

第2版

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



工程测量

牛全福 党星海 郑加柱 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

交通版

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TU

第2版

工程测量

Gongcheng Celiang

牛全福 党星海 郑加柱 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



内 容 提 要

本书是交通版高等学校土木工程专业规划教材之一,全书共为16章,重点介绍基本理论、基本知识、基本技能。

第一~六章主要介绍测量学基础知识;第七章为小区域控制测量;第八章主要介绍现代测绘技术GNSS的原理及应用;第九章为大比例尺数字地形图测量;第十~十六章主要介绍土木工程专业各工程方向的应用测量技术。

本书可作为普通高等学校土木类、建筑类、水利类、农林类各专业教材,也可供相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 牛全福,党星海,郑加柱主编. —2版
—北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.2

交通版高等学校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-114-13424-1

I. ①工… II. ①牛… ②党… ③郑… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 261675 号

交通版高等学校土木工程专业规划教材

书 名:工程测量(第二版)

著 作 者:牛全福 党星海 郑加柱

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:21.25

字 数:529千

版 次:2006年1月 第1版 2017年2月—第2版

印 次:2017年2月 第1次印刷 累计第7次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13424-1

定 价:46.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

(第二版)

主任委员: 戎 贤

副主任委员: 张向东 李帼昌 张新天 黄 新
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民
黄炳生

委 员: 彭大文 张俊平 刘春原 张世海
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长: 张征宇

(第一版)

主任委员: 阎兴华

副主任委员: 张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘
宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员: 彭大文 林继德 张俊平 刘春原
党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长: 张征宇

随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平 and 质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路。于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善,适用性、准确性存在问题,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年底启动了该套教材的修订工作。

这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31种课程,涵盖了土木工程专业的专业基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、正确性和适应性,专业课教材原则上按课、组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社股份有限公司

前言(第二版)

QIANYAN



承蒙广大读者的厚爱,2006年出版的本教材已重印多次,广泛地用于土木工程、水利水电、建筑学、给排水工程、工程管理等专业的本科教学、科研和生产。作为本书的作者,既感欣慰、又有不安,欣慰的是我们的劳动成果得到认可,不安的是教材中还有许多不足之处。为此,我们总结教材在使用过程中存在的问题,对教材进行了修订和完善,以使得工程测量内容的先进性、科学性和新颖性得到更好地体现。其中改动较大的内容包括:

第一章对部分内容重新做了梳理,增加了测绘学研究内容、任务。第二章对水准测量的方法和成果进行整理,并重新作了编排,将原书部分内容进行合并和增删,增加了水准测量的基本概念、三四等水准测量(原书在第八章)、水准尺的检验与校正、误差减弱措施以及数字水准仪的内容。第八章对GPS测量的内容作了修改,增加了网形设计、外业工作、成果检核和数据处理等内容。将原书的第九、十一章合并为本书第九章,并将原书第十章的地形图分幅内容整合,同时增加了地面三维激光扫描仪和数字摄影测量地形测图的内容。第十章新增了数字高程模型的内容,并对地理信息系统内容进一步梳理。

另外,全书其余章节的内容也做了部分修订,对全书的语言文字作了较大的修改,介绍更清楚、准确、明了和完善。

本书第二版的修订由兰州理工大学牛全福、党星海、南京林业大学郑加柱担任主编,参与修订的有:青岛理工大学郭宗河、兰州理工大学魏玉明、杨鹏源、张秀霞、孔令杰、凌晴、李旺平,西南石油大学杨艳梅,浙江水利水电学院黄伟朵,山东农业大学赵立中,西北民族大学索俊锋,甘肃农业大学鄢继选,兰州城市勘察研究院杨正华,甘肃省基础地理信息中心李克恭,新疆石河子大学陈伏龙。

本书部分修订的内容来自所列参考文献,未作一一标定,在此谨向原作者表示感谢。

作 者

2017年1月

目录

MULU



第一章 绪论	1
第一节 测绘学简介	1
第二节 测绘学发展概况	3
第三节 地球形状和大小	5
第四节 测量坐标系	7
第五节 用水平面代替水准面的限度	13
第六节 测量工作的组织实施	14
思考题	16
第二章 水准测量	17
第一节 水准测量原理	17
第二节 水准测量仪器与工具	19
第三节 水准测量方法与成果计算	23
第四节 三、四等水准测量	30
第五节 水准仪和水准尺的检验与校正	33
第六节 水准测量误差及减弱措施	36
第七节 自动安平水准仪与精密水准仪	38
第八节 数字水准仪	41
思考题	42
第三章 角度测量	44
第一节 角度测量原理	44
第二节 光学经纬仪	45
第三节 水平角测量	50
第四节 竖直角测量	55
第五节 经纬仪的检验与校正	57
第六节 角度测量误差分析	61
第七节 激光经纬仪与电子经纬仪	63
思考题	65

第四章 距离测量与直线定向	67
第一节 钢尺量距	67
第二节 视距测量	71
第三节 电磁波测距	75
第四节 直线定向	84
思考题	92
第五章 全站仪及其使用	94
第一节 全站仪概述	94
第二节 全站仪的操作使用	95
第三节 全站仪在工程测量中的应用	101
思考题	103
第六章 误差理论的基础知识	104
第一节 测量误差概述	104
第二节 评定精度的标准	108
第三节 误差传播定律及应用	109
第四节 等精度独立观测量的最可靠值与精度评定	111
第五节 不等精度独立观测量的最可靠值与精度评定	113
思考题	115
第七章 小区域控制测量	117
第一节 平面控制测量	117
第二节 导线测量	121
第三节 交会测量	132
第四节 三角高程测量	136
思考题	140
第八章 卫星定位系统	143
第一节 概述	143
第二节 GPS 的组成	143
第三节 GPS 定位基本原理	146
第四节 GPS 测量实施的基本方法	151
第五节 我国北斗卫星定位系统	155
思考题	155
第九章 大比例尺地形图测绘	156
第一节 地形图的基本知识	156
第二节 大比例尺地形图的测绘方法	166
第三节 地面三维激光扫描仪地形测图	176
第四节 数字摄影地形测量	180

第五节 地籍测绘简介·····	183
思考题·····	186
第十章 地形图的应用·····	188
第一节 地形图识图·····	188
第二节 地形图应用的基本内容·····	191
第三节 工程建设中地形图的应用·····	193
第四节 数字高程模型(DEM) ·····	201
第五节 地理信息系统简介·····	208
思考题·····	213
第十一章 施工测量原理与方法·····	215
第一节 施工测量概述·····	215
第二节 测设的基本工作·····	217
第三节 地面点平面位置的测设·····	221
思考题·····	223
第十二章 建筑工程施工测量·····	225
第一节 建筑工程测量概述·····	225
第二节 建筑施工控制测量·····	226
第三节 民用建筑施工测量·····	231
第四节 工业厂房施工测量·····	237
第五节 高层建筑施工测量·····	244
第六节 竣工总平面图的编绘·····	247
思考题·····	247
第十三章 线路工程测量·····	248
第一节 线路工程测量概述·····	248
第二节 线路工程初测·····	249
第三节 线路工程详测·····	252
第四节 路线施工测量·····	282
第五节 管线施工测量·····	284
思考题·····	288
第十四章 桥梁与隧道施工测量·····	290
第一节 桥梁工程施工测量·····	290
第二节 隧道工程施工测量·····	299
思考题·····	304
第十五章 水利工程测量·····	305
第一节 概述·····	305
第二节 渠道测量·····	306

第三节	大坝施工测量	311
第四节	水闸的施工放样	314
思考题		315
第十六章	工程建筑物变形观测	316
第一节	概述	316
第二节	沉降观测	319
第三节	水平位移观测	323
第四节	建筑物的倾斜观测	325
第五节	裂缝观测	327
思考题		327

第一章 绪论



第一节 测绘学简介

一、测绘学的研究内容

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理分布,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。它是地球科学的一个分支学科。

测绘学包括测量学和制图学。测量学是研究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(含地图和地形图),以及研究地球的形状和大小等的一门科学。测量学的主要任务包括测绘和测设。测绘是指使用各种测量仪器和工具,通过观测、计算,得到一系列测量数据,利用这些数据将地球表面地物、地貌按照一定的比例尺绘成满足各种需要的地形图。测设是指将图纸上规划设计好的建(构)筑物或特定位置经过测量工作在地面上标定出来,作为施工的依据,它是测绘的逆过程。制图学主要是结合社会和自然信息的地理分布,研究绘制全球和局部地区各种比例尺地形图和专题图的理论和技术的科学。其中,测量学是测绘学研究的重要内容。

测绘学的应用范围很广,在城乡建设规划、国土资源的合理利用、农林牧渔业的发展、环境保护以及地籍管理等工作中,必须进行土地测量和测绘各种类型、各种比例尺的地图,以供规划和管理使用。在地质勘探、矿产开发、水利、交通等国民经济建设中,则必须进行控制测量、矿山测量和线路测量,并测绘大比例尺地图,以供地质普查和各种建筑物设计施工用。在国防建设中,除了为军事行动提供军用地图外,还要为保证火炮射击的迅速定位和导弹等武器发射的准确性,提供精确的地心坐标和精确的地球重力场数据。在研究地球运动状态方面,测绘学提供的大地构造运动和地球动力学的几何信息,结合地球物理的研究成果,可解决地球内部运动机制问题。

由此可见,测绘学对国民经济的发展和国防建设具有重要的意义,常被认为是经济建设和国防建设的基础工程。通过测量获得的地形图是基本的空间地理信息,广泛服务于科学研究、国防建设、经济建设及社会发展规划等各个方面,是一个国家重要的基础数据之一。

二、测绘学科的分支

测绘学科按照研究范围和对象的不同,可分为以下几个分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和测定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和测定地面点几何位置,以及它们的变化的理论和技术的学科。凡研究对象为地表上较大局域甚至整个地球时,就必须考虑地球曲率的影响。这种以研究广大地区为对象的测量学科属于大地测量学的范畴,它的主要功用是为大规模测制地形图提供地面的水平位置控制网和高程控制网,为用重力勘探地下矿藏提供重力控制点,同时也为发射人造地球卫星、导弹和各种航天器提供地面站的精确坐标和地球重力场资料。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像信息(包括模拟的或数字的影像),通过分析和处理,从中提取几何的或物理的信息,并用图形、图像和数字形式表达的学科。摄影测量分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量以及近景摄影测量等,主要通过地表影像,在现代通信技术、计算机技术的支持下,快速获得各种模拟和数字地图。利用遥感技术可快速获得地表的卫星影像,广泛应用于测绘、农业、林业、地质、海洋、气象、水文、军事、环保等领域。

3. 地图制图学与地理信息工程

地图制图学与信息工程是研究用地图图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化,并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应用的一门科学技术。它是用地图图形反映自然界和人类社会各种现象的空间分布,相互联系及其动态变化的。

4. 海洋测绘学

海洋测绘学是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制的理论和方法的学科,主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集等的编制。

5. 工程测量学

工程测量学是研究地球空间(地面、地下、水下、空中)中具体几何实体的测量描绘和抽象几何实体的测设实现的理论和方法和技术的一门应用性学科。工程测量学主要包括以工程建筑为对象的工程测量和以设备与机器安装为对象的工业测量两大部分。在学科上可划分为普通工程测量和精密工程测量。工程测量学的主要任务是为各种工程建设提供测绘保障,满足工程所提出的要求。精密工程测量代表着工程测量学的发展方向,大型特种精密工程建设是促进工程测量学科发展的动力。

6. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面局部区域内测绘工作的基本理论、仪器和方法的学科,是测绘

学的一个基础部分。局部区域指在该区域内进行测量、计算和制图时,可以不顾及地球的曲率,把这区域的地面简单地当作平面处理,而不致影响测图的精度。普通测量学研究的主要内容,是局部区域内的控制测量和地形图的测绘。基本工作包括距离测量、角度测量、高程测量、测绘地形图以及地形图的应用。

本书在介绍普通测量学的基础上,根据土木工程及相关专业的实际,相应增加了部分工程测量学的内容。

三、测绘学的任务

土木工程建设一般分为勘测设计、施工建设和运营管理三个阶段,测量工作作为基础部分贯穿于工程建设的全过程,具体内容包括:

(1)工程建设规划、勘测、设计阶段的测量工作。主要是为工程建设的规划、设计、测绘提供各种比例尺的地形图,另外还要为工程地质勘探、水文地质勘探以及水文测验等进行测量。对于重要的工程(例如某些大型特种工程)或在地质条件不良的地区(例如膨胀土地区)进行建设,还要对地层的稳定性进行观测。

(2)工程建设施工阶段的测量工作。工程建设经审批进入施工阶段后,有大量的测量工作。首先要根据工地的地形、地质情况,依据工程性质及施工组织等,建立不同形式的施工测量控制网,作为定线放样的基础;然后再进行施工放样,即将图纸上设计的工程建筑物,按照一定的测量方法在现场标定出来(即所谓定线放样),以作为实地修建的依据。此外,还要进行施工质量和进度控制的测量工作,例如高层建筑物、构筑物的竖直度、曲线、曲面型建筑的形态、地下工程的断面及土石方测量等。同时还要进行一些竣工测量,变形观测以及设备的安装测量等。

(3)工程建设运营管理阶段的测量工作。在工程建筑物运营期间,为了监视其安全和稳定的情况,了解其设计是否合理,验证设计理论是否正确,需要定期地对其位移、沉陷、倾斜以及摆动等进行观测。这些工作,即通常所说的变形观测。对于大型的工业设备,还要进行经常性的检测和调校,以保证其按设计安全运行。另外,为了工程的有效管理、维护和日后扩展的需要,还要做竣工测量,建立工程信息系统。

总之,在工程建设的各个阶段都要进行测量工作,测量工作贯穿于整个工程建设的始终,因此,从事工程建设的工程技术人员,必须掌握工程测量的基本知识和技能。

第二节 测绘学发展概况

一、测绘学发展历程

测绘学有悠久的历史。古埃及尼罗河洪水泛滥,水退之后重新划界,开始了测量工作。公元前2世纪我国司马迁在《史记·受本纪》中记述了禹受命治理洪水而进行测量工作的情况。从16世纪起,随着测量技术的发展,可以根据实地测量结果绘制国家规模的地形图,不仅有方位和比例尺,精度较高,而且能在地图上描绘出地表形态的细节,并按不同用途,将实测地形图缩制编绘成各种比例尺的地图。到20世纪60年代出现了计算机辅助的地图制图方法,从此出现了数字地图和电子地图,制图的精度和速度都有很大的提高,并且在计算机软、硬件的支持下发展成为地理信息系统,形成地图制图与地理信息系统学科。

测绘学获取观测成果的工具是测量仪器,它的形成和发展在很大程度上依赖测绘方法和测绘仪器的创造和变革。17 世纪前使用简单的工具,如中国的绳尺、步弓、矩尺等,以量距为主。17 世纪初发明望远镜,1730 年英国的西森制成第一台测角用的经纬仪,促进了三角测量的发展。随后陆续出现小平板仪和大平板仪及水准仪,用于野外直接测绘地形图。16 世纪中叶起为满足欧美两洲间的航海需要,许多国家相继研究海上测定经纬度,以定船位。直到 18 世纪时钟发明,定位问题得到圆满解决,从此开始了大地天文学的系统研究。随着测量仪器和方法不断改进,测量数据精度的提高,要求有精确的计算方法,1809 年法国的勒让德和德国的高斯分别提出了最小二乘准则,为测量平差奠定了基础。19 世纪 50 年代,法国的洛斯达首创摄影测量方法,到 20 世纪初形成地面立体摄影测量技术。1915 年制造出自动连续航空摄影机,可将航摄像片在立体测图仪上加工成地形图,因而形成了航空摄影测量方法。到 20 世纪 50 年代测绘仪器又朝着电子化和自动化的方向发展,1948 年发展起来电磁波测距仪,可精确测定远达几十公里的距离。与此同时电子计算机出现,发展成有电子设备和计算机控制的测绘仪器设备,使测绘工作更为简便、快速和精确。继而在 20 世纪 60 年代又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。自 1957 年苏联第一颗人造卫星发射成功,使测绘工作出现了新的飞跃,发展了人造卫星的测绘工作。卫星定位技术和遥感技术在测绘学中得到广泛的应用,并形成空间大地测量和摄影测量与遥感学科。

二、当代测绘学科的发展及应用

传统的测绘技术由于受到观测仪器和方法的限制,只能在地球的某一局部区域进行测量工作,而空间技术,各类对地观测卫星则为我们提供了对地球整体进行观察和测绘的工具,卫星航天观测技术能采集全球性、重复性的连续对地观测数据,数据的覆盖可达全球范围内,因此这类数据可用于对地球作为一个整体进行理解,这就如同可以把地球放在实验室里进行观察、测绘和研究一样方便。正是由于以空间技术、计算机技术、通信技术和信息技术为支柱的现代测绘技术日新月异的迅猛发展,使得测绘学的理论基础、测绘工程技术体系、研究领域和科学目标等正在适应新形势的需要而发生深刻的变化,从而使测绘生产任务由传统的纸上或类似介质的地图编制、生产和更新发展到对地理空间数据进行采集、处理、组织、管理、分析和显示,传统的数据采集技术已由遥感卫星或数字摄影获得的数字影像所代替。测绘工作和测绘行业正在向着数字化、信息化、网络化和自动化的方向发展,不仅减轻了体力劳动,也使生产力得到很大的提高。今天的光缆通信、卫星通信、数字化多媒体网络技术可使测绘产品从单一的纸质信息转变为磁盘和光盘等电子信息,因此测绘生产产品分发方式从单一的邮路转到“电路”(数字通信和计算机网络传真等),测绘产品的形式和服务社会的方式由于信息技术的支持发生了很大的变化,进入了信息化的发展阶段,表现为正以高新技术为支撑和动力,进入市场竞争求发展,测绘行业正在逐渐成为信息行业中的一个重要组成部分。它的服务范围和对象由原来单纯为国家制作基本地形图,扩大到国民经济和国防建设中与地理空间数据有关的各个领域。

三、我国测绘学科的发展

我国测绘学科的发展自中华人民共和国成立后进入了一个崭新的阶段。1965 年成立了国家测绘总局,建立了测绘研究机构,组建了专门培养测绘人才的院校。各省和业务部门也纷纷成立测绘机构,极大地推动了我国测绘事业的发展。

在测绘工作方面,建立和统一了全国坐标系统和高程系统,建立了全国的大地控制网、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;完成了国家基本比例尺地形图的测绘工作;进行了南极长城站和珠穆朗玛峰的测量工作;同时,各种工程建设的测绘工作也取得了显著的成绩,如南京长江大桥、葛洲坝水电站、宝山钢铁厂、北京正负离子对撞机和同步辐射加速器、核电站、三峡水利枢纽等大型和特殊工程的测绘工作。出版发行地图 1600 多种,发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造方面从无到有,发展迅速,已生产出了不同等级、不同型号的电磁波测距仪、卫星激光仪等传统测绘仪器,国产全站仪也批量生产,国产 GPS 接收机已广泛应用,已建成全国 GPS 大地控制网。成功研制和开发了解析测图仪和全数字摄影测量系统。2011 年国家测绘局更名为国家测绘地理信息局,地理信息系统(GIS)的建立和应用发展迅速,目前,我国测绘地理信息技术已全面进入数字化、信息化阶段,地理信息服务已经渗透到国民经济和社会生活的各个方面。地理信息产业已成为最具发展潜力的战略性新兴产业之一,是建设数字地球、物联网和智慧城市的重要支撑。我国高分辨率遥感卫星“资源三号”的成功发射并交付使用,“北斗”全球定位系统已经投入使用,机载干涉雷达测图系统,自主研发的互联网服务网站“天地图”上线,以及地理信息公共平台等一大批科技成果得到推广应用,这些新技术、新设备的推广应用,进一步推动了我国测绘事业的发展。

第三节 地球形状和大小

一、地球的自然形体

传统的测量工作是在地球的自然表面上进行的。地球的自然表面是十分复杂的,有高山、丘陵和平原,有江河湖泊和海洋。通过长期的测绘实践和科学调查,人们发现地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。有高达 8 844. 43m 的珠穆朗玛峰,又有深达 11 022m 的马里亚纳海沟。但这样的高低起伏相对于地球庞大的体积来说仍然是微不足道的,就其总体形状而言,地球是一个接近于两极稍扁的椭球体。

二、大地水准面

由于地球表面绝大部分是海洋,人们很自然地会把整个地球总体形状看作是被海水包围的球体,即把地球看作是处于静止状态的海水向陆地内部延伸形成的封闭曲面。地球上的任意一点,都同时受到两个作用力:一是地球自转产生的离心力;二是地心引力。这两种力的合力称为重力。重力的作用线又称为铅垂线。用细绳悬挂一个垂球 G,其静止时所指示的方向即为悬挂点 O 的重力方向,也称为铅垂线方向(图 1-1)。

处于自由静止状态的水面称为水准面,由静止的海水面延伸形成的封闭曲面也是一个水准面。由于海水的潮起潮落,海水面时高时低,这样的水准面就有无数多个,从中选择一个最接近地球表面的水准面来代替地球表面,这就是通过平均海水面的水准面。人们把这个处于静止平衡状态的平均海水面向陆地内部延伸所形成的封闭曲面称为大地水准面。大地水准面所包围的

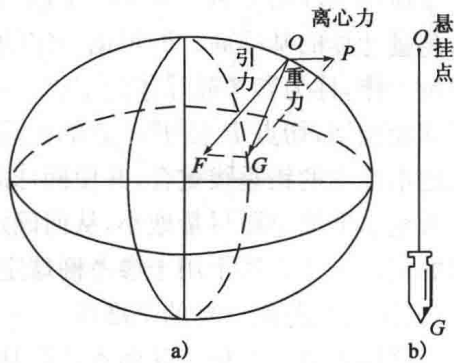


图 1-1 铅垂线方向

形体称为大地体。

当液体表面处于静止状态时,液面必然与重力方向垂直,即液面与铅垂线方向垂直,因而大地水准面同样具有处处与重力方向(铅垂线方向)垂直的特性。铅垂线方向取决于地球内部的

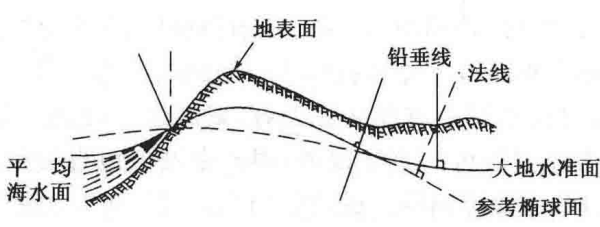


图 1-2 大地水准面

水准面和铅垂线是客观存在的,因而可以将大地水准面和铅垂线作为测量外业的基准面和基准线。野外测量仪器也是以水准面和铅垂线为基准进行设置的。

三、参考椭球面

为了解决大地水准面不能作为计算基准的矛盾,人们要选择既能用数学公式表示,又十分接近大地水准面的规则曲面作为计算的基准面。

经过长期测量实践研究表明,地球形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球,即一个椭圆绕其短轴旋转而成的椭球体,这个旋转椭球面是可以用较简单的数学公式准确地表达出来。人们将这个代表地球形状和大小的旋转椭球体称为地球椭球体(图 1-3)。

地球椭球体的形状大小是由长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 f 来确定,称为地球椭球体元素

$$f = \frac{a - b}{a}$$

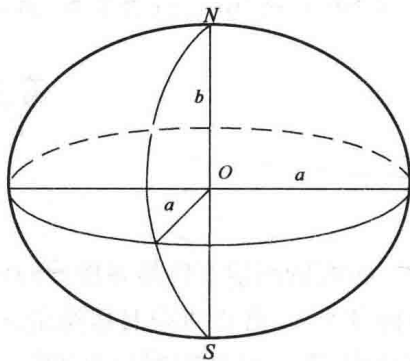


图 1-3 旋转椭球体

世界各国通常均采用旋转椭球代表地球的形状,并称其为“地球椭球”。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球;把与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其椭球面称为参考椭球面。由此可见,参考椭球有许多个,而总地球椭球只有一个。

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素是

$$a = 6\,378\,140\text{m}, b = 6\,356\,755.3\text{m}, f = 1/298.257$$

地球椭球的形状和大小确定以后,还应进一步确定地球椭球与大地体的相关位置,才能作为测量计算的基准面。即根据一定的条件,确定参考椭球面与大地水准面的相对位置所做的测量工作,称为参考椭球体的定位。如在一个国家适当地点选一点 P ,设想大地水准面与参考椭球面相切,切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上(图 1-4),这样椭球面上 P' 点的法线与该点对大地水准面的铅垂线重合,并使椭球的短轴与地球的自转轴平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量地小,从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系,这就是椭球的定位工作。这个用于参考椭球定位的点,称为大地原点。参考椭球面是测量计算的基准面,其法线是测量计算的基准线。

我国大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇,在大地原点上进行精密天文测量和精密水准测量,获得大地原点的平面起算数据,以此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。