

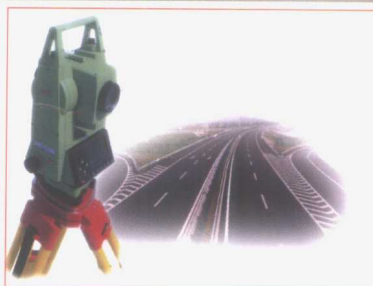


高等学校教材

# 测量学

(第二版)

许娅娅 雒 应 主编  
贺国宏 主审



人民交通出版社  
China Communications Press

高等学校教材

Ce Liang Xue

# 测 量 学

(第二版)

许姪姪 雄 应 主 编  
贺国宏 主 审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本教材共分十四章,第一章介绍测量学的基本概念、基本理论;第二章至第四章阐述测量学的基本知识和测量仪器(包括常规和新型仪器)的使用方法;第五章介绍测量误差的基本知识;第六章介绍小区域控制测量,包括平面控制测量和高程控制测量的施测与计算方法;第七章介绍大比例尺地形图测绘的传统方法和数字化测图的方法;第八章介绍大比例尺地形图应用及数字地面模型在公路工程中的应用;第九章介绍施工测量的基本工作;第十章和十一章介绍道路中线测量、纵横断面测量;第十二章介绍桥梁测量;第十三章介绍隧道测量;第十四章简介“3S”技术及其应用。

本教材为土木工程(包括公路与城市道路、桥梁工程、隧道工程、岩土工程等)和交通工程专业本科“测量学”课程的教材,也可作为相关专业参考教材或供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

测量学 / 许娅娅, 雒应主编. —2 版. —北京: 人民交通出版社, 2002.3

ISBN 7-114-04601-4

I. 测... II. ①许...②雒... III. 测量学  
IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 012898 号

高等学校教材

测 量 学

(第二版)

许娅娅 雒 应 主编

贺国宏 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 戴瑞萍 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 480 千

1997 年 9 月 第 1 版

2003 年 4 月 第 2 版

2003 年 4 月 第 2 版 第 1 次印刷 总第 13 次印刷

印数: 77101—83100 册 定价: 34.00 元

ISBN 7-114-04601-4

面向 21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符铨砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

## 总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向 21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21 世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向 21 世纪交通版  
高等学校教材(公路类)编审委员会  
人民交通出版社  
2001 年 12 月

## 再版前言

随着我国改革开放的深入,测绘技术发生着日新月异的变化。为使教材密切联系实际,更好地服务于经济建设,根据面向 21 世纪交通版高等学校教材编审委员会的安排,特对《测量学》(钟孝顺,聂让主编)进行重新修订,出版第二版。

此次重版,仍保持教材第一版的体系,即加强对测量学的基本知识、基本理论和基本概念的阐述,以及着重介绍地形图测绘与应用和道路中线测量,相对地减弱对误差的矩阵运算和全站仪的具体操作步骤的描述。在内容上,删除了钢尺精密量距方法和摄影测量等基本知识,增加了地形图在野外的应用、施工测量的基本工作等。测量新技术方面,在原有红外测距仪、电子经纬仪和全站仪的基础上,又介绍了电子水准仪、大比例尺数字化测图、新技术在隧道施工中的应用和“3S”技术及其应用,以拓宽学生的知识面。

本书共分十四章。第一、二、四章和第七章第三节由许娅娅编写;第六、十二、十四章由雒应编写;第三、七、八章由初东编写;第五、十三章由李芹芳编写;第十、十一章由田茂杰编写;第九章由张文卿编写。全书由长安大学许娅娅、雒应统稿并主编,长沙交通学院贺国宏教授主审。

由于编者水平有限,教材中难免存在疏漏与不足,谨请读者批评和指正。

编者

2002 年 8 月

## 初 版 前 言

本教材适用于公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道工程专业,简明扼要地阐述了测量学的基本理论以及仪器的操作和计算方法,在取材上尽量做到精练内涵,由浅入深,通俗易懂,从常规技术到新技术、新方法,较全面地介绍了测量学近年来的科学技术成就,并突出地介绍了其在高等级公路、桥梁、隧道等工程上的应用。

本教材共分十三章。第一、二、八、九章由钟孝顺编写;第三、五、十、十一章由聂让编写;第六、十三章由张西利编写;第七、十二章由锥应编写;第四章由王湘曦编写。全书由钟孝顺、聂让统稿,长沙交通学院贺国宏审定。

编 者

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 绪论                  | 1  |
| § 1-1 测量学的任务与应用         | 1  |
| § 1-2 测量学的发展现状          | 2  |
| § 1-3 测量学的基础知识          | 4  |
| § 1-4 测量工作的基本概念         | 10 |
| 思考题与习题                  | 12 |
| 第二章 水准测量                | 13 |
| § 2-1 水准测量原理            | 13 |
| § 2-2 水准测量的仪器和工具        | 13 |
| § 2-3 水准测量的实施及成果整理      | 17 |
| § 2-4 $DS_3$ 级水准仪的检验与校正 | 23 |
| § 2-5 精密水准仪和水准尺         | 25 |
| § 2-6 自动安平水准仪           | 26 |
| § 2-7 电子水准仪             | 28 |
| § 2-8 水准测量的误差及注意事项      | 30 |
| 思考题与习题                  | 32 |
| 第三章 角度测量                | 33 |
| § 3-1 角度测量原理            | 33 |
| § 3-2 光学经纬仪             | 34 |
| § 3-3 水平角观测方法           | 39 |
| § 3-4 竖直角测量             | 43 |
| § 3-5 经纬仪的检验与校正         | 46 |
| § 3-6 角度测量误差及注意事项       | 49 |
| § 3-7 电子经纬仪的测角原理        | 52 |
| 思考题与习题                  | 56 |
| 第四章 距离测量与直线定向           | 57 |
| § 4-1 钢尺量距              | 57 |
| § 4-2 视距测量              | 59 |
| § 4-3 电磁波测距仪测距          | 63 |
| § 4-4 光电测距仪的检验          | 74 |
| § 4-5 直线定向              | 77 |
| § 4-6 方位角测量             | 79 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| § 4-7 全站仪 .....               | 84  |
| 思考题与习题 .....                  | 88  |
| 第五章 测量误差的基本知识 .....           | 90  |
| § 5-1 概述 .....                | 90  |
| § 5-2 衡量精度的指标 .....           | 95  |
| § 5-3 算术平均值及中误差 .....         | 97  |
| § 5-4 误差传播定律及其应用 .....        | 99  |
| § 5-5 权及加权平均值 .....           | 104 |
| 思考题与习题 .....                  | 109 |
| 第六章 小区域控制测量 .....             | 110 |
| § 6-1 概述 .....                | 110 |
| § 6-2 导线测量 .....              | 111 |
| § 6-3 小三角测量 .....             | 121 |
| § 6-4 交会定点 .....              | 130 |
| § 6-5 坐标换带计算 .....            | 135 |
| § 6-6 三、四等水准测量 .....          | 137 |
| § 6-7 三角高程测量 .....            | 140 |
| § 6-8 全站仪三维导线测量 .....         | 142 |
| 思考题与习题 .....                  | 144 |
| 第七章 大比例尺地形图测绘 .....           | 147 |
| § 7-1 地形图测绘的基本知识 .....        | 147 |
| § 7-2 大比例尺地形图传统测绘方法 .....     | 154 |
| § 7-3 大比例尺数字化测图方法 .....       | 164 |
| 思考题与习题 .....                  | 171 |
| 第八章 大比例尺地形图的应用 .....          | 173 |
| § 8-1 阅图的基本知识 .....           | 173 |
| § 8-2 地形图的基本应用 .....          | 174 |
| § 8-3 地形图的工程应用 .....          | 176 |
| § 8-4 数字地面模型及其在路线工程上的应用 ..... | 181 |
| 思考题与习题 .....                  | 185 |
| 第九章 施工测量的基本工作 .....           | 186 |
| § 9-1 概述 .....                | 186 |
| § 9-2 测设的基本工作 .....           | 186 |
| § 9-3 全站仪在测设中的基本应用 .....      | 191 |
| 思考题与习题 .....                  | 192 |
| 第十章 道路中线测量 .....              | 193 |
| § 10-1 概述 .....               | 193 |
| § 10-2 交点和转点的测设 .....         | 193 |
| § 10-3 路线转角的测定和里程桩设置 .....    | 196 |
| § 10-4 圆曲线的测设 .....           | 199 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| § 10-5 带有缓和曲线的平曲线测设 .....   | 203 |
| § 10-6 困难地段的中线测设 .....      | 208 |
| § 10-7 复曲线的测设 .....         | 212 |
| § 10-8 回头曲线的测设 .....        | 217 |
| § 10-9 道路中线逐桩坐标的计算 .....    | 218 |
| § 10-10 用全站仪测设道路中线 .....    | 222 |
| <b>思考题与习题</b> .....         | 223 |
| <b>第十一章 路线纵、横断面测量</b> ..... | 224 |
| § 11-1 概述 .....             | 224 |
| § 11-2 基平测量 .....           | 224 |
| § 11-3 中平测量 .....           | 226 |
| § 11-4 横断面测量 .....          | 231 |
| § 11-5 道路施工测量 .....         | 234 |
| <b>思考题与习题</b> .....         | 236 |
| <b>第十二章 桥梁测量</b> .....      | 238 |
| § 12-1 概述 .....             | 238 |
| § 12-2 桥位控制测量 .....         | 239 |
| § 12-3 桥轴线纵断面测量 .....       | 240 |
| § 12-4 河流比降测量 .....         | 242 |
| § 12-5 桥台、桥墩施工测量 .....      | 243 |
| § 12-6 涵洞施工测量 .....         | 247 |
| § 12-7 其它构造物施工测量 .....      | 248 |
| <b>思考题与习题</b> .....         | 249 |
| <b>第十三章 隧道测量</b> .....      | 250 |
| § 13-1 概述 .....             | 250 |
| § 13-2 地面控制测量 .....         | 251 |
| § 13-3 竖井联系测量 .....         | 253 |
| § 13-4 地下控制测量 .....         | 259 |
| § 13-5 隧道开挖中的测量工作 .....     | 263 |
| § 13-6 贯通测量的误差预计 .....      | 265 |
| § 13-7 隧道贯通误差的测定与调整 .....   | 268 |
| § 13-8 新技术在隧道施工中的应用 .....   | 270 |
| <b>思考题与习题</b> .....         | 272 |
| <b>第十四章 “3S”技术简介</b> .....  | 273 |
| § 14-1 概述 .....             | 273 |
| § 14-2 GPS 全球定位系统的组成 .....  | 274 |
| § 14-3 GPS 坐标系统 .....       | 277 |
| § 14-4 GPS 定位原理 .....       | 279 |
| § 14-5 GPS 测量的实施 .....      | 284 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| § 14-6 实时 GPS 的应用 .....    | 287 |
| § 14-7 GIS 与 RS 技术简介 ..... | 289 |
| § 14-8 “3S”集成技术与应用简介 ..... | 295 |
| 思考题与习题 .....               | 299 |
| 参考文献 .....                 | 300 |

# 第一章 绪 论

## § 1-1 测量学的任务与应用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位的科学。它的任务包括测绘和测设两个部分。测绘是指使用测量仪器和工具,通过观测和计算,得到一系列测量数据,把地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学按照研究范围和对象的不同,可分为以下几个分支学科:

**普通测量学:**研究地球表面小范围测绘的基本理论、技术和方法,不顾及地球曲率的影响,把地球局部表面当作平面看待,是测量学的基础。

**大地测量学:**研究整个地球的形状和大小,解决大地区控制测量和地球重力场问题的学科。由于人造地球卫星的发射和科学技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

**摄影测量与遥感学:**研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息(影像或数字形式),进行分析处理,绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。由于获取像片的方法不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等。特别是由于遥感技术的发展,摄影方式和研究对象日趋多样,不仅是固体的、静态的对象,即使是液体、气体以及随时间而变化的动态对象,都是摄影测量学的研究范畴。

**海洋测绘学:**以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编绘工作,属于海洋测绘学的范畴。

**工程测量学:**研究工程建设和资源开发中,在规划、设计、施工、管理各阶段,进行的控制测量、地形测绘和施工放样、变形监测的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同,工程测量又可分为矿山工程测量学、水利工程测量学、公路工程测量学以及铁路工程测量学等。

**制图学:**利用测量所得的成果资料,研究如何投影编绘和印制各种地图的工作,属于制图学的范畴。

本教材主要介绍普通测量学和部分工程测量学的内容。

测量学应用很广,在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是重要的基础信息之一,各种规划及地籍管理,首先要有地形图和地籍图。另外,在各项经济建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星和航天器的发射,要保证它精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球的形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学试验方面,诸如空间科学技术的研究、地壳的变形、地震预报、灾情监测、空间技术研究、海底资源探

测、大坝变形监测、加速器和核电站运营的监测等,以及地极周期性运动的研究,无一不需要测绘工作紧密配合和提供空间信息。即使在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。

测量学在土木工程专业的工作中有着广泛的应用。例如,在勘测设计的各个阶段,需要勘测区的地形信息和地形图或电子地图,供工程规划、选择厂址和设计使用。在施工阶段,要进行施工测量,将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,以便进行施工;伴随着施工的进展,不断地测设高程和轴线,以指导施工;并且根据需要还要进行设备的安装测量。在施工的同时,要根据建(构)筑物的要求,开始变形观测,直至建(构)筑物基本上停止变形为止,监测施工的建(构)筑物变形的全过程,为保护建(构)筑物提供资料。施工结束后,及时地进行竣工测量,绘制竣工图,为日后扩建、改建、修建提供依据。在建(构)筑物使用和工程的运营阶段,对某些大型及重要的建筑物和构筑物,还要继续进行变形观测和安全监测,为安全运营和生产提供资料。由此可见,测量工作在土木工程专业应用十分广泛,它贯穿着工程建设的全过程,特别是大型和重要的工程,测量工作更是重中之重。

本课程是土木工程专业的技术基础课。土木工程各专业的学生,学习本课程之后,要求达到掌握普通测量学的基本知识和基本理论;了解先进测绘仪器的原理,具有使用测量仪器的操作技能,基本掌握大比例尺地形图的测图原理和方法;对数字测图的过程有所了解;在工程规划、设计和施工中能正确地应用地形图和测量信息;掌握处理测量数据的理论和评定精度的方法。在施工过程中,能正确使用测量仪器进行工程的施工放样工作。

测量学是一门实践性很强的课程,在教学过程中,除了课堂讲授之外,还有实验课和教学实习。在掌握讲授内容的同时,要认真参加实验课,以巩固和验证所学理论。教学实习是一个系统的实践环节,要自始至终完成各项作业的实习,才能对测量学的系统知识和实践过程有一个完整的、系统的认识。

## § 1-2 测量学的发展现状

### 一、测量学的发展简史

科学的产生和发展是由生产决定的。测量科学也不例外,它是人类长期以来,在生活和生产方面与自然界斗争的结晶。由于生活和生产的需要,测量工作在远古时代的人类社会中被用于实际。早在公元前 21 世纪夏禹治水时,已使用了“准、绳、规、矩”四种测量工具和方法。埃及尼罗河泛滥后在农田的整治中也应用了原始的测量技术。

在天文测量方面,远在颛顼高阳氏(公元前 2513 ~ 公元前 2434 年)便开始观测日、月、五星,来定一年的长短。战国时已首先制出了世界最早的恒星表。秦代(公元前 246 ~ 公元前 207 年)用颛顼历定一年的长短为 365.25 天,与罗马人的儒略历相同,但比其早四五百年。宋代的《统天历》,一年为 365.2425 日,与现代值相比,只有 26s 的误差,可见天文测量在古代已有很大发展。

在研究地球形状和大小方面,在公元前就有人提出丈量子午线的弧长,以推断地球的大小、形状。我国于唐代(公元 724 年)在一行僧主持下,实量河南白马到上蔡的距离和北极高度角,得出子午线 1 度的弧长为 132.31km,为人类正确认识地球做出了贡献。1849 年,斯托克斯提出利用重力观测资料确定地球形状的理论,之后又提出了用大地水准面代替地球形状,从此

确认了大地水准面比椭球面更接近地球的真实形状的观念。

17 世纪以来,望远镜的应用,为测量科学的发展开拓了光明前景,使测量方法、测量仪器有了重大的改变。三角测量方法的创立,大地测量的广泛开展,对进一步研究地球的形状和大小,以及测绘地形图都起了重要作用;同时在测量理论方面也有不少创新,如高斯的最小二乘法理论和横圆柱投影理论,就是其中的重要例证,一直使用至今。地形图是测绘工作的重要成果,是生产和军事活动的重要工具,最早于公元前 20 世纪已被人们所重视。我国最早的记载是夏禹将地图铸于九鼎上,这是地图的雏形。此后历代都编制过多种地图,由此足以说明地图的测绘已有较大发展,但是测绘工作仍用手工业生产方式。1903 年飞机的发明,使摄影测量成为可能,不但提高了成图速度,减轻了劳动强度,而且改变了测绘地形图的工作现状,为由手工业生产方式向自动化方式转化开创了光明的前景。

## 二、测量学的发展现状

20 世纪中叶,新的科学技术得到了快速发展,特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等,在其自身发展的同时,给测量科学的发展开拓了广阔的道路,创造了发展的条件,推动着测量技术和仪器的变革和进步。测绘科学的发展很大部分是从测绘仪器发展开始的,其后使测量技术产生了重大的变革和进步。1947 年,光电测距仪问世,20 世纪 60 年代激光器作为光源用于电磁波测距,彻底改变了大地测量工作中以角换算距离的面貌,因此除用三角测量外,还可用导线测量和三边测量。随着光源和微处理机的问世和应用,使测距工作向着自动化方向发展。氦氖激光光源的应用使测程达到 60km 以上,精度达到  $\pm(5\text{mm} + 5 \times 10^{-6}D)$ 。80 年代开始,多波段(多色)载波测距的出现,抵偿、减弱了大气条件的影响,使测距精度大大提高。ME5000 测距仪达到  $\pm(0.2\text{mm} + 0.1 \times 10^{-6}D)$  标称精度。与此同时,砷化钾发光管和激光光源的使用,使测距仪的体积大大减小,重量减轻,向着小型化大大迈进了一步。

测角仪器的发展也十分迅速,它和其它仪器一样,随着科学技术的进步而发展。经纬仪从金属度盘发展为光学度盘、电子度盘和电子读数,且能自动显示、自动记录,完成了自动化测角的进程,自动测角的电子经纬仪由此问世,并得到应用。同时,电子经纬仪和测距仪结合,形成了电子速测仪(全站仪),其体积小,质量轻,功能全,自动化程度高,为数字测图开拓了广阔前景。最近又推出了智能全站仪,连瞄准目标也可自动化。

20 世纪 40 年代,自动安平水准仪的问世,标志着水准测量自动化的开端。之后,又发展了激光水准仪、激光扫平仪,为提高水准测量的精度和用途创造了条件。近年来,数字水准仪的诞生,也使水准测量中的自动记录、自动传输、存储和处理数据成为现实。

20 世纪 80 年代,全球定位系统(GPS)问世,采用卫星直接进行空间点的三维定位,引起了测绘工作的重大变革。由于卫星定位具有全球性、全天候、快速、高精度和无需建立高标等优点,被广泛用在大地测量、工程测量、地形测量及军事的导航定位上。世界上很多国家为了使用全球定位系统的信号,迅速进行了接收机的研制,现已生产出体积小、功能全、质量轻的第五代产品。

除了美国研制的 GPS 定位系统外,前苏联研制了 GLONASS 定位系统,还有欧洲空间局的全球卫星导航系统(NAVSATD)等都开展了工作。我国也在进行卫星导航定位系统的研究,所研制的双星定位系统已有很大进展,不久即将问世;另外,全球定位系统(GPS)的应用研究进展很快,做出了很大的成果。

由于测量仪器的飞速发展和计算机技术的广泛应用,地面的测图系统由过去的传统测绘

方式发展为数字测图,所以地形图是由数字表示的,用计算机进行绘制,使管理既便捷又迅速,而且精度可靠。

### 三、我国测绘事业的发展

我国测绘科学的发展从中华人民共和国成立后才进入了一个崭新的阶段。1956 年成立了国家测绘总局,建立了测绘研究机构,组建了专门培养测绘人才的院校。各业务部门也纷纷成立测绘机构,党和国家对测绘工作给予了很大的关怀和重视。

在测绘工作方面,建立和统一了全国坐标系统和高程系统,建立了全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网,完成了大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本地形图的测绘工作;进行了珠峰和南极长城站的地理位置和高程的测量;同时各种工程建设的测绘工作也取得显著成绩,如长江大桥、葛洲坝水电站、宝山钢铁厂、正负电子对撞机和同步辐射加速器、核电站等大型和特殊工程的测绘工作。出版发行了地图 1 600 多种,发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造方面从无到有,发展迅速,已生产了多种不同等级、不同型号的电磁波测距仪。我国全站仪已经批量生产,国产 GPS 接收机已广泛使用,传统的测绘仪器产品已经配套下线。已建成全国 GPS 大地控制网。各部门对地理信息系统(GIS)的建立和应用十分重视,已经着手建立各行业的 GIS 系统,测绘工作已经为建立这一系统提供了大量的基础数据。

综上所述,我国在测绘事业上已经做出了大量的工作,为国民经济建设和国防建设做出了不可磨灭的贡献,但是与国际先进水平相比还有一定差距。我们要发奋图强,迅速赶上国际先进水平,为祖国的测绘事业做出更大的贡献。

## § 1-3 测量学的基础知识

### 一、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,但地球表面形状十分复杂。通过长期的测绘工作和科学调查,了解到地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%,世界第一高峰珠穆朗玛峰高出海平面 8 848.13m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟低于海水面达 11 022m。尽管有这样大的高低起伏,但相对于地球半径 6 371km 来说仍可忽略不计。因此,测量中把地球总体形状看作是由静止的海水面向陆地延伸所包围的球体。

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。静止的水面称为水准面,水准面是受地球重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面可高可低,因此,符合上述特点的水准面有无数多个,其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面包围的地球形体,称为大地体。

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。用大地体表示地球形体是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面是一个复杂的曲面[图 1-1a)],无法在这曲面上进行测量数据处理。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球)来代替地球的形状

[如图 1-1b)]作为测量计算工作的基准面。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称为旋转椭球。如图 1-2,旋转椭球体的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球的基本元素是:长半轴  $a$ 、短半轴  $b$  和扁率  $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。

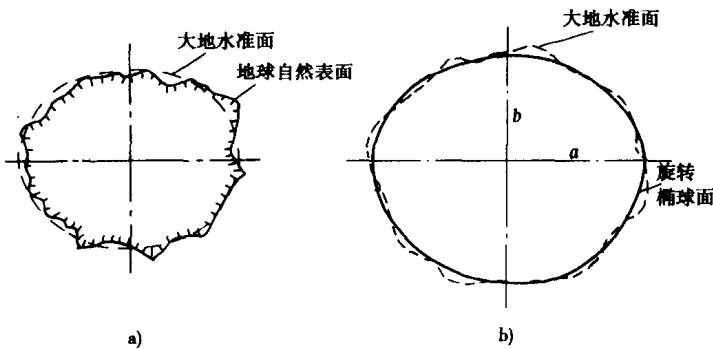


图 1-1 大地水准面

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素是:

$$a = 6\,378\,140\text{m}, \quad b = 6\,356\,755.3\text{m}, \quad \alpha = 1/298.257。$$

根据一定条件,确定参考椭球与大地水准面相对位置的测量工作,称为参考椭球体的定位。在一个国家适当地点选一点  $P$ ,过  $P$  作大地水准面的铅垂线,设其交点为  $P'$ (如图 1-3),再按以下条件确定参考椭球面:

- 1.使  $P'$ 点为参考椭球面的切点,这时大地水准面的铅垂线与该椭球面的法线在  $P$  点重合;
- 2.使椭球的短轴与地球自转轴平行;
- 3.使椭球面与这个国家范围上的大地水准面的差距尽量地小。

这样就确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系,它称为椭球的定位。

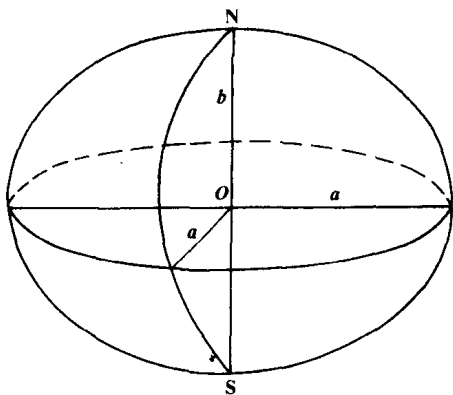


图 1-2 旋转椭球体

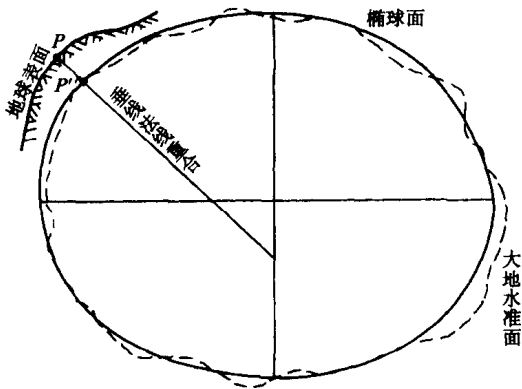


图 1-3 参考椭球体的定位

这里,  $P$  点称为大地原点。我国大地原点位于陕西泾阳永乐镇,在大地原点上进行了精密天文测量和精密水准测量,获得了大地原点的平面起算数据,以此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球体的扁率很小,当测区不大时,可将地球当作圆球,其半径的近似值为 6 371km。