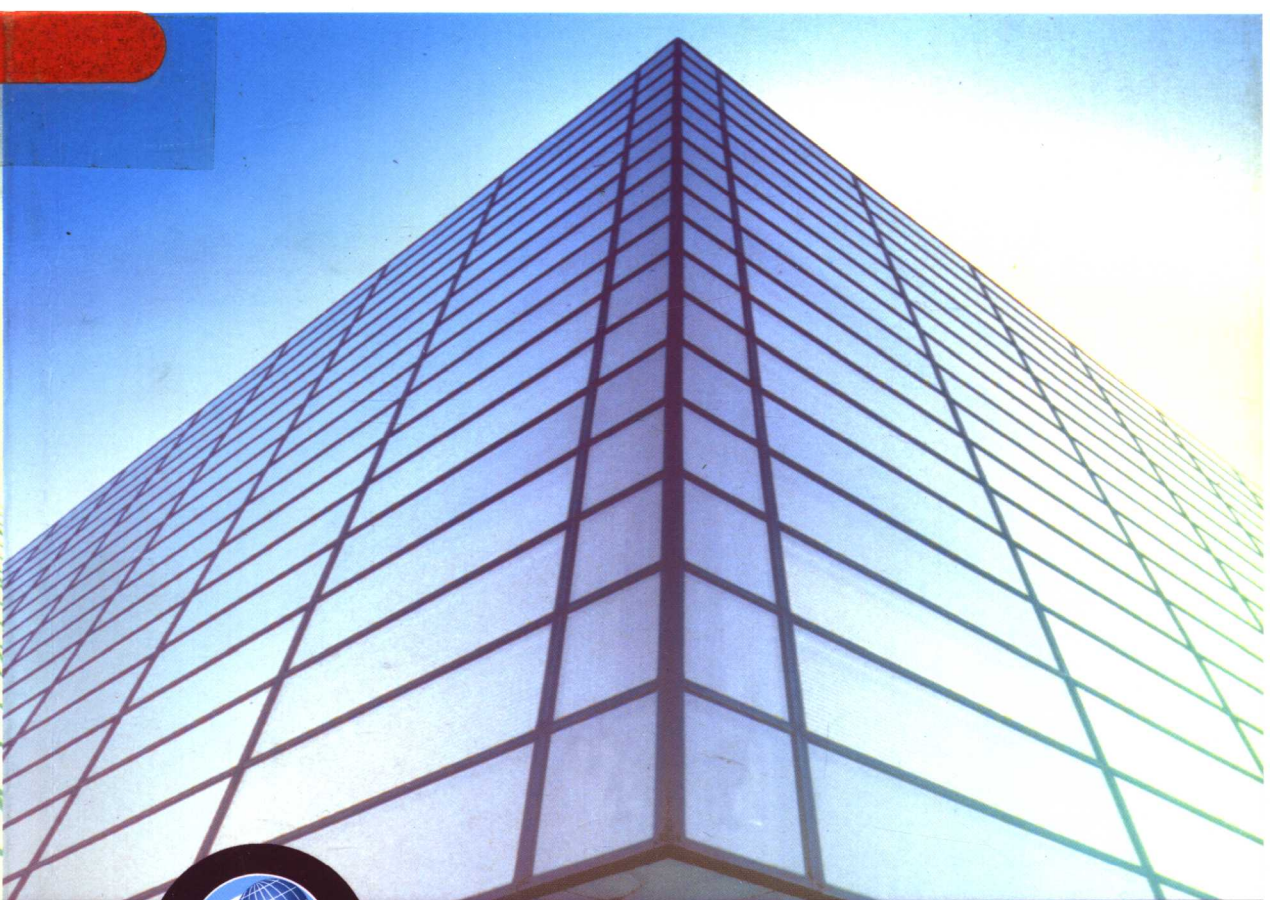




教育科学“十五”国家规划课题研究成果

土木工程 测量

周秋生 郭明建 主编



高等教育出版社



中国工程测量学会 中国测绘学会 中国土地学会 中国地理学会 中国地质学会 中国水利学会 中国气象学会 中国海洋学会 中国环境学会 中国能源学会 中国材料学会 中国机械学会 中国轻工学会 中国纺织学会 中国医药学会 中国农业学会 中国林业学会 中国水产学会 中国畜牧学会 中国兽医学会 中国兽医学界 中国植物学会 中国动物学会 中国昆虫学会 中国微生物学会 中国化学学会 中国物理学会 中国天文学学会 中国地质学会 中国地理学会 中国工程测量学会 中国测绘学会 中国土地学会 中国地理学会 中国地质学会 中国水利学会 中国气象学会 中国海洋学会 中国环境学会 中国能源学会 中国材料学会 中国机械学会 中国轻工学会 中国纺织学会 中国医药学会 中国农业学会 中国林业学会 中国水产学会 中国畜牧学会 中国兽医学会 中国兽医学界 中国植物学会 中国动物学会 中国昆虫学会 中国微生物学会 中国化学学会 中国物理学会 中国天文学学会

土木工程 测量

中国工程测量学会 中国测绘学会 中国土地学会 中国地理学会 中国地质学会 中国水利学会 中国气象学会 中国海洋学会 中国环境学会 中国能源学会 中国材料学会 中国机械学会 中国轻工学会 中国纺织学会 中国医药学会 中国农业学会 中国林业学会 中国水产学会 中国畜牧学会 中国兽医学会 中国兽医学界 中国植物学会 中国动物学会 中国昆虫学会 中国微生物学会 中国化学学会 中国物理学会 中国天文学学会

中国工程测量学会 中国测绘学会 中国土地学会 中国地理学会 中国地质学会 中国水利学会 中国气象学会 中国海洋学会 中国环境学会 中国能源学会 中国材料学会 中国机械学会 中国轻工学会 中国纺织学会 中国医药学会 中国农业学会 中国林业学会 中国水产学会 中国畜牧学会 中国兽医学会 中国兽医学界 中国植物学会 中国动物学会 中国昆虫学会 中国微生物学会 中国化学学会 中国物理学会 中国天文学学会

TU198/41

2004



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

土木工程测量

周秋生 郭明建 主编



高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一。全书共分十一章,依次介绍:测量学的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、控制测量、地形图测绘与应用、施工放样与施工控制网的布设、线路工程测量、工业与民用建筑施工测量、工程建筑物的变形观测等。

本书可作为土建工程类各专业的测量学的教材,也可作为城市规划、建筑学等专业的教材或教学参考书,亦可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/周秋生,郭明建主编. —北京:高等教育出版社,2004.8(2007 重印)

ISBN 978-7-04-014486-4

I. 土... II. ①周...②郭... 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(2004)第 053523 号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 李 淑 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 胡志萍 责任校对 尤 静 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京明月印务有限责任公司

开 本 787×960 1/16
印 张 18
字 数 330 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004 年 8 月第 1 版
印 次 2007 年 12 月第 6 次印刷
定 价 22.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 14486-A0

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型本科人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容

和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。目前,教材建设工作存在的问题不容忽视,适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对一般院校,尤其是新办本科院校来说,起点较高,难度较大,内容较多,难以适应一般院校的教学需要。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部即将启动的“高等学校教学质量和教学改革工程”的实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本教材是教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一。为适应高等学校管理体制、改革、高校扩大招生和 21 世纪科技高速发展,高等教育必须不断地进行改革,尤其是教学内容的改革和教材的建设。应用型本科院校的教学内容要不断地吐故纳新、理论联系实际,在深度和广度上适合应用型人才的培养。本教材正是以此为出发点,经过多次到施工单位调研,结合多年的教学实践经验,在原有测量学教材的基础上进行了较大的改革和调整。本教材在总体上适当降低了理论知识的深度,突出了工程应用的特色,删除了一些陈旧的内容,增加了现代测绘新技术和新仪器,调整了工程测量的内容,主要包括测量学的基本知识、测量仪器、测量方法、地形图的测绘和应用、线路(道路、桥梁、管线)工程测量、工业与民用建筑工程测量、工程建筑物的变形观测等。

本书由黑龙江工程学院周秋生、湖北孝感学院郭明建主编,其中李金平编写第 1、6、7 章,郭明建编写第 2、3、4 章,刘于和编写第 5、9 章,魏旭东编写第 8、10 章,周秋生编写第 11 章。全书由周秋生统稿。

本书承蒙黑志坚教授审阅,他对本书提出了许多宝贵意见。在本书编写过程中,参考了许多国内外有关教材和参考书,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和疏漏,谨请读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月

目 录

第 1 章 测量学的基本知识	1
1.1 测绘学	1
1.2 地球的形状及地面点位置的确定	3
1.3 用水平面代替水准面的限度	9
1.4 测量工作概述	11
思考题与习题 1	13
第 2 章 水准测量	14
2.1 水准测量原理	14
2.2 水准测量仪器、工具及使用	15
2.3 普通水准测量	21
2.4 水准仪的检验与校正	31
2.5 精密水准仪和水准尺	34
2.6 自动安平水准仪	37
思考题与习题 2	39
第 3 章 角度测量	41
3.1 水平角测量原理	41
3.2 光学经纬仪	42
3.3 水平角测量	47
3.4 竖直角测量	53
3.5 经纬仪的检验与校正	57
3.6 电子经纬仪	61
思考题与习题 3	65
第 4 章 距离测量与直线定向	67
4.1 钢尺量距	67
4.2 视距测量	71
4.3 电磁波测距	74
4.4 全站仪简介	81
4.5 直线定向	83
思考题与习题 4	86
第 5 章 测量误差的基本知识	88
5.1 测量误差概述	88
5.2 衡量观测值精度的标准	92

5.3 误差传播定律	94
5.4 等精度直接观测平差	97
5.5 不等精度直接观测平差	100
思考题与习题 5	104
第 6 章 控制测量	105
6.1 控制测量概述	105
6.2 导线测量	108
6.3 交会定点测量	117
6.4 高程控制测量	124
6.5 全球定位系统(GPS)简介	129
思考题与习题 6	136
第 7 章 地形图测绘与应用	139
7.1 地形图的基本知识	139
7.2 地形图的分幅和编号	146
7.3 地形图测绘方法	150
7.4 数字化测图方法	154
7.5 地形图的拼接、检查和整饰	161
7.6 地形图的应用	163
思考题与习题 7	170
第 8 章 施工放样与施工控制网的布设	173
8.1 施工放样概述	173
8.2 角度与长度放样	174
8.3 平面位置放样	176
8.4 高程放样	181
8.5 建筑工程施工控制网布设	184
思考题与习题 8	193
第 9 章 线路工程测量	195
9.1 概述	195
9.2 道路中线测量	197
9.3 圆曲线的测设	204
9.4 全站仪在道路测设中的应用	212
9.5 线路纵横断面测量	214
9.6 道路施工测量	221
9.7 管道施工测量	225
9.8 隧道施工测量	227
9.9 桥梁施工测量	233
思考题与习题 9	238
第 10 章 工业与民用建筑施工测量	240

10.1 概述	240
10.2 民用建筑施工测量	241
10.3 高层建筑施工测量	251
10.4 工业厂房基础施工测量	252
10.5 安装测量	256
10.6 激光仪器在施工测量中的应用	260
思考题与习题 10	263
第 11 章 工程建筑物的变形观测	264
11.1 概述	264
11.2 建筑物变形观测的精度和频率	265
11.3 沉降观测	268
11.4 水平位移观测	271
11.5 变形观测资料的整编	274
思考题与习题 11	275
参考文献	277

第 1 章

测量学的基本知识

1.1 测 绘 学

1.1.1 测绘学研究的对象和内容

测绘学研究的对象是地球及其表面和外层空间中的各种自然物体和人造物体的有关信息。它研究的内容是测定空间点的几何位置、地球的形状、地球重力场及各种动力现象,研究采集和处理地球表面各种形态及其变化信息并绘制成图的理论、技术和方法以及各种工程建设中的测量工作的理论、技术和方法。

1.1.2 测绘学的分类

1. 大地测量学

大地测量学是研究在广大区域建立国家和全球三维大地控制网并考虑网中点位随时间变化,确定地球的形状及其大小,测定地球重力场及其随时间的变化,测定和表达各种地球动力现象等方面的理论、方法和技术的学科。

大地测量学从学科内容上分为几何大地测量学、物理大地测量学、空间大地测量学。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)代表地球的形状,采用天文测量方法测定地球的形状和大小。物理大地测量学是研究用物理方法测定地球的形状及其外部重力场的学科。空间大地测量学是利用卫星进行地面点的定位及测定地球形状、大小和地球重力场的理论以及方法的学科。由于空间科学、电子和计算机科学的发展,大地测量发生了重大变革,其重要标志是空间大地测量的崛起,形成了现代大地测量。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是对地球表面和物体的摄影像片或辐射能图像信息进行处理、量测、判释和研究,以测得地面与物体的形态、大小和位置的模拟形式图形或数字形式的信息成果,以及研究关于环境可靠性信息等方面的理论、方法和技

术的学科。

以前摄影测量主要测制各种比例尺的线划地形图,目前摄影测量是进行城市大比例尺地形图、地籍图测绘与更新以及大型工程勘察的重要手段和方法,它可以提供数字、影像、线划等各种形式的地图成果。近几年由于全数字摄影测量工作站的出现,为摄影测量技术应用提供了崭新的技术手段和方法。随着全数字摄影测量系统的应用,摄影测量的产品将从影像图、线划图向数字化系列产品——4D 产品转化,即 DEM——数字高程模型、DOM——数字正射影像图、DLG——数字线划图、DRG——数字栅格图。由于 GPS 测量技术在摄影测量中的应用,大大减少了野外控制点的连测,提高了效率和效益,开始了摄影测量向自动化、数字化方向的迈进。

热红外成像技术和微波遥感技术是两类遥感技术。热红外成像技术是利用地面目标的热辐射信息来成像的,可日夜获得目标的数据。微波遥感技术是靠地面目标反射从雷达发射来的电磁波成像的。

随着传感器技术、航空和航天平台技术以及数字通信技术的发展,现代遥感技术已经进入一个能够动态、快速、准确、多手段提供多种对地观测数据的新阶段。

3. 工程测量学

工程测量学是研究各种工程建设在勘察设计、施工建设及营运管理等阶段中各项测量工作的理论、方法和技术的学科。

随着测绘技术的飞速发展,工程测量的技术面貌发生了深刻的变化,取得了很大发展。其原因:一是科学技术的新成就,即计算机技术、微电子技术、激光技术和空间技术等新技术的发展和应用,以及测绘技术本身的进步;二是各种大型建筑物和构筑物的建设工程、特种精密建设工程等不断增加,对工程测量不断提出新任务、新课题和新要求。

4. 地图制图学

地图制图学已发展为地图制图学与地理信息工程(或地图学与地理信息系统),是研究用空间图形科学地、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,并对空间地理环境进行获取、智能抽象、存储、管理、分析加工、可视化和应用的一门科学与技术。信息时代地图制图学功能的延伸和扩展形成了地理信息系统(GIS)。

5. 海洋测绘

海洋测绘是研究测绘海岸、水面及海底自然与人工形态及其变化状况的理论、方法和技术的综合性学科。

1.1.3 土木工程测量学及其在土木工程建设中的作用

土木工程测量学是研究土木工程建设在勘察设计、施工建设及营运管理等阶段中各项测量工作的理论、方法和技术的学科。其主要任务有测图、用图、放样和变形观测等。土木工程测量在道路、桥梁、隧道、城市规划、工业与民用建筑、环境工程、给排水等土木工程类各专业的工作中具有重要作用。在勘测设计各个阶段,应在测区范围内测绘大比例尺地形图或电子地图,然后在地形图上进行工程规划、选址和设计。在施工阶段,要进行施工测量,将设计的建(构)筑物的空间位置测设于实地,以此进行施工;施工的同时依据建(构)筑物的要求开始进行变形观测,为保护建筑物提供资料。施工结束后,应进行竣工测量,为今后的扩建、改建、修建提供依据。在建(构)筑物使用和工程的运营阶段,对大型或重要建(构)筑物还要进行变形观测和安全监测,为安全运营和生产提供资料。

1.2 地球的形状及地面点位置的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球的自然表面是极不规则的,分布着高山、丘陵、平原和海洋,有高达 8 848.13 m 的世界第一高峰——珠穆朗玛峰,有深达 11 022 m 的马里亚纳海沟,二者的高度差接近 20 000 m。这样大的高低起伏,相对于半径约为 6 371 km 的庞大地球来说仍可忽略不计。地球的自然表面是高低起伏、复杂的不规则表面,不能用数学公式概括和表达。地球的自然表面大部分是海洋,占地球表面积的 70.8%,陆地占 29.2%,因此人们设想将静止海水面向陆地延伸而形成一个闭合的曲面来代表地球表面。

地球上的每一个质点都受两个力的作用,其一是地球自转产生的离心力,其二是地球引力,这两个力的合力成为重力。重力的作用线又称铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。

静止的水面称为水准面。水准面上的点处处与点的铅垂线垂直。海水水位是动态的,水准面有无穷多个,并且互不相交。在测量工作中,把通过平均海水面并向陆地延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体。大地水准面是测量工作的基准面。

由于地球内部质量分布不均匀,致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化,这样大地水准面实际上是一个表面有微小起伏的不规则曲面,无法用数学公式精确表示(图 1-1),在这个曲面上不能进行测量数据的处理,为此必须选择一个与大地体非常接近的数学球体代替大地体。

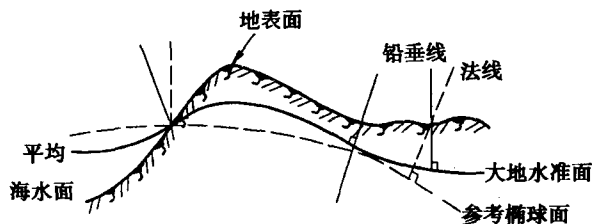


图 1-1 大地水准面

长期的测量实践表明,地球的形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球,即一个椭圆绕其短半轴旋转而形成的形体。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球;把与某个地区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。椭球面可以用较简单的数学公式准确表达。

椭球的形状和大小是由其长半轴 a 、扁率元素 α 决定的。其中, $\alpha = \frac{a-b}{a}$, 式中 b 为短半轴。目前,我国采用的椭球元素: $a = 6\,378\,140\text{ m}$, $\alpha = 1/298.257$ 。由于参考椭球的扁率很小,在小区域测量中,可以近似地将地球作为一个圆球,其半径为 $6\,371\text{ km}$ 。

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进行的测量工作,称为参考椭球体定位。在地面上选 P 点,将 P 点沿铅垂线投影到大地水准面 P' 点,使参考椭球在 P' 点与大地体相切,如图 1-2 所示,这样过 P' 点的法线与铅垂线重合,并使椭球的短轴与地球的自转轴平行,且椭球面与大地水准面差距尽量小,从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系。这里, P 点称为大地原点。

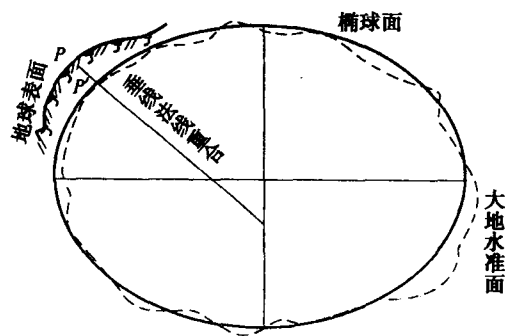


图 1-2 参考椭球体的定位

1.2.2 地面点位的确定

在测量工作中,地面点的空间位置用三个量来确定。其中两个量是地面点沿投影线(或法线)在投影面(大地水准面、椭球面或平面)上的坐标;第三个量是地面点沿投影线到基准面的距离(高程)。它们分别从属于大地坐标系(或高斯平面直角坐标系)和高程系统,即地面点的空间位置是用一个二维坐标系与一个一维坐标系的组合来表示的。

1. 大地坐标

地面点(如 P)在参考椭球面上的位置,可用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地坐标是以参考椭球面作为基准面,以起始子午面(通过格林尼治天文台的子午面)和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

过地面某点的子午面与起始子午面的夹角,称为该点的大地经度,用 L 表示。规定以起始子午面起算,向东由 0° 至 180° 称为东经;向西由 0° 至 180° 称为西经,如图 1-3 所示。过地面某点的椭球面法线与赤道面的夹角,称为该点的大地纬度,用 B 表示。规定以赤道面起算,由赤道面向北从 0° 至 90° 称为北纬;向南从 0° 至 90° 称为南纬。

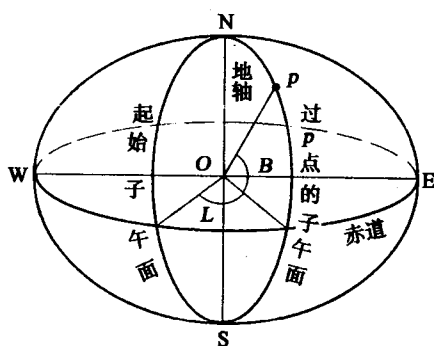


图 1-3 大地坐标系

目前,我国常用的大地坐标系有:

(1) 1954 年北京坐标系 大地原点在苏联,将与苏联大地网联测后我国东北边境的三个点的坐标作为我国天文大地网起算数据,然后通过天文大地网坐标计算,推算出北京一点的坐标,故命名为北京坐标系。

(2) 1980 国家大地坐标系 采用 1975 年国际椭球,大地原点在陕西省永乐镇,椭球面与我国境内的大地水准面密合最佳。

(3) WGS-84 坐标系 是世界大地坐标系,其坐标原点在地心,采用 WGS-84 椭球。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标只能确定地面点位在椭球面上的位置,不能直接用于测绘地形图,应将点的大地坐标转换成平面直角坐标。在我国采用高斯投影的方法,将椭球面上的点位投影到高斯投影面上,从而转换成平面直角坐标。

高斯投影是设想一个圆柱面横套在地球椭球面外面,并与地球椭球面上

某一子午线(该子午线称为中央子午线)相切,椭圆柱的中心轴通过地球椭球球心,然后按等角投影方法,将中央子午线两侧一定经差范围内的点、线投影到椭圆柱面上,再沿着过极点的母线展开即成为高斯投影面,如图1-4所示。

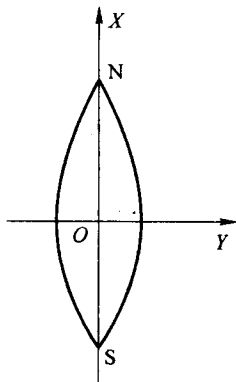


图1-4 高斯平面
直角坐标系

高斯投影面上的中央子午线和赤道的投影都是直线,且正交,其他子午线和纬线都是曲线。以中央子午线和赤道投影后的交点 O 作为坐标原点,以中央子午线的投影为纵坐标轴 X ,规定 X 轴向北为正;以赤道的投影为横坐标轴 Y ,规定 Y 轴向东为正,从而构成高斯平面直角坐标系。在高斯投影中,中央子午线的长度不变,其余的子午线均凹向中央子午线,且距中央子午线越远,长度变形越大。为了把长度变形控制在测量精度允许的范围内,将地球椭球面按一定的经度差分成若干范围不大的带,称为投影带。带宽一般分为经差 6° 和 3° ,如图1-5所示。

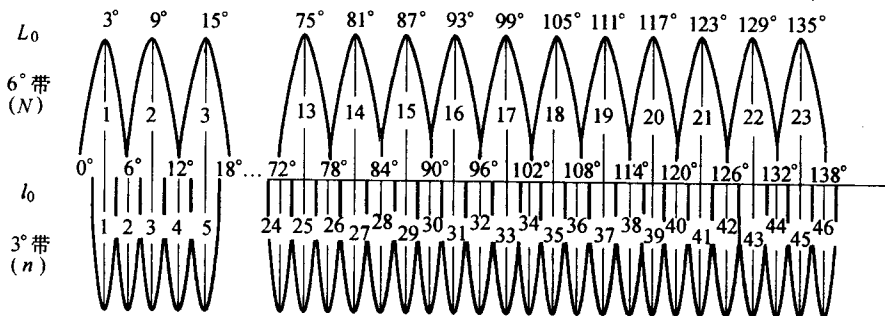


图1-5 6° 带与 3° 带

6° 带是从格林尼治子午线起,自西向东每隔经差 6° 为一带,共分成 60 带,编号为 1~60。带号 N 与相应的中央子午线经度 L_0 的关系可用下式计算:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

6° 带可以满足 1:25 000 以上中、小比例尺测图精度的要求。

3° 带是在 6° 带基础上划分的,从东经 1.5° 子午线起,自西向东每隔经差 3° 为一带,编号为 1~120。带号 n 与相应的中央子午线经度 l_0 的关系可用下式计算:

$$l_0 = 3n \quad (1-2)$$

我国位于北半球,南从北纬 4° ,北至北纬 54° ,西从东经 74° ,东至东经 135° 。中央

子午线从 75° 起共计 11 个 6° 带, 带号在 13~23 之间, 21 个 3° 带, 带号在 25~45 之间。

在高斯平面直角坐标系中, X 坐标均为正值, 而 Y 坐标有正有负。为避免 Y 坐标出现负值, 将坐标纵轴向西平移 500 km, 并在横坐标值前冠以带号。这种坐标称为国家统一坐标, 如图 1-6 所示。

例如, P 点的高斯平面直角坐标为

$$X_P = 3\,266\,351.016\text{ m}$$

$$Y_P = -421\,772.611\text{ m}$$

若该点位于第 19 带内, 则 P 点的国家统一坐标值为

$$x_P = 3\,266\,351.016\text{ m}$$

$$y_P = 19\,078\,227.389\text{ m}$$

3. 独立平面直角坐标

当测区的范围较小时, 可以把测区的球面当作水平面, 直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上, 用平面直角坐标表示地面点的位置。为了避免坐标出现负值, 一般将坐标原点选在测区西南角, 使测区全部落在第一象限内。这种方法适用于测区没有国家控制点的地区, x 轴方向一般为该地区真子午线或磁子午线方向。

测量中使用的平面直角坐标系纵坐标轴为 x , 向北为正, 横坐标轴为 y , 向东为正。象限按顺时针方向编号, 这些与数学上的规定是不同的, 但数学上的三角和解析几何公式可以直接应用到测量中, 只要将公式中的 x 和 y 互换即可, 如图 1-7 所示。

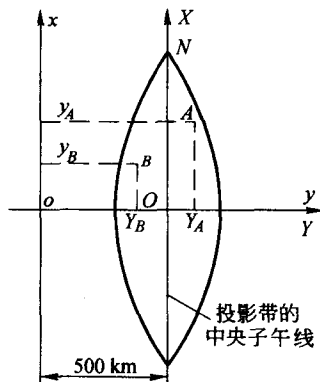
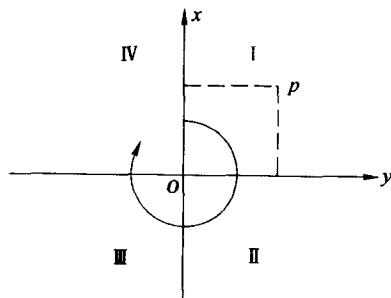
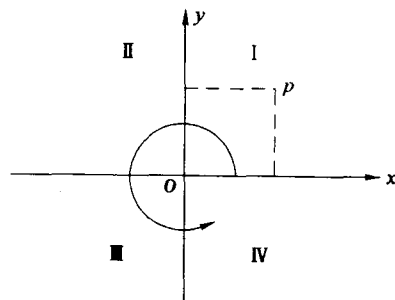


图 1-6 国家统一坐标系



(a) 测量平面直角坐标系



(b) 数学平面直角坐标系

图 1-7 两种平面直角坐标系的比较