

第一节 认识测绘

一、测绘及其对象

（一）测绘

测绘是指对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动。通俗地说，测绘就是测量和描绘的总称。

（二）测绘对象

测绘以地球及其表面的点位以及外层空间中各种自然和人造实体为对象。对于一般的工程施工与建设，测绘对象是地球表面的局部区域。

二、测绘的分支学科

（一）大地测量学

大地测量学是研究地球的形状与大小，地球的整体运动、局部运动以及地球重力场的理论和技术的学科。其主要任务是：为地球科学的研究提供理论依据和资料；为研究地球环境变化、预报提供依据和信息；为经济建设提供控制数据；为科学研究和导航提供定轨和定位依据；为军事用途提供控制基础。

（二）摄影测量与遥感

摄影测量与遥感是研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像数据，从中提取几何的或物理的信息，并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。

（三）工程测量学

工程测量学是研究城市建设、矿山工厂、地质矿产等各种工程建设和资源开发领域的勘测设计、建设施工、竣工验收、生产经营、变形监测等方面的测绘工作。其主要任务是配合工程进程，解决施工测绘问题。

（四）海洋测绘学

海洋测绘学是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量及海图编制理论和方法。内容包括：海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及海图制图等。

（五）地图制图学

地图制图学是研究模拟地图和数字地图的基础理论、地图设计、地图编制和复制的技术方法及其应用的学科。其基本任务是利用各种测量成果编制各类地图。

三、测绘工作的主要内容

测绘常被人们称为测量，是在地球的表面确定点位的工作。在一般的矿产资源开发和工程建设中，测绘工作的主要任务包括两个部分：测定和测设。

测定就是利用测绘仪器和工具，通过一定的方法获取测区内地形的一系列空间数据，经过计算和处理，绘成各种纸质地图或数字地图，供科学研究、规划设计、国防和工程建设使用。

测设就是将规划在图上的建筑物或构筑物，按照空间位置、形状等设计要求测设到地上，作为施工的依据。测设也称为标定。测定和测设是两个相反的过程。

四、测绘的发展与应用

测绘是一门基于科学技术的发展和时代需要而发展的专业技术，它的形成和发展在很大程度上依赖于测量仪器工具的创造和测量方法的改进，特别是 20 世纪中期以后出现的激光技术、微电子技术、空间技术、信息技术和计算机技术等，极大地推动了测绘科技的飞跃和革新，创造了如激光红外测距仪、全站仪、电子水准仪、自动绘图仪、测量机器人、GPS 等先进仪器和系统，产生了数字化测图技术、卫星导航定位技术（GNSS）、摄影测量与遥感技术（RS）和地理信息系统（GIS）等先进技术，使过去手工作业、劳动强度大、测量精度低、工作效率低、服务范围小的传统模拟测绘逐渐向数字测绘过渡，目前正在向信息采集、数据处理和成果应用的自动化、数字化、网络化、实时化和可视化的信息化测绘方向发展。随着“数字地球”“数字城市”概念的提出和“3S”集成技术的发展，地球将会以数字方式进入计算机网络系统，人们在研究、观察和测绘地球时，将更加方便。2017

年 11 月 5 日,随着两颗“北斗三号”导航卫星的成功发射,标志着我国北斗导航系统全球组网的开始,在不久的将来,它将使我国的测绘导航水平迈上一个新的、更高的台阶。

随着社会现代化水平的提高,测绘的应用范围愈来愈广。它为航空航天、空间技术、地壳形变、地震预报等科学研究工作提供了重要的测绘资料;为经济发展规划、土地资源调查和利用、海洋开发、农林牧渔业的发展、生态保护、疆界的划定、突发事件监测、自然灾害应急等方面提供了重要的基础数据资料;在国防建设和现代战争中,可持续、实时地提供战场环境,为作战指挥和武器定位与制导提供保障。

第二节 现代测绘科学技术现状与进展

测绘学是研究地球和其他实体的与空间分布有关的信息的采集、量测、分析显示、管理和利用的科学和技术。它的研究内容和科学地位则是确定地球和其他实体的形状和重力场及空间定位,利用各种测量仪器、传感器及其组合系统获取地球及其他实体与空间分布有关的信息,制成各种地形图、专题图和建立地理、土地等空间信息系统,为研究地球的自然和社会现象,解决人口、资源、环境和灾害等社会可持续发展中的重大问题以及为国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。

一、测绘学的现代概念和内涵

从测绘学的现代发展可以看出,现代测绘学是指地理空间数据的获取、处理、分析、管理、存储和显示的综合研究。这些空间数据来源于地球卫星、空载和船载的传感器以及地面的各种测量仪器,通过信息技术,利用计算机的硬件和软件对这些空间数据进行处理和使用。这是应现代社会对空间信息有极大需求这一特点形成的一个更全面且综合的学科体系。它更准确地描述了测绘学科在现代信息社会中的作用。原来各个专门的测绘学科之间的界限已随着计算机与通信技术的发展逐渐变得模糊了。某一个或几个测绘分支学科已不能满足现代社会对地理空间信息的需要,相互之间更加紧密地联系在一起,并与地理和管理学等其他学科知识相结合,形成测绘学的现代概念,即研究地球和其他实体的与时空分布有关的信息的采集、量测、处理、显示、管理和利用的科学和技术。测绘学科的现代发展促使测绘学中出现若干新学科,例如卫星大地测量(或空间大地测量)、遥感测绘(或航天测绘)、地理信息工程,等。

我国测绘学科经历了三个阶段的发展,即模拟测绘(或称传统测绘)、数字化测绘、信息化测绘,现在正处于数字化测绘向信息化测绘发展的阶段。20 世纪 80 年代是传统测绘体系的改造阶段,90 年代是数字化测绘技术体系的形成阶段,21 世纪初是实现以地图生产为主向地理信息服务为主的转变阶段,即信息化测绘发展的阶段。信息化测绘技术体

系是在对地观测技术、计算机信息化技术和现代通信技术等支撑下的有关地理空间数据的获取、处理、管理、更新、共享和应用的所有技术的集合。从学科发展上说,测绘学正在实现与近年来在国内外兴起的一门新兴学科——地球空间信息学的跨越与融合。

现代测绘学发展方向可以概括为四个方面。

(一) 地理空间信息时空基准体系

地理空间信息时空基准(测绘基准)是为地理空间信息提供平面位置、高程、重力、深度以及时间等方面的起算依据,相应地包括平面基准、高程基准、深度基准、重力基准和时间基准。这些基准都有其参考系统和参考框架,形成测绘基准体系。当前我国正在进行测绘基准现代化改造,构建满足国家经济和国防建设需要的现代测绘基准体系。

(二) 地理空间信息实时获取体系

地理空间信息的获取主要依赖于空间对地观测技术,包括卫星导航定位技术、卫星重力探测技术、航空航天遥感技术等,许多地面观测技术也是不可缺少的。利用这些现代测绘新技术,可以动态、实时地获取测绘定位数据、重力数据和遥感影像数据以及其他与测绘有关的数据。

(三) 地理空间信息自动化快速处理体系

在地理空间信息数据的采集、处理、管理、更新和应用过程中广泛采用自动化、智能化技术,可以实现对数据的快速或实时处理,满足经济社会发展和人民生活的需求。地理空间信息数据的自动化快速处理体系是利用计算机人工智能等技术实现地理空间信息数据运算的分布式、并行化、集群化,信息提取的量化、自动化、智能化、实时化。其主要包括:卫星导航定位数据处理技术、地球重力场精化技术、航空航天遥感数据处理技术、地图制图与地理信息系统技术。

(四) 地理空间信息网络化服务体系

信息化测绘的一个显著特征是信息服务的网络化,其地理信息的传输交换和服务主要在网络环境下进行,可以对分布在各地的地理信息进行检索、访问、浏览、下载和支付。任何人,在任何时候、任何地方都可以获得所需要的、使用权限范围内的地理信息服务。地理空间信息网络服务系统就是将有用的地理信息以最快的速度 and 最便捷的方式提供给广大社会公众的地理空间信息网络自主服务平台。

二、现代测绘新技术的发展

当今社会已进入信息时代,世界各国都把加速信息化进程视为新型发展战略,测绘

信息服务的方式和内容在国家信息化的大环境下发生了深刻变化,由此促进了测绘信息化的发展,推动测绘事业优化升级,充分发挥测绘在国家经济建设和社会发展中的作用,继而催生了信息化测绘的新概念,因此现阶段的测绘科学技术学科的发展现状和趋势,主要是以 3S 技术为代表的现代测绘技术作支撑,发展地理空间信息的快速获取、自动化处理、一体化管理和网络化服务,以此推进信息化测绘的建设进程。

传统的测绘技术由于受到观测仪器和方法的限制,只能在地球的某一局部区域进行测量工作,而空间导航定位、航空航天遥感、地理信息系统和数据通信等现代信息技术的发展及其相互渗透和集成,则为我们提供了对地球整体进行观察和测绘的工具。卫星航天观测技术能采集全球性、重复性的连续对地观测数据,数据的覆盖可达全球范围,因此这类数据可用于对地球整体的了解和研究,这就好像把地球放在实验室里进行观察、测绘和研究一样。现代测绘高新技术日新月异的迅猛发展,使得测绘学的理论基础、测绘工程技术体系、研究领域和科学目标等正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。GPS 等空间定位技术的引进,导致大地测量从分维式发展到整体式,从静态发展到动态,从描述地球的几何空间发展到描述地球的物理—几何空间,从地表层测量发展到地球内部结构的反演,从局部参考坐标系中的地区性测量发展到统一地心坐标系中的全球性测量。大地测量学已成为测绘学和地学领域的基础性学科。摄影测量本身已完成了“模拟摄影测量”与“解析摄影测量”的发展历程,现正在进入“数字摄影测量”阶段。由于现代航天技术和计算机技术的发展,当代卫星遥感技术可以提供比光学摄影所获得的黑白相片更加丰富的影像信息,因此在摄影测量中引进了卫星遥感技术,形成了航天测绘。摄影测量学中由于应用了遥感技术,并与计算机视觉等交叉融合,因此它已是基于电子计算机的现代图像信息学科。随着计算机地图制图和地图数据库技术的飞速发展,作为人们认知地理环境和利用地理条件的根据,地图制图学已进入数字(电子)制图和动态制图的阶段,并且成为地理信息系统的支撑技术。地图制图学已发展成为以图形和数字形式传输空间地理环境的学科。现代工程测量学也已远离了单纯为工程建设服务的狭隘概念,正向着所谓“广义工程测量学”方向发展,即“一切不属于地球测量,不属于国家地图集的陆地测量和不属于公务测量的应用测量,都属于工程测量”。工程测量的发展可概括为内外业一体化、数据获取与处理自动化、测量工程控制和系统行为的智能化、测量成果和产品的数字化。同样,在海洋测量中,广泛应用先进的激光探测技术、空间定位与导航技术、计算机技术、网络技术、通信技术、数据库管理技术以及图形图像处理技术,使海洋测量的仪器和测量方法自动化和信息化。测绘学科的这些变化从技术层面上影响到测绘学科由传统的模拟测绘过渡到数字化测绘,例如测绘生产任务由纸上或类似介质的地图编制、生产和更新发展到对地理空间数据的采集、处理、分析和显示,出现了所谓的“4D”测绘系列产品,即数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字栅格地图(DRG)和数字线画图(DLG)。测绘学科和测绘工作正在向着信息采集、数据处理和成果应用的数字化、网络化、实时化和可视化的方向发展,生产中体力劳动得到解放,生产力得到很大的提高。今天的光缆通

信、卫星通信、数字化多媒体网络技术可使测绘产品从单一的纸质信息转变为磁盘和光盘等电子信息,测绘生产产品分发方式从单一的邮路转到“电路”(数字通信和计算机网络、传真等),测绘产品的形式和服务社会的方式由于信息技术的支持发生了很大的变化,表现为以高新技术为支撑和动力,测绘行业和地理信息产业正成为新世纪的朝阳产业。它的服务范围和对象正在不断扩大,不再是原来单纯从控制到测图,为国家制作基本地形图,而是扩大到国民经济和国防建设中与地理空间数据有关的各个领域。

(一) 卫星导航定位

1. 现代测绘基准建设

现代测绘基准(又称地理空间信息基准),是确定地理空间信息的几何形态和时空分布的基础,是反映真实世界空间位置的参考基准,它由大地测量坐标系统、高程系统/深度基准、重力系统和时间系统及其相应的参考框架组成。近年来我国现代测绘基准的建设取得了重要进展。基于现代理念和高新技术的新一代大地坐标系已进入实用阶段。经国务院批准,我国自2008年7月1日起启用“2000国家大地坐标系(简称CGS2000)”,并规定CGS2000与现行国家大地坐标系的转换、衔接过渡期为8~10年。关于我国的高程基准,除了建立新的一等精密水准网作为高程参考框架外,还可借助厘米级精度(似)大地水准面形成全国统一的高程基准。因此我国信息化测绘体系所要建立的现代测绘基准则是在多种现代大地测量技术支撑下的全国统一、高精度、地心、动态的几何—物理一体化的测绘基准。

“5·12”汶川大地震将灾区原有维护测绘基准的国家平面与高程系统以及城市坐标系的控制点摧毁殆尽,已完全不能满足救灾、抢险和灾后家园重建的要求,为此国家测绘局编制了汶川地震灾后重建测绘保障工作实施方案,对灾区及周边地形进行分析,并采用现代测绘技术,快速高效地恢复和建立了灾区应急测绘基准体系,为灾情评估、灾后重建规划和建设提供及时、可靠的测绘服务。此基准包含了24个GPS连续运行基准站和灾区厘米级精度似大地水准面。

2. 全球导航卫星系统(GNSS)的组建

当今世界上全球导航卫星系统除美国的GPS和俄罗斯的GLONASS之外,现在正在建设的有欧盟的GALILEO和中国的北斗二代(COMPASS)。近年来,后两者的建设有较大进展。2008年欧盟通过了GALILEO的最终部署方案,标志着为期6年的伽利略计划基础设施建设正式启动。它分两阶段实施,即2008-2013年为建设阶段,2013年后为正式运行阶段。2008年4月27日发射升空的第二颗在轨验证元素卫星GIOVE-B,目前已开始在轨检测,将继续验证未来GALILEO有效载荷的关键技术。GIOVE之后下一步计划就是2010年发射4颗运行卫星,验证GALILEO太空设备与相关的地面段设备。一旦在轨验证阶段结束,则将发射其余26颗卫星,部署一套具有完全运行能力的由30颗星组成的星座。

中国的北斗二代导航系统已开始组建。2007年2月3日,中国用长3甲火箭将北斗系统4号星发射升空,现在卫星转入正常运行。2007年4月14日,我国又再次用长3甲火箭将一颗北斗ME0导航卫星送入太空。这标志着我国将开始由区域导航卫星系统向全球导航卫星系统建设的过渡。

3. 卫星定位技术的研究热点

网络RTK和精密单点定位技术仍是当前主要的研究热点。尤其是利用网络RTK技术在大区域内建立连续运行基准站网系统(CORS),为用户全天候、全自动、实时地提供不同精度的定位/导航信息。这里主要研究其技术实现的方法。现在比较成熟的方法有虚拟基准点技术(VRS)、主辅站技术(FKP)以及数据通信模式等。由于当前出现了多种卫星和多种传感器导航定位系统,因此产生了多模组合导航和多传感器融合导航技术,前者如GPS/GLONASS/GALILEO/BD的组合导航,后者则是将GNSS同惯性、天文、多普勒、地形、影像等相融合的导航系统。它们都是按某种最优融合准则进行最优组合,以实现提高目标跟踪精度的目的。

4. GPS/重力相结合的高程测量新方法

这种新方法是在GPS出现之后逐渐发展到比较成熟的测定地面海拔高程(正高或正常高)的一种技术方法。GPS可测出地面一点的大地高,如果能在同一点上获得高程异常(或大地水准面差距),那么就可将大地高通过高程异常(或大地水准面差距)很容易转换成正常高(或正高),即通常水准测量测出的海拔高程。这里的关键技术就是高精度、高分辨(似)大地水准面数值模型的确定方法。由于这种方法可以替代费时、费力、费财的几何水准测量,因此要求(似)大地水准面数值模型达到同几何水准测量相当的厘米级精度水平,这就要在其确定理论和解算方法上不断改进和完善,用于实际解算的各种观测数据要不断丰富,例如目前在我国出现的顾及地球曲率的严密重力归算方法,采用曲率连续张量样条算法的格网空间异常内插方法以及(似)大地水准面的第二类赫尔默特凝聚算法等。采用这些理论和方法大大提高了(似)大地水准面数值模型的精度。

(二) 航空航天测绘

1. 高分辨率卫星遥感影像测图

随着高分辨率立体测绘卫星数据处理技术的突破和我国民用测绘卫星“资源三号”的正式立项,如今卫星影像测图正在逐步走向实用化,呈现出航天与航空摄影测量并存的局面。高分辨率遥感卫星不断出现,成像方式也向多样化方向发展,由单线阵推扫式逐渐发展到多线阵推扫成像;更加合理的基高比和多像交会方式进一步提高了立体测图精度。通过获取大范围同轨或异轨立体影像,已引起地形测量和地形测绘技术的变革。高分辨率遥感卫星数据处理技术的进展,主要包括高精度的有理函数模型求解技术、稀少地面控制点的大范围

区域网平差技术、基于多基线和多重匹配特征的自动匹配技术等。高分辨率卫星遥感影像已成为我国西部 1:50000 地形图测图困难空白区的基础地理信息的重要数据源之一。在地面无控制条件下自动网平差技术还可以使大范围边境区域和境外地形图测绘成为现实。

2. 航空数码相机摄影测量数据获取

随着传统胶片式航测相机相继停产,航空数码相机已逐渐取代此类相机,成为大比例尺地理空间信息获取的主要手段,以适应信息化测绘的需求。我国自主研发的 SWDC 系列航空数码相机结束了国外数码航空相机的垄断局面,已经应用于我国基础航空摄影。该系统基于多台非量测型相机构建,经过严格的相机检校过程,可拼接生成高精度的虚拟影像,其大幅面航空数码相机的高程精度高达 1/10000。2008 年我国自主研发的另一个型号 TOPDC4 四拼数码航空摄影仪试验成功,并应用于我国第二次全国土地调查。而在国外又推出了新型号的 Ultra CamXP 和 ADS80 以及新的大幅面 DiMAC WiDE、RolleiMetricAICX4、中幅面 ApplaniX DSS439 和三线阵 Wehrii3-DAS-2 等数码相机,其硬件性能进一步提高。在“5·12”汶川特大地震中,利用中型通用航空飞机搭载 ADS40 等数码航影仪,在中高空获取大区域影像,实践证明,POS 系统支持的高分辨率机载三线阵数码相机具有很好的快速反应能力。

3. 轻小型低空摄影测量平台的实用化作业

轻小型低空摄影测量平台分为无人驾驶固定翼型飞机、有人驾驶小型飞机、直升机和无人飞艇等几种。由于其机动灵活、经济便捷等优势得到了迅速发展,并逐步进入实用阶段。低空摄影测量平台能够实现低空数码影像获取,可以满足大比例尺测图、高精度城市三维建模以及各种工程应用的需要。目前已有部分大比例尺测图任务由它完成。特别是无人机可在超低空进行飞行作业,对天气条件的要求较宽松,且无须专用机场,在“5·12”汶川特大地震灾害应急响应的应用中,展现出巨大的潜力。

4. 数字摄影测量网格的大规模自动化快速数据处理

随着航空数码相机、机载激光雷达等新型传感器的迅猛发展,为有效解决海量遥感数据处理的瓶颈问题,将计算机网络技术、并行处理技术、高性能计算技术与数字摄影测量技术相结合,开发了新一代航空航天数字摄影测量数据处理平台,即数字摄影测量网格 DPGrid。该平台实现了航空航天遥感数据的自动快速处理,建立了人机协同的网络全无缝测图系统,革新了现行摄影测量的生产流程,既能发挥自动化的高效率,又能大大提高人机协同的效率。目前 DPGrid 已进入实用化阶段,满足了超大范围摄影测量数据快速处理的需要。另外,像素工厂 PF、INPHO 等国外数字摄影测量平台逐步引入我国,提高了多源航空航天影像的处理能力和正射影像、数字高程模型等测绘产品的生产效率。DPGrid 在“5·12”汶川特大地震的抗震救灾影像处理中发挥了重要作用,在 110 个小时内成功制作了 4000 余幅航空数码影像的 DSM,与 DOM 产品一起为抗震救灾决策提供了现势资料。

（三）数字化地图制图与地理信息工程

1. 地图制图的数字化与一体化

地图制图生产全面完成了由手工模拟方式到计算机、数字化方式的转变，构建了地图制图与出版一体化系统，特别是结合地理信息系统软件和图形软件，形成了以符号图形为基础的地图制图系统。其技术手段主要采用全数字摄影测量技术、基于地图数据库或多种地图数字化的数字地图制图技术和数字印刷与电子出版技术。而产品形式主要有数字地图、电子地图和纸介质地图等多样产品，其服务方式是按照用户的不同需求提供多样化的产品服务。例如除了可提供以上地图产品服务之外，还可提供基于数字地图的各种应用信息系统。

2. 系列比例尺空间数据库的构建

目前我国已构建了 1:50000 比例尺空间数据库、各种比例尺的海洋测绘数据库、1:3000000 中国及周边地图数据库、1:5000000 世界地图数据库，另外正在建设中的还有政府大规模数字影像数据库和各省、区、直辖市的 1:10000 数据库以及各城市的基础地理信息数据库。这些数据库为数字中国、数字省区、数字城市等的建设奠定了坚实的基础空间数据框架。此外还深入研究了空间数据库的更新技术，有效地支持了数据库的更新机制，保持了它的现势性和可用性。

3. 可量测的实景影像产品

在机动车上装配 GPS、CCD、INS 或航位推算系统等传感器和设备，可在车辆行驶中快速采集道路及两旁地物的空间位置和属性数据，如道路中心线、目标地物的坐标、路宽、桥高、交通标志等。数据同步存储在车载计算机系统中，经事后编辑处理，形成内容丰富的道路空间信息数据库。它包含了街景影像视频及其内外方位元素，将它们与一般二维城市地图集成在一起，生成众多的与老百姓衣食住行相关的兴趣点（POI），形成为城市居民服务的新的地理空间信息产品。

4. 基于网格服务的地理信息资源共享与协同工作

网格（grid）是利用高速互联网把分布在不同地理位置的计算机组织成一台“虚拟超级计算机”，是在高速互联网上实现资源共享和协同工作的一种计算环境。代理（agent）是处于某种环境中的一个封装好的计算实体，它能在该环境中灵活、主动地活动，以达到为其设计好的目的。网格和代理的集成能实现真正意义上的跨平台、互操作、资源共享和协同工作。网格地理信息系统对政府跨部门的综合决策，特别是应急综合决策尤其重要，无论用户在何种服务终端上都能为政府综合决策提供综合集中的地理空间信息服务和协同解决问题的功能。在“5·12”汶川特大地震中，利用灾区震前基础地理信息和灾后遥感影像，快速开发了抗震救灾综合服务地理信息平台，对灾区房屋倒塌、道路交通等基础设

施损毁以及泥石流、滑坡、堰塞湖等次生灾害进行解释分析。

5. 基于“一站式”门户的地理空间信息网络自主服务系统

它是一个建立在分布式数据库管理与集成基础上的“一站式”地理空间信息服务平台,面向公众提供空间信息的自主加载、查询下载、维护、统计信息及其他非空间信息的空间化、公众信息处理与分析软件的自动插入与共享等一系列服务。它是基于网络地图服务和空间数据库互操作等新技术开发而成,将分布在各地不同机构、不同系统的空间数据库在统一标准和协议下连成一个整体,采用相同的标准和协议,进行互操作,使信息共享从数据交换提升到系统集成的共享。

(四) 精密工程与工业测量

1. 基于卫星定位的工程控制测量

由于卫星定位具有速度快、精度均匀、无须站间通视、对控制网图形要求低等特点,已广泛应用于建立各种工程控制网,并且同高精度、高分辨率(似)大地水准面数据模型相结合,使工程控制网从二维发展到三维一体化建设,彻底改变了传统工程测量中将平面和高程控制网分别布设和多级控制的方法。

2. 城市 GPS 连续运行基准站系统的多用途实用化服务

城市 GPS 连续运行基准站系统是一个将空间定位技术、现代通信技术、计算机网络技术、测绘新技术等集成,并与测绘学、气象学、水利学、地震学、建筑学等多学科领域相融合的实用化综合服务系统,可为城市规划、市政建设、交通管理、城市基础测绘、工程测量、气象预报、灾害监测等多种行业提供导航、定位和授时等多种信息服务,实现一网多用。

3. 三维测绘技术的工程应用

三维测绘技术就是测量目标的空间三维坐标,确定目标的几何形态、空间位置和姿态,对目标进行三维重建,并在计算机上建立虚拟现实景观模型,真实再现目标。目前有多种三维测量仪器,其中三维激光扫描仪是近年发展起来的新型三维测绘仪器。

4. 精密大型复杂工程的施工测量新技术

近年来我国完成了许多世界建筑史上具有开创意义的建筑工程。这些工程建筑物造型独特,设计新颖,结构复杂,施工困难。这对建筑施工测量技术与精度要求提出严峻的挑战,因此针对这些建筑的施工测量必须开展一系列技术开发,创造出相应新方法,攻克大量施工技术难关。如在国家大剧院施工测量中研制了一套复杂曲面计算程序与放样、检核方法;在奥运建筑工程“鸟巢”的施工测量中研制了超大型弯扭钢构件数据采集、三维拼装测量和高空三维定位测量等一整套测量方法;在国家游泳中心“水立方”施工测量中创

造了空间无规则球形节点快速定位测量方法。这些新的施工测量技术和方法对提高测量质量、满足施工要求、保证施工周期等方面起到突出的保障作用。

5. 精密工业测量系统的建立与应用

工业测量已成为现代工业生产不可缺少的重要生产环节。工业测量的技术手段和仪器设备主要以电子经纬仪或全站仪、投影仪或显微投影仪、激光扫描仪等为传感器,在电子计算机和软件的支持下形成三维测量系统,按其传感器不同分为以下几类:工业大地测量系统,工业摄影测量系统,激光扫描测量系统,基于莫尔条纹的工业测量系统,基于磁力场的三维量测系统和用于空间抛物体运动轨迹测定的全球定位系统等。工业测量系统归纳起来主要应用于众多工业目标的外形、容积、运动状态测量,现在工业生产流水线上产品的直径、厚度、斑痕、平整度等的快速检测,动态目标的运动轨迹、姿态等的测定。工业测量技术设备正向着自动化、智能化和信息化的方向发展。

(五) 海洋与航道测绘新技术

1. 海洋与航道中的卫星定位测量

在海洋测量中,目前着手探讨将提高定位精度后的北斗二代卫星定位系统的应用范围扩展到海上。研究的问题有:北斗二代卫星定位系统用于船只姿态测量的可行性、利用多频观测消除电离层折射误差的方法、模糊度的三频和矩阵变换的解算法以及利用姿态矩阵的正交特性进行模糊度的有效分析等。经仿真计算证明,利用北斗多频观测进行船只姿态测量具有很高的精度和效率。另外,基于GPS测速的基本原理,采用单点定位、无线电信标/差分GPS和RTKGPS等模式,研究运动物体速度测量的方法和精度,可为声学多普勒海流剖面仪作业提供准确的位置信息。在航道测量中,GPS定位技术的应用,根本改变了原来传统经纬仪测量的人工操作方式,保证了水上(特别是洪水期)测量的安全和效率。目前长江航道已全部采用空间定位技术,将GPS与测深仪结合进行水上测量,不仅极大提高了航道测量的生产效率,且成果精度高、质量好。

2. 水深测量

在运动平台上进行水深测量,由于受到测量船与仪器噪声、海况和测深仪参数设置等因素影响,会导致异常深度和虚假地形现象,因此对单波速或多波速测深技术的研究,主要集中在提高测量效率和精度以及测深数据的处理。例如航测线数据跳点的剔除、海洋表层声速对多波速测深的影响、统计滤波估计检测海洋测深异常数据以及利用趋势面滤波法进行粗差标定等方法。采用这些方法可以消除不同水下地形测量的粗差,较好地保留了真实水下地形信息。

3. 海洋与航道的遥感遥测技术

海洋与航道的遥感遥测技术的研究同陆地航空航天测绘技术相似。这里的研究主要集

中在该技术在海洋与航道测绘中的应用上。如水域界限的提取、海岸带监测、浅海障碍物探测、声呐图像处理、影像制图以及航道水下地形和水文因子的实时更新、助航标志的动态变化监测等。不同的对象则有不同的技术方法。例如采用基于 IKONOS 卫星影像的面向对象的信息提取技术,获取红树林、其他植被和非植被覆盖分类结果;依据合成孔径雷达(SAR)成像机理分析水下障碍物 SAR 成像数字物理模型,依此模型设计水下障碍物的通用仿真计算流程,由此模拟仿真水下沙波、沙丘、暗礁、沉船等典型障碍物。另外,声呐探测及其图像分析与判读也是海洋测绘技术的重点研究方向之一。

4. 基于“数字海洋”与“数字航道”的测绘信息化服务

海洋地理信息系统是在海洋测绘、海洋水文、海洋气象、海洋生物、海洋地质等学科研究成果的基础上建立起来的面向海洋的地理信息系统。它集合了 GIS、数据库和实用数字模型等技术,可以为遥感数据、海图数据、GIS 和数字模型信息提供协调坐标、数据存储、管理和集成信息的系统结构。要在海洋地理信息系统上实现海洋信息服务,还必须建立统一的海洋信息管理网络系统,在现有相关部门局域网的基础上,进行统一规划,实现网络互联,建立集成化的海洋信息服务门户网站,提供海洋信息的社会化网络化的应用服务。同样,为了提供航道信息服务,则必须建立“数字航道”。它是以航道为对象,以地理坐标为依据,将江河干流航道及相关的附属设施,以多维、多尺度、多分辨率的信息进行描述,实现真实航道的虚拟化、数字化、网络化、智能化和可视化的规划、设计、建设、养护、管理和综合应用。

三、现代测绘学科体系

当代测绘科学技术已从数字化测绘向着信息化测绘过渡,在其学科发展中呈现出知识创新和技术带动能力。它已形成一门利用航天、航空、近地、地面和海洋平台获取地球及其外层空间目标物的形状、大小、空间位置、属性及其相互关联的学科。现代空间定位技术、遥感技术、地理信息技术、计算机技术、通信技术和网络技术的发展,使人们能够快速、实时和连续不断地获取有关地球及其外层空间环境的大量几何与物理信息,极大地促进了与地球空间信息获取与应用相关学科的交叉和融合。因而现代测绘科学技术学科的社会作用和应用服务范围正不断扩大。测绘科学技术学科发展到现阶段的信息化测绘,其本质就是要以创新的技术体系实现为社会提供实时有效的地理信息综合服务。

随着测绘科学技术的发展和时间的推移,测绘学的学科分类方法是不相同的,下面是一种传统的测绘学科分类。

(一) 大地测量学

主要研究地球表面及其外层空间点位的精密测定、地球的形状、大小和重力场,地球整体与局部运动,以及它们的变化的发展和技术的学科。

（二）摄影测量学

主要利用摄影手段获取目标物的影像数据，研究影像的成像规律，对所获取的影像进行量测、处理、判读，从中提取目标物的几何的或物理的信息，并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。

（三）地图制图学（地图学）

主要研究地图制作的基础理论、地图设计、地图编制和制印的技术方法及其应用的学科。

（四）工程测量学

主要研究在工程建设和自然资源开发各个阶段进行测量工作的理论和技术的学科。

（五）海洋测绘学

主要研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制理论和方法的学科，主要包括海洋大地测量、海道测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集的编制。

现代测绘学科的一级学科是测绘科学与技术，下设三个二级学科，即大地测量学与测量工程、摄影测量与遥感、地图制图与地理信息工程。历经教育部多次专业调整与合并，将大地测量学、工程测量学、摄影测量与遥感合并为测绘工程，目前测绘类高等教育专业有三个，即测绘工程、空间信息与数字工程、遥感科学与技术。

第三节 我国信息化测绘体系

信息化测绘技术体系以数字化测绘技术体系为基础，是数字化测绘技术体系经多学科交叉、融合后发展形成的，是实现信息化测绘体系的重要支撑与保障，是信息化测绘体系的重要组成部分。全面解决地理信息获取实时化、处理自动化、服务网络化和应用社会化的重大关键技术问题，形成现代化测绘基准建设与服务、空间化实时化地理信息获取、自动化智能化地理信息处理、网格化集成化地理信息管理、网络化全方位地理信息共享与服务、多元化社会化地理信息应用等方面的关键技术平台，形成一批具有自主知识产权和国际竞争力的软件系统和技术装备，全面提升测绘生产力水平。

数字化测绘技术体系以空间数据资源和 3S 技术为核心，结合网络、存储等技术，实现了数据获取与采集、加工与处理、管理与应用的数字化，产品形式也从传统的纸质地图变成了 4D 产品。相对于数字化测绘技术体系，信息化测绘技术体系不论从技术层面、生

产流程还是服务方式，都是一次重大的科学技术变革，符合科学技术发展的一般规律。

信息化测绘技术体系是以多源化、空间化、实时化数据获取为支撑，以规模化、自动化、智能化数据处理与信息融合为主要技术手段，以多层次、网格化为信息存储和管理形式，产品服务从单一的测绘数字产品形式转变为社会各部门、各领域的多元信息和技术服务方式，能够形成丰富的地理信息产品，通过快速、便捷、安全的网络设施，为社会各部门、各领域提供多元化、人性化地理信息服务。简言之，信息化测绘技术体系的基本特点是地理信息获取实时化、处理自动化、服务网络化和应用社会化，最终目标是要实现任何人，在任何时候、任何地方都可以享受到所需要的、权限范围内的地理信息服务。

信息化测绘体系由现代化的测绘基准体系、基础地理信息资源体系、地理空间信息的实时化获取体系、自动化处理体系和网络化服务体系等五部分组成，并且制订了近期的建设目标，即建成较为完善的全国统一、高精度、动态的现代化测绘基准体系，现势性好、品种丰富的基础地理信息资源体系，基于航空、航天、地面、海上多平台、多传感器的实时化地理空间信息获取体系，基于空间信息网络和集群处理技术的一体化、智能化、自动化地理空间信息处理体系，基于丰富地理空间信息产品和共享服务平台的网络化地理空间信息服务体系。信息化测绘体系建设是当前和今后一个时期我国测绘事业发展的战略任务。作为学科来说，其发展既要瞄准当今学科发展的国际前沿，更重要的还要适应我国信息化测绘体系建设的实际需求，为信息化测绘体系建设提供现代测绘理论、技术和方法的支撑。

信息化测绘技术体系主要包括数据层、处理层、管理层和应用服务层，涵盖现代化测绘基准构建技术、实时化地理空间数据获取技术、自动化地理空间数据处理技术、网格化地理信息管理技术、全方位地理信息共享与服务技术以及多元化地理信息集成与应用技术六个部分，见图 1-1。现代化测绘基准构建技术贯穿于其他五大关键技术，是一切地理信息的载体，是信息化测绘的先决条件，是地球科学、空间技术和海洋科技发展及其信息化的基石，主要包括陆海天一体化大地测量框架基础平台构建技术、多源信息集成的地球观测基准动态实现技术、多模导航定位与动态测量控制技术以及地球动态观测基准信息融合与综合服务技术。实时化地理空间数据获取技术为地理信息处理、管理和共享服务以及应用集成提供了重要的数据源，是国家经济建设、社会发展与国家安全的重要信息保障。从信息流的过程分析，实时化地理空间数据获取技术属于数据层，其重要构成包括测绘卫星数据获取技术、平流层数据获取技术、航空数据获取技术、地面数据获取技术和海洋测绘数据获取技术等。自动化地理空间数据处理技术属于处理层，主要包括多源对地观测数据高效能处理技术、高分辨率光学遥感影像数据处理技术、合成孔径雷达数据和激光雷达数据处理技术及遥感数据智能化解译技术等，这些技术既相互独立，又可以集成在一起，总体上构成一个高速网络模式下的并行分布式、一体化、自动化和智能化的多源对地观测数据处理平台。网格化地理信息管理技术属于管理层，是连接地理信息实时获取、自动化处理与空间信息共享服务、集成应用的不可或缺的技术环节，起着承上启下的作用，通过该

技术构建网络环境下的新一代地理信息管理平台，集成与融合陆海空各类传感器所得到的数据，完成数据流向信息流的转换，在此基础上实现异地、异构、异质多维时空信息的高效管理、充分共享和协同访问，主要包括多维时空数据模型与地理信息系统、地理信息网格化管理支撑技术、地理信息协同化动态更新技术、地理信息自动综合技术、地图制图与空间信息可视化技术和嵌入式地理信息管理与应用技术等。全方位地理信息共享与服务技术和多元化地理信息集成与应用技术均属于应用服务层。全方位地理信息共享与服务技术是以地理信息技术为基础，应用地理信息资源服务于政府管理、行业应用、人民生活的技术体系，在信息化测绘技术体系中是承接地理信息获取和处理与管理、延伸地理信息应用的中间部分，主要包括地理信息的同化、综合认知理论与技术、空间数据挖掘与地理知识发现、空间数据的安全监管技术和空间信息网络共享与服务技术等。多元化地理信息集成与应用技术是连接测绘技术与应用的纽带，对于提升信息化测绘技术体系的应用水平具有重要作用，主要包括多源地理信息集成技术、地理信息统计分析技术、基于位置的服务技术和地理信息综合应用技术及地理信息不确定性理论与技术等。

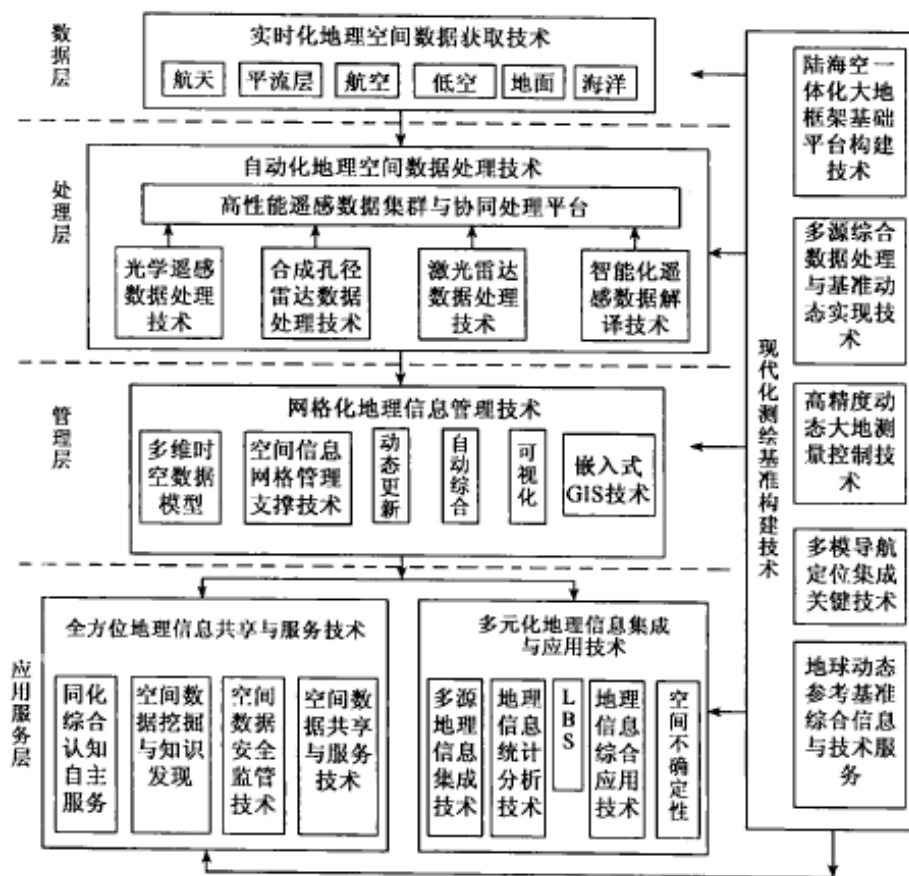


图 1-1 信息化测绘技术体系的框架结构

第一节 概述

大地测量学是一门古老而年轻的学科，是地球科学的一个分支。其基本目标是测定和研究地球空间点的位置、重力及其时间变化的信息，为国民经济建设和社会发展、国家安全以及地球科学和空间科学研究等提供大地测量基础设施、信息和技术支持。现代大地测量学与地球科学和空间科学的多个分支相互交叉，已成为推动地球科学、空间科学和军事科学发展的前沿科学之一，其范围也已从测量地球发展到测量整个地球外空间。

大地测量学的基本任务是：

- (1) 建立和维护高精度全球和区域性大地测量系统与大地测量参考框架。
- (2) 获取空间点位置的静态和动态信息。
- (3) 测定和研究地球形状大小、地球外部重力场及其时间变化。
- (4) 测定和研究全球和区域性地球动力学现象，包括地球自转与极移、地球潮汐、板块运动与地壳形变以及其他全球变化。
- (5) 研究地球表面观测向椭球面和平面的投影变换及相关的大地测量计算问题。
- (6) 研究新型的大地测量仪器和大地测量方法。
- (7) 研究空间大地测量理论和方法。
- (8) 研究月球和行星大地测量理论和方法：研究月球或行星探测器定位、定轨和导航技术；构建月球或行星坐标参考系统和框架；探测月球和行星重力场。

由于空间技术、计算机技术和信息技术的飞跃发展，以电磁波测距、卫星测量、甚长基线干涉测量等为代表的新的大地测量技术的出现，给传统大地测量带来了革命性的变革，形成了现代大地测量学。传统大地测量学主要研究地球的几何形状、定向及其重力场，并关注在地球上点的定位、重力值。现代大地测量则已超过原来传统的研究内容，将原来所考虑的静态内容，在长距离、大范围、实时和高精度测量的条件下，和时间（历元）这一因素联系起来。此外，现代大地测量学提供和处理了涉及原来是地球动力学、行星学、大气学、海洋学、板块运动学和冰川学等学科所需的信息。现代大地测量学可以并已

经涉及多种学科领域，并提供多种学科领域长期以来很难取得的数值，有可能解决它们相应的困惑。事实证明，现代大地测量学已形成了一门学科交叉意义上的科学，它将更大地影响和促进地球科学、环境科学和行星科学的发展。

第二节 测绘基准

一、测绘基准定义和作用

原子频标和现代大地测量观测技术（如 VLBI、LLR、SLR、GNSS、DORIS）的发展使天文观测和空间大地测量的观测精度得到迅速提高。高精度的观测必须有高精度的理论模型所定义的基准与之相对应。

测绘基准是人类定义的能够描述地球自然、人文信息的地理空间特征参照系统。测绘基准的建立和维护是一切测绘工作的基础。测量基准由大地测量系统及其相应的参考框架所组成。其中，大地测量系统规定了大地测量的起算基准和尺度标准及其实现方式，而大地测量参考框架是大地测量系统的具体实现。大地测量系统包括坐标系统、高程系统 / 深度基准和重力系统。与上述大地测量系统相对应，大地测量参考框架有坐标（参考）框架、高程（参考）框架和重力测量（参考）框架三种。测绘基准研究和建设的任务是：确定或定义坐标系统、高程系统 / 深度基准和重力参考系统，建立和维持坐标框架、高程框架和重力测量框架。

（一）坐标系统和坐标参考框架

研究地球坐标系对于大地测量学、天文学、大地动力学和地球物理等都是十分重要的。精确确定地面点的大地坐标，精确计算卫星的轨道等都依赖于地球坐标系的精确定义。根据 IERS（International Earth Rotation and Reference System）的定义，坐标系统是提供原点、轴向、定向及其时间演变的一组协议、算法和常数。

根据坐标轴的运动特性，可以将坐标系统分为两大类，分别为坐标轴相对于宇宙遥远天体固定不动的天球坐标系 CRS（celestial reference system）和随地球在空间中一同旋转的地球坐标系 TRS（terrestrial reference system）。天球坐标系通常用于定义天体的位置，而地球坐标系则通常用于定义地面点的位置。

根据原点位置的不同，可以将地球坐标系分为地心坐标系和参心坐标系。以参考椭球为基准的坐标系，叫作参心坐标系，参心坐标系与某个地区或国家的参考椭球最为接近，是一个局部坐标系；以总地球椭球为基准的坐标系，叫作地心坐标系。

从 20 世纪 50 年代开始，空间技术和远程武器得到了迅速的发展。它们入轨后都是围绕地球质心飞行的，只有在地心坐标系中才能方便地进行计算。因此必须建立高精

度、动态的地心坐标系来满足空间技术的需要。目前已经建立的主要地心坐标系有 ITRF, WGS84, PZ-90, ARREF (非洲地心参考框架), ERREF (欧洲参考框架) 等。

坐标框架是一组具有相应坐标系下坐标及其时间演变的点。坐标框架是坐标系统的物理实现。地球框架通过坐标及其速度已知的一组地面点予以实现。

1. 地心参考框架

地心参考框架是地心坐标系统的实现。它以甚长基线干涉测量 (VLBI)、卫星激光测距 (SLR)、激光测月 (LLR), 全球卫星导航系统 (GNSS) 和卫星多普勒定轨定位等空间大地测量技术, 构成全球或局域的大地测量坐标框架, 经数据处理, 得到这些控制点的坐标和速度等, 由此具体实现地心坐标系统。

从未来的发展来看, 区域性地心框架一般由三级构成: 第一级为 GNSS 连续运行站构成的动态地心框架; 第二级是与上述 GNSS 连续运行站定期联测的大地控制点所构成的准动态地心坐标框架; 第三级是与上述 GNSS 连续运行站联测的加密大地控制点。

2. 参心参考框架

传统的地球坐标框架是由经典的大地测量技术所测定的天文大地网实现和维持的, 一般定义在参心坐标系统中, 是一种局域性地球坐标框架, 是参心坐标系统的具体实现。

(二) 高程系统和高程框架

点的高程通常用该点至某一选定的参考面的垂直距离来表示, 不同地面点间的高程之差反映了地形的起伏。

高程基准定义了陆地上高程测量的起算点。高程基准可以用验潮站处的长期平均海面来确定, 通常定义该平均海面的高程为零。利用精密水准测量方法测量地面某一固定点与该平均海面的高差, 从而确定这个固定点的海拔高程。该固定点被作为水准原点, 其高程就是区域性高程测量的起算高程。

我国的高程系统采用正常高系统。正常高的起算面是 (似) 大地水准面。地面点沿垂线向下至 (似) 大地水准面之间的垂直距离, 就是该点的正常高, 即该点的高程。

高程框架是高程系统的实现, 我国水准高程框架通过全国高精度水准控制网实现, 以 1956 黄海高程基准或 1985 国家高程基准为高程基准, 采用以正常高系统为水准高的传递方式。

水准高程框架分为四个等级, 分别称为国家一、二、三、四等水准控制网, 控制点的正常高采用逐级控制, 其现势性通过一等水准控制网的定期全线复测和二等水准控制网部分复测来维持。

高程框架的另一种形式是通过 (似) 大地水准面来实现。