

第十章 目鏡 (Eyepieces)

目鏡是具有外部入射光瞳的透鏡系統。肉眼應置於這個入射光瞳的位置上。入射光瞳和第一鏡面間的距離稱為視覺對比。視覺對比應該至少 10mm (讓眼睫毛有適當的空間), 15mm 以提供更舒適的視野, 以及 20mm 以配戴眼鏡。在用於萊福瞄準器的目鏡例子中, 視覺對比應該至少三吋 (以容許槍的後座力; 參見圖 14-4 以 35-20)。

眼睛瞳孔的變化從直徑 2mm (晴空下) 到直徑 8mm (夜視)。其焦距大約 17mm (Luizov, 1984)。瞳孔的直徑 D (單位 mm) 可由經驗表示式來近似

$$D=5.3-0.55\ln B$$

(也可參見 Alpern, 1987 的方程式 (3)), 其中 B 為背景亮度, 單位為英尺 - 朗伯 (ft-L)。

一些典型的 B 的數值給在表 10-1。

環境	背景亮度(ft-L)	D(mm)
清澈夜晚	0.01	7.8
黎明/黃昏	1	5.3
室內	100	2.7
晴天	1000	1.5

表 10-1 背景亮度 vs 瞳孔直徑

傳統的目鏡, 是設計用來涵蓋直徑 3~6mm 的入射光瞳。如果觀察者在觀看移動的車輛 (如軍隊中裝備), 入射光瞳的直徑有時會大到 10mm。這是用來防止當觀察者轉頭時遺漏了其視場。

人眼可以解析 (Ogle, 1951) 一分的中央凹陷圓錐角, 5° 離軸時約 3 分的弧度, 及 20° 離軸時約 10 分弧度 (棒狀視野)。這是對於相對高度照明的等級而言, 大約 100ft-L。當照明的等級減低時視覺的敏銳度也下降。

當設計一個雙目望遠鏡裝置時, 要確定能允許足夠的中央瞳孔調整。這個典型值為 51~77mm (對於孩童而言可以小到 45mm)。雙目望眼鏡放大率的差值 (異像?) 應該保持在 0.5 % 以內。二個系統間應該校準 (不一致的量) 如下:

水平: 8 分弧度收斂

4 分弧度發散

垂直: 4 分弧度

目鏡應該要具有水平移動 (聚焦) 4 個屈光度。由牛頓公式,

$$F^2 = -XX'$$

其中 X 為視像距， X' 為目鏡的移動量，單位英吋（見圖 10-1），以及 D 為等效的移動量，單位屈光度。

大部分的目鏡中，眼睛到主平面的距離大約是焦距長。因此，目鏡形成一個距眼睛 X 的像。

$$F^2 = \frac{39.37}{D} X'$$

透鏡離開眼睛以具有負屈光度，在眼睛前方形形成一個實像。

目鏡放大率 M 為從目鏡看到的像大小對於物體大小的比率。既然物體通常成像在距眼睛 10 吋的地方（最明顯觀看的距離，且為平時閱讀所保持的距離），

$$M = \frac{F_e + 10}{F_e}$$

其中 F_e 是目鏡的等效焦距長。

當目鏡與顯微物結合時（以形成複合顯微鏡）所得到的放大率為物鏡放大率與目鏡放大率的乘積。然而當使用一物鏡 F_0 ，以構成無焦點望遠鏡時，這個系統的角放大率為

$$M = F_0 / F_e$$

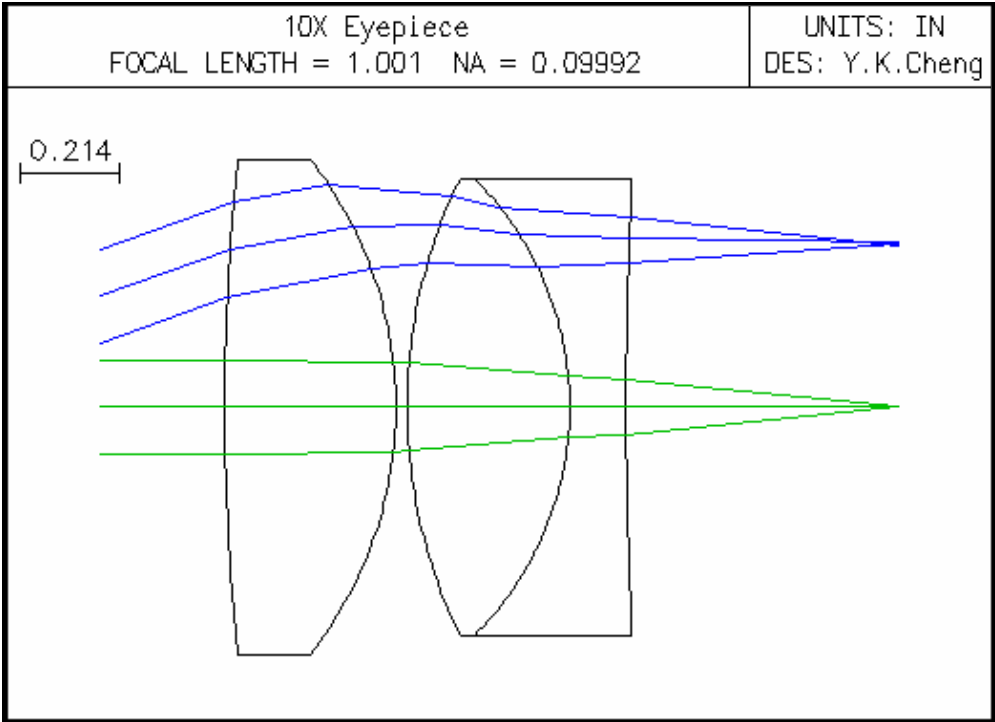
既然一般的設計程序為從長共軛追蹤到短的，系統實際上的出射光瞳（即為人眼）現被稱為入射光瞳。因此設計者必須將出射光瞳限制在符合望遠物鏡傳遞，顯微物鏡等的位置上。這在典型上為正的 5~30 吋的距離。

圖 10-1 顯示一個 10X，具有直徑 5mm 入射光瞳及 40° 視場的目鏡。畸變為 3.2 %。這個設計是常用的 Kellner 型式的改良。出射光瞳距最後鏡面 32.45。這個目鏡的設計資料給在表 10-2。

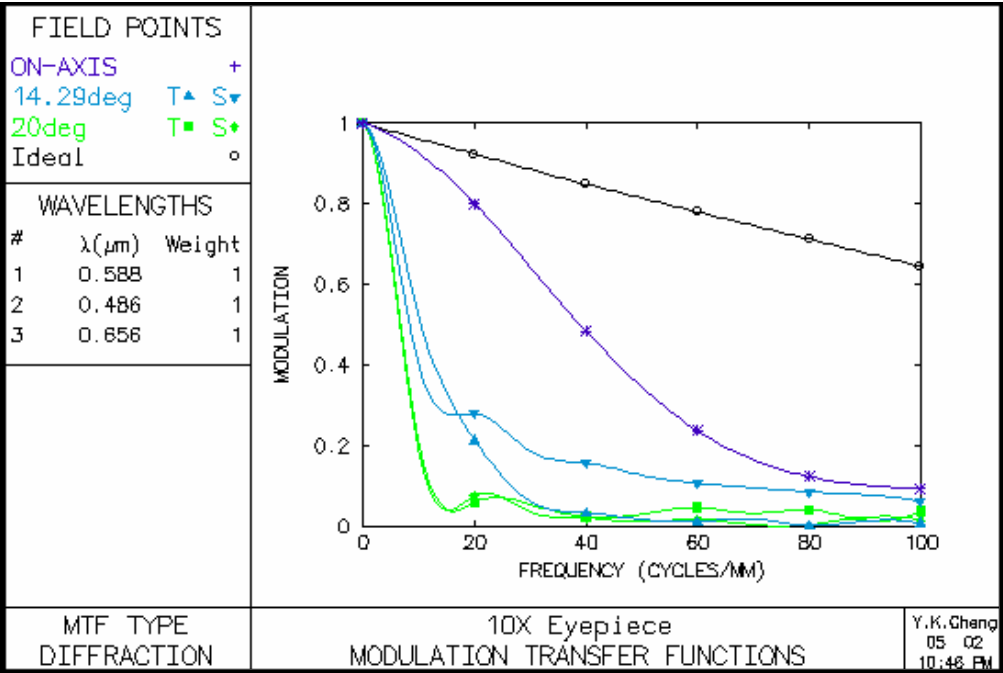
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	3.6397e+19	AIR
AST	0.000000	0.916000	0.100000 A	AIR
2	4.545100	0.368000	0.530000	SK5 C
3	-0.858200	0.024000	0.530000	AIR
4	1.107800	0.349000	0.490000	PK2 C
5	-0.686500	0.119000	0.490000	SF1 C
6	8.875400	0.585000	0.450000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.365227 S	

表 10-2 10 倍目鏡

第一鏡面到像距為 1.445。



(a)



(b)

圖 10-1 (a) 10 倍目鏡 (b) 系統 MTF

圖 10-2 顯示一個 10X 目鏡，光瞳直徑和視場與圖 10-2 的相同（見 Konig, 1940）。然而，增加了一個元件且視覺對比增加了。畸變為 2.8 %。出射光瞳距最後鏡面 32.54。表 10-3 顯示設計資料。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	3.6397e+19	AIR
AST	0.000000	0.987000	0.100000 A	AIR
2	-5.364780	0.268000	0.540000	PK2 C
3	-1.191300	0.021000	0.540000	AIR
4	3.169900	0.268000	0.570000	PK2 C
5	-1.207900	0.021000	0.570000	AIR
6	1.023500	0.359000	0.520000	PSK3 C
7	-0.807300	0.136000	0.520000	SF1 C
8	1.253900	0.471000	0.400000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.364905 S	

表 10-3 10 倍目鏡

第一鏡面到像距為 1.544。

這種型式的設計稍優於 Plossl 或對稱型，顯示在圖 10-4 的目鏡。Plossl 目鏡包含兩組完全相同的膠合雙重透鏡，冠元件彼此相對。這是設計給如圖 10-2 及 10-3 相同光瞳直徑及視場的目鏡。Plossl 目鏡的資料給在表 10-4。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.7633e+19	AIR
AST	0.000000	0.761000	0.100000 A	AIR
2	2.121800	0.118000	0.490000	SF1 C
3	0.904200	0.278000	0.490000	SK14 C
4	-1.770100	0.020000	0.490000	AIR
5	1.770100	0.278000	0.490000	SK14 C
6	-0.904200	0.118000	0.490000	SF1 C
7	-2.121800	0.725000	0.490000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.177005 S	

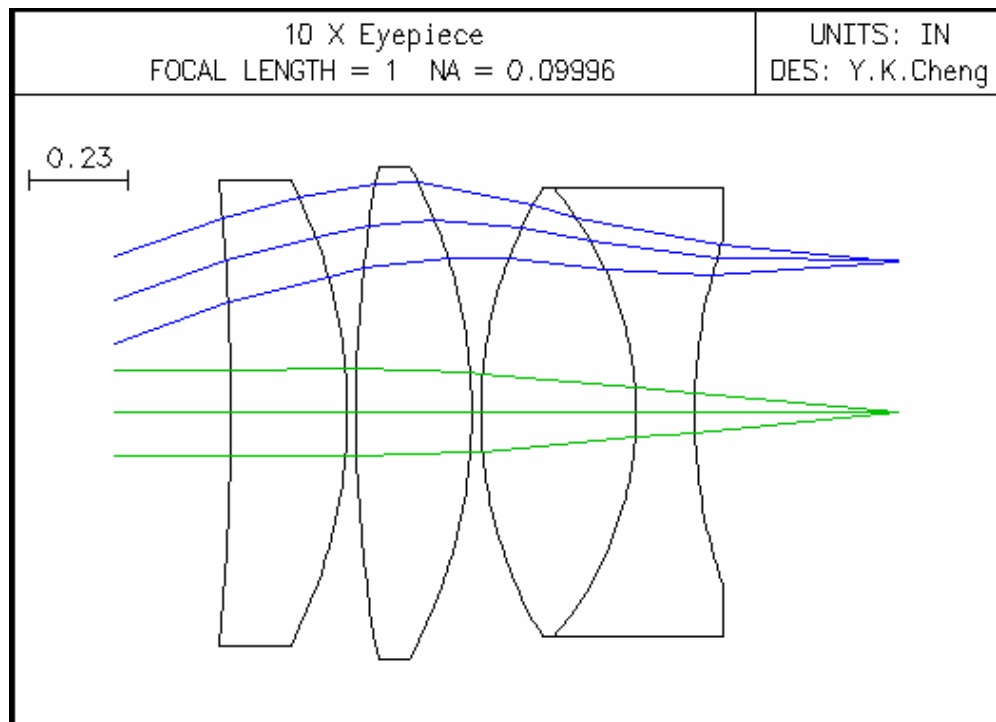
表 10-4 Plossl 目鏡

第一鏡面到像距為 1.538。畸變為 6.5 %。出射光瞳距最後一面 32.49。

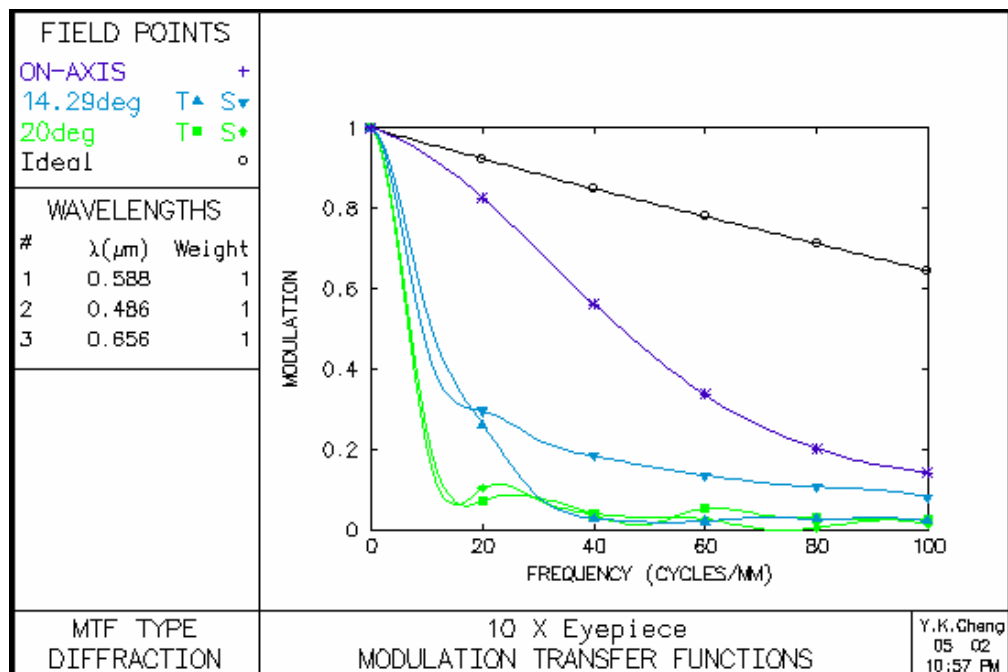
在這三個目鏡設計中，光線圖顯示出全視場的光線。然而，MTF 只為半視場。這是因為全視場下不良的成像品質。

圖 10-5 顯示一個具有 5mm 直徑入射光瞳及 60° 視場的 Erfle 目鏡。表 10-5 顯示這個目鏡的資料。出射光瞳距最後一面 24.77。

第一鏡面到像距為 2.365。在這個設計光線圖為全視角，但 MTF 的值為離軸 20°。這個鏡組對四個視角最佳化：軸上，10°，20° 及 30°。同樣可見圖 10-5a，引入了 50 % 的漸暈且全視場例子的瞳孔位移只追蹤到底部的一半。

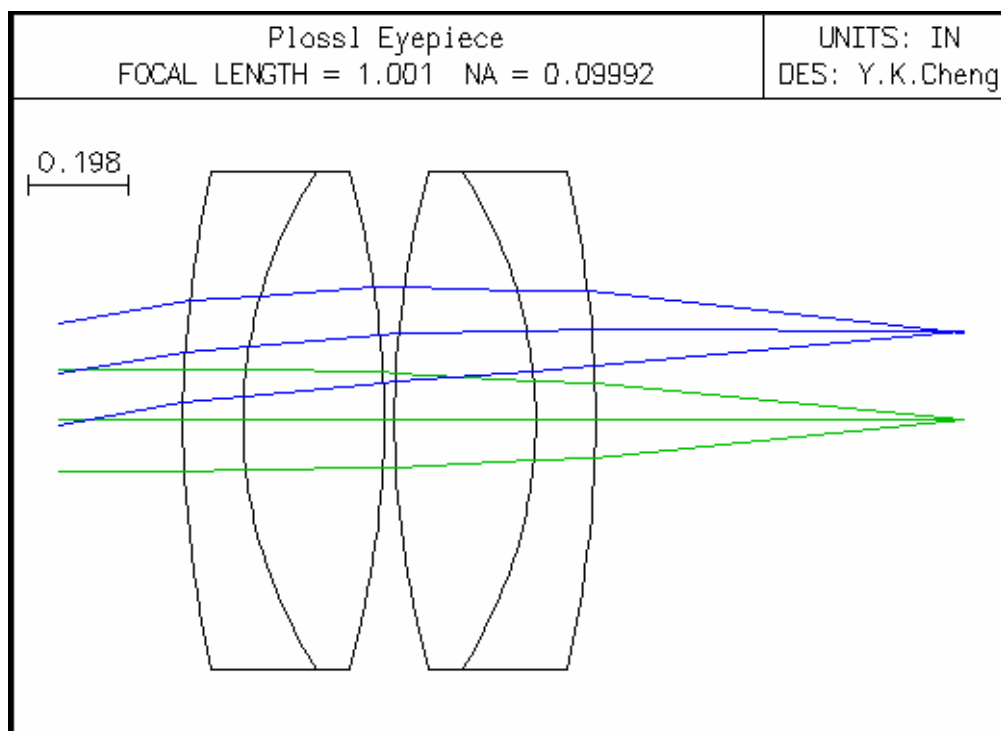


(a)

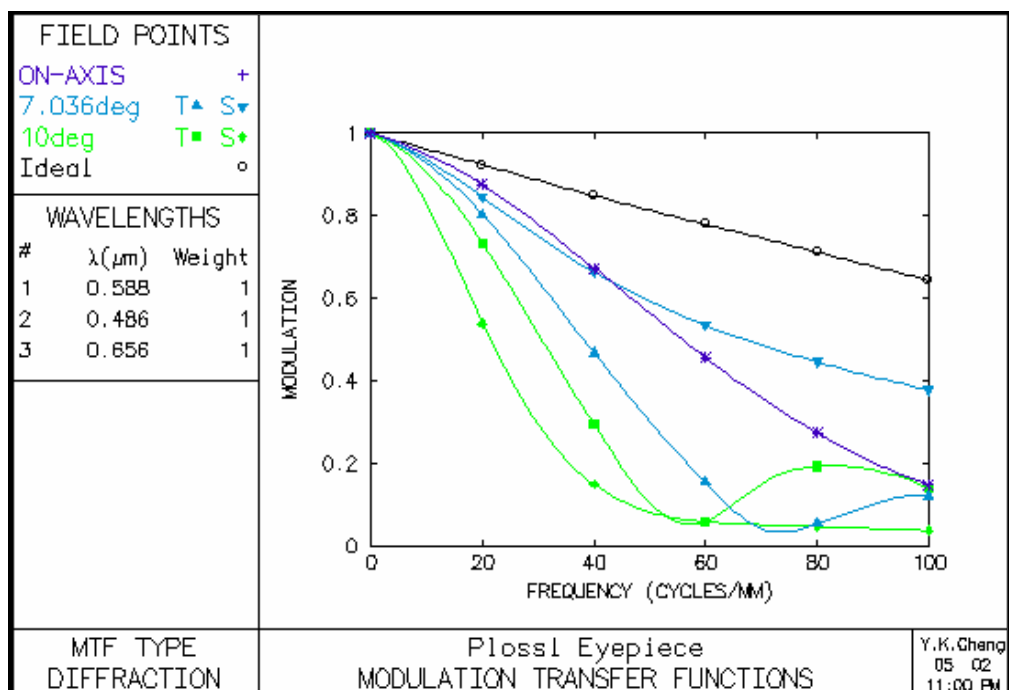


(b)

圖 10-3 (a) 10 倍目鏡 (b) 系統 MTF

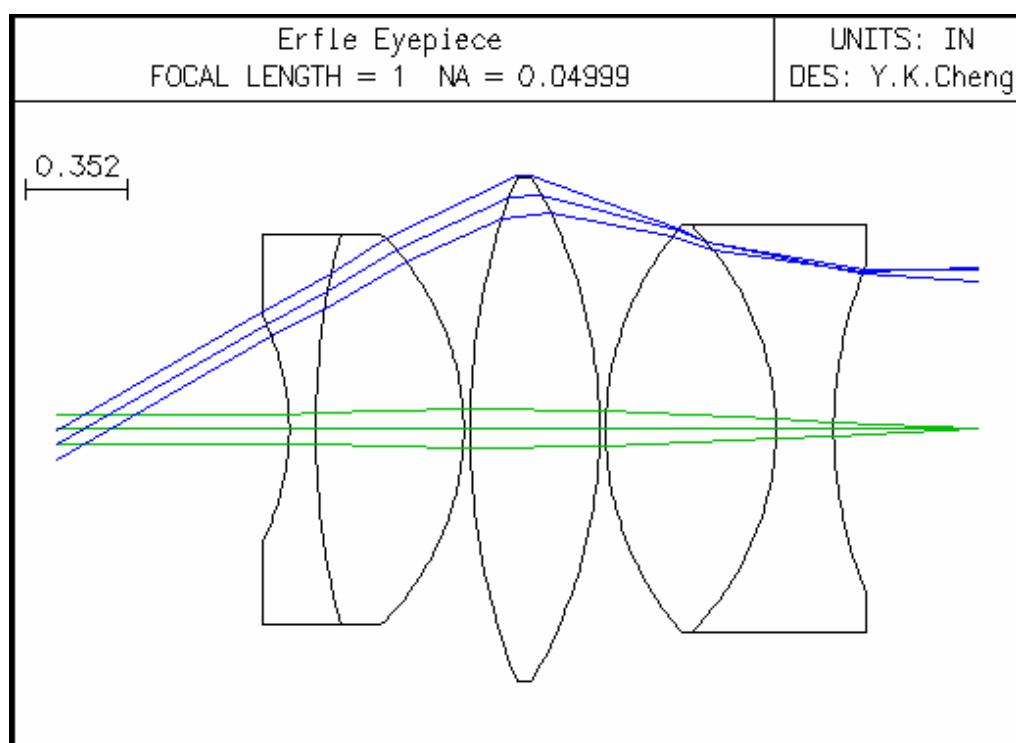


(a)

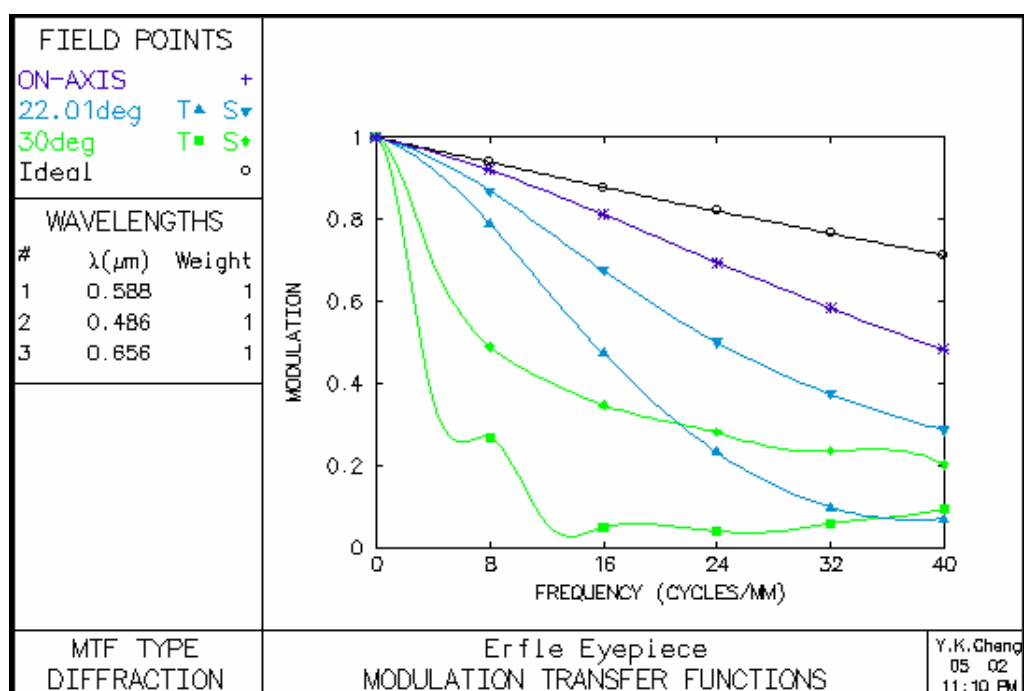


(b)

圖 10-4 (a) Plossl 目鏡 (b) 系統 MTF



(a)



(b)

圖 10-5 (a) Erfle 目鏡 (b) 系統 MTF

SRF	RADIUS		THICKNESS		APERTURE RADIUS		GLASS	
OBJ	0.000000		1.0000e+20		5.7735e+19		AIR	
AST	0.000000		0.705000		0.100000	A	AIR	
2	-0.858700		0.090000		0.390000		SF1	C
3	2.641700		0.509000		0.670000		SK14	C
4	-0.933400		0.021000		0.670000		AIR	
5	2.403100		0.445000		0.865000		LAK10	C
6	-1.732800		0.021000		0.865000		AIR	
7	1.066700		0.584000		0.700000		FK3	C
8	-0.990000		0.199000		0.700000		SF1	C
9	1.489100		0.497000		0.570000		AIR	
IMS	0.000000		0.000000		0.578032	S		

表 10-5 Erfle 目鏡

參考文獻

- Abe, H. (1971) . Wide angle eyepiece, U.S. Patent 3586418.
- Alpern, M. (1987) . eyes and vision, in Handbook of Optics, Optical Society of America, McGraw-Hill, New York, Sect. 12.
- Andreyev, L. N. (1968) .Symmetric eyepieces with improved correction, Sov. J. Opt. Tech., 5:303.
- Bertele, L. (1929) .Ocular, U.S. Patent 1699682.
- Clark, T. L. (1983) . Simple flat field eyepiece, Appl. Opt. 22:1807.
- Defense Supply Agency, (1962) . Optical design, MIL HDBK 141, Military Standardization Handbook, Chap. 14.
- Fedorova, N. S. (1980) . Relation between MTF and visual resolution of a felescope, Sov. J. Opt. Tech., 47:1.
- Giles, M. K. (1977). Aberration tolerances for visual optical systems, JOSA, 67:634.
- Konig, A. (1940). Telescope eyepiece, U.S. Patent 2206195.
- Ludewig, M. (1953). Eyepiece for optical instruments, U.S. Patent 2637245.
- Luizov, A. V. (1984). Model of reduced eye, Sov. J. Opt. Tech., 51:325.
- Nagler, A. (1981). Ultra wide angle flat eyepiece, U.S. Patent 4286844.
- Ogle, K. N. (1951). On the resolving power of the human eye, JOSA, 41:517.
- Repinski, G. N. (1978). Wide angle five lens eyepiece, Sov. J. Opt. Tech., 45:287.
- Rosen, S. (1965). Eyepieces and magnifiers, in Applied Optics and Optical Engineering, Vol. 3, R. Kingslake (Ed.), Academic, New York, Chap. 9.
- Skidmore, W. H. (1967). Eyepiece design providing a large eye relief, JOSA, 57:700.
- Skidmore, W. H. (1968). Wide angle eyepiece, U.S. Patent 3390935.
- Taylor, E. W. (1945). The evolution of the inverting eyepiece, J. Sci. Instrum., 22:43.
- Wald, G. (1945). The spectral sensitivity of the human eye, JOSA, 35:187.