



普通高等学校“十二五”规划教材

土木工程测量

■ 主编 索俊锋 杨学锋



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等学校“十二五”规划教材

土木工程测量

主编 索俊锋 杨学锋
编著 陈丹华 姜艳军 魏相君



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书在介绍测量的基本概念、原理的基础上,遵循理论联系实际和突出实用的原则,引入了先进的现代测量技术,并将“测量学”教学改革成果融入教材。章节安排上注重循序渐进、由浅入深和知识体系的完整性,着重从测量的基础知识、测定和测设三个模块进行介绍。

本书共分14章,第1章介绍测量学的基本概念、基本理论;第2章至第5章阐述测量学的基本知识和测量仪器(包括常规和新型仪器)的操作使用方法;第6章介绍测量误差的基本知识;第7章介绍小区域控制测量,包括平面控制测量和高程控制测量的施测与计算方法;第8章阐述GNSS测量的原理与方法;第9章介绍地形图的基本知识;第10章介绍大比例尺地形图的测绘方法;第11章介绍大比例尺地形图应用;第12章介绍施工测量的基本工作;第13章介绍建筑施工测量;第14章介绍线路工程测量。

本书可作为土木工程和水利、农业、资源环境等专业的教材,也可作为注册工程师基础考试的学习用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/索俊锋,杨学锋主编. —北京:国防工业出版社,2015.1
普通高等学校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-09895-2

I. ①土... II. ①索... ②杨... III. ①土木工程 - 工程测量 - 高等学校 - 教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第312289号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 453 千字

2015年1月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 39.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

随着社会发展和科技的进步,工程测量的理念和手段近年来已发生重大的变化,测量工作已从传统的“经纬仪+钢尺+小平板”的模式向“全站仪、3S(GPS、RS、GIS)、三维激光扫描仪+计算机”的模式转变。为了适应测绘科技发展的趋势,本书编写立足于测量基本知识、基本理论和基本技能,着重于测绘新技术、新方法、新仪器、新内容、新规范的介绍,并对传统教材的章节内容和编排进行了更新和拓展,拓宽了专业知识面。本书按照2011年高等学校土木工程专业指导委员会编制的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”编写,并融入了非测绘专业的测量学教学改革的最新成果。内容上除了考虑学生在校期间所学知识的系统性和完整性外,同时考虑学生就业后本书的实用价值和参考价值。在编排上,更注重考虑教学的循序渐进的特点,按照由浅入深、先易后难的原则组织编写教材内容。

本书由索俊锋和杨学锋任主编,参与编写工作的还有陈丹华、姜艳军、魏相君等老师。第1、5、6、7、14章由索俊锋编写;第8、9、11章由杨学锋编写;第2、3、4、10章由陈丹华编写;第12、13及附录由姜艳军和魏相君编写。全书由索俊锋统稿。

由于作者水平有限,教材中难免存在缺点和错误,谨请读者批评指正。

作 者

2014年12月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测绘学简介	1
1.1.1 测绘学的基本概念	1
1.1.2 测绘学的学科分类	1
1.1.3 土木工程测量的任务	3
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	4
1.3.1 确定点的球面位置的坐标系	5
1.3.2 确定点的高程系	8
1.4 地球曲率对测量工作的影响	9
1.4.1 对距离的影响	9
1.4.2 对高程的影响	10
1.5 测量工作概述	10
1.5.1 测量工作的基本内容	10
1.5.2 测量工作的组织原则	11
思考与练习题	12
第2章 水准测量	13
2.1 水准测量的原理	13
2.2 水准测量的仪器及使用	14
2.2.1 水准测量的仪器及工具	14
2.2.2 水准仪的使用及注意事项	18
2.3 水准测量的方法与成果整理	20
2.3.1 水准点	20
2.3.2 水准测量路线	21
2.3.3 外业观测	21
2.3.4 水准测量成果整理	24
2.4 微倾式水准仪的检验与校正	27
2.4.1 圆水准器的检验和校正	27

2.4.2	十字丝横丝的检验和校正	28
2.4.3	水准管轴的检验和校正	29
2.5	水准测量的误差及其削减方法	30
2.5.1	仪器及使用工具的误差	30
2.5.2	观测误差	31
2.5.3	外界条件的影响	31
2.6	自动安平水准仪	31
2.7	精密水准仪	32
	思考与练习题	34
第3章	角度测量	36
3.1	角度测量原理	36
3.1.1	水平角测量原理	36
3.1.2	竖直角测量原理	37
3.2	光学经纬仪	37
3.3	经纬仪的安置与观测	39
3.4	水平角测量方法	41
3.5	竖直角测量	44
3.6	经纬仪的检验与校正	46
3.6.1	经纬仪轴线应满足的条件	46
3.6.2	经纬仪的检验与校正	47
3.7	角度测量误差及注意事项	49
3.7.1	仪器误差	49
3.7.2	观测误差	51
3.7.3	外界条件的影响	52
3.8	电子经纬仪	53
	思考与练习题	54
第4章	距离测量和直线定向	57
4.1	钢尺量距	57
4.1.1	量距工具	57
4.1.2	直线定线	58
4.1.3	距离丈量	58
4.1.4	钢尺量距的误差分析	60
4.2	视距测量	60
4.2.1	视线水平时的视距公式	60

4.2.2	视线倾斜时的视距公式	61
4.2.3	视距测量的观测	62
4.2.4	视距测量误差	62
4.3	电磁波测距	64
4.4	直线定向	67
4.4.1	标准北方向的分类——三北方向	67
4.4.2	方位角	67
4.4.3	磁偏角与子午线收敛角	67
4.5	方位角测量	68
4.5.1	罗盘仪测定磁方位角	68
4.5.2	陀螺经纬仪测定真方位角	69
	思考与练习题	71
第5章	全站仪及其使用	72
5.1	全站仪概述	72
5.1.1	全站仪的结构原理	72
5.1.2	全站仪的主要特点	72
5.2	科力达 KTS-442 全站仪及使用	74
5.2.1	科力达 KTS-442 全站仪概况	74
5.2.2	科力达 KTS-442 全站仪的使用	76
5.2.3	科力达 KTS-442 全站仪数据传输	88
5.2.4	全站仪使用注意事项	90
5.3	其他全站仪	90
	思考与练习题	92
第6章	测量误差的基本知识	93
6.1	测量误差概述	93
6.1.1	测量误差的概念	93
6.1.2	观测与观测值的分类	93
6.1.3	测量误差的来源	94
6.1.4	测量误差的分类	94
6.1.5	研究测量误差的目的	95
6.2	偶然误差的特性	95
6.3	衡量测量精度的指标	98
6.3.1	标准差与中误差	98
6.3.2	极限误差	99

10	6.3.3 相对误差	99
20	6.4 误差传播定律及其应用	100
30	6.4.1 误差传播定律	100
40	6.4.2 误差传播定律的应用	101
50	6.5 等精度独立观测的最可靠值与精度评价	104
60	6.5.1 求最可靠值	104
70	6.5.2 精度评定	105
80	6.6 不等精度独立观测的最可靠值与精度评定	108
90	思考与练习题	110
100	第7章 控制测量	112
110	7.1 控制测量概述	112
120	7.1.1 平面控制测量	112
130	7.1.2 高程控制测量	114
140	7.2 平面控制网的坐标推算	115
150	7.2.1 坐标计算的基本公式	115
160	7.2.2 坐标计算的实例	116
170	7.3 导线测量	117
180	7.3.1 导线的布设	117
190	7.3.2 导线的外业观测	118
200	7.3.3 导线的内业计算	119
210	7.4 交会定点	124
220	7.5 三、四等水准测量	126
230	7.6 三角高程测量	128
240	思考与练习题	131
250	第8章 GNSS 测量的原理与方法	134
260	8.1 GNSS 概述	134
270	8.2 GPS 定位原理	135
280	8.3 GPS 的组成	136
290	8.4 GPS 定位的方法	138
300	8.4.1 伪距定位	138
310	8.4.2 载波相位测量	139
320	8.4.3 实时动态差分定位(RTK)	141
330	8.5 GPS 测量的实施	142
340	8.5.1 GPS 网的优化设计	142

8.5.2	外业观测	144
8.5.3	内业数据处理	145
8.6	中海达 V9 双频双星 GNSS RTK 操作简介	145
	思考与练习题	148
第 9 章	地形图的基本知识	149
9.1	地形图的比例尺	149
9.1.1	比例尺的表示方法	149
9.1.2	地形图比例尺的选择	150
9.1.3	地形图比例尺的精度	150
9.2	地形图的图式	152
9.3	地貌的表示方法	155
9.3.1	等高线	155
9.3.2	典型地貌的等高线	156
9.3.3	等高线的特性	159
9.4	地形图分幅与编号	159
9.4.1	梯形分幅	159
9.4.2	矩形分幅	163
9.4.3	新的国家基本比例尺地形图分幅编号	163
	思考与练习题	164
第 10 章	大比例尺地形图的测绘	165
10.1	测图前的准备工作	165
10.2	大比例尺地形图的模拟测绘方法	166
10.2.1	经纬仪配合量角器测绘法	166
10.2.2	地形图的绘制	168
10.2.3	地形图测绘的基本要求	169
10.2.4	地形图的检查、拼接与整饰	170
10.3	大比例尺数字化测图方法	171
	思考与练习题	180
第 11 章	大比例尺地形图的应用	182
11.1	地形图的识图	182
11.1.1	地形图的坐标系统	182
11.1.2	地形图的辅助要素	183
11.1.3	地物与地貌的识别	184

11.2	地形图的基本应用	185
11.2.1	确定点的空间坐标	185
11.2.2	确定直线的距离、方向、坡度	186
11.2.3	确定指定坡度的路线	186
11.3	图形面积量算	187
11.4	工程建设中地形图的应用	188
11.5	数字地形图的应用	192
	思考与练习题	195
第 12 章	施工测量的基本工作	196
12.1	施工放样的基本工作	196
12.1.1	水平角的测设	196
12.1.2	水平距离的测设	197
12.1.3	高程的测设	197
12.1.4	坡度的测设	200
12.2	点的平面位置的测设	202
12.3	全站仪三维坐标放样	204
	思考与练习题	207
第 13 章	建筑施工测量	208
13.1	施工控制测量	208
13.1.1	场区平面控制	208
13.1.2	场区高程控制	210
13.2	工业与民用建筑施工放样的基本要求	210
13.3	民用建筑施工测量	212
13.3.1	轴线的测设	212
13.3.2	基础施工测量	214
13.3.3	墙体施工测量	214
13.4	工业厂房施工测量	216
13.4.1	工业厂房柱基轴线的测设	216
13.4.2	工业厂房柱基施工测量	216
13.4.3	工业厂房构件安装测量	217
13.5	高层建筑物施工测量	220
13.5.1	高层建筑物的轴线竖向投测	220
13.5.2	高层建筑物的高程竖向传递	223
13.6	建筑变形测量	224

13.6.1	建筑变形测量的一般规定	224
13.6.2	沉降观测	225
13.6.3	位移观测	230
13.7	竣工总平面图的编绘	237
	思考与练习题	238
第 14 章	线路工程测量	240
14.1	概述	240
14.2	线路中线测量	240
14.3	圆曲线测设	243
14.3.1	圆曲线主点测设	243
14.3.2	圆曲线的详细测设	244
14.4	带有缓和曲线的圆曲线测设	249
14.4.1	缓和曲线	249
14.4.2	带有缓和曲线的圆曲线主点测设	251
14.4.3	带有缓和曲线的圆曲线的详细测设	254
14.5	线路纵横断面测量	256
14.5.1	基平测量	256
14.5.2	中平测量	257
14.5.3	纵断面的绘制	259
14.5.4	横断面测量	260
14.6	竖曲线的测设	263
14.7	道路施工测量	265
14.8	桥梁工程测量	267
14.8.1	桥位控制测量	267
14.8.2	桥梁墩台中心定位	269
14.8.3	墩、台纵横轴线测设	270
14.8.4	墩台施工放样	271
14.9	隧道测量	273
14.9.1	隧道测量概述	273
14.9.2	地面控制测量	273
14.9.3	地下控制测量	275
14.9.4	隧道施工测量	276
	思考与练习题	278
附录	测量实验实习须知	280
参考文献		283

第1章 绪论

1.1 测绘学简介

1.1.1 测绘学的基本概念

传统的测绘学以地球和地球表面上的实体为研究对象，是研究对实体进行测量和描绘的科学。测绘学通常又称为测量学，包括了测量和描绘两个方面。测量就是利用测量仪器测定物体的形状、大小和空间位置。描绘就是将测定的物体用地图的方式表达出来。一般情况下，这种概念的测绘工作限于较小区域的测量和制图，将地面当成平面，不考虑地球曲率的影响。但是地球表面并不是平面，测绘工作的范围也不限于较小的区域，尤其当代测绘科学技术的应用领域不断扩大，其工作范围不仅是大区域，例如一个国家，一个地区，有时甚至需要进行全球的测绘工作。此时，测绘学不仅研究地球表面的自然形态和人工设施的集合信息的获取和表述问题，而且还要把地球作为一个整体，研究获取和表述其几何信息之外的物理信息。随着科学技术的发展和社会的进步，测绘学研究对象不仅是地球，还需要将其研究范围扩大到地球外层空间的各种自然和人造实体。因此，测绘学的一个比较完整的概念是：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。

测绘学将地表物体分为地物和地貌。地物是指地面上天然或人工形成的物体，包括湖泊、桥梁、道路、建筑物、河流等；地貌是指地表高低起伏的形态，包括山地、丘陵、平原等。地物和地貌的总称为地形。

在测量工作中有两类不同性质的工作：一类称为测定，是利用测量仪器和工具，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；另一类称为测设，是将在地形图上设计出的建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据，测设又称为施工放样。

1.1.2 测绘学的学科分类

按照研究对象及采用的技术不同，测绘学通常可分为以下几种专业分支学科：

1. 大地测量学

传统的大地测量学是指研究和测定地面点的几何位置，在广阔地面上建立国家大地控制网，以及研究和测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科。由于现代科学技术的迅速发展，大地测量学已超越了过去传统的局限性，由区域性大地测量发展为全球性大地测量；由研究地球表面发展为涉及地球内部；由静态大地测量发展为动态大地测量；由测地球发展为可以测月球和太阳系各行星，并有能力对整个地学领域及航天等有关空间技术做出重要贡献。

大地测量的主要任务是建立国家或大范围的精密控制测量网，内容有三角测量、导线测量、水准测量、天文测量、重力测量、惯性测量、卫星大地测量以及各种大地测流量数据处理等。

大地测量的作用：为大规模地形图测制及各种工程测量提供高精度的平面控制和高程控制；为空间科学技术和军事用途等提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料；为研究地球形状和大小、地壳形变及地震预报等科学问题提供资料。

2. 普通测量学

测量小范围地球表面形状时，不考虑地球曲率的影响，这种研究地球表面较小区内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科称作普通测量学。

普通测量学是测绘学的基础，主要研究内容有图根控制网的建立、地形图的测绘及一般工程的施工测量，具体工作有距离测量、角度测量、高程测量、定向测量、观测数据的处理及绘图等。

3. 摄影测量与遥感学

研究利用电磁波传感器获取目标物的几何和物理信息，用以测定目标物的形状、大小、空间位置，判断并分析其性质及相互关系，并用图形、图像和数字形式表达的理论和技术的学科称为摄影测量与遥感学。

摄影测量是利用摄影影像信息测定目标物的形状、大小、空间位置、性质和相互关系的科学技术。根据获得影像信息方式的不同，摄影测量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。

遥感是不接触物体本身，用传感器收集目标物的电磁波信息，经数据处理、分析，识别目标物，揭示目标物的几何形状和相互关系及其变化规律。根据电磁波波段的工作区域，可分为微波遥感、红外遥感、可见光遥感和多波段遥感等；依据运载工具的不同，分为航空遥感、航天遥感和地面遥感。

4. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设在勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容包括工程控制网建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量。

按照测量精度，工程测量可分为普通工程测量和精密工程测量；按照工程对象，工程测量可分为建筑、水利、线路、桥隧、地下、海洋、军事、工业、矿山以及城市等工程测量。

5. 海洋测量学

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、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称为海洋测绘学。

海洋测绘是以海洋水体和海底为对象所进行的测量，主要包括海洋大地测量、水深测量、海底地形测量、海洋重力测量、海岸地形测量、海道测量、海洋专题测量和海图测量等。海洋测绘一般可按区域划分为沿岸测绘、近海测绘和远海测绘。

6. 地图制图学

研究地图的信息传输、空间认知、投影原理、制图综合和地图的设计、编制、复制以及建立地图数据库等的理论和技术的学科称为地图制图学。

研究内容主要包括地图编制，地图投影，地图整饰、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方向发展。

1.1.3 土木工程测量的任务

土木工程测量是研究土木工程在勘察、设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的理论和技术。土木工程测量属于工程测量学的范畴，其主要任务是：

(1) 大比例尺地形图的测绘。运用测量学的理论、方法和工具，将小范围内地面上的地物和地貌按一定比例尺测绘成地形图。

(2) 地形图应用。为工程建设的规划设计，从地形图中获取所需要的资料，例如，量取点的坐标和高程、两点间的距离、地块的面积、图上设计线路、绘制纵断面图和进行地形分析等。

(3) 施工测量。各种工程在施工阶段所进行的测量工作称为施工测量。施工测量最基本的工作是放样，放样是把图上设计的工程建、构筑物标定在实地上，作为施工的依据，也叫测设。

(4) 变形观测。监测建筑物、构筑物的水平位移和垂直沉降，以便采取措施，保证建筑物的安全。

(5) 竣工测量。测绘竣工图。

1.2 地球的形状和大小

测绘学主要研究对象是地球，人类对地球形状的认识经历了圆球→椭球→大地水准面→真实地球的自然表面的过程。

测量工作是在地球表面上进行的，而地球的自然表面是很不规则的，有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰峰顶岩石面，根据国家测绘局 2005 年最新公布的数据，高出海水面达 8844.43m，最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11022m。地球表面约 71% 的面积被海洋覆盖，虽有高山和深海，但这些高低起伏与地球半径相比是很微小的，可以忽略不计。

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。 P 点所受的万有引力与离心力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线。

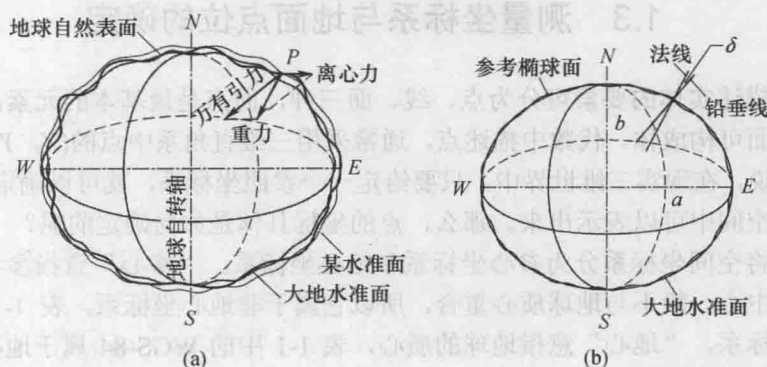


图 1-1 地球的自然表面、水准面、大地水准面、参考椭球面的关系

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垂直于该点的曲面。根据这个特点,水准面也可以定义为:处处与铅垂线垂直的封闭曲面。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。由大地水准面包围的地球形体称为大地体。

由于地球内部物质的密度分布不均匀,造成地球各处的万有引力的大小不同,致使重力方向发生变化,所以大地水准面是由微小起伏、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。为了解决投影计算问题,通常选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的椭球面作为投影的基准面,这个椭球面是由长半轴 a 、短半轴 b 的椭圆绕其短轴旋转而成的旋转椭球面(图 1-1(b))。旋转椭球又称为参考椭球,其表面称为参考椭球面,是测量计算工作的基准面。由地表任一点向参考椭球面所做的垂线称为法线,地表点的铅垂线与法线一般不重合,其夹角称为垂线偏差。

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 。此外,还根据 a 和 b 定义了扁率:

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

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	参考椭球名	坐标系	长半轴 a/m	扁率 f
1	克拉索夫斯基椭球	1954 北京坐标系	6378245	1 : 298.3
2	IUGG1975 椭球	1980 西安坐标系	6378140	1 : 298.257
3	IUGG1979 椭球	WGS-84 坐标系	6378137	1 : 298.257223563

由于参考椭球体的扁率很小,所以在测量精度要求不高的情况下,可以把地球看做是圆球,其半径取 6371km。

1.3 测量坐标系与地面点位的确定

几何学里描述实体的要素可分为点、线、面三种,而点是最基本的元素,点可构成线、线可构成面、面可构成体。代数中描述点,通常采用三维直角系中点的 (X, Y, Z) 三维坐标来表示。也就是说,在现实三维世界中,只要给定一个参照坐标系,就可以确定点的三维坐标,其位置也就在空间中可以表示出来。那么,点的坐标具体是如何确定的呢?

测量中,将空间坐标系分为参心坐标系和地心坐标系。“参心”意指参考椭球的中心,由于参考椭球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 中的前两个坐标系是参心坐标系。“地心”意指地球的质心,表 1-1 中的 WGS-84 属于地心坐标系。工程测量一般采用参心坐标系。

在一般测量工作中,常将地面点的空间位置用大地经度、纬度(或高斯平面直角坐标)和高程表示,它们分别从属于大地坐标系(或高斯平面直角坐标系)和指定的高程系统,即使用一个二维坐标系(椭球面或平面)与一个一维坐标系的组合来表示。

1.3.1 确定点的球面位置的坐标系

确定点的球面位置的坐标系有地理坐标和平面直角坐标系两类。

1. 地理坐标系

地理坐标系用经纬度表示点在地球表面的位置。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,其基准是铅垂线和大地水准面,它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示点在球面的位置。

如图 1-2 所示, N 、 S 分别是地球的北极和南极, NS 称为地轴。过地面上任一点 P 的铅垂线与地球旋转轴 NS 所组成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。通过原格林尼治天文台的子午面称为首子午面。过地面上任意一点 P 的天文子午面与首子午面的夹角 λ 称为 P 点的经度。由首子午面向东量称为东经,向西量称为西经,其取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。通过地心且垂直于地轴的平面称为赤道平面。过 P 点的铅垂线与赤道平面的夹角 φ 称为 P 点的纬度。由赤道平面向北量称为北纬,向南量称为南纬,其取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。我国位于东半球和北半球,所以各地的地理坐标都是东经和北纬,例如北京的地理坐标为东经 $116^\circ 28'$,北纬 $39^\circ 54'$ 。

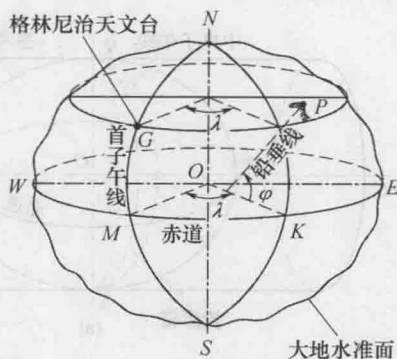


图 1-2 地面点的地理坐标

2) 大地地理坐标系

大地地理坐标系又称大地坐标,是表示地面点在参考椭球面上的位置,它的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。地面上一点 P 的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的二面角, 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,按大地测量所测得的数据推算而得到的。我国以位于陕西省泾阳县永乐镇北洪流村的大地原点建立的大地坐标系,称为“1980 西安坐标系”,简称 80 西安系;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。

为求得 P 点位置,可在该点上安置仪器,用天文测量的方法来测定。这时,仪器的竖轴必然与铅垂线重合,即仪器的竖轴与该处的大地水准面相垂直。由于铅垂线与法线不垂直(图 1-1(b)),所以 $\lambda \neq L$, $\varphi \neq B$ 。依据相对于法线的关系(称为垂线偏差),可以将 λ 、 φ 改算为 L 、 B 。

2. 平面直角坐标

1) 高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标,若直接用于工程建设规划、设计、施工,会带来很多计算和测量的不便。测量计算最好在平面上进行,但地球是一个不可展的曲面,需将球面坐标按一定的数学法则归算到平面上,即测量工作中所称的投影。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。

高斯投影是一种横椭圆柱正形投影。设想将一个横椭圆柱套在参考椭球外面, 如图 1-3(a) 所示, 并与椭球面上某投影带的中央子午线相切, 称该子午线为中央子午线, 使横圆柱的轴心 CC' 通过椭球的中心 O 并与地轴 NS 垂直, 然后将中央子午线东西各一定经差范围内的点线投影到横圆柱面上。再沿着该横椭圆柱面过南北极的母线将圆柱面剪开, 并展开为平面, 这个平面称为高斯投影平面。在高斯投影平面上, 中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线, 见图 1-3(b), 其他子午线和纬线为曲线。取中央子午线为坐标纵轴, 即 x 轴, 取赤道为坐标横轴, 即 y 轴, 两轴的交点为坐标原点 O , 组成高斯平面直角坐标系, 规定 x 轴向北为正, y 轴向东为正, 坐标象限按顺时针编号。

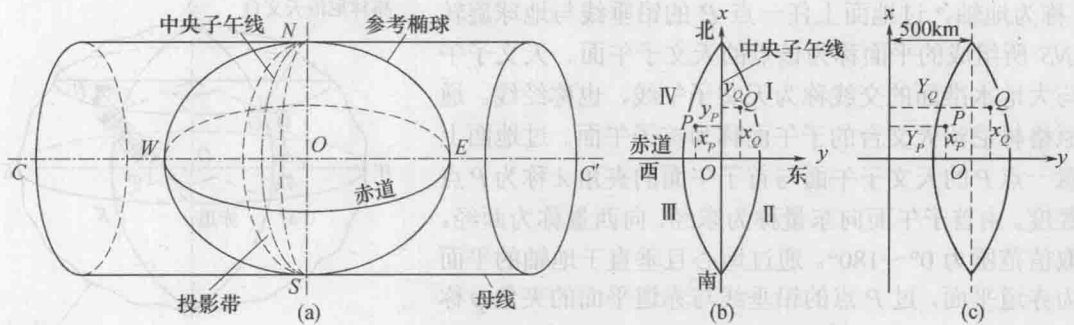


图 1-3 高斯平面坐标系投影图

高斯投影是将地球按经线划分成若干带分带投影, 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 6° 带、 3° 带和 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 3° 带投影。

(1) 统一 6° 带投影。按 6° 的经度差分成 60 个带, 从首子午线开始自西向东编号, 东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带, 依此类推, 如图 1-4 所示。

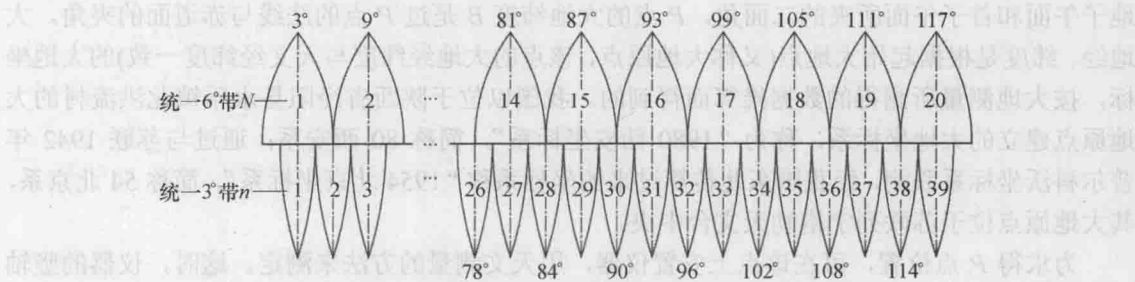


图 1-4 统一 6° 带投影与统一 3° 带投影高斯平面坐标系的关系

位于每一带中央的子午线称为中央子午线, 第 1 带中央子午线的经度为 3° , 各带中央子午线的经度 L_0 与带号 N 的关系为:

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

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:

$$N = \text{Int} \left(\frac{L+3}{6} + 0.5 \right) \quad (1-3)$$