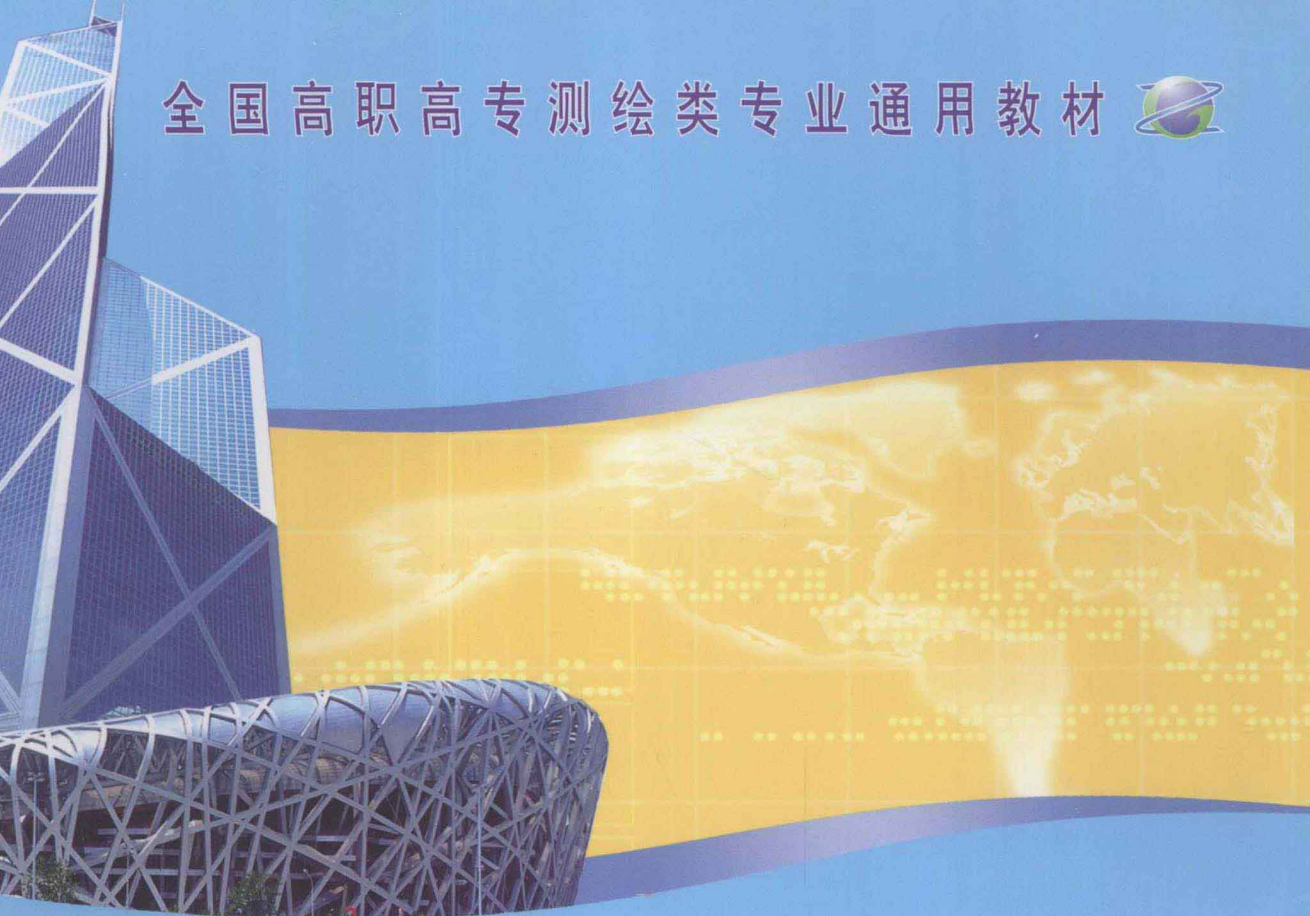


全国高职高专测绘类专业通用教材 



# 道路工程测量

ROAD ENGINEERING SURVEY

杨建光 主编



测绘出版社

# 全国高职高专测绘类专业通用教材

《控制测量》

《控制测量实训指导书》

《地籍与房产测量》

《地理信息系统》

《测量平差》

《测量平差实训指导书》

《道路工程测量》

《道路工程测量实训指导书》

《数字化测图》

《地形测量》

《地形测量实训指导书》

《建筑工程测量》

《建筑工程测量实训指导书》

《工程测量》

《工程测量实训指导书》

《GPS测量技术》

《测绘工程CAD》

《测绘工程管理》

《摄影测量与遥感》

ISBN 978-7-5030-1959-3



9 787503 019593 >

定价：29.00元



全国高职高专测绘类专业通用教材

# 道路工程测量

Road Engineering Survey

杨建光 主编

测绘出版社

· 北京 ·

© 杨建光 2010

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

### 内 容 简 介

本书是编者在总结教学经验的基础上,突出“工学结合”人才培养模式编写的一本高职高专教材。全书共分为13章,系统阐述了道路工程测量的基本理论和方法。具体内容包括测量基础知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、全站仪测量、控制测量、卫星定位测量简介、地形图测绘、施工测量方法、道路中线测量、路线纵横断面测量、道路施工测量、测量误差基础知识。并在每章后面附有思考题,使读者在学习各章节后便于总结和回顾。

本书可作为测绘类专业高职高专学生和本科生的教材,也可供相关专业人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

道路工程测量/杨建光主编. —北京:测绘出版社, 2010.2 (2011.8重印)

全国高职高专测绘类专业通用教材

ISBN 978-7-5030-1959-3

I. 道… II. 杨… III. 道路测量—高等学校:技术学校—教材 IV. U412.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015174 号

|      |                     |      |                  |      |         |
|------|---------------------|------|------------------|------|---------|
| 责任编辑 | 贾晓林                 | 封面设计 | 李 伟              | 责任校对 | 董玉珍 李 艳 |
| 出版发行 | 测绘出版社               |      |                  |      |         |
| 地 址  | 北京市西城区三里河路 50 号     | 电 话  | 010-68531160(营销) |      |         |
| 邮政编码 | 100045              |      | 010-68531609(门市) |      |         |
| 电子信箱 | smp@sinomaps.com    | 网 址  | www.sinomaps.com |      |         |
| 印 刷  | 北京金吉士印刷有限责任公司       | 经 销  | 新华书店             |      |         |
| 成品规格 | 184mm×260mm         |      |                  |      |         |
| 印 张  | 13.5                | 字 数  | 330 千字           |      |         |
| 印 次  | 2011 年 8 月第 2 次修订印刷 | 版 次  | 2010 年 2 月第 1 版  |      |         |
| 印 数  | 2001—5000           | 定 价  | 29.00 元          |      |         |

书 号 ISBN 978-7-5030-1959-3/P·463

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

# 全国高职高专测绘类专业通用教材

## 编委会名单

顾问：宁津生

主任委员：赵文亮

副主任委员：陈平

委员：（按姓氏笔画排列）

王晓春 全志强 杨建光 林玉祥

金君 周园 赵国忱 洪波

聂俊兵 黄华明 薄志毅

## 参编学校及生产单位

(排名不分先后)

山西交通职业技术学院

山西建筑职业技术学院

天津铁道职业技术学院

无锡水文工程地质勘察院

中国科学院地理所

中国第二冶金建设有限责任公司

甘肃工业职业技术学院

甘肃林业职业技术学院

石家庄铁道学院

石家庄职业技术学院

本溪市桓仁满族自治县国土资源局

包头铁道职业技术学院

辽宁工程技术大学职业技术学院

辽宁地质工程职业学院

辽宁林业职业技术学院

辽宁省交通高等专科学校

辽宁科技学院

扬州环境资源职业技术学院

成都理工大学

江西环境工程职业学院

沈阳农业大学高等职业技术学院

张家口职业技术学院

武汉电力职业技术学院

郑州测绘学校

河北工程技术高等专科学校

河北政法职业学院

陕西铁路工程职业技术学院

徐州市众望装饰装修监理有限公司

徐州建筑职业技术学院

胶州市规划局

浙江水利水电高等专科学校

黑龙江农业职业技术学院

湖北水利水电职业技术学院

新疆工业高等专科学校

# 序

当今中国正处于国家信息化大潮之中,国家要通过推进信息化,促进现代化,加速我国经济、社会的发展。正是在国家信息化建设的大背景下促使测绘信息化的发展。国民经济建设和社会可持续发展对诸如时间、空间、属性这类地理空间信息或者说广义测绘信息的需求也在迅速增长。测绘学科和行业在国家信息化和现代化建设中发挥着越来越重要的作用。为了适应国家信息化建设的需求,测绘正开始步入信息化测绘新阶段。由此对测绘人才队伍建设提出了更高的要求。

我国的高等职业教育作为高等教育的重要组成部分,近年来得到了迅速发展,初步形成了适应我国社会主义现代化建设的高等职业教育体系,大大提高了服务社会的能力,也为我国测绘行业培养了大量高素质的技能型测绘专门人才。他们在全国测绘生产、企业部门,形成一支强有力的骨干力量。目前,我国的高职高专教育正处于探索和改革的重要阶段,其主要任务是加强内涵建设,提高教育质量,重点在于提高人才培养质量,因此要努力抓好实践教学和基础课两个课程体系建设,并使两个体系相互交融。通过课程体系、教学内容和教学方法的改革,让专业与职业有效结合,提高学生学习专业与市场需求的吻合度,增强就业竞争能力。因此在我国当前的高职高专教育的教学改革中,以工作过程为导向,突出“工学结合”,融“教、学、做”于一体的教学理念逐渐成为主导。

为了更好地配合高职高专教育教学改革,探索、开发与“工学结合”人才培养模式相适应的高职高专教育测绘类专业课程体系,加快培养能够满足生产、建设、服务和管理第一线需要的测绘类高技能实用人才,测绘出版社组织全国30多所高职高专院校中在教学一线工作的骨干教师和生产单位的专家,结合目前测绘技术的最新发展趋势及社会实际生产的技能需求,编写了这一套兼顾通用性与特色、适合高职高专教育测绘类专业的通用教材。

该套教材以高职高专教育教学改革的基本方向和总体要求为指导,从工作岗位和工作任务出发,以培养职业能力为本位,将生产中的实用技术、新技术更多地融入教材内容,很好地使行动导向与理论导向有机地结合,贯彻“工学结合”的编写主旨,表现出体系完整、联系紧密、通用性强、实用性好的特点,既适合高职高专教育测绘类专业教学使用,也可供相关专业工程技术人员学习参考,必将在推动测绘学科建设、促进高职高专教育测绘类专业教学改革和加快测绘类高技能实用人才的培养等诸多方面发挥积极的推动作用。



教育部高等学校测绘学科教学指导委员会主任  
中国测绘学会测绘教育工作委员会主任

中国工程院院士

2009年6月

# 前 言

本书是根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)的文件精神,为配合高职高专教育教学改革,探索、开发与“工学结合”人才培养模式相适应的高职高专教育测绘类专业课程体系,组织全国20多所高职高专院校的骨干教师和生产一线的专家所编写的全国高职高专教育测绘类专业通用教材之一。

本书是在高职高专道路桥梁工程技术专业开设的工程测量课程的基础上精心编写的,是传统的测量理论与道路桥梁建设所需测量知识的有机统一。

本书具有如下特点:

(1)针对道路桥梁专业只开设一门测量课程的特点,本书前八章重点介绍测量基础知识,基本涵盖了地形测量的全部内容。

(2)第九章至第十二章重点介绍道路工程施工测量的方法、道路中线测量、路线纵横断面测量和道路施工测量。

(3)对于道路桥梁专业来说,测量误差基本上分散在各章中介绍,测量误差基础知识一章放在最后,供学习时参考。

(4)本书引用现行的工程测量规范 GB 50026—2007。

在本书的编写过程中,参阅了大量的文献资料,引用了同类书刊中部分内容与实例,在此谨向有关单位和作者表示衷心的感谢!

本书由杨建光担任主编。编写人员及分工为:李培荣编写第1至第4章、第13章;贾军编写第5至第8章;刘玉江编写第9、10章;杨建光编写第11、12章。全书由杨建光统稿,赵国忱审阅。在本书的编写过程中,得到了林乐胜老师的大力支持,在此表示衷心的感谢!

建议本书全部内容在100~120学时内完成,各院校亦可根据各自不同的需要,对教学内容和所需教学课时酌情选定。

由于时间仓促,加之作者水平所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请使用本书的老师 and 广大读者提出宝贵意见,以便进一步修正和完善。

编 者

2009年8月

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 测量基础知识 .....        | 1  |
| § 1.1 概述 .....            | 1  |
| § 1.2 地面点位的确定 .....       | 2  |
| § 1.3 用水平面代替水准面的限度 .....  | 6  |
| § 1.4 测量工作的基本原则 .....     | 8  |
| 思考题 .....                 | 9  |
| 第 2 章 水准测量 .....          | 10 |
| § 2.1 水准仪的认识与使用 .....     | 10 |
| § 2.2 普通水准测量 .....        | 15 |
| § 2.3 微倾式水准仪的检验与校正 .....  | 19 |
| § 2.4 自动安平水准仪 .....       | 23 |
| § 2.5 水准测量误差分析 .....      | 24 |
| 思考题 .....                 | 26 |
| 第 3 章 角度测量 .....          | 28 |
| § 3.1 光学经纬仪的认识与使用 .....   | 28 |
| § 3.2 水平角测量 .....         | 32 |
| § 3.3 竖直角测量 .....         | 34 |
| § 3.4 经纬仪的检验与校正 .....     | 37 |
| § 3.5 电子经纬仪简介 .....       | 40 |
| § 3.6 角度测量误差分析及注意事项 ..... | 41 |
| 思考题 .....                 | 43 |
| 第 4 章 距离测量与直线定向 .....     | 45 |
| § 4.1 钢尺量距 .....          | 45 |
| § 4.2 光电测距 .....          | 51 |
| § 4.3 视距测量 .....          | 53 |
| § 4.4 直线定向 .....          | 57 |
| 思考题 .....                 | 60 |
| 第 5 章 全站仪测量 .....         | 61 |
| § 5.1 全站仪的认识与使用 .....     | 61 |
| § 5.2 全站仪测量误差分析 .....     | 66 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 思考题 .....                       | 69         |
| <b>第 6 章 控制测量 .....</b>         | <b>70</b>  |
| § 6.1 控制测量及其等级 .....            | 70         |
| § 6.2 导线测量 .....                | 73         |
| § 6.3 交会测量 .....                | 84         |
| § 6.4 三、四等水准测量 .....            | 85         |
| § 6.5 三角高程测量 .....              | 88         |
| 思考题 .....                       | 91         |
| <b>第 7 章 卫星定位测量简介 .....</b>     | <b>93</b>  |
| § 7.1 卫星定位系统组成 .....            | 93         |
| § 7.2 GPS 坐标系 .....             | 96         |
| § 7.3 GPS 定位原理 .....            | 97         |
| § 7.4 GPS 实时动态(RTK)测量技术简介 ..... | 102        |
| § 7.5 GPS 测量误差分析 .....          | 103        |
| 思考题 .....                       | 105        |
| <b>第 8 章 地形图测绘 .....</b>        | <b>106</b> |
| § 8.1 地形图基本知识 .....             | 106        |
| § 8.2 大比例尺地形图测绘 .....           | 111        |
| § 8.3 地形图数字测绘 .....             | 115        |
| § 8.4 地形图的基本应用 .....            | 118        |
| 思考题 .....                       | 123        |
| <b>第 9 章 施工测量方法 .....</b>       | <b>125</b> |
| § 9.1 工程测量概述 .....              | 125        |
| § 9.2 角度放样 .....                | 126        |
| § 9.3 长度放样 .....                | 130        |
| § 9.4 平面点位放样 .....              | 132        |
| § 9.5 高程放样 .....                | 137        |
| 思考题 .....                       | 141        |
| <b>第 10 章 道路中线测量 .....</b>      | <b>142</b> |
| § 10.1 新建道路初测 .....             | 142        |
| § 10.2 中线测量 .....               | 145        |
| § 10.3 圆曲线测设 .....              | 150        |
| § 10.4 缓和曲线测设 .....             | 157        |
| § 10.5 复曲线与回头曲线测设 .....         | 163        |

---

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 思考题.....                     | 165        |
| <b>第 11 章 路线纵横断面测量 .....</b> | <b>167</b> |
| § 11.1 基平测量.....             | 167        |
| § 11.2 中平测量.....             | 168        |
| § 11.3 纵断面图.....             | 170        |
| § 11.4 横断面测量.....            | 172        |
| 思考题.....                     | 175        |
| <b>第 12 章 道路施工测量 .....</b>   | <b>176</b> |
| § 12.1 公路施工测量.....           | 176        |
| § 12.2 桥梁施工测量.....           | 180        |
| § 12.3 隧道施工测量.....           | 187        |
| § 12.4 竣工总平面图的绘制.....        | 194        |
| 思考题.....                     | 195        |
| <b>第 13 章 测量误差基础知识 .....</b> | <b>196</b> |
| § 13.1 测量误差概念.....           | 196        |
| § 13.2 偶然误差的特性.....          | 197        |
| § 13.3 衡量精度的标准.....          | 199        |
| § 13.4 算术平均值的计算及精度评定.....    | 201        |
| § 13.5 误差传播定律.....           | 202        |
| 思考题.....                     | 204        |
| <b>参考文献.....</b>             | <b>205</b> |

# 第1章 测量基础知识

**能力要求:**了解测量学的研究对象和任务;了解测量学在道路工程建设中的应用;理解确定地面点位的坐标系统;掌握测量工作的基本原则。

## § 1.1 概 述

### 1.1.1 测量学的研究对象和任务

测量学是研究如何测定地面点的空间位置,将地球表面地形和其他地理信息测绘成图,以及确定地球形状和大小的一门科学。

随着科学技术的迅猛发展和社会生产的广泛需要,测量学已发展为以下几门彼此联系又自成体系的分支。

——普通测量学。研究地球表面较小区域内测绘工作的基本原理、技能、方法及普通测量仪器的使用技术和大比例尺地形图的测绘与应用的学科,是测量学的基础部分。

——大地测量学。研究整个地球的形状和大小,解决地球表面较大区域内的控制测量和地球重力场问题的学科。

——摄影测量学。研究利用航空或航天器对地面摄影或遥感的手段,以获取地物和地貌的影像和光谱,并对其进行分析处理,从而绘制成地形图或数字模型的学科。

——工程测量学。研究工程建设在勘测设计、施工过程和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有:工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测等。

——制图学。研究如何利用测量所得的资料,投影编绘成地形图,以及地形图制作的理论、工艺技术和应用等方面内容的学科。

测量学的研究任务主要包括测绘和测设两个部分。

测绘是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算得到一系列的测量信息,从而把地球表面的地形测绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。

测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构造物的位置在地面上标定出来,作为施工依据,又称施工放样。

测量工作对于国家的经济建设和国防建设具有非常重要的作用,在公路、桥梁、隧道工程建设中有着广泛的应用。

### 1.1.2 测量学在道路工程中的应用

在道路工程建设中,为获得一条最经济、最合理的路线,首先要进行路线勘测,根据测量得到的数据资料进行路线选线。

确定路线方案后,要进行路线的详细测量,也就是进行路线的中线测量、纵断面测量、横断

面测量、地形测量和有关调查测量等,以便为路线设计提供准确、详细的外业资料。当路线跨越河流时,应测绘河流两岸的地形图,测定桥轴线的长度及桥位处的河床断面,为桥梁方案选择及结构设计提供必要的数。当路线穿越高山,采用隧道工程时,应测绘隧址处地形图,测定隧道的轴线、洞口、竖井等的位置,为隧道设计提供必要的数。

施工开始,要将设计好的路线、桥涵和隧道在图纸中的各项元素,按规定的精度准确无误地测设于实地,即进行施工放样测量。施工过程中,要经常通过测量手段来检查工程的进度和质量。在隧道施工过程还要不断地进行贯通测量,以保证隧道的平面位置和高程正确贯通。工程竣工后,要进行竣工测量并编制竣工图,以满足工程的验收、维护、加固以至扩建的需要。

在营运阶段,还要应用测量进行一些常规检查和定期进行变形观测,以确保公路、桥梁和隧道等构造物的安全使用。

可以说,公路、桥梁、隧道的勘测、设计、施工、竣工及营运的各个阶段都离不开测量工作。因此,作为一名道路桥梁工程建设人员,只有具备道路工程测量的基本理论、基本知识和基本技能,才能为我国的交通建设事业多作贡献。

## § 1.2 地面点位的确定

### 1.2.1 地球的形状和大小

测量工作主要研究地球的自然表面。而地球的自然表面是很不规则的,有陆地、海洋、高山和平原。研究表明,地球近似于椭球,其长短半轴之差约为 21.4 km。我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m,而太平洋西部的马里亚纳海沟则深达 11 022 m,两者相比,起伏变化非常大。虽然如此,这种起伏变化和地球平均半径(约 6 371 km)比较起来仍是微不足道的。

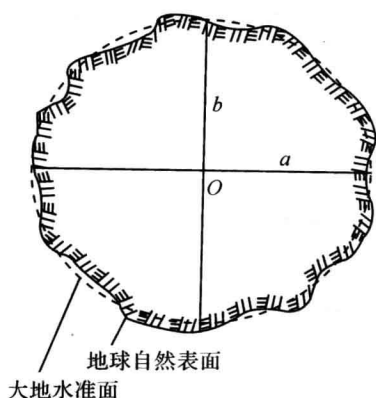


图 1.1 大地水准面

### 1.2.2 水准面和大地水准面

由于地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积仅占 29%,于是人们把地球的形状看做是被海水包围的球体。也就是设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一一个封闭的曲面,我们把这个静止的海水面称为水准面。水准面作为流体的海水面是受地球重力影响而形成的重力等势面,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于海水面有低有,因此,水准面有无数个,我们将其中通过平均海水面的那个水准面,称为大地水准面,如图 1.1 所示。大地水准面就是测量的基准面。

### 1.2.3 旋转椭球面

由于地球内部质量分布不均匀,导致地面上各点的重力方向(即铅垂线方向,铅垂线为测量的基准线)产生不规则的变化,因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。如果将大地控制网投影到这个不规则的曲面上,将无法进行大地测量计算,为此必须用一个和大

地水准面的形状非常接近的数学形体,来代替大地水准面。在测量上是选用椭圆绕其短轴旋转而成的参考椭球面,作为测量计算的基准面,如图 1.2 所示。

目前我国采用的参考椭球的长半轴为 6 378 137 m,扁率为  $1/298.257\ 222\ 101$ 。由于旋转椭球的扁率很小,因此当测区范围不太大时,可以把旋转椭球当做圆球看待,取其近似半径为 6 371 km。

#### 1.2.4 确定地面点位的坐标系

地面上的物体大多具有空间形状,例如丘陵、山地、河谷、洼地等。为了研究空间物体的位置,数学上采用投影的方法加以处理。测量工作的基本任务就是确定地面点的空间位置。一个点在空间的位置,需要三个量来确定,即该点的二维球面坐标或该点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,也就是确定地面点在投影面上的坐标和点到投影面的铅垂距离(高程)。

确定地面点位的坐标系,根据具体情况,可选用大地坐标系、高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系。

##### 1. 大地坐标系

用大地经度和大地纬度表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标系,称为大地坐标系。如图 1.3 所示,NS 为椭球的旋转轴,N 表示北极,S 表示南极。

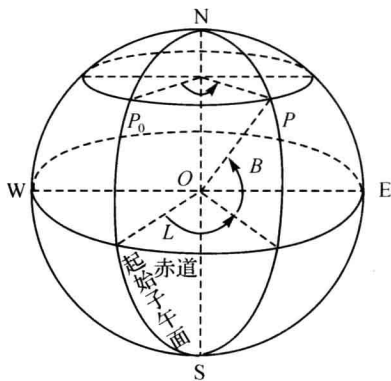


图 1.3 大地坐标

通过参考椭球旋转轴的平面称为子午面,其中通过原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,也称经线或子午圈。

通过参考椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线称为赤道。其他与椭球旋转轴正交,但不通过球心的平面与椭球面相交所得的曲线称为平行圈,也称纬线或纬圈。起始子午面和赤道面是在椭球面上确定任一点投影位置的两个基本面。

大地经度,就是通过某点(如图 1.3 中的 P 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  $0^\circ \sim 180^\circ$  称为东经,向西  $0^\circ \sim 180^\circ$  称为西经。

大地纬度,就是该点的法线(与椭球面垂直的直线)与赤道面的夹角,用  $B$  表示。从赤道面算起,向北  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为北纬,向南  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为南纬。

我国目前采用的大地坐标系为“2000 国家大地坐标系”。国家大地坐标系的定义包括坐标系的原点、三个坐标轴的指向、尺度以及地球椭球的 4 个基本参数的定义。原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心, $z$  轴由原点指向地球参考极的方向, $x$  轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面的交点, $y$  轴与  $z$  轴、 $x$  轴构成右手正交坐标系。采用广义相对论意义下的尺度。

2000 国家大地坐标系采用的地球椭球参数的数值为:

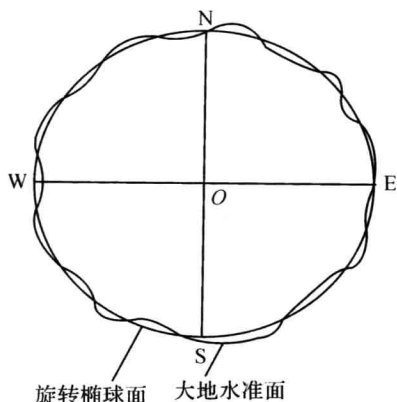


图 1.2 旋转椭球面



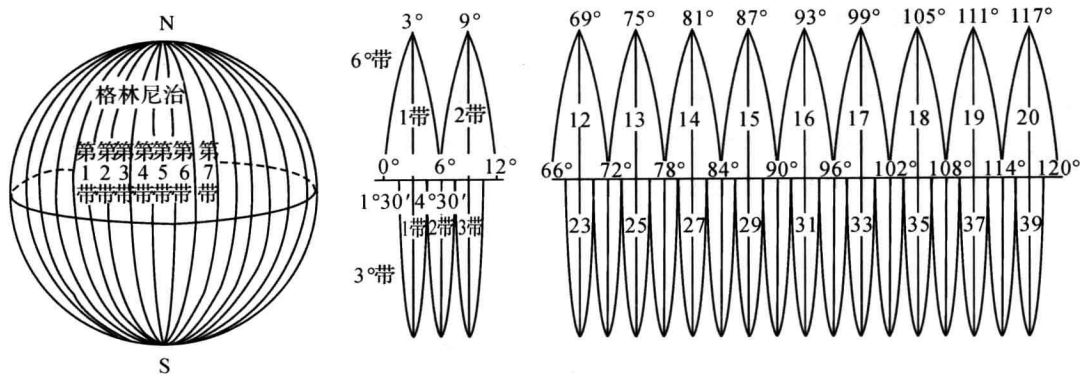


图 1.5 6°带和 3°带的投影

采用分带投影后,由于每一投影带的中央子午线和赤道的投影为两正交直线,故可取两正交直线的交点为坐标原点。中央子午线的投影线为坐标纵轴( $x$ 轴),向北为正;赤道投影线为坐标横轴( $y$ 轴),向东为正。这就是全国统一的高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球,纵坐标  $x$  均为正值,横坐标  $y$  有正有负,如图 1.6 所示。为避免横坐标  $y$  出现负值,故规定把坐标纵轴向西平移 500 km,另外,为了根据横坐标能确定该地点位于哪一个 6°带内,还规定在横坐标值前冠以带号,例如: $y_B = 20\ 225\ 760\text{ m}$ ,表示  $B$  点位于第 20 带内,其真正的横坐标值为  $225\ 760\text{ m} - 500\ 000\text{ m} = -274\ 240\text{ m}$ 。

### 3. 平面直角坐标系

当测量的范围较小时,可以把测区的球面当做平面看待。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地面点的投影位置,如图 1.7 所示。

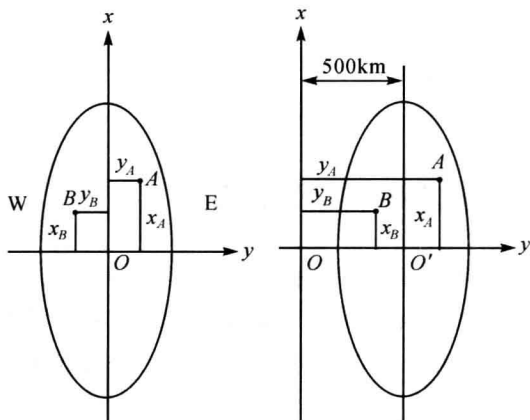


图 1.6 高斯平面直角坐标系

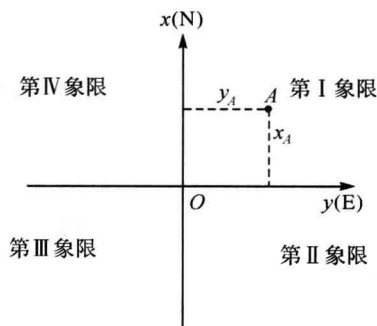


图 1.7 平面直角坐标系

测量工作中所用的平面直角坐标与解析几何中所介绍的基本相同,只是测量工作以  $x$  轴为纵轴,一般用它表示南北方向,向北为正;以  $y$  轴为横轴,表示东西方向,向东为正。坐标原点可假定,也可选择在已知点上,象限按顺时针方向编号。测量所用的平面直角坐标系之所以与数学上常用的直角坐标系不同,是因为测量工作中以极坐标表示点位时其角度值是以北方为准按顺时针方向计算的夹角,而数学中则是从横轴按逆时针计的缘故。把  $x$  轴与  $y$  轴互换后,全部三角公式都可以不加改变直接应用。