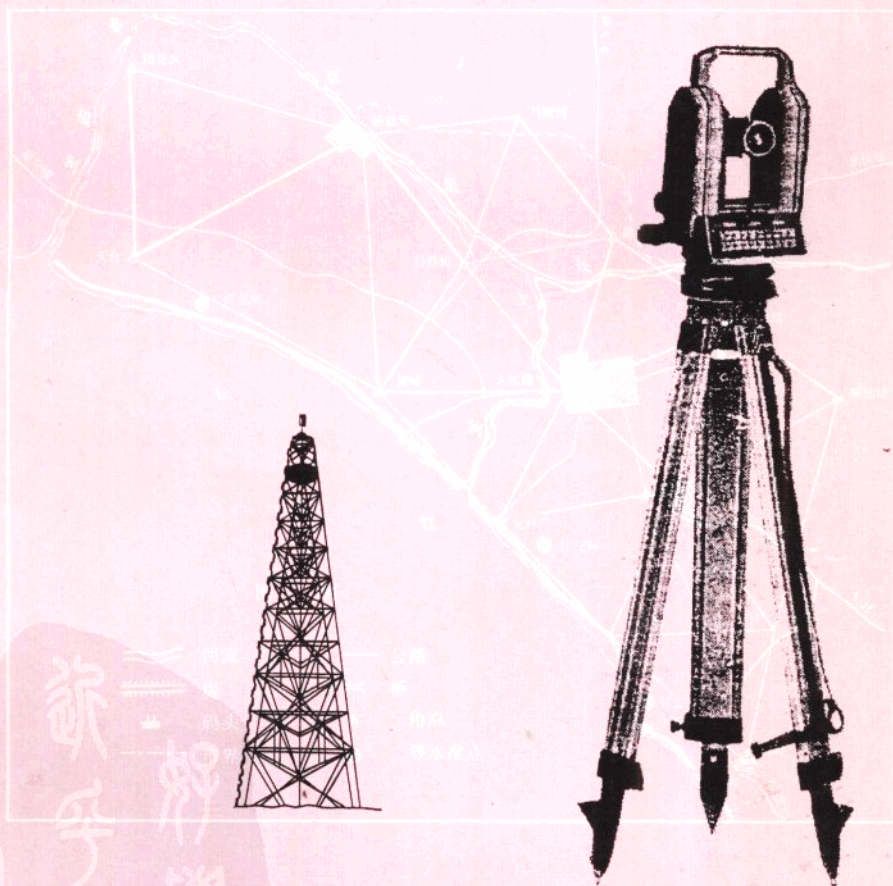


中等专业学校地质矿产类规划教材

控制测量

王文中 主编



新华书店

PDG

地质出版社

中等专业学校地质矿产类规划教材

控 制 测 量

王文中(主编) 沈诗文 李玉宝 郭启荣

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书主要介绍建立国家及工程三、四等水平控制网和高程控制网的基本原理、仪器使用与作业方法。

本书为中等专业学校工程测量专业教材,也可供有关专业教学及技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制测量/王文中主编.-北京:地质出版社,1995.9(1998.11重印)

中等专业学校地质矿产类规划教材

ISBN 7-116-01874-3

I. 控… I. 王… III. 控制测量-专业学校-教材 N.P.221

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第05908号

* * *

本教材由金光照主审,经地质矿产部中专测绘类课程教学指导委员会,于昆明(1994年4月)主持召开的审稿会议审定,同意作为中等专业学校教材出版。

* * *

地质出版社出版发行

(100083 北京学院路29号)

责任编辑:李源明

*
北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

*
开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:474 000

1995年9月北京第一版·1998年11月北京第二次印刷

印数:3501~5500册 定价:15.20元

ISBN 7-116-01874-3

P·1465

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

本书根据地质矿产部 1988 年制定的中等地质学校工程测量专业四年制教学计划和“控制测量学”教学大纲编写。

本书内容由浅入深,衔接紧凑,简明扼要,通俗易懂,紧密结合现行作业规范,理论联系实际,符合中专层次的特点和要求。既详细阐述了常规控制测量的方法,又适当反映了当前生产作业中的新技术。

全书共八章。第一、二、五章和附录由王文中编写,第三章由王文中和沈诗文编写,第四章由沈诗文编写,第六章由李玉宝编写,第七、八章由郭启荣编写。王文中负责全书的统编定稿。

本书由金光照主审。经地质矿产部中等专业学校测绘类课程教学指导委员会召开审稿会讨论通过,一致同意作为中等专业学校教材出版。

作者在编写本教材过程中,参阅了有关院校、单位和个人的文献资料,在此表示感谢。由于业务水平所限,难免有错漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

1994 年 4 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 控制测量的任务.....	(1)
第二节 建立国家大地控制网的基本方法.....	(2)
第二章 三角测量	(6)
第一节 国家水平控制网的布网原则和方案.....	(6)
第二节 技术设计	(16)
第三节 三、四等三角锁(网)最弱边精度的估算.....	(21)
第四节 实地选点	(32)
第五节 造标和埋石	(39)
第六节 J ₂ 型光学经纬仪	(46)
第七节 经纬仪误差	(58)
第八节 J ₂ 型光学经纬仪的检查校正和检验	(65)
第九节 水平角观测误差	(79)
第十节 方向观测法及其测站平差	(86)
第十一节 分组观测、联测及其测站平差.....	(97)
第十二节 归心改正和归心元素的测定.....	(102)
第三章 电磁波测距	(109)
第一节 概 述.....	(109)
第二节 固频相位式光电测距仪的基本结构及其作用.....	(117)
第三节 AGA 112 红外测距仪	(125)
第四节 相位法光电测距误差.....	(130)
第五节 相位式光电测距仪的检定.....	(135)
第六节 测距成果的计算.....	(149)
第四章 水准测量	(155)
第一节 国家水准网的布设.....	(155)
第二节 精密水准标尺.....	(159)
第三节 精密水准仪.....	(161)
第四节 精密水准仪的检验和校正.....	(169)
第五节 精密水准标尺的检验和校正.....	(174)
第六节 水准测量误差.....	(179)
第七节 三、四等水准观测	(187)
第八节 高程系统和水准原点.....	(195)
第九节 水准测量外业计算.....	(201)
第五章 三角高程测量	(207)

第一节	三角高程网的布设	(207)
第二节	垂直角观测	(208)
第三节	三角高程测量高差的计算公式	(213)
第四节	大气垂直折光系数 K 的确定	(217)
第五节	三角高程测量的高差计算和外业验算	(218)
第六节	光电测距高程导线测量	(224)
第六章	三、四等导线测量	(232)
第一节	导线测量概述	(232)
第二节	导线测量的精度估算和分析	(239)
第三节	导线测量的外业工作	(250)
第七章	参考椭球和高斯投影计算	(262)
第一节	地球的形体和测量计算的基准面	(262)
第二节	椭球面上的点、线和地面观测值的归算	(268)
第三节	球面角超和勒戎德定理	(273)
第四节	椭球面上三角网投影到高斯平面上的概念	(274)
第五节	高斯投影坐标计算	(276)
第六节	曲率改正和平面子午线收敛角	(278)
第七节	距离改正	(280)
第八节	高斯平面直角坐标的换带计算	(283)
第八章	三角测量概算和外业验算	(289)
第一节	概 述	(289)
第二节	三角测量概算	(289)
第三节	三角测量概算示例	(293)
第四节	三角测量外业验算	(294)
附 录	卫星大地测量简介	(307)
	主要参考书	(310)

第一章 绪 论

第一节 控制测量的任务

一、控制测量及其任务

在工程建设区域内,以必要的精度测定一系列控制点的水平位置和高程,建立起工程控制网,作为地形测量和工程测量的依据,这项测量工作称为控制测量。

工程控制网分为平面控制网和高程控制网两部分,前者是测定控制点的平面直角坐标,后者是测定控制点的高程。

控制测量在工程建设三个阶段中的具体任务是:在勘测设计阶段建立测图控制网,作为各种大比例尺测图的依据;在施工阶段建立施工控制网,作为施工放样测量的依据;在营运阶段建立变形观测控制网,作为工程建筑物变形观测的依据。

控制测量对测绘地形图的控制作用如下:地形图是分幅测绘的,它要求测制的各幅地形图,必须无漏洞、无重叠和无歪曲地互相拼接成一个整体,并具有相同的精度。如果在工程建设区建立了统一的平面控制网,精密地测定网中各控制点的高斯平面直角坐标,就可以在实地上准确找到各个图幅的位置,因而分幅独立测图时,各相邻图幅之间就不会出现漏洞、重叠和歪曲。因为测定的控制点点位精度高,分幅测图时,各幅地形图平面位置的测量误差,将受到控制点的限制,不会积累得很大,从而保证各幅图的平面位置具有相同的测图精度。因此,各相邻两幅地形图的平面位置,可以在测图精度之内互相接合。

同样的道理,如果在工程建设区建立了统一的高程控制网,精密地测定网中各控制点的高程,则分幅独立测图时,各相邻图幅的等高线,可以在测图精度之内互相接合。

二、大地测量及其任务

建立国家或全球大地控制网,测定地球形状大小和地球外部重力场,这项大面积的精密控制测量工作,称为大地测量。它所测定的控制点,称为大地控制点,简称大地点。

国家大地控制网由国家水平控制网和国家高程控制网两部分组成,前者是测定网中各大地点的大地坐标(大地经度 L 和大地纬度 B)或高斯平面直角坐标(纵坐标 x 和横坐标 y),后者是测定网中各大地点的高程。

大地测量的任务,是为地形测图和大型工程测量提供基本控制,为空间科学技术和军事用途提供有关数据,为研究地球形状大小和其它地球物理科学问题提供重要资料。

大地测量和面积达 25 km^2 的控制测量,在建立水平控制网中,必须考虑地球曲率的影响。为此,要选择一个合适的参考椭球面,作为处理地面观测成果和进行测量计算的基准面,也就是说,在地面上观测得的水平方向值和边长值,须归化到这个基准面上,然后在该面上计算出大地点的大地坐标。如果需要确定大地点或控制点的高斯平面直角坐标,还须将椭球面上的观测成果归化到高斯平面上,然后在该面上把它们计算出来。

应当指出,控制测量建立工程控制网的原理和方法,与大地测量建立国家大地控制网的

原理和方法基本相同,而且工程控制网一般都与国家高等大地点相联系,因此,了解布测国家大地控制网的情况是十分必要的。

复习思考题

- 1 试述控制测量的概念和任务。
- 2 为什么控制测量能够控制测绘地形图?
- 3 控制测量和图根控制测量有什么区别?

第二节 建立国家大地控制网的基本方法

一、建立国家水平控制网的方法

(一)常规大地测量方法

1. 三角测量法

三角测量的方法和基本原理是在地面上按一定的要求选定一系列的点,每一个点都设置测量标志,并以三角形的图形把它们连接成地面上的三角网。精确地观测所有三角形的内角,以及至少一条三角边的长度,用一定的投影计算公式,把这些地面观测成果归化到高斯投影平面上,使地面上的三角网转化为高斯平面上的三角网,见图 1-1。

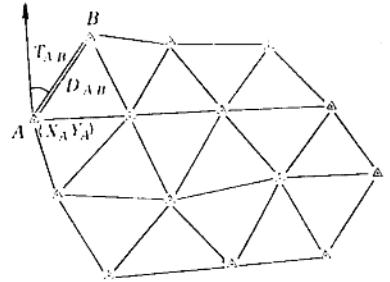


图 1-1

以归化后的平面边长 D_{AB} 为起始边,用平面三角学的正弦定理依次解算各个三角形,算出各平面边长 D_{ij} 。以已知的 AB 边平面坐标方位角 T_{AB} 为起始方位角,用归化后的水平角依次算出各边的平面坐标方位角 T_{ij} 。利用三角学公式:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{ij} &= D_{ij} \cdot \cos T_{ij} \\ \Delta Y_{ij} &= D_{ij} \cdot \sin T_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

算出各相邻点间的坐标增量 ΔX_{ij} 和 ΔY_{ij} 。最后,以已知起始点 A 的平面直角坐标 (X_A, Y_A) 和各坐标增量 ΔX_{ij} 、 ΔY_{ij} , 逐个推算出各点的平面直角坐标。

三角测量的优点:是布设的图形呈网形,控制面积大;测角精度高,检核角度观测质量的几何条件数多,相邻点的相对点位误差较小。缺点是:除起始边和起始方位角外,其余各边及其方位角是用水平角推算出来的;由于测角误差的传播,各边及其方位角的精度不匀,并且距起始边和起始方位角越远,它们的精度就越低。但只要在网的适当位置上加测起始边和起始方位角,便能较好地控制误差的积累,从而保证所测定的各个三角点平面位置有足够的精度。

因此,一般用三角测量方法建立国家水平控制网。

2. 导线测量法

导线测量的方法和基本原理是在地面上按一定的要求选定一系列的点,每一个点都设置测量标志,并以单线把它们连接成地面上的导线。精密地测量各导线边的长度和各导线点的转折角,按一定的投影计算公式,把这些地面观测成果归化到高斯平面上,使地面上的导

线转化成高斯平面上的导线,见图 1-2。

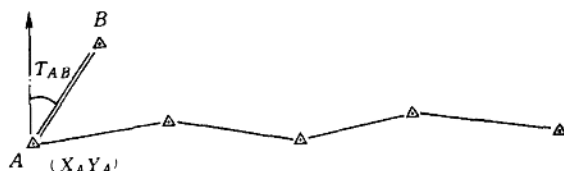


图 1-2

以已知的 AB 边平面坐标方位角 T_{AB} 为起始方位角,用归化后的折角依次推算出各导线边的坐标方位角。根据起始点 A 的已知平面直角坐标 (X_A, Y_A) 和平面导线上各导线边的长度及坐标方位角,逐个推算出各导线点的平面直角坐标。

导线测量的优点是:布设的图形呈单折线,每个点只需对前后两个相邻点通视,故布设灵活,容易越过地形和地物障碍;各导线边长均直接测定,精度高而均匀,导线的纵向误差小。缺点是:控制面积狭小;检核折角观测成果质量的几何条件数少,导线的横向误差大。

因此,在高原、森林等特殊困难地区和隐蔽的平原地区,一般宜用导线测量方法建立国家水平控制网。

应当指出:测量水平控制网中每个三角形的三条边长的三边测量法,测量水平控制网中的全部边长和水平角的边角同测法,它们虽然有时用来建立工程控制网,但不宜用于建立国家水平控制网。

(二)天文定位测量方法

天文定位测量方法,是在地面测站上,用天文测量仪器观测天体的瞬时位置,并记录相应的时刻,然后依一定的计算公式,算出测站点的天文经度 λ 、天文纬度 φ 和测站点至某照准点方向的天文方位角 α 。测定了天文经、纬度的地面点,称为天文点;测定了天文经、纬度和天文方位角的大地点,称为拉普拉斯点。

天文定位测量的优点是:各点均独立测定,组织工作简单,受地形条件影响小。缺点是:测定点位的精度不高。如目前野外测量天文经、纬度的中误差为 $\pm 0.2'' \sim \pm 0.4''$,表现在地面上的点位误差约 $\pm 6 \sim \pm 12$ m。

因此,这种方法不能用来建立国家水平控制网。但是,它在建立国家水平控制网中有着重要的作用。具体地说,确定大地原点(又称大地基准点)的起始数据,将地面上观测得的水准角和边长成果归化到参考椭球面上,为研究地球的形状大小,都必须有天文定位测量资料。此外,将天文方位角化算为起始大地方位角,可以控制水平角观测误差的积累,提高布测国家水平控制网的精度。

天文方位角化算为大地方位角的简化公式是:

$$A = \alpha + (L - \lambda) \sin \varphi \quad (1-2)$$

式中 α 为大地点 K 至相邻点 M 方向的天文方位角; A 为相应的大地方位角; λ, φ 为大地点 K 天文经、纬度; L 为大地点 K 的大地经度。

式(1-2)称为拉普拉斯方程式。

用拉普拉斯方程式算得的起始大地方位角,称为拉普拉斯方位角。

实际上,在解决上述问题时,除应用常规大地测量和天文定位测量资料外,还要有重力

测量资料。也就是说,用常规大地测量方法建立国家水平控制网,必须有天文定位测量和重力测量相配合。

(三)现代大地测量方法

现代大地测量方法,有卫星大地测量、甚长基线干涉测量和惯性测量,其中用卫星大地测量方法测定地面测站的位置最广泛。

在70~80年代,卫星大地测量采用子午导航卫星系统进行多普勒定位测量,其定位的相对精度为亚米级。我国在1976年把卫星多普勒技术应用于大地测量,1980年在全国范围内布设了卫星大地网。

现在,卫星大地测量已转向采用GPS全球定位系统,其中载波相位测量方法的相对定位精度达 $(1\sim 2)\text{ppm}$ ●。这就是说,在建立国家水平控制网中,它可以取代常规大地测量。近年来,我国应用GPS定位技术,先后在若干个城市建立了精密平面控制网,实践表明它是行之有效的理想手段。

目前,随着更高精度的第三代GPS接收机的研制成功,定位精度又有了进一步提高。

关于卫星大地测量的简介,见本书附录。

二、建立国家高程控制网的方法

(一)几何水准测量方法

几何水准测量的方法和基本原理,是在地面上按一定的要求,选定一系列的水准点并设置标志,然后把它们连接成水准路线,进而构成水准网。在水准路线上连续设站,利用水准仪的水平视线,在垂直立于地面的水准标尺上读取前、后两转点的分划数,以求得相邻水准点的高差。根据水准网中一个起算点的已知高程,依次推算出各水准点的高程。

几何水准测量的优点是测定的高程精度高,例如用精密水准测量,可将水准原点的高程传递到4000~5000 km远的水准点上,它的高程中误差将不超过 $\pm 1\text{m}$;高程的基准面很接近于大地水准面,测得的高程基本上具有物理意义,能较好地为生产服务。因此,几何水准测量是建立国家高程控制网的主要方法。

(二)三角高程测量方法

三角高程测量的方法和基本原理是在国家水平控制网上,用经纬仪测量相邻两点间的垂直角,根据它和两点间的已知水平距离,利用三角学公式算出相邻两点间的高差。以网中一个起算点的已知高程,逐个推算出各大地点的高程。

三角高程测量的优点是作业简单,布设灵活,不受地形条件的限制。缺点是因大气垂直折光影响,垂直角观测误差较大,测定的高差和高程精度较低;测得的高程以参考椭球面为基准面,没有物理意义。因此,三角高程测量是建立国家高程控制网的辅助方法。

(三)光电测距高程导线测量方法

光电测距高程导线测量的基本原理与三角高程测量相类似。它是在布设的高程导线上,用经纬仪测量相邻两点间的垂直角,用光电测距仪测量相邻两点间的倾斜距离,根据三角学公式算出两点间的高差,进而推算各高程导线点的高程。

光电测距高程导线测量的精度,可以代替国家四等水准测量。有些实验资料,也达到了三等水准测量精度要求。但能否代替三等水准测量,目前尚未取得一致的意见。

● ppm——parts per million 百万分之(几),百万分率;即 10^{-6}

综上所述,建立国家高程控制网,以采用几何水准测量方法为主,三角高程测量方法为辅,光电测距高程导线测量,可以代替一定等级的几何水准测量。

复习思考题

- 1 建立国家水平控制网有哪些方法,它们之间的关系是什么?
- 2 三角测量方法及基本原理是什么,为什么当用常规大地测量方法建立国家水平控制网时,一般采用三角测量方法?
- 3 建立国家高程控制网有哪些方法,它们之间的关系是什么?
- 4 建立国家高程控制网,为什么主要是采用几何水准测量方法?

第二章 三角测量

第一节 国家水平控制网的布网原则和方案

一、布网的基本原则

用常规三角测量方法建立国家水平控制网,应遵守下列基本原则:

(一)由大到小逐级控制

我国领土辽阔,有多种自然地理条件,各地区的经济建设发展很不平衡,对测图的要求不尽相同。布设国家三角网,既要能够控制 1:2000 比例尺测图,又要符合我国的实际情况。如果为了控制 1:2000 比例尺测图,用全面布网法布设国家三角网,即以密度大、精度高和等级相同的三角网一次布满全国,不但需要很长时间,而且在特殊困难地区将无法实现。其次,它难以满足迫切用图地区的测图需要。再次,用短边三角网推算边长和方位角的误差将很大,势必增加布测起始边和起始方位角的工作量,同时网的整体平差也很复杂。因此,合理的布网方法应当是由大到小逐级控制,即三角点的密度应先稀后密,逐次加大;三角点的精度应先高后低,逐级递降。我国三角网按精度分为一、二、三、四等四个等级,因此,应首先以边长最长和精度最高的一等三角锁,纵横交叉迅速布满全国,成为国家三角网的骨干。再根据各个地区用图的轻重缓急,在一等三角锁环的空白面积内,分区分期地布测边长略短和精度稍次的二等三角网,成为继续加密控制的全面基础。随后视测图需要,在二等三角网的空白面积内,逐次加密边长更短和精度更低的三、四等三角网,直接控制到 1:2000 比例尺测图。用这种方法布网后,高一级三角网对低一级三角网起控制作用,既简化了布测国家三角网工作,又及时提供国家三角点的实用坐标,以满足各个地区的测图需要。

(二)具有足够的密度

国家三角点的密度要求,取决于测图比例尺的大小和成图的方法。测图比例尺越大,三角点的密度便越大;航测法成图的三角点密度,要比平板仪测图小。根据测图实践,在 1:100000 和 1:50000 比例尺测图地区,按正常航测法成图时,应使每约 150km² 面积内有一个国家三角点;在 1:25000 和 1:10000 比例尺测图地区,按正常航测法成图时,应使每约 50 km² 面积内有一个国家三角点;在 1:5000 和 1:2000 比例尺测图地区,应使每约 20 km² 和 6 km² 面积内分别有一个国家三角点。

上述的国家三角点密度要求,在作业中是通过三角边的平均长度来体现的,而这个平均边长又与国家某个等级三角网的边长规定值相对应。

如图 2—1,设三角网由边长为 S 的等边三角形构成,每个三角形的三个顶点 A 、 B 和 C 分别控制着一块正六边形面积 P ,若边长为 R 的等边三角形 $A E F$ 的面积为 Δ ,则:

$$P = 6 \times \Delta$$

因为: $\Delta = \frac{1}{2} \times \frac{S}{2} \times \frac{S}{\sqrt{3}} = \frac{S^2}{4\sqrt{3}}$, 故 $P = \frac{6S^2}{4\sqrt{3}} \approx 0.85 \times S^2$, 即:

$$S \approx \sqrt{\frac{P}{0.85}} \quad (2-1)$$

将上述六种比例尺测图需要有一个国家三角点时,所对应的四种面积分别代入式(2-1),可算得 $S \approx 13.3$ km, $S \approx 7.7$ km, $S \approx 4.9$ km 和 $S \approx 2.7$ km。

《国家三角测量和精密导线测量规范》(下称三角测量规范)根据这些边长计算值,规定了二等三角网的平均边长为 13 km;三等三角网的平均边长为 8 km;四等三角网的边长为 2~6 km,视测图比例尺而定,即 1:5 000 比例尺测图,边长为 4~6 km,1:2 000 比例尺测图,边长为 2~3 km。因此,在 1:100 000 和 1:50 000 比例尺测图地区,按正常航测方法成图时,一般须布设到二等三角网;在 1:25 000 和 1:10 000 比例尺测图地区,按正常航测方法成图时,一般须布设到三等三角网;在 1:5 000 和更大比例尺测图地区,一般须布设到四等三角网。

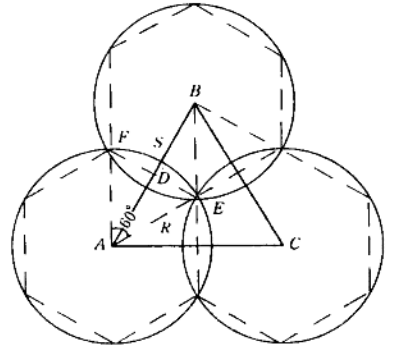


图 2-1

(三)具有足够的精度

国家三角点点位的精度要求,取决于测图比例尺的大小。根据测图要求,相邻两个国家三角点的相对点位中误差,表现在图上应不超过 ± 0.1 mm,若测图比例尺的分母为 N ,则表现在地面上应不超过 $\pm 0.1 \times N$ mm。例如,对于 1:10 000、1:5 000 和 1:2 000 比例尺测图,应分别不超过 ± 1.0 m、 ± 0.5 m 和 ± 0.2 m。

国家三角点的点位精度,在作业中可通过边长相对中误差和测角中误差来体现。设三角边长度为 S ,边长相对中误差为 m_s/S ,观测方向中误差为 γ'' ,测角中误差为 m'' ,纵向中误差为 m_s ,横向中误差为 m_u ,相邻两三角点的相对点位中误差为 M ,则有:

$$\left. \begin{aligned} m_s &= \pm \frac{m_s}{S} \cdot S \\ m_u &= \pm \frac{\gamma''}{\rho''} \cdot S = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{m''}{\rho''} \cdot S \\ M &= \pm \sqrt{m_s^2 + m_u^2} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

根据 1958 年制订的《中华人民共和国大地测量法式(草案)》(下称 1958 年法式)的技术要求,四等三角网的测角中误差应不大于 $\pm 2.5''$,最弱边相对中误差应不大于 1/40 000,若四等三角边长为 3 km,则由式(2-2)算得 $M \approx \pm 0.08$ m,它表明按 1958 年法式布测的国家三角网精度,能够控制 1:2 000 比例尺测图。如果布测得好,甚至可以控制 1:1 000 比例尺测图。

(四)要有统一的技术规格

建立国家三角网,除中央主管部门负责外,还要各有关部门和测绘单位共同配合完成。因此,在建立国家三角网时,除采用统一的国家坐标系外,对于三角网的等级划分和密度、精度及作业方法等技术要求,应共同执行 1958 年法式及相应规范的规定。这样,不仅可以汇集各个部门的三角测量成果构成规格统一的国家三角网,还可以互相利用,避免重复和浪费。

按 1958 年法式布测的国家三角网,其主要技术规格见表 2-1。

表 2—1 中,二等网最弱边相对中误差,在最不利情况下为 1 : 150 000。表中列出的精度指标是最低的精度要求,作业时应从网的几何结构强度、基本图形质量、起算元素的布测和水平角观测精度等方面,力争提高布网质量和测量精度,使成果更好地照顾到发展远景。

表 2—1 国家三角网布设规格

等级	边长		图形角度限制				测角中误差	三角形最大闭合差	起算元素精度		最弱边相对中误差估算值	最弱点位中误差估算值
	边长范围 (km)	平均边长 (km)	单三角形任意角	中点多边形任意角	大地四边形任意角	个别小角度			起始边长	天文观测		
一	15—45	平原 20 山区 25	40°	30°	30°		±0".7	±2".5	1 : 35 万	$m_a = \pm 0".5$ $m_s = \pm 0".3$ $m_p = \pm 0".3$	1 : 16.5 万	m ±0.16
二	10—18	13	30°	30°		25°	±1".0	±3".5	1 : 35 万		1 : 20 万	m ±0.10
三		8	30°	30°		25°	±1".8	±7".0			1 : 8 万	m ±0.14
四	2—6		30°	30°		25°	±2".5	±9".0			1 : 4 万	m ±0.13

二、国家三角网的布设方案

(一)一等三角锁系的布设

一等三角锁系又称天文大地网,它是国家大地网的骨干,又为研究地球形状和大小提供重要资料,故必须达到尽可能高的精度。

一等三角锁尽量沿经纬线方向布设,纵横锁互相交叉而构成网状(见图 2—2)。在纵横锁交叉处布设起始边,在起始边的两端点上施测天文经纬度和天文方位角,用以计算拉普拉斯方位角。

起始边长和拉普拉斯方位角是天文大地网的起算数据,它既用来控制边长和方位角推算误差的积累,又便于天文大地网的平差和推算地球的形状与大小。

相邻两起始边之间的三角锁称为锁段,锁段长度一般在 200 km 左右。一等三角锁由近于等边的三角形组成,三角形的每一个角度应不小于 40°。根据地形条件,也可组成大地四

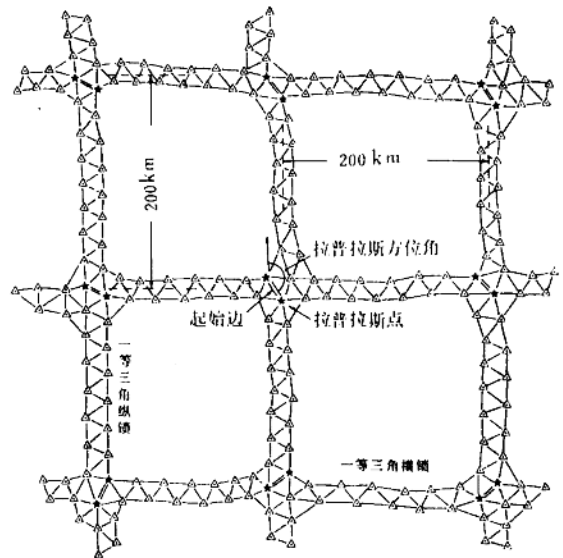


图 2—2

边形和中点多边形,它们任一推算路线的求距角应不小于 30°。一等三角形的平均边长,山区一般为 25 km 左右,平原地区一般为 20 km 左右。

一等三角测量角度观测的精度,按每一锁段由三角形闭合差计算的测角中误差应不超

过 $\pm 0.7''$ 。

(二)二等三角网的布设

如图 2—3,在一等三角锁环内布设的二等三角网,是国家大地网的全面基础,它也须达到尽可能高的精度。

全国的二等三角网要连成整体,与一等三角锁一起进行天文大地网的整体平差。因此,二等网不仅要与周围的一等锁联接起来,还要和相邻一等锁环内的二等网妥善地联接,以构成连续的全面三角网。

在二等三角网中,为了控制边长和方位角推算误差的积累,除靠一等锁环四个角的一等起始边和拉普拉斯方位角外,当一等锁环大小正常时,应在锁环的中部布设一条二等起始边,在起始边的两端点上测定天文经纬度和天文方位角。

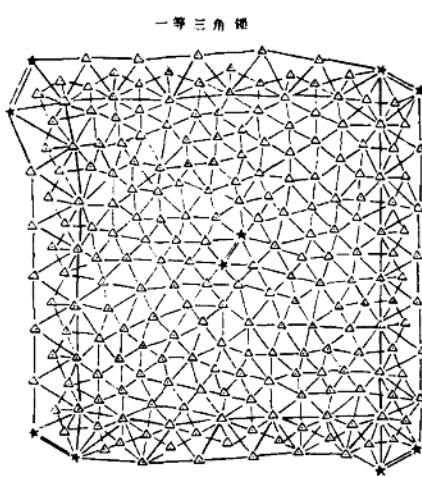


图 2—3

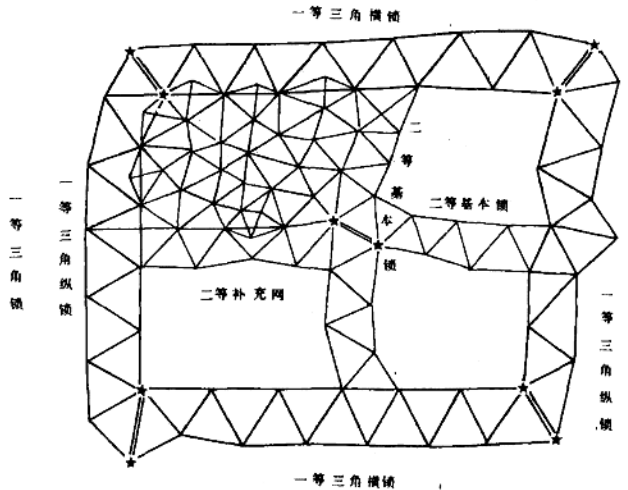


图 2—4

在二等三角网中,三角形的每一个角度应不小于 30° ,如受地形限制或为降低视标高度,个别角度允许小至 25° 。三角形的平均边长为 13 km,根据地形条件,边长可在 10~18 km 范围内变动。

二等三角网角度观测的精度,按三角形闭合差计算的测角中误差应不超过 $\pm 1.0''$ 。

应当指出,从解放初期到 1957 年,为了控制测绘 1:10 000 比例尺国家基本地形图,曾采用过两级布网方案布设二等三角网(下称旧二网),它首先用纵横交叉的二等基本锁,把一等锁环内的空白面积分成大致相等的四个部分,然后在每一部分内布设二等补充网,见图 2—4 所示。在二等基本锁纵横交叉处,布测起始边和拉普拉斯方位角,用以控制边长和方位角推算误差的积累。

这种布网方案的优点,是用二等基本锁将一等锁环内的面积划分为更小的区域,便于二等补充网的布设和平差,它对于当时只能手算平差和迫切需要提供二等网资用坐标控制 1:100 000 与 1:50 000 比例尺测图是有一定好处的。但是,它有精度不高的严重缺点,因为二等基本锁联接在一等锁段中边长、方位角和点位最弱的部位上,并以它们作为起算数据,其本身精度就不高。其次,在二等基本锁下面再布设二等补充网,多了一次加密,精度又多损失一次,加上测角精度要求不高,使二等补充网的精度更低。因此,旧二网一般只能控制 1:

25 000 比例尺测图,经过严密平差后,可以控制 1 : 10 000 比例尺测图。为了充分利用已有旧二网成果,以期控制更大比例尺测图,近年来曾进行过旧二网的改造试验。

(三)三、四等三角网的布设

在二等三角网内继续加密的三、四等三角网,是地形测量和工程测量的基本控制。

1. 布网的主要技术要求

测绘 1 : 25 000 和 1 : 10 000 比例尺地形图时,三等三角网的边长为 7~8 km;测绘 1 : 5 000 比例尺地形图时,四等三角网的边长为 4~6km;测绘 1 : 2 000 比例尺地形图时,四等三角网的边长为 2~3 km。

三、四等三角网中各个三角形的每个角度,一般应不小于 30°,受地形限制或为避免建造高标时,允许小至 25°。三、四等三角网由 20 个以上三角形闭合差计算的测角中误差,应分别不超过 $\pm 1.8''$ 和 $\pm 2.5''$;最弱边相对中误差,应分别不超过 1 : 80 000 和 1 : 40 000。

2. 布网方法

三、四等三角网按加密的方法分为插网法和插点法两种。加密三、四等三角网,一般应采用插网法;加密个别的三、四等三角点,也可采用插点法。

(1)插网法 在高等三角网内,以高等点为基础,布设低等级的连续三角网,以测算低等三角点的坐标,这种加密方法称为插网法,见图 2—5 和图 2—6 所示。

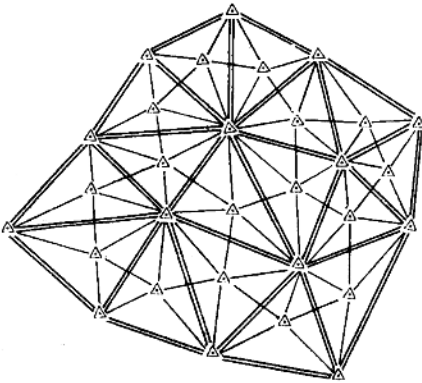


图 2—5

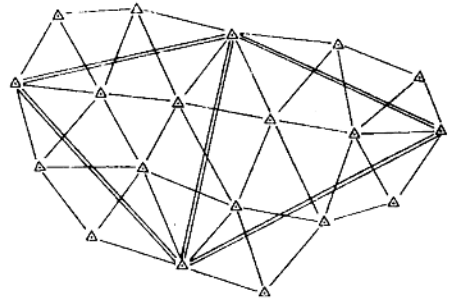


图 2—6

图 2—5 插网的特点是与高等边相接,称为接边网。它的三角边较长,适用于测图比例尺较小,要求加密三角点较稀的测区。图 2—6 插网的特点是与高等点相接,称为接点网。它的三角边较短,适用于测图比例尺较大,要求加密三角点较密的测区。

典型的插网形式,有在高等等边三角网的每一个三角形内,分别插入一点、三点、七点、十二点和十八点等插网,见图 2—7。它们在作业中的运用,可举例说明如下:

在插一点网中,低等边长与高等边长的关系是 $S_{\text{低}} \approx S_{\text{高}} / \sqrt{3}$,若二等三角网的边长 $S_{\text{二}}$ 为 13 km,则三等网的边长 $S_{\text{三}} \approx 7.5$ km,即加密网点的密度,可满足 1 : 25 000 和 1 : 10 000 比例尺测图需要。又如在插七点网中,低等边长与高等边长的关系是 $S_{\text{低}} \approx S_{\text{高}} / 3$,若三等三角网的边长 $S_{\text{三}}$ 为 8 km,则四等网的边长 $S_{\text{四}} \approx 2.7$ km,即加密网点的密度,可满足 1 : 2 000 比例尺测图的需要。

典型插网点位精度的基本规律,由模拟计算结果表明,加密点的点位精度高而较为均匀,有利于后续加密;一次插入的点数越多,加密点的点位误差越小,因而采用越级插网的加

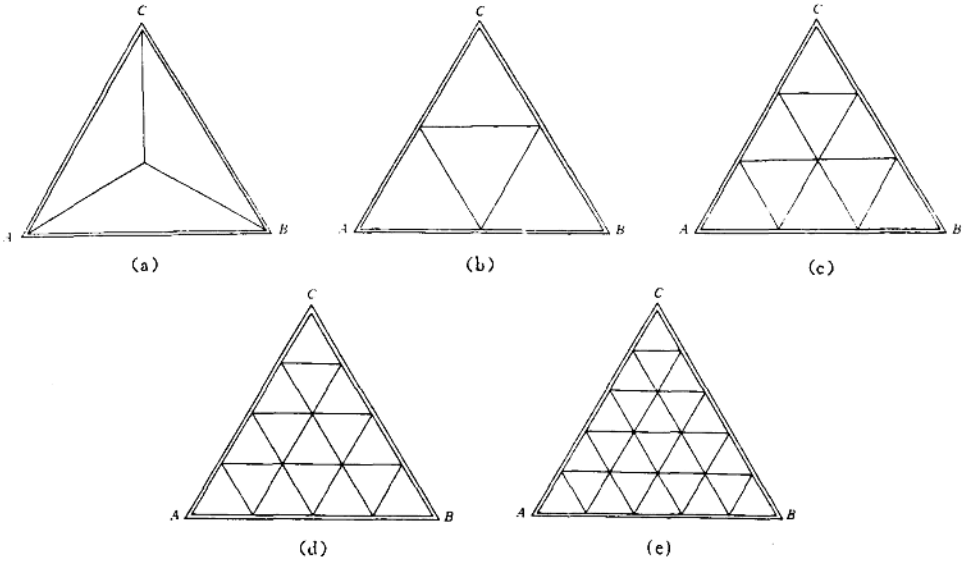


图 2-7

密方法,可以获得点位精度高和作业经费省的良好效果。

用插网法加密低等网,应使所有高等点都包含在插网内,以保证各等三角网密切结合。在高等点上观测水平角时,除观测插网方向外,应观测两个高等方向,以利于可靠地决定测站上的定向角。计算时插网须整体平差。

(2)插点法 在高等三角网内,以高等点为基础插入一个或几个低等点,使它与高等点构成独立的插点图形,用以测算低等点坐标,这种加密方法称为插点法。如图 2-8 中,五个插点分别与高等点构成三个独立的插点图形,它们是:高等三角形内插入一点图形,高等三角形内插入两点图形,高等三角形内、外各插入一点图形。这些插点图形彼此没有联系,它们可以各自平差并计算插点的坐标。

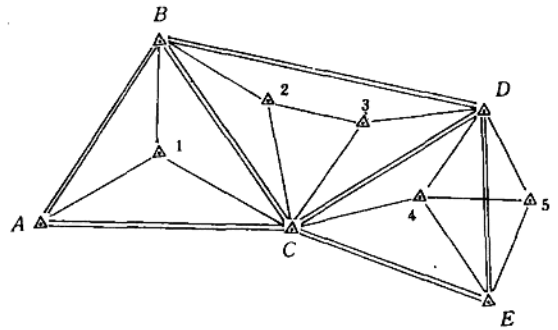


图 2-8

典型的插点图形种类很多,图 2-9 是其中一部分。插点图形可大致分为四类:

第一类是在高等三角形或四边形内插入一点的图形;第二类是在高等三角形或四边形内、外同时插点的图形;第三类是以高等网的角度(称固定角)为基础的插点图形;第四类是以高等网的边长(称固定边)为基础的插点图形。

当高等网图形质量相同时,插点图形推算元素的精度,很大程度上取决于图形的结构和形状。

①图形结构的影响 插点图形的几何条件数越多,即图形结构越坚强,插点点位的精度便越高。在四类图形中,按插点数平均计算,第一类图形条件数较多,插点点位精度较好。因