

中等专业学校教材

控制测量学

武汉电力学校 蒋永华 主编



中等专业学校教材

控制测量学

武汉电力学校 蒋永华 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

中等专业学校教材

内 容 提 要

本书共十一章,系统地介绍了控制测量内、外业的基本原理和工作方法。其内容包括:三、四等三角测量、精密水准测量、三角高程测量、精密导线测量、高斯投影、三角测量概算,以及条件平差、间接平差在控制测量上的应用等。

本书可作为中等专业学校工程测量专业教材,也可供同类专业教学及技术人员参考。

中等专业学校教材

控制测量学

武汉电力学校 蒋水华 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 23印张 520千字 1插图

1992年6月第一版 1992年6月北京第一次印刷

印数0001—3790册

ISBN 7-120-01512-5/TV·542

定价5.50元

前 言

本书是根据水利电力部水利水电类专业教研会1987年制定的全日制普通中等专业学校工程测量专业教学计划和《控制测量学》教学大纲编写的。本书共十一章，由武汉电力学校蒋永华、陈国元同志负责编写。黄河水利学校郭绍村同志审阅，并提供了宝贵意见，敬致衷心感谢。

本书在编写过程中，参考了兄弟院校的教材和有关部门的文献、资料，在此谨表示感谢。

有关距离测量内容，因另编有《光电测距》一书，故未纳入本书之中。

由于编者的业务水平有限，本书难免存在缺点或错误，诚挚希望使用本教材的同志批评指正。

编 者

1991年6月

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第一节 控制测量学的任务及其作用	1
第二节 控制网的分类及其建立方法	1
第三节 国家三角网布设的基本原则	3
第四节 国家三角网的布设方案	5
第五节 水利电力工程控制网的布设	9
第六节 控制测量的现代发展概况	10
第二章 三角测量的选点、造标和埋石	12
第一节 平面控制网的技术设计	12
第二节 三角锁(网)边长精度的估算	14
第三节 实地选点	22
第四节 觇标高度的确定	24
第五节 觇标类型及其建造	28
第六节 中心标石的埋设	33
第三章 精密光学经纬仪及其检验	35
第一节 精密光学经纬仪	35
第二节 垂直度盘及垂直角计算公式	45
第三节 经纬仪的误差	48
第四节 精密光学经纬仪的检验	60
第五节 精密光学经纬仪的维护	71
第四章 水平角观测	72
第一节 水平角观测误差	72
第二节 方向观测法及其测站平差	76
第三节 分组观测及其测站平差	87
第四节 归心改正及归心元素的测定	91
第五节 观测成果的验算	96
第五章 精密导线测量	103
第一节 单导线精度估算	103
第二节 导线网的精度估算	111
第三节 精密导线测量的布设	113
第四节 精密导线的外业工作	119
第六章 高斯投影的基本知识	126
第一节 椭球的概念	126
第二节 地面观测值归算至椭球面	132

第三节	椭球面元素归算至高斯平面——高斯投影	135
第四节	高斯投影的分带	137
第五节	三角网在高斯平面上的投影	139
第六节	高斯投影的正反算计算公式	140
第七节	平面子午线收敛角	151
第八节	曲率改正和距离改正	152
第九节	平面直角坐标的换带	156
第七章	精密水准测量	166
第一节	高程控制网的布设	166
第二节	精密水准仪和水准尺	170
第三节	精密水准仪的检验	177
第四节	精密水准尺的检验	185
第五节	精密水准测量的主要误差来源及其影响	189
第六节	精密水准测量的实施	193
第七节	水准测量外业计算	198
第八节	跨越障碍物的精密水准测量	205
第八章	三角高程测量	215
第一节	三角高程网的布设	215
第二节	垂直角观测	216
第三节	三角高程测量高差计算公式	220
第四节	大气垂直折光系数 k 值的确定	224
第五节	三角高程测量的高差计算和外业验算	225
第六节	三角高程网的平差	229
第九章	平面控制测量的概算	236
第一节	概述	236
第二节	外业成果的整理、检查	237
第三节	编制已知数据表和绘制控制网略图	237
第四节	观测成果归化至标石中心的计算	238
第五节	观测成果归化至高斯投影平面上的计算	240
第六节	控制点水平方向和距离的整理	242
第十章	条件平差在平面控制测量中的应用	244
第一节	平面控制网按条件平差概述	244
第二节	独立测角网中条件方程式的种类和个数	245
第三节	独立三角网中条件方程式闭合差的限值	254
第四节	附合三角网条件方程式的种类和个数	255
第五节	附合三角网中条件方程式的组成	259
第六节	附合三角网条件方程式闭合差的限值	265
第七节	附合三角网条件方程式闭合差的限差	266
第七节	附合三角网的平差算例	266
第八节	测边三角网条件方程式的种类及个数	275
第九节	测边三角网条件方程式的组成	277

第十节 边角网按条件平差	294
第十一节 导线网按条件平差	306
第十一章 间接观测平差在平面控制测量中的应用	314
第一节 测角三角网按间接观测平差原理	314
第二节 误差方程式的组成	316
第三节 按史赖伯法则改化方向观测误差方程式	317
第四节 三角网按间接平差精度评定	320
第五节 间接观测方向平差的计算步骤及算例	321
第六节 测边网的间接平差	330
第七节 边角网的间接平差	335
附录	347
附录 1 高斯投影正反算电算程序(程序功能及简要说明)	347
附录 2 三角高程网平差程序(程序功能及简要说明)	349
附录 3 边角网平差程序(程序功能及简要说明)	353
主要参考文献	359

第一章 绪 论

第一节 控制测量学的任务及其作用

我们知道，工程建设往往分为规划设计、施工和运营三个阶段，而在各阶段的工作中都需要有必要的测绘资料（地形图和成果）作为依据。

如在水利电力建设过程中，兴建水利工程之前，首先必须对流域进行规划，确定梯级开发方案，测量回水面积计算库容，选择坝址，确定水头高度等。规划设计工作都要在已测绘的各种比例尺地形图上量算，以求得所需要的数据。因此，提供规划设计的各种比例尺地形图，应有必要的精度。而为测绘各种比例尺地形图所建立的控制网亦应有必要的精度。同时为了将所测绘的地形图能够互相拼接为一整体，所以应有一个统一坐标系统（国家系统或独立坐标系统）的控制网。这种为测绘地形图而建立的控制网，就是扩展图根控制和进行测图的基础，能限制测量误差的传递和累积，保证各幅图都具有一定的精度。

在施工和运营阶段的施工放样和变形观测中，按照设计与施工要求将建筑物的位置、形状、大小及其高程在地面上标定出来，以及对建筑物进行变形观测，都需要建立具有一定精度的专用控制网，显然这种专用控制网是施工放样和变形观测的基础，它具有限制施工放样和变形观测误差传递作用，保证各建筑物轴线之间的相互位置具有必要的精度，以满足设计、施工和运营的要求。

由于工程建设的规划设计阶段、施工阶段以及运营阶段均需建立控制网，而控制测量学的主要任务是研究建立控制网的原理和方法，可见控制测量学这门课程是直接为工程建设服务的。

控制测量学与大地测量学的主要区别是前者研究的对象为工程控制网，后者研究的对象是国家控制网。而工程控制网和国家控制网在某种意义上说又有不可分割的地方，如国家控制网中的三、四等控制点本身就是为工程建设规划设计阶段的测图服务的，而有些精度较高的工程控制网，也应与高等级的国家控制点进行联测，以便统一到国家控制网中去。就建立两种控制网的原理和方法以及所用的手段而言，基本上是相仿的。在大地测量学中主要讨论国家一、二等控制网的问题，而控制测量学则着重研究工程控制网和专用控制网的有关问题。

第二节 控制网的分类及其建立方法

控制网一般分为平面控制网和高程控制网两种。平面控制网是各种测量工作的平面控制基础，需要确定控制点的平面位置。高程控制网是各种测量工作的高程控制基础，需要确定控制点的高程。

一、建立平面控制网的基本方法

1. 三角测量法

三角测量是在地面上选择并标出一系列彼此通视的控制点，把它们用三角形的形式相连接，这样就组成了连续的三角形，这些三角形构成网状和锁状，称为三角网和三角锁，

如图 1-1，三角形的顶点称为三角点。

在三角网中，观测网中的各个角度，并按一定方法化算为平面上的角值 A 、 B 、 C ...，即组成了平面上的三角网。若已知点 A 的平面坐标 (x_A, y_A) ，点 A 至点 B 的平面边长 S_{AB} ，坐标方位角 α_{AB} ，便可用正弦定理依次推算出所有三角网的边长、各边的

坐标方位角，最后求得各点的平面坐标值。这就是三角测量的基本原理和方法。

三角测量的特点：几何条件多，图形结构强，便于检核，大量的工作是测角，受地形限制小，扩展迅速。因此，用三角测量方法来建立平面控制网，仍是当前生产中应用最广泛的一种方法。

2. 导线测量法

导线测量的原理：在地面上选定相邻点间互相通视的一系列控制点，将相邻点连接起来，构成折线形式，这就是导线，如图 1-2 所示。

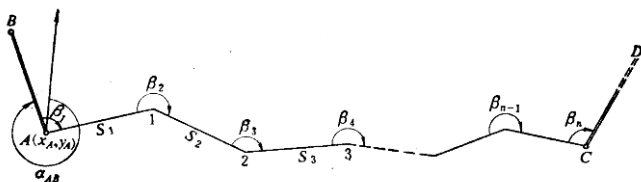


图 1-2 导线

若已知 A 点的平面坐标为 (x_A, y_A) ， A 点至 B 点的平面坐标方位角 α_{AB} ，测出各转折角 β_i 及各导线边的长度 S_i ，并将其化算为平面上的角度及边长。然后即可根据起始点 A 的平面坐标和起始边 AB 的坐标方位角 α_{AB} ，依次推算出各导线边的坐标方位角和各导线点的平面坐标。

导线的特点：各边长度都是直接测定，精度均匀，导线的纵向误差小。这种方法只要求相邻两点通视，因此推进速度快，布设灵活，容易克服地形障碍和穿过隐蔽地区，在隐蔽、荒僻地区应用它是十分有利的。但与三角测量相比较，其弱点是导线点控制面积狭小，角度观测检核条件少。

3. 三边测量法和边角测量法

三边测量法的结构和三角测量法一样，不同的是只测量所有三角形各边的长度，而三角形各内角则通过计算求得，进而推算各边的方位角和各点的坐标。如果在测角网的基础上加测一部分或全部边长，则称为边角同测法。此种方法目前只在某些特殊情况下采用。

二、建立高程控制网的方法

高程控制网是进行各种大比例尺测图和各种工程建筑物放样的高程控制基础，建立高程控制网的常用方法是几何水准测量法和三角高程测量法。

1. 几何水准测量法

用几何水准测量方法建立起来的高程控制网，称水准网。直接用几何水准测量方法传递高程，可以取得很高的精度。它也是建立全国性高程控制网的主要方法。

2. 三角高程测量法

三角高程测量的基本原理，是根据测站点观测照准点的垂直角和两点间的水平距离来计算测站点与照准点之间的高差，进而求得地面点的高程。这种方法简便灵活，受地形条件限制较少，故适用于测定三角点的高程。三角点高程主要是作为各种比例尺测图高程控制的一部分。因此它也是布设高程控制网的一种辅助方法。

第三节 国家三角网布设的基本原则

为了满足我国经济建设和国防建设的需要，在960万 km^2 的领土上，建立国家三角网，这是一项规模巨大的工作，是一项基本建设，需要全面规划、统筹安排。因此建立国家三角网，首先应根据我国具体情况，制定适当的布设方案，用以指导建立国家控制网的工作。

就客观要求而论，国家三角网要解决的问题是很多的，但其中主要的是作为地形测图的控制基础。下面讨论的几条建网原则就是以测图控制基础的需要为出发点。

一、分级布网、逐级控制

我国领土辽阔，地形复杂，根据各项建设的规模和特点，以及国防建设需要等因素，各地区对地形图比例尺大小和测图范围要求是多种多样的。因而对于作为测图控制基础的三角网的精度和密度要求也不可能一致，因此，不可能采用密度大、精度高和等级相同的三角网一次布满全国。为了适时地保障国家经济建设和国防建设用图的需要，根据主次缓急而采用分级布网、逐级控制的原则。即先以高精度而稀疏的一等三角锁，尽可能沿经纬线方向纵横交叉地布满全国，形成统一的骨干大地控制网，然后按不同地区、不同特点的实际需要，有先有后的逐级布设二、三、四等三角网。这样，既能充分而及时地满足各地区客观需要，又能达到快速、节约的目的。

二、应有足够的精度

国家三角网是测图控制的基础，精度就是最重要的指标，但是它应根据需要和可能来确定。作为国家大地控制网骨干的一等三角锁，应力求高精度，有利于为科学研究提供可靠的资料。对于用于测图控制的低级三角网，它的精度必须保证各种比例尺测图的实际需要。

为了保证国家三角锁网的精度，必须对起算数据和观测元素的精度、网中三角形的角度大小以及推算元素距起算数据的距离（相隔三角形的个数），提出适当的要求和规定，这些要求和规定见表1-1。

表 1-1 我国国家三角网布设规格

等级	边长范围 (km)	平均边长 (km)	图形角度				测角中误差	三角形最大闭合差	起算元素精度		最弱边边长相对中误差
			单三角形任意角	中点多边形任意角	大地四边形任意角	个别最小角			起算边长相对中误差	天文观测	
一	15~45	平原~20 山区~25	40°	30°	30°		±0.7"	±2.5"	1:350000	$m_a \leq \pm 0.5''$ $m_b \leq \pm 0.02''$ $m_c \leq \pm 0.3''$	1:150000
二	10~18	13	30°	30°		25°	±1.0"	±3.5"	1:350000	与一等同	1:150000
三		8	30°	30°		25°	±1.8"	±7.0"			1:80000
四	2~6		30°	30°		25°	±2.5"	±9.0"			1:40000

三、应有足够的密度

三角点的密度以平均若干平方公里一个点来表示，也可用平均边长来表示。三角网的边长愈短，一点控制面积愈小，密度就愈大。至于密度大小，就测图而论，主要是依据测图方法及测图比例尺而定。根据长期测图实践，按平板仪测图，不同比例尺测图对三角点合理密度要求如表1-2。

表 1-2 各种比例尺测图时对平面控制点的密度要求

测图比例尺	1:50000	1:25000	1:10000	1:5000
平均每幅面积(km ²)	350~500	100~125	15~20	4~5
平均每幅三角点数	3~4	2~3	0.5~1	约每4幅一点
平均每点控制面积(km ²)	约150	约50	约50	约20
三角网平均边长(Lm)	13	8	8	2~6

当用航测法成图时，根据成图方法的不同，控制点的布设形式和密度都有一些变化。根据测图对平面控制网的要求，我们又可根据各级三角点所应控制的面积Q来确定各级三角点的平均边长S。

如图1-3所示，假设三角网由边长为S的等边三角形所构成。三角点A、B、C分别控制着面积为Q的正六边形。因为△AEF为正三角形（AF=AE=EF=R）。

设正三角形AEF的面积为△，则Q=6△

因为 $AD=BD=\frac{S}{2}$

又 $\frac{AD}{R}=\cos 30^{\circ}=\frac{\sqrt{3}}{2}$, $EF=R=\frac{S}{\sqrt{3}}$

所以 $\Delta=\frac{1}{2}AD \times EF=\frac{1}{2} \times \frac{S}{2} \times \frac{S}{\sqrt{3}}=\frac{S^2}{4\sqrt{3}}$

故正六边形面积Q为

$$Q=6\Delta=6 \times \frac{\sqrt{3}}{12} S^2=\frac{\sqrt{3}}{2} S^2 \approx 0.87 S^2$$

则三角形的边长为

$$S=1.07\sqrt{Q} \quad (1-1)$$

上式就是三角网平均边长S与每个三角点控制面积Q的关系式。

将表1-2中每个三角点控制面积Q的数值代入式(1-1),则可求得相应的三角网平均边长S,例如:

$$S=1.07\sqrt{150} \approx 13\text{km}$$

$$S=1.07\sqrt{50} \approx 8\text{km}$$

$$S=1.07\sqrt{20} \approx 5\text{km}$$

《国家三角测量和精密导线测量规范》(以下简称三角测量规范),根据这些计算值,规定了二等三角网的平均边长为13km左右,三等三角网的平均边长为8km左右,四等三角网边长的长度依测图的需要要在2~6km范围内变通。

四、应有统一的规格

由于我国三角网规模巨大,每一级三角网都有许多工序,为了加快建网速度以满足客观需要,必须有大量的测量单位和作业人员分区同时作业。因此,如果没有统一的布网方案、精度指标和作业规格,就很难建成符合要求的国家控制网,而且还会造成重复和浪费。为此必须由国家制定统一的大地测量法式和作业规范,作为建立全国统一技术规格的三角锁网的依据。

第四节 国家三角网的布设方案

为在全国建立统一的国家控制网,由国家测绘主管部门根据大地测量法式所规定的布设原则,制定统一的布网方案和精度指标,作为各地区、各单位的作业依据。现将我国各等级三角网的布网方案及其精度指标分别简要介绍如下。

一、一等三角锁布设方案

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,便于二等网的加密,并为研究地球形状和大小提供资料。

一等三角锁应尽可能沿经纬线方向纵横交叉布设,如图1-4。

为了保证必要的精度,锁系交叉点间的锁段长度规定为200km左右,并在交叉处设置

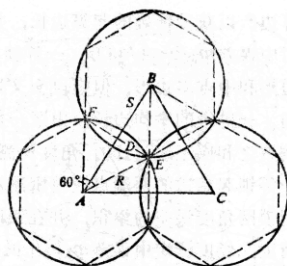


图 1-3 三角点所控制面积示意图

起算边，以获得精确的起算边长，并可控制锁段中边长误差的累积，起算边长长度测定的相对中误差 $m_s/b \leq 1/35$ 万。一等锁主要由单三角形构成，根据地形条件，也可组成大地四边形和中点多边形，但锁段交叉处一般应布设成中点多边形，避免两条锁邻接边相交成锐角。一等锁的平均边长，山区一般约为25km，平原区一般为20km，一等锁每锁段图形权倒数之和不应超过100。角度观测精度按三角形闭合差计算的测角中误差应小于 $\pm 0.7''$ 。在一等锁起始边的两端点应精密测定天文经、纬度和天文方位角，以获得起算方位角，可控制锁网角度误差的累积，并在锁段中央的一个点上测定天文经、纬度。一等天文点测定的精度：经度测定中误差 $m_\lambda \leq \pm 0.02''$ ，纬度测定中误差 $m_\phi \leq \pm 0.3''$ ，天文方位角测定的中误差 $m_\alpha \leq \pm 0.5''$ 。凡测定天文经、纬度的点都为计算垂线偏差提供资料。所以国家一等三角锁系又称为国家天文大地网。

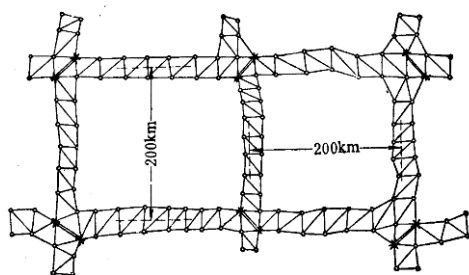


图 1-4 一等三角锁布设方案图

二、二等三角网布设方案

二等三角网是在一等锁控制下，以连续三角网的形式布设在一等锁环围绕的地区内，它是加密三、四等三角点的基础，同时又是地形测图的基本控制。因此，二等网必须兼顾精度和密度两个方面的要求。

从解放初期到1957年，我国二等三角网曾采用二等基本锁和二等补充网两级布网方案。即在一等锁环内，先布设沿经纬线纵横交叉的二等基本锁，将一等锁环分为大致相等的四个区域。二等基本锁的交叉处测量起始边，在起始边的两个端点上，测定经、纬度和天文方位角，用以控制边长和方位角推算误差的积累。二等基本锁的起始边的相对中误差不应低于 $1/20$ 万，锁段长度约为100km，平均边长为15~20km，锁段图形权倒数之和应不超过100，按三角形闭合差计算所得的测角中误差应小于 $\pm 1.2''$ 。

在一等锁和二等基本锁控制下，布设平均边长为13km的二等补充网，简称旧二网，按三角形闭合差计算所得的测角中误差应小于 $\pm 2.5''$ 。二等基本锁及二等补充网的布设图形如图1-5所示。

我国从1958年起，二等网采用以连续三角网的形式布设在一等锁环内，四周与一等锁衔接，如图1-6所示。

为了保证和提高二等网的精度，控制边长和角度误差的积累，因此应在二等网中央处

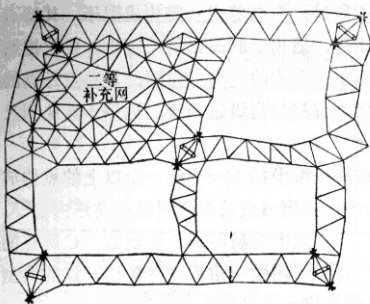


图 1-5 旧二网布设方案图

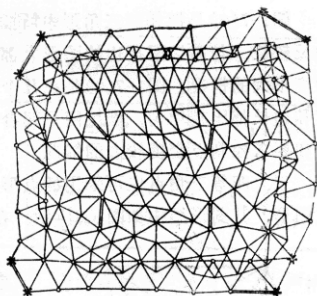


图 1-6 二等三角网布设方案图

测定一条起始边，并在其两端测定天文经、纬度和天文方位角，测定的精度与一等点相同。当一等锁环过大时，还要在二等网的适当位置，酌情加测起始边，使任一条二等边最近的一等或二等起始边不多于12个三角形，或距最近的一等边不多于7个三角形。

二等三角网的平均边长为13km左右，根据地形条件，边长可在10~18km范围内变通。用三角形闭合差计算所得的测角中误差应小于 $\pm 1.0''$ 。

从上述二等基本锁及旧二网与二等全面网的主要技术指标进行比较，可见二等全面网的精度远高于旧二网的精度。

三、三、四等三角网布设方案

三、四等三角网是在一、二等锁网的控制下布设的，其主要作用是为了加密控制点，其布设方案应视测图及工程需要而定。因此，它的密度必须与测图比例尺相适应，以满足测图和工程建设的需要。三、四等点以高等级三角点为基础，一般采用插网的方法布设，如受地形限制，当加密三、四等点时也可用插点方法布设。当测图或工程需要的控制点密度相当于四等三角点的密度时，还可以越级布网，即在二等网内直接插入四等全面网，而不经三加密。

三等网的平均边长为8km，四等为2~6km。由三角形闭合差计算所得的测角中误差，三等应小于 $\pm 1.8''$ ，四等应小于 $\pm 2.5''$ 。三、四等插网的图形如图1-7所示。

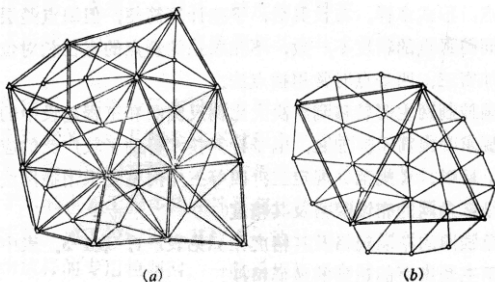


图 1-7 插网图形

图1-7(a)是把相邻三角形中所插新点尽可能联接,与高等点一起构成图形,其特点是边长较长,与高级网接边的图形大部分为直接相接,适用于测图比例尺较小,要求控制点密度不大的情况。图1-7(b)是在几个高级点间用短边布成的连续三角网,其特点是点的密度和边长都比较均匀,低级网只闭合于高级点而不直接与高级边相接,适用于大比例尺测图和要求控制点密度较大的情况。

三、四等三角点也可采用插点形式加密,在高级网中插入一个或一个以上的点构成插点图形,其图形结构如图1-8所示。在图1-8(a)中,决定A点的图形叫做三角形内插入一点的典型图形,决定B、C两点的图形叫做三角形内外各插一点的典型图形。

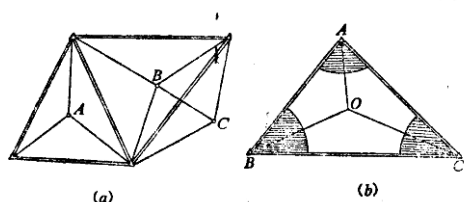


图 1-8 插点图形

插点的典型图形很多,下边仅列出几种常用的插点图形供参考。用插点方法加密三角点时,每一插点至少应有三个方向进行测定,且各方向应进行双向观测,同时还要注意待定点点位,因为待定点的点位对其精度影响很大。为此,要求插点点位应在高级三角形内切圆心的附近,不得位于以三角形各顶点为圆心,角顶至内切圆心距离一半为半径所作圆弧的范围之内[图1-7(b)]的斜线部分。

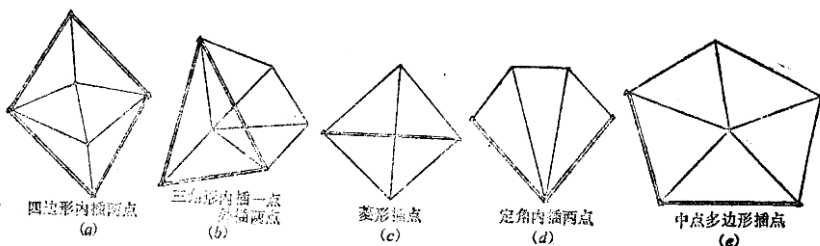


图 1-9 插点图形

插点法的特点:形式多样,布设灵活,平差计算简便,但缺点是层次多,高级点上观测工作量大,不同图形点的精度不一致,不相联系的新点的点位相对位差较大,所以在范围不大的测区内加密三、四等点时常用插点法。

由于当前我国控制网主要转移到解决大比例尺测图和工程建设中的控制问题,对控制点的精度、密度要求都提高了,加之,电子计算技术得到了较广泛的应用,网的整体平差已成为较易之事。所以,《规范》规定三、四等三角网主要采用插网法进行布设。

四、国家各级三角网的布设规格及其精度

国家各级三角网的布设规格及其精度指标见表1-1,表1-3。表中所列元素的精度,是在最不利情况下三角网所能达到的最低精度。

表1-1,表1-3中所列数据是《大地测量法式》和《国家三角测量规范》所规定的布设

表 1-3

我国国家三角网推算元素精度

等级	平均边长 (km)	边长相对中误差	边长绝对中误差 (m)	方位角中误差	相对点位中误差 (m)
一等网	25	1:150000	±0.17	±1.0"	±0.21
二等网	13	1:150000	±0.09	±1.0"	±0.11
三等网	8	1:80000	±0.10	±2.0"~±3.0"	±0.13~±0.18
四等网	4	1:40000	±0.10	±3.0"~±4.0"	±0.12~±0.13

规格及其精度，是区别质量的数量界限，也是最低指标。因此在建立三角网时，应严格执行《国家三角测量规范》的规定，以求得到高质量的成果。

第五节 水利电力工程控制网的布设

水利电力工程测量，分为规划设计和施工、运营三大阶段。由于各阶段中测量性质不同，因此水电工程测量中的平面控制分为规划设计阶段测图控制网和施工运营阶段的专用控制网。

规划设计阶段测图的平面控制，依照国家水利电力测量基本技术规范中要求，分为三级布设，即基本控制、图根控制和测站点控制。基本控制网布设原则：（1）分级布网，逐级控制；（2）要有足够的精度，除应满足大比例尺测图的需要外，还应兼顾一般的施工需要；（3）要有足够的密度，不论大比例尺测图还是工程上的专门用途，都要求在测区范围内有足够的控制点。所以工程控制网的控制点密度要比国家控制网的控制点密度大，亦即工程控制网的边长比国家控制网同等级边长要短。为了达到上述要求，应在本测区内依据国家已有的等级控制点控制下，布设三、四等三角锁网，以及在三、四等网控制下，布设五等小三角网或五等导线。当测区内无国家控制点可联接时，则可布设独立的三、四等三角锁网或五等三角网做为基本控制网。随着电磁波测距技术的飞速发展，测边边长的问题完全可以得到解决，因此，有的单位已经开始采用在国家控制点上直接布设导线网来作为测图的基本控制。

平面控制的精度规格，必须在全国统一精度的条件下，结合本部门本单位的技术要求，仪器配备等因素来统一制定。水利水电测量基本技术规范中规定的平面控制技术规格见表1-4。

为大型水利枢纽施工、运营阶段布设的专用控制网，是为工程建筑物的施工放样或变形观测等专门用途而建立的。它是整个施工过程中平面控制的骨干和电站运行过程中部分变形观测的基础。施工控制网的布设方案，应根据施工总平面设计和施工现场的地形条件等因素来确定。由于水利枢纽工程多建在地形起伏较大的山岭地区，地形较复杂，故一般采用三角测量的方法建立施工控制网。其特点：边长短，精度高，控制点的密度较大。

用于工程建筑物放样的专用控制网，一般采用两级布网，即由基本网和定线网所组成，基本网的作用在于控制水利枢纽各建筑物的主轴线，而定线网则是在基本网内根据放

表 1-4

水利水电测量工测三角网(锁)主要技术要求

控制点等级	平均边长(km)	图形角度不小于			测角中误差	起算数据		三角形最大闭合差	最弱边相对中误差
		单三角形任意角	中心多边形任意角	大地四边形任意角		起始边长相对中误差	经纬度		
三等	8	30°	30°	25°	±1.8"	1:150000		7"	1:80000
四等	2~6	30°	30°	25°	±2.5"	1:100000		9"	1:40000
五等	1~3	30°	20°	25°	±5.0"	1:40000		15"	1:20000
	0.8~2	30°	20°	25°	±10"	1:20000		30"	1:10000

样的需要采用插点, 插网以及交会定点等方法来进行加密。用于变形观测而建立的专用控制网, 一般不分级布设。

图1-10是某水利枢纽工程施工控制网的图形结构。因为这样的图形结构增加了不少的多余观测, 所以它的图形结构是坚强的。

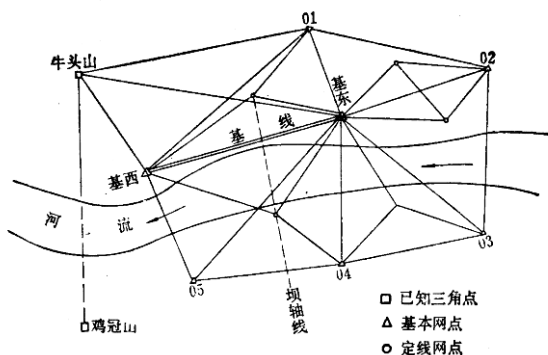


图 1-10 某坝址区施工控制网图形结构

水利水电工程控制网的高程控制, 在库区测量中, 为满足大中比例尺的测图需要, 常以三、四等水准和加密控制的五等水准作为基本高程控制。而在水利枢纽地区, 常要布设高精度的水准网(精密水准)来作为基本高程控制, 以满足施工放样和变形观测的需要。

第六节 控制测量的现代发展概况

控制测量的基本任务就是精确地测定地面点的空间位置(平面坐标和高程)。长期以来, 人们都是采用传统的三角测量和几何水准测量的常规方法来完成这项工作。随着近三十年来科学技术的发展, 特别是20世纪50年代出现人造地球卫星之后, 控制测量从地面发展到了空间。一方面由于电子学、激光技术和电子计算技术等方面的飞速发展, 使常规的