



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代测量学

■ 李天文 编著



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代测量学

李天文 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者在多年从事测量教学与应用研究的基础上撰写而成的。全书共 11 章：第 1 章至第 5 章及第 8 章和第 9 章主要介绍了测量学的基本理论和方法；第 6 章介绍了全站仪的基本原理、使用及检验；第 7 章介绍了 GPS 定位技术；第 10 章介绍了传统及数字化大比例尺地形图测绘；第 11 章介绍了测量学的应用内容。本书以大比例尺地形图测绘为主线，以现代测绘技术为核心，在阐述测量学基本理论、基本方法的基础上，不仅介绍了数字化测图的理论及方法，而且还介绍了建筑工程测量、线路工程测量、隧道工程测量和变形测量等内容。

本书既可作为高等学校 GIS 专业及相关专业的教材，也可供测绘专业技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代测量学/李天文编著. —北京：科学出版社，2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-018508-2

I. 现… II. 李… III. 测量学-高等学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 014391 号

责任编辑：杨 红 李久进/责任校对：邹慧卿

责任印制：张克忠/封面设计：卢秋红

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 2 月第 一 版 开本：B5 (720×1000)

2007 年 2 月第一次印刷 印张：17 3/4

印数：1—4 000 字数：331 000

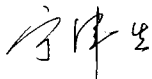
定价：30.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈长虹〉)

序

测量学是我国测绘工程类专业、地理信息系统专业及其他相关专业开设的一门专业基础课。长期以来，测量学主要是以传统测绘学理论、方法及仪器为讲授内容，学生通过对该课程的学习，不但对测量学概念和理论以及具体的测量方法有了初步的理解，而且可以应用所学理论及方法解决生产实践中的一些具体问题。随着以“3S”（GPS、RS、GIS）技术为代表的测绘新技术的出现和发展，测绘学在理论及方法上有了巨大的变革，这种变革促使现代测绘学科的理论及方法不断完善。因此，传统的测量学课程内容已不能适应测绘新技术的发展和国民经济建设的要求，我国设置测绘专业和进行测量学教学的高等院校纷纷对测量学课程进行了相应的改革。在这种情况下，西北大学的李天文教授根据自己多年从事测量工作的教学、科研与实践经验，并结合测绘新技术的发展现状，在原有测量学讲义的基础上编写成了这本《现代测量学》。该书有别于传统测量学课程的体系和内容，既增加了测绘新技术在测量学中的应用内容，又顾及原有测量学的基本理论、基本方法及基本测量仪器的介绍，从而使地形测量由白纸测图向数字测图过渡。作为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，该书适用于非测绘工程类专业测量学课程的教学，其内容体系编排合理，脉络清晰，基本理论、基本方法及应用三部分内容搭配得当，使学生学习之后，能全面了解测量学的基本理论、仪器使用、实际作业和在相关行业中的应用，从而适应了当前我国高等教育课程改革的新形势、新要求。

全国高等学校测绘学科教学指导委员会主任
武汉大学教授、中国工程院院士



2006年10月

前 言

测量学是地理信息系统专业、测绘工程专业及其他相关专业的专业基础课，也是学生学习其他测绘课程的基础。本书对传统测量学的内容进行了提炼精化，并结合测绘新技术的发展编写而成。在教学内容上既增加了测绘新技术在测量学中的应用内容，又考虑到常规的测量理论、方法及仪器的介绍，从而实现了从地形测图向数字化、自动化、智能化测图的过渡。全书以大比例尺地形测量为主线，在阐述测量学基本理论、基本方法的基础上，不仅介绍了利用现代测绘技术进行数字化测图的理论与方法，而且还介绍了建筑工程测量、线路工程测量、隧道工程测量及变形监测等内容。

全书共分 11 章，其主要内容包括：测量学的基本理论、水准测量、角度测量、距离测量、全站仪检定及使用、GPS 测量定位技术、测量误差理论、控制测量、地形测量和测量学的基本应用等内容。每章均附有习题，便于学生在课堂学习的基础上，全面理解本章的学习要点，做到理论联系实际，以达到更好的学习效果。

本书在编写中得到了学校多方面的支持。其中龙永清参加了第 9、10、11 章的编写，冯丽丽参加了第 3、10 章的编写，程一曼、薛山成、陈靖、白巧霞、韩羽等同学在编写中也做了大量的工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者
2006 年 10 月于西北大学

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 测绘学的任务及作用	1
1.2 测量学的目的及要求	2
1.3 测量学的发展及现状	3
习题	4
第 2 章 测量学的基本知识	5
2.1 地球形状与地球椭球体	5
2.1.1 地球的形状及大小	5
2.1.2 地球椭球体	5
2.2 地面点位的确定	7
2.2.1 地理坐标系	7
2.2.2 大地坐标系	7
2.2.3 空间直角坐标系	8
2.2.4 平面直角坐标系	8
2.2.5 高斯投影及高斯平面直角坐标系	9
2.2.6 高程系统	11
2.3 WGS-84 坐标系	12
2.4 用水平面代替水准面的范围	13
2.4.1 对水平距离的影响	14
2.4.2 对水平角度的影响	15
2.4.3 对高程的影响	15
2.5 测量工作概述	16
习题	16
第 3 章 水准测量	17
3.1 水准测量原理	17
3.2 微倾水准仪及水准尺	19
3.2.1 望远镜	19
3.2.2 水准器	20
3.2.3 水准尺	22

3.2.4	尺垫及尺桩	24
3.3	常规水准仪的使用	24
3.4	激光水准仪及数字水准仪	26
3.4.1	激光水准仪	26
3.4.2	数字水准仪	27
3.5	水准路线测量	28
3.5.1	水准路线的布设	28
3.5.2	水准测量外业施测	29
3.6	水准测量误差分析	32
3.6.1	仪器误差	32
3.6.2	观测误差	34
3.6.3	外界条件的影响	35
3.7	水准仪的检验与校正	36
3.7.1	水准仪应满足的基本条件	36
3.7.2	检验与校正	37
3.7.3	自动安平水准仪补偿器性能检验	42
	习题	42
第4章	角度测量	44
4.1	角度测量原理	44
4.1.1	水平角测量原理	44
4.1.2	垂直角测量原理	44
4.2	光学经纬仪	45
4.2.1	光学经纬仪的基本构造	45
4.2.2	光学经纬仪的使用	48
4.3	电子经纬仪	50
4.3.1	编码度盘测角系统	50
4.3.2	光栅度盘测角系统	51
4.4	水平角测量	53
4.4.1	观测前的准备	53
4.4.2	测回法	53
4.4.3	方向观测法	54
4.5	竖直角测量	56
4.5.1	竖盘的构造	56
4.5.2	竖角(高度角)的计算	57
4.5.3	指标差的计算	58
4.5.4	竖角的观测	59

4.6	角度测量误差分析	60
4.6.1	仪器误差	60
4.6.2	对中误差及目标偏心误差	62
4.6.3	照准误差与读数误差	63
4.6.4	外界条件的影响	64
4.7	经纬仪的检验与校正	64
4.7.1	经纬仪应满足的几何条件	64
4.7.2	经纬仪的检验与校正	65
	习题	69
第5章	距离测量	71
5.1	钢尺量距	71
5.1.1	量距工具	71
5.1.2	直线定线	72
5.1.3	距离丈量	73
5.1.4	钢尺检定	75
5.2	钢尺量距成果化算	75
5.2.1	尺长改正	75
5.2.2	温度改正	75
5.2.3	倾斜改正	76
5.2.4	距离改正算例	76
5.3	视距测量	77
5.3.1	视线水平时的视距公式	78
5.3.2	视线倾斜时的视距测量	80
5.3.3	视距常数的测定	81
5.4	电磁波测距	81
5.4.1	电磁波测距的基本原理	81
5.4.2	脉冲式光电测距仪	82
5.4.3	相位式光电测距仪	83
5.4.4	距离测量	85
5.4.5	测距边改正计算	86
5.5	直线定向	87
5.5.1	直线定向的方法	88
5.5.2	正、反坐标方位角及其推算	90
	习题	91
第6章	全站仪	93
6.1	全站仪的基本组成及分类	93

6.1.1	全站仪的基本组成	93
6.1.2	全站仪的分类	94
6.2	全站仪的使用	94
6.2.1	SET2110 型全站仪	94
6.2.2	测量前的准备	97
6.3	全站仪在测量工作中的应用	100
6.3.1	后方交会测量	100
6.3.2	放样测量	101
6.3.3	偏心测量	102
6.3.4	对边测量	103
6.3.5	悬高测量	104
6.4	全站仪测距误差检定	104
6.4.1	仪器外观及功能检查	105
6.4.2	测距轴与视准轴吻合性及测程的检定	105
6.4.3	调制光波相位不均匀性误差及幅相误差检定	106
6.4.4	测尺频率的检定	108
6.4.5	周期误差的检定	108
6.4.6	仪器常数的测定	110
6.5	全站仪测角误差检定	112
6.5.1	补偿器零点差的调整	113
6.5.2	照准部旋转时基座位移产生的误差检定	113
6.5.3	全站仪其他检查项目	114
	习题	115
第7章	GPS 定位技术	116
7.1	概述	116
7.2	GPS 系统的组成	117
7.2.1	空间星座部分	117
7.2.2	地面监控部分	119
7.2.3	用户设备部分	120
7.3	GPS 定位原理	121
7.3.1	GPS 绝对定位原理	121
7.3.2	GPS 相对定位原理	122
7.3.3	静态相对定位的观测方程及其解算	125
7.4	差分 GPS 测量原理	131
7.4.1	伪距差分原理	132
7.4.2	位置差分原理	132

7.4.3	载波相位差分原理	133
7.5	GPS 卫星信号接收机	137
7.5.1	GPS 卫星信号接收机的分类	137
7.5.2	GPS 接收机的组成	140
7.6	GPS 测量外业实施	144
7.6.1	GPS 点的选择	144
7.6.2	外业观测	146
7.6.3	数据预处理	148
7.6.4	观测成果外业检核	150
7.6.5	野外返工	151
7.6.6	GPS 网平差处理	151
7.7	技术总结与上交资料	152
7.7.1	技术总结	152
7.7.2	上交资料	153
	习题	153
第 8 章	测量误差基本理论	154
8.1	测量误差的概念	154
8.1.1	误差产生的原因	154
8.1.2	测量误差的分类	155
8.2	偶然误差的特性	156
8.3	评定精度的标准	158
8.3.1	中误差	158
8.3.2	极限误差	162
8.3.3	相对误差	162
8.4	误差传播定律	163
8.5	不同精度观测值的直接平差	165
8.5.1	权的概念	165
8.5.2	测量中确定权的方法	166
8.5.3	不同精度观测值的最或是值(加权算术平均值)计算	168
8.5.4	不同精度观测的精度评定	168
	习题	170
第 9 章	控制测量	172
9.1	控制测量概述	172
9.1.1	控制测量作用及原则	172
9.1.2	国家控制网	172
9.1.3	工程控制网	176

9.2	地方坐标系及坐标系统转换	178
9.2.1	地方独立坐标系	178
9.2.2	国家坐标系	179
9.2.3	坐标系统转换	180
9.3	平面控制测量	182
9.3.1	概述	182
9.3.2	导线测量的外业	183
9.3.3	导线测量的内业计算	184
9.3.4	三角测量	190
9.3.5	前方交会法	192
9.3.6	侧方交会法	194
9.3.7	距离交会法	194
9.3.8	后方交会法	194
9.4	高程控制测量	196
9.4.1	三、四等水准测量	196
9.4.2	三角高程测量	198
	习题	202
第 10 章	大比例尺地形图测绘	204
10.1	地形图的基本知识	204
10.1.1	地形图概念	204
10.1.2	地形图的比例尺	205
10.2	地形图的符号	206
10.2.1	地物符号	206
10.2.2	地貌符号	208
10.3	地形图的分幅编号及图廓注记	213
10.3.1	正方形或矩形分幅编号及图廓注记	213
10.3.2	梯形分幅编号及图幅注记	214
10.4	传统大比例尺地形图测图	217
10.4.1	测图前基本工作	217
10.4.2	几种常规测图方法	218
10.5	数字化测图	221
10.5.1	概述	221
10.5.2	野外数据采集方法	223
10.5.3	计算机成图	225
	习题	233

第 11 章 测量学的基本应用	234
11.1 建筑施工测量	234
11.1.1 建筑场地的施工控制测量	234
11.1.2 民用建筑施工测量	237
11.1.3 工业建筑施工测量	240
11.2 线路工程测量	242
11.2.1 带状地形图测绘	242
11.2.2 圆曲线的测设	244
11.2.3 有缓和曲线的圆曲线的测设	246
11.2.4 竖曲线的测设	249
11.3 隧道工程测量	250
11.3.1 隧道工程地面控制测量	250
11.3.2 隧道施工测量	252
11.3.3 隧道(巷道)的贯通测量	258
11.4 变形监测	262
11.4.1 变形监测的内容、目的及意义	262
11.4.2 变形监测的特点和方法	263
11.4.3 建筑物(构筑物)变形观测系统	264
11.4.4 建筑物沉降观测	265
11.4.5 变形分析	267
11.4.6 变形测量成果整理	268
习题	269
主要参考文献	270

第 1 章 绪 论

1.1 测绘学的任务及作用

测绘科学主要研究对象是地球的形状、大小,地球重力场,地球表面的地形、地貌及地物的几何形状和其空间位置,并将地球表面的地形及其他信息测绘于图纸上,以便各行各业使用。随着测绘科学的不断发展,技术手段的不断更新,以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)为代表的测绘新技术的迅猛发展和应用,测绘学的产品基本已由传统的纸质地图转变为“4D”(数字高程模型 DEM,数字正射影像 DOM,数字栅格地图 DRG,数字线划地图 DLG)产品。

“4D”产品在网络技术的支持下,成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基础,从而增强了数据的共享性,为相关领域的研究工作及国民经济建设的各行业、各部门应用地理信息带来了巨大的方便。目前,测绘学可分为以下几个分支学科:大地测量学、工程测量学、摄影测量学、海洋测量学和地图学等。

1. 大地测量学

大地测量学主要是研究地球的形状及大小、地球重力场、地球板块的运动、地球表面点的几何位置及其变化的科学。大地测量学是整个测绘学科各个分支的理论基础,也是开展其他测绘工作的前提。它的基本任务是建立高精度的地面控制网及重力水准网,不但为各类工程施工测量及摄影测量提供依据,而且也在地形测图及海洋测绘提供控制基础,同时也为研究地球形状及大小、地球重力场及其分布、地球动力学研究、地壳形变及地震预测提供精确的位置信息。

2. 工程测量学

工程测量学主要是研究在工程施工和资源开发利用中的勘测设计、建设施工、竣工验收、生产运营、变形监测和灾害预报等方面测绘理论与技术。工程测量的特点是应用基本的测量理论、方法、技术及仪器设备,并结合具体的工程特点采用具有特殊性的施工测绘方法。它是大地测量学、摄影测量学及地形测量学的理论与方法在具体工程中的应用。

3. 摄影测量学

摄影测量学又可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面立体摄影测量、遥感测量。

摄影测量学是研究影像及遥感信息与被测物体之间内在的几何和物理关系,并进行分析、处理和解译,以确定被测物体的形状、大小、性质及空间位置的一门学科。

摄影测量是一种快速获取地球表面上地貌及地物影像的技术,在通信技术、GIS技术的支持下,可以实时地获取地物、地貌的相关信息,并形成数字地图。利用遥感技术(电磁波、光波及热辐射)亦可快速获取地球表面、地球内部、环境景象及天体等传感目标的信息信号,它在农业调查、土地性质分析、植被分布调查、地下资源探测、气象及环境污染监测、文物考古及自然灾害预测中应用非常广泛。

4. 海洋测量学

海洋测量学是以海洋水体及海底地形为对象,研究海洋定位,测定海洋大地水准面及平均海面、海面及海底地形、海洋重力及磁力等自然及社会信息的地理分布,并编制成各种海图的理论与技术的学科。

5. 地图学

地图学是以地图信息传递为中心,研究地图的基本理论、地图制作技术和地图应用的综合性科学。

地图学是由地图理论部分、地图制图方法及地图应用三大部分组成。地图是测绘工作的重要产品形式之一。地图学科的不断发展,促使地图产品从模拟地图向数字地图转化,从二维静态向三维立体、四维动态转变。计算机制图技术及地图数据库的不断完善,促使了地理信息系统(GIS)的产生,数字地图的发展和应用领域的不拓宽,为地图学的发展及地图应用开辟了新的前景。

测量学是测绘工程专业、地理信息系统专业及相关专业的一门专业基础课。测量学是研究地球表面局部区域测量的基本理论、技术、方法及其应用,它是将局部区域地球球面近似地当作平面,无须顾及地球曲率的影响,对地球表面的地物及地貌进行测绘,因此,测量学也称普通测量学或地形测量学。

1.2 测量学的目的及要求

随着测绘技术的不断发展,测绘新产品及新仪器的不断生产,传统的测量手段已逐步被现代测量手段所代替,传统的白纸测图被数字测图所取代。

数字测图是利用GPS测量技术或全站仪在野外进行数字化地形数据采集,并在成图软件的支持下,利用计算机进行加工处理,以获得数字地形图的方法。数字测图的成果可以通过网络实现远距离传输,实现多方数据共享,并以数字形式存储于计算机存储介质上的数字地图,亦可通过数控绘图仪输出传统的纸质地形图。

数字测图的实现使得地形测图实现了自动化、数字化,从而完全改变了传统测图的手工作业模式。数字测图在成图过程中,不仅速度快、精度高,而且不受图幅

的限制,便于使用和管理,并可直接为地理信息系统的建立提供基础信息。

测量学课程不但是地理信息系统专业的专业基础课,而且也是测绘专业及其他相关专业的专业基础课。

学习测量学课程的目的是:掌握测量学的基础知识及理论,具有使用常规测量仪器的基本技能;在学习大比例尺测图的基本原理、方法及技能的基础上,掌握利用 GPS 测量技术及全站仪进行数字测图的整个过程,并能利用测量的基本理论、方法及技能对测量数据进行正确处理;掌握基本的施工测量方法及过程,不但能在一般工程建设规划、设计和施工中正确使用测绘成果,而且能使用测量仪器进行一般工程的施工放样工作。

由于测量学是一门综合性极强的实践性课程,要求学生在掌握基本理论及方法的基础上,应具备动手操作测量仪器的技能。因此,在教学过程中,除了课堂讲授外,必须安排一定量的实习及实验,以便巩固和深化所学知识,这对掌握测量学的基本理论及技能,建立控制测量和地形图测绘的完整概念是十分有效的,同时也是掌握利用现代测绘仪器进行数字地形图测绘的必要过程。通过实习可以培养学生分析问题和解决问题的能力,并为利用所学理论与技能解决相关问题打下坚实的基础。

1.3 测量学的发展及现状

我国是世界四大文明古国之一,测绘科学技术有着悠久的历史。相传在上古时代,就有夏禹在黄河两岸利用简单工具进行测量治理水患的传说,该时期所铸的“九鼎”即象征中国九洲的原始地图,《史记·夏本记》中所记载的“左准绳”、“右规矩”,就是对大禹治水时测量情景的描述。公元前 7 世纪左右,管仲所著《管子》一书中就收集了早期的地图 27 幅。战国时期发明的指南针,促进了古代测绘技术的发展。1973 年长沙马王堆西汉古墓出土的 3 幅《帛地图》是目前世界上保存最早的地图。西晋裴秀所著的《制图六体》,是一部世界最早较系统的测绘地图的规范。唐朝刘遂等人,在河南滑县至上间实测了一段长达 351 里 80 步(唐代 1 里为 300 步)的子午线弧长,并用日圭测太阳的阴影来确定纬度,是世界上最早的子午线弧长测量。宋代的沈括曾用水平尺、罗盘进行地形测量,创立了分层筑堰的方法,并且制作了表示地形的立体模型,比欧洲最早的地形模型早 700 余年。元代郭守敬创造了多种天文测量仪器,在全国进行了大规模的天文观测,共实测了 72 个点,并首创以海平面为基准来比较不同地点的地势高低。明代郑和 7 次下西洋,绘制了中国第一部《航海图》。清康熙新定以二百里折合地球子午线一度(清代 1 度为 1800 尺,1 尺折合经线长度为 0.01 秒)为世界上以经线弧长作为长度标准之始,并于 1781 年完成了《皇舆全图》。

到 20 世纪,我国开始采用了一些新的测量技术,但将测量作为一门现代科学,还是在新中国成立后才得以迅速发展。50 余年来,我国测绘工作的主要成就是:

①在全国范围内(除台湾省)建立了高精度的天文大地控制网,建立了适合我国的统一坐标系——1980年西安坐标系。20世纪90年代,利用GPS测量技术建立了包括AA级、B级在内的国家GPS网,21世纪初对喜马拉雅山进行了重新测高,并测得其主峰海拔高程为8844.43m。②完成了国家基本地形图的测绘,测图比例尺也随着国民经济建设的发展而不断增大,城市规划、工程设计都使用了大比例尺的地形图。测图方法也从常规经纬仪、平板仪测图发展到全数字摄影测量成图和GPS测量技术及全站仪地面数字成图。编制并出版了各种地图、专题图,制图过程实现了数字化、自动化。③制定了各种测绘技术规范(规程)和法规,统一了技术规格及精度指标。④建立了完整的测绘教育体系,测绘技术步入世界先进行列,研制了一批具有世界先进水平的测绘软件,如全数字摄影测量系统——Virtuo Zo,面向对象的地理信息系统——GeoStar(吉奥之星),地理信息系统软件平台——MapGIS,数字测图系统——清华三维的EPSW、武汉瑞得的RDMS、南方的CASS、广州的SCSG2002等,使测绘数字化、自动化的程度越来越高。⑤测绘仪器生产发展迅速,不仅可生产出各等级的经纬仪、水准仪、平板仪,而且还能批量生产电子经纬仪、电磁波测距仪、自动安平水准仪、全站仪、GPS接收机、解析测图仪等。测绘技术及手段不断发展,传统的测绘技术已基本被现代测绘技术(GPS、RS、GIS,简称“3S”)所代替;测绘产品应用范围不断拓宽,并可向用户提供“4D”(DEM、DOM、DLG、DRG)数字产品。

测绘工作十分精细严谨,其测绘成果、成图质量的优劣将直接对国民经济建设有重大影响。为了使测绘成果更好地服务于国民经济建设的各行业,必须努力学习,勇于实践,在学好传统测绘理论与技术的基础上,掌握现代测绘理论与技术,发扬测绘技术人员的真实、准确、细致、及时完成任务的优良传统,只有这样才能使我国的测绘事业不断发展,测绘水平不断提高,测绘成果应用领域不断拓宽。

习 题

1. 什么叫测量学? 测量学的任务有哪些?
2. 测量学研究的内容是什么?
3. 论述测量学的发展。

第2章 测量学的基本知识

2.1 地球形状与地球椭球体

由于测量学的基本任务是将地球表面的地物和地貌测绘成地形图,因此确定地面点的位置亦是测量学最基本的任务。地面点位置的确定必须建立一个基准框架,而要建立基准框架,就必须了解地球的形状及地球椭球体。

2.1.1 地球的形状及大小

由于测量工作是在地球自然表面上进行的,而地球自然表面的形状非常复杂,有高山、丘陵、平原、河谷、湖泊及海洋。世界上最高的山峰珠穆朗玛峰高达8844.43m,而太平洋西部的马里亚纳海沟则深达11 022m,但这些同地球的平均半径(约6371km)相比是微不足道的。而且地球表面海洋面积约为71%,陆地面积仅占29%。因此,可以把地球形状看作是被海水包围的球体,也就是假设一个静止的海水面向大陆延伸所形成的一个封闭的曲面,这个静止的海平面称之为水准面。水准面有无穷多个,其中与平均海水面重合的一个水准面称为大地水准面。大地水准面向大陆内部延伸所包围的形体叫大地体。

水准面具有处处都与铅垂线方向正交的特性。铅垂线方向又称重力方向,而重力又是地球引力与离心力的合力(图2-1)。

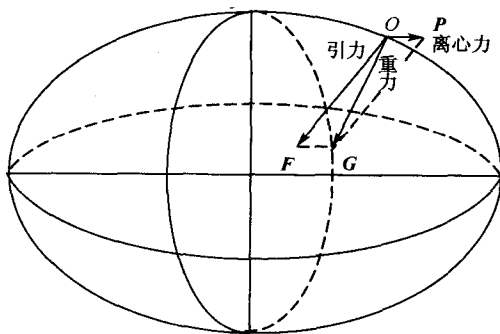


图2-1 引力、离心力及重力

2.1.2 地球椭球体

地球内部物质分布的不均匀性,使得地面上各点铅垂线方向产生不规则的变