



高职高专示范建设规划教材

GAOZHI GAOZHUAN SHIFAN JIANSHE GUIHUA JIAOCAI

控制测量

KONGZHI CELIANG

主 编 ○ 李开伟
副主编 ○ 陈 锐 周小莉 师维娟 肖文全
主 审 ○ 汪仁银



西南交通大学出版社

高职高专示范建设规划教材

内 容 提 要

控制测量

主 编 李开伟
副主编 陈 锐 周小莉
师维娟 肖文全
主 审 汪仁银

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 提 要

本书是编者按照项目导向、任务驱动的教学思路,在总结高等职业院校教学改革成功经验的基础上编写而成的。本书共分为理论学习项目和技能训练项目两大部分,理论学习项目包括控制测量基础理论、平面控制测量、高程控制测量和控制测量概算4个工作项目;技能训练项目主要介绍控制测量技术设计书编写、控制布网等12个技能项目。

本书可作为高职高专测绘类专业测量课程教材,适用于工程测量技术、地籍测量与土地管理信息技术、地理信息系统与地图制图技术等专业教学使用,也可以供从事相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制测量 / 李开伟主编. —成都:西南交通大学出版社, 2014.9
高职高专示范建设规划教材
ISBN 978-7-5643-3349-2

I. ①控… II. ①李… III. ①控制测量—高等职业教育—教材 IV. ①P221

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第196587号

高职高专示范建设规划教材

控制测量

主编 李开伟

*

责任编辑 曾荣兵

助理编辑 胡晗欣

特邀编辑 柳堰龙

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码: 610031

发行部电话: 028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

成都中铁二局永经堂印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 17.25

字数: 431千字

2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-3349-2

定价: 45.00元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

本书是编者按照项目导向、任务驱动的教学思路,在总结高等职业院校教学改革成功经验的基础上,结合行动导向法、案例教学法等在实践教学中的具体应用及工程测量行业的基本情况,按照工程测量技术专业及专业人才培养的特点和要求编写而成的。

本书结合我国目前高职高专发展现状,在编写内容上理论精简、重点突出,强调课程的技能操作和方法,加大实践教学环节,弱化传统的理论公式推演,侧重于技能的培养。

本书共分为理论学习项目和技能训练项目两大部分。其中:理论学习项目包括控制测量基础理论、平面控制测量、高程控制测量和控制测量概算4个工作项目。具体包括控制测量基本知识、控制测量技术设计、精密测角、精密测距、GNSS控制测量、精密水准测量、三角高程测量、椭球理论、地面观测值归算至椭球面、椭球面元素归算至高斯平面、控制测量概算等子项目。每个子项目都由知识概要、技能任务、技术规范、相关知识、习题练习组成。教学中可以根据教学对象、学习专业及教学目标层次的不同选择教学内容;教学方法上采用项目导向、任务驱动与案例结合的方式。技能训练项目主要介绍控制测量技术设计书编写、控制布网等12个技能项目。

本书由四川水利职业技术学院李开伟担任主编,由四川水利职业技术学院师维娟、周小莉、陈锐,以及四川省水利水电勘测设计研究院测绘分院肖文全参编,具体编写分工为:项目一、项目四由李开伟编写;项目二中的精密测角部分由四川水利职业技术学院师维娟编写;项目二中的距离测量、导线测量由四川水利职业技术学院周小莉编写;项目二中GNSS控制测量由四川水利职业技术学院陈锐编写;项目三、技能训练项目由肖文全编写。全书由四川水利职业技术学院汪仁银主审。

本书教学学时数建议安排90学时,其中56学时为实训和实验课时,34学时为理论课时。各校可根据实际情况灵活安排。

本书参考了大量书籍,在此一并表示感谢,由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2014年7月

目 录

第一部分 理论学习项目

项目一 控制测量基础理论	1
任务一 控制测量基本知识	1
知识点一 控制测量任务和作用	1
知识点二 控制网布设形式	3
知识点三 控制网布设原则和方案	7
知识点四 控制测量工作流程	14
知识点五 控制网选点、埋石	15
任务二 控制测量技术设计	19
知识点一 控制网优化设计	19
知识点二 控制网精度估算	21
知识点三 控制测量技术设计及设计书编制	31
项目二 平面控制测量	35
任务三 精密测角	35
知识点一 水平角和垂直角	35
知识点二 精密测角仪器几项调校	36
知识点三 精密测角仪仪器误差及其检验和校正	40
知识点四 水平角观测主要误差和操作基本规则	50
知识点五 角观测法和三联脚架法测导线	56
知识点六 方向观测法	58
任务四 精密测距	66
知识点一 电磁波测距基本原理	67
知识点二 相位式测距仪工作原理	70
知识点三 精密测距误差来源及注意事项	72
知识点四 精密测距改正计算	76
任务五 GNSS 控制测量	79
知识点一 GNSS 控制网设计	79
知识点二 GNSS 控制网外业观测	85
知识点三 GNSS 控制网平差	89

项目三 高程控制测量	96
任务六 精密水准测量	96
知识点一 国家高程基准	96
知识点二 精密水准仪与水准标尺	98
知识点三 精密水准测量实施	103
知识点四 电子水准仪简介	108
知识点五 精密水准测量概算	109
知识点六 精密水准测量误差来源及注意事项	112
任务七 三角高程测量	118
项目四 控制测量概算	127
任务八 椭球理论	127
知识点一 地球形体与椭球参数	127
知识点二 椭球面上的坐标系及其相互关系	129
知识点三 主要椭球公式及曲率半径	131
任务九 地面观测值归算至椭球面	136
知识点一 地面距离观测值归算至椭球面	137
知识点二 地面水平方向观测值归算至椭球面	137
任务十 椭球面元素归算至高斯平面	140
知识点一 地图投影与投影变形	141
知识点二 高斯投影	141
知识点三 椭球面元素归算至高斯平面	144
知识点四 工程测量投影面与投影带的选择	148
任务十一 控制测量概算	153
知识点一 控制测量概算流程	153
知识点二 外业成果整理与图表绘制	154
知识点三 成果归算和改化	156
第二部分 技能训练项目	
技能项目一 控制网技术设计说明书编制	165
技能项目二 控制布网	168
技能项目三 精密光学经纬仪认识及读数练习	169
技能项目四 高精度全站仪认识和使用	170
技能项目五 角观测法测量水平角	171
技能项目六 三联脚架法测导线	174
技能项目七 四等方向观测法观测水平角	176

技能项目八 垂直角观测	179
技能项目九 精密导线测量	181
技能项目十 精密水准仪和水准尺的认识及读数练习	185
技能项目十一 视准轴与水准轴相互关系检验与校正	186
技能项目十二 二等精密水准测量	189
附录 A 《工程测量规范》(GB 50026—2007) 节选	193
附录 B 《国家一、二等水准测量规范》(GB/T 12897—2006) 节选	211
附录 C 《水利水电工程施工测量规范》(SL 52—93)	246
参考文献	268

第一部分 理论学习项目

项目一 控制测量基础理论

任务一 控制测量基本知识

【知识概要】

1. 了解控制测量的任务和作用。
2. 掌握控制网的布设形式。
3. 熟悉控制网的布设原则和方案。
4. 掌握控制测量的工作流程。
5. 熟悉控制网选点、埋石。

【技能任务】

1. 根据实际测区任务范围确定控制网布设形式。
2. 按照确定的控制网形式在指定测区完成选点埋石工作。

【技术规范】

1. 《工程测量规范》。
2. 《城市测量规范》。
3. 《国家三角测量和精密导线测量规范》。
4. 《水利水电工程施工测量规范》。

【相关知识】

知识点一 控制测量任务和作用

一、控制测量基本任务

控制测量是研究精确测定和描绘地面控制点空间位置及其变化的学科。它是在大地测量

学基本理论基础上以工程建设测量为主要服务对象而形成和发展起来的,为人类社会活动提供有用的空间信息。因此,从本质上说,它既是地球工程信息学科,也是地球科学和测绘学的一个重要分支;它既是工程建设测量中的基础学科,也是应用学科,在测量工程专业人才培养中占有重要的地位。

控制测量主要服务于各种工程建设、城镇建设和土地规划与管理等工作。这就决定了它的测量范围比大地测量要小,并且在观测手段和数据处理方法上还具有多样化的特点。

作为控制测量服务对象的工程建设工作,在进行过程中,大体上可分为设计、施工和运营3个阶段。每个阶段都对控制测量提出不同的要求,其基本任务分述如下:

1. 在设计阶段建立测图控制网

在这一阶段,设计人员要在小比例尺地形图上进行建筑物的设计或区域规划,以求得设计所依据的各项数据。因此,控制测量的任务是布设作为图根控制依据的测图控制网,以保证地形图的精度和各幅地形图之间的准确拼接。此外,对于房地产业,这种测图控制网也是相应地籍测量的根据。

2. 在施工阶段建立施工控制网

在这一阶段,施工测量的主要任务,是将图纸上设计的建筑物放样到实地上去。对于不同的工程,施工测量的具体任务也不同。例如,隧道施工测量的主要任务,是保证对向开挖的隧道,能按照规定的精度贯通,并使各建筑物按照设计的位置修建;放样过程中,仪器所标出的方向、距离都是依据控制网和图纸上设计的建筑物计算出来的。因而在施工放样之前,需建立具有必要精度的施工控制网。

3. 在运营阶段建立变形监测网

由于工程施工的影响,地面的原有状态往往会改变,建筑物本身的重量也会引起地基及其周围地层的均匀变化;此外,建筑物本身及其基础也会由于地基的变化而产生变形。这些变化,如果超过了某一限度,就会影响建筑物的正常使用,严重的还会危及建筑物的安全。在一些大城市(如我国的上海、天津),地下水的过量开采,引起市区大范围的地面沉降,而造成危害。因此,在竣工后的运营阶段,需对这些有安全隐患的建筑物及其周围进行变形监测。为此,需布设变形观测控制网。由于这种变形的数值一般都很小,为了能足够精确地测出它们,要求变形观测控制网具有较高的精度。

以上2、3阶段布设的两种控制网统称为专用控制网。

控制测量在许多方面发挥着重要作用。可以说,地形图是一切建筑工程规划和发展必需的基础性资料。为测制地形图,首先要布设全国范围内及局域性的大地测量控制网;为取得大地点的精确坐标,必须要建立合理的大地测量坐标系以及确定地球的形状、大小及重力场参数。因此,控制测量在国民经济建设和社会发展中发挥着决定性作用。控制测量在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价与保护中发挥着特殊作用。此外,在空间技术和国防建设中,在丰富和发展当代地球科学的有关研究中,以及在测绘工程事业中,控制测量的地位和作用将显得越来越重要。

二、控制测量主要研究内容

控制测量的基本内容概括如下:

(1) 研究建立和维持高科技水平的工程、国家水平控制网、精密水准网的原理和方法,以满足国民经济、国防建设及地球科学研究的需要。

(2) 研究获得高精度测量成果的精密仪器及其使用方法。

(3) 研究地球表面测量成果向椭球及平面的数学投影变换,以及有关问题的测量计算。

(4) 研究高精度和多类别的地面网、空间网及其联合网的数学处理理论和方法,控制测量数据库的建立及应用等。

以上概述了一般意义下,控制测量的基本任务和主要内容。本书依据这些基本体系和内容,介绍了控制测量的基本理论、技术和方法,为学生对后续课程的学习及从事测绘事业打下坚实的基础。

知识点二 控制网布设形式

控制网是指将地面上选定的一系列控制点位 1, 2, $\dots$, 按一定的形式连接起来构成的几何图形。

一、平面控制网布设形式

1. 三角网

1) 网形

在地面上选定一系列点位 1, 2, $\dots$, 使互相观测的两点通视, 把它们按三角形的形式连接起来, 即构成三角网。如果测区较小, 可以把测区所在的一部分椭球面近似看做平面, 则该三角网即为平面上的三角网 (见图 1.1)。

2) 观测方法

三角网中的观测量是网中的全部方向值, 图 1.1 中每条实线表示对向观测的两个方向。根据方向值即可算出任意两个方向之间的夹角, 这种观测方法叫三角测量法。

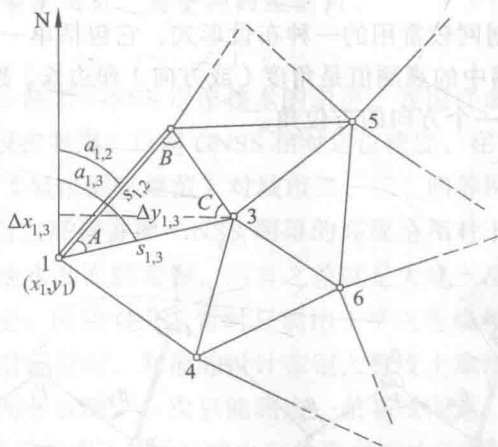


图 1.1 三角网的测量和计算图

若已知点 1 的平面坐标 (x_1, y_1) , 点 1 至点 2 的平面边长 $s_{1,2}$, 坐标方位角 $\alpha_{1,2}$, 便可用正

弦定理依次推算出所有三角网的边长、各边的坐标方位角和各点的平面坐标。这就是三角测量的基本原理和方法。

以图 1.1 为例, 待定点 3 的坐标可按式 (1.1) ~ (1.4) 计算。

$$s_{1,3} = s_{1,2} \frac{\sin B}{\sin C} \quad (1.1)$$

$$\alpha_{1,3} = \alpha_{1,2} + A \quad (1.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{1,3} &= s_{1,3} \cos \alpha_{1,3} \\ \Delta y_{1,3} &= s_{1,3} \sin \alpha_{1,3} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= x_1 + \Delta x_{1,3} \\ y_3 &= y_1 + \Delta y_{1,3} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

即由已知的 $s_{1,2}$ 、 $\alpha_{1,2}$ 、 x_1 、 y_1 和各角观测值的平差值 A 、 B 、 C , 可推算求得 x_3 、 y_3 ; 同理, 可依次求得三角网中其他各点的坐标。

3) 起算数据和推算元素

为了得到所有三角点的坐标, 必须已知三角网中某一点的起算坐标 (x_1, y_1) , 某一起算边长 $s_{1,2}$ 和某一边的坐标方位角 $\alpha_{1,2}$, 它们统称为三角测量的起算数据 (或元素)。在三角点上观测的水平角 (或方向) 是三角测量的观测元素。由起算元素和观测元素的平差值推算出的三角形边长、坐标方位角和三角点的坐标, 统称为三角测量的推算元素。

三角网的主要优点是: 图形简单, 网的精度较高, 有较多的检核条件, 易于发现观测中的粗差, 便于计算。缺点是: 在平原地区或隐蔽地区易受障碍物的影响, 布网难度大, 有时不得不建造较高的觇标。

2. 导线网

将测区内相邻控制点连成直线而构成的折线, 称为导线。这些控制点称为导线点。导线测量就是依次测定各导线边的长度和各转折角值; 根据起算数据, 推算各边的坐标方位角, 从而求出各导线点的坐标。

导线网是目前工程控制网较常用的一种布设形式, 它包括单一导线和具有一个或多个结点的导线网 (见图 1.2)。网中的观测值是角度 (或方向) 和边长。独立导线网的起算数据是: 一个起算点的 (x, y) 坐标和一个方向的方位角。

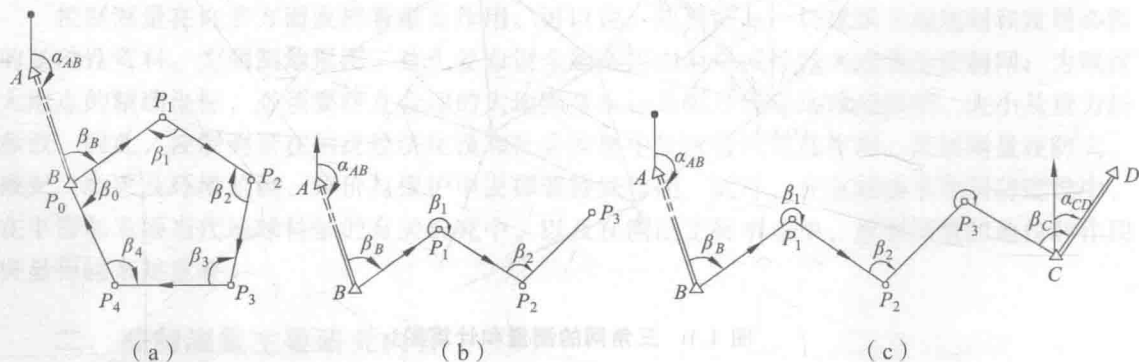


图 1.2 导线网

导线网与三角网相比,主要优点在于:

(1) 网中各点上的方向数较少,除结点外只有两个方向,因而受通视要求的限制较小,易于选点和降低觇标高度,甚至无须造标。

(2) 导线网的图形非常灵活,选点时可根据具体情况随时改变。

(3) 网中的边长都是直接测定的,因此边长的精度较均匀。

导线网的缺点主要是:导线网中的多余观测数较同样规模的三角网要少,有时不易发现观测值中的粗差,因而可靠性不高。

由上述可见,导线网特别适合于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。

3. 三边网

三边网和三角网的几何图形一致,区别在于三边网观测的是网中所有三角形的每条边长而不测角度,利用起算数据和观测的边长依次推算出每个角度,然后依次推算各控制点坐标。

4. 边角网

边角网是指既测角又测边的以三角形为基本图形的网,边角网的精度最高,适用于精度要求较高的情况,如变形监测控制网。实际上导线网也可以看做是边角网的特殊情况。

注:上述4种布设形式中,三角网早在17世纪即被采用。随后经过前人不断研究、改进,无论从理论上还是实践上逐步形成为一套较完善的控制测量方法,即“三角测量”。由于这种方法主要使用经纬仪完成大量的野外观测工作,所以在电磁波测距仪问世以前,三角网是布设各级控制网的主要形式。

随着电磁波测距仪的不断完善和普及,导线网和边角网逐渐得到广泛的应用。尤其是前者,目前在平原或隐蔽地区已基本上代替了三角网,成为主要等级控制网。由于完成一个测站上的边长观测通常要比方向观测容易,因而在仪器设备和测区通视条件都允许的情况下,也可布设完全的测边网。在精度要求较高的情况下(例如精密的变形监测),可布设部分测边、部分测角的控制网或边、角全测的控制网。

5. GNSS 网

进入20世纪90年代,随着GNSS定位技术的引进,我国许多大、中城市勘测院及工程测量单位开始用GNSS布设控制网。目前GNSS相对定位精度,在几十千米的范围内可达 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$,可以满足《城市测量规范》对城市二、三、四等网的精度要求(二等最弱边相对精度1/300 000)。然而在高程方面GNSS测得的高程是相对于椭球面的大地高,而水准测量求出的则是相对于大地水准面的高程,两者之差就是大地水准面差距 N 。目前在大多数情况下, N 值难以精确确定,因此GNSS暂时只能用于平面等级控制网的布设。

当采用GNSS进行相对定位时,网形的设计在很大程度上取决于接收机的数量和作业方式。如果只用两台接收机同步观测,一次只能测定一条基线向量。如果能有三四台接收机同步观测,GNSS网则可布设成如图1.3所示的由三角形和四边形组成的网形。其中图(a)、(b)为点连接,表示在两个基本图形之间有一个点是公共点,在该点上有重复观测;图(c)、(d)为边连接,表示每个基本图形中,有一条边是与相邻图形重复的。

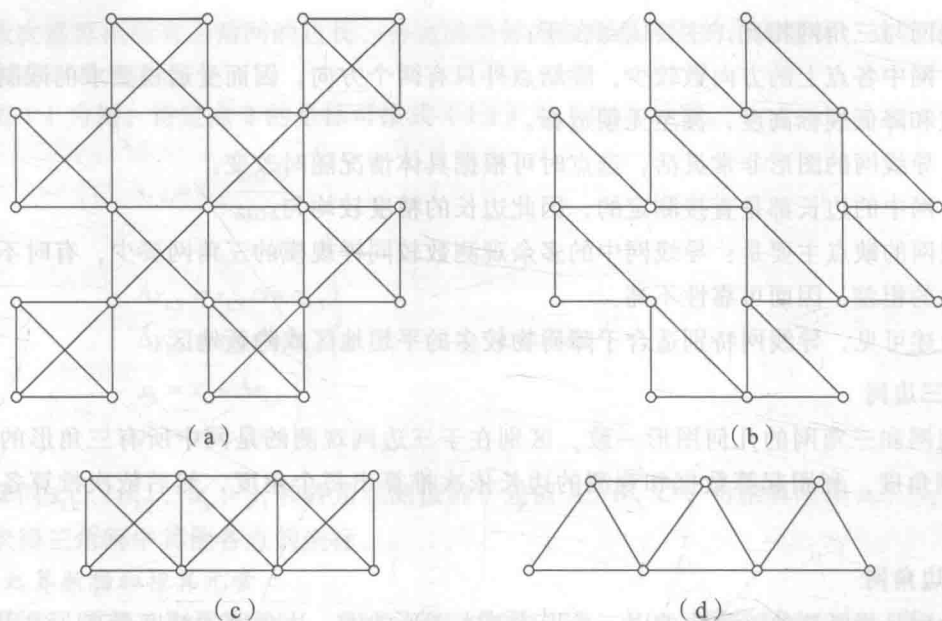


图 1.3 三角网和四边网组成的网形

在 GNSS 网中，也可在网的周围设立两个以上的基准点。在观测过程中，这些基准点上始终设有接收机进行观测。最后取逐日观测结果的平均值，可显著提高这些基线的精度，并以此作为固定边来处理全网的成果，将有利于提高全网的精度。

二、工程测量中平面控制网起算数据的获得

在工程测量中，控制网起算数据可由下列方法求得：

(1) 起算边长。当测区内有国家三角网（或其他单位施测的三角网）时，若其精度满足工程测量的要求，则可利用国家三角网边长作为起算边长。若已有网边长精度不能满足工程测量的要求（或无已知边长可利用）时，则可采用电磁波测距仪直接测量三角网某一边或某些边的边长作为起算边长。

(2) 起算坐标。当测区内有国家三角网（或其他单位施测的三角网）时，则由已有的三角网传递坐标。若测区附近无三角网成果可利用，则可在一个三角点上用天文测量方法测定其经纬度，再换算成高斯平面直角坐标，作为起算坐标。保密工程或小测区也可采用假设坐标系统。

(3) 起算方位角。当测区附近有控制网时，则可由已有网传递方位角。若无已有成果可利用时，可用天文测量方法测定三角网某一边的天文方位角，再把它换算为起算方位角。在特殊情况下也可用陀螺经纬仪测定起算方位角。

(4) 独立网与非独立网。当三角网中只有必要的一套起算数据（例如一条起算边，一个起算方位角和一个起算点的坐标）时，这种网称为独立网。图 1.4 中各网都是独立网，其中 (a) 称为中点多边形，是三角网中常用的一种典型图形。

如果三角网中具有多于必要的一套起算数据，则这种网称为非独立网。例如，图 1.5 为相邻两三角形中插入两点的典型图形。A、B、C 和 D 都是高级三角点，其坐标、两点间的边

长和坐标方位角都是已知的。因此,这种三角网的起算数据多于一套,属于非独立网,又称为附合网。图中的 P 、 Q 为待定点。

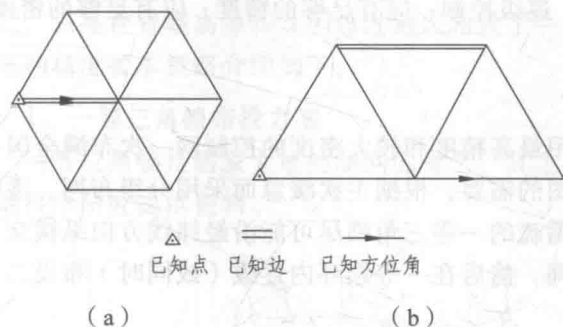


图 1.4 独立网

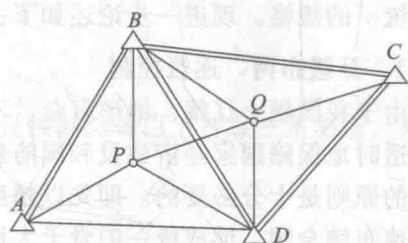


图 1.5 非独立网

三、高程控制网布设形式

国家高程控制网是用水准测量方法布设的,其布设原则与平面控制网布设原则相同。根据分级布网原则,将水准网分成四个等级。一等水准路线是高程控制的骨干,在此基础上布设的二等水准路线是高程控制的全面基础;在一、二等水准网的基础上加密三、四等水准路线,直接为地形测量和工程建设提供必要的高程控制。按国家水准测量规范规定,各等级水准路线一般都应构成闭合环线或附合于高级水准路线。

工程高程控制网的布设也应遵守分级布设的原则。

关于工程高程控制网的布设方案,《城市测量规范》规定,可以采用水准测量和三角高程测量。水准测量分为一、二、三、四等,作为工程高程控制网或专用高程控制网的基础。首级水准网等级的选择应根据城市面积的大小、城市的远景规划、水准路线的长短而定。首级网应布设成闭合环线,加密网可布设附合路线、结点网和闭合环。只有在山区等特殊情况下,才允许布设水准支线。水准测量精度较高,但是受地形条件的限制较大,适用于地势平坦和精度要求较高的情况。

三角高程测量主要用于山区的高程控制和平面控制点的高程测定。应特别指出的是电磁波测距三角高程测量,近年来经过研究已普遍认为该法可达到四等水准测量的精度,也有人认为可以代替三等水准测量。因而《城市测量规范》规定:根据仪器精度和经过技术设计认为能满足城市高程控制网的基本精度时,可用以代替相应等级的水准测量。三角高程测量的精度相对较低,但是由于它几乎不受地形条件的限制,所以适用于地势起伏大、精度要求不高的情况。

知识点三 控制网布设原则和方案

一、国家平面控制网布设原则

我国幅员辽阔,在大部分领域(约 $9\,600\,000\text{ km}^2$)布设国家天文大地网,是一项规模巨大的工程。为完成这一基本工程建设,在新中国成立初期,在国民经济相当困难的情况下,

国家专门抽调了一批人力、物力、财力，1951 年即开始野外工作，此项工作一直到 1971 年才基本结束。面对如此艰巨的任务，显然事先必须全面规划、统筹安排，制定一些基本原则，用以指导建网工作。这些原则是：分级布网，逐级控制；应有足够的精度；应有足够的密度；应有统一的规格。现进一步论述如下：

1. 分级布网、逐级控制

由于我国领土辽阔，地形复杂，不可能用最高精度和较大密度的控制网一次布满全国。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、逐级控制的原则是十分必要的。即先以精度高而稀疏的一等三角锁尽可能沿经纬线方向纵横交叉地迅速布满全国，形成统一的骨干大地控制网，然后在一等锁环内逐级（或同时）布设二、三、四等控制网。

2. 应有足够的精度

控制网的精度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控制网，应力求精度更高，才有利于为科学研究提供可靠的资料。

为了保证国家控制网的精度，必须对起算数据和观测元素的精度、网中图形角度的大小等，提出适当的要求和规定。这些要求和规定均列于《国家三角测量和精密导线测量规范》（以下简称《规范》）中。

3. 应有足够的密度

控制点的密度，主要根据测图方法及测图比例尺的大小而定。比如，用航测方法成图时，密度要求的经验数值如表 1.1 所示，表中的数据主要是根据经验得出的。

表 1.1 各种比例尺航测成图时对平面控制点的密度要求

测图比例尺	每幅图要求点数	每个三角点控制面积	三角网平均边长	等级
1 : 50 000	3	约 150 km ²	13 km	二等
1 : 25 000	2 ~ 3	约 50 km ²	8 km	三等
1 : 10 000	1	约 20 km ²	2 ~ 6 km	四等

由于控制网的边长与点的密度有关，所以在布设控制网时，对点的密度要求是通过规定控制网的边长而体现出来的。对于三角网而言，边长 s 与点的密度（每个点的控制面积） Q 之间的近似关系为 $s = 1.07\sqrt{Q}$ 。将表 1.1 中的数据代入此式，得

$$s = 1.07\sqrt{150} \approx 13(\text{km})$$

$$s = 1.07\sqrt{50} \approx 8(\text{km})$$

$$s = 1.07\sqrt{20} \approx 5(\text{km})$$

因此，按照《规范》中规定，国家二、三等三角网的平均边长分别为 13 km 和 8 km。

4. 应有统一的规格

由于我国三角锁网的规模巨大，必须有大量的测量单位和作业人员分区同时进行作业，为此，必须由国家制定统一的大地测量方式和作业规范，作为建立全国统一技术规格的控制网的依据。

二、国家平面控制网布设方案

根据国家平面控制网施测时的测绘技术水平,我国采取三角网为主、导线网为辅的布网形式,只是在青藏高原特殊困难的地区布设了一等电磁波测距导线。现将国家三角网的布设方案和精度要求概略介绍如下:

1. 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,并为地球科学研究提供资料。

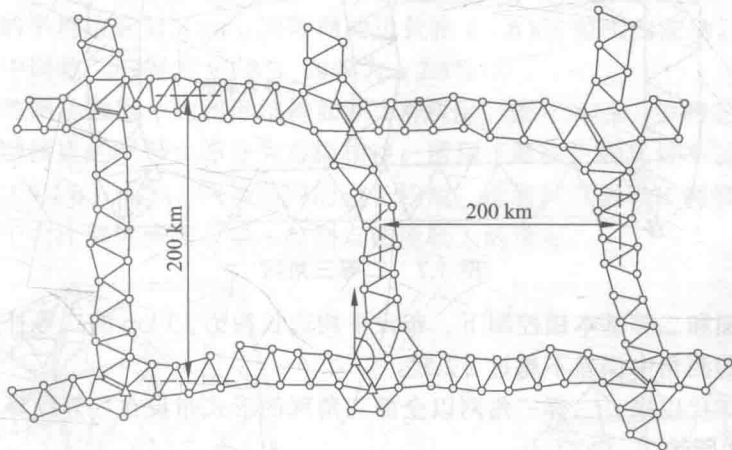


图 1.6 一等三角锁布设形式

一等三角锁尽可能沿经纬线方向布设成纵横交叉的网状图形,如图 1.6 所示。在一等锁交叉处设置起算边,以获得精确的起算边长,并可控制锁中边长误差的积累,起算边长度测定的相对中误差 $m_b/b < 1/350\,000$ 。多数起算边的长度是采用基线测量的方法求得的。随着电磁波测距技术的发展,后来少数起算边的测定已为电磁波测距法所代替。

一等锁在起算边两端点上精密测定了天文经纬度和天文方位角,作为起算方位角,用来控制锁、网中方位角误差的积累。一等天文点测定的精度是:纬度测定中误差 $m_\varphi \leq \pm 0.3''$,经度测定的中误差 $m_\lambda < \pm 0.02''$,天文方位角测定的中误差 $m_a < \pm 0.5''$ 。

一等锁两起算边之间的锁段长度一般为 200 km 左右,锁段内的三角形个数一般为 16~17 个。角度观测的精度,按一锁段三角形闭合差计算所得的测角中误差应不超过 $\pm 0.7''$ 。

一等锁一般采用单三角锁。根据地形条件,也可组成大地四边形或中点多边形,但对于不能显著提高精度的长对角线应尽量避免。一等锁的平均边长,山区一般约为 25 km,平原区一般约为 20 km。

2. 二等三角锁、网布设方案

二等三角网是在一等锁控制下布设的,它是国家三角网的全面基础,同时又是地形测图的基本控制。因此,必须兼顾精度和密度两个方面的要求。

20 世纪 60 年代以前,我国二等三角网曾采用二等基本锁和二等补充网的布设方案。即在一等锁环内,先布设沿经纬线纵横交叉的二等基本锁(见图 1.7),将一等锁环分为大致相等的 4 个区域。二等基本锁平均边长为 15~20 km;按三角形闭合差计算所得的测角中误差

不超过 $\pm 1.2''$ 。另在二等基本锁交叉处测量基线，精度为 $1/200\,000$ 。

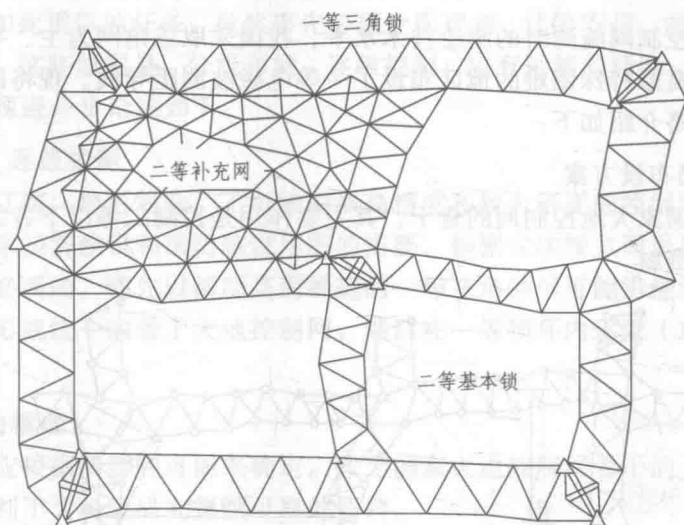


图 1.7 二等三角网

在一等三角锁和二等基本锁控制下，布设平均边长约为 13 km 的二等补充网。按三角形闭合差计算所得的测角中误差不超过 $\pm 2.5''$ 。

20 世纪 60 年代以来，二等三角网以全面三角网的形式布设在一等锁环内，四周与一等锁衔接，如图 1.8 所示。

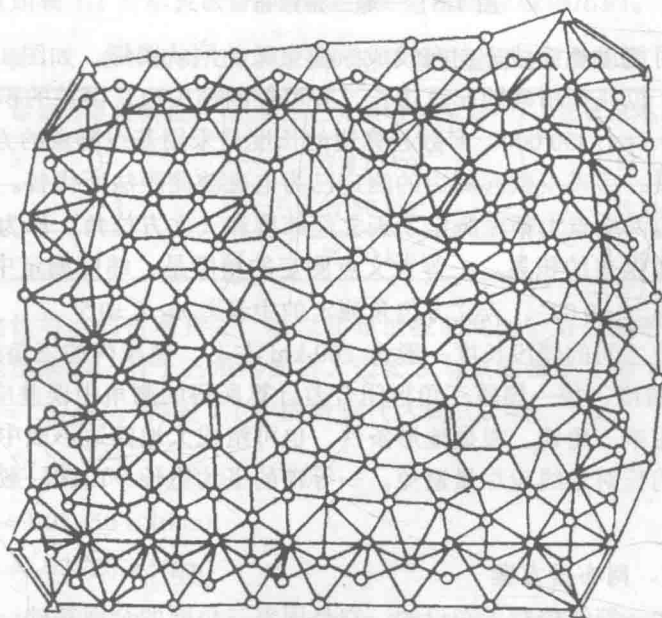


图 1.8 全面三角网布设的二等网

为了控制边长和角度误差的积累，以保证二等三角网的精度，在二等三角网中央处测定了起算边及其两端点的天文经纬度和方位角，测定的精度与一等点相同。当一等锁环过大时，还在二等三角网的适当位置，酌情加测了起算边。