



教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材

# 地形测量技术

DIXING CELIANG JISHU

主 编 高 见 王晓春  
主 审 李孟山 牟应录  
乔世雄



武汉理工大学出版社

教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材

# 地形测量技术

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 高 见 | 王晓春 |
| 副主编 | 王福增 | 田 萍 |
|     | 张慧慧 | 徐健梅 |
| 主 审 | 李孟山 | 牟应录 |
|     | 乔世雄 |     |

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

地形测量技术/高见,王晓春主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.8  
ISBN 978-7-5629-3741-8

I. ① 地… II. ① 高… ② 王… III. ① 地形测量 IV. ① P217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 171225 号

项目负责人:汪浪涛

责任编辑:戴皓华

责任校对:向玉露

装帧设计:语新文化设计工作室

出版发行:武汉理工大学出版社

地址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮编:430070

网址:<http://www.techbook.com.cn>

经销者:各地新华书店

印刷者:武汉兴和彩色印务有限公司

开本:787×1092

印张:13.25

字数:330 千字

版次:2012 年 8 月第 1 版

印次:2012 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~3000 册

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

# 出版说明

教材建设是教育教学工作的重要组成部分,高质量的教材是培养高质量人才的基本保证。高职高专教材作为体现高职教育特色的知识载体和教学的基本条件,是教学的基本依据,是学校课程最具体的形式,直接关系到高职教育能否为一线岗位培养符合要求的高技术应用型人才。

伴随着国家建设的大力推进,高职高专测绘类专业近几年呈现出旺盛的发展势头,开办学校越来越多,毕业生就业率也在高职高专各专业中名列前茅。然而,由于测绘类专业是近些年才发展壮大的,也由于开办这个专业需要很多的人力和设备资金投入,因此很多学校的办学实力和办学条件尚需提高,专业的教材建设问题尤为突出,主要表现在:缺少符合高职特色的“对口”教材;教材内容存在不足;教材内容陈旧,不适应知识经济和现代高新技术发展需要;教学新形式、新技术、新方法研究运用不够;专业教材配套的实践教材严重不足;各门课程所使用的教材自成体系,缺乏沟通与衔接;教材内容与职业资格证书制度缺乏衔接等。

武汉理工大学出版社在教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会的指导和支持下,对全国三十多所开办测绘类专业的高职院校和多个测绘类企事业单位进行了调研,组织了近二十所开办测绘类专业的高职院校的骨干教师对高职测绘类专业的教材体系进行了深入系统的研究,编写出了这一套既符合现代测绘专业发展方向,又适应高职教育能力目标培养的专业教材,以满足高职应用型高级技术人才的培养需求。

这套测绘类教材既是我社“十二五”重点规划教材,也是高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材,希望本套教材的出版能对该类专业的发展作出一点贡献。

武汉理工大学出版社

2012.2

# 高职高专测绘类专业新编系列教材

## 编 审 委 员 会

顾 问:赵文亮 黄声享

主 任:李生平 陈传胜 田 高

副主任:(以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 牛志宏 | 王晓春 | 冯大福 | 刘仁钊 | 吴 迪 |
| 李 泽 | 李风贤 | 李井永 | 李占宏 | 李孟山 |
| 李聚方 | 张晓东 | 张福荣 | 邹晓军 | 杨旭江 |
| 杨晓平 | 高 见 | 高小六 | 唐保华 | 鲁有柱 |
| 董钧祥 | 蔡德民 |     |     |     |

委 员:(以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王 云 | 王 芳 | 孔令惠 | 牛志宏 | 王晓春 |
| 王朝林 | 王新鹏 | 王福增 | 左美蓉 | 冯大福 |
| 孙 垚 | 孙茂存 | 刘 飞 | 刘仁钊 | 刘海涛 |
| 江新清 | 吴 迪 | 李 泽 | 李井永 | 李风贤 |
| 李占宏 | 李泽球 | 李聚方 | 张玉堂 | 张晓东 |
| 张桂蓉 | 张福荣 | 张慧慧 | 陈 琳 | 邹娟茹 |
| 杨木生 | 杨旭江 | 杨晓平 | 周 波 | 赵凤阳 |
| 赵淑湘 | 胡良柏 | 高 见 | 高小六 | 翁丰惠 |
| 唐保华 | 董钧祥 | 谢爱萍 |     |     |

秘书长:汪浪涛

# 前 言

《地形测量技术》是高职高专工程测量技术专业及相关专业的一门专业基础课程,是专业核心能力模块的重要组成部分。通过本课程的学习,要求学生能够掌握基础测绘理论知识、基本测量仪器及其操作、基本测量工作及其作业方法、地形图测绘的方法、地形图的初步应用等,为学习后续专业核心课程做好准备,并为通过国家测绘行业组织的“工程测量工”职业资格证书考试,获得从事工程测量工作的职业资格奠定基础。

本教材编写中充分体现以能力为主线、以任务为载体的职业课程培养模式,凸显“基于工作过程”的职业教育教学理念。以学生为中心、以就业为导向、以能力为本位、以岗位需求和职业标准为依据,满足学生职业生涯发展的需求,适应测绘、国土资源、水利、交通、农业、林业、地质等企事业单位地形测量岗位要求。在行业、企业专家对本专业所涵盖的岗位群进行任务和职业能力分析的基础上,以职业能力为依据,设计整合课程内容,根据学生的认知特点,基于生产过程采用递进与并列相结合的结构来展现教学内容,边学边练、以练促学,学练相长。通过地面点位的确定、角度测量、距离测量、地形平面控制测量、高程控制测量、大比例尺地形图测绘、地形图的应用等活动项目来组织教学,采用集中实训方式强化能力培养,倡导学生在项目活动中掌握地形测量的基本知识与技能,培养学生初步具备专业生产过程中需要的基本职业能力。

参加本书编写的有甘肃林业职业技术学院高见、王晓春(绪论、第5章及附录),河北地质职工大学王福增(第1、8章),杨凌职业技术学院田萍(第2章及综合实训),辽宁高等专科学校张慧慧(第3、6章),长江工程职业技术学院徐健梅(第4、7章)。石家庄铁路职业技术学院测绘系主任李孟山,甘肃省测绘局副局长、高级工程师牟应录和中国水利水电四局勘测设计研究院副院长、高级工程师乔世雄审读了大纲并审阅了全稿,使本教材既紧密联系测绘行业生产实际,又充分体现高职教育特色,提升了质量层次,提高了使用价值。同时,在书稿编写过程中参阅了大量的书籍和文献资料,引用了部分专家、学者的研究成果,在此一并表示感谢!

本教材编写中力求切近测绘产业主战场,尽可能体现测绘领域新理念、新技术、新法规,并与国家职业资格评定标准和测绘技术规程相接轨。由于编者水平有限和时间仓促,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者给予批评斧正。

编 者

2012年6月

# 目 录

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 1 地形图认知 .....             | (1)  |
| 1.1 地面点位的确定 .....         | (2)  |
| 1.1.1 地球形状与坐标系的建立 .....   | (2)  |
| 1.1.2 水准面曲率对观测量的影响 .....  | (6)  |
| 1.2 地形图基本知识 .....         | (7)  |
| 1.2.1 地形图的比例尺 .....       | (7)  |
| 1.2.2 地形图与地图的区别 .....     | (8)  |
| 1.2.3 地形图的基本要素 .....      | (9)  |
| 1.2.4 地形图的文字和数字注记 .....   | (10) |
| 1.3 地物及其表示 .....          | (11) |
| 1.3.1 点状符号地物 .....        | (11) |
| 1.3.2 线状符号地物 .....        | (12) |
| 1.3.3 面状符号地物 .....        | (12) |
| 1.4 地貌及其表示 .....          | (13) |
| 1.4.1 等高线及其特性 .....       | (13) |
| 1.4.2 一般地貌的表示 .....       | (15) |
| 1.4.3 特殊地貌、土质和植被的表示 ..... | (15) |
| 思考与练习 .....               | (17) |
| 2 水准测量 .....              | (18) |
| 2.1 水准仪的使用 .....          | (18) |
| 2.1.1 水准测量的原理 .....       | (18) |
| 2.1.2 水准测量的仪器和工具 .....    | (19) |
| 2.1.3 水准仪的使用 .....        | (23) |
| 2.1.4 水准仪的检验与校正 .....     | (24) |
| 2.2 普通水准测量 .....          | (26) |
| 2.2.1 水准路线的选定 .....       | (26) |
| 2.2.2 实地选点与设立标志 .....     | (27) |
| 2.2.3 外业施测 .....          | (28) |
| 2.2.4 水准测量的检核方法 .....     | (29) |
| 2.2.5 水准测量的成果计算 .....     | (31) |
| 2.3 四等水准测量 .....          | (33) |
| 2.3.1 四等水准测量路线的布设 .....   | (33) |

|       |               |      |
|-------|---------------|------|
| 2.3.2 | 四等水准测量的实施     | (34) |
| 2.3.3 | 单一水准路线的高程平差   | (36) |
| 2.4   | 水准测量的误差分析     | (36) |
| 2.4.1 | 仪器误差          | (36) |
| 2.4.2 | 观测误差          | (36) |
| 2.4.3 | 外界因素          | (37) |
| 2.5   | 精密水准仪和电子水准仪简介 | (38) |
| 2.5.1 | 精密水准仪         | (38) |
| 2.5.2 | 数字水准仪         | (40) |
|       | 思考与练习         | (43) |
| 3     | 角度测量          | (45) |
| 3.1   | 光学经纬仪的构造与使用方法 | (45) |
| 3.1.1 | 光学经纬仪的构造      | (45) |
| 3.1.2 | 光学经纬仪的使用方法    | (48) |
| 3.1.3 | 光学经纬仪的检验与校正   | (49) |
| 3.2   | 水平角观测         | (51) |
| 3.2.1 | 水平角及其测量原理     | (51) |
| 3.2.2 | 测回法           | (52) |
| 3.2.3 | 全圆方向观测法       | (53) |
| 3.2.4 | 水平角测量的误差分析    | (54) |
| 3.3   | 竖直角观测         | (59) |
| 3.3.1 | 竖直角及其测量原理     | (59) |
| 3.3.2 | 竖盘结构及注记形式     | (60) |
| 3.3.3 | 竖盘读数指标差       | (60) |
| 3.3.4 | 竖直角测量方法       | (60) |
| 3.3.5 | 竖直角计算方法       | (61) |
| 3.4   | 光电经纬仪简介       | (61) |
| 3.4.1 | 电子经纬仪         | (61) |
| 3.4.2 | 激光经纬仪         | (64) |
|       | 思考与练习         | (65) |
| 4     | 距离测量          | (67) |
| 4.1   | 钢尺量距          | (67) |
| 4.1.1 | 钢尺量距常用工具      | (67) |
| 4.1.2 | 地面点的标定与直线定线   | (69) |
| 4.1.3 | 钢尺距离测量方法      | (70) |
| 4.1.4 | 钢尺检定          | (72) |
| 4.1.5 | 钢尺量距成果整理      | (74) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 4.2 视距测量                | (76)  |
| 4.2.1 视距测量原理            | (76)  |
| 4.2.2 视距测量方法            | (78)  |
| 4.2.3 视距测量注意事项          | (79)  |
| 4.3 电磁波测距               | (79)  |
| 4.3.1 电磁波测距原理           | (79)  |
| 4.3.2 电磁波测距仪种类          | (80)  |
| 4.3.3 电磁波测距仪野外作业程序      | (80)  |
| 4.4 全站仪简介               | (82)  |
| 4.4.1 全站仪的主要功能          | (82)  |
| 4.4.2 全站仪使用注意事项         | (87)  |
| 思考与练习                   | (88)  |
| 5 误差理论的基本知识             | (89)  |
| 5.1 测量误差                | (89)  |
| 5.1.1 测量误差概述            | (89)  |
| 5.1.2 测量误差的分类           | (90)  |
| 5.2 偶然误差的特性             | (91)  |
| 5.3 评定精度的指标             | (93)  |
| 5.3.1 中误差               | (93)  |
| 5.3.2 极限误差              | (94)  |
| 5.3.3 相对误差              | (94)  |
| 5.4 误差传播定律              | (95)  |
| 5.4.1 观测值的和或差的函数中误差     | (95)  |
| 5.4.2 观测值倍数函数的中误差       | (97)  |
| 5.4.3 观测值线性函数的中误差       | (97)  |
| 5.4.4 一般函数的中误差          | (98)  |
| 5.5 算术平均值及其中误差          | (99)  |
| 5.5.1 算术平均值为最或然值        | (99)  |
| 5.5.2 算术平均值的中误差         | (99)  |
| 5.5.3 用改正数计算等精度观测值的中误差  | (100) |
| 5.5.4 用同精度双观测列差值求观测值中误差 | (101) |
| 5.6 观测值的权               | (102) |
| 5.6.1 权                 | (103) |
| 5.6.2 加权平均值             | (103) |
| 5.6.3 加权平均值的中误差         | (104) |
| 5.6.4 单位权中误差            | (105) |
| 思考与练习                   | (106) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| <b>6 小区域控制测量</b> .....        | (107) |
| 6.1 直线定向 .....                | (107) |
| 6.1.1 基准方向及其关系 .....          | (107) |
| 6.1.2 方位角 .....               | (109) |
| 6.1.3 坐标方位角推算 .....           | (109) |
| 6.1.4 坐标的正算与反算 .....          | (110) |
| 6.2 导线测量 .....                | (111) |
| 6.2.1 导线测量方案设计 .....          | (111) |
| 6.2.2 导线测量外业观测 .....          | (113) |
| 6.2.3 导线测量内业计算 .....          | (115) |
| 6.3 三角高程测量 .....              | (124) |
| 6.3.1 三角高程测量原理 .....          | (124) |
| 6.3.2 地球曲率和大气折光的影响 .....      | (125) |
| 6.3.3 角高程测量的应用 .....          | (126) |
| 6.3.4 三角高程测量的误差分析 .....       | (127) |
| 6.4 交会测量 .....                | (127) |
| 6.4.1 交会测量方案设计 .....          | (127) |
| 6.4.2 方向交会测量方法 .....          | (127) |
| 6.4.3 测边交会测量方法 .....          | (129) |
| 6.4.4 边角后方交会测量方法(自由设站法) ..... | (130) |
| 思考与练习 .....                   | (131) |
| <b>7 大比例尺地形图测绘</b> .....      | (132) |
| 7.1 碎部测绘 .....                | (132) |
| 7.1.1 极坐标法 .....              | (133) |
| 7.1.2 方向交会法 .....             | (133) |
| 7.1.3 距离交会法 .....             | (133) |
| 7.1.4 碎部点高程测量法 .....          | (133) |
| 7.2 地物测绘 .....                | (134) |
| 7.2.1 地物测绘的基本方法 .....         | (134) |
| 7.2.2 地物的综合取舍原则 .....         | (138) |
| 7.3 地貌测绘 .....                | (138) |
| 7.3.1 等高线的测绘 .....            | (139) |
| 7.3.2 地貌勾绘 .....              | (139) |
| 7.3.3 几种地貌要素的表示 .....         | (141) |
| 7.3.4 特殊地貌的测绘 .....           | (143) |
| 7.4 地形图分幅与编号 .....            | (145) |
| 7.4.1 梯形分幅与编号 .....           | (146) |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| 7.4.2 矩形分幅与编号 .....         | (150)        |
| 7.5 地形图拼接与整饰 .....          | (152)        |
| 7.5.1 地形图的拼接 .....          | (152)        |
| 7.5.2 地形图的清绘整饰 .....        | (152)        |
| 7.6 地形图检查与验收 .....          | (153)        |
| 7.6.1 自检 .....              | (153)        |
| 7.6.2 提交资料 .....            | (153)        |
| 7.6.3 全面检查 .....            | (153)        |
| 思考与练习 .....                 | (154)        |
| <b>8 地形图应用 .....</b>        | <b>(156)</b> |
| 8.1 地形图的基本应用 .....          | (157)        |
| 8.1.1 点位标定 .....            | (157)        |
| 8.1.2 点位坐标、距离和坐标方位角量算 ..... | (157)        |
| 8.1.3 高程量算 .....            | (157)        |
| 8.2 地形图在工程建设中的应用 .....      | (158)        |
| 8.2.1 面积量算 .....            | (158)        |
| 8.2.2 坡度量算 .....            | (160)        |
| 8.2.3 断面图绘制 .....           | (160)        |
| 8.2.4 土方量计算 .....           | (161)        |
| 8.3 数字地形图的应用 .....          | (164)        |
| 8.3.1 基本几何要素的量测 .....       | (164)        |
| 8.3.2 断面图的绘制 .....          | (165)        |
| 8.3.3 土方量的计算 .....          | (167)        |
| 思考与练习 .....                 | (172)        |
| <b>9 综合实训 .....</b>         | <b>(173)</b> |
| 附录1 中华人民共和国测绘法 .....        | (191)        |
| 附录2 测量工作中常用的计量单位 .....      | (198)        |

# 1 地形图认知

## 【教学内容、目标及要求】

### ● 理论教学

(1) 地面点位的确定:测量常用坐标系的建立、水准面曲率对测量的影响。

(2) 地形图的基本知识:地形图的比例尺、地形图组成的基本要素、地图注记。

(3) 地形图的信息及表达:地物及其表示,包括点状地物、线状地物、面状地物及其图式;地貌及其表示,包括一般地貌和特殊地貌;等高线及特殊地貌符号对地貌的表示。

### ● 目标要求

#### 1. 知识目标

(1) 掌握:高斯平面直角坐标系及小区域独立平面直角坐标系的建立;地形图的基本组成要素;典型地物的取舍及其表达;等高线与一般地貌的表达关系,特殊地貌和特殊符号的对应关系。

(2) 理解:高斯投影的基本概念,比例尺精度的概念及内涵,点状符号、线状符号的选取与比例尺的关系,用水平面代替水准面的限度。

(3) 了解:地球的形状及大小,测量常用的地理坐标系和空间直角坐标系,地形图与地图的区别。

#### 2. 技能目标

通过本章学习,学生能够建立独立平面直角坐标系;能够计算各投影带中央子午线的经度;能够根据地形图的比例尺进行图上距离和实地距离的换算;能够根据等高线判断地貌形态;能够识读地形图的图外注记信息。

### ● 重点

高斯平面直角坐标系、地形图的比例尺和基本组成要素、地物及其表示、地貌及其表示。

### ● 难点

高斯投影。

### ● 实践教学

地形图判读。

# 1.1 地面点位的确定

## 1.1.1 地球形状与坐标系的建立

### 1.1.1.1 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,所以必须知道地表的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等起伏状态,世界上最高的珠穆朗玛峰高达 8844.43 m,最深的马里亚纳海沟深达 11034 m,两者相差将近 2 km,高低起伏很大。但这种起伏变化相对于地球庞大的体积来说微乎其微。由于地球表面 71%被海水所覆盖,陆地仅占 29%,所以可以把海水所覆盖的地球形体看做地球的形状。

由于地球的自转运动,地球上任意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。设想一个静止的海水面向陆地延伸通过大陆和岛屿形成一个包围地球的封闭曲面,这个曲面就称为水准面。水准面是受重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于潮汐的影响,海水面有涨有落,所以水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的地球形体称为大地体。

大地水准面完全可以代表地球表面的形状和大小,但由于地球内部质量分布不均引起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(如图 1.1 所示)。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,将对测量计算和绘图带来很多困难,为此选用一个非常接近大地水准面、并可用数学式表达的规则的几何形体来代表地球的总形状,这个数学形体称为旋转椭球体,包围它的面称为旋转椭球面。

旋转椭球体是由一椭圆绕其短半轴旋转而成的椭球体(如图 1.2 所示)。椭圆的长半轴  $a$ 、短半轴  $b$ 、扁率  $\alpha$  是决定旋转椭球体的形状和大小的元素。随着测绘科学的进步,可以越来越精确地测定这些元素。目前,我国 2008 年 7 月 1 日起启用的 2000 国家大地坐标系,采用的地球椭球参数值:长半轴  $a=6378137.000\text{ m}$ ,扁率  $\alpha=1/298.257$ ,短半径  $b=6356752.314\text{ m}$ 。

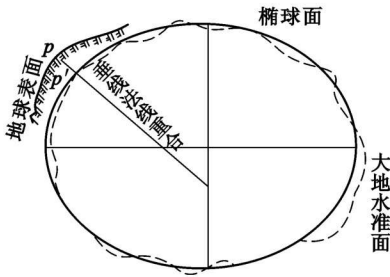


图 1.1 大地水准面

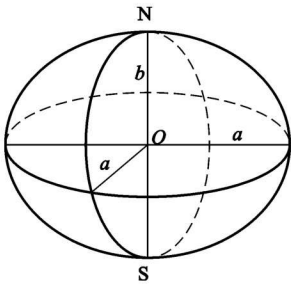


图 1.2 旋转椭球体

采用椭球体定位得到的坐标系为国家大地坐标系。我国大地坐标系的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于地球椭球体的扁率很小,当测量精度要求不高及测区面积不大时,可将地球当做半径  $R$  为 6371 km 的圆球。

### 1.1.1.2 测量坐标系的建立

测量工作中,通常用下面几种坐标系来确定地面点位。

#### (1) 地理坐标系

地理坐标系又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。如图 1.3 所示,N、S 分别是地球的北极和南极,NS 称为自转轴。包含自转轴的平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线。通过格林尼治天文台的子午面称为首子午面。通过地心垂直于地球自转轴的平面称为赤道面,赤道面与椭球面的交线称为赤道。

如图 1.3 所示,以地球椭球面为基准面,以通过地面点的地球椭球法线与赤道平面交角确定纬度的球面坐标系称为大地地理坐标系,地面点的大地地理坐标用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  来表示。某点  $P$  的大地经度为过  $P$  点的子午面与首子午面的夹角  $L$ ;某点  $P$  的大地纬度为通过  $P$  点的法线与赤道平面的夹角  $B$ 。

如图 1.4 所示,以大地水准面为基准面,以通过地面点位的铅垂线与赤道平面交角确定纬度的球面坐标系称为天文地理坐标系。地面点的天文地理坐标用天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  来表示。某点  $P$  的天文经度为过  $P$  点的子午面与首子午面的夹角  $\lambda$ ;某点  $P$  的纬度为通过  $P$  点的铅垂线与赤道平面的夹角  $\varphi$ 。

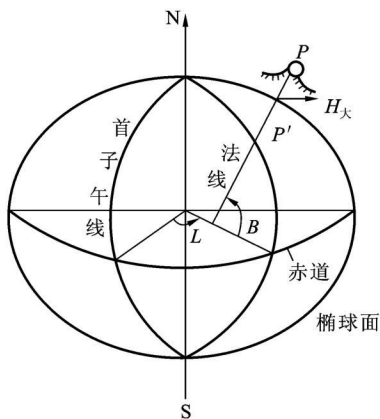


图 1.3 大地地理坐标系

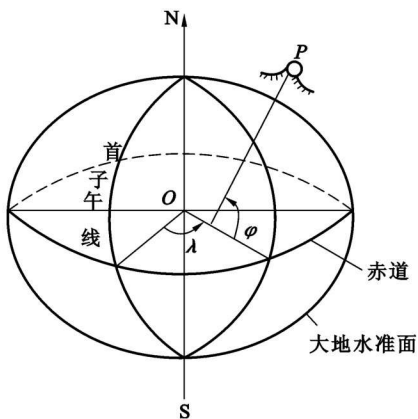


图 1.4 天文地理坐标系

大地坐标和天文坐标,自首子午线起,向东  $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$  称东经,向西  $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$  称西经;自赤道起,向北  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  称北纬,向南  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  称南纬。

大地经、纬度是根据大地原点的起算数据,再按大地测量得到的数据推算而得。我国曾采用“1954 年北京坐标系”、“1980 国家大地坐标系”,自 2008 年 7 月 1 日起启用“2000 国家大地坐标系”。

#### (2) 高斯平面直角坐标系

地理坐标是球面坐标,因而不便于直接进行角度和距离等各种计算。因此需要将地面点位和地面的图形表示在平面上,也就是将空间点的球面坐标转化为平面坐标,这就需要采用适当的投影方法才行。目前常用的投影方法有墨卡托投影(正轴等角圆柱投影)、高斯-克吕格投影、斜轴等面积方位投影、双标准纬线等角圆锥投影、等差分纬线多圆锥投影、正轴方位投影等,但无论采用何种投影,都会产生变形,包括角度变形、长度变形和面积变形三种。我国采用的是高斯-克吕格投影法(简称高斯投影,是一种角度保持不变的投影方法),并由高斯投影来

建立平面直角坐标系。

高斯投影是按一定经差将地球椭球面划分成若干投影带,将地球椭球面沿子午线划分成经差相等的瓜瓣形地带(如图 1.5 所示)。

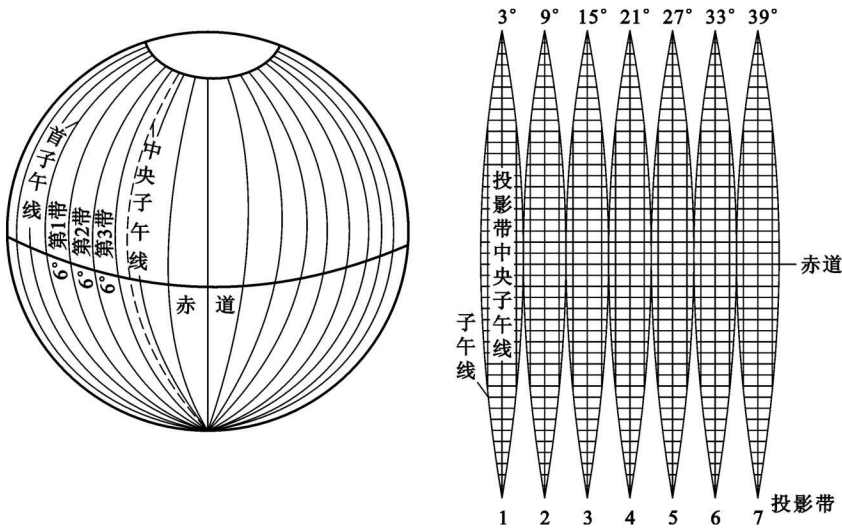


图 1.5 高斯投影分带

分带时,既要考虑投影后长度变形不大于测图误差,又要使带数不至于过多以减少换带计算工作,通常按经差  $6^\circ$  或  $3^\circ$  分为六度带或三度带。六度带自  $0^\circ$  子午线起每隔经差  $6^\circ$  自西向东分带,将整个地球分成 60 个投影带。用第 1、第 2、第 3……第 60 表示投影带的带号,我国位于 6 度带的第 13~23 带。

六度带中任意带的中央子午线经度  $L_0$  为:

$$N = \text{Int} \frac{L}{6} + 1$$
$$L_0 = 6N - 3$$

式中,Int 表示取整, $L$  为经度; $N$  为  $6^\circ$  投影带的带号。

三度带是在六度带的基础上分成的,它的中央子午线与六度带的中央子午线和分带子午线重合,即自东经  $1.5^\circ$  子午线起每隔经差  $3^\circ$  自西向东分带,将整个地球分成 120 个投影带。用第 1、第 2、第 3……第 120 表示投影带的带号,我国位于 3 度带的第 24~45 带。

三度带中任意带的中央子午线经度  $L'_0$  为:

$$n = \text{Int} \left( \frac{L - 1.5}{3} \right) + 1$$
$$L'_0 = 3n$$

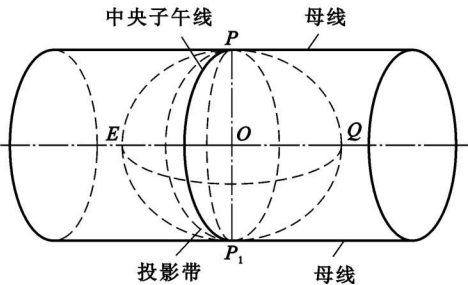


图 1.6 高斯投影

高斯投影的基本方法是:设想用一个圆柱横切套在地球椭球外面(如图 1.6 所示),将中央子午线两侧同一投影带范围内的椭球面投影在圆柱面上,再将圆柱面沿过南北极的母线剪开展平,即得高斯平面。投影后,中央子午线长度不变,离开中央子午线越远,其长度投影变形越大。

投影后,取中央子午线与赤道交点的投影为原点,中央子午线的投影为纵坐标  $x$  轴,赤道的投影为横坐标  $y$  轴,即构成了高斯平面直角坐标系[如图 1.7(a)所示]。

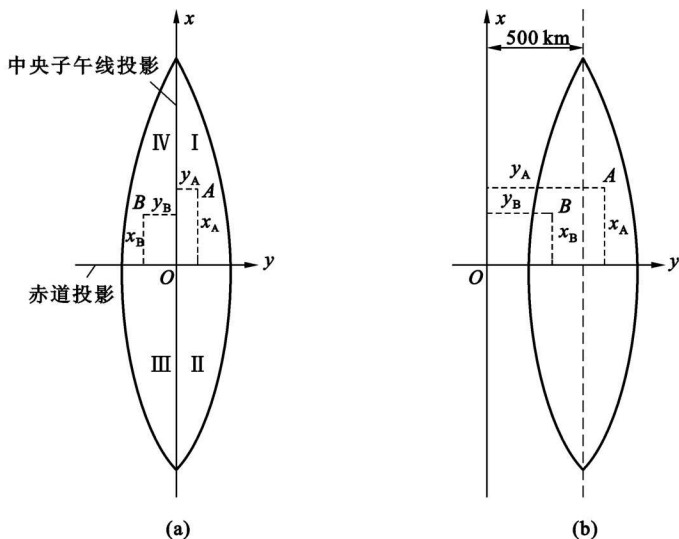


图 1.7 高斯平面直角坐标

高斯平面直角坐标以赤道为零起算,赤道以北为正,以南为负。我国位于北半球,纵坐标均为正,横坐标有正有负。为了使用方便,避免横坐标出现负值,规定将坐标纵轴西移 500 km 当做起始轴。这样带内的横坐标值均加 500 km。设 A 点  $x_A = 3281547.56$  m,  $y_A = -298541.12$  m, 则平移后横坐标为  $y_A = (-298541.12) + 500000 = 201458.88$  m [图 1.7(b)所示]。前者称为自然值,后者称为统一值。因为不同投影带内的点可能会有相同坐标值,也为了标明其所在的投影带,规定在横坐标前冠以带号。例如 A 点位于第 15 带,则横坐标为  $y_A = 15201458.88$  m。

### (3) 独立平面直角坐标

当测量区域较小时,可以把该测区的大地水准面当做平面,在该面上建立独立的平面直角坐标系。如图 1.8 所示,测量上采用的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标系基本相同,但坐标轴互换,象限顺序相反。

纵轴为  $x$  轴,与南北方向一致,向北为正,向南为负;横轴为  $y$  轴,与东西方向一致,向东为正,向西为负。顺时针方向量度,这样便于将数学三角公式直接应用到测量计算上。原点一般假定在测区西南以外,使测区内部点坐标均为正值,以便计算。

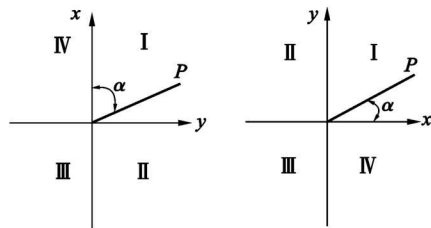


图 1.8 测量坐标系与数学坐标系

### (4) 地面点的高程

#### ① 绝对高程

地面上某点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,又称海拔,用  $H$  表示(如图 1.9 所示)。A、B 两点的绝对高程为  $H_A$ 、 $H_B$ 。由于受海潮、风浪等影响,海水面的高低时刻在变化,我国在青岛设立验潮站,进行长期观测,取黄海平均海水面作为高程基准面,建立了

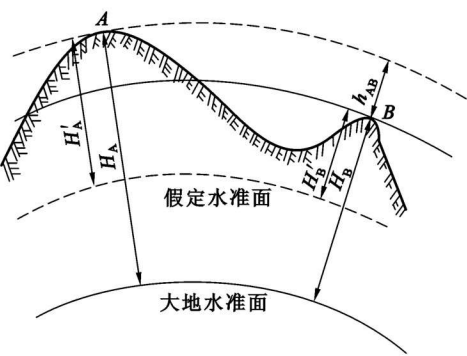


图 1.9 高程示意

“1956 黄海高程系”，其青岛国家水准原点高程为 72.289 m，该高程系统自 1987 年废止了并起用了“1985 国家高程基准”，原点高程为 72.260 m。在使用测量资料时，一定要注意新旧高程系统以及系统间的正确换算。

② 相对高程地面上某点到任意水准面的铅垂距离，称为该点的假定高程或相对高程。如图 1.9 中 A、B 两点的相对高程分别为  $H'_A$ 、 $H'_B$ 。

地面上两点的高程之差称为高差，用  $h$  表示。A、B 两点的高差为：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

1.1.2 水准面曲率对观测量的影响

在普通测量中，当测区面积不大时，又可把球面视为平面，用水平面代替水准面，使计算和绘图工作大为简化，但是多大范围内才允许用水平面代替水准面呢？下面就讨论以水平面代替水准面对水平距离和高差的影响，从而明确用水平面可以代替水准面的范围。

(1) 对水平距离的影响

如图 1.10 所示，A、B 为地面上两点，它们在大地水准面上的投影为  $a$ 、 $b$ ，弧长为  $D$ 。在水平面上的投影为  $a'$ 、 $b'$ ，其距离为  $D'$ ，两者之差  $\Delta D$  即为用水平面代替水准面所产生的误差。

设地球的半径为  $R$ ，AB 所对的圆心角为  $\theta$ ，则：

$$\Delta D = D' - D$$

因为：

$$D' = R \tan \theta, D = R \theta$$

则有：

$$\Delta D = R \tan \theta - R \theta = R (\tan \theta - \theta)$$

将  $\tan \theta$  按级数展开，并略去高次项，取前两项得：

$$\tan \theta = \theta + \frac{\theta^3}{3}$$

则：

$$\Delta D = \frac{1}{3} R \theta^3 \tag{1.1}$$

以  $\theta = \frac{D}{R}$  代入式(1.1)，得：

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1.2}$$

表示成相对误差为：

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1.3}$$

取  $R = 6371 \text{ km}$ ，并以不同的  $D$  值代入式(1.2)和式(1.3)，可求得用水平面代替水准面的距离误差和相对误差(表 1.1)。