

闭路电视监控镜头光学设计及优化技术

李丽娟 高瑀含 林雪竹 宋芳

(长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要 利用 Zemax 光学工程软件,设计了一种应用于闭路电视监控镜头的光学系统。该系统有效焦距 f 为 5 mm, F 数为 2.8, 视场 2ω 为 70° , 采用 1/2 inch CCD 作为图像接收器件, 像元尺寸为 $6.5 \mu\text{m} \times 6.5 \mu\text{m}$ 。为实现系统结构紧凑和大视场的特点, 采用反远型结构进行放缩和简化。根据闭路电视镜头的特点, 在允许存在一定的场曲的条件下, 使系统具有较高的分辨率。设计结果表明, 利用 5 片球面透镜即可满足设计要求。该镜头在奈奎斯特频率处, 0.7 视场(FOV)以内的调制传递函数(MTF)值大于 0.3, 在奈奎斯特频率 1/2 处视场的 MTF 值均大于 0.5。系统各组元均为球面镜, 形式简单、结构紧凑。

关键词 光学设计; 闭路电视镜头; 优化; 大视场

中图分类号 O439 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.042203

Optical Designing and Optimizing Technique on CCTV Monitor Lens

Li Lijuan Gao Yuhan Lin Xuezhu Song Fang

(College of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology,
Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract A closed-circuit television (CCTV) monitor optical system is designed by using Zemax. The effective focal length of the system is 5 mm, the F-number and the full field of view angle are 2.8 and 70° , respectively. The image sensor of the lens is 1/2 inch CCD, whose pixel size is $6.5 \mu\text{m} \times 6.5 \mu\text{m}$. To achieve the lens with compact feature in structure and wide field of view, an inversed telephoto system is used. According to the character of CCTV lens, some field curvature remains, which can ensure the system has a high resolution. The result shows that 5 spheric lens can meet the requirement. The value of modulation transfer function (MTF) is more than 0.3 within 0.7 field of view (FOV) at the Nyquist frequency, the MTF value of FOV is more than 0.5 at the 1/2 Nyquist frequency. Various components are the spherical mirror, the form are simple, and the structure is compact.

Key words optical design; CCTV lens; optimization; wide field of view

OCIS codes 220.2740; 220.3620; 120.4570; 150.0155

1 引言

闭路电视监控系统广泛应用于宾馆、商场、博物馆和银行等公共场所, 为保护国家公共财产、维护公民的合法权益免遭侵害和刑侦人员犯罪现场取证发挥着重要作用^[1]。闭路电视监控技术是集光电技术、信息技术、网络技术于一体, 是信息数字化、智能化的缩影。闭路电视镜头是监控系统的重要组成部分, 它将拍摄到的图片实时传输到监视器, 工作人员可以及时了解现场发生的情况^[2]。目前, 日本的腾龙公司与富士能公司均有推出高分辨率闭路电视监控系统, 市场反应非常好, 在国内高端监控镜头市场占有率较高的知名度和市场占有率^[3,4]。由于监控镜头的特殊用途, 要求它具有高分辨率、大视场、结构紧凑、抗干扰能力强和可以在照明环境不佳的情况下使用等特点。鉴于此, 本文设计了一种广泛使用的广角闭路电视镜头。

2 光学系统技术指标

要提高闭路电视镜头性能, 不仅要有好的光学镜头, 还需高质量感光器件与之相匹配^[5~7]。目前最常用

收稿日期: 2010-06-06; **收到修改稿日期**: 2010-12-09

作者简介: 李丽娟(1970—), 女, 博士, 教授, 主要从事光学设计、光学测量等方面的数学和研究工作。

E-mail: custjuan@126.com

的两种图像传感器是 CCD 和 CMOS。CMOS 传感器具有低成本、低功耗以及高整合度等优点,但 CCD 传感器在灵敏度、分辨率和噪声控制等方面都优于 CMOS 传感器,更适合作为闭路电视镜头的接受器件。选用 1/2 inch CCD 器件作为图像传感器,其像元大小为 $6.5 \mu\text{m}$,其奈奎斯特频率为 67 lp/mm。根据闭路电视监控系统的使用要求,确定的性能指标为:像元大小为 $6.5 \mu\text{m} \times 6.5 \mu\text{m}$;像面大小 5 mm(对角线);焦距 5 mm; F 数 2.8;调制传递函数(MTF)值 $80 \text{ lp/mm} > 0.25$ 。

3 光学系统设计

3.1 像差分析

和普通的成像镜头相比,闭路电视镜头属于广角镜头,需要对轴外像差进行校正。而闭路电视镜头的主要矛盾是校正场区。通常校正场区的方法是^[8~10]:采用正、负光焦度分离的光学系统。若光焦度分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 ,相隔距离为 d ,组合系统的光焦度为 $\phi = \phi_1 + \phi_2 - d\phi_1\phi_2$,假设两光组透镜玻璃折射率相同,则组合系统初级场曲系数为

$$S_{IV} = j^2(\phi_1 + \phi_2)/n = j^2(\phi + d\phi_1\phi_2)/n, \quad (1)$$

式中 n 为折射率。由(1)式可以看出,当 ϕ_1 和 ϕ_2 符号相反, ϕ 为正值,组合系统的场曲显然比光焦度为单透镜光组的场曲要小。为了进一步减小场曲,实际的负光组尽量采用折射率低的玻璃。厚弯月形透镜等同于一个正透镜、一平板玻璃和一负透镜的组合,其作用相当于正负光焦度分离的情况,故在成像系统中通常采用厚弯月透镜校正场区。

畸变是大视场引起的另一轴外像差,畸变的校正与其他像差校正相矛盾。考虑到畸变不影响成像的清晰度,对实际拍摄效果的影响也不明显,所以,实际 CCD 摄像系统允许一定数量畸变存在。可以通过稍微破坏同心透镜的同心性以及微量移动孔径光阑位置的办法,在确保其他轴外像差满足要求的前提下,尽量设法使畸变减小。必要时也可以通过数字图像处理校正畸变。

3.2 光学系统设计

设计合理的初始结构,并通过正确的优化方法,很容易达到要求的目标。因此,在设计系统初始结构时,必须周详考虑,使初始结构的参数尽量接近目标值。初始值的选择有两种方法,一是根据近轴光学理论确定透镜组结构并分配光焦度,根据像差理论计算各组透镜的像差,再进一步选择适当的玻璃组合,并将曲率半径、厚度的等参数逐步优化而获得。另一种方法从专利中寻找适合的镜组结构,然后修改初始资料以符合设计要求。目前对于结构比较复杂的系统通常采用第二种设计方法。

参考文献[3]中设计的广角镜头(如图 1 所示),对各种场曲、畸变及其他像差进行了良好的校正,但由于采用了非球面镜,使得该系统的制造难度和成本都相应提高。为了降低镜头的成本,达到工程化和市场化的目的,可以适当放宽对像差要求,而尽量使用球面镜系统。参考文献[4]中设计了一种广角镜头,视场角可达 110° ,为五组元系统,光焦度分别为负、负、正、正、正。此广角镜头满足两条件:1) $1 < D/F_1 < 3$;2) $4 < D/F_2 < 6$ 。其中 D 为第一面透镜的中心厚度, F_1 为第一透镜组的有效焦距,而 F_2 为第二透镜组的有效焦距。通过厚弯月形透镜对场曲进行校正,第一组透镜满足: $R_1 > R_2 > 0$; $R_1/R_2 > 4$ 。

5。该系统通过使用两个厚透镜并控制各组元之间光焦度的分配平衡场区及其他像差,校正结果较好,但由于视场较大,产生的畸变也很大。

上述结构加以改进,采用 4 组 6 片式结构,光焦度分配为负、正、正、正。第 1 组仍采用厚弯月系统;考虑到本系统的视场角小于文献[1]系统的视场角,为使结构简单,将原透镜的 2,3 组元合并为双胶合透镜;为进一步校正像差,将原系统的第 5 组单透镜改为双胶合透镜,其初始结构如图 2(a)所示;后两个元件为滤波片和保护玻璃。图 2(b),(c)为 MTF 曲线和场曲与畸变图。

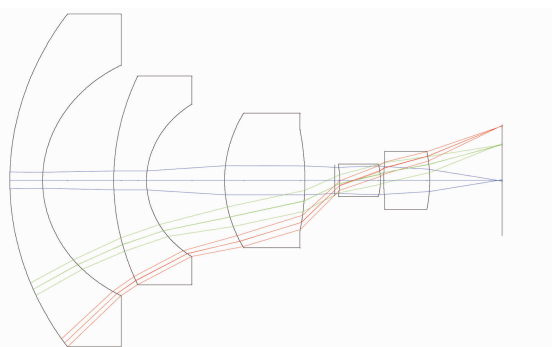


图 1 广角镜头初始结构示意图

Fig. 1 Primary structure of wide angle lens

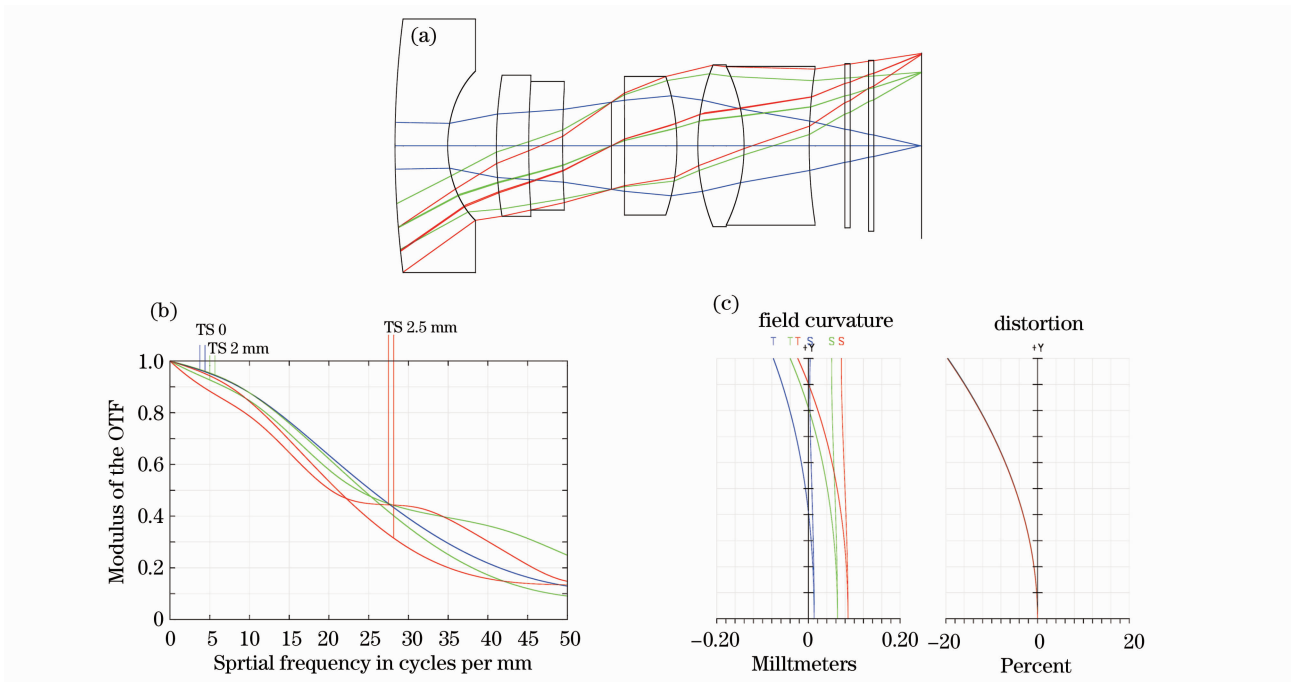


图2 闭路电视镜头初始结构。(a)镜头结构图,(b)MTF曲线,(c)场曲和畸变图

Fig. 2 Primary structure of CCTV lens. (a) structure of lens assembly, (b) curves of polychromatic diffraction MTF, (c) field curvature and distortion

4 光学系统像差校正与优化

初始设计的光学系统像差较大,需进一步校正。在 Zemax 软件中分别将系统焦距、畸变、相对照度作为优化目标值优化,控制第一组透镜二曲率半径的比值范围。由于第 3 片透镜的两个曲率半径非常接近,故可

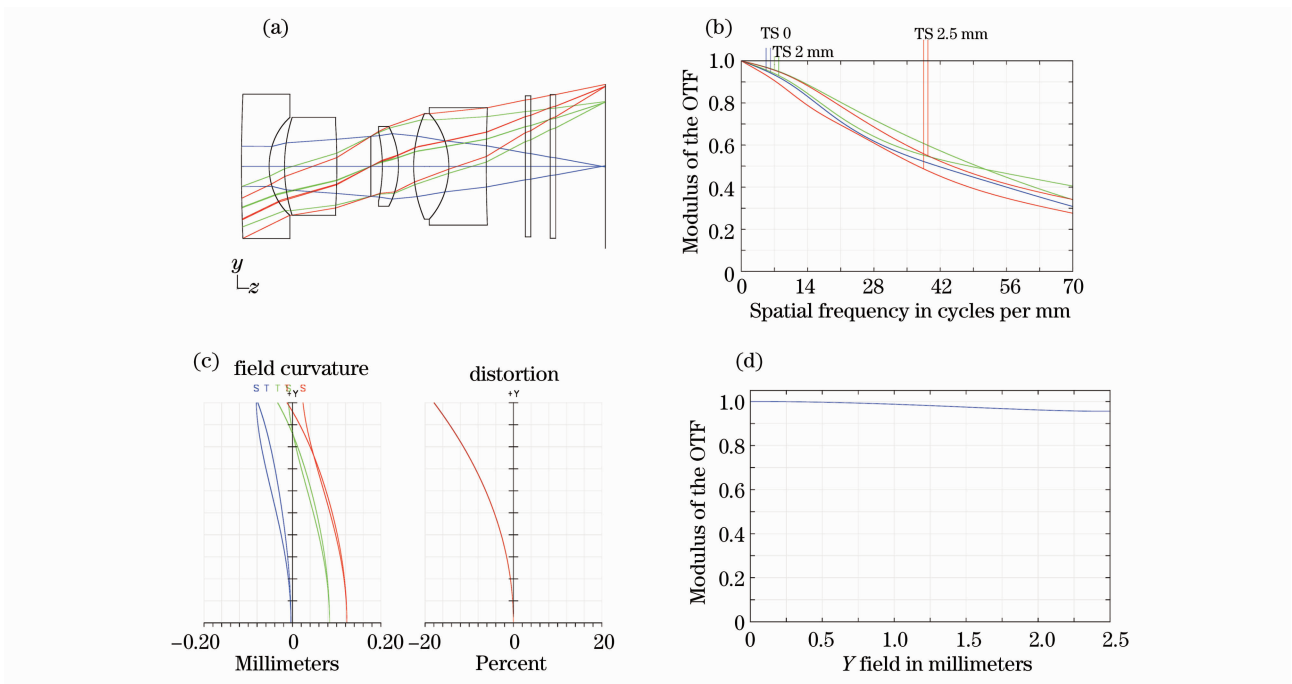


图3 优化结果。(a)镜头结构图,(b)MTF曲线,(c)场曲和畸变图,(d)相对照度

Fig. 3 Results of optimization. (a) structure of lens assembly, (b) curves of polychromatic diffraction MTF, (c) field curvature and distortion, (d) relative illumination

将第2组元简化为单透镜。优化后的镜头结构如图3(a)所示。系统为4组元5透镜系统,光焦度分别为负、正、正、正。第1组镜头为厚弯月型透镜。系统视场为 70° , F 数为2.8,有效焦距5 mm,后焦距1.88 mm,光学系统总长为13.16 mm,像高为5 mm。如图3(b),该系统0.7视场以内的MTF值在奈奎斯特频率(67 lp/mm)处大于0.3,轴外视场略有下降,但总体可以满足要求。奈奎斯特频率二分之一处,即35 lp/mm处的MTF值都大于0.5。如图3(c),系统对场曲进行了校正,但残留的畸变较大,对于闭路电视摄像系统,畸变不是主要矛盾,可保留一定的畸变。相对照度(边缘照度与中心照度的比值)较高,不会使画面容易形成暗角,从而影响图片的整体一致性,如图3(d)所示。系统符合成像要求,各组元均为球面镜,形式简单、结构紧凑,具有实际应用价值。

5 结 论

通过厚弯月形透镜对场曲进行校正,使用两个厚透镜并控制各组元之间光焦度的分配平衡场区及其他像差,校正结果较好。基于对视场角较小的考虑,将两组镜片组合,使其变成双胶合透镜进一步校正了像差,使系统的精度有了进一步的保证。通过这种技术上的创新以及采用反远型结构进行放缩和简化,不但使镜头参数和结构的设计都达到了要求,而且实现了系统结构紧凑性和大视场的特点。该镜头全部采用球面镜,成像效果良好,减低了制作成本,具有工程实用价值。

参 考 文 献

- 1 Yin Dejun, Zhang Jingming, Guo Dunwen *et al.*. Principle Equipment and Engineering System of Secure Technology [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2001
殷德军, 张晶明, 郭敦文 等. 安全技术防范原理、设备与工程系统[M]. 北京:电子工业出版社,2001
- 2 Yin Dejun, Qin Zhaohai. Secure Technology and CCTV Monitor System [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 1998
殷德军, 秦兆海. 安全防范技术与电视监视系统[M]. 北京:电子工业出版社, 1998
- 3 Kimiaki, Saitama. Wide-Angle Lens [P]. Patent No. :US 6,353,509 B1 Mar. 5,2002
- 4 Xie Dingheng. Wide-Angle Lens [P]. the Patent of the People's Republic of China No; 200710085652. X,2007,5,6
谢定衡. 广角镜头 [P]. 中华人民共和国专利,专利号:200710085652. X,2007,5,6
- 5 Hu Yuxi, Zhou Shaoxiang. Micro video lens design for hidden color CCD cameram[J]. *Optical Technique*, 1999, **6**(3): 22~24
胡玉禧, 周绍祥. 隐密型 CCD 微摄像头光学设计[J]. 光学技术, 1999, **6**(3): 22~24
- 6 Zhang Ping, Wang Cheng, Song Dongfan *et al.*. Design of lens for 5 mega-pixel mobile phone cameras[J]. *J. Appl. Opt.*, 2009, **30**(6): 934~939
张 萍, 王 诚, 宋东璠 等. 500万像素手机镜头设计 [J]. 应用光学, 2009, **30**(6): 934~939
- 7 Liu Maochao, Zhang Lei, Liu Peipei *et al.*. Design of lens for 3 mega-pixel mobile phone camera [J]. *J. Appl. Opt.*, 2008, **29**(6): 943~948
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): 943~948
- 8 Zhang Yimo. Applied Optics [M]. Beijing: China Machine Press, 1988
张以谟. 应用光学 [M]. 北京: 机械工业出版社,1988
- 9 Liu Jun, Gao Ming. Optical Design[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2006
刘 钧, 高 明. 光学设计 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006
- 10 Li Lin. Applied optics [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2010
李 林. 应用光学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010