

GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

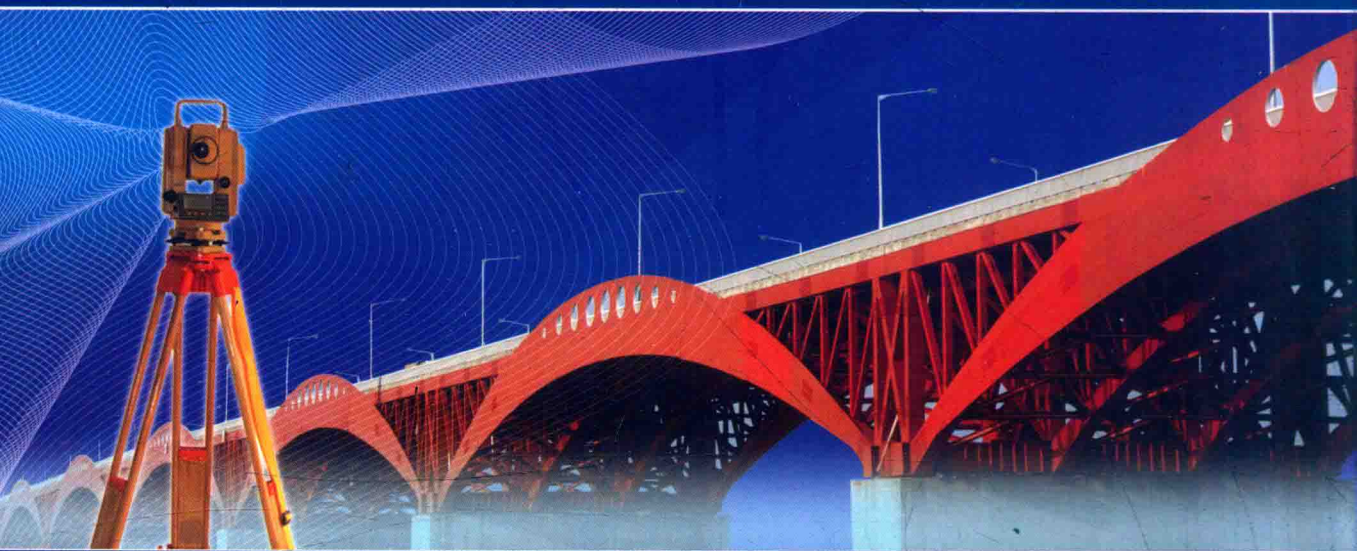
● 高等学校测绘工程系列教材

(第四版)

# 控制测量学

上册

孔祥元 郭际明 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程系列教材

---

# 控制测量学

## 上册

(第四版)

孔祥元 郭际明 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

控制测量学. 上册/孔祥元,郭际明主编.—4版.—武汉:武汉大学出版社,2015.11

高等学校测绘工程系列教材

ISBN 978-7-307-16522-9

I. 控… II. ①孔… ②郭… III. 控制测量—高等学校—教材  
IV. P221

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第196579号

责任编辑:王金龙 责任校对:汪欣怡 版式设计:马佳

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:534千字

版次:1996年10月第1版 2002年2月第2版

2006年10月第3版 2015年11月第4版

2015年11月第4版第1次印刷

ISBN 978-7-307-16522-9 定价:40.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 内 容 简 介

“控制测量学”是高等学校测绘工程专业(本科)的一门主干课程,也是从事测绘工程工作者必须掌握的核心知识和技术。本书根据高等学校测绘工程专业本科生(含日校和成人教育)的培养目标和要求,同时兼顾相关专业方向的需求,详细介绍了控制测量学的基本理论、新技术和新方法。为便于教学,分上册、下册两本书出版,这是第四版。

《控制测量学》(上册)第四版,共6章。第1章绪论,主要介绍控制测量学的基本任务、体系和研究内容,地球重力场基本知识以及控制测量的现状和发展,特别介绍了全球导航卫星系统(GNSS)中GPS、GLONASS、BD(北斗卫星导航系统)的技术特点和发展与应用。第2章测量控制网的技术设计,主要介绍国家及工程水平测量控制网建立的基本原理,水平测理控制网的质量要求与标准,控制网的优化设计与注意事项以及技术设计书的编制。第3、4、5、6章是控制测量的另一重点内容——基本测量技术与方法。分别详细介绍了精密测角、精密测距、精密测高和精密GPS定位的常用新仪器(包括电子经纬仪、电磁波测距仪、电子水准仪及GPS接收机)的测量原理、结构特点和使用方法及注意事项,外业测量误差来源及减弱的措施,测量的基本操作原则和规范实施,外业测量成果的检查、验收与提供。

《控制测量学》(下册)第四版,共7章。其中第7、8、9(接上册章序)三章主要介绍地球椭球及其数学投影变换的原理、方法及应用。其中,第7章主要介绍地球椭球的数学性质、测量元素向地球椭球面上归算及在地球椭球面上的测量计算。第8章地球椭球的数学投影变换,重点是高斯投影的原理,坐标投影正、反算计算公式以及方向、距离的归算,同时还介绍了通用横轴墨卡托(UTM)、兰勃脱投影、工程测量投影面和投影带的选择等必要知识。第9章测量成果的检查与概算。第10章常用大地坐标系及坐标变换,重点介绍坐标系建立的原理和方法,参心坐标系(1954北京坐标系、1980西安坐标系等),地心坐标系(WGS84、ITRS及ITRF、CGCS2000——我国2000国家大地坐标系),坐标系间的坐标变换原理、方法与注意事项。本书最后一部分重点内容测量控制网的平差计算与数据管理包括3章:第11章测量控制网条件平差(根据需要可选讲),第12章测量控制网间接平差,第13章测量控制网的近代平差及数据管理,重点介绍工程控制网的相关分解平差,大地网综合数据在三维空间坐标系中平差及在二维平面坐标系平差,工程测量控制网数据库系统设计的概念等。本书有关章节附有详细算例和程序说明,供读者学以致用。

本书是高等学校测绘工程专业本科(含日校和成人教育)教材,也可作为其他相关专业师生、科研和生产技术人员的参考书。

# 第四版前言

《控制测量学》(上册)、(下册)第四版在保持第三版原书框架结构、知识体系及基本内容基本不变的基础上,结合现代控制测量科学技术最新发展和教学改革的需要,增加和补充了必要的新内容,增补的主要内容有:

(1)全球导航卫星系统(GNSS)核心供应商 GPS、GLONASS、BD(北斗卫星导航系统)的技术特点、发展与应用;

(2)新一代国家测绘基准:国家卫星定位连续运行基准站网、国家卫星大地控制网、国家高程控制网、重力基准点、国家测绘基准管理服务系统等建设工程的内容和特点;

(3)2000 国家大地坐标系(CGCS)定义、基本参数及实现与推广使用;

(4)不同坐标系控制点坐标转换模型:三维转换模式(包括不同空间直角坐标系间的转换(布尔沙模型)和不同大地坐标系间转换)、二维转换模式(包括二维四参数转换模型和二维七参数转换模型)、转换模型的选取、转换方法及注意事项。

此外,本版书还对第三版书中个别地方进行了调整,删除了过时的内容,并对全书的文字、图表、公式等进行了订正。

本书第四版体系更完整、内容更全面先进、重点更突出。在武汉大学测绘学院测绘工程专业本科教学中多次使用,深受广大师生的欢迎和好评。编者认为,《控制测量学》(上册)、(下册)第四版可以更好地满足当代测绘工程专业本科(含日校和成人教育)教学的需要。

《控制测量学》(上册)、(下册)第四版的增补和修订工作由孔祥元教授和郭际明教授完成。由于水平有限,书中难免有不足之处,欢迎读者批评指正。

编者

2015年5月

## 第三版前言

进入新世纪以来，由于空间技术、计算机技术、通信技术以及地理信息技术等相关科学技术和我国各项建设事业的快速发展，使测绘科学的理论基础、工程技术体系、研究领域以及科学目标和服务对象等都发生着深刻的变化。作为测绘科学的重要组成部分——“控制测量学”对这些变化显得尤为突出和鲜明：

空间测量技术特别是人造地球卫星定位与导航技术给控制测量提供了全新的现代测量手段，促进控制测量更加生机勃勃地发展。

工程控制网优化设计理论和应用得到长足发展，测量数据处理和分析理论取得许多新成果。

信息时代的控制测量仪器和测量系统已形成数字化、智能化和集成化的新的发展态势，空间测量和地面测量仪器和测量系统出现互补共荣的新的发展格局。

电子计算机促进控制测量工作及工程信息管理工作向着自动化、网络化、标准化和规范化方向发展，适应不同工程控制测量信息管理的信息系统正在逐步走向成熟，等等。

毫无疑问，控制测量必将在国民经济建设和社会发展中，在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价及保护中，在发展空间技术及国防建设中，以及在地球科学及相关科学的研究等广大领域中，有着重要的地位和作用，有着广阔的发展空间和服务领域。“控制测量学”的发展已进入了新时期。

与此同时，随着全国高等教育的改革和发展，我国在高等学校设置了测绘工程本科专业，这是由传统测绘中的几个分支学科专业综合而成的，体现了这种多学科之间的交叉、渗透和融合。鉴于测绘科学和测绘教育这种新的发展形势，在全国高等学校测绘学科教学指导委员会和武汉大学测绘学院的指导和大力支持下，我们本着宽口径、厚基础和培养复合型人才的发展战略和教改精神，重新调整、组织和安排了“控制测量学”的教学计划。经过几年的摸索和实践，我们对“控制测量学”课程教学积累了一定的教学经验，因此，在《控制测量学》(上册)第二版的基础上，特为测绘工程本科专业新编写了本书第三版。

《控制测量学》(上册)第三版，共6章。按照内容的相关性可把它划分为相对独立的三部分，即绪论、测量控制网设计和基本的测量技术与方法。第1章绪论，主要讲控制测量学的基本任务、体系和研究内容，控制测量的基准面和基准线以及控制测量的现状与发展概况，在这里特别增加了地球重力场的基本知识，这也许是测绘工程专业人员应该了解和掌握的。第2章测量控制网的技术设计，主要讲国家和工程水平控制网建立的基本原理，水平控制网的质量标准，工程测量控制网的优化设计及注意的问题，导线网的精度估算，测量控制网的技术设计书的编制。在这里删除了三角网的精度估算等现在不用的内容。作为本书另一重要内容的控制测量的基本测量技术与方法则是在第3、4、5、6章分别讲述。第3章是精密测角仪器和方法，主要讲电子经纬仪及其先进的测角技术，精密测角误差来源及精密测角一般原则，方向观测法，测量限差及成果整理。删去了全组合测角

等相关内容。第4章是精密测距仪及其测距，主要讲电磁波在大气中的传播及其测距一般原理，精密测距仪及其精密测距新技术，精密测距的误差来源及精度分析，测距仪的检测，以实例说明测距成果的归算。删去了不必要的预备知识。第5章是高程控制测量，主要讲国家高程基准，国家和工程高程控制网建立的基本原理，精密数字水准仪及其测量原理，水准仪的检测，水准测量的误差来源及水准测量一般原则，水准测量的成果整理。第6章卫星定位技术基础，主要讲GPS定位原理，定位误差分析，测量技术(GPS网的技术设计、布网形式、设计准则、外业观测及其注意事项)，GPS定位数据处理技术要点。考虑到本章内容还有专门课程进行讲授，所以在本章中，以外业测量技术为主，而内业数据处理只作简要说明。

从上可见，新版书总的保持了第二版的框架结构，对具体章节的编排和内容则作了较大的变动：增加或删除了一些章节，对有些章节予以合并、分开、移前或挪后，个别章节则作了重新安排，绝大多数章节的内容作了必要的增补、删减或重写，从而使新版书体系更完整，内容更全面，重点更突出，理论更结合实际，充分反映了本课程的全貌和最新发展成果。《控制测量学》(上册)第一版、第二版曾在武汉大学测绘学院和许多兄弟院校测绘工程专业本科教学中使用，深受学生和老师们欢迎，收到好的教学效果。编者认为，《控制测量学》(上册)第三版，可以更好地满足当代测绘工程专业本科教学的需要。

本书第三版由孔祥元和郭际明主编，参加编写的还有刘宗泉、邹进贵、丁士俊、孔令华、徐忠阳和范士杰。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，欢迎读者批评指正。

编者

2006年6月

## 第二版前言

自《控制测量学》(上册)第一版(1996年)出版以来,测绘学科特别是大地测量学、控制测量学领域的科学技术有了很大的发展和进步。同时,随着全国高等教育的改革与发展,高等测绘工程专业本科教育也出现了一些新变化,为适应测绘学科建设与测绘高等教育发展的这种新情况,特编写了本书第二版。

《控制测量学》(上册)第二版主要是对第一版书中内容进行了增补。各章内容都有相应增加,所增补的主要内容有:(1)控制测量学的定义、作用、体系和内容;(2)用现代大地测量学、控制测量手段建立的我国大地控制网;(3)精密电子全站仪及系统;(4)电磁波在大气中传播及测距成果化算;(5)正常高计算公式;(6)载波相位观测值线性组合的随机特性等。上述内容简明扼要,同时理论推导明晰,并以算例说明,学以致用。

本书第二版内容曾经在武汉大学测绘学院(包括原武汉测绘科技大学)测绘工程专业本科日校及函授教学中使用。编者认为,《控制测量学》(上册)第二版可以更好地满足现在测绘工程专业本科教学的需要。

本书第二版增补内容由孔祥元教授在征求原书有关编者意见的基础上编写而成,并负责全书的校订工作。

编者

2002年1月



# 前 言

控制测量学是高等学校测绘工程专业的一门主干课程，在专业课程设置中具有重要地位和作用。十几年来，在学校大力支持下，我们在控制测量学教学及课程建设等方面做了一定的改革工作，在总结日校和成人教育多年教学经验和科研成果的基础上，根据现行教学大纲，特为测绘工程专业本科学生新编了这套《控制测量学》上册及下册教材。

《控制测量学》(上册)内容主要讲述建立工程和国家水平及高程测量控制网的理论和方法。近年来，由于测量优化理论、自动化精密测量仪器以及空间大地测量技术的迅速发展，控制测量的内容也发生了很大变化。例如，建立在精度、可靠性及经济等全面质量标准基础上，以求得最佳设计方案的测量控制网设计理论日趋完善并开始运用；电子经纬仪、电子全站仪、精密电磁波测距仪以及精密自动安平及数字水准仪等新测量仪器和测量方法的出现和使用，特别是以 GPS 卫星定位技术为代表的空间大地测量技术的发展和运用，极大地促进着控制测量学的发展，并大大丰富了课程内容。显然，在本书中容纳如此繁多的内容，在教材组织及教学安排上都将有相当大的困难。为适应科技发展和教学改革需要，我们在编写本书时，紧紧围绕“测量控制网建立原理及方法”这一根本教学目的，精选教材内容，删繁就简，吐陈纳新，力求在加强基础理论和方法的基础上，理论联系实际，反映近代控制测量的新发展。

本书由孔祥元和梅是义主编，参加编写工作的有：刘志德、周泽远、张琰等。

本书承邢永昌教授、刘近伯副教授初审、朱鸿禧教授复审，并经测绘教材评审委员会审定通过，作为全国普通高等教育测绘类规划教材。在审定过程中提出了许多宝贵的意见和建议，在此谨致衷心的感谢。由于编者水平有限，对书中可能存在的不足和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

1996 年 5 月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 控制测量学的基本任务和主要内容	1
1.1.1 控制测量学的基本任务和作用	1
1.1.2 控制测量学的主要研究内容	2
1.2 地球重力场的基本知识	2
1.2.1 引力与离心力	3
1.2.2 引力位和离心力位	4
1.2.3 重力位	6
1.2.4 地球的正常重力位和正常重力	9
1.3 控制测量的基准面和基准线	14
1.3.1 水准面	14
1.3.2 大地水准面	15
1.3.3 似大地水准面	15
1.3.4 正常椭球和水准椭球, 总的地球椭球和参考椭球	15
1.3.5 大地高 $H$ 、正高 $H_{\text{正}}$ 及正常高 $H_{\text{正常}}$	16
1.3.6 垂线偏差	16
1.4 控制测量的现状与发展概况	18
1.4.1 空间测量技术给控制测量学注入了新的活力, 促使控制测量学进入生机勃勃发展的新时期	18
1.4.2 信息时代的控制测量仪器和测量系统已形成数字化、智能化和集成化的新的发展态势, 空间测量和地面测量仪器和测量系统出现互补共荣的新的发展格局	21
1.4.3 工程控制网优化设计理论和应用得到长足发展, 测量数据处理和分析理论取得许多新成果	24
1.4.4 电子计算机促进控制测量工作旧貌换新颜, 其服务领域将更加扩大	25

## 第 1 部分 水平测量控制网的技术设计

第 2 章 水平控制网的技术设计	29
2.1 国家水平控制网建立的基本原理	29
2.1.1 建立国家水平大地控制网的方法	29
2.1.2 建立国家水平大地控制网的基本原则	34
2.1.3 国家水平大地控制网的布设方案	36
2.2 工程测量水平控制网建立的基本原理	43

2.2.1	工程测量水平控制网的分类	43
2.2.2	工程测量水平控制网的布设原则	44
2.2.3	工程测量水平控制网的布设方案	45
2.2.4	专用控制网的布设特点	45
2.3	导线网的精度估算	46
2.3.1	精度估算的目的和方法	46
2.3.2	等边直伸导线的精度分析	47
2.3.3	直伸导线的特点	54
2.3.4	单一附和导线的点位误差椭圆	54
2.3.5	导线网的精度估算	55
2.4	工程测量控制网的优化设计	58
2.4.1	工程控制网优化设计的一般概念	58
2.4.2	精密工程测量控制网的质量标准	60
2.4.3	关于机助模拟设计法的一般说明	67
2.5	工程测量水平控制网技术设计书的编制	68
2.6	选点、建标和埋石	70
2.6.1	选点	70
2.6.2	觇标高度的确定	71
2.6.3	觇标的建造	73
2.6.4	中心标石的埋设	76

## 第 2 部分 控制测量的基本测量技术与方法

<b>第 3 章</b>	<b>精密测角仪器和水平角观测</b>	<b>81</b>
3.1	精密测角仪器——经纬仪	81
3.1.1	精密电子经纬仪及其特点	81
3.1.2	精密光学经纬仪及其特点	84
3.1.3	精密电子全站仪及其特点	85
3.2	经纬仪的视准轴误差、水平轴倾斜误差及垂直轴倾斜误差	97
3.2.1	经纬仪的视准轴误差	97
3.2.2	经纬仪的水平轴倾斜误差	98
3.2.3	经纬仪的垂直轴倾斜误差对水平方向观测值的影响	100
3.2.4	经纬仪垂直轴倾斜改正数的计算	101
3.3	精密测角的误差影响	103
3.3.1	外界条件的影响	103
3.3.2	仪器误差的影响	106
3.3.3	照准和读数误差的影响	107
3.3.4	精密测角的一般原则	108
3.4	方向观测法	109
3.4.1	观测方法	109

3.4.2	测站限差	111
3.4.3	测站平差	115
3.5	分组方向观测法	118
3.5.1	观测方法	118
3.5.2	联测精度	119
3.5.3	测站平差	119
3.6	偏心观测与归心改正	121
3.6.1	测站点偏心及测站点归心改正数计算	122
3.6.2	照准点偏心及照准点归心改正数计算	123
3.6.3	归心元素的测定方法	125
3.6.4	归心元素的测定精度	128
<b>第4章</b>	<b>电磁波测距仪及其距离测量</b>	<b>132</b>
4.1	电光调制和光电转换	132
4.1.1	调制的意义和分类	132
4.1.2	晶体电光调制	132
4.1.3	光电转换	136
4.1.4	光电混频	138
4.2	电磁波测距仪分类	138
4.3	脉冲法测距的基本原理及应用	140
4.3.1	脉冲的几个基本参数	140
4.3.2	脉冲法测距的基本原理	140
4.3.3	脉冲式测距仪的基本结构	141
4.3.4	脉冲法测距对光脉冲的要求	142
4.3.5	激光巨脉冲的产生——调 $Q$ 技术	143
4.3.6	计算系统(距离显示器)	144
4.3.7	Wild DI 3000 脉冲式测距仪	144
4.4	相位法测距的基本原理及应用	147
4.4.1	基本原理及基本公式	147
4.4.2	$N$ 值的确定	149
4.4.3	几种常用的测尺频率方式	150
4.4.4	内光路的作用	151
4.4.5	差频测相	151
4.4.6	自动数字测相	152
4.4.7	高精度激光测距仪——Mekometer ME5000	157
4.4.8	徕卡全站仪测距新技术	161
4.5	干涉法测距的基本原理	164
4.6	光波测距仪的合作目标	165
4.7	光波测距仪的检验	166
4.7.1	周期误差的测定	167

4.7.2	仪器常数的测定	173
4.8	电磁波在大气中的传播	181
4.8.1	一般概念	181
4.8.2	电磁波的大气衰减	181
4.8.3	电磁波的传播速度	183
4.8.4	电磁波的波道弯曲	189
4.9	测距成果的归算	190
4.9.1	概述	190
4.9.2	速度改正	190
4.9.3	几何改正	192
4.9.4	投影改正	198
4.9.5	电磁波测距成果化算实例	199
4.10	光波测距的误差来源及精度估计	202
4.10.1	测距误差的主要来源	202
4.10.2	测距精度估计	203
4.11	微波测距概要	205
4.11.1	概述	205
4.11.2	微波测距仪的测相原理	206
4.11.3	微波测距中的地面反射误差及削弱方法	208
4.12	多波测距的理论基础	210
<b>第5章</b>	<b>高程控制测量</b>	<b>213</b>
5.1	国家高程基准	213
5.1.1	高程基准面	213
5.1.2	水准原点	214
5.2	国家高程控制网建立的基本原理	214
5.2.1	国家高程控制网的布设原则	215
5.2.2	国家水准网的布设方案及精度要求	216
5.2.3	水准路线的设计、选点和埋石	217
5.2.4	水准路线上的重力测量	218
5.2.5	我国国家水准网的布设概况	218
5.3	城市和工程建设高程控制测量	220
5.3.1	水准测量建立城市及工程高程控制网	220
5.3.2	三角高程测量建立城市及工程高程控制网	221
5.4	精密水准测量的仪器——水准仪	222
5.4.1	精密水准仪和水准尺的主要特点	222
5.4.2	徕卡公司数字水准仪 DNA03 和条码水准尺	225
5.4.3	补偿式自动安平水准仪	231
5.4.4	普通精密水准仪	236
5.5	精密水准仪和水准尺的检验	241

5.5.1	精密水准仪的检验	241
5.5.2	精密水准标尺的检验	249
5.6	精密水准测量的主要误差来源及其影响	251
5.6.1	视准轴与水准轴不平行的误差	251
5.6.2	水准标尺长度误差的影响	253
5.6.3	仪器和水准标尺(尺台或尺桩)垂直位移的影响	254
5.6.4	大气垂直折光的影响	254
5.6.5	电磁场对水准测量的影响	255
5.6.6	磁场对补偿式自动安平水准仪的影响	255
5.6.7	观测误差的影响	256
5.7	精密水准测量的实施	256
5.7.1	精密水准测量作业的一般规定	256
5.7.2	精密水准测量观测	257
5.8	跨河精密水准测量	261
5.8.1	跨河水准测量的特点及跨越场地的布置	261
5.8.2	观测方法	263
5.9	正常水准面不平行性及其改正数计算	268
5.9.1	水准面不平行性	268
5.9.2	正高高程系	269
5.9.3	正常高高程系	270
5.9.4	力高和地区力高高程系	274
5.10	水准测量的概算	275
5.10.1	水准标尺每米长度误差的改正数计算	275
5.10.2	正常水准面不平行的改正数计算	276
5.10.3	水准路线闭合差计算	276
5.10.4	高差改正数的计算	276
5.11	三角高程测量	278
5.11.1	三角高程测量的基本公式	278
5.11.2	垂直角的观测方法	281
5.11.3	球气差系数 $C$ 值和大气折光系数 $K$ 值的确定	282
5.11.4	三角高程测量的精度	283
5.11.5	垂线偏差对三角高程测量的影响	285
5.11.6	电磁波测距三角高程测量的应用前景	286
<b>第6章</b>	<b>GPS 卫星定位技术基础</b>	<b>288</b>
6.1	人造卫星轨道理论简介	288
6.2	GPS 系统的构成与 GPS 信号	290
6.2.1	GPS 系统的构成	290
6.2.2	GPS 信号结构	292
6.2.3	GPS 接收机	293

6.2.4	TPS 和 GPS 的集成——徠卡系统 1200-超站仪 (System1200-SmartStation)	296
6.3	伪距法定位	297
6.3.1	伪距观测	297
6.3.2	卫星坐标的计算	298
6.3.3	伪距定位的解算	299
6.4	载波相位法相对定位	301
6.4.1	重建载波	301
6.4.2	载波相位观测值	301
6.4.3	周跳的探测与修复	302
6.4.4	整周未知数 $N_0$ 的确定	304
6.4.5	载波相位观测值的线性组合	305
6.4.6	载波相位观测相对定位的求解	310
6.5	GPS 定位误差分析	311
6.5.1	卫星轨道误差及卫星钟误差	311
6.5.2	大气折射影响	313
6.5.3	接收系统的误差	316
6.5.4	观测误差	317
6.6	工程 GPS 测量技术概述	317
6.6.1	GPS 网的技术设计	317
6.6.2	GPS 网的布网形式	318
6.6.3	GPS 网的设计准则	319
6.6.4	GPS 网的外业观测	320
6.6.5	关于 GPS 测量的归心改正	321
6.6.6	外业观测技术注意事项	321
6.6.7	GPS 定位数据处理技术要点	323
6.7	GPS 动态定位基础	325
6.7.1	动态绝对定位	325
6.7.2	动态相对定位	325
6.7.3	准动态相对定位	326
参考文献		329

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 控制测量学的基本任务和主要内容

### 1.1.1 控制测量学的基本任务和作用

控制测量学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上以工程建设和社会发展与安全保证的测量工作为主要服务对象而发展和形成的,为人类社会活动提供有用的空间信息。因此,从本质上说,它是地球工程信息学科,是地球科学和测绘学中的一个重要分支,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,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。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,在竣工后的运营阶段,需对这种有怀疑的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。

控制测量学在许多方面发挥着重要作用。比如,在国民经济各项建设和社会发展中发挥着基础性的重要保证作用。国民经济蓬勃发展的各项事业,比如交通运输事业(铁路、公路、航海、航空等),资源开发事业(石油、天然气、钢铁、煤炭、矿藏等),水利水电工程事业(大坝、水库、电站、堤防等),工业企业建设事业(工厂、矿山等),农业生产规划和土地管理,城市建设发展及社会信息管理等,都需要地形图作为规划、设计和发展的依据。可以说,地形图是一切经济建设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。因此可以说,控制测量学在国民经济建设和社会发展中发挥着决定性的基础保证作用。

又比如,控制测量学在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价与保护中发挥着特殊的作用。地震、洪水和强热带风暴等自然灾害给人类社会带来巨大灾难和损失。地震大多数发生在板块消减带及板内活动断裂带,地震具有周期性,是地球板块运动中能量积累和释放的有机过程。在我国以及日本、美国等国家都在地震带区域内建立了密集的大地测量形变监测系统,利用 GPS 和固定及流动的甚长基线干涉(VLBI)、激光测卫(SLR)站等现代大地测量手段进行自动连续监测。随着监测数据的积累和完善,地震预报理论及技术可望有新的突破,为人类预防地震造福。控制测量还可在山体滑坡、泥石流及雪崩等灾害监测中发挥作用。世界每年都发生各种灾难事件,如空难、海难、陆上交通事故、恶劣环境的围困等,国际组织已建立了救援系统,其关键是利用 GPS 快速准确定位及卫星通信技术,将难事的地点及情况通告救援组织以便及时采取救援行动。

此外,控制测量在发展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,以及在发展测绘工程事业中,它的地位和作用显得越来越重要。

### 1.1.2 控制测量学的主要研究内容

综上所述,可把控制测量学的基本科学技术内容概括如下:

- (1) 研究建立和维持高科技水平的工程和国家水平控制网和精密水准网的原理和方法,以满足国民经济和国防建设以及地学科学研究的需要。
- (2) 研究获得高精度测量成果的精密仪器和科学的使用方法。
- (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的理论和方法、控制测量数据库的建立及应用等。

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

## 1.2 地球重力场的基本知识

地球空间任意一质点,都受到地球引力和由于地球自转产生的离心力的作用。此外,还受到其他天体(主要是月亮和太阳)的吸引。不过,月亮的引力大约是地球引力的一千