

文章编号: 1005—5630(2001)02—0037—05

摄影镜头的光学薄膜膜系设计^{*}

邢德华

(江西凤凰光学股份有限公司, 江西 上饶 334000)

摘要: 摄影镜头的光学薄膜是减反膜, 但摄影镜头的接受载体是彩色感光胶卷。所以摄影镜头的减反膜不仅应达到减反效果, 还必须满足彩色胶卷的感光要求。从工作经验出发, 阐述设计摄影镜头光学薄膜膜系的方法、重点, 以及膜系设计的工艺性问题。

关键词: 摄影镜头膜系设计; 色贡献指数; 工艺设计

中图分类号: 0484.4⁺1 **文献标识码:** A

The coating system design of optical film for camera lens

X IN G D e-hua

(Jiangxi Phenix Optics Stock Co., LTD., Shangrao 334000, China)

Abstract The optical film of lens is reducing reflection coating, but its acceptor is colorful sensitive film, so it should not only reach the effect of reducing reflection, but also meet the sensitive need of color film. The method and main points for the design of optical film and the technology from my experience are presented.

Key words: camera lens coating system design; color complemented index; technological design

1 引 言

评价一个摄像镜头的优良与否, 除了该镜头的成像质量极其重要外, 该镜头的透过率、彩色还原性能也是非常重要的指标。前者是由光学设计及光学零件冷加工的品质所决定, 后者是由光学薄膜设计及镀制的品质所决定。

一个摄影镜头(含定焦镜头和变焦镜头)的光学薄膜主要功能是减少镜片表面的反射。但这种减反膜又因为接受载体是彩色胶片, 所以又有别于目视光学仪器的减反膜。

一个摄影镜头(含定焦镜头和变焦镜头)的光学薄膜膜系设计及镀制, 必须使整组镜头的光谱透过率满足: (1) 白光透过率规定指标, 要求有尽可能多的光穿过镜头到达摄影底片, 满足摄影底片的感光要求。(2) ISO-CC1 值指标, 该指标是根据彩色胶片的光谱感光特性制定, 达到该指标, 可以使摄影胶片彩色不失真。

摄影镜头膜系设计应综合考虑上述两项因素, 充分利用减反膜的光谱特性, 使所设计的膜系满足技术要求。

* 收稿日期: 2000-09-18

作者简介: 邢德华(1954-), 男, 江苏江阴人, 工程师, 从事光学薄膜的设计和工艺。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

2 摄影镜头膜系设计的技术指标

设计一个镜头的光学薄膜膜系, 必须首先了解该镜头的使用场合、使用要求, 制定设计目标值。摄影镜头膜系的设计目标主要有以下两个方面:

2.1 ISO-CCI 值指标

ISO-CCI 值是摄影镜头色贡献指数的国际标准, 其含义是摄影镜头光谱透过率分布(从 370nm ~ 680nm)满足感光载体(彩色胶卷)的光谱感光需求, 能按绝大多数人的喜好再现被摄物的色彩。要保证这一点, 并不是要求在可见光区(370nm ~ 680nm)的光谱范围内透过率一致。而是分为三个波段(即蓝光、绿光和红光), 它们有不同的透过率要求。

色贡献指数是一个描述某镜头(相对无镜头时)预期改变摄影的整个色彩程度的三个数的标志。即 $0^+ \frac{3}{4} \text{——} 5^0 \frac{2}{2} \text{——} 4^+ \frac{1}{2}$

这三个数分别代表蓝、绿、红三原色。色贡献指数是由镜头的光谱透过率与国际标准所提供的带权光谱灵敏度值计算出来的。实例见表 1。

表 1 标准摄影镜头 CCI 值计算实例表

波长	透过率	WB	WBt	WG	WGt	WR	WRt
370	0.23	1	0.23				
380	0.42	1	0.42				
390	0.60	3	1.80				
400	0.74	7	5.18				
410	0.83	10	8.30				
420	0.88	12	10.56				
430	0.91	12	10.92				
440	0.94	13	12.22				
450	0.95	13	12.35				
460	0.97	12	11.64				
470	0.98	8	7.894	1	0.98		
480	0.98	4	3.92	1	0.98		
490	0.98	2	1.98	1	0.99		
500	0.99	1	0.99	2	1.98		
510	0.99	1	1.00	4	4.00		
520	1.00			5	5.55		
530	1.00			8	8.00		
540	1.00			15	15.00		
550	1.00			25	25.00	1	1.00
560	1.00			13	13.00	1	1.00
570	1.00			13	13.00	1	1.00
580	1.00			9	9.00	2	2.00
590	0.99			2	2.00	3	2.97
600	0.99			1	0.99	4	3.96
610	0.99					6	5.94
620	0.98					8	7.84
630	0.98					12	11.76
640	0.97					19	18.43
650	0.96					22	21.12
660	0.96					16	15.36
670	0.95					4	3.80
680	0.94					1	0.94
$\sum (W_t)$			89.35		99.90		97.34
$\log \sum W_t$			1.95		2.00		1.99
减 1.95			0.00		0.05		0.04
乘 100			0		5		4

色贡献指数: 0/5/4



2.2 白光透过率要求

表 2 参照国家相关放映物镜技术要求中对白光透过率的要求

“空气/玻璃”表面面数	白光透过率%
4, 6	≥ 90%
8, 10	≥ 82%
12, 14, 16	≥ 75%

以此类推, 当镀膜面为 18、20、22 时, 白光透过率应大于等于 69%; 而镀膜面在 24、26、28、30 时, 白光透过率应大于等于 64%。

在计算或测量了分光透过率以后, 可以以下列方式推算白光透光率:

$$T = (T_{435} \cdot 8 \times 1 + T_{486} \cdot 1 \times 1.8 + T_{589} \cdot 3 \times 2 + T_{656} \cdot 3 \times 1.2) \div 6$$

3 膜系设计前的准备工作

在设计一个摄影镜头膜系以前, 必须先要了解各镜片的光谱内透过率。有胶合面的, 还应该了解胶合面二侧镜片的折射率并计算由此而产生的剩余反射, 以及胶层本身对光的吸收损耗。

这项准备工作有两种方法:

(1) 最好的方法是实测。

对构成镜头的各种不同牌号的镜片材料, 实测其内透过率, 如加工一些与各镜片相同玻璃牌号、相同中心厚度的平板平片, 测出其 370nm ~ 680nm 光谱范围内的分光透过率和剩余反射率值, 经计算可以得出各镜片的分光内透过率值。对胶合件也可以通过实测胶合后的分光透过率, 结合前面得到基片内透过率值计算出胶层吸收及两侧剩余反射损耗。

这种方法与实际情况最为吻合, 对膜系设计也最为有利。而事实上这种方法投入太大, 周期也太长, 一般较少采用。

(2) 第二种方法是根据查相关标准的理论数据进行计算。

国家标准对大部分国产光学玻璃的内透过率都有标准规定, 可以查表得到厚 10mm 材料的内透过率值 τ_{10} 。

各镜片的中心厚度是各有差异的, 根据光吸收系数计算公式可以得到: $T_{i\lambda} = \tau_{10}^{d/\lambda}$ 。其中 d 为透镜中心厚度, 单位: cm, 经过计算得出各镜片的内透过率 $T_{i\lambda}$; 再查表得出胶层内透过率; 根据反射率计算公式:

$R = [(N_1 - N_2) / (N_1 + N_2)]^2$, 分别再计算胶层两侧与玻璃交接面的透过率, 得 $T_{胶n}$, 最后可以得出

$$T_{\lambda综} = T_{1\lambda} \cdot T_{2\lambda} \cdot \dots \cdot T_{n\lambda} \cdot T_{胶1} \cdot T_{胶n}$$

4 膜系设计

在完成上述准备工作, 得到从 370nm ~ 680nm 的 T_{λ} 综合值后可以进行膜系设计。

通常薄膜设计者都有一个或数个用于计算薄膜光谱透、反特性的程序。但这种程序大都是计算一个面 (也有计算两个面) 的, 所以镜头组的各个面均需单独计算, 得出各面薄膜的分光透过率后, 再连同前述得到的 $T_{\lambda综}$ 值, 组合计算镜头组的总分光透过率及 CCI 值。设计者可以编制一个程序将各层膜的数据及 $T_{\lambda综}$ 值转到一个总表中, 在总表中自动计算总分光透过率及 CCI 值。

4.1 多层减反膜

对镜头各镜片的折射率、曲率半径组合位置等作综合分析, 以确定多层膜的选用。由于多层减反膜相对单层减反膜, 成本高、工艺难度大, 所以在确保总透过率满足设计要求的前提下, 尽量少采用多层减反膜。

采用多层减反膜时一般有以下几点考虑:

(1) 尽量在镜头第一片的第二面或第二片上镀多层减反膜, 以增加装饰效果。摄影镜头的多层减反膜

以翠绿反射色为多, 比较美观。

(2) 尽量在曲率半径 R 较大的表面上镀多层膜, 为使多层膜膜色在工艺上易保证整片均匀。

(3) 尽量在低折射率材料的镜片上镀多层减反膜。对单层减反膜而言, 低折射率基底的减反效果不如高折射率基底的减反效果。而对多层膜而言, 多层膜的设计可以在不同折射率基底的材料上实现几乎相近的减反效果。那么, 在低折射率基底材料上镀多层减反膜就是理所当然的了。

一般经验, 对镀膜面数在 20~30 的镜组, 选用 4~6 个面镀多层膜; 镀膜面数在 16 个左右时, 选用 2~3 个面镀多层膜; 镀膜面数在 10 个左右时, 选有 1~2 个面镀多层膜即可基本满足技术要求。

选用多层减反膜, 最好在同种牌号的玻璃基底上, 或折射率很接近的不同基底上实施。这样从设计上可仅设计一种多层膜膜系。更重要的是, 在批量生产中, 从工艺实施上更为方便, 从品质保证上更为有利。

多层膜的设计应充分考虑大批生产的工艺性。

(1) 能用二层膜结构(G-2HL-A)实现目标的就不要用三层膜结构(G-M 2HL-A), 因为二层膜结构对膜厚控制的精度比三层膜结构的要低, 更易于工艺实施及工艺稳定。

(2) 如果膜厚监控装置允许, 三层三种膜料的规整膜系, 可以考虑四层两种膜料的非规整膜系。因为后者的工艺性、品质稳定性比前者好。

(3) 膜料的选用要充分考虑工艺实施的方便。比如, TiO_2 膜料因为折射率高, 从设计考虑比较理想, 但由于蒸镀中 TiO_2 膜料容易失氧, 形成光吸收较强的低氧化物。所以如果没有良好的充氧装置就不要选用 TiO_2 膜料, 可以考虑选用 ZrO_2 膜料。 ZrO_2 膜料对充氧要求不高, 但折射率不如 TiO_2 膜料的高, 这可以从设计中综合调整解决。

(4) 所选用的膜料镀制工艺条件要一致。如 ZrO_2 膜料, 不同的工艺条件其折射率有所不同, 设计者不能在这一面的膜系中要求 ZrO_2 膜料的折射率为 2.05, 而在另一面的膜系中要求 ZrO_2 膜料的折射率为 1.95。尽管改变工艺条件可以实现, 但对于大批生产的工艺管理、品质稳定带来很大困难。

总之, 多层膜的设计应充分考虑生产部门的实际工艺能力, 宁可在设计中多投入一些时间、精力, 也要为批量生产中的工艺稳定、品质稳定创造条件和基础。

4.2 单层减反膜的设计

一般单层减反膜都是单层氟化镁(MgF_2), 中心波长选择在 460nm~540nm。而且在 460nm~520nm 为多。这是因为基底的吸收一般在短波处比较大, 为达到彩色平衡的目的, 单层减反膜的中心波长都尽量在偏短波方向, 以使短波处有较多的光透过。考虑工艺实施的实际, 中心波长短于 460nm, 目视很难分辨膜色的中心波长差异, 而大部分单层减反膜仍用目视法控制膜厚, 所以比 460nm 更短的单层膜中心波长一般不采用。

单层减反膜的设计中, 某一片的两个面中心波长最好一致, 以方便工艺实施。

4.3 CCI 值的调整

镜组各镜片按上述中心波长镀以单层减反膜后, 又会带来一个新问题, 在 370nm~680nm 范围中, 整组镜头的总透过率会集中出现在 500nm~550nm 区间内, CCI 值会出现 0-10-7, 0-11-6 等数值。为此, 多层膜的设计就考虑为 W 形膜。在 520nm~540nm 区间形成一个 0.8%~1% 左右的反射峰, 在 440nm 和 640nm 处有两个反射低谷, 以平衡 CCI 值。这种多层减反膜也称减反绿膜。这种多层膜也就是前面所提到的二层膜结构(G-2HL-A)、三层膜结构(G-M 2HL-A)或非规整的四层、五层、六层膜。

各面的单层和多层减反膜初步设定后, 连同基底内透过率、胶层透过率组合计算, 计算出从 370nm~680nm 每 10nm 为一点的各点分光透过率, 并计算出 CCI 值。

对于 CCI 值的调整, 可通过改变单层减反膜的中心波长和多层减反膜的中心反射峰对应波长值及峰值来实现。如图所示, CCI 值有一定的允差范围, 但考虑制造误差, 膜系设计的 CCI 值要在下图合格区域的中间部位, 如在 0-4-2、0-4-4、0-6-4、0-6-6 范围内。(这个范围的确定也考虑了膜系中心波长的漂移) 尽量为生产制造创造条件。

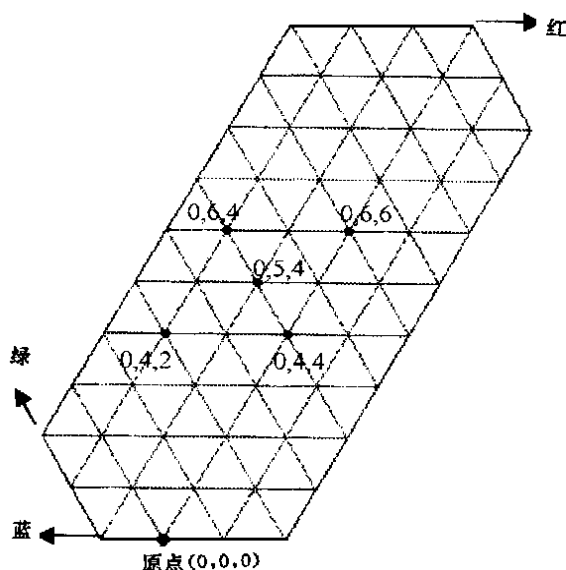


图 1 CCI 值三线图

4.4 对于白光透过率, 可通过对 440nm、490nm、590nm、660nm 四个点的透过率加权计算近似得出白光透过率值。若达不到设计指标, 则考虑增加多层膜面数; 若超出指标较多, 则减少多层减反膜面数。一般比设计要求的白光透过率高 10% 左右较为适合。

上述工作的完成, 仅是初步的设计, 该膜系的可操作性如何, 还要作大量的模拟, 模拟各膜在镀制中有偏差时, 对总透过率及 CCI 值的影响, 得出各膜的允差量, 才可初步确定整组镜头的膜系。

5 膜系的修正

膜系设计完成后, 还要通过试生产后对整组镜头的测试值来对各膜系参数做出调整、修正, 直至实际产品达到设计指标。才可算完成了膜系设计。

笔者在对本公司的摄影变焦镜头、定焦镜头的膜系设计中, 就采用了上述方法及思路。

6 参考文献

- [1] 唐晋发, 顾培夫, 薄膜光学与技术[M], 北京: 机械工业出版社, 1998
- [2] 顾培夫, 薄膜技术[M], 杭州: 浙江大学出版社, 1990
- [3] 李士贤, 李 林, 光学设计手册[M], 第 2 版, 北京: 北京理工大学出版社, 1996

消 息

新型全谱直读等离子体发射光谱仪

美国瓦里安公司于最近推出 Vista-M PX 全谱直读等离子体发射光谱仪。

该仪器为结构紧凑的台式设计, 采用了具有一百多万感光点的全新 CCD 检测器, 高分辨力和高性能的中阶梯光栅交叉色散多色器, 高效、稳定的 40MHz 自激式射频发生系统, 可分析从 ppb 级到百分含量的各种样品, 同时得到稳定、可靠的分析结果。该仪器可供环保、食品、医院、石化以及工业领域作大批量常规样品的分析测定用, 其分析速度为每分钟 73 个元素。

(摘自《科学时报》)