

新世纪土木工程专业系列教材

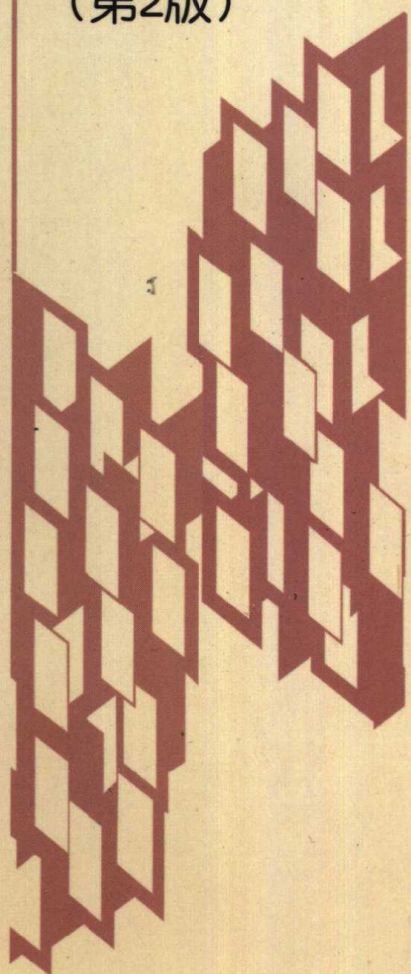


土木工程测量

TUMU GONGCHENG CELIANG

(第2版)

胡伍生 主编
潘庆林



东南大学出版社

新世纪土木工程专业系列教材

土木工程测量

第二版

胡伍生 潘庆林 主编



东南大学出版社

内 容 提 要

本书根据高等学校土木建筑类专业测量学教学大纲及国家最新测量规范编写,内容包括:水准测量、角度测量、距离测量、测量误差分析、小地区控制测量、地形图的测绘与应用、建筑施工测量、路桥和隧道施工测量,以及测绘新技术简介等。

本书具有较宽的专业适应面,既有较完整的理论,又注重工程实用性,并力求反映当代测量学科的最新技术。

本书可作为高等学校土木工程专业或其他相关专业的教材,既适用于本科和专科的教学,也适用于电大、职大、函大、自学考试及各类培训班的教学,并可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/胡伍生,潘庆林主编.—2版.—南京:东南大学出版社,2002.8
新世纪土木工程专业系列教材
ISBN 7-81050-504-1

I.土… II.①胡…②潘… III.土木工程-工程测量-高等学校-教材 IV.TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 061453 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼2号 邮编210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 扬中市邮电印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17 字数:435千

2002年8月第2版 2002年8月第1次印刷

总第4次印刷,印数:10001~14000册 定价:25.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3792327)

新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧 王 炜 冯 健 叶见曙 石名磊 刘松玉 吕志涛

成 虎 李峻利 李爱群 沈 杰 沙庆林 邱洪兴 陆可人

舒贛平 陈荣生 单 建 周明华 胡伍生 唐人卫 郭正兴

钱培舒 曹双寅 黄晓明 龚维民 程建川 容柏生 蒋永生

序

东南大学是教育部直属重点高等学校，在 20 世纪 90 年代后期，作为主持单位开展了国家级“20 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究，提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上，根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科（四年制）培养方案”，修订了土木工程专业教学计划，确立了新的课程体系，明确了教学内容，开展了教学实践，组织了教材编写。这一改革成果，获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化，编写的宗旨是：根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求，实现课程体系的整体优化；拓宽专业口径，实现学科和专业基础课程的通用化；将专业课程作为一种载体，使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色：

1. 符合新世纪对土木工程专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作，这是新世纪对土木工程专业的要求。面对如此宽广的领域，只能从终身教育观念出发，把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此，本系列的专业基础课教材，既打通了工程类各学科基础，又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础，以基本原理为主，实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材，既整合了建筑结构和桥梁结构等内容，又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同，按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发，与设课群组相结合，将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列，使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合，并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则，融知识和能力为一体，避免成为职业的界定，而主要成为能力培养的载体。

3. 教材内容具有现代性，用整合方法大力精减

对本系列教材的内容，本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性，还要求具有现代性，纳入最新知识及发展趋向。例如，现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中，专业基础课（平台课）及专业课的学时较少。对此，除了少而精的方法外，本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽，包括了土木工程各领域共性内容的整合，不同材料在结构、施工等教材的整合，还包括课堂教学内容与实践环节的整合，可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做，不只是为了精减学时，更主要的是可淡化细节了解，强化学习概念和综合思维，有助于知识与能力的协调发展。

4. 发挥东南大学的办学优势

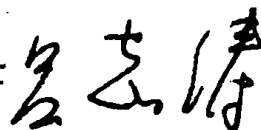
东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有 80 年的历史，有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学，代代相传。按土木工程专业办学，有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书 40 余本，其中 9 本教材获国家和部、省级奖，4 门课程列为江苏省一类优秀课程，5 本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中，实行了老中青相结合，老教师主要担任主审，有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编，从而保证了原有优势的发挥，继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”的重任。因此，为了出精品，一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版，另一方面希望大家在积极选用本系列教材中，提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏，使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展，为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后，在这里特别指出，这套系列教材，在编写出版过程中，得到了其他高校教师的大力支持，还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此，我们向他们一并致以深深的谢意。同时，对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士



2001 年 9 月

前 言

本书是《新世纪土木工程专业系列教材》之一，是在1999年第一版的基础上补充、修订而成的。全书共12章，分为四大部分：第一部分（第1~5章）主要介绍了测量学的基本知识、基本理论以及测量仪器的构造和使用方法；第二部分（第6~8章）介绍了小地区控制测量及大比例尺地形图的测图、识图和用图；第三部分（第9~11章）为施工测量部分，详细介绍了建筑施工测量及路桥和隧道施工测量内容，各专业可根据需要选用；第四部分（第12章）简要介绍了当前的测绘新仪器和新技术，如电子数字水准仪、全站仪、激光铅垂仪、大比例尺数字测图系统及全球卫星定位系统（GPS）等。本书按照国家最新测量规范编写，力求做到简明、扼要、实用，并较多地融入当前的测绘新技术，每章之后附有习题。

为了适应高等学校土木工程专业测量学课程教学改革的新要求，本书对第一版中常规测量方面的内容作了必要的精减、修改，相应地增补了有关大型斜拉桥施工测量、隧道施工测量、大比例尺数字测图系统及GPS精密高程测量等内容。

本书由胡伍生、潘庆林主编，参加编写的有东南大学胡伍生（第5、6、7、10章）、沈耀良（第9、11章），南京工业大学潘庆林（第1、3、12章）、蒋辉（第2章），中国人民解放军理工大学王源（第4章），南京林业大学栾志刚（第8章），全书插图均由沈耀良描绘。

本书由中国人民解放军理工大学刘建永主审。

在本书编写工作中，东南大学赵殿甲教授对本书的结构体系和具体内容提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

尽管我们尽了很大的努力，但书中还可能存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2002年3月于南京

电子信箱：ws.hu@jlonline.com

目 录

1 绪论	(1)
1.1 测量学的任务及其作用.....	(1)
1.2 地球的形状和大小.....	(2)
1.3 地面点位的确定.....	(2)
1.4 水平面代替水准面的限度.....	(6)
1.5 测量工作概述.....	(7)
习题 1.....	(10)
2 水准测量	(11)
2.1 水准测量原理.....	(11)
2.2 DS ₃ 型水准仪及其操作.....	(13)
2.3 普通水准测量及其成果整理.....	(18)
2.4 DS ₃ 型水准仪的检验与校正.....	(24)
2.5 水准测量误差分析及注意事项.....	(27)
2.6 自动安平水准仪.....	(29)
2.7 精密水准仪简介.....	(30)
习题 2.....	(32)
3 角度测量	(34)
3.1 角度测量原理.....	(34)
3.2 DJ ₆ 型光学经纬仪及其操作.....	(35)
3.3 水平角观测.....	(40)
3.4 竖直角观测.....	(44)
3.5 DJ ₆ 型光学经纬仪的检验与校正.....	(47)
3.6 角度测量的误差及注意事项.....	(52)
3.7 DJ ₂ 型光学经纬仪简介.....	(57)
习题 3.....	(59)
4 距离测量	(61)
4.1 钢尺量距.....	(61)
4.2 视距测量.....	(67)
4.3 光电测距.....	(71)

习题 4	(76)
5 测量误差基本知识	(78)
5.1 测量误差概念	(78)
5.2 评定精度的标准	(81)
5.3 观测值的精度评定	(83)
5.4 误差传播定律及其应用	(86)
5.5 权的概念	(88)
习题 5	(92)
6 小地区控制测量	(93)
6.1 控制测量概述	(93)
6.2 直线定向	(96)
6.3 坐标正算与坐标反算	(100)
6.4 导线测量	(101)
6.5 角度前方交会法	(108)
6.6 三、四等水准测量	(111)
6.7 光电测距三角高程测量	(114)
习题 6	(117)
7 地形图的测绘	(119)
7.1 地形图的基本知识	(119)
7.2 测图前的准备工作	(130)
7.3 碎部测量的方法	(132)
7.4 地形图的绘制与拼接	(139)
习题 7	(141)
8 地形图的应用	(143)
8.1 地形图的识读	(143)
8.2 地形图应用的基本内容	(145)
8.3 地形图上面积的量算	(147)
8.4 地形图上土方量的计算	(151)
习题 8	(155)
9 测设的基本工作	(157)
9.1 已知水平距离、水平角和高程的测设	(157)
9.2 点的平面位置的测设方法	(160)
9.3 已知坡度线的测设	(161)
习题 9	(163)

10 建筑施工测量	(164)
10.1 施工测量概述	(164)
10.2 施工控制测量	(165)
10.3 多层民用建筑施工测量	(167)
10.4 工业厂房施工测量	(171)
10.5 高层建筑施工测量	(174)
10.6 管道工程测量	(178)
10.7 建筑物的变形观测	(183)
10.8 竣工总平面图的编绘	(188)
习题 10	(189)
11 道路、桥梁和隧道施工测量	(190)
11.1 道路工程测量概述	(190)
11.2 道路中线测量	(190)
11.3 圆曲线的测设	(195)
11.4 缓和曲线的测设	(202)
11.5 路线纵、横断面测量	(207)
11.6 道路施工测量	(213)
11.7 桥梁施工测量	(218)
11.8 隧道施工测量	(223)
习题 11	(227)
12 测绘新技术简介	(229)
12.1 电子数字水准仪	(229)
12.2 电子经纬仪	(233)
12.3 全站型电子速测仪	(235)
12.4 激光铅垂仪	(245)
12.5 大比例尺数字测图系统	(247)
12.6 全球定位系统 (GPS) 简介	(250)
习题 12	(258)
参考文献	(259)

1 绪论

1.1 测量学的任务及其作用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位的科学。它的内容包括两部分,即测定和测设。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成果,将地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设(放样)是指用一定的测量方法,按要求的精度,把设计图纸上规划设计好的建(构)筑物的平面位置和高程标定在实地上,作为施工的依据。

测量学按其研究的范围和对象的不同,可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。本教材主要介绍土建工程在各个阶段所进行的测绘工作(简称土木工程测量)。

土木工程测量与普通测量学、工程测量学等学科都有着密切的联系,其主要有测图、用图、放样和变形观测等项内容。

测量学是一门历史悠久的科学,早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器,为天文、航海及测绘地图作出了重要的贡献。随着人类社会需求和近代科学技术的发展,测绘技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量,由航空摄影测量发展到航天遥感技术的应用;测量对象由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量仪器已广泛趋向精密化、电子化和自动化。从20世纪50年代起,我国的测绘事业进一步得到了蓬勃发展,在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制及测绘人才培养等方面,都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已居世界先进行列。

测绘技术是了解自然、改造自然的重要手段,也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作,应用广泛。它能为城镇规划、市政工程、土地与房地产开发、农业、防灾、科研等方面提供各种比例尺的现状地形图或专用图和测绘资料;同时按照规划设计部门的要求,进行道路规划定线和拨地测量,以及市政工程、工业与民用建筑工程等土木建筑工程的勘察测量,直接为建设工程项目的设计与施工服务;在工程施工过程和运营管理阶段,对高层、大型建(构)筑物进行沉降、位移、倾斜等变形观测,以确保建(构)筑物的安全,并为建(构)筑物结构和地基基础的研究提供各种可靠的测量数据。所以测绘工作将直接关系到工程的质量和预期效益的实现,是我国现代化建设不可缺少的一项重要工作。随着测绘科技的发展以及新技术的研究开发与应用,必将为各个行业及时提供更多更好的信息服务与准确、适用的测绘成果。

1.2 地球的形状和大小

测绘工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是极不平坦和不规则的,其中有高达 8 848.13m 的珠穆朗玛峰,也有深至 11 022m 的马里亚纳海沟,尽管它们高低起伏悬殊,但与半径为 6 371km 的地球比较,还是可以忽略不计的。此外,地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积仅占 29%。因此,人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地,形成一个闭合的曲面包围整个地球,这个闭合的曲面称之为水准面。由于海水面在涨落变化,水准面可有无数个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面,它是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体,如图 1-1a 所示。

水准面是受地球重力影响而形成的,它的特点是水准面上任意一点的铅垂线(重力作用线)都垂直于该点的曲面。由于地球内部质量分布不均匀,重力也受其影响,故引起了铅垂线方向的变动,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面。如果将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上,对于地形制图或测量计算工作都是非常困难的,为此,人们经过几个世纪的观测和推算,选用一个既非常接近大地体、又能用数学式表示的规则几何形体来代表地球的实际形体,这个几何形体是由一个椭圆 $NWSE$ 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,称为地球椭球体或旋转椭球体,如图 1-1b 所示。

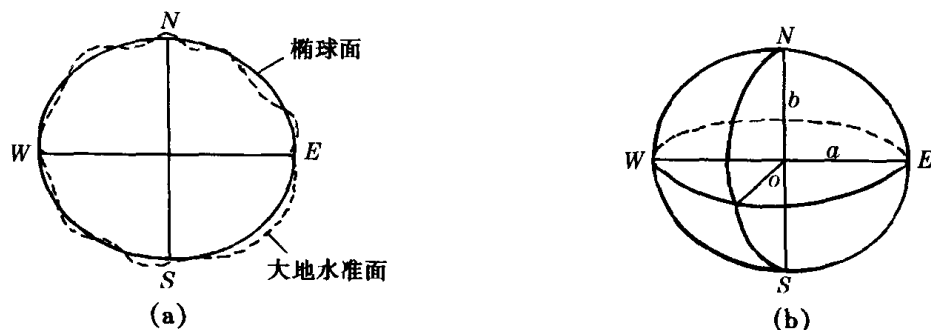


图 1-1 大地水准面与地球椭球体

决定地球椭球体形状和大小的参数为椭圆的长半径 a ,短半径 b 及扁率 α ,其关系式为:
$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$
。我国目前采用的参数数据为: $a = 6\,378\,140\text{m}$, $b = 6\,356\,755.3\text{m}$, $\alpha = 1:298.257$,并以陕西省西安市泾阳县永乐镇某点为大地原点,进行大地定位,由此建立了新的全国统一坐标系,即目前使用的“1980 西安坐标系”。

由于地球椭球体的扁率 α 很小,当测区面积不大时,可以把地球当作圆球来看待,其圆球半径 $R = \frac{1}{3}(2a + b)$, R 的近似值可取 6 371km。

1.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置,而地面点的位置通常需要用三个量表示,即该点的平面(或球面)坐标以及该点的高程。因此,必须首先了解测量的坐标系统和高程系统。

1.3.1 坐标系统

坐标系统是用来确定地面点在地球椭球面或投影在水平面上的位置。表示地面点位在球面或平面上的位置,通常有下列三种坐标系统:

1) 地理坐标

地面点在球面(水准面)上的位置用经度和纬度表示的,称为地理坐标。地理坐标又可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。图 1-2 所示为天文地理坐标,它表示地面点 A 在大地水准面上的位置,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。天文经度和天文纬度是用天文测量的方法直接测定的。

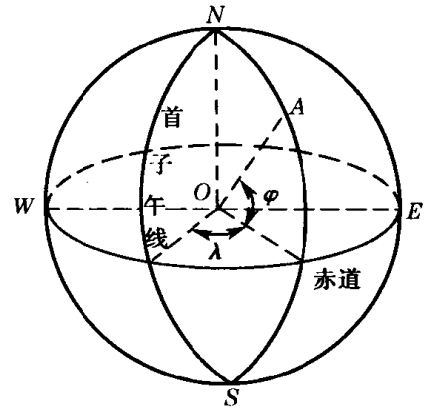


图 1-2 地理坐标

大地地理坐标是表示地面点在地球椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地经度和大地纬度是根据大地测量所得数据推算得到。经度是从首子午线(首子午面)向东或向西自 0° 起算至 180° ,向东者为东经,向西者为西经;纬度是从赤道(赤道面)向北或向南自 0° 起算至 90° ,分别称为北纬和南纬。我国国土均在北纬,例如南京市某地的大地地理坐标为东经 $118^\circ 47'$,北纬 $32^\circ 03'$ 。

2) 高斯平面直角坐标

上述地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算最好是在平面上进行,而地球椭球面是一个曲面,不能简单地展开成平面,那么如何建立一个平面直角坐标系呢?我国是采用高斯投影来实现。

高斯投影首先是将地球按经线分为若干带,称为投影带。它从首子午线(零子午线)开始,自西向东每隔 6° 划为一带,每带均有统一编排的带号,用 N 表示,位于各投影带中央的子午线称为中央子午线(L_0),也可由东经 $1^\circ 30'$ 开始,自西向东每隔 3° 划为一带,其带号用 n 表示,如图 1-3 所示。我国国土所属范围大约为 6° 带第 13 号带至第 23 号带,即带号 $N = 13 \sim 23$ 。相应 3° 带大约为第 24 号带至第 46 号带,即带号 $n = 24 \sim 46$ 。 6° 带中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3$, 3°

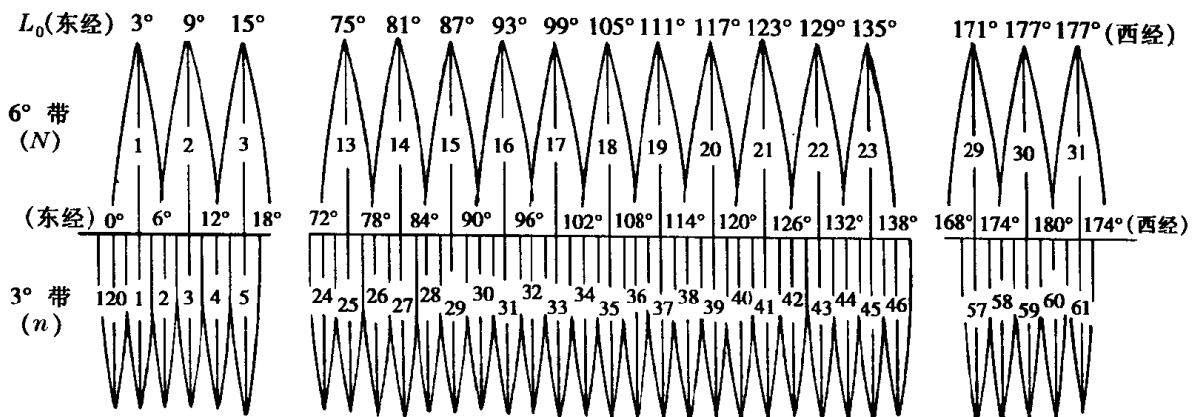


图 1-3 投影分带与 $6^\circ(3^\circ)$ 带

带中央子午线经度 $L_0' = 3n$ 。

设想一个横圆柱体套在椭球外面,使横圆柱的轴心通过椭球的中心,并与椭球面上某投影带的中央子午线相切,然后将中央子午线附近(即本带东西边缘子午线构成的范围)的椭球面上的点、线投影到横圆柱面上,如图 1-4 表示。再顺着过南北极的母线将圆柱面剪开,并展开为平面,这个平面称为高斯投影平面。在高斯投影平面上,中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线。我们规定中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的 x 轴,赤道的投影为高斯平面直角坐标系的 y 轴,两轴交点 O 为坐标原点,并令 x 轴上原点以北为正, y 轴上原点以东为正,由此建立了高斯平面直角坐标系,如图 1-5a 所示。

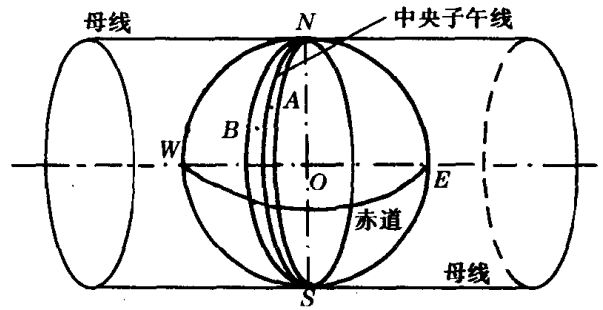


图 1-4 高斯平面直角坐标的投影

在图 1-5a 中,地面点 A 、 B 在高斯平面上的位置,可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示。

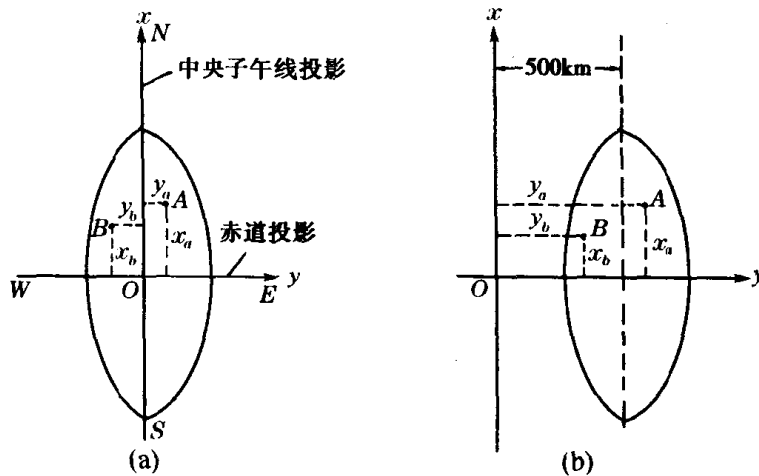


图 1-5 高斯平面直角坐标

由于我国国土全部位于北半球(赤道以北),故我国国土上全部点位的 x 坐标值均为正值,而 y 坐标值则有正有负。为了避免 y 坐标值出现负值,我国规定将每带的坐标原点向西移 500km,如图 1-5b 所示。由于各投影带上的坐标系是采用相对独立的高斯平面直角坐标系,为了能正确区分某点所处投影带的位置,规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。例如,图 1-5a 中 B 点位于高斯投影 6° 带,第 20 号带内($N = 20$),其真正横坐标 $y_b = -113\,424.690\text{m}$,按照上述规定 y 值应改写为 $Y_b = 20(-113\,424.690 + 500\,000) = 20\,386\,575.310$ 。反之,人们从这个 Y_b 值中可以知道,该点是位于 6° 第 20 号带,其真正横坐标 $y_b = 386\,575.310 - 500\,000 = -113\,424.690\text{m}$ 。

高斯投影是正形投影,一般只需将椭球面上的方向、角度及距离等观测值经高斯投影的方向改化和距离改化后,归化为高斯投影平面上的相应观测值,然后在高斯平面坐标系内进行平差计算,从而求得地面点位在高斯平面直角坐标系内的坐标。

3) 独立平面直角坐标

当测量范围较小时(如半径不大于 10km 的范围), 可以将该测区的球面看作为平面, 直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上, 用平面直角坐标来表示该点的投影位置。在实际测量中, 一般将坐标原点选在测区的西南角, 使测区内的点位坐标均为正值 (I 象限), 并以该测区的子午线(或磁子午线)的投影为 x 轴, 向北为正, 与之相垂直的为 y 轴, 向东为正, 由此建立了该测区的独立平面直角坐标系, 如图 1-6 所示。

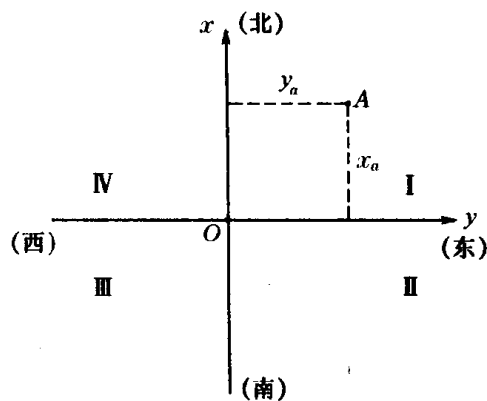


图 1-6 独立平面直角坐标

1.3.2 高程系统

建国以来, 我国曾以青岛验潮站多年观测资料求得黄海平均海水面作为我国的大地水准面(高程基准面), 由此建立了“1956年黄海高程系”, 并在青岛市观象山上建立了国家水准基点, 其基点高程 $H = 72.289\text{m}$ 。以后, 随着几十年来验潮站观测资料的积累与计算, 更加精确地确定了黄海平均海水面, 于是在 1987 年启用“1985 国家高程基准”, 此时测定的国家水准基点高程 $H = 72.260\text{m}$ 。根据国家测绘总局国测发[1987]198 号文件通告, 此后全国都应以“1985 国家高程基准”作为统一的国家高程系统。现在仍在使用的“1956 年黄海高程系统”及其他高程系统(如吴淞高程系统)均应统一到“1985 国家高程基准”的高程系统上。在实际测量中, 特别要注意高程系统的统一。

所谓地面点的高程(绝对高程或海拔)就是地面点到大地水准面的铅垂距离, 一般用 H 表示, 如图 1-7 所示。图中地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

在个别的局部测区, 若远离已知国家高程控制点或为便于施工, 也可以假设一个高程起算面(即假定水准面), 这时地面点到假定水准面的铅垂距离, 称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-7 中 A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。

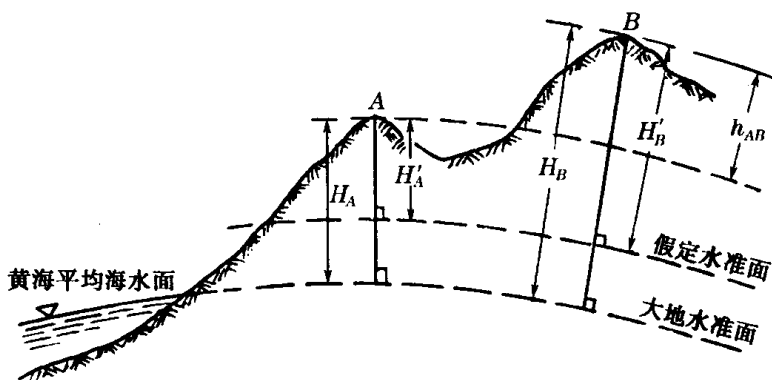


图 1-7 高程和高差

地面上两点间的高程之差, 称为高差, 一般用 h 表示。图 1-7 中 A 、 B 两点间高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

式中 h_{AB} 有正有负, 下标 AB 表示 A 点至 B 点的高差。

上式也表明两点间高差与高程起算面无关。

综上所述,当通过测量与计算,求得表示地面点位置的三个量,即 x 、 y 、 H ,那么地面点的空间位置也就可以确定了。

1.4 水平面代替水准面的限度

在普通测量范围内是将大地水准面近似地看作圆球面,将地面点投影到圆球面上,然后再投影到平面图纸上描绘,显然这是很复杂的工作。

在实际测量工作中,在一定的精度要求和测区面积不大的情况下,往往以水平面代替水准面,即把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置,这样可以简化计算和绘图工作。

从理论上讲,将极小部分的水准面(曲面)当作水平面也是要产生变形的,必然对测量观测值(如距离、高差等)带来影响。但是由于测量和制图本身会有不可避免的误差,如当上述这种影响不超过测量和制图本身的误差范围时,认为用水平面代替水准面是可以的,而且是合理的。本节主要讨论用水平面代替水准面对距离和高差的影响(或称地球曲率的影响),以便给出水平面代替水准面的限度。

1) 对距离的影响

如图 1-8 所示,设球面(水准面) P 与水平面 P' 在 A 点相切, A 、 B 两点在球面上弧长为 D ,在水平面上的距离(水平距离)为 D' ,即

$$D = R \cdot \theta, \quad D' = R \cdot \tan \theta$$

式中 R ——球面 P 的半径;

θ ——弧长 D 所对角度。

以水平面上距离 D' 代替球面上弧长 D 所产生的误差为 ΔD ,则

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-1)$$

将(1-1)式中 $\tan \theta$ 按级数展开,并略去高次项,得

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

将上式代入(1-1)式,并顾及 $\theta = \frac{D}{R}$,整理可得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-2)$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-3)$$

若取地球平均曲率半径 $R = 6371\text{km}$,并以不同的 D 值代入(1-2)式或(1-3)式,则得出距离误差 ΔD 和相应相对误差 $\Delta D/D$,如表 1-1 所列。

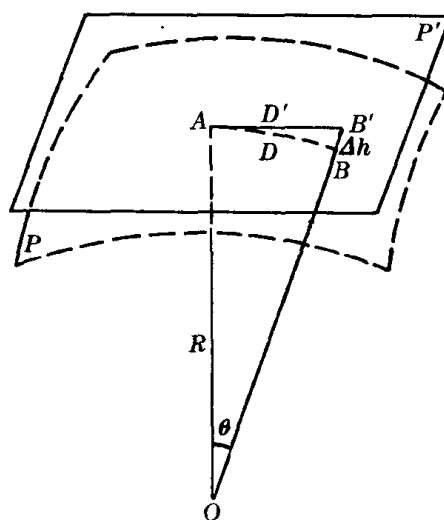


图 1-8 水平面代替水准面的影响

表 1 - 1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{mm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	8	1/1 220 000
25	128	1/200 000
50	1 026	1/49 000
100	8 212	1/12 000

由表 1 - 1 可知,当距离为 10km 时,用水平面代替水准面(球面)所产生的距离相对误差为 1/1 220 000,这样小的距离误差就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此,可以认为在半径为 10km 的范围内(相当面积 320km²),用水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计,也就是可不考虑地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时,还可以将测量范围的半径扩大到 25km(相当面积 2 000km²)。

2) 对高差的影响

在图 1 - 8 中, A 、 B 两点在同一球面(水准面)上,其高程应相等(即高差为零)。 B 点投影到水平面上得 B' 点。则 BB' 即为水平面代替水准面产生的高差误差。设 $BB' = \Delta h$, 则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

整理得

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h}$$

上式中,可以用 D 代替 D' , 同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计, 则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1 - 4}$$

以不同的 D 代入(1 - 4) 式,取 $R = 6 371\text{km}$, 则得相应的高差误差值,如表 1 - 2 所列。

表 1 - 2 水平面代替水准面的高差误差

距离 D/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h/\text{mm}$	0.8	3	7	13	20	78	314	1 962	7 848

由表 1 - 2 可知,用水平面代替水准面,在 1km 的距离上高差误差就有 78mm,即使距离为 0.1km(100m) 时,高差误差也有 0.8mm。所以,在进行水准测量时,即使很短的距离都应考虑地球曲率对高差的影响,也就是说,应当用水准面作为测量的基准面。

1.5 测量工作概述

地球表面是复杂多样的,在测量工作中将其分为地物和地貌两大类。地面上固定性物体,如河流、房屋、道路、湖泊等称为地物;地面的高低起伏的形态,如山岭、谷地和陡崖等称为地貌。地物和地貌统称为地形。

测量工作的主要任务是测绘地形图和施工放样,本节扼要介绍测图和放样的大概过程,为学习后面各章建立起初步的概念。