

GONGCHENG CELIANG JISHU

21 世纪测绘学科高职高专精品规划教材

# 工程测量技术

主编 刘仁钊



黄河水利出版社

21 世纪测绘学科高职高专精品规划教材

# 工程测量技术

主编 刘仁钊

主审 王 侬

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

《工程测量技术》教材共分两部分编写。第一部分以数字测图为主线,主要包括测量的基本原理和方法,在编写中,侧重加强了现代化的测量手段、方法、仪器等先进测量技术的教学内容,如 GPS 技术、全站仪技术、数字化成图等。第二部分以测设为主线,主要内容有:地形图的应用、三大基本测设工作、地质勘探工程测量。

本书作为非测量专业的测绘教材,也可供土地管理、地质、采矿、地理信息等专业从事测绘的工程人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测量技术/刘仁钊主编. —郑州:黄河水利出版社,  
2008.3

21 世纪测绘学科高职高专精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 357 - 8

I. 工… II. 刘… III. 工程测量 - 高等学校:技术  
学校 - 教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 023514 号

---

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、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15

字数:346 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 3 月第 1 版

印次:2008 年 3 月第 1 次印刷

---

定价:27.00 元

# 前 言

本书是在高等学校测绘学科教学委员会的指导下,以全国高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材研讨会上制定的地质类《地质测量技术》教学大纲为主要依据,在总结多年教学经验的基础上编写完成的。全书共分为13章,授课70~80学时。重点介绍了测量学的基础知识和基本理论,光学经纬仪、水准仪和全站仪的基本操作方法,地形图的测绘和使用,以及地质工程测量等内容。为了突出新技术的应用,书中还详细介绍了GPS测量和大比例尺数字成图技术。

本书在编写过程中注重高职高专教材的特点,力求深入浅出、通俗易懂,尽量做到重点突出,循序渐进,着重于实际应用;同时书中内容介绍详细,便于读者自学。

本书由刘仁钊副教授任主编,吴立军和张玉堂任副主编。刘仁钊编写了第一、五、六、七、八、十章,参加编写的其他教师有:湖北国土资源职业学院吴立军(第二、三、四章)、张玉堂(第九、十二、十三章)、周会利(第十一章)。全书最后由刘仁钊统一修改定稿。

本书完成后,由高等学校测绘学科教学指导委员会副主任、合肥工业大学土木建筑工程学院王依教授进行了认真细致的审稿,提出了许多宝贵意见。修改后,通过了高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材审定委员会的审定,作为测绘学科地质类高职高专院校统编教材,供高等职业教育学校地质类专业使用。在此对王依教授和教材审定委员会的各位专家表示感谢!在本书编写过程中,参考了一些院校的同类教材,在此表示感谢!同时对黄河水利出版社为本教材顺利出版给予的大力支持表示感谢。

由于编者水平有限,书中的错误和不足之处在所难免,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

2007年12月

# 目 录

第一章 绪 论 .....	(1)
第一节 测绘学的研究对象和作用 .....	(1)
第二节 测量学的发展历史概况 .....	(2)
第三节 测绘工作在国民经济建设中的作用 .....	(4)
思考题与习题 .....	(5)
第二章 测量学的基本知识 .....	(6)
第一节 地球的形状和大小的概念 .....	(6)
第二节 地面点的高程 .....	(8)
第三节 地面点的坐标表示 .....	(9)
第四节 用水平面代替水准面的限度 .....	(14)
第五节 测量常用的度量单位 .....	(16)
第六节 测量工作概述 .....	(17)
思考题与习题 .....	(19)
第三章 水准测量 .....	(20)
第一节 水准测量原理 .....	(21)
第二节 水准测量的仪器及工具 .....	(23)
第三节 水准仪的使用 .....	(28)
第四节 自动安平水准仪 .....	(29)
第五节 数字水准仪 .....	(31)
第六节 三、四等水准测量 .....	(35)
第七节 水准仪的检查校正 .....	(43)
第八节 水准测量误差的主要来源 .....	(48)
思考题与习题 .....	(50)
第四章 角度测量 .....	(52)
第一节 角度测量原理 .....	(52)
第二节 DJ <sub>6</sub> 型光学经纬仪 .....	(53)
第三节 水平角观测 .....	(55)
第四节 竖直角测量 .....	(60)
第五节 经纬仪的检查校正 .....	(64)
第六节 水平角观测误差来源 .....	(68)
思考题与习题 .....	(70)
第五章 全站仪测量技术 .....	(72)
第一节 全站仪的结构 .....	(72)

第二节	全站仪相位法测距的基本原理 .....	(74)
第三节	全站仪电子测角的基本原理 .....	(75)
第四节	全站仪的操作与使用 .....	(77)
第五节	全站仪使用的注意事项与维护 .....	(93)
	思考题与习题 .....	(93)
<b>第六章</b>	<b>GPS 测量技术 .....</b>	<b>(94)</b>
第一节	GPS 定位系统的发展历史 .....	(94)
第二节	定位系统的应用特点 .....	(98)
第三节	定位系统的组成 .....	(99)
第四节	GPS 坐标系统 .....	(101)
第五节	GPS 定位的基本原理 .....	(102)
第六节	测量的实施 .....	(105)
第七节	定位技术的应用 .....	(109)
	思考题与习题 .....	(111)
<b>第七章</b>	<b>图根控制测量 .....</b>	<b>(113)</b>
第一节	概 述 .....	(113)
第二节	直线定向及坐标正反算 .....	(115)
第三节	导线测量 .....	(119)
第四节	前方交会法 .....	(127)
第五节	测边交会法 .....	(129)
第六节	三角高程测量 .....	(131)
	思考题与习题 .....	(134)
<b>第八章</b>	<b>误差理论的基本知识 .....</b>	<b>(136)</b>
第一节	观测误差 .....	(136)
第二节	偶然误差的特性 .....	(138)
第三节	评定精度的指标 .....	(140)
第四节	误差传播定律 .....	(141)
第五节	算术平均值及其中误差 .....	(146)
	思考题与习题 .....	(148)
<b>第九章</b>	<b>大比例尺地形图的识别与测绘 .....</b>	<b>(150)</b>
第一节	地形图的比例尺 .....	(150)
第二节	梯形的分幅与编号 .....	(153)
第三节	地形图图外注记 .....	(157)
第四节	地物符号 .....	(159)
第五节	地貌符号 .....	(162)
第六节	视距测量 .....	(166)
第七节	大比例尺地形图测绘 .....	(170)
	思考题与习题 .....	(175)

<b>第十章 数字化地形测图</b> .....	(176)
第一节 数字化测图概述 .....	(176)
第二节 数字化测图的外业工作 .....	(179)
第三节 数字化测图的内业工作 .....	(182)
思考题与习题 .....	(191)
<b>第十一章 地形图的应用</b> .....	(193)
第一节 地形图图廓要素的识读 .....	(193)
第二节 野外使用地形图 .....	(194)
第三节 地形图几何要素查询 .....	(196)
第四节 根据等高线确定高程和坡度 .....	(197)
第五节 地形图在工程建设中的应用 .....	(198)
思考题与习题 .....	(202)
<b>第十二章 施工测量</b> .....	(204)
第一节 施工测量的基本工作 .....	(204)
第二节 点的平面位置放样 .....	(206)
第三节 已知坡度直线的放样 .....	(209)
思考题与习题 .....	(209)
<b>第十三章 地质勘探工程测量</b> .....	(211)
第一节 概 述 .....	(211)
第二节 勘探网及其联系测量 .....	(213)
第三节 地质点测量 .....	(215)
第四节 地质勘探工程的布设和定位测量 .....	(216)
第五节 勘探线剖面测量 .....	(219)
第六节 勘探剖面图的绘制 .....	(224)
思考题与习题 .....	(229)
<b>参考文献</b> .....	(231)

# 第一章 绪论

## 第一节 测绘学的研究对象和作用

### 1 测绘学与测量学

测量学与制图学统称为测绘学。测绘学是研究地球形状和大小、确定地球表面(包括空中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,以及对这些空间位置信息进行采集、处理、存储和管理的科学。它既要研究测定地面点的几何位置、地球形状、地球重力场,以及地球表面自然形态和人工设施的几何形态;又要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的地形图和专题地图的理论和技術。由此可见,测量学是测绘学的重要组成部分,其核心内容是确定空间点的坐标。

### 2 测绘学研究的对象

传统的测绘学研究的对象是确定地球的形状和大小,测定地面点的位置,以及如何将地球表面测绘成图。但随着现代科学技术的发展,它已扩展到地球的外层空间,并且已由静态对象发展到观测和研究动态对象;同时,所获得的量既有宏量,也有微量;使用的手段和设备,也已转向自动化、遥测、遥控和数字化。

### 3 测绘学的分类

伴随着社会的进步、科学技术的发展,各方面对测量的要求不断变化和提高,测绘业务逐渐专门化,测绘学的分科也越来越细,通常分为以下学科:

#### 3.1 大地测量学

大地测量学研究测定地球的形状、大小和地球重力场,以及测定特定地面上点的空间位置。

大地测量学分几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学(或空间大地测量学)三个分支学科。

几何大地测量学是以一个与地球外形最为接近的几何体(旋转椭球)代表地球形状,用天文方法测定该椭球的形状和大小。

物理大地测量学是研究用物理方法测定地球形状及其外部重力场的学科。

卫星大地测量学是利用人造地球卫星进行地面点定位及测定地球形状、大小和地球重力场的理论、方法的学科。现代大地测量学是综合利用几何、物理、空间大地测量的理论和方法,解决大地测量学中各种问题的学科。



### 3.2 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究用摄影和遥感的手段,获取被测物体的信息,进行分析、处理,以确定物体的形状、大小和空间位置,并判定其属性的科学。摄影测量与遥感学分为地面摄影测量、航空摄影测量学和航天遥感测量学。

### 3.3 工程测量学

研究工程建设和资源开发中,在规划、设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、地形测绘和施工放样、变形监测的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同,工程测量学又分为矿山测量、地质勘探工程测量、水利工程测量、公路测量、铁道测量,以及海洋工程测量等;又由于工程的不同,精度要求的不同,而有精密工程测量学、特种精密工程测量学等。

### 3.4 地图制图学(地图学)

研究地图的编制和应用的学科。它研究用地图图形信息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。

### 3.5 海洋测绘

海洋测绘是以海洋水体和海底为对象所进行的测量和研究海图编制理论与方法的学科。

### 3.6 测量学

测量学也称为普通测量学,它是研究对地球表面局部地区进行测绘工作的基础理论、工作方法、技术和应用的学科。其内容包括图根控制网的建立、地形图测绘及一般工程的测设。也有人称地形测量学为测量学,但这种测量学只是为测量地球局部的形状和绘制地形图服务,不包括其他内容。

## 第二节 测量学的发展历史概况

测量学和其他学科一样,是在人类生产活动过程中产生和发展起来的。它是一门古老的科学。在世界上,早在公元前18世纪,古埃及就进行过土地丈量。公元前6世纪,埃及人民在建设尼罗河与红海之间的运河及尼罗河灌溉系统之类的工程中,都应用了测量学的知识。公元7世纪,阿拉伯人将中国的指南针传入欧洲,对测量中的定向问题,作出了重要的贡献。17世纪,哥白尼、伽利略、开普勒及牛顿等科学家在科学上的发现与发明,如望远镜、显微镜和水准器等光学上和力学上的成就,以及三角学在测量上的应用,对于测量学的发展曾经作出了重大的贡献。19世纪,德国人高斯在地图投影和测量平差方面也作出了重大的贡献。20世纪20年代,航空摄影测量的应用,开始了测量工作的机械化时代。60年代以来,由于近代光学、电子学、人造卫星摄影和航天技术的迅猛发展,为测量技术的自动化、电子化及数字化开辟了广阔的前景,而且在某些方面已将这些先进成果应用在测量工作中。例如利用遥感资料编制近海区域的海洋地图,以及电子计算机、电磁波测距的广泛应用,显著地提高了测绘工作的效率,并大大减轻了作业中的繁重体力劳动。人造卫星定位技术、数字地形图技术的发展,对传统的测绘技术引起了革命性的变化,其服务领域已扩展到政府行政办公之中。现代测量技术正处在一个革新和不断发展

的新阶段。

我国是世界文明古国,由于生活和生产的需要,早在公元前 21 世纪夏禹治水时,已使用了“准、绳、规、矩”四种测量工具和方法。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。宋代杨忠辅编制的《统天历》,一年为 365.242 5 日,与现代值相比,只有 26 秒误差。公元前 4 世纪就已创制了浑天仪,用它来测定天体的坐标入宿度和去极度。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。我国最早的记载是夏禹将地图铸于九鼎上,这已是地图的雏形。公元前 7 世纪,春秋时期管仲著的《管子》一书中已论述地图;平山县发掘出土的春秋战国时期的“兆域图”已经表示了比例和符号的概念;在湖南长沙马王堆发现公元前 168 年的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。公元 224~271 年,我国西晋的裴秀总结了前人的制图经验,拟定了小比例尺地图的编制法规,称《制图六体》,是世界上最早的制图规范之一。我国历代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、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,实量了从河南白马到上蔡的距离和北极高度,得出子午线一度的弧长为 132.31km,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  $1^\circ$  的弧长,即每尺合经线上百分之一秒,一尺等于 0.317m。

自 1840 年起直到新中国成立前的百年来的历史,是中国人民遭受帝国主义、封建主义、官僚资本主义凌辱欺压的历史,反动统治严重阻碍了我国生产力的发展,测绘事业也处于极端落后和停滞的状况。虽然也建立了测绘机构,创办了测绘学校,进行了一些测量工作,但成效甚小,成图质量不高。

1949 年,中华人民共和国成立后,我国测绘事业得到了迅速发展。1950 年,中国人民解放军总参谋部测绘局成立,管理全国性的测绘业务事宜。1952 年清华大学等 6 所高等院校设置了测量专业,积极培养测绘技术人员。1956 年,建立了全国统一的测绘机构——国家测绘总局,管理全国性的测绘业务事宜。在新中国成立后的 10 年内,建立了我国“1954 年北京坐标系”,根据青岛大港验潮站平均海面定义了黄海 56 高程基准,为新中国确定了国家坐标系统和高程基准。在此基础上完成了在全国范围建立大地控制网的工作,同时施测了大量的国家基本地形图。在治理淮河、黄河、根治黄河及长江流域规划等的勘测、设计工作中,测绘了各种比例尺的地形图。在进行工矿、农田、水利、城市、交通等各项经济建设中,有关部门也进行了大量的工程测量并测制了大比例尺地形图。

1978 年改革开放后,我国的测绘事业得到了前所未有的快速发展。先后完成了全国

天文大地网 4.8 万余大地测量控制点的整体平差测量,采用了当今国际推荐的地球椭球参数,重新严格定义了我国国家坐标系统,即 1980 年中国坐标系(或简称 1980 年西安坐标系)和以上述天文大地网为骨干的国家坐标框架;在高程系统方面采用了青岛验潮站 1952~1979 年的资料,比较科学地确立了我国新的黄海 85 高程基准。从 70 年代至今,我国已建立了国家卫星多普勒网(35 个点,精度为  $\pm(2\sim3)\text{m}$ ),建成了 2 个 VLBI 站(上海和乌鲁木齐),4 个 SLR 固定站(上海、武汉、北京、长春)和一个 SLR 流动站,近 70 个 GPS 永久性跟踪站,完成了包含上述各种技术的国家级空间定位网(近 2 300 个点)的布测和计算,建立了我国新一代的基于空间技术的地心三维大地控制网,为我国陆地地壳运动和大气监测作出了贡献。我国也在进行卫星导航定位系统的研究,所研制的双星定位系统已有很大进展,现已发射了第 5 颗工作卫星。在海洋测量方面也有了较大的发展,80 年代和 90 年代分别利用卫星多普勒和 GPS 技术对南沙群岛、西沙群岛的部分海礁与国家大地控制点进行了联测,使我国的大地测量控制从大陆延伸到我国的近海海域。在科学考察活动中,我国测量工作者和有关科学工作者协同努力,克服了各种艰难险阻,精确地测定了珠穆朗玛峰的高度(8 844.43m),并对青、藏地区进行了较全面的综合科学考察。参加了南极和北极探险,进行了极地的测绘工作。我国的测绘仪器制造业也相应地得到了发展,在较短的时间内,研制了普通的测绘仪器、航测仪器和某些较精密仪器,国产全站仪和 GPS 接收机已能批量生产,有的已达到国外同类型仪器的水平。测绘科学的研究工作也在有计划地进行并取得一定的成绩。

虽然我国的测绘事业在短短的 20 年取得了举世瞩目的成绩,但与国外经济发达的国家相比还有一定差距,但这种差距正逐渐缩小。在建设繁荣富强的社会主义祖国的伟大而艰巨事业中,测绘工作有着极其重要的地位和作用,测绘事业也必将随着我国经济建设的快速发展而得到不断的发展和进步。

### 第三节 测绘工作在国民经济建设中的作用

测绘工作是一项具有战略意义的基础性工作,在国民经济建设中具有重要作用。在地质矿产勘查中,测绘工作是一项重要的先行性、基础性并具有精确性特点的工作,现已成为一门专业测绘——地勘测绘。它为地质矿产资源勘查、矿山建设、环境地质监控和治理等方面,提供基础信息资料和科学技术方法。例如,为地矿资源勘查区(陆地、海洋、空间)提供大地定位基础;为描述勘查区各种地形、地质、矿产分布形态规律和赋存关系,测绘或编制各种地质图、地形图、专题地图;为防治地质灾害,监测地面沉降、滑坡、泥石流等及时提供各种形变数据;为矿山开发建设提供测绘保障。

在农业和林业中,正确地进行土地整理以及森林的建设与经营,改良土壤、整理土地、资源调查、开垦荒地以及实现许多旨在发展农业和林业的其他措施时,不仅需要利用地图和地形图,更需要进行精确的测量工作。

在交通运输业中,当修建铁路、公路、通航运河及它们的附属建筑工程时,初步方案要根据地形图来制定;在勘察、设计和施工的各个阶段,都要进行各项工程测量工作。

在水利建设工程中,例如举世闻名的葛洲坝和正在兴建的三斗坪三峡大坝综合水利

枢纽工程,在进行规模如此巨大的工程建设时,首先要根据详细的地形图作出初步方案研究,然后进行勘察设计、施工。测量工作应在勘察过程中为工程设计提供原始资料;在施工过程中,应保证正确地将设计转移到实地上。即使工程已经建成交付使用后,仍然要进行精确的测量工作,以观察和发现工程建筑物所产生的变形、下沉和偏移,并提出准确的资料。

在城市建设中,科学地规划和整理居民地、城市的扩充与改建计划、建设城市交通路线、敷设地下管线、兴建地下铁道等,都必须有地形图和地图,并进行专门的测量工作。

人类赖以生存的土地,如何科学地利用和管理,是每个国家都必须解决的问题。而为了解决这一问题,首先就要进行地籍测量工作。

在工程建设方面,工程的勘测、规划、设计、施工、竣工及运营后的监测、维护都需要测量工作。在军事上,首先由测绘工作提供地形信息,在战略的部署、战役的指挥中,除必需的军用地图(包括电子地图、数字地图)外,还需要进行目标的观测定位,以便进行打击。至于远程导弹、空间武器、人造地球卫星以及航天器的发射等,都要随时观测、校正飞行轨道,保证它精确入轨飞行。为了使飞行器到达预定目标,除了测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小、重力场的精确数据。航天器发射后,还要跟踪观测飞行轨道是否正确。总之,现代战争与现代测绘技术紧密结合在一起,是军事决策的重要依据之一。

在科学实验方面,如地震预测预报、灾情监测、空间技术研究、海底资源探测、大坝变形监测、加速器和核电站运营的监测,以及其他科学研究等,无一不需要测绘工作紧密配合和提供空间信息。

此外,对建立各种地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国,都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

综上所述可知,测绘工作在经济和国防建设方面有着多么重大的意义和作用。在国家各方面建设工作的规模日益巨大、复杂的形势下,测绘工作在国家建设事业中所承担的任务也就愈来愈大。人们把测量工作者称做社会主义建设事业的“尖兵”,这是对测绘事业最崇高的评价。

## 思考题与习题

1. 测绘学研究的对象和任务是什么?
2. 测绘学有哪些独立的学科?
3. 结合所学专业,说说测绘学在专业中有何作用?

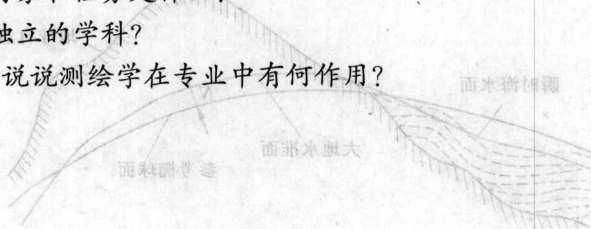


图 2-2 地形剖面图

## 第二章 测量学的基本知识

### 第一节 地球的形状和大小的概念

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,即岩石圈表面。地球的自然表面很不规则,高低起伏,最高的珠穆朗玛峰高出海面 8 844.43m,而在太平洋西部的马里亚拉海沟深达 11 022m。尽管有这样大的起伏,但相对于平均半径为 6 371 000m 的地球而言,最大起伏不到半径的 1/320,完全可以忽略不计。大量的观测资料表明,海洋表面约占地球面积的 71%,而陆地面积仅占 29%。因此,人们设想把地球总的形状当做是被海水包围的一个球体,这个球体是用一个假想静止的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面。

地球上的任一质点,同时受地球引力  $F$  和因地球自转所产生的离心力  $P$  的作用,如图 2-1 所示。因此,一个质点实际所受到的力是地球引力与离心力的合力  $G$ ,这个合力称为重力,重力作用的方向为铅垂方向。在测量上,以通过地面上某一点的铅垂线作为该点的基准线。

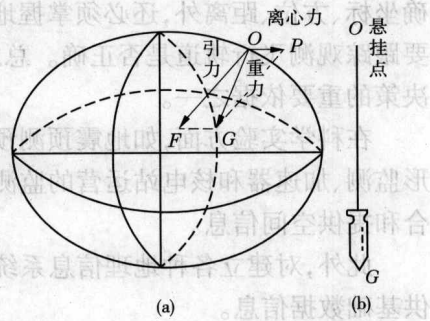


图 2-1 铅垂线方向

水面在静止时,表面上的每一个质点都受到重力的作用,在重力位相同的情况下,这些水分子便不流动而呈静止状态,形成一个重力等位面,这个面称为水准面,它处处与重力方向正交。由于高度的不同,水准面有无数个。在某点与水准面相切的平面,通常称为该点的水平面。一个假想的与处于液体静平衡状态的海洋面(无波浪、潮汐、海流和大气压变化引起的扰动)重合并延伸向大陆且包围整个地球的重力等位面,称为大地水准面,如图 2-2 所示。在测量上,把大地水准面作为高程起算的基准面。同时,把大地水准面所包围的形体,叫做大地体。

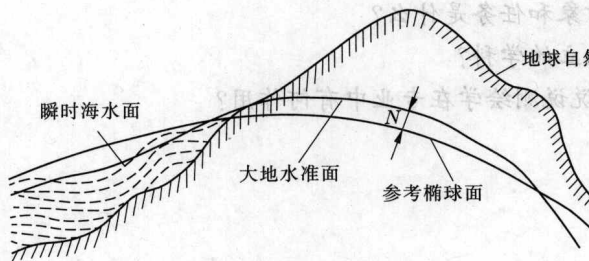


图 2-2 参考椭球面与大地水准面

地球的引力与内部的质量有关,由于质量分布不均,势必引起地面上各点的引力大小和方向不一致,同时离心力随纬度的变化而变化。所以大地水准面实际上是一个不规则的曲面,在这个不规则的曲面上,无法进行测量数据处理。

长期的测量和研究结果表明,大地水准面是一个沿赤道稍微大而两极略扁平的椭球体,它与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球体的形状十分近似,如图 2-3 所示,而旋转椭球体是可以数学公式严格表示的,因此测量中便取大小和形状与大地体最为密合的旋转椭球体代替大地体。定位后的旋转椭球体,叫做参考椭球体(一个国家和地区为处理测量成果而采用的一种与地球大小、形状最接近并具有一定参数的地球椭球),其表面称为参考椭球面。参考椭球面具有数学性质,测绘工作者取参考面作为基准面进行各种计算工作。但在实际工作中,当对测量成果的要求不是十分严格时,则不必改正到参考椭球面上,加之实际工作中十分容易得到大地水准面和铅垂线,因此大地水准面和铅垂线便成为实际测量工作的基准面和基准线。

如图 2-3 所示,旋转椭球体的形状和大小主要由其基本元素决定,该椭球的基本元素是:长半轴  $a$ 、短半轴  $b$ 、扁率  $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。

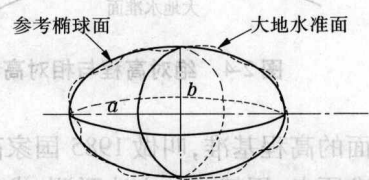


图 2-3 参考椭球体与大地水准面

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出参考椭球体的元素,见表 2-1。1954 年我国决定采用的国家大地坐标系,实质上是以苏联普尔科沃为原点、以克拉索夫斯基参数为椭球参数的(1942 年)坐标系的延伸,称为 1954 年北京坐标系。目前采用的 1980 年国家大地测量坐标系,是以 1975 年国际大地测量与地球物理联合会推荐的参数为椭球参数,其坐标原点在陕西省泾阳县永乐镇,称为国家大地原点。

表 2-1 参考椭球体的元素

年代	国家	推算者	长半轴(m)	短半轴(m)	扁率
1800	德国	德布尔	6 375 653	6 356 564	1:334.0
1841	德国	贝塞尔	6 377 397	6 356 079	1:299.2
1880	英国	克拉克	6 378 249	6 356 515	1:293.5
1909	美国	海福特	6 378 383	6 356 912	1:297.0
1940	苏联	克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1:298.3
1975	国际大地测量与地球物理联合会		6 378 140	6 356 755	1:298.3

由上述可知,地球表面除自然面之外,如图 2-2 所示,尚有大地水准面和参考椭球面三种表述方法。大地水准面和参考椭球面是不一致的,其差值最大不超过  $\pm 150\text{m}$ ,在两极不超过  $\pm 30\text{m}$ 。

由于参考椭球体的扁率很小(约  $1/300$ ),因此在某些测量计算工作中,可以近似地把地球作为圆球看待,此时其半径则采用与椭球等体积的圆球半径

$$R = \sqrt[3]{b \times a^2} \approx 6\,371(\text{km})$$

## 第二节 地面点的高程

为了确定点的空间位置,需要建立坐标系。一个点在空间的位置需要三个坐标量来表示。在一般的测量工作中,常将地面点的空间位置用点的高程和点的平面位置表示。

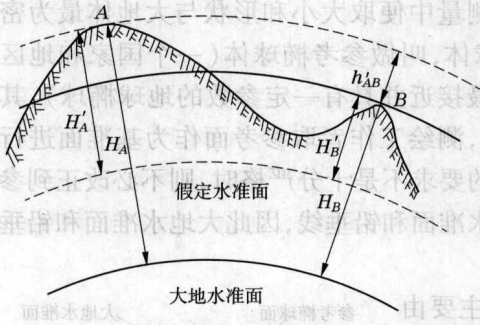


图 2-4 绝对高程与相对高程

### 1 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,又称海拔,用  $H$  表示。如图 2-4 所示,  $A$  点的绝对高程为  $H_A$ ,  $B$  点的绝对高程为  $H_B$ 。

由于高程系统是以大地水准面作为高程的起算面,为了确定大地水准面,我国在青岛设立了验潮站。以通过 1953 年至 1979 年验潮资料计算确定的平均海面,作为基准面的高程基准,叫做 1985 国家高程基准,并在青岛建立了国家高程控制网的起算点,即水准原点,用精确的方法联测,求得该原点高程为 72.260m。全国各地的高程均以它为基准进行测算。而以青岛验潮站根据 1950 ~ 1956 年的验潮资料计算确定的平均海面作为基准面的高程基准,叫做 1956 年黄海高程系统,该高程系统的水准原点的高程为 72.289m(已由国测[1987] 198 号文通知废止)。

验潮站是用来了解当地海水潮汐变化规律而设置的。为确定平均海面和建立统一的高程基准,需要在验潮站上长期观测潮位的升降,根据验潮记录求出该验潮站海面的平均位置。

验潮站标准设施包括验潮室、验潮井、验潮仪、验潮杆和一系列的水准点,如图 2-5 所示。

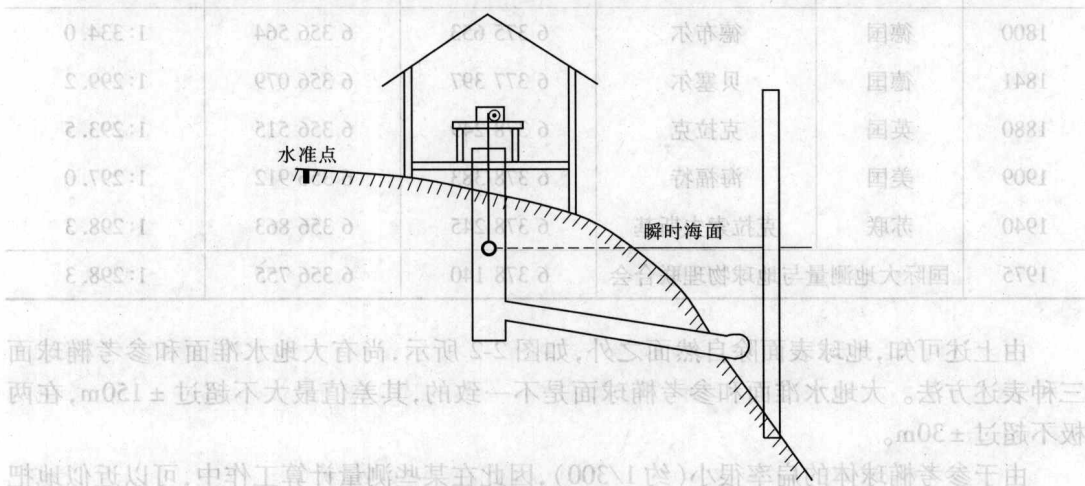


图 2-5 验潮站

验潮室通常建在验潮井的上方,以便将系浮筒的钢丝直接引到验潮仪上,验潮仪自动

记录水面的涨落。验潮井设置在海岸上,用导管通到开阔海域。导管保持一定的倾斜度,在海水进口处装上金属网。采取这些措施,可以防止泥沙和污物进入验潮井,同时也抑制波浪的影响。

验潮站上安置的验潮杆,是作为验潮仪记录的参考尺。验潮杆被垂直地安置在码头的柱基上,所在位置须便于精确读数,也要便于其与水准点之间的联测。读数每日定时进行,并要立即将此读数连同读取的日期和时刻记在验潮仪纸带上。

为了保持由验潮所确定的潮位面,在验潮站附近设置一个在永久性和可靠性方面都是最佳的点作为水准原点。我国的水准原点在青岛市观象山上。

## 2 相对高程

当无法引入绝对高程时,有时根据需要,地面点的高程常以某一假定水准面为起算面,这种高程称为相对高程,见图 2-4 中的  $H'_A$ 、 $H'_B$ 。在建筑工程中的标高通常就是采用的相对高程,一般以通过室内地面  $\pm 0.00$  这个面的水准面作为高程起算面。

## 3 高差

两点的高程之差,称为高差,用符号  $h$  表示。

设  $A$  点高程为  $H_A$ ,假定高程为  $H'_A$ , $B$  点高程为  $H_B$ ,假定高程为  $H'_B$ ,则由  $A$  点到  $B$  点的高差记为  $h_{AB}$ ,由图 2-4 可知:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (2-1)$$

同理,由  $B$  点到  $A$  点的高差  $h_{BA}$  为:

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (2-2)$$

显然,由上两式有:  $h_{AB} = -h_{BA}$ 。

说明:(1)  $A$  点至  $B$  点的高差  $h_{AB}$  与  $B$  点至  $A$  点的高差  $h_{BA}$ ,大小相等,符号相反;

(2) 两点间的高差与起算面无关,仅仅体现两点间的高低关系;

(3) 高差总是带有与测量方向、相对高低有关的符号。若  $h_{AB}$  为正,则说明  $B$  点高于  $A$  点;若  $h_{AB}$  为负,则说明  $B$  点低于  $A$  点。

## 第三节 地面点的坐标表示

测量上确定地面点在投影面上的位置的坐标系有地理坐标系、高斯-克吕格平面直角坐标系和平面直角坐标系三种。

### 1 地理坐标系

表示地面点在参考椭球面上投影位置的经度和纬度,叫做地理坐标。它是一种球面坐标,坐标值都是角值。如图 2-6 所示,地理坐标系是利用地球上可以被统一认定的点、线、面来建立的,所以有必要来研究这些点、线、面。

#### 1.1 地轴、两极

地球的自转轴即旋转椭球体的短轴叫做地轴。



地轴与地球椭球面相交的两点  $N$ 、 $S$  分别叫做北极和南极。

### 1.2 子午面、子午线、经度

过地面点  $M$  且包含地轴的平面称为子午面，子午面与椭球面的交线叫做子午线。世界各国统一将通过英国格林尼治天文台的子午面，叫做首子午面，首子午面与旋转椭球面的交线，称为首子午线。过地面上任意一点  $M$  的子午面与首子午面的夹角  $L$  叫做  $M$  点的经度。由首子午面向东量称为东经；向西量称为西经。其取值范围均为  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

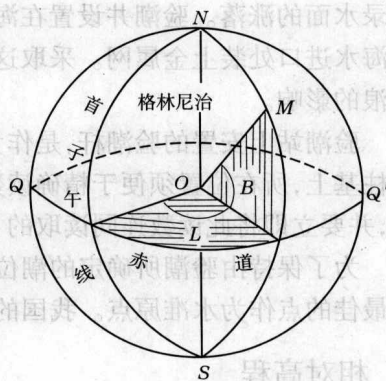


图 2-6 地理坐标

### 1.3 赤道、纬度

过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面。赤道面与旋转椭球面的交线称为赤道。 $M$  点的法线与赤道面交角  $B$  叫做  $M$  点纬度。由赤道向北度量叫北纬，由赤道向南度量叫南纬。其取值范围均为  $0^\circ \sim 90^\circ$ ，例如：北京某地一点的地理坐标为东经  $116^\circ 28'$ ，北纬  $39^\circ 54'$ 。

## 2 高斯 - 克吕格平面直角坐标系

### 2.1 高斯 - 克吕格投影

地理坐标只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置，但测量上的计算和绘图，要求最好在平面上进行。而旋转椭球面是一个曲面，如何建立一个平面直角坐标系呢？这要应用一定的投影方法来解决这个问题。我国采用的是横切圆柱投影——高斯 - 克吕格的方法来建立平面直角坐标系，称为高斯 - 克吕格直角坐标系，简称高斯坐标系。高斯投影是德国测量学家高斯于 1825 ~ 1830 年首先提出的，实际上直到 1912 年，由德国另一位测量学家克吕格推出实用的坐标投影公式后，这种投影才得到推广。

高斯投影又称横圆柱正形投影，为了说明问题的方便，将地球当成圆球，设想将一个横置的空心圆柱套在地球的外面，如图 2-7(a) 所示，使圆柱的轴心通过球心，同时使地球上某子午线（称为中央子午线）与圆柱面相切。若以地心为投影中心，将中央子午线两侧一定经差范围内的点、线及图形投影到圆柱上。将圆柱沿着通过南北极的母线剪开后展平，便可得到整个投影带在高斯投影面上的投影，如图 2-7(b) 所示。

### 2.2 高斯投影的特点

(1) 中央子午线投影后为一直线且长度保持不变；其他子午线投影后均为曲线，对称地凹向中央子午线，且距中央子午线越远投影后弯曲程度越大，长度变形越大。

(2) 赤道  $LR$  投影后亦为一直线，但长度变长，并与中央子午线正交。

(3) 对称于赤道的纬圈，投影后仍为成对的曲线，并与子午线的投影曲线互相垂直，即角度在投影前后保持不变。所以，高斯投影又称为保角投影。

### 2.3 高斯平面直角坐标系

考虑到投影后中央子午线与赤道正交，取中央子午线为纵坐标轴，用  $X$  表示，赤道为横轴，用  $Y$  表示，交点为原点  $O$ ，这样便构成了高斯平面直角坐标系，如图 2-8 所示。