

第三十四章 一階理論，光學補償變焦透鏡

(First-Order Theory, Optically Compensated Zoom Lenses)

在光學補償變焦透鏡中，所有的透鏡群組均一起移動，如同被連結在一般的桿子上。這顯示在圖 34-1 上。這樣的透鏡有一個好處是不需要凸輪。然而，這樣的系統通常比同級的機械補償系統要來的長。最重要的，像平面輕微地雖然焦而移動。設計者的任務在於使這個移動量少於焦深（depth of focus）。

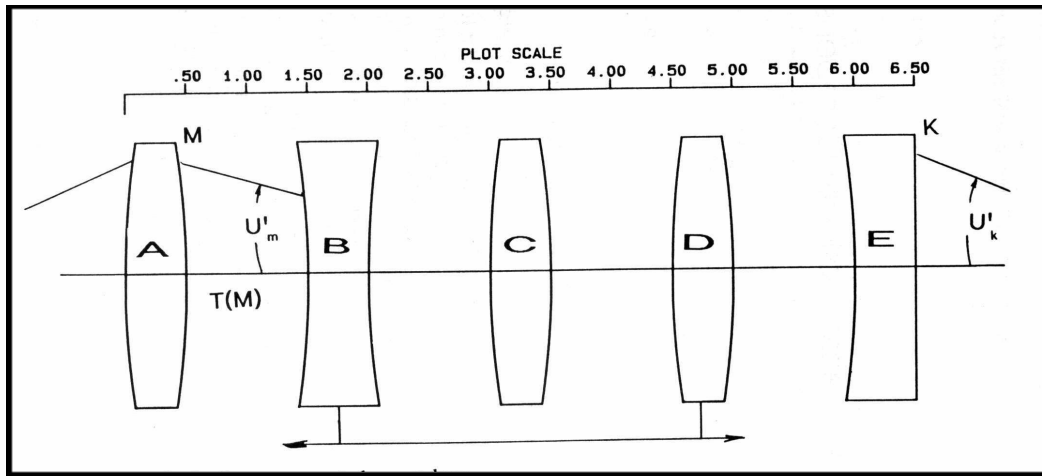


圖 34-1 光學補償變焦透鏡

參照圖 34-1，透鏡群組 A、C 和 E 在群組 B、C 連結在一起時是固定的。

覓跡一條近軸軸上光線，其折射於表面 M 後形成一交角 u'_m 以及在最後面 K 離開形成一角 u'_k 。一近軸主光線標式為 $\overline{u'_m}$ 等等。在表面 M 與 M_{t1} 間的軸上空間為 $T(M)$ 。

$$\frac{du'_k}{dT(M)} = \frac{Nu'_M \left[\overline{u'_k u'_M} - \overline{u'_k} \overline{u'_M} \right]}{\Psi} \quad (\text{Hanau and Hopkins, 1962})$$

其中 Ψ 為不變量，對於在空氣中的物體而言 $\Psi = N\overline{Hu} - N\overline{H}\overline{u} = -H_0\overline{u}$ 。

變焦比例為：

$$E = \frac{\left[\overline{u'_k} \right]_1}{\left[\overline{u'_k} \right]_2}$$

其中 1 表示系統位於初始位置以及 2 表示系統位於最後變焦位置。

由於我們要處理衍生的改變， u_k' 的所有變化為在空氣中所有變數的這些變化的總和。

如上所討論，影像隨著變焦而移動。Wooters 與 Silvertooth (1965) 證明縱向影像移動為零的位置的最大數目相等於可移動的空氣間隔數目。同時這也是交叉點的最大數目；實際的系統具有較少的交叉點。作為最極端的例子，我們可以考慮一個只有單一移動元件的變焦透鏡。圖 34-2 顯示一個如此的遠物薄透鏡配置。近軸上我們可得

$$EFL = \frac{F_A F_B}{F_A - F_B - D}, \quad BFL = \frac{(F_A - D)F_B}{F_A + F_B - D}$$

為了像維持固定， $D+BFL=\text{常數}$ 。

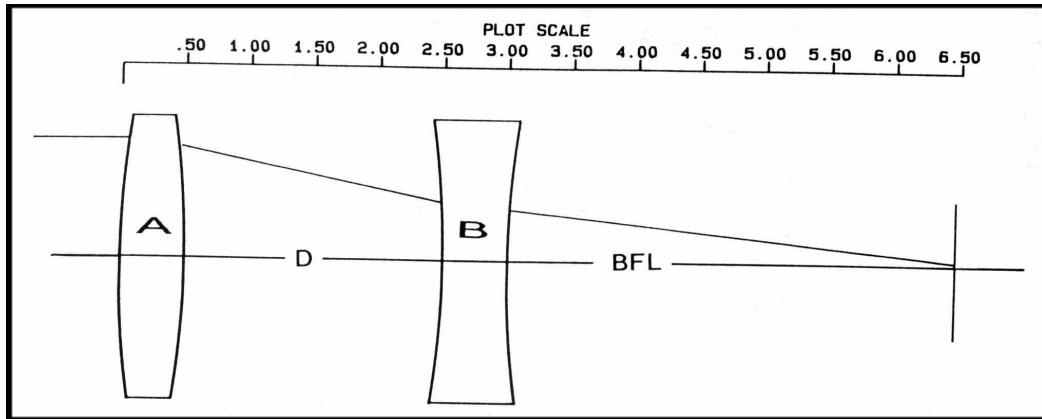


圖 34-2 隨著透鏡移動變焦

如我們將 B 透鏡移到一新位置我們得到 EFL，BFL，當然還有 D 的新值。令新的 BFL 標示為 $E(EFL)$ ，其中 E 為變焦率。為了 $D+BFL$ 的和要和前面一樣

$$E = \frac{F_A^2}{EFL^2}$$

新的 D 值將為

$$D_2 = F_A F_B - \frac{F_A F_B}{E(EFL)}$$

像在這二個變焦位置將位於相同位置。

Johnson 和 Feng (1992) 討論具有一移動群組的無聚焦紅外透鏡。他們稱其為機械補償。根據此定義，其為光學補償，因為像在僅有的二個位置上保持固定。然而，如果凸輪配置為在相對於像平面下移動二個透鏡群組，則顯然像會維持固定。見第三十八章的變焦距長透鏡。

參考文獻

- Back, F. G., and Lowen, H. (1954). The basic theory of varifocal lenses with linear movement and optical compensation, JOSA, 44:684.
- Bergstern, L. (1958). General theory of optically compensated varifocal systems, JOSA, 48:154.
- Hanau, R., and Hopkins, R. E. (1962). Optical Design, MIL-HDBK-141, Jefense Supply Agency, Washington, D. C., p. 6-26.
- Jamieson, T. H. (1970). Thin lens toeory of zoom systems, Opt. Acta, 17:565.
- Johnson, R. B., and Feng, C. (1992).Mechanically compensated zoom lenses with a single moving element, Appl. Opt., 31:2274.
- Pegis, R. J., and Peck, W. G. (1962). First-order design theory for linearly compensated zoom systems, JOSA, 52:905.
- Wooters, G., and Silvertooth, E. W. (1965). Optically compensated zoom lens, JOSA, 55:347.