



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪交通版高等学校教材

测量学

Surveying

(第三版)

许娅娅 雒 应 主 编
潘国荣 孙家驹 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪交通版高等学校教材

测 量 学

(第三版)

许娅娅	雒 应	主编
潘国荣	孙家驹	主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分十五章,第一章介绍测量学的基本概念、基本理论;第二章至第五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)的操作使用方法;第六章介绍测量误差的基本知识;第七章介绍控制测量,包括平面控制测量和高程控制测量的测量与计算方法;第八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;第九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;第十章介绍施工测量的基本工作;第十一章和第十二章介绍道路中线测量,路线纵、横断面测量;第十三章介绍桥梁测量;第十四章介绍隧道测量;第十五章简介“3S”技术及其应用。

本书可作为包括道路桥梁与渡河工程(公路与城市道路、桥梁工程、隧道工程、岩土工程等)专业、交通工程专业和公路工程管理专业、土木工程专业(路桥方向)测量学课程的教材,也可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. —3版. —北京:人民交通出版社,2009.5

ISBN 978-7-114-07677-0

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(2009)第041641号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪交通版高等学校教材

书 名: 测量学(第三版)

著 作 者: 许娅娅 雒 应

责任编辑: 沈鸿雁 丁润铎

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 523千

版 次: 1997年9月 第1版

2003年4月 第2版

2009年5月 第3版

印 次: 2009年5月 第1次印刷 总第22次印刷

印 数: 0001—5000册

书 号: ISBN 978-7-114-07677-0

定 价: 36.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版
高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问 问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘 书 长:沈鸿雁 (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 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 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。

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,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,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。

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

第三版前言

随着测绘技术日新月异的发展和测绘新技术的广泛应用,国家对相关行业技术规范进行了修订。为使《测量学》教材紧密联系实际,更好地服务于经济建设,根据“十一五”高等学校教材编写委员会的安排,在第二版的基础上,重新编写出版第三版。

《测量学》第三版仍保持第二版的教材体系。加强了测量学的基本知识、基本理论和基本概念的阐述,着重讲述了地形图测绘与应用的知识,详细介绍了公路测量及施工放样测量的知识。在教材内容上,依据《公路勘测规范》(JTG C10—2007)和《公路勘测细则》(JTG/T C10—2007),相应章节增加了公路控制测量等级选定及技术要求。在教材内容编排方面,应广大读者的要求,将全站仪另列一章,并适当增加具体操作步骤;道路测量中增加了用 GPS RTK 技术测设公路中线;隧道测量中增加了路线引测进洞数据的计算、隧道开挖断面测量、辅助坑道施工测量等。在测量新技术方面,介绍了红外测距仪、电子经纬仪、全站仪、电子水准仪、大比例尺数字化测图等内容,以增强学生掌握和运用测量新技术的能力;简单介绍了“3S”技术及其应用,以拓宽学生的知识面。

本教材系统地阐述了测量学的基本概念、基本理论、基本知识;同时较为详细地介绍了常规测量仪器及现代化先进测量仪器的操作技能,以及其在公路工程、桥梁工程、隧道工程等中的应用。

本书共分十五章。第一至六章由许娅娅编写;第七、十三、十五章由雒应编写;第八、九章由慕慧编写;第十一、十二章由赵永平编写;第十章由张文卿编写;第十四章由秦建平编写。全书由许娅娅、雒应统稿,许娅娅定稿;由同济大学潘国荣教授、重庆交通大学孙家驹教授主审。

由于编者水平有限,教材中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月于长安大学

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距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,谨请读者批评与指证。

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、十二章由雒应编写;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
第一节 测量学的任务与应用	1
第二节 测量学的发展与现状	3
第三节 测量学的基础知识	5
第四节 测量工作的基本概念	12
思考题与习题	13
第二章 水准测量	14
第一节 水准测量原理	14
第二节 水准测量的仪器和工具	15
第三节 水准测量的实施及成果整理	19
第四节 DS_3 级水准仪的检验与校正	24
第五节 精密水准仪和水准尺	27
第六节 自动安平水准仪	28
第七节 电子水准仪	30
第八节 水准测量的误差及注意事项	32
思考题与习题	35
第三章 角度测量	36
第一节 角度测量原理	36
第二节 光学经纬仪	37
第三节 水平角测量	41
第四节 竖直角测量	45
第五节 经纬仪的检验与校正	48
第六节 角度测量误差及注意事项	51
第七节 电子经纬仪	55
思考题与习题	58
第四章 距离测量和直线定向	59
第一节 钢尺量距	59
第二节 视距测量	61
第三节 电磁波测距仪测距	65
第四节 电磁波测距仪的检验	75
第五节 直线定向	79
第六节 方位角测量	81
思考题与习题	85

第五章 全站仪测量	86
第一节 概述	86
第二节 全站仪的使用	94
第三节 全站仪的检定	108
思考题与习题	112
第六章 测量误差的基本理论	113
第一节 概述	113
第二节 衡量精度的指标	118
第三节 算术平均值及其中误差	119
第四节 误差传播定律及其应用	122
第五节 权及加权平均值	127
思考题与习题	132
第七章 控制测量	133
第一节 概述	133
第二节 控制测量的等级与技术要求	134
第三节 导线测量	140
第四节 三角测量	149
第五节 交会定点	151
第六节 坐标换带计算	156
第七节 三等、四等水准测量	158
第八节 三角高程测量	161
思考题与习题	162
第八章 大比例尺地形图测绘	164
第一节 地形图测绘的基本知识	164
第二节 大比例尺地形图传统测绘方法	174
第三节 大比例尺数字测图	185
思考题与习题	195
第九章 大比例尺地形图的应用	196
第一节 阅图的基本知识	196
第二节 地形图的基本应用	199
第三节 地形图的工程应用	200
第四节 数字地面模型及其在路线工程上的应用	206
思考题与习题	210
第十章 施工测量的基本工作	211
第一节 概述	211
第二节 测设的基本工作	211
思考题与习题	216
第十一章 道路中线测量	217

第一节	概述	217
第二节	交点和转点的测设	217
第三节	路线转角的测定和里程桩设置	220
第四节	圆曲线测设	223
第五节	带有缓和曲线的平曲线测设	228
第六节	虚交点的测设	232
第七节	复曲线的测设	236
第八节	回头曲线的测设	239
第九节	道路中线逐桩坐标的计算	240
第十节	用全站仪测设道路中线	244
第十一节	用 GPS RTK 技术测设公路中线	245
	思考题与习题	248
第十二章	路线纵、横断面测量	250
第一节	概述	250
第二节	基平测量	250
第三节	中平测量	252
第四节	横断面测量	255
	思考题与习题	259
第十三章	桥梁测量	260
第一节	概述	260
第二节	桥位控制测量	261
第三节	桥轴线纵断面测量	263
第四节	河流比降测量	265
第五节	桥台、桥墩施工测量	266
第六节	涵洞施工测量	270
第七节	其他构造物施工测量	271
	思考题与习题	272
第十四章	隧道测量	273
第一节	概述	273
第二节	隧道洞外控制测量	275
第三节	路线引测进洞数据的计算	277
第四节	竖井联系测量	278
第五节	隧道洞内导线与洞内中线测量	284
第六节	隧道洞内水准测量	287
第七节	隧道开挖断面测量	289
第八节	辅助坑道施工测量	292
第九节	隧道贯通误差分析	294
	思考题与习题	299

第十五章 “3S”技术简介	300
第一节 概述.....	300
第二节 GPS 全球定位系统的组成	301
第三节 GPS 坐标系统	304
第四节 GPS 定位原理	306
第五节 GPS 测量的实施	310
第六节 实时 GPS 的应用	313
第七节 GIS 与 RS 技术简介	316
第八节 “3S”集成技术与应用简介	322
思考题与习题.....	326
主要参考文献.....	327

第一章 绪 论

第一节 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。它的任务包括测定和测设两个部分。测定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。

随着测绘科学的发展,技术手段的不断更新,以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感技术(RS)为代表的测绘新技术的迅猛发展与应用,测绘学的产品基本由传统的纸质地图转变为“4D”(数字高程模型 DEM、数字正射影像图 DOM、数字栅格地图 DRG 和数字线画地图 DLG)产品。“4D”产品在网络技术的支持下,成为国家空间数据基础设施(NS-DI)的基础,从而增强了数据的共享性,为相关领域的研究工作及国民经济建设的各行业、各部门,应用地理信息带来了巨大的方便。

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:

1. 普通测量学

普通测量学是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。

2. 大地测量学

大地测量学是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。

3. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是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,都是摄影测量学研究范畴。

4. 海洋测绘学

海洋测绘学是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。

5. 工程测量学

工程测量学是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测量学、水利工程测量学、公路测量学以及铁路测量学等。

6. 制图学

制图学是利用测量所得的成果资料,研究如何投影编绘和制印各种地图的工作,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。

此外,对建立各种地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国,都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

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,以监测施工的建(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,供日后扩建、改建、修建以及进一步发展提供依据。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,测量工作是非常重要的。

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,具备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。

测量学是一门综合性极强的实践性课程,要求学生在掌握基本理论及其方法的基础上,应具备动手操作测量仪器的技能。因此,在教学过程中,除了课堂讲授之外,必须安排一定量实训和实习,以便巩固和深化所学知识。这对掌握测量学的基本理论及技能,建立控制测量和地形图测绘的完整概念是十分有效的。通过实习可以培养学生分析问题和解决问题的能力,并为利用所学理论和技能解决相关问题打下坚实的基础。

第二节 测量学的发展与现状

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,人类社会在远古时代,就已将测量工作用于实际。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,我国远在颛顼高阳氏(公元前 2513~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~前 206 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 365.242 5 天,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,在公元前就已有人提出丈量子午线的弧长,以推断地球的大小和形状。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,英国的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的前景,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的作用。与此同时,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,至今仍在沿用。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;但测绘工作仍使用手工业生产方式。1903 年飞机的发明,使摄影测量成为可能,不但使成图工作提高了速度,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,然后使测量技术发生重大的变革和进步。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,质量减轻,向着小型化大大迈进了一步。

测角仪器的发展也十分迅速,它与其他仪器一样,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,激光水准仪、激光扫平仪的发展,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。现已生产出第五代产品,它体积小,功能全,质量轻。

除了美国研制 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,取得了很大的成果。

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,用计算机进行绘制和管理既便捷又迅速,精度可靠。

三、我国测量事业的发展

中华人民共和国成立后,测量科学的发展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。

50 余年来,我国测绘工作取得的主要成就是:①在全国范围内(除台湾省)建立了高精度的天文大地控制网,建立了适合我国的统一坐标系统——1980 西安坐标系。20 世纪 90 年代,利用 GPS 测量技术建立了包括 AA 级、B 级在内的国家 GPS 网,21 世纪初对喜马拉雅山进行了重新测高,并测得其主峰海拔高程为 8 844. 43m。②完成了国家基础地形图的测绘,测图比例尺也随着国民经济建设的发展而不断增大,测图方法也从常规的经纬仪、平板仪测图,发展到全数字摄影测量成图和 GPS 测量技术及全站仪地面数字测图。编制出版了各种地图、专题图,制图过程实现了数字化和自动化。③制定了各种测绘技术规范(规程)和法规,统一了技术规格和精度指标。④建立了完整的测绘教育体系,测绘技术步入世界先进行列,开发研制了一批具有世界先进水平的测绘软件,如全数字摄影测量系统——Virtuo Zo,面向对象的地理信息系统——GeoStar,地理信息系统软件平台——MapGIS,数字测图系统——清华三维的 EPSW、武汉瑞得的 RDMS、南方的 GASS 等,使测绘数字化、自动化的程度越来越高。⑤测绘仪器生产发展迅速,不仅生产出各等级的经纬仪、水准仪、平板仪,而且还能批量生产电子经纬仪、电磁波测距仪、自动安平水准仪、全站仪、GPS 接收机、解析测图仪等。⑥测绘技术和手段不断发展,传统的测绘技术已基本被现代测绘技术(3S,即 GPS、GIS、RS)所代替;测绘产品应用范围不断拓宽,并向用户提供“4D”(DEM、DOM、DLG 和 DRG)数字产品。

测绘工作十分精细严密,其测绘成果和成图质量的优劣将直接对国民经济建设有重大影响。为了使测绘成果更好地服务于国民经济建设的各个行业,必须努力学习,勇于实践,在学好传统测绘理论的基础上,掌握现代测绘理论与技术,发扬测绘技术人员的真实、准确、细致和按时完成任务的优良传统,只有这样,才能使我国的测绘事业不断发展,测绘水平不断提高,测绘成果应用领域不断扩展。

第三节 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 8 844. 43m,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准面。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。用大地体表示地球体形是恰当的,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[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,故地球椭球又成为旋转椭球。如图 1-2 所示,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 $f(f=\frac{a-b}{a})$ 。

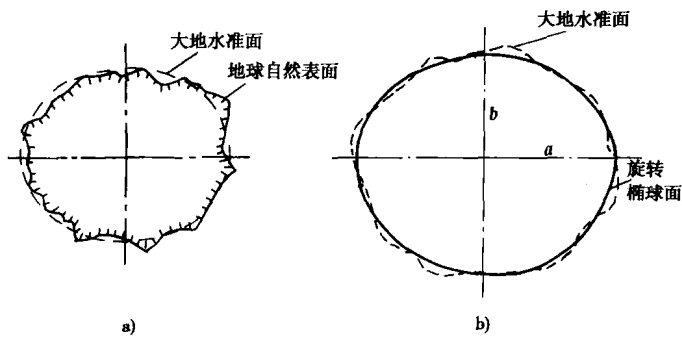


图 1-1 大地水准面

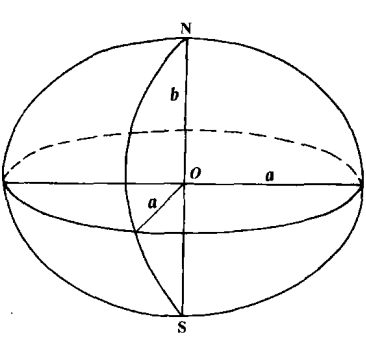


图 1-2 旋转椭球体