




教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材

# 控制测量技术

KONGZHI CELIANG JISHU

 主 编 牛志宏  
主 审 陈传胜



武汉理工大学出版社

教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材

# 控制测量技术

主 编 牛志宏  
副主编 孙茂存 赵凤阳 李旭光 张玉堂  
参 编 徐健梅 陈志兰  
主 审 陈传胜

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

## 内 容 提 要

本书是在教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会的大力支持下,为适应高职高专工程测量技术专业“控制测量”课程的教学需要编写的。全书内容主要包括绪论、平面控制网及技术设计、角度测量、距离测量、平面控制测量概算、高程控制测量、GPS定位技术在控制测量中的应用、控制网平差及技术总结等。

本书适合作为高职高专工程测量技术专业学生“控制测量”课程学习的教材使用,也可供测绘工程技术人员、水利水电工程技术人员以及土木交通工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

控制测量技术/牛志宏主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.2  
教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材  
ISBN 978-7-5629-3661-9

I. ① 控… II. ① 牛… III. ① 控制测量 IV. ① P221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 017832 号

项目负责人:汪浪涛

责任编辑:彭佳佳

责任校对:黄玲玲

装帧设计:陶冶

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.5

字 数:345千字

版 次:2012年2月第1版

印 次:2012年2月第1次印刷

印 数:1~2000册

定 价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

# 高职高专测绘类专业新编系列教材

## 编审委员会

顾问:赵文亮

主任:李生平 陈传胜 田 高

副主任:(以姓氏笔画为序)

牛志宏	王晓春	冯大福	李 泽	李风贤
李占宏	李聚方	刘仁钊	吴 迪	张晓东
张福荣	邹晓军	杨旭江	杨学忠	高 见
高小六	唐保华	鲁有柱	董钧祥	蔡德民

委 员:(以姓氏笔画为序)

牛志宏	王增福	王朝林	王晓春	王 芳
王新鹏	王 云	孔令惠	左美蓉	冯大福
孙茂存	孙 垚	江新清	李井永	李泽球
李 泽	李风贤	李占宏	李聚方	刘仁钊
刘海涛	吴 迪	张桂蓉	张晓东	张福荣
张慧慧	张玉堂	邹娟茹	邹晓军	周 波
杨晓平	杨旭江	陈 琳	赵凤阳	赵淑湘
高 见	高小六	唐保华	翁丰惠	鲁有柱
谢爱萍	董钧祥			

秘书长:汪浪涛

## 出版说明

教材建设是教育教学工作的重要组成部分,高质量的教材是培养高质量人才的基本保证。高职高专教材作为体现高职教育特色的知识载体和教学的基本条件,是教学的基本依据,是学校课程最具体的形式,直接关系到高职教育能否为一线岗位培养符合要求的高技术应用型人才。

伴随着国家建设的大力推进,高职高专测绘类专业近几年呈现出旺盛的发展势头,开办学校越来越多,毕业生就业率也在高职高专各专业中名列前茅。然而,由于测绘类专业是近些年才发展壮大的,也由于开办这个专业需要很多的人力和设备资金投入,因此很多学校的办学实力和办学条件尚需提高,专业的教材建设问题尤为突出,主要表现在:缺少符合高职特色的“对口”教材;教材内容存在不足;教材内容陈旧,不适应知识经济和现代高新技术发展需要;教学新形式、新技术、新方法研究运用不够;专业教材配套的实践教材严重不足;各门课程所使用的教材自成体系,缺乏沟通与衔接;教材内容与职业资格证书制度缺乏衔接等。

武汉理工大学出版社在教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会的指导和支持下,对全国三十多所开办测绘类专业的高职院校和多个测绘类企事业单位进行了调研,组织了近二十所开办测绘类专业的高职院校的骨干教师对高职测绘类专业的教材体系进行了深入系统的研究,编写出了这一套既符合现代测绘专业发展方向,又适应高职教育能力目标培养的专业教材,以满足高职应用型高级技术人才的培养需求。

这套测绘类教材既是我社“十二五”重点规划教材,也是高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材,希望本套教材的出版能对该类专业的发展作出一点贡献。

武汉理工大学出版社

2012.2

## 前 言

本书是在高等职业教育发展的新形势下,为适应高职高专工程测量技术专业课程的教学需要,根据教育部《关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)文件精神 and 《全国高职工程测量技术专业专业规范》(修订版)进行编写的。

本教材具有较强的针对性和实用性,力求满足高职工程测量技术专业建设的需要和符合高职教育的特点,充分体现控制测量技术的实践性和先进性,突出工程测量技术专业人才培养的控制测量应用能力,符合高职教育的特点。全书以工程实践中的控制测量工作过程为导向,由简单到复杂,循序渐进地介绍了控制测量在工程建设中的应用,力求达到通俗易懂、简明实用的目的,以利于学生职业能力的培养。

本书由牛志宏主编,孙茂存、赵凤阳、李旭光、张玉堂担任副主编。具体编写分工为:长江工程职业技术学院牛志宏(前言、第1章),甘肃林业职业技术学院李旭光(第2章、第3章),长江工程职业技术学院徐健梅(第4章),长江工程职业技术学院陈志兰(第5章),江西工业工程职业技术学院赵凤阳(第6章),湖北国土资源职业学院张玉堂(第7章),杨凌职业技术学院孙茂存(第8章)。全书由牛志宏统稿,陈传胜教授担任主审。

由于编者水平、经验及时间有限,书中难免存在疏漏甚至错误之处,热忱希望广大读者指正。

编 者

2011年11月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 控制测量的任务及作用 .....	(1)
1.1.1 控制测量的任务 .....	(1)
1.1.2 控制测量的作用 .....	(2)
1.2 建立控制网的基本方法 .....	(2)
1.2.1 平面控制网建立的基本方法 .....	(2)
1.2.2 高程控制网建立的基本方法 .....	(4)
1.3 国家控制网概述 .....	(4)
1.3.1 国家平面控制网的布设原则 .....	(4)
1.3.2 国家平面控制网的布设方案 .....	(6)
1.3.3 国家高程控制网 .....	(9)
1.3.4 国家 GPS 控制网 .....	(10)
1.4 控制测量新技术的发展概况 .....	(11)
1.4.1 空间测量技术为控制测量提供了崭新的技术手段 .....	(11)
1.4.2 控制测量仪器向数字化、智能化和集成化方向发展 .....	(12)
1.4.3 工程控制网优化设计理论和测量数据处理得到了长足发展 .....	(12)
<b>2 平面控制网及技术设计</b> .....	(14)
2.1 导线测量概述 .....	(14)
2.1.1 导线的布设形式 .....	(14)
2.1.2 导线网的布设原则 .....	(14)
2.1.3 导线测量的外业工作 .....	(15)
2.1.4 导线测量的内业计算 .....	(16)
2.2 工程水平控制网技术设计 .....	(18)
2.2.1 工程控制网技术设计的意义 .....	(18)
2.2.2 技术设计的一般规定 .....	(18)
2.2.3 技术设计的依据和基本原则 .....	(18)
2.2.4 技术设计的程序和方法 .....	(19)
2.3 平面控制网的精度估算 .....	(21)
2.3.1 等边直伸导线的精度估算 .....	(22)
2.3.2 导线网的精度估算 .....	(25)
2.4 工程水平控制网优化设计 .....	(28)
2.4.1 控制网的质量指标 .....	(29)

2.4.2	优化设计的分类和方法	(29)
2.5	工程水平控制网技术设计书的编制	(30)
2.5.1	概述	(30)
2.5.2	作业区自然地理概况与已有资料情况	(31)
2.5.3	引用文件	(31)
2.5.4	成果(或产品)主要技术指标和规格	(31)
2.5.5	技术设计方案	(31)
2.6	平面控制网的选点、埋石	(32)
2.6.1	实地选点	(32)
2.6.2	控制点标石的埋设	(32)
2.6.3	绘制点之记	(33)
<b>3</b>	<b>角度测量</b>	(35)
3.1	全站仪概述	(35)
3.1.1	全站仪的结构	(35)
3.1.2	全站仪的精度和等级	(37)
3.2	全站仪测角原理	(38)
3.2.1	水平角及水平角测角原理	(38)
3.2.2	垂直角及垂直角测角原理	(38)
3.3	水平角观测	(39)
3.3.1	方向观测法	(39)
3.3.2	观测方法	(40)
3.4	导线角度测量	(45)
3.4.1	导线测量的技术要求	(45)
3.4.2	三联脚架法测导线	(46)
3.5	水平角观测中的主要误差	(47)
3.5.1	外界条件对观测精度的影响	(47)
3.5.2	仪器操作中的误差对测角精度的影响	(51)
<b>4</b>	<b>距离测量</b>	(53)
4.1	电磁波测距仪概述	(53)
4.2	电磁波测距基本原理	(54)
4.2.1	电磁波测距的基本方法	(54)
4.2.2	脉冲式测距基本原理	(54)
4.3	导线边长测量	(56)
4.3.1	电磁波测距的作业实施	(56)
4.3.2	导线边长测量精度要求	(56)
4.3.3	导线边长测量技术要求	(56)
4.3.4	气象数据测定要求	(57)



4.3.5 测距作业应注意的其他事项	(58)
4.4 电磁波测距成果的改正计算	(58)
4.4.1 加常数改正	(58)
4.4.2 频率改正(乘常数改正)	(59)
4.4.3 周期误差改正	(60)
4.4.4 气象改正 $\Delta D_n$	(60)
4.4.5 波道弯曲改正 $\Delta D_p$	(61)
4.4.6 归心改正 $\Delta D_e$	(63)
4.4.7 倾斜改正和投影改正 $\Delta D_s$	(63)
4.4.8 椭球面上水平距离的计算	(64)
4.5 电磁波测距误差分析	(64)
4.5.1 测距误差的主要来源	(64)
4.5.2 比例误差的影响	(65)
4.5.3 固定误差的影响	(66)
<b>5 平面控制测量概算</b>	<b>(69)</b>
5.1 大地测量坐标系及坐标转换	(69)
5.1.1 地球的形体	(69)
5.1.2 大地测量坐标系	(70)
5.1.3 我国的大地测量坐标系	(71)
5.1.4 空间坐标系的转换	(72)
5.1.5 二维坐标系	(74)
5.2 地面观测值归算至椭球面	(75)
5.2.1 将地面观测的水平方向归算至椭球面	(75)
5.2.2 电磁波测距边长归算至椭球面	(77)
5.3 椭球面元素化算到高斯平面	(78)
5.3.1 概述	(78)
5.3.2 方向改化	(78)
5.3.3 距离改化	(79)
5.4 导线测量概算	(80)
5.4.1 导线测量概算的主要内容	(80)
5.4.2 外业成果资料的检查	(80)
5.4.3 已知数据表和控制网略图的编制	(81)
5.4.4 计算近似边长、近似水平方向和近似坐标	(81)
5.4.5 地面观测的边长水平方向值归算至高斯平面	(83)
5.4.6 导线网质量检验	(84)
5.5 工程坐标系及坐标换算	(85)
5.5.1 高精度工程坐标系投影面和投影带的选择	(85)
5.5.2 国家坐标系与工程坐标系的转换	(86)

<b>6 高程控制测量</b> .....	(89)
6.1 高程控制网技术设计.....	(89)
6.1.1 高程基准面.....	(89)
6.1.2 水准原点.....	(90)
6.1.3 国家高程控制测量.....	(91)
6.1.4 城市和工程建设高程控制测量.....	(92)
6.1.5 编写技术设计的基本依据和基本原则.....	(93)
6.1.6 高程控制测量的技术与方法.....	(94)
6.2 精密水准仪与水准标尺.....	(95)
6.2.1 精密水准仪的构造特点.....	(95)
6.2.2 精密水准标尺的构造特点.....	(96)
6.2.3 Wild N3 精密水准仪.....	(97)
6.2.4 Zeiss Ni 004 精密水准仪.....	(99)
6.2.5 国产 SI 型精密水准仪.....	(100)
6.3 精密水准仪及水准标尺的检验.....	(101)
6.3.1 水准仪的检验.....	(101)
6.3.2 水准尺的检验.....	(105)
6.4 数字水准仪及条码标尺.....	(109)
6.4.1 数字水准仪的结构及原理.....	(109)
6.4.2 数字水准仪的特点.....	(110)
6.4.3 条码标尺.....	(110)
6.5 精密水准测量的实施.....	(110)
6.5.1 精密水准测量作业的一般规定.....	(110)
6.5.2 精密水准测量观测.....	(111)
6.6 正常水准面不平行性及其改正数计算.....	(115)
6.6.1 水准面不平行性.....	(115)
6.6.2 正高高程系.....	(116)
6.6.3 正常高高程系.....	(117)
6.7 水准测量的概算.....	(121)
6.7.1 水准标尺每米长度误差的改正数计算.....	(121)
6.7.2 正常水准面不平行的改正数计算.....	(124)
6.7.3 水准路线闭合差计算.....	(125)
6.7.4 高差改正数的计算.....	(126)
6.8 精密水准测量的主要误差来源及其影响.....	(126)
6.8.1 视准轴与水准轴不平行的误差.....	(126)
6.8.2 水准标尺长度误差的影响.....	(128)
6.8.3 仪器和水准标尺(尺台或尺桩)垂直位移的影响.....	(129)
6.8.4 大气垂直折光的影响.....	(130)

6.8.5	电磁场对水准测量的影响 .....	(130)
6.8.6	观测误差的影响 .....	(131)
6.9	跨河精密水准测量 .....	(131)
6.9.1	跨河水准测量的特点及跨越场地的布设 .....	(131)
6.9.2	观测方法 .....	(132)
6.10	三角高程测量 .....	(137)
6.10.1	三角高程测量的基本公式 .....	(137)
6.10.2	垂直角的观测方法 .....	(140)
6.10.3	球气差系数 $C$ 值和大气折光系数 $K$ 值的确定 .....	(141)
6.10.4	三角高程测量的精度 .....	(143)
<b>7</b>	<b>GPS 定位技术在控制测量中的应用 .....</b>	<b>(145)</b>
7.1	GPS 定位技术的应用特点 .....	(145)
7.2	GPS 静态定位在控制测量中的应用 .....	(146)
7.2.1	GPS 网的技术设计 .....	(146)
7.2.2	GPS 外业观测的作业方式 .....	(149)
7.2.3	外业 GPS 调度与观测记录 .....	(150)
7.3	GPS 静态定位数据处理 .....	(154)
7.3.1	基线解算 .....	(154)
7.3.2	基线解算的质量控制 .....	(154)
7.3.3	GPS 基线向量网平差 .....	(156)
7.3.4	GPS 数据处理过程 .....	(157)
7.4	GPS—RTK 测量系统在控制测量中的应用 .....	(158)
7.4.1	RTK 仪器的选择与检验 .....	(158)
7.4.2	基准站站址的选择 .....	(158)
7.4.3	基准站的设置 .....	(159)
7.4.4	流动站的设置 .....	(160)
7.4.5	配置流动站 .....	(160)
7.4.6	RTK 作业 .....	(161)
7.4.7	RTK 测量误差源 .....	(162)
7.4.8	成果检验 .....	(162)
<b>8</b>	<b>控制网平差及技术总结 .....</b>	<b>(163)</b>
8.1	测量平差基本方法 .....	(163)
8.1.1	条件平差基本原理 .....	(163)
8.1.2	间接平差基本原理 .....	(165)
8.2	导线网测量平差 .....	(166)
8.2.1	导线网的条件平差 .....	(166)
8.2.2	导线网的间接平差 .....	(174)

---

8.3 高程控制网测量平差 .....	(180)
8.3.1 高程控制网的条件平差 .....	(180)
8.3.2 高程控制网的间接平差 .....	(187)
8.4 控制测量技术总结 .....	(193)
8.4.1 概述 .....	(193)
8.4.2 测绘技术总结的编制 .....	(194)
<b>附录 坐标转换软件</b> .....	<b>(196)</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>(201)</b>

# 1 绪 论

## 【知识目标】

1. 了解控制测量的任务和作用；
2. 了解国家平面控制网的建立方法；
3. 掌握建立控制网的基本方法；
4. 了解控制测量新技术发展状况。

## 【技能目标】

1. 能够用不同方法建立平面控制网；
2. 能够用不同方法建立高程控制网。

在一定的区域内,按测量任务所要求的精度,测定一系列地面标志点(控制点)的水平位置和高程,建立起控制网,这种测量工作称为控制测量。测定控制点水平位置的工作叫平面控制测量;测定控制点高程的工作叫高程控制测量。所以,控制测量是由平面控制测量和高程控制测量组成的。

广义的控制测量包括大地控制测量和工程控制测量。在全国广大的区域内,按照国家统一颁发的法式、规范进行的控制测量称为大地控制测量,这样建立起的控制网称为国家大地控制网。大地控制网中的点,称为大地控制点。为了某项工程建设或施测局部大比例尺地形图的需要,在较小的地区范围内,在大地控制网的基础上独立建立的控制网,称为工程控制网,这种控制测量称为工程控制测量。狭义的控制测量即指工程控制测量。研究建立国家大地控制网的理论、方法的科学称为大地测量学。研究建立工程控制网的理论、方法的科学称为控制测量学。

## 1.1 控制测量的任务及作用

### 1.1.1 控制测量的任务

控制测量是直接为工程建设服务的,按照工程建设的不同阶段,控制测量的具体任务也各不相同。

(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。在这一阶段,设计人员要在大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。

(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。对于不同的工程来说,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,仪器所安置的方向、距离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。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。因此,在竣工后的运营阶段,需对这种建筑物或建筑区进行变形监测。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。

### 1.1.2 控制测量的作用

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) 为地形测图和工程建设提供基础控制

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,可见控制测量对于工程建设的重要性。

## 1.2 建立控制网的基本方法

### 1.2.1 平面控制网建立的基本方法

#### 1.2.1.1 导线测量法

在地面上,按一定的要求,选定一系列的点(导线点),以折线的形式将它们连接起来,构成导线,布设形式可以是单一导线或导线网。每个点都设置测量标志,用测距仪器测量各个导线边的长度,用经纬仪或全站仪在各导线点上测量相邻导线边的水平夹角,并至少在导线一端测定出一条导线边的天文方位角(或已知其平面直角坐标方位角)。然后按一定的投影公式,将地面观测结果化归到投影平面上,使地面上的导线转化成投影平面上的导线。如图 1.1 所示,以已知的  $AB$  边的平面坐标方位角  $T_{AB}$  为起始方位角,用化归后的各转折角的平面角值依次

推算出各导线边的平面坐标方位角  $T_{ij}$ , 用化归后的导线平面边长  $D_{ij}$  和算得的平面坐标方位角  $T_{ij}$ , 依公式(1.1)算出各相邻导线点间的坐标增量  $\Delta x_{ij}$  和  $\Delta y_{ij}$ 。然后根据起始点  $A$  的已知平面坐标  $x_A$  和  $y_A$  以及坐标增量  $\Delta x_{ij}$  和  $\Delta y_{ij}$  逐一推算出各个导线点的平面直角坐标  $x_i$  和  $y_i$ 。

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{ij} &= D_{ij} \cos T_{ij} \\ \Delta y_{ij} &= D_{ij} \sin T_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

以上即是导线测量的基本原理。

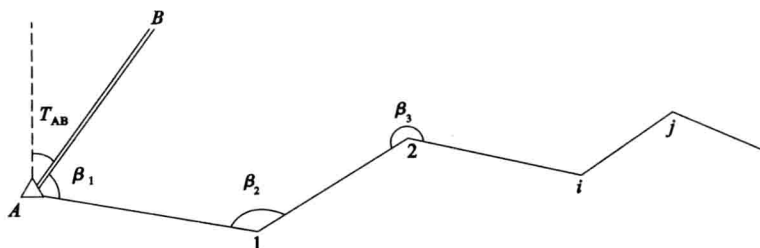


图 1.1 导线测量基本原理图

导线测量法的主要优点为：

(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, 易于选点和降低观测目标的高度, 因此, 特别适合布设于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。

(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。

导线测量法的主要缺点为：

(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, 因而可靠性相对较低。

(2) 导线点控制的面积狭小。

(3) 横向误差较大。

随着电磁波测距仪的普及应用, 导线测量已成为常规地面测量建网的主要方法。

### 1.2.1.2 三角测量法

在地面上, 按一定的要求选定一系列的点(三角点), 以三角形的图形把它们连接起来, 构成地面上的三角网或锁。每一个点设置测量标志, 精确地观测所有三角形的内角, 并至少测定三角网或锁中一条边的长度和天文方位角, 用一定的投影计算公式, 将这些观测成果化归到某一投影面上, 使地面上的三角网或锁转化为投影平面上的三角网或锁, 如图 1.2 所示。以化算后的平面边长  $D$  为起始边, 用平面三角形的正弦定理依次解算各个三角形, 算出所有的边长  $D_{ij}$ , 以化算后的平面坐标方位角  $T_{AB}$  为起始坐标方位角用化算后的平面角依次推算出各边

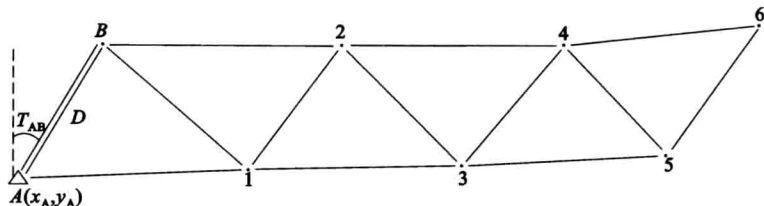


图 1.2 三角测量原理示意图

的平面坐标方位角  $T_{ij}$ 。

#### 1.2.1.3 三边测量法与边角同测法

三边测量法与三角测量法不同之处,仅在于三角测量法需要观测所有三角形的各个内角;而三边测量法需要测定所有三角形的全部边长,再根据三角学的原理由测定的三角形边长计算出各个三角形的三个内角;其他与三角测量法完全相同。三边测量法的缺点,也是要求多方向同时通视;而且检核条件太少,例如,一个中点多边形只有一个检核条件。由于这些原因,纯三边网在实践中应用不多。

在三角网或锁中,除了按三角测量的方法用经纬仪观测所有三角形的全部内角外,还用测距仪器测定网或锁中的全部三角形的边长,用以计算出各个三角点的坐标,这种布设控制网的方法称为边角同测法。边角同测法一般应用于高精度专用控制网,如高精度变形监测网。

#### 1.2.1.4 GPS 测量法

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 测量具有精度高、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 高程控制网建立的基本方法

#### 1.2.2.1 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。

#### 1.2.2.2 三角高程测量法

三角高程测量法的基本原理,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 国家控制网概述

### 1.3.1 国家平面控制网的布设原则

在一个国家范围内,按照国家统一颁布的法式、规范建立的统一坐标系统的平面控制网称为国家平面控制网。用三角测量方法建立的国家平面控制网,称为国家三角网。我国的国家平面控制网采取以三角网为主,以导线网为辅(在个别特殊困难地区无法用三角网布设时,采用导线网)的方法布设。国家三角网和国家导线网统称为国家平面控制网。国家平面控制网最主要的技术任务是控制测图。现以控制测图为出发点,讨论国家平面控制网的布设原则。



### 1.3.1.1 分级布网,逐级控制

我国的具体情况是幅员广大,自然地理状况复杂,如果以最高的精度、最大的密度,用一个等级的三角网或导线网布满全国,不但需要很久的时间和造成极大的困难与浪费,甚至是难以做到的,从而根本不可能保证各个地区的建设需要。因此,我国的国家平面控制网采取分级布网、逐级控制的原则。即控制点的密度是先疏后密,逐级加大;精度是先高后低,逐级递降。国家三角网和导线网分为一、二、三、四等4个等级。首先以高精度的稀疏的一等三角网或一等导线网,尽量沿经纬线方向纵横交叉地迅速布满全国,形成统一坐标系统的骨干网。然后,根据各个地区控制测图的实际需要,分区、分期地在一等三角网和一等导线网内,布设精度稍低、密度较大的二等三角网或二等导线网,成为继续加密控制的全面基础。最后,在二等三角网或二等导线网的基础上,视测图需要,加密精度更低一些,布设密度更大的三等和四等三角网或导线网,直接控制1:2000比例尺地形图测图。这样既可简化国家平面控制网的布设工作,又可以比较及时地提供大地控制测量成果,以满足各地区的测图需要。

### 1.3.1.2 具有足够的精度

国家平面控制网是控制测图的基础,它的精度必须保证测图的实际需要。各种比例尺测图规范规定:以国家大地点包括三角点和导线点为基础加密的解析图根点,相对于起算的大地点的点位中误差,表现在图上时,应不超过 $\pm 0.1$  mm,表现在实地上,应不超过 $\pm 0.1N$ ( $N$ 为测图比例尺分母)。

由于图根点的这种误差不但取决于解析图根点测量本身的技术规格,而且和起算的大地点的点位中误差有关。因此,通常规定相邻大地点的点位小误差应小于图根点相对于起算大地点的点位中误差的 $1/3$ ,即应小于 $0.1N \times 1/3 = 0.03N$ (mm)。这样大地点的点位中误差对测图来说可以忽略。

因此,若图根点的精度为 $\pm 0.1N$ (mm),则大地点的精度必须不大于 $\pm 0.03N$ (mm),不同比例尺测图对图根点和大地点的精度要求见表1.1。

表 1.1 不同比例尺测图对图根点和大地点的精度要求

测图比例尺	1:50000	1:25000	1:10000	1:5000	1:2000
图根点相对于大地点的点位中误差(m)	$\pm 5.0$	$\pm 2.5$	$\pm 1.0$	$\pm 0.5$	$\pm 0.2$
相邻大地点的点位中误差(m)	$\pm 1.7$	$\pm 0.83$	$\pm 0.33$	$\pm 0.17$	$\pm 0.07$

按我国现行的《国家三角测量和精密导线测量规范》(下称《规范》),三、四等三角点,导线点和采用插网法或插点法布设的三、四等三角点,其精度可以满足控制1:2000比例尺测图的要求。

### 1.3.1.3 保证必要的密度

为了满足控制测图需要,国家大地点(三角点或导线点)必须有足够的密度。国家大地点的密度,按不同的成图方法,依据测图比例尺确定。大地点的密度用平均每个大地点控制的面积或三角网中三角形的平均边长表示。

若令 $Q$ 代表每个三角点所控制的面积, $S$ 代表平均边长,可以证明:

$$S \approx 1.07\sqrt{Q}$$