

● 张文春 李伟东 主编 ● 石金峰 王家贵 主审

土木工程测量

TUMU GONGCHENG CELIANG

TUMU GONGCHENG CELIANG

TUMU GONGCHENG CELIANG

中国建筑工业出版社

290

71.7A
51

土木工程测量

张文春 李伟东 主 编
石金峰 王家贵 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量/张文春, 李伟东主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

ISBN 7-112-05180-0

I. 土… II. ①张… ②李… III. 土木工程—工程测量
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 058600 号

本书共分十三章。第一章至第五章为土木工程测量的基本知识、测量的基本工作和测量仪器的使用方法；第六章介绍测量误差的基本知识；第七章为小地区控制测量，包括 GPS 原理简介；第七章、第八章为地形图的基本知识及其在土木工程中的应用、大比例尺地形图测绘方法；第九章至第十三章为土木工程施工测量，包括施工测量的基本工作，工业与民用建筑施工测量，线路勘测，道路曲线测设方法，线路（管道、道路、桥梁、隧道）施工测量。

本书可作为普通高等学校土木工程、环境工程、建筑学、城市规划等各专业教材，并可作为土木工程类各专业高等职业技术教育教材，也适宜供有关工程技术人员参考。

土木工程测量

张文春 李伟东 主编

石金峰 王家贵 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：17½ 字数：421 千字

2002 年 8 月第一版 2002 年 8 月第一次印刷

印数：1—3,000 册 定价：28.00 元

ISBN 7-112-05180-0

TU·4856 (10794)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.china-abp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

前 言

为了适应二十一世纪教育事业飞速发展的要求，贯彻执行新的高等学校招生专业目录，满足新专业目录下土木工程等专业的测量课程教学需要，我们编写了此书。

新专业目录中的土木工程专业涵盖了原专业目录下的建筑工程、交通土建、城镇建设、矿井建设等专业。在编写过程中，我们对各专业相同的基础部分进行统一；而对于原属于不同专业的施工测量部分，也根据其内容特点进行了重新归类与整合，求同存异，力求内容的系统与完整，并力求简捷，尽量压缩篇幅。我们也充分考虑并兼顾了建筑学、城市规划、工程管理、建筑环境与设备工程、环境工程等各相关专业的教学需要。

当前正处于测绘技术飞速发展的时期，我们在教材中充实了现代测绘新技术，如GPS、GIS、RS、数字测图等有关内容，以及新的测绘仪器和设备，如电子水准仪、电子经纬仪、全站仪等内容，使土木建筑类专业的学生不但能了解当前测绘科学技术发展的现状，更能结合专业的要求，拓宽视野，开阔思路，更好地应用测绘新技术为其专业服务。

在编写过程中，我们在充实新技术的同时，在满足现阶段工程技术需要的前提下，结合工程实际，对陈旧的传统内容进行了删除、压缩、修改，力求简捷实用。

参加本教材编写工作的有：张文春编写第一、十一章；李伟东编写第六、七章；刘祥编写第二、三、四章；刘忠信编写第五章；彭健、徐玉环编写第八章；王勇胜编写第九章；刘昱峰编写第十章；董伟智编写第十二章；朱伟刚编写第十三章；王岩松负责例题与习题部分；王海洋负责插图编绘工作。

本书由辽宁工程技术大学石金峰教授、王家贵教授进行了认真、细致的审定，并提出了许多宝贵意见，他们认真、细致的工作更好地保证了本书的质量。吉林建筑工程学院王永平教授、战高峰教授为本书的编写提出了很多宝贵的意见、建议和帮助，在此表示感谢。

由于编者水平所限，书中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

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 测量学的任务与作用.....	1
第二节 地面点位的确定.....	2
第三节 测量工作概述.....	8
思考题与习题	10
第二章 水准测量	11
第一节 水准测量原理	11
第二节 水准仪和水准尺	12
第三节 水准测量的外业	16
第四节 水准测量成果计算	20
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	21
第六节 三、四等水准测量	24
第七节 水准测量的误差分析	27
第八节 几种典型的水准仪	29
思考题与习题	33
第三章 角度测量	35
第一节 角度测量原理	35
第二节 光学经纬仪	35
第三节 水平角测量	39
第四节 竖直角测量	42
第五节 经纬仪的检验与校正	46
第六节 水平角测量误差分析	49
第七节 电子经纬仪	52
思考题与习题	53
第四章 距离测量与直线定向	55
第一节 钢尺量距	55
第二节 视距测量	59
第三节 电磁波测距仪	62
第四节 全站仪	67
第五节 直线定向	79
思考题与习题	81
第五章 测量误差基本知识	83
第一节 测量误差概述	83

第二节	观测值的算术平均值	86
第三节	衡量观测值精度的标准	87
第四节	误差传播定律	91
第五节	加权平均值及其中误差	93
	思考题与习题	98
第六章	小地区控制测量	99
第一节	控制测量概述	99
第二节	导线测量	103
第三节	小三角测量	112
第四节	测角交会	118
第五节	全球卫星定位系统	121
第六节	距离改化与坐标换带*	127
	思考题与习题	130
第七章	地形图基本知识与应用	132
第一节	地形图的比例尺	132
第二节	地形图的分幅和编号	133
第三节	地形图图外注记	135
第四节	地形图图式	137
第五节	地籍图基本知识	145
第六节	地形图的应用	149
	思考题与习题	156
第八章	大比例尺地形图测绘	158
第一节	测图前的准备工作	158
第二节	碎部点平面位置的测绘方法	159
第三节	经纬仪测绘法	160
第四节	平板仪测图原理	163
第五节	地形图的绘制	164
第六节	数字化测图概述	167
第七节	航空摄影测量简介	173
第八节	地籍图测绘	176
	思考题与习题	177
第九章	施工测量基本工作	178
第一节	施工测量概述	178
第二节	测设的基本工作	179
第三节	点的平面位置的测设	181
第四节	坐标系统转换	184
	思考题与习题	185
第十章	建筑施工测量	187
第一节	建筑施工控制测量	187

第二节	多层民用建筑施工测量	190
第三节	工业厂房施工测量	196
第四节	高层建筑施工测量	201
第五节	建筑物的变形观测	205
第六节	竣工总平面图的编绘	208
	思考题与习题	209
第十一章	线路勘测	211
第一节	线路测量工作概述	211
第二节	中线测量	214
第三节	圆曲线测设	218
第四节	纵断面测量	223
第五节	横断面测量	227
	思考题与习题	229
第十二章	道路曲线测设方法	231
第一节	虚交	231
第二节	复曲线的测设	233
第三节	回头曲线的测设	234
第四节	缓和曲线的测设	236
第五节	道路中线逐桩坐标计算	242
第六节	全站仪测设道路中线	243
	思考题与习题	245
第十三章	线路施工测量	246
第一节	管道施工测量	246
第二节	道路施工测量	250
第三节	桥梁施工测量	254
第四节	隧道施工测量	260
	思考题与习题	268

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务与作用

测量学是研究地球的形状、大小，以及确定地面点位的科学。它的内容包括测定和测设两个方面。测定是指通过各种测量工作，把地球表面的形状和大小缩绘成地形图，或得到相应的数字信息，供国防工程及国民经济建设的规划、设计、管理和科学研究使用。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。

测量学按照研究范围和对象的不同，划分为若干分支学科。例如，研究整个地球的形状和大小，解决大范围控制测量和地球重力场问题的的工作，属于大地测量学的范畴。大地测量学是地学的重要组成部分，是整个测绘科学的基础理论学科。测量小范围地球表面形状时，不顾及地球曲率的影响，把地球局部表面当作平面看待所进行的测量工作，属于普通测量学的范畴。利用摄影或遥感技术获取地面物体的影像，进行分析处理并绘制成地形图或建立数字模型的工作，属于摄影测量与遥感学的范畴。研究工程建设各阶段所进行的各种测量工作属于工程测量学的范畴。以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编制工作，属于海洋测绘学的范畴。利用测量所得的成果资料，研究如何投影编绘和制印各种地图的工作，属于制图学的范畴。全球卫星定位系统（GPS）、遥感（RS）、地理信息系统（GIS）（合称“3S”）代表着测绘学科高新技术发展的方向和水平。本书主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

测绘科学应用很广：在国民经济和社会发展规划中，测绘信息是最重要的基础信息之一，各种规划和设计及地籍管理，首先要有地形图和地籍图或相应的数字信息。另外，在各项工农业基本建设中，从勘测设计阶段到施工、竣工阶段，都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中，军事测量和军用地图是现代大规模、诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射，要保证它精确入轨，随时校正轨道和命中目标，除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外，还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学实验方面，诸如空间科学技术的研究，地壳的形变、地震预报、灾情监视与调查以及地极周期性运动的研究等，都要应用测绘资料。即使在国家的各级管理工作中，测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。随着测绘科学高新技术的不断研究开发与应用，必将为各个行业提供更为全面、准确、及时、适用的测绘信息成果与技术服务。

测绘科学在土木类各专业的工作中有着广泛的应用和重要的地位。例如，在勘测设计的各个阶段，要求有各种比例尺的地形图，供城镇规划、厂址选择、管道及交通线路选线以及总平面图设计和竖向设计之用。在施工阶段，要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地，以便进行施工。施工结束后，要进行竣工测量，绘制竣工图，供日后

扩建和维修之用。即使是竣工后，对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形观测，以保证工程设施的安全使用。

土木类各专业学生，学习本课程之后，要求达到掌握普通测量学的基本知识和基础理论；能正确使用工程中常用测量仪器和工具，并了解测量新仪器、新技术的一般应用方法；了解大比例尺地形图的成图原理和方法；在工程设计和施工中，具有正确应用地形图和有关测量资料的能力和进行一般工程施工测设的能力，以便能灵活应用所学的测量知识为专业工作服务。

第二节 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，所以必须知道地球的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等起伏状态，世界最高的珠穆朗玛峰高达 8 848.13m，最深的马里亚纳海沟深达 11 022m。高低起伏最大近 20km，但这种起伏变化仍不足地球半径 6 371km 的 1/300，故对地球总的形状的影响可忽略不计。由于地球表面 71% 被海水所覆盖，所以可以把海水所覆盖的地球形体看做地球的形状。

由于地球的自转运动，地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面，水准面是受重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水面可高可低，因此符合上述特点的水准面有无数多个，其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿延伸而形成的封闭曲面，称为大地水准面，如图 1-1a 所示。大地水准面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。

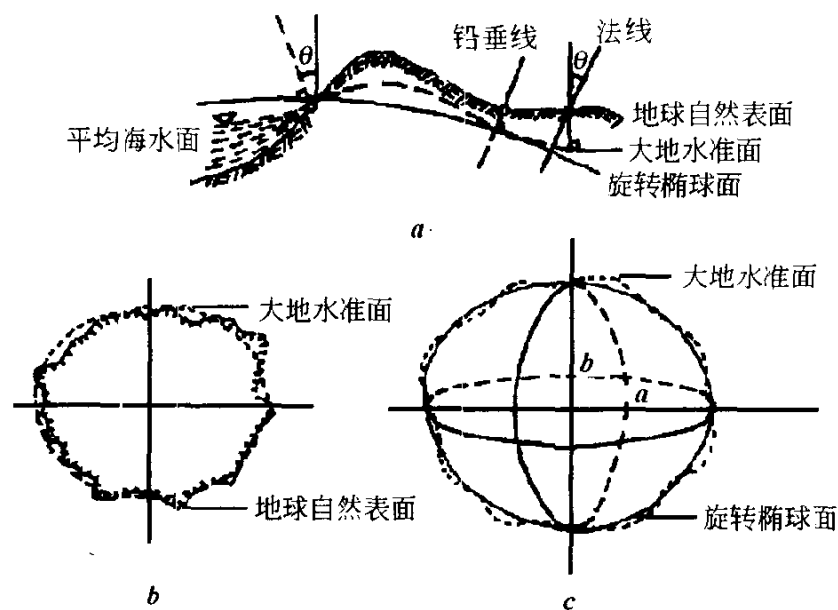


图 1-1 大地水准面和旋转椭球体

用大地水准面代表地球表面的形状和大小是恰当的，但由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个复杂的曲面，如图 1-

1b 所示。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上，将对测量计算和绘图带来很多困难，为此选用一个非常接近大地水准面，并可用数学式表达的几何形体来代表地球的总形状，这个数学形体称为旋转椭球体，如图 1-1c。其包围它的面称为旋转椭球面。

旋转椭球体是由一椭圆（长半轴为 a ，短半轴为 b ）绕其短半轴 b 旋转而成的椭球体。椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α 是决定旋转椭球体的形状和大小的元素，随着测绘科学的进步，可以越来越精确地测定这些元素。目前，我国采用国际大地测量协会 IAG-75 参数： $a = 6\,378\,140\text{m}$ ， $\alpha = 1/298.257$ ，推算值 $b = 6\,356\,755.288\text{m}$ 。

由于地球椭球体的扁率很小，当测区不大时，可将地球当作半径为 $6\,371\text{km}$ 的圆球。当测区面积很小时，也可用水平面代替水准面，作为局部地区的测量基准面。

二、测量坐标系

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。确定地面点的空间位置需用三个量，通常是确定地面点在球面或平面上的投影位置（即地面点的坐标），以及地面点到大地水准面的铅垂距离（即地面点的高程）。

（一）地理坐标

在大区域内确定地面点的位置，以球面坐标系来表示，用经度、纬度表示地面点在球面上的位置，称为地理坐标。地理坐标又因采用的基准面、基准线的不同而分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

1. 天文地理坐标

用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点在大地水准面上的位置，称为天文地理坐标。如图 1-2 所示，过地面上任一点铅垂线与地轴 $N-S$ 所组成的平面称为该点的子午面，过英国格林威治天文台的子午面称为首子午面。子午面与球面的交线称为子午线或称经线。球面上 F 点的天文经度 λ 是过 F 点的子午面与首子午面所夹的二面角。自首子午面向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经，向西为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

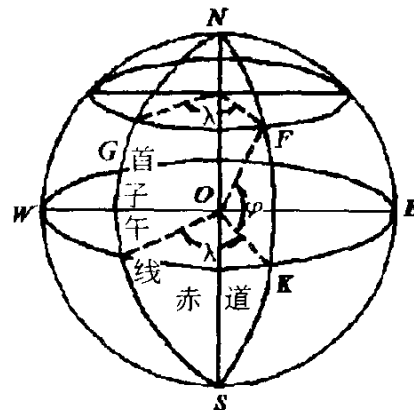


图 1-2 地理坐标

垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬线。球面上 F 点的纬度是过 F 点的铅垂线与赤道面的夹角，用 φ 表示。纬度从赤道起向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。例如：北京市中心的天文地理坐标为东经 $116^\circ 24'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

2. 大地地理坐标

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置，称为大地地理坐标，简称大地坐标。地面上任意点 P 的大地经度 L 是该点的子午面与首子午面所夹的二面角； P 点的大地纬度 B 是过该点的法线（与椭球面相垂直的线）与赤道面的夹角。

大地经、纬度是根据大地原点（该点的大地经、纬度与天文经、纬度相等）的起算数据，再按大地测量得到的数据推算而得。我国曾采用“1954年北京坐标系”并于1987年废止，现采用陕西省泾阳县永乐镇某点为国家大地原点，由此建立新的统一坐标系，称为

“1980 年国家大地坐标系”。

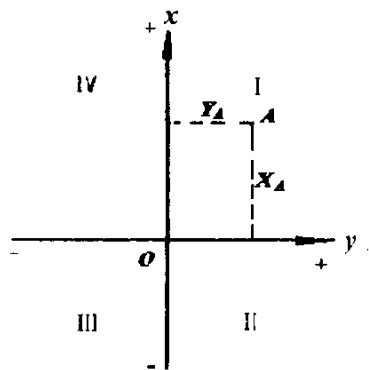


图 1-3 独立平面直角坐标系

(二) 独立平面直角坐标

地理坐标是球面坐标，在球面上（尤其是椭球面上）求解点间的相对位置关系是比较复杂的问题，测量上的计算和绘图最好在平面上进行。当测量区域较小时，可以用水平面代替作为投影面的球面，用平面直角坐标来确定点位（图 1-3）。测量上采用的平面直角坐标系与数学上的基本相同，但坐标轴互换，象限顺序相反。测量上取南北为标准方向，向北为 X 轴正向，顺时针方向量度，这样便于将数学的三角公式直接应用到测量计算上。原点 O 一般假定在测区西南以外，使测区内各点坐标均为正值，便于计算。

(三) 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时，由于存在较大的差异，不能用水平面代替球面。而作为大地地理坐标投影面的旋转椭球面又是一个“不可展”曲面，不能简单地展成平面。测量上将旋转椭球面上的点位换算到平面上，称为地图投影。在投影中可能存在角度、距离、面积三种变形，我国采用保证角度不变形的高斯投影方法。如图 1-4a 所示，设想将一个圆柱套在旋转椭球外面，并与旋转椭球面上某一条子午线 NOS 相切，同时使圆柱的轴位于赤道面内，且通过椭球中心，相切的子午线称为高斯投影面上的中央子午线。将旋转椭球面上的 M 点，投影到圆柱面上得 m 点，将圆柱面沿其母线剪开，展成平面（图 1-4b），这个平面为高斯投影平面。

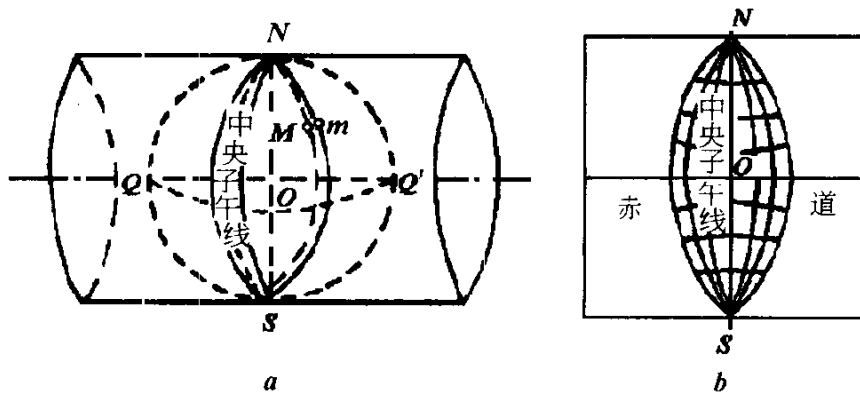


图 1-4 高斯投影

在高斯投影平面上，中央子午线投影的长度不变，其余子午线其长度大于投影前的长度，离中央子午线愈远长度变形愈大。为使长度变形不大于测量的精度范围，高斯投影的方法从首子午线起每隔经差 6° 为一带，自西向东将整个地球分成 60 个带，各带的带号 N 为 1、2、...60，如图 1-5 所示。第一个 6° 带中央子午线的经度为 3° ，任意一带中央子午线经度 L_0 可按下式计算

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

式中 N 为投影带号。

例 1-1 北京市中心的经度为 $116^\circ 24'$ ，求其所在高斯投影 6° 带的带号 N 及该带的中央子午线经度 L_0 。

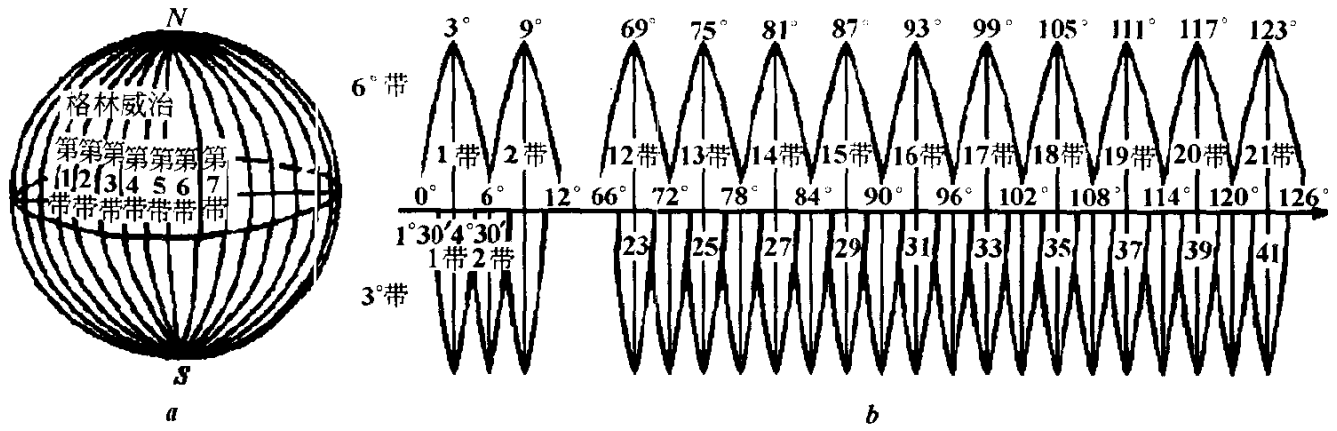


图 1-5 投影分带与 6° (3°) 带

$$N = \text{INT}\left(\frac{116^\circ 24'}{6^\circ} + 1\right) = 20$$

$$L_0 = 6^\circ \times 20 - 3^\circ = 117^\circ$$

在大比例尺测图中，要求投影变形更小，则可用 3° 带（图 1-5b），或 1.5° 带投影。 3° 带中央子午线在奇数带对与 6° 带中央子午线重合，各 3° 带中央子午线经度为

$$L'_0 = 3^\circ N' \quad (1-2)$$

式中 N' 为 3° 带的带号。

在高斯平面直角坐标系中，以每一带的中央子午线的投影为直角坐标系的纵轴 x ，向北为正，向南为负；以赤道的投影为直角坐标系的横轴 y ，向东为正，向西为负；两轴交点 O 为坐标原点。由于我国领土位于北半球，因此 x 坐标值均为正值， y 坐标可能有正有负，如图 1-6a 所示， A 、 B 两点的横坐标值为： $y_A = +148\ 680.54\text{m}$ ， $y_B = -134\ 240.69\text{m}$ 。为了避免出现负值，将每一带的坐标原点向西移

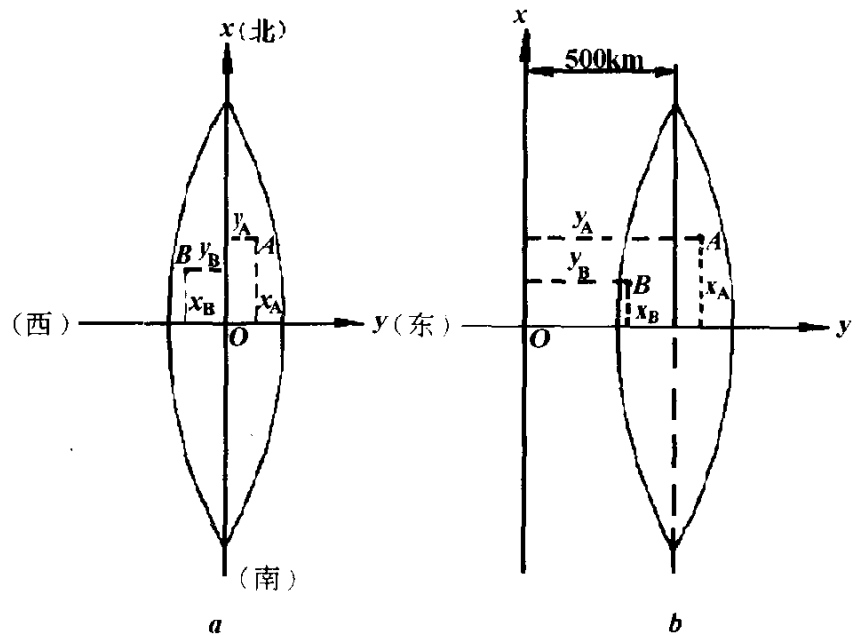


图 1-6 高斯平面直角坐标系

500km，即将横坐标值加 500km，如图 1-6b 所示，则 A 、 B 两点的横坐标值为： $y_A = 500\ 000 + 148\ 680.54 = 648\ 680.54\text{m}$ ， $y_B = 500\ 000 - 134\ 240.69 = 365\ 759.31\text{m}$ 。为了根据横坐标值能确定某一点位于哪一个 6° （或 3° ）投影带内，再在横坐标前加注带号，例如 A 点位于第 21 带，则其横坐标值为 $y_A = 21\ 648\ 680.54\text{m}$ 。

(四) 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为绝对高程，又称海拔。如图 1-7 中的 A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。由于受海潮、风浪等影响，海水面的高低时刻在变化，我国在

青岛设立验潮站，进行长期观测，取黄海平均海水面作为高程基准面，建立“1956年黄海高程系”，其青岛国家水准原点高程：72.289m，该高程系统自1987年废止并起用“1985年国家高程基准”，即原点高程：72.260m。在使用测量资料时，一定要注意新旧高程系统，以及系统间的正确换算。

在局部地区，可以假设一个高程基准面作为高程的起算面，地面点到假设高程基准面的铅垂距离，称为假定高程或相对高程。如图1-7中A、B两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点高程之差称为高差，以 h 表示。A、B两点的高差为

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

三、测量的基本要素

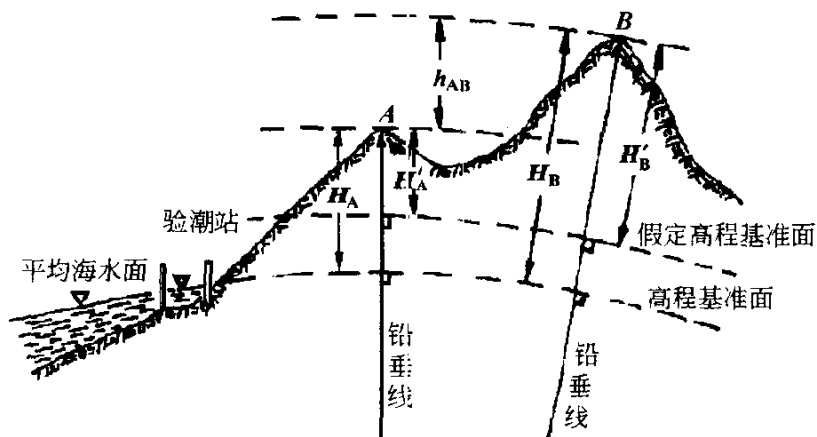


图 1-7 高程和高差

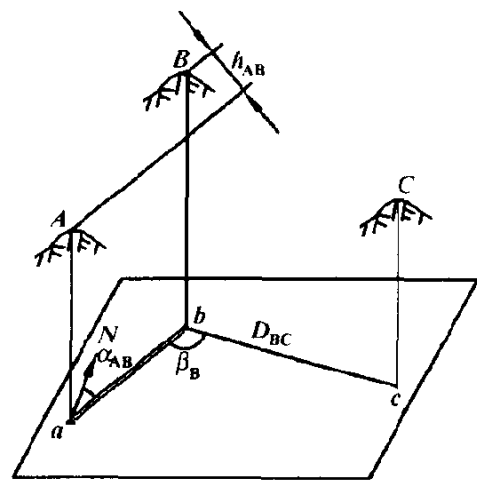


图 1-8 测量的基本要素

在一般的测量工作中，地面点的三维坐标 (X, Y, H) 通常情况下是间接测出的。如前所述：求B点的高程 H_B ，可通过观测A、B两点间的高差 h_{AB} ，根据A点的高程 H_A 求得。如图1-8所示，A、B两点为已知点，即其平面直角坐标值已知，欲求待定点C的坐标。可观测BC两点间在投影面上的水平距离 D 及BC与BA方向在投影面上的水平角 β ，试想：由于BA两点坐标已知，其方向就是已知的，从已知方向BA转过确定的角 β ，BC的方向就是确定的；从一个已知点B沿着确定的方向出发，走过一段确定的距离 D ，则必然到达确定的C点，即C点的坐标是可解的。由此可以看出，高差、水平角、水平距离是求解地面点三维坐标的基本要素，而观测这三个要素的工作，就是测量的基本工作。

四、用水平面代替水准面的限度

水准面是一个近似于球面的曲面，球面上的图形展成平面一定会破裂或起皱。因此，严格地讲，即使在极小的范围内用水平面代替水准面，也要产生变形。由于测量和制图过程中不可避免地产生误差，若在小范围内以水平面代替水准面而产生的变形误差小于测量和制图过程中产生的误差，则在这个小范围内用水平面代替水准面是合理的。对于测量的三个基本要素：水平角、水平距离、高差，由于从球面坐标到平面坐标，我们采用的高斯

投影是一种保角投影，即投影前后角度是不变形的（严格地说还存在球面角超问题），因此以下讨论以水平面代替水准面对水平距离和高差的影响，以明确用水平面可以代替水准面的范围。

（一）对水平距离的影响

如图 1-9 所示，设球面 P 与水平面 P' 相切于 A 点， A 、 B 两点在球面上的弧长为 D ，在水平面上的长度为 D' ，地球的半径为 R ， AB 所对的球心角为 θ ，则

$$D = R\theta$$

$$D' = R \tan \theta$$

以水平长度代替球面上弧长所产生的误差为

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

将 $\tan \theta$ 按级数展开，并略去高次项，得

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

因而近似得

$$\Delta D = R[(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots) - \theta] = R \frac{\theta^3}{3}$$

以 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2}$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-4)$$

以地球半径 $R = 6\,371\text{km}$ 代入上式，并取不同的 D 值计算，可求得距离的相对误差 $\Delta D/D$ 如表 1-1。

用水平面代替水准面的距离误差和相对误差

表 1-1

距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	相对误差 $\Delta D/D$	距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1:1 220 000	50	102.7	1:49 000
25	12.8	1:200 000	100	821.2	1:12 000

当距离为 10km 时，以水平面代替水准面所产生的距离误差为 1:122 万，这样小的误差，就是在地面上进行最精密的距离测量也是容许的。因此，在 10km 为半径，即面积约 320km^2 范围内，以水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。对于精度要求较低的测量，还可以扩大到以 25km 为半径的范围。

（二）对高差的影响

在图 1-9 中， A 、 B 两点在同一水准面上，其高差应为零。 B 点投影在水平面上得 B' 点，则 BB' 即为水平面代替水准面所产生的高差误差，或称为地球曲率的影响。

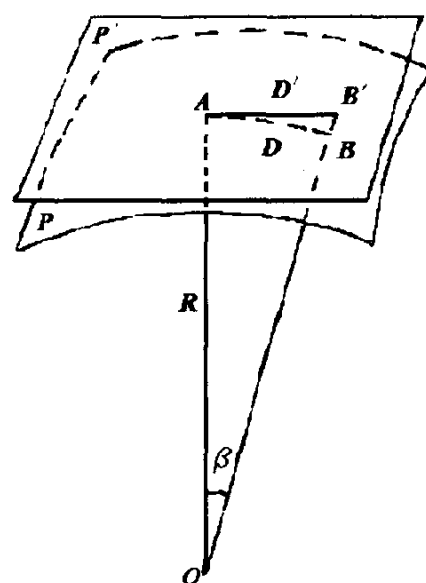


图 1-9 水平面代替水准面的影响

设 $BB' = \Delta h$ 则

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

化简得

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

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

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-5)$$

以不同距离 D 代入上式, 得相应的高差误差值列于表 1-2 中。

用水平面代替水准面的高差误差

表 1-2

D (m)	100	200	500	1 000
Δh (mm)	0.3	3.1	19.6	78.5

由表 1-2 可知, 以水平面代替水准面, 在 200m 的距离内高差误差就有 3mm。因此, 当进行高程测量时, 即使距离很短也必须顾及水准面曲率 (即地球曲率) 的影响。

第三节 测量工作概述

测量工作的主要任务之一是测绘地形图和施工放样, 本节简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

一、测量工作的基本原则

测量工作中将地球表面复杂多样的地形分为地物和地貌两类。地面上的河流、道路、房屋等固定性物体称为地物; 地面上的山岭、沟谷等高低起伏的形态称为地貌。如图 1-10 所示, 要在 A 点上测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的, 只能测量其附近的范围, 因此, 只能在若干点上分区观测, 最后才能拼成一幅完整的地形图, 施工放样也是如此。但不论采用何种方法, 使用何种仪器进行测量或放样, 都会给其成果带来误差。为了防止测量误差的逐渐传递, 累积增大到不能容许的程度, 要求测量工作遵循在布局上“由整体到局部”、在精度上“由高级到低级”、在次序上“先控制后碎部”的原则。同时, 测量工作必须进行严格的检核, 故“前一步工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则。

二、控制测量的概念

遵循“先控制后碎部”的测量原则, 就是先进行控制测量, 测定测区内若干个具有控制意义的控制点的平面位置 (坐标) 和高程, 作为测绘地形图或施工放样的依据。控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量的方法有导线测量、三角测量及交会定点等, 其目的是确定测区中一系列控制点的坐标 x 、 y ; 高程控制测量的方法有水准测量、光电测距三角高程测量等, 其目的是测定各控制点间的高差, 从而求出各控制点的高程 H 。如图 1-10, 在测区范围内选择 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 为平面控制点, 由一系列控制

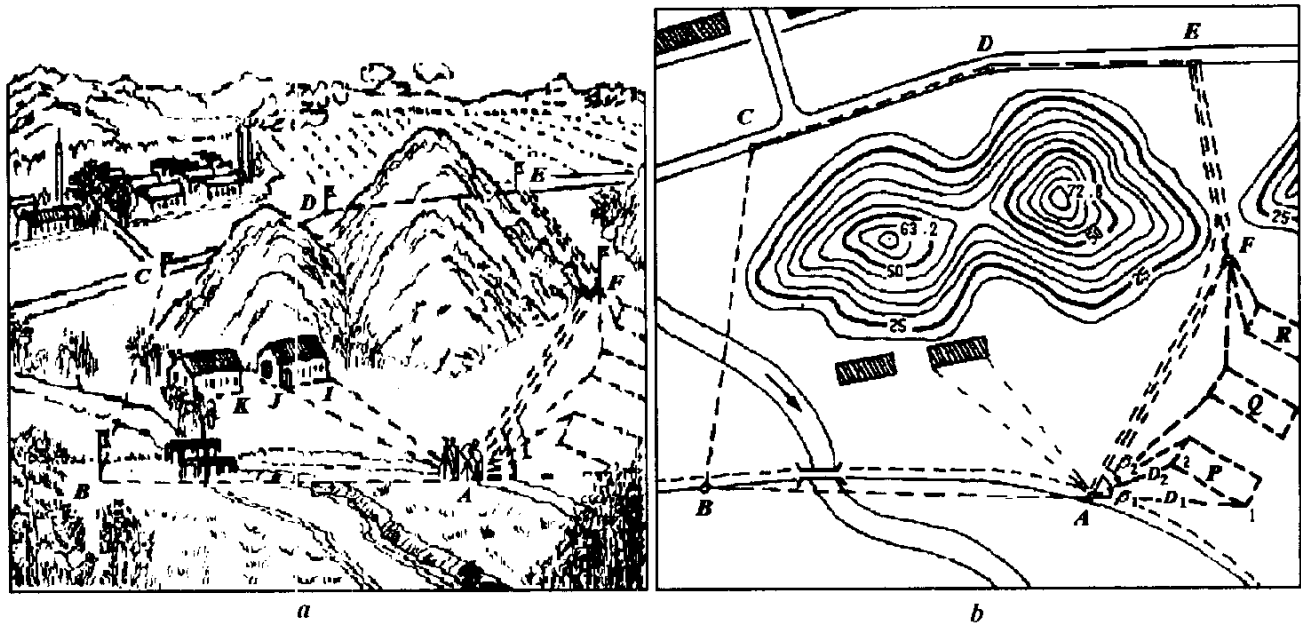


图 1-10 地形和地形图示意图

点连结而成的几何网形，称为平面控制网。图中采用导线网，通过观测角度 (β_A 、 β_B 、 β_C 、 β_D 、 β_E 、 β_F)、丈量距离 (D_{AB} 、 D_{BC} 、 D_{CD} 、 D_{DE} 、 D_{EF} 、 D_{FA}) 并依据其中一个点 (A) 的平面直角坐标及一个直线 (AB) 的方向，通过计算求得各点坐标 x 、 y 值。同时，由测区内某一已知高程的水准点开始，经过 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 等控制点构成闭合水准路线，进行水准测量和计算，从而求得这些控制点的高程 H 。

三、碎部测量的概念

在控制测量的基础上就可以进行碎部测量。在普通测量工作中，碎部测量常用平板仪测绘法或经纬仪测绘法。图中所示为用经纬仪测绘法进行碎部测量。在控制点 A 上安置经纬仪，利用另外一个已知点 B 定向。测绘道路、桥梁、房屋等地物时，用经纬仪观测 A 点分别至房屋角点 I 、 J 、 K 各点的方向与 AB 方向的夹角，及 A 点至 I 、 J 、 K 各点的距离，根据角度和距离在图板的图纸上，用量角器和直尺按比例尺标绘出房屋角 I 、 J 、 K 等点的平面位置，同时还可求得这些点的高程，辅以其他观测数据，依据地形图图式中规定的符号即可绘出各种地物的图上位置。至于地貌，其地势起伏变化虽然复杂，但仍可看成是由许多不同方向、不同坡度的平面相交而成的几何面。相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线，只要确定出这些方向变化线和坡度变化线交点的平面位置和高程，地貌的形状和大小的基本情况也就反映出来了。因此，不论地物或地貌，它们的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定。这些特征点也称碎部点。测图时，主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。

四、施工放样的概念

施工放样（测设）是指把图上设计的建（构）筑物位置在实地标定出来，作为施工的依据。为了使地面上标定出的建筑物位置成为一个有机联系的整体，施工放样同样需要遵循“先控制后碎部”的基本原则。

如图 1-10 所示，在控制点 A 、 F 附近设计的建筑物 P ，施工前需在实地测设出它们的

位置。根据控制点 A 、 F 及建筑物的设计坐标，可求出水平角 β_1 、 β_2 和水平距离 D_1 、 D_2 ，然后分别在控制点 A 、 F 上用仪器定出水平角 β_1 、 β_2 所指的方向，并沿这些方向量出水平距离 D_1 、 D_2 ，在实地定出 1、2 等点，据此可进行建筑物 P 的详细测设。同样，根据施工控制点的已知高程和建（构）筑物的图上设计高程，可用水准测量方法测设出建（构）筑物的设计高程。

思考题与习题

1. 测量学的基本任务是什么？对你学的专业起什么作用？
2. 什么叫水平面？什么叫水准面？什么叫大地水准面？它们有何区别？
3. 什么叫绝对高程（海拔）？什么叫相对高程？什么叫高差？
4. 表示地面点位有哪几种坐标系？各有什么用途？
5. 测量学中的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有何不同？为何这样规定？
6. 长春市的大地经度为 $125^{\circ}19'$ ，试计算它所在 σ 带的带号，以及中央子午线的经度。
7. 测量的基本要素有哪些？
8. 对于水平距离和高差而言，在多大的范围内可用水平面代替水准面？
9. 测量工作的基本原则是什么？