



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程测量

孔 达 主 编



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工 程 测 量

孔 达 主 编
伊晓东 魏旭东 副主编
杨国范 主 审

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分十三章,主要内容包括: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、全站仪测量、小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、测设的基本方法、线路工程测量、建筑工程施工测量、水利工程施工测量、工程建筑物的变形观测等。

本书主要供土建施工类各专业、工程管理类各专业、城镇规划与管理类各专业、地质工程与技术类各专业、水利工程与管理类各专业及道路与桥梁工程技术等专业教学使用,也可供从事土建工程的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/孔达主编. —北京:高等教育出版社,
2007.5

ISBN 978-7-04-021832-9

I. 工… II. 孔… 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(2007)第055108号

策划编辑 张骁军 责任编辑 葛 心 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 刘 莉 责任印制 张泽业

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 北京晨光印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 19

字 数 460 000

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 2007年5月第1版

印 次 2007年5月第1次印刷

定 价 23.90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 21832-00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。主要面向高职高专土建施工类各专业、工程管理类各专业、城镇规划与管理类各专业、地质工程与技术类各专业、水利工程与管理类各专业及道路与桥梁工程技术等专业教学使用。

本书的编写立足于高职高专层次,基础知识以必须、够用为原则,注重于基本技能的掌握,着重于新技术、新方法、新设备和新内容的介绍。力争突出“立足实用、打好基础、强化能力”的教学原则,体现科学性、趣味性和前瞻性。本书共分两部分,第一部分为测量技术与方法,为各专业方向通用;第二部分为工程应用测量,可结合各自的专业方向选用。

本书由黑龙江大学孔达担任主编,大连理工大学伊晓东、黑龙江工程学院魏旭东担任副主编。各章节分工如下:孔达编写第一、四、五、七、十二章;伊晓东编写第八章中的第六节、十三章;魏旭东编写第九、十、十一章;黑龙江大学周启朋编写第二章,龚文峰编写第六章中的四、五、六节,魏天宇编写第八章一、二、三、四、五节;沈阳农业大学张婷婷编写第三章;黑龙江农垦林业职业技术学院孙家国编写第六章中的一、二、三节。

沈阳农业大学杨国范教授担任本书的主审,东北农业大学韦兆同教授也参加了本书的审稿工作,他们对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议,为提高教材质量起了重要作用。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,书中难免存在不足和疏漏,热忱希望广大读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

第一篇 测量技术与方法

第一章 测量学的基本知识	3
1.1 测量学概述	3
1.2 地面点位的确定	4
1.3 用水平面代替球面的限度	9
1.4 测量误差与精度指标	11
1.5 测量工作概述	16
1.6 测量常用计量单位	19
1.7 我国测绘科学的发展概况	19
思考题与习题	20
第二章 水准测量	21
2.1 水准测量原理	21
2.2 水准测量的仪器及工具	22
2.3 水准仪的使用	25
2.4 普通水准测量	26
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	33
2.6 水准测量的误差分析及注意事项	36
2.7 其他类型水准仪简介	38
思考题与习题	44
第三章 角度测量	46
3.1 角度测量原理	46
3.2 DJ ₆ 型光学经纬仪及使用	47
3.3 水平角观测	52
3.4 竖直角观测	55
3.5 经纬仪的检验与校正	58
3.6 角度测量中的误差分析及注意事项	63
3.7 其他类型经纬仪简介	65
思考题与习题	68
第四章 距离测量与直线定向	71
4.1 钢尺量距	71

4.2	视距测量	78
4.3	电磁波测距	81
4.4	直线定向	86
	思考题与习题	90
第五章	全站仪测量	92
5.1	概述	92
5.2	全站仪的结构与功能	92
5.3	全站仪的操作及注意事项	101
5.4	其他类型全站仪简介	104
	思考题与习题	112
第六章	小地区控制测量	113
6.1	概述	113
6.2	导线测量	115
6.3	交会定点	123
6.4	三、四等水准测量	126
6.5	三角高程测量	129
6.6	全球定位系统(GPS)	132
	思考题与习题	143
第七章	大比例尺地形图的测绘	146
7.1	地形图的基本知识	146
7.2	地物、地貌的表示方法	152
7.3	大比例尺地形图的测绘	157
7.4	全站仪数字测图技术	164
	思考题与习题	173
第八章	地形图的应用	174
8.1	地形图的识读	174
8.2	地形图应用的基本内容	175
8.3	地形图在工程规划中的应用	177
8.4	图形面积量算方法	180
8.5	地形图在平整场地中的应用	183
8.6	地理信息系统(GIS)简介	186
	思考题与习题	190

第二篇 工程应用测量

第九章	测设的基本方法	195
9.1	概述	195
9.2	水平距离、水平角和高程的测设	196

9.3	点的平面位置测设	199
9.4	已知坡度的测设	201
	思考题与习题	202
第十章	线路工程测量	204
10.1	概述	204
10.2	线路测量	204
10.3	曲线测设	208
10.4	全站仪在道路测设中的应用	214
10.5	线路纵横断面测量	216
10.6	公路施工测量	220
10.7	桥梁施工测量	224
10.8	管道施工测量	226
10.9	隧道施工测量	228
	思考题与习题	232
第十一章	建筑工程施工测量	234
11.1	概述	234
11.2	建筑施工控制测量	234
11.3	民用建筑施工测量	238
11.4	工业建筑施工测量	245
11.5	安装测量	248
11.6	竣工测量	251
	思考题与习题	252
第十二章	水利工程施工测量	253
12.1	概述	253
12.2	施工控制网的布设	254
12.3	土坝的施工测量	255
12.4	混凝土坝的施工测量	261
12.5	水闸的施工测量	264
12.6	渠道测量	267
	思考题与习题	277
第十三章	工程建筑物的变形观测	279
13.1	概述	279
13.2	变形观测的精度与频率	280
13.3	变形观测点的布设	280
13.4	水准基点和工作基点的布置与埋设	283
13.5	沉陷观测	284
13.6	倾斜观测	287
13.7	挠度与裂缝观测	289

13.8 变形观测资料的整编	291
思考题与习题	293
参考文献	295

第一篇

测量技术与方法

第一章 测量学的基本知识

1.1 测量学概述

1.1.1 测量学的概念

测量学研究地球的形状、大小和如何测定地面点的空间位置,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及各种工程建设中的测量工作的理论、技术的科学。

1.1.2 测量学的分类

按其研究的对象、应用范围和技术手段的不同,测量学已发展为诸多分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状、大小和地球的重力场以及在地球表面广大区域内建立国家大地控制网的理论、技术和方法的学科。大地测量学分为几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学。几何大地测量学以一个与地球外形最为接近的几何体(旋转椭球体)代表地球的形状,用天文测量方法测定该椭球的形状和大小。物理大地测量学研究用物理方法测定地球形状、大小和地球重力场。空间大地测量学利用人造卫星进行地面点的定位及测定地球的形状、大小和地球重力场。随着空间科学、电子和计算机科学的发展,综合利用几何、物理和空间大地测量的理论、技术和方法,形成了现代大地测量学。

2. 摄影测量学

摄影测量学是利用摄影或遥感技术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、判读和研究,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、技术和方法的学科。按获取影像的方式不同,摄影测量学又分水下载影测量学、地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学。

3. 普通测量学

普通测量学是研究小地区测量工作的理论、技术和方法的学科。在小地区内可以不考虑地球曲率的影响,将该小区域内的投影球面当作平面看待。其内容是将地球表面的地物、地貌以及人工建(构)筑物等绘制成地形图。

4. 工程测量学

工程测量学是研究矿山、水利、道路、城市建设等各类工程建设在规划、设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同,工程测量学又

分为矿山测量学、水利工程测量学、公路测量学、建筑工程测量学及海洋工程测量学等。

5. 地图制图学

地图制图学是研究各种地图的制作理论、工艺技术和应用的学科。通过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。

6. 海洋测绘学

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

1.1.3 工程测量的任务及在工程建设中的作用

工程测量的任务主要包括测定、测设和变形观测三部分。测定是指运用各种测量仪器和工具,通过测量和计算,获得地面点的测量数据,或者把地球表面的地形按一定比例尺缩绘成地形图,供工程建设使用。测设也称施工放样,是将图纸上设计好的建筑物、构造物的平面位置和高程用测量仪器按一定的测量方法在地面上标定出来,作为施工的依据。变形观测是指建筑物在施工过程中及工程建成后的运行管理阶段,需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测,以确保工程安全。

工程测量在各种工程建设中起着十分重要的作用。例如,在建筑工程、道路与桥梁工程、水利工程和管道工程等的勘测设计阶段需要测绘各种比例尺地形图,以供规划设计使用。在施工阶段需要将图纸上设计好的建筑物、构造物、道路、桥梁及管线的平面位置和高程,运用测量仪器和测量方法在地面上标定出来以便进行施工。在工程结束后,还要进行竣工测量,以供日后维修和扩建使用。对于大型或重要建筑物、构造物还需要定期进行变形观测,确保其安全。

对于土建及工程管理类各专业的学生,通过学习本课程,要求掌握普通测量学的基本知识和基础理论,以及工程测量学中的相关理论和方法;学会常用测量仪器的使用方法;掌握大比例尺地形图测绘的原理和方法;具备应用地形图的能力;掌握工程测量中各种测设数据的计算和测设方法。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的,而地球的自然表面是极不规则的,在地球表面分布着高山、丘陵、平原和海洋,有高于海平面8 844.43 m的珠穆朗玛峰,有低于海平面11 022 m的马里亚纳海沟,地形起伏很大。但由于地球半径很大(约6 371 km),地面高低变化的幅度相对于地球半径只有1/300,因此从宏观上看,仍然可以将地球看作为圆滑球体。地球表面大部分是海洋,占地球表面积71%,而陆地仅占29%,所以人们设想由静止的海水面向大陆延伸形成的闭合曲面来代替地球表面。

地球上的每个质点都受两个力的作用,其一是地球引力,其二是地球自转产生的离心力,这

两个力的合力称为重力。重力的作用线又称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。

假想自由静止的海水面向陆地和岛屿延伸形成一个闭合曲面,这个闭合曲面称为水准面,过水准面上任意一点的铅垂线都与该点处的微曲面垂直。由于潮汐的影响,海水面有涨有落,水准面就有无数个,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,其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,因而大地水准面实际上是一个表面有微小起伏的不规则曲面(如图 1-1a 所示)。它无法用数学公式表示,也无法在这个曲面上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。

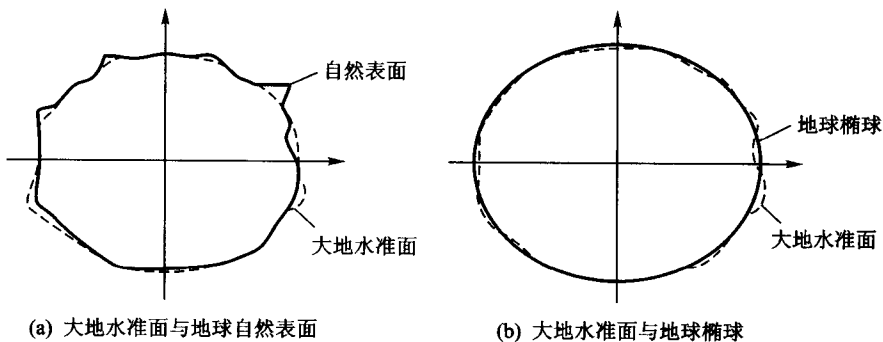


图 1-1 地球形状示意图

长期的测量实践表明,地球的形状非常近似于一个两极稍扁的椭球体(如图 1-1b),这个椭球体称为地球椭球体。地球椭球体是由一个旋转轴与地球自转轴重合的椭圆绕其短轴旋转而成的几何形体,因此又称为旋转椭球体或参考椭球体。如图 1-2 所示,地球椭球的大小由其长半轴 a 和扁率 α 确定。长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α 之间的关系为

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

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,可以近似地将地球视作圆球体,其半径为 $6\,371\text{ km}$ 。

根据一定的条件,为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。在地面上选一 P 点,将 P 点沿铅垂线投影到大地水准面 P' 点,使参考椭球体在 P' 点与大地体相切,如图 1-3 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的差距尽量小,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。我国曾于 1954 年将大地原点设在北京,后来根据新的测量数据,发现该坐标系与我国的实际情况相差较大,于 1980 年将坐标系原点设在陕西省泾阳县内。

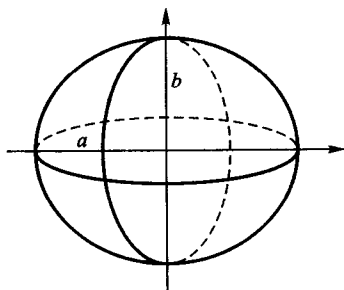


图 1-2 参考椭球体

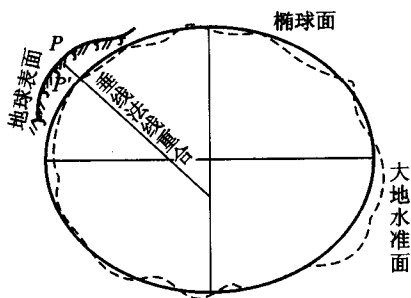


图 1-3 参考椭球体的定位

1.2.2 确定地面点位的方法

测量工作的任务是确定地面点的位置。在测量工作中,地面点的位置通常需要用三个量来表示,如图 1-4 所示,将地面点 A 、 B 、 C 沿铅垂线投影到大地水准面上,得到相应的投影点 a 、 b 、 c 。则地面点 A 、 B 、 C 的位置,可以用 a 、 b 、 c 点在大地水准面上的坐标以及 A 、 B 、 C 点沿铅垂线方向到大地水准面的距离 H_A 、 H_B 、 H_C 来表示。

1. 地面点的坐标

(1) 地理坐标

用经纬度表示地面点的位置,可分为大地经纬度 (L , B) 和天文经纬度 (λ , φ)。大地经纬度表示地面点在参考椭球面上的位置,它以法线为基准线,以椭球体面为基准面。天文经纬度表示地面点在大地水准面上的位置,它以铅垂线为基准线,以大地水准面为基准面。

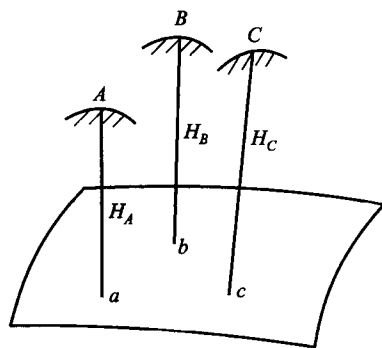


图 1-4 地面点的位置

过地面上一点与地球南北极的平面称为子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线。过英国格林尼治天文台的子午面称为首子午面。首子午面与地球表面的交线称为首子午线。过地球表面上一点的子午面与首子午面之间的夹角称为经度。自首子午面起向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经。通过地球球心且与地球旋转轴垂直的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线为赤道。过地球表面上一点的铅垂线或法线与赤道面的夹角称为纬度。自赤道面起,向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。例如,北京的经度为东经 $116^\circ 28'$,北纬 $39^\circ 54'$ 。

(2) 高斯平面直角坐标

地理坐标只能确定地面点位在球面上的位置,不能直接用于测绘地形图。因此,应将点的地理坐标转换成平面直角坐标。在我国采用高斯投影的方法,将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。

高斯投影是设想有一个圆柱面横套在地球椭球面的外面,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,圆柱体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 1-5 所示。

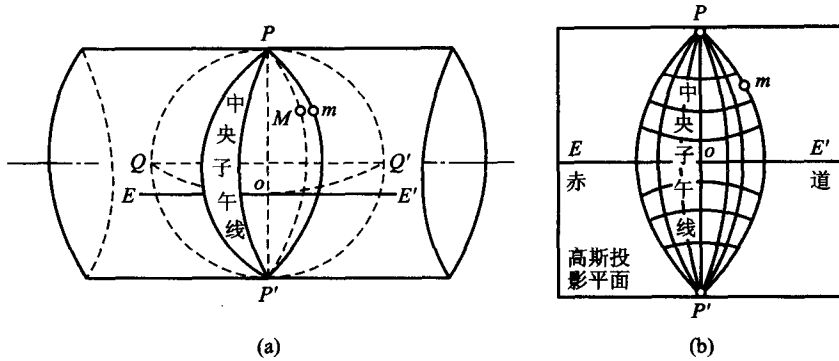


图 1-5 高斯投影

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。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,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 1-6 所示。

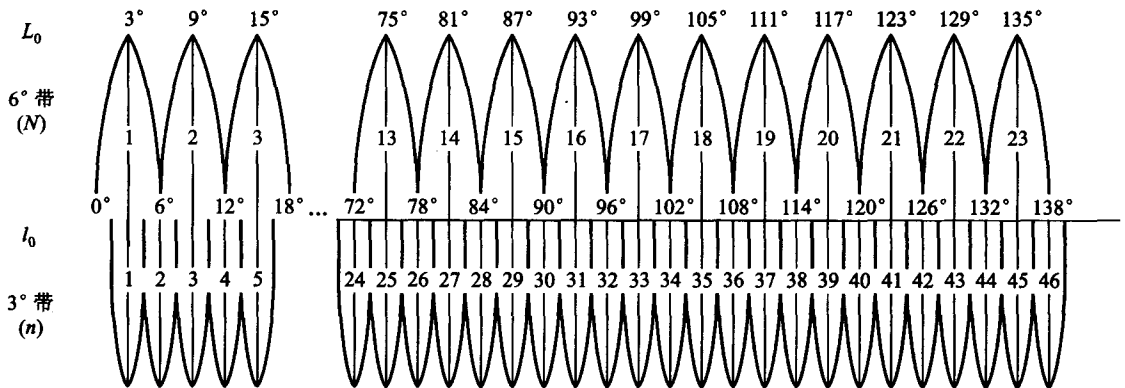


图 1-6 6° 带与 3° 带

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:

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

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 $1^\circ 30'$ 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:

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

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。

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 1-7 所示。

例如, B 点的高斯平面直角坐标为

$$X_B = 3\,464\,215.106\text{ m}$$

$$Y_B = -432\,861.343\text{ m}$$

若该点位于第 19 带内, 则 B 点的国家统一坐标值为

$$x_B = 3\,464\,215.106\text{ m}$$

$$y_B = 19\,067\,138.657\text{ m}$$

(3) 独立平面直角坐标

当测区的范围较小(半径小于 10 km)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内没有国家控制点的情况, 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。如图 1-8 所示。

(4) 空间直角坐标

以地球椭球体中心 O 作为坐标原点, 起始子午面与赤道面的交线为 X 轴, 赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴, 椭球体的旋转轴为 Z 轴, 指向符合右手规则。在该坐标系中, P 点的点位用 OP 在这三个坐标轴的投影 x 、 y 、 z 表示。空间直角坐标系可以统一各国的大地控制网, 可使各国的地理信息“无缝”衔接。空间直角坐标已在军事、导航及国民经济各部门得到广泛应用, 并已成为一种实用坐标, 如图 1-9 所示。

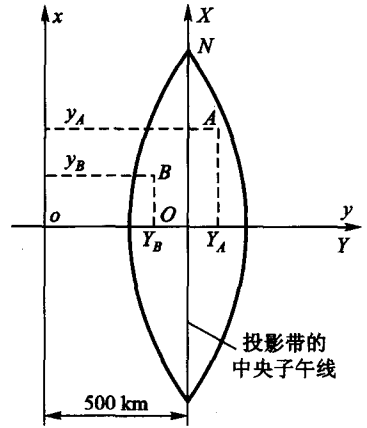


图 1-7 国家统一坐标系

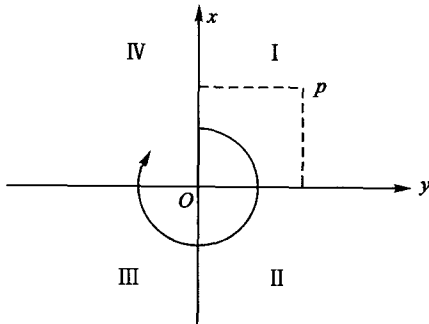


图 1-8 平面直角坐标系

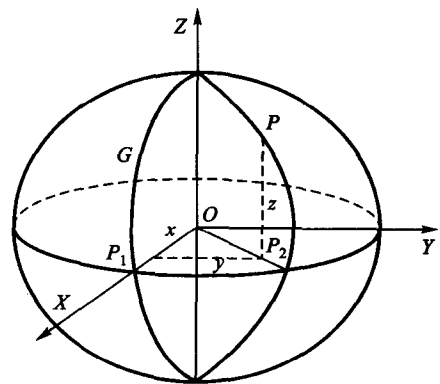


图 1-9 空间直角坐标系

利用 GPS 卫星定位系统得到的地面点位置构成 WGS-84 坐标, WGS(world geodetic system)即世界大地坐标系, 坐标原点在地心。

2. 地面点的高程

某地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为绝对高程或海拔,简称高程,一般用 H 表示。某

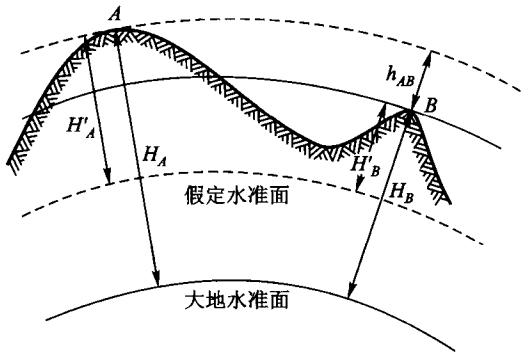


图 1-10 绝对高程与相对高程

地面点沿铅垂线方向到任意水准面的距离,称为该点的相对高程或假定高程,用 H' 表示。地面上两点间高程之差称为高差,用 h 表示,见图 1-10。

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

由于受潮汐、风浪等影响,海水面是一个动态的曲面。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,取海水的平均高度作为高程零点。通过该点的大地水准面称为高程基准面。根据我国设在山东省青岛市的国家验潮站收集的 1950—1956 年验潮资料,推算出黄海平均海面作为我国高程起算面,并在青岛市观象山建立了水准

原点。水准原点到验潮站平均海面高程为 72.289 m,这个高程系统称为“1956 年黄海高程系”。

由于海洋潮汐长期变化周期为 18.6 年,20 世纪 80 年代初,国家又根据 1952—1979 年青岛验潮站的观测资料,推算出新的黄海平均海面作为高程零点。由此测得青岛水准原点高程为 72.260 4 m,称为“1985 年国家高程基准”,并从 1985 年 1 月 1 日起执行新的高程基准。

在测量工作中,一般应采用绝对高程;若在偏僻地区,附近没有已知的绝对高程点可以引测时,也可采用相对高程。

1.3 用水平面代替球面的限度

在测区范围不大的情况下,为简化一些复杂的投影计算,可将椭球面看作球面,甚至可视为水平面,即用水平面代替球面。用水平面代替球面时应使得投影后产生的误差不超过一定的限度,因此,应分析地球曲率对水平距离和高程的影响。

1.3.1 地球曲率对水平距离的影响

如图 1-11 所示,在测区中部选一点 A ,沿铅垂线投影到水准面 P 上为 a ,过 a 点作切平面 P' 。地面上 A 、 B 两点投影到水准面上的弧长为 D ,在水平面上的距离为 D' ,则

$$\left. \begin{aligned} D &= R \cdot \theta \\ D' &= R \cdot \tan \theta \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

以水平长度 D' 代替球面上弧长 D 产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-5)$$

将 $\tan \theta$ 按级数展开得

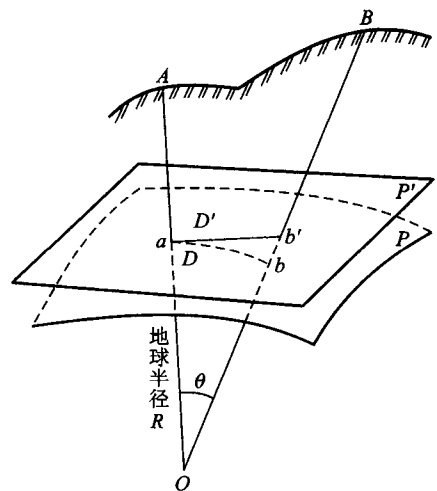


图 1-11 用水平面代替球面