

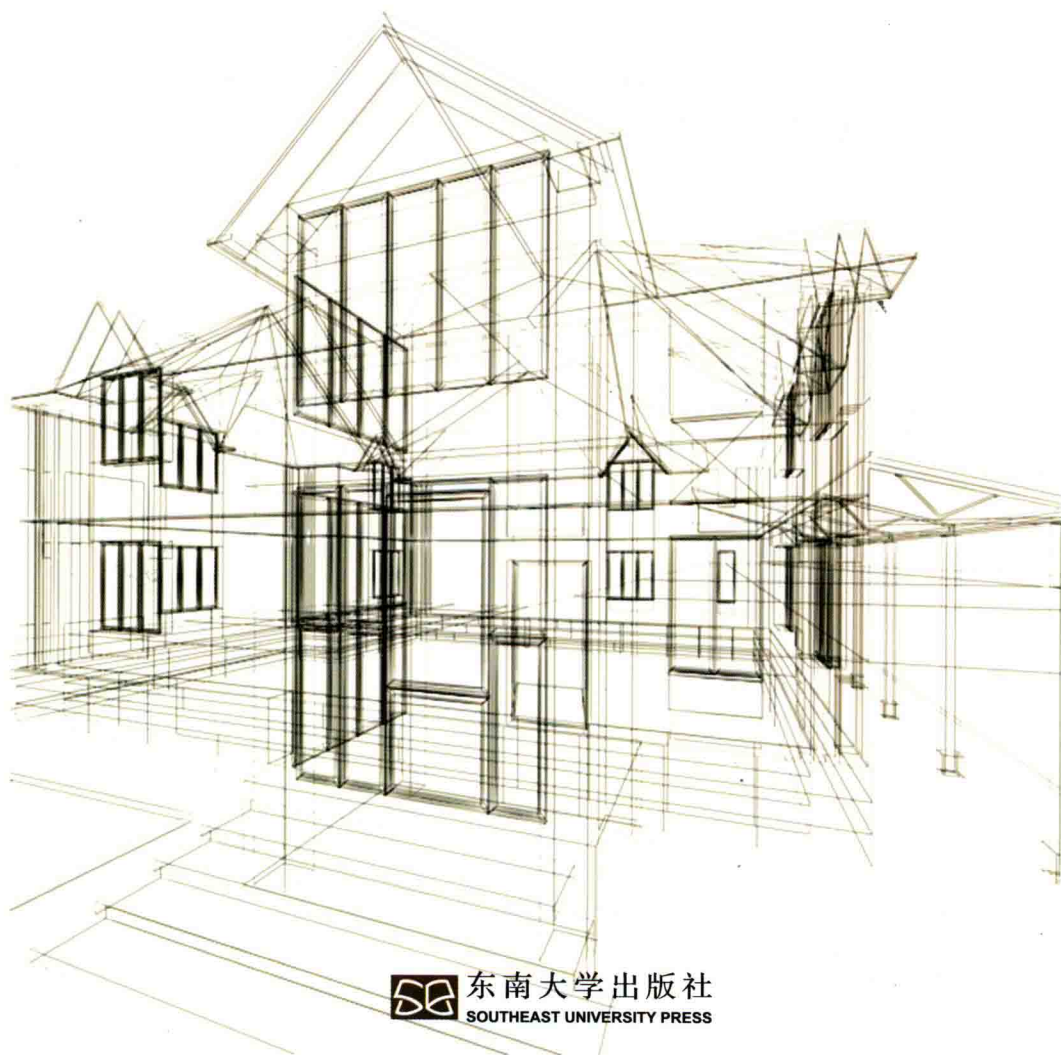


高职高专土建类“十二五”规划教材

工程测量

GONGCHENGCELIANG

冯雨实 许锡文 刘洋◎主编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高职高专“十二五”规划教材

工 程 测 量

主 编 冯雨实 许锡文 刘 洋

副主编 赵黎明 王克晓 孙 静

高涛涛 吴 珊

东南大学出版社

• 南京 •

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 冯雨实, 许锡文, 刘洋主编. — 南京 : 东南大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5641-5978-8

I. ①工… II. ①冯… ②许… ③刘… III. ①工程测量—高等职业教育—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 199295 号

工程测量

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

责任编辑: 史建农 戴坚敏

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 南京雄州印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 336 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版

印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-5978-8

印 数: 1—3000 册

定 价: 32.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

前 言

工程测量是土建类专业学生的一门专业必修课,为了适应高职高专土建类相关专业工程测量的教学要求,更好地训练高职高专在校学生的工程测量技能,本着“必需、够用”,教材分为两大部分的内容:工程测量基础知识和工程测量技术。工程测量基础内容为水准测量、角度测量、距离测量及相关仪器适用和数据处理,工程测量技术主要内容为测量的基本方法,建筑工程与路桥工程的施工测量方法。

本书阐述了工程测量的基本理论和基本知识,理论联系实际,着力培养学生的基本技能。结合教学和工程经验、学生的知识管理、毕业后的就业要求等实际情况,充分考虑了高职高专毕业生的工程测量技能需求,强调工程测量的实训教学环节。

本书共 11 章,主要介绍了水准测量、角度测量、距离测量、测量误差、控制测量、建筑工程测量、路桥工程测量、变形观测等内容。

本书由冯雨实、许锡文、刘洋担任主编,赵黎明、王克晓、孙静、高涛涛、吴珊担任副主编,全书由冯雨实、刘洋统稿。

限于作者的水平和经验,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目 录

1 绪论	1
1.1 测量学的内容和任务	1
1.2 地面点位的确定	3
1.3 水平面代替水准面的限度	8
1.4 测量工作的实施	11
2 水准测量和水准仪	14
2.1 水准测量原理	14
2.2 水准测量的仪器和工具	16
2.3 水准仪的基本操作程序	20
2.4 水准测量的实施方法	22
2.5 水准仪的检验与校正	27
2.6 水准测量误差来源与影响分析	28
3 角度测量	30
3.1 角度测量原理	30
3.2 电子经纬仪的构造及使用	31
3.3 水平角观测	35
3.4 竖直角观测	39
3.5 角度测量误差来源与影响分析	42
3.6 DJ ₂ 型光学经纬仪	47
4 距离测量及直线定向	52
4.1 钢尺量距	52
4.2 视距测量	54
4.3 直线定向	58
4.4 坐标正算与坐标反算	62
4.5 光电测距	63
5 测量误差的基本知识	67
5.1 测量误差概述	67
5.2 衡量精度的标准	69
5.3 算术平均值及其中误差	71
5.4 观测值函数的中误差	73

6 小地区控制测量	80
6.1 控制测量概述	80
6.2 导线测量	81
6.3 高程控制测量	92
6.4 全站仪使用	95
7 大比例尺地形图测绘与应用	103
7.1 地形图基础	103
7.2 地物符号与地貌符号	105
7.3 碎步测量	119
7.4 地形图的绘制	126
7.5 地形图的识读	128
7.6 地形图的应用	130
8 测设的基本工作	140
8.1 水平距离、水平角和高程测设	140
8.2 点的平面位置的测设	145
9 建筑工程施工测量	149
9.1 建筑施工测量概述	149
9.2 建筑物的定位与放线	153
9.3 建筑物基础施工测量	158
9.4 建筑物墙体施工测量	161
9.5 高层建筑施工测量	163
10 道路与桥梁工程测量	169
10.1 道路基本知识	169
10.2 道路中线测量	171
10.3 道路纵断面测量	177
10.4 道路横断面测量	181
10.5 桥梁工程测量	183
11 变形观测	192
11.1 变形观测概述	192
11.2 变形观测的精度和频率	192
11.3 基准点与变形点的构造与布设	193
11.4 垂直位移观测	194
11.5 水平位移观测	196
11.6 倾斜观测	199
11.7 挠度观测	200
11.8 变形观测的成果处理	201
参考文献	204

1.1 测量学的内容和任务

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位的科学,是研究对地球整体及其表面和外层空间中的各种自然和人造物体上与地理空间分布有关的信息进行采集处理、管理、更新和利用的科学和技术。

1.1.1 测量学的内容和任务

测量学按照研究的范围、研究的对象及采用的技术手段不同,可分为以下几个分支学科:大地测量学、工程测量学、摄影测量和遥感学、地图制图学、地理信息系统、地籍测绘、界线测绘、房产测绘、测绘航空摄影、海洋测绘。现主要简介以下几种:

1) 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化理论和技术的学科。大地测量学是测绘学各分支学科的理论基础,基本任务是建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据;为空间科学、军事科学及研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学等。

2) 摄影测量学

摄影测量学是研究摄影影像与被摄物体之间的内在几何和物理关系,进行分析、处理和解释,以确定被摄物体的形状、大小和空间位置,并判定其性质的一门学科。其基本任务是通过对摄影像片或遥感图像进行处理、量测、解译,以测定物体的形状、大小和位置进而制作成图。

从不同角度对摄影测量学可进行如下分类:按距离远近分,有航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量;按用途分,有地形摄影测量和非地形摄影测量;按技术处理方法分,则有模拟法摄影测量、解析法摄影测量和数字摄影测量。

3) 地图制图学

地图制图学是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法以及应用的

学科。

地图制图学由理论部分、制图方法和地图应用三部分组成。地图是测绘工作的重要产品形式。学科发展促使地图产品从模拟地图向数字地图转变,从二维静态向三维立体、四维动态转变,利用遥感技术获得的信息进行遥感图像制图,利用虚拟现实技术实现对现实环境的模拟,借助特殊装备,可使用户有身临其境的感觉。计算机制图技术和地图数据库的发展,促使地理信息系统(GIS)产生,数字地图的发展及广泛的应用领域为地图制图学的发展和地图的应用展现出光辉的前景,使数字地图成为 21 世纪测绘工作的基础和支柱。

4) 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中,在规划、勘测设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、大比例尺地形测绘、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分析与预报等的理论和技术的学科。

工程测量学是一门应用学科,按其研究对象可分为建筑工程测量、水利工程测量、矿山测量、铁路工程测量、公路工程测量、输电线路与输油管道测量、桥梁工程测量、地下工程测量、港口工程测量、军事工程测量、规划与市政工程测量以及三维工业测量、精密工程测量、工程摄影测量等。

5) 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象,研究海洋定位,测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科,包括海洋大地测量、海道测量、海底地形测量和海图编制。

测量学是测绘工程专业及相关专业的一门专业技术基础课。测量学研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法及应用。由于是在地球表面一个小区内进行测绘工作,故可以把这块球面看做平面而不顾及地球曲率的影响。测量学又称为普通测量学或地形测量学,其主要内容包括角度测量、距离测量、水准测量、控制测量、地形图测绘及地形图的应用。

20 世纪 80 年代,由于全站仪以及计算机硬件、软件技术的迅速发展,大比例尺地形图测绘技术由传统的白纸测图向自动化、数字化方向发展。到 80 年代后期,出现了以全站仪为主体的地面数字测图系统。现在,地面数字测图技术已广泛应用于大比例尺地形图和地籍图、房产图的测绘中,取代了传统的白纸测图方法,使测量学的内容得到了发展和更新。

本书主要包括普通测量学内容,即测量基础的内容,以及部分工程测量学内容。着重介绍常规测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘与应用、一般工程施工阶段测量工作以及工程运营管理阶段测量工作。

1.1.2 工程测量在工程建设阶段的作用

工程测量是测量学的一个分支,是研究工程建设在勘测、规划、设计施工、运行管理各阶段的测量工作理论、技术和方法。

工程建设的各个阶段,都离不开测量工作。在工程规划设计阶段,首先要测绘地形图,为设计提供详细、准确的各种比例尺图件和测绘资料,以便确定布局合理、经济实用的设计与规

划方案。在工程施工阶段,根据设计图纸的要求,将设计好的建(构)筑物的位置,在场地上标定出来,作为施工位置的依据。在施工过程中要及时为施工提供所需的轴线及标高,以保证按图施工,实现设计理想,也要对施工和安装工程采用测量的方法进行几何尺寸、平面位置及标高等检验、校核,以满足设计要求,保证结构安全。同时,也是评定施工质量的依据之一。在运营管理阶段,对某些大中型的建(构)筑物以及重要结构的地基稳定情况,还要定期进行变形观测,以保证建(构)筑物的安全运营,也为改进设计提供重要的依据。由此可见,在工程建设中自始至终都需要测量工作。而测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量与进度。因此,工程测量对指导工程设计、要求按图施工、鉴定工程质量、保证工期及安全运营管理等都具有十分重要的意义。

特别是近年来城市建设的不断发展,建(构)筑物的结构、功能、规模以及施工的新方法、新工艺相继出现。在结构形成上,从原来的四五层砖混结构发展到二三十层的钢筋混凝土结构,甚至高度达百米的钢结构。在功能上,从住宅楼、办公楼、教学楼等发展到大型公用建筑物、高级饭店、写字楼、公寓、俱乐部等。这些变化使建筑物平面和立面的造型由直角和直线的轮廓向任意角度和曲线变化。在规模上,从单幢建筑物发展为建筑群或建筑小区。在施工方法上,由于机械化程度提高,已不只是现场砌筑,而常采用预制构(部)件现场安装,加快了施工速度。在施工工艺上,从传统的砌筑、倒模向升板、大模和滑模发展。各种立交桥、高速公路、地下交通等工程的建设,都对测量工作在方法、精度和速度上提出了新的要求。为此,对于建筑工程技术、城镇规划与建设、给水与排水、供热与通风、建筑设备安装、道路与桥梁工程技术等建设类专业的学生,在掌握相关测量知识上提出如下要求:①要掌握测绘学的基本理论、基本知识和基本技能;②能熟练操作各种测量仪器;③会使用各种测量仪器进行角度、高程、距离等基本的测量工作;④由已知数据及观测数据会计算出所求点位的坐标、高程、方位等;⑤能进行各种地形图、平面图的测绘与使用;⑥能应用所学的测量知识,进行建筑施工中的定位、放线、投测轴线、抄平等工作。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 测量的基准面

测量工作研究的对象是地面点。这些连续不断的地面点组成了起伏不平极其复杂的地球表面,有高山、丘陵、平原和海洋。描述这样一个复杂表面上各点的位置,就要选择一个基准面作为依据。由于地球表面上海洋的面积约占 71%,而陆地面积仅占 29%。因此,人们很自然地把理想静止的海水表面选为基准面。静止的(海)水面称为水准面。与水准面相切的平面称为水平面。海水表面有涨有落,因此水准面不是唯一的。但是某一点多年平均海水面位置基本上是稳定的。所以,人们就选取过本国或本地区一点的平均静止的海水面为唯一的基准面,称为大地水准面。它穿过大陆与岛屿延伸而形成一闭合曲面,它所包围的形体称为大地体。

由于地球的自转运动,地球上任一点,都要受到离心力和吸引力的作用,这两个力的合力称为重力。重力的作用线为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线,而静止的水表面处处与铅垂线垂直,那么,大地水准面也就必然保持这一特征。但是,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不规则的复杂曲面。如图 1-1 所示。它不能用一个规则几何形体和数学公式表达。若把地球的自然表面投影到这个曲面上,就很难进行测量的计算与制图工作。为此,人们就采用一个与大地水准面非常接近的规则几何表面来代替它,以表示地球的形状与大小。这个规则的几何表面就称为地球椭球面,它所包围的形体称为地球(参考)椭球体,如图 1-2 所示,作为测量工作和制图工作的基准面。地球(参考)椭球体是一个由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成,如图 1-2 所示。它的形状与大小,通常以其长半径 a 、短半径 b 和扁率 α 表示。我国目前采用的元素值为 $a = 6\,378\,140\text{ m}$, $b = 6\,356\,755\text{ m}$, $\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257}$ 。由此而建立起国家坐标系,就是现在使用的“1980 年国家大地坐标系”。

由于地球(参考)椭球体的扁率很小,在小范围内可近似地把它作为圆球,其半径取为 $6\,371\text{ km}$ 。

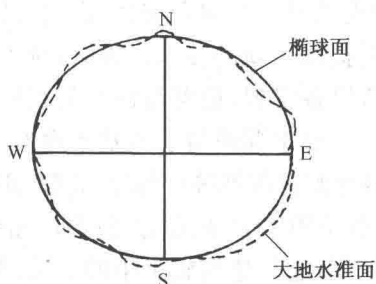


图 1-1 大地水准面与地球椭球面

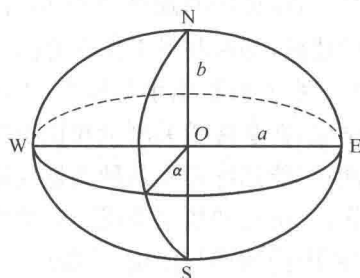


图 1-2 地球(参考)椭球体

1.2.2 确定点位的方法

从几何学中知道,一个点的空间位置,需要用三个量来确定,即三维空间坐标。同样,在确定地面点位时,也采用三维空间坐标来表示。在大范围内,用球面坐标系的两个坐标表示地面点投影到椭球体表面上的位置。在小范围内,用平面直角坐标系中两个坐标表示地面点投影到水平面上的位置。第三个坐标用高于或低于大地水准面铅垂距离来表示。

1) 地面点在投影面上的坐标

(1) 地理坐标

在大区域内或从整个地球范围内来考虑点的位置,常采用经度 λ 和纬度 φ 表示,称为地理坐标。如图 1-3 所示, N、S 为地球北极和南极, NS 称为地轴, O 为地球的中心。

通过地球的中心且垂直于地轴的平面称为赤道面。它与地球表面的交线就是地球赤道线。经过地轴所作的平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线。其中通过原格林尼治天文台的子午面和子午线,分别称为首子午面和首子午线。

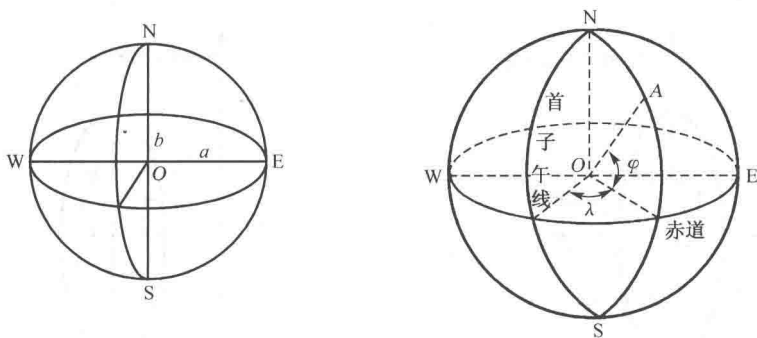


图 1-3 地理坐标

地面上某一点的经度,就是通过该点的子午面与首子午面间的夹角,用 λ 表示。经度从子午线起向东自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

点的纬度,就是该点的铅垂与赤道平面间的夹角,用 φ 表示。纬度从赤道起向北自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬;向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

地面上每一点都有一对地理坐标。例如,位于呼和浩特市某点的地理坐标为东经 $111^\circ 42'$,北纬 $40^\circ 52'$ 。知道了点的地理坐标,就可以确定该点在大地水准面上的投影位置。

(2) 高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标,在国家的中、小比例尺地图绘制中常采用。在工程建设设计、施工中使用的的大比例尺地形图,则用高斯平面直角坐标来确定地面点的平面位置。

由于地球表面是曲面,要把曲面上的点投影到平面上,就必须采用适当的投影方法。为了叙述方便,把地球看作圆球,并设想把投影面卷成圆柱体套在地球上,那么就有一条子午线与圆柱体内壁相切,如图 1-4 所示。

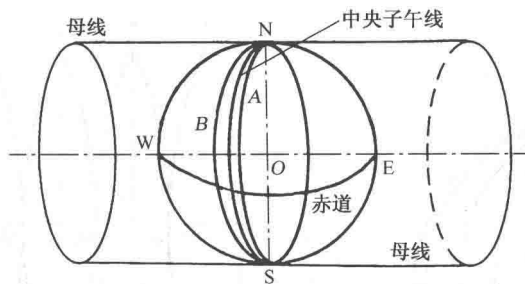


图 1-4 高斯平面直角坐标投影方法

投影时,可以假想在地球中心有一点光源,由点光源发出光线,把相切子午线及其两边的点、线投影到圆柱体上。在该子午线上长度没有变形,离开该子午线愈远的点、线投影变形就愈大。在一定的经度差内,就可以控制投影变形的大小。因此,就可把该范围的点、线投影到圆柱体上。由于两侧对称,这条相切的子午线就称为该投影范围的中央子午线。此线作为投影后的纵坐标轴—— x 轴。将赤道面扩大,并与圆柱体相交,则得到赤道在柱面上的投影,它也是一条直线,但长度有变形,此线作为投影后的横坐标轴—— y 轴。两轴的交点作为坐标原点。然后将圆柱体沿过南、北极的母线 KK' 、 LL' 剪开并展开成平面,如图 1-5 所示。

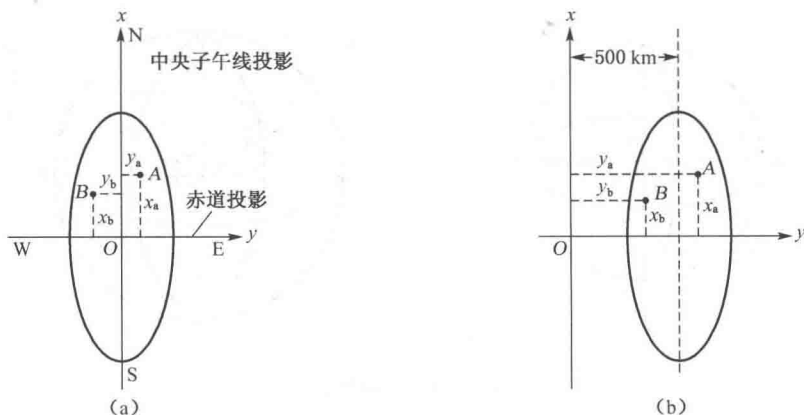


图 1-5 高斯平面直角坐标

那么高斯平面直角坐标系建立的要点如下:

① 首先把地球表面每隔一定的经度差 6° 划分一带, 整个地球分为 60 个带, 并从首子午线开始自西向东编号。如图 1-6 所示, 东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带……位于每带中央的子午线为中央子午线。如第 1 带中央子午线的经度为 3° , 任一带的中央子午线经度为

$$\lambda_0 = 6N - 3^\circ \quad (1-1)$$

式中: N ——带的编号。

② 以每条带的中央子午线为坐标系纵轴 x , 赤道为横轴 y , 其交点为坐标系原点 O , 从而构成使用于这一带的高斯平面直角坐标系, 如图 1-7 所示。在这个投影面上的每一点的位置, 就可用直角坐标 x, y 值来确定。

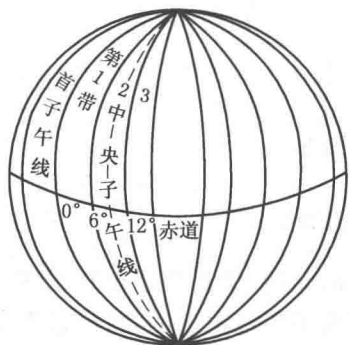
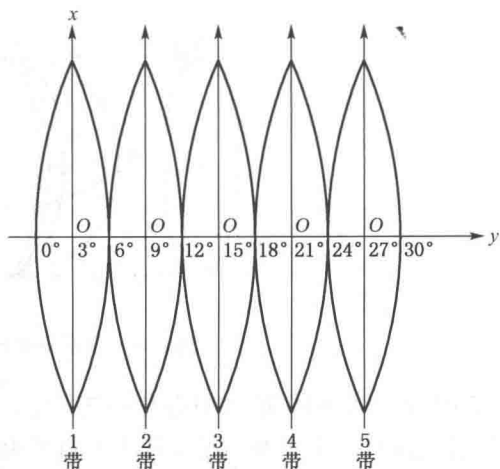


图 1-6 高斯投影分带

图 1-7 6° 带中央子午线及带号

③ 由于我国位于北半球, 所以在我国范围内所有点的 x 坐标值均为正值, 而 y 坐标值则有正、有负。为了使 y 坐标不出现负值, 人为地把坐标纵轴向西平移 500 km, 即把实际 y 坐标值上加上 500 km 作为使用坐标。如图 1-5 所示。

每一个 6° 带,都有其相应的平面直角坐标系。为了表明某点位于哪一个 6° 带,规定在横坐标值前面加上带号。

如: $x_m = 3\ 218\ 643.98\text{ m}$

$y_m = 20\ 587\ 307.25\text{ m}$

此处, y 坐标的前面两位数字 20,表示该点位于第 20 带。

高斯投影中,离中央子午线近的部分变形小,离中央子午线愈大变形愈大,两侧对称。因此,要求投影变形更小时,应采用 3° 带。 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 起,每隔经差 3° 划分一个带。整个地球划分为 120 个带,每一带按前面所述方法,建立起各自的高斯平面直角坐标。各带的中央子午线经度为

$$\lambda_0 = 3^\circ n \quad (1-2)$$

n 为带的编号,如图 1-8 所示下半部分。

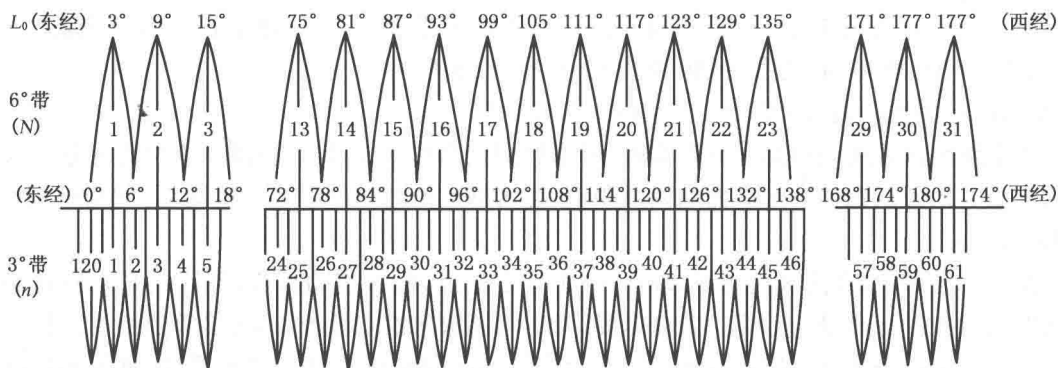


图 1-8 6° 带与 3° 带

(3) 假定(独立)平面直角坐标

在小范围内(一般半径不大于 10 km 的范围内),把局部地球表面上的点,以正射投影的原理投影到水平面上,在水平面上假定一个直角坐标系,用直角坐标描述点的平面位置。如图 1-9 所示。

假定平面直角坐标建立方法,一般是在测区中选一点为坐标原点,以通过原点的子午线方向为纵坐标 x 轴方向,以通过原点的东西方向(垂直于子午线方向)为横坐标 y 轴方向。为了便于直接引用数学中有关公式,以右上角为第 1 象限,顺时针排列,依次为 II、III、IV 各象限。为了避免在测区内出现负坐标值,原点坐标多定为一个足够大的整数,如图 1-9 中 $x_{\text{原}} = 300\ 000\text{ m}$, $y_{\text{原}} = 500\ 000\text{ m}$ 。

直角坐标系建立后,地面上各点的位置都可以用坐标 (x, y) 表示。即地面点可用坐标反映在图纸上,图上的点也可以用坐标准确地反映在地面上。假定平面坐标施测完毕以后,尽量与国家坐标系联测(即进行坐标轴的换算)。

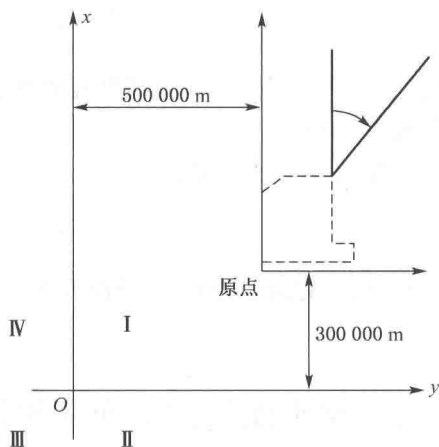


图 1-9 假定(独立)平面直角坐标

2) 地面点的高程

为了确定地面的点位,除了要知道它的平面位置外,还要确定它的高程。

(1) 高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程,或称海拔,用 H 表示。如图 1-10 所示。地面点 A 、 B 点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。海水受潮汐和风浪的影响,是个动态曲面,我国在青岛设立验潮站,长期观测和记录黄海水面的高低变化,取其平均值作为大地水准面的位置(其高程为零),作为我国计算高程的基准面,并在青岛建立了水准原点。

目前,我国采用“1985 国家高程基准”,它是采用青岛验潮站 1953 年至 1977 年验潮资料计算确定的,并能算得青岛水准原点高程为 72.260 m,全国各地的高程都以它为基准进行测算(原 1956 年高程基准和青岛水准原点高程 72.289 m,已由国测发[1987]198 号文件通告废止)。

当个别地区采用绝对高程有困难时,可采用假定高程系统,即以任意水准面作为起算高程的基准面。地面点到任一水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程。如图 1-10 中的 H'_A 、 H'_B 。

在实际工作中,在测区内选择(埋设)一个稳定的点,假定它的高程,测区内其余各点的高程都以它为准进行测量与计算。若有需要,只需与国家水准点联测,即可换算成绝对高程。

在建筑工程中常以一层室内地坪作为该建筑的高程起算面,称为“ ± 0 ”,建筑各部位的标高都是相对“ ± 0 ”而言。

(2) 高差

地面上两点间的高程之差称为高差,用 h 表示。高差有方向和正负。 A 、 B 两点的高差为

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

由此可见,两点间的高差与高程起算面无关。当 h_{AB} 为正时, B 点高于 A 点;当 h_{AB} 为负时, B 点低于 A 点。

B 、 A 两点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-4)$$

可见 A 、 B 的高差与 B 、 A 的高差绝对值相等,符号相反,即 $h_{BA} = -h_{AB}$ 。

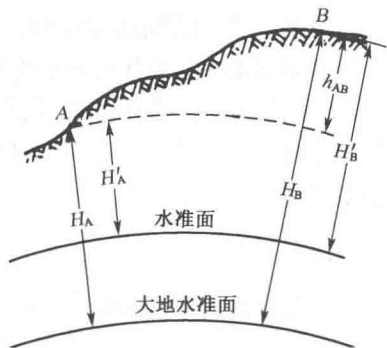


图 1-10 高程与高差

1.3 水平面代替水准面的限度

如前所述,在小范围测区内,可以用水平面来代替水准面。那么,把水准面看成一个水平面,在测量中将会产生多大的误差影响呢? 为了讨论的方便,仍假设地球是一个圆球。

1) 对距离的影响

如图 1-11 所示, 设地面上 A 、 B 两点, 沿铅垂线方向投影到大地水准面得 A' 、 B' 两点。用过 A' 点与大地水准面相切的平面来代替大地水准面, 则 B 点在水平面上的投影为 C 。设 AC 的长度为 t , $A'B'$ 的弧长为 S , 则两者之差即为用水平面代替大地水准面所引起的距离误差, 用 ΔS 表示。

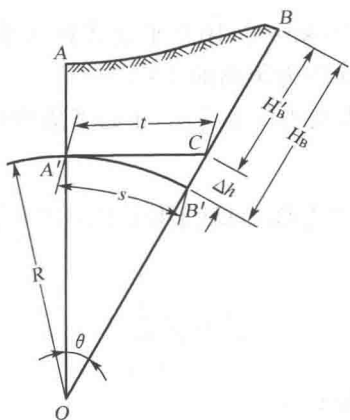


图 1-11 对距离与角度的影响

所以

$$\Delta S = t - s = R(\operatorname{tg} \theta - \theta) \quad (1-5)$$

将 $\operatorname{tg} \theta$ 用级数展开

$$\operatorname{tg} \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{5}{12}\theta^5 + \dots$$

因为 θ 很小, 所以只取前两项代入(1-5)得

$$\Delta S = \frac{1}{3}R\theta^3$$

又因

$$\theta = \frac{S}{R}$$

所以

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \quad (1-6)$$

或

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{3R^2} \quad (1-7)$$

以地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 及不同的距离 S 代入式(1-7)中, 可得到表 1-1 所列的结果。

表 1-1 对距离的影响

S(km)	$\Delta S(\text{cm})$	$\Delta S/S$
10	0.82	1 : 1 217 600
20	6.57	1 : 304 400
50	102.65	1 : 48 700

由上表可知,当水平距离为 10 km 时,用水平面代替水准面所产生的误差为距离的 1 : 1 217 600,而目前最精密的量距误差为距离的 1 : 1 000 000。所以在半径为 10 km 的测区范围内进行距离测量时,可以把水准面当作水平面,不必考虑地球曲率的影响。

2) 对角度的影响

由球面三角学可知,同一空间多边形在球面上投影的各内角和,比在平面上投影的各内角和要大一个球面角超值 ϵ'' 。

$$\epsilon'' = \rho'' \frac{P}{R^2}$$

(1-8)

式中: P ——球面多边形的面积, km^2 ;

R ——地球半径, km ;

ρ'' ——1 弧度的秒值,为 206 265''。

以地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$, 不同测区面积 P 代入式(1-8)中,可得到表 1-2 所列结果。

表 1-2 对角度的影响

$P(\text{km}^2)$	100	200	400
$\epsilon''(\text{秒})$	0.51''	1.02''	2.03''

对于面积为 100 km^2 的多边形,其角度误差很小,故只在精密的测量中才需要考虑这项误差的影响,一般的测量工作中可不予考虑。

由于确定点的平面位置的主要测量工作是距离测量和角度测量,因此,根据以上两项分析,当测区面积小于 100 km^2 时,可以把大地水准面当成水平面。在测量精度要求较低的情况下,这个范围还可以扩大。

3) 对高程的影响

如图 1-11,地面点 B 的绝对高程为 H_B 。当用水平面代替大地水准面时,则 B 点的高程应为 H'_B ,其差数即为用水平面代替大地水准面所产生的高程误差,用 Δh 表示,可得

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

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

(1-9)

因为 t 和 S 相差较小,取 $t \approx S$;又因为 Δh 远小于 R ,取 $2R + \Delta h \approx 2R$,代入式(1-9)得

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R}$$

(1-10)

以 $R = 6\,371\text{ km}$ 及不同的距离 S 值代入式(1-10)便得到表 1-3 所列结果。

表 1-3 对高程的影响

S(km)	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$\Delta h(\text{cm})$	0.08	0.31	2.0	7.8	31.0	71	126	196

由表 1-3 可以看出,地球曲率对高程的影响很大。因此,在较短的距离内,也应考虑地球曲率对高程的影响。

1.4 测量工作的实施

1.4.1 测量工作的基本内容

测量工作可以分为两大类,包括测定和测设两个部分。

地面点位置可以用它在投影面上的坐标和高程来确定。地面点的坐标和高程,在实际工作中并不是直接测定的,而往往都是通过测量地面点的相互关系,经过推算得到的。在图 1-12 中,如已知 1 点坐标 (x_1, y_1) ,那么通过测量角度 $\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots$ 和距离 $D_1, D_2, \dots$,就可以运用几何关系推算出 2, 3, $\dots$ 点的坐标。应该注意的是,为了测算地面点的坐标,要观测的是它们投影到水平面上以后,投影点之间所组成的角度和边长,即水平角和水平距离,而不是地面点之间所组成的角度和边长。同理,如果知道 1 点的高程,又测得了各相邻点间的高差 h ,那么 2, 3, $\dots$ 点的高程也可以推算得到。所以,地面点间的水平角、水平距离和高差是确定地面点位的三个基本要素,我们把水平角测量、水平距离测量和高差测量称为确定地面点位的三项基本测量工作,再复杂的测量任务,都是通过综合应用这三项基本测量工作来完成的。

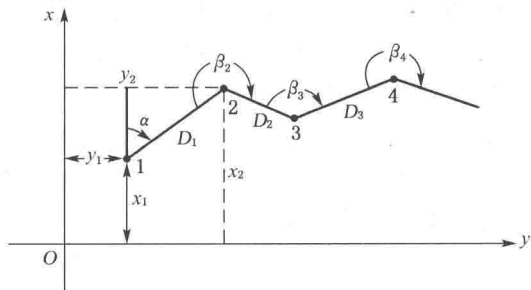


图 1-12 三项基本测量工作

1.4.2 测量工作的组织原则

无论是测绘还是测设,最基本的问题是测定点的位置。为了避免误差的积累与传递,保证测区一系列点位之间具有必要的精度,测量工作必须遵循“从整体到局部”、“由高级到低级”、“先控制后碎部”的原则进行。为此,应首先在测区内,选定一些起主导作用的点位,组成一定