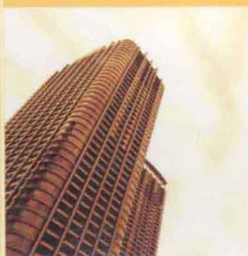


全国高职高专
土建系列规划教材

主编 邱锡寅

建筑工程测量

JIANZHU GONGCHENG CELIANG



全国高职高专土建系列规划教材

建筑工程测量

主 编 邱锡寅

副主编 钟庆红 李翠芬

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

建筑工程测量: 含实训指导书 / 邱锡寅主编. —
成都: 西南交通大学出版社, 2010.9
全国高职高专土建系列规划教材
ISBN 978-7-5643-0912-1

I. ①建… II. ①邱… III. ①建筑测量—高等学校:
技术学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 193193 号

全国高职高专土建系列规划教材

建筑工程测量

(含实训指导书)

主编 邱锡寅

责任编辑	高 平
特邀编辑	曾荣兵
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
总 印 张	27.5
总 字 数	681 千字
版 次	2010 年 9 月第 1 版
印 次	2010 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-0912-1
套 价	49.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是全国高职高专土建系列规划教材，是根据高等职业教育土木工程专业的培养目标、培养方案及现行工程测量教学大纲要求，围绕高职高专的教学特点进行编写的。为使本书具有较强的通用性、技能性、实用性和先进性，在编写本书过程中，编者多次与多所高校的老师进行研讨和交流，以及广泛征求一些测绘仪器单位、测绘行业单位和施工单位测量专家们的意见；并结合测量相关规范，力求突出高职高专教育的特点，以培养具有创新精神和实践能力的高级专业人才为目标。本书注重理论与实践相结合，并特别强调学生实际动手能力的培养。

本书主要特点如下：

（1）通用性：本书适用于土建大类各专业的测量教学，各个专业可根据其专业性质和特点在教学中合理地选择。

（2）技能性：注重测量基本技能的叙述，概念阐述准确、简明扼要；仪器操作和观测方法、步骤的叙述条理清晰、通俗易懂，强调操作的关键点和技巧。

（3）实用性：本书按照高职高专教育的培养目标，理论教学以“必需、够用”为度，突出“实用性”，重点介绍实际作业方法、步骤，大胆地删减了一些实际工程中很少使用的和纯理论性的内容，力求与工程特点密切结合，达到学以致用目的。

（4）先进性：这是本书编写的最大亮点。本书是根据最新的测量规范进行编写的，对传统的测绘内容进行了删减、补充、改进和更新。随着测绘事业及科学技术的发展，新型的电子测量仪器应用到土木工程领域，从而大大提高了工程质量和速度。本书适时地增添了电子水准仪、陀螺经纬仪、激光经纬仪、垂准仪、全站仪、数字化测图、GPS RTK 定位技术等测绘新仪器、新技术，并突出其原理、特点与使用，贴近社会工程实际，突显技术的先进理念。

本书由广东茂名职业技术学院邱锡寅主编，并负责全书初稿与统稿；由钟庆红、李翠芬任副主编。编写本书的人员都是在本专业有着多年教学和工程实践经验的“双师型”教师。在编写本书过程中得到了南方测绘仪器分公司江权昌经理的大力帮助，还有业界的老师同仁和学者专家们的支持，在此一并致谢！另外，对于本书相关参考文献的作者，在此也表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，敬请读者批评、指正，在此特表谢意。

编 者

2010 年 8 月

目 录

1 绪 论	1
1.1 测量学简介	1
1.2 地球的形状和大小	3
1.3 测量坐标系与地面点位的确定	5
1.4 地球曲率对测量工作的影响	12
1.5 测量工作概述	14
1.6 测量常用计量单位与换算	16
思考与练习	17
2 水准测量	18
2.1 水准测量的原理	18
2.2 水准测量的仪器及工具	20
2.3 水准仪的使用与注意事项	26
2.4 普通水准测量的方法	28
2.5 水准测量结果计算	33
2.6 微倾式水准仪的检验与校正	36
2.7 水准测量的误差分析	40
2.8 自动安平水准仪	42
2.9 精密水准仪	44
2.10 南方测绘 DL-301 数字水准仪	47
思考与练习	56
3 角度测量	58
3.1 角度的定义及测量原理	58
3.2 DJ ₆ 型光学经纬仪的构造	59
3.3 DJ ₆ 型光学经纬仪的使用方法	63
3.4 水平角的观测方法 (测回法)	65
3.5 竖直角观测方法	67
3.6 经纬仪的检验与校正	72
3.7 角度测量的误差分析	75
3.8 DJ ₂ 型光学经纬仪	79
3.9 电子经纬仪	81
3.10 电子激光经纬仪	87
思考与练习	87

4 距离测量与直线定向	90
4.1 距离测量概述	90
4.2 直线测量的工具	90
4.3 直线定线	92
4.4 距离测量的方法	94
4.5 视距测量	99
4.6 光电测距仪测距	102
4.7 直线定向	110
4.8 陀螺经纬仪与直线真方位角的测定	115
思考与练习	119
5 全站仪测量	120
5.1 全站仪概述	120
5.2 南方测绘 NTS-312P 免棱镜测距 (200 m) 全站仪概况	122
5.3 NTS-312P 的基本按键操作	124
5.4 角度、距离、坐标模式与坐标放样	125
5.5 菜单模式	131
5.6 任意道路平曲线中边桩坐标的计算与放样	146
5.7 索佳 SETX 系列免棱镜测距 (500 m) WinCE 全站仪	151
5.8 徕卡 TPS1200 系列智能 (500 m) 全站仪	153
5.9 拓普康 GTP-3000L 系列脉冲免棱镜远测程测距 (1 200 m) 全站仪	155
5.10 拓普康 GTS-900A/GPT-9000A 系列测量机器人	157
5.11 全站仪使用注意事项	163
思考与练习	164
6 测量误差的基本知识	165
6.1 测量误差的分类	165
6.2 观测值的算术平均值	168
6.3 评定精度的标准	168
6.4 误差传播定律	172
6.5 误差传播定律的应用	175
思考与练习	177
7 小地区控制测量	179
7.1 控制测量概述	179
7.2 导线测量的外业工作	181
7.3 导线测量的内业计算	183
7.4 高程控制测量	190
思考与练习	195

8 GPS 测量	197
8.1 GPS 概述	197
8.2 GPS 的组成	199
8.3 GPS 定位的基本原理	200
8.4 GPS 测量的实施	206
8.5 南方测绘灵锐 S82 双频 GPS RTK 操作简介	208
思考与练习	215
9 大比例尺地形图的基本知识	217
9.1 地形图及其比例尺	217
9.2 地形图的图名、图号、图廓	220
9.3 地形图的图式	222
思考与练习	231
10 大比例尺地形图的测绘	232
10.1 测图前的准备工作	232
10.2 大比例尺地形图的测量方法	234
10.3 经纬仪联合光电测距仪测图法	239
10.4 地形图的绘制	239
思考与练习	243
11 地形图的应用	244
11.1 地形图的阅读	244
11.2 地形图应用的基本内容	246
11.3 场地平整时的土方量计算	252
11.4 地形图在设计中的应用	255
11.5 地形图在管线设计施工中的应用	257
11.6 地形图在城镇规划中的应用	258
思考与练习	259
12 数字化测图及其在工程中的应用	261
12.1 使用 CASS 进行数字测图的方法	261
12.2 图解地形图的数字化	273
12.3 数字地形图应用简介	275
12.4 数字地形图与 GIS 的数据交换	280
思考与练习	281
13 测设的基本工作	282
13.1 测设的基本内容	282
13.2 点的平面位置测设	286

13.3 已知坡度直线的测设	289
13.4 已知直线的测设	291
13.5 激光定位仪器在施工中的应用	292
思考与练习	295
14 建筑施工测量	296
14.1 施工测量概述	296
14.2 建筑施工场地的控制测量	297
14.3 多层民用建筑施工测量	301
14.4 高层建筑施工测量	309
14.5 工业建筑施工测量	312
14.6 建筑物的变形观测	320
14.7 竣工总平面图的编绘	327
思考与练习	329
参考文献	331

1 绪 论

【教学目标】

了解测量学的研究对象及建筑工程测量的三项任务；理解测量工作中的基准面和基准线；理解用水平面代替水准面的限度；掌握地面点位的确定方法，包括地面点的坐标和高程的表示方法；掌握测量的基本工作和测量工作的基本原则。

【教学要求】

- (1) 理解测量学的研究对象及概念；
- (2) 了解测量学的学科分支；
- (3) 掌握建筑工程测量的三项任务，即地形图测绘、施工放样和变形监测；
- (4) 能够理解铅垂线是测量工作的基准线；
- (5) 能够理解大地水准面是测量工作的基准面；
- (6) 能够根据经、纬度确定地面点的地理坐标；
- (7) 能够建立独立平面直角坐标系；
- (8) 能够计算各投影带中央子午线的经度；
- (9) 能够确定地面点的高程；
- (10) 能够根据理论计算距离确定用水平面代替水准面的距离误差和高差误差；
- (11) 能够理解用水平面代替水准面的限度；
- (12) 能够根据三个基本要素确定地面点相对位置的关系；
- (13) 能够根据测量工作的基本原则进行实际测量。

1.1 测量学简介

1.1.1 测量学的概念及研究对象

测量学是一门研究整个地球的形状和大小以及确定地面点位关系的学科。其研究的对象主要是地球及地球表面上的各种物体，包括它们的几何形状及空间位置关系。测量学上将地表分为地物和地貌。

地物指地球表面上各种自然物体和人工建筑物，如湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等，也包括它们的几何形状及空间位置关系。

地貌指地表高低起伏的形态，包括山地、丘陵和平原等。

地物和地貌总称为地形。

1.1.2 测量学的学科分支

测量学是一门综合学科,按照研究范围、研究对象及其采用的技术手段不同,可分为以下几个学科分支。

1. 大地测量学

大地测量学主要研究整个地球的形状、大小和外部重力场及其变化、地面点的几何位置,以及解决大范围的控制测量。大地测量学是测量学各分支学科的理论基础,它的主要任务是测绘地形图以及为工程建设提供基本的平面控制和高程控制。按照其测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、空间大地测量学及物理大地测量学等。

2. 普通测量学

普通测量学一般研究地球表面一个较小的局部区域的形状和大小。由于地球半径很大,一定情况下就可以把球面当成平面看待而不考虑地球曲率的影响。普通测量学的主要任务是完成图根控制网的建立、地形图的测绘及工程的施工测量。

3. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设中规划设计、施工和运营管理各个阶段所进行的各种测量工作。工程测量学的主要任务就是完成在这3个阶段所进行的各种测量工作。其主要内容有:工程控制网建立,地形测绘,施工放样,设备安装测量,竣工测量,变形观测以及维修养护测量的理论、技术与方法。

4. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学主要是利用摄影或遥感技术来研究地表形状和大小的科学。其主要任务是将获取的地面物体的影像进行分析处理后,建立相应的数字模型或直接绘制成地形图。根据获得影像信息的方式不同,摄影测量与遥感学又分为航空摄影测量、水下摄影测量、数字摄影测量、地面摄影测量和航空航天遥感等。

5. 海洋测量学

以海洋和陆地水域为研究对象,研究海岸、港口、码头、航标、航道及水下地形等各种海洋要素的位置、性质、形态,还包括分析它们之间的相互关系和发展变化的理论与方法。

6. 地图制图学

地图制图学主要是利用测量所获得的成果资料,研究如何编绘成图以及研究地图制作的理论、方法和应用等方面的科学。其研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰及印刷等。现代地图制图学正向着制图自动化、电子地图制作及地理信息系统化方向发展。

测量学各分支学科之间相互渗透、相互补充、相辅相成。本课程讲述的主要内容属于普通测量学和工程测量学的范畴。

1.1.3 建筑工程测量的任务

测量学的任务包括测设和测定两方面。测设是将图纸上设计好的建筑物的位置在地面上

标定出来,作为施工的依据;测定是将地球表面上的地物和地貌缩绘成各种比例尺的地形图。

城市规划、给水排水、燃气管道、工业厂房和民用建筑建设中的测量工作包括:在设计阶段,测绘各种比例尺的地形图,供建、构筑物的平面及竖向设计使用;在施工阶段,将设计建、构筑物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;工程完工后,测绘竣工图,供日后扩建、改建、维修和城市管理应用,对某些重要的建、构筑物,在建设中和建成以后还应进行变形观测,以保证建、构筑物的使用安全。

在铁路、公路建设中的测量工作是:为了确定一条经济合理的路线,应预先测绘路线附近的地形图,在地形图上进行路线设计,然后将设计路线的位置标定在地面上以便指导施工。当路线跨越河流时,应建造桥梁。建桥前,应测绘河流两岸的地形图,测定河流的水位、流速、流量、河床地形图及桥梁轴线长度等,为桥梁设计提供必要的资料,最后将设计上的桥台、桥墩位置标定到实地。当路线穿过山岭需要开挖隧道时,开挖前,应在地形图上确定隧道的位置,并根据测量数据计算隧道的长度和方向;隧道施工通常是从隧道两端相向开挖,这就需要根据测量结果指导开挖方向,保证其正确贯通。

建筑工程测量属于工程测量的范畴,是测量学的一个组成部分,是研究建筑工程在勘测设计、施工建设和运营管理各阶段所应用的各种测量工作的理论和技术的学科。其任务主要有以下3个方面:

1. 地形图测绘

要进行勘测设计,必须要有设计底图。该阶段测量工作的任务是为勘测设计提供地形图,进行地形图测绘,即测定。地形图测绘是使用各种测量仪器和工具,通过测量与计算将地物和地貌的位置按一定比例尺、规定的符号缩小、绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用。

2. 施工放样

在工程施工建设之前,测量人员要根据设计和施工规范的要求,将地形图上设计出的建筑物和构筑物的平面位置、高程在实地上标定出来,作为施工建设的依据,这步工作即测设。施工放样是联系设计和施工的桥梁,一般来讲,需要较高的精度。

3. 变形监测

在建筑物施工过程中,要进行变形监测,以指导和监督工程的施工,确保施工质量符合设计的要求;在建筑物建成后的运营管理阶段,也要进行变形监测,对建筑物的稳定性及变化情况进行监督、测量,了解其变形规律,以确保建筑物的使用安全。

总之,在工程建设的勘测、设计、施工和运营管理各个阶段中都要进行测量工作,测量工作贯穿于整个工程建设的始终。因此,从事工程建设的工程技术人员,必须掌握工程测量的基本知识和技能。

1.2 地球的形状和大小

地球是一个南北极稍扁、赤道稍长、平均半径约为 6 371 km 的椭球体。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态,其中海洋面积约占 71%,

陆地面积约占 29%。在地面进行测量工作时应掌握重力、铅垂线、水准面、大地水准面、参考椭球面和法线的概念及它们之间的关系。

如图 1.1 (a) 所示, 由于地球的自转, 其表面的质点 P 除受万有引力的作用外, 还受到离心力的影响。称此点 P 所受的万有引力与离心力的合力为重力, 重力的方向称为铅垂线方向。

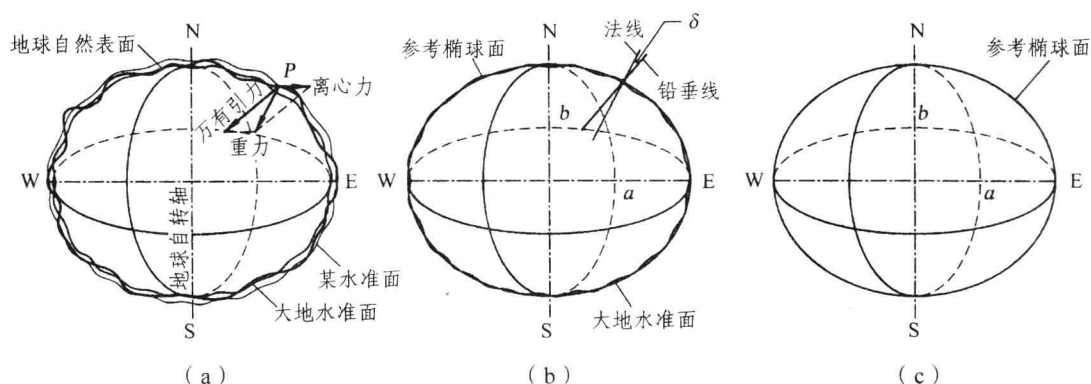


图 1.1 地球自然表面、水准面、大地水准面、参考椭球面、铅垂线、法线间的关系

假想静止不动的水面延伸穿过陆地包围整个地球, 形成一个封闭曲面, 这个封闭曲面称为水准面。水准面是受地球重力影响形成的重力等位面, 物体沿该面运动时, 重力不做功 (如水在这个面上不会流动), 其特点是曲面上任意一点的铅垂线均垂直于该点的曲面。根据这个特点, 水准面可以定义为: 任一点与铅垂线垂直的连续封闭曲面。由于水准面的高度可变, 因此符合该定义的水准面有无数个, 其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面是唯一的。

由于地球内部物质的密度分布不均匀, 造成地球各处万有引力的大小不同, 致使重力方向产生变化, 所以大地水准面是有微小起伏、不规则、很难用数学方程表示的复杂曲面。如果将地球表面上的物体投影到这个复杂曲面上, 计算起来将非常困难。为了解决投影计算困难的问题, 通常是选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表达的椭球面作为投影的基准面, 这个椭球面是由长半轴为 a 、短半轴为 b 的椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球面[图 1.1 (c)]。旋转椭球又称为参考椭球, 其表面称为参考椭球面。

由地表任一点向参考椭球面所作的垂线称为法线, 地表点的铅垂线与法线一般不重合, 其夹角 δ 称为垂线偏差, 如图 1.1 (b) 所示。

决定参考椭球面形状和大小的元素是椭圆的长半轴 a 、短半轴 b , 如图 1.1 (c) 所示。此外, 根据 a 和 b 还可定义扁率 f 、第一偏心率 e 和第二偏心率 e' :

$$f = (a - b)/a \quad (1.1)$$

$$e^2 = (a^2 - b^2)/a^2 \quad (1.2)$$

$$e'^2 = (a^2 - b^2)/b^2 \quad (1.3)$$

我国采用过的两个参考椭球元素值及 GPS 测量使用的参考椭球元素值见表 1.1。

表 1.1 参考椭球元素值

序号	坐标系名称	a/m	f	e^2	e'^2
①	1954 北京坐标系	6 378 245	1 : 298.3	0.006 693 421 622 966	0.006 738 525 414 683
②	1980 西安坐标系	6 378 140	1 : 298.257	0.006 694 384 999 59	0.006 739 501 819 47
③	WGS-84 坐标系 (GPS 用)	6 378 137	1 : 298.257 223 552	0.006 694 379 990 13	0.006 739 496 742 23

表 1.1 中, ①的参考椭球称为克拉索夫斯基椭球; ②的参考椭球是 1975 年第 16 届“国际大地测量与地球物理联合会”通过并推荐的椭球, 简称为 IUGG1975 椭球; ③的参考椭球是 1979 年第 17 届“国际大地测量与地球物理联合会”通过并推荐的椭球, 简称为 IUGG1979 椭球。

由于参考椭球的扁率很小, 当测区范围不大时, 可以将参考椭球近似地看做半径为 6 371 km 的圆球。

1.3 测量坐标系与地面点位的确定

无论测定还是测设, 都需要通过确定地面点的空间位置来实现。空间是三维的, 所以表示地面点在某个空间坐标系中的位置就需要三个参数, 确定地面点位置的实质就是确定其在某个空间坐标系中的三维坐标。测量中, 将空间坐标系分为参心坐标系和地心坐标系。“参心”指参考椭球的中心, 由于参考椭球的中心一般不与地球质心重合, 所以它属于非地心坐标系, 表 1.1 中的前两个坐标系均是参心坐标系。“地心”指地球的质心, 表 1.1 中 GPS 使用的 WGS-84 属于地心坐标系。工程测量通常使用的是参心坐标系。

1.3.1 确定点的球面位置的坐标系

由于地表高低、起伏不平, 所以一般用地面某点投影到参考曲面上的位置和该点到大地水准面间的铅垂距离来表示该点在地球上的位置。因此, 测量上将空间坐标系分解为确定点球面位置的坐标系(二维)和高程系(一维)。确定点球面位置的坐标系有地理坐标系和平面直角坐标系两类。

1. 地理坐标系

地理坐标系是用经纬度表示点在地球表面的位置。1884 年, 在美国华盛顿召开的国际经度会议上, 正式将经过格林尼治天文台的经线确定为 0° 经线, 纬度以赤道为 0° , 分别向南、北半球推算。明朝末年, 意大利传教士利玛窦将西方经纬度概念引入中国, 但当时并未引起太多中国人的重视。直到清朝初年, 通晓天文地理的康熙皇帝才决定使用经纬度制图的方法, 重新绘制中国地图。他聘请了十多位各有特长的法国传教士, 专门负责清朝的地图测绘工作。

按坐标系所依据的基本线和基本面的不同以及求坐标方法的不同, 地理坐标系又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种。

(1) 天文地理坐标系。

天文地理坐标又称天文坐标，表示地面点在大地水准面上的位置，其基准是铅垂线 and 大地水准面，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示点在球面上的位置。

如图 1.2 所示，过地表任一点 P 的铅垂线与地球旋转轴 NS 平行的平面称为该点的天文子午面，天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线，也称经线。设 G 点为英国格林尼治天文台的位置，称过 G 点的天文子午面为首子午面。 P 点天文经度的定义是： P 点天文子午面与首子午面的两面角。从首子午面向东或向西计算，取值范围是 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，在首子午线以东为东经，以西为西经。同一子午线上各点的经度相同。过 P 点，垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 P 点的纬线，过球心 O 的纬线称为赤道。 P 点天文纬度的定义是： P 点铅垂线与赤道平面的夹角。自赤道起向南或向北计算，取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，在赤道以北为北纬，以南为南纬。

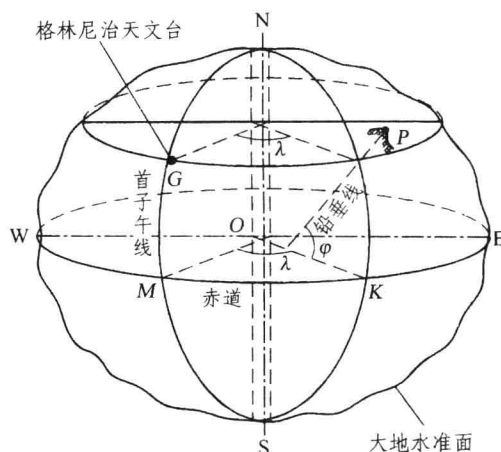


图 1.2 天文地理坐标

可以应用天文测量方法测定地面点的天文经度 λ 和天文纬度 φ 。例如，广州地区的大致天文地理坐标为东经 $113^\circ 18'$ 、北纬 $23^\circ 07'$ 。

(2) 大地地理坐标系。

大地地理坐标又称大地坐标，表示地面点在参考椭球面上的位置，其基准是法线和参考椭球面，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 P 点的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所形成的两面角， P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经、纬度是根据起始大地点（又称大地原点，该点的大地经纬度与天文经纬度一致）的大地坐标，按大地测量法所得的数据推算而得。通过与苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测，经我国东北传算过来的坐标系称“1954 北京坐标系”，简称“54 北京系”，其大地原点位于苏联列宁格勒天文台中央；我国以陕西省泾阳县永乐镇石际寺村大地原点为起算点，由此建立的大地坐标系称为“1980 西安坐标系”，简称“80 西安系”。

2. 平面直角坐标系

(1) 高斯平面坐标系。

地理坐标对局部测量工作来说是非常不方便的。例如，在赤道上 $1''$ 的经度差或纬度差对

应的地面距离约为 30 m。测量计算最好在平面上进行,但地球是一个不可展开的曲面,应通过投影的方法将地球表面上的点位化算到平面上。地图投影有多种方法,我国采用的是高斯-克吕格正形投影,简称高斯投影。高斯投影的实质是椭球面上微小区域的图形投影到平面上后仍然与原图形相似,即不改变原图形的形状。例如,椭球面上一个三角形投影到平面上后,其三个内角保持不变。

高斯投影是高斯在 1820—1830 年,为解决德国汉诺威地区大地测量投影问题而提出的一种投影方法。1912 年起,德国学者克吕格将高斯投影公式加以整理和扩充并推导出实用计算公式。此后,保加利亚学者赫里斯托夫等对高斯投影做了进一步的更新和扩充。使用高斯

投影的国家主要有德国、中国与苏联。

如图 1.3 (a) 所示,高斯投影是一种横椭圆柱正面投影。假设用一个横椭圆柱套在参考椭球外面,并与某一子午线相切,称该子午线为中央子午线,横椭圆柱的中心轴 CC' 通过参考椭球中心 O 并与地轴 NS 垂直。将中央子午线东西各一定经差范围内的地区投影到横椭圆柱面上,再将该横椭圆柱面沿过南、北极点的母线切开展平,便构成了高斯平面坐标系,如图 1.3 (b)、(c) 所示。

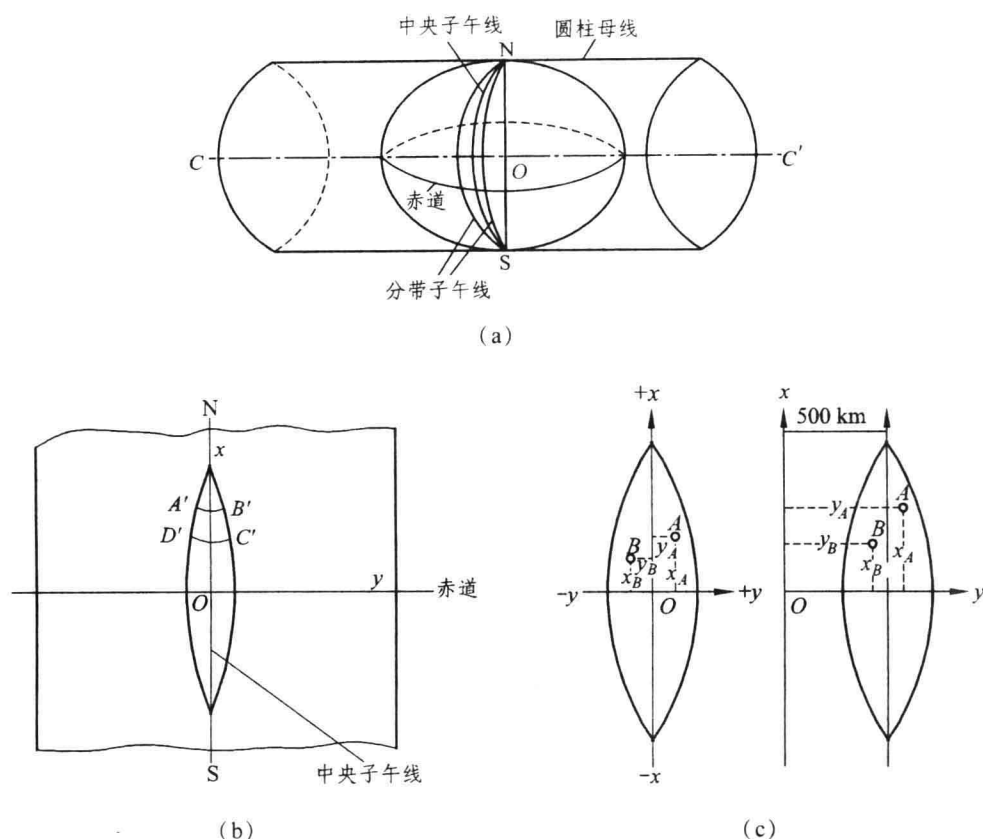


图 1.3 高斯平面坐标系投影图

高斯投影是将地球按经线划分成若干个分带投影,带宽用投影带两边缘子午线的经度差表示,常用带宽为 6° 、 3° 和 1.5° ,分别简称为 6° 、 3° 和 1.5° 带投影。国际上对 6° 和 3° 带投影

的中央子午线经度有统一规定,满足这一规定的投影称为统一 6°带投影和统一 3°带投影。

① 统一 6°带投影。

从首子午线起,每隔经度 6°划分为一带,如图 1.4 所示。自西向东将整个地球划分为 60 个投影带,带号从首子午线开始,用阿拉伯数字表示。第一个 6°带的中央子午线的经度为 3°,任意带的中央子午线经度 L_0 与投影带号 N 的关系为

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1.4)$$

反之,已知地面任一点的经度 L ,要计算该点所在的统一 6°带编号的公式为

$$N = \text{Int} \left(\frac{L+3}{6} + 0.5 \right) \quad (1.5)$$

式中,Int 为取整函数。

投影的中央子午线和赤道均为直线并保持相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴 (x 轴),向北为正;以赤道为坐标横轴 (y 轴),向东为正,中央子午线与赤道的交点为坐标原点 O 。

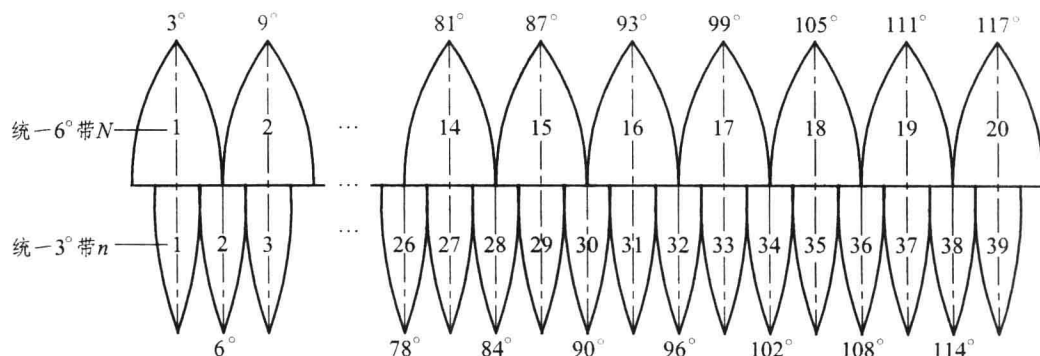


图 1.4 统一 6°带投影与统一 3°带投影高斯平面坐标系的关系

与数学上的笛卡儿坐标系比较,在高斯平面坐标系中为了定向的方便,一般定义纵轴为 x 轴、横轴为 y 轴。 x 轴与 y 轴互换位置,象限则按顺时针方向编号[见图 1.3 (c)],这样就可以将数学上定义的各类三角函数在高斯平面坐标系中直接应用,不需做任何变更。

我国位于北半球, x 坐标值恒为正值, y 坐标值则有正有负,当测点位于中央子午线以东时为正,以西时为负。如图 1.3 (c) 中的 B 点位于中央子午线以西,其 y 坐标值为负。对于 6°带高斯平面坐标系, y 坐标的最小负值约为 -334 km 。为了避免 y 坐标出现负值,我国统一规定将每带的坐标原点西移 500 km ,即给每个点的 y 坐标值加上 500 km ,使之恒为正,如图 1.3 (c) 所示。

为了能够根据横坐标值确定某点位于哪一个 6°带内,不应在 y 坐标值前冠以正负号。将经过加 500 km 和冠以正负号处理后的横坐标用 Y 表示。如图 1.3 (c) 中的 B 点位于第 19 带内,其横坐标为 $y_B = -265 \ 214 \text{ m}$,则有 $Y_B = 192 \ 347 \ 86 \text{ m}$ 。

高斯投影属于正面投影的一种,它保证了球面图形的角度在投影后的平面图形的角度保持不变,但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变化,其规律是:除中央子午线没有距离变化外,其余位置的距离均变长。

② 统一 3°带投影。

统一 3°带投影的中央子午线经度 L'_0 与投影带号 n 的关系为

$$L'_0 = 3n \quad (1.6)$$

反之, 已知地面任一点的经度 L , 要计算该点所在统一 3°带编号的公式为

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1.7)$$

统一 6°带投影与统一 3°带投影的关系如图 1.4 所示。

我国领土所处的经度范围为东经 $73^\circ 27' \sim 135^\circ 09'$, 根据式 (1.5) 和式 (1.7) 求得的统一 6°带投影与统一 3°带投影的带号范围分别为 $13 \sim 23$ 、 $24 \sim 45$ 。可见, 在我国领土范围内, 统一 6°带与统一 3°带的投影带号不重叠。

③ 1.5°带投影。

1.5°带投影的中央子午线经度与带号的关系, 国际上没有统一规定, 通常是使 1.5°带投影的中央子午线与统一 3°带投影的中央子午线或边缘午线重合。

④ 任意带投影。

任意带投影通常用于建立城市独立坐标系, 如可以选择过城市中心点的子午线为中央子午线进行投影, 这样, 可以使整个城市范围内的距离投影变化都比较小。

(2) 大地地理坐标系与高斯平面坐标系的相互变换。

我国使用的大地坐标系有“1954 北京坐标系”“1980 西安坐标系”。在同一个大地坐标系中, 地理坐标与高斯平面坐标可以相互变换。称由地面点的大地经、纬度 L 、 B 计算其在高斯平面坐标系中的坐标 x 、 y 为高斯投影正算, 反之称为高斯投影反算。将点的高斯坐标换算到相邻投影带高斯坐标的这一过程称高斯投影换带计算。

例如, 已知 P 点在“1980 西安坐标系”中的地理坐标为 $L = 113^\circ 25' 31.488\ 0''$, $B = 21^\circ 58' 47.084\ 5''$, 应用式 (1.5) 可以求得 B 点位于统一 6°带投影的 19 号带内, 应用高斯投影正算公式可以求得高斯坐标为 $x = 2\ 433\ 544.439\ \text{m}$ 、 $y = 250\ 543.296\ \text{m}$, 处理后的 y 坐标为 $Y = 19\ 750\ 543.296\ \text{m}$ 。

(3) 假定平面直角坐标系。

《城市测量规范》(CJJ8—99) 规定, 当测区范围较小时, 如面积小于 $25\ \text{km}^2$ 的城镇, 可不经投影而采用假定平面直角坐标系在平面上直接进行计算, 即将大地水准面当做平面看待。如图 1.5 (a) 所示, 将测区中心点 C 沿铅垂线方向投影到大地水准面上得 c 点, 用过 c 点的切平面来代替大地水准面, 在切平面上建立的测区平面直角坐标系 xOy 称为“假定平面直角坐标系”, 又称“独立平面直角坐标系”。坐标系的原点一般选在测区西南角, 以使测区内点的 x 、 y 坐标均为正值, 以过测区中心点的子午线为 x 轴方向, 即 x 轴向北为正, y 轴向东为正; 坐标象限按顺时针编号, 地面点在大地水准面上的投影位置就可以用平面直角坐标来确定。将测区内任一点 P 沿铅垂线方向投影到切平面上得 p 点, 通过测量, 计算出的 p 点坐标 x_p 、 y_p 就是 P 点在假定平面直角坐标系中的坐标, 如图 1.5 所示。