

高等学校教学参考书

摄影学与 航空摄影学

胡宏偉編

測繪出版社

高等学校教学参考书

摄影学与航空摄影学

胡宏偉 編

測繪出版社

1958 • 北京

前 言

一、本書系參考我國和蘇聯測繪專門學院航空攝影測量系五年制本科攝影與航空攝影課程的教學大綱編寫而成，以作該專業系的教材之用。另外還可作為航空攝影與航空攝影測量工作者的參考書籍。

二、本書雖包括攝影與航空攝影兩個部分，但在內容上並未完全劃分，除了因二者在實施過程中所使用的工具和所處的具体條件不同而列出地面攝影與航空攝影兩專章來分別論述外，其餘均系混合編寫，以免重複並便保持系統完整。

三、本書取材方面是理論與實際並重，尤注意於它和航空攝影測量（航測綜合法）及立體攝影測量三專業課程之間內容的聯繫。

四、本書付印之先雖經多次試教，一再修改，但因編者理論水平有限，實際經驗不足，謬誤之處，在所難免，敬希使用和參考本書的同志隨時指出，以便修正。

五、本書編寫時主要參考書有：

攝影學與航空攝影學	Я. В. Михайлов
城鎮航空攝影測量學	М. Д. Бонч-Бруевич
航空攝影	А. И. Евсеев-Сидоров等
天然色攝影學	Andreas Fieninger
攝影的理論與實用	L. P. Clerc
攝影化學	К. И. Мархилевич等
基本攝影學	War Department of America
攝影光學	盛爾鎮編譯

六、本書曾請陳賢鏗同志校閱，在某些章節上他提出了一些寶貴的意見。又高差儀和迴轉儀穩定裝置兩段的材料系由蔡俊良同志供給，統此致謝。但迴轉儀穩定裝置因目前掌握資料極少，故僅能敘述其基本概念。

胡宏偉 一九五八年六月

目 录

前 言	2
第 一 章 緒 論	7
§ 1 摄影学与航空摄影学研究的对象	7
§ 2 摄影学与航空摄影学的发展简史和发展远景	7
第 二 章 <u>摄影的一般概念</u>	12
§ 3 构像过程	12
§ 4 影像处理过程	18
第 三 章 摄影机的镜头和镜头的光学问题	20
§ 5 镜头的组成	20
§ 6 组成镜头的透镜种类	20
§ 7 镜头的焦距	21
§ 8 光 阑	22
§ 9 快 門	24
§ 10 镜头的相对孔径和透光力	28
§ 11 光通过镜头后的损失与光在像面上的分配	30
§ 12 镜头结像的模糊圈	34
§ 13 镜头的景深	35
§ 14 镜头的过焦点距离	39
§ 15 镜头的景角和景场	41
§ 16 镜头的像角和像场	43
§ 17 镜头的分解力	44
§ 18 镜头的构像误差	46
§ 19 几种常用的镜头	56
§ 20 镜头的清潔和保存方法	59
第 四 章 光化学反应	61
§ 21 光化学反应的一般概念	61
§ 22 光的辐射能量	64
§ 23 光的量子論	66

§ 24 摄影的光化学反应	69
第五章 摄影材料的特性	75
§ 25 感光乳剂的种类	75
§ 26 感光乳剂的增感	76
§ 27 安全灯	83
§ 28 阴片的黑度及其测定方法	84
§ 29 黑度与受光量的关系	90
§ 30 露光宽容度	93
§ 31 黑度与显像时间的关系	95
§ 32 反差和反差系数	99
§ 33 感光度	104
§ 34 光量	110
§ 35 银盐颗粒和乳剂的分解力	113
§ 36 摄影材料的伸缩率	116
§ 37 摄影材料的保存	118
第六章 摄影材料的制造	119
§ 38 乳剂的制造	119
§ 39 干片的制造	122
§ 40 软片的制造	123
§ 41 印像纸的制造	124
第七章 滤光片	126
§ 42 光的成分	126
§ 43 物体的颜色	127
§ 44 滤光片的种类及性质	127
§ 45 滤光片的应用	128
§ 46 滤光片的构造	133
§ 47 滤光片应具备的性能	135
第八章 地面摄影	137
§ 48 地面摄影机的种类	137
§ 49 大型摄影机的用法	137
§ 50 手提摄影机的用法	140
§ 51 影像的结构	145
§ 52 室外摄影法	147
§ 53 室内摄影法	150
§ 54 摄影的露光因素	152
§ 55 露光时间的取决方法	156

§ 56 运动物体的摄影	162
第九章 航空摄影	167
§ 57 航空摄影的目的和航摄像片应具备的一般条件	167
§ 58 大气光学条件	168
§ 59 航摄像物的光谱特征	182
§ 60 航空摄影的飞机	186
§ 61 航空摄影机	192
§ 62 航摄软片应具备的技术条件	229
§ 63 航空摄影的种类及方式	230
§ 64 航摄像片的地形截幅	233
§ 65 航空摄影任务书和航空摄影计划	236
§ 66 航空摄影的实施	245
§ 67 对飞行的技术要求	261
第十章 藥液的調配	271
§ 68 藥品的鑑別及貯藏方法	271
§ 69 溶液的种类和溶液的溫度	272
§ 70 水的不純性和清潔方法	274
§ 71 溶液的配合	275
第十一章 陰片处理过程	277
§ 72 显像理論	277
§ 73 显像液的組成	280
§ 74 显像剂	282
§ 75 加速剂	287
§ 76 保持剂	290
§ 77 节制剂	292
§ 78 显像液的处方	293
§ 79 显像液的溫度与显像時間的关系	297
§ 80 显像液的消耗	299
§ 81 航攝軟片的显像	299
§ 82 特种显像法	302
§ 83 湿版显像法	307
§ 84 定影的目的和定影藥剂的作用	308
§ 85 定影液的种类	311
§ 86 定影的时间	314
§ 87 定影液的力量	315
§ 88 定影液中提煉銀的方法	316

§ 89	水洗的目的	317
§ 90	水洗的方法	318
§ 91	硫代硫酸鈉含量的檢查法	320
§ 92	陰片的干燥	321
§ 93	陰片質量的評定	322
§ 94	陰片的減薄与加厚	328
§ 95	減薄的方法	329
§ 96	加厚的方法	333
第十二章	印像	337
§ 97	陽像反差与景物反差一致的条件	337
§ 98	印像紙的种类及性能	340
§ 99	接触印像法	344
§ 100	投影印像法	346
§ 101	印像紙显像的显像液	349
§ 102	印像紙的干燥和加光	350
§ 103	陽像的調色	351
§ 104	特种印像法	353
第十三章	复照	358
§ 105	复照原圖的种类	358
§ 106	复照攝影机	359
§ 107	复照的技术	361
第十四章	天然色攝影	364
§ 108	天然色攝影的方法	364
§ 109	三層乳剂的天然色攝影法	366
第十五章	影像的缺点及补救方法	379
§ 110	陰片与陽像的缺点及其补救方法	379
§ 111	陈旧印像紙的补救方法	392
附录		
一、	領航記錄表	393
二、	冲洗記錄表	394
三、	航攝成果評定表	395
四、	航攝鑑定表	396

第一章 緒 論

§ 1. 摄影学与航空摄影学研究的对象

攝影系利用光学上透鏡的構像原理、感光物質的光化学反应以及受光物質即感受光綫之后的感光物質的还原作用以制成与景物畢肖的影像。航空攝影則是从飞机上利用攝影机来取得地面景物的影像，以之用于測繪地圖和供軍事上的需要。攝影学与航空攝影学即系研究这些工作的理論与技术的学科。

§ 2. 摄影学与航空摄影学的發展簡史和發展远景

(一)發展簡史 利用感光物質感光变色的化学原理可以構成影像的这一技术，早在1800年便已被当时的科学家所發現。其法系將硝酸銀塗佈于一紙上，在其上复以树叶，于日光下露光后，紙上即現树叶之像，但还没有發明定影藥剂用以定影，故影像随即消失。

延至1827年，法人尼泊斯(Neipce)利用溶于揮發性油質中的土瀝青以塗佈于一石板上或金屬片上，然后再裝入一中开小孔（起透鏡作用）的暗箱內，露光六小时后，再用拉文达油浸洗之，受光之处，土瀝青即失其溶解性而硬化，未露光之处，土瀝青即被溶去，結果得一景物之模型，是为今日攝影制版技术和利用攝影机攝影的創始。

1839年，英人福克斯塔布尔(Fox-Talbot)以碘化銀塗于紙上，在暗箱內进行大約半小時的露光，并以食鹽水进行定影，影像可以不致消失，是为定影的首先發明。到了1840年，福氏更發明了將露光約三分鐘影像不显的碘化銀紙浸于焦性沒食子酸溶液內进行显像，則影像即可显明現出，与今日的陰片相类似。再將此紙重合于另一未露光的碘化銀紙上，在原紙背后照以光綫，經過显像則可于此被重合之紙

上得到黑白与原紙相反之像，即类似于今日的陽像，是为显像和印像的首先發明。

俄国的攝影技术的發展，开始于1839年，但由于俄罗斯学者的技术傑出，在1843年間，C. Л. 連維契友便因为用碘化銀攝影的成績特殊而获得了世界上第一枚的金星攝影獎章。此后十余年，在攝影科学的發展上，俄国的学者們还曾有过一系列的鉅大貢獻，但由于得不到沙皇政府的支持，以致沒有被推广，或者是遭到埋沒。

1851年，阿寇(Archer)發明了与現今所使用的相类似的湿版攝影法，露光時間只需十秒鐘，創湿版攝影的先声。其后許多学者都繼續进行了研究，在1864年間發現了碘化銀棉膠乳剂中如含有溴化銀，則感光速度便可增快，露光時間只需十五分之一秒，且可于片面干燥后进行露光，是为干片的首創。

1864年后，攝影乳剂的制造續有改进，跟着便發明了类似現在色盲片的溴化銀干片乳剂，感光速度可达五十分之一秒。

干片乳剂的制造，对攝影技术的發展虽起了鉅大的作用，但它仅能对短波光綫有强烈的感受性，对長波光綫如紅光及黃光則感受極微，甚至沒有感受性，故尚不能得到与人眼相适应的景物的影像。1873年，福格尔(Vogel)發明了在該項乳剂中加入一种色素，便可使乳剂感受長波光綫，并能增加其感光速度，快的可达一千分之一秒，而正色片与全色片便于此时开始創造了。

1880年間，在埃及布尔根举行了一次国际攝影展覽会，在該会上陈列了有6000張像片，当时規定只有一枚金星獎章獎給其中最优秀一張的作者，但評議的結果，評議委員們均認為其中有兩張像片都是應該得獎的，后来打开作者的姓名包一看，這兩張像片都是俄国的攝影家A. O. 卡連里一人所攝的。这里便可說明俄国攝影学者的声誉在当时的国际上是如何的崇高，他們在这一科学上的成就是如何的傑出了。

1886年，俄国的科学家A. M. 柯瓦可和Л. H. 什維利契夫曾先后

在高出地面2500公尺的气球上向地面进行摄影，为后来的航空摄影测量开辟了道路。从此以后，不但乳剂的制造日有改进，感光速度的增快已很惊人，摄影科学使用的领域，也日益广泛了。

1898年，俄国的摄影测量家P. Ю. 奇列发明了七镜头的航空摄影机，一次可摄取广大的地面。与此同时，其他许多国家采用了奇列的理想，也制造了许多与此类似的航空摄影机。

意大利的波罗(Porro)教授和德国的柯培(Koppe)教授在同一时期内发明了用摄影的镜头来测量影像的方法，这样便可消除镜头畸变差对量测精度的影响。这一发明，对摄影测量起了很大的推进作用，以后把这种理论称为波罗-柯培原理。

跟着上述发明之后，俄国的A. Ф. 莫惹依斯基工程师发明了飞机，为航空摄影创造了实现的条件，因而在1909年及1910年曾先后在意大利及俄国开始了航空摄影。1913年，俄国的B. 波奇上校便制造了世界上第一个半自动的软片航空摄影机。

时至今日，在各种科学上使用摄影技术的有天文上的对星球摄影，可将距离我们为 10^{22} 公里，光线要经过千百万年才能达到的星球摄成影像以进行研究、有考古学的摄影、有印刷上的摄影制版、电影片及幻灯片的摄制、军事上阵地及敌后情况的摄影侦察、陆地或空中的摄影测量、林业或矿业的摄影勘测和医疗上的摄影诊断等。所以不论在科学研究上、文化上、军事上、卫生工作上和经济建设上，摄影学与航空摄影学都有着重大的价值。

应该指出，在社会主义国家的苏联，由于社会制度的优越，科学发展最为神速，在摄影材料的制造上和摄影技术的改进上更是日新月异，特别在镜头的技术改造方面有着辉煌巨大的贡献。近来更研究了从数量分析上去判别影像质量的方法，在摄影科学应用的领域上，也是日为广泛，将来的发达，更是不能加以估计。

我国在反动政府时代，对科学研究工作，向不重视，过去虽有許多优秀的摄影工作者，在这門科学的干片和湿版摄影研究上，有了一

定的心得和成績，但也沒有得到推廣。一切攝影器材，也都採購于資本主義國家。故除了一般欣賞性和商業性的影像的攝影以及反動政府為了進行反革命戰爭利用航空攝影攝制極少地區的軍用圖外，在攝影科學的實際研究和實際應用上，再也談不上有什麼別的。革命勝利後，由於政府的扶植、重視和蘇聯的熱心幫助，現已有了許多能夠製造優良攝影材料的工廠，如公元工廠和七星工廠等。有許多優秀的科學工作者正在政府的領導下對這一科學進行廣泛而深入的研究，並已取得了很大的成績。在應用領域方面，也正在逐步推廣，將來的發展，是一定會蒸蒸日上的。

(二)發展遠景 隨着物理學與化學的發展，攝影學與航空攝影學這幾年來更開辟了新的紀元，而且正走向新的途徑。例如以三層乳劑的天然色攝影代替過去的正色攝影(即黑白攝影)，不但表達了景物的原始顏色，增加了影像的美觀，特別在影像判讀上有着更重大的價值。兩層乳劑的光譜帶攝影一方面能將一種可見顏色表達於影像，另外還能表達目不能見的紅外光景物的影像，在軍事偵察上，和科學研究上更作出了特殊的貢獻。此外如雷達攝影，它可不要照明進行攝影，這便不受天時的限制，惜乎目前影像分解力太低，只能供軍事上應用，尚不能借以測繪地圖。還有電視攝影，只須在飛機上裝置電視攝影機和電視發射機等，地面上的景物被電視攝影機攝取後即可借無線電波傳送到地面的電視接收機，人們便可在螢光屏上看見所攝的影像，可節省許多攝影材料。所有這些，在軍事上也都有重要的價值。

目前在航空攝影量測工作上測得的外方位元素，還很不精確，這就影響了成圖的精度。除了精度受到影響以外還會因有些外方位元素太大会增加測量工作的麻煩，儀器的使用範圍也就受到限制。例如像片傾斜角 α 如果很小，則糾正的步驟便可省略，而且也可在任何主距的全能法儀器上測圖。航高差 ΔH 如果太大，就會影響立體觀察，也甚至在有些儀器上不能作業。因而如何來精確的測定航攝像片的外方位元素及如何將有些外方位元素控制最小是目前亟待解決的問題，而

且有些已經解決。例如在航空攝影時利用最新式的精密的迴轉儀穩定裝置來使航攝機保持水平，可使像片傾斜角控制在 $13'$ 以內，平均可達 $10'$ ，這種像片基本上已可作為水平像片看待，現在還要求能達到 $1'-3'$ 。關於攝影站的空間位置，現在利用雷達測高儀測定的精度當航高大于 3000 公尺時已經很高，但航高很低時，精度尚歉不夠，現在要求設計新的測高儀其精度能達到 1—1.5 公尺。測定航高差 ΔH 的新式高差儀其精度已可達 1 公尺，因為氣壓面與水平面不一致的關係其精度已無法再行提高。關於攝影站的平面坐標 X 和 Y ，現在也正在利用雷達定位的方法來測定，其精度只能達 10—15 公尺，有待迅速提高。

由於特寬角鏡頭的分解力目前還不很高，像片邊緣只有 8—12 條/公厘，中心只有 25 條/公厘，這就不能滿足高精度儀器的要求。例如立體坐標儀本身的精度可達 0.005 公厘，由於像片分解力太低的關係，實際只有 0.03 公厘。另外由於鏡頭的分解力太低就沒有發揮攝影乳劑的分解力，同時也就不能以小比例尺的像片放大來制大比例尺的地圖。假如鏡頭分解力提高了，那麼像比例尺與圖比例尺的關係將會有一個根本性的改變。瑞士威爾特工廠近來出產一種特寬角鏡頭，中心的分解為 40 條/公厘，邊緣為 25 條/公厘，蘇聯也已製造了這種分解力的鏡頭，但要求還要更能大大的提高，否則它就會阻礙航空攝影測量事業的發展。

今后的航空攝影飛機，將由低速度的螺旋槳飛機發展為時速 900—1000 公里的噴氣飛機和時速為 1500—2500 公里的歼擊飛機，因而除了乳劑的感光度要高以外，快門的速度便要求更快。目前德國的蔡司工廠出產的一種中心快門其最大速度為 $\frac{1}{1000}$ 秒但還要求能更高一些。

儘管攝影與航空攝影科學已有了很大的發展，但總的說來，目前的情況還是航空攝影儀器的發展落後於航空攝影測量儀器的發展，而航空攝影又是航空攝影測量工作中首先的而且也是最主要的一個環節，它關係整個測量工作的精度、速度和成本，因而也就對攝影與航空攝影的發展提出了新的最迫切的要求，這也是航空攝影科學的使命。

第二章 攝影的一般概念

§ 3. 構像過程

攝影工作按其步驟性質來說可分為兩個過程。第一個是構像過程，即是採取那些措施才能够在攝影材料上得到清晰的影像。第二個是影像處理過程，因為經過第一個過程所得到的影像，我們眼睛還看不見，稱為潛像，還須採取一些化學處理的措施，使影像显露和穩定。現在來敘述一下第一個過程中的幾個步驟和影像與物體的一些關係。

(一)攝影機的基本構造 攝影時為了要能在攝影材料上構成影像，首先便須有一個攝影工具即攝影機。下面將攝影機在構像上所需要的幾個主要部分說明一下：

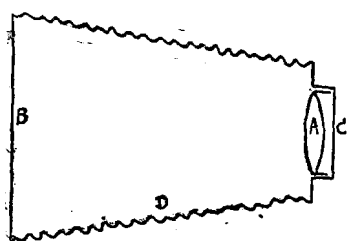


圖 1

圖 1 是一個攝影機示意圖。A 為組成鏡頭的透鏡。B 為感光片，系表面塗有感光物質的玻璃片或膠片，物體發來的光綫，經過透鏡折射后即構像于此片上。C 為鏡罩或快門，快門張開后，光綫才可進入，故稱露光，每次張開及關閉之間所經歷的時間稱

為露光時間。快門常制成為自動的，露光時間需要多少，有一定的調節器可以控制它。D 為具有伸縮性的黑幔，稱為蛇腹，其作用系防止未經鏡頭的光綫，從旁側進入，如果將鏡頭向前後移動以期得到清晰的影像時，蛇腹可以隨之伸縮。

鏡頭后面的部分，總稱為鏡箱。

(二)像距與物距的關係 上面談過，攝影時物體發來的光綫通過

摄影机的透镜后便結像于感光片上。但此时如果要求影像十分清晰，物体至透镜的距离与影像至透镜的距离却須具备一定的关系。

在圖 2 中， L_1L_2 为一凸透镜， C_1 为左边球面之曲率中心， C_2 为右边球面之曲率中心。过 C_1 及 C_2 之联綫称为透镜的主光軸。今有一

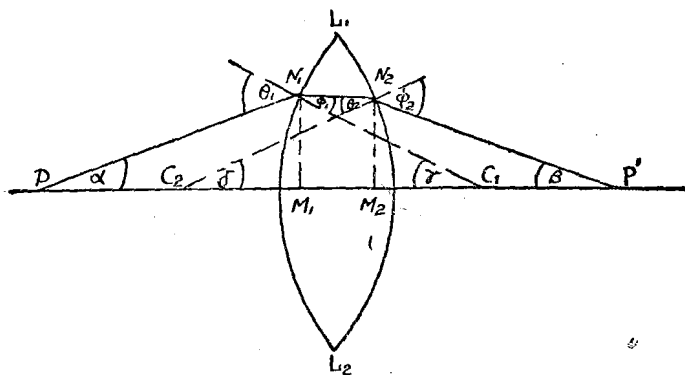


圖 2

点 P 發出之光綫中有一条光綫交透镜于 N_1 ，則 C_1N_1 之联綫即为过 N_1 点之法綫。因为透镜的媒質較空气为密，則折射係数 μ 大于 1，故入射角 θ_1 大于折射角 ϕ_1 。 N_1N_2 为該光綫在此透镜中之折射綫，則 C_2N_2 为过 N_2 点之法綫，而入射角 θ_2 必小于折射角 ϕ_2 ，于是光綫再經折射而交主光軸于 P' ， P' 即为 P 点之像。

由折射定律

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \phi_1} = \frac{\sin \phi_2}{\sin \theta_2} = \mu.$$

当 $\theta_1, \theta_2, \phi_1$ 及 ϕ_2 很小时，上式可以写为：

$$\frac{\theta_1}{\phi_1} = \frac{\phi_2}{\theta_2} = \mu$$

$$\theta_1 + \phi_2 = \mu(\phi_1 + \theta_2) \dots\dots\dots (A)$$

又由圖：

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= \alpha + \gamma \\ \phi_2 &= \beta + \delta \\ \phi_1 + \theta_2 &= \gamma + \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (B)$$

將(B)代入(A), $\alpha + \beta + \gamma + \delta = \mu(\gamma + \delta)$,

$$\alpha + \beta = (\mu - 1)(\gamma + \delta) \dots\dots\dots (C)$$

当透鏡很薄时, N_1M_1 与 N_2M_2 可視為相等, 令其等于 h 。 C_1N_1 及 C_2N_2 分別令等于 R_1 及 R_2 。又因 α, β, γ 及 δ 很小时, 其正弦、正切及弧度彼此相等, 于是得:

$$\alpha = \frac{h}{PM_1}, \quad \beta = \frac{h}{P'M_2},$$

$$\gamma = \frac{h}{R_1}, \quad \delta = \frac{h}{R_2}.$$

又令 PM_1 等于 a , $P'M_2$ 等于 b , 將上列关系代入(C)得:

$$\frac{h}{a} + \frac{h}{b} = (\mu - 1) \left(\frac{h}{R_1} + \frac{h}{R_2} \right);$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (\mu - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

今設 $(\mu - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f},$

于是

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (1)$$

上式称为透鏡的構像公式, a 为物体至透鏡之距离, 简称物距。
 b 为影像至透鏡之距离, 简称像距。摄影时, 如果像距与物距满足上式的关系时則影像才是清晰的。

f 为一常数, 其值則因透鏡的折射係数 μ 及兩曲率半徑 R_1 及 R_2 之大小而定。在(1)式中若 a 值趋近于無限大, 則 b 值等于 f , 意即無限远之物点, 其像之像距等于 f , 故平行于主光軸之一切光綫都交会于主光軸上距透鏡为 f 之一点, 此点称为主焦点, 常数 f 則称为焦距。若 b 趋近于無限大, 則 a 等于 f , 意即物方另有一主焦点, 其至透鏡之距离亦等于 f , 通过此点之一切光綫, 折射后必互相平行, 且平行于主光軸。

与主光軸斜交之每束平行光綫，亦每束均交于一点（見圖 3），这些点均称为焦点，其至透鏡之距离均等于焦距。一切焦点所位之平面称为焦面，故焦面必垂直于主光軸，而物距極远之物体，其像必構于焦面上。

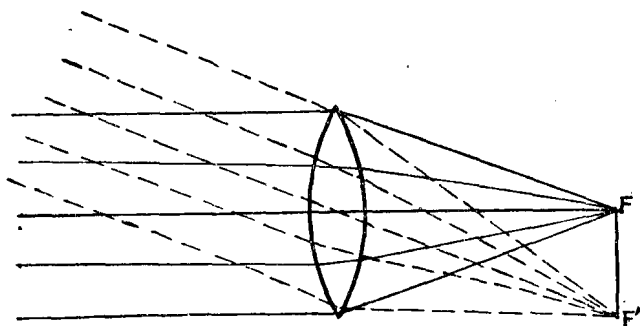


圖 3

又因在(1)式中的 f 为一常数，故当物距 a 值增大时，像距 b 值必然减小，反之亦然，所以在摄影时每一物距，必有一相应的像距以适合之方可得到清晰的影像。在摄影机的制造上，鏡頭的位置是可以前后伸縮的，即是用同时調整 a 和 b 二值的方法，使其一增一減，則像的位置可以固定不动。

攝影时，第一步就要調整像距及物距，但怎样才算調整完善呢？我們在裝感光片的地方裝置有一片毛玻璃，称为檢影板，調整距离时，先將快門張开，对准物体，于是伸縮鏡頭，至毛玻璃上所現的影像完全清晰时，則此时的像距及物距必能符合透鏡公式。这一步工作，在攝影術上称为对光或对焦距。

每一物距的物体，必可得一相应像距的影像，如將物体移至原来的各个影像处，則在原来各个物体处亦可得到相应的影像，因此物与像对于鏡頭是彼此共軌的。每一物距与其相应像距称为共軌距离，任一像点与其相应物点則称为共軌焦点。

(三)影像与物体的投影关系 像距与物距合乎(1)式的关系时已可得到清晰的影像，这时我們再看看它們的投影关系是怎样的。

由透鏡的第一曲率中心 C_1 作任意之曲率半徑 C_1N_1 (見圖4)，再由第二中心 C_2 作平行于 C_1N_1 之曲率半徑 C_2N_2 ，联結 N_1 及 N_2 ，并設其为一入射綫經 N_1 之后的折射綫，它經 N_2 后再折射而入于原媒質中。由折射定律：

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \Phi_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \Phi_2} = 1.$$

但
故

$$\Phi_1 = \theta_2 (C_1N_1 \parallel C_2N_2),$$

$$\theta_1 = \Phi_2,$$

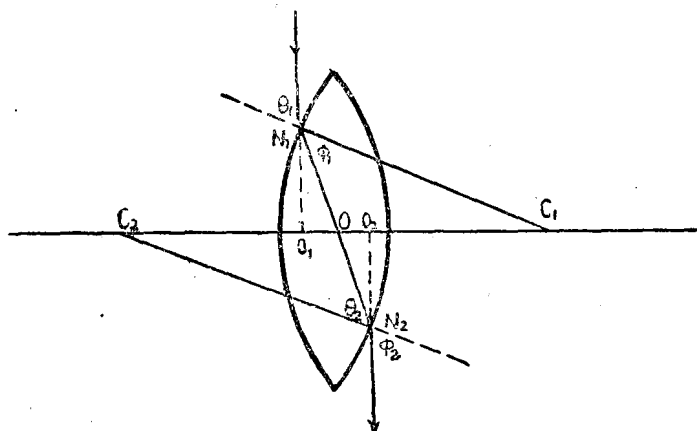


圖 4

即入射綫此时与折射綫平行。延長入射綫及折綫分別交主光軸于 O_1 及 O_2 ， O_1 及 O_2 称为透鏡的节点，故凡射向节点的光綫，折射之后仍与入射綫平行。 N_1N_2 与主光軸之交点 O 称为透鏡中心，透鏡很薄时， O_1 与 O_2 均接近 O 点，可把它們作一个 O 点看待，所以我們認為通过透鏡中心的光綫，其入射綫与折射綫一致，而在單薄透鏡上物距像距和焦距亦均由透鏡中心算起。又因物点的像点，即为通过透鏡中心的