



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 207473186 U

(45)授权公告日 2018.06.08

(21)申请号 201721683882.1

A61B 1/00(2006.01)

(22)申请日 2017.12.04

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

(73)专利权人 中山市众盈光学有限公司

地址 528400 广东省中山市民众镇番中公
路新伦村路段

(72)发明人 范俊辉 朱佳巍 习宇 李璇
牛明宇

(74)专利代理机构 中山市科创专利代理有限公
司 44211

代理人 赵钊

(51)Int.Cl.

G02B 13/00(2006.01)

G02B 13/06(2006.01)

G02B 1/04(2006.01)

G02B 7/02(2006.01)

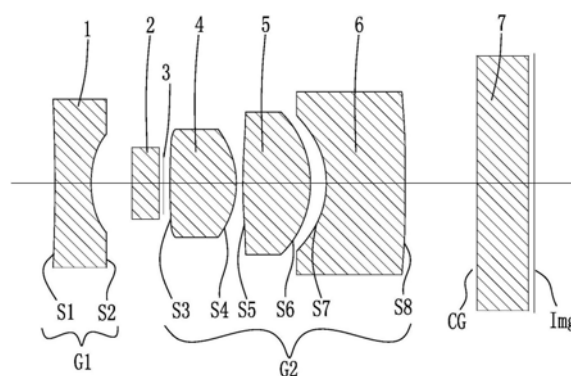
权利要求书2页 说明书15页 附图7页

(54)实用新型名称

一种用于内窥镜的小口径光学系统

(57)摘要

本实用新型涉及一种用于内窥镜的小口径光学系统,由物面至像面依次设有第一透镜(1)、滤光片(2)、固定光阑(3)、第二透镜(4)、第三透镜(5)、第四透镜(6)、芯片保护玻璃(7),内窥镜光学系统满足关系: $1 < |f_b/f| < 1.8$; $0.7 < |f_a/f| < 0.9$; $|f-f_w| < 0.008$; $0.69 < |R1+R2|/|R1-R2| < 1$,本实用新型的内窥镜光学系统在人体内和空气中具有一致的最佳成像物距。



1. 一种用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:由物面至像面依次设有第一透镜(1)、滤光片(2)、固定光阑(3)、第二透镜(4)、第三透镜(5)、第四透镜(6)、芯片保护玻璃(7),所述第一透镜(1)构成光学前组G1,所述第二透镜(4)、第三透镜(5)、第四透镜(6)构成光学后组G2,内窥镜光学系统在空气中工作时,光学前组G1的等效焦距为 f_b ,光学后组G2等效焦距为 f_a ,内窥镜光学系统总的等效焦距为 f ;内窥镜光学系统在人体内工作时,内窥镜光学系统总的等效焦距为 f_w ;R1是所述第一透镜(1)的物侧面曲率半径,R2是所述第一透镜(1)的像侧面曲率半径,内窥镜光学系统满足如下关系:

$$1 < |f_b/f| < 1.8$$

$$0.7 < |f_a/f| < 0.9$$

$$|f - f_w| < 0.008$$

$$0.69 < |R_1 + R_2| / |R_1 - R_2| < 1.$$

2. 根据权利要求1所述的用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:所述第一透镜(1)为负透镜,其像面侧为凹面,所述第二透镜(4)为正透镜,其像面侧为凸面,所述第三透镜(5)为正透镜,其像面侧为凸面,所述第四透镜(6)为负透镜,其物面侧为凹面,所述第一透镜(1)、第二透镜(4)、第三透镜(5)、第四透镜(6)中至少三片为塑胶非球面镜片。

3. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$1 < CT_o / TTL < 6$$

其中, CT_o 为内窥镜光学系统的物距;TTL为内窥镜光学系统所述第一透镜(1)的物侧面至成像面的轴上距离。

4. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$30 < |Vd_3 - Vd_4| < 50$$

其中, Vd_3 为内窥镜光学系统所述第三透镜(5)的阿贝数; Vd_4 为内窥镜光学系统所述第四透镜(6)的阿贝数。

5. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$1.5 < TTL / ImgH < 3.5$$

其中,TTL为内窥镜光学系统所述第一透镜(1)的物侧面至成像面的轴上距离;ImgH为内窥镜光学系统的最大像高。

6. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:内窥镜光学系统在空气中工作时满足下列关系式:

$$0.5 < T_{12} / f < 0.9$$

$$0.04 < T_{st2} / f < 0.06$$

$$0.4 < T_{4i} / f < 1.2$$

其中, T_{12} 为内窥镜光学系统第一透镜(1)像侧面和第二透镜(4)物侧面的轴上间隔距离; T_{st2} 为内窥镜光学系统固定光阑(3)至第二透镜(4)物侧面的轴上距离; T_{4i} 为内窥镜光学系统第四透镜(6)的像侧面至像面的轴上距离。

7. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统,其特征在于:内窥镜光学

系统满足下列关系式：

$$0.11 < CT1 / \Sigma CT < 0.17$$

$$0.17 < CT2 / \Sigma CT < 0.3$$

$$0.18 < CT3 / \Sigma CT < 0.36$$

$$0.19 < CT4 / \Sigma CT < 0.41$$

其中， ΣCT 为内窥镜光学系统所述第一透镜(1)、第二透镜(4)、第三透镜(5)、第四透镜(6)分别于光轴上的厚度总和； $CT1$ 为内窥镜光学系统所述第一透镜(1)于光轴上的厚度， $CT2$ 为内窥镜光学系统所述第二透镜(4)于光轴上的厚度， $CT3$ 为内窥镜光学系统所述第三透镜(5)于光轴上的厚度， $CT4$ 为内窥镜光学系统所述第四透镜(6)于光轴上的厚度。

8. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统，其特征在于：内窥镜光学系统在空气中工作时满足下列关系式：

$$0.61 < |f2/f| < 1.03$$

$$0.82 < |f3/f| < 1.72$$

$$0.69 < |f4/f| < 1.2$$

其中， $f2$ 为所述第二透镜(4)的等效焦距； $f3$ 为所述第三透镜(5)的等效焦距； $f4$ 为该所述第四透镜(6)的等效焦距。

9. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统，其特征在于：内窥镜光学系统满足下列关系式：

$$35 < FNO \cdot \text{ImgH} / \beta_w < 102$$

$$45 < FNO \cdot \text{ImgH} / \beta < 125$$

其中， FNO 为内窥镜光学系统的光圈值； β_w 为内窥镜光学系统置于人体内的垂轴放大率； β 为内窥镜光学系统置于空气中的垂轴放大率。

10. 根据权利要求1或2所述的用于内窥镜的小口径光学系统，其特征在于：内窥镜光学系统满足下列关系式：

$$0.73 < f \cdot \tan(\omega/2) / \text{ImgH} < 1.16$$

$$0.28 < f_w \cdot \tan(\omega_w/2) / \text{ImgH} < 0.60$$

其中， ω 为内窥镜光学系统置于空气中的最大视场角； f_w 为内窥镜光学系统置于人体内总的等效焦距； ω_w 为内窥镜光学系统置于人体内的最大视场角。

一种用于内窥镜的小口径光学系统

【技术领域】

[0001] 本实用新型专利涉及一种医疗器械,特别是一种用于内窥镜的小口径光学系统。

【背景技术】

[0002] 随着科技的快速发展,医疗事业也取得了巨大的进步,使用内窥镜进行检查以及使用内窥镜进行微创手术的技术逐渐发展和成熟。内窥镜作为一种光学仪器,可通过人体的自然通道进入体内对病变部位进行成像,可以直接观察到脏器内的病变。目前大部分内窥镜口径较大,进入人体的过程比较痛苦,也不便于对通道较狭窄的病变部位进行检查;另外,很多内窥镜还存在景深较小的问题,可清晰成像的物距范围很短,使内窥镜的检测效果大打折扣

[0003] 由于存在上述问题,有必要对其提出解决方案,本实用新型正是在这样的背景下作出的。

【实用新型内容】

[0004] 本实用新型所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种用于内窥镜的小口径光学系统,使用本光学系统的内窥镜镜头口径可缩小到2.0mm,这就意味着可以极大地减轻病人检查的痛苦,同时本实用新型内窥镜光学系统可清晰成像的物距范围为5~60mm,可应用于大腔体的病变检查中,此外,本实用新型的内窥镜光学系统在人体内和空气中具有一致的最佳成像物距。

[0005] 为实现上述目的,本实用新型采用了下述技术方案:

[0006] 一种用于内窥镜的小口径光学系统,包括由第一透镜1构成的前组G1,由三片镜片构成的后组G2,靠近前组的滤光片,靠近后组的固定光阑和芯片保护玻璃,其中后组包括从物面侧到像面侧顺序排列的第二透镜4,第三透镜5和第四透镜6,该内窥镜光学系统在空气中工作时,其前组等效焦距为 f_b ,后组等效焦距为 f_a ,总的等效焦距为 f ;该内窥镜光学系统在人体内(下述提及的“人体内”均是指存在组织液的人体器官或者腔体内)工作时,总的等效焦距为 f_w ;R1是第一透镜的物侧面曲率半径,R2是第一透镜的像侧面曲率半径。该内窥镜光学系统满足如下关系:

$$[0007] \quad 1 < |f_b/f| < 1.8 \quad (1)$$

$$[0008] \quad 0.7 < |f_a/f| < 0.9 \quad (2)$$

$$[0009] \quad |f - f_w| < 0.008 \quad (3)$$

$$[0010] \quad 0.69 < |R_1 + R_2| / |R_1 - R_2| < 1 \quad (4)$$

[0011] 上述内窥镜光学系统的第一透镜1为负透镜,其像面侧为凹面,第二透镜4为正透镜,其像面侧为凸面,第三透镜5为正透镜,其像面侧为凸面,第四透镜6为负透镜,其物面侧为凹面;至少三片为塑胶非球面镜片。

[0012] 为了实现广角化的同时控制内窥镜光学系统的口径,第一透镜光焦度为负,并且像侧面为凹面。

[0013] 医疗内窥镜在生产过程中一般在空气环境进行像质评测,但是实际使用环境却在人体内,由于物空间在两种介质下的折射率不一样,导致很多内窥镜在空气中的光学参数与实际工作环境的光学参数存在较大的差异。本内窥镜光学系统的第一透镜的物侧面做成微凹状,降低物空间介质折射率差异对系统总焦距的影响,从而保证内窥镜光学系统在空气中和人体内有相近的等效焦距,保证内窥镜光学系统在空气中和人体内具有一致的最佳成像物距,保证在空气中和人体内有一致的景深效果。

[0014] 通过满足关系式(4),保证工作时,不会因为第一透镜物侧面过分凹,而导致污物汇聚在第一透镜表面,造成内窥镜在人体内工作时画质不清晰。

[0015] 上述内窥镜光学系统充分利用第一透镜和固定光阑中间较大的空隙,将平板滤光片IR置于第一透镜和固定光阑中间,有效减少了光学系统的总长;另一方面,在第一透镜和固定光阑中间设置平板玻璃可以有效降低外视场的光线高度,有利于内窥镜光学系统的小口径化。

[0016] 上述内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0017] \quad 1 < CT_o / TTL < 6 \quad (5)$$

[0018] 其中,CT_o为该光学系统的最佳成像物距;TTL为内窥镜光学系统所述第一透镜的物侧面至成像面的轴上距离。

[0019] 上述内窥镜光学系统的物距为有限远,(5)式主要是平衡上述内窥镜光学系统近景和远景的分辨率,当光学系统的最佳成像物距低于下限时,远景的分辨率变差,当光学系统的最佳成像物距超过上限时,近景的分辨率变差。

[0020] 上述内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0021] \quad 30 < |Vd3 - Vd4| < 50 \quad (6)$$

[0022] 其中,Vd3为该光学系统第三透镜的阿贝数;Vd4为该光学系统第四透镜的阿贝数。

[0023] 通过合理选择第三透镜和第四透镜的材料来校正倍率色差,当这两个透镜的阿贝数之差低于下限或者超过上限时,倍率色差较大,画面会出现彩色拖影。

[0024] 上述内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0025] \quad 1.5 < TTL / ImgH < 3.5 \quad (7)$$

[0026] 其中,TTL为该光学系统第一透镜的物侧面至成像面的轴上距离;ImgH为光学系统的最大像高。

[0027] 关系式(7)低于下限值时,很难在保证内窥镜光学系统像质的同时限制口径,当关系式(7)超过上限时,内窥镜光学系统的总长将过长,也不利于内窥镜的小型化。

[0028] 上述内窥镜光学系统在空气中工作时满足下列关系式:

$$[0029] \quad 0.5 < T12 / f < 0.9 \quad (8)$$

$$[0030] \quad 0.04 < Tst2 / f < 0.06 \quad (9)$$

$$[0031] \quad 0.4 < T4i / f < 1.2 \quad (10)$$

[0032] 其中,T12为该光学系统第一透镜像侧面和第二透镜物侧面的轴上间隔距离;Tst2为该光学系统固定光阑至第二透镜物侧面的轴上距离;T4i为该光学系统第四透镜的像侧面至像面的轴上距离。

[0033] 式(8)和(9)共同平衡固定光阑前后结构,有利于校正内窥镜光学系统的像散和畸变,另外对倍率色差的校正也起到一定的贡献。式(10)主要是控制内窥镜光学系统的后焦

距,当 $T4i/f$ 低于下限值时,内窥镜镜头的调焦空间将不够,当 $T4i/f$ 超过上限值时,将导致整个光学系统总长过长。

[0034] 上述内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0035] \quad 0.11 < CT1 / \Sigma CT < 0.17 \quad (11)$$

$$[0036] \quad 0.17 < CT2 / \Sigma CT < 0.3 \quad (12)$$

$$[0037] \quad 0.18 < CT3 / \Sigma CT < 0.36 \quad (13)$$

$$[0038] \quad 0.19 < CT4 / \Sigma CT < 0.41 \quad (14)$$

[0039] 其中, ΣCT 为该光学系统第一透镜、第二透镜、第三透镜、第四透镜分别于光轴上的厚度总和; $CT1$ 为该光学系统第一透镜于光轴上的厚度, $CT2$ 为该光学系统第二透镜于光轴上的厚度, $CT3$ 为该光学系统第三透镜于光轴上的厚度, $CT4$ 为该光学系统第四透镜于光轴上的厚度。

[0040] 在 $CT1 / \Sigma CT$ 为下限的情况下,凹透镜的中心部变薄,一方面在注塑成型过程中面精度会比较差,另一方面是透镜的强度下降,不耐碰撞和跌落;在 $CT1 / \Sigma CT$ 为上限的情况下,光线高将增大,透镜口径也将随之变大。

[0041] (13)和(14)式主要是校正倍率色差和轴向色差,另外第三透镜的像侧面为凸面,同时第四透镜的物侧面为凹面,有利于抑制内窥镜光学系统像散的产生和球差的校正。

[0042] 上述内窥镜光学系统在空气中工作时满足下列关系式:

$$[0043] \quad 0.61 < |f2/f| < 1.03 \quad (15)$$

$$[0044] \quad 0.82 < |f3/f| < 1.72 \quad (16)$$

$$[0045] \quad 0.69 < |f4/f| < 1.2 \quad (17)$$

[0046] 其中, $f2$ 为该第二透镜的等效焦距; $f3$ 为该第三透镜的等效焦距; $f4$ 为该第四透镜的等效焦距。

[0047] 第二透镜和第三透镜均为正透镜,使用两片相邻的正透镜能够有效校正球差和畸变,另外合理分配第三透镜和第四透镜的光焦度可以比较容易地校正内窥镜光学系统的倍率色差和轴上色差。

[0048] 上述内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0049] \quad 35 < FN0 \cdot \text{ImgH} / \beta_w < 102 \quad (18)$$

$$[0050] \quad 45 < FN0 \cdot \text{ImgH} / \beta < 125 \quad (19)$$

[0051] 其中, $FN0$ 为该光学系统的光圈值; β_w 为该光学系统置于人体内的垂轴放大率; β 为该光学系统置于空气中的垂轴放大率。

[0052] 当关系式(18)和(19)低于下限值时,内窥镜光学系统的景深将变差,当关系式(18)和(19)超过上限值时,内窥镜光学系统的垂直放大率将偏小,不利于在使用过程中发现微小的病变。

[0053] 上述内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0054] \quad 0.73 < f \cdot \tan(\omega/2) / \text{ImgH} < 1.16 \quad (20)$$

$$[0055] \quad 0.28 < f_w \cdot \tan(\omega_w/2) / \text{ImgH} < 0.60 \quad (21)$$

[0056] 其中, ω 为该光学系统置于空气中的最大视场角; f_w 为该光学系统置于人体内总的等效焦距; ω_w 为该光学系统置于人体内的最大视场角。

[0057] 当关系式(20)和(21)低于下限值时,将不利于内窥镜光学系统的广角化,当关系

式(20)和(21)超过上限值时,内窥镜光学系统的畸变较大。

[0058] 本实用新型的有益效果是:

[0059] 1、本实用新型的内窥镜光学系统,视场角大,四片镜片中超过三片为塑胶镜片,所以成本较低,可以广泛应用于一次性的医疗内窥镜,该内窥镜光学系统构成的内窥镜物镜公差敏感度低,可以使用无台阶,无螺牙的简单金属镜筒进行装配,有效降低了镜头口径,提高了镜头的通配性,另外该内窥镜光学系统在空气和人体内的的工作焦距变化小,在较长的物距范围内均能清晰成像。

【附图说明】

[0060] 图1是本实用新型的一种实施方式的内窥镜光学系统的整体结构的透镜剖视图。

[0061] 图2是本实用新型的实施例1的内窥镜光学系统的整体结构的透镜剖视图。

[0062] 图3是图2的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线图。

[0063] 图4是图2的内窥镜光学系统在人体内的像差曲线图。

[0064] 图5是本实用新型的实施例2的内窥镜光学系统的整体结构的透镜剖视图。

[0065] 图6是图5的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线图。

[0066] 图7是图5的内窥镜光学系统在人体内的像差曲线图。

[0067] 图8是本实用新型的实施例3的内窥镜光学系统的整体结构的透镜剖视图。

[0068] 图9是图8的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线图。

[0069] 图10是图8的内窥镜光学系统在人体内的像差曲线图。

[0070] 图11是本实用新型的实施例4的内窥镜光学系统的整体结构的透镜剖视图。

[0071] 图12是图11的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线图。

[0072] 图13是图11的内窥镜光学系统在人体中的像差曲线图。

【具体实施方式】

[0073] 下面结合附图对本实用新型做进一步详细的描述。

[0074] 如图1至图13所示,一种用于内窥镜的小口径光学系统,由物面至像面依次设有第一透镜1、滤光片2、第二透镜4、第三透镜5、第四透镜6、光栅6、芯片保护玻璃7,所述第一透镜1构成光学前组G1,所述第二透镜4、第三透镜5、第四透镜6构成光学后组G2,内窥镜光学系统在空气中工作时,光学前组G1的等效焦距为 f_b ,光学后组G2等效焦距为 f_a ,内窥镜光学系统总的等效焦距为 f ;内窥镜光学系统在人体内工作时,内窥镜光学系统总的等效焦距为 f_w ;R1是所述第一透镜1的物侧面曲率半径,R2是所述第一透镜1的像侧面曲率半径,内窥镜光学系统满足如下关系:

[0075] $1 < |f_b/f| < 1.8$

[0076] $0.7 < |f_a/f| < 0.9$

[0077] $|f - f_w| < 0.008$

[0078] $0.69 < |R1+R2|/|R1-R2| < 1$

[0079] 根据以上条件构成的内窥镜光学系统,从第一透镜到第四透镜给予适当的焦距分配,能够构成人体内和空气中最佳物距保持一致的用于内窥镜的小口径光学系统,而且该内窥镜光学系统可清晰成像的物距范围广,由该内窥镜光学系统构成的内窥镜摄像系统能

够拍摄到更多的病灶信息。本实用新型的内窥镜光学系统,视场角大,四片镜片中超过三片为塑胶镜片,所以成本较低,可以广泛应用于一次性的医疗内窥镜,该内窥镜光学系统构成的内窥镜物镜公差敏感度低,可以使用无台阶,无螺牙的简单金属镜筒进行装配,有效降低了镜头口径,提高了镜头的通配性,另外该内窥镜光学系统在空气和人体内的的工作焦距变化小,在较长的物距范围内均能清晰成像。

[0080] 如图1、图2所示,在本实施例中,所述第一透镜1为负透镜,其像面侧为凹面,所述第二透镜4为正透镜,其像面侧为凸面,所述第三透镜5为正透镜,其像面侧为凸面,所述第四透镜6为负透镜,其物面侧为凹面,所述第一透镜1、第二透镜4、第三透镜5、第四透镜6中至少三片为塑胶非球面镜片。

[0081] 如图1、图2所示,在本实施例中,内窥镜光学系统满足下列关系式:

[0082] $1 < CT_o / TTL < 6$

[0083] 其中, CT_o 为内窥镜光学系统的物距; TTL 为内窥镜光学系统所述第一透镜的物侧面至成像面的轴上距离。

[0084] 如图1、图2所示,在本实施例中,内窥镜光学系统满足下列关系式:

[0085] $30 < |Vd3 - Vd4| < 50$

[0086] 其中, $Vd3$ 为内窥镜光学系统所述第三透镜5的阿贝数; $Vd4$ 为内窥镜光学系统所述第四透镜6的阿贝数。

[0087] 如图1、图2所示,在本实施例中,内窥镜光学系统满足下列关系式:

[0088] $1.5 < TTL / ImgH < 3.5$

[0089] 其中, TTL 为内窥镜光学系统所述第一透镜1的物侧面至成像面的轴上距离; $ImgH$ 为内窥镜光学系统的最大像高。

[0090] 如图1、图2所示,在本实施例中,内窥镜光学系统在空气中工作时满足下列关系式:

[0091] $0.5 < T12 / f < 0.9$

[0092] $0.04 < Tst2 / f < 0.06$

[0093] $0.4 < T4i / f < 1.2$

[0094] 其中, $T12$ 为内窥镜光学系统第一透镜像侧面和第二透镜物侧面的轴上间隔距离; $Tst2$ 为内窥镜光学系统固定光阑至第二透镜物侧面的轴上距离; $T4i$ 为内窥镜光学系统第四透镜的像侧面至像面的轴上距离。

[0095] 如图1、图2所示,在本实施例中,内窥镜光学系统满足下列关系式:

[0096] $0.11 < CT1 / \Sigma CT < 0.17$

[0097] $0.17 < CT2 / \Sigma CT < 0.3$

[0098] $0.18 < CT3 / \Sigma CT < 0.36$

[0099] $0.19 < CT4 / \Sigma CT < 0.41$

[0100] 其中, ΣCT 为内窥镜光学系统所述第一透镜1、第二透镜4、第三透镜5、第四透镜6分别于光轴上的厚度总和; $CT1$ 为内窥镜光学系统所述第一透镜1于光轴上的厚度, $CT2$ 为内窥镜光学系统所述第二透镜4于光轴上的厚度, $CT3$ 为内窥镜光学系统所述第三透镜5于光轴上的厚度, $CT4$ 为内窥镜光学系统所述第四透镜6于光轴上的厚度。

[0101] 如图1、图2所示,在本实施例中,内窥镜光学系统在空气中工作时满足下列关系

式：

$$[0102] \quad 0.61 < |f_2/f| < 1.03$$

$$[0103] \quad 0.82 < |f_3/f| < 1.72$$

$$[0104] \quad 0.69 < |f_4/f| < 1.2$$

[0105] 其中, f_2 为所述第二透镜4的等效焦距; f_3 为所述第三透镜5的等效焦距; f_4 为该所述第四透镜6的等效焦距。

[0106] 如图1、图2所示, 在本实施例中, 内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0107] \quad 35 < FNO \cdot \text{ImgH} / \beta_w < 102$$

$$[0108] \quad 45 < FNO \cdot \text{ImgH} / \beta < 125$$

[0109] 其中, FNO 为内窥镜光学系统的光圈值; β_w 为内窥镜光学系统置于人体内的垂轴放大率; β 为内窥镜光学系统置于空气中的垂轴放大率。

[0110] 如图1、图2所示, 在本实施例中, 内窥镜光学系统满足下列关系式:

$$[0111] \quad 0.73 < f \cdot \tan(\omega/2) / \text{ImgH} < 1.16$$

$$[0112] \quad 0.28 < f_w \cdot \tan(\omega_w/2) / \text{ImgH} < 0.60$$

[0113] 其中, ω 为内窥镜光学系统置于空气中的最大视场角; f_w 为内窥镜光学系统置于人体内总的等效焦距; ω_w 为内窥镜光学系统置于人体内的最大视场角。

[0114] 以下参照图2~图13说明该内窥镜光学系统的四种实施例, 在各实施例对应的透镜数据表中, 半径和厚度的单位是mm, 在所参照的像差曲线图的参考波长为656nm, 587nm, 486nm, 其中像差曲线图左边的为轴向球差图, 中间的为像散图, 右边的为畸变图, 而像散图中的S(实线)和T(虚线)分别代表弧矢像面和子午像面。

[0115] 实施例1:

[0116] 将本实用新型的实施例1的内窥镜光学系统的结构表示在图2中, 将本实用新型的实施例1的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线表示在图3中, 在人体内的像差曲线表示在图4中。

[0117] 表1为内窥镜光学系统实施例1的透镜数据表。

[0118]	序号	表面类型	半径	厚度	折射率	色散系数
	物面	球面	∞	15.0000		
	1	非球面	-14.6584	0.2800	1.54	56

	2	非球面	0.8243	0.3170		
	3	球面	∞	0.2100	1.52	64
	4	球面	∞	0.0330		
	光阑面	球面	∞	0.0500		
	6	非球面	3.6283	0.5151	1.54	56
	7	非球面	-0.6618	0.0500		
[0119]	8	非球面	4.4875	0.5232	1.54	56
	9	非球面	-0.8319	0.1236		
	10	非球面	-0.7028	0.6100	1.64	22
	11	非球面	55.9216	0.5551		
	12	球面	∞	0.4000	1.52	64
	13	球面	∞	0.0450		
	像面	球面	∞	0.0000		

[0120] 表1

[0121] 表2为内窥镜光学系统实施例1第一透镜1和第二透镜4的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0122]

归一化半 径 R 值	第一透镜 1		第二透镜 2	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag}/R < 0.001$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0 < \text{sag}/R < 0.001$	$0 < \text{sag}/R < 0.004$
0.2	$0 < \text{sag}/R < 0.001$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0 < \text{sag}/R < 0.005$	$0.01 < \text{sag}/R < 0.016$
0.3	$0 < \text{sag}/R < 0.002$	$0.02 < \text{sag}/R < 0.025$	$0.002 < \text{sag}/R < 0.007$	$0.024 < \text{sag}/R < 0.028$
0.4	$0.003 < \text{sag}/R < 0.004$	$0.038 < \text{sag}/R < 0.04$	$0.004 < \text{sag}/R < 0.009$	$0.047 < \text{sag}/R < 0.051$
0.5	$0.005 < \text{sag}/R < 0.0075$	$0.060 < \text{sag}/R < 0.068$	$0.007 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.074 < \text{sag}/R < 0.079$
0.6	$0.007 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.08 < \text{sag}/R < 0.1$	$0.008 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.102 < \text{sag}/R < 0.11$

[0123]

	0.008		0.012	0.114
0.7	0.010< sag/R < 0.013	0.126< sag/R < 0.129	0.013< sag/R < 0.016	0.15< sag/R < 0.156
0.8	0.013< sag/R < 0.015	0.173< sag/R < 0.175	0.017< sag/R < 0.019	0.20< sag/R < 0.208
0.9	0.017< sag/R < 0.019	0.23< sag/R < 0.234	0.02< sag/R < 0.024	0.26< sag/R < 0.268
1.0	0.021< sag/R < 0.024	0.308< sag/R < 0.312	0.02< sag/R < 0.024	0.325< sag/R < 0.335

[0124] 表2

[0125] 表3为内窥镜光学系统实施例1第三透镜5和第四透镜6的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0126]

归一化半 径 R 值	第三透镜 3		第四透镜 4	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	0< sag/R < 0.001	0< sag/R < 0.005	0< sag/R < 0.005	0< sag/R < 0.002
0.2	0< sag/R < 0.003	0.011< sag/R < 0.015	0.013< sag/R < 0.018	0< sag/R < 0.004
0.3	0< sag/R < 0.007	0.028< sag/R < 0.032	0.031< sag/R < 0.036	0< sag/R < 0.004
0.4	0< sag/R < 0.011	0.052< sag/R < 0.056	0.06< sag/R < 0.065	0< sag/R < 0.005
0.5	0.012< sag/R < 0.016	0.084< sag/R < 0.088	0.095< sag/R < 0.1	0< sag/R < 0.007
0.6	0.02< sag/R < 0.023	0.127< sag/R < 0.130	0.142< sag/R < 0.147	0.004< sag/R < 0.011
0.7	0.026< sag/R < 0.029	0.177< sag/R < 0.181	0.2< sag/R < 0.205	0.01< sag/R < 0.016
0.8	0.033< sag/R < 0.036	0.24< sag/R < 0.245	0.268< sag/R < 0.273	0.018< sag/R < 0.023
0.9	0.37< sag/R < 0.041	0.314< sag/R < 0.319	0.345< sag/R < 0.35	0.026< sag/R < 0.031
1.0	0.041< sag/R < 0.044	0.404< sag/R < 0.409	0.43< sag/R < 0.435	0.032< sag/R < 0.037

[0127] 表3

[0128] 实施例2:

[0129] 将本实用新型的实施例2的内窥镜光学系统的结构表示在图5中,将本实用新型的实施例2的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线表示在图6中,在人体内的像差曲线表示在图7中。

[0130] 表4为内窥镜光学系统实施例2的透镜数据表。

[0131]

序号	表面类型	半径	厚度	折射率	色散系数
物面	球面	∞	15.0000		
1	非球面	-14.0000	0.2800	1.54	56
2	非球面	0.8739	0.2093		
3	球面	∞	0.2800	1.52	64
4	球面	∞	0.1000		
光阑面	球面	∞	0.0500		
6	非球面	8.4922	0.4260	1.54	56
7	非球面	-0.5987	0.0500		
8	非球面	3.8995	0.4768	1.54	56
9	非球面	-0.8659	0.1300		
10	非球面	-0.6586	0.6979	1.64	22
11	非球面	-45.2461	0.5000		
12	球面	∞	0.4000	1.52	64
13	球面	∞	0.0949		
像面	球面	∞	0.0051		

[0132] 表4

[0133] 表5为内窥镜光学系统实施例2第一透镜1和第二透镜4的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0134]

归一化半	第一透镜 1	第二透镜 2
------	--------	--------

[0135]

径 R 值	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag}/R < 0.001$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.005$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$
0.2	$0 < \text{sag}/R < 0.002$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.016$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0 < \text{sag}/R < 0.024$
0.3	$0.001 < \text{sag}/R < 0.005$	$0.01 < \text{sag}/R < 0.03$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.018 < \text{sag}/R < 0.038$
0.4	$0.005 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.034 < \text{sag}/R < 0.054$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.041 < \text{sag}/R < 0.061$
0.5	$0.005 < \text{sag}/R < 0.025$	$0.055 < \text{sag}/R < 0.075$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.07 < \text{sag}/R < 0.09$
0.6	$0.005 < \text{sag}/R < 0.027$	$0.089 < \text{sag}/R < 0.109$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.10 < \text{sag}/R < 0.13$
0.7	$0.015 < \text{sag}/R < 0.035$	$0.132 < \text{sag}/R < 0.152$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.152 < \text{sag}/R < 0.162$
0.8	$0.016 < \text{sag}/R < 0.036$	$0.188 < \text{sag}/R < 0.208$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.207 < \text{sag}/R < 0.227$
0.9	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.263 < \text{sag}/R < 0.283$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.276 < \text{sag}/R < 0.296$
1.0	$0.09 < \text{sag}/R < 0.11$	$0.38 < \text{sag}/R < 0.40$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.356 < \text{sag}/R < 0.376$

[0136] 表5

[0137] 表6为内窥镜光学系统实施例2第三透镜5和第四透镜6的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0138]

归一化半 径 R 值	第三透镜 3		第四透镜 4	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag}/R < 0.005$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0 < \text{sag}/R < 0.006$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$
0.2	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.01 < \text{sag}/R < 0.025$	$0.003 < \text{sag}/R < 0.023$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$
0.3	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.018 < \text{sag}/R < 0.038$	$0.025 < \text{sag}/R < 0.045$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$
0.4	$0 < \text{sag}/R < 0.02$	$0.037 < \text{sag}/R < 0.057$	$0.055 < \text{sag}/R < 0.075$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$
0.5	$0.004 < \text{sag}/R < 0.024$	$0.064 < \text{sag}/R < 0.084$	$0.093 < \text{sag}/R < 0.113$	$0 < \text{sag}/R < 0.02$
0.6	$0.01 < \text{sag}/R < 0.03$	$0.104 < \text{sag}/R < 0.124$	$0.144 < \text{sag}/R < 0.164$	$0.08 < \text{sag}/R < 0.028$
0.7	$0.016 < \text{sag}/R < 0.036$	$0.151 < \text{sag}/R < 0.171$	$0.201 < \text{sag}/R < 0.221$	$0.018 < \text{sag}/R < 0.038$

[0139]

0.8	0.031< sag/R < 0.051	0.207< sag/R < 0.227	0.276< sag/R < 0.296	0.027< sag/R < 0.047
0.9	0.032< sag/R < 0.042	0.277< sag/R < 0.297	0.363< sag/R < 0.383	0.031< sag/R < 0.051
1.0	0.039< sag/R < 0.059	0.358< sag/R < 0.378	0.456< sag/R < 0.476	0.025< sag/R < 0.045

[0140] 表6

[0141] 实施例3:

[0142] 将本实用新型的实施例3的内窥镜光学系统的结构表示在图8中,将本实用新型的实施例3的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线表示在图9中,在人体内的像差曲线表示在图10中。

[0143] 表7为内窥镜光学系统实施例3的透镜数据表。

序号	表面类型	半径	厚度	折射率	色散系数
物面	球面	∞	7.0000		
1	非球面	-14.0000	0.2800	1.54	56
2	非球面	0.6943	0.2320		
3	球面	∞	0.2100	1.52	64
4	球面	∞	0.1175		
[0144] 光阑面	球面	∞	0.0500		
6	非球面	3.4960	0.4058	1.54	56
7	非球面	-0.5961	0.0500		
8	非球面	5.7764	0.4625	1.54	56
9	非球面	-0.7620	0.1151		
10	非球面	-0.6797	0.7772	1.64	22
11	非球面	23.9906	0.5000		

	12	球面	∞	0.4000	1.52	64
[0145]	13	球面	∞	0.1000		
	像面	球面	∞	0.0000		

[0146] 表7

[0147] 表8为内窥镜光学系统实施例3第一透镜1和第二透镜4的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0148]

归一化半 径 R 值	第一透镜 1		第二透镜 2	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag/R} < 0.001$	$0.001 < \text{sag/R} < 0.004$	$0 < \text{sag/R} < 0.01$	$0 < \text{sag/R} < 0.01$
0.2	$0 < \text{sag/R} < 0.002$	$0.001 < \text{sag/R} < 0.012$	$0 < \text{sag/R} < 0.006$	$0 < \text{sag/R} < 0.024$
0.3	$0.001 < \text{sag/R} < 0.005$	$0.005 < \text{sag/R} < 0.025$	$0 < \text{sag/R} < 0.007$	$0.023 < \text{sag/R} < 0.043$
0.4	$0.005 < \text{sag/R} < 0.01$	$0.024 < \text{sag/R} < 0.045$	$0 < \text{sag/R} < 0.009$	$0.049 < \text{sag/R} < 0.069$
0.5	$0.005 < \text{sag/R} < 0.025$	$0.045 < \text{sag/R} < 0.065$	$0 < \text{sag/R} < 0.014$	$0.084 < \text{sag/R} < 0.104$
0.6	$0.005 < \text{sag/R} < 0.027$	$0.066 < \text{sag/R} < 0.076$	$0.01 < \text{sag/R} < 0.018$	$0.128 < \text{sag/R} < 0.148$
0.7	$0.015 < \text{sag/R} < 0.035$	$0.094 < \text{sag/R} < 0.114$	$0.01 < \text{sag/R} < 0.033$	$0.182 < \text{sag/R} < 0.202$
0.8	$0.024 < \text{sag/R} < 0.044$	$0.134 < \text{sag/R} < 0.154$	$0.01 < \text{sag/R} < 0.036$	$0.247 < \text{sag/R} < 0.267$
0.9	$0.014 < \text{sag/R} < 0.037$	$0.181 < \text{sag/R} < 0.201$	$0.01 < \text{sag/R} < 0.036$	$0.325 < \text{sag/R} < 0.345$
1.0	$0.04 < \text{sag/R} < 0.06$	$0.234 < \text{sag/R} < 0.254$	$0.01 < \text{sag/R} < 0.036$	$0.426 < \text{sag/R} < 0.446$

[0149] 表8

[0150] 表9为内窥镜光学系统实施例3第三透镜5和第四透镜6的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0151]

归一化半 径 R 值	第三透镜 3		第四透镜 4	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag/R} < 0.001$	$0 < \text{sag/R} < 0.006$	$0 < \text{sag/R} < 0.006$	$0 < \text{sag/R} < 0.002$

[0152]

0.2	$0 < \text{sag/R} < 0.005$	$0.01 < \text{sag/R} < 0.025$	$0.013 < \text{sag/R} < 0.028$	$0 < \text{sag/R} < 0.004$
0.3	$0 < \text{sag/R} < 0.007$	$0.028 < \text{sag/R} < 0.048$	$0.032 < \text{sag/R} < 0.052$	$0 < \text{sag/R} < 0.004$
0.4	$0 < \text{sag/R} < 0.011$	$0.057 < \text{sag/R} < 0.077$	$0.06 < \text{sag/R} < 0.08$	$0 < \text{sag/R} < 0.005$
0.5	$0.002 < \text{sag/R} < 0.02$	$0.094 < \text{sag/R} < 0.1148$	$0.11 < \text{sag/R} < 0.13$	$0 < \text{sag/R} < 0.007$
0.6	$0.005 < \text{sag/R} < 0.025$	$0.149 < \text{sag/R} < 0.169$	$0.174 < \text{sag/R} < 0.194$	$0 < \text{sag/R} < 0.07$
0.7	$0.016 < \text{sag/R} < 0.036$	$0.214 < \text{sag/R} < 0.234$	$0.251 < \text{sag/R} < 0.271$	$0 < \text{sag/R} < 0.008$
0.8	$0.030 < \text{sag/R} < 0.05$	$0.287 < \text{sag/R} < 0.307$	$0.341 < \text{sag/R} < 0.361$	$0 < \text{sag/R} < 0.009$
0.9	$0.05 < \text{sag/R} < 0.07$	$0.361 < \text{sag/R} < 0.381$	$0.435 < \text{sag/R} < 0.455$	$0 < \text{sag/R} < 0.01$
1.0	$0.061 < \text{sag/R} < 0.088$	$0.404 < \text{sag/R} < 0.424$	$0.5 < \text{sag/R} < 0.52$	$0.005 < \text{sag/R} < 0.025$

[0153] 表9

[0154] 实施例4:

[0155] 将本实用新型的实施例4的内窥镜光学系统的结构表示在图11中,将本实用新型的实施例4的内窥镜光学系统在空气中的像差曲线表示在图12中,在人体内的像差曲线表示在图13中。

[0156] 表10为内窥镜光学系统实施例4的透镜数据表。

序号	表面类型	半径	厚度	折射率	色散系数
物面	球面	∞	15.0000		
1	非球面	-14.4643	0.2800	1.54	56
2	非球面	0.6780	0.2016		
3	球面	∞	0.2100	1.52	64
4	球面	∞	0.1005		
光阑面	球面	∞	0.0500		

[0157]

	6	非球面	2.9892	0.5151	1.54	56
	7	非球面	-0.6323	0.0500		
	8	非球面	5.9515	0.4711	1.54	56
	9	非球面	-0.8533	0.1128		
[0158]	10	非球面	-0.7924	0.8034	1.64	22
	11	非球面	9.3085	0.5604		
	12	球面	∞	0.4000	1.52	64
	13	球面	∞	0.0450		
	像面	球面	∞	0.0000		

[0159] 表10

[0160] 表11为内窥镜光学系统实施例4第一透镜1和第二透镜4的各非球面矢高与半径R的比值范围。

[0161]

归一化半 径 R 值	第一透镜 1		第二透镜 2	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag}/R < 0.001$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.004$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0 < \text{sag}/R < 0.013$
0.2	$0 < \text{sag}/R < 0.002$	$0.009 < \text{sag}/R < 0.012$	$0 < \text{sag}/R < 0.012$	$0.002 < \text{sag}/R < 0.033$
0.3	$0.001 < \text{sag}/R < 0.0025$	$0.02 < \text{sag}/R < 0.025$	$0 < \text{sag}/R < 0.0135$	$0.018 < \text{sag}/R < 0.039$
0.4	$0.0025 < \text{sag}/R < 0.0035$	$0.04 < \text{sag}/R < 0.045$	$0 < \text{sag}/R < 0.0155$	$0.041 < \text{sag}/R < 0.062$
0.5	$0.0045 < \text{sag}/R < 0.005$	$0.065 < \text{sag}/R < 0.075$	$0 < \text{sag}/R < 0.0185$	$0.067 < \text{sag}/R < 0.089$
0.6	$0.0065 < \text{sag}/R < 0.007$	$0.086 < \text{sag}/R < 0.106$	$0.01 < \text{sag}/R < 0.022$	$0.102 < \text{sag}/R < 0.124$
0.7	$0.009 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.124 < \text{sag}/R < 0.144$	$0.01 < \text{sag}/R < 0.026$	$0.145 < \text{sag}/R < 0.166$
0.8	$0.011 < \text{sag}/R < 0.014$	$0.172 < \text{sag}/R < 0.192$	$0.0115 < \text{sag}/R < 0.0384$	$0.20 < \text{sag}/R < 0.217$
0.9	$0.014 < \text{sag}/R < 0.017$	$0.232 < \text{sag}/R < 0.252$	$0.016 < \text{sag}/R < 0.036$	$0.253 < \text{sag}/R < 0.275$
1.0	$0.017 < \text{sag}/R <$	$0.308 < \text{sag}/R <$	$0.02 < \text{sag}/R <$	$0.32 < \text{sag}/R <$

[0162]

	0.02	0.328	0.041	0.34
--	------	-------	-------	------

[0163] 表11

[0164] 表12为内窥镜光学系统实施例4第三透镜5和第四透镜6的各非球面矢高高与半径R的比值范围。

[0165]

归一化半 径 R 值	第三透镜 3		第四透镜 4	
	前表面	后表面	前表面	后表面
0.1	$0 < \text{sag}/R < 0.001$	$0 < \text{sag}/R < 0.005$	$0 < \text{sag}/R < 0.005$	$0 < \text{sag}/R < 0.002$
0.2	$0 < \text{sag}/R < 0.002$	$0.001 < \text{sag}/R < 0.02$	$0.003 < \text{sag}/R < 0.022$	$0 < \text{sag}/R < 0.005$
0.3	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.018 < \text{sag}/R < 0.038$	$0.017 < \text{sag}/R < 0.037$	$0 < \text{sag}/R < 0.006$
0.4	$0 < \text{sag}/R < 0.01$	$0.039 < \text{sag}/R < 0.059$	$0.039 < \text{sag}/R < 0.059$	$0 < \text{sag}/R < 0.007$
0.5	$0.0012 < \text{sag}/R < 0.0212$	$0.067 < \text{sag}/R < 0.087$	$0.069 < \text{sag}/R < 0.89$	$0 < \text{sag}/R < 0.01$
0.6	$0.007 < \text{sag}/R < 0.027$	$0.107 < \text{sag}/R < 0.127$	$0.106 < \text{sag}/R < 0.126$	$0.004 < \text{sag}/R < 0.018$
0.7	$0.016 < \text{sag}/R < 0.036$	$0.148 < \text{sag}/R < 0.168$	$0.15 < \text{sag}/R < 0.17$	$0.01 < \text{sag}/R < 0.023$
0.8	$0.024 < \text{sag}/R < 0.044$	$0.20 < \text{sag}/R < 0.22$	$0.2 < \text{sag}/R < 0.22$	$0.008 < \text{sag}/R < 0.028$
0.9	$0.034 < \text{sag}/R < 0.054$	$0.266 < \text{sag}/R < 0.286$	$0.27 < \text{sag}/R < 0.29$	$0.009 < \text{sag}/R < 0.029$
1.0	$0.046 < \text{sag}/R < 0.066$	$0.343 < \text{sag}/R < 0.363$	$0.36 < \text{sag}/R < 0.38$	$0.012 < \text{sag}/R < 0.032$

[0166] 表12

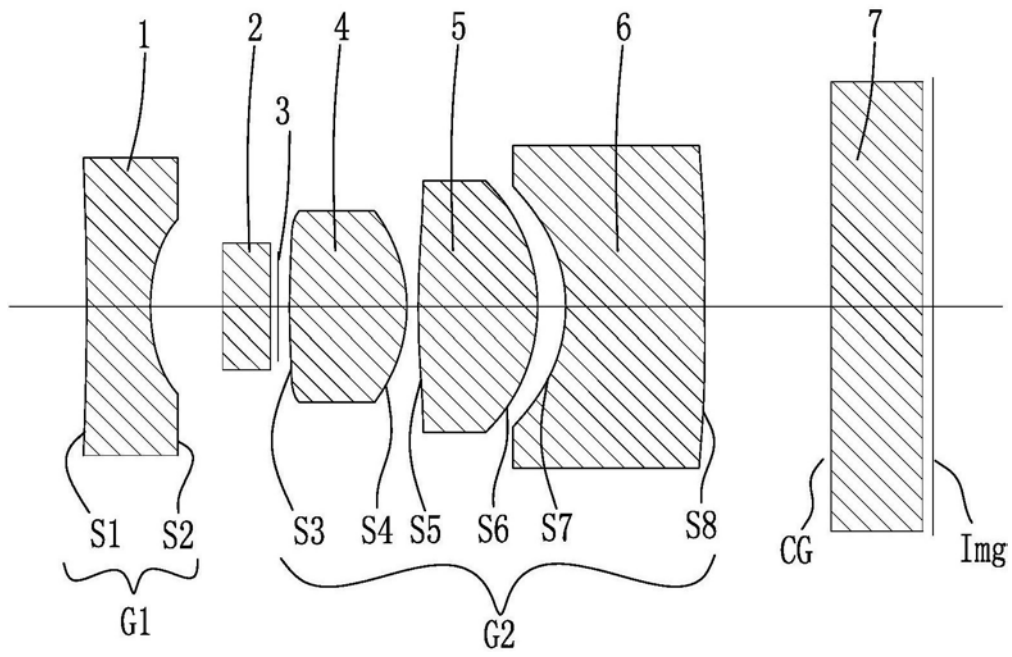


图1

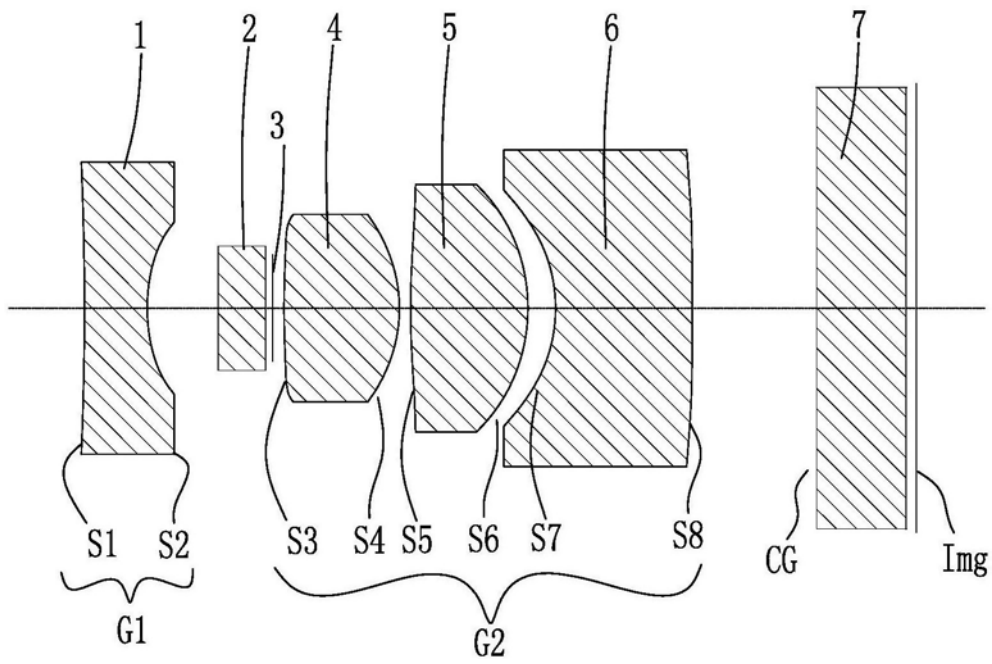


图2

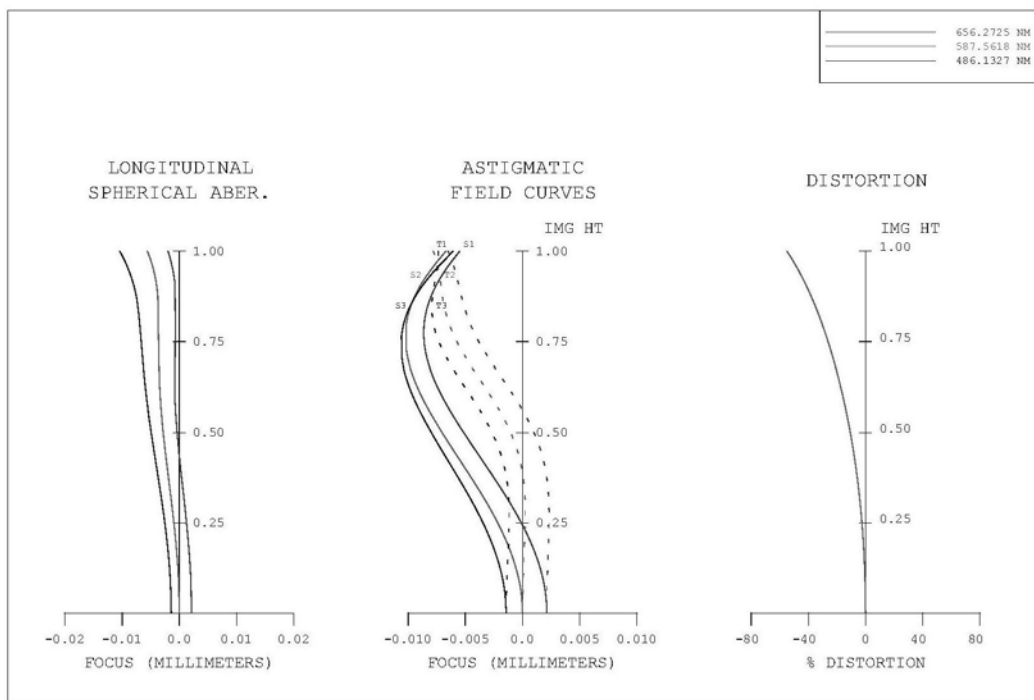


图3

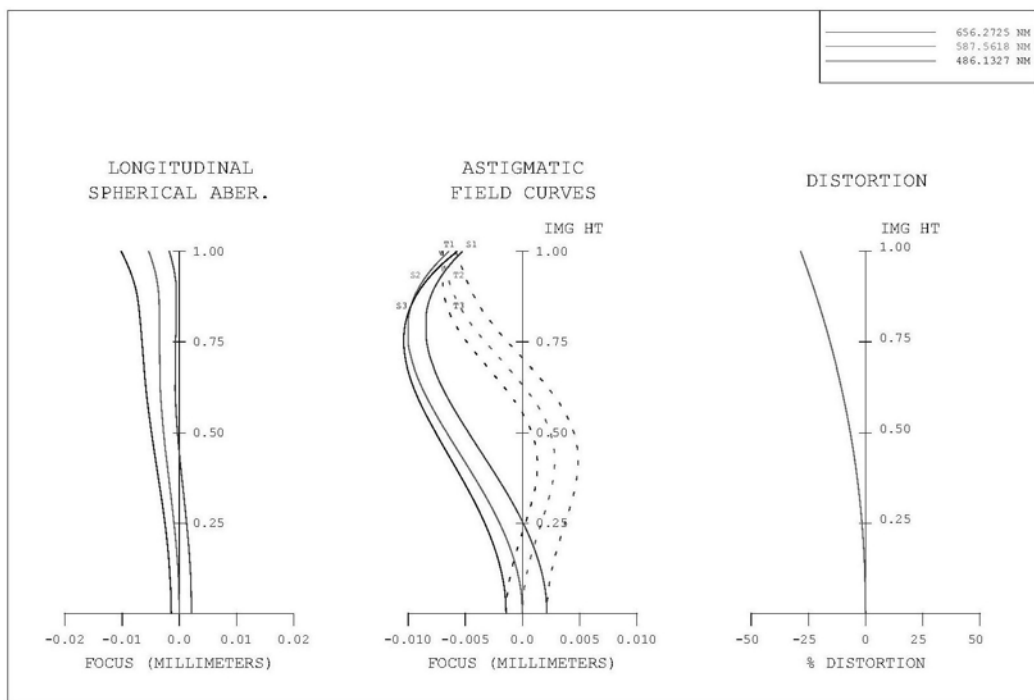


图4

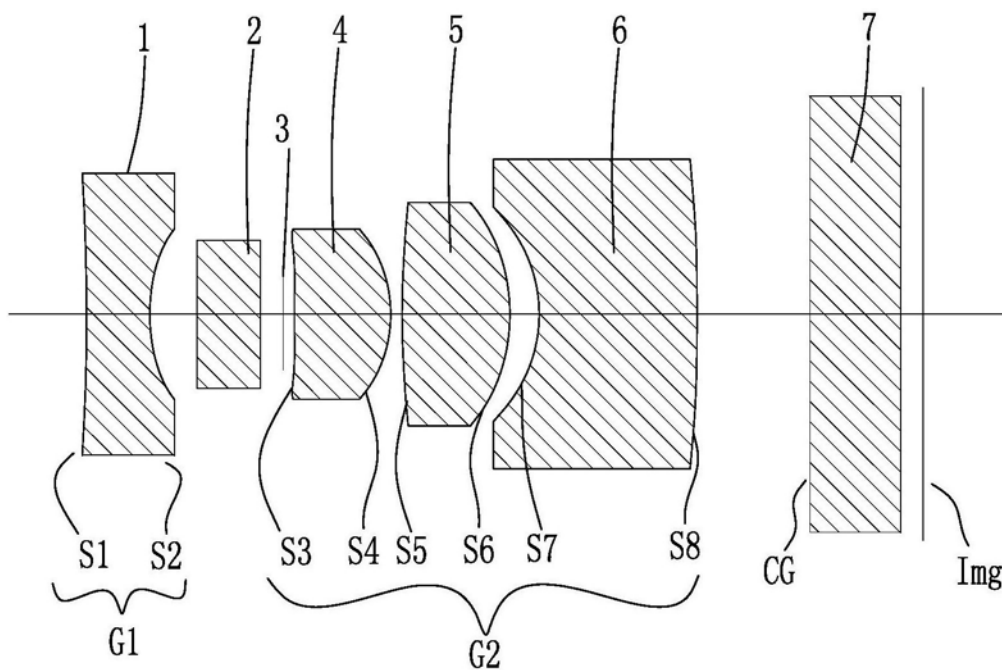


图5

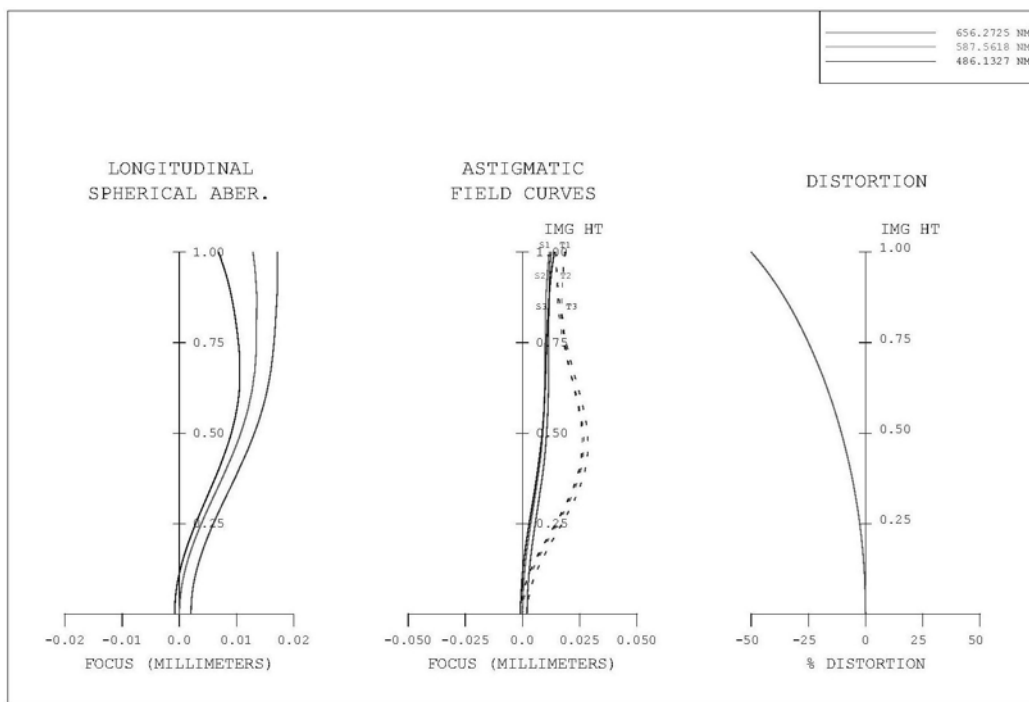


图6

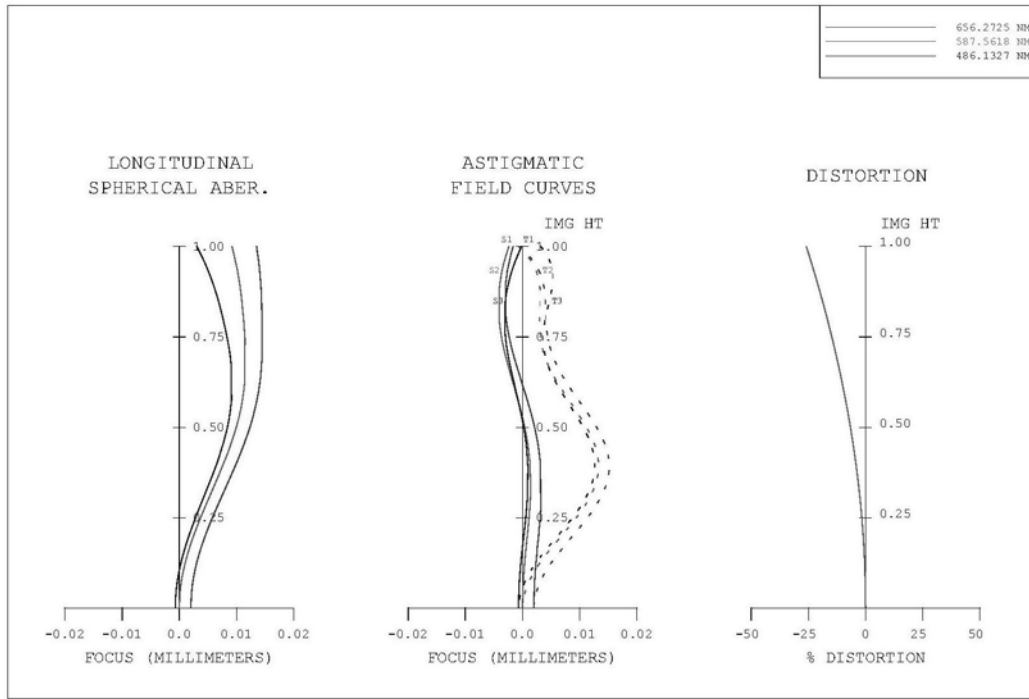


图7

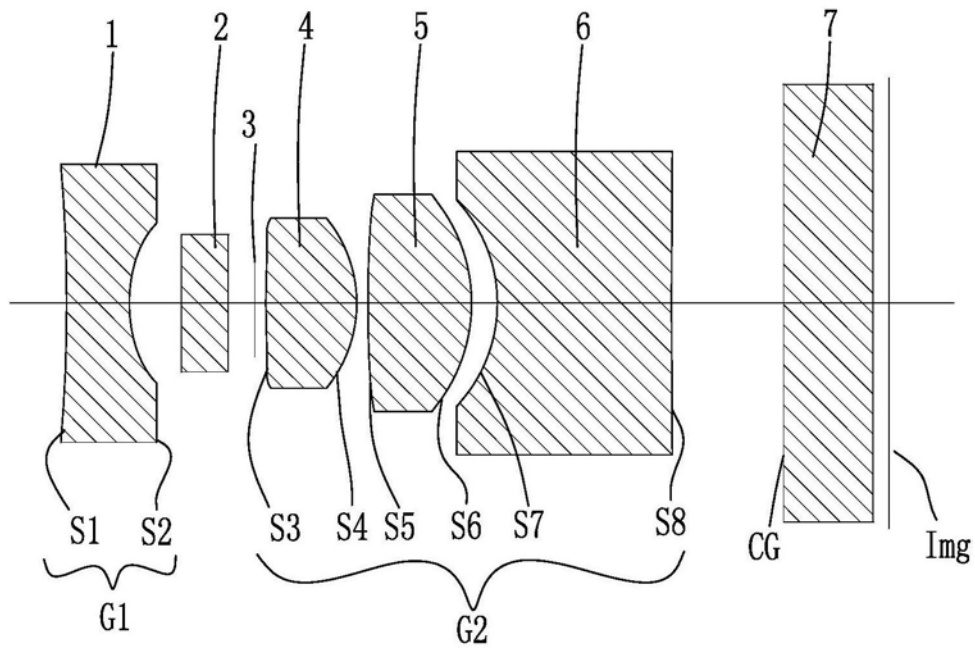


图8

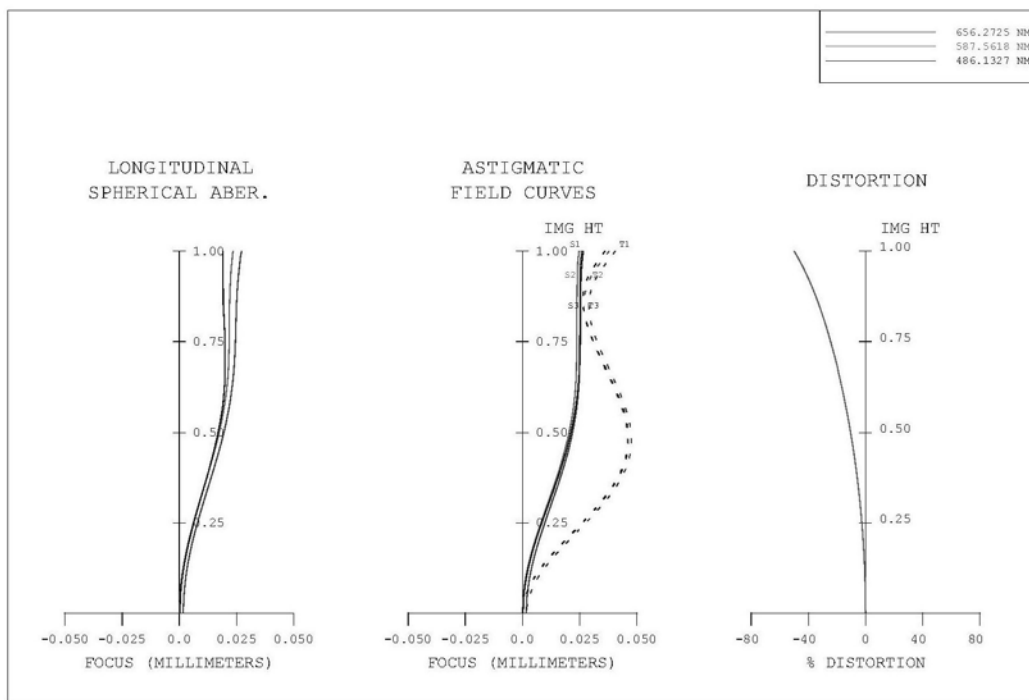


图9

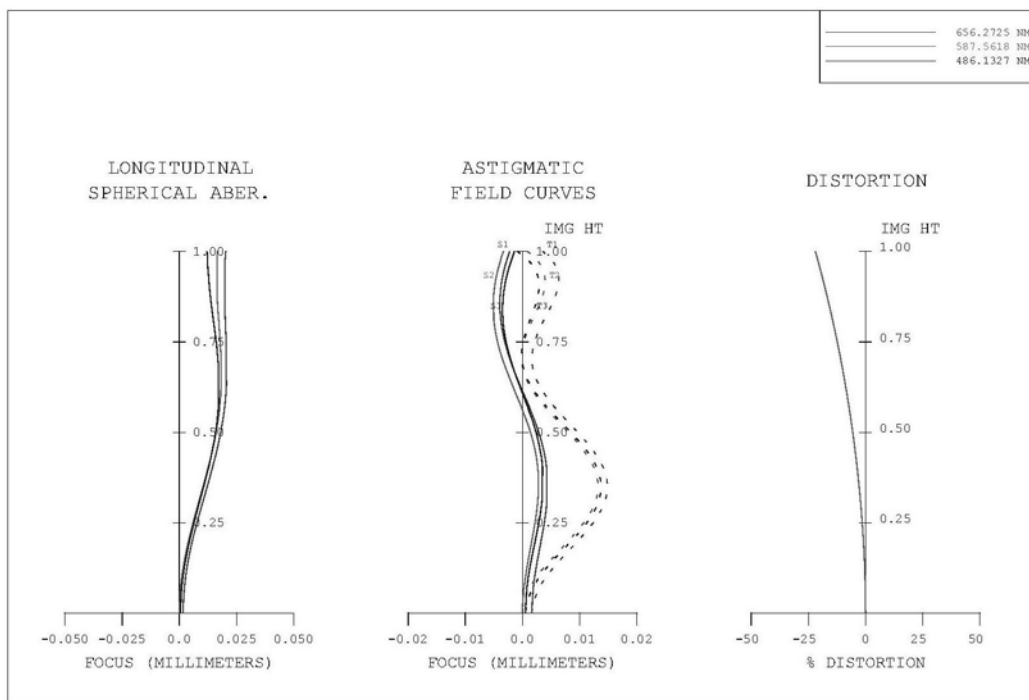


图10

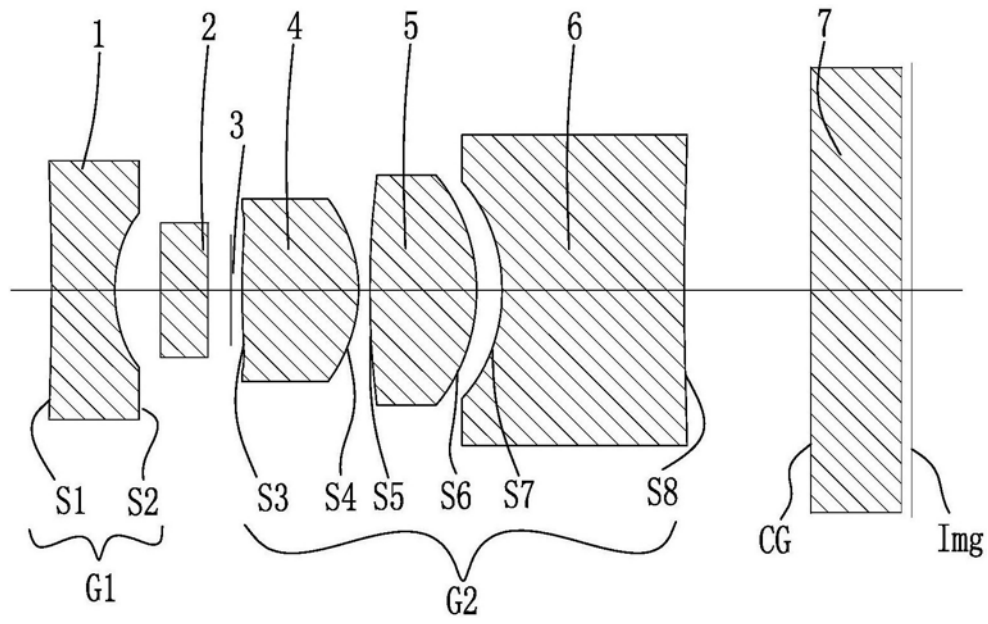


图11

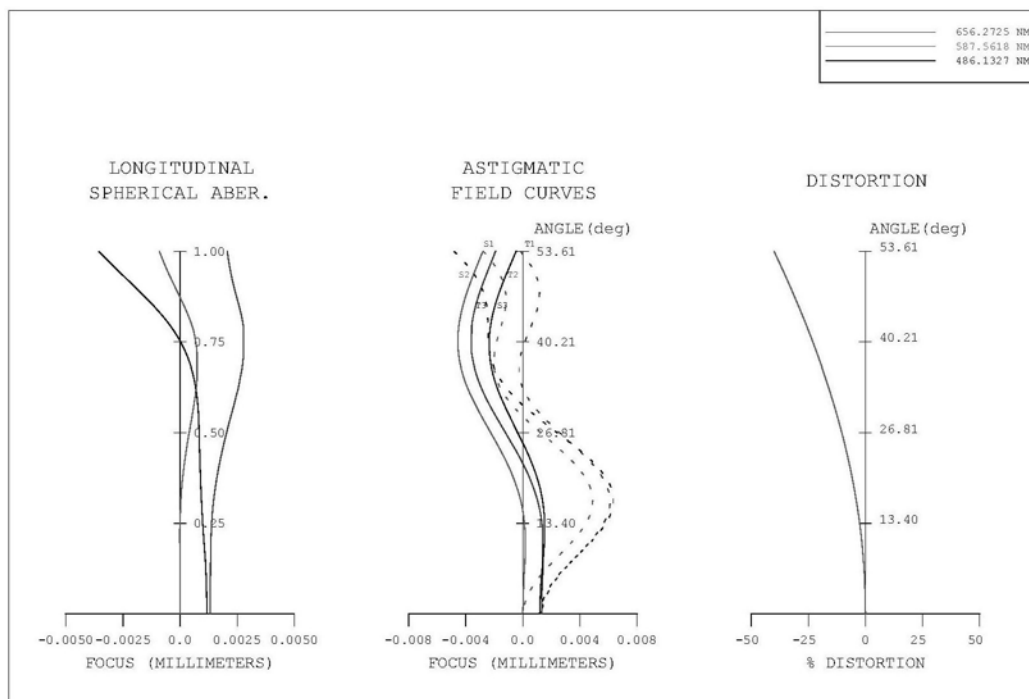


图12

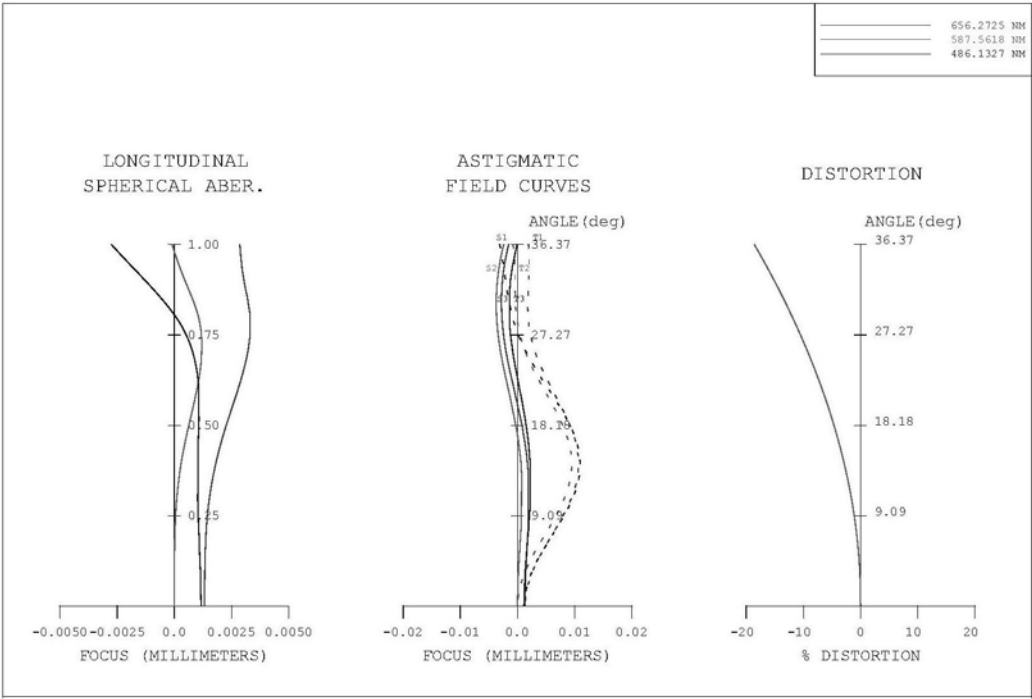


图13

专利名称(译)	一种用于内窥镜的小口径光学系统		
公开(公告)号	CN207473186U	公开(公告)日	2018-06-08
申请号	CN201721683882.1	申请日	2017-12-04
[标]申请(专利权)人(译)	中山市众盈光学有限公司		
申请(专利权)人(译)	中山市众盈光学有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	中山市众盈光学有限公司		
[标]发明人	范俊辉 朱佳巍 习宇 李璇 牛明宇		
发明人	范俊辉 朱佳巍 习宇 李璇 牛明宇		
IPC分类号	G02B13/00 G02B13/06 G02B1/04 G02B7/02 A61B1/00		
代理人(译)	赵钊		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本实用新型涉及一种用于内窥镜的小口径光学系统，由物面至像面依次设有第一透镜(1)、滤光片(2)、固定光阑(3)、第二透镜(4)、第三透镜(5)、第四透镜(6)、芯片保护玻璃(7)，内窥镜光学系统满足关系： $1 < |f_b/f| < 1.8$ ； $0.7 < |f_a/f| < 0.9$ ； $|f-f_w| < 0.008$ ； $0.69 < |R_1+R_2|/|R_1-R_2| < 1$ ，本实用新型的内窥镜光学系统在人体和空气中具有一致的最佳成像物距。

