

doi: 10.3788/gzxb20124110.1186

短焦段数字电影变焦放映镜头的设计

李维善, 陈琛, 张禹, 刘宵婵

(秦皇岛视听机械研究所, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要:为了填补国内短焦段数字电影变焦放映镜头的空白及满足国内数字电影市场对大投射比镜头的需求, 本文采用机械补偿式变焦原理, 利用 ZEMAX 光学设计软件自主研发设计出一款适用于 0.65 英寸、单数字光处理器、1.3 K 数字电影放映机的短焦段连续变焦数字电影放映镜头。镜头包括前固定组、变倍组、补偿组和后固定组, 由 8 组 10 片玻璃球面透镜组成, 其中变倍组由一片负透镜构成, 补偿组由两组双胶合透镜组构成。镜头总长 170 mm, 全口径 70 mm, 变焦范围为 14.5~18.2 mm, 相对孔径为 1/2, 投射比范围为 0.99:1~1.23:1, 后工作距离为 32.6 mm。镜头凸轮曲线的设计采用等间隔变焦的方法, 设计出了平滑稳定、斜率适宜、压力角小的凸轮曲线, 具有加工方便、加工准确度高、变倍组升角容易控制且焦距变化均匀的优点。整个镜头结构简单、体积小、重量轻、成本低。

关键词:光学设计; 数字电影; 短焦段; 变焦; 放映镜头; 凸轮曲线

中图分类号: TN202; O439

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)10-1186-7

0 引言

为加快中国数字电影发展, 国家广电总局制定了我国数字电影发展的三个主要层次, 即面向广大农村农民观众的电影流动数字放映(0.8 K)、面向中小城市观众的中档商业影院(1.3 K)、面向大城市观众与国际相兼容的商业数字影院(2 K)。其中, 面向中小城市观众的中档商业影院是发展我国数字影院的一个重要层面。

数字电影变焦放映镜头是数字电影放映系统的重要组成部分。目前, 国外对于数字电影变焦放映镜头的研究已经有了快速、成熟的发展。德国的 Carl Zeiss AG、日本的 Konica Minolta 等已经成功地研制出各种型号的数字电影变焦放映镜头, 而且短焦段的数字变焦放映镜头的最大角度已经超过 60°。然而, 目前国内对于短焦段数字电影变焦放映镜头的研究还没有出现相关文献和报道。国内大部分的数字电影机采用的放映镜头几乎都是国外产品, 其价格昂贵、类型受限, 在一定程度上阻碍了我国数字电影的健康快速发展。

针对我国数字电影的发展现状, 本文基于对变焦原理^[1-2]、凸轮曲线设计^[3-6]以及变焦光学结

构^[7-12]的深入研究, 利用 ZEMAX 光学设计软件开发设计出了一款适用于 0.65 英寸、单数字光处理器(Digital Light Processing, DLP)、1.3K 数字电影放映机的短焦段连续变焦放映镜头。

1 变焦系统工作原理

1.1 变焦原理

变焦系统按补偿法之不同可分为光学补偿法和机械补偿法^[1]。光学补偿法的变焦系统像面位移总是不能完全补偿的(除设计规定的几点外), 必然有一定的偏移。机械补偿法的变焦系统像面位移, 从高斯光学计算, 总是可以完全补偿的。随着机械加工水平的不断提高, 机械补偿形式的变焦系统越来越显示出它的优越性, 目前大多数变焦系统都属于这种补偿形式。

机械补偿法的变焦系统, 一般由前固定组 1、变倍组 2、补偿组 3 和后固定组 4 构成, 如图 1 所示。前固定组 1 和后固定组 4 在整个变焦过程中保持不动, 当变倍组 2 在组元 1、4 之间做线性移动时, 为保证最后像面的稳定, 补偿组元 3 则做相应的非线性移动, 此时整个光组的焦距值随之改变, 从而实现整个系统变焦且像面稳定的目的。

基金项目:科技部基金(No. 2010EG119161)、国家企业科技创新基金(No. 10C26211303678)和科技部科研院所技术开发研究专项基金(No. 2011EG119099)资助

第一作者:李维善(1984—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为光学设计。Email: 54liweishan@163.com

收稿日期:2012-05-07; **修回日期:**2012-07-30

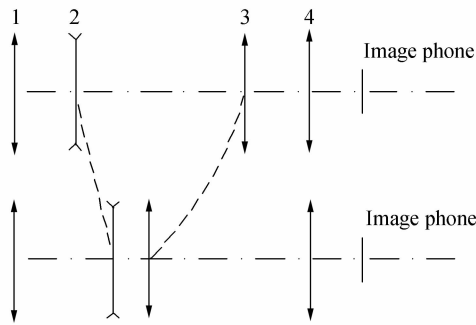


图1 机械补偿法三组元连续变焦光学系统示意图
Fig.1 Mechanical compensation method of three component continuous zoom optical system

变焦系统是通过变倍组和补偿组的同时移动来实现焦距的连续变化和像面的稳定的,而凸轮是保证变倍组和补偿组沿着一定曲线运动的关键元件,所以凸轮曲线的设计,对整个变焦过程中焦距的连续变化和像面的稳定性起着至关重要的作用。

1.2 凸轮曲线的计算

如图2所示,设变倍组的焦距为 f'_2 , 位移量为 x ; 补偿组的焦距为 f'_3 , 位移量为 y ; 当光学系统处

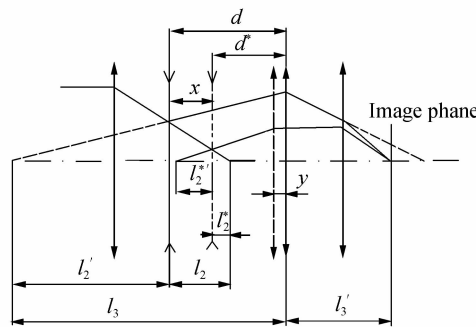


图2 正组补偿变焦距光学系统图
Fig.2 Positive group compensation structure of zoom system

于 $x=0, y=0$, 物体为无穷远时, 由高斯公式知

$$1/l_2 - 1/l'_2 = 1/f'_2 \tag{1}$$

$$1/l_3 - 1/l'_3 = 1/f'_3 \tag{2}$$

$$l_3 = d + l'_2 \tag{3}$$

当 $x \neq 0, y \neq 0$ 时

$$d^* = d + y - x \tag{4}$$

$$l_2^* = l_2 - x \tag{5}$$

$$l_3^* = l_2^* + d^* \tag{6}$$

$$l_3^* = l'_3 + y \tag{7}$$

$$1/(l_2 - x) - 1/l_2^* = 1/f'_2 \tag{8}$$

$$1/f'_3 = 1/l_3^* - 1/l_3' = 1/(l_2^* + d^*) - 1/(l'_3 + y) \tag{9}$$

将式(1)到式(9)合并, 且通分化简得

$$(l_2 + f'_2 - x)y^2 + [(l'_3 - l_2 - d + x)x - (l_2 + f'_2) \cdot (l'_3 - d) - f'_2 l_2]y + [(d + l_2 - x)(l'_3 - f'_3) - l'_3 f'_3]x = 0 \tag{10}$$

式(10)中 $l_2 = \frac{f'_2 l'_2}{f'_2 + l'_2} = \frac{f'_2 (l_3 - d)}{f'_2 + l_3 - d}$

令

$$a = l_2 + f'_2 - x$$

$$b = (l'_3 - l_2 - d + x)x - (l_2 + f'_2)(l'_3 - d) - f'_2 l_2$$

$$c = [(d + l_2 - x)(l'_3 - f'_3) - l'_3 f'_3]x$$

故

$$ay^2 + by + c = 0 \tag{11}$$

方程式(11)的两个根为

$$y_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{12}$$

当光学系统确定后, l'_3, f'_2, f'_3, d 均为已知量. 由式(12)可知, 当 x 取某值便可求得相应的 y 值, y 值取两个根中绝对值较小者; 当 x, y 值确定后, 则整个变焦系统此时的焦距也随之确定, 进而得出变倍组移动距离与补偿组移动距离分别与系统焦距的对应关系, 为变焦凸轮曲线的设计提供理论依据。

从机械方面考虑, 凸轮曲线应该做到尽量平滑且压力角不能太大, 否则在变焦过程中凸轮容易卡死. 所以选取合适的凸轮曲线斜率对于变焦系统显得尤为关键。

设 R 为圆柱凸轮的半径, 当转动微小角度 $\Delta\alpha$ 时, 则变焦凸轮曲线的升距分别为 $\Delta x, \Delta y$, 即变倍组、补偿组的移动距离. 设此时的变倍曲线斜率为 K_x , 补偿曲线斜率为 K_y , 则由几何关系知

$$K_x = \frac{\Delta x}{2R \cdot \sin(\frac{\Delta\alpha}{2})} \tag{13}$$

$$K_y = \frac{\Delta y}{2R \cdot \sin(\frac{\Delta\alpha}{2})} \tag{14}$$

圆柱凸轮的压力角一般在小于 45° 时较为适宜, 即 $K_x < 1, K_y < 1$, 如果凸轮曲线斜率过大, 则变焦过程中凸轮容易卡死. 理论上凸轮曲线是由无数个点组成的, 但是数控车床在实际的加工时, 只需要一定数量的点即可. 假设取 n 个点, 则变倍组以斜率 K_x 做线性运动, 以 $\Delta x = \frac{x_{\text{总移动距离}}}{n-1}$ 依次递增, 当变倍组每移动 Δx 时, 由式(12)得出补偿组的相应移动距离 Δy , 由式(13)得出转角 $\Delta\alpha = \arcsin(\frac{\Delta x}{2R \cdot K_x})$, 那么整个变焦过程中总转角则为 $(n-1)\Delta\alpha$. 由于圆柱面上分布了两组相互对称的四条凸轮曲线线槽(或更多的对称凸轮曲线槽), 而凸轮曲线线槽之间必须保证不能相交, 所以变焦操作总转角不能太大, 故决定了凸轮曲线斜率不能太小。

变焦操作的平滑、灵活是变焦镜头结构性能的重要内容, 要实现较好的凸轮曲线机械结构则需要

考虑:首先,要能达到变焦范围要求,且变焦过程中像面保持稳定;另外,凸轮曲线要尽可能平滑稳定,且斜率适宜、压力角不能太大。

2 变焦镜头设计

2.1 设计指标

要求设计的数字电影连续变焦放映镜头的相关参量和技术指标如表 1 所示。

表 1 数字电影连续变焦放映镜头的相关参量和技术指标

Parameter	Specifications
Chip size	0.65" diagonal(DMD)
L/W	16 : 9
Field/(°)	50~60
Wavelength/nm	460 546 630
B. F. L/mm	≥30
F/#	2
Projection ratio	0.99 : 1~1.23 : 1

2.2 光学结构设计

本文设计的变焦镜头属于数字电影变焦放映镜头,具有一定的特点:镜头在变焦过程中,其最前端的透镜离电影银幕的距离需保持不变;由于数字电影放映机内部含有一定厚度的分合色棱镜,所以镜头需要具有较大的后工作距离;目前,1.3K 数字电影放映机的亮度还不高,需要镜头具有较大的相对孔径,来提高通光量;由设计指标知,成像像高 $h = 0.65 \times 25.4 = 16.51$ mm,半视场角 w 为 $25^\circ \sim 30^\circ$,由公式 $f' = (h/2) / \tan(w)$,得出变倍比约为 1.24,另外,镜头投射比为 0.99 : 1~1.23 : 1,所以该变焦镜头属于大投射比、小变倍变焦系统。

根据以上特点,选取了具有反远距结构特性的初始变焦光学结构,如图 3 所示。

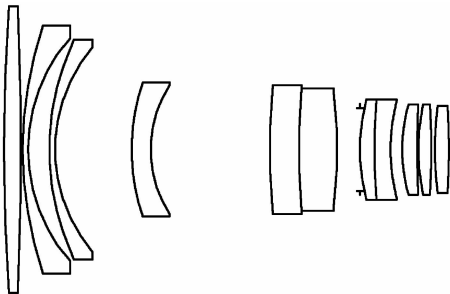


图 3 初始结构图
Fig. 3 Primary structure

该变焦结构由 9 组 11 片镜片组成,其等效变焦范围为 1~1.3 mm,视场角范围为 $23.5^\circ \sim 18.5^\circ$,相对孔径范围为 1/2.4~1/2.8,后截距为 1.48 mm.该结构属于两组元变焦结构,具有负光焦度的第四个透镜为变倍组,具有正光焦度的胶合透镜组(由第五个透镜和第六个透镜胶合而成)为补偿组。

利用光学 ZEMAX 设计软件中的多重结构优化功能对初始变焦结构进行目标优化.首先,在多重结构中建立长、中、短三种焦距的多重结构参量,如视场、相对孔径、有效焦距等,选取合适的空气间隔作为多重结构的操作数变量,然后,将透镜的半径、厚度以及空气间隔设为优化变量,最后,在 ZEMAX 的 Merit Function Editor 中分别为长、中、短三种焦距结构建立合适的优化操作数以及相应的目标值。

经过 ZEMAX 的多重结构功能的不断优化,并结合人工对各优化目标值的不断修改、对光焦度的合理分配以及对结构的不断改造,最终设计优化出一种满足各种技术设计指标要求的变焦镜头结构.其结构如图 4(a)和(b)所示,分别为短焦、长焦结构图.焦距范围为 14.5~18.2 mm,视场角范围为 $50^\circ \sim 60^\circ$,等效后工作距离为 32.6 mm,相对孔径为 1/2,最大口径为 70 mm,光学总长为 170 mm.

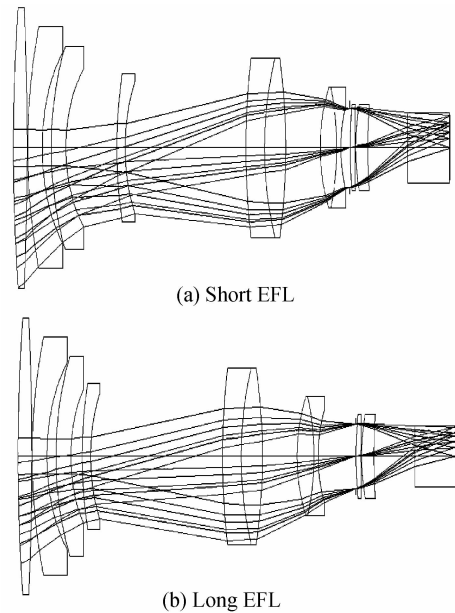


图 4 短焦与长焦光学结构
Fig. 4 Structures of short EFL and long EFL

该变焦结构由 8 组 10 片镜片组成,所有透镜材料均为常用、价格便宜、易加工的中国牌号光学玻璃,所有透镜面型均为球面.变焦系统由前固定组(由第一个、第二个、第三个透镜组成)、变倍组(第四个负透镜)、补偿组(由两组胶合透镜组成)、后固定组(由第九个、第十个透镜组成)组成,属于负组变倍、正组补偿型变焦系统.该结构无论在任何有效焦距,都可以看成由负的前组和正的后组构成,前组各负透镜远离、弯向光栏且结构紧凑,同时加入了一个正透镜,这样的结构构造有利于校正各种像差、增大视场角、减小镜头口径;该结构中将光栏放在了后组,且光栏之后仅有两个透镜,这样有利于增大后工作距离;另外,后组中加入双凸厚透镜和双凹透镜,

有利于补偿前组的一些剩余像差,改善大视场化、小型化与像质优良之间的矛盾。

该变焦结构短焦与长焦时的调制传递函数 (Modulation Transfer Function, MTF) 曲线如图 5 (a)和(b)。

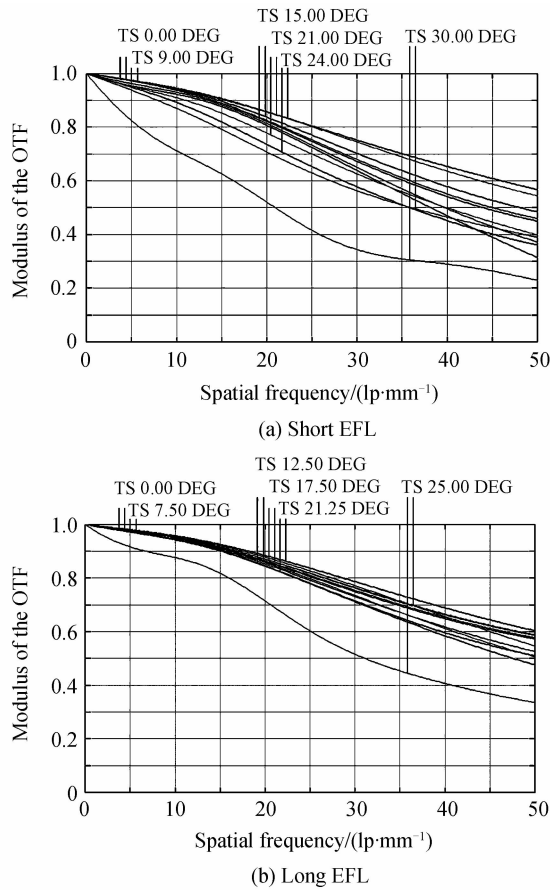


图 5 短焦与长焦时的 MTF 曲线
Fig. 5 MTF curves of short EFL and long EFL

从图中看出系统在 50 lp/mm 处各视场的 MTF 值均大于 0.3,在 30 lp/mm 处 0.7 视场以内的 MTF 值均大于 0.65.由设计指标知,芯片大小为 0.65 英寸,长、宽比为 16 : 9,适合 1.3K(1 280 × 1 080)数字电影放映机放映,所以空间频率极限分辨率为 44.5 lp/mm.由此说明设计的变焦镜头分辨率远大于空间频率极限分辨率,该变焦系统在全焦距范围内有较好的成像质量。

图 6(a)和(b)分别是该变焦结构在短焦、长焦时像面上的照度均匀度曲线,横坐标是视场角,纵坐标是像面上的相对照度.在 ZEMAX 中像面照度均匀度的定义为像面上各个视场的照度 E'_w 与像面上最大照度 E'_{max} 之比,即 $E'_w/E'_{max} \leq 1$.从像面照度均匀度的曲线知,像面上最大照度为零视场位置 $E'_0/E'_{max} = 1$,最小照度出现在边缘视场,且全焦距范围内边缘视场照度均匀度均大于 0.99,因此像面上可以得到较好的照度均匀性。

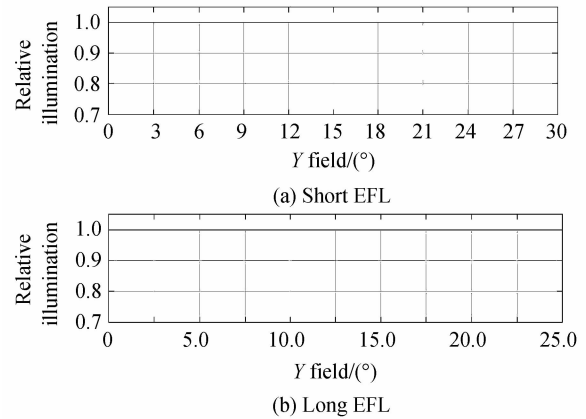


图 6 短焦与长焦时像面照度均匀度曲线
Fig. 6 Relative illumination curves of short EFL and long EFL

2.3 凸轮曲线设计

本文设计的变焦光学系统属于小变倍比的变焦光学系统,所以设计凸轮曲线时,将变倍组的运动曲线设计成直线轨迹,然后根据补偿原理求出补偿组的运动曲线,这种设计的优点是加工方便,加工准确度较高,变倍组的升角容易控制。

首先,选取合适的凸轮曲线步长 $\Delta x = 0.3862$ mm,由式(12)得到该变焦系统在变焦过程中变倍组与补偿组的相对位置关系,即 Δy 的各离散值,再结合 ZEMAX 软件可以很快、准确地得到各离散值对应的系统焦距,然后,选取合适的 $K_x = 0.58$,由式(13)得出转角 $\Delta\alpha = 1.5331^\circ$,由式(14)得出对应 K_y 的各离散值,由 $\tan(K_x)$ 和 $\tan(K_y)$ 进而得出变倍组与补偿组各自升角的离散值,最后利用 Origin 软件拟合出该变焦系统的各种凸轮曲线。

选定前固定组的最后一个面的坐标点作为坐标原点.表 2 为选取的变倍组坐标、补偿组坐标及系统焦距的各离散值.表 3 为变倍组升角与升距、补偿组升角与升距及系统焦距的各离散值.图 7 为 Origin 软件拟合的变倍组移动坐标、补偿组坐标与系统焦

表 2 变倍组、补偿组坐标与系统焦距数据
Table 2 Data sheet of zoom group, compensation group and EFL

Zoom group coordinate	Compensation group coordinate	Focal length/mm
0	31.134 0	18.208
0.386 2	31.430 4	18.118
0.772 4	31.726 2	18.029
1.158 6	32.021 4	17.941
1.544 8	32.315 9	17.853
.....
18.151 6	44.382 9	14.643
18.537 8	44.649 6	14.584
18.924 0	44.915 7	14.524

表 3 凸轮曲线加工数据
Table 3 Data sheet of cam curve

Rotation angle/(°)	Lift angle of zoom group/(°)	Lift angle of compensation group/(°)	Lift distance of zoom group/mm	Lift distance of compensation group/mm	Focal length/mm
1.533 1	30	23.900 1	0.386 2	31.430 4	18.118
3.066 2	30	23.854 8	0.772 4	31.726 2	18.029
4.599 3	30	23.809 5	1.158 6	32.021 4	17.941
6.132 4	30	23.764 3	1.544 8	32.315 9	17.853
.....
68.989 5	30	21.877 7	17.379 2	43.847 5	14.765
70.522 6	30	21.831 1	17.765 4	44.115 5	14.704
72.055 7	30	21.784 3	18.151 6	44.382 9	14.643
73.588 8	30	21.737 6	18.537 8	44.649 6	14.584
75.121 9	30	21.690 9	18.924	44.915 7	14.524

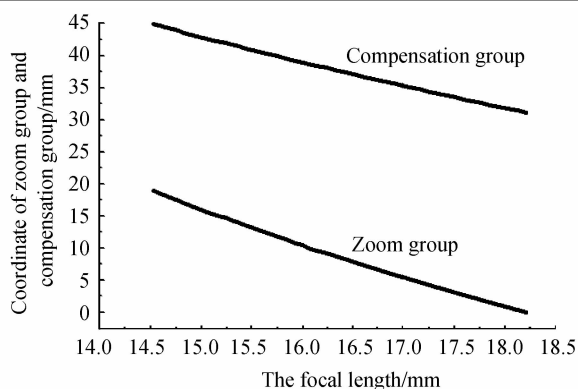


图 7 系统焦距值与变倍组、补偿组坐标之间的关系曲线
Fig. 7 The relation curve of EFL, zoom group and compensation group

距的关系曲线. 图 8(a)为 Origin 软件拟合的变倍组移动距离与补偿组移动距离的关系曲线;图 8(b)为 Origin 软件拟合的变倍组移动距离与系统焦距的关系曲线. 图 9(a)为 Origin 软件拟合的变倍组升角、补偿组升角与凸轮转角的关系曲线;图 9(b)为 Origin 软件拟合的变倍组升距、补偿组升距与凸轮转角的关系曲线.

图 7 是系统焦距值与变倍组、补偿组坐标的关系曲线,横坐标为系统焦距值,纵坐标为变倍组、补偿组在凸轮上的坐标值;从图中可以看出,系统在变焦过程中,变倍组与补偿组之间不会发生碰撞现象.

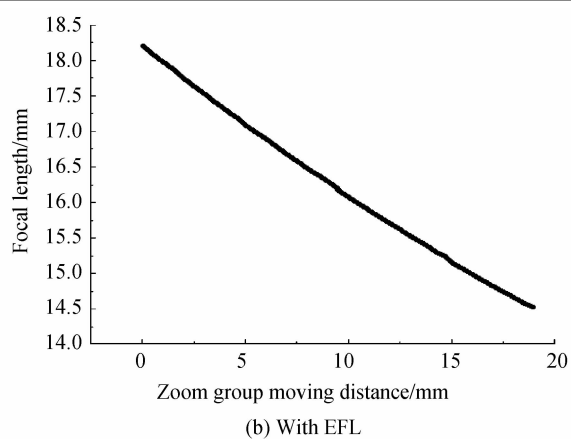
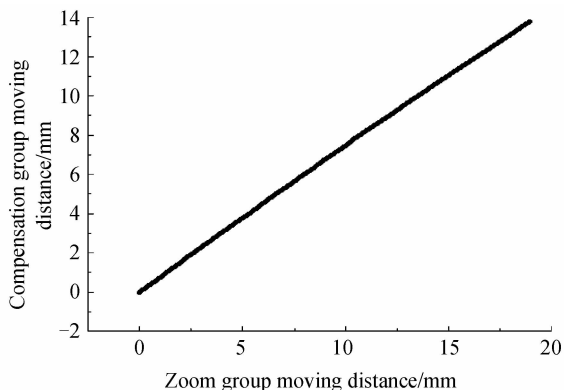


图 8 变倍组移动距离与补偿组移动距离及系统的关系曲线
Fig. 8 The relation curves of zoom group moving distance with compensation group moving distance and EFL

图 8(a)中,横坐标是变倍组的移动距离,纵坐标是补偿组的移动距离,整个凸轮曲线显得平滑稳定,系统变焦过程中变倍组与补偿组同向运动;图 8(b)中,横坐标是变倍组移动距离,纵坐标是系统焦距值,从图中可以看出,变倍组位移和系统焦距的关系接近线性,系统能够匀速变焦,可以营造出较好的视觉效果.

图 9(a)中,横坐标是凸轮曲线展开后的角位移,纵坐标是凸轮曲线的轴向位置;从图中得知,变倍组升角为 30°,补偿组最大升角为 23.9°,即 $K_x = 0.58$, $K_{y_{max}} = 0.44$,变倍组与补偿组曲线的最大斜率均小于 1,所以系统在变焦过程中不会出现凸轮曲线斜率过大(即压力角过大)而造成凸轮卡死的现象,另外,凸轮的总转角小于 80°,所以在加工凸轮曲线时,可以在凸轮上分布三组相互对称的六条凸轮曲线线槽,这样更有利于变倍组、补偿组在移动过程中的稳定性和同步性.

图 9(b)是凸轮转角与变倍组升距、补偿组升距的关系曲线,变倍组升距与转角成线性关系,补偿组升距与转角的关系非常接近线性,且两线接近平行,

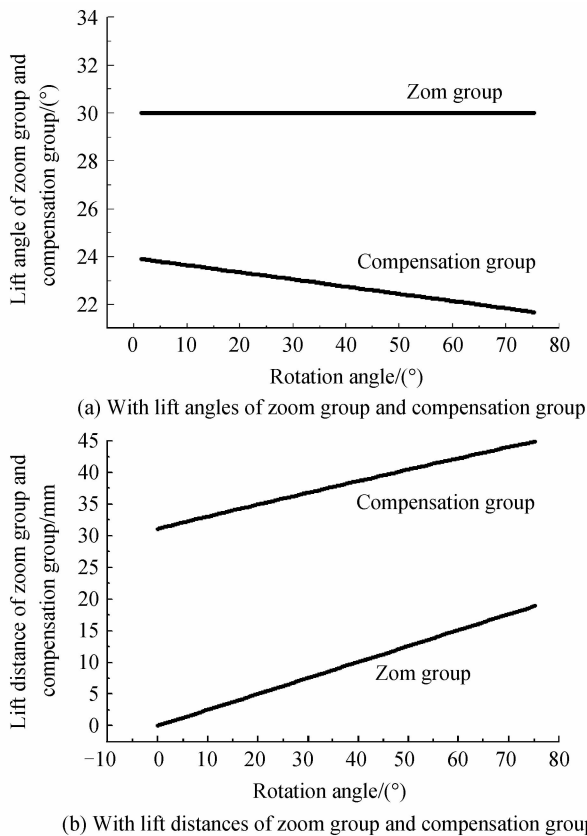


图9 凸轮转角与变焦组、补偿组升角及升距的关系曲线
Fig. 9 The relation curves of rotation angle of cam with lift angles/distances of zoom group and compensation group
没有曲线拐点,所以该系统的凸轮曲线具有较好的平稳性及同步性。

3 结论

短焦段连续变焦数字电影放映镜头的光学结构,具有大视场角、大相对孔径、长后工作距离的光学特性.本文采用机械式补偿法成功设计出了一种连续变焦数字电影放映镜头结构,具有负光焦度的前固定组、负光焦度的变焦组、正光焦度的补偿组及正光焦度的后固定组,属于一种反远距光学结构,由8组10片玻璃透镜组成,结构简单、体形小、工艺性好,且在各焦段均具有优良的像质。

变焦光学系统凸轮曲线设计是保证光学系统变焦精确、匀速、平滑和驱动力均衡的关键.本文采用等间隔变焦凸轮曲线设计的方法,设计出平滑稳定、斜率适宜、压力角小的凸轮曲线,具有加工方便、加

工准确度高、变倍组升角容易控制且焦距变化均匀的优点。

参考文献

- [1] 陶纯堪. 变焦距光学系统设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 1-40.
- [2] MENG Jun-he, ZHANG Zhen, SUN Xing-wen. Cam optimization of a zoom lens [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, **31**(1): 51-54.
孟军和, 张振, 孙兴文. 变焦距镜头的凸轮优化设计[J]. *红外与激光工程*, 2002, **31**(1): 51-54.
- [3] PAJAROLA R, DeCORO C. Efficient implementation of real-time view-dependent multiresolution meshing [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer*, 2004, **10**(3): 353-368.
- [4] YAN Lei, JIA Ping, HONG Yong-feng, et al. Selection of cam curve for zoom lens [J]. *Journal of Applied Optics*, 2010, **31**(6): 876-882.
晏蕾, 贾平, 洪永丰, 等. 变焦距镜头凸轮曲线形式的选择[J]. *应用光学*, 2010, **31**(6): 876-882.
- [5] XU Zheng-guang, ZHAO Yi-fei, SONG Cai-liang, et al. Optimization of compounding zoom cam curve design with OZSAD[J]. *Journal of Applied Optics*, 2006, **27**(3): 203-207.
许正光, 赵一菲, 宋才良, 等. 用OZSAD软件实现复合式变焦凸轮曲线优化设计[J]. *应用光学*, 2006, **27**(3): 203-207.
- [6] CHEN Xin, FU Yue-gang. Optimal design of cam curve for zoom system[J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, **29**(1): 45-47.
陈鑫, 付跃刚. 变焦凸轮曲线的优化设计[J]. *应用光学*, 2008, **29**(1): 45-47.
- [7] 刘钧, 高明. 光学设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 161-173.
- [8] 李晓彤, 岑兆丰. 几何光学·像差·光学设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2007.
- [9] MEI Dan-yang, JIAO Ming-yin. Design of telecentric beam path for zoom projection optics [J]. *Journal of Applied Optics*, 2006, **27**(4): 264-267.
梅丹阳, 焦明印. 变焦距投影光学系统中的远心光路设计[J]. *应用光学*, 2006, **27**(4): 264-267.
- [10] LI Hong-zhuang, ZHANG Zhen-duo, CAO Jing-tai, et al. Design of zoom optical system with long focal length and super-high zoom ratio[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(3): 358-363.
李宏壮, 张振铎, 曹景太, 等. 长焦距超高倍率变焦距光学系统设计[J]. *光子学报*, 2012, **41**(3): 358-363.
- [11] CHEN Ke, ZHOU Si-zhong. Design of a short focal-length zoom system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(12): 1825-1828.
程珂, 周泗忠. 短焦距变焦物镜设计[J]. *光子学报*, 2005, **34**(12): 1825-1828.
- [12] 高志山. ZEMAX软件在像差设计中的应用[M]. 南京: 南京理工大学出版社, 2006: 47-53.

Optical Design of Digital Movie Zoom Projection Lens

LI Wei-shan, CHEN Chen, ZHANG Yu, LIU Xiao-chan

(*Qinhuangdao Audio-visual Machinery Research Institute, Qinhuangdao, Hebei 066000, China*)

Abstract: To fill the vacancy of domestic short focal range digital movie zoom projection lens and to meet the requirement of the market, a digital movie zoom projection lens for 0.65 inch DLP 1.3 K digital movie projector was designed by the mechanical compensation method. It includes the former fixed group, the zoom group, the compensation group and the last fixed group. It is composed of ten glass sphere lenses, and the zoom group is composed of one negative lens, the compensation group is composed of two doublet lenses. The total length of the digital movie zoom projection lens is 170 mm, the full aperture is 70 mm. Its focal length range is 14.5~18.2 mm, F-number is 2, projection ratio range is 0.99 : 1~1.23 : 1, and the BFL is 32.6 mm. The cam curves were designed with the method of equal interval zoom. The image quality in each focal length is excellent with advantages of simple structure, small size, and low cost, and its cam curves are smooth without cam inflexions and processed easily.

Key words: Optical design; Digital movie; Short focal range; Zoom; Projection lens; Cam curve