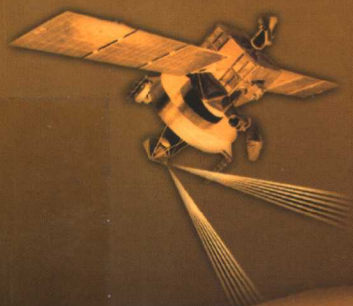




世纪高等教育土木工程系列规划教材

土木工程测量

朱爱民 郭宗河 主编
华锡生 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

土 木 工 程 测 量

主 编 朱爱民 郭宗河
副主编 郑进凤 傅志瑶
参 编 郭丙军 温淑莲 杨永寿
主 审 华锡生



机 械 工 业 出 版 社

本书是普通高等教育土木工程专业系列规划教材,是为满足本科宽口径、大土木的专业需要,适应传统测量向现代测量转变的发展趋势,按照土木工程专业培养高级应用型人才的要求编写的。

本书共 16 章。其中,第 1~5 章介绍测量基本知识、测量仪器的使用技术;第 6 章介绍测量误差知识;第 7 章介绍控制测量知识;第 8、9 章介绍大比例尺地形图的测绘方法和应用;第 10~13 章介绍建筑工程、道路工程、桥梁和隧道工程测量知识;第 14~16 章分别介绍全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和航测遥感(RS)基本知识。

本书可作为高等学校土木工程专业测量课程的教材,也可作为土木工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/朱爱民,郭宗河主编. —北京:机械工业出版社,
2005.2

(21 世纪高等教育土木工程系列规划教材)

ISBN 7-111-15678-1

I. 土... II. ①朱... ②郭... III. 土木工程—工程测量—高等学校—教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 121887 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:马军平 版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:张 静 责任印制:李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9.375 印张·360 千字

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646
68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求，我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变，现行的土木工程专业已包括建筑工程、交通土建工程，矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践，组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止，我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才，为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位，与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员，特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律，它强调分析，强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动，所以它强调综合，强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养实施不同的方案，采用不同的教学模式、使用不同的教材。

机械工业出版社组织编写本套系列教材，就是为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写的。本套教材编写的目的在于改革传统的高等工程教育教材，结合大土木的专业建设需要，编写一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材，满足土木工程应用型人才培养的要求。本套系列教材的编写原则是：

1) 加强基础，确保后劲。在内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后发展具有较强的后劲。

2) 突出特色, 强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融合贯通“大土木”教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例; “新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容; “广”指在保证本学科教学基本要求前提下, 引入与相邻及交叉学科的有关基础知识; “用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通, 特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点, 合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点, 做好实践教材的同步建设, 做好与之配套的电子教材的建设。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养, 必将产生积极作用, 为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江見鯨

前 言

本书是普通高等教育土木专业系列规划教材之一，是为满足本科宽口径、大土木的专业需要，适应传统测量向现代测量转变的发展趋势，按照土木工程专业培养高级应用型人才的要求编写的。本书适用于建筑工程、公路与城市道路工程、桥梁工程等专业，亦可供土木工程技术人员参考阅读。

本书在全面分析土木工程专业测量知识能力要求的基础上，针对21世纪我国高等教育人才培养目标的要求，突出基础性、实用性和先进性，对教材内容体系进行了整体优化。为此，本书采用“模块化”编写方式，第一模块是普通测量方法与技术部分，为测量的基础知识和技术，各专业方向通用；第二模块为应用工程测量部分，是土木专业各工程方向的应用测量技术，使测量技术与各种工程紧密结合，以达到工程实用能力培养之目标；第三模块为现代测绘技术方法部分，是对传统测量方法的提高，以利于学生了解测绘新技术及其应用，培养学生的发展观点和创新能力和创新能力，适应现代社会和未来发展。

本书由朱爱民、郭宗河任主编，郑进凤、傅志瑶任副主编，郭丙军、温淑莲、杨永寿参编。第1、13章由杨永寿（山东交通学院）编写，第2、7、14章由朱爱民（山东交通学院）编写，第5、11章由郭宗河（青岛理工大学）编写，第4、12章由温淑莲（山东交通学院）编写，第3、6章由郑进凤（青岛理工大学）编写，第8、9章由郭丙军（河北建筑工程学院）编写，第10、15、16章由傅志瑶编写（湖南工程学院）。

在本书的编写过程中，河海大学华锡生教授提出了许多宝贵的意见和建议，并对本书进行了全面仔细的审核，在此表示诚挚的感谢。

书中不当之处，谨请使用本书的师生及其他读者批评指正。

编 者

目 录

序 前言

第 1 篇 测量技术与方法

第 1 章 绪论	2
1.1 测量学概述	2
1.2 地球的形体及测量基准	4
1.3 测量的坐标系统和高程系统	5
1.4 水平面代替水准面的分析	10
1.5 测量工作概述	12
思考题与习题	15
第 2 章 水准测量	16
2.1 水准测量原理	16
2.2 水准仪及其使用	17
2.3 水准测量与数据处理	22
2.4 水准仪的检验与校正	29
2.5 水准测量误差分析	32
2.6 自动安平水准仪	35
2.7 精密水准仪	36
2.8 其他新型水准仪简介	38
思考题与习题	40
第 3 章 角度测量	43
3.1 角度测量原理	43
3.2 光学经纬仪的构造与使用	44
3.3 水平角观测	49
3.4 竖直角观测	53
3.5 光学经纬仪的检验与校正	56
3.6 角度测量的误差分析	58
3.7 电子经纬仪	60
思考题与习题	61
第 4 章 距离测量及直线定向	62
4.1 钢尺量距	62
4.2 视距测量	67

4.3 光电测距	70
4.4 直线定向及坐标方位角的计算	76
4.5 距离的改化计算	79
思考题与习题	80
第5章 全站测量	81
5.1 全站仪及其检验	81
5.2 全站仪的操作使用	83
5.3 全站仪在工程测量中的应用	89
思考题与习题	91
第6章 测量误差的基本知识	93
6.1 测量误差来源及其分类	93
6.2 观测量的估计及精度评定	94
6.3 误差传播定律及其应用	97
6.4 加权平均值及其中误差	97
6.5 测量平差基础知识	98
思考题与习题	99
第7章 小区域控制测量	100
7.1 控制测量概述	100
7.2 导线测量	102
7.3 小三角测量	114
7.4 交会法测量	121
7.5 坐标换带计算	125
7.6 三、四等水准测量	126
7.7 光电测距三角高程测量	130
思考题与习题	132
第8章 大比例尺地形图测绘	134
8.1 地形图的基本知识	134
8.2 测图前的准备工作	146
8.3 碎部测量的方法	147
8.4 地形图的拼接、检查和整饰	151
8.5 地面数字化测图	152
思考题与习题	154
第9章 地形图的应用	156
9.1 地形图的识读	156
9.2 地形图应用的基本内容	157
9.3 地形图在工程建设中的应用	161
9.4 数字地面模型简介	168
思考题与习题	170

第2篇 工程应用测量

第10章 测设的基本工作	172
10.1 水平距离、水平角和高程的测设	172
10.2 点的平面位置测设	177
10.3 坡度线的测设	179
10.4 垂准测量	180
思考题与习题	182
第11章 建筑工程测量	183
11.1 概述	183
11.2 建筑工程施工控制	183
11.3 建筑物的定位放样	186
11.4 高层建筑物的轴线投测	188
11.5 高层建筑物的高程控制	189
11.6 建筑物的变形测量	190
11.7 竣工测量	192
思考题与习题	192
第12章 道路工程测量	193
12.1 道路中线测量	193
12.2 圆曲线测设	198
12.3 缓和曲线测设	205
12.4 道路中线逐桩坐标计算与测设	210
12.5 路线纵、横断面测量	212
12.6 道路施工测量	220
12.7 管道施工测量	225
思考题与习题	227
第13章 桥梁与隧道工程测量	229
13.1 概述	229
13.2 施工控制网测量	231
13.3 桥梁施工测量	237
13.4 隧道施工测量	240
思考题与习题	247

第3篇 现代测绘技术简介

第14章 全球定位系统（GPS）技术	250
14.1 概述	250
14.2 GPS定位的基本原理	254
14.3 GPS测量的方法与实施	258

思考题与习题	263
第 15 章 摄影测量与遥感	264
15.1 概述	264
15.2 摄影测量基本知识与应用	265
15.3 遥感基本知识及应用	271
思考题与习题	275
第 16 章 地理信息系统及应用	276
16.1 地理信息系统的基本概念	276
16.2 地理信息系统的组成	278
16.3 地理信息系统的应用	283
思考题与习题	286
参考文献	287

第 1 篇

测量技术与方法

第 1 章

绪 论

1.1 测量学概述

1.1.1 测量学的概念

测量学是研究地球的形状、大小及如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图，并将设计图上的建筑物测设到实地的科学。它的主要内容包括两个方面：

(1) 测定 测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据或成果，将地球表面的地形按一定比例尺缩绘成地形图，供科学研究、国防和工程建设规划设计使用。

(2) 测设 测设是指用一定的测量方法，按要求的精度，把设计图样上规划设计好的建（构）筑物的平面位置和高程在实地标定出来，作为施工的依据。

1.1.2 测绘学及其分支学科

测绘学是研究测定和推算地面的几何位置、地球形状及地球的重力场，据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布，并结合某些社会信息和自然信息的地球分布，编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科。而测量学是测绘学的一个方面。按研究的范围和对象的不同，测绘学包括以下几个主要分支学科：

(1) 大地测量学 大地测量学是一门研究地球形状、大小，地球重力场测定和按一定的坐标系建立国家统一的点位控制网，以满足测绘地形图、国防和工程建设需要的理论、技术和方法的科学。

(2) 普通测量学 普通测量学是一门研究将地球自然表面局部地区的地物和地貌按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科，属测量学的基础部分。

(3) 摄影测量学 摄影测量学是一门研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理,以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。其中航空摄影测量学是测绘中、小比例尺国家基本地形图的主要方法,现也应用到大比例尺地形图的测绘中;而近景摄影测量学已经在古建筑测绘、建(构)筑物的变形观测、动态目标测量等许多方面得到了广泛的应用。

(4) 工程测量学 工程测量学是一门研究工程建设在勘察设计、施工放样、运营管理各阶段中进行测量工作的理论和方法的学科。其主要内容包括:测绘满足工程规划和勘察设计需要的大比例尺地形图;将图样上设计的建(构)筑物轴线标定到实地上;对在施工过程中及竣工后建(构)筑物的变形进行监测。

(5) 海洋测量学 海洋测量学是一门研究地球表面水体(江河、湖泊和海洋)、港口、航道及水下地貌等测量的理论和方法的学科。

(6) 地图制图学 地图制图学是一门研究利用测量成果制作各种地图的理论、工艺和方法的学科。其研究内容包括地图编制、地图投影、地图整饰及电子地图的制作与应用。

测绘学科的应用范围和服务对象正在不断地扩大到国家经济建设和社会可持续发展以及国防建设中与地球空间信息有关的各个领域。本书为适合土木工程专业的需要主要介绍普通测量学和工程测量学中有关施工测量的基本内容。

1.1.3 发展概况

测量学是一门历史悠久的科学,早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等国家的人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器,并绘制了相当精确的全国地图。指南针于中世纪由阿拉伯人传入欧洲,并在全世界得到广泛应用,直到今天它依然是利用地磁测定方位的简便测量工具。17世纪发明望远镜后,人们利用光学仪器进行测量,使测量科学迈进了一大步。20世纪60年代以来,由于电子计算技术的飞速发展,出现了自动化程度很高的电子经纬仪、电子全站仪和自动绘图仪。80年代末以来发展了一种利用卫星定位的新技术——全球定位系统(Global Positioning System, GPS),使用GPS作业时,测量人员不受气候及地形的限制,只需要将卫星接收机安置在待测量的点位上,接收卫星信号,并使用专门的软件即可计算出该点的三维坐标。这种技术彻底的改变了传统的通过测角、量边计算地面控制点坐标的方法,极大地促进了测量学的发展。可以相信,随着现代科学技术的发展,测量科学也必然会向更高层次的自动化、数字化方向发展。

1.1.4 测量技术在国民经济建设中的作用

在国民经济建设中,测量技术的应用十分广泛。例如,铁路、公路在建造之

前,为了确定一条最经济、最合理的路线,在确定了路线大致走向的基础上,必须首先进行该地带的测量工作,由测量成果绘制带状地形图,在地形图上进行路线设计,然后将设计在图样上的路线中线位置在实地标定出来,以便进行施工。当路线跨越河流时,必须建造桥梁。造桥之前,要绘制河流两岸的地形图,测定河流的水位、流速流量和桥轴线长度等,为桥梁的设计提供必要的资料;在桥梁施工时将设计的桥台、桥墩位置用测量的方法在实地标定。当路线穿过山地需要开挖隧道时,开挖之前必须在地形图上确定隧道的位置,并由测量数据计算隧道的长度和方向;在隧道施工期间,需要根据测量成果指示开挖的方向等,使之符合设计要求。又如,城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程的建设,工业厂房和高层建筑的建造,在设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供构筑物的平面及竖向设计之用;在施工阶段,要将设计构筑物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;待工程完工,还要测绘竣工图,供日后扩建、改建、维修和城市管理应用;对某些重要的建筑物,在其施工过程中以及建成以后,还需要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。

1.1.5 本课程的学习要求

对于土木工程专业,设置本课程的主要目的是为了学习和掌握下列内容:

(1) 地形图测绘 运用测量学的理论、方法和工具,将小范围内的地物和地貌测绘成地形图,这项任务简称为测图。

(2) 地形图应用 在工程设计中,从地形图上获取设计所需要相关的资料,例如点的坐标和高程、两点之间的水平距离、地面的坡度、地块的面积、地形的断面等。

(3) 施工放样 把图样上设计好的建筑物或构筑物的平面位置及高程以规定的精度要求在实地标定出来,作为施工的依据。

(4) 变形观测 监测建筑物或构筑物在施工和运行阶段,由于受自重和外力的影响所发生的水平和垂直位移,以便采取措施,保证建筑物的安全使用。

1.2 地球的形体及测量基准

测量工作是在地球表面上进行的,地球的形状和大小直接与测量工作有关,同时测量的计算和基准面、基准线的选择有关,因此需要首先认识地球的形状及进行测量时所采用的基准。

如图 1-1a 所示,由于地球的自转,其表面质点同时受到万有引力与离心力合力即重力的影响。重力的方向线又称铅垂线,是测量上的基准线。

地球自然表面是极不平坦和不规则的,有高山、丘陵、盆地、平原、海洋等。世界最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8848.13m,最深的马里亚纳海沟低于海

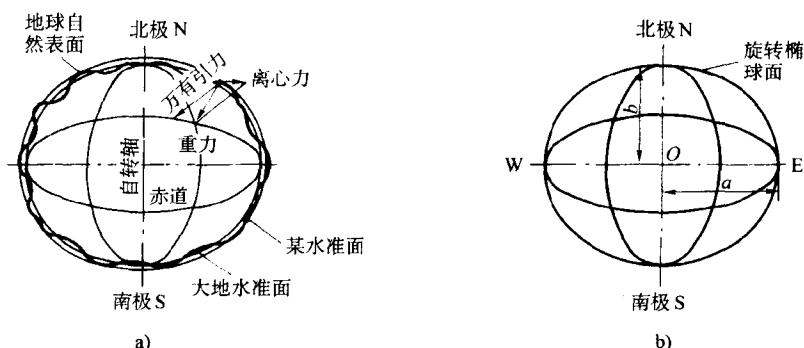


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

平面 11022m, 相对高差接近 20km, 但与地球半径 6371km 相比, 通常可以忽略不计。此外, 地球表面海洋面积约占 71%, 陆地面积仅占 29%。因此, 在考虑地球的形状时, 人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿过陆地, 形成一个闭合的曲面包围整个地球, 这个闭合的曲面称之为水准面。水准面的特性是它处处与铅垂线正交, 由于海水面有涨落变化, 符合这一特点的水准面可有无数多个, 其中通过平均海水面的那个水准面称为大地水准面, 它是测量工作的基准面。大地水准面所包围的地球形体, 称为大地体。

由于地球的内部质量分布不均匀, 地球各处引力的大小不同, 致使重力方向发生变化, 所以大地水准面实际上是一个复杂又不易用数学式表达的曲面, 如果将地球表面的图形投影到这个不规则的曲面上, 测量计算和制图将很困难, 为此选用一个非常接近大地水准面、并可用数学式表达的几何形体来代表地球的形体。这个几何形体是由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球体 (如图 1-1b 所示), 旋转椭球体又称地球椭球体, 其表面称旋转椭球面。

决定地球椭球体形状和大小的参数为椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 及扁率 α , 如图 1-1b 所示, 其关系为 $\alpha = (a - b) / a$

目前我国采用的地球椭球元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会” (IU—GG) 通过并推荐的值 $a = 6\,378\,140\text{m}$, $b = 6\,356\,775\text{m}$, $\alpha = 1:298.257$ 。

由于地球椭球体扁率很小, 当测区面积不大时, 可以把地球当作圆球来看待, 其半径 $R = (2a + b) / 3$, R 的近似值可取 6371km。

1.3 测量的坐标系统和高程系统

测量工作的实质是确定地面点的空间位置, 而地面点的位置通常需要三个量来表示, 即该点的平面 (或球面) 坐标以及该点的高程。因此必须首先了解测量

的坐标系统和高程系统。

1.3.1 坐标系统

坐标是用来确定地面点在地球椭球面或投影在水平面上的位置。表示地面点位在球面或平面的位置通常有下列三种坐标。

1. 地理坐标

在确定大范围内地面点的位置时，是以球面坐标系统来表示。用经纬度表示地面点在球面上的位置，称为地理坐标。

按坐标系所依据的基准线和基准面及测量计算坐标的方法不同又可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

(1) 天文地理坐标 天文地理坐标又称天文坐标，是用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点在大地水准面上的位置，它的基准是铅垂线和大地水准面。

如图 1-2 所示，过地面上任一点 P 的铅垂线与地轴 NS 所组成的平面称为天文子午面，过英国格林尼治 (Greenwich) 天文台的子午面称为首子午面。天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线 (或称经线)。 P 点的天文经度 λ 是指过 P 点的天文子午面与首子午面所夹的二面角。自首子午线向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经；向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的经度相同。

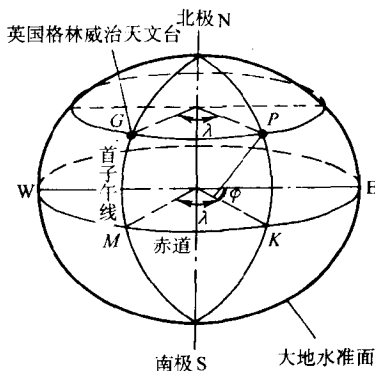


图 1-2 天文地理坐标

过 P 点垂直于地轴的平面与大地水准面的交线称为纬线，垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面，赤道面与球面的交线称为赤道。 P 点的天文纬度是指过 P 点的铅垂线与赤道面的夹角，自赤道起向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬。例如北京市中心的天文地理坐标为东经 $116^\circ 24'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

(2) 大地地理坐标 大地地理坐标又称大地坐标，是用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示地面点在旋转椭球面上的位置，它的基准是法线和旋转椭球面。 P 点的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的二面角， P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经纬度是根据一个起始的大地点 (又称大地原点，该点的大地经纬度和天文经纬度一致) 的大地坐标，再按大地测量所得的数据推算而得的。我国现采用陕西省泾阳县永乐镇大地原点为起算点，由此建立新的坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”。

天文地理坐标和大地地理坐标的不同点是各自所依据的基准面和基准线不同，前者是大地水准面和铅垂线，后者是旋转椭球面和法线。