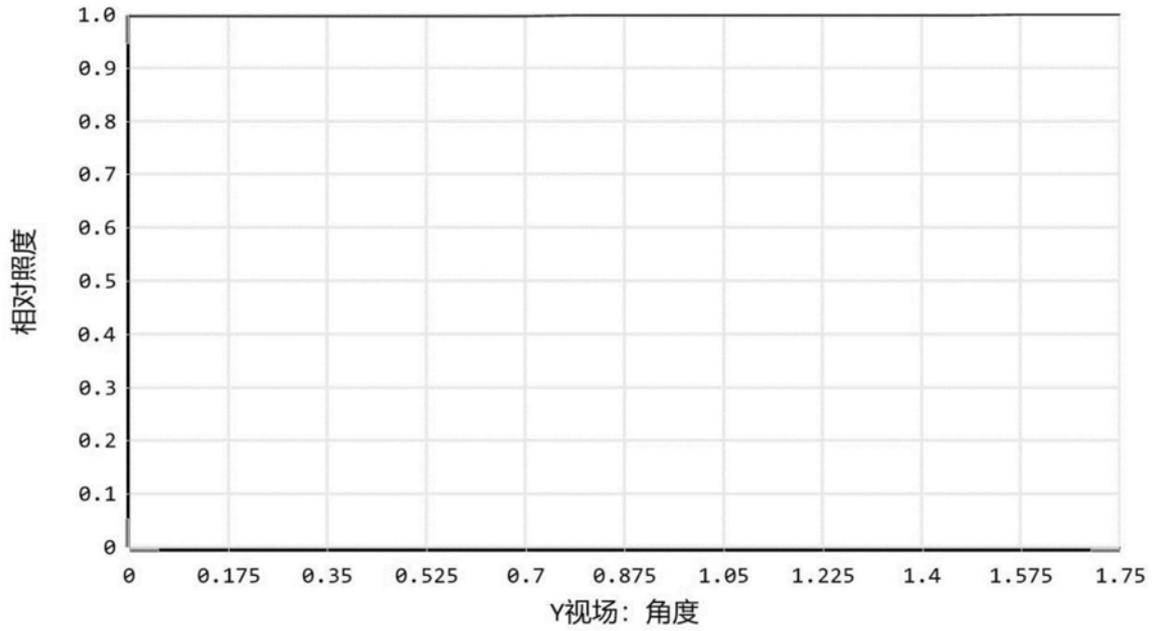


图 5A

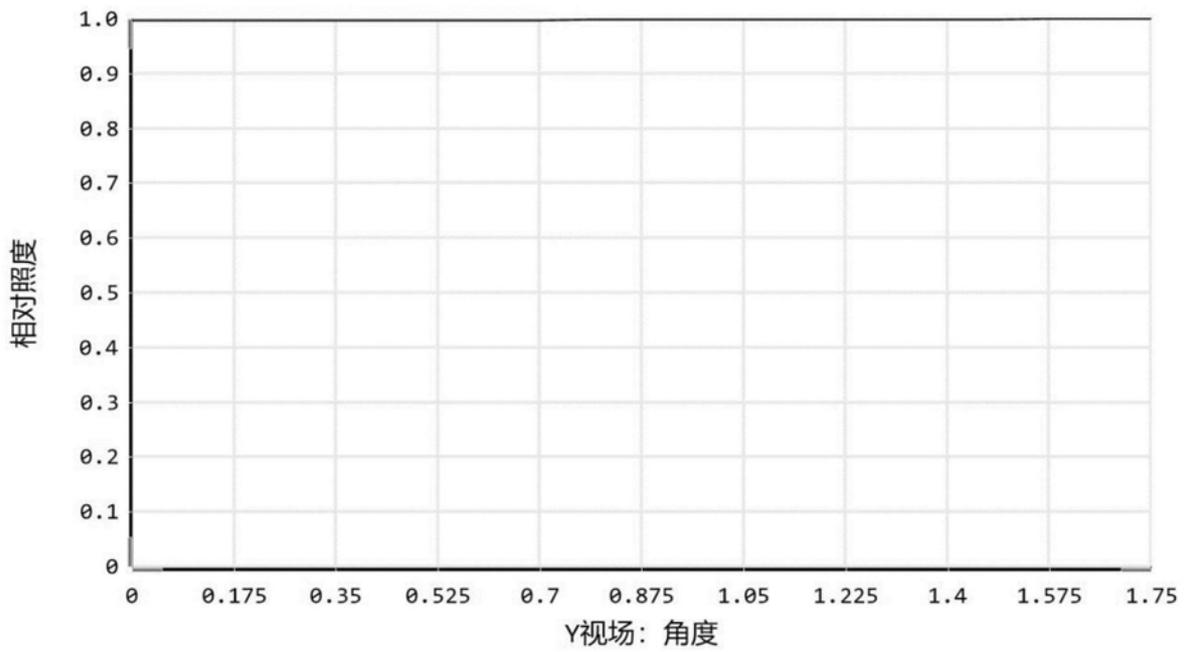


图 5B

图5

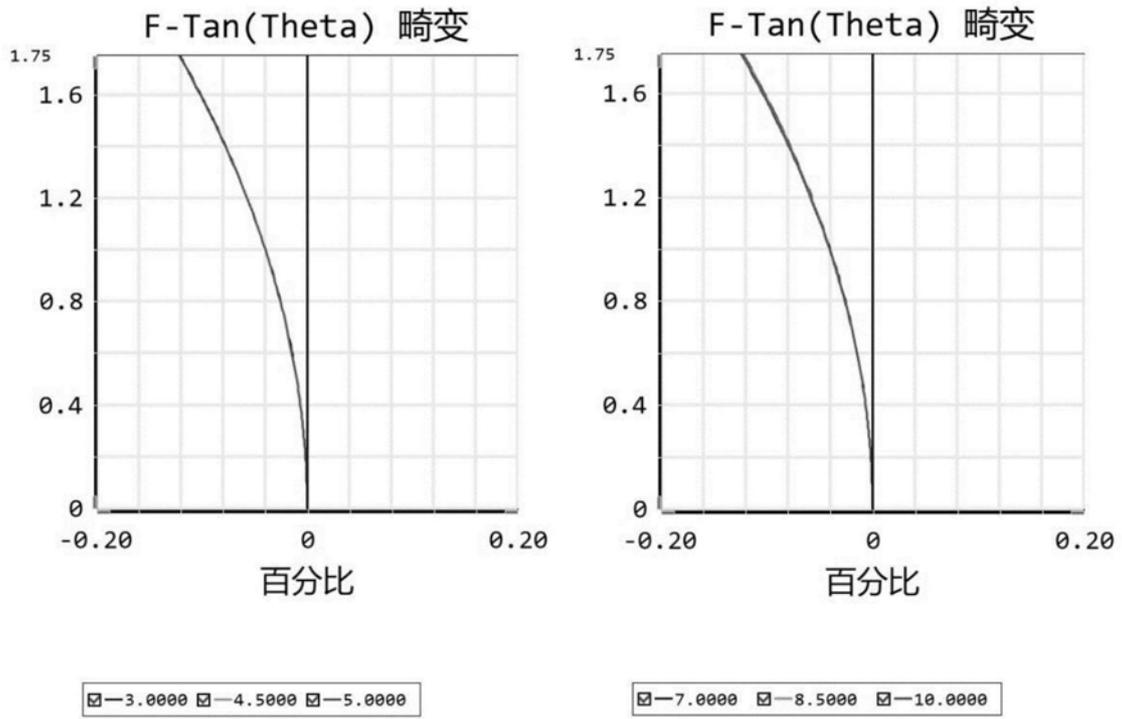


图 6A

图 6B

图6

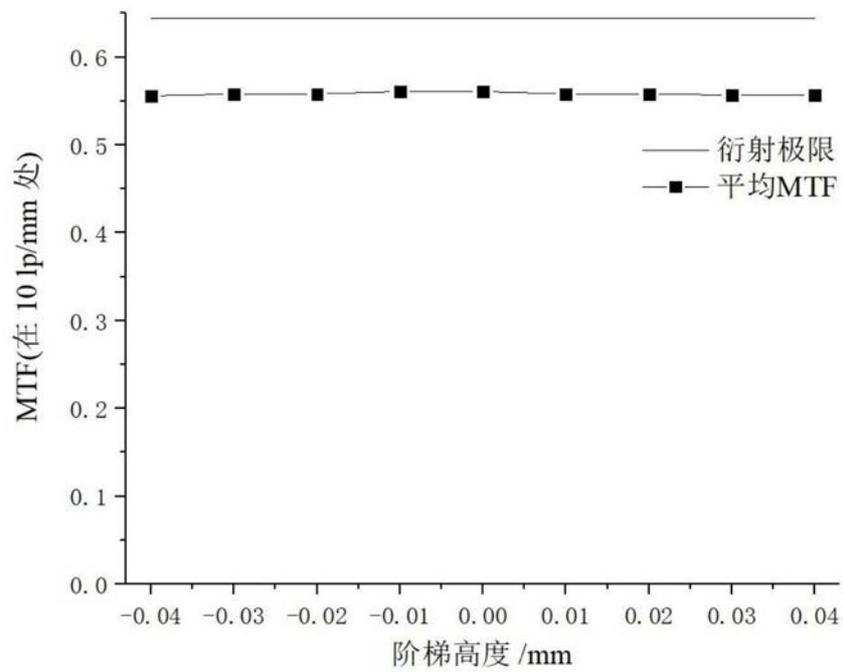


图 7A

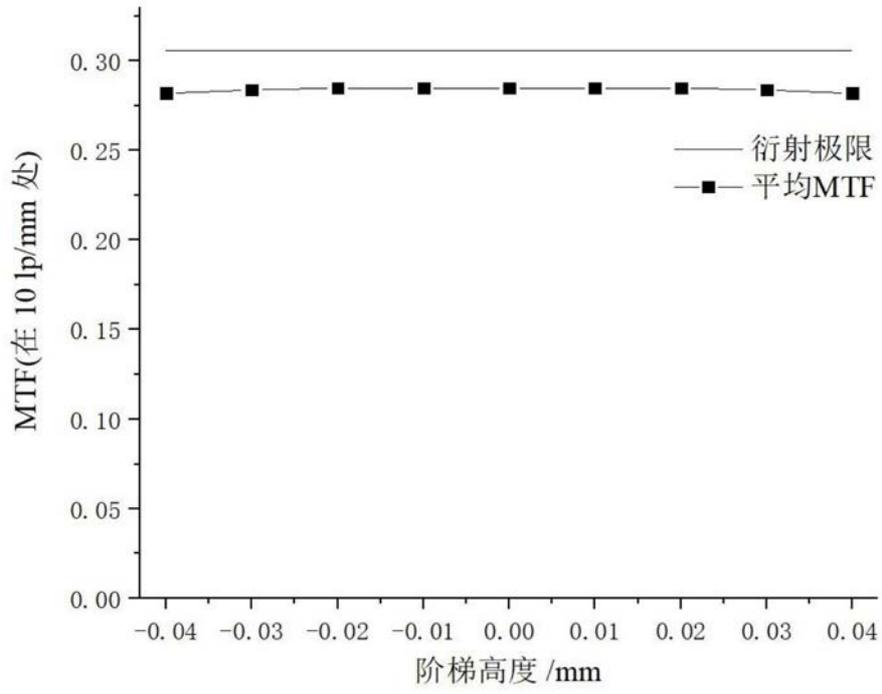


图 7B

图7