



# 撮影測量學概要

中華民國二十年九月

廣東陸地測量局編印

第一章 導言

處今日之世界，無論人口繁盛與稀少之處，對於精確地圖，均有逼切之需要。但對於此種需要，迄於今尚難完滿供給，蓋製成精確地圖，手續甚繁，需時頗久，而價值甚昂。故吾人在事前須加以考慮，此種地圖，必能滿足其各種需要之條件，始能副精確之名。至其條件則各隨情形而定。一種地圖之精確與其縮尺之標準，實與擬測地區，如沙漠沼澤荒地及寶藏之關係，其價值亦得與俱增也。

普通對於專為軍用小縮尺之地圖所要求者，在能明白表示其地形，如河流實之位置，山嶺層巒，密櫛之處，或為實業發達之國家，或礦產豐富之區，至皆需要大縮尺之圖。其比例尺恆為百分之一，至呈無遺矣。

以今日鏡頭精確之程度，故能應用於陸地撮

影測量之工作。蓋現在之鏡頭可隨所期之焦距，製至十分一米厘之精確。即在不同之鏡頭，亦可使其製成上述之分數。此所以攝影術之用於陸地攝影測量與空中攝影測量當中，而以陸地測量術尤著成效也。

於多山之區，陸地攝影測量較航空測量為優。但為經濟起見，吾人不能到達之地，或山疫瘴氣盛行之區，則可借飛機之功用，求得若干之觀測。故在人煙稀少之處，如欲傾斜攝影時，則空中攝影術最為通用。關於攝影及製圖所需之先決條件，列舉如下：

- (一) 三角測量之基礎
- (二) 攝影器械
- (三) 製圖器械
- (四) 飛機場之設置
- (五) 測量應用之飛機
- (六) 適當之人才

凡欲製攝影測量之地圖，必先有三角測量之預備，如測量標點之規定及標記，不能藉攝影求得者，實為攝影測量第一步之工作。此外無論何處三角測量亦極為重要。

照相器之發明較之攝影測量，自具較久之歷

史。最近有空中攝影器之發明，攝影測量始有極大之進步。陸地與空中照像，俱為數理精確之圖形。在不同二點所撮之像，即可配成空間之實體。且無須顧慮氣候如何，而可在室內製圖。緣所得之實體像，既與實地相同，則對於該圖可如實地中任意測其角度也。

從透視法中，可知吾人欲解決透視圖問題，則應預知各種之要素，如主點、主橫線、主縱線、鏡頭與照片中心之距離是也。既知以上之要素，則可決定任何像點之坐標。將來吾人於攝影測量課程中，尚有許多機會之練習。

往昔由照片而製成圖者，皆須按部就班，逐一推進，今則完全藉製圖機自動製圖。製圖機之主要者，為歐雷爾上尉 (Autograph von Hauptmann von Orel) 發明之自動製圖器，但祇能由陸地照片製成地圖。虎格爾斯賀夫 (Prof. Dr. Hugerhoff) 之自動製圖儀 (Autokartograph)，實為普通最適用之器具。蓋藉此航空陸地之照片，俱可製成地圖也。此外大概相同之器械，如蔡司廠所出之立體製圖儀 (Stereoplanigraph von Zeiss)，虎格爾斯賀夫發明之第二種自動製圖儀 (Aerokatograph)，及威特廠所出之自動製圖器 (Wild-Autograph)，皆頗適用。

應用上述器械，可製五千分一至五萬分一之圖。倘能應用適當之器械，尚可擴大上述縮尺之限。對於測量飛機之要求，當視其地方情形與飛機，須能容納洗等。方法而變更。大抵吾人普通測量約六千公尺，能容納洗等。飛八小時至十小時，飛行高及能貯藏應用材料等。三人至四人，有暗室裝置，指南針，地圖，測量應為重要。片器具，無線電器，攝影測量之先預備良好之三角測。吾人可知攝影測量之精度優良，必先有良好之實體視。欲求攝影測量之餘製圖工作，只由人員之實體視。量而後可。其成效之優劣耳。

## 第二章 攝影測量概史

最近幾年來，攝影測量在測量事業中，實佔重要之地位。蓋其能將照得之物像，經過簡單之方法，即可製成地圖也。

對於此項專門科學，在照相器未發明前，其簡單之情形，已由楮力士 (Zürich) 大學教授林伯德氏 (Lambert) 所探得，故其『無誤差透視論』著作中曾詳論之。

一八五一年至一八五九年，法人勞賽達德 (Laussedat) 從事實際之工作，並將照片第一次製成平面圖，故該氏可謂創作實際工作之第一人。但當時所製之圖形，僅限于建築物及地基等類。迄至波羅 (Porro) 及德國建築家邁登鮑爾 (Myedenbauer) 始從事於攝影測量實際之工作。

其最足述者，自一九〇〇年以後，攝影測量之理論，復由德國多數著名科學家，如朱爾典 (Jordan) 戈培 (Koppe) 史吐母 (Sturm) 豪克 (Hauk) 及芬斯特華路底 (Finstenwalder) 之研究，益臻昌明。

故當時從事此種科學者，皆用簡單攝影測量交會法 (Messtisch Photogrammetrie) 及至蒲路非里斯 (Pulferich) 教授發明立體生標鏡 (Stereoko-

mparator) 應用於立體測量 (Stereoskopie) 更有極大之進步。

上述所謂交會法及立體法攝影測量，直至歐戰之際，吾人始認識其莫大之利益，進而推廣至航空測量，從此攝影測量之成效更較完善。

奧國維也納軍事陸地測量科歐雷爾上尉，(Hauptmann von Orell) 應用立體坐標鏡之動作及計算，因以發明自動製圖之儀器。於一九〇八年在蔡司廠 (依歐雷爾之發明) 製成第一架儀器。

迨一九一八年，凡關於普通測量之問題，俱由虎格爾斯賀夫發明之自動製圖儀以完成之。

至一九二三年，有鮑爾非發明他種式樣製圖儀 (Stereo Planigraph) 一九二五年，威特氏發明威特製圖儀 (Autograph von Wild) 一九二六年，虎格爾斯賀夫改造其原有之儀器為空中製圖儀 (Aerial Autograph) 而後攝影測量之事業，遂蒸蒸日上矣。

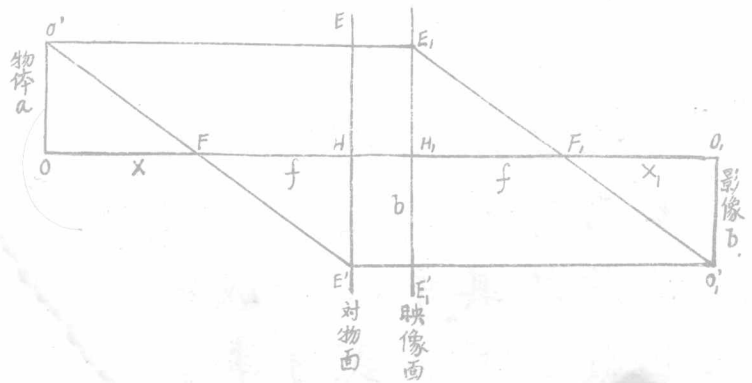
### 第三章 鏡頭之改良

#### 第一節 攝影器之鏡頭

假定攝影器之鏡頭，無誤差之發生，則經過鏡頭所射出及投入之光線，應為直線形。透鏡系統之中心，即應為攝影透視之中心。惟透鏡可視為二平面所組成，一為對物面，一為映像面。則光軸與此二平面之交點有二， $H$ 及 $H_1$ ，即其主點也。

然因普通試驗上，二主平面可疊合為一平面，使二主點併成一點，在攝影系統上求得互等焦距之最簡單式樣。因透鏡前後之空氣，俱為同等之媒介物也。觀圖可知透鏡之像距及物距成相似三角形。

第一圖



$$\triangle FOO' \sim \triangle FHE$$

故  $a:b = x:f$

$$a:b = f:x'$$

得  $x:f = f:x'$

此為關於  $F, F'$

二焦點構像之公式。設以比例尺之分母為  $M$ ,

則  $\underline{\underline{a:b = M:1}}$

由是得  $X$  及  $X'$  之值。

$$\underline{X = Mf} \quad \underline{X' = \frac{f}{M}}$$

再主點與物源之距曰物距，與像點之距曰像距。其關係之方程式如次：

設  $OH = A$  ,  $H, O_1 = A_1$

則  $A = OH = HF + FO = (M+1)f$

$$A_1 = H, O_1 = H, F + F, O = \frac{M+1}{M}f$$

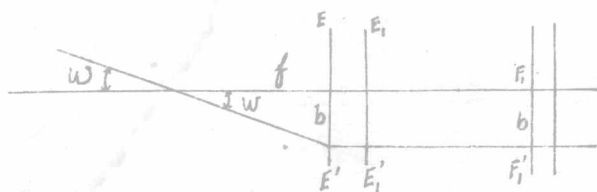
使  $\frac{A}{A_1} = \frac{M}{1}$  得  $\underline{\underline{\frac{1}{A} + \frac{1}{A_1} = \frac{1}{f}}}$

若於無窮遠處在  $W$  角度下所顯之物體，可以下式示之：

$$b = F, F_1'$$

$$\underline{\underline{b = f \tan W}}$$

第 二 圖



此處所謂攝影鏡頭之主點，係將其在一透鏡頂點者於其中心合成一點也。故上述公式，多半常用之。茲舉例以明之如下：

設一鏡頭  $f = 40 \text{ cm}$  , 像須縮小  $\frac{1}{3}$

依公式  $A = (M+1)f$  即  $A = (3+1)40 \text{ cm} = 160 \text{ cm}$

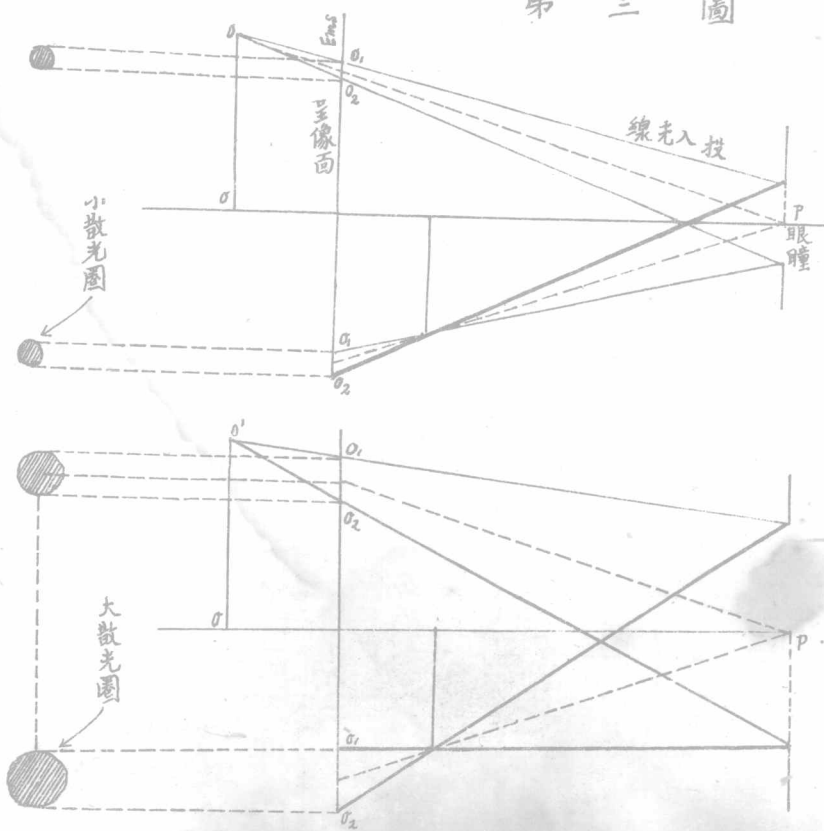
又像距  $A' = \frac{M+1}{M}f$  即  $A' = \frac{3+1}{3}40 \text{ cm} = 53 \text{ cm}$

設須放大其距離，則  $M$  為一真分數，由是  $A$  比  $A'$  較小。

第二節 景深及景像 (Tiefe und Perpeklive)

設物體有一終止之景深，則於感光片上便有景像之表現，即物體之構像合乎比例尺是也。若鏡頭組織為有限之光孔，物點僅於呈像平面 (Einstellebene) 內，有明確構像之可能，在呈像平面前後所現之物像，不復為點而為散光圈。(Zerstreuungskreise) 至散光圈之大小，則與光孔 (Eintrittspupille) 之距離及大小

第三圖



有開，假定鏡頭固定不動，縮小光孔，則散光圈便為之縮小矣。散光圈全徑小至目力尚可能辨者，此像始稱為明晰。若由散光之點為一實點。

其理與每一攝影，須求中心投影者同。此情形常見於普通攝影測量。設呈像面位於無窮遠，依公式：

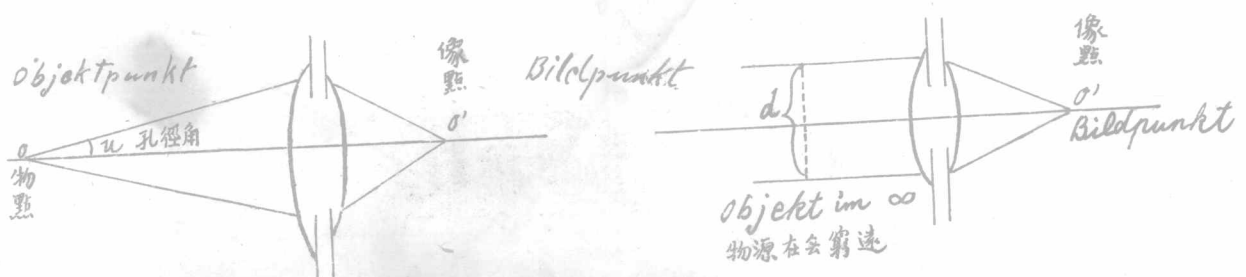
$$b = f \operatorname{tg} \omega \quad \text{則像距與焦距相等}$$

空間深遠景物之攝影，其投影作用之理，於攝影測量學上極為重要。即現在吾人攝影，以圖解或機械法，從二不同之立腳點，所照空間深遠景物，複製成可靠比例尺之圖者，皆賴其助也。

### 第三節 感光 (Beleuchtung)

攝影器鏡頭之透光力 (Lichtstärke) 其於空中攝影有重大之關係。質言之，凡一攝影感光之強度，端賴曝光時間及鏡頭孔徑比例為如何也。吾人試於中心系統及垂直於主軸之一光源上思之，所有投射過光孔之光線，其數目概可從孔徑角 (Offnungs-Winkel) 正弦之平方量得之

第四圖



Belichtungsstärke 感光力  $J = \sin^2 u$

$u$  為由物點射入光孔光線之半角。

設將物源向遠處移動，則實際上光孔僅有平行光線通過，由是透光力可用  $(\frac{d}{f})^2$  表示。

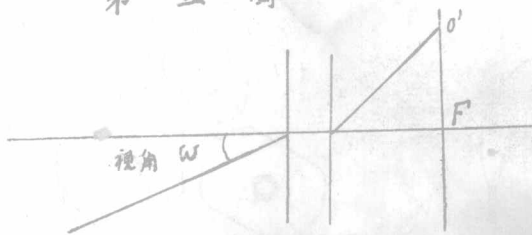
$$J = \left(\frac{d}{f}\right)^2 = \left(\frac{\text{光孔全徑}}{\text{系統上焦距}}\right)^2$$

分數  $(\frac{d}{f})$  表明孔徑與焦距之比(相對孔徑)普通化分子為一之分數以表之，如 1:4.5 ; 1:6.3 等類。

上示透光力之公式，於實際究不完全符合，須知光線經空氣而達於鏡頭，所配合之有限平面，其間有散失者，有屈折而反射者，有為空間所吸收者。惟因攝影時光線不經鏡頭而反射散失者為量甚少，故吾人在法則上可以孔徑之比例為鏡頭透射平面之定數也。

攝影鏡頭前所投射光線之情形，非僅有主軸成平行之光線，亦應注意其有斜射者。即物源光線之投射成一角度(視角)也。(如第五圖所示)

第五圖



故對透光力可加入一視角  $w$ ，為充分之接近數，如下式求之。

$$J = \left(\frac{d}{f}\right)^2 \cos^4 w$$

由上式推論之，可知透光力因視角  $w$  之傾斜，及乾片邊緣之透光力，為之銳減。當其俯角在  $33^\circ$  時，則乾片緣邊透光力之作用，僅有中央所射透光力之半。

#### 第四節 節光片

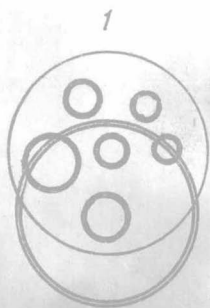
孔徑比例及感光時間，在攝影方法上有一定之關係，

$$\left(\frac{d}{f}\right)^2 \times T$$

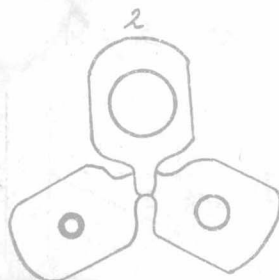
即孔徑比例(相對孔徑)之平方乘感光時間，以定乾片變黑之程度。若孔徑比例縮小一半，感光時間須四倍之。孔徑比例之選定，係以節光片在可能之範圍內，隨意定之。節光片在製造上約分數種如下圖：

第 六 圖

Rotationsbende  
輪轉式節光片



Schieberblende  
推移式節光片



Irisblende  
虹彩式節光片



在普通常用最久者，為輪轉式及推移式二種，但近日應用最廣者為虹彩式。

### 第五節 光行差

於此先論及關於色行差 (Farb-Fehler) 透鏡製造之材料，其主要者名曰光學鏡，此鏡之製造，於光學上之要件，在屈折力之均勻，及色行差之消除。光線屈折，可由黃色光線之屈折率量得之，其關係式如下：

$$\text{屈折率} = \frac{\text{空氣內黃色之光波長}}{\text{鏡內黃色光之光波長}}$$

通用之玻璃屈折率之變動在 1.49 與 1.65 之間，惟顏色之分散不同，則屈折率因之而有增減，但由紅光變至青光，則為較短之光波，普通光線則較長。故光線傳播能力 (Zerstreuungsvermögen) 之定義為：

$$\text{傳播能力} = \frac{\text{由紅至青屈折率之差}}{\text{屈折率} - 1}$$

無窮遠來之光線，經過透鏡依其屈折率而各異其焦點。設紅光線之焦點為  $F_r$ ，青光線之焦點為  $F_b$ ，紅光線焦點  $F_r$  其光學中心之距離 (焦距) 可由下式計得之。

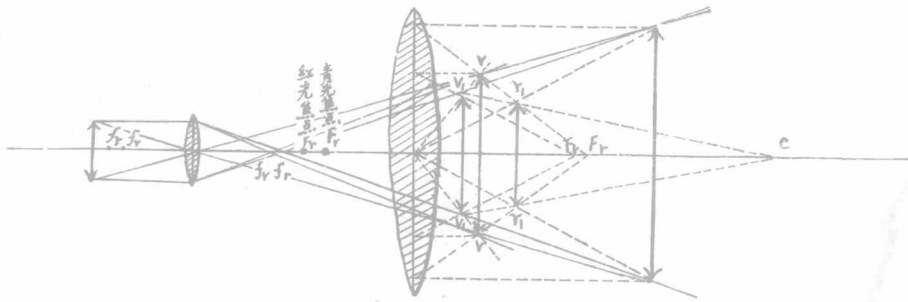
$$\frac{1}{f_r} = (n_r - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

式內  $f_r$  為紅光線焦點之焦距,  $n_r$  為其屈折率。

[按]  $R_1, R_2$  為雙凸透鏡兩面之曲率半徑。  
紫色光之計法亦同此例。

### 第七圖

Achromatische Linse 無色行差之透鏡

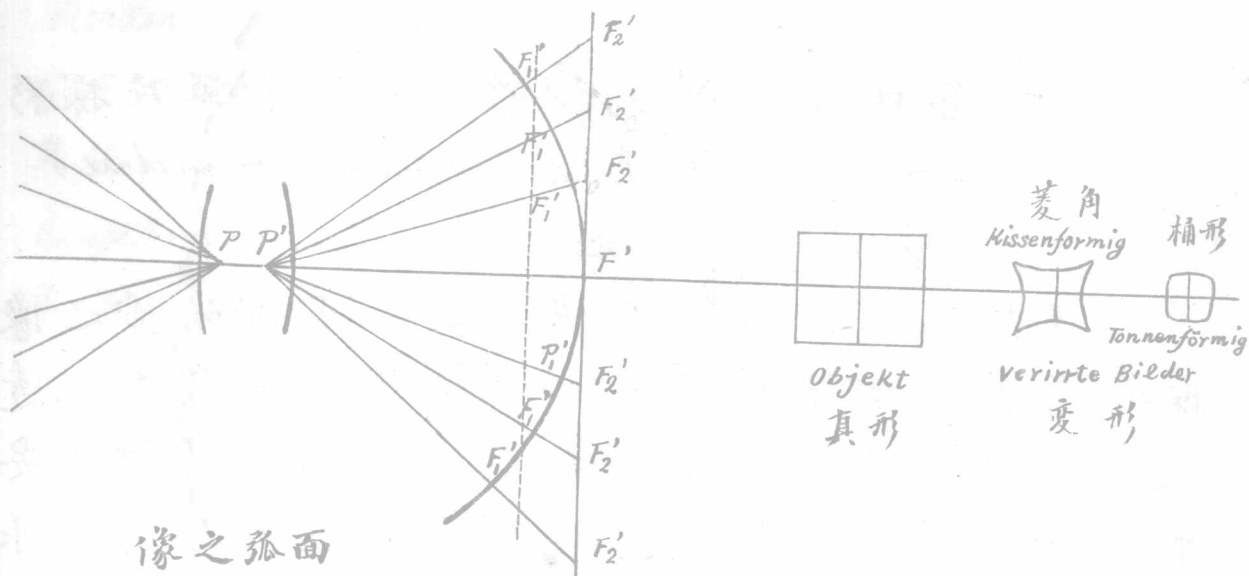


欲消去色行差,則須製造無色行差透鏡,即此種透鏡須用冕號玻璃(Chromaglas)之凸透鏡,及火石玻璃(Flintglas)之凹透鏡(Konvexlinse),連合組成,或由雙凸透鏡組成之。

其次尚有縱橫差,即所構之像,呈扭曲之狀也。第八圖所示,係其所呈之狀態,投射之諸光線,其焦距離約為等大,故各光線之構像點不在  $F_2'F_2'$  同一之像平面內,乃在  $F_1'F_1'$  球面之弧面上。此種誤差,可由節光片節制其邊部光線,則此誤差可減至極小。

### 第八圖

(有縱橫差透鏡所成之現象)

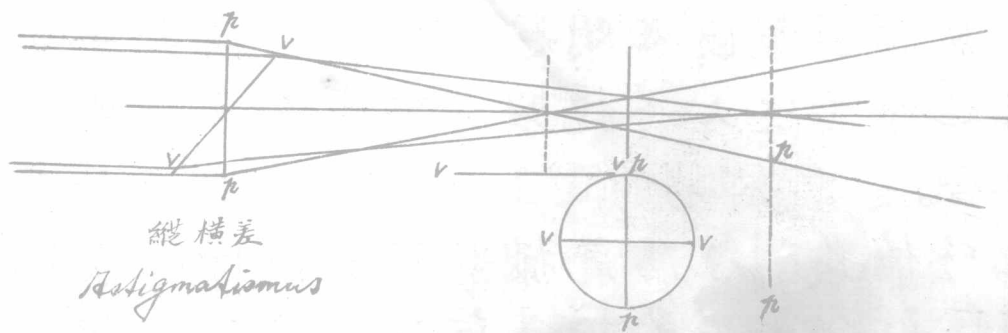


像之弧面

*Bildfeld Rummung anastigma Fischer Objective* 縱橫差透鏡所成之像之弧面

在像之中部，尚須注意球行差 (*Sphärische = Aberration*) 所引起之誤差，其原因由無數平行射入之光線，所截之焦點，非同在一點故也。此種現象亦可由節光片改正之，較佳之法，係以二透鏡使其凹面相對，而位節光片於其間配合而成，即可免除此弊。此種組成之透鏡，曰速直透鏡 (*Aplanase*)

第九圖 (縱橫差)



縱橫差  
*Astigmatismus*

## 第四章 攝影物體之複製 [單片攝影測量] (*Emplattenphotogrammetrie*)

### 第一節 原理

設攝影器之鏡頭無誤差之發生，則所攝之像即為真確之景像，於攝影測量所規定無誤差之透鏡，在今日製造完全之工廠，殆均能滿足此種之要求。此類鏡頭係由多數透鏡所組成，投射之光束集於透鏡系統之前主點，復由後主點於同一角度下射出，透鏡之主點可視為投影之中心 (*Projektions-Zentrum*) 構成物體之實像之平面，曰像平面。平面之位置，距投影中心，謂之像距，但攝影器普通像距等於焦距，鏡頭主點投影于片上者，即像主點也。又鏡頭主點與像主點之聯線曰攝影軸，(或稱主軸) (*Aufnahmeache*)。

假令景像內部條理(秩序)不變，則像之投射必集合在垂直於攝影軸之平面，而構成物體之實像。於是單片攝影製圖之問題，可用圖解法或計算法以解決之。惟普通上二鏡頭主點成為一點與鏡頭中心疊合。

地形攝影測量，應用攝影經緯儀，即為攝影器與經緯儀所合成之器械，其乾片緣邊有回記號，