

一款车载镜头设计

朱军彦 丁桂林

江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212013

摘要 为了满足汽车倒车需求,设计了一款结构简单、生产成本低廉的广角倒车镜头。镜头为4片式结构,第1片为玻璃,其余3片为塑料,使镜头满足在恶劣环境下工作的要求。镜头 F 数为2.8,水平视场为 185° ,且实验结果显示边缘视场畸变得得到较好控制。设计的镜头已经开始量产。

关键词 光学设计; 广角镜头; 车载系统

中图分类号 TN942.2 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.102203

Design of a Vehicle-Mounted Camera Lens

Zhu Junyan Ding Guiling

School of Mechanical Engineering, Jangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China

Abstract In order to meet the needs of the backing-up lens in cars, a wide-angle lens has been designed. The lens has four elements, the first is a piece of optical glass, the other 3 elements are plastic, and the lens is able to work under bad conditions. The lens has an F number of 2.8, the horizontal field is 185° , and the test shows that the off-axial distortion is corrected perfectly. Mass production of the lens has begun.

Key word optical design; wide-angle lens; vehicle-mounted system

OCIS codes 220.3620; 150.0155

1 引言

随着经济的发展和汽车的普及,车载镜头在汽车中得到广泛的应用,其中包括车载倒车系统、道路寻路系统、环景系统、行车记录仪等。不同的车载镜头,对视场有着不同的要求,倒车镜头和环视镜头对视场的要求较大,通常都在 150° 以上。当前市场中的倒车镜头多为视频图形阵列(VGA)镜头和宽幅视频图形阵列(WVGA)镜头,其镜片为全玻璃(G)或者玻璃与塑料(P)组合,视场范围一般在 180° 以下, F 数在1.6~3.0之间。如美国专利US20110169912所描述的镜头^[1],结构为2G3P,视场为 200° ;中国专利200910099703中所描述的镜头^[2],视场为 155° ,结构为4G2P,其中包含一组胶合透镜。又如当前市场一些具有代表性的车载镜头,如长步道光学有限公司型号为CV104A的广角镜头,其焦距为2.14, F 数为2,全视场为 145° ,采用6片玻璃结构,使用VGA芯片;舜宇光学有限公司型号为4022的广角镜头,焦距为1.65, F 数为2.4,全视场为 130° ,结构为6片玻璃,芯片使用VDA芯片。再比如中山联合光电有限公司的型号为T5019-C的镜头,其焦距为2.09, F 数为2.35,全视场为 135° ,采用2片玻璃、2片塑料的结构,使用VGA芯片。

对比上述镜头,有些结构复杂,如美国专利US20110169912中的镜头,为5片镜片结构,包括2片玻璃,有些视场太小,如型号为4022的镜头,全视场为 130° 。本文从实际使用出发,设计一款汽车倒车使用的广角镜头。目前该镜头已量产。

2 广角镜头设计分析

具体的设计规格如表1所示。与前述镜头相比,本设计具有明显的大视场优点,视场为 210° ,结构简单,为1G3P,并且因为采用塑料非球面,具有成本低、体积小、成像质量高的特点。

收稿日期: 2014-03-03; 收到修改稿日期: 2014-05-14; 网络出版日期: 2014-09-09

作者简介: 朱军彦(1988—),男,硕士研究生,主要从事光学设计方面的研究。E-mail: 312681478@qq.com

导师介绍: 丁桂林(1987—),男,硕士生导师,主要从事光学系统设计方面的研究。E-mail: guilinding@aliyun.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

表1 设计要求

Table 1 Design requirement

Item	Specification
Sensor	768 pixel×576 pixel
Image area	2.952 mm×3.936 mm
Sensor pixel	6.0 μm ×6.0 μm
Construction	1G3P
Effective focal length	0.973 mm
Back focal length	2.048 mm
Optical length	11.44 mm
Illumination	44%
Field	Horizontal: >185°
	Vertical: >142°
	Diagonal: >210°
<i>F</i> #	2.8

2.1 初始结构的选取

根据设计要求,要设计的镜头为广角镜头,其结构参数为1G3P形式,美国专利US8576051^[9]满足这些要求。其设计规格如表2所示,其中EFF为有效焦距,HFOV为半视场角,TTOR为光学总长,BF为后焦。

表2 US20100259632的设计规格

Table 2 Design specifications of the patent US20100259632

Item	Specification
EFF/mm	0.753
<i>F</i> number	2.801
HFOV/(°)	101.59
Image height/mm	1.7
TTOR/mm	11.352
BF/mm	1.352

从表2中可以发现该镜头规格和设计要求比较接近,而半视场角和目标值相差3.41°,后焦距也比设计要求稍短。

2.2 广角镜头的优化

专利US8576051中的镜头如图1所示。根据要求,首先对焦距进行缩放,使其为目标值,再把半视场改为105°,等于设计要求值。

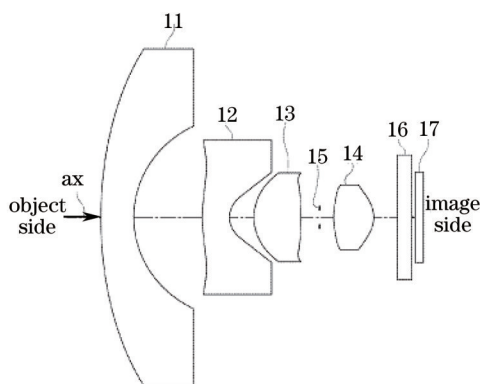


图1 US8576051镜头的透镜结构示意图

Fig.1 Schematic of patent lens in the US8576051

2.2.1 初级像差的优化

未进行优化设计前的结构像差如表3所示。从表3中可以发现初级像差较大,为了更直观地了解像差,要查看轴上光学扇形图和点阵图(图2)。

表3 初始结构像差

Table 3 Primary aberrations of the initial structures

	SPHA	COMA	ASTI	FCUR	CLA	CTR
Seidel aberrations /mm	0.000540	-0.002988	-0.001576	0.057716	-0.003654	0.025565
Wave aberrations	0.121714	-2.691526	-1.420260	25.99803	-3.292104	46.06275

从图2~3中可以看出光学扇形图为 $50\ \mu\text{m}$,点阵图为 $6.21\ \mu\text{m}$ (均方根,RMS)。调整好光学规格后首先对初级像差和轴上像差进行优化。根据文献[4-7]中的像差理论,对轴上点 0.707 孔径的光线进行优化。比较优化前后的初级像差变化值,如表4所示。

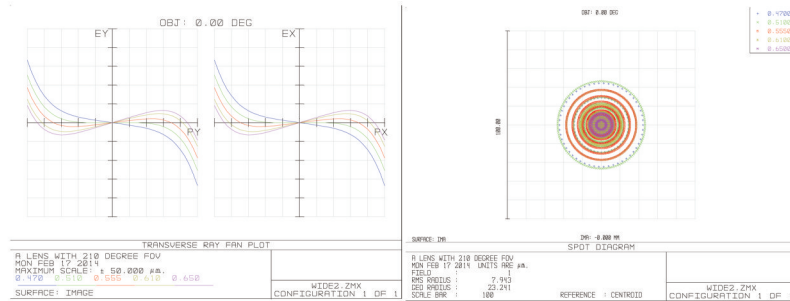


图2 优化前轴上点的扇形图和点阵图

Fig.2 Fan diagram and dot array of the points on the axis before optimization

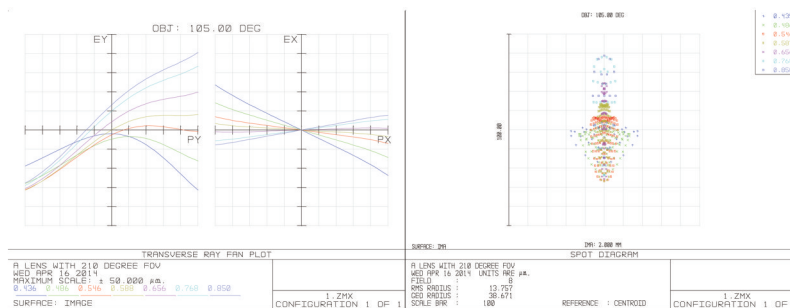


图3 优化前轴外视场的扇形图和点阵图

Fig.3 Fan diagram and dot array of the field off the axis before optimization

表4 优化前后的初级像差比较

Table 4 Comparison of primary aberrations before and after optimization

		SPHA	COMA	ASTI	CLA	CTR
Before	Seidel aberrations	0.000540	-0.002988	-0.001576	-0.003654	0.009208
	Wave aberrations	0.121714	-2.691526	-1.420260	-4.090682	16.59154
After	Seidel aberrations	-0.000146	0.012033	0.003498	-0.006030	0.025565
	Wave aberrations	-0.031102	10.23888	2.976115	-3.292104	46.06275

比较图2和图4,可以直观地发现波长为 $0.546\ \mu\text{m}$ 的光线从大于 $20\ \mu\text{m}$ 下降到 $20\ \mu\text{m}$ 以内,RMS也由 $7.9\ \mu\text{m}$ 下降到 $6.0\ \mu\text{m}$ 。比较图3和图5,可以直观地发现波长为 $0.546\ \mu\text{m}$ 的光线从大于 $30\ \mu\text{m}$ 下降到 $20\ \mu\text{m}$ 以内,RMS也由 $13.757\ \mu\text{m}$ 下降到 $7.827\ \mu\text{m}$ 。表4列出了优化前和优化后的初级像差,从中可以看到球差有明显的下降,为了平衡高级像差和调制传递函数(MTF)的提高^[4-7],其他初级像差不同程度地变大。从图5轴外视场的扇形图中可以看出,此时系统的主要残留像差为色差,对于大视场的光学系统,色差校正比较困难。

2.2.2 MTF的优化

在完成初级像差的优化工作后将镜头的MTF等进行优化,MTF可以在前期用优化整体的MTF(MT-FA)进行优化,当优化到一定程度后再用优化T方向的MTF(MTFT)和优化S方向的MTF(MTFS)进行更精确的优化。

对MTF进行优化后,其前后变化如图6所示。

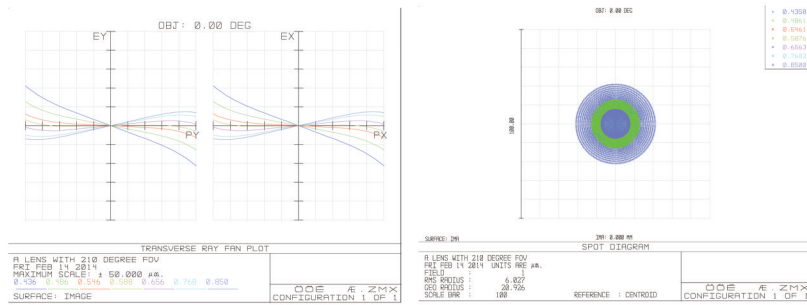


图4 优化后轴上点的扇形图和点阵图

Fig.4 Fan diagram and dot array of the points on the axis after optimization

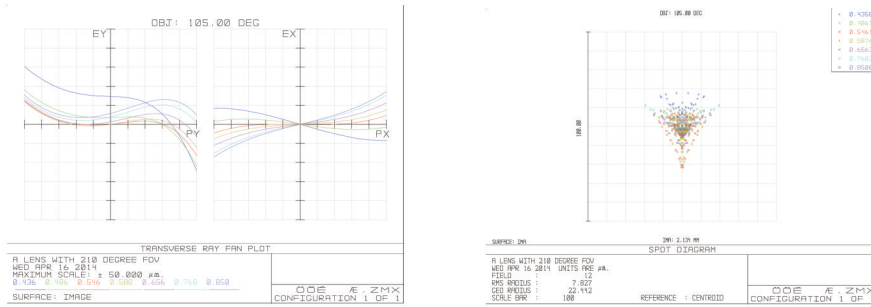


图5 优化后轴外视场的扇形图和点阵图

Fig.5 Fan diagram and dot array of the field off the axis after optimization

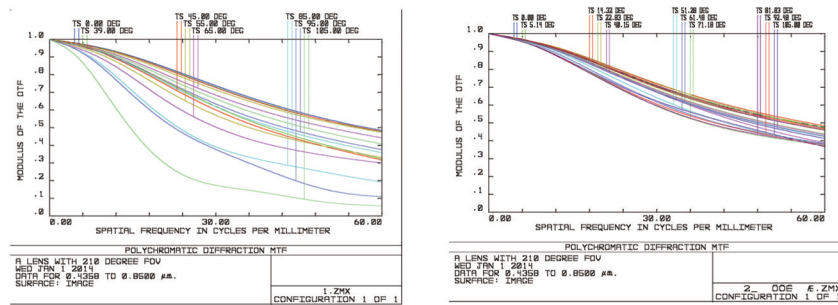


图6 优化前后的MTF对比

Fig.6 Comparison of MTF before and after optimization

2.2.3 畸变的优化

此镜头为大于180°的广角镜头,畸变计算在90°时无法计算。参考文献[8-10],同时为了后期的展开处理^[11-12],采用体视投影方法来计算理想像高为

$$y' = 2f \tan \frac{\theta}{2}, \tag{1}$$

式中 f 为镜头的有效焦距, θ 为物方视场角。

此镜头的畸变计算公式为

$$D = \frac{y_{\text{chief}} - 2f \tan \frac{\theta}{2}}{2f \tan \frac{\theta}{2}}, \tag{2}$$

式中 y_{chief} 为视场 θ 的主光线在像面上的高度。

在优化过程中可以直接使用(2)式,将(2)式的优化写成优化调用宏命令ZPL进行优化。

在优化过程中可以直接调用此宏命令对(2)式表述的畸变进行优化,此宏命令在pvhy()中输入视场,返回此视场按照(2)式得到的畸变。在优化中,TV畸变小于25%,F-Theta畸变小于20%。

图7所示的畸变图中,横坐标为按照(1)式得到的畸变,纵坐标为视场。为了有效地控制边缘畸变,在优化中设置在视场90°附近的畸变为0。

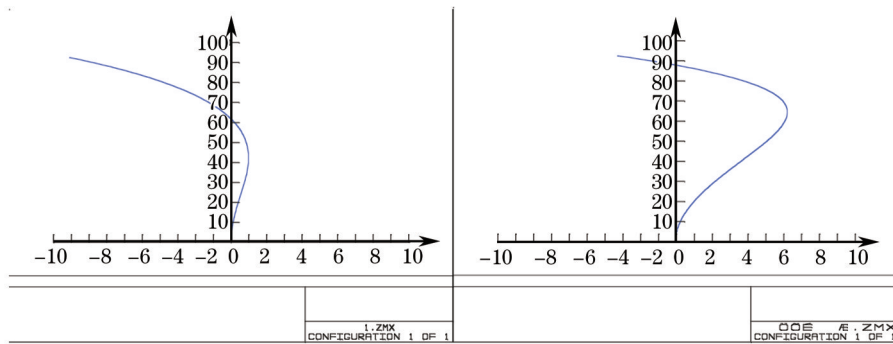


图7 优化前后的水平视场畸变对比

Fig.7 Comparison of the horizontal field distortion before and after optimization

3 广角镜完成优化后镜头数据与规格以及相关分析

车载镜头的使用环境较为恶劣,所以设计第一片采用玻璃材料,且其所镀膜层要求防水防划。完成优化后的镜头结构如图8所示。优化完成后的数据如表5所示。

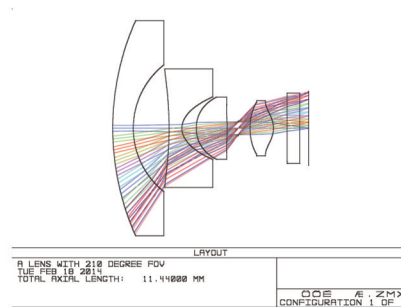


图8 完成优化后的镜头结构

Fig.8 Lens structure after optimization

表5 镜头数据

Table 5 Lens data

unit: mm

Surface	Radius	Thickness	Glass	Conic
1	15.34	1.20	1.77	49.61
2	4.70	2.09		
3	-20.80	0.75	1.63	23.97
4	1.05	0.84		3.93698
5	2.12	1.80	1.53	56.04
6	-6.75	0.64		-166.94
STO	Infinity	0.68		
8	3.61	1.36	1.53	56.04
9	-1.37	0.80		-0.3711
10	Infinity	0.735	1.51	64.21
11	Infinity	0.51		-2.8807
IMA	Infinity			

非球面系数如表6所示。优化完成后的镜头设计规格如表7所示。

表6 非球面数据

Table 6 Data of aspherical lens

unit: $\mu\text{m}/\text{mm}$

Surface	A4	A6	A8	A10
3	-5.22651×10^{-6}	2.319832×10^{-5}	0	0
4	-4.685395×10^{-4}	1.2831473×10^{-3}	$-8.2163392 \times 10^{-3}$	
5	0.015331201	0	0	0
6	0.013041433	0	0	0
8	0.010174151	0	0	0
9	-0.049010456	0.050341772	-0.010857638	0.0005508763

表7 设计完成的参数规格

Table 7 Parameter specifications after optimization

Construction	1G3P
Field	Horizontal: $>185^\circ$ Vertical: $>142^\circ$ Diagonal: $>210^\circ$
Effect focal length	0.973 mm
Back focal length	2.048 mm
Chief ray angle	$<20^\circ$
Illumination	44%@1.72 mm image height 39.5%@2.16 mm image height
MTF	On axis @60LP/mm >44 @120LP/mm >33 @60LP/mm $>S44/T38$
Distortion	F-Theta $<20\%$ TV-distortion $<25\%$
Optical length	11.44 mm
F#	2.8

图9为MTF离焦曲线,从图中可以看到,曲线下降平滑,离焦特性良好。图10为相对照度图,从图中可以看出相对照度在40%以上。

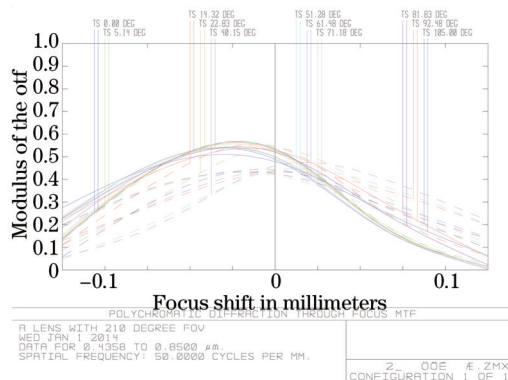


图9 MTF 离焦图

Fig.9 Defocus of MTF

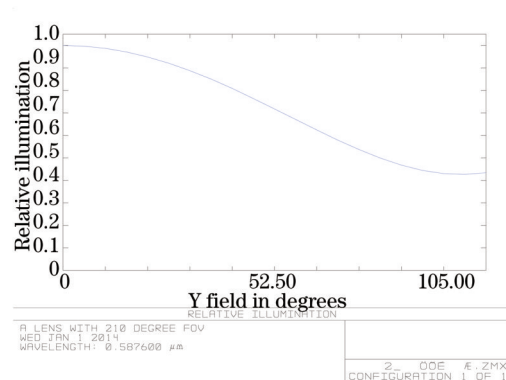


图10 相对照度

Fig.10 Relative illumination

4 实际镜头样品、实拍、测试

图11所示为实际生产的镜头效果图。按照表8的规格,水平视场为 185° ,检测较为困难与复杂,从实际生产时的方便考虑,水平视场只需检测到 180° 即可。

图 12 为整个实拍装置的俯视图,如图所示,镜头前方 180°处的水平线处放置两个参考物体,即图中的红色物体,用以检测水平视场,如果实拍图中可以观察到两侧的红色物体,则水平视场达到 180°。



图 11 实际生产的镜头效果图

Fig.11 Photograph of the produced lens

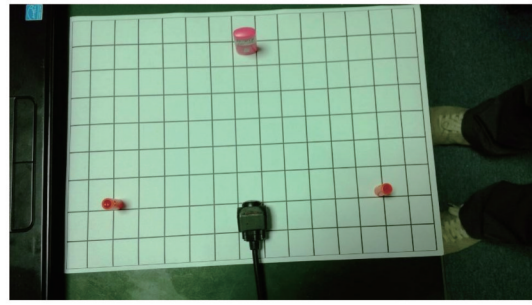


图 12 镜头实拍效果图

Fig.12 Photograph of the camera

图 13 为图 12 中装置的实拍效果图,从图中可以看到左右两个红色物体,由上面的分析可知此镜头的实际水平视场达到了 180°,满足了设计要求。还可以发现边缘画面的变形程度较小,畸变得得到较好的控制。



图 13 镜头实拍效果图

Fig.13 Photograph taken by the camera

5 结 论

设计了一款广角镜头,其视场大于目前常用的车载倒车镜头为 210°,水平视场为 185°,充分满足倒车需求,结构简单,为 1G3P 结构形式,便于生产组装和降低成本,其第一面采用玻璃,具有优良的环境适用性,后 3 片为非球面塑料,有利于像差的校正和体积的减小,给出了设计思路、优化过程和像差参考图,并实际生产了镜头进行实测并给出实拍图。

参 考 文 献

- 1 Issei Abe, Hayato Yoshida, Naoki Moniwa. Wide-angle lens and imaging apparatus using the same[P]. US20110169912, 2011.
- 2 Qiu Wenwei. Wide angle image lens, megapixels vehicle mounted camera[P]. CN201434931, 2010.
裘文伟. 超广角百万像素车载镜头[P]. CN201434931, 2010.
- 3 Keiji Matsusaka, Toru Nakatani. Wide angle optical system, imaging lens device, monitor camera, and digital apparatus [P]. US20100259632, 2010.
- 4 Xi Aiping, Li Weina, Hu Changtao, *et al.*. Wide image lens[P]. CN101930111 A, 2010.
席爱平, 李伟娜, 胡长涛, 等. 广角镜头[P]. CN101930111 A, 2010.
- 5 Zhang Yimo. Applied Optics [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008.
张以谟. 应用光学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- 6 Shi Shunxiang, Ma Lin, Wang Xueen. Physical Optics and Applied Optics[M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science & Technology University Press, 2008.
石顺祥, 马琳, 王学恩. 物理光学与应用光学[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
- 7 Zhong Xing, Jin Guang. Design of extra wide short wave infrared spectral imager's fore-optics[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(10): 1022004.

- 钟 兴, 金 光. 超广角短波红外成像光谱仪前置光学系统设计[J]. 光学学报, 2012, 32(10): 1022004.
- 8 Chen Huangming, Chen Xiangying. Optical design of fish eye lens[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 1989, 9(3): 36-42.
- 陈晃明, 陈向颖. 鱼眼镜头光学设计[J]. 北京理工大学学报, 1989, 9(3): 36-42.
- 9 Milton Laikin. Lens Design[M]. Michigan: M. Dekker, 1991.
- 10 Zhang Jiyan, Huang Yuanqing, Xiong Feibing, *et al.*. Optical lens design with short-focus and ultra-wide FOV[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(10): 102202.
- 张继艳, 黄元庆, 熊飞兵, 等. 短焦距超广角镜头的光学设计[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(10): 102202.
- 11 Zhu Haijiang, Xu Xiaobo, Zhou Jinglin. Fisheye image matching based on rotation matrix under spherical perspective projection[J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(2): 0215001.
- 祝海江, 徐晓波, 周靖林. 基于球面透视投影旋转矩阵的鱼眼图像匹配[J]. 光学学报, 2013, 33(2): 0215001.
- 12 Ai Saijiang, Wang Xiang. Correction of geometric distortion of wide-angle imaging system by cross ratio invariability [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(1): 0108005.
- 艾赛江, 王 翔. 基于交比不变性的广角成像系统几何失真校正[J]. 中国激光, 2012, 39(1): 0108005.