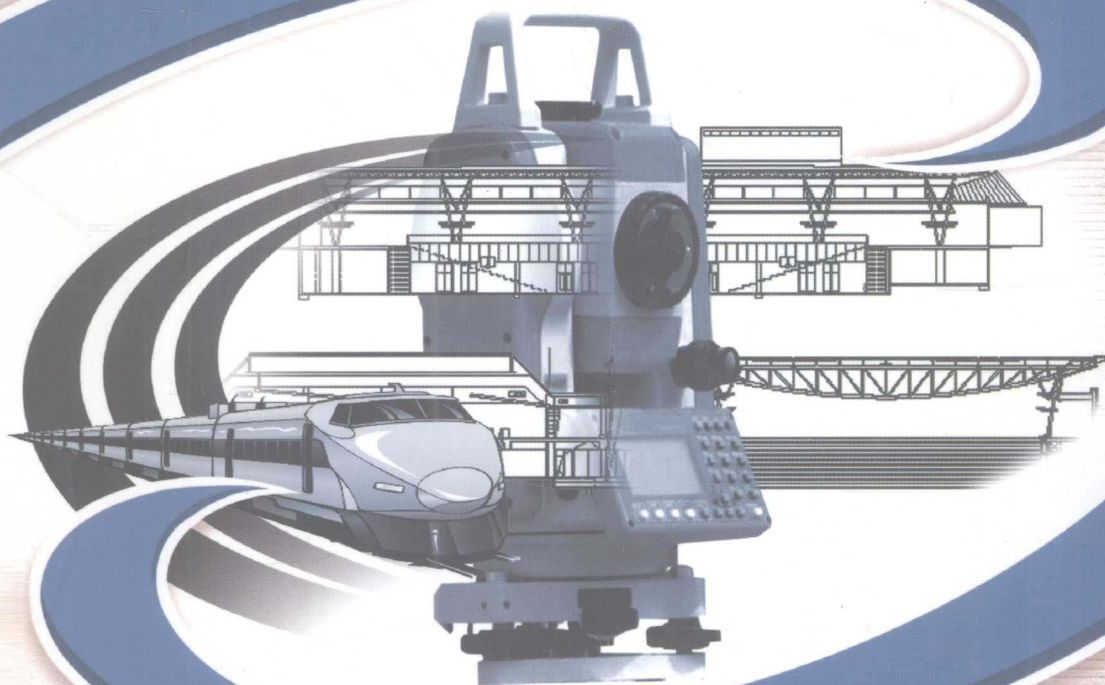


# 工程测量

主 编 撒利伟

副主编 孟鲁闽 王 磊

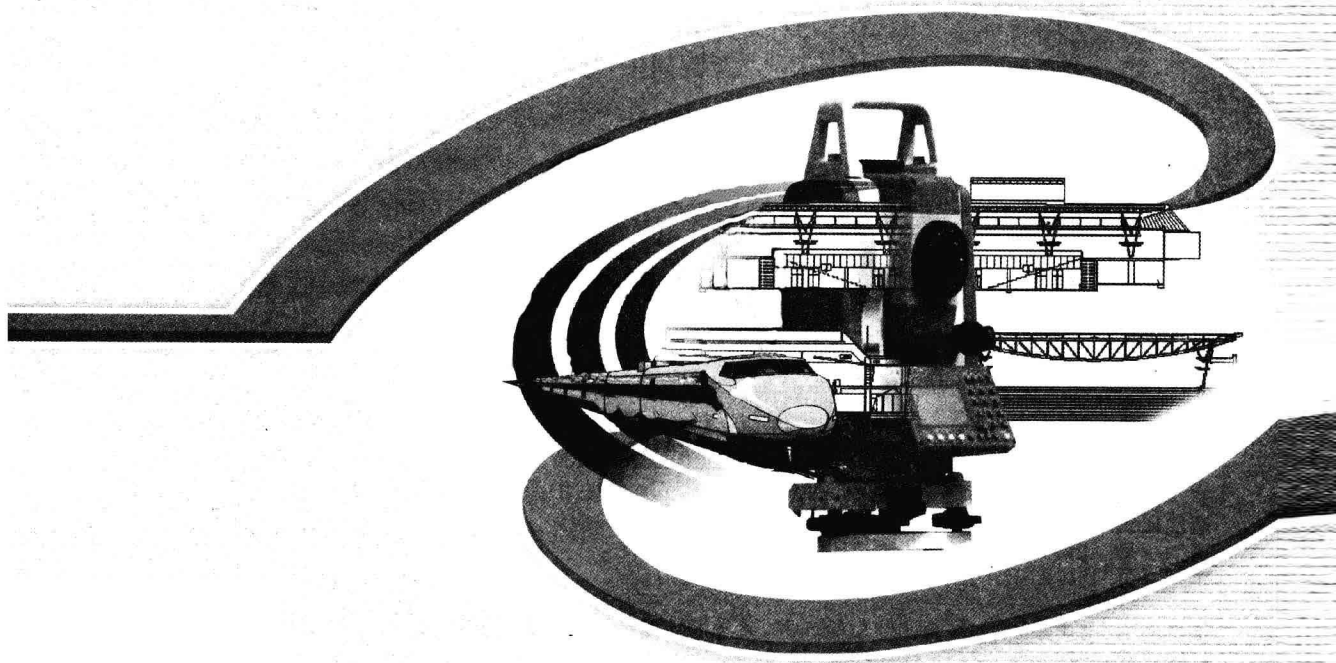


西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

# 工程测量

主 编 撒利伟

副主编 孟鲁闽 王 磊



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书为高等学校土建类专业技术基础课教材。全书共 16 章。主要内容包括工程测量的基本概念、基本理论、基本工作和常用测量仪器的构造与使用方法,测量误差的基本知识,小区域控制测量的外业工作和成果处理,GPS 的工作原理及使用,地形图的基本知识和大比例尺地形图的测绘方法,大比例尺地形图在工程中的应用,测设的基本工作,建筑工程、道桥工程、管道工程中的测量工作以及建筑变形测量。

本书作为教材,注重内容的系统性,便于教学,可作为普通高校、成人高校和高职学校土木工程、工程管理、交通工程、给排水工程等专业学生的教学用书。本书内容实践性较强,结合工程实例,介绍各种工种的测量工作,可供土建类各专业有关工程技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测量/撒利伟主编. —西安:西安交通大学出版社,2010.12  
ISBN 978-7-5605-3769-6

I. ①工… II. ①撒… III. ①工程测量 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 207027 号

---

书 名 工程测量  
主 编 撒利伟  
责任编辑 田华

---

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)  
网 址 <http://www.xjtpress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)  
(029)82668315 82669096(总编办)  
传 真 (029)82668280  
印 刷 陕西丰源印务有限公司

---

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 19.625 插页 1 页 字数 470 千字  
版次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷  
印 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5605-3769-6/TB·60  
定 价 32.00 元

---

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82668133

读者信箱:xj\_rwjg@126.com

版权所有 侵权必究

# 普通高等教育工程管理专业规划教材

## 编写委员会

编委会主任：罗福周

编委会副主任：李 芊

编委会委员(按姓氏笔画排序)：

王 莹      韦海民      卢 梅      兰 峰      刘 桦

刘炳南      张涑贤      宋 宏      郭 斌      徐勇戈

唐晓灵      雷光明      廖 阳      撒利伟

策 划：魏照民      祝翠华



# 总 序

高等学校工程管理专业是教育部 1998 年颁布的《普通高等学校本科专业目录》中设置的专业,是在整合原“建筑管理工程”、“国际工程管理”、“基本建设投资管理”及“房地产经营管理”等专业的基础上形成的,具有很强的综合性和较大的专业覆盖范围,主要研究工程项目建设过程中的计划、组织、指挥、控制、协调与资源配置等管理问题。工程管理专业旨在为国家经济建设和社会发展培养掌握土木工程技术、管理学、经济学及相关法律法规知识,掌握现代工程项目管理的理论、方法与手段,具备综合运用所学知识在国内外工程建设领域从事建设项目全过程的投资、进度、质量控制及合同管理、信息管理和组织协调能力的复合型高级管理人才。

随着我国建筑业、房地产业在国民经济中地位和作用的日益突显,工程管理人才需求呈明显增长趋势,同时也对工程管理专业毕业生提出了更高的要求。因此,如何进一步提高人才培养质量成为设置工程管理专业的高等学校面临的重要课题。而高水平的专业教材作为实现人才培养目标的载体,必将对人才培养质量的提高发挥重要作用。

西安建筑科技大学是全国最早设立工程管理专业的院校之一,该专业于 1999 年首批通过了“全国工程管理专业评估委员会”的评估,2004 年和 2009 年分别以全票通过复评;2004 年该专业被评为陕西省名牌专业,2008 年又被评为国家级特色专业。近年来,西安建筑科技大学工程管理专业在人才培养模式创新方面进行的改革与实践取得了显著效果,得到了社会用人单位和同行的肯定。所以,西安交通大学出版社此次依托西安建筑科技大学工程管理专业的优质办学资源,联合省内外多所兄弟高校,编写出版了这套工程管理专业系列教材。

这套教材以专业必修课程为主,适当考虑专业选修课程。教材的作者都来自工程管理专业教学和科研第一线,对工程管理专业的教育教学与教材建设有切身的体会和感受,并有一些独到的见解。在教材编写过程中,编者结合多年的教学

及工程实践经验,经过反复讨论斟酌,不仅从教材内容的准确性和规范性上下功夫,而且从有效培养学生综合运用所学知识解决工程实际问题的能力出发,注重贴近工程管理实践,对教材内容和结构进行大胆创新,力求使其更加适合学生今后从事相关专业工作的学习需要,更有利于应用型高级工程技术与管理人才的培养。同时,这套教材注意吸收工程管理领域的前沿理论与知识。

由于院校之间、编者之间的差异性,教材中难免会出现一些问题和不足,欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议,也希望参加这套教材编写的教师在今后的教学和科研实践中能够不断积累经验,充实教学内容,以使这套教材能够日臻完善。



建设部高等教育工程管理专业指导委员会委员  
建设部高等教育工程管理专业评估委员会委员  
西安建筑科技大学教授、博导

2010年2月



# 前言

工程测量作为土建类各专业的技术基础课,在工程建设中发挥着举足轻重的作用。随着测量新技术、先进仪器设备在工程中的广泛应用,为工程建设提供了更加完善的保障和技术支持,这就要求工程技术人员需要掌握更多、更全面的测量技术。本书正是为了适应不同专业对测量技术的需要和高等学校专业改革,根据不同专业领域对测量技术的要求,总结多年来的教学经验而编写的。

编写本书的宗旨是使学生在掌握工程测量的基本理论、基本方法的同时,更加注重创新能力、实践能力的培养。按照不同专业的培养目标和教学大纲要求,本书力求做到实用性、先进性,保留了传统的测量理论和方法,对一些已淘汰的测量方法进行了删减,增加了一些介绍先进测量仪器和应用的内容。作为教材,在内容上力求做到完整、系统,突出各章节特点,便于组织教学。理论与实践相结合,由浅入深、突出重点,前半部分介绍测量的基本理论、基本方法,后半部分结合不同专业的特点和工程实例,介绍测量技术在土木、道桥、管道等工程中的应用,可供土建类不同专业学生教学选用,也可作为土建类各专业有关工程技术人员的参考用书。

本书由西安建筑科技大学撒利伟任主编,西安科技大学孟鲁闽、西安工业大学王磊任副主编。参加编写的人员有:西安建筑科技大学撒利伟(第1、14章)、王相东(第4章)、许五弟(第5章)、李凤霞(第8章)、冯晓刚(第12章)、刘明星(第13章)、杨鑫(第15、16章),西安工业大学王晓乾(第2章)、王磊(第6、9章),西安科技大学张静(第3、10、11章)、孟鲁闽(第7章)。

本书在编写过程中参阅了大量的文献资料,在此谨向有关作者致以衷心的感谢。本书在编写过程中得到了西安建筑科技大学建筑勘测研究所的大力支持和西安科技大学、西安工业大学等兄弟院校的帮助,在此一并致谢。

由于编者的水平所限,书中难免出现谬误、纰漏,恳请读者不吝指正。

编者

2010年12月



# 目 录

## 第 1 章 绪论

|                        |      |
|------------------------|------|
| 1.1 工程测量的任务及作用 .....   | (1)  |
| 1.2 测量学的发展 .....       | (2)  |
| 1.3 地面点位的确定 .....      | (3)  |
| 1.4 用水平面代替水准面的影响 ..... | (9)  |
| 1.5 测量工作概述 .....       | (11) |
| 思考与练习 .....            | (12) |

## 第 2 章 水准测量

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 2.1 水准测量原理 .....                | (13) |
| 2.2 水准测量的仪器和工具 .....            | (14) |
| 2.3 自动安平水准仪、精密水准仪和电子水准仪简介 ..... | (19) |
| 2.4 水准测量的实施 .....               | (23) |
| 2.5 三、四等水准测量 .....              | (27) |
| 2.6 水准测量成果的计算 .....             | (30) |
| 2.7 微倾式水准仪的检验与校正 .....          | (32) |
| 2.8 水准测量的误差分析及注意事项 .....        | (35) |
| 思考与练习 .....                     | (38) |

## 第 3 章 角度测量

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 3.1 角度测量原理 .....         | (41) |
| 3.2 光学经纬仪 .....          | (43) |
| 3.3 电子经纬仪 .....          | (47) |
| 3.4 测回法观测水平角 .....       | (49) |
| 3.5 竖直角观测 .....          | (52) |
| 3.6 光学经纬仪的检验与校正 .....    | (56) |
| 3.7 水平角测量误差分析及注意事项 ..... | (61) |
| 思考与练习 .....              | (63) |

## 第 4 章 距离测量

|                   |      |
|-------------------|------|
| 4.1 水平距离的测算 ..... | (65) |
|-------------------|------|

|              |      |
|--------------|------|
| 4.2 钢尺量距     | (66) |
| 4.3 钢尺量距误差分析 | (69) |
| 4.4 电磁波测距    | (71) |
| 4.5 视距测量     | (76) |
| 思考与练习        | (78) |

## 第5章 直线定向

|                 |      |
|-----------------|------|
| 5.1 标准方向        | (80) |
| 5.2 表示直线的方法     | (81) |
| 5.3 三种方位角之间的关系  | (81) |
| 5.4 坐标方位角的计算    | (82) |
| 5.5 罗盘仪测定磁方位角   | (84) |
| 5.6 陀螺经纬仪测定真方位角 | (85) |
| 思考与练习           | (88) |

## 第6章 测量误差基础知识

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 6.1 测量误差概述             | (89)  |
| 6.2 评定测量精度的指标          | (93)  |
| 6.3 直接观测值函数的中误差        | (95)  |
| 6.4 等精度直接观测值的最可靠值及其中误差 | (99)  |
| 思考与练习                  | (103) |

## 第7章 小区域控制测量

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 7.1 控制测量概述      | (104) |
| 7.2 导线测量        | (106) |
| 7.3 查找导线测量错误的方法 | (118) |
| 7.4 控制点的增补      | (119) |
| 7.5 三角高程测量      | (120) |
| 思考与练习           | (123) |

## 第8章 全球定位系统(GPS)简介

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 8.1 概述              | (125) |
| 8.2 GPS 的组成         | (126) |
| 8.3 GPS 定位原理        | (128) |
| 8.4 GPS 坐标系统        | (130) |
| 8.5 GPS 测量的实施       | (131) |
| 8.6 GPS 新技术——网络 RTK | (133) |
| 8.7 GPS 定位技术的应用     | (136) |
| 思考与练习               | (137) |

## 第9章 地形图的基本知识

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 9.1 地形图概述 .....     | (138) |
| 9.2 地形图的比例尺 .....   | (139) |
| 9.3 地形图的分幅和编号 ..... | (141) |
| 9.4 地形图的辅助要素 .....  | (145) |
| 9.5 地形图的地理要素 .....  | (147) |
| 思考与练习 .....         | (156) |

## 第10章 大比例尺地形图测绘

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 10.1 测图前的准备工作 ..... | (157) |
| 10.2 碎部测量 .....     | (159) |
| 10.3 地形图绘制 .....    | (162) |
| 10.4 全站仪数字化测图 ..... | (164) |
| 思考与练习 .....         | (171) |

## 第11章 地形图的应用

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 11.1 地形图应用的基本内容 .....  | (172) |
| 11.2 面积量算 .....        | (174) |
| 11.3 按指定方向绘制纵断面图 ..... | (177) |
| 11.4 按限制坡度确定最短线路 ..... | (178) |
| 11.5 在地形图上确定汇水面积 ..... | (178) |
| 11.6 平整土地中的应用 .....    | (179) |
| 思考与练习 .....            | (183) |

## 第12章 测设的基本工作

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 12.1 测设工作概述 .....         | (185) |
| 12.2 水平距离、水平角和高程的测设 ..... | (186) |
| 12.3 点的平面位置测设 .....       | (189) |
| 12.4 全站仪测设点的平面位置 .....    | (191) |
| 12.5 设计坡度线的测设 .....       | (192) |
| 思考与练习 .....               | (193) |

## 第13章 建筑施工测量

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 13.1 建筑施工测量概述 .....       | (195) |
| 13.2 施工控制测量 .....         | (197) |
| 13.3 民用建筑施工测量 .....       | (201) |
| 13.4 复杂平面形状建筑物的施工放线 ..... | (205) |
| 13.5 高层建筑施工测量 .....       | (213) |

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 13.6 工业厂房施工测量   | (218) |
| 13.7 工业厂房构件安装测量 | (220) |
| 13.8 竣工总图的编绘    | (223) |
| 思考与练习           | (225) |

## 第14章 道路工程测量

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 14.1 道路工程测量概述   | (226) |
| 14.2 中线测量       | (227) |
| 14.3 圆曲线主点测设    | (233) |
| 14.4 圆曲线详细测设    | (235) |
| 14.5 复曲线及缓和曲线测设 | (240) |
| 14.6 道路纵、横断面测量  | (249) |
| 14.7 道路施工测量     | (254) |
| 14.8 桥梁工程测量     | (258) |
| 14.9 隧道施工测量     | (262) |
| 思考与练习           | (266) |

## 第15章 管道工程测量

|                  |       |
|------------------|-------|
| 15.1 管道工程测量概述    | (268) |
| 15.2 管道中线测量      | (269) |
| 15.3 管道纵、横断面图的测绘 | (270) |
| 15.4 地下管道施工测量    | (274) |
| 15.5 顶管施工测量      | (277) |
| 15.6 管道竣工测量      | (278) |
| 思考与练习            | (279) |

## 第16章 建筑变形测量

|               |       |
|---------------|-------|
| 16.1 建筑变形测量概述 | (281) |
| 16.2 建筑沉降观测   | (285) |
| 16.3 基坑回弹观测   | (290) |
| 16.4 建筑水平位移观测 | (292) |
| 16.5 建筑主体倾斜观测 | (294) |
| 16.6 裂缝观测     | (298) |
| 思考与练习         | (299) |
| 参考文献          | (301) |



# 第1章 绪论



## 学习要点

1. 工程测量的任务
2. 测量工作的基准面
3. 确定地面点位的要素
4. 测量工作的基本内容和程序

## 1.1 工程测量的任务及作用

测量学是一门获取反映地球形状、地球重力场、地球上自然和社会要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的数据的学科。根据研究范围、对象和手段不同,形成了许多分支学科。研究地球形状、大小和重力场及其变化,通过建立区域和全球三维控制网、重力网以及利用卫星测量,甚长基线干涉测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科,属于摄影测量与遥感学的范畴。工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。

测量学在国民经济建设各个领域的应用非常广泛,诸如资源调查、能源开发、城乡规划、环境保护、灾害预报和治理、航天技术、科学实验、国防建设等方面都需要应用测绘科学技术。即使在国家的各级管理工作中,测绘资料也是必不可少的基础信息。

工程测量是一门结合工程建设,研究测定地面(包括空中、地下)点位理论和方法的学科,它包括在工程建设勘测、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、监测以及运营管理等一系列工程工序服务的。没有测量工作作为工程建设提供可靠的数据、资料,并及时与之密切配合,任何工程建设都无法顺利进行。

工程测量的任务包括测定、测设和变形观测三个方面。测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算得到地面的点位数据,或把地球表面的地形绘成地形图。在勘测设计阶段,例如

城镇规划、厂址选择、管道和交通线路选线以及建(构)筑物的总平面设计和竖向设计等方面都需要以地形资料为基础,因此需要测绘各种比例尺的地形图。工程竣工后,为了验收工程和以后的维修管理,还需要测绘竣工图。

测设是把图纸上设计好的建(构)筑物的位置,用一定的测量仪器和方法在实地标定出来,作为施工的依据。在施工阶段,需要将设计的建(构)筑物的平面位置和高程,按设计要求以一定的精度测设于实地,便于进行后续施工,并在施工过程中进行一系列的测量工,以衔接和指导各工序间的施工。

变形观测则是利用专用的仪器和方法对变形体的变形现象进行持续观测、对变形体变形形态进行分析和变形体变形的发展态势进行预测等各项工作。对于一些有特殊要求的大型建(构)筑物,如大坝、桥梁、高层建筑物、边坡、隧道和地铁等,为了监测它受各种应力作用下施工和运营的安全稳定性,以及检验其设计理论和施工质量,需要进行变形观测。

工程测量作为一门应用学科,直接服务于各类工程建设。土建类专业的学生,通过本课程的学习,要求掌握普通测量学的基本知识和基础理论;能正确使用土木工程中常用的测量仪器;了解大比例尺地形图的成图原理和方法;在工程设计和施工中,具有正确使用地形图和有关测绘资料的能力及进行一般工程施工测量的能力;了解建(构)筑物变形观测的原理和方法,以便灵活运用所学测量知识更好地为其专业工作服务。

## 1.2 测量学的发展

测量学的发展与社会生产和其他相关科学的发展密切相关。科学技术作为生产力在人类与大自然的斗争中也积累了丰富的经验,并取得了辉煌的成就。早在几千年前,由于生活和生产的需要,中国、埃及、希腊等国家的人民就发明创造了简单的测量工具。我国是世界文明古国,测量学的历史可以追溯到四千多年前,远在上古时期夏禹治水时,为了在黄河两岸治理洪水平整土地,就开始运用一些测量知识和简单的测量工具。春秋时期,管仲在《管子》一书中就收集了早期地图 27 幅。战国时期就有用磁石制成的世界上最早的定向工具“司南”。公元前 350 年左右甘德和石申曾合作编绘了世界上第一个星表——《甘石星表》。到了秦代,为了战争和运输的需要,修筑灵渠,将长江水系和珠江水系连接起来,那时就使用了“水平尺”。长沙马王堆汉墓出土的《驻军图》,比例尺约为 1:25000,图中描述位置之准确,和当地的地形基本吻合,他是迄今为止我国发现最早的地图。汉代张衡发明了“浑天仪”和“地动仪”,是世界上最早的天球仪和地震仪。西晋的裴秀提出了制图的六条原则,即《制图六体》,奠定了中国古代制图的理论基础。他还主持编制了中国全国大地图《地形方丈图》,反映晋十六州的郡国县邑、山川原泽、境界和地名沿革的大型地图集《禹贡地域图》、《海内华夷图》和《地形方丈图》。但这些图已经失传,宋代根据这些图绘制成《华夷图》和《禹迹图》,并将它们刻在古碑上,现保存在西安的碑林。唐代的僧一行主持测量了从河南滑县经浚仪、扶沟到上蔡的子午线长度,并用日圭和太阳影确定纬度,这是我国历史上第一次应用弧度测量的方法测定地球的形状和大小,也是世界上最早子午线长度测量。元代郭守敬在他的倡导下进行了天文测量,且完成了全国的 27 个观测点。清代初年,对全国进行了大地测量并完成《皇舆全图》。北洋军阀和民国时期,测绘科学有了一定的发展,在 1911 年成立了测量局,有些省还建立了测绘学校。

17 世纪初,由于望远镜的发明,随后被应用到测量仪器上,使测绘科学在欧洲得到较大发

展。1617年荷兰人斯纳留斯首次进行了三角测量。1683年法国进行了弧度测量,证明地球是一个两极略扁的旋转椭球体。1794年德国数学家高斯提出了最小二乘法理论,以及随后提出的横圆柱投影理论,对测绘科学理论的发展起到了重要的推动作用。20世纪初随着飞机的出现和摄影测量理论的发展,产生了航空摄影测量,给测绘科学又一次带来了巨大的变革。

20世纪50年代,随着电子技术、信息论、光波技术、空间技术、电子计算机等技术的迅速发展,使测绘科学的理论、方法和测量仪器都有了很大的改进和提高。电磁波测距仪的诞生,使测距工作发生了根本性的变化。自动安平水准仪的出现,标志着水准测量自动化的开始。电子经纬仪、全站仪、电子水准仪等测量仪器的相继问世,实现了外业观测、记录自动化和数据传输、存储、处理,测量内、外业一体化。使测量工作不再是繁重的体力劳动,逐步向数字化、自动化、标准化发展。

1957年第一颗人造地球卫星的发射,使测绘工作有了新的飞跃,开辟了卫星大地测量学这一新领域。70年代,出现了全球定位系统(GPS),它能使精密控制测量精度达到厘米级。GPS定位以其全球、全天候、快速、高精度和无需建立高大测量标志的优点,被广泛应用于大地测量、工程测量、地形测量及其他导航、定位。

建国60年来,我国的测绘事业也进入了一个新的发展阶段。成立了测绘管理部门和研究机构;组建了多所专门培养测绘技术人才的大、中专院校;建立和统一了全国坐标系统和高程系统;建立了遍布全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网;完成了国家大地网、水准网的整体平差和国家基本地形图的测绘工作。测绘仪器制造方面,从无到有,现在我国已经能制造从普通光学仪器到电子水准仪、全站仪、GPS接收机等各种先进测量仪器。

近年来,随着空间科学、信息科学的发展,测量的手段已由常规的大地测量发展到卫星大地测量、由航空摄影测量发展到利用遥感技术进行测量、由静态测量发展到动态实时测量、由普通测量发展到利用三维激光扫描技术测量。目前,广大测绘科技工作致力于将全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)三者结合,将获取的影像建立地理信息空间数据库,利用地理信息系统的强大功能,进行空间数据的获取、存储、显示、编辑、处理、分析、输出和应用。3S(GPS、RS、GIS)技术和数字化测绘技术以及测绘新仪器的广泛应用,使测绘技术趋向自动化、智能化、数字化、实时化和集成化,在国民经济建设乃至人民生活当中,起到越来越重要的作用。

### 1.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置,是在选定的基准面上建立坐标系,通过测定地面点之间的相对位置关系来确定地面点位坐标。

#### 1.3.1 基准面

测量工作是在地球表面进行的,用作测量的基准面应满足形状和大小既和地球比较吻合,又便于研究的要求。

地球的自然表面既有高山、丘陵,又有盆地、平原和海洋等,高低起伏,很不规则。最高的珠穆朗玛峰高出海水面 8844.43 m,最低的马里亚纳海沟低于海水面 11022 m,但是这样的起

伏相对于平均半径 6371 km 的地球而言还是微不足道的。而且,地球表面约 71% 是海洋,因此,人们把被处于静止状态的平均海水面延伸穿过陆地、岛屿所包围的形体假想为地球的形状。

水在静止时的表面称为水准面。地球上任一质点都受到地球自转的离心力和地球引力的作用,这两个力的合力称为重力,重力方向线称为铅垂线,它是测量工作的基准线。水准面同样受到地球重力的作用,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是一个重力等位面,即物体沿该面运动时,重力不做功(如水在这个面上是不会流动的)。而水平面则是与水准面相切的平面。由于水面高低时刻在发生变化,因此水准面有无数多个。其中由静止的平均海水面并向大陆、岛屿延伸所形成的封闭曲面称为大地水准面(见图 1-1)。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。

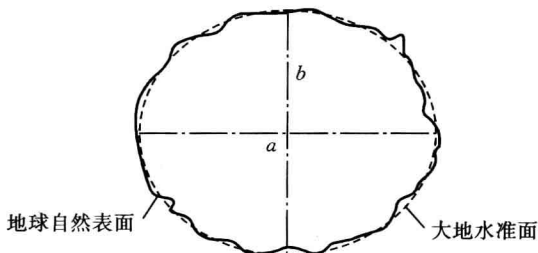


图 1-1 大地水准面

大地体与地球的自然形体是比较接近的,但是由于地球内部质量分布不均匀,致使铅垂线方向产生不规则变化,因此,大地水准面也是一个复杂的曲面,在这样一个复杂的曲面上进行数据处理是不可能的。为了研究方便,通常用一个非常接近大地体,并且可以用数学式表示的几何体来代替地球的形体,即地球椭球(见图 1-2)。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而形成的椭球体,因此地球椭球又称为旋转椭球。其参数方程为

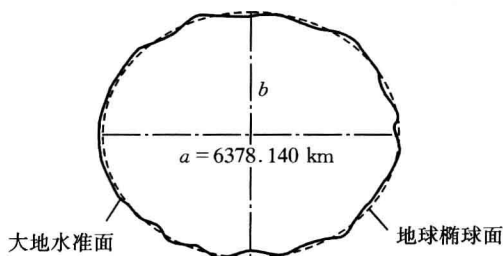


图 1-2 地球椭球面

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

式中:  $a$  为椭球体的长半轴;  $b$  为椭球体的短半轴。

椭球体的扁率  $f$  为

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1-2)$$

2000 国家大地坐标系采用的地球椭球参数如下。

|        |                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------|
| 长半轴    | $a = 6378137 \text{ m}$                                  |
| 扁率     | $f = 1/298.257222101$                                    |
| 地心引力常数 | $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ |
| 自转角速度  | $\omega = 7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$         |

由于地球椭球的扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球椭球近似作为圆球看待,其半径为 6371 km。

### 1.3.2 确定地面点位的方法

在测量工作中,地面点的空间位置需要用三个量来表示,即将地面点沿铅垂线方向投影到地球椭球面(或水平面)上,用地面点投影位置在地球椭球面上的坐标(两个量)和地面点到大地水准面的铅垂距离(高程)来表示地面点的空间位置。

#### 1. 地面点在投影面上的坐标

##### (1) 大地坐标

当研究地面区域较大或整个地球的测量工作时,必须考虑地球曲率的影响,则需要建立地球椭球面的大地坐标系(也称为地理坐标系)。用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示地面点在地球椭球面上的位置,即大地坐标,如图 1-3 所示。

我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系,2000 国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。

##### (2) 平面直角坐标

大地坐标表示的是地面点的球面坐标,而大比例尺地形图的测绘和工程设计都是在平面上进行的,为此,需要将地球椭球面上的地理坐标转化为平面直角坐标。用某种投影条件将投影球面上的地理坐标点投影到平面直角坐标系内,这种投影称为地图投影。地图投影的方法较多,我国多采用的是高斯投影方法。

##### ① 高斯平面直角坐标系。

利用高斯投影法建立的平面直角坐标系,称为高斯平面直角坐标系。在广大区域内确定点的平面位置,一般采用高斯平面直角坐标。

高斯投影法是将地球按一定的经度差划分成若干带,位于各带中央的子午线,称为中央子午线,如图 1-4 所示。然后设想将圆柱面(投影面)紧套在地球外面,使圆柱的中心轴线位于赤道面内并过地球椭球的球心,地球椭球上某带的中央子午线与圆柱面相切,如图 1-5(a)所示。在保证投影前后等角的条件下,将该带上的图形投影到圆柱面上。再将圆柱面沿母线剪开并展开成平面,便得到该带的平面投影,如图 1-5(b)所示。

显然,高斯投影带的中央子午线和赤道的平面投影是两条直线,并且仍是相互垂直关系。距中央子午线越远的部分,其长度变形越大,两侧对称。为了控制投影变形的程度,保证测量精度,通常按精度差  $6^\circ$  划分投影带,即从首子午线(通过英国格林尼治天文台的子午线)起,每隔经度  $6^\circ$  划分一带,称为  $6^\circ$  带,将整个地球椭球划分成 60 个带。带号从首子午线起自西向东依次为 1, 2, 3, ..., 60。将每  $6^\circ$  带依次独立投影到平面上。那么,各带中央子午线的经度  $L_0$  可按式(1-3)计算。

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-3)$$

式中:  $N$  为  $6^\circ$  带的带号。

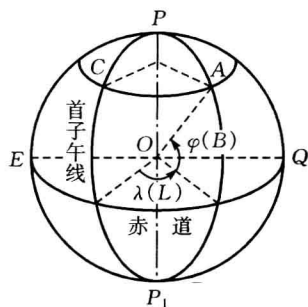


图 1-3 大地坐标系



图 1-4 高斯投影分带

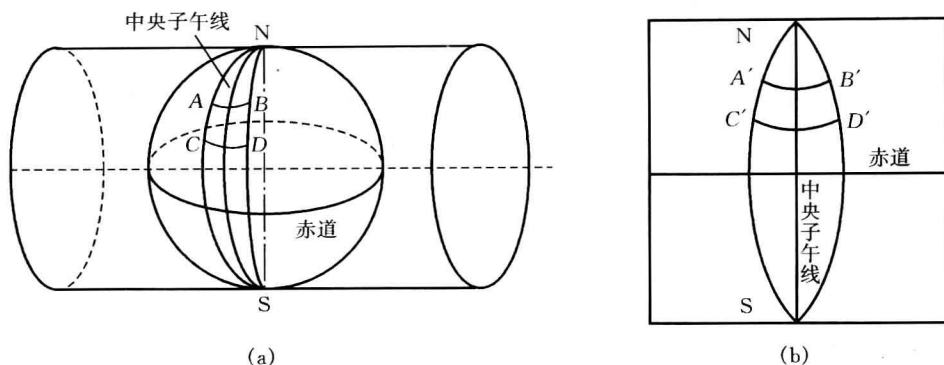


图 1-5 高斯投影

以中央子午线的投影为纵轴,称为  $x$  轴,向北为正;赤道的投影为横轴,称为  $y$  轴,向东为正;两坐标轴的交点为坐标原点  $O$ ,则构成了每带独立的高斯平面直角坐标系。如图 1-6(a)所示。

地面点的平面位置,可用高斯平面直角坐标  $x$ 、 $y$  来表示,如图 1-6(a)所示,  $A$  点坐标  $x_A = +136780$  m,  $y_A = -72440$  m,该坐标值为坐标自然值。我国位于北半球,  $x$  坐标均为正值,  $y$  坐标则有正有负,为了使  $y$  坐标不出现负值,将坐标纵轴向西移 500 km,如图 1-6(b)所示。  $A$  点横坐标则变为  $y_A = 500000 - 72440$  m = 427560 m。为了标明地面点所属的投影带,还规定在横坐标值前冠

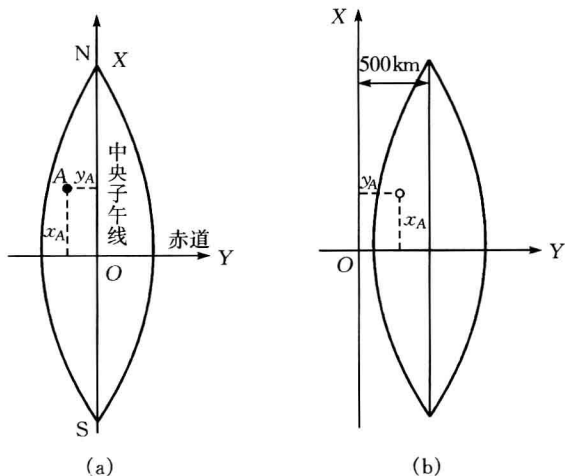


图 1-6 高斯平面直角坐标系

以投影带带号。这样,地面点的坐标就由原坐标自然值变为坐标通用值。例如  $A$  点位于第 21 带,则其坐标通用值则为:  $y_A = 21427560$  m。

为了满足大比例尺地形图测绘和精密测量的需要,要求投影变形更小时,可采用  $3^\circ$  带投影。如图 1-7 所示,  $3^\circ$  带是从东经  $1^\circ 30'$  开始,每隔经度  $3^\circ$  划分一带,将整个地球椭球划分成 120 个带。每一带按前面所叙方法,建立各自的高斯平面直角坐标系。各带中央子午线的经度  $L'_0$ ,可按式(1-4)计算。

$$L'_0 = 3^\circ n \quad (1-4)$$

式中:  $n$  为  $3^\circ$  带的带号。

## ② 独立平面直角坐标系。

地球椭球面虽然是曲面,但当测量区域较小时,可以用与测区中心点相切的水平面来代替曲面,地面点沿铅垂线方向投影到水平面上,用平面直角坐标表示其投影位置,如图 1-8 所示。在这个平面上独立建立的测区平面直角坐标系,称为独立平面直角坐标系。在局部区域内独立确定点的平面位置时,可以采用独立平面直角坐标。