



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106970466 A

(43)申请公布日 2017. 07. 21

(21)申请号 201710021203.2

(22)申请日 2017.01.11

(71)申请人 玉晶光电(厦门)有限公司

地址 361000 福建省厦门市火炬园区创新  
路8号玉晶科技大厦

(72)发明人 马修·博恩 潘慧峰 李光云

(74)专利代理机构 厦门市精诚新创知识产权代  
理有限公司 35218

代理人 何家富

(51) Int. Cl.

G02B 27/01(2006.01)

G02B 25/00(2006.01)

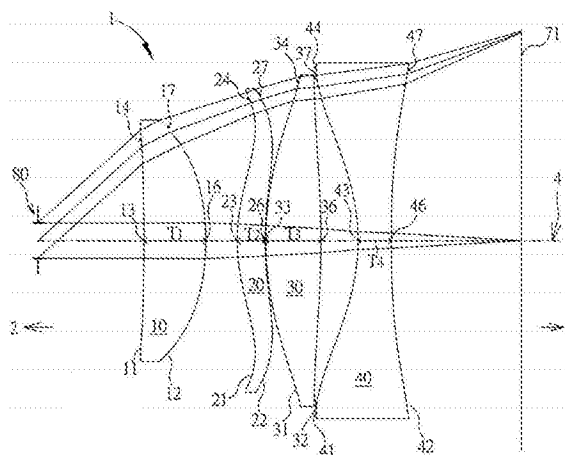
权利要求书2页 说明书12页 附图25页

(54)发明名称

目镜光学系统

(57)摘要

本发明公开一种目镜光学系统,第一透镜显示侧面于圆周附近区域具有凸面部,第三透镜目侧面于圆周附近区域具有一凸面部,另外,第一透镜的阿贝数(Abbe number)定义为 $\nu_1$ ,第四透镜的阿贝数定义为 $\nu_4$ ,且此目镜光学系统符合条件式: $20.00 \leq |\nu_1 - \nu_4|$ 。本发明的目镜光学系统可以用于虚拟现实电子装置,在缩短系统长度的条件下,仍能保有良好的光学成像质量与具有较大的眼视视角。



1. 一种目镜光学系统, 适于一显示画面的一成像光线经由该目镜光学系统进入一观察者的一瞳孔而成像, 朝向该瞳孔的方向定义为一目侧, 且朝向该显示画面的方向定义为一显示侧, 其中该目镜光学系统从该目侧至该显示侧沿一光轴依序包括一第一透镜、一第二透镜、一第三透镜及一第四透镜, 且该第一透镜、该第二透镜、该第三透镜及该第四透镜各自包括朝向该目侧且使该成像光线通过的一目侧面及朝向该显示侧且使该成像光线通过的一显示侧面, 其中:

该第一透镜的一显示侧面于圆周附近区域具有一凸面部;

该第三透镜的一目侧面于圆周附近区域具有一凸面部;

该第一透镜的阿贝数 (Abbe number) 定义为  $v_1$ , 该第四透镜的阿贝数定义为  $v_4$ , 且该目镜光学系统符合条件式:  $20.00 \leq |v_1 - v_4|$ 。

2. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该观察者的该瞳孔至该显示画面沿着该光轴的距离定义为  $SL$ , 该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为  $ER$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $SL/ER \leq 5.20$ 。

3. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为  $TTL$ , 该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为  $ER$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $TTL/ER \leq 4.60$ 。

4. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为  $ER$ , 该第四透镜沿着该光轴的中心厚度定义为  $T_4$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $ER/T_4 \leq 6.50$ 。

5. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该第四透镜与该显示画面之间沿着该光轴的一距离定义为  $G_{4D}$ , 该第二透镜沿着该光轴的中心厚度定义为  $T_2$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $G_{4D}/T_2 \leq 5.60$ 。

6. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 上述该第一透镜至该第四透镜之所有中心厚度总和定义为  $ALT$ , 该第一透镜与该第二透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为  $G_{12}$ , 该第三透镜与该第四透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为  $G_{34}$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $ALT/(G_{12} + G_{34}) \leq 2.60$ 。

7. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该目镜光学系统的有效焦距定义为  $EFL$ , 该第一透镜沿着该光轴的中心厚度定义为  $T_1$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $EFL/T_1 \leq 5.70$ 。

8. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为  $TTL$ , 该第一透镜沿着该光轴的中心厚度定义为  $T_1$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $TTL/T_1 \leq 6.90$ 。

9. 如权利要求1所述的目镜光学系统, 其特征在于: 该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为  $TTL$ , 该第二透镜沿着该光轴的中心厚度定义为  $T_2$ , 且该目镜光学系统满足以下关系式:  $TTL/T_2 \leq 13.80$ 。

10. 一种目镜光学系统, 适于一显示画面的一成像光线经由该目镜光学系统进入一观察者的一瞳孔而成像, 朝向该瞳孔的方向定义为一目侧, 且朝向该显示画面的方向定义为一显示侧, 其中该目镜光学系统从该目侧至该显示侧沿一光轴依序包括一第一透镜、一第二透镜、一第三透镜及一第四透镜, 且该第一透镜、该第二透镜、该第三透镜及该第四透镜

各自包括朝向该目侧且使该成像光线通过的一目侧面及朝向该显示侧且使该成像光线通过的一显示侧面,其中:

该第一透镜的一显示侧面于圆周附近区域具有一凸面部;

该第三透镜具有正屈光率,且该第三透镜的一目侧面于圆周附近区域具有一凸面部;

该第一透镜的阿贝数(Abbe number)定义为 $v_1$ ,该第四透镜的阿贝数定义为 $v_4$ ,且该目镜光学系统符合条件式: $20.00 \leq |v_1 - v_4|$ 。

11. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该观察者的该瞳孔距离该显示画面沿着该光轴的距离定义为SL,该观察者的该瞳孔距离该第一透镜的一目侧面的距离定义为ER,且该目镜光学系统满足以下关系式: $SL/ER \leq 5.20$ 。

12. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为TTL,该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为ER,且该目镜光学系统满足以下关系式: $TTL/ER \leq 4.60$ 。

13. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该第四透镜与该显示画面之间沿着该光轴的一距离定义为G4D,该第四透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T4,且该目镜光学系统满足以下关系式: $G4D/T4 \leq 7.50$ 。

14. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该观察者的该瞳孔至该显示画面沿着该光轴的距离定义为SL,该第二透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T2,且该目镜光学系统满足以下关系式: $SL/T2 \leq 21.60$ 。

15. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为ER,该第一透镜与该第二透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G12,该第三透镜与该第四透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G34,且该目镜光学系统满足以下关系式: $ER/(G12+G34) \leq 2.80$ 。

16. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该观察者的该瞳孔至该显示画面沿着该光轴的距离定义为SL,该第一透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T1,且该目镜光学系统满足以下关系式: $SL/T1 \leq 7.90$ 。

17. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为TTL,该第三透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T3,且该目镜光学系统满足以下关系式: $TTL/T3 \leq 7.90$ 。

18. 如权利要求10所述的目镜光学系统,其特征在于:上述该第一透镜至该第四透镜之所有中心厚度总和定义为ALT,该第三透镜与该第四透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G34,且该目镜光学系统满足以下关系式: $ALT/G34 \leq 8.10$ 。

## 目镜光学系统

### 技术领域

[0001] 本发明大致上关于一种目镜光学系统。具体而言,本发明特别是指一种用于虚拟现实电子装置之目镜光学系统。

### 背景技术

[0002] 虚拟现实(Virtual Reality,VR)是利用计算机技术仿真产生一个三维空间的虚拟世界,提供用户关于视觉、听觉等感官仿真,让使用者感觉身历其境。目前现有的VR装置都是以视觉体验为主。藉由对应左右眼的两个视角略有差异的分割画面来模拟人眼的视差,以达到立体视觉。为了缩小虚拟现实装置的体积,让用户藉由较小的显示画面得到放大的视觉感受,具有放大功能的目镜光学系统成了VR研究发展的其中一个主题。

[0003] 现有的目镜光学系统的半眼视视角较小,使得观察者使用时会感到视觉狭窄且分辨率较低。另外,现有的目镜光学系统的色差和畸变较大,其像差严重到显示画面必须先进行像差补偿,因此如何增加半眼视视角并加强成像质量是目镜光学系统是一个需要改善的问题。

[0004] 本发明的目的是提供一种目镜光学系统,其在缩短系统长度的条件下,仍能保有良好的光学成像质量与具有较大的眼视视角。

### 发明内容

[0005] 于是,本发明提出一种增加视场角度及维持足够之光学性能的四片式目镜光学系统。在本发明的一实施例中,本发明四片式目镜光学系统从一目侧至一显示侧,在一光轴上依序安排有第一透镜、第二透镜、第三透镜以及第四透镜。第一透镜、第二透镜、第三透镜以及第四透镜都分别具有朝向一目侧的目侧面以及朝向一显示侧的一显示侧面。且本发明四片式目镜光学系统仅有上述第一透镜、第二透镜、第三透镜以及第四透镜共四片透镜具有屈光率。

[0006] 在本发明目镜光学系统中,第1透镜显示侧面于圆周附近区域具有凸面部,第三透镜目侧面于圆周附近区域具有一凸面部。此外,在本发明的其他实施例中,第三透镜具有正屈光率。

[0007] 在本发明目镜光学系统中,第一透镜的阿贝数(Abbe number)定义为 $v_1$ ,第四透镜的阿贝数定义为 $v_4$ ,且该目镜光学系统符合条件式: $20.00 \leq |v_1 - v_4|$ 。

[0008] 在本发明目镜光学系统中,该观察者的该瞳孔至该显示画面沿着该光轴的距离定义为SL,该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为ER,且该目镜光学系统满足以下关系式: $SL/ER \leq 5.20$ 。

[0009] 在本发明目镜光学系统中,该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为TTL,该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为ER,且该目镜光学系统满足以下关系式: $TTL/ER \leq 4.60$ 。

[0010] 在本发明目镜光学系统中,该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光

轴的距离定义为ER,该第四透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T4,且该目镜光学系统满足以下关系式: $ER/T4 \leq 6.50$ 。

[0011] 在本发明目镜光学系统中,该第四透镜与该显示画面之间沿着该光轴的一距离定义为G4D,该第二透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T2,且该目镜光学系统满足以下关系式: $G4D/T2 \leq 5.60$ 。

[0012] 在本发明目镜光学系统中,上述该第一透镜至该第四透镜之所有中心厚度总和定义为ALT,该第一透镜与该第二透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G12,该第三透镜与该第四透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G34,且该目镜光学系统满足以下关系式: $ALT/(G12+G34) \leq 2.60$ 。

[0013] 在本发明目镜光学系统中,该目镜光学系统的有效焦距定义为EFL,该第一透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T1,且该目镜光学系统满足以下关系式: $EFL/T1 \leq 5.70$ 。

[0014] 在本发明目镜光学系统中,该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为TTL,该第一透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T1,且该目镜光学系统满足以下关系式: $TTL/T1 \leq 6.90$ 。

[0015] 在本发明目镜光学系统中,该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为TTL,该第二透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T2,且该目镜光学系统满足以下关系式: $TTL/T2 \leq 13.80$ 。

[0016] 在本发明目镜光学系统中,该第四透镜与该显示画面之间沿着该光轴的一距离定义为G4D,该第四透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T4,且该目镜光学系统满足以下关系式: $G4D/T4 \leq 7.50$ 。

[0017] 在本发明目镜光学系统中,该观察者的该瞳孔至该显示画面沿着该光轴的距离定义为SL,该第二透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T2,且该目镜光学系统满足以下关系式: $SL/T2 \leq 21.60$ 。

[0018] 在本发明目镜光学系统中,该观察者的该瞳孔至该第一透镜的一目侧面沿着该光轴的距离定义为ER,该第一透镜与该第二透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G12,该第三透镜与该第四透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G34,且该目镜光学系统满足以下关系式: $ER/(G12+G34) \leq 2.80$ 。

[0019] 在本发明目镜光学系统中,该观察者的该瞳孔至该显示画面沿着该光轴的距离定义为SL,该第一透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T1,且该目镜光学系统满足以下关系式: $SL/T1 \leq 7.90$ 。

[0020] 在本发明目镜光学系统中,该第一透镜的一目侧面至该显示画面沿着该光轴的距离定义为TTL,该第三透镜沿着该光轴的中心厚度定义为T3,且该目镜光学系统满足以下关系式: $TTL/T3 \leq 7.90$ 。

[0021] 在本发明目镜光学系统中,上述该第一透镜至该第四透镜之所有中心厚度总和定义为ALT,该第三透镜与该第四透镜之间沿着该光轴的一空气间隙长度定义为G34,且该目镜光学系统满足以下关系式: $ALT/G34 \leq 8.10$ 。

## 附图说明

[0022] 图1是一显示画面经由一目镜光学系统,于一瞳孔上成像的示意图。

- [0023] 图2是本发明目镜光学系统之一实施例之透镜剖面结构示意图；
- [0024] 图3是透镜面形与光线焦点的关系示意图；
- [0025] 图4是范例一的透镜面形与有效半径的关系图；
- [0026] 图5是范例二的透镜面形与有效半径的关系图；
- [0027] 图6是范例三的透镜面形与有效半径的关系图；
- [0028] 图7是本发明四片式目镜光学系统的第一实施例之示意图。
- [0029] 图8的A部分是第一实施例的纵向球差。
- [0030] 图8的B部分是第一实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0031] 图8的C部分是第一实施例在子午方向的像散像差。
- [0032] 图8的D部分是第一实施例的畸变像差。
- [0033] 图9是本发明四片式目镜光学系统的第二实施例之示意图。
- [0034] 图10的A部分是第二实施例的纵向球差。
- [0035] 图10的B部分是第二实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0036] 图10的C部分是第二实施例在子午方向的像散像差。
- [0037] 图10的D部分是第二实施例的畸变像差。
- [0038] 图11是本发明四片式目镜光学系统的第三实施例之示意图。
- [0039] 图12的A部分是第三实施例的纵向球差。
- [0040] 图12的B部分是第三实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0041] 图12的C部分是第三实施例在子午方向的像散像差。
- [0042] 图12的D部分是第三实施例的畸变像差。
- [0043] 图13是本发明四片式目镜光学系统的第四实施例之示意图。
- [0044] 图14的A部分是第四实施例的纵向球差。
- [0045] 图14的B部分是第四实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0046] 图14的C部分是第四实施例在子午方向的像散像差。
- [0047] 图14的D部分是第四实施例的畸变像差。
- [0048] 图15是本发明四片式目镜光学系统的第五实施例之示意图。
- [0049] 图16的A部分是第五实施例的纵向球差。
- [0050] 图16的B部分是第五实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0051] 图16的C部分是第五实施例在子午方向的像散像差。
- [0052] 图16的D部分是第五实施例的畸变像差。
- [0053] 图17是本发明四片式目镜光学系统的第六实施例之示意图。
- [0054] 图18的A部分是第六实施例的纵向球差。
- [0055] 图18的B部分是第六实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0056] 图18的C部分是第六实施例在子午方向的像散像差。
- [0057] 图18的D部分是第六实施例的畸变像差。
- [0058] 图19是本发明四片式目镜光学系统的第七实施例之示意图。
- [0059] 图20的A部分是第七实施例的纵向球差。
- [0060] 图20的B部分是第七实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0061] 图20的C部分是第七实施例在子午方向的像散像差。

- [0062] 图20的D部分是第七实施例的畸变像差。
- [0063] 图21是本发明四片式目镜光学系统的第八实施例之示意图。
- [0064] 图22的A部分是第八实施例的纵向球差。
- [0065] 图22的B部分是第八实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0066] 图22的C部分是第八实施例在子午方向的像散像差。
- [0067] 图22的D部分是第八实施例的畸变像差。
- [0068] 图23是本发明四片式目镜光学系统的第九实施例之示意图。
- [0069] 图24的A部分是第九实施例的纵向球差。
- [0070] 图24的B部分是第九实施例在弧矢方向的像散像差。
- [0071] 图24的C部分是第九实施例在子午方向的像散像差。
- [0072] 图24的D部分是第九实施例的畸变像差。
- [0073] 图25表示第一实施例详细的光学数据。
- [0074] 图26表示第一实施例详细的非球面数据。
- [0075] 图27表示第二实施例详细的光学数据。
- [0076] 图28表示第二实施例详细的非球面数据。
- [0077] 图29表示第三实施例详细的光学数据。
- [0078] 图30表示第三实施例详细的非球面数据。
- [0079] 图31表示第四实施例详细的光学数据。
- [0080] 图32表示第四实施例详细的非球面数据。
- [0081] 图33表示第五实施例详细的光学数据。
- [0082] 图34表示第五实施例详细的非球面数据。
- [0083] 图35表示第六实施例详细的光学数据。
- [0084] 图36表示第六实施例详细的非球面数据。
- [0085] 图37表示第七实施例详细的光学数据。
- [0086] 图38表示第七实施例详细的非球面数据。
- [0087] 图39表示第八实施例详细的光学数据。
- [0088] 图40表示第八实施例详细的非球面数据。
- [0089] 图41表示第九实施例详细的光学数据。
- [0090] 图42表示第九实施例详细的非球面数据。
- [0091] 图43表示各实施例之重要参数。

### 具体实施方式

[0092] 在开始详细描述本发明之前,首先要说明的是,在本发明附图中,类似的元件是以相同的编号来表示。

[0093] 一般而言,目镜光学系统V100的光线方向为一成像光线VI由显示画面V50射出,经由目镜光学系统V100进入眼睛V60,于眼睛V60的视网膜聚焦成像并且于明视距离VD产生一放大虚像VV,如图1所示。在以下说明本案之光学规格的判断准则是假设光线方向逆追迹(reversely tracking)为一平行成像光线由目侧经过目镜光学系统到显示画面聚焦成像。

[0094] 本篇说明书所言之「一透镜具有正屈光率(或负屈光率)」,是指所述透镜以高斯光

学理论计算出来之光轴上的屈光率为正(或为负)。该目侧面、显示侧面定义为成像光线通过的范围,其中成像光线包括了主光线(chief ray)  $L_c$ 及边缘光线(marginal ray)  $L_m$ ,如图2所示,  $I$ 为光轴且此一透镜是以该光轴  $I$ 为对称轴径向地相互对称,光线通过光轴上的区域为光轴附近区域  $A$ ,边缘光线通过的区域为圆周附近区域  $C$ ,此外,该透镜还包含一延伸部  $E$ (即圆周附近区域  $C$ 径向上向外的区域),用以供该透镜组装于一光学成像镜头内,理想的成像光线并不会通过该延伸部  $E$ ,但该延伸部  $E$ 之结构与形状并不限于此,以下之实施例为求附图简洁均省略了部分的延伸部。更详细的说,判定面形或光轴附近区域、圆周附近区域、或多个区域的范围的方法如下:

[0095] 1. 请参照图2,其是一透镜径向上的剖视图。以该剖视图观之,在判断前述区域的范围时,定义一中心点为该透镜表面上与光轴的一交点,而一转换点是位于该透镜表面上的一点,且通过该点的一切线与光轴垂直。如果径向上向外有复数个转换点,则依序为第一转换点,第二转换点,而有效半径上距光轴径向上最远的转换点为第  $N$  转换点。中心点和第一转换点之间的范围为光轴附近区域,第  $N$  转换点径向上向外的区域为圆周附近区域,中间可依各转换点区分不同的区域。此外,有效半径为边缘光线  $L_m$ 与透镜表面交点到光轴  $I$ 上的垂直距离。

[0096] 2. 如图3所示,该区域的形状凹凸是以平行通过该区域的光线(或光线延伸线)与光轴的交点在目侧或显示侧来决定(光线焦点判定方式)。举例言之,当光线通过该区域后,光线会朝显示侧聚焦,与光轴的焦点会位在显示侧,例如图3中  $R$ 点,则该区域为凸面部。反之,若光线通过该某区域后,光线会发散,其延伸线与光轴的焦点在目侧,例如图3中  $M$ 点,则该区域为凹面部,所以中心点到第一转换点间为凸面部,第一转换点径向上向外的区域为凹面部;由图3可知,该转换点即是凸面部转凹面部的分界点,因此可定义该区域与径向上相邻该区域的内侧的区域,以该转换点为分界具有不同的面形。另外,若是光轴附近区域的面形判断可依该领域中通常知识者的判断方式,以  $R$ 值(指近轴的曲率半径,通常指光学软件中的透镜数据库(lens data)上的  $R$ 值)正负判断凹凸。以目侧面来说,当  $R$ 值为正时,判定为凸面部,当  $R$ 值为负时,判定为凹面部;以显示侧面来说,当  $R$ 值为正时,判定为凹面部,当  $R$ 值为负时,判定为凸面部,此方法判定出的凹凸和光线焦点判定方式相同。

[0097] 3. 若该透镜表面上无转换点,该光轴附近区域定义为有效半径的  $0\sim 50\%$ ,圆周附近区域定义为有效半径的  $50\sim 100\%$ 。

[0098] 图4范例一的透镜显示侧表面在有效半径上仅具有第一转换点,则第一区为光轴附近区域,第二区为圆周附近区域。此透镜目侧面的  $R$ 值为正,故判断光轴附近区域具有一凹面部;圆周附近区域的面形和径向上紧邻该区域的内侧区域不同。即,圆周附近区域和光轴附近区域的面形不同;该圆周附近区域具有一凸面部。

[0099] 图5范例二的透镜目侧表面在有效半径上具有第一及第二转换点,则第一区为光轴附近区域,第三区为圆周附近区域。此透镜目侧面的  $R$ 值为正,故判断光轴附近区域为凸面部;第一转换点与第二转换点间的区域(第二区)具有一凹面部,圆周附近区域(第三区)具有一凸面部。

[0100] 图6范例三的透镜目侧表面在有效半径上无转换点,此时以有效半径  $0\% \sim 50\%$ 为光轴附近区域,  $50\% \sim 100\%$ 为圆周附近区域。由于光轴附近区域的  $R$ 值为正,故此目侧面在光轴附近区域具有一凸面部;而圆周附近区域与光轴附近区域间无转换点,故圆周附近区

域具有一凸面部。

[0101] 如图7所示,本发明目镜光学系统1,从观察者眼睛(图未示)的目侧2至成像的显示侧3,沿着光轴(optical axis)4,依序包含第一透镜10、第二透镜20、第三透镜30、第四透镜40及显示面(display screen)71。一般说来,第一透镜10、第二透镜20、第三透镜30、第四透镜40都可以是由透明的塑胶材质所制成,但本发明不以此为限。各镜片都有适当的屈光率。在本发明目镜光学系统1中,具有屈光率的镜片总共只有第一透镜10、第二透镜20、第三透镜30、第四透镜40、等这四片透镜而已。光轴4为整个目镜光学系统1的光轴,所以每个透镜的光轴和目镜光学系统1的光轴都是相同的。

[0102] 此外,一观察者瞳孔80位于适当位置。在图7中,观察者瞳孔80位于目侧2,当光线从位于显示侧3的显示面71发出,将会依序经过第四透镜40、第三透镜30、第二透镜20、第一透镜10后,在观察者瞳孔80聚焦而形成清晰的影像。

[0103] 本发明目镜光学系统1中之各个透镜,都分别具有朝向目侧2的目侧面,与朝向显示侧3的显示侧面。另外,本发明目镜光学系统1中之各个透镜,亦都具有接近光轴4的光轴附近区域、与远离光轴4的圆周附近区域。例如,第一透镜10具有第一目侧面11与第一显示侧面12;第二透镜20具有第二目侧面21与第二显示侧面22;第三透镜30具有第三目侧面31与第三显示侧面32;第四透镜40具有第四目侧面41与第四显示侧面42。各目侧面与显示侧面又有接近光轴4的光轴附近区域以及远离光轴4的圆周附近区域。

[0104] 本发明目镜光学系统1中之各个透镜,还都分别具有位在光轴4上的中心厚度T。例如,第一透镜10具有第一透镜厚度T1、第二透镜20具有第二透镜厚度T2、第三透镜30具有第三透镜厚度T3、第四透镜40具有第四透镜厚度T4。所以,在光轴4上目镜光学系统1中透镜的中心厚度总和称为ALT。亦即, $ALT=T1+T2+T3+T4$ 。

[0105] 另外,本发明目镜光学系统1中在各个透镜之间又具有位在光轴4上的空气间隙(air gap)。例如,第一透镜10到第二透镜20之间空气间隙宽度称为G12、第二透镜20到第三透镜30之间空气间隙宽度称为G23、第三透镜30到第四透镜40之间空气间隙宽度称为G34。所以,第一透镜10到第四透镜40之间位于光轴4上各透镜间之三个空气间隙宽度之总和即称为AAG。亦即, $AAG=G12+G23+G34$ 。

[0106] 另外,定义第一透镜10的目侧面11至显示面71在光轴上的长度为TTL;观察者的瞳孔至显示面71在光轴4上的长度为SL;TL为第一透镜10的目侧面11至第四透镜40的显示侧面42在光轴4上的长度;目镜光学系统的有效焦距为EFL,第四透镜40的显示侧面42至显示面71在光轴4上的长度为G4D;ER为出瞳距离,也就是观察者瞳孔到第一透镜10目侧面11在光轴4上的距离;EPD为目镜光学系统之出瞳直径,也就是观察者瞳孔的直径,一般人可介于3~7毫米(mm);DLD为观察者单一瞳孔对应之显示画面之对角线长;VD为眼睛可以清楚聚焦的最近之距离(一般年轻人约为250毫米); $\omega$ 为目镜光学系统的半眼视视角,即观察者的一半视野角度; $F_{no}$ 为目镜光学系统的光圈值(f-number)。值得注意的是, $F_{no}$ 在本实施例中是基于光可逆性的原理计算的,其中目侧作为一物体侧,显示侧作为一像侧,且观察者的眼睛的瞳孔作为一入射光的光瞳(pupil)。

[0107] 另外,再定义: $f_1$ 为第一透镜10的焦距; $f_2$ 为第二透镜20的焦距; $f_3$ 为第三透镜30的焦距; $f_4$ 为第四透镜40的焦距; $n_1$ 为第一透镜10的折射率; $n_2$ 为第二透镜20的折射率; $n_3$ 为第三透镜30的折射率; $n_4$ 为第四透镜40的折射率; $v_1$ 为第一透镜10的阿贝系数(Abbe

number);  $v_2$ 为第二透镜20的阿贝系数;  $v_3$ 为第三透镜30的阿贝系数; 及 $v_4$ 为第四透镜10的阿贝系数。

[0108] 第一实施例

[0109] 请参阅图7, 例示本发明目镜光学系统1的第一实施例。第一实施例在显示面71上的纵向球差(longitudinal spherical aberration)请参考图8A、弧矢(sagittal)方向的像散像差(astigmatic field aberration)请参考图8B、子午(tangential)方向的像散像差请参考图8C、以及畸变像差(distortion aberration)请参考图8D。所有实施例中各球差图之Y轴代表视场, 其最高点均为1.0, 实施例中各像散图及畸变图之Y轴代表像高, 系统像高为23.624毫米。

[0110] 第一实施例之目镜光学系统1主要由四枚具有屈光率之透镜与显示面71所构成。第一透镜10具有正屈光率。朝向目侧2的第一目侧面11具有位于光轴附近区域的凹面部13以及位于圆周附近区域的凹面部14, 朝向显示侧3的第一显示侧面12具有位于光轴附近区域的凸面部16以及位于圆周附近区域的凸面部17。第一透镜之目侧面11及显示侧面12均为非球面。

[0111] 第二透镜20具有正屈光率, 朝向目侧2的第二目侧面21具有位于光轴附近区域的凸面部23以及位于圆周附近区域的凹面部24, 朝向显示侧3的第二显示侧面22具有位于光轴附近区域的凹面部26以及位于圆周附近区域的凸面部27。第二透镜20之目侧面21及显示侧面22均为非球面。

[0112] 第三透镜30具有正屈光率, 朝向目侧2的第三目侧面31具有位于光轴附近区域的凸面部33以及位于圆周附近区域的凸面部34, 而朝向显示侧3的第三显示侧面32具有位于光轴附近区域的凸面部36以及在圆周附近的凸面部37。第三透镜30之目侧面31及显示侧面32均为非球面。

[0113] 第四透镜40具有负屈光率, 朝向目侧2的第四目侧面41具有位于光轴附近区域的凹面部43以及位于圆周附近区域的凹面部44, 而朝向显示侧3的第四显示侧面42具有位于光轴附近区域的凹面部46以及在圆周附近的凹面部47。第四透镜40之目侧面41及显示侧面42均为非球面。

[0114] 在本发明目镜光学系统1中, 从第一透镜10到第四透镜40中, 所有目侧面11/21/31/41与显示侧面12/22/32/42共计八个曲面均为非球面, 这些非球面是经由下列公式所定义:

$$[0115] \quad Z(Y) = \frac{Y^2}{R} \left/ \left( 1 + \sqrt{1 - (1+K) \frac{Y^2}{R^2}} \right) + \sum_{i=1}^n a_i \times Y^i \right.$$

[0116] 其中:

[0117] R表示透镜表面之曲率半径;

[0118] Z表示非球面之深度(非球面上距离光轴为Y的点, 其与相切于非球面光轴上顶点之切面, 两者间的垂直距离);

[0119] Y表示非球面曲面上的点与光轴的垂直距离;

[0120] K为圆锥系数(conic constant);

[0121]  $a_i$ 为第i阶非球面系数。

[0122] 第一实施例目镜光学系统的光学数据如图25所示, 非球面数据如图26所示。在以

下实施例之目镜光学系统中,整体目镜光学系统的光圈值(f-number)为 $F_{no}$ 、有效焦距为(EFL)、半视角( $\omega$ )为整体目镜光学系统中最大视角(Field of View)的一半,又曲率半径、厚度及焦距的单位均为毫米(mm)。而EFL为33.992毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为42.653毫米, $F_{no}$ 为8.50,系统像高为23.624毫米。

#### [0123] 第二实施例

[0124] 请参阅图9,例示本发明目镜光学系统1的第二实施例。请注意,从第二实施例开始,为简化并清楚表达附图,仅在图上特别标示各透镜与第一实施例不同之面型,而其余与第一实施例的透镜相同的面型,例如凹面部或是凸面部则不另外标示。第二实施例在显示面71上的纵向球差请参考图10A、弧矢方向的像散像差请参考图10B、子午方向的像散像差请参考图10C、畸变像差请参考图10D。第二实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第一透镜10的第一目侧面11具有位于圆周附近区域的凸面部14B,第三透镜30的第三显示侧面32具有位于光轴附近区域的凹面部36B。

[0125] 第二实施例详细的光学数据如图27所示,非球面数据如图28所示。EFL为34.518毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为41.131毫米, $F_{no}$ 为8.642,系统像高为23.624毫米。特别是:第二实施例的镜头长度TTL比第一实施例短。

#### [0126] 第三实施例

[0127] 请参阅图11,例示本发明目镜光学系统1的第三实施例。第三实施例在显示面71上的纵向球差请参考图12A、弧矢方向的像散像差请参考图12B、子午方向的像散像差请参考图12C、畸变像差请参考图12D。第三实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第三透镜30的第三显示侧面32具有位于光轴附近区域的凹面部36C,第三透镜30的第三显示侧面32具有位于圆周附近区域的凹面部37C。

[0128] 第三实施例详细的光学数据如图29所示,非球面数据如图30所示,EFL为29.945毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为36.326毫米, $F_{no}$ 为7.531,系统像高为23.624毫米。特别是:1.第二实施例的镜头长度TTL比第一实施例短,2.第三实施例的 $F_{no}$ 比第一实施例小。

#### [0129] 第四实施例

[0130] 请参阅图13,例示本发明目镜光学系统1的第四实施例。第四实施例在显示面71上的纵向球差请参考图14A、弧矢方向的像散像差请参考图14B、子午方向的像散像差请参考图14C、畸变像差请参考图14D。第四实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第四透镜40的第四目侧面42具有位于圆周附近区域的凸面部47D。

[0131] 第四实施例详细的光学数据如图31所示,非球面数据如图32所示,EFL为36.006毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为50.400毫米, $F_{no}$ 为8.936,系统像高为23.624毫米。特别是:第四实施例相较第一实施例在制程上更易于制造,因此良率较高。

#### [0132] 第五实施例

[0133] 请参阅图15,例示本发明目镜光学系统1的第五实施例。第五实施例在显示面71上的纵向球差请参考图16A、弧矢方向的像散像差请参考图16B、子午方向的像散像差请参考图16C、畸变像差请参考图16D。第五实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈

光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第一透镜10的第一目侧面11具有位于光轴附近区域的凸面部13E,第四透镜40的第四显示侧面42具有位于圆周附近区域的凸面部47E。

[0134] 第五实施例详细的光学数据如图33所示,非球面数据如图34所示,EFL为36.006毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为50.399毫米,Fno为8.936,系统像高为23.624毫米。特别是:1.第五实施例的成像质量比第一实施例好。

[0135] 第六实施例

[0136] 请参阅图17,例示本发明目镜光学系统1的第六实施例。第六实施例在显示面71上的纵向球差请参考图18A、弧矢方向的像散像差请参考图18B、子午方向的像散像差请参考图18C、畸变像差请参考图18D。第六实施例之设计与第一实施例类似,不同之处在于,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第三透镜30的第三显示侧面32具有位于光轴附近区域的凹面部36F,第四透镜40的第四显示侧面42具有位于光轴附近区域的凸面部46F,第四透镜40的第四显示侧面42具有位于圆周附近区域的凸面部47F。

[0137] 第六实施例详细的光学数据如图34所示,非球面数据如图35所示,EFL为35.032毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为41.223毫米,Fno为8.761,系统像高为23.624毫米。特别是:1.第六实施例的镜头长度TTL比第一实施例短。

[0138] 第七实施例

[0139] 请参阅图19,例示本发明目镜光学系统1的第七实施例。第七实施例在显示面71上的纵向球差请参考图20A、弧矢方向的像散像差请参考图20B、子午方向的像散像差请参考图20C、畸变像差请参考图20D。第七实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第一透镜10的第一目侧面11具有位于圆周附近区域的凸面部14G,第三透镜30的第三显示侧面32具有位于圆周附近区域的凹面部37G,第四透镜40的第四显示侧面42具有位于圆周附近区域的凸面部47G。

[0140] 第七实施例详细的光学数据如图37所示,非球面数据如图38所示,EFL为33.880毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为41.988毫米,Fno为8.436,系统像高为23.624毫米。特别是:1.第七实施例的镜头长度TTL比第一实施例短,2.第七实施例的Fno比第一实施例小。

[0141] 第八实施例

[0142] 请参阅图21,例示本发明目镜光学系统1的第八实施例。第八实施例在显示面71上的纵向球差请参考图22A、弧矢方向的像散像差请参考图22B、子午方向的像散像差请参考图22C、畸变像差请参考图22D。第八实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第一透镜10的第一目侧面11具有位于圆周附近区域的凸面部14H,第三透镜30的第三显示侧面32具有位于光轴附近区域的凹面部36H,第三透镜30的第三显示侧面32具有位于圆周附近区域的凹面部37H,第四透镜40的第四显示侧面42具有位于圆周附近区域的凸面部47H。

[0143] 第八实施例详细的光学数据如图38所示,非球面数据如图39所示,EFL为36.035毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为37.672毫米,Fno为9.179,系统像高为23.624毫米。1.第八实施例的镜头长度TTL比第一实施例短。

[0144] 第九实施例

[0145] 请参阅图23,例示本发明目镜光学系统1的第九实施例。第九实施例在显示面71上的纵向球差请参考图24A、弧矢方向的像散像差请参考图24B、子午方向的像散像差请参考图24C、畸变像差请参考图24D。第九实施例之设计与第一实施例类似,仅曲率半径、透镜屈光率、透镜曲率半径、透镜厚度、透镜非球面系数或是后焦距等相关参数有别,以及第一透镜10的第一目侧面11具有位于光轴附近区域的凸面部13I,第一透镜10的第一目侧面11具有位于圆周附近区域的凸面部14I。

[0146] 第九实施例详细的光学数据如图41所示,非球面数据如图42所示,EFL为33.882毫米, $\omega$ 为45.00度,TTL为42.668毫米,Fno为8.486,系统像高为23.624毫米。1.第九实施例的Fno比第一实施例小。

[0147] 另外,各实施例之重要参数则整理于图43中。

[0148] 申请人发现,本案的透镜配置,具有以下特征,以及可以达成的对应功效:

[0149] 1.本发明显致地设计透镜的光轴附近区域及圆周附近区域,其中该第一透镜显示侧面具有一圆周附近区域的凸面部可有利于光线收聚。

[0150] 2.搭配该第三透镜目侧面具有一在圆周附近区域的凸面部可修正像差,以上设计彼此互相搭配可缩短目镜光学系统长度并同时确保成像质量。

[0151] 此外,通过以下各参数之数值控制,可协助设计者设计出具备良好光学性能且技术上可行之目镜光学系统。不同参数之比例有较佳之范围,例如:

[0152] 1.本发明光学成像镜头满足下列任一条件式时,表示当分母不变时,分子的长度能相对缩短,而能达到缩减镜头体积的功效:

[0153] 若能进一步符合下列任一条件式时,还能够产生较为优良的成像质量:

[0154]  $0 \leq SL/ER \leq 5.20$ ;

[0155]  $3.00 \leq TTL/ER \leq 4.60$ ;

[0156]  $0.80 \leq ER/T4 \leq 6.50$ ;

[0157]  $1.00 \leq G4D/T2 \leq 5.60$ ;

[0158]  $1.50 \leq ALT/(G12+G34) \leq 2.60$ ;

[0159]  $3.10 \leq EFL/T1 \leq 5.70$ ;

[0160]  $4.40 \leq TTL/T1 \leq 6.9$ ;

[0161]  $4.50 \leq TTL/T2 \leq 13.80$ ;

[0162]  $0.30 \leq G4D/T4 \leq 7.50$ ;

[0163]  $5.80 \leq SL/T2 \leq 21.60$ ;

[0164]  $0.90 \leq ER/(G12+G34) \leq 2.80$ ;

[0165]  $5.40 \leq SL/T1 \leq 7.90$ ;

[0166]  $4.40 \leq TTL/T3 \leq 7.90$ ;

[0167]  $2.40 \leq ALT/G34 \leq 8.10$ 。

[0168] 2.藉由各镜片间材质差异的关系,易于控制成像变形量,有助于提高成像质量,使目镜光学系统能达到较佳的配置:

[0169]  $20.00 \leq |v1-v4|$ ,较佳的范围为  $20.00 \leq |v1-v4| \leq 64.10$ 。

[0170] 3.为了达成缩短目镜光学系统长度,本发明适当的缩短透镜厚度和透镜间的空气

间隙,但考量到透镜组装过程的难易度以及必须兼顾成像质量的前提下,透镜厚度及透镜间的空气间隙彼此需互相调配,故在满足以下条件式的数值限定之下,目镜光学系统能达到较佳的配置。

[0171]  $ER/T4 \leq 6.50$ ,较佳的范围为 $0.80 \leq ER/T4 \leq 6.50$ ;

[0172]  $G4D/T2 \leq 5.60$ ,较佳的范围为 $1.00 \leq G4D/T2 \leq 5.60$ ;

[0173]  $ALT/(G1+G3) \leq 2.60$ ,较佳的范围为 $1.50 \leq ALT/(G1+G3) \leq 2.60$ ;

[0174]  $G4D/T4 \leq 7.50$ ,较佳的范围为 $0.30 \leq G4D/T4 \leq 7.50$ ;

[0175]  $ER/(G1+G3) \leq 2.80$ ,较佳的范围为 $0.90 \leq ER/(G1+G3) \leq 2.80$ ;

[0176]  $ALT/G3 \leq 8.10$ ,较佳的范围为 $2.40 \leq ALT/G3 \leq 8.10$ 。

[0177] 4. 缩短EFL有助于视场角的扩大,所以将EFL趋小设计,若满足以下条件式,在目镜光学系统厚度薄化的过程中,也有可帮助扩大视场角度。

[0178]  $EFL/T1 \leq 5.70$ ,较佳的范围为 $3.10 \leq EFL/T1 \leq 5.70$ ;

[0179] 5. 当满足下列条件式时,光学元件参数与镜头长度比值维持一适当值,避免参数过小不利于生产制造,或是避免参数过大而使得镜头长度过长。

[0180]  $SL/ER \leq 5.20$ ,较佳的范围为 $0.00 \leq SL/ER \leq 5.20$ ;

[0181]  $TTL/ER \leq 4.60$ ,较佳的范围为 $3.00 \leq TTL/ER \leq 4.60$ ;

[0182]  $TTL/T1 \leq 6.90$ ,较佳的范围为 $4.40 \leq TTL/T1 \leq 6.90$ ;

[0183]  $TTL/T2 \leq 13.80$ ,较佳的范围为 $4.50 \leq TTL/T2 \leq 13.80$ ;

[0184]  $SL/T2 \leq 21.60$ ,较佳的范围为 $5.80 \leq SL/T2 \leq 21.60$ ;

[0185]  $SL/T1 \leq 7.90$ ,较佳的范围为 $5.40 \leq SL/T1 \leq 7.90$ ;

[0186]  $TTL/T3 \leq 7.90$ ,较佳的范围为 $4.40 \leq TTL/T3 \leq 7.90$ 。

[0187] 此外另可选择实施例参数之任意组合关系增加镜头限制,以利于本发明相同架构的镜头设计。有鉴于光学系统设计的不可预测性,在本发明的架构之下,符合上述条件式能较佳地使本发明望远镜头深度缩短、可用光圈增大、成像质量提升,或组装良率提升而改善先前技术的缺点。

[0188] 前述所列之示例性限定关系式,亦可任意选择性地合并不等数量施用于本发明之实施态样中,并不限于此。在实施本发明时,除了前述关系式之外,亦可针对单一透镜或广泛性地针对多个透镜额外设计出其他更多的透镜的凹凸曲面排列等细部结构,以加强对系统性能及/或分辨率的控制,举例来说,第一透镜的目侧面上可选择性地额外形成有一位于光轴附近区域的凸面部。须注意的是,此些细节需在无冲突之情况之下,选择性地合并施用于本发明之其他实施例当中。

[0189] 本发明各实施例的纵向球差、像散像差、畸变皆符合使用规范。另外,红、绿、蓝三种代表波长在不同高度的离轴光线皆集中在成像点附近,由每一曲线的偏斜幅度可看出不同高度的离轴光线的成像点偏差皆获得控制而具有良好的球差、像差、畸变抑制能力。进一步参阅成像质量数据,红、绿、蓝三种代表波长彼此间的距离亦相当接近,显示本发明在各种状态下对不同波长光线的集中性佳而具有优良的色散抑制能力。综上所述,本发明藉由所述透镜的设计与相互搭配,而能产生优异的成像质量。

[0190] 尽管结合优选实施方案具体展示和介绍了本发明,但所属领域的技术人员应该明白,在不脱离所附权利要求书所限定的本发明的精神和范围内,在形式上和细节上可以对

本发明做出各种变化,均为本发明的保护范围。

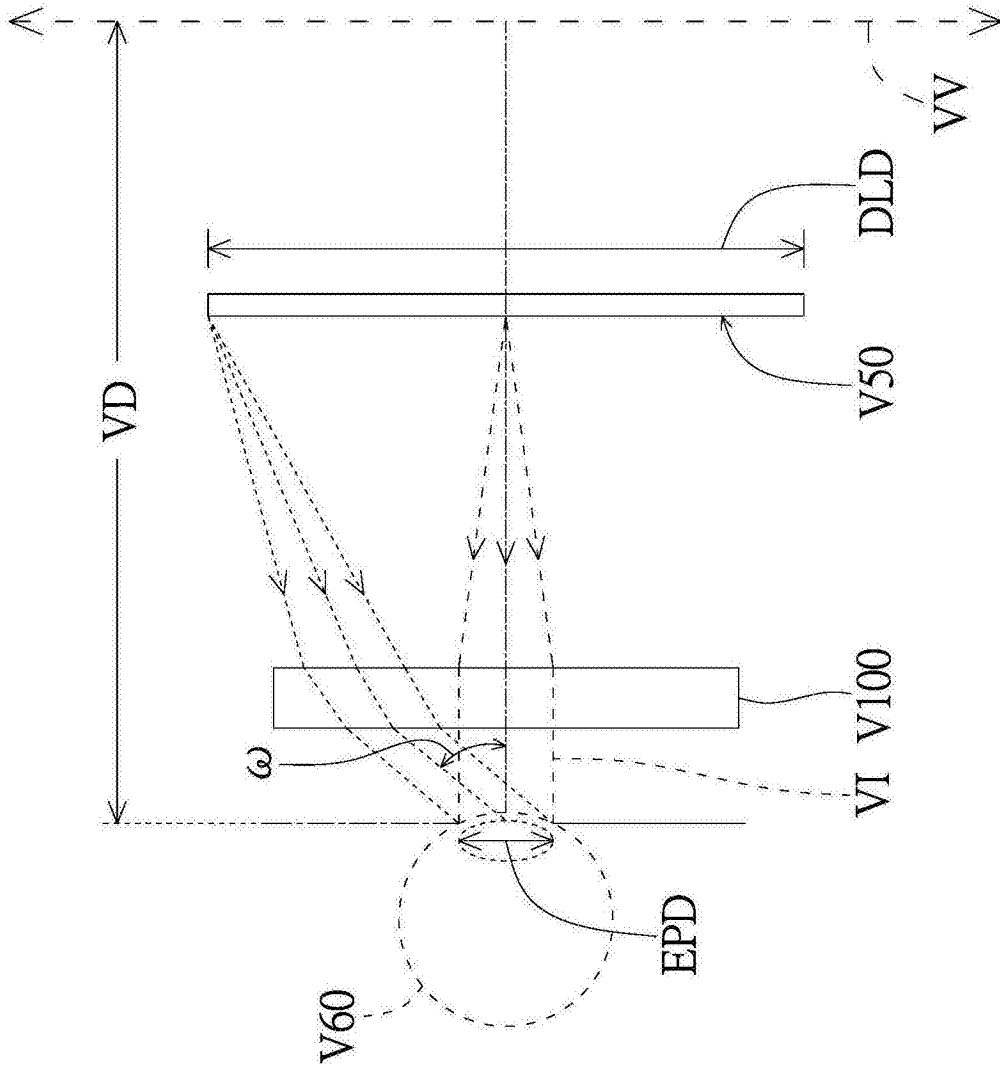


图1

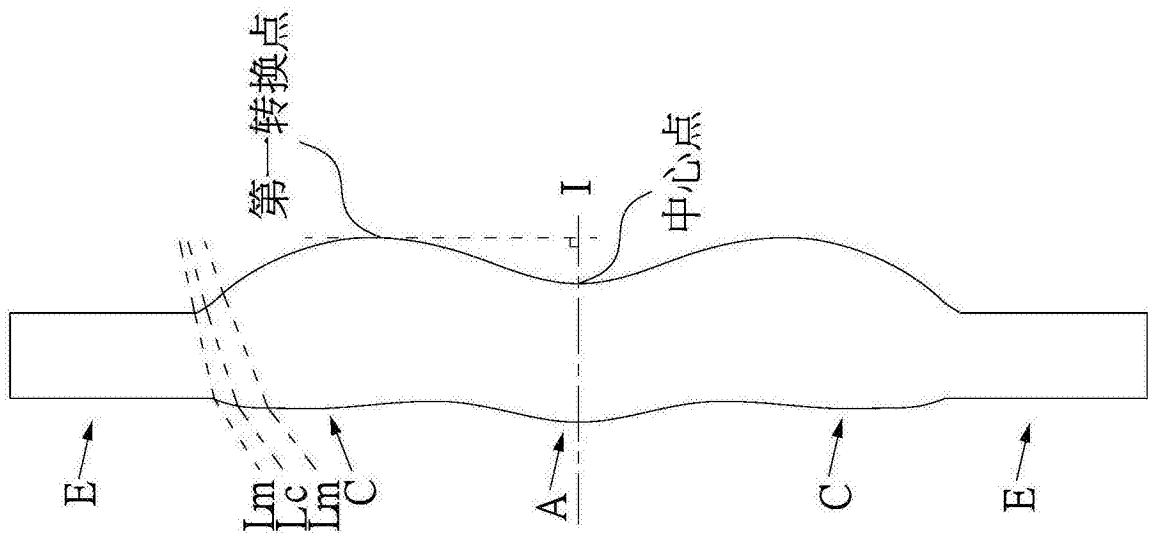


图2

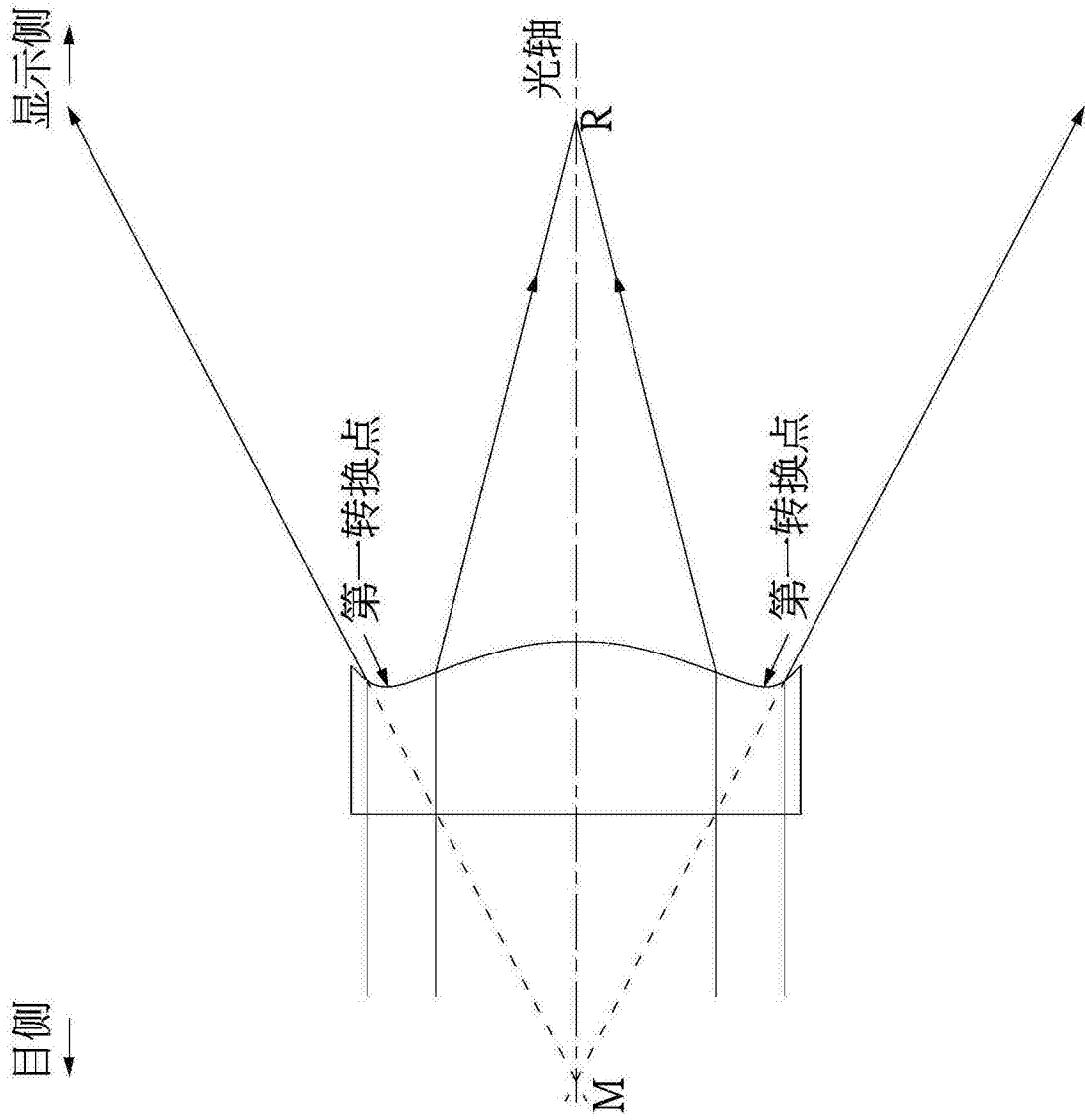


图3

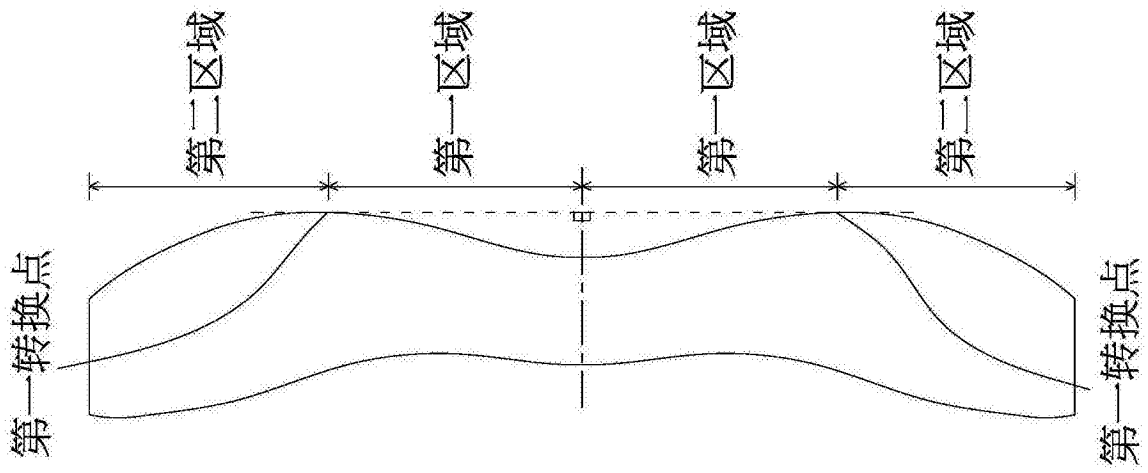


图4

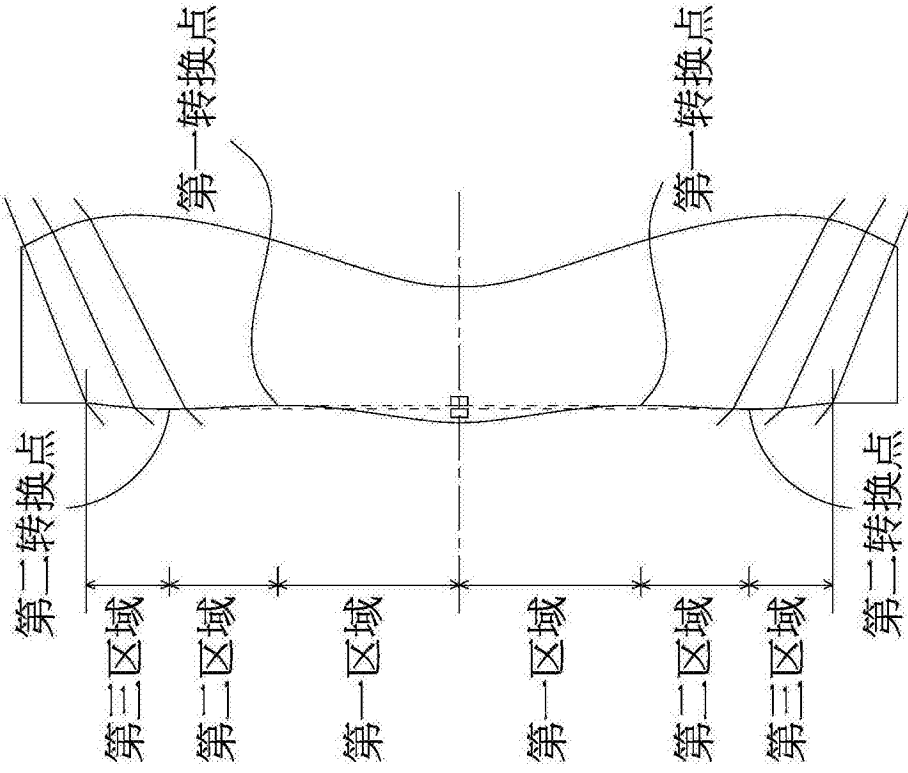


图5

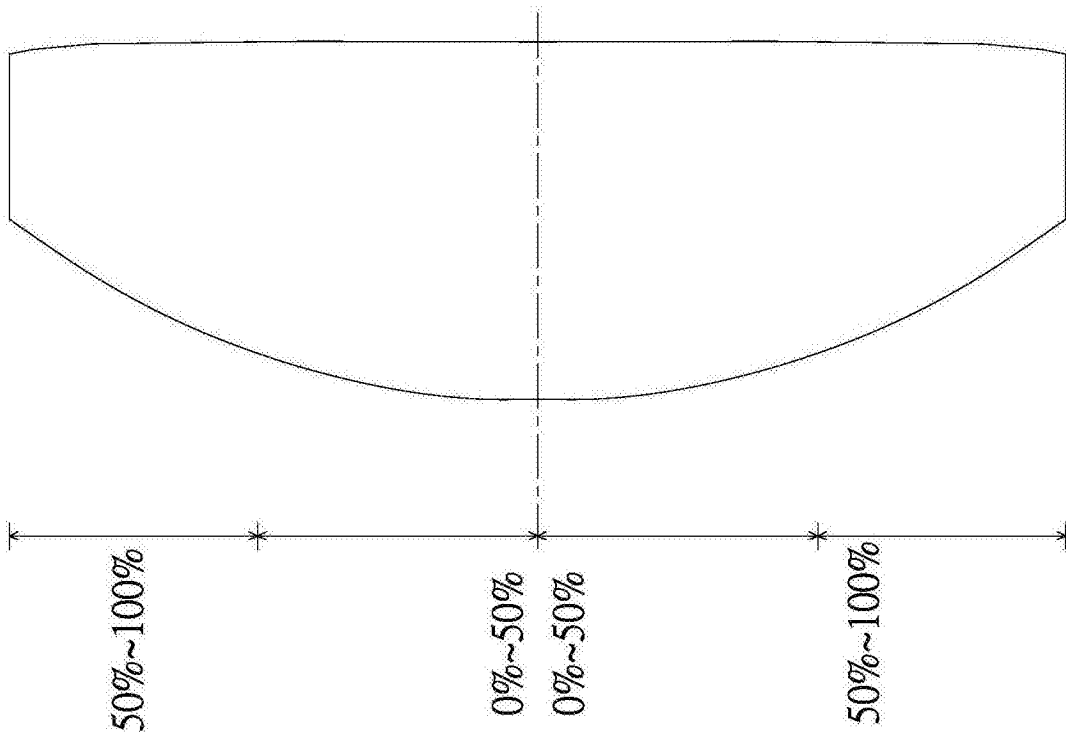


图6

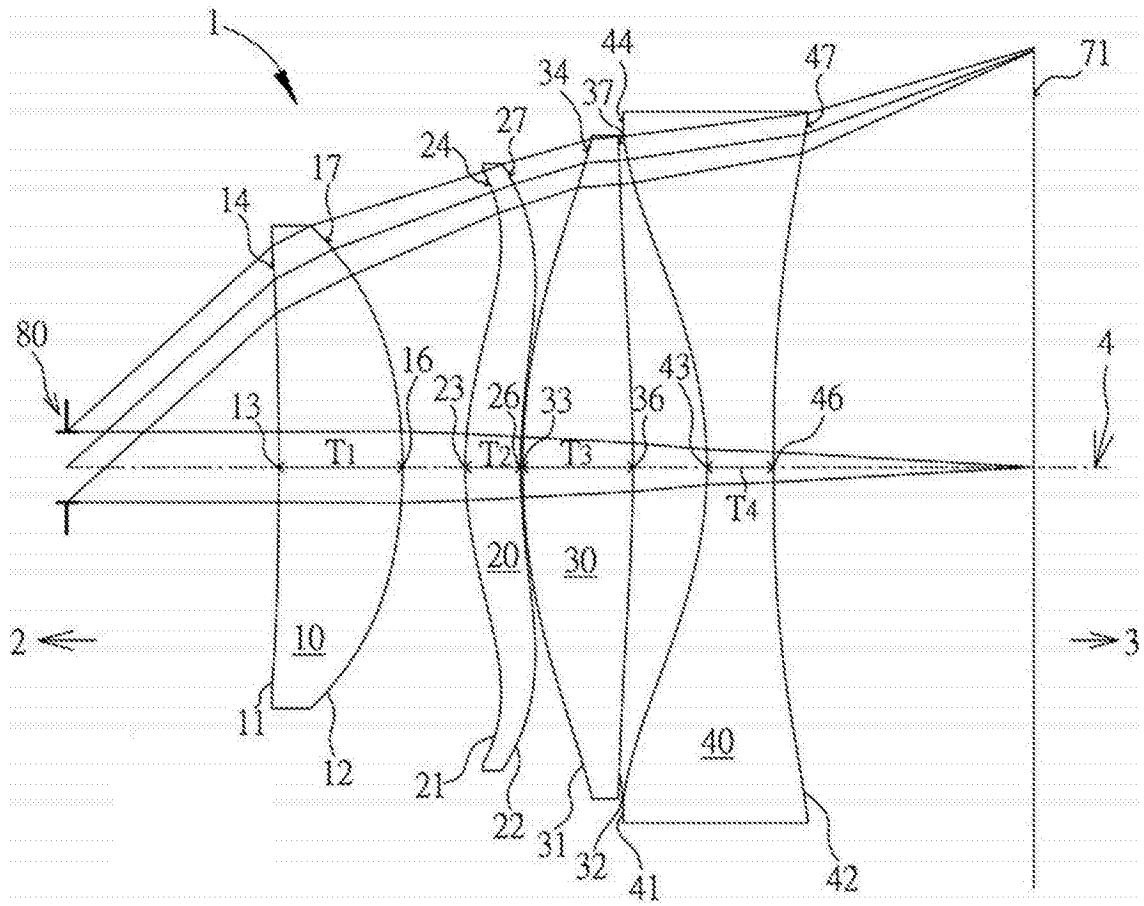


图7

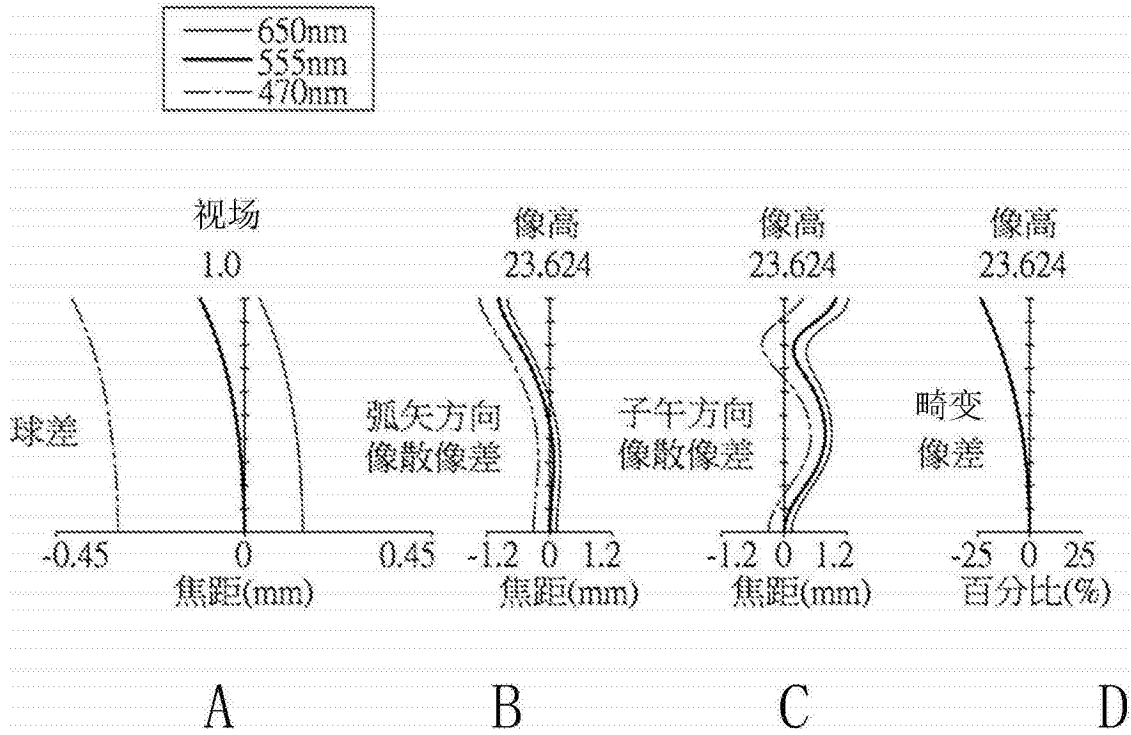


图8

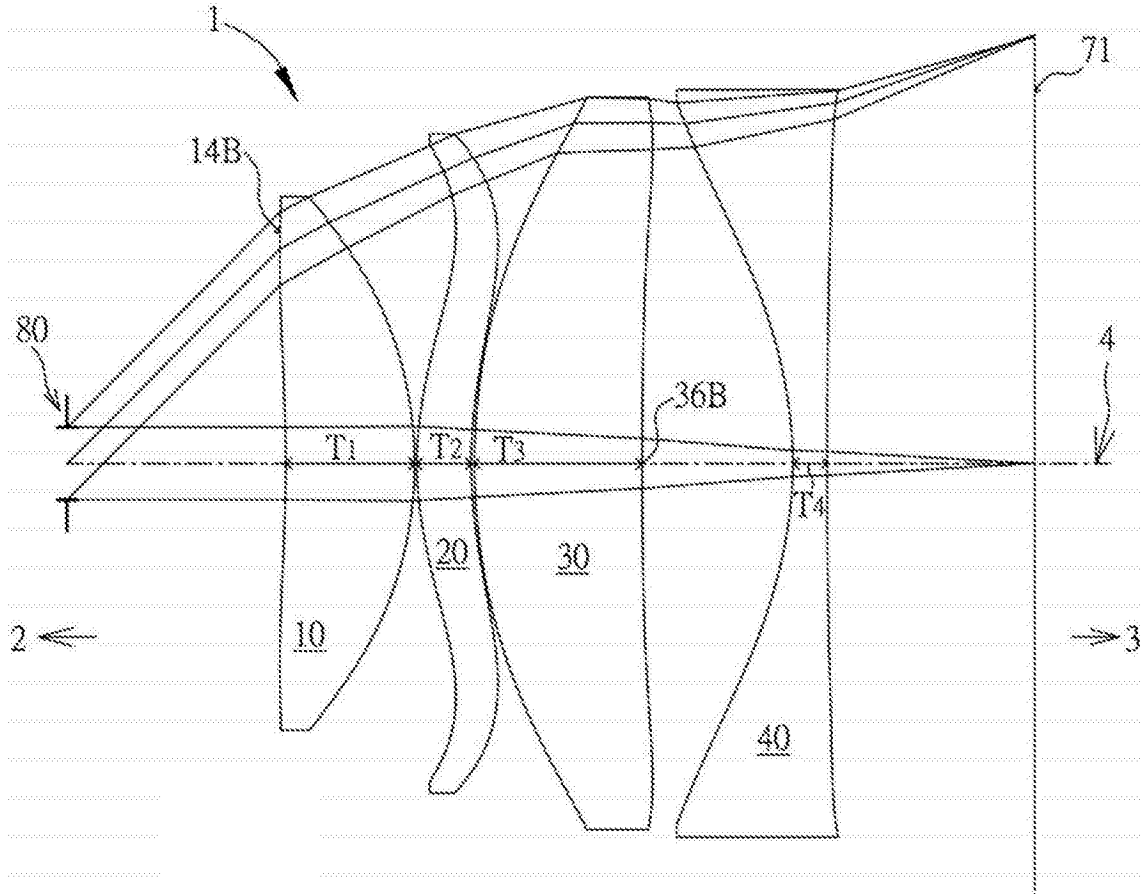


图9

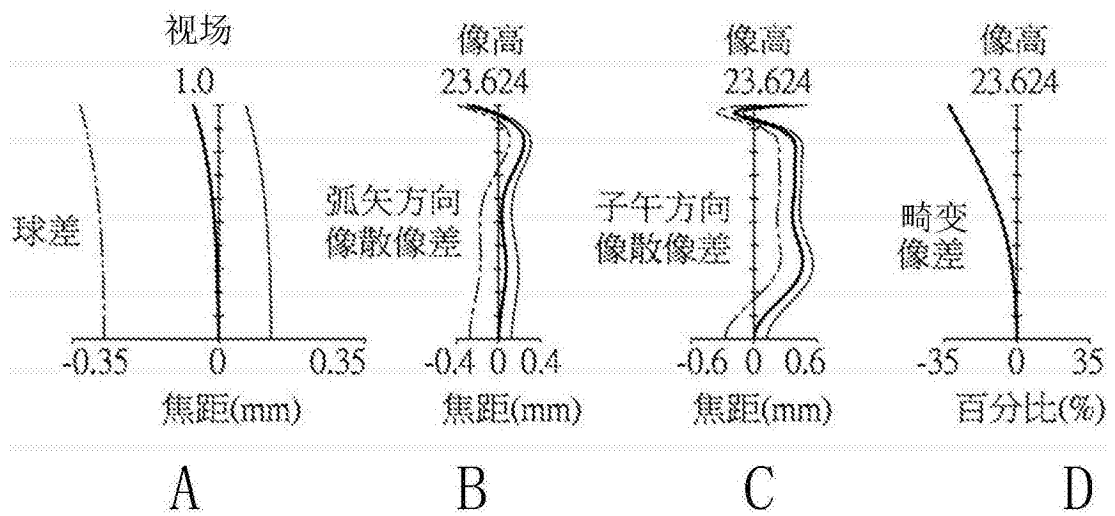
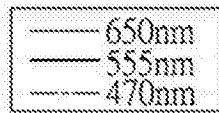


图10

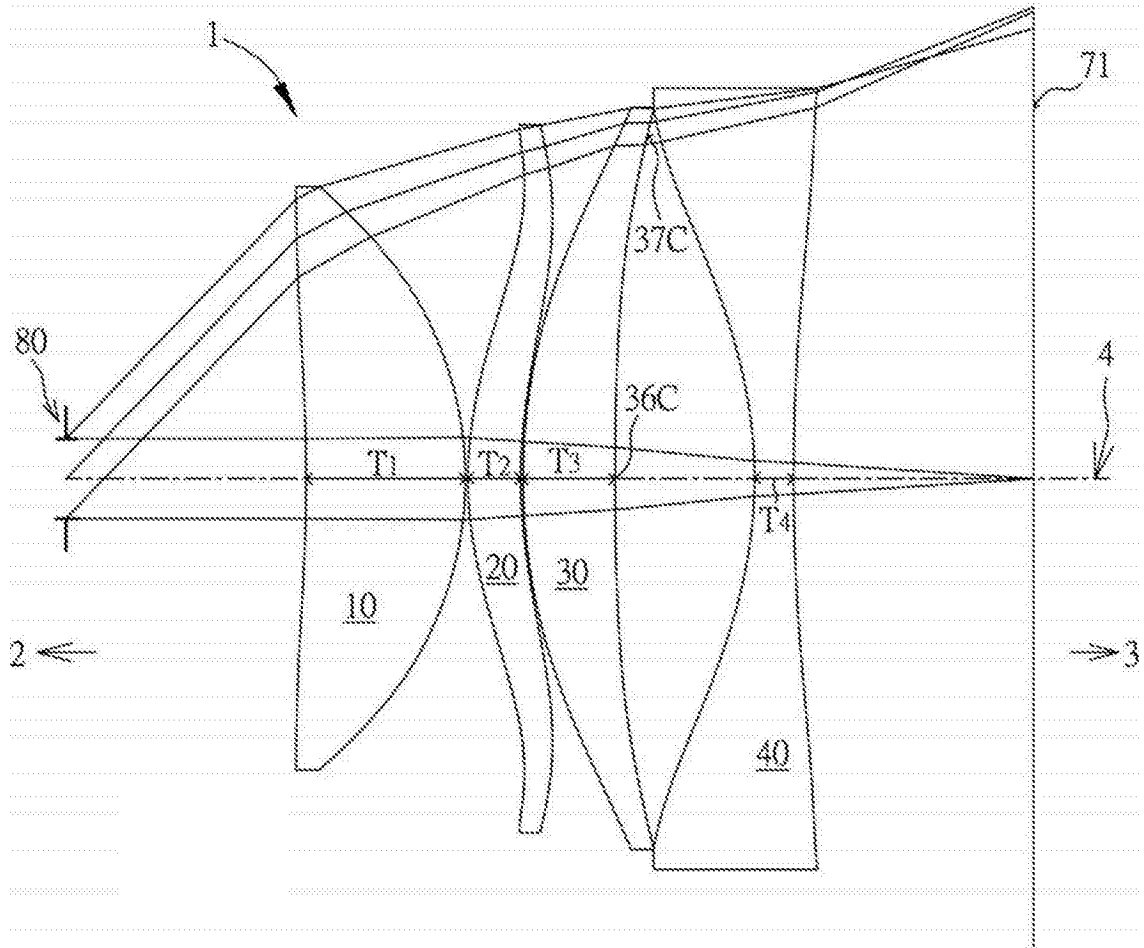


图11

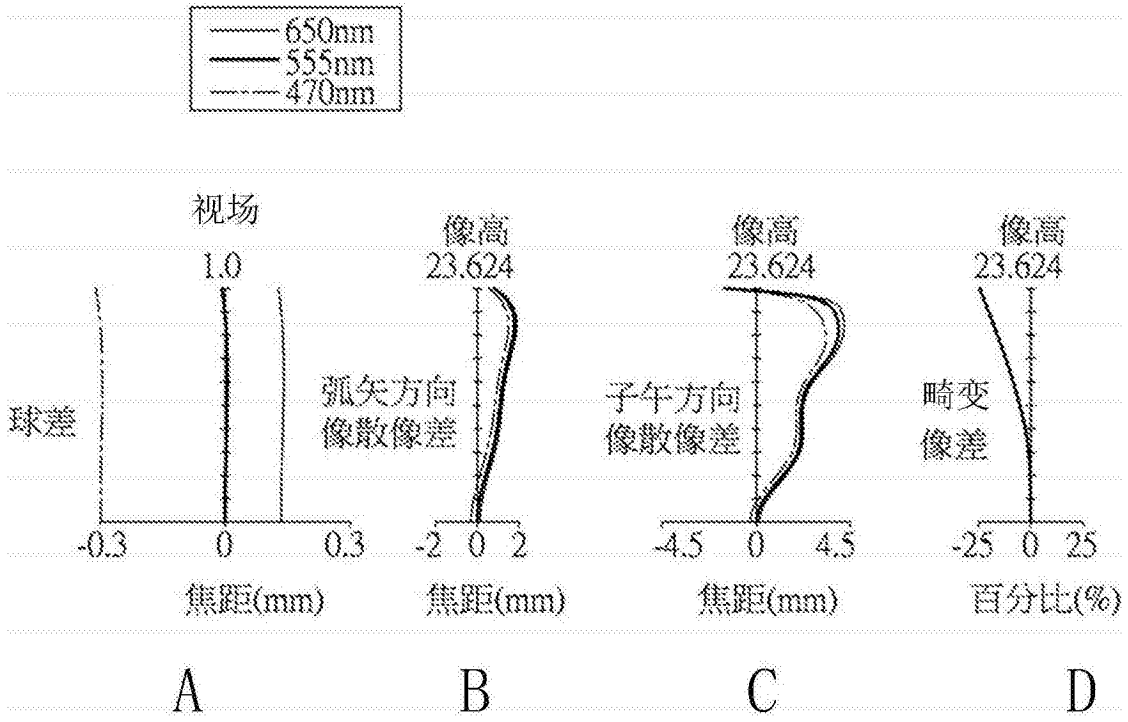


图12

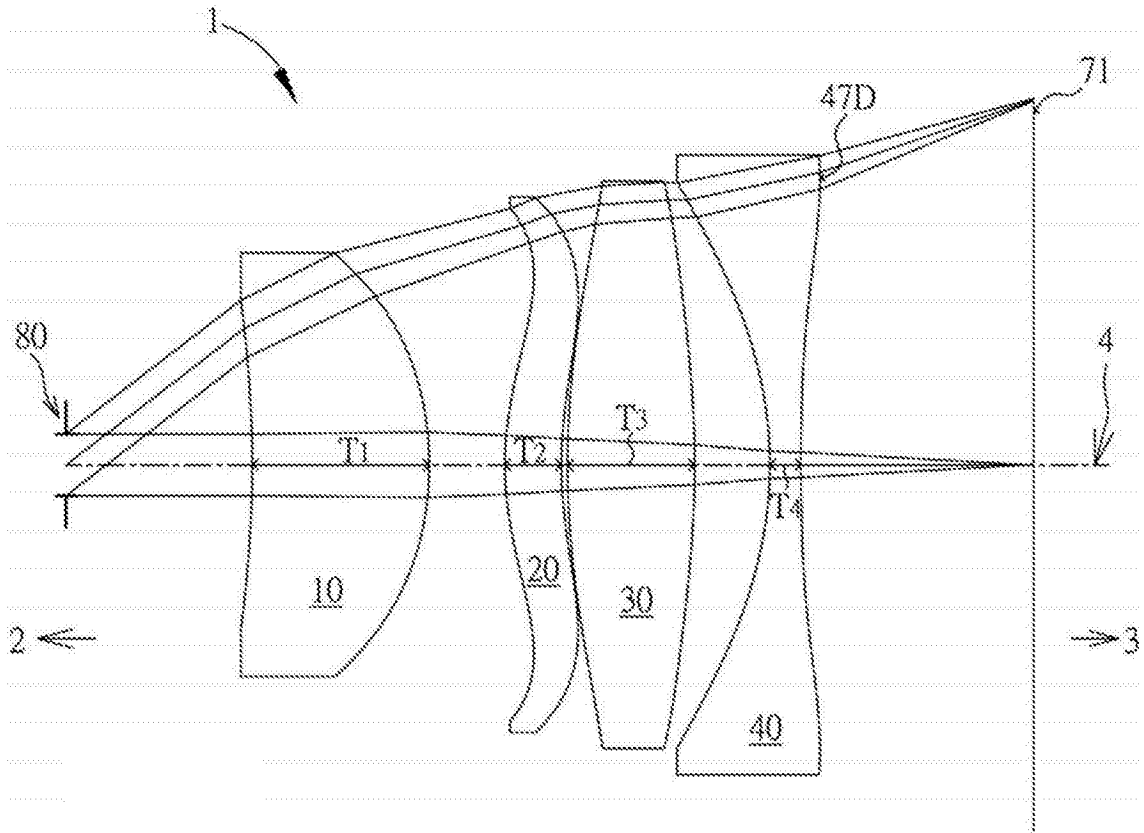


图13

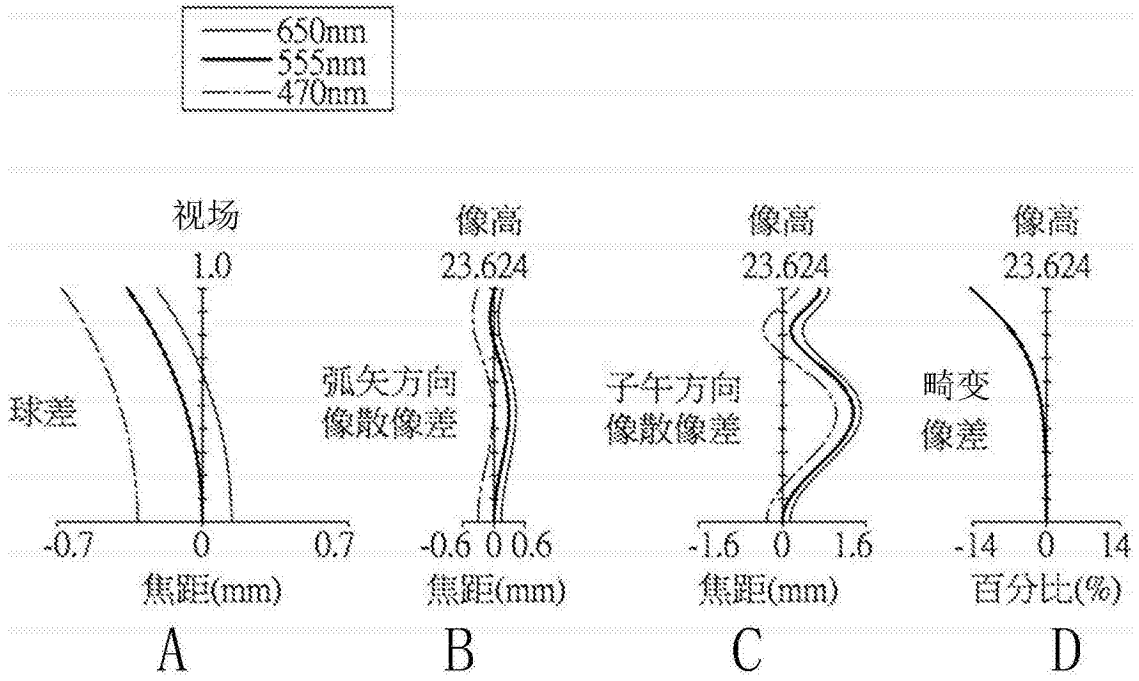


图14

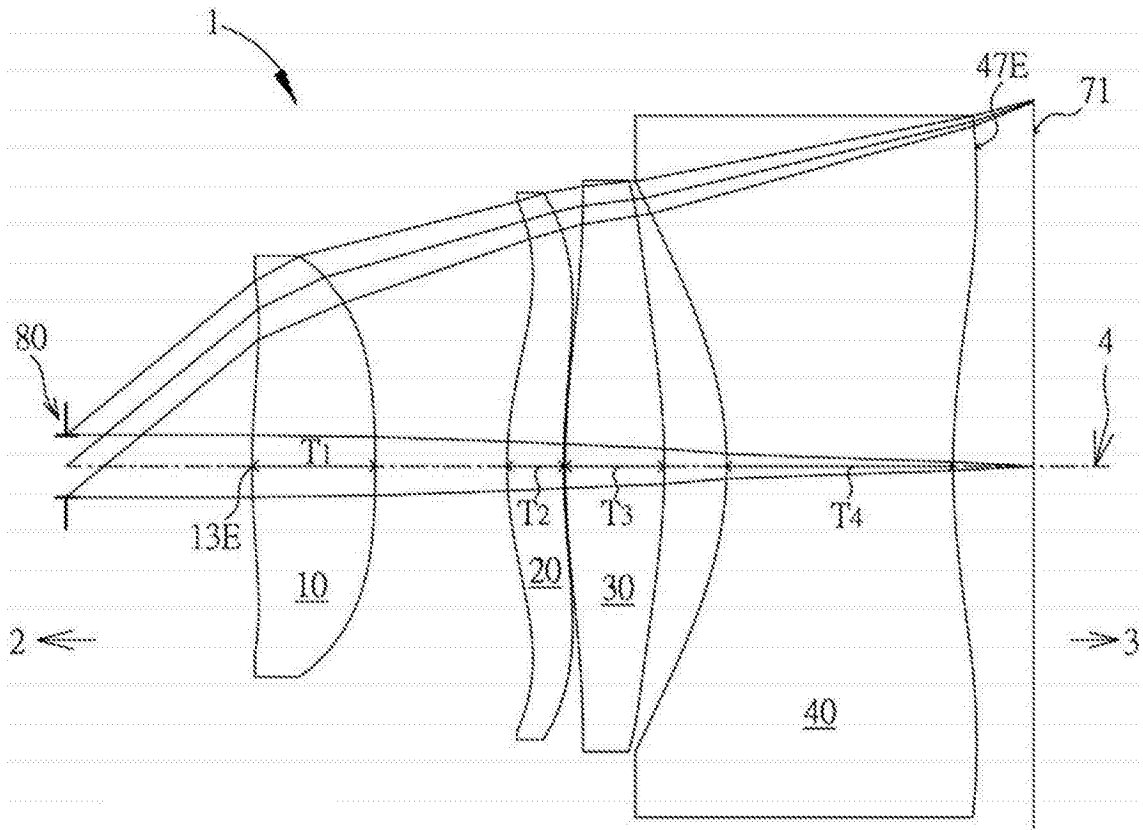


图15

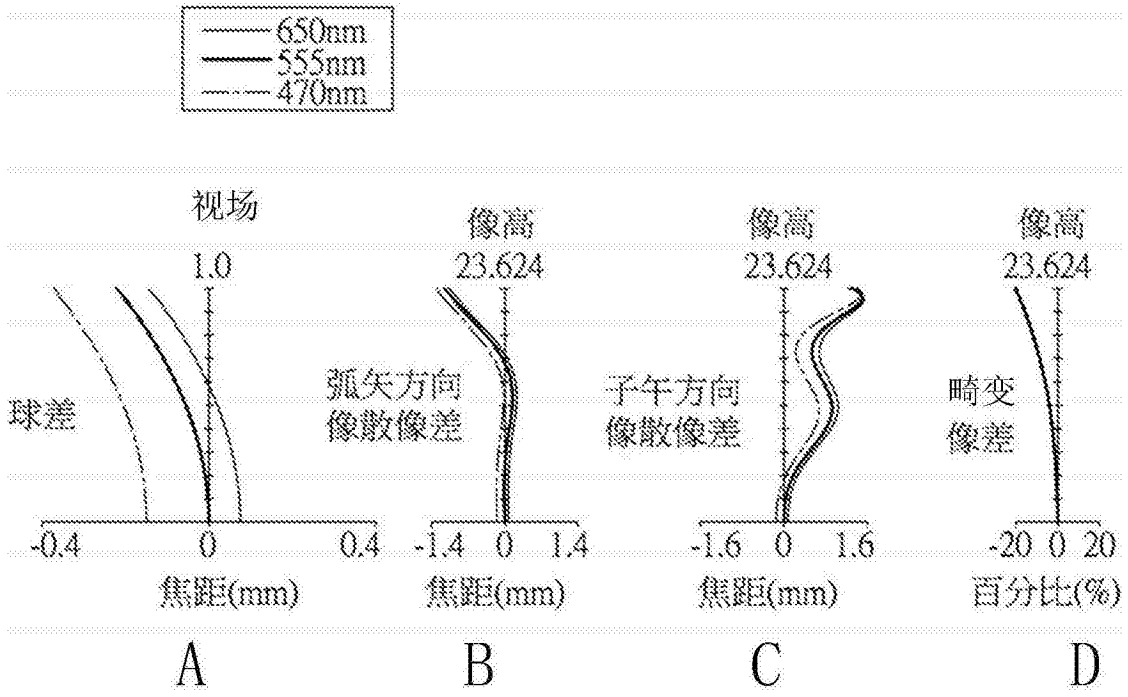


图16

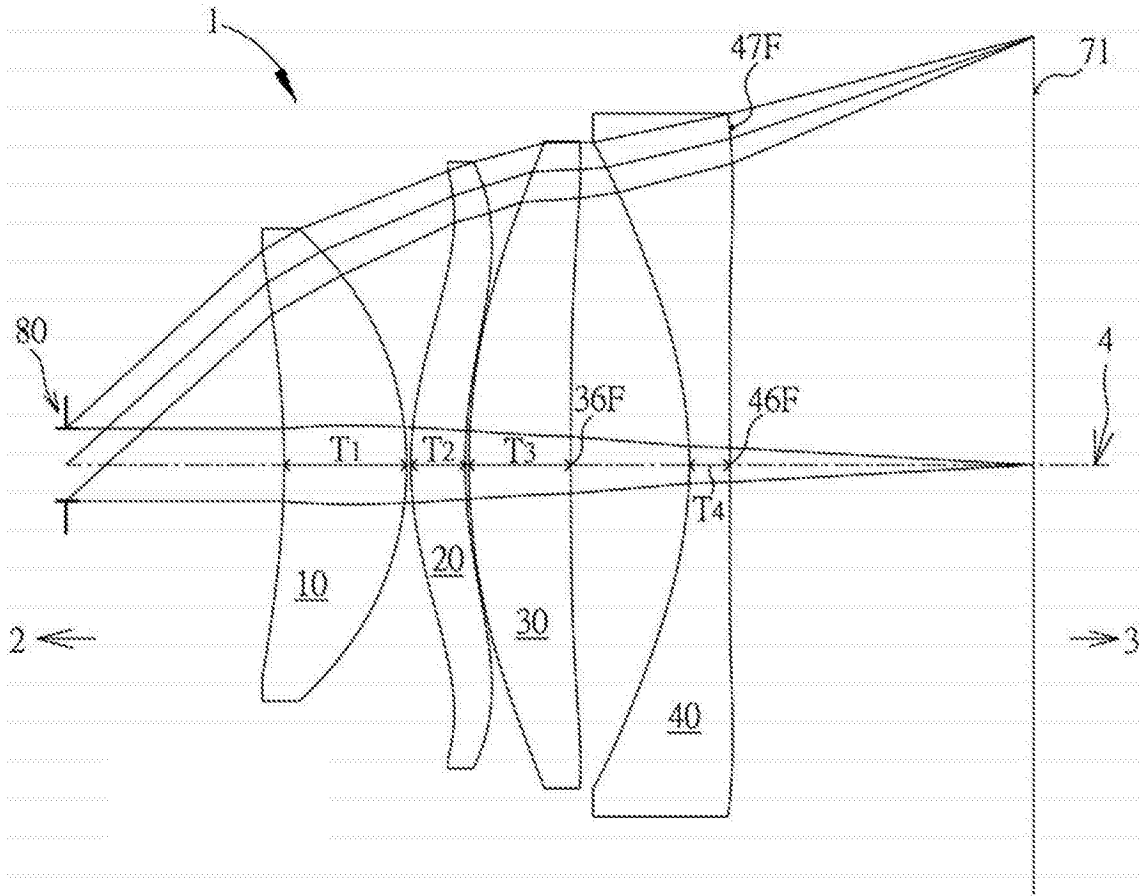


图17

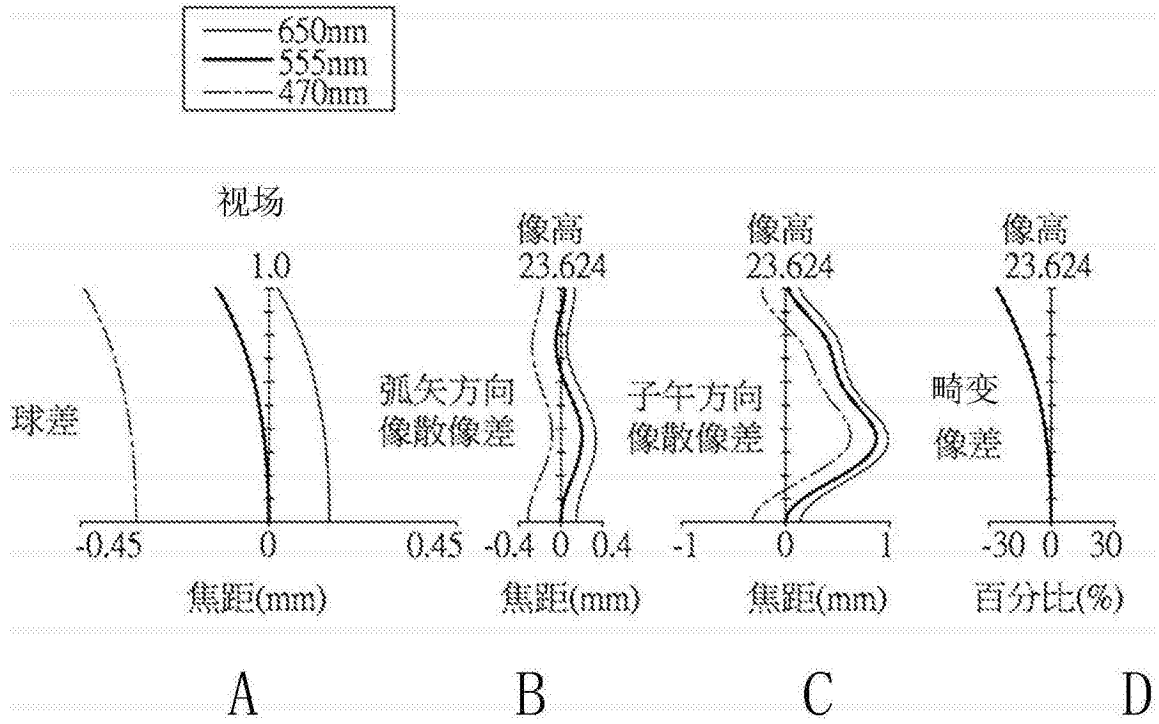


图18

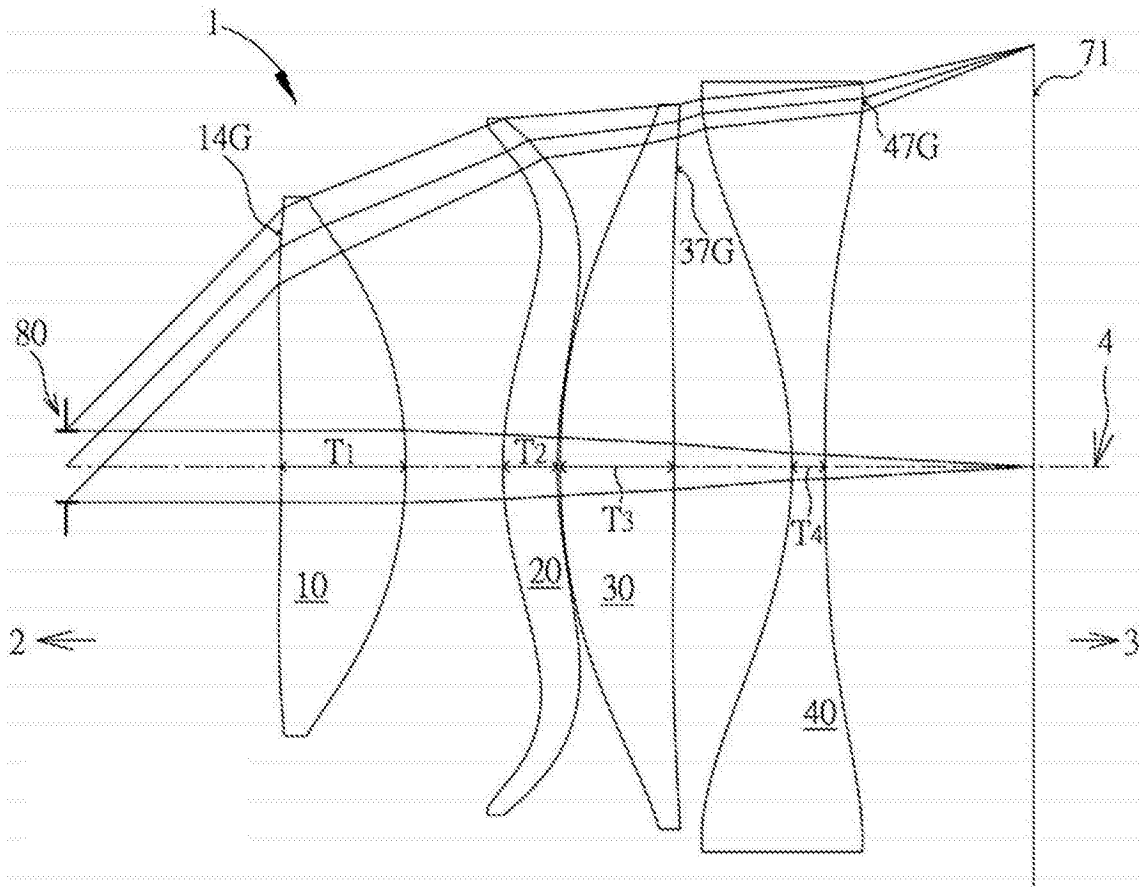


图19

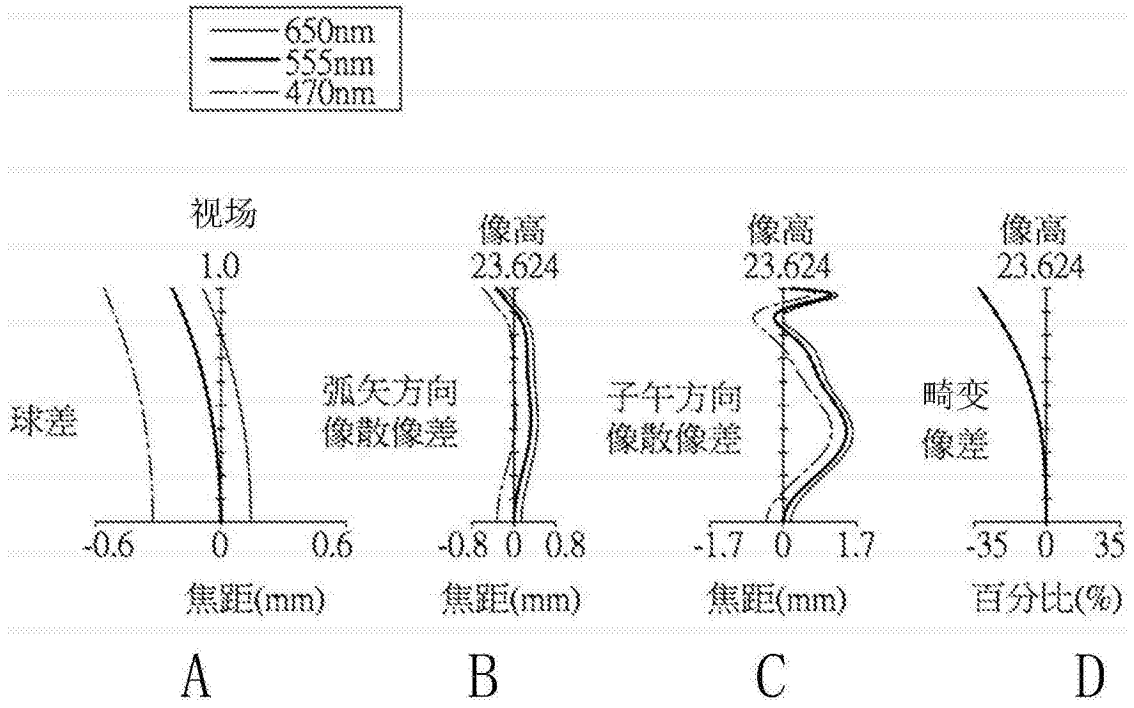


图20

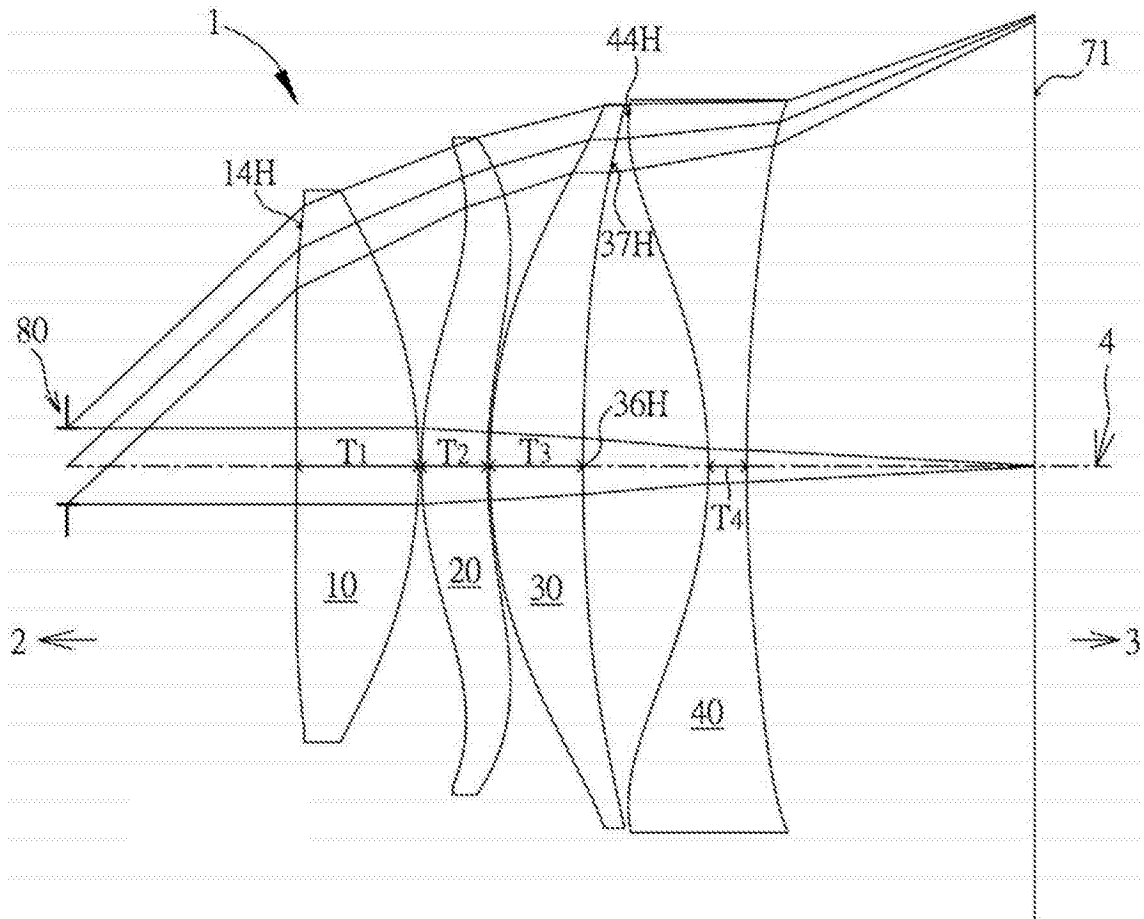


图21

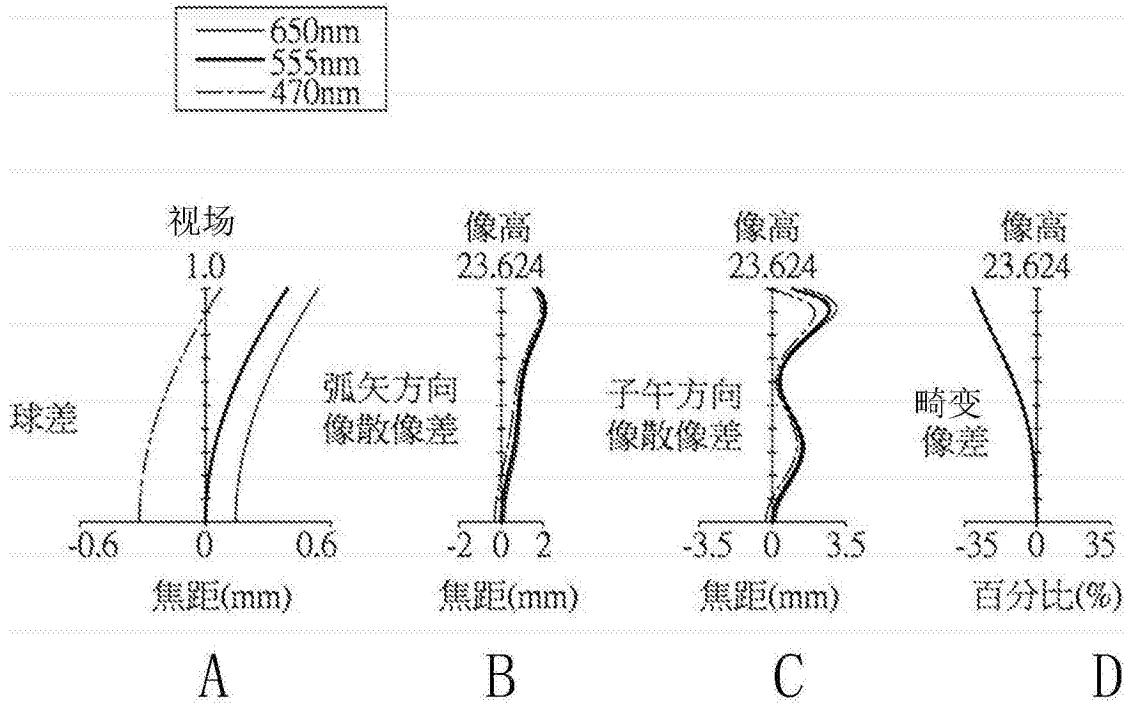


图22

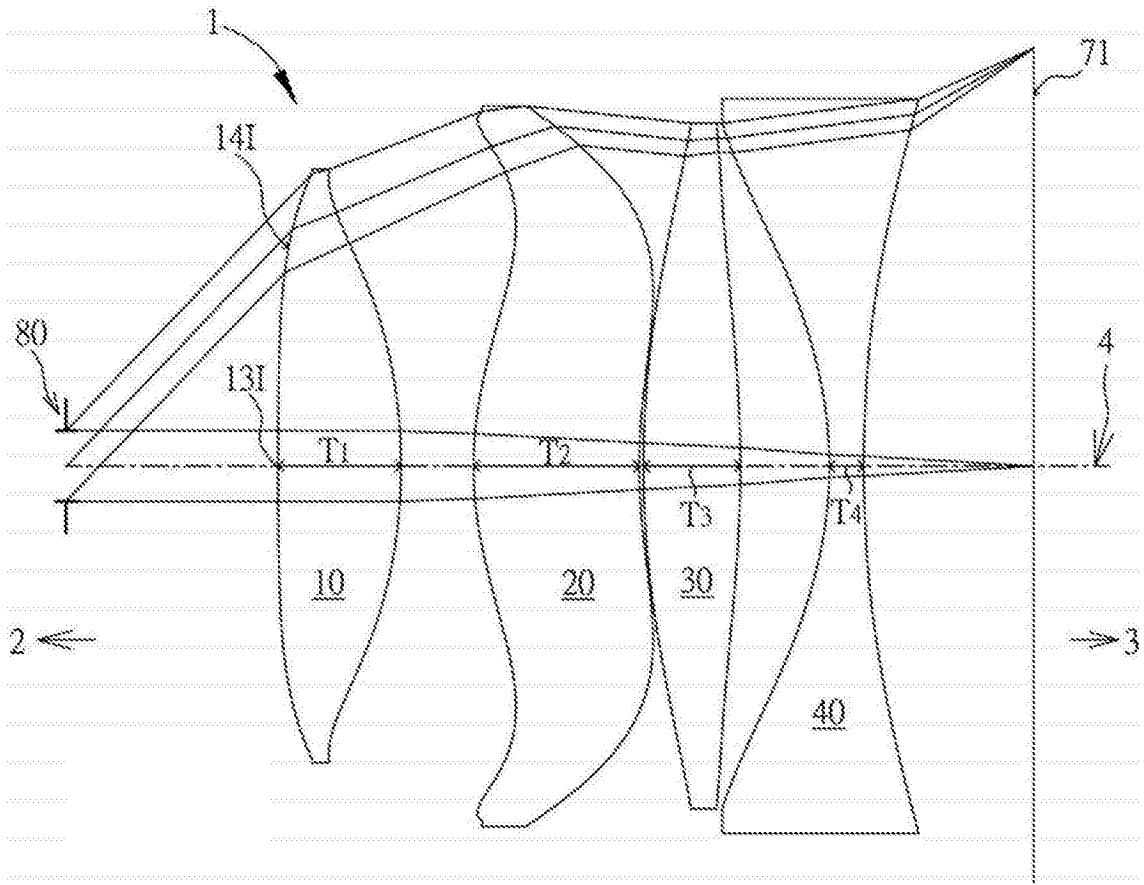


图23

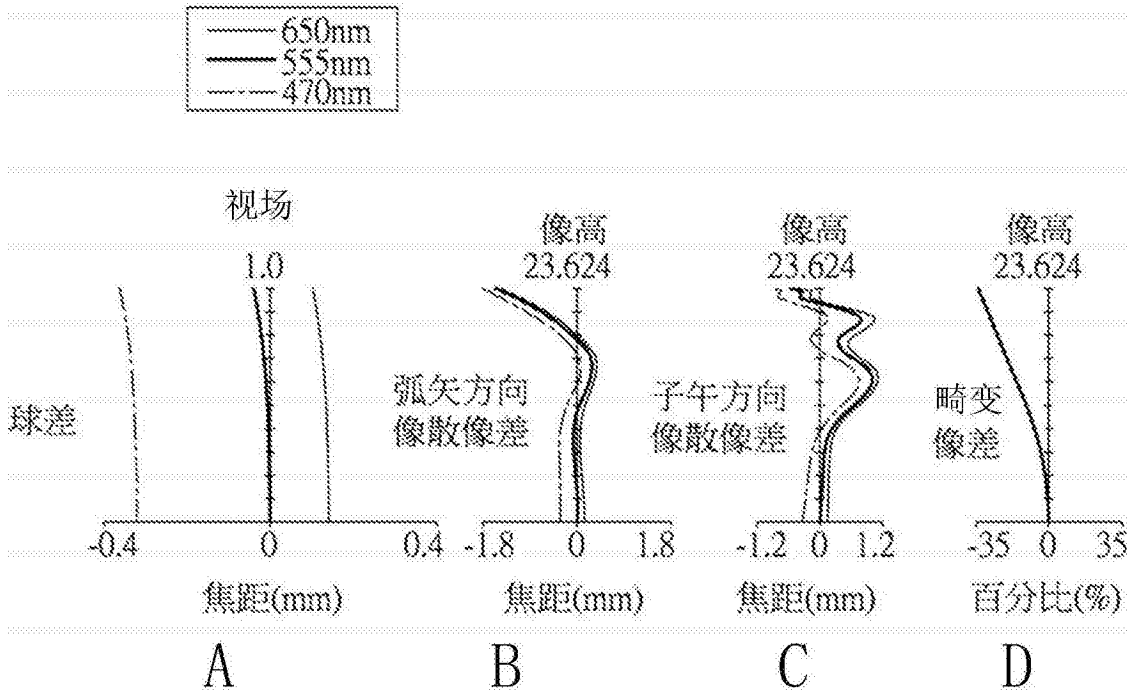


图24

第一实施例							
EFL=33.992 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=42.653 毫米, Fno=8.500							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-210.344	6.980	T1	1.548	42.204	56.821
12		-27.426	3.550	G12			
21	第二透镜	20.575	3.127	T2	1.535	55.690	88.775
22		34.387	0.110	G23			
31	第三透镜	36.967	6.234	T3	1.535	55.690	50.278
32		-92.856	4.182	G34			
41	第四透镜	-23.266	3.764	T4	1.661	20.401	-30.978
42		180.823	14.707	G4D			
71	显示画面	无限大					

图25

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	6.297891E-06	-4.287540E-08	-1.379930E-10
12	-9.034863E+00	0.000000E+00	-8.029763E-05	-3.148456E-08	3.421520E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.394928E-05	-3.781673E-08	-3.631300E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.474229E-05	-2.921229E-08	6.532000E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.331841E-06	-2.474239E-08	-4.470000E-13
32	0.000000E+00	0.000000E+00	1.331073E-05	-8.329283E-09	-2.157900E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	2.464159E-05	3.273186E-08	3.946000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	2.348030E-05	-9.212146E-08	1.828300E-10

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	6.990000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	-4.820000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	3.800000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	1.170000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	1.500000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	2.500000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	-5.000000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	-1.700000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图26

第二实施例							
EFL=34.518 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=41.131 毫米, Fno=8.642							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-87.535	7.077	T1	1.487	84.474	56.076
12		-21.351	0.130	G12			
21	第二透镜	19.805	2.981	T2	1.535	55.690	137.809
22		25.661	0.177	G23			
31	第三透镜	35.145	9.219	T3	1.535	55.690	69.356
32		607.690	8.262	G34			
41	第四透镜	-23.060	1.893	T4	1.661	20.401	-34.253
42		1244.829	11.390	G4D			
71	显示画面	无限大					

图27

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	2.575814E-05	1.035638E-08	-1.646670E-10
12	-4.484952E+00	0.000000E+00	-5.531545E-05	-3.085143E-09	3.050850E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.538210E-05	-5.162262E-08	-4.734400E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.843244E-05	-3.634562E-08	2.761200E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	6.464404E-06	-1.634827E-08	5.900000E-14
32	0.000000E+00	0.000000E+00	9.690995E-06	-1.162225E-08	-2.951600E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	1.888594E-05	2.047167E-08	3.311000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	1.067190E-05	-5.542422E-08	9.197000E-11

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	1.240000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	9.700000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	3.600000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	-1.100000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	-1.400000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	-2.000000E-15	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	-2.000000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图28

第三实施例							
EFL=29.945 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=36.326 毫米, Fno=7.531							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-81.962	7.956	T1	1.535	55.690	39.939
12		-17.518	0.130	G12			
21	第二透镜	19.254	2.632	T2	1.535	55.690	120.882
22		26.114	0.110	G23			
31	第三透镜	30.198	4.598	T3	1.535	55.690	66.674
32		186.701	6.966	G34			
41	第四透镜	-22.643	1.949	T4	1.661	20.401	-28.145
42		107.499	11.984	G4D			
71	显示画面	无限大					

图29

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	1.945492E-05	2.033309E-08	-1.244460E-10
12	-4.265693E+00	0.000000E+00	-7.216104E-05	-4.257070E-08	3.569320E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.407798E-05	-4.270010E-08	-5.483200E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.668050E-05	-1.559764E-08	1.133640E-10
31	0.000000E+00	0.000000E+00	2.589717E-06	-2.577078E-08	-1.699900E-11
32	0.000000E+00	0.000000E+00	1.245182E-05	-5.023541E-09	-1.825700E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	2.376784E-05	2.764770E-08	4.777000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	5.692603E-06	-5.777050E-08	8.332000E-11

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图30

第四实施例							
EFL=36.006 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=50.400 毫米, Fno=8.936							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-70.723	11.426	T1	1.535	55.690	50.526
12		-20.653	4.870	G12			
21	第二透镜	20.840	3.652	T2	1.535	55.690	133.690
22		27.616	0.385	G23			
31	第三透镜	57.141	8.205	T3	1.535	55.690	57.875
32		-64.160	4.854	G34			
41	第四透镜	-25.182	2.001	T4	1.661	20.401	-33.169
42		174.032	15.006	G4D			
71	显示画面	无限大					

图31

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	7.950882E-06	-1.207765E-08	-9.040200E-11
12	-3.183627E+00	0.000000E+00	-6.736010E-05	-2.802648E-08	2.164470E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.422440E-05	-5.007378E-08	-7.931700E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.844167E-05	-4.363648E-08	5.700800E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	-2.592783E-06	-2.092220E-08	2.653000E-11
32	0.000000E+00	0.000000E+00	1.171656E-05	-6.879464E-09	-2.758000E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	1.260763E-05	6.255300E-09	2.012000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	2.233716E-05	-8.120562E-08	6.368000E-11

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图32

第五实施例							
EFL=36.006 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=50.399 毫米, Fno=8.936							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	52.354	7.932	T1	1.535	55.690	60.020
12		-78.601	8.506	G12			
21	第二透镜	22.468	3.652	T2	1.535	55.690	75.737
22		47.595	0.110	G23			
31	第三透镜	56.417	6.380	T3	1.535	55.690	47.256
32		-43.981	4.021	G34			
41	第四透镜	-23.006	14.605	T4	1.661	20.401	-21.432
42		46.109	5.192	G4D			
71	显示画面	无限大					

图33

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	-4.575347E-05	-1.346438E-07	3.354410E-10
12	1.662199E+01	0.000000E+00	-1.131495E-04	2.083325E-07	-7.484700E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.879017E-05	2.208236E-09	4.244700E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-4.650761E-05	-2.994471E-08	7.834200E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.912512E-05	-9.893013E-09	4.877000E-11
32	0.000000E+00	0.000000E+00	2.633294E-05	-1.277946E-08	-5.864500E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	2.078403E-05	2.253931E-08	6.150000E-12
42	0.000000E+00	0.000000E+00	-2.378875E-05	9.205310E-09	4.910000E-12

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图34

第六实施例							
EFL=35.032 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=41.223 毫米, Fno=8.761							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-45.978	6.737	T1	1.535	55.690	49.141
12		-17.577	0.238	G12			
21	第二透镜	19.834	2.987	T2	1.535	55.690	135.800
22		25.852	0.200	G23			
31	第三透镜	36.365	5.609	T3	1.535	55.690	71.329
32		735.509	6.516	G34			
41	第四透镜	-23.926	2.228	T4	1.661	20.401	-37.826
42		-583.936	16.708	G4D			
71	显示画面	无限大					

图35

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	2.079147E-05	-5.996277E-09	-1.607800E-10
12	-3.458900E+00	0.000000E+00	-7.720869E-05	-3.162767E-08	3.783940E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.080210E-05	-3.431354E-08	-3.390200E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.820096E-05	-3.515313E-08	6.615800E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	1.627316E-06	-2.471876E-08	1.051400E-11
32	0.000000E+00	0.000000E+00	1.211226E-05	-1.193279E-08	-5.486200E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	2.856981E-05	-1.850300E-09	-1.179000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	1.914861E-05	-6.588223E-08	5.049000E-11

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图36

第七实施例							
EFL=33.880 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=41.988 毫米, Fno=8.436							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-154.229	6.954	T1	1.535	55.690	50.086
12		-23.182	5.427	G12			
21	第二透镜	20.013	3.043	T2	1.535	55.690	126.390
22		26.925	0.148	G23			
31	第三透镜	35.498	6.351	T3	1.535	55.690	60.463
32		-340.565	6.577	G34			
41	第四透镜	-24.067	1.846	T4	1.661	20.401	-31.757
42		168.433	11.643	G4D			
71	显示画面	无限大					

图37

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	2.103549E-05	7.912072E-09	-1.289860E-10
12	-5.216193E+00	0.000000E+00	-5.606834E-05	1.280345E-09	3.422310E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.329206E-05	-5.110819E-08	-6.512500E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.173945E-05	-3.921644E-08	3.993100E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	5.619416E-06	-1.864504E-08	-7.793000E-12
32	0.000000E+00	0.000000E+00	1.018278E-05	-7.412779E-09	-1.750500E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	2.469208E-05	1.692000E-08	2.467000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	2.960815E-05	-1.082294E-07	1.770200E-10

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	1.760000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	1.940000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	-2.300000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	4.500000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	-2.200000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	2.000000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	-1.400000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图38

第八实施例							
EFL=36.035 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=37.672 毫米, Fno=9.179							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	-435.937	6.416	T1	1.535	55.690	49.659
12		-25.163	0.130	G12			
21	第二透镜	19.536	3.467	T2	1.535	55.690	111.380
22		27.273	0.110	G23			
31	第三透镜	28.003	4.897	T3	1.535	55.690	67.823
32		115.327	6.559	G34			
41	第四透镜	-22.931	2.011	T4	1.661	20.401	-28.082
42		100.503	15.082	G4D			
71	显示画面	无限大					

图39

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	1.660736E-05	2.415720E-08	-6.623300E-11
12	-9.203234E+00	0.000000E+00	-4.194980E-05	1.198821E-08	2.581640E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.121548E-05	-5.368364E-08	-4.486000E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.384403E-05	-2.876109E-08	5.398900E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	3.150190E-06	-2.755123E-08	-1.810200E-11
32	0.000000E+00	0.000000E+00	8.967614E-06	-6.743700E-09	-1.955400E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	2.699337E-05	2.958016E-08	4.951000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	5.990231E-06	-5.071905E-08	1.066600E-10

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	-1.890000E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	-6.000000E-15	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	3.300000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	7.300000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	-3.800000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	1.300000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	4.000000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	1.000000E-14	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图40

第九实施例							
EFL=33.882 毫米, $\omega=45.000$ 度, TTL=42.668 毫米, Fno=8.486							
编号		曲率半径	光圈距离 透镜厚度 空气间隙		折射率	色散系数	焦距
	观察者瞳孔	无限大	12.000				
11	第一透镜	1211.141	6.934	T1	1.535	55.690	55.232
12		-30.218	4.092	G12			
21	第二透镜	20.441	9.362	T2	1.535	55.690	86.556
22		30.760	0.244	G23			
31	第三透镜	56.443	5.472	T3	1.535	55.690	58.814
32		-68.654	5.030	G34			
41	第四透镜	-23.252	1.950	T4	1.661	20.401	-26.824
42		76.956	9.584	G4D			
71	显示画面	无限大					

图41

编号	K	a2	a4	a6	a8
11	0.000000E+00	0.000000E+00	1.945003E-05	1.683853E-08	-7.558000E-12
12	-8.862446E+00	0.000000E+00	-4.631359E-05	2.537004E-08	3.668650E-10
21	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.064257E-05	-4.638483E-08	-6.291900E-11
22	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.758836E-05	-2.351288E-08	9.233400E-11
31	0.000000E+00	0.000000E+00	-3.444232E-07	-2.188818E-08	2.288100E-11
32	0.000000E+00	0.000000E+00	1.409080E-05	-1.060434E-09	-2.400700E-11
41	0.000000E+00	0.000000E+00	1.856218E-05	1.649301E-08	4.315000E-11
42	0.000000E+00	0.000000E+00	8.657038E-06	-2.873998E-08	2.662000E-11

编号	a10	a12	a14	a16	a18
11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
31	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
32	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
41	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

图42

实施例	第一	第二	第三	第四	第五	第六	第七	第八	第九
EFL	33.992	34.518	29.945	36.006	36.006	35.032	33.880	36.035	33.882
ER	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
ALT	20.104	21.171	17.135	25.284	32.569	17.561	18.193	16.791	23.718
G4D	14.707	11.390	11.984	15.006	5.192	16.708	11.643	15.082	9.584
TTL	42.653	41.131	36.326	50.400	50.399	41.223	41.988	38.672	42.668
SL	54.653	53.131	48.326	62.400	62.399	53.223	53.988	50.672	54.668
v1-v4	21.802	64.073	35.289	35.289	35.289	35.289	35.289	35.289	35.289
SL/ER	4.554	4.428	4.027	5.200	5.200	4.435	4.499	4.223	4.556
TTL/ER	3.554	3.428	3.027	4.200	4.200	3.435	3.499	3.223	3.556
ER/T4	3.188	6.338	6.157	5.998	0.822	5.387	6.500	5.967	6.154
G4D/T2	4.704	3.820	4.553	4.109	1.422	5.593	3.827	4.350	1.024
ALT/ (G12+G34)	2.600	2.523	2.415	2.600	2.600	2.600	1.516	2.510	2.600
EFL/T1	4.870	4.877	3.764	3.151	4.539	5.200	4.872	5.616	4.886
TTL/T1	6.111	5.812	4.566	4.411	6.354	6.119	6.038	6.027	6.153
TTL/T2	13.642	13.796	13.800	13.800	13.800	13.800	13.800	11.154	4.558
G4D/T4	3.907	6.016	6.149	7.500	0.356	7.500	6.307	7.500	4.915
SL/T2	17.480	17.821	18.359	17.086	17.086	17.817	17.744	14.615	5.839
ER/ (G12+G34)	1.552	1.430	1.691	1.234	0.958	1.777	1.000	1.794	1.315
SL/T1	7.830	7.507	6.074	5.461	7.866	7.900	7.763	7.897	7.884
TTL/T3	6.842	4.461	7.900	6.143	7.900	7.350	6.612	7.898	7.798
ALT/G34	4.808	2.563	2.460	5.209	8.099	2.695	2.766	2.560	4.715

图43