

科學圖書大庫

攝影光學

譯者 潘家寅

攝影者必讀

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

攝影光學

譯者 潘家寅

攝影者必讀

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尙有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧銓氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良發行系統，擔任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

原 序

在本書初版中其主旨可在如下各項內表明之：

“攝影術之所有部門中，光學早與純粹科學有悠久的聯繫。在攝影術的化學局面尚停頓在「邊錯邊試」的淺陋階段時，透鏡已被設計，即利用物理的定量方法提供可靠的依據以製造及測驗透鏡了。

“有如下三效果可說明此事實之原因：第一，攝影光學之發展，一般言之，總是攝影術之躍進次數比較要保守些。其次，照相光學方面的書籍——如果不太皮相的選擇——彷彿比照相術任何其他章節方面的書籍更為專門些。最後，攝影家縱令對他支配的技術上各種情況均徹底感興趣，也寧願聽任自己搜集有關透鏡處理上各種應注意的資料，而不願被對他必須像高深數學那樣複雜的事情所困擾。

“因此照相設備的光學理論部分勢必在實用工作者手中變得較底片材料，沖洗或印晒學方面更為一種不易處理的攝影術的表達工具了。自35 mm或袖珍型照相機 (miniature camera) 興起，有更換透鏡，及特殊反光鏡 (Viewfinder) 的廣泛選擇使大眾化照相更較以前有光學的意識，但較少依憑參證，也不關乎製造家之幾分武斷主張了。

“設計透鏡的人士，及在照相機，放大器或放映機中使用透鏡的人士，感到興趣的相同事物是：透鏡對此工作是否適宜，或是否最佳的？但只要他們不說相同的術語，“科學的”人士態度總不甚為“實用的”對方所瞭解。

“在本書中，擬適度地使攝影家更感興趣，及更能幫助瞭解如何及為何操作其透鏡，及什麼是能期待的。按部就班地，為以前沒有這方面知識的讀者，由若干不精密的各項定義中以其日常工作來說明設計者的困難，及使之能辨別製造家的主張是否允當。此等成列樹蔭的遠景進入透鏡的最佳利用，且其背景均只須使用簡明的公式便可呈現出來。不過有些事情務須提及，諸如不參考有實用的公式便不能對透鏡多所陳述，而不用純粹公式却能討論顯影工作。在本書中所表現的，可發覺用很多圖表多少可以抵銷上述的缺陷。惟就本質言，圖片亦不能說出全部真理，但所說的較方程式之精確意義易於瞭解耳。

“對若干乾燥無味的問題不必太費時間特加注意，彗形像差 (Coma)，像散現象 (Astigmatism)，色像差 (Chromatic aberration) 等等均

IV

屬光學專家的命題。此等缺點存在與否均至今仍使透鏡之持久性遭致或造成損害。不必討論時下可用透鏡之最佳型式，無須瞭解此等可能缺點的性質，便可引用之。

這些仍為本書之主旨，但此序寫在1942年，迄今攝影光學已有了全面的改觀。

例如在1942年，電子計算機尚未問世。現在却已是日常生活之一部分了。且1942年代完全不可能的計算，現已大量完成。現在對光線之探討，其實行之速度至少比二十年前的計算速度快兩千倍。對其他問題的光學設計方面更因此事實而穩操勝算了。

過去數年間，對拍攝的物像之評價，已有新穎的及有力的工具發展出來。鑑別率 (Resolving power) 的使用已在應用上登峯造極，但被最新技術的“光學移轉函數” (O.T.F., Optical Transfer Functions)；及“調制移轉函數” (M.T.F., Modulation Transfer Functions) 所取代矣。

在生產界中，近十年來變焦透鏡或活動透鏡 (Variable Focus, 或 Zoom lenses) 之發展頗堪注意。曾為價格高昂的或外來方式的，今日却已成為日常用品及比較不價昂的照相商業項目了。

曾嚴謹地試圖在不失本書早先幾版中顯有成效的本書精神下考慮此等因素。則本書將幾乎完全重寫。尤其在完全新的一章中，添加照片品質一章，包括 O.T.F. 及 M.T.F. 之全部論述。種種均致力於將流行的最新式的現代透鏡加以陳述，且將名目列入。

在此謹對下列各位供應圖片的人士及公司致謝忱：Rudolph Hartmann 先生的卷頭插圖 (本書第 I 頁)；蔡斯公司的 Erich Heynacker 博士 (第 204 頁)；Polaroid 公司 (第 206 頁)；American Optical Co. (第 207 頁)；Jumpei Tsujiuchi 博士 (第 208 頁)；及 Emmett N. Leith 博士與 Juris Upatnieks 博士 (第 209 頁)，各有圖片。

余亦樂於在此銘謝 G.H. Cook 先生對本書第十版及以後各版的修訂。又再度向 Melba Hunter 夫人致誠摯的謝意，因伊將此書之手稿成為易讀的打字原稿，且為余閱讀校對。

Arthur Cox.

譯 者 序

一、徐氏基金會鑒於國內十分缺乏攝影光學之著述，故計劃介紹世界有關之名著以饗國人，今以本書之譯本發軔。原書為 Arthur Cox 氏所著之 Photographic Optics 第十三版。此書自1943年初版至1966年已有十三版，其間尚有德文及西班牙文譯本。

二、本書宗旨擬適度地使攝影家更感興趣及更能幫助瞭解如何及為何操作其透鏡。因深感設計透鏡之人士及在照相機、放大器或放映機中使用透鏡之人士，就透鏡對此工作是否適宜，或是否最佳？但不說相同術語時，“科學的人士態度總不甚為”實用的“對方所瞭解。

故本書之編寫層次先就有關光學的理論在第一章緒論中做概括說明。其次在第二章理想透鏡中詳列純理論的見解，使讀者深具基本概念。復次，於第三章各種透鏡中之缺點及第四章照片品質中分別討論實際的問題，然後針對各種實際應用如何以理論補救之，俾漸臻完美之境。於是在第五章基本透鏡典型及第六章各式系統中縷述之。為補充所論中之各種專門及新穎的發明事物，再輔以附錄中之各節，諸如光學纖維，身歷境照相術，彩色光斑圖等等。此外對世界上著名透鏡牌號及製做廠商亦做一表格簡介之。

三、本書所譯學術名詞均採用教育部所公佈者，其尚無譯名者，則只有譯者斟酌試譯，未敢定論，尚希方家指正。

潘家寅時客

美國麻州

民國五九年六月

目 錄

原 序

譯者序

第一章	緒論	1
第一節	光線	1
第二節	物像	1
第三節	透鏡及焦點	2
第四節	焦距	2
第五節	物像及焦聚	5
第六節	焦點之深度	5
第七節	f -數	7
第八節	像差	7
第九節	光譜	7
第十節	光之波長	10
第二章	理想透鏡	11
第一節	焦點位置	13
第二節	節點	13
第三節	焦距	15
第四節	焦距之測定	17
第五節	測節器之使用	19
第六節	其他代替法	20
第七節	透鏡之觀察點	22
第八節	物像大小及焦距	24
第九節	前升與後擺	27
第十節	全景照相機	27
第十一節	視角	28
第十二節	物標及物像之位置	30
第十三節	焦聚行程	33
第十四節	焦聚範圍之增大	33
第十五節	補助透鏡及其焦聚範圍	34

第十六節	放大及放映公式	35
第十七節	最大放大率	37
第十八節	放映透鏡之焦距	40
第十九節	在場深度中之清晰度	41
第二十節	明銳度之規範	41
第二十一節	f-數	42
第二十二節	對特寫鏡頭之f-數	43
第二十三節	"場之深度"的計算	45
第二十四節	焦點之深度	65
第二十五節	明銳度之另一規範	66
第二十六節	比較場深度	67
第二十七節	因移動透鏡而產生深度	68
第二十八節	場深度表	68
第三章	各種透鏡中之缺點	71
第一節	像差	71
第二節	光之折射	71
第三節	色散	73
第四節	透鏡中之光程	75
第五節	再為完全透鏡	77
第六節	像差之等級	77
第七節	球面像差	78
第八節	帶狀像差	80
第九節	彗形像差	83
第十節	像散性及場曲率	86
第十一節	高級像散性	90
第十二節	斜側的球面像差	90
第十三節	畸變	91
第十四節	斑點圖	94
第十五節	繞射	96
第十六節	色像差	97
第十七節	副光譜	101
第十八節	橫向色像差	102
第十九節	像差及場深度	102

第二十節	放大器中之照相機透鏡	105
第廿一節	放大及運用透鏡	106
第廿二節	可變易的反襯紙的問題	106
第廿三節	清晰度及裝置光圈	108
第廿四節	不集心像差	109
第四章	照片品質	113
第一節	鑑別率圖表	113
第二節	鑑別率之測驗	117
第三節	鑑別率之值	118
第四節	邊緣層次	119
第五節	明銳度	123
第六節	明銳度對鑑別率	124
第七節	空間頻率分析	126
第八節	空間頻率感應及 O. T. F.	130
第九節	O. T. F. 之應用	132
第十節	O. T. F. 之典型	137
第十一節	反襯的效果	142
第十二節	O. T. F. 之測定	144
第十三節	物像綜合	146
第十四節	焦點深度	149
第十五節	透鏡之測驗	149
第十六節	不集心的像差	152
第十七節	球面像差及彗形像差	154
第十八節	像散性及場曲率	155
第十九節	畸變	156
第二十節	軸向顏色	157
第廿一節	橫向顏色	159
第廿二節	放大及拷貝透鏡	160
第廿三節	暈映	161
第廿四節	閃光斑及幻影	163
第廿五節	透鏡之塗敷	164
第廿六節	T 光圈快門及透射	169
第廿七節	結構的面面觀	169

第五章 基本透鏡之典型	177
第一節 原始透鏡.....	177
第二節 Petzval 透鏡.....	180
第三節 對稱透鏡.....	183
第四節 Cooke 三重鏡之型式.....	189
第五節 黃角透鏡.....	195
第六節 倒立望遠照相 (後退焦點) 透鏡.....	199
第七節 望遠照相透鏡.....	201
第八節 柔性焦點透鏡.....	215
第九節 放大及運用透鏡.....	218
第十節 可變動的透鏡.....	220
第十一節 調節焦點之附屬裝置.....	223
第十二節 活動透鏡 (可變焦點的透鏡).....	226
第十三節 鏡透鏡.....	234
第十四節 非球面透鏡系統.....	237
第十五節 縮放系統.....	237
第六章 各式系統	243
第一節 焦聚屏幕.....	243
第二節 反光暗箱照相機.....	244
第三節 雙透鏡反光照相機.....	247
第四節 直接觀看的發光鏡.....	248
第五節 光學的反光鏡.....	250
第六節 Albada 反光鏡.....	251
第七節 電影照相機反光鏡.....	251
第八節 極端近攝 (特寫) 及視差矯正.....	257
第九節 測距器.....	259
第十節 電眼系統.....	264
第十一節 濾光鏡.....	270
第十二節 偏極濾光鏡.....	273
第十三節 實體觀察法.....	276
第十四節 放大.....	280
第十五節 畸變之矯正.....	284
第十六節 放映.....	293

第十七節 熱的問題.....	303
第十八節 後屏幕放映.....	304
第十九節 軟片編輯機.....	308
第七章 結論.....	311
附錄.....	313
一、光學纖維.....	313
二、自動聚焦.....	316
三、身歷境照片—不用鏡頭的照片.....	319
四、空間頻率過濾法.....	322
五、彩色光斑圖.....	324
六、各種透鏡及製做者.....	326
七、辭彙.....	368
索引.....	379 390

第一章 緒 論

環顧宇內，大部分知識莫不經由眼睛而獲得。我們察見的眼與物間之聯繫便是“光”。此乃我們所指的“光”的定義，而此時暫先不談任何其他有關性質。光最初之定義爲：眼所見及被看見之物體兩者間的聯繫。

光現在已被視爲是“能”(Energy)，由被注視的物標射出，以每秒186,000哩的高速奔向眼睛，且不僅刺激人眼，亦能使照相膠片感光。

首先注意到的是光走着直線路徑。除非十分微小範圍，光不能繞過其不能穿透的障碍物邊緣變彎曲。穿過某些物體，即所謂透明體(Transparent)，光可不受任何變化而進行。此外，對於所謂不透明體(Opaque)，則完全阻止其通過。若將一片不透明的物質片置於眼睛及發光點(即發出光線的一個點光源)之間，則無光線抵達入眼。

第一節 光 線 (Light rays)

每一發光點，無論其發射是由一燈泡的燈絲所發生，或被日光或被人造光所照明，其行爲導出一理想即“向所有方向”發射光。光之每個基素(Element)由光源發射均在一直線方向內，沿所謂光線(Light rays)行進。嚴格言之，光線爲直線，射出之光的一部分沿此線行進，如圖1 a所示。不僅光能刺激所抵達之人眼，且亦投射在適當的表面上，諸如白紙的表面且照明之，而白紙又能再將光線發射至入眼(以學究的語氣陳述此後者，應讀做：“可沿光線將光送至入眼”。但在更緊湊及標準形式中，則以常用之語法形容此相同事實)。

第二節 物 像 (Image)

設有一平坦表面，諸如一白紙卡片之表面，在其前面按置一不透明屏幕，屏上有一小針孔，如圖1 b所示。若如此裝置指向一含有明亮及黑暗物標之

景色，景色內的每個明亮點放射光線至屏上。若干光線穿過針孔，且在白卡片上造成一小光斑。在佈景中每個明亮的點發生此事。在景色中完全黑暗之點則無光發出。其結果，如圖 1 b 所示，在景色中每個明亮點均在白卡片上對應一小光斑，且在此卡片上的母寧為原來景色的擴散製品。此即該景色的物像。

第三節 透鏡及焦點 (Lens and Foci)

由任何明亮點而來的光線均向外發散直至抵達針孔，且由此再繼續穿過而發散，已在圖 1 b 中示明。若安排磨光的玻璃片，則可得最佳結果，光線抵達在不透明屏幕中之孔徑乃彎曲，如此則不再繼續向外發散，而收斂且重聚於一點，如圖 1 c 所示。現在所得之複製品中在原先佈景中每個明亮之點亦在白卡片上有相當於一明亮之點，因此所得結果為一鮮明清晰的物像。使光線在此方式中能彎曲的玻璃裝置即為一透鏡 (Lens)，俗稱鏡頭。

原來發散的光線被一透鏡重聚於一點，則稱此點為一焦點 (focus) 或一物像點 (Image point)。

透鏡之最簡單型式如圖 2 a, 2 b 所示。均由磨光表面之玻璃片製成，每個表面為一球面之一部分。主要關鍵為所有此等表面之心應在一直線上，如圖中所示者，顯然有些透鏡由兩塊玻璃用加拿大樹膠 (Canada Balsam) 接合，或用新合成接着劑接合而成。各心之直線，對透鏡為對稱的，稱為透鏡之軸 (axis)。

任何一種特殊的透鏡僅能使射來的發射光線的某一部分彎曲。射至透鏡之光線愈發散，則穿過該透鏡後會聚愈少，且其結果焦點 (即光線會聚之點) 距離愈遠。如圖 3 a 所示。

透鏡將射至之光線彎曲能力愈大，則焦點愈接近透鏡，所有其他情形均相同。

第四節 焦 距 (Focal length)

透鏡能使抵達此鏡之光線彎曲的程度可以用如下方法測定及比較。茲取一非常遙遠的發光點，諸如區限在太陽表面上的一點。其旨趣及目的乃來自此點之光線抵達透鏡時均相互平行。指向透鏡其軸如圖 3 b 朝向發光點。平行光線被透鏡彎曲而再在焦距內相會合，稱此特別場合為該透鏡之焦點位置 (

物像之形成及簡單的透鏡

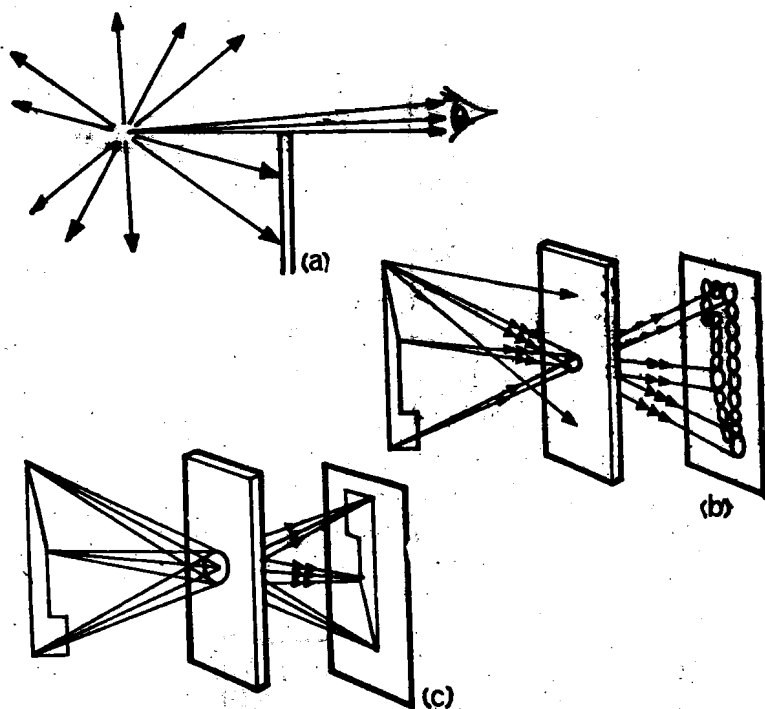


圖 1 (a) 光在一直接線上沿光線行進，且被不透明物體所阻擋；(b) 光線穿過一小孔而形成一物像；(c) 由一透鏡造成清晰物像。

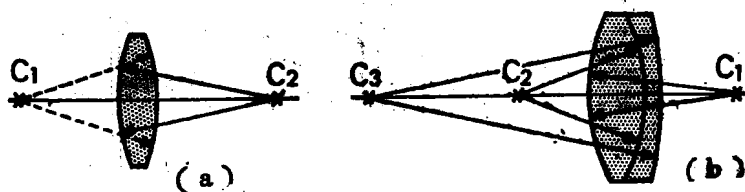


圖 2 (a) 由兩個球面表面組成一簡單透鏡；(b) 在一組合透鏡中各表面的心均在一直線上，此直線即此透鏡之軸。

物·像之焦聚

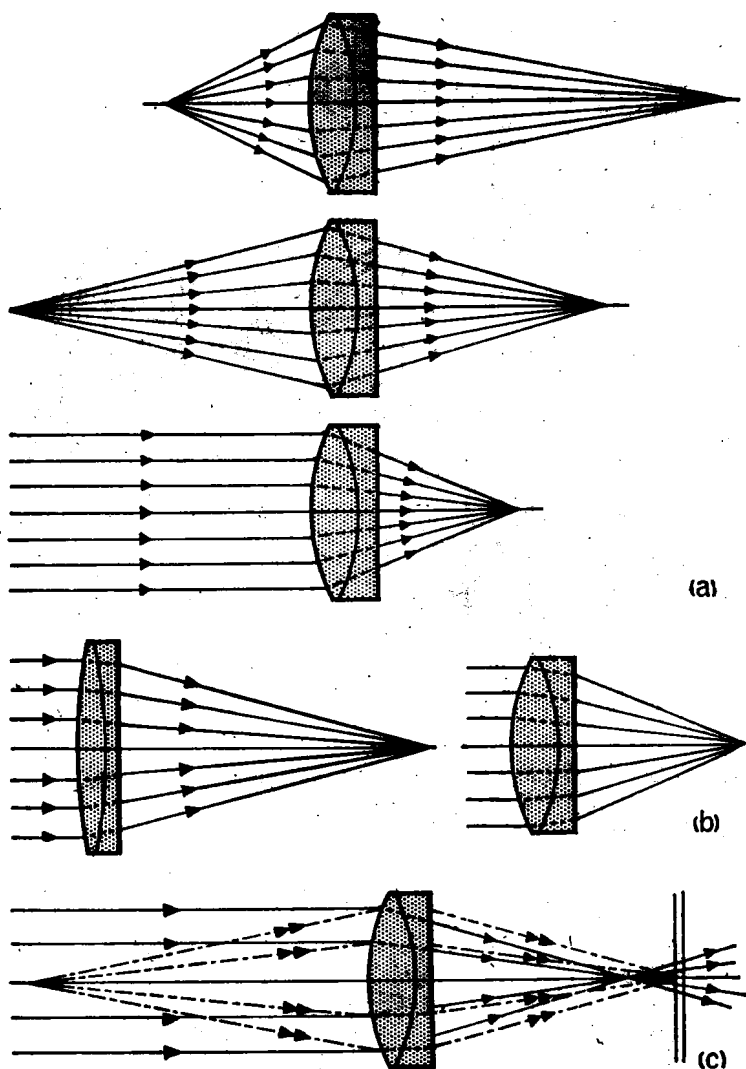


圖 3 (a) 物點移遠透鏡，則物像點朝透鏡移近；(b) 變更一透鏡之形狀，則焦距變短；(c) 在焦點內一物點而來之光聚集在物像平面內。由其他物點而來之光則聚集在此平面之前或之後。

(focal point)。該透鏡之彎曲能力愈大，則焦點愈靠近透鏡。

由透鏡至焦點之距離為該透鏡之焦距 (Focal length)。一透鏡之重要特徵即其將光彎曲之本領，且可由其焦距測定之。焦距愈短，該透鏡之彎曲本領愈大 (可能尚有一種透鏡能使光線發散而不是會聚，詳情見以後各章)。

由上述定義中，有關透鏡焦點位置之測定部分還有些含糊不清。此最後“玻璃至空氣”表面並非總是測定它的適當基礎。在下章中有更正確的定義，對透鏡的性質要詳加討論。

第五節 物像及焦聚 (Image and Focusing)

今討論在透鏡前之任何物點 (object point) 由該物點發送光線至透鏡。此等光線之發散一旦被固定，則由透鏡至該點的距離亦被決定。結果由透鏡發射光線的會聚被單獨決定，且因之決定相當於特定物點之焦點位置。

此事實之一結論為焦點或物像點，相當於透鏡前所有衆多發光點，並非全在同一平面內。今在照片中任一特殊基素在點上有其明顯清晰的物像，即由該點而來之光線均聚於其焦點上。故若射到一感光底片或膠片上，則在該位置上收到景色之若干基素的清晰物像。調節透鏡及底片之位置，於是相當於此基素之物像點將呈現在此底片上。如此調節稱為透鏡之焦聚，即謂透鏡焦聚於此等特殊基素上。物點均在焦點中。

當透鏡焦聚於某一組點或一組物標上，如此則由各該點而來之光線均被彎曲而再度會集於感光底片或膠片上，於是所有由其他各點而來之光線不是會集在底片之前便是在其後，故在底片上形成小而尺寸鮮明之光斑。其他物標或點則落在焦點外，如圖 3 c 所示。

第六節 焦點之深度 (Depth of Focus)

當一物標在一毛玻璃座屏表面 (ground-glass surface) 或屏幕，或一照像底片上焦聚，於是其物像最為清晰且明顯。當該物標超出此焦點，則此物像甚為擴散，雖為一法則但並無特殊興趣。但有一間接範圍，在此範圍內為令人滿意的清晰標準，雖然此時之物像未必完全纖毫畢顯。因令人滿意之物像性質有某程度的範圍存在，故謂透鏡有一焦點深度，俗稱“景深”。至於焦點深度之正確限度或令人滿意的品質範圍端視若干因素為轉移，此等因素將在以後各章中詳述。