



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105759410 B

(45)授权公告日 2018.08.28

(21)申请号 201610244096.5

(22)申请日 2016.04.19

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105759410 A

(43)申请公布日 2016.07.13

(73)专利权人 中国科学院国家天文台南京天文  
光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街188号

(72)发明人 寇松峰 杜倓森 王国民 姜翔

(74)专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230  
代理人 栗仲平

(51)Int.Cl.  
G02B 17/08(2006.01)

(56)对比文件

US 2014/0300959 A1,2014.10.09,  
CN 102520506 A,2012.06.27,  
CN 2651770 Y,2004.10.27,  
CN 104035188 A,2014.09.10,  
JP 昭58-205124 A,1983.11.30,

审查员 闫西章

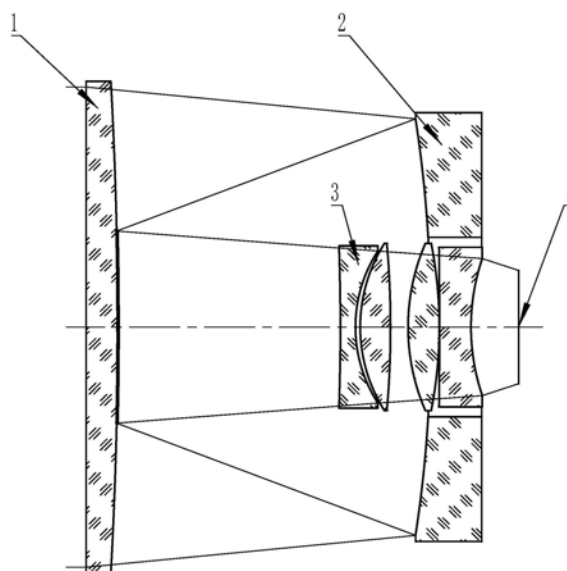
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

折反式大口径大视场成像系统

(57)摘要

折反式大口径大视场成像系统,其特征在于:沿光轴由外至内依次设置有:折射式改正板、反射式主镜和折射式改正镜组;其中的改正板第二面中心区域镀有反射膜层,成为反射式次镜;入射光线经所述折射式改正板照射至所述反射式主镜,反射式主镜将入射光线反射至所述反射式次镜;该反射式次镜将光线反射至所述折射式改正镜组,经过改正镜组的光线汇聚在光学系统焦平面上。本发明将折射式改正板设置在反射式球面主镜的焦点以内,并将其第二面中心区域用作反射式次镜和光阑,具有超短镜筒、大视场的特点,能够广泛用于天文、航空及安防等光电成像领域。本发明能够实现 $11^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 视场的消像差设计;而传统折反式成像系统的视场仅为 $3^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 。



CN 105759410 B

1. 一种折反式大口径大视场成像系统,其特征在於:沿光轴由外至内依次设置有:折射式改正板、反射式主镜和折射式改正镜组;其中的折射式改正板第二面中心区域镀有反射膜层,成为反射式次镜;入射光线经所述折射式改正板照射至所述反射式主镜,反射式主镜将入射光线反射至所述反射式次镜;该反射式次镜将光线反射至所述折射式改正镜组,经过改正镜组的光线汇聚在光学系统焦平面上;

所述折射式改正板设置在反射式主镜焦点以内,其第一面为非球面,第二面为球面。

2. 根据权利要求1所述的折反式大口径大视场成像系统,其特征在於:所述折射式改正板的非球面通过公式(1)进行确定:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8 \quad (1);$$

式中,k为非球面圆锥系数, $a_4$ , $a_6$ , $a_8$ 分别为非球面的4次,6次,8次系数,r为非球面上距离光轴垂直方向上的高度,z为非球面上距离透镜中心水平方向上的距离。

3. 根据权利要求1所述的折反式大口径大视场成像系统,其特征在於:所述反射式主镜采用球面,其中心开圆孔,用于安装折射式改正镜组。

4. 根据权利要求1所述的折反式大口径大视场成像系统,其特征在於:所述成像系统的光阑设置于折射式改正板的第二面上,其直径等于第二面中心位置反射膜层区域的直径。

5. 根据权利要求2所述的折反式大口径大视场成像系统,其特征在於:所述折射式改正镜组由4片透镜组成,其中第1片透镜的第二面,第四片透镜第二面为非球面,其余透镜表面为球面;非球面通过公式(1)进行确定。

## 折反式大口径大视场成像系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种折反式大口径大视场成像系统,属于光电成像技术领域。本发明受到国家自然科学基金(11273040)的资助。

### 背景技术

[0002] 光学成像系统可以分为折射式、反射式和折反式三种,具有各自的特点:

[0003] 折射式光学成像系统由透射式光学元件组成,通过光学元件的曲率、折射率和色散系数等进行像差校正,优点是没有中心遮挡,可用优化参数多,能够达到更大的视场。缺点是受到材料均匀性、应力和加工、胶合等工艺的限制,口径比较小。

[0004] 反射式光学成像系统利用光学元件的表面进行反射成像,通过曲率、圆锥系数和光学间隔进行像差校正,优点是适用光谱范围宽,像质好。缺点是可用像差优化参数少,成像系统视场较小,通常可用视场为 $20'$ 以内。

[0005] 折反式光学成像系统是在反射式光学成像系统的基础上增加折射式的改正板等元件,增加了像差优化参数,使得光学系统在具有良好像质的基础上增大了视场。折反式光学成像系统使用较为广泛的是施密特、施密特-卡赛格林及马克苏托夫系统。其中施密特系统是在球面反射镜的球心位置上加装消除球差的改正板,其视场通常为 $3^\circ\sim 4^\circ$ 。美国宇航局于2009年发射的开普勒太空望远镜就是采用了施密特光学成像系统,通过CCD拼接匹配光学系统带有Petzval场曲的焦平面,该望远镜最大科学视场达到了105平方度。由于施密特系统的改正板安装在球面反射镜的球心位置,所以镜筒比较长,这对于低轨卫星及陨石碎片监测所需要的高速跟踪是非常不利的。马克苏托夫系统是在主反射镜前加装改正球差的弯月透镜,以反射式主镜为入瞳,镜筒较施密特系统短,视场也比施密特系统要小一些( $2^\circ\sim 3^\circ$ )。中国的潘君骅院士曾提出了一种新的泛卡塞格林望远镜的折反式系统,通过在折射式改正板上加4次方项的方法实现大视场成像,并给出了4个不同相对口径(F/3, F/5, F/8, F/10),相同口径和视场( $\Phi=300\ 2\omega=1^\circ$ )条件下的计算结果。

[0006] 可以看出,目前现有技术中的折反式光学系统视场仍相对较小,难以满足天文大视场巡天、低轨卫星及碎片监测等应用的需要。通过光学设计的创新,在保证像质的条件下增加光学系统视场、缩短光学系统长度,对于折反式光学系统的应用具有重要的意义。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种折反式大口径大视场成像系统。本发明针对目前折反式光学成像系统视场小,光学系统长度长的难题,设计出了一种大口径、大视场、短镜筒的折反式光学成像系统。

[0008] 完成上述发明任务的技术方案是,一种折反式大口径大视场成像系统,其特征在于:沿光轴由外至内依次设置有:折射式改正板、反射式主镜和折射式改正镜组;其中的改正板第二面中心区域镀有反射膜层,成为反射式次镜;入射光线经所述折射式改正板照射至所述反射式主镜,反射式主镜将入射光线反射至所述反射式次镜;该反射式次镜将光线

反射至所述折射式改正镜组,经过改正镜组的光线汇聚在光学系统焦平面上。

[0009] 更优化和更具体地说,本发明的折反式大口径大视场成像系统,其特征在于:所述折射式改正板设置在反射式主镜焦点以内,其第一面为非球面,第二面为球面且中心区域镀有反射膜层,用作成像系统的反射式次镜。折射式改正板的非球面通过公式(1)进行确定:

$$[0010] \quad z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8 \quad (1)$$

[0011] 式中,k为非球面圆锥系数, $a_4$ , $a_6$ , $a_8$ 分别为非球面的4次,6次,8次系数,r为非球面上距离光轴垂直方向上的高度,z为非球面上距离透镜中心水平方向上的距离。

[0012] 本发明的折反式大口径大视场成像系统,其特征在于:所述反射式主镜采用球面,其中心开圆孔,用于安装折射式改正镜组。

[0013] 本发明的折反式大口径大视场成像系统,其特征在于:所述成像系统的光阑设置于折射式改正板第二面上,其直径等于第二面中心位置反射膜层区域的直径。

[0014] 本发明的折反式大口径大视场成像系统,其特征在于:所述折射式改正镜组由4片透镜组成,其中第1片透镜的第二面,第四片透镜第二面为非球面,其余透镜表面为球面。非球面通过公式(1)进行确定。

[0015] 本发明的有益效果是:本发明的折反式大口径大视场成像系统,入射光线首先经过折射式改正板,折射式改正板对大角度入射的视场光线进行校正,降低由入射角度过大造成的彗差和像散,并产生一定的负球差。经过折射式改正板初步校正的光线通过反射式主镜和反射式次镜进一步的校正系统内的球差、像散和彗差,并形成系统需要的焦比。折射式改正镜组对系统内的场曲等像差进行进一步的优化,保证系统像质。与施密特系统和马克苏托夫系统等折反成像系统相比,本发明的折反式大口径大视场成像系统所采用的折射式改正板不仅对入射光线的球差进行了校正,还对一部分由视场光线造成的彗差和像散进行了校正,降低了反射式主镜、反射式次镜和折射式改正镜组的消像差难度,因而能够满足更大视场入射光线的消像差要求,保证成像质量。

[0016] 本发明的折反式大口径大视场成像系统所采用的折射式改正板位于反射式主镜焦点以内,与将折射式改正板设置在反射式主镜球心位置的光学系统相比,光学长度可以缩短一半以上,更利于望远镜的高速跟踪控制。

[0017] 本发明的折反式大口径大视场成像系统将光阑设置在反射次镜上,有利于大视场光线的像差校正,相比于将光阑设置在折射式改正镜和反射式主镜上的做法,本发明提出的方法能够实现 $11^\circ \sim 15^\circ$ 视场的消像差设计,而现有技术折反式成像系统的视场仅为 $3^\circ \sim 4^\circ$ 。

[0018] 表1

[0019]

序号	光学系统	焦比	视场	入瞳位置	焦面位置	备注
1	施密特	F10	$3^\circ \sim 4^\circ$	改正板	主、次镜之间	CCD热量会对成像造成影响
2	施密特卡赛格林	F6~F10	$3^\circ \sim 4^\circ$	改正板	主镜之后	
3	马克苏托夫	F10	$3^\circ \sim 4^\circ$	主镜	主镜之后	
4	泛卡塞格林	F3~F10	$1^\circ$	主镜	主镜之后	

5	本发明	F1.5	11°~15°	次镜	主镜之后	
---	-----	------	---------	----	------	--

[0020] 注:表1中所列焦比为常规设计值,视场为采用常规探测器件所能达到的参数,定制曲面或者特殊面型探测器件的光学系统不包含在内。例如,美国宇航局于2009年发射的开普勒太空望远镜通过CCD阵列拼接消除光学系统的Petzval场曲的方法提高科学视场,成本高、技术难度大,难以广泛采用。

[0021] 表1列出了本发明的折返式大口径大视场成像系统与几种经典折返式光学系统技术参数的对比,可以看出:本发明的折反式大口径大视场成像系统具有视场大、光学长度短的特点,能够广泛应用于天文观测,航空、航天等光电成像领域。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明的光学系统结构图。图中:1折射式改正板,2反射式主镜,3改正镜组,4焦平面;

[0023] 图2为本发明采用ZEMAX计算得到的各视场像斑点图;

[0024] 图3为本发明采用ZEMAX计算得到的各视场畸变与场曲图;

[0025] 图4为本发明采用ZEMAX计算得到的各视场传递函数图。

## 具体实施方式

[0026] 下面结合附图与实例对本发明作进一步说明:

[0027] 实施例1,折反式大口径大视场成像系统,如图1所示,给出了本发明的一种折反式大口径大视场成像系统的光学系统图,其包括由物侧至像侧依次设置的折射式改正板1,反射式主镜2,折射式改正镜组3,焦平面4。折射式改正板1位于反射式主镜2的左侧,折射式改正镜组3位于反射式主镜2中心的通孔中。折射式改正板1,反射式主镜2和折射式改正镜组3均同轴设置。入射光线经折射式改正板1照射到反射式主镜2,反射式主镜2将光线反射至反射式次镜(折射式改正板1的第二个表面中心区域镀有反射膜层,用作反射式次镜),反射式次镜将光线反射至折射式改正镜组3,经过折射式改正镜组折射的光线汇聚在焦平面4上。

[0028] 所示折射式改正板左侧表面为非球面,右侧表面为球面,右侧球面中心区域镀有反射膜层,用作反射式次镜。折射式改正板右侧表面兼做反射式次镜的优点是反射式次镜不再需要机械固定和调整装置,减小了对通光口径的遮挡,简化了系统。折射式改正板参数如表2所示:

[0029] 表2

[0030]

曲面序号	曲率半径 (mm)	光学间隔 (mm)	有效口径 (mm)	K	$\alpha_4$	$\alpha_6$	$\alpha_8$	材料	备注
S1	-1832.0	-	185	0	-6.8e-10	-7.22e-16	7.05e-21	熔石英	非球面
S2	-1909.9	40	184	0	0	0	0		球面

[0031] 折射式改正板的非球面通过公式(1)进行确定:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8 \quad (1)$$

[0033] 式中,k为非球面圆锥系数, $a_4$ , $a_6$ , $a_8$ 为非球面的4次,6次,8次系数,r为非球面上距

离光轴垂直方向上的高度,  $z$  为非球面上距离透镜中心水平方向上的距离。

[0034] 所示反射式主镜为球面, 便于加工, 其中心开圆孔, 用于放置折射式改正镜组和光线通过。反射式主镜参数如表3所示:

[0035] 表3

[0036]

曲面 序号	曲率半径 (mm)	光学间隔 (mm)	有效口径 (mm)	K	$\alpha_4$	$\alpha_6$	$\alpha_8$	材料	备注
S3	-1081.5	264.9	180	0	0	0	0	微晶	球面

[0037] 所示折射式改正镜组由4片透镜组成, 其中两个表面为非球面, 其余表面为球面。折射式改正镜组主要功能是消除球面反射光路带来的场曲和畸变, 同时对系统中的残余像差进行校正。折射式改正镜组参数如表4所示:

[0038] 表4

[0039]

曲面 序号	曲率半径 (mm)	光学间隔 (mm)	有效口径 (mm)	K	$\alpha_4$	$\alpha_6$	$\alpha_8$	材料	备注
S4	293.12	20.0	60	0	-1.60E-8	1.97e-13	8.16e-17	N-PSK53	非球面
S5	1218.04	8.03	60	0	0	0	0		球面
S6	164.39	25.43	58	0	0	0	0	N-PK51	球面
S7	-950.89	2.43	57	0	0	0	0		球面
S8	257.45	22.0	55	0	0	0	0	N-PSK53	球面
S9	-308.39	0.40	55	0	0	0	0		球面
S10	-340.65	12.0	51	0	0	0	0	KZFS12	球面
S11	102.92	50.0	45	0	8.30e-8	8.05e-13	6.76e-15		非球面

[0040] 所示光学系统焦比F1.5, 光学总长378mm, 中心遮挡18.7%, 视场 $11.4^\circ$ , 焦平面直径93.7mm, 适用4K $\times$ 4K, 15 $\mu$ m像元的CCD。

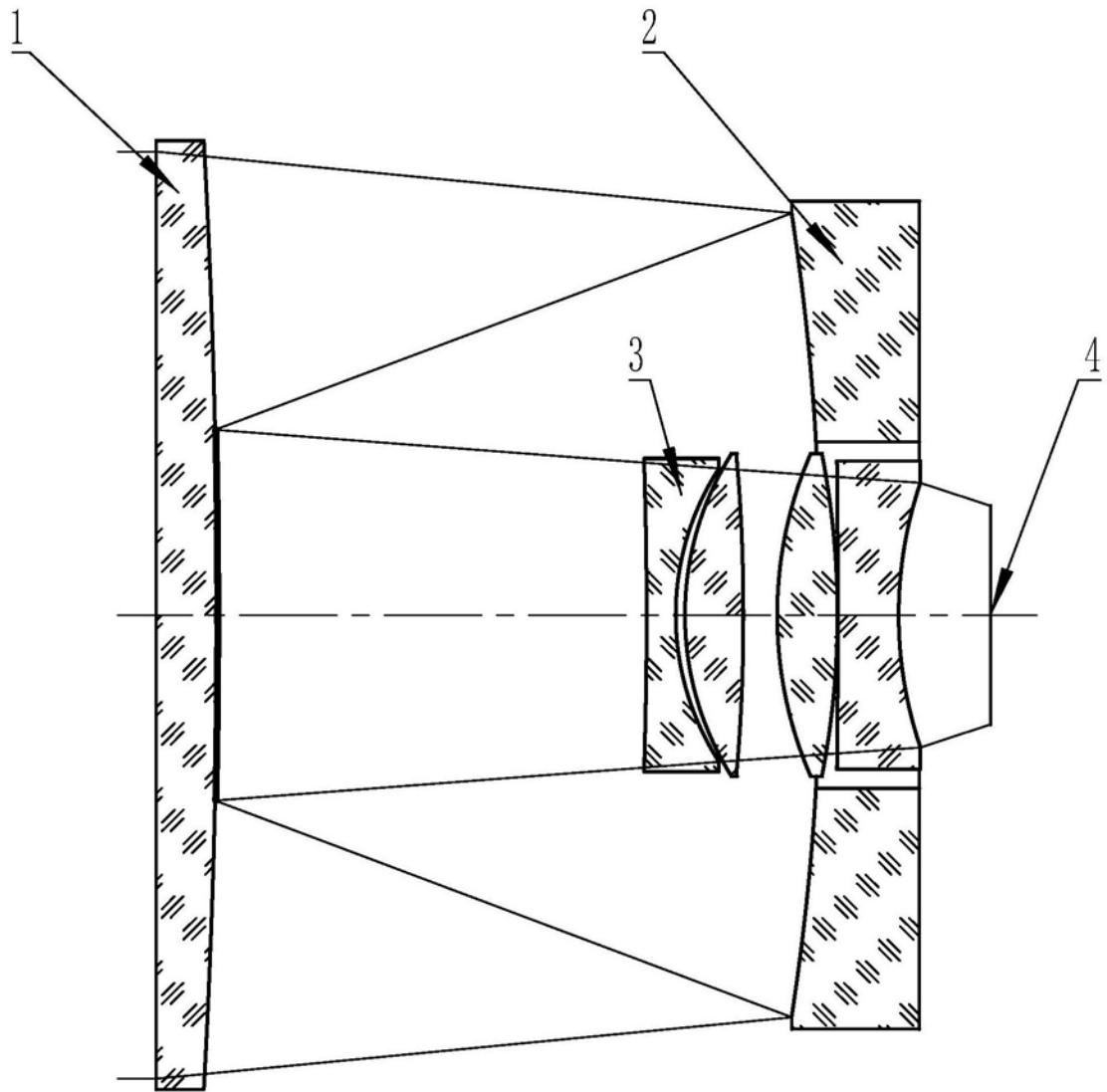


图1

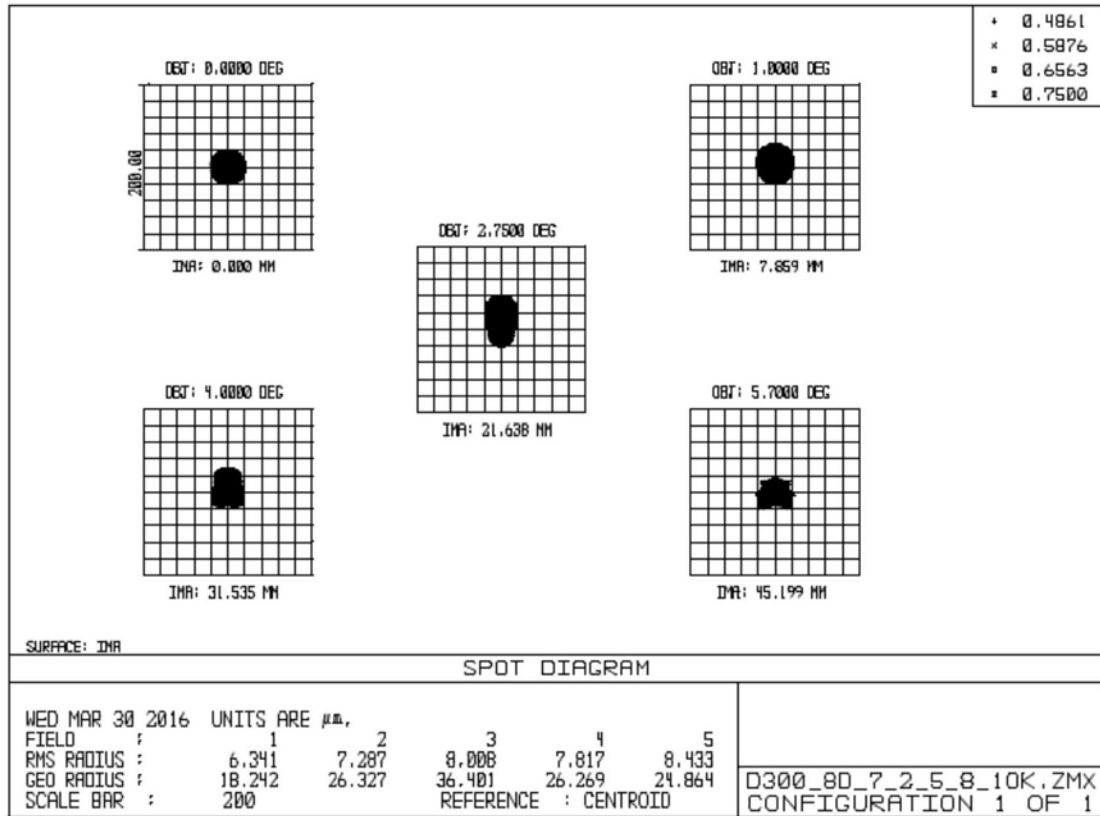


图2



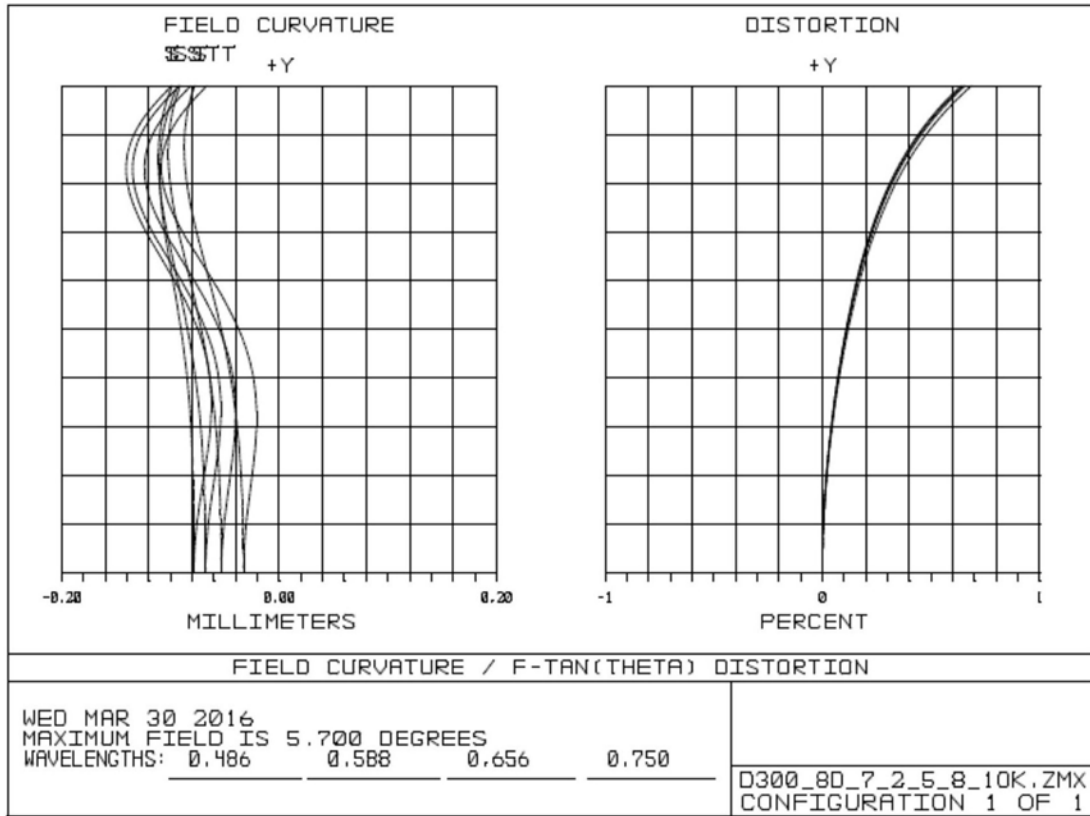


图3

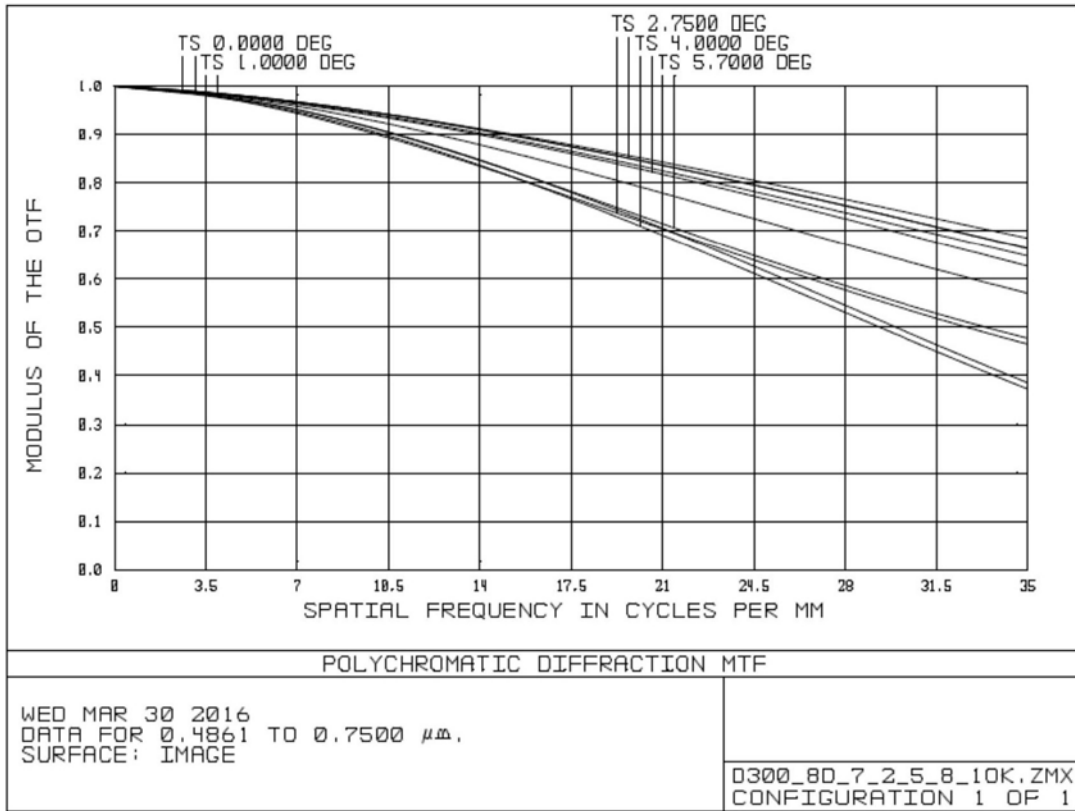


图4