

## 第九章 超廣角鏡頭( Very Wide Angle Lenses)

超廣角鏡頭具有大於  $100^\circ$  的視場且為倒置望遠設計。如此大的視場導致很大的畸變，大到我們實在不該甚至如此引用畸變。這個鏡組當然有焦距長，但在考慮到大的畸變下也是無意義的。

如  $Y$  為像高（從光軸量到像的中心）以及  $\Theta$  為半視角，然後在無畸變下對一遠方物體  $Y = F \tan \Theta$ 。在魚眼透鏡中， $Y = \text{大約 } 0.015 F \Theta$ （Laikin, 1980）。也就是說，像高近乎為視場角的線性函數。

在增加視場角之下，入射光瞳從透鏡內移動到透鏡前端。當檢視將鏡組時，這光瞳的移動是非常明顯的。在設計時要考慮到瞳孔像差，在不同視角下光線的起始資料必須時常重新調整。在分析與 MTF 計算時，不同波長下的起始資料也必須調整。

在初步的設計階段，計算起始的瞳孔偏移量是件苦差事。為此，我修正了一個光線追縱程式來追蹤在某小視角下的主光線。在光圈上的橫軸高度是用來計算（用簡單的部分）在入射光瞳上的新值。在少量的重覆下主光線被找到了。然後瞳孔偏移的資料被適配到一個三次方程式來預知下個視場角縱向偏移的起始值。通常用的是  $2^\circ$  的增加量。這些所有的計算會自動執行，所花費的時間只比列印該資料多一點。

電腦程式應該要允許 EFL 能隨心所欲地改變，畸變能夠忽略，且只保持不同視角的像高。

由於焦距很短，軸上的第二色差就不是問題了。然而大的視角使得橫向第二色差不能被忽略。

大的畸變造就了唯一的問題；透鏡像差對於物距變化敏感。為求方便，首先我設計了位於無限遠共軛的投影鏡頭。然後為了最後幾個電腦的運算，我引入了有限共軛與螢幕曲率。然而，接下來的例子全都描述無限共軛且對可見光範圍作了修正。

圖 9-1 顯示一個  $100^\circ$  FOV， $f/2$  照像鏡頭。這是設計用來拍攝 35mm Academy 型式底片（對角長 1.069）。焦距為 0.73。資料給在表 9-1。

第一鏡面到像距為 7.399。

從光線圖中注意到這個鏡組具有近乎 的出射光瞳。對於照像鏡頭而言，這是無形的；然而如果該鏡組是用來投影，必須在底片柵門與弧形光源間置入負場透鏡，以使弧形影像正確地定位（參見圖 9-3 關於入射光瞳的註解）或對於正確出射光瞳的正確位置來重新設計鏡頭。

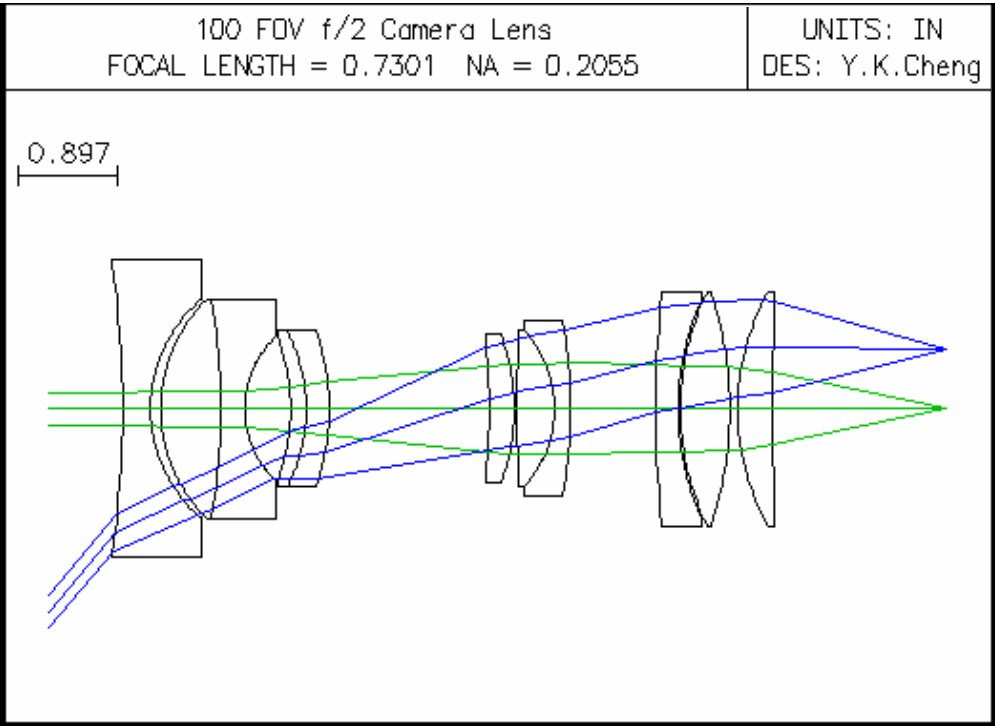
光學系統設計實例集 I 第九章 超廣角鏡頭

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.1918e+20	AIR
1	-9.236200	0.249000	1.340000	SK4 C
2	1.289600	0.092000	0.980000	AIR
3	1.382000	0.541000	0.990000	SF1 C
4	-5.438300	0.214000	0.990000	SK4 C
5	0.892600	0.413000	0.650000	AIR
6	-1.842700	0.139000	0.650000	SF1 C
7	-1.524300	0.207000	0.700000	SK4 C
8	-2.183500	1.136000	0.700000	AIR
AST	0.000000	0.299000	0.435000 A	AIR
10	-6.624500	0.226000	0.665000	SK4 C
11	-1.974100	0.021000	0.665000	AIR
12	25.668700	0.340000	0.700000	SK4 C
13	-1.038300	0.146000	0.700000	SF1 C
14	-4.201900	0.758000	0.785000	AIR
15	8.251800	0.207000	1.050000	SF1 C
16	2.419300	0.021000	0.990000	AIR
17	2.451800	0.442000	1.050000	SK4 C
18	-3.426300	0.071000	1.050000	AIR
19	2.169900	0.317000	1.050000	SK4 C
20	33.665200	1.560000	1.050000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.870551 S	

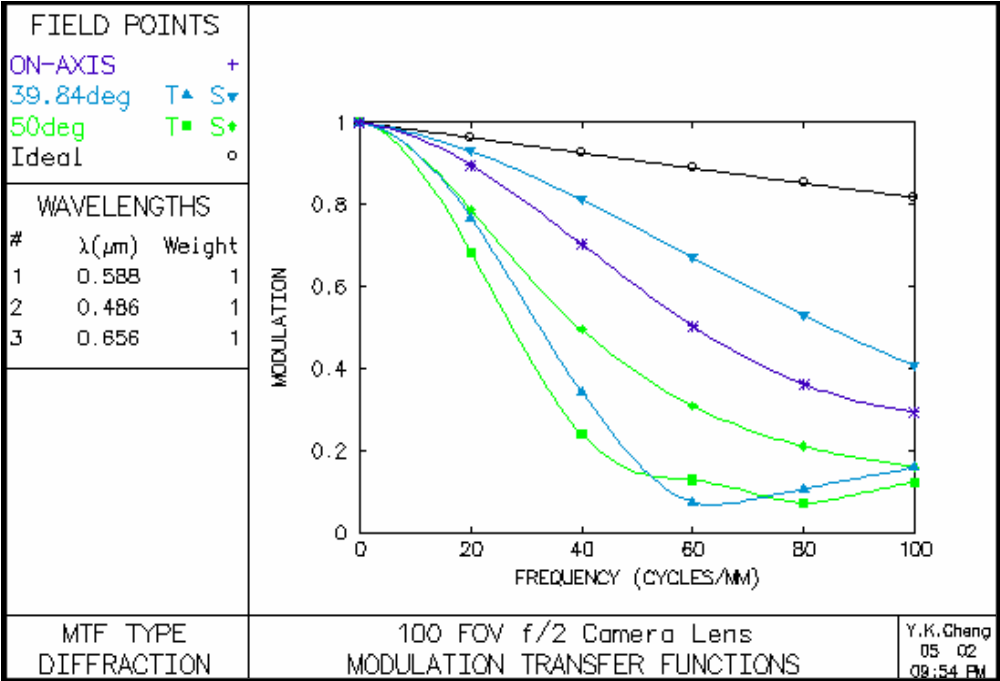
表 9-1 100 ° 視角照像鏡頭

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.7321e+20	AIR
1	0.000000	0.691000	3.475000	BAK4 C
2	2.434300	0.880000	2.150000	AIR
3	2.704500	1.268000	2.040000	SF1 C
4	-8.655100	0.721000	2.040000	SK4 C
5	1.258100	0.705000	1.010000	AIR
6	-2.767600	0.687000	1.010000	SF1 C
7	-2.176100	0.691000	1.060000	SK4 C
8	-4.385900	0.220000	1.060000	AIR
9	14.519600	0.568000	0.900000	SK4 C
10	-1.555200	0.249000	0.900000	SF1 C
11	-5.216200	0.062000	0.900000	AIR
AST	0.000000	0.691000	0.725000 A	AIR
13	-10.385500	0.466000	1.135000	SK4 C
14	-2.587500	0.664000	1.135000	AIR
15	95.064500	0.327000	1.350000	SK4 C
16	-5.079600	0.284000	1.350000	AIR
17	-2.202000	0.242000	1.325000	SF1 C
18	-8.450700	0.229000	1.515000	AIR
19	11.442900	0.615000	1.875000	SF1 C
20	4.636300	0.065000	1.780000	AIR
21	5.078500	0.999000	1.875000	SK4 C
22	-3.498800	0.061000	1.875000	AIR
23	3.225600	0.811000	1.875000	SK4 C
24	23.748600	1.898742 S	1.875000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	2.141579 S	

表 9-2 120 ° 投影鏡頭

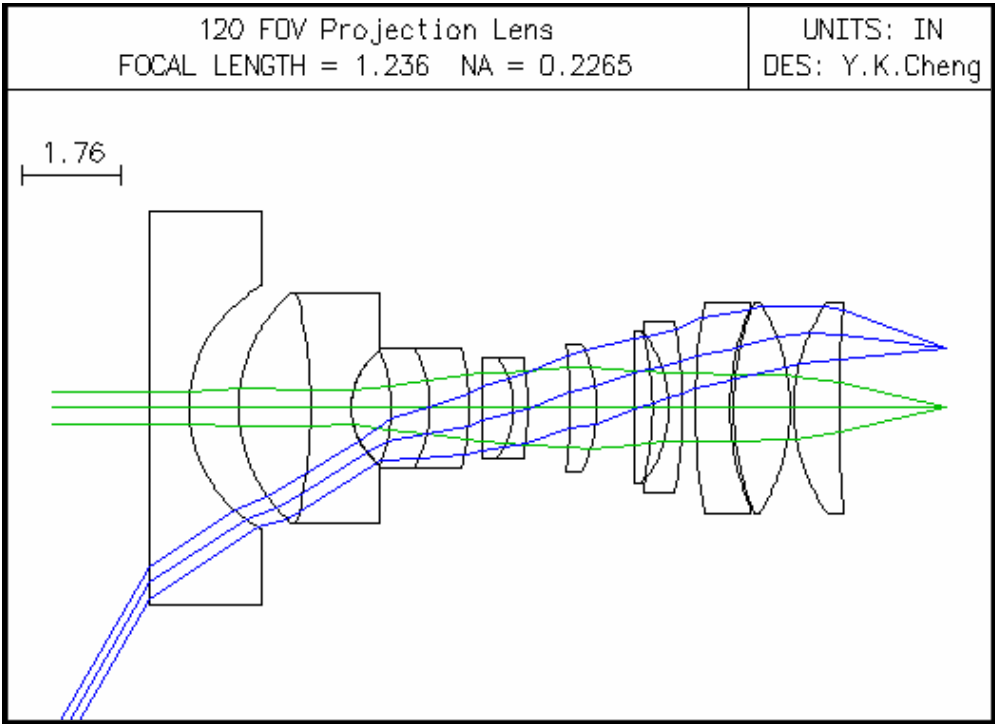


(a)

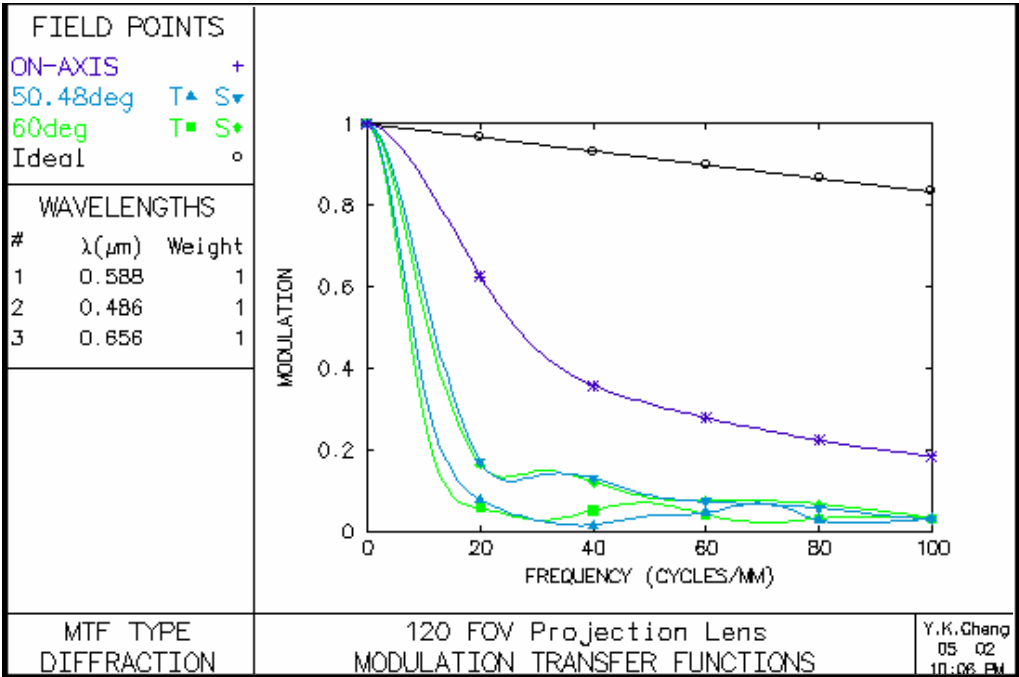


(b)

圖 9-1 (a) 100 ° 視角照像鏡頭 (b) 系統 MTF



(a)



(b)

圖 9-2 (a) 120 ° 投影鏡頭 (b) 系統 MTF

這是一個有趣的設計，因為這只使用了二種常見的玻璃，且不包含任何在這章的其他設計常見的鍍玻璃型式。

表 9-1 給出了入射光瞳的軸上位置。這個值表示光瞳沿著光軸朝向鏡片前端偏移。

壓縮量是入射光瞳在切線方向上，以軸向大小為基準的比值。這個透鏡最大的像差是第二色差。

圖 9-2 顯示一個  $f/20$ ， $120^\circ$  視場，用在 70mm 電影術的投影鏡頭。透鏡焦距 = 1.22。該鏡組的規範資料給在表 9-2。

第一鏡面到像距為 13.802。

表 9-2 給出了入射光瞳的軸上位置。這個值表示光瞳沿著光軸朝向鏡片前端偏移。

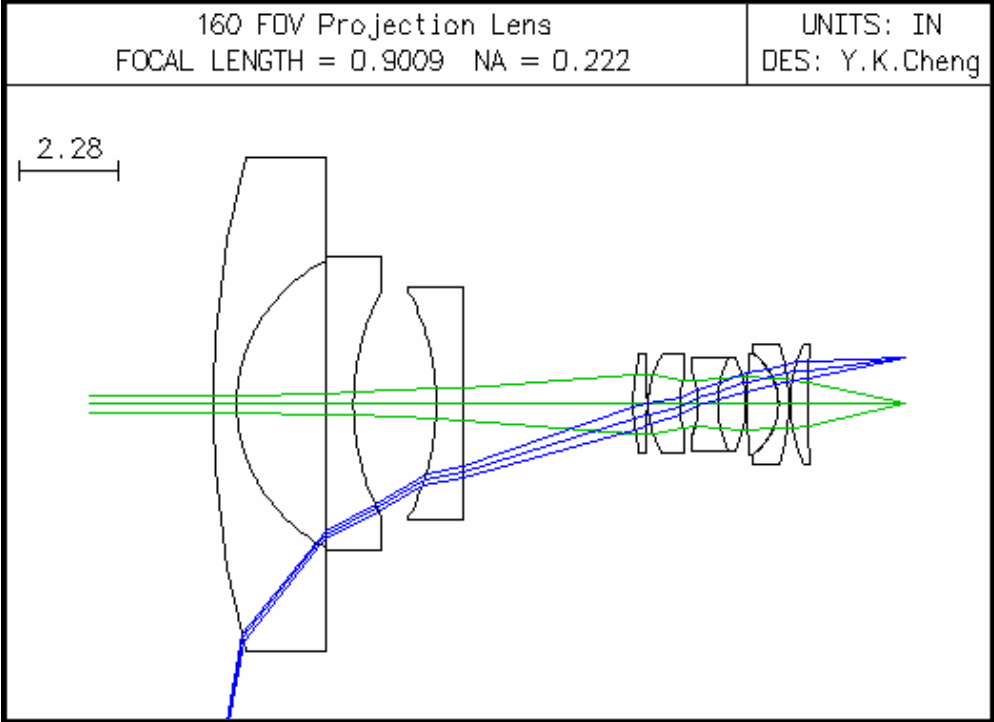
這個鏡頭的最大像差是第二色差（當然就是典型的超廣角鏡頭）。

圖 9-3 顯示一個  $f/2$ ， $160^\circ$  視角，用在 70mm 電影術的投影鏡頭。透鏡焦距 = 0.900。這個鏡頭是設計給 Omni 電影公司( Sarasota, FL)，用在他們的 Cinema 180 戲院。設計的資料給在表 9-3。

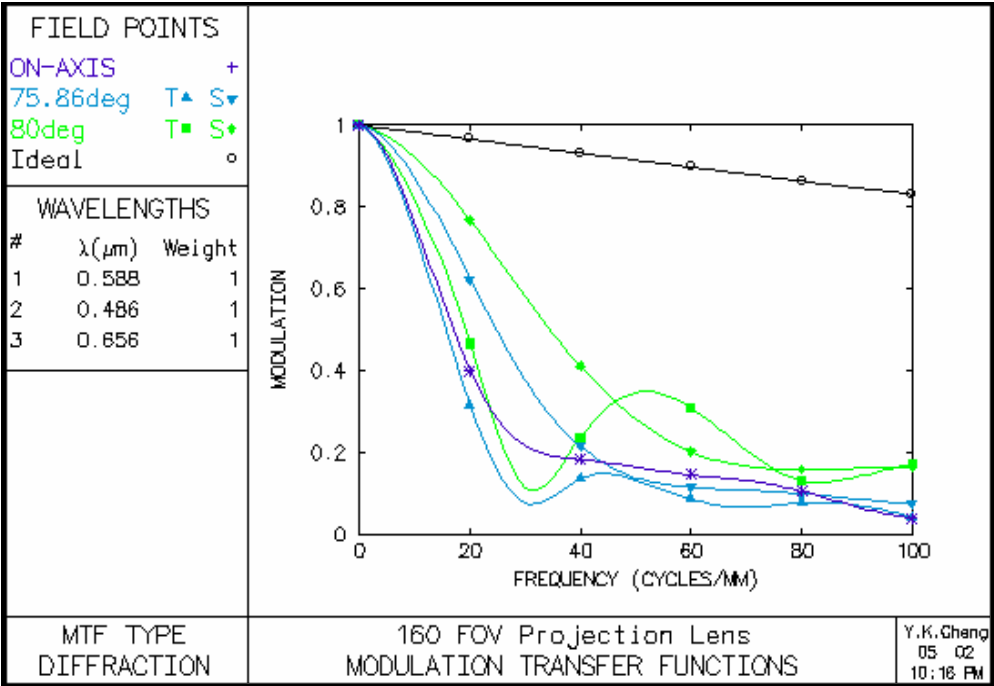
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	5.6713e+20	AIR
1	21.456300	0.534000	5.635000	BK7 C
2	3.630600	2.051000	3.260000	AIR
3	0.000000	0.620000	3.360000	BK7 C
4	5.677400	1.889000	2.600000	AIR
5	-5.677400	0.630000	2.600000	BK7 C
6	0.000000	3.874000	2.650000	AIR
7	4.767900	0.314000	1.140000	SF3 C
8	-15.876300	0.028000	1.140000	AIR
9	2.122470	0.715000	1.140000	SF3 C
10	1.953500	0.113000	0.645000	AIR
AST	0.000000	0.318000	0.620000 A	AIR
12	-1.837700	0.438000	0.695000	SF8 C
13	2.375000	0.648000	1.060000	LAKN7 C
14	-2.375000	0.027000	1.060000	AIR
15	13.709400	0.717000	1.160000	LAKN7 C
16	-1.439900	0.235000	1.160000	SF3 C
17	-4.866800	0.037000	1.380000	AIR
18	3.188400	0.411000	1.380000	LAKN7 C
19	26.872100	2.203000	1.380000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	5.107666 S	

表 9-3  $160^\circ$  視角投影鏡頭

第一鏡面到像距為 15.809。



(a)



(b)

圖 9-3 (a) 160 ° 視角投影鏡頭 (b) 系統 MTF

在這個案例中，光瞳偏移與壓縮量給定如下。注意到第二與第三透鏡實際上是相同的。它們只在直徑上有差。

既然這個鏡頭是設計給高功率氬氣弧光投影之用（與圖 9-2 及 9-5 所示的相同），下列幾點必須遵照：

1. 為了底片輸送機構的空間需要至少 2 吋的 BFL。
2. 要使用特殊的光學膠合鏡片以禁得起高功率密度。
3. 出射光瞳必須在底片柵門上大約 4~6 吋。對於大多數的投影鏡頭弧光都成像在這個位置。

在廣角投影系統中在  $80^\circ$  離軸比上近軸的減低響應並非立即的有害。觀眾的注意主要是在銀幕的中央，且視覺的敏銳度主要低在視野的周圍。

一般視野的極限在水平  $160^\circ$  及垂直  $120^\circ$ 。大於這樣的視野觀眾就需要轉頭（或整個身體）。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	9.5144e+20	AIR
1	4.977900	0.180000	2.325000	BK7 C
2	1.192000	1.080000	1.175000	AIR
3	-10.735600	0.194000	1.125000	SK5 C
4	0.973000	0.421000	0.840000	AIR
5	1.706800	0.523000	0.830000	SF1 C
6	-1.383800	0.240000	0.830000	LAK9 C
7	1.134400	2.430000	0.600000	AIR
8	1.375300	0.299000	0.530000	LAK9 C
9	0.512300	0.649000	0.440000	PSK3 C
10	-0.791700	0.021000	0.440000	AIR
11	-0.776300	0.080000	0.380000	SF1 C
12	-1.908300	0.120000	0.410000	AIR
AST	0.000000	0.121000	0.335000 A	AIR
14	0.963800	0.333000	0.410000	PSK3 C
15	-0.892700	0.079000	0.410000	AIR
16	-0.736500	0.108000	0.345000	SF1 C
17	-1.428200	0.831000	0.410000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	1.903995 S	

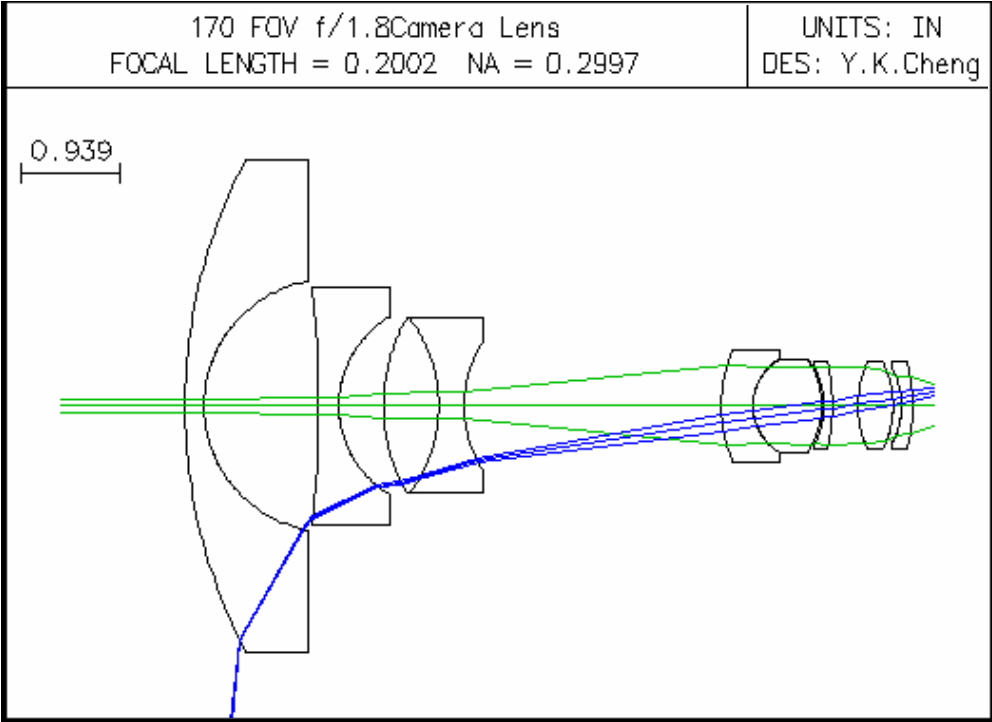
表 9-4  $170^\circ$  視角照相鏡頭

圖 9-4 顯示一個  $170^\circ$ ， $f/1.8$  設計作為 16mm 底片（對角長 0.492）相機鏡頭的鏡組。這個鏡組的資料呈現在表 9-4。

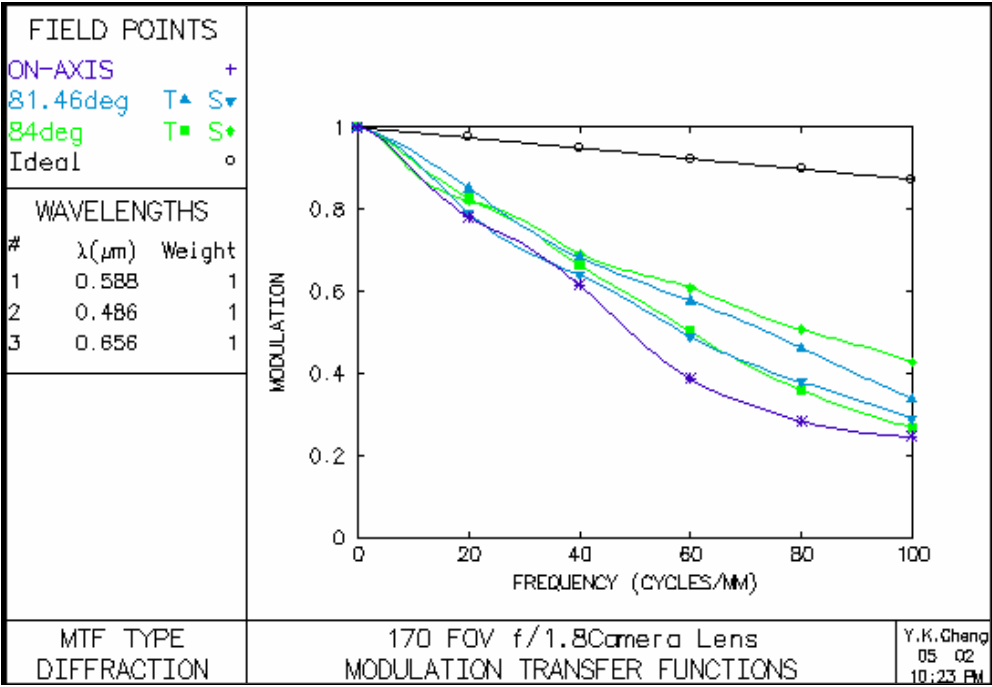
第一鏡面到像距為 7.707；透鏡焦距長 = 0.2。

光瞳偏移與壓縮量給定如下：

注意到第二鏡片接近半球形。使用的電腦程式要有防止這個面變成超半球的指令。在我使用的程式中（POP），限制量為鏡面的彎曲減掉這個面的半景光圈。



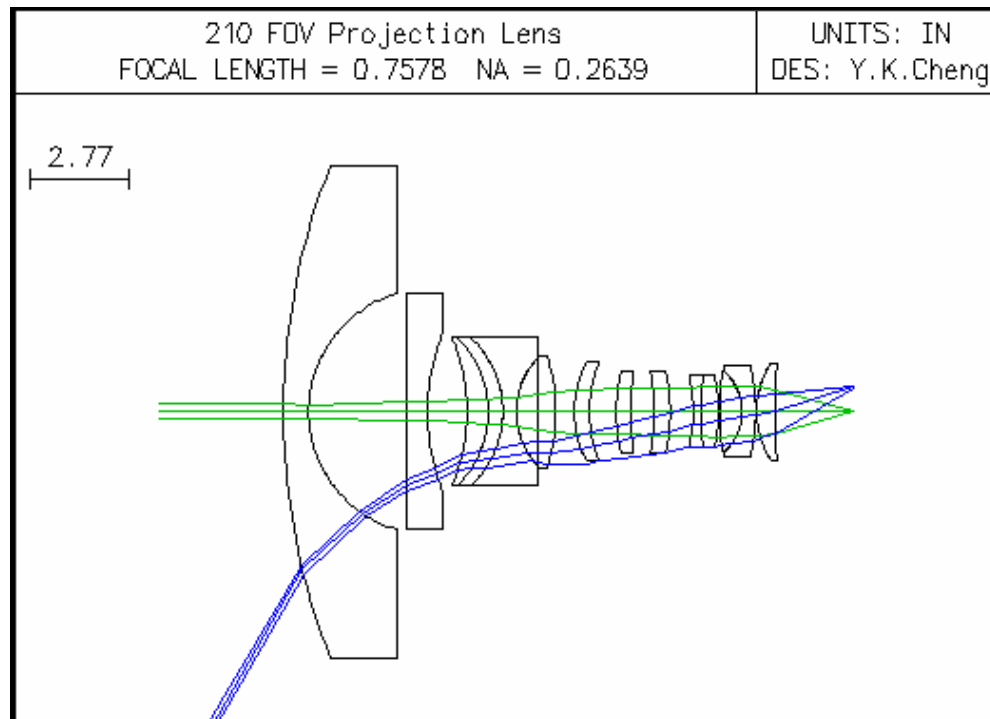
(a)



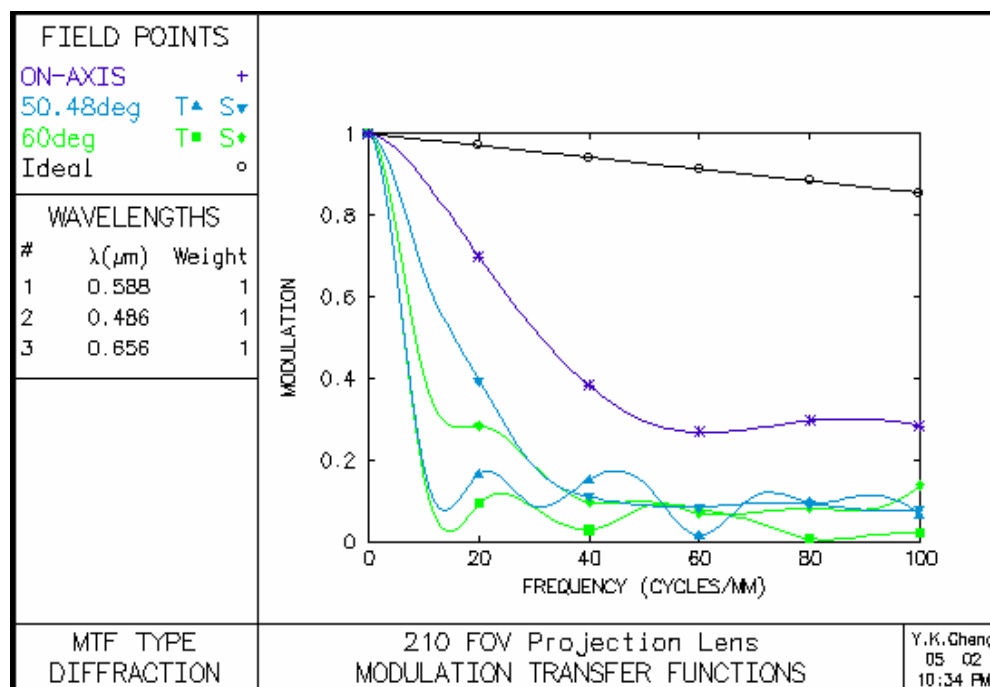
(b)

圖 9-4 (a) 170 ° 視角照相鏡頭 (b) 系統 MTF





(a)



(b)

圖 9-5 (a) 210 ° 投影鏡頭 (b) 系統 MTF

圖 9-5 顯示一個  $210^\circ$  視場， $f/2$  投影鏡頭，它是設計用在 10 針孔鏡頭，70mm 底片；因此  $210^\circ$  視角符合 1.85 的像圈。資料給在表 9-5。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.7321e+20	AIR
1	18.530300	0.700000	6.850000	K5 C
2	3.423800	2.709000	3.285000	AIR
3	0.000000	0.600000	3.285000	K5 C
4	6.049100	1.103000	2.250000	AIR
5	-5.394400	0.589000	2.025000	K5 C
6	-2.907800	0.410000	2.075000	SF1 C
7	-2.826400	0.377000	2.075000	PK2 C
8	2.206700	0.610000	1.500000	AIR
9	0.000000	0.488000	1.550000	SF3 C
10	-5.115500	0.516000	1.550000	AIR
11	2.958300	0.419000	1.380000	SSKN5 C
12	3.746400	0.750000	1.300000	AIR
13	5.140400	0.399000	1.130000	SF3 C
14	8.989500	0.637000	1.130000	AIR
15	-7.497200	0.459000	1.130000	SF5 C
16	-5.304500	0.292000	1.130000	AIR
17	0.000000	0.353000	0.635000	AIR
18	-4.069800	0.204000	0.760000	SF8 C
19	6.901200	0.504000	1.010000	LAKN7 C
20	-3.815800	0.020000	1.010000	AIR
21	8.676300	0.626000	1.100000	LAKN7 C
22	-1.517800	0.382000	1.100000	SF3 C
23	-5.937700	0.024000	1.260000	AIR
24	2.450700	0.506000	1.360000	LAKN7 C
AST	16.230200	2.216000	1.360000 A	AIR
IMS	0.000000	0.000000	1.311306 S	

表 9-5  $210^\circ$  投影鏡頭

第一鏡面到像距為 15.891。入射光瞳從軸上位置到透鏡前端的偏移量如下：

追蹤了軸上，離軸  $60^\circ$ ，以及離軸  $105^\circ$  的光線。注意到入射  $105^\circ$  光線切線分量的最大壓縮量。

### 參考文獻

- Brewer, S., Harris, T., and Sandback, I. ( 1962 ) . Wide angle lens system, U.S. Patent 3029699.
- Horimoto, M. ( 1981 ) . Fish eye lens system, U.S. Patent 4256373.
- Hugues, E. ( 1969 ) . Wide angle short photographic objective, U.S. Patent 3468600.
- Laikin, M. ( 1980 ) . Wide angle lens systems, SPIE 237:530.
- Miyamoto, K. ( 1964 ) . Fish-eye lens, JOSA, 54:1060.
- Momiyama, M. ( 1983 ) . Retrofocus type large aperture wide angle objective, U.S. Patent 4381888.
- Muller, R. ( 1987 ) . Fish eye lens system, U.S. Patent 4647161.