

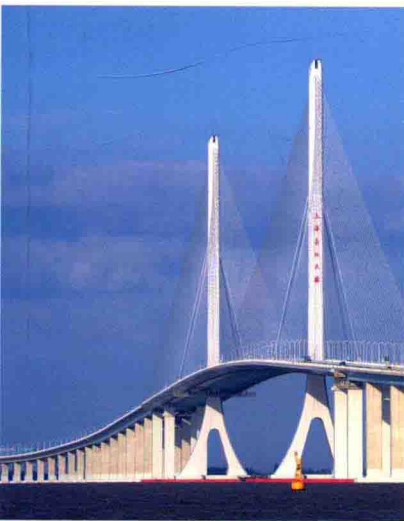
Gaodeng xuexiao jiaotong yunshu yu gongchenglei  
zhuanye guihua jiaocai

■ 高等学校交通运输与工程类专业规划教材  
高等学校应用型本科规划教材

Surveying

# 测量学

主编 / 张 龙 副主编 / 李国栋 王 会 顾天鸿 主审 / 张弘强



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交通运输与工程类专业规划教材  
高等学校应用型本科规划教材

# 测 量 学

主 编 张 龙  
副主编 李国栋 王 会 顾天鸿  
主 审 张弘强



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

全书共分14章,第1~5章对工程测量的基本原理方法进行了阐述,第6章介绍了GPS在测量中的应用,第7~9章是关于测绘、测设理论部分,第10~14章对工程各方向的专业测量进行了详细介绍。教材编写过程中,参考了国内外相关教材和文献,重点参考工程测量最新技术文献,力图将目前先进的仪器设备使用、技术应用等纳入工程测量的学习中。

本书可作为土木工程类(土木、道路桥梁与渡河工程、工程管理、工程造价、建筑学等)各专业的测量学教材,亦可供有关土建类工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

测量学/张龙主编. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.3

ISBN 978-7-114-12661-1

I. ①测… II. ①张… III. ①测量学-教材 IV. ①P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第004519号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材  
高等学校应用型本科规划教材

书 名: 测量学

著 者: 张 龙

责任编辑: 卢俊丽 闫吉维

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.25

字 数: 430千

版 次: 2016年2月 第1版

印 次: 2016年2月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12661-1

定 价: 39.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

# 高等学校应用型本科规划教材

## 编 委 会

主任委员:张起森

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

万德臣	马鹤龄	刘培文	伍必庆
汤跃群	张永清	吴宗元	武鹤
杨少伟	杨渡军	赵永平	谈传生
倪宏革	章剑青		

编写委员:(按姓氏笔画排序)

于吉太	于少春	王丽荣	王保群
朱霞	张鹏飞	陈道军	谷趣
赵志蒙	查旭东	唐军	曹晓岩
葛建民	韩雪峰	蔡瑛	

主要参编院校:长沙理工大学

长安大学

重庆交通大学

东南大学

华中科技大学

山东交通学院

黑龙江工程学院

内蒙古大学

交通运输部管理干部学院

辽宁省交通高等专科学校

鲁东大学

秘 书 组:李喆 刘永超(人民交通出版社)

# 前言

## FOREWORD

为适应 21 世纪科技飞速发展,高等教育改革在加速进行,尤其是 2015 年教育部提出要求一部分高校向应用技能型转变,教学内容改革势在必行。本书正是以此为出发点,经过多次施工企业调研,结合多年的教学实践经验,组织多个院校教学经验丰富的教师编写而成。力争做到理论知识完整,突出工程实践应用,同时增加了当前测绘新技术和新仪器等知识。

本书第 1 章介绍了测量学的分类、发展,测量学的基本参数及原则等;第 2~5 章介绍了高程的测量、角度的测量及电子经纬仪的使用、距离测量及直线定向、测量的误差理论等基本测量理论;第 6 章介绍了 GPS 在测量中的应用;第 7、8 章介绍了小区域控制测量、大比例尺地形图的测绘及应用等测绘理论;第 9 章介绍了测设的基本工作等测设基本理论;第 10~13 章分别介绍了道路工程测量、桥梁工程测量、管道工程测量、建筑工程测量等各方向的专业工程测量内容;第 14 章介绍了建筑物变形观测。随着电子化及网络的普及,工程测量的仪器也逐渐向电子化发展,所以本书列举了电子经纬仪、全站仪等电子仪器的操作方法和应用;鉴于目前工程测量中 GPS 的应用越来越多,所以本书加入了 GPS 在工程测量中的应用;后半部分还综合了各个工程专业施工测量的内容。

全书由长春师范大学张龙主编,长春建筑学院李国栋、王会,大连科技学院顾天鸿副主编,吉林大学张弘强教授主审。

参编人员及分工:绪论,第1、4章由逢立伟(长春建筑学院)编写;第2、12章由聂星(长春建筑学院)编写;第3、9章由王会(长春建筑学院)编写;第5章由张龙(长春师范大学)、夏春阳(长春建筑学院)、李国栋(长春建筑学院)编写;第6、11章由钱晋(长春建筑学院)编写;第7章由顾天鸿(大连科技学院)编写;第8章由王会(长春建筑学院)、董书彤(长春建筑学院)、逢立伟(长春建筑学院)编写;第10章由张龙(长春师范大学)、顾天鸿(大连科技学院)编写;第13、14章由李丽敏(天津铁道职业技术学院)编写。

编者

2015年12月

# 目录

## CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 测量学的任务和作用	1
1.2 测量学的发展概况	2
1.3 地面点位的表示方法	3
1.4 用水平面代替水准面的限度	9
1.5 测量工作概述	10
思考题与习题	13
第2章 水准测量	14
2.1 水准测量原理	14
2.2 水准测量的仪器与工具	15
2.3 水准测量的实施及成果	19
2.4 微倾式水准仪的检验与校正	26
2.5 精密水准仪和水准尺	29
2.6 自动安平水准仪	30
2.7 水准测量的误差分析	30
思考题与习题	32
第3章 角度测量	34
3.1 光学经纬仪及其使用	34
3.2 水平角观测	37
3.3 竖直角观测	42

3.4	电子经纬仪	45
3.5	光学经纬仪的检验和校正	47
3.6	角度测量的误差分析及注意事项	51
	思考题与习题	54
<b>第4章</b>	<b>距离测量与直线定向</b>	<b>56</b>
4.1	钢尺量距	56
4.2	直线定向	62
4.3	全站仪简介	65
	思考题与习题	73
<b>第5章</b>	<b>GPS 原理与应用</b>	<b>74</b>
5.1	GPS 概述	74
5.2	GPS 定位的基本原理	76
5.3	静态定位和动态定位	78
5.4	Trimble 5700 GPS 接收机的使用	79
5.5	GPS 静态定位在测量中的应用	85
5.6	GPS-RTK 定位技术在测量中的应用	86
	思考题与习题	87
<b>第6章</b>	<b>测量误差的基本理论</b>	<b>88</b>
6.1	测量误差概述	88
6.2	衡量精度的标准	93
6.3	误差传播定律及其应用	97
6.4	权	103
	思考题与习题	104
<b>第7章</b>	<b>小区域控制测量</b>	<b>106</b>
7.1	概述	106
7.2	导线测量外业	109
7.3	导线测量内业	113
7.4	三角测量	122
7.5	三、四等水准测量	125
7.6	三角高程测量	128
	思考题与习题	131



<b>第8章 大比例尺地形图的测绘与应用</b> .....	133
8.1 地形图的比例尺 .....	133
8.2 地形图的分幅和编号 .....	134
8.3 地形图的符号 .....	138
8.4 大比例尺地形图的测绘 .....	145
8.5 地形图的应用 .....	159
思考题与习题 .....	173
<b>第9章 测设的基本工作</b> .....	175
9.1 测设的基本工作 .....	175
9.2 已知坡度的测设 .....	178
9.3 点的平面位置的测设 .....	179
思考题与习题 .....	181
<b>第10章 道路工程测量</b> .....	182
10.1 道路中线测量 .....	182
10.2 路线纵、横断面测量 .....	215
思考题与习题 .....	225
<b>第11章 桥梁工程施工测量</b> .....	227
11.1 桥梁工程施工控制测量 .....	227
11.2 桥梁工程施工测量 .....	230
11.3 涵洞施工测量 .....	236
思考题与习题 .....	237
<b>第12章 管道工程测量</b> .....	238
12.1 概述 .....	238
12.2 管道中线测量 .....	238
12.3 管道纵、横断面图测绘 .....	239
12.4 管道施工测量 .....	241
12.5 顶管施工测量 .....	243
12.6 管道竣工测量 .....	244
思考题与习题 .....	244
<b>第13章 建筑工程测量</b> .....	245
13.1 施工测量概述 .....	245

13.2 施工控制测量	246
13.3 建筑施工测量	250
思考题与习题	261
<b>第 14 章 建筑物变形测量</b>	<b>263</b>
14.1 建筑变形测量的一般规定	263
14.2 沉降观测	265
14.3 位移观测	269
思考题与习题	277
<b>参考文献</b>	<b>278</b>

# 绪论

## 1.1 测量学的任务和作用

测量学是测绘科学的重要组成部分,是研究地球的形状和大小以及确定地面(包含空中、地下和海底)点位的科学。其内容包括测定和测设两部分。测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据或成果,将地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、国防建设及科学研究使用。测设是指用一定的测量方法,按照一定的精度,把设计图纸上规划设计好的建(构)筑物的平面位置和高程标定在实地上,作为施工的依据。

按其研究的对象和范围不同,测量学可以分为以下几个分支学科:

(1)普通测量学。研究地球表面局部地区测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科,是测量学的基础。普通测量学的主要任务是图根控制网的建立、地形图测绘及一般工程施工测量。具体工作主要有距离测量、角度测量、高程测量、观测数据的整理和绘图等。

(2)大地测量学。研究和确定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和地球表面点的几何位置及其变化的理论和技术的学科。大地测量学的基本任务是建立国家大地控制网。目前,常规的大地测量已发展到人造卫星大地测量,测量对象也由地球表面扩展到宇宙空间,由静态发展到动态。

(3)摄影测量学。研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的形状、大小、空间位置的学

科。根据摄影方式的不同,摄影测量又分为地面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量和水上摄影测量。

(4)工程测量学。研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制和地形测绘、施工放样、变形监测的理论和技术的学科。

(5)海洋测量学。研究以海洋水体、港口、航道及海底为对象所进行的测量和海图编制理论、技术与方法的学科。

(6)地图制图学。利用测量、采集和计算所得的成果资料,研究各种地图的制图理论、原理、工艺技术和应用的学科。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。这门学科已向制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

本书主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

测量技术是了解自然和改造自然的重要手段,也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作,应用十分广泛。它能为城镇规划、市政工程、土地与房地产开发、农业、防灾等领域提供各种比例尺的现状地形图或专用图等测绘资料;能按照规划设计部门的要求,进行道路规划定线、拨地测量以及各种土木工程的勘察测量,直接为建设工程项目的设计与施工服务;在工程施工过程和运营管理阶段,对高层、大型建(构)筑物进行沉降、位移、倾斜等变形观测,可以确保建(构)筑物的安全,并为建(构)筑物结构和地基基础的研究提供多种可靠的测量数据。由此可见,测量工作在土木工程专业应用十分广泛,贯穿土木工程建设的整个过程,特别是大型和重要的工程,测量工作更是重中之重,直接关系到工程的质量和预期效益的实现,是我国现代化建设不可缺少的一项重要工作。

此外,测绘科学在国防建设和科学研究中也发挥着十分重要的作用。军事地图的制作、空间武器和人造卫星的发射,都必须依靠准确和全面的测绘与计算;空间科学技术的研究、地壳的形变、地震预报及地极周期性运动的研究等,都要应用测绘资料。随着测绘科技的发展和新技术的研究开发与应用,各个行业必将得到更多、更好、更及时的信息服务与准确、适用的测绘成果。

## 1.2 测量学的发展概况

科学的产生和发展是由生产决定的。测量科学也不例外,它是人类长期以来在生活和生产方面世代代同自然界斗争经验的结晶。由于生活和生产的需要,测量工作在远古时代的人类社会中就被用于实际。早在公元前 21 世纪,就有夏禹在黄河两岸治理水患和埃及尼罗河泛滥后农田边界整理的传说。这些都需要一定的测量知识,或者说已用简单的工具——准、绳、规、矩进行了测量。

公元前 7 世纪前后,即春秋时期,管仲在其所著《管子》一书中,已收集了早期的地图 27 幅。公元前 130 年,西汉初期的《地形图》及《驻军图》已于 1973 年从长沙马王堆三号汉墓中出土,为我国发现的最早的地图。测量工具:测量长度的有丈杆、准绳、步车、记里鼓车等;测量角度的有望筒和司南等;测量高程的有矩和水平等。测量的绘图理论有《制图六体》《禹贡地域图》《海内华夷图》等。测量的数学理论有《海岛算经》《周髀算经》《九章算术》等。

世界各国测绘科学的发展,主要是从 17 世纪初开始逐步发展起来的。

电子计算机的发明,产生了用电子设备和计算机控制的测绘仪器,如电子经纬仪、全站仪

和自动绘图仪,使测绘工作更为简便、快速和精确。自1957年前苏联第一颗人造卫星发射成功,测绘学科中出现了“卫星测量”的分支。此后美国由卫星支持的全球定位系统GPS(Global Positioning System)和遥感RS(Remote Sensing)技术在测绘学科中得到广泛的应用,并形成“空间大地测量”和“摄影测量与遥感”两个学科分支。

我国测绘科学自新中国成立后,也进入了一个崭新的发展阶段。1956年成立国家测绘总局,科学院系统成立了测量及地球物理研究所,各业务部门亦纷纷设立测绘机构,培养测绘人员的各级学校亦先后成立。60多年来,测绘队伍飞速壮大,测绘科学的研究工作亦得到发展,建成了全国绝大部分地区的大地控制网,完成了大量不同比例尺的地形图测绘。在测绘仪器制造方面从无到有,现在不仅能生产光学测量仪器,还成功研制了各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和解析测图仪等先进仪器。

近年来,我国测绘科技发展迅速。目前,我国GPS技术的研究和应用已达到世界先进水平。我国北斗卫星导航系统(COMPASS),是继美国GPS、俄罗斯格洛纳斯、欧洲伽利略之后,全球第四大卫星导航系统。截至2012年10月25日,我国已成功发射16颗导航卫星,2013年初向亚太大部分地区提供正式服务,2020年将形成由30多颗卫星组网,具有覆盖全球能力的大型航天系统。

测绘学科和地球物理学、地质学、天文学、地理学、海洋学、空间科学、环境科学、计算机科学和信息科学及其他许多工程学科有着密切的联系。而测绘学科更侧重于研究地球的整体形态和表层空间的几何特性,除了其本身为国民经济建设和国防建设服务以外,还构成了上述一些相关学科的基础信息系统。

## 1.3 地面点位的表示方法

### 1.3.1 地球的形状与大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的。而地球自然表面很不规则,既有高达8 844.43m的珠穆朗玛峰,也有深至11 022m的马里亚纳海沟。尽管它们高低起伏悬殊,但与半径为6 371km的地球比较,还是可以忽略不计的。此外,海洋面积约占地球表面总面积的71%,陆地面积仅占29%。因此,习惯上把海水面所包围的地球形体看作地球的形状。

地球上任一点都同时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。处处与重力方向垂直的连续曲面称为水准面[图1-1a],水准面是受地球重力影响而形成的,是一个重力等位面,它们之间因重力不同,不会相交。与水准面相切的平面称为水平面。水准面因其高度不同而有无穷多个,其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面。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。

用大地体表示地球的形状是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀,因其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[图1-1b],人类无法在这样的曲面上进行测量数据的处理。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球)来代替地球的形状[图1-1c],作为测量计算工作的基准面。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球又称为旋转椭球。旋转椭球体由长半径

$a$ (或短半径  $b$ )和扁率  $\alpha$  所决定。目前我国所采用的参考椭球体是“1980 年国家大地坐标系”,其参考椭球体元素为:

长半径

$$a = 6\,378\,137\text{m}$$

短半径

$$b = 6\,356\,752\text{m}$$

扁率

$$\alpha = 1:298.257$$

其中

$$\alpha = \frac{a - b}{b}$$

由于地球椭球的扁率很小,当测区范围不大时,可近似地把地球椭球看作圆球,其半径为 6 371km。

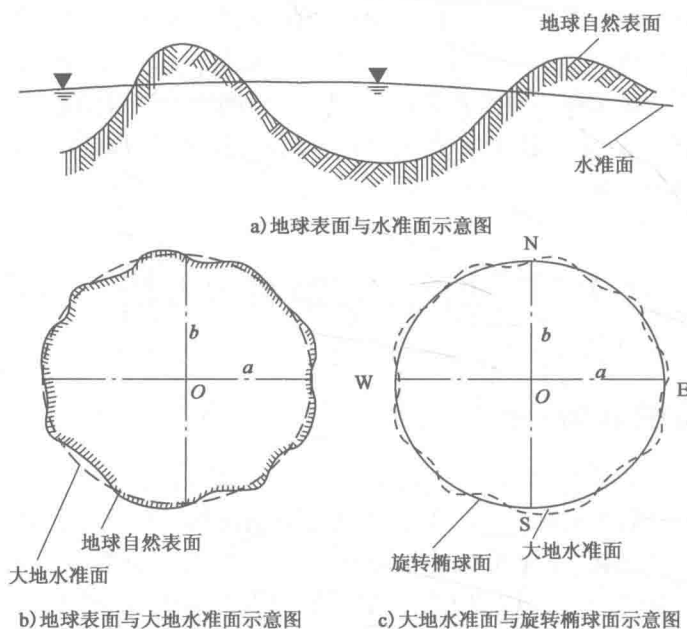


图 1-1 地球表面、大地水准面、旋转椭球面关系示意图

### 1.3.2 确定地面点位的方法

测量工作的中心任务是确定地面点的空间位置,通常是求出该点的二维球面坐标或投影到平面上的二维平面坐标以及该点到大地水准面的铅垂距离,也就是确定地面点的坐标和高程。

#### 1) 地面点的坐标

地面点在投影面上的坐标,根据具体情况,可选用下列 3 种坐标系中的一种来表示。

##### (1) 大地坐标系

大地坐标又称为大地地理坐标,是表示地面点在旋转椭球面上的投影位置,用大地经度  $L$

和大地纬度  $B$  来表示。如图 1-2 所示,  $NS$  为椭球的旋转轴,  $N$  表示北极,  $S$  表示南极,  $O$  为椭球中心。

通过椭球中心与椭球旋转轴正交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。

通过椭球旋转轴的平面称为子午面。其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。

图 1-2 中  $P$  点的大地经度就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角, 用  $L$  表示, 从起始子午面算起, 向东自  $0^\circ$  起算至  $180^\circ$  称为东经; 向西自  $0^\circ$  起算至  $180^\circ$  称为西经。

$P$  点的大地纬度就是该点的法线(与椭球面垂直的线)与赤道面的交角, 用  $B$  表示。从赤道面起算, 向北自  $0^\circ$  起算至  $90^\circ$  称为北纬; 向南自  $0^\circ$  起算至  $90^\circ$  称为南纬。

大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  统称大地坐标。地面点的大地坐标是根据大地测量数据由大地原点(又称大地坐标原点)推算而得。我国“1980 年国家大地坐标系”的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇境内, 在西安市以北约  $40\text{km}$  处。

### (2) 平面直角坐标系

当测量的范围较小时, 可以把该测区的球面当作平面看待, 直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上, 用平面直角坐标来表示它的投影位置, 如图 1-3 所示。

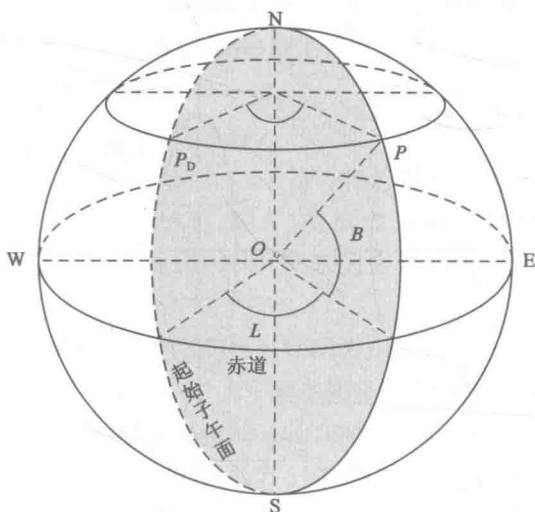


图 1-2 旋转椭球体

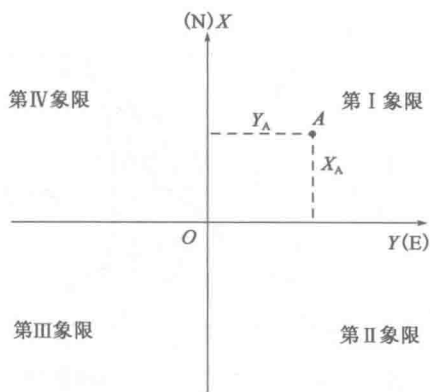


图 1-3 测量平面直角坐标系

测量上选用的平面直角坐标系, 规定纵坐标轴为  $X$  轴, 表示南北方向, 向北为正; 横坐标轴为  $Y$  轴, 表示东西方向, 向东为正。地面上某点  $A$  的位置可用  $X_A$  和  $Y_A$  来表示。坐标系中象限按顺时针方向编号。  $X$  轴与  $Y$  轴互换, 这与数学上的规定是不同的(图 1-4), 目的是为了定向方便, 而且可以将数学中的公式直接应用到测量计算中, 原点  $O$  一般选在测区的西南角, 使测区内各点均处于第一象限, 坐标值均为正值, 以方便测量和计算。

### (3) 高斯平面直角坐标系

地理坐标是球面上的坐标, 常用于大地问题的解算, 但若将其直接应用于工程建设、规划、设计与施工等, 则很不方便, 故需将球面上的元素按一定条件投影到平面上建立平面直角坐标系。地图投影学中有很多投影方法, 我国采用高斯横圆柱投影的方法, 简称高斯投影。

高斯投影的方法是将地球划分成若干带, 然后将每带投影到平面上。为简单起见, 可以用

下面形象的投影过程来说明这种投影规律。

如图 1-5a) 所示, 设想将截面为椭圆的一个圆柱横套在地球椭球体外面, 并与椭球体面上某一条子午线(如 NDS) 相切, 同时使圆柱的轴位于赤道面内并通过椭球体中心。圆柱柱面与椭球体面相切的子午线称为中央子午线。若以椭球中心为投影中心, 将中央子午线两侧一定经差范围内的椭球图形投影到圆柱柱面上, 再顺着过南、北极点的圆柱母线将圆柱柱面剪开, 展成平面, 如图 1-5b) 所示, 这个平面就是高斯投影平面。在高斯投影平面上, 中央子午线投影为直线且长度不变, 赤道投影后为一条与中央子午线正交的直线, 离开中央子午线的线段投影后均要发生变形, 且均较投影前长一些。离开中央子午线越远, 长度变形越大。

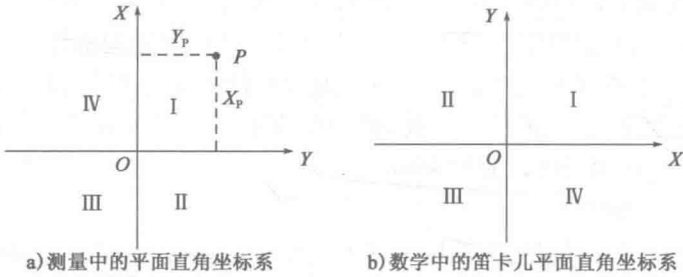


图 1-4 测量坐标系与数学坐标系的区别

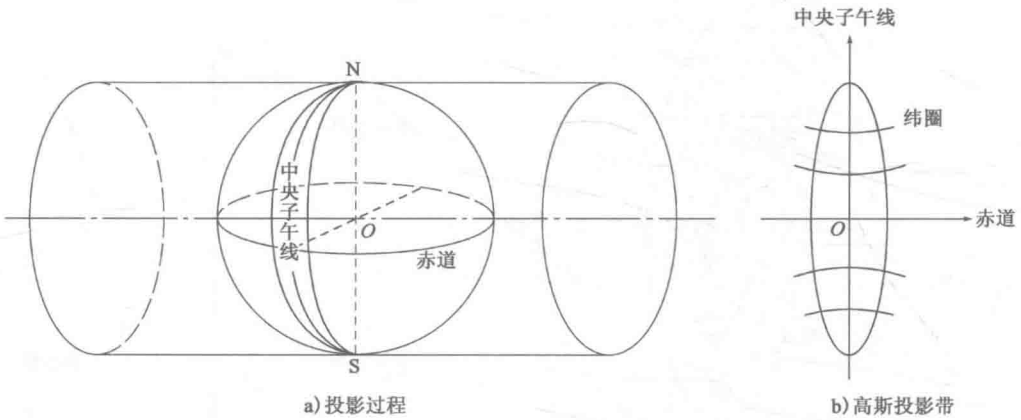


图 1-5 高斯投影

为使投影误差不致影响测图精度, 规定以经差  $6^\circ$  或更小的经差为准来限定高斯投影的范围, 每一投影范围称为一个投影带。如图 1-6a) 所示,  $6^\circ$  带是从  $0^\circ$  子午线算起, 以经度每隔  $6^\circ$  为一带, 将整个地球划分成 60 个投影带, 并用阿拉伯数字 1, 2, ..., 60 顺次编号, 称为高斯  $6^\circ$  投影带(简称  $6^\circ$  带)。  $6^\circ$  带中央子午线经度  $L_0$  与投影带号  $N$  之间的关系为:

$$L_0 = 6N - 3 \tag{1-1}$$

式中:  $N$ —— $6^\circ$  带的号数。

**【例 1-1】** 某城市中心的经度为  $118^\circ 50'$ , 求其所在高斯投影  $6^\circ$  带的中央子午线经度  $L_0$  和投影带号  $N$ 。

**解:** 根据题意, 其高斯投影  $6^\circ$  带的带号为:

$$N = \text{INT}\left(\frac{118^\circ 50'}{6} + 1\right) = 20 \quad [\text{INT}(\quad): \text{取整函数}]$$



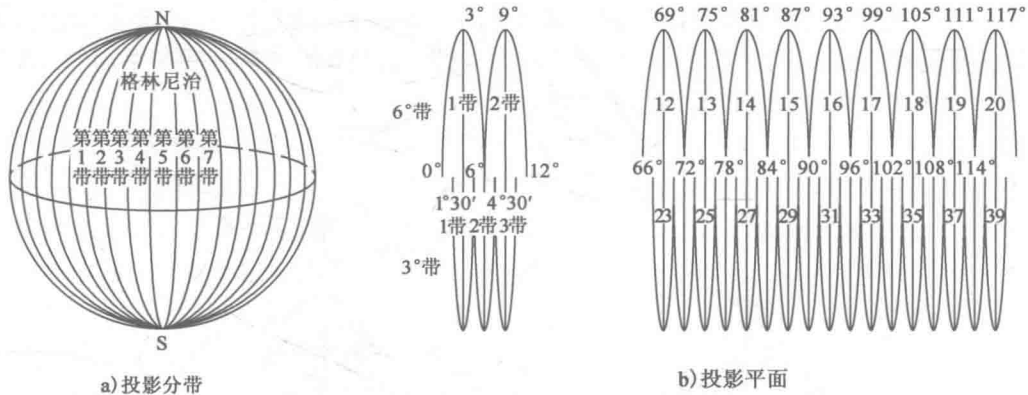


图 1-6 高斯投影平面

中央子午线经度为:

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

对于大比例尺测图,则需采用 $3^\circ$ 带或 $1.5^\circ$ 带来限制投影误差。 $3^\circ$ 带与 $6^\circ$ 带的关系如图 1-6b)所示。 $3^\circ$ 带是以东经 $1^\circ 30'$ 开始,以经度每隔 $3^\circ$ 为一带,将整个地球划分成 120 个投影带,每带中央子午线的经度 $L'_0$ 可按下式计算:

$$L'_0 = 3n \quad (1-2)$$

式中: $n$ —— $3^\circ$ 带的号数。

采用分带投影后,由于每一投影带的中央子午线经投影展开后是一条直线,其长度不变形,以此直线为坐标纵轴,即 $X$ 轴(向北为正);赤道经投影展开后是一条与中央子午线相正交的直线,将它作为横轴,即 $Y$ 轴(向东为正);取两正交直线的交点为坐标原点,则组成高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球,纵坐标均为正值,横坐标则有正有负,如图 1-7a)所示, $Y_A = +148\ 680.54\text{m}$ , $Y_B = -134\ 240.69\text{m}$ 。为了避免横坐标出现负值,规定将坐标纵轴向西平移 $500\text{km}$ ,坐标纵轴西移后, $Y_A = 500\ 000 + 148\ 680 = 648\ 680.54(\text{m})$ , $Y_B = 500\ 000 - 134\ 240.69 = 365\ 759.31(\text{m})$ 。为了根据横坐标确定该点位于哪一个 $6^\circ$ 带,还应在横坐标值前冠以带号。如图 1-7b)中所示的横坐标为: $Y_A = 20\ 648\ 680.54(\text{m})$ , $Y_B = 20\ 365\ 759.31(\text{m})$ ,最前两位数 20 表示带号。

高斯平面直角坐标系的应用大大简化了测量计算工作,它把在椭球体面上的观测元素全部改化到高斯平面上进行计算,这比在椭球体面上解算球面图形要简单得多。在公路工程测量中也经常应用高斯平面直角坐标,如高速公路的勘测设计和施工测量就是在高斯平面直角坐标系中进行的。

## 2) 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程或海拔,简称高程。它与地面点的坐标共同确定地面点的空间位置。在图 1-8 中地面点 $A$ 、 $B$ 的高程分别为 $H_A$ 、 $H_B$ 。

国家高程系统的建立通常是在海边设立验潮站,经过长期观测推算出平均海水面的高度,并以此为基准在陆地上设立稳定的国家水准原点。我国曾采用青岛验潮站 1950~1956 年观测资料推算黄海平均海面作为高程基准面,称为“1956 年黄海高程系”,并在青岛观象山的