



全国高等院校水利水电类精品规划教材

# 工程测量

主编 何习平 张 鑫  
主审 华锡生



黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

# 工程测量

主 编 何习平 张 鑫  
副主编 王建雄 耿宏锁  
主 审 华锡生

黄河水利出版社  
· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书是在全国高等院校水利水电类精品规划教材编委会指导下,为适应高等工程应用型人才培养需要编写而成的。全书共 11 章,第一章主要介绍测量学的基本知识和基本理论,第二~第四章介绍测量的三项基本工作和方法,第五章介绍全站仪的基本原理和使用方法,第六章介绍测量误差的基本理论和处理方法,第七章介绍小区域常规控制测量和 GPS 控制测量方法,第八章介绍大比例尺地形图的基本原理和数字化测图方法,第九章介绍大比例尺地形图在工程建设中的应用,第十章介绍施工放样的基本工作与放样方法,第十一章介绍水利工程、土木工程、道路与桥梁工程等测量工作的基本原理和基本方法。

本书可供高等应用型本科水利水电工程、土木工程、道路与桥梁工程、给水与排水、农业水利工程、水文水资源、城镇规划、水土保持与荒漠化治理等非测绘类专业学生使用。也可供其他相关专业人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测量/何习平,张鑫主编. —郑州:黄河水利出版社,  
2008. 12

全国高等院校水利水电类精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 532 - 9

I. 工… II. ①何…②张… III. 工程测量 - 高等学校 -  
教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 209368 号

策划组稿:马广州 电话:0371 - 66023343 E-mail:magz@yahoo. cn

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940 传真:0371 - 66022620

E-mail:hhslebs@126. com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:14. 75

字数:340 千字

印数:1—4 100

版次:2009 年 1 月第 1 版

印次:2009 年 1 月第 1 次印刷

---

定价:26. 00 元

# 出版者的话

近年来,随着我国对基础设施建设投入的加大,水利水电工程建设也迎来了前所未有的黄金时间。截至2006年,全国已建成堤防28.08万公里,各类水库85 849座,2006年水利工程在建项目4 614个,在建项目投资总规模达6 121亿元(《2006年全国水利发展统计公报》)。据《可再生能源发展“十一五”规划》,到2010年,我国水电总装机容量将达到1.9亿千瓦。水利水电工程的大规模建设对设计、施工、运行管理等水利水电专业人才的需求也更为迫切,如何更好地培养适应现今水利水电事业发展的优秀人才,成为水利水电专业院校共同面临的课题。作为水利水电行业的专业性科技出版社,我社长期关注水利水电学科的建设与发展,并积极组织水利水电类专著与教材的出版。

在对水利水电类本科层次教材的深入了解中,我们发现,以应用型本科教学为主的众多水利水电类专业院校普遍缺乏一套完整构建在校本科生专业知识体系又兼顾实践工作能力的教材。在广泛调研与充分征求各课程主讲老师意见的基础上,按照高等学校水利学科专业教学指导委员会对教材建设的指导精神与要求,并结合教育部实施的多层次建设、打造精品教材的出版战略,我社组织编写了本系列“全国高等院校水利水电类精品规划教材”。

此次规划教材的特点是:

- (1)以培养水利水电类应用型人才为目标,充分重视实践教学环节。
- (2)在依据现有的专业规范和课程教学大纲的前提下,突出特色,力求创新。
- (3)紧扣现行的行业规范与标准。
- (4)基本理论与工程实例相结合,易于学生接受与理解。

本系列教材除了涵盖传统专业基础课及专业课外,还补充了多个新开课程的教材,以便于学生扩充知识与技能,填补课堂无合适教材可用的空缺。同时,部分教材由工程技术人员或有工程设计施工从业经历的老师参与编写,也是此次规划教材的创新。

本系列教材的编写与出版得到了全国21所高等院校的鼎力支持,特别是三峡大学党委书记刘德富教授和华北水利水电学院副院长刘汉东教授对系列教材的编写与出版给予了精心指导,有效保证了教材出版的整体水平与质量。在此对推进此次规划教材编写与出版的各院校领导和参编老师致以最诚挚的谢意,是他们在编审过程中的无私奉献与辛勤工作,才使得教材能够按计划出版。

“十年树木,百年树人”,人才的培养需要教育者长期坚持不懈的努力,同样,好的教材也需要经过千锤百炼才能流传百世。本系列教材的出版只是我们打造精品专业教材的开始,希望各院校在对这些教材的使用过程中,提出改进意见与建议,以便日后再版时不断改正与完善。

黄河水利出版社

# 全国高等院校水利水电类精品规划教材

## 编 审 委 员 会

主 任：	三峡大学	刘德富	华北水利水电学院	刘汉东
副主任：	西安理工大学	黄 强	郑州大学	吴泽宁
	云南农业大学	文 俊	长春工程学院	左战军
委 员：	西安理工大学	姚李孝	西北农林科技大学	辛全才
	扬州大学	程吉林	三峡大学	田 斌
	华北水利水电学院	孙明权	长沙理工大学	樊鸣放
	重庆交通大学	许光祥	河北农业大学	杨路华
	沈阳农业大学	迟道才	河北工程大学	丁光彬
	山东农业大学	刘福胜	黑龙江大学	于雪峰
	新疆农业大学	侍克斌	内蒙古农业大学	刘廷玺
	三峡大学	张京穗	华北水利水电学院	张 丽
	沈阳农业大学	杨国范	南昌工程学院	陈春柏
	长春工程学院	尹志刚	昆明理工大学	王海军
	南昌大学	刘成林	西华大学	赖喜德

# 前 言

近年来,随着空间技术和信息技术的发展及其在测绘学科领域的融合与应用,以“3S”(全球定位系统 GPS、遥感技术 RS 和地理信息系统 GIS)技术为代表的现代测绘技术正在逐步取代常规测量方法,推动传统(模拟)测绘向数字化测绘的过渡与转化,并向信息化方向发展与升华。

本教材正是在这样的背景下,根据高等院校非测绘类专业测量课程教学大纲要求,结合宽口径、创新型专业人才培养方案,适应高素质工程应用型人才培养需要而编写的。本书在着重介绍常规测量方法和技术的同时,详细介绍了全站仪、GPS 和数字化测图等新仪器、新理论和新技术的应用,突出反映测绘科学与技术的新进展。

全书共 11 章,第一章主要介绍测量学的基本知识和基本理论,第二~第四章介绍测量的三项基本工作和方法,第五章介绍全站仪的基本原理和使用方法,第六章介绍测量误差的基本理论和处理方法,第七章介绍小区域常规控制测量方法和 GPS 控制测量法,第八~第九章介绍大比例尺地形图的基本原理、绘制方法和应用,第十章介绍施工放样的基本工作与放样方法,第十一章介绍水利工程、土木工程、道路与桥梁工程等测量工作的基本原理和基本方法,供相关专业选用。

本书各章编写人员及分工如下:南昌工程学院何习平编写第一章和第十章,云南农业大学王建雄编写第二章和第四章,云南农业大学龚振文和王建雄编写第三章,西北农林科技大学张鑫编写第五章和第六章,西北农林科技大学耿宏锁编写第七章,西北农林科技大学王维新编写第八章,西北农林科技大学李雅素编写第九章,南昌工程学院万程辉编写第十一章。全书由何习平统一修改定稿,由河海大学华锡生教授主审。

本书的编写和出版得到了全国高等院校水利水电类精品规划教材编委会的大力支持,在此致以诚挚的感谢!

本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此谨向文献作者和相关人员致谢!

由于编者水平有限,书中可能存在不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 8 月于青山湖畔

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 概 述 .....	(1)
第二节 确定地面点位的坐标系统 .....	(5)
第三节 确定地面点位的方法 .....	(11)
第四节 地球曲率对测量工作的影响 .....	(13)
第五节 测量工作的原则与程序 .....	(15)
习 题 .....	(17)
<b>第二章 水准测量</b> .....	(19)
第一节 水准测量原理 .....	(19)
第二节 水准测量的仪器与工具 .....	(20)
第三节 普通水准测量 .....	(24)
第四节 水准仪的检验与校正 .....	(29)
第五节 水准测量误差分析 .....	(32)
第六节 自动安平水准仪与数字水准仪 .....	(34)
习 题 .....	(36)
<b>第三章 角度测量</b> .....	(40)
第一节 角度测量原理 .....	(40)
第二节 DJ <sub>6</sub> 光学经纬仪及其使用 .....	(41)
第三节 水平角测量 .....	(44)
第四节 竖直角测量 .....	(47)
第五节 经纬仪的检验和校正 .....	(50)
第六节 角度测量误差分析 .....	(53)
第七节 电子经纬仪简介 .....	(54)
习 题 .....	(56)
<b>第四章 距离测量与直线定向</b> .....	(60)
第一节 钢尺量距 .....	(60)
第二节 视距测量 .....	(61)
第三节 电磁波测距 .....	(64)
第四节 直线定向 .....	(65)
第五节 罗盘仪测定磁方位角 .....	(68)
习 题 .....	(70)

<b>第五章 全站仪及其使用</b> .....	(72)
第一节 全站仪的结构及功能 .....	(72)
第二节 全站仪的操作与使用 .....	(73)
第三节 全站仪的检验与校正 .....	(77)
第四节 全站仪测量误差分析 .....	(79)
习 题 .....	(81)
<b>第六章 观测误差理论</b> .....	(83)
第一节 观测误差 .....	(83)
第二节 评定精度的指标 .....	(86)
第三节 观测值函数的中误差 .....	(87)
第四节 等精度观测值的平差 .....	(89)
第五节 误差传播定律在测量中的应用 .....	(91)
第六节 不等精度观测值的平差 .....	(94)
习 题 .....	(96)
<b>第七章 控制测量</b> .....	(98)
第一节 控制测量概述 .....	(98)
第二节 导线测量及其成果处理 .....	(101)
第三节 前方交会定点测量 .....	(108)
第四节 三、四等水准测量 .....	(109)
第五节 三角高程测量 .....	(112)
第六节 GPS 控制测量 .....	(114)
习 题 .....	(122)
<b>第八章 大比例尺地形图的测绘</b> .....	(126)
第一节 地形图的基本知识 .....	(126)
第二节 地物地貌的表示方法 .....	(130)
第三节 测图前的准备工作 .....	(134)
第四节 常规地形图测绘 .....	(135)
第五节 数字地形图测绘 .....	(140)
习 题 .....	(155)
<b>第九章 地形图的应用</b> .....	(157)
第一节 地形图的识图 .....	(157)
第二节 地形图的基本应用 .....	(162)
第三节 地形图在工程中的应用 .....	(165)
习 题 .....	(169)
<b>第十章 施工放样的基本方法</b> .....	(170)
第一节 施工放样的基本工作 .....	(170)
第二节 点的平面位置放样方法 .....	(172)
第三节 曲线放样 .....	(175)



第四节	全站仪放样 .....	(182)
习 题	.....	(188)
<b>第十一章</b>	<b>工程施工测量</b> .....	<b>(190)</b>
第一节	概 述 .....	(190)
第二节	施工控制测量 .....	(190)
第三节	渠道测量 .....	(192)
第四节	大坝施工测量 .....	(196)
第五节	建筑工程施工测量 .....	(200)
第六节	道路与桥梁工程施工测量 .....	(204)
第七节	隧道工程施工测量 .....	(210)
第八节	变形观测 .....	(214)
习 题	.....	(220)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(222)</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

### 一、测量学的定义

测量学是伴随着人类对自然认识、利用和改造的不断深入而发展起来的对地球进行描述的学科之一。具体地说,测量学是研究地球的形状和大小、确定地球表面点的位置以及如何将地球表面的地形及其他地理信息测绘成图的科学。

由于地面物体的几何形状和大小都是由组成该物体的一些特定点的位置所决定的,因此测量学的实质是如何确定地球表面点的位置。确定地球表面点的位置包括测定和测设两个方面。测定是指使用测量仪器通过对地球表面上的点进行测量,从而得出点的坐标等一系列测量数据,或根据获得的测量数据将地球表面的地形按一定的比例缩小绘成地形图,供经济建设、国防建设和科学研究使用;测设是指将图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置通过测量在地面上标定出来,作为工程施工的依据。

随着空间科学技术的发展和信息高速公路的建设,传统测量学的定义得到了全新的发展,形成一门新兴的边缘学科——“地球空间信息学(Geomatics)”。20世纪90年代起,世界各国大学的测量学专业、测量学机构和测量学杂志纷纷改名为 Geomatics。Geomatics 是一个新创造出的名词,1993年 Webster 词典(第3版)给出的定义是:Geomatics 是地球的数学,是所有现代地理科学的技术支撑。1996年国际标准化组织对 Geomatics 的定义是:Geomatics 是研究采集、量测、分析、存储、管理、显示和应用空间数据的现代空间信息科学技术。

### 二、测量学的任务与分类

从测量学的定义可知,测量学研究的内容丰富、涉及领域广泛。现仅就测绘地球表面形态方面介绍其主要任务:

第一,建立坐标系。要测定地球表面各点的坐标,首先必须建立一个统一的地球坐标系,作为准确描述地球表面及外部空间任意一点位置的基准。为此,应对地球进行研究,在获得地球的形状、大小及重力场等数据基础上,运用一定的方法建立坐标系。

第二,空间点位信息采集。建立坐标系后,利用测量仪器,通过一定的测量方法对地球表面点进行测量,获得地面点的坐标等一系列测量数据。地球表面形态包括地表的各种自然形态和由于人类活动形成的人工形态。自然形态包括地貌、水系、植被等,人工形态如居民地、道路桥梁及其他各种建(构)筑物。对于小范围的地表测绘,通常是利用普通测量仪器和方法直接测定各地面点的坐标;对于大范围的地表测绘,一般应运用航空

摄影测量方法获取地球表面形态的影像信息,再根据摄影测量的理论与方法,对影像信息进行模拟、解析等,从而获取地面点的坐标及其他地理信息。

第三,绘图。以地面点的坐标等一系列测量数据为基础,进行地球表面形态的绘制工作。使用上述方法获得的信息,必须经过地图投影、综合、编制、整饰和印制等环节,才能形成各种比例尺的地形图或专题地图。

另外,为各种工程建设开展测绘工作。根据不同工程项目的具体要求,采取一些专门的测量方法进行工程测绘工作,指导工程施工、确保工程的安全运行。对于一些特殊工程,还需使用特种测量仪器和特定的高精度方法完成相应的测量任务。

根据上述测量学研究对象、任务和方法的不同,测量科学可以分为许多分支学科。

#### (一) 普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的一门学科,它是测量学的基础。具体研究内容包括:距离测量、角度测量和高程测量等外业测量工作;观测数据处理与绘图的理论与方法;建立图根控制网、测绘地形图以及普通工程的施工测量等测量工作。

#### (二) 大地测量学

大地测量学是研究地球表面较大范围内的点位测定及整个地球的形状、大小和重力场测量的理论、技术和方法的一门学科。根据测量方式不同,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

#### (三) 摄影测量学

摄影测量学是利用摄影像片或遥感技术来确定地球表面物体的形状、大小和空间位置的一门学科,根据测量方式不同,摄影测量学又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和遥感学。

#### (四) 工程测量学

工程测量学是研究各种工程项目在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的一门学科。根据测量的工程对象不同,工程测量学又分为土木工程测量、水利工程测量、矿山工程测量、线路工程测量和精密工程测量等。具体研究内容有建立工程控制网、地形图测绘、施工放样、设备安装测量、工程竣工测量、变形观测等各种测量工作。

#### (五) 海洋测量学

海洋测量学是研究和测量地球表面水体(海洋、江河、湖泊等)及水下地貌的一门学科。具体研究内容包括对上述范围进行控制测量、地形测量、水深测量等各种测量工作的理论、技术和方法。

#### (六) 地图制图学

地图制图学是研究地图及其编制和应用的一门学科。

本教材主要阐述普通测量学和工程测量学中的部分内容。

### 三、测量学的作用

测量是国家经济建设和国防建设的一项重要基础性、先行性工作。

在国民经济建设方面,如资源勘察、城乡建设、交通运输、水利工程、土地整治、环境保

护、行政界线的勘定等诸多行业的工程建设都需要测量工作。在工程的规划设计阶段,需要测绘各种比例尺的地形图供工程的平面和竖向设计使用;在工程施工阶段必须将设计好的建(构)筑物的平面位置和高程在实地标定出来,作为工程施工的依据;工程竣工后,需要测绘竣工图,供日后工程改扩建和维修使用;在工程运营管理阶段,还需要进行长期的变形观测,以保证工程的安全。

在国防建设方面,国界勘定、战役部署、航天测控等都离不开测量工作。如国界勘定和战役部署都必须绘制精密的地形图;导弹、卫星和宇宙飞船的发射必须通过测量保证其精确入轨,飞行过程中需要根据测量数据随时校准轨道位置。

在科学研究方面,如宇宙探测、地壳形变、海岸变迁、地震监测、灾害预报等方面的研究都需要借助测量数据;高能物理研究中的巨型粒子加速器和质子对撞机的精密安装需要测量技术的保证。

此外,目前各行各业中的地理信息系统必须由测绘部门提供准确的空间地理信息,测量工作还要满足广大人民群众的教育和旅行等日常生活对各种地图的需要,测绘部门提供的房地产分布图和平面图是产权的重要法律资料。

#### 四、测量学的发展简史

测量是一门古老的学科,在人类发展史中起着重要的作用,它的发展首先是从满足人们划分土地、兴修水利、战争与航海等方面的需要而开始的。

##### (一)我国测量科学的发展概况

我国是世界四大文明古国之一,由于生产和生活的需要,测量工作开始得很早。我国在无文字记载的三皇五帝时代,就有伏羲氏“测北极高下……定南北东西”、“神农氏立地形,甄度四海”、黄帝“置衡量度亩数”等传说;《史记·夏本纪》记载了大禹治水“行山表木,定高山大川……左准绳,右规矩”的情况;《周髀算经》和《九章算术》等历史文献中记载有测量技术和计算方法的内容,反映了祖先们在征服自然和改造自然过程中,一开始就是通过测量来认识世界的。

在测时方面,我国在春秋战国时期就编制了四分历,一年为 365.25 日,比罗马人采用的儒略历早四五百年。南北朝时祖冲之所测的朔望月为 29.530 588 日,与现在采用的数值只差 0.3 s。宋代杨忠辅编制的《统天历》,一年为 365.242 5 日,与现代采用的数值相比只差 26 s。这些成就的取得主要是因为公元前四世纪创制的浑天仪,此外,还有圭、表、复矩、漏壶及日晷等天文观测与计时工具的使用。

在地图测绘方面,由于行军作战的需要,我国历代皇帝都十分重视地图编制工作。目前,见于记载的最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。周代地图的使用已很普遍,管理地图的官员分工也很细。战国时管仲所著《管子》第十卷(地图第二十七)专门论述了地图的内容和重要用途。可惜的是,秦代以前的古地图都已失传,现在所能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前 168 年陪葬的古长沙国地图和驻军图,图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。西晋裴秀编制了《禹贡地域图》和《方丈图》。此后历代都编制过多种地图,其中比较著名的有:南北朝谢庄创制的《木方丈图》、唐代贾耽编制的《关中陇右及山南九州等图》及《海内华夷图》(原图现已失传)、北宋的

《淳化天下图》、南宋人参考《海内华夷图》制成的《华夷图》和《禹迹图》(现存于西安碑林)、元代朱思本的《舆地图》、明代罗洪先的《广舆图》(相当于现代分幅绘制的地图集)、明代郑和下西洋绘制的《郑和航海图》、清代康熙年间绘制的《皇舆全图》等,我国历代地图绘制水平都很高。

我国历代能绘制出如此高水平的地图与测量技术的发展有关。在测量仪器制造方面,我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳、步车等;测量高程的仪器工具有矩和水平(水准仪);测量方向的仪器有望筒和指南针(战国时利用天然磁石制成指南工具——司南,宋代出现人工磁铁制成的指南针)。在测量理论研究上,西晋裴秀提出的绘制地图的六条原则,即《制图六体》,是世界最早的地图编制理论;三国时魏人刘徽所著《海岛算经》介绍利用丈杆进行两次、三次甚至四次测量(称重差术)求解山高、河宽的实例等。

此外,公元724年,在唐代高僧一行的主持下,实量了从河南白马,经过浚仪、扶沟到上蔡长达300 km的子午线弧长,并用日圭测太阳的阴影来定纬度,这是我国第一次应用弧度测量的方法测定地球的形状和大小,也是世界上最早的一次子午线弧长测量,得出子午线一度弧长为132.31 km,为人类正确认识地球做出了贡献。北宋沈括在《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。元代郭守敬在测绘黄河地形图时“以海面较京师至汴梁地形高下之差”,是世界测量史上第一个使用“海拔”思想的人。

在清代、北洋军阀和国民党统治时期,我国测绘科学的发展基本处于停滞状态。中华人民共和国成立后,我国的测绘事业有了很大发展,全国已建立了统一的坐标系统和高程系统;建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网;完成了国家大地网和水准网的整体平差;完成了珠穆朗玛峰的平面位置和高程的测量;配合经济建设进行了大量的测绘工作,例如进行了南京长江大桥、葛洲坝水电站、宝钢、三峡水库、青藏铁路等工程的精确放样和设备安装测量;在测绘仪器制造方面,从无到有,在我国不仅能生产常规测量仪器,测量先进仪器的制造水平也基本上达到国际先进水平;测绘教育规模和水平也不断得到提高。

## (二) 世界测量科学发展简述

公元前4000多年前,由于尼罗河水泛滥,经常需要重新划分土地的边界,即土地测量工作,从而产生了最初的测量技术,古希腊人也在很早就掌握了土地测量方法,希腊文“测量学”的含义就是“土地划分”。公元前3世纪,希腊科学家就利用天文测量方法初步测定了地球的形状和大小,当然,那时使用的仪器和工具都非常简单。

随着科学和文化的进步,测量科学日益完善,其应用也日益广泛。1608年荷兰人汉斯发明了望远镜,望远镜的发明并应用于天文观测是测量科学史上的一次较大的变革。其后,望远镜广泛应用于各种测量仪器,大大提高了观测成果的精度;1617年荷兰人斯纳尔创立并首次进行了三角测量;1794年德国高斯提出了最小二乘法,为测量数据处理奠定了基础;1859年法国洛斯特达开创摄影测量并制成第一台地形摄影机;1903年飞机的发明促进了航空摄影测量学的发展,使测量学进行了一次革命,它改善了测量的技术途径,将大量的野外工作转入室内,减轻了劳动强度,提高了工作效率;20世纪40年代自动安平水准仪的问世,标志着测量自动化的开始;1957年第一颗人造地球卫星的上天,推动了人卫大地测量学的发展。

20世纪50年代以来,空间科学技术、电子技术和计算机科学技术的迅速发展推动了传统测量科学技术的发展与整合,传统的普通测量学、大地测量学、摄影测量学、地图制图学等测绘学科之间的界限已随着计算机技术的发展变得模糊了。

1993年,美国提出建立“国内信息基础设施”计划后,“信息高速公路”的政策已初步成型,1998年“数字地球”概念横空出世,一场新的信息技术革命浪潮正在世界范围内产生。目前,以“3S”(全球定位系统GPS、遥感技术RS和地理信息系统GIS)技术为代表的现代测绘学科的应用已渗透到与空间信息分布有关的众多领域。现代测量科学技术是数字地球的数学基础、空间信息框架和技术支撑,基于信息时代的现代测绘学科在国民经济建设和国防建设等许多领域中发挥着重要作用,具有广阔的发展前景。

## 第二节 确定地面点位的坐标系统

### 一、测量基准面

地面点位的确定需要建立坐标系,而坐标系是建立在选定的基准面上的。由于测量工作是在地球表面上进行的,因此测量基准面必然与地球的形状和大小相关。

地球表面错综复杂,高低起伏,很不规则。有高山与低谷,也有平原与海洋。其中珠穆朗玛峰高出海水面8 844.43 m,而位于太平洋的马里亚纳海沟低于海水面11 022 m。这些起伏相对半径为6 371 km的地球来说还是很小的。就整个地球而言,考虑到海洋占地球表面的71%,因此我们可以把地球想象成一个处于静止状态的海水面延伸穿过陆地所包围的形体,这个处于静止状态的水面就是水准面,这个形体基本上代表了地球的形状。由于水准面有无数个,测量上把通过平均海水面的水准面叫大地水准面,如图1-1(a)所示,大地水准面所包围的地球形体叫大地体。

在地球重力场中水准面处处与重力方向正交,重力方向线叫铅垂线。测量工作是通过安置测量仪器观测数据,并沿铅垂线方向将这些数据投影到大地水准面上的,因此大地水准面是测量工作的基准面。

由于地球表面起伏不平 and 内部物质结构分布不匀,引起铅垂线方向不规则变动,所以大地水准面实际上是一个略有起伏的复杂曲面,这个不规则的曲面不便于计算和建立坐标系。为此,人们就用一个可以用数学模型表示又很接近大地水准面的面来代替大地水准面,通常选用地球椭球面作为测量计算工作的基准面,如图1-1(b)所示。地球椭球体是由椭圆NWSE绕其短轴NS旋转而成的,其形状和大小由椭圆长半轴 $a$ 和短半轴 $b$ (或扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ )决定,地球椭球面所包围的形体叫地球椭球体,如图1-1(c)所示。

建立坐标系的地球椭球面与大地水准面不完全一致。对精密测量工作来说,必须考虑两者的差异,要通过计算进行数据转换;对普通测量来说,由于精度要求不高,当测量范围不大时可不考虑两者之间的差异。同时,由于地球扁率很小,为方便计算,可以将地球看成圆球,其半径 $R$ 约为6 371 km。

为确定地面点的位置,我国在陕西省泾阳县永乐镇境内选择并埋设国家大地原点,建

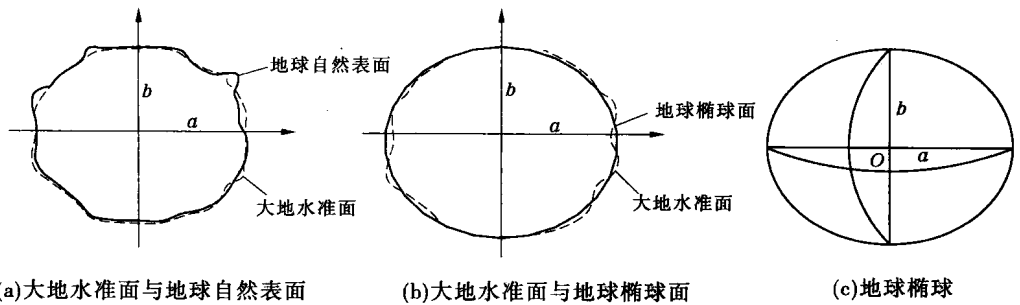


图 1-1 地球形状示意图

立了全国统一的坐标系——1980 年国家大地坐标系(简称 80 国家大地坐标系),也叫 80 西安坐标系。新中国成立初期,我国曾建立并使用“1954 年北京坐标系”(简称 54 北京坐标系),作为临时过渡性的坐标系。目前,我国已有的许多测绘资料都是基于上述两个大地坐标基准编制的。

对于高程基准面,我国目前采用的是“1985 年国家高程基准”,它是根据青岛验潮站 1953 ~ 1977 年的观测资料,求出黄海平均海面作为大地水准面建立的,并在青岛观象山建立国家水准原点,测算出国家水准原点的高程为 72.260 m。全国各地高程都以它为基准进行测定。新中国成立初期,我国曾利用青岛验潮站 1950 ~ 1956 年的观测资料建立了“1956 年黄海高程系”,当时国家水准原点高程为 72.289 m。

## 二、确定地面点位的坐标系统

地面点的位置通常由该点投影到地球椭球面的位置(坐标)和点到大地水准面的铅垂距离(高程)来确定。

### (一) 地面点高程

#### 1. 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程,简称高程或海拔,用符号  $H$  表示。图 1-2 中  $H_A$ 、 $H_B$  分别为  $A$ 、 $B$  两点的高程。

#### 2. 假定高程

当测区内没有已知水准点或引用已知高程有困难时,可以任意假定一个水准面作为高程起算面,地面点到这个假定水准面的铅垂距离称为该点的假定高程或相对高程。图 1-2 中  $H'_A$ 、 $H'_B$  分别为  $A$ 、 $B$  两点的假定高程。

#### 3. 高差

地面两点间的高程或相对高程之差称为高差,用  $h$  表示。图 1-2 中从  $A$  点至  $B$  点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

高差  $h_{AB}$  可正可负, $h_{AB}$  为正时,表示  $B$  点高于  $A$  点;反之, $h_{AB}$  为负时,表示  $B$  点低于  $A$  点。从式(1-1)可知,两点间高差与高程起算面无关。另外,从  $B$  点至  $A$  点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B$$

因此

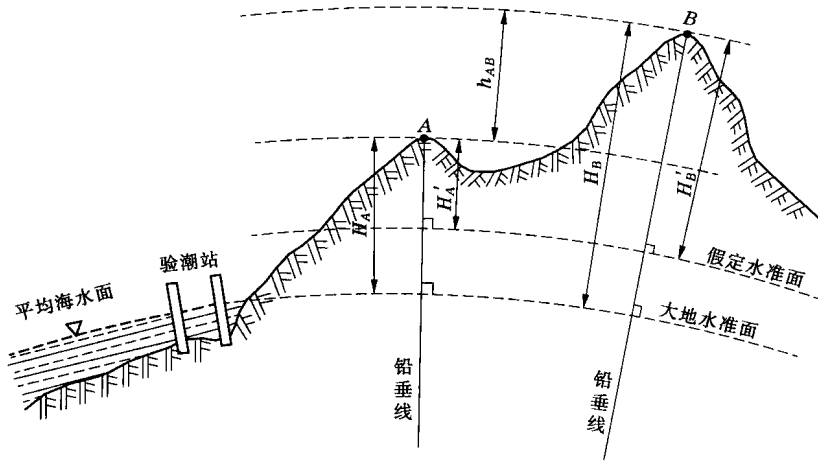


图 1-2 地面点的高程

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-2)$$

## (二) 地面点的坐标

### 1. 地理坐标

地理坐标是地面点投影到球面坐标系中的坐标值,通常用经度和纬度表示。

如图 1-3 所示, N、S 分别为地球的北极和南极, NS 为地球的自转轴(地轴)。过地面上任一点 M 和地轴所构成的平面叫子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线,也叫真子午线。通过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线叫赤道。通过原英国格林尼治天文台的子午面(线)叫首子午面(线)。

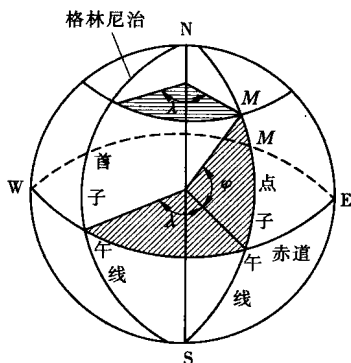


图 1-3 地理坐标

M 点的子午面与首子午面的二面角  $\lambda$  就是 M 点的经度。以首子午面作为计算经度的起点,向东  $0^\circ \sim 180^\circ$  为东经,向西  $0^\circ \sim 180^\circ$  为西经。过 M 点的铅垂线与赤道面的夹角,称为 M 点的纬度  $\varphi$ 。纬度以赤道面为起点,向北  $0^\circ \sim 90^\circ$  为北纬,向南  $0^\circ \sim 90^\circ$  为南纬。

按坐标系所依据的基准线和基准面的不同以及解算方法的不同,地理坐标可分为大地地理坐标(简称大地坐标)和天文地理坐标(简称天文坐标)两种。以参考椭球面为基准面,且以椭球面的法线为基准线得到的地理坐标称为大地坐标,分别用  $L, B$  表示;以大地水准面为基准面,且以铅垂线为基准线而得到的地理坐标称为天文坐标,分别用  $\lambda, \varphi$  表示。大地坐标是通过大地测量推算出来的,而天文坐标是用天文测量方法直接测定的。

按坐标系统所依据的基准线和基准面的不同以及解算方法的不同,地理坐标可分为大地地理坐标(简称大地坐标)和天文地理坐标(简称天文坐标)两种。以参考椭球面为基准面,且以椭球面的法线为基准线得到的地理坐标称为大地坐标,分别用  $L, B$  表示;以大地水准面为基准面,且以铅垂线为基准线而得到的地理坐标称为天文坐标,分别用  $\lambda, \varphi$  表示。大地坐标是通过大地测量推算出来的,而天文坐标是用天文测量方法直接测定的。

### 2. 独立平面直角坐标系

地理坐标是球面坐标,不便于直接进行各种计算,且其精度不高。在工程项目的规划、设计和施工中,应在平面上进行各种计算,为此,须将球面上的点投影并绘到平面上。

当测区范围较小时,可以近似地把球面看成平面,将地面点直接沿铅垂线方向投影到



水平面上,用平面直角坐标系确定地面点的位置,十分方便。如图 1-4 所示,平面直角坐标系规定南北方向为坐标纵轴  $x$  轴(向北为正),东西方向为坐标横轴  $y$  轴(向东为正),坐标原点一般选在测区西南角以外,以使测区内各点坐标均为正值。

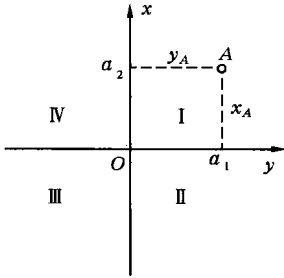


图 1-4 平面直角坐标系

与数学上的平面直角坐标系不同,为了定向方便,测量上平面直角坐标系的象限是按顺时针方向编号的,其  $x$  轴与  $y$  轴互换,目的是将数学中的公式直接用到测量计算中。

### 3. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时,不能把球面看成平面。此时,为将球面点投影并绘到平面上,必须采用适当的投影方法来实现在,我国采用的是高斯投影法。

#### 1) 高斯投影的分带

高斯投影是将地球分成若干带,然后将每带投影到平面上。如图 1-5 所示,投影带从首子午线起,按  $6^\circ$  经度自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带(称为  $6^\circ$  带)。带号从首子午线起自西向东用阿拉伯数字 1、2、3、...、60 编号表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线,第一个  $6^\circ$  带的中央子午线经度为  $3^\circ$ ,任意一个  $6^\circ$  带中央子午线的经度  $\lambda_0$  可按式(1-3)计算:

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-3)$$

式中  $N$ —— $6^\circ$  带的带号数。

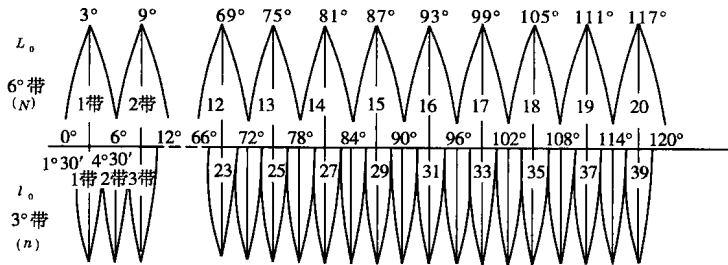


图 1-5 高斯投影分带

高斯投影时,不在中央子午线上的线段都会变长,离中央子午线近的线段变形小,离中央子午线愈远的线段变形愈大,且两侧对称。 $6^\circ$  带的高斯投影只能满足 1:2.5 万及以上比例尺测图的精度要求,对于需要 1:1 万或更大比例尺图的测量来说,必须采用  $3^\circ$  或  $1.5^\circ$  分带投影。 $3^\circ$  带是从东经  $1^\circ 30'$  起,每经差  $3^\circ$  划带,将整个地球分成 120 个带(见图 1-5),每一个  $3^\circ$  带中央子午线的经度  $\lambda'_0$  可按下式计算:

$$\lambda'_0 = 3^\circ n \quad (1-4)$$

式中  $n$ —— $3^\circ$  带的带号数。

已知任意一地的经度  $\lambda$  时,可按下列公式计算其所在  $6^\circ$  带及  $3^\circ$  带的带号,带号计算出来后,可再按式(1-3)及式(1-4)分别计算其中央子午线的经度。

$$N = \text{INT}(\lambda/6^\circ + 1) \quad (1-5)$$

$$n = \text{INT}(\lambda/3^\circ + 0.5) \quad (1-6)$$