

SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程专业核心教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程教材

(第二版)

数字测图原理与方法

Principles and Methods
of Digital Mapping

潘正风 程效军 成枢 王腾军 宋伟东 邹进贵 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程专业核心教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程教材

数字测图原理与方法

(第二版)

Principles and Methods
of Digital Mapping

潘正风 程效军 成枢 王腾军 宋伟东 邹进贵 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字测图原理与方法/潘正风等编著.—2版.—武汉:武汉大学出版社, 2009.9

高等学校测绘工程专业核心教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程教材

ISBN 978-7-307-07082-0

I. 数… II. 潘…[等] III. 数字化制图—高等学校—教材
IV. P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 087763 号

责任编辑:王金龙

责任校对:刘欣

版式设计:支笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:通山金地印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:23 字数:565千字

版次:2004年8月第1版 2009年9月第2版

2009年9月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-07082-0/P·150

定价:33.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

序

我国高等学校的测绘类本科专业给学生讲授的第一门专业技术课是测量学。长期以来,测量学的课程内容主要是针对小面积地表测绘工作,利用普通的(或者称为常规的)测量仪器,通过平面测量方法直接测绘地形图。这就是通常所说的“白纸测图”。学生通过测量学的课程学习,对于测绘工作的概念和原理有了初步的比较直观的理解,同时也实际掌握了进行地形测量的具体方法,并能用于生产实践,这为学生进一步学习后续的测绘专业课程打下了良好的基础。因此我们不能忽视常规测量学课程在测绘学科专业教学中所起的奠基作用。可是,当前以3S(全球定位系统GPS、遥感RS、地理信息系统GIS)新技术为代表的现代测绘技术的出现和发展,测绘学科经历了在理论上、方法上和技术体系上的巨大变革。这种变革不仅波及测绘学科的科学研究和生产实践,同时不可避免地影响到测绘学科专业的教学改革,测量学这门课程也不例外。在现代测绘技术的冲击下,测量学究竟应该怎样改革,这是全国高等学校测绘学科教学指导委员会曾经多次组织有关高校测绘工程专业的教师进行探讨的一个问题。大家的共同认识是,常规的测量学课程内容已经不能适应当前测绘新技术的发展和社会生产实践的需要,必须与时俱进,进行相应的改革。《数字测图原理与方法》就是在这种情况下被全国高等学校测绘学科教学指导委员会建议作为测绘工程专业的公共专业技术课,以此取代原有的测量学课程。随之,这门课程首先被列入武汉大学测绘工程专业的教学计划中,并且由武汉大学测绘学院的潘正风和杨正尧两位教授负责编写教材,于2002年由武汉大学出版社公开出版。这本教材不仅在武汉大学使用,而且被许多有测绘工程专业的高校用于教学中,获得了较好的效果,说明测量学课程内容的这种改革基本上是成功的。鉴于此,全国高等学校测绘学科教学指导委员会将它作为“十五”国家规划教材向教育部申请,并被批准,随后又组织了同济大学、山东科技大学和长安大学等三校测绘工程专业的教师参与这本教材的重新编写工作,意在使这本教材的质量更高,适用面更广。这就是现在的这本《数字测图原理与方法》。它一改原有测量学的课程体系和教学内容,既考虑到当前地形测量由白纸测图向数字测图过渡,将教材内容锁定在数字测图的框架内,又顾及到原有测量学的基本知识、基本测量仪器和基本测量方法,充分发挥其专业课教学的奠基作用,因此这本教材的内容与原有测量学就不会完全脱节,而是新旧内容的有机联系,融为一体,既适应了当前现代测绘技术发展的新形势,也满足了测绘工程专业教学改革的新需求。

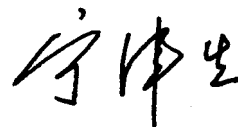
这本教材是对测绘工程专业测量学课程改革的一种探索,同时又是由几所高校测绘工程专业教师共同参与编写测绘类专业的第一本“十五”国家规划教材,这都是一种尝试。改

革、尝试的结果如何？只有靠教学实践去检验。我们希望有更多高校的测绘工程专业在教学中使用它，通过大家的教学实践，对它不断地进行修改和完善。

全国高等学校测绘学科教学指导委员会

主 任

中国工程院院士



2004年7月31日于武汉大学

第二版前言

《数字测图原理与方法》自2004年出版以来,经各兄弟院校和武汉大学测绘工程专业几年的教学实践,说明了测量学课程体系和教学内容的改革是正确的。随着近几年测绘科学技术的发展,电子测量仪器已成为测量仪器的主体,电子水准仪、全站仪、GPS已成为新的常规测量仪器,激光扫描仪在测绘生产中得到更多的应用。因此,对原教材作了一定的修改,修改的主要内容有:

1. 第二章改为“测量坐标系和高程”;
2. 删去原教材 § 6.6 全球定位系统(GPS)在控制测量中的应用,增加新的第六章“卫星定位与全球定位系统(GPS)”;
3. 将第二章 § 2.7 地形图的基本知识、§ 2.8 地形图的分幅编号以及第八章中地物、地貌符号放到新的第八章“地形图基本知识”中;
4. 原第六章改为第七章,并删去 § 6.4 三角网测量;
5. 原第七章改为第九章,第八章改为第十章;
6. 删去原教材第九章“地形图的数字化”,将 § 9.2 放到新的第十章中, § 9.3 放到新的第十一章中;
7. 原第十章到第十四章,其新章号为第十一章到第十五章;
8. 第四章“水准测量和水准仪”,第五章“角度、距离测量与全站仪”,第七章“控制测量”,第十二章“数字地形图的应用”,第十五章“线路测量”等章内容上作了修改和补充。

参加本教材编写工作的有:武汉大学潘正风(第一章、第十章、第十一章),邹进贵(第二章、第八章),同济大学程效军(第三章、第十三章、第十四章、第十五章),山东科技大学成枢(第四章、第五章),辽宁工程技术大学宋伟东(第六章、第十二章),长安大学王腾军(第七章、第九章)。全书由潘正风负责统稿工作。

由于测绘技术发展很快,要编好测绘工程专业基础课教材难度较大,我们恳请使用本教材的广大教师和读者对本教材提出宝贵意见,以便再版时修改。

编者

2009年7月于武汉

前 言

本书是根据全国高等学校测绘学科教学指导委员会关于测绘工程专业系列基础教材计划,为测绘工程专业本科生编写的教材。

“数字测图原理与方法”是测绘工程专业的专业基础课,也是专业核心课程之一。本书按照我国测绘工作的实际情况,将原《测量学》的内容提炼精化,结合“大比例尺数字测图”和“控制测量学”的部分内容编写。教学内容着重于基本概念、基本理论、基本知识和基本技能。

当前,数字测图技术迅速发展,广泛应用于测绘生产中,地形测量已从白纸测图转变为数字测图。本书的编写反映了现代测绘科学技术向数字化、自动化、智能化方向发展的趋势,适应了当前测绘工程专业教学改革的需要。全书以大比例尺地面数字测图为主线,在阐述测量基本原理和理论、常规测量方法的基础上,不仅对数字测图的原理与方法做了全面介绍,还介绍了地籍图和房产图测绘、地下管线图测绘以及路线测量。

参加本书编写工作的有:武汉大学潘正风、杨正尧,同济大学程效军,山东科技大学成枢,长安大学王腾军。全书共分为十四章,其中第一章、第二章、第十一章由杨正尧编写,第三章、第十二章、第十三章由程效军编写,第四章、第五章由成枢编写,第六章、第七章由王腾军编写,第八章、第九章、第十章由潘正风编写,第十四章由程效军和成枢共同编写。全书由潘正风主编并负责统稿工作。

本书由全国高等学校测绘学科教学指导委员会组织审稿,参加审稿的有武汉大学宁津生院士、合肥工业大学王依教授、广东工业大学彭先进教授、解放军信息工程大学翟翊教授、辽宁工程技术大学宋伟东教授、西南交通大学张献州教授和西安建筑科技大学赵西安教授。我们对于参加审稿会的专家和其他给予本书编写提出宝贵意见的专家表示衷心的感谢!对于本书中引用的有关文献资料的原作者表示诚挚的谢意!

最后,感谢全国高等学校测绘学科教学指导委员会的组织与指导,感谢武汉大学、同济大学、山东科技大学和长安大学的大力支持,感谢武汉大学出版社所做的辛勤工作。

由于作者水平有限,书中不妥和不足之处恳请读者批评指正。

编 者

2004年5月于武汉

目 录

序	1
第二版前言	1
前 言	1
第一章 绪论	1
§ 1.1 测绘学的任务及作用	1
§ 1.2 数字测图的发展概况	3
§ 1.3 学习数字测图原理与方法的目的和要求	4
第二章 测量坐标系和高程	6
§ 2.1 地球形状和大小	6
§ 2.2 测量常用坐标系和参考椭球定位	8
§ 2.3 地图投影和高斯平面直角坐标系	12
§ 2.4 高程	19
§ 2.5 用水平面代替水准面的限度	20
§ 2.6 方位角	22
第三章 测量误差基本知识	24
§ 3.1 观测误差的分类	24
§ 3.2 衡量精度的标准	27
§ 3.3 算术平均值及观测值的中误差	30
§ 3.4 误差传播定律	32
§ 3.5 加权平均值及其精度评定	36
§ 3.6 间接平差原理	39
第四章 水准测量和水准仪	43
§ 4.1 水准测量原理与方法	43
§ 4.2 水准仪和水准尺	46
§ 4.3 电子水准仪	59
§ 4.4 水准测量外业施测	65
§ 4.5 水准测量的误差分析	72
§ 4.6 水准仪的检验与校正	74

第五章	角度、距离测量与全站仪	87
§ 5.1	角度测量原理	87
§ 5.2	经纬仪	88
§ 5.3	角度观测方法	98
§ 5.4	水平角观测的误差和精度	107
§ 5.5	经纬仪的检验和校正	116
§ 5.6	钢尺量距和视距法测距	121
§ 5.7	光电测距	123
§ 5.8	光电测距误差分析	134
§ 5.9	光电测距仪的检验	137
§ 5.10	全站仪和自动全站仪	141
§ 5.11	三角高程测量	146
第六章	卫星定位与全球定位系统 (GPS)	153
§ 6.1	全球导航卫星系统概述	153
§ 6.2	GPS 系统的组成及卫星信号	155
§ 6.3	GPS 定位的基本原理及其误差来源	159
§ 6.4	GPS 静态定位	161
§ 6.5	GPS 动态定位及实时动态定位 (RTK)	166
§ 6.6	GPS 控制测量	168
第七章	控制测量	174
§ 7.1	控制测量概述	174
§ 7.2	导线测量	183
§ 7.3	交会测量	196
§ 7.4	高程控制测量	203
第八章	地形图基本知识	210
§ 8.1	地形图的内容	210
§ 8.2	地物符号和等高线	216
§ 8.3	地形图的分幅与编号	220
第九章	碎部测量	230
§ 9.1	碎部测图方法	230
§ 9.2	测定碎部点的基本方法	233
§ 9.3	地物和地貌测绘	237
第十章	计算机地图绘图基础	245
§ 10.1	基本图形显示	245

§ 10.2	地形图地物符号的自动绘制	249
§ 10.3	曲线光滑的数学方法	254
§ 10.4	等高线的自动绘制	257
§ 10.5	数字图像概念和栅格数据的运算	262
第十一章	大比例尺数字地形图测绘	266
§ 11.1	大比例尺测图的技术设计	266
§ 11.2	图根控制测量和测站点测定	267
§ 11.3	野外采集数据	268
§ 11.4	数字地形图编辑和输出	272
§ 11.5	大比例尺数字地形图质量控制	276
§ 11.6	地形图数据库	277
§ 11.7	地形图数字化	282
第十二章	数字地形图的应用	287
§ 12.1	概述	287
§ 12.2	地形图的应用	287
§ 12.3	面积和体积计算	292
§ 12.4	格网数字高程模型	296
§ 12.5	数字高程模型的可视化	301
第十三章	地籍图和房产图测绘	305
§ 13.1	概述	305
§ 13.2	地籍调查	307
§ 13.3	地籍图测绘	312
§ 13.4	房产调查	318
§ 13.5	房产图测绘	321
第十四章	地下管线图测绘	328
§ 14.1	地下管线探测	328
§ 14.2	地下管线物理探查	331
§ 14.3	地下管线测量	333
第十五章	路线测量	338
§ 15.1	带状地形图测绘	338
§ 15.2	路线中线测量	340
§ 15.3	断面图测量	348
§ 15.4	断面图绘制	352
参考文献		355

第一章 绪 论

§ 1.1 测绘学的任务及作用

一、测绘学的内容和任务

测绘学是研究测定和推算地面的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地球分布,编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科,是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同,分为以下几个分支学科:大地测量学、摄影测量学、地图学、工程测量学、海洋测绘学。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化和理论的技术的学科。大地测量学是测绘学各分支学科的理论基础,基本任务是建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测图提供控制基础,为各类工程施工提供测量依据,为研究地球形状、大小、重力场及其变化,地壳形变及地震预报提供信息。现代大地测量学包括三个基本分支:几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学。

2. 摄影测量学

摄影测量学是研究摄影影像与被摄物体之间的内在几何和物理关系,进行分析、处理和解释,以确定被摄物体的形状、大小和空间位置,并判定其性质的一门学科。

从不同角度对摄影测量学可进行如下分类:按距离远近分有航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量;按用途分有地形摄影测量和非地形摄影测量;按技术处理方法分,则有模拟法摄影测量、解析法摄影测量和数字摄影测量。

3. 地图学

地图学是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术方法以及应用的学科。

地图学由理论部分、制图方法和地图应用三部分组成。地图是测绘工作的重要产品形式。学科发展促使地图产品从模拟地图向数字地图转变,从二维静态向三维立体、四维动态转变,利用遥感技术获得的信息进行遥感图像制图,利用虚拟现实技术实现对现实环境的模拟,借助特殊装备,可使用户有身临其境的感觉。计算机制图技术和地图数据库的发展,促使地理信息系统(GIS)产生,数字地图的发展及广泛的应用领域为地图学的发展和地图的应用展现出光辉的前景,使数字地图成为21世纪测绘工作的基础和支柱。

4. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中,在规划、勘测设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、大比例尺地形测绘、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分

析与预报等的理论和技术的学科。

工程测量学是一门应用学科,按其研究对象可分为:建筑工程测量、水利工程测量、矿山测量、铁路工程测量、公路工程测量、输电线路与输油管道测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、港口工程测量、军事工程测量、城市建设测量以及三维工业测量、精密工程测量、工程摄影测量等。

5. 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象,研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科。内容包括海洋大地测量、海道测量、海底地形测量和海图编制。

测量学是测绘工程专业及相关专业的一门专业技术基础课。测量学研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法及应用。由于是在地球表面一个小区域内进行测绘工作,故可以把这块球面看做平面而不顾及地球曲率的影响。测量学又称为普通测量学或地形测量学,其主要内容包括角度测量、距离测量、水准测量、控制测量、地形图测绘及地形图的应用。

20世纪80年代,由于全站仪以及计算机硬件、软件技术的迅速发展,大比例尺地形图测绘技术由传统的白纸测图向自动化、数字化方向发展。到80年代后期,出现了以全站仪为主体的地面数字测图系统。现在,地面数字测图技术已广泛应用于大比例尺地形图和地籍图、房产图的测绘中,取代了传统的白纸测图方法,使测量学的内容得到了发展和更新。

二、测绘科学技术的地位和作用

测绘科学技术的应用范围非常广阔,测绘科学技术在国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域,都占有重要的地位,对国家可持续发展发挥着越来越重要的作用。

测绘工作常被人们称为建设的尖兵,不论是国民经济建设还是国防建设,其勘测、设计、施工、竣工及运营等阶段都需要测绘工作,而且都要求测绘工作“先行”。

在国民经济建设方面,测绘信息是国民经济和社会发展规划中最重要的基础信息之一。测绘工作为国土资源开发利用,工程设计和施工,城市建设、工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿等部门的规划和管理提供地形图和测绘资料。土地利用和土壤改良、地籍管理、环境保护、旅游开发等都需要测绘工作,应用测绘工作成果。

在国防建设方面,测绘工作作为打赢现代化战争提供测绘保障。各种国防工程的规划、设计和施工需要测绘工作,战略部署、战役指挥离不开地形图,现代测绘科学技术对保障远程导弹、人造卫星或航天器的发射及精确入轨起着非常重要的作用,现代军事科学技术与现代测绘科学技术已经紧密结合在一起。

在科学研究方面,诸如航天技术、地壳形变、地震预报、气象预报、滑坡监测、灾害预测和防治、环境保护、资源调查以及其他科学研究中,都要应用测绘科学技术,需要测绘工作的配合。地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国、数字地球的建设,都需要现代测绘科学技术提供基础数据信息。

近十几年来,随着空间科学、信息科学的飞速发展,全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)技术已成为当前测绘工作的核心技术。计算机和网络通信技术的普遍应用,测绘领域早已从陆地扩展到海洋、空间,由地球表面延伸到地球内部;测绘技术体系从模拟转向数字、从地面转向空间、从静态转向动态,并进一步向网络化和智能化方向发展;测绘

成果已从三维发展到四维、从静态发展到动态。随着新的理论、方法、仪器和技术手段不断涌现及国际间测绘学术交流合作日益密切,我国的测绘事业必将取得更多更大的成就。每个测绘工作者有责任兢兢业业、不避艰辛,努力当好国民经济建设的尖兵,为我国的经济建设和社会发展多作贡献。

§ 1.2 数字测图的发展概况

传统的地形测量是利用测量仪器对地球表面局部区域内的各种地物、地貌特征点的空间位置进行测定,以一定的比例尺并按图示符号将其绘制在图纸上,即通常所称的白纸测图。这种测图方法的实质是图解法测图。在测图过程中,数字的精度由于刺点、绘图、图纸伸缩变形等因素的影响会大大降低,而且工序多、劳动强度大、质量管理难。在当今的信息时代,纸质地形图已难承载诸多图形信息,更新也极不方便,难以适应信息时代经济建设的需要。

随着科学技术的进步和计算机技术的迅猛发展及其向各个领域的渗透,以及电子全站仪、GPS-RTK 技术等先进测量仪器和技术的广泛应用,地形测量向自动化和数字化方向发展,数字化测图技术应运而生。数字测图与图解法测图相比,以其特有的高自动化、全数字化、高精度的显著优势而具有广阔的发展前景。

数字测图实质上是一种全解析机助测图方法,在地形测量发展过程中这是一次根本性的技术变革。这种变革主要表现在:图解法测图的最终成果是地形图,图纸是地形信息的惟一载体;数字测图地形信息的载体是计算机的存储介质(磁盘或光盘),其提交的成果是可供计算机处理、远距离传输、多方共享的数字地形图数据文件,通过数控绘图仪可输出地形图。另外,利用数字地形图可生成电子地图和数字地面模型(DTM)。更具深远意义的是,数字地形信息作为地理空间数据的基本信息之一,成为地理信息系统(GIS)的重要组成部分。

广义的数字测图包括:利用全站仪或其他测量仪器进行野外数字化测图;利用数字化仪对纸质地形图的数字化;利用航摄、遥感像片进行数字化测图等技术。利用上述技术将采集到的地形数据传输到计算机,由数字成图软件进行数据处理,经过编辑、图形处理,生成数字地形图。

数字化成图是由制图自动化开始的。20世纪50年代美国国防制图局开始研究制图自动化问题,这一研究同时推动了制图自动化配套设备的研制与开发。20世纪70年代初,制图自动化已形成规模生产,在美国、加拿大及欧洲各国,在相关重要部门都建立了自动制图系统。当时的自动制图主要包括数字化仪、扫描仪、计算机及显示系统四个部分。其成图过程是:将地形图数字化,再由绘图仪在透明塑料片上回放出地形图,并与原始地形图叠置以修正错误。

在20世纪80年代,摄影测量经历了模拟法、解析法发展为数字摄影测量。数字摄影测量是把摄影所获得的影像进行数字化得到数字化影像,由计算机进行数字处理,从而提供数字地形图或专题图、数字地面模型等各种数字化产品。

大比例尺地面数字测图是20世纪70年代电子速测仪问世后发展起来的,80年代初全站型电子速测仪的迅猛发展加速了数字测图的研究和应用。我国从1983年开始开展数字测图的研究工作。目前,数字测图技术已作为主要的成图方法取代了传统的图解法测图。其发展过程大体上可分为两个阶段。

第一阶段主要利用全站仪采集数据,电子手簿记录,同时人工绘制标注测点点号的草图,到室内将测量数据直接由记录器传输到计算机,再由人工按草图编辑图形文件,并键入计算机自动成图,经人机交互编辑修改,最终生成数字地形图,由绘图仪绘制地形图。这虽是数字测图发展的初级阶段,但人们看到了数字测图自动成图的美好前景。

第二阶段仍采用野外测记模式,但成图软件有了实质性的进展。一是开发了智能化的外业数据采集软件;二是计算机成图软件能直接对接收的地形信息数据进行处理。目前,国内利用全站仪配合便携式计算机或掌上电脑,以及直接利用全站仪内存的大比例尺地面数字测图方法已得到广泛应用。

20世纪90年代出现了载波相位差分技术,又称RTK(Real Time Kinematic)实时动态定位技术,这种测量模式是位于基准站(已知的基准点)的GPS接收机通过数据链将其观测值及基准站坐标信息一起发给流动站的GPS接收机,流动站不仅接收来自参考站的数据,还直接接收GPS卫星发射的观测数据组成相位差分观测值,进行实时处理,能够实时提供测点在指定坐标系的三维坐标成果,在20 km测程内可达到厘米级的测量精度。实时差分观测时间短,并能实时给出定位坐标。可以预料,随着RTK技术的不断完善和更轻小型、价格更低廉的RTK模式GPS接收机的出现,GPS数字测图系统将在开阔地区成为地面数字测图的主要方法。

§ 1.3 学习数字测图原理与方法的目的和要求

数字测图包括地面数字测图、地图数字化和数字摄影测量等方法。本书仅介绍地面数字测图和地图数字化的内容,数字摄影测量将在后续课程“摄影测量学”中介绍。

地面数字测图是利用电子全站仪或其他测量仪器在野外进行数字化地形数据采集,在成图软件的支持下,通过计算机加工处理,获得数字地形图的方法,其实质是一种全解析机助测图方法。地面数字测图的成果是可供计算机处理、远距离传输、多方共享的以数字形式储存在计算机存储介质上的数字地形图;或通过数控绘图仪输出的以图纸为载体的地形图。

数字化测图使地形图测绘实现了数字化、自动化,改变了传统的手工作业模式。地面数字测图与传统的图解法测图相比,具有自动化程度高、精度高、不受图幅限制、便于使用管理等特点。数字地形信息也是建立地理信息系统的基础信息。目前,数字测图技术已基本取代了传统的地形图测图方法,地面数字测图已成为获取大比例尺数字地形图、各类地理信息系统以及为保持其现势性所进行的空间数据更新的主要方法。

地图数字化方法是对已有地形图利用数字化仪将其数字化,转换成计算机能存储、处理的数字地形图。

本书以大比例尺数字测图为主线,在阐述测量的基本原理、基本理论、测量方法的基础上,对大比例尺数字测图的原理、方法及应用作全面的介绍。内容包括测量的基本知识、测量误差基本知识、水准测量和水准仪、角度及距离测量与全站仪、控制测量、碎部测量、计算机地形图绘图基础、大比例尺数字地形图测绘、地形图应用、地籍图与房产图测绘、地下管线图测绘以及路线测量等。

本课程是测绘工程专业的专业技术基础课,学习本课程的主要目的是:

掌握测量的基本知识和基本理论,具有使用常规测量仪器的操作技能。学习大比例尺数字测图的原理、方法,掌握全站仪数字测图的全过程。掌握处理测量数据的基本理论和方法,在工程建设的规划、设计和施工中能正确使用地形图和测绘资料。掌握施工测设过程中

最基本的测量方法,能正确使用测量仪器进行一般工程的施工放样工作。

数字测图原理与方法是一门实践性很强的课程,在教学过程中,除课堂讲授外,还有实验课和教学实习。在掌握课堂讲授内容的同时,要认真参加实验课,以巩固和验证所学理论。教学实习是巩固和深化课堂所学知识的一个系统的实践环节,是理论知识和实验技能的综合运用,对掌握数字测图的基本理论、基本知识、基本技能,建立控制测量和地形图测绘的完整概念是非常必要的。要自始至终完成各项实习任务,通过实习培养理论联系实际、分析问题与解决问题的能力以及实际动手能力,为今后从事测绘工作打下良好基础。

第二章 测量坐标系和高程

§ 2.1 地球形状和大小

对于地球形状的认识经历了一个相当长的过程。公元前五、六世纪,古希腊哲学家从球形最完美这一概念出发,认为地球是球形的。到了公元前 350 年前后,古希腊学者亚里士多德通过观察月食,根据月球上地影是一个圆形,第一次科学地论证了地球是个球体。我国战国时期哲学家惠施也早已提出地球呈现球形的看法。1519 年葡萄牙航海家麦哲伦率领的 5 艘海船,用 3 年时间,完成了第一次环绕地球的航行,从而直接证实了地球是个球形。

最早算出地球大小的,应该说是公元前 3 世纪的希腊地理学家埃拉托斯特尼。他成功地用三角测量法测量了阿斯旺和亚历山大城之间的子午线长,算出地球的周长约为 25 万希腊里(39600km),与实际长度只差 340km。

随着科学技术的发展,在 17 世纪末,人们对地球是正圆球的主张开始有了怀疑。1672 年,法国天文学家李希通过测定,发现地球赤道的重力比其他地方都小,提出大地是扁球形的主张。

17 世纪末,英国大科学家牛顿研究了地球自转对地球形态的影响,从理论上推测地球不是是一个很圆的球形,而是一个赤道处略为隆起,两极略为扁平的椭球体,赤道半径比极半径长 20 多千米。1735—1744 年法国巴黎科学院派出两个测量队分别赴北欧和南美进行弧度测量,测量结果证实地球确实为椭球体。20 世纪 50 年代后,科学技术发展非常迅速,为大地测量开辟了多种途径,高精度的微波测距,激光测距,特别是人造卫星上天,使人们可以精确地测量地球的形状和大小。

一、大地水准面

测量学的主要研究对象是地球的自然表面,但地球表面极不规则,有高山、丘陵、平原、河流、湖泊和海洋。世界第一高峰珠穆朗玛峰高达 8 840 多米,而位于太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 000 多米。尽管有这样大的高低起伏,但相对地球庞大的体积来说仍可忽略不计。地球形状是极其复杂的,通过长期的测绘工作和科学调查,人们了解到地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。因此,测量中把地球形状看做是由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成的某种形体。

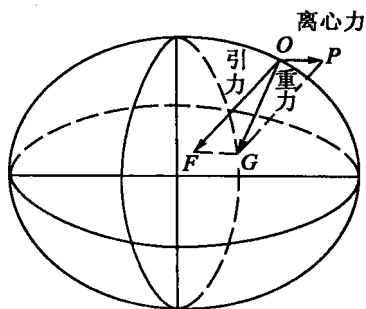


图 2-1 引力、离心力和重力

地球表面任一质点都同时受到两个作用力:其一是地球自转产生的惯性离心力;其二是整个地球质量产生的引力。这两种力的合力称为重力。引力方向指向地球质心,如果地球自转角速度是常数,惯性离心力的方向垂直于地球自转轴向外,重力方向则是两者合力的方向(如图 2-1)。重力的作用线又称为铅垂

线。用细绳悬挂一个垂球,其静止时所指示的方向即为铅垂线方向。

处于静止状态的水面称为水准面。由物理学知道,这个面是一个重力等位面,水准面上处处与重力方向(铅垂线方向)垂直。在地球表面重力的作用空间,通过任何高度的点都有一个水准面,因而水准面有无数个。其中,把一个假想的、与静止的平均海水面重合并向陆地延伸且包围整个地球的特定重力等位面称为大地水准面。

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。

二、参考椭球体

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面,无法用数学公式精确表达(如图 2-2 所示)。

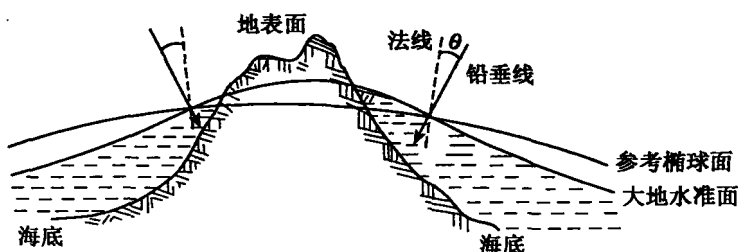


图 2-2 大地水准面

经过长期测量实践研究表明,地球形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球,即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体。旋转椭球面可以用数学公式准确地表达,因此,在测量工作中用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面(如图 2-3 所示)。

代表地球形状和大小的旋转椭球称为“地球椭球”。与大地水准面最接近的地球椭球称为总地球椭球;与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其椭球面称为参考椭球面。由此可见,参考椭球有许多个,而总地球椭球只有一个。

在几何大地测量中,椭球的形状和大小通常用长半轴 a 和扁率 f 来表示:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出参考椭球体的参数值,表 2-1 为几次有代表性的测算成果。

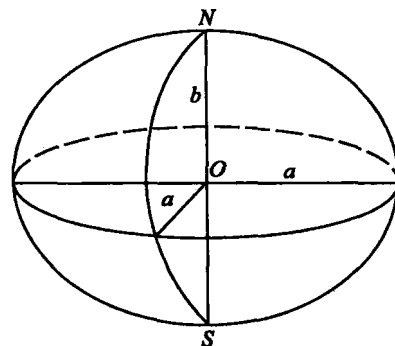


图 2-3 旋转椭球体