

第二十二章 投影鏡頭 (Projection Lenses)

雖然實際上照相鏡頭可以作為投影鏡頭之用，投影鏡頭有幾個地方和照相鏡頭不同。

1. 其必須能夠禁得起投影時所遭遇到的高功率密度。在使用高功率氬氣弧光時這是特別突顯的。在鍍膜時通常無問題；問題在於光學膠合上。加拿大樹脂通通不適用。幸運的是，在今日已珍貴的使用---Lens Bond，一種由 Summers Labs (Fort Washington, PA) 製造的熱固性膠非常適用。它是一種多元樹脂。這種可用在室溫黏接、烤箱黏接以及紫外光黏接。其符合 MIL-A-3920 的需求。Nd=155。一個相似的材質由 Norland Optical (New Brunswick, NJ) 製造。環氧基樹脂膠有時也會使用。這些材質可以經得起極高溫度。我發現一個非常有用的材料為 Hysol OSO-100。必須黏接零件一整晚於 100 °。Nd=1.493。透鏡可以經得起溫度到 125 °。
2. 光圈是不需要的。這些鏡頭有固定的孔徑光柵。
3. 必須提供足夠的後焦長來容納底片運輸機構。這通常忽略了在底片平面旁邊場平透鏡的需要。
4. 透鏡的出射瞳孔必須與燈光的來源影像相對應。其通常從底片平面到氬弧投影機距離為 4 吋 (70mm)，稍微小於制式的投影機 (35mm)
5. 由於投影距離總是至少 100 倍焦距長，投影鏡組大多設計為無限共軛。這有時會成為危險的錯誤，因為對於可估算畸變的廣角鏡頭而言，透鏡像差會受到共軛距離的強烈影響。參見第九章有關於這些的註解。這個部分的所有設計都顯示為無限共軛，而使用者則被建議要檢查實際共軛距離的表現。
6. 螢幕通常為朝向觀眾的圓柱或曲面。這個半徑通常介於 0.8 至 1.5 倍的鏡頭至螢幕距離。在一階的基礎上，底片通常要被放在與螢幕半徑相同的半徑上。然而，由於這個半徑相對於底片寬度而言非常長，通常使用平坦的底片表面。
7. ANSI 196M 要求 16ft-L 的照明度。雖然肉眼在 100ft-L 之下能夠解析一分弧度，其解析度在 16ft-L 照明度下降至二分弧度。對於一個位於戲院後端的觀

眾而言 (在投影機位置)，角解析度為 $Q = \frac{1}{RF}$

其中 R 為單位 lp/mm 下底片解析度及 F 為投影鏡頭的焦距長 (單位 mm)。位於劇院前方的觀眾將會看見有像差的影像 (如果透鏡是完美的，其將見到底片上顆粒的放大)。一個折衷的方法為，在劇院的中間達到 2 分弧度的解析度。這相當於：
一分弧度 = $\frac{1}{RF}$ 位於投影鏡頭視場的中央。

在 30° 離軸 (如同位於劇院中心的觀眾所見) 時解析度可能會減低至 5 分弧度。

圖 22-1 顯示一個焦距長 3 吋， $f/1.8$ 用來投影 35mm 動態影像底片（1.07 對角長）的透鏡。表 22-1 列出這個透鏡的資料。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.7813e+19	AIR
1	2.292800	0.430000	1.300000	SK16 C
2	7.628000	0.016000	1.250000	AIR
3	1.197800	0.538000	1.030000	SK2 C
4	2.846500	0.135000	0.880000	F4 C
5	0.712700	0.665000	0.620000	AIR
AST	0.000000	0.223000	0.475000 A	AIR
7	-1.023300	0.126000	0.505000	F4 C
8	1.381800	0.605000	0.770000	SK2 C
9	-1.285600	0.013000	0.770000	AIR
10	2.701000	0.380000	0.850000	SK16 C
11	-3.635900	1.802000	0.850000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.534549 S	

表 22-1 投影透鏡

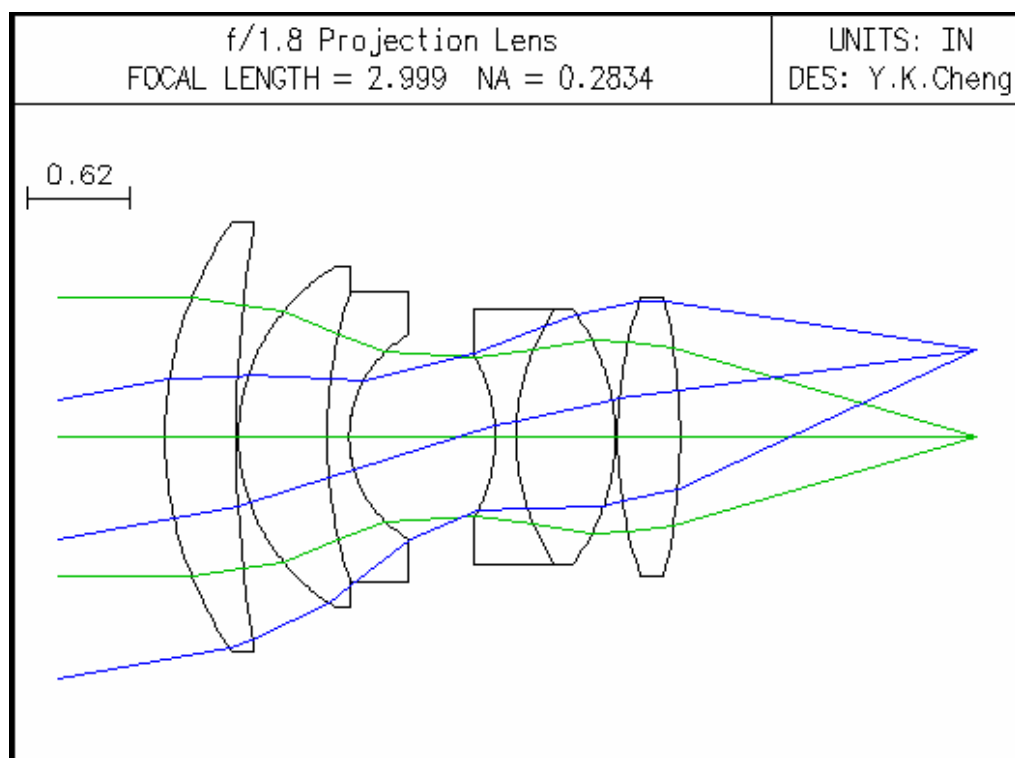
第一鏡面到底片的距離為 4.932。畸變為 1.7 %。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	2.9868e+19	AIR
1	5.975000	0.722000	2.125000	FK5 C
2	2.168000	1.306000	1.710000	AIR
3	-3.766000	0.714000	1.725000	SF19 C
4	-8.865000	0.021000	2.125000	AIR
5	0.000000	0.552000	2.125000	LAK9 C
6	-5.336000	0.021000	0.016000	AIR
7	3.500000	1.531000	1.995000	LAK10 C
8	-3.404000	0.485000	1.995000	F1 C
9	30.940000	1.068000	1.465000	AIR
AST	0.000000	0.286000	0.785000 A	AIR
11	-2.955500	0.185000	0.840000	SF3 C
12	4.364000	0.178000	1.415000	AIR
13	-9.057000	0.372000	1.415000	LAK10 C
14	-2.662000	0.017000	1.010000	AIR
15	4.347000	0.374000	1.110000	LAK9 C
16	-7.553000	0.025000	1.110000	AIR
17	2.481000	0.407000	1.110000	LAK9 C
18	2.255000	2.389593 S	1.060000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	1.065419 S	

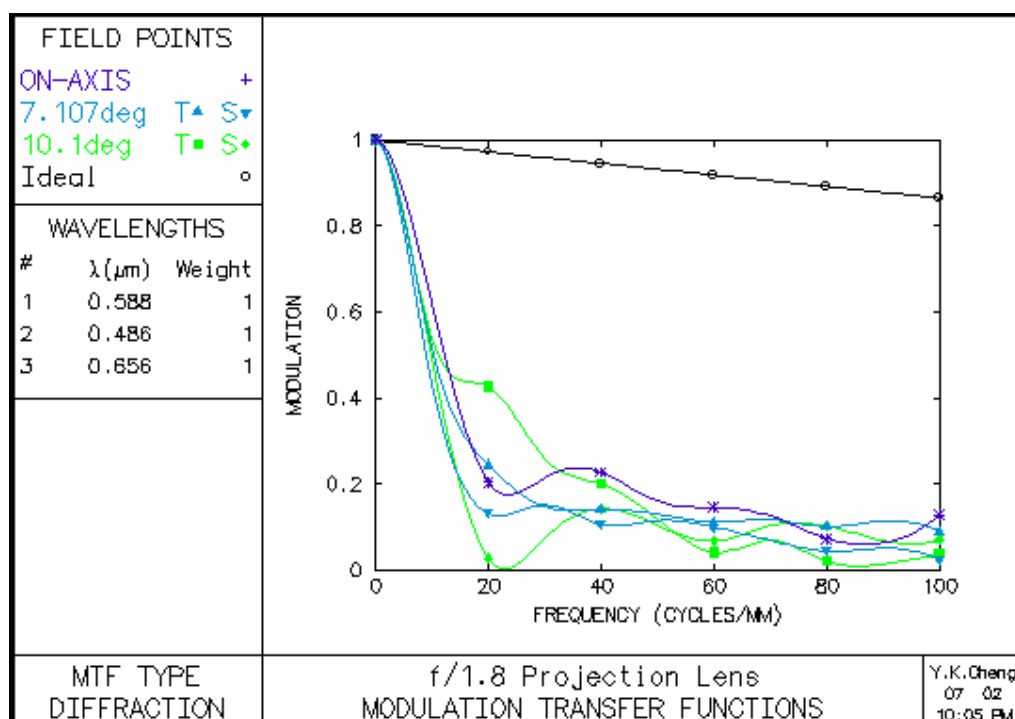
表 22-2 投影透鏡

在大部分的電影院中，投影機幾乎位於螢幕的中心線上。然而，有時投影機實際上會位於螢幕中心線之上。對於一些情況而言，將投影機置於觀眾上方提供了較有效率的劇院設計。不幸地，這會導致基本的畸變：方形被投影為梯形。

對於一些例子這可能無法避免。這可藉由將鏡頭陳列在底片中心線上來消除。你將注意到透鏡是在底片中心線之下“下降”一個距離 D ，其中 $D = \frac{FH}{S-F}$ 。



(a)



(b)

圖 22-1 (a) 投影透鏡 (b) 系統 MTF

雖然這個範圍有著消除基本畸變的效果，其代表投影鏡頭必須設計成比正常的視野還大。位於佛羅里達 EPCOT 中心的柯達 3D 劇場就運用這個原理。在這個案例中二個水平相距 5.5 呎的投影機用來撥放 70mm 底片。在每個投影機鏡頭前端有一片偏光濾片，且觀眾戴著偏光眼鏡。二個影像都必須要正確地紀錄在整個螢幕上。然而，由於投影機是分開的，每個投影機在視野的畸變將會不同。

$$S = 1236, K = 3.594, H = 33, D = 0.096$$

參照附錄 A，65mm 底片的標準為 1.913×0.866 。由於透鏡位移，(像在這個例子為水平位移)，該透鏡必須含蓋一額外 2D 的水平範圍。這相當於 2.277 的對角長。

這個 $f/2$ 透鏡顯示在圖 22-2，以及其資料給在表 22-2。

第一鏡面到影像距離為 10.613。畸變 0.4%。

圖 22-3 顯示一個視野 70° ，給 70mm 底片用的 $f/2$ 投影透鏡。EFL=1.5。資料在表 22-3。

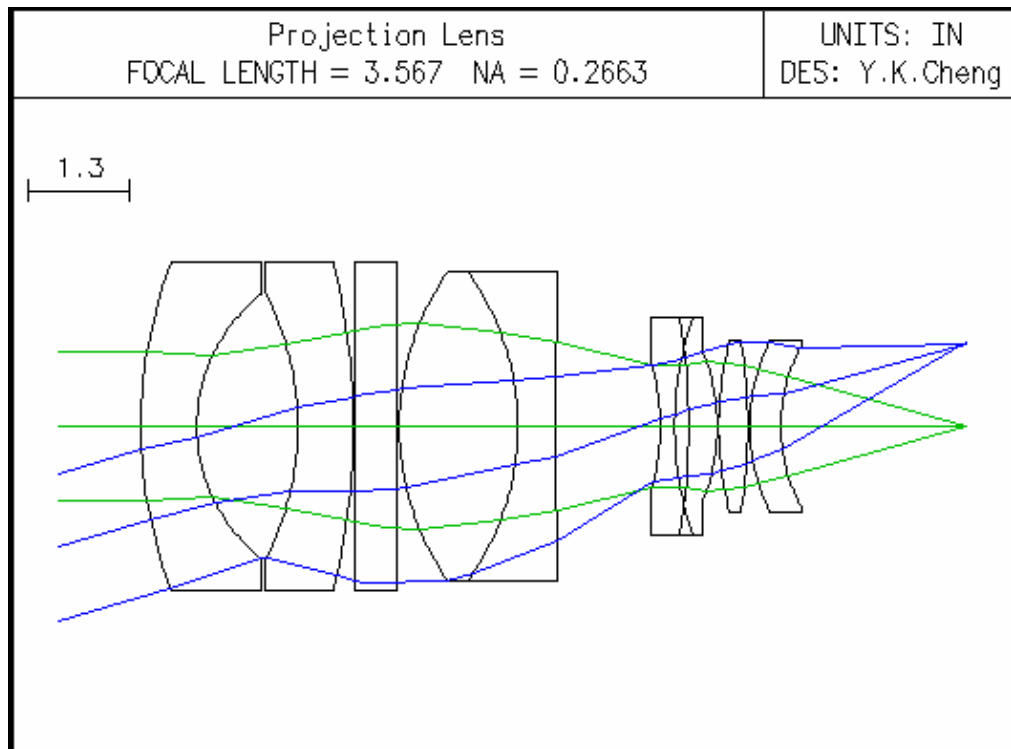
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	7.0021e+19	AIR
1	10.596200	0.540000	2.740000	SK14 C
2	0.000000	0.670000	2.740000	AIR
3	5.676900	0.299000	1.660000	SF2 C
4	1.288600	1.365000	1.140000	AIR
5	-22.982100	0.449000	1.000000	FK5 C
6	1.280900	0.228000	0.850000	AIR
7	3.326500	0.494000	0.890000	SF6 C
8	-9.840900	0.578000	0.890000	AIR
AST	0.000000	0.103000	0.775000 A	AIR
10	3.040400	0.644000	0.950000	LAF2 C
11	-2.226600	0.024000	0.950000	AIR
12	28.355200	0.529000	0.930000	FK5 C
13	-1.316400	0.106000	0.930000	SF6 C
14	2.321700	0.186000	0.930000	AIR
15	33.265000	0.312000	0.950000	LAK9 C
16	-2.751600	0.024000	0.950000	AIR
17	5.264000	0.294000	1.050000	LAK9 C
18	-8.108900	2.260151 S	1.050000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	1.054230 S	

表 22-3 投影透鏡

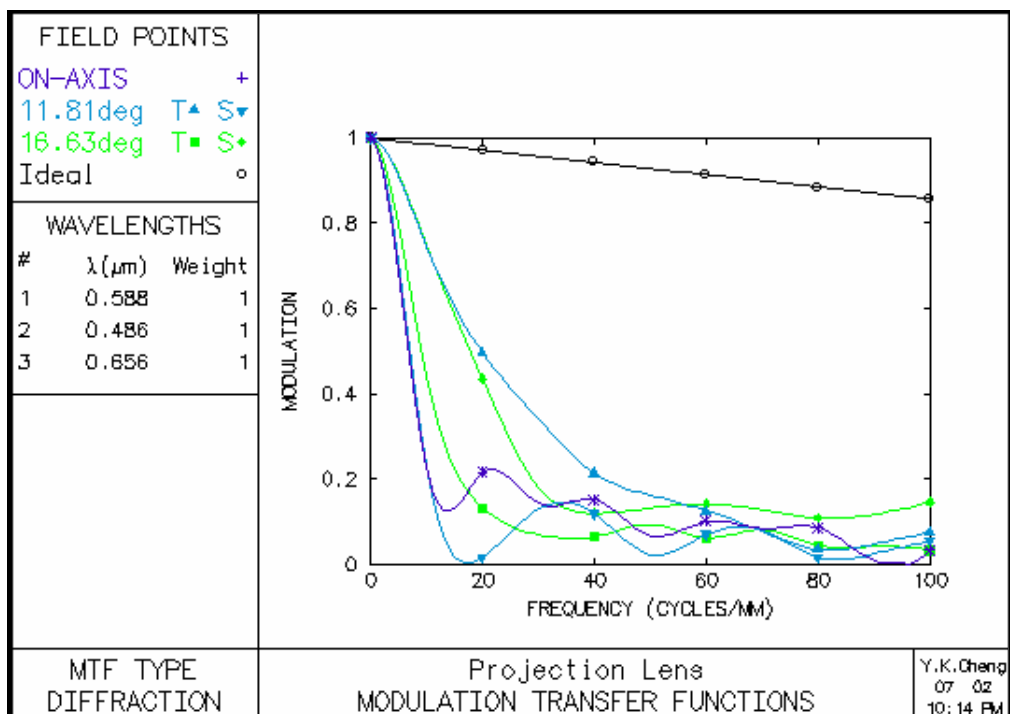
第一鏡面到像距為 9.090。在全視角的畸變為 4.6%。參照圖 22-4b 的 MTF 圖，你將注意到在軸上響應的傑出。在 35° 離軸，切向分量有 10% 的響應以及弧矢分量有 17% 響應。假定於 $30 \frac{lp}{mm}$ 的解析度，在劇院後方的某人將看到螢

幕角落的解析度 $q = \frac{1}{30(38-1)} = 0.00087 = 3 \text{ 分弧度}$ 。

如同上面討論的，在劇院中央的觀眾將會有在螢幕中心 6 分弧度的角解析度，這適用於大部分的應用。

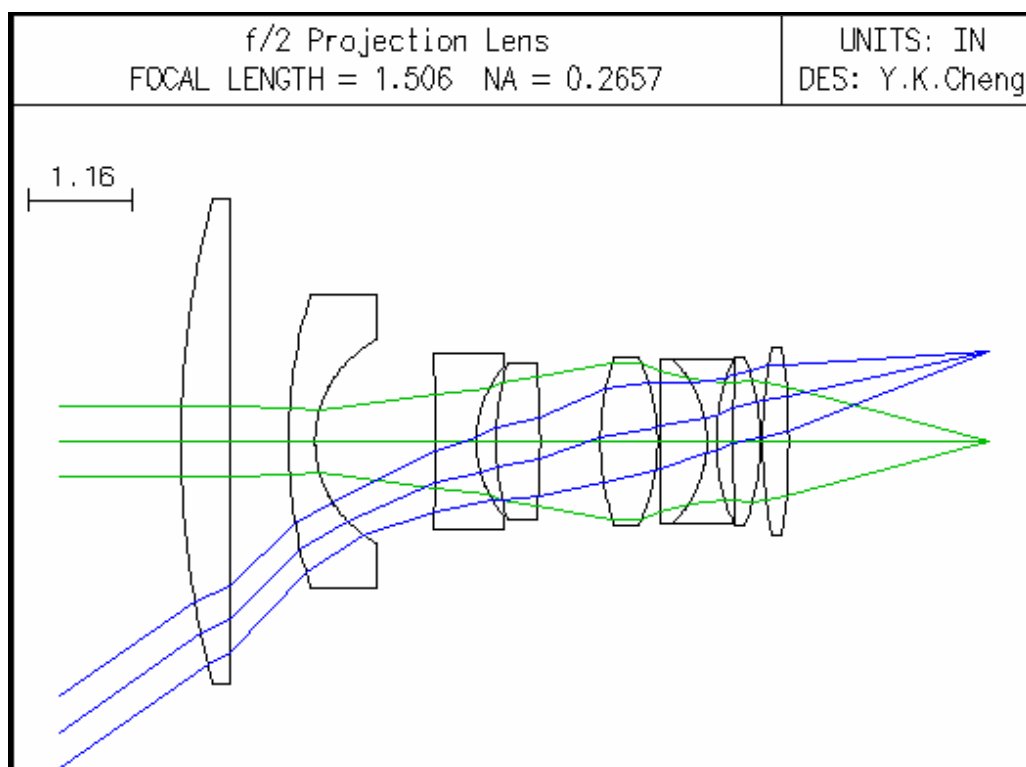


(a)

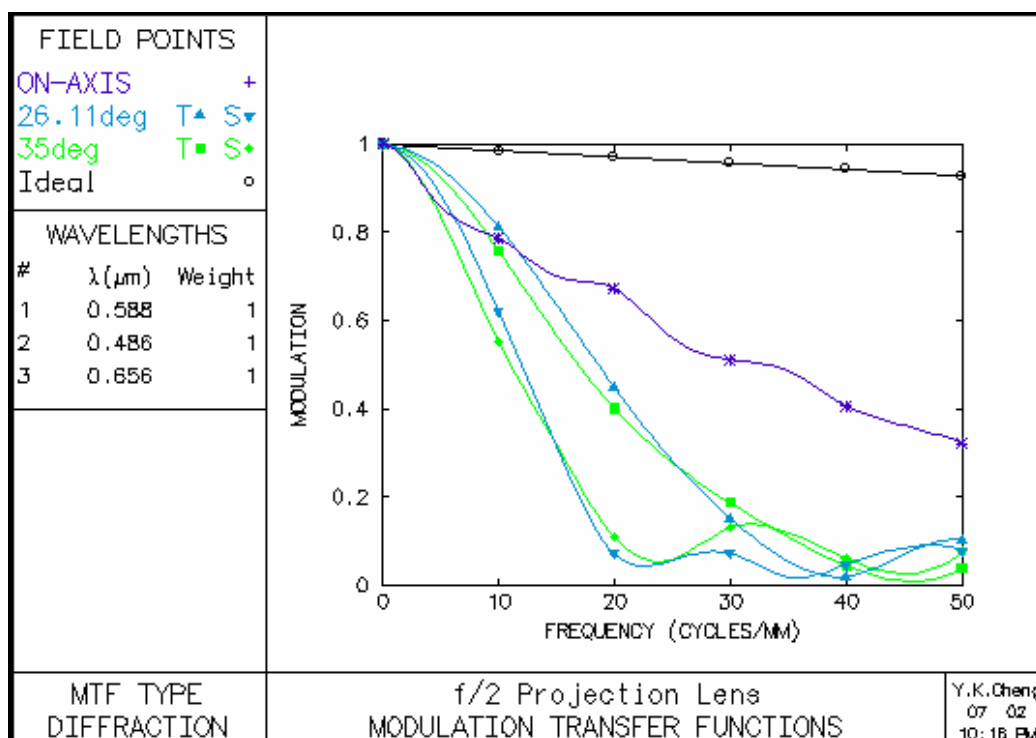


(b)

圖 22-2 (a) 投影透鏡 (b) 系統 MTF

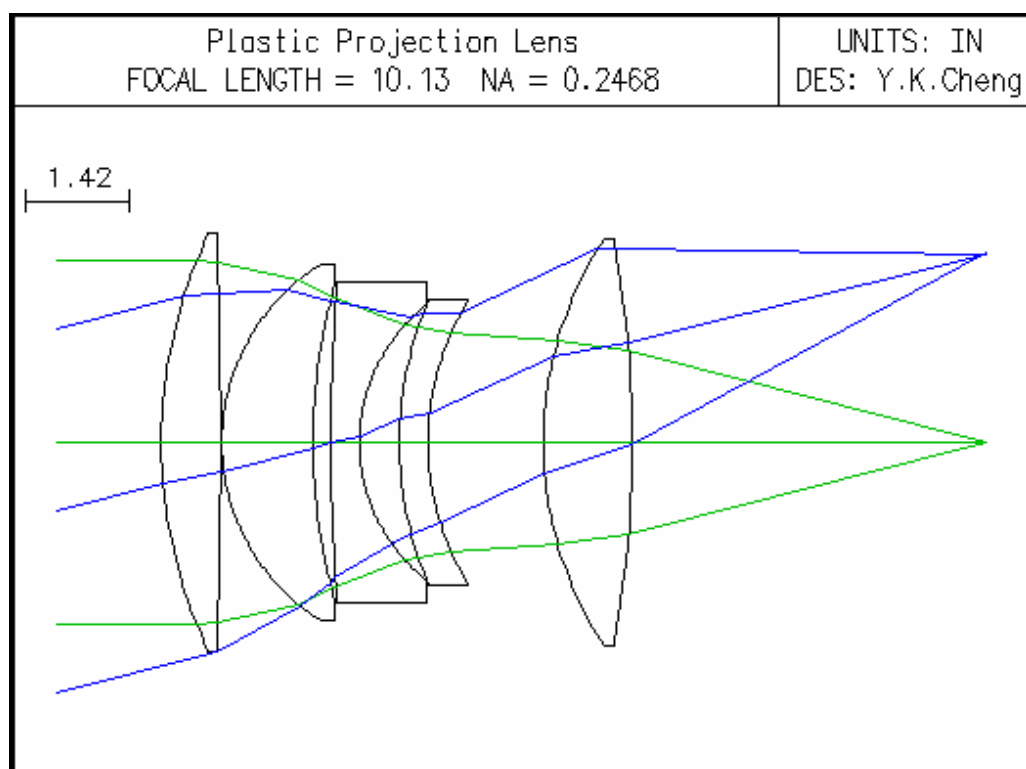


(a)

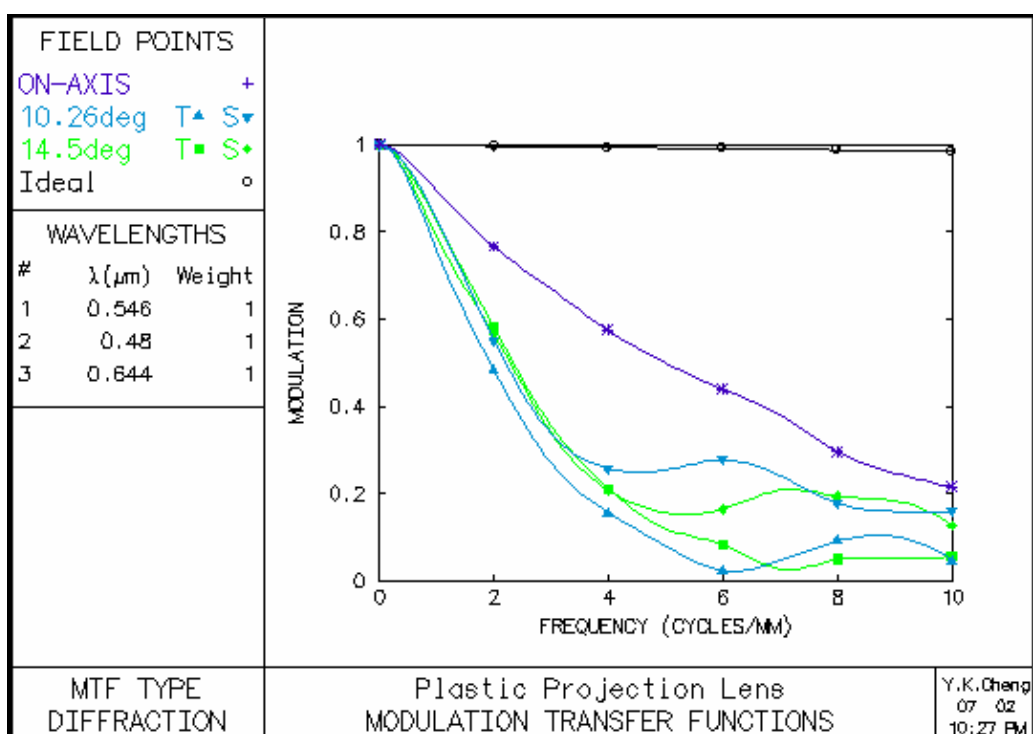


(b)

圖 22-3 (a) 投影透鏡 (b) 系統 MTF



(a)



(b)

圖 22-5 (a) 塑膠投影透鏡 (b) 系統 MTF

圖 22-5 顯示一個設計用來投影 5 吋直徑 CRT 管影像的投影透鏡。選用塑膠是因為委託者希望是一個能夠大量低價製造，射出成形的透鏡。由於倍率密度相當的低，使用塑膠是無法避免的。

孔徑光欄位於第二與第三透鏡之間。這是此二透鏡間簡單的分隔。畸變為 1.9 %。設計資料給在表 22-4。

SRF	RADIUS		THICKNESS		APERTURE RADIUS		GLASS	
OBJ	0.000000		1.0000e+20		2.5862e+19		AIR	
AST	0.000000		-1.509000		2.500000	A	AIR	
2	6.613200		0.815000		2.860000		PLEXIGLAS	
3	-98.643100		0.018000		2.860000		AIR	
4	2.876100		1.256000		2.440000		PLEXIGLAS	P
5	8.093800		0.232000		2.210000		AIR	
6	27.634600		0.399000		2.210000		POLYSTYR.	
7	2.397800		0.551000		1.890000		AIR	
8	4.906300		0.394000		1.970000		POLYSTYR.	P
9	3.740500		1.584000		1.920000		AIR	
10	5.121300		1.215000		2.795000		PLEXIGLAS	P
11	-15.373700		4.686000		2.795000		AIR	
IMS	0.000000		0.000000		2.586967	S		

表 22-4 塑膠投影透鏡

第一鏡面到像距為 11.149。

壓克力材質為聚合物 (poly) (甲基甲烷 methyl methacrylate) 且列在附錄的塑膠玻璃 (Plexiglas) 中。

塑膠玻璃和聚苯乙烯 (polystyrene) 都是熱塑性且最常用來作射出成型的材質。如同之前在非球面所討論的，這種射出成型是非球面的理想選擇。

參考文獻

- ANSI. (1982). Dimensions for 35 and 70 mm Projection Lenses, ANSI Ph22.28, American National Standards Institute, New York.
- ANSI. Screen Illuminance and Viewing Conditions, ANSI 196M, American National Standards Institute, New York.
- Betensky, B. (1982). Projection lens. U.S. Patent 4348081.
- Buchroeder, R. A. (1978). Fisheye projection lens system for 35 mm motion pictures, U.S. Patent 4070098.
- Clarke, J. A. (1988). Current trends in optics for projection TV, Opt. Eng. 27:16.
- Corbin, r. M. (1969). Motion picture equipment , in Applied Optics and Optical Engineering, (R. Kingslake, ed.)Vol. 5, Academic, New York. p. 305.
- Sharma, K.D. (1982). Better lenses for 35 mm projection, Appl. Opt., 21:4443.

Sharma, K.D. (1983). Future lenses for 16 mm projection, Appl. Opt., 22:1188.

Sharma, K. D. , and Kumar, M. (1986). New lens for 35 mm cinematograpg projector, Appl. Opt., 25:4609.

Wheeler, L. J. (1969). Principles of Cinematography, Fountain Press, Watford, England, Chap. 10.