文章编号:1002-2082(2010)02-0215-06

非球面手机屏幕放大镜的设计

李 翔，陶育华，苏彬彬，郑 博，麻忠武，张逸夔
(温州医学院 眼视光学院，浙江 温州 325000)

摘 要：为方便老年人、视力障碍者等特殊人群看清手机上的文字及图像，采用ZEMAX光学设计软件，从高折射率材料，镜片面型和类型的选择上，以及从使用双胶合镜或非球面等方面设计了几款手机屏幕放大镜。通过分析手机屏幕放大镜特点，发现用非球面镜片不仅可以改善屏幕周边的像质并可减小镜片厚度。最后，还设计了几种放大镜与手机的契合方式，以克服现有手机放大镜片的不足。

关键词：手机屏幕；非球面；放大镜；光学设计
中图分类号：TN929.53 **文献标志码**：A

Design of aspheric magnification lens for mobile phones

LI Xiang, TAO Yu-hua, SU Bin-bin, ZHENG Bo, MA Zhong-wu, ZHANG Yi-kui
(School of Ophthalmology and Optometry , Wenzhou Medical College, Wenzhou 325000, China)

Abstract: People with poor vision have difficulty in using their mobile phones because of the relatively small size of the screens. In order to help them to see more clearly, we designed several magnification lens for mobile phones with ZEMAX. After analyzing the features of the magnification lens used in mobile phones, we found that the aspheric lens could reduce the thickness of the lens and achieve better image quality on the periphery. At last, we designed several mechanisms for coupling the lens with the mobile phones and overcame the drawbacks of the current magnification lenses for mobile phones.

Key words: mobile phone-screen; aspheric; magnification lens; optical design

引言

目前市场上手机种类繁多，虽然很多手机屏幕较大，但大多数显示的文字都比较小，这给老花眼或屈光不正的患者带来了很大不便。我们希望通过设计一款手机屏幕放大镜解决这一问题。

本文设计了几款较实用的非球面手机屏幕放大镜，并提出了几种镜片和手机的嵌合方式，使其更美观实用。另外，本文为相关问题的解决(如小屏幕显示仪的放大问题)提供了一种新思路。

1 手机放大镜的特点及现状

放大镜利用凸透镜的成像原理实现放大效果。即当物体位于物方焦点内时，在物空间成一放大的正立虚像，如图1所示。

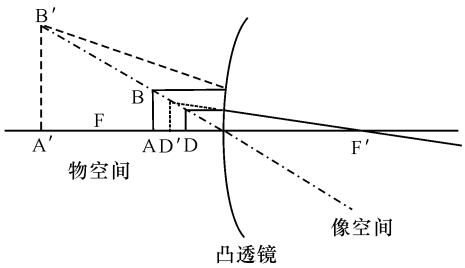

图1 放大镜成像示意图

Fig. 1 Magnifying mechanism

如果物向远离物方焦点F的方向移动(即从A到D，其像分别为A′和D′)，则横向放大率β将减小。

收稿日期:2009-09-01; **修回日期**:2009-09-29
作者简介:李翔(1985—)，男，浙江人，温州医学院眼视光学院研究生。E-mail: aertui1234@163.com

如果物体与透镜的距离一定时,为了增大 β,必须减小焦距,然而这必将使凸球面镜的厚度增加。

作为目视放大仪器,放大镜的放大作用应该用视觉放大率 M 表示,它指虚像对眼睛张角的正切值与物体对眼睛张角的正切值之比,即

$$M=\frac{\tan w'}{\tan w}=\frac{x'/s'}{x/(s+d+y)}=\beta\times\frac{s+d+y}{s'} \quad (1)$$

式中:β 为横向放大率;d 为镜片厚度;y 为眼瞳到镜片的距离;w 为屏幕对眼瞳的张角;w' 为像对眼瞳的张角)

为了方便镜片和手机贴合,镜片第一面的曲率设为零,如图 2 所示。图中 AB 为手机屏,$A'B'$ 为放大的虚像。可见,要提高 M,就要设法提高 β,并尽量增大镜片厚度 d。这 2 种情况都将使放大镜厚度过大而显得异常笨重。

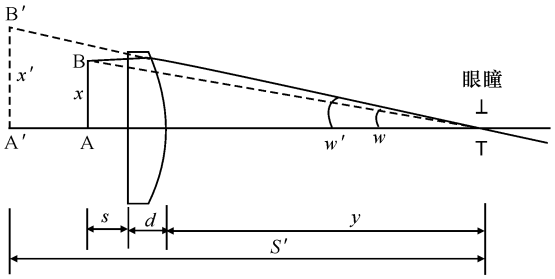

图 2　手机放大镜示意图

Fig. 2　Magnifying mechanism for the lens of cellular phone

由于以上原因,目前市场上的手机放大镜主要存在以下缺点:

1) 柱面镜/球面镜(见图3)主要缺点是镜片厚度太大,携带和使用极不方便。

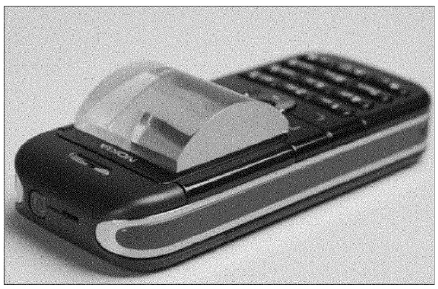

图 3　手机屏幕放大镜例一

Fig. 3　Magnifying lens for cellular phone (case No. 1)

2) 菲涅耳放大镜(见图 4)的菲涅耳镜片能很好达到厚度薄的要求,但其主要问题在于放大镜与手机的契合需要改造手机本身的结构,或者结合不牢固,在使用过程中很容易掉落、损坏,而且使用时镜片离屏幕较远,"厚度"增加仍比较明显。

图 4　手机屏幕放大镜例二

Fig. 4　Magnifying lens for cellular phone (case No. 2)

2　手机屏幕放大镜设计

要改变现状,减小厚度及像差,使手机屏幕放大镜既美观又保持理想的放大率,可以从以下两方面着手。

2.1　尽量选用折射率高的材料

折射率大的镜片,对光的聚焦能力强,在物距一定的前提下更容易提高放大率。鉴于牢固性和轻便性的考虑,我们首选有机材料。其价格便宜,且轻巧、耐摔,尤其适合非球面镜片的加工,是手机用放大镜的优良材料。

目前市场上折射率较高的常用有机塑料有 Acrylic(丙烯酸)、Polystyrene(聚丙乙烯)、Polycarbonate(聚碳酸酯)和 Coc(环烯烃)等,如表 1 所示。

表 1　常用光学有机塑料的光学和物理特性

Talbe 1　Optical parameters of some common organic plastics

参数	丙烯酸	聚苯乙烯	聚碳酸酯	环烯烃
折射率@583 nm	1.49	1.59	1.589	1.533
阿贝数	55.3	30.87	29.9	56.2
热光系数×10^{-5}/℃	−8.5	−12	10	−9
线性膨胀系数/℃	6.5×10^{-5}	6.3×10^{-5}	6.8×10^{-5}	6.5×10^{-5}
透射率/%	92	88	90	91
双折射	低	高/低	高/低	低
抗拉强度/(Ib/in)^2	10,000	6 000	9 000	8 700
热变形温度/(℃)	92	82	142	120−180
冲击强度(ft-Ib/in)	0.3	0.4	>5	0.45
密度/(g/cm^3)	1.2	1.05	1.20	1.02
水吸收率/%	0.3	0.02	0.15	0.01
优点	高韧性高硬度、高抗化学变形	折射率指数高、成本低	抗冲击变形很好	高韧性、高HDT、水吸收率低
缺点	易碎、易热变形	紫外吸收率高、二次光折射率和抗冲击强度低	二次光折射率高 阿贝数低,易划伤	易碎

综合考虑,Polycarbonate(pc)为首选,其各方

面表现出色,唯一的不足是阿贝数比较低(29.9),容易产生色散,但作为放大倍率相对较低的手机放大镜,其色散的影响并不会很明显。即使用作眼镜材料,PC 在实际应用中对佩戴者也没有显著的影响。Acrylic 成本低,但其折射率不高且脆性大,可以作为备选材料。

2.2　镜片面型及类型的选择

由于本文一开始提出的原因,在令人满意的厚度范围内使用通常的单球面镜很可能达不到理想的放大效果,因此可以考虑使用双胶合镜或非球面镜。为了不失完整性,仍将简单分析单片球镜的情况。

本系统中,主要影响像质的像差有球差、像散、场曲和畸变。

2.2.1　球面镜

我们不妨估算一下近轴放大率为 1.5 时镜片的厚度。

平凸厚透镜的参数为

$$f'=-f=\frac{r}{n-1},l_H=-\frac{d}{n},l'_H=0 \tag{2}$$

式中,H、H′分别是物、像方主面;l_H 为物方主面距镜片顶点的距离;l'_H 为像方主面距镜片顶点的距离;f 和 f' 分别为物、像方焦距。

根据牛顿公式,横向放大率为

$$\beta=-\frac{f}{x}=\frac{r/(n-1)}{-l_H+(-f)-d-5}=\frac{r/(n-1)}{d/n+r/(n-1)-d-5} \tag{3}$$

式中 x 为焦物距(如图5 所示)。假设所用材料为PC($n=1.6$),要使 $\beta=1.5$,则有如下关系:

$$\frac{r/0.6}{d/1.6+r/0.6-d-5}=1.5\Rightarrow d=1.48\times r-13.3 \tag{4}$$

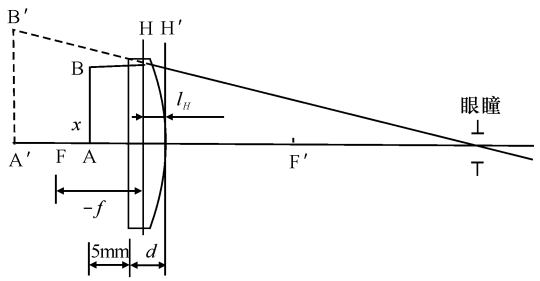

图 5　镜片厚度估算示意图

Fig. 5　Calculation of the thickness of spherical lens

假设镜片高 50 mm(以 2.1 寸屏为准),则 $r\geqslant 25$ mm,那么 $d\geqslant 1.48\times 25-13.3=23.7$ mm。由此可见,即使不考虑像差的因素,要达到 1.5 倍的横向放大率,镜片的厚度至少为 23.7 mm。

2.2.2　双胶合透镜

双胶合透镜的可变参数有 2 个折射率,3 个曲率和 2 个镜片厚度,更易控制像差。然而,在 ZEMAX 中设计的双胶合透镜显示,要达到 1.5 倍的轴向放大率,其厚度甚至比单透镜更大。究其原因,是由于为方便加工和装配需要,对于 50 mm 高的镜片,双胶合镜中每块透镜的边缘厚度都应大于 2.5 mm,这样镜片总厚度的基数已经是 5 mm,在这个基础上既要达到目标放大率又要使厚度不致过大是很困难的,并且双胶合透镜制作工序较繁琐,成本较高,不利于大量生产。

2.2.3　非球面镜

由于树脂材料的引入,使非球面加工变得相对容易,成本也较之前大为降低,使非球面大量生产和销售成为可能[6]。在常规光学系统中使用的非球面为旋转对称非球面。它是在一条二次曲线构成的曲面上加入一些高次变形参量,从而满足各种成像需要。实际中应用最多的非球面的面型是偶次非球面,可用下式描述[2]:

$$z=\frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}}+\alpha_4r^4+\alpha_6r^6+\alpha_8r^8+\cdots \tag{5}$$

式中:r 为非球面上任一点到光轴的距离;c 为非球面顶点处的曲率;k 与二次曲面的离心率有关($k<-1$ 表示双曲面,$k=-1$ 表示抛物面,$-1<k<0$ 表示椭球面,$k=0$ 表示球面,$k>0$ 表示扁平椭球面),称为二次圆锥系数(conic);α_4、α_6、α_8 等各项表示非球面相对于基准二次曲面的变形。与球面镜片不同,利用非球面参数能获得消斜光像散的非球面镜片[4]。

ZEMAX 光学设计软件是较专业的镜头设计软件,可以模拟镜片的成像效果并作出像质评价和分析[5]。利用ZEMAX 软件,设计以下几款镜片。

假设屏幕到镜片的距离为 5 mm(一般手机显示屏外自带一层薄塑料平板,与显示屏产生一定物距,镜片紧附于塑料板外),屏幕对角线长度为 50 mm,瞳孔直径为4 mm,像位于人眼前250 mm,我们取物面上半视场内的 6 个点(高度为 0 mm,7.5 mm,11.25 mm,17.625 mm,21.25 mm 和 25 mm)作为视场,成像质量分析包括不同视场对应的最大和最小弥散斑大小(对应球差)和全视场场曲和畸变(场区曲线中S 线和T 线的偏差即表示像散[3])。手机放大镜的结构较简单,对像质的要求

也不十分苛刻,故对MFT 曲线无特别要求。用2 种材料 Acrylic 和PC 分别设计几款不同放大倍率的镜片。较具有代表性的成果图如图6～图11 所示。图6 中材料为PC,最大厚度14.63 mm,放大率β为1.30,放大率M为1.32;图7 中材料为Acrylic,最大厚度9.17 mm,放大率β为1.49,放大率M为1.58;图 8 中材料为PC,最大厚度5.99 mm,放大率β为1.48,放大率M为1.54;图9 中材料为Acrylic,最大厚度9.17 mm,放大率β为1.49,放大率M为1.58;图10 中材料为PC,最大厚度9.57 mm,放大率β为1.96 放大率M为2.08;图11 中材料为PC,最大厚度12.14 mm,放大率β为2.40,放大率M为2.58。

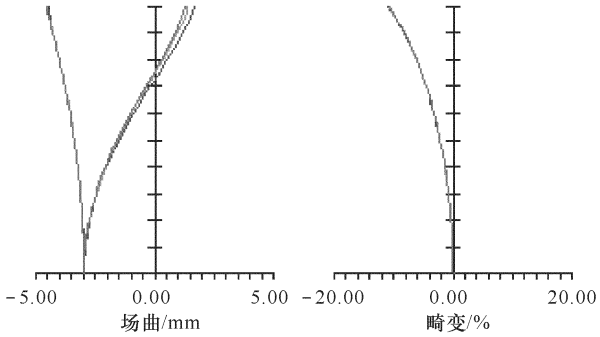

图6　球面镜场曲和畸变

Fig. 6　Field curvature and distortion of spherical lens

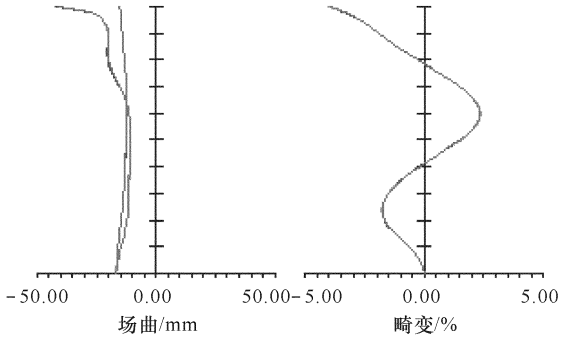

图7　非球面镜场曲和畸变例一

Fig. 7　Field curvature and distortion of aspheric lens(case No. 1)

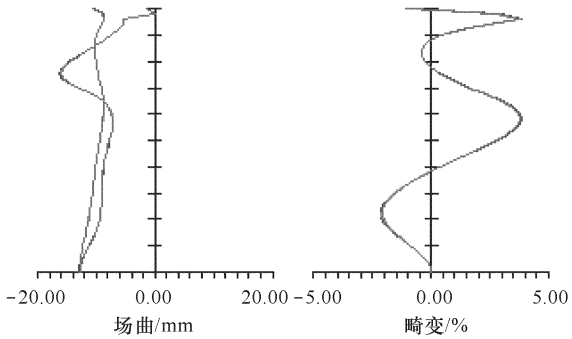

图8　非球面镜场曲和畸变例二

Fig. 8　Field curvature and distortion of aspheric lens (case No. 2)

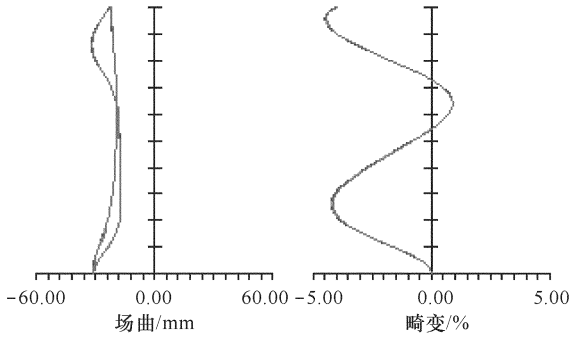

图9　非球面镜场曲和畸变例三

Fig. 9　Field curvature and distortion of aspheric lens(case No. 3)

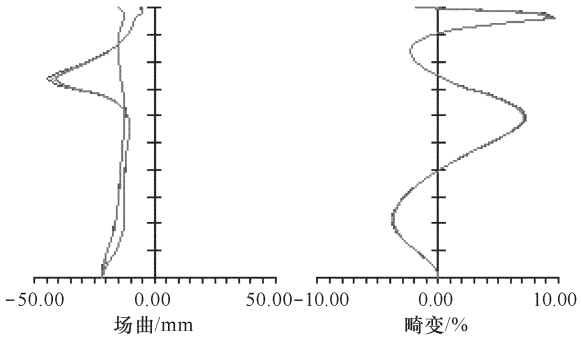

图10　非球面镜场曲和畸变例四

Fig. 10　Field curvature and distortion of aspheric lens(case No. 4)

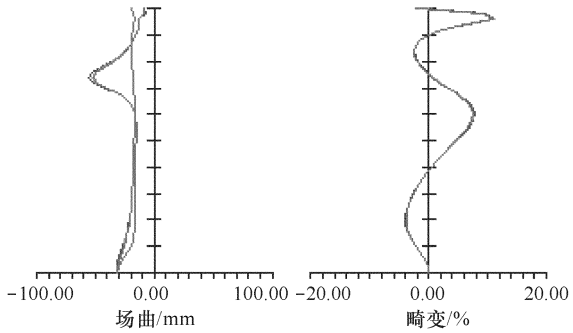

图11　非球面镜场曲和畸变例五

Fig. 11　Field curvature and distortion of aspheric lens(case No. 5)

为便于比较分析,现将所有镜片的主要参数列于表2。表2 中T_e、T_{max}、T_{min}分别指镜片边缘厚度、最大厚度、最小厚度;H_a为镜片最大轴上高度;S_{max}和S_{min}则表示全6 个视场对应像的最大和最小弥散斑大小,弥散斑是以主光线为参考点的,以实际光线与主光线在像面上的距离差的均方根(RMS)描述。

从下表和像质分析图不难看出,非球面镜片即有较高的放大率又能保持较小的厚度。从像差角度考虑,非球面的场曲、畸变曲线虽然没有球面镜片光滑,但其数值控制在小范围内,相比之下如果球

面镜的放大率进一步提高($\beta>1.3$),其像质就很难控制。值得一提的是,下表中4号非球面镜片的厚度只有6 mm,放大倍数已达到1.5,非常适合做手机屏幕放大镜,现将其非球面系数列于表3。

表2　球面和非球面镜片参数

Table 2　Parameters of spherical and aspheric lens

序号	面形	材料	β	M	T_e/mm	T_{max}/mm	T_{min}/mm	H_a/mm	S_{max}/μm	S_{min}/μm
1	球面	PC	1.30	1.32	2.41	14.63	2.41	27.33	73.04	17.85
2	非球面	PC	1.30	1.35	2.80	5.23	2.91	29.86	70.74	63.14
3	非球面	Acrylic	1.49	1.58	2.80	9.17	3.62	30.95	102.65	82.62
4	非球面	PC	1.48	1.54	2.75	5.99	2.72	32.40	83.74	60.77
5	非球面	Acrylic	1.95	2.08	2.90	12.58	3.56	34.06	147.84	126.76
6	非球面	PC	1.96	2.08	2.84	9.57	2.88	36.09	208.31	110.04
7	非球面	PC	2.40	2.58	2.69	12.14	2.79	38.28	331.07	151.93

表3　非球面系数(4号非球面镜片)

Table 3　Aspheric coefficients of lens(aspheric lens No. 4)

k	α_4	α_6	α_8
−0.785	1.175E-004	−1.490E-007	7.442E-011

3　镜片与手机的嵌合

嵌合方式直接关系到镜片的使用和放大效果,其基本要求是不仅要稳固地与手机结合,又可随时拆卸,方便安装。基于此,我们设计了以下几种嵌合方式。

3.1　利用可松紧扣袢将放大镜固定在手机上

放大镜适用于任何一款手机上(只要改变扣袢带的长度),紧贴式的放大镜还可以防止手机屏幕被刮坏,见图12所示。

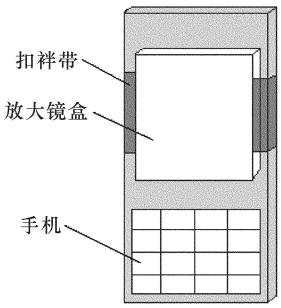

图12　镜片嵌合方式一

Fig. 12　The combination of lens and phone (case No. 1)

3.2　结合手机套,将镜片粘贴于手机套和手机之间

镜片四周预留较多的镜片边缘,在边缘正反面涂抹塑料胶水或强力双面胶,正面与手机套胶合,背面与手机屏幕边缘贴合,将镜片牢固的贴合于手机,见图13所示。

3.3　将镜片直接贴合于手机屏幕表面

在镜片平面放置一层可撕贴膜,使用时只要将贴膜撕开,将镜片与手机表面贴合即可,见图14。

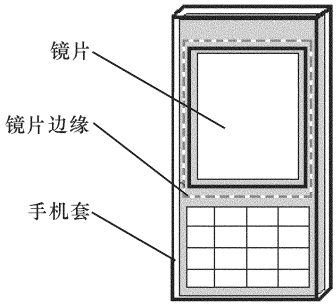

图13　镜片嵌合方式二

Fig. 13　The combination of lens and phone (case No. 2)

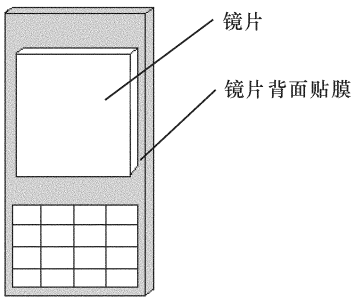

图14　镜片嵌合方式三

Fig. 14　The combination of lens and phone (case No. 3)

以上讨论了几种镜片与手机的嵌合方式,总的来说,方式一较通用,结合牢固,拆卸方便,能反复使用,但相应的成本也会有所提高,宜结合经济效益综合考虑结合方式。以上方案适用于平板式和滑盖式手机。

4　结论

本文着重讨论了怎样解决提高手机屏幕放大镜的放大率与增加镜片厚度之间的矛盾,从材料选择和镜面形式等方面进行分析讨论,用ZEMAX光学设计软件主要设计并比较了几款非球面镜片,选

取其中典型放大镜分析了它们的球差、像散、场曲和畸变。特别是给出了以PC 为材料,近轴放大率约1.5,厚度约6 mm 非球面镜片的非球面系数,此款镜片兼顾放大率和厚度,且其像差不大,是较为理想的设计结果。

最后,为了克服市场上现有镜片的不足,主要针对菲涅尔放大镜容易磨损、结合不牢固等缺点,我们设计了几种镜片和手机的嵌合方式,以提高镜片的实用性和耐用性。只需简单制作额外装置配合镜片使用,成本低廉且不失美观,可为镜片制造商提供参考。

值得指出的是,本文给出的方法同样适用于另外一些小视场屏幕仪器,如小屏幕仪表放大镜的设计等。

参考文献:

[1] 保金华,陈雄.眼镜片材料与制造[G].温州:中国卫生部视光学研究中心,法国光学工业协会,温州医学院眼视光学院,2000.
HAO Ji-hua, CHEN Xiong. Materials and manufacturing of spectacle lens [M]. Wenzhou: Optometry Research center of Chinese Ministry of Health, GIFO, School of Ophthalmology and Optometry ,Wenzhou Medical College, 2000. (in Chinese)

[2] 李晓彤,岑兆丰.几何光学·像差·光学设计[M].浙江:浙江大学出版社,2004.
LI Xiao-tong, CEN Zhao-feng. Geometrical optics, aberration, opical design [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 2004. (in Chinese)

[3] GEARY J M. Introduction to lens design with practical ZEMAX examples [M]. Richmond, Virginia USA: Willmann-Bell, Inc. , 2002.

[4] 沈为民,薛鸣球.非球面眼镜片的像差分析和设计[J].光学学报,2002,22(6):746.
SHEN Wei-min, XUE Min-qiu. Aberration analysis and optical design of aspheric spectacle lens[J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22(6): 746. (in Chinese with an English abstract)

[5] 罗翊戩.手机镜头设计[D].中国台湾:台湾国立中央大学光电科学研究所,2006.
LUO Yi-jian. Design of mobile cameras [D]. Taiwan: Tai-wan National Central University, Photoelectric Scientific Institute of Photoelectricity, 2006. (in Chinese)

[6] 刘亚威.非球面镜片的设计原理和应用[J].中国眼镜科技杂志,2006(1):35-36.
LIU Ya-wei. Design principle and application of aspheric lens[J]. China Glasses Science-Technology Magazine, 2006 (1): 33-36. (in Chinese with an English abstract)