

2 010 7061 5

# 大地测量



中国人民解放军测绘学校

一九七二年七月



## 前 言

无产阶级文化大革命的伟大胜利，彻底清算了叛徒、内奸、工贼刘少奇一类骗子在教育战线上推行的反革命修正主义路线，为我们在马列主义、毛泽东思想统帅下编写新教材开辟了前进的道路。

伟大革命导师列宁指出：“在任何学校里，最重要的是课程的思想政治方向。”伟大领袖毛主席指出：要“理论和实际统一。”根据上述方针，在重新编写《大地测量》教材时，我们坚持了以马列主义和毛主席的哲学思想为武器，批判了刘少奇一类骗子鼓吹的唯心主义、智育第一和技术至上等反动观点，明确了教材的无产阶级政治方向。为了提高教材的政治性、实践性和科学性，我们总结了一年多来教学实践的体会，吸取了测绘部队技术革新成果和宝贵经验，并组织学员参加了教材编写工作。

新编写的这本《大地测量》教材，是供我校一年半制大地测量专业使用的专业课基本教材。教材中一部份带※的内容，供选学和参考用。

在伟大领袖毛主席“备战、备荒、为人民”的方针指引下，在国防建设和经济建设日益发展的新高潮中，如何编写一本适合我国实际情况的《大地测量》教材，为三大革命实践服务，为培养又红又专测绘技术人员服务，是摆在我们面前的一项重大任务。但是，由于我们对马列主义、毛泽东思想学习不够，教育革命的实践还很少，理论水平不高，实际经验不多，所以这本教材难免有缺点和错误，我们热诚地希望同志们提出批评意见。

遵照毛主席关于“教材要彻底改革”的教导，我们决心通过反复实践，把教材改革进行到底，夺取无产阶级教育革命的更大胜利！

# 目 录

## 第一章 国家大地控制网

§ 1.1	建立国家水平大地控制网的方法和原理	( 1 )
§ 1.2	国家三角网布设的形式和原则	( 3 )
§ 1.3	国家三角网的布设方案	( 6 )
§ 1.4	建立国家高程控制网的方法和原理	( 11 )

## 第二章 三角测量的选点、造标和埋石

§ 2.1	三角网的图上设计	( 14 )
§ 2.2	实地选点	( 16 )
§ 2.3	觇标高度计算	( 20 )
§ 2.4	觇标的建造	( 25 )
§ 2.5	中心标石的埋设	( 29 )

## 第三章 光学经纬仪及其检验

§ 3.1	经纬仪的基本结构	( 33 )
§ 3.2	水准器	( 37 )
§ 3.3	望远镜	( 40 )
§ 3.4	水平度盘及测微器	( 42 )
§ 3.5	垂直度盘及垂直角的计算	( 47 )
§ 3.6	光学经纬仪检验概述	( 54 )
§ 3.7	水平度盘分划误差	( 55 )
§ 3.8	光学测微器的行差及其检验	( 56 )
§ 3.9	照准轴误差	( 62 )
§ 3.10	水平轴倾斜误差	( 66 )

§ 3.11	垂直轴倾斜误差及观测中的垂直轴倾斜改正	( 73 )
* § 3.12	用垂直轴倾斜法测定水准器的格值(康斯托克法)	( 80 )
§ 3.13	照准部旋转误差与垂直微动螺旋使用正确性的检验	( 84 )
* § 3.14	照准部偏心差和水平度盘偏心差	( 88 )
§ 3.15	经纬仪的维护与保养	( 101 )

#### 第四章 水平角观测

§ 4.1	水平角观测的主要误差	( 105 )
§ 4.2	观测操作的基本规则	( 114 )
§ 4.3	方向观测法	( 115 )
§ 4.4	分组方向观测及测站平差	( 123 )
§ 4.5	全组合测角法	( 129 )
§ 4.6	全组合测角法的测站平差	( 136 )
§ 4.7	归心改正和归心元素的测定	( 140 )
§ 4.8	观测作业的实施	( 151 )
* § 4.9	三方向法和对称测角法	( 154 )
* § 4.10	制定观测限差的方法	( 156 )

#### 第五章 三角测量概算

§ 5.1	铅垂线、水准面和大地水准面	( 164 )
§ 5.2	参考椭园体和大地坐标系	( 166 )
§ 5.3	地面观测值化算至椭园体面	( 170 )
§ 5.4	高斯投影的一般概念	( 174 )
§ 5.5	椭园体面观测值化算至高斯投影平面	( 178 )
§ 5.6	依控制网几何条件检查观测质量	( 186 )
§ 5.7	概算的内容和方法	( 195 )
§ 5.8	资用坐标计算	( 206 )
* § 5.9	高斯投影坐标计算	( 210 )
* § 5.10	高斯坐标邻带换算	( 216 )

## 第六章 导线测量

§ 6.1	导线测量的特点	( 220 )
* § 6.2	导线测量的精度	( 222 )
§ 6.3	导线的布设	( 225 )
§ 6.4	导线测量作业	( 228 )
§ 6.5	单个附合导线近似平差	( 231 )

## 第七章 水准测量

§ 7.1	概述	( 236 )
§ 7.2	国家水准网的布设	( 238 )
§ 7.3	水准仪与水准标尺	( 241 )
§ 7.4	水准仪和水准标尺的检验	( 245 )
§ 7.5	水准测量的误差影响及其消除方法	( 251 )
§ 7.6	水准测量作业方法	( 254 )
§ 7.7	水准测量外业计算	( 259 )
* § 7.8	水准测量的精度估计	( 264 )
* § 7.9	跨河水准测量	( 269 )

## 第八章 三角高程测量

§ 8.1	概述	( 273 )
§ 8.2	垂直角观测	( 274 )
§ 8.3	高差计算公式	( 277 )
§ 8.4	大气垂直折光及折光系数的确定	( 281 )
§ 8.5	水准联结点	( 284 )
§ 8.6	高差计算和三角高程网图上平差	( 287 )
* § 8.7	三角高程测量的精度	( 296 )

[注] 带 \* 者供选学和参考用

# 第一章 国家大地控制网

**内容提要：**为了满足经济建设和国防建设的需要，在我国约960万平方公里的领土上，实施大地测量，建立国家大地控制网，这是一项规模巨大的工作。这项工作如何开始进行呢？毛主席教导说：“**当着某一件事情（任何事情都是一样）要做，但是还没有方针、方法、计划或政策的时候，确定方针、方法、计划或政策，也就是主要的决定的东西。**”因此，建立国家大地控制网，首先要根据我国具体情况，选择适当的建网方法，确定建网基本原则，制订建网方案，并用以指导实际建网工作。这些也就是本章的主要内容。其重点则是建网基本原则和各级三角网布设方案。

大地测量的任务，是在广大地面上建立大地控制网，精密确定地面点的位置，即地面点的坐标（如 $x$ 、 $y$ ）及高程（ $H$ ）。这种用大地测量方法确定其座标和高程的地面点叫做**大地点**。因为大地点对测图起控制作用，所以，大地点又叫**大地控制点**。把这些控制点按一定形式联结起来构成的图形叫**大地控制网**。

国家大地控制网分**国家水平大地控制网**（确定地面点座标的）和**国家高程控制网**（确定地面点高程的）。这两种控制网各有不同的作用，建立方法也不相同，但它们之间还是有联系的。现分别介绍于后。

## §1.1 建立国家水平大地控制网的方法和原理

毛主席教导我们说：“**人的正确思想，只能从社会实践中来**”。劳动人民经长期的实践，逐渐掌握了建立水平大地控制网的规律，总结出两种建网的基本方法——**三角测量**和**导线测量**。这两种方法简要介绍如下：

### （一）三角测量

在地面上选定一系列的点1、2、3、……，把它们用三角形的形式联结起来，组成球面上的三角网，参看图（1.1）。若已知其中点1的坐标及1至2点的边长、方位角，再测量网中的各个角度，并化为平面上的角值，即组成平面上的三角网。然后根据已知平面边长 $D_{1,2}$ 、已知平面方位角 $T_{1,2}$ 及点1的平面坐标 $x_1, y_1$ ，依次推算网中各平面边长、平面方位角和平面座标。这就是三角测量的基本方法和原理。如由图（1.1）得：

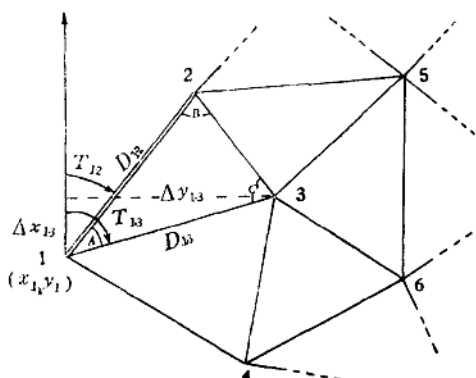


图 (1.1)

$$\begin{cases} D_{1,3} = D_{1,2} \frac{\sin B}{\sin C} \\ T_{1,3} = T_{1,2} + A \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta x_{1,3} = D_{1,3} \cos T_{1,3} \\ \Delta y_{1,3} = D_{1,3} \sin T_{1,3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_3 = x_1 + \Delta x_{1,3} \\ y_3 = y_1 + \Delta y_{1,3} \end{cases}$$

即由已知的  $D_{1,2}$ 、 $T_{1,2}$  及  $x_1$ 、 $y_1$  可推得  $x_3$ 、 $y_3$ 。同理，还可依次推得网中其他点的坐标。

## (二) 导线测量

在地面上选定一系列点 1、2、3、……，将相邻点联结起来，组成球面上的折线图形，这就是导线，参考图 (1.2)。若已知其中点 1 的坐标和一个方位角，再测量其中各边长及转折角；並化算为平面上的边长和角度，则组成平面上的导线，如图 (1.2)。然后根据已知的平面方位角  $T_{1,0}$  和点 1 的平面坐标  $x_1$ 、 $y_1$ ，依次推算导线中各边的方位角和各点的坐标，这就是导线测量的基本方法和原理。如由图 (1.2) 得：

$$T_{1,2} = T_{1,0} + \beta_1$$

$$\Delta x_{1,2} = D_1 \cos T_{1,2}$$

$$\Delta y_{1,2} = D_1 \sin T_{1,2}$$

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + \Delta x_{1,2} \\ y_2 = y_1 + \Delta y_{1,2} \end{cases}$$

即由已知的  $T_{1,0}$  及  $x_1$ 、 $y_1$  可推得  $x_2$ 、 $y_2$ 。同理，还可依次推得其他各点的坐标。

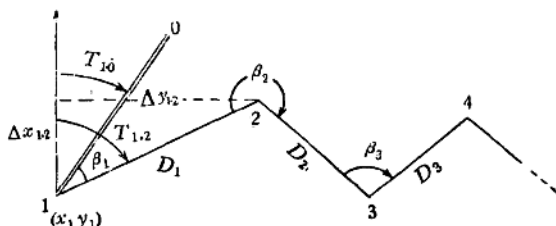


图 (1.2)

## (三) 三角测量和导线测量的特点

综上所述，大地测量就是通过测角、量边推算地面点的坐标。这也是三角测量和导线测量的共同点。“但是，尤其重要的，成为我们认识事物的基础的东西，则是必须注意它的特殊点”。三角测量和导线测量的不同特点在于：

**三角测量**——采取网状布设，控制面积较大，作业检核条件多，因此，精度较高。另外，其主要工作是观测水平角，因而组织工作简单。三角测量中除起算边外，其余各边均是推算出来的，距起算边越远，推算边长的精度越低，因而边长精度不均匀。但是，在网中适当位置加测起算边和起算方位角，就可控制误差的传播，弥补上述缺点，保证三角网有足够的精度。因此，三角测量是我国布设水平大地控制网的主要方法。

**导线测量**——采取单线布设，因为只要求相邻点通视，所以选点灵活，可沿交通线或河

谷布设，适用于特殊地区的测量作业，如高原、森林或其他荫蔽地区。导线边均为直接测定的，其精度均匀。此外，采用物理测距方法测量导线边，可大大提高导线测量速度和精度。但是，导线控制面积较小（为一狭长地带），且作业检核条件少，这是它的缺点。

毛主席教导我们说：“按照实际情况决定工作方针”。因此，在某一地区布设水平大地控制网时，要根据测区自然条件和作业器材装备，来确定采用三角测量方法或导线测量方法。

## § 1.2 国家三角网布设的形式和原则

用三角测量方法建立的国家水平大地控制网，称为国家三角网。三角网如何布设呢？我们必须首先了解三角网布设的形式和三角网中各类元素的意义，明确三角网的布设原则，而后才能解决三角网的布设问题。

### （一）三角网的基本形式

三角网有多种布设形式，其最基本的形式有三种。

#### （1）三角锁

由三角形连接起来（有时也连接一些有对角线的四边形和中点多边形），构成向一个方向推进的锁形，如图（1.3），称为三角锁。在我国一等三角采用这种形式布设。

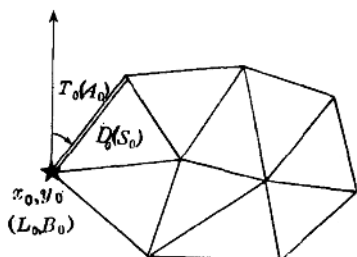
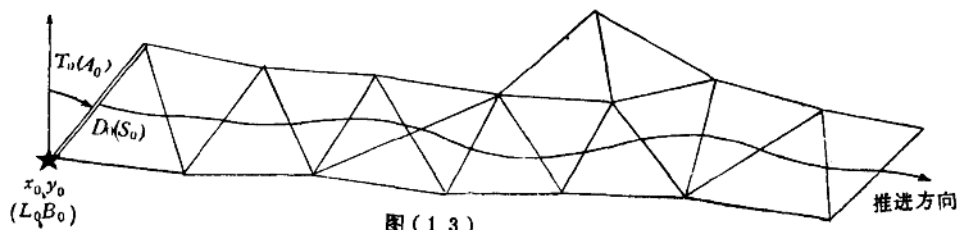


图 (1.4)

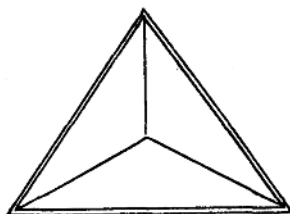


图 (1.5)



## (2) 三角网

由互相连接的三角形构成，如图(1.4)，称为三角网。我国二等三角和部份三、四等三角采用此种形式。

## (3) 插点图形

在已建成的三角锁、网中，插入一点或几点，如图(1.5)称为插点图形(简称插点)。我国三、四等三角也常采用此种形式。

# (二) 三角网中的各类元素

无论用上述那种形式布网进行三角测量，网中都包含以下三类元素：

## (1) 起算元素

建立一个大地控制网，至少必须测定一组起算元素(数据)。如图(1.3)，它包括①起算点的大地座标 $L_0$ 、 $B_0$ ；②起算边长 $S_0$ ；③起算边的大地方位角 $A_0$ 。这组起算元素是在椭圆体面上的元素，可根据一定的方法，将它们化算成高斯投影平面上的坐标 $(x_0, y_0)$ 、边长 $D_0$ 和方位角 $T_0$ ，以推算其余各点的高斯平面坐标。

对一等三角锁来说，其起算点的大地坐标 $(L_0, B_0)$ 和起算边大地方位角 $A_0$ 是综合大地测量、天文测量和重力测量的方法来确定的，起算边长 $S_0$ 是用精密基线测量或物理测距方法测定。对二、三、四等三角网来说，已平差的高等级三角网的点位坐标、边长、方位角都可作为起算元素。

## (2) 观测元素

网中各点周围的全部角度。三角测量中大量的工作就是观测这些角度。

## (3) 推算元素

由起算元素和观测元素推算出的网中全部边长、方位角和点的坐标。

由上可知：高精度的确定起算元素，是建立精密水平控制网所不可缺的；三角测量野外作业的任务在于精确测定观测元素；而推算元素的求得，则是由内业平差计算完成的。

# (三) 国家三角网的布设原则

国家大地控制网的重要作用，是控制地形测图和为社会主义经济建设、国防建设提供资料保证。因此，作为国家大地控制网重要部分的国家三角网的布设，也是一项“百年大计”的工作，必须以“多快好省”为指导方针。根据我国具体情况和实践经验，我国三角网的布设应遵循以下原则：

## (1) 分级布网逐级控制

我国具体情况是：面积大，多山，还有雪峰连绵的高原。如果用最高精度和较大密度的三角网一次布满全国，这不但需要很久的时间，甚至是难以做到的。况且，也不适应我国社

会主义经济建设和国防建设的轻重缓急或有先有后的需要。因此，我国采用分级布网，逐级控制的原则。即先以高精度的稀疏的一等三角锁，纵横交叉地迅速布满全国，形成统一的骨干大地网。然后，以一等锁为控制基础，在各地再逐级（或同时）布设二、三、四等三角网。

(2) 要有足够的精度

三角网中推算元素的精度（允许误差）怎样规定呢？这个问题一点也离不开实践。例如，测图对边长精度的要求为：十几公里以上的边长（高级三角网边长）的误差，应小于0.1—0.2米（即平均边长相对误差约为1:150000）。十公里以下的边长（低级三角网的边长）的误差，应小于0.1米（平均边长相对误差约为1:40000—1:80000）。这就是三角网的推算边长应满足的精度规定，详见表（1.2）。

还应指出：如图（1.3）所示，①网中各推算方位角，是由起算方位角及相应的观测角推算出的。显然，起算方位角误差及观测角的误差直接影响推算方位角的精度。同时，推算方位角时，推算路程越远（经过的三角形个数越多），推算误差越大。由此得出结论：起算方位角误差和测角误差越大，推算中所经三角形个数越多，则推算方位角误差就越大。②同理，起算边长误差和测角误差越大，推算边长中所经三角形个数越多，则推算边长误差越大。③推算边长误差，还与网中各三角形的角度大小有关，其角度越小，推算边长误差越大。因为，小角的正弦一秒变化（一秒表差）大，这样，按正弦定律推算边长时，假如小角测错1"（包含误差1"），则使边长产生误差也大。

综上所述，建立高精度的三角锁网，必须保证：起算元素有较高的精度；观测元素（主要是观测角度）要有适当高的精度；网中各三角形的角度大小要有适当的规定；推算元素距起算元素的距离（相隔三角形的个数）也要有适当的规定。这些精度要求和规定见表(1.2)。

(3) 要有足够的密度

三角点的密度，依测图方法而定。根据实践，一般按航测成图要求，点的密度规定如下：

表(1.1)

测图比例尺	平均每幅要求点数	每个三角点控制面积	三角网平均边长	等级
1:50000	3	约150平方公里	13公里	二等
1:25000	2—3	约50平方公里	8公里	三等
1:10000	1	约20平方公里	2—6公里	四等
1:5000	每4幅1点			

由表（1.1）知：如要完成国家基本比例尺测图——1:50000测图，每个1:50000图幅中需3个三角点。因此，需要在一等锁（边长约20公里）控制下，建立边长约为13公里的二等网。

若把三角点加密到20平方公里一点，建立边长为2—6公里的四等三角网，则可满足

1 : 10000—1 : 5000测图需要。

(4) 要有统一的规格

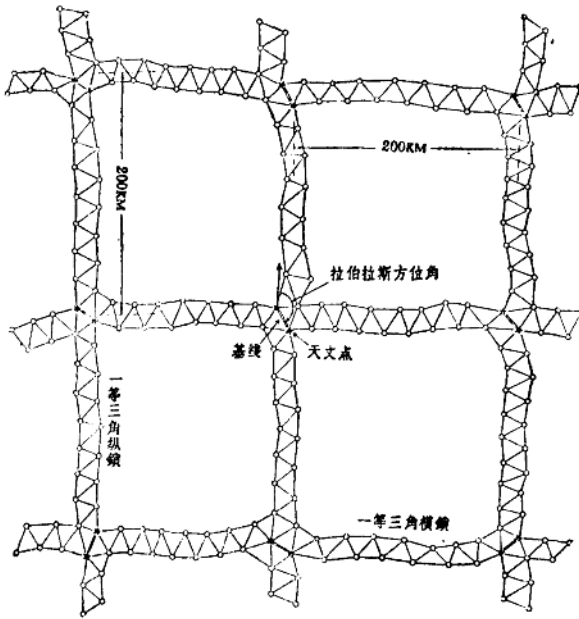
全国各测量机关、单位，在建立国家三角网中，必须遵守统一的规格要求，才能互相配合，建立起全国统一的三角网，以免重复和浪费。

国家三角网就是遵循上述基本原则布设的。

### § 1.3 国家三角网的布设方案

毛主席教导我们：“要有全面的规划，还要加强领导。”为了布设全国统一的高精度的三角网，就必须在基本原则的指导下，制订统一的布网方案和精度要求，作为各地区、各单位作业的基本依据。

#### (一) 一等三角锁布设方案



图(1.6)

一等三角锁是国家大地控制网的骨干。其主要作用是控制二等以下各级三角测量和为研究地球形状提供资料。控制测图不是其主要作用。由此，一等锁着重考虑的是精度问题而不是密度问题。

一等三角锁一般沿经纬线布成纵横交叉锁系。锁系交叉点间的一段称为锁段，其长度约为200公里，如图(1.6)。

一等锁由近于等边的三角形构成，锁段中三角形的边长约20—25公里，三角形的任一角

度不得小于 $40^\circ$ ，三角形个数约为16—20个。此外，在地形困难地带还允许在单锁中插一些大地四边形和中点多边形，其求距角应不小于 $30^\circ$ 。一等三角锁的各锁段的测角中误差不得大于 $\pm 0''.7$ 。

在锁段两端精密测定起算边，在起算边两端精密测定天文经、纬度和方位角，以获得精确的起算元素和控制锁中边长、角度误差的积累。

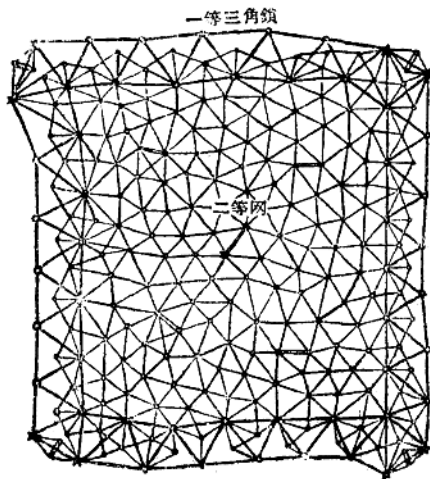
由布网原则第二条知：上述对锁段长度、三角形个数的规定，对角度大小、测角精度的

规定和精密测定起算数据等，都是为了保证推算元素达到精度指标的要求。

## (二) 二等三角网布设方案

二等三角网是在一等三角锁控制下布设的，它是地形测图的基本控制，同时也是三、四等三角测量加密三角点的基础。因此，必须兼顾精度和密度两个方面的要求。

二等三角网，以连续三角网的形式布设在一等锁段围绕的地区内，四周与一等锁接边，如图(1.7)。为了保证和提高二等网的精度，控制边长误差及角度误差的传播，一般在二等网的中央处要测定已知边和两端点的天文经、纬度及方位角。当一等锁环过大即二等网面积过大时，还要在二等网适当位置加测几条已知边，使任意一条二等边距最近的起始边(包括加测的已知边)的距离不超过12个三角形，或距最近的一等三角边不超过7个三角形。



图(1.7)

此外，网中三角形的角度要在 $30^\circ$ 以上，最好在 $60^\circ$ 左右。三角形的边长约在13公里左右。二等网中测角中误差不得超过 $\pm 1''.0$ 。相邻两个二等网，最好也要互相接边。

## (三) 三、四等三角网布设方案

三、四等三角网是在一、二等三角锁网控制下布设的。目的是为了进一步加密大地控制点，以满足测图和各方面的需要。因此，点的密度必须和测图要求相适应，参看表(1.1)。三、四等三角网不仅直接控制测图，还为军控及矿山、水利建设等低级控制网提供控制点，作为它们的控制基础。

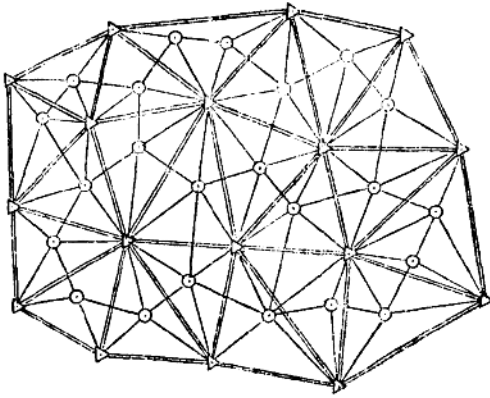
三等三角网中，平均边长为8公里，测角中误差为 $\pm 1''.8$ 。四等网平均边长为4公里，测角中误差为 $\pm 2''.5$ 。三、四等网一般必须与高等网接边。网中每一个点至少必须由三个方向观测之(形成双向观测)，构成一定几何条件，以便检核和提高三、四等网的精度。

三等网与四等网，其布设形式是一样的。三、四等网布设形式灵活多样，一般分插网、插点两种形式。

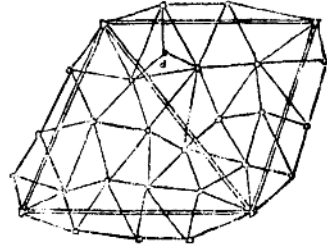
### (1) 插网法

如图(1.8)a，其中双线边表示高等三角网的边。将三等(或四等)点插入高等网中，用中点多边形、菱形、大地四边形等形式联结起来(图中单线边)，并与高等边尽可能相接，以构成三等(或四等)三角网。若需要以较大密度(即较短边长)布设三、四等点，此时三、四等网不易与高等网直接接边，则采用图(1.8)b的形式布网。即将三等(或四

等)点以三角网的形式联结起来, 並接在高等点上。

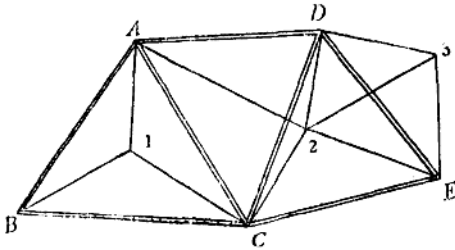


图(1.8) a



图(1.8) b

(2) 插点法

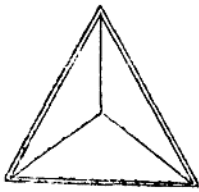


图(1.9)

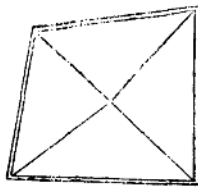
在高等锁网的三角形、四边形或多边形等图形的内、外, 插入一两个或几个三、四等点, 构成彼此互不联系的小网, 称为典型图形。如图(1.9), 1点为插入ABC三角形构成一个典型图形。2点及3点是在ACDE四边形内、外各插一点, 另构成一个典型图形。

插点图形(或形式)多种多样, 常用的有以下几类图形。

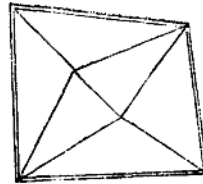
第一类图形



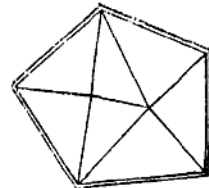
三角形内插一点



四边形内插一点

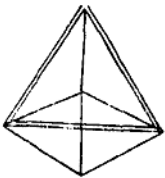


四边形内插二点

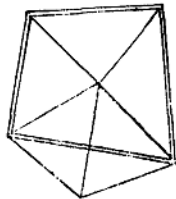


多边形内插二点

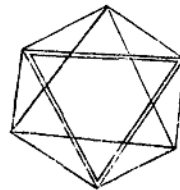
第二类图形



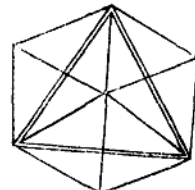
三角形内外各插一点



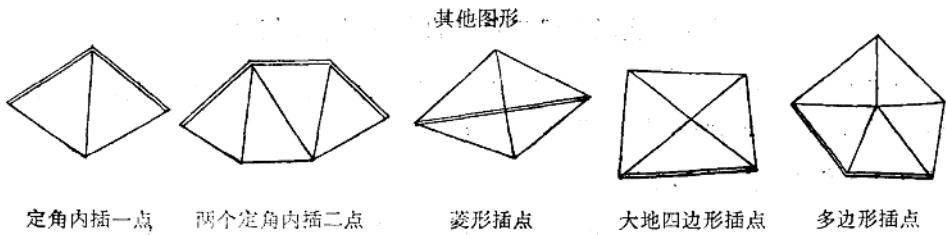
四边形内外各插一点



三角形外插三点



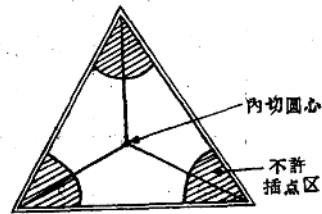
三角形内插一点, 外插三点



插点图形很多，此处不再列举。上述图形中双线表示高等三角网的边，单线表示低等三角网的边。图中各角均需观测。

应注意，三角形内插一点时，各角大小不作要求。其他图形中的角度应在 $30^\circ$ 以上。构成大地四边形或菱形时，应保证求距角（推算新网边长时选用的角度）在 $25^\circ$ 以上。

此外，值得注意的是插点位置和图形等对新点的精度有相当大的关系。根据误差理论和大量实践证明：第一，三角形内插一点，如图（1.10）插在三角形各内角平分线交点（内切圆心）处，精度最好。以角顶为心，以角顶至内切圆心的距离之半为半径所划的圆弧内（图中斜线部分）为不许插点区。第二，按新点数平均计算，第一类图形中几何条件数多，



图（1.10）

第二类及其他图形中几何条件数较少，所以采用第一类图形得到的点位精度较高，因此，应尽量采用第一类图形。第三，采用第二类或其他图形，得到的点位精度也能满足要求，如果图形中的角度大于 $30^\circ$ 或接近 $60^\circ$ ，即图形结构好，则得到的点位精度可明显提高。

### （3）插网法与插点法的优缺点

毛主席教导说：“努力避免片面性和局限性。无论什么事情，都必须加以分析。”对于三、四等网的两种布设形式，应该全面分析，以便结合实际灵活应用。

插网法：采用图（1.8）<sub>a</sub>的形式布网，由于所有新点都互相联结起来了，可以进行全网整体平差，得到较高的点位精度，且各点精度较均匀。缺点是高级点上方向数多，观测工作量较大。采用图（1.8）<sub>b</sub>的形式布网，只需和一个高级点联测，因而布设灵活；各点上观测方向数较均匀；边短，便于加密图根点（直接的测图控制点）；网的中间部分点的精度高而且比较均匀，网的边缘部分点的精度稍低。这种网对大比例尺测图比较适合。对于两种插网图形来说，虽然整体平差较复杂，但由于采用了电子计算机，平差也就不困难了。

插点法：主要优点是插点形式多，可以灵活应用，平差计算简便。缺点是当插点数量多或插点层次多（例如在二等网中插三等，同时又在三等网中插四等）时，高级点上观测方向数多，工作麻烦；相邻二个典型图形中不相联系的新点的点位相对精度低。

在作业中，究竟采用插点还是插网，除了考虑上述因素外，还应考虑地形条件和点的密度要求，根据实际情况，灵活应用。

#### (四) 我国各级三角网的布设规格和精度

我国各级三角网的布设方案，是在布网原则指导下产生的，是适合我国具体情况的。现将有关布网规格及各级网达到的精度综合如下：

(1) 我国国家三角网布设规格，见表(1.2)

我国国家三角网布设规格 表(1.2)

等级	平均边长(公里)	图形角度			测角中误差	三大角闭合差	起算元素精度		最弱边相对中误差
		单三角形任意角	中点多边形任意角	大地四边形求距角			起算边长	天文观测	
一等	20—25	40°	30°	30°	±0"7	±2"5	1:350000	$m_{\alpha} = \pm 0"5$ $m_{\lambda} = \pm 0"3$	1:150000
二等	13	30°	30°		±1"0	±3"5	1:350000	$m_{\varphi} = \pm 0"3$	1:150000
三等	8	30°	30°	25°	±1"8	±7"0		二等同一等	1:80000
四等	2—6	30°	30°	25°	±2"5	±9"0			1:40000

(2) 我国各级三角网中推算元素精度，见表(1.3)

我国国家三角网推算元素精度 表(1.3)

等级	平均边长	边长相对中误差 $\frac{m_a}{a}$	边长绝对中误差 $m_a$	方位角中误差 $m_{\lambda}''$	相对点位中误差
一等锁	25公里	$\frac{1}{150000}$	±0.17米	±1"0	±0.21米
二等网	13公里	$\frac{1}{150000}$	±0.09米	±1"0	±0.11米
三等网	8公里	$\frac{1}{80000}$	±0.10米	±2"0—±3"0	±0.13米—±0.16米
四等网	4公里	$\frac{1}{40000}$	±0.10米	±3"0—±4"0	±0.12米—±0.13米

上表所列推算元素精度，是在最不利情况下三角锁、网达到的最低精度(已概略加入起算元素误差影响)。从表中边长精度和点位精度看，都满足了大比例尺测图的需要，例如§1.2的布网原则中指出，测图要求：大于10公里的三角网的边长误差要小于0.1—0.2米；小于10公里的三角网的边长误差要小于0.1米。从表列边长误差数值看，显然国家三角网满足了这一要求。

我国长200公里的一等锁段，其两端点相对点位中误差为±1.0米。由此，对于相距5000公里(相当于25个锁段)的两点，其相对点位中误差约为±1.0米× $\sqrt{25}$  = ±5米；对于相

距10000公里的两点，其相对点位中误差约为 $\pm 1.0 \times \sqrt{50} = \pm 7$ 米；这对于远程武器来说都是完全容许的。这说明我国大地控制网不管对测图、对国防等需要均能满足。

最后，应该指出：首先表(1.2)中规定的各级方案规格(精度指标)，是区别质量的“数量界限”，是最低指标。因此，在建立三角网时决不可低于此规定，也不应以仅仅达到此规定为满足，而应充分发挥人的主观能动性，力争得到高于此规定的精度，以保证三角网的质量。其次，这一方案规格基本符合“多快好省”方针，但随着社会主义建设事业的发展，对布网方案又会提出更高的要求。所以，不应把它看作死的、凝固不变的东西，而应不断总结经验，以发展布网方案，使之更完善和具有更高的精度。另外，执行布网方案应根据具体情况灵活运用，例如在特殊困难的地区，可以考虑在一等锁控制下布设三等全面网，也可以采用三角、导线混合布网。在战备急需地区，可以根据地区情况，考虑密度与精度的特殊要求，布设独立控制网。而后再把它联测于国家大地网上。

## § 1.4 建立国家高程控制网的方法和原理

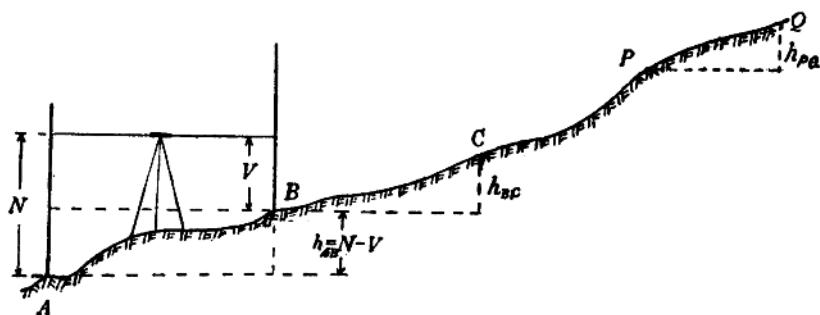
为了全面控制地形测图和战备需要等，水平控制网和高程控制网都必须完善地建立起来，以精密确定地面点的水平座标和高程。因此，高程控制网和水平控制网一样，都是大地控制网的重要组成部分。

列宁指出：“生活、实践的观点，应该是认识论的首先的和基本的观点。”劳动人民在长期的三大革命实践中，总结出两种建立高程控制网的基本方法——水准测量和三角高程测量。其原理如下：

### (一) 水准测量

水准测量是精密确定地面点的高程的。如图(1.11)，在A、B两点竖立水准标尺，在A、B中间安置水准仪，用水平视线在两标尺上分别读数得N和V。显然

$$h_{AB} = N - V,$$



图(1.11)

即为A、B两点间高差。

若已知A点高程为 $H_A$ ，则

$$H_B = H_A + h_{AB}$$



即为B点高程。

不难设想，依此可逐次求得 $h_{BC}$ 、 $h_{CD}$ …… $h_{FO}$ 。则

$$h_{AO} = h_{AB} + h_{BC} + \dots + h_{FO} = \sum h$$

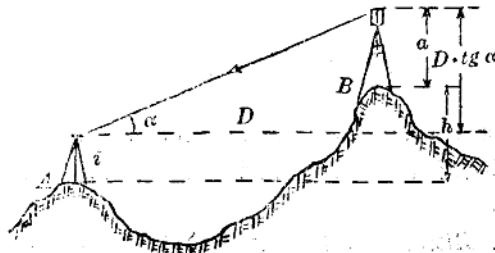
$$H_Q = H_A + \sum h$$

即为Q点的高程。

这就是水准测量的基本原理。水准测量的精度是很高的，因此，它是建立国家高程控制网的基本方法。用水准测量方法建立的高程控制网又称为水准网。

## (二) 三角高程测量

三角高程测量也是确定地面点高程的。



图(1.12)

如图(1.12)，设在A点用经纬仪观测B点觇标，测得垂直角为 $\alpha$ ，已知A、B两点间的水平距离为D，量得A点仪器高为*i*，量得B点觇标高为*a*，则

$$h = D \operatorname{tg} \alpha + i - a$$

即为A、B两点间高差。

若已知A点高程为 $H_A$ ，则

$$H_B = H_A + D \operatorname{tg} \alpha + i - a$$

即为B点高程。

这就是三角高程测量的基本原理。三角高程测量的方法简便，但精度较水准测量低，它是在水准网控制下，用于传递三角点高程的。用三角高程测量建立的高程控制网也是国家高程控制网的一部分。

我们在前三节里讨论了水平控制网，这里又讨论了高程控制网建立原理。这两种控制网有着密切地联系：首先，对于决定地面一点位置来说，两种控制网缺一不可，在计划布设水平控制网的同时，就要考虑计划布设高程控制网。其次，水准网虽是单独建立的，但在平原地区的一些三角点则直接与水准点联测；而三角高程网则是与三角网直接重叠在一起的。