

全国高职高专测绘类专业通用教材 



# 控制测量技术

Technology of Control Survey

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

# 控制测量技术

Technology of Control Survey

林玉祥 主编

测绘出版社

·北京·

© 林玉祥 2013

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。

### 内 容 简 介

本书是为适应当前高职高专测绘类专业教育的需要编写的。全书共分九章,涵盖控制测量的整个工作过程,其内容主要包括:控制测量技术设计,控制测量外业测量和内业计算,控制测量技术总结及检查验收。为了提高实用性、方便教学,还加入了常用测量坐标系统及其转换、与教学内容匹配的实训指导等内容。

本书可作为高职高专院校测绘类专业学生选用教材,也可供相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

控制测量技术 / 林玉祥主编. — 北京: 测绘出版社, 2013.8 (2016.6 重印)

全国高职高专测绘类专业通用教材

ISBN 978-7-5030-3155-7

I. ①控… II. ①林… 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(2013)第 188061 号

责任编辑	田 力	执行编辑	巩 岩	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍
出版发行	测绘出版社			电 话	010-83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010-68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010-68531363(编辑部)		
电子邮箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	三河市博文印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	20			字 数	500 千字		
版 次	2013 年 8 月第 1 版			印 次	2016 年 6 月第 2 次印刷		
印 数	3001—5000			定 价	42.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3155-7/P·663

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

# 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      | 成都理工大学          |
| 山西建筑职业技术学院      | 江西环境工程职业学院      |
| 天津铁道职业技术学院      | 辽宁水利职业学院        |
| 无锡水文工程地质勘察院     | 张家口职业技术学院       |
| 中国科学院地理所        | 武汉电力职业技术学院      |
| 中国第二冶金建设有限责任公司  | 郑州测绘学校          |
| 甘肃工业职业技术学院      | 河北工程技术高等专科学校    |
| 甘肃林业职业技术学院      | 河北地质职工大学        |
| 石家庄铁道学院         | 河北政法职业学院        |
| 石家庄职业技术学院       | 河北省制图院          |
| 本溪市桓仁满族自治县国土资源局 | 陕西铁路工程职业技术学院    |
| 包头铁道职业技术学院      | 徐州市众望装饰装修监理有限公司 |
| 辽宁工程技术大学职业技术学院  | 江苏建筑职业技术学院      |
| 辽宁地质工程职业学院      | 胶州市规划局          |
| 辽宁林业职业技术学院      | 浙江水利水电高等专科学校    |
| 辽宁省交通高等专科学校     | 黑龙江农业职业技术学院     |
| 辽宁科技学院          | 湖北水利水电职业技术学院    |
| 扬州环境资源职业技术学院    | 新疆工业高等专科学校      |

# 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,也为我们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30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教学质量的若干意见》(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30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。

《控制测量技术》是为适应当前测绘技术的发展和测绘类专业高等职业技术教育的特点编写的,可作为高职高专测绘类专业选用教材,也可供测绘类专业和其他相关专业的工程技术人员参考使用。

本书是由传统的《控制测量》、《GPS定位技术》及现行的国家标准等相关内容有机整合而成的技术应用性教材。

本书具有如下特点:

(1)淡化理论的系统性,强化技能性与实用性。本书内容的设置紧密围绕着控制测量生产实际。

(2)将传统的《控制测量》、《GPS定位技术》、测量常用坐标系统及现行的测量规范等相关内容进行了有机整合,极具实用性。本书中加入了业界较新的内容,如RTK和GPS高程测量等。

(3)本书以附录的形式给出了实训指导及大量工程案例,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)本书介绍了十余部现行的国家(或行业)技术标准中的相关内容,这对加强“规范”意识及提高控制测量的实际工作技能具有重要意义。

在本书的编写过程中,参阅了大量的文献资料,引用了同类书刊中的部分内容与算例,并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、朱永担任副主编。编写人员及分工为:林乐胜编写了第1章和第7章,朱永编写了第5章,孙艳崇编写了第2章,张慧慧编写了第4章,林子寒编写了附录7至附录13,其他部分全部由林玉祥编写。

建议本书全部内容在120~130学时内完成,各院校也可根据各自不同的需要,酌情选定教学内容及所需教学课时。

书中工程案例涉及的老版本国家(或行业)技术标准多已过时,其技术条款与现行标准会有所不同,敬请读者注意。

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

2013年1月

# 目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 控制测量的任务、作用及内容	1
§ 1.2 控制网布设的基本形式	2
§ 1.3 国家控制网的布设	6
§ 1.4 工程控制网的布设	11
§ 1.5 控制测量的工作流程	13
§ 1.6 控制测量的记录计算要求	14
思考题	15
第 2 章 利用卫星定位技术进行平面控制测量	16
§ 2.1 卫星导航定位系统简介	16
§ 2.2 GPS 定位系统的组成	17
§ 2.3 GPS 相对于经典测量技术的特点	21
§ 2.4 GPS 卫星信号及导航电文	22
§ 2.5 GPS 卫星定位基本原理	27
§ 2.6 GPS 测量的误差来源及影响	37
§ 2.7 GPS 测量的设计与实施	42
§ 2.8 RTK 控制测量	60
思考题	69
第 3 章 精密角度测量	71
§ 3.1 精密光学经纬仪的结构特点	71
§ 3.2 DJ2 经纬仪简介	78
§ 3.3 经纬仪三轴误差	81
§ 3.4 测角仪器的检验	84
§ 3.5 精密测角的误差来源及影响	91
§ 3.6 方向观测	95
§ 3.7 垂直角观测	101
思考题	103
第 4 章 精密距离测量	105
§ 4.1 概 述	105
§ 4.2 电磁波测距的基本原理	107
§ 4.3 中短程测距仪简介	109
§ 4.4 相位式测距仪的检验	113
§ 4.5 精密测距的外业实施	117



§ 4.6 测距成果的内业计算 .....	120
思考题 .....	123
<b>第 5 章 导线测量</b> .....	125
§ 5.1 概 述 .....	125
§ 5.2 导线测量的选点埋石 .....	126
§ 5.3 导线测量的外业观测 .....	128
§ 5.4 导线测量的概算与验算 .....	131
§ 5.5 导线测量的平差计算 .....	134
§ 5.6 导线测量边、角错误的检查 .....	139
思考题 .....	140
<b>第 6 章 将地面的测量元素归算至高斯平面</b> .....	142
§ 6.1 椭球的基本概念 .....	142
§ 6.2 将地面观测值归算至椭球面 .....	146
§ 6.3 将椭球面上的观测元素归算至高斯平面——高斯投影 .....	148
§ 6.4 高斯投影的分带 .....	150
§ 6.5 将平面控制网投影至高斯平面 .....	151
§ 6.6 高斯投影的正反算计算公式 .....	152
§ 6.7 平面子午线收敛角 .....	155
§ 6.8 方向改正和距离改正 .....	156
思考题 .....	158
<b>第 7 章 高程控制测量</b> .....	160
§ 7.1 概 述 .....	160
§ 7.2 水准测量的选点埋石 .....	162
§ 7.3 精密水准仪和水准标尺 .....	165
§ 7.4 精密水准仪及水准标尺的检验 .....	171
§ 7.5 数字水准仪及编码水准标尺简介 .....	178
§ 7.6 水准测量的误差来源及影响 .....	181
§ 7.7 精密水准测量的外业观测 .....	186
§ 7.8 外业成果的记录、整理与计算 .....	192
§ 7.9 正常水准面不平行改正数及概略高程计算 .....	194
§ 7.10 电磁波测距高程导线 .....	198
§ 7.11 水准测量平差计算 .....	200
§ 7.12 GPS 高程测量 .....	203
思考题 .....	208
<b>第 8 章 控制测量的技术设计、总结及检查验收</b> .....	209
§ 8.1 控制测量的技术设计 .....	209
§ 8.2 控制测量的技术总结 .....	214
§ 8.3 控制测量的检查验收 .....	216
思考题 .....	219

第9章 常用坐标系统及转换	220
§ 9.1 地心坐标系	220
§ 9.2 参心坐标系	222
§ 9.3 工程坐标系	223
§ 9.4 坐标系的转换	227
思考题	232
参考文献	233
附录1 控制测量实训的一般要求	234
附录2 GPS 静态相对测量实训指导	237
附录3 精密角度测量实训指导	243
附录4 精密距离测量实训指导	248
附录5 导线测量实训指导	249
附录6 精密水准测量实训指导	256
附录7 丹东—通化拟建高速公路基础控制测量技术要求	265
附录8 铁岭—朝阳拟建高速公路阜新至三十家子段基础控制测量及航摄测量 综合成图技术设计书	270
附录9 惠州市大亚湾引水工程测量技术要求	277
附录10 京沪高速铁路精密控制测量技术设计书	283
附录11 丹东—通化拟建高速公路控制测量技术总结	294
附录12 铁岭—朝阳拟建高速公路阜新至三十家子段专业技术总结	300
附录13 惠州市大亚湾引水工程测量技术总结	306

# 第1章 绪论

## § 1.1 控制测量的任务、作用及内容

### 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设置一系列能够长期保存、便于应用的固定点,称为控制点,由控制点按一定的网型构成水平控制网和高程控制网,并对其进行观测和计算,从而得到控制点的精确空间位置,即平面坐标 $(x, y)$ 和高程 $(H)$ 。

控制测量主要为各种工程建设服务,同时也为城镇建设、道路交通、国土测绘与规划等工作提供基础控制。控制测量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也具有多样化的特点。

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。相应于这三个阶段,控制测量的具体任务体现在以下三个方面。

#### 1. 在工程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,以保证地形图测绘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和土地资源的合理使用,这种测图控制网也可为地籍测量提供基础控制。

#### 2. 在施工阶段建立施工控制网

在工程的施工阶段,施工测量的主要任务是将图纸上设计的构造物放样到实地,以便指导施工的进行。施工放样所需的位置、方向、距离等放样元素都是依据施工控制网计算出来的,因而在施工放样之前,需建立具有必要精度的施工控制网。

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,建立施工控制网时应予以充分考虑。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;水库大坝施工控制测量是要保证坝体的合龙及蓄水后的变形监测等。

#### 3. 在工程竣工后的运营阶段,建立以监测建筑物变形为目的的变形观测专用控制网

如超高层建筑和大型水库等建设工程,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,都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,故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变形量,要求变形观测控制网应具有非常高的精度。

以上第一阶段布设的控制网称为测图控制网,第二、三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都是建立控制网,以精确确定控制点的位置。控制点构成了控制网,控制网又是控制测量的具体体现。控制网主要作用有以下三个方面。

#### 1. 控制网是进行各项测量工作的基础

对测图控制网而言,基本控制网是图根控制和测图的基础;对施工控制网而言,基本控制网是各种工程建设施工放样的基础。

#### 2. 控制网具有控制全局的作用

对测图控制网而言,控制网的作用是控制全局、保证所测的各幅地形图具有足够精度、能互相拼接成一个整体;对施工控制网而言,其作用是控制全局、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、逐级控制的基本原则,从技术上看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、施工阶段及运营阶段均须用到控制测量,可见控制测量技术对于工程建设的重要性。

### 1.1.3 控制测量的基本内容

控制测量工程和其他工程一样,也分为三个阶段,分别是设计阶段、施测阶段和使用阶段。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,撰写技术设计书等。

(2)在控制网的施测阶段,主要是根据技术设计书进行控制网的布设与观测,即踏勘、选点、埋石、观测及数据处理等内外业过程。

(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控制点资料,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线并不是十分明确。例如,在施测阶段,有可能发现技术设计不符合实际,因而需进行局部的设计修改,实际上是又重新进行了设计;在控制网的使用阶段,由于包含了网的维护与补测,因而部分地重复前两个阶段的工作内容也时有发生。

## § 1.2 控制网布设的基本形式

要确定地面控制点的坐标 $(x, y)$ 与高程 $H$ ,需要布设控制网。控制网一般分为平面控制

网和高程控制网。控制网是进行各种测量工作的控制基础,大都是在国家高等级网的基础上进行加密,或与其联测。控制网的布设,应从实际出发,根据不同的情况和要求选择适宜的布设方案。

### 1.2.1 平面控制网的布设形式

就目前而言,平面控制测量的形式主要有:卫星定位测量、导线测量和三角形网(也称边角组合网)测量。卫星定位测量是借助卫星发射信号所进行的导航与定位,目前可用于卫星测量定位的系统有:①美国的全球定位系统(Global Position System, GPS);②俄罗斯的GLONASS卫星定位系统,该系统于1996年1月18日正式启用;③我国独立研发的北斗卫星导航定位系统;④欧盟委员会Galileo卫星系统,该系统于2002年3月26日启动发射计划,拟建成世界上第一个民用卫星导航系统,我国也加入了该计划。

卫星定位测量技术以其精度高、速度快、全天候、操作简便而著称,已被广泛应用于测绘领域。根据工程测量部门现时的情况和发展趋势,首级网大多采用卫星定位网中的GPS网,加密网采用导线网或GPS网形式。三角形网用于较大区域的首级控制和加密控制已极少使用。

#### 1. GPS网

20世纪90年代以来,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具有测量精度高、测量速度快、经济省力、操作简便、全天候工作等优点,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,在几十千米的范围内边长相对误差可小于 $10^{-6}$ ,完全可以满足城市测量和各种工程测量的精度要求。

GPS网宜布设为全面网,当需增设骨架网加强控制网精度时,也可分级布网。城市或工程GPS网按与邻点的平均距离和精度划分为二、三、四等和一、二级GPS网(见CJJ/T 73—2010《卫星定位城市测量技术规范》或GB 50026—2007《工程测量规范》)。GPS网点与点之间不要求通视,但需考虑常规测量方法加密时的应用,每个点应尽量有一个以上通视方向。GPS网应由一个或若干个独立观测环构成,也可采用附和路线形式。布设工程GPS网时,应与附近的国家地面控制网联测,联测点数应在2~3个以上,并均匀分布于测区中。图1-1中的GPS控制网由三个异步环组成,网内有3个已知点和7个未知点。

#### 2. 导线网

在局部较小的范围内,特别是在隐蔽地区、城市街区、地下工程及GPS接收机天线接收信号受限的区域,用电磁波测距导线布设控制网的方法就显得特别实用。导线(网)的基本形式有以下几种。

##### 1) 单一附和导线

附和导线都有附和条件,这些附和条件可能是方位附和,可能是坐标附和,也可能是二者组合。图1-2中,(a)为方位附和导线;(b)为坐标附和导线,也叫无定向导线;(c)为方位坐标附和导线。

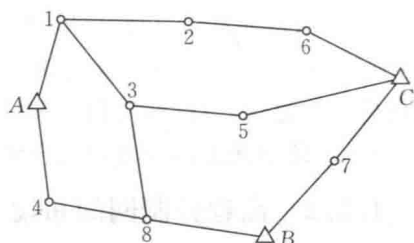


图 1-1 GPS控制网

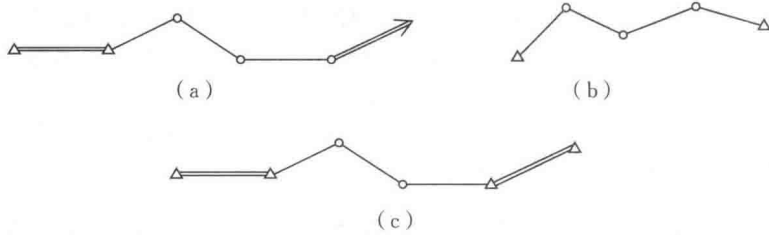


图 1-2 单一附和导线

## 2) 闭合导线

闭合导线是从一个已知控制点出发,最后仍闭合到这一已知点的导线,见图 1-3。

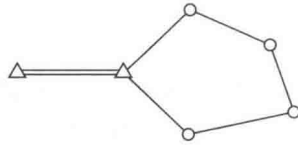


图 1-3 闭合导线

## 3) 导线网

导线网是由若干条导线汇合,形成一个或多个节点,整体构成一个网络,见图 1-4。

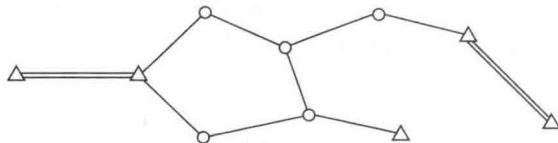


图 1-4 导线网

## 4) 支导线

支导线是从一个已知控制点出发,既不附和到另一个已知控制点,也不闭合原来的起始点。支导线没有检核条件,因而不易发现错误,故一般不宜采用,见图 1-5。

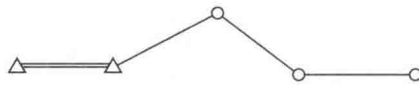


图 1-5 支导线

## 3. 三角形网

《工程测量规范》中将传统的三角网、三边网和边角网统称为三角形网(triangular network),三角形网是由一系列相连的三角形构成的测量控制网。三角形网测量(triangular control network survey)是通过测定三角形网中各三角形的顶点水平角、边的长度,来确定控制点位置的方法。目前,三角形网已极少用于建立大面积控制或控制网加密。《城市测量规范》中将三角形网也称为边角组合网。

### 1.2.2 高程控制网的布设形式

高程控制网,一般采用几何水准网和三角高程导线布设,近期,也有不少采用 GPS 高程测量技术布设的。当精度要求较高时,采用几何水准网形式,几何水准测量可以胜任各个等级高程控制测量工作;当精度要求较低或地形起伏较大时,采用三角高程导线形式或 GPS 高程测量形式,按目前现行的规范要求,三角高程和 GPS 高程测量可替代四等(及以下)水准测量。

## 1. 几何水准网

利用水准仪进行的水准测量称为几何水准测量。用该方法测定高程,是建立高程控制网的主要方法,可以达到很高的精度。工程高程控制网通常是在国家一、二等水准网基础上加密的。根据测区内已知高级水准点的分布情况、测区的形状和精度要求进行布设,水准网可布设成如下形式。

### 1) 单一附和水准路线

如图 1-6 所示, A、B 为高级水准点。

### 2) 闭合水准路线

如图 1-7 所示,从高级水准点 A 出发,最后又闭合到 A 点上。

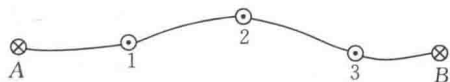


图 1-6 附和水准路线

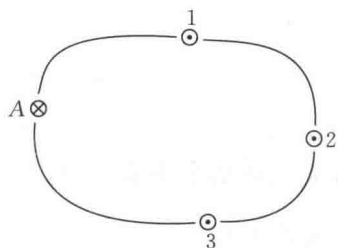


图 1-7 闭合水准路线

### 3) 节点水准网

如图 1-8 所示,在 A、B、C、D 等多个高级水准点之间组成节点交叉路线。如图 1-9 所示,在 A、B 两高级水准点间,布设由多条水准路线组成的网状节点路线。

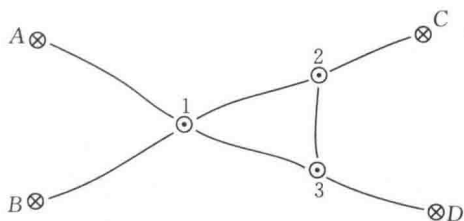


图 1-8 节点水准网

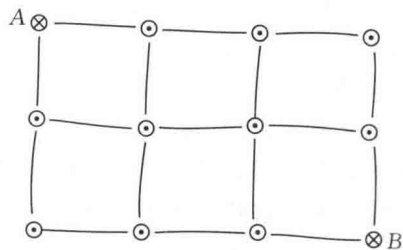


图 1-9 网状节点水准路线

### 4) 水准支线

如图 1-10 所示,水准支线就是仅有一个高级水准点的单一水准路线。

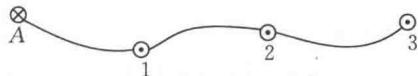


图 1-10 支水准路线

由上可以看出,水准网的布设比较灵活。实际作业时可根据测图和工程的需要,以及测区的形状,选择其布设的方法。若测区面积广阔呈方形,就可布成方形网;若测区呈带状则可布成带状网。但不论布成何种形状,水准路线都应尽可能布成闭合环形,或附和于已知水准点上构成附和路线。

## 2. 三角高程导线

三角高程导线测量是进行高程控制测量的一种辅助方法,通常用来测定平面控制点的高程,与导线测量一并进行,有时也布设专门的高程导线。实践证明,在一定密度的水准点控制

下,并注意防止三角高程测量粗差产生的基础上,三角高程测量具有布设灵活、方便快捷的优势,同样能满足测绘大比例尺地形图的需要。

就目前而言,对于测图控制网和工程控制网的高程控制,在满足精度要求的前提下,应较多地采用三角高程导线测量形式。

### 3. GPS 高程测量

用 GPS 进行平面控制测量,可以满足各个等级平面控制测量的技术要求。由于 GPS 测量可得到三维坐标结果,高程信息仍有利用的必要和可能。虽然 GPS 高程测量的精度只能达到四等,但仍可满足一些精度要求相对较低的高程控制测量需求。更重要的是,在进行 GPS 平面控制测量的同时,无需多余的观测工作即可获得这些高程信息。

## § 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,建立了国家天文大地网,即当时的国家平面控制网。限于当时的技术水平和仪器条件,新建的国家天文大地网的首选形式肯定是三角网(锁),而个别困难地区采用导线的形式。

#### 1. 布设原则

在我国广阔的领土上,建立国家平面控制网,是一项规模巨大的工程。事先必须全面规划、统筹安排,制定一些基本原则,以指导建网工作。

就客观要求而言,国家平面控制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基础控制。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的。

#### 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。也就是先以精度高而点位稀疏的一等三角锁,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,依次逐级布设二、三、四等三角网。

#### 2) 应有足够的精度

国家大地控制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。

为了保证国家大地控制网的精度,必须对起算数据和观测元素的精度、网中图形角度的大小、观测方法等,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。例如,用航测方法成图时,控制点密度要求的经验数值见表 1-1。



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	每幅图控制点数 /个	每个三角点控制面积 /km <sup>2</sup>	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  $S$  与点的密度(每个点的控制面积) $Q$  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

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

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,四等三角网平均边长放宽至 2~6 km。

#### 4) 应有统一的技术规格

由于我国大地控制网的规模巨大,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锁(网)作为水平控制网的基本形式,只是在青藏高原等特殊困难的地区布设了一等导线。现将国家大地控制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

国家大地控制网的首级采用一等三角锁形式。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及以下各级三角测量,并为地球科学研究提供资料。

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,见图 1-11。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。随着电磁波测距仪的出现,少数起算边也由电磁波测距仪来测定。

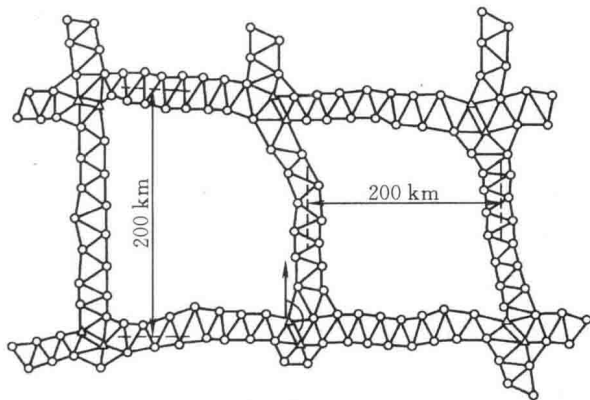


图 1-11 国家一等三角锁布设方案