

高等学校教材



测绘科技专著出版基金资助

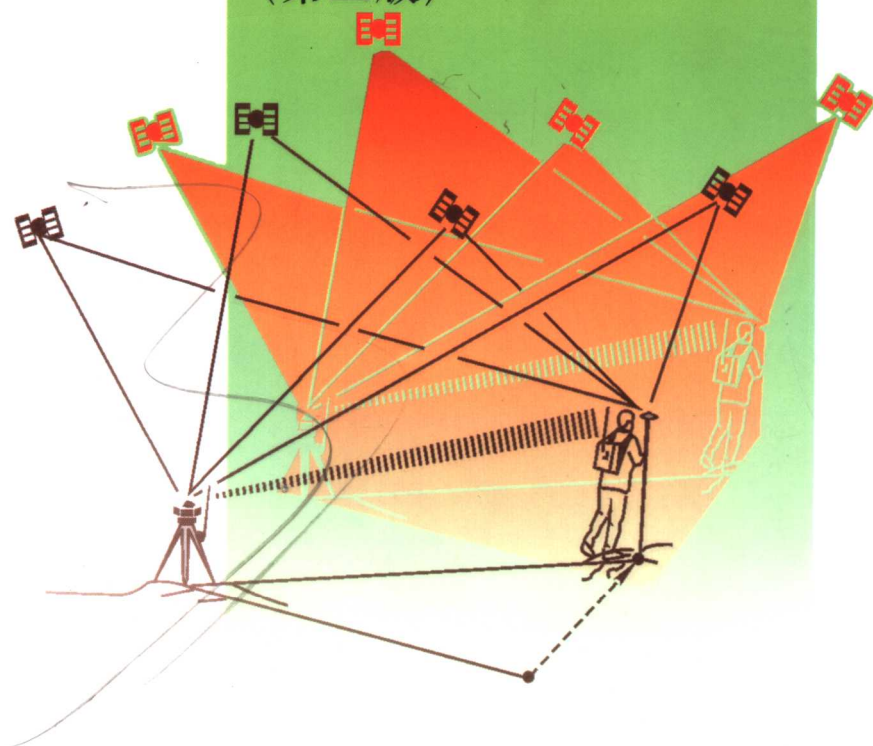
CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

# 建筑测量学

严莘稼 李晓莉 邹积亭 主编

# 教程

(第二版)



JIANZHU CELIANGXUE JIAOCHE

测绘出版社

TU198/32

2007

高等学校教材

测绘科技专著出版基金资助

# 建筑测量学教程

JIANZHU CELIANGXUE JIAOCHENG

第二版

严莘稼 李晓莉 邹积亭 主编

测绘出版社

· 北京 ·

## 内 容 提 要

本书为土建类专业的测量学基础教程,其内容是根据土木工程专业、给水排水专业和道路与桥梁专业测量学教学大纲编写的,同时考虑到自学和成人教育的需要,每章之后附有小结和一定数量的思考题与习题。全书共十二章。第一至第六章主要讲述测量学的基本概念和知识,常用的和现代的测量仪器、测量误差理论及观测数据处理的基本知识;第七至第九章主要讲述小地区控制测量和大比例尺地形图与成图方法以及在建筑工程中的应用;第十至第十二章介绍工程施工测量及变形监测。

本书可作为高等学校土木工程、建筑学、城市规划、给水排水工程、环境工程、无机非金属材料(建筑材料)工程、道路与桥梁等专业的测量学教程,也可作为高等教育自学、成人考试教材及有关工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑测量学教程/严莘稼,李晓莉,邹积亭主编. —2  
版. —北京:测绘出版社,2007. 9  
ISBN 978-7-5030-1714-8

I. 建… II. ①严…②李…③邹… III. 建筑测量—高等学校—教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 126426 号

责任编辑 贾晓林

封面设计 赵培璧

出版发行 测绘出版社

社 址 北京西城区复外三里河 50 号

邮政编码 100045

电 话 010-68512386 68531558

网 址 www.sinomaps.com

印 刷 北京通州区次渠印刷厂

经 销 新华书店

成品规格 184mm×260mm

印 张 19.5

字 数 470 千字

版 次 2007 年 9 月第 1 版

印 次 2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数 0001—5000

定 价 32.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1714-8/P·456

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

## 第一版前言

测量学是高等学校土建类专业的一门技术基础课程。建筑测量学教程是根据目前工业与民用建筑专业和给水排水专业测量学课程教学大纲编写的教材。考虑因材施教和自学的需要,适量增加了必要的选修内容(注以“\*”号);同时每章之后附有小结,指出前后知识的联系和本章应掌握的重点;还编写了一定数量的思考题与习题,以便于复习和掌握各章的基本内容。因此,本书适用于工业与民用建筑、建筑学、给水排水、城市规划等专业高等学校教学,并可作为高等教育自学考试、成人考试教材。

全书共十章,其内容可分3个部分。第一部分包括第一至第五章,主要讲述了测量学的基本概念和知识,常用测量仪器的构造、使用和检验校正,测量误差理论的基本知识,并介绍了现代测绘仪器及其使用,藉以拓宽知识面;第二部分包括第六章至第八章,主要讲述了小地区控制测量和大比例尺地形图的测绘及在建筑工程中的应用;第三部分包括第九、十章,主要介绍了测设的基本方法以及工业与民用建筑工程和管理工程中的施工测量。

本书由北京建筑工程学院严莘稼、合肥工业大学王依主编。王依编写第一章,李晓莉编写第二章,毛云程编写第三、四章及附录一、二、三、四,严莘稼编写第五、六、七章及附录五,王依、李晓莉合写第八章,解树寰编写第九、十章。1993年6月,经测绘教材编审委员会委托清华大学杨德麟教授,天津大学岳树信副教授初审,中国矿业大学朱鸿禧副教授复审,初、复审者对本书提出了十分宝贵的意见和建议。编者对全书进行了认真修改,最后由严莘稼对全书进行审阅,完成统稿工作。

在审改书稿过程中,又承西南交通大学卓健成教授、北京建筑工程学院测量工程教研室同行提供了许多宝贵意见,在此一并致谢。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者指正。

编者

1995年4月

## 第二版前言

本书为 1996 年测绘出版社出版的《建筑测量学教程》的再版。为适应 21 世纪教育改革的发展和新增专业的教学要求,在第一版的基础上,对教材的内容进行了大量增删,部分内容重新编写。

现代科学技术在测绘科技中得到了极为广泛的应用,促进了测绘学科的技术革新和应用领域的拓展。现代测绘技术已经从常规的地面大地控制测量转移到基于卫星定位系统的卫星大地控制测量、航空摄影测量与遥感相结合的航空航天数字摄影测量系统,地图制图转向电子地图数据库、地理信息系统的建设。而且,从单一的技术结构转向“3S”集成和网络环境的运行体系发展。地面测量仪器的电子化、数字化,不仅提高了测量精度和工作效率,也促进了大比例尺地形图测绘的自动化和数字化,现今大比例尺数字测图已成为地面施测地形图的主流。

目前正处于新老测绘技术的转换时期,在第二版教材的修订过程中,保持了第一版教材的原有体系,对章节的内容进行了筛选,删减了陈旧的内容,充实了现代测绘科技的知识。以基本理论、基本概念和基本方法为重点,力求结构严谨、推理严密、由浅入深、文字通畅,便于教学和自学。

本教材适用于高等学校土木工程、无机非金属材料(建筑材料)工程、城市规划、建筑学、给水排水工程、环境工程、道路与桥梁等专业的教学,并可作为高等教育自学考试、成人继续教育的教材。在教学中,各专业可根据不同的需要和教学计划,对各章节内容进行必要的选择。另外,书中各章配有小结、思考题与习题,以便学生巩固所学知识。

本书由北京建筑工程学院严莘稼、合肥工业大学李晓莉、北京建筑工程学院邹积亭主编。合肥工业大学王依编写第一、九章,李晓莉编写第二、十、十二章,北京建筑工程学院朱凌编写第三、四章及附录一,邹积亭编写第五、十一章,严莘稼编写第六、七、八章及附录二。全书由严莘稼执笔修改,完成统稿。

在改编过程中,承北京建筑工程学院测绘工程系赵西安教授、周克勤副教授的帮助,在此一并致谢。由于科技发展迅速,限于编者水平,书中难免存在不足之处,恳请读者指正,以便再版时修订。

编者

2007 年 4 月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....        | 1  |
| § 1-1 测量学及其在建筑工程中的应用 ..... | 1  |
| § 1-2 测量学的发展概况 .....       | 1  |
| § 1-3 地球的形状和大小 .....       | 3  |
| § 1-4 地面点位的确定 .....        | 5  |
| § 1-5 用水平面代替水准面的限度 .....   | 9  |
| § 1-6 测量工作概念 .....         | 11 |
| § 1-7 学习测量学的目的和要求 .....    | 12 |
| 小结 .....                   | 12 |
| 思考题与习题 .....               | 13 |
| <b>第二章 水准测量</b> .....      | 14 |
| § 2-1 水准测量原理 .....         | 14 |
| § 2-2 水准测量的仪器及工具 .....     | 14 |
| § 2-3 水准仪的使用 .....         | 22 |
| § 2-4 水准测量的外业工作 .....      | 24 |
| § 2-5 水准测量的内业计算 .....      | 28 |
| § 2-6 微倾水准仪的检验与校正 .....    | 31 |
| § 2-7 水准测量的误差及注意事项 .....   | 34 |
| 小结 .....                   | 36 |
| 思考题与习题 .....               | 37 |
| <b>第三章 角度测量</b> .....      | 38 |
| § 3-1 水平角测量原理 .....        | 38 |
| § 3-2 光学经纬仪及其操作 .....      | 38 |
| § 3-3 水平角测量 .....          | 45 |
| § 3-4 竖直角测量 .....          | 47 |
| § 3-5 电子经纬仪 .....          | 50 |
| § 3-6 经纬仪的检验和校正 .....      | 53 |
| § 3-7 角度测量误差及注意事项 .....    | 57 |
| 小结 .....                   | 59 |
| 思考题与习题 .....               | 60 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第四章 距离测量与直线定向</b>          | 62  |
| § 4-1 钢尺量距                    | 62  |
| § 4-2 钢尺检定                    | 67  |
| § 4-3 电磁波测距                   | 68  |
| § 4-4 钢尺量距误差分析与注意事项           | 72  |
| § 4-5 直线定向                    | 73  |
| 小结                            | 75  |
| 思考题与习题                        | 76  |
| <b>第五章 电子全站仪及全球定位系统测量原理简介</b> | 77  |
| § 5-1 电子全站仪简介                 | 77  |
| § 5-2 全球定位系统测量原理简介            | 83  |
| 小结                            | 90  |
| 思考题与习题                        | 91  |
| <b>第六章 测量误差及观测数据处理的基本知识</b>   | 92  |
| § 6-1 测量误差概述                  | 92  |
| § 6-2 偶然误差的统计规律性              | 94  |
| § 6-3 衡量观测值精度的指标              | 97  |
| § 6-4 误差传播定律及其应用              | 100 |
| § 6-5 等精度观测值的算术平均值及精度评定       | 107 |
| § 6-6 非等精度观测值的加权平均值及精度评定      | 110 |
| § 6-7 最小二乘原理及其应用              | 116 |
| 小结                            | 121 |
| 思考题与习题                        | 122 |
| <b>第七章 小地区控制测量</b>            | 124 |
| § 7-1 控制测量概述                  | 124 |
| § 7-2 导线测量                    | 128 |
| § 7-3 GPS 测量                  | 138 |
| § 7-4 小三角测量                   | 145 |
| § 7-5 交会定点测量                  | 146 |
| § 7-6 三、四等水准测量                | 153 |
| § 7-7 三角高程测量                  | 157 |
| 小结                            | 160 |
| 思考题与习题                        | 160 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第八章 大比例尺地形图及成图方法</b> .....  | 163 |
| § 8-1 地形图的基本知识 .....           | 163 |
| § 8-2 地物及地貌符号 .....            | 173 |
| § 8-3 视距测量 .....               | 179 |
| § 8-4 大比例尺地形图常规测绘方法 .....      | 183 |
| § 8-5 大比例尺数字测图 .....           | 193 |
| § 8-6 地形图的数字化 .....            | 204 |
| § 8-7 摄影测量与遥感成图概述 .....        | 210 |
| § 8-8 地理信息系统简介 .....           | 218 |
| 小结.....                        | 223 |
| 思考题与习题.....                    | 224 |
| <b>第九章 地形图的应用</b> .....        | 225 |
| § 9-1 地形图的识读 .....             | 225 |
| § 9-2 地形图应用的基本内容 .....         | 226 |
| § 9-3 在地形图上量算面积 .....          | 228 |
| § 9-4 利用地形图选线 .....            | 231 |
| § 9-5 利用地形图绘制纵断面图 .....        | 232 |
| § 9-6 利用地形图确定汇水面积 .....        | 232 |
| § 9-7 地形图在平整土地中的应用 .....       | 233 |
| 小结.....                        | 235 |
| 思考题与习题.....                    | 236 |
| <b>第十章 工业与民用建筑中的测量工作</b> ..... | 237 |
| § 10-1 施工测量概述 .....            | 238 |
| § 10-2 测设的基本工作 .....           | 239 |
| § 10-3 测设平面点位置的方法 .....        | 241 |
| § 10-4 设计坡度线的测设方法 .....        | 243 |
| § 10-5 建筑场地上的施工控制测量 .....      | 244 |
| § 10-6 民用建筑施工测量 .....          | 247 |
| § 10-7 工业厂房施工测量 .....          | 251 |
| § 10-8 厂房构件安装测量 .....          | 253 |
| § 10-9 竣工总平面图的编绘 .....         | 255 |
| § 10-10 建筑物的变形观测 .....         | 256 |
| 小结.....                        | 265 |
| 思考题与习题.....                    | 266 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第十一章 道路工程测量</b> .....    | 267 |
| § 11-1 道路工程测量概述 .....       | 267 |
| § 11-2 道路初测阶段的测量 .....      | 267 |
| § 11-3 路线中线测量 .....         | 268 |
| § 11-4 单圆曲线元素的计算和主点测设 ..... | 271 |
| § 11-5 单圆曲线的详细测设 .....      | 272 |
| § 11-6 其他圆曲线类型简介 .....      | 275 |
| § 11-7 缓和曲线的测设 .....        | 276 |
| § 11-8 高速公路线型简介 .....       | 279 |
| § 11-9 竖曲线 .....            | 280 |
| § 11-10 路线纵横断面测量 .....      | 281 |
| § 11-11 道路施工测量 .....        | 285 |
| 小结 .....                    | 289 |
| 思考题与习题 .....                | 290 |
| <b>第十二章 管道工程测量</b> .....    | 291 |
| § 12-1 管道工程测量概述 .....       | 291 |
| § 12-2 管道中线测量 .....         | 291 |
| § 12-3 管道纵横断面测量 .....       | 293 |
| § 12-4 管道施工测量 .....         | 296 |
| § 12-5 顶管施工测量 .....         | 297 |
| § 12-6 管道竣工测量 .....         | 298 |
| 小结 .....                    | 298 |
| 思考题与习题 .....                | 299 |
| <b>参考文献</b> .....           | 301 |
| <b>附录一</b> .....            | 302 |
| <b>附录二</b> .....            | 303 |

# 第一章 绪 论

## § 1-1 测量学及其在建筑工程中的应用

测量学与制图学总称为测绘学。测量学是研究地球形状和大小,以及确定地面点相对位置的学科;制图学是研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科。

测量学分测定和测设两部分。测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,获得点位的信息,或将地球表面的地形及其他信息测绘成图;测设是将设计的建筑物及构筑物的空间位置,运用测量的手段将其标定在地面上,作为施工的依据。例如,把设计好的建筑物标定在建筑场地上,则称为测设或放样。

伴随着社会的进步,科学技术的发展,根据研究范围和任务的不同,测量学的分支学科也越来越细,概括起来有如下分支学科:

(1)大地测量学。研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及测定特定地面点空间位置的科学。大地测量学又分为几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学。

(2)摄影测量与遥感学。研究用摄影和遥感的手段,获取被测物体的信息,进而进行分析、处理,以确定物体的形状、大小和空间位置,并判定其属性的科学。摄影测量与遥感学分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学。

(3)工程测量学。研究工程建设在勘测、设计、施工和运营管理各个阶段中测量工作的理论和方法的科学。按建设工程的对象分为建筑测量学、矿山测量学、水利工程测量学、公路测量学、铁道测量学,以及海洋测量学等;按工程的精度要求不同,可分为普通工程测量学、精密工程测量学、特种精密工程测量学等。

(4)普通测量学。研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科。

测绘技术及其成果在工程建设中的应用很广泛,并贯穿工程建设的全过程。在工程的勘测设计阶段,要使用各种比例尺的地形图或电子地图等的测量信息,进行规划、选址、选线 and 设计;在施工阶段,首先要将设计的建(构)筑物的平面位置和高程测设于实地,据此进行施工、安装;施工结束后,需要进行竣工测量,并编绘竣工图,为今后建筑物的扩建、改建、修建提供依据。对于大型、高层、重要建筑物在工程施工过程中和竣工后,还要进行变形监测,以确保工程质量和安全运营,并为今后工程设计和施工累积资料。由此可见,测量工作在土木建筑工程建设的各个阶段中起着重要的作用,特别是大型和重要的建筑工程,测量工作尤为重要。

## § 1-2 测量学的发展概况

测量学是一门历史悠久的科学,它是人类利用大自然和改造大自然的智慧结晶。早在

公元前 3100 年北非尼罗河下游的古埃及,公元前 2100 年前东亚黄河流域的中国,公元前 2000 多年前幼发拉底河、底格里斯河流域的巴比伦,公元前 2500 年至公元前 1500 年南亚印度河、恒河流域的古印度,并称“四大文明古国”,在天文学、历法、建筑、水利等多方面,就为人类作出了巨大贡献。埃及大金字塔的形状和方位如此准确,说明当时已有测设的工具和方法。我国《史记·夏本记》中夏禹治水“左准绳,右规矩”的记载,就是对当时测量工作的描述。

公元前 7 世纪,中国春秋时期管仲所著《管子》一书中已有地图记载。公元前 6 世纪,古希腊毕达哥拉斯论证地球为圆球,并提出地球绕地轴自转的结论。公元前 4 世纪,中国战国时期,魏国石申曾编制世界上最早的星表,后世称为《石氏星经》。公元前 3 世纪,中国开始应用早期的指南针——司南。古希腊爱拉托色尼(公元前 276 年至公元前 195 年)首次应用天文观测方法推算地球半径参数,成为科学大地测量的创始人。中国东汉张衡(公元 78 年至 139 年)发明了浑天仪,把天象正确表示出来;他制作的候风地动仪,为世界上第一台地震仪。西晋的裴秀(公元 224 年至 271 年)总结了前人的制图经验,在他编绘的《禹贡地域图》序言中阐述了“制图六体”,是世界上最早的制图理论。公元 724 年,在唐朝的张遂(僧一行)主持下进行了河南白马到上蔡地球子午线弧长测量,并用日圭测定太阳的阴影,确定纬度,还派人到达北纬  $5^{\circ}$  的海岛进行大规模测量和考察,在世界测量史上也是空前的。

测量学从 17 世纪开始逐渐形成科学体系。1608 年明朝徐光启和意大利的利玛窦合著《测量法义》。荷兰汉斯发明望远镜,此后望远镜普遍用于测量仪器,促进了测量技术的发展。1617 年荷兰斯涅尔首次采用三角测量方法进行弧度测量。1687 年英国牛顿在万有引力学说的基础上,提出了地球是两极略扁的旋转椭球论断。1708 年中国(康熙 47 年)进行了大规模的天文大地测量,发现纬度愈高,每度子午弧长愈长的事实,证明了牛顿论断的正确,比欧洲许多国家都早。1770 年,法国拉格朗日提出应用概率进行测量误差的理论研究。1794 年,德国高斯提出最小二乘原理,以后又创立了正形横圆柱投影理论,首次发表三角测量网按条件平差原理,并提出平均海水面作为地球形状的概念,等等,这些理论经后人改进应用至今。

18 世纪中叶,在欧洲工业革命的推动下,开创了科学技术繁荣的历史时期。1846 年德国卡尔·蔡司光学仪器厂创建,1904 年生产出光学经纬仪,使测量仪器有了重大的改进。1859 年法国洛斯塔开创了摄影测量,当时用于地面摄影测量。1903 年发明了飞机,使航空摄影测量成为可能。1884 年德国赫尔默特发表了《大地测量学的数学和物理学原理》著作,阐述了用重力测量资料求取地球扁率的问题。

20 世纪 50 年代以来,科学技术取得了历史上前所未有的快速发展,且相互渗透,互相融合。如电子学、信息技术、电子计算机、空间科学技术等的广泛应用,推动了测绘科学技术的发展和变革。1947 年瑞典研制了第一台光电测距仪,到 60 年代利用氦氖激光器作为光源的电磁波测距仪问世,是量距工作的重大变革。1950 年西德卡尔·蔡司光学仪器厂生产的第一台自动安平水准仪,标志着水准测量自动化的开端。1990 年生产出数字水准仪,可实现读数和记录的自动化。1968 年电子经纬仪问世,采用光电扫描度盘自动计数和自动显示系统。随即西德奥普托厂将电子经纬仪和电磁波测距仪设计为一体的组合式全站仪用于生产,只要安置一次仪器,就可完成该测站的全部测量工作。80 年代以后,各仪器厂家相继推出集电子经纬仪、电磁波测距仪和微处理器于一体的整体式全站仪、全自动全站仪。地面

测量仪器的自动化、数字化,同时促进了地面数字测图的发展。

随着现代空间技术的应用,20 世纪 70 年代采用人造卫星多普勒定位系统,其定位精度较低。80 年代后,进入卫星定位系统的第二代——全球定位系统(GPS)。因其定位精度高、全天候、高效率、测站无须通视、多功能等特点,赢得广大测绘工作者的青睐,成功地应用于大地测量、工程测量、航空摄影测量、变形监测、地壳运动监测、运载工具导航等多种学科,从而给测绘领域带来一场深刻的技术革命。

除美国研制的 GPS 定位系统外,前苏联研制的 GLONASS 全球导航卫星系统,已于 1996 年 1 月完成,投入运营。欧洲空间局的 NAVSAT 全球导航卫星系统也开展了工作。欧盟委员会正在研制的 GALILEO 全球导航卫星系统,计划 2008~2010 年完成全系统运行配置和测试。

我国自主建立的北斗卫星导航定位系统,由空间星座、地面控制中心系统和用户终端 3 部分构成。空间星座部分包括 3 颗地球同步轨道卫星,于 2000 年 10 月 31 日和 12 月 21 日已分别发射了两颗工作卫星上天,2003 年 5 月 25 日第三颗在轨备用卫星升空。北斗卫星系统服务范围主要是我国所辖区域的导航定位。

航空摄影测量是 20 世纪以来大面积测制地形图的最有效的快速方法。70 年代以后,遥感技术得到极为广泛的应用。通过各种空间飞行器作为遥感平台,提供大量的多时相、多光谱、多分辨率的丰富影像信息,于是摄影测量发展为摄影测量与遥感的结合。摄影测量经历了模拟法、解析法和数字化 3 个发展阶段。70 年代中期,应用电子计算机之后进入解析摄影测量阶段。到 90 年代,解析摄影测量进一步发展为数字摄影测量。从摄影测量和遥感所获取的数据中,采集数字化图形或数字与数字化影像,通过计算机处理,生成各种可视化产品和数字产品。

测绘工作已向自动化、数字化、信息化方向迈进。

## § 1-3 地球的形状和大小

要测定地面点的相对位置,首先要了解地球的形状和大小,在此基础上确定一个基准面,在该面上建立一个统一的坐标系统,依此系统确定点的相对位置。

地球是太阳系中的一颗行星,它的自转和公转使地球形体呈椭球状。其赤道半径大、极半径小。地球的自然表面极其复杂,有高山、丘陵,有盆地、平原和海洋。有高于海平面 8 844.43 m 的珠穆朗玛峰,有低于海平面 11 022 m 的马里亚纳海沟。地形起伏之差近 20 km。但是,由于地球半径很大,约 6 371 km,地面高低变化幅度相对于地球半径只有近 1/300,从宏观上看,相当于橘子表面皱皮的起伏,故仍然可以将地球看作近于光滑的球体。地球自然表面大部分是海洋,约占地球表面积的 71%,陆地仅占 29%,所以人们设想将静止的海水面延伸到大陆内部,形成的闭合曲面来代替地球表面。

地球上每个质点都受到地球引力的作用,同时又受到离心力的作用。所以每个质点都受到这两个力的合力即重力的作用,如图 1-1 所示。地球表面的水面,每个水分子都会受到重力作用。当水面静止时,说明每个水分子的重力位相等。自由静

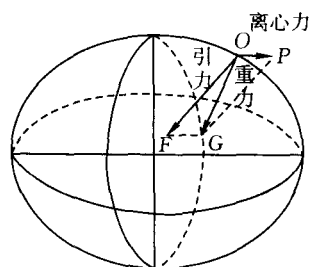


图 1-1

止的水面称为水准面。水准面上处处重力位相等,所以水准面是重力等位面。水面有高、有低,高低面上的重力位能不一样,所以水准面可以有无穷多个,并且互不相交。人们假想将海洋处于静止平衡状态时,与平均海水面相重合,并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合水准面,称为大地水准面。大地水准面上的任何一点均与重力方向正交。重力方向线又称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。大地水准面是测量工作的基准面。

大地水准面所包容的形体称为大地体。研究地球形状和大小就是研究大地水准面的形状和大地体的大小。但是,由于地球内部质量分布不均匀,致使重力方向产生不规则的变化,大地水准面则成为一个不规则的封闭曲面,见图 1-2,这使得大地体并不是一个规则的几何球体。人们无法在这一球体上进行测量数据的处理。因此,通常设想用一个与大地体非常接近的旋转椭球体来代替大地体,该数学形体是以地球自转轴 NS 为短轴的椭圆绕 NS 旋转而成的椭球体,如图 1-3 所示。该椭球面作为测量数据处理的基准面,它是一个规则的数学曲面,公式为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

式中,  $a$ 、 $b$  为地球椭球体的长、短半轴。

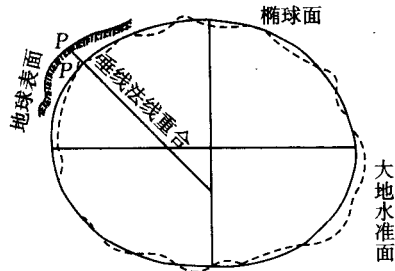


图 1-2

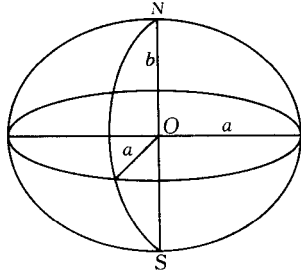


图 1-3

地球椭球体又称参考椭球体,其形状和大小由长半轴  $a$  和短半轴  $b$  及其扁率  $\alpha$  表示,表 1-1 是几种地球椭球的参数,新中国成立前我国采用海福特椭球,新中国成立后采用克拉索夫斯基椭球,其大地原点在俄罗斯的普尔科夫。

表 1-1 几种地球椭球参数

| 参数推算者   | 长半轴 $a/\text{m}$ | 短半轴 $b/\text{m}$ | 扁率 $\alpha$         | 推算年代和国家              |
|---------|------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| 德兰布尔    | 6 375 653        | 6 356 564        | 1 : 334             | 1800 年,法国            |
| 白塞尔     | 6 377 397        | 6 356 079        | 1 : 299.2           | 1841 年,德国            |
| 克拉克     | 6 378 249        | 6 356 515        | 1 : 293.5           | 1880 年,英国            |
| 海福特     | 6 378 388        | 6 356 912        | 1 : 297.0           | 1909 年,美国            |
| 克拉索夫斯基  | 6 378 245        | 6 356 863        | 1 : 298.3           | 1940 年,前苏联           |
| IUGG 75 | 6 378 140        | 6 356 755.3      | 1 : 298.257         | 1979 年国际大地测量与地球物理联合会 |
| WGS 84  | 6 378 137        |                  | 1 : 298.257 223 563 | 1984 年,美国            |

20 世纪 80 年代,我国采用了 1979 年国际大地测量与物理联合会推荐的 (IUGG 75) 地球椭球参数。大地原点选在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。其推荐参数为

长半径:  $a = 6\,378\,140\text{ m}$

扁率:  $\alpha = \frac{a-b}{a} = 1:298.257$

由于地球的扁率很小,在小范围测量时,可视椭球为圆球,其半径为

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6\,371\text{ km}$$

## § 1-4 地面点位的确定

地球表面上各种地物和地貌都是由不同形状的面连接而成,而这些面的位置是由具有代表性的点连接而成的轮廓线所决定的,这些点称为特征点。因此,确定地面上任何地物和地貌的位置,实际上就是确定地面上特征点的位置。

地面点的空间位置一般采用 3 个量表示。其中两个量是地面点沿着投影线(铅垂线或法线)投影在基准面(大地水准面或椭球面或平面)上的坐标,第三个量是地面点沿投影线到基准面的距离(高程)。如图 1-4 所示,地面点 A、B、C 沿基准线投影到基准面上分别为 A'、B'、C',可以确定其在基准面坐标系中的坐标,沿基准线测出各点高程  $H_A$ 、 $H_B$ 、 $H_C$ ,这样地面点的空间位置即可确定下来。

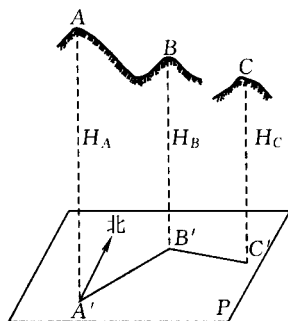


图 1-4

地面点的空间坐标和选用的基准面及坐标系有关。测量上常用的坐标系有天文坐标系、大地坐标系、高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系,以及高程系统等。

### 一、地面点的高程

从地面点沿铅垂线到大地水准面的距离,称为绝对高程或海拔,简称高程,记为  $H$ 。某点到任意假定水准面的距离,称为相对高程或假定高程,用  $H'$  表示。地面上两点间高程之差称为高差,用  $h$  表示,如图 1-5 所示。

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

由此可见,两点之间的高差与高程起算面无关。

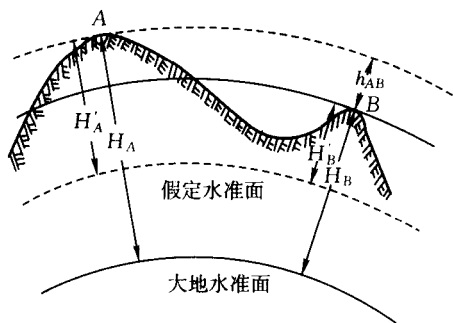


图 1-5

海水面由于受潮汐、风浪等影响,是一个动态的曲面。它的高低时刻在变化,通常是在海边设立一个验潮站,进行长期观测,取海水的平均海面作为高程零点。通过该点的大地水准面称为高程基准面。新中国成立前,我国采用的高程基准面十分混乱。新中国成立后,在青岛市设立国家验潮站,以该站 1950 年到 1956 年的验潮资料推算的黄海平均海水面作为我国的高程起算面。并在青岛市观象山建立了水准原点。水准原点到验潮站平均海水面的高程为 72.289 m。这个高程系统称为“1956 年黄海高程系”。全国各地高程都是以此为根据。

80 年代初,国家又根据 1953 年到 1979 年青岛验潮站的观测资料,推算出新的黄海平

均海水面作为高程零点。由此测得青岛水准原点高程为 72.260 4 m,称为“1985 国家高程基准”。并从 1985 年 1 月 1 日起执行新的高程基准。

## 二、地理坐标系

地面点以垂线在大地水准面上投影的球面坐标,称为天文坐标。分别以天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  表示。地面上任意一点都可以通过天文测量得到天文坐标。

地面点以法线在参考椭球面上投影的球面坐标,称为大地坐标。分别以大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示。通过地面点沿法线到椭球面的距离称为大地高。大地坐标系是以大地经度  $L$ 、大地纬度  $B$  和大地高  $H_x$  表示地面点的空间位置。

由于天文坐标和大地坐标选用的基准线、基准面不同,同一点垂线和法线也不一致,因此会产生垂线偏差,所以同一点的天文坐标与大地坐标不一致。但不管哪种地理坐标,都可确定地面点在地球上的位置,而且可通过垂线偏差公式,将该点的天文坐标和大地坐标进行转换。

大地坐标是根据大地原点(即大地基准点,推算大地坐标的起算点)按大地测量所测数据推算而得。

### 1. 1954 年北京坐标系

新中国建国初期采用克拉索夫斯基椭球建立的坐标系,大地原点在前苏联的普尔科沃,利用与前苏联大地网联测后的坐标,作为我国天文大地网起算数据,然后推算出北京一点坐标,命名为 1954 年北京坐标系。新中国成立以来,在我国经济建设和国防建设中发挥了重要作用。但是有关定位参数与我国实际情况出入较大,存在以下一些问题:

(1)采用的参考椭球长半轴偏大,比 IUGG 75 地球椭球的长半轴大了 100 多米。

(2)椭球基准轴定向不明确。

(3)椭球面与我国大地水准面不太吻合,有自西向东明显的系统性倾斜,东部地区高程异常达 60 多米,全国平均差值为 29 m。

(4)点位精度不高。

### 2. 1980 年国家大地坐标系

为了更好地适应社会发展的需要,克服 54 北京坐标系中的问题,充分发挥我国原有天文大地网的潜在精度,70 年代末,对原大地网重新进行平差计算,选用 IUGG 75 地球椭球,大地原点选在陕西省泾阳县永乐镇,建立了 1980 年国家大地坐标系。

该坐标系椭球面与我国境内大地水准面最佳密合,平差后其大地水准面与椭球面差距在  $\pm 20$  m 之内,边长精度为 1/500 000。

### 3. WGS 84 坐标系

WGS 84 坐标系是世界大地坐标系统,其坐标原点在地心,采用 WGS 84 椭球。利用 GPS 卫星定位系统得到的地面点位置,为 WGS 84 坐标。

## 三、独立平面直角坐标系

当测区较小(如半径小于 10 km),可以用测区中心点的切平面代替椭球面作为基准面,如图 1-6 所示。在切平面上建立独立平面直角坐标系,以该地区真子午线或磁子午线为  $x$  轴,向北为正,为了避免坐标出现负值,将坐标原点选在测区西南角, $y$  轴与  $x$  轴垂直,向东

为正。如图 1-7 所示, A 点的坐标记为  $x_A$ 、 $y_A$ , 其象限为顺时针编号, 与笛卡儿坐标系不同。这种方法适用于附近没有国家控制点的地区。

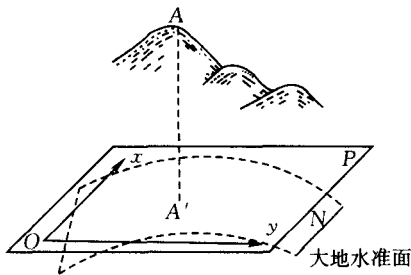


图 1-6

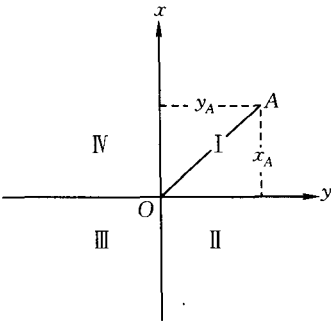


图 1-7

#### 四、高斯投影和高斯平面直角坐标系

当测区面积较大时,不能把地球表面当平面看待,如果要建立平面直角坐标系,必须采用适当的投影方法解决这个问题。大地坐标系是大地测量的基本坐标系,它对于大地问题解算、研究地球形状和大小、编制地图都十分有用。但是将它直接用于地形图测绘、工程建设很不方便,必须考虑地球曲率的影响。因此需要采取一定的投影方法,将球面上的点投影到平面上,通常采用高斯投影方法。

为了控制投影变形,从地球首子午线开始,球面上每经差  $6^\circ$  划为一带,共分为 60 带。从首子午线起由西向东依次编号,共计 60 号,如图 1-8 所示。每一个  $6^\circ$  带中央的子午线称为中央子午线,  $6^\circ$  带中央的子午线经度按下式计算

$$L = 6^\circ n - 3^\circ \tag{1-2}$$

式中,  $n$  为投影带号码。

已知某点的大地经度  $L$ , 可计算该点所属的带号, 即

$$n = \frac{L + 3}{6} \text{ (计算时四舍五入, 取整数)}$$

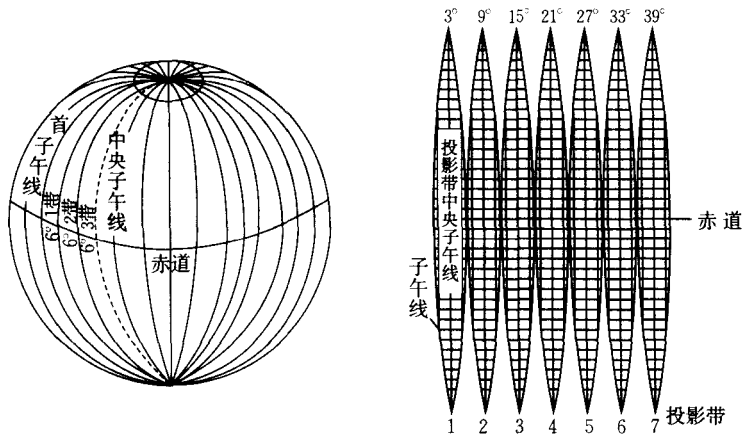


图 1-8

高斯投影为“等角横切圆柱投影”,是地球椭球面和平面间正形投影的一种。假想有一

个椭圆截面的空心横圆柱面,其截面的形状和大小与地球椭球纵截面完全密合,如图 1-9(a)所示。将横圆柱面套在地球上,使横圆柱面的中线通过地球球心,并使地球椭球上某一 6°带的中央子午线与横圆柱面相切。然后将地球椭球面上该 6°带的图形全部投影到横圆柱面的表面上,保持两者的图形等角。如图 1-9(b)所示,将横圆柱面沿南北极的母线切开展成平面,便得到 6°带在平面上的图形。在该图上中央子午线经投影后是一条直线,并且长度不变,偏离中央子午线的其他子午线为凹向中央子午线的弧线,偏离越远长度变形越大。赤道经展开后也是一条直线。以中央子午线作为纵轴  $x$ ,以与其垂直的赤道作为横轴  $y$ ,两轴的交点作为原点,便组成一个高斯平面直角坐标系。按 6°分带可组成 60 个高斯平面坐标系,如图 1-10 所示。

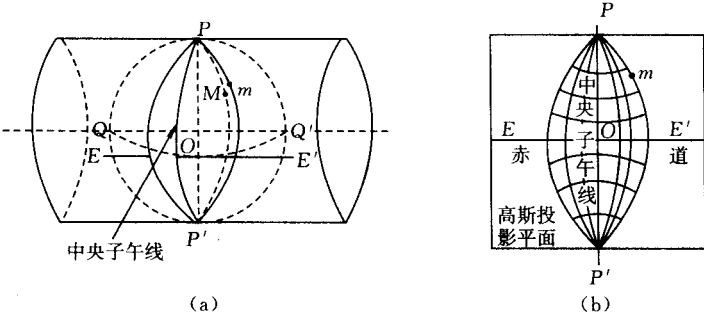


图 1-9

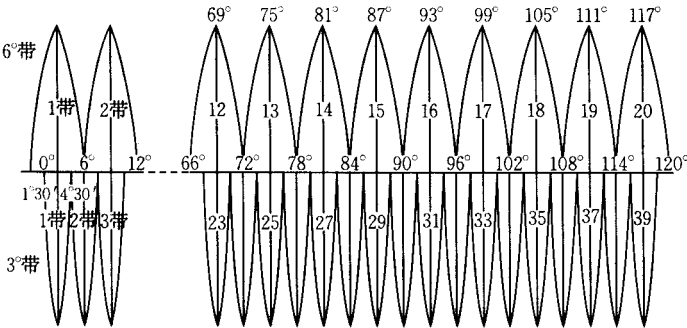


图 1-10

如上所述,除了中央子午线和赤道之外,其余子午线投影之后均为曲线,且离开中央子午线越远变形越大。为了限制变形,以满足大比例尺测图和高精度工程测量的需要,有时采用 3°分带,(见图 1-10)。3°带是在 6°带基础上划分的,自东经 1°30'起,每隔 3°为一带,其中央子午线为奇数带时与 6°带中央子午线重合,偶数带为 6°带边缘子午线,全球共分为 120 带。其中中央子午线经度为

$$L = 3^\circ n \quad (1-3)$$

式中,  $n$  为 3°带带号。

我国位于北半球,纵坐标  $x$  全为正值,  $y$  坐标则有正有负。如图 1-11 所示,  $A$  点在中央子午线以东,  $y_A = +147\,600\text{ m}$ ;  $B$  点在中央子午线以西,  $y_B = -284\,440\text{ m}$ ,这些值称为自然值。为了不使  $y$  值出现负值,规定把坐标纵轴向西移 500 km,则

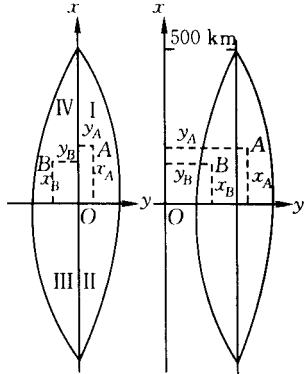


图 1-11