

35mm电影大孔径 $f = 20\text{mm}$ 摄影物镜光学系统设计

丁 甲 民

摘要: 本文所论述的 $f = 20\text{mm}$ 、 $D/f = 1/1.19$ 、 $2\omega = 68.5^\circ$ 、35mm 电影摄影物镜, 是目前我国大孔径、大视场定焦距系列中焦距最短的一个。下面就二个方面的问题做介绍:

1. 设计过程简介。2. 设计结果。

一、结构型式选择, 及像差校正

为了获得大场面及丰富的体视感, 采用短焦距摄影物镜是非常必要的。采用大孔径摄影物镜, 有许多优点。最主要的是 (1) 由于物镜孔径比较大, 在低照度下就能够进行拍摄, 特别是在拍摄外景时, 减少了许多照明设备, 这样不但减少了人力和物力, 而且节约了能源, 给摄影工作带来了很大方便。(2) 可以得出更加真实和特殊的艺术效果, 如拍外景时黄昏、黎明、夜光下景物等实拍效果好, 一般镜头无法比拟。由于电影摄影物镜在物镜和底片之间常常需要放置分光元件或反光镜, 这就要求摄影物镜后工作距离要长, 一般要大于 27mm, 而且要求它能与其它镜头同时装在国内现有摄影机的转塔上。这就要求所设计摄影物镜, 从像面到物方 52mm 距离内, 光学零件外径不能超过 $\phi 33\text{mm}$ 。这对普通孔径的镜头设计问题还不大, 但是由于相对孔径和视场角的增大, 后组镜片的直径增大。为减小后部的口径, 就得使主面后移, 从而造成结构的严重失对称, 给像差校正带来困难。所以使得大孔径、大视场镜头的设计由于外型尺寸要求严格, 设计更加困难。

从上面分析可见, 要求设计 $f = 20\text{mm}$, $l' > 27\text{mm}$, (后工作距离), 只有采用“反远距”的摄影物镜型式才能满足这个要求。下图为反远距结构原理图。图中: ϕ_1 —前组光焦度 (为负值); ϕ_2 —后组光焦度 (为正值); d —前后组主面的间隙; L —筒长, 即物镜第一面至像面的距离; l' —像距, 即后组主面至像面的距离。

由于几个镜头同时装在现有摄影机转塔上, 所以镜头的体积不能太大。根据反远距理想光

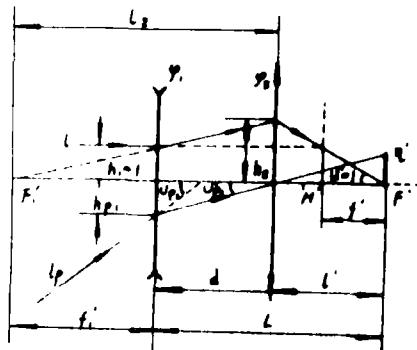


图 1

学推出 $A = 1 - d\varphi_1$, 令 $A = \frac{U'_{21}}{U'_{11}} = \frac{1}{\gamma}$, 为前组放大率。由上面公式知道, A 确定后 d 和 φ_1 就有一定的关系。如果要求 d 较小, 就必须使 φ_1 增大; φ_1 增大的结果, 也必定引起 φ_2 增大。由于 φ_1 增大, 系统前组所负担的偏角加大, 与孔径和视场有关像差的高次量迅速加大。为了减少这样高次量像差的产生, 通常的方法就是分散光焦度。分散前组光焦度, 使前组分三片至五片, 使每块透镜负担的光焦度减少, 即负担的偏角减少。这就可以降低前组高级量, 从而也减轻了后组高级像差的补偿量。后组采用双高斯复杂化型式, 分散光焦度, 也使得每片透镜担当的光焦度减少。综上所述, 由于前后组均采用分散光焦度, 使每块透镜半径加大, 减少了每片透镜偏角负担。这时与孔径有关的像差就可以大大减少, 从而提高了设计质量。

短焦距, 大孔径电影摄影物镜的设计, 在像差校正上, 轴上、轴外、子午和弧矢不仅要校正好, 而且要互相匹配得好, 特别是由于视场增大, 孔径也大, 对弧矢像差校正增加一定困难。对于大孔径, 大视场电影摄影物镜设计来讲, 弧矢像差校正好坏, 显得更为重要。因为一般摄影物镜, 由于视场和孔径都不大, 弧矢方向像差不大, 易校正。这样对 0.7 以上的视场, 子午像差校正稍差一点, 可以通过拦光办法把它拦掉。但是弧矢方向像差不容易拦掉。因此对这样镜头设计就得使子午, 弧矢光线像差都得校正得好, 而且要能够互相匹配上。要想子午和弧矢光线都能够校正得匹配, 首先就是 0.7 视场内像散校正问题, 其次是对系统 S_{IV} 留量问题。下面分别叙述; 因为 $X_s - X_t = \angle X$ (像散), 其中 X_s, X_t 是描述“无限细”光束的子午和弧矢焦点离开高斯面的情况, 轴外宽光束最佳焦点的位置是与 X_s, X_t 有关的。正因为如此, X_s, X_t 的校正状态就要和轴外光束 (特性曲线) 的校正状态结合起来考虑。一般情况下, $\angle X$ 的量与子午光束, 弧矢光束最佳焦点的分离是近似相等的。为此在 0.707 带视场内, 可用 $\angle X$ 的量来衡量轴外宽光束, 子午与弧矢的最佳焦点分离的情况。 $\angle X$ 的量以 $\angle X \cdot \text{tg} U'_s \leq 0.01 \sim 0.02 \text{mm}$ 较为理想。由于这个镜头 $2\omega = 68.5^\circ$, 所以 X_s, X_t 和 $\angle X$ 是很难控制的, 在系统孔径角 $U'_s = 0.417$ 的情况下要满足上面关系式, 就要求 $\angle X \leq 0.024 \sim 0.048$ 。其次是对 S_{IV} 留量问题。因为 S_{IV} 与前后组光焦度的分配有直接关系。由下面式子可以直接看出:

$$\begin{cases} \varphi_{\text{总}} = \varphi_{\text{前}} + A\varphi_{\text{后}} & (1) \\ S_{\text{IV}} = \sum i^2 \mu \varphi & (2) \end{cases}$$

式中 A 为前组角放大率。而且 $A = l'$, 表示系统后工作距离大小。如果 S_{IV} 减少, 这时子午场曲 X_s 就减少, 但是这时正的 X_s 减少对系统的轴外负球差校正不利 (不容易匹配)。所以 S_{IV} 留量不能太小。反之如果 S_{IV} 留量稍大一点, 弧矢方向高级像差可能减少, 这时子午方向像差可能变坏一点。总之 S_{IV} 留量大小要适当, 这样既能使得小视场与大视场像差校正得匹配, 又能使子午场曲 X_s 与系统轴外负球差校正匹配, 同时也使子午像差与弧矢像差校正匹配。

二、设计结果

参数确定: 焦距 $f = 20 \text{mm}$ 相对孔径: $D/f = 1/1.19$

视场角: $2\omega = 68.5^\circ$ 后工作距离: $l' = 27.99 \text{mm}$

从像差曲线上看轴上、轴外、子午与弧矢像差校正得还比较小, 而且能够互相匹配上。从像差曲线上还可以看出在每个视场 ± 0.85 孔径之内能量都比较集中。用白光对此镜头实测传递函数结果如下: 从传递函数值来看与像差实际校正结果是符合的。而且轴上及轴外各个视场传递函数值基本上一致。

	$\frac{10 l}{m m}$	$\frac{20 l}{m m}$	$\frac{30 l}{m m}$	$\frac{40 l}{m m}$	$\frac{50 l}{m m}$	$\frac{60 l}{m m}$
0W	.84	.68	.47	.34	.25	.18
0.3W	.82	.64	.49	.37	.26	.19
0.5W	.74	.54	.45	.39	.33	.25
0.7W	.61	.39	.31	.25	.22	.19
1.0W	.38	.14	.05	.06	.06	.05

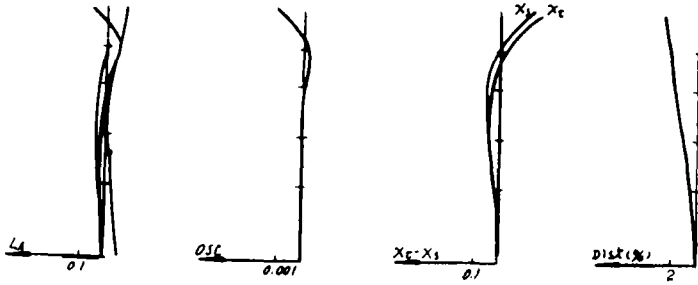


图 2

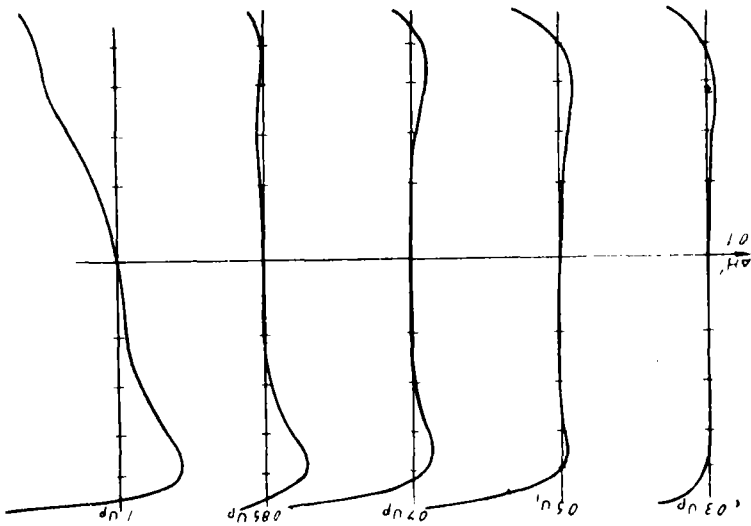


图 3

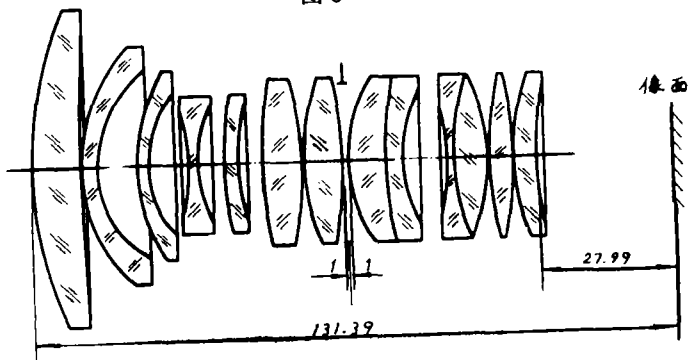


图 4

参 考 文 献

- [1] Bye Glatzel, Smpete Journal, 1978, 87 No1.
[2] 电影镜头设计组, 电影摄影物镜成像质量评价和像差平衡方案, 1971年, 9月。

Design of a Fast Photographic Lens for 35mm Motion Picture Camera

Ding Jiamin

Abstract

This paper describes a photographic lens ($f = 20\text{mm}$, $D/f = 1/1.19$, $2\omega = 68.5^\circ$) for 35mm motion picture camera. Its focal length is the shortest with large-aperture and large field of view in a series of photographic lenses with fixed focal length for 35mm motion picture camera in our country.

In the following, we shall describe both the process of design and an example of the design.