

全國測繪科學技術經驗交流會議

資料選編

大地測量布網設計

測繪出版社

全國測繪科學技術經驗交流會議資料選編

大地測量布網設計

編者 全國測繪科學技術經驗交流會議
資料選編編輯委員會

出版者 測 繪 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可證出字第081號

發行者 新華書店科技發行所

經售者 各地新華書店

印刷者 地質出版社印刷廠

北京安定門外六鋪炕40號

印數(京)1—2650冊 1959年8月北京第1版

開本 $33'' \times 46''^{1/32}$ 1959年8月第1次印刷

字數65,000 印張 $27^{1/16}$ 插頁1

定價(8) 0.31元 統一書號: 15039·331

出版說明

一九五九年二月在武汉召开的全国測繪科学技术經驗交流會議广泛地交流了各方面的先进經驗和技术革新成就。为供全国測繪工作者学习先进經驗的参考。今由大会秘書处組成編輯委员会，按专业編选汇集，予以出版。

本册介紹了大地測量布网設計的經驗和有关研究。全册共分三部分：大地測量技术設計、三角网的布設和图形权倒数的計算。書中对大地測量技术設計的步驟和方法方面提供的經驗可供全国各大地測量业务部門参考；对菱形基綫网的权倒数計算等提出了研究結果和簡化計算的方法。

本册可供大地測量工程技术人員参考学习。

为加快出版時間，本資料选編由測繪、建筑工程、水利电力、煤炭工业等四个出版社协作出版。

目 录

第一节 大地测量技术設計	(3)
一、大地测量技术設計	长江流域规划办公室 (3)
二、实际設計的无线电控制测量鎖的结构精度	
.....	中国人民解放军測繪学院 (25)
第二节 三角网的布設	(38)
三角网的加密問題	
.....	中国科学院武汉 測量制图 研究所 周江文 武汉測繪学院 陶本瀛 (38)
第三节 图形权倒数的計算	(58)
一、基綫网扩大边权倒数的計算	大連工学院 范家鼎 (58)
二、基綫网扩大边权倒数的近似計算公式	
.....	中国人民解放军測繪学院 (68)
三、大地四边形誤差公式的探討 (摘要)	
.....	中国人民解放军測繪学院 (78)

大地測量布網設計

第 一 节

大地測量技術設計

一、大地測量技術設計

长江流域规划办公室

(一) 前言

我办自1956年开始按苏联1954年大地測量法式操作，并进行了六个地区的技術設計工作。技術設計是根据苏联伊凡諾夫編著的“大地地形工作的技術設計和預算的編制法”及参考其他有关文件，并在苏联大地測量专家叶果洛夫指导下进行的。

技術設計的目的，是把該測区的任务要求，总的布置，及具体問題等用“技術設計書”及“技術設計图”表达之。使該区的作业方案既能滿足近期的測图需要，又能照顧到远景扩展的要求。同时在保證精度的基础上，尽量节省人力和物力。

技術設計理应包括經費預算的編制，但由于資料不全，例如：缺乏可靠的地形图，及測区内障碍物、房屋、树林等高度的資料，目前又不可能抽調作业員进行实地調查，因此直接影响觚标高度的确定。所以对經費預算一項暫未編制。

設計的过程中，应严格遵循从整体到局部，从高級到低級的原則，如設計水准网，应首先考虑精密水准环，其次考虑三等水准网，再补充四等水准綫，只有如此做法，才能保證密度和誤差的均匀性。

对于設計的步驟，我們認為，首先应了解測区輪廓和測量的

任务要求，其次編制設計底图的輪廓，了解和鑑定測区內的已有資料，可以事半功倍。因为对測区輪廓有了較深刻的認識，关于測区以外的資料可以不鑑定，已鑑定的旧有三角水准所在的平面位置，亦有更深刻的記憶。随即編制“技术設計图”。在編制过程中，如發現問題，而設計图上无法表达者，应記入专用的記載本中，待編写“技术設計書”时說明之。

技术設計图通常分为二张：三角測量技术設計图和水准測量技术設計图。水准測量技术設計图中包括有三角高程測量的技术設計。

(二) 三角測量技术設計图的編制

1. 准备工作：

了解上級指定的測区輪廓和測量的任务要求后，即着手編制技术設計图，使測区的輪廓展繪到設計图上。

大面积三角測量技术設計，均在国家一等三角鎖环內填补各級三角网，其面积大都为4—7万平方公里，故設計底图的比例尺通常采用1/50万比較适合。

編制的初步工作，以本測区內占面积最大的某一省1/5万图为主，求出測区內最北部分和最南部分的平均图廓长度，再按其长度以1/50万的比例尺在設計图底上画出相应的图幅綫，以虛綫—·—·—表示之，此綫与經緯綫及三角点的方向綫应有所区别，否則就会增加内外业看图的麻煩。

其次，把邻省的1/5万图幅綫亦按1/50万比例尺移于設計底图上。为此，先找出本省图上与邻省重迭部分的同名点，如山头、县城、鎮集等展繪于設計底图上。再把邻省的同名点及图幅綫展于透明紙上，把透明紙盖在設計底图上，力求同名点重合。稍加移动后，即可将邻省的图幅綫用小針刺于底图上，再用不同虛綫—·—·——連接之，并註明各省的图幅編号，以便查图。

在取舍两省軍用图同名点时，最好多利用明显的同名山头（制高点），因1/5万伪陆軍图的成图过程中，对山头是比較重

視的。其次为城鎮。設計底图的图幅綫决定后，再把一等鎖展上去，整个測区的輪廓就可以显示出来了。

2. 了解和鑑定資料；

資料了解得愈全面，工作过程就愈順利。如对已有各种比例尺地形图的情况，已有三角鎖网的分布情况、精度、标石类型，基綫密度、长度、精度、最后扩大边的中誤差等都要摸底。至于丈量基綫所用基綫尺的檢定历史，和各种測量的技术总结等有关資料也要看一遍。只有如此，在設計过程中，才能全面考虑問題，不至于忘記連測，避免返工。

3. 新基綫的設計位置 and 旧基綫的利用；

苏联1954年大地法式：是在一等三角鎖环內填布二等网，再在二等三角形內加密三、四等点。因此二等网是整体的，高級的。二等基綫設計位置的优劣，是二等网精度的主要原素

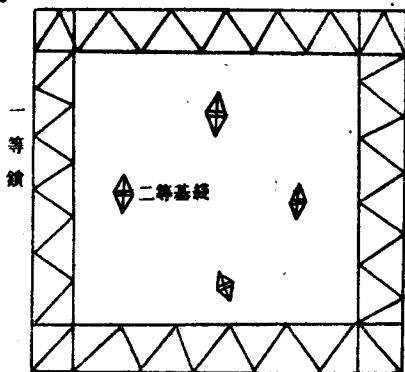


图 1

之一，我們認為采取以下图形的基綫布置比較有利。(图 1)所有新設計基綫网最后扩大边，均应布設天文点。

关于旧有基綫的位置，如适合于新二等网，那么就可以考虑它的精度、长度、及扩长的可能性，倘能滿足設計需要，就把它展于底图上。

如无旧基綫，应先在二等网的适当地点寻找二等基綫場，并决定最后扩大边的位置，及与二等网通視的可能性。遵照細則規定，二等基綫至一等边可采用 9 个图形，而二等边平均边长为 13 公里，故二等基綫場至一等边的距离約为 60—70 公里。而两二等基綫場之間的距离可采用 14 个图形約为 90—100 公里。

旧有基綫，原則上应当全部利用。如因某位置不能滿足新的

布点方案要求，且其长度过短，又无增加长度的必要时，我們認為把它納入新設計的三、四等三角系統內，大有好处。除了利用該旧有基綫的两端点外，尙可把旧成果（旧的基綫丈量的长度）与新的四等边边长进行比较，由于旧成果是直接丈量的，所以就創造了最有利的校核条件。

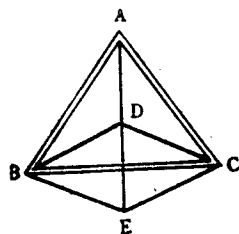


图 2

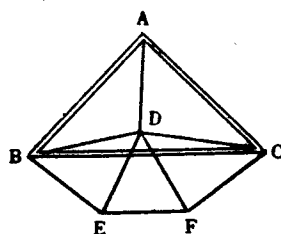


图 3

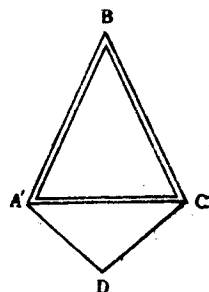


图 4

4. 二等网的布設：

基綫場決定后，进行二等网的設計，二等网与一等鎖之間必須用坚强的图形連接之。通常采用菱形（图 2）或扇形（图 3）的标准图形連接之。

扇形（图 3）应連接 AD 的方向綫，使图形的强度增加。至于菱形（图 2）的方向綫 AD ，如不通視可以不必勉强連接，在一等边特别短的情况下，可采用图 4 的形式連接之。由于国家一等鎖有时过长过大，或一等点不是安置于制高点，所以我們有时也迫不得已用任意图形連接之。但必然降低二等网的强度。因此建議进行一等鎖技术設計及实地选点时，均应考虑到二等网的連接問題。

二等网的平差計算，过去和現在都是一个区一个区的分区整体平差，因而在一等鎖的中心綫就形成两个地区的分界綫（图 5），两个地区边沿的二等点可以互不通視，仅須連接一等鎖的边，就可滿足要求。如此做法，是由于目前的計算工具尙不可能进行大規模的二等全面网整体平差的緣故。于是在一等鎖最弱边

A、B、C、D为已经选定的新三角点，設M、N点均为制高点，且为連續的主要分水岭，則我們选定了M、N点后，在M、N至已选点A、B、C、D之間的空白地区內，有足够的伸縮余地，可以补点。若仅采用在已选的A、B、C、D点上，以逐个三角向西推进的方式进行，則到达M、N分水岭时，所組成三角形的边不是过长，就是过短，角度亦不合理想，甚至有时为了越过分水岭，做成技术性的返工現象，延长設計工时。

由于二等网是整体的、高級的，所以应避免个别角度过小而引起的誤差影响全局，因此对二等网的图形强度应加注意。在完成全面二等网后，再在設計底图上全面检查一次，如发现可以更改者，应随时更改，庶可使三角形的边长、角度、符合要求，标高的决定最合理、最經濟。

在二等全面网的最后方案肯定后，进行精度估算工作。随即用典型图形进行三等点加密。

5. 精度估算：

新設計的二等网的精度估算，如下列各式：

(1) 鎖段中最弱边长相对誤差。

$$\frac{m_s}{S} = \sqrt{\left[\frac{m_b}{b}\right]^2 + \left[\frac{m''}{1.23 \times 10^5}\right]^2} \frac{1}{P} \quad (1)$$

式中 m_b 表起算边的中誤差， m'' 表测角中誤差， $\frac{1}{P}$ 表图形权倒数。

(a) 单三角形图形权倒数

$$\frac{1}{P} = \frac{4}{3} \Sigma \left[\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B \right]$$

(b) 四边形和多边形图形权倒数

$$\frac{1}{P} = \Sigma (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B)$$

(2) 一等鎖环內全面网(取銷二等基本鎖)最弱边边长相对誤差为

$$\frac{m_s}{S} = \sqrt{\left[\frac{m_b}{b}\right]^2 + \left[\frac{m''}{0.615 \times 10^6}\right]^2 \frac{1}{P}} \quad (2)$$

上式 m_b 表起算边, m'' 表测角中误差, $\frac{1}{P}$ 表图形权倒数。

全面网图形权倒数为

$$\frac{1}{P} = 0.77n - 0.77 \left[\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{n}{2}} - \left(\frac{1}{2} \right)^{n+1} \right]$$

n 为最弱边至起算边的三角形个数。

(3) 菱形基线网权倒数估算公式。

$$\frac{1}{P} = 0.53 \frac{\Sigma(\delta_1 + \delta_2)^2 + (\theta_4 + \delta_1)^2 + (\theta_4 - \delta_2)^2 \delta_4}{(\delta_4 + \delta_4')^2} \quad (3)$$

δ 表正弦对数 $1''$ 表差, θ 表余弦对数 $1''$ 表差。

我們經常利用上列第 (2) 式估算各基线网之間的最弱边相对中误差 (如图 1 所示, 四个基线网所包围的中心部分)。估算結果, 不应大于 1:150 000 (按苏联专家阿格罗斯金所編写的关于建立三角网所需的精度第一系列的数值)。

6. 三、四等点的加密:

三等点是用典型图形在二等三角形或二等边上加密之, 典型

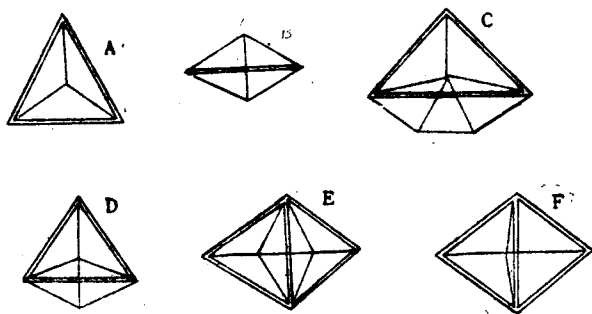


图 7

图形可參閱地質部測繪局学习資料第五期登載的苏联阿格洛夫“用二等点加密一等网标准图形之选定”一文。該文中所提的二

等点和一等网相应于本文中的三等点和二等网，大約有以下的图形。

其中以图 E 的图形最强，图 B 的图形較劣，但可解决起始边过长的矛盾。三等点最好按以上图形加密，最弱边的相对中誤差是可以达到 1:100 000 的（亦按阿格罗斯金編写的第一系列数值）。

四等点亦可按以上图形在三等三角形或三等边上加密之。則最弱边的相对中誤差可以达到 1:75 000（亦按阿格罗斯金編写的第一系列数值）。

对三角的设计，我們認為只須考虑二、三等点，因在野外选点过程中，对二等点的图形稍加变动，則四等点的图形变动甚剧，所以对四等的设计就失去了意义。三等点，如作业单位同意，亦可由作业单位进行设计。

二等点的平均边长为13公里，三等点的平均边长为8公里。为了顧及整体到局部，高級到低級的原則，二、三等点的平均边长不应有显著的出入。边长过大，影响四等点加密的困难，边长过短，会造成浪費現象。实际上，三等点的边长如果过短，也会降低三等点的图形强度。四等点的边长，視測图比例尺及成图方法而定，它的采用范围为2—6公里。

7. 經緯綫的决定：

大面积技术設計底图通常用 1/50 万比例尺，当图上距离为 1.0 公厘时，地面距离为 500 公尺。而經緯度的誤差不大于 $20''$ 时，图上距离約为 1.0 公厘。故决定經緯度时，可利用旧有三角点的大地坐标，求出該坐标与设计图需要的經緯綫的差数 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\phi$ ，凑整至 $20''$ 的整数化为边长。与图廓綫大致平行的方向，展于图上。連接各点的經緯綫，就可得出全区的經緯綫。为了提高工效起見，在决定了四隅的經緯綫后，可用鄰区同緯度的經綫或同經度的緯綫套在设计底图上，稍加移动重合，用小針刺点連接之。

若新設計地区缺乏或沒有旧有的大地坐标，則可用鄰区同緯度的經緯綫延長之。

如發現經緯度与旧 1/5 万图幅綫有显著的不平行时，須研究到底是經緯度弄錯了，还是伪陆軍图的图幅綫有差誤。根据以往經驗，对长江流域各省的图幅綫与經緯度大都平行。尤其四川省的伪陆軍图的經緯綫，完全可以滿足設計要求。

8. 地形的利用：

图上选点，亦应考虑到經濟的合理性，就是降低标高，除高級点应选在制高点上的通用原則外，要尽量利用平原与台地（即起伏极微的丘陵地）之間的有利条件，从地貌观点来看，往往会遇到如图 8 的地形：（断面图）



图 8

我們在进行鍾祥区和麻城区的設計时就遇到如此大片台地，似此情形，应尽量利用台地的边缘高地如 C' 点。縱使在 C 点处与 D 点亦可通視，无須增加标高；但在 CD 之間之三、四等加密和以后地形测量时就会带来通視的困难。因此 C' 点对平原地区控制面积将大大增加。同时設計 D 点的标高时，仅須考虑对 E 点等的通視关系，至于对 C 点的通視关系，已可不必考虑。

9. 通視估計：

关于两三角点之間的通視問題，我們曾經采用以下做法：

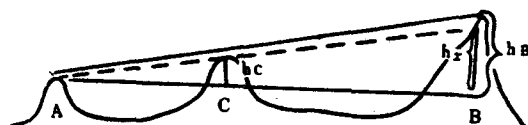


图 9

（1）在两点間，仅有少数一二个障碍物可能挡住視綫，如图 9：

C 点可能会挡住視綫，我們先在图上量出 AC 的距离，并在图

上求出 C 与 A 的高差 h_c 。再量出 AB 的距离，則 $h_x = \frac{AB}{AC} \cdot h_c$ ，

將 h_x 加上概略的地球弯曲差，其数值若 $< h_B$ ，則說明可以通視。估算过程不必用笔算，可以用心算求之。

(2) 在傾斜度不大的两点間，而且障碍物的数目很多，如图10。

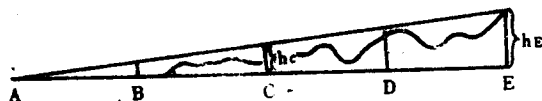


图 10

在 AE 两点間。障碍物很多，先在图上取 $AC = \frac{1}{2}AE$ ， $h_c = \frac{1}{2}h_e$ 加上概略的地球弯曲差。則 h_c 为 AE 視線的高度。再用同样方法求出 B 、 D 等点的視線通視高度。再在每一小段內考虑通視的可能性。

以上两法，尚不够迅速，且系用心算，亦嫌粗糙。大跃进后，我們采用下法。

如图11：方格紙上垂直注記为两点高差 h ，水平注記为两点

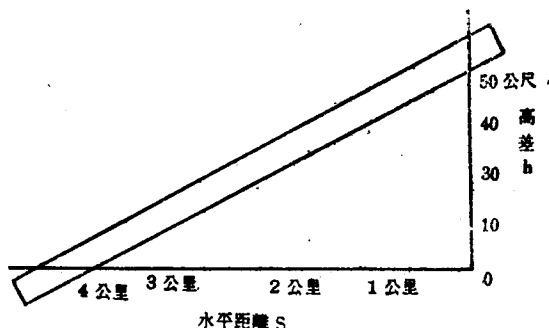


图 11

的距离 S ，今检查 AB 两点間之通視情况。先求出 AB 两点間之高差 h ，及水平距 S ，設 $h=50$ 公尺， $S=41$ 公里，則以一直綫板或三角板的邊緣切于 $h=50$ 公尺， $S=41$ 公里的两点上，該邊緣

則為 AB 兩點之視線。其次量出障礙物的相應水平距離，求出高差，加上概略的地球曲率改正數，按圖上方格紙垂直注記 h ，及水平注記 S 的垂直線交叉點，即該障礙物縱斷面位置。點在綫下者表示通視無阻。

10. 對偽陸軍圖的体会和利用：

1/5 萬偽陸軍圖的精度不高，但按其成圖過程，再結合設計的要求，我們可以認為：平面位置方面，對主要山頭是比較可靠的；有獨立標高的次要山頭和主要地形變換點也不會有極大的出入；其次為居民地。因為主要山頭大都擺過測站，用後方交会法求出點位，其示誤三角形的邊長一般不超過 3 公厘；後者是用前方交会法及目測定出的。至於高程方面誤差較大，對通視問題影響亦大。由於等高綫的間隔為 20 公尺，所以當視線通過山坡時，應當設計得高一點，再加上地球曲率差，最好不要小於 30 公尺，而當視線通過山頭時，只要相距 10 公尺就可以了。因為 1/5 萬圖上主要山頭的高度亦是用後方交会法，取直反視高度的平均值，或用多數的前方交会法取直視高度平均值，兩高度之差，一般不超過 ± 5.0 公尺，平均值的誤差約為 3—4 公尺，所以 10 公尺大致上是可以滿足設計的要求。以上是對一般偽陸軍圖而言。個別地區，還要粗糙得多。

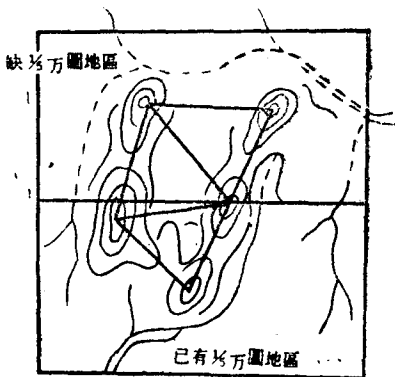


圖 12

在 1/10 萬偽陸軍圖上進行設計是比較困難的。由於 1/10 萬圖的成圖過程過分草率，有時兩居民地之間相差達 20 公里，如果完全根據它作為設計依據，則設計精度很壞。所以對 1/10 萬圖只能作為參考用。根據以往摸索，大約有以下体会：

(1) 四周有 1/5 萬圖，而中間缺一二幅圖的情況下，可先把

有1/5万图的地区进行設計，然后研究1/5万图上的河流和分水綫分布情况，再根据河流的大小和山谷坡度的緩急，按山岭蜿蜒方向，大致地可以找出制高点，凡山溪較大河底坡度較緩者距分水岭远，反之則近（如图12）。

在确定了（1/5万图上）河流和分水綫后，就参考1/10万图描繪河流（虛綫）概略定出制高点。

（2）大面积地区內用1/10万图进行設計时，在1/10万图与1/5万图相連地区，亦可用上述方法进行。其他地区，可根据已有資料，把已有选点图化成1/50万的比例尺繪在透明紙上，再与設計底图上的同名点重合，稍加移动后，用小針展于設計底图上。我們認為选点图是由实地得来的，而1/10万图是靠查勘填补而来的，其精度远遜于选点图。因此应以选点图为主，再参考1/10万图描出河流曲綫及分水綫再决定图形。

11. 居民地的取舍：

設計图上必須有足够的居民地，可增加野外工作的方便，因此对居民地的取舍应当是当地居民众所周知的地名。其密度要求在設計图上的居民地注記并不妨碍各級三角点方向綫的連結和河流的示意。

选择居民地的方法：（1）伪陆軍图的图名大都为該幅图內的大居民地（亦有为主要山峯）（2）沿河流、鉄路、公路的交叉点及沿綫寻找大居民地。（3）由于伪陆軍图的不正确，有的在图上似乎是大村落，实际上不出名。似此情况，可在鄰图图廓边注記上找。因为在图廓边的主要道路上总有注明經××至××。所指的地名大都是大居民地，可以取用。

在設計底图上，有了三角点和居民地，就可以画上相应的河流，經過以上的工序，設計图就算完成了。

（三）水准測量技术設計图的編制

1. 进行水准測量技术設計的准备工作的：

进行水准測量技术設計的准备工作和了解鑑定旧有資料的步骤，与进行三角測量技术設計的情况大致相同。因此，通常可以

利用三角測量技術設計圖的白曬圖，作為水準設計底圖。只須在描繪透明圖時，刪去不必要的三角測量方向綫，而代之以需進行天頂距測量的方向綫即可。

2. 展繪已有成果：

展繪已有成果分如下幾個步驟：

(1) 在測區設計範圍以內，將早先已經布設的各級水準路綫按其等級，以不同的顏色或彩色鉛筆，展繪於大比例尺縮圖上，再轉示設計底圖上。

(2) 在展繪上項水準路綫同時，將路綫中已經埋設的甲乙(I、II型)基本標石、地名標示於設計底圖上，並示以與其他標點不同的符號，作為計劃新設水準路綫的始點或終點的利用和參考。

(3) 展繪設計底圖四邊邊緣水準路綫時，可比照地形圖，兩張圖幅的拼接方法，將設計圖的四鄰，與本測區及已經設計的相鄰測區，已經展繪的或已經設計的水準路綫在設計圖上拼接。

3. 新水準路綫的布設：

通常設計水準路綫時，自主要控制水準網，即I、II等水準網或自精密水準網開始（我辦精密水準的精度介於I、II等水準之間），然後按工序布置三、四等水準路綫或三、四等水準網。二等水準或精密水準可預先在1/100萬或1/500萬縮尺圖上作全流域或全國性的環網布置，而I等水準網是按國家指定綫路來布設的。

按蘇聯1954年大地法式對於二、三、四等水準圖形，有如图13，水準測量技術設計，亦應遵循整體到局部、高級到低級的原則。由於二

等水準環控制面積大，且與其他環綫連接成整體的水準環網，為三、四等水準的起算依據，因此是整體的，高級的。

(1) 二等網（或精密水準）：除在本測區滿布周長大約

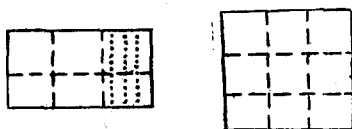


图 13. ——二等水准各边形
——三等水准路綫的分布
.....四等水准路綫的分布