

# 800万像素折衍混合式手机镜头设计

惠彬, 刘雁杰, 李景镇, 吴庆阳

(深圳大学电子科学与技术学院, 深圳 510086)

**摘要:** 为满足市场对高像素手机镜头的需求, 利用 ZEMAX 光学设计软件, 设计了一款 800 万像素的折衍混合式手机镜头。镜头采用了正-负-正的三片式结构, 光阑位于第一片透镜和第二片透镜之间, 第二片透镜的前表面为二元衍射面。手机镜头的  $F$  数为 2.85, 全视场  $64^\circ$ , 总长 5.9 mm, 在 Nyquist 频率处所有视场 MTF 值均大于 0.23, 相对畸变小于 1%, 成像质量良好。公差计算结果表明镜头公差符合加工工艺要求。

**关键词:** 光学设计; 手机镜头; 衍射光学元件; 800 万像素;

**中图分类号:** TN942.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2013)04-0223-04

## Optical Design of 8 Mega-pixel Hybrid Diffractive-refractive Mobile Phone Lens

HUI Bin, LIU Yan-Jie, LI Jing-Zhen, WU Qing-Yang

(College of Electronic Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 510068, China)

**Abstract:** An 8 mega-pixel hybrid diffractive-refractive mobile phone camera lens is designed with ZEMAX. The system includes three plastic aspheric lenses and an IR filter. The  $F$  number is 2.85 and FOV is  $64^\circ$ . The optical total length and back focal length are 5.9 mm and 0.6 mm respectively. The MTF of the lens at the Nyquist frequency is greater than 0.23 within its full field of view. The relative distortion is less than 1%. The tolerance calculation results show that the tolerance of the mobile phone optical systems meet the processing requirements.

**Key words:** optical design, mobile phone lens, diffractive lens, 8 mega-pixel

## 0 引言

随着手机行业的快速发展, 目前照相手机的市场占有率基本达到 100%, 可拍照手机从最初的 11 万像素发展到目前的 1200 万像素<sup>[1]</sup>, 800 万像素手机镜头正逐渐成为照相手机的主流配置。随着加工工艺的发展, 非球面元件已广泛应用于手机镜头, 对手机镜头成像质量的要求也不断提高。根据所用图像传感器不同, 目前 800 万像素手机镜头全视场角大约  $62^\circ \sim 68^\circ$ , 光圈 2.8~2.45 左右, 镜头总长小于 1 cm<sup>[2-3]</sup>。现有 800 万像素手机镜头多采用 1G (Glass) 3P (Plastic)、4P 和 2G2P 的四片折射式结构, 镜片数目较多, 结构较为复杂。相比于折射透镜, 衍射透镜体积小、重量轻、色散特性独特、设计自由度较多。在成像系统中将折衍射元件混合使用可进一步校正系统的像差, 改善系统的结构和性

能。

本文将衍射元件应用于 800 万像素手机摄像镜头进行设计, 有效减少了镜片数目, 使镜头结构紧凑, 性价比提高。

## 1 设计过程

### 1.1 镜头的技术指标

光学镜头的系统参数, 如视场角、 $F$  数和焦距等与所选用的图像传感器密切相关<sup>[4]</sup>。可由选定的传感器类型来计算镜头设计的初始要求。

本设计选用东芝公司的一款 1/2.6 英寸 800 万像素 CMOS 器件作为手机镜头的成像接收器。CMOS 传感器主要规格参数如表 1 所示。

设计选用的 CMOS 传感器对角线长 6.15 mm, 考虑到加工装配误差, 设计像高为 6.17 mm。镜头需满足的主要技术指标如表 2 所示。

收稿日期: 2013-01-09; 修订日期: 2013-02-28.

作者简介: 惠彬 (1977-), 女, 陕西人, 副教授, 主要从事光学设计方面的研究。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目, 编号: 60127501; 深圳大学面上基金资助项目编号: 801000162; 深圳市微纳光子信息技术重点实验室开放基金资助项目。

表1  CMOS 主要规格参数

Table 1  The specifications of the CMOS

参数名称	指标
像面大小	4.88 mm×3.69 mm (对角线长 6.15 mm)
像素数	3280×2464 (800 万)
像素大小	1.75 μm×1.75 μm

表2  镜头主要技术指标

Table 2  The specifications of the lens

参数名称	指标
波段	可见光
全视场角	64°
相对孔径	1/2.85
MTF 值	0.7 视场>0.3
相对照度	>0.5
主光线出射角	<25°
后焦距	>0.5 mm
总长	<6 mm

1.2 设计思路

1.2.1 材料选择

设计中镜片全部采用非球面光学塑料。非球面透镜可简化镜头结构，提高镜头相对孔径和成像质量。光学塑料质量轻，成本低，易于制作非球面透镜。设计中三片透镜材料分别为 E48R、POLYSTYR 和 E48R。E48R 和 POLYSTYR 的折射率分别为 1.531、1.616，阿贝数分别为：55.95、30.97。POLYSTYR 材料光透过率为 90%，折射率高，色散系数小，与火石玻璃相近，故又称火石塑料。此外，POLYSTYR 材料的吸水性小，镜片尺寸稳定性、成形性和加工性能好，价格便宜，适宜制作手机镜头。

1.2.2 初始结构选取

初始结构的选取直接影响镜头设计的难易程度以及设计结果的优劣。初始结构来源有专利资料查找法、经验法以及基于像差理论的计算法。经验法及算法需要丰富的设计经验以及扎实的像差理论知识，专利查找法相对比较简便<sup>[5]</sup>。

本设计采用专利查找法选择初始结构。根据所要设计镜头的  $F$  数、视场等参数，选取一美国专利作为设计雏形，该专利结构的  $F$  数 3.2，半视场角 30°，焦距 4.46 mm。

1.2.3 优化过程

首先将所选专利结构参数输入 ZEMAX 软件，并对其视场角、 $F$  数、半径等参数进行修改，得到基本符合系统参数要求的初始结构。

将初始结构中所有半径、大的空气间隔、正透镜厚度和非球面系数设为变量进行初步优化。然后逐步加入负透镜厚度以及剩余空气间隔作为变量继续优化，若某些间隔出现过小趋势，可将其暂时固定下来。在初步优化时，设定评价函数，加入系统结构长度、主光线出射角等限制条件。

在优化时，为满足实际光学加工需求，需注意透镜的中心以及边缘厚度不能太小。此外，手机镜头的长度应尽可能小，优化时结合 TTHI 以及 OPLT 算符对镜头总长进行限制，使其小于 6 mm。

为进一步校正像差，提高成像质量，将第二片透镜的第一个面设定为二元衍射面，在 ZEMAX 中选择该衍射面型为 Binary2，将透镜结构参数和衍射面的二次相位系数  $A1$  设为变量进行优化实现消色差，再逐次加入衍射面的  $A2$ 、 $A3$  及  $A4$  相位系数针对场曲、畸变等单色像差和 MTF 进行优化。在优化中逐步增减变量、操作数并修改相应权重，通过反复修改和优化，最终得到达到设计指标的照相镜头。

1.3 优化结果

图 1 是优化后的镜头结构图，镜头采用了正-负-正三片塑料非球面镜片和一片红外滤光片。镜头总长 5.93 mm，后工作距离大于 0.5 mm，便于放置红外滤光片。孔径光阑位于第一、二片透镜间，有利于减小系统总长。最后一部分是红外滤光片，用于减少红外光对 CMOS 图像传感器的噪声影响。

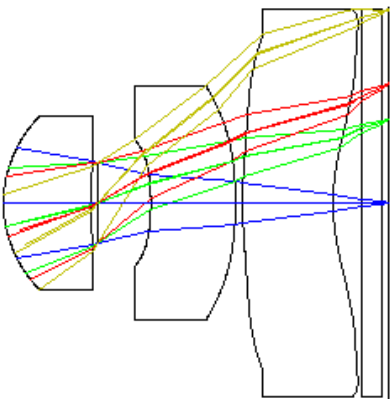


图1  三片式折衍混合手机镜头结构示意图

Fig.1  Diagram of the hybrid diffractive-refractive lens

图 2 是优化后镜头的调制传递函数 (MTF) 曲线。调制传递函数是光学系统成像质量的重要评价指标，它反映了镜头对物体不同频率时对比度的传递能力。通常 0.7 视场内是镜头成像质量的主要保证区域，在边缘视场，镜头成像质量允许一定程度的下降<sup>[6]</sup>。从图中可以看出，在 Nyquist 频率即 285

lp/mm 处,所有视场的 MTF 值均大于 0.23,0.7 视场的 MTF 值均大于 0.37;在 142.5lp/mm 处,所有视场 MTF 值均大于 0.48;在 95 lp/mm 处,所有视场 MTF 值均大于 0.64。镜头成像质量良好,达到预期目标。

图 3 是镜头的场曲和畸变曲线。对手机镜头而言,通常要求场曲小于 0.1 mm,畸变小于 2%。由图 4 可看出,场曲小于 0.1 mm,畸变小于 1%,满足指标要求。

图 4 是像面相对照度曲线。由图 4 可知,所有视场的相对照度都在 0.58 以上,满足指标要求。

### 2 公差分析

公差分析是检验设计结果是否可实际加工的的重要步骤。结合公差分析和加工要求<sup>[7]</sup>,一方面可给出光学元件的合理加工余量,另一方面可确定镜头中对像质变化敏感的光学元件,便于在加工中进行相应控制从而生产出高质量的镜头。

利用 ZEMAX 软件对本设计中镜头的加工和装配公差进行了分析计算,并对衍射面的最小周期线宽以及最小台阶宽度进行了计算。确定公差都在加工工艺能达到的范围内。

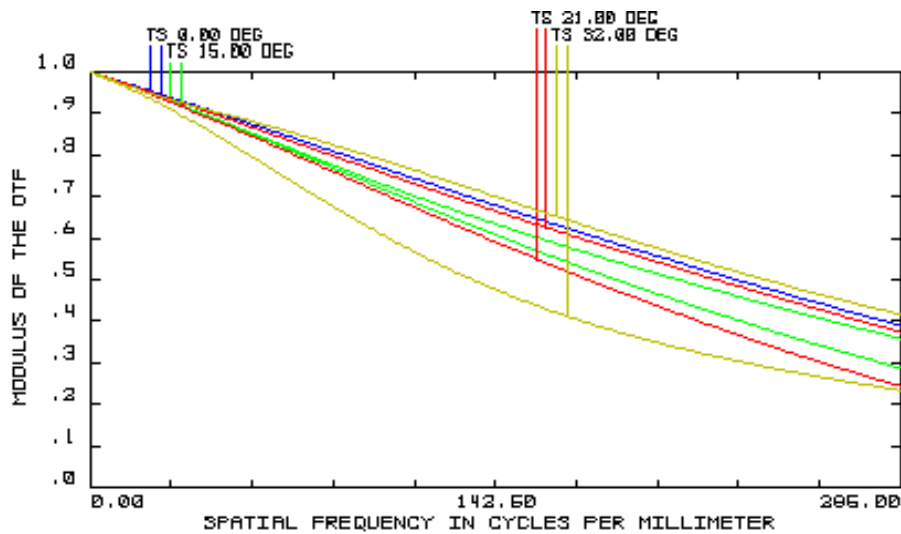


图 2 MTF 曲线      Fig 2 The MTF curves of different field of view

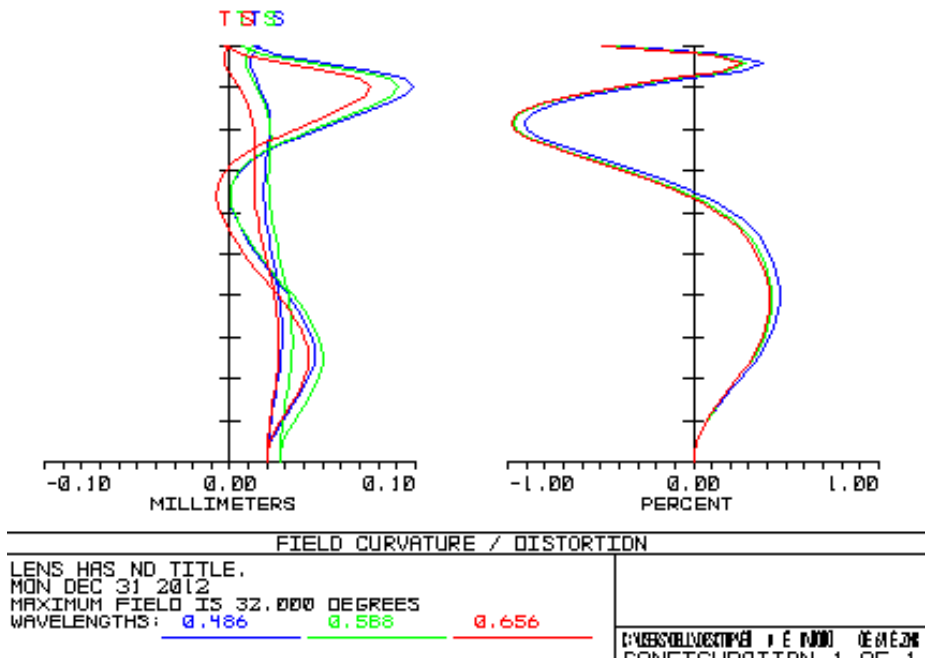


图 3 场曲和畸变曲线      Fig.3 Curvature of field and distortion curve

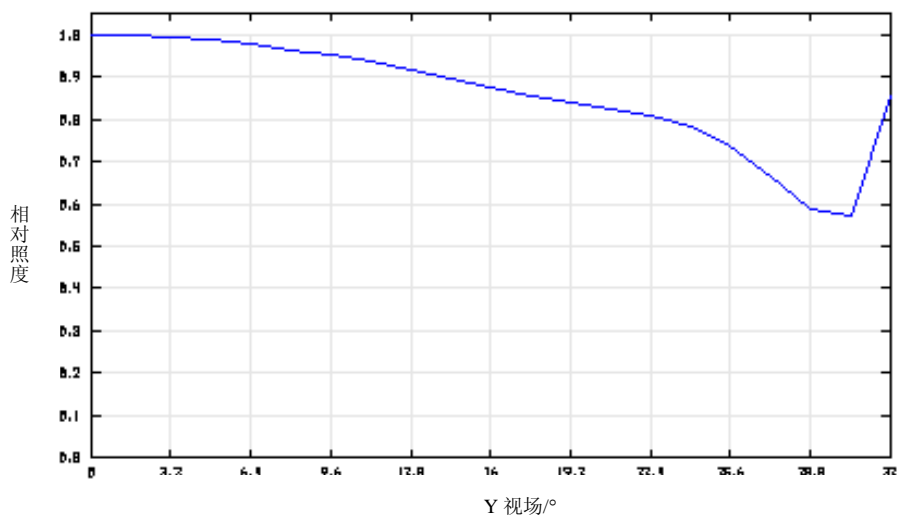


图 4 相对照度图      Fig 4 Relative illumination curve

3 结论

通过优化计算，将衍射元件应用于手机镜头，得到了一款三片折/衍混合式的 800 万像素手机镜头。镜头光学总长 5.9 mm，焦距 4.94 mm，后工作距离大于 0.5 mm，畸变小于 1%，像面主光线出射角小于 25°，成像质量良好，可满足中高档手机的摄像要求。公差计算结果表明，该系统可用于实际加工。

参考文献：

[1] 刘茂超, 张雷, 刘沛沛, 等. 300 万像素手机镜头设计[J]. 应用光学, 2008, 29(6): 944-948.

[2] 彭雪峰. 基于 Code V 的 800 万像素手机摄像镜头设计[J]. 现代科学仪器, 2012(4): 71-74.

[3] 李广, 汪建业, 张燕. 800 万像素手机镜头的设计[J]. 应用光学, 2011, 32(3): 420-425.

[4] 萧泽新. 工程光学设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.

[5] 李晓彤, 岑兆丰. 几何光学·像差·光学设计[M]. 浙江大学出版社, 2007.

[6] 郁道银. 工程光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[7] 李士贤. 光学设计手册[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.