

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 以折繞混合型元件設計日夜兩用鏡頭

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2215-E-164-001-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：修平技術學院電機工程系

計畫主持人：黃光榮

計畫參與人員：張冀青、張合中、霍志中

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 29 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 以折繞混合型元件設計日夜兩用鏡頭

### The design of day-and-night objective with hybrid refractive-diffractive elements

計畫編號：NSC 91-2215-E-164-001

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：黃光榮 修平技術學院電機工程系

共同主持人：張冀青 國防大學中正理工學院應用物理系

計畫參與人員：張合中 國防大學中正理工學院應用物理所  
碩士班研究生

霍志忠 修平技術學院電機工程系 大學生

#### 一、中英文摘要

本研究嘗試利用「繞射元件」之設計，改善「塑膠鏡片」種類不足之限制及傳統光學鏡頭重量重之缺點，設計之一混合型鏡頭，以拓寬光學波段，達到日夜兩用全天候使用功能之鏡頭，設計頻寬涵蓋可見光及近紅外線兩種波段。

塑膠鏡片之優點為可大量生產、單價低、重量輕，並且可以隨意使用非球面以增加光學設計之自由度，然受限於光學塑膠材料種類不足及非球面對色差貢獻度低之限制，即便使用非球面，仍無法滿足寬波段之需求，因此在色像差校正方面往往不能隨心所欲，遑論用來設計日夜兩用全天候使用功能之鏡頭。傳統光學鏡頭雖然可以滿足寬波段之需求，然其需求鏡片數目多，重量重，而繞射元件正好可以彌補傳統塑膠鏡片及一般光學鏡頭之缺憾，既可以用來校正色像差，也能減少鏡片設計之數量，以達到輕量化之目的，可說是一舉兩得。

因此，使用繞射元件設計之混合型鏡頭，將以其所具有之上述優點，被廣泛的應用在科學、工業、商業、軍事及相關領域上。

**關鍵詞：**非球面，繞射元件，二元光學，鏡頭設計，光學設計，成像鏡頭，塑膠鏡片，像差。

#### Abstract

In this project, we will design a day and night hybrid objective, using aspheric plastic or diffractive-refractive lens. With this method, the restriction of less categories of plastic lens, and heavy of traditional refractive lens can be improved, which means that the new type of lens can have wider wavelength band than the conventional aspheric plastic and refractive lens design. The design wavelength covers both visible and near infrared. Therefore the lens can work on day and night.

The benefits of plastic lens are mass production, low prices, lightweight, and using aspheric surface design freely. As

mentioned above, the less kinds of plastic lens and low contribution to chromatic aberration correction for aspheric surface are the restrictions of conventional plastic lens. Therefore, even using aspheric surface to balance the nasty off-axis monochromatic aberration, the chromatic aberration is still difficult to overcome, not to mention design a double band lens with conventional plastic lens, working on day and night. However, the hybrid diffractive-refractive optics can compensate the drawback of conventional lens design. Not only can it correct the chromatic aberration, but also reduce the number of the lenses, which means lower the weight of the lens.

The new type hybrid lens, with the aid of diffractive-refractive or aspheric surfaces, will be useful in science, industry, commerce, military, and other relative field application.

**Keywords:** Aspheric, Diffractive Optics, Binary Optics, Lens Design, Optical Design, Imaging Lens, Plastic Lens, Aberration

## 二、緣由與目的

傳統的光學成像元件大都以透鏡等鏡片為主，均以機械的研磨、拋光方法製作。如此不僅製造工藝複雜，而且元件尺寸大、重量重，尤其在當前各項儀器不斷要求輕薄短小的情況下，如何減輕重量、縮小尺寸將顯的非常重要[1-4]。在面對光機電集成的趨勢中，傳統光件更顯的難以匹

配，有鑑於此，本研究以折繞混合型日夜兩用鏡頭為設計目標，以期有效減少系統體積、減輕鏡頭重量，免除同時攜帶日、夜兩個不同波段的鏡頭或執行兩種鏡頭切換動作的困擾。

## 三、理論分析

單片折繞混合型消色差透鏡之總焦度 (total power) 及縱向色差可表為 [5]：

$$\text{總焦度：}\phi_{\text{折}} + \phi_{\text{繞}} = \Phi_{\text{混}} \quad (1)$$

$$\text{縱向色差：}\phi_{\text{折}}^F + \phi_{\text{繞}}^F = \phi_{\text{折}}^C + \phi_{\text{繞}}^C \quad (2)$$

若設計波長為  $\lambda_d$ ，則繞射透鏡對應於波長  $\lambda_c$  及  $\lambda_f$  之焦度為

$$\phi_c = \frac{\lambda_c}{\lambda_d} \phi_d \quad (3)$$

$$\phi_f = \frac{\lambda_f}{\lambda_d} \phi_d \quad (4)$$

單片折繞混合型消色差透鏡之光焦度分配公式為

$$\phi_{\text{繞}} = \Phi_{\text{混}} \frac{V_{\text{繞}}}{V_{\text{繞}} - V_{\text{折}}} \quad (5)$$

$$\phi_{\text{折}} = \Phi_{\text{混}} \frac{V_{\text{折}}}{V_{\text{折}} - V_{\text{繞}}} \quad (6)$$

## 四、結果與討論

為了更進一步闡明折射型與折繞混合型元件之特性差異，分別設計一組消色差鏡頭及複消色差鏡頭藉以分析比較，並根據此理念設計一組日夜兩用鏡頭。

### (一)、消色差鏡頭設計

鏡頭規格：

1. 焦距：EFL=100 mm
2. 放大倍率：M=0
3. 最大視角：FOV=±1°
4. 波長範圍： $\lambda_d=0.5876 \mu\text{m}$ ；  
 $\lambda_c=0.6563 \mu\text{m}$ ； $\lambda_f=0.4861 \mu\text{m}$

5. 光圈數：F/5
6. MTF值@50 lp/mm：視角  $0^\circ$ 時 $\geq$ 0.5； $1^\circ$ 時 $\geq$ 0.3

成果分析：

### 1. 傳統折射型雙膠合消色差鏡頭

首先選擇 BK7 與 F2 兩種玻璃材質進行設計，設計成果如圖一(a)至圖四(a)。

### 2. 單片折繞混合型消色差鏡頭

在同一規格要求下，僅以單片 BK7 透鏡設計，為達到消色差之目的，第一面凸面部分加上繞射面進行設計，設計成果如圖一(b)至圖四(b)。

討論：

經由設計實例比較傳統折射型雙膠合消色差鏡組與折繞混合型消色差鏡組之成像品質及優缺點分述如后：

1. 由圖一，經由設計軟體分析，折繞混合型鏡組厚度(3mm)比傳統折射型雙膠合鏡組厚度(6.3mm)薄(3mm)，重量相對減輕 2.5 公克。
2. 由圖二可知，折繞混合型鏡組最大焦平面移位量( $200\ \mu\text{m}$ )比傳統折射型雙膠合鏡組移位量( $60\ \mu\text{m}$ )多  $140\ \mu\text{m}$ 。
3. 由圖三可知，折繞混合型鏡組在各視角之成像點分布圖比傳統折射型雙膠合鏡組分布較為均勻，也因此影響到成像 MTF 曲線。
4. 由圖四可知，折繞混合型鏡組在各視角之 MTF 曲線值，解析度在 50lp/mm 時其值均在 0.4 以上；視角  $0^\circ$  時更達 0.5。整體而言可以媲美傳統折射型雙膠合鏡組。

## (二)、複消色差鏡頭設計

為了更進一步闡明折射型與混合型元件複消色差之特性差異，分別設計一組複消色差鏡頭藉以分析比較成像

品質

鏡頭規格：

1. 焦距：EFL=100 mm
2. 放大倍率：M=0
3. 最大視角：FOV= $\pm 0^\circ$
4. 波長範圍： $\lambda_r=0.4861\ \mu\text{m}$ ； $\lambda_d=0.5876\ \mu\text{m}$ ； $\lambda_c=0.6563\ \mu\text{m}$ ； $\lambda_r=0.7065\ \mu\text{m}$ ； $\lambda_s=0.8521\ \mu\text{m}$
5. 光圈數：F/5
6. MTF值@50 lp/mm：視角  $0^\circ$ 時 $\geq$ 0.7

成果分析：

### 1. 傳統折射型三膠合複消色差鏡頭

首先以傳統折射玻璃材質 F2，KzFSN5 及 FK51 為例，設計三片膠合型複消色差鏡頭，設計成果如圖五、(a)至圖八、(a)。

### 2. 折繞混合型元件複消色差鏡頭

在同一規格下，僅以普通玻璃材質 BK7 和 F2 膠合，第三面改為繞射面，設計混合型雙膠合複消色差鏡頭，設計成果如圖五、(b)至圖八、(b)。

討論：

經由設計實例比較傳統折射型三膠合複消色差鏡頭與折繞混合型雙膠合複消色差鏡頭之成像品質及優缺點分述如后：

1. 由圖五，折繞混合型鏡組厚度為 4mm，其重量經設計軟體模擬計算後為 3.2 公克，比傳統折射型三膠合鏡組厚度(8mm)薄 4mm，重量相對減輕 4.8 公克。
2. 由圖六，折繞混合型鏡組最大焦平面移位量( $51.6\ \mu\text{m}$ )比傳統折射型三膠合鏡組移位量( $69.7\ \mu\text{m}$ )少  $18.1\ \mu\text{m}$ 。
3. 由圖七，折繞混合型鏡組之像差比傳統折射型三膠合鏡組之像差小。
4. 由圖八，折繞混合型鏡組在視角

0°時之解析度 (MTF) 曲線幾乎達到繞射極限，解析度在 50lp/mm 時其值約 0.8，比折射型三膠合鏡組高。

### (三)、折繞混合型日夜兩用鏡頭設計鏡組規格：

1. 焦距：EFL=100 mm
2. 放大倍率：M=0
3. 最大視角：FOV=±5°
4. 波長範圍： $\lambda_F=0.4861\ \mu\text{m}$ ；  
 $\lambda_d=0.5876\ \mu\text{m}$ ； $\lambda_c=0.6563\ \mu\text{m}$ ；  
 $\lambda_r=0.7065\ \mu\text{m}$ ； $\lambda_s=0.8521\ \mu\text{m}$
5. 光圈數：F/4
6. MTF 值@50 lp/mm：視角 0°時≥0.7；視角 5°時≥0.5。

### 成果分析：

以普通玻璃 BK7 及 SF2 為材質外加兩面繞射面設計日夜兩用望遠型鏡頭，設計成果如圖九至圖十一。

### 討論：

由於繞射型元件之焦距與玻璃材料無關，其色散係數 (阿貝數) 為負值，此特性有利於消除光學鏡頭之色像差，故此型鏡頭設計之焦平面最大移位量僅 68 $\mu\text{m}$ ，如圖九 (b)；成像解析度 MTF 接近繞射極限，如圖十一 (b)。因此，以普通玻璃 BK7 及 SF2 為材質，加上繞射面後所設計之鏡頭，可同時涵蓋可見光及近紅外線兩種波段。

### 四、計畫成果自評

本計畫以折繞混合的方式，使用普通玻璃材質設計複消色差鏡頭，不僅可減少鏡片數量，減輕鏡頭重量，也可以提高成像品質，設計波長更可涵蓋可見光及近紅外線兩個波段，研究成果已發表於相關研討會論文。計畫完成之項目及獲致之成果如下：

(一)、完成單片折繞混合型消色差

鏡頭設計，其重量比傳統折射型雙膠合鏡組輕 2.5 公克，成像品質優於傳統雙膠合鏡組。

(二)、完成折繞混合型元件複消色差鏡頭設計，其重量比傳統折射型三膠合鏡組輕 4.8 公克，解析度及焦平面移位量均優於傳統折射型三膠合複消色差鏡頭。

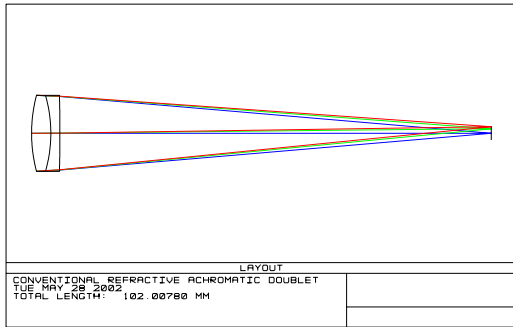
(三)、完成折繞混合型日夜兩用鏡頭設計，工作波段同時涵蓋可見光及近紅外線兩個波段。

(四)、完成以普通玻璃 (BK7、F2、SF2) 取代高價玻璃 (KzFSN5 及 FK51) 設計複消色差鏡頭及日夜兩用鏡頭，在未來業界正式量產時將可節省成本。

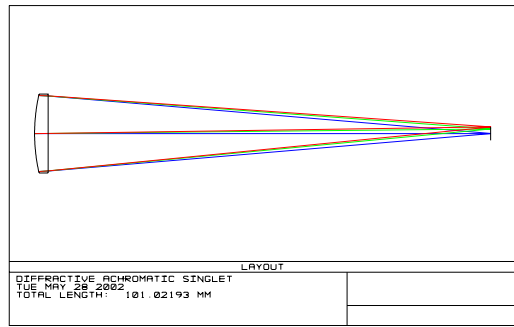
本研究承蒙國科會計畫 NSC-91-2215-E-164-001 經費贊助，特此感謝。

### 五、參考文獻

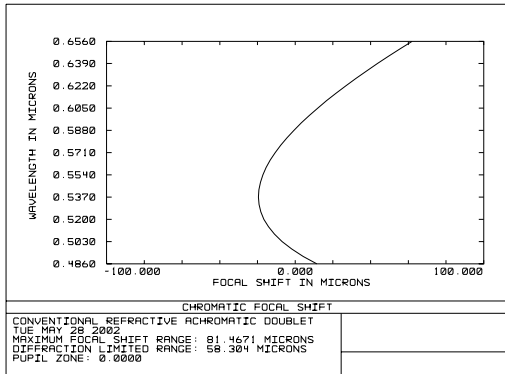
- [1] J.Leger, M.Holz, G.Swanson, et al. "Coherent laser beam addition: An application of binary optics technology," Lincoln Lab., J. Vol. 1, No. 2, pp. 225-246, (1988).
- [2] W. B.Veldkamp, "Overview of micro-optics: past, present, and future," SPIE, Vol. 1544, pp. 287-299 (1991).
- [3] W. B.Veldkamp, T. J.Mchugh, "Binary optics," Scientific American, Vol. 266, No. 5, pp. 92-97 (1992).
- [4] Sing H. Lee, "Diffractive and Miniaturized Optics," SPIE, Vol. CR49, 1993.
- [5] 金國藩等著(1999)，二元光學，國防工業出版社，第六章。



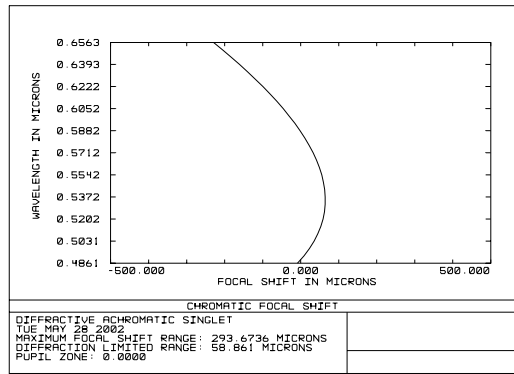
圖一、(a) 傳統折射型雙膠合消色差鏡組



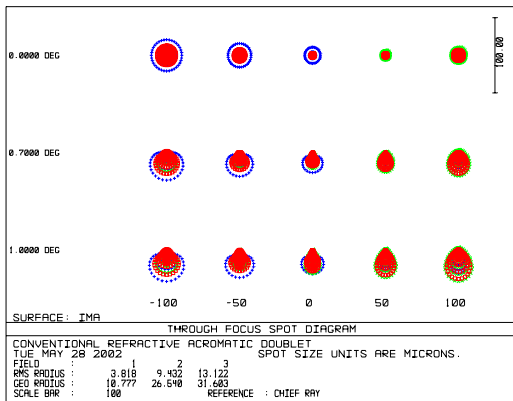
圖一、(b) 單片折繞混合型消色差透鏡



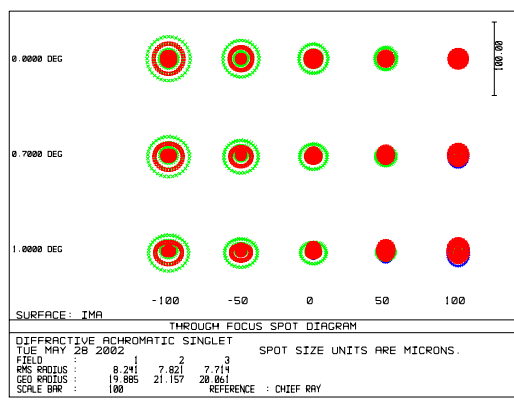
圖二、(a) 雙膠合鏡組波長與焦平面移位曲線



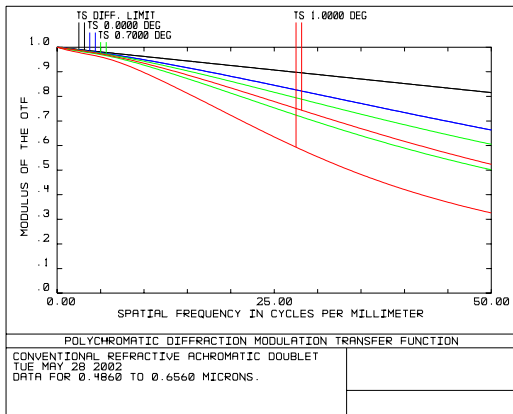
圖二、(b) 混合型鏡組波長與焦平面移位曲線



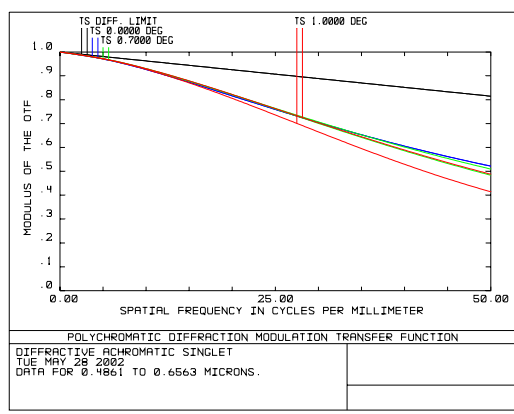
圖三、(a) 雙膠合鏡組成像點分布圖



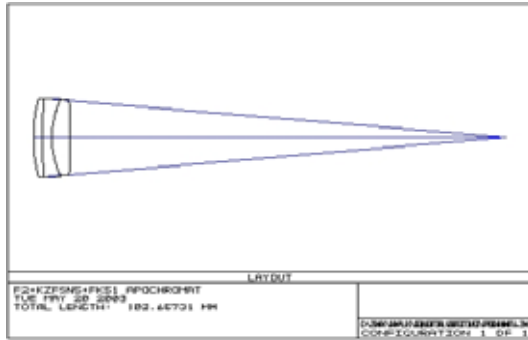
圖三、(b) 混合型鏡組成像點分布圖



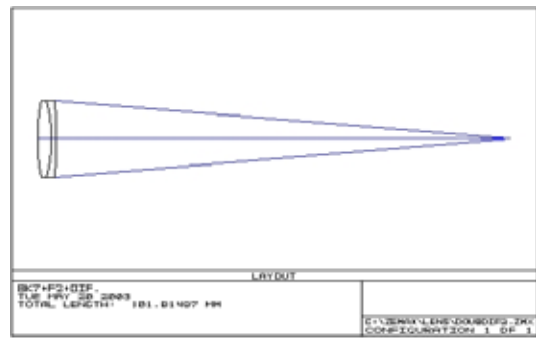
圖四、(a) 雙膠合鏡組成像解析(MTF)曲線



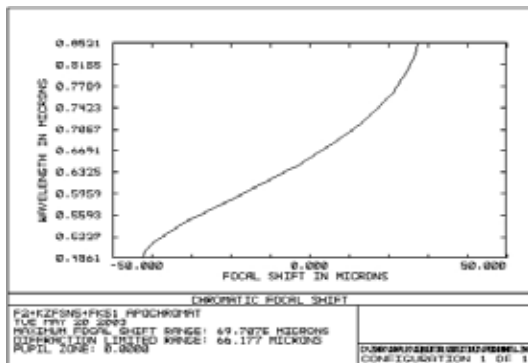
圖四、(b) 混合型鏡組成像解析(MTF)曲線



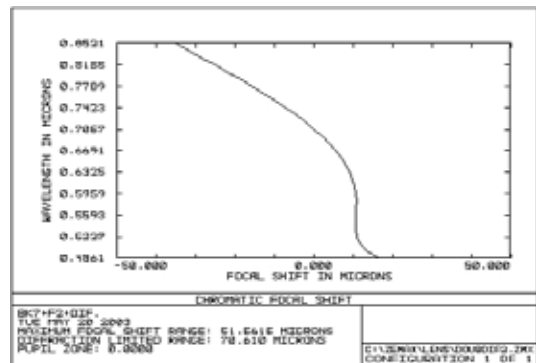
圖五 (a) 折射型三膠合複消色差鏡頭



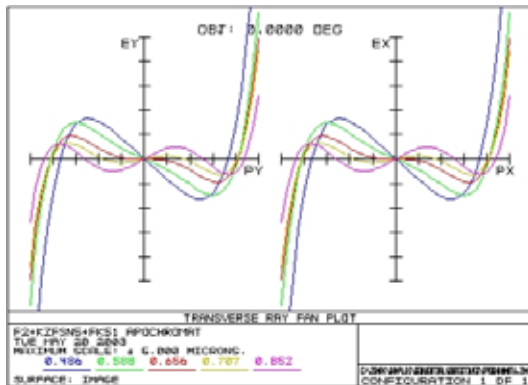
圖五 (b) 混合型雙膠合複消色差鏡頭 (第三面為統射面)



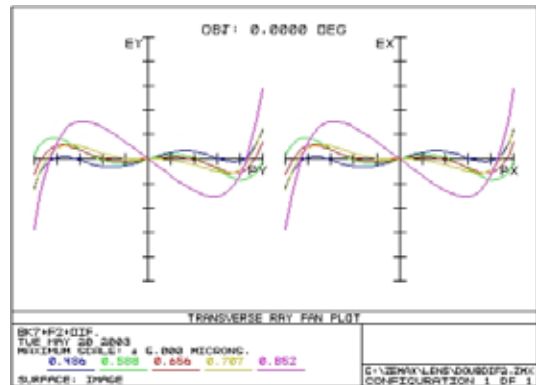
圖六 (a) 折射型複消色差鏡頭波長對焦平面移位曲線



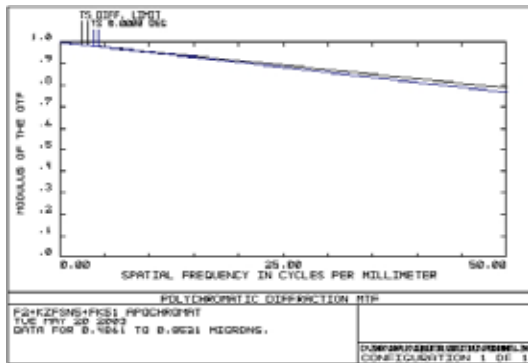
圖六 (b) 混合型複消色差鏡頭波長對焦平面移位曲線



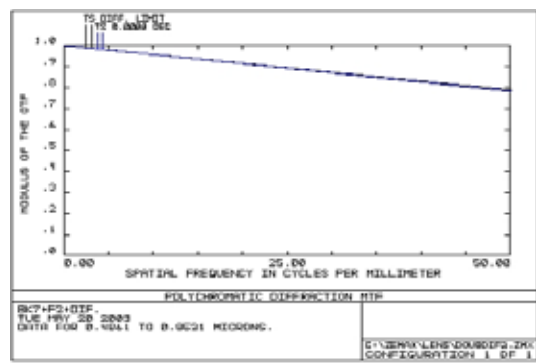
圖七 (a) 折射型複消色差鏡頭橫向像差曲線



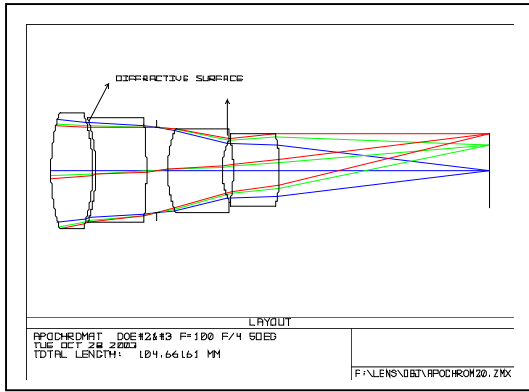
圖七 (b) 混合型複消色差鏡頭橫向像差曲線



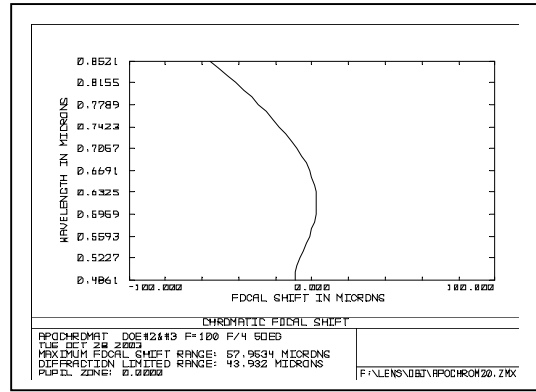
圖八 (a) 折射型複消色差鏡頭成像解析 (MTF) 曲線



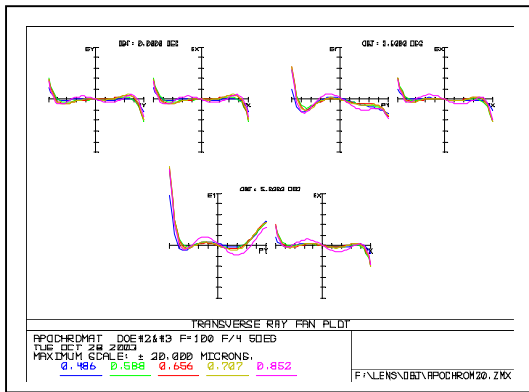
圖八 (b) 混合型複消色差鏡頭成像解析 (MTF) 曲線



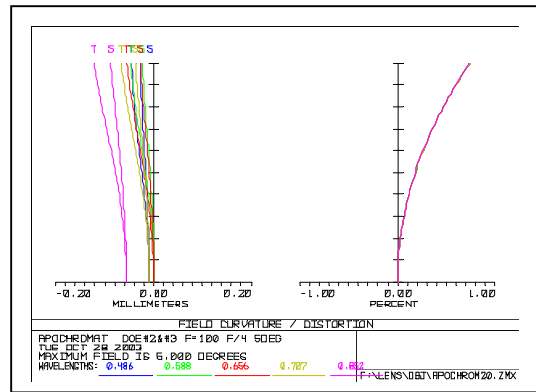
圖九、(a) 混合型日夜兩用鏡頭



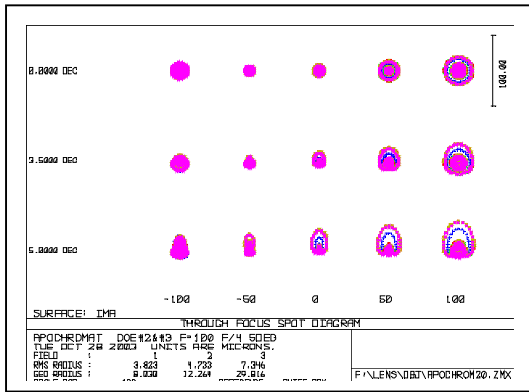
圖九、(b) 混合型日夜兩用鏡頭波長對焦平面移位曲線



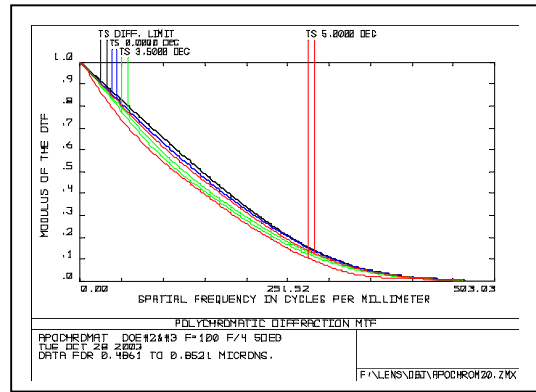
圖十、(a) 混合型日夜兩用鏡頭橫向像差曲線



圖十、(b) 混合型日夜兩用鏡頭頭曲與畸變圖



圖十一、(a) 混合型日夜兩用鏡頭成像點分布圖



圖十一、(b) 混合型日夜兩用鏡頭成像解析 (MTF) 曲線