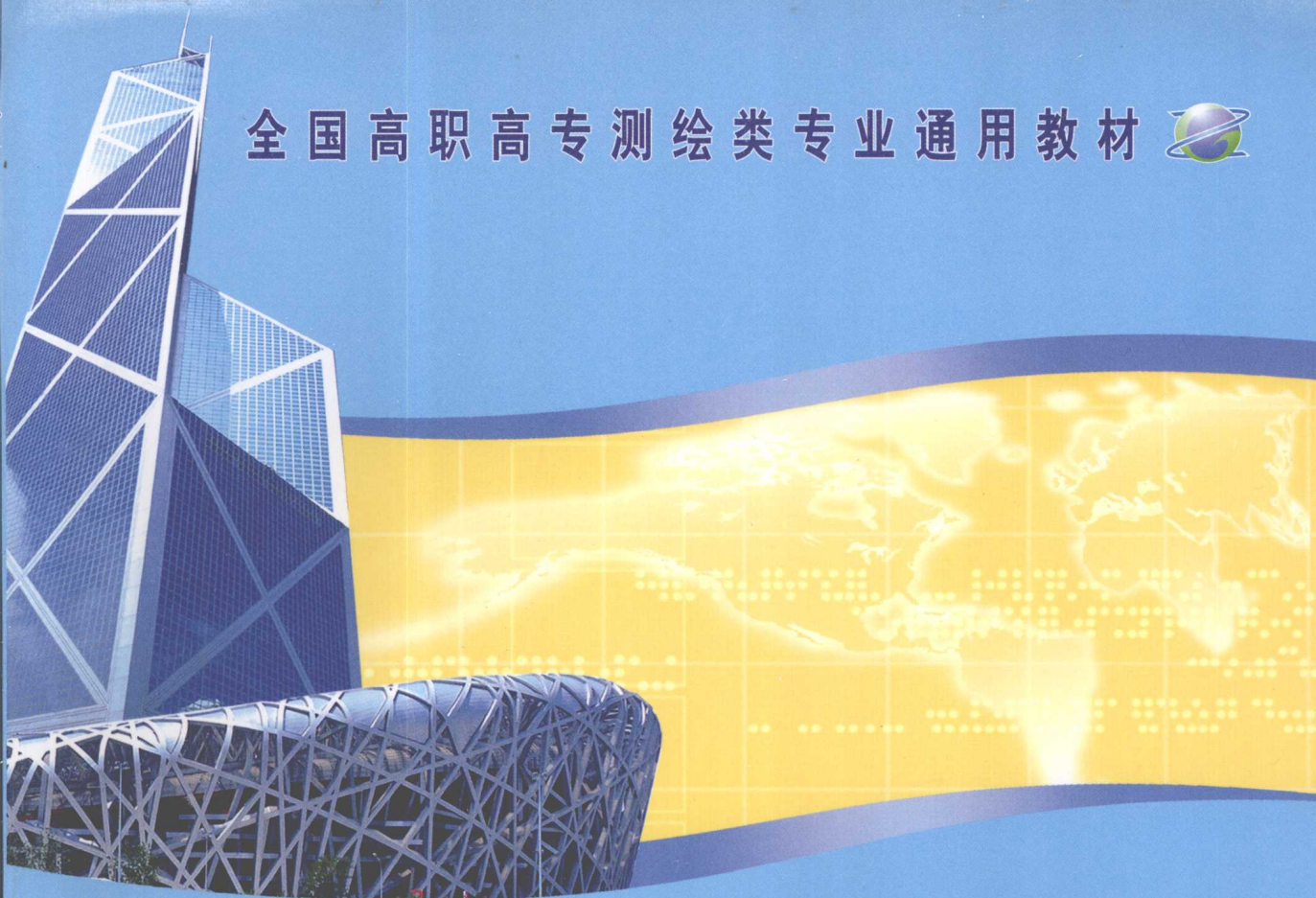


全国高职高专测绘类专业通用教材 



控制测量

CONTROL SURVEYING

林玉祥 主编



测绘出版社

全国高职高专测绘类专业通用教材

控制测量

Control Surveying

林玉祥 主编

测绘出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是一部基于工作过程的控制测量教材,是为适应当前测绘类专业高职高专教育的需要编写的。全书共分6章,其内容的编排顺序与控制测量的工作过程相一致。第1章为绪论;第2章为控制测量技术设计;第3、4、5章全面讲解控制测量工作的外业实施与内业计算全过程,其中包括用GPS技术和常规测量仪器进行平面控制测量的技术与实施,也包括高程控制测量的技术与实施等内容;第6章为控制测量技术总结。

本书可作为高职高专测绘类专业及相关专业的教材,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制测量/林玉祥主编. —北京:测绘出版社,2009.9

全国高职高专测绘类专业通用教材

ISBN 978-7-5030-1942-5

I. 控… II. 林… III. 控制测量—高等学校:技术学校—教材 IV. P221

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第164126号

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

责任编辑 田 力 封面设计 李 伟 责任校对 董玉珍 李 艳

出版发行 测绘出版社

社 址 北京西城区三里河路50号

电 话 010-68531160(市场营销)

电子信箱 smp@sinomaps.com

印 刷 北京建筑工业印刷厂

成品规格 184mm×260mm

印 张 15.5

版 次 2009年9月第1版

印 数 0001—3000

邮政编码 100045

010-83543974 68512386(发行部)

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

字 数 385千字

印 次 2009年9月第1次印刷

定 价 32.00元

书 号 ISBN 978-7-5030-1942-5/P·447

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

全国高职高专测绘类专业通用教材

编委会名单

顾 问：宁津生

主任委员：赵文亮

副主任委员：陈 平

委 员：（按姓氏笔画排列）

王晓春 全志强 杨建光 林玉祥

金 君 周 园 赵国忱 洪 波

聂俊兵 黄华明 薄志毅

参编学校及生产单位

(排名不分先后)

山西交通职业技术学院
山西建筑职业技术学院
中国科学院地理所
中国第二冶金建设有限责任公司
石家庄铁道学院
石家庄职业技术学院
包头铁道职业技术学院
辽宁工程技术大学职业技术学院
辽宁地质工程职业技术学院
辽宁交通高等专科学校
辽宁林业职业技术学院
辽宁科技学院
扬州环境资源职业技术学院
成都理工大学
沈阳农业大学高等职业技术学院
张家口职业技术学院
武汉电力职业技术学院
郑州测绘学校
河北政法技术学院
陕西铁路工程职业技术学院
徐州市消费者协会装饰装修质量监督站
徐州建筑职业技术学院
胶州市规划局
浙江水利水电高等专科学校
黑龙江农业职业技术学院
湖北水利水电职业技术学院

序

当今中国正处于国家信息化大潮之中,国家要通过推进信息化,促进现代化,加速我国经济、社会的发展。正是在国家信息化建设的大背景下促使测绘信息化的发展。国民经济建设和社会可持续发展对诸如时间、空间、属性这类地理空间信息或者说广义测绘信息的需求也在迅速增长。测绘学科和行业在国家信息化和现代化建设中发挥着越来越重要的作用。为了适应国家信息化建设的需求,测绘正开始步入信息化测绘新阶段。由此对测绘人才队伍建设提出了更高的要求。

我国的高等职业教育作为高等教育的重要组成部分,近年来得到了迅速发展,初步形成了适应我国社会主义现代化建设的高等职业教育体系,大大提高了服务社会的能力,也为我国测绘行业培养了大量高素质的技能型测绘专门人才。他们在全国测绘生产、企业部门,形成一支强有力的骨干力量。目前,我国的高职高专教育正处于探索和改革的重要阶段,其主要任务是加强内涵建设,提高教育质量,重点在于提高人才培养质量,因此要努力抓好实践教学和基础课两个课程体系建设,并使两个体系相互交融。通过课程体系、教学内容和教学方法的改革,让专业与职业有效结合,提高学生学习专业与市场需求的吻合度,增强就业竞争能力。因此在我国当前的高职高专教育的教学改革中,以工作过程为导向,突出“工学结合”,融“教、学、做”于一体的教学理念逐渐成为主导。

为了更好地配合高职高专教育教学改革,探索、开发与“工学结合”人才培养模式相适应的高职高专教育测绘类专业课程体系,加快培养能够满足生产、建设、服务和管理第一线需要的测绘类高技能实用人才,测绘出版社组织全国 20 多所高职高专院校中在教学一线工作的骨干教师和生产单位的专家,结合目前测绘技术的最新发展趋势及社会实际生产的技能需求,编写了这一套兼顾通用性与特色、适合高职高专教育测绘类专业的通用教材。

该套教材以高职高专教育教学改革的基本方向和总体要求为指导,从工作岗位和工作任务出发,以培养职业能力为本位,将生产中的实用技术、新技术更多地融入教材内容,很好地使行动导向与理论导向有机地结合,贯彻“工学结合”的编写主旨,表现出体系完整、联系紧密、通用性强、实用性好的特点,既适合高职高专教育测绘类专业教学使用,也可供相关专业工程技术人员学习参考,必将在推动测绘学科建设、促进高职高专教育测绘类专业教学改革和加快测绘高技能实用人才的培养等诸多方面发挥积极的推动作用。



教育部高等学校测绘学科教学指导委员会主任

中国测绘学会测绘教育工作委员会主任

中国工程院院士

2009 年 6 月

前言

本书是根据教育部《关于全面提高高等职业教育质量的若干意见》(教高[2006]16号)的文件精神,为配合高职高专教育教学改革,探索、开发与“工学结合”人才培养模式相适应的高职高专教育测绘类专业课程体系,组织全国20多所高职高专院校的骨干教师和生产单位的专家所编写的全国高职高专测绘类专业通用教材之一。

本书是由传统的控制测量学、GPS定位技术及现行的工程测量规范等相关内容有机整合而成。为突出其实用性,书中对坐标系统与转换等知识作了系统介绍,同时引用了大量的工程实例。

本书具有如下特点:

(1)编写自始至终贯穿着“基于工作过程”教学理念,紧密围绕着“完成一项控制测量工程”这一核心主题,内容的编排顺序与实际控制测量的工作顺序完全一致;

(2)将传统的控制测量学、GPS定位技术、测量常用坐标系统及现行的工程测量规范等相关内容有机整合,极具实用性;

(3)书中给出了大量工程实例,不论是对在校学生,还是工程技术人员都具有一定的指导意义和参考作用;

(4)强化了控制测量的整体工作过程,淡化了知识的系统性;

(5)本书适合采用项目教学法实施教学。

在本书的编写过程中,参阅了大量的文献资料,引用了同类书刊中部分内容与算例,更首次引入了大量工程实例,在此谨向有关单位和作者表示衷心感谢!

本书由林玉祥担任主编,林乐胜、赵雪云、聂琳娟任副主编。编写人员及分工如下:李金生编写第3章1~4节;王成余编写第3章5~7节;杨柳编写第4章1~3节;赵雪云编写第4章4~6节;聂琳娟编写第4章7节;邹娟茹编写第5章1~3节;林乐胜编写第6章;其余部分及全部思考题均由林玉祥编写。在本书编写过程中,得到了辽宁省交通勘测设计院的鹿罡教高、辽宁测绘质检站张政涛教高和辽宁经纬测绘公司肖宏教高的大力支持与帮助,在此一并表示衷心感谢!

高职高专测绘类专业教学指导委员会主任委员赵文亮教授认真审阅了本书,并提出了宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的感谢!

建议本书全部内容在120~130学时内完成,各院校亦可根据各自不同的需要,对教学内容和所需教学课时酌情选定。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免出现错误和不妥之处,恳请使用本书的老师和广大读者提出宝贵意见,以便进一步修正与完善。

编 者

2009年6月

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 控制测量的任务及作用	1
§ 1.2 控制网的建立方法	2
§ 1.3 国家控制网的布设	4
§ 1.4 工程控制网的布设	8
§ 1.5 控制测量的工作流程	10
思考题	11
第 2 章 控制测量技术设计	12
§ 2.1 概 述	12
§ 2.2 控制网布设的基本形式	13
§ 2.3 技术设计中的几个技术问题	16
§ 2.4 技术设计实例	26
思考题	61
第 3 章 利用卫星定位测量技术进行平面控制测量	62
§ 3.1 卫星导航定位系统简介	62
§ 3.2 GPS 的组成	63
§ 3.3 GPS 相对于经典测量技术的特点	67
§ 3.4 GPS 卫星信号及导航电文	68
§ 3.5 GPS 卫星定位基本原理	73
§ 3.6 GPS 测量的误差来源影响	82
§ 3.7 GPS 测量的实施	88
思考题	103
第 4 章 导线测量	105
§ 4.1 导线测量的主要技术要求	105
§ 4.2 平面控制测量技术设计	106
§ 4.3 精密角度测量	108
§ 4.4 精密距离测量	113
§ 4.5 导线测量的外业观测	114
§ 4.6 导线测量的内业计算	116

§ 4.7 导线测量知识基础	121
思考题	181
第 5 章 高程控制测量	184
§ 5.1 概 述	184
§ 5.2 高程控制测量技术设计	189
§ 5.3 外业观测	191
§ 5.4 水准测量概算与平差计算	197
§ 5.5 高程控制测量知识基础	201
思考题	214
第 6 章 控制测量技术总结	215
§ 6.1 概 述	215
§ 6.2 测绘技术总结的编制	216
§ 6.3 技术总结实例	218
思考题	238
参考文献	239

第1章 绪 论

§ 1.1 控制测量的任务及作用

1.1.1 控制测量的任务

控制测量技术是如何精确测定地面控制点空间位置的技术。它是在大地测量学的基本理论上以工程建设测量为主要服务对象而发展和形成的,其主要任务是:在一定的区域范围内通过建立水平控制网和高程控制网,精确地测定地面控制点的位置,即平面坐标(x, y)和高程(H)。

控制测量的服务对象主要是各种工程建设、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(通常,测区面积在 $2\,000\text{ km}^2$ 以下),并且在观测手段和数据处理方法上还具有多样化的特点。

在工程建设工作进行过程中,大体上可分为设计、施工和运营三个阶段。每个阶段控制测量的具体任务如下。

1. 在设计阶段建立用于测绘大比例尺地形图的测图控制网

在工程的设计阶段,设计人员要在大比例尺地形图上进行构造物的设计或区域规划,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,对于随着改革开放而发展起来的我国房地产业,这种测图控制网也是地籍测量的根据。

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好的构造物放样到实地上,以便指导施工的进行。对于不同的工程来说,施工测量的具体任务和技术要求有所不同。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;建筑施工测量的主要任务是使各建筑物按照设计的位置修建。在施工放样过程中,放样所需的方向、距离等放样元素都是依据控制网计算出来的,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. 在工程竣工后的运营阶段,建立以监视建筑物变形为目的的变形观测专用控制网

像超高层建筑和大型水库等工程,由于在工程施工阶段改变了地面的原有状态,加之建筑物本身的重量将会引起地基及其周围地层的不均匀变化。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,这种变形,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),由于地下水的过量开采,也会引起市区大范围的地面沉降,从而造成危害。因此,在工程竣工后的运营阶段,需对这种重点建筑物或市区进行变形监测,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,为了能够足够精确地测出它们,要求变形观测控制网应具有非常高的精度。

以上第1阶段布设的控制网称为测图控制网,第2、3阶段布设的两种控制网统称为专用控制网。

1.1.2 控制测量的作用

由上所述,控制测量在工程建设的各个不同阶段的基本任务是建立控制网,以精确确定控制点的位置。可见控制网是控制测量的具体体现,其主要作用如下。

1. 控制网是进行各项测量工作的基础

对勘察设计阶段建立的测图控制网而言,基本控制网是扩展图根控制和进行测图的基础;而对施工控制网而言,基本控制网是各种工程建筑施工放样的基础。

2. 控制网具有控制全局的作用

对勘察设计阶段建立的测图控制网而言,控制网具有控制全局,保证所测的各幅地形图具有一定的精度,能够互相拼接成为一个整体的作用;而对施工控制网而言,应控制全局,保证各建筑物轴线之间的相关位置具有必要的精度,以满足设计与施工的精度要求。

3. 控制网具有限制测量误差的传递和积累的作用

建立控制网时所采用的“分级布网、逐级控制”的原则,就是从技术上考虑具有限制测量误差的传递和积累的作用。

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使用控制网,可见控制测量这门课程对于工程建设的重要性。

1.1.3 控制测量的基本内容

一项控制测量工程和其他工程一样,分为设计、施测和使用三个阶段。各个阶段的基本内容为

(1)在控制网的设计阶段,主要内容是进行网的可行性论证,估计网的技术经济指标,撰写技术设计报告等。

(2)在控制网的施测阶段,主要是根据技术设计报告进行控制网的布测,即踏勘选点、埋石、观测及数据处理等。

(3)在控制网的使用阶段,主要是对控制网的成果进行有效管理,以便能够迅速、准确地为各项工程建设提供有用的资料,此外还包括对网的维护和补测等。

应说明的是,以上三个阶段的划分界限并不是十分明确的。例如在施测阶段,有可能发现技术设计不符合实际,因而需局部的修改设计,这实际上又重新进行了设计与施测;同样在控制网的使用阶段,由于包含了网的维护与补测,因而部分的重复上述前两个阶段的工作也时有发生。

§ 1.2 控制网的建立方法

控制网一般分为平面控制网和高程控制网。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。

1.2.1 建立平面控制网的基本方法

1. 导线测量

导线测量的体现形式为单导线或导线网,目前单导线的布网形式使用较普遍。图 1-1 为单一附和导线的形式,该导线的解算至少要已知一个点的坐标和一条边的方位角,如 (x_1, y_1) 和 T_0 ,在导线(网)中的观测值是角度(或方向)和边长。通过如下公式可以推算出各未知点的坐标。

$$T_n = T_0 + \beta_1 + \beta_2 + \cdots + \beta_n - n \times 180^\circ \quad (1-1)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{n+1} &= x_1 + [S_i \cos T_i]_1^n \\ y_{n+1} &= y_1 + [S_i \sin T_i]_1^n \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

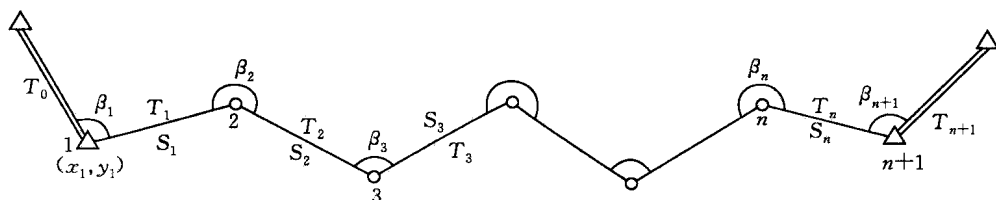


图 1-1 导线坐标的解算

任何一个控制网,其数据都分为三种类型,它们分别是已知数据、观测数据和推算数据。在控制网中,如果只有必要的起算数据,那么该网就称为独立网;如果网内存在多余起算数据,那么该网就称为非独立网。

独立导线网的必要起算数据是:一个起算点的 x, y 坐标和一个方向的方位角。

导线(网)的主要优点:

- (1) 网中各点上的方向数较少,除节点外只有两个方向,因而布网时受通视要求的限制较小,易于选点和降低观测目标的高度;
- (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,因此边长的精度较均匀。

导线(网)的主要缺点:

- (1) 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,因而可靠性相对较差;
- (2) 导线点控制的面积狭小。

由上述可见,导线(网)特别适合布设于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。

2. 三角测量

20 世纪 70 年代之前,三角测量是进行平面控制测量的首选方法,目前该方法已基本淘汰。三角测量的体现形式就是三角网,其网形见图 1-2。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。三角网中的观测量是网中的全部(或大部分)方向值,图 1-2 中每条实线表示对向观测

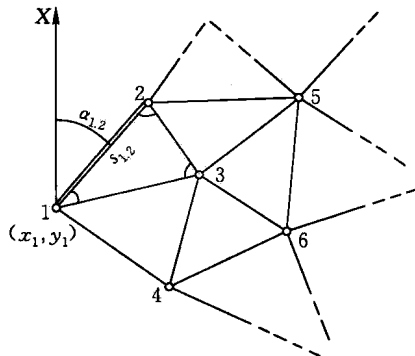


图 1-2 三角网的坐标解算

的两个方向。根据方向值可算出任意两个方向之间的夹角。

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 $\alpha_{1,2}$, 可用正弦定理等数学知识依次推算出三角网的所有边长、坐标方位角及各点的平面坐标。

3. 三边测量和边角测量

三边测量和边角测量的体现形式为三边网和边角网。纯测边的控制网称为测边网; 在测角网的基础上加测部分或全部边长称为边角网。

在传统的控制网中, 边角网的精度是最高的, 其工作量也是最大的。目前在实际工作中, 三边测量和边角测量方法极少使用。

于 2008 年 5 月 1 日起实施的《工程测量规范》(GB 50026—2007) 中, 将三角网、边角网和测边网归为一类, 统称为三角形网。

4. 卫星定位测量

进入 20 世纪 90 年代, 随着卫星定位技术的引进, 许多大、中城市的测绘单位及工程测量单位都广泛应用 GPS 方法布设控制网。GPS 技术的出现, 给控制测量带来了革命性改变, 由于 GPS 测量精度高、测量速度快、经济省力、操作简便、全天候工作等诸多优点, 目前 GPS 方法已经占据平面控制测量绝对的主导地位。

GPS 相对定位精度, 在几十公里的范围内边长相对误差可优于 10^{-6} , 完全可以满足《城市测量规范》和《工程测量规范》对城市或工程二、三、四等网的精度要求。

1.2.2 建立高程控制网的基本方法

高程控制网是进行各种比例尺测图和各种工程测量的高程控制基础, 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

用水准仪配合水准标尺进行水准测量的方法称为几何水准测量法。用该方法建立起来的高程控制网称为水准网。直接用几何水准测量方法传递高程, 可以取得很高的精度, 它是建立全国性高程控制网、城市控制网等高精度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距离(平距或斜距)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。这种方法虽然精度较低, 但布网简便灵活, 受地形限制较小, 适用于地形起伏较大的地区或精度要求较低的场合, 因此作为一种辅助方法, 有时也能起到重要作用。

§ 1.3 国家控制网的布设

1.3.1 国家平面控制网

新中国成立初期, 为了满足我国经济建设和国防建设的需要, 建立了国家三角网, 即国家平面控制网。

1. 布设原则

就客观要求而言, 国家三角网要解决的问题是很多的, 但其主要目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网的需要为出发点。

(1) 分级布网、逐级控制

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。

(2) 应有足够的精度

国家三角网是测图控制的基础,精度是最重要的指标,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,应力求高精度,有利于为科学研究和应用提供可靠的资料。对于用于测图控制的各等三角网,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》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见表 1-1,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/km ²	三角网平均边长/km	等级
1:50 000	3	约 150	13	二等
1:25 000	2~3	约 50	8	三等
1:10 000	1	约 20	2~6	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 与每个点的控制面积 Q (控制点密度) 之间的关系近似为 $S = 1.07\sqrt{Q}$ 。将表 1-1 中的数据代入此式得出

$$\begin{aligned}
 S_{\text{二等}} &= 1.07\sqrt{150} \approx 13(\text{km}) \\
 S_{\text{三等}} &= 1.07\sqrt{50} \approx 8(\text{km}) \\
 S_{\text{四等}} &= 1.07\sqrt{20} \approx 5(\text{km})
 \end{aligned}
 \tag{1-3}$$

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

(4) 应有统一的技术规格

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法式和作业规范,作为建立全国统一技术规格的控制网的依据。

2. 布设方案

根据国家平面控制网施测时的测绘技术水平,我国决定采取传统的三角网作为水平控制网的基本形式,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。

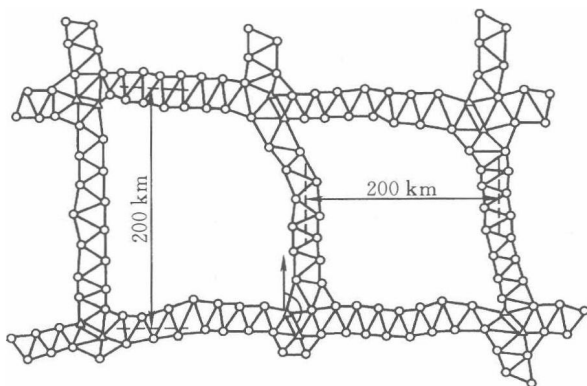


图 1-3 国家一等三角锁布设方案

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 1-3 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。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,后来少数起算边由电磁波测距仪来测定。

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小于 $\pm 0.7''$ 。

一等锁一般采用单三角锁,其平均边长,山区一般约为 25 km,平原一般为 20 km。

(2) 二等三角锁(网)布设方案

国家二等三角锁(网)是在一等三角锁的控制下布设的,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 1-4),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小于 $\pm 1.2''$ 。另在二等基本锁交叉处测量基线,精度为 1:200 000。

在一等三角锁和二等基本锁控制下,布设平均边长为 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小于 $\pm 2.5''$ 。

20 世纪 60 年代以来,二等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 1-5 所示。

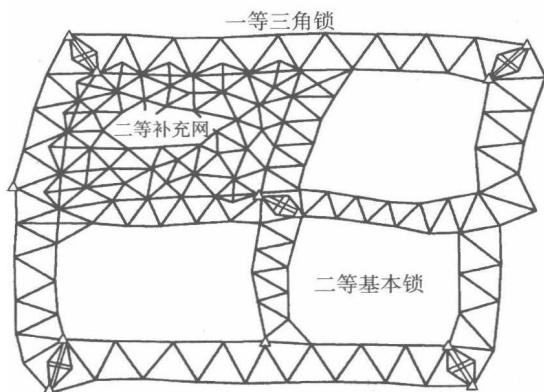


图 1-4 国家二等三角锁(网)布设方案

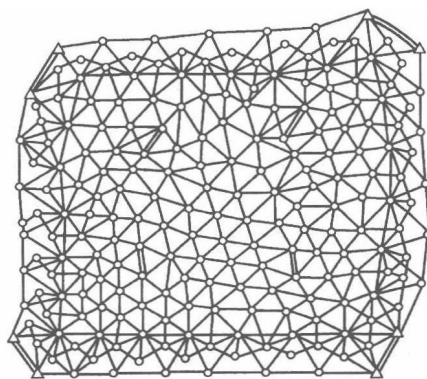


图 1-5 国家二等全面网

为了控制边长和角度误差的积累,以保证二等网的精度,在二等网中央处测定了起算边及其两端点的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,还在二等网的适当位置酌情加测了起算边。

二等网的平均边长为 13 km,由三角形闭合差计算的测角中误差小于 $\pm 1.0''$ 。

(3) 三、四等三角网布设方案

三、四等三角网是在一、二等锁网控制下布设的,是为了加密控制点,以满足测图和工程建设的需要。

三等网的平均边长为 8 km,四等网的边长在 2~6 km 范围内变通。由三角形闭合差计算所得的测角中误差,三等为 $\pm 1.8''$,四等为 $\pm 2.5''$ 。

3. GPS 网

GPS 定位技术具有精度高、速度快、费用省、全天候、操作简便等优点,因此,它广泛应用于大地测量领域和工程测量领域。用 GPS 技术建立起来的控制网叫 GPS 网。一般可把 GPS 网分为两大类:一类是全球或全国性的高精度的 GPS 网;另一类是区域性的 GPS 网。后者是指国家 C、D、E 级 GPS 网或专为工程项目而建立的工程 GPS 网,这种网的特点是控制面积不大,边长较短,观测时间不长,现在全国用 GPS 技术布设的区域性控制网很多,下面只把我国利用 GPS 技术已建立的几个全国性的 GPS 网简要介绍。

(1) 国家 GPS A 级网

1992 年,在中国资源卫星应用中心和中国测绘规划设计中心的组织协调下,由国家测绘局、国家地震局等单位,利用国际全球定位系统地球动力学服务 IGS 92 会战的机会,实施完成的一次全国性的精密 GPS 定位,建立了国家 GPS A 级网。目的是在全国范围内确定精确的地心坐标,建立起我国新一代的地心参考框架及其与国家坐标系的转换参数,以优于 10^{-7} 量级的相对精度确定站间基线向量,布设成国家 A 级网。全网由 27 个点组成,平均边长 800 km,平差后在 ITRF 91 地心参考框架中的定位精度优于 0.1 m,边长相对精度一般优于 10^{-8} 。

之后,又对 1992 年建立 GPS A 级网进行了改造,在我国西部等地区增加了新的点位。经数据精处理后基线分量重复性水平方向优于 $4\text{ mm} + 3 \times 10^{-6} \cdot D$,垂直方向优于 $8\text{ mm} + 4 \times 10^{-6} \cdot D$,地心坐标分量重复性优于 2 cm。全网整体平差后,在 ITRF 93 参考框架中的地心坐标精度优于 10 cm,基线边长的相对精度优于 10^{-8} 。

(2) 国家 GPS B 级网

在国家 GPS A 级网的控制下,大约用了 5 年的时间,又建立了国家 GPS B 级网。全网由 818 个点组成,分布全国各地(除台湾地区外)。东部点位较密,平均站间 50~70 km,中部地区平均站间 100 km,西部地区平均站间距离 150 km。外业自 1991 年开始,至 1995 年结束,经数据精处理后,点位中误差相对于已知点在水平方向优于 0.07 m,高程方向优于 0.16 m,平均点位中误差水平方向为 0.02 m,垂直方向为 0.04 m,基线相对精度达到 10^{-7} 。

(3) 全国 GPS 一、二级网

全国 GPS 一、二级网是军测部门建立的。一级网由 40 余个点组成,大部分点与国家三角点(或导线点)重合,水准高程进行了联测。一级网相邻点间距离最大为 1667 km,最小为 86 km,平均为 683 km。外业观测自 1991 年 5 月至 1992 年 4 月进行,网平差后基线分量相对误差平均在 0.01×10^{-6} 左右,最大为 0.024×10^{-6} ,绝大多数点的点位中误差在 2 cm 以内。

二级网由 500 多个点组成,二级网是一级网的加密。二级网与地面网联系密切,有 200 多个二级点与国家三角点(或导线点)重合,所有点都进行了水准联测,全网平均距离为 164.7 km。外业观测于 1992~1994 年和 1995~1997 年两个阶段完成。网平差后基线分量相对误差平均在 0.02×10^{-6} 左右,最大为 0.245×10^{-6} ,网平差后大地纬度、大地经度和大地高的中误差平均值分别为 0.18 cm、0.21 cm 和 0.81 cm。

1.3.2 国家高程控制网

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、逐级控制的原则,将水准网分成四个等级。一等水准网是高程控制的骨干,在此基础上布设的二等水准网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上。我国各级水准网布设的规格及精度见表 1-2。

表 1-2 各级水准网布设的规格及精度

等 级	环线周长/km	附合路线长/km	M_{Δ} /mm	M_w /mm
一 等	平原、丘陵	1 000~1 500	$\leq \pm 0.5$	$\leq \pm 1.0$
	山地	2 000		
二 等	500~750	—	$\leq \pm 1.0$	$\leq \pm 2.0$
三 等	300	200	$\leq \pm 3.0$	$\leq \pm 6.0$
四 等	—	80	$\leq \pm 5.0$	$\leq \pm 10.0$

注: M_{Δ} 为每公里水准测量高差中数的偶然中误差; M_w 为每公里水准测量高差中数的全中误差。

§ 1.4 工程控制网的布设

1.4.1 工程测量平面控制网

工程控制网可分为两种:一种是在各项工程建设的规划设计阶段,为测绘大比例尺地形图和房地产管理测量而建立的控制网,称为测图控制网;另一种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控制网,称为专用控制网。建立这两种控制网时亦应遵守下列布网原则。

1. 布设原则

(1) 分级布网、逐级控制

对于工程测量控制网,通常先布设精度要求最高的首级控制网,随后根据测图需要、测区面积的大小再加密若干级较低精度的控制网。用于工程建筑物放样的专用控制网,往往分二级布设。第一级作总体控制,第二级直接为建筑物放样而布设;用于变形观测或其他专门用途的控制网,通常无须分级。

(2) 要有足够的精度

以工程测量控制网为例,一般要求最低一级控制网(四等网)的点位中误差能满足大比例尺 1:500 的测图要求。按图上 0.1 mm 的绘制精度计算,这相当于地面上的点位精度为 $0.1 \text{ mm} \times 500 = 5 \text{ cm}$ 。对于国家控制网而言,尽管观测精度很高,但由于边长比工程测量控制