



国防特色教材·职业教育

地形测量

• 张晓东 主编

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

地 形 测 量

张晓东 主 编

杨爱琴 副主编

冀念芬 张 辉 参 编

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书是根据原国防科工委关于高职高专“十一五”国防教材的规划,为高职高专院校编写的。对测量学的基本理论、基本方法和内容有关的常规仪器作了详细阐述。根据高等职业技术教育坚持工学结合模式的要求,对结论性的公式、定义、测量误差等内容注重结果和应用,并配备了大量实例,以利学习。对于近年来出现的新技术、新仪器设备,本书也作了介绍和总结。

本书可作为高职院校工程测量专业的教材,亦可作为地理信息系统、地图制图技术和地籍测绘与土地管理等专业的教材,还可作为相关专业人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地形测量/张晓东主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2009.5

ISBN 978-7-81133-425-8

I. 地… II. 张… III. 地形测量-高等学校:技术学校-教材 IV. P217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 067261 号

地形测量

张晓东 主编

责任编辑 杨秀华

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

肇东粮食印刷厂印刷 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:16.5 字数:305 千字

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷 印数:1000 册

ISBN 978-7-81133-425-8 定价:43.00 元

前 言

本书是根据原国防科工委关于高职高专“十一五”国防教材的规划,为高职高专院校编写的地形测量教材。地形测量课在各院校测绘专业作为入门的专业课和基础课程开设。

教材编写中,邀请生产单位的专业技术人员讨论研究,形成了教材编写方案。亦即,先建立测绘科学基本概念,后学习水准仪测量高差,经纬仪测角、钢尺和测距仪测距等内容,内外一体训练技能,提高感性认识,然后,根据先易后难的原则,介绍控制网布设、误差理论、认识地形图等,逐渐引入现场的作业流程,最后以地形图测绘和地形图应用来结尾,形成先建立感性思维,逐步深入,过渡到建立理性思维的知识体系中来。

本书由易到难,注重以应用为主线,坚持工学结合的思想,强调学习者动手能力的培养。教材数据处理突出计算机、计算器、测量软件的应用,开拓学生视野。教材介绍了测绘新技术及其应用。

本书由张晓东主编,共分12章。甘肃工业职业技术学院张晓东编写1章,5章,8章,10章;甘肃工业职业技术学院杨爱琴编写4章,6章,9章,11章;甘肃工业职业技术学院冀念芬编写2章,3章,7章,12章;甘肃有色地勘局天水总队高级工程师张辉编写实训内容。全书由张晓东统稿。

本书由江西理工大学兰小机教授主审,特此致谢!

本书参考了国内有关教材的内容,在此,向作者表示衷心感谢!由于编者水平有限,书中不足之处,恳请给予批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测绘科学技术在社会发展中的作用	1
1.2 测绘科学发展简介	2
1.3 测绘科学及其分类	3
1.4 测绘学的发展	5
1.5 本课程的地位与作用	8
小结	9
习题	9
第2章 测量学的基本知识	10
2.1 地球形状与坐标系建立	10
2.2 测量工作基本内容和原则	16
2.3 水准面曲率对观测量的影响	18
2.4 测量上常用的度量单位	20
小结	21
习题	21
第3章 水准测量	22
3.1 水准测量的原理	22
3.2 水准测量的仪器和工具	24
3.3 水准仪的使用	29
3.4 水准测量的施测	31
3.5 水准测量的内业计算	37
3.6 水准仪的检验与校正	42
3.7 水准测量的误差分析	45
3.8 精密水准仪、自动安平水准仪和电子水准仪	50
小结	54
习题	54

第 4 章 角度测量	56
4.1 角度测量原理	56
4.2 光学经纬仪的结构及其度盘读数	57
4.3 光学经纬仪的使用	63
4.4 水平角测量	67
4.5 竖直角测量	71
4.6 经纬仪的检验和校正	77
4.7 角度测量误差	84
4.8 光电经纬仪简介	86
小结	90
习题	91
第 5 章 距离测量	93
5.1 距离测量概述	93
5.2 钢尺量距	93
5.3 视距测量	103
5.4 电磁波测距	108
5.5 全站仪简介	114
小结	118
习题	118
第 6 章 测量误差的基本知识	119
6.1 测量误差	119
6.2 评定精度的指标	122
6.3 误差传播定律	123
6.4 平差计算及其精度评定	125
小结	128
习题	128
第 7 章 平面控制测量	129
7.1 概述	129
7.2 平面控制测量的外业工作	131
7.3 直线定向	134

7.4 坐标计算原理	137
7.5 导线测量	140
7.6 交会测量	151
小结	153
习题	153
第8章 三角高程测量	156
8.1 三角高程测量原理	156
8.2 三角高程测量的应用	158
8.3 三角高程测量误差的来源	162
小结	163
习题	163
第9章 地形图的基本知识	164
9.1 地图的基本概念	164
9.2 地形图的基本要素	173
9.3 地形图的比例尺	175
9.4 地物及其表示	176
9.5 地貌及其表示	178
9.6 文字数字注记	184
小结	184
习题	185
第10章 地形测图基本要求	186
10.1 概述	186
10.2 地形控制的基本要求	187
10.3 地形图的分幅与编号	190
10.4 地形测图的准备工作	197
10.5 相邻图的拼接	202
10.6 地形测图的清绘与整饰	203
10.7 地形图的检查与验收	205
小结	207
习题	207

第 11 章 大比例尺地形图测绘	208
11.1 地形碎部点测量方法	208
11.2 地形测图的几种方法	211
11.3 地物的测绘	229
11.4 地貌的测绘	234
小结	241
习题	241
第 12 章 地形图的应用基础	243
12.1 数字地形图的应用基础	243
12.2 工程建设中的应用	251
12.3 地形图在平整土地中的应用	252
小结	254
习题	255
参考文献	256

第1章 绪 论

1.1 测绘科学技术在社会发展中的作用

测绘科学是人类认识和研究我们赖以生存的地球的不可缺少的手段。伴随人类文明的不断进步,人类对自己的唯一家园——地球给予了越来越大的关注。人类需要保护地球,推进可持续发展。要关注和探索大区域,或全球性的问题,必须由测绘提供基础数据的支持。地球的形状和大小,本身的变化如地壳板块的运动、地震预测、重力场的时空变化、地球的潮汐和自转的变化等也需要观测,这些观测将对人类进一步认识地球发挥着不可缺少的作用,要实现这些观测需要测绘技术的支持。

在国家建设中,发展规划,资源调查、开发与利用,环境保护,城市、交通、水利、能源、通信等任何建设工程,大到正负电子对撞机、核电站的建设,小到新农村的建设,建设工程的全部过程都需要测绘提供保障。

在信息化建设不断推进的今天,国家经济建设的各方面对测绘保障提出了越来越高的要求。要求测绘提供精确、实时的数据资料,并要求提供的地理空间信息数据和专业数据结合,来推进信息化进程。面向社会公众服务的相关公司和政府部门,也可以通过基于地理空间位置信息的指挥运作系统,来实现及时的服务和最大效率的发挥,如出租车公司的车辆管理,如急救、消防的调度管理等。如在物流管理中,地理空间信息数据和相关自动识别技术等结合,来构建零库存和最低物流成本的现代物流管理系统。基于地理空间信息建立的各种专业信息系统,进行信息共享平台的建设,来构建数字城市、数字区域和数字国家。

在国防建设和公众安全保障中,测绘提供准确、及时的定位和相关保障,其作用也在不断的发挥。现代化战争中的精确打击,需要提供高质量的测绘保障,提供实时的、足够精度的定位数据。战前作战方案的优化制订,作战过程中的战场态势评估及作战指挥,战后评估都需要基于测绘获得的地理空间信息的基础上,建立作战指挥系统。人造地球卫星、航天器、远程导弹的发射等,都要随时观测、跟踪、校正飞行轨道,保证它们精确入轨飞行。在国界勘测中,通过测绘提供的国界线地理空间信息数据则是关系到国家主权和利益的国家重要数据,在国际交往和合作中发挥重要作用。在保障公众安全中,借助测绘提供的地理空间信息,可以使警力的作用得以最好的发挥。

社会公众对个人财产或监控物的动态监控,对财产定位及其必要的跟踪的需求也开始出现,并且不断增长;个人出游时也需要定位和指向。

在经济社会发展中,特别是在全世界强调人与自然和谐,经济社会可持续发展的今天,政

府部门及相关机构,越来越需要及时掌握自然与社会经济要素的分布状况及其变化特征,来制定和调整相关的政策,以实现对社会经济发展的最大推动的期望。也希望在某种自然、社会危机或者风险事件出现的情况下,能够最及时地提供地理空间信息数据的支持,迅速形成相关的决策和指挥系统,以便使全社会在防灾减灾方面,将损失降低到最小。

由此,社会政治、经济的发展,使很多部门和社会组成的各个层面都需要测绘的支持,测绘工作也将发挥越来越重要的、不可缺少的作用。

1.2 测绘科学发展简介

在人类发展的历史长河中,人类的活动产生了确定点的位置及其相互关系的需要。如远在公元前 1400 多年古埃及尼罗河畔的农田在每次河水泛滥后的地界恢复需要测量。公元前 3 世纪前中国人的祖先已经认识并利用天然磁石的磁性,并制成了“司南”磁罗盘用于方向的确定。而在公元前 2 世纪,大禹治水就已经制造了“准绳、规矩”等测量工具,并成功地用于治水工程中。

随着人类对世界认识视野的拓宽,测绘科学也逐步完善形成。公元前 6 世纪,古希腊的毕达哥拉斯提出地球体的概念,200 多年后,亚里士多德进行了进一步论证,又过了 100 年后,埃老突斯尼测算了地球子午圈的长度,并推算了地球的半径。现代全球测绘数据显示,地球的扁率(长短半径差与长半径之比)仅约为 $1/298.3$,已经是比较准确的描述了。公元 8 世纪,南宫说在今河南境内进行了子午圈实地弧度测量。到 17 世纪末,牛顿和惠更斯提出了地扁说,并在 18 世纪中由法国科学院测量证实了地扁说,使人类对地球的认识从球体认识推进到了椭球体。19 世纪初,法国的拉普拉斯和德国的高斯都提出了对地球更精确的描述,非椭球性,研究结果证明地球总体应该为梨状。1873 年利斯廷创造了“大地水准面”一词,以此面封闭形成的球体大地体来描述地球。1945 年,前苏联的莫洛坚斯基创立了用地面重力测量数据直接研究真实地球表面形状的理论。由此,人类对地球的认识,由天圆地方的认识,经过圆形、椭球形、梨状,这样一个越来越准确的认识过程。

作为测绘主要成果的地图,在表现形式和制作方式上也有了重大的进步。公元前 3 世纪前,人类只是在一些陶片上记录一些地形的示意略图,公元前 2 世纪,中国人已经能在锦帛上绘制有比例和方位的地图,有了一定的精度。公元 2 世纪,古希腊的脱勒密在《地理学指南》中已经收集、整理了当时关于地球的一般知识,阐述了编制地图的方法,并提出了地区曲面在地图制图中的投影的问题。中国西晋初年,裴秀编绘的《禹贡地域图》是世界最早的历史图集。他汇编的《地形方丈图》是中国全国大地图。他还以“制图六体”奠定了制图的理论基础。16 世纪,测量仪器在技术上有了一个大进步,以荷兰墨卡托的《世界地图集》和中国罗洪先《广舆图》为代表,达到新的水平,已经可以利用仪器直接测绘图件,再缩绘为不同比例的图。清初康熙年间我国已经首次用仪器测绘完成全国范围的《皇舆全览图》。

1930 年我国首次与德国汉莎航空公司合作,进行了航空摄影测量。1933 年同济大学设立测量系开始培养专业技术人才。1954 年建立了 54 北京坐标系。1956 年建立了黄海高程系。

1958年颁布了我国1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000比例尺地形图测绘基本原则(草案)。1988年1月1日,我国正式启用“1985国家高程基准”,并在我国西安泾阳县永乐镇建立了新的大地坐标原点,并用 IUGG(国际大地测量与地球物理学联合会)75 参考椭球,建立了我国独立的地心坐标系,称为西安 1980 坐标系。20 世纪 90 年代以来,以全球卫星定位系统为主的现代空间定位技术快速发展,导致获得位置的测量技术和方法迅速变革。空间技术的迅速发展与广泛应用,迫切要求国家提供高精度、地心、动态、实用、统一的大地坐标系,作为各项社会经济活动的基础性保障(如图 1.1,图 1.2 所示)。

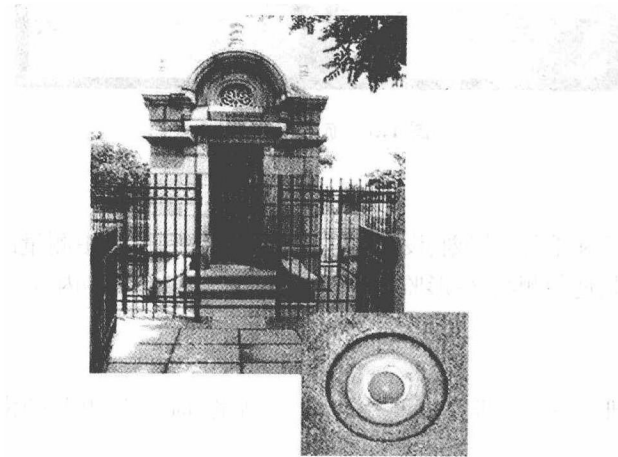


图 1.1 国家大地坐标原点

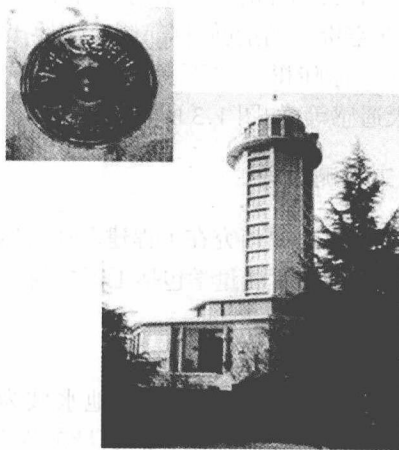


图 1.2 国家水准原点

2008 年 7 月 1 日起,启用 2000 国家大地坐标系(简称“2000 坐标系”)。2000 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。为测绘事业与国际接轨奠定了良好的基础。

1.3 测绘科学及其分类

测绘科学就其研究的内容,是一门研究地球整体及其表面形态、地理分布,外层空间物体的有关信息的采集、处理、分析、描述、管理和利用的科学与技术。测量学按照研究的重点内容和应用范围来分类,包括以下多个学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状、大小、重力场及其变化,通过建立区域和全球的三维控制网、重力网及利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技術学科。其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,为地形测量提供控制基础,为各类工程建设施工测量提供依据,为研究地球形状大小、重力场及其变化、地壳变形及地震预报提供信息。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用摄影和遥感技术获取被测物体的信息,以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和办法。由于获得相片的方法不同,摄影测量又分为航空摄影测量(简称航测)、陆地摄影测量(简称陆摄)、水下摄影测量和航空、航天遥感等(如图 1.3 所示)。

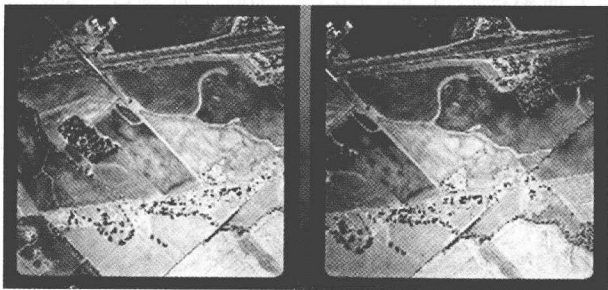


图 1.3 航摄立体像对

3. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设和自然资源开发的规划、设计、施工、竣工验收和运营中测量的理论和办法。工程测量学包括工程控制测量、地形测绘、变形监测及建立相应的信息系统等内容。

4. 海洋测量学

海洋测量学是以海洋和陆地水域为研究对象,研究海洋水下地形测量、航道及相关的港口、码头的建设等工程相关的测量理论和办法。

5. 地图制图学

地图制图学是研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门科学。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。现代地图制图学向制图自动化、电子地图制作及与计算机信息科学的结合,建立地理信息系统方向发展。

6. 地球空间信息学

地球空间信息学是测绘学科的理论、技术、办法及其学科内涵不断地发生变化。当代由于空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展,致使测绘学的理论基础、工程技术体系、研究领域和科学目标正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。由“3S”技术(GPS, RS, GIS)支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面也在进入数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段。测绘学已经成为研究对地球和其他实体的与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和利用的一门科学技术。它的服务对象远远超出传统测绘学比较狭窄的应用领域,扩大到国民经济和国防建设中与地理空间信息有关的各个领域,成为当代兴起的一门新型学科——地球空间信息学。

1.4 测绘学的发展

近十几年来,随着空间科学技术、计算机技术和信息科学的发展,全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)、图形的显示形式等方面都发生了革命性的变化。测绘科学正从模拟走向数字化信息化,从静态走向动态,从三维走向四维。地形图从单一的平面图纸走向动态的3D显示,使之更加直观。测绘成果从仅向专业部门和单位服务,拓展到逐步向公众服务。测绘成果的价值更加显现,测绘工作效率革命性的提高,使测绘为公众服务成为可能(如图1.4所示)。

全球卫星定位系统GPS的英文全称是 Navigation Satellite Timing

And Ranging Global Position System,简称GPS,也被称作NAVSTAR GPS。其意为“导航卫星测时与测距全球定位系统”,或简称全球定位系统。全球定位系统(GPS)是以卫星为基础的无线电导航定位系统,具有全能性(陆地、海洋、航空和航天)、全球性、全天候、连续性和实时性的导航、定位和定时的功能,能为各类用户提供精密的三维坐标、速度和时间。GPS是20世纪70年代美国军方组织开发的原主要用于军事的导航和定位系统。80年代初开始用于大地测量。基本原理是空间的距离交会定位。即利用分布在6个轨道上的24颗GPS卫星,将其在参照系中的位置及时间数据电文向地球播报,地面接收机如果能同时接收4颗卫星的数据,就可以解算出地面接收机的三维位置和接收机与卫星时差4个未知数。由于其作业不受气候影响,而且解决了传统测量中的一些困难和问题,被广泛地用于测量工作中。根据其定位误差的特点,利用现代通信技术,已经在技术上有了很大的突破而被广泛应用。

广义的GPS,包括美国GPS、欧洲伽利略、俄罗斯GLONASS、中国北斗等全球卫星定位系统,也称全球导航卫星系统GNSS(Global Navigation Satellite System)如图1.5所示。

遥感(RS)就是在一定的平台上,利用电磁波对观察对象的信息进行非接触的感知、采集、分析、识别,揭示其几何空间位置形状、物理性质的特征及相互联系,并用定期的遥感获得所采



图1.4 某地三维景观图

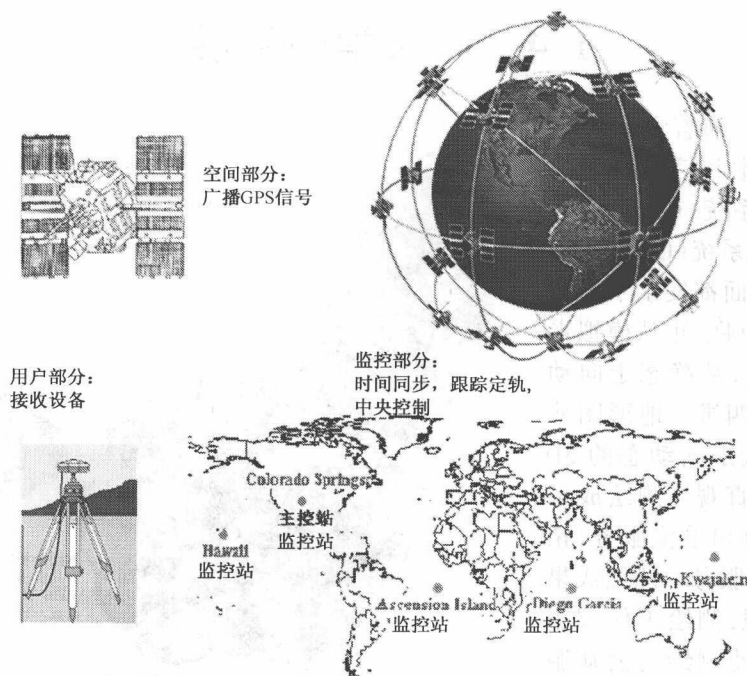


图 1.5 GPS 卫星及卫星系统

集的信息的变化规律。由于遥感设备都采用飞机、卫星等高速运转的运载工具,在高空进行,视场大,可在大范围观察采集信息,效率非常高,可以说为全面和及时动态地观察地球提供了技术手段。近年来由于技术的进步,遥感的分辨率不断提高,民用的遥感图片几何分辨率已经到米、分米级。因此应用范围在不断地扩大(如图 1.6,图 1.7,图 1.8 所示)。

地理信息系统(GIS)是在计算机技术支持下,把采集的各种地理空间信息按照空间分布及属性,进行输入、存储、检索、更新、显示、制图,并和其他相关专业的专家系统、咨询系统相结合,以便综合应用的技术系统。通过 GIS 系统,利用互联网可将采集的地理信息数据实现共享,为政

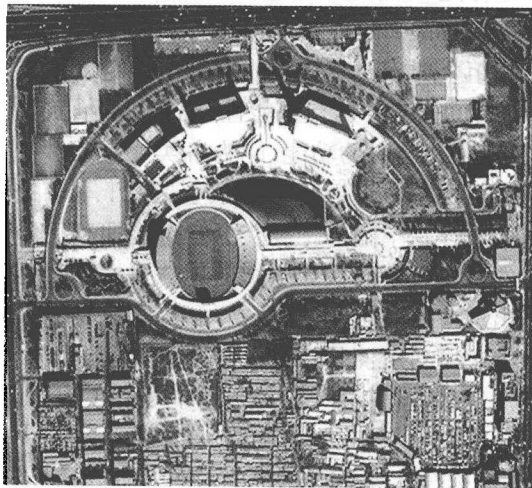


图 1.6 北京奥体中心遥感图

府、各种社会经济组织,乃至个人对地理信息的需求提供服务。从而使采集的地理信息数据得到最大限度的发挥。

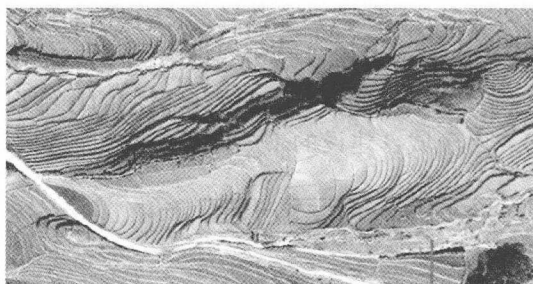


图 1.7 某农村地区的遥感图



图 1.8 某地遥感图

3S 技术集成,利用 GPS 实时高精度定位,RS 大面积进行遥感,进行处理后生产并提供地理空间信息服务产品,用 GIS 构建地理空间信息服务规范体系。利用 3S 技术集成,利用互联网全面提供地理空间信息服务,推进信息化建设进程中地理空间信息基础数据平台的建设。作为支撑信息化的支柱之一,3S 技术集成,是当前国内外的发展趋势,将使测绘工作从地理空间信息数据采集到提供服务的整个流程都发生革命性的进步,使全球性大面积、从静态到动态、快速高效的地理空间信息数据采集、处理、分发和服务得以实现。同时也将使测绘在社会经济发展中的地位 and 作用得到空前的提升,并向地球空间信息科学跨越和融合(如图 1.9 所示)。

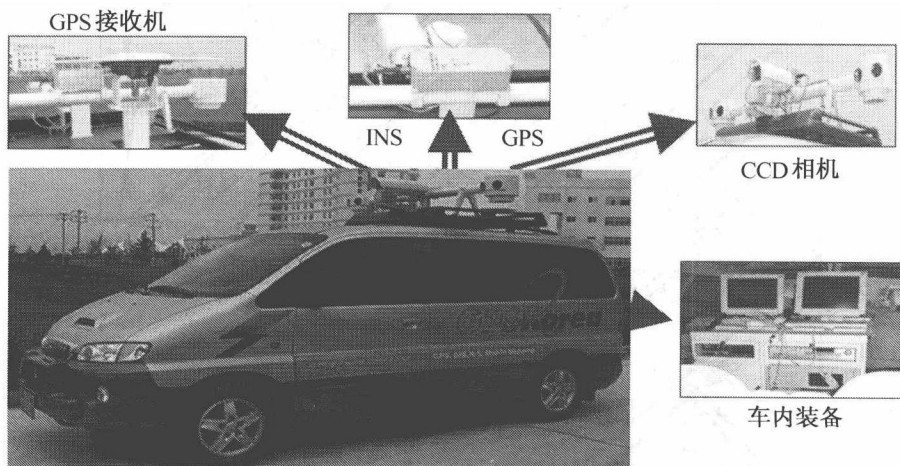


图 1.9 3S 技术集成

断地发生新的变化,为确保提供现势性较好的地形图来保证使用的效果,必须不断地及时地对地形图进行修测和补测,在必要的情况下,根据变化情况,需要定期地进行地形图的全面更新。这些测绘的大比例尺地形图,也可以作为缩绘比例尺更小地形图的数据源。由此就形成了一门研究如何把建设区域内的地貌和各种物体的几何形状及空间位置,按照国家统一的地形图图式符号和比例尺,运用测量学的理论、方法和工具测绘成地形图的理论、技术和方法的地形测量学。在地形测量学中,包含了大量的测绘基本概念、基本原理和方法,因此本课程主要学习大比例尺地形图测绘的常规方法,从中掌握测绘基本原理和方法,为后续课程的学习打下坚实的基础。

小 结

本章介绍了测绘学的发展、分类、现状和测绘学在国民经济中的重要作用。通过本章的学习,将逐渐导引你进入到测绘学的视场中去理解、分析、掌握测绘的相关知识,将你带入“天、地、空”一起的测量中来,逐步学习地面地形测量、空间摄影测量与遥感、全球定位系统 GPS 定位等知识。

习 题

- 1-1 测量学研究的对象是什么,有哪些任务?
- 1-2 简述测绘学的分支。
- 1-3 测绘科学在国民经济中有哪些作用?