

高等职业教育土建专业系列教材

丛书主编 徐占发
本册主编 陈学平

新规范
新标准

测量学

CELIANGXUE

中国建材工业出版社

高等职业教育土建专业系列教材

测 量 学

主 编 陈学平
副主编 周春发 董晓丽
参 编 杨淑靖

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/陈学平主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2004.1

(高等职业教育土建专业系列教材)

ISBN 7-80159-541-6

I. 测... II. 陈... III. 测量学-高等学校: 技术学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 117592 号

测 量 学

陈学平 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 380 千字

版 次: 2004 年 1 月第 1 版

印 次: 2004 年 1 月第 1 次

印 数: 1 ~ 3000 册

书 号: ISBN 7 - 80159 - 541 - 6/TU·276

定 价: 33.00 元

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010)68345931

《高等职业教育土建专业系列教材》编委会

主任：成运花 北京城市学院教务长、研究员
副主任：徐占发 北京城市学院教授、土建专业主任
杨文锋 长安大学应用技术学院副教授、副院长
秘书长：李文利 北京城市学院副教授
委员：（按汉语拼音先后顺序）

包世华 清华大学教授
陈乃佑 北京城市学院副教授
陈学平 北京林业大学教授
成荣妹 长安大学副教授
崔玉玺 清华大学教授
董和平 北京城市学院讲师
董晓丽 北京城市学院讲师
龚伟 长安大学副教授
龚小兰 深圳职业技术学院副教授
姜海燕 北京城市学院讲师
靳玉芳 北京城市学院教授（兼职）
刘宝生 北方交通大学副教授
刘晓勇 河北建材学院副教授
李国华 长安大学副教授
李文利 北京城市学院副教授
栗守余 长安大学副教授
马怀忠 长安大学副教授
田培源 北京城市学院讲师
王茹 北京城市学院副教授
王旭鹏 北京城市学院副教授
杨秀芸 北京城市学院副教授
张保兴 长安大学副教授
张玉萍 河北建材学院副教授

顾问：（按汉语拼音先后顺序）

江见鲸 清华大学教授
罗福午 清华大学教授

序

大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的专业理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务岗位等第一线急需的高等职业应用型专门人才,是实施科教兴国战略的重大决策。高等职业院校的专业设置、教学内容体系、课程设置和教学计划安排均应突出社会职业岗位的需要、实践能力的培养和应用型的教学特色。其中,教材建设是基础和关键。

高等职业教育土木建筑专业系列教材是根据最新颁布的国家和行业标准、规范,按照高等职业教育人才培养目标及教材建设的总体要求、课程的教学要求和大纲,由北京城市学院(原海淀走读大学)和中国建材工业出版社组织全国部分有多年高等职业教育教学体会与工程实践经验的教师编写而成。

本套教材是按照3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划和经反复修订的各门课程大纲编写的。基础理论课程以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课以最新颁布的国家和行业标准、规范为依据,反映国内外先进的工程技术和教学经验,加强实用性、针对性和可操作性,注意形象教学、实验教学和现代教学手段的应用,并加强典型工程实例分析。

本套教材适用范围广泛,努力做到一书多用。在内容的取舍上既可作为高职高专教材,又可作为电大、职大、业大和函大的教学用书,同时,也便于自学。本套教材在内容安排和体系上,各教材之间既是有机联系和相互关联的;每本教材又具有独立性和完整性。因此,各地区、各院校可根据本身的教学特点择优选用。

北京城市学院是办学较早、发展很快、高职高专办学经验丰富并受到社会好评的一所民办公助高等院校。其中,土建专业是最早设置且有较大社会影响的专业之一,有10多名教学和工程实践经验丰富的双师型教师,出版了一批受欢迎的专业教材。

可以相信,由北京城市学院组编、中国建材出版社出版发行的这套高等职业教育土建专业系列教材一定能成为受欢迎的、有特色的、高质量的系列教材。

本教材编委会

2003年2月

前 言

测量学是研究空间点位的定位技术，是一门极其实用的工程技术，它为国民经济建设提供基础性资料。在农林资源调查、城镇规划与建设、土地规划与利用、工业与民用建筑施工、水利工程、道路交通工程、房地产管理等方面都有重要作用，使用范围广，内容丰富。本教材的编写强调理论与实践相结合，突出实践与应用，内容取舍以“必需与够用”为标准，叙述力求概念明确，原理阐述简明扼要，操作步骤叙述条文化，配以较多实例（包括相应的记录计算表格），便于实践。

教材共 15 章及附录，可以分为五大部分：第一部分（第 1 章～第 5 章）为测量学基础部分，阐述测量学基本知识及普通测量仪器的使用；第二部分（第 6 章～第 8 章）为测图与用图部分，介绍小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘以及地形图的应用；第三部分为专业测量部分，包括面积测定、房地产图的测绘、工民建的施工测量、公路工程测量、管道工程测量等，不同专业根据需要选用；第四部分（第 15 章）为测绘新技术，重点介绍全站仪、数字化测图以及 GPS 全球定位系统；第五部分为附录部分，主要是测量实习指导书，以便于教学。本教材编写的各项技术指标按照最新的国家标准《工程测量规范》，名词术语遵照最新的国家标准《工程测量基本术语标准》。

本教材主编为陈学平教授（北京林业大学），副主编为周春发副教授（中国农业大学）和董晓丽讲师（北京城市学院），参编者为长安大学杨淑靖副教授。具体分工是：陈学平编写第 1～5 章及附录。董晓丽编写第 6 章、第 7 章、第 11 章。杨淑靖编写第 8 章、第 9 章、第 12 章。周春发编写第 10 章、第 13 章、第 14 章、第 15 章。

本教材编写中参考了兄弟院校几十种教材及有关文献，总结了编者长期从事测量教学的经验。但由于编者水平所限，错漏之处在所难免，望读者批评指正。

编者

2003 年 9 月于北京

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 测量学的定义、任务、分科及其在国民经济建设中的作用	1
1.2 地面点位的确定	3
1.3 用水平面代替水准面的限度	8
1.4 测量工作概述	10
练习题	12
第 2 章 水准测量	13
2.1 水准测量的原理	13
2.2 水准测量的仪器与工具	14
2.3 水准仪的使用	17
2.4 水准测量外业	19
2.5 水准测量的检核	21
2.6 附和与闭合水准测量内业计算	23
2.7 微倾水准仪的检验与校正	25
2.8 水准测量误差的分析	28
2.9 几种新式水准仪简介	30
练习题	32
第 3 章 角度测量	34
3.1 水平角测量的原理	34
3.2 经纬仪的分类、DJ6 级光学经纬仪的构造与读数	34
3.3 DJ2 级光学经纬仪的构造与读数	37
3.4 经纬仪的使用	38
3.5 水平角的观测	40
3.6 竖直角测量原理与观测法	44
3.7 经纬仪的检验与校正	47
3.8 角度测量误差分析	52

3.9 电子经纬仪简介	55
练习题	57
第4章 距离测量与直线定向	60
4.1 量距工具	60
4.2 一般量距方法	61
4.3 钢尺检定	63
4.4 精密量距的方法	64
4.5 红外光电测距仪简介	68
4.6 直线定向	73
练习题	77
第5章 测量误差理论的基本知识	79
5.1 测量误差概述	79
5.2 衡量观测值精度的标准	82
5.3 误差传播定律	84
5.4 等精度观测值的平差	89
练习题	92
第6章 小地区控制测量	94
6.1 控制测量概述	94
6.2 导线测量	96
6.3 控制点的加密	104
6.4 三、四等水准测量	108
6.5 三角高程测量	111
练习题	112
第7章 地形图的测绘	114
7.1 地形图基本知识	114
7.2 地物表示方法	116
7.3 地貌表示方法	119
7.4 视距测量	121
7.5 测图前的准备工作	124
7.6 地形图的测绘方法	126
7.7 地形图的绘制	132

练习题	134
第 8 章 地形图的应用	135
8.1 地形图的阅读	135
8.2 地形图应用的基本内容	137
8.3 地形图在工程设计中的应用	139
8.4 地形图在平整土地中的应用	141
8.5 地形图在城市建设中的应用	143
练习题	145
第 9 章 面积测定	147
9.1 面积测定概述	147
9.2 图解法与解析法	147
9.3 网格法	149
9.4 纵距和法	150
9.5 机械求积仪法	150
9.6 控制法	153
9.7 电子求积仪法	154
练习题	157
第 10 章 房地产图的测绘	158
10.1 房地产测绘概述	158
10.2 界址点测量	160
10.3 房产分幅平面图的测绘	163
10.4 房产分丘图和分层分户图测绘	170
10.5 房屋建筑面积和用地面积的量算	174
练习题	180
第 11 章 测设的基本工作	181
11.1 水平距离、水平角和高程的测设	181
11.2 点的平面位置的测设方法	184
11.3 已知设计坡度线的测设方法	186
练习题	187

第 12 章 工业与民用建筑中的施工测量	188
12.1 施工测量概述	188
12.2 施工控制网测量	189
12.3 民用建筑施工测量	194
12.4 高层建筑施工测量	201
12.5 工业厂房测量	202
12.6 建筑物变形观测	206
练习题	212
第 13 章 公路工程测量	213
13.1 公路测量概述	213
13.2 公路中线测量	214
13.3 圆曲线主点测设	218
13.4 圆曲线细部测设	220
13.5 复曲线与反向曲线的测设	225
13.6 缓和曲线的测设	226
13.7 高速公路测量简介	235
13.8 路线纵断面水准测量	239
13.9 路线横断面水准测量	243
13.10 公路竖曲线测设	247
13.11 土石方的计算	249
13.12 桥梁施工测量	250
练习题	253
第 14 章 管道工程测量	255
14.1 管道工程测量概述	255
14.2 管道中线测量	255
14.3 管道纵横断面测量	257
14.4 管道施工测量	261
练习题	264
第 15 章 测绘新技术	266
15.1 全站仪的结构	266
15.2 全站仪的使用	270

15.3 数字化测图概念	282
15.4 数字化测图实施	284
15.5 全球定位系统的组成	289
15.6 GPS 卫星定位的基本原理	291
练习题	296
附录 1 测量常用计量单位及换算	297
附录 2 测量实习指导书	299
附录 3 北京市大比例尺地形图分幅编号	329
参考文献	330

第1章 绪 论

1.1 测量学的定义、任务、分科及其在国民经济建设中的作用

1.1.1 定义

测量学是研究如何对自然地理要素和人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息进行处理、存储、管理的一门应用科学。其核心问题是研究如何测定点的空间位置。

1.1.2 任务

1. 测绘 使用测量仪器,通过测量与计算,将地面的地物地貌缩绘成图,供工程建设和行政管理之用。

2. 测设 将图上设计建(构)筑物的图形和位置在实地标定出来,作为施工或定界的依据,又称放样。

1.1.3 测绘学分科

测绘是测量和制(绘)图的总称。测绘学按照研究的对象与范围的不同分成许多分科,测量学就是其中的一个分科。随着科学的发展,测绘学分科越来越细,现介绍下列几个分科。

1. 大地测量学 研究地球的大小和形状,研究大范围地区的控制测量和地形测量以及地球重力场等问题。由于人造卫星科学技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学与卫星大地测量学,后者是研究观测卫星确定地面点位,即 GPS 全球定位。

2. 普通测量学 研究地球表面局部区域的测绘工作,主要包括小区域控制测量、地形图测绘和一般工程测设。

3. 工程测量学 研究各种工程在规划设计、施工放样和运营中测量的理论和方法。

4. 摄影测量学 研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息,以确定物体的形状、大小和空间位置等信息的理论和方法。

5. 地图制图学 研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门学科。

本教材包括普通测量学与工程测量学的部分内容。

1.1.4 在国民经济建设中的作用

测绘对经济建设和国防建设,国家管理和人民生活都有重要作用。在国家建设和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一。各种规划首先需要测制规划区的地形图。在各种工程建设中测绘是一项重要的前期工作,有精确的测绘成果和地形图,才能保证工程的选址、选线、设计得出经济合理的方案和施工建设的正常运行。在军事活动中,军事测量和军用地图的作用尤为明显。特别是现代大规模的诸兵种协同作战,精确的测绘成果更是不可缺少的重要保障。在国家的各级管理工作中,从工农业生产建设的计划组织和指挥,土地和地籍管理,交通、邮电、商业、文教卫生和各种公用设施的管理,以及社会治安等各个方面,测量和地图资料已成为不可缺少的重要工具。各种地图和测量成果对于人们提高科学文化水平很有帮助,在人们日常生活和社会活动中,一图在手往往会带来很大方便。

测绘是一种先行性的工作,它必须根据国家经济建设、国防建设和社会发展的需要,提前提供有关的测绘资料。测绘又是一种基础性的工作,关系着各项建设的效益和质量保障。

1. 城乡规划和发展离不开测绘 搞好城乡建设规划,首先要有现势性好的地图,提供城市和村镇面貌的动态信息,以促进城乡建设的协调发展。

2. 资源勘察与开发离不开测绘 从确定勘探地域到最后绘制地质图、地貌图、矿藏分布图等,都需要用测绘技术手段。

3. 交通运输、水利建设离不开测绘 铁路公路的建设从选线、勘测设计,到施工建设都离不开测绘。大、中水利工程也是先在地形图上选定河流、渠道和水库的位置,划定流域面积,再测得更详细的地图作为河渠布设、水库及坝址选择、库容计算和工程设计的依据。

4. 国土资源调查、土地利用和土壤改良离不开测绘 建设现代化的农业,首先要进行土地资源调查,摸清土地“家底”,而且还要充分认识各地区的具体条件,进而制定出切实可行的发展规划。测绘为这些工作提供了一个有效的工具。

5. 科学试验、高技术发展离不开测绘 发展空间技术是一项庞大的系统工程,要成功地发射一颗人造地球卫星,首先要精心设计、制造、安装、调试、轨道计算,再进行发射。如果没有测绘保障,就很难确定人造卫星的发射坐标点和发射方向,以及地球引力场对卫星飞行的影响等,因而也就不能将人造卫星准确地送入预定轨道。

6. 工程建设离不开测绘 工程建设中的测绘包括工程建设勘测,设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作,它是直接为各项建设项目的勘测、设计、施工、安装、竣工、监测以及营运管理等一系列工程工序服务的。没有测

量工作为工程建设提供数据和图纸，并及时与之配合和进行指挥，任何工程建设都无法进展和完成。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 测量的基准线与基准面

1. 基准线 测量工作是在地球表面上进行的，地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用，这两个力的合力称重力，重力的方向线称为铅垂线。测量仪器悬挂垂球，指向重力方向，铅垂线就是测量的基准线。

2. 基准面 测量工作开始时，通常要把仪器安置在水平的状态。是否水平要借助于仪器上的水准气泡来判断。对很小的范围而言，水面是一个水平面，实际上是一个曲面，我们把水面称为水准面。水准面上任意一点都和重力的方向相垂直。空间任何一点都有水准面，处处和重力方向相垂直的曲面均称水准面，水准面就是测量的基准面。和水准面相切的平面则称为水平面。水准面有无穷多个，其中一个和平均的海水面重合，我们称之为大地水准面，它是又一个测量的基准面。中学地理所讲的海拔高度就是从大地水准面起算的高度。

我们知道海水面约占地球表面的 71%，把大地水准面延伸所包围整个地球的形体最能代表地球的形状，这个形体称为大地体。但是由于地球内部质量分布不均匀，使铅垂线方向变化无规律性，因而使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面，如图 1-1a 所示。

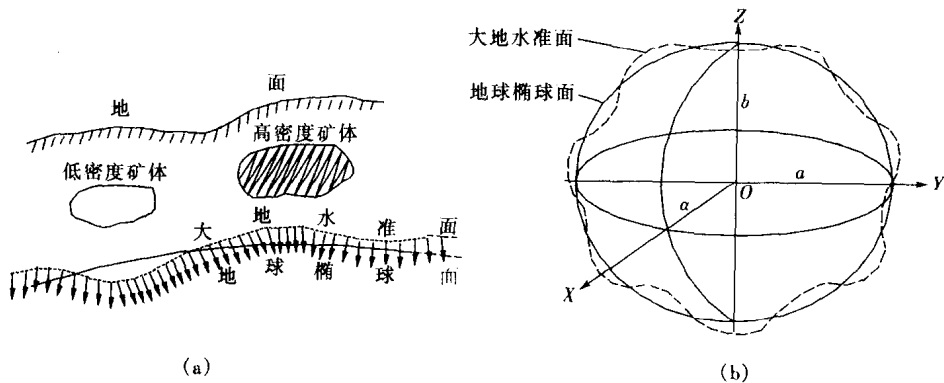


图 1-1

大地水准面不规则的起伏，形成的大地体不是规则的几何球体，其表面不是数学曲面，如图 1-1b 虚线所示。在这样复杂的曲面上无法进行测量数据的处理。由于地球非常接近一个旋转椭球（由椭圆旋转而得），所以测量上选择可用数学公式描述的旋转椭球代替大地体，如图 1-1b 实线所示。地球椭球的

参数可用 a (长半径)、 b (短半径) 及 α (扁率) 表示。扁率 α 为

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

1979 年国际大地测量与地球物理联合会推荐的地球椭球参数 $a = 6\,378\,140\text{m}$, $b = 6\,356\,755.3\text{m}$, $\alpha = 1:298.257$ 。

当 $\alpha = 0$, 椭球就成了圆球。旋转椭球面是数学表面, 可用如下的公式表示:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{a}\right)^2 + \left(\frac{z}{b}\right)^2 = 1 \quad (1-2)$$

按一定的规则将旋转椭球与大地体套合在一起, 这项工作称椭球定位。定位时采用椭球中心与地球质心重合, 椭球短轴与地球短轴重合, 椭球与全球大地水准面差距的平方和最小, 这样的椭球称总地球椭球。但是各国为测绘本国领土而采用另一种定位法, 如图 1-2 所示, 地面上选一点 P , 由 P 点投影到大地水准面得 P' 点, 在 P 点定位椭球使其法线与 P' 点的铅垂线重合, 并要求 P' 上的椭球面与大地水准面相切, 该点称为大地原点。同时要还使旋转椭球短轴与地球短轴相平行 (不要求重合), 达到本国范围内的大地水准面与椭球面十分接近, 该椭球面称为参考椭球面。我国大地原点选在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。

1.2.2 地面点位的确定

确定地面点的空间位置需 3 个参数: X (纵坐标), Y (横坐标), H (高程) 或 λ (经度), φ (纬度), H (高程)。

从整个地球考虑点的位置, 通常是用经纬度表示。用经纬度表示点的位置, 称为地理坐标。

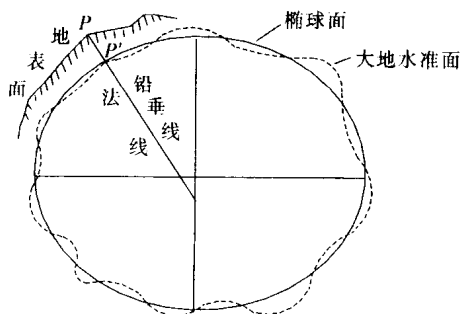


图 1-2

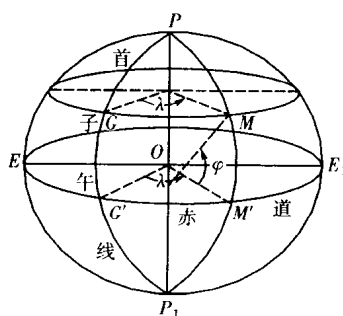


图 1-3

如图 1-3 所示, PP_1 为地球旋转轴, O 为地心。通过地球旋转轴的平面称子午面, 子午面与地球表面的交线称子午线 (经线)。通过格林尼治天文台 G 的子午线称首子午线。 M 点的子午面 $PMM'P_1$ 与首子午面所组成的二面角, 用

λ 表示, 称为 M 点的经度。经度由首子午面向东向西各 $0^\circ \sim 180^\circ$, 以东的称东经, 以西的称为西经。我国在东半球, 各地的经度都是东经。通过地心 O 与地球旋转轴 PP_1 垂直的平面 $EG'M'E_1$, 称为赤道平面。赤道平面与地球表面的交线称为赤道。过 M 点的铅垂线与赤道面 $EG'M'E_1$ 的夹角 φ 称 M 点的纬度。向北向南各 $0^\circ \sim 90^\circ$, 以北称北纬, 以南称南纬。我国在北半球, 各地的纬度都是北纬。

1. 地面点在投影面上的坐标

(1) 独立平面直角坐标系: 大地水准面虽是曲面, 但当测量区域较小时 (半径小于 10km 范围), 可以用测区的切平面代替椭球面作为基准面。在切平面上建立独立平面直角坐标系, 如图 1-4 所示。规定南北方向为纵轴, 记为 X 轴, X 轴向北为正, 向南为负。 X 轴选取的方式有 3 种: ①真南北方向; ②磁南北方向; ③建筑物的南北主轴线。以东西方向为横轴, 记为 Y 轴。 Y 轴向东为正, 向西为负。象限按顺时针编号。这些规定与数学上平面直角坐标系正相反, X 轴与 Y 轴互换, 象限排列也不同, 其目的是为了把数学的公式直接运用到测量上。为避免坐标出现负值, 将原点选在测区的西南角。

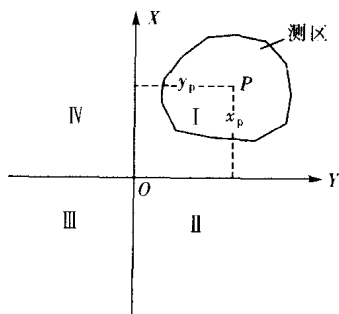


图 1-4

(2) 高斯独立平面直角坐标系: 当测区范围较大, 不能把水准面当做水平面。把地球椭球面上的图形展绘到平面上, 必然产生变形。为了减少变形误差, 采用一种适当的投影方法, 就是高斯投影。

1) 高斯投影的方法。高斯投影是将地球划分为若干个带, 先将每个带投影到圆柱面上, 然后展成平面。我们可以设想将一个空心的椭圆柱横套地球, 使椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心。将地球按 6° 分带, 从 0° 起算往东划分, $0^\circ \sim 6^\circ$, $6^\circ \sim 12^\circ$, $\dots$, $174^\circ \sim 180^\circ$, 东半球共分 30 个投影带, 按带进行投影。进行第 1 带投影时, 使地球 3° 经线与圆柱面相切, 3° 经线长度不变形。进行第 2 带投影时, 则转地球使 9° 经线与圆柱面相切, 9° 经线不变形。各带中央的一条经线, 例如第 1 带的 3° 经线, 第二带的 9° 经线, 称为中央经线。因各带中央经线与圆柱面相切, 所以中央经线投影后不变形, 而两边经线投影后有变形, 但是由于 6° 分带, 所以变形很小。赤道投影后成一条直线。图 1-5 为高斯投影分带情况, 图 1-5 中上半部为 6° 度带分带情况, 下半部为 3° 度带分带情况, $1^\circ 30' \sim 4^\circ 30'$ 为第 1 带, $4^\circ 30' \sim 7^\circ 30'$ 为第 2 带, 余类推。我国领土位于 6° 带的 13 ~ 23 带。

2) 高斯投影的特点:

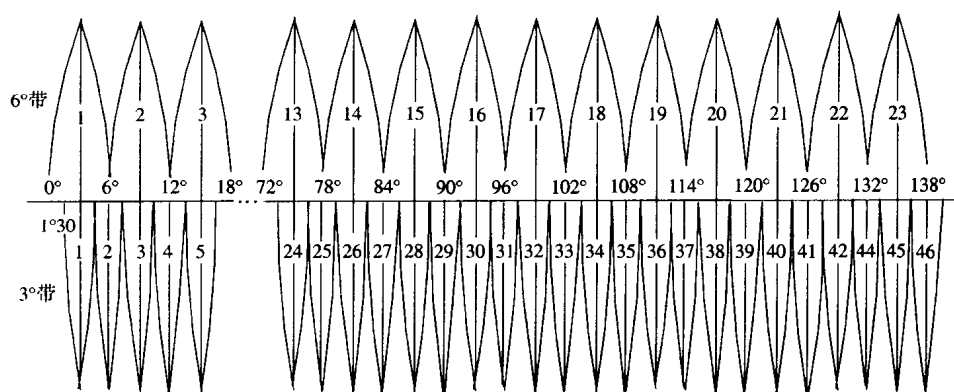


图 1-5

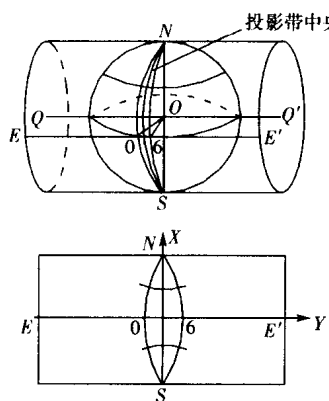


图 1-6

①等角：即椭球面上图形的角度投影到平面之后，其角度相等，无角度变形，但距离与面积稍有变形。

②中央经线投影后仍为直线，且长度不变形。见图 1-6。因此用这条直线作为平面直角坐标系的纵轴，即 X 轴。而两侧其他经线投影后呈向两极收敛的曲线，并与中央经线对称，距中央经线越远长度变形越大。

③赤道投影也为直线。因此，这条直线作为平面直角坐标的横轴，即 Y 轴。南北纬线投影后呈弯向两极的曲线，且与赤道投影对称。

高斯投影各带构成独立的坐标系，中央经线为 X 轴，赤道投影为 Y 轴，两轴的交点为坐标原点。我国位于北半球，所以纵坐标 X 均为正。横坐标有正有负。如图 1-7a 所示，设 $Y_A = +137\ 680\text{m}$ ，

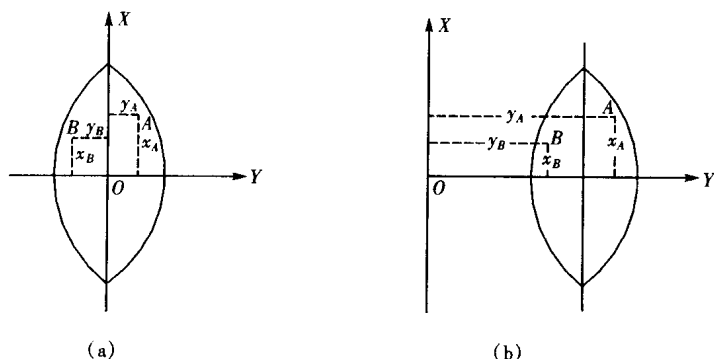


图 1-7