

鐵路航空勘察技術匯編

(II)

鐵路航測綜合法

鐵路專業設計院航空勘察處編

人民鐵道出版社

目 录

第一章	概述	1
第二章	准备工作	2
§1	資料及主要仪器設備	2
§2	象片定綫	3
§3	控制点設計	4
第三章	外业控制測量	8
§1	外业选刺控制点	8
§2	敷設平面高程导綫	9
§3	水平測量	11
§4	地貌特征点高程測量	12
§5	外业調繪	13
§6	外业資料計算和整理	14
第四章	輻射三角測量	25
§1	輻射三角測量概述	25
§2	建立輻射三角网的作业程序	25
第五章	地貌描繪	33
§1	布置地貌特征点	33
§2	描繪等高綫	34
§3	接边及整飾	37
第六章	图解图的編制	37
§1	分帶糾正法及糾正数据的計算	37
§2	糾正系数确定法	40
§3	备制縮小底片	46
§4	投影轉繪	50
§5	用鉛筆清繪整飾	54
第七章	航測綜合法試驗結果及体会	56
§1	第一次試驗	56
§2	第二次試驗	59
§3	工作中經驗教訓	61

第一章 概 述

在铁路勘测没有立体摄影测量仪器的情况下，为了充分利用未經糾正的航摄影片，可用綜合法編制带状地形平面图。采用这一方法时，要沿象片定綫后的綫路位置敷設一条平面高程縱导綫，在测图寬度之內，用視距法从导綫上向綫路兩側測定地貌特征点的高程。

使用未經糾正的航摄影片編制地形平面图时，由于外业所测平面控制点較少，必須进行輻射三角測量加密平面控制点；并根据外业实测控制点和地貌特征点的高程，在放大象片上用反光立体鏡观察立体，用內插方法描繪等高綫；并将外业調繪成果也轉繪到描繪的象片上。利用一般摄影机或投影器摄制縮小底片，要安置在单个投影器上进行分带轉繪，以使中心投影的地貌、地物改变成垂直投影的平面图。

航测綜合法的技术作业程序如下（其中有些項目根据情况亦可同时进行）：

1. 在象片上定綫和确定測繪（范围）带；
2. 确定測繪带的平面控制点和选地貌特征点；
3. 現地选刺控制点和敷設縱向主要平面高程导綫和橫导綫；
4. 測定地貌特征点高程；
5. 地物及碎部的外业調繪；
6. 坐标及高程計算；
7. 准备底图和根据坐标展繪控制点；
8. 轉刺外业控制点及选刺輻射三角測量点；
9. 制透明膜片和用成图比例尺扩展輻射三角网；

10. 在象片上描繪地形和調繪地物；
11. 求算因地形起伏的投影誤差改正數；
12. 制縮小底片；
13. 光学縮放（投影轉繪）和用鉛筆編制地形圖；
14. 原始底圖清繪；
15. 描繪腊紙圖。

运用綜合法測圖時，外業測量與內業制圖可同時進行，作業過程簡單，儀器設備亦不複雜。經過幾次試驗證明成圖質量較普通測量為高，並能減少外業工作量和節省很多勞動力。

本書系根據天水臨汾綫由張家川至孟家台段，採用綜合法測圖的試驗總結為主要內容編寫的，在這次試驗中，利用了黃河水利委員會按圖幅飛行的航攝資料，用焦距為70毫米象幅為 17×18 厘米的航攝儀所攝的 $1:40,000$ 左右的航攝象片；象片範圍內地面高差達700米的山岳地區，用綜合法制成 $1:10,000$ 地形圖，質量合乎要求。

第二章 准备工作

§1. 資料及主要儀器設備

一、為進行外業工作需準備下列資料：

1. 鑲嵌復照圖1份；
2. 接觸晒印象片4份；
3. 放大象片1份；
4. $1:50,000$ 地形圖2份；
5. $1:500,000$ 地圖1份；
6. 水准基点表7份；
7. 三角點成果表2份。

二、进行外业测量时主要仪器设备：

外业测量需准备的仪器有：經緯仪、水平仪、鋼尺、放大鏡、计算机、記錄計算用紙及工程地質調查表等。内业制图时需准备反光立体鏡、厚大玻璃板、刻有半毫米的一米长标准金属尺、单个投影器及12V 变压器、照象机（附綠色濾光鏡）、底片和显影定影葯剂、冲洗用具、暗室保險灯和幕布，以及透明腊紙、底图图紙和照明设备等。

§2. 象片定綫

室内象片定綫的目的，是根据已收集到的地形图資料，及对选綫的技术要求，通过立体观察象片，来研究綫路通过地区的立体模型，从而选择綫路的主要方案及可能的比較方案。具体步骤如下：

一、在象片定綫前应先根据复照图調繪主要地貌与地物，繪出水系及分水岭山脊綫，标出各可能通往河谷的山隘口的位置，并将已收集到的高程資料轉繪到复照图上作为定綫根据。

二、根据复照图初步选定綫路大概方向，在立体鏡下观察和研究来确定綫路通过的地方。根据所获得的高程資料，并借助于小三角尺在立体觀測下估測地面高差，必要时求出河谷的縱坡，决定綫路坡度——单机或双机牵引坡度。在立体模型上进行觀測时，可以清楚地識別各种地貌——分水岭形状、河谷、山坡及其切割程度。在山隘地段应先定出設計綫标高；再以采用之限制坡度及工程地質条件，在連接地段上确定綫路位置；在自由导綫地段，可根据地形定綫。定綫过程中，必須考虑分界点的合理分布，經過室内象片定綫可确定下列技术指标：

1. 建筑及运营长度；

2. 限制坡段及双机牵引坡段长度；
3. 克服高度总和；
4. 越过分水岭数量；
5. 高架桥数量；
6. 隧道数量及延长；
7. 大中桥数量；
8. 不良工程地质现象分布情况。

三、利用小比例尺航摄像片进行室内研究，可以解决如下问题：

1. 找出可能方案；
2. 确定各方案之主要指标；
3. 判别不良方案及放弃这些方案的技术经济根据；
4. 确定下一步进行地面控制测量范围，及综合法制图带宽度。

§3. 控制点设计

利用按图幅飞行的小比例尺航摄资料，在高山地区用综合法编制大比例尺带状地形图时，控制点布置按照以下各项要求和作业程序进行：

一、事先应研究航摄资料，在利用黄河水利委员会航摄像片时，航摄比例尺为 $1:31500 \sim 1:42,000$ ，象幅为 17×18 厘米，航摄仪焦距 $f_k = 69.71$ 毫米，象片倾斜角在 2° 以内，象片纵向重迭 $64\% \sim 68\%$ ，横向重迭 $33\% \sim 40\%$ （其中一处为 75% ）；航偏角在 3° 以内，航线的弯曲度及航高差都不大，航摄质量较好。

二、在全测区根据地形和线路通过条件，利用小比例尺航摄资料的面积宽窄不一，纵向主要导线的敷设必须尽可能靠近线路附近。控制点的布置，必须满足内业幅射三角测

量平面加密的需要，控制点坐标应统一联系，并适当布置平面高程导线，以控制平面网的扭曲。

三、在航测综合法中控制点设计应注意下列各点：

縱导线沿基线方向通过时，如平面控制点距幅射中心较远能满足幅射三角测量要求时，可少布置横导线；如果控制点通过幅射中心附近时要敷設横导线，即每一幅射三角网的两端最少各有三个外业平面控制点，应用此法来测定点的平面位置时，网的中部所发生的誤差为最大，故幅射三角网中間部分糾正点的中誤差可按下列式求算：

$$m'_e = \pm 0.35 K \cdot b \cdot \frac{m_s}{\rho'} n^{\frac{3}{2}} = \pm 0.5 \sim 0.6 \text{ 毫米} \quad (2.1)$$

式中 0.35——常数；

K ——縮放系数， $K = \frac{\text{摄影比例尺}}{\text{成图比例尺}}$ ；

b ——象片上的基线平均长度，以毫米計；

m_s ——象片上以弧度表示的方向中誤差，其值通常約为 $3' \sim 5'$ ，常取其中数为 $4'$ ；

n ——基线数，即一条航带中的象片数減去一。

按公式 (2.1) 可确定平面横导线間的基线数 n ：

$$n = \sqrt[3]{\left(\frac{m'_e}{0.35 \cdot K \cdot b \cdot \frac{m_s}{\rho'}} \right)^2} \quad (2.2)$$

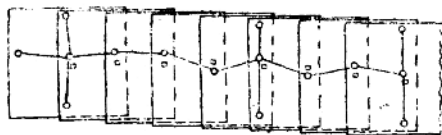


图 1

根据該段航摄比例尺1:40,000,成图比例尺1:10,000
代入上式为:

$$n = \sqrt[3]{\left(\frac{0.6}{0.35 \times 4 \times 65 \times \frac{4}{3438}} \right)} \approx 3 \sim 4$$

故設計时应隔3~4条基綫設一条横导綫(見图1)。

四、編制控制点設計的工作步骤:

(一) 在象片上画出綫路方向及带状測繪面积。

(二) 將所收集到的水准基标、三角点,参照已有地形图及根据原摄影单位已有的刺点資料,事先轉刺于象片及复照图上。

(三) 平面高程控制点和地貌描繪所需高程点的布置,利用接触晒印象片及复照图进行。設計时应注意滿足下列各点:

1. 順綫路方向敷設平面高程縱向主要导綫。
2. 为了滿足幅射三角測量要求适当布置平面高程横导綫。
3. 为便利外业高程点測量,应适当布置高程导綫。
4. 联系国家大地点及水准点。
5. 在布置平面高程縱导綫或横导綫的地方,在每張象片上不得少于三个控制点。如在一个区段內,綫路跨两条航带,則在两航带的重迭部分至少有一个控制点。

如綫路与航带垂直或形成一定角度穿过航带较多时,为了避免幅射菱形网扭曲,除了縱导綫外仍需布設平面高程横导綫,其布設方法是每隔一条航带布設一条,选点在旁向重迭处,每象对內至少保証有两个控制点,控制点至少离开方位綫5厘米以便幅射交会。

在山岳地区，为了减少因地形起伏所引起的投影误差，所选择的控制点，其绝对高程应尽量接近于该象片范围内的平均高程，或使各控制点间的高差不太悬殊。

6. 选控制点时，控制点最好设在纵向三片重迭处，不得已时才选在二片重迭处。

7. 象片边缘的控制点应距象片边缘至少 1.5 厘米，不得已时可距边缘 1 厘米，但不能选在象片编号上。

8. 控制点不允许选在象主点上，要距基线不小于 2 厘米。

9. 控制点尽可能布置在外业测量容易的地方。

10. 在设计时，要尽量使导线距离最短，导线所经过的地形起伏为最小，与三角点及水准点连测最为方便，避免由河谷导线转为山坡导线。

11. 选择控制点，在山地及高山地应用立体镜观察。

(四) 控制点设计完成后，所有横向平面高程导线按顺序编号，平面和高程控制点用 2.0 毫米为直径之圆圈，分别以红色和蓝色在复照图上上墨整饰。

(五) 在复照图上量测并计算下列几项工作量：

1. 测绘面积以平方公里计（重迭部分应扣除）；

2. 纵横向平面高程导线及高程导线（以公里计）；

3. 纵导线横导线分别二次抄平或一次抄平，或采用间接高程测量（以公里计）；

4. 真北方位角观测以处为单位，纵向导线在 8 ~ 10 公里处布置一次；在横向平面高程导线端点，如无三角点可资连测时，应施测真北方位角，如横导线不长，可在量角时增加测回数数量不测真北。

(六) 控制点设计完成后，应由有关人员签字，并将复照图、接触晒印象片及有关资料，交作业队进行外业工作。

第三章 外业控制测量

§1. 外业选刺控制点

一、开始工作前，应在室内研究刺点地区的地形以及如何到达控制点所在地。

二、选刺控制点时，用航摄影片由大而小，由远而近地对照实地地物特征，辨认所选地物无误（必要时应进行立体观测），然后在象片上刺点并在实地钉桩插旗。

三、控制点应选在直角交叉的明显地物上，不应选在锐角或钝角处，也不应选在高出地面的地物上，如树、塔、电杆以及选在阴影或移动的地物上。选择控制点的同时，尽可能将导线转点全部刺出。

四、刺点时用细针在象片下垫以赛璐珞板，平面控制点刺点精度为 0.1 毫米，实地辨认精度为 1 米；高程控制点应刺在平坦地面上。在象片背面用直径约 3 毫米的小圆圈圈出刺点，并在旁边注明控制点号数，刺在什么地物上，并绘制比象片比例尺稍大的草图以及选点精度辨认精度、刺点日期及刺点者姓名等（见图 2）。如刺点在斜坡上时，应绘制纵断面示意图。所有注及说明应与象片号码方向一致。

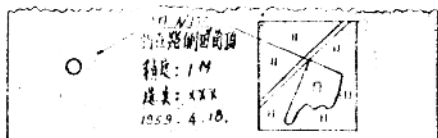


图 2

五、选点时应注意施测便利，导线边长一般在 300~500 米，不应小于 100 米；并不得由短的直线急剧转入长直线。

如距离过长时,应加設轉点,控制点和导綫轉点按順序編号。

六、在象片上刺出三角点及水准基点,并繪制草图。

七、每日工作完成后,应繪制导綫草图并抄送有关各組。

八、所有控制点由另一人持相邻編号的象片进行檢查,檢查点可不注釋不繪草图。

九、刺点完成后随时加以整飾,在象片正面用直徑 1 厘米繪小圈并注上編号,冠以 OII (平面控制点)、 $BOII$ (高程点)、 $KOII$ 、 $K \cdot BOII$ (檢查点) 并按图例繪出三角点及水准基点。

§2. 敷設平面高程导綫

导綫测量的主要任务是測定各控制点 (OII) 的平面位置及不使用水平儀的間接高程测量。

一、平面高程縱向主要导綫测量

平面部分的测量包括量角、丈量距离、观测真方位角及联系三角点等工作。

(一) 量角

1. 用精度 $30''$ 的經緯儀以二个半測回测量导綫的右角,二次测量之差不得大于仪器精度的 1.5 倍,如在容許限度內取二次平均值。导綫量角最大閉合差不应超过 $1.5t\sqrt{n''}$, 式中 t 是仪器精度; n 是置鏡次数。

2. 在橫导綫与縱向主导綫連接处 (即一点上方向数大于二个时) 用全測回法,其对起始点的兩次方向之差不得超过 $30''$; 两个半測回夾角之差不得超过 $1'$ 。

(二) 丈量距离

1. 采用一根鋼尺作一次丈量,并用視距校核,其差值不应超过 $1/200$ 。

2. 为了檢查导綫丈量的精度,应有 20% 的边进行第二

次丈量，抽查結果都应达到 $1/2000 \sim 1/1000$ 的精度。

(三) 观测真方位角

1. 由于导线离三角点较远，因此在縱导线上每隔 8 ~ 10 公里观测真方位角一次，以校对方向。

2. 观测真方位角时采用太阳高度法，观测太阳高度（仰角）应不高于 30° 不低于 10° 。

3. 每次要观测五个测回，取其中不少于三个测回的值平均之，各测回間最大值与最小值之差不得超过 $2'$ 。

(四) 三角点連测

1. 导线应与三角点連测閉合。

2. 連测时，可視实地情况采用不同的方法。如在临天綫剋堡附近与黄河水利委员会剋头山二等三角点連测时，由于高差甚大故用交会法从縱导线連至山脊，然后沿山脊用經緯仪导线連测到三角点上。

由于天气不好，終日濃雾視綫不清，不能与三角点連测方位角，而改用观测真方位角方法来檢查方向。

二、平面高程橫导线測量

(一) 平面部份：测法完全与縱向导线相同。在橫导线伸出縱向主导线較远时，应在橫导线的端边观测真方位角，如距离不长时可增加量角次数以保証量角无誤。

(二) 高程部份：在測量縱导线的同时要观测各边的垂直角，按鋼尺量得的边长 D ，以公式計算高差：

$$h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha + i - V \quad (3.1)$$

垂直角要用正倒鏡观测取其平均值，每边高差要往返观测两次，在橫导线端点观测两不同視綫高的垂直角各两次，两次高差应不超过 $\pm 0.04S$ （米）。导线与水准基点允許閉合

差为 $\pm \frac{0.04S}{\sqrt{n}}$ （米）。

三、檢查導綫

- (一) 檢查導綫由選點者先釘桩插旗；
- (二) 測量時沿擬定路綫用視距導綫施測；
- (三) 視距導綫的測法和要求與經緯儀高程導綫測量同。

§3. 水平測量

一、縱向主導綫高程測量

(一) 用校正好的水准儀和經過檢查正確的水准尺，沿綫路方向進行抄平，推算各控制點的標高。

(二) 測量時用兩架水准儀及四根塔尺分成兩組，按前後次序進行抄平，在控制點上水准尺應放在桩頂上，轉點時水准尺放在踏實的鉄墊上。

(三) 前後視距離不得大於150米，一般為50~100米，前後視應大致相等。

(四) 縱向與橫向導綫記錄須分開，每頁自後視開始前視結束，並逐頁計算出高差。

(五) 兩次抄平閉合導綫之允許誤差為 $\pm 30\sqrt{L}$ （毫米），式中 L 為水平導綫長度以公里計。

(六) 在大中橋渡，山壩口處，每隔10~12公里用固定岩石或木桩設臨時水准基標，所有基標進行編號，在記錄本上繪詳細位置及簡要說明。

(七) 外業記錄本經內業復核後，即可編制兩次抄平對照表，進行平差並編制水准基點表。

二、橫導綫高程測量

橫導綫標高是以縱導綫的兩次抄平經平差後所得標高為依據的，在測量時縱導綫還未進行平差，可先計算高差，俟縱導綫得出絕對標高後再進行推算其標高。

§4. 地貌特征点高程測量

一、高程点由地貌描繪人員在立体鏡下，先在外业測量的象片上用紅墨水在較大的明显地物点上，或者是在現地辨認不困难的一些頂点上标画出来，并进行統一編号。

二、施測高程点应視地形情况而定，一般在平坦地区用水准仪，在山地用視距法測量高程。

三、用經緯仪測量高程时，垂直角要正倒鏡量两次，視距长度应不超过400米。

四、高程导綫的往返測高差之容許誤差見表1。

表1

垂直角(度)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
每百米容許誤差(厘米)	4.0	4.8	6.4	8.5	11	13	15	18	21	23	26

閉合导綫之容許誤差按下式計算：

$$f_{\text{容}} = \pm K \sqrt{L \cdot D} \quad (\text{米}) \quad (8.2)$$

式中 L ——导綫长度，以公里計；

D ——导綫平均长度，以公里計（即 $\frac{\text{导綫总长 } L}{\text{置鏡点数} - 1}$ ）；

K ——每公里导綫容許之最大誤差，以米計：

当平均傾斜角 $< 5^\circ$ 时， $K = 0.2$ 米；

当平均傾斜角 $> 5^\circ < 7^\circ$ 时， $K = 0.3$ 米；

当平均傾斜角 $> 7^\circ$ 时， $K = 0.4$ 米。

五、开始工作前，应仔細研究并計劃施測地形点的路綫和轉点的大体位置，并将所使用仪器工具进行檢查，并把专為測量时識別編号的小黑板准备好，然后携带象片在工地辨

設各点位置并立尺觀測，用粉筆將編号写在專用的小黑板上，在儀器內窺視，寫于記錄本上。

六、測量面积較寬地区，須敷設閉合導綫或不超过三个置鏡点的支導綫。

§5. 外 业 調 繪

一、調繪內容：根据鐵路綫路測繪範圍，按成图比例尺的相应地形图符号，用藍、黑、棕三种墨水分別將有关地物、地貌詳尽清晰地調繪在象片上。

（一）控制点：三角点、水准点、天文点等不考虑有无成果都刺在象片上。

（二）方位标：所有塔式建筑、工厂烟囱、风磨、风力发电机、气象台、独立树或树簇、里程碑、坎地等等繪出。

（三）居民地：用一般的綫形輪廓綫，將居民点的内部所有建筑物及街道划分出来，并調查地名。

（四）工业和农业企业建筑物全部調繪，根据企业性質加注說明。

（五）动力供应及通訊：发电站房屋、電話局、电报局和所有通訊綫路、供电綫路以及广播电台等全調繪上。

（六）鐵路：按图式符号調繪，使符号中心綫与鐵路中心綫相重合，所有車站建筑物也都应調繪上。高于一米以上的路堤、路堑也应表示，并注明鐵路通向。

（七）公路及馬車路：在人烟稠密地区只表示主要的道路及桥涵建筑物，在現地測量路面寬度，并注明路面材料和路堤路堑的高度。在人烟稀少及沙漠地区，所有小路牲畜路及驮运路都要調繪。

（八）水系及水工建筑物、海岸綫、湖岸綫、池塘边綫、河岸綫、水溪、泉水、水庫、沟渠、温泉、水井、瀑

布、急流、淺灘、明礁、暗礁、砂洲、岸灘、島嶼、旧河床、天然水路以及所有桥涵建筑物等也全应調繪上。調繪水系时，所有水庫及河流的名称、流速、徒涉場、水深、寬度、水流方向等都須注明。

(九) 境界：根据地方政府及現有資料表示。

(十) 其他：如飞机場輪廓綫、場內建筑物、停机場和跑道等。

(十一) 地貌：岩石、岩石峭壁、独立岩石、殘山、陡崖、絕壁、岩堆、雨裂、冲沟、阶地及陷穴等。

調繪的地物及地貌应全部調繪在象片正面，需要說明的地方可在正面进行編号，在象片背面应逐条加以說明，要求簡洁清楚。

§6. 外业資料計算和整理

一、复核記錄本

首先檢查各种外业記錄本，凡应由外业人員填写的如封面、頁次、索引、示意图、測量日期、执行人、气候和其他必要的說明等，都应及时填写齐全。

逐項复核外业資料，如水平記錄本上的两点之間的高差，量角記錄本上的水平角及其平均值，高差及視距，眞方位角原始計算資料等，均須清楚完整无誤。复核記錄本时，有记录作廢的应整齐划掉，并注明重測记录在何冊何頁。如发现外业資料有超过容許誤差或違反技术要求时，应立即查明原因作适当处理。

二、計算

(一) 标高計算表：将两水准仪之抄平結果分別填入相应表格，两水准点間两次抄平总誤差如在容許範圍內，各控制点之高差可取其平均值，然后进行平差。

(二) 眞方位角計算：由二人分別按規定的表格計算互相核對。

(三) 坐标計算：由二人分別計算互相核對，根據記錄本抄完計算資料后，以起始点之实测坐标（或利用三角点）眞方位角，推算各点之坐标方位角，并进行平差。最后計算坐标增量及各点坐标。每一过程都要認真核對确认沒有錯誤时，再进行次一步計算。

在計算坐标时，两計算者可采用不同的計算方法，以資核對。計算方法一般采用对数計算、计算机計算或坐标增量表計算。

如有两个以上方位角时，在接点处的坐标方位角应进行平差。

在导綫上如与三角点进行連測时，应根据三角点之坐标推算；如导綫两端都与三角点連測时，坐标增量的誤差应进行平差，并求出綫长的絕對誤差及相對誤差。

(四) 視距高程計算：由二人同时进行，从原始記錄本上將所需資料填入規定表格中，然后按公式 $D \tan \alpha$ （水平距离）；或 $\frac{D}{2} \sin 2\alpha$ （斜距）計算之。如果始点和終点都是一个系統的既有标高，中間各点之高差应进行平差。

三、成果編制：包括所有控制点（水准基点在內）的絕對高程及平面高程控制点的絕對坐标，并应随附略图。所有平面及高程导綫的控制点、水位标、三角点、水准基点等，均应按图例在相应位置上标出来；并表示出导綫和控制点的种类，注上点号和导綫号；首頁附注栏应說明三角点和水准基点的系統和关系。編好后須和原始資料进行核對。

四、資料整理：所有資料表格須裝訂成冊，將表格封面各項填寫齐全后，計算者、編制者、复核者及小队长均須签名。

五、附录：各种計劃表例及說明。