

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610041710.4

G02B 11/30 (2006.01)
G02B 9/60 (2006.01)
G02B 15/15 (2006.01)
G02B 1/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 10 月 31 日

[11] 授权公告号 CN 100346188C

[22] 申请日 2006.1.20

[21] 申请号 200610041710.4

[73] 专利权人 中国兵器工业第二〇五研究所
地址 710065 陕西省西安市电子三路西段
9 号

[72] 发明人 梅丹阳 焦明印

[56] 参考文献

JP2001-100100A 2001.4.13

JP2001-51194A 2001.2.23

JP2001-311872A 2001.11.9

CN1234036C 2005.12.28

审查员 孙苏晋

[74] 专利代理机构 陕西电子工业专利中心
代理人 赵振红

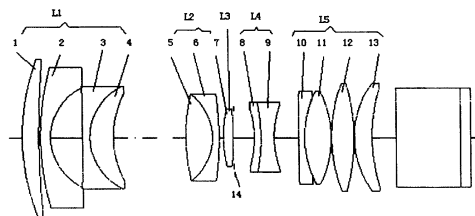
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称

投影仪用连续变焦投影镜头

[57] 摘要

本发明公开了一种投影仪用连续变焦投影镜头，包括两个固定透镜组、一个变倍透镜组、两个补偿透镜组。其主要特点是，光阑与第二补偿透镜组同步运动并使本发明在整个变焦过程中都处于像方远心光路，由此提高了像面照度的均匀性；各透镜组的光焦度分配较为合理，并通过选择相对光阑对称的结构形式，使本发明获得了结构紧凑、体积小、成像质量较好、可用于便携式投影仪的效果；所有透镜均采用中国玻璃制作，且面形均为球面，从而使本发明具有成本低、易于加工等优点。



1. 一种投影仪用连续变焦投影镜头，包括两个固定透镜组 [L1、L5] 和三个运动组件 [L2、L3、L4]，所述的第一运动组件 [L2] 为第一补偿透镜组，所述的第三运动组件 [L4] 为变倍透镜组，所述的第二运动组件 [L3] 含有第二补偿透镜组和光阑 [14] 且两者可作同步运动；所述的第一、第二固定透镜组 [L1、L5] 之间依次排列着第一补偿透镜组 [L2]、第二补偿透镜组、光阑 [14]、变倍透镜组 [L4]，第一固定透镜组 [L1] 位于投影屏幕一方，第二固定透镜组 [L5] 位于投影仪的数字光阑一方；所述第一补偿透镜组 [L2]、第二补偿透镜组均与变倍透镜组 [L4] 的光焦度符号相反，当变倍透镜组 [L4] 沿光轴作线性移动时，第一补偿透镜组 [L2]、第二补偿透镜组及所述光阑 [14] 均沿光轴作反方向移动；其特征在于：所述光阑 [14] 在移动过程中始终处于变倍透镜组 [L4] 与第二固定透镜组 [L5] 的组合前焦面上并满足如下运动方程：

$$dq_3 = \frac{(p_{45} + f_5)^2 - 2f_4'(p_{45} + f_5)}{(p_{45} - f_4' + f_5)^2} dq_4$$

式中， p_{45} 为变倍透镜组 [L4] 与第二固定透镜组 [L5] 主面之间的距离， f_4' 为变倍透镜组 [L4] 的像方焦距， f_5 为第二固定透镜组 [L5] 的物方焦距， q_3 为光阑 [14] 和第二补偿透镜组的移动量， q_4 是变倍透镜组 [L4] 的移动量；所述的第一补偿透镜组 [L2]、第二补偿透镜组的反向移动共同抵消由变倍透镜组 [L4] 移动所引起的像面移动。

2. 根据权利要求 1 所述的连续变焦投影镜头，其特征在于：所述第一固定透镜组 [L1] 的焦距、所述变倍透镜组 [L4] 与第二固定组透镜组 [L5] 的组合焦距分别满足：

$$-2 < f_1' / f' < -0.9$$

$$1 < f_{45}' / f' < 2$$

式中， f_1' 为第一固定透镜组 [L1] 的焦距， f_{45}' 为本发明在大视场时变倍透镜组 [L4] 和第二固定透镜组 [L5] 的组合焦距， f' 为本发明在大视场时的焦距。

投影仪用连续变焦投影镜头

技术领域

本发明涉及一种投影仪使用的光学系统，尤其涉及一种与像素化面板联用的连续变焦投影镜头。

技术背景

投影仪的应用遍及商业、教育、政府机关、家庭等几乎所有领域，投影镜头是投影仪的重要组成部分，通常采用与像素化面板一般为数字光阀，如 DMD、LCD、LCOS、GLV 联用的连续变焦光学系统，其主要作用是将数字光阀上的光信号予以放大，并把图像投射到屏幕上。投影仪一般具有较高的分辨率，常用 1024×768 (XGA) 或 1280×1024 (SXGA) 和较细的灰度等级。为了满足投影仪的使用要求，其所采用的光学投影镜头应能够实现以下功能：焦距在一定范围内连续变化；在整个变焦范围内提供一定的放大倍率；在整个变焦范围内通过其投影到大屏幕上的像照度是均匀的；在整个变焦范围内有很高的传递函数、分辨率；在整个变焦范围内具有较高的像差校正水平，尤其是畸变和色差。

投影仪的投影镜头设计者一般采取以下技术途径使投影仪获得高分辨率和好的成像质量：（1）投影镜头采用复杂的结构形式和特殊的材料；（2）采用非球面光学元件校正像差。然而，上述途径都会大幅度提高光学投影镜头的成本，这对竞争非常激烈的投影仪市场来说，是非常不利的。另外，可见光波段非球面光学元件的加工比较复杂。

像面照度均匀性是投影仪的一个重要指标。当观察者观察投影屏幕时，即使在透镜视场边缘各处，也要求有足够的亮度才能看清数据；因此，需要将投影仪的投影镜头设计成像方远心光路来保证像面照度均匀。另外，投影镜头和数字光阀之间都设有棱镜组，为防止产生杂光，也要求将投影镜头设计成远心光

路。这就大大提高了系统设计的难度。

中国专利 97117606.X 公开了一种与像素化面板联用的变焦投影透镜，该投影镜头由变倍组、补偿组和校正单元组成，投影镜头所用的约 10 片透镜中，至少有 3 片透镜是由丙烯酸材料制成的，至少含有 4 面非球面，最大镜口径达到 215.77mm，畸变校正到约 2.5%。中国专利 98807972.0 中给出了具有透镜校正单元的变焦投影镜头，此镜头由 3 组约 9 块透镜组成，靠近屏幕的一块采用丙烯酸材料制作，并且两个面都是非球面，镜头最大口径为 185mm。然而，上述两个投影镜头存在以下不足：（1）光学元件采用肖特玻璃和丙烯酸材料制作，因此价格较贵，而且用丙烯酸材料制成的透镜其形状随温度变化非常明显，对环境的适应性差；（2）口径过大，结构不紧凑，不能用于便携式投影仪；（3）投影镜头中的光阑是固定不动的，而光阑后面光学组件的焦距是变化的，投影镜头在整个变焦过程中，最多只能保证一个位置是处于远心光路，其它位置均处于非远心光路，因此像面照度均匀性较差。

发明内容

本发明要解决的技术问题是，为投影仪提供一种连续变焦的投影镜头，该投影镜头在变焦范围内的任何位置上都能保证像面照度有较高的均匀性。

本发明要解决的第二个技术问题是，所提供的投影镜头结构紧凑，并可用于便携式投影仪。

为解决上述技术问题，本发明包括两个固定透镜组和三个运动组件，所述的第一运动组件为第一补偿透镜组，所述的第二运动组件含有第二补偿透镜组和光阑且两者可作同步运动，所述的第三运动组件为变倍透镜组；所述的第一、第二固定透镜组之间依次排列着第一补偿透镜组、第二补偿透镜组、光阑、变倍透镜组，第一固定透镜组位于投影屏幕一方，第二固定透镜组位于投影仪的数字光阀一方；所述第一、第二补偿透镜组均与变倍透镜组的光焦度符号相反，当变倍透镜组沿光轴作线性移动时，第一、第二补偿透镜组及所述光阑均沿光轴作反方向移动；所述光阑在移动过程中始终处于变倍透

镜组与第二固定透镜组的组合前焦面上并满足如下运动方程：

$$dq_3 = \frac{(p_{45} + f_5)^2 - 2f_4'(p_{45} + f_5)}{(p_{45} - f_4' + f_5)^2} dq_4$$

式中， p_{45} 为变倍透镜组与第二固定透镜组主面之间的距离， f_4' 为变倍透镜组的像方焦距， f_5 为第二固定透镜组的物方焦距， q_3 为光阑和第二补偿透镜组的移动量， q_4 是变倍透镜组的移动量；所述第一、第二补偿透镜组的反向移动共同抵消由变倍透镜组移动所引起的像面移动。

根据本发明，所述第一固定透镜组的焦距、所述变倍透镜组与第二固定透镜组的组合焦距分别满足：

$$-2 < f_1' / f' < -0.9$$

$$1 < f_{45}' / f' < 2$$

式中， f_1' 为第一固定透镜组的焦距， f_{45}' 为本发明在大视场时第三运动透镜组和第二固定透镜组的组合焦距， f' 为本发明在大视场时的焦距。

本发明的有益效果体现在以下几个方面：

（一）本发明通过使第三运动透镜组即变倍组相对第二固定透镜组的运动实现本发明的焦距变化，在变焦过程中，光阑是与第二运动透镜组一起同步运动，并在运动过程中始终位于第三运动透镜组与第二固定透镜组的组合前焦面，这就保证了本发明在整个变焦过程中都是远心光路，所以在任何变焦位置，本发明的像面照度都非常均匀。

（二）本发明通过合理的分配各透镜组的光焦度，尤其是将第一固定透镜组的焦距、第三运动透镜组与第二固定透镜组的组合焦距限定在一定的取值范围内，这既限定了本发明的最大口径和总长度，使本发明具有结构紧凑、体积小的特点，为应用到便携式投影仪提供了技术支持；同时也保证了本发明的像差易于校正，可获得较高的成像质量。

（三）本发明共采用了五组透镜而且各透镜组中的透镜面型均为球面，与未采用非球面的变焦系统相比，结构形式较为简单，与采用非球面的投影镜头相比，其加工、检验都很容易。此外，所有的透镜均采用最便宜最通用的中国玻璃制造，因而，本发明的成本低廉，具有较强的市场竞争力。

附图说明

图 1a 是本发明光学投影镜头优选实施例的短焦位置状态示意图。

图 1b 是本发明光学投影镜头优选实施例的中焦位置状态示意图。

图 1c 是本发明光学投影镜头优选实施例的长焦位置状态示意图。

图 2a 是本发明光学投影镜头优选实施例处于短焦位置时的畸变曲线图。

图 2b 是本发明光学投影镜头优选实施例处于中焦位置时的畸变曲线图。

图 2c 是本发明光学投影镜头优选实施例处于长焦位置时的畸变曲线图。

图 3a 是本发明光学投影镜头优选实施例处于短焦位置时的 MTF 曲线图。

图 3b 是本发明光学投影镜头优选实施例处于中焦位置时的 MTF 曲线图。

图 3c 是本发明光学投影镜头优选实施例处于长焦位置时的 MTF 曲线图。

图 4a 是本发明光学投影镜头优选实施例处于短焦位置时的像差曲线图。

图 4b 是本发明光学投影镜头优选实施例处于中焦位置时的像差曲线图。

图 4c 是本发明光学投影镜头优选实施例处于长焦位置时的像差曲线图。

具体实施方式

下面结合附图及优选实施例对本发明作进一步的详述。

正如图 1a ~ 图 1c 所示, 本发明优选实施例包括两个固定透镜组 L1、L5 和三个运动组件 L2、L3、L4。第一、第二固定透镜组 L1、L5 之间依次排列着第一运动组件 L2、第二运动组件 L3、第三运动组件 L4, 第一固定透镜组 L1 位于投影屏幕一方, 第二固定透镜组 L5 位于投影仪的数字光阀一方。第一固定透镜组 L1 的光焦度符号为负, 它含有两个单透镜 1、2 以及透镜 3 和 4 构成的双胶合透镜。第一运动组件 L2 是本优选实施例的第一补偿透镜组, 它是一个由透镜 5 和 6 构成的双胶合透镜, 其光焦度符号为正。第二运动组件 L3 含有第二补偿透镜组和光阑 14, 第二补偿透镜组是一个单透镜 7, 其光焦度的符号为正。第三运动组件 L4 是本优选实施例的变倍组, 它是一个由透镜 8 和 9 构成的双胶合透镜, 其光焦度符号为负。第二固定透镜组 L5 的光焦度符号为正, 它含有透镜 10 和 11 构成的双胶合透镜以及两个单透镜 12、13。

系统所有透镜采用廉价的国产材料制成，并不含有非球面。上述各光学元件的详细参数见表1。本优选实施例放置在距投影屏幕2.25m的位置时，当变倍透镜组L4向第二固定透镜组的方向移动时，图像的大小可由1.0208m×0.7656m变到0.820m×0.615m，本优选实施例的有效焦距在22.93mm-27.91mm范围内变化，各变焦位置时的透镜组间距值见表2。

表1 光学元件参数表 (单位: mm)

组件名称	零件序号	曲率半径	有效口径 (半径)	顶点间隔	材料
第一固定 透镜组 L1	1	60.95000	30	8.000000	ZLAF2-CHINA
		164.82000	29	1.000000	
	2	49.43000	24	3.000000	PK1-CHINA
		18.96700	17.5	11.000000	
	3	158.85000	17.5	2.500000	QK3-CHINA
		17.70100	14.5	0	
	4	17.70100	14.5	5.000000	ZF7-CHINA
		21.48000	13.5	P_{12}	
第一补偿 透镜组 L2	5	300.60000	11.5	7.000000	LAF5-CHINA
		-15.88500	11.5	0	
	6	-15.88500	11.5	3.500000	ZF5-CHINA
		-180.30000	10.5	P_{23}	
第二补偿 透镜组	7	42.85000	10	4.000000	BAK4-CHINA
		-47.10000	10	1.000000	
光阑	14	INFINITY	8.5	P_{34}	
变倍透镜组 L4	8	-25.88000	10	3.000000	ZLAF4-CHINA
		-21.39000	10.5	0	
	9	-21.39000	10.5	4.000000	F1-CHINA
		53.95000	12	P_{45}	

第二固定 透镜组 L5	10	-125.89000	13	3.000000	ZF14-CHINA
		148.94000	14	0	
	11	148.94000	14	6.000000	ZK3-CHINA
		-34.43000	15	1.000000	
	12	75.27715	18	6.500000	LAF3-CHINA
		-102.18105	18	0.100000	
	13	36.43707	18.5	5.300000	LAF3-CHINA
		103.85451	18		

表 2 变焦位置与透镜组间距的关系 (单位: mm)

透镜组 间距	短焦位置	中焦位置	长焦位置
P_{12}	24.42505	19.64310	14.96332
P_{23}	1.34077	5.07634	8.02094
P_{34}	10.19197	12.68304	15.64820
P_{45}	5.60167	4.15692	2.92694

本发明在进行投影镜头的光路追迹时, 利用光路可逆的原理, 将由投影屏幕到第一固定透镜 L1 之间的距离作为物距, 第二固定透镜 L5 到数字光阑之间的距离作为像距。通常在投影仪中, 投影镜头与数字光阑之间往往都会设置全反射棱镜, 这就大大加长了投影镜头与像面之间的距离, 即后截距; 并且棱镜组各面之间所成的角度对投影镜头的像方出射光线的角度要求比较严格。为使棱镜系统不阻碍正常光线并避免杂散光通过, 主光线应在像方与光轴应近似平行; 此外, 为了保证投影仪投射到大屏幕上的图像照度具有良好的均匀性, 也就是说投影屏幕的中间与边缘点的光照度应该是近似相等的, 本发明的出瞳必须置于无限远。上述两点均可以通过像方远心光路来实现。因此, 有必要将本发明设计成像方远心光路, 而且是在变焦范围内的任何位置上都是像方远心光路。为了实现这个目的, 本发明将已有技术中的固定光阑设置成移动式光阑 14, 并使其与第二补偿透镜组同步运动, 并通过相应的曲线套筒, 使光阑 14 在任何

变焦位置上都处于变倍透镜组 L4 与第二固定透镜组 L5 的组合前焦面上。光阑 14 的运动特性曲线可用它与第二固定透镜组 L5 主面之间的距离 p_{s5} 描述:

$$p_{s5} = -\frac{p_{45}f_4 + f_5f_4'}{p_{45} - f_4' + f_5} + p_{45} \quad (1)$$

式中, p_{45} 为变倍透镜组 L4 与第二固定透镜组 L5 主面之间的距离, f_4 、 f_4' 分别为变倍透镜组 L4 的物方、像方焦距, f_5 、 f_5' 分别为第二固定透镜组 L5 的物方、像方焦距。根据 (1) 式可推导出第二运动组件 L3 (第二补偿组和光阑 14) 与变倍透镜组 L4 的运动微分方程式:

$$dq_3 = \frac{(p_{45} + f_5)^2 - 2f_4'(p_{45} + f_5)}{(p_{45} - f_4' + f_5)^2} dq_4 \quad (2)$$

式中, q_3 、 q_4 分别是第二运动组件 L3 和变倍透镜组 L4 的移动量。在变焦过程中即变倍透镜组 L4 在运动过程中, 必须保持像面位置固定不变, 因此, 本优选实施例将第一补偿透镜组 L2、第二补偿透镜组设计成正光焦度, 变倍透镜组 L4 设计成负光焦度。为了补偿变倍透镜组 L4 产生的像面偏移, 第一补偿透镜组 L2、第二补偿透镜组在变焦过程中, 应作与变倍透镜组 L4 的运动方向相反的运动, 同时在运动过程中还应满足以下微分式:

$$(1 - m_2^2)m_3^2m_4^2dq_2 + (1 - m_3^2)m_4^2dq_3 + (1 - m_4^2)dq_4 = 0 \quad (3)$$

式中, m_2 、 m_3 、 m_4 分别是第一补偿透镜组 L2、第二补偿透镜组、变倍透镜组 L4 的倍率, q_2 、 q_3 、 q_4 分别是第一补偿透镜组 L2、第二补偿透镜组、变倍透镜组 L4 的移动量。根据 (3) 式可以推导出第一补偿透镜组 L2 与第二运动组件 L3、变倍透镜组件 L4 之间的运动微分方程式 (本文略)。由于本优选实施例在变焦的任何位置上都处于像方远心光路, 因此在变焦的不同位置上所获得的像面均匀度均大于 >70% (见表 3), 远大于投影仪设计要求的 65%。

表 3 像面均匀度

视场	短焦位置	中焦位置	长焦位置
0	100%	100%	100%
0.707	98.1%	96.2%	90.3%
1	75.5%	81.1%	74.7%

为使本发明的口径比较均匀，除将光阑 14 置于变倍透镜组 L4 和第一、第二补偿透镜组之间外，各组分配的焦距也要满足一定的关系，即第一固定透镜组的焦距 L1、变倍透镜组 L4 和第二固定组透镜组 L5 的组合焦距应分别满足：

$$-2 < f_{1'} / f' < -0.9 \quad (4)$$

$$1 < f_{45'} / f' < 2 \quad (5)$$

式中， $f_{1'}$ 为第一固定透镜组 L1 的焦距， $f_{45'}$ 为本发明在大视场时变倍透镜组 L4 和第二固定透镜组 L5 的组合焦距， f' 为本发明在大视场时的焦距。当 $-2 > f_{1'} / f'$ 时，第一固定透镜组 L1 对本发明的光焦度贡献量过小，会使第一固定组 L1 的口径变大；同样，当 $f_{45'} / f' > 2$ 时，变倍透镜组 L4 和第二固定组透镜组 L5 的光焦度对本发明的贡献量增大，使本发明的总长度会变得很大；当 $f_{1'} / f' > -0.9$ 或 $1 > f_{45'} / f'$ 时，会使本发明的像差难以校正。在本优选实施例中， $f_{1'} / f' = -1.9$ ， $f_{45'} / f' = 1.1$ ，由此得到第一固定透镜组 L1 的第一块透镜口径为 60mm（见表 1），也是本优选实施例中的最大口径，本实施例的总长为 117mm。因而本优选实施例可以用于便携式投影仪。

在本优选实施例中，所有的透镜均采用中国玻璃制作，其中，第二固定透镜组 L5 采用了 ZF14 重火石玻璃，变倍透镜组 L4 采用了 ZLAF4 重镧火石玻璃。因此，本发明的价格相对便宜。此外，由于重镧火石玻璃和重火石玻璃折射率比较大，因而对减小本优选实施例的外形尺寸起到积极作用。表 4 给出优选实施例所用重镧火石玻璃和重火石玻璃的 C、d、F 光的折射率。

表 4 部分光学材料

玻璃名称	n_c	n_d	n_F	阿贝数
ZLAF4_CHINA	1.902862	1.910421	1.928527	35.1
ZF14_CHINA	1.905501	1.917612	1.948161	21.5
ZLAF2_CHINA	1.797631	1.802788	1.814799	46.7

当在屏幕上显示 windows 界面时，即使在视场边缘也要求有较好的成像质量。如果投影镜头的畸变比较大，观察者很容易看到边界条纹和对话框上

的直线产生的变形，所以对投影镜头的畸变要求比较严格，大约 1%以下。另外，几乎所有的投影镜头的放置都有一定的偏置，本优选实施例 DMD 放置有 84%的偏置，这也为畸变的校正加大了难度。出于校正畸变的考虑，本发明在结构上相对于光阑 14 是基本对称的，第一组固定透镜组 L1 包含一个双胶合透镜和两个单透镜，第二固定透镜组 L5 也包含一个双胶合透镜和两个单透镜，变倍透镜组 L4 是双胶合透镜，相应的第一补偿组 L2 也是双胶合透镜。图 2a~2c 示出了本优选实施例的畸变曲线，从图中可看出，所有位置的畸变都控制在 1%以下。

要得到高的分辨率，镜头对传递函数 MTF 也有很高的要求，设数字光阀的大小为 $a \times b$ (单位: mm)，分辨率为 $x \times y$ ，并一般有 $a/x=b/y$ ，那么，在整个变焦过程中，传递函数在 $x/4a$ 时大于 70%，在 $x/2a$ 时大于 50%，即： $MTF > 70\% @ x/4a$ (单位: lp/mm) $MTF > 50\% @ x/2a$ (单位: lp/mm)，才能在屏幕上得到清晰的像。本优选实施例采用 0.7 英寸 DMD，实际显示区域尺寸为 14.0083mm × 10.5065mm，分辨率为 XGA 即 1024 × 768。表 5 给出了本优选实施例在 25lp/mm 和 50lp/mm 时各变焦位置的 MTF 值，其传递函数曲线参见图 3a~3c。从图中可以看出，本优选实施例的传递函数达到了很高的水平。

表 5 光学调制传递函数 MTF

视场	短焦位置		中焦位置		长焦位置	
	25 lp/mm	50 lp/mm	25 lp/mm	50 lp/mm	25 lp/mm	50 lp/mm
0	88.4%	69.1%	89.7%	64.2%	83.9%	56.0%
0.707	80.2%	50.0%	91.6%	71.7%	89.0%	64.3%
1	77.4%	49.2%	82.5%	50.4%	80.5%	52.7%

由于投影镜头的波长范围在 486.13nm-656.28nm，因此投射到屏幕上的像都是彩色的，这就要求本发明的色差特别是垂轴色差必须得到很好的校正。如果色差过大会在屏幕上呈现出彩虹一样的晕圈，所以垂轴色差要小于像素的 0.6 倍，轴向色差小于两个像素。本优选实施例利用变倍透镜组 L4 即双胶合透镜校正垂轴色差，为了达到校正色差的目的，一是将该透镜的胶合面弯向光

图 14, 二是使两块透镜的折射率差小于第二固定透镜组 L5 中双胶合透镜的折射率差, 同时利用重镧火石玻璃和重火石玻璃阿倍数 (参见表 4) 比较小的性质, 综合考虑平衡各种像差。图 4a ~ 4c 示出了本优选实施例的像差曲线, 从图中可看出垂轴色差要小于 0.01, 轴向色差小于 0.2, 满足使用要求。

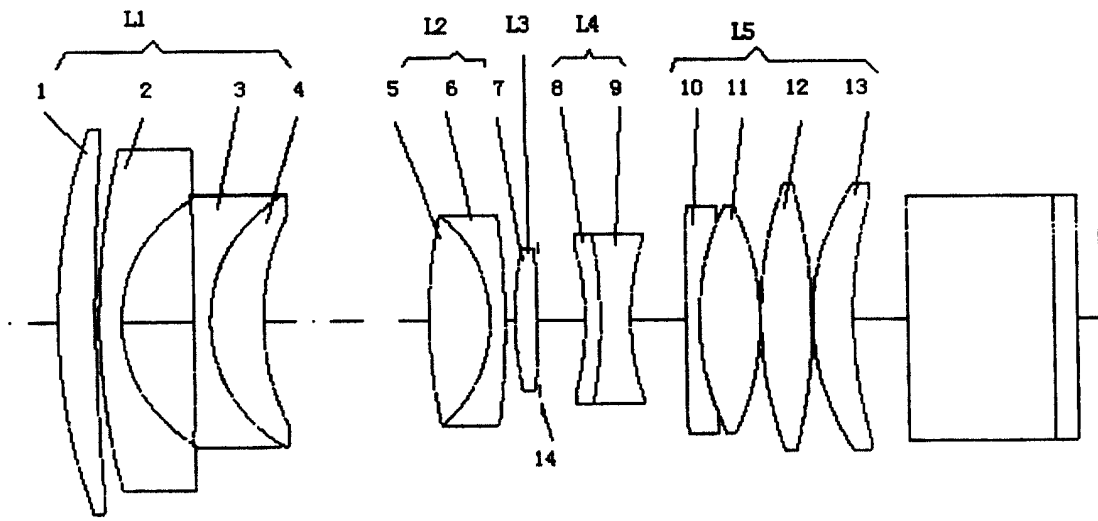


图 1a

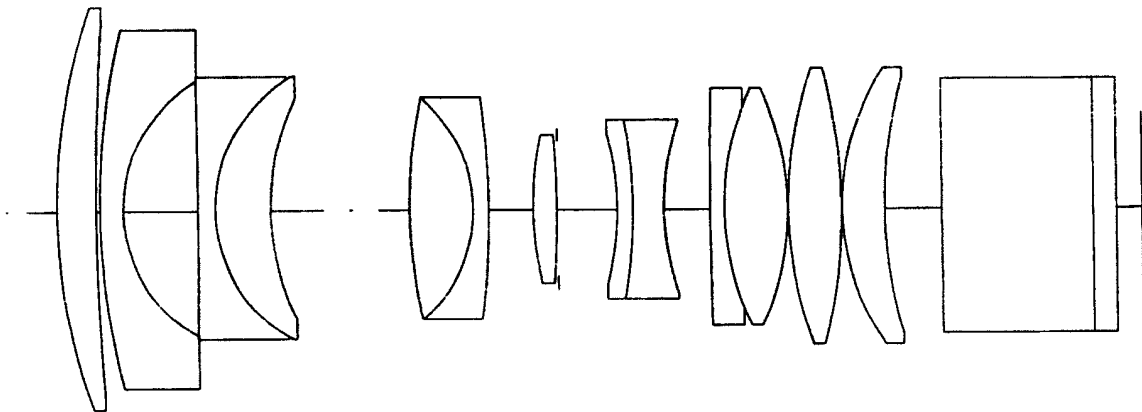


图 1b

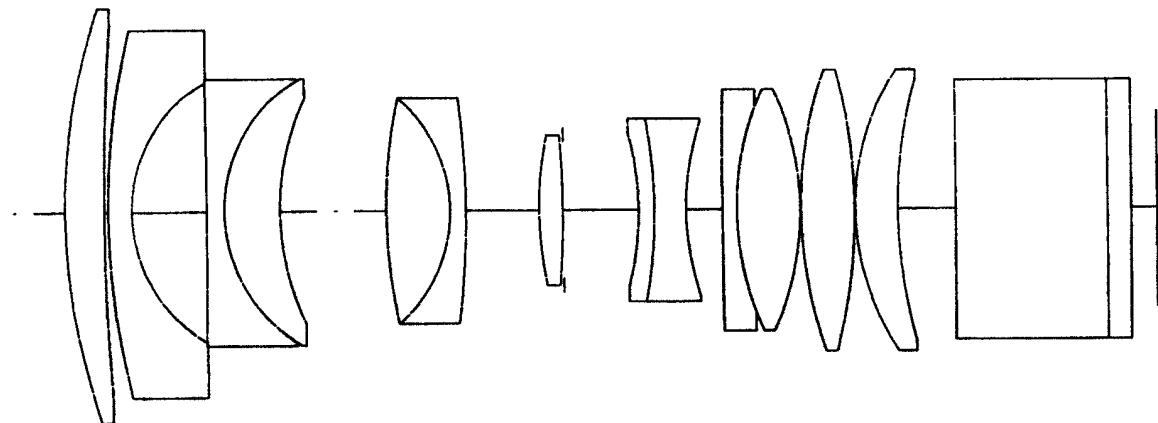


图 1c

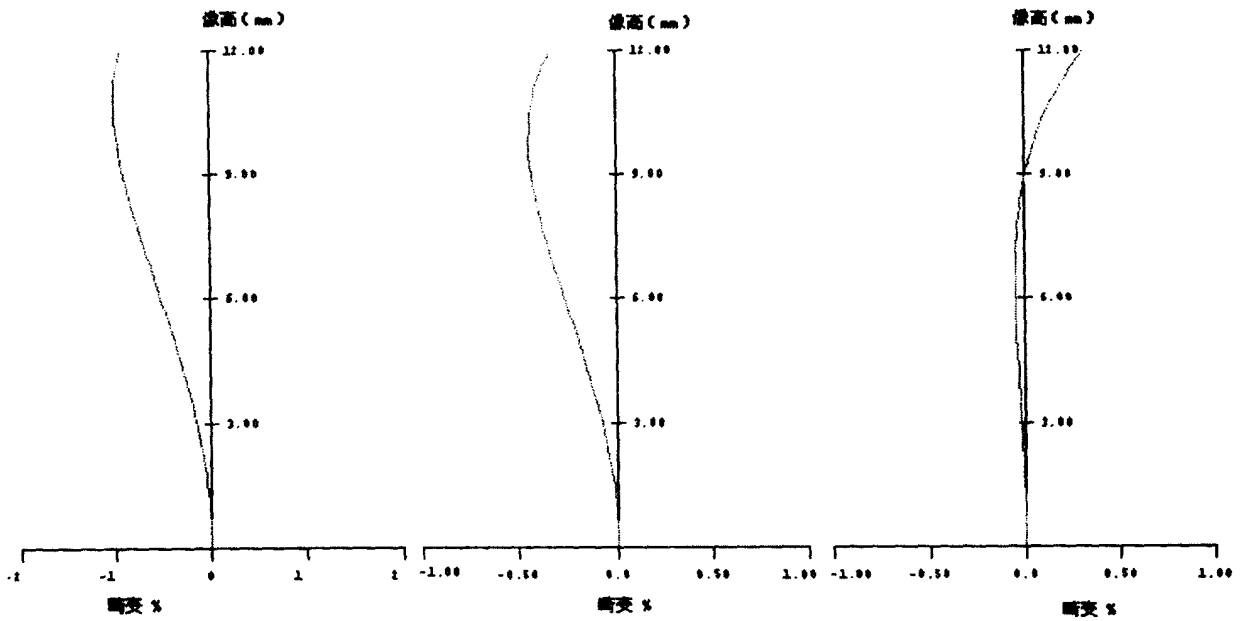


图 2a

图 2b

图 2c

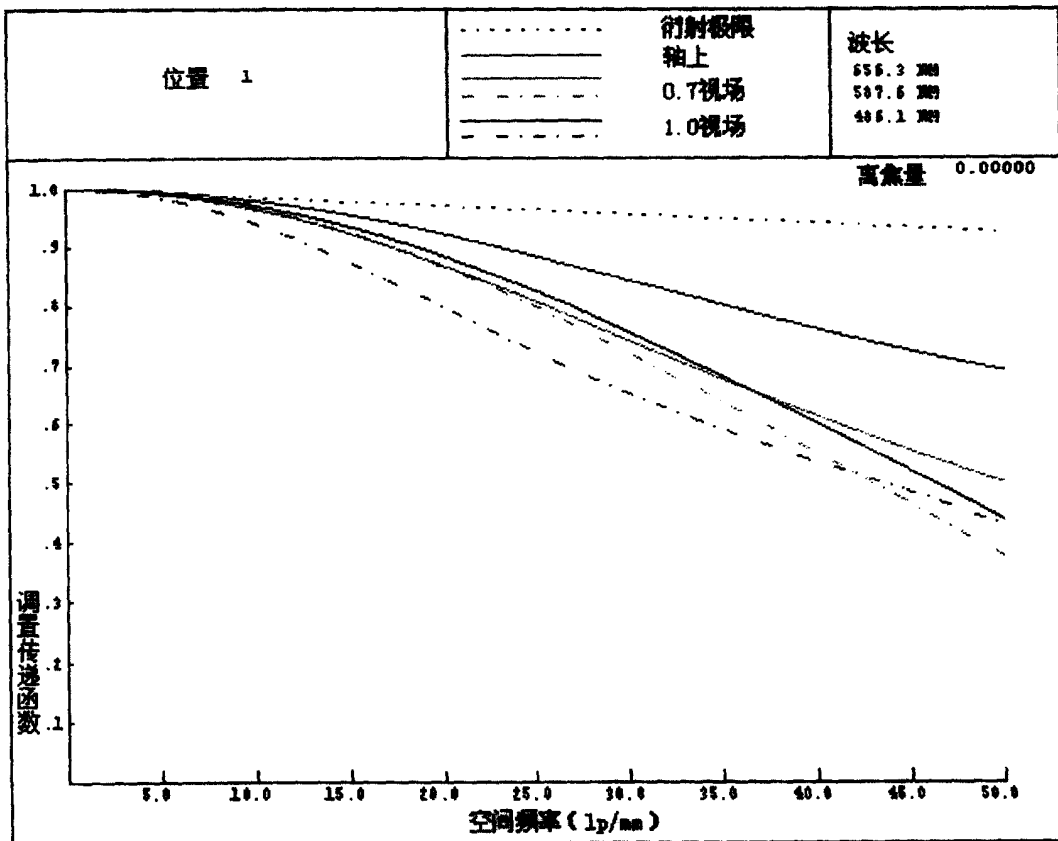


图 3a

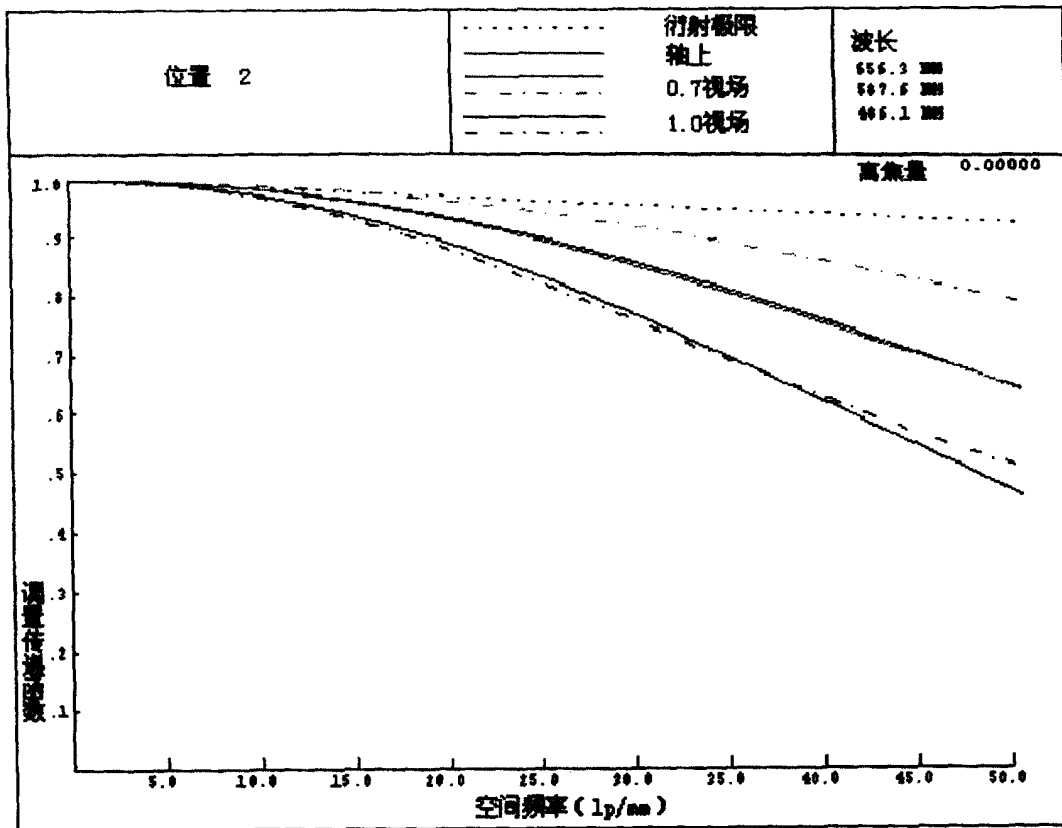


图 3b

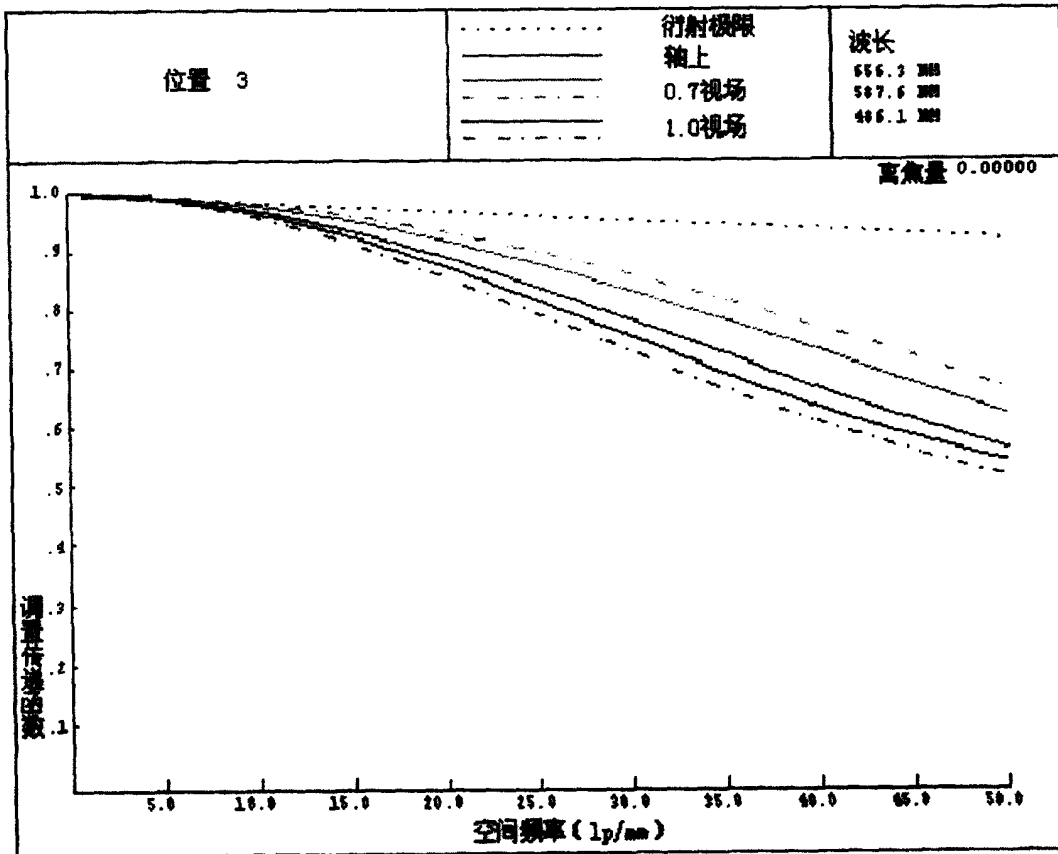


图 3c

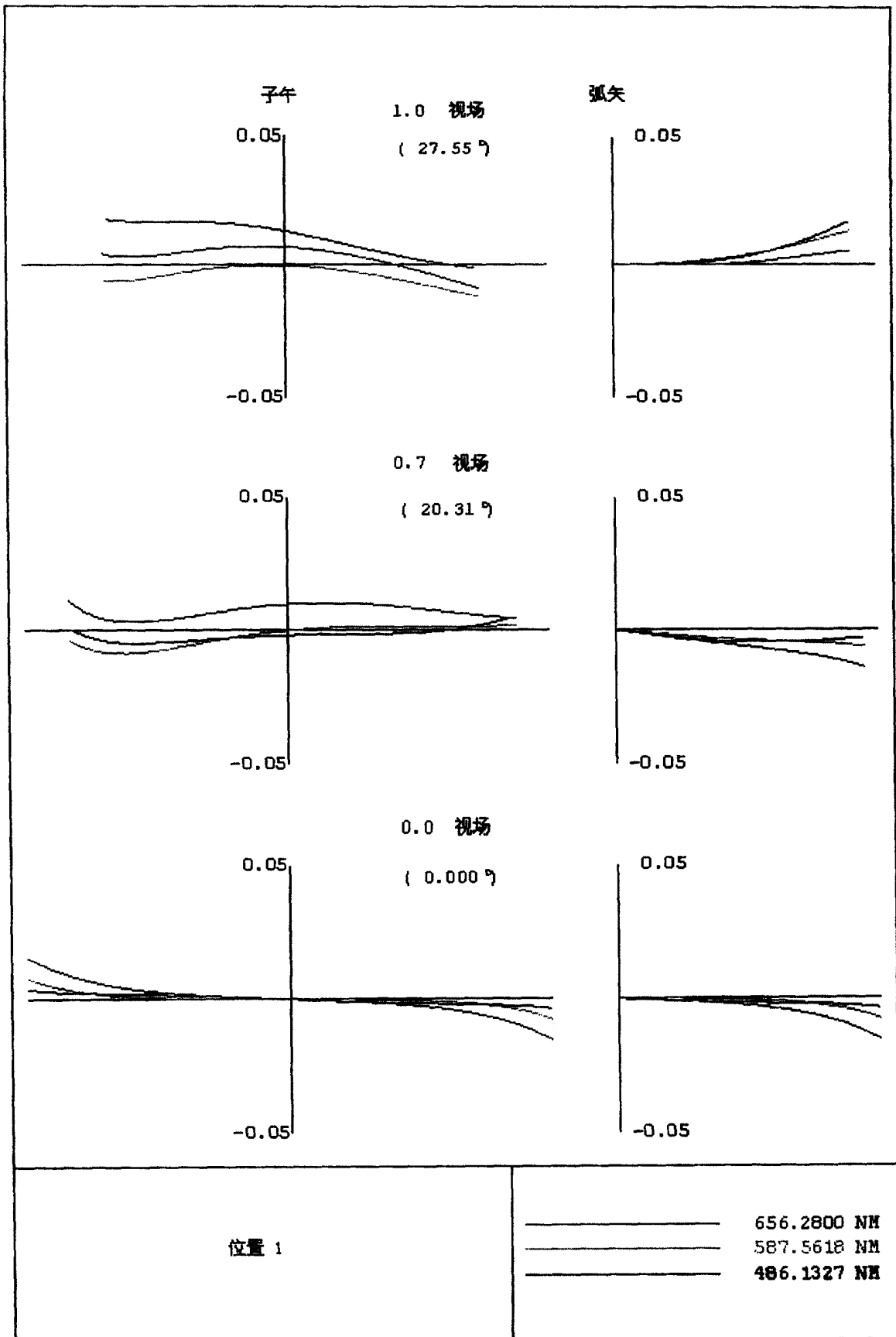


图 4a

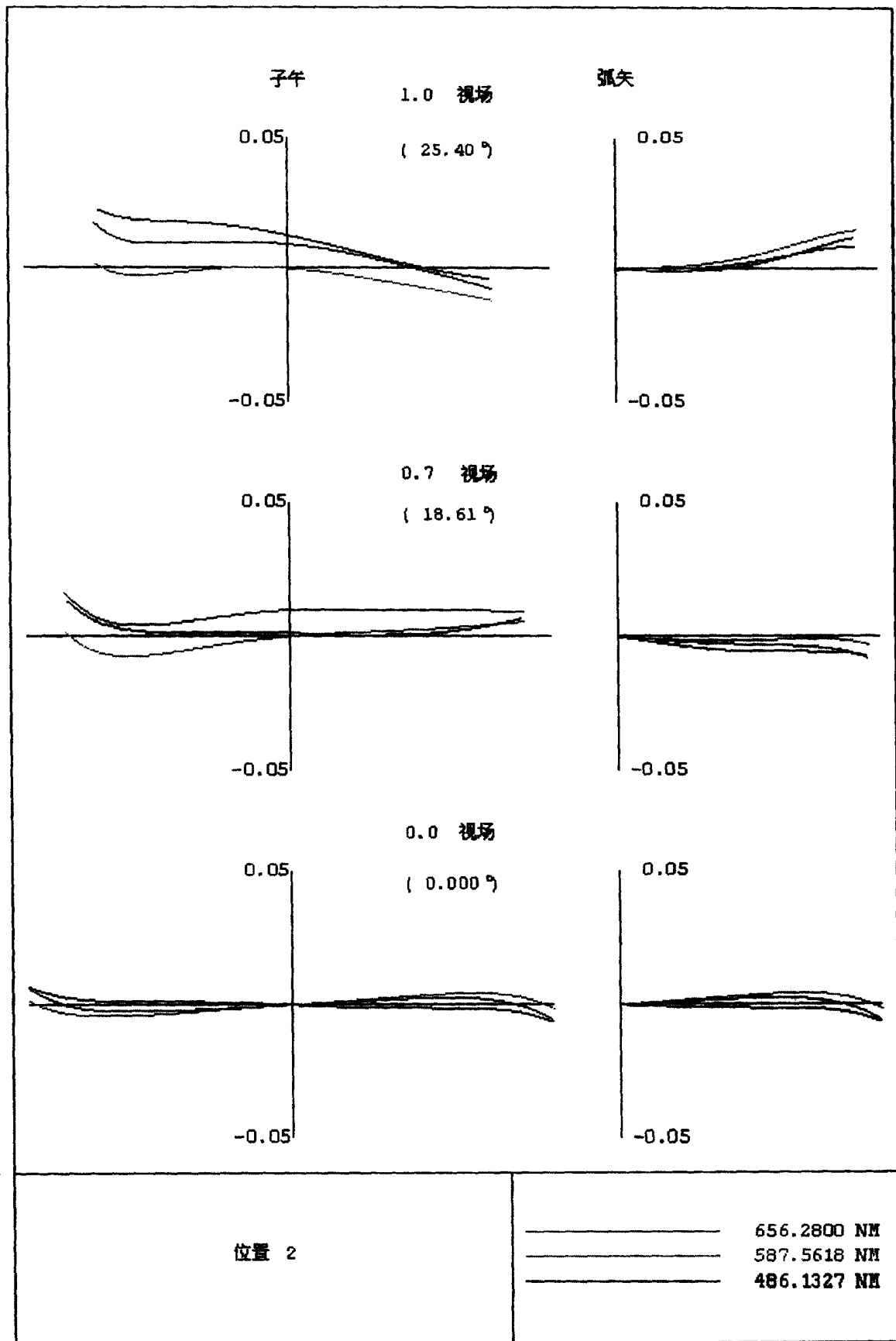


图 4b

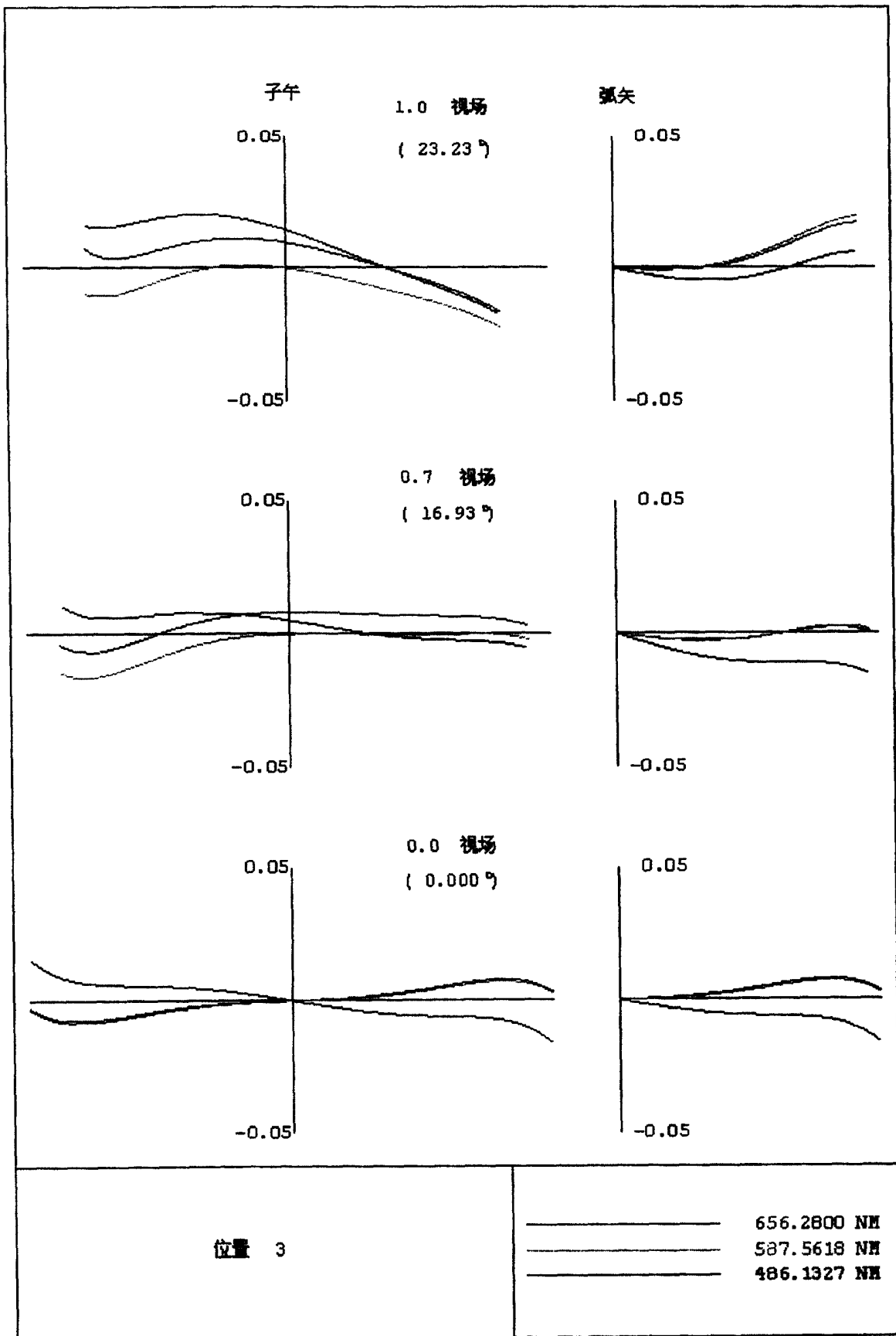


图 4c