目　录

序 …… I

前言 …… II

第一章　时代背景及社会需求 …… 1

1.1　概述 …… 1
1.2　时代背景 …… 2
1.3　社会需求 …… 3

第二章　信息社会与信息基础设施 …… 5

2.1　概述 …… 5
2.2　信息社会的特征 …… 6
2.3　信息基础设施 …… 6

第三章　国家信息基础设施 …… 9

3.1　国家信息基础设施的由来 …… 9
3.2　Internet 与 Web …… 10
3.3　下一代 Internet …… 11
3.4　通信网的新发展 …… 13
3.5　我国的国家信息基础设施 …… 14

第四章　国家空间数据基础设施 …… 16

4.1　地理空间信息的重要性 …… 16
4.2　国家空间数据基础设施的提出 …… 17
4.3　空间信息基础设施 …… 18
4.4　空间数据基础设施及其标准的进展 …… 20
4.5　空间信息框架 …… 25
4.6　空间信息基础设施的体系结构 …… 31
4.7　国家空间信息基础设施规划 …… 37
4.8　美国国家空间数据基础设施数据框架概述 …… 45

第五章　地球观测系统与全球观测信息网络 …… 60

5.1　地球观测系统(EOS) …… 60
5.2　全球观测信息网络(GOIN) …… 66
5.3　世界数据中心(WDC)系统 …… 73

第六章　地球空间数据标准化问题 …… 77

6.1　标准化综述 …… 77
6.2　地理信息标准化的形成 …… 78

第七章　地理信息的互操作及 OpenGIS 规范 …… 80

7.1　地理信息的认知表示及其互操作 …… 81
7.2　OpenGIS 规范 …… 82
7.3　GIS 互操作现状 …… 90

第八章　数字地球概述 …… 96

8.1　数字地球的由来及研究现状 …… 96
8.2　数字地球的基本概念 …… 97
8.3　数字地球的作用和意义 …… 100

第九章　数字地球的基础研究 …… 103

9.1　人类对环境的认知 …… 103
9.2　资源环境信息图谱机理探讨 …… 105
9.3　地球空间数据的特征 …… 109

第十章　数字地球的关键技术 …… 111

10.1　高分辨率卫星遥感数据的快速获取技术 …… 111
10.2　海量数据的快速处理与存储技术 …… 113
10.3　高速计算机信息网络技术 …… 114
10.4　超媒体与分布式空间信息系统技术 …… 115
10.5　地理信息的分布式计算 …… 117
10.6　地球数据的无级比例尺信息综合技术 …… 124
10.7　空间数据仓库 …… 128
10.8　空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究 …… 132
10.9　多种数据的融合技术 …… 135
10.10　数字地球的仿真与虚拟现实技术 …… 139

第十一章　数字地球空间数据的 Metadata …… 146

11.1　Metadata 的发展背景 …… 146
11.2　Metadata 的标准现状 …… 148
11.3　Metadata 的理论基础 …… 150
11.4　Metadata 标准的体系结构 …… 155
11.5　Metadata 的实现 …… 162
11.6　Metadata 的研究趋势 …… 165

第十二章　数字地球的前沿性技术的研究 …… 167

12.1　数字神经系统 …… 167
12.2　网络生活方式 …… 168
12.3　数字地球的进化机制 …… 169
12.4　多维信息网络空间(Cyberspace) …… 171
12.5　信息空间(Infosphere) …… 171

第十三章　数字地球的应用前景及展望 …… 173

13.1　数字农业概述 …… 173
13.2　数字城市概述 …… 175
13.3　数字海洋概述 …… 176
13.4　地质与地貌过程的仿真、虚拟实验概述 …… 177
13.5　数字长江概述 …… 178
13.6　数字地球与可持续发展概述 …… 179
13.7　数字地球与资源合理利用概述 …… 180
13.8　数字地球与科教兴国 …… 181
13.9　数字地球的展望——地球信息科学 …… 182
13.10　“中国数字地球”与“数字中国”的问题 …… 183

参考文献 …… 186

附录 1　全社会要高度关注“数字地球” …… 徐冠华　189

附录 2　数字地球——21 世纪对我们星球的理解 …… 戈尔　192

附录 3　数字地球执行计划:致戈尔副总统的信 …… Daniel S. Goldin　197

第一章　时代背景及社会需求

1.1　概　　述

对人类社会当前所处时代的性质和特征存在着多种看法，其中主要有三种观点：空间时代、数字时代或信息时代。大多数人认为信息时代比较恰当。虽然空间科学技术在今天具有很重要的作用，但不如信息技术那么普及、覆盖面广，信息技术可以包括空间科学技术的主要内容，如通信卫星、遥感卫星、全球定位系统(global positioning system，简称 GPS)、遥测卫星等都是为获取信息与传输信息服务的，可以归纳为信息技术的组成部分。

信息时代的特征是社会各领域的信息化，它包含数字化、网络化、智能化与可视化。数字技术的广泛应用是信息化的具体体现。数字是信息的载体，是信息的基础，信息是数字的内涵。目前信息科学技术得到了迅速的发展，并且在社会经济的发展中日见成效。但是，信息技术的发展也出现了一些问题，一方面是社会经济的发展和激烈竞争的环境需要大量的信息；另一方面是已经获得了大量的数据(如卫星遥感数据、环境监测数据和统计数据等海量数据)，但这些海量数据存储在仓库中未被充分利用和挖掘，以遥感数据为例，现在能被利用的数据只占已获取数据总量的 20%左右。目前要解决的问题是，如何使这些海量数据转化为人们容易获取、容易理解和接受的信息和知识，如何使各个信息孤岛通过网络连接，实现协作和综合应用。空间信息，特别是具有地理参考特征(如地址属性)的各种属性信息，约占信息总量的 75%到 80%左右[1]，因此对地理空间信息的开发尤为重要。空间信息不仅信息量大，而且结构复杂，利用的难度大，所以地理空间信息的处理和应用成为世界各国学术界和产业界在多学科交叉领域研究和开发的对象。在美国，一方面成立了诸如国家地理信息与分析中心(National Center for Geographic Information and Analysis，简称 NCGIA)、大学地理信息科学研究会(University Consortium for Geographic Information Science，简称 UCGIS)、联邦地理数据委员会(Federal Geographic Data Committee，简称 FGDC)以及由产业界组成的开放地理数据互操作规范协会(Open GIS Consortium，简称 OGC)和国家航天与航空局(NASA)等组织和部门，来解决地理空间信息技术的有关问题；另一方面由政府解决信息基础设施的建设问题，包括国家信息基础设施(national information infrastructure，简称 NII)、国家空间数据基础设施(national spatial data infrastructure，简称 NSDI)，以及最近提出的数字地球(digital Earth)的设想等。这些都是国家级的信息基础设施，是信息社会的基础。美国的这些措施为解决海量数据未能充分利用和社会对信息的需求之间的矛盾提供了坚实的基础，为社会各领域利用和共享空间信息提供了保障。下面讨论产生国家空间信息基础设施和数字地球的背景。

1.2 时代背景

1.2.1 科学背景

美国国家地理信息与分析中心和大学地理信息科学研究会于1995年提出了数字世界(digital world)的概念,并对其研究内容作了阐明。

美国国家地理信息与分析中心在给美国国家科学基金委员会提出的"高级地理信息科学"报告中,提出了地理信息科学的战略领域,包括[2]:

(1) 地理空间的认知模型;

(2) 地理概念的计算机实现;

(3) 信息社会的地理学。

此外,还重点讨论了数字时代的地理概念等。目前人们已在这些领域作了大量的研究。

大学地理信息科学研究会在总结报告"地理信息科学的优先研究领域"中,提出了以下重点研究课题[3]:

(1) 空间数据的获取与集成;

(2) 分布式计算;

(3) 地理描述的扩展;

(4) 地理信息的认知;

(5) 地理信息的互操作;

(6) 比例尺;

(7) 地理信息系统(geographic information system,简称GIS)环境中的空间分析;

(8) 空间信息基础设施的未来;

(9) 地理数据的不确定性和基于GIS的分析;

(10) GIS与社会。

报告还讨论了地球表层的复杂性,指出地理信息对地球表面的描述总是近似的,地理信息的内容是丰富的,数据量是巨大的,地理信息技术已经发展到较高的水平,对人类社会和经济发展将产生重大的影响等。目前,这些领域的研究工作正在进行之中,并取得了大量的成果。由此不难看出,地理信息科学的发展,为国家空间信息基础设施和数字地球的诞生奠定了理论基础。

1.2.2 技术背景

遥感、遥测、全球定位系统及地理信息系统等空间信息科学技术已经成为研究自然、社会、经济的重要手段。气象卫星系列(NOAA、GOES、UARS等)、海洋卫星系列(N-ROSS、ADEOS、Seastar、PRIRODA、IRS-IC、Seasat、TOPEX/POSEIDON等)、陆地卫星系列(Landsat、SPOT、ERS、Radarsat等)、测地卫星系列(TOPEX等)、地球物理卫星系列(重力测量卫星等)和小卫星系统计划等组成了对地球的全面的监测系统,传感器的地

面空间分辨率可以从4000米到厘米数量级，波段覆盖了从紫外到微波以及超长波，高光谱多达240个波段，时间间隔可以从每隔十多天一次到每天三次。对地下的探测深度从几米到1万米。遥测技术和GPS技术也已达到了较高的水平，以GPS来说，精度可达到米数量级，利用了差分分析方法，误差只有几厘米。影像处理技术（包括校正、增强、特征提取等）、模式识别技术、数据库技术与地理信息系统技术，不仅能有效地管理已有的数据，而且有一定的分析能力，已经成为地球数据研究的重要科学手段。

自1993年开始，信息传输技术的研究，尤其是国家信息基础设施的建设在全球范围内展开；1994年美国提出建设国家空间数据基础设施，作为信息高速公路的组成部分，也很快遍及全球。这些都为国家空间信息基础设施与数字地球的诞生提供了技术基础。

1.2.3 社会背景

人类科学技术的发展和社会经济的进步除了产生巨大的财富外，也产生了人类面临的社会可持续发展问题。协调人与自然环境的关系，需要解决许多自然、环境、经济和社会的综合性问题。社会可持续发展对各种信息的需求越来越迫切，对信息量的需求也越来越大，尤其对地球信息和涉及资源、环境、社会经济的具有地理参考特征的属性信息的需求量日益增加。在资源短缺、环境恶化、人口膨胀以及经济的可持续发展和经济全球化背景下，社会发展对于全球信息的需求更加迫切。因此，一系列的全球性研究有计划、有步骤地开展起来。例如，人与生物圈计划（MAB）、世界气候研究计划（WCRP）、国际水文研究计划（IHRP）、国际地圈与生物圈计划（WEHARP）、全球海洋观测计划、全球变化研究计划等，这些计划已经积累了大量的数据。

社会对全球信息的迫切需求，为数字地球的诞生起到了催化作用。

1.3 社会需求

数字地球的产生，还有一些深层次的需求原因。

当前存在的主要问题之一是：一方面存在着数据或信息爆炸现象，如NASA的行星地球计划每天产生10^{11}字节的信息，加上其他来源，每天产生10^{15}字节的信息，即每天产生了海量信息；但是，另一方面，社会迫切需求信息，而这些信息却没有得到充分利用。陆地卫星（Landsat）目前每两周可以获取一套覆盖全球的卫星影像数据，并且已经积累了全球20多年的卫星数据，尽管人们对信息的需求非常迫切，但这些现成的数据却未被利用。存在的主要问题是如何理解这些数据的内容，如何把这些数据变为人们可以理解和应用的信息。研究如何处理这些数据，从数据中提取信息，使之变成人们的知识，这成为目前的主要课题。另外各种数据分散在不同地点、不同部门，缺乏统一标准，难以共享和利用。

第二个问题，人们发现大部分的地球问题不仅具有区域性或分异性的特征，而且还有整体性或全球性的特征。一个地区的气候现象、海洋现象或地震现象在不同程度上与全球状况有关，社会经济的发展也具有全球化特征，都受到全球范围各种因素的或多或少的影响。全球化已成为当前社会经济和科学研究的大趋势，需要实现不同地区、不同行业的数据或信息共享。因此，国家空间信息基础设施与数字地球技术的产生有了社会需求。

社会经济研究需要全球化，资源、环境研究也需要全球化，因此，开展全球研究是21世纪的重大任务。目前以全球信息基础设施(global information infrastructure，简称GII)和全球空间数据基础设施(global spatial data infrostructure，简称GSDI)为标志的全球信息化的趋势正在形成，因此，全球空间信息基础设施与数字地球建设具有十分重大的现实意义。

第三个问题，过去产生知识的实验和理论方法一直受到限制，如许多科学家要研究的现象非常难以观测，有些物质太小，而有些物质又太大；有些速度太快，而有一些则太慢，它们的跨度可以从十亿分之一秒到十亿年。在纯理论领域中，则是另一番景象，即无法预测复杂自然现象的结果，诸如暴雨、飞机飞行时上部的气流及地震等难以预报。随着高速计算机的出现，人们可以模拟一些不能观测到的现象，同时也能更容易地理解观测到的数据，数字地球的相关技术正是突破实验和理论科学的限制的关键。同时，建模和仿真，尤其是虚拟现实技术，可以对所收集到的有关地球的数据进行新的处理和理解。

第四个问题，大量数据未被充分利用的原因之一是，数据的挖掘和知识的发现需要其他描述性的数据(如Metadata(元数据))作为辅助才能进行。因此，只有对地球的各种要素实现数字化，并建立相应的Metadata，才能通过相关对比分析来挖掘信息。

陈述彭院士指出："数字地球并非是一个孤立的科技项目或技术目标，而是一个整体性的、导向性的战略思想。美国提出'数字地球'这一战略思想，绝非偶然，有着深远的政治意义和经济背景。"

陈述彭院士认为美国副总统戈尔提出数字地球，主要有三方面的需求因素：

(1) 推动美国经济增长，刺激国内经济发展。美国近七八年来经济持续增长，失业率下降，得益于信息技术及产业的发展，美国政府要通过"数字地球"，继续把持信息技术和信息产业的制高点，推动经济发展。

(2) 数字地球是美国信息高速公路和国家空间数据基础设施的自然延伸。美国总统克林顿1993年签署行政令，提出建设全美的信息高速公路，将信息技术推进到人们的日常生活；1994年又签署了"建立国家空间数据基础设施"的12906号行政命令，这个行政令为信息高速公路提供了地理空间数据。在空间数据基础设施上发展的数字地球将为信息高速公路提供内容丰富、形式多样的"信息货物"，数字地球是未来信息社会的重要信息资源。

(3) 美国全球战略的延续和发展。冷战结束后，能源、全球环境等问题成为世界政治和外交斗争的焦点之一。涉及跨国公司、区域重组等全球经济事务的美国，重视并发展了能覆盖全球热点地区和战略要点的三维数字地图，这些数字地图曾在调解波黑三方边界争端和中东海湾战争等方面起到了重要作用。数字地球的发展将进一步增强美国对全球事务的快速反应能力和对国际热点问题的发言权。

第二章　信息社会与信息基础设施

人类在远古时期使用石头和木棍进行简单的采集和渔猎。铁器使用后进入农业社会，蒸汽机等机器的发明和使用标志着工业社会的开始。目前人类的生产和各种活动正越来越多地以信息和知识为基础，自动化、计算机网络和各种信息系统正进入我们的生产和生活领域，我们正在进入信息和知识时代。信息时代的人类社会可以称为信息社会。在信息社会中，信息化成为社会的主要特征，成为经济发展的推动力之一。信息社会中社会经济的发展不再主要取决于物质资源、资金和劳动力，而更多地取决于信息、知识和技术。作为信息高速公路雏型的 Internet 的出现，正改变着人们的一些生产和生活方式（如网上商业活动、网上教育和娱乐等），标志着信息时代的开始。Internet 正在延伸到社会的各个领域，甚至每一个家庭，成为社会的神经系统。同时，科学技术的进步和教育的发展也依赖于信息基础设施的建设。Internet 的普及与广泛应用成为信息社会的特征。信息产业已经成为当前社会经济发展的新的增长点。信息社会这个概念已经得到了普遍认同。

2.1　概　　述

1991 年，美国政府智囊团首次提出了信息社会的概念。1995 年 2 月，西方七国集团在比利时的布鲁塞尔召开了信息技术部长会议，会上通过了建立信息社会的原则和试验计划，首次确定了全球信息社会的构想。1996 年 5 月，联合国在南非的约翰内斯堡召开了信息社会与发展大会的部长级会议，约有 40 多个国家政府，以及欧共体、联合国教科文组织、国际标准化组织、国际电讯联盟、世界知识产权组织和世界银行等 18 个国际组织的代表参加了会议。会上讨论了以信息高速公路为标志的信息社会的到来将引起世界深刻的变化以及国际间的合作等问题。会上通过了全球 Internet 建设计划、全球环境与资源管理计划、全球紧急情况（包括重大自然灾害）管理计划、全球卫星计划（包括遥感卫星等）和海洋信息建设等重大项目。

我国对信息化建设一向非常重视。1984 年邓小平在给国家信息中心成立时的题词中指出："发展信息产业，服务四化建设"。江泽民也指出："四个现代化，那一个也离不开信息化"。1994 年，我国成立了以邹家华为首的、由 15 个部委参加的国家经济信息化联席会议，并专门成立了办公室，负责领导和组织国家信息基础设施的启动。邹家华在会上指出："经济信息化是提高物质资源、能源的利用率、提高生产附加值和劳动生产率的关键"，阐明了信息的作用和意义。1995 年，国务院第 42 次会议批准了《中华人民共和国计算机信息网络管理暂行规定》。1997 年 4 月，国务院在深圳召开了全国信息工作会议，会上正式提出了国家信息化的概念。邹家华指出，实现国家信息化，要坚持统筹规划，国家主导；统一标准，联合建设；互联互通，资源共享的方针，力争在 2000 年初步形成一定规模和比较

完整的国家信息体系(即国家信息基础设施),并指出要把信息资源的开发和利用作为信息化的核心。会上通过了实现国家信息化,即建设信息社会的目标:

第一,首先要把信息资源的开发利用作为信息化的核心内容,抓好宏观经济决策、工农业生产、科技、教育和社会生活等领域的信息资源开发;

第二,加强国家信息网络建设和管理;

第三,通过国家信息化建设带动信息产业的发展,加快信息设备制造、软件和系统集成,加快信息服务业的发展;

第四,集中力量加快"金"字工程建设(金桥、金关、金卡、金税等);

第五,积极发展信息服务业,改善电子信息产业内部结构,服务于国民经济及社会发展的各个领域;

第六,促进科技、教育的信息化,提高科技、教育水平,加快信息化人才培养,提高广大劳动者的信息化技能,增强信息化的意识;

第七,加快发展面向经济和社会的信息服务业;

第八,与行政管理和技术管理相结合,抓紧制定信息化立法规则,逐步形成信息化法规。

这些目标为我国信息基础设施的建设指明了方向。会上还制订了国家信息化实施的近期和中长期规划。

2.2 信息社会的特征

信息社会的特征是社会各领域的信息化。信息化是指以计算机与通信网络为主体的数字化、网络化、智能化和可视化的过程。国家信息化是指,将国家的全部或大部分的有关资源、环境、社会、经济等情况,由计算机网络和信息系统进行管理、调控或提出辅助决策方案,最后作出决定的全部过程。

数字化主要是指传统的信息载体向数字化载体的转变,这有利于信息的处理、传输和应用。

网络化则是指数字化的信息能通过通信网络畅通无阻地流动,能为社会各领域所应用,为社会各成员提供空前的交流机会,使社会各部门由数字化网络连接起来,组成社会的数字神经系统。

智能化是指信息和知识应用的自动化,也是数字经济或信息经济的主要内容。智能化有利于提高对信息和知识利用的普及。

可视化是信息的直观表现,使人们能更容易地理解数据和信息的意义。目前大量的数据没有很好地利用,其中原因之一是这些数据还是以比特的形式或以数字的形式存放,需要可视化的手段使信息和知识得到普及。

2.3 信息基础设施

基础设施(infrastructure)原指军队修建的一些永久的防御工事。基础设施可定义为

社会正常运行所需的基本的设备、服务和设置，如交通和通信系统、水和电力管线，以及公共机构(学校、邮局、医院等)。现在，我们用这一术语来指人类社会所依赖的任何基本的生产和生活条件。任何一种新的基础设施都要改变人类社会的某些行为。交通基础设施改变了企业的经营方式。在交通基础设施出现之前，企业的地点只能选在离原材料、劳动力和消费者最近的地方。铁路改变了人类社会的这种状况，它意味着企业可以在远离原材料和消费者的地点建立工厂。电话改变了通信基础设施，它使通信服务进入家庭和办公室，提供双方交谈所需的即时通信。新的基础设施可以导致新的产业出现[4]。

在农业社会，经济发展在很大程度上依赖于自然资源和自然环境。在工业社会或资本主义社会，经济的发展主要依靠生产资料、生产资金和劳动力。到了后工业社会，或信息社会，经济的发展则完全依赖于信息，尤其市场经济更依赖于信息。

自然系统和人类社会系统都存在着三种流：物质流、能量流和信息流[38]。信息虽然是由物质和能量所产生，依附于物质和能量而存在，但它却具有独特的功能，它决定了物质流及能量流的流量、流向和流速。信息是指物质和能量的性质、特征和状态的表征，信息流是处在不断运动之中的信息，遵循非均衡(非均一)原理、耗散结构和引力场理论而运动，产生各种物质流和能量流，从而又引起新的信息流的形成。

信息基础设施是在人类进入信息社会之后，数字化、信息化越来越显示其重要性的基础上提出来的。

信息基础设施是一个高速信息电子网络系统，它能给用户提供大量信息，由通信网络、计算机、数据库以及日用电子产品组成。开发和实施信息基础设施计划，不仅可以促进信息科学技术的发展，而且还有助于改变人们的生活、工作和交往方式。

信息基础设施含义广泛，它不仅仅是指用于传递、存储、处理信息的物理设备，还包括信息本身和应用系统等。除了高速网络外，信息基础设施主要有信息的数量、信息的质量等要素。只有高速信息网络，而没有大量的信息流动，则信息基础设施也是没有意义的。信息的数量与质量是由信息的采集和处理技术决定的，如遥感及遥测技术、全球定位系统技术、图像处理技术、数据库和地理信息系统技术等。目前，随着遥感、遥测、全球定位技术的不断进步，人们积累了大量的信息和数据，建立了许多的数据库和信息系统，但这些系统都是一个个信息孤岛，缺乏共享机制，不能充分发挥已有信息的作用，造成严重的资源浪费，因此对于空间信息的应用来说，信息基础设施的建设是非常必要的。

据统计，在信息流的总量中，具有地理参考特征的各种属性信息约占总信息流量的80%[1]。因此美国在提出信息基础设施计划之后，立刻启动了建设空间数据基础设施的计划。而数字地球是继信息基础设施与空间数据基础设施之后，又一个十分重要的具有更高战略意义的信息基础设施，它的目的是解决国家乃至全球的环境、可持续发展和军事等问题。

1999年3月8日出版的美国《商业周刊》认为：现在人们普遍认为的信息技术是与计算机密切相关的概念或看法将发生很大的转变，在当前的新的计算技术和数字时代，数字设备将不仅仅包括计算机，还包括各种电器。计算技术的设备将只有少数几项特定功能，但可以处理复杂的信息。将来的信息设备，不需像现在的计算机那么复杂，只要具有几项特定功能的简单设备，如电视机顶盒、数字移动电话等，家用电器及掌上计算机等就可以

与 Internet/Intranet 相连接。随着芯片技术的发展，已经能生产出足够大的内存、外部存储器以及其他价格低廉的信息设备，使得信息基础设施的应用更加普及。

在未来的 10 年内，Internet 上不仅有服务器、笔记本电脑、台式机等，而且汽车、家用电器、移动电话机等也都可接入 Internet，与人们生活环境息息相关的地理空间信息作为信息基础设施的重要内容，可以通过各种数字设备进入人们的日常生活中。

第三章　国家信息基础设施

国家信息基础设施是指高速、大容量通信网络设备以及相关的技术系统，它由计算机、光纤、通信卫星及其附属设施等硬件及软件以及各种接口和协议等组成[5]。它能够快速、大容量地传输信息，可以连结全国乃至全球的每一个办公室或家庭的计算机通信设备。它的实现将改变人类社会的生产和生活方式。下面首先介绍国家信息基础设施的由来、Internet 及 Web，着重介绍下一代 Internet 的新动向，然后介绍我国的国家信息基础设施。

3.1　国家信息基础设施的由来

1991 年 9 月《科学美国人》的一份专辑首次报告美国高级智囊团对信息社会及国家信息基础设施蓝图的勾画。1993 年 9 月美国副总统戈尔根据“人类社会将从工业社会进入信息社会”的专家咨询报告，首先以国家方针的形式提出了建设国家信息基础设施的构想，很快得到了美国政府的批准，并立刻启动了这项计划，世界各国也争先恐后地效仿。

戈尔提出的建设信息高速公路的基本框架为：政府的规划与组织，相关政策和法令的制定，资金的筹措，关键技术的突破和产业的形成，人才的教育和培训等。

美国政府报告中对国家信息基础设施的定义为：“国家信息基础设施是一个能够给用户随时提供大容量信息的，由通信网络、计算机、数据库以及日用电子产品组成的完备的网络系统”，“国家信息基础设施能使所有美国人享用信息，并在任何时间和地点，通过声音、数据、图形和图像相互传递信息”。

为了实现该项计划，在美国政府指导下，专门成立了国家信息基础设施领导小组，协调与实施国家信息基础设施的建设，并制定了 9 项原则。这些原则是：促进民间投资；扩大公共服务概念（所有人都可以承受的价格，方便地获得信息资源等）；促进技术革新与新应用；促进 NII 的无缝、双向、以用户为中心的运营；确保信息安全及通信网的可靠性；改善三网（电话网、有限电视网与 Internet 网）频带的管理；保护知识产权；提高和改进政府的信息获取能力；增加公民获取政府信息的能力。

1994 年 9 月，美国提出了建立全球信息基础设施的倡议，旨在实现全球范围的信息共享。1995 年 2 月，西方七国（美、英、德、意、法、加、日）在比利时的布鲁塞尔召开了有关信息基础设施的部长级会议，成立了“全球信息基础设施委员会”，并提出建设全球信息基础设施的五项原则：鼓励信息设施领域的私人投资；促进电信、信息技术以及服务领域的竞争；最大程度地开放市场；创造一个灵活的规章制度环境；以普遍服务的机制，确保社会所有成员能享用这一设施。

七国会议提出的 GII 的示范项目包括：全球数据盘存；全球宽带网（包括光纤宽带网

和通信卫星宽带网)的可互操作性;跨文化教育与培训;电子图书馆、电子博物馆和美术馆;环境和自然资源管理;全球紧急措施管理;全球保健应用;政府联机通信;全球市场、海运信息系统。

国家信息基础设施将产生广泛的应用,主要应用包括:电子邮件、信息查询、信息资源共享、分布式计算、视频会议、交互式电子点播、协同工作等方面。

国家信息基础设施将促进经济的发展,它的预期效益包括:

(1) 推动新科技的发展,如半导体、高速网络及其软件;

(2) 加速经济发展,形成大型产业;

(3) 促进电子商务发展;

(4) 协助解决医疗保健问题、降低医疗费用;

(5) 促进科技研究;

(6) 促进教育事业;

(7) 为全国公民服务。

3.2 Internet 与 Web

目前全国性和全球性的计算机通信基础设施是 Internet,Internet 是国际性的计算机广域网。目前的 Internet 是建立在传输控制协议/网络协议(TCP/IP)之上的互联网,它能把各种局域网、广域网,以及不同操作系统相互连接起来,形成"网络的网络"。在 TCP/IP 协议之上开发的应用程序,可以实现跨越不同操作系统和网络的应用,目前 Internet 已经成为信息基础设施的雏型。

Internet 之上的重要应用是 Web 超媒体网络,它的全称为 World Wide Web,又称 WWW,全国科学技术名词审定委员会正式定名为万维网,通常又称为 Internet 超媒体网络。用户的多媒体计算机通过电缆、光缆或卫星通信网络与 Internet 连接,可传输、存储、处理静态和动态的文字、图形、影像和声音等信息。

基于 Internet 的 Web 超媒体网络系统,在 TCP/IP 之上采用了超文本传输协议(HTTP),用超文本标记语言(HTML)来组织和处理多媒体信息,用客户机/服务器(C/S)计算模式。服务器(server)负责数据、文件、图形、影像的存储、维护与管理,并处理查询、访问等要求。客户机(client)为用户提供计算机终端或图形用户接口,用户通过客户机提出请求,服务器响应这些请求,提供用户所需的信息。Web 的客户机以浏览器(browser)方式实现,负责人机界面的操作,发出请求及显示返回的信息。由于 Internet 上超媒体网络 Web 的出现,人们才能在 Internet 上相互方便地检索多媒体信息。

目前 Java 语言的出现是 Internet 发展史上的一个重要的里程碑,它不仅提供了网上浏览和文本查询的功能,而且为空间信息的可视化和分析功能提供了开发的基础。

由于 Web 提供了直观的用户界面并且以简单的协议为基础,使其在 Internet 上广为流行,目前已有丰富的 Web 网页资源和大量的用户,正在开发更多的 Web 应用程序。

随着新的互操作协议的出现,以及人工智能的进展,基于 Internet 的各种软件、系统和应用即将出现,目前基于 Internet 的分布式智能体(agent)可进一步提高 Internet 上的

应用开发水平。

开放的 Internet 超媒体计算机网络系统的性能，取决于网络的带宽和服务质量、计算机的功能以及数据的压缩传输。目前正在进行下一代 Internet(NGI)的研究，它将提高网络带宽，改善服务质量。最近几年计算机发展的速度非常快，计算机从 32 位向 64 位体系结构发展，使其功能得到了很大的增强。64 位计算机能直接操作 64 位整型数，能提供大规模的物理和虚拟地址空间，大大超过了 32 位地址空间的 4GB 极限；大型物理存储器具有将大型文件映射到主内存的能力，可以提供高速通信及高速二进制运算，可以运行更大的计算量。64 位计算机将大大改善 GIS 软件中巨量数据的存储和压缩能力，保证了大型多媒体对象、三维可视化分析等操作。由网络连接的多机系统和并行处理计算机也得到快速发展。数据的压缩技术，经过 40 多年的研究，从 PCM 编码理论开始到现在的多媒体数据压缩标准的 JPEG 和 MPEG，已经形成了多种针对不同用途的压缩算法、压缩软件和大规模集成电路。新的压缩技术和激光技术将允许在一个光盘上容纳几千兆的数据。网络带宽的增加，使得传输海量数字图像数据成为可能。计算机的发展使得处理更大、更复杂的空间模型和地学分析，以及更复杂的可视化显示与输出成为可能。

3.3 下一代 Internet

国家信息基础设施是建立在高速的通信网络基础之上的。1996 年 10 月，美国政府提出了下一代 Internet(Next Generation Internet，简称 NGI)的实施计划[6]。美国民间发起 Internet Ⅱ 计划，美国政府通过 NGI 参与此计划。

Internet Ⅰ 于 1996 年 10 月由美国 34 所大学和研究机构发起，其目标立足于当前 Internet 的 TCP/IP，在参与成员间建立比现在网络快 100～1000 倍的新型骨干网。Internet Ⅱ 作为向 NGI 的过渡计划，终将汇集于 NGI 中。

NGI 的建设目标是：

第一，研究 NGI 的体系结构(如网络拓扑、IPv6、协同协议与服务等)，设计比目前 Internet 快 100～1000 倍的高速骨干网；

第二，研究并解决面向各种需求的服务质量；

第三，研究并解决网络管理及网络信息安全。

NGI 的主要关键技术是：

(1) 新一代 IP 协议——IPv6，它与目前的 IPv4 不完全兼容；

(2) 以支持合作共事为目标的多目播送(multicast)；

(3) 网络与信息安全；

(4) 面向各种应用的服务质量(QoS)；

(5) 网络管理(尤其是记费和配置)；

(6) 新型网络拓扑；

(7) 新型路由算法和协议；

(8) 面向社会和经济的新型网络模式评测。

1997 年 5 月，美国计算机学会就 NGI 的研究议题展开讨论。研究议题依据以下四个

重要前提：

(1) Internet 已经对经济产生了重大影响。据美国经济理事会调查表明，Internet 导致了 2000 亿美元的市场投资，可以想象 NGI 对今后经济的影响；

(2) 现代信息技术的应用，把计算机和数据通信完全集成到分布式系统中；

(3) 今天的 Internet 容量和能力面临两个挑战：一是现有网络将面临更大的用户群，另一个是随之而来的新的复杂的在线应用需要一个新的网络体系结构；

(4) 许多 NGI 可能出现的情况已超出了我们目前对网络设计的理解，只有通过基础研究，才能有助于我们达到认识这些可能性的水平。

研究的议题有 6 个：应用，中间件，服务质量，Internet 流量工程、安全和体系结构。其中应用研究包括：多媒体数据库访问，网上传播声音和图像，实时和非实时的网际合作，分布式计算，电子沉浸(Dele-Immersion，指在不同的地方共享虚拟和仿真环境，就像身临其境，目的是加强合作环境，它结合了声音、图像、虚拟现实和仿真等技术)。

计算机网络发展的方向是开放、集成、高性能(高速)和智能化。开放是指开放的体系结构、开放的接口，使各种异构系统便于互联和具有高度的互操作性，这归根结底是标准化的问题[7]。

NGI 将修改目前的 Internet 的部分协议，并增加网络服务质量和安全措施等功能。如网络协议 IP 将由目前的 IPv4 升到 IPv6，以增加网上主机数量，并研究新的路由算法。增加网络服务质量，满足用户实时的和灵活的要求，提高网络带宽等。

由民间发起的 Internet Ⅱ有三个目标：

第一，高性能的网络结构研究试验；

第二，先进的网络服务技术试验；

第三，具有重要意义的应用，包括科研、教育、卫生和环境的网络应用服务。

Internet Ⅱ研究计划的重点有：

(1) 超高速光纤宽带网、千兆级节点、IPv6 的开发。目前最快的调制解调器的速度为 56kbps，而 Internet Ⅱ将达 2.4Gbps。

(2) 不仅要求能以 100Mbps 到 Gbps 的速度传送数据，而且还要有先进的网络服务技术，包括服务质量、安全性、稳定性等。

(3) Internet Ⅱ将视觉、声觉、甚至触觉通过强有力的计算机通信网连结起来，将促进社会经济、科技教育、卫生医疗、体育事业的发展，尤其是对工作和生活的时间和空间有了更大的灵活性，终生教育有了更大的可能。

(4) Internet Ⅱ网络软件具有：面向对象编程、软件部(组)件化、对象请求代理、动态运行联编功能，分别处理多种应用的编程与应用开发等特点。

组成部件、对象、模块和其他形式的软件部件必须是可以集成和互操作的。重要的部件类型包括：识别、授权、验证服务、目录服务、表示服务、模拟部件。网上必须提供对构件、目标、信息资源访问的代理服务。必须进一步开发和标准化用于各种应用支持和服务的应用编程接口。

信息资源的 Metadata(元数据)服务具有极高水平的检索功能，能帮助用户得到所需信息资源。

第一代 Web 超媒体网络技术，即 Web Ⅰ是使用 HTML 语言来描述视频、声频、文本等信息的。

第二代超媒体 Web 网络技术，即 Web Ⅱ，使用 VRML 语言来更加直观地表达这些信息。VRML 为虚拟构模语言，或虚拟造型语言，是一种面向 Web、面向对象的三维建模语言。它把对 Web 的感觉从以页面为中心的模式转变为人们更加喜爱的交互、三维、动态、逼真的形式。开发利用 Java 和 VRML，可以不必在介质中传输大量数据或文件，而只需传输用 Java 和 VRML 描述的小型指令性数据集，接收端的计算机应用本地的计算及图形资源就能对图形进行处理。它们可以在跨平台（计算机）环境下，非常容易地描述三维世界。VRML 的对象称为节点，子节点的集合可以构造成复杂的景物和动态的虚拟世界。VRML 是一种解释性语言，能提供有音响效果的节点，用户能体会到视听效果十分逼真的虚拟世界。VRML 成为 Web 上传输交互式三维世界的标准语言。

3.4 通信网的新发展

网络通信最新发展可以分为有线网与无线网两大类，即光纤宽带网和通信卫星宽带网。

1. 光纤宽带网

由于波分复用技术（WDM）的最新发展，可以不用铺设新的光缆就能增加现有网络的带宽。该技术在同一条光纤电缆上，同时发送不同的光信号。按照不同的颜色（光波长）传输信号，每个信号就形成一条能够运载各自信息流的独特通道。利用波分复用技术发送一个附加光信号，就能把带宽增加一倍。将来在同一条光缆上，可以传输 8 种、16 种、32 种、40 种甚至 80 种波长的信号。现在一条光缆上可以同时受理 3.2 万个电话，将来用波分复用技术后，可以增加到 130 万个电话。光缆迄今只利用了固有能力的 1%，所以现有光纤的可开发的潜力很大。

2. 通信卫星宽带网

（1）全球卫星通信网——全球通信卫星宽带互联网络

1997 年 3 月，微软公司比尔·盖茨（Bill Gates）提出了建立全球通信网络（Teledesic）计划。计划建立一个由 840 个地球卫星构成的网络，并且在地球 90%以上的地区可使用这种通信技术。计划在 1999 年开始发射这些卫星，预计在 2001 年建成整个系统。这个卫星通信网络，把高速传输技术和全球 Internet 相连接，可进行电话会议、无线寻呼、传真和语音通信。Internet 要通向穷乡僻壤是不可能的，而该卫星通信网络与 Internet 相连接，基本能覆盖全球。

全球卫星通信网络又叫卫星互联网络（卫星 Internet），它以卫星通信网络系统为主体，同时也可以与以地面光纤为主的 Internet 相结合，做到真正的全球覆盖，包括广阔的海域、大沙漠、大高原等，光缆达不到的，而全球卫星互联网络可以到达。

全球卫星通信网络或全球卫星互联网络由低地球轨道环绕地球运行的 840 颗卫星组

成，构成了一个对地球全覆盖的网络，这是一个能处理各种通信方式的卫星系统，包括呼叫、浏览互联网络、图形图像和交互式多媒体。卫星在轨道空间运行的速度为 1.674 万英里/小时，其平均使用寿命为 10 年，可同时容纳 2000 万个用户（同时操作），费用与 Internet 的相同。地面用户天线小的只要 6 英寸。用户可以从任何地方，包括办公室、车上、船上、飞机上，甚至大沙漠或大洋中呼叫或收发电子邮件，也可在 Internet 上浏览或看动态图像影像。用户可用天线接通卫星互联网络，拨号的方式与使用便携式移动电话的方式大致相同。用户也可将天线与 PC 机或便携式计算机相连接，通过拨通提供互联网络服务机构的电话，便可以进入互联网络。

（2）宽带卫星网

日本邮政省于 1997 年提出：建立“2005 年将覆盖全球的大容量、高速度的宽带卫星网—光纤通信系统，并于 2002 年与欧盟共同进行实验。”计划将在赤道上空 3.6 万公里的轨道上发射 5 颗同步通信卫星，可以覆盖全球。卫星和地面间往返着 20～30 千赫的电波，其传输的信息量可达 1 千兆位，即每秒可传 10 亿字符，与光纤相同。其速度为现有卫星通信系统的 1000 倍，是电视图像传输的 200 倍。各卫星间利用光通信，卫星上装有高效传输数字信息的新式 ATM 交换机，同时它也可以与 Internet 相连接。

（3）行星际 Internet

Internet 的创始人文顿·瑟夫（1998）指出：Internet 的发展可超出地球范围，把信息高速公路延伸到外层空间的时代已经到来。Internet 的域名必须增加新名字，如 Earth 或 Mars。不久的将来有可能在环绕另外一颗行星（如火星）的轨道上作空间飞行时，在 Internet 上实时传输科学数据。他与 NASA 协商，将建立行星际 Internet 协议。

3.5 我国的国家信息基础设施

中国国家信息基础设施（China NII，简称 CNII）的内容包括信息基础设施（含信息源、信息传输网络、信息应用系统）、信息技术及产业、信息人力资源和信息软环境（含信息政策、法规、标准和规范）。

CNII 的近期目标是：

（1）建立金桥网，即信息中速国道（传输速率为 144kbps～2Mbps），以光纤、卫星、微波、程控、无线移动等多种方式，形成天地一体的网络结构。与邮电系统的中国公用分组交换数据网（ChinaPAC）、中国公用数字数据网（ChinaDDN）和公用电话网（PSIN）互联互通、互为备用，并与金融网以及其他信息数据专用网互联互通、互为支持。金桥基干网是网中之网，其用户是专用业务网络系统。

（2）建设一批国民经济发展所急需的应用信息系统工程，即金关、金卡、金税系列应用系统工程。

（3）抓好信息资源的开发、更新、管理、交换和应用，加快信息服务业的发展。

（4）重视信息技术研究。

（5）振兴信息设备制造业。

目前我国信息网络已有的基础包括：

中国互联网(ChinaNet)：由中国电信经营管理的基于 Internet 网络技术的中国公用计算机互联网。目前，ChinaNet 的干线速率以 2.048Mbps 为主，并将逐步升至更高速率。ChinaNet 在北京、上海和广州设置有国际出口中继线，实现与国际 Internet 的互联。到 1998 年 6 月，ChinaNet 国际出口电路带宽已达 64Mbps。ChinaNet 提供的基本服务包括 WWW 服务、信息查询、文件名查询和关键字查询。

中国公用分组交换数据网(ChinaPAC)：由原邮电部于 1993 年建成。由国家骨干网和各省、区、市的省内网组成，骨干网覆盖到全国各省会城市。与公用电话网互联，通过电话网可以覆盖到已开通电话的所有地区。它提供的多种增值业务包括电子信箱、可视图文、电子数据交换、数据库检索和传真存储转发业务。

中国公用数字数据网(ChinaDDN)：利用光纤(或数字微波和卫星)数字电路和数字交叉连接设备的数字数据网。主要为用户提供永久、半永久型出租业务。该网具有传输时延短、可用传输带宽范围宽(2.4kbps～204.8kbps)、传输质量高、具有路由自动迂回等特点。特别适合传输时延要求高、信息量大的用户的要求。提供的业务有专用电路业务(用户速率为2.4kbps～19.6kbps)、帧中继业务(用户速率为 9.6 kbps～2048kbps)、话音/GS 传真业务和虚拟专用网。

中国教育和科研网(CERNET)：由教育部和主要高等学校联合建设的网络。其目的是加强信息基础设施建设，提高综合国力，缩小我国与国外先进国家在信息领域的差距，改善我国教育和科研事业的基础条件，促进国内外交流，有利于人才培养，为我国计算机信息网络建设积累经验并起示范作用。其主要应用包括电子邮件、文件传输、WWW 以及 WAIS 应用。其应用系统包括远程图书馆访问、大型分布式数据库系统、重点实验室数据库、贵重仪器设备共享信息、超性能计算资源的共享、远程计算机辅助教学、远程医疗与诊断以及视频会议等。

第四章　国家空间信息基础设施

国家空间数据基础设施(NSDI)是继国家信息基础设施(NII)之后又一个国家级信息基础设施。NSDI是协调基础地理空间数据集的收集、管理、分发和共享的基础设施。而基础地理空间数据之所以能够成为国家的基础设施，是因为地理数据有它的重要性和基础性，是社会发展和经济建设不可缺少的。空间数据基础设施主要由4个部分组成：政策、技术、标准、机构组织。对于提出空间数据基础设施或空间信息基础设施，每个国家或地区都有它自己的战略考虑，所以目前各个国家对空间数据基础设施的构成内容和定义各不相同。我们着重于技术方面的考虑，认为空间数据基础设施主要内容包括空间数据标准、基础空间框架数据、空间数据交换网络以及Metadata(元数据)等。国家空间信息基础设施(National Spatial Information Infrastructure，简称NSII)是在NSDI基础上，包括了各种空间信息处理技术和应用的基础设施，主要内容有空间信息框架及体系结构等，其目的是实现空间信息的集成、融合和互操作。

4.1　地理空间信息的重要性

人类社会从原始部落到信息社会，对生存空间和环境的认识不断提高，并通过不断地对其开发改造和认识，形成了一门古老而又不断演化的学科——地理科学。人类使用地图同使用语言一样历史悠久，作为传统的地理空间信息载体的地图自古以来就在政治、军事、经济和行政管理中发挥了重要作用。近现代的航空摄影和遥感(RS)在获取地理空间信息方法上，无论是范围、精度、内容还是时间上都取得了巨大的突破，获得了大量的实时的影像数据。全球定位系统提供了高精度实时的定位和导航数据。地理信息系统是收集、存储、管理和分析数字地理空间信息的系统。随着计算机软硬件及网络的发展和信息化的普及，作为应用地理空间信息的现代化手段，GIS在政府、商业、资源管理、环境监测、区域规划、灾害预防、军事、政治、外交等方面发挥着越来越重要的作用。

在今天的信息社会中，网络、通信卫星、遥感、航天飞机以及全球定位系统使得人们能借助电子地图、近于实时的地表遥感图像、实时的定位、图形、音频和视频等多种媒体信息来了解地理空间环境及其变化。因为我们只有一个地球，全球变化研究和可持续发展研究越来越引起人们的重视。

由于经济的迅速发展和科学技术的进步，人类的活动正在改变地理环境，人口爆炸、环境污染、生态破坏、资源枯竭等直接威胁着人类的生存。地球村已不再是新名词。如何建好地球村，使之不遭受劫难，是人类共同面临的课题，走可持续发展之路是必然选择。

另一方面，贸易和商业的全球化，以及信息的全球化，使得国家之间的联系和交往更加紧密和频繁，一个全球化的趋势正在形成。信息社会的最直接见证：以Internet和

WWW 为主要特征的信息基础设施正在改变人们的生活方式。网上数字图书馆、视频会议、电子商务、网上电子银行正在向我们走来，我们正在向数字时代迈进。信息高速公路和社会信息化建设为我们走可持续发展之路提供了决策支持基础，为人类生存和发展提供了广阔的空间。

为使地球村可持续发展，地理空间信息的作用变得更加重要。在全世界的数据中，约有 80%的数据包括地理参考数据内容。其原因是：人类及人类的各种设施都不能凭空而立，人类生存的基础离不开地球。研究与人类活动空间有关的信息的科学就构成空间信息科学，它包括空间信息的获取、存储、传输、处理和应用。空间信息技术包括遥感、地理信息系统、全球定位系统以及卫星通信技术等内容。

地理空间信息的本质特征是区域空间上的分布性，具有明显的地理参考。可以根据行政区划、自然地理区域、坐标系统、地名、地址或数码(邮政编码、电话号码)来识别它们。

地理空间信息的另一重要特征是基础性和综合性。地理信息渗透到自然和社会的多种学科，地理信息的各种属性分布在不同的部门和学科中。自然资源、环境和社会经济数据分布在各个不同的部门，这些部门根据各自的需求来收集、保存、更新和维护属于自己范围内的数据，例如国土资源部门、水文部门、城市规划部门、环境保护部门等都在自己领域内搜集和管理专业数据。

由于地理空间信息的基础性、区域性、共享性、综合性和分布性，它有别于其他任何信息。对地理信息的处理涉及到广泛的学科和技术(测绘、遥感、地理、计算机、通信、认知科学、人工智能等)，同时也涉及最前沿的信息技术。对地理信息的应用几乎涉及社会经济的各个领域。

地理信息是区域经济、资源、环境、人口和社会可持续发展决策的重要基础信息，是国民经济信息系统和国家信息基础设施的重要组成部分。

4.2 国家空间数据基础设施的提出

数字地理空间数据和地理信息系统的应用在政府和有关企业部门继续扩展和拓展。虽然对空间数据的需求在地理区域上、目的上和内容上各不相同，但这些需求总是包括一些基本的数据专题，如交通数据、水文数据、地形高程数据、行政单元数据、地籍数据、大地测量控制数据、数字正射影像图等。利用这些基础空间数据，用户可以把他们的应用结果反映到地表景观上，在这个基础上可以执行他们的专业应用分析，登记和编辑属性信息和其他数据专题信息，对这些专题数据的需求几乎遍及经济建设的所有部门和许多学科。

地理空间信息具有基础性、区域性、共享性、综合性和分布性，已得到广泛的重视和应用。由于缺乏协调和管理，各个系统之间是独立的，对基础数据进行了重复采集和数字化，系统间缺乏交流和共享，不能适应信息化和网络化的要求，限制了地理信息的广泛应用。因此需要建立作为各部门共同使用的基础信息，避免部门重复建设问题，提高信息化标准程度，为信息共享和网络下的协作扫除障碍。

美国于 1994 年 4 月 13 日煇布了 12906 号总统行政令[8]，实施国家空间数据基础设施计划，由内政部长主持的联邦地理数据委员会负责 NSDI 计划的实施。NSDI 指的是为

获取、处理、存储、分发和提高使用地理空间数据所必须的技术、政策、标准和人力资源。目的是促进经济开发，改进资源管理及环境保护[9]。

最近，全球空间数据基础设施概念，伴随几个以其为内容的国际会议的召开，已经得到了国际界的共识，并成为在全球范围内组织和使用空间数据的热点。而1996年9月4～6日在德国波恩由主要来自欧洲的20多个国家的代表参加的国际会议，则真正开始了全球空间数据基础设施的对话。在这次会议上，经欧洲地理信息保护组织(EUROGI)和其他地理组织的领导机构，如大西洋研究所、土地信息研究所(ILI)、Open GIS协会以及美国联邦地理数据委员会等的共同协商，最后大家形成共识，认为需要通过共同关心的内容以及国际论坛等来真正推动GSDI的发展。

作为全球空间数据基础设施重要组成部分的区域空间数据基础设施也得到了迅速发展。在亚太地区，新近成立了亚太地区GIS基础设施常设委员会。该委员会由55个国家的国家测绘部门的领导组成，1996年9月29日～10月4日在澳大利亚的悉尼举行了一次会议。该委员会的两大目标是建立一个区域空间数据基础设施，并使其成为全球空间数据基础设施的一部分。在拉丁美洲地区，智利成为第一届实时访问、面向多用户和多应用国际空间数据库研讨会的举办地，并于1996年10月29～31日在Valparaiso举行。会议的第三天，集中讨论了关于建立全球空间数据基础设施的提议和可行性报告。在1997年2月3～7日于泰国曼谷举行的联合国亚太地区区域制图会议上，该战略方向被正式承认和接受。

过去20年中，计算机对地理界的影响，已由手工制图技术的自动化发展到了基于地理信息系统的空间数据分析时代。随着具有制图与分析功能的计算机软硬件一体化技术的发展，GIS技术得到了迅速的提高和应用，成为当今主流的信息技术。同时，伴随生产和使用空间数据技术的提高，使它们的费用也得到了降低，促使了对空间数据共享和集成的需求。因此，数字空间数据的获取、访问、管理和集成正在成为对GIS领域数据生产者、软件商、系统集成商和用户的主要挑战。这也迫使国际社会迅速作出反应，开始了全球空间数据基础设施的研究与发展。

国家空间数据基础设施强调了基础地理框架数据的收集、数据政策以及基础地理空间数据标准和数据交换站(Clearinghouse)。但它没有考虑空间信息的融合与互操作以及空间信息的综合应用。

4.3 空间信息基础设施

用"信息"代替"数据"，是因为由数据生成信息的决策过程多数由应用进行。空间数据基础设施只是强调协调基础数据的生产，其主要工作对象是数据。而空间信息基础设施除了包括空间数据外，还包括面向应用领域的空间信息处理功能和应用，是更加全面的基础设施。虽然对空间信息处理和应用的需求各不相同，但这些需求总是包括一些基本的空间信息处理和应用功能，这些处理功能包括信息提取、空间查询及分析、制图和空间信息管理等。空间信息基础设施把空间数据和空间信息处理功能结合起来。空间信息基础设施的主要内容包括空间信息的获取、空间信息框架、空间信息的集成、融合以及互操作等。

社会的进步和经济的发展，以及全球一体化趋势使各专业部门的决策需跨学科和多学科的信息进行集成分析才能作出，特别是关系人类可持续发展的各种课题，例如资源的优化配置和管理、区域规划、预防水灾等重大自然灾害等都需要社会各部门和专业的合作，在保护环境、保护生物多样性等方面需要国际上的合作。

空间信息基础设施就是为解决上述问题而提出的，其目的是为使用、共享地理空间信息提供一个基础环境。它由通信网络、空间信息资源、空间信息处理服务和用户操作界面构成，实现各专业部门对基础信息和处理功能的共享，以及各专业部门信息和处理功能间的集成和融合的框架。

美国国防科学局(DSB)于1995年对美国国防部提出建立虚拟世界数据库的建议。根据美国国防科学局的建议和国防部指挥、控制、通信和情报(C3I)秘书处的指导，美国国防制图局建立了地理空间信息集成组织(GI IPT)，制定和实施地理空间信息基础设施，建立空间信息框架，实现图像、情报和地理空间信息的集成、融合和互操作，维护其信息优势，以维护冷战结束后美国的唯一超级大国的地位，提高美国的军事预备和反应能力，实现其世界警察的角色。在此形成了空间信息基础设施的概念。

国家空间信息基础设施是指一个国家描述地球上地理要素和现象的分布及其属性的所有地理信息的组合，以及对这些信息的获取、处理、存储、分发、使用、集成、融合以及互操作，建立一个共享的空间信息框架所需的设备、技术、政策、标准、体系结构和人力资源。NSII是以NSDI为基础，是对空间数据进一步应用的基础设施，是对NSDI的拓展和深化。NSDI集中于基础数据的开发和管理，而NSII不仅包括基础数据，还包括相关的空间信息处理技术、功能和装备。NSII的最终目的是建立一个空间信息框架，它是数字地球的雏型。空间信息框架包括框架信息和框架服务，通过此框架达到信息共享、集成和互操作的目的。

空间信息基础设施的通信网络把空间信息收集平台、空间信息资源数据库、空间信息处理计算机和用户终端计算机连接起来，使空间信息流按照需要在各组成部分间流动。

空间信息资源包括各种类型的数字地理空间信息和空间参考信息，具体有电子地图、数字遥感图像、三维空间图形和多媒体信息等，另外还有具备空间参考属性的属性信息和各种统计信息、人口信息等。空间信息资源存储在各种级别和规模的分布的数据库、数字资料馆和数据仓库中。

空间信息处理服务器是连接在计算机网络上的计算机(包括超级计算机、大规模并行分布处理计算机、各种工作站和服务器)，它们完成对数据库的操作和各种空间信息处理和查询要求，提供各种计算模型和决策支持系统。

用户终端计算机提供对用户友好的操作界面，使用户不仅能通过键盘，还能够通过语音和虚拟现实工具来同数字世界交互，提供对空间信息的查询和访问，为用户提供决策支持，为公众提供信息查询。

空间信息基础设施提供两种服务：一是为广大社会群众提供普通服务。用户通过简单的个人计算机浏览界面，可以查询空间信息。回答普通群众关心的环境、交通、旅游、新闻、房地产、商业、公共设施建设以及其他社会问题。另一个是为各个专用部门提供的特殊应用服务，包括资源开发、环境管理、生态监测、区域规划、制图和空间分析等，并为可持续

发展提供信息和决策支持。

空间信息基础设施的目标是建立、维护和使用一个空间信息框架。空间信息框架包括两方面的内容：一是空间数据，即框架的基础空间数据和专题数据；二是空间信息服务，即提供对空间信息的共享、集成和互操作的功能和接口。

空间信息框架是建立在分布式网络基础上的，有共同的几何参考坐标系统，有公共的基础框架信息，并有可共享的知识库，可支持迅速的空间数据集成[34]。专业用户可以在基础框架上登记和编辑属性信息和其他专题信息。空间信息框架包括分布式异构的地理空间数据库和空间数据仓库。它不是一个集中式的系统，而是一个分布式的、在不同层次上可实现互操作的系统，由分布在 Internet 上的节点组成。在物理上是分散的，而在逻辑上是一个整体。空间信息框架的基础数据可以在网络中心节点存储，而各种专题数据和空间处理方法可以在远程节点和本地存储。各节点地理空间信息的融合是以共同的几何参照系统、数据模型和接口为基础的。

空间信息框架的物理实现是空间信息资源网络，它包括各种空间信息及数据的收集处理分析系统，包括地球观察信息网络、遥感卫星系列、全球定位系统、地面监测网和数据收集站。不同组织部门内部维持本专业的空间数据仓库和决策支持系统以及本专业的知识库，采用分布式对象技术实现系统间的信息和知识的共享和互操作。

空间信息基础设施的建设和维护是一个不断演进的长期过程，在信息技术和通信技术不断进步的基础上，空间信息和处理技术也不断深化本领域内的开发和创新，将为社会和经济的发展提供决策支持，为科学研究和教育提供先进的工具。

信息技术，特别是软硬件技术和网络技术的发展是突飞猛进的。空间信息基础设施也不是固定不变的，它将随主流的信息技术同步进化。不断地截取最先进的信息技术，采用螺旋上升的工程开发模式，并不断完善。空间信息框架不会在短时间内完成，而是不断地被建设、更新、维护、再建设，是一个螺旋的上升过程。它永远不会被终止和全部完成，它不断演化，并向更高级阶段发展。

4.4 空间数据基础设施及其标准的进展

国家空间数据基础设施是以国家信息基础设施或信息高速公路为基础的，是有关空间数据特别是地理空间数据的获取、存储、分发与应用所需要的技术、标准、政策和人力资源，其技术部分包括计算机、网络、数据库与信息系统(如 GIS)等，其内容有框架数据、空间数据交换网络、数据标准和机构组织。

4.4.1 空间数据基础设施的层次

国家、区域和全球层次的空间数据基础设施的建立，是国际社会对组织和使用地理信息挑战的反应。国家和区域层次的空间数据基础设施共同促使了全球空间数据基础设施的形成。为国家服务的空间数据基础设施被认为是国家空间数据基础设施，它随国家的不同而各具特色。区域空间数据基础设施由几个 NSDI 或由几个国家组成。依次类推，全球空间数据基础设施由国家和区域空间数据基础设施组成[9]。

1. 国家空间数据基础设施(NSDI)

简单地说,国家空间数据基础设施是组织使用和共享空间数据的体系结构和标准化过程,从而使国家范围内使用空间数据的用户和范围都得到了扩大。事实上,空间数据基础设施的概念并不算新,早在1990年,美国联邦地理数据委员会对此就已开始感兴趣,但直至1994年4月13日克林顿总统煤布了12906号总统执行令并正式宣布制定国家空间数据基础设施后,其发展结果才开始引人注目。在美国,FGDC的主席由总统内阁成员中的内务部长亲自担任。这之后,英国、澳大利亚、新西兰、日本、韩国以及加拿大等国也在过去的两年内建立了它们自己的NSDI,使全球范围内开始了NSDI的研究。

2. 区域空间数据基础设施(RSDI)

随着国家空间数据基础设施的发展,便出现了对区域空间数据基础设施的需求,形成了以欧洲和亚太地区为主的区域空间数据基础设施。目前,这两个组织正在积极协调发展它们各自区域内部的RSDI。其中由16个国家地理信息协会、6个泛欧洲组织以及许多由观察员身份组成的欧洲地理信息保护组织(EUROGI)领导的欧洲委员会,已建立了欧洲地理信息基础设施(EGII),以推动该地区空间数据基础设施的发展。亚太地区GIS基础设施常设委员会也正在发展亚太地区的空间数据基础设施(ARSDI),其在批准章程和过程规则中取得了一定的进展,并成立了4个工作组,开始了全方位的工作。这4个工作组分别为:WG1(地理信息基础设施和组织框架);WG2(地籍基础设施问题);WG3(区域大地网);WG4(空间数据获取和共享的立法和管理计划)。

3. 全球空间数据基础设施(GSDI)

1996年9月4日在德国波恩由来自欧洲的二十多个国家的代表参加的第一届全球空间数据基础设施会议,开始了建立全球空间数据基础设施的讨论。在这次会议上,经欧洲地理信息保护组织、大西洋研究所、土地信息研究所、OpenGIS协会以及美国联邦地理数据委员会的共同协商,最后大家达成共识,认为需要通过词条以及国际论坛等来推动它的发展。

1997年10月在美国召开了第二届GSDI会议,并形成了关于GSDI的结论和建议,认为GSDI是全球发达国家和发展中国家得到实质性和可持续发展所必需的、对执行全球环境公约极其重要的结论。并对GSDI作了定义:全球空间数据基础设施包括为确保在全球或区域范围内顺利实现其工作目标所必需的政策、机构职能、数据、技术、标准、分发机制以及资金和人力资源。并认为空间数据基础设施的4个基本因素(即政策、技术、标准和机构框架)要在各国保持一致在外交上是天真的,在操作上是困难的,在经济上是荒谬的。

1998年11月在澳大利亚堪培拉召开了第三届GSDI会议,会上对前两届会议的专题论文进行了总结,吸取国家空间数据基础设施建设的教训(如美国NSDI),充分认识建立GSDI的困难,并形成了会议的建议和决议。

4.4.2 空间数据基础设施的内容

标准、技术、数据政策和机构框架是空间数据基础设施的4大组成内容，其在全球空间数据基础设施的每一层次都很重要。对于这4部分，GIS领域已得到了共识，其中GIS标准是基于信息技术标准的，所以GIS标准基础设施可以在空间数据基础设施较广的领域中被理解、采纳和使用；GIS技术是以总体信息技术为基础的，这就使得GIS技术与正在出现的全球信息基础设施是一致的；政策方面，从数据的全球角度来看，目前的许多政策都需要发展；机构框架方面，则必须达成共识，以使国家和区域空间数据基础设施共同协作和连接，形成全球空间数据基础设施。

全球空间数据基础设施的另一重要方面是框架数据的概念。框架数据是基本数据集，其他许多数据集是依赖它建立起来的。主要包括大地测量、地籍测量、水文、交通、边界、高程以及数字正射影像数据集等。框架数据所属的数据集是以大地网为基础的，这就为空间数据集的产生和获取提供了一致的全球地理参照。所以从全球范围看，对GIS标准的重要性的认识已经达成了共识。

4.4.3 空间数据基础设施的标准

GIS标准由信息技术标准和空间数据标准组成，是空间数据基础设施的核心标准。对于信息技术标准采取等同采用或等效采用，而空间数据标准则用于定义、描述或处理空间数据。

在过去十年间，GIS标准化主要集中在发展空间数据交换标准方面。对于这一工作，有24个国家和国际组织参与了研究，并产生了几个空间数据交换标准。但由于空间数据交换标准是GIS领域第一个标准化的尝试，所以在GIS领域真正认识并广泛接受它还需要一个长期的过程。然而这种发展途径却是最初标准化努力的初衷，目前它使人们开始认识到了标准化的重要性，并在GIS领域开始全面发展，诸如即将出现的Metadata标准等。为了适应这种倾向，GIS标准应做到以下三点：

首先，GIS标准的发展应当超前。标准的发展就像对一个问题的反应一样通常比较迟，因为它需要较长的发展时间和至少同样长的批准时间。批准的时间通常反映了一致性需求的程度。而标准化的实时性却非常关键，如果标准化开始得太迟，则在标准制定者和用户之间很难达成统一的决议；如果太早，又会遏制技术的改进甚至使技术偏离它自己最初的发展轨道。所以有效的标准化要求有预见性，并应在需求和问题出现之前就着手准备。

其次，目前GIS标准的发展包含了最终用户的参与。GIS用户不仅考虑软硬件的互操作，对数据的互操作也非常关注，如术语、语法、含义等。GIS用户已经到了比较成熟和复杂的层次了，他们已认识到正在发展的许多空间数据标准在很大程度上将被GIS数据生产者和用户采纳，所以对标准的制定表现出了积极的态度，因此在制定标准的过程中应当有他们的参与。

第三，GIS标准需要集成。GIS世界认识到标准应当成为一个标准的集成系统来发挥作用，而不是一系列独立的标准。目前即将出台的Metadata标准和数据质量标准也将成

为其他即将出台的标准的一部分，以便最终形成一个统一的标准体系。

从全球范围看，GIS 标准的发展正在政府、国家、区域和全球进行。发展它们的部门也包括了非标准化组织，比如在用户/应用部门中进行，这样一些用户/应用部门可能在发展标准，而另一些则支持或等同采用 GIS 标准。为避免重复和不兼容性，需要进行总体规划，协调作业，以发展 GIS 标准，并使之成为空间数据基础设施的结构体系。

GIS 标准基础设施和全球空间数据基础设施层次的一致性，为空间数据一体化铺平了道路，使得 GIS 标准不仅能够在空间数据基础设施各层次之间进行横向集成，而且也能够在层次之间纵向集成。这样，全球空间数据基础设施为国际 GIS 标准的发展、拓展和实现起到了重要的促进作用，反过来，标准的成功也决定了空间数据基础设施的可行性。

作为全球标准基础设施的一个特殊子集，GIS 标准基础设施为 GIS 标准的协调和集成发展提供了一个组织框架和过程。其中 GIS 标准基础设施的层次与全球空间数据基础设施的层次是一致的，这种层次之间的一致性也反映了它们的共同点。在政府和国家层次，根据特定国家的政治和文化组成则会有一定的差异。而 GIS 标准基础设施和全球空间数据基础设施内容中的区域层次，是指一组国家或国家中的一组城市、县和省。下面对各个层次具体内容作一讨论。

1. 国家层次上的标准

全球范围内，空间数据基础设施国家层次中发展迅速的典型仍是美国。在美国，标准化在州政府、联邦政府、国家和国际层次上进行，而区域层次上的标准化被合并到州层次上。在 GIS 标准基础设施的每一层次上，有两种类型的机构在发展标准：正式标准团体和用户/产业组织。

美国州下面从事标准制定的是市和县，它们要么是正式的机构，要么是用户/产业组织。通常州的活动也受其他州和州联盟的影响，当然主要影响仍来自联邦政府。

联邦政府层次中，国家标准与技术研究所(NIST)为联邦政府中的各组织传播标准，它是一个正式的标准实体。而联邦地理数据委员会(FGDC)是联邦政府层次的主要用户，它由主要对空间数据感兴趣并从事这方面工作的联邦机构组成。1994 年，FGDC 被授权开始发展空间数据标准，并已批准了空间数据转换标准(SDTS)和拓扑矢量普范(TVP)标准，发展了 Metadata 标准，以及多项其他标准草案。

美国国家层次中从事标准的机构有联邦和州政府、产业界、公共机构、私人机构、科技界以及专业团体。属于该层次的正式标准团体为美国国家标准研究所(ANSI)授权的 L1 组织和 GIS 技术委员会。国家层次中的用户/产业组织包括 Open GIS 协会(OGC)、国家州地理信息委员会(NSGIC)以及联邦地理数据委员会。NSGIC 由美国几乎所有州的 GIS 协调机构或相应机构组成。OGC 由销售商、集成人员、研究人员、政府机构、数据供应商以及用户组成，它的目的是在分布式计算机环境下通过中间件(软件)实现空间数据和地理处理功能的共享。OGC 目前正在发展一种地理数据互操作规范(OGIS)，一旦完成，将提交正式的标准部门以便批准成为标准。所有国家层次的参加者都通过 L1 对 GIS 的标准化进程作贡献，L1 也作为美国技术顾问组(TAG)为最近成立的国际标准化组织(ISO)地理信息/地球信息技术委员会 TC211 服务。

因此，GIS 标准基础设施中强大的国家层次增强了国家空间数据基础设施对空间数据一体化的发展，并为区域和全球空间数据基础设施提供了经验。

2. 区域层次上的标准

在 GIS 标准基础设施的区域层次中，欧洲有一个正式的区域标准团体，即欧洲标准化委员会(CEN)，它对 GIS 标准的制定比较积极。目前有两个技术委员会在直接从事这方面的工作，它们是 CEN/TC278 公路信息委员会和 CEN/TC287 地理信息委员会。同样在区域层次中，用户/产业组织包括数字地理信息工作组(DGIWG)、EUROGI 和亚太 GIS 基础设施常设委员会。DGIWG 已经是 16 个北大西洋公约组织(NATO)的成员，并制定了用于军事的数字地理交换标准(DIGEST)。EUROGI 与欧洲标准化委员会(CEN)保持一致，而常设委员会则不想成为标准的制定者，仅作为 ISO 标准的用户而已。

欧洲和亚太区域空间数据基础设施目前已达成共识，通过 ISO/TC211 为全球空间数据基础设施提供所需的 GIS 标准。同样，在这方面合作与协作的完全一致性需要进一步研究与讨论。在国际 GSDI 研讨会和会议上，空间数据的全球共享是非常关键的，它为改善生活质量和保护国家、区域和全球环境带来了国际效益。目前欧洲关注的焦点是数据共享，而亚太地区则是技术传输。它们的不同也反映了不同地区政治、经济和技术的差异。

相互链接组成全球空间数据基础设施的区域空间数据基础设施，有的是由很少的几个国家空间数据基础设施组成的 RSDI，例如，加拿大、美国以及墨西哥形成的北美地区空间数据基础设施；有的则因某个国家范围比较大，由国家单独代表一个区域，比如，印度、中国或俄罗斯。依次类推，全球空间数据基础设施由国家空间数据基础设施、区域空间数据基础设施以及不包含在国家空间数据基础设施中的特定区域空间数据基础设施相互连接组成。

3. 国际层次上的标准

在国际层次中，ISO 是正式的标准团体，有 100 多个成员国，其中每一个成员国都有在 ISO 中代表本国利益的国家标准组织。根据在技术委员会中的利益，每一个国家标准组织都任命一个技术顾问组在技术委员会中代表该国，并且每一国家只有一票。ISO 技术委员会中的联络员国家可以接受技术文件并参加会议，但没有投票权。

国际层次中的用户/应用组包括：国际制图协会(ICA)、国际水文局以及国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)。由于 OGC 目前的成员来自不同国家，它也可以被看作一个国际用户组织。

1994 年 4 月，ISO/TC 211 地理信息/地球信息委员会成立，并于 1994 年 11 月在挪威的奥斯陆举行了第一次全会。它拥有 24 个成员国和 13 个观察员国。从用户角度看，ISO/TC 211 有 9 个 A 类联络员和 7 个其他 ISO 技术委员会。目前空间数据基础设施所需的 GIS 领域各个层次的标准正在由该委员会发展。

ISO/TC 211 的秘书处设在挪威，主席由 Olaf Ostensen 先生担任。当前的工作内容包括 20 个工作小组的项目，并使之成为标准。ISO 把该工作定为 ISO 15046，20 个工作

小组的标准将在1999年完成。ISO/TC 211涉及的内容比较广泛，但真正衡量其成功与否的尺度则是看其标准能否作为一个标准的一体化集合进行运转。所以全球空间数据基础设施的成功直接依赖于GIS标准基础设施以及国际组织ISO/TC 211的发展。

4.5 空间信息框架

空间信息框架是空间信息基础设施建设的目标，是空间信息集成、融合以及互操作的基础，是在空间数据基础设施的基础上的进一步开发，它为用户提供一个集成和互操作的完整的虚拟世界。

4.5.1 概述

地理空间数据和地理信息系统已广泛使用，这些对地理空间数据的应用在区域上、目的上和内容上有很大的不同，但这些应用总包括一些基础数据。利用这些基础地理空间数据和框架数据，用户可以进行专题信息的搜集，通过这个地理空间基础框架，一个应用部门可以在其上编辑属性信息和其他环境社会经济信息，并可进行各种空间分析。

对这些基本专题数据的需求几乎涉及到经济的所有部门，并涉及到许多学科。美国对地理空间数据的应用的研究结果表明：应用部门主要需要交通、行政边界、高程、水文和地籍数据。另外，正射影像、数字高程和大地测量控制是最基础的控制和定位数据。

为了充分利用地理空间信息，在信息基础设施的基础上建设空间数据基础设施，以支持在交通、社会发展、农业、救援、环境管理和信息技术领域内对地理空间数据的应用，促进经济发展，改善对自然资源的管理和环境保护。

空间数据交换网络是一个由地理空间数据生产者、管理者和应用部门组成的分布式网络，是空间信息框架的物质基础。通过空间信息交换网络，用户可以确定存在什么样的空间数据和服务，找到所需的数据，评估这些数据的应用价值，并以最经济的方法获取和定购这些数据。Metadata标准是用来描述空间数据的内容、质量等特征的，空间数据转换标准用于减少数据共享的技术障碍。空间信息框架的目的是鼓励应用部门的数据共享、集成和互操作，减少重复工作，提高生产效率，开拓新的应用。

空间信息框架提供一个地理空间基础，应用部门在此基础上开发专业信息，附加和编辑属性信息，把其应用结果表示在地理景观上。空间信息框架帮助数据生产者定位其空间信息产品的正确位置，并提供同其他信息的集成的方法。框架信息是符合标准的、保证质量的可靠数据，它不仅包括高分辨率(大比例尺)数据，也包括低分辨率(小比例尺)数据。对框架数据和信息的访问有最小的技术要求。

建立和维护框架数据，需要应用部门的参与，需要持续的协作工作。随着对数量上不断增加的专题数据的需求，很少能有部门能建立他们所需的所有数据。一个部门可以把本部门专题数据提供给框架，作为空间信息框架的一个专题信息，并可从框架中获得其他部门提供的专题信息。

空间信息基础设施的目标是建立和维护空间信息框架，如图4.1所示。空间信息框架包括框架信息(即框架的基础空间数据和专题数据)和框架服务(即提供对空间信息的共

享、集成和互操作的功能和接口)。

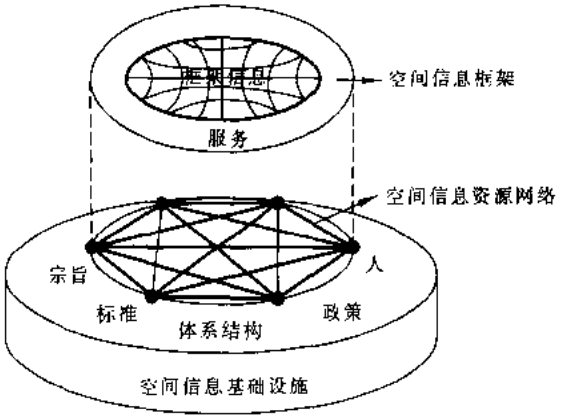


图 4.1 空间信息基础设施体系结构

虽然各部门对地理空间数据的应用需求是不同的,但一个部门的应用也需要其他部门的专题数据。由于目前的技术和地理信息系统产品的水平所限,地理空间信息的共享还有一定的困难,地理信息的互操作还存在障碍。这些障碍包括:信息的各种不同定义;不同的属性规则;不同的几何参考;不同的数据分辨率和比例;不同的数据格式;不一致的数据边界;不一致的应用符号;不同的操作平台和处理功能等等。由于对地理信息有如此之多的应用,不可能消除所有的不一致。然而通过必要的接口和措施可以实现兼容。

空间信息框架是建立在分布式网络基础上的,有共同的几何参考坐标系统,有公共的基础框架信息,并有可共享的分析处理模型库和知识库,以支持迅速的空间数据集成,以及开发各种决策支持系统。由分布式异构网络和系统把地理空间信息中心库或中心数字资料馆、各分支的地理空间数据库或数字资料馆以及用户本地的数据存储等连接而成的松耦合系统,在物理上是分散的,而在逻辑上是一个整体。它不是一个集中式的或紧耦合的系统,但可在不同层次上实现互操作。它由分布在 Internet 上的节点组成,空间信息框架的基础数据可以在网络中心节点存储,而各种专题数据和空间处理方法可以在远程节点和本地存储。各节点地理空间信息的融合是以共同的几何参照系统、数据模型和接口为基础的。

4.5.2 空间信息框架的结构

空间信息框架提供对公用地理信息的访问,提供对地理信息的共享、集成、融合和互操作的基础,主要包括空间信息内容和信息服务。空间信息内容方面有空间数据模型、框架基础数据和专题数据,以及数据集的 Metadata(元数据)。框架的空间信息服务包括空间信息的管理、分发、查询和分析、集成等。如图 4.2 所示。

4.5.3 空间信息框架的数据模型

空间信息基础设施的数据模型提供框架数据的不同视图。在大规模空间信息系统中,数据模型实际上是一系列模型的集合,如图 4.3 所示。

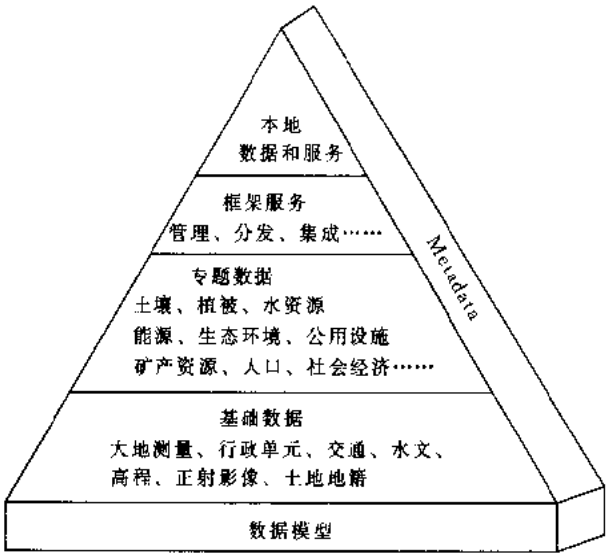


图 4.2　空间信息框架结构

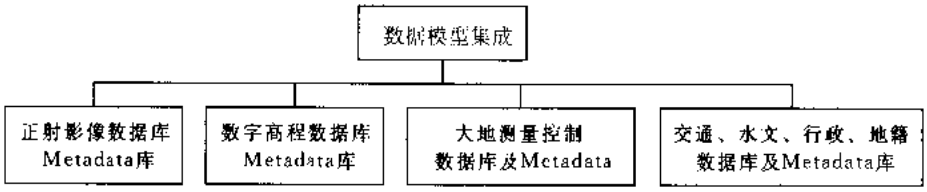


图 4.3　空间信息框架数据模型

空间信息框架的基础数据中，正射影像和高程数据采用栅格数据模型，观测位置由象元或单元阵列表示，其值代表属性。空间信息框架的其余基础数据采用基于特征的矢量数据模型，一个特征是一个地理实体的描述，每个特征由唯一的代码表示，并可进一步由其属性集和关系来描述。

4.5.4　空间信息框架的基础数据

空间信息框架基础数据的几何参考坐标采用国家标准的水平坐标和垂直坐标系，采用国家标准投影。国家空间信息框架的基础数据包括：

· 大地测量控制数据——大地测量控制点坐标是获得其他地理特征的精确空间位置的基础，框架包括大地测量控制点的名称、标识码、经纬度和高程。

· 数字正射影像数据——正射影像数据是由航空摄影和卫星图像数据经过消除传感器取向和地形影响后的数字影像。框架包括正射影像，其分辨率从米级到数十米级。数字正射影像数据是信息提取和制作影像地图的基础。

· 高程数据——框架包括陆地高程数据和水深数据。

国家空间信息框架的框架数据包括：

· 交通数据——框架的交通数据包括各级公路、铁路、水运中心线、机场、港口、桥梁

和隧道。

- 水文数据——包括河流、湖泊和海岸线数据。
- 行政单元——包括国家、省和县以及乡的行政边境和代码。
- 土地地籍数据——土地利用、地籍管理数据。

4.5.5 空间信息框架的专题数据

空间信息框架的基础数据是增强和添加新的信息的基础。空间信息框架除了基础数据外，还允许各专业部门添加专题应用数据，这些专题数据可以融合和集成，为各级组织和部门的应用和决策提供支持，为各学科研究提供所需专题信息。这些数据包括自然资源数据(例如土壤、植被、水资源、矿产资源)、能源数据、生态环境数据、公用设施数据、人口数据和社会经济数据等。这些数据存储在分散的空间信息资源网络的节点上。专题数据还包括同一专题的不同历史时期的数据，这些数据组成专业部门的本地空间数据仓库。这些专题数据可以提供建立决策支持系统所需的信息资源。对于空间信息框架的专题数据，建立相应的必要的 Metadata(元数据)。

作为空间信息框架的专题数据必须是经过质量认证的资格数据，以保证这些数据的质量和精度。

4.5.6 空间信息框架的服务

空间信息框架的服务包括对空间信息的访问、管理、使用、更新，空间信息的安全措施、用户权限，空间信息的 pull 和 push 技术，空间信息的融和、集成、互操作和空间信息知识库。

1. 空间信息集成上的技术服务

考虑对不同比例尺分辨率和不同时期的数据的要求，以及维护空间框架数据的完整性，要建立基本特征的数据模型；基本特征的唯一标识代码；对大地测量数据的参考；Metadata(元数据)标准；在相邻地理区域上单一专题的集成和同一地理区域上多个专题的集成方法。

为满足不同用户的要求，框架将支持可变比例尺的空间数据，低分辨率的数据将从高分辨率的数据经综合而得到。空间数据的综合将按照每个专题所定义的规则进行。

框架数据使用一个标准的几何参考坐标系统以保证数据的集成。框架基本数据用矢量和栅格两种数据模型来编码。栅格数据模型将用于高程和图像数据，矢量数据模型用于大地测量控制、交通、水文、行政单元和土地地籍数据。框架将保持数据的过去的版本，以保证历史的和过程的研究。

2. 用于更新和访问空间信息的操作服务

数据提供者用事务处理的方法来处理框架数据的变化。应用部门通过空间信息交换网络来访问框架数据，框架提供目录服务。

3. 用户同框架的交互

用户本地居留的信息服务可供本部门专业使用，也可通过空间信息框架提供给其他部门使用。利用框架信息和服务，本地用户可以登记和编辑专题信息，产生影像地图，把分析结果表示在地表景观上。

4.5.7 空间信息框架的 Metadata(元数据)

Metadata(元数据)或"数据的数据"，为数据目录或空间数据交换网络提供信息。空间信息框架的地理空间数据的 Metadata 描述了专题数据的内容、质量、条件、来源和其他特征。Metadata 为专题地理空间信息的发布和搜索提供了基础，支持地理空间信息的数据仓库的建立。它可以帮助数据生产者维护在数据上的投资，帮助用户发现所需空间数据。

Metadata 内容标准的目标是：提供地理空间数据文档的术语和定义的共同集合。建立 Metadata 的数据元素和复合元素的名字、定义和取值范围。

建立空间 Metadata 标准：各专业部门对新建立的和已有的空间数据根据国家 Metadata 标准建立 Metadata 文档，并使 Metadata 文档或 Metadata 库在空间数据文档网络上能被访问。Metadata 帮助那些使用地理空间数据的人们按照空间范围或专题属性寻找他们所需的数据。Metadata 使数据生产者受益。当组织和人事变动时，没有归档和建立 Metadata 的数据将失去其价值，因为后来工作者将很少理解它的内容和应用，并可能不相信这些数据产生的结果。

4.5.8 空间信息框架的应用和维护

空间信息框架的建立和维护是一个持久的过程，它的建立和维护不会终止和完结，而是一个不断演化的过程，随着技术的发展会呈现不同的形式。由于空间环境的不断演变，空间信息也需不断地更新。

对空间信息框架的应用是建立在空间信息基础设施上的，主要包括两种应用服务：一是面向社会的大众化应用，满足对空间信息的查询和检索；二是面向特定专业部门的应用，满足制图、空间数据管理和空间分析的需要。

对空间信息的应用遍及很多部门，通过接口和分布式计算服务，使各部门可以共享信息，并为特定任务而进行多部门的空间信息的集成、融合和互操作，如图 4.4 所示。

对空间信息框架的维护和应用包括以下几个方面：

(1) 专题研究开发　　应用部门的需求是变化着的，包括提供新的标准和技术，这由产生和应用空间数据专题的组织部门或学科自己负责，这些专题研究开发是为了确定这种变化的需求和趋势，解决出现的新问题。

(2) 框架管理　　对国家空间信息框架的持续的、可操作的维护，这些职责包括以下几项。

管理数据专题的生产，以满足用户的需求：对那些没有被框架专题数据覆盖的区域，需要建立框架数据。

管理数据专题的集成：确保由各专题组成一个框架整体，建议和开发技术标准，以描

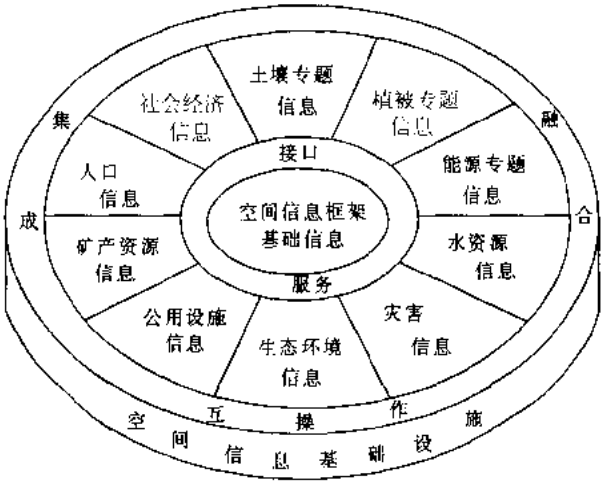


图 4.4　空间信息框架的应用

述专题数据的特征和规则以及数据的综合过程(如简化、选取、聚集)。

开发验证策略和过程,保证各部门遵守框架标准。

(3) 区域集成　　授权的区域集成者把生产者提交的数据加入到框架中,集成者的职责为:执行描述专题数据特征的技术标准;执行验证策略和过程,以保证特殊数据集遵守框架标准。这些活动包括指南和验证软件,区域集成可以是数据生产者;协调一个区域的数据建立和维护;用提交的数据来更新框架;提供指导,保证数据生产者在专题和地理区域间集成他们的数据。框架的数据集成有两方面内容:一是同一专题不同区域的集成,二是同一地理区域不同专题的集成。

(4) 数据生产　　按标准生产框架数据和维护框架数据,可以按合同由生产者提供框架数据,数据生产者用框架标准提供和更新数据,包括所需的 Metadata,报告数据质量测试结果。

(5) 数据的访问和分发,把框架数据提供给用户。

4.5.9　空间信息框架的效益

框架对应部门的效益包括:

(1) 通过把数据开发费用分摊到多个应用部门上,减少一个组织部门对数据收集的投资。帮助各政府和专业部门建立合作关系,分摊公共数据及专题数据的开发费用。

(2) 获得跨地区、跨部门行业的数据,一个部门常发现本部门的工程方案需要本领域以外的信息,空间信息框架将提供本领域以外由其他部门所拥有的数据。

(3) 使应用部门集中于自己的主业上来,因为可以从框架中获得基础数据和有关专题数据,他们可以集中精力于开发专业应用。

(4) 利用框架数据作为登记各种专题数据的基础,附加属性信息和附加值信息,丰富空间信息框架的专题信息内容。

(5) 加快一些特殊应用的开发,例如防洪抢险、救急、灾害、自然资源管理、经济发展,从而减少失误和不正确性。专家将集中于应用而不是基础数据的建立。

(6) 标准化的数据可以使软件和信息的应用更容易，可以减少系统开发、培训和维护的费用。

(7) 为软件开发商提供商业软件开发引导。

4.6 空间信息基础设施的体系结构

为进一步了解空间信息基础设施的理论框架，从空间信息基础设施的理论和技术方面来研究其体系结构是必要的。

4.6.1 概述

国家空间信息基础设施是一个国家内描述地球上地理要素和现象的分布及其属性的所有地理信息的组合，以及对这些信息的获取、处理、存储、分发、使用、集成、融合和互操作，以及建立一个共享的空间信息框架所需的设备、技术、政策、标准、体系结构和人力资源。NSII 是为使用、生产和管理与地理空间信息有关的社会各部门以及个人提供基础信息环境和支持的，是国家信息基础设施的子集。NSII 是以 NSDI 为数据基础的空间信息应用基础设施。在今天的信息社会和网络环境下，它是一个分布式异构的地理空间信息资源网络。空间信息基础设施的体系结构是实施地理空间信息基础设施概念的逻辑模型。

空间信息基础设施的目的是建立、维护和使用一个共享的空间信息框架，它包括基础空间数据的集合，为使用地理空间信息的组织和个人提供对地理空间信息的共享、集成、融合和互操作的基础。空间信息框架是 NSII 呈现给用户的概念视图。从不同的观察角度可将 NSII 的体系结构分为操作体系结构、技术体系结构、数据体系结构、系统体系结构和机构体系结构。实施空间信息基础设施的物理基础是空间信息资源网络，它组成空间信息基础设施的物理层。

空间信息框架包括基础框架空间数据。空间信息框架的基础数据作为添加的专题信息的基础。空间信息框架除了基础数据外，还允许各专业部门添加专题应用数据，这些专题数据可以相互融合和集成，为各级组织和部门的应用和决策提供支持，为各学科研究提供所需专题数据。这些专题数据包括自然资源数据(例如土壤、植被、水资源、矿产资源)、能源数据、生态环境数据、公用设施数据、人口数据和社会经济数据等。这些数据存储在分散的信息资源网络的节点上。专题数据还包括同一专题的不同历史时期的数据，这些数据组成专业部门的本地空间数据仓库。对于空间信息框架的专题数据，建立相对应的 Metadata(元数据)。

空间信息框架的空间信息服务，是提供对空间信息的共享、集成和互操作的功能和接口。空间信息框架的服务包括对空间信息的访问、管理、使用、更新、空间信息的安全措施、用户权限、空间信息的访问技术、空间信息的融和、集成、互操作和空间信息知识库及其应用。

4.6.2 空间信息基础设施的体系结构

体系结构是系统各部件的结构构成和相互关系。空间信息基础设施的目标是建立空

间信息框架，空间信息基础设施的物理实现是空间信息资源网络。从不同的角度来观察空间信息基础设施的体系结构，可以得出不同的逻辑模型。

操作体系结构以信息流动为线索来研究其构成；技术体系结构从空间信息基础设施所采用的技术路线来研究其构成；数据体系结构从空间信息基础设施的地理空间数据组织方面来研究；系统体系结构从空间信息基础设施的网络平台、线路和节点的物理连接来研究其组成；机构体系结构从维护空间信息框架的机构组织来探讨其构成。

1. 操作体系结构

空间信息基础设施的操作体系结构由 5 部分组成：需求分析和管理、数据获取、信息生产、信息管理和分发以及信息应用，如图 4.5 所示。

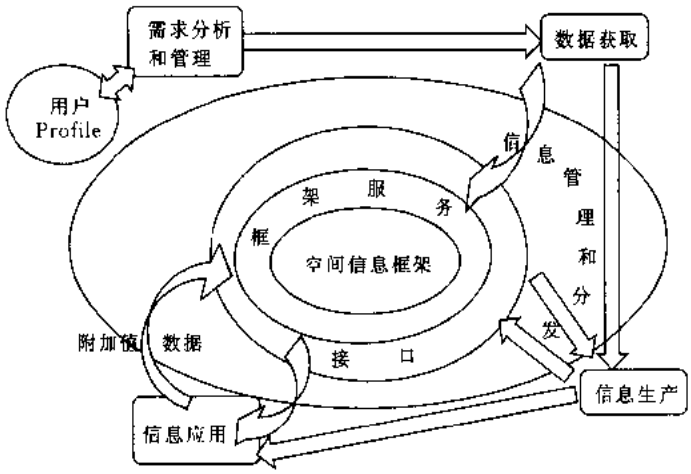


图 4.5　操作体系结构

(1) 需求分析和管理

了解地理空间信息用户的需求，这些用户包括国防部门、政府、商业部门、自然资源开发和管理、环境监测、公用设施和学术界。对需求的分析是为地理空间数据的获取和信息生产提供依据，并对需求建立用户配置文档。用户配置文档包括用户的任务是什么，用户的目的，需要什么样的支持，需要什么样的数据等。以便于对用户的需求进行管理，依据此可进行信息的搜集和分发，支持框架信息的 push 和 pull。对用户需求信息的收集可以用基于 Internet 的 Web 技术。

(2) 数据获取

数据获取来自多个方面。对地观测卫星提供了大量的图像数据，包括多光谱、多分辨率图像、雷达图像，以及新型传感器如激光和声纳数据、全球定位系统(GPS)提供实时定位数据等，其他的商业和政府的数据库也将提供大量的地理数据和统计数据。

(3) 信息生产

空间信息基础设施的生产策略是提供用户需要的框架信息。首先是空间信息框架的基础数据的生产，包括 7 个基础数据层，按标准的格网单元来生产。专题应用部门在基础数据的基础上生产专题层地理空间信息。专题地理空间信息在作为框架信息之前需经过

有关组织认证，低分辨率比例尺的空间数据可由高分辨率大比例尺的空间数据综合得到。框架也支持纸介质的地图、图表等产品的生产。数字产品包括矢量和栅格数据，在生产空间信息的同时也生产相应的 Metadata(元数据)。

(4) 信息的管理和分发

空间信息基础设施包括由中心数据库或数字资料馆、远程数据库或数字资料馆和本地数据存储组成的虚拟网络。基本框架信息可以通过中心信息库或数字资料馆得到，中心信息库的信息子集将位于分布式的远程库和本地数据存储中。这有利于简化访问，保证安全，减少远程通信要求，提供本地数据优化和数据融合。

中心信息库管理维护基础框架信息以对这些信息进行分发。每个专业组织部门有一个分布式的本地信息库或本地信息存储，并负责他自己的数据管理、维护、访问控制和备份。

对框架的访问：作为框架服务的一部分，框架信息的目录是信息生产者和用户之间的一个网关(gateway)。框架服务和目录中的 Metadata 将支持用户搜索、查找、检索或预定所需要的地理空间信息。目录包括 Metadata，它描述数据仓库中每个数据的下列类型信息：数据通用性、质量和精度、对应用的建议、数据编码模式和文件结构的描述、产生数据的过程和所用数据源的描述。所支持的信息访问有：基于区域、时间和内容的查询；基于相关应用的选择和浏览；订购；信息裁剪。用户也可请求符号库，支持用标准符号进行显示服务。

用户配置文档：空间信息基础设施的空间信息框架(包括空间信息基础设施的中心信息库、各部门的分布式专题信息库)将建立用户配置文档以支持信息更新的自动发布。这些配置文档包括基本的用户数据，如用户名、地址、可发布性约束限制、用户任务空间的需求等。

服务中心信息库建立用户配置文档帮助管理地理信息的 push 和 pull，通过对配置文档记录的查询，服务中心信息库可分析结果，以支持需求预测。

附加值数据的提交：为支持协作生产和附加值数据，框架的服务将管理由用户和生产者提供的地理信息，服务中心信息库接受被认证的生产者的附加值数据，加入到框架中作为专题数据。

框架信息的发布：对大量的信息，信息发布的可取方法是预置到区域库或本地数据库中，可通过网络或 CD-ROM 进行。为了通过网络检索和发布信息，用户需要用网络连到空间信息框架的中心库或数字资料馆、远程的区域数据库或本地数据库。为了优化网络带宽，提高容量，要采用数据压缩和其他技术。

安全性：安全对框架信息的管理和发布是一个关键问题。对专业部门也是一个重要问题。专业部门可采用防火墙技术建立部门内部的 Intranet 和供外部采用的 Extranet。

(5) 地理空间信息的应用

应用是建设地理空间信息基础设施的目的。地理空间信息的应用分为两类：公共支持应用和特定任务的应用。

公共支持的地理信息应用支持对数据的访问、操作和显示等基本功能，提供商业 GIS 软件的处理工具。

特定任务的应用取决被支持的任务和用户，例如决策支持、规划、资源管理等专用部门的活动。

地理空间信息的应用支持集成和互操作。

2. 技术体系结构

空间信息基础设施是建立在空间信息资源网络上的。空间信息资源网络的通信子网是一个建立在 Internet 上的广域网，资源子网包括中心信息库或数字资料馆、各参加专业组织的内部网(Intranet)和本地区域数据库、对外公布的外部网(Extranet)。空间信息资源网络采用分布式对象技术对空间信息框架的信息和服务进行共享和互操作。建立在分布式对象基础上的应用独立于操作系统、硬件和网络平台。分布式对象使用标准接口，例如用 CORBA 的接口定义语言(IDL)定义对象的接口。

建立空间信息框架需要多个专业组织和部门的参与，由框架的基础数据和各组织部门的专题数据组成框架的信息内容。框架信息的基础数据存储在中心数据库或数字资料馆，而专题数据存储在远程数据库和本地数据库中。对框架信息的访问和操作采用分布式对象技术，面向对象技术有更好的重用性、部件化和互操作等特性。可采用基于 CORBA 和 DCOM 的分布式对象技术。

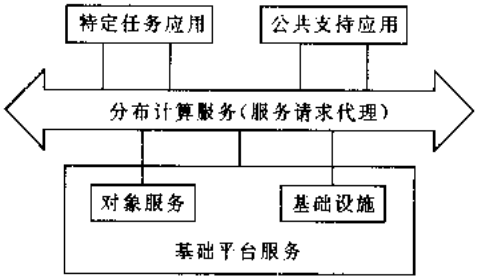


图 4.6　分布式对象计算体系结构

分布式对象计算采用目前的三层结构，这三层是客户环境、分布计算和对象服务及服务环境，如图 4.6 所示。客户环境包括公共支持应用和特定任务应用。服务环境包括对象服务、基础设施和基础平台服务。分布计算和对象服务即所谓的软件总线，如对象请求代理等。

(1) 特定任务应用服务　　为特定客户提供有针对性的服务，包括：信息发现和检索、信息观察和增强、信息开发和分析、信息集成和融合、订购登记和跟踪、信息生产、信息管理、信息存储、信息分发、信息再现和复制、用户支持。

(2) 公共应用服务　　涉及客户应用所需的常规服务，提供某一组织部门的部件为另一部门所用。这些应用基于标准的 API，包括：地理空间领域的访问服务、地理空间坐标转换服务、地理注记服务、图像操作处理服务、地理特征操作处理服务、图像开发服务、地理特征分析服务、特征综合服务、影像地图生成服务、地理空间显示服务、图像综合服务、图像几何模型服务、地理信息提取服务、地理符号管理服务、图像理解服务。

(3) 基础设施　　公共设施是由软件技术标准组织(如对象管理集团 OMG)定义的

实现软件开发的标准化和互操作所需的软件开发方法和接口标准。由 OMG 定义的公共设施有：自动化和脚本设施、公共管理设施、复合表示和文档设施、数据交换设施、图像压缩设施、信息存储和检索设施、国际化和时间操作设施、元对象设施、移动智能体设施、打印设施、输出管理设施、安全管理设施、工作流设施。

(4) 分布计算和对象服务　　分布计算有基于过程的计算 DCE(分布式计算环境)和基于对象的计算 CORBA(共同对象请求代理体系结构)或 DCOM(分布式对象构件模型)。NSII 的技术体系结构的互操作是基于对象的，分布式计算可选择 CORBA 规范，对象服务的 API 有 OMG 定义。对象服务定义如下：集合服务、同步控制服务、事件服务、外部服务、接口版本类型服务、许可证服务、生命周期服务、消息服务、命名服务、持续的对象服务、特性服务、查询服务、关系服务、安全服务、启动服务、时间服务、交易服务、事务服务。

(5) 基本系统平台服务　　基本系统平台服务包括：数据交换、数据管理、图形、网络、操作系统、安全系统服务、软件工程、系统管理、事务处理、用户接口等。

3. 数据体系结构

空间信息基础设施的数据模型提供框架数据的不同视图。在大规模空间信息系统中，数据模型实际上是一系列模型的集合，包括企业级的逻辑模型、特定主题的逻辑模型和物理模型。

空间信息基础设施数据模型的视图包括：

- 数据集元数据视图——数据引用、数据质量、空间参考、特征内容、信息发布；
- 特征专题视图　——资源，环境生态，文化等特征；
- 特征数据管理视图——定位、形状、特征、精度、控制和发布信息；
- 图像视图　——图像类型、图形说明等。

4. 系统体系结构

系统体系结构定义了空间信息基础设施的关键节点、线路和网络平台的位置、标识和物理连接。指出系统和部件的性能参数。系统体系结构的建立以满足操作体系结构的要求为目的。

系统体系结构说明一个区域内多个系统如何连接和交互操作，其主要特征有：由操作体系结构驱动；系统体系结构可映射到操作体系结构；必须确认系统接口和定义系统之间的连接；定义系统约束；显示系统的连接性。

系统体系结构没有特定的原型，这样有利于可扩展性。它是建立在国家信息基础设施之上的，由许多子系统构成的“系统的系统”，各子系统能协调工作、局部自治。这些子系统包括数据收集系统、地理信息生产系统、数字图书馆、联机用户等等，如图 4.8 所示。系统体系结构的通信网络在物理上是分开的，包括局域网、广域网、广播网和电话网等，支持用户的联机访问地理空间信息。

基于专题的信息收集也连接到通信网。用户能用单一请求访问多个信息集，各个信息集独立操作，没有中心控制，信息广泛分布以支持自治操作。

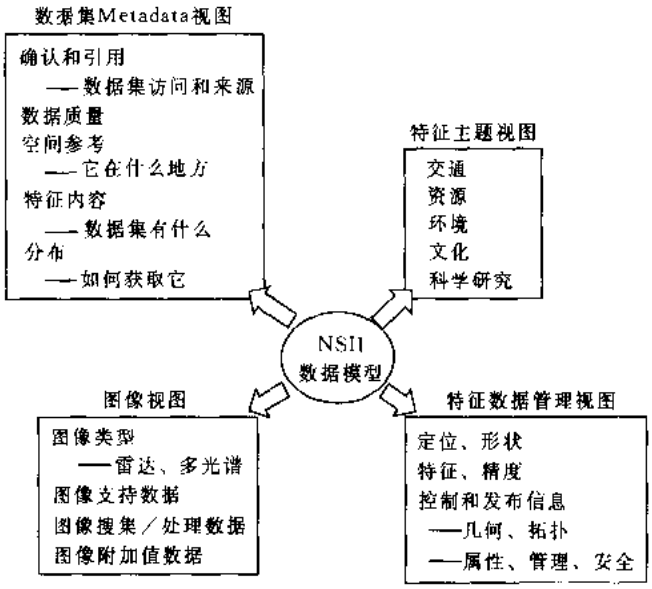


图 4.7　数据体系结构

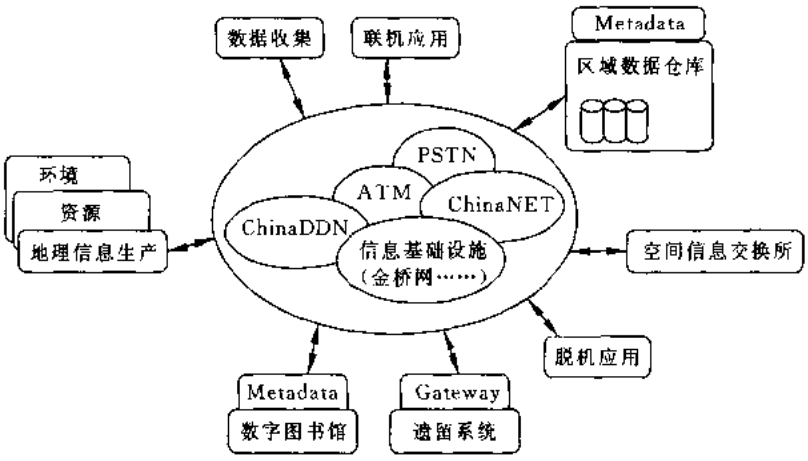


图 4.8　空间信息基础设施的系统体系结构

5. 机构体系结构

根据建设和维护空间信息基础设施的机构部门构成和职责，国家空间信息基础设施的建设要有总体规划和安排。需要国家级的空间信息基础设施领导小组，并下设多个工作组。工作小组应包括：

· 基础制图工作组——实施 NSII 空间信息框架的基础数据的生产和管理，建立和维护空间信息框架的基础数据中心信息数据库，协调各级数据生产部门（测绘、土地、区域地质调查）的数据生产，保证在空间信息框架标准和网络环境下来组织和生产数据；

· Metadata 工作组——制定 Metadata 标准及有关培训，开发 Metadata 管理软件；

- 空间信息交换网工作组——空间信息交换网节点软件的研制；
- 空间信息标准工作组——管理地理空间信息标准的制定；
- 公用设施、市政设施工作组——城市空间信息应用标准；
- 资源环境信息分析与模型工作组——地球信息科学模型研究；
- 其他工作组——包括植被(林业局)、土地、地质、海洋、国土资源、企业、商业等部门。

4.6.3 空间信息基础设施体系结构的建设

空间信息基础设施的建设和维护是一个不断演进的长期过程，目前的技术(如自动综合、Metadata、集成和互操作技术等)还相当不成熟，需要在实施过程中不断完善。在信息技术和通信技术不断进步的基础上，空间信息和处理技术也不断强化本领域内的开发和创新，将为社会和经济的发展提供决策支持，为科学研究和教育提供先进的工具。

信息技术特别是软硬件技术和网络技术的发展是突飞猛进的。空间信息基础设施也不是固定不变的，它将随主流的信息技术的进步而同步演进。空间信息基础设施的建设将不断地采纳最先进的信息技术，采用螺旋上升的工程开发模式，并不断完善。

4.7 国家空间信息基础设施规划

4.7.1 概述

目前我国已在很多部门建立和使用数字化地图图纸信息，地理信息系统已广泛用于政府和企事业部门，但这些应用通常是针对本部门专业的特殊应用，没有考虑跨部门专业的信息共享性，没有相应的技术措施来达到共享和集成。这阻碍了跨部门专业的数字地理空间信息的应用，降低了决策水平。另一方面，对同一地理区域共同关心和使用的基础数据的采集缺乏协调和标准，各部门独立进行，造成重复建设和浪费，使相互间的数据集成困难。大部分地区目前还没有建立数字化信息产品，使区域建设和规划缺乏应有的数字产品，阻碍了对信息技术的应用。因此，有必要建立 NSII，使政府、省、地区及企事业能共享地理空间信息以加强资源合理开发和管理、环境保护、区域规划、基础设施建设，促进经济增长和社会可持续发展[10]。

美国政府 1994 年颁布了行政令，协调地理数据的获取和利用，实施国家空间数据基础设施(NSDI)。地理空间数据是指确认地球上自然和人工要素以及境界线的地理位置和特征的信息。这些信息可以从制图、遥感、测量技术获得，统计数据也包括在内。NSDI 的空间数据交换所是通过计算机网络连接的地理空间数据生产者、管理者和用户的分布式网络。NSDI 由 Metadata、标准、空间数据交换所、框架数据和机构组织等构成。

我国早在 1984 年由国家科委新技术局和资源与环境信息系统国家规范研究组编写的《资源与环境信息系统国家规范研究报告》[11]中，就明确提出了建立国家基础性、综合性的地理信息基础系统。提出了系统的信息共享、区域综合及动态预测的功能，并指出美国等发达国家建立土地信息系统和地理信息系统时，由于缺乏规范和标准化的考虑，建立

起来的各个系统之间难以交换信息，不能共享，不得不重新进行统一。根据这些经验和教训，提出了建设中国资源与环境信息系统必须要制定规范和标准、强调信息的可靠性、收集用户需求、及时进行信息更新以及共同建设等问题。此规范对中国的地理信息系统和标准有一定的推动作用。当时的计算机技术、通信技术、网络技术的发展水平以及信息化的程度等还不能保证大规模地开展这项工作。随着计算机和通信技术的日新月异的发展，信息化的普及和认识的提高，以及对地理空间信息应用的增加，特别是对资源环境和可持续发展的重视，建设中国空间信息基础设施不仅是必要的，技术上也是可行的。

4.7.2 遥感和地理信息系统在我国的应用

我国对遥感图像信息的应用已相当广泛，已获取了大部分地区的大比例尺的航空摄影照片，并发射了回收式国土资源卫星，收集了丰富的卫星图像。我国卫星遥感地面站定期接收美国陆地卫星(Landsat)图像，该图像基本覆盖我国国土。我国自行研制和发射了风云一号气象卫星，分辨率为1公里。这些为我国的自然资源合理开发和生态环境规划提供了大量的原始数据。遥感已在中国的农业估产、水灾调查、矿产勘察、土地利用调查、环境以及城乡规划中得到广泛应用。

我国从20世纪80年代初开始对地理信息系统进行研究和应用，在国家各部门和行业开展了大量的系统建设和应用项目，制定了相应的标准规范。目前，我国建立的国家级的地理信息系统有：

• “国家基础地理信息系统”，目前已建成全国1∶100万地形数据库，包括1∶100万地名数据库和数字高程模型；1∶400万地形数据库和试验区重力数据库。开发了应用管理系统，已为30多个部委、国际部门及有关部门提供信息服务，目前正在建设1∶25万地形数据库和地名数据库。

• “国务院综合国情地理信息系统”，目前已建成以1∶100万基础信息为支撑的电子地图检索和显示系统，并建成了防风气象服务信息系统。协助各省(沿海区)政府办公厅和省测绘局开发了一批专题型电子地图系统，促进了综合省情地理信息系统的发展。

我国也开发了大量的部门级地理信息应用系统[12,13]。截止到1997年，在土地部门中不同程度地建立了计算机辅助土地管理系统的县市达100多个，水利部门开展了防洪信息系统、水资源、水环境、水土保持、农田水利、水利工程规划和管理等信息系统，以及各种防洪减灾数据库。交通部门采用由下向上的建设模式，在陕西和四川试点，开发省级(二级)和地区级(三级)公路数据库，并正在积极准备启动国家级(一级)公路数据库项目。

在城市地理信息系统应用中，上海、深圳、海口、北京、广州、太原、西安、开封、长沙、宁波、镇江、重庆、南京等城市相继开发了以GIS为技术平台的“城市规划管理信息系统”。

农业部门在重点产粮区开展了以GIS和遥感相结合的农作物估产系统的建设和应用；原地矿部门开展了1∶20万区域地质信息数据库的技术试验和设计工作，这是一项国家级大型GIS工程，制定了地学数字地理底图数据交换格式——“标准和数字化地质图图层及数据文件格式”标准，开展了计算机辅助制图、矿产资源评价、地质调查、水文环境等领域的地理信息系统应用。

国家统计部门和国家测绘部门正联手研建“人口普查地理信息系统”；国家计委开展

了国土资源环境和地区经济信息系统的研究和建设，确定将国土资源数据库列为国家给予支持的重点数据库群。

在地理信息技术方面，测绘部门开展了数字测绘技术和数字制图系统的研究和建设，建立从数据采集、处理、建库到产品生产、分发和应用的全过程数字测绘技术体系。

在地理信息系统软件开发方面，我国相继开发了自主版权的桌面 GIS 软件，Citystar、Geostar、MapCAD、MapGIS 等一系列软件。

在地理空间信息标准方面，国家技术监督局批准发布实施的标准包括：国家测绘局负责研制的“地理格网”和“国土基础信息数据分类与代码”；林业部研制的“林业资源数据分类与代码”；测绘局和水利部等单位研制的“全国河流名称代码”；测绘局、建设部、中国科学院等研制的“城市地理信息系统标准化指南”。国家测绘局已在“建立数字化测绘技术体系研究”中安排了 10 多个标准的研究和制定，其内容涉及数据质量控制与评定，野外数字测图、数字摄影测量和数字地籍测量数据记录格式，测绘信息数据交换格式，数据更新规程，各级比例尺数字地形图图式符号、测绘数据字典，地形库与地名库技术接口，数字产品模式，数字产品分级与保密，数字测绘标准体系表，地名专用补充字库等。同时完成了“1∶500、1∶1000、1∶2000 地形图要素分类与代码”国家标准的制定。

在教育与培训方面，一些大学和研究单位纷纷招收与 GIS 技术有关的硕士研究生、博士研究生，并举办不同规模、不同程度的 GIS 培训班。这些措施扩大了 GIS 技术队伍，在一定程度上缓解了技术人才匮乏的局面。

虽然地理空间信息已得到广泛的重视和应用，但地理空间信息具有区域性、综合性和共享性的特点，由于缺乏协调和管理，目前作为各部门共同使用的基础信息严重缺乏，部门重复建设问题比较严重。现有的全国性基础地理信息产品比例尺过小，内容不足，商品化程度低，不能满足许多专业领域的应用要求。这导致了各领域大量的重复劳动和资金浪费，信息化标准程度低，为信息共享和网络下的协作造成了巨大障碍。

我国在遥感和地理信息系统的应用上也存在许多问题。各部门内部缺乏本专业的标准，地理信息系统应用尚处于起步阶段，大多数专业应用系统停留在实验阶段，实际投入应用的不多。基础性 GIS 应用系统的设计和建设仅局限于部门和地区，缺乏对公用信息基础的考虑，难以满足国民经济信息化的要求，由于缺乏对地理信息产品的质量及有关特性的描述，共享程度低。

地理信息产业基础设施相当落后，地理信息产业市场还不成熟，数据获取规模小、缺乏市场机制，缺乏地理信息交换网络和地理信息的组织管理机构。

资金投入的不足，缺乏革新的机构管理以及缺乏一致的技术方法，这些限制了组织开发和维护重要的基础数据。在有些地区没有数据，尚需要投资以收集基本的框架数据。

4.7.3 机遇和挑战

目前“国家信息化”和“国民经济信息化”建设正得到社会各界的重视，金桥工程的建设以及国家经济信息网络的建设为我国实施空间信息基础设施提供了基础。

国际上，全球空间数据基础设施的研究为我们提供了合作的机会，美国实施的国家信息基础设施和国家地理空间数据基础设施及美国国防部的地理空间信息基础设施为我们

提供了技术上的参考。国际标准化组织 ISO 的 TC211 地理信息/地球信息委员会以及 OpenGIS 协会为我们提供了技术上的标准。

目前，世界各国的政府和商业数据库中，80%的信息与地理空间位置有关。地理空间信息为其他信息提供了参考基础，为各部门组织和决策提供服务，这些为地理空间信息提供了广阔的商业应用前景。在"九五"规划中，许多部门和行业制定了若干与地理信息应用有关的工程项目。我国"21 世纪议程"中的第一步优选项目中有三分之二的项目与地理信息应用有关。

资源、环境、人口、经济和社会可持续发展是一个持续不断的问题，空间信息基础设施的建设为解决这些问题提供了一个坚实的基础。

国际上有几个相关的组织正在促进与地理空间信息的标准化共享和互操作有关的技术标准的研究。数字地球战略计划必将影响和促进空间信息技术的进步。

4.7.4 指导方针和原则

我国空间信息基础设施的建设要贯彻我国信息化建设的"统筹规划、国家主导、统一标准、联合建设、互联互通、资源共享"的指导方针。空间信息是国民经济建设的基础信息，关系到资源、环境、社会、经济和可持续发展等多个方面。空间信息具有广泛的共享性，不同部门和行业要共享一些基础的空间信息，国家政府及部门决策要利用相关部门和行业的地理空间信息，因此建设我国空间信息基础设施必须执行上述指导方针。

我国空间信息基础设施的建设应坚持的原则是：

(1) 加强国家政府对开发空间信息基础设施的领导，制定相应的法规规章，组织协调国家的和跨部门、跨地区的重大工程项目的建设，成立相应的机构以及协调现有机构的合作关系，明确责职，制定管理规则；

(2) 各级政府部门扶持、开发空间信息的应用。空间信息的应用绝大多数关系到公益性事业，如环保、交通、市政、区域规划等等。政府部门应给予足够的重视，促使相关部门采用信息化空间数据，以提高管理和决策水平；

(3) 打破部门封锁，采用开放标准。充分利用网络技术及最新的信息技术；

(4) 在国家空间信息基础设施的建设中，采取公平竞争的环境、制定激励措施；

(5) 跟踪最新技术，强化创新，提倡和鼓励开发具有自主知识产权的关键技术产品；

(6) 鼓励军方和民用部门合作参与 NSII 的建设；

(7) 传播 NSII 的知识和社会效益；

(8) 与国际接轨；

(9) 具有中国特色；

(10) 实用性与可操作性。

4.7.5 中国空间信息基础设施的构成

我国 NSII 的初步体系结构包括：空间信息收集、管理、协调和分发的体系和机构；空间数据收集系统；地理空间数据集 Metadata 与空间信息交换网络；基础空间框架数据；地理空间数据标准以及空间信息框架。

1. 空间信息收集、管理、协调和应用的体系和机构

建立国家的地理空间信息基础设施管理机构，制定国家空间信息基础设施的规划、政策、标准和法规，建立国家各级别层次的机构体系，协调各个部门的协作和权益，在国家信息中心和测绘局以及各省市信息中心或信息港的基础上，建立专门的机构负责空间数据的管理和分发。由于空间数据资源获取、处理和管理的特殊性，还需要建立专门的机构进行空间数据的维护、更新和开发，促进空间基础数据（测绘部门、土地部门等）与空间专题数据（资源开发、环境部门、农业、科研和教育等）的沟通和协调。组织空间信息的重大研究和建设项目，监督项目进展，进行项目的管理。协调解决地理信息开发和应用中的综合性问题。

设立技术管理机构和项目管理机构，技术管理机构包括基础框架数据、元数据与空间信息交换网络、专题数据、空间信息应用等，项目管理机构包括项目投资、项目监督、项目评审等。

2. 空间数据收集系统

空间数据收集系统是指有一系列遥感卫星或小卫星组成的遥感卫星体系，包括从陆地卫星、气象卫星到海洋卫星，以及全球定位系统（GPS）卫星。这些卫星系列可以满足对高分辨率的地理空间数据的获取和实时更新。

3. 地理空间数据集 Metadata 与空间数据交换网络

（1）地理空间数据集 Metadata

Metadata 或“数据的数据”，它描述地理空间数据的内容、质量、条件和其他特征。为数据目录或空间数据交换网络提供信息。提供对收集的数据和生产的信息的发布，帮助用户发现所需的空间数据和信息以及更进一步的知识挖掘。

空间数据集 Metadata 内容标准的目标是：提供地理空间数据文档的术语和定义的共同集合。建立 Metadata 的数据元素和复合元素的名字、定义和取值范围。

建立国家空间数据集 Metadata 标准，各专业部门对新建立的和已有的空间数据根据国家 Metadata 标准建立 Metadata 文档，并使 Metadata 文档或 Metadata 库在空间数据文档网络上能被访问。

Metadata 标准定义数据元素和复合数据元素的名字和值。Metadata 标准并不规定在计算机系统中组织这些信息的办法，也不指定这些信息的传输、通信和呈现给用户的方法。Metadata 在计算机系统中的组织方法由各用户根据自己的系统而定，这是因为不同用户可能采用完全不同的软硬件和网络系统，并对地理信息有不同的观点和应用目的。Metadata 的传输、通信和访问通过空间信息交换网络进行。空间信息交换网络是分布式异构网络，通过空间信息交换网络服务节点和客户端软件来访问异构系统的按不同方法组织的 Metadata。

对大多数使用空间数据的人对 Metadata 是熟悉的。地图图例就是一个 Metadata 实例，包括地图出版者、出版日期、地图类型、地图描述、空间参考、地图比例尺及地图精度

等。Metadata 是描述数字地理空间文件的信息，它们是共同的术语和定义的集合，以用于编制地理空间数据文档。

Metadata 帮助那些使用地理空间数据的人们寻找他们所需的数据，Metadata 使数据生产者受益。当组织和人事变动时，没有归档的数据将丢失其价值，后来工作者将很少理解它的内容和应用，并可能不相信这些数据产生的结果。缺少其他组织部门的数据也导致重复的工作。

为了使 Metadata 在空间信息交换网上可访问，必须将 Metadata 登记到空间信息交换网的节点服务器上。Metadata 登记系统目前采用基于 Web 的 Metadata 入口和服务系统。在空间数据交换网络的节点上开发这个系统，可以参考 Z39.50 协议，用基于 HTML 的表格和 Perl 脚本(或 Java)语言，通过广域网来收集 Metadata。通过 Web 客户和 Z39.50 空间信息交换网络网关，以 SGML、HTML 或 Text 格式来登记 Metadata。

目前我国已有许多部门在研究和建立行业内的地理空间 Metadata 标准。国家基础地理信息中心开展了中国可持续发展信息共享 Metadata 标准的实施；中国科学院中国生态系统研究网络中心开展了中国生态系统研究网络 Metadata 实例的研究；国家信息中心开展了国土资源环境和地区经济系统的空间 Metadata 管理系统的技术框架研究；北京大学开展了基于国家空间信息基础设施的 Metadata 标准内容体系的研究。

中国是 ISO/TC 211 的成员国，建立国家地理空间 Metadata 标准除与国际标准接轨外，还要具有中国特色。目前缺乏统一的管理机构和强有力的实施机构。已经开展的 Metadata 标准还不成熟。各部门还没有对 Metadata 给以足够的重视，没有成熟的 Metadata 管理软件。因此要加强这些方面的研究和开发。

(2) 建立中国空间数据交换网络

数字地理空间数据和 Metadata 以各种形式存储在不同的系统中，目前的 Web 索引技术对以 HTML 方式存储的 Metadata 提供正文搜索和匹配，但不能提供对数字数据如日期、坐标等数值的搜索。但越来越多的信息是存储在数据库中。

空间数据交换网络是提供发现空间数据的标准方法(按坐标范围、专题内容或其他属性)。通过对 Metadata 的查询而获得所需的空间数据。

空间数据交换网络由客户端、通信网和服务器节点组成，是由 Internet 上服务器组成的，连接地理空间数据生产者、管理者和用户的非集中的分布式网络。服务器中包括按标准生产的地理空间 Metadata，Metadata 是对数字地理空间数据的字段级的描述。客户端采用 Web 技术对服务器端的 Metadata 进行查询、搜索，并将结果表示在浏览器上。

空间数据交换网的基本目标是提供通过 Metadata 条目来访问数字空间数据，提供详细的目录服务，支持到空间数据的链接。空间数据交换网服务器节点在其 Metadata 条目内提供超文本链接，允许客户端下载空间数据或填写定购表单。

在空间数据交换网中，国家机构(相当于美国的 FGDC)的职责是：组织开发原型软件，提供可作参考的实施方案，协调参与建立服务器节点的部门组织的讨论，开发出版培训材料，执行空间数据交换网服务器节点的登记服务，其目的并不是建立一个集中式的数据系统或索引，而是促进对各种空间数据和 Metadata 的分布式搜索。

建立一个空间信息交换网络节点的过程是：首先收集数据生产者的 Metadata，数据

生产者用各种 Metadata 编辑器生成的 Metadata 条目经 Metadata 语法分析器进入到服务器节点，服务器节点上配备服务器软件，如遵循 Z39.50 协议的 Isite 软件。然后将该服务器节点登记到国家中心信息库的登记服务器中(包括服务器节点主机名、端口号和索引根名)。空间信息交换网络登记服务器将各节点服务器的有关信息传送给客户端网关。客户端在查询 Metadata 时，通过指定经纬度或其他属性构成查询，这个查询通过网关然后再传给空间数据交换网络上各节点进行查询分析，并将结果返回给客户。

国家各部门和专业组织按照标准建立自己的空间数据服务节点，按 Metadata 标准建立本部门专题空间数据的 Metadata，使其他部门组织通过 Metadata 来查询和访问或订购这些空间数据。对空间数据服务器节点和客户端浏览器之间的中间层软件的开发，可以参考基于 Z39.50 协议的中间件(如 Isite 和 FreWAIS)或参考轻量级目录访问协议(LDAP 协议)来开发新的软件。

Z39.50 搜索和检索协议可标准化查询句法，以及 Metadata 返回的格式，Z39.50 协议包括客户端和服务器端的软件，它建立一个连接，传送一个格式化查询，返回查询结果。Z39.50 协议是由图书馆界开发的，开始用于查询文献目录记录，允许用户访问具有相同结构信息的不同服务器。Z39.50 服务器软件同主机上的数据库或索引软件通信来处理查询。

用 Z39.50 协议的 Isite 软件建立一个服务器节点的方法是：首先，用 Metadata 编辑器收集 Metadata，用 Metadata 语法分析器对将要登记的 Metadata 进行检查和重格式化，以保证 Metadata 在空间数据交换网络中是可查询的；建立服务器节点，用基于 Z39.50协议的软件 Isite 配置服务器站点，并在它的目录下包括 Metadata 索引，将主机名、端口号和被访问的索引根目录名以表格形式登记到空间信息交换网的登记服务器中。

客户端查询浏览空间 Metadata 的方法是：Web 客户从网关主机下载一个表单，填写查询字段内容，指定地理经纬度或其他属性，把这些值作为变量传给网关，网关脚本程序对这些值重新组合，然后传送给多个服务器节点。服务器脚本程序将查询结果重新格式化为 HTML 格式返回给浏览器方。

初步的空间数据交换网是实现目录级的交互操作。

空间数据交换网络是连接数据生产者和用户的最简单的空间信息资源网络，是空间信息资源网络的雏型，实现 Metadata 的目录级的互操作。下一步是实现地理信息和处理功能的共享和互操作。

中国国家信息基础设施 CNII 正在建立金桥网“信息中速国道”(传输速率为 144kbps~2Mbps)，将以光纤、卫星、微波、程控、无线移动等多种方式，形成天地一体的网络结构。与邮电系统的中国公用分组交换数据网(CHINAPAC)、中国公用数字数据网(CHINADDN)和公用电话网(PSTN)互联互通、互为备用。并与金融网以及其他信息数据专用网互联互通、互为支持。金桥基干网是网中之网，其用户是专用业务网络系统。我国的信息网络还有中国互联网(ChinaNet)，用户通过电话线接入可以进入 Internet。还有中国教育和科研网(CERNET)等。

空间数据交换网络将以这些网络为基础，通过空间数据交换协议，把地理空间数据拥有部门和用户连接起来。空间数据交换网络由客户端、通信网和服务器节点组成的，是由

广域网上服务器组成的，连接地理空间数据生产者、管理者和用户的非集中的分布式网络。服务器中包括按标准生产的地理空间数据及其 Metadata。客户端采用 Web 技术对服务器端的 Metadata 进行查询、搜索，并将结果表示在浏览器上。

近期内，可将国家基础地理信息系统 1∶100 万地形数据及其 Metadata，国家土地局 1∶50 万土地利用，以及各部委的专业地理信息系统通过空间数据交换网络连接起来，通过 Metadata 查询空间数据集。

4. 建立中国的基础空间信息框架

目前我国已建成了 1∶100 万基础地形数据库，包括 16 个层(coverage)：面状水系、点/线状水系、点状居民地、面状居民地、铁路、公路、其他道路、境界、等高线、高程点、等深线和水深点、面状植被、点状植被、其他点状要素、其他线状要素、经纬线网等。利用 ARC/INFO 的库管理软件 LIBRARIAN，将全国范围的数据经过一体化处理后，建成统一的数据库。该库将全国分为 64 个子区，子区的范围设计成经差 6°，纬差 4°的规则格网(即 1∶100 万地形图分幅范围)，选用 1∶100 万地形图，采用人工数字化和扫描数字化相结合的方法采集数据。目前正在建立 1∶25 万地形数据库。

中国的基础空间信息框架包括基础的地理空间数据：大地测量控制、正射影像、地形高程、交通、水文、境界和地籍。对基础的空间数据要实现共建共享，以减少重复建设和浪费。框架提供一个基础，用户数据可以在其上覆盖或者添加。框架数据提供有共同格式的基础地理数据，因此各部门可以致力于他们自己的应用和活动。

开发空间信息框架的功能，保证社会各部门对地理信息的需要，包括空间信息的网上分布和订购、空间信息的集成和分析、空间信息的访问和更新。

开发空间信息框架的技术包括空间数据模型、永久特征标识码、多分辨率和自动综合、空间信息集成等。

空间信息框架是国家空间信息基础设施的目标，其建设和维护是一个连续不断的过程。在其演进的过程中，不断有新的技术出现。这些新技术可能对空间信息框架的体系结构产生重要影响。因此，对空间信息框架的建设是阶段性的。我国应利用当前的技术，解决急需的问题，以满足社会对空间信息的需要。

第一阶段：对各部门已有的数字地理空间数据按 Metadata 标准建立 Metadata 文档，开发空间信息交换网络的服务器和客户端的软件，解决 Metadata 的收集和对 Metadata 的查询检索。使各应用部门通过对 Metadata 的检索来了解和获取已存在的空间数据，建立空间数据转换标准，使不同的应用部门采用不同系统建立的空间数据能相互转换。检查可能成为框架内容的数据，确立区域空间数据的生产部门(如测绘队、区调队、土地局等)以及培训人员。

第二阶段：开发空间信息框架的相关技术，研究和开发框架信息中各专题数据的标准和规范、专题数据的水平集成和垂直集成、数据更新策略、数据综合，建立空间信息框架的机构和合作关系，维持长期的组织机构和合作关系以维持空间信息框架。

为实施此阶段的空间信息服务，所需的开发及研究活动包括：研究和开发技术原型、开发框架标准、研究区域上的和专题上的数据集成，以支持区域规划管理、生态研究以及

人口、耕地、能源、环境等的信息的集成，支持区域可持续发展，建立教育和培训实施。

5. 建立中国的空间数据标准

在地理空间信息标准方面，国家技术监督局批准发布实施的标准有：国家测绘局负责研制的“地理格网”、“国土基础信息数据分类与代码”；林业部研制的“林业资源数据分类与代码”，测绘局和水利部等单位研制的“全国河流名称代码”；测绘局、建设部、中国科学院等研制的“城市地理信息系统标准化指南”。国家测绘局已在“建立数字化测绘技术体系研究”中安排了10多个标准的研究和制定，内容涉及数据质量控制与评定，野外数字测图、数字摄影测量和数字地籍测量数据记录格式，测绘信息数据交换格式，数据更新规程，各级比例尺数字地形图图式符号，测绘数据字典，地形库与地名库技术接口，数字产品模式，数字产品分级与保密，数字测绘标准体系表，地名专用补充字库等。同时完成了“1∶500、1∶1000、1∶2000地形图要素分类与代码”国家标准的制定。

建立中国的空间数据标准，要明确目标，建立标准的程序、标准的范围以及同其他标准的关系。空间数据标准必须满足空间信息基础设施要求，实现信息共享和互操作；标准要规范化，不依赖于具体的技术，对技术的发展和出现的新技术没有限制；空间数据标准能同其他标准集成，指导空间信息框架的建设；标准也是不断的演进的，因为技术和机构是不断变化的；标准在政策上是可行的，应该得到各部门的支持。

空间数据标准包括数据和信息处理标准，主要有：国家空间信息框架水平坐标系和垂直坐标系标准、椭球和地图投影标准、地理空间定位精度标准、数字高程数据内容标准等。

专题空间数据标准包括：地籍数据内容标准、数字地理空间元数据标准、地址内容标准、行政单元边界数据标准、数字地质制图标准、土壤地理数据标准、植被分类标准、公共设施数据标准等。

4.7.6 建立中国空间信息基础设施的关键问题

建立中国空间信息基础设施的关键问题是组织与管理，政府要建立相应的机构，制定必要的政策，促进各个部门相互协调；特别是基础数据，其价格必须合理，如果基础数据的价格高于生产这些基础数据的费用，各部门可能自己组织生产，这样就会造成数据的重复收集和浪费；开发建立空间信息基础设施的指南，进行教育和培训；建立国家空间信息交换网络；建立和完善国家基础地理信息系统和国家资源环境和区域经济信息系统，以及相关部委的数据库；推广和应用空间数据基础设施。

4.8 美国国家空间数据基础设施数据框架概述

美国国家空间数据基础设施(NSDI)的框架是指基础地理空间数据集，框架的实施包括这些基础框架数据集的收集、管理、分发以及相关的技术。下面介绍美国NSDI的框架计划[14]。

4.8.1 概述

美国NSDI组合整个国家的地理数据，为各种用户提供服务。NSDI提供一个环境，以促进使用、管理和生产基础地理数据。NSDI框架是NSDI的数据骨架，它主要包括数据、技术、过程、操作和商业活动等内容。

框架是协作努力的结果，用以建立可广泛使用的基础地理数据资源。提供地理数据用户所需的最通用的数据专题，并提供支持开发和应用这些数据的环境。框架主要包括：

(1) 7个最通用的数字地理数据专题；

(2) 提供集成、共享和使用这些数据的过程、技术和指南；

(3) 鼓励维护和使用这些数据的机构关系和商业活动。

框架数据表示"可信赖的数据"，即一个地区的认可的、标准的、按照共同的标准描述的数据，它提供了一个基础。在此基础上，各个部门可添加它们自己的细节，并可编辑其他数据集。

框架的实施平衡了所需数据的开发费用。成百上千的部门每年花费数十亿美元用于生产和使用地理数据。然而，他们仍然没有解决如何获取关键问题所需的信息的问题。这个问题有几个方面的原因：

(1) 大多数部门需要比它们能负担得起的更多的数据。大量的经费用在基础数据的收集上，很少一部分用于应用和开发，一些部门负担不起收集基础数据的任务。

(2) 各部门通常需要法定或操作区域以外的数据。它们自己不能收集这些数据，但其他部门可以。

(3) 不同部门收集的数据通常不兼容。数据或许覆盖同一区域但用不同的地理基础和标准。另外，需要跨法定区域的信息通常得不到。

许多资源部门在GIS数据获取上重复了其他部门的数据收集工作。一个地理区域的同一个地理数据专题一次又一次的重复收集，花费巨大，所以不能再继续这种操作方式了。

框架计划通过平衡单个的地理数据收集工作，使数据可以共享，可极大地改善上述状况。框架以通用的格式和访问环境提供基础地理数据，任何部门可以使用框架数据，也可以为框架提供数据。在这个环境里，用户可以执行跨法定区域和跨部门的分析和操作，部门可把资金用于专业应用中，而不是用于重复的数据生产中。

框架可在很多情况下帮助用户解决具体问题。如一个交通规划工程可以使用它所跨地区的基础数据；地区、州和联邦政府部门通过融合数据，可以对自然灾害作出快速的反应；一个县可以用它边界以外的流域数据来规划它的水资源；州政府和地方政府合作可以更好地跟踪公共土地的使用权。

框架提供数据、技术和过程。各个学科的地理数据用户经常需要一些基础的和专题的数据，这些基础数据包括：大地测量控制、正射影像、高程、交通、水文、行政单元、地籍等数据。许多组织每天都生产和使用这些数据，框架为这些基础数据专题提供基础信息。其作用为：

(1) 提供可在实际应用中使用的基础数据；

(2) 提供一个基础，用户可以在其上附加地理细节和属性；

(3) 为精确登记和编辑参与者自己的数据集而提供参考资源；

(4) 为显示其他数据分析的结果和位置而提供参考地图。

框架是不断增长的数据资源，地理数据生产者不断地为其提供地理数据。它将不断演化和提高。

框架机构关系和商业活动保证所有地区的框架数据的建立、维护、分发和广泛的使用。框架集成来自所有类型组织的数据，促进参与者的数据建立和维护，提供对数据的不受限制的访问。框架环境的设计要反映地理数据界的需要。

地方政府建立和使用覆盖小区域的大量详细的信息，这些小区域在地方政府的法定边界内。小区域框架中的7个数据专题的数据类型作为地方政府应用的基础。当地方政府各部门建立GIS时，也要频繁地集成这些数据专题，另外也需要综合数据。当解决较大区域问题时，应用部门要用更大区域的较小比例的数据。

州政府部门使用次一级详细程度的覆盖较大区域的专题数据。但对于有些工程，州政府部门需要特定地区的高分辨率的数据，例如州拥有的土地和设施。州政府部门需要框架提供的数据，但并不是所有的应用都需要全部的框架数据。

联邦政府部门使用低分辨率的数据，使用和生产更低细节的、覆盖更大区域的数据。但联邦政府部门通常也生产和使用高分辨率的数据，特别是在管理联邦政府拥有的土地和设施时，以及特殊的工程中。

在私人部门，有各种各样的参与者：

(1) 详细数据的用户和生产者，例如设施管理的应用；

(2) 小规模、有限专题的用户，例如街道网络、统计区的应用；

(3) 建立详细数据，提供一个产品或服务的数据生产者；

(4) 为大区域建立低分辨率、小比例、有限专题的数据生产者；

(5) 提供软件、硬件和相关系统的产品提供者；

(6) 提供系统开发、数据库开发、操作支持和咨询服务的服务提供者。

非盈利机构和教育机构也建立和使用各种地理数据，并提供GIS相关的服务。他们覆盖了数据内容、分辨率和地理区域的所有范围。依赖于政府的活动，数据的应用范围从覆盖小区域的高分辨率的数据(例如设施管理)到覆盖大区域的低分辨率的数据(例如区域或国家的环境研究)。

框架通过共同的努力来建设。通过协调部门的数据开发活动来建立框架，框架数据协调沿两个方向操作。第一个方向是强调有相似需求部门的合作，例如在一个都市区域内，拥有设施的地方政府、州和联邦部门、市政以及其他需要城市设施数据的部门。在这种情况下，框架提供所需的共同的城市设施基础信息，允许每个部门添加所需的特殊信息以满足它的应用需要。

第二个方向是强调对一个地区有不同详细程度数据需要的部门的合作。例如，一个地方政府，一个区域交通规划部门，一个州交通局都需要一个地区的道路数据，但所需的详细程度是越来越粗。为了共同工作，他们需要共享他们各自成果，使用一个共同的地理基础，并从这个基础产生的数据中受益。框架为这个基础和从这个基础中产生数据提供了…

个起点。为部门的决策支持提供现时的和一致的数据。帮助他们避免由于在不同的生产商、不同的公共属性以及不同的基础数据的其他特征而产生的混淆。

框架由所有这些部门来开发，对有些部门，框架为他们的应用提供数据。另外一些部门为框架提供数据。有些部门为维护和分发数据提供服务。一些部门在框架的开发、操作和使用中同时扮演几个角色。框架将需要较长时间才能开发成功，有用的部分将持续地开发下去。

框架的收益包括平衡了基础地理数据收集所带来的利益，包括为每个参与者提供减少重复收集数据的花费，以及提高操作和决策的制定的效率。

4.8.2 构成

框架的构成包括数据、技术、操作和商业背景。

框架的目的是提供给每个组织对数据的操作，减少花费，通过提供基本的地理数据使分析和决策制定容易。框架包括共同生产的、共同使用的和共同需要的符合标准的数据，并且可随时可得到。

框架必须是广泛使用的，用户必须可容易地把他自己的数据和框架数据集成，并对框架数据提供反馈和纠正。访问框架数据必须是可能最低的花费，在应用和分发上没有限制。框架是公共资源，使重复的工作减到最小。共享框架数据的开发和维护减少单个用户数据生产的花费。

框架必须是基于协作的，通过参加者的共同努力，在设计和开发上共同工作，并为框架贡献数据。

框架由4个主要方面构成：信息内容、技术背景、操作背景和商业事务背景。信息内容是指框架的数据组成，包括7个共同的地理专题；技术背景包括建立和操作框架所需的技术因素；操作背景描述框架的操作环境；商业事务背景解决保证框架数据可用的一些必要条件和相关政策。

1. 信息内容

框架包括大多数组织所使用的基础地理数据专题，它们是大地测量控制、正射影像、高程、交通、水文、行政单元和地籍信息。这些专题数据也是经常生产的。因为这些数据在大多地区已经生产或将要生产，许多开发GIS的组织正在建立潜在的框架数据作为它们GIS的一部分。

许多部门把框架数据作为基础数据，他们并不拥有任务所需的所有数据。实际上这并不意味着框架将满足用户在属性和图形两个方面的特殊数据的要求。框架提供一个基础，用户数据可以在其上覆盖或者添加。框架数据提供有共同格式的基础地理数据，因此部门可以致力于他们自己的应用和活动。

建立和使用框架类似于建立多用途GIS系统。单个部门用共同数据作为基础来建立他们自己的数据，然后执行他们的应用。因此用户数据有两个部分：核心数据和特殊应用数据。

每个部门使用和共享的核心数据，以一个共同的标准维护，在框架模型中，框架数据

形成这个核心数据。

特殊应用数据由一些参加者建立和使用。因为不是所有的部门都对特殊应用数据感兴趣，这些数据不需要广泛的共享，也不需要共同的标准，所以数据生产者可以根据自己的需要生产。

对于共同数据，各种研究[74]表明大多数用户所需的基础框架数据有7种：

(1) 大地测量控制

大地测量控制为所有地理数据提供共同的坐标参考系统。它提供把所有地理特征联系到共同的、广泛使用的水平和垂直坐标系统的方法。大地测量控制信息的主要特征是大地测量控制站。这些永久点(有时是GPS控制站)有精确测量的水平和垂直位置，作为确定其他点的位置的基础。框架的大地测量控制包括大地测量控制站和相关的信息：名字、特征标识码、经纬度、绝对高度和椭球高度以及每个站的Metadata。每个大地测量控制点的Metadata包括描述数据、定位精度、条件以及与控制点相关的其他特征。

大地测量控制信息在开发所有的框架数据和用户应用数据中扮演重要的角色，因为它提供了登记所有其他空间数据的空间参考源。另外，大地测量控制信息可用于规划测绘、评估数据质量、规划数据收集和转换、使新的数据区域适合已存在的覆盖层。

(2) 正射影像

正射影像提供经过位置纠正的地球图像。一幅正射影像是地球参考图像，是由航空摄影或其他遥感数据经过传感器取向纠正和地形影响的消除后形成的图像。正射影像同地图有同样的特性，有一致的比例，数字正射影像由地球参考的像元阵列构成，有离散数据值的地面反射率编码。许多地理特征，包括框架中的有些部分，可以从正射影像中解译或编辑出来。正射影像也可以作为背景，使应用的结果表现在陆地景观上。框架包括各种分辨率的图像，精确定位的、高分辨率的数据(每个像元1米或更高)对框架特征的编辑是很有用的，特别是支持那些局部的数据需求。在有些区域，低分辨率的图像对支持框架和应用是足够的。正射影像为各种应用提供有用的工具。因为许多特征可以在正射影像上反映出来。

(3) 数字高程

高程数据提供地形的信息。高程是指空间参考的一个数字表面之上或之下的垂直位置。框架包括陆地表面的高程和水面下的深度。

对于陆地表面，框架包括高程矩阵，高程值以每2弧秒或更小尺度收集(在纬度40度大约为47.4米)。对于深度，框架包括声纳和栅格海底模型。水深由一个相关的垂直参考表面确定，通常由潮汐观测得到。将来，这个垂直参考可基于地球体或椭球体。它是GPS中表示高程测量的参考。

高程用于许多不同的应用。用户可能需要地形的表示，例如等值线图、点高程、三维透视。高程数据也用于建立模型，例如剖面计算、道路规划、水流等。在应用和制图中，高程数据常同其他数据组合。

(4) 交通

框架的交通数据包括下面的共同的交通网络和设施特征：

· 公路——中心线、特征标识码、功能级别、名字、街道地址范围。

· 小路——中心线、特征标识码、名字、类型。
· 铁路——中心线、特征标识码、类型。
· 水路——中心线、特征标识码、名字。
· 机场和港口——特征标识码、名字。
· 桥梁和隧道——特征标识码、名字。

交通信息有许多应用。有些部门仅把交通线用于参考，作为基础制图的一个元素。其他部门应用它以附加其他属性信息，如地址相关的信息或街道属性信息。交通数据和相关属性数据对许多规划也是重要的内容，例如市场分析和厂址选择都用到交通数据和相关的属性数据。路径分析也用到街道网络数据，如交通工具的运行和管理。

(5) 水文

框架水文数据包括地球表面的水特征，例如湖泊和水池、河流和溪流、运河、海洋、海岸线。每个特征有一个名字属性和特征标识代码。用中心线和多边形来编码这些特征的位置。

许多水文数据用户都要使用水文网络的连接性和水流方向信息。水文特征也作为参考或基础地图数据。其他应用，特别是基于环境的分析需要水文信息，如水供应、污染、洪水灾害、野生动物、开发土地的持续性的分析和模拟等。

(6) 行政单元

框架包括行政单位的地理区域，这些单位包括：国家、省或州、县。每个行政单位包括名称和编码。行政边界也可以包括其他特征信息(例如河流、道路等)。行政边界对许多应用是有用的，一些应用仅需要它的属性和取向。有些应用需要行政单位多边形以确定所包含其他特征的数量。商业 GIS 常用这些边界作统计分析和制定决策。

(7) 地籍

地籍测量信息指地产问题。地籍数据描述了房地产业的过去、现在及未来的权益的地理范畴。描述地理范畴及权益所必须的空间信息包括各种测量、合法的说明性参考系以及地块到地块的测量描述。

框架中包括了地籍测量信息的两个方面：一是地籍测量参考系统，如公用土地测量系统(PLSS)以及其他类似的系统；二是公共管辖的地块，如军事禁区、国家森林、州公园等。

地籍信息特征包括测量角、测量边界和地块等。地籍信息是许多分析、决策制定和作业应用的基础，例如厂址选择、土地利用管理、交通规划等。无论是土地管理者还是热衷于土地管理的单位都可以使用国有土地信息。这些土地的框架表示提供了有关其位置、境界、范围及与其他地理特征与地理现象之间的关系等有用信息。由于在许多国营及私营企业中，地块有重要的作用，因而地块信息成为许多应用的基本组成部分，并且向人们提供多层的地籍测量数据。

2. 技术背景

设计框架的技术背景，使人们易于使用和贡献框架数据。已有的属性和图形数据将保持同框架的联系。参与者可以贡献数据给框架。

框架数据模型和支持技术允许对数据的更新，而不必担心已存在的投资，允许属性数据加到空间数据上。为了实现这些功能，要开发确认单个特征以及为这些特征分配一个独一无二的标识方法。

(1) 空间数据模型

对于正射影像和高程数据，框架将采用栅格数据模型。观测位置由单元或点阵列表示，单元值表示属性。对于正射影像，单元包括地面反射率值；对于高程，它们包括高程或深度值。

对于其他的框架数据，用基于特征的矢量数据模型。一个特征就是地球上一个地理实体的描述。例如，一条公路，一个湖泊，一个地域或一个县。一个特征可被连接到一个空间对象(例如点、节点、链和区域)以标识它的位置。不同的空间对象集合有不同的分辨率。

一个特征由独一无二的编码，即永久特征标识码来标识它的位置，特征可通过它与空间对象(例如点、节点、链和区域)的连接来描述。一个特征可由属性集和关系来进一步描述。属性定义了特征的性质，例如，湖泊的名称、道路类型、县的人口等。关系可以定义为两个特征之间的相互作用，例如河流系统的流或交通网络的交叉。

框架数据有特定的空间描述、属性和关系，用户可以添加这些因素的详细细节来满足他们的需要。用户的数据通过特征标识码与框架的特征连接。

用于对矢量特征的位置编码的空间对象必须遵循拓扑规则。链只在节点处相交，所有的节点固定链的终点，当链相汇时，“超过(overshoots)”和“未达(undershoots)”是不允许的。对于一个区域(area)，将有链来构成其边界，链将标识区域是在其左或在其右。区域间的空隙(gaps)或重叠(overlaps)是不允许的。

空间数据模型的开发：框架需要详细的数据模型，7个专题的数据模型将被集成以形成框架的一个数据模型。已确定了建立框架的共同数据模型的程序，各专题的数据模型的开发已在进行之中。结果模型将提供模板，以便使用和贡献框架数据，用这些数据模型来进行本地模型的扩展。本地数据模型由本地操作需要驱动，框架模型为其提供一个有用的起点。

(2) 永久特征标识码

每个出现的特征分配一个独一无二的、永久的特征标识码。这个标识码提供一个关键字，通过它用户可以把框架数据同自己的数据联系起来，对事务更新可将它作为跟踪标志，并且与不同分辨率和穿过不同区域的特征相关联。一旦分配后，永久特征标识码就不再修改，除非这个特征经过大的变化，例如一条道路被毁，一河流变成了湖泊。特征标识码提供了确定框架数据单元的一致方法。

(3) 多分辨率和综合

不同的用户需要不同分辨率的地理数据。例如地方政府需要覆盖较小区域的较详细的数据；一个州部门需要覆盖较大区域较粗略的数据，这个较大区域包括有地方政府详细数据的区域。

通常，这些需要通过独立的数据收集工作来完成。框架的一个目的就是改变这种方法。一个区域内可获得的更详细的、更精确的、更现时的和更完整的数据将形成框架的基础。更新地理数据的努力将集中在这些详细的数据上。对次一级详细程度的数据的需求

可以通过对这些详细数据的综合来得到。结果将形成一个共同的数据基础，在这个基础上建立多元的、综合的观点。各界正在寻求克服到达这个目标的各种技术上的和操作上的障碍。

(4) 坐标参考系统

一个共同的坐标定位参考系统保证贡献给框架的数据可以被连接和集成。鼓励在框架数据中使用经纬度坐标，这个系统提供了一个无缝的坐标系统，并可以转变成各种投影和栅格坐标系统。水平坐标信息引用 1983 北美数据(NAD83)，垂直坐标信息引用 1988 北美垂直数据(NAVD88)。

(5) 空间跨越上的一致性

框架数据在跨越收集区域时，例如一条公路跨越一条县界时，在县界处不应该有缝隙。作为一般原则，当贡献给框架的数据并入框架时，数据的位置不被修改。因此，在并入框架之前，穿过不同数据收集区域的特征在位置上要作调整，这通过不同的区域数据收集者共同协调工作来完成。用这个方法的原因是集成数据的部门没有比提供数据的部门更好的信息，因此他们没有修复这些数据的基础。数据提供者应同他们的相邻地区提供者一起来作调整数据，减少不确定性。这个被称之为"水平集成"的技术将用于吻合得不好的数据，以便建立无缝的覆盖层。

(6) 专题间的一致性

框架数据在各专题间是一致的。维护不同专题上的特征的相关关系，要对各特征作一致性调整，例如一条边界沿着一条河流，这需要将边界与河流匹配。更具有挑战性的问题是高程专题数据和水文专题数据的一致性。在专题间调和不一致性的过程称为"垂直集成"。同样，一般的原则是当数据并入框架后数据的位置不再被修改。因此特征在并入框架之前，它们必须是垂直集成的。当数据不吻合时，就需要垂直集成的技术过程。

垂直集成可以有不同的方法。可直接调整数据，作位置调整。关系或连接可以在不同的专题内相关的特征间建立。虽然研究满足通用的集成方法，但特定部门的需要也要考虑，这是参与者为什么重要的另一个原因。他们有必要解决各种问题，例如哪种集成方法更适合他们。

(7) 历史数据

框架保持数据的过去版本，以支持历史的和过程的研究。科学研究和策略研究常需要地理基础数据的向前或向后的时间序列。

(9) Metadata

框架包括 Metadata，以说明框架数据的特性和质量，包括位置和属性精度、完整性、逻辑一致性和连接性。Metadata 帮助用户找到适合的框架数据，评估它们，并正确地使用它们。

3. 操作背景

框架的操作环境强调可访问性和易用性。

(1) 框架操作

框架操作包括：

· 框架支持事务更新。数据生产者只提供数据的变化部分，用户仅需要处理这些变化的部分。这种方法减少因变化对用户已存在操作环境的影响。

· 框架过程保证通过信息网络和数字媒体对框架数据的官方版本的访问。

· 可通过国家空间数据交换所发现框架数据。

(2) 框架覆盖层

这个目标是包括由较小区域生产的地片数据构成框架数据覆盖层。对每一个贡献数据的地片，地理区域没有固定的大小。各种实验正在评估各种地片大小，例如流域、区域、州以及更小的区域。这些实验结果将提供覆盖层大小的信息，使其便于管理和维护。然而，每一个贡献数据地片的可行的地理覆盖层将依赖于提供数据的经济上的考虑。

(3) 集成

框架是基于许多组织建立的数据。对于覆盖一个地理区域的数据专题，可能有许多有时是重复的数据源贡献给框架。另外，在同一个地区，可能有不同的组织收集和维护不同的数据专题。然而，用户需要跨越其地理区域的不同专题的一致的数据，例如，水文特征和边界特征碰巧一致。对一个地理区域，数据的水平集成和垂直集成是框架的一个重要功能。

(4) 框架数据的定位

框架数据分布在不同的地方。站点通过电子网络连接，使用户在任何地方都可以访问数据。物理分布的模式是变化的。在一个区域内有几个可选的数据配置。

数据可以驻留在每个生产者的站点上。一个部门可对许多生产者生产的数据进行访问，这种访问可以是主动的或被动的，即一个站点可以提供对其数据的访问，也可以把数据主动发往用户。有许多部门使用框架数据，并对框架贡献数据。因此，框架数据在物理上可驻留在任何地方，这依赖于专题、地理和时间。

框架的有些方面代表了技术上的挑战。当必要的技术工具和过程被开发后，它们将被集成到框架操作中。技术问题包括下面这些内容：

· 开发集成数据的规则；

· 建立永久特征标识码的规则；

· 提供数据精度的标准测试以及数据认证的方法；

· 开发把局部拥有的高分辨率的数据综合和合并到区域或国家的数据中的方法；

· 开发处理数据事务的方法；

· 开发管理框架数据的历史或过去的版本的方法。

4. 商业事务背景

为了达到框架被广泛使用的目标，框架数据必须是开放的和可访问的，采用公用的或非私有的格式，遵循标准以及是被认证的形式。由于框架的商业使用背景，一个基本前提是避免框架是带限制性的实施。这是同联邦政府以及州和地方政府的信息访问政策一致的。符合这个目标的基本因素是提供及时的和平等的数据分发；提供不受限制的数据访问、使用和数据贡献；确定数据访问价格不高于访问的花费。

(1) 数据费用

当框架数据被广泛访问时，一个框架操作必须能够收回部分或全部的数据访问费用。访问框架数据的价格必须限制在提供访问和分发的花费上。对每个框架操作，必须确定一个价格单位。例如，价格是基于所访问的数据量、或是被访问元素的数量、或是被访问的专题或层数量、区域的大小、还是访问时间？当用户访问各种生产商的数据时，这些方面是很复杂的。

(2) 数据访问政策

框架数据必须是被广泛使用的，所以应避免任何限制访问的实践和布置。私有的格式、排外性的布置、使用上的限制性、超过数据提供的价格等都是不可接受的。必须以及时的和平等的方式提供给用户现时的数据。操作上、机构上和技术上的能力和过程必须保证不受限制性的访问。这需要各界共同努力。

(3) 关于数据使用的信息

框架包括数据的限制条件的信息，例如对数据使用的选择或建议，数据质量评估、放弃、可靠性条款等。

(4) 格式

框架数据必须是公用的、非私有的格式。

(5) 标准

框架数据遵循批准了的标准。为了让用户了解数据的特征，框架要符合最低限度的标准，如 FGDC 的 Metadata 标准、地籍数据标准，这些标准必须经过认证。支持框架的另外的标准和指南正在开发之中，包括地理参考标准、数据质量标准、数据集成和数据转换等。

(6) 数据认证

框架数据必须满足最小限度的框架准则，数据的认证包括对贡献给框架的数据的检查，以保证它们符合框架标准。这个过程保证基础数据以及集成。数据的认证过程和责任正在制定中，主要的问题是由谁来授权提供认证，需要写什么、发表什么样的认证和文档。

4.8.3 框架开发和组织

框架的建立和管理是通过所有参与者的合作，即地方、区域、州和联邦政府各部门、私营部门、教育机构、非盈利组织以及其他参与者的合作完成的。框架参与者组织是一个网络，不是一个等级机构。

框架利用由许多部门建立的数据，集成这些分开的数据资源需要许多部门的不同功能。集成原则是尽可能地在靠近本地数据生产者和用户范围内操作。

开发和管理框架需要几个关键功能。组织和部门如何解决这些问题随部门的不同而不同。这些功能可以不同的方式来完成，有许多组织在它们的有多部门参加的 GIS 工程中已经充当了相似的角色。

1. 框架过程

建立和操作框架需要几个相关的过程，已确认的 7 个主要的过程如下。

(1) 数据开发、维护和集成

数据开发和维护活动是用来建立和更新框架数据的。这些功能包括生产原始数据，从

不同数据源合并空间和属性数据，文档化数据（建立 Metadata），评估和集成数据。

可通过各种技术和资源来产生框架数据，包括野外测量调查、摄影测量、数字化地图、由其他记录转化为数字数据等。并入框架的所有数据的质量必须经过测试和报告。

不同的组织部门提供框架信息内容的不同部分。例如，一个部门提供道路中心线，另一个部门提供道路相关的属性数据如街道地址，框架的开发需要这些数据的合并以建立有街道地址信息的道路。

在共同实践中，部门通常生产满足它们自己需要的数据，而不收集所有的框架专题数据。它们的数据同其他部门收集的专题的数据将可能不匹配。部门也通常在它们法定区域内制图，因此，在法定区重叠地方，它们的数据也将同其他部门收集的数据重叠，或者同周围临近的区域的数据不能很好地匹配。要评估重叠地区的数据以选择可以作为框架的数据。水平集成（区域间）和垂直集成（专题间）提供了用户所需要的一致性。因此，数据集成是构建框架的重要任务。

当一个地区的框架数据建立后，管理和维护就要跟上。需要不断地维护空间和属性数据的现时性。其他活动包括通过置换或重定位来提高数据的定位精度；提高数据密度（例如添加原始收集中没有的细节）；添加属性数据的假名（例如地方用的街道别名）。

用户对框架数据的理解和应用能力是框架成功的关键。数据定义的一致性、文档化、以及数据收集部门的帮助才能保证框架数据的应用。需要开发标准和指南，帮助用户了解框架内容。

框架数据生产：数据生产包括地方、区域、州和联邦政府、私营部门、大学、非盈利组织等。地方部门生产最详细的或高分辨率的所有专题的数据，这些专题数据通过 GIS 工程而协调，这些数据集只限于部门所服务的地理区域。州和联邦政府趋向于生产覆盖大区域的低分辨率的数据。这些数据限于同部门活动有关的专题。州和联邦政府对所选择的设施或工程区域也生产高分辨率的数据。私营部门生产各种不同专题的、不同地区的和不同分辨率的数据集。有些公司对所选择的工程区域生产许多高分辨率的数据专题。其他部门生产单一数据专题，例如图像或街道网络。由这些不同的部门提供在这些数据间的集成，并进行地理和专题的数据的一致性调整。

（2）数据访问

数据访问保证参与者获得框架数据，主要活动包括：提供对数据和 Metadata 的访问，处理数据请求和价格，确定和提供所需数据的格式，报告和响应用户的要求。市场化是数据访问的一个重要方面，包括产品定义、包装、文档、产品支持、分发通道的开发、产品和服务的提高以及广告。框架必须能反映市场的条件和需求，例如对综合数据的需求、对定制的数据集和产品的需求。另外，应通知各部门框架数据的存在，并说明如何获取，如何使用以及可能的贡献。数据访问解决所有这些需求。

国家空间数据交换所（Clearinghouse）是提供执行数据访问的一个重要方法。Clearinghouse 使用户通过 Internet 发现、评估和访问地理数据，通过框架的 Metadata，使那些并不知道数据资源的用户可以访问框架数据。

（3）数据管理

数据管理保证框架数据的可得性，包括维护数据；保证数据的完整性和安全性；开发

和演进数据的定义、设计模型；开发和演进其他的技术规范；提供数据档案、备份、检索和灾害恢复。

数据管理的一个重要目标是保证整个框架的各个部分能被组装起来。框架的大范围和分布的特性是巨大的挑战。数据管理活动发生在不同的地方和不同的组织内，框架数据的管理功能必须把这些活动连在一起。

(4) 协调

需要许多组织的贡献来建立框架，协调保证这些贡献——数据、投资、技术和人……平滑地融合，并鼓励参与者之间的富有成效的关系。必须提高参与者间的协作和关系，鼓励广泛的参与，鼓励调解和解决冲突的实践以及参与者之间的讨论。特定的活动包括建立框架开发的商业计划，建立优先次序，开发协议和商业实践，协调数据访问方法，标准上的一致性，提供拓展和教育。协调活动还确认由部门的政策和商业实践引起的障碍，并开发可选的解决方案。

协调使框架开发有尽可能多的部门参加。正式和非正式的协议都是有用的。协调数据的开发也是一个重要方面，这个活动必须有部门的协作工作，以避免重复的努力。确认加入框架的数据，集中可得到的资源，保证所有地理区域和所有专题的数据的生产。

(5) 执行指南

执行指南提供框架开发的指导，对框架的成功负责。包括在参与部门之间建立数据共享的观点，为企业提供策略，建立组织机构和操作环境，理顺交流方式等。制定相关政策，提供资金支持。

框架开发的观点和策略是否被接受是执行指南的重要责任。框架的自愿性和连续性的特征及其开发的演进特征是执行指南的挑战。连续的教育和拓展是必要的。潜在的参与者通常在不同开发阶段加入，必须宣传地理数据的共享框架。必须保证官员和上级决策者的关注和支持。

(6) 资源管理

平衡框架开发以及其他活动可增加可利用的资源。资源管理包括估计收入和花费，确认、获得和分配资源，提供框架开发的后勤支持。资源包括资金、数据、技术和人。资金资源包括拨款、服务合同、联合开发协议以及其他费用。

(7) 监视和响应

这个功能监测用户对框架的满意程度，并提供市场分析。用户需要数据辅助他们的决策，支持他们感兴趣的地理区域内的应用。数据必须能加入他们的操作中。用户必须能对数据添加信息，能用其他信息和框架数据集成。用户对数据质量是敏感的，数据必须在水平区域和垂直专题上是一致的，可进行联机访问。用户对价格也是敏感的。监视和响应功能评估用户对框架的满意程度，确认新的需求。

用这些信息以及其他信息进行市场分析可保证满足各界的要求。这些包括确认目标市场、潜在的用户、目前和潜在的市场规模、竞争以及市场趋势和预测。框架的市场化必须进行，以提高框架的建立和使用。

2. 对这些过程的组织

成功的框架的开发依赖于所有这些过程。框架参与者可执行任何过程，可在不同的时间执行不同的过程。一个组织可以执行一个或多个过程，例如，它可以仅执行数据开发，或者提供数据维护和集成服务。

(1)框架组织结构

在一个地理区域内开发框架的组织模型可以根据框架功能执行的集中程度来定位。两个极端是完全集中式的和完全分散式的，大多数情况是介于两个极端情况之间。

在集中模式中，除了原始数据的生产和随后的更新外，一个部门执行了大多数功能。一个主要的活动是数据集成，这个角色称为“区域集成者”，区域集成者执行其他的技术任务，如执行标准和质量过程，在生产数据的部门间协调数据的建立和维护活动，把更新加入到集中维持的框架数据中。区域集成者对数据访问、数据管理、资源管理、监视和响应、协调和执行指南这些功能负唯一的责任。其他部门贡献数据、数据的更新、相关的 Metadata 的拷贝，以便集成到中心的框架数据中，并使用框架数据。在这种模式中，可由各相关部门来确认区域集成者，并赋予给它相应功能。

在分散模式中，在一个地理区域内许多组织以一种紧密的协调方式、网络化的结构来承担多个功能。在其法定区域内，每个部门都执行框架功能，并且执行技术任务，而这些在集中模式中由区域集成者来完成。各个部门联合解决共同关注的其他功能。当部门间邻近或有重叠的专题时，他们联合解决数据间的不一致问题。代替集中式的框架数据存储，参与部门存储他们自己法定区内的框架数据，Internet 提供了访问分布存储的框架数据的方法。

其他方式可介于两者之间。

集中式框架组织结构如图 4.9 所示。分散式框架组织结构如图 4.10 所示。

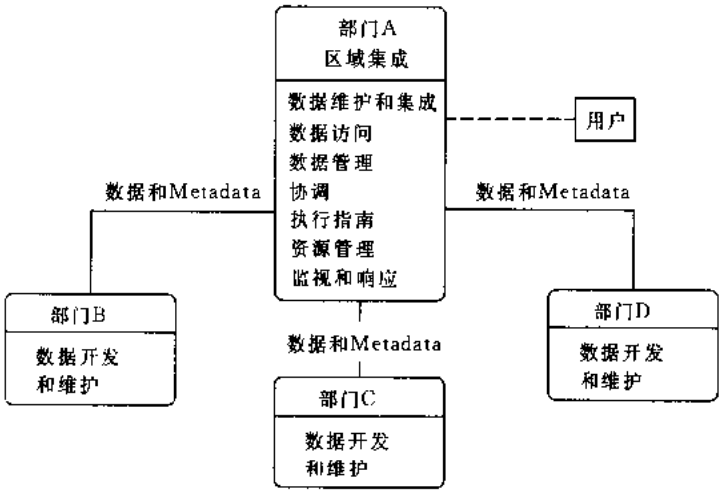


图 4.9 集中式框架组织结构

(2) 组织的建立

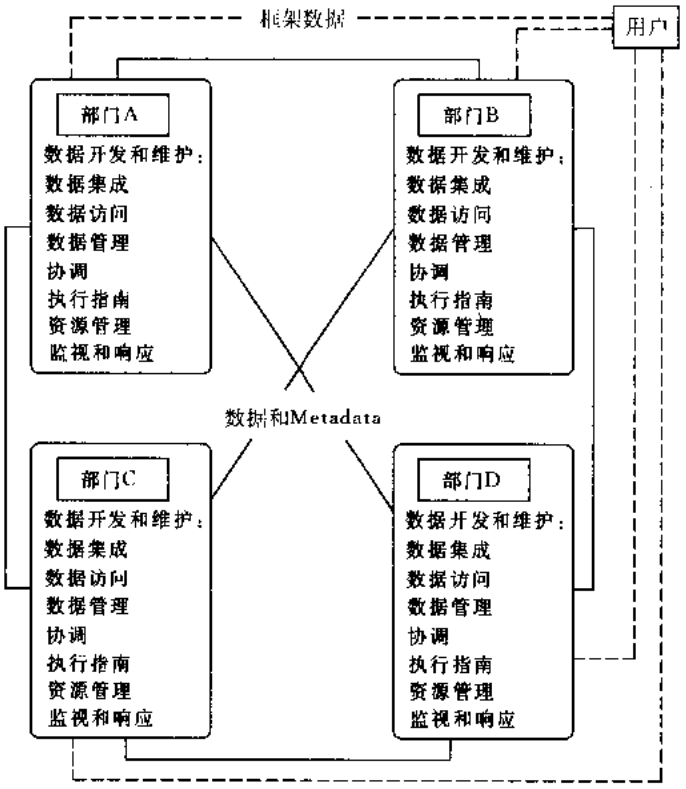


图 4.10　分散式框架组织结构

许多部门在自己本地的GIS联合体或工程中承担了类似框架的工作。这些协调工作可分为3类。

· 基于州的协调：一个州政府领导州部门、联邦部门、地方政府和其他部门之间的协调工作。几个州在采纳这种方法。

· 区域联合体：在一个区域内各部门有持续的兴趣，形成一个联合体来开发共享的数据。这些联合体包括地方或区域政府部门，州或联邦部门。例如，有几个GIS联合体包括县、城市、区域部门和区域内的公用设施部门。

· 特定的工程：在这种情况下，有在区域内共同感兴趣的问题。部门间形成伙伴关系开发共享的数据。这些工程通常有一个有限的生命跨度，例如，一些GIS工程开发，使联邦政府的地方分支机构同地方政府在环境问题上进行协作。

地理数据界的成功例子可以指导组织框架的工作。框架的组织形式在每个不同的社团是不同的，这要根据那个团体各部门的需要和特点而定。

(3) 把框架的各种努力有机地组织在一起

框架的目标是提供一致的数据覆盖层，帮助用户在不同大小和形状的地理区域上工作。框架提供给用户详细的和综合的两种数据。这些实现意味着用户将必然需要不只是来源于一个框架中的数据。例如，一个州部门将需要州内来源于几个区域框架工作的数据，以确定州拥有的特征。为了抵御洪灾，紧急管理部门需要几个框架的数据来覆盖受影

响的地区。所需数据可能跨越几个区域的全部或部分。

因为框架刚开始建立，许多单个框架努力的结果有时不能产生一致的用户要求。需要一些另外的活动来实现一致性。需要帮助单个框架工作的开发，并把这些框架工作联系在一起。这些活动包括：定义策略和概念以维持和演进框架、制定和提高标准、开发策略以验证数据质量、开发数据管理过程、支持所需技术的开发、培训人员关于框架的知识。

对于国家、州和区域层次，其他活动也是需要的，包括：推荐标准、确定资金来源、鼓励参与、执行标准、启动初始工程、测试和执行技术、解决争论和冲突。

这些活动的焦点是交流，目标是建立灵活的参与者的网络，而不是等级的管理，这些功能和协调机构也将不断演进。

第五章　地球观测系统与全球观测信息网络

5.1　地球观测系统(EOS)

早在国家信息基础设施与国家空间数据基础设施之前，地球观测系统(earth observation system，简称 EOS)已经有了较好的基础。差不多在国家空间数据基础设施提出和启动的同时全球观测信息网络(global observation information network，简称 GOIN)也正式开始启动。地球观测系统与全球观测信息网络计划以及世界数据中心(WDC)都可以看作是地球空间数据或信息基础设施的重要组成部分，并为数字地球技术系统的出现打下扎实的基础。美国的国家航空航天局(NASA)承担了地球观测系统的主要任务，很多卫星都是由该单位负责的，其次是欧洲空间局(ESSA)、俄罗斯的空间局、日本的 NASDA 等。

1. 地球观测系统

人类活动导致了全球环境的变化，最明显的是植被减少，二氧化碳等温室气体的增加，臭氧层空洞增加，动植物种类减少，以及全球的各种污染等。因此，研究环境变化需要从全球考虑。

根据国际全球研究合作计划，全球性的资源环境研究计划包括：世界气候研究计划(WERP)；国际水文计划(IHP)；世界海洋环流试验(WOCE)；全球海洋通量研究计划(JGOFS)；国际地圈与生物圈计划(IGBP)；人与生物圈计划(MAB)；国际岩石圈计划(ILP)；国际减灾十年。

另一方面，人类的社会经济以及军事活动也迅速地全球化，一些决策的制定需要进行全盘考虑。

研究全球问题必须获得全球的数据或资料。遥感卫星可以提供高分辨率的全球图像，为上述研究和计划提供了丰富的数据。由于地球环境的复杂性和多样性，单品种的遥感数据很难满足各种要求，因此出现了一系列的遥感卫星，包括陆地卫星、海洋卫星、气象卫星等，并形成体系，发挥整体效应。

由于上述原因，以及各种国际合作计划、军事、交通、商业的需要，地球观测系统计划就诞生了。除了包括一系列的地球观测卫星外，还包括全球定位系统(GPS)等。

目前地球观测系统包括的卫星系列有：

(1) 气象卫星系列：

NOAA 天气卫星—TIROS-N 系列(美)AVHRR 等；

ESSA 系列；

Nimbus 系列；

苏联流星气象卫星系列(Meteop)；

日本对地静止气象卫星(GMS)；

地球同步气象卫星—GOES 系列,(美)—SMS 系列(美)；

国际气象卫星—DMSP 系列(美)；

高层大气研究卫星—UARS 系列；

欧空局的 Meteosat；

风云卫星系列—Fy 系列(中国)；

(2) 陆地卫星系列：

Landsat 1，2，3，4，5,7(美)；

SPOT 1，2,(法)；

MOS/LOS (日)；

USSR sat (俄)；

IRS 1，2 (印度)；

(3) 海洋卫星系列：

Seasat(美)；

航天飞机成像雷达 SIRA、B、C/X；

ERS 1,2 系列(欧共体,法),SAR；

JERS1 系列(日本)；

Radarsat，SAR-A (加)；

(4) 测地卫星系列：

TOPEX 测地卫星(美)；

(5) 地球物理卫星系列：

重力卫星；

热惯量制图卫星(Heat Capacity Mapping Mission，HCMM)；

这些卫星系列组成了全方位的、多学科的地球观测系统,为空间信息基础设施提供数据源。

2. 全球定位系统(GPS)

全球定位系统卫星定位技术广泛用于测绘和导航领域,它能提供测量点的三维空间定位数据和时间数据,并可以测算观测点的运动速度。GPS 测量也构成空间信息基础设施的组成部分。GPS 测量的特点如下。

(1) 全球无缝连续覆盖：GPS 卫星数量较多,而且分布合理,任何地点均可连续同步至少能观测到 4 颗卫星。

(2) 高精度：可以连续提供动态目标的三维位置、三维速度和时间信息。一般来说,目前单点定位精度可达(5～10)米,静态相对定位精度可达厘米级,测速精度为每秒 0.1 米,测时的精度约为数十纳秒。

(3) 实时定位速度快：在一秒钟内便可完成 NNSS(海军导航系统)约需 8～10 分钟的测位任务。

(4) 抗干扰性能好，保密性强。

目前全球定位系统(GPS)计划包括：

- 美国防部——GPS(共 18 颗工作卫星)；
- 欧空局——NAVSAT；
- 俄国——GLONASS(共 13 颗卫星)。

3. 遥感卫星观测数据的特征

遥感观测数据的特征主要指遥感卫星获取数据的空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率。

地球观测系统(EOS)，尤其是卫星地球观测系统，是最理想的获得地球数据的工具。遥感卫星的地面空间分辨率约为 4000 米到 0.5 米。它的探测光谱波段，可以从紫外线到微波，甚至到超长波，划分的波段可以从 1 到 240 个。它还有一定的穿透能力，可以从若干厘米到数十米，在某些条件下，探测的深度可达 100 米，超长波可达 10 000 米的深度。遥感技术的微波波段还有全天候的探测能力，不论刮风、下雨、有云，都能进行对地探测，这些是采用其他方法办不到的。

不同的应用要求遥感数据的空间、时间和光谱分辨率也不同。空间分辨率是指遥感卫星所提供的遥感图像的一个像元对应地面区域的大小，通常以米(m)表示。对于气象预报等大区域的应用，要求的空间分辨率较低，如美国的 NOAA 和我国的风云系列气象卫星的地面分辨率为 1 公里；对于土地利用和城市的调查需要较高的空间分辨率。目前已经有能提供 1 米地面分辨率的卫星。时间分辨率是指遥感观测数据在地面同一地点的最小重复周期，通常用小时或天表示。对于变化快的地物的观测需要时间分辨率高，即重复观测周期短的卫星数据，如气象观测数据需要很高的时间分辨率(如表 5.2)，通常在几小时内就要获取一次数据；有些应用如土地利用和土地覆盖，由于其变化较缓慢，可以在几年内获取一次观测数据。通常的应用并不同时要求高的空间分辨率和时间分辨率。光谱分辨率是指遥感观测波段的电磁波频率的宽窄以及波段的多少，有一些特别地物的识别需要高光谱分辨率才行。

因此遥感卫星系列中有各种在空间时间和光谱分辨率上不同的卫星，以满足各种不同的应用。常用的卫星遥感及其所使用的电磁波的波段和空间分辨率见表 5.1 。

表 5.1 常用的卫星遥感所使用的电磁波的波段

卫星		传感器	波段	分辨率/m
气象卫星系列	NOAA—TIROS	AVHRR	0.58～0.68μm 0.725～1.1μm 3.55～3.93μm 10.5～11.5μm 11.5～12.5μm	1,100
陆地卫星系列	Landsat 1,2,3	MSS	0.5～0.6μm 0.6～0.7μm 0.7～0.8μm 0.8～1.1μm	80

续表

卫星		传感器	波段	分辨率/m
陆地卫星系列	Landsat 4,5	TM	0.45～0.52mμm 0.52～0.60μm 0.63～0.69μm 0.76～0.90μm 1.55～1.75μm 2.07～2.35μm	30
			10.4～12.6μm	120
	Landsat 6+GPS	ATM	0.45～0.52μm 0.52～0.60μm 0.63～0.69μm 0.76～0.90μm 1.55～1.75μm 2.07～2.35μm	15
			10.4～12.5μm	120
	SPOT	PAN	0.51～0.73μm	10
		HRV	0.50～0.59μm 0.61～0.68μm 0.79～0.89μm	20
	IRS 系列 (印度遥感卫星)	LISS	0.45～0.52μm 0.52～0.59μm 0.62～0.68μm 0.77～0.86μm	73
	IRS (印度遥感卫星)	LISS-2	0.45～0.52μm 0.52～0.59μm 0.62～0.68μm 0.77～0.86μm	36.5
	USSR sat	KATE200	0.50～0.9μm	15～30
		KATE140	0.5～0.7μm	60
		MKF6	0.46～0.52μm 0.52～0.9μm 0.58～0.62μm 0.64～0.68μm 0.70～0.74μm 0.79～0.90μm	20
		KFA1000	0.54～0.80μm	5～10
海洋卫星系列	ERS 系列	SAR	C-band. VV	30

续表

卫　星		传感器	波　段	分辨率/m
海洋卫星系列		W.S.	C-band	50
		RA	Ku-band	1～20
	JERS 系列	SAR	L-band	18(25)
		NNIR	0.52～0.60μm 0.63～0.69μm 0.76～0.06μm	30
	Seasat 系列	SAR	L-band，HH	25
		ALT	Ku-band	
		SASS	Ku-band	
		SMMR	1.43cm 4.67cm 2.81cm 4.54cm	
	Radarsat	SAR	C-band	
		SAR-HRT		10
		SAR-ST		38
		SAR-WST		35

常见应用所需要的遥感数据分辨率见表 5.2 和表 5.3[17,18]。

表 5.2　不同的属性所需要的最小遥感分辨率

(Jensen and Cowen，1997，1999；Cowen and Jensen，1998).

属　性	最小分辨率要求		
	时　间	空间/m	光　谱
土地利用/土地覆盖			
L1 — USGS Level Ⅰ	5～10 年	20～100	V-NIR-MIR-雷达
L2 — USGS Level Ⅱ	5～10 年	5～20	V-NIR-MIR-雷达
L3 — USGS Level Ⅲ	3～5 年	1～5	V-NIR-MIR-Pan
L4 — USGS Level Ⅳ	1～3 年	0.3～1	全色
建筑物及房产设施			
B1——建筑物周长、面积、体积、高度	1～2 年	0.3～0.5	全色
B2——地籍制图	1～6 月	0.3 ～ 0.5	全色
交通设施			
T1——一般道路中心线	1～5 年	1～30	全色
T2——精确道路宽度	1～2 年	0.3～0.5	全色
T3——交通流量研究（汽车、飞机等）	5～10 分钟	0.3～0.5	全色
T4——停车状况研究	10～60 分钟	0.3～0.5	全色

续表

属　性	最小分辨率要求		
	时　间	空间/m	光　谱
公用事业设施			
U1——一般公用设施路线制图	1～5 年	1～30	全色
U2——公用设施路线宽度	1～2 年	0.3～0.6	全色
U3——电杆、进入孔和变电厂站位置	1～2 年	0.3～0.6	全色
数字高程模型(DEM)建立			
D1——大比例尺高程模型	5～10 年	0.3～0.5	全色
D2——大比例尺坡度图	5～10 年	0.3～0.5	全色
社会经济特征			
S1——局部人口估计	5～7 年	0.3～5	全色
S2——区域/国家人口估计	5～15 年	5～20	V-NIR
S3——生活指标质量	5～10 年	0.3～30	Pan-NIR
能源需求和保护			
E1——能源需求和生产潜力	1～5 年	0.3～1	Pan-NIR
E2——隔离保护勘察	1～5 年	1～5	TIR
气象数据			
M1——每日天气预报	30 分钟～12 小时	1～8 000	V-NIR-TIR
M2——目前温度	30 分钟～1 小时	1 ～ 8 000	TIR
M3——目前降水	10～30 分钟	4 000	Doppler 雷达
M4——即时的暴风雨警告	5～10 分钟	4 000	Doppler 雷达
关键的环境区域评估			
C1——相对稳定的敏感环境	1～2 年	1～10	V-NIR-MIR
C2——动态的敏感环境	1～6 月	0.3～2	V-NIR-MIR-TIR
灾害紧急反应			
DE1——紧急灾害之前图像	1～5 年	1～5	V-NIR
DE2——紧急灾害之后图像	12 小时～2 天	0.3～2	V-Pan-NIR-雷达
DE3——破坏的房屋	1～2 天	0.3～1	V-Pan-NIR
DE4——破坏的交通	1～2 天	0.3～1	V-Pan-NIR
DE5——破坏的公用设施、服务	1～2 天	0.3～1	V-Pan-NIR

表 5.3　生物和物理属性所需要的最小遥感分辨率

属　性	最小分辨率要求		
	时　间	空间/m	光　谱/μm
植被			
V1　类型和生物量-Level Ⅰ(大陆)	每天	250～8 000	0.5～1.2
V2——Level Ⅱ(地区(regional))	1～5 年	20～1 000	0.5～1.2；1.55～1.75
V3——Species (局部(local))	1～10 年	0.5～10	0.4～1.2；1.55～1.75
V4——压力	1～2 周	0.5～10	0.4～0.675；0.7～1.2；1.55～1.75
V5——含水量	1～2 周	0.5～10	0.4～1.2；1.55～1.75；10.4～12.5；L-band

续表

属　性	最小分辨率要求		
	时　间	空间/m	光　谱/μm
V6 —— 景观生态韵律	1～2 年	5～30	0.5～1.2
V7— 表面粗糙度	1～2 年	10～30	C,X 和 L-band
V8— 冠层结构	1～2 月	5～30	L-band
水			
W1 —— 陆地表面水范围	1～2 年	10～ 8000	0.725～1.10
W2— 海水范围	每天	1～8 000	0.725～1.10
W3— 水深	1～10 年	1～10	0.44～0.54
W4— 无机物（悬浮沉积物）	1～10 天	10～4 000	0.4～1.2
W5— 有机物（浮游植物）	1～10 天	10～4 000	0.4～0.675
W6— 溶解的有机物质	1～10 天	10～4 000	0.4～1.2
W7— 温度	1～2 天	10～4 000	10.5～12.5
土壤与岩石			
SR1 —无机物(矿物质含量)	1～10 年	10～100	0.725～1.10
SR2—有机物(腐殖质)	1～10 年	20～30	0.725～1.10
SR3 —水热蚀变（粘土、云母）	1～10 年	20～30	1.55～1.7;2.08～2.35
SR4 —土壤湿度	每月	20～30	1.55～1.75; L-band
冰与雪			
SI1— 雪范围	每天	1～8 000	0.55～0.7
SI2— 冰范围	每天	1～8 000	0.55～0.7
SI3 —雪与云	每天	1～8 000	1.55～1.75
大气			
A1—白天云范围	每小时	1～8 000	0.55～0.7 10.5～12.5
A2—夜间云范围	每小时	1～8 000	3.5～3.93; 10.5～12.5
A3— 云温度	每小时	1～8 000	10.3～12.5
A4—水蒸汽	每小时	1～8 000	6.7
A5—臭氧	每小时	1～8 000	9.58～9.88

5.2 全球观测信息网络(GOIN)

全球观测信息网络[15]建设计划是由美国航空航天局和日本国家空间开发局(NASD)于1993年共同发起的，目的是将全球的卫星对地球观测所得的数据实现共享，即将美国航空航天局和日本国家空间开发局及其下层单位的数据库通过网络实现互联互通，实现信息共享。实际上，它也是全球空间信息基础设施的一个组成部分，是美国全球对地观测系统(GEOS)计划之后的又一战略目标。

全球观测信息网络实施计划由联合计划工作组(Joint Program Working Group，简称JPWG)执行，参与的组织以自愿为基础，并制定一个工作计划来解决参与组织的共同需要，这个特殊过程包括各组织以其具有的资源来完成共同的目标和计划。计划是灵活

的、开放的，以满足变化的任务和进度。

5.2.1 实施计划

实施计划需要有必要的信息来确定需求，开发一个实施体系结构，以执行全球观测信息网络的目标，特别是交换全球观测数据的网络间的综合连接和互操作。

由联合计划工作组开发的实施方法和步骤包括：

(1) 确认候选数据集。联合计划工作组中的每个参与组织正在确定已存在的和正计划开发的数据集，这些数据集通过联合计划工作组可获得。计划的数据包括从规划的地球观察卫星而获得的数据或实地测量数据收集计划获得的数据。

(2) 确定用户对数据集的需求。每个参与组织是全球观测数据的潜在用户，确定用户对联合计划工作组数据集的需求，确定用户对数据质量、使用频率、传送方法的要求，以及影响他们使用全球观测信息网络的其他特征。

(3) 确定用户对网络服务的要求，确定用户对全球观测信息网络数据的需求，并提供互操作。

(4) 确定网络需求，确定用户对网络连接和网络服务的要求，以及全球观测信息网络数据集的网络支持需求。

(5) 确认已存在的和计划中的网络资源，确认参与组织目前所用网络的连接性和它们任务所需的资源。这些网络，如地球观测系统数据和信息系统 (EOSDIS) 网络以及全球通信系统(GTS)。

(6) 确认互操作需求。用户访问、检索和相互使用全球观测信息网络数据将依赖于组织的系统间某些程序上的互操作，至少包括数据的媒体传送。由于互操作将通过标准、共同的访问服务和共同的技术来实现，全球观测信息网络参与者将讨论实现这些互操作的共同方法。

(7) 标准、共同的访问服务和共同的技术。参与组织将讨论共同的标准、访问服务和技术的开发，这将是全球观测信息网络的长期目标，每个组织将朝这个目标努力，并同其任务保持一致性。

(8) 显示。用已存在的网络资源显示日美间电子数据交换的能力。

实施计划确定应用网络来交换全球观测数据和信息是必要的。该实施计划讨论网络的可接受的应用政策，在网络服务的认证和开发上合作，讨论日本空间活动委员会的建议（在日本最近宣布的周期为 30 年的空间开发计划背景下），即协调全球观测系统的开发。美国建议同日本一起开发全球观测系统，特别是在全球观测信息网络上的共同日程对未来全球观测系统的贡献。

联合计划工作组工作计划：JPWG 开发和执行的一个工作计划以解决上述的问题。工作计划和进度包括：1993 年 9 月，联合计划工作组的建立，联合行动的开展；1993 年 10 月，开始对已存在的和计划中的网络能力的研究；1994 年 5 月，开始太平洋数据和信息流的评估(用户需求)，确定网络能力，开始对建议的概念体系结构的开发，并准备演示计划；1994 年 10 月，起草执行计划，协调演示；1995 年 6 月，执行计划的出台以及 GOIN 演示。

5.2.2 GOIN 演示

演示的目的是达到GOIN初始目标，它们提供双边交换实体观测数据的演示和操作能力。

1994年第二季度，日本空间开发局NASDA与美国NASA进行互操作实验。在日本，这个演示提供了对全球变化主目录(global change master directory，简称GCMD)服务器的访问。

在美国，这个演示提供了对NASDA地球观测数据和信息系统的数据和目录的浏览，它也提供了日本地球遥感卫星(JERS-1)的低分辨率产品(综合孔径雷达SAR FDP数据)的访问。

1995年第二季度，日美政府确定了一系列演示计划，以支持GOIN日程，这些演示包括4种活动类型：(1) 通过电子网络发现数据；(2) 通过电子网络交换数据；(3) 科学合作；(4) 信息服务技术。

演示计划的每个活动简要总结如下(包括参与者、操作和网络应用类型)。

1. 通过电子网络发现数据

访问和应用多个部门间的目录信息，用日本的国家空间开发局NASDA的Sinfonia Ⅱ和美国地球观测系统数据和信息系统(EOSDIS)Version 0 IMS系统来访问和应用位于下列地点的目录信息：NASDA，NASA，NOAA，以及EROS的数据中心(EDC)。所用网络为：TISN，Internet，Veision 0内部网络。其中：

- V0 IMS为Version 0信息管理系统；
- TISM为Todai国际科学网络；
- NASDA为日本国家空间开发局；
- NASA为美国空间和航天局；
- NOAA为美国大气和海洋局；
- EROS为地球资源观测系统。

2. 通过电子网络交换数据

日本和美国将通过电子网络交换所选择的数据，这些交换有(只列举其中的一部分)：

(1) NASDA与ASF(阿拉斯加(Alaska)SAR设施)相互交换日本地球遥感卫星JERS-1 POP数据。

(2) MPT/CRL(邮政和电信部/通信研究实验室)与NGDC(国家地球物理数据中心)相互交换电离层探测数据。

(3) MPT/CRL与NOAA(SESC)相互交换空间天气预报数据。

(4) JODC/MOT(日本海洋数据中心/日本交通部)与NODC(国家海洋数据中心)相互交换海洋数据集。

(5) NASDA与USGS EDC(GLIS)相互交换AVHRR(甚高分辨率辐射仪)、Landsat和地形数据。

USGS 为美国地质测量局。

EDC 为 EROS 数据中心。

GLIS 为全球陆地信息系统。

(6) JMA(日本气象局)与 NWS(国家天气服务)交换现行和预测的流行图,观测的数据集,以及栅格格式的全球数字预测模型。

(7) JAMSTEC 与 WHOL 交换海深数据。

(8) FFRPI 与 TBD 交换森林数据。

(9) NSF(美国家科学基金会)与 MESC(日本教育、科学和文化部)交换全球教育数据。

(10) ERI(东京大学地震研究所)与 IRIS-DMC(地震协调研究所)以交换地震/火山损害评估数据。

(11) WDC-C2 与 NOAA/NGDC 交换地磁数据

WDC-C2: 东京大学地磁和空间磁学数据分析中心

NGDC:国家地球物理中心。

(12) NIED 与 Caltec 交换地震观测数据

NIED: 地球科学和灾害消除国家研究所

Caltec: 加利福尼亚学院

3. 科学合作

进行了交互式科学讨论会。通过网络在 Ropongi First Building,Evena Hall 和 NASDA(EOC)以及科罗拉多大学之间进行视频会议、电子白板、联机合作分析、数据集和算法交换的演示和实验。

4. 信息服务技术

这个演示提供对政府部门的数据和信息服务器的远程电子访问,服务器用 mosaic, Gopher 或 world wide web 服务器。日本参加者为 NASDA、CRL、JAMSTER 等,美国参加的部门和系统有 NASA、NOAA、全球变化数据和信息系统以及全球变化主目录系统。

5. 未来执行方法

正如上面计划所提到,参人组织已开始了行动,GOIN 原型需要进一步发展。需要定义和提取用户需求,以及对网络的需求。GOIN 数据集以及演示在 1995 年以后仍将继续,预期 GOIN 数据集将被扩展,并定义新的任务。另外,通过日美政府组织和日美以外其他国家政府组织的合作过程,希望可用到全球观察数据集。这些数据包括有价值的地球科学和环境资源数据,它们可以作为 GOIN 的全球观察数据集。GOIN 的进一步发展将提高全球观测数据的交换。

网络连接、网络服务和互操作能力将被进一步深化,GOIN 的演示计划用于提供一个连续的全球观察数据的双边交换,提供一个对全球观测数据集的交换,扩展网络资源以满足参人部门对交换数据的增长的需求。

1995 年 6 月后，将开始过渡阶段活动，JPWG 将半年或一年举行一次会议，将检查、估计和讨论进度和实验。JPWG 将提供过渡阶段的活动的报告，在 1997 年 6 月的第一个阶段后，双方将确定下一个过渡阶段和活动。

美国怀着巨大的兴趣注意到日本空间活动委员会的建议（在日本最近宣布的 30 年空间开发计划背景下）。这个建议是协作开发全球观测系统（GEOS），它建立在全球数据信息网络基础之上，美国通过它的环境和资源部门的委员会来参加 GEOS 的开发，并同日本合作。GOIN 共同日程将对未来全球观测系统有潜在贡献，GOIN 也提供了对宽带网的促进。

5.2.3 GOIN 的应用政策

全球观测信息网络的主要目的是增强在地球观测信息网络上的合作，通过扩展已有网络的连接，来促进全球变化研究、灾害监测以及其他应用，支持即将到来的美日空间任务协作，简化对卫星数据和地区观测数据的应用和分析。这是美国和日本政府部门的政策，GOIN 用于授权的目的，而不用于商业目的和利益。

下列数据原则是访问、交换、使用和生产数据和信息的指导，这些数据和信息是由全球观测信息网络获取的。

（1）地球观测卫星委员会的卫星数据交换原则；

（2）数据和产品的国际交换委托原则和世界气象组织交换的新框架实践指南；

（3）国际政府向海洋委员会/国际海洋数据和信息交换的全球海洋程序数据管理政策；

（4）国际科学联合会世界数据中心系统指南。

参加 GOIN 的部门组织的利益：

（1）与美日政府间部门的合作容易，以促进全球变化研究、灾害监测及其他应用，以支持将要到来的美日合作空间任务，使在分析应用卫星数据及地面观测数据上的合作更容易；

（2）支持美日政府部门民间和官方研究计划的协调和管理；

（3）支持官方政府部门发起的研究计划、相关的训练、研究协作和相关的技术活动，以及非盈利的研究和教育；

（4）使部门研究计划和非盈利研究的国际研究者和教育者受益。

5.2.4 GOIN 的技术需求

GOIN 的目的是在已存在的和规划的全球观测数据网络间实现综合的互联和互操作，例如卫星数据和实地观测数据，以使分析和应用全球观测数据容易。为了达到这些目标，提供网络连接性、互操作性和访问服务是重要的，在技术上定义这些术语是有用的。这些术语定义如下。

互操作：在网络上两个系统协作操作的能力，如发送和接收数据，搜索和检索信息，客户服务器相互作用。一般，确切的功能和互操作的层次水平在操作系统的每一组中定义。

连接性：在开放系统互联 OSI 的物理层上两个系统的连接，连接性提供两个站间的协调机制和水平上的连接。连接性并不意味着两系统间传输有用信息。

访问服务：执行 OSI 所有七层功能的协议、软件和通信工具，使用户可以查看、交互、定购和检索全球观测数据和信息，访问服务包括全面的对用户的数据和信息服务（目录、定购、浏览、分布、用户支持）以及下面的档案和网络服务。

体系结构：GOIN 体系结构包括网络连接、支持的基础设施、提供给用户访问全球观测数据的信息系统等。在 GOIN 开始阶段是用各参入组织的已有资源，这保证当前操作能力的应用，减少重复，如增加网络连接带宽以支持数据交换，参入部门将协调工作以实施所需能力。

GOIN 的体系结构是开放的和灵活的，它的演化将满足用户的变化着的需求。目前 GOIN 的构成是美国和日本间已存在和开发中的网络连接。网络连接性将继续提高，并在美日部门间执行新的连接。在 GOIN 初始实施下，网络连接的目前状态将由 JPWG 继续更新改造。

GOIN 体系结构也包括部门基础设施，用以支持、维护和访问各部门提供给 GOIN 的全球观测数据。在 GOIN 初始实施时，每个部门将继续服务自己的用户界，然而，数据和信息系统将被有效地连接以提供部门间的数据交换。用户期望能够以一定程度的互操作性访问参加部门的信息和数据。在这个概念框架内实际的物理配置随着用户需求和技术而改变，以及不同部门到达 GOIN 互操作的程度而变。

系统是足够灵活的，随着参加部门的数量而变化。JPWG 将积极扩展 GOIN 参加部门，以便包括日美研究项目所需的数据和信息的各个提供部门。鼓励它们参入 GOIN，并作为一个系统而规划，一个部门可以承担适当的责任，目的是 GOIN 信息服务目标的完全实施。

在部门间和内部访问他们的数据和信息有很大的多样性，从高度的自动系统到巨大的手工系统，在部门内系统的演进将以不同的速度进行，因为部门用户任务需求以及预算约束等不同。GOIN 体系结构必须是灵活和可以修改的，以满足这个高度异构的和变化着的环境。

接口标准：从用户的观点看，为了使 GOIN 访问系统的互操作性成功，必须在参入部门间的数据和信息系统以及服务上有足够程度的共性。部门贡献给 GOIN 的是异质的集合，从几乎完全手工的系统到自动系统，但永远不会是完美的自动系统，互操作解决必须考虑共同的接口标准。

在互操作下，用户看到的是各种实施方法，如客户服务器体系结构的应用，并随信息系统技术的进展而改进，单个部门能实施的互操作的进度和程度将随部门自己的任务、计划进度和费用约束而变。因此，互操作和 GOIN 体系结构将随着时间和部门的不同以不同步骤而演进。

标准和过程方法：GOIN 将在对全球变化数据和信息以及支持的访问服务的一致性等方面采纳推荐的共同标准和过程。在标准方面的目的不仅是使对系统的应用容易，而且使系统的构成元素的演进容易。

参加部门对全球观察数据和信息的访问通过国际标准和协议（如 Unicode、ISO 和

CEOS 标准),这使国际合作容易。采纳这些标准将使系统的未来扩展容易。

在部门间的技术共享:技术共享将集中于软硬件技术,以减少访问不同部门数据和信息系统的差异,技术共享也提供节省费用和促进所需能力的迅速实施,双边和多边技术共享将有利于促进 GOIN 体系结构的实施。

访问服务:访问包括给用户的数据和信息的各种服务,包括目录(catalog)、定购(order)、浏览(browse)、分发(distribution)和用户支持,以及档案和网络服务。对这些服务的电子访问将通过GOIN 网络资源提供给用户。他们对这些产品的应用将通过共同的媒介和格式以及一致的文档而变得容易实现。

虽然电子的、联机的方法使用户访问 GOIN 数据容易进行,GOIN 访问服务将总是由手工的、自动化的、联机和脱机的混合方式提供,然而在将来这种混合方式更多的是以电子方式,在用户支持的关键领域仍然保留手工服务方式。

访问服务的用户视图:下面是 GOIN 访问服务的用户视图。

(1) 数据集:用户必须能长期使用 GOIN 的数据、信息和相关文档的集成;

(2) 目录:用户至少能够很容易地确定和定位全球变化数据集、数据系统和相关的信息;

(3) 联机指南和关键数据集的详细文档以方便的形式提供必要的信息;

(4) 清单:用户必须能够确定和选择多个部门的数据集;

(5) 浏览:允许用户在屏幕上浏览数据,找到确切的数据,减少用户的访问时间;

(6) 定购:确定用户需要的数据和信息后,用户必须能够定购它;

(7) 分发:及时地传递和共同的格式给用户提供很大的好处,减少请求数据集的时间周期(特别是数据的合并);

(8) 脱机访问:最基本的要求是用户必须能够访问优先的全球变化数据和信息,包括数据集文档和相关报告的硬拷贝。

5.2.5 实施组织

JPWG 有责任开发和执行 GOIN 实施计划,JPWG 是一个由自愿参入部门构成的组织,它作为一个联合工作组其目的是开发全球观测信息网络的合作,并为实现 GOIN 目标制定工作计划。确定参入部门需求,确定已存在的能力,制定计划和开展工程项目以实施 GOIN 新的目标和更高的能力,每个自愿部门贡献其资源以执行工作计划和实现 GOIN 目标。每个部门将根据自己能力和进度来开发新的资源以作为对 GOIN 的贡献,对于 GOIN 维持 一个开放的系统和体系结构是重要的,它可以满足参入部门的各种不同进度。

GOIN 计划中的关键初始工作包括:

(1) 确认候选的数据集;

(2) 确定用户对数据集的要求;

(3) 从网络服务派生用户需求;

(4) 决定网络需求;

(5) 确认已存在的和规划的网络资源;

(6) 提供网络能力；

(7) 执行网络演示；

(8) 确认互操作需求；

(9) 开发标准，共同访问服务和共同技术。

JPWG 已开始了这些原型工程，参加部门已取得进展，演示提供操作上的实验。

5.2.6 未来的 GOIN 活动

JPWG 在 GOIN 原型的基础上进一步工作。JPWG 的主要活动包括：

(1) 维护和扩展 GOIN 数据集，包括参入部门的额外数据集，以及新的 GOIN 参加者的数据；

(2) 重新评估用户对数据集的需求；

(3) 重新评估用户对网络服务的需求；

(4) 更新已存在和规划的网络资源的描述；

(5) 提供新的网络能力；

(6) 改进互操作需求；

(7) 扩展标准，共同访问服务和共同技术；

(8) 开发另外的演示；

(9) 同其他政府和国际活动的协调，如全球观测系统(GEOS)。

5.2.7 资金

GOIN 的各参加部门是以自愿为基础的，资金和其他资源由各个部门自愿提供。

实施 GOIN 原型的工作计划的费用估计为：整个体系结构的设计、新的网络能力的开发和它们的操作费用、开发数据库、共同技术的开发、数据交换/分发费用、演示费和其他费。

5.3 世界数据中心(WDC)系统

世界数据中心(World Data Center，简称 WDC)成立于 1957 年，目的是为国际地球物理年的观测数据建立数据档案。当时只有设在美国的 WDC-A 以及设在前苏联的 WDC-B。随着 1958 年、1959 年和 1960 年国际地球物理界合作的继续，世界数据中心系统继续收集数据并一直为各学科团体及个人服务，世界数据中心系统的许多档案还存有更早时间的数据。

在国际地球物理年(IGY)期间，世界数据中心系统的活动由在布鲁塞尔的国际地球物理年协调组指导，监控从 IGY 到 WDC 的数据流。1968 年以来，世界数据中心系统由国际科学联合会理事会(ICSU)世界数据中心专门委员会进行指导并协调工作。发展至今，世界数据中心涉及的科学领域有地球科学、环境科学和空间科学。

世界数据中心的三个主要业务活动是数据的收集、交换和服务。同时，又应国际科学联合会理事会的要求，承担了一系列重要的国际科学计划要求保存的数据的管理。

世界数据中心根据现行系统指南的有关规定进行数据的收集、交换和服务；数据主要来源于科研单位、科研人员、课题或项目、国家数据中心和世界数据中心系统内的成员单位；中心必须为数据存储和维护提供适当的设备，而且确保数据复制具有足够的精度；世界数据中心负责数据的组合、编辑、目录出版、归档、检索以及对外服务；另外，世界数据中心还负责探索数据存储、通信以及用户存取数据方面的现代技术应用，并在数据格式标准化方面开展国际合作；每个世界数据中心必须对任何国家的来访者开放，而且保存的所有数据应易于来访者和工作人员存取和使用。

世界数据中心由国际科学联合会(ICSU)世界数据中心专门委员会进行指导并协调工作。该委员会是由 ICSU 有关的代表及 WDC 系统的代表组成。世界数据中心专门委员会会议通常在国际科学联合会理事会的大会期间召开，世界数据中心也在适当时候组织召开有关数据工作方面的会议。

目前世界数据中心系统有 4 个中心，5 个部分：WDC-A(美国)、WDC-B(俄罗斯)、WDC-C(C1 欧洲，C2 日本)、WDC-D(中国)。具体如下。

1. 世界数据中心 A

WDC-A 设在美国，由一个协调办公室和 13 个学科中心组成，协调办公室设在美国科学院。WDC-A 的 13 个学科中心是：

(1) 冰川学(冰与雪)中心(在科罗拉多州博尔德市，由科罗拉多大学环境科学研究所和美国海洋和大气管理局共同管理)；

(2) 大气微量气体中心(在田纳西州的橡树岭，属于橡树岭国家实验室二氧化碳信息分析中心)；

(3) 海洋地质学与地球物理学中心(在科罗拉多州博尔德市，属于美国国家地球物理数据中心)；

(4) 气象学中心(在北卡罗来纳州阿什维尔市，属于美国国家气候数据中心)；

(5) 日地物理学中心(在科罗拉多州博尔德市，属于美国国家地球物理数据中心)；

(6) 地震学中心(在科罗拉多州丹佛市，属于美国地质调查局国家地震信息中心)；

(7) 环境中人类的相互作用中心(密歇根)；

(8) 海洋学中心(在华盛顿，属于美国国家海洋数据中心)；

(9) 火箭与卫星中心(在马里兰州的格林贝尔特，属于美国国家空间科学数据中心)；

(10) 地球自转中心(在华盛顿，属于美国海军部)；

(11) 固体地球物理中心(在科罗拉多州博尔德市，属于美国国家地球物理数据中心)；

(12) 遥感陆地数据中心(在南达科他州的苏福尔斯，属于美国地质调查局地球资料观测卫星数据中心)；

(13) 古气候学中心(在科罗拉多州博尔德市，属于美国国家地球物理数据中心)。

2. 世界数据中心 B

WDC-B 设在俄罗斯，该中心由 4 部分组成：

(1) 日地物理学中心(设在莫斯科市,属于俄罗斯科学院地球物理委员会);

(2) 海洋地质与地球物理学中心(设在各连齐克市,属俄罗斯地质部南方海洋地质勘探工作综合公司);

(3) 海洋学、气象学、火箭与卫星、地球自转中心(设在奥布宁斯克市,属俄罗斯国家水文气象与环境管理监测管理局全俄罗斯水文气象信息研究所);

(4) 固体地球物理学中心(设在莫斯科市,属于俄罗斯科学院地球物理委员会)。

3. 世界数据中心 C

WDC-C 分为 C1(欧洲)和 C2(日本)。WDC-C 的名称是很复杂的,欧洲的 WDC 中,如有与设在日本的中心学科相同的,则称为 C1,用以与日本的中心 C2 区分;否则,欧洲的中心学科简单地称为 C。这些学科分别为:

WDC-C1 的 9 个学科中心:

C 冰川学中心(英国剑桥,皇家学会斯考特极地研究所);

C 地球潮汐中心(比利时布鲁塞尔,比利时皇家观测台);

C1 哥本哈根地磁学中心(丹麦的哥本哈根,丹麦气象研究所);

C1 爱丁堡地磁学中心(英国爱丁堡,英国地质调查局国家环境研究委员会);

C 近期地壳运动中心(捷克的布拉格,国际近期地壳运动中心);

C 太阳活动中心(法国巴黎天文台);

C1 日地物理学中心(英国牛津郡,罗斯福-阿普尔顿实验室);

C 太阳黑子指数中心(比利时布鲁塞尔,比利时皇家观测台);

C 土壤地理与分类中心(荷兰瓦赫宁恩,国际土壤参照与信息中心)。

WDC-C2 的中心在日本有 8 个,在印度 1 个。日本的中心由日本科委日地物理国家委员会世界数据中心工作组负责管理,其 8 个中心中的绝大多数在日地物理领域。9 个学科中心如下:

气候中心(日本东京天文台);

极光中心(日本国际极地研究所);

宇宙射线中心(名古屋大学);

地磁学中心(京都大学);

电离层中心(东京无线电研究实验室);

核辐射中心(日本气象厅);

太阳射电辐射中心(名古屋大学);

日地活动中心(东京空间和宇航学研究所);

地磁学中心(印度孟买)。

4. 世界数据中心 D

我国 1988 年加入 WDC。当时考虑到在科学方面国际合作的重要性,中国科学院在中国科协、原地矿部、中国气象局、国家海洋局、国家地震局等有关部门协调并经国家科委正式批准,正式加入世界数据中心系统。

WDC-D 目前共有海洋、气象、地震、地质、地球物理、空间、天文、冰川冻土、可再生资源与环境等 9 个学科中心。

由于技术基础条件的限制，WDC-D 各学科中心在 Internet 网上开展数据服务起步较晚；各中心因其具体情况不同，开展 Internet 网上服务的进展程度不同。下面是 WDC-D 中国中心：

(1) 冰川冻土学科中心(挂靠中国科学院兰州冰川冻土研究所)；

(2) 可再生资源与环境学科中心(挂靠中国科学院和国家计委自然资源综合考察委员会)；

(3) 天文学科中心(中国科学院北京天文台)；

(4) 气象学科中心(国家气象局)；

(5) 地球物理学科中心(中国科学院地球物理研究所)；

(6) 空间学科中心(中国科学院空间科学与应用研究中心)；

(7) 海洋学科中心(国家海洋局海洋信息中心)；

(8) 地震学科中心(国家地震局地震数据中心)。

第六章　地球空间数据标准化问题

信息共享的关键是信息的标准化。标准化是伴随生产力发展的一种改造客观世界的社会活动，是对重复事物和概念所作的统一规定，其本质是管理。地理空间信息则是地理学研究内涵的表达，它通过对地理学研究对象进行抽象与概念化，用定性或定量方法描述其本质，是一种可用于建立地理对象描述标准的载体，是空间信息标准化研究的主要组成部分。

6.1　标准化综述

标准化是人类生活与生产的重要组成部分，它是人类文明的产物。其历史可追溯到大约5000年前的埃及，那时该地区部分地方已出现了可交换使用的弓和箭。然而，由于由石器时代向现代工业革命的进程经历了几千年的艰辛，古代标准化的发展一直很缓慢。直至1798年，随着枪的批量制造，才从美国诞生了近代工业的标准化。它的发展使人类社会进入了一个崭新的时代，即现代工业化社会。然而对标准化的系统研究却是伴随工业化社会的需求与各种标准团体的成立开始的。

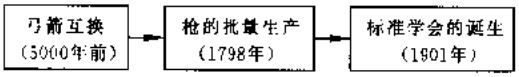


图 6.1　标准化的发展过程

1901年世界上第一个国家标准化团体——英国标准学会诞生，使标准化研究开始向协调发展方向努力。紧接着，1906年成立了国际电工委员会(IEC)，1926年成立了国际标准化协会(ISA，即国际标准化组织的前身，在第二次世界大战中解体)。这些组织的成立，为国际标准化的发展起了推动的作用，也为工业化社会向信息化社会的过渡奠定了基础。

事实上真正对标准化的发展具有影响力的事件是1947年2月国际标准化委员会(ISO)的成立，特别是ISO 9000《质量管理和质量保证》系列标准的制定以及ISO 14000系列环境标准的出台。由于这些行动对整个社会的发展产生了很大的效益，并与人们的生活和生产息息相关，这样不仅扩大了标准化在全球范围内的影响力，而且使ISO的标准成了整个社会遵循的准则。

我国于1978年以国家技术监督局的名义重新加入ISO，参加国际标准化组织，并开始了标准化方面的研究与探讨工作。1980年成立了中国标准化协会，1989年颁布了《中华人民共和国标准化法》，这一系列活动标志着我国标准化工作已逐渐走上正规，并纳入了法制管理轨道。

在《中华人民共和国标准化法》中，根据目前国际上标准的制定与实施情况，提出了适

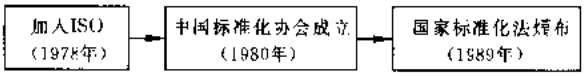


图 6.2 我国标准化进程

合我国国情的标准化政策，并指出在今后我国标准制定中应积极采用国际标准或国外先进标准，同时将我国标准采用国际标准或国外先进标准的程度，分为等同采用、等效采用和非等效采用三种，以便灵活应用。这一政策的实施，为我国标准化的建设起到了推动的作用，使得我国迄今在已制定的 17000 多个国家标准中，有 43%左右采用了国际标准或国外先进标准，并争取到"九五"末期对 ISO、IEC 现行的 12000 多个国际标准除了地理、气候以及基本技术等原因外，都要转化为我国标准，并尽可能等同、等效采用。

6.2 地理信息标准化的形成

如果说 1946 年电子计算机的问世是信息革命的序幕，那么 1957 年第一颗人造卫星的升空，便标志着人类进入太空时代，以崭新的角度开始重新认识自己赖以生存的地球，从而掀起了汹涌澎湃的信息革命浪潮。

1975 年，美国国防部的高级研究计划局(Advanced Research Project Agency，简称 ARPA)，通过卫星和无线电传输，形成了连接加州大学洛杉矶分校、圣芭芭拉分校、尤它州大学和斯坦福大学研究所的 ARPANET 网络，即 Internet 的雏形。该网络的建成标志着人类迈入信息化社会的障碍已排除，因而美国政府 1993 年放弃"星球大战"和"新一代高能加速器"计划，推出了"国家信息基础设施"(National Information Infrastructure，简称 NII)，即信息高速公路这一令世界注目的跨世纪高科技信息技术系统工程，使信息革命进入实质性阶段。紧接着，世界上许多国家纷纷响应，使信息高速公路成为全球研究的热点。

信息革命在全球的兴起，使信息标准化工作日趋升温。国际标准化组织也意识到为对付信息爆炸和迅速有效地利用其潜力，如果不靠国际标准化来有效地引导信息迅猛的发展趋势，必将出现一个电子的混乱局面。于是在 1982 年 ARPANET 采用 TCP/IP 标准来解决网络兼容问题后，ISO 迅速作出反应，并从 TCP/IP 的应用中得到启示，大量吸收 TCP/IP 的先进部分，完善其不足之处，提出了"开放系统互联参考模型(OSI/RM)"，以求得国际间信息通信模式的统一。据统计，OSI 方面的正式标准目前已有 120 余项，并且国际上绝大多数厂商都向 OSI 体系过渡，美国国防部 1986 年也宣布了 TCP/IP 向 OSI 过渡的计划。

OSI 作为世界范围内的标准，涉及的问题十分复杂，体系也相当庞大，协议程序至今已齐备，在理论上几乎无懈可击。然而在实际应用中，OSI 并没有像 TCP/IP 那样在市场上流行。因此，各国政府又根据本国的实际情况，以 OSI 为基本标准，制定了相应的较精练的协议体系，即政府开放互联配置(GOSIP)，为本国服务。

自 1987 年 GOSIP 问世以来，网络系统互联的研究日趋活跃，并在近年来掀起了又一次高潮，先后推动了美国的"政府 OSIP"、英国政府 OSIP 和欧洲开放系统指南(EPHOS)

等新的体系规范的研究，并且这些体系都以OSI为基础，推动着ISO标准化的发展。它们的出现，不仅使信息化社会研究的内涵越来越丰富，同时也为信息化社会的到来铺平了道路。

在地理信息方面，国家信息基础设施(NII)和国家空间数据基础设施(NSDI)中都提到了标准化和规范化问题，因为它是系统资源，包括数据、硬件及软件等资源共享的基础。因此，标准化与规范化广受关注。正在制订标准和规范的重要的单位有：

(1) ISO/TC 211：国际标准化组织TC 211专题组；

(2) FGDC：美国联邦地理数据委员会；

(3) CEN/TC 287：欧洲标准化委员会；

(4) OGC：美国OpenGIS协会；

(5) MEGRIN：欧洲地图事务组织；

(6) CGSD：加拿大标准委员会；

(7) NASA：DIF美国航天航空局DIF。

这些组织中往往包含了很多国家的专家，他们定期举行讨论会，每年至少一次，有的2～3次。一般都分成若干专题组负责制订标准的各个部分，以欧洲标准化组织为例，他们的标准化的制订工作分为：参考模型标准、数据描述(定义)标准、数据描述(技术)标准、数据应用模式标准、数据几何标准、数据质量标准、数据传输标准和数据定位标准等专题小组，负责专题标准的制订工作。国际标准化组织ISO的TC211专题组，制订标准的内容也基本相似，如数据的定义标准、数据的描述标准、数据的几何描述标准、数据的质量标准、数据的参考(坐标)标准、数据的转换标准及Metadata标准等。从执行的情况来看Metadata受到的关注最多，讨论的也最多。另外Open GIS Consortium(OGC)对制订标准的工作也十分重视。有很多科学工作者、软件开发者、公司经理及政府管理工作者，都参与这项标准的制订工作。以上7个单位的标准的侧重点各有不同，OGC负责了不同软件的GIS系统之间的共享问题。

国际标准化组织(ISO)也成立了TC211地理信息/地球信息委员会，研究和制定数字地理信息的对象结构和标准，为不同的用户、不同的系统之间，地理信息的表现、查询、处理、分析、共享、管理和传输方法提供标准。

欧洲标准化组织CEN/TC 287 CERCO，是包括了30多个国家参加的地理信息标准组织，制定了GI2000计划和EGII计划，以实现地理信息的互操作。

有70多个政府部门、研究机构和软件厂商组成的开放地理数据互操作规范OpenGIS协会OGC，制定网络环境下地理空间信息的互操作标准，实现不同地理信息系统之间的信息集成和软件互操作，这些标准和技术为实现空间信息基础设施提供了基础。

我国地球信息技术系统的标准化和规范化的工作由国家技术标准监督局负责，国家测绘局牵头，吸收很多生产及科研与教育部门参加，并成立了一个专门小组负责标准的制订。各部门不仅分工负责，定期开会，而且还参加ISO/TC211专题组的活动，定期参加召开的国际会议，把中国标准的制订工作与国际的标准制订工作相连接起来。另外一些生产部门也在制订行业的遥感与GIS标准和规范。国防科技部门也在分别制订相应的、适用军事的遥感与GIS的技术标准与规范。目前的问题是，国标、军标与国际标准要可以接轨，又要有自己的特色。

第七章　地理信息的互操作及 OpenGIS 规范

地理信息的互操作是 UCGIS 的优先研究领域之一[3]。互操作不仅有理论性和前瞻性，而且在当前的 GIS 系统中有其实用性。目前 GIS 界已经制定了 OpenGIS 互操作规范，并且还在继续完善之中。

GIS 在过去 20 多年中已得到广泛的应用，其使用范围涉及多学科和多部门，在资源管理、环境治理、预防灾害、区域规划、城市管理、科研、教育和国防等领域得到重要应用，但是 GIS 应用系统被认为是信息孤岛[27]，应用部门在开发地理信息系统时通常根据本部门的特定情况采用不同的数据建模方法，选用不同厂商的 GIS 软件，不同软件采用不同的空间数据格式，对地理数据的组织有很大的差异。这使得在不同 GIS 软件上开发的系统间的数据交换存在困难，采用数据转换标准也只能部分解决问题。另外，不同的应用部门对地理现象有不同的理解，对地理信息有不同的数据定义，这使得领域间在共同协作中进行信息共享和交流存在障碍。这些问题归结为地理信息系统间的互操作问题。互操作是系统集成的基础[28]。

各部门对 GIS 互操作有迫切的需要。首先是解决对基础数据的共享问题。各部门对建立的 GIS 应用系统，在有限的经济条件下，更着眼于本部门专业信息及模型的开发，而对基础数据及其他专业数据通过有偿共享而获得。其次，GIS 的应用部门对综合和集成有较强的要求，特别是社会发展、经济发展走向一体化，以及可持续发展的要求，需要多学科多部门的协作。第三，GIS 正在走向社会化，融于主流的信息技术，成为信息社会和信息基础设施的重要组成部分。如果 GIS 缺乏互操作性，这些就不可能实现。

互操作应包括哪些内容？以下是 GIS 互操作的几个定义。

“互操作地理信息处理”(Interoperable geoprocessing)是指数字系统的这些能力：(1)自由地交换所有关于地球的信息，即所有关于地表上的、空中的、地球表面以下的对象和现象的信息；(2)通过网络协作运行能够操作这些信息的软件。概括为自由交换地理空间信息以及协作运行地理空间信息处理的软件。

所谓互操作，就是指异构环境下两个或两个以上的实体，尽管它们实现的语言、执行的环境和基于的模型不同，但它们可以相互通信和协作，以完成某一特定任务。这些实体包括应用程序、对象、系统运行环境等[29]。

互操作是一个信息系统的各构件的自由地混合及匹配，而不是全面成功的折中方案。一个信息系统的构件包括：软件、硬件、网络、数据、工作流、过程程序、人机界面、用户和训练[30]。但在数据格式、软件产品、空间概念、质量标准和世界模型等方面的不兼容性使“GIS 互操作对用户只是一个梦想，但对系统开发者却是一场噩梦。”[31]

互操作在软件工业意味着界面的开放。内部数据结构的公开发表允许 GIS 用户从不同的开发者那里集成软件构件，允许新的软件厂商用可竞争的产品进入市场，并可与已存

在的构件互换。正像可互换的部件有助于汽车工业的竞争一样，OpenGIS 规范是开放互操作方面的重要进展。互操作也意味着系统间的自由数据交换，交换标准如空间数据转换标准(SDTS)对系统间的数据转换有重要的作用。互操作也意味着在用户交换作用上的公共性。

目前 GIS 结构需要用户是专家，他必须学习大部分特定系统的术语。互操作方面的进步将由易用性来度量，由完成某一任务所需要的培训来表示。

要解决不同信息界、不同系统间的互操作问题，首先要了解地理信息的认知以及在系统中的表示。

7.1 地理信息的认知表示及其互操作

不同的学科和部门对地理真实世界的不同侧面感兴趣。在一个地理区域框架内，地籍部门需要区域内的地块的所有权、地块的范围界线等方面的信息；交通管理部门需要道路的分布、道路的状况等信息；产业部门需要区域内的人口、资源、市场等信息。空间区域框架只有一个，但其上的各种自然、社会、经济和人类思维信息是无穷的。人类可以按照自己的思维认识和改造自然，这种思维模式是无穷的。不同学科、不同领域和部门可以按照自己的规则和需要对空间区域上各要素建立不同的模型，建模方式也是无穷的。随着人类科学技术的进步，关于区域空间的地理信息越来越多。

对真实世界认知和抽象，并在工程世界里形式化地表示，虽然不同学科的目标和方式不同，但其过程是相似的。图 7.1 是真实世界抽象层次到工程世界的概括。

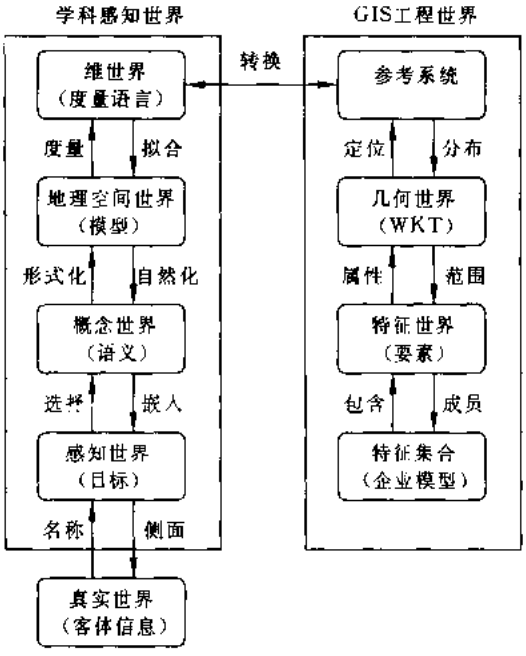


图 7.1 某一领域的学科感知世界到 GIS 工程世界的抽象层次

学科感知世界表示不同的研究和应用领域，对真实世界的不同侧面感兴趣。他们有不

同的研究内容和规则。

GIS 工程世界表示不同的系统开发，它们采用不同的数据模型、不同的数据结构、不同的空间数据类型的表示、不同的数据定义语言和数据操作语言。

由于不同学科对真实世界的不同目标和侧面感兴趣，他们会在工程世界中采用不同的 GIS 系统，图 7.1 中左侧为某一领域学科的感知，右侧是采用的 GIS 系统。不同的学科间及其采用不同的 GIS 系统间的互操作可以概括为 4 种情况：

(1) 相同领域采用相同的 GIS 软件，但是对地理信息的数据定义用不同句法、不同的分类等级，包括不同的数据项及其编码。这种句法和外延上的异构性可以通过制定行业内的标准加以解决，例如植被分类标准、土壤地理数据标准、地籍数据内容标准、设施内容标准、地址内容标准等。

(2) 相同领域采用不同的 GIS 软件。除了上面的句法异构外，主要是不同软件采用了不同的空间数据结构。为了解决这种系统间的集成和互操作，需要制定空间数据转换标准，例如 SDTS。

(3) 不同领域采用相同的 GIS 软件。由于不同领域对同一区域或对象的不同侧面感兴趣，对同一对象给予不同的名称，这可以通过建立基础空间信息框架，对各领域共用的基础信息的给予永久标识代码，在此基础上建立各专业领域信息，各领域间的集成是垂直片段的集成。但在集成中，存在不同领域的对某一类别语义外延的不同，例如假设地籍部门对住宅区按照地价分类成不同的类别及其所有权，交通部门对住宅区按照用途分成不同的类及其交通连通性，城市规划部门要用这两个部门的信息，则在集成时需要语义上的转换，即语义上的互操作。

(4) 不同的领域采用不同的 GIS 软件，这是最普遍的情况。需要数据转换和语义上的转换，是最难实现的一种情况。

目前，OGC 协会正在制定 OpenGIS 规范，以实现不同的 GIS 软件间的互操作。如果成功，则以上的第二种和第四种情况中的互操作问题将部分地得到解决，但仍然存在学科数据标准、共享的空间信息框架和语义上的互操作等问题。

7.2 OpenGIS 规范

7.2.1 概述

OpenGIS 是指开放的地学数据互操作规范(Open Geo-data Inter operability Specification，简称 OGIS)的最高层次，一般称为 OpenGis 规范。

OpenGIS 规范是由开放地理信息系统协会(Open GIS Consortium，简称 OGC)制订的一系列开放标准和接口。OGC 由商业部门、政府机构、用户以及数据提供商等多个领域的成员组成，通过齐心协力，以获取地理信息处理市场最大的互操作。

OpenGIS 规范是 OGIS 规范的最高层次，即有关地理处理互操作的完整定义。开放地理数据互操作规范(OGIS)是利用软件统一表示地理数据和地理处理的规范系统。

OGC 的目的是通过信息基础设施，把地理空间数据和地理处理资源集成到主流的计

算技术中，促进可互操作的商业地理信息处理软件的广泛应用。OpenGIS 规范提供了地理信息及处理标准，按照这个规范开发的各个系统之间可以自由地交换地理信息和处理功能。

OGC 是唯一一个由各个成员组成的用于发展地理处理开放系统方法的组织。通过它的协调发展，OGC 在全球地理数据和地理处理标准方面已形成了很大的影响，并成功地促进了 OpenGIS 技术的发展。OpenGIS 技术是把地理处理与企业的分布式计算体系和 Internet 组成在一起的一种技术。

OGC 是根据以下需要建立的：

(1) 用户需要把不同存储环境中的地理信息集成在一起，然而它们的格式和数据结构的不兼容性阻碍了互操作的发展。这种不兼容性限制了地理技术在不同行业和 Internet 计算环境下的应用，并且数据转换还需要专门技术、需花费时间及费用等，影响了整个地理处理市场发展的每一个阶段。

(2) 大型机构需要在不改变其数据模式的情况下，改善访问私有和公有地理数据源的方式。

(3) 销售商和代理机构需要一种统一的标准化方法，以规范信息获取系统中的地理处理需求。

(4) 产业部门希望把地理数据和地理处理资源纳入国家和企业信息基础设施之中，以便它们能够和其他网络数据和处理资源一样很容易地被使用。

(5) 用户希望在集成其他新的地理处理功能和地理数据资源时，能够保护其原有数据和地理处理系统。

7.2.2 OGC 的任务

开放地理信息系统协会的任务为：

(1) 把先进的信息技术用于地理信息处理中；

(2) 为先进的地理信息处理技术体系结构的发展提供论坛；

(3) 组织数据库供应商、工具提供商、集成商和用户一起来定义技术上的、操作上的和事务上的关键问题；

(4) 解决地理数据的非互操作性问题，用一致的过程建立共同的技术方案；

(5) 通过协作建立解决关键问题的共同方法；

(6) 通过定义作为工业体系结构的 OpenGIS 概念，稳定有关的技术和市场问题，建立市场的可预见性。

OGC 由地理信息资源中的开发人员和用户组成，包括商人、集成部门、政府机构、标准组织以及学术界等，并通过他们对互操作地理处理技术规范齐心协力的发展，以推动互操作产品的形成。通过开放系统、分布式处理以及组件框架体系，使地理处理技术与目前和即将出现的信息技术标准保持同步。提供一个产业论坛，以促进分布式地理处理的协调发展。

我们即将面临一个分布式的网络计算时代。在这个时代，我们可以用一个统一的地理处理获取规范接口，即 Open GIS 规范，使全球的地理信息连接在一起。通过把分布式计

算、对象技术、中间件软件以及组件软件等引入地理处理世界，可以使任何计算环境或计算任务与空间数据联系在一起。同时我们看到，随着卫星传感器、GPS 等技术的发展以及参与地理信息研究、生产、获取和使用的人员的增加，地理数据的增长速度在明显地加快。OpenGIS 规范的作用如图 7.2 所示，通过 OpenGIS 规范(OGIS)把商业部门、集成部门、用户、研究人员、数据提供商等连接到一起，通过必要的软件工具和通信技术，为各种用户提供对地理信息的共享和互操作。

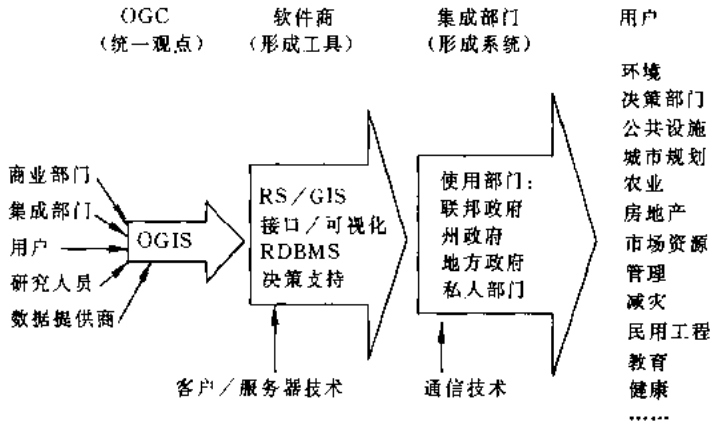


图 7.2 OpenGIS 规范的作用

在网络计算和地理处理技术集中化的帮助下，OGC 中技术提供者协助拓宽已存在的市场，并开辟新的领域。随着社会的发展，OGC 将提供更多的知识和机会。

技术用户可以向技术提供商提出建议，以使技术能更好地满足他们的需求，同时通过与 OGC 的接触，可以使技术用户重新制定他们的发展计划。分布式地理处理是一个新的方向，它可以应用到许多领域，不仅可方便用户、减少开支，而且还可以增加效益、提高应用能力。

7.2.3 OGC 的倡导

开放地理信息系统协会的倡导包括：

(1) 无障碍地访问地理信息资源；

(2) 无障碍地访问地理信息处理资源；

(3) 把先进的信息技术结合到地理信息科学中；

(4) 通过技术协作，支持国家或全球的空间数据基础设施的建立；

(5) 进行地理数据、地理信息处理功能的市场开发。

OGC 认为技术是新的商业模式形成的驱动力。目前 OGC 正在通过一种开放式的协作方式建立 OpenGIS，即一种史无前例的用于地理处理互操作的软件规范。它利用各种会议、活动、出版和网络方式推动互操作的发展，并鼓励产业部门建立伙伴联盟，开展商业合作，以发展新的基于地理技术的软件产品。它的成员的多样性也反映出它在通信、交通、环境管理、国防以及城市信息系统等主要领域的广泛市场。

OGC 促成了 GIS、GPS、地球影像以及空间数据库等技术与虚拟现实、多媒体、网络计算以及非空间桌面应用等技术的集成，也加快了空间数据在政府部门、教育、小型企业、家庭、移动计算以及娱乐等领域的使用，使空间数据的市场范围得到了扩大。

7.2.4 OGC 的发展背景

OpenGIS 被定义为可以在网络环境下访问异构地理数据和地理处理资源的过程。该项目的目标是提供一套综合的开放接口规范，以使发展商可以根据这些规范来写互操作组件，从而满足互操作需求。

OpenGIS 项目开始于 1993 年，当时在几个联邦机构和商业组织支持下召开了几次会议，专门讨论所提出的 OpenGIS 规范(OGIS)的范围及其可行性，以及规范的项目等内容。伴随最初的几个代表决定要发展一个有意义的规范，OGC 于 1994 年 8 月便宣告成立，以作为一个专门发展该规范的机构。OGC 目前包括了与地理信息相关的主要商业、学术界以及政府部门组织，并专门负责 OpenGIS 项目。所有参加 OGC 技术委员会及其工作组的成员受 OGC 管理委员会的领导，并对其最后制定的 OpenGIS 规范进行决策。

OGC 用“OpenGIS”作为其产品的商标，这样凡是采用该商标的地理数据以及分布式地理处理产品，都可以使用户获得有关这些产品互操作程度的精确信息。

OGC 由来自包括 GIS 和计算机销售商、集成部门、通信部门、数据库发展商、联邦机构以及大学等部门的 100 多个机构的代表组成。所有这些组织承担支持 OpenGIS 规范制定的义务，并积极发展新一代产品，以促使全球地理数据和地理处理资源市场的发展。

根据美国税法第 501(c)(6)部分的规定，OGC 属于免税机构，它的任务是促进地理处理和相关信息技术领域中开放系统标准和技术的发展。它由成员费用和其他协作费用来维持，各成员的费用根据成员在协会中的作用有一定的差别。

由于 OGC 所涉及问题的挑战性，使得许多地理处理领域中的著名专家参与了 OpenGIS项目，并为 OGC 技术委员会提供了许多宝贵的材料。这些专家的参与，使得 OpenGIS的任务得到了充分的支持，并将在下一个十年左右的时间中，通过产生的全球开放地理处理体系，促进经济的发展，并提高政府工作的效率。

7.2.5 与其他标准团体的关系

除一些销售商一开始就对 OpenGIS 的地理数据互操作标准密切跟踪外，其他对地理处理标准关注的机构对 OpenGIS 项目也非常关注。

OpenGIS 技术在 FGDC(联邦地理数据委员会)1994 年“国家空间数据基础设施(NSDI)计划”中被引用，并承认它将成为 NSDI 的潜在技术，OGC 通过 OGC 管理委员会以 A 级联络员的身份参加了 ISO/TC 211 技术委员会的工作，并是美国国家标准协会(ANSI)中 GIS 标准委员会(ANSI X3L1)的代表。通过按一般成员参加以及正式参与，OpenGIS 项目与对象管理组(OMG)也建立一定的关系，其中它的 CORBA GIS SIG 是由 OGC 的董事会、管理委员会以及技术委员会依次决定的。这几层组织分别代表不同地理处理团体的利益，它们之间通过一定的组织关系联系在一起。

7.2.6 OGC 的机构

OGC 董事会：OGC 的董事会由信息技术领域中的德高望重的人组成，它们是由 OGC 成员选举产生的。OGC 董事会制定协会的总体发展战略，并授权实现 OGC 的商业计划。董事会中的成员不能代表各个成员组织。

OGC 职员：OGC 职员负责协会的日常工作，诸如预算、成员注册等。

OGC 管理委员会：OGC 管理委员会为 OGC 技术委员会和 OpenGIS 项目提供指南和管理结构。该委员会由 OGC 主要成员、主要标准组织以及主要技术委员会中的管理层代表组成，主要负责 OpenGIS 项目的商业计划以及协会中的技术发布过程和战略项目。管理委员会制定协会规范的范围、技术委员会的优先权以及选举 OGC 的领导。根据它的成员和职责，它在全球空间数据基础设施中具有重要的作用。

OGC 技术委员会：OGC 技术委员会是 OpenGIS 项目的主要运作单位，它由所有 OGC 成员中的技术代表组成，负责产生 OpenGIS 规范。技术委员会通过它的 Task Forces 和工作组来完成它的大量技术工作。

技术委员会的抽象规范是设计互操作地理处理软件的详细指南。为了满足目前软件产品的需求，该抽象规范需要在产业界可以接受的分布式计算平台（DCP）上实现，诸如 Microsoft 的 DCOM、OMG 的 CORBA 等。随着技术委员会对抽象规范的进一步发展，以及通过 RFP（计划需求）过程与销售商和研究组等的协作，将发展形成基于 DCP 的“Open GIS 实施规范”，按照该规范形成的产品将在 DCP 中实现互操作。另外，通过进一步的发展，将形成满足不同需求的实施规范，以实现不同 DCP 间的最大限度的地理处理互操作。

目前各主要公司、联邦部门、大型组织以及各相关的农业、房地产、交通等部门，均需要把地理处理和地理信息与它们自己的行业数据集成在一起，并且这种需求也越来越大。但把地理处理与这些不同的信息集成在一起需要其他一系列复杂的过程，因此，通过一个独立的组织制定一种协调的方法，形成一个通用的标准，以促使不同投资者对投资充满信心。

OGC 中的战略成员关系为大型用户组织提供了一种方式，可以使它们集中精力地配置它们地理处理方面的资源。这样在 OGC 成员项目的帮助下，可以使市场、技术等不同方面达到进一步的发展。

管理委员会的战略项目子委员会（SPSC）定期向管理委员会提议，以重视与战略成员有关的项目。为了使 OGC 成员参与并帮助战略成员开发技术体系、制定政策等，协会成立了专门的项目组或子委员会以完成战略成员的目标。比如，OGC/IPT 任务组是专门为美国国防部（DoD）的地理空间信息集成产品组（GI IPT）服务的，并召开一些开放式会议，以便 OGC 的成员以及非成员可以与 GI IPT 接触，并支持它的螺旋式的发展进程，即通过整个地理处理技术的发展来不断地提高技术性能。

OGC 战略项目为代理商、各大公司以及整个交通、保险、银行、农业等行业提供了一种在统一的技术背景下规划它们自己地理处理互操作战略的方法。

7.2.7 OGC 成员

分布式地理处理使许多行业的人看到了该技术的希望，并认识到了发展该项技术的效益。

软件和计算机销售商、集成部门、数据提供者、通信部门、大学、政府机构以及产业部门出于下列原因参加 OGC：

(1) 为加快分布式地理处理标准的形成，没有他们的参与是不可能的。

(2) 作为用户，可以促使地理处理标准满足他们的需求；获取技术，通过技术促进他们的发展；开始按照这一体系着手自己的工作。

(3) 作为技术提供商，可以提供商业发展建议，确保 OpenGIS 规范满足他们的需求；尽快发展 OpenGIS 兼容产品；以及解决共享和互操作问题。

OGC 成员产生 OpenGIS 规范，这些规范将成为面向网络资源的互操作地理处理基础，指导软件商和集成人员开发相应的用户需求软件。销售商希望销售并支持几个比较昂贵的系统，然而数十万新的用户却在使用大量的不太昂贵的软件组件，这需要软件组件的互操作。用户和信息团体将可以获取他们所需的地理处理工具，并应用于他们复杂的项目之中，甚至可以加载在他们的设备之中。OGC 的主要成员包括：

(1) 地理处理软件商　　许多地理处理软件商认为，由于不同地理处理系统之间不能开放地、自动地交换地理信息，他们的市场受到了很大的限制。数据传输标准开创了这一领域的先河，然而，数据传输需要离线方式，并且在数据转换中要花费大量的时间。伴随分布式计算体系的成熟，以及 OpenGIS 规范为地理处理接口提供了一种综合的解决方式，使得地理处理将由桌面瓶颈问题转变为通过网络被数百万的用户使用。目前，许多地理处理软件商已经提供了一些集成设备，帮助他们的用户建立优化的应用和地理数据库，并帮助他们把地理处理与已有的信息系统集成在一起，同样，许多地理处理集成部门也在销售他们自己的专业化应用软件。销售商和集成部门既销售互操作地理处理软件产品，也购买这些软件，使得用户所购买的软件可以满足他们的需求。

(2) 其他软件商　　由于认识到许多企业数据库中的数据都有空间内容，并且用户对空间信息的需求也越来越多，所以许多数据库软件商已经成为 OGC 的成员，以便交换信息。身为 OGC 成员的软件商提供了面向对象的数据可视环境，以帮助 GIS 用户更好地处理动画、地理显示等工作。

(3) 通信公司　　通信公司也认识到了空间数据的潜在市场，目前已至少有一家通信公司准备把技术引入他们的电信服务基础设施中。

(4) 集成部门　　系统集成部门正在寻找一种独立的平台工具，以支持复杂实体的建模和构建复杂的分布式系统。这种系统包括可以集成来自多个提供商提供的数据和软件，这些数据和软件不仅具有不同的数据格式，而且拥有不同的参照系统和不同的模型。该系统可以实现基于网络的空间查询、完成空间计算和分析以及更新空间和相关的数据存储。带有 OpenGIS 接口的中间件软件和组件将帮助他们为用户提供更加强大的能力，这些软件可以成为软件系统的一部分，而组件可以通过企业网络获取。

(5) 计算机系统商　　地理处理对所有的计算机硬件商来说都是一个很大的市场，

因此他们也成为OGC的成员。他们不仅提供硬件平台，而且还提供分布式计算平台。他们在标准组织中非常积极，以希望对标准的制定具有一定的影响力。同时他们还希望更早地接触到新技术，因为他们知道随着地理处理市场的扩大，他们自己的整个市场将有更大的发展。

(6) 大学和实验室　　OGC的一些缔造者以及指导性的工作来自大学。这些大学和研究中心包括来自奥地利、澳大利亚、加拿大、法国、德国、希腊、意大利、日本、南朝鲜、荷兰、挪威、新加坡、瑞士、英国以及美国等国家，这说明他们已经认识到了在地理处理方面与OGC保持一致的重要性，同时也反映了全球对OGC任务的意识。欧洲研究人员在技术问题上给予OGC很大的支持，并正在努力使研究目的与OGC的需求保持一致。

(7) 数据和信息提供商　　政府与商业数据和信息提供商也加入了OGC，因为他们认识到了与OGC的接触，将对他们的商业和技术行为具有很大的指导作用。比如USDAC(全球空间数据访问协会)是NASA资助的用数字图书馆技术实现OpenGIS规范的协会之一，他们通过该规范可以使NASA的地理数据更容易被用户访问。

(8) 政府机构和产业协会　　联邦机构认识到OGC对建立机构领域的空间数据基础设施和国家空间数据基础设施提供了机会。地理处理对他们的运作非常关键，并对整个产业界的影响也越来越大。OGC为各机构、公司以及产业协会提供了一种与销售商和集成部门进行交流的理想环境，以获取所需的技术知识来促进他们自身的发展，同时还可以同其他OGC中的组织建立伙伴关系。

这种类型的软件兼容性将形成一种真正的主流技术，以使人们可以真正地使用它们。这样用户和生产者便可以对信息技术市场充满信心，确保他们在该领域的投资，并通过一个阶段的适应，确定一些通用的接口和服务，形成文件，并通过宣传等方式使接口和服务逐渐被大家接受。这些接口将为地理空间技术的最后形成发挥重要的作用。

正在由OGC技术委员会制定的OpenGIS规范是一个综合性的软件体系规范，它为开放系统地理处理奠定了基础。基于该规范的软件接口将实现不同桌面应用与网络之间的真正的互操作，并且基于它们的网络服务将可以实现分布式异构环境中异构地理数据和地理查询的使用，OpenGIS规范使GIS、遥感以及其他地理处理学科从专有的不兼容的数据格式走向统一的软件组件和基于网络的计算世界中。按OpenGIS规范生产的应用软件，将可以通过网络自动地处理大量的地理数据和地理处理资源，这样地理数据用户可以共享一个大型的网络数据空间。通过这一空间，所有的空间数据将不再因为数据格式和耗时的传输和转换等而影响其使用，甚至还可以使用由不同部门在不同时间范围内用不同系统生产的不同目的的数据。当然，不同的数据模型不可能完全地与已有的信息一致，另外，不同的地理信息团体定义的地理对象也不尽相同，并且采用了不同的Metadata模式。但作为OpenGIS规范组成部分的OpenGIS服务体系将支持最高层的数据集成，包括管理语义和自动跟踪数据的继承关系、数量和误差计算等。

7.2.8　互操作地理处理的工作方式

非互操作起源于不同的软件厂商在定义地理对象的基本几何特征时使用了各自的内部结构，同时，当用户在使用每一商业GIS时，又作了不同目的的二次开发，这一切使得

信息共享困难重重。地理信息团体中数百个分支机构中的每一个部门都有自己独特的模式模型，它们贯穿在信息表示技术的每一阶段，诸如数据字典、对象模式、几何规则、分类模式等等。

当今的对象建模技术已经被用在多种分布式计算平台上，如何实现 OpenGIS 规范（CORBA、OLE/COM 等等），OpenGIS 规范并没有提出一个具体的标准的实施模式。OpenGIS 规范的开放地理数据模型（OGM）包含一个众所周知的类型和结构集合。通过这一集合，OGC 技术委员会便可以表示任何地理模型，比如具体类型的集合构成一个地理模型（"类型"代表简单或复杂的数据结构，它们可以在特定数据集合中以一种具体"事例"或"结构"的方式重复多次。比如，一个字节便是最简单的一个类型，它可以对应一个具体的 ASCII 字符）。这些类型和结构被确定为接口的方式。一种实用的方法便是用这些众所周知的类型和结构表示信息，低层（软件引擎）和高层（信息群体）的模式模型可以用 OGM 的构件来表示。

对于信息团体有两种定义或观点。一种观点认为它是描述共享一个对象定义和语义的人类团体，特别在地理信息团体中，人们为更好地实现他们的软件，便通过一些"行话"来满足他们的专业需求，产生了一个公共的模式模型。对"信息团体"一词的另一观点是指 OpenGIS 规范中描述的机制，该机制给出了地理信息在人类信息群体中的组织方式，并能通过网络进行异构地理数据和地理处理资源进行查询、集成、分类、交换等。

不同应用部门的信息团体对地理实体几何特征的描述方法也不一样，比如，在一个群体中"公路"是线，而在另一个中则是多边形。它们的属性也不尽相同，在一个群体中，小路的数量是关键要素；而在另一个中，路面类型则是考虑的主要因素。OGM 提供了一种描述几何特征和属性的唯一可行的统一的方法（在全球地理处理软件开发商之间达成了一致），这种方法是实现不同系统间通信接口的关键。

另外，依赖于 OGM 的 OpenGIS 规范中的 OpenGIS 服务体系，已集成了信息团体机制，确定了一种可以发行和查询这些定义及其所描述的数据类型的唯一可行和统一的方法。

7.2.9 OGC 的技术开发过程

最早的非常有效的接口是不同 GIS 系统间基本的"简单对象"模式的接口系统，它们也是 OGC 最早提交给 OGC 技术委员会的建议请求（RFP），并于 1996 年 8 月发布。OGC 技术委员会和管理委员会在发展和正式批准技术项目时有一套程序。技术委员会首先产生 OpenGIS 规范的元素，然后向各个成员发出一系列 RFP 以征求意见，以形成一个适合不同分布式计算环境的过程规范，诸如 Microsoft 的 DCOM 和 OMG 的 CORBA 等。有时技术委员会也向各成员发出信息请求（RFI），以希望在着手某一特定元素时能够更加综合地考虑到各方面的因素。当专业水平较高的技术商希望他们自己的技术能被采纳为 OpenGIS 规范的一部分时，可以提交评议请求（RFC）以开始这种采纳过程。请求一旦被批准，该成员拥有的技术规范便成为标准，与此同时，OGC 的一致性测试项目将为该产品发放"OpenGIS 标准标签"，以确保该软件与其他拥有该标签的软件可以共享。OGC 所从事的上述工作被称为"核心技术"，即适用于整个应用领域的技术。OGC 也采用"领域技

术”，以满足诸如通信和交通等特定领域对地理处理互操作的需求。

在应用领域(信息群体或相关信息群体集合)，各专业需要满足自己需要的地理通信技术。OGC 希望通过学科联合、贸易联合以及各相应专业领域中进行地理信息的新兴组织的联合，使这些组织参与 OGC 的工作，并在地理信息的主流技术中获得更好的发展。

7.3 GIS 互操作现状

GIS 除了在其传统应用领域如灾害预防、测绘、环境保护等继续发挥不可替代的作用外，由于地理数据的可获得性以及地理信息系统之间的互操作能力加强，GIS 将在新的领域中发挥重大的作用，如基础设施管理、交通、通信以及医疗、旅游、金融行业等。同时，GIS 市场在世界范围内日益扩大。据统计，1996 年欧洲的 GIS 销售额大约为 12 亿美元，全世界的销售额大约为 30 至 36 亿美元，年增长率为 20%。GIS 技术应用领域的扩大和市场的快速增长得益于 GIS 技术的发展，其中最主要的是 GIS 互操作技术的发展[32]。

7.3.1 GIS 互操作实现的方法之一：OGC 规范

考察 GIS 技术与 GIS 应用需求之间的关系，可以发现下列事实：

(1) 用户需要集成存储在异构地理数据库中的地理信息。但在过去的几十年中，不兼容的数据格式和数据结构阻碍了地理信息系统之间的互操作。

(2) 如今，在 Internet 环境中，不兼容性限制了 GIS 技术在企业中的使用。地理数据转换所需的时间、费用和特定的需求降低了地学处理资源的利用率。

(3) 大型 Internet 服务机构需要改进获取公众和私有地理数据的能力，并保持来自于不同站点上的地理数据库中的地理数据在语义上的稳定。然而，传统的地理数据转换方法通常要丢失地理数据的语义。

(4) GIS 发展商需要开发地学处理的标准化方法，满足信息系统的获取和全球化的地理信息市场的需求。

(5) 企业需要将地理数据和地学处理资源合并在集成化的公共信息基础设施中，使得这些资源能和其他的分布在网络中的数据和信息处理资源一样被找到和使用。

(6) 用户在运用新的信息技术提高地学信息处理的能力和地理资源的使用时，需要保持其在原有地理数据和地学处理系统上的投资。

为了满足上述应用要求，发展地理信息的互操作技术，一方面要面向未来，着眼于新技术的应用和新型信息的处理，例如地理空间技术与多媒体技术的复合；另一方面也要照顾到传统 GIS 的技术积累。这就要求作为异构 GIS 系统之间互操作标准的规程不但应成为互操作的桥梁，而且还应构成 GIS 传统技术与未来技术之间沟通的桥梁。OGC 制定的 OpenGIS 规范(OGIS)就是为满足 GIS 互操作需要而制定的。

通过这种规范的制定，OGIS 为软件开发者提供了一个统一的设计和开发软件工具的框架。它使得用户能在分布式计算平台的网络环境下获取地理数据，由于采用了开放式技术来开发地理数据处理和服务工具，从而使得用户和不同的信息群在 Internet 和 Intranet中能灵活地进行地理数据及处理的互操作。这种思路和方法给地理空间技术带

来一个全新的变化，用数据、系统和机构之间的具有互操作的地学处理代替了传统的孤立的地理信息技术，使得在数据库转换中保持数据的语义或尽可能地减少数据语义的丢失。

7.3.2 GIS 互操作的实现

在选择互操作的实现方法时，所要掌握的一个原则是所有涉及地理数据和处理的机构都必须能持久地维护和更新它们各自所拥有的 GIS 技术，并能使这些技术不断增值。这意味着在选择实现方法时必须对下列问题做出评估：

(1) 地理数据的可用性和兼容性；

(2) 所使用的地学处理系统的功能和可互操作性；

(3) 承担地学服务的机构的灵活性和创新性。

很显然，传统的孤立的地学处理系统不但费用非常昂贵，而且它们使用各自所独有的接口界面，以至于很难通用。由于这种不灵活性和不兼容性的接口使得互操作的实现非常艰难。

因而，构件技术用于实现互操作。用新的互操作构件代替部分传统的 GIS。通过这种方法，新的构件能逐渐替代旧的孤立的系统，并改进新的客户端、新的服务体系结构和新的服务器功能。经过一步一步统一的过程，OpenGIS 规范将被实现，从而能设计出关于开放式地学处理系统的综合软件体系结构。

在 1997 年 GIS/LIS 展览会(美国)上首次展出了基于 OpenGIS 规范的产品。这个示范产品能在 Internet/Intranet 环境下，实现来自 BENTLEY、ESRI(美国环境系统研究所)、INTERGRAPH、ORACLE 等不同地学处理系统之间数据获取的互操作。下面是 GIS 互操作实现实例。

1. INTERGRAPH 与 SICAD Geomatics 的互操作

OGC 的两个主要成员 INTERGRAPH-Eurpoe 和 SICAD-Geomatics 首次通过OGIS 接口实现了在 Intranet 上的互操作。基于 OGIS，不同的前端 GIS 客户、GeoMedia(INTERGRAPH)和 SpatialDesktop(SICAD)可以通过 Intranet 在线地访问存放在新版 SICAD GeoDataServer 上可互操作的地学数据资源，这一访问过程不需要传统的地理数据转换器。

GeoMedia(INTERGRAPH)采用 OLE/COM 和 OGIS/SFS(简单特征规范)实现开放的地理数据接口，采用标准的方法与 ORACLE 和 MS-ACCESS 属性数据库相连。SpatialDesktop'98(SICAD)将 OGIS/SFS 和 SQL/ODBC 的标准接口相结合。

显然，这种互操作技术能直接通过网络获取有用的地理数据，并在不同的系统之间获取可互操作的地学处理资源，从而使机构在异构计算平台和网络环境下对地学数据的处理和应用具有极大的灵活性。

2. ESRI 及其合作伙伴

ESRI 在开放式系统以及互操作性方面做出了许多贡献。根据它的开发策略，ESRI

提出了开放式系统技术，如开放式平台、开放式数据内部交换、开放式开发环境、开放式数据库、开放式应用接口和开放式分析工具等。

ESRI 的开放式软件体系结构支持以下几方面：

(1) 基于 SDE/CAD 客户端的 CAD 和 GIS 数据的集成；

(2) GPS、图像处理和多媒体技术的集成；

(3) 开放式软件开发，如 RDBMS、扩充的关系 DBMS、OODBMS 和通用服务器。

如表 7.1 所示，ESRI 是唯一一个采用 OLE/DOM、CORBA 和 SQL 实现 OGIS 的简单特征规范的机构。

表 7.1 ESRI 等关于 OpenGIS 简单特征规范的实现的工作

SQL	OLE/COM	CORBA	Internet
ESRI； IBM； Informix； MAPINFO； Oracle。	ESRI； CAMBER Corp； INTERGRAPH； Informix； LASERSCAN； MAPINFO； Microsoft； Oracle； SMALLWORLD VISION。	ESRI； BENTLEY； GENASYS； Netscape； Oracle； SUN； UCLA； Datamining； Lab。	ESRI； LAS Incorp。
空间数据引擎(SDE)； 空间对象-关系数据库； SDO for Oracle-7； SDC for Oracle 8； 使用 SQL92 来规范化 DBMS； SDE-3.0 for Oracle 对二值大对象使用； SQL92(BLOB's)； SDE-3.01 for Informix，将 SQL 扩充成具有空间类和空间处理功能；	Distributed Computing Connectivity for OLE/DB 的分布计算联接策略，集成空间数据和关系属性数据。	Intranet/Internet 环境下以网络为中心的面向对象的分布计算。	ArcView Internet Map Server； MapObjects Internet Map Server。

(表的上半部分是 OpenGIS 规范在各种平台上实现的软件厂商，这些平台包括 SQL、OLE/COM、CORBA、Internet；下半部分是 ESRI 在 SQL、OLE/COM、CORBA、Internet 平台上的具体产品)

基于客户/服务器体系结构的 ESRI 产品和软件开发正从空间地理数据处理走向功能更强大的地学处理互操作，即通过 Intranet/Internet 进行地理数据及其处理资源的共享。

空间数据引擎(SDE)是管理地理数据的一个途径。它能支持包括 Oracle，Microsoft，IBM，Informix 和 Sybase 等在内的几乎所有主要数据库厂商的 DBMS 产品。1998 年 ESRI将发布新的 SDE 产品。采用 Informix 动态服务器的 SDE 使用 Informix Universal Data Option 来提供 SQL API，并将 SDE 和 Oracle 的 Spatial Cartridge (ODC)集成。CAD and GIS 的集成以及它们之间互操作的数据共享将由 ESRI 新的 SDE/CAD 客户端来实现。

3. SMALLWORLD

SMALLWORLD 也是 OGC 的成员之一，它主要致力于面向对象的 GIS 开发，如 Spatial Object Controller(SOC) 和 Virtual Database Interface (VDB)。

SMALLWORLD 发展了所谓的基于 Windows 和基于 Unix 的标准接口"独立于传输的客户/服务器体系结构"(TICS)。SMALLWORLD 将进一步采用 OLE/COM 来实现符合 OGIS 规范的互操作接口以及基于 OGIS/CORRBA 的分布式平台。

4. AUTODESK

AUTODESK CAD/GIS 产品家族已实现了 AutoCAD-MAP(CAD 和 GIS 数据的集成)、Autodesk-World(GIS 功能和 Windows 环境的集成环境)以及 Autodesk-MapGuide (地理数据在 Intranet/Internet 上的发布系统)。然而，目前 Autodesk 仍需依赖于专门的转换器来实现 CAD 数据和 GIS 之间的互操作。

(1) 建立欧洲联盟范围内的 OpenGIS 兴趣小组来协调欧洲联盟内 GIS 企业的工作，并开辟和 OGC 交流的渠道。

(2) 将 OGIS 引入到传统的 GIS 应用领域，如灾害预防，制图等。

(3) 为欧洲联盟的 IT 企业，特别是规模较小的 GIS 公司和机构提供详细的 OGIS 规程和实现过程。

5. INFOSEM 项目：信息系统的语义互操作

该项目是由 INTAS(促进前苏联各独立国科学家合作国际委员会)资助，由 IOSAS 负责，法国、乌克兰等国参加。它对现有规范进行分析，并实现了一个系统，该系统能对现有的异构信息资源实现语义信息的交换。该课题开发了一套方法和具体的服务，特别是在语义的识别上有重大的突破，为不同的应用和数据存储之间提供了语义信息的映射。

6. DISGIS 项目：分布式 GIS 模型方法和框架

本项目是由挪威测绘局等单位完成，时间从 1996 年 5 月到 1997 年 5 月。主要为分布式系统，特别是开放式分布 GIS 提供模型、工具和框架，并将这些模型、工具和框架应用到具体的事例中，来证明其有效性和实用性。这些工具和方法能减少数据管理的费用，提高面向地学数据的 GIS 企业的投资回报率，从而进一步提高地学数据的收集和建库的积极性。它采用的主要方法是将开放式分布处理的标准和分布式对象技术进行结合，并运用到分布式 GIS 应用领域中，它强调系统开发的整个生命周期、开放式分布平台(ODP)方

法和工具，从而实现在运行的分布系统中从模型到实现的转化。

当然，完全开发出适用于商业 GIS 的开放式 GIS 软件还需进一步努力。OGC 制定了未来几年的工作计划(表 7.2)。显然，完成最基本的构件定义后，将着重考虑如在线地理数据的检索服务等更复杂的面向 21 世纪信息社会的服务功能。其中包括：

(1) 地理空间特征的抽象和概括；

(2) 地理空间信息的获取、注释和抽取；

(3) 地理空间坐标转换；

(4) 地理空间分析、注册、形式化表达；

(5) 影像理解、综合、制图等。

随着信息技术的发展，学术界、公众和个人需要使用过去几十年积累和保存的数据，因此需要地理数据和地学处理系统具有可操作性，从而使它们能进行共享。这些机构要求能面向企业获取和基于网络集成其他机构的地理数据和地学处理应用。从集成的角度来看，方法有多种多样，然而至今仍存在许多问题，如地理数据的多重性、地理数据格式内部交换以及转换中语义的不兼容性。

表 7.2 OGC 的技术指南日程

实现时间	OGC 的技术日程	其他技术
1997 年	特征几何体 空间参考系统	特征子类 特殊层 Internet/Intranet 技术
1998 年	定位几何体 功能和互操作 层的类型 地球影像 特征拓扑关系 精确度 服务体系结构 检索服务	显示技术 CORBA ActiveX/DCOM 人工智能 关于接口表达语言的软件 工程工具：C++、IDL，UML、IDEF，EXPRESS 等
1999 年	特征集 Metadata 通信域对象 WWW 映射 其他具体的服务 其他具体的对象	
2000 年	语义 信息群 运输域对象	

[来自：The Benefits of OGC Membership，OGC 1998]

OGC 促进了 GIS 的互操作。它通过规范，改变了地理数据和地学处理服务的处理方式，通过互操作的开放式系统将它们集成，从而在 Intranet / Internet 环境下，通过分布式

平台从异构信息中直接获取信息。

OGC 促进了地理数据提供者、厂商和服务商之间的联合，推动了全球范围内的标准化的进程，特别是拓宽了地理数据、地学处理和服务的市场。只有这样，未来全球范围内的互操作才有可能变为现实。

第八章　数字地球概述

8.1　数字地球的由来及研究现状

1998年1月31日，美国副总统戈尔在洛杉矶加里福尼亚科学中心举行的开放地理信息系统协会(OGC)年会上，发表了题为“数字地球：21世纪理解我们行星的方式”[16]的报告。该报告是两年来政府内外很多专家和工程技术人员意见的综合。

同年3月，戈尔在MIT的一次讲演中，建议发射一个能在电视和Internet上实时反映台风、森林火灾、云图以及其他地球现象的卫星。其清晰度是现在高分辨率电视机的两倍，要比NOAA的AVHRR的分辨率更高，计划由宇宙飞船发射。

1998年9月2日，戈尔在华盛顿的布鲁津斯学院作了“为了健康，建设更加美好的适住社区”的重要报告。报告指出，在2000年的财政预算中加大对国家空间数据基础设施(NSDI)和数字地球的投资，扩大国家空间信息交换网络的使用，使各级政府、行政管理部门及广大居民均可利用数字地球技术(如GIS等)从事社区的管理与决策，并充分发挥集体的力量，使人们可以方便地利用数字地球信息，积极参与更加美好的适住社区建设。

1998年10月6日，NASA局长Daniel S. Goldin在给戈尔的信中称，9月份NASA的Goddart空间飞行中心(GSFC)主持召开了有15个美国政府部门及其下层机构参加的数字地球进展和规划的讨论会，认识到多方协调努力是数字地球成功的关键。如同Internet一样，数字地球不会“自上而下”强制建成，而是作为不断成长的网络，通过与研究活动及对数字地球的共识和一套标准、规范联接在一起逐渐形成的，从而确保数字地球的不断完善和持续创新。但是，这并不是说数字地球会自然产生，其体系结构与标准必须通过研究关键问题来制订。如海量数据、多源数据带来的复杂性是必须面对的挑战。JPL研究中心、Langley研究中心、Cewis研究中心和Marshall空间研究中心等提供了各自领域的数据。NOAA、NSF、NIMA、USGS、DARPA及其他单位也进行本领域(行业)的应用研究。以上所有单位还将提供有关海量数据管理、可视化及分发等方面的工程技术经验，并将从1998年秋季到1999年全年逐步扩大用户。

NASA还将采取以下的步骤：

第一，将发表各单位如何把自己的任务与数字地球相结合的白皮书，并确定每个机构应具备的能力，以及如何发展这一能力。

第二，计划将于1999年召开由科研单位与工业部门参加的与GIS相结合的会议。

第三，讨论建立数字地球社会(digital Earth society)问题，并成立一个开放的协会，具体制订标准、内容、接口，组织学术会议，并撰写出版刊物以满足日益增长的数字地球研究的需要。

第四，NASA将同工业界、学校及科研单位协作，共同进行数字地球研究，最后找到

合作的模式。

部署这些活动的会议拟在1999年举行。NASA已经建立12个数据中心，约50个专业数据中心。

其他国家，如加拿大、澳大利亚、欧共体国家等都制订了相应的建设数字地球的计划。

我国政府对数字地球非常重视，江泽民主席在1998年6月接见中国科学院与中国工程院的部分院士时和接见解放军外事工作会议的代表时，都曾提到了数字地球问题，并把它与知识经济相提并论。李岚清副总理在谈话中也曾多次提到了数字地球。国家发展计划委员会、科技部、教育部、国土资源部及中国科学院等部委对数字地球都十分重视。国家发展计划委员会表示，要把数字地球作为我国21世纪的重大科技工程。科技部计划把数字地球列入第十个科技攻关的五年计划中，列入"超级863"攻关计划，并专门成立了软课题组。教育部在北京大学召开了三次数字地球高级研讨会。中国科学院地球科学部在香山饭店专门召开了关于数字地球的研讨会，并在中科院遥感所召开了两次数字地球工作会议。国土资源部把"数字国土工程"列入全国国土资源普查计划。国家测绘局也专门举行了数字地球的工作会议。最近科技部和中国科学院地学部邀请几位院士和有关专家讨论了关于我国"数字地球"的发展战略，把数字地球纳入1999年召开的"科技创新工作会议"的主要内容之一。可见，我国对数字地球的重视程度。

8.2 数字地球的基本概念

8.2.1 数字地球的定义

与数字地球相似的概念有数字世界(digital world)、地球建模或建模地球(modeling Earth)以及地球信息圈层(infosphere of Earth)等，它们都与地球的数字化或信息化相关。

戈尔在他的报告中指出：数字地球是指一个以地理坐标(经纬网)为依据的、具有多分辨率的、海量数据的和多维显示的虚拟系统。

我们认为，数字地球是指数字化的地球，更确切地说是指信息化的地球，是与国家信息化的概念相一致的。信息化是指以计算机为核心的数字化、网络化、智能化和可视化的全部过程。更详细地说，数字地球是指以地球为对象、以地理坐标为依据、具有多分辨率、海量数据和多种数据的融合、并可用多媒体和虚拟技术进行多维的(立体的和动态的)表达、具有空间化、数字化、网络化、智能化和可视化特征的技术系统。简单地说，数字地球是指实现地球数字化或信息化的技术系统。也可以说，数字地球是数字化的地球，或信息化的地球，或虚拟地球。形象地说，数字地球是指整个地球经数字化之后由计算机网络来管理的技术系统。

数字地球也可以是地球的信息模型，或建模的地球，或具有信息圈层结构的地球信息模型。

陈述彭院士指出："从科学的角度讲，数字地球是一个面向社会的通俗易懂的号召；实际上数字地球就是地球上的信息全部要求数字化。"

数字地球是继国家信息基础设施(NII)和国家空间数据基础设施(NSDI)之后的又一

个意义更加深远的国家信息基础设施。它是以地球作为研究对象的高新技术系统，是很多技术，尤其是信息技术的综合，是21世纪的重大技术工程。

数字地球是由遥感技术、遥测技术、数据库与地理信息系统技术和高速计算机网络技术以及虚拟技术为核心的信息技术系统，包括陆地卫星系列、海洋卫星系列、气象卫星系列、测地卫星系列和地球物理卫星系列及航空遥感系列等的数据采集、处理、识别技术；遥测技术如全球定位技术系列的数据采集与处理；数据库与地理信息系统(GIS)技术系列，包括数据存取、检索、集成与融合、综合和分析等技术；光缆与卫星通信技术，Internet与web技术；虚拟现实与仿真技术；WebGIS，ComGIS技术，Open GIS标准与规范，NSDI的数据仓库，数据交换网络及数字图书馆(data library)，数据挖掘(data mining)技术等，是空间技术和信息技术的集成和升华。数字地球是地球科学与信息科学技术的综合，是一门综合性的科学技术。

综上所述，数字地球的基本概念，可以归纳为以下三个方面：

(1) 数字地球是指数字化的三维显示的虚拟地球，或指信息化的地球，包括数字化、网络化、智能化与可视化的地球技术系统。

(2) 实施数字地球计划，需要有政府、企业和学术界共同参加。实施数字地球计划是社会行为，需全社会来关心和支持。

(3) 数字地球是一次新的技术革命，将改变人类的生产和生活方式，将促进科学技术的发展和推动社会经济的进步。

8.2.2 数字地球技术系统的框架

数字地球的核心技术，包括以下几个方面：

(1) 计算科学(computational science)：在计算机出现前，科学试验或实验这种创造知识的方法一直受到限制，尤其是复杂的自然现象是不能进行实验的。由于高速计算机的出现，人们不仅能对复杂的数据进行实时或准实时的分析，而且还能对复杂的现象进行仿真和虚拟实验，从而能进行知识创新和发展新的理论。所以把计算科学放在首位。

(2) 海量存储(mass storage)：仅美国航天局(NASA)每天就产生10^{11}字节的信息，要求每天能存储和处理10^{15}字节以上信息的设施。而且信息量还在不断增长。

(3) 卫星图像(satellite image)：美国政府已授权商业卫星系统能提供1米分辨率，甚至1英尺分辨率的卫星图像，这为编制地图提供了足够的精度，实现了以前只有航空影像才能达到的精度。

(4) 宽带网络(broadband networks)：数字地球所需的数据决不是由一个数据库来存储，而是由无数个分布在不同部分、不同地点的分布式的数库来存储，并由高速网络来连接。网络的传输速度目前要求10Gbps，将来要求10^3Gbps。

(5) 互操作(interoperability)：Internet和World Wide Web之所以成功，是因为它有几个简单的而被广泛接受的协议，WebGIS是一个基于网络的、以地球空间信息的管理、开发、处理和应用为目标的技术系统。OpenGIS是为GIS的开放、集成、合作服务的标准和规范，它可以进行不同层次的互操作，可以使一种应用软件产生的地理信息被另一个软件使用。GIS产业部门正在通过OGC组织来解决互操作问题。

(6) Metadata(元数据)：是"关于数据的数据"。通过它可以了解有关数据的名称、位置、作者(或来源)、日期、数据格式以及分辨率等信息。目前联邦地理数据委员会(FGDC)正在同产业界及地方政府共同发展有关元数据的标准。

数字地球技术系统的框架由以下 4 个部分组成，如图 8.1 所示。

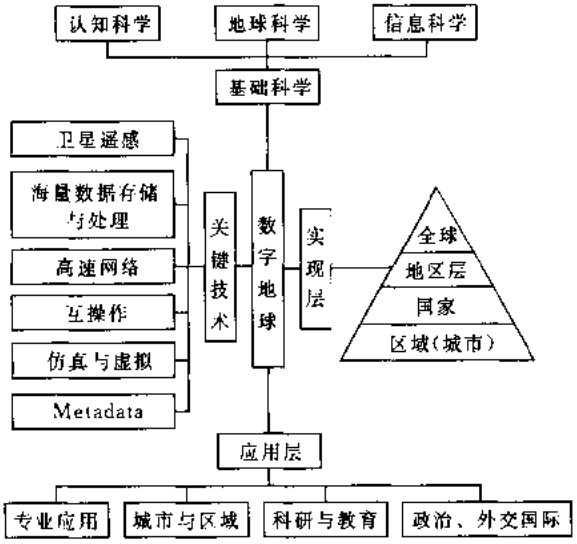


图 8.1 数字地球的框架

(1) 基础科学：认知科学、地球科学和信息科学。

(2) 关键技术：1 米分辨率的卫星遥感技术；海量数据的快速存储与处理技术；高速网络技术；WebGIS 与 OpenGIS 的互操作技术；多分辨率、多维数据的融合与表达技术；仿真与虚拟技术；Metadata 技术。

(3) 实现层：区域层、国家层、地区层和全球层。

(4) 应用层：专业生产、城市与区域、政治与外交、安全与国防、科研与教学等。

数字地球的技术体系包括：

(1) 标准规范：主要包括开放地理数据互操作标准；空间数据交换标准；Metadata 标准等。

(2) 数据快速获取：主要包括多分辨率遥感技术、遥测技术、全球定位系统和其他技术。

(3) 海量存储：包括先进的存储介质、分布式数据库等。

(4) 空间数据交换网络：主要包括数据交换中心、数据仓库和数字图书馆等。

(5) 应用模型：包括各种专业模型、数学物理模型、仿真及虚拟现实模型等。

(6) 用户：包括国家、地方政府、企业、公用事业、学术研究、教育和社会大众。技术体系如图 8.2 所示。

8.2.3 数字地球的研究对象

数字地球是以地球作为研究对象、以网络和计算机信息处理为主体的技术系统。它不

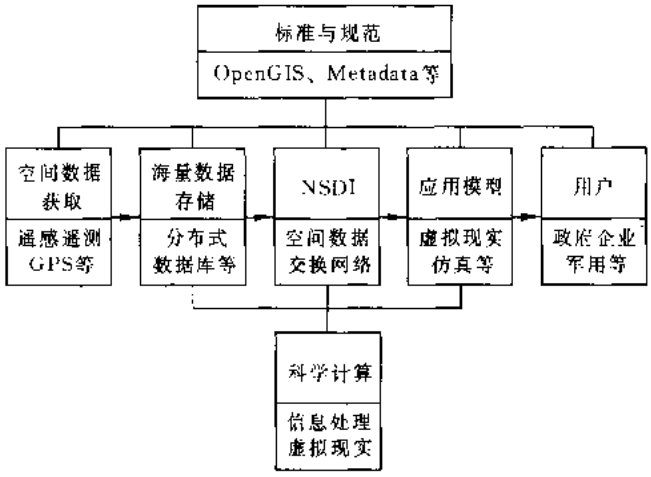


图 8.2　数字地球的技术体系

仅以地球表层的自然的或人工的物体信息和过程信息作为研究的主要对象，而且还把上至电离层、下至莫霍面的物质信息和能量信息也包括在内，因为如要解决天气预报及地震预报问题，仅研究地球表面或近地球表面是不够的。另外，数字地球的研究对象，除了一个区域或一个城市范围的自然及人工的物体信息或过程信息外，还包括整个地球的信息，这就增加了研究工作的复杂性和难度。

就整个地球的形状来说，地球实际上并不是一个均匀的椭球体，而是一个不规则的梨形，南半球略大、北半球略小。就洋面的形状来说，它也是不规则的，印度次大陆南端、斯里兰卡附近的海面要比平均海平面高出 100 多米，而冰岛附近洋面比平均海平面低 65 米，这是由于地壳厚度不均所引起的重力作用的差异所造成的。加上由于太阳、月球与地球之间的引力作用造成的潮汐或固体潮的现象，板块漂移、地壳升降，以及气候、植物等处在不断的变化状态之中，所以马宗晋院士认为：数字地球是活的地球，是动态的地球。

大气存在着圈层，各圈层在全球范围内的分布也是不均匀的（密度与厚度），而且也是动态的。地球表面以下也有若干圈层，它们在全球的分布也是不均匀（密度与厚度），因此，各圈层的形状也是不规则的，甚至也是动态的。

由于上述的原因，数字地球的数据结构与数据库结构与传统的 GIS 有很大的差别。例如原来 GIS 的地图或专题图的数据层，如数字高程（等高线）、水系、交通、居民点等都是同一平面的。现在除平面外，数字地球是多层的、立体的和动态的。在同一经纬坐标条件下，上层的面积大于下层的面积。所以数据库结构有它的特殊性。

综上所述，数字地球除了戈尔所提到的关键技术外，还有很多基础研究的问题。

8.3　数字地球的作用和意义

数字地球将给我们一个空前无比的机会，把关于我们社会和我们星球的原始数据流转换成可以理解的信息，这种数据不仅包括地球的高分辨率的卫星影像、数字地图，还包括经济、社会和人口的信息。它将在教育、可持续发展的决策、土地利用规划、农业以及危

机处理等领域产生广阔的社会和商业效益。数字地球计划还可以使得我们在人为的或自然的灾害问题上和长期面临的环境问题上进行合作。数字地球计划还能促进大型产业的增长和提供很多的就业机会。可以指导虚拟外交、打击犯罪、保持生态多样性、预测气候变化及增加农业生产等。

数字地球计划将提供1米分辨率，甚至是1英尺分辨率的卫星遥感影像，而且获得数据的频率很高，甚至保证每天获得一次数据。为了要达到这个目标，美国准备发射很多个低轨卫星覆盖全球。这种高分辨率卫星，将可识别地上的房子、车子、船舶、树木、甚至街上的行人、商店招牌等。可对全球的资源、环境、社会、经济的分布和变化等进行了解，可见意义之重大是十分清楚的。谁掌握了信息，谁就掌握了主动权，谁就可能获得胜利。数字地球不仅具有重大的经济意义，而且还有重大的政治意义和战略意义。

数字地球系统将改变人类社会的生产和生活方式。数字地球的应用领域和相关领域，例如数字农业(也叫信息农业)、数字海洋捕捞、数字交通、数字旅游等，数字经济(包括电子商务、电子金融)，数字社会(包括电子政务、电子公安、电子法院等)，另外还有数字区域、数字城市等，这些将使信息产业的生产规模扩大，推动社会经济的发展。由数字地球技术系统产生的数字战场、数字外交、数字政治等也将改变原来的思维模式和操作方式。这些都和数字地球密切相关，尤其是与网络GIS相关。

如果信息科学能够解决非常复杂的地球各领域的信息化问题，那么信息科学将得到很大的发展。而数字地球涉及很多信息技术的前沿研究，如虚拟现实，分布式并行处理，海量存储等。对于地球科学来说，数字地球技术系统是"一场新的技术革命正在使我们能够获取、存储、处理和显示信息的方式发生翻天覆地的变化，它使得我们对于我们所处的星球以及周围环境、文化现象等史无前例的海量数据的处理成为可能。"

数字地球技术为地球科学开创了前所未有的科学实验的条件，为过去认为不可能进行的结构太复杂的地球系统过程实验成为可能，为地球科学的知识创新和理论研究提供了试验基地，为地球科学的发展提供了强大的动力。

数字地球虽然是最近才提出来的，但数字地球的思想和技术却已酝酿了很长时间，至少有十年时间。国际上已经成功地进行了"龙卷风"、"海气交换"、"天体运行"、"圣安得利斯断层地震"、"恐龙生态环境"、"毛孔虫生态环境"、"洛杉矶城市改造"与"拉斯维加斯城市改造"等的计算机仿真和虚拟实验，取得了相当大的成功。另外，科幻电影"侏罗纪公园"和"天地大碰撞"等也有一定的科学参考价值。

数字地球为地球系统开创了科学实验条件，不仅可对未来的事件或过程进行实验，而且还可以对已经发生过的系统过程进行反演实验，两者都提供知识创新和理论研究的试验基地。对于数字地球提供的反演实验来说，也是前所未有的。例如广西、贵州、云南及新疆等地区的地壳运动的反演实验，不论在知识创新或理论研究方面，都可能取得进展。

在科学实验方面，利用数字地球技术可以做你想要做的，虽然不能是一切，但可能是大部分的实验，包括物理学的或生物学方面的虚拟实验，如工程实验，特别是水工实验和风洞实验等，现在都可以运用计算机进行虚拟实验。又如不同植物生长模型的计算软件的开发，使得区域或城市的生态设计、农业试验田的计算机虚拟等成为可能。

长江流域的全部信息化，包括数字化、网络化和智能化，如暴雨自动监测和预测、径流

的自动监测与预测、险情的自动监测和预测、灾情的自动监测及预测，水库及分洪区、滞洪区的自动调控系统，险情自动警报系统及防洪救灾指挥系统等，将自然的长江变成为可控制的长江或信息化的长江是有可能的。进行数字长江实验，不仅有可能，而且还有重大的科学和生产意义。

智能大楼或大厦，以及由许多智能大楼(厦)组成的智能小区、信息社区和信息城市已经不再是构想，在日本和美国也都有这样的示范区。美国计划着手建设 50～60 个数字化城市，并将城市基础设施、功能设施和服务设施全部数字化，为城市规划、改造及生态设计等的实验创造了科学条件。新加坡也将建成数字化的城市。

数字地球，即信息化的地球，不仅是国家信息化的重要组成部分，而且为地球科学开创了前所未有的科学实验条件，为地球科学的知识创新和理论研究提供了科学实验基地。

第九章　数字地球的基础研究

数字地球的基础研究十分重要，它不仅对应用具有指导意义，而且对技术开发也起促进作用。基础研究为技术开发提供潜力。对于高新技术的数字地球来说，基础研究尤为重要。美国大学地理信息科学协会(UCGIS)1995 年发表的地理信息科学的优先研究领域和国家地理信息与分析中心(NCGIA)1996 年发表的高级地理信息科学中，都提到了地理信息的认知理论等问题。地球信息的认知和地球信息的机理是地球信息科学的基础，也是数字地球的基础研究。认知科学的研究内容对地理信息的认知也有实用性，认知图谱对研究资源环境等的地球信息机理也有重要意义。

9.1　人类对环境的认知

所有的动物都有认知(cognition)的本能，人类更为突出。人是通过五官眼、鼻、耳、舌、皮，即视觉、嗅觉、听觉、味觉和触觉来识别和区别周围的环境或某一具体对象，这是第一种方式。第二种方式是从物体的运动和变化特征以及相互关系来识别和区分周围的环境和物体。

认知的基本原理是：所有的物体都有自己特有的物理和能量特征。物理特征如形状、大小、结构等外部特征，以及组成成份及结构等内部特征。能量包括重力(重量)、磁力、声波及电磁波谱(Y、X 射线、可见光、红外到无线电波)等特征，例如颜色和温度等的异同是识别物体的一种标准。凡是属于同一属性的物质具有相同的物理特征和能量特征，也就是根据物理的和能量的特征的差别来区别物体类别。

人的认知过程是通过视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉，通过形状、大小、结构等外部特征，以及重力(密度、重量等)、磁力、声波及电磁波谱等物理特征，如音调、音色、颜色、气味特征来判别物体的异同。同时还从它们的时空变化过程中，从运动和变化特征的差异中判别物体的异同。

人的认识不是一次就能完成的，它有一个过程，即认识“由表及里”、“由粗到细”、“去伪存真”、“由个别到一般”、“由一般再回到个别”的反复的、多次认识的过程。特别还强调了实践在认识过程中的作用，强调通过实践来提高认识，即实践、认识，再实践和再认识的过程，直至由“感性认识到理性认识”，理性认识是认识过程的升华。感性认识是表面的、粗浅的认识，是认识的初级阶段。理性认识是深入的认识、全面的认识，不仅是对事物的表面现象有所认识，而且是对它的本质，包括发生、发展、过去、现在、未来的全部认识。理性认识是认识过程的最后阶段。

人的认知过程还可分为无意识与有意识两大部分。人在日常生活中认识世界的过程是属于无意识的认知过程。有意识的过程是强制的，是通过教育、读书而认识世界的过程。

人的感官无时无刻不在接受外界的信息，每天仅视觉、听觉和触觉的接受的信息量就非常巨大。感官接受到外界的复杂信息后会自动将其分类和过滤，所有对人的生理和心理平衡不发生影响的信息均被自动滤掉，其他则尽最大可能用"无意识"或"本能"进行处理，只有本能无法处理的信息才能由大脑有意识地进行处理。人脑的绝大部分活动和与其配合的行为都与意识有关。

认知的关键在识别。识别是人对视觉、听觉等的判断能力。识别可以划分为以下几类。

物理识别：指对目标物的物理、化学和生物学的量化认识。如视觉包括明、暗、颜色、大小、形状、远近、运动状态等；听觉包括声音的大小、频率、方位等；触觉包括温度、硬度、湿度、大小、形状、受力、活力状态；嗅觉和味觉包括物质的组成及化学成分。传感器与电脑相结合，在识别范围和识别精度方面已经超过人类自身的能力，而且可以程序化。

模糊识别：指在大量的复杂的信息中，识别出有用的部分，即对接收的信息与以往的记忆和经验进行关联认识，剔除无关的信息。视觉的作用在于在复杂的背景中辨认特定的人和物，或以往经历过的人和物。听觉的功能在于在嘈杂的背景中辨别出特定的声音。解决有谁，有什么，是谁，是什么等问题。

情感识别：它是最高级的识别，属智能识别。主要指人际之间的信息交流，包括文字、语言、歌曲、表情、动作及气味等所表达的含义，通过说话的内容、音调、节奏及形体的行为等表达情绪和态度。

如果用电脑术语描述人的大脑，则人脑的比特较低，但分辨率较高。例如人脑很难记住七位以上的数据，但可以记忆按一定规则排列的比特，例如人的脸谱和星系的图谱，即人脑对图形，特别是图谱是善于和容易记忆和识别的。人的认知过程，多数是属于模糊识别过程，存储了大量的各种事物的信息图谱，这些信息图谱部分从遗传基因中来，大部分则从与周围事物的接触过程中，通过感觉过程中逐渐积累和存储，如什么样的人和物是什么样的"图谱"，什么行为或过程是什么样的图谱。图谱包括图形谱和色调谱在内。人们在对事物的认识过程中，首先将脑中的信息图谱与要判别的群体或个体进行对比、分析、及判断、决策或识别而认知事物的。大脑"数据库"中存储的"信息图谱"是认知过程的基础。

人对地球的一切的认知过程，首先从小孩时期起，通过感觉（视觉、听觉等）实践和长期观察，建立不同植物、不同动物、山脉、河流、田地、房屋、道路等信息图谱，然后将它们与日常生活中所遇到的事物进行对比、分析并进行判别，达到识别的目的，而且这一过程是属模糊识别过程。

感情识别也是在人脑记忆中建立"喜、怒、哀、乐"等感性的标准图谱，包括"脸谱"和形体的"行为图谱"等作为认知的依据。

人的认知过程是，首先从不同侧面的静态图谱开始，然后进一步到动态的图谱的认知过程，也就是从局部到全面的认知过程。

只有已经被人认知的东西，才能感觉到它的存在，而那些尚未被认知的东西是不会被感知它的存在的。只有大脑记忆中已经存有"信息图谱"的事物，才能感知它的存在。所以至今还有很多未知的东西，我们可能并不认识到它的存在。

9.2 资源环境信息图谱机理探讨

9.2.1 基本概念

“图谱”对大多数人来说并不生疏，但是它至今尚无明确的定义。

图谱是由图和谱两个字组成，图是指图形(picture pattern，graphic)，谱是指系列(series)。图谱是指图形系列(pattern series 或 picture series)。资源环境图谱是指有关资源、环境要素的图形系列。资源环境信息图谱是指荷载资源、环境信息的图形系列或能够荷载资源、环境的性质、特征和状态表征的图形系列[19]。

资源环境信息图谱包括它们的物质形体和能量(或场)的表现特征，如空间和时间分布与变化特征的系列。资源环境的物质形体是指它们的形状、大小、结构等外部的特征，以及空间、时间分布及其变化系列。资源环境的能量或场指电磁波、重力(场)、磁力(场)等的强弱特征与空间和时间分布及其变化系列，包括它们的波谱、能谱及频谱等，它们常常以曲线或图表的形式作为载体或表现形式，或是以特殊的色调，或是以遥感影像作为载体的表达形式，所以都具有图形系列的特征，即资源环境要素的形体或能量(场)，都具有自己的图谱特征。

9.2.2 研究现状

众所周知，物理学家、化学家、地质学家(尤其是岩石矿物学家)和天文学家等区分他们的研究对象的特性时，都以物质成分与结构及光谱或色谱特征作为依据的。物质成分也是依据它们的光谱或能谱进行区分的。动物学家和植物学家对动植物进行分类时也以它们的形体和色彩差别作为重要依据。在“动物志”和“植物志”中，都有动植物图形的详细描述，所以又有“动物图谱”和“植物图谱”之称。而且最近还发现了不同物种之间的“基因图谱”的差别。基因图谱不仅可以用作分类的依据，而且还可以用来控制物种的发育和发展方向。在地质学中，岩石矿物学不仅研究矿物的晶体结构图谱或物质结构图谱，而且还研究物种的光谱/色谱特征。构造地质学是研究地质结构图谱的分支科学。古生物和沉积相也都是研究图谱的。李四光的地质力学的“山字形”、“歹字形”、“多字形”构造也是图谱的一种形式。地貌学更是一门研究地球表层形态图谱的科学。原苏联的自然地理学家伊萨钦科的自然景观图谱、文圣常的海洋“波浪谱学”、第一海洋所的“海洋动力图谱”、刘宝元的“黄河水文泥沙图谱”、气象科学的“大气过程的云系图谱”、遥感科学的“地物波谱志”和“遥感影像图谱”等都是典型的资源环境图谱。可见图谱在资源环境的研究中不仅早已应用，而且应用得还非常广泛。人们通过对资源环境图谱的研究，不仅揭示了它们的规律，而且还促进了应用。但是过去的研究都是分散的、缺乏系统性，更没有把这项研究上升成为资源环境的信息理论来研究。

9.2.3 形成机理

物质结构也是一种特殊的图谱。组成物质的原子和分子的结构特征，组成岩石的矿物

的晶体结构等都具有图谱的特征。一切生物，包括动物和植物都具有自己的基因图谱特征和细胞结构特征等图谱特征。它们组成的整体形状，简称形体。由于属性不同，它们的形体也是不同的。不同的元素排列组合，形成不同的原子和分子结构图形；有多少种矿物，就有多少种矿物结构图形。不同的元素，不同的矿物，组织成不同的物体，并具有不同的形体特征。加上后来的内营力（地壳运动和地应力）外营力（风化作用、风蚀、水蚀及人工作用等）的叠加作用，使原来的形体特征发生了很大的变化，于是就产生了形体的图谱系列（或形谱）。对于人工的建筑物来说，由于功能不同，它们的结构和形体也不同，加上环境及社会发展产生的影响，同一类型的图形也就有了差别，于是也就产生了图谱特征的差别。

不同的基因图谱和细胞的结构图谱组成了不同的植物和动物，并形成整体结构图形的不同。如植物的干、茎、叶、根、冠、花和果实及规模大小的不同；动物的毛皮、爪、翅、脚、嘴、鼻及整个形体规模的不同等，都成为对其分类的重要的标准。世界上没有具有相同形体特征、但属于不同属性的动物。

从宇宙来说，不仅我们的地球、月球、金星、水星、木星以及它们的卫星具有形体特征，而且所有远离我们的数亿个恒星和行星也都有自己的形体特征，如太阳系和其他星系有自己的整体形状特征（例如漩涡状的、扁平形状的等），宇宙间的所有物质或能量都有自己存在的形态特征。

物体的能量特征，包括波谱（色谱）、能谱（γ能谱）、频谱、重力、磁力等特征，是由于电子的能级或能带跃迁所产生的，或由于引力等其他原因造成的。任何在绝对温度－273℃以上的，即绝对零度以上的物体都能发射电磁波谱（热红外与微波等），不同性质的物体具有不同的发射波谱特征。物体具有反射外来的电磁波谱特征，不同性质的物体具有不同的反射波谱特征，即不同的谱貌特征。不同的物体还具有不同的重力场、磁力场特征以及能谱（γ能谱等）及频率特征。这些都是用来区别物体属性的重要依据。遥感影像数据或其他物理探测所得的数据都是资源环境的能量图谱特征，而且越来越显示它们的重要性。

资源环境信息图谱不仅能反映它们属性的差别，而且还可反映它们的状态的差别，如动态、静态及运动速度、强度的差别等。资源环境信息图谱反映了它们的物质和能量的空间结构特征和时空分布特征。资源环境信息图谱不仅反映了它们的空间形态，而且还反映了它们的空间行为。也反映了它们的过去和未来，反映了所处的环境状况或内外营力等。

9.2.4 基本类型

由于地球是一个复杂的巨系统，作为地球系统的重要组成部分的资源环境子系统也具有复杂性的特征，它们的信息图谱是非常复杂的，其基本类型如下。

（1）气象动力图谱：不同尺度的锋面云图谱、气旋云图谱和强对流云图谱。包括它们的形体特征及能量特征、卫星云图特征；

（2）海洋动力图谱：不同尺度的波浪图谱、洋流图谱、涡流及水团图谱、潮汐图谱。包括它们的形体特征、能量特征及遥感影像特征；

（3）地球动力图谱：不同尺度的地质力学图谱、地壳构造图谱、新构造图谱、地形变图谱、海洋重力图谱、固体潮图谱。包括它们的形体特征、能量特征及遥感影像特征等；

（4）环境图谱：地质岩性及构造图谱、地形地貌图谱、生态景观图谱等；

(5) 资源图谱：各种类型的森林图谱、草场图谱、耕地类型图谱、水资源图谱(河流、湖泊等)、矿产资源图谱(如蚀变带图谱等)；

(6) 人工建筑的图谱：城、镇、村等居民点有自己的图谱特征。铁路、公路、机场、站场、码头、港口、桥梁等交通设施也有自己的图谱；不同功能的建筑物，如工厂、商店、仓库、学校、医院、机关、公园、游乐场等也有自己的图谱；商业区、文化区、工业区、住宅区、高压线、油管等也有自己的图谱。

9.2.5 综合图谱

上述基础图谱的不同组合、反映资源环境动态变化与发展趋势的图谱，陈述彭院士称为征兆图谱和诊断图谱。

1. 征兆图谱：是由资源环境要素本身不同时段连续变化的图谱，例如：

(1) 气象云图的连续变化系列，可以预测天气的变化，是天气变化的征兆图谱；同样，海洋的波浪、涡漩、水流、海洋的连续图谱，可以预测海水运动的趋势，是海洋动力的征兆图谱等。

(2) 植物：包括森林、草场、农作物图形与色调的连续图谱，可以预测植物的长势、病虫害或受灾(旱、涝)等征兆图谱。

(3) 城镇连续系列图谱，可以预测城市化的发展趋势和速度，是城市化的征兆图谱。

2. 诊断图谱：用资源、环境的正常的或标准图谱与要求诊断的图谱进行对比、分析而做出判断或诊断，如：

(1) 将雨季时的区域图形，尤其是河流、湖泊、洼地的图形，与正常的、非雨季的或标准的图谱进行对比、分析。如果河流、湖泊面积扩大了，可诊断和评估发生的洪涝灾害。

(2) 将某一时期、某一地区的植物生长状况图谱与同一地点、同一时间、同一方法获得的、正常的、标准的图谱进行对比、分析，可诊断植物的长势、病虫害或受灾(旱、涝)状况。

(3) 对不同年份的城镇居民的图谱进行对比、分析，可以诊断城市化的速度。

9.2.6 图谱内容

由于客观世界的事物千差万别，不同的事物有不同的图谱。下面以简单物体和复杂的综合现象为例说明图谱的内容。

1. 以植被(华北油松)为例，基础信息图谱的内容包括：

(1) 形谱

单体特征：针叶(五针)，稍长，墨绿色，树干挺直，鱼鳞状皮，成年高 10 米左右，球形鳞片状坚果，树冠错差不齐，常绿乔木。

群体特征：分布在华北海拔高度在 1 000 米以下的山地或丘陵区，林冠参差不齐，墨绿色常绿林。

(2) 波谱

波谱曲线：在各个电磁波段上的反射或发射率曲线。

2. 以洪涝灾害诊断图谱为例，综合信息图谱的内容包括：

(1) 形谱

某一地区 7～9 月份(雨季)时河流、湖泊、洼地正常情况下的形状(宽度面积等),遥感影像上的纹理特征,水面与周围物体间的关系等特征,这些形谱可以识别是否发生了洪涝灾害。

(2) 波谱

将正常时期某一地区 7～9 月份(雨季)时的遥感影像与今年或任何时期的影像进行对比分析,根据多波段数据的统计分析、波谱曲线的变化等可以自动判别该地区是否发生了洪涝灾害。

综合图谱中的征兆和诊断图谱的关键是要建立地区的标准图谱库,用它作依据进行对比分析、做出预测和诊断。

9.2.7 数学模型

资源环境信息图谱的图形十分复杂。B. B. Mandelbert 于 1982 年创建的分形分维几何学是描述这种复杂图形的数学分支。自然和社会中的复杂的几何形态,具有相似性的特征,即在统计意义上总体形态的每一部分可以被看作是整体标度减少的映射,标度指级别或观测数目。不论形态是如何复杂,它们在统计上的相似性或概率上的相似性是普遍存在的。局部形状与整体形状的相似性,以及局部的局部形状与整体形状的相似性,是自然界和社会中的普遍存在的现象[20]。

B. B. Mandelbert 认为,自然和社会中的复杂的几何形态,可以用幂函数 D,即分形数来表达

$$D=\mathrm{Log}[N(r)]/\mathrm{Log}r$$

其中,D 为分形数,r 为形状的变量,$[N(r)]$为标度,指级别或观测数目。分维数是对分形复杂度的度量。分维数的基本概念包括:在欧氏几何中,点是 0 维,线是 1 维,面是 2 维,体是 3 维,推而广之,时空是 4 维,高维抽象空间可以为 5 维、6 维及任意 n 维(n 为整数)。这种整数维的图形,经过拓扑变换,即拉长、压缩或扭曲后,仍然是不变的,称为拓扑维数。

自然界存在各种尺度的分形形体,大到宇宙,小到一个树的图形,这与数学上分形有两点差别:

(1) 自然界的分形,不是按一定规则构造出来的一种有规则的分形,而是一种具有自相似性的随机对象,是无规则分形;

(2) 自然分形的自相似性层次是有限的,分形只存在在被限制的范围内,不存在无限的自相似层次,如一条河流的分支,一株树的分支,都不是无限的。

R. E. Horton, A. N. Strahler. S. A. Sehumm, M. E. Morisowa 及承继成等运用相似性原理及分形几何方法,研究水系的形状特征;La. Barbera, Ross. Feder, Tarboton, Nikora, E. P. Bbander M. Rorigas, L. liu, V. B. Sapozhwikov, B. Kakenderg. M. F. Good child 及艾南山等人研究地表形态的几何特征;Turk Okubo Aki, Aviles, Scholz, Carr, Maralho, Charraa-Graco. Miller, Wakabayashi Older 及谢和平等人研究地质体的几何形状特征等,都获得了较好的效果。

9.2.8 应用前景

我们希望资源环境信息图谱不仅要像“指纹”那样作为快速识别和分类的标志，而且要像生物学中“基因图谱”那样，既能作为区别生物类型的、甚至是识别人体的科学标志，又能作为预测和控制生物发展方向的“钥匙”。首要的任务是建立资源环境信息图谱的数据库及管理系统，用它对资源、环境进行快速识别、分类、监测及预测，为资源、环境管理服务。

我们希望资源环境信息图谱研究，将来成为地球信息科学的基础理论之一，为地球信息科学的发展起到一定的促进作用。

9.3 地球空间数据的特征

1. 定义

数据(data)是信息(information)的载体，但它不是信息，因为它可能带有一定程度的噪声(noise)在内，没有经过加工和组合等处理。

信息是事物的性质、特征和状态的表征，而噪声是在数据产生或获取过程中可能夹带的与信息无关的内容。数据包括数字、文字、图形、声音等。

空间数据(spatial data)是数据的一种特殊类型。它是指凡是带有空间坐标的数据，如建筑的设计图、机械设计图、X 光片、照片及各种地图等数据。

地球空间数据(geo-spatial data)是空间数据的一种特殊类型。它是指带有地理坐标，即经纬网坐标的数据，包括有关资源、环境、经济和社会等领域的、一切带有地理坐标的数据。据统计资料表明地球空间数据占总数据量的 80%左右，可见它是主要的数据类型。

2. 地球空间数据三要素

“属性、空间和时间”是任何地球空间数据所必需具备的三要素。缺少其中之一都不能成为地球空间数据，或至少是不完整的信息。例如：“1999 年北京香山(含地理坐标)的枫树林”，具有属性、空间和时间三个要素，是一个完整的信息。若只说“枫树林”，既没有时间，也没有空间，至少是不完整的信息。若只有“北京香山一片枫树林”，虽然有属性和空间位置，但没有时间，它可能不是现在的，而是清朝时期的，甚至是明朝时期的，因此，它也不是完整的信息。只有属性而没有时空概念的信息，都不是完整的地球信息。

从地球科学来看，尤其是从事物的发展史来看，地球上的一切对象都具有明显的时间和空间特征，因为它们都处在不断的变化之中。它们随时间而改变它们的属性和空间位置，所以时间是地球空间数据的十分重要的因素。

3. 地球空间数据的复杂性特征

地球空间数据的复杂性表现在既有十分精确的数据，也有十分模糊的数据，两者并存。另外还有地球空间数据的动态性，增加了它的复杂程度。

第一，地球空间数据精确性：凡是经过测量得到的数据及经过精确计算的数据，如地球与月球之间的距离、地球与火星的距离等是精确的数据。

第二，地球空间数据的模糊性或不确定性(uncertainty)：美国地理信息与分析中心(NCGIA)向自然基金委员会(NSF)提交的高级地理信息科学报告中详细讨论了这个问题。地球空间数据的模糊性指以下几方面：

(1) 有些地球现象的不同类型要素之间是逐渐变化、逐渐过渡的，两个类型之间本身就不存在明确的界线。如相邻的不同土壤类型之间、相邻的气候带、自然地理带之间等，逐渐过渡不存在明确的界线，界线是人为的。这些现象在地球科学的领域内是很多的。

(2) 有些定义有争论，或定义的界线难以精确划分：如林地的定义，在林业部与农业部之间就存在着分歧。如按林业部门的定义："凡是林冠垂直投影的面积占60%以上为林地"。但在划界时却很困难。没法切实执行，只能是大概的。还有各种土地类型都不是单纯的，如水田中包含了部分是属地埂，灌溉毛渠，甚至是房屋。旱田中也有类似的情况，随着比例尺的差别，它们的"纯度"也有所不同。比例尺越细，它们的纯度越高。

(3) 动态性的特征：地球科学领域中不少对象具有动态性的特点，数据具有时间和空间特征。例如人口只能限定在某一特定时间才有意义，耕地的数量也只有在特定的时间内才有意义。因为耕地随时、随地都处在不断的变化之中。林地、草地等也是如此。很多的土地利用类型都是动态的。

4. 地球空间数据的原生数据与派生数据

在我们日常工作与生活中，常常遇到一些原生的地学空间数据，有的则为可派生或次生的数据。如每天的温度、每天的降雨、每小时、每分钟的降雨量等为原生数据，而月平均温度、季平均温度、年平均温度、月最高温度、月最低温度、年最高温度、年最低温度等都是属于派生的次生的，最重要的是基础数据和原生数据。

(1) 用统计方法产生的派生数据：如各种气象、气候、水文、海洋及产量数据等原生数据，可以通过统计的方法产生很多生产、科研及管理部门所需的派生数据。

(2) 数据挖掘(data mining)：也是可派生或可次生数据的一种类型，但它不是一般统计方法所能产生的。如将DEM数据通过分析产生地质类型、地质岩性、地质构造、气候状况及气候变迁等派生数据。又如通过对原生数据的平水位时河流形状数据(图形、影像)与洪水时期的河流数据进行对比，获得的洪水泛滥的数据等，也是派生数据，是通过数据挖掘方法产生的数据。

5. 数据(data)，信息(information)与知识(knowledge)之间的关系

一般来说，数据产生信息，信息产生知识，因此数据具有极大的开发潜力。信息在数据范围之外还有特点，尤其是具有人类解释的特点。知识有超过信息的某些东西，是信息的应用。数据和信息适用于进行技术处理，而知识则更多地靠人的分析和解释进行处理，目前计算机的知识表示和处理还在研究之中。

第十章　数字地球的关键技术

戈尔在他的报告中所提出的数字地球概念和美国国家地理信息与分析中心给美国自然科学基金会的“高级地理信息科学”研究计划、美国大学地理信息科学联合会发表的“地理信息科学的优先研究领域”等的战略目标是一致的，都是解决地球空间的数字化和信息化以及应用问题。戈尔在报告中[16]提到的数字地球的关键技术有科学计算、海量存储、宽带网、卫星数据获取、Metadata(元数据)、互操作，这些与高级地理信息科学研究计划和地理信息科学的优先研究领域中提到的技术内容相似，如地理空间的认知、地理概念的计算机实现、信息社会的地理学、空间数据的获取和集成、分布式计算、地理信息的互操作等。因此，数字地球的关键技术是总结了 NCGIA、NSF、UCGIS、OGC 等很多部门的意见后提出来的。现就这些看法以及许多专家的部分意见，结合我们的认识，提出数字地球的关键技术，主要包括地球空间数据获取、地球空间数据的存储和处理、超媒体空间信息系统、地理信息的分布式计算、空间数据仓库、无级比例尺数据库、空间数据融合、虚拟现实技术以及 Metadata 等。

10.1　高分辨率卫星遥感数据的快速获取技术

高分辨率卫星遥感数据的快速获取技术主要包括两个方面：一是高分辨数据，即 1 米分辨率的遥感数据；二是快速获取，目前小卫星系列以其灵活性可以实现数据的快速获取。

卫星遥感是数字地球获取数据的主要手段。卫星遥感包括不同轨道高度、不同分辨率的陆地卫星系列、海洋卫星系列、气象卫星系列、测地卫星系列以及小卫星系列；空间分辨率从 1 米到 4 000 米；光谱范围从紫外、可见光、红外到微波；波段从 1 个到 240 个以上；遥感数据的管理包括影像数据库、地理信息系统和网络传输技术(Internet)等；遥感数据处理技术包括光谱辐射校正、几何校正、影像增强、特征提取、自动识别分类、自动成图、数据压缩等，这些技术都已经取得了很大的成绩。与数字地球相关的卫星遥感数据获取技术的主要问题是海量的卫星数据的快速处理。戈尔在报告中指出：仅就 NASA 的行星地球计划而言，每天将产生 1 000G 字节的信息。而这些信息的利用程度很低，主要是数据处理技术和其他地球信息综合应用问题没有很好地解决。

军事领域中侦察卫星可以实现 1 米分辨率的卫星遥感数据的获取，甚至已经达到厘米级的技术水平。在“沙漠之狐”的军事行动中，美国侦察卫星采用 1 米空间分辨率的两个红外成像仪与三个具有全天候能力和数十米穿透力的雷达成像仪，每天两次获取地面信息。这种载有红外探测仪的 DSP 侦察卫星除了探测火箭和导弹基地外，还可以侦察地面的炮火布局；另一个卫星系统叫“太空部署红外线”系统(SBIRS)，除了 DSP 卫星的任务

外，它还具有对战场情况的侦察能力。其中有4颗卫星在静止轨道，有20颗卫星在低轨道上。所有这些卫星都与中继卫星联网，可直接将卫星图像数据传送到总部。俄罗斯的侦察卫星的分辨率可以达到0.5米。

美国的政府已授权商业卫星系统在1998年早些时候提供1米分辨率的遥感影像，实现了以前只有用航空相片才能达到的精度。但这项计划由于技术的原因被推迟了。计划中发射的1米分辨率的民用卫星见表10.1。

表10.1 美国计划发射的遥感卫星

卫星名称		Early Bird	Quick Bird	Orb View	CRSS(商业遥感系统)	GDE系统
公司		Earth Watch	Earth Watch	Orb Image	Space Imaging Com	GDE系统公司
分辨率（米）	全色	3	1	1	1	1
	多波段	15	4	4	4	4
成像带宽(公里)		30	10～20	4～15	11	15
轨道高度(公里)		470	470	460～700	680	700
重复成像周期(周)		2	2	2～3	3	2
工作寿命(年)		5	5	3～5	5	5

在1米分辨率的卫星影像上，地面的资源、环境、社会与经济的布局等内容清晰可见。

1米分辨率的卫星影像，如果是全球覆盖，或者是对一个地区进行每天观测一次，获取和积累的数据量可称为是海量的。如果要求对这些数据进行快速处理，提取和识别地面目标，则计算量非常大。这个问题通常需要大型计算机来解决。但大型计算机比较昂贵，并且受高技术出口的限制，所以用多台普通计算机联网进行并行处理来替代超级计算机，并开发一些具体的并行算法来处理这些图像，是需要攻关的课题。

对于数字地球的数据获取来说，小卫星将成为十分重要的工具。

小卫星应该成为数字地球计划的组成部分。小卫星研究和开发的周期短，投资小，配置灵活，能够实现遥感数据的快速获取。关于小卫星还没有明确的定义，一般以它的重量来表示，重量小于500公斤等级的卫星可以称为小卫星，最小的卫星的重量只有1公斤。小卫星的作用和意义包括：降低卫星的成本、降低卫星的发射费用、缩短制造的时间、能及时采用新技术。下面是各个国家的小卫星系列。

(1) 法国空间局的Proteus小卫星平台：重500公斤，成本为1 000万美元，载荷250公斤，轨道高度1 000公里。用于测量海洋地貌、海气交互和对地观测。

(2) 法国空间局的Leostar小卫星平台。

(3) 美国JPL的目标是发射100个左右1公斤重的超微卫星和10公斤的卫星。轨道高度在12.750公里～312.000公里，直径30厘米，高10厘米，成本50万美元。

(4) 美国沙里大学的小卫星系列，很多国家已经采用，

我国清华大学已经决定与沙里大学协作，发射小卫星，名为“清华--号”，它有两个用途：一为遥感服务，空间分辨率为50米，另一为通信服务。这个小卫星计划于1999年发射。

10.2 海量数据的快速处理与存储技术

由于单个计算机的CPU速度存在上限，海量数据的快速处理将依赖基于多指令流多数据流并行计算机的并行处理算法。海量数据的存储目前依赖于分布式存储系统。

数字地球所需的信息不仅是遥感信息，而且包括非遥感信息，例如空间图形数据和属性信息、遥测和其他方法所获得的信息。信息量是巨大的。这些海量的信息需要进行检查或校正等处理后才能应用，尤其遥感信息需要进行快速光谱辐射校正、几何校正、影像增强和特征提取等处理。不仅如此，还要求快速存储和检索才能满足用户要求。

当前的技术关键在于能够将获得的遥感数据直接通过计算机进行各种处理，并进行人机交互分类。将遥感图像分类和特征提取中的疑点和难点经专家用光笔直接在屏幕上进行分类、划界、输入计算机进行存储，用户通过查询和检索可快速获取这些信息。

不论处理、存储还是检索等，都要求响应速度快。因此要求有超大型的计算机来完成这样的任务。美国和日本正在开发这种超大型的计算机。

分布式数据库及分布式存储建设是数据管理的趋势。不同部门、不同行业、不同地区应分别建立自己的数据库，不但为了应用的方便，而且也为数据采集、数据更新和数据处理与管理的方便。不同专业的数据库应由不同专业的部门建设和管理，这样才能发挥各自的特长，避免集中式系统带来的管理困难和网络拥塞。就NASA来说，它就有12个数据中心，约50个数据库。

要对全球数据进行处理和虚拟显示，需要有超大型计算机。现在计算机的最快速度为每秒数万亿次，到2004年将达100万亿次。每秒数万亿次速度的超大型计算机，现在只有美国与日本才有。对于大多数国家来说，只有采用多台低档计算机联网并行处理的方法来处理海量的数据。

并行计算通常是指一个任务的各个部分并行同时地进行计算，而不是顺序地执行。这种计算要求各部分的数据相关性小。如果各部分有前后的因果关系，即一个部分的计算结果(输出)必须作为另一部分的输入，则不能进行并行计算。在图像处理中，通常一幅图像的各部分的相关性小，没有时间上的因果关系，可以作并行处理。在地理空间信息处理中，有很多情况可用并行处理方法。

并行计算可以在超级计算机或大型计算机上进行，也可以在分布式多计算机上进行，下面介绍这两种计算机系统。

(1) 高性能并行计算机系统：通常由多个CPU进行紧耦合，通过总线或交叉开关来共享存储器，这种处理机系统属于多指令流多数据流(MIMD)结构范畴，可形成大型机和巨型机，例如我国研制的曙光一号并行计算机。另外，大规模并行处理巨型机(massively parallel processing super computers，简称MPP)由一组相对并不昂贵的CPU构成，由一个高速互联网络将它们组成一个单元，利用一套系统应用软件使这些器件像一个系统那

样运行。MPP 能够提供强大的计算能力，已经成为高速科学计算的主要硬件平台，是巨型机的发展方向。

(2) 分布式计算机系统是多个分散的计算机经互连网络连接而成的多计算机系统。其中各个资源单元(物理或逻辑的)既相互协同又高度自治。能在全系统内进行宏观资源管理，动态地进行任务分配或功能分配，并能并行地运行分布式程序。分布式处理系统具有模块性、并行性和自治性。分布式计算机系统是多机系统特别是并行处理系统的一种新形式，是计算机网络技术领域迅速发展的一个方向。由于微机的性能价格比优于大型机，将若干台微机构成分布式多机系统，采用分散处理的方式取代集中式大型主机结构，开拓了计算机应用的新途径。

另外还有神经网络计算机。神经网络计算机为第六代计算机，与传统计算机相比，其特点有：大规模并行分布处理；高度的容错性，任何局部错误不会影响整体结果；具有适应性，自学习能力，具有思维联想能力。

对于数字地球的海量数据的处理要充分利用上面这些计算机体系，研究并行处理算法，如研究基于 MIMD 的遥感图像处理算法等。

地理空间数据量是巨大的，目前微机上用的硬盘、光盘等的存储容量只有 10^{11} 亿字节级(10Gb)。纳米技术、激光全息存储、蛋白质存储等方面的研究也已有了较大的进展。但目前数字地球的海量数据主要靠成千上万个数据库来存储。

10.3 高速计算机信息网络技术

海量数据的存储需要分布式数据库，部门对信息的应用及相互合作需要信息共享。分布式数据库需要高速计算机信息网络的连接才能实现充分的共享，随着社会经济的全球化，资源环境的监测、预报及研究的全球化，信息共享与合作都需要高速计算机网络来实现信息的交流。为使数字地球服务于社会各领域，甚至服务于每个人，必须有高速网络才能实现海量数据的传输。

高速计算机网络，即国家信息基础设施的通信网络，可分为有线网络和无线网络两大类。

有线网络是电缆或以光纤组成的光缆与通信设备和计算机共同组成的网络系统。个人计算机通过音频和视频设备及摄像机等相连接形成多媒体综合计算机，通过网络设备与光缆或电缆相连接，使计算机中的多媒体信息组成一个个的数据包或信息包在光缆上传输，如同高速公路上的车辆一样川流不息。数据包或信息包经过一个又一个网络节点驿站在网络中流动。每一个节点驿站都有路由信息，通过网络协议来进行路由选择和传输，同时进行信息分流或加入。有线光缆可以分为狭带光缆、宽带光缆、波分光缆等。

第二代 Internet(Internet Ⅱ)，即宽带网络是美国 100 多家大学组成的合作群体的智慧产物，计划要以比目前的 Internet 快 100 倍至 1 000 倍的速度传递信息。它以每秒 600 兆比特以上的速度传递分布式数据库中的信息。这种速度足以在不到一秒钟的时间内传输一部百科全书。在今后两年内 Internet Ⅱ 的传送信息的速度将达每秒 2.4 吉比特，而目前 Internet 的最快调制解调器的传送速度只有每秒 56 千比特。由 34 所大学组成的“高级

Internet 公司"的总裁范豪威灵博士指出，Internet 距离真正的信息高速公路不远了。

新的通信网络，即采用波分复用技术的网络(WDM)，可以不用铺设新的光缆，就能增加现有网络的带宽。该技术在同一条光缆上，同时发送不同的光信号，按照不同的光的颜色(即波长)传输信号。每一个信号形成一条能够运载各自信息流的独立通道。利用波分复用技术发送一个附加光信号，能把带宽增加一倍。将来在同一条光缆上，可以传输多达 80 种波长的信号。现在一条光缆上可以同时受理 3.2 万对电话，将来采用波分复用技术后，可以增加到 130 万个电话。波分复用技术要解决光纤传输技术大大落后于光纤传输能力的问题。

无线网络技术：由于有线网络技术受到了光缆分布的限制，它只能在经济发达地区和人口稠密地区分布。大洋、大沙漠、大高原、大森林等人迹稀少的地区，不便铺设光缆，只有无线网络技术才能实现通信。

(1) Teledesic 计划，也叫 Sat-Internet 计划，是由比尔·盖茨于 1997 年 3 月提出并投资建设的。它由 840 颗通信卫星组成，能覆盖地球上 90%以上的面积，计划在 1999 年开始发射这些卫星，到 2001 年建成。这个卫星网络与地面光缆相连接。这将使发展中国家受益无穷，因为光缆通向穷乡僻壤是不可能的。而 Teledesic 计划的卫星网络可以覆盖任何地点。位于任何地点的用户只要有一个 6 英寸大小的天线就可以接收信号。Teledesic 卫星的平均使用寿命为 10 年，可容纳 2 000 万个用户同时使用，在船上、汽车上、飞机上和大沙漠中等任何地点都可使用网络提供的信息。

(2) 日本邮政省与欧盟协作，计划在 2002 年在赤道上空 3.6 万公里的轨道上发射 5 颗同步通信卫星，将覆盖全球，每秒可传输 10 亿字符，与光缆相通。卫星上装有高效传输数字信息的新式的 ATM 交换机，同时也可以与光缆相连接。

10.4 超媒体与分布式空间信息系统技术

数字地球系统的主要任务之一是要实现数据或信息的共享和发布。遥感技术是获取数据和更新数据的主要手段；分布式数据库、信息系统与高速计算机信息网络为信息共享创造了条件，而互操作是实现共享的关键技术之一。地球信息的互操作需要通过网络 GIS (如 WebGIS，ComGIS)以及互操作规范(OpenGIS)来实现。WebGIS 与 ComGIS 是针对同构系统，即相同的软件平台的分布式信息系统的数据、软件及硬件等资源的共享和互操作。不同软件平台(如 ARC/INFO 与 MAPINFO)之间，即异构系统之间的互运算、互操作可以通过 OpenGIS 规范来实现。OpenGIS 是开放 GIS 标准和规范。

1. 超媒体网络 GIS 技术(WebGIS)

Web 是 1989 年欧洲高能粒子协会(CERN)为在网络上传送文字、图形、影像和音响数据而开发的超媒体服务系统。而 GIS 系统出现较早，已经过几个不同阶段的发展。

在早期只有一台计算机和少数终端以及单一的数据库的 GIS 系统中，主机是系统功能的中心，用户通过终端共享主机的 CPU 能力、数据与外设等资源，由主机进行各种数据处理；PC 机出现后，基于 PC 机的 GIS 没有多个终端，全部功能集中在单机上进行；局

域网 GIS 是由多台主机、多个数据库与多个终端组成的网络系统，它以服务器(servers)为中心，在网络管理软件的支持下，不同用户可以共享系统资源及处理能力，但系统内部基本上处于独立运行状态，相互之间几乎没有协同工作的方式和能力；WebGIS 是由多主机、多数据库与多台终端，并通过 Internet/Intranet 连接而组成的。实际上 WebGIS 是通过 Internet 连接大量的、分布在不同地点的不同部门的独立的 GIS 系统。WebGIS 具有客户/服务器(client/server)结构。客户机具有获得信息和各种应用的功能，服务器具有提供信息或系统服务的功能。WebGIS 由 4 个部分组成：WebGIS 浏览器(Browser)可以通过 Web 服务器连通到任何地点的另一个数据服务器上，读取各种多媒体空间信息；WebGIS 信息代理(Information Agent)是空间信息网络化的关键部分，主体(Agent)是信息代理机制和信息代理协议，提供直接访问数据库的功能；WebGIS 服务器能解释中间代理请求及操作数据库服务器和实现浏览器和服务器的动态交互；WebGIS 编辑器(Editor)具有可视化、交互式、多窗口的功能，能建立 GIS 对象、模型和进行空间数据的编辑及显示。目前开发 WebGIS 的工具有 Java、AcitveX 等。Java 是 Sun 公司专为 Internet 设计的计算机编辑语言；ActiveX 技术是 Microsoft 公司专为 Internet 制订的技术标准。WebGIS 具有分布式处理、分布式数据库和分布式应用的功能以及跨平台、跨网络、全球化、大众化的特征。

面向对象的超媒体网络 GIS(Object WebGIS)是 1997 年 6 月才出现的一种面向分布式对象的 Web 方案。基于面向对象的超媒体网络规范的 WebGIS 称为 Object WebGIS，是 GIS 发展的新方向，它避免通用网关接口形成的瓶颈，允许客户机直接调用服务器，这样方便了操作，加快了速度。目前的 WebGIS 简单的交互方式虽然可以实现网络环境中 GIS 简单的通信，但无法满足频繁交互、复杂分析和动态变化的应用要求，而 Object WebGIS可满足这种要求。其关键将分布式对象和对象代理方法引入 WebGIS，解决 WebGIS 的地学应用问题，提高 WebGIS 的功能。分布式对象方式正在成为分布式应用系统研究、开发的指导思想。

2. 构件式 GIS(ComGIS)

微软总裁比尔·盖茨于 1997 年提出："组件式软件技术已经成为当今软件发展的趋势之一。基于组件开发是软件开发的一次革命。基于组件开发不只是一种新的分布式的计算方法，而且是一种广泛的体系结构，支持包括设计、开发和部署在内的整个生命周期的计算概念。"

软件构件式 GIS(Component GIS)是指基于组件对象平台的、一组具有某种标准通信接口的、允许跨语言应用的由软件构件组成的新一代的 WebGIS，是 WebGIS 的发展方向。它具有很强的可配置性、可扩展性、开放性、使用更灵活性和二次开发更方便等特征。ComGIS 是面向对象技术和组件式软件技术在 GIS 软件开发中的应用。

软件构件思想和构件对象，是指含有数据及其操作方法的独立模块，是数据和行为的统一体。每一个对象具有唯一的标识，表明其存在独立性；一组描述特征的属性，表明对象在某一时刻的状态，一组标志表示行为的方法和可以改变的对象，一旦构件对象被创建，就可以反复使用。构件具有以下特点：

(1) 构件对象的抽象性：抽象是指对象的数据是隐含的，对象的使用者不可以直接存取对象的数据，必须通过对象的接口。

(2) 构件对象的多态性：多态是指一个客户可以同样的方式访问或处理若干不同的对象，而这些对象可以有正常的表现。

(3) 构件对象的继承性：对象按分类体系划分为类、亚类、子类等，具有层次关系和树形结构，上层对象所具有的属性和特征可以延续到下层对象，从而免除了信息的冗余。

(4) 构件对象的接口：构件对象间的交互是通过对象支持的接口交互使用对象的功能，每个构件支持一个或多个接口，而每个接口可以支持实现若干方法。接口是指不同对象间的通信手段，每个接口都有自己的唯一的标识符，一个接口可以继承另一个或多个接口。

(5) 构件对象的隐蔽性：即构件对象是封装的。

GIS 在发展过程中，经历了由集中模式到分布式模式，即由主机终端系统到局域网系统；从简单的客户/服务器(client/server)到多层客户/服务器，从局域网到广域网以及 Internet/Intranet 的连续发展过程。即从单机 GIS 发展到 LANGIS(局域网 GIS)；从 LANGIS 发展到 WANGIS(广域网 GIS)和 WebGIS(Internet 超媒体网络 GIS)；从 WebGIS发展到 Object WebGIS(面向对象的超媒体网络 GIS)、ComGIS(组件式超媒体网络 GIS)。GIS 系统发展过程如表 10.2 所示。

表 10.2 GIS 系统的发展

主机 GIS 单机 GIS	LANGIS	WANGIS WebGIS	Object WebGIS	ComGIS
简单 C/S	多层 C/S	Internet Web	面向对象技术	组件式软件技术

10.5 地理信息的分布式计算

地理信息的分布式计算是地理信息技术的优先研究领域之一，下面就地理信息的分布式特征以及计算技术的分布式趋势介绍地理信息的分布式计算。

地理信息的特征是分布的，并具有基础性、共享性和综合性[21]。目前出现的分布式对象计算技术可使地理信息的计算应用于社会各领域，成为信息基础设施的重要内容。首先分析计算模式的演化趋势。分析主要的分布式计算平台(DCP)CORBA 的体系结构，研究分布式对象计算体系结构的各个层次以及地理信息在这个体系结构中所提供服务的定义和特征。在分布式计算平台上地理信息的分布式计算应为社会各领域提供 4 种服务，即空间查询服务、空间分析服务、空间制图服务和空间信息管理服务。下面我们分析地理信息分布式计算在网络 GIS 和空间信息基础设施中的作用。

10.5.1 地理信息的分布式特征

人们对地球空间的认知来源于人类的探索和开发自然界的社会实践、人对自身的生

存环境的感知以及对人类社会和经济活动同空间区域的关系的认识。地理信息是人类实践活动所认识和获取的地球空间自然和人造目标的定位和属性信息，是指有关地球实体的性质、特征和状态的表征。它有别于其他任何信息。随着人类的发展，对地球的自然资源和环境的需求和改变越来越大，因为只有一个地球，地球信息技术将是重要的管理和规划手段。

地理信息是人类生存和发展的基本信息，具有丰富的内容。从表现形式上有地图图形信息、图像信息、图片、数据和文本信息。地理信息是一种类别较多的多媒体信息。

地理信息的本质特征是区域空间上的分布性，具有明显的地理参考。可以根据行政区划、自然地理区域、坐标系统、地名、地址或数码(邮政编码、电话号码)来识别它们。地理数据是分布在空间上的，对这些区域上的数据的采集、管理、维护和处理是分布的、相对独立的和并行的。

地理信息的另一重要特征是基础性和综合性。地理信息渗透到自然和社会的多种学科，地理信息的各种属性分布在不同的部门和学科中。自然资源、环境和社会经济数据分布在各个不同的部门，这些部门根据各自的需求来收集、保存、更新和维护属于自己范围内的数据，例如国土资源部门、水文部门、城市规划部门、环境保护部门等都在自己领域内搜集和管理专业数据。

由于地理信息的基础性、共享性、综合性和分布性，对地理信息处理的基础研究已形成一门地理信息科学。对地理信息的处理涉及到广泛的学科和技术(测绘、遥感、地理、计算机、通信、认知科学、人工智能等)，同时也涉及最前沿的信息处理技术，分布式计算技术就是其中之一。

计算机信息处理技术和通信网络技术的发展正在使整个人类社会进入信息化和数字化的时代。目前全球性的信息基础设施建设，使社会各部门甚至家庭通过网络相互连接，这为地理信息的广泛应用提供了基础，使得地理信息可以为社会提供更广泛的应用，为可持续发展提供决策依据。地理信息的分布式计算是实施地理信息高速公路的主要技术之一。

目前不同的地球数据拥有部门和不同的地理信息应用部门完全可能把地理信息系统和应用系统建立在不同的分布式计算平台(DCP)上和应用不同的数据库。由于缺乏相互的操作性和共识，不能为社会提供综合性的服务。地理信息分布式计算要解决的问题是确定不同的分布式计算平台(DCP)之上需要建立哪些通用的地理信息服务功能，进一步在不同的分布式计算平台之间及不同的数据库之间实现信息的互操作，使地理信息技术融于主流的信息技术。

10.5.2 分布式计算技术的进展

在计算技术领域，计算模式经过了几次变迁。20 世纪 60 年代和 70 年代，IBM 领导了主机(mainframe)的潮流，以集中的中心式计算为主导。80 年代 PC 机和工作站的兴起，使得曾经是 IBM 主机执行的功能由 PC 机和工作站取代，计算模式的主流从主机转移到桌面。进入 90 年代，出现了客户机/服务器计算，使得主机和 PC 机达到某种平衡。随着网络时代的到来，分布式计算正在成为新的计算模式。计算模式的演化如图 10.1 所示[23]。

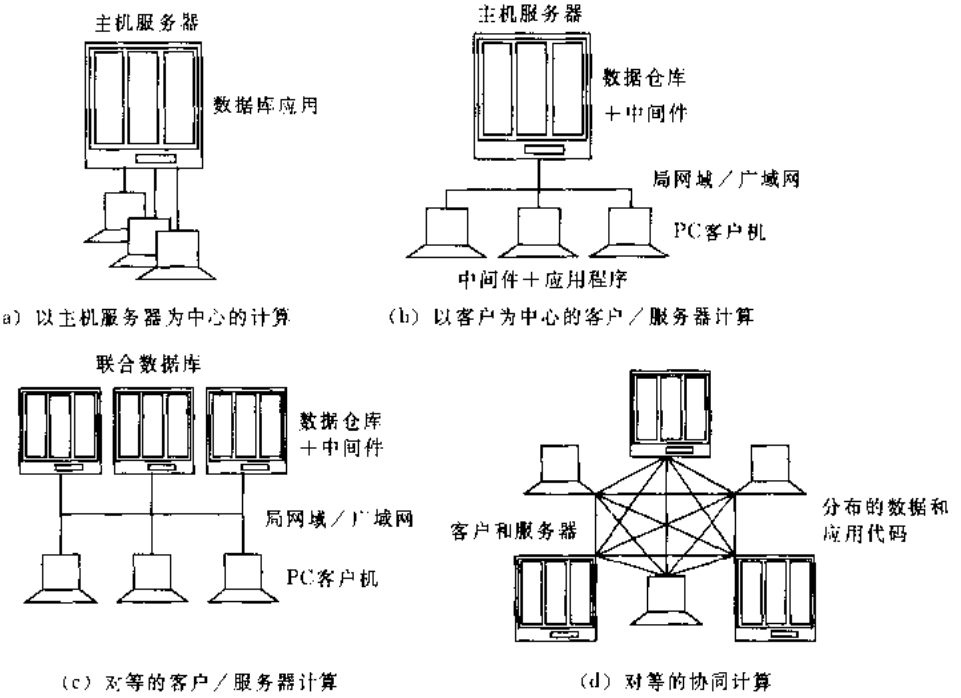


图 10.1 计算模式的演化

目前的分布式计算是客户机/服务器计算，它是实现完全的分布式计算的一个中间步骤。完全的分布式计算是一个非集中的、对等的(peer-to-peer)的协同计算，是下一个世纪的理想计算模式。目前分布式计算主要采用的技术有面向对象的构件技术、以文档为中心的软件体系结构、标准以及终端的用户编程。与面向对象的技术相结合的分布式对象计算技术成为分布式计算的主流[23]。其技术特点是：

(1) 主要解决分布异构环境下的互操作问题；

(2) 将客户机/服务器模式与面向对象技术结合在一起；

(3) 提供面向对象的 API；

(4) 建立集成框架或软件总线；

(5) 实现应用软件的部件化开发。

目前分布式计算平台采用的体系结构或标准有对象管理组织(OMG)的共同对象请求代理体系结构(CORBA)、微软(Microsoft)的分布式部件对象模型(DCOM)和分布式网络体系结构(DNA)、开放软件基金会(OSF)的分布式计算环境(DCE)，以及 SUN 的 JAVA。CORBA 是世界著名组织——对象管理集团的共同对象请求代理体系结构，已得到包括 IBM、SUN 等在内的 700 余家软硬件厂商的支持。

由于地理信息的分布特性，地理信息的使用部门可能使用完全不同的系统。因此，为了实现地理信息的分布式计算，必须采用标准的、开放的和广泛支持的分布式对象体系结构。目前 CORBA 得到广泛的支持，因此，可以把地理信息的分布式计算建立在 CORBA 的基础之上。一个基于分布式对象的计算模型如图 10.2 所示。

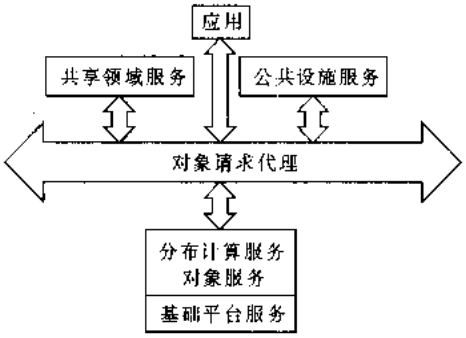


图 10.2　分布式对象计算体系结构

一个分布式对象就是一个部件，能通过软硬件异构的网络而进行操作。每个对象是独立的、自我管理的和安全的。一个分布式对象同其他对象通过对象总线(object bus)一起工作。分布式对象是基于可扩展的体系结构，可减少软件开发和维护的费用，可进行对象的定义、重用和共享。

OMG 对象管理组织是由软硬件厂商和用户组成的联合体。它一直致力于为开放的系统设定标准，以使不同的软件对象可以跨网络和操作系统而进行互操作。OMG 制定了"对象请求代理体系结构"[24]，它描述了一个称为"对象请求代理(ORB)"的软件总线，这个 ORB 为分布式计算模型提供了基础，允许客户应用与远程的对象通信，并动态或静态地激活远程操作，为实现 ORB 互操作而制定了"互联网 ORB 间协议(IIOP)"。这个协议建立在 TCP/IP 的基础上，很快成为 Internet 和企业内部网 Intranet 上分布式对象间的通信标准。

基于 CORBA 的分布式计算体系结构各组成部分包括基础平台服务，分布式计算和对象服务，公共设施，共享领域服务以及应用等。

(1) 基础平台服务

基础平台服务主要包括操作系统和网络服务。当采用基于 CORBA 的部件体系结构时，平台服务将处于最底层。平台服务包括：文件管理、数据库管理和访问、分布式计算和对象服务、图形服务、网络、操作系统、安全、事务处理、用户接口等。

(2) 分布式计算和对象服务

采用面向对象，而不是面向过程(例如 DCE)的分布式计算服务。对象服务采用 CORBA 规范，这些对象服务的 API 由 OMG 定义。OMG 定义的对象服务主要包括：集合服务、并发访问控制、事件服务、外部化服务、接口版本类型服务、许可证服务、生命周期服务、消息服务、命名服务、持续的对象服务、属性服务、查询服务、关系服务、安全服务、启动服务、时间服务、交易服务、事务服务。

(3) 公共设施

公共设施(基本系统服务)具有元服务的性质。所有的应用都需要它，如注册管理服务。通常作为水平领域服务。OMG 定义的公共设施有：自动化和脚本设施、公共管理设施、复合表示和交换设施、数据交换设施、图像压缩设施、信息存储和检索设施、国际化和时间服务、元对象服务、移动智能体设施、打印设施、显示输出设施、安全管理设施、工作流

设施。

(4) 共享领域服务

共享领域服务是由一个或多个特定信息领域的特定应用引起的，因为它们是基于单一信息领域的需求，它们通常作为垂直领域服务。在基于部件的体系结构中，它们作为商用对象，成为应用的部件。用基于标准的接口提供服务。这些商用对象可引用其他商用对象和公共设施。这些共享领域服务作为一个工具盒可用于任何组合中，把共同设施和对象服务组合在一起来建立特殊领域的应用和共同支持的应用。

(5) 应用

应用包括特定领域的应用和共同支持的应用。特定领域应用是单一信息领域的应用程序，而在此领域之外不大可能用到。共同支持的应用提供多个领域的支持，如电子表格、字处理等。

10.5.3 地理信息的分布式计算服务

地理信息的分布式计算服务在主流的分布式计算平台中属于共享领域服务，它融于主流的分布计算服务，利用分布式计算平台提供的基础设施和服务为其他信息领域提供地理信息领域内的计算服务。另外地理信息的分布式计算服务还为本领域内提供特定的针对性服务。地理信息分布式计算服务为社会各领域提供4类服务，按层次由低到高为：空间查询服务、空间分析服务、空间制图服务和空间数据管理服务。其中空间查询、空间分析和空间制图可为社会各领域所用，通过信息基础设施可获得这些服务，称之为地理信息的共享领域服务。空间数据管理，包括地理信息的生产、维护等，将由特定部门来进行，称之为特定任务服务。

特定的地理空间领域服务将提供那些地理信息领域独特的应用之间共享服务的能力(例如，地理信息的生产服务)，但这种服务在其他信息领域没有适用性(例如，在医疗和金融服务领域)。

为其他信息领域提供的地理信息和共享服务是那些可以为所有信息领域应用的地理空间领域服务(例如，地理空间显示服务可用于金融服务领域)。

分布式计算平台的共享领域服务可以用于地理信息领域的各种应用中，这些服务是商用对象，并不是地理空间信息领域的内在部分。地理空间领域服务的层次如图10.3。

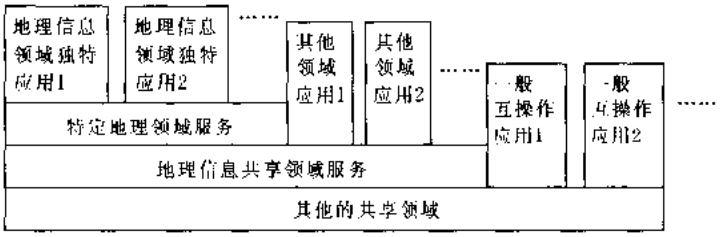


图 10.3 地理空间服务的层次

1. 地理信息的共享领域服务

分布式地理信息的共享领域服务涉及社会各领域客户的特定应用所需的常规地理信

息服务，为特定领域的应用提供共享和集成的基础。这些应用基于标准的应用接口，这些服务包括空间查询、空间分析和空间制图。

2. 空间查询服务

地理信息集检索服务：通过空间信息交换网络和地理信息集的元数据属性，检索给定空间范围、时间和属性的地理空间信息集。

属性查询服务：在给定的空间范围内的空间信息集上查询满足属性条件的地物目标。

几何查询服务：在地理信息集上，查询几何目标体的各种属性。

拓扑查询服务：查询目标体的邻接关系、包含关系等。

距离查询服务：查询目标体间的距离。

方位查询服务：查询目标体的相对方位。

地理空间显示服务：在输出设备上输出用户所需的地理空间特征集合或图像。这些地理特征和图像可以是不同来源的，并且综合显示来满足用户的需要。

图像综合服务：用基于计算机的空间模型建立和变换图像，透视变换，提高可视性，实现三维效果。

3. 空间分析服务

地理空间信息提取服务：从遥感或扫描图像上提取特征信息和地形信息的服务。

地理特征分析服务：在一个特征或特征集内开发可用的信息，以得到面向应用的定量结果，而这些在原始数据中是得不到的。这包括缓冲区分析，对地理信息特征集的布尔运算、网络分析。

图像理解服务：提供自动图像变化检测，登记图像变化、重要变化的分析、基于区域的和基于模型的差异。

图像开发服务：支持遥感和扫描图像的分析，产生分析结果和报告。

4. 空间制图服务

地理空间坐标转换服务：将地理特征集的坐标从一个参考系统转换到另一个参考系统。

地理注记服务：对图像或地理特征附加辅助信息。

图像处理服务：图像缩放、颜色调整和各种滤波。

特征综合服务：修改特征集合，提供所需的数据集和增强表达的效果。

影像地图产生：也称图像合并和纠正服务。操作和合并图像，作为图像地图和其他之用，影像与地图的叠合。

地理特征处理服务：支持终端用户感兴趣的特征集合的创建、质量控制方法、分析、显示和综合。

5. 地理信息的特定任务服务

为地理信息领域特定客户提供的有针对性的服务，主要为地理数据的获取、地理信息的建立和维护服务，称之为地理数据的管理服务。

地理信息生产：为生产图像和地理信息提供的服务。

地理信息生产管理：管理信息生产的过程的服务。

地理符号管理服务：符号库的管理。为确定的地理特征指定符号类型。

信息开发利用和分析：从地理数据中分析和融合多种类型的信息。

订购和跟踪：接受、处理、跟踪和支持信息产品和服务。

信息存储和检索系统：提供数字存储、格式化产品和无缝数据的检索。

信息交付：接受、存储和执行对感兴趣的信息的配置文档以支持所需信息的传递的服务。

信息再现和复制：产生和复制数字产品和信息集的服务。

用户支持：处理用户对有关产品、信息集和服务信息的需求的服务。

10.5.4 地理信息分布式计算在网络 GIS 和空间信息基础设施中的作用

地理信息分布式计算服务是在目前出现的计算机网络和各种分布式计算平台技术基础上实现地理信息系统的各种功能，使地理信息和处理技术融于主流的信息技术。它是在某一分布式计算平台上开发网络 GIS 的基础，也是跨越各种不同的分布式计算平台和数据库、实现地理信息的数据和处理功能互操作的基础。

GIS 应用正在从部门企业走向社会。传统的 GIS 软件也在朝着基于 Internet 和 Intranet以及 Extranet 的网络 GIS 方向进行开发。为了充分发挥地理信息对社会发展和经济建设的服务作用，进行地理信息的共享和互操作，减少开发费用，实施空间信息基础设施是必要的。空间信息基础设施是信息高速公路的重要组成部分，为全社会提供地理空间信息服务，为资源和环境管理、区域规划、可持续发展、灾害预测、金融和保险、投资、物业管理、科研和教育等等提供服务。

由于地理信息的区域性、分布性、共享性和综合性的特征，每个应用部门都需要一些基本的地理信息，在此基础上可建立各种专门的应用，实现部门间的信息的集成和互操作。为了实现这些分布式计算，需要建立一个共享的地理空间信息框架。空间信息框架是分布式异构的网络和系统下的各种数据库、数字图书馆和地理信息系统的集合，是空间信息基础设施建设的目标。通过分布式对象计算技术，实现空间信息框架上的信息访问，集成和互操作。空间信息框架主要包括两方面的内容：一是基础地理空间数据，基础地理数据是任何其他地理数据的基础参考框架；二是空间服务，即采用分布式对象计算技术和接口，提供对空间框架信息的访问、集成、融合和更新服务，提供用户同框架的交互。地理信息的分布式计算是实现空间信息框架的空间服务的基础。

10.6 地球数据的无级比例尺信息综合技术

10.6.1 概述

随着遥感、地理信息系统和全球定位系统技术、数字通信和计算机网络互连技术的不断进步，人们在掌握和利用地球空间信息方面的能力空前提高。数字地球计划为我们展示了更加美好的未来，人类的视野范围不断扩大而信息交流的时空距离在不断缩小。

然而，随着GIS在各应用领域的不断深入，现有GIS数据处理技术已不能满足空间时代与信息社会的需要，其中一个重要方面就是GIS无法解决矢量空间数据随比例尺变化而产生的信息量增减的问题，即无级比例尺GIS空间信息压缩与复现的问题。解决该问题的根本出路在于实现GIS制图综合自动化，但是由于地图内容的综合要受到比例尺、制图区域地理特征以及制图符号等诸多因素的影响，而这些因素无法用简单的数学和逻辑语言进行描述，致使目前GIS制图综合仍停留在专业人员手工数字化采编阶段。这样不但影响了空间信息的定位精度及表达的客观性，而且极大地限制了空间数据的处理速度，无法满足地学领域对不同比例尺GIS信息快速制图综合的需要。

10.6.2 关键技术及解决途径

所谓无级比例尺GIS是以一个大比例尺数据库为基础数据源，在一定区域内空间对象的信息量随比例尺变化自动增减，从而使得GIS空间信息的压缩和复现与比例尺自适应的一种信息处理技术。

WebGIS无级比例尺技术的具体目标是：在Internet环境下，通过人机交互和消息传递模型，实现以主题（地学应用）和地理区域为条件的空间对象无级比例尺信息处理。由于该技术涉及地图学、数据库技术、GIS、数字制图、计算机网络以及地学应用等多学科领域的理论内容，能否实现该技术系统将取决于关键问题的解决。

1. 无级比例尺GIS数据库

这是实现WebGIS无级比例尺信息处理的核心技术，目的是研究适于统一描述地理信息语义、图形和位置特征的数据库模型和实现方法。内容包括：

（1）无级比例尺GIS数据库概念模型（信息模型）；

（2）无级比例尺GIS数据库的数据模型；

（3）无级比例尺GIS数据库的数据字典；

（4）无级比例尺GIS数据库系统物理设计；

（5）无级比例尺GIS数据库系统界面设计。

2. 无级比例尺GIS地理信息编码

主要研究用数学和逻辑语言描述地理实体空间分布特征及其变化规律的空间对象地理编码模型。由于计算机模拟人脑思维的本质是要将一个复杂的质的问题转化为多个简

单的量的问题，因此必须首先对空间实体在质量和数量等属性特征方面进行等级化标定，以便计算机能够"判断"出不同空间对象的主次、轻重地位，为地理要素的取舍提供客观、准确、科学的依据。研究内容包括：

(1) 面向空间对象的地理实体分类；

(2) 空间对象的属性特征描述；

(3) 面向对象的地理实体编码。

3. 无级比例尺 GIS 信息综合模型

目的是研究地图制图综合的本质特征及空间地理信息随比例尺变化的信息量增减规律。构建无级比例尺 GIS 的空间对象数量选择模型、空间对象内容选取模型和空间对象图形概括模型。

制图综合问题一直是阻碍数字制图技术发展的瓶颈。由于影响制图综合的因素很多，而这些因素很难用简单的数学和逻辑语言来描述，因此要在有限地图幅面内并满足最佳的目视效果条件下使得空间信息随着比例尺变化而自动增减是非常困难的，必须借助专家系统工具。主要研究内容有：

(1) 构建无级比例尺 GIS 专业知识库，包括：地图制图综合基本原则；(各比例尺)地图编绘规范；制图综合专家经验。

(2) 构建制图综合专家推理机，包括：正向推理(比例尺确定信息量)；反向推理(由信息量限定比例尺)；双向混合推理。

4. 无级比例尺 GIS 的图形语义模型库

为了形象、直观、科学地表达各地学领域的地理信息，需要建立面向不同地学应用的地图符号库管理系统，以便计算机在完成地理实体的无级比例尺 GIS 信息处理后，自动调用相应的地图符号为每个空间对象赋予适宜的图形语义。因此我们需要根据现代地图学理论，研究适于表达不同地学领域的无级比例尺 GIS 地图符号库系统。内容包括：

(1) 基础地理信息图形语义模型库；

(2) 专题地理信息图形语义模型库。

5. WebGIS 设计

WebGIS 是无级比例尺信息处理所依赖的基础技术平台，它的设计方法和技术路线将直接影响 WebGIS 信息综合的功能和效率。目前 Web GIS 尚处于发展阶段，其中有许多关键问题需要得到解决：

(1) WebGIS 体系结构；

(2) 分布式计算(信息处理)；

(3) 信息代理机制；

(4) 地学应用模型管理；

(5) 快速数据传输；

(6) WebGIS 功能组件实现，包括：WebGIS 服务器；WebGIS 编辑器；WebGIS 浏

览器。

10.6.3 无级比例尺 GIS 信息处理流程

在进行无级比例尺 GIS 信息处理时，以内容载负量为基础，按照空间对象的信息综合模型，先确定新图比例尺条件下的空间对象数量选取标准，然后确定选取内容，继而对线状要素进行图形概括，最终在满足地图编绘规范和最佳目视效果条件下，以最大的信息载负量进行可视化输出。具体实现过程如图 10.4 所示。

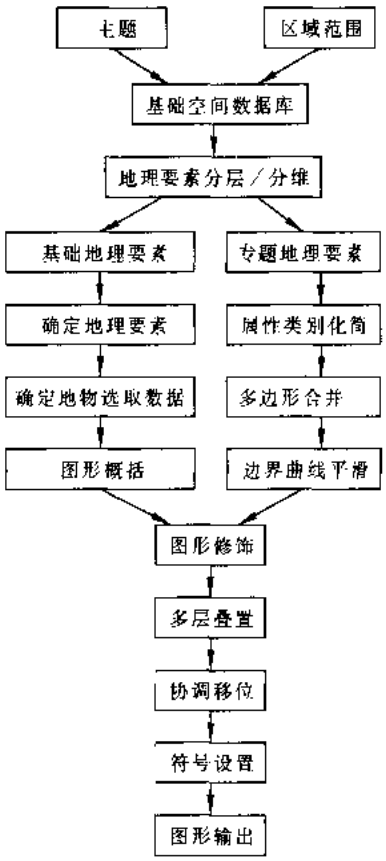


图 10.4 无级比例尺 GIS 信息处理流程

1. 确定地学应用

用户通过 TCP/IP 在客户端确定具体的地学应用目标，包括应用专题（如土地利用分类）和地区范围（如黄淮海地区），WebGIS 将远程浏览器上请求传送到 WebGIS 服务器。

2. 确定信息源

信息源是指 WebGIS 无级比例尺管理所依赖的原始数据源，它是以某区域范围（如中国全境）的大比例尺（如 1∶1 万）基础地理和专题信息所构成的大型空间数据库，该数据库通常由数千或数万幅同比例尺的系列图件（如地形图、专题图）在统一的地理坐标参

照下拼接而成，并由地图库管理系统负责维护和更新。

3. 计算新图比例尺

有了用户选定的区域范围及其在屏幕上的显示面积，即可推算出新的地图比例尺，这是无级比例尺 GIS 信息处理的前提条件。

4. 分维处理

一个应用项目通常由多个数据层（地物要素）构成，对不同的空间对象进行无级比例尺 GIS 信息处理时需要与之相适宜的模型和算法，这样可以将复杂的地学问题分别加以解决。这种方法称为地理要素的分层或分维。

5. 信息综合

对于基础地理信息（居民地、道路、水系等），系统根据制图综合知识和专家系统综合模型分别确定新图上地物选取数量、选取内容和（线状及面状要素）图形化简等操作；对于专题地理信息（如土地利用分类）则主要是进行以类别属性合并为基础的图斑综合，其中对多边形边界平滑的处理方法同基础要素图形基本相似。

6.（外部轮廓）图形修饰

经过以上步骤的处理，原来地图的信息量已大为减少，这时的地物要素数量已能够与新比例尺的地图幅面相适应。为了表达原有线状和面状要素的外部轮廓特征，需要对该图进行图形修饰。例如采用张力样条函数插值法可对经过数据压缩的线状要素作曲线光滑处理。

7. 多层叠置

在完成了各要素（数据层）的无级比例尺 GIS 信息处理后，需要在统一地理坐标参照下将各数据层叠置起来，由于在分层信息综合过程中可能会产生一些位移误差（由移位、化简、夸大表示时产生），需要协调各数据层的要素位置关系，主要原则是：

（1）自然要素不变，人工要素移位；

（2）主要地物固定，次要地物移位；

（3）稳定地物不动，易变地物移位。

8. 符号设置

地图是表达地理信息的语言，不同的空间对象在不同的地图和比例尺条件下所采用的地图符号各不相同。其中本系统图形语义模型库的主要用途是针对各种地理信息赋予适宜的图形符号（线型、线宽、线色、填充图形和填充色）。

9. 图形输出

经过上述过程，WebGIS 无级比例尺信息处理的任务基本完成，通过网络可在远程客

户端的 WebGIS 浏览器上获得具有最佳目视效果并符合专业制图规范的成果图件。

以上对 WebGIS 环境下实现无级比例尺信息综合的基本原理、方法和技术路线等方面作了有益的探讨和尝试。尽管我们在本文中提出了一套有关无极比例尺 GIS 信息综合设计思想，但要真正完全实现无极比例尺 GIS 的技术系统，还需要相当长的一段时间。

我们相信，通过不断的探索、研究和科学积累，能够在不同地理环境和比例尺下找到适于不同地物要素信息综合的科学的数学模型，为实现各地学领域在 WebGIS 环境下对空间地理要素进行无极比例尺缩放和信息管理奠定了技术基础。

10.7 空间数据仓库

10.7.1 概述

分布在不同地点、不同部门的分布式空间数据库与地理信息系统，由高速计算机有线（光缆）与无线（通信卫星）相连接，并由 WebGIS、Object WebGIS 和 ComGIS 实现同构系统的远程互操作；通过 OpenGIS 的标准与规范，实现异构系统间的远程互操作。但对于数字地球的海量数据和频繁交互过程来说，它还需要通过中间部件的帮助来实现，包括空间数据仓库、数据站场、空间数据交换中心（spatial data clearinghouse）等。

空间数据仓库是指支持管理和决策过程的、面向主题的、集成的和随时间而变化的、持久的和具有空间坐标的地球数据的集合。数据站场的结构与数据仓库相似，区别在于最终用户的侧重点不同。数据交换中心是指网上数据的目录集合，是虚拟的数据仓库。空间数据库、面向空间对象的数据库与空间数据仓库的主要区别如下。

（1）空间数据库：将大量的各种专题地图、遥感影像、设计和规划图及音频、视频等数据集成到关系型数据库或文件系统中进行存储和管理。

（2）面向空间对象数据库：面向空间对象的数据库中的面向对象模型，嵌套了更多的语义，允许定义复杂的空间数据，它把真实世界几乎所有的实体都表示为对象，数据对象的逻辑关系将它们的物理存储聚集在一起，减少了数据 I/O 访问，提高了运行速度，具有处理不确定性和模糊对象的即席查询能力，特别是在已有知识工程支持的情况下，可以进行面向内容的图像查询；它还可以通过创建了类，实现复杂的完整性约束、继承性以及方便的数据库的扩充与维护。

（3）空间数据仓库：它将根据一定的主题内容集成来自不同数据库中的数据，数据在结构上具有综合性；在时间上可以截取从瞬态到区段、直到全体等不同时间尺度上的信息；在属性上包括多个部门或专业应用系统的数据。空间数据仓库将数据的时间属性和空间属性紧密地结合起来，通过构建面向分析的多值空间数据模型，利用多维分析方法，从多个不同的角度进行分析比较，提取隐藏在数据中的信息，实现面向数据和面向模型的分析方法的统一。

10.7.2 空间数据仓库

空间数据仓库是数据仓库的一种特殊形式，是 WebGIS 的核心技术之一。

数据仓库是20世纪90年代发展起来的一种数据存储、管理和处理的技术。按W.H. Inmon的定义："数据仓库是支持管理的、面向决策过程的、面向主题的、集成的、随时间而变化的、持久的数据集合"。还有人认为：它是一种体系结构；它是一种语义一致的数据库的集合，以满足不同的数据存取、文档报告的需求；它是一个把多个异质的原始数据融合在一起用以支持结构式即席查询、分析和决策支持的技术系统。从本质上讲，数据仓库是网络数据库的管理系统及其应用系统。

数据仓库的另一位创始人Aaron Zornes指出，要实现数据仓库需要做到以下几项工作：

(1) 从不同数据源中，即从分布式的不同地点、不同部门的数据库中如何集成数据和Metadata(元数据)；

(2) 数据的质量的精确和简练；

(3) 数据的概括和聚集；

(4) 数据仓库和数据源(分布式的任何地点的数据库)的同步更新问题；

(5) Metadata的管理问题。

1. 数据仓库与数据库的区别

数据仓库与数据库的区别在于前者是由后者通过网络而链接组成的网络数据库。数据仓库就是网络数据库，是具有在线事务处理功能的数据库网络系统。它具有如下的特点：

(1) 它可以根据用户的需求组织和提供数据(面向主题)，而一般数据库的用户只能根据数据库中现存的数据来选择所需数据。

(2) 数据仓库必须管理大量的信息，需要在不同层次上管理信息，需提供概括和聚集机制来管理数据，包括当前的和历史的数据等，所以数据仓库的数据量远远大于一般数据库的数据量。

(3) 由于数据仓库的数据分散在由网络连接起来的不同的存储介质或数据库中，所以管理功能特别重要。

(4) 数据仓库可将信息(数据)概括和聚集，并以易于人们理解的方式提供出来。概括和聚集对于理解大量信息是十分关键的。

(5) 数据仓库从许多存储格式不同、版本不同、数据语义不同的许多数据库中取得数据或信息进行集成，并使之关联。在操作这些数据或信息时，要涉及到多个应用程序，所以数据仓库必须收集、组织和处理这些来自不同应用程序、不同数据库的信息。

2. 数据仓库数据的复杂性

数据仓库的数据的复杂性表现在：

第一，来源于不同地点、不同部门、通过网络Internet/Intranet获得的分布式数据库的数据，其来源十分复杂，它们的类型、格式、精度、编码等存在很大的差别。

第二，由于信息源存在着差异、格式的差异(专题地图与遥感影像)、多重数据定义等，使应用过程中的各种处理变得复杂。

为了解决分布式数据的异构问题，实现地学空间数据的共享的目的，为了使地学空间数据在 Internet/Intranet 上能为全球、全国充分应用，必须要有统一的标准和规范，或者能相互转换，相互翻译，有一个互联互通的，即相互构通的方法，这些对数据仓库来说尤其重要。

目前，国际标准化组织(ISO)、欧洲标准化委员会会(CEN)、美国联邦地理数据委员会(FGDC)和开放地理信息系统协会(OGC)组织大量的人力、物力在研究这些问题。

3. 所采用的方法

解决以上来源于分布式数据库中取得的数据的复杂性，需要采用以下的办法：

(1) 建立数据源(分布式数据库中的所有的数据类型与数据格式)的 Metadata，包括标识、质量、结构、空间参照系、实体属性等的描述。

(2) 统一数据元素的名称，区分多义词和同义语，或在数据字典里标明数据元素的同义词。

(3) 选择数据仓库所需要的数据子集。并非所有的数据都适合于数据仓库的查询分析要求，可以把有关信息放入信息代理的 Metadata 中。

(4) Metadata 应能反映数据结构的变化全过程的历史档案，包括编码方案的变化、数据格式的变化等。

4. 数据仓库与其 Metadata 的关系

数据仓库的 Metadata 是数据仓库的重要组成部分。数据的求精处理、重构工程及数据仓库的建设与 Metadata 是密不可分的。

Metadata 的提取过程包括了标准化过滤与匹配、净化、标明时间戳、确认数据质量等方面。

Metadata 的创建包括对来自分布式数据库中的数据的集成与分割、概括与聚集、预测与推导、翻译与格式化、转换与再映像等重构工程。

Metadata 的创建词汇表包括建模、概括、聚集、调整与确认建立结构化查询等数据仓库的功能，以及 Metadata 的数据浏览与导航等功能。

5. Metadata 在数据仓库中的作用与意义

(1) 对来自分布式数据库的数据，根据需要进行集成、概括、预算和衍生处理；

(2) 对来自分布式数据库的数据的翻译、转换提供规则服务；

(3) 提供数据源(包括分布式数据库)和数据仓库之间的映射关系和规则；

(4) 提供数据仓库本身的结构和描述，包括数据建模模式、逻辑模式和物理模式；

(5) 浏览数据仓库的存取路径和规则；

(6) 业务词汇表；

(7) 已设计的和预定义的查询和报表清单。

6. 空间数据仓库的多维数据模型

空间数据仓库利用多维分类机制组织大量的空间数据，建立立方或超立方数据模型。维的数目由需求来定。地学查询一般分时间维、空间维、主题维(属性维)来组织数据。

通常按层次来组织维。分割到不同的等级(又称精度)或层次，例如：

时间维：可划分为年、月、旬、周、日、时、分、秒等层次；

空间维：可划分为洲、国家、地区、省(市)、县、乡(镇)、村、户等层次；

主题(属性)维：可以划分为类、亚类、种、亚种。

7. 数据仓库的主要任务

数据仓库的主要任务是将来源于不同地点、不同单位的、分布式数据库中的类型不同、结构不同、存储格式不同的、内容与格式丰富多彩的原始数据，首先对其进行标准化、过滤与匹配、净化、标明时间戳和确认数据质量的处理，即求精过程；然后再根据任务的需要，将来源于分布式数据库的不同性质、不同格式的数据再进行集成与分割、概括与聚集、预测与推导、翻译与格式化、转换与再映像处理；最后进行数据库仓库的建模、概括、聚集、调整与确认及建立结构化查询等。

8. 数据仓库的结构

数据仓库由以下主要模块组成：

(1) 求精部分：负责标准化、净化、过滤与匹配，为所选数据源中提取数据的原始信息打上时间戳。在求精部分中，Metadata 被映射为标准数据名称的定义。

(2) 重构工程部分：负责检验是否满足用户分析的需求，包括对多个系统中不同类型的数据进行集成，用以创建新数据；按时间顺序分割数据，对不同来源数据的翻译和格式化，对概括信息进行预测和推导，以便将其统一、持久地结合起来。

(3) 对已存储数据进行转移或再映像到原始数据中，以便对最新衍生、创建或转换的数据不断进行更新。

表 10.3 数据仓库的构成

求精	重构工程	数据仓库
标准化	集成与分割	建模
过滤与匹配	概括与聚集	概括
净化	预测与推导	聚集
标明时间戳	翻译与格式化	调整与确认
确认数据质量	转换与再映像	建立结构化查询

9. 数据仓库的存取和使用

数据仓库的存取和使用主要由以下模块组成：

存取与检索 (Metadata 抽取与创建)；数据仓库直接存取；数据站场存取；重建工程；

转换为多维结构；创建局部存储。

分析与报表(Metadata 处理与报表)：报表工具；分析工具、决策支持系统；业务建模工具；数据挖掘工具；OLAP(在线事务处理)；

空间数据仓库结构框架包括：

(1) 数据源：分布式数据库系统、卫星遥感(EOS 等)、GIS 与数据库系统以及其他系统。

(2) Metadata 数据源：遥感影像、专题地图、各种图形、符号数据、数字、文字、多媒体数据。

(3) Metadata 互操作协议：Internet/Intranet。

(4) 数据抽取求精：标准化、过滤与匹配、净化、标明时间戳、确认质量。

(5) Metadata 创建与浏览数据仓库：建模、概括、聚集、调整与确认、建立空间 SQL。

(6) 存取与检索：数据仓库直接存取、重构工程、调整与确认、建立空间索引。

(7) Metadata 管理及查询与分析：报表工具、可持续发展决策系统(应用)、建模接口、数据挖掘及 OLAP。

数据站场的结构与数据仓库相似，区别在于最终用户的侧重点。数据交换中心是 Metadata 条目、数据目录的集合，通过网络可以从数据交换中心了解数据的位置等情况。

10.8 空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究

10.8.1 研究现状

基于数字地球的应用具有数据量巨大、包含多维空间属性和时间属性及相关的特殊操作等特点。对数字地球的数据进行系统的整理、管理和深入的分析是数字地球基础研究的一个重要内容，是数字地球的基础研究及应用的重要前提之一。

具体来说，数字地球的空间数据仓库模型与数据挖掘研究理论的研究目的是：综合运用数据库系统、统计学、人工智能、机器学习、模式识别等领域的理论和研究方法，深入研究以虚拟地球为对象的空间数据仓库模型与数据挖掘理论，建立空间数据仓库、空间数据联机分析和空间数据挖掘的基础理论框架及三者有机集成的基本原理，探索有效可行的关键技术，为数字地球的基础研究和应用提供前提和有力的支持，为空间信息的开发运用提供理论和核心技术。

数字地球的空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究具有重要的理论意义和深远的应用潜力和价值。具体来说，至少有以下几个方面：

(1) 空间数据仓库模型与数据挖掘理论是空间信息资源开发的重要支柱。大量的调查研究和预测表明，在即将到来的 21 世纪，空间信息资源将成为倍受重视的关键战略资源，对空间信息资源开发将在一定程度上影响一个国家的综合实力，决定一个国家的竞争力。

(2) 我国将大力进行空间信息资源的开发，发展国土资源信息化和空间信息交换，而空间数据仓库模型与数据挖掘理论的基础研究是一个必不可少的前提。

(3) 大规模的空间信息的深入分析能力对未来的自然资源开发与利用、自然灾害预测与防治、国防与战争、国民经济建设与管理、政治、空间开发等多个方面都是至关重要的，而空间数据仓库与空间数据挖掘是对大规模空间信息进行深入分析的主要途径。

20 世纪 90 年代以来，以美国为首的发达国家积极开展数据仓库技术、数据挖掘技术和空间信息处理技术的基础理论研究和应用研究。进入 90 年代中期以后，更进一步强调了空间数据仓库、空间数据联机分析和空间数据挖掘的研究。美国正在启动一个空间信息处理项目(Earth Overview System，简称 EOS)，到 2003 年，能细粒度地监测地面每平方公里上发生的情况，该项目对巩固美国在全球的竞争优势具有重要的作用。该项目的主要组成部分之一就是空间数据的联机分析与挖掘技术的研究。目前，IBM 的 Almenden 实验室、北美和德国的一些大学的实验室在这个领域的研究中处于领先位置。

目前，我国在空间数据仓库、空间数据联机分析与挖掘研究方面基本上是空白，这与我国的发展规划是不相称的。因此，我们迫切需要组织有关的研究，填补国内空白，在某些突破点上达到国际先进水平，并为空间信息的开发和应用奠定基础。

10.8.2 研究内容

空间数据仓库模型与数据挖掘研究的主要内容包括以下 5 个方面。

(1) 支持数字地球的空间数据仓库模型与体系结构，根据虚拟地球对多维度和时空特性的要求，研究如何运用数据仓库技术高效地支持以虚拟地球为对象的基于数据分析的数据挖掘。主要包括以下方面：

- 空间数据仓库的概念模式；
- 空间数据仓库的存储模式；
- 空间数据仓库的设计模型；
- 空间数据仓库的体系结构。

(2) 支持数字地球的空间数据联机分析处理技术，根据数字地球的联机分析要求，研究如何高效地进行空间数据的联机分析。主要包括以下方面：

- 空间数据 cube 的高效计算方法；
- 运用空间数据 cube 的联机分析处理技术。

(3) 支持数字地球的空间数据挖掘技术，根据数字地球深层次数据分析和知识获取的需要，研究如何高效地进行与空间有关的数据挖掘。主要包括以下方面：

- 空间数据关联分析；
- 空间数据聚集分析；
- 空间数据分类算法；
- 空间数据联机集成挖掘。

(4) 空间数据仓库和空间数据联机分析的 Internet 上发布，研究把空间数据仓库中的信息和空间数据联机分析、空间数据挖掘的结果通过 Internet 进行发布。主要包括以下方面：

- Web 空间数据仓库的模型与机制；
- 基于 Web 的联机空间数据分析处理。

(5) 空间数据仓库、数据联机分析处理和数据挖掘的原型研制，把有关基础理论和技术的研究成果用原型加以检验和集成，为产业化奠定基础。主要包括以下方面：

• 基于三层客户机/服务器体系结构，面向 Web 和客户端浏览器应用的空间数据仓库原型；

• 基于 Web 的联机分析处理系统原型；

• 空间数据联机集成挖掘工具原型。

空间数据的知识挖掘与智能性的研究内容主要包括以下 6 个方面的内容：

空间数据的知识挖掘(knowledge mining)也叫数据挖掘(data mining)，是数字地球科学中计算科学的主要内容之一。空间数据的知识挖掘是指由已知的空间数据经过分析、对比或其他处理来产生新的空间数据，或新的空间知识的过程。空间数据的知识挖掘是一种计算机分析方法，包括空间数据深层挖掘、空间数据的关联分析、空间数据的聚集分析、空间数据的分类算法、空间数据的联机集成挖掘、知识模型、知识代理结构模型及智能技术等方法。由于这是一种全新的科学计算方法，尤其是与空间数据相结合，存在着许多不完善之处，尚待进一步研究。

(1) 空间数据的深层挖掘

某些空间数据除了显露的或明显的含义外，还有丰富的隐含的意义，需要通过分析或挖掘才能显示。例如数字高程模型(DEM)属最常见的空间数据。它除了反映高度(程)状况的知识外，经过分析，它还具有或荷载了地质岩性与构造方面的知识。对于数字高程模型来说，它反映的高度状况是显露的知识，而它反映的地质岩性与构造等隐含的知识，则需要经过挖掘才能认识。同样，以土壤或植物来说，它们的种类或类型是显露的知识，容易认识；但它们还反映了气候状况的知识，需要通过挖掘才能获得。

(2) 空间数据的关联分析

有些空间数据的隐含的知识需要通过关联分析后才能获得，即它不可能从单个类型通过挖掘而获得，而是需要通过若干个不同类型的物体的组合关系，经关联分析后才能获得隐含的知识。如在对遥感影像分析时，位于河边的建筑物可能是码头(河与建筑物相关联)，位于山顶的建筑物可能是天文台(山顶与建筑物相关联)，这样的例子很多。又如铁路、公路一定有车站，道路过河一定有桥梁或渡船，学校一定有操场(至少多数学校有操场)等都是关联分析的知识挖掘。

(3) 空间数据的聚类分析

它具有三层含义：第一，某些不同属性的空间数据之间差别不大，单类难识别，只有将它们放在一起，进行对比分析，才能区别它们。如马尾松与油松，外形相似，只有将其对比后，才发现它们的针叶有长有短，虽然差别不大，但是有差别。第二，在遥感影像上判别一条河流是否发生了洪水，单凭一个时相的影像难以确定，需要通过与枯水期、平水期的影像进行对比分析，叠加比较才能得出结论。第三，就是一般图像处理中或模式识别中的聚类分析的含义。

(4) 空间数据的分类算法

在遥感影像的模式识别或自动分类中使用的算法，包括最小距离分类、相似分类、线性判别分析；最大自然比分类、比较识别分类及集群分析等算法，都可以认为是知识挖掘

方法。

(5) 空间数据的联机集成挖掘

在 WebGIS、ComGIS 环境与 OpenGIS 规范的支持下，对分布式的数据库与信息系统进行集成挖掘。一种是 WebGIS、ComGIS 正常运行过程中的知识挖掘，另一种为了进行空间数据的知识挖掘而进行的，特地从分布数据库或信息系统中进行提取所需的数据进行关联分析、聚集分析和各种分类算法，以达到知识挖掘的目的。

(6) 空间数据的知识挖掘的智能代理

在空间数据的知识挖掘过程中，一般要用以下的方式：

· 知识模型：大多数的空间数据的知识挖掘具有知识模型的特征。如空间数据 DEM 的数据挖掘，需要有关知识，需要建立 DEM 知识挖掘的模型，主要是概念模型或物理模型，如 DEM 与岩性的关系、与构造的关系、与地貌的关系、与气候的关系及与土地利用的关系模型等。

· 知识代理结构模型。

· 智能技术。

10.9 多种数据的融合技术

数字地球为多种信息和技术的融合提供了基础。信息融合也是信息技术的发展趋势，数字化、信息化和网络化为信息融合提供了技术基础。数字地球为地球空间信息和各种属性信息的融合和集成提供了框架[25]。

10.9.1 多种数据融合概述

融合(fusion)与集成(integration)的区别是：集成是指多种数据的叠加，叠加的集成数据中，仍保存着原来的数据的特征，如影像地图；融合是指多种数据经合成后，不再保留原来数据的单个特征，而产生一种新的综合数据，如假彩色合成影像。集成的数据没有产生根本的变化，而融合的数据产生了根本的变化，产生了新的数据。

10.9.2 数字地球信息融合框架的时空模型

空间经度、纬度、高度以及时间构成框架的四维坐标。地球形状和表面是不规则的。采用标准椭球体作为参照，定义经纬度，以及相应的大地水准面来定义高度。另外也可以采用地心坐标系统，由 X,Y,Z 以及时间 T 构成四维坐标 (X,Y,Z,T)，空间时间因子是基础的定位因子，确定其他因子的时空分布。GPS 可提供定位数据。在地球坐标系统之间可实现相互转换。

10.9.3 数字地球信息融合框架的信息资源

1. 基础信息

数字地球包括基础数据因子，数字地球信息融合框架的因子是构成数字地球的关键

要素，是其他信息的生长点和凝集点。这些因子包括地表形状因子、大气因子、地壳因子、水文因子、地表数字影像因子、交通因子、行政边界因子和土地地籍因子。

(1) 地表形状因子：地表形状因子表示固体地球表面的起伏形状，由数字高程模型(DEM)、数字地形模型(DTM)以及水深数据表示。高程和水深数据本身的应用包括地形的表示，例如等值线图、三维透视以及建立应用模型，例如剖面计算、道路规划和水流。地表形状因子是重要的基础因子，是其他信息生长和添加的基础或参考。对地表平面分布的自然和人文现象，它是信息生长和添加的基础，这些现象有植被、土地利用、城镇、交通。

(2) 大气因子：大气因子提供气象、大气物理、大气污染的共同基础，可用大气的圈层结构表示。大气结构模型提供这些学科添加和生长信息的框架或基础。

(3) 地壳因子：提供固体地壳的结构，由地表以下不同岩石类型和构造确定其三维空间框架，为地球物理、地球化学、地震研究提供信息添加和信息生长的基础。获取地壳因子的基础数据很困难，这可能限制它的作用。

(4) 水文因子：水文因子包括地球表面的水要素，例如河流、湖泊、水池、运河、海洋、海岸线等。这些水文要素是许多应用的基础，特别是环境方面的，包括水供应、污染、洪水灾害、野生动物、土地的开发和持续性分析。

(5) 地表数字影像因子：地表数字影像是经过纠正的地球遥感图像。数字正射影像由像元阵列构成，离散的像元数据值是地面反射率的编码。许多地理要素可从正射影像中解译出来。正射影像提供地表景观的直接表示。

(6) 交通因子：交通因子提供了交通网络，包括公路、大路、小路、街道、铁路、水路、机场和港口、桥梁和隧道的信息。交通因子也是许多应用的信息生长的基础，如地址相关的信息、市场分析、厂址选择、路径分析、交通工具的运行和管理。

(7) 行政边界因子：行政边界因子确定了行政区域。各级行政级别包括国家、省或州、县或城市等。行政区域可应用于人口和经济统计以及税收。

2. 专题信息的生长及添加

在数字地球信息融合框架基础因子的基础上，派生、添加、嵌入和生长其他专题信息。这些专题信息涉及多个应用领域，包括环境、城市规划、资源管理、防灾、教育、公共卫生、公用事业、林业、农业、保险、政府等。专题信息生长是不断进化的，旧的领域在消失，新的领域在出现，信息生长是无限的，并且是由低级到高级、由简单到复杂、由数据查询到决策支持。

10.9.4 数字地球信息融合框架的数据模型

数字地球所需的数据已不能通过单一的数据库来存储。数字地球信息融合框架的数据模型提供框架数据的不同视图。在大规模空间信息系统中，数据模型实际上是一系列模型的集合，例如企业级的逻辑模型、特定主题的逻辑模型、物理模型。信息融合框架是分布在不同地点内的同一领域的异构数据库以及同一地点内的不同领域异构数据库的联合，数据模型的视图包括(如图 10.5 所示)：

• 数据集 Metadata 视图：数据引用、数据质量、空间参考、特征内容、信息发布；

- 要素专题视图：定位、形状、精度、控制和发布信息；
- 图像视图：图像类型、图形说明等。

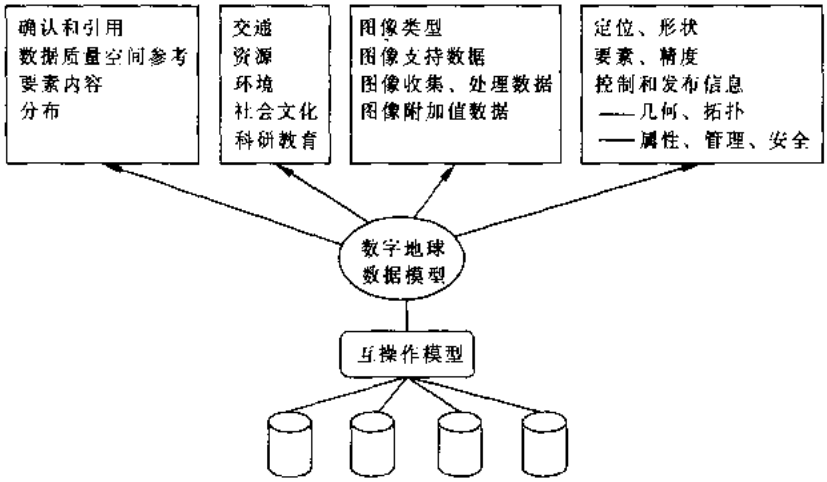


图 10.5 数字地球框架构成

空间信息框架的基础数据中，正射影像和高程数据采用栅格数据模型，观测位置由像元或单元阵列表示，其值代表属性。空间信息框架的其余基础数据采用基于特征的矢量数据模型，一个特征是一个地理实体的描述，每个特征由唯一的代码表示，并可进一步由其属性集和关系来描述。

10.9.5 信息融合框架的技术体系

数字地球信息融合框架的技术体系是围绕信息基础设施的相关技术而建立的。主要是围绕 Internet 以及 NGI(下一代 Internet)这个宽带互连网而融合多种信息资源，包括各种计算设备、日用电子产品(例如电视、移动电话、PC 机、笔记本电脑、游戏机、遥感卫星接收机)，另外还包括 GPS 接收机，例如车辆导航中使用的 GPS 接收机。这些设备可以通过 Internet 访问数字地球中的信息，或为数字地球输入信息。如图 10.6 所示。

遥感卫星将提供 1 米分辨率的全球图像。分布式异构多数据库提供海量的各种地球信息和社会经济统计信息，将采用分布式计算和互操作技术，利用可视化和虚拟现实技术提供用户接口界面，通过 Metadata 等技术实现信息的管理。

数字地球信息融合框架所需的关键技术可概括为：

- 宽带网：由于数字地球将由成千上万个数据库组成，需要成千上万个不同组织来维护，这意味这组成数字地球的服务器需要由高速网连接。下一代 Internet 可提供 1000Gbps 的带宽。
- 海量存储：图像数据库将存储每天产生的 1 000G 字节的地球观测数据。
- 互操作：如何实现成千上万的数据库的联合，实现自然、环境、社会、经济和人口信息的互操作将是巨大的挑战。

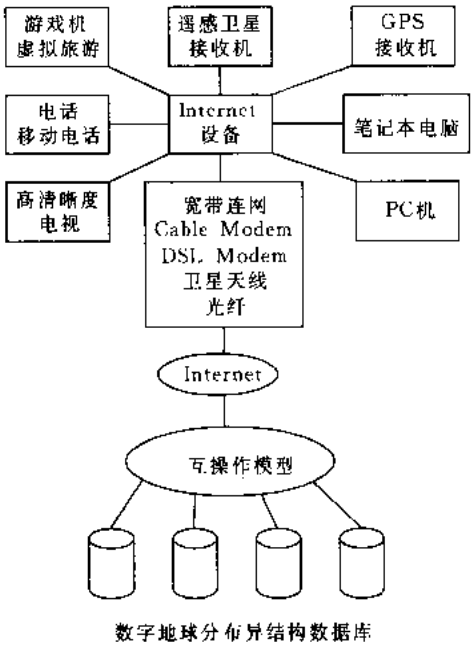


图 10.6 围绕信息基础设施的信息融合框架

10.9.6 远程融合与沉浸

远程融合与沉浸(tele-immersion)系统指在不同地点的个人共享同一个虚拟环境。例如,参与者可以与虚拟会议桌上的小组互相交流,如同在一个实在的房间里所做到的一样。每个人都可以共用或操纵数据、分子模拟模型或经济结构,并共同参与仿真、设计方案、审核或评估过程。例如不同地点的工程师,通过 Internet 与 Web 的 VR-GIS,一起设计一座桥梁或一个机器人,可以进行自由讨论和交流。

远程融合与沉浸是以下要素的有效综合:

(1) 独立研究式融合与沉浸(cave-style immersion)技术,如现有的 Mudd 和 Moo 技术;

(2) 用于支持协作式应用的先进的高速通信系统;

(3) 把独立研究技术予以大幅度延伸,以确认某一独立研究中的个人的存在和行动,进行跟踪,然后让它投影到逼真的多重地理分布式融合与沉浸环境中,在这里个人可以和计算机生成模型进行交互活动。

远程融合与沉浸技术要求网络有所改进,包括高带宽、低时延和与时间相关的同步通信等。

远程融合与沉浸需要有协调的研究开发工作,需要研究协调程序,需要将对现行独立研究的跟踪、再现人机界面等各领域作重要延伸,以强化共享图像与操作的实现,并解决共享通信协作的操作工具。把现实的图像集成到虚拟环境之中,只有这样才能使逼真的现场仿真成为可能。

远程融合与沉浸工作会议于 1996 年 10 月在美国芝加哥召开。会上确立了关键技术

(如"独立场所"进入到双方或多方的合作环境)及如何推进虚拟现实系统。会上讨论了远程融合的硬件、软件、网络及对社会影响问题,还讨论建立三地远程融合与沉浸环境的实验床的建立方案等。

10.10 数字地球的仿真与虚拟现实技术

10.10.1 基本概念

仿真与虚拟现实技术是一种科学计算方法,是数字地球的关键技术之一。随着高速计算机的出现,我们可以模拟一些不能观测到的现象,同时也能够更容易理解观测的数据,这就是指仿真与虚拟技术。

仿真和虚拟技术在数字地球研究中占有十分重要的地位。

虚拟技术,全称为虚拟现实(virtual reality),是指运用计算机技术生成一个逼真的、具有视觉、听觉、触觉的感观世界。人们可以直接对这个生成的虚拟实体进行考察和操纵。它具有以下特点:

(1) 用计算机生成一个逼真的物体,具有三维视觉、立体听觉和触觉的效果;

(2) 用户可以通过五官、四肢与虚拟实体进行交互,如移动由计算机生成的虚拟物体,并产生符合物理的、力学的和生物原理的行为和逼真的感觉;

(3) 虚拟技术具有从外到内或从内到外观察数据空间的特征,在不同空间漫游。而一般可视化,仅仅是从计算机的监视器上从外到内观察数据空间,缺乏临场感;

(4) 往往需要借助三维传感技术(如数字头盔、手套及外衣等)为用户提供一个可操作的环境,并在这环境中自由漫游;

(5) 虚拟有三种类型:只看到计算机产生的虚拟世界,即图像(非投入式);既能看到虚拟世界,又能看到真实世界(投入式);能把虚拟与真实世界相叠加(混合式)。

仿真技术(imitation simulation)与虚拟技术有很多相同之处,但存在着一定的差别。仿真技术的特点是:

(1) 用户对虚拟的物体只有视觉或听觉,没有触觉;

(2) 用户没有亲临其境的感觉,只有旁观者的感觉;

(3) 不存在交互作用;

(4) 如用户推动计算机环境中的物体,不会产生符合物理的、力学的行为或动作。

虚拟与仿真都是由计算机进行科学计算和多维表达(显示)的重要方面。它的应用前景与科学价值受到广泛关注。尤其是虚拟技术,近来日益受到重视。

虚拟技术的基础是:高级的三维图形技术、问题求解工具、多媒体技术、网络通信技术、数据库、信息系统、专家系统、面向对象技术和智能决策支持系统等技术的集成。

虚拟技术的一个特点是将过去认为只擅长于处理数字的单维信息的计算机开发成也擅长于处理适合人的特性的多维信息的计算机。G. Burdea(1993)提出了虚拟技术是由沉浸-交互-想象(immersion-interaction-imagination),即"I^3"组成,它强调人的主导作用。沉浸(immersion)是指具有立体视觉、听觉甚至触觉的身临其境的感觉,它有以下的特点:

(1) 从过去只能从外部去观察仿真建模的结果，到人能够沉浸(immersion)到仿真建模的环境中去；

(2) 从只能通过键盘、鼠标与计算机环境中的单维数字化信息发生作用，到人能通过多种传感器与多维化信息的、适合人的环境发生交互作用，即人们能通过视觉、听觉、嗅觉、体势、手势或口令参与到信息处理的环境中去；

(3) 从人只能以定量计算为主的结果中得到启发，到获得亲临其境的体验，从而加深对事物的认识，到人有可能从定性和定量的综合集成环境中得到感性和理性的认识，直到参与和深化人的认知与思维。

虚拟技术所支持的多维信息空间将提供一种能使人沉浸其中、超越其上、进出自如、交互作用的环境，从而为人类认识世界和改造世界提供了强大的武器。虚拟技术在制造业、建筑业、驾驶员培训等方面已经取得了很大的成绩，另外在虚拟教室、虚拟实验室、虚拟解剖室、虚拟商场、虚拟银行、虚拟法院等方面也有一定的效果。

虚拟现实的另一个概念是遥操作或遥现技术，它们指基于虚拟现实技术在远离处对分布式的计算机系统，包括 GIS 或其他仪器和机器进行控制或操作，包括对远距离的机械进行操作或将远距离处的景象进行显示的技术，即指 WebGIS、ComGIS 与 VR-GIS 相结合的技术。

10.10.2 VR-GIS 技术的基本概念

VR-GIS 技术是指虚拟现实技术与地理信息系统技术相结合的技术，包括与网络地理信息系统(WebGIS、ComGIS)相结合的技术。VR-GIS 技术是 20 世纪 90 年代才开始出现的，是指一种专门用于研究地球科学的，或以地球系统为对象的虚拟现实技术或计算机仿真技术或多媒体技术。

VR-GIS 技术，目前还不用数字化头盔、手套，它运用 VRML(虚拟建模语言)技术，可以在微机上进行，使费用大幅度降低，所以它具有被广大用户接受的特点。但实际上只能称为仿真。它虽然只具有三维立体、动态、声响，即具有视觉、听觉、运动感觉的特点，而没有触觉，更没有嗅觉和可操作特点等，但通过大脑的联想，也有一定程度的身临其境的感觉，如洛杉矶城市改造的虚拟、寒武纪古环境及毛孔虫和奇形虾的虚拟、恐龙及其生长环境的虚拟及圣安得列斯断层地震等科学性很强的教学虚拟，以及“侏罗纪公园”、“龙卷风”等娱乐性虚拟影视等典型例子，这还不是真正的虚拟，而是一种准虚拟或不完善的虚拟，或半虚拟技术。

VR-GIS 与 WebGIS 相结合的技术，可以进行远距离遥操作和遥显示或遥视，如美国 6 所大学的高层大气物理学家与加拿大的大学同行合作，对格陵兰上空的大气与太阳风之间的相互作用进行了网上的共同观测与讨论。该项目为高层大气研究网上合作(UARC)计划，使那些相隔千山万水的科学家，相会在同一虚拟实验室，使分布在不同地区的专家进行共同实验，讨论、分享成果，像是一个富有团队精神的虚拟社会，同时具有身临格陵兰地区和在同一实验室的感觉。

10.10.3 虚拟地理信息系统(VR-GIS)的特点

1993,Fause 提出理想的 VR-GIS 有以下的特征:

(1) 对现实的地理区域的非常真实的表达;

(2) 用户在所选择的地理带(地理范围)内外自由移动;

(3) 三维(立体)数据库的标准 GIS 功能(查询、选择和空间分析等);

(4) 可视化功能必须是用户接口的自然的整体部分。

1996 年 Berger 等人指出[26],GIS 和 VR 两个技术的连接,主要是通过 VRML(虚拟构模语言),通过文件转换格式,把 GIS 信息转到 VR 中表示。VR-GIS 是一个合成的系统,由一个 GIS 模块和 VR 模块组成。目前,VR-GIS 的主要特征有:

(1) 系统的数据库是传统的 GIS;

(2) VR 的功能用于增加 GIS 的制图功能;

(3) 越来越多的解决方案采用 VRML 标准。尽管 VRML 有一些缺陷,VR-GIS 不仅是一个工具盒,而且有 Internet 的功能;

(4) 基于 PC 系统的趋势,这依赖于桌面 GIS;

(5) 松耦合的 VR 和 GIS 软件,图形数据通常通过一个共同的文件标准来转换,系统间的同步依赖于通信协议,如远程过程调用 RPC。

10.10.4 VR-GIS 的地学应用

运用 VR-GIS 技术对地球系统科学和信息科学的研究对象进行模拟实验时,要具备以下 4 个条件:

(1) 对要进行虚拟实验的地学应用的机理进行研究;

(2) 根据上述机理及应用要求,建立模型,包括数理模型或概念模型;

(3) 进行模拟、虚拟实验分析;

(4) 进行试点工作,验证其可信度,反馈信息。

可以进行虚拟实验的地球系统的各种现象或过程包括:

(1) 对地球系统的各层次结构进行模拟

· 分子结构、晶体结构、基因图谱等的模拟;

· 宇宙构造、地球构造、地质构造、火山构造、地貌构造、景观结构等的模拟;

· 城市、交通、大型工程结构的模拟。

(2) 对地球系统的运动现象与过程进行虚拟

· 地壳运动、褶皱断裂过程、地震发生机制与过程、火山爆发过程的虚拟;

· 河流地貌过程、风化地貌过程、冰川地貌过程、河流发展过程与堆积过程、冲积平原、洪积扇、三角洲的演化过程;

· 天气过程、龙卷风、雷暴雨、锋面天气、强对流天气、海气交互作用过程的虚拟实验;

· 森林生态系统、草场生态系统、湖泊生态系统、沼泽生态系统的虚拟;

· 农业生态系统、养殖生态系统、城市生态系统、区域生态系统的虚拟;

· 洪涝灾害与救灾虚拟、森林草场火灾及救灾虚拟、山崩、滑坡、泥石流、雪灾虚拟、垮坝灾害虚拟、荒漠化过程、土壤侵蚀与水土保持；

· 城市规划与改造、区域可持续发展虚拟；

· 大型工程虚拟、南水北调虚拟、黄河水资源调控虚拟、三峡工程、小浪砥等的虚拟；

· 上海港建设、杭州湾整治、长江河流开发与整治的虚拟实验。

(3) 综合开发与治理虚拟实验

· 区域可持续发展实验；

· 流域开发与综合治理实验。

(4) 污染与整治虚拟实验

· 大气污染过程、水质污染过程与扩散过程；

· 噪声污染实验。

虚拟地理信息系统特别适用于教育和培训工作，具有一切影像教育的特点。它可以将地球科学的知识和抽象的概念，用生动的逼近真实的感觉来表达，使初学者易于接受和了解复杂系统。

虚拟地理信息系统是一门综合技术，又是一门艺术，在很多应用场合，艺术成分往往超过技术。它要求开发者具有想象力和形象化的思维和艺术的修养，才能构造完美的虚拟世界，如"侏罗纪公园"、"龙卷风"等影视娱乐虚拟世界等。

虚拟地理信息系统距真正的虚拟现实技术尚有较大的距离，实际上是介于虚拟现实与计算机仿真技术之间的一种过渡的技术，可以称它为虚拟，也可以称它为仿真。它没有触摸感和力学感，但有交互感，即身临其境感(虽然它是由听觉和视觉造成的)。

10.10.5 虚拟技术在地球科学研究中的应用实例

1. 虚拟城市规划

美国的 VR 技术专家和城市管理专家结合，对洛杉矶和拉斯维加斯两个城市改造进行了虚拟实验，将城市的街道及其建筑物，尤其是高层建筑物根据城市的功能和城市美学的原则，进行了多种方案的对比分析，同时还对街道树种的选择进行比较，包括幼年树和成年树绿化效果及美观情况作了一一比较，最后做出了人行道树种的抉择。

2. 地震虚拟实验

美国科学家对圣安得列斯断层地震进行了虚拟实验。科学家运用 VR-GIS 技术将 DEM 与 TM 卫星影像进行叠加处理形成虚拟的圣安得列斯地区的地形，并将地下构造和断层迭加，形成三维立体图。当虚拟地震发生时，地下与地表产生了强烈的震动，出现了与真实山崩和地震时一样的情况，地下构造也发生了强烈的震动和位移，逼真地显示了强烈地震的情景。

3. 古生物虚拟

除了众所周知的"侏罗纪公园"影视片外，还有"恐龙"和"寒武纪毛孔虫及奇形虾"的

虚拟科教影视。虚拟恐龙科教影视扼要地介绍了侏罗纪时的环境背景和恐龙的生活状况，逼真地再现了当时恐龙的奔跑和吼叫声等。在寒武纪毛孔虫及奇形虾的虚拟科教影视中，地质学家从寒武纪地层发现的毛孔虫和奇形虾的化石开始，研究了它们生活环境，用虚拟技术再现了毛孔虫及奇形虾的形状及它们生活的寒武纪时的海洋环境，以及它们的生活状况、活动等，生动和逼真地复原寒武纪时环境与生物的状况。

4. 石油地质及开采的虚拟实验

美国 ARCO 石油公司借助三维虚拟技术，研究了德克萨斯储油区的深部地质构造，并结合采油技术进行了虚拟实验，包括注水换油虚拟和化学剂泡沫采油虚拟实验等，在生产上获得了较好的效果。

5. 大气、海洋与陆地的交互作用虚拟实验

美国全国超级计算应用中心负责人丹尼尔·布雷迪根据卫星遥感数据将大气、海洋与陆地的相互作用进行虚拟模拟，使之为天气预报服务。他认为没有形象化的绘图与图解，大气、海洋与陆地的相互作用的过程将永远不会为人们透彻地理解，运用虚拟现实技术进行模拟实验可能是一个最好的途径。

6. 暴风雨和龙卷风的虚拟实验

美国气象学家罗伯特·B·威廉姆森教授运用虚拟技术，模拟了暴雨和龙卷风的形成过程及其造成的破坏景象。同时，美国还制作了一部关于“龙卷风”的虚拟娱乐片，生动逼真地描述了龙卷风的过程及所造成的破坏。

7. 宇宙星系的虚拟

美国哈佛大学天文学家玛芯戈责特·盖勒在电脑上进行了三维星系虚拟，表达了 15 000 个已知星系的立体位置图像，可以用来探访宇宙的任何部分，可以在虚拟的宇宙空间中任意飞行，如身临其境，而且还获得了重要的发现，其中之一便是星系群构成一个看不见的泡状物结构，这是过去天文学家所未知的结构。

8. 月球形成的虚拟

科罗拉多大学的天文学家们运用计算机虚拟技术，根据在 45 亿年前，月球的形成是由一个比火星大 3 倍的星体撞击地球，从地球上脱离出两块物质，其中一块运行了几千万年后，经星际引力作用而解体，部分脱离地球轨道，部分残体进入大气层中。另一块形成了目前的月球。

9. 虚拟旅游和虚拟城市交通

浙江大学潘云鹤教授进行了敦煌虚拟旅游的科研项目。

日本电气公司(NEC)认为：虚拟技术不仅在某种程度上可以替代实验室中的某些实验，如模拟实验(水工模拟实验、风洞模拟实验室等)，而且还能起到显微镜和望远镜的

作用。

我们认为 VR-GIS 技术尤其适用于地球科学。以前的所有实验技术和模拟技术都存在限制，而 VR-GIS 技术不受客观条件限制。并且很多地球系统的过程和现象是除 VR-GIS 技术以外任何实验技术和模拟技术所做不到的。VR-GIS 技术为地球系统的过程和现象创造了很好的实验和模拟条件，对地球系统科学和地球信息科学能起到很大的推动作用。

目前，国际上已经进行的 VR-GIS 的实验包括：

· 都市规划：这个应用范围从产生大比例尺城市模型，到对环境的设计和规划。在这些应用中，重点是估计不同规划方法的可视化方面，以及允许一组规划人员通过规划过程相互交流。

· 环境规划和效果评估：这是导致 VR-GIS 的可视化系列问题，如评估一个规划森林的可视效果，到抽象现象的表示，如土地污染、大气污染。

· 科学可视化：其目标是开发对不同科学目的的三维地理/制图表示的可能性，重点是目标本身的可视化方法。在这方面 ACM、SIGGRADH 的 Carto 工程是值得注意的。

· 考古模拟：这方面的应用主要是陆地景观和结构的重建。这个依赖于 GIS 的应用，通常用到 GIS 的处理数字高程模型(DEM)功能，然后把 DEM 面转换到 VRML 模型，重点是可视化分析和确认假设。

· 教育：这方面，虚拟野外课程方面的专题流行起来，例如 Birkbeck 学院和 Leicester 大学开发的 VFC，以及 Montercy Bay Aquariam 研究所开发的虚拟峡谷，其目的是通过对偏远的难以到达的地方的可视化，来增强学习过程，这里 VR 多媒体功能起了重要作用。在 VR 场景上附加信息的能力也是一个重要方面。

· 军事模拟和情报应用：军事模拟，特别是飞行模拟是 VR 实施的主要推动力，军事 VR-GIS 的一个目标是在未来演习中允许“虚拟预演”。

VR-GIS 的某些目标是明显的，一个主要目标是建立(或重建)陆地景观和都市设置，即目前不存在的或正在规划中的设施。考古要重建目前不存在的三维古代陆地景观，VR 为这些应用提供最有吸引力的虚拟环境。都市和环境规划，特别是规划的建筑或其他建设工程(如公路、水坝、桥梁)的可视化方面，许多商业 GIS 可以进行可视化分析，但二维的结果很难获得三维透视，也不能进行在指定视点上进行的移动飞行和模拟，而 VR-GIS 可以实现这些。在军事领域，模拟是必须的，实际任务是代价高昂的。通过模拟而减少任务的不确定性。

第二个目标是抽象变量的可视化。“把它们带到现实中来”。这是目前 VR 应用领域中比较流行的研究方向。然而，在 VR-GIS 中，这些应用是在“真实变量”的背景上对“虚拟变量”的混合表示。抽象变量通常是环境变量。

第三个目标是提高在合作过程中思想和概念的交流，如建筑结构的规划。这种过程中，VR-GIS 在参与者之间扮演思路的调解者和传达人的角色(Campbell & Davidjon 1996)。在 GIS 领域，目标是支持那些不会使用地图的用户，这需要对空间技术的直觉界面的研究。

下面是各国在 VR-GIS 领域的研究及时间[26]：

澳大利亚	环境	1995 年；
加拿大	都市规划	1995 年；
丹麦	都市规划	1997 年；
法国	考古	1996 年；
德国	都市规划	1996 年；
北爱尔兰	GIS，都市规划	1994 年；
葡萄牙	环境	1995 年；
南非	GIS，都市规划	1991 年；
英国	考古、数据可视化、教育、环境、都市规划；	
美国	考古、数据可视化、生态、环境、GIS、军事、都市规划。	

第十一章　数字地球空间数据的 Metadata

随着数字地球概念在全球范围内的广泛讨论，人们对于数字地球所需关键技术的认识已越来越深刻。而被戈尔列为数字地球六大技术之一的 Metadata 则更加引人注目，成为数字地球建设能否走向成功和实用的关键。

事实上，自从 1992 年美国联邦地理数据委员会(FGDC)开展地理信息 Metadata 标准的讨论以来，全球已在基于数字地球的 Metadata 这一领域内取得了迅速的发展。目前，FGDC、欧洲地理信息标准化委员会(CEN/TC 287)、全球最大的地理空间信息产业组织 Open GIS 协会以及国际标准化组织地理信息/地球信息业委员会(ISO/TC 211)等单位均已成立了各自的 Metadata 工作组，并从影响地理信息的不同方面开始研究这一问题。我国九五期间在国家空间信息基础设施(NSII)的规划研究中开始了基于 NSII 的 Metadata 研究，并在国家科技部、发展计划委员会等部门的支持下，形成了 Metadata 标准的建议草案。这些研究为数字地球中的 Metadata 技术奠定了基础，也成为数字地球走向实用的关键。

事实上，对于 Metadata 研究目前国际社会仍具有很大的分歧。CEN/TC 287 把 Metadata 内容分为 10 个部分，FGDC 分为 7 个部分，而 ISO/TC 211 则分为 8 个部分进行研究。因此，究竟如何确切地研究并划分 Metadata 体系，仍是各大组织关心的问题。下面我们对 Metadata 的基本内容、理论基础以及模型实现等作详细地讨论。

11.1　Metadata 的发展背景

11.1.1　Metadata 的理解

当提及“Metadata”时，许多人会认为它是一个复杂的体系，仅适用于信息技术和计算机科学。事实上，Metadata 在地学界已用了几个世纪，比如早期地图和海图图廓中的图例等，只是当我们把计算机引入该学科后，Metadata 标准的重要性才被人们逐渐认识到。

随着计算机在地学界的广泛应用，以及遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等技术的不断成熟，使许多地理空间机构从各自的角度出发产生了大量的空间数据，同时这些数据也可以满足其他应用需要。但现状是我们不知道存在什么样的数据，已有数据的质量如何以及怎样访问和使用这些数据成果。因此，人们迫切需要一种合理的方法来避免数据的重复性建设以及协调不同数据部门之间的资源共享，以解决这一信息社会中的信息饥渴问题，这时古老的 Metadata 概念便被人们正式引入地学界。

其实，对地理界之外的 Metadata，大家极容易理解。如在图书馆中使用的卡片分类、CD 唱片目录、用户手册以及各种说明书等。而在地理界，最典型的 Metadata 便是各种地

图中的图例内容，如图名、数据源、比例尺、精度、生产者、各种符号、航海注意事项以及其他所有可以在地图图廓上找到的标识信息均为 Metadata。通过 Metadata，人们拿起一张地图便可以理解和使用它，也可以利用数字地球技术获取并分析自己所需的信息。对于 Metadata 的定义和理解，目前有很多不同的观点。例如：

Metadata 是数据库管理领域的概念，是关于数据组织的数据；

Metadata 是对数据的描述，以及对数据集中数据项的解释，它能提高数据的利用价值；

Metadata 是一种机制，用来说明数据集或其他形式的信息存在的描述。

另外，欧洲标准化委员会（简称为：CEN/TC 287）认为："Metadata 是描述地理数据集内容、表示、空间参考系、质量以及管理的数据"。

美国联邦地理数据委员会（FGDC）和国际标准化组织（ISO）地球信息委员会（ISO/TC 211）认为："Metadata 是关于数据内容、质量、条件以及其他特征的数据"。

Metadata 中的 meta 是希腊语，意思是"改变"，Metadata 定义为数据本身及其变化的描述。科学的说法是：Metadata 是关于数据集的数据，数据集的说明或描述。台湾将 Metadata 译作诠释数据。

有关 Metadata 的定义可以概括为两大类：

（1）Metadata 是数据集的描述与说明。这方面的定义包括：

Metadata 是对数据集的描述，或对数据集中数据项的解释，它能提高数据的利用价值；

Metadata 包括数据用户指南、数据字典、数据分类目录等数据描述信息，以及任何定义它们之间关系所需要的附加性信息；

Metadata 是数据库管理领域的概念，是关于数据组织的数据。

（2）Metadata 是应用系统的辅助信息，能提高数据的利用价值。这方面的定义包括：

Metadata 是指数据与信息之间的某种关系，可以沟通数据和信息；

Metadata 是指数据的数据，并包括使数据可以使用的辅助性信息。

Geo-spatial Metadata 是有关 Geo-spatial data 的属性、空间、时间、存储格式、存储位置、获取方法等的详细描述

11.1.2 与 Metadata 相关的概念

（1）数据字典（data dictionary）：数据字典是指关于数据集的描述、数据集的要素值、数据产品等的文件集。数据字典是管理数据的基础，它不再单是数据结构的简单描述文档，它需要描述更详细的数据内容。

（2）数据百科全书（data encyclopedia）：是指在数据字典的基础上形成的，其内容比数据字典更丰富的文档文件。它不仅包括物理层的数据结构，还包括计算机辅助设计工具的数据发展过程等。

（3）Metadata base：它指数据的产生规则、数据处理过程及数据模型的信息系统。在基于分布式数据库的数据集成系统中，可以通过它对数据库和 Metadata 进行操作。

（4）Metadata 信息管理系统：是指用于 Metadata 及其相关过程集成化、规范化的管

理系统。用户可以通过它方便地了解数据库的内容和获取所需信息/数据集以形成不同的数据库。

(5) 数据仓库(data warehousing)：它是指支持管理决策过程的、面向主题的、集成的、随时间而变化的、持久的数据集合。它是管理分布式、大量数据的、面向主题的系统，可以跨越不同数据模式、不同版本，并对数据可进行多种面向决策的处理。

总之，Metadata 是关于数据的数据(data about data)，是有关信息的信息(information about information)，有人将它译作元数据，另一些人则主张译作“诠释数据”或“注释数据”。还有译作“超数据”的，由于它至今没有统一的译法，所以只能仍然用原文 Metadata。

对于 Metadata，目前还没有确切的中文名称。Metadata 在计算机领域中一直被译作“元数据”。虽然“诠释数据”能够比较准确地反映出 Metadata 的作用，但“元数据”也可以反映出 Metadata 在数据集中所处核心作用的地位。因此可以把“Metadata”译做“元数据”。

事实上，Metadata 是“关于数据的数据”或“关于信息的信息”，它在地理信息中用于描述地理数据集的内容、质量、表示方式、空间参照系、管理方式以及数据集的其他特征，它是实现地理空间数据集共享的核心内容之一。它具有下列几个特点：是用于描述信息资源的高度结构化数据；可以管理和组织信息；可以挖掘信息资源；也可以帮助人们准确地查询所需要的信息，并在从不同的资料或组织获取数据时，可以通过对相同的 Metadata 元素进行比较和对比，获取自己所需要的信息内容。它是打开对多源数据资料进行获取、智能分析以及运算的大门的钥匙。

11.2 Metadata 的标准现状

11.2.1 FGDC 的 Metadata 体系

FGDC 是美国联邦地理数据委员会的缩写，它由农业部、商业部、能源部、内务部、众议院、交通部、环保局、国会图书馆、宇航局、档案局等多个部门组成，并由内务部负责，其主要功能是负责联邦地理数据的协调发展、使用、共享和宣传。1992 年 6 月，FGDC 发起了“空间数据信息交换论坛”，用于专门讨论地理信息共享问题。通过讨论，大家一致认为需要发展一个有关地理空间数据集的 Metadata 信息内容标准，以实现信息资源的共享与合理使用，并在美国测试与材料学会(ASTM)的 ASTM Section D18.01.05 基础上，形成了一个 Metadata 草案标准。

从 1992 年 10 月到 1993 年 4 月，FGDC 把该草案提交公众讨论，并征求意见。这一期间收到了许多对该草案的评价和修改意见，并对草案作了大幅度修改。修改后的草案在美国国家地理空间数据交换中心进行测试，并通过与美国 USMARC(U.S. Machine Readable Catalog)标准以及其他标准比较，作了仔细地修改。1993 年 7 月、1994 年 1 月以及 1994 年 3 月，FGDC 标准工作组对 Metadata 的标准化、Metadata 的使用以及为用户提供 Metadata 的系统等问题又作了进一步的测评和讨论，最后，确定了 Metadata 的内容及其

元素定义，并于 1994 年 6 月 8 日批准了 Metadata 标准。随着对 Metadata 认识程度的加深，FGDC 于 1997 年 4 月又发布了 Metadata 的修改版，即 Metadata 2.0 版本，并把 Profile 以及 Metadata 扩展内容等信息加入该版本中，以满足不同用户的专业需求。

在 Metadata 标准的研制过程中，美国政府还采取了一系列政策来促使它的开发过程。首先，为了确保该草案的有效实施，1994 年 4 月 13 日克林顿总统签署了 12906 号执行令，即“协调地理数据的获取与访问：国家空间数据基础设施”。在其内容的第三部分“国家地理空间数据交换中心的发展”的(b)中，即“标准化数据资料”中写到：“在执行令发布后的最初九个月时间中，每一个机构对新采集的数据应直接或间接地按照 FGDC 制定的标准制成电子版形式，并要能通过数据交换中心进行访问。在执行令发布的一年时间内，所有的机构应根据 FGDC 咨询委员会制定的计划，把所有先前直接或间接采集的地理数据制成电子版，并在交换中心网络中可以访问。”另外，FGDC 还邀请并鼓励一些来自不同部门的组织和个人在组织他们的数据时使用该标准。这样在地理信息标准建设中，美国政府的有效干预便大大加快了地理信息标准的广泛使用，并迅速掀起了以 Metadata 标准为核心的地理空间数据标准化的浪潮。

11.2.2 ISO/TC 211 的 Metadata 体系

国际标准化组织 ISO 作为全球标准的权威机构，对地理数据标准化问题一直比较重视。1994 年后期，国际标准化组织面对地理信息数据标准化的趋势，成立了地理信息/地球信息业技术委员会，即 ISO/TC 211，编号为 ISO 15046，用于专门研究和建立一个处理与地球位置有直接或间接关系的地理对象或现象的标准体系，包括数字地理信息的获取、处理、分析、访问、表示以及转换的方法、工具和服务体系等内容。该委员会由框架和参考模型(WG 1)、地理空间数据模型和算法(WG 2)、地理空间数据管理(WG 3)、地理空间服务(WG 4)、以及行业及功能标准(WG 5)5 个工作组组成。

ISO 15046 的 5 个工作组又分为 20 个工作小组，每一小组都有项目负责人，标准制定工作便由各小组来完成。其中，Metadata 标准的发展在第三工作组总第 15 工作小组中进行，即 ISO 15046-15，地理信息-Metadata 工作组。ISO 15046-15 的目的是想通过建立一个 Metadata 术语、定义及扩展的公用集合，使地理数据的管理、检索和使用更加有效，为那些不熟悉地理空间数据的人们很方便地表征他们地理数据提供所需的信息，以便用户能够查询和访问这些数据，并可以判断它们的适宜性。

ISO/TC 211 主要以数据集的实时性、精度、数据内容和属性、数据来源、价格、图层以及适用性等为考虑对象，展开对 Metadata 的全面研究。它的标准来源是 FGDC 的 Metadata 体系，但到目前为止，该 Metadata 已与 FGDC 的标准体系有较大的区别，并已进入委员会草案阶段。其具体内容将于 1999 年底正式出台。

11.2.3 CEN/TC 287 的 Metadata 体系

欧洲地理信息标准化委员会(CEN/TC 287)也是从事 Metadata 研究比较早的单位。早在 1992 年，该委员会就开始了有关数字地理信息标准化方面的工作，并成立了 4 个工作组，从地理信息标准化框架(WG 1)、地理信息模型和应用(WG 2)、地理信息传输(WG

3)以及地理信息定位参考系统(WG 4)等方面开始标准的制定工作。它的目的是想通过建立一系列结构化标准,以确定一种用于定义、描述、传输以及表示现实世界的标准方法,促使与地理位置有关的数字信息的使用。

CEN/TC 287 成立后,通过会议等方式很快建立了一系列草案标准,并通过 14 个工作小组开展工作,其中 Metadata 研究属于第 4 工作组总第 9 工作小组,即 287009。由于欧洲标准化委员会在制定 ISO 9000 系列质量标准以及 ISO 14000 系列环境标准的时候,对国际社会产生了很大的影响,并且它的许多标准内容都完全被转化成了 ISO 的标准,因此,CEN/TC 287 对 Metadata 的研究也非常重视,并于 1996 年推出了它的 Metadata 标准草案内容。

CEN/TC 287 的 Metadata 以实用为主,因此它简洁的内容体系受到了国际社会的普遍关注。目前,它正在与 ISO/TC 211 进行有力地合作,以使自己的内容体系能最大程度地被国际社会采纳。

11.2.4 OpenGIS 协会的 Metadata 体系

OpenGIS 协会是目前全球最大的地理信息产业化组织。事实上 OpenGIS 是 1993 年首先在由美国的几个联邦机构和商业组织召开的有关"网络环境下访问异质地理数据和地理处理资源"的会议上提出的概念体系。当时人家觉得应该提供一套综合的开放性接口规范,以便发展商可以根据这些规范来写互操作组件,以满足 GIS 互操作的需求。于是,他们对有关 OpenGIS 规范(OGIS)的范围及其可行性,以及规范的写作项目等内容进行了详细的讨论,并于 1994 年 8 月决定成立该协会,以作为一个专门发展 OpenGIS 规范的机构,简称为 OGC 或 OpenGIS 协会。目前 OpenGIS 协会由包括 GIS 和计算机销售商、集成部门、通信部门、数据库发展商、联邦机构以及大学等部门的 100 多个机构的代表组成。所有这些组织承担支持 OpenGIS 规范制定的义务,并积极发展新一代产品,以促使全球地理数据和地理处理资源市场的发展。OpenGIS 协会用"OpenGIS"作为其产品的商标。

Metadata 是 OpenGIS 协会考虑的重要规范之一,并且为了适应全球化的发展,OpenGIS 协会一开始便积极同 ISO/TC 211 进行磋商,以便能共同形成一个满足 GIS 互操作的 Metadata 标准体系。目前它们已取得了一致,即由 ISO/TC 211 负责制定标准,而 OpenGIS 协会以该标准为蓝本进行软件实现,并且 ISO/TC 211 和 OpenGIS 协会的 Metadata 小组的主席由同一人担任。

11.3 Metadata 的理论基础

伴随人类对数字地理信息重要性认识的加深,Metadata 标准化这一问题便逐渐成为共享地学信息的热点,而要研究 Metadata 体系,则首先要对 Metadata 的理论基础有一正确地分析。

事实上 Metadata 标准依赖于地理空间信息共享标准的理论,它与自然科学中的许多学科都有交叉,几乎涉及到"数、理、化,天、地、生"中的所有方面,并依赖于现代科技的发展。计算机是它的基础平台,网络是它的通信基础,没有数学模型和对各学科的综合认识,

也就谈不上用遥感等技术研究地球机理。因此，从宏观角度来看，地理信息标准化涉及到许多领域，似乎它的理论也不胜枚举，但从微观角度来考虑，数字地理信息所研究的共享体系理论则主要应包括地理信息的模型建立理论、表示理论、空间参照系理论、质量体系理论以及计算机通信技术等方面的理论，它们是我们共享体系依赖的基础，也是我们首先要考虑的内容。当然其他能够促使地理信息共享的理论也将成为基于数字地球的 Metadata 体系的有力支柱。

11.3.1 地理信息的模型建立理论

人类对地理对象的认识是一个复杂的过程，它需要把一系列具体的对象抽象为我们在计算机上能够表示的信息。

地理空间信息事实上是我们在浏览地图时所获取的一切信息，它的主要目的是告诉人们“某处有何物”，而数字地理空间信息则是用计算机编码和显示方式对地理空间现象的表示。然而，由于地图是我们对地球实体的简单抽象，因此，我们既可以认为地球影像是一幅地图，也可以把用任何简单仪器采集的不太完备的地球现象的集合认为是地图，这样不同的人对地球现象的认识随方法、时间等的差异便有明显的不一致。对于数字信息更是如此，随着不同的数据结构、存储方式、分析模型等的存在，便产生了数字地理空间信息领域的混乱现象，给信息的共享带来了很大的不便。

为促使地理信息的共享，便需要对地理信息的整个认知过程有一个总体的了解，即对地理要素之间的关系应比较清楚。这里的要素是指地理空间信息的基本单位，它可通过回归的方法逐渐由简单要素组成复杂的要素，比如一幅卫星影像、影像中的一个像素、非规则三角网、叠加在天气图上的温度等都为要素。

对地理对象的抽象过程通常有 9 个层次，在这 9 个层次之间通过 8 个接口相互连接，实现了由现实世界到地理要素集合世界的转换。这 9 个层次依次为现实世界、概念世界、地理空间世界、尺度世界、项目世界、点世界、几何世界、地理要素世界以及要素集合世界。连接它们的 8 个接口分别为认识接口、GIS 学科接口、局域几何接口、群体接口、空间参照系接口、几何结构接口、要素结构接口及项目结构接口。

11.3.2 地理信息的表示方法

1. 几何要素的表示

坐标系统是 GIS 中表示要素的重要部分，通常由地球坐标系统和 GIS 坐标系统组成，其中当 GIS 采用大地坐标系时，这两个坐标系便等价。但对于大多数 GIS 系统，对几何要素的表示都采用 GIS 坐标系统，这样，人们便把现实世界中的对象抽象为点、线、多边形等不同的几何形状，并按照点连接成线，线连接成多边形，多边形再组成多面体等递归的方法用 GIS 坐标系统表示地理实体。

利用几何方式构建 GIS 关系时，拓扑理论是它的基础，用于分析几何构成关系。这样我们可以利用拓扑学知识分析数据集质量的完备性、逻辑一致性等特征，以正确评价数据集的质量。在使用时，通常通过空间几何接口实现。

2. 地理信息的存储方式

利用GIS表示现实世界时，大多数信息是通过一定的数学模型，即存储函数方式存储在计算机中的，因此，GIS其实是一种模型地理空间信息。按照这种方式，人们便可以利用GIS揭示自然界中许多用人类视觉难以发觉的信息，比如城市中鸟类居住的变迁情况、土地的盐碱化情况以及地震等许多复杂的自然现象。对于这些信息，随着数学模型的不同，所模拟或得出的结果一般是有一定差异的。

利用存储函数反映地理现象时，涉及到两大部分的内容，即取值范围和结果范围，它们之间通过数学模型接口来实现。最简单的数学模型便是参照系，通过它，便可以实现现实世界到数字地理空间世界的映射。

当然，在整个地理空间表示中，涉及到许多存储或转换函数，它们的变量也是千差万别的，比如，摄影测量便是由三维到二维再到三维的过程，在这种转换中涉及到亮度函数、坐标几何函数、以及误差传播等多方面的函数，因此，在利用Metadata表示它们时，便需要通过继承关系等把它们反映出来。

3. 地理信息的图层表示

图层(coverage)的产生是一个复杂的过程。图层通常由图层产生函数实现，比如航天遥感和航空遥感影像等，都是通过特定的方程使它们由现实世界转变为图像以及数字世界的。

对于产生函数来说，在由现实世界到地理空间世界的转变过程中，需要考虑的影响因子比较多，包括成像时的动态补偿、地形起伏、大气折射、地图投影转换等诸多因素，因此在实际应用中通常根据不同的阶段采取分段函数的方法，逐步实现由现实世界到所需目的世界的转换。另外，也可以根据Metadata不同模型中的一些相似属性实现，包括通信(或传递)参数、误差估计参数、影像支持参数、像素的小数位以及计算方向等参数。通过这些约束参数以及它们的子集，便可以用Metadata全面记录下数据的整个传递过程，使数据集的形成和使用更加容易理解。

4. 图层的几何匹配

图层集合或影像立体像对等内容对数据集也是非常重要的，人们可以通过同一几何范围内不同内容的图层集进行相互叠加，以分析不同要素之间的关系，而这种叠加也符合人类对现实世界的认识过程。因此，对Metadata描述时，需要记录影像的匹配相对、数据集图层范围以及所对应的属性集等相关元素，同时对描述它们各自的参数、单位以及数学模型等也要作一定的阐述。

11.3.3 地理信息的空间坐标系模型

1. 地球模型

地球是一个复杂的表面，它由陆地和海洋组成，并随着地形的变化又有很大的起伏。

因此，要用空间几何模型表示地球对象，首先需要对地球进行合理的描述。

大地学家通常用一种近似的方法来表示地球，即忽略掉地球上的地形，认为它是一个没有起伏的表面，并用近似于平均海水面(大地水准面)的重力面来代表它的形状。尽管如此，由于地球内部组成的差异，在一些地方同样会产生重力异常，这样用大地水准面也很难准确地描述地球上的位置。因此，人们又用一种相对简单的"地球模型"的方法来表示地球，即把地球形象地描述为一个扁椭球体，通常称为椭球体。

目前全球已定义了几百个用于描述地球的椭球体，比较典型的有克拉索夫斯基(1866)椭球、1924 国际椭球以及 1980 大地参考椭球体(GRS80)等。由于椭球体的不同，定义椭球体的参数也不尽一致，但在当代大地测量学中主要用椭圆长半轴(a)以及扁率分母(1/f)两个参数来表示它们。

随着椭球体的提出，人们为了唯一地确定地球上对象位置的坐标信息，又提出了"大地水准"的概念，即通过大地水准与地球圆心之间的位置及方向关系来确定空间对象的位置信息。这样通过椭球体坐标系统中的经度、纬度值以及椭球体高度值便可唯一地确定某一点的坐标。

由于椭球体坐标系是一个基于经纬度值的坐标系，而地心坐标系是一个笛卡儿空间正交三维右手垂直坐标系，因此这二者之间的坐标转换也相对容易，即通过一定的数学方程使两个坐标系统的中心圆点重复，并依次计算出各对应对象的相应坐标即可。

另外，随着地域的差异，通常各国或一定区域都有它们自己独特的椭球体，以形成他们自己的地方坐标系。这些椭球体之间随着参数的不同，坐标值也有很大的差异。但在当代大地测量学中，人们以地心坐标系的坐标圆点为各自参考椭球体的参考起算点，因此，只要选定所需的参数和对应公式，便可实现不同椭球体之间的转换。

2. 地球的坐标表示

现实世界中的位置是由地点和时间组成的，为了能对地理信息进行合理的描述，人们引进了坐标系的概念按坐标几何对象的方式表示地理实体。坐标参照系通常有空间参照系、时间参照系、时空参照系、属性参照系等多种方式，它是一种按照一定的方式为某一位置、时间或其他定性定量描述赋值的体系，通常可以被认为是一种比例尺。通过参照系，便可以按照点、线、面、体的方式对现实对象进行描述。

3. 空间参照系的转换接口

空间参照系是地面实体与数字几何对象之间对应的数学基础，因此应准确地描述它们，以便用户能够很好地理解地理信息。

通常在地理信息相关软件中都有有关参照系的模块，并且通过相应的参数可以设置参照系之间的转换，以便地理数据模型中的地点和时间与软件中的实体对应起来。通常地点指现实世界中的某一可以测量的地方，而时间则是某一点、某一段或某一系列在连续性上的间隔。时间和地点均可以测量到，它们的坐标也可以从具体的时空坐标系中获取，因此，通过坐标转换模块可实现地点和时间的统一。

地理信息互操作是空间信息基础设施的关键，而坐标系之间的转换是实现它们的重

要技术之一，通过合理的空间信息转换标准，便可以实现地理信息模型之间的通信。因此，坐标参照系模型也是 Metadata 的主要理论之一。

11.3.4 地理信息的质量体系

1. 质量评价过程

地理空间数据的质量对数据生产者和用户来说都是一个非常重要的考虑因子，它可以使数据生产者正确描述他们的数据集符合生产规范的程度，也是用户决定数据集是否符合他们应用目的的依据。因此，探索数据质量的理论问题便成为地理空间数据标准化的重要组成部分。

在 Metadata 标准中，质量信息主要在标识信息、数据质量信息以及数据继承关系等 Metadata 部分中出现，其所涉及的主要元素有数据集的完备性、逻辑一致性、位置精度、时间精度、专题精度等，而每一元素又有各自的子元素。

由于用户需要不同层次的数据质量，有些用户需要高精度的信息，而另一些用户则有较低层次的精度便可以满足他们的需求，这样对数据集的质量标准就有不同的评价依据。但作为质量中的几何精度评价，则通过一定的计算公式和相应的精度指标，可以获得数据集的几何精度。

2. 多尺度评判依据

在质量评定过程中，一般来说，数据的精度或准确度越高越好，但在实际应用中却不能不分对象一概而论。事实上有的数据在实际应用中的意义很大（如大地控制点等），其本身精度也比较高，因此对这些数据的精度要求也就很高；而另一些数据本身的精度不可能很高，如不同土壤类型的面积，由于它们之间的界线是模糊的，所以面积也是相对的，若要求过高则不可能办到。有的数据虽然它们的精度可以达到很高，但需要花费很多的人力、物力和时间才能达到，而生产上或应用上又没有过高的要求。因此，在实际应用中应根据具体需求来评定数据的质量，如对荒漠化土地与水浇地按同样的精度要求，则事实上便成为“冗余精度”，是一种浪费。

另外，地球是一个复杂系统，不少物体具有不确定性或模糊性特征，比如：

（1）有些物体本身就没有明确的界线，它们是逐渐过渡的，在由量变到质变过程中，难以确定其分界线，如红壤与黄壤之间的界线、棕壤与灰棕壤的界线、气候带之间的界线等都具有模糊的特征。另外，从全球范围来讲，一个国家的人口数量也是无法精确统计的。

（2）虽有明确的定义，但很难操作。如在林地与灌丛的界线划分过程中，林地被定义为树的垂直投影面积占 60% 以上的土地，但在野外实地划界时，却难以操作，只能做大概的估算，即使通过遥感数据，所反映出的界线也是模糊的。

（3）有些数据是动态的，甚至是瞬间的。如人口数（每秒都有生和死，每秒都有流动）、耕地数（每天在开垦和荒弃）等，也是模糊的，对这些数据太精确则没有必要，因为它们的精度只具有瞬间的意义。

因此，通过上面的分析，在地理信息描述中，我们应该辨证地分析精度问题，既要追求

很高的数据精度，还得反对“冗余”精度，以免造成精度浪费。

3. 数据的时效性与唯一性

地球系统的数据，有些具有明显的时效（时间）特征，有的则对时间的反应比较迟缓，例如，土地利用图具有明显的时效性特征，而地质图、地形图则没有明显的时效性。对于土地利用图的时效性来说，随地区的差异在时间上也有明显的变化，比如在城市近郊区的土地利用图有效时间一般只有 1～2 年，而远郊区则可达 4～5 年。而地质、地形图的有效年限一般为 10～15 年，当然随着科技的发展，地质上也有新的发现和改正，地形也有一定的变化，这样 20 世纪 50 年代的地质图和今天同样比例尺的地质图，在图形内容上可能会发生较大的变化。

在图形的时效性上，一般来说凡具有动态特征的数据，它们的时间有效性较短，相反则长。但从研究历史变化或发展过程来说，则任何时间的数据都是有用的，所以不同时效性的数据集将根据其作用的不同来确定其重要性。而这些因素在 Metadata 体系中都应有所反应。

另外，地球系统的数据有可派生数据和不可派生数据之分，而我们在数据集描述中应避免数据的冗余。比如在气象和水文数据中，每天的降雨量是基本数据，或非派生数据，而周平均降雨、旬平均降雨、月平均降雨、年平均降雨等都是派生的；又如人口数与粮食产量这两个基础数据，可以派生十多个不同意义的数据，而且派生数据可以和基础数据进行校对纠错等。因此，在 Metadata 描述中，应只限于基础数据，而不应包括可派生数据，这样，便需要有专门的元素来描述数据集的这些特征，并需要对不同的计算公式等加以阐述。

4. 数据精度的测试与报告

对于用户和数据生产者来说，所关心的数据质量是有一定联系的。数据集生产者必须使所生产的数据集满足制图规范，而用户则根据数据集的质量信息确定该数据集是否满足他们的应用需求。因此数据集生产者提供的数据集信息应是用户所关心的信息。因此，在数据集报告中应包括相应的精度测试方法以及测试结果等内容。

11.3.5 计算机、通信及其他理论

计算机、通信等信息技术领域内的相关理论对地理信息的形成也具有一定的决定作用，诸如传输协议等对信息传输的质量都有一定的影响。另外，地理信息的空间共享也受其他理论的限制，诸如行政区划理论等，在这里不作一一讨论，但随着 Metadata 研究的不断深入，有关支持地理信息及数字地球的 Metadata 的理论体系将逐渐清晰。

11.4 Metadata 标准的体系结构

11.4.1 Metadata 标准的内容组成

关于 Metadata 的内容体系，目前国际各大组织间仍存在一定的分歧。FGDC 认为

Metadata是关于“关于数据内容、质量、条件以及其他特征的数据”，它把 Metadata 分为标识信息、数据质量信息、空间数据组织信息、空间参照系信息、实体和属性信息、发行信息以及 Metadata 参考信息等 7 个部分进行研究。CEN/TC 287 认为 Metadata 是“描述地理数据集内容、表示、空间参考系、质量以及管理的数据”，它把数据集分为标识信息、数据集综述信息、数据集质量元素、空间参照系信息、范围信息、数据定义、分类信息、管理信息、Metadata 参考以及 Metadata 语言等 10 个部分进行研究。ISO/TC 211 对于 Metadata 的概念认识和 FGDC 相同，但在内容划分上仍有明显的差异，它把 Metadata 分为标识信息、数据质量信息、数据集继承信息、空间数据表示信息、空间参照系信息、应用要素分类信息、发行信息以及 Metadata 参考信息等 8 个部分进行研究。

事实上，Metadata 是“关于数据的数据”，它在地理信息中用于描述地理数据集的内容、质量、表示方式、空间参照系、管理方式以及数据集的其他特征，它是实现数字地球中空间数据集共享的核心标准之一。因此，尽管各个组织在内容划分上存在一定的差异，但其内容体系总体上反映出了 Metadata 的下列几个特点：首先 Metadata 是用于描述信息资源的高度结构化数据；其次 Metadata 可以管理和组织信息，并可以挖掘信息资源，通过它可以在 Intranet 或 Internet 上准确地识别、定位和访问信息；另外 Metadata 还可以帮助准确地查询所需要的信息，比如，它可以按照不同的地理区间、指定的语言以及具体的时间段来查找信息资源；最后，在从不同的资料或组织获取 Metadata 时，还可以通过对相同的 Metadata 元素进行比较和对比，获取最新的资料。因此，可以按照下列规则研究数字地球中的 Metadata 体系。

表 11.1 Metadata 标准草案的内容对比

CEN/TC 287	FGDC	ISO/TC 211	建议体系
数据集标识信息	标识信息	标识信息	标识信息
数据集综述信息	数据质量信息	数据质量信息	数据质量信息
数据集质量元素	空间数据组织信息	数据集继承信息	数据集继承信息
空间参照系信息	空间参照系信息	空间数据表示信息	空间数据表示信息
范围信息	实体和属性信息	空间参照系信息	空间参照系信息
数据定义	发行信息	应用要素分类信息	实体和属性信息
分类信息	Metadata 参考信息	发行信息	发行信息
管理信息		Metadata 参考信息	Metadata 参考信息
Metadata 参考			
Metadata 语言			

如图 11.1 所示，把 Metadata 分为两个层次进行研究。其中第一层是目录层，它所提供的 Metadata 复合元素和数据元素是数字地球中查询地理数据的目录信息，它相对地概括了第二层中的一些必选项信息，是 Metadata 体系内容中比较宏观的信息；第二层是 Metadata 标准的主体，它由 8 个标准部分和 4 个引用部分组成，包括了全面描述地理空

间信息的必选项(M)、条件必选项(C)以及可选项(O)的内容。其中标准部分包括标识信息、数据质量信息、数据集继承信息、空间数据表示信息、空间参照系信息、实体和属性信息、发行信息、以及 Metadata 参考信息等 8 个方面的内容，引用部分包括引用信息、时间范围信息、联系信息以及地址信息，各个部分按照具体的复合元素和数据元素组织。

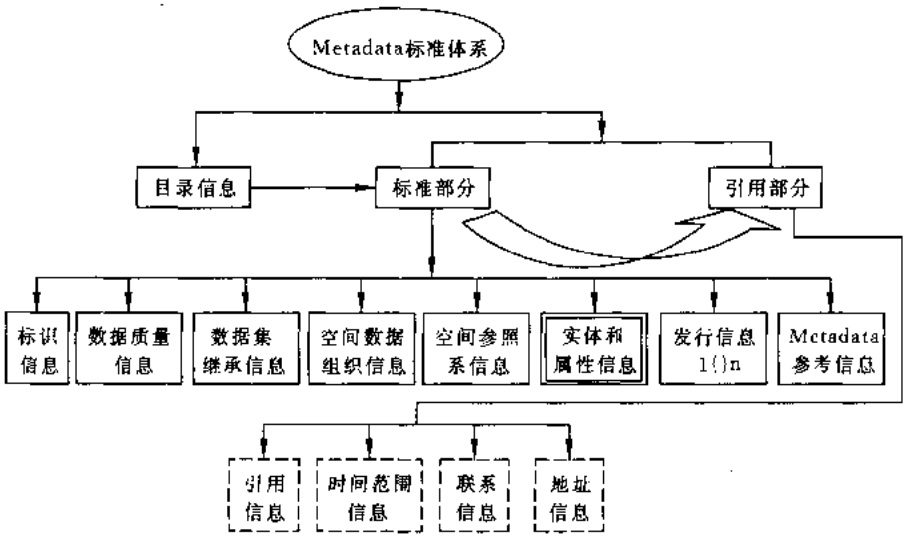


图 11.1 Metadata 内容标准的组织框架
单线框中的内容为必选项；双线框中的内容为条件可选项；虚线框中的内容为引用部分

11.4.2 组织方式

Metadata 内容按照元素的方式进行组织，具体分为部分、复合元素以及数据元素 3 个层次。

1. 部分

Metadata 部分是定义具有相互关联的 Metadata 数据元素以及复合元素集合的一个 Metadata 子集。本标准第一层中有一个部分，为目录信息；第二层中有 8 个部分，依次为标识信息、数据质量信息、数据集继承信息、空间数据表示信息、空间参照系信息、实体和属性信息、发行信息以及 Metadata 参考信息。

在标准描述中，每一部分首先给出该部分复合元素的名称和定义，接着对组成该复合元素的规则以及数据元素和中间复合元素进行逐一说明，并给出复合元素和数据元素的名称、定义以及选择条件等细节，最后是该部分所有元素的组织关系图。

2. 复合元素

复合元素由一组数据元素和其他复合元素组成，它是代表高层次的不能用单个数据元素描述的概念。所有的复合元素都通过数据元素直接地或通过中间复合元素间接地描

述，其类型用“compound”标记。在标准实现过程中，复合元素根据其约束条件来决定其内部的数据元素以及中间复合元素的内容是否要给出。

3. 数据元素

数据元素是数据的最小组成单位，即图元 Metadata，它由数据元素的名称、定义、约束条件、最大次数、数据类型、域值等组成。它的取值信息由数值的数据类型和域值决定，其中数据类型描述决定数值在计算机中的表现形式，比如“integer”表示整型数、“real”表示实型数、“text”表示 ASCII 码字符、“date”表示日期、“time”表示时间等；而域值指数据元素可以被赋予的有效值范围，包括有效值的清单、有效值清单的参考文献以及数据集元素的约束范围等。

11.4.3 元素属性

Metadata 元素是用于确定和存储描述地理空间数据信息的独立单元，它由 9 个属性来定义，分别为编号、名称、英文名称、定义、约束条件、最大次数、数据类型、域值以及标识码。

编号：按照元素在各个部分中的组织方式，对 Metadata 中的各个部分、复合元素、数据元素等所编的唯一数字编号，由数字和小数点组成。

名称：赋予 Metadata 元素的中文名称，以在标准中识别该信息。

英文名称：为使 Metadata 标准适应全球空间信息基础设施的发展需求，在制定每一 Metadata 元素时都给出了该元素的英文名称，以使该标准在全球空间信息基础设施以及数字地球中同样具有标准作用。

定义：对 Metadata 中元素的详细描述。

约束条件：用于确定一个 Metadata 元素在标准描述中出现的条件。约束条件共有三种情况，即必选项、条件必选项和可选项：

必选项是 Metadata 描述中必须提供的内容，用“M”表示。

条件必选项的选择立足于一定的前提，即当数据集拥有该 Metadata 元素定义的特征时，该元素便成为必选项，必须给出。条件必选项用“C”表示。

可选项数据元素的提供权由数据集生产者决定，它可以被提供，也可以不被提供。该元素主要用于为那些希望自己的数据集能够被详细引用的人们提供一个数据描述的指南，同时，可选项元素的使用也有助于地理空间数据用户和生产者之间的沟通。可选项元素用“O”表示。

最大次数：确定 Metadata 元素在数据集描述中可能出现的最大次数。其中单独出现时用“1”表示，重复出现时则用“N”表示。

数据类型：表示用计算机实现该标准时可以赋给 Metadata 元素的数值类型，比如“integer”表示整型数、“real”表示实型数、“text”表示 ASCII 码字符等。

域值：用于定义可以赋给每个 Metadata 元素的允许值范围，其中数据类型前加“free”单词的表示该元素在取值时没有具体的限制条件，这时任何符合该“类型”条件的值均满足要求，如“free text”表示所修饰元素的取值可以是任何 ASCII 码字符。当然，有

些元素只能部分地给出其取值范围，比如在数据格式转换时，除通用的数据转换格式外，还有许多其他的数据转换格式。因此，为了让数据生产者在这种形式下更好地描述他们自己的数据，在提供有限格式的内容清单之后，加上"free"以表示还有其他的格式。使用时，数据集生产者首先应在已有的清单中选择元素的取值，如果这些值均不符合其需求，便可以产生自己的域值。

标识码：Metadata 元素英文名称的缩写词，用不多于 8 个字母的缩写组成。该标识码具有唯一性，用于在计算机中实现该标准体系时用。

表 11.2 Metadata 元素属性示例

编号	名 称	英文名称	定 义	约束条件	最大次数	数据类型	域 值	标识码
1.4	描述信息	Description	对数据集的描述，包括它的使用目的和限制条件等	M	1	compound		Descript
1.4.1	语言	Language	数据集中使用的语言	M	N	text	free text	Language
1.4.2	摘要	Abstract	对数据集内容的简要总结	M	1	text	free text	Abstract
1.4.3	目的	Purpose	对建立该数据集目的的简要总结	M	1	text	free text	Purpose
1.4.4	补充信息	Supplemental Information	关于数据集的其他描述信息，诸如数据模型等	O	1	text	free text	supplinf

11.4.4 产生规则

产生规则用于表示复合元素与数据元素以及较低层次的复合元素之间的关系，它在 Metadata 中起着很重要的衔接作用。每一产生规则由左边(元素名称)和右边(规则表达式)组成，中间用等号连接，表示左边的术语可以用右边的内容代替或可以产生右边的术语。右边的术语由其他复合元素或数据元素组成。通过这种匹配规则，人们便可以用数据元素表示较高层次的复合元素。为了直观，介绍时用元素属性"编号"的组织层次表示这种组成关系，即上一级编号内容等于下一级编号内容之间的相加。产生规则中所用的符号的含义如表 11.3 所示。产生规则示例如表 11.4 所示。

在表 11.3 和有 11.4 中，圆括号中的内容是可选项，它由数据生产者考虑是否提供。如果生产者决定提供圆括号中的内容，则该生产者就必须遵循元素的产生规则，提供相应的组成元素。比如，当生产者决定提供下面括号中的可选项内容：

$$(a + b + c)$$

时，则该生产者就应当提供 a、b 和 c 的内容。另外，数据生产者只有对圆括号中的内容具有是否提供的选择权。

表 11.3 产生规则符号

符 号	含 义
=	可以由右边代替，产生右边，或由右边内容组成
+	表示由加号左右的元素组成
[|]	选择条件，表示从|分割的内容中选择其一
M{}N	重复关系，表示括号中的内容可以重复 M 到 N 次。当 M 为 1 时，用 N 表示，而当 N 为 1 时，则直接写为 1
( )	可选条件，括号中的内容是可选项

表 11.4 产生规则示例

a = b + c	a 由 b 和 c 组成
a = [b | c]	a 由 b 或 c 组成
a = 4{b}6	a 的组成中 b 可以出现 4 到 6 次
a = b + (c)	a 由 b 和可选项 c 组成

在 Metadata 元素内容表中，为方便起见，对并列选项用下列方式表示：比如当[a|b|c]为必选项，且出现次数为 1 时，a 用[1|]表示，b 用[|1]表示，c 用[|1]表示。依次类推，当出现次数为 m—n，即 m{[a|b|c]}n 时，a 用 m{[1|]}n 表示，b 用 m{[|1]}n 表示，c 用 m[|1]}n 表示。

地理数据的内容是千差万别的，它们的特征也各具特色，因此，不管标准制定者的体系多么完备，它总不可能包罗万象，这样便必须提供 Metadata 扩展元素的方法，即由 Metadata 生产者或用户团体制定的 Metadata 标准内容之外的元素。这种元素虽然未包含在 Metadata 内容中，但它对 Metadata 生产者却是必须的。产生 Metadata 扩展元素时，应遵循产生 Metadata 扩展元素的规则进行。

11.4.5 Metadata 元素概述

按照 Metadata 内容标准的组成方式，把 Metadata 元素分为两个层次。其中第一层次为目录信息，由一个部分组成，编码以 1 开头；第二层次的编码共分为 12 个部分，依次为 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11.12，其中第 1～8 部分是 Metadata 的标准组成部分，第 9～12 部分是 1～8 部分中多次出现的内容，为避免重复，专门列出来介绍。另外，Metadata 标准内容位于层次结构的最上层，为“第 0 部分”。为方便起见，在后面具体介绍时均以其所属部分的编号出现，比如，总体标准内容为第 0 部分，在介绍时便写为“0 Metadata”。

0 Metadata：

Metadata 是关于数据内容、质量、条件和其他特征的数据，它位于整个标准体系的最上段，属于复合元素(compound)，由两个层次组成。

在构成 Metadata 标准内容的两个层次中，第一层目录信息主要用于对数据集信息进

行宏观描述，它适合在国家空间信息交换中心或区域以及全球范围内管理和查询 Metadata 时用。第二层则作为详细或全面描述地理空间信息的 Metadata 标准内容，是数据集生产者在提供数据集时必须要提供的信息。

Metadata 第一层次的信息属于目录信息，它是用于标识和查询一个完整数据集及数据集系列的唯一信息。Metadata 目录信息的主要元素内容来自第二层，但在约束条件上与第二层的对应元素不完全一致。

标准内容部分：

1 标识信息：标识信息是关于数据集的基本信息。通过标识信息数据集生产者可以对有关数据集的基本信息进行详细的描述，诸如描述数据集的名称、作者信息、所采用的语言、数据集环境、专题分类、访问限制等，同时用户也可以根据这些内容对数据集有一个总体的了解。

2 数据质量信息：数据质量信息是对数据集质量进行总体评价的信息。通过这部分内容用户可以获得有关数据集的几何精度和属性精度等方面的信息，也可以知道数据集在逻辑上是否一致以及它的完备性，这是用户对数据集进行判断以及决定数据集是否满足他们需求的主要判断依据。数据集生产者也可以通过这部分内容对数据集质量评价的方法和过程进行详细的描述。

3 数据集继承信息：数据集继承信息是建立该数据集时所涉及的有关事件、参数、数据源等信息，以及负责这些数据集的组织机构信息。通过这部分信息便可以对建立数据集的中间过程有一个详细的描述，比如当一幅数字专题地图的建立经过了航片判读、清绘、扫描、数字地图编辑以及验收等过程时，应对每一过程有一个简要描述，使用户对数据集的建立过程比较清晰，也使数据集每一过程的责任比较清楚。

4 空间数据表示信息：空间数据表示信息是数据集中表示空间信息的方式。它由空间表示类型、矢量空间表示信息、栅格空间表示信息、影像空间表示信息以及传感器波段信息等内容组成，它是决定数据转换以及数据能否在用户计算机平台上运行的必须信息。利用空间数据表示信息，用户便可以在获取该数据集后对它进行各种处理或分析了。

5 空间参照系信息：空间参照系信息是有关数据集中坐标的参考框架以及编码方式的描述，它是反映现实世界与地理数字世界之间关系的通道，诸如地理标识码参照系统、水平坐标系统、垂直坐标系统以及大地模型等。通过空间参照系中的各元素，可以知道地理实体转换成数字对象的过程以及各相关的计算参数，使数字信息成为可以度量和决策的依据。当然，它的逆过程也是成立的，即可以由数字信息反映出现实世界的特征。

6 实体和属性信息：实体和属性信息是关于数据集信息内容的信息，包括实体类型、它们的属性以及属性值域值等方面的信息。通过该部分内容，数据集生产者可以详细地描述数据集中各实体的名称、标识码以及含义等内容，也可以使用户知道各地理要素属性码的名称、含义以及权威来源等。

在实体和属性信息中，数据集生产者可以根据自己数据的特点在详细描述和概括描述之间选择其一，以描述数据集的属性等特征。

7 发行信息：发行信息是关于数据集发行及其获取方法的信息，包括发行部门、

数据资源描述、发行部门责任、订购程序、用户订购过程以及使用数据集的技术要求等内容。通过发行信息，用户可以了解到数据集在何处，怎样获取、获取介质以及获取费用等信息。

8 Metadata参考信息：Metadata参考信息是有关Metadata当前现状及其负责部门的信息，包括Metadata日期信息、联系地址、标准信息、限制条件、安全信息以及Metadata扩展信息等内容，它是当前数据集进行Metadata描述的依据。通过该Metadata描述，用户便可以了解到所使用的描述方法的实时性等信息，加深了对数据集内容的理解。

引用内容部分：

9 引用信息：Metadata引用信息是引用或参考该数据集时所需的简要信息，它自己从不单独使用，而是被标准内容部分的有关元素引用。它主要由标题、作者信息、参考时间、版本等信息组成。

10 时间范围信息：Metadata的时间范围信息是关于有关事件的日期和时间的信息，该部分是标准内容部分的有关元素引用时要用到的信息，它自己不单独使用。

11 联系信息：Metadata的联系信息是同与数据集有关的个人和组织联系时所需的信息，包括联系人的姓名、性别、所属单位等信息。该部分是标准内容部分的有关元素引用时要用到的信息，它自己不单独使用。

12 地址信息：地址信息是同组织或个人通信的地址信息，包括邮政地址、电子邮件地址、电话等信息。该部分是描述有关地址元素的引用信息，它自己不单独使用。

11.5 Metadata的实现

11.5.1 Metadata层次结构

1. Metadata软件需求

数字地球中Metadata标准的主要功能是如何快速地通过网络获取Metadata，并从它所描述的地理空间信息世界中获取所需信息，因此，Metadata的软件实现便是该标准体系研究的重要组成部分。

由于信息化社会中的数据交换涉及到众多的软硬件平台，因此在软件实现上应采取通用的编码方法，使用户能够通过PC机或大中型机的终端沿网络在不同数据管理系统之间交换Metadata、用不同的格式和语言表示Metadata、并可以评价和获取Metadata内容。按照这一需求目的，软件实现者便可以在计算机上实现Metadata标准，使Metadata的输入、查询、返回和表示等成为现实。

2. Metadata软件层次结构

地理信息的复杂性是地理数据与其他数据区别的一个很重要方面，它不仅涉及到三维的真实世界，而且现实世界又是多变的，使我们始终面对的是一个人文与自然交织在一起的复杂巨系统。Metadata所描述的正是这样的一个世界，而数据集系列便是这种复杂

体的具体体现。

传统图纸地图中，对系列地图的分类是比较常见的，并且也容易描述，而在数字空间数据中，由于不同软件对数据集的概念和定义各有千秋，则变得比较复杂。另外，Metadata 在数据集系列中具有继承关系，使许多内容可能在它的各个数据集中是相同的，比如坐标系统、Metadata 参照系等内容。因此，软件设计者应充分考虑这种因素，使 Metadata 元素的输入、更新以及形成的报告或结果更加方便、简单。

数据集系列中的 Metadata 层次按数据系列 Metadata、数据集 Metadata、要素类型和要素实例 Metadata、属性类型和属性实例 Metadata 等几个方面进行描述。其中数据集 Metadata 模块是软件必须具备的内容，其他则为可选模块。

11.5.2 Metadata 软件逻辑模型

1. Metadata 逻辑组成

Metadata 是空间数据基础设施或地学信息高速公路上共享信息资源的“探路石”，因此，为保证能够方便地查询地学信息，任何 Metadata 标准软件系统必须具备 Metadata 的输入、查询以及返回和表示等 4 个方面的功能。图 11.2 所表示的是 Metadata 的基本逻辑模型。

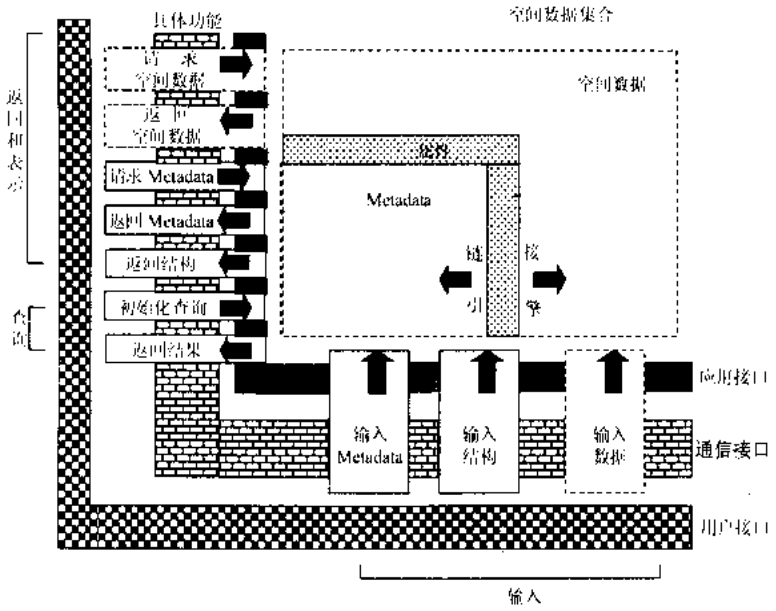


图 11.2 元数据逻辑模型

在这一模型中，中间正方形部分是 Metadata 内容，它与空间数据以及属性之间是通过空间数据引擎链接在一起的，这样便可以保证在数据库更新时，Metadata 内容也随之更新。

空间数据集合和外界是通过应用接口，并经通信接口最后和用户接口连接在一起的。

在这一过程中，客户端和服务器端是在分布式网络环境下发生联系的，并通过图中的许多具体功能模块，实现了空间 Metadata 的功能体系。

2. Metadata 的存储、编码和链接

Metadata 存储管理是标准实现部分要考虑的内容之一，在软件实现上，通常有一般文件和数据库两种管理方式。一般文件存储方式在数据集较少时还可以适应应用需求，但对于大规模数据集，则最好采用数据库的管理方式，以便于 Metadata 的查询。

编码是按照国际标准化组织的 SGML 等语言，使 Metadata 的输入和输出标准化，以支持数据的传输和表示。按照这一标准建立的 Metadata 体系，它的每一输入便可形成一个 SGML 文档实体，便于 Metadata 的管理。

Metadata 和空间数据的链接也是 Metadata 标准软件要考虑的因素之一。通常有三种方式的链接，即离线空间方式、空间数据位于 Metadata 服务器上以及空间数据与 Metadata 不在同一服务器上三种形式。因此，软件实现时，应考虑到这些不同的方式，以采取相应的措施使 Metadata 能够定期更新或实时更新，以使 Metadata 与数据集保持一致。

11.5.3 Metadata 软件功能模块

1. 输入功能

输入功能由输入结构、输入 Metadata 以及输入空间数据三部分组成。其中输入结构是描述 Metadata 在数据库中组织方式的信息，它是客户端解码的依据；输入 Metadata 是 Metadata 元素信息的核心部分，通过该输入界面，数据集生产者便可以充分地描述数据集内容；输入空间数据信息是用于链接空间数据库的依据，这部分内容是可选界面，在数据库处于在线状态时，具有非常重要的意义。当然这些模块应当遵循前面所讲的层次关系，使输入 Metadata 元素时，避免多余的重复。

2. 查询功能

查询功能由初始化查询和返回结果两部分组成。当用户在客户端提交查询内容和算法时，服务器将对该规则进行解译，并按照所需信息返回给客户端，形成返回结果清单。

在软件设计时，查询和返回的清单项目至少应包括 Metadata 标识码、中文标题以及数据集的范围信息（比如东西南北四个边界坐标点）等内容，其中 Metadata 标识码主要用于 Metadata 内容之间的链接，一般不用于显示。

传输协议应采用 TCP/IP 或 OSI 标准，数据的搜索和查询协议采用 ISO 10163:1995 标准（搜索/检索标准）；客户端的查询表格可采用基于 ISO 8879:1985(SGML)的 HTML 等标准。

3. 返回功能

返回功能由请求 Metadata、返回 Metadata、返回结构、请求空间数据、返回空间数据

等内容组成。

当用户发出一个请求时，它便伴随 Metadata 标识码沿客户端传输给服务器，这时服务器便对请求作出响应，并从空间数据集合中寻找合适的信息。一旦满足条件，服务器将按照 ISO 8879:1985 的协议对 Metadata 结果元素进行编码，并按照 ISO 10163:1995 支持的语法结构用 SGML 对该信息进行封装，返回给客户端。客户端接收到结果信息时，通过文档类型声明(DTD)可以将返回信息解译为自己系统支持的显示格式，比如 HTML 格式等。Metadata 的存储结构信息可通过返回结构的方式了解到，它对于系统地了解 Metadata 的组织方式等具有一定的意义。请求空间数据和返回空间数据是用户用于获取空间数据时的操作，通常按照 Metadata 内容中所描述的链接地址，按照统一资源定位器(URL)的规范与数据集进行联系，并返回所需的信息。

这样，按照上述方式，并利用 Metadata 标准软件系统，便可以通过网络完成地理空间信息的输入、查询、返回等操作，实现数字地球对 Metadata 所需的基本功能。

11.5.4 Metadata 软件实现方法

Metadata 的软件实现方法是 Metadata 标准走向实用化的通道，它与计算机技术、通信技术等的发展是密切相关的，诸如数据库系统、网络以及 Web 浏览器等技术。通过这些技术以及前面所提的一些协议，软件人员便可以利用面向对象等技术描述管理 Metadata 体系，利用 Web 等技术设计 Metadata 的查询和返回页面，利用网络技术实现客户/服务器之间的通信等。

当然，随着信息革命的到来，其他一些新的技术也会接踵而来，被用于 Metadata 标准的实现上。因此，本文将不一一列举实现 Metadata 标准软件的具体技术，在使用时，凡是能够满足前面 Metadata 功能要求的技术均可以用于 Metadata 软件设计。本文后面所列举的已实现了的基于国家空间数据基础设施的 Metadata 标准软件模块，是面向对象技术、网络技术以及 Web 技术等的有机结合，是基于分布式网络系统和客户/服务器体系的 Metadata 软件系统。

11.6 Metadata 的研究趋势

伴随电子技术的广泛使用，全球范围内对数字地理信息的需求已越来越大，并且越来越多的地理科学和信息技术学科之外的个人也涉入到这一领域，开始生产、处理和修改数字地理信息；另外，由于数字地理空间数据是通过信息的计算机分析和图形显示方法对现实世界进行建模和描述的，因此受数据的局限性，在利用假定的模型对地理实体作研究时，为了确保信息不被误用，应对影响数据获取的过程通过 Metadata 作详细地描述。这样，不仅可以使数据生产者能够充分描述数据集，用户也能够理解这种假定和限制，并可以估计数据集对他们应用目的的适用性。所以，随着地理空间数据生产者和用户数量的增加，利用 Metadata 来描述数据，将成为数据生产、存储、更新和再利用的必然趋势。

对地理信息 Metadata 的研究，人们最初是持怀疑态度的，因为地理空间信息涉及到地理世界的各个方面，要建立一个统一的标准模式，的确有一定的困难。然而通过人们的

不断探索，目前对 Metadata 已有了一个比较全面地认识，并且也形成了一系列草案。因此，我们现在已处于一个可以比较系统地对 Metadata 进行研究的时代了。

从信息高速公路的提出到全球空间信息基础设施的问世，以及从 Teledisk、第二代 Internet 到数字地球，人类正经历着地学界的另一个文艺复兴。然而，不管这些发展计划多么令人振奋，如果没有标准化技术作为其技术支柱，这一切便会成为泡影。因此，空间数据共享和数据标准化技术便成为地学信息革命首先要解决的难题，而 Metadata 则作为它们的重要方面，成为数字地球研究与应用的核心内容。

第十二章　数字地球的前沿性技术的研究

随着计算机科学和计算技术以及网络技术的迅速发展，信息技术产业界又提出了新的信息技术的发展方向，如数字神经系统(digital nervous system)、网络行为(network action)或网络生活方式(network lifestyle)以及系统进化机制等一系列的新概念，它们和数字地球技术系统有着十分密切的关系。目前，计算机及网络技术、脑神经科学、人工智能等科学技术在理论和方法上虽然都已经取得了较大的成果，但在计算机网络与人脑的神经系统进化作类比研究上尚处在探索阶段。

数字地球是对地球系统数字化的或信息化的表达。地球系统也和生态系统、人类社会系统一样，具有自组织功能，包括自调控、自适应、自发展(进化与遗传)等生命系统的特征。美国专家Harley Hahn曾指出，由信息、计算机、连接物(外设)和人(操作者)共同组成的网络是一个独立的"生命体"，然而又与我们见过的生命体不尽相同。而数字地球是世界上最大的网络和应用系统。

数字地球系统是一个复杂的、开放的巨系统，它是由数据采集系统、计算机处理与存储系统、高速通信信息网络子系统、无数个分布式数据库与Web GIS、ComGIS组成的子系统，以及各种有关设备的子系统和研究、开发与用户等人员子系统等共同组成一个庞大的、复杂的系统，无论从拓扑和信息交互方面，都是与人的脑神经有相似之处的技术系统。它一旦形成网络系统，它就有了"生命"，它就具自组织、自适应和自我调控、自我发展的特征。数据库与WebGIS、ComGIS系统等如同神经元、网络如同神经共同组成了数字地球的神经系统。数字地球系统中的人是整个的神经中枢，信息或数据是在机体中不停流动着的"血液"，网络的节点和负责网络管理的计算机，除了承担发送程序外，还起神经元的作用。

人类的思维(想)过程是这样的：当人脑接受了外部事物的信息后，通过大脑神经中枢的综合、分析、判断即决策后，作出反应。同样，数字地球技术系统与人的思维过程的相似之处是：人通过数字地球系统的网络与WebGIS/ComGIS或从远距离、分布式数据库中获得了信息，在WebGIS/ComGIS的综合、分析及辅助决策下，由人最后作出决策，仍是通过WebGIS/ComGIS来反映，这和人脑的功能相似。

12.1　数字神经系统

数字神经系统就是像人体的神经系统，数字神经系统就是企业把井然有序的信息流动，适时地提供给公司适当的单位。数字神经系统包括数字流程，公司可以借此了解环境，并作出回应，能察觉竞争者的挑战、顾客的需要，然后适时地提出对应措施。

数字神经系统需要软硬件的组合；单纯的电脑网络无法与之相提并论。它能提供精

确、真接和丰富的信息给知识工作者，而这些信息亦增进了知识工作者的洞悉力和彼此的合作。

微软总裁比尔·盖茨指出，在数字时代新的数字基础设施即“电脑-网络”，就像人的神经系统一样，布满全身，传递内部和外部的信息，汇总到神经中枢(大脑)，经分析与决策后，再通过神经系统，传达到全身各个部位作出适当的反应。一个公司、工厂和国家都是如此。数字信息流通是“数字神经系统”的核心，有以下几个步骤：

(1) 通过电子邮件交换信息；

(2) 研究联机在线资料，及时获得信息；

(3) 让知识工人进行高级思维；

(4) 利用数字工具组织虚拟班子；

(5) 把所有书面的东西，变为数字的东西；

(6) 利用数字工具，消除单一工作；

(7) 建立数字反馈圈；

(8) 利用数字系统，及时将客户的抱怨传递到有关部门；

(9) 利用数据通信，重新划分界线；

(10) 将所有商业流程改造成及时的送货服务(如利用 GIS)；

(11) 利用数字传输来结束中间商业角色；

(12) 利用数字设备帮助解决自身的问题。

数字神经系统的主要目的就是利用高速计算机通信网(Internet web)和集成的软件来创造一种新的协作方式，以加快信息的流通和保证准确性，使得参与竞争者可以对市场和客户作出更快捷的反映。他还认为，如今在商业中很多方面都是相似的，一个公司是否成功，取决于他们管理信息的方式。

数字地球的神经系统，就是利用多媒体高速计算机通信网络 GIS-Internet webGIS 和集成的软件及地球数据共同组成的新的协作方式，加快地球信息的快速准确的流通和确保各项决策的正确性。

12.2 网络生活方式

计算机与 Internet 相连接是未来社会的重要的生产和生活工具，人们将利用它来做越来越多的事情。利用它不仅可以获取住处环境的信息，而且还可以用来学习、购物、看病、安排旅行、或作为人们之间的一种前所未有的联系方式，它将成为生活中的必不可少的组成部分，所以称为网络生活方式(web lifestyle)。与网络生活方式类似的概念还有网络工作方式。

网络工作方式是指：人们利用电脑-Internet 进行商务、金融及管理等活动，即电子商务、电子金融、电子政务等，即一切工作可以在网上进行，让网络去跑腿。厂长或经理可以在自己家中，通过电脑-Internet 了解一切，指挥一切。其速度之快和方便程度与亲临其境一样，可以是交互式的，尤其对于工作流程来说，它更为重要，更能显示它的效果。

网络生活方式与网络工作方式可以统称为数字网络行为。它是指人类社会的一切行

为，包括经济行为，都可以通过以 Internet 为基础的超媒体高速计算机网络（即万维网）及其软件的协作进行，确保信息的正确与快速的传输和正确、快速的作出辅助决策。

数字地球的网络行为是指人类社会的大多数行为，包括资源、环境、社会、经济的行为都是通过多媒体高速计算机 GIS 网络及其软件协同进行，确保信息的正确、快速传输和快速正确作出辅助决策。

不论是数字神经系统或网络行为，都与智能体技术有关。多智能体技术是人工智能中为解决复杂智能系统的构造而提出的新的研究分支。一般智能系统是由各个功能模块（如推论模块、知识库模块等）组成。所谓智能体就是给定一组知识的描述以及作用该知识结构上的知识处理操作的有机统一体，具有一定的智能水平，并且有自主性、自适应性等特点。如果用智能体描述一个简单的系统中的个体，多智能体结构即可描述由多个简单系统组成的复杂系统。

地球系统，尤其是数字地球系统是由多个复杂系统组成的开放的复杂巨系统并具有明显的层次结构，因此可用与层次结构的自主性（自组织）自适应模型，具有形态上的一致性的多重多智能体结构来描述。

今后研究的重点应包括：数字地球的神经系统与网络生活方式的概念模式与模型研究；数字地球的神经系统的组成与结构研究；数字地球的网络通信与网络生活方式的服务模式等。

12.3 数字地球的进化机制

进化原理是借鉴自然界的进化原理、去认识与解决其他科学或工程技术问题的理论，在承认自然规律的特殊性的同时，追求它的普遍的指导作用。自然进化是客观存在的机制，尽管这种机制尚不能用已有的数字工具去解释。但进化既是普遍存在的自然现象，也是朴素的哲学原理，也是科学方法。

人们经常于不自觉之中使用进化的思维方式去寻求问题的解答。如当考察针对同一目标的多种方案（方法、设计和算法）时，就采用了进化思维方式，包括：(1) 选择其中的较好方案，(2) 综合这些方案的优点，(3) 基于现有的方案，局部创新提出新方案。显然这种选择的过程与自然进化过程，自然选择-交配-变异的过程，是非常类似的。

不仅进化的思维方式有助于对复杂系统的分析与理解，而且它还可以用计算机进行模拟，因此成为解决复杂问题的有效工具。自然进化是适应过程，优化的行为是从结构的进化中产生的，结构决定功能。生物体在进化过程中面临极其复杂的问题，如混沌、随机、瞬时与非线性等，而生物体在各个结构层次上，如染色体、细胞、器官、个体及群体上都反映出优化的复杂行为。

数字地球是极其复杂的进化系统：不仅地球在不断的变化或进化，人们对地球的认识也是不断进化的。数字地球作为信息系统，其组织结构无疑是复杂的，它也有自适应、自组织和自相似的系统特征，和自变异、自发展和自进化的特征。这种进化的结构，是在一定的过程中产生的。解决复杂的数字地球的方案，或优化的数字地球技术系统的结构，也是逐步完成的，属于进化的过程。数字地球是由无数的、由高速计算机通信网络相连接的、分

布于全球范围的 Web 或 ComGIS 组成的，它们具有多样性的特征，构成了复杂的数字地球群体。它们之间进行了信息的交换、互操作、互运算，不断地进行更新、淘汰和产生新的结构，如同生命群体的进化。

数字地球可以用具有自组织能力的可进化的智能体(GeoAgent)集合的群体来构造，成为一种可进化系统。GeoAgent 作为数字地球的进化的基本单位(个体)。按数字神经系统的观点，从结构来看，数字地球是 GeoAgents 适应性计算机网络；从行为看，数字地球是 GeoAgents 知识发现系统。GeoAgent 是一个虚拟实体，它能满足地球空间数据的存取、分析和表达及进行各种要求的处理，它维护一个虚拟的知识库。GeoAgent 从环境(数据源或其他 GeoAgents)接受新的知识时复制自己作为后代，参与竞争，遵循适者生存的规则。

Intelligent agent(智能主体)一词已在较广泛的领域中使用，在人工智能领域，智能主体通常是指在一定环境下持续自动运行的实体。按照 Lane 的定义，Agent 是一个具有控制问题求解机理的计算单元。1990 年 Yoav Shoham 等人更进一步提出了面向智能主体的程序设计方法(AOP)。通常情况下，一个智能主体应有以下一些特征：

(1) 智能主体由知识状态和知识处理方法两部分组成；

(2) 智能主体的知识状态被割为若干一致的知识单元；

(3) 知识单元是智能主体自身可以改变的部分，知识处理方法是其自身不可改变的部分；

(4) 智能主体以通信的方式与外界环境建立联系。

例如，一个通信智能主体具有如下的结构特征，包括通信管理机、管理控制机、智能主体状态栏和智能主体知识库。一个智能主体的内部行为表现为：通信管理机接受外部环境的信息(来自其他智能主体的消息与请求)，由推理控制机根据这些消息(message)、请求(request)、智能主体的状态，进行分析、理解、推理后，执行相关的动作，形成智能主体的新状态，由此可能引起更进一步的智能主体推理活动(如通知其他智能主体的请求结果，向其他智能主体发出请求，等等)。必须指明的是：智能主体活动行为不是被动的，而是主动进行的，智能主体的推理控制机每隔一个时间片就要检测通信状态和自身的状态，完成一次推理活动。

我们认为，智能主体是一个可以自动执行的程序，并可以感知并适应当前的环境，可移动的智能主体具有在机器之间移动的能力，并可以与服务器和其他智能主体交互。在 GIS 领域，一个智能主体可以接受本机用户例如"在 A 与 B 之间修路"这样近似自然语言(当然不可能完全达到)的请求，于是开始自动在网上搜索，并通过与其他智能主体交互与合作把相关的信息返回给用户。并且自动探测根据本机数据、网络环境、其他智能主体分布等等的变化调整自身的某些行为，例如搜索顺序等。

智能主体可以用于执行信息过滤和自动化任务，在 GUI 界面不适用的情况下在用户目的和计算机功能之间建立有效的桥梁，使界面具有更多直觉和交互功能。

12.4 多维信息网络空间(Cyberspace)

Cyberspace 又称多维信息空间或电脑空间或网络空间,指以计算机技术、现代通信网络技术、虚拟现实技术的综合应用为基础,构造一种人们进行社会交往和交流的新型空间。它是一种人工世界,一种文化、知识和精神交往的虚拟空间。

这个名词是由加拿大科幻小说家威廉·吉布森于 1984 年提出。这词源于维纳的控制论(cybernetics)概念,意指控制(control)和通信(communication)的科学。Howard Rheingold, Perry Barlow 等人进一步作了完善。

科学家预言未来的人们将在 Cyberspace 中生活,生活在信息的海洋中,进行着信息的交流和信息的创造,通过超文本连接方式从一个节点到另一个节点,从一个信息源到另一个信息源之间传输、流通。世界各地的人们在这一全新的 Cyberspace 中漫游,实现相互间的通信、贸易和科教活动。在 Cyberspace 中,形成了一种虚拟社区(virtual communities)的新的社会组织形式。在整个社区中,一切要通过 Internet 进行。

Cyberspace 是一种崭新的人类生活和交往空间——电脑化、网络化、虚拟化、适人化的多维信息空间,为人们提供了新型社会交往的场所,导致人类社会、文化发展中的深刻变化。以全球信息共享为前提,特别是多媒体技术和超文本技术为 Cyber 提供了条件。随着 Cyberspace 的日益扩大,任何人、任何机器、任何手段都不可能容纳整个信息流。

20 世纪 90 年代以来,随《Cyber 文化》等杂志的问世,以 Cyber 为前缀的书也越来越多。国际 Cyberspace 会议每年举行一次,会上甚至还发表了"Cyberspace 独立宣言"等,美国华盛顿大学成立了 Cyberspace 研究所,并得到了美国自然基金会的资助。

Cyber 文化将引导人们健康、合理的物质和文化消费方式,提高资源利用效率和能源的转化率。它将使人们坐在家里工作成为现实,将减少时空资源的浪费,加快信息的交流,是可持续发展的新动力。Geo-Cyberspace 将成为数字地球发展的一个特定形式。

12.5 信息空间(Infosphere)

美国艾森豪威尔世界事务研究所的迈克尔·沃勒霍斯教授于 1997 年 11 月在上海复旦大学美国研究中心首先提出了 Infosphere 这个新词汇,有人将它译作信息空间。infosphere 是 information 和 sphere 的缩写。如同大气圈(atmosphere)、水圈(watersphere)等地球的圈层一样,也可以把 Infosphere 叫作信息圈。

根据迈克尔·沃勒霍斯教授的看法:Infosphere 是指全球所有的通信网络、数据库和信息(系统)的融合,形成一个巨大的、相互关联的、具有不同民族和种族特点的、相互交流的情景,是一个三维空间的信息网络。因此,简单地说,Infosphere 就是指全球信息网络的融合。

Infosphere 将成为人们进行交流活动的新场所。随着 Internet 和电子商务的迅速发展,人类正被引入 Infosphere 的新的世界环境中。目前,Internet 能够把各个网址连接起来,可以进行数据获取、处理及传送 E-mail 等,而 Infosphere 的功能更为强大。

Infosphere 之所以具有这样大的作用，在于它能够将所有知识汇聚在一起，形成一个与我们现实物质世界不同的虚拟世界。它将成为人类生态共同体，给人类带来巨大的利益，使地球村的形成变为可能。

Infosphere 即将成为一个新的全球市场，科技与经济的发展也将促使它更快地发展。预计在不久的将来，大多数的企业将在 Infosphere 中从事各种活动，包括商业活动，同时它将推动社会结构和思想精神的变化，人类的行为和价值观念的变化，即改变了人类的生产和生活方式，甚至思维方法。

但实现 Infosphere 并不容易，问题在于对 Infosphere 的管理，以及政府和企业的作用、税收和法律制度、个人隐私和知识产权、不同价值观与思想文化体系之间的关系、国家主权和国家安全及信息穷国和富国的差距等一系列亟待解决的问题。

地球的信息圈，即地球的电子“皮肤”，是由数亿个智能传感器、微处理器和软件，通过硅网络，如 Internet 编织在一起，形成了一个“人与机器的共同体”。或具有特定功能的地球生态系统或“生命体”。虽然硅网络看上去与大脑没有相似之处，但网络的节点已经开始发挥类似神经元的作用。

第十三章　数字地球的应用前景及展望

数字地球将改变人类社会的生产与生活方式，将产生新的产业，增加就业机会。戈尔在他的报告中[16]指出了数字地球的一些应用前景，包括指导虚拟外交、打击犯罪、保护生物多样性、预测天气变化和增加农业生产等方面。尤其在旅游业方面，他在报告中谈得很多，如巴黎和黄石公园的虚拟旅游等，而且还可以进行几百万年前的历史旅游。数字地球的潜在应用远不止这些，还有如土地利用规划、防灾减灾、普及教育、可持续发展等等。数字地球的应用具有宽广的社会和经济效益。

数字地球的研究对象是带有地理坐标的空间信息。除了资源、环境具有明显的分布坐标以外，经济和社会也应具有空间分布特征。电子商务、电子金融、电子社会似乎与数字地球没有关系，其实这种观点至少是不全面的。例如，人们可以通过网络选择厂家或商场及其需要的货物，但厂家、商场给多个客户送货时，就应该充分利用数字地球技术系统，如路径选择、全球定位系统的导航等。同样，电子金融、电子社会也不能离开数字地球技术。任何数据或信息必须具备三个要素，即属性、时间和空间，缺少其中的任何一个要素，都不是完善的信息。因此，数字地球的信息应用具有广阔的前景。

13.1　数字农业概述

数字农业(digital agriculture)又叫信息农业(information agriculture)、精细农业(precision agriculture 或 farm in inch)、虚拟空间农业(cyberfarm)，是指运用数字地球技术进行的农业，包括多种分辨率的遥感技术(NOAA-AVHRR，1 米分辨率的卫星遥感)、遥测技术(温度、土壤湿度等的遥测技术)、GPS 技术、计算机网络技术、地理信息系统(GIS)技术等；这些技术可用于土壤快速分析、喷灌及自动耕作与收获、保存等生产方面。用空间信息技术把这些农业作业定位到中、小尺度的农田，是在微观尺度上直接与农业生产活动与生产管理相结合的高新技术系统的应用。简单地说，数字农业就是指数字地球技术与现代农业技术综合的农业生产管理技术系统。数字农业是农业现代化、集约化的必由之路。

数字农业既不同于日本等国在 20 世纪 50～60 年代的农业园艺化，也不同于发达国家在 20 世纪 60～70 年代提出的生态农业和绿色革命，也不同于以色列的农业工厂化。它是以大田耕作为基础，以先进高技术为支撑的集约化和信息化的农业技术系统。数字农业是指从耕地、播种、灌溉、施肥、中耕、田间管理、植物保护、产量预测到收获、保存、管理的全部过程实现数字化、网络化和智能化，全部采用遥感、遥测、遥控、计算机、GIS 等先进技术，以实现农业生产的信息驱动、科学经营、知识管理、合理作业，促进以农业增产为目的高技术系统在农业上的应用。数字农业是利用空间和信息技术形成一个包括对农作物、土

地、土壤从宏观到微观的监测、预测、农作物生长、发育状况以及环境要素的现状和动态分析、诊断预测、耕作措施和管理方案的决策支持在内的信息农业技术系统。

1995 年美国地球物理环境公司(GER)提出了地球资源观测系统(earth resource observation system，简称 GEROS)计划，发射小卫星系列，以监测农业过程，对农业提供信息服务。该计划将采用 6 个载有 16 个波段、分辨率为 10 米的高光谱遥感卫星，以获得 3～4 天重复周期的农业信息。该计划通过广域网向农户提供耕作、作物长势、施肥、灌溉、病虫害等信息，以便农户及时采取措施。总部设在波士顿的 TASC/WSI 公司对数字农业十分重视，采用了航空多光谱系统为农场主提供 CD-ROM 为载体的遥感信息，也可以开展网络服务，每亩费用约 20 美分。“资源 21”(Resource 21)是一家从事数字农业的服务公司的名字，计划发射 4 颗农业多光谱卫星，10 米分辨率，首先提供种植状况的征候图，再结合 GIS 技术提出诊断结果图，最后根据决策支持系统制定行动方案图，农场将依据这些方案运用 GIS 与 GPS 作出行动。以密西根环境研究所(ERIM)为代表的国际遥感会议集团还召开了农业和林业应用中的地球空间信息会议(Conference Geo-spatial Information in Agriculture and Forestry)，以数字农业作为会议的核心内容。

数字农业主要包括以下几个方面内容：

(1) 基础数据库建设

· 建立 1∶0.5 万到 1∶1 万的数字地面模型(DTM)，以及道路、水系、村庄、农业机械站及灌溉系统的基础设施的数字化的数据等；

· 以 10 米×10 米，即 100 平方米为单位的土壤厚度、土壤成分、土壤肥力(氮、磷、钾)、有机质等的数据，每年施肥种类及数量的资料；

· 气候要素：以周为单位的平均温度、降雨、风向、风速、冰雹等的数据集；

· 历年的农作物病虫害数据及防治措施的记录；

· 历年种植作物的种类及其产量的数据；

· 历年农业管理措施及效果评估资料。

(2) 监测系统建设

· 遥感监测系统(卫星：AVHRR，10 米，1 米分辨率的监测系统等)；

· 土壤湿度遥测系统。

(3) 预测系统建设

· 气象灾害预报系统；

· 产量评估与预测系统；

· 病虫害监测及预报系统。

(4) 遥控系统建设

· 农业耕作机械遥控系统；

· 农业自动灌溉遥控系统。

(5) 农业调控与指挥系统

· 农业辅助决策系统；

· 农业调控系统。

13.2 数字城市概述

城市是社会经济的中心。国民经济产值(GDP)的80%以上集中在城市。在发达国家中,80%左右的人口集中在城市,我国最近也提出了农村城镇化的倡议,城市化已经成为当前的大趋势。

数字城市(digital city)不仅是信息社会的主要组成部分,而且也是数字地球技术系统的集中表现。戈尔综合了很多教授、专家、企业家及政府管理人员的意见,于1998年9月提出了"数字化舒适社区建设",即数字城市建设的倡议。实际上约在5年前,在一些发达国家中已经开始建设智能大厦(楼)、智能小区和智能城市(数字城市)的实验。新加坡首先提出了建设智能城市或智能国家(数字新加坡)的设想,并正在积极的进行之中。美国和日本等已经分别建成了若干个智能化(数字化)的生活小区的示范区,美国现在约有50个城市正打算建设数字城市,可见数字城市建设正在启动。

数字城市的关键技术除了和数字地球的相同外,还应侧重强调以下几点:

(1) 真三维地理信息系统(3D-GIS)研究。普遍认为3D-GIS是数字城市首先要解决的问题。国际上已经专门成立了3D-GIS研究组织,主要为城市研究服务。德国的Rostock, stuttgart大学等研究机构,在3D-GIS方面已经做了很多工作,并建立了模拟系统,对一些城市进行了研究。

(2) 仿真和虚拟技术或虚拟地理信息系统(VR-GIS)技术已成为公认的数字城市的关键技术。1995年Liggetti等人运用VR-GIS技术制成了大比例尺城市模型,1997年Dodge et al运用VR-GIS技术对城市环境设计和规划进行了研究,同时还对土地污染,大气污染进行了深入的仿真研究。还有一些国家正在进行城市行为仿真技术研究等。

(3) 数字城市的信息模型与体系结构研究如城市建筑设施、交通设施、能源设施、通信设施、服务设施、文化设施和行政管理设施的信息模型及体系结构(包括逻辑及运行)和信息组织与管理研究。

(4) 数字城市的运行管理技术,如通信网络系统及其管理,数据组织及数据转换、决策模型管理、城市信息安全保障机制的研究。

(5) 数字城市的功能系统研究,包括数据交换中心、公用信息平台、专业信息平台等的研究。

数字化城市的内容包括数字化、网络化、智能化与可视化等几个方面。

(1) 城市设施的数字化:在统一的标准与规范基础上,实现设施的数字化,这些设施包括:

- 城市基础设施:建筑设施、管线设施、环境设施;
- 交通设施:地面交通、地下交通、空中交通;
- 金融业:银行、保险、交易所;
- 文教卫生:教育科研、医疗卫生、博物馆、科技馆、运动场、体育馆、名胜古迹;
- 安全保卫:消防、公安、环保;
- 政府管理:各级政府、海关税务、地籍管理与房地产;

· 城市规划与管理：背景数据（地质、地貌、气象，水文及自然灾害等）、城市监测、城市规划。

（2）城市网络化

· 三网连接：电话网、有线电视网与 Internet 三网实现互连互通；

· 通过网络将分散的分布式数据库、信息系统连接起来，建立互操作平台；

· 建立数据仓库与交换中心；

· 数据处理平台；多种数据的融合与立体表达，仿真与虚拟技术；数据共享平台。

（3）城市的智能化

比尔·盖茨提出的数字神经系统与网络生活方式的新构想，其原意是指公司的管理方式，但也适用于城市管理与城市行为方式的智能化研究。例如，电子金融、电子商务等也离不开空间分布概念，如人们可以通过网络对虚拟商场和厂家进行网上购物，但货物还不能直接到顾客手中，还要通过运输手段送货上门。送货就有最佳路径问题，就需要采用城市 GIS 技术。城市智能化方面包括：

· 电子商务：网上贸易、虚拟商场、网上市场管理；

· 电子金融：网上银行、网上股市、网上期货、网上保险；

· 网上教育：虚拟教室、虚拟实验、虚拟图书馆；

· 网上医院：网上健康咨询、网上会诊、网上护理；

· 网上政务：网上会议等。

另外，城市规划的虚拟、城市生态建设或改造虚拟实验等，也属于城市智能化的内容。它们不仅可以提高城市规划或城市生态建设的科学性，同时还能缩短设计时间。

数字城市、信息城市或智能城市是指将城市的部分或大部分的基础设施、功能设施进行数字化，建立数据库，并用计算机高速通信网络相连接，实现网络化管理和调控，并具是高度自动化智能化的技术系统。

通过信息化，城市能够充分和高效地利用信息，使信息快速流动，不仅提高了对城市的管理效率，而且能大幅度提高生产和贸易效益，扩大生产规模，增加财富收入，提高服务质量，促进社会经济发展。

数字城市网络化，还可以节约市中心宝贵的土地资源，减少市中心或商业区的交通拥挤。通过网络办公，既节省了经费，也加快了速度，减少雇员，降低成本，避免交通堵塞。

数字城市还将推动科教兴国和可持续发展的进程。网络化后不仅加快了科教信息的传播，提高了教学与科研水平，有利于实现我国的中长期战略目标。

从数字家庭到数字大厦，到数字小区、数字城市、数字国家并不是科学幻想，而是活生生的现实，是未来的人类社会的发展模式和人类的生存方式。

13.3 数字海洋概述

海洋的覆盖面积约占整个地球表面积的 70%，所以数字海洋是数字地球的十分重要的组成部分。

在海洋研究中，已经广泛采用了数值预报方法，它已有了较好的数字化的基础。自 20

世纪 90 年代以来，国际上已经发射了 15 颗主要用于海洋环境观测的卫星，并开展了业务运行，可提供 70～80%的海洋环境参数，包括海面温度、叶绿素浓度、有效波高、海浪方向谱、海面风场、海面盐度、海冰分布、海流洋流、涡漩、水团及海洋污染、赤潮等。并可构成无缝连续覆盖的、近 10 年的空间和时间相连续的数据，这是过去别的方法，如浮标法等所办不到的。海洋卫星遥感为海洋数字化提供了海量数据集，远远超过了船只和浮标所获得的数据。如 1978 年 Seasat-A 卫星运行 108 天的散射计海面风场资料，已超过 100 年来所积累的常规海面风场数据。

目前在运行中的 ERS-1，2 和 TOPEX/POSEIDON 都装载有卫星测高仪器，已经获得了十分丰富的洋面高度的数据。现在运行的海洋卫星装载有多种传感器，可以获得如合成孔径雷达影像、高度计数据、红外辐射计影像、可见光海面影像等，均可从不同的物理机制上观测到海中不同的物理参数。同时，也提出了多种遥感数据融合处理的技术要求。

数字海洋的主要内容包括：

(1) 海洋数据库建设

· 海洋及海岸带基础数据库：包括海洋地质(岩性、构造)、地貌(深度、海沟、大陆架、堆积扇等)、海底山脉、海底山脊、火山、各种沉积物、石油、天然气资源、铁锰结核等数据；

· 洋面的物理参数如：温度、盐度、叶绿素、海冰动态数据库；有效波高、海浪方向谱、内波参数、海面风场、海洋洋流、涡漩、水团等动态数据库建设；

· 海洋污染如赤潮等数据库、渔场及航道数据库、海洋灾害多发生地区数据库等的建设。

(2) 海洋动态监测与预测系统

· 海洋遥感卫星系统；

· 海标与海岸遥测系统；

· 海洋气象预报系统、风暴潮与海啸预报系统；

· 渔场监测及预报系统；

· El-Nino 的监测和预报系统。

(3) 海洋动态的仿真与虚拟实验

· 风暴潮破坏的仿真与虚拟实验、海啸的仿真实验；

· 海流、涡流的仿真与虚拟实验；

· 海岸带的侵蚀的与堆积过程的虚拟实验。

13.4 地质与地貌过程的仿真、虚拟实验概述

数字地球为地球科学提供了科学计算的强大工具，为解决过去认为无法进行的、时间和空间尺度跨度太大或太小的地质、地理、大气和海洋过程的实验，以及纯理论又无法解决的复杂的自然现象的预测问题提供了可能性。

运用仿真和虚拟技术的方法，尤其是 VR-GIS 的方法，成功地进行了圣安得列斯断层地震、恐龙生态环境以及毛孔虫生态环境的计算机仿真与虚拟实验。采用遥感影像与数字地形模型(DEM)进行融合，产生了圣安得列斯地区的仿真地形模型，再根据断层地震的

动力学模型，逼真地模仿了地震发生的过程。科学家们还运用仿真和虚拟技术，根据野外古生代地层中发现的毛孔虫化石的残片，按古生物技术将其复原，并恢复当时海洋的生态环境，再现毛孔虫生活在古生代的海洋生态环境中的状景。还有侏罗纪时期的恐龙生态环境的仿真，除了科幻艺术影片《侏罗纪公园》外，还有计算机仿真的恐龙生态环境的科教片，生动地描述了恐龙的生态环境。

运用计算机仿真与虚拟技术，还可以根据目前的状况及演变模型，反演大陆漂移、板块运动及各种断层、褶皱等构造运动，和各种造山、造陆运动，包括火山爆发等。

运用计算机仿真与虚拟技术，根据地质地貌的演化模型，可以反演黄土高原的形成与侵蚀演化过程，反演华北平原的形成过程，也可以反演冰川、风沙、海岸侵蚀与堆积过程。

过去用力学方法、水工模型方法、风洞方法做过的实验，都可用计算机仿真与虚拟技术来实现。过去认为没法进行的地质地貌过程实验，运用计算机仿真与虚拟技术也可以实现。

13.5 数字长江概述

数字长江是长江流域的信息基础设施的建设。数字化长江的首要任务是明确目标，即实现长江流域的可持续发展，尤其是长江中下游的可持发展和社会经济的繁荣，为此要进行防洪减灾和生态规划。

1. 长江流域的信息基础设施建设

(1) 数学化与基础数据库建设

① 长江上游地区 1∶10 万的基础地理数据库；长江中游 1∶5 万的基础地理数据库；长江中下游及长江三角洲经济发达区 1∶1 万的基础地理数据库，重点地区可以为 1∶0.5 万的基础地理数据库建设等。

② 建立长江流域的不同比例尺的有关专题数据库，包括资源、环境、经济和社会数据的分布式数据库建设。

(2) 数据采集与处理技术系统建设

① 不同分辨率的、不同频度的不同类型的卫星遥感和遥测技术对长江流域的资源、环境、经济和社会进行监测与更新。

② 运用多种方法和技术，对长江中下游经济发达地区进行更高分辨的、更高频度的监测，以及进行数据更新。

③ 对各种数据进行校正、处理、融合、多维显示、仿真、虚拟和辅助决策系统建设与运行。

2. 长江流域的网络化建设

(1) 在国家光缆网建设的框架下，根据长江流域的需要，规划和进行流域的补充网络建设。

(2) 建设连接分布式 GIS 的 Web GIS、Com GIS 体系框架。

(3) 制订与Open GIS 规范相接轨的，结合自己需要和具有自己特色的系统资源共享规范。

3. 长江流域的智能化建设

(1) 长江洪水灾害的监测和预测系统建设；

(2) 长江防洪调控系统平台建设；

(3) 长江防洪减灾体系及其调控系统建设；

(4) 长江流域的生态环境规划与国土整理规划建设；

(5) 长江流域的可持续发展规划与实施；

① 长江中下游经济带的可持续发展监测与辅助决策支持系统建设；

② 长江流域的可持续发展规划监测系统建设。

(6) 长江流域的数字城市建设；

① 上海、武汉和重庆的数字化建设；

② 苏州、无锡、常州、南京、芜湖的数字化建设。

数字长江的目的就是将以自然为主的长江流域，变成人工可控制的长江流域。使它既减少自然灾害(洪涝灾害)的破坏，也可增强对社会经济危机的防御能力。

13.6 数字地球与可持续发展概述

可持续发展是世界各国公认的行为规范，是我国中长期发展战略目标之一。

可持续发展是指在谋求社会经济的发展过程中，要求达到人口、社会、经济与资源环境相协调发展。社会发展是目的，经济发展是基础，资源与环境可持续利用是必要保障。要达到可持续发展目的必须遵循以下原则：

第一，社会经济的发展过程中对环境带来的破坏强度，不仅不能大于环境容量和环境自组织自恢复的能力，即不能造成污染和破坏，而且要努力改造人类赖以生存的环境。

第二，对非再生资源的消耗速度不能大于可替代资源的开发速度；对可再生资源的消耗速度不能大于可再生速度。

第三，人类对资源与环境的建设速度，至少要等于自然退化的速度，最好要大于自然退化的速度。

第四，人类社会自身的进步速度至少不能小于自身的退化速度，最好要大于退化速度。

科技与教育是可持续发展能力建设的核心。尤其是在知识经济和信息时代，科技与知识将成为社会和经济发展的重要动力。

联合国可持续发展委员会，世界银行可持续发展组织，美国可持续发展总统委员会等都提出了可持续发展指标体系。在此基础上结合我国的特点，提出了如下的评估指标体系：

(1) 社会：人口的数量与质量、尤其是教育水平、科技水平、社会的开放程度与管理水平；

(2) 经济：GNP 的总值、人均值及科技贡献率、产业比率，尤其是信息产业占的比率；

(3) 资源：资源质量与数量包括总储量与人均量、资源的利用水平与管理水平；

(4) 环境：人类生活的适宜程度、保护和管理水平、自然灾害强度与频度、污染与环保水平，在可持续发展评估指标体系的基础上，运用数字地球技术系统建立可持续发展辅助决策系统。

可持续发展与空间信息基础设施建设的关系：

(1) 基础数据库及管理系统：包括人口、资源、社会、经济及基础地理要素数据库，主要是分布式数据库建设；

(2) 建设以 Internet 为基础的 Web GIS，即万维网地理信息系统，实现 Internet 与电话网，有线电视网联网，与分布式数据库联网；

(3) 建设系统资源共享管理系统：包括数据仓库与管理中心、远程互操作、多种数据融合与立体显示、仿真与虚拟等科学计算技术。

可持续发展的监测与评估系统建设：

(1) 资源、环境、经济、社会动态变化的监测系统：包括遥感、遥测、统计及常规方法对可持续发展评估指标体系的数据进行快速动态监测与获取所需数据；

(2) 快速处理、分析、评估及预测系统：对可持续发展评估指标体系的数据进行快速的校正、特征提取、分析及作出评估和预测；

(3) 辅助决策系统：根据可持续发展原理，进行辅助决策，确定应采取的措施等。

数字地球技术系统，不仅可以及时提供可持续发展评估指标体系所需的数据，而且能进行快速的分析，并作出科学的辅助决策方案，是可持续发展的强大的技术支持系统。

13.7 数字地球与资源合理利用概述

数字地球的技术体系在资源合理利用方面有巨大的潜力，可以概括为资源数据的获取、数据的处理、资源数据的传输等方面。

(1) 数字地球技术系统在地球资源数据获取方面，具有以下的特点：

第一，数字地球技术系统具有全球性的特点，它重点是要获取全球数据，包括局部地区的数据在内，因此它具有全面性的特点。

第二，数字地球技术系统具有整体性和综合性的特点。以卫星遥感为主体的技术系统，所获得的数据包括地面的资源、环境、社会和经济的数据在内，具有整体性和综合性的特点。

第三，数字地球技术系统还有详细性的特点：数字地球技术系统特别强调了 1 米分辨率的卫星遥感，地面的房屋、车辆、船舶、桥梁、码头等都清晰可见，地面的资源和环境问题，大部分都能观测到。

第四，数字地球技术系统还具有全天候(雷达遥感)、穿透性(雷达遥感)和超过可见光的可视性(热红外、紫外及微波辐射遥感)，是其他方法所不能取代的。

(2) 数字地球技术系统在数据处理与存取方面，具有以下特点：

第一，数字地球技术系统将采用超大型计算机和分布式数据库及 Metedata 等技术，

所以具有对海量数据的快速存取的功能。

第二，由于采用了多台计算机进行并行处理技术，使得海量数据的快速实时地进行处理和分析成为可能。

第三，由于采用了计算科学，包括多种数据融合、多维显示及仿真、虚拟技术使资源的综合利用与合理利用更加可能。

(3) 数字地球技术系统在数据传输方面具有以下特点：

第一，由于采用高速信息网络，使得复杂的海量资源信息快速(实时、准实时)传输成为可能。

第二，由于 WebGIS、ComGIS 技术平台和 OpenGIS 标准的采用，才能使得分布式数据库和 GIS 实现系统资源(包括数据、软件及硬件)共享成为可能。

综上所述，由于数字地球技术系统采用了高分辨率的卫星遥感技术、高速计算机通信网络技术、WebGIS、Com GIS 技术和 Open GIS 规范及仿真和虚拟技术，对大范围乃至全球的资源数据具有快速、全面和精确的采集、存取、处理及综合分析的功能，为全国乃至全球的资源合理利用创造了条件。能够能全面、准确、实时掌握资源的状况；能对资源情况进行全面、准确和实时的分析；对资源的合理利用进行科学的规划；可以为资源合理利用提出辅助决策方案。

13.8 数字地球与科教兴国

数字地球相关的技术系统的本身是技术创新系列，是科教兴国的组成部分和具体体现。数字地球是遥感、遥测、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、Internet 与 Web，以及包括计算机仿真与虚拟技术等科学计算在内的高新技术的集成与升华，能够产生新的产业，扩大产业规模和增加就业机会，促进社会经济的发展。数字地球与科教兴国的直接应用包括：

(1) 虚拟学校

信息高速公路技术，尤其是数字地球技术创造了一种全新的远程双向教学方式。学生只需坐在家中，就可以得到全世界最好老师的授课与指导，尤其是最先进的教具和影像化的教育方法，有助于学生对课程的理解。这些在经济不发达的地区是不可想象的。教材不再是固定的课本，学生可以和宇航员一起畅游太空，和潜水员一起到海底探险；也可以通过“时间隧道”到几百万年前的历史时期或数亿年前的地质历史中去领略恐龙的生态环境等。使得学生能获得深刻而又全面的认识，不仅对地球科学，包括地质、地理、天文、海洋、气象、环境、旅游专业有帮助，而且对历史、物理、工程、信息科学专业也是有帮助的。美国 NSF 主持了全球校舍计划(Global School House Project)，在 Internet 上建成了第一所开放的 Internet 小学，并正在筹备“全球学校网”。

(2) 全球数字图书馆

图书馆是知识的宝库，对于科教兴国至关重要。数字化的图书馆通过网络连接形成 Internet 上的信息仓库，全球可以共享各种数字化的资料、图片，包括地理的和历史的知识。

(3) 虚拟研究室和实验室

Internet 使分布在不同地点,距离数千公里以外研究人员如在同一个实验室内面对面的讨论和操作同一个研究项目。如美国和加拿大的科学家在各自的实验室中对格陵兰上空的地球物理现象进行了联合研究。以 Internet 为基础的 Web 技术和数字地球技术为知识创新和新技术开发提供了实验基地,为理论研究创造了条件。

(4) 虚拟医院

以 Intenret 为基础的 Web GIS 和数字地球技术系统为虚拟医院也创造了条件,健康咨询、医疗会诊等,在不同程度上都可以在网上进行。

13.9 数字地球的展望——地球信息科学

数字地球是一个全球性的高科技发展战略目标,是一场新的技术革命,它给地球科学提供了知识创新和理论研究的科学条件;为信息科学技术的研究和开发提供了科学试验基地和应用领域,对社会经济和科学技术的发展将起到推动作用。

数字地球是遥感、遥测、地理信息系统、计算机通信网络与仿真虚拟技术的高度综合和升华。数字地球技术系统包括数字化、网络化、智能化和可视化的信息化过程,不仅使我们对赖以生存的星球有了更加全面的深刻的认识,而且还产生了全新的思维方法和工作方式,改变了原有时间和空间的观念,从而产生了新的理论体系和新的学科领域。

由数十所美国大学与研究机构组成的美国国家地理信息与分析中心(NCGIA)于 1995 年给美国自然科学基金会(NSF)提出的关于建立高级地理信息科学研究计划,UCGIS 于 1996 年发表的地理信息科学的优先研究领域,以及 Michael F. Goodchild 于 1997 年发表的"什么是地理信息科学"等文章,都强调了地理信息科学的一系列研究课题日程,标志着地理信息科学的诞生。五年以前,在美国乃至全球范围内,科学家们开展了"地理信息系统:是工具还是科学"的热烈辩论,多数科学家认为地理信息的研究和方法应该是科学。因为它已经由技术发展成为科学,它已经具备了成为科学的条件,如有明确的研究对象和研究手段,有自己的理论体系,有一定数量的研究队伍和有明确的服务对象和应用领域。

地球信息科学作为一门新兴的交叉学科,人们对其认识有多重含义,并出现了许多相类似但又不相同的科学名词,如地球信息技术(geomatics)、地球信息机理(geo-informatics)、地理信息科学(geographic information science)、地球信息科学(geo-information science)等。这些新的科学名词的出现,无不与现代信息技术,如遥感、数字通信网络、地理信息系统等的发展密切相关。

数字地球是在遥感、地理信息系统、计算机通信网络系统、多媒体技术、仿真与虚拟技术的基础上发展起来的,是地球系统科学与信息科学技术的高度的综合的结果,其理论基础是地球信息科学。

地球信息科学研究对象是关于地球系统的信息,包括信息机理、信息结构、信息模型(如 Modeling Earth)以及信息应用等。研究手段包括地球信息技术,如遥感,遥测,地球空间数据库与信息系统、信息及处理技术、计算机高速通信网络、多媒体、仿真与虚拟技术

等，是包括数字化、网络化、智能化和可视化等在内的信息化的过程。数字化是基础，如国家空间的数据基础设施、空间数据仓库与数据交换中心等技术系统等。

地球信息科学的理论体系除了地球信息理论外，还有地球信息的复杂性，地球系统的自组织、自相关、自相似的理论等。地球信息科学的应用价值在于为数字地球战略目标的实施提供理论，产生一系列的数字地球的相关应用，这些应用如数字农业、数字城市、数字区域等，将改变人类社会的生产与生活方式，提高生产效率和扩大生产规模，形成大的产业，增加就业机会，推动社会经济的发展。

地球信息科学将是一门高度综合性的学科。它与地球科学和地理科学的关系是：地球科学和地理科学是它的理论基础。因为地球是它的研究对象，如果对研究对象的基本特征、基本规律不清楚，就很难用数字技术，或信息化技术去研究。它与信息科学技术的关系是：信息科学技术既是它的技术基础，也是它的理论基础。因为数字地球或地球信息科学是研究地球领域的各类信息的，所以信息科学的一般理论不仅是它的理论基础，而且信息技术也是它的技术支撑。所以地球信息科学既是地球科学的分支，也可以是信息科学技术的分支，是边缘学科。

地球信息科学是一门交叉学科，是地球系统科学、信息科学和信息技术等的交叉和融合，以地球系统为研究对象，包括地球系统的物质流、能量流、人流以及信息流的运动方式和规律，是数字地球的基础理论；同时，地球信息科学也是一门应用科学，包括地球信息的认知、地球信息的表示、获取、交流、处理等内容，是数字地球的技术基础，具体如分布式计算、互操作、仿真与虚拟现实等技术方法。地球信息科学的应用研究也将开拓数字地球的应用领域，其应用目标是资源环境、社会经济和科学教育等的可持续发展。

13.10 “中国数字地球”与“数字中国”的问题

我国科学界对数字地球的看法存在着一个争论，即以中国作为研究对象还是以整个地球作为研究对象？所以就产生了“中国数字地球”与“数字中国”问题。我们认为这两个结论都需要。

1. 中国数字地球

中国数字地球是以整个地球为背景，以整个数字地球的技术系统作为研究对象。所谓整个地球是指地球的任何一个部位的、感兴趣的重点地区，实际上并不是全球。整个数字地球的技术系统是指要掌握全球研究的技术能力。一旦需要时，我们具有对地球上任何一个地方进行研究的能力。重点是了解技术发展水平与趋势。

中国数字地球的目的是：一方面要具有研究地球上任何一个地点的能力，另一方面要求掌握别的国家在数字地球研究的目的，技术动态，我们可以采取自卫的对策，所以要进行中国数字地球研究。另外研究灾害天气及地震预报等方面，也需要从全球研究出发，但不必需要1米分辨率的精度。对于低一些分辨力的全球研究我国还是有能力，而且也是需要的。但1米分辨率的每天一次进行全球的研究，既没有必要，也没有财力去做。但是我们应该具备这方面的技术能力。

2. 数字中国

“数字中国”是以中国的数字化或中国的信息化研究作为工作的重点，也就是说应该以解决中国自己的、与社会经济发展密切相关的数字地球问题作为研究的重点，或以数字地球的方法，解决中国最迫切的问题，如数字长江、数字农业、数字城市等。

数字中国是一巨大的信息工程，属国家行为和社会行为，不是一朝一夕就能建成的，需要政府、企业、学校、科研部门共同协作完成。因此，在建设“数字中国”的过程中，必须统一规划，有计划、有步骤地进行，必须通过试点，取得经验后，逐步推广，要遵循科学规律，循序渐进。在制订数字中国研究的框架时，应遵循以下原则：在考虑与国际接轨的同时，要以结合我国国情为主；在考虑到先进性的同时，要以实用为主。

3. 实现中国数字地球的方法

按行业和地区建立分布式数据库和信息系统建设是必要，不仅是由于数据采集和更新的需要，而且也是由于管理和应用的需要。既然数据和信息系统是分布式的，而且要实现共享，因此必须要在统一的标准和规范的基础上，分别建立专业数据库，用网络相连接，实现互操作，实现共享的目的。为此，应采取的步骤是：

(1)中国国家空间数据基础设施(ChinaNSDI)建设：美国的数字地球是在美国国家空间基础设施的基础上建立的。中国的国家空间基础设施应该包括以下三个方面的内容。

① 全国基础地球数据库建设：由国家测绘局负责。现在已经完成了全国1∶100万和1∶25万基础地球数据库建设。马上开始的有1∶5万基础地球数据库建设和7大流域的1∶1万基础地球数据库。这是中国数字地球的基础，各专业数据库应该在此基础上建立。

② 地球数据的标准化、规范化和Metadata建设：该项工作由国家标准化技术监督局负责，责成国家测绘局组织全国有关部门参加共同制订，现在这些工作正在进行中。

③ 建立空间数据交换网络(clearinghouse)。

(2) 中国数字地球试验基地建设：主要负责技术攻关和应用示范工作。根据中国的国情，应该从WebGIS和OpenGIS基础工作做起，尤其是OpenGIS是实现共享的核心技术。然后对1米分辨率卫星遥感数据的快速处理、多分辨率海量数据的存储技术及在宽带网上的传输技术、互操作互运算技术、多维可视化与虚拟实验技术及数据交换中心(clearinghouse)技术等进行攻关。

4. 中国数字地球的作用和意义

数字地球将能推动社会经济的更大的发展，尤其是能使产业获得更大的增长并给社会带来更多的就业机会。不难想象，1米分辨率的卫星遥感影像，而且是全球覆盖和每天都能获得数据，几乎地表的大部分情况都清晰可见，这些影像对于资源调查、环境监测、防灾减灾、城市管理、区域规划、经济研究和社会调查等都将发挥巨大的作用。

数字地球的更重大的意义还在于它提供了地球系统的实验条件。过去地质过程、地理过程、大气过程和海洋过程是很难做实验的，靠模型实现包括水槽、人工降雨、风洞及石膏板的力学试验等的精度是不够的，而且也是不方便的，而仿真虚拟实验则可以进行各种实验，而且是符合物理的(包括力学的)，因此有利于知识创新和进行理论研究，推动地球科学和信息科学的发展。

参考文献

[1] Lance Mckee. Building The GSDI. The OpenGIS Consortium, August, 1996

[2] Advancing Geographic Information Science, A Proposal to NSF by NCGIA, November 22, 1995. http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/InfoSoc/seeC.html

[3] University Consortium for Geographic Information Science: Research Priorities for Geographic Information Science. Cartography and Geographic Information System. 1996,23(3)

[4] Douglass E. Comer, The Internet Book, Prentice Hall ,1995.

[5] 李正男,王钰.信息高速公路.电子工业出版社,1995

[6] 周明天等.Internet 的新发展和 NII/GII 建设.计算机应用,1998,4

[7] 顾冠群.计算机网络发展的回顾与展望.计算机世界,1998,11,30

[8] Executive Order 12906, Published in the April 13, 1994, edition of the Federal Register, Volume 59, Number 71, pp. 17671~17674. Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure.

[9] 承继成,赵永平.空间信息基础设施研究.地球信息科学,北京香山科学会议,1997

[10] 李琦,易善桢,承继成.我国空间信息基础设施规划研究.中国图像图形学报(A 辑),1999,4

[11] 国家科委新技术局等.资源与环境信息系统国家规范研究报告.1984,9

[12] 中国地理信息系统协会第二届年会论文集,1996

[13] 中国地理信息系统协会第三届年会论文集,1997

[14] Federal Geographic Data Committee. Framework: Introduction and Guide, 1997. National Spatial Data Infrastructure. Prepared by Rebecca Somers. Somers-ST. Clatire.

[15] GOIN Implementation Plan. http://www.goin.nasda.go.jp/GOIN/goin_implementation.html.

[16] Al Gore. The Digital Earth: Understanding our planet in the 21th century

[17] Jenser J R, Cowen D C. Remote Sensing of Urban/Suburban Socioeconomic Attributes, Proceedings Land Satellite Information in the Next Decade II: Sources and Applications, Bethesda: American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, CD:19,1997

[18] Jensen J R, Cowen D C. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socioeconomic Attributes. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, in press,1999

[19] 承继成.资源环境信息图谱机理探讨.地理研究,1998,Vol.17

[20] 承继成.地球信息科学基础理论纲要.地球信息科学,北京香山科学会议,1997

[21] 易善桢,胡小猛,朱才斌.空间信息的分布式计算.青年地理学家,10(1),1999

[22] Ted G. Lewis. Where Is Client/Server Software Headed? Computer,1995, 28(4)

[23] 吴泉源,王怀民.银河分布式计算.软件学报,1997,8(10)

[24] OMG CORBA. CORBA : Common Object Request Broker Architecture and Specification,1998

[25] 易善桢,李琦,承继成.数字地球的信息融合框架.中国图像图形学报(A 辑),1999,4

[26] Vi. R G. in Catalog-Main page A catalog of projects hat incorporate the use of Virtual Reality and Geographic Information systems.

http：\\www.casa.cul.ac.uk/virgin/cat/index.htm
[27] Yaser Bisher. Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. INT. J. GIS, 1998,12(4)：299～314
[28] 易善桢，李琦，承继成. 空间信息的共享与互操作，测绘通报(待发表)
[29] 丁俊华等. 软件互操作研究进展. 计算机研究与发展，1998,7
[30] Cliff kottman. Geodata Interoperability：What does it mean for business geography? http://www.opengis.org
[31] Robert Laurini. Spatial multi-database topological continuity and indexing：a step towards seamless GIS data interoperability. INT. J. GIS,1998,12(4)：373～402
[32] 黄裕霞等. GIS 互操作的实现途径. 地理研究，1998
[33] 李琦，崔进川，常维宝. WebGIS 的智能代理系统 IAS. 中国图像图形学报(A 辑)，1999，4
[34] 易善桢，李琦，承继成. 空间信息框架研究. 遥感信息，1999，1
[35] 胡道元. 信息网络系统集成技术. 北京：清华大学出版社，1996
[36] 万博通公司技术部. 网络系统集成实用技术与方案设计指南. 北京：海洋出版社，1999
[37] 蒋景瞳等编. 地理信息世界，北京：国家基础地理信息中心，1995
[38] 陈述彭，曾杉. 地球系统科学与地球信息科学. 地理研究，1996，6
[39] 张梨，林辉等. 互联网时代的地理信息系统. 测绘学报，1998 27(1)
[40] 张洪科. 信息高速公路. 北京：人民邮电出版社，1996
[41] 陈述彭. 地球信息科学与区域可持续发展. In：地理信息系统的发展前沿，林辉主编. 北京：科学出版社，1991
[42] 王之卓. 从一个测绘工作者看 GIS 学科的兴起. In：地理信息系统的发展前沿，林辉主编. 北京：科学出版社，1991
[43] 马遵乃. 论地理科学的发展. 北京大学学报，1996，12
[44] 鲁学军. 地理认知理论与地理专家决策模型研究. 北京大学博士论文，1996
[45] 张士蝶. 认知科学导论. 北京：人民出版社，1992
[46] 陈述彭. 地图学面临的挑战和机遇. 地理学报，1994，49(1)
[47] 蒋景瞳，刘若梅. 我国地理信息标准化问题. 1996
[48] 周成虎. 地理信息系统的透视. 地理学报，1995，50
[49] 唐世渭等. 虚拟地球的空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究. 北京大学信息中心，1998
[50] Henry Tom. The Global Spatial Data Infrastructure. Proceedings of The Geoinformatics Conference of the International Eurasian Academy of Sciences and The Fourth International Workshop on Geographical information system. August 1997. Beijing
[51] Joyce Bischoff. Ted Alexander. Data Warehouse, Practical Advice from the Experts. Prentice Hall Inc. 1997
[52] Cowen D J, Jensen J R. Extraction and Modeling of Urban Attributes Using Remote Sensing Technology. In：People and Pixels：Linking Remote Sensing and Social Science, Washington：National Research Council, National Academy Press, 1998,164～188
[53] ESRI. ESRI Open Strategy White Papers on SDE/CAD Client & Spatial Data Warehousing. 1998, HTTP：//www. Esri/com/base/company/opengis
[54] GEObit'98：Das Data-Warehouse fdie Logistik. Marktmagazin Transport, Verkehr, Logistik. Leipziger Messe GmbH.
[55] KUHN. Open GIS in Eurpoe：The GIPSIE Project. GEObit'98

[56] MOREHOUSE. Implementation of the OGIS Simple Feature Interface. INTEROP'97 Presentation #1-17ppt

[57] OGC. Promoting distributed geoprocessing through cooperative technology development, partnerships and industry consensus. Newsletter of Open-GIS-Consortium, Inc. 1996, Wayland, MA

[58] Kurt Buehler, Lance Mckee . The OpenGIS Guide.1998,6

[59] The OpenGIS Consortium. http://www.opengis.com.

[60] SMALLWORLD: GIS ohne Grenzen-Die Open Server-Strategie-Freie Bahn falle Daten. 1998, GEObit'98

[61] M.F. Goodchild: Future directions for geographic information science. University of California. 1995

[62] FGDC Clearinghouse. http://www.fgdc.gov/clearinghouse/index.html

[63] CEN/TC 287 Metadata. The Geographic Information Draft European Prestandards, http://forum.afnor.fr/afnor/WORK/AFNOR/GPN2/Z13C/PUBLIC

[64] American National Standards Institute (ANSI). Representations of universal time, local time differentials, and United States time zone reference for information interchange (ANSI X3.51-1975). New York; American National Standards Institute,1975

[65] David Danko. The ISO Metadata for Geographic Data. Geographical informatics Conference of the International Eurasian Academy of Sciences and the Fourth International Workshop on Geographic Informational system.Beijing,1997

[66] Deportment of Defense (DoD). Military specification ARC Digitized Raster Graphics (ADRG) (MIL-A-89007). Philadephia,Deportment of Defence, Defense Printing Service Department Office,1990

[67] Deportment of Defense (DoD). Vector Product Format (ADRG)(MIL-STD-600006). Philadephia,Deportment of Defence, Defense Printing Service office,1992

[68] Goodchild M. (1992) Geographic Information science. International Journal of Geographic Information Syetem, 1992,6(1)

[69] OpenGIS topic 11. OpenGIS Abstract Specification -Metadata(version3). http://www.opengis.org/techno/specs.htm.

[70] National Information Infrastructure (NII). http://nii.nist.gov/nii/niiinfo.html

[71] National Spatial Data Infrastructure(NSDI) . http://fgdc.er.usgs.gov/nsdi2.html

[72] ISO/IEC JTC 1 N 4464. First Report for ISO/IEC JTC 1 on Global Information Infrastructure Standardization. ISO /TC 211 document N 372, 1997,01,07

[73] OpenGIS and OGIS Project. ISO/TC 211 WG4 Geospatial services N 026,1996

[74] Frank S J, Goodchild M E, Onsrud H J, Pinto J M. Framework data sets for the NSDI (December 2 draft). National Center for Geographic Information and Analysis, 1994

附录 1

全社会要高度关注“数字地球”

徐冠华
（国家科技部）

“数字地球”是一个很重要的问题，中国科学院对这个问题的关注是长期的，陈述彭院士和王之卓院士很早就对有关地球空间信息数字化问题给予了高度的关注，中科院地学部也做了很多工作，特别是开展地学发展战略的研究，把数据共享的问题提到很高的高度来认识，并且提出一些解决办法。中科院学部主席团和学部联合办公室，都对这件事情给予了大力支持，路甬祥同志也一再表示中国科学院对这件事的高度重视。下面我想谈几点看法：

第一，从国家战略的高度来看“数字地球”问题的必要性和紧迫性。各国的战略计划，如美、俄的登月计划以及长期固定载人空间站计划等，都是从各自的全球战略利益出发考虑和决定的。中国当然需要从我国利益出发，对于这些计划做出必要的反应。有些从我们的需要和可能来讲就不能够做，有些就有必要做出反应。我认为我们对于“数字地球”构想及所支持的地理空间数据基础设施建设等应当做出反应。这是从我国的国家利益来考虑，主要基于几个方面：

1. 国家可持续发展的要求，我国正在面临着越来越尖锐的资源和环境问题。去年水灾引人注目，黄河严重断流的现象引起社会各界的广泛关注；我国耕地面积在减少，荒漠化过程在加剧，诸如所有这些问题，都是非常重要而且亟待解决的问题。但是现在对这些问题往往是个别地做出反应，在某种程度上是头疼医头、脚疼医脚。现在有的部门提出要搞灾害评估系统，有的要搞耕地的监测系统，有的要搞农作物估产系统，但每个系统都有结构和功能的局限性，而且也造成了大量工作重复，浪费了我国有限的人力、财力、物力资源，进一步会影响它的发展。所以必须要从更宏观的角度来考虑这些问题，在这方面，“数字地球”为我们提供了一个新的思路。它一方面立足于支持国家的整体可持续发展，而且和全球变化、资源、环境研究的一体化以及国际经济一体化过程紧密地联系起来。从这个意义上讲，这项工作早晚得做，晚做就会浪费更多的资源，早做可以取得更多的主动，这是一个方面。

2. 国家经济发展的需要。我国先后搞了几个金字工程，这些带金字的工程很多都是和空间数据密切相关，从长远着想在建设过程中应予以充分考虑。据我所知，人类生活中的数据有80%的数据和空间数据有关，所以，全球的、国家的信息系统如果不能提供地理空间有关的信息，这个信息系统一定是不完善的。回过头来看，美国在1993年提出国家信息基础设施建设，在1994年提出了国家空间信息基础设施建议，在1998年又提出“数字地球”的概念有其必然性，是从经济、社会、可持续发展各方面考虑做出的重大战略决策，

所以，我们也应当从战略上对这个问题的必要性和紧迫性有所认识。

第二，关于提出并实现中国“数字地球”计划的可能性。这个问题归根结底是工业化和信息化相关的问题。有的同志认为中国在还没完成工业化时，不能大搞信息化。实质上，这是中国经济能不能在某些领域跨越传统的发展模式、先走一步的问题。我认为从历史的角度看，技术跨越是必要的、可行的，而且往往是落后国家追赶先进国家的必要手段。回忆历史，在工业革命开始时，英国由于很快推广了蒸汽机技术，在很短时间内成为世界第一工业强国和当时的科学技术中心；以后几十年间，德国发展了自己独特的钢铁工业，特别是发展了自己的煤化学和化学合成工业，并且成为主要出口产业，因此到19世纪末叶，德国取代英国成为当时最强的工业国和科学技术中心；以后美国在普及电力和内燃机基础上，赶上其他国家成为世界经济和科学技术中心，并且不断创新，一直保持领先地位。历史提示我们，科技进步是使一个国家从落后赶上发达国家的必要手段。近代和现代，我国已经几次痛失发展时机，信息时代的到来为我们提供了一个追赶发达国家的宝贵机遇，如果再次失掉发展机遇，我们既无法告慰前人，更无法面对子孙。有的同志担心，是不是又想搞大跃进，技术跨越和大跃进在本质上不同。大跃进是低技术水平产业的外延式膨胀，技术跨越集中于技术突破，是局部质变延深到整个经济系统的更新。当然，也不是说中国在所有技术领域都要跨越，而是考虑到我们的需要和可能，在某个领域集中突破。

“数字地球”所涵盖的领域正是面临重大技术突破的领域。目前，为“数字地球”提供信息支撑的对地观测卫星技术已取得重大进展，制造和发射对地观测卫星已不需要巨额投资；小卫星系列可以提供高质量、短周期的数据，而成本只需亿元或数亿元；高速宽带网可以在不大量增加投资的条件下，实时传输多媒体数据。因此，为“数字地球”提供主要支撑信息基础设施已不存在重大技术和经济障碍，只要做好统一规划，集中攻关，促进“数字地球”的发展是完全可能的。

第三，下一步应当采取的措施。

1. 我建议首先要动员社会关注有关“数字地球”的问题。数字地球是涉及国家发展的重大战略问题，须由最高领导做出决策。领导人做出决策的依据是来自于各种渠道的信息，一个渠道是从部门反映上去；另外一个是从社会各界反映上去，包括舆论，宣传媒介，也包括个人渠道。现在看来，社会渠道往往发挥着重要的作用。所以这项工作要取得领导人的理解和支持，必须首先得到社会的理解和支持，这是今后工作很重要的一方面，我有几个具体建议：

(1) 中国科学院可否考虑联合有关单位召开一次“数字地球”研讨会；

(2) 今后在中国召开一次“数字地球”的国际研讨会；

(3) 建立“数字地球”的科学论坛，有关研究所轮流主办。

2. 把“中国数字地球计划”或“数字中国计划”作为国家战略计划提到日程。我所提的提到日程不是现在立项，而这也不仅仅是立项所能解决的问题。这个问题的重要性在它是实施科教兴国战略和可持续发展战略的一项重大基础设施，是信息时代不可缺少的组成部分。它不仅仅是科学研究问题，也是工程问题，还有政策问题，涉及到方方面面。不是科技部或中国科学院能解决的问题，需要国务院做出决策。例如：

(1) 数据的获取。如何从“数字地球”的角度来布局卫星发展计划，需要很好考虑。

(2) 数据共享的问题。现在数据共享不能实现的原因之一是提供数据的部门靠事业费不能维持业务运行，不得不卖数据。这样做的结果是很多单位如高校、研究所因为没有钱而不能使用数据。个别部门因为是独家经营，抬高数据价格。实际上买数据经费渠道都来自于政府，只是拐了一个弯子，从国家转到部门后再转到提供数据的部门。如果下决心把政府的钱直接提供给生产数据的部门，让它们向高校、研究所和其他从事社会公益事业的部门无偿提供数据，一样用国家经费，问题可以解决。这个问题不解决，让其他部门共享数据很困难，所以需要政府来做决策。

(3) 网络建设问题。现在三网合一的问题没有解决，通信网、广播电视网、数字网，国外是这么搞起来的，但中国现在处在目前这种阶段，是不是有必要还要搞几个网并行？需要研究解决。总之，“数字地球”问题应当首先有一个想法，有一个目标，然后采取各种措施来推动，让这个计划尽早提到日程上来，这对于国家经济建设、国家安全和可持续发展都是很有意义的。

(4) 数据库建设。“数字地球”的基础是数据库的建设，从数据的采集、处理、使用，一定要强调规范化、标准化，这是实现数据共享的基础。与此同时，随着国产地理信息系统基础软件的逐步成熟，还要考虑数据获取系统，地理信息系统和全球定位系统软件的国产化和产业化问题。

我们必须清醒地认识到，由于我国在传感器、计算机、通信以及综合国力等方同先进国家存在较大差距，因此，只有发挥自己的优势，不断努力，才能逐步缩小与国际先进水平的差距，为我国的经济建设和社会发展做出贡献。

附录 2

数字地球——21 世纪对我们星球的理解

戈尔
（美国副总统）

一场新的技术革命正在使我们获取、存储、处理和显示信息的方法发生天翻地覆的变化，它使得我们对有关我们所处的星球以及周围环境、文化现象等史无前例的海量数据的处理成为可能，而它们中的大部分信息是有关地球的——即与地表位置有关的信息。

这场地理空间信息浪潮的关键是如何理解信息的内容，即把源数据转变为人们可以理解的信息。在我们所处的这个时代，我们经常会发现我们拥有大量的信息，但不知道如何去利用它们。Landsat（陆地卫星）计划便是一个很好的示例，它的设计初衷是帮助我们理解全球环境。然而，尽管 Landsat 目前已经可以每两周获取一套覆盖全球的卫星相片，并且已拥有了全球二十多年的卫星数据，但不管人们对信息的需求多么迫切，这些存储在电子数据仓库中的影像并未在人们脑海中拥有一席之地。我们过去的农业政策通常是这样的，一边是存储在中西部仓库中的粮食正在腐烂，而与此同时有数百万的人民被饿死。当今，我们同样面临这一问题，一边是对知识的饥渴，另一边却是大量的数据闲置在那里未被使用。

这一现象的原因之一便是信息的显示方法问题。有人曾说如果用计算机术语去描述人的大脑，我们便会发现人脑的比特率较低，但它的分辨率却较高。比如，研究人员很早已经发现我们在短暂记忆中很难记住七位以上的数据，其原因便是人脑的比特率低。另一方面，当每一比特按照可以识别的一定规则连续排列，比如当这些数据代表人的脸部或太空中的星系时，我们却可理解数以十亿比特的信息。

我们目前普遍使用的与数据打交道的工具，诸如 Macintosh 以及 Windows 等操作系统等都不能真正地适应这一挑战。我相信我们需要一个“数字地球”，即对地球的一个多分辨率、三维的显示，可以在其上添加许多与我们所处的星球有关的地学数据。

我们可以设想一个小孩在一个地方博物馆参观数字地球的场景。当她戴上显示头盔时，她便可以看到与从太空中看到的一样的地球。然后，通过数据手套她便可以对所看到的影像进行放大，这样通过越来越高的分辨率她便可以看到各大洲以及不同的地区、国家、城市等内容，甚至最后还可以看到具体的房屋、树木以及其他自然或人造的对象。当她发现这个星球上她感兴趣的地区时，她便可以通过三维地形显示的方式拿起这一地区进行研究。当然，地形仅仅是她可以接触到的许多数据中的一种。通过系统的声音识别能力，她可以听到地球上的各种声音，对地球上的各种植物及动物种类进行重新分配，同时对气候、道路、行政边界以及人口等也可以进行实时模拟与分配。她也可以看到她与地球上其他地区的学生在全球项目中收集到的一些环境信息，这些信息可以通过数字地图或地形

数据无缝地融合在一起。她也可以通过数据手套对所看到的对象进行点击，以便通过超链接看到更详细的信息。同时，比如为了准备一次全家到黄石国家公园的度假，她可以完全设计一个到刚才读到的有喷泉、野牛、洛矶山羊等内容的地方的郊游计划。事实上，她可以从博物馆中通过视觉环境完全看到我们所说的一切。

她不仅可以进行空间上的旅行，而且也可以在时间上进行畅游。当她到法国的凯旋门进行了一次虚拟旅游参观后，她可以倒退一段时间，通过覆盖在数字地球上数字地图、新闻影片、口语故事、报纸以及其他主要的资料来了解法语的历史。她也可以把她感兴趣的资料发回她自己的电子信箱，以便以后阅读。这种时间的伸缩距离可以是几天，也可以是几年、几个世纪甚至是地质年代。由于这些条件，她便可以了解到更多有关恐龙的信息。

很显然，没有任何一个政府组织、企业或学术机构可以从事这一项目。就像 WWW 一样，它需要数十万的个人、公司、大学研究人员以及政府组织共同参与，辛勤劳动才能完成。尽管数字地球的一些数据属于公共的免费数据，但随着从事商业影像数据销售公司的增多以及升值信息服务部门的出现，同样将出现一个巨大的数字数据市场。当然也会出现一个“合作实验室”——即一个没有围墙的实验室，通过该实验室，全球的科学家可以共同探索人类与我们的家园地球的关系。

数字地球所需的技术

尽管这种景象如同科幻小说中描述的一样，但建立数字地球所需的许多技术和能力已经具备或正在发展中。当然，数字地球的能力将随着时间的推移不断地提高。我们在 2005 年的数字地球相对 2020 年的地球而言则显得比较原始。下面是所需的一些技术。

科学计算：在计算机出现之前，产生知识的实验和理论方法一直受到限制。许多实验科学家要研究的现象是非常难观测到的，比如：有些物质太小而有些又太大，有些速度太快而有些又太慢，它们的跨度可以从十亿分之一秒到十亿年。在纯理论领域中，则是另一番景象，人们无法预测复杂自然现象的结果，诸如暴雨或飞机上面的气流等。但随着高速计算机的出现，我们可以模拟一些不能观测到的现象，同时也能够更容易地理解观测到的数据。通过这种渠道，计算科学可以使我们突破实验和理论科学的限制，同时建模和仿真技术也可以使我们对所收集到的有关我们星球的数据进行新的理解。

海量存储：数字地球将需要存储 10^{15} 字节的(quadrillions)信息。今年晚些时候，NASA 的行星地球计划任务每天将产生 1000G 字节的信息。因此，在这个领域将继续有戏剧性的提高。

卫星图像：行政部已授权商业卫星系统在 1998 年早些时候提供 1 米分辨率的图像，这为地图制图提供了足够的精度，实现了先前用航空影像才能达到精度。这项难以置信的精度技术是美国知识界开发出来的，正如一家公司所说：“这好像有一个照相机，可以从伦敦看到巴黎，并知道图景上的每一个目标在一个汽车前灯那么宽的范围内的位置。”

宽带网：一个数字地球所需的数据已不能通过单一的数据库来存储了，而需要由成千上万的不同组织来维护，这意味着参与数字地球的服务器将需要由高速网络来连接。在 Internet 流量爆发性增长的驱动下，远程通信载体已经尝试用 10Gbps 的网络，并且把 terabit (1T＝1000G)技术作为下一代 Internet 技术的雏形目标之一。但这种带宽技术走向我们大多数的家庭还需要一段时间，这就是为什么要在公共地点，诸如儿童博物馆和科

学博物馆设置数字地球访问站点的原因。

互操作：Internet 和 WWW(World Wide Web)之所以成功，是因为它的几个简单而被广泛接受的传输协议，如 Internet 协议。数字地球也需不同层次的互操作，这样可以使由一种应用软件产生的地理信息被另一个软件读取。GIS 产业界正在通过 OpenGIS 协会寻求解决这些问题的方法。

Metadata：Metadata 是"关于数据的数据"，它对于图像或其他地理参考信息是非常有帮助的。通过它可以了解有关数据的名称、位置、作者或来源、日期、数据格式以及分辨率等信息。目前联邦地理数据委员会(FGDC)正在同产业界、各州以及地方政府共同努力来发展有关数据的自愿标准。

当然，要认识数字地球的全部潜力还有待于技术的进一步发展，特别是图像自动解译、多源数据融合以及通过 Web 可以发现和链接地球上特殊地点信息的智能代理等领域。然而已有足够的部件可以保证这一令人激动不已的雏形的发展。

应用潜力

通过广泛和易访问使用的全球地理空间信息，对数字地球的应用将是可能的，所以它的应用潜力只是受我们想象力的限制。我们可以通过看当今 GIS 和传感器的数据的应用来获取这一可能性的感受，它们的应用部分受产业界的推动，部分则来源于处于前沿的公共部门用户的驱动。

指导虚拟外交：为了支持波斯尼亚的和平谈判，五角大楼开发了一个虚拟现实的陆地景观，可以使谈判代表在被提议的边界上作模拟空中旅游。这样在谈判时，当塞比亚总统看见那不太实际的太窄的作为走廊的山脉后，便同意在 Sarajevo 和 Gerazde 的 Muslim 外国领土间有一个更宽的走廊。

打击犯罪：加利福尼亚的盐湖城的有关管理部门，通过 GIS 分析犯罪模式和帮派活动，已减少了该市青年人的持枪犯罪。通过收集犯罪活动的分布和频率信息，城市已可以快速重新配备警力资源了。

保护生物多样性：加利福尼亚地区 Camp Pendelton 的规划部门预测到本地区人口将从 1990 年的 110 万人增长到 2010 年的 160 万人。而该地区有 200 多种动植物被联邦和州政府列为濒临灭绝或稀有的行列，这样通过收集地形、土壤类型、年降雨量、植被、土地利用以及所有权等信息，科学家们模拟出了不同区域增长计划对生物多样性的影响。

预测气候变化：在模拟气候变化上一个重要的未知量是全球森林退化速度，通过分析卫星图像，New Hampshire 大学的研究人员同巴西的合作者一起可以监测土地覆盖的变化，以确定亚马逊地区森林退化的位置和速度，这项技术目前正在向世界其他森林覆盖区推广。

增加农业生产：农场主已开始用卫星图像和全球定位系统来对病虫害作早期监测，并规划杀虫剂、肥料和水的应用，以满足那些最需要的田块，这便被称为精细农业，又叫"Farming by the inch."

未来之路

我们有一个空前无比的机会，可以把关于我们社会和我们星球的原始数据流转换成可理解的信息，这种数据不仅包括地球的高分辨率卫星影像、数字地图，也包括经济、社会

和人口的信息。如果成功的话，它将在教育、未来可持续发展决策、土地利用规划、农业以及危机处理等领域产生广阔的社会和商业效益。数字地球计划允许我们回应人为或自然灾害，或允许我们在我们长期所面临的环境挑战问题上进行合作。

数字地球可以为用户提供导航和搜索地理空间信息的机制，也可以为地理空间信息生产者提供发布其产品的机制。数字地球将包括"用户接口界面"——一个不同分辨率尺度下的地球三维可视化浏览界面，一个快速增长的网络化地理空间信息世界，以及多源信息的集成和显示技术等。

数字地球和 WWW 的比较是有意义的(实际上，它可能建立在几个关键的 Web 和 Internet 标准基础之上)。和 Web 一样，数字地球将伴随技术的进步和信息量的扩大，随时间的推移而不断地发展。它不可能只由一个简单的组织来维持，而是由包括公共可用信息、商业产品以及成千上万个不同组织的共同服务来组成。就像互操作是 Web 技术的关键一样，发现和显示不同格式的数据将是数字地球的基础。

我相信要推动数字地球的发展，首先需要建立一个试验场所，来让政府、产业界以及学术部门共同参与研究。这个实验场所将主要集中研究几个应用问题，诸如教育和环境，以及与互操作相关的技术问题，当然也包括像隐私等政策问题。当原型建立后，它将在国家的不同地方通过高速网络与数字地球连接起来，并通过 Internet 进行更高层次的访问。

很显然，数字地球不可能在一夜之间发生。

首先，我们要集中集成我们已有的不同来源的数据。我们也应该把我们主要的儿童博物馆和科学博物馆连接到高速网络上，如下一代 Internet，使孩子们可以来探索我们的地球，并应鼓励大学的研究者协助地方学校和博物馆通过区域地理空间信息等充实数字地球计划。

其次，我们应该努力开发一个分辨率为 1 米的世界数字地图。

从长远看，我们应该努力使关于我们地球和我们历史的各种数据随手可得。

一个月以前，我要求政府、产业部门、学术界以及非盈利组织来帮助发展一个实现这个策略的计划。通过大家的齐心协力，我们可以解决许多社会最迫切的问题，激发我们的孩子了解他们周围精彩的世界，并促进大型产业的增长。

(赵永平、易善桢译)

附录 3

数字地球执行计划：致戈尔副总统的信

尊敬的副总统先生：

很高兴向您汇报有关实施您数字地球构想的近期工作。这既是政府内外科技工作者的设想，也是正在向美国公众普及的概念——今天在国家航空航天博物馆展示的地球，虽然只是数字地球的缩影，但在此旅游旺季吸引了大量参观者。

七月，航空航天局(NASA)哥达德太空飞行中心召开了由美国十五个政府机构和社团参加的会议，讨论数字地球的进展和规划。我们已认识到多方协调努力是此项目成功的关键。如同 Internet 一样，数字地球不会自顶向下强制建成，而是作为不断成长的网络，通过与研究活动及对数字地球的共识、一套标准、规范联接在一起逐渐形成。这将确保数字地球的不断完善和持续创新。

但是，这不意味着数字地球会自然产生，其体系结构与标准必需通过研究关键问题来制定。海量数据、多源数据带来的复杂性是各个组织必须面对的挑战。这些工作已经开展起来。

航空航天局下属哥达德太空飞行中心正在领导跨机构的讨论组，讨论数字地球的结构设计和实现。喷气实验室正开发用户场景系统作为查询接口以测试该结构反映地球的能力。喷气实验室、Lewis 研究中心和 Marshall 太空研究中心提供了各自科学领域的数据。NOAA、NSF、NIMA、USGS、DARPA 等也在进行这项工作。每个机构都贡献各自在海量数据管理、可视化和分发方面的经验。主要参加者在 1998 年秋至 1999 年春完成专项演示。

我们将同合作机构一起，采取下列步骤：首先，联合提出一个白皮书，说明这些机构的使命如何与数字地球设想相联系。我们将对每个机构作出评估，确定每个机构应具备的能力以及如何发展这一能力。

其次，我们想进行产业与学术规划，并联合 GIS 大会发布系列简报。这在 1998 年 10 月已经开始。计划在春季举行与产业界的会议。

第三，我们计划建立由一个开放组织管理的数字地球联合体，来考虑标准、内容、接口、会议及其有关专题。这一联合体倡导与数字地球演化发展相关的公共议题。

第四，我们正在制订一个机构间的竞争机制，让所有参加者确定准则来选择产业界与学术界针对其目标提交的方案。最后，我们评价各种模式，指导政府机构同产业界和大学联合行动帮助实施这一规划。部署这些活动的会议拟在 1999 年举行。

在航空航天局，我们同兄弟机构与团体一起正积极地实施您关于数字地球的构想。这

是令人激动同时又是现实的途径，将全球最新信息放到全世界学生与决策者手中。我很愿意在您方便的时候与您讨论这一工程。

美国航空航天局局长 Daniel S. Goldin 呈

1998 年 10 月 6 日

（吴少岩译）