

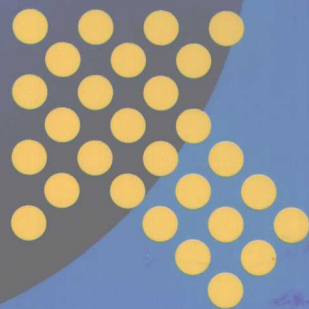
21世纪高等学校规划教材



XIANDAI GONGCHENG CELIANG

现代工程测量

何保喜 潘传姣 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

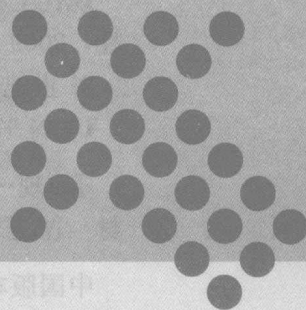
21世纪高等学校规划教材



XIANDAI GONGCHENG CELIANG

现代工程测量

主 编 何保喜 潘传姣
编 写 马玉晓 王晓静 朱淑丽 高 宁
主 审 高德慈



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材, 全书共分 4 篇 18 章。第 1 篇为基础篇 (第 1~9 章), 包括水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、全站仪及其使用、测量误差的基本知识、小地区控制测量、地形图测绘、测设的基本工作。本篇主要介绍测量学的基础知识, 增加了电子经纬仪、电子水准仪、激光扫平 (准直) 仪、全站仪的应用及数字测图技术, 各专业通用; 第 2 篇为应用篇 (第 10~14 章), 包括地形图的应用、建筑施工测量、管道施工测量、道桥施工测量、地籍测量与房地产测量; 第 3 篇为提高篇 (第 15~17 章), 包括现代工程测量的“3S”技术 (GPS 测量技术、摄影测量与遥感、地理信息系统)。本篇主要介绍现代测量技术, 拓展学生的知识面, 培养学生的动手能力和实践能力, 教师可根据不同专业的特点和教学要求选用; 第 4 篇为实践篇 (第 18 章), 包括工程测量实验与实习的内容。

本书可作为高等院校土木工程 (含道路工程、桥梁工程、岩土工程、给水排水工程、建筑环境与设备工程等), 工程管理, 工程造价, 房地产经营与管理, 城市规划, 艺术设计, 建筑学, 土地资源管理及相近专业教材, 也可作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代工程测量/何保喜, 潘传姣主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8042 - 1

I. 现… II. ①何…②潘… III. 工程测量—高等学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 193231 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 536 千字

定价 35.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书为 21 世纪高等学校规划教材,是非测绘类专业基础课程《工程测量》的实用教材。内容包括普通测量学及部分工程测量学,增加了现代测量技术部分,是作者多年来教学经验的总结和实践工作的结晶。可作为土木工程、交通工程、城市规划、艺术设计、建筑学、给水排水工程、工程管理、工程造价、房地产经营与管理、建筑环境与设备工程、环境工程、土地管理等专业的通用教材。

本书总的编写宗旨是针对 21 世纪我国高等教育人才培养目标——基础扎实、知识面广、能力强、素质高的要求,在遵循先进性、科学性、系统性编写原则的基础上,突出基础性、实用性、现代性,采用模块化编写方式。第 1 篇为基础篇,介绍测量学的基础知识;第 2 篇为应用篇,介绍测量在工程中的应用;第 3 篇为提高篇,介绍现代工程测量的新仪器、新技术。第 4 篇为实践篇,指导学生进行实验和综合实习。第 1、2 篇为基础内容,各专业通用;第 3、4 篇为提高与实践内容,可根据不同专业的特点和教学要求选用。教材内容符合非测绘类专业《工程测量》课程的需要,兼顾了在教学内容、学时安排、侧重点、仪器设备等方面各个专业的特点,适合高校现代仪器设备更新不足的现状。既给了教师更多灵活选择的空間,又满足了学生拓展知识的迫切要求。

全书由河南城建学院何保喜、潘传姣主编。具体编写分工如下:何保喜编写第 1、5、7 章;潘传姣编写第 6、10、14 章;河南城建学院马玉晓编写第 9、12、13 章;王晓静编写第 4、11、15 章;朱淑丽编写第 2、3、16、17 章;高宁编写第 8、18 章。北京工业大学高德慈审阅了全书。

由于编者水平有限,书中谬误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

前言

第 1 篇 基 础 篇

第 1 章 绪论	1
1.1 工程测量学概述	1
1.2 地球的形状和大小	3
1.3 地面点空间位置的确定	5
1.4 用水平面代替水准面的限度	9
1.5 测量工作的基本内容与原则	11
1.6 测量常用度量单位	12
思考题	13
第 2 章 水准测量	14
2.1 水准测量原理	14
2.2 DS ₃ 水准仪和水准测量工具	15
2.3 水准仪的使用	17
2.4 水准测量的施测方法	18
2.5 水准测量的内业计算	22
2.6 微倾式水准仪的检验与校正	24
2.7 水准测量的误差及其注意事项	27
2.8 其他水准仪简介	28
思考题	32
第 3 章 角度测量	35
3.1 水平角和竖直角测量原理	35
3.2 DJ ₆ 光学经纬仪和角度测量工具	36
3.3 水平角观测	38
3.4 竖直角测量	42
3.5 经纬仪的检验与校正	45
3.6 角度测量误差与注意事项	48
3.7 其他经纬仪简介	50
思考题	53
第 4 章 距离测量与直线定向	55
4.1 钢尺量距	55
4.2 视距测量	60

4.3 光电测距 62

4.4 直线定向 66

思考题 68

第5章 全站仪及其使用 70

5.1 概述 70

5.2 全站仪的结构与功能 72

5.3 全站仪测量方法 76

思考题 84

第6章 测量误差的基本知识 85

6.1 概述 85

6.2 衡量精度的指标 87

6.3 误差传播定律 89

6.4 等精度直接观测值平差 92

思考题 95

第7章 小地区控制测量 96

7.1 控制测量概述 96

7.2 导线测量 98

7.3 交会定点 107

7.4 高程控制测量 108

思考题 112

第8章 地形图测绘 114

8.1 地形图的比例尺 114

8.2 大比例尺地形图图式 118

8.3 地形图的矩形分幅编号与图廓注记 124

8.4 测图前的准备工作 127

8.5 经纬仪测绘法 129

8.6 地形图的绘制 133

8.7 数字化测图 138

思考题 148

第9章 测设的基本工作 150

9.1 水平角、水平距离和高程的测设 150

9.2 点的平面位置测设 154

9.3 已知坡度直线的测设 155

思考题 156

第2篇 应 用 篇

第10章 地形图的应用 158

10.1 地形图的识读 158

10.2 地形图应用的基本内容 163

10.3	面积量算	165
10.4	工程建设中的地形图应用	167
10.5	建筑设计中的地形图应用	172
10.6	给排水工程设计中的地形图应用	172
10.7	城市规划用地分析中的地形图应用	173
	思考题	174
第 11 章	建筑施工测量	176
11.1	施工测量概述	176
11.2	建筑施工控制测量	177
11.3	建筑施工测量	180
11.4	其他建(构)筑物施工测量	188
11.5	建(构)筑物变形观测	193
11.6	竣工总平面图的编绘	199
	思考题	201
第 12 章	管道施工测量	202
12.1	概述	202
12.2	管道中线测量	203
12.3	管道纵横断面图测绘	205
12.4	管道施工测量	211
12.5	顶管施工测量	213
12.6	管道竣工测量	215
	思考题	216
第 13 章	道桥施工测量	218
13.1	中线测量	218
13.2	圆曲线及缓和曲线的测设	221
13.3	路线纵横断面测量	231
13.4	土石方的计算与调配	238
13.5	道路施工测量	241
13.6	桥梁施工测量	245
	思考题	249
第 14 章	地籍测量与房地产测量	251
14.1	概述	251
14.2	地籍调查	252
14.3	地籍测量	257
14.4	土地面积量算	266
14.5	地籍变更测量	268
14.6	房地产调查	269
14.7	房产图测绘	274
14.8	房屋建筑面积及用地面积量算	281

14.9 房产变更测量	284
思考题	285

第 3 篇 提 高 篇

第 15 章 GPS 测量技术	287
15.1 概述	287
15.2 GPS 系统的组成	288
15.3 GPS 定位的基本原理	290
15.4 GPS 测量实施	292
15.5 GPS 测量实例	296
思考题	301
第 16 章 摄影测量与遥感	302
16.1 航空摄影测量	302
16.2 遥感(RS)技术	305
思考题	308
第 17 章 地理信息系统 (GIS)	309
17.1 概述	309
17.2 GIS 的构成	310
17.3 GIS 的功能与应用	312
17.4 3S 集成技术与数字地球	313
思考题	315

第 4 篇 实 践 篇

第 18 章 工程测量实验与实习	316
18.1 测量实验与实习须知	316
18.2 测量实验指导	318
18.3 测量综合实习指导	332
参考文献	343

第 1 篇 基 础 篇

第 1 章 绪 论

[导言] 本章是学习本课程的基础知识。通过本章学习,要明确工程测量学的定义和内容,了解地球形状和大小、测量工作的基准面和基准线、地面点空间位置的测量原理和方法,掌握高斯投影的原理和方法、测量工作的基本内容和基本原则。

1.1 工程测量学概述

1.1.1 工程测量学的概念与任务

工程测量学是研究各种工程在规划设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。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,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、摄影测量学及普通测量学的理论与方法在工程中的具体应用。

工程建设一般可分为:勘测设计、建设施工、生产运营三个阶段。

勘测设计阶段的测量主要任务是测绘地形图。测绘地形图是在建立测图控制网的基础上进行大比例尺地面测图或航空摄影测量。

建设施工阶段的测量主要任务是按照设计要求,在实地准确地标定建筑物或构筑物各部分的平面位置和高程,作为施工与安装的依据(简称为标定);是在建立工程控制网的基础上,根据工程建设的要求进行的施工测量。

生产运营阶段的测量主要任务是竣工验收测量和变形监测等测量工作。

工程测量按所服务的工程种类,可分为建筑工程测量、线路工程测量、桥梁与隧道工程测量、矿山工程测量、城市工程测量、水利工程测量等。此外,还将用于大型设备的高精度定位和变形监测称为高精度工程测量;将摄影测量技术应用于工程建设称为工程摄影测量;而将自动化的全站仪或摄影仪在计算机控制下的测量系统称为三维工业测量。

本教材主要内容为现代工程测量,包括普通测量学及工程测量学的部分内容,并增加了现代测量技术的部分。

对于非测绘类专业的学生学习工程测量课程,必须首先了解测量学的基本知识。

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面(包含空中、地表、地下和海底)物体的空间位置,并将这些空间位置信息进行处理、存储、管理、应用的科学。它是测绘学科重要的组成部分,其核心问题是研究如何测定点的空间位置。测量学研究的内容分为测定和测设两部分。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,或把地球表面的地形按一定比例尺、规定的符号缩小绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用;测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工

的依据。

1.1.2 学习现代工程测量的目的和要求

本课程是非测绘工程专业（包括土木工程、交通工程、城市规划、艺术设计、建筑学、给水排水工程、工程管理、工程造价、房地产经营与管理、建筑环境与设备工程、环境工程、土地管理等）的专业技术基础课。通过课堂学习、课内实验、实践教学环节，要求学生掌握现代普通测量学的基本知识和基本理论；具有使用常规测量仪器的操作技能，了解现代测绘仪器的原理、使用方法；基本掌握大比例尺地形图测图的原理、方法；对数字测图的过程有所了解；在工程规划、设计和施工中能正确地使用地形图和测量信息；掌握处理测量数据的理论和评定测量精度的方法。在施工过程中，能正确使用测量仪器进行一般工程的施工放样工作。同时，非测绘专业的学生通过现代工程测量课程的学习，对现代工程测量技术的发展现状应有所了解和认识，并能够利用现代工程测量技术解决和处理工程建设施工中的实际问题。

现代工程测量是一门实践性很强的课程，在教学过程中，除了课堂讲授之外，还有实验课和教学实习。在掌握课堂讲授内容的同时，要认真参加实验课，以巩固和验证所学理论。教学实习是一个系统的实践环节，要积极参与、团结协作、保质保量、按时完成各项实习任务，才能对现代工程测量的基本知识和实践过程有一个完整的、系统的认识。

测量工作的主要任务是按照相关测量规范的规定提供点位的空间信息，工作中稍有不慎，发生错误，将造成巨大的经济损失，甚至造成人民生命、财产的损失，这是绝对不能允许的。因此，学习现代工程测量还要注意以下几个方面：要养成认真细致的工作习惯，尽可能减少粗差；坚持严格按照相关测量规范作业的原则，保持测量工作和成果的严肃性；树立高度的责任感、加强测量工作的检核，保证数据的正确性和测量成果的精度；测量工作大多是集体作业，特别是外业工作环境条件较差，因而要有团结、协作的集体主义精神和吃苦耐劳的工作作风，以保证测量工作的顺利进行和测量成果的质量。

1.1.3 工程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。工程测量学是从人类生产实践中逐渐发展起来的。在古代它与测量学并没有严格的界限。《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。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》，是一部世界最早的系统测绘地图的规范。唐朝刘遂等人，在河南滑县至上蔡之间实测了一段长达351里80步（唐代1里为300步）的子午线弧长，并用日圭测量太阳的阴影来确定纬度，是世界上最早子午线弧长测量，计算的地球半径与现代测量的地球半径接近。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，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,建立了我国的统一坐标系统——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——VirtuoZo,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(全球定位系统GPS,遥感技术RS,地理信息系统GIS,简称“3S”技术)所代替;测绘产品应用范围不断拓宽,并可向用户提供“4D”数字产品(数字高程模型DEM,数字正射影像DOM,数字栅格地图DLG,数字线画地图DRG);目前,数字化测绘技术正在向3S技术集成和信息化测绘技术发展。

1.2 地球的形状和大小

由于测量学的基本任务是将地球表面的地形(地物和地貌)测绘成地形图,因此确定地面点的位置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,要建立基准框架,就必须了解地球的形状与大小。

1.2.1 测量工作的基准面和基准线

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,但是这样的高低起伏,相对于地球的平均半径6371km来说还是很小的。因为海洋约占整个地球表面的71%,因此,人们把地球形状看作是被海水包围的球体,也就是假设一个处于完全静止的海水面向大陆、岛屿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[图1-1(a)]。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的形体叫大地体。

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。铅垂线可用悬挂垂球的细线方向表示(图1-2),它是测量工作的基准线。水准面与铅垂线方向具有处处正交的特性。

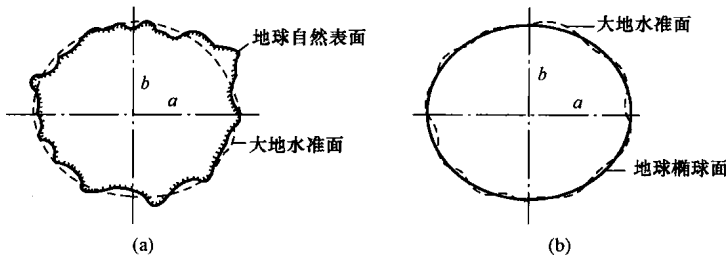


图 1-1 地球自然表面、大地水准面、地球椭球面间的关系



图 1-2 铅垂线

1.2.2 地球的形状与大小

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化，这将造成大地水准面实际上是略有起伏、不规则的、很难用数学方程表示的复杂曲面，如图 1-3 所示。如果将地球表面上的物体投影到这个复杂的曲面上，计算起来非常困难。为了解决投影计算及制图的问题，通常选择一个与大地体十分接近的、能用数学方程表示的旋转椭球体来代替大地体，称为地球椭球体 [图 1-1 (b)]。其中与大地体最为接近的地球椭球体称之为总地球椭球体，局部与大地体密合最好的地球椭球体称之为参考椭球体。在测量学中将地球椭球面代替大地水准面作为测量内业计算和制图的基准面，其对应的基准线为由地面任一点向地球椭球面所作的垂线——法线。

地球椭球体是一个数学曲面，如图 1-4 所示，用 a 表示椭球体的长半轴， b 表示短半轴，则地球椭球体的扁率 f 为

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

(1-1)

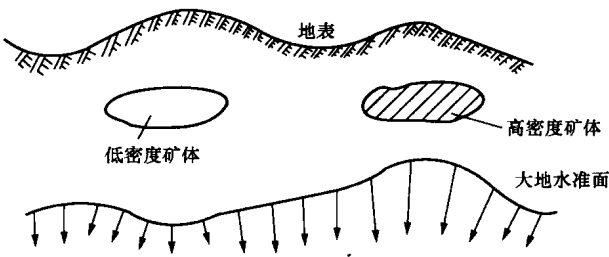


图 1-3 大地水准面的起伏

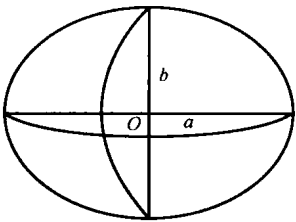


图 1-4 地球椭球体

在几何大地测量中，地球椭球体的形状和大小通常用 a 和 f 来表示。其值可用传统的弧度测量和重力测量的方法测定，也可采用现代大地测量的方法来测定。许多国内外学者曾分别测算出了不同地球椭球体的参数值，如表 1-1 所示。

表 1-1 地球椭球体的几何参数

椭球体名称	长半轴 a (m)	扁率 f	推算年代和国家
德兰布尔	6 375 653	1:334.0	1800 年法国
白塞尔	6 377 397.155	1:299.152 812 8	1841 年德国
克拉克	6 378 249	1:293.459	1880 年英国
海福特	6 378 388	1:297.0	1909 年美国

续表

椭球体名称	长半轴 a (m)	扁率 f	推算年代和国家
克拉索夫斯基	6 378 245	1:298.3	1940 年前苏联
IUGG—75	6 378 140	1:298.257	1979 年 IUGG 第 17 届大会推荐值
WGS—84	6 378 137	1:298.257 223 563	1984 年美国国防部制图局 (DMA)

注 IUGG 为国际大地测量与地球物理联合会 (International Union of Geodesy and Geophysics)。

我国在新中国成立前采用海福特椭球，新中国成立后一直采用克拉索夫斯基椭球，大地原点在苏联普尔科夫（现俄罗斯境内）。20 世纪 80 年代，我国采用了 IUGG 推荐的总地球椭球，其参数见表 1-1，并选择陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行了大地定位。由此建立起来全国统一坐标系，这就是现在使用的“1980 年国家大地坐标系”。

由于地球扁率很小，接近圆球。因此在精度要求不高的情况下，可以视椭球为圆球，其半径采用平均曲率半径，即

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371\text{km}$$

(1 - 2)

1.3 地面点空间位置的确定

测量工作的基本任务就是确定地面点的空间位置。在测量工作中，通常用地面点在基准面（如椭球体面）上的投影位置和该点沿投影方向到基准面（如椭球体面、水准面）的距离来表示。即地面点的空间位置，通常用地理坐标或平面直角坐标表示该点的平面位置；用到基准面的距离表示该点的高程。

1.3.1 地面点的坐标

根据不同的用途，表示地面点的坐标系也不同。在工程建设中通常采用地理坐标系（天文坐标系、大地坐标系）和平面直角坐标系（高斯平面直角坐标系、独立平面直角坐标系）。

一、地理坐标系

以经纬度来表示地面点位置的球面坐标系称之为地理坐标系。按坐标所依据的基准线和基准面的不同以及求坐标方法的不同，地理坐标系又可分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种。

（一）天文地理坐标系

天文地理坐标又称天文坐标，表示地面点在大地水准面上的位置，它的基准是铅垂线 and 大地水准面，它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。

如图 1-5 所示，过地面上任一点 P 的铅垂线与地球旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面。该子午面与经过英国格林尼治天文台的首子午面间的二面角为天文经度 λ 。从首子午面向东或向西计算，取值范围是 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，在首子午线以东为东经，以西为西经。过 P 点的铅垂线与赤道平面的夹角为天文纬度 φ 。自赤道起向南或向北计算，取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，在赤道以北为北纬，以南为南纬。

地面点的天文坐标可以用天文测量方法测定。例如广州地区的概略天文地理坐标为东经 $113^\circ 18'$ ，北纬 $23^\circ 07'$ 。由于天文测量定位精度不高，并且天文坐标之间在大地水准面上推算困难，使它在精确定位中较少使用，常用于导弹发射、天文大地网或独立工程控制网的起始

点定向。

(二) 大地地理坐标系

大地地理坐标又称大地坐标，是表示地面点在参考椭球面上的位置，它的基准是法线和参考椭球面，它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。如图 1-6 所示， 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两面角， P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经度 L 和大地纬度 B 的取值范围与天文坐标相同。

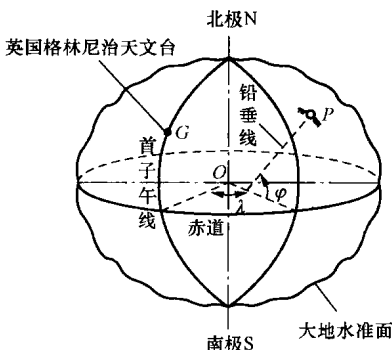


图 1-5 天文地理坐标

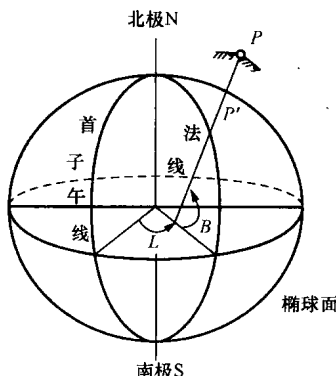


图 1-6 大地地理坐标

地面点的大地坐标是根据起始大地点（又称大地原点，该点的大地经纬度与天文经纬度一致）的大地坐标，按大地测量所得的数据推算而得的。目前我国使用的是“1980 年国家大地坐标系”，也称为“1980 西安坐标系”；我建国初期使用的坐标系称“1954 北京坐标系”，其大地原点位于前苏联列宁格勒天文台中央。

二、平面直角坐标系

(一) 高斯平面直角坐标系

使用地理坐标对局部测量工作来说是非常不方便的。例如，在赤道上 $1''$ 的经度差或纬度差对应的地面距离约为 30m，且测量计算最好在平面上进行，但地球是一个不可展的曲面，当测区范围较大，不能把水准面当作水平面看待时，必须通过投影的方法将地球表面上的点位换算到平面上。而把地球椭球面上的图形展绘到平面上，必然产生变形。为了减少变形误差，我国采用一种适当的投影方法，这就是高斯投影。

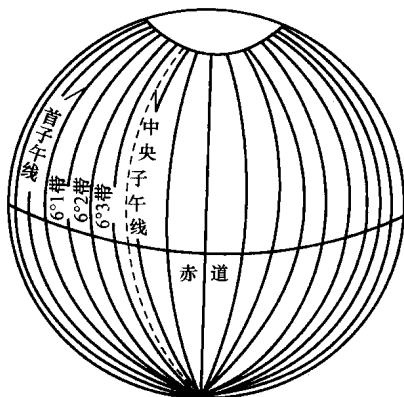


图 1-7 6°分带

(1) 高斯投影的方法。高斯投影是将地球按经线划分成带，称为投影带。如图 1-7 所示，投影带是从首子午线起，每隔经度 6° 划分为一带。从 0° 起算往东划分， $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带， $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带，…，全球依次划分为 60 个投影带，分带进行投影。各带中央的一条经线，例如第 1 带的 3° 经线，第 2 带的 9° 经线，称为中央子午线。 6° 带任一带的中央子午线经度 L 与投影带 N 的关系为

$$L = 6N - 3 \quad (1-3)$$

如图 1-8 所示，投影时是设想将一个空心的椭圆柱横套在地球椭球外面，使椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心，并使投影带中央子午线与椭圆柱面相切，

将椭球面上的图形按等角投影的原理投影到圆柱面上,然后将圆柱沿着过南北两极的母线切开,展成平面,即可在该平面上定义平面直角坐标系。

当要求投影变形更小时。可采用 3° 带投影。 3° 分带是从东经 $1^\circ30'$ 起,每经差 3° 划分一带,将整个地球划分为120个带。任一带的中央子午线经度 L' 与投影带 n 的关系为

$$L' = 3n \quad (1-4)$$

图1-9所示为高斯投影分带情况,图中上半部为 6° 带分带情况,下半部为 3° 带分带情况,我国领土 6° 带是从第13带~第23带。

(2) 高斯投影的特点:

1) 等角,即椭球面上图形的角度投影到平面之后,其角度相等,无角度变形,但距离与面积稍有变形。

2) 中央经线投影后仍是直线,且长度不变形,如图1-8所示。因此用这条直线作为平面直角坐标系的纵轴—— x 轴。而两侧其他经线投影后呈向两极收敛的曲线,并与中央经线对称,距中央经线越远长度变形越大。

3) 赤道投影也为直线。因此,这条直线作为平面直角坐标的横轴—— y 轴。南北纬线投影后呈离向两极的曲线,且与赤道投影对称。

(3) 高斯平面直角坐标系。高斯平面直角坐标系是以各带的中央子午线投影为 x 轴,赤道投影为 y 轴,两轴的交点为坐标原点,构成各带独立的坐标系。我国位于北半球,所以纵坐标 x 均为正。横坐标 y 有正有负,如图1-10(a)所示。

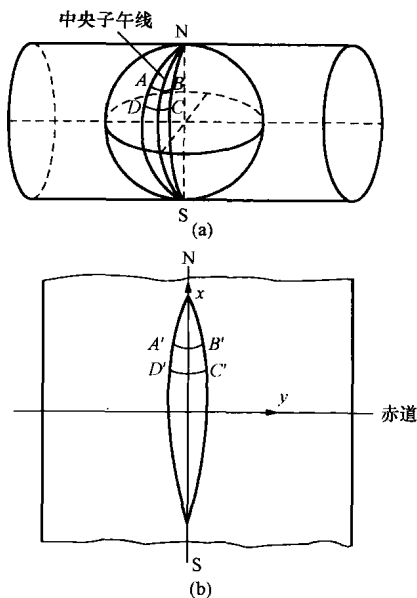


图1-8 高斯投影原理

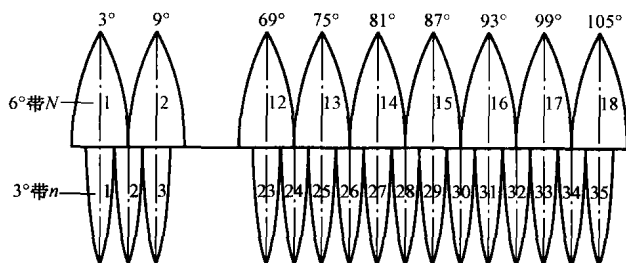


图1-9 高斯投影 6° 带与 3° 带

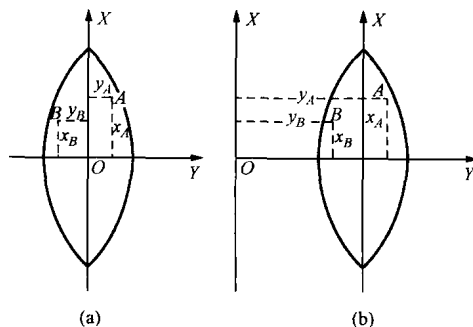


图1-10 高斯平面直角坐标

为了使横坐标不出现负值,通常将实际横坐标值加500km,称为通用横坐标。它与实际横坐标的关系如下

$$y_{\text{通用}} = y_{\text{实际}} + 500\,000\text{m}$$

例如,设 $y_A = +137\,680\text{m}$, $y_B = -274\,240\text{m}$ 。为了避免横坐标出现负值,相当于把坐标纵轴向西移500km。如图1-10(b)所示。这时

$$y_A = 500\,000 + 137\,680 = 637\,680\text{m}$$

$$y_B = 500\,000 - 274\,240 = 225\,760\text{m}$$

为了区分横坐标位于哪一个 6° 带内,还要在横坐标值前冠以带号。例如A点位于20带内,则A点通用横坐标 $y_{A\text{通用}} = 20\,637\,680\text{m}$,B点通用横坐标 $y_{B\text{通用}} = 20\,225\,760\text{m}$ 。因此实际横坐标换算为通用横坐标的公式为

$$y_{\text{通用}} = \text{带号} + y_{\text{实际}} + 500\,000\text{m} \quad (1-5)$$

由于我国领土 6° 带是从第13带~第23带,通用横坐标换算为实际横坐标时,通用横坐标数中前两位均为带号。当通用横坐标换算为实际横坐标时,首先应先去掉前两位带号,再减去500km。

(二) 假定平面直角坐标系

《城市测量规范》(CJJ 8—1999)规定,面积小于 25km^2 的城镇,可不经投影采用假定平面

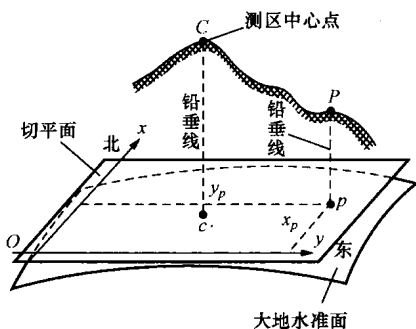


图 1-11 假定平面直角坐标系原理图

面直角坐标系统在平面上直接进行计算。如图1-11所示,将测区中心点C沿铅垂线投影到大地水准面上得c点,用过c点的切平面来代替大地水准面,在切平面上建立的测区平面直角坐标系 xOy 称为“假定平面直角坐标系”。坐标系的原点选在测区西南角以使测区内点 x, y 的坐标均为正值,规定南北方向为纵轴,记为 x 轴, x 轴向北为正,向南为负;以东西方向为横轴,并记为 y 轴, y 轴向东为正,向西为负。将测区内任一点P沿铅垂线投影到切平面上的 p 点,坐标 x_p, y_p 就是P点在假定平面直角坐标系中的坐标。

测量的平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号,与数学上的 x 轴和 y 轴互换,其目的是为了定向方便,可以将数学上定义的各类三角函数在测量平面直角坐标系中直接应用,不需做任何变更。

1.3.2 地面点的高程

高程系是一维坐标系,它的基准是大地水准面。由于海水面受潮汐、风浪等影响,它的高低时刻在变化。通常是在海边设立验潮站,进行长期观测,求得海水面的平均高度作为高程零点,以通过该点的大地水准面为高程基准面,也即大地水准面上的高程为零。

(一) 国家高程系统

我国境内所测定的高程点是以青岛验潮站历年观测的黄海平均海水面为基准面,并于1954年在青岛市观象山建立了水准原点,通过水准测量的方法将验潮站确定的高程零点引测到水准原点,也即求出水准原点的高程。

新中国成立后,1956年我国采用青岛验潮站1952~1979年共27年的潮汐记录资料推算出的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为72.289m,以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956年黄海高程系”,简称“56黄海系”。

20世纪80年代,我国又采用青岛验潮站1953~1977年共25年的潮汐记录资料推算出的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为72.260m,以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1985国家高程基准”,简称“85高程基准”。

由上可知,在水准原点,“85高程基准”使用的大地水准面比“56黄海系”使用的大地水准面高出0.029m。

(1) 绝对高程：地面点沿铅垂线到大地水准面的距离称为该点的绝对高程或海拔，简称高程。通常用 H 加点名作下标表示。图 1-12 中 A, B 两点的高程表示为 H_A, H_B 。

(2) 相对高程：在局部地区，当无法知道绝对高程时，也可以假定一个水准面作为高程起算面，地面点到假定水准面的垂直距离，称为假定高程或相对高程，通常用 H' 加点名作下标表示。图 1-12 中 A, B 两点的相对高程表示为 H'_A, H'_B 。

(3) 高差：地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差，用 h 加两点点名作下标表示。如 A, B 两点高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-6)$$

(二) 城市高程系统的选择

《城市测量规范》规定，一个城市只应采用一个统一的高程系统。城市高程系统应采用“1985 国家高程基准”或沿用“1956 年黄海高程系统”，在远离国家水准点的新设城市或在改造旧有水准网因高程变动而影响使用时，经上级行政主管部门批准后，可暂时建立或使用地方高程系统，但应争取条件归算到“1985 国家高程基准”上来。

1.3.3 WGS—84 坐标系

WGS 英文意义是“World Geodetic System”（世界大地坐标系），它是美国国防局为进行

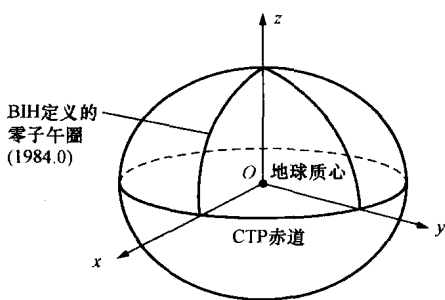


图 1-13 WGS—84 世界大地坐标系

GPS 导航定位于 1984 年建立的地心坐标系，1985 年投入使用。WGS—84 坐标系的几何意义是：坐标系的原点位于地球质心， z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极（CTP）方向， z 轴指向 BIH1984.0（BIH——国际时间局）的零度子午面和 CTP 赤道的交点， y 轴通过 x, y, z 符合右手规则确定，见图 1-13。WGS—84 地心坐标系可以与“1954 北京坐标系”或“1980 国家大地坐标系”等参心坐标系相互转换。

1.4 用水平面代替水准面的限度

当测区范围较小时，可将大地水准面近似地当作水平面。下面分析当测区范围究竟多大时，用水平面代替大地水准面所产生的距离和高差变形在测图误差的允许范围。

如图 1-14 所示，设地面 C 点为测区中心点， P 点为测区内任一点，两点沿铅垂线投影到大地水准面上的点分别为 c 和 p 点。过 c 点做大地水准面的切平面， P 点在切平面上的投影为 p' 点。图中大地水准面的曲率对水平距离的影响为 $\Delta D = D' - D$ ，对高程的影响为 $\Delta h =$

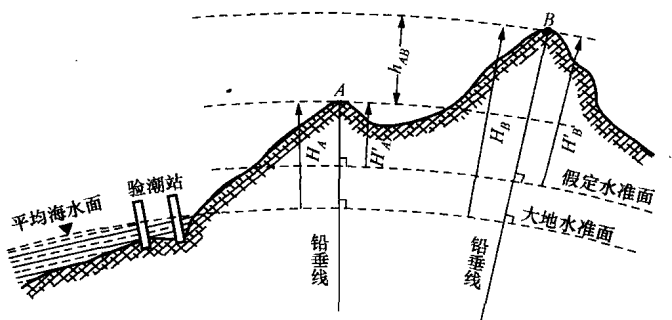


图 1-12 高程与高差的定义及其相互关系