

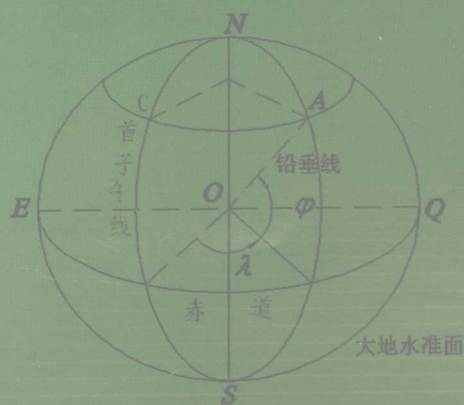
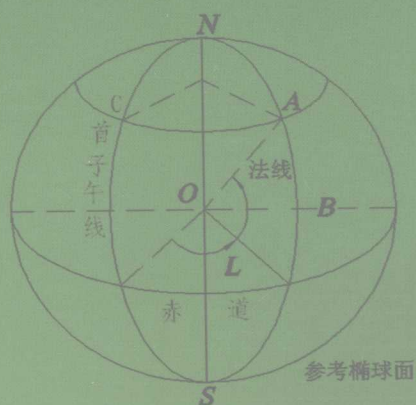


高等职业教育园林工程技术专业“十一五”规划教材

YUANLIN GONGCHENG CELIANG

○王红 主编

园林 工程 测量



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件

高等职业教育园林工程技术专业“十一五”规划教材

园林工程测量

主 编 王 红

副主编 汪 鹏

参 编 熊楚国

曾 斌

主 审 张正祿



机械工业出版社

本书是根据高等职业技术学院园林工程技术专业对测量学课程的需求而编写的,全书共分11章,主要内容有:水准测量、角度测量、直线定向与距离测量,测量误差的基本知识,小地区控制测量,大比例尺地形图的测绘,大比例尺地形图的应用,施工测量的基本知识与GPS全球定位系统简介。本书附录涵盖了课间实验和教学实习周的内容。

本教材不仅适用于园林工程技术专业,同样也适用于园艺、林学、规划、资源环境、设施农业等非测绘专业。

图书在版编目(CIP)数据

园林工程测量/王红主编. —北京:机械工业出版社,2008.11

高等职业教育园林工程技术专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-25341-9

I. 园… II. 王… III. 园林—工程测量—高等学校:技术学校—教材
IV. TU986.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第161749号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李俊玲 王靖辉

责任编辑:王靖辉 刘悟彬

版式设计:张世琴 责任校对:申春香

封面设计:王伟光 责任印制:杨曦

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.75印张·385千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25341-9

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379373

封面无防伪标均为盗版

前言

国务院于2002年下发了《关于大力推进职业教育改革与发展的决定》(国发〔2002〕16号),明确提出要“扩大高等职业教育的规模,大力发展高等职业教育”。这是时代赋予我们光荣而艰巨的历史任务,是实现高等教育大众化的必然选择和必由之路。高等职业教育注重培养知识经济时代的高技能人才,以适应新型工业化道路的需要、符合先进生产力发展的要求。《园林工程测量》作为园林工程技术专业的一门重要的专业基础课程,注重培养学生的实践能力,培养掌握先进测绘技术的园林专门人才,满足社会对高技能人才的需求。

测绘学科是受新技术影响最大的古老学科之一。3S技术——GPS(美国全球定位系统)、GIS(地理信息系统)、RS(遥感技术)的不断发展、成熟与普及,赋予了测量学传统内容的测、算、绘全新的诠释。本教材在保留传统测绘理论体系的基础上,剔除了在生产实践中已很少使用的内容,引入了市场上已成熟的测绘新技术。本教材不仅适用于园林工程技术专业,同样也适用于园艺、林学、规划、资源环境、设施农业等非测绘专业。

本教材力图以点位的确定为中心,以数字化测量为主线,以测绘新概念、新技术为重点进行讲述。针对非测绘专业的特点,力求实用。本教材对知识的传授做到由浅入深、先易后难、循序渐进,并同时符合生产实践程序。教材前6章以确定点的位置为中心,介绍了测量的基本概念及测量的三项基本工作的实施方法;第7、8章介绍点位信息的采集方法和管理、应用;第9、10章结合专业特点介绍了施工测量的知识,第11章简要地介绍了GPS技术。附录A对学生参加测量实习过程提出了要求。附录B收录了19篇课堂实训和实习指导书,可供参考。

本教材由王红任主编,汪鹏任副主编,具体分工为:王红编写第2、9、10、11章,附录A及第7章的第5、6节,附录B的实训1~2、11~13、15~20;汪鹏编写第1、8章及第7章的1~4节,附录B的实训10、11、14;熊楚国编写第4、5章及附录B的实训6、7;曾斌编写第3、6章及附录B的实训3~5、8~9。全书由王红统稿,并作了修改。本书由武汉大学测绘学院张正禄教授审稿,感谢张正禄教授在审稿过程中提出的宝贵意见和建议。

由于编者水平有限,教材中的缺点和不足之处在所难免,请读者不吝指正。

09	量测学基础	2.0	25	量测学基础	1.0
20	量测学基础	0.0		量测学基础	编者
001	量测学基础		02	量测学基础	
	量测学基础	章下类	04	量测学基础	0.0
001	量测学基础			量测学基础	4.0
	量测学基础		24	量测学基础	
001	量测学基础	1.0	74	量测学基础	0.0
	量测学基础	0.0	02	量测学基础	0.0
001	量测学基础		42	量测学基础	
001	量测学基础	0.0			

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 测量学的任务与作用 1

1.2 地球的形状与大小 3

1.3 地面点位的确定 4

1.4 地球曲率对测量工作的影响 8

1.5 测量工作概述 10

复习与思考题 11

第2章 水准测量 12

2.1 水准测量原理 12

2.2 水准测量的仪器和工具 13

2.3 水准仪的使用 18

2.4 水准测量的方法 20

2.5 水准测量成果计算 24

2.6 水准仪的检验与校正 27

2.7 水准测量的主要误差来源及其注意事项 30

复习与思考题 33

第3章 角度测量 35

3.1 角度测量原理 35

3.2 光学经纬仪的基本构造与使用 36

3.3 角度测量方法 40

3.4 水平角度测量的误差来源及其注意事项 45

3.5 经纬仪的检验与校正 47

3.6 电子经纬仪简介 50

复习与思考题 54

第4章 直线定向与距离

测量 55

4.1 直线定向 55

4.2 距离丈量 59

4.3 视距测量 64

4.4 测距仪 67

复习与思考题 71

第5章 测量误差的基本

知识 73

5.1 测量误差概述 73

5.2 评定精度的标准 75

5.3 误差传播定律及其应用 77

5.4 算术平均值及其中误差 80

复习与思考题 82

第6章 小地区控制测量 83

6.1 控制测量概述 83

6.2 导线测量 85

6.3 导线测量的内业计算 88

6.4 交会定点 93

6.5 四等水准测量 96

6.6 三角高程测量 98

复习与思考题 100

第7章 大比例尺地形图

的测绘 102

7.1 地形图比例尺 102

7.2 地物地貌在地形图上的表示方法 104

7.3 地形图测绘的内容 110



7.4 大比例尺地形图的传统测绘		测设	162
方法	114	9.6 园区其他工程施工测量	166
7.5 全站仪与数字化测图的		复习与思考题	168
方法	118	第10章 园路工程测量	169
7.6 地形图的数字化	126	10.1 园林道路工程概述	169
复习与思考题	128	10.2 中线测量	170
第8章 大比例尺地形图的		10.3 圆曲线测设	173
应用	129	10.4 纵、横断面测量	179
8.1 概述	129	10.5 园林道路施工测量	184
8.2 地形图的分幅与编号	129	复习与思考题	195
8.3 地形图的识读	133	第11章 GPS原理及应用	197
8.4 地形图的一般应用	135	11.1 GPS概述	197
8.5 地形图在园林工程中的		11.2 GPS定位技术	200
应用	138	11.3 GPS定位技术的实施	206
复习与思考题	146	复习与思考题	211
第9章 园林建筑施工测量	147	附录	212
9.1 施工测量概述	147	附录A 测量实训课要求	212
9.2 测设的基本工作	148	附录B 测量实训	214
9.3 点的平面位置测设方法	151	参考文献	244
9.4 园林建筑施工测量	153		
9.5 曲线形园林建筑物的			

第1章

绪论



学习目标

重点掌握用地理坐标、平面坐标和高程表示地面点位的方法及相关概念，了解测量工作的原则，并能在以后的学习和实践中加以应用。

1.1 测量学的任务与作用

1.1.1 测量学的概念

地球表面极其不规则，有高山、平原、河流、湖泊等自然风光，也有道路、桥梁、房屋等人工建筑物、构造物。测量学将地表物体分为地物和地貌。

地物是指地球上各种天然形成或人工构造的固定物体，如山川、河流、道路、房屋等。地貌是指地球表面高低起伏的形态。地物和地貌总称为地形。

传统的测量学概念是研究地球的形状和大小，确定地面点的空间位置，并将地球表面的地物、地貌等信息测绘成图的科学。

随着科学的进步，高新技术的不断涌现，测绘学与多学科交叉、融合，发展了地球空间信息学，出现了3S技术（GPS、RS、GIS）以及专家系统（ES）、数字摄影测量系统（DPS），使传统的测绘学从地面到太空，从静态到动态，从宏量到微量，从手工到自动化、信息化。

全球卫星定位与导航系统是利用卫星不断地向地面广播发送某种加载了特殊定位信息的无线电信号来实现定位测量的系统。目前运行的全球定位系统有美国的GPS系统、俄罗斯的GLONASS系统，正在发展研究的有欧盟的GALILEO系统和我国的北斗卫星导航广义增强系统。

遥感（RS）是通过非接触传感器遥测物体的几何与物理特性的技术。

地理信息系统（GIS）是一种以采集、储存、管理、分析和描述地球表面与地理空间分布有关的数据信息系统。它主要涉及测绘学、地理学、遥感科学技术、计算机科学技术等。

测量学与制图学统称为测绘学。测绘学的定义为：研究对实体（包括地球整体、表面以及外层空间各种自然和人造物体）中与地理空间分布有关的各种几何、物理、人文及其随时间变化的信息的采集、处理、管理、更新和利用的科学与技术。



1.1.2 测量学的分科

随着生产和科学技术的发展,测量学的内容也日益丰富,按其研究的对象、范围和重点的不同,可以分为以下几门主要的学科:

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的大小、形状、地球重力场,测定地面几何位置和地球整体与局部运动的理论和技术的学科,由于人造地球卫星等科学技术的发展,大地测量又分为常规大地测量和卫星大地测量。

2. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和资源开发中,在规划、设计、施工和运营各个阶段进行的测量工作的理论、技术和方法的科学。

3. 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影或遥感技术获取目标物的影像数据,以确定物体的形状、大小和空间位置等信息的理论和方法。

4. 地图制图学

地图制图学是研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的学科。

5. 海洋测绘学

海洋测绘学是研究以海洋水体和海底为对象进行的测量与海图编制的理论和方法的科学。

6. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面局部区域内测量与制图的理论、技术和方法的科学。

1.1.3 测量学的任务

传统测量学的主要任务是测定和测设。测定就是使用测量仪器,通过测量和计算,将地面的地貌和地物用规定的符号按一定的比例缩绘成图,供工程建设和各项管理工作使用。测设就是将在地形图上规划设计的建筑物、构造物的位置在实地进行标定,作为施工或定界的依据,又称为施工放样。

现代测绘学的任务包括空间定位、地球形状和重力场的研究、获取地球及宇宙星球的自然形态及属性信息,制成各种地形图、专题地图,建立地理信息系统,为研究地球上的自然现象和相关的社会现象及社会的可持续发展提供基础信息。

1.1.4 测量学的作用

测量工作是一种科学性、技术性很强的工作,它贯穿于工程建设的勘探、规划、设计、施工、竣工及运营的各项工作中,关系着工程建设的效益和质量。

测量工作在经济建设、国防建设、各项管理以及人民的生活等方面都具有重要作用。从工农业生产建设的组织和指挥,到土地和地籍的管理,交通、水电、商业、文教卫生和各种公用设施的管理,以及社会治安等各个方面,测量资料和测绘手段都不可缺少。

在国防建设中,首先由测绘工作者提供地形信息,并在战略的部署、战役的指挥中对目标进行观测定位,以便实施打击。还要在导弹制导、航天器的发射、运行等方面为决策部门



提供重要的依据。

在科学实验方面如地震的预测预报、灾情的监测、空间技术研究、海底资源探测、大坝的变形监测、离子加速器和核电站运营的安全监测等等都离不开测绘工作。

另外，测绘为建立各种地理信息系统提供基础数据。

测量工作在园林建设中的应用也非常广泛。如在公园的规划设计、绿地的规划设计以及园林苗圃的设计中，首先，必须了解设计区域内地面的高低变化情况，道路、水系、房屋、各种管线以及植被等的分布情况，以便合理地进行规划设计，而这些资料就需要从测量工作所绘制的地形图、断面图等上获得。其次，在进行规划设计时，我们的设计思想和设计结果也要通过设计图纸来表现，而要成为规划设计图，有时还需要进行专项测量。第三，在施工过程中，要在实地准确标定设计物体的地面位置，也要进行测量工作。第四，在工程施工完毕后，为了方便以后的使用、管理、维修以及扩建等，还需要绘制竣工图。

1.2 地球的形状与大小

1.2.1 地球的形状

地球的自然表面是非常不规则的：有陆地和海洋，陆地上最高的山峰是珠穆朗玛峰，它高出海水面 8848.43m；海洋中最低的是马里亚纳海沟，它低于海水面 11022m；地球上最低和最高处相差约 20km。尽管地球表面的起伏很大，但相对地球的半径 6371km 而言，还是微不足道的。我们知道，地球的形状似一个椭球。地球表面海洋面积约占地球表面的 71%，人们通常把海水面所包围的地球形状，近似看作地球的形状。

1.2.2 地球形状的确定方法及地球的大小

我们把某一个假设静止的海水面向陆地延伸，直到包围整个地球，此时所形成的连续封闭曲面称为水准面。水准面是一个重力等位面，该曲面上任意一点的铅垂线都垂直于该点所在曲面的切面。与水准面相切的平面是水平面，水平面内任意方向的直线均为水平线。

由于受风浪和潮汐的影响，水准面不易确定。我们把其中与平均海水面重合的水准面称为大地水准面（图 1-1a），它是唯一的，这样就便于我们研究地球的大小。

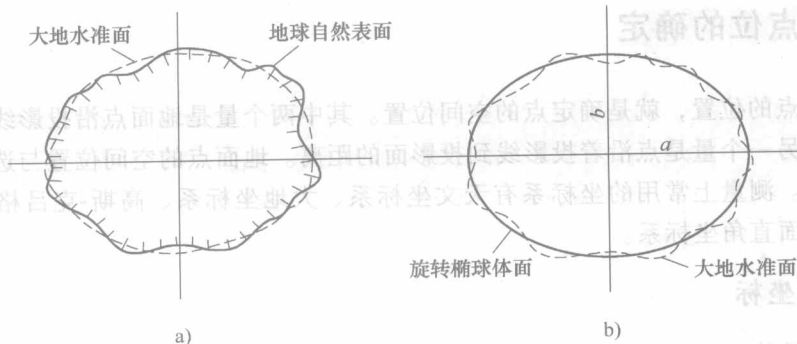
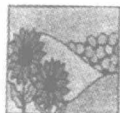


图 1-1 地球自然表面、大地水准面及旋转椭球体面



大地水准面所包围的形体称为大地体,研究地球的形状和大小就是研究大地水准面的形状和大地体的大小,所以大地水准面是测量的基准面,铅垂线是测量的基准线。

大地水准面是不规则的曲面,无法用一个数学公式来表示。为了便于测绘成果的计算,通常选择一个大小、形状与大地水准面极为接近且又能用数学公式表达的旋转椭球体面为参考椭球面(图 1-1b)。椭球的形状和大小是由长半径 a 、短半径 b 和扁率 f 三个元素所决定。三者之间的关系见式 (1-1)。

$$f = \frac{a - b}{a} \quad (1-1)$$

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出参考椭球体的元素值(表 1-1)。我国采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会 16 届大会推荐的椭球元素值。即

长半轴

$$a = 6378140\text{m}$$

短半轴

$$b = 6356755\text{m}$$

扁率

$$f = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.257}$$

表 1-1 参考椭球元素

元素推算者	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 f	年代和国家
德兰布尔	6375653	6356564	1:334	1800 法国
白塞尔	6377397	6356079	1:299.2	1841 德国
克拉克	6378249	6356515	1:293.5	1880 英国
海福特	6378388	6356912	1:297.0	1909 美国
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1:298.3	1940 苏联
IUGG	6378140	6356755	1:298.257	1975 年国际大地测量与地球物理联合会
IUGG	6378137	6356752	1:298.257224	1980 年国际大地测量与地球物理联合会

在测量中将旋转椭球面代替大地水准面作为计算和制图的基准面,基准线为基准面的法线。

由于参考椭球的扁率很小,在地形测量和工程测量中,如果精度要求不高,就可以把地球近似当成一个圆球,其半径为 6371km。

1.3 地面点位的确定

确定地面点的位置,就是确定点的空间位置。其中两个量是地面点沿投影线在投影面上的投影位置,另一个量是点沿着投影线到投影面的距离。地面点的空间位置与选用的椭球及坐标系统有关。测量上常用的坐标系有天文坐标系、大地坐标系、高斯-克吕格平面直角坐标系、独立平面直角坐标系。

1.3.1 地理坐标

地理坐标是从整个地球来考虑某点的位置,通常用经纬度来表示。

如图 1-2a 所示,NS 为过球心 O 的旋转轴,通过旋转轴 NS 的平面称为子午面;通过英



国格林尼治天文台旧址的子午面称为首子午面；子午面与地球表面的交线称为经线或子午线；子午面与首子午面的夹角称为经度，经线在首子午面以东者称为东经，以西者称为西经，其值为 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ，中国在东经 $72^{\circ} \sim 138^{\circ}$ 。

过球心且与地球旋转轴垂直的平面称为赤道平面；赤道平面与地球表面的交线称为赤道；与赤道平面平行的平面和地球表面的交线称为纬线；地球上某点和球心的连线与赤道平面的夹角称为纬度，纬线在赤道以北者称为北纬，以南者称为南纬，其值为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。中国位于北半球，纬度为北纬。

以大地水准面为基准面的地理坐标称为天文坐标（图 1-2a），其经度、纬度分别用 λ 、 φ 表示，它是用天文测量的方法直接测定的。以参考椭球面为基准面的地理坐标为大地坐标（图 1-2b），其大地经度、大地纬度分别用 L 、 B 表示，它是根据起始的大地原点坐标和测量所得的数据推算出来的。

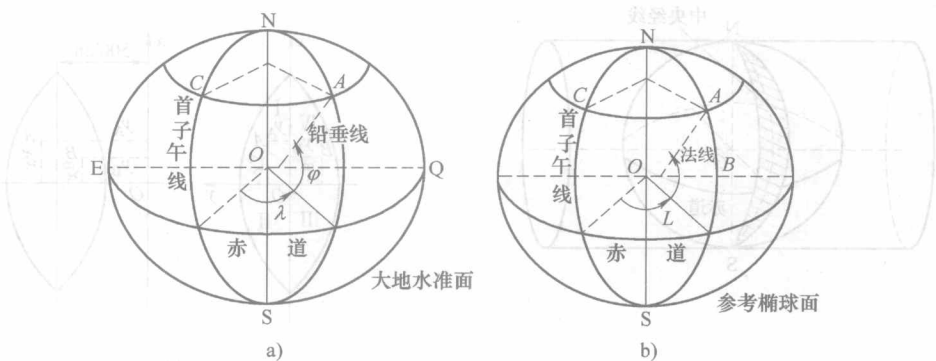


图 1-2 地理坐标
a) 天文坐标系 b) 大地坐标系

大地原点的天文坐标和大地坐标是一致的。我国的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇，根据该原点建立的全国统一坐标，就是我国目前使用的“1980 年西安坐标系”。我国曾从前苏联的大地原点连测到北京某三角点，以该点作为我国大地坐标的起算数据，称为“1954 年北京坐标系”。

1.3.2 高斯-克吕格平面直角坐标系

1. 独立平面直角坐标系

大地水准面是曲面，当测量区域较小的时候（半径小于 10km 范围），可以用测区中心的切平面代替椭球面作为基准面，在切平面上建立独立平面直角坐标系。测量时，将地面上的点沿铅垂线直接投影到水平面上，用各点的平面直角坐标来表示其平面位置。

平面直角坐标系（图 1-3）规定南北方向为纵轴，用 x 表示，向北为正；以东西方向为横轴，用 y 表示，向东为正。坐标象限的划分是东北方向所在的象限为第 I 象限，按顺时针方向顺次编号为 II、III、IV 象限；直线与 x 轴的夹角称为方位角，它以 x 轴为 0° ，按顺时针方向旋转而成。

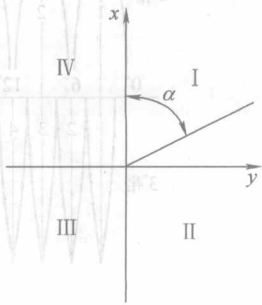


图 1-3 平面直角坐标



2. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时,地球表面必须被看成是曲面。必须采取适当的方法来减少椭球面上的图形被绘制到平面上时所带来的变形,我国采用高斯投影的方法来绘图。

高斯投影的方法是采用等角投影,是横切圆柱正形投影(图1-4a)。设想有一个空心圆柱体套在地球旋转体的外面,圆柱体的中心轴线位于赤道平面内并通过球心,并且与某一子午线相切(该子午线称为中央子午线),在球面图形与柱面图形保持等角的前提下,将球面图形投影在圆柱上,再将圆柱体沿南、北极的母线剪开展成平面(图1-4b),此时中央子午线与赤道都是直线,且相互正交,规定它们分别为高斯平面直角坐标系的纵轴(x 轴)和横轴(y 轴),两轴的交点为坐标原点, x 轴向北为正, y 轴向东为正,其他子午线、纬线都是曲线,离中央子午线越远变形越大,为了满足测量精度要求,减少投影变形,故需控制投影带的宽度,采用分带投影的方法,通常按 6° 和 3° 划分投影带。

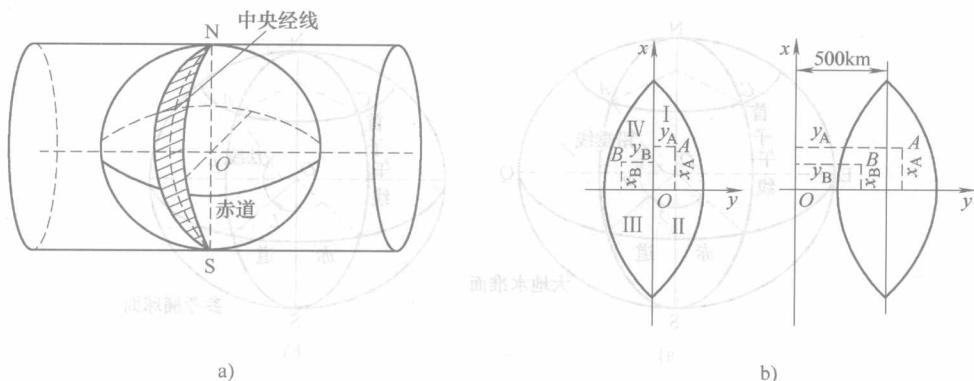


图 1-4 高斯投影

(1) 6° 投影带 以首子午线起自西到东每隔 6° 为一带,共60带,适用于小于1:25000的比例尺测图。从首子午线开始,自西向东每隔 6° 划分一带,称为 6° 带(图1-5),位于各带中央的子午线称为中央子午线。 6° 带一共将地球分成60个带,带号从首子午线开始,用阿拉伯数字1、2、3...60顺序编号。

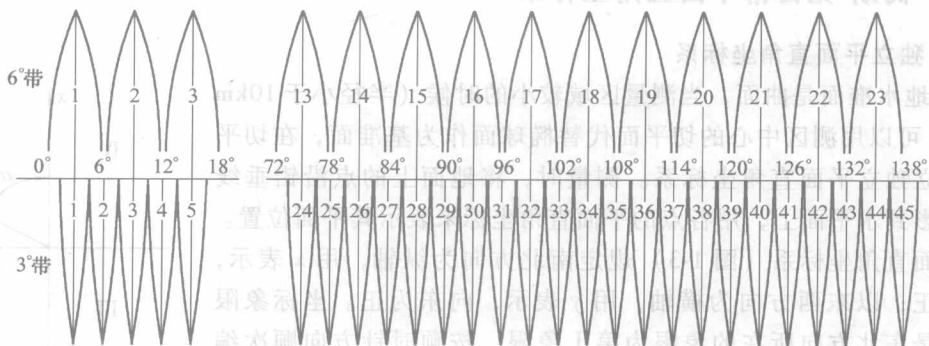


图 1-5 高斯投影分带



显然, 第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° , 若任意一个 6° 带的中央子午线的经度用 L_0 表示, 可用式(1-2)来计算, 那么中央子午线经度为

$$L_0^6 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

式中 N ——投影带的带号。

若已知某点的大地经度 L , 可按下式计算该点所在地区的 6° 带的带号

$$N = \frac{L}{6} (\text{取整数}) + 1 \quad (1-3)$$

(2) 3° 投影带 以 1.5° 子午线起自西到东每隔 3° 为一带, 共120带, 适用于大于1:10000的比例尺测图。其中央子午线经度为

$$L_0^3 = 3k \quad (1-4)$$

式中 k ——投影带的带号。

若已知某点的大地经度, 可按下式计算该点所在地区的 3° 带的带号:

$$k = \frac{L - 1.5^\circ}{3} (\text{取整数}) + 1 \quad (1-5)$$

3° 带中央子午线在奇数带时与 6° 带中央子午线重合, 偶数带为 6° 带分带子午线经度。

由于我国位于北半球, 纵轴坐标全为正值, 为了避免横坐标出现负值, 规定把坐标纵轴向西移500km (图1-4b), 这样形成的坐标称为通用坐标。它与自然横坐标的关系如下:

$$Y_{\text{通用}} = Y_{\text{自然}} + 500\,000 \quad (1-6)$$

为了能够根据通用横坐标确定某点位于那一个 6° 带内, 还要在横坐标前冠以带号。如某点位于第19带内, $Y_{\text{自然}}$ 为137 680m, 则其 $Y_{\text{通用}}$ 为19 637 680m。若某点的 $Y_{\text{通用}}$ 为21 537 680.88m, 则该点 $Y_{\text{自然}}$ 为37 680.88m, 位于第21带。

1.3.3 WGS—84 世界大地坐标系

WGS—84 世界大地坐标系是美国国防部为进行GPS导航定位, 于1984年建立的地心坐标系 (图1-6)。选取地球质量中心位置为坐标原点, z 轴指向BIH1984.0定义的协议地球极 (CTP) 方向, x 轴指向BIH1984.0的零子午面与CTP赤道平面的交线, x 、 y 、 z 轴方向符合右手法则, 这样所建立起来的坐标系就是WGS—84坐标系。

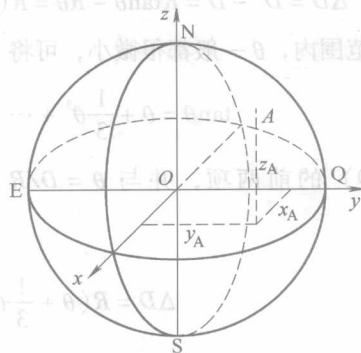


图1-6 WGS—84坐标系

1.3.4 高程系统

地面上任意一点至大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程或称海拔 (简称为高程), 用 H 表示。地面上某点到假定水准面的垂直距离称为该点的相对高程。地面上两点的高程之差称为高差, 用 h 表示, 如图1-7所示, A点的高程为 H_A , B点的高程

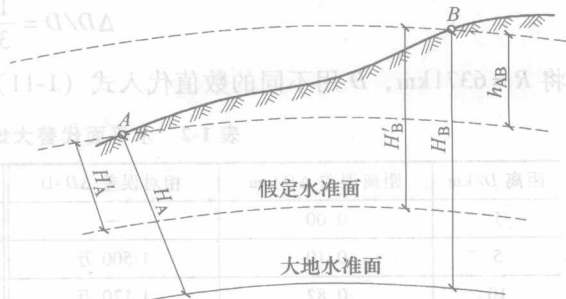


图1-7 高程与高差



为 H_B ，那么 A 、 B 两点间的高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-7)$$

我国规定把根据青岛验潮站 1950—1956 年的统计资料所确定的黄海平均海水面作为基准面，并在验潮站附近建立水准原点。水准原点的高程为 72.289m，以此数据测量推算全国水准点的高程，这样所建立的高程系统称为“1956 年黄海高程系”。后来国家又根据 1953—1979 年青岛验潮站的观测资料，计算得到水准原点的高程为 72.260m，这个高程系称为“1985 年国家高程基准”，从 1985 年 1 月 1 日起执行。

1.4 地球曲率对测量工作的影响

曲线上的图形投影到平面上会产生变形，变形的程度与曲面的弯曲程度（即曲率）有关。在实际测量工作中，若变形的程度没有超出误差的范围，就可以用平面来代替曲面，否则就不能用平面代替曲面。

1.4.1 地球曲率对距离测量的影响

如图 1-8 所示， A 、 B 、 C 为地面上的三个点，它们在大地水准面上的投影点分别为 a 、 b 、 c ，在水平面上的投影分别为 a' 、 b' 、 c' 。地球的半径为 R ，假设 ab 的弧长为 D ， $a'b'$ 的长度为 D' ， O 为地球的球心， $\angle AOB$ 的值为 θ ，则用水平面代替曲面所产生的误差为 ΔD ， ΔD 可用下式来表示

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-8)$$

在小区域范围内， θ 一般都很微小，可将 $\tan \theta$ 用级数展开为

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots \quad (1-9)$$

取式 (1-9) 的前两项，并与 $\theta = D/R$ 一起代入式 (1-8)

图 1-8 水平面代替曲面后的影响

中，得

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right) = \frac{1}{3}R\theta^3 = \frac{1}{3}R(D/R)^3 \quad (1-10)$$

或

$$\Delta D/D = \frac{1}{3}(D/R)^2 \quad (1-11)$$

将 $R = 6371\text{km}$ ， D 用不同的数值代入式 (1-11) 中进行计算，得到的结果见表 1-2。

表 1-2 水平面代替大地水准面对距离的影响

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差 $\Delta D/D$	距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差 $\Delta D/D$
1	0.00	—	20	6.60	1:30 万
5	0.10	1:500 万	50	102.70	1:4.8 万
10	0.82	1:120 万	100	821.20	1:1.2 万
15	2.77	1:54 万			



从表 1-2 中可以看出, 当 $D = 10\text{km}$ 时, 所产生的距离误差为 0.82cm , 相对误差为 $1:120$ 万, 即使是精密量距, 这么小的误差也是允许的。因此, 在 10km 范围内量距, 不用考虑地球曲率对测距产生的影响, 可以用水平面代替地球曲面。

1.4.2 地球曲率对高程测量的影响

如图 1-8 所示, 地面上 B 点的高程为铅垂距离 Bb , 若用水平面代替大地水准面, 则 B 点的高程为 Bb' , 两者之间的差距用 Δh 表示, Δh 即为对高程的影响。

$$\Delta h = Bb - Bb' = b'O - bO = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \quad (1-12)$$

θ 一般都很微小, 将 $\sec\theta$ 用级数展开为

$$\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \dots \quad (1-13)$$

将式 (1-13) 中的前两项和 $\theta = D/R$ 一起代入式 (1-12) 中, 得

$$\Delta h = R(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1) = R \frac{D^2}{2R^2} = \frac{D^2}{2R} \quad (1-14)$$

将 $R = 6371\text{km}$ 代入式 (1-14) 中, 水平距离 D 取不同的值, 就会得到不同结果的 Δh , 见表 1-3。

表 1-3 水平面代替大地水准面对高程的影响

D/m	10	20	50	100	200	500	1 000
$\Delta h/\text{mm}$	0.01	0.03	0.2	0.8	3.1	19.6	78.5

从表中数据可以看出, 用水平面代替大地水准面对高程的影响非常大, 200m 远的距离就会产生 3mm 的高程误差。根据规定, 对于中等精度的高程测量, 1km 长度的高程误差不能超过 2cm , 而表中达到了 8cm 。这就说明, 在高程测量中, 即使是在短距离或小区域内也必须考虑地球曲率的影响。

1.4.3 地球曲率对水平角测量的影响

球面上三角形的内角之和与平面上三角形的内角之和相比较, 其多出的部分称为球面角超, 用 ε'' 表示, 其值为

$$\varepsilon'' = \frac{P}{R^2} \rho'' \quad (1-15)$$

式中 ε'' ——球面角超 ($''$);

P ——球面三角形面积;

ρ'' ——常数, 取值 $206265''$ 。

将 $R = 6371\text{km}$ 和用不同球面三角形的面积值代入式 (1-15) 中得到表 1-4 的结果。

表 1-4 水平面代替水准面对角度的影响

P/km^2	ε''	P/km^2	ε''	P/km^2	ε''	P/km^2	ε''
10	0.05	50	0.25	100	0.51	500	2.54



从表中数据可以看出,当测区范围在 100km^2 时,对角度的影响仅为 $0.51''$,所以,在一般的测量中,角度的影响可以忽略不计。

1.5 测量工作概述

1.5.1 测量工作的原则

在测量工作中,误差是不可能避免的,为了避免误差累积后产生错误,必须要按一定的原则测量,使测量在一个合理的精度内进行。

测量工作的原则:一是按照“先整体后局部,先控制后碎部”的原则,控制测量遵循“从高级到低级”的测量顺序开展工作;二是测量工作中要做到“步步检核”。

如图 1-9 所示,先在测区内选择 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 作为该测区的控制点,对其进行测量,并将点分别标在图纸上,然后以 A 点为测站,测定其周围的地物或地貌点,将相关点连接起来,并用一定的符号来表示,该测站的工作完成后,再依次在控制点 B 、 C ... 开展测量工作,直到整个测区的测量工作完成。

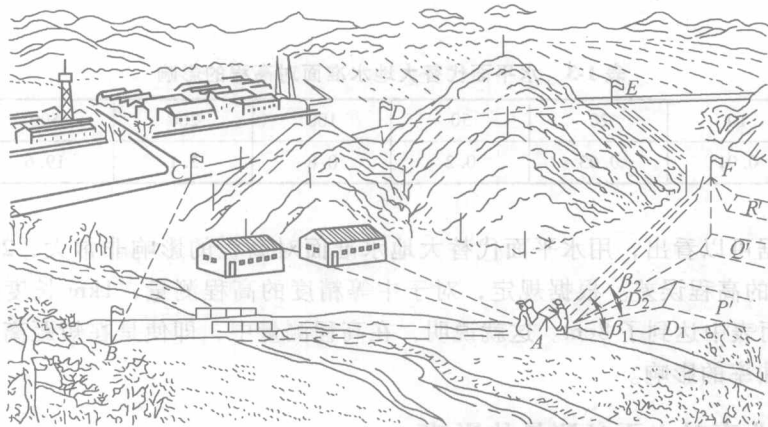


图 1-9 测量工作的原则

1.5.2 测量工作的内容

从以上的介绍中可以知道,测量工作就是确定地面点的位置的工作,是通过测定点之间的距离、角度、高差,并经计算后得到点的坐标来实现的。因此,测量角度、距离、高差就是测量工作的基本内容,也称为测量工作的三要素,所以,角度测量、距离测量、高程测量是测量的三项基本工作。

从事测绘工作的基本步骤是:

- 1) 搜集资料,根据测区的具体情况制定合理的观测方案;
- 2) 布设控制网,进行控制测量;
- 3) 碎部测量;
- 4) 测绘成果的检验与验收。



复习与思考题

1. 什么叫测量学？测量学的研究对象是什么？
2. 测定和测设有什么区别？
3. 什么叫水准面、大地水准面？大地水准面有什么作用？
4. 什么叫绝对高程、相对高程、高差？
5. 表示点的坐标有哪几种？分别适用于什么情况？
6. 测量中的平面坐标系与数学中的平面直角坐标有何区别？
7. 测量工作的三要素是什么？测量工作的原则又是什么？