

第七章 望遠鏡頭(Telephoto Lens)

望遠鏡頭包含由一段距離 T 所分離的前端正 (F_a) 與後端負 (F_b) 群組 (見圖 7-1)。望遠倍率定義為 L/F (Cooke, 1965)。

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_a} + \frac{1}{F_b} - \frac{T}{F_a F_b}$$
 假設為薄透鏡

$$BFL = \frac{F(F_a - T)}{F_a}$$

求解，我們可得

$$F_a = \frac{TF}{F - L + T} \text{ 以及 } F_b = \frac{T(T - L)}{F - L}$$

F_b 絕對值的最大值位於 $T = L/2$ 。

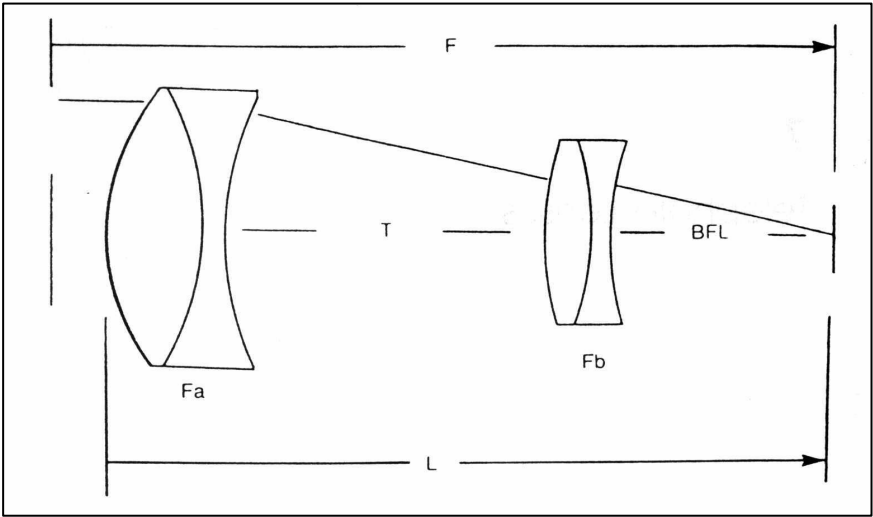
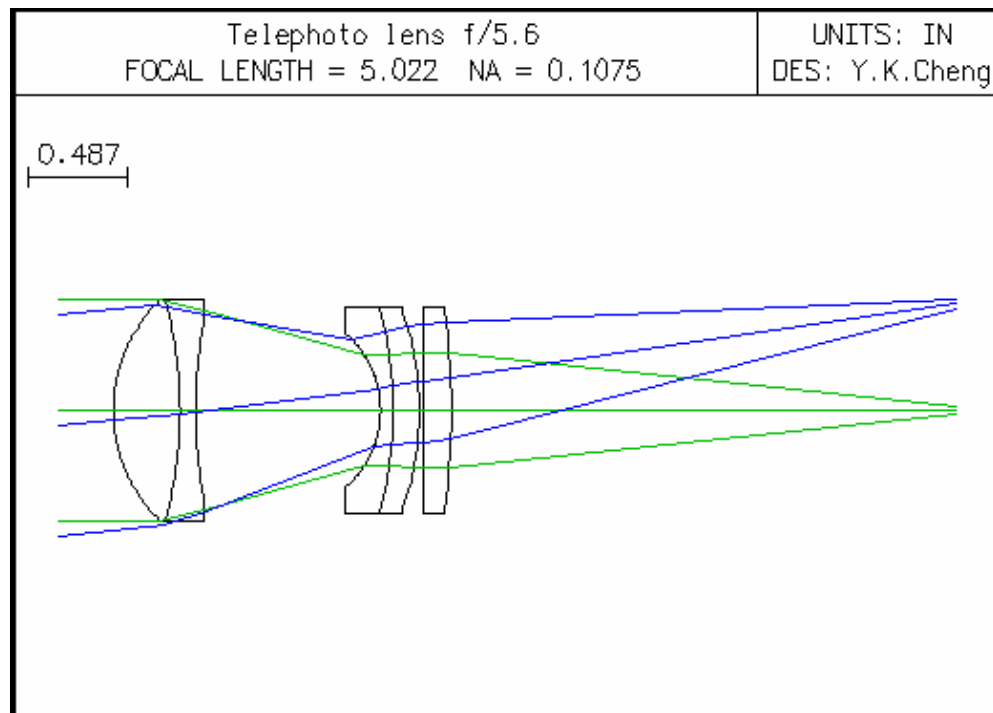


圖 7-1 望遠鏡頭

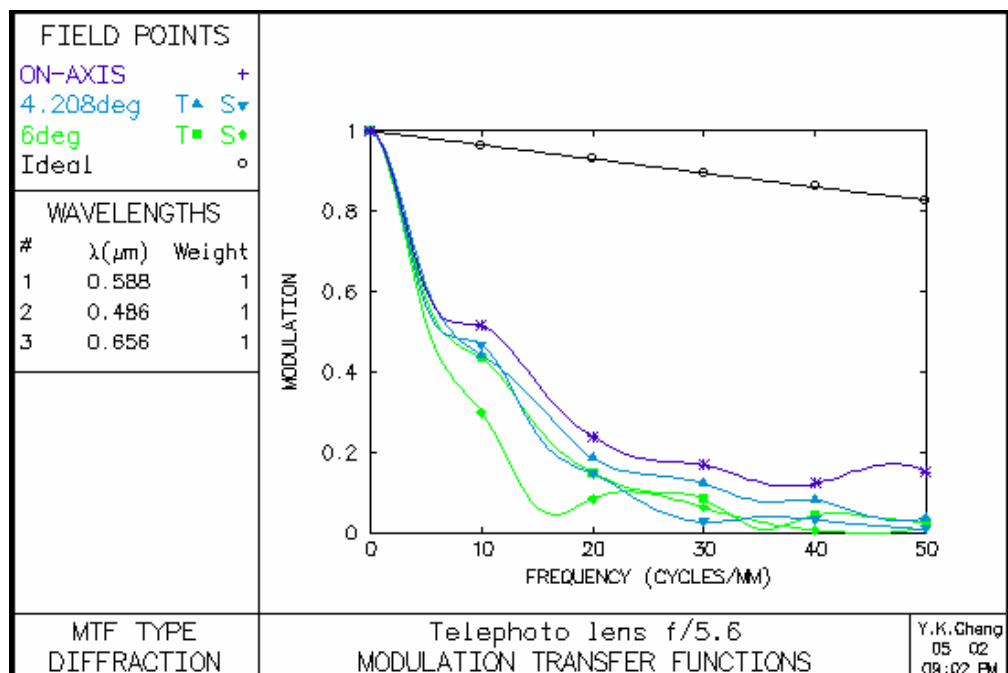
在圖 7-2 是一個 $f/5.6$ 望遠鏡頭 [取自 Aklin (1945)] 具有 20° 視場以及 $EFL=5$ 。這個鏡組的資料給定在表 7-1。

| SRF | RADIUS | | THICKNESS | | APERTURE RADIUS | | GLASS | |
|-----|-----------|--|------------|--|-----------------|---|--------|---|
| OBJ | 0.000000 | | 1.0000e+20 | | 1.0510e+19 | | AIR | |
| 1 | 0.752200 | | 0.325000 | | 0.540000 | | BK10 | C |
| 2 | -2.076300 | | 0.076000 | | 0.540000 | | BASF10 | C |
| 3 | 2.398100 | | 0.087000 | | 0.425000 | | AIR | |
| AST | 0.000000 | | 0.815000 | | 0.375000 | A | AIR | |
| 5 | -0.499000 | | 0.061000 | | 0.375000 | | ZKN7 | C |
| 6 | -2.045800 | | 0.128000 | | 0.500000 | | LAFN24 | C |
| 7 | -1.486300 | | 0.016000 | | 0.500000 | | AIR | |
| 8 | 14.481100 | | 0.141000 | | 0.505000 | | LAFN24 | C |
| 9 | -3.816600 | | 2.465000 | | 0.505000 | | AIR | |
| IMS | 0.000000 | | 0.000000 | | 0.525775 | S | | |

表 7-1 望遠鏡頭



(a)



(b)

圖 7-2 (a) 望遠鏡頭 (b) 系統 MTF

第一鏡面到像距為 4.113；畸變=1 %；望遠倍率 0.82。

在圖 7-3 顯示一個 $f/2.8$ 用作 SLR 相機（底片對角大小 1.703）的望遠鏡頭。
該鏡組的規範給定在表 7-2。

| SURF | RADIUS | THICKNESS | APERTURE RADIUS | GLASS |
|------|------------|------------|-----------------|-------------|
| OBJ | 0.000000 | 1.0000e+20 | 1.2013e+19 | AIR |
| 1 | 3.304600 | 0.417000 | 1.365000 | PK2 C |
| 2 | -13.009000 | 0.075000 | 1.365000 | AIR |
| 3 | -7.013900 | 0.235000 | 1.365000 | F5 C |
| 4 | 11.922900 | 0.183000 | 1.250000 | AIR |
| AST | 0.000000 | 0.120000 | 1.190000 A | AIR |
| 6 | 1.660300 | 0.380000 | 1.270000 | O_S-FPL53 C |
| 7 | 2.999800 | 0.215000 | 1.270000 | SF1 C |
| 8 | 2.563400 | 1.026000 | 1.160000 | AIR |
| 9 | 4.087400 | 0.219000 | 1.010000 | LLF6 C |
| 10 | -16.914000 | 0.657000 | 1.010000 | AIR |
| 11 | -1.654300 | 0.296000 | 0.800000 | K10 C |
| 12 | -1.118400 | 0.144000 | 0.850000 | SF1 C |
| 13 | -2.910000 | 0.705000 | 0.850000 | AIR |
| 14 | -1.620000 | 0.177000 | 0.850000 | ZK1 C |
| 15 | 3.490600 | 0.331000 | 0.920000 | SF5 C |
| 16 | -2.761300 | 1.603114 S | 0.920000 | AIR |
| IMS | 0.000000 | 0.000000 | 0.848283 S | |

表 7-2 望遠鏡頭

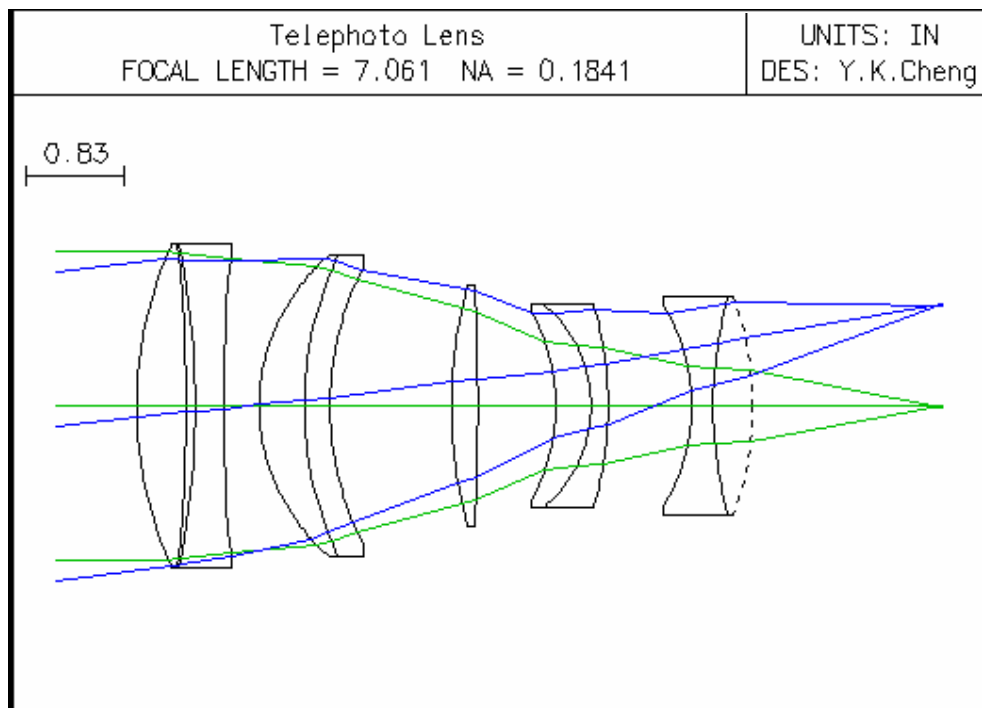
畸變=0.08 %，第一鏡面到像距為 6.802；望遠倍率=0.96

將這個設計與前一個設計相比較，我們注意到雖然這個鏡組與圖 7-2（較大的望遠倍率）的不近乎一樣小巧，其具有較好的性能。這是使用 Ohara FPL-53 玻璃設計所達成的。雖然這個設計非高度消色差，但這種玻璃的使用已大大地改進鏡頭的表現。

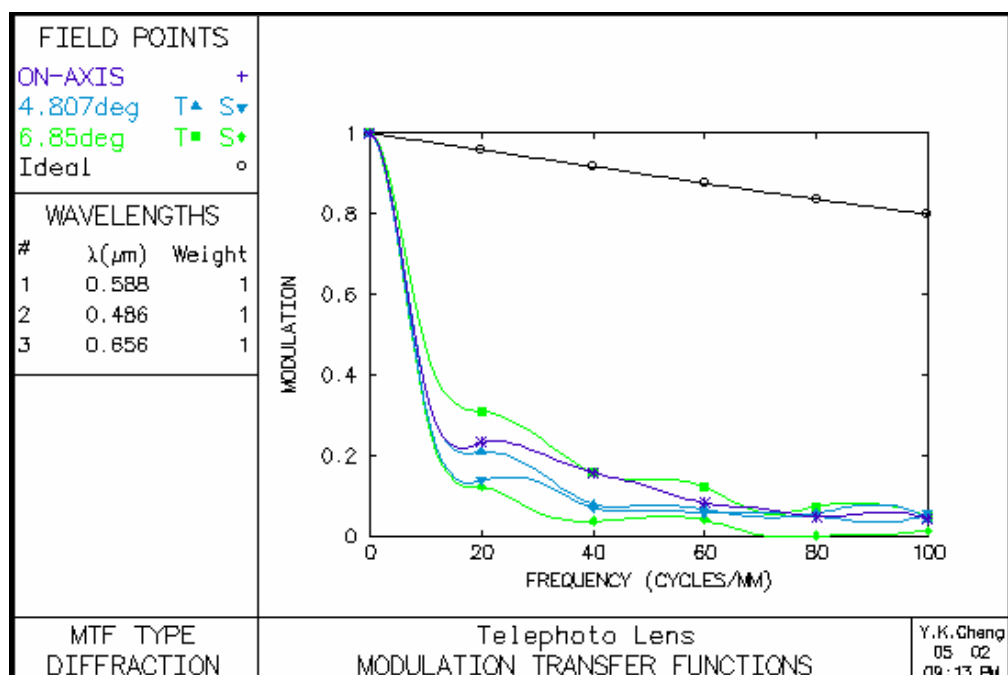
內部聚焦通常使用在這種型式的相對長透鏡上。它具有當僅移動一內部元件時，保持整個鏡組固定的機械優點。在這個案例中，倒數第二的膠合雙透鏡（K10 與 SF1 玻璃）移向底片平面。表 7-3 顯示這樣的聚焦動作。

| 物距 | T(10) | T(13) |
|--------|-------|-------|
| 無限遠 | 0.657 | 0.705 |
| 384.52 | 0.717 | 0.645 |
| 194.56 | 0.777 | 0.585 |
| 131.25 | 0.837 | 0.525 |
| 99.62 | 0.897 | 0.465 |
| 80.65 | 0.957 | 0.405 |
| 68.01 | 1.017 | 0.345 |

表 7-3 聚焦移動量

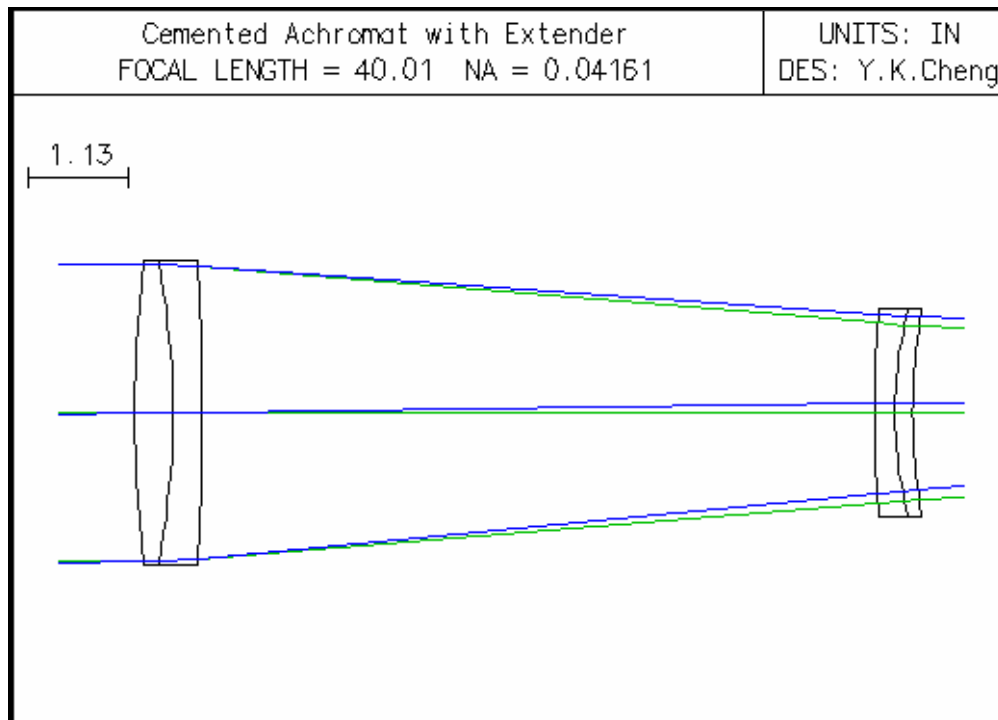


(a)

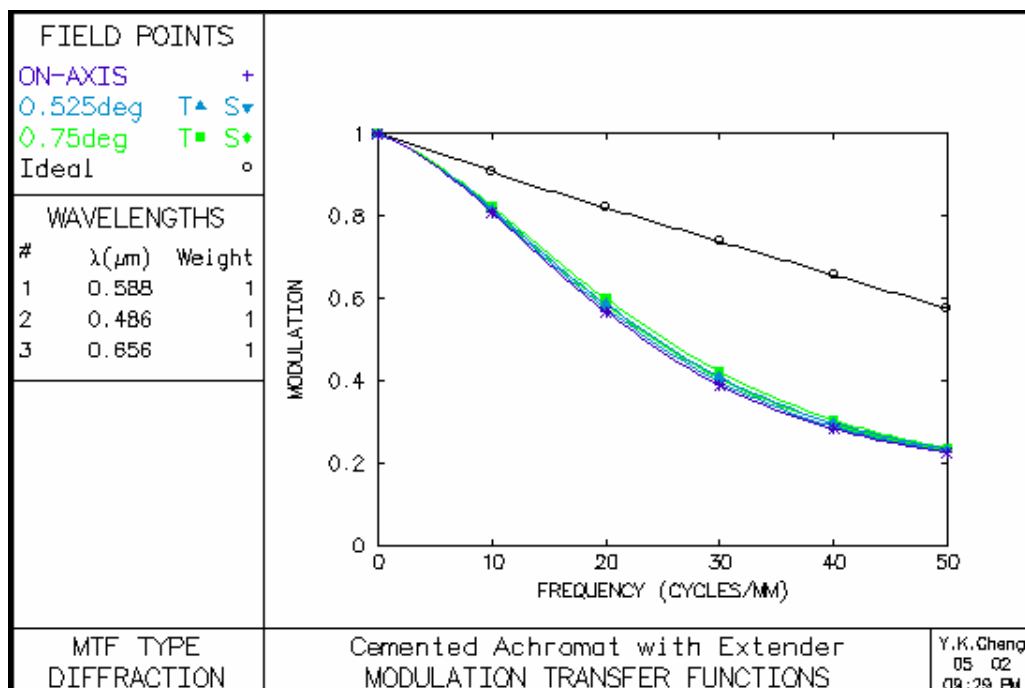


(b)

圖 7-3 (a) 望遠鏡頭 (b) 系統 MTF



(a)



(b)

圖 7-4 (a) 膠合消色差透鏡 (b) 系統 MTF

通常考慮加入距一個存在物鏡為 T 的負消色差透鏡 (F_b) 來增加該物鏡 (F_a) 的焦距。除了設計望遠鏡頭之外，這也可以用作一個雙模式系統。換言之，在物鏡與負消色差透鏡間置入一反射鏡，我們可得到一個雙重焦距長的系統。考慮在圖 2-2 中的膠合透鏡。如果我們想加倍這個鏡組的焦距，然後從上面 $T = 8$ 的方程式中，一個焦距為 -24 的負消色差透鏡是需要的。

對物鏡使用相同的材質，BAK-1 以及 SF-8，我們使用薄消色差透鏡方程式來得到一個起始解(參考表 2-1)，然後這個系統被最佳化，只改變負透鏡的參數。圖 7-3 秀出這個結果。有效焦距長為 40，以及 $FOV = 15^\circ$ 。圖 7-4 顯示具延伸的膠合消色差透鏡。透鏡資料給在表 7-4。

| SRF | RADIUS | THICKNESS | APERTURE RADIUS | GLASS |
|-----|------------|-------------|-----------------|--------|
| OBJ | 0.000000 | 1.0000e+20 | 1.3091e+18 | AIR |
| AST | 0.000000 | 0.000000 | 1.665000 A | AIR |
| 2 | 12.801800 | 0.434000 | 1.705000 | BAK1 C |
| 3 | -9.062300 | 0.321000 | 1.705000 | SF8 C |
| 4 | -37.655300 | 7.554000 | 1.705000 | AIR |
| 5 | 15.626300 | 0.230000 | 1.160000 | BAK1 C |
| 6 | 4.511900 | 0.199000 | 1.155000 | SF8 C |
| 7 | 6.433900 | 23.331461 S | 1.160000 | AIR |
| IMS | 0.000000 | 0.000000 | 0.523797 S | |

表 7-4 膠合消色差透鏡

第一鏡面到像距為 32.057。畸變趨近於零(導因於非常小的 FOV)。

對於一些用在前端物鏡的玻璃化合物而言，一個後端消色差透鏡的倒轉型式是需要的。

參考文獻

- Aklin, G. (1945). telephoto objective, U.S. Patent 2380207.
- Arai, Y. (1984). Large aperture telephoto lens, U.S. Patent 4447137.
- Cooke, G. H. (1965). Photographic objectives, in Applied Optics and Optical Engineering, Vol. 3, R. Kingslake (Ed.), Academic, New York, P.104.
- Eggert, J. (1968). Photographic telephoto lenses of hing telephoto power, U.S. Patent 2288956.
- Horikawa, Y. (1984). Telephoto lens system, U.S. Patent 4435049.
- Kreitzer, M. H. (1982). Internal focusing telephoto lens, U.S. Patent 4359272.
- Matsui, S. (1982). telephoto lens system, U.S. Patent 4338001.
- Tanaka, T. (1986). Lens system, U.S. Patent 4575198.