

普通高职高专学校适用教材



电算测量技术

主编 陈 宁

西北农林科技大学出版社

普通高职高专学校适用教材

电 算 测 量 技 术

主 编 陈 宁

副主编 马俊吉 阮国杰

西北农林科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电算测量技术/陈宁主编. —杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006
ISBN 7-81092-254-8

I. 电… II. 陈… III. 计算机应用-测量 IV. P209

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 007237 号

电算测量技术

陈宁 主编

出版发行	西北农林科技大学出版社	
地 址	陕西杨凌杨武路 3 号	邮 编: 712100
电 话	总编室: 029—87093105	发行部: 87093302
电子邮箱	press0809@163.com	
印 刷	西安华新彩印有限责任公司	
版 次	2006 年 7 月第 1 版	
印 次	2006 年 7 月第 1 次	
开 本	787mm×1092mm 1/16	
印 张	22.5	
字 数	520 千字	

ISBN 7-81092-254-8/P·4

定价: 35.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系

前 言

本书为高等职业技术学院《测量学》教材，适用于农学、林学、森林管理（技术）、水利、园林技术、城乡规划、环境治理技术、资源与环境等专业，也可作为函授和自学教材。其他专业也可选学本教材的部分内容。

本书的创新点和特点是：

1. 既叙述了常规测绘仪器的使用，又反映了全站仪、GPS 和数字化测绘等新技术。与同类书籍相比，首次涉及到了经纬仪测经纬度（天文方法）及电子索查地形图图号等实用的新内容。目前，全站仪已成为测量主测仪器，本书对此也作了重点叙述。

2. 全面、详细地讲解了 Excel 电子表和 CASIO fx-4800 计算器编程计算在测量中的应用，编程程序的实例涵盖了所有测量计算。《电算测量技术》的名称由此而来。

3. 为适应社会和生产发展需要，本书将施工测量作为重点章节，较详细地叙述了建筑工程测量、整地工程测量与设计、线路施工测量及管道工程测量。加强技术技能教育，是作者的初衷。

本书体系完整，内容充实，体现了教材的成熟性、前瞻性和严谨性；文字表述力求准确流畅、通俗易懂。本书的编排结构新颖，图文并茂，同时各章都安排了思考题和实习内容，有利于教学和自学。

本书中凡后缀有（*）的章、节和大标题内容，可根据教学时数和专业特点，在保证基本教学的前提下选讲，或作为学生课外参考。

本书是集作者 30 余年经验的积累而成，因水平所限，书中如有不当和不足之处，恳请同仁批评指正，以便在今后修订时改正，使其更加完善。

陈 宁

2005.10.4 于天水

目 录

第1章 测量基础知识

1.1 测量学概述·····	1
1.2 测量发展概述*·····	2
1.3 测量工作概述*·····	4
1.4 测量基础概述·····	5
1.4.1 地面点位置的表示·····	5
1.4.2 水平面代替水准面的限度·····	11
1.4.3 地形图的认识·····	12
1.4.4 测图原理与测量工作概述·····	14
1.5 测量电算化工具概述·····	14
1.5.1 电子表简介 (Microsoft Excel) *·····	15
1.5.2 计算器·····	21
思考题·····	21

第2章 距离测量与直线定向

2.1 钢尺量距·····	23
2.1.1 地面点的标定与丈量工具·····	23
2.1.2 钢尺的检定*·····	24
2.1.3 直线定线·····	25
2.1.4 钢尺直接量距·····	26
2.2 视距测量·····	35
2.2.1 视距测量原理·····	35
2.2.2 视距测量的观测与计算·····	37
2.2.3 视距常数的测定*·····	37
2.2.4 视距测量的误差及注意事项*·····	40
2.3 光电测距*·····	42
2.4 直线定向及方位角测定·····	43
2.4.1 直线定向·····	43
2.4.2 定向仪器罗盘仪·····	45
2.4.3 方位角测定·····	46
2.4.4 经纬度测定*·····	47
思考题·····	49

第3章 水准测量

3.1	水准测量原理	51
3.2	水准仪及其使用	52
3.2.1	水准仪的分类	52
3.2.2	微倾式水准仪的构造	53
3.2.3	DSZ ₃ 自动安平原理	57
3.2.4	水准尺及尺垫	59
3.2.5	水准仪的操作	60
3.2.6	水准仪的检校	62
3.2.7	水准尺的检验	66
3.3	水准测量的实施	67
3.3.1	概 述	67
3.3.2	水准外业测量	69
3.3.3	水准内业计算	73
3.4	高程控制测量	79
3.4.1	等级(三、四等)水准测量*	79
3.4.2	三角高程测量*	87
3.5	断面测量和面水准测量*	89
3.5.1	断面测量	89
3.5.2	面水准测量	92
3.6	水准测量的误差分析*	93
3.6.1	仪器误差的影响	93
3.6.2	人为影响	94
3.6.3	环境影响	96
	思考题	99

第4章 经纬仪与角度测量

4.1	角度测量原理	101
4.2	经纬仪及其使用	102
4.2.1	经纬仪的分类和构造	102
4.2.2	经纬仪的操作	105
4.2.3	经纬仪的检校	106
4.3	水平角观测	108
4.3.1	测回法	108
4.3.2	方向观测法	112
4.4	竖直角观测	118
4.4.1	基本概念	118

4.4.2 竖角观测	120
4.5 误差分析*	120
思考题	120
第5章 小地区平面控制测量	
5.1 平面控制测量概述	124
5.2 导线测量	125
5.2.1 导线测量的外业工作	125
5.2.2 导线测量的内业工作	128
5.2.3 导线网平差	139
5.3 测角测边交会*	140
5.3.1 前方交会	140
5.3.2 侧方交会	142
5.3.3 后方交会	143
5.3.4 测边交会	147
思考题	148
第6章 大比例尺地形图测绘	
6.1 地形图及测绘前的准备	150
6.1.1 地形图概述	150
6.1.2 地形测绘的准备工作	151
6.2 地形图碎部测绘	153
6.2.1 碎部点的选择	153
6.2.2 测定碎部点位置的原理	155
6.2.3 经纬仪碎部成图	156
6.2.4 平板仪碎部成图*	158
6.3 地物测绘	160
6.3.1 地物在地形图上的表示方法	160
6.3.2 地物分类测绘要点*	164
6.4 地貌测绘	167
6.4.1 等高线及其勾绘	167
6.4.2 地貌分类测绘要点*	172
6.5 地形图的测拼与整饰	175
6.5.1 地形图分幅测拼	175
6.5.2 地形图的修测*	176
6.5.3 地形图清描整饰	177
思考题	178

第7章 地形图阅读与应用

7.1 地形图的分幅及编号	180
7.1.1 梯形分幅	180
7.1.2 矩形分幅	183
7.1.3 国家基本图的电子索查	183
7.2 地形图的阅读	187
7.2.1 地形图的图外注记	187
7.2.2 地物地貌判读	189
7.3 地形图的一般应用	190
7.3.1 求图上一点的坐标与高程	190
7.3.2 求图上两点间的方向、距离与坡度	192
7.3.3 地形图的野外应用	193
7.4 地形图在工程中的应用*	194
7.4.1 地形图在一般工程中的应用	194
7.4.2 地形图在城市规划中的应用	196
7.4.3 面积计算	197
思考题	199

第8章 施工测量

8.1 基本测设工作	200
8.1.1 施工测量概述	200
8.1.2 水平角测设	201
8.1.3 水平距离测设	202
8.1.4 高程测设	203
8.1.5 点的平面位置测设	205
8.2 建筑施工测量*	208
8.2.1 建筑场地的施工控制测量	208
8.2.2 民用建筑施工测量	212
8.2.3 工业厂房施工测量	220
8.3 整地工程测量	223
8.3.1 水平地面平整	223
8.3.2 定坡度地面平整	226
8.4 线路工程测量*	228
8.4.1 概 述	228
8.4.2 中线定线测量	231
8.4.3 曲线测设	236
8.4.4 路线纵横断面水准及竖曲线	240

8.4.5 路基施工测量	244
8.5 管道工程测量*	246
8.5.1 管道施工测量	246
8.5.2 顶管施工测量	249
8.5.3 管道竣工测量	250
思考题	251
第9章 全站型电子速测仪	
9.1 操作使用基础	253
9.1.1 概述	253
9.1.2 仪器基本操作	255
9.1.3 键盘基本操作	256
9.1.4 初始设置	262
9.2 测量方法	269
9.2.1 角度测量	269
9.2.2 距离测量	273
9.2.3 坐标测量	276
9.2.4 特殊测量*	283
9.3 施工放样与数据存储管理*	291
9.3.1 施工放样	291
9.3.2 文件数据的存储管理	297
思考题	312
第10章 全球定位系统 GPS	
10.1 3S 技术发展概况	314
10.1.1 全球定位系统 GPS	314
10.1.2 遥感技术 RS	314
10.1.3 地理信息系统 GIS	315
10.2 全球定位系统	315
10.2.1 全球定位系统概述	315
10.2.2 全球定位系统的组成	316
10.2.3 GPS 坐标系统	319
10.2.4 GPS 定位原理*	319
10.2.5 GPS 测量的实施	324
思考题	326
第11章 数字化测图 *	
11.1 数字化测图概述	327
11.1.1 基本概念	327

11.1.2	主要优点	327
11.1.3	主要缺点	328
11.1.4	数字化测图的发展及应用	328
11.2	数字化测图的硬件环境	329
11.2.1	数字测图系统硬件的组成	329
11.2.2	计算机硬件	329
11.2.3	全站型电子速测仪	330
11.2.4	电子手簿	330
11.2.5	数字化仪	330
11.2.6	扫描数字化仪	331
11.2.7	数控绘图仪	332
11.3	数字化测图的软件环境	333
11.3.1	数字化测图软件的功能	333
11.3.2	国内常用的数字化测图软件	334
11.4	数字化测图的作业流程	335
11.4.1	数据采集	335
11.4.2	数据处理	336
11.4.3	图形输出	337
	思考题	337

第12章 测量误差基础 *

12.1	测量误差概述	338
12.1.1	基本概念	338
12.1.2	观测值的算术平均值	340
12.2	衡量精度的标准	341
12.2.1	中误差	341
12.2.2	相对误差和容许误差	343
12.3	误差传播定律及权的概念*	344
12.3.1	误差传播定律	344
12.3.2	权的概念	345
	思考题	346
	主要参考文献	347

第1章 测量基础知识

1.1 测量学概述

测量学是研究测定地面点的空间位置（平面及高程），研究确定地表（整体或局部）形状与大小并测绘成图展示地形和地理信息的科学技术。

1.1.1 测量学的传统分支学科

1. 大地测量学 研究在广大地面上建立国家大地控制网，测定地球形状和大小及地球重力场的理论、技术、方法和应用的学科。

2. 普通测量学（地形测量学） 研究地表较小区域地形测绘理论和方法的学科。

3. 摄影测量学 以摄影图像和遥感手段研究测绘理论和方法的学科。

4. 工程测量学 研究工程建设在勘测、设计、施工及管理各阶段的测量理论和方法的学科。包含土木（建筑）工程测量学、交通（路桥）工程测量学、水利（渠道）工程测量学等。

现代测量学分支学科 随着“3S”即遥感（RS）、地理信息系统（GIS）与全球定位系统（GPS）技术的出现和发展，形成了“地球空间信息学”（Geomatics）和“数字地球”（Digital Earth）的概念。它涵盖地图学、控制测量、数字测图、大地测量、地理信息系统、水道测量、矿山测量、遥感等学科。

1.1.2 普通测量学的基本任务

1. 测绘 解决如何使用各种测量仪器和工具，通过实地测量与计算，将小区域地面的形状和大小，用地形图式按一定比例尺缩小绘制成地形图或平面图，为各项规划、设计提供图面技术资料。

2. 测设 解决如何将图上规划和设计好的工程或建筑物的位置，准确地放样到地面上，并作为施工的依据。

3. 测量学的本质 测量学本质上是与误差作斗争的一门学科。测量工作实质上是与误差作斗争的一项工作。

4. 测量学的作用 测量技术是国民经济、国防建设以及科学研究的尖兵——随勘测、选线、规划、设计走在生产最前面；测量技术贯穿于各项工程建设的始终——从勘查、测绘、设计、施工、安装到竣工验收。

测量学的应用范围很广：在国民经济建设上，如资源清查、整体规划、地籍确定、城乡建设、地质勘探、能源矿产、建筑土木、交通运输、电力水利等行业；在国防建设上，如战略部署、战役指挥、战术攻防、工事构筑、火力配置、敌情侦查等方面；在科学研究上，如空间科学、天体运动、地球形状、地壳运动、海陆变迁、地震预报等领域；在林业

建设中如天然林保护、生态规划建设、水土保持林营造、野生动植物保护、荒山荒地调查、小流域综合治理、森林资源清查、林区的开发、场址的选择等，都需要测图用图及测量技术。

1.2 测量发展概述*

1.2.1 世界测量技术的发展概况

公元前 3 世纪古希腊人就初步测定了地球。公元前 6 世纪古希腊的毕达哥拉斯 (Pythagoras) 就提出了地球形状的概念，在其两世纪后，亚里士多德 (Aristotle) 对此作了进一步论证，支持这一学说。又一世纪后，埃拉托斯特尼 (Eratosthenes) 用在南北两地同时观测日影的办法首次推算出地球子午圈的周长。其想法很简单，先测量地面上一段线 (子午线) 的弧长 l ，再测量该弧长所对的中心角 θ ，则地球的半径 R 就可求得为： $R=l/\theta$ ，地球子午线的周长可等于 $L=2\pi R$ 。这里关键在于如何求 θ ，为此要同时在南北两点测量竖杆、影子的长度，凭影长和杆高就可以求得两个杆子与阳光的夹角 φ_1 和 φ_2 。设在同一时刻两地的阳光相互平行，则： $\theta=\varphi_2-\varphi_1$ 。

17 世纪 (1608 年) 初开始，望远镜 (荷兰人汉斯发明) 应用于天象观测，斯纳尔创造了三角测量方法。之后，法国人将望远镜装置在全圆分度器上用于角度测量，成为现代经纬仪的鼻祖。18 世纪中期，出现了水准测量。法国地理学家毕阿士 (Buach philippe) 提出了利用等高线表示地形。19 世纪，德国人高斯提出了横圆柱正形投影，1859 年法国人洛斯塔制成地形摄影仪。1903 年飞机发明后，开创了航空摄影测量。在人类认识地球形状和大小的过程中，测量学获得了飞速的发展。例如：三角测量和天文测量的理论和技术、高精度经纬仪制作的技术、距离丈量的技术及有关理论、测量数据处理的理论以及误差理论等。在测量学发展的过程中，很多数学家、物理学家作出了巨大的贡献，如托勒密、墨卡托等。

1.2.2 我国测量技术发展概况

夏朝的简单的测量工具，春秋时期记载的地图，战国时期的“司南” (指南针)，西汉初期的已出土的“地形图”及“驻军图”，发现大气折射现象、制图理论等都是测量技术发展的重要事件。我国是世界文明古国，由于生活和生产的需要，测量工作开始得很早。春秋战国时编制了四分历，一年为 365.25 日，与罗马人采用的儒略历相同，但比其早四、五百年；南北朝时祖冲之所测的朔望月为 29.530588 日，与现今采用的数值只差 0.3 秒；宋代杨忠辅编制的《统天历》，一年为 365.2425 日，与现代值相比，只有 26 秒误差。之所以能取得这样准确的数据，在于公元前 4 世纪就已创制了浑天仪，并用它来测定天体的坐标入宿度和去极度 (相当于现代赤道坐标系统的赤经差)。汉代张衡改进了浑天仪，并著有《浑天仪图注》。元代郭守敬改进浑天仪为简仪。用于天文观测的仪器还有圭、表和复矩。用以计时的仪器有漏壶和日晷等。在地图测绘方面，由于行军作战的需要，历代帝皇都很重视，目前见于记载最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。周代地图使用很普遍，管理地图的官员分工很细。现在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 年陪葬的占长沙国地图和驻军团, 图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。西晋时裴秀编制了《禹贡地域图》和《方丈图》, 并创立了地图编制理论——《制图六体》。此后历代都编制过多种地图, 其中比较著名的有: 南北朝时谢庄创制的《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》; 北宋时的《淳化天下图》; 南宋时石刻的《华夷图》和《禹迹图》(现保存在西安碑林); 元代朱思本绘制的《舆地图》; 明代罗洪先绘制的《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《皇舆全览图》; 1934 年, 上海申报馆出版的《中华民国新地图》等。我国历代之所以能绘制出较高水平的地图, 是与测量技术的发展有关联的。我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳(常见的有地钁、云钁、和均高)、步车和记里鼓车; 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(战国时期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)。测量技术的发展也与数理知识紧密关联。公元前问世的《周髀算经》和《九章算术》都有利用相似三角形进行测量的记载。三国时魏人刘徽所著的《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, 大大促进了测量技术的发展。我国古代的测绘成就, 除编制历法和测绘地图外, 还有: 唐代在僧一行的主持下, 实量了从河南白马, 经过浚仪、扶沟到上蔡的距离和北极高度, 得出子午线一度的弧长为 132.31 km, 为人类正确认识地球作出了贡献。北宋时沈括在《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。元代郭守敬在测绘黄河流域地形图时, “以海面较京师至汀梁地形高下之差”, 是历史上最早使用“海拔”观念的人。清代为统一尺度, 规定二百里合地球上经线 1° 的弧长, 即每尺合经线上百分之一秒, 一尺等于 0.317 m。

中华人民共和国成立后, 我国测绘事业有了很大的发展。建立和统一了全国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; 完成了国家基本图的测绘工作; 完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置和高程的测量; 配合国民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, 宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机等工程的精确放样和设备安装测量。出版发行了地图 1 600 多种, 发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造方面, 从无到有, 现在不仅能生产系列的光学测量仪器, 还研制成功各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和解析测图仪等先进仪器。测绘人才培养方面, 已培养出各类测绘技术人员数万名, 大大提高了我国测绘科技水平。特别是近年来, 我国测绘科技发展更快, 例如 GPS 全球定位系统已得到广泛应用, 全国 GPS 大地网即将完成; 地理信息系统方面, 我国第一套实用电子地图系统(全称为国务院国情地理信息系统)已在国务院常务会议室建成并投入使用。这说明我国目前的测绘科技水平与国际先进水平相比, 虽然还有一定的差距, 但只要奋发图强, 励精图治, 是能迅速赶上和超过的。

测量学的发展方向: 野外作业机械化与电子化; 测量制图自动化与人性化; 资料储存数字化与微型化; 测量仪器高精度与高效化。电磁波测距仪、自动安平水准仪、电子经纬仪、电子水准仪、全站型速测仪(全站仪)、陀螺经纬仪、激光经纬仪、人卫大地测量、GPS、全数字摄影等测量仪器也将逐渐广泛使用。

1.3 测量工作概述

测量三要素 角度、距离、高程。

测量基本工作 角度测量、距离测量、高程测量，即测角、量边、求高。

测量作业 测量工作由外业和内业组成。

外业 利用大地测量仪器，在测区实测线（面）间角度、点间距离和高程，并按规范记录算出成果以及现场绘图的测量工作称外业。

内业 将外业成果在室内进行整理、计算和整饰制图的工作称内业。

1.3.1 测量工作应遵循的原则

- (1) 布局上，从整体到局部；
- (2) 精度上，由高级到低级；
- (3) 程序上，先控制后碎部。

测绘工作的技术设计 从技术上的可行、实践上的可能和经济上的合理三方面，对测绘工作进行总体策划，选定出优化方案，安排好实施计划。

控制测量 在全测区内，首先选择并标定一些有控制意义的点，组成整体控制网，各控制点位以精密的仪器和较高精度及相应的方法测定，这部分工作叫控制测量。

碎部测量 控制点位置测定后，再根据这些控制点测定其附近地物、地貌特征点的具体位置，并绘制地形图，这部分工作叫碎部测量，又叫地形碎部测绘。

测量员 实施测量工作的人员。由观测员（司仪）、记录员、立尺员、量距员（前尺手、后尺手）、绘图员等组成。

测量员的基本功 测功、算功、绘功。现在已发展到电测、电算、电绘。

测量员的素质 工作场地一般都在野外，要求测量员能够吃苦耐劳；测量工作具有协作性，要求测量员之间团结互助；测量仪器具有精密性，要求测量员要妥善保管；测量误差具有限制性，要求测量员校核精度。

对测量纪录的要求 真实、准确、完善、规范；清楚、整洁、保持原始性；不得擦改、涂改、伪造数据，只能杠改错处。

测量校核 对测量外业观测和内业计算数据的校检、验算及核对。测量工作贯穿于各项工程的始终，并直接影响地形图测绘及工程建设的质量和速度，不应有任何粗心大意，因此，测量作业中一定要有严格的校核措施。测量数据必须做到步步校核、项项校核、页页校核、天天校核。

1.3.2 测绘工作的基本步骤

- (1) 技术设计；
- (2) 控制测量；
- (3) 碎部测量；

(4) 检查验收测绘成果。

1.3.3 测量仪器使用的设备

1. 大地测量仪器 分为测角仪器(如经纬仪)、水准仪器(水准仪)、测绘仪器(平板仪);又可分为光学仪器(如光学经纬仪)和电子仪器(如电子经纬仪、电子测距仪、全站仪、全站仪);还分为常规仪器和现代仪器(如GPS全球定位系统)。

(1) 罗盘仪:代号DL,属测角仪器,有立式罗盘仪和手持罗盘仪。罗盘仪可实测地面直线的磁方位角。

(2) 水准仪:代号DS_i(微倾式)和DZS_i(自动安平式),分DS_{0.5}、DS₁、DS₃、DS₁₀等四个等级。常用水准仪为DS₃。水准仪是水准测量的专用仪器。

(3) 光学经纬仪:代号DJ_i,常用经纬仪有DJ_{0.5}、DJ₁、DJ₂、DJ₆、DJ₁₅等,地形测量和普通工程测量中常用DJ₆型经纬仪。

(4) 平板仪:代号DP,分大小平板仪两种,是测绘仪器,适宜地形碎部测绘。

(5) 全站仪:全站型电子速测仪的简称,现代电子测量仪器。可在一个站点完成测角(天顶距、水平角)、测距(斜距、平距)、测高、测坐标等多种测量任务,实现测量、存储、显示自动化,速度快,精度高。有南方、索佳、托普康等型。

2. 测量工具与用品 钢尺、皮尺、测钎、标杆(花杆)、水准尺(直尺、折尺、塔尺)、尺垫、木桩、钢钉、扎绳、测伞、温度计、弹簧秤、计算器、记录夹、规范记录纸、绘图铅笔、单面刀片、半圆仪、全圆仪、分规、直尺、三角板、圆规、曲线尺、绘图针管笔、玻璃棒、计算纸、绘图纸、描图纸、晒图纸、复印纸等。如要以计算机和电子绘图仪器成图,则需相应软件。

1.4 测量基础概述

1.4.1 地面点位置的表示

1.4.1.1 地球的形状和大小

1. 地球的形状

从整个地球来看,地球大致像一个椭球体,其表面极不规则,不便于用数学公式来表达。地球表面高低起伏,最高海拔8 844.43 m(我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰);最低海拔-11 022 m(太平洋西部的马里亚纳海沟),地球的半径大约是6 371 000 m。海洋面积占71%,陆地面积占29%左右。

2. 关于大地体的几个基本概念

(1) 大地体:把地球总的形状看作是被海水包围的球体,也就是设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面。由于海水有潮汐,时高时低,所以取其平均的海水面作为地球形状和大小的标准,它所包围的形体称为大地体(图1-1)。

(2) 重力:地球引力与离心力的合力。

(3) 水准面:静止而不流动的水面(重力等位面),是一个处处与重力方向垂直的连

续曲面。

(4) 大地水准面：通过平均海面并向陆地延伸所形成的闭合曲面。大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面（图 1-2、图 1-3）。

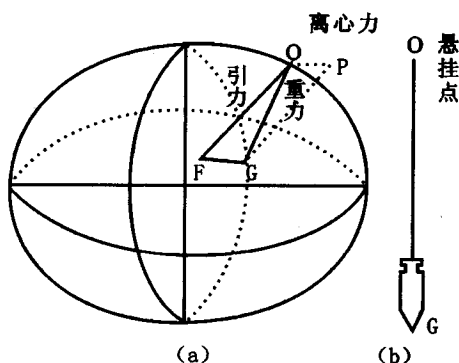


图 1-1 大地体

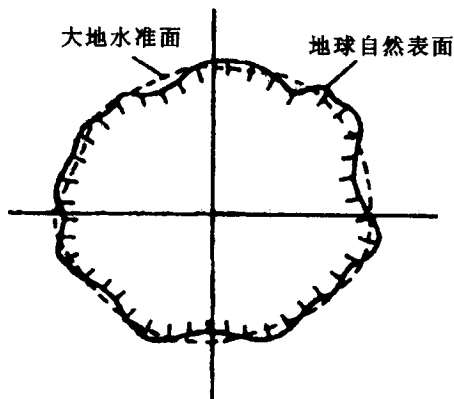


图 1-2 大地水准面与自然地表比较

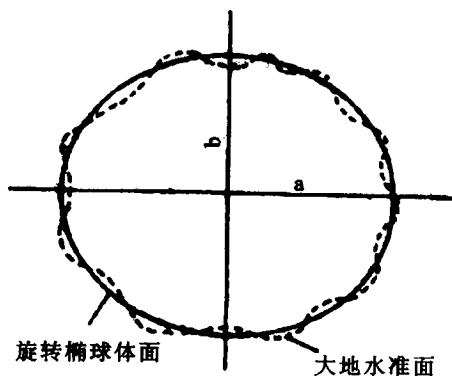


图 1-3 大地水准面与椭球面比较

(5) 重力方向：用细绳悬挂一个垂球 G（图 1-1），细绳即为悬挂点 O 的重力方向，通常称它为垂线或铅垂线方向。

3. 关于椭球体的几个基本概念

(1) 参考（旋转）椭球体：与大地体形状十分近似的以椭圆短轴为旋转轴的旋转椭球体，它是一个可以用数学语言描述的规则体。

(2) 参考椭球面：参考（旋转）椭球体的球面。

(3) 参考椭球体的定位：确定椭球体与大地体之间的相互关系并固定下来。

(4) 椭球体的元素：

长半轴：a；短半轴：b；扁率： $f = \frac{a-b}{a}$ （表 1-1）

4. 椭球面和大地水准面与自然地表面的比较 (图 1-2、图 1-3)。

表 1-1 椭球元素表

元素推算者	长半轴 (m)	短半轴 (m)	扁率	国家和年代
IUGG	6 378 140	6 356 755.3	1:298.257	IUGG1975
IUGG	6 378 237	6 356 752	1: 298.257	IUGG1980
中国	6 378 143	6 356 758	1:298.255	中国 1978

IUGG: 国际大地测量与地球物理联合会

1.4.1.2 大地坐标系

1. 点的位置的表示

地面上的物体基本上都具有空间形状, 一个点在空间的位置, 需要三个量来确定, 通常用该点在基准面 (参考椭球面) 上的投影位置和该点沿投影方向到基准面 (一般实用上是大地水准面) 的距离来表示。

2. 大地坐标 (地理坐标, 图 1-4)

(1) 大地经度: 通过某点的子午面 (NPS) 与起始子午面 (NP_0S) 的夹角称为该点的大地经度。用 λ 表示。

(2) 大地纬度: 通过地面上任一点 P 的铅垂线 PO 与赤道面的夹角, 用 φ 表示。

3. 经纬度的划分

经纬度划分为: 东经、西经; 北纬、南纬。

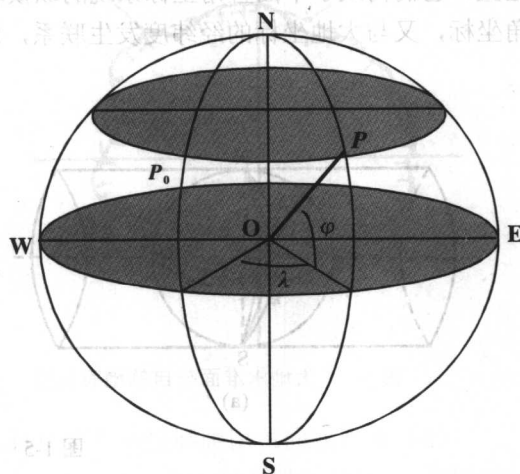


图 1-4 地理坐标

1.4.1.3 空间三维坐标系 *

(1) 地心坐标系: 地心坐标系是以地球质心为坐标原点, 以地轴为 Z 轴, 正向指向北极; XY 平面与赤道面重合, X 轴指向起始子午面。

(2) 参心坐标系: 参心坐标系是以参考椭球体的中心为坐标原点, 以椭球修整轴 (短轴) 为 Z 轴, 正向指向北极; XY 平面与赤道面重合, X 轴指向起始子午面。坐标系的原点设在椭球的中心 O , 用相互垂直的 X 、 Y 、 Z 三个轴表示, X 轴通过起始子午面, Z 轴为椭球旋转轴。

1.4.1.4 平面直角坐标系

1. 高斯投影

(1) 问题的提出: 测区范围较小时, 可把地球表面的一部分当作平面看待, 所测得