

# 地形測量學

上册第五分册

布 拉 諾 夫、彼 特 羅 夫 合 著  
伊 茲 烏 依 洛 夫、特 羅 伊 茨 基  
斯 洛 博 德 奇 科 夫 總 編  
地 質 部 教 育 司 譯

地質部南京地質學校印

# 目 錄

## 第十三章 航空攝影工作..... 1—48

|                              |    |
|------------------------------|----|
| §168. 概論 .....               | 1  |
| §169. 航空攝影機的物鏡 .....         | 4  |
| §170. 航空攝影機內影像的構成 .....      | 7  |
| §171. 攝影的種類 .....            | 9  |
| §172. 路線航空攝影和面積航空攝影 .....    | 12 |
| §173. 地形綜合測量法 .....          | 14 |
| §174. 近似垂直航空攝影的計算 .....      | 15 |
| §175. 野外航空攝影工作 .....         | 20 |
| §176. 空中攝影工作 .....           | 21 |
| §177. 航空攝影機 .....            | 24 |
| §178. 測定攝影高度和像片傾斜角用的儀器 ..... | 29 |
| §179. 航空攝影時的露光 .....         | 31 |
| §180. 野外攝影作業室的工作 .....       | 34 |
| §181. 野外攝影測量工作 .....         | 39 |
| §182. 對飛行質量的要求 .....         | 43 |

## 第十四章 透視原理和航空像片解析的簡述..... 49—105

|                              |    |
|------------------------------|----|
| §183. 點和直線的透視 .....          | 49 |
| §184. 中心投影的基本要素 .....        | 53 |
| §185. 透視像片上基本點綫之間的關係 .....   | 55 |
| §186. 直線的透視影像 .....          | 57 |
| §187. 透視方格網的構成 .....         | 60 |
| §188. 依據直線的透視在物面上直線的構成 ..... | 63 |
| §189. 角在透視中的構成 .....         | 65 |
| §190. 平面透視相應的條件 .....        | 66 |
| §191. 單比和複比 .....            | 69 |
| §192. 投影性和直接變換的概念 .....      | 73 |
| §193. 像片上點的平面位置的確定 .....     | 75 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| §194. 方位的要素                    | 77  |
| §195. 像片上的點和地面上相應點的坐標關係        | 79  |
| §196. 傾斜像片上影像的比例尺              | 83  |
| §197. 主縱綫上的像片比例尺               | 87  |
| §198. 航空像片的變形                  | 89  |
| §199. 水平像片上因地形起伏影響而引起的直綫位移     | 90  |
| §200. 像片上因傾斜角而引起的直綫位移          | 92  |
| §201. 角的傾斜變形                   | 96  |
| §202. 近似垂直像片上主點和像底點的角度變形       | 100 |
| §203. 近似垂直航空像片上因地形起伏影響而引起的角度變形 | 103 |

## 第十五章 像片平面圖的編製.....106—177

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| §204. 平面像片三角測量          | 106 |
| §205. 圖解法擴展像片三角測量       | 108 |
| §206. 菱形輻射三角鎖的構成        | 110 |
| §207. 像片三角測量的誤差         | 119 |
| §208. 輻射三角網的改正和連接       | 122 |
| §209. 光學圖解機械法改正         | 123 |
| §210. 糾正                | 128 |
| §211. 第一類糾正儀            | 130 |
| §212. 第二類糾正儀            | 132 |
| §213. 糾正的光學條件           | 135 |
| §214. 幾何條件與光學條件的一致性。偏心距 | 136 |
| §215. МГИ 糾正儀           | 138 |
| §216. МГИ 糾正儀的變移器       | 140 |
| §217. 大型糾正儀             | 148 |
| §218. 大型糾正儀的變移器         | 150 |
| §219. 小型糾正儀             | 154 |
| §220. 小型糾正儀的變移器         | 155 |
| §221. 糾正前的準備工作          | 159 |
| §222. 根據定向點糾正的技術        | 163 |
| §223. 分帶糾正法             | 166 |
| §224. 像片略圖的編製           | 169 |
| §225. 像片平面圖的鑲嵌          | 175 |

## 第十三章 航空攝影工作

### § 168. 概 論

從飛機上對地面進行攝影的過程稱為航空攝影。利用這種攝影方法所攝取的地面的航空像片，在地質調查、修築公路和鐵路以及興修水利方面都被廣泛地利用來作為編製平面圖和地圖之用。

圖 403 就是地面的航空像片。當在採用地形測量製圖法把地物界綫描繪到平面圖上時，需要直接丈量地面上的距離。如把像片改成所需要的比例尺並標定



圖403 航空像片

1957.4.25/02

其東西南北的方位後，則不用野外測量即可在平面圖上取得所有的地物輪廓。當具有一系列這種廣大地區的像片時，即可根據它們來編繪地面的平面圖。這種繪製平面圖或地圖的方法稱為**地形攝影測量法**。在利用像片繪製平面圖和地圖時常採用下列各種方法：**攝影經緯儀測量法**，**地形綜合測量法**和**立體地形攝影測量法**。

**攝影經緯儀測量法**就是在地面上利用攝影機與經緯儀聯合在一起的專門儀器對地面進行攝影。該專門儀器稱為攝影經緯儀（攝影經緯儀測量法的名稱就是由此產生的）。

這種測量方法的應用並不廣泛，主要是應用於鐵路勘查，地質勘查和水利工程勘查以及測量巨大的紀念碑等等方面。常利用攝影經緯儀對地面進行攝影時可能會產生這樣的情況：部份面積被地形或某種障礙物遮擋；結果在像片上構成“遮蔽的”不通視的區域。地圖上產生的空白區域必須利用測角器測圖或平板儀測量進行補測。

**地形綜合測量法**就是利用從飛機上對地面攝影所攝取的像片影像，來取得地圖或平面圖上的地物輪廓，而地形則在野外直接測繪。

在航空像片上（圖403,404）可以辨認出農業上的地物輪廓和其他地物輪廓（居民地，峽谷，小溪，寬河漫灘，森林等等）的界綫。當我們在觀察單張像片時，如果不能獲得有關地形的資料，那麼關於像片上所顯現地區的概念就會因此而不完整。為了使航空像片上同時反映出地物和地貌，則地貌應當用地形測量法來測繪並用等高綫來表示。地貌可以在各張像片上、像片略圖上或像片平面圖上進行測繪。

由未經改成同一比例尺的相隣航空像片中心部份所組成的地面的像片影像稱為**像片略圖**。由經過傾斜變形改正並改為成圖比例尺的航空像片中心部份（經過糾正的像片）所組成的地面的像片影像稱為**像片平面圖**。

編製地圖和平面圖所用的地面的航空像片是在十九世紀末開始被應用的。這種方法在第一次世界大戰時期獲得了重大的發展。

由於從1920年到1930年間進行了實驗和生產的結果，最後製定了一種綜合利用航空像片編製地圖和平面圖的方法，這種方法稱為地形綜合測量法。



圖104 森林河灣的航空像片

### 立體地形測量

法，不僅像綜合測量法一樣，可利用航空像片把地物描繪到地圖上，而且還可利用它在室內進行勾繪地貌。

這種方法是建立在所謂立體觀察的基礎上，立體觀察就是用雙眼同時觀察由兩個攝影站所取得的同一地區的影像；左眼觀察左像上的影像，右眼觀察右像上的影像。在這樣的立體觀察下，左眼和右眼所取得的各別影像合為一個地形空間影像，這種影像稱為立體模型。觀察像片時應當使用立體儀器。在立體儀器觀察下所構成的立體模型，能使高

地顯得凸起，低地顯得凹下，使高大的樹梢顯得高出於地面，而使大小峽谷顯成凹地。

當對所觀察的立體模型有高地和低地的感覺時，可以用等高綫來勾繪這個地區的地形；對於佈設在地面特徵點上一定數量的地形點，應求出它們超出平均海面的高程。這種依據航空像片勾繪地形的方方法稱為立體勾繪法。

立體地形測量法可以把非常繁重的地形勾繪過程從外業轉移到內業，這為不受季節限制而依據航空像片勾繪地形創造了可能的條件。

當在測區內具有所需要數量佈設均勻的地形點（地形點的高程已知）並在每兩張相鄰的像片上用立體勾繪法勾繪出地形時，即可勾繪出全部測區內的地形。

在現時，立體地形測量法是 1:10000, 1:25000 和更小比例尺測量的主要方法之一。在地形截面為 1 公尺或小於 1 公尺的平坦地區上最好是採用綜合測量法。

### § 169. 航空攝影機的物鏡

光綫是從地面點  $A$  向各個不同方向反射的（圖 405）。其中一部份光綫通過航空攝影機物鏡時，將在感光底片上構成點的影像。

航空攝影中應用的物鏡是複式的光學系統，它通常是由 6—8 個透鏡所組成的；這些透鏡應選擇得使像平面上得出影像的變形為最小、並保持被測地區的相似和保證影像本身所必要的清晰度。複式物鏡是由許多集光透鏡或散光透鏡所組成的，它們的中心都位於稱為物鏡主光軸的同一直綫上。

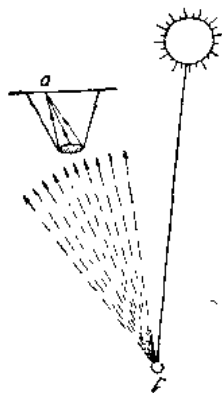
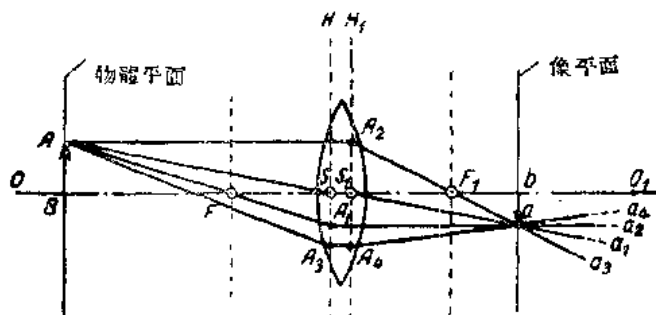


圖 405 光綫的反射

在每一光學系統中有兩個主焦點：前方主焦點  $F'$  和後方主焦點  $F_1$  (圖 406)。垂直於光軸而通過前後主焦點  $F'$  和  $F_1$  的平面，分別稱為前方焦面和後方焦面。在後方焦面上可以取得位於無窮遠或實際上是位於很遠距離的物體的影像。



406 光學系統

如通過與光軸相平行的光線射入物鏡和光線射出物鏡的折射點作垂直於光軸的平面，則得所謂物鏡（透鏡）主平面  $H$  和  $H_1$ ；在兩主平面與主光軸相交的交點上即得前方節點  $S$  和後方節點  $S_1$ 。從物鏡的前方節點  $S$  到前方焦點  $F'$  或從後方節點  $S_1$  到後方焦點  $F_1$  的距離稱為物鏡焦距。

物鏡的前方主平面與後方主平面之間的距離是很靠近的，所以我們在以後的研討中將把這兩個主平面看成是一個平面，位於稱為光軸系統中心的同一節點  $S$  上。

通過物鏡所構成的影像可能會產生下列缺點。

球面像差是由透鏡中折射光線的各種偏差而產生的；光線離光軸愈遠，則光線的折射愈大（圖 407, a）。結果一個點產生好幾個點的影像。球面像差可以利用集光透鏡與散光透鏡的配合來改正。

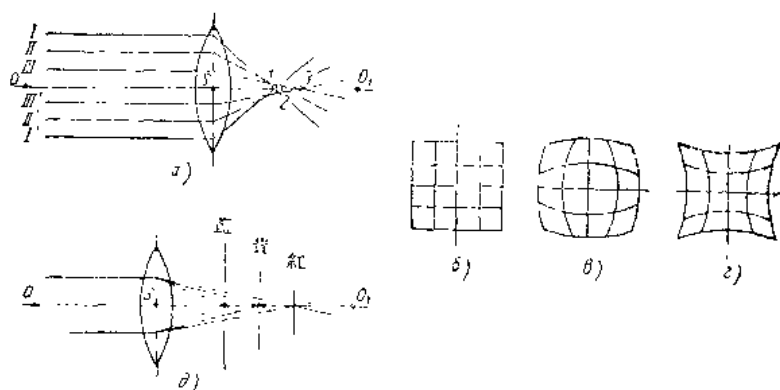


圖407 簡單透鏡的缺點

**彗形像差**是光綫與透鏡光軸相交成一角度時所產生的球面像差；傾斜角越大，則點的變形也就愈大，其形如彗星。

**畸變差**是影像相似的破壞：正方形平面圖形（圖 407, d）的影像顯成桶形（正的畸變差）（圖 407, e）或顯成枕形（負的畸變差）（圖 407, c）。畸變差可以利用各種透鏡和透鏡間的光圈的配合來消除。沒有畸變差的物鏡稱為**正形物鏡**。

**色像差**是影像上產生各種不同的顏色，這是由於日光的光綫在通過物鏡時分解成各個組成部份所致（圖 407, f）。色像差可以利用兩塊由不同玻璃製成的透鏡（一塊是冕玻璃製成的集光透鏡，另一塊是火石玻璃製成的散光透鏡）粘合在一起來消除；這種透鏡稱為**消色差透鏡**，而色像差已經消除的物鏡稱為**正色物鏡**。

**像散現象**是方格網的垂直綫或水平綫的影像在邊緣上顯得不清晰。像散是由於透鏡球面上垂直和水平方向的各種曲率所形成的。像散可以利用透鏡按其曲率、厚度、折射係數和透鏡間空隙大小加以配合來消除。沒有像散的物鏡稱為**消像散物鏡**。

**像場彎曲**是通過物鏡構成的清晰影像不是顯現在平面上，而是顯

現在凹面上。當我們在調整焦距時，如在中間取得清晰影像，則影像在邊緣上就會模糊，或者是與此相反。這種缺點也可以利用集光透鏡與散光透鏡加以配合來消除。

### § 170. 航空攝影機內影像的構成

爲了確定，像平面應在航空攝影機的哪個部位，我們現在來研究光線從物體通過物鏡投到像平面的光路。

地面點  $A$  是位於物面  $T$  上（圖 408）， $S$  是光學系統的中心， $OF_1SF_1O_1$  是光軸的方向， $F$  和  $F_1$  是前方主焦點和後方主焦點，線段  $SF$  和  $SF_1$  是光學系統的焦距， $H$  是物鏡的主平面， $P$  是像平面。我們從  $A$  點引出光線  $AS$  和  $AF$ 。光線  $AS$  從光學系統射出時仍保持原來的方向，光線  $AF$  射到主平面  $H$  上時發生折射，然後平行於光軸射出。兩條光線在  $a$  點上相交構成地面點  $A$  的影像。

從  $A$  點平行於光軸發出的光線，在物鏡的主平面上折射以後通過後方主焦點  $F_1$  和  $a$  點射出。

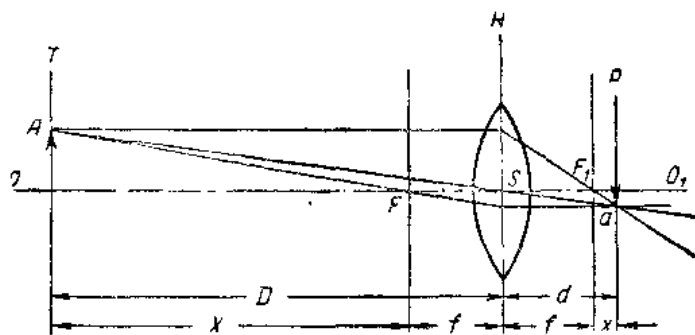


圖408 光 路

地面點  $A$  及其影像  $a$  位置的相互關係用下列公式表示：

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}, \quad (\text{XIII.1})$$

式中  $D$  是從物鏡中心到物面的距離，

$d$  是從物鏡中心到像平面的距離，

$f$  是航空攝影機物鏡的焦距。

根據圖 408

$$D = X + f \text{ 和 } d = f + x. \quad (\text{XIII.2})$$

把 (XIII.2) 的數值代入方程式 (XIII.1) 中，則得

$$\frac{1}{X+f} + \frac{1}{f+x} = \frac{1}{f}. \quad (\text{XIII.3})$$

由 (XIII.3) 中求得確定像平面  $P$  到物鏡後方焦面的  $x$  值。把方程式 (XIII.3) 的左方加以通分

$$\frac{(x+f) + (X+f)}{(X+f)(x+f)} = \frac{1}{f},$$

解之則得

$$fx + f^2 + fX + f^2 = Xx + Xf + fx + f^2, \text{ 或 } f^2 = Xx,$$

由此而得

$$x = \frac{f^2}{X}. \quad (\text{XIII.4})$$

從物面到物鏡前方主焦點的距離  $X$ ，實際上就是攝影的高度  $H$ ，  
依據各種攝影高度和各種焦距按公式 (XIII.4) 即可求得  $x$  值。

**例** 進行編製 1:25000 像片平面圖的航空攝影，航空攝影的高度等於 3000 公尺，焦距  $f = 70$  公厘。

把已知數值代入公式 (XIII.4)，則得

$$x = \frac{f^2}{H} = \frac{70^2}{3000000} \approx 0.0016 \text{ 公厘};$$

在此情形下，像平面  $P$  應位於距離後方焦面為 0.0016 公厘處，實際上即物體影像將位於物鏡的後方焦面上。

根據上列計算於是得出結論：在航空攝影工作所應用的航空攝影機內一定有一個位於物鏡後方焦面上的像平面，也就是說，像平面離開物鏡中心的距離一定要等於物鏡的焦距。

### § 171. 攝影的種類

對地面的攝影是在 1000—3000 公尺高度利用安裝在飛機上的航空攝影機 (AΦA) 來進行的。當飛機越過某個地區的上空時，可以對各個地區進行重點的攝影，或者是沿一條航線進行順序的攝影，攝取一系列沒有間斷、連續反映攝影地區的像片。如被攝地區的面積很廣，則在攝影時應敷設一系列相隣的航空攝影航綫 (圖409)。

依據所規定任務的不同，可以攝取近似垂直像片或傾斜像片。為

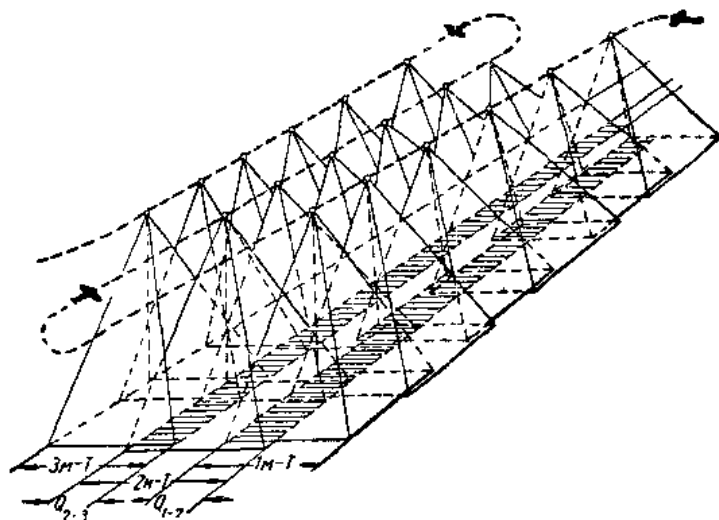


圖409 面積航空攝影

了便於製圖通常是進行近似垂直航空攝影的。

當光軸對鉛垂線的偏差為  $3-5^\circ$  時所進行的地面攝影稱為近似垂直攝影。

利用近似垂直攝影所攝取的航空像片稱為近似垂直像片。當鉛垂光軸時所攝取的航空像片（圖 410 a）稱為真正垂直像片，或稱為水平像片；如被攝地區是水平地面，則可取得比例尺朝任何方向都是相同的攝影影像。因為飛機在航行中常受振動（振動的角值通常不超過  $2-3^\circ$ ），所以要攝取水平航空像片是很困難的。

當航空攝影機光軸  $SO$  對鉛垂線  $SN$  偏差成  $\alpha$  角時所進行的地面攝影，稱為傾斜航空攝影（圖 410, b），也就是當航空像片的影像平面在傾斜時所進行的攝影。這種像片的比例尺是不一致的：最遠的地面綫比例尺最小，最近的地面綫比例尺最大。

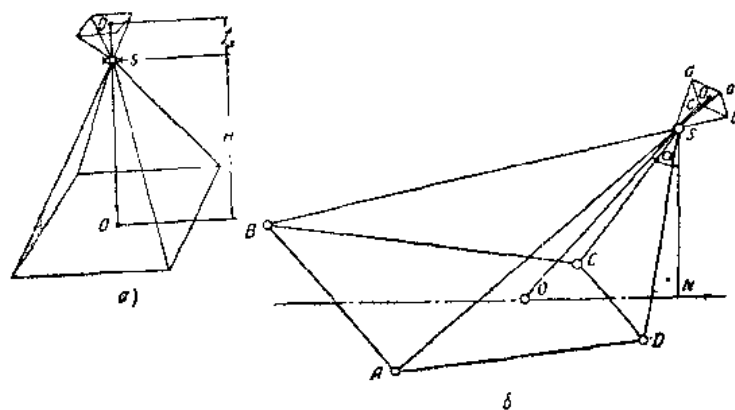


圖410 近似垂直攝影和傾斜攝影

**水平像片的比例尺** 像片上某一直綫綫段與地面上相應綫段之比稱為航空像片的比例尺。我們現在來確定水平像片的比例尺（圖411）。

假定有一個帶直綫  $AB$  的水平地面  $T$  和一個水平像平面 (像片)  $P$ 。設  $OSO$  是光軸的鉛垂方向,  $S$  是物鏡的中心; 綫段  $oS = f_k$  是航空攝影機的焦距;  $OS = H$  是攝影高度。

我們通過  $S$  點導引原來攝影時的光綫  $Aa$  和  $Bb$ 。把地面  $T$  上的  $A$  點與  $O$  點連接起來, 再把像平面  $P$  上的  $a$  點與  $o$  點連接起來。

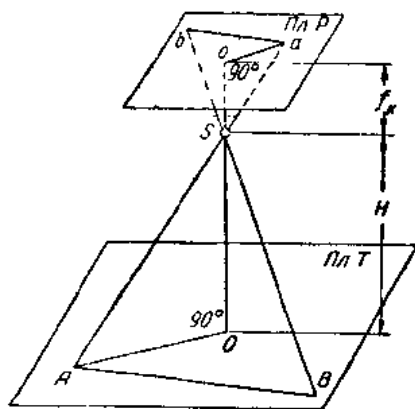


圖411 水平像片的比例尺

三角形  $ABS$  和  $abS$ ,  $AOS$  和  $aos$  的底邊都位於水平面上, 而其側邊都是由同名點間的光綫所組成, 所以可以寫成:

$$\triangle ABS \sim \triangle abS \text{ 和 } \triangle ASO \sim \triangle aso.$$

由這些相似三角形得出:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{oS}{AS}, \quad (\text{XIII.5})$$

$$\frac{oS}{AS} = \frac{oS}{OS}. \quad (\text{XIII.6})$$

上式 (XIII.5) 和 (XIII.6) 彼此相等, 因此

$$\frac{ab}{AB} = \frac{oS}{OS}. \quad (\text{XIII.7})$$

因為  $oS = f_k$ , 而  $OS = H$ , 所以, 把這些數值代入 (XIII.7) 的比例, 則得:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{f_k}{H}. \quad (\text{XIII.8})$$

在公式 (XIII.8) 中, 等式的左方是航空像片的影像比例尺。因此, 平面地區的水平航空像片的比例尺等於航空攝影鏡箱的焦距與攝影高度之比, 我們可以把公式 (XIII.8) 重新寫成:

$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H}, \quad (\text{XIII.9})$$

### § 172. 路線航空攝影和面積航空攝影

**路線攝影** 在進行勘察道路, 調查河床以及其他等工作中編製狹長地帶的平面圖時, 應通過一條航綫或兩條航綫從飛機上對地面進行順序的攝影 (佈置路線航空攝影)。攝影高度依據攝影比例尺而定。由於

$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H},$$

因此攝影高度

$$H = f_k m.$$

這時, 應預先依據攝影比例尺, 像片大小和飛機速度估算一下, 應該經過多長時間間隔攝取順序像片才不致發生間斷。如412圖所示, 是航空像片在一條航綫上所攝取的面積: 從  $S_1$  點攝得地區  $A_1 B_1 C_1 D_1$  的影像 (第一張像片), 從  $S_2$  點攝得一部份在第一張像片已經攝影過的地區  $A_2 B_2 C_2 D_2$  的影像 (第二張像片); 經過兩次攝影的地區  $A_1 C_1 B_2 D_2$  稱為重疊。一條航綫上所有航空像片間的重疊, 稱為**縱向重疊**並用字母  $P$  表示; 這種重疊是以對航空像片全部面積的百分比來確定的。圖 412 所示是從點  $S_1 S_2 \dots S_6$  攝得的所有像片間的重疊。沿一條航綫攝得的並在相隣像片上重疊的地面用量綫表示; 第一張與第二張像片間的縱向重疊  $P_1$  約為 20% 左右;  $P_2$  為 30%;  $P_3, P_4, P_5$

約為 60% 左右。當重疊 60% 時，全部地面是攝影兩次，而有些地區（約 10% 左右）是攝影在三張相鄰的像片上（圖 412 中的  $P_6$  和  $P_7$ ）。

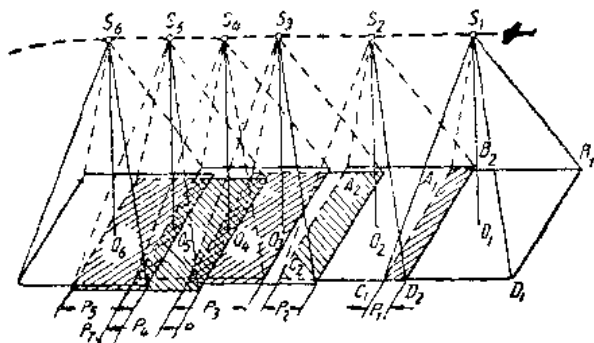


圖412 路線航空攝影

爲了編繪地形測量平面圖而進行航空攝影時，縱向重疊通常等於 60%；爲了踏勘和執行其他任務而進行航空攝影時，縱向重疊可減少到 20% 或 20% 以下。圖 412 所示是常縱向重疊約 60% 左右時的路線航空攝影的一部份。

**面積攝影** 當在某一地區內進行航空攝影時，如該地區不能用一條航綫來攝影，則需敷設幾條平行的航綫（圖 409）。在進行航空攝影中不應當有空隙，所以，在敷設其次一條航綫同時，應攝取已經在上一條航綫上攝影過的一部份地面，也就是在航綫間構成所謂橫向重疊。這種攝影的結果，即取得彼此由縱向重疊  $P$  和橫向重疊  $Q$  相連的一系列航綫的航空像片（航綫間的橫向重疊  $Q_{1-2}$  和  $Q_{2-3}$  用量綫表示）。

橫向重疊  $Q$  是以重疊的大小與垂直於航綫方向的像片長度之比，按百分比來確定的（這種重疊通常約為 25—40% 左右）。

面積航空攝影是應用於編繪新的地形圖，修測（更新）舊的地圖和完成國民經濟方面的其他任務。

如近似垂直航空像片的中心部份被縱向重疊和橫向重疊中間的直

綫所限制時，則取得所謂像片的有效面積。這個面積是包括在所編製的像片略圖或像片平面圖的中間。

### § 173. 地形綜合測量法

在進行平板儀測量時，利用航空攝影材料可以大大加快編繪地形圖的速度，並改進製圖的質量。

像片平面圖的鑲製及其隨後的加工（爲了繪製地形測量平面圖）按下列順序進行。在航空攝影中所取得的傾斜變形和不同比例尺的像片都要利用專門儀器（糾正儀）將其改變爲一定比例尺的水平像片；由這些已糾正像片的有效面積可鑲嵌成像片平面圖。然後，在由像片平面圖晒印成的複製圖（照像晒印圖）上，根據影像色調和通過實地觀察對所有地物輪廓和地面上的各個目標進行內業調繪，也就是對它們進行判讀並用符號加以繪註。像片平面圖上的地貌應按平板儀測量法進行補測。模糊地物必須利用清晰的同一地物的界綫標定其界綫而使之準確，然後再用符號來加以填繪。在描繪地物輪廓和勾繪地貌的同時，還應確定地形目標的名稱。通過這種方法即可製成地形綜合測量地圖的原圖。依據野外的描繪在圖幅上進行整飾：水部繪以綠色或藍色，地物和名稱繪註以黑色，地貌繪以褐色。

這種原圖經由技術檢查處的檢查人員在野外驗收以後，送到攝影室進行複照，晒成藍圖。繪圖室根據清繪的要求對印刷用的藍圖進行清繪。

綜合測量法和平板儀測量法比較起來，它能加速測量工作的操作並提高地形測量人員的勞動效率。由於像片平面圖上所調繪的地物平面位置誤差的減少和描繪地貌的改善，因而改進了測量工作的質量；細谷、側支脈、低地、山坡上的凹部和凸部等影像色調的變化，可以幫助