衍生二级光谱分析

姜　会　林

一、问题的提出

设计长焦距光学系统的一个突出问题是校正二级光谱。为此，我们在设计一个长焦距照相镜头中，曾采用下面办法。

由初级象差理论，各组透镜都有：

$$\begin{cases}\varphi_1+\varphi_2=\phi \\ \dfrac{\varphi_1}{\nu_1}+\dfrac{\varphi_2}{\nu_2}=\dfrac{C_1}{h}\end{cases}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

解出

$$\begin{cases}\varphi_1=\dfrac{\nu_1\phi}{\nu_1-\nu_2}-\dfrac{\nu_1\nu_2C_1}{(\nu_1-\nu_2)h^2} \\ \varphi_2=\dfrac{-\nu_2\phi}{\nu_1-\nu_2}+\dfrac{\nu_1\nu_2C_1}{(\nu_1-\nu_2)h^2}\end{cases}\quad\cdots(2)$$

二级光谱系数是：

$$C_{DF}=\frac{h^2\varphi_1}{\nu_{DF1}}+\frac{h^2\varphi_2}{\nu_{DF2}}=\frac{h^2\varphi_1P_{DF1}}{\nu_1}+\frac{h^2\varphi_2P_{DF2}}{\nu_2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

把(2)代入(3)得：

$$C_{DF}=h^2\phi\frac{P_{DF1}-P_{DF2}}{\nu_1-\nu_2}-C_1\frac{\nu_2P_{DF1}-\nu_1P_{DF2}}{\nu_1-\nu_2}\overset{记为}{=}h^2\phi\alpha-C_1\beta\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

其中

$$\begin{cases}P_{DF}=\dfrac{n_F-n_D}{n_F-n_C} \\ \alpha=\dfrac{P_{DF1}-P_{DF2}}{\nu_1-\nu_2} \\ \beta=\dfrac{\nu_2P_{DF1}-\nu_1P_{DF2}}{\nu_1-\nu_2}\end{cases}$$

若一个系统由K组组成，则

$$C_{DF}=\sum_{i=1}^{K}(h_i^2\phi_i\alpha_i-C_{1i}\beta_i)\ \cdots(5)$$

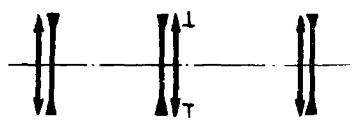
当要求$C_{DF}=0$时，则求解方程

$$\sum_{i=1}^{K}(h_i^2\phi_i\alpha_i-C_{1i}\beta_i)=0\cdots\cdots(6)$$

即可。

我们所设计的图（1）所示的系统，a组与c组所选用的材料组合相同，即$\alpha_a=\alpha_c$，$\beta_a=\beta_c$；又考虑到三组联合消色差条件，所以方程（5）变为：

$$C_{DF}=h_a^2\phi_a\alpha_a+h_b^2\phi_b\alpha_b+h_c^2\phi_c\alpha_a-C_{1b}(\beta_b-\beta_a)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$



图（1）

把（7）式与要求总光焦度ϕ、校正C_1、C_{11}、S_{1V}的公式联立得：

$$\begin{cases}\dfrac{D}{2f'}=h_a\phi_a+h_b\phi_b+h_c\phi_c \\ C_1=C_{1a}+C_{1b}+C_{1c} \\ C_{DF}=h_a^2\phi_a\alpha_a+h_b^2\phi_b\alpha_b+h_c^2\phi_c\alpha_a-C_{1b}(\beta_b-\beta_a)\cdots(8) \\ S_{1V}=j^2\Sigma\dfrac{\varphi}{n} \\ C_{11}=\dfrac{h_{pa}}{h_a}C_{1a}+\dfrac{h_{pc}}{h_c}C_{1c}\end{cases}$$

当试选玻璃之后，通过解此方程组（8），就可以求出同时满足以上五个要求的各组光焦度、组与组的间隔及h，h_p来；然后再根据校正单色象差条件确定初始结构参数。

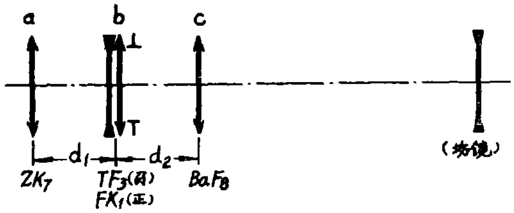
运用这种方法，又选取了两种方案进行设计。

第一种是：

$\phi_a>0$，$\phi_b<0$，$\phi_c>0$；

$C_{1a}>0$，$C_{1b}<0$，$C_{1c}>0$。

如图（2）所示。



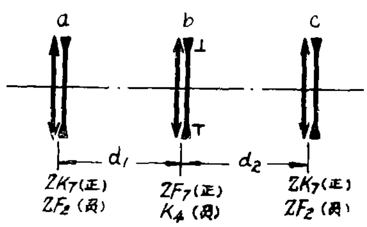
图（2）

第二种方案是：

$\phi_a>0$，$\phi_b<0$，$\phi_c>0$；

$C_{1a}<0$，$C_{1b}>0$，$C_{1c}<0$。

如图（3）所示。



图（3）

按如上所述过程求解初始结构参数后，进行光线计算。如果解方程组（8）时，令$C_{DF}=0$，对于上述两种方案，我们发现，经光线计算得到的C_{DF}值皆是正值，而且都在0.0006左右；同时我们还发现，不论各组透镜顺序如何调换，光阑位置及曲率半径如何变化，只要光焦度分配及间隔一定，其C_{DF}值基本不变。那末，此值来自何处呢？它又有什么变化规律呢？在光焦度分配和间隔确定之后，又怎样进行计算呢？这些就是本文要讨论的主要问题。

二、衍生二级光谱计算公式

一般情况下，光学系统对C、F线消色差，D线与C、F线的轴向象点位置差就是通常所说的二级光谱（当然，也可以根据需要选用其它谱线）。

假设一透镜组的入射光线无象差，则由公式（5）得到的C_{DF}就是二级光谱系数，C_{DF}/nu'^2就是二级光谱几何量。为下面讨论问题方便，也可称之为本征二级光谱。

如果一透镜组的D、F近轴入射光线已有轴向位置差，即$\Delta l_{DF}\neq 0$，就使得其D、F线的入射光线座标y、z、η、ξ发生改变，由此导致其象方光线的$\Delta l'_{DF}$发生变化，逐面追迹光线到最后象面，它就会改变系统的二级光谱值。参照其它高级象差的概念[2]，我们将此量（即D、F线入射光线轴向位置差产生的二级光谱贡献量）称为衍生二级光谱。其波差及系数分别用Δw_{DF}及ΔC_{DF}表示。

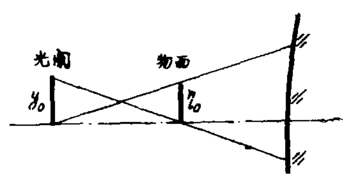
下面遵循“高级色差理论”[2]一文的思路，推导衍生二级光谱的计算公式。

1. 前组D、F光的C_{I}、C_{II}产生的后组入射光线座标变化量

设入射光线座标为：Y，Z（光栏座标）

H，ξ（物面座标）

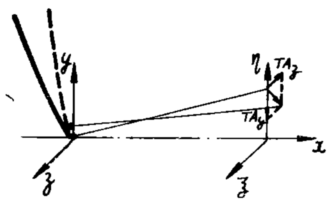
其规化座标是（参看图4）：



图（4）

$$y=y/y_0$$
$$z=z/y_0$$
$$\eta=H/\eta_0$$
$$\xi=\xi/\eta_0$$

如果光学系统前组已有象差，其后组入射光线座标相应地变为（参看图 5）：



图（5）

$$\begin{cases} y - TA\eta/y_0 \\ z - TA_\xi/y_0 \\ \eta - TAy/\eta_0 \\ \xi - TA_z/\eta_0 \end{cases}$$

并且相应地记为：

$$\begin{cases} y + \Delta y \\ z + \Delta z \\ \eta + \Delta\eta \\ \xi + \Delta\xi \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

其中 TA_y、TA_z 为物面象差；

TA_η、TA_ξ 为光栏象差。

由初级色差公式有

$$W_c = \frac{1}{2}C_1(y^2+z^2) + C_{11}(y\eta + z\xi) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

$$W_{cp} = \frac{1}{2}C_{1p}(\eta^2+\xi^2) + C_{11p}(y\eta + z\xi) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

(12)、(13)式分别对座标求偏微分得：

$$\begin{cases} \dfrac{\partial W_c}{\partial y} = C_1 y + C_{11}\eta \\ \dfrac{\partial W_c}{\partial z} = C_1 z + C_{11}\xi \\ \dfrac{\partial W_{cp}}{\partial \eta} = C_{1p}\eta + C_{11p}\, y \\ \dfrac{\partial W_{cp}}{\partial \xi} = C_{1p}\,\xi + C_{11p}\, z \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

由波象差和垂轴几何象差之间的关系式：

$$\begin{cases} nuTA_y = \dfrac{\partial W}{\partial y} \\ nuTA_z = \dfrac{\partial W}{\partial z} \\ nu_pTA_\eta = \dfrac{\partial W_p}{\partial \eta} \\ nu_pTA_\xi = \dfrac{\partial W_p}{\partial \xi} \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

又∵ $j = nu\eta = -nu_p\, y_o$ ……(16)

并用$\overleftarrow{C}_1$、$\overleftarrow{C}_{11}$表示透镜组之前的色差，联立上述方程，又考虑到有色差时参考座标的选择，即可得到与《光学设计理论基础》相同的由$\overleftarrow{C}_1$，$\overleftarrow{C}_{11}$产生的后组入射光线座标变化量为：

$$\begin{cases} -2j\cdot\Delta\eta = \overleftarrow{C}_1\; y + \overleftarrow{C}_{11}\eta \\ -2j\cdot\Delta\xi = \overleftarrow{C}_1\; z + \overleftarrow{C}_{11}\xi \\ 2j\cdot\Delta y = \overleftarrow{C}_{1p}\eta + \overleftarrow{C}_{11p}y \\ 2j\cdot\Delta z = \overleftarrow{C}_{1p}\,\xi + \overleftarrow{C}_{11p}z \end{cases} \cdots\cdots(17)$$

因为 $C_{11} - C_{11p} = j\cdot\Delta\dfrac{\delta n}{n}$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

并取 $\xi = 0$，则 (17) 式变为：

$$\begin{cases} -2j\cdot\Delta\eta = \overleftarrow{C}_1\; y + \overleftarrow{C}_{11}\eta \\ -2j\cdot\Delta\xi = \overleftarrow{C}_1 z \\ 2j\cdot\Delta y = \overleftarrow{C}_{1p}\eta + (\overleftarrow{C}_{11} - j\cdot\overleftarrow{\Delta}\dfrac{\delta n}{n})\; y \\ 2j\cdot\Delta z = (\overleftarrow{C}_{11} - j\cdot\overleftarrow{\Delta}\dfrac{\delta n}{n})z \end{cases}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

其中：带“←”量表示该组（或面）之前相应量；

“$\Delta\dfrac{\delta n}{n}$”表示物、象空间的$\dfrac{\delta n}{n}$之差。

(19)式就是我们要用的由$\overleftarrow{C}_1$、$\overleftarrow{C}_{11}$产生的后组入射光线座标变化量表示式。

2．D、F光入射光线座标变化引起的后组衍生二级光谱值

对（12）式求全微分得：

$$\Delta W_G = (C_1 y + C_{11}\eta)\Delta y + C_1 z \Delta z + C_{11} y \cdot \Delta\eta + C_{11} z \cdot \Delta\xi \cdots (20)$$

把(19)式代入(20)式得：

$$\Delta W_c = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{j}(C_1\overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11}) - C_1 \cdot \overleftarrow{\Delta}\frac{\delta n}{n}\right](y^2+z^2) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{j}C_1\overleftarrow{C}_{1p} - C_{11}\cdot\overleftarrow{\Delta}\frac{\delta n}{n}\right)\eta y + \frac{1}{2j}C_{11}\overleftarrow{C}_{1p}\eta^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

由二级光谱的定义，所以衍生二级光谱波差为：

$$\Delta W_{DF} = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{j}(C_1\overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11}) - C_1\cdot\overleftarrow{\Delta}\frac{\delta n}{n}\right](y^2+z^2) \cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

其中：

C_1、C_{11}为D、F光的色差系数。

将(22)式与(12)式对比，可见衍生二级光谱系数为：

$$\Delta C_{DF} = \left[\frac{1}{j}(C_1\overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11}) - C_1\cdot\overleftarrow{\Delta}\frac{\delta n}{n}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots (23)$$

运用公式(23)，即可算出各组的衍生二级光谱系数。对于整个系统，则只需对(23)式求和即可。

$$\Delta C_{DF总} = \Sigma\left[\frac{1}{j}(C_1\overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11}) - C_1\cdot\overleftarrow{\Delta}\frac{\delta n}{n}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

应用此公式时，对于单薄透镜还可以简化，因为单薄透镜的$C_{11} = C_{11p}$，即（18）式中的$\Delta\frac{\delta n}{n} = 0$、所以（24）式去掉了$C_1\cdot\overleftarrow{\Delta}\frac{\delta n}{n}$项。

注：

应用公式(24)计算出ΔC_{DF}值，如果系统已对C、F线完全消色差，此ΔC_{DF}就是所要求解的衍生二级光谱系数；如果系统尚未对C、F线完全消色差，则需要用同样公式算出ΔC_{DC}值，然后再用$\left(\frac{\Delta C_{DF} - \Delta C_{DC}}{3.5} + \Delta C_{DC}\right)$近似算出实际的衍生二级光谱系数。

有中"3.5"的来历是，因为玻璃材料的

$$\frac{\delta n_{DF}}{\delta n_{DC}} \doteq -2.5$$

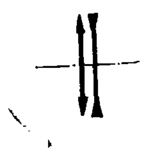
例如前边所述的方案1，其$\frac{\delta n_{DF}}{\delta n_{DC}} = -2.48$；而方案2，$\frac{\delta n_{DF}}{\delta n_{DC}} \doteq -2.52$。平均值为$-2.5$。

三、对几种情况的讨论

为使衍生二级光谱计算公式(24)有更明显的表现形式，分如下四种情况进行讨论。为方便起见，只讨论薄透镜组，并且以单薄透镜为计算单元。

1．密接薄透镜组

如果是胶合透镜，则把它看成为间隔很小的分离透镜，所以仍以单薄透镜为单元计算。



图（6）

其中：

第一片：

$\because\ \overleftarrow{C}_1, \overleftarrow{C}_{11}$都为零，$\therefore\ \Delta C_{DF1} = 0$

第二片：

$\because\ (C_1\overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11})$

$$= (C_1 \overleftarrow{C}_1 \frac{h_P}{h} - \overleftarrow{C}_1 C_1 \frac{h_P}{h})$$

$$= 0$$

$\therefore \quad \Delta C_{DF2} = 0$

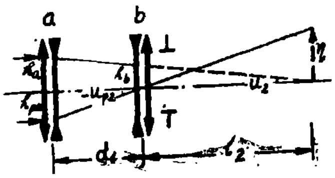
所以，密接薄透镜组的 $\Delta C_{DF} = 0$。

2．双分离薄透镜组（光栏在后组上）

由1可知，前组的

$\Delta C_{DFa} = 0$；

对后组分析如下：



图（7）

$$j = nu_2\eta$$

$$= -nh_b u_p = -nh_b \frac{h_{pa}}{d_1} \xlongequal{n=1时} \frac{-h_b h_{pa}}{d_1} \cdots\cdots (25)$$

把(25)代入(24)得：

$$\Delta C_{DF} = \sum_1^2 \left[\frac{1}{j}(C_1 \overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11})\right]$$

$$= \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b1} h_{pa}}{h_b h_{pa} h_a} + \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b2} h_{pa}}{h_b h_{pa} h_a}$$

$$= \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b}}{h_a h_b}$$

所以，整个系统的

$$\Delta C_{DF总} = \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b}}{h_a h_b} \cdots\cdots (26)$$

其中C_{1a}，C_{1b}分别是a组和b组的D、F光轴向色差系数。

在(26)式中，h_a、h_b、d_1 皆大于零；若设计时考虑$C_{1a}+C_{1b} \doteq 0$，即C_{1a}与C_{1b}反号，则说明衍生二级光谱$\Delta C_{DF} > 0$，且与间隔d成正比。因为一般情况下，系统$f' > 0$，其本征二级光谱$C_{DF} < 0$，所以衍生二级光谱对于减少系统的二级光谱值是有利的。

3．三分离薄透镜组

如图（1）所示。

对前两组同2分析，即

$$\Delta C_{DF} = \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b}}{h_a h_b}$$

对C组分析如下：

$$j = \frac{-h_b h_{pa}}{d_1} = \frac{h_{pc} h_b}{d_2} \cdots\cdots (27)$$

C组之前片

$$\Delta C_{DF1} = \frac{1}{j}\left[C_{1c前} \overleftarrow{C}_{11} - \overleftarrow{C}_1 C_{11c前}\right]$$

$$= \frac{-C_{1c前}}{h_b}\left[\frac{C_{1a} d_1}{h_a} + (C_{1a} + C_{1b} + \Delta C_{DFa,b}) \frac{d_2}{h_c}\right]$$

$$\cdots\cdots (28)$$

C组之后片

$$\Delta C_{DF2} = \frac{-C_{1c后}}{h_b}\left[\frac{C_{1a} d_1}{h_a} + (C_{1a} + C_{1b} + \Delta C_{DFa,b}) \frac{d_2}{h_c}\right] + \frac{-C_{1c后} \cdot \Delta C_{DFc前} \cdot d_2}{h_b \cdot h_c}$$

$$\cdots\cdots (29)$$

(28)加(29)式得：

$$\Delta C_{DFc组} = \frac{-C_{1c}}{h_b}\left[\frac{C_{1a} d_1}{h_a} + (C_{1a} + C_{1b} + \Delta C_{DFa,b}) \frac{d_2}{h_c}\right] + \frac{-C_{1c后} \Delta C_{DFc前} \cdot d_2}{h_b \cdot h_c}$$

$$\cdots\cdots (30)$$

如果在设计中，$C_{1a}+C_{1b}+C_{1c} \doteq 0$，$C_{IIa}+C_{IIc} \doteq 0$，即有 $h_{PC}:h_{pa} = (-d_2):d_1$ 此时

$$\Delta C_{CFc组} = \frac{-d_2}{h_b^2}(C_{1c} \cdot \Delta C_{DFa,b} + + C_{1c后} \cdot \Delta C_{DFc前}) \cdots\cdots (31)$$

一般情况下，$\Delta C_{DFa,b}$ 及 $\Delta C_{DFc前}$ 与相应的C_1相比是很小的，比较(31)与(26)式可知，$\Delta C_{DFc组}$与 $\Delta C_{DFa,b}$相比很小，所

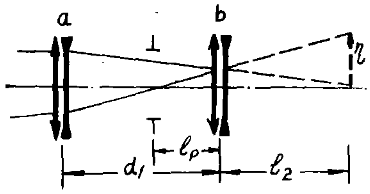
以整个系统的ΔC_{DF}仍同(26)式。

由此说明，虽然一般情况下，入射光束的C_{DF}通过一透镜组产生的衍生二级光谱，在整个系统的$\Delta C_{DF总}$中是不容忽略的，但在特殊情况下，即某一组的$C_1=-\overleftarrow{C}_1$，$C_{11}=-\overleftarrow{C}_{11}$时，由(24)式可见，其衍生二级光谱为零。

4. 双分离薄透镜组（光栏位于中间）

对a组的分析同1；

对b组分析如下：



图(8)

由于

$$j=\frac{-h_b h_{pa}(l_2-l_p)}{l_2(d_1+l_p)}\cdots\cdots\cdots\cdots(32)$$

$$=\frac{-h_b h_{pb}(l_2-l_p)}{l_2 l_p}\cdots\cdots\cdots\cdots(33)$$

b组之前片：

$$\Delta C_{DFb前}=\frac{1}{j}\left[C_1\overleftarrow{C}_{11}-\overleftarrow{C}_1\ C_{11}\right]$$

$$=\frac{-l_2(d_1+l_p)}{h_b(l_2-l_p)h_{pa}}C_{1b前}\cdot C_{1a}\frac{h_{pa}}{h_a}+\frac{l_2 l_p}{h_b(l_2-l_p)h_{pb}}C_{1b前}\cdot C_{1a}\frac{h_{pb}}{h_b}=\frac{-C_{1a}C_{1b前}d_1}{h_a h_b}\cdot\frac{l_2(h_bd_1-l_ph_a+l_ph_b)}{(l_2-l_p)h_bd_1}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots(34)$$

同理，b组之后片：

$$\Delta C_{DFb后}=\frac{-C_{1a}C_{1b后}d_1}{h_a h_b}\cdot\frac{l_2(h_bd_1-l_ph_a+l_ph_b)}{(l_2-l_p)h_bd_1}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

(34)加(35)式得：

$$\Delta C_{DFb}=\frac{-C_{1a}C_{1b}d_1}{h_a h_b}\cdot\frac{l_2(h_bd_1-h_al_p+h_bl_p)}{(l_2-l_p)h_bd_1}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

由图(8)可知

$$\frac{h_a}{h_b}=\frac{d_1+l_2}{l_2}$$

$$\therefore\quad l_2h_a=d_1h_b+l_2h_b$$

两边同乘l_p且移项得：

$$-d_1h_bl_p=-l_2l_ph_a+l_2l_ph_b$$

两边再加上$l_2h_bd_1$得：

$$(l_2-l_p)h_bd_1=l_2(h_bd_1-l_ph_a+l_ph_b)$$

$$\therefore\quad\frac{l_2(h_bd_1-l_ph_a+l_ph_b)}{(l_2-l_p)h_bd_1}=1$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

把(37)代入(36)得：

$$\Delta C_{DFb}=\frac{-C_{1a}C_{1b}d_1}{h_a h_b}\cdots\cdots\cdots\cdots(38)$$

并且ΔC_{DFb}就是$\Delta C_{DF总}$。

比较(38)式与(26)式，说明衍生二级光谱确实与光栏位置无关。

从上述四种情况中，可以得出如下结论：

① 密接薄透镜组的$\Delta C_{DF}=0$；

② 分离透镜组联合消色差时，其$\Delta C_{DF}>0$，且大小与间隔d成正比；

③ 分离透镜组的ΔC_{DF}与各组内透镜顺序，光栏位置以及透镜弯曲状态无关。

注：

在上面讨论中，为分析问题方便，以单个薄透镜为单元；在实际运算中，当然是以密接薄透镜组为单元更方便。

四、几个具体例子的计算

例1：如图（3）所示。

$f'=1000\qquad f_a'=714.29$

$d_1 = 162.5 \quad D/f' = 1:7 \quad 2\omega = 10° \quad f_c' = 772.46$

$f_b' = -551.76 \quad d_2 = 125.5$ 解方程组(8)时令 $C_{DF} = 0$

表 1

组	h	ϕ	n_D	$\frac{n_F - n_D}{n_D - 1}$	C_{DF}	$\frac{n_C - n_D}{n_D - 1}$	C_{DC}
a_1	71.429	−.0038896	1.6725	.0222602	−.4417567	−.0087732	.1741054
a_2	71.429	.0052896	1.613	.0116313	.3139064	−.0048777	−.1316398
b_1	55.176	−.0079543	1.50795	.0114775	−.2779391	−.0049021	.1187093
b_2	55.176	.0061421	1.806	.0284615	.5322005	−.0109677	−.2050845
c_1	55.176	.0066176	1.613	.0116313	.2343307	−.0048777	−.0982689
c_2	55.176	−.005323	1.6725	.0222602	−.3607331	−.0087732	.1421723

由(26)式

$$\Delta C_{DF} = \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b}}{h_a h_b}\bigg|_{D.F} \doteq .00135$$

$$\Delta C_{DC} = \frac{-d_1 C_{1a} C_{1b}}{h_a h_b}\bigg|_{D.C} \doteq .00015$$

所以，衍生二级光谱系数≐

$$\frac{\Delta C_{DF} - \Delta C_{DC}}{3.5} + \Delta C_{DC} = .00049$$

实际光线计算结果与本征的 C_{DF} 之差是 .0005。

例 2：结构形式及材料同例 1，但解方程组(8)时，令 $C_{DF} = -.0006$。

$f' = 1000 \quad f_a' = 714.29 \quad d_1 = 202.5$

$D/f' = 1:7 \quad f_b' = -511.76$

$d_2 = 145.1 \quad 2\omega = 10° \quad f_c' = 716.46$

表 2

组	h	ϕ	n_D	$\frac{n_F - n_D}{n_D - 1}$	C_{DF}	$\frac{n_C - n_D}{n_D - 1}$	C_{DC}
a_1	71.429	−.0031698			−.3600063		.1418858
a_2	71.429	0045698	同	同	.2711906	同	−.1137264
b_1	51.176	−.007218	例	例	−.2169686	例	.0926684
b_2	51.176	.005264	1	1	.3923795	1	−.1512043
c_1	51.176	.0060573			.1845185		−.0773797
c_2	51.176	−.0046616			−.271767		.1071089

$\Delta C_{DF} = .00087$

$\Delta C_{DC} = .0001$

所以，衍生二级光谱系数≐.00033

实际光线计算结果与本征的 C_{DF} 之差是 .00036

例 3：如图(2)所示。

$f' = 1000 \quad f_a' = 714.29 \quad d_1 = 141.3$

$D/f' = 1:7 \quad f_b' = -572.94$

$d_2 = 127.7 \quad 2\omega = 10° \quad f_c' = 802.12$

解方程组(8)时令 $C_{DF} = -.0004$.

$\Delta C_{DF} = .00046$

$\Delta C_{DC} = .00011$

表 3

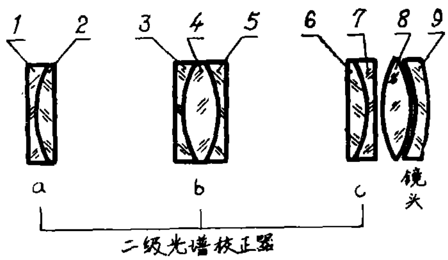
组	h	ϕ	n_D	$\frac{n_F-n_D}{n_D-1}$	C_{DF}	$\frac{n_C-n_D}{n_D-1}$	C_{DC}
a	71.429	.0014	1.613	.0116313	.0830817	−.0048777	−.0348411
b_1	57.294	−.0044581	1.6123	.0160706	−.2351799	−.0066144	.0967963
b_2	57.294	.0027127	1.48601	.008642	.0769546	−.0008602	−.0076598
c	57.294	.0012467	1.6259	.0182777	.0748	−.0073015	−.0298808

所以，衍生二级光谱系数≐.00022

实际光线计算结果与本征的C_{DF}之差是.00025。

从上面三例可知，衍生二级光谱确实是正的，在解方程组(8)时可仿照例(2)、(3)的办法，留有负的C_{DF}值，以使实际光线计算结果中，残留的二级光谱值接近于零。

例 4：英国C.G.Wynne 设计的一个系统[3]



图(9)

图中透镜材料 1、4、7、8 为LaK_{24}；

2、3、5、6、9 为SF_8。

LaK_{24}：

$n_{480}=1.70612$ $n_{404.7}=1.71771$

$n_{706}=1.69085$

SF_8：

$n_{480}=1.70594$ $n_{404.7}=1.72926$

$n_{706}=1.67899$

按他给出的R、d、h进行近似计算：

镜头的 $\begin{cases} C_{I\,480,404.7} \doteq -.00018 \\ C_{I\,480,706} \doteq -.00007 \end{cases}$

由校正器结构形式可知，其本征色差为零，而二谱线的衍生色差分别是：

$$\begin{cases} \Delta C_{480,404.7} \doteq .00013 \\ \Delta C_{480,706} \doteq .00013 \end{cases}$$

因此整个系统的

$$\begin{cases} C_{I\,480,404.7\,总} = -.00005 \\ C_{I\,480,706\,总} = .00006 \end{cases}$$

其几何量分别为：

$$\begin{cases} \Delta l'_{480,404.7} \doteq -.0035 \\ \Delta l'_{480,706} \doteq .0042 \end{cases}$$

这个计算结果与C.G.Wynne给出的结果是比较接近的。

由此说明，此系统正是用二级光谱校正器的衍生二级光谱（正量）来补偿镜头的二级光谱（负量）的。

参考文献

[1] 王之江．光学设计理论基础

[2] 薛鸣球、林大键．光学工程(1979)五 39．

[3] C.G.Wynne．光学机械（1978）第三期28．