目　录

序

前　言

第一章　信息社会与数字地球 ……（1）

§1.1　信息社会的特征 ……（1）

§1.2　信息化与信息基础设施 ……（3）

§1.3　数字地球的基本框架 ……（5）

§1.4　数字地球的研究内容 ……（8）

§1.5　数字地球的作用和意义 ……（9）

第二章　地球系统的信息模型 ……（11）

§2.1　地球系统的动力模型 ……（11）

§2.2　地球系统的信息模型 ……（16）

§2.3　地球空间的认知模型与信息图谱 ……（21）

§2.4　地球空间场的信息特征 ……（29）

§2.5　地球系统的全息信息与记忆信息模型 ……（31）

第三章　地球系统的系统模型 ……（36）

§3.1　地球系统模型 ……（36）

§3.2　地球系统的自组织、自相似与自相关模型 ……（38）

§3.3　地球系统的空间结构与空间功能模型 ……（43）

§3.4　地球系统的人口承载力与可持续发展理论 ……（46）

第四章　地球系统的非线性与复杂性特征 ……（52）

§4.1　地球系统的非线性特征 ……（52）

§4.2　地球系统的协同、突变与混沌理论 ……（53）

§4.3　地球系统的复杂性特征 ……（56）

第五章　数字地球技术系统概述 ……（60）

§5.1　数字地球的基本概念 ……（60）

§5.2　数字地球产生的背景 ……（61）

§5.3　数字地球技术系统的基本框架 ……（63）

第六章　国家信息基础设施 ……（65）

§6.1　国家信息基础设施的由来 ……（65）

§6.2　互联网(Internet)与万维网(Web) ……（66）

§6.3　下一代互联网(NGI) ……（69）

§6.4　互联网的新进展 ……（70）

§6.5　中国的国家信息基础设施(China NII) ……（72）

第七章　国家空间数据基础设施 …… (74)
§7.1　国家空间数据基础设施的基本概念 …… (74)
§7.2　国家空间数据基础设施的标准与规范 …… (81)
第八章　地球观测系统与全球观测信息网络 …… (85)
§8.1　地球观测系统(EOS) …… (85)
§8.2　全球观测信息网络(GOIN) …… (90)
§8.3　世界数据中心网络(NWDC) …… (99)
第九章　地球空间数据共享标准规范与技术安全 …… (101)
§9.1　地理信息标准化的形成 …… (101)
§9.2　技术标准 …… (104)
§9.3　系统安全标准 …… (105)
§9.4　地理空间位置精度标准简介 …… (106)
§9.5　空间数据转换标准(SDTS)简介 …… (107)
第十章　数字地球空间数据的 Metadata …… (111)
§10.1　Metadata 的发展背景 …… (111)
§10.2　Metadata 的标准现状 …… (113)
§10.3　Metadata 的理论基础 …… (115)
§10.4　Metadata 的标准体系结构与研究趋势 …… (120)
§10.5　Metadata 的实现 …… (127)
第十一章　数字地球核心技术综述 …… (132)
第十二章　高分辨率卫星数据的获取与海量数据的存取技术 …… (135)
§12.1　高分辨率卫星遥感概况 …… (135)
§12.2　卫星遥感数据的智能化获取技术 …… (138)
§12.3　海量数据的快速处理技术 …… (138)
§12.4　卫星遥感数据的智能化存取技术 …… (139)
§12.5　多媒体海量数据压缩与复原技术 …… (140)
第十三章　网络数据库与分布式计算技术 …… (142)
§13.1　超媒体与分布式空间信息系统技术 …… (142)
§13.2　地球信息的分布式计算 …… (144)
第十四章　空间数据仓库与数据挖掘 …… (151)
§14.1　空间数据仓库 …… (151)
§14.2　空间数据交换中心 …… (155)
§14.3　地学空间数据引擎和联机分析技术 …… (156)
§14.4　空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究 …… (158)
第十五章　多种数据融合与仿真－虚拟技术 …… (162)
§15.1　数字地球无级比例尺数据管理技术 …… (162)
§15.2　多种数据的融合技术 …… (166)
§15.3　数字地球的虚拟与仿真技术 …… (170)

§15.4 虚拟技术的地学应用及实例 …… (173)
第十六章 虚拟地球系统模型 …… (178)
§16.1 已有基础 …… (178)
§16.2 虚拟地球系统的关键理论 …… (178)
§16.3 虚拟地球系统模型 …… (179)
§16.4 小结 …… (181)
第十七章 开放地理信息系统与互操作技术(Open GIS) …… (182)
§17.1 地理信息系统的互操作 …… (182)
§17.2 Open GIS …… (186)
§17.3 小结 …… (191)
第十八章 数字地球的前沿技术 …… (193)
§18.1 数字神经系统 …… (193)
§18.2 网络生活方式 …… (195)
§18.3 数字地球的进化机制研究 …… (196)
§18.4 地学智能体技术 …… (197)
§18.5 多维信息网络空间简介 …… (199)
§18.6 信息空间(Infosphere)——地球信息圈层 …… (200)
第十九章 数字地球的应用前景 …… (202)
§19.1 数字地球应用综述 …… (202)
§19.2 中国数字地球 …… (204)
§19.3 数字中国 …… (204)
第二十章 数字地球应用示范 …… (206)
§20.1 数字农业 …… (206)
§20.2 数字交通 …… (210)
§20.3 数字长江 …… (214)
§20.4 数字海洋 …… (219)
§20.5 数字城市 …… (222)
§20.6 虚拟学校 …… (224)
§20.7 数字海南 …… (229)
参考文献 …… (236)
附录 数字地球国内外网站 …… (244)

第一章　信息社会与数字地球

§1.1　信息社会的特征

1.1.1　人类社会的发展阶段

虽然早在170万年前就出现了中国"元谋人",一种最早、最原始的人类,但是人类社会一般被认为是从距今约100万年前开始的。它经历了漫长的采集—渔猎社会、农业社会、工业社会到现在的信息社会的发展阶段。其间人类社会取得了巨大的进步,生产和生活方式发生了根本性的变化(表1.1)。

表1.1　人类社会的发展阶段

社会性质	采集-渔猎社会	农业社会	工业社会	信息社会
大约起至时间(年)	公元前1000000~8000	公元前8000年至公元1780年	公元1781~1950年(瓦特蒸汽机出现)	公元1950年以后
大约经历时间(年)	992 000(约100万)*	9 700(约1万年)	220或250(李京文)	
占人类历史时间(%)	98%	1%	0.22%	
主要生产工具	棍棒、石器	青铜器-铁器	机器	知识与技术
主要生产资料与生产力	自然动植物,劳力	耕地、劳力	生产资料(机器,厂房,原料等)资金劳力	知识与技术,尤其是信息技术
知识贡献率(%)	3~5	10~15	20~30	60~80
从事第一、二产业的人数占总人数的比(%)	99	70~80	50~60	25~30

*周载(1999.1):8~10万年

在采集与渔猎社会中,人类主要依靠自然植物资源和动物资源的多少而生活,使用的生产工具主要是棍棒和石器;靠劳动力获得的食品,每个人只能养活自己和小孩。其生产方式简单,运用知识很少。该社会可能占了人类历史的98%以上的时间,社会发展十分缓慢。

在农业社会中,人类的生产主要靠土地资源和劳动力,运用的工具开始还是青铜器,后来主要是简单的铁器工具。人们过着"日出而作,日落而息"的朴素生活方式,在生产中已运用一些农事历的知识和较简单的生产知识;生产力有了一定的发展,一个劳动力除了养活自己外还能养活其他个人。它包括了奴隶社会与封建社会,该社会时段约占人类社会历史的1%时间。

在工业社会中,由于17世纪蒸汽机、18世纪电动机的出现,生产力有了飞跃,生产主

要依靠生产资料(机器、厂房、原料、能源)、劳动力和资金。每个劳动力一般可以养活 10~20 个人,生活得到很大的改善。该阶段只占人类社会历史的 0.35%。

到了信息社会,生产力的发展,不再仅依赖自然资源或生产资料(原材料、机器)、劳动力和资金,而主要依靠技术和知识。其中尤是信息技术,已经成为该社会经济发展的主体。在 GNP 或 GDP 产值中,知识和技术的贡献率可以达到 50%以上,对于发达国家或有些行业来说,甚至可达到 70%~80%;知识或科技给予自然资源或生产资料的附加值将越来越大。

美国密苏里大学的埃尔登·科尔与密苏里州农场管理局的丹·卡西迪指出:1930 年,一个美国农民生产的粮食足够提供 9.8 个人所需的食物,而到 1988 年,这个数字已增加到 128 人。这个数字在未来若干年中还会进一步增加,而这完全是由知识和科技的作用造成的。

又如,以制造计算机的核心部分芯片的硅为例,知识增值的作用是十分明显的:

材料的名称	知识的增值量
原始石英砂粒	10^0
经加工后的工业硅	5×10^2
经加工后的多晶硅	2×10^3
经加工后的激光硅片	4×10^4
加工电路硅片	8×10^5
电路芯片	4×10^6
成品电路	1×10^7

可见原始石英砂,经过知识加工后,它的增值是非常大的(汪成为,1998)。

1.1.2 信息社会的概况

当前人类社会正迈步进入信息时代(Information Era),信息时代的人类社会可以称为信息社会(Information Society)。在信息社会中,信息或知识、技术将成为社会发展的动力和经济发展的基础。美国 MIT 的多媒体实验室主任 Nicholas Negroponte (1995)指出,信息社会的基本要素不是原子而是比特。比特作为信息的 DNA,正迅速取代原子而成为人类社会的基本要素,"信息高速公路的普及"和"瞬息万变"是信息社会的标志。

1991 年美国政府智囊团首先提出了"信息社会"的概念。1992 年,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中间试验计划,并首次确定了"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"信息社会和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 个国家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及国际间的合作问题。会上通过了全球 Internet 的建设计划、全球环境与资源管理计划、全球紧急情况(如特大自然灾害)管理计划、全球卫星计划(包括遥感卫星)和海洋信息社会建设等重大项目。

我国对信息社会建设一向非常重视。早在1984年，邓小平在给国家信息中心成立时的题词中就指出："发展信息产业，服务四化建设"。江泽民也很早就指出"四个现代化，哪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"，精确地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》，于是我国的信息社会建设正式启动。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"的号召。邹家华指出："实现国家信息化，要求坚持统筹规划，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年初形成一定规模和比较完整的国家信息系统(即国家信息基础设施，NII)"，并指出要把信息资源的开发和利用作为信息化的核心。

1.1.3 信息社会的任务

国务院在深圳召开的"全国信息工作会议"，会上通过了8项国家信息化，或信息社会建设任务：

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，要抓好宏观经济决策及工农业生产、科技、教育和社会生活等领域的信息资源开发。

第二，加强国家信息网络的建设和管理。

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、软件和系统集成及信息服务业的发展。

第四，集中力量加快"金"字工程建设(金关、金卡和金税等)。

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新领域。

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，提高广大劳动力的信息化技术，增强信息化意识。

第七，加快发展双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，抓紧制定信息社会的内涵与特征。

§1.2 信息化与信息基础设施

1.2.1 信息化与数字化

信息化(Informatization)是指以计算机与通信网络为主体的数字化、网络化、智能化和可视化为主体的全部过程。而数字化是基础，只有通过数字化后才能运用计算机操作和在网络上运行，智能化与可视化才能实现，所以数字化是信息化的核心内容。数字是信息的载体，信息依附于数字而存在。

信息时代(Information Era),又叫数字时代(Digital Era)。在信息时代,数字化技术得到了充分的发展,它几乎遍及每个领域。从数字世界(Digital World)、数字经济(Digital Economy)、数字社会(Digital Society)、数字生存(Digital Being)到数字电视(Digital TV)和数字相机(Digital Photograph)都浸透了数字化技术。

随着信息时代的到来和信息社会的建设全面发展,出现了一个十分重要的新概念或新领域,即知识经济(Knowledge Economy)或知识经济社会(Knowledge Economy Society)。这个知识经济又时称为信息经济(Information Economy)或数字经济(Digital Economy)。可见信息和数字是密切相关的,有时是等同的。下面再来看一下知识经济或数字经济的内容,就不难理解信息与数字几乎是等同的。现在以 Don Tapscitt(1995)著的《数字经济》一书为例,它的内容为:

- 网络化的信息时代;
- 新经济的 12 个主题:知识化、数字化、虚拟化、集成/网络化等;
- 基于 Internet 的商务,即电子商务;
- 技术创新;
- 基于 Internet 的商务至行动;
- 基于 Internet 的行政管理,即电子政务;
- 让 Internet 去代劳;
- 学习数字经济;
- 新的媒体工业;
- 领会基于网络的商务;
- 数字经济的机密;
- 商务的新职责。

从以上《数字经济》一书的内容中很容易发现,信息的内容占据相当大的部分,其中很多是信息技术的应用,所以信息化与数字化是密不可分的。

国家信息化的主要特征是信息基础设施,即信息高速公路建,包括:数字经济、数字化生存、网络(电子)商务、网络(电子)政务、网络(电子)社会。网络连结千家万户,生活和工作的各个部分可以在网上进行。网络冲破了区域和国家的限制。现代通信与现代交通技术将全球一体化,形成了"地球村"。

数字地球实际上是指信息化的地球。有人主张数字地球称为虚拟地球,而虚拟技术是信息技术的重要组成部分,因此也等于信息化的地球。数字化是属于信息化的一个部分。信息化的内容虽然大于数字化,但数字化是其基础部分。

1.2.2 信息基础设施

信息社会是以信息基础设施(Information Infrastructure)作为主要内容组成的。一般来说,信息高速公路看作为信息社会的主要标志。而数字地球又看作为继信息高速公路之后的,又一主要国家级的、乃至是世界级的信息基础设施。信息高速公路一般包括由宽带网组成的互联网(Internet)与万维网(Web)的高速、大容量、高保真的计算机网络系统,

即国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII)和以其为基础的、专门传输具有空间特征的、多分辨率的,并符合一定标准与规范的和能够实现共享的,即国家空间数据基础设施(National Spatial Data Infrastructure, NSDI)。前者,即 NII 称为一般信息高速公路,而后者,即 NSDI 称为地学信息高速公路,两者共同组成信息基础设施。

信息基础设施并没有明确的定义,但它应该包括信息获取、处理、分析、存贮、传输及共享的标准、规范、法规及管理等在内的全部硬件和软件,甚至科技人员在内。但本书所讨论的范围,只限于和地球有关的信息获取、处理、分析、存贮、传输和共享硬件和软件。

由于对信息基础设施的理解不同,它可以划分为两个类型:

第一,狭义的国家信息基础设施:仅包括国家信息基础设施(NII)、国家空间信息基础设施(NSDI)及数字地球(Digital Earth)在内。

第二,广义的国家信息基础设施,除了上述以外,还应包括:地球观测系统(Earth Observation System, EOS),因为它是数据获取与数据更新的主要手段。还有地球观测信息网络(Globe Observation Information Network, GOIN)在内,因为它们也是地球数据获取与传输的基础设施,并且都有一定的规模。

我们主张采用广义的国家信息基础设施的概念。

1.2.3 数字地球信息基础设施

数字地球之所以是继信息高速公路(NII&NSDI)之后的又一信息基础设施,它不仅是国家信息基础设施(NII)与国家空间数据基础设施(NSDI)的高度的综合,而且还应该是地球观测系统(EOS)和地球观测信息网络(GOIN)的高度的综合。国家空间数据基础设施(NSDI)和数字地球基础设施(Digital Earth Infrastructure)关系最密切。国家空间数据基础设施集中解决了地球空间数据共享问题,而数字地球基础设施主要解决分布式数据库的远程数据互操作、数据融合与动态立体显示、数据和知识挖掘及仿真与虚拟实践问题,重点是为地球科学的知识创新和理论深化研究创造实验条件,为信息科学技术的研究和开发提供试验基地(Test Bed)。

§1.3 数字地球的基本框架

1.3.1 数字地球的特征与性质

数字地球不仅是科技发展的战略目标,而且还是全新的学科领域。

数字地球的学科性质:数字地球是由地球系统科学与信息科学技术高度综合的学科,是位于两者之间之边缘学科。

数字地球的研究对象:是与地球有关的信息理论、信息技术及信息应用模型。

数字地球的研究方法:侧重运用现代信息技术,包括遥感、遥测、数据库和信息系统、宽带网及仿真与虚拟技术的综合,包括信息化的全部过程。

数字地球的特色:为地球科学的知识创新与理论深化研究开创了实践条件,是信息

科学技术的研究和开发提供科学试验基地。

数字地球的服务对象：为全球、全国、城市、区域、资源、环境、社会、经济、减灾、可持续发展、科技与教育、行政及管理等开展全面性的服务。

数字地球领域现已有一定规模的研究队伍和研究机构。

根据以上情况，不难看出数字地球已经具备了形成新学科的全部条件，符合新学科产生的要求，所以有充足的理由认为它是新生的学科。

1.3.2 数字地球的基本框架

数字地球作为一门新的学科分支，它由三个部分组成：基础理论、技术体系和应用领域。前面所提到的数字地球基础设施，属技术体系或技术系统。它们三者的关系，可以用图 1.1 和图 1.2 表示。

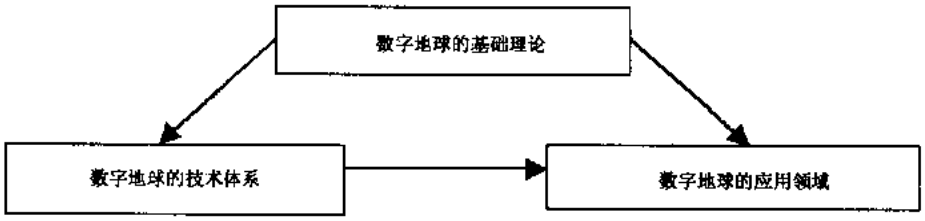

图 1.1 数字地球的框架结构

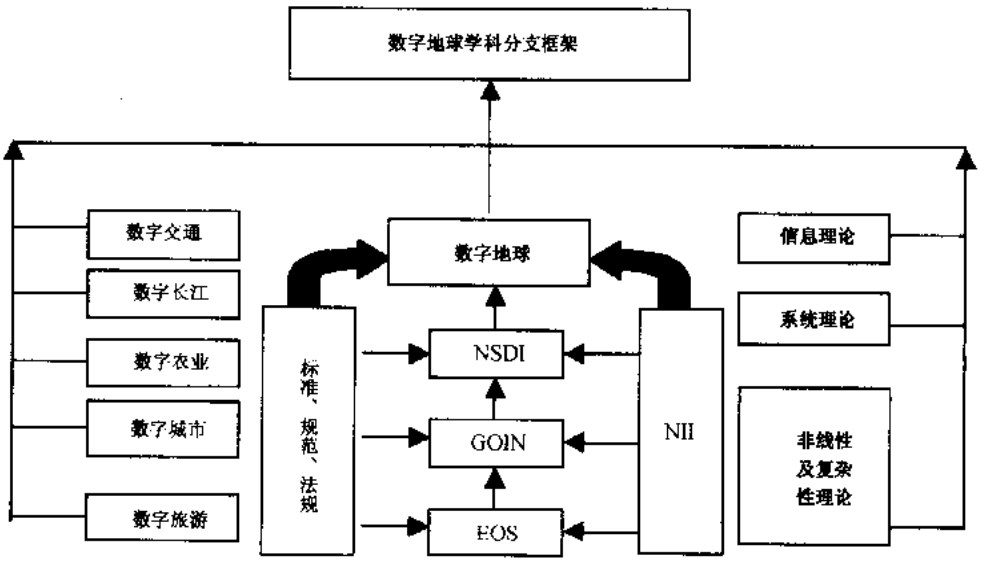

图 1.2 数字地球学科分支框架

表 1.2　数字地球基本体系结构

数字地球	基础(理论)研究		• 地球系统的信息理论 • 地球系统的系统理论 • 地球系统的非线性与复杂性特征
	技术系统	基础设施	• 国家信息基础设施(NII) ——信息高速公路 • 国家空间信息基础设施(NSDI) ——地学信息高速公路 • 对地观测系统(EOS) • 全球观测信息网络(GOIN) • METADATA • 标准与规范、法规 • 系统安全
		核心技术	• 空间数据智能获取 • 海量数据的存取技术 • 网络数据库、信息系统及分布式计算技术 • 数据仓库、交换中心及知识挖掘 • 多种数据融合与立体表达 • 仿真与虚拟技术 • 虚拟地球系统模型 • Open GIS 标准与互操作技术
		前沿技术	• 数字地球的数字神经系统 • 数字地球的网络生活方式 • 数字地球的进化机制与地学智能体 • Cyberspace • Infosphere • Modeling Earth
	应用示范		• 中国数字地球 • 数字中国 • 应用示范 ——数字农业 ——数字交通 ——数字海洋 ——数字虚拟学校 ——数字城市 ——数字长江 ——数字海南

1.3.3　数字地球的理论综述

1. 基础理论的必要性

关于基础理论的作用和重大意义，已经有很多论述。关于数字地球的基础理论研究，主要有以下三个方面的作用和意义：

第一，对模型的研究具有指导作用，因为建立模型的过程中要以基础理论为依据；尤其是预测模型是建立在基础理论上的。

第二，对技术开发也有指导作用，如果不知探测对象的基本规律，很难进行技术开

发。基础研究为技术开发提供后劲和潜力。

第三,对于应用来说,基础理论研究尤为重要,它能使应用获得最大效果。

2. 基础理论研究的内容

根据数字地球情况,选择以下三方面的基础理论研究是合适的:

- 地球信息的特征;
- 地球空间系统特征;
- 地球系统的非线性与复杂性特征。

因为这三个方面是密切相关的,是符合以信息作为主线的。系统离不开信息,非线性与复杂特征也是通过信息来表达的,是信息的一种特殊形式。

1.3.4 数字地球的技术系统综述

数字地球技术系统包括数据获取技术,以多种分辨率的卫星遥感为主;数据传输技术,以宽带光纤和宽带卫星通信网为主;数据存贮与管理技术,以分布式数据库及共享技术为主,包括互操作和标准、规范和法规等;数据应用技术,以仿真与虚拟技术为主,包括为应用目的服务的实验和试验。其技术系统的特点有:

第一,速度快、精度高和实现共享;

第二,从局部扩大到全球范围,即全球化;

第三,包括资源、环境、经济、社会、人口等各种数据以地球坐标进行组织和整合,提高了数据的应用水平与价值。

1.3.5 数字地球应用领域综述

数字地球技术系统的应用领域,既可以应用于局部地域(local)、地区(area)及全球(global)范围,也可以应用于不同行业与专业,如农业、林业、牧业、渔业、交通、建筑、矿业、工业、城市、环境、减灾等。

§1.4 数字地球的研究内容

数字地球是以地球作为研究对象,以计算机为主体的技术系统。它不仅以地球表层自然的或人工的物体和过程的信息作为研究的主要对象,而且还把上至电离层,下至莫霍面的物质和能量的信息也包括在内。因为如要解决天气预报及地震预报的话,仅研究地球表面或近地球表面是不够的,必须扩大范围。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或过程的信息外,它还把整个地球的信息作为研究对象,这就增加了研究工作的复杂性和难度。

就以整个地球的形状来说,它实际上并不是一个均匀的椭球体,而是一个难以形容的有点像梨子的形状,南半球略大、北半球略小。就以洋面的形状来说,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水平面高出100多米，而冰岛附近洋面比平均要低65米，这是由于地壳厚度不均所引起的重力作的差异所造成的。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现象和板块漂移、地壳升降，以及气候、植物等处在不断的变化状态之中，所以马宗晋院士称数字地球是活的地球、动态的地球。

大气存在着圈层，各圈层在全球范围内的分布（密度与厚度）也是不均匀的，而且也是动态的。从地球表面以下也有若干圈层，它们在全球的分布同样是不均匀的，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就与原来的有所区别，甚至有很大差别。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；而在数字地球除同一平面外，还是多层的、立体的，范围大一些的，则还有球面的和放射状的锥形体。如在同一经纬度坐标条件下，上层的面积大于下层的面积，所以其数据库结构有它的特殊性。

§1.5 数字地球的作用和意义

根据Al Gore的报告称：数字地球将给“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，也包括经济、社会和人口的信息。如果成功的话，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很大的社会和商业效益。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和长期面临的环境问题方面进行合作。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。他还列举了在指导虚拟外交、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方面的例子。

数字地球计划还将提供1米，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，甚至保证每天可获得一次数据。为了要达到这个目标，美国准备发射多个低轨卫星覆盖全球。这样的高分辨率卫星，将使地上的房子、车子、船舶、树木、甚至街上的行人、商店招牌都清晰可见，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。全球的资源、环境、社会、经济的分布、变化都可以掌握，可见其意义之重大。正是“谁掌握了信息，谁就掌握了主动权，谁就可能获得胜利”。

数字地球系统将改变人类社会的生产和生活方式。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（银行、保险、股票及期货和海关、税务）等；数字社会包括：电子政务、电子公安、电子法院等；此外，还有数字区域、数字城市等，这均将会大大促使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。

对于信息科学，包括计算机科学和通信科学来说，数字地球如果能够解决非常复杂的地球各领域的信息化问题，那么信息科学不可能再会遇到什么难题了。如有则也许还

有生命科学问题。因此，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，它正在使我们能够获取、存贮、处理和显示信息的方式发生天翻地覆的变化，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。”数字地球还为地球科学提供了“科学计算(Computational Science)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的或太小的地质、地理、大气或海洋过程的实验以及纯理论又无法解决的复杂自然现象的预测问题提供了可能性”(Al Gore, 1998)。

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久，起码有30年时间，并已经有了许多成功的实例。如“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，科幻艺术片“侏罗纪公园”和“天地大碰撞”等也有一定的科学参考价值；计算机虚拟实验技术，不仅在制造业、建筑业及培训驾驶员等方面成绩突出，而且在生物实验、人体解剖学等方面都发挥了很好的作用。

数字地球为地球系统开创的科学实验条件，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，可谓为知识创新和理论研究提供试验基地。对于数字地球提供的反演实验来说，也是前所未有的。如对我国广西、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很好的进展。

在科学实验方面，包括物理学的或生物学方面的虚拟实验，以及工程实验，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。例如不同植物生长模型的计算软件的开发，已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。

又如，长江流域的全部信息化，包括数字化(计算机化)、网络化和智能化全部过程在内，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，使自然的长江成为可控制的长江或信息化的长江是有可能的。

现在，智能大楼或大厦，以及由许多智能大楼(厦)组成的智能小区，已经不是新鲜的事了，在日本和美国已经有了这样的示范区。美国计划着手建设50～60个数字化城市，将全部城市基础设施、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。新加坡也将建设成为一个数字化的城市。

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。数字地球技术系统将使“全球信息聚集在我手掌中”的科学幻想成为现实。

第二章　地球系统的信息模型

§2.1　地球系统的动力模型

地球系统过程的动力机制，包括地球系统的物质流、能量流及其所产生的信息流的形成机制与模型，是地球系统的基础理论。产生物质流和能量流的动力机制的理论是：地球系统的差异性与非均衡理论、耗散结构理论和引力场理论；而物质流和能量流又成为信息流产生的基础理论。

爱因斯坦的广义相对论解释了时间和空间的宏观结构，狭义相对论，即：$E = mc^2$，解释物质和能量的转化和质量与能量的守恒，即当质量 m 具有光速 c 运动时，质量等于能量，而量子力学只解释了物质和能量的基本性质和特征。

2.1.1　地球系统的物质流和能量流形成的基础理论与模型

1. 地球系统的差异性与非均衡理论

地球系统的差异性与非均衡理论，即有关地球系统的物质和能量的差异性与时、空分布的不均衡性理论，是地球上的一切现象和过程的基础。

首先由于宇宙大爆炸造成的宇宙膨胀而使物质和能量的分布不均衡，造成了体积和重量（质量）大小不等的星体和宇宙碎屑物质、能量等及不同的发光体和黑暗物质，及运行速度和方向不同的星体等。宇宙中物质的密度是很不均匀的，有的密度非常大，如中子星的密度为 $10^{14} \sim 10^{15}$ 克/厘米^3 相当 1 立方厘米有 1 亿吨物质；“黑洞”的物质密度就更大了，其引力特别大，落入黑洞的物质和能量都是有去无回。宇宙中发生一次星系大爆炸，时间只持续 0.1 秒，而释放的能量等于 3000 年太阳释放能量的总和。各类星体的表面温度约为：红色星 2000 ~ 2500℃，橙色星 3500 ~ 4000℃，黄色星 5000 ~ 6000℃，白色星 6000 ~ 8000℃，蓝色与紫色星 8000 ~ 20000℃。地球物质和能量分布的不均衡造成了地核、地幔和岩石圈。再以岩石圈来说，它的物质分布也是不均衡的。例如地壳组成物质的成分不同，结构也不同：物质的密度有大与小、数量有多与少，地形有高与低，有海洋与陆地，地壳有厚与薄等差别，因此造成了地球引力/重力场、电力场、磁力场的不均衡及位能、势能、动能与压强的不均衡。其次是由于地球的形状、自转、围绕太阳公转等特征，造成的地球表层接受太阳能量的不均衡，即温度的不均衡。还有由于地球结构的不同所造成火山、地震、地热等分布的不均衡及宇宙引力造成的地球固体潮及液体潮（海洋、湖泊等大型水体）的时空分布的不均衡，造成大气圈、水圈、生物 - 土壤圈、岩石圈及社会圈的不均衡，以及它们的各种现象及过程，包括资源分布的不均衡及由此而产生的经济和社会不均衡等。

据测量，地球的体积在膨胀，地球的直径每年的伸长 5 毫米；而地球自转速度在减

缓，每昼夜约延长 $5\times10^{-6}\sim14\times10^{-6}$秒。板块在漂移，欧洲和美洲两块大陆之间距离以每年约2.5毫米的速度在分开；北美洲和亚洲却以每年约2毫米的速度在靠拢。地球每年从太阳吸收相当于27亿吨标准煤释放的能量，每年降落到地球上的宇宙尘埃约4万吨，每年降落到地球的雨量为511 000立方公里。与蒸发量相等。地球上每年约发生315 360次闪电，每次闪电产生80公斤氮肥，每年约产生2.5万吨氮肥，地球上每年约发生地震10万次，每年火山喷出火山灰约66 000立方米。

由此从整体来说，地球系统的差异性与非均衡是永恒的主题，不均衡总是朝着均衡方向发展，但是均衡是永远也达不到的，即使达到也是短暂的、局部的。正是由于不均衡性的存在，地球系统才不断地发展，宇宙的生命才不会停顿。宇宙间的均衡是相对的，不均衡是绝对的。所以，我们的地球是一个活的地球，动态的、不断变化的地球。

2. 地球系统的耗散结构理论

该理论是指物质和能量的不断扩散理论。这是地球系统所普遍存在的现象，也是用来解释地球上各种运动现象形成原因的基础理论之一。

耗散结构理论的创始人I. Prigogine(1977年获得诺贝尔奖金)下的定义是："耗散结构是指在非均衡的条件下，物质和能量具有借助本身或外界的力量发生移动，以达到均衡状态的功能和机制。"或"在远离平衡的条件下，借助于外界的能量流和物质流而维持的一种空间或时间的有序结构。"

耗散结构理论来源于物理学中的热力学。热力学的第一定律为能量守恒和转化定律，是自然界中最普遍存在的规律之一。根据这一定律，温度或能量具有从高温处向低温处扩散、辐射、传导以达到温度或热量均衡的机制。在这种扩散、辐射和传导过程中，系统对外界作功和系统与外界交换热量的总和与初态相等。热力学第二定律、能量传递不可逆定律，即热导的过程是单向性的，温度和热能只可能从高温处向低温扩散、辐射、传导，相反的过程是不存在的。

I. Prigogine等人将热力学的第一、第二定律，扩展到物质和能量的全部领域，即不论任何形式的物质和能量，在非均衡状态下，都是从高处向低处，多处向少处，强处向弱处进行扩散、辐射、传导、移动、滚动、流动的过程，而且这种过程是不可逆的，引起这些过程的动力是不均衡所造成的位能、势能、压强差的结果。从能量守恒和转化定律扩展到物质守恒和转化定律。耗散结构理论，既适用于能量的扩散，也适用于物质的扩散。

"耗散结构理论"是热力学的基础，地球耗散结构理论是将物理学中的耗散的基本概念，应用于地球科学研究。其主要包括：

能量是物质运动和物质状态、发生变化的基本动力。地球环境中许多自然现象的发生和变化，主要是由太阳辐射能引起的，区域的分异也是由于太阳辐射的分异引起的。了解地球表层辐射能、热能的差异及其转化和传输，即耗散过程是造成地球空间差异的基本原因。

地球空间差异的形成、发展和变化过程，也是一种耗散过程。首先是由能量积累、消耗、转化与输送的差异所造成的，可以从其热量的积累、消耗或耗散、传输/转化过程来发现原因，并可作为地球系统预测的依据。

水热平衡的核心是热。地表水由于蒸发而变成大气水是靠热能。降水结果形成地表水及其流动也是靠"热"产生的。地表岩石的风化也是由于热的作用。热的积累、消耗、传输和传化,即积累与耗散过程是造成地球系统现象的主导因子。

根据"能量守恒"原则,热能也是守恒的,热能在传输和变换过程中,热能的表现形式可以有所不同,但热能量是不变的。"耗散"仅仅是形式的变化,是集中和分散问题,是地球系统现象的根源。

耗散结构理论,也可以用来解释地球上的物质运动。在非均衡状态下,从高处向低处、从强处向弱处进行扩散、流动、滚动、移动现象,是普遍存在的。比如大气运动,水体的流动,石块与碎屑物的滚动,甚至包括了社会现象,如物质流和人流等。在物质流的扩散过程中,也遵循质量守恒定律。

3. 地球系统的引力场理论

引力场理论和耗散结构理论相反,它是由分散到集中的过程,这也是普遍存在一种现象,也是用来解释地球上各种运动现象形成原因的另一基础理论。

早在300多年前,牛顿就发现和阐明了早为大家所熟知的"万有引力"现象,引力大小(F)与两个物体的质量 m_1, m_2 成正比,与它们的距离 r 的平方成反比,即 $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$, G 为万有引力常数,这种引力是时时处处都存在的。由于它的存在,大宇宙、太阳系和无数星星,无数物质和能量在无限空间和无限时间中高速运行着。地球系统由于这引力的存在,包括地球的大气圈、水体圈、石圈、土壤生物圈在高速旋转运行中,不至于抛向宇宙空间。由于地球系统的引力的普遍存在,物质才能从高处移向低处,苹果才会落在地上。

引力场理论也是以质量的差异性和非均衡性为基础的。据最新的资料表明,我们赖以生存的地球,在从它运行的轨道附近,每年要吸引4万吨的宇宙碎屑物质——小陨石块,所以地球的重量在不断地增加。我们的地球幸亏有了质量较大的邻居木星的存在,由于它吸引了大量的宇宙碎屑物质——小陨石,地球才避免了与它们不幸的撞击。地球的固体潮以及海洋、湖泊中的潮汐现象,也都是由于地球与月球、太阳之间的引力所造成的。科学家发现,一个远方星系发出生光经过一个星系团时,竟然受到该星系团的重力(引力)的牵引而弯曲,呈光环围绕该星系团。法国空间研究中心1996年发现了星际物质冷凝聚现象,也是引力作用的结果。

地球系统的引力场,最普遍的形式就是时时处处存在的重力场。不论是动态的或静态的物体都受到地球的引力(一般叫地心引力),即物体自身重力的影响。自由落体还受到重力加速度($F = ma$,牛顿第二定律)和作用与反作用定律(牛顿第三定律)的影响。物质从高处向低处的移动、滚动、流动和坠落等过程,都受到重力场的影响。

随着微重力仪的出现,人们对重力场作用有了进一步的认识,它的影响范围遍及所有的物质,而且还证明重力场还随时间和空间而变化。

重力场的作用使分散的物质集中。能量的集中是通过物质的集中而实现的。现在有人将引力的自然科学概念延伸到社会科学中,并用它来解释某些社会、经济现象。普

林斯顿大学的 J.Q.Steward 发现了在该校就读的来自不同地方的学生人数随着距离该校的远近而人数减少的现象。他于是开始研究牛顿万有引力定律的社会现象，提出了社会物理学，并进行了一系列的实验，即所谓的“社会工程”，发现了相关的规律。例如城市对农村人口的引力为与城市的优越工作条件和生活条件等物质 m_1，m_2 成正比，与离城市的距离 r 成反比。商店对客户的引力与需求 m_1、价廉物美 m_2 等物质条件成正比，与距离 r 成反比，而 G 为修正系数，即 $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ 公式也适用于社会经济现象。Frank A. Petter 运用牛顿的万有引力定律、对贸易区之间的界线位置进行了解释。G. Henning, B. Jenssen 和 K. R. Kungmann(1981)更进一步提出城市周围 50 公里是城市的引力范围，100 公里可能形成“反磁力”中心，即形成新的引力中心(新的城市)。

以非均衡理论为基础的引力场与耗散理论，即集中与分散、物质流与能量流是永恒的运动形式，地球系统将永远处在不断的运动和变化之中。但对于某一特定阶段来说，则有发生、发展和衰亡的过程。这“衰亡”是指一过阶段的结束和新的阶段的开始，运动、变化是永恒的主题。

2.1.2 地球系统信息流的形成机制

以地球系统的差异性与非均衡性理论为基础，以地球系统的耗散结构理论与地球系统引力场理论为系统的动力理论，构成了地球的物质流、能量流和信息流的形成机制，或地球系统的动力过程，耗散结构理论是物质和能量的分散理论，引力场理论是物质和能量的集中理论，两者共同构成了地球系统的动力理论。

由于在地球系统中普遍存在着物质和能量的差异和分布不均衡现象，以及由它所产生的位能、势能、温度差和压强差的存在，因此，就产生了物质的扩散、移动、滚动、流动、蠕动及坠落过程和能量的辐射、传导和扩散过程，即形成了物质流和能量流。物质流和能量流的流量、流向及流速，取决于它们的在时空分布的非均衡程度，即它们的高与低、多与少、强与弱之差，或位能、势能、动能及压强之差。流量与流速取决于不均衡之差的程度，流向取决于不均衡差的最大方位或方向。引起物质运动的高差/落差、比降/坡降等，既是不均衡的表现，又是重力场的表现。物质流和能量流的过程，都是遵循耗散结构理论和重力场理论的。

按照信息科学的理论，信息流指物质流和能量流的性质、特征和状态的表征的知识。物质流和能量流的信息，又是物质和能量的时空分布不均衡的特征所造成的。因此，信息流又是物质和能量的时空分布不均衡的性质、特征和状态的表征的知识。信息是物质和能量状态的标志。力也是一种特殊形式的信息。信息还表征了物质自身内在的某种定向选择，微粒世界的量子特征可以认为是这种定向选择性的典型例子之一(黎鸣)。再以复杂的生命来说，它有遗传信息的存在。生命是一个由控制信息组成的系统。作为生命的基本单元细胞的行为及复制过程，完全由这个信息系统所控制。这些信息存贮在细胞核中，存在一种复杂的 DNA 分子中(南仁东，1996)。人类的社会、经济活动，也可以看作为物质流和能量流的一种特殊形式，它完全受信息流的制配。

2.1.3 地球系统的信息流的作用和意义

地球系统的信息流虽然是物质和能量不均衡的性质、特征和状态的表征，也是物质和能量流的性质、特征和状态的表征；是由物质流和能量流所产生，并依附于物质和能量流而存在，或以物质流和能量流作为载体的。但同时，信息流又决定了能量流和物质流的流量、流速和流向，它是整个地球系统的纽带、地球系统有机体中流动的“血液”。由于信息流的存在，地球系统才有了“生命”，才能不断运转。N. Winer 指出：“联结整个世界的方式是信息。”物理学家认为：联结整个世界的力，力是一种特殊形式的信息，信息为物质世界恢复了全面的、普遍联系的本来面目，带来了统一的、综合的科学观（黎鸣）。牛文元曾指出，地学科学工作者应“从物质、能量和信息在地理系统空间中的迁移、转移和贮存的特征中，揭示地理流、地理势、地理场、地理谱和地理熵等具有统一基础的指标，由此对于地理系统的可预测性、可比性和可控性作出贡献。”

地球系统的信息流，即是地球系统的物质流、能量流的性质特征和状态的表征，又是物质和能量时空分布的不均衡性质、特征和状态的表征。因此，它决定了地球系统的整个运行机制。

研究地球系统离不开信息，研究系统的结构、功能也离不开信息。系统的各部分之间的联系，往往是通过信息流来实现物质流和能量流的交换。系统的一切的物质流和能量流的过程，都要通过信息流才能实现。系统的自我调节过程首先是信息流的过程。系统越复杂，信息流就越重要。系统越高级，信息流越畅通。信息流的畅通程度是衡量一个系统结构优化的程度、系统发展水平的有效尺度。甚至研究一个系统，可以撇开对象的物质和能量的具体形态，可以着重从信息来研究系统的功能，即通过信息来研究系统的机制与过程。

信息本身是无形的，当一经形成，它将依附于一特殊的载体而存在，使无形成为有形，如以文字、数字、图形、影像、声响，以及书籍、杂志、报纸、磁带、CD-ROM、胶片等作为载体，或图书馆、电视台、电台及一些信息产业作为传播媒介形式出现。但不管它们的形式如何，其都是物质和能量的不均衡特性或物质流、能量流的特征和状态的表征或知识的载体，它们以表征物质和能量的资源、环境、社会、经济形式，或自然和社会知识的特殊形式出现。科学就是研究信息的一种特殊形式。

2.1.3 和其他理论的关系

以地球系统的物质和能量的差异性与时空分布的非均衡性理论为基础，以耗散结构理论（分散）和引力场理论（集中）为动力理论，共同揭示了地球系统的物质流、能量流及信息流的机制，并构成了地球系统其他理论的基础。首先地球系统的动力学理论，包括固体地球子系统、气体地球子系统、液（水）体地球子系统及生物地球子系统的理论，如固体力学、流体力学等理论，都是以上述理论为基础的。地质学、气象气候学、海洋学、水文学、土壤学、植物地理和动物地理学、自然地理学、区域地理学、人文地理学、经济地理学

等，都是以非均衡理论、耗散结构理论与引力场理论作为基础，再附加以其他理论和非线性科理论的综合或融合。近代科学的理论，多数是属于综合性或融合性的理论。同时一些本来属于自然科学的理论，延伸到社会和经济科学领域，也是合理的，也是科学发展的新趋势。因此，上述的核心理论是地球系统理论的理论。

有人把地球系统普遍存在的物质流、能量流和信息流看作是哲学思想。我们认为哲学是科学的科学。爱因斯坦十分重视科学方法与哲学思想的密切相结合。他指出，哲学思想是科学的最高层次，具有最高的概括和最普遍的适用范围，它适用于自然科学和社会科学等一切科学领域。

§2.2 地球系统的信息模型

2.2.1 地球信息的基本概念

1. 信息的一般概念

信息(Information)最早出现在通讯科学中，后来用于生物学、医学及许多科学技术领域及社会科学领域。尤其处在"社会信息化"和"信息社会化"的今天，信息这个术语已被广泛应用。关于它的定义，至少有40种以上，大体可以归纳为三类：

第一类，语言学的定义：如《辞源》中指出，信息就是指音讯、消息。在一般汉语字典中，它被解释为消息、情报、新闻等。但也有称为资讯的。

第二类，哲学定义：主要有：信息存在于物质和意识过程中，在本质上是统一于物质的。信息是人和物质的精神实体的特性。信息是由物质到精神的转化，信息既是非物质，又非精神的独立的第三态等。

第三类，自然科学定义。

1) 经典自然科学定义

• 狭义信息：可以推信息论的创始人 R. V. L. Hartly 和 C. E. Shannon 作为代表。R. V. L. Hartly(1928)是从"有多少个可能性"出发来建立信息论的。他建议，"信息是消息的不确定性的消除"。C. E. Shannon 指出，"信息就是两次不定性之差"，即人们对某一事物先后两次认识的差别，或某人对某一事物获得了新的知识、新的消息。目前持有这种观点的，有清华大学的常迥院士，他认为信息有两个特征：

第一，只有变化着的事物才有信息；

第二，只有尚未确定的事物才有信息。

因此，可以简单归纳为：信息是指对某一事物的新认识、新知识。

• 广义信息：可推控制论的创始人 Norbert Winer 作为代表。他认为：信息是指主体(人、生物或机器)与外部客体(环境、或其他人、其他生物或其他机器)之间相互联系的一种形式，即主体对客体的有关情况的消息或知识。当主体得到了客体消息或知识后，加以识别、评价和采取相应的措施。因此 Norbert Winer 认为，信息就是主体对客体的所掌握的全部知识。他不强调这知识是新的、还是旧的；是已知的、还是过去所未知的。支持这

种观点的人也很多,如联合国粮农组织(FAO)于1985年指出:"信息是为一定目的服务的,一切有用的知识。"又说:"信息是表征事物特征的一种普遍形式。"因此可以归纳为:信息是指为某一目的服务的,或是有关某一事物的一切有用知识。

2) 一般自然科学的定义

一般自然科学的关系信息的定义说法就多了。但主要有:"信息是物质和能量在时间和空间分布的不均匀度和运动状态的直接或间接的表达"。"信息是物质和能量状态的表象(征)"。"信息是物质和能量的形态、结构和状态的表征"。"信息是物质和能量的普遍属性"。"信息是事物的表征"。"信息是表征(象)事物状态和运动特征的一种普遍形式",(方华飞、吴维熊等),信息是物质能量外在表现(周载,1999)。

作者认为处于信息社会的今天,应接受广义信息的概念和现代自然科学给信息下的定义。因此,认为信息的定义可简单归纳为:信息是指一切事物的性质、特征和状态的表征,是有关某一事物的一切有用知识的集合。信息是物质和能量的性质、特征和状态的表征的知识,它是由物质和能量产生的,但又独立于物质和能量而存在的第三态。因此,物质、能量和信息是客观世界的三大要素。

2. 地球信息的定义

地球信息是指有关地理实体,如资源、环境、经济和社会诸要素的物质和能量的性质、特征和状态表征的知识。性质是指它们的物理、化学、生物、经济和社会等方面的组成成分、结构及属性等;特征是指它们的形状、大小及时空分布及变化规律等。状态是指它们所处于相对动态或静态等;物质是指资源、环境、经济和社会等的实体;能量是指它们的力学(重力)、磁学、电学、电磁波及生物学的、社会经济学的无形的能量。所以,地球信息是有关资源、环境、经济和社会的物质和能量的性质、特征和状态的表征或一切有用知识的描述。

3. 地球信息载体

地球信息虽然是由地理实体,如资源、环境、经济和社会的物质和能量所产生的,但它又不等于地球实体,它是独立于地球实体的物质和能量而存在的第三态,即信息以独特形式而存在。而信息又是无形的,是看不见和摸不着的。它又必须依附于一定的物质和能量而存在,这种运载或负荷信息的物体(质)或能量就称为地球信息载体(Geo-Information Carrier)。因此,有关地理实体,如资源、环境、经济和社会诸要素的实体或现象、物质或能量的表征,都是信息的载体。

例如:"梧桐落叶、柳色飞黄、大雁南飞、阳光和煦、微风送爽"等是深秋天气来临的信息。梧桐落叶是地理实体的性质、特征和状态的表征,是"秋天来临"信息的载体。"深秋天气来临"的信息必须依附于"梧桐落叶、柳色飞黄、大雁南飞阳光和煦、微风送爽"物质特征而存在,而且还必须是五个特征同时的存在时,才能构成信息。如果,只有"梧桐落叶"或任何一个都不能成为信息,只能作为"资料"(Data),因为它可能含"病态"或其他"噪声"在内。

又如束状针叶、鳞状树皮、鳞状坚果和乔木是松树信息的载体，也是松树的识别标志。松树信息是离不开上述四个形状特征载体的。因此，“束状针叶、鳞状树皮、鳞状坚果和乔木为松树”构成了完整的松树信息。

一切地球实体，如资源、环境、经济和社会诸要素的物质和能量均可以作为地球信息的载体，但这种载体有的是有形的，还有的是无形的。例如，它们的能量特征，如重力、磁力或电磁波、甚至音响（声波）等，都可以成为地理实体的息载体；但这些载体称为基础载体，它们不能被利用，只有将它们转化为文字、数字、图形、影像、磁带等，即将无形转化为有形后，才能被利用、传输。地球信息的载体可以分为：

（1）地球信息的第一载体：指地理实体的物质本身和能量本身，包括物体的成分、结构、形状、空间分布以及重力、磁力、电磁波和声波的性质、特征和状态等。

（2）地球信息的第二载体：指描述地理事物的文字、数字、图形、影像、音响等的描述及其纸质、磁带、光盘等的载体。

（3）地球信息的第三载体：指描述地球事物的各种专题地图、影像专题图及其纸质、胶质、磁带、光盘等的载体。

4. 地球信息的基本类型

地理实体和其他实体一样，具有物质特征和能量特征。因此，地理信息也和其他事物的信息一样，有两个基本类型：

（1）物质信息：指有关地理实体的物质成分、结构、形状、时间和空间分布的性质、特征和状态的表征或一切知识，是常规地理科学的研究对象。

（2）能量信息：指有关地理实体的能量特征，如重力、磁力、电磁波谱声学等的性质、特征和状态的表征或一切知识，是物理勘探和遥感科学研究的对象。

5. 地球信息源

地球信息源（Geo-Information Sources）是指实体的本身，包括地理实体、过程和现象等的本身，即产生地理信息的源泉和基地。

2.2.2 地球信息模型

地球信息熵（Geographic Information Entropy）是指地球信息载体的信息量。地球信息熵是指信息载体中的信息与噪声（Noise）之比，简称“信噪比”。C. E. Shannon 以熵作为信息载体的平均信息量的度量。熵是描写不肯定性的大小的量；熵越大，不确定性越大，因此信息就是负熵。C. E. Shannon 指出，如果一个信息中某种信号出现的概率为 P_i，那么它所带的信息量就是 $-P_i\log P_i$，因此，这一信息所含的全部信息量是 $-\sum P_i\log P_i$，用 H 表示，于是得

$$H = -k\sum_{i=1}^{n} P_i\log P_i$$

作为地理信息的载体，包括地理的数据或资料（Data）、影像（Image）、图形（Picture）等

中都可能含有噪声。因此

$$\text{Data} = \text{Information} + \text{Noise}$$

$$\text{Information} = \text{Data} - \text{Noise}$$

$$\text{Noise} = \text{Data} - \text{Information}$$

地理信息熵是用来对地理信息载体质量评估的标准。

同时,根据上述信息熵的原理,不难可以看出,信息(Information)和数据(Data)的关系。数据是信息的载体,当数据中的"噪声"(Noise)被排除之后,它就成为信息。因此信息和数据的关系十分密切。

2.2.3 地球空间数据的基本概念

地球空间数据(Geospatial Data)是数字地球的基础。但是地球数据是比较复杂的,决不是拿来就可以用,就可以任意分析的。必须充分了解地球数据,才能用好地球数据,或才能获得应有的效果。

1. 定义

数据(Data)是信息载体(Information Carrier),但它不是信息(Information),它包括数字、文字、图像、音响等。

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。

地学空间数据(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。据统计资料表明地学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. 地学空间数据三要素

"属性、空间和时间"是任何地学空间数据所必须具备的三要素。缺少其中之一或二,都不能成为空间数据,至少不是完整的信息。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。若只说"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,都不是完整的地学信息。

2.2.4 地球空间数据的特征

地学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;还有数据的动态性,而增加了它的复杂程度。

(1) 地学空间数据的精确性: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是精确的。

(2) 地学空间数据的模糊性或不确定性(Uncertainty),包括以下几方面的原因:

• 有些地球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、相邻的气候带和自然地理带之间等,都是逐渐过渡的,不存在明确的界线,而所划的界线则是人为的。这样的现象在地球科学的领域内是很多的。

• 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%以上的为林地"。但在划界时却很困难,没法切实执行,只能是大概的。又如,对于土地类型的划分来说,各种土地类型都不是纯的,水田中包含了部分属地埂、灌溉毛渠、甚至是房屋等地类。且随着比例尺的不同,对它们分类的"纯度"也有所不同;比例尺越大,则分类的纯度越高。

(3) 动态性的特征。地球科学领域中不少对象是具有动态性的特点,数据具有强烈的时间和空间特征。例如,描述人口只能是限定某一特定时间才有意义;同样对于耕地的数量也是只有限定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。很多土地利用类型都是动态的。

1. 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的是一些原生的空间数据,还有的则是由其派生的或次生的数据。如每天的温度,每天、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;月平均、年平均降水量等则都是属于派生的和次生的。最重要的是基础数据、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):也是属于可派生或可次生数据的一种类型,但它不是一般统计方法能产生的。如将数字地形数据通过分析,可产生地质类型、地质岩性、地质构造、气候状况及气候变化等派生数据。又如通过对水文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所获得洪水泛滥的数据等,也是派生数据,是通过数据挖掘(Data mining)方法产生的数据。

2. 数据、信息与知识之间的关系

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潜力。信息在数据范围之外还有特点的,尤其是具有人类解释的特点,具有超信息的某种东西。数据和信息适用于进行技术处理,而知识则能靠人的分析和解释进行处理。据世界银行1998年的"世界发展报告"中对数据、信息和知识三者的关系阐述时指出:数据是未经组织的数字、文字、声音和图像等;信息是以有意义的形式加以排列和处理的数据(有意义的数据);知识是用于生产的信息(有价值的信息)。

§2.3 地球空间的认知模型与信息图谱

美国地理信息与分析国家中心(National Center for Geographic Information and Analysis, NCGIA)于1995年发表的"高级地理信息科学"(Advancing Geographic Information Science)报告中,提出了地理信息科学的战略领域有三,其中之一为"地理空间的认知模型"(Cognitive Models of Geographic Space)。地理信息科学大学研究会(University Consortium for Geographic Information Science)于1996年发表的"地理信息科学的优先研究领域"(Research Priorities for Geographic Information Science, 1996)报告中,也把地理信息的认知(Cognition of Geographic Information)列为第二个重点问题。可见认知理论已经成为地球信息科学中公认的基础理论。

2.3.1 认知理论的基本概念

认知心理学,或认知科学,是60年代才兴起的新的心理学分支学科。Norbert A. Simon由于运用认知科学理论对经济决策程序的理论及方法进行了开创性的研究,于1978年获得了诺贝尔经济学奖。他所创立的经济决策理论是认知心理学与运筹学、统计分析和计算机科学相结合发展起来的具有很高科学和应用价值的新的理论。Simon后来又进一步将认知科学、计算机科学与决策理论三者相结合,创立了"人工智能科学",并提出了人工智能计算机的设想和实践,于1986年获得了美国总统科学奖。

认知科学、计算机科学和地理科学三者相结合,将成为发展地理专家系统的理论基础。认知科学和地理科学相结合所产生的地理认知图式,是地理专家在解决地理问题时的逻辑思维体系,这个思维体系用计算机程序来实现就成了地理专家系统。地理专家系统有两个组成部分:第一,地理学的认知理论;第二,计算机人工智能技术。

地理认知理论的认知图式,由以下两个部分组成:

第一步,地理意像(Geographic mental image)。即地理专家对一个区域研究时,首先由两只眼睛如摄像机那样获得该区域的原始影像,即区域的影像 image,宏观综合的原始材料。

第二步,地理意向(Geographic intentionality)。经地理专家对上述原始影像进行分析(解译),并获得了结果,或得出了为某一特定目的服务的结论,如调查、监测、预测、区划和规划意见等对该地空间的应用结论,即地理意向。

以上就是地理专家的认识步骤。在地理意向阶段,还可以进一步划分为以下的细节。

(1) 建立概念模型或关系模型:在对原始影像进行综合分析的基础上,将地理空间要素的种种复杂关系,建立概念模型或关系模型,这是一个综合的粗框架。

(2) 建立具体的物理模型、化学模型、生物模型、经济模型、社会模型及综合模型,即对概念模型或关系模型的细化过程。

(3) 建立数学模型,将上述细化的模型再用数学语言表达。

(4) 建立计算机语言表达的模型，并进行运算、分析及可视化的输出。

这也就是地理专家系统的地理认知理论和人工智能计算机技术相结合的体现。

在进行地理空间分析过程中，地理认知的思维活动包括地理意像逻辑演绎思维和地理概念逻辑归纳思维相结合的综合思维方法。

在地理认知的"地理意向"阶段，还有一系统反馈过程，即认识—实践—再认识的反复过程，才能真正达到认知的完美阶段。"认识论"和"认知论"是统一的，还应强调实践对认知意义，在地理专家系统建立过程中一定要反复通过示范工程的运行，进行实践检验。通过对各种类型的检验越多，认知过程越完善，专家系统功能越强。"实践是检验真理的唯一标准"，也可以说"实践是检验认知是否正确的唯一标准"。

2.3.2 认知过程与认知模型

所有的动物都有认知(Cognition)的本能，尤其人类更为突出。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的。这是第一步。据研究，人对客观世界的认识，有87%来源于视觉，11%来源于听觉，只有2%来源皮肤的触觉和感觉。狗能嗅出200万种不同浓度的气味，其灵敏度是人的100万倍。第二步从物体的运动和变化特征来识别和区别周围的环境和物体的。

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，及组成成份及结构等内部特征。能量包括重力(重量)、磁力、声波及电磁波谱特征(γ射线、X射线、可见光、红外线到无线电波)。颜色和温度等的异同是识别物体的标准。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，也就可根据物理的和能量特征的差别来区别物体的属性。这是基本原则，但在少数情况下，会略有变化。

人的认知过程同时还从物体的时空变化过程中，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，即需经过"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、多次认识的过程。特别还强调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，而且对它的本质，包括对其发生、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。

"认知"的关键在于"识别"。识别可以划分为：

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、色彩、大小、形状、远近、受力、活力、运动状态等。听觉包括声音的大小、频率、方位、波形等；触觉包括温度、硬度、湿度、状态等；嗅觉和味觉包括物质的组成及化学成分。现在科技(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的自身的能力，而且可以程序化。

模糊识别：指在大量的复杂的信息中，识别出有用的部份，即对接收的信息与以往的记忆和经验进行有关联认识，剔除无关的信息。视觉的作用，在于在复杂的背景中辨认特写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，特别是不同人的音谱话声。这种认识就是解决有谁？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、外表、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。

Al Gore 指出：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，但可以识别按一定规则排列的比特。例如，人脑对图形，特别是对图谱是善于和容易识别的。人的认知过程，多数是属于模糊识别过程，在人的脑子数据库中存贮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来的，大部份则从与周围事物的接触过程中通过感觉（五官）和过程中逐渐积累存贮的，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比对、分析及判断、决策或识别而认知的。大脑数据库中存贮的"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，通过感觉及实践和长期观察，建立了不同植物、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、分析及进行判别，达到识别的目的，是属于模糊识别过程。

感情识别是属于高级的识别过程。它也是在人脑数据库中建立了"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，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。

人的认知过程，有的是从自己的五官感觉通过"由表及里"、"由粗及细"、"去伪存真"的逐步积累各种知识，存贮在大脑数据库中。另外它还可以通过接受教育，包括读书、读报等获得知识，存贮在大脑数据库中。随着社会的发展，通过教育与读书获得知识的成分越来越大，因为人们不大可能直接从现实中获得大量的海量信息。

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，是为了生活而认识世界。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。无意识的认知过程可能成为人类的本能。

人的感官无时无刻地在接受外界的信息，每天仅视觉、听觉和触觉所接受的信息量就非常巨大。人脑经感官接受到的外界复杂信息会自动将其分类和过滤，所有对人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来进行处理。人脑的绝大部分活动和由其的配合行为都与意识有关，无意识是思维活动的平台。

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。或是说只有大脑数据库中已经存有"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。

孙九林(1999)认为:数据、信息和知识是人类对客观世界认知的三个阶段。数据是直接来源于对事物的通过仪器感应或人的直接感知的变量的测定值;信息是经过组织的有结构的数据,从而它有了意义;知识则进了一步,它能够预测、能够给出因果关系,并指导进一步应该做什么。

联合国经济合作与发展组织(OECD)将知识划分为四种基本类型:

• 关于"知道是什么"的知识,记载事实和数据(Know-what)。

• 关于"知道为什么"的知识,记载自然和社会的原理与规律方面的理论(Know-why)。

• 关于"知道怎样做"的知识,指某工作的实际技巧和经验,此类知识很多是技术诀窍、个人技艺或工作能力,很难完全用文字记载和表达(Know-how)。

• 关于"知道是谁"的知识,它指的是谁知道什么、谁知道为什么和谁知道怎么做的信息(Know-who)。

2.3.3 地球空间的信息图谱模型的基本概念

地学信息图谱(Geo-Information Tupu 或 Geo-Information Picture Pattern)是由陈述彭院士最近倡导的地球信息科学的新的基础研究领域。他指出,"地学图谱"早已有之。"地学信息图谱"则是空间时代与信息时代的产物。他还指出,"地学信息图谱表达了区域自然过程与社会经济可持续发展的时空演化与空间分异,即再论它的历史、又虚拟它的未来,成为人们研究区域自然环境与社会发展的一种现代化的科学方法和高技术手段,可服务于国土整治、城乡规划、资源开发、环境保护……诸多方面的规划、决策与管理。"陈述彭院士对地学信息图谱的作用和意义作了全面的阐述。

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,图是呈图形(picture, pattern, graphic),谱是成系列(series),图谱则是指图形系列(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、特征和状态表征信息的图形系列。

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、结构等外部的特征及其空间、时间分布与其变化系列。资源环境的能量或场指电磁波、重力(场)、磁力(场)等的强弱特征及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。

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，都以它们的物质成分与结构及其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之一。在"动物志"和"植物志"中，都有它们的图形的详细描述，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它们的发育和发展方向。其实在地质学中，不仅岩石矿物学是研究矿物的晶体结构图谱或物质结构图谱，而且还研究它们的光谱/色谱特征，还有构造地质学是研究地质结构图谱的分支科学。古生物学和沉积学也都是研究图谱的。李四光地质力学的"山字形"、"歹字形"、"多字形"构造也是图谱的一种形式。地貌学更是研究地球表层形态图谱的科学。原苏联自然地理学家伊萨钦科的自然景观图谱就是典型的例子。目前，许多学科都总结性地编制了这样的图谱，如海洋科学的"波浪谱学"和"海洋动力图谱"，水文水利科学的"黄河水文泥沙图谱"，气象科学的"大气过程云系图谱"，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。可见它们在资源环境的研究中不仅早已被应用，而且应用还非常广泛。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。

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自己的基因图谱和细胞结构等图谱特征。由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。有多少种元素，就有多少种原子和分子结构图形的差别；有多少种矿物，就有多少种矿物结构图形。地表由于内营力(地壳运动和地应力)和外营力(风化作用、风蚀、水蚀及人工作用等)的叠加作用，使其原来的形态特征发生了很大的变化，于是就产生了形体的图谱(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水平的影响，同一类型建筑的图形也就有了差别，即图谱特征差别。

由不同的基因图谱和细胞结构图谱组成的各种植物和动物，所形成的整体结构图形是不同的。如各种植物的干、茎、叶、根、冠、花和果实及规模大小是千差万别的；动物的毛皮、爪、翅、脚、嘴、鼻及整个形体规模亦是这样而不雷同的。正是它们这样的不同形体图谱往往可作为它们的重要的分类标志之一。世界上没有具有相同形体特征的动物类型，人类也是如此，白人、黑人及其他人等，还有男人与女人等都有形体的差异。

从宇宙来说，不仅我们的地球、金星、水星、木星以及它们的卫星具有形体特征，所有远离我们的恒星和它们的群体星系以及宇宙间的所有物质或能量也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)、频谱和重力、磁力等特征，一部分

由电子的能级或能带跃迁所产生，一部分或由于其他原因所造成。任何只要具有绝对温度 -273℃以上，即绝对零度以上的物体，都具有发射电磁波谱（热红外与微波等）的特征，不同性质的物体具有不同的发射波谱特征。任何物体还都具有反射外来的任何电磁波谱特征，尤其是反射外来的可见光、红外及微波的特征；而不同性质的物体，反射波谱特征不同，即具有不同的谱貌特征。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数据，就是所获取的资源环境的能量图谱特征。

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，包括动态、静态及动态速度、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，是时间进程的沉淀，未来的起点和现在的空间定格。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受制的内外营力等（陈述彭等，1998）。

2.3.4 地球系统对象的信息图谱模型

1. 基础图谱

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，它们的信息图谱也是非常复杂的。

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、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、村等居民点图谱;铁路、公路、机场、站场、码头、港口、桥梁等交通设施图谱;不同功能的建筑物,包括不同类工厂、商店、仓库、学校、医院、机关、公园、游乐场等的图谱;商业区、文化区、工业区、住宅区等图谱、高压线、油管等的图谱。

2. 综合图谱

由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(1998)称之为征兆图谱和诊断图谱。

征兆图谱:是由资源、环境要素本身不同时段所组成的连续变化的图谱,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,是农林作物监测征兆图谱。

(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。

诊断图谱:是由资源、环境的正常的或标准的图谱与要求诊断的图谱进行对比、分析而作出判断或诊断,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,洼地有了积水,可诊断而发生了洪涝灾害。

(2) 将某一时期、某一地区的植物生长状况图谱与同一地点、不同年代,同一季节、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)状况进行诊断。

(3) 用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。

3. 图谱内容

(1) 基础信息图谱:以华北油松为例。

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:分布华北海拔 1 000 米以下的山地或丘陵区,林冠错差不整齐,墨绿色常绿林。

波谱:

• 波谱曲线(略)

• 遥感影像:全色片、彩色红外片、多波段影像,雷达影像……

其他以此例。

(2) 综合信息图谱:以洪涝灾害诊断图谱为例

形谱：

某一地区7～9月份(雨季)时的河流、湖泊、洼地平时的形状(宽度面积等)，与当前或任何年分该地区的7～9月时的形状作对比分析，如河道变宽、湖泊面积变大、洼地面积变大、或原来的小面积水体增大时，可确定为发生了洪涝灾害。

波谱：

主要将正常时期的某一地区7～9月雨季时的遥感影像与当前或任何时期的影像进行对比分析，如果河道变宽、湖泊面积变大、洼地积水或积水面积比原来增大时，可诊断为该地区发生了洪涝灾害。

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，从而作出预测和诊断。

4. 数学模型

资源环境信息图谱具有十分复杂的图形，而分形分维数学是专门描述这种复杂图形的数学，即分形分维几何学。它是由B.B.Mandelbrot于1982年创建的，又称为自然界中的分形几何学。他认为自然和社会中的复杂的几何形态，具有相似性的特征，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。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。标度指级别或观测数目。B.B.Mandelbrot进一步指出，局部形状与整体形状的相似性、局部的局部形状与整体形状的相似性，是自然界和社会中普遍存在的现象。

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

$$D = \log[N(r)]/\log r$$

式中，D为分形数；r为形状的变量；$[N(r)]$为标度，指级别或以观测数目等来描述。分维数是对分形复杂性程度的度量。分维数的基本概念在欧氏几何中，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，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。例如，不论在任何岩性、气候等条件下，流域地貌的要素D都在1与1.4之间；而山体的面积和周长的D为1.35，河曲的D在1.1与1.3之间，河流分支的D也大多在1.1与1.3之间等。

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，研究了水系和形状特征；La.Barbera, R.Feder, T. Nikora, E.P.Bbander,

M. Rorigas, L. Liu, V. B. Sapozhwikov, B. Kakenderg. M. F. Good child 及艾南山等人研究了地表形态的几何特征；Turk Okubo Aki, Aviles, Scholz, Carr, Maralho, Charraa-Graco. Miller, Wakabayashi Older 及谢和平等人研究了地质体的几何形状特征等，都获得了较好的效果。

5. 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、分类的标志；我们更希望它能起到"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，又能进行预测和控制生物发展方向的"钥匙"。为此，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。

我们还希望这项研究能为实现国家信息化、信息高速公路的建设等起到"添砖加瓦"的作用，以解决"有路无车和有车无货"的矛盾。

为此，我们建议建立地球信息图谱库，如同"指纹库"一样，以为开展地球科学信息自动、快速目标识别，或快速分类目的服务。

§2.4 地球空间场的信息特征

2.4.1 地球空间场信息的基本概念

场(Field)作为科学术语，首先出现在物理学中，它是指连续介质中的能量参数。后来这个概念得到了延伸扩大到其他领域。场实际上是物体，包括地理实体的能量信息的一种表现；或场是能量信息空间的和时间的分布特征；或场是能量的空间特征。现在场的概念得到了扩充，包括了化学场、生态场和地理场信息。地理场信息，或地理能量场信息是地理科学和物理场学的综合。杨占生(1997)对场提出了新的看法，把信息、能量和物质统一为新的场。

2.4.2 地球空间场信息的基本类型

在地理系统内或地球科学领域内，得到公认的场有：重力场（Gravity field）、磁力场(Magnetic field)、电力场(Electric field)、光场/电磁波场（Optical/Electric-Magnetic field)、声场（Sound field)、温度场（Temperature field）、风场(Wind field)、气压场(Pressure field)、波浪场(Wave field)、洋流场(Ocean flow field)等。它们也可以综合地称为地球物理场、气象场和海洋场。

后来场的概念得到了进一步扩大，延伸到很宽的领域，如 D. Havvey(1973) 提出了地理空间场的新概念，L. B. Leopold 与 W. B. Langbein(1976) 又提出了地貌场的概念，A. Krumbein(1990)提出了"生命场"理论，美籍华人学者吴新(1985)提出了生态场理论，王根

轩(1990)根据生态场理论提出了植物生态场的计算公式,赵鹏大院士(1995)提出了"地质场"的概念,牛文元(1994)提出了"资源场"和"地理场"的计算方法,王铮(1995)提出了"区域场"的概念,杨占生(1997.8)提出了经济场的新概念。从现代科学的观点来看,和地质体一样,所有的水体、植物、土壤及人工建筑物等一切地理实体,都有微重力、磁学及电学特征,包括介电常数和导电率等,还有光学特征和电磁波谱场的特征。这些都是符合地球物理场的原则的。因此,场的概念的扩展是科学的。任何物体都具有物质和能量两个基本特征。场就是能量的空间范围;场的性质、特征和状态的表征就是信息,因此也可以称为场信息。

场,除了包括能量特征外,还应该包括一些物质特征,如化学物质(气息场)、生物的生存空间(生态场)等,这也是无可非议的。

"地质场"是一个泛意的概念,它表示与成矿有关的。以及各种反映成矿条件的因素和信息的时、空表征,包括二维和三维表达,也是地质特征的抽象和概括。地质场的组成部分,如区域构造场通过计算机分析可以产生构造密度图,经趋势面拟合处理可以产生区域构造趋势等值线图和构造趋势异常图等(迟国彬,1996)。

遥感地质信息场,简称为遥感地质场,它是指形成时空域中由不同时期、不同层次、不同尺度、不同来源、不同表现形式的信息相互交织、互相叠加组成的,不仅包含地球表层的各种信息,还包含地下一定深度的地质信息,不仅包含现代的实况,而且还表达了这历史时期地质、地理过程的形迹信息。但总的是通过电磁场特征来反映的(王润生,1997)。

水体场效应:具有一定规定规模的水体,包括河流、湖泊、沼泽、水库等,除了它们的微重力场、磁力场、电力场、光场/电波场、温度场、风场、声场等有自己的特征外,它们还在空气的温度和负氧离子含量等方面也有自己的特色。水体场效应的大小主要取决于水体规模的大小,以及所处的地形条件和气候条件的影响。曾有报道讲,骆驼能在80公里外感觉到水的场信息。

城市场:除了和其他地理要素一样具有自己特殊的物理场存在外,它还具有前述的"引力场",即城市优越的工作条件和生活条件,对周围农村居民的吸引力。其引力所及的范围称为城市引力场。J.Q.Steward, Frank A.Petter, G.Henning, B.Jenssen 都对城市的引力场作过研究。

2.4.3 生态场信息模型

生态场(Ecological field)指生物所必须的生存空间或影响范围。据植物学家最近发现,当遇到敌害时,有的树木不仅能自己采取防御措施,而且还能给同伴(类)发出"报警信号"。其中柳树最为突出,当柳树叶子上出现害虫时,它们就以分泌一种化学物质的方式,给距离自己60米半径内的同类发出信息,邻近60米内的柳树收到信息后,就开始分泌同样有毒物质来防御害虫。柳树就有60米半径"生态信息场"。

王根轩根据吴新的生态场的理论,提出了生态场是生物的生命活动所引起的有关生态因子空间分布的均匀性,并由此而产生的生态效应的空间分布。随着生物的生长、发

展和衰老，生态场也要随时而发生相应的变化。其可以用以下的模型来表达：

$$E = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i F_i \int (x, y, z, t)$$

式中：E 为在空间坐标(x, y, z)和时间 t 时的生态场强度，α_i 为第 i 个因子的生态效应系统，F_i 为第 i 个因子在生物立地点处的相对变化值。

生态场的基本要点有：

(1) 生态场是生命活动形成，包括摄取营养、呼吸、光合作用、发育、生长等过程所需的空间，每一类型的生物都有自己的生存空间/场。生态场是由有关生态因子场所组成的，包括光照、温度、水分、矿物元素及生物因子所组成的生态因子场。

(2) 生态因子场是指某一生态因子在生物的生命活动的影响下所形的变化及其空间分布。每个生态因子场都需要用生态效应系数校正。

(3) 生态场不仅同其他场一样，具有空间变化规律，而且随着生命过程具有时间变化规律，其维变化(x, y, z, t)可由实验得到，也可由野外实测。

生态场的基本特征：

(1) 生态场的物质性：主要是受营养元素(N、P、K)、水分、CO_2 和 O_2 的影响；

(2) 生态场的能量性：主要受光场(阳光)、温度场、风场(空间流动场)的影响；

(3) 生态场的可叠加性：许多场可以同时位于同一空间，如光场、温度场、风场等可以叠加；

(4) 生态场是可以测定的，尤其对泡桐、苹果树、蚕豆、小麦等的测定效果很好。

生态场的作用：相邻两植物的立地间的距离越近，其值为负值，相邻两物竞相延伸。相邻距离合适者，其值为正值，植物间相互促进，有利于生长。植物间的距离相隔太远时，也不利生长，因为失去了彼次促进与协作等作用。

对于具有一定规模的森林来说，它的生态场效应也十分明显，与水体场效应一样，有着自己的特色产生特殊的效应。农田防护林带的建设，就是基于森林场的原理。

"化学场"或气息场：每一个动物，都散发出一种特殊的化学物质，即"气息"，而且有一定的扩散范围，所以叫"气息场"信息。狗对此有特殊的识别能力，能区别200万种不同浓度气息。

气息场，又叫化学场。在地质学中的"化探"，就是利用矿物、岩石散发的特殊化学分子，进行探测的一种较为成熟的地质勘探技术。

§2.5 地球系统的全息信息与记忆信息模型

全息与记忆信息是信息的一种特殊类型，也是属于地球信息科学的基础研究之一。全息与记忆信息是地球科学中经常遇到的问题。例如，根据洪积扇的形状与组成物质的特征，推断整个流域的地质、地貌、气象、水文、植物及土地利用特征；根据某地的古土壤特征，可以知道该地区地质时期的地质、地貌、气候、植物及其他历史状况；根据住房条件，推断该地区的社会经济发展水平等。这些都是地球科学的全息和记忆信息的特征，

是地球信息科学的基础认识问题。信息科学中有“holographic memory”，可见全息与记忆是密切相关的。

2.5.1 地球空间对象的全息信息特征

“全息”(Holography)这个术语最早出现在物理学中，是指能记录物体的全部信息，并在一定条件下再现原物的三维图像的照相技术，即全息摄影。后来这个术语扩大、延伸到其他许多领域，如信息科学、生物学、医学、及古生物学学科等。中医认为人体的局部，如耳朵、手掌等，能反映人体的全部健康状况的信息，故把耳朵等称为人体的全息体。张颖清认为植物也存在着全息体；陈传康又把全息概念引伸到地理科学研究；杨吉生还提出了全息经济的新概念。

2.5.2 全息信息的 D.夏佩尔推理

地理系统是一个相互联系、相互制约的整体。组成地理系统的各部之间存在着密切的相关性。子系统和整个系统之间，具有相互“映射”(Imaging)的功能或特征。D.夏佩尔把凡是子系统能映射整个系统特征的子系统称为系统的“全息体”。他认为地理系统的“全息体”具有多级层次性的特征。不同等级的“全息体”子系统，映射不同等级的母系统的全部或大部分信息。可以从全息体的多级层次性的具体关系分析，建立全息联系。D.夏佩尔提出了推理模式，适宜于从时、空方面去分析系统的全息联系形式。D.夏佩尔的推理模式有：

(1)结构型推理模式：按空间排列关系的周期性，或非周期性建立系统的全息联系；

(2)演化推理模式：根据事物发展规律进行推理或发展过程的时间关系建立系统的全息联系。

(3)综合推理模式：根据要素的空间排列关系与发展过程的时间差别关系建立系统的全息关系。

由此可见，D.夏佩尔是在地理系统的时、空关系形式分析的基础上，推导地理系统形成的全息规律的。

B.B.Mandelbrot 也指出：在同一系统内，局部形状与整体形状的相性是普遍存在的规律。局部可以映射整体。

地理系统信息的全息特征主要有以下几个方面：

第一，“局部映射整体”特征：它是指系统的个别子系统、个别组成要素的特征，映射或反映整个系统全部或大部要素的状况或特征，这个子系统或要素称为全息体。例如：

古生物学家可以根据古生物化石的局部遗骨的特征复整个古代动物的形状；古人类学家可以根据古人类的牙齿或头部的部分残片化石恢复古人类的形状，甚至性别年龄。现代生物学家根据 DNA 基因工程技术复制生物等，也可认为是属于全息特征的一种形式；中医根据人的耳朵、手掌等的状况，判别整个人体的健康状况也是全息的应用。

一个小流域的洪积扇形状，包括大小、坡度、三维立体形状，以及它们的物质成分，包

括岩性、砾石的大小及其比例、生物残迹及结构等，映射了流域面积的大小、地质、地貌、气侯、水文、植物及土地利用等特征的信息。

一个地区的人类居住的总体状况，可以在一定程度上映射该地区的社会经济水平，甚至还可以映射气候状况等信息。

第二，局域(local)映射广域(area)特征：在某一特定的条件下，如在同一个景观区、自然区或经济区内的具有一定面积的小范围的特征信息，可以代表整个区域的特征信息。这个小范围或局域称为全息域或典型区。典型区的面积是比较小的。通过典型区的特征信息研究，获得大范围大区域的特征信息，这是地理研究的常用方法。如何选择、确定这个局域或典型小区的关键是要有代表性，通过它能获得整个大区的特征信息。

第三，“现在映射过去、现在和过去映射未来”的特征：现在的地理系统特征是在过去的基础上发展起来的，大部分地理系统都具有继承性和发展性两个特征的综合体。例如今天的地貌状况，不仅是由于今天正在起作用的内、外营力共同作用的结果，而且也受过去、历史的内、外营作用结果的影响，仍然部分保存着过去的地质史上的内、外营力作用的形迹，而且这些历史形迹对今天的地貌发展起着一定的影响。例如，今天一些温暖较干旱的地区仍保留着过去曾是炎热潮湿气候区的地貌特征，如北京附近的喀斯特地貌——石花洞，就是反映了历史时期气候的地貌特征信息。可以认为现在的喀斯特地貌特征信息是当时古地理系统的信息。

第四，四维时、空域映射统一形成过程特征：生物学的贝尔定律，即个体发育重复系统发展的一定过程。例如，所有动物的胎初期的形状都是十分相似的，证明动物具有统一的形成过程。不论整体或部分都是系统发育的产物。因而整体和部分的某一发育地段能够映射系统的发育，包括映射过去与未来，包括对发育周期与超循环性的系统演变的预测。

地理系统信息的全息特征研究的重点，应该包括全息体及全息域的确定标准及全息的影响范围与功能等问题。

2.5.3 地球空间记忆信息的基本概念

地理存贮信息或地理记忆信息，是指地理实体所存贮的或记录(Record)的信息，即已经发生过的历史的信息，尤其是环境变迁信息。

存贮或记忆(Memory)本来是人类和动物所特有的功能，后来信息技术，尤其是计算机技术广泛采用了这个术语，现在已扩大到其他领域，如金属记忆(Metal with memory)是50年代由美国科学家首先发现，某些合金可以长期记忆自己在一特定温度时的形状特征，虽然可以把它加工成各种形状，但一到特定温度时，它就会自动恢复变形前的形状，那怕重复千次、万次也十分准确。如钛镍、银镉和锆合金，就具有这种记忆特征。Rafael V.S.，Kei Kurita 及 Naoyuki Fuii 等人将它延伸到其他材料和地质体领域，我国于学馥等人(1993)著有《岩石记忆》一书，阐明了岩体和岩石材料力学的岩石记忆(Rock with memory)的特征，如第二次受力产生的效果受第一次受力的影响，第三次受力的效果，受到第一、第二次受力的影响等。后来一些学者，将记忆的概念进一步延伸到其他领域方面，尤其

是环境变迁方面，如赵其国院士(1995)提出了“土壤记忆”的新概念。

地理实体的存贮信息或记忆信息研究是地理科学与信息科学的综合。

1. 地质存贮/记忆信息

地质体的物质成分和结构，包括微观和宏观结构状态都在不同程度上存贮了它们形成过程中，或形成以后所经历的古环境变迁，或内外营力变化状况的信息。这些信息都是地质体的历史信息，主要包括：

1) 岩石存贮/记忆的信息

岩石的晶体(岩浆岩)或颗粒及其胶结物(沉积岩)的状况，能够提供岩石在形成过程中的信息和形成以后所受到内外营力及环境变迁状况的信息。岩石能提供形成过程中及形成以后数十万年到数亿年的古环境状态的信息。

2) 地质构造存贮/记忆的信息

除了岩体有力学特征的存贮或记忆能力外，还有能存贮或记忆各种构造运动信息的特征。例如岩层或岩体的产状、断裂、褶皱及破坏程度等都是存贮了或记忆了所经历的地壳运动及构造营力状态特征的信息。

2. 地貌存贮/记忆的信息

地貌形态是由内外营力塑造而成的，它的形态特征存贮了或记忆了所经历的内外营力或环境变信息。例如，由地貌形状可以判断构造营力状况。根据现在温带地区的地貌形态特征，判别是否经历了第四记冰川或冰缘的影响；或根据石灰岩地貌的岩溶特征，可以获得历史时期的气候信息。又如河流的阶地特征，记忆或存贮了构造运动和气候变化状况的信息。

3. 第四纪沉积物存贮的信息

第四纪沉积物的成分与结构特征存贮了它的形成过程中的和形成以后的动力状态信息和古环境特征的信息，包括几千年、几万年及数十万年来的气候、生物、水分状态等的信息。

4. 土壤的环境变化“记忆”

土壤的不同的空间分布类型，分别记录当地环境变化的状况，土壤层的成分、颜色等反映了当地的气候状况、地貌过程(侵蚀与堆积)、植物状况、动物状况、尤其是微生物状况及土地利用状况等。土壤颜色分别可以指示：红色土表示形成过程中气候炎热多雨，氧化过程强烈；黄色土壤表示气候炎热雨量十分多；黑色土壤，表示气候寒冷多雨，有机质含量特别多；灰色土表示气候寒冷少雨；棕色土示示气候温和少雨。土壤中含有钙质结核者，表示气候温和、雨量适中；土壤含有多碎石等，表示离山较近，属洪积坡积层。赵其国先生(1995)指出：土壤记忆块功能能记录土壤形成时和形成之后的气候、水文、生物

和内外营力影响。通过这些记忆信息有利于区别过去和现在的土壤变化，并能预测其发展趋势。

5. 树木的环境状况“记忆”

树木年轮的色调及致密程度记录了该年气候的温度和降雨状况。在今天的显微技术下，可以区分出温度降水的季节的变化，树木的年轮是宝贵的气象资料。树木生长的快慢同当年的气温、降水状况密切相关。气温适宜，降水正常，树木长势较快，形成的年轮较宽；遇有大旱或大冷的反常气候，树木生长受限，一形成的年轮就较窄。年轮的宽度和波动的规则与否反映了当年是风调雨顺还是气候异常。气候学家可以据此推测出上千年气候变化的趋势。因此，树龄长的古树木被称为地球气候变迁的活化石或资料库。

树木的形状，包括树干、树枝、树冠的形状，记录了空间环境状况，如“醉树林”记录了岩层、土层蠕动状况。“扫帚树”记录了盛行风向的状况等。

天文学家发现，树木可在自己的年轮中保存太阳大爆发的“记忆”。当太阳黑子发生大爆发时，从太阳表面射出能量巨大的 X 射线、质子和 α 粒子。虽然这些辐射没有到达地球表面，但辐射作用与高层大气中的氮形成碳化同位素，碳化同位素与氧发生反应产生碳酸气，树木在光合作用过程中将这些碳酸气吸收进入木质部分，而保存在年轮里。科学家只要应用科学方法测量古树木样品，就可以找到大约一万年来太阳大爆发的痕迹。

6. 水质存贮的信息

河流、湖泊等的水质状况存贮了流域内的地质条件、地球化学条件及社会经济条件(污染)的信息。含矿物质的水体可能与地质条件有关，例如岩层中含岩盐等信息，也可能存贮了地区的地质历史信息。

2.5.4 地球系统对象记忆的贝尔定律

贝尔定律是生物学，主要是动物学中的遗传或演化过程的著名定律。该定律主要说明在动物和胚胎发育过程中，再现了动物演化的过程。这也是一种记忆信息的特殊形式。

贝尔定律是信息的全息重演和信息的记忆。杨占生(1997)提出，生命的胚胎发育史简单地重复了由低级动物到高级动物发育的历史过程。宇宙的信息重演是多种多样的，它不仅包含在生命科学中，而且也普遍存在于宇宙的各领域中，人类经济生活也不例外，世界总是在不断的信息重演中进化。他还指出，一切生物遗传现象也是信息重演和信息记忆的一种形式。

第三章　地球系统的系统模型

“地球系统科学”与“地理系统科学”这两个概念，已被广泛接受。很多国家对它非常重视，正在组织进行深入研究。美国专门成立了地球系统科学委员会，主要研究环境的全球变化，同时还主编了《地球系统科学》。地理系统科学是地球系统科学的重要组成部分，主要研究地球表层的资源、环境、经济和社会共同组成的系统结构和功能。地球系统科学理论是地球科学理论与系统科学理论的综合。

§3.1　地球系统模型

3.1.1　地球系统的基本概念

(1)系统思想出来与定义：早在我国古代的《易经》、《老子》及中医著作中，就有整体思想，已经包含了系统观念的雏形。恩格思的《自然辩证法》的普遍联系观点，是系统思想的核心。但是，作为一门科学，还要推系统论(System theory)的创始人美籍奥地利学者Bertatainffy L.Von，他首先提出了“任何一个客观过程，不是单一个要素决定的，而是有多个要素相联结的系统状态所决定的。这个系统是具有层次的、从属结构的，而且还是动态的。”他进一步指出：“系统是指相互作用的诸要素的综合整体”。控制论专家、美国学者Staffordbeer给系统下的定义是：“系统是指由相互联系的，各部分组成的任何事物”。后来，Rober E. Machal根据很多学者对系统的看法，作了如下的总结和归纳：“系统(System)是指由两个以上，相互联系、相互制约的要素或过程所组成的，并具有特定功能和行为的，而且与外界环境相互作用，能自动调节和具有自组织功能的整体。”

钱学森明确指出：“所谓系统，是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。”根据这个定义，从小到细胞、大到宇宙，从一个人到整个人类社会，都可以看作系统。

(2)地球系统的定义：地球系统是指某一特定时间、特定空间的，由两个以上或无数个相互区别、又相互联系、相互制约的地理要素或过程所组成的，具有特定功能和行为，与外界环境相互作用，并能自动调节和具有自组织功能的整体。地球要素指资源、环境、经济和社会等，或地质、地形、气候、植物、耕地、水文、经济与社会等要素。地球系统研究内容包括系统结构，尤其是空间结构、空间有序(规律)和空间行为与空间功能，时间隐含在空间中。

(3)地球系统的数学描述：设 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ 为 n 个不同类的地球要素，用 $R \subset \{x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n\}$ 表示它们之间的相互联系，相互制约的关系，并用 $\Omega = \{x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n\}$ 表示系统各要素的集成，于是地球系统 S 为：

$$S = \{\Omega, R\}$$

(4)地球系统的实例:如生态系统(包括草原生态系统、森林生态系统、湖泊生态系统、沼泽生态系统、沙漠生态系统、城市生态系统,等等)、地貌系统(如:河流地貌系统、坡地地貌系统、冰川地貌系统、冻土地貌系统、喀斯特地貌系统、沙漠地貌系统,等等),以及区域系统、城市系统等等。

(5)地球系统的性质与特征:组成各地球系统的要素之间,具有相互联系、相互制约的性质,因此系统的各要素或各部分之间具有相关性和整体性的特征和有序性与层次性的结构特征;同时,地球系统还具有时间和空间两大特征,因此它具有动态性和区域性的特征、共性与个性的特征等。

3.1.2 地球系统的功能与结构模型

地球系统的功能主要原理有:

(1)"整体功能大于各部分功能之和"原理;

(2)"地球系统具有自动调节与自组织功能"原理;

(3)"系统功能取决于系统结构"与"系统优化结构"原理;

(4)"地球系统的自相性"原理。

上述地理系统功能的原理是由物质流、能量流和信息流三者决定的。

地球系统研究的核心是:"系统的优化结构"与"优化配置"问题。地理系统结构的优化程度可以用系统的熵来衡量。根据目的和任务,因地制宜地提出地理系统的优化结构的设计方案,及系统发展方向的人工诱导问题。如经济系统的产业结构优化模型是:第一产业人口占10%、第二产业人口占20%,第三产业人口占70%。美国产业的变化:农业劳动力占总劳动力1970年9.0%,1980年3.6%;工业劳动占总劳动力:1950年35.7%,1980年23.6%。一个区域系统的优化结构模型是:森林占区域总面积的30%,耕地占40%,水域占20%,建筑占10%。

地球系统模型:地球系统模型是对真实地理系统的抽象和简化。根据系统的目的和要求,撇开对象系统中的大量非本质要素,确定少数主导要素,建立一个与真实系统有相同结构,但简单明了,仍能保持其性能的概念的、或数学的表达方式。

地球系统建模的内容:包括系统空间行为模型、系统时空耦合模型、系统过程的节律模型及各种生产应用模型等。

地球系统熵:地球系统熵(Entropy)是地理系统状态的定量描述。它表征了地理系统的复杂程度、有序程度、稳定程度和优化结构状态,是实现地理系统预测和调控的依据。

地球系统的调控:地球系统调控的目的是使系统能够持续发展。对于一个区域来说,就是要使该区域内的资源、环境、经济和社会协调发展。系统调控的方法是使地理系统处于优化结构状态和有序状态,具体做法是有明确目标和正确的信息科学的手段,包括集中控制、分散控制和多级递阶控制等。

3.1.3 地球系统分析/方法论原则

L.V.Bertalan提出了对任何系统进行分析时,要素有三个观点:第一,系统观点;第

二,动态观点;第三,层次观点,才能顺利地解决任何复杂问题。美国 Rand 公司也提出了自己的系统逐级分解法,将复杂的高级系统分解、简化成次一级的子系统,从而定量地研究各级子系统及其要素间的相互联系过程,就能弄清其复杂的基本规律。林耀指出:"地理系统分析是指把复杂的高级地理系统,分解简化成次一级的,甚至简化的系统……"。徐建华则认为:"地球系统分析是地球系统分解、简化,并进行要素分析、模型化分析、地理系统模拟及系统最优化到系统评价等一系列过程的所有内容",包括系统分析法、层次分析法、结构分析法、功能分析法及信息反馈法。曲东升(1990)将其总结为整体性原则、有序相关原则、动态性原则、相标优化原则与可行性原则。

地球系统的网络分析:地球系统是由大量要素或子系统所组成的,它们之间存在着错综复杂的关系,包括不同要素或子系统间的相互依存、相互制约、相互协作,在时间上有同时并进、或前后衔接、或交互进行的关系等,将这些关系用网络模型表示系统的结构和功能,并用图论方法进行分析。钱学森指出:"网络是某些系统最形象、最简洁的表达形式"。网络分析方法有关键路径法和计算评审技术(PERT)等。

§3.2 地球系统的自组织、自相似与自相关模型

3.2.1 地球系统的自组织模型与 Gaia 假说

1. 地球系统自组织理论的基本概念

"自组织"一词,来源于热力学中的热的交流的"自我变化",后来应用于系统科学及其他领域如生物学、地球科学、社会学等。自组织(Self-organization)是指系统在无外界强迫(制)条件下,系统自发形成的有序行为。计划经济是一种有组织行为,而市场经济则是自组织行为。这种能自身进行调节功能的行为,称为自组织。有组织是旨系统在外界的强迫下形成的有序行为。

地球系统的自组织是指当地球系统遭到外部环境的干扰而破坏其有序状态时,它靠系统自身的能力能克服干扰的影响,进入新的有序状态的机制。它可以根据内部和外部条件变化的信息来改善或发展某些功能,以调整系统的运作,克服不确定性或无序性,保持系统的原来的或预定的功能。如森林的自我恢复能力、环境的自净能力等,都是地球系统自组织功能的典型。

2. 地球系统的自组织功能

系统的自组织功能是由物质流、能量流和信息流所构成。当系统的内部或外部环境受到干扰时,首先通过信息流息来传递给物质流和能量流,相应地实现调节系统的结构和活动,以适应新的情况并保持其原有功能,以保持与环境的一致性和系统的稳定性。如果来自内部或外部的干扰超过了系统的自组织功能时,系统就遭破坏。

I. Prigogine 指出,自组织形成的有序结构,不但需要外界条件来维持,更需要内部条件的存在。外界条件是必要条件,内部条件是充分条件。自组织形成就是强调内部条件为主的。

地球系统是一个具有自我调节及自组织功能的复杂巨系统。它的固体地球子系统、液体(海洋、湖泊业)地球子系统、气体地球子系统及生物地球子系统等,都是具有自组织功能的。在岩石力学之中的"应力自我调态"也是属于自组织特征的表现。例如,岩体因开挖而改变结构的形态,围岩随之而改变应力分布状态。河流系统、湖泊系统都具有自组织特征。森林系统和草原系统也都具有自组织功能。例如,自然界中生物为了生存,都具有一定的自动控制与自我调节的功能。以小的系统为例,如小麦等植物在白天暂时关闭气孔以防止蒸发,达到节水的目的。沙漠中的仙人掌,能将水分贮存在组织里,并有一层厚厚的蜡质皮以防止水分蒸发。沙漠中的一些灌木能将根系扎入很深的土中,以吸收水分,而且根系特别发达,以适应沙漠的缺水环境,并且在干旱季节落叶休眠,以保存活力;很多沙漠植物,叶子变成针刺,一方面减少蒸发,另一方面防止沙漠动物吞食。再以较大的系统为例,如森林系统也具有自组织功能,当森林繁茂到一定程度之后,由于生长过密,林间阳光与通风不足,阻碍了幼苗的生长,加上枯枝落叶层越来越厚,树的种子不能落入土中,影响了新陈代谢过程,必然引起森林的退化;但当森林的密度变小,阳光与空气在林间畅通,种子又能落入土中,新苗可以生长,森林又将恢复生机。这是森林自组织的表现。无机物也有自组织现象,如河流系统也具有自组织特征,只要看一下河流纵剖面的侵蚀与堆积过程及其形态,就可以看出有明显的自组织现象。坡地发育或演化也具有自组织特征。

3. 地球系统的 Gaia 假设

北京大学张昀最近对地球系统的 Gaia 假设作了较系统的介绍。国内外学者就这问题最近发表了不少研究成果。Gaia 是希腊神话中的大地女神,仅借用来代表假说的名称。

首先英国地球物理学家 Lovelock 和美国生态学家 L. Margulis 等人认为地球系统是由大气圈、水圈、生物圈和固体圈构成的复杂实体,是一个具有自动调节功能的自组织系统。这个自组织系统的关键是生物圈。他们提出,从地质和化石的记录来看,至少在 6 亿年内全球大洋的酸度、盐度、氧化与还原状况没有多大变化,尽管在这期间地球上曾出现过若干次大冰期。但最冷的时期地球热量平均温度下降也不超过 8℃,地球表层温度从来没有降到使全球大洋冻结,或上升到使大洋由于温度升高引起蒸发到干涸程度。根据天体物理学家证明,太阳辐射强度在不断增强,至少增长了 30%,甚至增长了 70% ~ 100%。从理论上说,太阳辐射强度若增长 10%,大洋就会因蒸发而干涸,若减少 10%,大洋就会结成冰。虽然在地质史上的平均温度变化幅度在 10℃上下,却没有造成大洋干涸或冰封。这主要的原因是地球系统内部存在着自动调节和自组织功能,而这种功能要归功于生物圈。生物圈起到了保护地球系统的稳定性。生物调节着地球系统内的能量流、物质流;调控着大洋的温度、盐度、酸度及元素的地球化学循环,这种机制称为 Gaia 假设(张昀,1995)。

德国地质学家 W. Krambein(1990)和原苏联地质学家拉波夫等,提出了地球是一个"超级有机体"或"Living body"。生物圈在整个地球系统中,起到了自动调节和反馈作用。他们还提出了地球是生物星体假说(Bioid Hypothesis)和地球生理学(Geophysiology)等新概

念。

美国罗德岛大学的一个科研小组在1996年发表的论文指出，“生物圈可部分平衡温室效应。”他们发现1977～1985年间，植物吸收CO_2的数量较通常增加。这是该小组利用测量南极冰原积雪中所含大气成分得出的结论。由于在雪花中含有当时的空气，当雪花沉积在冰原转化为冰后，其中空气仍保留在冰中，因而研究不同时代冰中所含的气体，可得出不同时期的CO_2的变化情况。气温增高和CO_2成分的增加等都有利于植物的生长，植物的茂盛将大量吸收CO_2，因此地球系统能达到自我调节的作用，这就是地球系统的自组织功能的表现。生物圈可部分平衡温室效应，其中热带雨林起到重要的作用，若对热带雨林的破坏，则减低了上述的平衡作用。

在自然界中，凡是有生命的系统，如动物、植物和微生物，都具有自我调节和自组织能力。对于没有生命的无机体系统来说，如我们的大宇宙它是在运动着的，也是具有自我调节和自组织功能的“永动机”。它通过物质流和能量流实现自我调节和自组织过程，处在永恒的运动和变化之中；新的星星不断产生，老的星星不断消失，新陈代谢无始无终。又如运动着的河流系统，它也具有自我调节的与自组织功能。如河流纵剖面的形状，通过侵蚀和堆积过程实现自我调节与自组织过程；河流的流量，通过和地下水的相互关系也具有自我调节和自组织功能，河流的水量多时，就渗透给河床两侧的地下水；河流的水量少时，河床两侧的地下水又补偿给河流，这就是河流自我调节的功能。

3.2.2 地球系统的自相似性理论与分形分维层理

在地球系统中，同一属性的地物具有相似的形状，从它的局部到整体都具相似的特征。如一棵树、一条河流都有其同属相似性的特征。以马尾松为例，不仅所有的马尾松的整体都具相似性，而且每一株树上的各条枝也是相似的。又如黄土地区的所有水系发育形态都有相似的特征。正是由于这相似性的存在，根据系统的“局部映射(Imaging)整体”的层次，只须选择具有代表性的局部进行研究，就可以通过它去认识整体。这点十分重要，不仅可以节省很多人力、物力和时间，而且使得大范围，乃至全球的调查成为可行。美国物理学家、哲学家惠勒指出：“明天谁不熟悉分形，谁就不能被认为是科学的文化人。”

地球系统的自相似性理论与分形分维原理，是地球科学理论与系统科学理论、非线性科学理论，尤其是与拓扑学、几何学理论的综合。这个理论的诞生，尤其在地理科学中的应用还只有很短的时间，还处在初级阶段，很多地方还很不成熟，但它具有很大的发展前途，并将成为解决地球科学复杂图形问题的科学手段。

1. 综述

B.B. Mandelbrot早在1982年就首先提出了在自然界和社会中，普遍存在着形态的“自相似性”(Self-similarity)特征，或称“自复制”(self-affine)理论，并提出了“分形分维几何学”(Fractal Dimension Geometry)和“自然中的分形几何”(Fractal Geometry of Nature)来解决自然界、社会中的复杂的几何形态问题。

自相似性理论的重要点：不论对于自然界或社会对象的形态来说，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。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。标度指级别，观测数目等。B.B.Mandelbrot 进一步指出，局部形状与整体形状的相似性、局部的局部也与整体形状的相似性，是普遍存在的现象。

牛文元(1990)明确指出了"地理相似性与差异性的互补原则"。他认为在地理环境中，无限相似性与差异性组成互为对立的一组事件。相似中孕育着差异，差异中包含着相似。

苗东升教授的《系统科学原理》一书(1990)对分形分维原理进行了详细的介绍。现对其内容作了综合与归纳介绍如下，特此说明。

2. 分维(Dimension)

(1)维数概念，在欧氏空间中，称点是 0 维，线是 1 维，面是 2 维，体为 3 维。推而广之，时空是 4 维，高维抽象空间可以有 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(拓扑等价变换)即拉长、压缩扭曲后，仍然是不变的，称为拓扑维数。

维数是描述系统状态所需要的独立坐标的个数。一般要了解系统的状态、系统的结构和系统的行为或功能都是需要了解维数的。低维一般为简单系统，高维一般为复杂系统。

(2)分数维数：在维数概念的基础上，以普通整数空间为例，d 代表它的维数，若 d 维空间的一个几何形体的线度(如边长)放大 L 倍，整个形体就被放大 $K = L^d$ 倍。在 2 维空间中，一个正方形的边长放大 L 倍时，则该正方形扩大 $K = L^2$ 个原来的正方形。同样在 3 维空间中，立方体的边长放大 L 倍时，得到 $K = L^3$ 个原来的立方体。空间维数 d，线度(边长)放大倍数 L 和数 K 之间有如下关系

$$d = \frac{\ln K}{\ln L}$$

因此，如果将一个几何形体的线度(边长)放大 L 倍时，它本身相应放在 K 倍，而

$$K = L^d$$

则称数 d 为该几何形体的维数。

3. 分形(Fractal)

几何学是研究物体形状的。科学经典几何学把自然界的物体形状抽象成各种规则图形，一维的直线、曲线；二维的多边形、曲边形；三维的各种立体图形。这些图形都是光滑的，至少线是分段光滑的，面是分片光滑的，体是分块光滑的。这种规则而光滑的几何图形，为描述自然界一大批物体形状提供了精确的数学模型。分形则是不规则性的新几何概念。

分形的主要几何特征是具有层次结构，具有内部不均匀性(分形内点的分布不均匀)，有各种层次的空洞和缝隙。分形有两个基本特征：

(1) 不能用长度、面积、体积这类规则几何特征量来描述，应该用分维数来描述。分维是对分形对象内部不均匀性、层次结构性的整体数量特征的描述，对分形复杂性程度的度量。复杂的分形一般需同时用多种分维来描述。

(2) 分形是一种无标度性对象，在不同的尺度上观察它，看到的是相同的图形。这种局部与整体的形状的相似性、局部的局部也与整体相似性特征的原理，被 Mandelbrot 称为自相似性原理。不同层次自相似结构，是分形最本质的几何特征。

自然界中的分形：自然界存在各种尺度上的分形形体，大到宇宙，小到一个树的图形。但自然界的分形特征，与数学的分形不同，区别在于：

第一，自然界的分形不是按一定规则构造出来的有规则分形，而是一种具有自相似分布的随机对象，是无规则分形。

第二，自然分形的自相似性层次是有限的，分形只存在于被限制的范围内，不存在无限的自相似层次，如一条河流的分支、一棵树的分叉，都不是无限的。

以河流系统为例，从源头到河口，支流根据其大小及交汇数目，划分为不同的等级，河源处最小的水道（如冲沟）为第一级水道，即最小级别的水道，河口处的河段为第 N 级水道，即最高级别的水道；不论是什么地区的河流系统，也不管它们处在甚么样的气候、岩性、构造和地貌发展阶段的条件下，它们都具有相似性结构的特征，所以具有相似的分形特征。

根据 R.E. Horton, A.N. Strahler, S.A. Schumm, M.E. Morisawa 等人的研究，世界上所有的水系都具有相似的分形特征：

(1) 在任何一个流域内，水系的平均分枝比，接近于一个常数。不论在何种自然条件下，分枝比的值都是相似的，在 3 ~ 5 之间，它相当于水道数目与水道级别的回归系数的反对数。

(2) 在任何一个流域内，不同级别的水道数目与级别之间，成一半对数直线的回归关系。不论在何种自然条件下，其回归系数接近于一个常数，或在任何一个流域内，不同级别的水道数目，十分接近一个递减的几个级数。该级数的第一项为水系的平均分枝比。

(3) 在任何一个流域内，水道的平均长度与级别之间，成一半对数的直线关系。不同级别的水道长度，接近于递增的几何级数。其第一项是第一级水道的平均长度。

(4) 在任何一个流域内，各级水道的总长度与级别之间，成半对数直线关系。不同级别的水道总长度，接近于一个反对数的几何级数，其第一项是最高级水道的总长度。

(5) 在任何一个流域内，各级水道的平均比降构成按级别递减的几何级数。其中第一项是第一级水道的平均比降。如果海面或地壳有升降的河流，则情况要复杂一些。

(6) 平均河槽的宽度与水道级别之间，成一递减的几何级数关系。

(7) 对于任何一个流域来说，多年的平均径流量或平均最大流量与水道级别之间，成一递增的几何级数关系。

(8) 在自然条件一致的流域内，各级流域面积与级别之间存在着半对数的直线回归关系，或呈几何级数关系。第一项为第一级流域的平均面积。显然，岩性与气候不一致的流域是不符合以上规律的。

(9) 在岩性、气候/植被条件相似的条件下，流域地貌结构（河道密度）接近于一个常

数。

因此，河流系统具有明显的相似性特征，而且大多呈幂函数的关系，至少在统计规律上是非常明显的。

关于面状物体的形状问题，在分形曲线的长度定义在：

$$L(\delta) = \log\delta^{1-D}$$

式中 $L(\delta)$是尺码 δ 的函数，δ 越小，所量测的形态越丰富，曲线的长度越长。这也意味着仅当分形量测中使用的尺码 δ 足够小时，一个真值 D 才能获得。

分形几何原理不仅可用于地貌形态分析，而且还可以用于等高线自动识别、数字高程模型构造、数据压缩存贮和快速运算、非线性分形编码，栅格－矢量混合处理等应用方面。除了前面已经提到的 Horton Strahler 等人外，还有 B.B. Mandelbrot(1992)，La Barbera，Ross(1987，1988)，Feder (1988)，Tarboton 等(1988)，Nikora (1991)等人，研究河流地貌时都运用了"自相似性理论"和分形分维方法。E.A.Bander，T.Beer，M.Rorigas(1993) L.Liu (1992)，V.L.Nikora、V.B.Sapozhwikov(1993)运用计算进行了数值模拟。B.Kakenberg，M.F.Goodehild (1992)运用相似性理论和分形分维模型研究了地表特征。艾南山(1993)也运用相似性理论研究了河流地貌。

Turk 等(1987)、Okubo Aki (1987)，Aviles Seholz(1987)，Carr (1989)，Muralha charrua-Graco(1990)，Lee (1900)，Miller (1990)，Wakabayashi Fukushige(1992)，Older(1994)及谢和平等人运用相似性理论和分形分维方法研究了岩石的节理和断层，Okubo 和 Aki 对 San-Andreas fualts 断层测得的分维变化值在 1.12 到 1.43 之间

3.2.3 地球系统对象的自相关性特征

"自相关"(Self-relationship)是地球系统的又一基本特征。在一个区域内，所有的组成要素之间，都存在着自相关或自适应(Self-adapt)的特征。如地质、地貌、气候、水文、土壤、植被、动物、微生物、土地利用，甚至社会经济活动之间均存在着"自相关"或"自适应"的特征。这是长期以来这些要素之间或地球系统对象之间相互作用、相互改造、相互适应，取得的"和谐"、"协调"结果。如果某一要素，如植物、动物、或微生物；或土地利用方式，与地质、地形(地貌)、气候等基础要素"不相关"或"不适应"的话，该要素或对象就将脱离该系统，或在系统中被淘汰。外来的动植物进入系统时，它要进行"自相关"、"自适应"的过程，通常称为"驯化"过程。

§3.3 地球系统的空间结构与空间功能模型

地理空间结构与空间功能，或地理空间区位理论也是地理科学的经典理论之一。在新的条件下，应该具有新的内涵。

3.3.1 地理系统空间结构

地理空间结构(Geo-spatial structure)指在一特定的空间范围或区域内,自然和社会各要素,包括资源、环境、经济和社会诸要素的组合关系或耦合关系。同时,它还在同一空间范围内的资源配套关系(如阳光、土壤与水资源的配套等)、环境的配套(如深水港、地形等)和社会经济的配套(如人口素质与基础设施等)关系。

1) 地理系统空间结构理论/生产力布局与地域生产综合体理论

(1) 资源与环境的耦合(空间结构化原理之一):

• 资源耦合:如铁与煤的耦合、土地资源与水热资源的耦合等;

• 环境耦合:气候环境与地形环境的耦合,如温湿气候与平原地形的耦合等;

• 资源与环境的耦合:耕地资源与温湿环境的耦合,矿产资源(石油等)与深水港环境条件的耦合。

(2) 资源、环境与社会、经济条件的耦合(空间结构化原理之二):

• 最佳耦合结构;

• 一般耦合结构;

• 最差耦合结构。

2) 空间过程理论

物质流、能量流与信息流在空间的扩散方式,有:

(1)按方式分:

• 集中与分散方式 (Centralization and decentralization);

• 孤立与嵌入方式(Segragation and invasion);

• 邻近效应与辐射方式(Neighborhood effect and diffusion)。

(2)按性质分:

• 物质过程:资源、环境要素的移动过程(物质流);

• 粒子 - 能量过程:太阳的电磁波能量、重力、磁力、电力场等(能量流);

• 人类社会行为过程:引起的物质流、能量流和信息流;

• 人类的经济过程。

3.3.2 地理系统空间功能

地理空间功能或地理空间结构功能(Geo-spatial structure function),指区域或系统所具有的经济和社会发展潜力的大小,或可持续发展能力的大小,或潜力的大小。具有最优化结构的地区或系统,一定具有最强的地理空间功能,具有最强的经济和社会发展的潜力,或可持续发展的能力最强。例如,长江三角洲、珠江三角洲地区具有最佳的地理空间结构,因此具有最强的地理空间结构功能。江汉平原与黄淮海平原具有中等的地理空间

结构，因此具有中等的地理空间结构功能，西藏阿里地区及新疆塔里木盆地具有较差的地理空间结构，因此具有较差的地理空间结构功能。但塔里木盆地要比阿里地区要好一些，因为塔里木盆地有石油资源。

(1)地理空间功能分工理论：

• 发挥区域优势理论，包括资源优势、环境优势、社会优势、经济优势，应地制宜地发展理论。

• 发挥区域综合优势理论，地域生产综合体类型及其优化结构等。

(2)地理空间协同理论：

• 不同功能区之间的互补关系理论；

• 不同功能区的融合理论。

(3)地理空间功能评估：

• 区域自然资源、环境与生产力发展条件综合评估；

• 区域经济结构与产业间联系发展机制评估；

• 区域开发中的地区生产综合体的形成与发展评估；

• 区域空间聚集(人口、产业等)过程及合理规模评估；

• 不同类型空间的发展战略。

(4)地理空间发展原理：

• 最小的投入，最大的产出，最小的破坏原则，节省资源/能源和资金及劳动力，减少废气、废水、废物的排放量，而且要高产出、高效益，主要是有高的科技贡献率。

• 效果检验标准：经济效益、资源与环境效益、社会效益包括科教效益等。

(5)地理空间发展模式的选择：

• 分析该空间的资源、环境、社会、经济的优缺点，并提出措施；

• 在分析上述四大要素状况的基础上，对空间生产力布局的结构、功能特征进行论证；

• 对区域可持续发展模式进行论证。

3.3.3 地理系统区位原理

区位理论(Location Theory)，又称立地论(Standortslehre)是关于人类活动，特别是经济活动空间组织优化的理论。著名的区位理论有德国的 Von Thunen 的农业区位理论，W. Launhadt 和 A. Weber 的工业区位理论，A. Losch 的市场区位理论。尤其是 E. Ullman 把系统科学、运筹学、网络和扩散理论引入区位理论，使得区位理论达到了更高的水平。

古典区位论，立足于单一的产业或中心，着眼于成本和运费是否是最低；近代区位论立足于一定地区或城市，着眼于市场的扩大和优化；当代区位论，开始立足于整体国民经济，着眼于地域经济活动的最优组织。

因此，区位论是指探讨地理系统空间，对各种经济活动分布和影响的理论或研究生产力空间组织的一种学说，例如中心地学说、距离衰减法则和空间相互作用原理等。区位论主要有：农业区位论、工业区位论(劳动与运输费最低原则)、运输区位论(运输费最

低原则)及市场区论(有蜂巢状市场区结构、圆锥体理论)等。

地理系统空间区位论还指在一特定的地理系统空间范围内,对社会经济发展有利的部位,即使它的整体的空间结构有好与坏、功能有强与弱之分,但并不能说局部状况就不能有所差别。在整体好的系统内可能存在局部相对较差的区位。在差的系统内,寻找相对较好的区位,在整体较好的系统内,寻找相对更好的区位,完全取决于局部条件,也就是区位问题。

§3.4 地球系统的人口承载力与可持续发展理论

人类与自然相互作用理论,或人地系统理论,或人地关系理论是地理科学研究的传统内容,也是地理科学的主要理论之一。处于空间时代和信息社会的今天,这个古老的研究课题,应该赋以新的内涵。

人类是自然的产物,但当人类一出现,他对自然就产生了巨大的作用,包括建设性的作用和破坏性的作用。科技越发展,人类对自然的作用越大。

关于人类与自然的相互作用问题,一直是个热门话题,而且也是一个长期争论的问题。关于这个问题的理论有:

3.4.1 人地系统理论

1. 环境决定论

中国古代的思想家孔子提出了"畏天命"的思想,庄子主张"不以人助天"的思想,主张返朴归真,听命于自然。西方思想家 J.博丹和孟德斯鸠认为:"人的一切行为是由气候决定的"。C.R.达尔文认为:"自然环境决定了人类的一切",E.C.森普尔指出:"社会现象是环境必然的结果"及 E.Huntington 在他的《文明与气候》一书中主张"气候决定论"。

2. 人定胜天论

中国古代思想家荀子提出了"制天,化物"和"经纬天地,材官万物"和"制天命而用之"的宏伟思想。J.Brunhes 认为:"环境虽然影响人类,但人类也有操纵与征服环境的能力"。

3. 人与环境协调理论

我国古代思想家老子早就提出了"天人合一"和"人法地,地法天,天法道,道法自然"等思想。西方科学家 A.Von 洪堡指出:"人是自然统一体的组成部分"。

3.4.2 关于地球系统的人口承载力问题

关于地球系统的人口承载力问题,或地球系统的人口承载极限问题,是地球科学,尤其是地理科学的核心问题。科学家指出,20 世纪人类最重要的三大发现是:爱因斯坦

的相对论、计算机及其网络技术及人类对于地球存在极限的初步认识。由于地球上的资源贮量与环境容量是有限的，因此人类要有可持续发展的思想来对待生产和生活方式。自 1992 年世界环境与发展大会发表了《21 世纪议程》以来，世界大多数国家，已把可持续发展作为各国的发展战略目标。而地球系统的人口承载力是可持续发展在基础理论之一。

1. 关于承载力的计算问题

关于人口承载力的计算，有的只以人的主食和副食为准，都折合成标准粮计算，有的除主食与副食以外，还加上燃料（煤、油、汽、柴、草等）、衣料等在一起折合成标准粮。还有人主张，不仅要计算衣和食，而且还应将住和行也计算在内，他们主张，满足人类享有合理的物质文明与精神文明所需的空间：包括资源、能源及环境所需的空间，提供的矿产(金属能源建材)、淡水、土地、生活环境等：

- 衣、食、住、行必需的土地资源、淡水水域；
- 为提供住房、交通工具、生活工具需要的矿产资源所要求的产地空间；
- 文娱、体育、旅游、教育、医疗、保健等公共场所所需的空间。

关于土地面积的计算问题，有的只计算耕地面积，有多少耕地能养活多少人。有的主张将耕地、山地、沙漠、荒地、石山等全部陆地算在内，理由是所有的金属矿资源、石油、天然气及煤等能源、水电能源及建材等，都可能从山区、沙漠、荒地上来。因此应该把所有的陆地都算上。还有主张除陆地以外，还应把海洋计算在内，因为海洋不仅提供人类所需的食品，如鱼、虾、海藻类等水产品，而且还提供石油、天然气，以及波浪、潮汐等能源和金属矿资源，如铁、锰结核等。

但大部分科学家所指的人口承载力是指主食和副食品的供应，都以多少耕地能养活多少人口来计算。这看来也不全面的，未来的食品可能从海洋中来，至少部分甚至相当一部分将来自海洋，某些医药也可来自海洋。

一个人的资源消耗量是一个十分复杂的问题，看以什么标准消费，穷人和富人间有很大的差别。我们既不能以高消费标准来计算，也不能以低消费标准来计算，应以合理的消费标准来计算。什么才叫合理的消费标准？这也是一个问题。我们主张一个人应该以合理的物质生活和精神生活作为消费标准。但它究竟是多少呢？没有人研究过。这是应该认真研究的主要课题。

1996 年一个中国城市人口的每天人均消费量：粮食 387 克、肉禽 78.3 克、鱼虾 36.1 克、奶类 24.2 克、蛋类 76.1 克。根据报道除粮食外，上述的消费量都以每年 10% ~ 20% 速度递增。

一个美国人活到 80 岁时的平均消费水平为：共消耗淡水 75 吨，17 吨碳水化合物，2.5 吨蛋白质，1.0 吨脂肪，350 立方米木材(约 1 000 棵树)，2 000 万升气油，还有金属、水泥、玻璃、塑料等建材，还有纤维等，衣食住行等消耗的资源和能源总量。

据联合国 FAO 资料，一个人的平均生存空间 0.796 亩（或称极限空间），或 528 平方米的空间面积，每人要求有 30 平方米面积的生态树。

2. 资源承载力（极限）

由于我们只有一个地球，而且地球的空间是有限的，所地球系统资源也是有限的。

(1)非再生资源的极限：非再生资源是指矿产资，金属矿、石油、天然气、煤及各种建材资源等。据资料介绍，煤矿资源尚能维持 100 年。据现在探明贮量和年平均消耗量计算石油、(总贮量为 30 亿吨)天然气资源只能维持 50 年左右，磷酸盐资源约为 55 年（340 亿吨贮量）。

(2)可再生资源的极限：可再生资源指土地资源、淡水资源及生物资源，包括植物资源，如农业、林业及草场资源等，动物资源，如野生与饲养的禽类和牲口、畜类等。据资料统计和有关报道：

耕地减少日益严重，近 30 年来，日本耕地减少了 52%，韩国减少了 42%，我国台湾省减少了 36%。据联合国估算，在 1950～1970 年间，全球耕地面积减少 25%，自 1950 年以来，用于生产粮食的人均土地面积缩少了 30%，1950 年时，人均耕地面积为 0.23 公顷，1995 年时只有 0.12 公顷（世界观察研究所，1996）。

据世界自然基金会估计，全球现有 32 亿公顷森林，但现正以平均每年损失 1 540 万公顷的速度在减少，尤以亚马孙河流域最为严重。亚太地区森林覆盖率为 21%，在 80 年代，每年以平均 390 万公顷的速度减少，而 10 年中每年造林面积只有 21 万公顷。

淡水资源是工业、农业及人类生活所必需的资源，也是环境质量的重要标志。目前全球淡水资源的需求量达到了极限，约有 12 亿人口生活在缺水之中。据美国斯坦福大学估计，在今后的 200 年中淡水资源可能耗尽。

地球能供给粮食的能力是有限的，绿色革命给人类带来了希望，但也是有限的，其原因是植物只能将不超过 2%的太阳能量转化为碳水化合物或蛋白质，遗传工程也不是无限止地能增长粮食的，机械化的作用也很有限。化肥用的磷酸盐，现在只有 340 亿吨贮量，将在 55 年内耗尽，而且耕地面积只在不断缩小，所以粮食生产也是有限度的。

物种在减少，以鸟类为例，有 6 699 种的种群在减少，其中大约 1 000 个鸟种的种群已减少到了濒临灭绝的地步。到本世纪末可能多达 100 万种动物、植物濒临灭绝。12%的哺乳动物和 11%的鸟类濒临灭绝。每 24 小时有 150～200 种生物的种群在地球上消失（UNEP，1996）。

3. 环境的承载力

地球系统的环境包括大环境（指自然条件，如地形、气候、自然灾害等）、环境（指环境污染如大气污染、水污染、土壤污染等）。

(1) 自然条件：有些地方是适合于人类生活的，但不少地方是不适合于人生活的，如缺氧（海拔 4 000 米以上）、缺温（极地与高山之顶）、缺水（沙漠）、缺土（石山、岩溶山地）等，约占全球陆地面积的 25%～30%。其他人类可以生存的地方又有受到地震、洪涝、山崩、滑波、泥石流、火山、林火、雪灾、风灾等自然灾害的危胁。据 FAO 资料，每年约有 600 万公顷的土地在沙化；每年有 100 万平方公里面积的耕地被毁掉，11%的耕地的肥力在退化。

(2) 环境污染：大气污染、酸雨、臭氧层的破坏。温室效应；气温上升、海面升高、海边低地被淹、海水倒灌、水质污染，使得本来缺水变得雪上加霜；土壤污染、固体污染、放射性污染、噪声污染、电波污染等，严重地破坏了人类的生存环境。

4. 关于“增长的极限”与“无极限的增长”之争

著名的罗马俱乐部的两派学者，就可持续发展的基础理论“生产增长的极限”问题，开展了激烈的争论：

D. Meadows 在他的力作《增长的极限》(*The limited to grouth*)发表后，引起了西方世界的轰动，对主张“高增长、高消费”的人提出了警告。

《增长的极限》一书的主要要点是：运用系统动力学的方法，将支配世界系统的物质关系、经济关系和社会关系进行综合，提出了人口不断增长、消费日益提高，而资源则不断减少、污染日益严重，制约了生产的增长。虽然科技不断进步能起到促进生产的作用，但这种作用是有一定限度的。生产的增长是有限的。

J. L. Simon 在他的著作《无极限的增长》中，提出了与 D. Meadows 完全相反的观点，认为增长是没有极限的，即“无极限的增长”的著名论点。

J. L. Simon 的《无极限的增长》一书的要点是：采用历史外推法，提出凭借技术进步和市场调节作用，就能保证生产不断增长。他的主要论点有：

(1) 资源问题：资源的短缺程度是由资源价格决定的，与获得资源的难易程度有关。价格越高，刺激了生产的积极性，资源少的可能变成多的，难开采的也开采了。

衡量资源紧缺的最恰当标准是自然资源的劳动成本资源相对于工资和其他商品价格，即以市场来调节。

统计结果显示，自然资源的短缺状况一直在趋向缓和。

(2) 人口问题：人口不是太多，而是如何负担和教育这些孩子，即人的素质问题。

人口问题是一个先投资、后得益的问题。人口问题涉及更多的野生动物，更少的人，或相反？

(3) 环境问题：人口寿命的增长证明环境在不断的优化。污染是坏事，但从经济学家的角度来看，主要是要寻找合理的污染水平。问题在于我们要付多大的代价，以换取多大的整洁度。

(4) 技术问题：技术可以开发新资源、新能源和新材料；技术可以将低品位、原不能利用的成为可用资源、地壳深部原来不能利用变为可利用，原不能利用的其他星球的资源，宇宙资源也变得不可以利用为可利用。

技术可以将资源重复使用，有害物变为有利物。

5. 人口增长的极限

奥地利克森堡国际应用系统分析学会的人口学家们认为，世界人口的增长是有极限的。现在人口为 58 亿，不大可能增长一倍。该机构的报告指出：到下世纪末，世界人口将达到高峰值后逐渐下降。《新科学家》周刊的主编沃尔夫冈·卢茨说，世界人口到 2080 年可能达到 106 亿的高峰后开始下降，到 21 世纪末降至 103.6 亿，并将继续下降，到 2100

年时世界人口将降至65亿左右，人口将稳定在这个水平。这种预测的可能率在60%。

按联合国的人口司统计1990～1995年人口年增长率为1.48%，过去为1.57%，每年少增长2 900万人口，1990～1995年间每年妇女生育平均为2.96胎，而过去为3.1胎，人口增长已趋向缓和。现在人口为57.7亿，2050年的人口将为94亿。

FAO(1996)指出，世界粮食年平均增长率：60年代为3%，80年代为2%，90年代为1.8%。

为了保持人类社会的可持续发展，在现在科技水平与只有一个地球、人类可以赖以生存的条件下，人类应有以下的共同认识：

第一，人类对非再生资源的消费速度不能大于非再生资源的替代速度，即不能大于新能源、新材料等的发展与开发速度；

第二，人类对可再生资源的消费速度，不能大于可再生资源的再生速度，即不能大于粮食、棉花、淡水资源的年总产量；

第三，人类对环境的破坏速度，不能大于自然环境的自净能力（即环境容量）和自我恢复能力（自组织能力）；人类对环境的破坏速度不能大于人类对环境的建设速度；人类对自然灾害的抗御能力要大于自然灾害的破坏能力；

第四，人类自身的发展速度要大于人类自身的退化速度，如人类繁殖能力的退化、体力的退化、抗病力的退化等。

3.4.3 可持续发展理论

可持续发展（Sustainable Development）是当代影响最大的“人与自然相互作用的理论”。1992年在巴西里约热内卢召开的“世界环境与发展大会”，有182个国家和地区首脑参加，共同签署了名为《21世纪议程》的宣言，正式确认了“可持续发展是世界各国发展的战略目标”。

可持续发展是指：经济和社会的发展，既要满足当代人的需求，又要不影响后代人的需求。社会经济的增长，不能片面追求增长的数量和速度，要考虑增长的质量，包括对资源和环境不造成破坏，不引起社会财富分配的不合理和造成贫富差别悬殊和社会的不稳定。

可持续发展的基本理论是：我们只有一个地球，至少目前是如此。地球的资源和环境的容量是有限。人们对地球或自然界的索取，不能超过地球的承载力，人们对自然资源和环境的利用，必须遵循客观规律，违反了客观规律，将会对自然资源和环境造成破坏。人们应保护资源和环境，应开发新资源、新能源、新材料和变有害废弃物成为有用的资源。要求达到资源、环境、社会和经济的协调发展，才是可持续发展，才是人类与自然间的协调关系。尤其要改变目前的粗放型、高能耗、高材耗、高破坏、高污染、高成本和低益的生产方式，提倡高技术、节约与集约型和规模生产方式；及改变目前的高消费、高浪费的生活方式，提倡合理的、俭朴的和适度的生活方式。

总之，实现可持续发展的基本条件有：

- 人类社会对非再生资源的替代速度 ≥ 非再生资源的利用速度；

- 人类对可再生资源的利用速度 ≤ 可再生资源的再生速度；
- 人类对环境的破坏、污染速度 ≤ 环境自我恢复、自净速度；
- 人类社会对自然灾害的抵御能力 ≥ 自然灾害破坏能力；
- 人类社会对环境的建设速度 ≥ 人类与自然对环境的破坏速度。

衡量任何一项人类的社会活动，是否符合可持续发展，主要判别标准有：

- 经济效益；
- 资源与环境保护效益；
- 社会效益，特别是科教效益。

第四章　地球系统的非线性与复杂性特征

§4.1　地球系统的非线性特征

4.1.1　地球系统非线性特征的基本概念

地球系统的非线性特征，不仅是地球信息科学的基础理论，而且对于建模和应用也具有重大的指导作用。

系统论的创始人、奥地利生物学家贝塔朗菲早在50年前就指出：当子系统构成大系统时，大系统的功能大于子系统功能的简单相加。尤其在对生物系统的研究中，提出了著名的“整体功能大于各部功能之和”的结论，即“$1+1\neq2$”，称为系统功能不守恒定律或非线性定律。

按照系统科学的理论，地球是一个典型的开放的巨系统，这已经得到大多数科学家的承认。依据系统功能原理：“系统的整体功能大于各部分功能之和”，这是典型的非线性现象，而且也是普遍存在的规律，只要属于“系统”它的功能都具有非线性特征。用通俗易懂的说法，系统的功能可以用：“$1+1>2$”的数学形式来表达，但它不是数学公式，不符合数学的规则、它是“系统”的规则。例如，人的眼睛的灵敏度，两只眼睛要比单只眼睛高出6～10倍。再以手的功能来说，两只手的功能，要比一只手的功能大10～20倍，这是生活中的非线性现象。在自然界中，野生动物的繁殖数量是按几何级数增长的；社会生产力的发展，也是按几何级数规则发展的。“从量变到质变”的规律，也是一种非线现象。

但是系统功能的大小，取决于系统的结构。它并不完全遵循“系统的整体功能大于各组成部功能之和”的法则，它主要由系统的组成结构来决定。例如在生活中，有这样的说法：“一个和尚挑水吃，两个和尚抬水吃，三个和尚没水吃”，这就是系统的结构与系统的组织问题，它也可能成几何级数递减。因此，从系统的角度来看，系统的整体功能与各组成部分之间的关系，存在三种可能性：

第一种：$1+1>2$（系统相加，正效果）

第二种：$1+1=2$（系统相加，平效果）

第三种：$1+1<2$（系统相加，负效果）

这三种结果，是由系统的结构所决定的。

地球系统的非线性特征是很明显的，也是普遍存在的现象。首先人口的增长、社会经济的发展、科学技术的发展都具有高度的非线性特征（徐冠华，1999）。大气运动、海水运动、动物与植物的繁殖具有非线性特征，水系的形态、降雨造成的侵蚀过程、风力吹蚀沙丘的移动过程和地震活动亦具有非线性特征。很多自然现象与社会经济现象都具有非线性特征。虽然也有时出现线性特征，但这是暂时的和局部的，而非线性则是普遍的

和永久的，也是本质的。

§4.2 地球系统的协同、突变与混沌理论

4.2.1 地球系统非线性特征的协同理论

系统的非线性特征是以协同论（Synergetic）作为理论基础的。按协同论的观点，组成系统的各要素之间、主系统与各子系统之间，既有相互联系、相互依存的一面，又有相互排斥、相互制约的一面。协同论主要研究各子系统之间、各组成要素之间是如何协调发挥作用的。系统的正效果，是由于相互依存、相互联系为优势作用的结果；而系统的负效果，是以相互排斥为优势作用的结果。

协同论是由德国理论物学家 Haken 于 1977 年创建的。它的研究对象为复杂的巨系统，如天体系统、地球系统和社会系统等。协同论是研究系统的各组成部分之间是如何协同工作的；各组成部分之间既有相互联系、相互依存的一面，又有相互制约、相互排斥与竞争的一面，对立的两个方面又是如何协调与统一的，即协同的，系统各组成部分的功能相加又是如何具有非线性特征的。因此，协同论是研究系统从原始的无序状况发展成为有序状态或从一种有序结构转变为另一种有序结构。苗东升教授(1990)指出：协同论是有关多组分系统如何通过系统的协同行动而导致有序演化的自组织理论。例如，一个区域系统中，地质、地貌、气候、水文及生物是如何协同作用的；对于区域系统的整个功能来说，又是如何具有非线性特征的。

地球系统协同的特征有：

(1) 非线性特征：所有地球系统功能都具有非线性特征。

(2) 依赖于外部控制参量：地球系统是开放的、远离平衡状态的大系统，它们与环境有物质、能量和信息的交换，演化行为受外部条件的影响和支配。

(3) 涨落现象特征：地球系统发生演化的动因不可能完全预测，它往往是随机变化的，因此导致涨落现象的产生。

(4) 地球系统是非均匀介质的，受扩散或波传导等因素的影响。

地球系统的非线性现象是普遍存在的。如各级河流的级别与数量，宽度、比降之间呈明显的非线性关系，水量也呈非线性关系。

4.2.2 地球系统的非线性特征突变理论

地球系统的突变理论是地球科学理论与非线性科学理论，尤其是突变理论的综合。地球系统的突变现象是普遍存在的，而且也是地球系统变化的一种常见的形式之一，它与“渐变”共同组成了地球系统变化的主要方式。

1. 基本概念

突变理论(Catastrophe theory)是法国数学家 Thom 首先提出来的。它是研究系统的状

态，随外界控制参数连续变化而发生的不连续变化理论。该理论认为，在条件的转折点(临界点、或分支点)附近，控制参数的任意一个微小变化都会引起系统发生突变。同时还应指出，突变都发生在系统结构不稳定的地方。

地理系统的非线性数学模式有两个分支：其一是拓扑学的观念，涉及较深的数学基础；其二是分叉理论的观念，即泛函数分析算子理论的观点。

具体地说，系统在发展过程中它们的系统物理量并不是始终不变的，或多或少地发生一些偏离现象，这种现象称“涨落”。这种“涨落”是随机的，而且还是微小的，很快会消失。在一定时刻，某一空间位置上的随机变量的涨落，与其他时间、其他位置上的涨落完全无关，即在时间和空间上没有相干性，它们不能形成时空上的有序性。然而在临界点附近的涨落则就不同了，不仅涨落的强度大，而且具有时空的协同作用或相干性，称为巨涨落。这种巨涨落，将引起系统的物质流和能量流的重大变化，并形成新的系统结构和新的有序特征，于是该系统就发生了“突变”，形成新的系统。这就是系统由物质流和能量流的渐变到突变、量变到质变的过程。在临界点附近，控制参数改变可以从根本上改变系统结构和功能。这种改变称为突变。

突变理论是用拓扑学方法研究各种跃迁、不连续性和质变的理论和方法。或者说，突变理论就是研究系统状态随外界控制参数连续改变而发生的不连续变化的理论。突变理论也是非线性特征的基础理论之一。

地球系统中的突变现象是普遍存在的，是由于地球系统的非线性特征决定的。这种外界条件的轻微变化，导致了系统宏观状态的剧变，只是在非线性系统中才有。

2. 地球系统的突变现象

(1)生物种群的突变：关于生物种群的突变现象是普遍得到承认的，但对于突变造成的原因却争论不休。白顺良教授认为，地球上自有生命以来的35亿年中(个别人认为38亿年)，生物种群的更替或突变约有6～7次，如元古代的澄江化石群中反映的生物的绝灭，奥陶纪鹦鹉螺的绝灭，泥盆纪笔石的绝灭，二叠纪四射珊瑚的绝灭，侏罗纪菊石的绝灭，以及白垩纪恐龙的绝灭等。白顺良教授认为，造成地球上生物群更替或绝灭的原因是：陨石撞击地球表面一次，能量相当于1 000个广岛投下的原子弹，对地壳造成巨大的震动，使得大裂谷、大断裂发生复活，使得有毒矿物如Ni和Ir等从地壳深部上升到地表并大量堆积，造成了对生物的杀伤作用。陨石撞击是一瞬间完成的，但Ni和Ir的毒害则长期存在，能影响到数百年、数千年。

(2)地震与火山爆发的突变过程：地震与火山爆发，应力和能量的集中过程可能需要很长时间，但爆发则是一瞬间的事，或几秒钟的事。地震和火山爆发虽然都有前兆，但爆发则是突然的，它们的发生都具有突变特征。

(3)地貌的突变过程：地貌的塑造过程，不论是侵蚀地貌还是堆积地貌过程都有一个突变过程，尤其是山崩、滑波、泥石流。河流的冲刷、河流阶地与洪积扇的堆积等都是突变的过程。地貌过程，当然也有不少属渐变过程，常规的侵蚀和堆积过程，既缓慢，也是微弱的。

(4)社会过程发生突变的例子，也是很多的。产业革命也可认为是突变。“信息革命

是社会进化的突变形式之一。”

4.2.3 地球系统的非线性特征与混沌现象

地球系统的混沌现象是普遍存在的，尤其在天气预报、地震预报及社会经济预测中，广泛提到了混沌理论概念。

1. 基本概念

混沌又被称为“混沌学”、“纷乱学”、“紊乱学”和“杂乱学”，它虽然早已出现在很多领域的论文中，但是至今尚未建立起能够普遍接受的定义。“混沌”这个术语，首先是由美国气象学家 E.N.Loren 于 1963 年提出来的。他发现在一非线性动态系统的相空间中，在一定的参数范围内，轨迹线在一个范围内作无规则现象运动中，存在着一定的规律性。Haken(1984)指出：“混沌性为来源于决定性方程的无规则运动”。I. Prigogine(1987) 把混沌分为两类：一类是热混沌，即无序的热平冲(或称原始混沌)；另一类是非平衡湍流混沌。Haken 也把无序的热平衡状态看作一种混沌状态。综上所述，混沌就是动力系统的不规则的、非周期的、异常复杂的运动形式；但它并不是完全无规则的，表面上看起来杂乱无章，实际上有规律可循。即自然辩证法中的偶然性和必然性的关系，偶然性是混沌的特征，但偶然性是包涵在必然性中。研究混沌理论的目的，就是发现紊乱中的规律性的条件。

2. 基本理论

混沌主要讨论的是概率问题，或随机性问题。混沌不是简单的无序或混乱，而是没有明显的周期性和对称性，但同时又有丰富的内部层次性和有序性，无序状态中存在着一定的规律性。即无序中包含着有序，有序中又包含着无序的行为。

根据苗东升教授及其他学者的观点进行总结和归纳，混沌的基本要点有：

(1)混沌是非线性系统的控制参量按一定向不断变化而达到某种极限情形的一种结构状态，是一种非周期性的运动。

(2)混沌不是一片紊乱，而是一种没有明显周期性和对称性的有序状态，是具有一定的层次性的有序性，在无序状态中有在着一定的规律性。

(3)在现实世界中对称性是非常复杂的，且存在各种类的对称性，彼此交织在一起。在系统演化中，有些现象在一定条件下表现出很高的对称性，但在另一种情况则相反，周期性和对称性很不明显。

因此，混沌研究的基本内容有：

(1)从系统的紊乱事物中寻求规律性；

(2)偶然性、随机性蕴育于必然性之中，从偶然的随机的事态中通过统计方法寻找无序中的有序性；

(3)判别系统中的动力随机性与内在随机性行为；

(4)研究混沌现象对初值的敏感依赖性：从两个非常接近的初值出发的两条轨迹线，

在经过一段时间演化后可变得相距甚远，诚所谓“失之毫厘，差之千里”，表现出轨迹线对初值的极端敏感性。

3. 基本方法

混沌理论的特点是把决定论和概率论，两者相统一起来解决复杂问题的方法论。在混沌中寻找有序的、规律性的方法是：

第一，将“紊乱”、“无序”、“无规则”现象划分为层次；找到层次后自按层次寻找规律；

第二，将“紊乱”、“无序”现象进行统计，即采用概率方法找出混沌中的规律。

4. 地球系统中的混沌现象

科学家认为解决复杂的巨系统问题，应该运用混沌理论和方法。例如，牛津大学生态学家 Robert May 用混沌理论预测了非洲野生动物的数量的变化，纽约州立大学布法罗分校的来尔开尔·谢里丹使用混沌的类推模式预测了墨西哥利马火山的喷发等，都有较好的效果。但天气预报、地震预报及道琼斯工业股标指数变化等方面，虽然运用混沌理论和方法进行了研究，尚未见明显的成功效果。

§4.3 地球系统的复杂性特征

地球系统是一个开放的、复杂的系统，尤其是它的复杂性越来越受到广泛的关注。地球系统的复杂性主要表现在各种相互对立、相互矛盾并存的现象的普遍存在。从系统的宏观现象到微观现象，这种复杂性现象是到处可见的。方福康教授(1999)指出：“复杂性研究是当前科学发展的前沿，其内容不但包括耗散结构理论、协同论、自组织理论、突变理论、混沌理论、分形理论等经典内容，而且近期以斯坦福为代表的自适应系统复杂性讨论，为系统理论的分析带来了新的思路和技术途径。”

方福康教授认为复杂系统的复杂性，主要表现在以下几个方面：

(1)系统是由许多同类或不同类的部分组成，每个部分都不同程度地影响系统的发展变化；

(2)系统是分层次的，每个层次的演化现象不同，发展规律也可能存在着差异；

(3)系统的耦合关系强，不同部分、不同层次，甚至同部分、同层次之间相互关联、相互作用；

(4)系统的非线性特征：组成部分或层次之间的相互作用是非线性的，这也是复杂性和多样性产生的原因之一；

(5)系统的动态性特征：复杂系统是时变系统，其结构、功能及关系都是动态的，研究复杂系统的核心问题是它的随时间的演化行为；

(6)系统的开放性，复杂系统是开放的系统，这是一个必要条件，它和复杂的环境进行物质、能量及信息的交流，从而增加了系统的适应能力。

方福康教授指出，始于 20 世纪 70 年代的复杂性认识，是基于发现了远离平衡条件下的时、空结构和非平衡自组织理论提示系统从无序向有序转变的基础原理和规律。而这

些原理和规律在物理、化学和生物学，乃至社会学都适用。耗散结构理论、协同理论是自组织理论的基础，它们都讨论在远离平衡态的非线性区的系统的演化、突变规律。协同理论研究了一个系统如何自发产生一定的有序结构；并给出一个有大量子系统组成的系统，在一定条件下，子系统之间通过非线性的相互作用形成一定功能的结构表现新的有序。协同论以信息论、控制论、突变论等现代理论为基础，描述了非平衡系统从无序向有序性转化的微观机制。在复杂系统中所涉及的一些基本特征，如非线性、非平衡、突变、混沌等具有明显的普遍性。方福康还进一步指出：地球系统是一个复杂的开放的巨系统，它呈现出非线性、多尺度、自组织、有序和随机性等现象。复杂性研究可为“数字地球”的技术实现提供理论背景。

4.3.1 地球系统的复杂性综述

(1)在地理系统的动力模型中，分散与集中两种对立的过程并存现象是普遍的，并组成了地球系统的动力机制。

(2)地球系统的线性与非线性特征并存现象也是普遍存在的。对于一些系统来说，它的局部可能是线性的，但整体可能是非线性的；从系统的发展阶段来看，某一段时间系统可能表现为线性特征，而全部过程则可能为非线性过程；或从微观来看可能是线性的，但从宏观来看可能是非线性的。所以系统的过程线性与非线性并存，但以非线性为主。

(3)在地球系统的发展过程中，有序与无序并存的现象，也是客观存在的。系统在发展过程中，往往存在以下几种情况：从局部来看它可能是有序的，从整体来看，它又可能是无序的；或相反，从总体来看它可能是有序的，但它的局部可能又是无序的。从某一时段来看，它可能是有序的，但从较长时段来看，可能又是无序的；或相反，从某一时段来看，它可能是无序的，但从长时期来看，它能又是有序的。

(4)对于地球系统的数据来说，有的数据是非常精确的，但又有一些数据则是模糊的，而且也不可能做到精确。这两种数据并存的现象是普遍存在的。

(5)地球系统的时间与空间尺度的大与小、快与慢并存在现象随处可见。它们的时间跨度可以从十亿分之一秒到十亿年，空间跨度可以从纳米到数十亿光年的变化。

另外，还如前所述，系统存在系统的整体性与分异性并存的现象、渐变和突变的并存现象。

4.3.2 地球系统间的整体性、节律性与分异性

地球系统空间的整体性与分异性理论/地带性规律是地理科学理论与系统科学论的综合，也是地理科学的经典理论之一。

现代物理学揭示，已知92种天然原子是由质子、中子和电子3种稳定的基本粒子构成。这92种原子又构成了地球系统的一切，包括无机体和有机体等万事万物。这就是整体性、统一性与分异性、多样性的表现。

地球系统空间的整体性与分异性是地理系统的两个对立而又统一的方面，而且也是

不可分割的，是相互补充的，并共同组成系统空间的完整的概念。

1. 地球系统空间的整体性

地球系统空间的整体性包含两个基本概念：

第一，地球系统空间的自然要素综合作用的特征。首先，任何一位地理系统空间的特征，都是由地质、地形、气候、水文、植被、动物、微生物、土壤等诸要素的综合作用的结果，自然环境是一个统一的整体，即自然统一体(Unitory of Nature)，而且在今天的科技高度发达的条件下，地球表层无处不受人类社会活动的影响。人类活动也是经济活动和社会活动的综合作用。任何地球系统空间都是自然环境和人类社会活动综合影响的结果。任美锷院士认为地理是"人类自然环境综合体"的新概念，是非常正确的。因而，可以说任何地球系统或区域系统都是人类自然环境综合体，即资源、环境、社会与经济状况的综合的整体特征的表征。

第二，地球系统空间和时间上的连续性。地理空间是连续的、不间断的，而且在时间上也是连续的。现在的地球系统状况，是过去地球系统状态的延续。系统的任何一种现象或过程都是过去现象或过程的延续或反映，因此，在时间上也具有整体性特征。

2. 地球系统空间的分异性/地带性

地球系统空间的分异也包括以下两个概念：

第一，地球系统空间的相似性与分异性特征。地理空间的整体性造成了相似性特征。然而，地理空间由于太阳能辐射随纬度的分布不均匀性、因大地构造形成的大地形分布的不均匀性、由海陆相互作用引起的干湿分布的不均匀性、由于岩性、矿物分布不均匀造成矿产资源分布的不均匀性，以及由于上述诸因素造成的土地资源、植物资源的不均匀性等，综合构成了地理空间系统分布的分异特征。牛文元(1990)提了"地理相似性与差异性互补原则"。

第二，地球系统过程的振荡、节律性。地理系统过程随时间的变化，在随机条件下，一般具有某种周期性或循环性的特征，包括季相变化规律、月变化规律(潮汐)、年变化规律等。周期性变化是自然界普遍存在的特征，社会现象也有类似的特点。F. Mosetti (1990) 提出，一些地球物理现象的周期与以指数序列计算的理论周期序列中的某些周期能够较好地符合。一些地理现象的主要周期亦具有这一现象。

例如，地质周期韵律分为时间上的韵律(称为时间周期)，空间尺度上的韵律(称空间周期)。如大部分矿物内部质点(原子)在三维空间上作周期重复排列而形成晶格。矿物晶体的对称性，实际上也是一种周期现象，称之为沉积韵律。岩浆岩及侵入岩的带状韵律构造。岩浆岩的重力分异造成了韵律旋回，变质岩中变晶结构(定向排列)形成的周期规律。许多古生物化石也有周期性分层的特点，是气候周变化形成的韵律。

3. 地球系统空间的分异性

地理系统空间分异表现为：

(1)水平地带性，也叫纬度地带性。由于受太阳辐射能量时不均匀性，从高纬到低纬

分为冻原地带、泰加林地带、针阔混合林地带、阔叶林地带、亚热带森林地带、热带森林带等。

(2)干湿地带性,也叫经度地带性。由于受海陆相互作用及气候带的影响,降水分布自沿海向内陆续渐减少,从而引起了水文、土壤、生物及整个自然综合体从沿海向内陆变化的现象。这种变化规律在我国尤为明显,表现为由东向西随经度而变化。

(3)垂直地带性,又称为高度带性。由于温度和降水随海拔高度而变化,因此,植物、土壤、水文、地貌等也随高度而变化。

(4)非地带性(Non-Zonality)。是与地带性对应的现象。自然地理环境各组成部分及其相互作用形成的自然综合体不按或偏离地带性规律。

(5)地方性(Locality):坡向的分异性特征,主要出现在干旱和半干旱地区。

(6)隐域性(Intra-Zonality),又称地带内性。在地带内的某些部位由于局部地貌、岩性和地水下的差异而形成的不同自然特征。

第五章　数字地球技术系统概述

§5.1　数字地球的基本概念

与“数字地球”(Digital Earth)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,都是与地球的数字化或信息化相关,但被大家接受的还要首推数字地球。

Al Gore 在其 1998 年的报告中指出:数字地球是指一个以地理坐标(经纬网)为依据的、具有多分辨率海量数据的、立体显示的地球的技术系统。

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。详细一点说,数字地球是指以地球作为对象的、以地理坐标为依据,具有多分辨力、海量的和多种数据融合的,并可用多媒体和虚拟技术进行多维(立体的和动态的)表达的,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,数字地球是指数字化的虚拟地球。形象一点地说,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。

陈述彭院士指出:“从科学的角度讲,数字地球通俗易懂,是一个面向社会的号召;实质地说,数字地球就是要求地球上的信息全部实现数字化”。

数字地球是继国家信息基础设施(NII,俗称信息高速公路)和国家空间数据基础设施(NSDI,俗称地学信息高速公路)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、高速计算机网络技术和虚拟技术为核心的信息技术系统,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、企业和学术界共同协力参加。实施数字地球计划是社会的行为,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,进一步促进科学技术的发展和推动社会经济的进步。

数字地球是将不同空间、时间、物质和能量的多种分辨率的有关资源、环境、社会、经济和人口等海量数据或信息,按地理坐标,从局部到整体,从区域到全球进行整合、融合

及多维(如4维)显示,并能为解决复杂生产实践和知识创新、技术开发与理论研究提供实验条件和试验基地(包括仿真和虚拟实验),这是一个大的技术革命。不论叫数字地球或别的什么,它的意义在于它代表了当前科技的发展战略目标和方向。

§5.2 数字地球产生的背景

1. 科学背景

美国"国家地理信息与分析中心"(National Center for Geographic Information and Analysis, NCGIA)与"大学地理信息科学研究会"(University Consortium for Geographic Information Science, UCGIS)于1995提出了"数字世界"(Digital World)的概念,并对研究内容作了阐明。

美国国家地理信息与分析中心(NCGIA)给美国自然基金委员会(NSF)提出的建议"高级地理信息科学"(Advancing Geographic Information Science, 1995)报告中,提出的地理信息科学的战略领域有三:

- 地理空间的认知模型(Cognitive Models of Geographic Space);
- 地理概念的计算机实现(Computational Implementations of Geographic Concepts);
- 信息社会的地理学(Geographies of Information Society)。

此外,还重点地讨论了数字时代的地理概念(Geographic Concepts in the Digital Era)等。

美国大学地理信息科学研究会(UCGIS)发表的总结报告:"地理信息科学的优先研究领域"(Research Priorities for Geographic Information Science, 1996)中,提出了以下的重点研究课题:

(1) 分布式计算(Distributed Computing);

(2) 地理信息的认知(Cognition of Geographic Information);

(3) 地理信息的互操作(Interoperability of Geographic Information);

(4) 比例尺(Scale);

(5) 空间信息基础设施的未来(The Future of the Spatial Information Infrastructure);

(6) 地理数据的不确定性和基于分析的GIS(Uncertainty in Geographic Data and GIS-Based Analysis);

(7) GIS与社会(GIS and Society);

(8)地理信息系统(GIS)环境中的空间分析(Spatial Analysis in a GIS Environment);

(9) 空间数据的获取与集成(Spatial Data Acquisition and Integration)。

报告中还讨论了地球表层的复杂性,地理信息对地球表面的描述总是近似的、地理信息是丰富的和海量的,地理信息技术已经达到较高的水平,对人类社会将产生很大的冲击。

不难看出,地理信息科学的发展,为数字地球的诞生打下了理论基础。

2. 技术背景

遥感(RS)、遥测技术(TM)、全球定位系统(GPS)及地理信息系统(GIS)等空间信息科

学技术，已经成为对地球研究的重要手段。气象卫星系列（NOAA，GOES，UARS等）、海洋卫星系列（N-ROSS，ADEOS，Seastar，PRIRODA，IRS-IC，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）以及有小卫星系统计划等组成了对地球全面的监测系统；空间分辨力可以从4000米到厘米级；波段覆盖从紫外到超长波，多达240波段；时间分辨率可以从每隔十多天一次，到每天数次；对地下的探测深度从若干米到1万米。遥测技术和全球定位系统技术也已达到了较高的水平，以GPS来说，一般误差只有2～3米，利用了差分分析方法等，误差只有若干公分。影像处理技术，包括校正、增强、特征提取、模式识别技术、数据库技术与地理信息系统技术，不仅能将已经有的数据进行有效的管理，而且也有一定的分析能力，已经成为地球数据研究的重要的科学手段。

自1993年开始，信息传输技术，尤其是国家信息基础设施[National Information Infrastructure，NII，俗称信息高速公路（Information Super Highway）]，Internet与Web作为其初级形态正以迅猛势态席卷了全球，1994年国家空间数据基础设施[NSDI，俗称地学信息高速公路（GISH）]作为信息高速公路的补充，很快也遍及全球。这些都为数字地球的诞生提供技术基础。

3. 社会背景

信息时代产生了信息社会、数字生存与数字经济（Digital Economy）或知识经济（Knowledge Economy）。在全球化与"地球村"的背景下，社会对于全球信息的要求更加迫切。因此，一系列的全球性的研究在有计划、有步骤地开展起来。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）、世界数据中心（WDC、A、B、C、D），国际科学联合会理事会（ICSU）的国际数据中心（IDC），还有全球海洋观测计划（GOOS）、全球变化研究计划等。

社会对全球信息的迫切的需求，为"数字地球"的诞生起到了催化作用。

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，其主要有三方面因素：

（1）为美国经济复苏，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）信息"爆炸"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年曾签署法令，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"的行政命令，为开拓"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"，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。涉及跨国公司、区域重组等全球经济事务的美国，重视发展能覆

盖全球热点地区和战略要点的"三维数字地图",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。

§5.3 数字地球技术系统的基本框架

数字地球技术系统的基础技术,由遥感(RS)、遥测(TM)、地理信息系统(GIS)、互联网(Internet)-万维网(Web)等一系列技术系统所组成。遥感(RS)与遥测(TM)计算技术系统获取数据,互联网(Internet)-万维网(Web)传输数据,地理信息系统则承担处理、存贮及分析数据的任务,同时形成万维网地理信息系统(Web GIS)和组件式地理信息系统(Com GIS)。

数字地球的信息基础设施框架:数字地球技术系统是继地球观测系统(Earth Observation System, EOS)、国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII)、全球观测

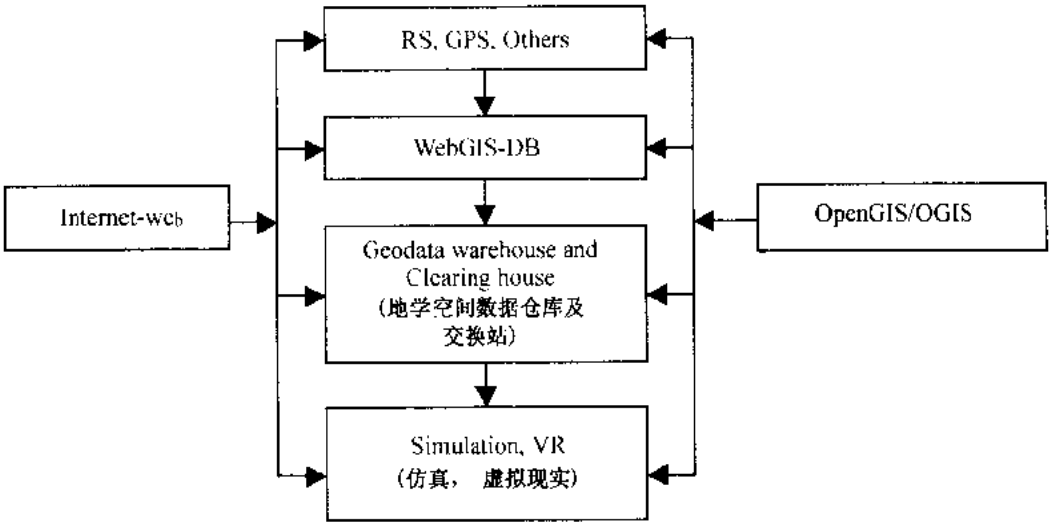

图 5.1 数字地球技术系统的基本框架示意图

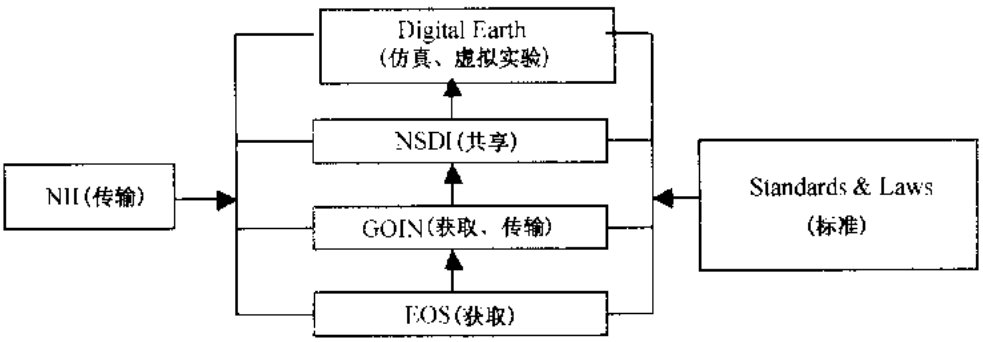

图 5.2 信息基础设施框架及关系图

信息网络（GOIN）及国家空间数据基础设施（NSDI）之后的又一信息基础设施。地球观测系统（EOS）获取数据，国家信息基础设施（NII）传输数据，全球观测信息网络（GOIN）获取和传输数据，国家空间数据基础设施（NSDI）存贮、分发和共享数据，数字地球（Digital Earth）对数据进行分析、仿真和虚拟实验。图 5.1 和图 5.2 分别为数字地球技术系统的基本框架和数字地球信息基础设施框架的示意图。

表 5.1　国家空间信息基础设施主要内容

项目	内容
国家信息数据基础设施（NII）	信息传输：光纤宽带网，通信卫星宽带网；Internet-Web。第一代：Internet-WebI；第二代：Internet-WebII；第三代：Internet-WebIII；天地一体化；无缝覆盖 98% 面积
国家空间数据基础设施（NSDI）	维护与共享基础空间数据框架共享框架：数据，标准，技术，政策，机构等 Coredata：大地测量控制点，数字地形，正射影像，交通，水系，行政界线，地籍 标准：上述各类数据的标准；如测量控制点的垂直坐标与水平坐标的标准等 技术：分布式数据库，Metadata，Geo-spatial data ware house，Clearing house，Metadata 政策：用户政策，收费政策 机构：国家协调机构，成员机构，区域机构 RSDI，全球机构 GSDI 电子地界地图
地球观测系统及网络（EOS/GOIN）	Geo-spatial data 获取与传输遥感卫星（包括小卫星），1m 分辨力，宽带网，全球观测计划 遥感卫星：气象卫星系列，陆地卫星系列，海洋卫星系列，测地卫星系列，地球卫星系列 普通卫星，小卫星系列 遥测卫星：GPS（美国），NAVAT（欧洲空间局），GLONASS（俄罗斯） 确定用户及其需求，确定数据探集与处理技术系统，确定网络需求与网络水平，确认互操作需求与技术及共享标准，接口，通过网络发现数据，交换数据，互操作，互访问
标准、规范、法规（Standard，Laws）	共享标准、规范、数据、软件、硬件标准机构： ISO/TC211 CEN/TC287 FGDC 美联邦理论数据委员会 Open GIS 标准 NASA 的 DIF 标准 数据标准定义标准，描述，几何描述，质量，转达换，定位等标准 软件标准 硬件标准：接口标准 共享立法与司法
数字地球（Digital Earth）	充分利用 Geo-spatial 信息 NII，NSDI，EOS-GOIN 及标准高度综合 基础研究： 地球空间对象的认知理论 地球空间对象的信息图谱 地球空间数据的复杂性特征 关键技术： 1 米分辨率卫星遥感数据获取与处理 海量数据的存贮与传输 多媒体，多维数据的融合与立体表达 仿真－虚拟技术 应用实例： 数字农业、数字城市……

第六章　国家信息基础设施

国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII),又称信息高速公路(Information Super Highway)。它是指高速、大容量计算机通信网络技术系统。它由计算机、光纤光缆、通信卫星及其附属设施等硬件及软件,包括各种接口和协议等组成。它的任务是快速、大容量地传输信息。它可以联结全国乃至全球的每一个办公室、或家庭的计算机通信设施。它的实现将改变人类社会的生产、生活方式。

§6.1　国家信息基础设施的由来

1991 年 9 月《科学美国人》(*Scientific American*)的一份专辑首次报告美国高级智囊团对信息社会(Information Society)及国家信息基础设施(NII)蓝图的勾画。1993 年 9 月美国副总统 Al Gore 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,首先以国家方针形式提出了建设国家信息基础设施(NII)的构想,很快得到了政府的批准并立刻启动,于是很快形成一个席卷全球的建设信息高速公路的浪潮。

Al Gore 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方面。

美国政府报告中对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,并在任何地点和时间,通过声音、数据、图像和影像相互传递信息"。

为了要实现该项计划,在美国政府指导下专门成立了信息基础设施领导小组(IITF),协调与实施国家信息基础设施的建设;并制定了 9 项原则:促进民间投资,扩大公共服务概念,促进技术革新及其应用,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,改善三线频带的管理,保护知识产权,提供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(Global Information Infrastructure, GII)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(GIIC)";并提出建设全球信息基础设施(GII)的五项原则:鼓励信息设施领域的私人投资,促进电信、信息技术及其服务领域的竞争,最大程度地开放市场,创造一个灵活的规章制度环境以及普遍服务的机制,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:全球数据贮存,全球宽带网(包括光纤宽带网和通讯卫星宽带网)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,全球市场和

海运信息系统。

信息基础设施的应用范围包括：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。

国家信息基础设施的预期效益：

- 推动新科技的发展，如半导体、高速网络及其软件；
- 加速国家经济发展，形成大型产业；
- 促进电子商务发展；
- 协助解决医疗保健问题、降低医疗费用；
- 促进科学研究；
- 促进教育事业；
- 为全球公民服务。

§6.2 互联网(Internet)与万维网(Web)

Internet 译作"互联网"或"网际网"等。它是由多个不同的网络通过统一的网络协议(TCP/IP)和通用的地址体系(IP 地址)，实现互连互通，采用自由、开放式的网络组织方式，是一个开放的网络系统。网上的信息也是由世界各地的自愿者们提供。虽然全网不存在一个统一的统管机构或主机，但进入某一国家和地区时，信息可以有所筛选。

Internet 具有三层结构特征：

(1) 用户驱动网：由分布式计算机系统与分布式数据库构成；

(2) 区域网：是地域内的网络，由专业子网构成的局域网(LAN)、城域网(MAN)和广域网(WAN)构成，网间通信速率为 T1/E1。

(3) 骨干网：一个国家内也可以由若干个网络组成，如美国有：国家科学基金网(NSFNET)、国防部网(Milnet)、能源部网(ESENET)和 NASA 的 NSI 网等。我国有邮电部网、教育部网、中国科学院网等。

到 1995 年，入 Internet 网的已有 4.5 万个网络、389 万台计算机、150 个国家和 2 亿人。

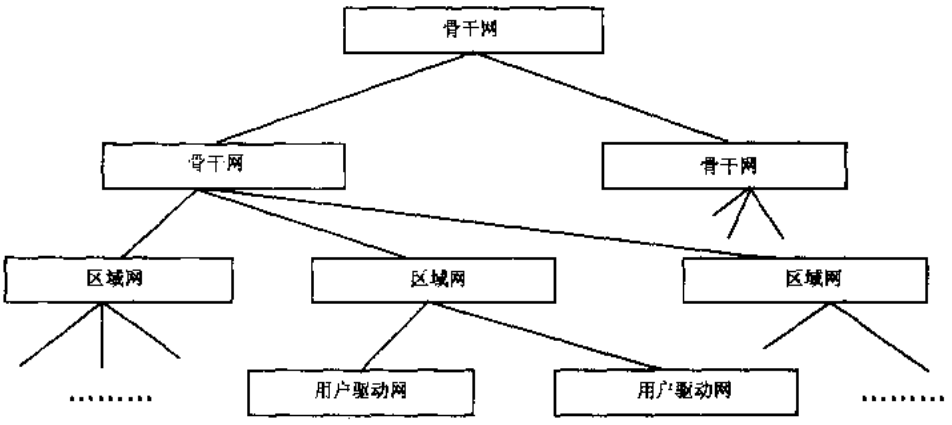

图 6.1 Internet 分层结构

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，即能把各种局域网、广域网，基于 Windows NT 的，或是基于 UNIX 的网络相互连接起来，形成“网络的网络”。在系统中安装 TCP/IP 协议，实现相互间的信息交换，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的应用。Internet 把不同的操作系统和网络联系起来，采用了五个层次的结构，这五个层次从低级到高级、从硬件到软件应用，实现层间传递。这五个层次分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。物理层对应的是线路，如电缆或光纤；数据链路层对应的是网卡即其驱动程序；网络层对应路由器即网络路径选择；传输层对应错误处理等；应用层对应用户的具体应用。如图 6.2 所示。

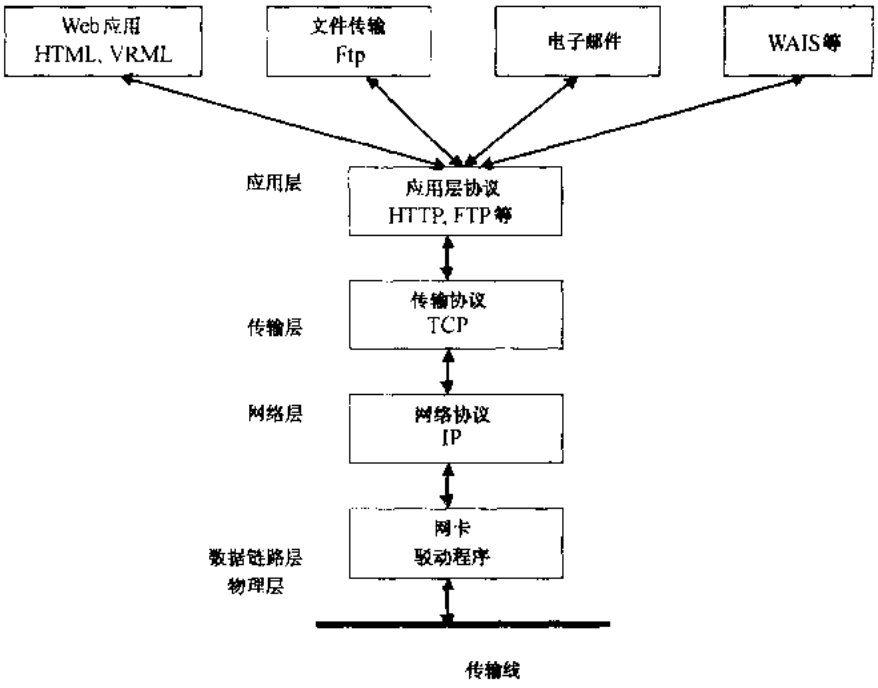

图 6.2　TCP/IP 协议层

World Wide Web，又称 WWW，W³ 或 Web，现定名为“万维网”，但通常又称为 Internet 超媒体网络，它是国家信息基础设施(NII)或信息高速公路的初级形态(原型)。它是由装有声卡、Fax-moden 卡、视频设备(如 MPEG 卡)的计算机和光缆网络或卫星通信网络所组成的，可传输、存贮和处理静态和动态的文字、图形、影像和音响的技术系统。它是开放的超媒体计算机网络系统。

Internet 超媒体网络系统，或 Web，采用客户机 - 服务器(Client-Server，或 C/S)结构模式。服务器(Server)负责数据、文件、图形、影像的存贮、维护与管理，以及处理查询、访问等要求。浏览器(Browser)负责人机界面的操作，发出请求及显示返回的信息。客户机(Client)是专门用来为用户提出要求的计算机终端或图形用户接口，而服务器则用来实现这些要求，提供所需的信息。由于 Internet 超媒体网络(Web)的出现，人们才能在 Internet

上相互方便检索多媒体信息。应用信息传输是通过网络协议(TCP/IP 、URL、HTTP 和 FTP 协议等)及浏览器和超文本标记语言(Hypertext Markup Language,HTML)技术进行传输和显示的。资源定位器(Uniform Resource Locators,URL)用来确定信息源地址,HTML 语言组织和处理信息,HTTP 协议用来传输超文本信息,浏览器(主要有 Netscape, Explorer, Internet Assistant 和 Websurfer 等)提供网上的浏览、检索多媒体信息等。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,而且还提供了开发空间信息的可视化和一定的空间分析功能的基础。

由于多媒体网络计算机系统具有 C/S 结构,从为单用户提供一般的信息访问转变为大量用户提供开放的实时查询服务,其关键技术是要进行数据压缩,降低网络数据流量,同时要扩大网带宽度和简化客户端的应用运行环境,降低软件费用。

基于 HTTP 协议和 HTML 文档的 Web 在 C/S 结构的基础上,形成了一种新的计算模式即浏览器/服务器(Browser/Server)模式。浏览器(Browser)以一种超文本形式,可以在 Microsoft-Windows, X-Windows,MAC 图形操作环境下运行。

开放的 Internet 超媒体计算机网络系统的功能取决于网络,即宽带网的功能和计算机的功能。计算机这些年来发展的速度非常快,从 32 位向 64 位体系结构发展使功能得到了很大的增强。64 位计算机能直接操作 64 位整型实体,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;大型物理存贮器具有将大型文件映射在内存的能力,能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贮和压缩能力,保证了大型多媒体对象、三维可视化分析等操作。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、压缩技术的计算机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。网络带宽的增加使传输海量数字图像数据成为可能,并能够处理更大的、更复杂的空间模型和进行地学分析,并进行更复杂的可视化显示与输出。

1996 年 10 月,美国政府提出了新一代 Internet,即 NGI(Next Generation Internet)的实施计划。此间,美国民间发起 Internet 2 计划,美国政府通过 NGI 参与此计划。

Internet 2 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 倍的新型骨干网。Internet 2 作为向 NGI 的过渡计划,终将汇集于 NGI 中。

新一代 Internet(NGI)的建设目标是:

(1) 研究 NGI 的体系结构(如网络拓扑,IP6,协同协议与服务等),设计比目前 Internet 快 100 ~ 1000 倍的高速骨干网;

(2) 研究并解决面向各种需求的服务质量;

(3) 研究并解决网络管理及网络信息安全。

新一代 Internet(NGI)的主要关键技术:

(1) 新一代 IP 协议 IPv6,它与目前的 IPv4 不完全兼容;

(2) 以支持合作公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；

(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。

§6.3 下一代互联网(NGI)

1997 年 5 月，美国计算机研究学会就下一代(Next Generation Internet，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，可以想像 NGI 对今后经济的影响。

(2)现代信息技术的应用，大大增强了计算机和数据通讯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：一是网络已存在的规模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。

研究的议题有六个：应用，中间配件，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，旨在加强合作环境，结合声音、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，归根结底是标准化的问题。

下一代 Internet，即 NGI 将对目前的 Internet 的部分协议作修改，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。

第二代互联网(Internet II)有三个目标：

(1) 高性能的网络结构研究试验床；

(2) 先进的网络服务技术试验床；

(3) 具有重要意义的应用如科研、教育、卫生和环境的网络应用服务。

NGI 研究计划的重点有：

(1) 超高速光纤宽带网，千兆级结点(CIGAPOP)，“新版协议 IPv6”的开发，目前的 Internet 的最快调制解译器的速度为每秒 56 千比特，而 Internet II 将达每秒 2.4 吉比特。

(2) 不仅要求能以 $10^8 \sim 10^9$ bps 速度传送比特(bit)，而且还要有先进的网络服务技术，包括服务质量、安全性、稳定性等特征。

(3) 第二代互联网络将视觉、声觉、甚至触觉通过强有力的计算机通信网连结起来，

将改变人类社会的生产和生活方式，促进社会经济、科技教育及卫生医疗、体育事业的发展，尤其是对工作与生活的时间和空间提供更大的灵活性，并使之终生教育有了更大的可能。

(4) 第二代网络软件，还具有面向对象编程、软件部(组)件化、对象请求代理、动态运行联编及数据、过程、表达功能等分别处理多层应用等编程与应用开发等特点：

- 组成部件：对象、模块和独立互操作的其他形式的软件部件必须是可以集成的。
- 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、模拟部件等。
- 复合文件支持：基本框架包括网络结点，其中可放置内容、可嵌入对象，被动、主动信息单元都可以发挥作用。
- 构件、对象、信息系统资源定位的代理服务：网上必须能实时对构件、目标、信息资源的访问提供代理服务。
- 应用程序接口：用于各种应用形式的支持和服务的 API(应用编程接口)的第一步开发和标准化。
- 信息资源的 Metadata 服务：具有极高水平的检索功能，帮助用户得到所需信息资源。
- 网络服务层的协商能力：可允许应用部件为得到所需带宽服务质量等的网络服务进行协商。
- 全网络的综合应用性能及计费和利用的评估。

第一代 Web 技术，即 Web Ⅰ是使用 HTML 语言来描述视频、声频、文本等所有信息类型的。

第二代 Web 技术，即 Web Ⅱ，是用 VRML 语言来更加直观地表达这些信息。VRML 为虚拟现实构模语言，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、逼真的世界。为了弥补带宽与处理能力之间的差距，当前采用两种“可执行的代码”技术，即 Java 与 VRML。开发利用 Java 和 VRML，可以不必在介质中传输内容大得惊人的文件，而只需传输用 Java 和 VRML 描述的小型指令性数据集。在接受端的计算机，应用本地的计算及图形资源就能执行这两种 Java 和 VRML 对图形进行处理。它们可以在跨平台(计算机)环境下，非常容易描述三维世界，VRML 成为 Web 上传输交互式三维世界的标准语言。

VRML 本质上是一种面向 Web、面向对象的三维建模语言。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 不支持数据和过程的三维建模语言，它是一种解释性语言，VRML 还能提供有音响效果的节点，用户能进入视听效果十分逼真的虚拟世界。

§6.4 互联网的新进展

第三代超媒体高速计算机通信网络，即 Web Ⅲ或 Internet Ⅲ，可以分为有线网与无线网两大类，即光纤宽带网和通讯卫星宽带网。

1. 有线网(光纤宽带网)

波分复用光缆网技术，(WDM-Internet Ⅲ)：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。应用该技术，可以在同一条光纤电缆上同时发送不同的光信号；按照不同的光波长的传输信号，每个信号可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，将来用波分复变技术后，可以增加到 130 万个电话。

2. 无线网络系统

(1) 全球卫星通信网 – 全球通讯卫星宽带互联网络(Teledesic/Sat-Internet)：1997 年，美国微软公司 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，并且在地球上 99% 的地区使用这种通信技术，拟在 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，把高速度传输技术和全球 Internet 相连接，可进行电话会议、无线寻呼、传真和语音通信。该网络的宽带通信频率将用数字技术，从而使发展中国家受益无穷，因为 Internet 要通向穷乡僻壤是不可能的，而该卫星通讯网络与 Internet 相连接，能覆盖 99% 的全球面积。

全球卫星通信网络(Teledesic)或叫卫星互联网络(卫星 Internet)，是比 Internet 优越得多的全球无线多媒体互联网络，它以卫星通信网络系统为主体，同时也可以与地面光纤为主的 Internet 相结合，可以做到真正的全球覆盖，包括广阔的海域、大沙漠、大高原等。

全球卫星通信网络或卫星互联网络由 840 个低地球轨道卫星组成，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，卫星在轨道空间运行的速度为 1.674 万英里/小时，地面用户天线小的只要 6 英寸，卫星平均使用寿命为 10 年，可容纳 2 000 万个用户同时操作，费用与 Internet 的相同。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接发电子邮件，也可在 Internet 上浏览或看动态图像。用户可用点心盘大小的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；用户也可将点心盘大的天线与 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，进入互联网络。

(2) 日本邮政省于 1997 年也提出了要建在 2005 年建立覆盖全球的大容量，高速度的宽带卫星 – 光纤通信系统，并于 2002 年与欧盟共同进行实验。同时计划在赤道上空 3.6 万公里的轨道上发射 5 个同步通信卫星。卫星和地面间往返着 20 ~ 30 千兆赫的电波，其传输的信息量可达 1 千兆位，即每秒可传 10 亿字符，可与光纤相同。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 相连结。

(3)行星际 Internet：Internet 的创始人文顿·瑟夫(1998)指出：Internet 的发展在逐渐超出地球范围，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中，在 Internet 上传输实时科学数据。他与 NASA 协商将建立“行星际 Internet 协议”。NASA 宣布，该计划将在 2010 年实现。JPL 正在设计星际网络(Intelplanet)将月球、火星及其他行星的观测纳入地球的网络系统。

俄罗斯则计划发射一个宽带通信卫星就可以覆盖全球，以能满足各种通信息需要。

§6.5 中国的国家信息基础设施(China NII)

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

中国 CNII 的近期目标是：

(1) 建立金桥网"信息中速国道"(传输速率为 144k ~ 2Mbps)，将以光纤、卫星、微波、程控、无线移动等多种通信方式，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(China PAC)、中国公用数字数据网(China DDN)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，其用户是个专用业务网络系统。

(2) 建设一批对国民经济社会发展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。

我国信息网络现已有一定基础：

(1)中国互联网(ChinaNet)是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 Gopher、文件名查询 Archie、关键字查询 WAIS 等。

(2)中国公用分组交换数据网(CHINAPAC)由原邮电部于 1993 年建成。它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。分组网上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。

(3)中国公用数字数据网(China DDN)是利用光纤(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(2.4 ~ 2048kbps)，传输质量高，具有路由自动迂回等特点，特别适合于对传输时延要求高、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 2.4 ~ 19.6kbps)，帧中继业务(用户速率为 9.6 ~ 2048kbps)，话音/GS 传真业务，虚拟专用网。

(4)中国教育和科研网(CERNET)是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，并取示范作用。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,视频会议。

第七章　国家空间数据基础设施

国家空间数据基础设施(National Spatial Data Infrastructure, NSDI)是继国家信息基础设施(National Information Infrastrueture, NII)的又一国家级信息基础设施。它是为解决空间数据上网,即在 Internet-Web 上运行的技术系统由于数据(Spatial Data)比一般数据要复杂得多、在网上传输的难度要大得多的难题而进行的单独研究。空间数据主要是指地学空间数据(Geo-Spatial Data,GSD),不仅因为地学空间数据更加复杂,而且它占总的信息量的 75% ~ 80%,对于推动社会经济发展,提高自然资源管理以及保护环境都至关重要。但 NSDI 这个名词,早在 1992 年是由国际制图科学委员会(MSC)首先提出来的。

§7.1　国家空间数据基础设施的基本概念

根据美国总统于 1994 年颁发的《协调地学数据的获取与访问:国家空间数据基础设施》的 12906 号执行令,国家空间信息基设施(NSDI)是指地学空间数据的获取、处理、访问、分发以及有效利用所需的技术、政策、标准和人力资源。地学空间数据(GSD)是指标识地球表面的自然或人工建筑要素及境界的地理位置和特征的信息。这些信息可以从各方面获得,尤其是通过遥感,制图和测量技术获得。统计数据也可包括在内,根据情况由收集机构决定。基础设施(Infrastructure)是指系统或组织的支撑基础或基本框架(Webster)。

国家信息基础设施(NSDI)的内容框架,按美国国家公共管理研究院(NAPA)根据 1994 总统 12906 执行会的规定,其内容框架为:"获取、处理、访问、分发及提取地学信息应用所必需的技术、政策、标准和人力资源",具体内容为:数据、标准、技术、政策及组织等五个部分。

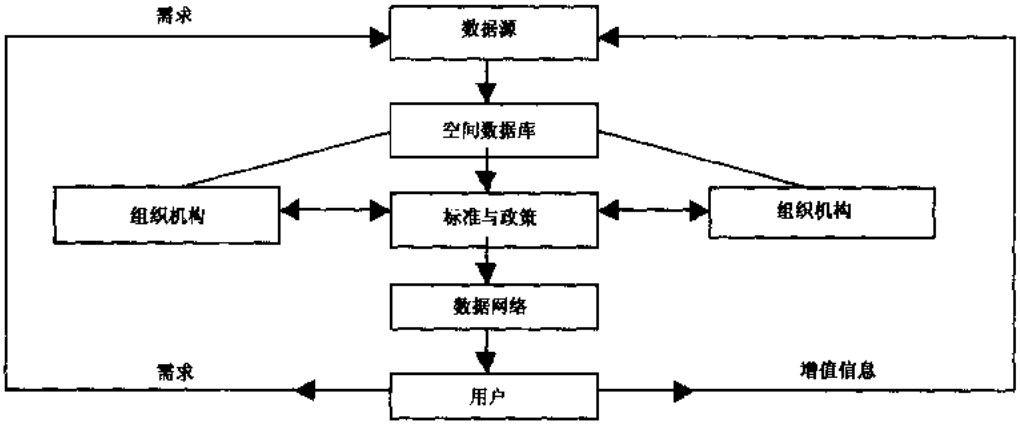

图 7.1　NSDI 组成框图

Coleman 和 Melaughlin(1990)指出,国家空间数据设施是由:数据、标准、技术、政策、分发机制、机构职能、人力与资金等几个方面组成。图 7.1 是国家信息基础设施框架图。

美国制图科学委员会(MSC)认为,NSDI 包括:数据、标准、技术、政策及机构等组成。

Melaughlin 与 Nichols 认为,NSDI 应包括以下几个方面:数据源、数据库和元数据、数据网络、技术服务、组织机构、政策、标准及用户等几个方面。

根据一些专家观点进行综合,框架有四个主要构成: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,包括七个共同的地理专题;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;商业使用背景解决保证框架数据可用的条件。

1. 信息或数据内容

框架包括大多数组织所使用的地理数据专题,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。

1)大地测量控制

大地测量控制为所有地理数据建立坐标提供共同的参考系统,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,以及每个站的元数据。每个大地测量控制点的元数据,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着重要的角色。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,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。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。正射影像也可以做为背景,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看见。图像可以作为可视引用的背景。

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。通常从潮汐观测得到。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。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信息，如地址相关的信息或街道属性。交通特征和相关数据对许多规划也是重要的内容。地理编码用道路和相关地址数据，这些应用从市场分析到厂址确认。路径分析用街道网络数据，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。

许多水文数据用户需要水文网络的连接性和水流方向信息。水文数据对许多应用是重要的，水文特征作为参考或基础地图数据。其他应用，特别是基于环境的方向，需要这些信息用于水供应、污染、洪水灾害、野生动物、开发和土地的持续性的分析和模拟。

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、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决策制订。

7)地籍

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

操作应用的基础。例如厂址选择、土地利用管理、交通规划。

2. 技术内容

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，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的方法。

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、一个地块或一个县。一个特征可被连接到一个空间对象(例如点、结点、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来标识：即永久特征标识码。它的位置(Location)特征可通过它与空间对象(例如点、结点、链和区域)的连接(Linkage)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。关系可以定义为表示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连接性。

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来同框架的特征连接。

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。链只在结点处相交，所有的结点固定链的终点，当链相汇时，"Overshoots"和"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，七个专题的数据模型将被集成以形成框架的一个数据模型。已安排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，对这些数据模型开发本地扩展。当本地数据模型由本地操作需要驱动时，框架模型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联系起来，对事务更新可作为跟踪(Tracking)机制，并且连接一个在不同分辨率和穿过不同区域扩展的特征的表示。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一致的数据，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

框架数据是无缝的跨越收集区域。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，对各特征的一致性调整，例如一条边界沿着一条河流，这就需要匹配。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”。这里同样，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，就需要垂直的技术过程。

垂直集成方法：垂直集成可以有不同的方法。可直接调整数据，或位置调整，没有实际的连接。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需要，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。对过去版本的访问需要支持登记到框架的历史专题数据和基于时间的研究。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。

8)元数据

框架包括元数据，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。元数据帮助用户找到适合的框架数据，评估它们，以及正确地使用。

3. 操作技术

框架的操作环境强调可访问性和易用性

1)操作特征

框架提供下列操作特征：

(a)框架支持事务更新，数据生产者只提供变化的文件，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；

(b)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；

(c)可通过国家空间数据交换中心发现框架数据。

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的框架数据覆盖层。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。这些实验的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以建立一致的数据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：

(a)数据可以驻留在每个生产者的站点上。

(b)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。

(c)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。

5)技术开发以及未来的挑战

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,技术问题上包括下面这些内容:

(a)开发集成数据的规则;

(b)建立永久特征标识码的规则;

(c)提供数据精度的标准测试以及数据认证的方法;

(d)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;

(e)开发处理数据事务的方法;

(f)开发管理框架数据的历史或过去的版本的方法。

这些问题的解决正在下列一些活动中进行:

(a)启动先行工程;

(b)同供应商合作;

(c)资助研究和开发活动;

(d)开发标准和指南;

(e)鼓励在地理数据界内的讨论。

4. 商业事务背景

为了达到框架被广泛使用的目标,它的数据必须是开放可访问的;包括数据的信息;以公用的、非私有的格式、遵循标准,以及是被认证的。框架的商业使用背景的一个基本前提是避免有限制性的实行。这是同联邦政府以及州和地方政府的信息访问政策一致。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,一个价格单位必须被确定。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?当用户访问各生产商的数据时,这些方面是很复杂的。

2)数据访问

框架数据必须是广泛使用的,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及格式

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。

框架数据必须是公用的，非私有的格式。

§7.2 国家空间数据基础设施的标准与规范

1. 数据标准

数据的标准与规范是数据共享的基础。包括核心数据及专题数据的标准与规范等，如：大地测量控制点的水平与垂直坐标标准及名称、要素识别代码、元数据及位置程度等；正射影像数据的反射率编码标准、比例尺及投影等几何标准、高程数据的水平与垂直几何标准、高度与深度标准等；交道运输数据的分类与名称、要素识别代码标准等；水文数据的分类、名称、要素识别代码、海岸线标准等；行政单元界线的分类与标识代码标准等；地籍数据的各种测量、说明性参考及地块与地块的测量描述标准等。标准与规范的制订的目的，是为了统一表达，方便将不同地点、单位的同类或异类的数据的集成和应用。

框架数据与已批准的诸标准一致，这样用户能够了解数据的特点从而对一致性也抱有很大的希望。与一些小标准，如 FGDC 的元数据及地籍测量数据标准，也要求保持一致且受检验结果的支配。目前正编制辅助标准与指南以支持框架，包括地理参考、数据质量、数据集成及数据转换等标准。

框架数据必须满足最低的框架标准，数据检验涉及对提供的框架数据的复查，从而保证了这些数据严格遵循框架标准，该过程还保证了基线数据的可靠性与完整性。数据检验过程及具体的责任正在研究之中，其主要内容包括确定由哪些机构来进行检验、检验有何要求以及由谁来确定这些机构、如何发布检验记录。

专题数据的种类繁多，不能一一列举。其标准与规范工作，主要包括建立分类体系和编码体系等。

2. 空间数据基础设施的系统标准

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。它对于信息技术标准采取等同采用或等效采用，而对于空间数据标准，则被发展用于定义、描述或处理空间数据。

在过去十年，GIS 标准化主要集中在发展空间数据交换标准方面。这一工作吸引了 24 个国家和国际组织参与了发展，并产生了几个空间数据交换标准。但由于它是 GIS 领域第一个标准化的尝试，所以其距人们在 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，它使人们目前已开始认识

到了标准化的重要性，并在GIS领域已开始全面发展，诸如即将出现的元数据标准等。为了适应这种倾向，GIS标准经应做到以下三点：

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时间被批准。批准的时间通常反应了一致性需求的程度。而标准化的实时性却非常关键。如果标准化开始的太迟，则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，这样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。目前即将出台的元数据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。发展他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。这样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。

3. 组织与管理

国家空间数据基础设施(NSDI)共享技术分三个层次进行。其基础是标准化与规范化包括数据标准与系统标准。

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之间进行横向集成，而且也能够在层之间纵向集成。这样，全球空间数据基础设施为国家GIS标准的发展、拓展和实现就起了重要的促进作用，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。

框架数据遵循标准，使用户了解数据的特征，要符合最低限度的标准，如FGDC的元数据和地籍数据标准，必须经过认证。支持框架的另外的标准和指南也在开发之中，包括地理参考标准、数据质量标准、数据集成和数据转换。

框架数据必须满足小限度的框架准则，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。

1) 国家层

全球范围内，空间数据基础设施国家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、国家和国际层上进行，而区域层上的标准化被合并到州层上。在GIS标准基础设施的每一层上，有两处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，他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，当然主要仍是来自联邦政府的影响。

联邦政府层中，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传输标准(SDTS)和拓扑矢量普范(TVP)标准，发展了元数据标准，以及多项其他标准草案。

美国国家层中从事标准的机构，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。属于该层的正式标准团体，为美国国家标准研究所(ANSI)授权的L1，GIS技术委员会。国家层中的用户/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型软件(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)，一但完成，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)对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。

2) 区域层

在GIS标准基础设施的区域层中，欧洲有一个正式的区域标准团体，即欧洲标准化委员会(CEN)。它们对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公路信息和CEN/TC287地理信息委员会。同样在区域层中，用户/产业组由数字地理信息工作组(DGIWG)、UROGI和亚太GIS基础设施常设委员会组成。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SIO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为全示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GDSI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，以及墨西哥形成的区域空间数据基础设施。有的则因某个国家范围比较大，其单独代表一个区域，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，以及国家空间数据基础设施中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链接组成。

3）国际层

在国际层中，SIO 是正式的标准团体，有 100 多个成员国，其中每一个国家都有 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，每一个国家标准的团体都任命一个技术顾问组（TAC）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也可以接受技术文件并参加会议，但没有投票权。

国际层中的用户/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 Oslo 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，并将成为标准。ISO 把该工作定为 ISO 15046，1 ~ 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 标准基础设施以及其国际组织的 ISO/TC 211 的发展。

第八章　地球观测系统与全球观测信息网络

早在国家信息基础设施(NII)与国家空间数据基础设施(NSDI)之前,地球观测系统(Earth Observation System, EOS)已经有了较好的基础。差不多在国家空间数据基础设施(NSDI)提出和启动的同时,全球观测信息网络(Global Observation Information Network, GOIN)也正式开始启动。地球观测系统(EOS)与全球观测信息网络(GOIN)计划,都可以看作是属于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)、俄罗斯空间局、日本 NASDA 等。

§8.1　地球观测系统(EOS)

全球化是当前的大趋势,不仅社会经济的全球化,资源环境研究也要实现全球化。国际全球研究合作计划。包括:

- 世界气候研究计划(World Climate Research Programme, WCRP)
- 国际水文计划(International Hydrological Programme, IHP)
- 世界海洋环流试验(World Ocean Circulation Experiment, WOCE)
- 全球海洋通量研究计划(Global Ocean F S, GOFS)
- 国际地圈与生物圈计划(International Geosphere & Biosphere Programme, IGBP)
- 人与生物圈计划(Programme for Man and Biosphere, MAB)
- 全球海洋观测计划(Global Ocean Observing System, GOOS)
- 全球气象观测计划(Global Climate Observing System, GCOS)
- 国际岩石圈计划(International Lithosphere Programme, ILP)
- 国际减灾十年。

按军事、交通、商业的需要,又制订了全球观测系统(Earth Observation System, EOS)计划,包括全球定位系统(Global Positioning System, GPS)计划等。据悉,以美国为代表的西方发达国家将从 1999 年起投资 100 亿美元实施 EOS 计划,专门成立了 CEOS(地球观测委员会),在未来的 15 年内发射数十颗对地观测系统(EOS)。

全球定位系统(GPS)计划,包括:

- 美国防部:GPS(共 18 颗工作卫星)
- 欧洲空间局:NAVSAT
- 俄国:GLONASS(共 13 颗卫星)

地球观测系统(EOS)计划,包括:

- 气象卫星系例:

NOAA-TIROS 系列(美)

ESSA 系列

Nimbus 系列

原苏联流星气象卫星系列(Meteop)

日本对地静止气象卫星(GMS)

地球同步天气卫星(GOES,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(FY)系列(中国)

- 陆地卫星系列

  Landsat 1, 2, 3, 4, 5,7(美)

  SPOT 1、2(法)

  MOS/LOS(日)

  USSRsat(俄)

  IRS 1, 2(印度)

- 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(欧洲共同体,法),SAR

  JERS1 系列 (日本)

  Radarsat、SAR-A (加)

- 测地卫星系列

  TOPEX 测高卫星(美)

- 地球物理卫星系列

  重力卫星

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

全球定位系统(GPS)的特点:

(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,利用C/A码广播星历目前单点定位精度可达5~10米,静态相对定位精度可达$1\sim0.1\times10^{6}$,测时的精度约为数十纳秒。若采用差分分析方法,精度可达厘米级。

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

(4) 抗干扰性能好,保密性强。

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。遥感卫星的地面几何分辨率约为 0.5 米到 4 000 米。它探测的光谱波段,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。微波遥感技术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。常用的卫星遥感所使用的电磁波的波段见表 8.1。

表 8.1　常用的卫星遥感所使用的电磁波的波段

卫星		传感器	波段(微米)	分辨率(米)
气象卫星系列	NOAA-TIROS	AVHRR	0.58～0.68 0.725～1.1 3.55～3.93 10.5～11.5 11.5～12.5	1.100
陆地卫星系列	Landsat 1,2,3	MSS	0.5～0.6 0.6～0.7 0.7～0.8 0.8～1.1	80
	Landsat 4,5	TM	0.45～0.52 0.52～0.60 0.63～0.69 0.76～0.90 1.55～1.75 2.07～2.35	30
			10.4～12.6	120
	Landsat 6+GPS	ATM	0.45～0.52 0.52～0.60 0.63～0.69 0.76～0.90 1.55～1.75 2.07～2.35	15
			10.4～12.5	120
	SPOT	PAN	0.51～0.73	10
		HRV	0.50～0.59 0.61～0.68 0.79～0.89	20
	IRS 系列 (印度遥感卫星)	LISS	0.45～0.52 0.52～0.59 0.62～0.68 0.77～0.86	73
	IRS(印度遥感卫星)	LISS-2	0.45～0.52 0.52～0.59 0.62～0.68 0.77～0.86	36.5

续表 8.1

卫星		传感器	波段	分辨率(米)
陆地卫星系列	USSR sat	KATE200	0.50～0.9 微米	15～30
		KATE140	0.5～0.7 微米	60
		MKF6	0.46～0.52 微米 0.52～0.9 微米 0.58～0.62 微米 0.64～0.68 微米 0.70～0.74 微米 0.79～0.90 微米	20
		KFA1000	0.54～0.80	5～10
	ERS 系列	SAR	C-band, VV	30
		SCAT	C-band	
		RA	Ku-band	20
	JERS 系列	SAR	L-band	18(25)
		NNIR	0.52～0.60 微米 0.63～0.69 微米 0.76～0.06 微米	30
海洋卫星系列	Seasat 系列	SAR	L-band, HH	25
		ALT	Ku-band	
		SASS	Ku-band	
		SMMR	1.43 厘米 4.67 厘米 2.81 厘米 4.54 厘米	
	Radarsat	SAR SAR-HRT SAR-ST SAR-WST	C-band	 10 38 35

常见应用所需要的遥感数据分辨率见表 8.2 和表 8.3。

表 8.2 城市和郊区属性与需要提供这些信息的最小遥感分辨率

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

类型	最小分辨率要求		
属性	时间	空间(米)	光谱
土地利用/土地覆盖			V-NIR-MIR-雷达
L1 USGS Level I	5 ～ 10 年	20 ～ 100	
L2 USGS Level II	5 ～ 10 年	5 ～ 20	V-NIR-MIR-雷达
L3 USGS Level III	3 ～ 5 年	1 ～ 5	
L4 USGS Level IV	1 ～ 3 年	0.3 ～ 1	V-NIR-MIR-Pan 全色

续表 8.2

类型	最小分辨率要求		
属性	时间	空间	光谱
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 米	全色
B2 地籍制图	1 ~ 6 月	0.3 ~ 0.5 米	全色
交通设施			
T1 一般道路中心线	1 ~ 5 年	1 ~ 30 米	全色
T2 精确道路宽度	1 ~ 2 年	0.3 ~ 0.5 米	全色
T3 交通流量研究(汽车,飞机等)	5 ~ 10 分钟	0.3 ~ 0.5 米	全色
T4 停车状况研究	10 ~ 60 分钟	0.3 ~ 0.5 米	全色
公用事业设施			
U1 一般公用设施路线制图	1 ~ 5 年	1 ~ 30 米	全色
U2 公用设施路线宽度	1 ~ 2 年	0.3 ~ 0.6 米	全色
U3 电杆,进入孔和变电厂站位置	1 ~ 2 年	0.3 ~ 0.6 米	全色
数字高程模型(DEM)建立			
D1 大比例尺 DEM	5 ~ 10 年	0.3 ~ 0.5 米	全色
D2 大比例尺坡度图	5 ~ 10 年	0.3 ~ 0.5 米	全色
社会经济特征			
S1 局部人口估计	5 ~ 7 年	0.3 ~ 5 米	全色
S2 区域/国家人口估计	5 ~ 15 年	5 ~ 20 米	V-NIR
S3 生活指标质量	5 ~ 10 年	0.3 ~ 30 米	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 米	Pan-NIR
E2 隔离保护勘察	1 ~ 5 年	1 ~ 5 米	TIR
气象数据			
M1 每日天气预报	30 分钟 ~ 12 小时	1 ~ 8 公里	V-NIR-TIR
M2 目前温度	30 分钟 ~ 1 小时	1 ~ 8 公里	TIR
M3 目前降水	10 ~ 30 分钟	4 公里	Doppler Radar
M4 即时的暴风雨警告	5 ~ 10 分钟	4 公里	Doppler Radar
关键的环境区域评估			
C1 相对稳定的敏感环境	1 ~ 2 年	1 ~ 10 米	V-NIR-MIR
C2 动态的敏感环境	1 ~ 6 月	0.3 ~ 2 米	V-NIR-MIR-TIR
灾害紧急反应			
DE1 灾害紧急之前图像	1 ~ 5 年	1 ~ 5 米	V-NIR
DE2 灾害紧急之后图像	12 小时 ~ 2 天	0.3 ~ 2 米	V-Pan-NIR-Radar
DE3 破坏的房屋	1 ~ 2 天	0.3 ~ 1 米	V-Pan-NIR
DE4 破坏的交通	1 ~ 2 天	0.3 ~ 1 米	V-Pan-NIR
DE5 破坏的公用设施,服务	1 ~ 2 天	0.3 ~ 1 米	V-Pan-NIR

表 8.3 生物和物理属性与需要提供这些信息的最小遥感分辨率

类型	最小分辨率要求		
属性	时间	空间(米)	光谱(微米)
植被			
V1 类型和生物量 - Level I(大陆)	每天	250 ~ 8000	0.5 ~ 1.2
V2 Level II(地区)	1 ~ 5 年	20 ~ 1000	0.5 ~ 1.2;1.55 ~ 1.75
V3 Species(局部)	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
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 and 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 ~ 8 000	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	0.4 ~ 1.2
W5 有机物(浮游植物、Chl$a$)	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	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 水蒸气	每小时	1 ~ 8 000	6.7
A5 臭氧	每小时	1 ~ 8 000	9.58 ~ 9.88

§8.2 全球观测信息网络(GOIN)

1. 基本概念

全球观测信息网络(GOIN)是 1993 年美国和日本达成的合作协议。其目的是通过信息网络交换全球环境的卫星观测数据,评估现有卫星观测技术系统的优点和弱点并提出改进措施,为建设全球观测信息网络(GOIN)服务。同时,全球观测信息网络(GOIN)也将

成为全球信息基础设施的一个组成部分和地球观测系统十分重要的组成部分。现在它已经在全球变化、灾害调查和环境监测等方面，发挥十分重要的作用。

美国的海洋与大气管理局(NOAA)和日本科技厅(STA)分别代表双方协调全球观测信息网络(GOIN)活动，并成立了联合计划工作组(Joint Program Working Group，JPWG)。美国宇航局(NASA)和日本宇宙开发事业团(NASDA)共同承担协调任务，包括卫星观测及网络工作。全球观测信息网络(GOIN)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 NASA 和 NADD 及其下属单位的数据库通过 Internet-Web 进行连网，实现互联互通，达到信息共享的目的。它实际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计划之后的又一战略目标。

GOIN 实施计划由联合计划工作组执行，参与的组织以自愿为基础。开发一个工作计划来解决参与组织的共同兴趣，这个特殊过程包括：各组织以其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。

2. 实施计划

实施计划为开发必要的信息来确定需求，开发一个实施体系结构，以执行 GOIN 的目标，特别是交换全球观测数据网络间的综合连接和互操作。

由 JPWG 开发的实施方法的步骤包括：

(1)确认候选数据集：GOIN 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，通过 GOIN 可获得。计划的数据包括从规划中地球观察卫星而得的数据或实地数据收集计划而得的数据。

(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 GOIN 数据集的需求，要求用户确认数据质量、使用频率、传送方法以及影响他们使用 GOIN 网络的其他特征。

(3)得出用户对网络服务的要求：用户对 GOIN 数据的需求(用户特征如位置、网络连接性)，提供互操作

(4)确定网络需求：用户对网络连接和网络服务的要求，构成 GOIN 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：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)网络和全球通信系统(GTS)。

(6)确认互操作需求：用户访问、检索和相互使用 GOIN 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。GOIN 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、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 GOIN 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注示日美间电子数据交换的能力。

除了这些分析方法的实施外，访问和应用网络来交换全球观测数据和信息是必要

的。

联合计划工作组(JPWG)工作计划:包括四个演示活动,演示计划的每个活动简要总结如下:

1) 通过电子网络发现数据

访问和应用多个局间的目录信息,用日本的宇宙开发事业团(NASDA)的 Sinfonia II 和美国地球观测系统数据和信息系统(EOSDIS)Version 0 IMS 来访问和应用位于下列点的目录信息:NASDA, NASA, NOAA 的卫星活动文档(SAA)以及 EROS 的数据中心(EDC)。

网络应用:TISN, Internet, Veision 0 内部网络

V0 IMS:Version 0 信息管理系统

TISM:Todai 国际科学网络

NASDA:宇宙开发事业团

NASA:美国空间和航天局

NOAA:美国大气和海洋局

EROS:地球资源观测系统

2) 通过电子网络交换数据

日本和美国将通过网络电子交换所选择的数据,这些交换包括:

• NASDA 与 ASF 相互交换 JERS-1 POP 数据

NASDA 与 NASA/NOAA 交换以访问 Path finder 数据集

所用网络:Version 0 内部网络:TISN

NASDA:国家航空和航天开发局

ASF:阿拉斯加(Alaska)SAR 设施

JERS - 1:日本地球遥感卫星

• MPT/CRL 与 NGDC 相互交换电离层探测数据

所用网络:TISN, Internet

MPT/CRL:邮政和电信部/通信研究实验室

NGDC:国家地球物理数据中心

• MPT/CRL 与 NOAA(SESC)相互交换空间大气预报数据

所用网络:TISN, Internet

MPT/CRL:邮政和电信部/通信研究实验室

NOAA:国家海洋和大气局

• JODC/MOT 与 NODC 相互交换海洋数据集

所用网络:TISN, Internet

JODC/MOT:日本海洋数据中心/日本交通部

NODC:国家海洋数据中心

• NASDA 与 USGS EDC(GLIS)相互交换 AVHRR, Landsat 和地形数据

所用网络：EOSDIS version 0 网络，TISN，Internet

NASDA：宇宙开发事业团

USGS：美国地质测量局

EDC：EROS 数据中心

GLIS：全球陆地信息系统

AVHRR：高及甚高分辨率辐射仪

• GSI 与 GSFC 交换 GPS 数据

所用网络：TISN，Internet

• JMA 与 NWS 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。

所用网络：全球无线通信系统(GTS)，Internet

JMA：日本气象局

NWS：国家天气服务

• JAM STEC 与 WHOL 交换海深数据

所用网络：TISN，Internet

• FFRPI 与 TBD 交换森林数据

所用网络：TBD

• TRIC 与 EDC 以交换 AVHRR 数据

所用网络：TISN，Internet

• ERI 与 IRIS-DMC 以交换地震/火山损害评估数据

所用网络：TISN，Internet

ERI：东京大学，地震研究所(Earthquake Research Institute)

IRIS：地震协调研究所

• WDC-C2 与 NOAA/NGDC 以交换地磁数据

所用网络：TISN，Internet

WDC-C2：地磁和空间磁学数据分析中心、东京大学

NGDC：国家地球物理中心

• STEL 与 NSF，NASAT 和 APL/JHU 以交换太阳系风速数据

所用网络：TISN，Internet

STEL：太阳地球环境实验室，Nagya 大学

APL/JHU：应用物理实验室，John Hopkin 大学

• NIED 与 Caltec 以交换地震观测数据

所用网络：TISN，Internet

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

• 交互式科学讨论会(live demonstration)：Evena Hall 和 NASDA(EOC)以及科罗拉多

大学演示视频会议、电子白板，联机合作分析，数据集和算法交换。

所用网络：EOSDIS version 0，内部网、NSI、TISN，ISDN(128 kbps)

NASDA：宇宙开发事业团

ISDN：综合服务数字网

4) 信息服务技术

这个演示将提供对政府局的数据和信息服务器的远程电子访问，即用 mosaic，Gopher 或 world wide web 服务器

日本参加者：NASDA，CRL，JAMSTEC

美国参加者：(NASA，NOAA，全球变化数据和信息系统(GCDIS))，全球变化主目录。

所用网络：TISN、Internet

3. 未来执行方法

参入组织已开始了行动，正如上面计划所指，GOIN 初始是需要沿续到未来。定义和提取用户需求的过程，网络需求。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，新的任务被定义。另外，通过政府组织和日美以外其他国家政府组织的合作过程，希望全球观察数据集变得可用。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。扩展 GOIN 初始化(例如：包括 C7 图像)将提高全球观测数据交换。

GOIN 的演示设计用于提供一个连续的全球观察数据的双边交换，网络连接，网络服务和互操作能力将被进一步深化，演示也将提供一个对全球观测数据集交换的网络操作需求、期望网络资源被扩展和提炼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 和 JTWG 将半年或一年会合一次，检查、估计和讨论进度和实验。JPWC 将提供过渡阶段活动的报告，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。

美国有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，通过它的环境和资源部门间委员会(CENR)，美国建议开发 GEOS，同日本合作，特别是 GOIN 共同日程对未来全球观测系统的潜在贡献，也包括另外的参与者，GOIN 已提供了对宽带网的促进。

4. GOIN 可接受的应用政策

(GOIN)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以支持即将到来的美日协作空间任务，以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，参人这个活动，GOIN 用于授权的目的，网络不用于商业目的和利益。

下面数据原则是访问、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和信息网络获取的。

• 地球观测卫星委员会的卫星数据交换原则。

• 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。

• 国际政府间海洋委员会/国际海洋数据和信息交换的全球海洋程序数据管理政策。

• 国际科学联合会世界数据中心系统指导。

网络将能应用特殊的数据政策，由任何参入组织获取，因此，考虑数据政策，GOIN 将是中立的。

参入组织用 GOIN 可以：

(1)使美日政府部门间的合作容易，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，在分析应用卫星数据及地面观测数据上的合作更容易。

(2)支持美日政府部门间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)支持公开的研究和教育。

(5) GOIN 的技术需求

5. 主要功能

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互联和互操作，例如卫星数据和实际观测数据，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。这些术语定义为：

1) 互操作

在网络上两个系统协作操作的能力，例子包括：发送和接收数据，搜索和检索信息，客户服务器相互作用。一般地，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。

2) 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。

3) 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。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的支持数据交换，参入部门将协作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，(如当参入部门空间观测任务启动后全球观测数据交换量的增加)，目前 GOIN 的一个构成是美

国和日本间已存在和在开发中的网络连接。网络连接继续提高，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的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入部门的信息和数据。在这个概念框架内实际的物理配置是期望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。

系统是否足够的灵活，随着参入部门的数量而演化，JPWG 将积极扩展 GOIN 参入部门，以包括日美研究项目所需的数据和信息的提供部门。为了鼓励它们的参入 GOIN 作为一个系统而规划，一个部门可以承担适当的责任，并朝着 GOIN 信息服务目标完全实施的方向工作。许多局将有作为他们主要兴趣的 GOIN 的资源、网络、数据和服务的应用。鼓励他们参入 GOIN。

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在不同的速度，给定的部门用户需求任务需求，以及予算约束上进展。GOIN 体系结构必须是灵活和可以修改以满足这个高度异质的和变化着的环境。

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，共性不暗含数据和信息系统的主要变化。此外，足够的共性，不能定义在演示、建议、测试和评估 GOIN 体系结构的演化执行方面的全球变化用户先前的参入，这是 GOIN 访问系统满足他们的互操作所必要的保证。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标准和手工及信息系统的指南。

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应用，并随信息系统技术的进程而改进，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，对不同部门以不同步骤而演进。

4) 标准和过程方法

GOIN 将在对全球变化数据和信息持有以及支持的访问服务中的一致性方面的关键领域内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，这通过对标准的采纳而使技术独立。国际标准：

参入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）将使国际合作容易。采纳这些标准将使系统的未来扩展容易，以提供另外的部门、非政府组织和除日美之外的其它国家的参入者。

5) 在部门间的技术共享

技术共享将集中于软硬件技术，以提供需要减少访问不同部门数据和信息系统差异上的共性；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

将促进 GOIN 体系结构的实施。

6) 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。

虽然电子的、联机的自动使用户访问 GOIN 数据容易，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，然而这种混合方式在将来更多的是以电子方式，手工服务在用户支持的关键领域仍然保留。

合作访问服务的全部实施将通过每个参入部门的共同努力每个部门根据他自己的资源能力和进度对全部实施后贡献。

下面是 GOIN 访问服务的用户视图，有一个对用户支持服务基本需求，由专家提供，除了脱机访问，网络对所有访问服务是一个基本的需求。

• 数据集

用户必须能依赖于长期的 GOIN 数据，信息和相关文档的集成。

• 目录，至少用户必须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。

• 联机指南和关键数据集的详细文档的硬拷贝以方便的形式提供必要的信息。

• 清单：用户必须能够确定和选择多个部门的数据集

• 浏览：允许用户在屏幕浏览数据，找到确切的数据，减少用户的时间。

• 定购：确定用户需要的数据和信息后，用户必须能够定购它。

• 分布：及时地传递和共同的格式给用户提供很大的好处，减少数据集请求的时间周期(特别是数据的合并)。

• 清单和管理：可能的实施效果未来考虑。

• 脱机访问：最基础的水平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。

实施 GOIN 访问服务的资源是有限的，美日部门重要的数据集有最高水平的支持，在目录功能情形下，必须使目录信息组合，使重要的数据集可访问。

7) 国际连接

除了脱机访问，网络对所有用户访问服务是一个底层需求。网络提供了一个即时的、灵活的、对大多数参入部门全球变化数据的服务，网络也提供给用户网上合作的方法，以促进科学更快的进行和科学问题的研究，GOIN 的基本目标是完成已存在的网络和规划的网络间的综合连接和互操作。已存在的和规划中的网络是 GOIN 建立的基本资源。

参入部门提供它们已存在和规划的网络的说明，作为开发 GOIN 原型的基础。在美国同日本间有广泛的网络连接，提供 GOIN 数据交换的能力，通信网络 PSCN 在 NASA 和

NASDA 间连接，Internet 连接如 NSI、从喷气推进实验室(JPL)到日本的 Tsukuba，一般地，终端用户在美国和日本连接，这些连接由 Todai 国际科学网络(TISN)支持，Internet 提供用户到骨干网络的访问。

6. 实施组织

JPWG 有责任开发和执行 GOIN 实施计划，PPWG 是另一个自愿参入部门构成的组织，它作为一个集合工作组开发全球观测信息网络的合作目的，并为实现 GOIN 目标开发工作计划。参入部门确认需求，执行任务以分清需求和已存在的能力，形成计划和工程项目以实施 GOIN 目标新的更高级的能力，每个自愿部门贡献其资源以执行工作计划和提高 GOIN 目标，因此，这些能力，如互操作和共同访问服务，目前还不能由所有参入者都实现。每个部门将根据自己能力和进度来开发新的能力以作为对 GOIN 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。

全球观测信息网络(GOIN)还设三个专题小组，解决所遇到的技术问题、网络传输问题及其改进方案：

(1)陆地组：主要是对复杂的生态系统进行观测及信息传输效率问题进行研究，希望通过全球植被指数(NDVI)的变化，土地覆盖变化和对大自然灾害进行监测与评估它们的现状及预测。日本国土地理院(GSI)通过编制植被指数图监视地球的"健康状态"。日本的科学技术组织(ESTO)和美国的国际地球科学信息网络集团(CIESIN)共同建立了全身变化数据的网络框架。

(2)大气和海洋组：大气和海洋以日、季、年和长期的气象模式和海洋动力模式变化着，主要研究如何去理解和进行预报。GOIS 通过三种方式的合作即数据采集、数据交换和数据管理。美国太平洋海洋环境研究部 (PMEL)和日本海洋科技中心(JAMSTEC)通过 GOIN 计划，重点研究了 El-Nino 现象，对大气和海洋形成无缝的整合。

(3)同一地环境研究组：对太阳与地球之间的广大空间现象的动态进行研究，如太阳爆炸及其他现象，对通信、供电、空间开发和对地遥感等的影响。

(4)宽带网络传输组：重点研究遥感和其他数据在网上的传输技术问题。1996 年在 NASA 与 NASDA 之间开通了宽带高速 (2Mbps)网络，进行了多种传输实验，并提供了"网络合作论坛"，促进了遥感影像网上传输的功能，并通过网络与其他全球观测计划进行会，如 CEOS(地球观测系统委员会)，APEC，WMO 和 GXOS 等开展了合作。

从 1996 年开始，除了美国和日本外，很多亚太地区国家，都参加了 GOIN 计划，并建立了合作框架。1998 年在日本筑波和 1999 年在美国夏威夷召开的 GOIN 会议上，除了亚太地区的国家外，还有欧洲及拉美、南美国家。会上专家们取得了以下的共识：

(1)GOIN 计划是十分必要的，通过宽带传输遥感数据，实现共享是全球观测计划的必由之路，而且证明是可行的。

(2)日本邮政省投资建设亚太地区宽带网络(APAN)，由日本邮电综合研究所主持的第一个可进行遥感图像传输的网络，也可以传输 TRMN 卫星数据，实时 VLBI 数据，已经接连澳大利亚、印尼、泰国、韩国、菲律宾、香港、台湾和美国，1999 年将开通连接中国，马来西亚和新加坡的网络是有重大意义的。APAN 下设技术，应用和用户的工作组。

(3)自 1999 年起,GOIN 项接将交由地球观测委员会(CEOS)的 WGISS 管理,这是合适的。国际对地观测系统委员会具有更广泛的活动范围,更符合 GOIN 宗旨。由其管理外,还可使用户扩大到全球范围。

§8.3 世界数据中心网络(NWDC)

世界数据中心网络(World Data Center Network)也是十分主要的信息基础设施。目前已经完成的国际联网的著名的数据中心有:世界数据中心(World Data Center,WDC)A、B、C、D;国际科学联合会(ICSU)的国际数据中心(International Data Center,IDC);除了以上通用的世界数据中心的网络外,还有一些专业的或行业性的世界数据中心网络,如:世界气象数据中心;世界水文数据中心;这些世界数据中心网络与世界各国的相应数据中心(表 8.4)连接,实现互联互通,数据共享。这也是全球性数据基础设施。

表 8.4 知名的世界数据中心举例

Name	Description
1990 Census Data Locator (University of Michigan Documents Center) http://www.lib.umich.edu/libhome/Documents.center/cenindex.html	Determine appropriate Census questionnaire and level of geography to identify possible printed reports, CD-ROMS, magnetic tapes, or Interne connections containing the desired data.
Pennsylvania State University Libraries Maps and Data Center http://www.libraries.psu.edu/crsweb/docs/mapgeo.htm	Science > Geography > Cartography > Maps > Libraries
Center for Technology in Government http://www.ctg.albany.edu/giany.html	NYS Spatial Data allows producers of geographic data to describe what datasets. They have available and allows users of Geographic Information Systems to find the datasets they need.
Louisiana Department of Environmental Quality-GIS Center http://gis.deq.state.la.us/	Contains data sets and maps (static and interactive).
Northern Illinois Business & Industry Data Center http://www.niu.edu/bide/	Northern Illinois Business & Industry Data Cente
State of California - Teale Data Center GIS Technology Center http://www.gislab.teale.ca.gov/wwwgis/oldhome.html	State of California - Teale Data Center GIS Technology Center The GIS Technology Center at Teale Data Center has built a reputation for exptertise and excellence in developing and making GIS tools and data available for environmental, economic.
State Service Center for Geographic Information Systems (GIS) http://www.sscgis.state.or.us/	The State Service Center for GIS (SSCGIS). The SSCGIS coordinates GIS activities in the state and maintains the Oregon Spatial Data Library.
Metro Data Resource Center http://storefront.metro-region.org/drc/index.cfm	The Data Resource Center maintains a wealth of information about the region's land, population and economy, and provides state-of-the-art mapping and data services to local governments, citizens and businesses. These services and information are based on the Regional Land Information System (RLIS), Metro's Geographic Information System (GIS) and related socio-economic data models.

续表 8.4

Name	Description
USGS Home Page http://info.er.usgs.gov/	U.S. Geological Survey, a bureau of the U.S. Department of the Interior.
The World Data Center System http://www.ngdc.noaa.gov/wdc/wdcmain.html	International Council of Scientific Unions - World Data Center System.
NOAA National Data Centers' Online Store http://www.ngdc.noaa.gov/Store/	Climatic Data Products Geophysical Data Products Oceanographic Data Products
The UMBC Regional Data Center http://www.csee.umbc.edu/~yschen/noaa/hrpt.html	The UMBC Regional Data Center (RDC) is a recently-formed collaboration of researchers from UMBC, NASA/GSFC Code 935, and CESDIS. Proposed activities include monitoring regional change, regional land classification, and mapping; database and data-systems research and development; developing tools for geographic and climatic visualization; and the development and refinement of retrieval methods for atmospheric and surface properties.
Illinois State Data Center Cooperative (ISDCC) http://www.cagis.uic.edu/ISDC/ISDC-intro.html	As the need for information at all levels of government and industry steadily increases, the scope and volume of information products that are developed also increases. The Illinois State Data Center Cooperative (ISDCC), in conjunction with the United States Bureau of the Census, is coordinating access to and use of these statistical resources for administration, planning, and decision making in the State of Illinois.
Center for Advanced Spatial Technologies (CAST) http://www.cast.uark.edu/local/links/gis/education.html	Educational Organizations Archaeological Resources Ark Census Data Center The IDRISI Project WWW Based Grass [REGIS Project] WWW Based Grass [CERES Project] Geomatics Program at the University of Florida Missouri Spatial Data Information Service.
Microsoft Terra Server 和 Microsoft SQL 数据库	存储了卫星和航空遥感数据，通过 Internet 向全球发布
New Hampshire State Data Center http://www.state.nh.us/osp/planning/sdc.html	An Information Resource for Planners, Town Officials, Resource Managers & the General Public Welcome to the New Hampshire State Data Center NHSDC Background: About the SDC Program Affiliate Agencies Other State Data Centers NH & Census 2000.

第九章　地球空间数据共享标准规范与技术安全

信息共享的关键是信息的标准问题，而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。

§9.1　地理信息标准化的形成

信息革命在全球的兴起，使信息标准化工作飞速发展。自从ISO提出了“开放系统互联参考模型”(OSI/RM)以来，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。相继地，各国政府又根据本国的实际情况，以OSI为基本标准，制定了相应的较精炼的协议体系，即政府开放互联配置(GOSIP)，为本国服务。这使得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，并且这些体系都以OSI为基础，大大推动了ISO标准化的发展。它们的出现，为地理信息的标准化和信息化社会的到来铺平了道路。

地理信息标准有四个方面：

(1)硬件标准：如接口标准、程序检测标准。

(2)软件标准：如查询语言、程序设计语言等标准。

(3)数据格式标准：如数据类型、数据质量、数据转换标准等。

(4)数据集标准：如电子地形系列(DEM)等。

地理信息标准可以划分为五个层次，即国际标准、地区标准、国家标准、地方标准、其他标准。标准化工作可以从两方面进行：一是以已经发布实施的信息技术(IT)标准为基础，直接引用或者经过修编采用；二是研制地理空间数据标准，包括数据定义、数据描述、数据处理等方面的标准。

一般GIS标准与GIS数据共享有关。根据Clifford A. Kottman和Barbara P. Buttenfield，GIS标准的应用领域包括：①共享，使GIS数据能被多用户使用；②查阅信息，使GIS数据能被方便地查阅；③定义地理信息，为GIS数据确定空间实体的定义、分类及编码；④组织GIS数据，合理地组织GIS数据产品的数据结构⑤显示地理信息，以适当的符号系统和颜色系统显示由GIS数据所描述的空间实体和空间关系等等。

表9.1给出了GIS应用所需要的许多相关支撑标准。

目前，正在制订标准和规范的重要的单位有：

表 9.1　GIS 数据的应用及其支持标准

（据 Clifford A. Kottman 和 Barbara P. Buttenfield）

GIS 数据的应用	所需标准
数据交换与集成	数据交换标准
数据解释	实体定义与分类体系
空间数据组织	数据训模型标准
应用界面	计算技术标准
数据显示	图式、符号标准
决策选项（如对两决策选项的选择）	计算技术标准
查询	数据库标准及网络标准
数据产品维护	数据库标准
数据网络	网络标准

- ISO/TC 211：国际标准化组织 TC 211 专题组
- FGDC：美国联邦地理数据委员会
- CEN/TC 287：欧洲标准化委员会
- OGC：美国 OpenCIS 协会
- MEGRIN：欧洲地图事务组织
- CGSD：加拿大标准委员会
- NASA：DIF 美国航天航空局 DIF

他们工作一般包括：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、数据定位、传输标准以及元数据标准等内容。

制定地理信息标准的最主要的国际组织是国际标准化组织（ISO）地理信息技术委员会（Technical Committee of Geographic Information/Geomatics，即 ISO/TC211）。该委员会的工作范围为数字地理信息领域标准化。其主要任务是针对直接或间接与地球上位置相关的目标或现象信息制定一套标准，以便确定地理信息数据管理（包括定义和描述）、采集、处理、分析、查询、表示、以及在不同用户、不同系统、不同地方之间转换的方法、工艺和服务。该项工作与相应的信息技术及有关数据标准相联系，并为使用地理数据进行各种开发提供标准框架。该技术委员会目前正开展 22 个国际标准项目的研制工作。每个项目均以一些比较成熟的国家标准、地区性标准为基础。内容主要涉及地理信息框架和参考模型、地理空间数据模型和算子、地理空间数据管理、地理空间数据服务和专用标准等。标准项目包括参考模型、地理信息术语、一致性与测试、空间模式、时间模式、应用模式规则、要素分类方法、数据质量、空间参照系统、元数据、地理信息表述、数据编码、影像和栅格数据、实用标准等（刘若梅，蒋景瞳 1999）。

其他一些专门的国际机构也制订各自专业范围的国际性标准，如国际水道测量组织（IHO）制定了DX90标准；国际制图协会（ICA）下设四个技术委员会：空间数据转换委员

表 9.2 FGDC 的子委员会及其工作标准一览表

子委员会	标准内容
基础地图	地理空间位置精度标准(第 3 部分)
	数字高程数据的内容标准
	数字正射影象的内容标准
	空间数据转换标准(第 5 部分)
水深测量	地理空间位置精度标准(第 4 部分)
	国家海岸线标准
文化和人口	数字地理元数据内容标准(文化和人口部分)
测量	地理空间位置标准(报告制作方法部分)
	地理空间位置标准(测量网络部分)
	空间数据的转换标准(点剖面部分)
地质	地质数据模型
	数字地质图制作标准
地籍	地籍数据内容标准
土壤	土壤地理数据的国家标准
植被	植被分类和信息标准
湿地	美国湿地和深水栖息地分类标准

表 9.3 FGDC 的工作小组及其工作标准一览表

工作小组	标准内容
交换所	地理空间元数据的编码标准
地球覆盖	地球覆盖分类标准
设施	设施标识数据标准
	地理空间位置精度标准(建筑、工程、设施管理)
	空间数据转换标准(计算机辅助设计和制图)
	基础设施类空间地理数据的内容标准
	环境灾害空间数据内容标准
标准化	遥感数据的内容标准
	生物资源数据的元数据内容标准
	数字地理空间元数据的内容标准
	空间数据的转换标准

会、数据委员会、空间数据质量委员会和空间数据质量评价方法委员会，也制订相关标准。近几年由于 GSDI、RSDI 或 NSDI 的实施和信息共享需求而引发成立的一些国际、洲际组织，如开放地理信息系统协会(OGC)、欧洲开放信息交换(OII)服务等组织，活动也很活跃。其中，特别值得一提的是开放地理信息系统协会(OGC)的工作。

OGC是生产与管理部门为实现地理空间信息的互操作而成立的公共与私人组织的联合体。其目标是实现地理空间数据与地理空间信息处理资源的全面集成，通过信息基础设施广泛使用商业化的、可互操作的地理空间信息处理软件。在网络环境中真正实现开放的、可互操作的空间信息处理，透明地共享庞杂的地理数据与地理信息处理资源。OGC的主要任务之一就是合作开发互操作技术规范，按照OGC的技术开发计划，逐步开发独立于计算平台的通用规范(Abstract Specification)和计算平台特有的实施规范(Implementation Specification)。OGC与ISO/TC211已经达成合作协议，ISO/TC211组织制定的标准，OGC予以采纳和实施，使该项标准具有ISO/TC211和OGC的"双重标记"。传统GIS是面向单一应用的、单一的空间型信息系统与关系型信息系统集成，开放的GIS是动态互操作的，使用组件化的软件、分布式目标及通过元数据实现网络信息查询等。因此，OGC的工作极富创新意义(刘若梅、蒋景瞳，1999)。

欧洲标准化组织CEN/TC 287 CERCO，包括30多个国家参加的地理信息标准组织实施的GI2000计划和EGII计划，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制订工作是由国家技术标准监督局负责，由国家测绘局牵头，很多生产及科研与教育部门参加的，成立了一个专门小组负责标准的制订，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、军标既要与国际标准接轨，又要有自己的特色和保密之处。

地理信息标准的制定还包括立法的内容。根据H. Bishop Dansby(1991)对美国地理信息(Geographic Information，GI)的立法状况进行了调研，到1991年为止，至少有20个州具有不同类型的GIS立法，主要包括公开信息法、数据立法、机构及工作组的立法等。

§9.2 技术标准

(1) 参考系统标准：是指地理参考系统，或大地坐标等标准，是综合地球数据的基础标准。全球定位系统(GPS)技术的应用，提供了精确的地心坐标数据。要求将参考系统数据集存贮至一个精确的国家参考系统中，并要求明确规定国家参考系统与地心参考系统之间的关系，如两者之间不同的话。

(2) 数据模型标准：分概念数据模型与逻辑数据模型(或数据结构标准)，另外还有物理数据模型或文件结构是在数据转换标准中实现的。概念模型为以空间数据形式表示现实世界所提供的一种模式。该模式还说明了基础数据集的空间和层理要素以及确立数据集之间关系的语义结构。然后将概念层表示为一个或多个逻辑数据模型，来具体规定如何定义数据集之间的关系。在该层上应对如拓扑或栅格数据结构予以规定。

(3) 数据字典标准:是以概念数据模型为基础,提供基础数据集的空间与层次要素的标准定义。如公路可能有一系列的层性,如等级、铺路材料、宽度等;而等级又可分为一级、二级及三级公路。数据字典对这些术语的定义必须完全一致,从而对它们进行准确解释,并在GIS应用中对数据进行有效的集成。为确保一致性,每一基础数据要开发数据字典,并进行交叉参考。

(4) 数据质量标准:地球数据质量标准可以是描述性的,也可以是指示性的,或者两者兼而有之。描述性标准以"真实地标记"为基础,要求数据生产者报告对数据质量的已知部分。这就使数据的使用者能够有根据地判断出数据的适用性。描述性数据质量标准要求生产者提供以下5个主要特征信息:系层,位置转换,层性转换,逻辑一致性及完整性。指示性标准将规定每一特征在这一特征应用中的质量参考。

(5) 数据转换标准:提供了不同计算机环境间数据转换的一种中间格式。它们包括一整套使数据按字段、记录和文件要求进行编码的规划,以便通过指定的介质进行转换。数据模型是研制编码规则的先决条件,转换标准的中介性质是一种主要的特征。转换标准优化后可使所有的数据以及Metadata数据准行有效的通信,而对产品和数据库结构进行优化后则可进行有效的存贮、应用及维护。

(6) Metadata标准:另有介绍(参考Australia, New Zealand Land Information Council文件,国家测绘局,1999年)。

§9.3 系统安全标准

在Internet-Web上运行的数字地球技术系统网络的地学空间数据实现共享过程中,可能会出现安全问题,如:故意对数据或程序的破坏、计算机病毒、逻辑炸弹、错误指向、程序错误、黑客、辐射、硬件故障搭线窃听、严重的误操作、数据泄漏、盗用、伪造、假冒、诈骗,或火灾等破坏。因此,建立数字地球技术系统中的数据安全体系,是非常必要的。

数据安全体系建设必须符合三大基本原则:

(1) 系统安全功能的易操作性:对于大多数用户来说,系统的安全机制是透明的,和易操作的。用户易于访问和操作安全功能的硬、软件设施。

(2) 进行风险分析:在数字地球技术系统的设计过程中,不仅要考虑到系统的安全功能,而且应采用风险分析方法,对系统整体进行安全分析,包括系统的可能的破坏,数据的泄漏,伪造,病毒的侵入造成的影响等及其科学的对策等方面进行研究,并提出解决方案。

(3) 经济性的原则:在考虑安全性的同时,也要考虑到经济的承受能力。在设计安全功能时,应选择投入小、效果好的方案。

另外,体系的功能也必须有安全的保证,主要由两个方面来制订安全策略:

第一,系统的外部安全:包括人员安全和物理安全,如制订工作人员职责,设备的管理制度等,严禁非工作人员对系统进行操作。

第二,系统内部的安全,包括加密,鉴别,审计,容错和访问控制等。

信息加密/解密,身份验证等现代密码技术,随着网络的发展和保证系统安全发挥了重要的作用。

审计功能是对应用程序和使用系统资源时，进行必要的登记和检查，以保证操作过程的规范化和信息流动的安全性。

防火墙作为对系统的访问的控制是十分重的方法。访问控制是由数字地球技术系统管理中心统一严格管理，属强制性控制。通过控制被保护网络和外部网络间的进出安全，使外部入侵者不能进入被保护网络，而被保护网络中的成员仍能访问外部网络，因此可以排除外部干扰，而不妨碍系统的正常运行与外部联系。

§9.4 地理空间位置精度标准简介

联邦地理数据委员会(FGDC)在美国行政管理和预算办公室 A-16 文件的支持下，为推进地理数据的协同发展、使用、共享和发布，制定了该标准。这项标准仅应用于特定的点状数据，而不是其他诸如面状、线状、属性和栅格数据的精度。

该标准通过采用一致的方法支持了国家空间数据基础结构(NSDI)的发展，这种方法提供了一种手段，即直接将通过一种方式(如地图制图学方式生成的数据)获得的空间数据所要报告的位置精度，同由另一种方式(如 GPS 大地测量网格数据)获得的同一点空间数据位置精度相比较。因此，在文件的不同部分间一定要有一致性。这将允许我们用同样的一般精度标准去描述所有点数据类型。

该标准目前包括三个部分：

(1) 简介与报告方法论；

(2) 大地测量网格；

(3) 国家空间数据精度标准。

另外，正在酝酿的三个部分为：

(4) 导航图表与水文测量；

(5) 工程、建筑和设施管理；

(6) 地籍和边界调查与制图。

所有空间数据活动应该依照统一的精度标准生成一个分类体系。根据数据集的特征，位置精度报告标准可定义为水平坐标的标准和(或)为垂直坐标的标准。

水平坐标的标准：在水平组分中，报告标准是一个不定圆范围，比如说实际上或理论上点的位置以 95%的概率落入该不定圆范围内。

垂直坐标的标准：在垂直组分中，报告标准是一个线性不定值，比如说实际上或理论上点的位置以 95%的概率落入该不定值范围内。虽然由于点坐标和高程用英制(英寸、磅)来表示，精度也用英制表示，而报告精度标准应定义为米单位(国际单位系统)。

用于评价精度的方法应该声明。在文章各部分中，点数据精度标准应标明应用类型，并且，如果可行，还要标明对该应用推荐使用的精度级别。

坐标值应以国家数据为基准。水平坐标值推荐参考 1983 年北美数据(NAD 83)，垂直坐标值推荐参考 1988 年北美垂直数据(NAVD88)。但也存在许多遗留的地图和空间数据适于参照较老的国家数据，如 1927 年北美数据(NAD27)和 1929 年国家大地测量垂直数据(NGVD29)。

如果坐标值不是参照国家数据，但它们同国家数据的关系是清楚的，要标明数据的类型及其同国家数据之间的关系。如果地方数据同国家数据的关系并不清楚，也要标明数据类型，但声明它同国家数据之间的关系不明。

§9.5 空间数据转换标准(SDTS)简介

总体上看，数据格式转换可以分为两个层次，纯粹的数据格式转换和带含义的信息转换。纯粹的数据格式转换可以发生在两个数据文件之间，也可以通过一种中间格式将源数据的格式转换为中间格式，再由中间格式向目标格式转换。其主要的特点是只强调格式的转换，不考虑语义的翻译，因此这种数据格式转换方式无法保证其语义正确性。基于空间数据转换标准，例如 SDTS 的转换，由于 SDTS 本身是基于一定的元模型而建立起来的，源数据文件通过 SFDTS 各目标数据文件 格式转换中，不但转换格式，还可以通过数据字典及模式而转换语义。在一定程度上讲，基于空间数据转换标准的数据转换可以称为信息的转换，但是在转换过程中，仍然没有保证语义转化的正确性绝对措施，并且由于它是一种格式转换，其精度不可避免地要受到影响。

表 9.4 空间数据转换标准一览表

英文简称	全称	应用领域	负责开发或管理的组织或国家
ATKIS	官方地形制图信息系统	描述在数字地形图中对景观的模拟方法	德国
DEMITS	数字和电子地图转换标准	数字地图交换	俄罗斯
DFT	地籍制图的数字交换标准	数字地籍图交换	匈牙利
DIGEST	数字地理信息交换标准	在军事应用中与中、小比例尺地理数据有关的数据交换	DGIWG
EDIG	地理信息与制图交换标准	与中小比例尺地理数据民用有关的数据交换	法国
FGDC 元数据	数字地理空间元数据的内容标准	地理空间数据集的数据交换	美国
GDF	地理数据文件	与道路网有关信息的数据记录方法	CEN
IEF91	以色列交换格式	数字制图空间数据的交换	以色列
IHO DX－90	IHO 数字水文数据转换标准	水底及相关特征的制图	国际水文组织
NES	数字式地理参考信息交换国家标准	地理参考信息的交换	南非
NICCA	地籍制图交换标准	大比例尺地籍制图数据的数据	西班牙
NOTIGEO	地理信息交换标准	中小比例尺地形制图	西班牙
NTF	中间转换格式	英国内部地理空间信息交换	英国
OGIS	开放式地学数据互操作规程	对地学数据和地学处理功能的访问	OGIS
ONA2260/1	地理－几何数据交换接口	澳大利亚有关的地理数据交换	澳大利亚
SAIF－	空间数据档案化和交换格式	空间和时间数据共享	加拿大
SDTS	空间数据转换标准	交流空间信息的语言	美国
SOSI	空间信息的协调方法	挪威地理数据的交换	挪威
SPDFDM	数字制图标准工艺和数据格式	——	日本

在以数据转换作为实现数据共享的主要技术途径时，空间数据转换标准在数据格式转换中具有十分重要的作用。在数据格式转换的三种方式中(黄裕霞、陈常松、何建邦，

1998),基于空间数据转换标准的转换是目前最常使用的转换方式。由于在空间数据转换标准中嵌入了一个元模型(Meta Model),从而在一定程度上保持了转换过程中语义的稳定性(陈常松,1999)。

1. 计算机辅助制图和设计纲要(Computer-Aided Design and Drafting Profile)

1) 目标

建立一个空间数据转换标准纲要,支持计算机辅助制图和设计(CADD)中的空间数据交换和转换。

2) 范围和定义

这一文件包括识别一般 CADD 的元素和它们等价的 SDTS 元素,同时包括识别 CADD 独有的,现时还不被 SDTS 支持的元素(如曲线、单元、射线、3D 物体)。这需要发展新的模块或改变现有的模块。在 CADD 的软件中,体现了 CADD 纲要中包含一些 SDTS 如何使用基于矢量的地理空间数据的规范。这个纲要的目的在于帮助数据在 CADD 软件包之间无损转换,以及支持 CADD 数据同主流 GIS 软件包之间的转换。

(1) 转换一致性:为了保持同 CADD 纲要一致,SDTS 转换应。

- 包括全部该纲要规定的强制空间对象、模块、字段和子字段;
- 同 SDTS1,2,3 部分的要求保持一致,除非它们与纲要冲突;
- 同 SDTS1,2,3 部分的限制保持一致;
- 按 ANSI/ISO 8211 的标准进行格式化;
- 遵循该纲要所有关于模块和文件命名的习惯;
- 坚持该纲要所有其它要求。

(2) 编码一致性:为了保持同 CADD 纲要一致,SDTS 转换应。

- 能够指导生成仅符合该规范的 SDTS CADD 转换;
- 将输入系统中的空间对象(CADD 和 GIS)转换成适当的 SDTS 空间对象;
- 将存储在输入系统(如在数据库中)中的属性数据转换成 SDTS 主要属性和次要属性模块(或提供一个合理的重获数据的方法);
- 正确维护空间对象和属性之间的连接。

(3) 解码一致性:能够解释保持了一致性的 CADD 纲要转换。

- 能够解码任何该纲要要求或允许的模块;
- 能够解码任何该纲要允许的空间对象;
- 能够转换任何主要属性或次要属性模块,并将之转换成能为输出系统使用的格式;
- 正确维持空间对象和主要属性记录之间的关系;
- 能够忽略选择性或现时尚未定义的模块、字段和子字段;
- 能够恢复在 SDTS 转换中一个特定的记录、字段或子字段出现的错误;
- 能够严格地将一次转换中出现的全部错误记录到文件或设备中。

3）相关标准

较早的相关标准是 SDTS 和它的地形矢量纲要。

2. 栅格纲要及扩展(Raster Profile and Extensions)

空间数据转换标准(SDTS)定义了一个通用的机制,用于进行地理参照的空间数据以及支持它的元数据(如属性、数据质量报告、坐标参照系统、安全信息等)的转换。SDTS 所推行的主要原则是空间数据转换应该能够自我记录(self-documenting)。SDTS 的数据集应该包括任何恰当的 GIS 应用所需要获得和(或)使用的所有信息。SDTS 的基本规范应通过 SDTS 纲要来执行。一个 SDTS 纲要,通常来讲,可以被定义为一个有限的标准子系统,设计为用来使用一个特定的数据模型(如地形矢量、点、网格、图像等)。同时,它也规定了基本标准以外的扩展标准,用来声明技术变更,并用以利用其他工业标准。对于栅格图像数据,具有多种不同性质、不同限制和不同执行程度的标准。SDTS 的栅格纲要及其扩展(SRPE)允许使用两种基本的图像数据工业标准:基本图像交互格式(BIIF)和标识图像文件格式(TIFF)。BIIF 定义了一种图像数据及任意一种支持数据的转换机制,如图像参数、可视化参数、压缩参数、文字注释、符号等。BIIF 是一种 ANSI/ISO 标准,在商业军事团体中应用广泛(通常称为 NITF);TIFF 是一种通用目的的图像文件格式,在简单图像应用中商业广泛。

3. 点纲要(the Point Profile)

1）目的

用于提供同 SDTS 相一致的高精度地理点数据的转换标准。

2）范围

点纲要包含 SDTS 纲要的规范,仅用于地理点状数据。可以用于选择处理高精度坐标数据(通过增加小数的位数或有效数字的位数),如大地测量网格控制点所要求数据。地理点状数据是用来描述真实世界物体的,而不是描述符号化了的地图图形。数据可以从制图产品(地图)中获得,但点纲要的范围是传输高精度的点状数据,如从高精度的大地测量网格控制调查中获得数据,而不是在地图上显示的地理现象的信息。该纲要不包括地形结构的转换。

一个 SDTS 纲要应该依据以下目标提供文件、记录、字段和子字段之间的转换:

- 编码为一种标准的格式;
- 提供一种与机器和介质无关的方式;
- 使数据与它们的描述相结合;
- 保留数据全部的意义和关系;
- 为字段和记录准备适当的最大长度。

转换过程中应保持转换、编码、解码的一致性。

3) 同其他标准的关系

点纲要提供不同 SDTS 成员之间在进行地理点状数据表达时的一致性，要支持相关的地理数据的收集、处理和(或)转换的标准(包括附加的纲要，如计算机辅助设计和制图纲要)，同时要和 SDTS FIPS 173 保持一致。

第十章　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猛的发展。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。我国在"九五"期间也以国家空间信息基础设施(NSII)的建设为龙头掀起了基于 NSII 的 Metadata 研究，并在国家科学技术部、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。

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。

§ 10.1　Metadata 的发展背景

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了，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。如每天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。

Ashrafi(1995)指出：Metadata 是数据库管理领域的概念，是关于数据组织的数据。

Bretherton(1994)认为：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。

Lenz(1994)认为：在统计型数据库中 Metadata 是关于宏数据(Macrodata)和基本数据(Microdata)的数据，它没有标准属性，即没有固定格式。

Shelleg(1995)则认为：Metadata 是一种机制，用来说明数据集成其他形式的信息存在的描述。

欧洲标准化委员会(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 的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。台湾译作诠释数据，我们主张译作数据集的注释数据。

1)数据集的描述与说明

F. Bretherton 和 T. Singley(1994)认为 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。

CIESIN(1995)认为：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。

Ashrafi(1995)认为：Metadata 是数据库管理领域的概念，是关于数据组织的数据。

2)提高数据利用价值的应用系统辅助信息

Epaminodas Kapetanios, Ralf Kramer (1995)认为：Metadata 是指数据与信息之间的某种关系，可以沟通数据和信息。

ESRI(1995)认为是指数据的数据，并包括使数据可以使用的辅助性信息。

Geo-spatial Metadata 是指 Geo-spatial data 的属性、空间、时间、存贮格式、存贮位置、获取方法等详细描述。

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，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:它是指数据的产生规则、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"(Harjinder,1996)。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的不同版本,并对数据能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做"元数据",我国台湾译做"诠释数据"。虽然"诠释数据"能够比较准确地反映出 Metadata 的作用,但"元数据"更可以反映出 Metadata 在数据集中所居核心作用的地位。因此可以建议把"Metadata"译做"元数据"。

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,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、智能分析以及运算大门的钥匙。

§10.2 Metadata 的标准现状

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、国务院、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的系统等问题又做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日被批准生效。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的研制过程中，美国政府还采取了一系列政策来促使它的进程。首先，为了确保该草案的有效实施，1994年4月11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。

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)五个工作组组成。

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提供表征他们地理数据的所需信息，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对Metadata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。其具体标准内容将于1999年底正式出台。

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,并成立了四个工作组,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工作组的第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。

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。当时大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、通讯部门、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。

§10.3 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的分析。

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，网络是它的通讯基础，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，似乎它的理论也枚不胜举；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讯技术等方面的理论，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。

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。地图是我们对地球实体的简单抽象，因此，我们既可以把地球影像认为是一幅地图，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，将因随方法、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。

为了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是要素。

对地理对象的抽象过程通常认为有 9 个层次，在这九个层次之间通过 8 个接口与它们连接，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。

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，这样人们便可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，被用于分析几何关系。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、发生龙卷风后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，它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，包括通讯(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像对、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做一定的阐述。

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，人们已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讯。因此，坐标参照系模型也是 Metadata 的主要理论之一。

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，而另一些用户只要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,而远效区则可达 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 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。

5. 计算机、通讯及其他理论

计算机、通讯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,在这里不做一一讨论,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。

§ 10.4 Metadata 的标准体系结构与研究趋势

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参考信息等七个部分进行研究。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语言等十个部分进行研究。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参考信息等八个部分进行研究。

表10.1 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			

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。

如图10.1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。

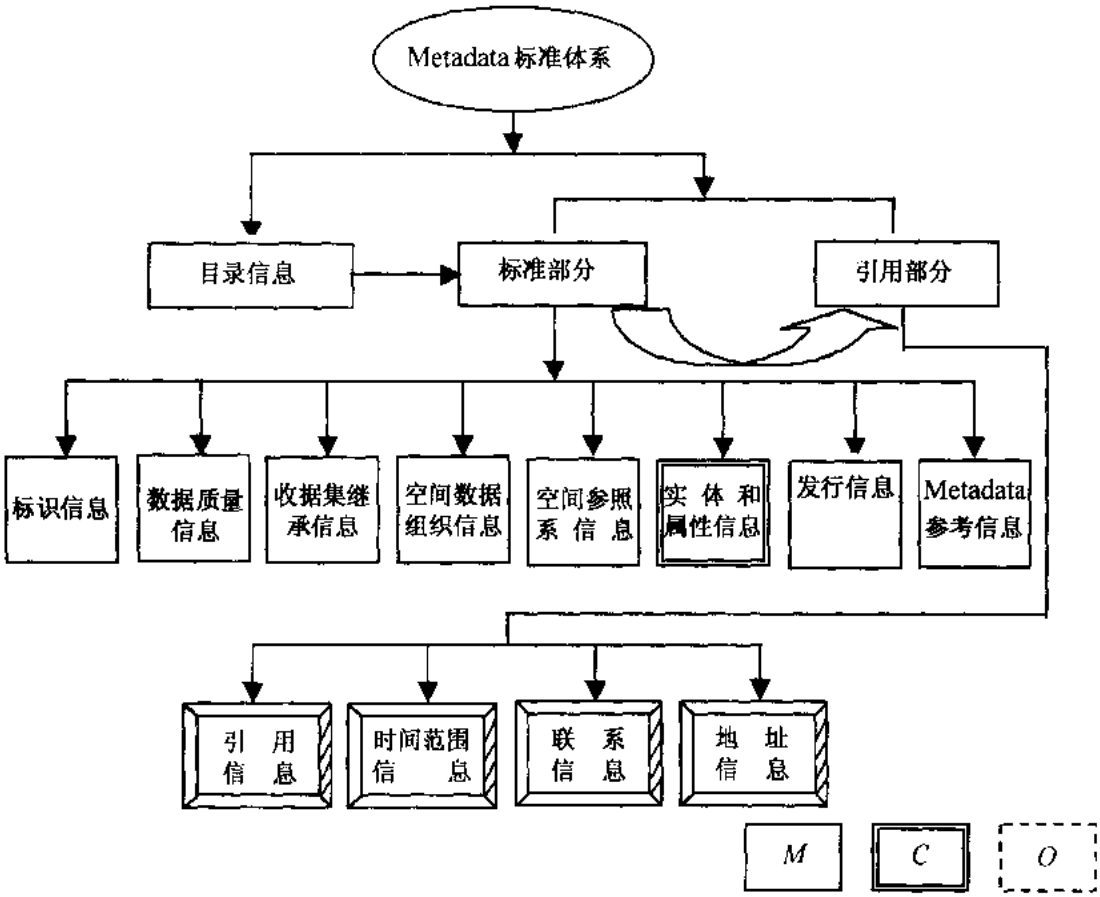

图 10.1 Metadata 内容标准的组织框架

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三个层次。

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。

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，它由九个属性来定义，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：赋于 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 10.2 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

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。右边的术语由其它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。考虑到直观方便,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下表所示:

表 10.3 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 10.4 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

上面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。

在 Metadata 元素内容表中，为了方便，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 l 时，a 用$[l|\ \ ]$表示，b 用$[\ \ |l]$表示，c 用$[\ \ |l]$表示。依次类推，当出现次数为 $m\sim n$，即 $m\{[a|b|c]\}n$ 时，a 用 $m\{[l|\ \ ]\}n$ 表示，b 用 $m\{[\ \ |l]\}n$表示，c 用$m[\ \ |l]\}n$ 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。

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。

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。

1) Metadata 第一层元素

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。

2) Metadata 第二层元素

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，比如当一副数字专题地图的建立经过了航空像片判读、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讯的地址信息，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。

§ 10.5 Metadata 的实现

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。

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，以及返回和表示等四个方面的功能。图 10.2 所表示的是 Metadata 的基本逻辑模型。

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，并经通讯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 10.2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 Metada-

ta 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。

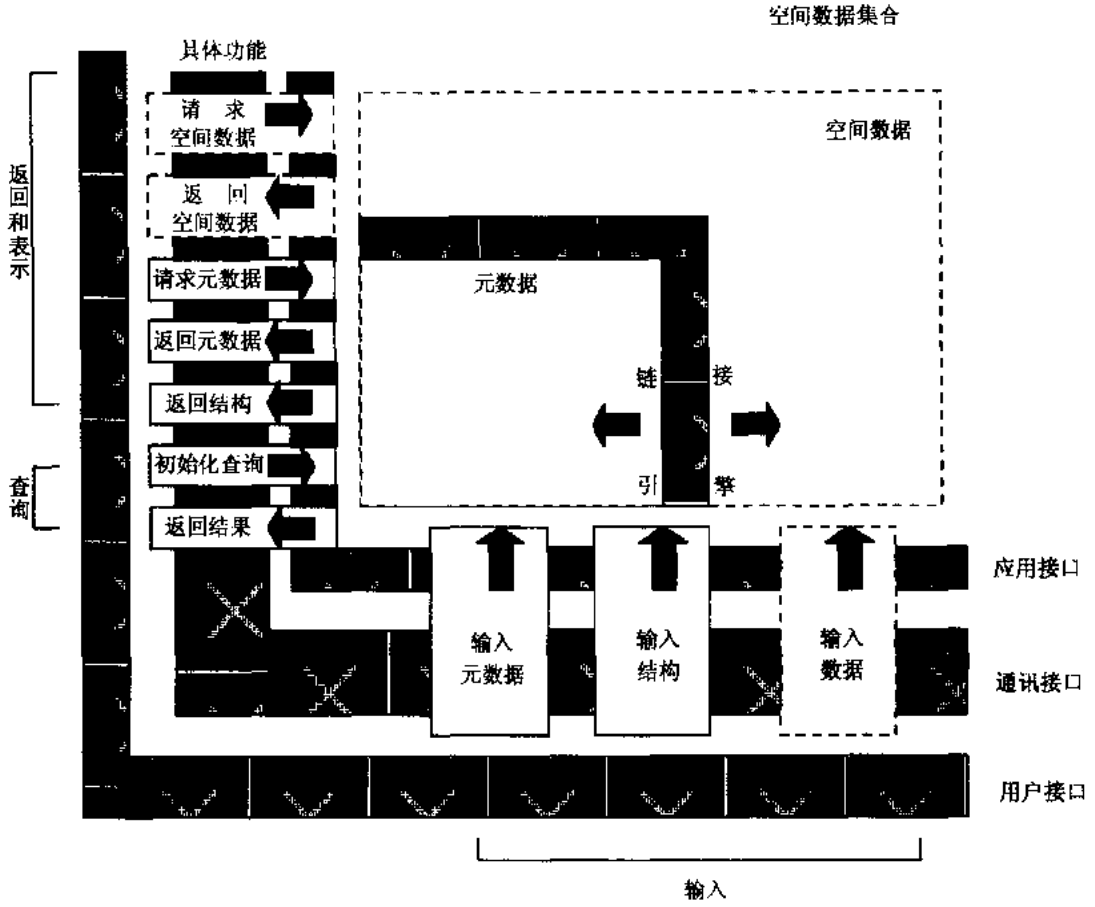

图 10.2 元数据逻辑模型

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。

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、通讯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/服务器之间的通讯等。

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，本文将对实现 Metadata 标准软件的具体技术不一一列举，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 软件设计上。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。

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。

第十一章　数字地球核心技术综述

Al Gore 在他的报告中，数字地球技术系统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，尤其是对复杂的自然现象，包括地球的某些现象是不能进行实验的。计算机，尤其是高速计算机的出现，不仅能对复杂的数据进行实时，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，从而获得知识创新和发展理论的效果。所以把科学计算放在首位。

(2)海量存贮(Mass Storage)，仅美国航天局(NASA)每天产生 1 000G 字节的信息，要求每天能存贮和处理 10^{15}字节以上的设施。而且信息量还在不断增长。

(3)卫星图像(Satellite Image)：行政部已授权商业卫星系统能提供 1 米分辨，甚至 1 英尺分辨力的图像，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贮，而是由无数个、分布在不同部分、不同地点的，即分布式的数据库来存贮，并由高速网络来连接。网络的传输速度目前要求 10G/s，将来要求 10^3G/s

(5)互操作(Interoperability)，Internet(信息高速公路的雏型)和 World Wide Web，即 WWW or 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、合作和人机和谐的标准和规范。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读取。GIS 产业部门正在通过 Open GIS Consortium 解决这个问题。

(6)元数据(Metadata)是"关于数据的数据"或"管理数据的数据"。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、企业及地方政府共同发展有关诠释数据的标准。

根据 Al Gore 的报告，数字地球技术系统的框架是由以下四个部分组成：

(1) 基础技术：多种分辨率的遥感，以计算机为核心的 WebGIS 与 Open GIS 和高速计算机通信网络；

(2) 关键技术：1 米分辨率的卫星遥感技术，海量数据的快速存贮与处理技术，高速网络技术，WebGIS 与 OpenGIS 的互操作技术，多分辨率，多维数据的融合与主体动态表达技术，仿真与虚技术，Metadata 技术；

(3) 实现层：区域与目标层、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。

在 Al Gore 的基础上，结合我们自己的研究和认识，认为数字地球的关键技术主要包括以下几个方面(表 11.1，图 11.2)。

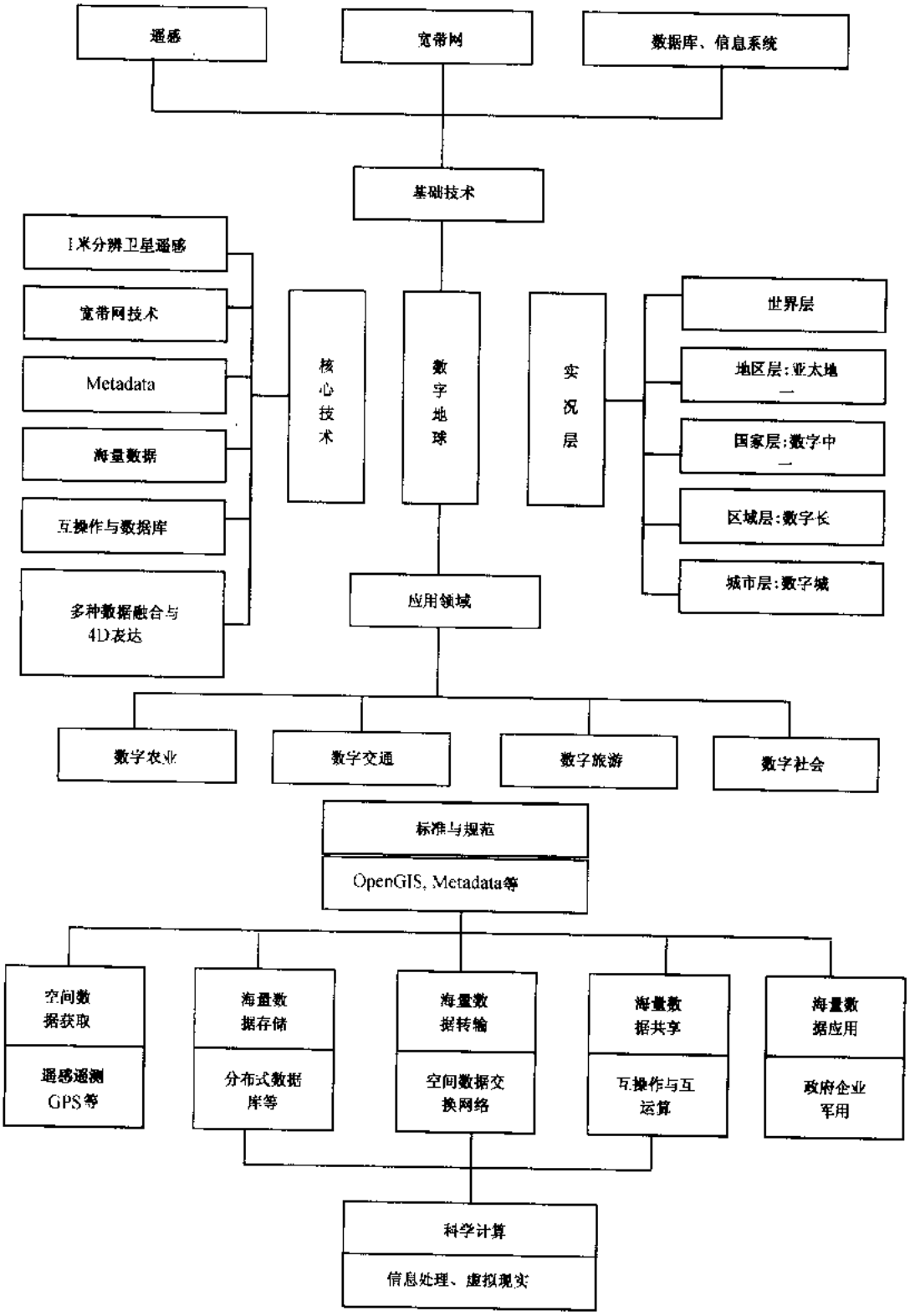

图 11.1　数字地球的技术体系

表 11.1　数字地球的关键技术

任务与目的	技　　术
1 数据 – 信息的获取	(1)地学空间数据(1 米)智能获取技术，主要是指卫星遥感与遥测技术；
2 数据 – 信息存取	(2)海量数据的存、取技术，包括无损压缩与复原技术，纳米及激光全息存贮技术，分形编码技术；
3 数据 – 信息传输	(3)宽带网技术，包括：宽带光缆网与宽带卫星网技术 (4)空间数据库(Geo-spatial data ware house)及交换中心(clearing house)；
4 科学计算	(5)webGIS, comGIS 的远程操作与互运算技术；(6)数据或知识的挖掘(Data mining)技术；(7)多种数据融化与立体表达技术；(8)仿真与虚拟技术；(9)虚拟地球系统模型；
5 共享规范	(10)openGIS 规范；
6 前沿问题	(11)数字地球的神经系统；(12)数字地球的网络行为；(13)数字地球的进化机制。

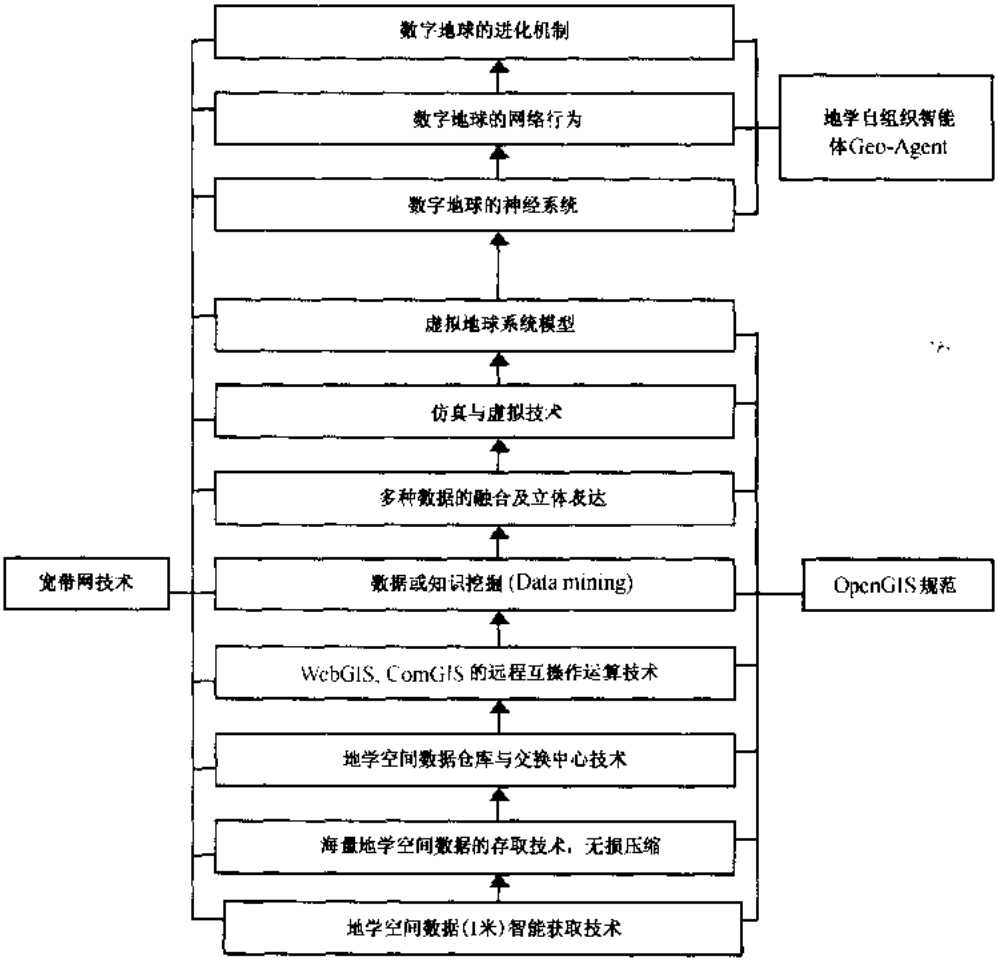

图 11.2　数字地球的关键技术框图

第十二章　高分辨率卫星数据的获取与海量数据的存取技术

§12.1　高分辨率卫星遥感概况

从1957年第一颗人造卫星上天以来，每年发射卫星的数量越来越多。现在已经达到每年平均超过150次发射，卫星已经成为获得地球数据和进行科学实验的主要手段。

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、测地卫星系列及小卫星系列；空间分辨率从0.5米到4 000米；光谱从紫外、可见光、红外到微波；波段从1个到240个；影像处理技术从光谱校正、几何校正、影像增强、特征提取、自动识别分类、自动成图、数据压缩及与数据库、地理信息系统及网络技术(Internet)相连接等，都已经取得了很大的成绩。与数字地球相关的卫星遥感技术，主要有海量的卫星数据的快速处理问题。Al Gore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差。主要问题是处理技术和其他地球信息综合应用问题。Al. Gore在报告中还指出1米分辨率的卫星图像是数字地球的重要技术指标等问题。这些问题是我们重点研究的对象。

关于1米分辨率的卫星遥感数据，在军事应用方面早已不成问题，甚至厘米级的技术水平也已经达到。

高级锁眼-11(KH-11)光电成像侦察卫星：既能普查(地面分辨率优于3～5米)，又能详查(地面分辨率优于2米)；既能在白天进行可见光成像，又能进行夜间红外照相。该光学系统镜头采用了自适应光学成像技术，在电脑控制下，随视场环境灵活地改变主透镜表面曲率，从而有效地补偿大气层造成的畸变影响，使地面分辨率达到0.1米。红外成像系统能在光线不足或全黑的条件下拍摄地面目标和发现热源。它还具有极强的、机动的变轨能力，轨道高度在280～1 000公里间随时可以调整，卫星所获得的数字图像数据用"跟踪与数据中继卫星"，实时传到贝尔沃堡地面站，10分钟内可将结果传给用户。

长曲棍雷达成像侦察卫星(Lacrosse)：载有极高地面分辨率的，0.3～1米的合成孔径雷达成像仪，能克服云、雾、雨、雪和黑夜的障碍，实现全天候成像。它不仅能发现地面的任何车辆、船只、桥梁及各种设施，而且对地下有一定的穿透能力，穿透森林的覆盖，在干沙和干土条件下穿透深度达数十米，甚至可达100米。该卫星自重15吨，轨道高度680公里，一颗卫星每天对同一地点可成像一次。

美国的行政部门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。但这一项计划，由于技术的原因被推迟了，估计很快就能实现(表12.1)。

表 12.1　美国计划中发射的 1 米分辨率的民用卫星

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(地面) 全色(米) 多波段(米)	 3 15	 1 4	 1 4	 1 4	 1 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	5 年	5	3 ~ 5	5	5

在 1 米分辨率的卫星影像上，地面的资源、环境、社会与经济的主要内容都可以清晰可见，可见它的意义与用途都是很大的。

1 米分辨率的卫星影像，如果是全球覆盖，其数据量之大可能不止 1 000G 字节了。如果每天重复一次，那怕是若干天重复一次，它的数据亦可称为是“海量”。如果再加上要求快速处理，可见难度非常大。因此，美国正在开发超级计算机来解决这个难题。其他国家没有“超级计算机”怎么办？能否用多台普通计算机进行平行处理的方法来替代超级计算机，或开发一些其他技术来处理，这是需要攻关的难题。

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之一。小卫星应该成为数字地球计划的组成部分。

在最近五年来，科学家对于发射小卫星发生了兴趣。因为发射小卫星具有以下的优点：费用低、周期短，有利于进行新的传感和新的应用实验。一个小的国家，甚至一所学校，乃至学生作的实验都可发射一颗小卫星，因此人们把当今称为“小卫星世纪”（“the micro-sat era”）。小卫星将成为数字地球的数据获取的主要手段。

关于小卫星，至今还没有统一的定义。但是目前大多数人同意以下表 12.2 的意见。

表 12.2　关于卫星级别的划分　　(按 Prof. Swiding)

卫星	星体重量(公斤)	费用(美元)
大型星	> 1 000	1 亿
小型星	500 ~ 1 000	5 000 万 ~ 1 亿
中型星	100 ~ 500	500 万 ~ 2 000 万
微型星	10 ~ 100	200 万 ~ 300 万
纳米星	≤ 10	< 100 万

我国对于小卫星也十分重视，早在几年前就筹备发射自己的小卫星。现在清华大学与英国 Surrey 大学协作，计划在 1999 年发射“清华一号”小卫星，用于卫星通信和遥感(分辨率为 50 米)；清华大学还准备发射“清华-2 号”，遥感传感器的分辨率计划为 1.8 米。哈尔滨工业大学、中国科学院上海冶金研究所和空间中心也都准备发射自己的小卫星。美国 JPL 计划发射 1 公斤重的超微卫星，拟发射一百颗这样的科学实验卫星。

表 12.3　1995～1998 年世界各国发射的小卫星

时间	小卫星名称	重量 kg	卫星所有权单位	协作发射单位	用途
1995	UNAM sat	12	Mexican Unir	Russian Star-1	Micrometeoroids, space debris
	Tech sat (aka Curwin)	55	Maifa based Technion Institue of Technology with industrial. Israel.	Soviet Union	Uvcamera, X-ray detectors
	ASTRID 1955-002B	28	Swedish space corp	Russian KOSMOS-3M	Magnetometer, analogue sun sensors GPS. Oil pipeline monitors,
	ORBCOMM, FM, FM2	47	Orbital science corp	U.S.	Weathersensor, 温度和湿度
	Microlab-1 1995-017c	76	Orbital science corp	U.S.	60 reflectors, 遥感
	GFZ-1, 1995-020A	20	Kayser Threds of Germany	Germany	high frequency electronic signals from
	CERISE	50	DCR	French	targeted regions 遥感, 及微重力仪, 地球物理实验
	UPM-sat 1955003C	44	Univ of Madrid & CIDE Spain	ARIANE V75	地球物理
	Maggion-4	50	Institute for Space Research of Russian Academy of Science	Russian, Molnia-H 发射	
	Fasat-Alfa		英国空军与卫星技术服务公司	英国	
1996	Musat-1	32	Cordoba 省政府	Russian Molnia-M	2 video cameras
	Magion-S	58	CZECH Republic	Russian	遥感卫星系统
	UNAM sat 2	17	Univ. of Mexico	Russian Cosmes-3M	Micrometeoride, environm. sensors
	JAS-2	50	Japan Amateur Radio League	Japan 发射	通信用
1997	ZEYA(R3-16)	87	Russian 国防部	Russian Star-1	大地测量, 军事制图, 2n-laser reflectors GPS, GLONASS
	Inspector 1997-0580	72	MIR. US	Progress-M US	通信
	Orbcomm-FM5-12	42	Orbital Science, US	US	
1998	Orbcomm-G182	42	Orbital Science. US	US	通信
	T1(aka BATsat)	42	Orbital Science, US	US	通信
	Fasat-Brovo	55	Chilean Air Force	Zenit 火箭	遥感, 通信
	Thai Phutt (Tmsat)	55	Thai Microsat Com.	Zenit	遥感, 通信
	Techsat-1b	70	Haifa based Technion, 以色列	Israel	CCD. scanner, 12 米分辨力
	Westpac, 1998-043E		Australia's Elector Optics	Russian 发射	大地测量
	SAFIR-2 1998-043F	55	German Space Agency	Zenit	通信
	Orbcomm-B1-8	42	Orbital Science, US	US	通信
	Orbcomm-C1-8	42	Orbital Science, US	US	通信
	SEDsat, 1998-061B	41	Unir of Huntsville, Alba ma.	US. Delta-Z	学生实验, 天文探测, 通信
	PANsat-064B	70	Naval postgraduate School in Monterey, US Stockholm Sweden	US	遥感
	Astried-2, -072B	30	Argentinean 空间活动任务	Russian COSMOS-3M	地球物理
	SAC-A	59	US Air Force Phillips. Labs		CCD camera GPS
	MIGHTYsat	67.5		US	遥感

§12.2 卫星遥感数据的智能化获取技术

卫星遥感数据的智能化获取技术，其目标是为数字地球技术系统的数据获取与数据更新提供高效、稳定、可靠、精确的技术保障。其包括以下两个方面：

(1)智能化接收技术：包括卫星轨道数据的自动提取，接收轨道的自动计算和自动选择，接收设备所有控制参数的自动调整；多星、多任务时的所有操作过程自动调度，异常情况或事故发生时能自行处理等。

(2)智能化图像处理技术：包括自动完成图像异航，0级、1A级，1B级格式预处理，几何损计校正、精确匹配、光谱校正及分类自动归档等操作过程的全部自动化。包括按地图分幅镶嵌处理，或特殊分割处理的自动化和批量生产过程。

§12.3 海量数据的快速处理技术

数字地球所需的信息不仅包括遥感信息，而且包括非遥感信息，如遥测和其他方法所获得的信息，但以遥感信息为主，所以信息是海量的。这些海量的信息需要进行审查后才能应用，尤其遥感信息需要进行快速光谱校正、几何校正、影像增强和特征提取后才能应用。不仅如此，而且还要求快速存贮的检索才能满足生产要求。

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，将疑点和难点经专家用光笔直接进行分类、划界、输入计算机进行存贮，也可以通过快速检索后输出。

不论处理、存贮和检索等过程，都要求快。快是技术的核心。因此就要求有超大型的计算机来完成这样任务。美国和日本正在开发这种超大型的计算机。现在的问题是能否依靠多台计算机进行处理，来顶替超大型计算机？

目前美国仅NASA每天就产生1 000G字节的信息，要求每天能存贮和处理10^{15}字节以上的设施。

分布式数据库建设是当前的大趋势。不同部门、不同行业、不同地区应分别建立自己的数据库，不仅是为了应用的方便，而且也为数据采集、数据更新和数据处理与管理提供方便。不同专业的数据库应有不同专业的部门建设和管理，才能具有最好的效果。就NASA来说，它就有12个数据中心，约50个数据库。

要对全球数据处理和虚拟显示，需要有超大型电脑，现在电脑的最快速度为每秒数万亿次，估计到2004年将达100万亿次(陈幼松，1998)。每秒数万亿次速度的超大型电脑，现在只有美国与日本才有。对于大多数国家来说，只有采用多台电脑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，通常图像的各部分相关性小，没有因果关系，可以作并行处理。

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)由一组相对廉不昂贵的 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，已越来越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。能在全系统内宏观地管理资源，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度。分布式计算机系统具有模块性、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发展迅速的一个方向。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。

若把数字地球的全部信息存贮，存贮器的容量要达 1 000 万亿字节级(10^{17}字节)以上。目前的硬盘、光盘等的存贮容量只有 10 亿字节级。但用纳米技术开发，能使硬盘容量达 10 亿字节级(10^{12}字节级)。激光全息存贮、蛋白质存贮等方方面面的研究也已有了较大的进展(陈幼松，1998)。但目前，主要靠分布式的成千上万个数据库来存贮海量的数据。

此外，还有神经网络计算机，超高速联机、脱机机术。神经网络计算机为第六代计算机，与传统计算机比较，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，自学习能力和具有思维联想能力。

§12.4 卫星遥感数据的智能化存取技术

卫星遥感数据的智能化获取技术，其目标是解决海量遥感卫星数据的快速存贮与检索。它主要包括以下几个方面：

(1)不同区域、不同时间、不同空间分辨率、不同光谱分辨率的遥感数据的存贮模型、数据库及其管理模型开发，包括上述数据按地理坐标进行组织与管理，以及各种数据的集成与融合，以达到海量数据快速存贮与检索，并方便用户的目的。

(2)建立四维(空间和时相)数据的存取模型，过去的数据库侧重在空间方面，时间的动态变化的数据存贮与检索模型研究得不够。现在要重点开发四维，即动态的数据库及其管理技术，尤其是自动化的存贮与检索技术的开发。

(3)最近大容量磁盘的单盘已达 18GB，磁盘陈列最高可达数百 TB，光盘及光盘塔的出现，再加上微机服务器主频迅速提高，多 CPU 并行处理技术发展飞快，基于高速互联网的多机分布处理系统的飞速发展，使得普通用户实现海量数据的联机处理成为可能。联

机和脱机的存贮介质，及系统的拓朴结构的合理规划都是关键性的技术（葛成辉等，1999）。

（4）高分辨率的四维数据的快速高精度的表达技术。首先是要建立时间、空间上连续的数据库及其检索系统，然后在这基础上能够进行连续动态的表达或显示，也是智能化技术的重要方面。

§12.5 多媒体海量数据压缩与复原技术

多媒体海量数据压缩与复原技术是数字地球技术系统中有关海量数据的存贮和传输的核心问题之一。数字地球技术系统要求存贮与传输数倍个10^{15}字节的数据，单纯用增加存贮器容量和通信信道的带宽，以及提示电脑的运算速度等技术是不够的，还应采用多媒体压缩与复原技术

1. 压缩编码与解码技术综述

多媒体数据的压缩编码技术是在 C. E. Shannon 信息理论的基础发展起来的。编码方法可以分为三类（杨扬，1999）：

（1）根据信息源的统计特性，采用预测编码、变换编码、矢量量化编码、子带编码、神经网络编码等方法（第一代编码方法）。

（2）根据人眼视觉特性，采用基于方向滤波的图像编码、基于图像轮廓—伦理编码，基于小波分析的编码等方法（第二代编码方法）。

（3）根据传递景物特征：采用分形编码、基于模型的编码等方法（第二代编码方法）。

2. 多媒体数据的压缩与复原的要求

（1）高压缩比；

（2）高压缩效率：即编码、解码时间应满足数字地球应用的需求；

（3）高复原质量：要求数据的压缩的无损性和满足人眼视觉特性的压缩效果。

3. 分形编码与解码技术

分形编码（Fractal Coding）压缩技术是指寻求一幅图像中的一组分形，由于这些分形具有“自相似性和尺度变化的无限性”特征，所以只需保留数量非常小的分形数据，就可以重构或描述原整幅图像。分形数据压缩编码的理论基础是迭代函数系统（IFS）定理、压缩映射定理和拼贴定理，其编码过程是根据拼贴定理寻找一组压缩映射，使其组成的迭代函数的吸引子逼近给定图像然后记录下相应的参数。解码或复原过程是由相应参数确定迭代函数系统，并根据迭代函数系统定理，经过迭代生成图像（杨扬等，1999）

4. 分形编码压缩技术的特点

（1）它既考虑了“局部与局部”，又考虑了“局部与整体”之间的相关性，适合于自相似或自映射的几何形状。

(2)能产生很高的压缩比:可达到1:1万,甚至1:几万的效果。如M. F. Barnsley采用迭代函数系统IFS和递归迭代函数系统RIFS方法,曾获得:10000:1压缩比的图像。

(3)分形编码是非对称的,编码时间长,但解码简单、复原速度快。

(4)在高压缩比的情况下,分形图像压缩自动编码有很高的信噪比SNR和很好的视觉效果(杨扬等,1999)。

5. 分形编码的方法

(1)分形图像压缩编码有两种基本方法:人工干预的交互式分形图像编码方法和自适应块状分形编码方法。

(2)针对提高压缩比和编码效果的改进方法有:改进分割方法、覆盖式方法、后处理法等。

(3)针对提高编码速度的改进方法有:分类法、搜索法等。

(4)与其他工具相结合的方法有:与小波变换结合的编码,与非线性模型结合的编码等(杨扬,1999)。

6. 基于小波变换的编码压缩技术

小波变换(Wavelet Transform)的编码是数字地球的最有发展前途的数据压缩方法。小波分析优于傅立叶分析的方面是:它的时间域或频率域同时具有良好的局部化性质,而且由于对高频成分采用逐渐精细的时域或空域取样步长,从而可以聚集到对象任意细节,所以它称为"数字显微镜"。小波变换的编码压缩技术,已被用于进行语音的波形压缩编码技术,图像压缩编码和视频信号压缩编码等方面,取得了很高的压缩比和压缩效果。如用于语音信号的压缩编码的一维Mallat算法,用于图像压缩编码的二维Mallat算法,以及将量化和编码合二为一的嵌入式零树小波编码(Imbedded Warelet Zerotree Coding, EWZ)等(杨扬,1999)。

7. 多媒体数据压缩编码技术标准

杨扬等(1999)指出:国际上流行的多媒体数据编码技术标准,可以分为两种基本类型:

(1)侧重于时间和空间冗余信息压缩的技术标准:

JPEG标准:一种视觉特性的量化方法标准,

H, 261 (PX64)标准;

H, 263标准;

MPEG-1标准:是基于帧的、非交互和高质量编码标准;

MPEG-2标准:是基于帧的、非交互和高质量编码标准。

(2) 侧重采用人工智能和模式识别的数据压缩标准:

MPEG-4标准:采用分块、分层方法进行压缩编码,可伸缩的质量编码标准;

MPEG-7标准:同上。基于内容压缩与检索方法,是多媒体内容描述接口标准。

第十三章　网络数据库与分布式计算技术

§13.1　超媒体与分布式空间信息系统技术

数字地球技术系统的主要任务之一是要实现数据或信息共享。遥感技术是获取数据、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，而互操作和互运算是实现共享的关键技术之一。互操作和互运算必须通过 WebGIS, ComGIS 和 OpenGIS 规范才能实现。WebGIS 与 ComGIS 是针对同构系统，即相同的软件平台的分布式信息信息系统的数据、软件及硬件等系统资源进行共享与系统之间进行运算和互操作。不同软件平台之间，如 ARC/INFO 与 MAPINFO 之间的分布式信息系统之间系统资源共享，即异构系统之间进行互运算、互操作需要靠 OpenGIS 规范。但它不是 GIS，而是一种标准和规范。

1. 超媒体网络 GIS 技术(WebGIS)

World Wide Web 是 1989 年欧洲高能粒子协会(CERN)为在网络上传送文字、图形、影像和音响数据的超媒体服务系统，简称 Web 或 WWW。

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，还不是 WebGIS。WebGIS 是由很多主机、很多数据库与无数终端，并由 Internet/Intranet 相连接所组成。实际上 WebGIS 是通过 Internet 连接无数个，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，简称 C/S)结构。客户器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 由四个部分组成：WebGIS 浏览器(Browser)可以从服务器连通到任何距离的另一个服务器上读取各种多媒体信息。WebGIS 信息代理(Information Agent)是空间信息网络化的关键部分，主体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 Browser 和 Server 的动态交互。WebGIS 编辑器(Editor)具有可视化、交互式、多窗口的功能与形成 GIS 对象、模型和数据结构的编辑及显示环境。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 具有分布式计算、分布式处理、分布式数据库和分布式应用的功能和跨平台、跨程序、全球化、大众化的特征。目前，WebGIS 产品有：MapInfo 公司的 MapInfo Proserver, Intergraph 公司的 Geomedia WebMap，Autodesk 公司的 Map Guide，ESRI 公司的 Internet Map Server(IMS)。

面向对象的超媒体网络 GIS(Object-oriented 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 是 Object-oriented

WebGIS发展的新方向，它避免通用网络接口形成的瓶颈，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，提高了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)

Bill Gates于1997年指出："组件式软件技术已经成为当今软件发展的浪潮之一。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计算的概念。"

ComGIS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，及使用更灵活性和二次开发更方便等特征。Sharon Tam(1997)指出，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。

软件构件式ComplementGIS，简称ComGIS是WebGIS的高级阶段。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。ComGIS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)构件对象的继续性：对象按分类体系划分为：类、亚类、子类……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所继承，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支持对象的接口，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(pcGIS只有主机)系统到局域网系统；再从简单的客户/服务器(Client/server，C/S)到多层客户/服务器，或从局域网到广域网、Internet/Intranet的连续发展过程。即从GIS发展LANGIS(局域网GIS)；再从LANGIS发展到WANGIS(广域网GIS)和WebGIS(Web Internet/Intranet GIS)(超媒体网络GIS)；再从WebGIS发展到Object WebGIS(面向对象的超媒体网络GIS)；再从Ob-

ject WebGIS 发展到 ComGIS(软件组件式、面向对象的超媒体网络 GIS,简称组件式 GIS)(表 13.1)。

表 13.1

简单 C/S	多层 C/S	Web Internet	面向对象技术	组件式软件技术
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

§13.2 地球信息的分布式计算

地球信息的特征是分布的,并具有基础性、共享性和综合性。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四种服务,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。分析地理信息分布式计算在网络 GIS 和空间信息基础设施的作用。

1. 地球信息的分布式特征

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、特征和状态的表征或一切有用知识。它有别于其它任何信息。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。

地球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。

地球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系统。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,采集、管理、维护和处理这些区域上的数据并没有因果、从属关系,而是分布的、相对独立的和并行的。

地球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,地球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。

由于地球信息的基础性、共享性、综合性和分布性,用地理信息系统对地球信息处理的基础研究已形成一门地理信息科学。对地球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讯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(又称信息高速公路),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使用提供了基础,使得地球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球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,且应用不同的数据库。但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。

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。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 13.1 所示。

目前分布式计算的实现主要依赖客户机/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。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)、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 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,对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

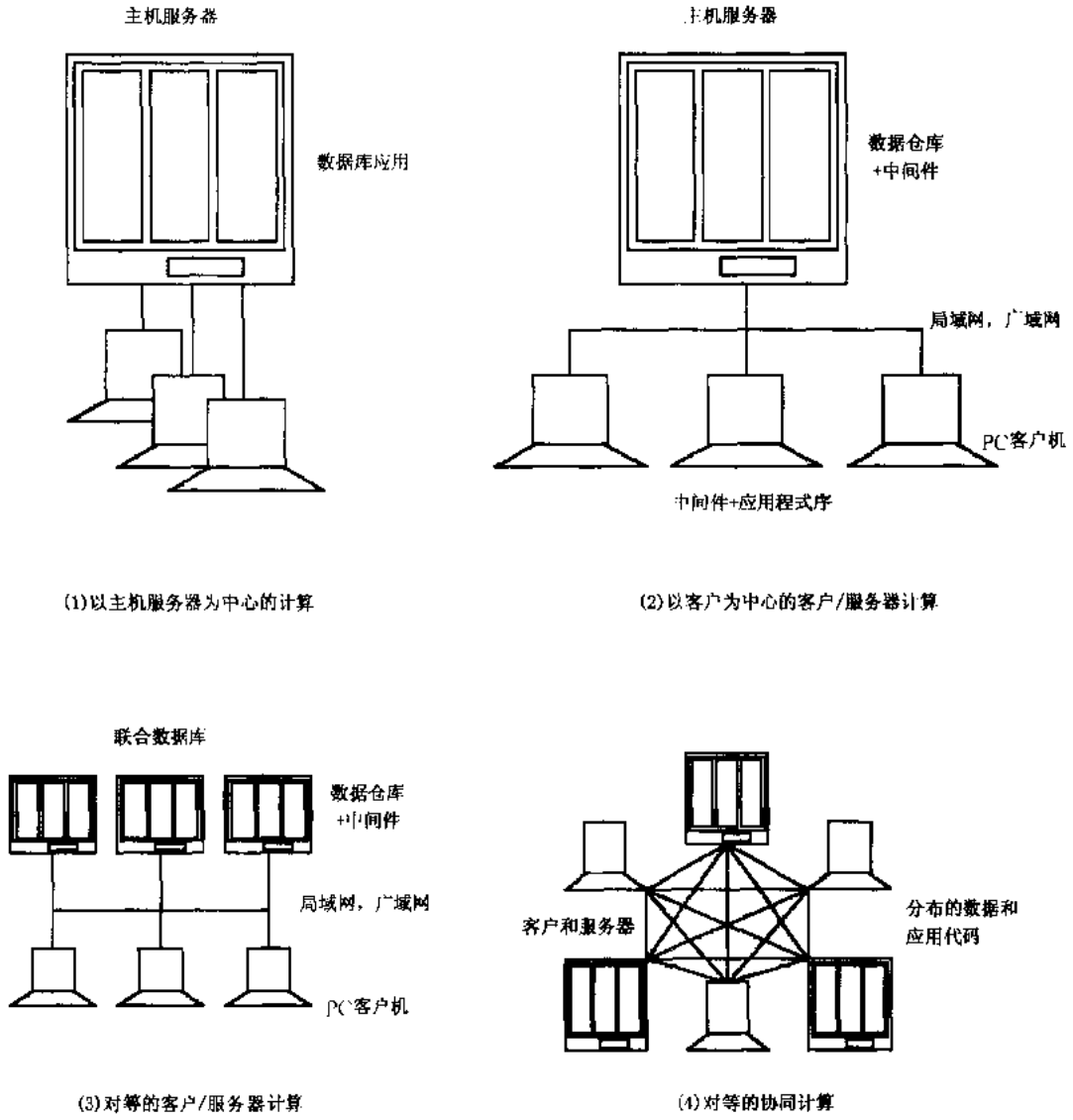

图 13.1　计算模式的演化

CORBA 的基础之上。一个基于分布式对象的计算模型如图 13.2。

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)而一起工作，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"，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

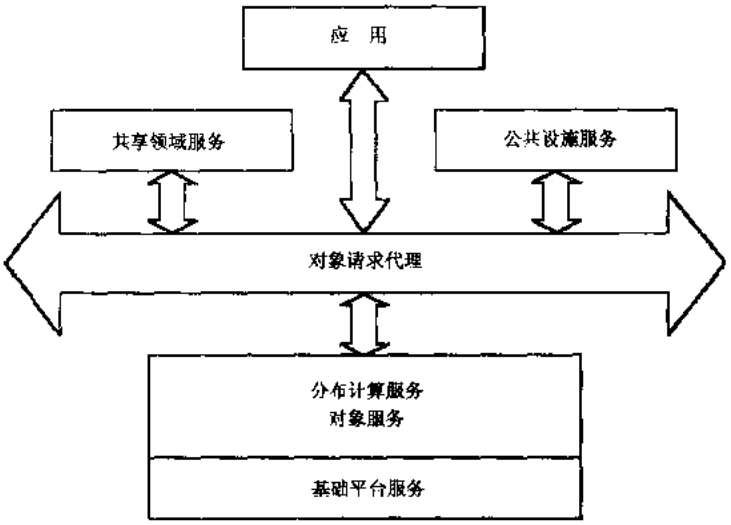

图 13.2 分布式对象计算体系结构

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)”。这个协议是建立在 TCP/IP 的基础上，很快成为互联网和企业内部网 Intranet 上分布式对象间的通讯标准。

(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(中 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 是由 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、交易服务和事务服务。

(3) 公共设施。公共设施(基本系统服务)具有元服务的性质。所有的应用都离不开它，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、图象压缩设施、信息存储和检索设施、国际化和时间服务、元对象(meta-object)服务、移动智能体(agent)设施、打印设施、显示输出设施、安全管理设施和工作流设施。

(4) 共享领域服务。共享领域服务由一个或多个特定信息领域的特定应用引起的，因为他们是基于单一信息领域的需求，他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，用共同设施和对象服务组合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。

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四类服务，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应用，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内在部分。地理空间领域服务的层次如图 13.3。

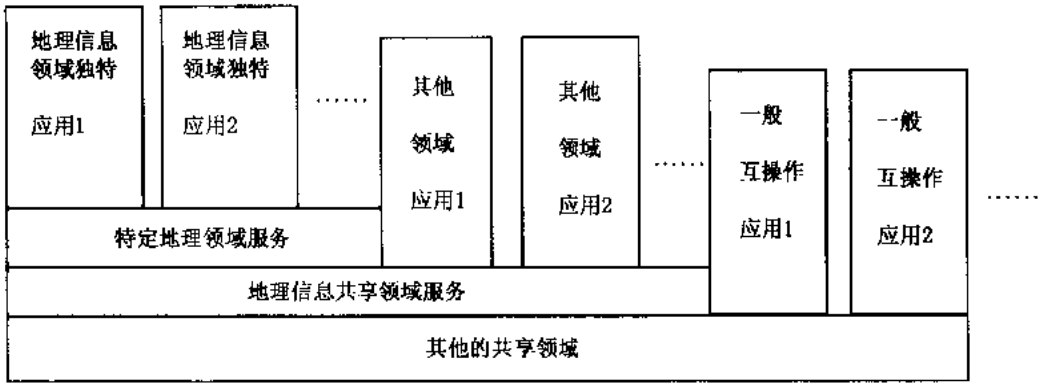

图 13.3　地理空间服务的层次

（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，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，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。

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服务，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；空间信息框架的第二个内容是空间服务，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。

第十四章　空间数据仓库与数据挖掘

§14.1　空间数据仓库

1. 概　述

分布在不同地点、不同部门的分布式数据库与信息系统，由高速计算机有线（光缆）与无线（通信卫星）相连接，并组成 WebGIS，Object Web GIS 和 ComGIS 实现同构系统的远程互操作和互运算；通过 OpenGIS 的标准与规范，实现异构系统间的远程互操作和互运算，但对于数字地球的海量数据和频繁交互过程来说，它还需要通过中间组织的帮助来实现，包括：

空间数据仓库（Spatial data ware house）；

空间数据站（Spatial data station）；

空间数据交换中心（Spatial data clearing house）。

空间数据仓库是指支持管理、决策过程的、面向主题的、集成的随时间而变化的、持久的和具有空间坐标的，即地球数据的集合。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。数据交换中心是指网上数据的集散地，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是：

（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、声频等数据集成为关系型数据库进行存贮和管理。

（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证存贮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，可以进一步面向内容的图像查询；它还可以通过创建子类，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中的数据，数据在结构上具有综合性；它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，可以从多个专业应用系统中寻找答案。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，数据仓库是指随时间不断更新的数据库。

2. 空间数据仓库

1）基本概况

空间数据仓库（Spatial data ware house）是数据仓库（Data ware house）的一种特殊形式，

是 WebGIS 的核心技术之一。

数据仓库是 90 年代发展起来的一种数据存贮、管理和处理的技术。按 W. H. Inmon 的定义为:"数据仓库是支持管理、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"(Harjinder 1996)。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,如何集成数据和 Metadata;

(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。

2)数据仓库与数据库的区别

Data ware house 与 Data base 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。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无数不同的存贮介质或数据库中,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)从许多存贮格式不同、版本不同、数据语义不同的许多数据库中取得的数据或信息集成,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。

3)数据仓库的数据的复杂性

由于数据仓库的数据有以下两个来源:

第一,来源于从不同地点、不同部门的分布式数据库中,通过 Internet/Intranet 获得的数据来源十分复杂,它们的类型、格式、精度、编码等存在很大的差别。

第二,虽然直接来源于信息源,但也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,使应用过程遇到不少困难。

为了实现地学空间数据共享的目的,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,尤其对数据仓库来说,特别重要。目前,国际标准化组织(ISO)、欧洲标准化委员会(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)组织了大量的人力、物力在研究这个问题。

4)解决来源于分布式数据库的数据的复杂性需采用的办法

(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,区分多义词和同义词,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元数据内容中。

(4)Metada 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。

5)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、确认数据质量等求精处理的方面;

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;

Metadata 的数据浏览与导航等功能。

6)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进行翻译,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、数据逻辑和物理模块;
(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。

7)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。维的数目确定是由需求来定。地学查询一般分时间维、空间维、主题维(属性维)来组织数据。

"维"通常按层次来组织。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。

8)数据仓库的主要功能

数据仓库的主要任务是将来源于分散在不同地点、不同单位的分布式数据库中的类型不同、结构不同、存贮格式不同、内容与格式丰富多彩的原始数据,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功能建设。

9)数据仓库的结构

数据仓库由以下主要模块组成(表 14.1):

(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,以便分析,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)对已存贮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 14.1

求精	重构工程	数据仓库
标准化; 过滤与匹配; 净化; 标明时间戳; 确认数据质量	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	建模; 概括; 聚集; 调整与确认; 建立结构化查询
元数据抽取与创建	元数据创建	元数据浏览与导航

(4)数据仓库的存取和使用主要由以下模块组成:

存取与检索

- 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

分析与报表

- 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

• 创建局部存贮　　• OLAP(在线事务处理)

Metadata 抽取与创建　　Metadata 处理与报表

(5)空间数据仓库结构框架:

• 数据源:分布式数据库系统:卫星遥感(EOS 等),GIS 与数据库系统,其它系统。

• Metadata 数据源:遥感影像、专题地图、各种图形、符号数据、数字、文字、音响。

• Metadata 互操作协议:Internet/Intranet。

• 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。

(6)元数据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。

(7)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。

(8)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。

传输协议和互操作协议

WebGIS 的数据仓库是靠 Internet/Intranet 与 WWW 而运行的,它之所以成功,是因为它几个简单而被广泛接受的传输协议。WebGIS 的数据仓库的运行需要不同层次的操作协议,以解决传输问题。开放的地理信息系统协会(OGC)正在解决这个问题。

10) 数据站场和数据交换中心

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。数据交换中心是网上数据集散地,是虚拟的数据仓库。

§14.2　空间数据交换中心

1. 基本概念

数据交换中心(Data Clearing House)是指网上的数据集散地,是网上的虚数据仓库(Data Ware House)。地学空间数据交换中心(Geo-spatial Data Clearing House)是指网上的虚拟的地学空间数据仓库,是网上的地学空间数据集散地。

地学空间数据交换中心,是指地学空间数据的生产者、管理者和用户之间的 Internet-web 网络。它不是一个存贮数据集的中心仓库,而是连接分布式数据库的网络的管理中心,是为用户寻找地理空间数据,确定其适用性及获得、订购数据的最快、最方便和最经济的方法与服务中心。

2. 工作机制

地学空间数据交换中心的工作机制是建立在 Metadata 的标准规范的基础上的,并作为国家空间数据基础设施(NSPI)的组成部分。美国总统 1994 年签发的 12906 号执行令中,要求所有的地理空间数据的生产者、管理者都要按 Metadata 规定格式提供数据,并建立"国家地学空间数据交换中心"(National Geo-Spatial Data Clearing House),要求从 1995 年 1 月起,地学空间数据的生产者,必须按 Metadata 规定的格式进行记录和提供数据。现在美国所有地学空间数据的生产者、管理者和用户都接受这个方案,按规定执行,并参与交

换中心的工作。

用户可以通过 Internet-web，运用 Mosaic 和 Netscape 等浏览器查询和获得远程分布式站点或数据库中，按 Metadata 标准提供的数据，用户可以选择他们需要的数据。Metadata 还提供如何订购的信息。

地学空间数据交换中心的工作机制主要是在 Internet-web 上搜索地学空间数据的能力。用户可以按 Metadata 的元素进行远距离搜索。Mosaic 等浏览软件可提供对服务器的入口，允许对影像或图形或校式进行查询。

3. 组织情况

在美国已有两个国家级的中心：国家地学空间数据交换中心（National Geo-spatial Datata Clearing House）和美国地质调查局空间数据交换中心（USGS Geo-spatial Data Clearing House）承担网上地学空间数据的交换业务。

§14.3 地学空间数据引擎和联机分析技术

在空间数据库（Geo-Spatial Data Base），网络数据仓库（Data Ware house）等技术的基础上，进行地学空间数据库引擎（Geo-spatial Database Engine）和空间数据联机分析（OLAP）技术开发的研究是数字地球技术系统的组成部分。空间数据仓库（网络数据库）是空间数据库引擎和空间数据联机分析的基础。空间数据库引擎支持数据查询、整合、重组视图等操作，并能进一步支持地学空间数据联机分析和地学空间挖掘，进而提供辅助决策。

1. 空间数据库引擎的基本概念

唐征武等（1999）认为，空间数据库引擎技术开发的目的是：以它为核心建立空间查询、空间分析（指联机分析）和空间数据挖掘的基本原理，深入研究以“数字地球”为目标，以面向对象空间数据库系统为基础，能支持高效的、海量数据的存取、访问的空间信息组织模型和高效的空间数据库引擎，同时在此基础上，开展空间数据联机分析和空间数据挖掘的基本理论和算法研究，为数字地球技术系统的基础研究和应用提供有力的支持。

2. 空间数据库引擎的作用和意义

唐征武等（1999.3）指出：面向“数字地球”的空间数据库引擎技术研究具有以下几个方面重要的理论意义及深远的应用潜力和价值：

（1）空间数据库引擎的研究在空间数据组织和空间查询这两个关键技术上为空间数据仓库提供支持，提高大数据或海量空间信息的深入综合与利用能力。

（2）空间数据组织模型和高效访问技术是空间数据仓库的核心部分，是进行空间数据联机分析和空间数据挖掘的基础。空间数据仓库、空间数据联机分析和空间数据挖掘提供了对具有空间分布特性信息的管理、查询和分析能力，是对大规模空间信息进行深入分析的主要途径。

（3）空间数据仓库、空间数据联机分析和空间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性战略资源。空间信息资源的开发程度将在一定程度上影响一个国家的综合实力，决定一个国家的信息技术竞争力。

(4)我国将在第十个五年计划期间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、空间数据联机分析和空间数据挖掘理论的基础研究是一个必不可少的前提。

90年代以来，以美国为首的发达国家积极开展空间信息处理技术、数据仓库和数据挖掘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EOS(Earth Overview System)，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。ESRI(Environmental Systems Research Institute)以其产品SDE(Spatial Database Engine)为核心，提供空间数据仓库解决方案，SDE将空间数据和属性数据统一存贮在关系型数据库中，以Client/Server结构向应用提供一致、高效的空间查询接口，并以此查询接口作为空间分析和空间数据开采的基础。

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还基本上是空白，这与我国的发展规划是不相称的。因此，我国迫切需要组织有关的深入研究填补国内空白，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。

3. 空间数据库引擎的研究内容

唐征武等指出：面向"数字地球"的空间数据库引擎技术研究的主要内容包括以下三个方面。

(1)面向对象的空间数据库技术，支持"数字地球"的面向对象的空间数据库模型与体系结构。根据"数字地球"的多维信息特性的要求，研究如何确定适用的空间数据模型，高效地支持以"数字地球"为对象的数据组织和查询。主要包括以下研究内容：

• 空间数据模型研究：在传统的基础和基于对象的空间信息模型的基础上，根据"数字地球"信息的特点，以面向对象技术为基础，对空间数据进行集成的表示和组织，支持空间对象在几何空间、拓扑空间和集空间上的操作。

• 面向对象空间数据库理论与技术研究：利用面向对象数据库理论中类型、封装、继承等特点研究对基本空间数据类型、复杂空间数据类型的支持，对继承性和规则系统的支持等，研究面向对象数据库的对象索引技术、查询技术、查询优化技术、并发与数据恢复等内容。

• 面向对象空间数据库的体系结构研究：研究以面向对象数据库为基础的空间数据库的体系结构和数据库组织方式，将"数字地球"所需的主要数据集成于OODB中。

• 三维空间数据库研究：研究适合三维空间查询的数据结构和索引方法，研究三维GIS在"数字地球"中的应用，如三维电子地图、数字高程模型、数字城市等。

(2)支持"数字地球"的空间数据仓库模型，根据"数字地球"对多维时空信息的要求

和高效数据访问的要求，研究如何设计和构建支持高效数据访问处理的空间数据仓库的数据组织模型与体系结构。主要包括以下研究内容：

• 空间数据仓库的基本原理：包括空间数据仓库的概念模式、存储模式和体系结构等。

• 空间数据仓库的数据组织模型和操作模型：包括基于面向对象的空间数据模型的空间数据仓库的统一数据组织，针对决策应用的空间数据准备，以空间数据库引擎为基础的应用设计等。

(3)空间查询处理技术，根据"数字地球"的查询处理要求，研究空间数据库引擎。主要包括以下研究内容：

• 空间数据库引擎研究：研究空间数据索引技术和访问方法，设计高效的空间数据存取方法，提高空间数据的查询处理效率，包括空间对象的索引方法和一体化的空间查询处理方法和技术等。

• 空间查询关键技术研究：对空间查询进行分类(如2维，3维，点/线/区域等)，根据不同类型的空间查询，建立相应的查询处理所需的内部数据结构和算法。在纵向上研究支持空间查询的信息处理技术，包括文件系统、缓冲区管理等技术。

• 基于复杂空间关系的空间查询技术研究：突破现有空间查询中主要按几何关系进行操作的限制，研究以拓扑关系为代表的基于空间关系的空间查询技术。

4. 空间数据联机分析

地学空间数据联机分析(OLAP)是建立在空间数据仓库基础上的。空间数据仓库是指由无数分布式数据库，通过 Internet-Web 实现互联互通，组成的网络数据库，并通过远程互操作和互运算技术，实现联机分析。详细情况，请见下章。

§14.4 空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究

1. 研究现状

基于虚拟地球的应用具有数据量巨大、包含多维空间属性和时空属性及相关的特殊操作等特点，对虚拟地球的数据进行系统的整理、管理和深入的分析是虚拟地球基础研究的一个重要内容，是虚拟地球的基础研究及应用的重要前提之一。

具体来说，虚拟地球的空间数据仓库模型与数据挖掘研究理论的研究的目的是：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，为虚拟地球的基础研究和应用提供前提和有力的支持，为空间信息的开发应用提供理论和核心技术。

虚拟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：

• 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程度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。

• 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、政治与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。

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五个方面：

(1)支持虚拟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数据分析的挖掘。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)支持虚拟地球的空间数据联机分析处理技术，根据虚拟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)支持虚拟地球的空间数据挖掘技术，根据虚拟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联机网上发布，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(Knowledge Mining)也叫数据挖掘(Data Mining)是数字地球科学

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，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计算机的科学计算方法，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。

空间联机分析处理(Spatial Online Analytical Processing, SOLAP)和空间数据挖掘(Spatial Data Mining, SDM)是网络条件下的分布式数据库的空间信息处理和知识开发领域的一个新的方向。由于空间数据量大、结构复杂、难于理解，如果能从大量的空间数据中，自动或半自动地提取所需信息，以容易理解的方式表达，将具有巨大的应用价值。尤其是多媒体空间数据的空间联机分布处理和数据挖掘，或知识开发，更为主要，而至今远未解决。

(1) 空间数据的深层挖掘。某些空间数据除了它的显露的或明显的含义外，它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。它除了反映或荷载高度(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则是隐含的知识，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，则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隐含的知识，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)。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，才能将它们区别。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，单凭一个时相影像难以确定，它需要通过与枯水期、平水期的影像进行对比分析，叠加比较才能获得。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，都介绍了详细的算法，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:①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,以及与土地利用的关系模型等。②知识代理结构模型。③智能技术。

第十五章　多种数据融合与仿真－虚拟技术

§15.1　数字地球无级比例尺数据管理技术

1. 概述

无级比例尺数据管理是多种数据融合与仿真虚拟技术的必要条件。

所谓"数字地球"无级比例尺数据管理是指以一个大比例尺(如:1:5万)空间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,从而使得空间地理信息的压缩和复现与比例尺自适应的一种信息处理技术。

"数字地球"无级比例尺数据管理技术是一个世界性的难题,同时它也潜在着巨大的商业和社会应用价值。随着3S技术的飞速发展,各行业对不同地学应用目的和比例尺条件的地图产品需求与日俱增,规模空前。但是由于数字制图综合(无级比例尺)技术的瓶颈限制,目前大规模地图生产仍停留在传统手工作业的水平,因此不论从地图产品的种类、数量,还是生产速度和周期等方面都远远不能满足飞速发展的社会需要。

尽管无级比例尺信息综合技术具有极为重要的价值,但由于该技术体系涉及的地理要素复杂多样,空间信息的综合规律难以描述和表达,因此需要非常先进、科学的制图综合模型、数据库、计算机人工智能与GIS信息处理技术的支持。近年来随着现代地图学、现代应用数学及相关信息综合技术理论的发展,以数字制图综合为基础的无级比例尺信息处理技术研究得到很大进步,从学术理论探讨到技术系统开发已成为90年代GIS的研究热点。其中比较典型的具有部分无级比例尺信息处理功能的商业化产品是Autodesk公司的MapGuide和Intergraph公司的MGE,这些产品通过人机交互可进行一定程度上的信息综合处理。

2. 研究内容

制图综合中各地理要素的"取舍"与"概括"是按照地物在时空范围内表现出来的差异性,由主要到次要、从高级到低级、由大到小、从整体到局部的严格次序来进行的,然而要用数学和逻辑语言来描述这个过程,必须首先将地物要素在空间属性方面进行等级化标定,然后建立面向空间对象的属性数据库,为实现无级比例尺信息处理提供准确、可靠的背景知识。

无级比例尺信息综合的实现将涉及以下几方面关键技术(如图15.1所示)。

(1)无级比例尺GIS数据库:地球是一个无限复杂、丰富多彩的世界,各种空间对象的层次结构和重要程度(从属地位)是通过该地理实体的空间属性所体现的。为了精确描述各空间对象之间所存在的差异性和相互关系,需要建立以属性特征为基础的地理实体

空间数据库，这是实现 GIS 无级比例尺信息处理的核心技术。

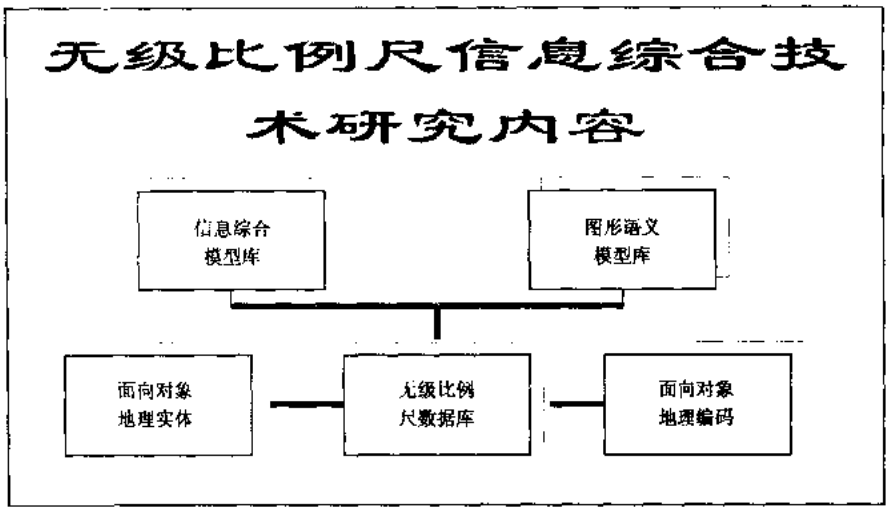

图 15.1　无级比例尺信息综合技术研究内容

(2)面向空间对象的地理实体分类：由于自然界中的任何事物都具有整体上的统一性和内部结构上的差异性、具体表现为时间上的次序性和空间上的层次性，从而构成完整、严密的地物分类分级系统，我们称之为错误！未找到索引项。空间对象质量和数量特征分类系统。通过面向空间对象的地理实体分类可以建立结构化的空间地理信息体系，为空间属性数据库的生成奠定基础。

(3)无级比例尺 GIS 地理信息编码：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。

(4)无级比例尺 GIS 信息综合模型：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。其内容是构建无级比例尺 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。

(5)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。

(6)WebGIS 无级比例尺数据管理组件：WebGIS 是“数字地球”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。WebGIS 无级比例尺管理组件主要包括：嵌入 WebGIS 服务器、WebGIS 编辑器和 WebGIS 浏览器三个平台层次的无级比例尺数据库管理、信息综合、图形语义模型，等等。

3. 无级比例尺信息处理流程

无级比例尺信息综合的目标是根据数据显示窗口大小来确定该区域范围的地理要素选取数量和选取内容。人工制图综合是主要依靠人眼识别区域地理特征，并通过大脑综合判断各地理要素的重要性，然后按照“重要程度”从高到低的次序将地物选取到新编地图上。显然计算机没有综合与模糊判断能力，但是我们可以让机器模仿人工制图综合的思想过程，将一个复杂的质的问题转化为多个简单的量的问题。这样充分利用计算机的高速计算能力可以将复杂问题简化处理，其方法是通过空间属性数据库先将各地理要素根据其空间属性特征之间的差异进行等级化标定，这样计算机就能够根据不同的属性特征值精确计算不同地理要素的“重要程度”，并对每个类别的要素按照重要性程度高低进行排序，为计算机自动选取各类重要地物提供客观、准确、科学的依据。

“数字地球”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式，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。

在进行无级比例尺 GIS 信息处理时，以原图内容载负量为基础，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[39]。具体实现过程如图 7.1 所示。

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 将远程浏览器上的请求传送到 Web GIS 服务器。

2）指定信息源

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，1:5 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逻辑拼接而成，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（或成图幅面），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）分层处理

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、分维。例如，可将地理要素分为基础地理要素（居民地、道路网、水系、等高线、境界）和专题地理要素两大类（如：土地利用分类），然后再按

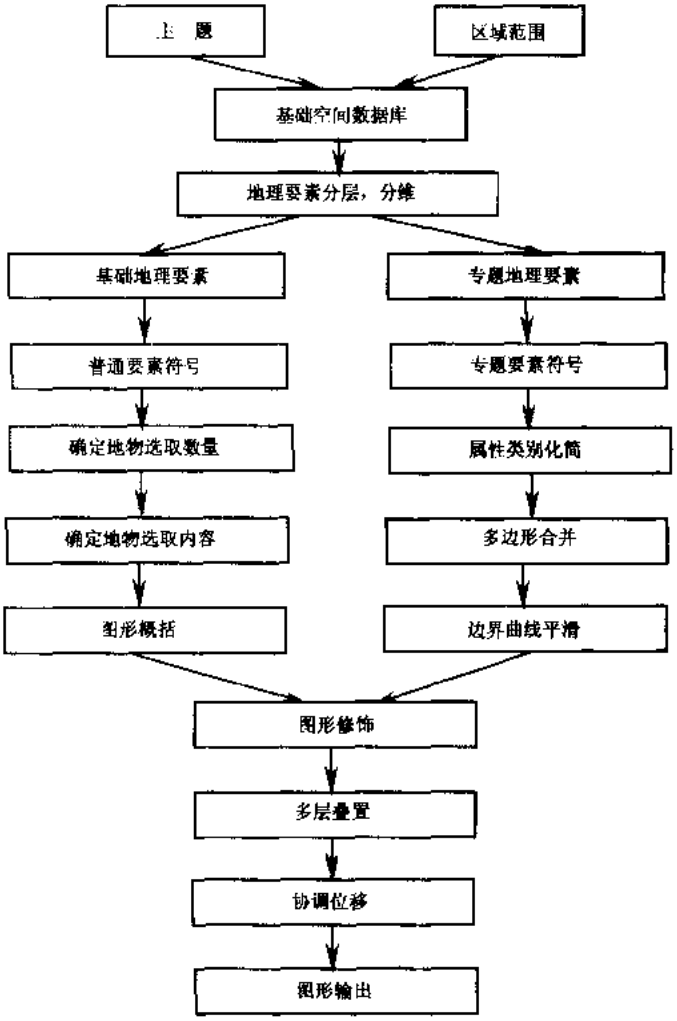

图 15.2　无级比例尺 GIS 信息处理流程

各地理要素的内容特点细分数据层，对水系来说可细分为点层(井、泉)、线层(单线河、双线河)和面层(水库、湖泊、池塘)，最后根据不同数据层的要素进行相应的信息综合处理。

5) 符号设置

地图符号是表达地理信息的语言，不同的空间对象在不同的地学应用和比例尺条件下所采用的地图符号各不相同。其中本系统的图形语义模型库的主要用途是针对比例尺和应用主题赋予各种地理信息以适宜的图形符号(中心点位、线型、线宽、线色、填充图案和填充色)及相应的要素注记。

6) 信息综合

对于基础地理信息(居民地、道路、水系等)，系统根据要素符号、制图综合知识库和专家信息综合模型分别确定新图上地物选取数量、选取内容(线状及面状要素)和图形化

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,其中多边形边界平滑的处理方法同基础要素图形概括相似。

7) 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。

8) 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,需要在统一的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(河流),人工要素移位(河流附近的道路);

(2)主要地物固定(河流),次要地物移位(河流所属桥梁);

(3)稳定地物不动(等高线),易变地物移位(等高线附近河流)。

9) 图形输出

经过上述过程,Web GIS 无级比例尺信息处理的任务基本完成,通过网络数据传输即可在远程客户端的 Web GIS 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。

§15.2 多种数据的融合技术

在 Al Gore 的数字地球的报告中,关于核心技术有"科学计算(Computational Science,计算机计算科学)"一项。内容主要包括:多种数据的融合与可视化表达、仿真与虚拟技术。

1. 多种数据融合概述

融合(Fusion)与集成(Integration)的区别: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。融化是指多种数据经合成后,不再保存原来数据的特征,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质的变化,而融合的数据产生了质的变化,甚至产生了新的数据。

数字地球的多种数据的融合,包括多种分辨率数据,多维数据和不同类型数据的融合是一个复杂的问题,是一个难题,再加上要将融合得的数据进行可视化的立体显示,就更难了。全数字测图技术产生的数字地形模型(DEM)与经处理得的遥感影像的融合产生的三维立体景观影像(不是影像地图),不是 DEM 叠加至遥感影像上,它产生了逼真的,从空中观察的立体感觉,尤其是城市的建筑物的影像立起来和产生逼真的感觉。

2. 数字地球信息融合框架的时空模型

空间经度 X、纬度 D、高度 H 以及时间 T 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 提供定位测量数据，对于地球坐标系统间可实现转换。

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、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，可以大气的圈层结构表示，大气结构模型提供信息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，有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。地壳因子基础数据获取的困难可能限制它的作用。

(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。水文因子是许多应用的信息生长和添加的基础，特别是环境方面，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、港口、桥梁和隧道。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，例如知国家、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方面。

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、添加和生长其他专题信息。这

些专题信息包括多个应用领域，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。

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。数据模型的视图如图 15.3 所示。

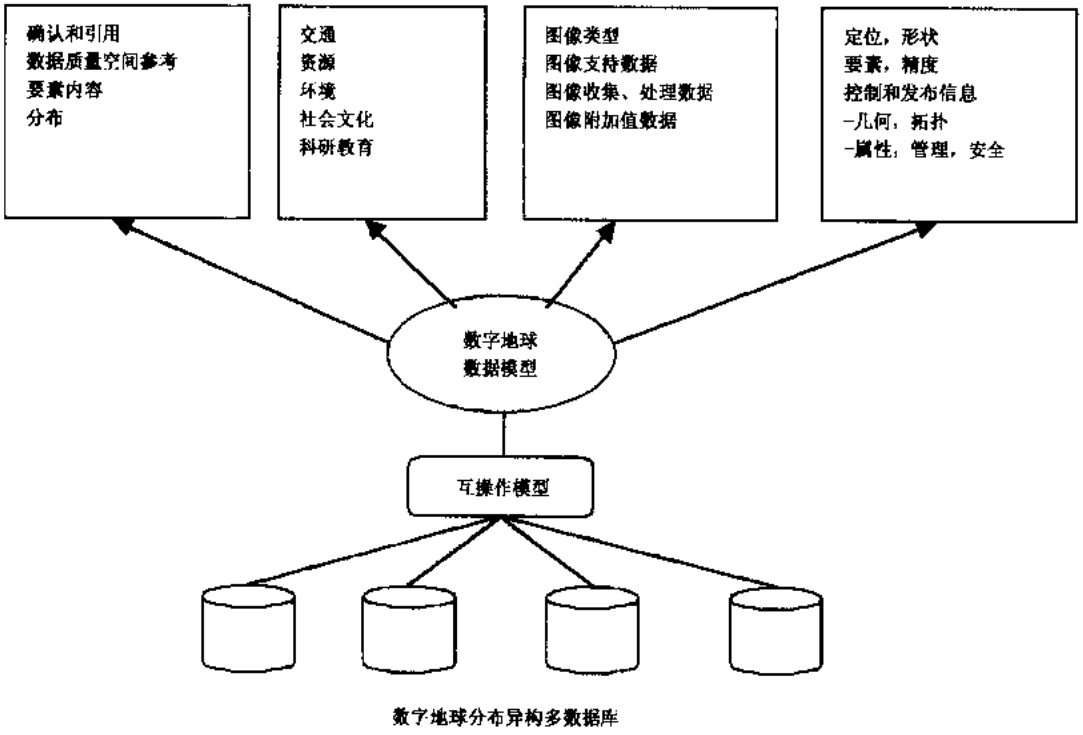

图 15.3　数字地球框架构成

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(即信息高速公路)的相关技术而建立。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、Notebook 便携机、游戏机、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。

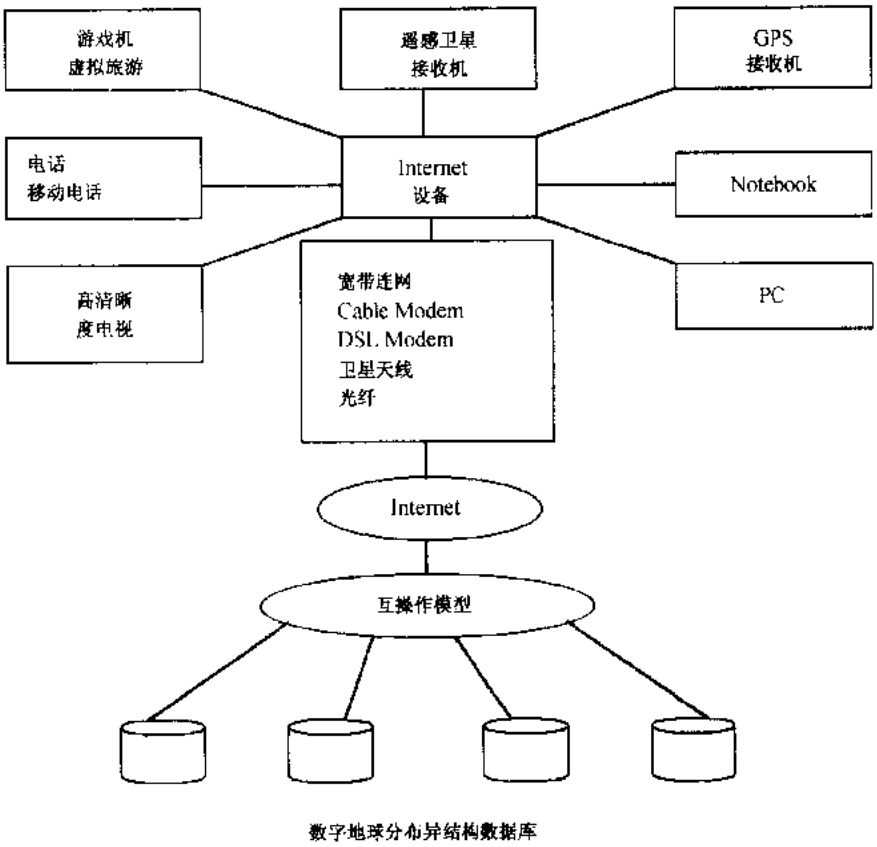

图 15.4　围绕信息基础设施的信息融合框架

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;通过元数据等技术实现信息的管理。

数字地球信息融合框架所需关键技术可概括为:

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,这意味着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 1000G/秒的宽带网。

海量存贮:数据库将存储每天产生 1000G 字节的地球观测数据。

互操作:如何把成千上万的数据库实现联合,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。

6. 远程融合(Tele-Immersion)是数字地球的重点技术之一

远程融合系统指在不同地点的个人共享一个同一的虚拟环境,例如,参与者可以与虚拟会议桌上的小组互相交流,如同在一间实在的房间里能做到的一样。每个人都可以共用或操纵数据、分子模拟模型物理或经济结构,并共同参与仿真、设计方案审核或某…

评估过程。例如不同地点的工程师,通过 Internet II, web II, 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。

远程融合是以下要素的有效综合:

(1)独立研究式融合(Cave-style immersion)技术,如现有的 Mudd 和 Moo 的技术;

(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,然后让它投影逼真的多重地理分布式融合环境(Immersive environment)中,在这里个人可以和 Computer 生成模型进行交互活动。

远程融合技术要求 NSDI 有所改进,包括高带宽、低时延和与时间相关的同步通信等。如果没有 Internet II 的诸如 RSVP 和多路传送等高级协议,远程融合是不可能实现的。

远程融合需要有协调得极好的研究开发工作,需要研究协调程序,需要将现行独立研究的跟踪、再现人类界面等各领域作重要延伸,以强化共享图像与操作的实效,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,将十分重要,只有这样才能使逼真的现场仿真成为可能。

§15.3 数字地球的虚拟与仿真技术

1. 基本概念

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、触觉等效果的可交互、动态世界,人们可以对该虚拟世界中的的虚拟实体进行操纵和考察。它具有以下的特点:

(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进行观察数据空间,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,然后可在该环境生成的虚拟世界中自由漫游。

(5)虚拟有三种类型:只看到计算机产生的虚拟世界,即图像(投入式);既能看到虚拟世界,又能看到真实世界(非投入式);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

前景与科学价值广泛受到注意。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化的单维信息的计算计发展会也能处理适合人的特性的多维信息。G. Burdea(1993)提出了虚拟技术是由 Immersion-Interaction-Imagination(沉浸－交互－想象)，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(Inter-action)，即人们能通过人的视觉、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，并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 WebGIS、ComGIS 与 VR-GIS 相结合的技术。

2. 虚拟现实系统的基本类型

(1)视频映射(Imaging)系统：指使用常规计算机的显示器表达虚拟世界的技术系统，又称桌面虚拟现实系统或世界之窗。人们可以通过计算机屏幕看见一个虚拟世界，景象看起来和听起来真实，而且行为或运动也真实。

(2)沉浸式(Immersion)系统：是指运用头盔式、手套式、盔甲式的显示器和传感器使人的视觉、听觉、触觉及一切感觉沉浸在虚拟世界的计算机系统中，或者是指利用多个大型投影产生一个房间，观众处于其中而有一个身临其境的感觉。这是较高级的虚拟现实系统。

(3)分布式虚拟系统，是指 VR 技术与 Internet-Web(包括 Intranet 和 Extranet)相结合的多媒体虚拟系统。该系统的特点是数据存放在不同地点、不同单位的，即分布式的数据库中，使用时通过 Internet-Web 标尺集成，再用 VR 技术处理、显示，通过遥测、遥控技术把用户的感觉和真实世界中的远程传感器连接起来，形成与真实世界结合在一起的感觉。

3. 虚拟技术系统的结构

(1)输入处理技术:除了一般的硬件和软件外,还要有方位跟踪器手套、小棒,头部跟踪器(头盔)、数据衣(盔甲)以及高精度实时跟踪用户形体输入处理器、网络化的 VR 系统,还需加上接收器。语音识别系统也是其主要的组成部分,数据手套还需增加姿态识别功能。

(2)仿真处理技术:这是 VR 系统的核心。它处理交互执行物体的脚本,以实现所描述的动作,仿真真实的或想像的物理规律,并确定世界的状态。仿真引擎(Simulation Engine)负责把用户输入、碰撞检测、脚本描述等既定任务送入世界,并确定虚拟世界中将要发生的动作。对网上 VR 系统来说,可能在多个仿真过程互相不同的计算机上运行,而其中每一个都使用不同的时间步,调度十分复杂。

(3)描绘输出技术:这是 VR 技术系统的最终成果,目的是使用户有身临其境的感觉,包括视觉、听觉、触觉和力觉及其他生物学的感觉等。

• 视觉描绘器:是以计算机图形学、科学可视化和动画为基础的,包括实体造型、光照模型、实体绘制、消影、纹理影射、场景造型及材质等。其绘制质量取决于阴影模型。动态性和适时性是视觉描绘的关键。

• 听觉描绘器:音频组件的质量对听觉描绘影响很大。它能产生单声道、立体声或 3D 效应。仅有立体声是不够的,因人的思维总是力图在头脑中对声音定位。声音只有通过头相关变换函数(HRTF)处理,才能产生 3D 效果。

• 触觉描绘系统:主要是接触和力反馈的感觉的描述。很多力觉系统是一种骨架形式,它既能确定方位,又能产生移动阻力和抵抗阻力的感觉。目前对温度感觉的研究也已经有了一定的进展。

(4)数据库系统:包括现势数据和历史数据都是主要的数据内容。数据库应包括分布式的在内,都是以地理坐标为依据,多分辨率的、三维的、动态的和空间场景的海量数据。每一个数据都有属性、空间和时间三大特征。

(5)虚拟语言:这是系统操作或处理的纽带。虚拟现实建模语言(Virtual Reality Modeling Language, VRML)是一项与多媒体通信、互联网、虚拟现实密切相关的技术系统,是一种描述互联网上交互式、多维、多媒体的标准文件模式。VRML 技术能把 2D、3D 文本和多媒体集成为统一的整体,是 Cyber Space 的基础。VRML 文件是一个基于时间的三维空间的图形对象(视觉对象)和听觉对象的描述技术,并能支持多个分布式文件的多种对象和机制,产生全新的交互式的应用。

4. VR-GIS 技术

VR-GIS 技术是指虚拟现实技术与地理信息系统技术的相结合的技术,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,是 90 年代才开始的。

VR-GIS 技术,目前还不用数字化头盔、手套和衣服,它运用虚拟现实建模语言(VRML)技术,可以在 PC 机上进行,使费用大幅降低,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(假的)的特点，而没有触觉，更没有嗅觉特点等，只是通过大脑的联想，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、圣安得列斯断层地震等科学性很强的教学虚拟光盘，以及"侏罗纪公园"、"龙卷风"等娱乐性虚拟影视等典型例子。所以它还不是真正的虚拟，而是一种准虚拟或不完善的虚拟，或半虚拟技术。

VR-GIS 与 WebGIS 相结合技术，可以进行远距离"遥操作"和"遥显示"或"遥视"、"遥现"技术，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。该项目叫"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，让分布在不同地区的专家进行共同实验、讨论、分享成果。

5. 虚拟地理信息系统(VR-GIS)的特点

Fause(1993)提出了理想的 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)内和外自由移动；

(3)在 3D(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。

Berger(1996)等人指出，GIS 和 VR 两个技术的连接，主要是通过虚拟现实构模语言(VRML)转换文件格式，把 GIS 信息转到 VR 中表示。VR-GIS 方法是基于一个耦合的系统，有一个 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 的功能是增加 GIS 的制图功能；

(3)越来越多的解决方案采用 VRML 标准，尽管它有一些限制，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，它依赖于桌面 GIS；

(5)松耦合的 VR 和 GIS 软件，图形数据通常是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 RCP。

§15.4 虚拟技术的地学应用及实例

1. VR-GIS 的地学应用

(1)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，一定要具备以下四个条件：

第一，对所要进行虚拟实验的地学应用的机理进行研究；

第二，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，如不能建立模型时，就采用人工智能及可视化技术；

第三，进行模拟、虚拟实验分析；

第四，进行试点工作，验证其可信度，反馈信息。

(2)地球系统的各种现象或过程都可以进行虚拟实验，包括：

①对地球系统的结构进行虚拟

• 分子结构、晶体结构、基因图谱等进行模拟；

• 宇宙构造、地球构造、地质构造、火山构造、地貌构造、景观结构等进行模拟；

• 城市、交通、大型工程结构进行模拟。

②对地球系统的运动现象与过程进行模拟

• 地壳运动、褶皱断裂过程、地震发生机制与过程、火山爆发过程进行虚拟；

• 河流地貌过程、风化地貌过程、冰川地貌过程、冲积平原、洪扇、三角洲的演化过程虚拟实验；

• 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、沼泽生态系统进行虚拟；

• 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、森林草场火灾及救灾、山崩、滑坡、泥石流、雪灾、垮坝灾害、荒漠化过程、土壤侵蚀与水土虚拟；

• 城市规划与改造、区域可持续发展虚拟；

• 南水北调、黄河水资源调控、三峡工程、小浪砥等工程虚拟；

• 上海大港建设、杭州湾整治、苏北五条沙开发与整治、长江河流开发与整治 VR 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实验；

• 噪声污染实验。

(3)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，可以将对地球科学的知识、抽象的概念，用生动的逼近真实的感觉来表达，使实学者易于接受和了解复杂系统。

(4)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。它要求用户具有想像力和形像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)。

2. 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综合，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，最后作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叠加，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环境背景和恐龙的生活状况，活龙活现地再现了当时恐龙的奔跑和吼叫声等。寒武纪毛孔虫及奇形虾的虚拟科教影视，由地质学家在寒武纪地层发现毛孔虫和奇形虾的化石开始，研究了它们的生活环境，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海洋环境，以它们的生活状况、活动、游泳等，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，借助了三维虚拟技术，研究了西部Texas贮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，他认为没有形像化的绘图与图解，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处最好的途径。

(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，逼真生动地描述了龙卷风的过程及造成的破坏。

(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，这是过去天文学家所未知的。

(8)月球形成的虚拟：科罗拉多大学的天文学家们虚拟在45亿年前，一个比火星大3倍的星体撞击地球而形成了两个月球，其中一个运行了几千万年后，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。

(9)香港中文大学地球信息科学联合实验室提出虚拟地理环境概念，并运用GIS和CAD工具，Java和VRML语言研究基于万维网和虚拟现实技术的虚拟郊野公园和虚拟香港中文大学。

(10)浙江大学潘云鹤教授研究了虚拟旅游(敦煌虚拟旅游)和城市交通的虚拟等。

日本电气公司(NEC)指出：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(水工模拟、风洞模拟等)都不如 VR-GIS 技术那么效果好,那么方便,何况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。

根据调查,下一个研究是 VR-GIS 可能性的实验,例如:

都市规划:这个应用范围从产生大比例尺城市模型(Liggetti 等,1995),到对环境的设计和规划(Dodge et al., 1997),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: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 工程是值的注意的。

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(Gillinss & Goodriele ,1996)。

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力求允许"虚拟预演"。

通过了解 VRGIS 的应用领域,可以判断 VRGIS 发展的一些因素。VR-GIS 的某些目的是明显的,一个主要目的是建立(或重建)陆地景观和都市设置——目前不存在的或正在规划中的,考古要重建目前不存在的三维古代陆地景观。

第二个目的是抽象变量的可视化,"把它们带到现实中来"。这是目前 VR 应用比较流行的方面。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。

第三个目的是提高在合作过程中思想和概念的交流,如体系结构的规划,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,这个目标导致对空间技术的直觉界面的研究。

最后导致 VR-GIS 的一个明显的目的是寻找要解决的问题。

GIS 获取和存贮空间数据,因为许多 VR 应用开发者正在寻找应用。这类应用如科学可视化。

下面是各国在 VR-GIS 领域的研究统计(表 15.1):

表 15.1

国　家	研究领域	年　代
澳大利亚	环境	1995
加拿大	都市规划	1995
丹麦	都市规划	1997
法国	考古	1996
德国	都市规划	1996
葡萄牙	环境	1995
南非	GIS，都市规划	1991
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	

第十六章　虚拟地球系统模型

王宏武、王精业、李琦、陈纯(1999.3)等提出了面向数字地球的虚拟现实系统模型，而虚拟地球系统(Virtual Earth System, VES)的新概念，并进行了扼要的论述。下面将他们的论述要点介绍于下：

§16.1　已有基础

1994年，美国 Brimson 实验室和 Minnesota 大学自然资源研究所设计完成了针对景观(Landscape)可视化的虚拟实验系统。该系统是虚拟技术与地理信息系统的有机的结合。瑞典联邦理工学院和 Zuerich 大学采用虚拟技术和地理信息系统相结合方法，设计完成了 VR-GIS。英国 Nottingham 大学计算机系 P. M. Mather 教授，地理系的 R. H. Haines-young 博士等完成了由 GIS、VR 和计算机辅助协同工作系统，为环境设计目的服务。

§16.2　虚拟地球系统的关键理论

虚拟地球系统的关键理论，主要有虚拟建模理论和可视化理论。

1. 面向数字地球系统的虚拟建模理论

虚拟地球技术系统的主要任务之一是要创建一个合适的信息处理环境。面向对象的建模方法是虚拟地球系统的基本建模方法，现有建模理论是不能满足数字地球的需要的。

1) 面向多维空间信息建模

除了三维空间信息外，还有时间维和属性维。起码有五维。要建立多维对象之间的关系，而过去侧重于二维空间。

2) 基于多重智能体虚拟环境模型

传统的面向对象的建模方法难以简化系统设计，反而增加系统负载。智能体则比对象更接近于自然界的实体。它不仅具有对象的数据封装、继承和方法，还具有行为决断、生命周期控制等特点。基于多重智能体的建模将大大简化虚拟系统控制，提高系统效率。智能体抛弃对象的消息通讯机制，大大降低控制系统的负载。而且智能体的生命周期自控，可降低系统资源的占用。

基于多重智能体的建模理论将研究虚拟地球系统中所出现的各种实体对象和关系，抽象并建立针对不同实体和关系的智能体，并在此基础上形成一系列可用于描述数字地

球系统的可计算的多智能体模型。

3) 数字地球系统的虚拟建模语言规范

建模语言不但是一种快速有效的建模工具,同时又给虚拟系统的各个不同应用之间提供了一种信息交换标准。现有的虚拟现实建模语言(VRML)主要面向三维空间场景描述;数字地球系统中所涉及的对象,除了具有三维空间信息以外,还具有时间和多重属性等信息。这些对象不同于以往系统中的三维实体,而是具有五维或者超五维信息的对象。在深入研究面向数字地球的建模理论同时,应该基于该理论抽象出一套面向数字地球的虚拟建模语言规范,定义新的对象层次结构和适合于地学对象造型的方法,提供与现有地理信息数据交换的妆。

2. 面向数字地球的可视化关键技术

数字地球的建模理论涉及到多方面的可视化建模理论和信息可视化技术,对于数字地球,需要在以下几个关键基础理论方面有深入研究:

1) 多维动态时空信息可视化理论

虚拟地球系统中所涉及的对象的各种信息之间息息相关,要更有效地、更合理地描述对象和建立多维对象之间的关系,就应该舍弃旧的把空间和其他信息割裂开来的建模理论,综合考虑对象的多维时空信息,研究地学对象的多媒体表现和虚拟地球系统的可视化方法。

2) 无级比例尺数字地面模型生成和显示

研究基于高精度地理数据多分辨率(无级比例尺)地面模型的生成与显示技术,包括大跨度比例尺由粗到细的显示浏览、多分辨率数据的管理、不同分辨率模型的平滑过渡和无级变换、时间受限的分辨率模型的平滑过渡和无级变换、时间受限的分辨率模型的选择,并对各种交互技术进行研究。例如,对三维地形模型的无级比例尺的研究。

3) 数字地面模型智能化信息提取和恢复理论

数字地球涉及的数据规模非常之大,现有的机器处理能力和网络传输能力都不能满足要求。而同时,具体的应用并不涉及具有全部细节的信息。这里,尤以数字地面模型最为突出。所以,我们不必针对全部细节的信息进行处理,而要面向具体的应用,研究适合计算机模拟的数字地面模型的多种获取方法,包括地面模型海量数据(如卫星遥感图像等)的关键特征的智能提取、综合处理和存储,并研究根据关键特征重建数字地面模型的方法。例如,研究用人工生命思想确定种子(关键信息)及生成数字地面模型的规律。

§16.3 虚拟地球系统模型

虚拟地球系统(VES)是一个面向数字地球的虚拟现实系统,这个系统将包括与地球

有关的各种实体对象。虚拟地球系统为数字地球提供一个可视化的虚拟环境，同时，用户可以通过一定的交互手段与之交互。

1. 虚拟地球系统信息模型

虚拟地球系统主要包括五个部分：场景数据、对象建模、场景引擎、交互模型和人。

• 场景数据库：场景数据库管理虚拟地球系统中的所有实体数据和关系数据。虚拟地球系统涉及大量地学数据，场景数据库必须负责数据的简化、压缩和结构存储；同时负责数据查询、提取和信息恢复等任务。

• 对象建模：虚拟地球系统中各种不同实体和关系非常复杂，对象建模将有效地简化系统的设计。

• 场景引擎：场景引擎负责虚拟系统的绘制和事件以及消息机制的实现。如何解决场景的复杂度和计算机图形和计算性能不足之间的矛盾，是场景引擎研究的主要问题。

• 交互模型：交互模型是虚拟系统与用户的界面，它负责接收和理解用户的交互命令，并将这些命令转化为系统的内部行为。

• 人：人是虚拟地球系统中的核心。人是信息的目的端和交互的发动机。虚拟场景的设计都要以人为核心。

2. 虚拟地球系统网络模型

虚拟地球系统的网络模型建立在 WWW 模型之上的面向 Internet 的模型。主要由两大部分组成：VES 服务器和 VES 浏览器构件。

1) 基于 Internet 的虚拟模型服务器

VES 服务器是 VES 模型的核心。它位于服务器端，由 VES 临近进程、场景缓存和场景提取进程组成，专门捕捉和响应来自客户端的 VES 构件请求。下面的流程描述 VES 构件与 VES 服务器之间的连接：

(1)客户端 VES 构件发送的请求被 WWW 服务器接收；

(2)VES 监控进程截获用户请求并分析内容，如果用户请求包含对虚拟地球场景的请求，VES 守护进程将用户请求翻译后送给 VES 服务器；

(3)VES 服务器接到请求后，唤醒场景提取进程；

(4)场景提取进程提取出用户要求的场景，并送往场景缓存；

(5)场景缓存将收到的场景发送至远端的 VES 嵌入式构件；

(6)VES 嵌入式构件解释和执行场景。

2) 嵌入式 VES 构件

嵌入式 VES 构件位于客户端，是一个嵌入到 WWW 浏览器中的构件。它负责完成虚拟模型语言文本的解释执行，同时，嵌入式 VES 构件又是虚拟系统与最终用户交互的界面。

§16.4 小 结

数字地球是一个庞大复杂的虚拟现实系统，它向传统的虚拟现象系统提出了挑战。我们在深入研究面向数字地球的虚拟现实理论的同时，设计了一个面向数字地球的虚拟现实系统——虚拟地球系统。值得一提的是，基于该模型，我们实现了一个基于 Internet 的地形服务器 TON(Terrian On the InterNet)。

第十七章　开放地理信息系统与互操作技术(Open GIS)

§17.1　地理信息系统的互操作

地理信息系统技术在取得巨大发展的同时,其缺陷也越来越明显。突出表现在:①传统的地理信息系统是封闭、孤立的系统,没有统一的标准,各自采用不同的数据格式、数据存贮和数据处理方法。不同的厂商的GIS软件采用不同的空间数据格式,对地理数据的组织有很大差异,这使得跨GIS平台的数据交换存在困难,采用数据转换标准也只能部分地解决问题。②不同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,这种语义上存在的分歧直接导致了基于具体的、相对独立的GIS平台的应用开发系统之间难于实现信息共享与交流。这些问题归结起来成为GIS的互操作问题,直接制约着GIS技术的进一步发展。

在信息社会中,每时每刻都有大量来源不同的地理数据产生,分布地存贮。在网络环境下,信息需要在不同软件中分布地处理,并且能够在网络中实施发布。因此,如何使不同的地理信息系统软件能迅速便捷地获取这些来源不同的数据,并将它们集成起来进行分析,如何使这些集成数据能在不同的系统下相互可操作以及在异构分布数据中获取所需的数据信息就变得非常关键。

1. 空间数据转换

空间数据转换是实现地理信息系统互操作的最低层次。在以单机、数据集中式管理为特点的地理信息系统技术发展阶段,满足地理信息系统各系统之间数据共享需求的主要技术手段是数据交换,数据交换所要解决的核心问题是有关来源于不同地理信息系统的数据之间格式转换的问题;伴随着客户机/服务器体系结构在地理信息系统领域的广泛应用以及网络技术的发展,数据交换方法已不能满足技术发展和应用的需求,而地理信息系统互操作则成业种新的数据共享途径。地理信息系统互操作不但强调不同系统之间数据的相互可操作,而且强调系统之间资源处理和分析方法的共享。

空间数据转换的核心是数据格式的转换。基于数据通用交换标准的数据交换,尽管在格式转换过程中增加了语义控制,但是其核心仍然是数据格式的转换。一般地,数据转换采用以下三种方式。

(1)直接转换－相关表。在两个系统之间通过关联一一有,直接将输入数据转换成输出数据。这种方法是记录之间的转换,只对小的转换量才有意义;而且由于它是针对记录逐个地进行转换,没有存贮功能,因此不能保证转换过程中语义的正确性。

(2)直接转换－转换器。另一个转换方法是通过转换器实现,转换器是一个内部数

据模型，转换器通过对输入数据的类型及值按照转换规则进行转换，得到指定的数据模型及值。与使用关联表相比，它具有更详细的语义转换功能，也具有一定的存贮功能。

(3)基于空间数据转换标准的转换。无论采用关联表还是采用转换器进行直接转换，它仅仅是两系统之间达成的协议，即两个系统之间都必须有一个转换模型；而且为了使另一个系统和该系统能够进行直接转换，必须公开各自的数据结构及数据格式。

为此，可采用一种空间数据的转换标准来实现地理信息系统数据的转换。转换标准是一个大家都遵守，并且很全面的一系列规则。转换标准可以将不同系统中的数据转换成统一的标准格式，以供其他系统的调用(如图 17.1 所示)。

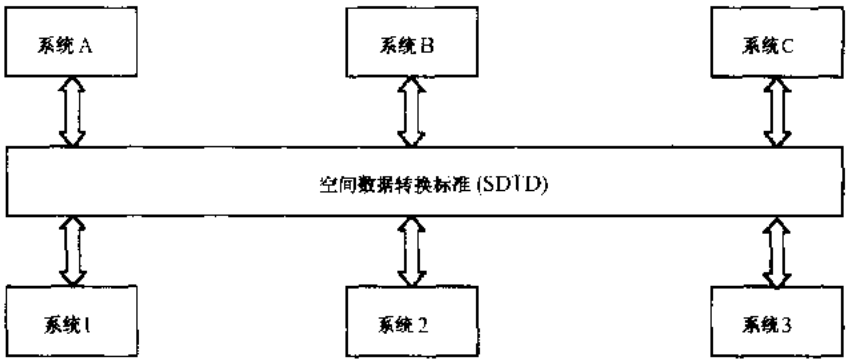

图 17.1　基于空间数据转换标准的互操作

为了实现转换，空间数据的转换标准必须能够表示现实世界空间实体的一系列属性和关系，同时它必须提供转换机制，以保证对这些属性和关系的描述结构不会改变，并能被接收者正确地调用，同时它还应具有以下功能特点：

- 具有处理矢量、栅格、网格、属性数据及其他辅助数据的能力；
- 实现的方法必须独立于系统，且可以扩展，以便在需要时能包括新的空间信息。

2. 地理信息系统互操作

1) 地理信息系统互操作

数据转换方法仅仅是从数据角度考虑互操作，是数据的集成，而没有考虑数据处理方面，因此还不能达到真正的互操作。地理信息系统互操作是在异构数据库和分布计算的情况下出现的。对系统而言，系统要能够彼此更安全地获取和处理对方的数据；对用户而言，用户则能够方便地查询到所需的信息，并能方便地使用各种不同类型和格式的数据；对信息管理者来说，他们要能够很好地管理信息，并将资源充分地提供给用户。

因此，地理信息系统的互操作可以定义为：①自由地交换所有关于地理的信息，以及所有关于地球表面上的、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信息，以及协作运行地理信息处理软件。

于是互操作可以在异构环境下两个或两个以上的实体间，尽管它们实现的语言、执行的环境和基于的模型不同，但可以实现相互通讯和协作，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。互操作是一个信息系统的各构件的自由地组合及匹配，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、工作流程、过程程序、人机界面、用户和训练。

由此看出，互操作性强调将具有不同数据结构和数据格式的软件系统集成在一起操作。实际上，地理信息系统互操作在不同的情况下具有不同的侧重点，强调软件功能块之间相互调用时称为软件的互操作；强调数据集之间相互透明的访问时称为数据的互操作；强调信息的共享，在一定语义约束下的互操作称为语义的互操作；等等。一般的，地理信息系统互操作是指不同应用(包括软、硬件)之间能动态地相互调用，并且不同数据集之间有一个稳定的接口。

2) 地理信息系统互操作的层次

Y.A.Bishr(1997)、Buehler 和 Mckee(1996)以及 Voisard 和 Schweppe(1998)都描述了地理系统互操作的层次结构。Y.A.Bishr 从网络设计者、操作系统设计者、软件应用工程师、用户以及企业等角度来分析，将地理信息系统互操作分为六个层次：网络协议、文件系统、远程过程调用、查询和获取数据、地理信息系统以及信息群。Buehler 将地理信息系统互操作分为八个层次：网络、分布计算环境、数据存储、中间件、工具、应用、企业和信息群。可以看出，两种划分尽管具有不同的层次，但本质上是相似的，都可将它们归纳到技术、应用和企业这三个不同的层次上。

从应用的角度出发，地理信息系统互操作应当强调在语义层次上的互操作，为了突出在互操作中语义的重要性，可在上述三个层次的基础上将互操作进一步分为网络、硬件、软件、数据库、地理信息系统、应用和企业七个层次(见表 17.1)。

表 17.1　互操作的层次结构及其支持

层次结构		支持
企业	信息	立法、政策、规范、标准
应用	语义	标准、语义数据模型、规程
数据	地理信息系统	DBMS、标准、规程
	数据库	
技术	软件和网络协议	规程、协议、标准
	硬件和网络	标准等

表 17.1 中，网络、硬件、软件是指从技术上如何实现地理信息系统互操作，它包括：网络协议、文件系统传输、远程过程调用、分布计算平台、软件规程等，它们的正确配置是实现地理信息系统互操作的基础。

数据库和地理信息系统层实现不同系统之间数据上的互操作。但是地理信息 信息系统的互操作不仅仅是数据的互操作，更应该是语义及含义上的互操作，即客户对数据和处理资源方法的访问是实时的，并且能获得的结果是可以预测的。

企业层是地理信息系统中最高层次的互操作，实际上也就是我们通常所称的信息共享。它包括企业之间和信息部门之间的互操作，涉及政策、法规、经济等因素。

3）基于公共接口的地理信息系统互操作

目前，实现地理信息系统互操作可概括为以下四种情况：

• 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，也就是不同的分类等级，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。

• 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。

• 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而感兴趣，对同一对象给于不同的名称，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给以永久标识代码，在此基础上建立各专业领域信息，各领域间的集成是垂直自段的集成。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别及其交通连通性，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。

• 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，是可能实现的一种情况。

为了使不同地理信息系统之间能够实现互操作，一种最理想的方法是通过公共接口来实现。接口相当于一种规程(Specification)，它是大家都得遵守并达成统一的标准。在接口中不仅要考虑数据格式、数据处理，还要提供对数据处理采用的协议，各个系统通过公共的接口相互联系，而且允许各自系统内的数据结构和数据处理可互为不同，如图17.2。

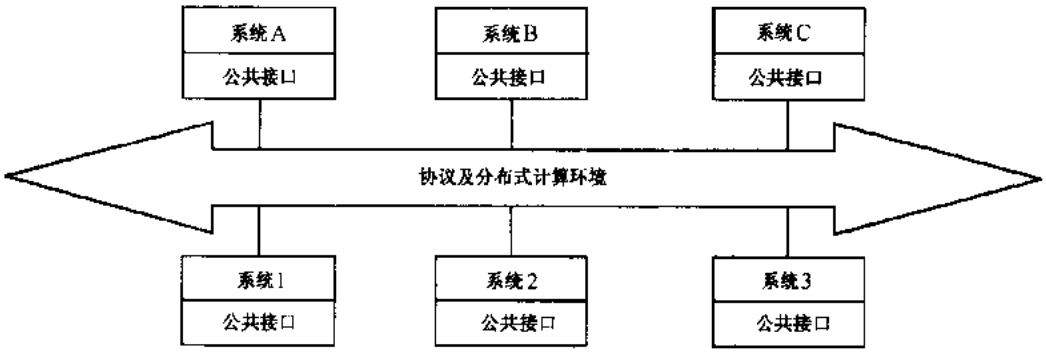

图17.2　基于空间数据转换标准的互操作

§ 17.2 Open GIS

OpenGIS,即开放式地理信息系统,是为了使不同的地理信息系统软件之间具有良好的互操作性,以及在异构分布数据库中实现信息共享的途径。据 Kurt Buehler(The Open GIS Consortium,1995,Inc.,Kurt@OGIS.ORC)介绍:OGIS-Open GeoData Interoperability Specification,即开放的地学数据互操作规范。OpenGIS 原定义"The highest level of the OGIS specification",即"开放的地学数据互操作规范的最高层规范。"

1. 开放地理信息系统

开放地理信息系统是指在计算机和通信环境下,根据行业标准和接口(Interface)所建立起来的地理信息系统。一般说来,接口是一组语义相关的成员函数,并且同函数的实体相分离。在这个系统中,不同厂商的地理信息系统软件以及异构分布数据可能相互通过接口交换数据,并将它们结合在一个集成式的操作环境中。因此,在开放式地理信息系统环境中,能实现不同地理空间数据之间、数据处理功能之间的相互操作以及不同系统或不同部门之间资源的共享。

真正的开放式地理信息系统能在不同软件商之间以及异构分布数据库之间,通过实时动态机制实现数据存贮结构不同的地理信息系统之间的连接。开放式地理信息系统的核心是标准,这个标准必须与其他各类标准相兼容,但又必须独立于这些标准。只有在共同的标准和接口下才能实现信息共享以及相互操作。

开放式地理信息系统具有下列特点:

• 互操作性:不同地理信息系统软件之间连接方便,信息交换没有障碍。

• 可扩展性:硬件方面,可在不同软件、不同档次的计算机上运行,其性能和硬件平台的性能成正比;软件方面,增加了新的地学空间数据和地学数据处理功能。

• 技术公开性:开放的思想主是对用户公开,公开源代码及规范说明是重要的途径之一。

• 可移植性:独立于软件、硬件及网络环境,因此它不需修改便可在不同的计算机上运行。

• 兼容性:通过无缝集成技术保护用户在原有数据和软件上的投资,它将现有的信息技术和已有的地学处理软件熔为一炉;同时,它对用户是透明的,应用程序稍加修改便能在不同的平台上运行。

• 可实现性:随着操作系统、通讯技术以及面向对象方法技术在分布处理系统中的应用,开放式地理信息系统的开发将变得易于实现。

• 协同性:能够尽可能地兼容其他的信息处理技术以及共享信息技术的标准。

2. 美国开放地理信息系统联合会(Open GIS Consortium,简称 OGC)

美国 OGC 是 1994 年成立,是由多个企业、大学、政府部门组成的,致力于互操作的、商业化的地理信息系统的非盈利组织。它试图将 GIS、遥感、自动制图、设施管理等地理

空间技术集成，形成开放的地理信息系统。因此，OGC 主张：

- 无障碍地访问地理信息资源；
- 无障碍地访问地理信息处理资源；
- 把先进的信息技术结合到地理信息科学中；
- 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；
- 进行地理数据、地理信息处理功能的市场开发。

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、促进活动、出版和网络方式推动互操作的发展，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，也可以反映出它在通讯、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 由处理地理信息资源的开发人员和用户组成，包括商业机构、集成开发商、政府机构、标准组织、以及学术界等，并通过他们对互操作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，使地理信息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。OGC 的具体任务有：

- 把先进的信息技术用于地理信息处理中；
- 为先进的地理信息处理技术体系结构的发展提供论坛；
- 组织数据加供应商、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；
- 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；
- 通过协作建立解决关键问题的共同方法；
- 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。

3. 开放地理数据交互操作规范

开放地理信息联合会主要研究和建立了开放地理数据交互操作规程（OGIS，Open Geodata Interoperability Specification）。

OGIS 是为了寻找一种方式，将地理信息系统技术、分布处理技术、面向对象方法、数据加工设计及实时信息获取方法更有效地结合起来。换句话说，它主要是在传统地理信息系统软件以及未来的高带宽的异构地学处理环境中架起一座桥梁。OGIS 的主要目标是使用户能开发出基于分布计算技术的、标准化的公共接口，将地理空间数据和地理处理资源完全集成到主流计算中，并实现交互式的、商品化的地理数据处理和地理数据分析的软件系统，使之在全球信息基础设施上得到广泛的应用。具体而言，它是为了给应用开发者提供 OGIS 的规程模型及实现规程的技术手段，并通过体系结构为应用开发者提供基于 OGIS 的地理数据处理的开发工具、中间件、软件构件；并将已有的工具和数据库实施封装，使得用户能在一种分布及协作的方式下方便地获得地理数据和地理数据处理服务，以及其他地理应用，完成具体的应用任务。其特点：

• 它是一种统一的规程，使用户和开发者能进行互操作；

• 它能克服繁锁的批处理以及导入/导出障碍，在分布操作系统异构数据库环境下获取数据及数据处理功能资源。

由于OGIS独立于具体的平台，因此OGIS只能是抽象层的概念描述，而不具体的实现。OGIS具有下列应用：

• 它能为应用开发者提供标准，开发出满足用户需求并能相互操作的软件，将空间和非空间的数据及对这些数据的处理无缝地集成在一起，满足用户的要求；

• 它能在不同平台上传送数据及处理功能。在开放平台下，它能使信息管理者很好地管理信息，为用户服务，并能将资源充分地提供给用户；对用户而言，它能使用户很方便地使用不同类型和格式的数据，实时获取大量的数据，并利用地理信息进行更多地应用，同时在一个简单的应用环境和连续的工作流中使用户能使用不同类型和格式的地理数据，而不需考虑这些类型和格式的具体细节。

4. 开放式地理数据产互操作规范(OGIS)框架

OGIS类似于API(提供统一的接口)，但它和API又有区别：API通常需要在一个特定的操作系统和程序语言环境下才能使用，而OGIS中的规程是在更高一级上的抽象，它独立于具体的分布平台、操作系统及程序设计语言，使软件开发者建立的地学应用软件能在当今任何分布计算平台(DCPS)下相互可操作。

具体说，OGIS框架主由三部分组成：开放的地理数据模型(Open Geodata Model)、OGIS服务模型(Open Services Model)以及信息群模型(Information Communities Model)。

1) 开放的地理数据模型(OGM)

• 对现实世界的抽象方法。在OGIS中，将现实世界中所有地理元素抽象为实体和现象，其中实体是指可识别的、离散的对象，并且具有已确定的边界和空间范围，如建筑物、河流等。而现象是指连续的空间，它没有明确的范围和边界，如温度，它只有和某一固定点或某一时间相联，通过现象的值才有意义。在OGIS中的基本对象是特征(Feature)和层(Coverage)。特征是对现实世界中实体的抽象或描述，它具有空间域、时间域或时空域，它包括用时间和空间确定的几乎所有的内容，如桌子、建筑物。特征是通过特征集合来管理的。层是由一个时空域中相关联的点组成的，其中每个点都和某一值相对应，它可为简单值，也可为复杂值。因此，层是一个从时空域到属性域的函数，在OGM中，它是以函数形式来表示的。特征、层用来表示现实世界中的实体和现象。现实世界，抽象模型和OGM之间具有如图17.3所示的影射关系。

• 特征和层之间的关系。特征和层是观察地理数据的两种不同的方式，大多数数据都可用这两种形式来表示，但特征重于实体的范围、语义、几何属性，而层侧重于每点的值。层是从特征中产生出来，它具有特征的所有特性，特征可以递归定义，即几个不同特征及层级组成另一个特征。

• 几何体——OGM中可支持的对象。由于地理信息系统中多数为空间数据，因此它必须有时间域、空间域。在特征中，将与空间坐标相关的属性抽取出来，称为几何体，其

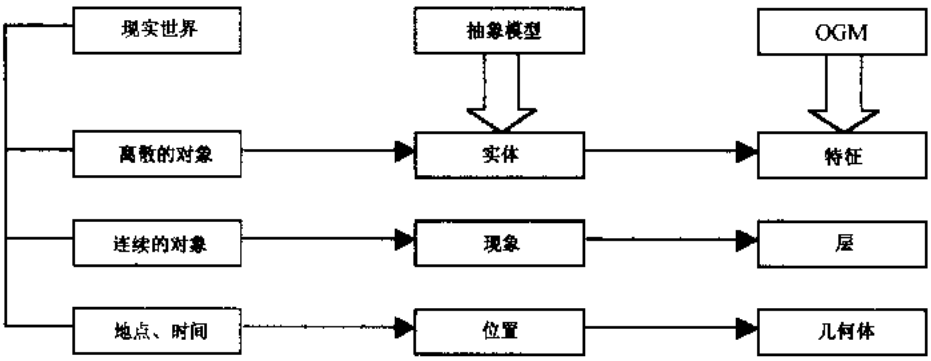

图 17.3　现实世界,抽象模型和 OGM 之间的联系

表示法如下:在 OGM 中,采用 0、1、2 以及三维拓扑来表示,如表 17.2 所示。

表 17.2　实体在 OGM 中的表示法

实体	表示法	含义
点	0 维	表示位置
曲线	一维	表示线、弧等
二维	表面	表示面积
立体	三维	体积

• 时空参考系统。几何体属性是用来描述几何体的特征,如位置、精度等。在 OGIS 中,为了为几何体在现实世界中进行定位,因此引进时空参考系统。它是说明几何体的坐标是如何确定的,离开了时空参考系统的几何体的空间属性是毫无意义的。

• 语义特征——OGIS 特征的属性及属性集。特征主要是通过属性集来描述的,它包括几何属性和语义属性。语义属性是对特征的解释和理解,在 OGM 中是通过语义模式(Schema)来描述的,它包括属性名称、数据类型(基本类型,如整型、实型)以及约束条件等。

• 元数据——OGIS 中特征和特征集的特征。元数据是特征以及特征集的特征。简单地说,它是特征或特征集中属性的子集。它将该特征或特征集中特殊的、与众不同的属性抽出,并对它们进行描述。

2) 信息群模型(Information Communities Model)

信息群是指共享数据的用户群。它可以是数据提供者,也可以是数据使用者。随着社会的进步以及网络技术的发展,不同的信息部门之间越来越需要能够共享信息。但信息共享在现阶段仍难以实现,原因是多方面的,例如,名词问题、概念模式问题,等等。为了在信息部门之间实现共享,需采用信息群模型。

信息群模型主要任务,是解决具有统一的 OGM 及语义描述机制的一个信息部门内

部以及具有不同 OGM 及语义描述的信息部门间的数据共享问题。它采用的主要方法是语义转换，目的是使具有不同特征类定义以及语义模式的信息用户群之间实现语义的互操作性。

信息群模型所追求的不但包括数据转换，而且包括语义转换。为了进行语义转换引进以下结构：目录、Trader 和语义转换器。

• 目录是一种索引机制，它是实体的集合，每一个实体都描述并指向一个特征集。它包括特征集的索引表、内容、层及其他的描述数据。通过目录，能得到数据存放的位置。在每个信息部门中，目录是唯一的。

• Trader 是存在于信息部门之外的，相当于一个 ftp 站点或 WWW 地址，通过它能将信息部门的信息向外界公布。

• 语义转换器是不同信息部门之间信息的语义转换机制，它包括转换规则和语义集，并通过在对每个描述数据的解释上一致性的协议来实现。由于每个信息部门对信息的解释都不同，因此要能进行共享，每两个信息部门之间都要有一个语义转换器。若部门 B 中用户 1 想共享部门 A 中用户 2 的信息，则：首先，用户通过 Trader，发现所要的信息可能在信息部门 A 中，并通过 A 的目录，确认这些信息在 A 中；其次，找到所要信息在 A 中的具体位置，即在用户 2 中，通过 A，B 之间已有的语义转换器，自动将 A 中所需的信息转换成 B 中的信息，这样，用户 1 便能使用用户用户 2 的信息了。

3) OGIS 服务模型(OGIS Services Model)

OGIS 服务模型是定义地学数据服务的对象模型，由一组相互可操作的软件构件集组成，为对特征的访问提供对象管理、获取、操作、交换等服务设施。

OGIS 是控制地理数据存取、管理、操作、描述以及信息群之间数据共享等服务的总体规范模型；也就是说，它是从技术上描述开放的地理数据模型和信息群模型。具体地说，它具有以下几方面的功能：

• 提供了一种方法，通过它能从 OGM 的数据类型构成具体的数据模型，查询数据以及将可共享的数据编制成目录；

• 提供了一种机制，通过它能定义和建立信息群以及建立它们之间联系；

• 提供了一种手段，使其能对 OGM 定义的数据类型，用户定义数据类型以及其他的功能进行操作。

5. 开放式地理信息系统实现技术

1) 面向对象技术，分布计算技术

在 OGIS 中，从开放式地理数据模型到开放式地理服务模型，面向对象技术都是无所不在的。例如，把数据类型及其操作都封装在一起，将共同的接口提供给用户，用户不需知道其具体的实现过程。数据是隐藏在对数据进行操作的接口之中的，对具体功能实现的改变不会影响到其接口；为了定义更具体的对象，可以在基本对象特性的继承上，再增加一些更具体的方法。

分布计算是指分布处理系统中的计算和数据处理工作，分布计算环境是提供分布处理的服务和工具。建立分布计算环境，必须遵循开放系统原则。开放式地理信息系统是在分布处理环境之上考虑的，尽管它的目标是实现独立于分布处理平台的标准和接口，但实现开放式地理信息系统必须以分布处理环境为依托。

2）开放式数据库互连（ODBC）

ODBC 是一个用于访问数据库的统一界面标准。它实际上是一个数据库访问库，它最大特点是应用程序不随数据库的改变而改变。ODBC 的工作原理是通过使用驱动程序（Driver）来数据库独立性。而 Driver 是一个用以支持 ODBC 函数调用的模块，应用程序通过调用驱动程度所支持的函数来操纵数据库，不同类型数据库对应不同的驱动程序。

OGIS 和 ODBC 的思想类似。OGIS 是为了访问不同地理信息系统软件而研制的统一标准接口，使不同地理信息系统软件之间能进行相互操作，但它和 API（应用程序接口）又有所不同。API 与操作系统和程序设计语言有关，而 OGIS 中的接口更抽象、更独立。

3）分布式对象技术（Distributed Object Technology）

分布式对象技术是建立在网络基础上的。它是建立在组件（Component）的概念之上。组件可以跨平台、网络、应用程序运行。

目前有两个标准用来规范组件的连接和通讯问题。一个对象集团（OMG）提出的 CORBA（Common Object Request Broker Architecture），另一个是微软公司的 DCOM（Distributed Component Object Model）。OGIS 只是对开放地理信息系统定义了抽象的互操作规程，具体如何实现，还需采用分布式对象的技术，通过 Acrobat，OLE，ActiveX，Java 等语言实现。

从数据的观点看，开放式地理信息系统是未来网络环境下地理信息系统技术发展的必然趋势。地理信息标准化组织对开放式地理信息系统的研究和开发具有浓厚的兴趣，逻辑级的数据组织、处理和交换机制的说明文本已开始供业界讨论，而对系统的具体实现将是 21 世纪地理信息系统发展的任务。

§17.3 小 结

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质环境中异质地理数据和地理查询和使用，诸如 Internet 等环境，Open GIS 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。根据 Open GIS 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与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。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14%增长到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。

第十八章　数字地球的前沿技术

最近随着计算机科学、计算技术与网络技术的迅猛发展，Bill Gates 等人又提出了新的研究方向：如数字神经系统（Ddigital Nervous System）模型、网络行为（Network Action）或网络生活方式（Network Lifestyle）及系统进化（System Progress）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，尚处在探索阶段。尤其是把它应用到数字地球研究，更是很不成熟。

数字地球是对地球系统的数字化的，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，无论参考哪一种生命的定义，网络都是有生命的。人们一旦产生了它，它就成了独立的“生命体”，一个无定形的有机体，总在不停地运动、生成、解决问题和组织策划。

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、计算机处理与存贮系统、高速通信息网络子系统、无数个分布式数据库与 Web GIS、ComGIS 组成的子系统、各种有关设备子系统，以及研究、开发与用户等人员子系统等共同组成一个庞大的、复杂的，无论从拓扑和信息交互方面，都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 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，还有起神经元的作用。

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，这和人脑的功能是相似的。

§18.1　数字神经系统

数字神经系统（Digital Nervous System）首先是由美国 Microsft 公司提出来的，主要是指利用相互连接的计算机网络（如 Internet-Web）和集成的软件创造新的协作方式，加快信息流通和保证准确性，以确保能作出快速、正确的决策。Bill Gates 指出：如今商业中的任何事情都没有什么不同，一个公司的成功还是失败取决于他们的管理信息的方式不同。

1. 网络的"生命"现象与数字神经网络

美国科学家 Harley Hahn 认为：由信息、电脑、连接物和人组成的网络是一个独立的生命体，但又与一般的生命体不尽相同。无论参考哪一种生命的定义，网络都是有生命的。人们制造了上述的网络综合体，但它一经形成，就成为一个独立的"生命体"。它是一个巨大的、无定形的有机体，处在不断的变化、生成、解决问题和组织筹划之中。人们可以让网络来帮助我们连接我们，并以最好的方式供我们使用。从 Internet-Web 的拓扑结构和信息交互方式来看，都与人类的神经系统相类似。作为节点的计算机和连接物组成了计算机网络，而人体内神经把神经元相互连接起来，构成了神经系统。Internet 中的计算机就同神经网络中的神经元，完成刺激/信息的存贮和传递，而网络连接线正如连接神经元的神经，实现刺激/信息在神经元/网络节点之间的传输。人接受来自外部事物的信息，对大脑神经产生刺激信号，人脑神经系统作为一个整体通过一系列思维活动，对其作出相应的反应。同样，人可以利用网络中的计算机输入问题信息，在经过与 Internet 服务相关的信息处理后，计算机给出问题的答案，这就类似于神经系统中的刺激与反应过程。由此可见网络系统与人脑神经系统在解决事物问题的过程也有相似之处(张大力、李琦，1999)。虽然 Intenet-Web 看上去与大脑没有任何的相似之处，但网络的接点已经发挥了类似神经元的作用(埃里·雷蒙，1999)。

2. 数字地球的神经系统

数字地球技术系统和人脑的神经系统具有很多的相似之处。不论在信息的传输、信息的处理和分析，还是信息的决策过程都存在许多相似之处，所以数字地球也存在着神经系统的功能，可以从一个全新的角度来考察数字地球，如包括基于动态分布式计算体系的数字地球神经系统的概念模型、应用模式，以及进化机制等(张大力、李琦，1999)。

Microsoft 公司的 Bill Grates 在最新著作《以思维的速度运作企业：利用数字神经系统》指出：

数字神经系统就是像人类的神经系统。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、直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。

Bill Gates 指出，在"数字时代"(Digital Era)的新的数字基础设施即"电脑－网络"(Internet)，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。它有几个步骤：

- 坚持通过电子邮件交换信息；
- 研究 online 资料，及时获得信息；
- 让知识工人进行高级思维；

- 使用数字工具组织虚拟班子；
- 把所有书面的东西，变为数字的东西；
- 利用数字工具，消除单一工作；
- 建立数字反馈图；
- 利用数字系统，及时将客户的抱怨传递到有关部门；
- 利用数据通信，重新划分界线；
- 将所有商业流程改造成送货服务(GIS)；
- 利用数字传输来结束中间商业角色；
- 利用数字设备帮助解决自身的问题。

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。Internet-Web 网络，可以看作为地球的神经系统(JPL，1999)。因此美国《商业周刊》1999 年 8 月发表一篇文章，称 21 世纪地球将盖上一层“电子皮肤”。它将利用数亿个智能传感器和软件及 Internet 布满全球加上数十亿个数字宠物、电子感觉器官，组成“遥测纤维”。

§18.2 网络生活方式

Bill Gates 还指出：计算机与 Internet 相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。它不仅可以获取住处，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如“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，尤其对于流程的来说，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(Web)及其软件的协约进行，确保信息正确与快速地传输和正确、快速地作出辅助决策。不论是电子商务、电子政务等都需要有空间概念，离不开 Web-GIS，Com-GIS。由于物体还不能通过网络来传输，需要靠交通工具来传输，就有了最佳路径的问题，就和数字地球有了关系。

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，都和多智能体技术有关。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于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(崔晋川)。

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、复杂的巨系统,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;数字地球神经系统的组成与结构研究;数字地球网络通信与网络生活方式的服务模式研究等。

§18.3 数字地球的进化机制研究

崔晋川,吴少岩、张大力等人对计算机系统的进化机制有过很多研究,现在将他们的观点与数字地球结合起来。

计算机系统的"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:

(a)选择其中的较好方案;(b)综合这些方案的优点;(c)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是自然进化过程:自然选择 - 交配 - 变异的过程是非常类似的(崔晋川等)。

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地在进化。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,以及自变异、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,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。

数字地球是以 Geo-Agent(地学自组织的可进化的智能体)集合为群体的进化系统。Geo-Agent 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 Geo-Agents 适应性计算机网络;从行为看,数字地球是 Geo-Agents 知识发现系统。Geo-Agent 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。Geo-Agent 从环境(数据源或其他 Geo-Agents)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(崔晋川等)。

智能 Agent 一词已在较广泛的领域中使用,在人工智能(Artificial Intelligence)领域,智能 Agent 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,Intelligent 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 Agent 的程序设计方法(AOP)。通常情况下,一个智能 Agent 应有以下一些特征:

- 智能 Agent 由知识状态和知识处理方法两部分组成;
- 智能 Agent 的知识状态被割为若干一致的知识单元;
- 知识单元是智能 Agent 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;
- 智能 Agent 以通信的方式与外界环境建立联系。

例如:一个通信能 Agent 具有如下的结构特征,包含:通信管理机、维理控制机、Agent 状态栏和 Agent 知识库。一个智能 Agent 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 Agent 的消息与请求),由推理控制机根据这些消息(Message)、请求(Request)、Agent 的状态(Status),进行分析、理解、推理后,执行相关的动作(Action),形成 Agent 的新状态,由此可能引起更进一步的 Agent 推理活动(如:通知其他 Agent 的请求结果,向其他 Agent 发出请求,等等)。必须指明的是:智能 Agent 活动行为不是被动的,而是主动进行的,Agent 的推理控制机每隔一个时间片都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,"Intelligent Agent"是一个可以自动执行的程序,并且可以感知和适应当前的环境,可移动的 Agent 具有在机器之间移动的能力,并可以与服务器和其他 Agent 交互。在 GIS 领域,一个 Agent 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 Agent 交互与合作把相关的信息返回给用户;还可以自动探测根据本机数据、网络环境、其他 Agent 分布等等的变化调整自身的某些行为,例如搜索顺序等。

"Intelligent Agent"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。

§18.4 地学智能体技术

1. 基本概念

Agent 一词来源于分布式人工智能(DAI)。但现在已扩展到计算机软件的各个方面,尤其在基于网络的分布式计算领域,为全面准确地研究分布式计算系统提供了合理的概念模型。Agent 原义为代理人,但多数人称智能体或软件智能体。

Agent 是分布式环境下能够持续自主发挥作用的具有主动性、交互性等特性的活动计算实体，并为智能信息搜索提供了全新的概念(从升日、许卓群，1993)。

Geo- Agent 是指基于 Agent 技术的分布地理信息系统，它具有很强的处理地球空间数据(Geo- Agent Data)的、自主计算的分布式计算系统，它构架于数字地球对象构件模型之上，具有跨异构系统平台、网络带宽要求低、智能的移动计算等优点，能解决分布式存贮与实现海量数据共享的技术系统。Geo-Agent 又称地学智能体。

2. 基本特征

许卓群、丛升日等归纳 Agent 具备如下特征：

(1)自主性：Agent 具有属其自身的计算资源和局部的自身行为的控制机制，能够在没有外界或人的直接操作情况下，根据其自身内部状态和感知到的环境信息，决定和控制自身的行为。如当某一个 Agent 发现计算的资源不在本地时，它可以根据算法，选择到异地计算(代码转移)，或请求其他 Agent 协助获得资源。

(2)交互性：Agent 能够通过 Geo-Script 语言与人进行交互，如一个用户可以使用 Geo-Script 描述一个任务请求 Agent 完成。同时，Agent 可以用 Agent 通信语言与其他 Agent 进行灵活多样的交互、能够有效地与其他 Agent 协同工作。如一个数据搜索 Agent 可以通过询问，获得其他数据搜索 Agent 所知的信息，从而了解数据在系统中的分布。

(3)主动性：Agent 能够遵循承诺主动采取行动，表现出面向目标的行为。如一个 GPS 示样监控 Agent，在获得新的 GPS 数据之后，能够按照约定主动将其提交给需要的用户。

许卓群、丛升日等还指出，Geospatial Metadata 的使用是 Geo-Agent 系统具有 Agent 特征的一个必不可少的因素。Geospatial Metadata 是关于地理相关数据和信息资源的描述性信息，它通过对地学空间数据的内容、质量、条件、位置和其他特征的描述与说明，促进有效地定位、评价、比较、获取和使用与地学相关的数据，为系统中 Agent 自主性和主动性的发挥提供了保证。Metadata 在系统中主要起着"数据导航"的作用。例如：

- 为一些具有不完备信息的地学处理操作提供补充信息；
- 动态查询关于地学数据的信息、Metadata 的信息，以确定数据是否适合于手头上的应用程序；
- 查询关于地学数据的信息，以确定数据是否存在；
- 定制有关地理数据的各种视图以及档案资料，为不同用户提供背景信息。

吴少岩等(1999)则认为，Agent 具有如下的特征：

(1)具备"自治"执行的能力和面向领域推论的能力；

(2)是驻留在复杂动态环境中的计算系统，具有自治地感知环境并作用于环境，从而实现设定的目标集或任务集的能力；

(3)它能利用知识或用户"目标"、"愿望"的某种表示，"独立"、"自主"地代表用户或其他程序执行某个操作集。

Patie Maes 认为：Agent 是一个系统，作为所处环境的一部分，按着自定的计划感知并作用于环境，而且对未来的感知发生影响。

地学智能体(Geo-Agent)是指能够利用地学知识进行推理的可进化的智能体。它是

智能体(Agent)的一种特殊类型,具有智能体的一般特征,同时具有更加丰富的内涵。它处于分布式网络计算机(Internet-Web)环境,它感知并作用于这一环境,实现地学数据的智能获取、处理、存取、搜索,表达及决策支持(吴少岩等,1999)。

3. 地学智能体(Geo-Agent)的体系结构

许卓群等(1999 年)指出,地学智能体由五个部分组成:

(1)Geo-Script 语言,用来向 Agent 描述任务;

(2)通用 Agent 带有 Geo-Script 语言的解释器,它们可以完成由 Geo-Scrip 语言描述的任务;

(3)专用 Agent 是对通用 Agent 的扩充,除了通用 Agent 的基本动能外,专用 Agent 还实现了特殊功能,如地图数据搜索、地图叠加分析等;

(4)Facilitator Agent 用来管理 Agent 的注册和搜索;

(5)GIS Server 把 GIS 数据的访问服务引入到 Geo-Agent 系统中来。

吴少岩等则认为,为了实现地学知识的推理,Geo-Agent 必须以地学知识库为基础,并具有地学推理机制(即推理引擎)。但是在分布式网络计算环境中,每个 Geo-Agent 都有自己专有的地学知识库是不现实的,这将耗费大量的系统资源,并且难以维护知识库的一致性;因此,Geo-Agent 拥有的知识库是虚拟的,它们只具有访问指定知识库的机制。

吴少岩等还认为,进化机制或引擎使 Geo- Agent 具备了自适应环境变化的能力,也是形成"数字生态系统"(Geo-Agent)的突出特征。当 Geo-Agent 感知环境变化时,可以自行调整运行参量,并复制(繁衍)自身作为新的 Geo-Agent,按照优胜劣汰的规划参与竞争,以增加整个系统求解问题的能力。

4. 地学智能体(Geo-Agent)的应用前景

吴少岩等认为,在数字地球技术系统中,Geo- Agent 是其中的重要组成部分,其作用可能有以下几个方面:

(1)目标分类与模式识别;

(2)空间(地学)信息过滤器;

(3)空间(地学)搜索引擎(机制);

(4)决策模型评估、选择与优化;

(5)处理与人的对话;

(6)掌握人使用系统的习惯等。

Geo-Agent 将成为数字地球技术系统的重要组成部分,尤其是实现智能化的基础,具有宽广的应用前景和发展前途,应得到充分重视。

§18.5 多维信息网络空间简介

多维信息空间或电脑空间或网络空间(Cyberspace),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(曾国屏，1998)。

Cyberspace 这名词首先是由加拿大科幻小说家威廉·吉布森于 1984 年提出的。这词源于 Wiener 的控制论(Cybernetics)概念，意义指控制(Control)和通信(Communication)的科学。

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结点到另一个结点，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其中的信息流。

90 年代以来，《Cyber 文化》等杂志问世，使以“Cyber“为名的书已经很多。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、文化消费方式，提高资源利用效率、能源的转化率。它将使人们坐在家里完成工作量成为现实，将减少时空资源的浪费，加快了信息的交流，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。

Cyber 与 GIS 结合构成了 CyberGIS。从 GIS 的历史发展来看，它经历了从一般 GIS 到 OpenGIS 规范支持下的 WebGIS 和 ComGIS，并将进一步发展到 VR-GIS 以及 CyberGIS。

§18.6 信息空间(Infosphere)——地球信息圈层

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”。它是由 Information 和 Sphere 的缩写 Infosphere，即信息圈领域，如 Atmosphere(大气圈)，Watersphere(水圈)等地球的圈层，因此，也可以把 Infosphere 叫信息圈，与地球的大气圈、水圈一样重要。

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“电子商业”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处，汇聚在一个我们现实物质世界不同的“虚拟世界”(Virtual World)之中。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(Earth Village)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大的发展。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。

对此，另一个词“Infotech”，即信息革命的技术，也叫信息空间技术，与之对应，它不仅改变着人类的现有世界，也正在创造着一个全新的世界。

但实现Infosphere并不容易，实现地球村更难，问题在于对Infosphere的管理、政府和企业的作用、税收和法律制度的变革、个人隐私和知识产权的保护、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，以及信息穷国和富国的差距等方面，有一系列的问题亟待解决。

第十九章　数字地球的应用前景

§19.1　数字地球应用综述

对于地球科学来说，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时间和空间跨度太大、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(Test bed)，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，现已经成功地进行了“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，科幻艺术片：“侏罗纪公园”和“天地大碰撞”等也有一定的科学参考价值。计算机虚拟实验技术，不仅在制造业、建筑业及培训驾驶员等方面成绩突出，而且在生物实验、人体解剖学等方面都发挥了很好的作用。

数字地球为地球系统开创的科学实验条件，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。

在科学实验方面，利用数字地球技术，可以做你想要做的，虽然不能说是一切，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。

智能大楼或大厦，以及由许多智能大楼(厦)组成的智能小区，已经不是新鲜的事了，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，将全部城市基础设施、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。新加坡将建设成数字化的城市。

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，并为地球科学的知识创新和理论研究提供了科学实验基地。

数字地球的研究对象是带有地理坐标的空间信息，而空间信息约占总信息量的 80%。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，如电子商务、电子金融、电子社会似乎可以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购的货物，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。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，都不是完善的数据或信息，包括缺少空间位置的数据可能会失去它的意义。

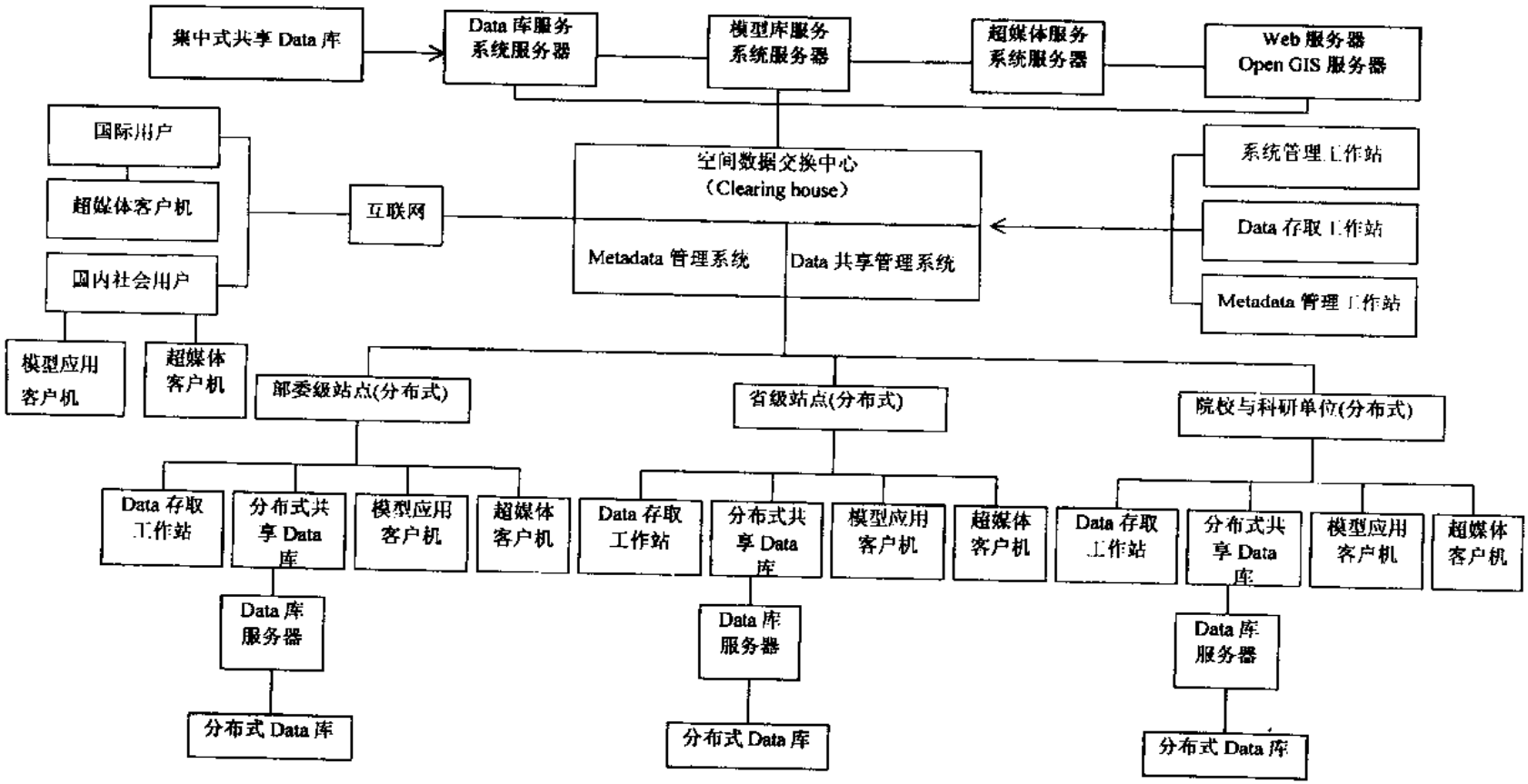

图19·1　数字中国网络框图

§19.2 中国数字地球

“中国数字地球”是指我们中国如何面对“数字地球”的挑战问题。徐冠华、孙枢、陈运泰三位院士联合发表的重要论文《迎接“数字地球”的挑战》中，已经作出了精辟的说明。他们指出：“数字地球”不是一个孤立的项目，而是一项整体性的、导向性的国家战略目标。

中国对于“数字地球”之如此十分关注，也是出于从我国国家发展目标来考虑的。科学、经济和社会的发展具有高度的非线性特征，能否实现“跨越”或“跃进”，对于尚处在发展中国家地位的我国来说，是至关重要的，尤其处在信息时代和知识经济社会，科教兴国是我国的战略目标，占领科技发展的制高点是实现“跨越”、“跃进”的关键。在高新技术方面，“引进”故然重要，但更要靠自力更生和自主创新发展我们自己的高科技。我们要养活十多亿人口，要克服资源和资金以及灾害频繁带来的困难，要发展经济，要造就更多的就业机会，因此我们要发展高科技，而数字地球技术系统给我们一个很好的机遇。我们要抓住这个机遇，独立自主、自立更生地发展“中国数字地球”，即有中国特色的数字地球，这是实现“跨越”的基础。

数字地球是实现“国家信息化”的主要手段，是信息社会建设的主要方面，要以数字地球带动地球科学、信息科学及其相关产业的发展，要把推动我国社会经济发展作为主要目标。

在我们注意国家发展战略目标的同时，还应充分注意我国的全球战略目标。

中国数字地球是以整个地球、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。

§19.3 数字中国

数字中国是指数字化的中国，或信息化的中国，即以整个中国作为对象的数字地球技术系统实践，或虚拟中国。

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、部门、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，顺序前进。在制订数字中国研究的框架时，应遵循以下原则：

数字中国必须与“国家信息化”和“国民经济信息化”的方针相协调，必须把它作为信息社会建设的组成部份。

数字中国既要与国际相接轨，又要有中国的特色，又要有所自立创新！要与中国当前社会需求与未来发展相结合，要以自主创新为优先。

数字中国应该包括以下几个方面：

(1)国家信息基础设施(NII),即信息高速公路建设。主要是宽带光纤网和卫星宽带网建设与我国的"三金工程",和"八纵八横"主要光缆网建设相协调。要实现电话网、有线电视网与 Internet 三网相连接。充分利用和改造已有的通信息设施,包括邮电网、教育部网与中国科学院网等。

(2)国家空间数据基础设施(NSDI)建设,即地学信息高速公路建设。

按行业和地区建立分布式数据库和信息系统建设是必然的趋势,不仅是由于数据采集和更新的需要。

• 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,共有五个数据层。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,包括数字地形、正射影像、大地测量控制点、交通、水系、居民点等。

• 数字地球的标准化、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,现在正在进行中。

• 不同行业、不同部门、地区的专业或行业数据建设。

(3)中国数字地球试验基地(Testbed)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贮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(Clearing house)技术等进行攻关。

同时,选择数字城市,数字农业等作为数字中国的切入点,进行多种试验,以取得适合中国情况的数字地球技术。

如果说,数字地球将改变人类的生产与生活方式,而数字地球则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和给社会带来更多的就业机会。不难想像,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(除有云外),几乎地表的大部分情况都清晰可见,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;靠模型实验,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。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),及生物学的原理与效果的,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。

第二十章　数字地球应用示范

§20.1　数字农业

数字农业(Digital Agriculture),又叫信息农业(Information Agriculture)或智能农业(Intelligence Agriculture),精细农业(Precision Agriculture, Precision Farming 或 Farming in inch)和虚拟空间农业(Cyberfarm),是指运用数字地球技术,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(气温,土壤温度等遥测技术),GPS 技术,计算机网络技术,地理信息系统(GIS)技术等信息技术;土壤快速分析,自动滴灌与喷灌技术及自动耕作与收获技术,保存技术;定位到中、小尺度的农田,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。简单地说,数字农业就是把数字地球技术与现代农业技术相结合的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。

数字农业或精细农业,除了农业以外,还包括精细园艺、精细养殖、精细加工、精细经营与管理,甚至还包括农、林、牧、种、养、加、产、供和销等全部领域在内(汪懋华院士,1999)。

数字农业既不同于日本等国在 50～60 年代的"农业园艺化",也不同于发达国家在 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。它是指从耕地、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,全部应用遥感、遥测、遥控、计算机等先进技术,以实现农业生产的信息驱动,科学经营、知识管理、合理作业、促进农业增产的高技术系统。

随着微电子技术的迅速发展和实用化,推动了农业机械装备的机电一体化、智能化控制技术、农田信息智能化采集与处理技术的迅猛发展,加上生物工程、作物栽培、种子与肥料、病虫害监测与预测、作物栽培模拟与仿真,以及虚拟技术在农业生产中的应用,形成了智能农业装备、自动监控技术与系统优化决策支持技术系统,提高了农业产量和促进了农业的进步,同时为"数字农业"或"精细农业"的发展打下扎实的基础。

美国专家研究委员会(National Research Council)为此专门立项对农业高新技术发展战略进行研究,经过美国科学院、美国工程院的两院院士组织讨论,于 1997 年发表了名为"21 世纪的精细农业——农作物管理中的地学空间和信息技术"(Precision Agriculture in the 21st Century ——Geospatial and Information Technologies in Crop Management)的报告,全面分析了地学空间信息技术的改善作物生产管理决策和改善经济效益的巨大潜力,阐明了精细农业的研究现状及地学空间信息技术的农业发展提供的机遇。目前,国外在数字农业方面,主要利用遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥测系统(DCS)、作物生产管理与决策支持系统(DSS)等地学空间信息技术和生物工程、自动化的农业操

作技术及生产管理技术。

1995 年美国地球物理环境公司(GER)提出了《GER Earth Resource Observation System, GEROS 计划》,发射一个小卫星群,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侯图(Symptom Map),再结合 GIS 技术提出诊断结果图(Diagnosis Map),再后根据决策支持系统制定行动方案图(Action Plan Map),农场将依据这些方案运用 GIS 与 GPS 作出行动。以密歇根环境研究所(ERIM)为代表的国际遥感会议集团还召开了农林业中空间信息研究会议,以数字农业作为核心内容。

多年的试验实践表明,田区内以米的尺度计量的平均产量的最大差异可达 70% ~ 100%,主要是由于土壤质量、氮磷钾养分、有机质、地形、水分的差异,以及施肥耕作、和管理过程的不同等所造成的产量的差异。不仅是一年的产量不同,而且经连续多年对同一田区积累的数据表明,同一小区年际间的产量的差异性也是十分明显的(汪懋华,1999)。

由地学空间信息技术与现代农业技术相结合组成的数字农业技术,其实施过程可描述为:带 GPS 的联合收割机自动生成的作物产量分布图(典型空间分辨力为 15 平方米)——田块的地形、地貌、土壤参数空间分布数据图,及支持作物管理的数据资源——作物生长发育模拟模型、投入产出模拟模型、作物管理专家知识库等作物辅助决策支持系统,并在决策者的参与下,生成作物管理处方图——根据处方图指导按小区实施目标投入和精细作管理(汪懋华,1999)。

近年来,随着 GPS 技术的迅速发展,开发了与智能化农业机械配套的 DGPS 定位系统,具有 12 个通道,动态条件下每秒自动提供 3D 定位数据,并具有与农机智能监控装置的通用标准接口。用于后处理差分校正的 DGPS 的定位精度可达厘米级。可用于农田土壤、苗情、病虫、草害的信息采集和操作。1996 年以来,美国提供局域差分信号免费服务的面积已达全国的 2/3。信标站差分信息服务半径约为 300 公里。GIS 用于数据存贮、分析、处理和表达地理空间属性数据的计算机软件平台主要作用于土地管理、土壤成分、土壤厚度、土壤中氮磷钾及有机质含量;当地历年来的气温、降雨、最高气温、最低气温、雷灾及大风风速等;作物苗情、病虫草害的发生发展趋势、作物产量的空间分布等的空间信息数据库和进行空间信息的各种处理,为管理和调控提供信息、建立作物栽培管理的辅助决策支持系统、投入产出分析模拟模型和智能化专家系统,作出诊断,提科学处方,指导科学调控操作等(汪懋华,1999)。

遥感技术在数字农业中将发挥信息采集与动态监测的优势。气象卫星可提供每天天气状况信息,加上测雨雷达,可进行降雨预报。高分辨率的陆地遥感卫星、海洋遥感卫星,对农、林、牧及沿海养殖业、远洋捕捞业提供及时的信息及预报。1 ~ 3 米分辨率的全

色遥感和3～5米的多波段遥感及6～30公里扫描带宽的卫星遥感技术将能普及，将能方便地获得农业方面的信息。

智能型农业机械目前已进入商品化阶段。英、美、加等国已经生产了带DGPS定位系统和产量自动计量的谷物联合收割机。

据汪懋华院士(1999)介绍：智能型农业机械迄今已经进入商品化阶段的，有英、美、加等国生产的带DGPS定位系统和产量自动计量的谷物联合收获机。机器在田间收获中按秒为单位存储空间位置和对应的小区平均产量信息，经压缩后存入智能磁卡，再在PC机上读入磁卡数据，构建小区产量空间分布图，并与GIS平台相结合，进行空间图形的矢量化和聚类处理后，生成可用于指导操作的小区产量分布矢量图。英国Massey Ferguson提供的这种联合收割机，在机器座舱内的一个虚拟化计算机LED显示屏上，可以随意调用各种图形化可视界面，监控机器各部分的工况和显示获得的产量分布图。据1996年美洲Case-IH调查：北美当时约19%的带300公顷以上的规模化农场已经利用GPS，到2000年这一比例将达90%。北美已有2000台谷物康拜因安装有产量计量传感器；一个主要联合收割机制造商宣称，其1/3的新产品均已安装有产量传感器。这类康拜因的单产计量精度的误差可达3%以内。在带产量传感器和DGPS的谷物康拜因技术已趋于成熟的基础上，近两年来，欧美等若干国家已开始了对玉米、甜菜、土豆、甘蔗、棉花等联合收获机产量计量传感器的研究，并已取得初步成果。国际学术刊物(*Computer and Electronics in agriculture*)将于今年内出专辑集中介绍各国有关的研究成果。实施按处方图进行农田投入调控的智能化农业机械，如安装有DGPS定位系统以处方图读入装置的、可自动选择种子类型(二选一)、按处方调节播量的小麦精密播种机、自动施肥施药机、可控喷水量的喷灌机，均已有商品化产品，并在继续完善之中。

田间信息实时采集装置，目前开发难度较大，尚待突破的问题，主要涉及土壤水分、肥力(N、P、K)、杂草和病虫害、作物苗情误解识别的传感器开发。这些信息受到自然气象条件影响，时空变异性大，实时性采集难度高，进行田间大量的信息采集和处理耗资费时，尚未得到成功的解决，近几年已成为本领域攻关研究的重要方向之一。技术发展的方向将集中在采用适用化的TDR土壤水分测量技术、杂草和作物苗情多光谱识别技术、视觉图像处理技术、离子选择场效应晶体管与射流测量土壤含氮量等，近几年已有许多研究成果报道，可以预期不久将有适用的商品化产品进入市场。

“精细农作”技术的研究与实践，已经经历了近20年的孕育过程。70年代中期，微电子应用技术的迅速发展，使得工业化国家的农业机械进入到一个以迅速融合电子技术向机电一体化方向发展的新时代。大马力、高速、宽幅农业机械的设计，广泛引入了新材料、新工艺和微电子监控技术，农业装备设计中愈益重视操作者的安全性、舒适性、作业工况可监测和可控性的要求；农业动力与复杂农业机械结构设计也发生着重要的变化，不带电子监控功能的大中型农业机械已在发达世界农机市场中失去竞争力。80年代后期，在农业机械机电一体化发展中，又迅速跟踪了电子信息科技的进步，其监控系统迅速趋向智能化，已由单元控制发展到分布式控制、由单机作业系统向与管理决策系统集成的方向发展。电子学与信息技术在农业装备中应用的这一发展趋势，代表着拖拉机和农业机械技术发展的新里程碑。通过电子学，使一些农业装备具有智能化特征和更易于相

互通信,促进着基于知识和信息的现代化农业装备技术系统的形成。迄今,电子学用于农业装备可概括为如下五个基本领域:

- 提高机器作业的技术性能:过程监视、控制、诊断、通信;
- 实现环境友好的农作:节约物质、能源消耗,减少土壤、水质、动植物遭受污染;
- 过程的精确操作:及时获取过程信息,精确执行过程控制指令;
- 改善劳动者的工作条件:良好的人机接口界面,操作方便性、安全性、舒适性;
- 支持科学的管理决策:通讯、调度与科学管理决策,实现系统优化目标。

这新一代农业机械装备技术的发展,与过去十多年来基于信息技术的作物生产管理决策支持系统的迅速发展,都是近五年来"精细农作"技术得以进入日益广泛的试验实践的重要条件。虽然,迄今支持"精细农作"的若干主要农机装备,如带产量图自动生成的谷物收获机,实施变量处方的播种机、施肥机、施药机和灌溉设备在国外都已有若干类型的商品化产品,但仍需继续得到完善并扩大到更多的农机作业应用领域。

数字农业或精细农业要求能够做到农业操作上的自动化和智能化,做到时间精确、空间精确,质(指种子、肥料与农药等的品种)与量(指种子肥料、农药的数量外,还有耕作深度、中耕次数、灌溉水量及次数、产量等)的精确,预报与预测(天气、作物 病虫害及产量等)的精确等,几个与农业生产密切相关的操作过程的精确性。

迄今国外实践的精细农业(Precision Agriculture)技术体系,实际上是面向大田作物生产的精细农作(Precision Farming)系统。实现基于信息和知识的农业产业系统精细经营的技术思想,应该扩展到种、养、加,产前、产中、产后的整个过程,即过渡到建立"精细农业"的技术体系。实际上,"精细农业"的技术思想,早在 70 年代后期开始,已优先在发达国家奶牛场生产管理信息中,根据奶牛产奶量配料中得到了成功的应用。近十多年来,全自动化设施园艺业的发展和养殖中动物生长预测模型与配料,环境调控自动化系统的结合,农产品产后储藏保鲜,加工和生物资源开发过程中保持高价值、高品质产品的过程中,都已吸收了信息科技前沿的成就,如生物信息实时检测、机器视觉、模型控制、遗传算法与神经网络相结合的生物对象模式识别技术等,知识经济时代的农业将愈益依靠精细经营技术的支持(汪懋华,1999)。

数字农业主要包括以下几个方面的内容:

1. 基础数据库建设(数字化)

(1)基础地理数据:主要包括 1:0.5 万 ~ 1:1 万数字地形数据、自然水系、人工灌溉系统、道路、村庄、农业机械站、仓库,及土地利用与土地覆盖等状况数据。

(2)土地与土壤数据:主要包括以 10 米 × 10 米即 100 平方米单位的土壤厚度、土壤成分与质地、土壤肥力(氮、磷、钾及有机养份的含量),以及每年施肥的种类与数量等数据。

(3)气候要素数据:历年以周为单位的平均温度、降水量、风向、风速、空间温度、冰雹、最高温度、最低温度,以及其他农业气候要素的数据。

(4)历年的农作物病、虫害资料以及防治措施与效果数据。

(5)历年(五年来)种植农作物的种类、管理方法,以及其产量记录数据。

(6)历年(五年来)农业管理措施及其效果评估,包括灌溉,施展中耕等。

2. 监测系统建设(遥感、遥测及网络化)

(1)遥感卫星技术,包括多种分辨率,从 NOAA 的 1 公里分辨率的遥感技术,航空及其他遥感技术对土地、土壤,以及农作物的耕作与长势进行定期的监测,监测的频率根据需要和经济条件而定。

(2)运用各种传感术对土壤的温度、湿度等进行监测,传感所得数据用网络进行传输。

3. 预测,预报系统建设(智能化)

(1)天气灾害预报:根据 NOAA 资料,及当地气象台站的预报,进行分析对比,针对当地情况进行预报。

(2)病虫害监测及预测:根据农作物病、虫害的历史发生时间,进行严密监测,再根据病虫害的实际情况,结合天气趋势及其他环境条件进行预报。

(3)农作物产量预测:根据作物品种、长势及前三年内的产量与管理状况进行产量预测。一般需进行三次,第一次,出苗前及半个月;第二次,在开花前;第三次,成熟前半个月。以第三次预测为准。

4. 遥控系统建设(网络化、智能化)

(1)农业机械遥控系统:在 GIS 与 GPS 的协助下,特地为农业耕作目的服务的农业机械遥控系统,按编制好的规定程序进行操作,以完成各种农业活动,包括翻耕、播种、施肥、收割、烤干和入库的全部任务。

(2)农业自动灌溉、喷药遥控系统:农田的喷灌和滴灌系统都是自动化、智能化的。根据土壤湿度及农作物生长不同阶段的需求情况进行自动灌溉,所需水量也是自动控制的。

5. 农业调控与指挥系统(网络化、智能化)

(1)农业辅助决策补充:包括根据土地、土壤、气候状况的分析结果,提出农作物品种的选择、肥料的选择与配方、农药的选择与配方,确保土壤不污染的措施选择等。

(2)农业调控系统:根据辅助决策方案,最后由农业技术人作出决策,在自动调控系统的协助下完成各种农业操作过程。

数字农业是建立在现代农业理论与知识的基础上,运用数字地球技术系统对农业过程全面,或部分实现智能化,以达到增产和节约的目的。

§20.2 数字交通

交通与通信是当前社会经济发展的两大支住。其中交通问题日益引起广泛的重视。如交通拥挤,事故频繁及污染严重,造成了大量经济损失和人员伤亡。越来越多的人认识到,仅仅依靠增加道路建设是不够的,必须依赖信息技术 ,达到加强交通管理的目的。

90年代初,美国、西欧及日本就开始发展智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)。1991年,美国启动了全国范围的智能交通系统(ITS)计划,1993年成立了四个国家级的ITS研究中心(RCE),1996年共完成了90个ITS应用课题,得到了较好的效果。欧洲、日本和澳大利亚也分别取得了一定的成果。

ITS是将现代信息技术,包括传感与传输技术、电子控制技术及计算机处理技术等有效地集成,运用于交通管理系统,实现实时、准确、高效的管理。该系统将交通工具、驾驶员和道路、航线及其相关服务部门相互连结形成整体,实现智能化管理。ITS是信息技术与管理技术的综合。据美国估算,实行ITS管理后将产生35%的经济效益。

ITS主要由6个支系统组成:高级交通管理系统、高级运行信息系统、高级车辆控制系统、商业车辆运行系统、车辆自动定位系统,以及车辆自动识别系统,还可分为29个服务支系统共同组成对道路和街道的监测。

ITS是由遥感、遥测、遥控、全球定位系统、地理信息系统及现代通信信息技术,包括Internet-web技术及无线通信技术,如卫星通信技术、仿真与虚拟技术组成。它不但可以存贮、管理和更新交通网络的空间数据库,辅助交通线路规划,进行交通管理,而且可以建立广泛的、实时的数字交通信息服务体系,实现全数字化交通信息的实时发布、存贮与检索,为交通实时管理、自动及智能导航、客货运输调度提供有效的技术支持。

交通网络的技术特点:

(1)数据模型:一般GIS的点、线、面的矢量数据模型已不能满足数字交通的要求。而图(Graph)是数字交通的最常用的概念数据模型,因此,采用超图(Hyper-graph)或面向对象(Object-oriented)的概念模型可以较好地满足这一要求。但交通建模算法的实现也比基于点、线、面的矢量拓扑数据结构复杂。随着三维交通的日益发达,三维表达技术越来越主要,但它又不需要真三维的表达,而仅要求是过渡性的数据模型。

(2)拓扑数据结构:很多交通问题的模型是属于网络分析(Network Analysis)的范畴,常用"图"表达。因此交通数据常采用"Forward Star"拓扑数据结构。基于交通数据的非平面特征,采用了动态分段技术和非平面拓扑性假节点,及建立庞大的节点转换表文件以辅助建模。

(3)线性参照系:由于大部分交通数据的定位基于线性参照系统,也是动态分段所采用的参照系统,可以进行线性目标重叠建模和"点—线叠加分析"。但在进行拓扑关系的空间分析与空间—属性数据集成时比较困难。

ITS与交通模型的集成:陆锋、崔伟宏(1999)建议采用以下的方法:

(1)采用数据转换程序作为GIS和交通模型之间的桥梁,即GIS仅储存与显示交通模型的数据及分析结果。这种解决方式亦称为"松散结合";

(2)在一个完整的交通模型软件中加入部分的GIS功能;

(3)在一个全功能的GIS软件中加入部分的交通模型分析功能;

(4)由GIS软件和交通模型软件开发商共同合作提供一套用户界面来结合独立的GIS软件和交通模型软件;

(5)开发交通模型分析专用的GIS软件;

(6)将所有交通模型集成在一个全功能的GIS软件中,这种方式亦称为"完全结合"。

高效实时的最短路径并行算法:陆锋、崔伟宏(1999)的建议如下:

(1)算法的实时性:很明显,基于静态数据的最短路径算法无法满足描述实时变化的交通模型的需要,发展动态的最短路径算法势在必行。针对变化的交通特征,最短路径算法必须能够立即反映所发生的变化,实时地自动更新。

(2)高效并行算法:并行算法是目前尚未引起足够注意的领域。随着"数字地球"及"信息高速公路"战略的不断实施,可以预见将会有大量的网络交通应用,运行在服务器端的最短路径算法必须向基于图分解的并行算法的方向发展,以满足大量的实时最短路径查询的需要。

数字交通的服务体系,陆锋、崔伟宏的建议如下:

(1)基于实时数字交通信息的动态车辆导航系统软件的开发。目前,基于静态交通网络的 GPS/GIS 集成技术支持下的车辆导航系统已经开发成功。但它并未考虑实时的交通状况,在应用中有很大的局限性。动态的车辆导航系统,必须能够像 GPS 流动站实时接受差分站发布的差分改正电文那样,实时接收交通台发布的数字交通信息,并自动融合到模型分析当中去,完成基于实时数字交通信息的车辆导航工作。

(2)基于 Internet 的实时交通信息客户端查询软件的开发。欲建立 GIS-T 的广泛的用户服务体系,为广大的用户服务,必须建立一种查询机制,使用户能够借助较为普及的技术手段实时查询交通状况信息,日益普及的 Internet 技术无疑为开发实时交通信息客户端查询软件提供了有效的技术平台。实时数字交通信息,通过服务器端的解码,通过 Internet 实时发布出去,为广大用户的查询检索服务。

(3)数字实时交通信息通讯数据链的研制。数字实时交通信息必须能够通过无线通讯方式传输,以服务于车辆的实时导航。对于实时交通信息服务器端的数据输入,可以通过无线或有线通讯的方式进行。对于无线通讯,需研制行之有效的无线通讯数据链,保证其具备较好的抗干扰性及稳定性。

交通运输是区域经济发展的重要基础设施,也是衡量区域发展现代化程度的重要指标,同时,也在国家和国际政治和军事方面具有重要的意义。每天,各类人员的流动和物质的交流,无不有赖交通系统。

现代化交通系统的目标,主要为建设安全、可靠、高效和环保的交通系统,并增进交通系统的使用者和管理者的合作与满意程度。其中,建立信息支撑体系是关键。交通信息系统所具有的信息通常包括:各类交通工具的种类、运输功能和注册机构;道路系统的特征(如道路等级、路面材料和通过量);重要的交通枢纽(如车站、航站、航空港、交叉路口等等);以及其他资料(如,加油站位置和公司名称、桥梁与隧道名称、收费站、交通事故记录等等)。对于实时系统来说,及时提供交通事故和交通拥挤状况信息是非常重要的。由于这些交通信息都具有空间特征,可以用数字地图和地理信息系统来表达和管理。

数字交通是对交通信息系统的概括。数字交通包括支持交通规划的信息系统和用于实际管理的信息系统。前者提供基于地理信息系统的交通规划功能,对交通信息在时间和空间尺度上均较宽松。后者则依据应用目标的不同,采用实时/准实时的高精度交通信息(包括移动和固定目标的信息)。前者通常以交通地理信息系统的形式(GIS-T),而后者则为所谓智能交通系统(ITS)的信息支撑系统。

GIS-T 的发展经历了大致三个阶段(Goodchild,1999),即基于电子地图、导航和交通需求行为目标的发展阶段。电子地图仅对交通信息给予静态的表现和描述。导航系统则加入了网络连接以及动态要素信息。在第三阶段,交通需求行为的研究为各类交通规划提供了新的理论基础。GIS-T 的广泛应用于储存、管理和分析与交通有关的地理数据,其数据库包括图像、图形和相关要素的属性数据(见图 20.1)。

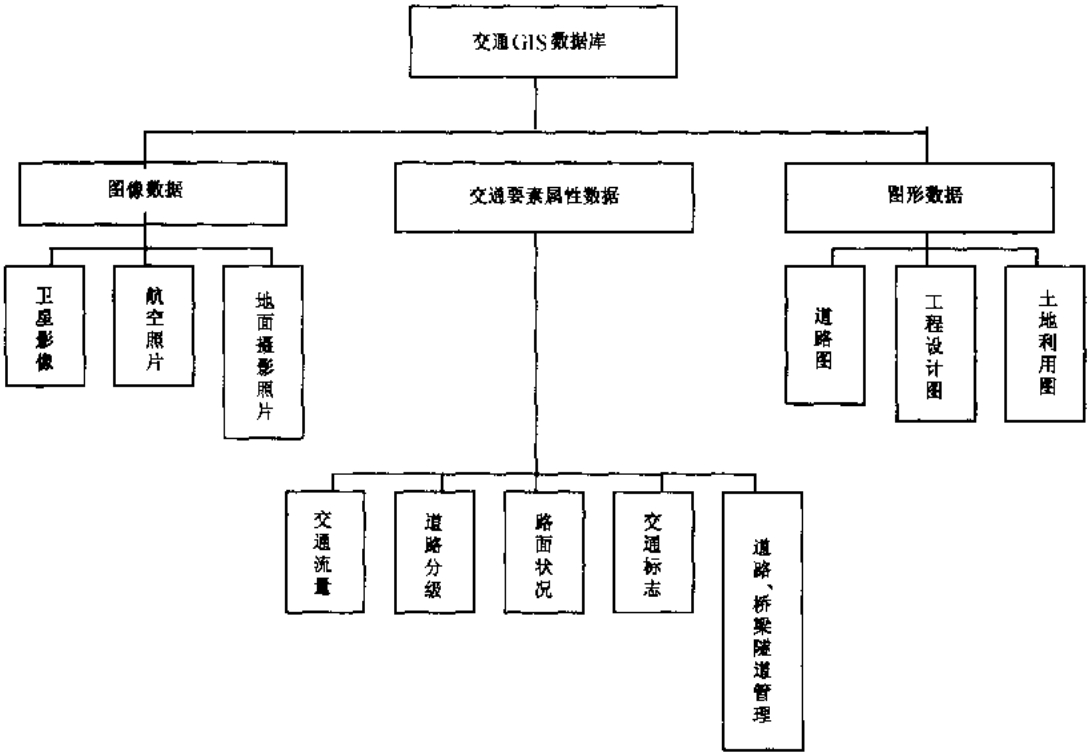

图 20.1 交通 GIS 数据类型

利用 GIS-T 进行交通规划,通常还需要给出各类交通需求模型(Travel Demand Models)。GIS-T 数据库为有关模型的运作提供基础信息,例如道路分级、路面状况、交通流量、出发点与目的地的位置,等等。在美国,橡树岭国家实验室、国家地理与分析中心(NCGIA)和田纳西大学等教研机构,已陆续开展不同程度的研究。NCGIA1998 年成立了车辆智能与交通分析实验室(VITAL),NCGIA 主任 Goodchild 教授(1999)提出了 GIS-T 的五个研究难点:数据表达、明确无误的通讯、经济模型、对新技术的反应,以及 GIS-T 在其他领域的应用。

发展 ITS 的基本目的是为了疏导交通拥挤状况,并减少交通事故的发生。它为未来的自动导航系统奠定了基础。ITS 的兴起晚于 GIS-T,大约是在 80 年代中期,美国的一个以政府、工业界和大学成员组成的非营利性联合体 Mobility 2000 首先提出 ITS。与此同时,加州大学 PATH 计划也在 1986 年启动类似研究,起初人们称之为智能车辆和公路系统(IVHS),后来改为 ITS。1991 年,美国国会文件中正式用 IVHS America(后来称 ITS America)取代 Mobility 2000 (Han,1999)。

90年代初期,欧洲议会开始支持类似于ITS America的欧洲智能交通系统计划。日本也在1994年5个政府部门的支持下,加快了ITS的应用研究,普及城市电子地图和改进导航设施。中国从90年代初开始,陆续在北京、上海、西安等城市进行的交通监控和管理信息系统的研制和开发,取得了初步成效。

ITS的基础是其通讯设施,即所谓无缝隙(或称全覆盖)通讯基础设施;其中包括通讯卫星和地面的通讯系统、固定的和移动的服务系统、无线电广播和双向数据通讯,以及为用户服务的语言、图像和录像系统。目前,仅美国的卫星全球定位系统(GPS)和俄国的全球导航卫星系统(GLONASS)可提供实时定位信息。移动电话系统(GSM)和宽带通用移动远程通讯系统(UMTS)将用于双向语言和数据通讯。目前,无线电数据系统(RDS)和数字音频广播(DAB)用于单向的通讯。

ITS通讯设施连接着它的4大组成部分:监控和管理中心、交通系统用户、交通工具和道路设施(例如电子缴费系统等)。在ITS监控和管理中心除了GIS-T系统及其规划功能外,还需要具备实时和准实时的数据收集功能以及对有关业务(如电子缴费和商用车辆检查等等)的实时检测。

从交通的实际范围来看,数字交通不仅仅限于陆地交通系统。美国联邦航空管理局在90年代初期,便开始将GIS和GPS等技术引入到航空安全管制中,GIS系统用来记录和显示由地面雷达监控系统和GPS系统实时获取的飞行中的飞机位置信息,以便引导处于不同高度并有不同航线的飞机避免碰撞的机会。1991年,国际公共航空组织提出了FANS-2导航计划,准备用15年时间来建立用卫星控制的全球航空交通系统。在海洋运输方面,超过3000吨的船舶已被要求装备卫星通讯设备。GPS和电子导航海图也被广泛使用。

关于ITS的关键问题,除了Goodchild教授关于GIS-T的研究难点之外,还有动态交通的分配模型与运行方式、自动导航技术的开发等问题与交通信息中心的开放程度,非技术性的问题,则包括中心数据库的合法使用以及分区监督支持。

§20.3 数字长江

数字长江是指数字化的长江,更确切地说是信息化的长江。在对长江流域进行数字化或信息化之前,首要的任务是明确目标。主要目标是实现长江流域的可持续发展(Sustainable Development),尤其是长江经济带,即中下游沿江地区的社会经济的持续繁荣。为此要进行防洪减灾和生态环境规划。

数字长江计划,应遵循数字化、网络化和智能化步骤进行,开展NII,NSDI,EOS-GOIN和数字地球技术系统建设。

1. 长江流域的信息技术系统建设

1)长江流域,尤其是长江经济带的信息基础设施(NII),或宽带光纤通信网建设

(1)在国家宽带光纤网建设的框架下,根据"数字化长江流域"的需要,规划和进行补充网络的建设,即Internet-web建设。

(2)鉴于长江流域经常发生洪水,有时可能发生特大的、破坏性特强的洪水,为了确保通信能够早通,应该开通卫星宽带网,包括 Sat-Internet-web 网建设。

(3)充分利用已有的微波通信台站,实现天地一体化的通信网络。

2)长江流域,尤其是长江经济带的空间数据基础设施(NSDI)建设

(1)分布式数据库建设

• 基础地理数据、框架数据:包括:大地测量控制点、数字高程、正射影像图、水系、交通、土地利用与土地覆盖、行政界线、居民点分布等天地有理数据。比例尺上游为 1:25 万、中游为 1:5 万、下游与重要地区和常发生洪水地区为 1:1 万。由测绘部门负责建库与维护。

• 专业数据库建设,包括农业数据库建设(由农业部负责建设、更新和维护),林业数据库建设(由林业部门负责建设、更新和维护),地质矿产资源数据库(由地矿部负责建设、更新和维护),水利资源与设施数据库(由水利部门负责建设、更新和维护),城镇数据库(由城镇部门负责建设、更新和维护),社会经济数据库(由各自负责部门建设、更新和维护)。比例尺同前,或根据需要而定,分别建立资源、环境、社会与经济数据库。

(2)数据(或信息)资源共享机制建设

• 为连接分布式数据库的 WebGIS. comGIS 等技术补充建设;

• 为真实数据共享的数据仓库(Data Ware House)及数据交换中心(Data Clearing Gouse)技术系统建设;

• 为实现共享的标准,规范如 Open GIS 及法规等建设;

• 建立协调与管理机构。

3)长江流域的数据采集与监测体系(EOS)建设

(1)不同分辨率的遥感监测系统,包括卫星遥感与航空遥感系统建设;

(2)不同对象的遥测系统建设;

(3)传统方法的数据搜集系统,如统计、定位站、观测站等;

(4)对数据进行校正、审核和处理,确保数据的技术系统质量。

将以上观测数据按具体情况建立分布式数据库,并由 Internet-web 实现互联互通,包括文字、数字、图形、影像、音响等静态与动态数据的网上传输及其技术系统,即 GOIN 建设,确保各种信息安全和畅通。

2. 长江流域智能化数字地球技术系统建设

智能化数字地球技术系统,包括多分辨率、海量数据的融合与多维表达、数据或知识挖掘、仿真与虚拟技术,以解决长江洪涝灾害的预测与社会经济的可持续发展的监测和预报等复杂问题。

1)长江洪涝灾害的预测与对策的智能化技术系统

(1)暴雨预测:运用多种分辨率的近期的遥感影像数据和分布式地理信息系统中的有关数字高程、土地利用,尤其是森林和水体的分布,进行气象下垫面分析,对暴雨的形

成机制及移动规律进行预测，并提出了以30米×30米为单元"融深"新概念，提高了预报的正确性。

(2)径流预测：根据以上的暴雨预报情况，运用最近的遥感数据和分布式地理信息系统中的多种分辨率的数字地形、地质岩性与构造、土地利用与土地覆盖数据进行"径流下垫面"分析，并提出以"30米×30米"为计算单位的"面径流深"的新概念。提高了径流的预报精度。

(3)洪水预测：根据上游河段的来水量及本河段的数字河道及数字干堤进行仿真和虚拟实验，以达到预测全河段真实水位的实况。洪水在监测河段的运行是具有非线性和非均衡性的特征或具有波形的特征。加上行洪河床或干堤之间的河段的地形复杂程度、宽与窄、高与低、粗糙与平滑各不相同，洪水时各部位水位变化很大，只有通过仿真与虚拟实验，才能获得不同部位河段的近似水位。

(4)险情预测：在上述洪水预测的基础，通过数字河道与数字干堤和上游来水量的情况和洪水运行的基本规律，进行仿真-虚拟实验，进行可能发生"漫堤"险情河段的预报。结合河段的沉积物的结构特征，尤其是河道和干堤下部的物质结构、加沙层的厚度与颗粒状况，以及穴居动物和喜爱"打洞"的动物的分布，预测可能发生"管涌"险情的地段。根据河段水面的宽度、河段的形状、当时风向、风速，通过仿真-虚拟技术，预测不同河段的"浪击"强度和浪击险情的河段位置。

(5)分洪区的灾情预测：首先对12个主要长江分洪区建立数据库，包括1:1万或1:0.5万的数字地形数据、土地利用与土地覆盖数据、社会经济数据等，对多种分洪方案进行仿真和虚拟，选择损失最小、分洪效果最好的方案。技术的关键是对分洪区的损失通过仿真和虚拟进行快速、准确的评估。首先数据要正确、全面、损失评估模型要科学，虚拟与仿真技术要快与准。

2)长江洪水防治与调控系统建设

现有的"加固加高"长江两岸的大堤并不是防治洪水的根本办法，而仅仅是一种临时的应急措施。从长江系统本身的特性来说，自宜昌以下进入了坡降很小的江汉平原，输沙、输水要靠调节比降来实现，自然状态是河道在江汉平原上自由来回摆动，但若将它束缚至狭窄的河道或干堤内，河床将因泥沙堆积而不断抬高，干堤也将随之加高，于是长江的中下游河段，尤其是下荆江河段将和黄河一样，成为"地上河"，一旦泛滥将形成巨大的灾难。因此，每年要有数十万人或上百万人上大堤，年年如此，开支浩大，不是长远之计。

在长江流域内植树造林是可以防止土壤侵蚀，减少进入长江的泥沙，也可以降低洪水的强度，调节地表径流，但不能根治洪水灾害。在人类历史早期，长江流域森林覆盖稠密，人类活动很少，也曾发生数次特大洪水。现在密布热带雨林的亚马孙河流域，几乎每年都发生洪水；美国的密西西比河流域的森林覆盖、欧洲，尤其北欧一些国家的森林覆盖也很好，但也经常有洪水发生。因此增加森林覆盖能减少洪水，但不能根治洪水。

防治长江洪水的基本原则是：在洪水期间，长江河道的水位始终保持在"警戒水位"以下。要做到这一点的办法是对长江各支流的水量实行"分配制，限定进入长江的水量。办法是运用数字长江技术系统，定位水库坝址和规模，分期分批建设多用途水库。

根据长江各支流百年一遇的最大洪水量，运用数字地球技术确定水库的数量、规模和坝址。水库除了拦洪作用外，还应具有发电、灌溉、养殖、旅游、供水及美化环境等综合效益。这些都可以运用数字地球技术进行统一规划。

建立长江流域的洪水监测和预测系统：运用气象卫星技术、测定雷达网络技术、雨量自动测报网络技术、坡面径流与河道径流自动测报技术，即遥测技术，建立联结各测站的网络系统及测报中心。

建立由网络相连结流域各水库的洪水调控系统和指挥调度中心。各水库与指挥调度中心之间由光缆网和卫星网、微波通讯网相连接，保证信息畅通，全流域的水库闸的开与闭，严格受调度中心指挥。各水库管理局也可以反馈有关信息，目的是确保长江水位始终在警戒水位以下。

3)长江流域生态环境规划

在国家生态环境规划的基础上，针对长江流域的特点进行生态环境的补充规划。主要有以下两个方面的工作：

(1)绿化长江流域，进行国土田园化建设。利用数字地球技术系统，对整个长江流域进行科学的生态环境规划，宜林则林、宜草则草、宜灌则灌，实行退田还湖、退田还江、退田还林，提高耕地质量，实行精耕细作和综合发展，提高经济效益和生态效益。

(2)严格控制污染：包括大气污染、水质污染、土壤污染和固体废物污染。要求达到符合国家规定的标准。

4)长江流域的可持续发展规划与实施

数字长江流域的可持续发展规划的原则，应包括以下几个方面：

(1)长江流域社会经济发展应与资源、环境与人口相协调。任何一个工程，既要考虑经济效益，又要考虑环境与生态效益和社会效益。

(2)农村城镇化、农业生产化、国土田园化、社会信息化、工业现代化，积极促进社会经济的发展，大力发展信息基础设施建设。

(3)发展知识经济，实行科教兴国，加强可持续发展能力建设。

(4)建立长江流域的可持续发展指标体系和监测网络体系。

国家发展计划委员会宏观研究院曾澜研究员(1999)，对长江流域的可持续发展提出了以下的看法：

(1)长江产业带数字区域模型与区域可持续发展动力学系统，主要研究内容是：构建长江产业带支持国土综合开发和宏观经济调控的时空信息/知识体系和数字区域结构模型；研究长江产业带可持续发展动力学系统和相应的区域数据采集、存储、查询体系及其时空对象关系模型。为示范区空间信息基础设施的建立提供依据。

主要关键技术是：解决巨型区域分布式、多源、异构、多专业、多层次、多时相、彼此复杂相关的空间信息/知识的数字化、结构化、网络化和规范化共享的原理和技术。

(2)长江产业带数字区域模型虚拟仿真模拟与网络应用集成环境原型，主要研究的内容是：提出的数字地球模型的虚拟地球空间数据仓库技术和网络支持环境，结合示范

区宏观决策的主要目标和实际具备的信息/知识网络环境和条件，研究开发支持长江产业带数字区域模型与宏观经济调控动力学系统运行的网络应用集成环境，构建长江产业带数字区域模型的仿真模拟系统，并开发其原型。

主要关键技术是：空间数据仓库和虚拟网络技术环境下，反映巨型区域复杂系统运行客观规律又可实际运行的动力学模型、适应性动力学模型构建、计算和数字模拟的应用技术及其集成化、实用化。

(3)长江产业带综合开发与宏观经济调控适应性动力学模拟计算与空间决策支持系统，主要研究内容是：运用数字地球适应性动力学模型和计算方法，在前两个子专题研究的基础上，研究开发支持长江产业带综合开发与宏观经济调控的适应性动力学模型；研究提出支持该地区综合开发规划管理和宏观经济调控的空间决策支持系统原型(见图 20.2)。

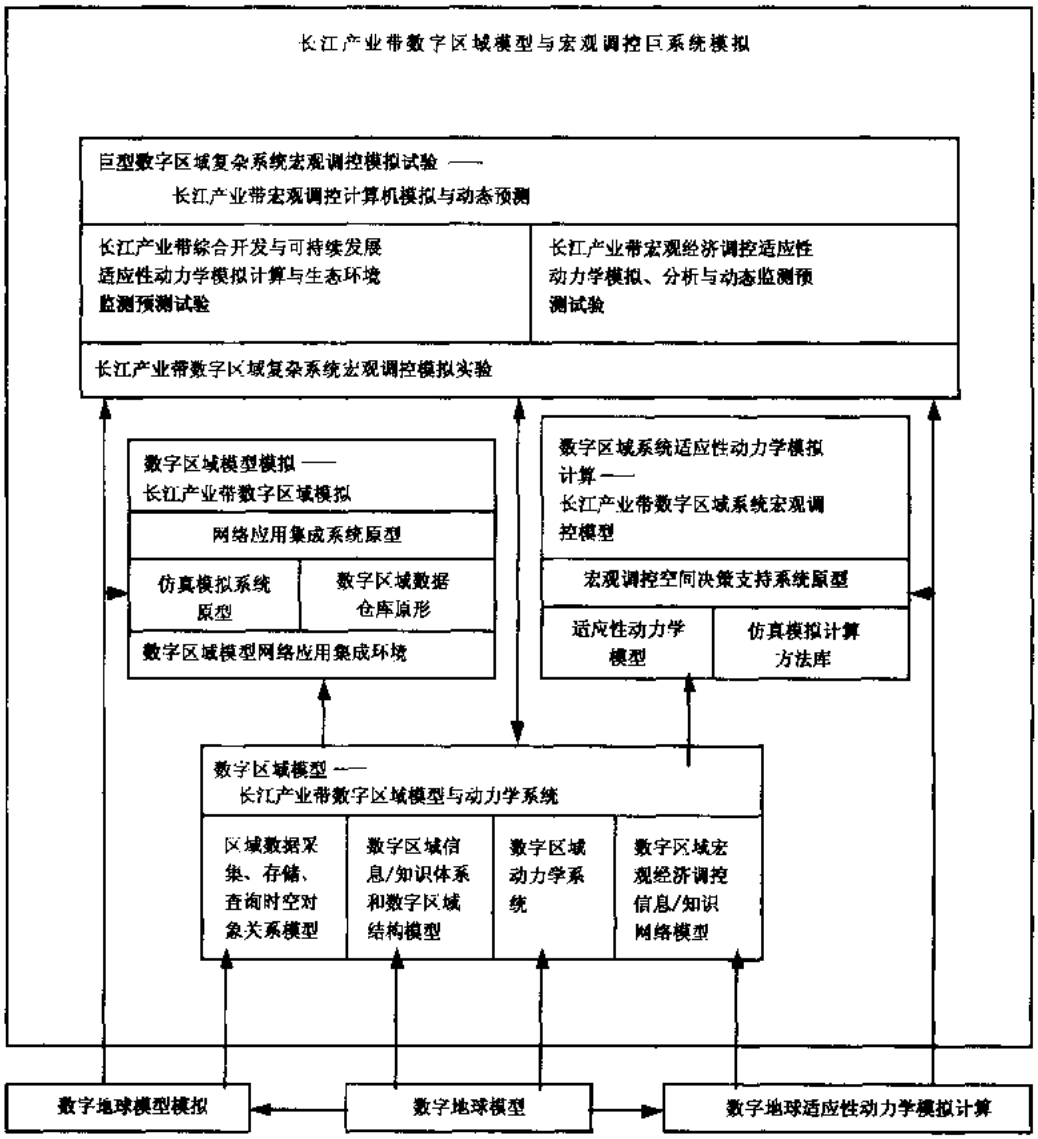

图 20.2 "长江产业带数字区域模型与宏观调控巨系统模拟"研究框图

(4)长江产业带综合开发和宏观经济调控的计算模拟和动态监测、预测，主要研究内容是：运用信息/知识网络集成环境和空间决策支持系统，对21世纪初长江产业带区域综合开发规划管理(以自然资源开发、生态环境治理、基础产业和基础设施布局、人口与城镇布局为重点)和宏观经济调控(以信息流、物流、能流；和经济增长、经济结构、通货膨胀、消费、就业、投资、金融、财政、税收、进出口；人口、资源、环境；综合国力、科技创新能力，以及知识经济的总量、结构、布局，产业结构、布局等为主)进行系统模拟、分析和动态监测、预测试验。

主要关键技术：传统宏观决策体系、方法和模式与数字地球环境下新决策体系、方法和模式之间的融合、替代问题及相关技术。

(5)长江流域重点城市的数字化建设，如上海、武汉与重庆等数字化建设。

数字长江，就是信息化的长江，就是将自然的长江流域变成智能化的长江流域、可持续发展的长江流域。

§20.4 数字海洋

海洋覆盖了地球表面的71%，是全球生命支持系统的一个基本组成部分，也是资源的宝库、环境的重要调节器。人类社会的发展，必然会越来越多地依赖海洋。因此，数字海洋是数字地球的十分重要的组成部分。

中国是一个发展中的沿海大国，即将到来的21世纪是人类开发利用海洋的新世纪。在世纪之交的特殊历史时期提出数字海洋的发展战略，对于有效维护国家海洋权益，合理开发利用海洋资源，切实保护海洋生态环境，实现海洋资源、环境的可持续利用和海洋事业的协调发展具有重要的意义。

当代海洋学在各个分支领域的迅猛发展以及它们之间的有机交叉与渗透为数字海洋的形成奠定了坚实的科学基础。这些学科包括海洋地质学、物理海洋学、海洋化学、海洋生物学、水产科学和海洋工程等。另一方面，与海洋相关的一系列热点问题，例如海洋国土的划界与权益、南极周边海域的归属，El Nino事件的形成机制及其对全球气候的影响、非再生海洋资源的勘探与开发等，也迫切需要实现数字海洋的构想。

空间遥感技术的广泛应用是本世纪后期海洋科学取得重大进展的关键之一。这一信息获取技术方面的突破，为海洋的观测、研究与开发揭开了崭新的一页。众所周知，卫星遥感具有大面积、同步连续观测及高分辨率和可重复性等优点，微波传感器还具有全天候的特点，这些都是传统的浮标和船只观测手段所无法比拟的。除此之外，卫星数据的另一个重要特点是高精度量化，并与计算机系统完全兼容。从这个意义上讲，每一台海洋卫星传感器就像太空中的一台"数码相机"，成为数字海洋系统的一只"千里眼"。

本世纪60年代，第一部海洋遥感专著的出版标志着空间海洋学的诞生。1978年，美国连续发射了3颗用于海洋观测的卫星，Seasat-A，Tiros-N和Nimbus-7，形成了卫星海洋学历史上的第一次高潮。迄今为止，国际上已先后发射了十多个系列的数十颗可用于海洋观测的卫星。90年代以来，以SeaWIFS，TOPEX/Poseidon，ERS-1，2和Radarsat等为代表的系列海洋卫星从数量到传感器的综合探测能力都有了飞速发展，卫星海洋遥感的重

点明显地由实验型转向业务化，并开始进入社会生活的各个方面，从而形成其发展史上的第二次高潮。

用于海洋遥感的卫星传感器分为两大类，即被动型和主动型。前者包括可见光多光谱扫描仪和成像光谱仪、红外辐射计，以及微波辐射计。后者包括高度计、散射计和成像雷达。这些传感器能够直接测量的海洋环境参数有四个，它们是海色、海面温度、海面粗糙度和海平面高度。在这些参数的基础上可以反演或计算出若干其他海洋环境参数，其中包括叶绿素和悬浮粒子浓度、上混合层温度、海面风场、有效波高、海浪方向谱、海流、潮汐、波动（包括内波）、锋面、涡漩、上升流、盐度、海冰、海洋降水、海底地形、海洋重力场，以及海洋污染等。这些要素涉及80%左右的海洋现象和过程，加上传统海洋调查手段的日益自动化和数字化，从信息获取角度来看，构建数字海洋系统的时机已基本成熟。

数字海洋作为数字地球的一个子系统，由信息获取，信息处理和信息应用几大部分组成。其主要内容包括：

1．海洋观测系统及相关数据库

由于海洋的整体性和复杂性，使得世界上任何一个国家都不可能单独对其进行全面和系统的观测与研究。基于这一基本认识，从80年代中期开始，国际上陆续实施了一系列大型联合海洋实验和研究计划，其中包括世界大洋环流实验（World Ocean Circulation Experiment，WOCE）、热带海洋与全球大气实验（Tropical Ocean and Global Atmosphere，TOGA）、全球联合海洋通量研究（Joint Global Ocean Flux Study，JGOFS），等等。通过这些实验，科学家们利用最先进的空间、海面和水下探测技术对全球海洋开展了史无前例的大规模综合调查，从而极大地丰富了全球海洋数据库的内容，使其在数量和质量上都达到了一个新的水平，从而向数字海洋迈进了重要的一步。上述大型海洋实验历时十余年，目前大都已接近尾声。通过这些实验，人们更加明确地认识到建立全球海洋长期业务化监测系统的必要性和迫切性。于是，进入90年代后，由国际政府间海洋委员会（Intergovernmental Oceanographic Commission，IOC）和世界气象组织（World Meteorological Organization，WMO）等国际机构联合提出建立“全球海洋观测系统”（Global Ocean Observing System，GOOS）的计划。这一计划的宗旨是对全球海洋进行长期、综合的多平台立体同步观测，建立物理海洋、海洋化学、海洋生物和海洋地质数据库并加以集成，为海洋和气象预报、海洋带管理、海洋资源合理开发以及海洋环境保护等提供必要的信息。GOOS计划的主要业务化内容，包括建立海洋数据的采集网，对海洋数据和信息进行有效管理、分析和建模，以及海洋数据产品的制作与分发等。目前，许多国家和地区正在陆续制定和执行各自的区域性海洋观测计划。例如，美国的CoastWatch计划，亚洲地区的NEAR-GOOS（North East Asian Regional-Global Ocean Observing System）计划等。可以相信，GOOS及其相关计划在世界各国和地区的有效实施，必将有力地推动数字海洋的进程。

2．海洋信息处理的技术支持系统

从硬件方面来看，计算机技术和网络技术的飞速发展，使海洋科学正在经历一场由

定性到定量并最终实现数字海洋的变革。这主要表现在两个方面:一是海量数据的存储、处理与传输正逐步成为可能;二是大型海洋/大气耦合数值模式可以在巨型计算机上开发并运行。

从软件方面来看,除了常规的数理方法和信息处理方法之外,数字海洋还得益于以下一些方法和技术的进展与突破:模拟仿真技术、数据同化与融合技术、图形图像技术、小波分析技术、神经网络技术、蒙特卡罗方法、模糊数学理论、分形分维理论、混沌理论、数据库和专家系统技术、地理信息系统技术和人工智能技术,等等。

尽管这些新技术和新方法用于海洋领域的时间还不长,但已开始显示出其独特的优越性和潜力。例如,美国学者对于海气交换过程进行了成功的计算机仿真研究;我国学者将地理信息系统技术与海洋流体动力学模型相结合,对东中国海区现代潮汐、潮波系统的特征、潮波系统的形成机制和演变过程进行了深入研究,发现了若干前人没有发现的现象(林珲等,1997)。

3. 海洋环境与灾害的预测、预报和预警系统

长期以来,海洋灾害对于包括中国在内的沿海国家构成严重威胁。在各类自然灾害的总经济损失中,海洋灾害约占 10%。因此,建立由近海到远海、多部门合作的海洋环境与灾害观测网络和数值预报、预警系统,开展主要海洋灾害的分析和评估业务,建立海上搜救中心和沿岸防灾准备应急系统,构建海洋减灾体系,是数字海洋的重要内容。此外,地球作为一个海洋、陆地和大气的统一体,它们之间的相互作用与影响,也是数字海洋不可缺少的部分。

- 海洋环境数值预报:包括海温、海浪、潮汐、海面风场、海流等;
- 海岸带灾害数值预报:包括风暴潮、海啸、台风、巨浪、海冰、海雾、赤潮、溢油及其他污染等;
- 海气相互作用过程预测:包括 El Nino 和 La Nino 事件的中长期预测,海平面上升的中长期预测等;
- 海陆相互作用过程预测:包括海岸带侵蚀、河流冲击与河口改道、围海造田与环境效应等。

4. 海洋资源的调查、管理与开发系统

海洋资源是人类的共同财富。数字海洋在海洋资源的调查、管理与可持续开发方面将发挥重要作用,并将直接服务于海洋捕捞业、海洋养殖业、海洋油气和矿产业、海洋运输与造船业、海洋化工业、海洋药业、海洋旅游业,以及海水综合利用和海洋能发电等潜在的海洋产业。可利用的海洋资源主要包括:

- 海洋渔业资源和其他水产资源;
- 海洋油气和矿产资源;
- 海洋盐化工与海水淡化资源;
- 海岸线、港口和海岛资源;
- 海洋能源;

• 海洋旅游和航运资源；
• 海洋药物与保健资源；
• 海洋净化资源。

除了上述几个方面之外，数字海洋对于专属经济区的规划、开发与保护，建立和完善海洋综合管理与决策信息系统，鼓励社会各界参与海洋环境和资源保护，增强民众热爱海洋和保护海洋的意识等方面都具有重要意义。

§20.5 数字城市

数字城市(Digital City)，又叫信息城市(Information City)，或叫信息港(Information Port)、数码港 (Digital Port)，还有称为智能城市(Intelligence City) 等，但数字城市更可能为大家所接受。

城市是社会经济的中心，国内总产值(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。数字城市可以从不同角度来理解，但城市数据库、城市信息系统则是其最主要部分。Al Gore 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。实际上约在五年前，在一些发达国家中已经开始建设“智能大厦(楼)”、“智能家庭(数字家庭)”、“智能小区”和“智能城市”(数字城市)的实验。所谓的智能大厦，就是利用先进的仪器设备与计算机系统来控制和管理大厦的供热/水、空调、照明、防火、安全、多媒体、音响、通讯等部分，使其协调、合理地工作。推而广之，智能小区、智能城市等是更加复杂的智能管理系统。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，并正在积极地进行之中。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 个城市正在或打算建设“数字城市”，

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—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 等人运用 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仿真的研究。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: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,实现数字化。

(1)城市基础设施:①建筑设施;②管线设施;③环境设施。

(2)交通设施:①地面交通;②地下交通;③空中交通。

(3)金融业:①银行;②保险;③交易所(股票)。

(4)产业平台:①第一产业;②第二产业;③第三产业;④信息产业。

(5)文教卫生:①教育科研;②医疗卫生;③博物、科技馆;④电视、通讯社;⑤运动场、体育馆;⑥名胜古迹。

(6)安全保卫:①消防;②公安;③环保。

(7)政府管理:①各级政府;②海关税务;③地籍管理与房地产。

(8)城市规划与管理:①背景数据:地质、地貌、气象、水文及自然灾害等;②城市监测;③城市规划。

2. 城市网络化

(1)三网连接:电话网、有线电视网与 Internet 三网实现互连、互通;

(2)通过网络将分散的和分布式数据库和信息系统连接起来,建立互操作平台;

(3)建立数据仓库与交换中心;

(4)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;

(5)数据共享平台。

3. 城市的智能化

Bill Gates 最近提出了"数字神经系统"与"网络生活方式"的新构想,他的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,它们也离不开数字地球技术系统,即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",但货物不能直接到顾客手中,还要通过"送货上门"。送货就有最佳路径问题,就需要采用城市 GIS 技术。包括

(1)网上商务:①网上贸易;②虚拟商场;③网上市场管理。

(2)网上金融:①网上银行;②网上股市;③网上期货;④网上保险。

(3)网上社会:①网上影院、戏院;②网上旅游;③网上办各种手续。

(4)网上教育:①虚拟教室;②虚拟实验;③虚拟图书馆。

(5)网上医院:①网上健康咨询;②网上会诊;③网上护理。

(6)网上政务:①网上会议;②网上议会等。

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。

总之,数字城市或信息城市,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,并具有高度自动化、智能化的技术系统。

城市通过信息化后,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。

数字城市交通网络化后,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,"让网络去跑腿",既省节了经费,也加快了速度,减少雇员,降低了成本,避免交通堵塞,节约了汽油,减少了污染。

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;在我国,则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、数字小区、数字城市,到数字国家,如新加坡,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。

未来的数字城市,还将是一个生态城市,具有蓝天、白云、森林、鲜花,清水和分布式的现代化的建筑群与合理的高速公路网所组成。它既具有高效的、信息化的工作环境,又有舒适、方便、安全的现代化的生活环境。在数字城市中,人们可以高效、有序地工作,过着舒适安宁的生活。

§20.6 虚拟学校

虚拟学校(Virtual School),又称远程教育(Long Distance Education)、网络空间学校(Cyber School)、网上学校(Internet School, Online School),是指运用 Internet-Web 进行交互式教育过程的多媒体计算机网络系统。它是世界上最开放的、最大的、没有校园的学校。很多国家对于远程教育非常重视,欧洲还专门成立了远程教育大学协会,除了组织一些名牌大学的教授进行讲课外,还专门成立了"开放性大学",专门从事远程教育。法国的远程教育大学联盟是由法国高等教育和科研部创办的,包括 27 所大学和一些其他机构参加了这项任务,约有 3.6 万名学生。如今,由于 Internet-Web 的普及,并能连接千家万户,网上授课的方式受到更大的欢迎,几乎所有的人文科学和自然科学的课程都能进行,而且是多媒体和双向的即交互的,师生之间即使远隔万里,也能进行讨论和质疑并能进行网上辅导。这种虚拟学校的工作,由"欧洲学习中心"负责,欧洲共有 50 个这样的中心,其中法国就有 4 个。美国由远程教育协会负责这项工作。

美国哥伦比亚大学学习技术研究所所长罗伯特·麦克林托克指出:"Internet-web 开辟了一个崭新的学习世界"。大学生已经可以通过万维网随心所欲地同教授和同学交流,可以将感兴趣的材料下载,或者通过鼠标对规定的学习任务提出疑问。华盛顿远程教育信息服务所主任兰伯特认为:在 Internet-Web 上完成学业正像野火一样扩展开来,越来越为人们所接受。美国已有 400 多所大学提供通过 Internet-Web 学习规定的课程和获得毕

业证书的教育方式。网上大学迄今已有3万名学生。网上教育的接受者主要不是大学生,而是在职的成年人。高等学校专家预测,大学生或在职成年人将不需要离开家门可以听课或者参加研讨会,在家用电脑就可以学完虚拟大学所有的课程。教材、有关参考书及测试题也可以从网上下载。

德国虚拟大学之一的哈根远程大学校长赫霍伊尔指出:现在虚拟学校的优点在于交互性,学生与教授、学生与学生之间可以通过网络进行交流、讨论和质疑,有问有答,还可以一起作练习。各种实验课也可以通过虚拟实验室进行。网上研讨会在德国已经普及。

最近在北京召开了"21世纪教育社会化、网络化"国际会议,会上很多代表强调了并通过教育网络向全社会提供教学服务。

目前,已有许多"远程教育/TV教育"、"卫星教育",与其相应有的"教育TV台"。在我国"电视大学"已经开始了5年以上。例如,在1997年香港中文大学与台湾大学进行了实时的地球信息科学远程教育,北京师范大学也成立了类似的远程教育中心。浙江大学、湖南大学等也正积极筹备。但是,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。未来的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;也可以无需通过"时间隧道"到几百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,这使得学生能获得深刻而又全面的知识,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、工科、信息科学专业也是有帮助的。美国NSF主持了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"。

基于以Internet为基础的、以WebGIS为核心的数字地球的教育和已有的相比,虚拟学校具有如下的特色:

(1)远程教育/TV教育要受"TV教育站"的限制,而且不能"双向"。数字地球技术系统可以与家家户户相连接。只要有PC计算机或TV加上辅助装置,就可以在家接受教育,如加上话筒就可以"双向"互动:有问、有答,而且经费也不高。

(2)由于数字地球技术系统能够显示多维、空间性很强的动态对象,有利于学生对教学内容的理解。

(3)可以进行远程的仿真与虚拟实验,包括对存在的对象,或虚幻的对象进行实验;可以从内向外,从外向内进行观测;可以进行操作,而且符合物理的、力学的和生物学的规则,有身临其境的感觉。

(4)可以选择最好的教师,最先进的教具与教学设备进行教学,能产生最佳的效果。

(5)普及性好、教学效果好,省人力、物力、财力和时间,减少交通拥挤。

虚拟学校是以因特网(万维网)为基础的赛博空间中建立的交互方式距离教育与学习系统,这改变了传统的办学、办校方式,没有现实的学校地理位置和空间。教师办公、教学,学生学习、参加活动均是在分布式的网上进行,节省了大量物质资源和管理运行费用。而学生选课、选老师也没有了现实地理位置的限制;上课时间,也可以自由地安排。另外,成人教育与继续教育是十分重要的教育形式之一,在一些发达国家中,对此十分重

视。成人教育与继续教育的特点是一些希望学习的人，多数是在职人员，希望能一面工作、一面学习，而且还要照顾家庭，所以虚拟学校是最合适的。

目前，虚拟学校的建立，一般以现实学校为参照系统。学校机构上，也有校园、图书馆、教室、书店、校长办公室、注册处、教员等。技术系统上，虚拟学校则主要包括学校本部管理系统、网上交流窗口和上课辅助工具系统等。学校本部管理系统，则主要负责图书馆建立、学员注册、课程设置、教员聘请、上课时间安排；网上交流窗口，目前一般是选用文字或声音进行，三维虚拟教师和虚拟学生的交互还很少，该窗口提供实时的学生与教师的交流空间；上课辅助工具系统，则是用于学生编辑文字、画图等，从而扩大或提高上课(交流)效率。

下面以网络大学为例，说明网络大学的运行方式。

网络大学是于 1998 年由虚拟网络建筑有限公司(Internet Architect, Inc.) 创立的，提供基于万维网的、实时的、由老师指导的远程教育。图 20.3 是网络大学校园导引主页，包括书店、校园教学日程计划、校园查询、课程目录、校长办公室、课外活动、图书馆、注册、学生会和访问中心(图 20.3)。

如果要成为网络大学的学生，首先必须注册。运用万维网浏览器进到“欢迎来到网

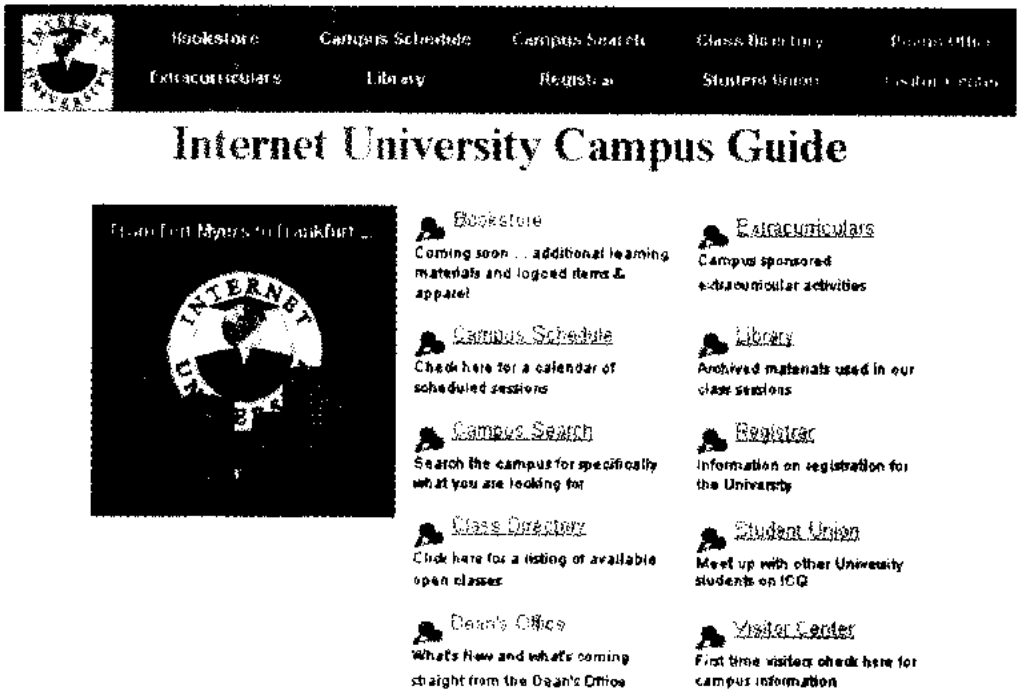

图 20.3　网络大学主页

络大学虚拟校园(Welcome to the Internet University Virtual Campus)"主网,然后按"I'd like to create my own Internet University account"热键结点,出现学员注册表。在表项中填写名字、学号(login ID)、密码、电子邮件地址、联系地址等。完成后,按"继续(continue)"键,如果填写信息正确,那么网络大学就会通知你已是该大学的学生,你就可以选择你需要的课程。目前,网络大学提供的课程有例子课(Sample Course)、技术辅助演示课(Technical Helpme Demo Session)、OTCE 演示课(OTCE Demo Session)、赛博设计(Cyber Design), Innsystemsso 远程学习组织(Distance Learning Associates)、新月工作室演示课(Crescent Studios Demo Session)、Eric Rosen 演示课(Eric Rosen's Demo Session)、Heather Petit 演示课(Heather Petit's Demo Session)、因特网培训(Internet Training), IU 演示(IU Demo)、交互式远程学习(Interactive Distance Learning)、联机学习论坛(Online Learning Forum)、Edtek-David Collins、因特网建筑师演示课(Internet Architect Demo Session)。

上述这些课都有相应的辅导教师、开课时间、活动时间等,有些课是免费的、有些课需要学费。

参加网络大学的课以前,必须先下载网络大学客户系统(LearnLinc Client)。

LearnLinc 是一个联机的学习环境,应用该环境可以使用多媒体和基于万维网的课程资料,还可以实时地与其他学生、指导教师进行相互交流。

安装 LearnLinc 系统以后,就可以参加网络大学的某一门课程学习。先注册某一门你选择的课,然后选择"Join class",就会出现在线的虚拟教室,见图 20.4。虚拟教室提供了学生与学生、学生与教师的相聚交流空间,其中交流方式有视听会议、文字交流、共享工具如白版和 Q&A 等。

在图 20.4 中,最左边的窗口系统提供了一个学生与学生、学生与教师的交谈空间。学生可以在最下边的白框中输入文字,然后按"send"键,其他在线学生即可以看到发送的内容。如单独与教师交谈,则选择"Private"。图 20.4 的中间窗口系统白板(whiteboard)是让学生做笔记、画简单图、引入图像等,并且这些信息与班上其他学生共享。图 20.4 中的最左边窗口系统 Q&A,是用于考试的问题与问答工具,学生可以回答考试题目,并可浏览考试成绩。

虚拟学校在未来还有虚拟实验室和试验场,它们在以下几方面将发挥作用:

(1)在地球科学院系,过去在水工实验室、风洞实验室、试验场等做的实验,将可以运用虚拟实验技术进行;过去因为时间和空间尺度太大,或太小而不能进行实验的,大多将可以采用虚拟技术进行实验。哈佛大学的天体实验室,进行了大宇宙结构的虚拟实验,发现了一些新的天体结构特征;该校还进行了"海气交换的虚拟实验",获得了较好的效果。海流、涡漩、风暴潮、海岸侵蚀与堆积过程等,都可以进行虚拟实验。地质、地貌过程的虚拟实验,生态环境设计和生态环境规划的虚拟实验,地理区划与规划,防灾减灾措施的虚拟实验等。

(2)在旅游学院或系的教学中,可以进行各种虚拟旅游的实验,旅馆与饮食管理的虚拟实验。

(3)在建筑学院或系的教学过程中,可以进行对建筑设计的虚拟实验,城市规划与改造的虚拟实验,如洛杉矶、拉斯维加斯两城的虚拟实验。

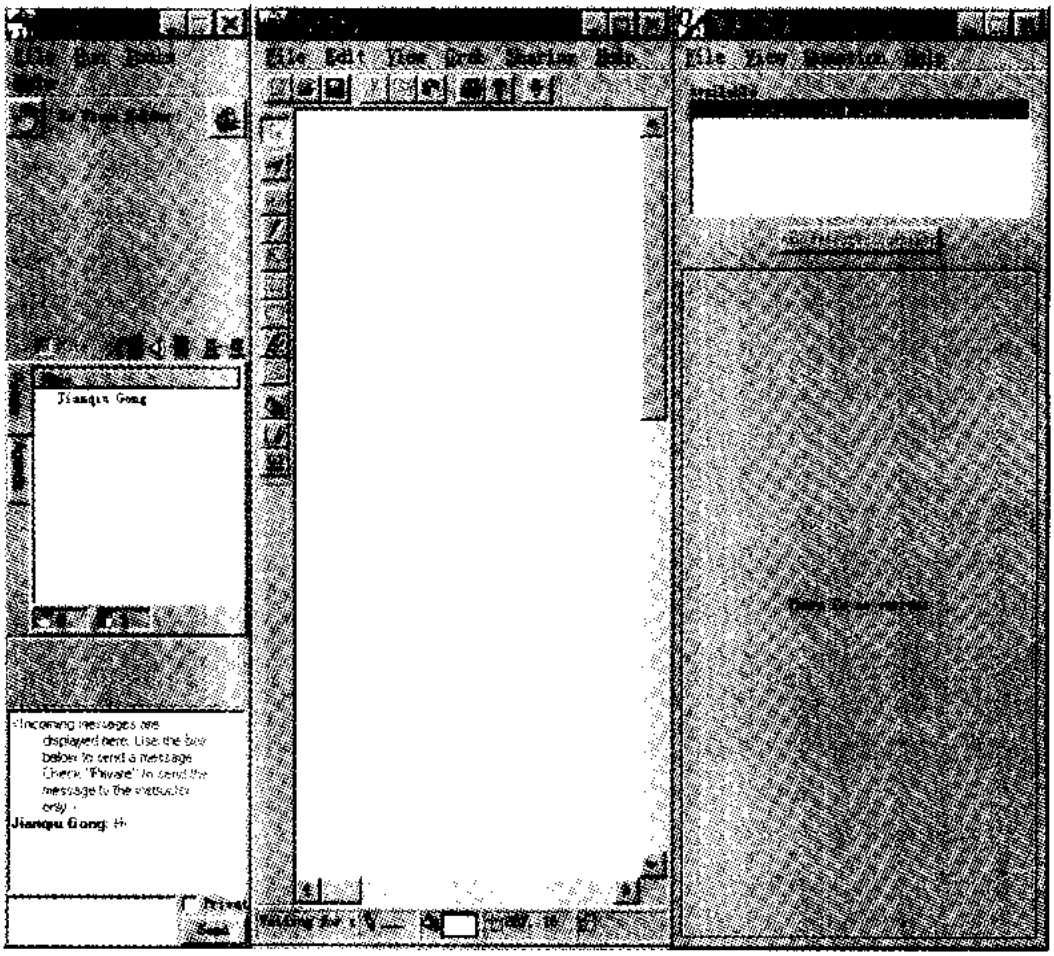

图 20.4　虚拟教室及其共享交流工具白版及 Q&A

(4)在经济与管理学院或系的教学过程中,进行虚拟银行、虚拟商场的实验,已经初见成效。

(5)在医学院或系的教学过程中,可以采用人体解剖的虚拟实验、虚拟医院、虚拟理疗、虚拟健康咨询等都是有效果的。

(6)在农林学院或系的教学过程中,可以采用生态林规划的虚拟实验,荒漠化治理方案的虚拟实验,水土保持方案的虚拟实验,植物生长仿真模型与虚拟实验。

(7)在工程学院或系的教学过程中,如制造专业学科早已成功地利用了虚拟实验技术、交通专业也成功地进行驾驶员培训、导航员培训的虚拟实验、公路修建工程的虚拟实验、港口码头工程、水库工程,甚至核弹爆炸等都可以进行仿真与虚拟实验教学。

(8)美国与加拿大科学家在自己的实验室中,通过 Internet-WebGIS 技术对格陵兰上空进行联合远程观测实验。

作为虚拟学校的重要辅导工具的电脑教学软件近年来得到了飞速的发展,我国人民教育出版社最近推出的教学软件,具有如下的特点:

(1)教学上的人机互动功能。例如:《高中物理智能实验》、《几何画板》就为学生提供了科学的实验情景,学生可以自己操作,通过改变各种参数来进行研究、探索,找出有关物理和几何学的规律。《多媒体备课系统》、《人教文博智能组卷评测系统》、《多媒体教参系统》等同样如此,教师能够根据教学实际的需要,利用软件所提供的简便实用的功能,方便地建构自己的教学结构和体系。教师不仅可以调用系统中上万道习题,方便地进行组卷评测工作,更可以添加、删改题目,创造性地完成工作。

(2)联网的开放性功能。第三代教育软件不仅提供了针对本机用户的开放性功能,更提供了针对校园网及因特网用户的开放性功能。如利用《多媒体备课系统》,教师不仅可以根据需要将系统附上万个课件任意组合形成自己的新课件,完成备课工作,更可以利用系统提供的自制课件平台将其他图、文、声、像等素材进行合成,创作出自己的课件。创作成果还可以在校园网上实现资源共享。第三代教育软件是"活"的教育软件。它不仅使计算机在个别化教学上的独特优势得到充分发挥,而且与"教无定法,学无定法"的教学规律相适应、与素质教育及创造精神的要求相适应。第三代教育软件的出现为教育软件的研制及开发开辟了一条新路,指明了方向。它标志着我国教育软件事业的发展进入了一个全新的阶段。第三代教育软件的推出以及逐步发展完善,无疑将对我国中小学课程及教材的改革起到一定的促进作用。它体现了教育软件发展的潮流和趋势,是广大师生所期盼的教育软件。

§20.7 数字海南*

1. 海南信息化建设现状及规划

1)海南信息化建设现状

(1)信息基础设施先进,海南省目前已经具备了如下的信息基础设施优势,如图20.5所示。

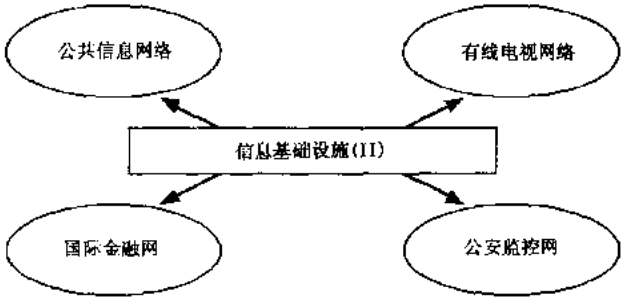

图20.5 海南信息基础设施

(2)信息技术在政府办公网络、教育科研网络、产业领域、金融领域等方面得到初步应用。

(3)信息产业初步发展,势头很好,主要体现在信息服务、软件开发基地建设、电子信

* 本文从阎善昌、林绍福、李琦文章(见参考目录)中摘录、删节。

息生产项目投产、国家重点项目启动等方面。

(4)具备良好的信息产业发展和信息化建设软环境,如成立主管全省信息化工作的正厅级办事机构、利用享有的地方立法权的优势,制定发展信息产业的法律规范和优惠政策等。

2)海南信息化建设规划

(1)2010年远景目标:初步建成智能岛,信息化水平跨进全国先进行列,信息产业成为海南省国民经济的一个重要支柱产业,形成一个全省范围内统一的宽带多媒体网络,建设、运转高效和服务完备的电子政府和电子社区,使信息技术成为新兴工业、高效农业和热带旅游业发展的重要推动力量。为实现此目标,将实施跨世纪"113工程",即一个面向个人的宽带综合业务网、一批在国内外有影响的信息骨干企业和三大信息系统工程(电子政府、电子商务、电子社区)。

(2)信息化"九五"目标是为"智能岛"奠定必要基础,并完成四项任务:

• 完善信息基础设施:主要省骨干传输网络体系基本建成,高速接入网初具规模,实现县县通光缆,完成信息交换统一平台等。

• 扩大信息技术应用:主要实现电子政府初步框架,电子商务初步应用,电子货币进一步完善和普及,GIS等技术的推广应用等。

• 信息产业初成规模,实现信息产业增加值高速增长,且在全省国内生产总值中的比重明显增大。

• 建立完善信息化支撑体系,即五个支撑:政府支撑、政策支撑、企业支撑、教育支撑和专家支撑。

2. 目标和意义

"数字海南"是海南省地理、资源、生态、环境、人口、经济、社会等复杂系统的数字化、虚拟仿真、优化决策支持和可视化表现(再现)。建设"数字海南"的目的和意义主要有:

(1)"数字海南"的建设将海南智能岛建设纳入国家可持续发展战略,为海南的可持续发展提供解决方法、手段和决策支持,将促进海南人口分布、资源需求、环境污染、产业结构、商品流通等产生根本性的变革。

(2)将采用"数字地球"的理论、技术和发展战略,在海南现有的信息化规划和建设基础上进行深化和扩展,建立起一个区域性信息节点,为"中国数字地球计划"的全面展开奠定基础。

(3)将在海南先进的信息技术基础设施、良好的信息化环境和比较配套的应用环境中,研究、开发和实现"数字地球"的有关技术,并应用到海南省各领域、各行业,从而为"中国数字地球计划"的建设提供项目试点和应用示范。

(4)深化和拓展海南信息化建设,发展信息产业,优化产业结构,提高经济效益,加快实现海南智能岛建设目标,促进海南省经济和社会的可持续发展。

3. 研究内容

"数字海南"的主要研究内容有四个方面。

(1)"数字海南"信息模型与体系结构:

• 采用"数字地球"的通用信息模型研究成果,构建"数字海南"的建模工具体系,进而对"数字海南"的信息结构进行合理的模型表达。

• 研究、分析和设计"数字海南"的系统结构,包括总体结构、逻辑结构、物理结构和运行环境结构,以及信息的组织管理与交换体系及其相应的数据编码与转换规范体系,并依托海南现有的"一基四网"(尤其是海南省公共信息网)来构建和实现。

• 采用流行的分布式开放网络计算模式,依托海南省现有网络平台来构建和实现计算模型。

• 从知识创新和可持续发展的角度出发进行研究,从理论上指导全建设和应用。

(2)"数字海南"通用支撑技术,主要包括:数字组织管理体系、数字转移和应用网关、决策模型管理、可持续发展行为仿真、信息安全体系等。

(3)"数字海南"的通用功能,主要包括:空间数据中心、公共信息平台、代理服务平台、数字认证中心、支付与结算中心、可持续发展决策支持等。

(4)数字海南的系统集成技术,主要包括:技术集成、平台集成、信息集成、应用集成和软支撑体系集成等。总而言之,"数字海南"就是实现海南省网络平台集成、应用系统集成和信息资源集成的电子化、数字化社会。

4. 关键技术

"数字海南"作为一个复杂的社会巨系统工程,要以系统工程的理论和方法为核心指导,并结合网络通讯、计算机、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等领域的最新研究成果与技术,主要研究和开发以下技术:

(1)"数字海南"分布式多媒体空间数据库,涉及的关键技术主要有:多媒体空间数据库技术、分布式数据库体系、多媒体空间数据接口与集成等。

(2)"数字海南"网络信息传输,主要涉及"数字海南"网络平台、宽带网络信息传输、多媒体空间信息传输、超媒体数据压缩等技术。

(3)"数字海南"信息安全与认证,有效的安全交易标准主要有:安全超文本传输协议(S-HTTP)、安全套按层协议(SSL)、安全交易技术协议(STT)、安全电子交易协议(SET);常用的安全电子交易的方法和手段主要有公共密钥和私用密钥(Public key and Private key)或 RSA 编码法、数字摘要(Digital Digest)、数字签名(Digital Signature)、数字时间戳(Digital Time-stamp, DTS)、数字凭证(Digital Certificate, Digital ID)、认证中心(CA: Certification Authority)等。重点研究如何结合我国国家安全和具体情况,综合采用这些国际标准和技术,自主开发安全技术产品。

(4)"数字海南"系统集成和应用开发,主要涉及虚拟构模、空间信息发布、空间信息管理(WebGIS、OpenGIS)、应用网关等。

(5)"数字海南"离散事件仿真,采用"数字海南"的模拟和仿真技术以及空间构模技术,构建"数字海南"的离散事件仿真模型,对事件的成因、发展、结果和影响进行仿真分析,为领导决策提供依据。

(6)"数字海南"空间构模,在空间多媒体数据库体系的支持下,采用 GIS 的空间分析

和空间构模技术以及三维动画构模技术，结合 VRML、HTML、ActiveX、JAVA 等实现技术，构建面向可持续发展的“数字海南”模型体系。

5. 总体结构

1）总体范畴

“数字海南”从总体上涵盖了海南省自然资源、环境、社会、经济、政务、文化等领域，是海南现实世界的信息化、数字化空间的抽象和体现，但不仅仅是对海南现实的简单模拟和反映，而是对现实的综合和优化，还是对未来的预测、仿真和分析。作为一个社会信息化工程而言，“数字海南”将重点涉及海南省政府及其各业务主管部门、各行业主管部门及其企业和社会大众，核心内容是电子地图、电子政府、电子商务、电子社区等。

2）网络总体结构

“数字海南”的网络体系总体上依托于 Internet，以海南目前的“一基四网”（尤其是海南省公共信息网）为基础和核心，构建一个通用的应用支持平台，提供信息发布、电子数据交换、安全认证、电子支付与结算、空间构模、空间坐标变换、决策模型、知识与模型管理、应用代理和应用网关等基本的、通用的应用功能。在此基础上，构建面向各领域、各行业、各部门的虚拟专网，通过应用代理和网关与其他行业和部门的专用网或内部网互连，如图 20.6 所示。

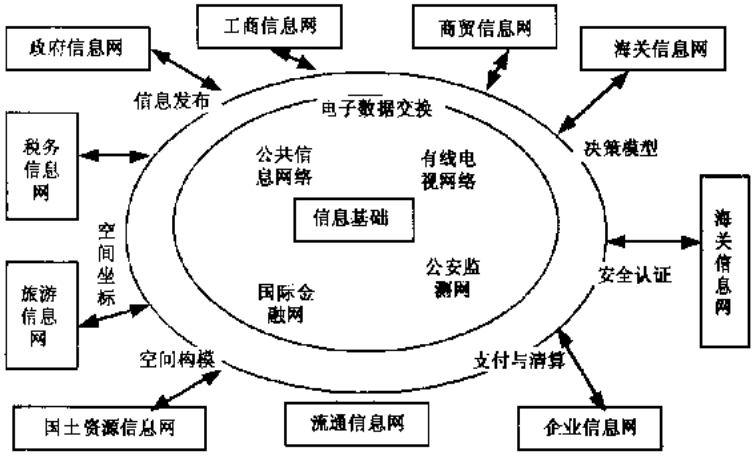

图 20.6 “数字海南”总体网络结构

3）系统体系结构

“数字海南”的体系结构是基于网络计算框（NCF）的三层结构的“客户服务器结构 + 浏览器/服务器结构”模式，依托于 Internet/Intranet 的网络环境，通过信息浏览、数据采集、WebGIS 管理、各种应用、数据代理、数据解释、数据接口、数据库管理以及各种标准协议而集成为一个有机的整体。如图 20.7 所示。

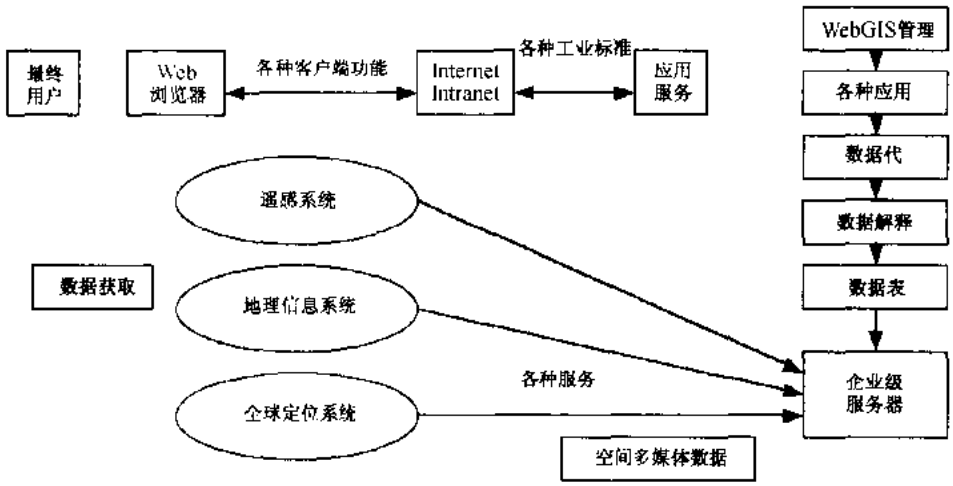

图 20.7 “数字海南”系统体系结构

4)网络计算模型

“数字海南”系统设计采用目前企业界流行的网络计算模型 NCF(Network Computing Framework),如图 20.8 所示。

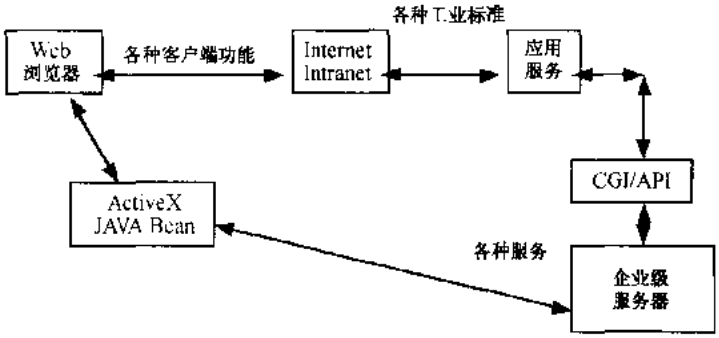

图 20.8 “数字海南”系统网络计算模型

NCF 通过一系列的基于工业标准的协议(如 HTTP、IIOP、TCP/IP、CORBA 及 SSL)、服务和软件连接器加以连接,包括了客户层、应用服务器、企业级服务器三层结构。NCF 的基本因素包括客户、基础服务、连接器、网络结构及一套安全、目录、文件和 TCP/IP 服务、系统管理、电子商务应用服务、可编程模型及工具。

5)安全体系

将从信息传送、交易过程和信息审查三个重要环节着手建立技术安全体系,采用的技术手段主要是:

(1)利用 RSA、DES、MD5 等成熟的密钥算法技术,实现用户密钥管理、文件加密、“数

字指纹"签名验证等功能,防止信息传送途径上失密。

(2)利用 WWW 技术的 SSL 机制确保网络上超文体的传输安全。SSL 提供了用"数字指纹"签名来鉴别服务器,用 RSA 数据加密来确保虚拟专用网(VPN)的信息安全和数据完整性传送第三种有效的安全防护特性。

(3)依循国际惯例建立安全的资源访问控制。SET 规定了交易正当访问和控制资源的过程,规定了处理交易信用认证的 CA(Credence Authentication)。

此外,还将采用虚拟子网、路由过滤、网段划分、安全拨号、防火墙等 Internet/Intranet 的安全措施。

6. 工程建设

"数字海南"是"中国数字地球计划"或"数字中国"的一项研究范围,更应是一项试点工程。所以,如何将理论研究和技术开发的成果应用到具体的项目,分阶段、分步骤、由点到面逐步推进"数字海南"的工程建设,应是"数字海南"的研究重点之一。

"数字海南"作为一项工程,可分解为以下主要项目:

(1)"数字海南"网络基础设施建设,包括:

• 海南省公共信息网络平台。采用第三期日圆贷款建设,已经投入运行,将利用三期日贷余额升级完善。在此基础上,构建"数字海南"网络环境平台和网络控制中心。

• 海南省网络通讯基础设施。继续加强邮电基础通讯网和有线电视网的建设,提高带宽和网络安全性能,提供帧中继(FR)、异步传输模式(ATM)、综合业务数字网(ISDN)、视频点播传输(VOD)等宽带网络通讯功能。

• 在统一的基础通讯网的基础上,实现省内主要的网络平台的连接与集成,并与国内的其他网络连接,纳入 Internet 以及今后的国家乃至全球信息高速公路体系。

(2)"数字海南"法律法规环境建设,主要涉及两方面问题:

• 标准化问题。主要有企业专用标准、行业标准、国家标准和国际标准,海南可以参照这些标准结合具体情况,制定本地标准。

• 法律法规问题,主要有:可实施性(Enforceability);术语和条款的适用性(Applicability of Terms and Conditions);第三方推销的责任(Liability of Third-part Vendors);审计监督;保密问题等。目前国际上有关电子化、信息化的法律是普遍滞后于技术发展和应用的,我国也是如此。对于海南来说,一方面等待我国的有关法律法规出台,另一方面则是充分利用地方立法权的优势,在遵循国际惯例和国家相关法律的前提下,针对"数字海南"涉及的问题专题立案,由省人大立法制定相应的法规并执行,并争取成为全国的统一标准。

(3)"数字海南"空间信息平台建设,主要内容有:

• 海南省电子地图数据库群建设。这是"数字海南"空间信息基础,包括:多种比例尺(如 1:100000、1:50000、1:25000、1:10000)的海南省电子地图数据库和多种比例尺(如 1:1000、1:500)的主要城镇的电子地图数据库,多种数据源、多种比例尺的海南省遥感影像(卫星或航空摄影)数据库,高精度的海南省 GPS 数据库和其他地理坐标数据库。

• 空间信息交换平台建设。这是为了实现电子地图、GPS 数据、遥感影像、GIS 元数据等空间数据的交换和增值服务而建设的系统运行和应用软环境,是实现空间信息交换

的基础和公共接口。一般应包括空间坐标转换、空间数据网关、空间模型接口等功能子系统。此平台与电子商务应用平台是密切集成的，可实现空间信息交换与电子商务应用服务一体化。

• 电子商务应用平台建设。这是开展各项专题电子商务应用的基础和公共服务平台。一般包括信息发布与服务、电子数据交换、客户认证与登录服务、交易委托与撮合服务、委托电子支付与结算服务、应用代理服务（包括代理工商企业注册、代理报税、代理报关、代理申办证照、代理缴收费等）等功能。

(4)“数字海南”安全保障体系建设，主要是建立一个独立运行的、具有权威性和公正性的第三方中介服务机构—认证中心（CA），以承担网上安全电子交易认证服务、签发数字证书、确认用户身份。其主要任务就是受理数字凭证的申请、签发及对数字凭证的管理，依据认证操作规定（CPS：Certification Practice Statement）来实施服务操作。

(5)“数字海南”商务运行体系建设，主要包括网上支付与结算系统、在线工商登记与商家身份确认系统、电子报税系统、电子通关系统、公益收费系统等。

(6)“数字海南”决策支持体系建设，主要内容有可持续发展模型体系建设、可持续发展决策仿真体系建设等。

(7)“数字海南”的应用集成。目前，海南省已经运行、具备建设条件或正在建设的信息化项目主要有：

• 海南省资源环境与地区经济综合数据库，国家计委立项的国家重点科技项目（攻关）计划《国土资源环境与区域经济信息系统及国家空间信息基础设施关键技术研究》之专题“NREDIS 空间数据库群及管理系统研制”中的子专题。

• 国土综合规划地理信息系统，海南省自然科学基金资助项目。

• 基本单位普查统计地理信息系统，原型系统已运行。

• 人口普查统计地理信息系统，已完全原型系统开发，正立项，作为面向 2000 年全国第五次人口普查的试点应用。

• 热带农产品营销信息网络，国家计委立项，正在建设。

• 海南旅游预订信息系统，已投入运行，将使用三期日贷余额升级。

• 海南省小型商业电子化应用，作为全国小型商业电子化应用的试点，国家内贸局立项的项目，正在建设。

• 公益收费服务系统，正在建设。

参 考 文 献

艾南山,1987,侵蚀流域系统的信息熵,水土保持学报,1(2):1－8

艾南山,1988,再论流域系统的信息熵,水土保持学报,2(4):1－9

薛亮、方瑜,1998,农业信息化,京华出版社

菜吉人,1998,密码确保信息安全,网络报,8(8):10

陈俊勇,1999,没有地球空间数据基础设施就不可能有"数字地球",科学新闻周刊 1.25

陈述彭,1990,遥感地学分析,测绘出版社

陈述彭,1995,地理信息科学与持续发展,测绘出版社

陈述彭,1991,地理系统与地理信息系统,地理学报,46(1)

陈述彭,1997,地球信息科学及其应用,卫星应用,(3):1－9

陈述彭,1991,地球信息科学与区域可持续发展,地理信息系统的发展前沿,林辉主编,科学出版社,

陈述彭,1994,地图学面临的挑战和机遇,地理学报,49(1)

陈述彭,1998,面向 21 世纪的地球信息科学,地球信息,7

陈述彭,1997,遥感地学分析的时空维,遥感学报,1(3):161－169

陈述彭、曾杉,1996,地理系统科学与地理信息科学,地理研究,15(2)

陈述彭,1998,地学信息图谱刍议,地理研究,第 17 卷增刊:5－10

陈运迪,1999,数字地球将世界放在手掌中,网络世界,1:46－47

承继成,1986,流域地貌的数学模型,相似性理论在地貌学中的应用/分形方法,科学出版社

承继成,1997,地球信息科学基础理论纲要,地球信息,10

丛开日,1999,Geo-Agent 的体系结构,中国图像图形学报,4,4 卷(A 版):102－107

《青年地理学家》编委会编,1990,地理学进展,山东省地图出版社,

单志广、杨杨,1999,数字地球中的多媒体数据压缩,中国图像图形学报,4,4 卷(A 版):46－51

丁俊华,1998,软件互操作研究与进展,计算机研究与发展,35(7):577－583.

方福康,1999,数字地球与经济复杂性研究,中国图形图像学报,4:1－6

高新民,1997,信息化与国家现代化,信息系统工程,(2):10－11

宫鹏,1996,城市地理信息系统,方法与应用,中国海外地理信息系统协会

龚波,1998,如何建立安全的信息系统,互联网周刊,18:48－51

顾冠群,1998,计算机网络发展的回顾与展望,计算机世界,11,30

国家科委新技术局等,1984,资源与环境信息系统国家规范研究报告,9,25

何昌垂,1997,区域化和全球化——21 世纪地球信息科学发展的机遇和挑战,遥感信息,3:2－7

何建邦等,1998,地理信息标准化研究与思考,地理信息世界,第 2 期

贺宏良,1998,营建数字地球,中国计算机报,总 787,1998,12

胡道无,1996,信息网络系统集成技术,清华大学出版社

胡岗,1989,混沌现象,人民教育出版社

蒋忠信,1987,滇西北三江河谷纵剖面的发育图式与演化规律,地理学报,42(2):16－25,

孔云峰等,1998,基于万维网的地理信息系统集成研究,遥感学报,(2):143－148

李德仁,1997,关于地理信息理论的若干思考,武汉测绘科技大学学报,(6)

李后强,1990,分形与分维:探索复杂性的新方法,四川教育出版社

李琦、易善桢、承继成,1999,数字地球的信息融合框架,中国图像图形学报,1

李琦、易善桢、承继成,1999,我国空间信息基础设施规划研究,中国图像图形学报,1

李琦、尹连旺,1999,数字地球系统的数学模型与时空坐标系统研究,中国图像图形学报,4,4(A 版):6－9

李如生,1986,非平衡态热力学和耗结构,清华大学出版社

李衍达,1997,信息科技发展的新趋势,科技导报(6):6-7
李正男等,1995,信息高速公路,电子工业出版社
刘若梅、蒋景瞳,1999,空间数据基础设施建设中的地理信息标准化问题,数字地球文集,中国环境科学出版社,(7):64-69
鲁学军,1996,地理认识理论与地理专家决策模型研究,北京大学博士论文
陆大道,1989,区位论及区域研究方法,科学出版社
陆锋、崔伟宏,1999,城市数字交通工程研究,数字地球,中国环境科学出版社,(7):165-172
方福康,1999,数字地球与经济复杂性,中国图像图形学报,4,4(A版):1-6
马溪乃,1996,论地理科学的发展,北京大学学报,12
迈伦·特赖布,1974,能量和信息,外国自然科学哲学问题丛刊,(2)
苗东升,1990,系统科学原理,人民大学出版社,(5)
裴健、杨冬青,1999,基于数字地图的空间联机分析处理和空间数据挖掘,中国图像图形学报,4,4(A版):59-63
齐岗,1997,网络化生存,中国城市出版社,9
齐税,1999,基于信息代理的数字地球神经系统,中国图像图形学报,4,4(A版):92-97
钱学森、宋健,1983,工程控制,科学出版社
全少磊、葛成辉,1999,虚拟地球智能数据获取与存贮模型,中国图像图形学报,4,4(A版):51-54
沈小峰,1997,耗散结构,上海人民出版社
史忠植、王文杰、田启家,1998,智能主体研究现状与发展趋势,计算机世界,技术专题版,01.26
孙九林,1999,资源环境科学虚拟创新环境的探讨,资源科学,(21)1:1-9
唐世渭等,1998,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
唐征武,1999,面向数字地球的空间数据库引擎技术,中国图像图形学报,4,4(A版):64-69
万博通公司技术部,1999,网络系统集成实用技术与方案设计指南,海洋出版社
汪懋华,1999,精细农作技术发展与农业装备技术创新,数字地球,中国环境科学出版社
汪懋华,1998,精细农作——知识经济时代的农田精耕细作技术,科技进步与学科发展论文集,上册,中国科学技术出版社
王耳琪、钟耳顺、宋关福、吴秋华,1998,地理信息系统网络化模式初探,CAGIS & CPGIS年会论文集
王宏武,1999,面向数字地球的虚拟现实系统模型,中国图像图形学报,4,4(A版):68-92
王怀民、吴泉源、高洪奎、邹鹏,1996,基于 Agent 的分布式计算环境,计算机学报,19(3)
王怀民,1998,Agent 技术与分布计算技术,计算机世界,技术专题版,01.26
王珊等,1998,数据仓库技术与联机分析处理,科学出版社
王峥,1994,理论地理学概论,科学出版社
王之卓,1991,从一个测绘工作者看 GIS 学科的兴起,地理信息系统的发展前沿,林辉主编,科学出版社
王梓坤,1994,论混沌与随机,北京师范大学学报,30(2):199-202
维纳,1963,控制论,科学出版社
魏宏森,1982,系统科学导论,人民出版社
吴传钧,1997,论地理学的研究核心——人地关系地域系统,经地地理,11(3):1-6
吴泉源、王怀民,1997,银河分布式计算,软件学报,8(10)
吴少岩,1999,数字地球与空间智能体,中国图像图形学报,4(A版):114-117
谢和平,1995,岩石节理的分形描述,岩土工程学报,17(1)
徐冠华,1999,全社会要高度关注"数字地球",科学新闻周刊,1.19
徐光黎,1993,岩石结构面几何特征的分形与分维,水文地质工程地质,(2)
徐吉谦、过秀成,1994,交通工程学基础,东南大学出版社
徐建华,1991,地理系统分析,兰州大学出版社
严康敏等,1996,信息高速公路,山东教育出版社
阎善昌,1999,数字海南与宏观决策支持系统研究,中国图像图形学报,4,4(A版):145-151

杨吾扬,1987,区位论原理,甘肃人民出版社
杨占生,1997,经济学,跨世纪批判——全息经济学大纲卷,香港新闻出版社
姚郑、高文,1996,软件 Agent.计算机科学,23(1)
叶培大,1996,中国国家级信息基础设施简介,世界电脑与信息,(11):14-16
仪垂祥,1995,非线性科学及其在地学中的应用,气象出版社
易善桢、承继成、李琦,1999,空间信息框架研究,遥感信息,1
易善桢、胡小猛、朱才斌,1999,空间信息的分布式计算,青年地理学家,10(1)
于学馥,1993,岩石记忆与开挖理论,冶金工业出版社
张大力,1999,数字地球中信息安全机制探讨,中国图像图形学报,4,4(A版):37-42
张宏科,1996,信息高速公路,电子工业出版社
张洪科,1996,信息高速公路,人民邮电出版社
张健挺,1997,网络地理系统的若干问题探讨,遥感信息,(3):8-11
张梨等,1998,互联网时代的地理信息系统,测绘学报,(1):9-15
张士峰,1992,认知科学导论,人民出版社
赵鹏大,1993,地质异常与矿产预测,地球科学,中国地质学学报,(18)1
中国科学院地学部,1992,关于"中国数字地球"发展战略的建立,中国科学院院刊
钟玉琢、蒋国瑞,1998,图像压缩谁主沉浮:分形图像编码技术及其应用,计算机世界,12,14,技术专题版
钟玉琢、祁卫,1998,信息科学中的重要研究课题,多媒体数据压缩编码,计算机世界,4,6,技术专题版
周成虎,1995,地理信息系统的透视,地理学报,50
周成虎,1998,地球空间信息图谱初步探讨,地理研究,6,第17卷增刊:10-17
周明天等,1998,Internet 的新发展和 NII/GII 建设,计算机应用
邹珊刚,1987,系统科学,上海人民出版社

A proposal to NSF by NCGIA: Advanced Geographic Information Science. 1995. http://www.ncgia.ucsb.edu/infosoc/seec.html

Agrawal R, Gehrke J, Gunopulos D, Raghavan P. 1998. Automatic Subspace Clustering of High Dimensional Data for Data Mining Applications. In Proc. of the 1998 ACM-SIGMOD Conf. On the Management of Data, 94-105, Seattle, Washington, June

Agrawal R, Imielinski T, Swami A. 1993. Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases. In Proc. of the 1993 ACM-SIGMOD Conf. on the Management of Data, 207-216

Al Gore. 1998. The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st century

American Congress on Surveying and Mapping and American Society of Civil Engineering (ACSMASCE 1978). 1978. Definition of surveying and associated terms: Falls Church, Virginia, America Congress on Surveying and Mapping

American National Standards Institute (ANSI 1975). 1975. Representation 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

Anderson P, Arrow K, Pines D (Eds.). 1989. The Economy as an Evolving Complex System, Addison-Wesley Publishing Company Inc

Andrej Vckovski, 1998. Special Issue: Interoperability in GIS, International Journal of Geographical Information Science, 12(4), June

Barnsley M F, Hurd L P. 1993. Fractal Image Compression. Wellesley, MA: AK Peters, Ltd.

Bo Su and Zhilin Li, An Algebraic Basic Basis for Digital Generalization of Area-patches Based on Morphological Techniques

Bo Su and Zhilin Li, From Phenomena to Essence Envisioning the Nature of Digital Map Generalization

Braford G. Nickerso, 1988, Automated Cartographic Generalization for Liner Features. Cartographica, 25(3)

Brown J R, Earnshaw R, Jern M, Vince, J. 1995 Visualization: using computer graphics to explore data and present information. John Wiley and Sons, Inc. New York. 26-27

C. A. Hall. 1977, Ecosystem modeling in theory and practice. John. Wiley and Sons. New York

C. Boutoura. 1983. Line Generalization Using Special Techniques. Cartographica, 26(3)

CEN/TC 287 Metadata. The Geographic Information Draft European Prestandards, http://forum.afnor.fr/afnor/WORK/AFNOR/GPN2/Z13C/PUBLIC

Chen M S, Han J, Yu P S. 1996. Data Mining: An Overview from a Database Perspective. IEEE Tans. Knowledge and Data Engineering, 8: 866 – 883

Chen Shupeng. 1995. Geo-Information and Regional Sustainable Development. Surveying and Mapping Publications, Beijing.

Chorley R. J. 1971. Physical geography: a systems approach. Prentice-Hall Inter. Inc. London.

Chui C K. 1992. An Introduction to Wavelet. Vol. 1 of Wavelet Analysis and its Applications. San Diego, CA: Academic Press, Inc.

CISS TDE. 1995. Data Exchange between Geoinformation Systems: A Challenge for the Future (in Germany), GIS 1995, Wiesbaden

Cliff Kottman, Geodata Interoperability: What does it mean for business geography? Http://www.opengis.org

Commission on Geosciences, Environment and Resources, Board on Earth Sciences and Resources, Mapping Science Committee of the National Academy of Sciences, .1993. Toward a Coordinated Spatial Data Geodata Infrastructure for the Nation, National Academy of Sciences Press

CORBA: Common Object Request Broker Architecture And Specification, 1998

Cowen, D C and J R Jensen. 1998. 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, 164 – 188

David Arctur et al. Issues and Prospects for the Next Generation of the Spatial Data Transfer Standard (SDTS)

David Danko. 1997. 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 '97

David M. Mark. 1989. Conceptual Based for Geographic Line Generalization, ITC Journal, 3

Dawn J. Wright. 1997. GIS: Tool or Science? Annals of the association of American geographers. 87(1): 346 – 362

Department of Defense (DoD). 1990. Military specification ARC Digitized Raster Graphics (ADRG) (MIL-A-89007). Philadelphia, Department of Defense, Defense Printing Service Department Office

Department of Defense (DoD). 1992. Vector Product Format (ADRG) (RIL – STD – 600006). Philadelphia, Department of Defense, Defense Printing Service Office

Digital Geographic Information Working Group (DGIWG). 1994. Digital Geographic Information Standards (Digest) Version 1.2

Dodd, Susan. 1982. Cataloging machine-readable files, Chicago, American Library Association

Earth System Science Committee NASA Advisory Council. 1992. Earth System Science, a Closer View, National Aeronautics and Space Administration

ESRI. 1998. ESRI Open Strategy: White Papers on SED/CAD Client and Spatial Data Warehousing. http://www.esri.com/base/company/opengis

Ester M, Kriegel H, Scander J, and Xu X. 1995. A Database Interface for Clustering in Large Spatial Databases. In Proc. of the 1st Int. Conf. on Knowledge Discovery in Database and Data Mining. Montreal, Canada, Aug.

Ester M, Kriegel H, Scander J, and Xu X. 1996. Clustering form Mining in Large Spatial Databases, In Special Issue on Data Mining, Portland, Oregon, Aug.

Ester M, Kriegel H, Xu X. 1995. Knowledge Discovery in Large Database: Focusing Techniques for Efficient Class Identification. In the Proc. of 4th Int'l Symp. on Knowledge Discovery in Large Database (SSD'95), Portland, Maine, Aug. 67 – 82

Executive Order 12906. 1994, Edition of the Federal Register. Volume 59, Number 71, pp. 17671 – 17674. Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure

Fang Fukang, Sanglier (Eds.). 1995. Complexity and Self-organization in Social and Economic System, Springer-Verlag, 1975 Holland J H, Hidden Order. Addison-Wesley Publishing Company

Fayyad U M, Piatetsky-Shapiro G, Smyth P, 1996. From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview. In U. M. Fayyad, G. Piatetsky-Shpiro, P. Smyth, R. Uthurusamy, eds. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. Chapter 1, MIT Press, 1 – 36

Federal Geographic Data Committee(FGDC). 1998. Metadata Ad Hoc Working Group, Content Standard for Digital Geospatial Metadata, http://www.fgdc.gov/

Federal Geographic Data Committee. 1997. Framework: Introduction and Guide. 1997. National Spatial Data Infrastructure, Prepared

by Rebecca Somers. Somers-ST. Claire.

Federal Geographic Data Committee. 1997. Framework Introduction and Guide, National Spatial Data Infrastructure

Gagon P. and Coleman D J. 1990. Geomatics, an Integrated, Systematic Approach to Meet for Spatial Information CISM journal. 44 (4)

Gail Langran. 1992. Time in Geographic Information System. Taylor & Francis Inc

Gatha Y. Tang, Teresa M. Adams, E. Lynn Usery. 1996. A Spatial Data Model Design for Feature-based Geographical Information Systems. IJGIS, 10(5): 643 – 659

Goodchild M. 1995. Future direction for geographic information science. geographic information science, (1)

Goodchild M. 1992. Geographic Information science. International Journal of Geographic Information System, 6(1)

Groot R. 1991. Education and training in Geomatics in Canada. CISM Journal, 45(3)

Gunther, Oliver and Johannes Laumbers. 1994. Object-Oriented Techniques for the Management of Geographic and Environmental Data. The Computer Journal, 37(1): 16 – 25

Haken, H. 1977. Synergetics, an introduction: Nonequilibrium Phase transition and Self-organization I, Physics, Chemistry, and Biology, Springer-verlag. New York

Henry Tom. 1994. The Geographic information system(GIS) Standards infrastructure. Standards View, (9)

Henry Tom. 1997. The Global Spatial Data Infrastructure, Proceedings of the Geoinformatics Conference and the Fourth International Workshop on Geographical Information System, August, Beijing

Huberman B A, .1998. The Ecology of Computation Elsevier Science Publishers

Inmon W H. 1996. Building the Data Warehouse. 2nd Edition. John Wiley

International Organization for Standardization. 1992. Database Language SQL. American National Standards Institute, ANSI X3.135-1992, New York, NY 10036, November

ISO, Collection of terms and definitions from ISO/TC211 Geographic Information/Geomatics, 1996

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

ISO/IEC JTC 1 N 4889. ISO/IEC JTC 1 N GII Roadmap (version 1.0): Guideline for Evolution, Management and Development of GII Standards. ISO/TC 211 document N 402, 1997, 08, 07

ISO/TC211 Metadata Working Document: Geographic Information, 1997

Raper J. F. & Maguire D. J. 1992. Design Models and Functionality in GIS, Computers & Geosciences, 18(4)

Jensen, J. R. and D. C. Cowen. 1997. Remote Sensing of Urban/Suburban Socioeconomic Attributes, Proceedings of Land Satellite Information in the Next Decade II: Source and Applications. Bethesda: American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, CD: 19

Jensen, J. R. and D. C. Cowen. 1997. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socioeconomic Attributes. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, in press

John Pickles. 1997. Tool or Science? GIS, Technoscience and the Theoretical Turn. Annual of the association of American geographers, 87(2): 363 – 372

Jonathan Raper, and David Livingstone. 1995. Development of a Geomorphological Spatial Model Using Object-oriented Design. IJGIS, 9(4): 359 – 383

Jose Samos, Felix Saltor, Jayme Sistac and Agusti Bardes. 1998. Database Architecture for Data Warehousing: An Evolutionary Approach. In DEXA 746 – 756

Joyce Bischoff, Ted Alexander. 1997. Data Warehoused, Practical Advice from the Experts, Prentice Hall Inc.

Stuart K. Shea Robert B. Memaster. Cartographic Generalization in a Digital Environment: When And How to Generalize

Kei Kurita. 1979. Stress memory of crystalline rocks in acoustic emission, Geophysical research letters, No.1

KUHN. 1998. Open GIS in Europe, the GIPSIE Project, GEObit'98

Kurt Buehler and Lance Mckee. 1998. the Open GIS Guide, June

Kushnir G, Yarus, J M. 1992. Modeling anisotropy in computer mapping of geologic data. In: Hamilton, E. and Jones, T. A. eds.

Computer Modeling of Geolgic Surfaces and Volumes. AAPG Computer Application in Geology, (1): 75 – 91

Lance Mckee. 1996. Building the GSDI, the OpenGIS Consortium, August 8

Lewis M. Branscomb & James Keller. 1996. Converging Infrastructures: Intelligent Transportation and the National Information Infrastructure, the U.S. Massachusetts: MIT Press

Lewis M. Branscomb. 1996. Converging Infrastructures: Intelligent Transportation and the National Information Infrastructure, the US Massachusetts, MIT Press

Liu T. 1992. Fractal structure and properties of stream networks, *Water Resources* res. 28 (11): 2981 – 2988

Goodchild M. F., 1992 Geographical Data Modeling, Computers & Geosciences, Vol. 18, No. 4

Goodchild M. F., 1995. Future Directions for Geographic Information Science, University of California

Maes P. Artificial Life Meets Entertainment: Life Like Autonomous Agents, Communication of the ACM, 38, 11, 108 – 114

Mandelbrot B. 1967. How Long is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science, 156: 639 – 638, May

Mapping Science Committee, National Academy Research Council. 1990. Spatial Data Needs: the Future of the National Mapping Program. National Academy Press, Washington D. C

Mark Monmonier, Interpolated Generalization: Cartographic Theory for Expert Guided Feature Displacement, The American Cartographic,

Mather P M. 1996. An Investigation into User Requirements for Advanced Spatial Decision Support Systems, http://www.geog.nottingham.ac.uk/mather/vr.html

Metadata and WWW Mapping a Home Page. http://www.blm.gov/gis/nsdi.html102. Metadata Tools. http://badger.state.wi.us/agencies/wlib/sco/metatool/mtools.htm

Metadata Issues in Sharing Geographic Data, Sharing Geographic Information, Eds. Harlan J. Onsrud, and Gerard Rushton, New Brunswick: Rutgers, The State University of New Jersey, 1995, 499

Michael F. Goodchild. 1995. Future directions for Geographic Information Science, Proceedings of Geo-Informatic '95 Hong Kong

Michael F. Goodchild. 1991. Towards a Science of Geographic Information, Geographic Information 1991. The year book of the association for geographic information. Taylor & Francis. 1991

Michael F. Goodchild. What is Geographic Information Science? http://www.ncgia.ucsb.edu/gisec/uints/uool/uooz.html.

Michael R. Genesereth, Steven P. Ketchpel. 1994, Software Agents. CACM, 37(7): 48 – 53

Michale Wooldridge and Nicholas R. Jennings. 1994. Intelligent Agents: Theory and Practice, Knowledge Engineering Review, October

Morehouse. 1997. Implementation of the OGIS Simple Feature Interface, INTEROP'97, Presentation # 1 – 17ppt

Moukas A. 1996. Amathaea: Information Discovery and Filtering Using a Multiagent Evolving Ecosystem, Proceedings of the Conference on Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, London

NAPA. 1998. Geographic Information for the 21st Century: Building a Strategy for the Nation, National Academy of Public Administration, Report # 98-01

National Research Council. 1997. Precision Agriculture in the 21st Century, Geospatial and Information Technologies in Crop Management, National Academic Press. Washington, D. C.

NCGIS. Advancing Geographic Information Science. 1995. http://www/ncgia.ucsb.edu/cont/Info.Soc/seec.html

Ng R T, Han J. 1994. Efficient and Effective Clustering Methods for Spatial Data Mining. In Proc. of the VLDB Conf. Santiago, Chili, Sept.

Nicolis, G. and I. Prigogine. 1997. Self-Organization in nonequilibrium systems, for dissipative structure to order though fluctuations. Wiley-Interscience, New York.

Nikora V. I. 1993. River Network Fractal Geometry and Its Computer Simulation, Water Resources, Res. 27(10): 3389 – 3575

OGC. 1996. Promoting Distributed Geoprocessing through cooperative technology development, partnerships and industry consensus, Newsletter of Open GIS Consortium, Inc. Wayland, MA

Open GIS Consortium: The Open GIS specification Model, Topic 2: Spatial Reference System, Open GIS Project Document Number 98

OpenGIS and OGIC Project. 1996. ISO/TC 211 WG4 Geospatial services N 026

OpenGIS Consortium Technicl Committee. 1998. The OpenGIS Guide-Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification, third Edition, http://www.opengis.org

OpenGIS Topic 11, OpenGIS Abstract Specification-Metadata (Version 3), http://www.opengis.org/techno/specs.htm

OpenGIS topic 13. OpenGIS Abstract Specification-Catalog Services(version3). http://www.opengis.org/techno/specs.htm

Pajarola R B, Aschwanden P W, Ohler T, Szabo K. OTAW'94-ViRGIS (Virtual Reality based Geographic Information System), 1994. http://ianwww.unibe.ch/www/WWW/CHOOSE/Articles/94-11/OTAW-94/Poster.5.html

Pajarola R B, Aschwanden P W, Ohler T, Szabo K. OTAW'94-ViRGIS (Virtual Reality based Geographic Information Systems), http://ianwww.unibe.ch/~www/WWW/CHOOSW/Articles/94-11/OTAW-94.Poster.5.html, 1994

Pequet D J. 1997. A Conceptual Framework and Comparison of Spatial Data Model. Cartographica, 21(4)

Peter Berger, Paul Meysembourg, Jim Sales and Carol Hohnston, 1994, Towards a Virtual Reality Interface for Landscape Visualization, 1994, http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA-FEE-CD-ROM/sf-papers/berger/paper.htm

Peter Berger, Paul Meysembourg, Jim Sales and Carol Johnston, 1994 Towards Virtual Reality Interface for landscape Visualization. http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA-FEE-CD-ROM/sf-papers/berger/paper.htm

Prigogine I. 1995. Laws of Nature and Human Conduct: Specifies and Unifying Themes. The Proceedings of Conference on Laws and Human Conduct. Belgium

Robert Laurini. 1998. Spatial Multi-database Topological Continuity and Indexing: a Step towards Seamless GIS Data Interoperability. INT. J. GIS, 12(4):373 - 402

Robert S. Gray. 1998. Agent Tcl-A flexible and secure mobile-agent system

Ross R B. 1991. Fractal Relation of Mainstream Length to Catchment Area in River Network, Water Resources, Res.27(3):381 - 387

Scholz C H, B B Mandelbrot. 1991. 地球科学中的分形研究. 刘祖荫译, 中国科学技术出版社

Simon H A. 1986. Human Cognition. Science Press, Beijing

Smallworld. 1998. GIS ohne Grenzen-Die Open Server-Strategie-Freie Bahn Falle Daten, GEObit'98

Steven M. Frank. 1995. Framework Data Sets for the NSDI, FGDC

Sycara K. Decker K, Wiliamson M. Intelligent Adaptive Information Agents, Working Notes of the AAAI - 96 workshop "Intelligent Adaptive Agents" Aug-96

Sycara K, Zeng D. 1996. Multi-Agent Integration of Information Gathering and Decision Support. Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence

Ted G. Lewis. 1995. Where is Client/Server Software Headed? Computer, 28(4)

The Earth System Science Committee, NASA. 1992. The Earth System Science. 1988. Chinese edition, Earthquake Publication, Beijing

The U.S. Department of Transportation. 1995. Question and Answers Regarding the Intelligent Transportation Systems Program, http://www.its dot.gov/qa.webz htm

The U.S. Department of Transportation. 1995. Questions and Answers Regarding the Intelligent Transportation Systems Program, http://www.its.dot.gov/qa.web2.htm

The U.S. Department of Transportation. 1996. What is ITS? http://www.its.dot.gov/what.htm

UCGISci. Research priorities for geographic information Science. 1996. http://www/ncgia/ucsb.edu/ucgis/CA GIS.html

University Consortium for Geographic Information science (UCGIS). 1996. Research Priorities for Geographic Information System

University Consortium for Geographic Information Science (UCGISci). 1996. Research Priorities for Geographic Information Science. Cartography and Geographic Information Systems, 23(3):115 - 127

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

W.邦奇, 1991, 理论地学, 商务印书馆

Waiman Cheung. 1996. The Model-Assisted Global Query System for Multiple Database in Distributed Enterprises, ACM Transaction on Information system, 14(4)

Wooldridge M H, Jennings N R. 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. The Knowledge Engineering Review, 10(2): 115 – 152

Yannis Labrou, Tim Finin. 1994. Semantics Approach for KQML-a General Purpose Communication Language for Software Agents. Third International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'94), November

Yaser Bisher. 1998. Overcoming the Semantic and Other Barriers to GIS Interoperability. INT. J. GIS, 12(4): 299 – 314

Zeeman E C. 1997. Catastrophe Theory: Selected Papers, Reading, Mass

Zhilin Li. 1998. Some Observation on the Issue of Line Generalization

附录　数字地球国内外网站*

国内网站

1.名称:中国信息
网址:http://www.chininfo.gov.cn
2.名称:中国环境信息资源
网址:http://www.chineir.com
3.名称:中国资源网
网址:http://www.sinosource.com
4.名称:环境与发展信息网
网址:http://www.ied.org.cn
5.名称:CSTNET 中国科技网
网址:http://www.cstnet.net.cn
6.名称:中国农业科技信息网
网址:http://wwww.caas.net.cn
7.名称:中国可持续发展信息网
网址:http://www.aca21.edu.cn
8.名称:科学数据库
网址:http://159.226.2.24
9.名称:数字地球
网址:http://www.digitalearth.net.cn
10.名称:中国科学院 GISWeb 服务
网址:http://www.lreis.ac.cn
11.名称:中国经济信息网
网址:http://www.cei.gov.cn
12.名称:中国经济信息网地图查询
网址:http://serve.cei.gov.cn/map/beijing/index.htm
13.名称:中国经贸信息网
网址:http://www.chinatrade.com.cn/
14.名称:中国教育信息网
网址:http://www.chinaedu.edu.cn
15.名称:中华人民共和国科学技术部
网址:http://www.most.gov.cn/
16.名称:中华人民共和国教育部
网址:http://www.moe.gov.cn

* 根据崔伟宏、冯泉、闫君提供的资料。

17.名称:环境与发展信息网
网址:http://www.iednet.com.cn/
18.名称:人民日报
网址:http://www.peopledaily.com.cn
19.名称:北京大学
网址:http://www.pku.edu.cn
20.名称:清华大学
网址:http://www.tsinghua.edu.cn
21.名称:北京图书馆
网址:http://www.nlc.gov.cn/
22.名称:北京大学图书馆
网址:http://www.lib.pku.edu.cn/chtml
23.名称:清华大学图书馆
网址:http://www.lib.tsinghua.edu.cn/
24.名称:中国科学院图书馆
网址:http://bibll.las.ac.cn/
25.名称:中国农业大学图书馆
网址:http://www.cau.edu.cn/library.htm
26.名称:中国地质大学图书馆
网址:http://www.cugb.edu.cn/tsg.htm
27.名称:中国石油大学图书馆
网址:http://www.bjpeu.edu.cn/~library/web.htm
28.名称:中国矿业大学北京研究生部图书馆
网址:http://www.cumtb.edu.cn/kdhp6.html
29.名称:上海图书馆
网址:http://www.libnet.sh.cn/
30.名称:深圳图书馆
网址:http://szlib.szptt.net.cn/
31.名称:搜狐国外虚拟参考图书馆
网址:http://www.sohu.com.cn/library/reference.html
32.名称:《科学时报》
网址:http://www.sciencetimes.com.cn
33.名称:《计算机世界报》
网址:http://www.computerworld.com.cn/
34.名称:《中国计算机报》
网址:http://www.ciw.com.cn/
35.名称:《互联网周刊》
网址:http://www.netweek.com.cn/
36.名称:《微电脑世界》
网址:http://www.peworld.com.cn/

国外网站

1. NAME:SPACE ART@IMPERIAL EARTH-DIGITAL

http://206.184.232.15/computed.htm/

2. NAME: ASSIGMENT EARTH DIGITAL

http://www.sfworkshop.com/digl.htm/

3. NAME: ASSIGMENT EARTH DIGITAL

http://www.sfworkshop.com/dig2.htm/

http://www.sfworkshop.com/dig3.htm/

4. NAME: DIGITAL EARTH HOME

http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth.htm/

5. NAME: DIGITAL EARTH HOME PAGE

http://geocities.com ~ digitalearth/

6. NAME: DIGITAL EARTH NET

http://digitalearth.net

7. NAME: DIGITAL EARTH TECHNOLOGY

http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/technology.html

8. NAME: THE DIGITAL EARTH

http://deathstar.rutgers.edu/vector/Digearth.html

9. NAME: Digital Earth BCIT Home

http://www.scas.bcit.ca/

10. NAME: DIGITAL EARTH

http://motown.gsfc.nasa/global/poster.html

11. NAME: DIGITAL EARTH SURFACE DATA

http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/3d.html

12. NAME: THE DIGITAL EARTH

http://www.ncgia.ucsb.edu/ ~ good/breakfast/sldoo4.html

http://digitalearth.gsfc.nasn.gov

13. NAME: DIGITAL EARTH

http://www.digearth.bcit.bc.ca/dedocs/default.htm

14. NAME: CREDITS

http://www.digearth.bcit.bc.ca/dedocs/eaaco/credits.html

15. NAME: GEODAT-DIGITAL MAPPING

http://www.geodat.nb.ca/

16. NAME: BERKELEY UNIVERSITY

http://www.regis.berkeeley.edu/rhome/whatsnew/goredigearth.html

17. NAME: Digital Earth Information Resource

http://www.icase.edu/ ~ tom/Digitalearth/DERsources.htm

18. NAME: Digital Earth

http://www2.nas.edu/besr/238a.html

19. NAME: Digital Earth: Volume 1

http://www.digearth.bcit.bc.ca/dedocs/default2.htm

20. NAME: Cornell's Digital Earth

http://atlas.geo.cornell.edu/index.html

21. NAME: NASA_JSC DIGITAL IMAGE COLLECTION HOME

http://images.jsc.nasa.gov/

22. NAME: Digital Earth Resistance Tester

http://www.asishwaryea.com/digital.htm

23. NAME: Digital Earth

http://www.interaccess.org/iceflow.digital.htm

24. NAME: The Digital Earth

http://www.gik.uni-karlsruhe/~zippelt/giswelt/DigitalEarth.html

25. NAME: JPL DIAL HOME PAGE

http://www-dial.jpl.nasa.gov/

26. NAME: Digital Earth Lab-GIS & Visualisation-Oregon State

http://dusk.geo.orst.edu/de_constr.html

27. NAME: Digital Earth

http://www.hydragroup.com/kineticearth/Default.htm

28. NAME: GIS World-OGC Support Gore's Digital Earth June 1998

http://archives.aip.com/geoplance/1998/0698/698cnct.asp

29. NAME: ALBER DIGITAL ELEVATION MODEL(DEM)

http://www.ersi.bc.ca/alsberta-dem.htm/

30. NAME: A Strategy for populating the Digital Earth

http://www.hjw.com/presentations/rand/chris/index.htm

31. NAME: Digital Earth

http://sdcd.gsfc.nasa.gov/ISTO/dro/global/poster.html

32. NAME: Digital Earth

Website: http://sdcd.gsfc.nasa.gov/ISTO/dro/global/posterlarge.html

33. NAME: Excerpts from"The Digital Earth" by Al Gore

http://www.environment.gov.au/general/discussion_groups/mhonarc/aca

34. NAME: Digital Earth

http://remotesensing.org/Development/Documentation/Papers/Digital_E

http://www.remotesensing.org/Development/Documentation/Papers/Digit

35. NAME: Ohio view list Working Data Standards for OhioView MARSAC and Digital Earth

http://gaia.ohioview.org/list-archives/ohioview/0003.html

36. NAME: Interoperable Web-based delivery of digital orthophoto imagery

http://tull.mit.edu/jpers/

37. NAME: Name: USGS: A Prototype Digital Earth Science Information System developed by GD Scientists

http://pubs.usgs.gov/circular/cll72/h16.html

38. NAME: Digital Earth(Text introduction; Interact)

http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/intro.html

http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/interact.html

http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/user-box.html

39. NAME: Digital Earth Lab Links

http://dusk.geoorst.edu/de/de_links.html

40. NAME: Digital Earth Enterprises

http://www.micronet.net/users/~sweems/dee/dee.html

41. NAME: The Digital Earth

http://www.ci.bakersfield.ca.us/gis/Documents/other/digital_earth.htm

42. NAME: OGC and Digital Earth

http://www.opengis.org/info/newsletter 9810/10.htm

43. NAME: GEOINFORMATICS HOME PAGE

http://www.freeyellow.com/members6/geoinformatics/index.htm

44. NAME: GEOGRAPHY LINKS

http://geog.tamu.edu/geosociety/geoglinks.htm

45. NAME: INTERNET SITES

http://www.twu.ca/library/wwwsites.html

46. NAME: OPENGIS

http://www.opengis.org

47. NAME: INFORMATION GEOGRAPHY

http://www.cnerta.educagri.fr/infogeo/

48. NAME: Geospatial Data Clearinghouse

http://fgdclearhs.er.usgs.gov/

49. NAME: International Directory Network

http://gcmd.gsfc.nasa/ceos.idn/map.html

50. NAME: THE GIS HOMW PAGE

http://fatboy.larc.nasa.gov/

51. NAME: REMOTE SENSING AND GIS LINKS

http://www.geog.nottingham.ac.uk/mather/useful_links.html

52. NAME: RS/GIS PUBLICATIONS ONLINE

http://www.gis.umn.edu/rsgisinfo/pubs.html

53. NAME: INTERNET RESOURCES FOR GEOGRAPHYIC INFORMATION AND GIS

http://perseus.holycross.edu/PAP/general/resources-gis.html

54. NAME: GIS GOPHER RESOURCE

http://www.geo.ed.ac.uk/home/gisopher.html

55. NAME: WWW GIS RESOURCES (GIS ON THE INTERNET)

http://www.geo.uni-bonn.de/members/haack/gisinfo.html

56. NAME: DOOGIS DYNAMIC GIS HOME PAGE

http://doogis.dis.anl.gov/

57. NAME: Web GIS and interactive mapping sites

http://ibraent.ibrae.ac.ru/webgis_e.html

58. NAME: GIS Resources on the Web

http://www.usc.edu/isd/locations/doheng/ref/guides/gis_resources.ht

59. NAME: GIS ONLINE; Information Retrieval. Mapping the Internet

http://kayenta.geog.byu.edu/gisonline/book.htm

60. NAME: The GIS Online Page

http://carbon.cudenver.edu/stc-link/gis

61. NAME: GIS online

http://www.cs.curtin.edu.au/units/gis/content.html

62. NAME: Online GIS demonstation

http://www.ozemail.com.au/~sintell/online.htm

63. NAME: MAP DATA Online(GIS data Store)

http://www.mapdata.net/frame.html

64. NAME: MAP DATA onlinle(Free GIS DATA)

http://www.mapdata.net/free/freereg.html

65. NAME: GIS online Web site

http://kayenta.geog.byu.edu/gisonline

66. NAME: Welcome to the Online GIS

http://www.cgnda.nu.ca/gis.htm

67. NAME: GIS Online paper

http://gis,igm.bo.cnr.it/paper.html

68. NAME: EARTH IMAGE RESOULUTION BY POWER OF

http://www.arcinc.com/gallery3.htm

69. NAME: REMOTE SENSING INFO

http://www.enviroscan.com/promo/pkcexxc.html

70. NAME: REMOTE SENSING

http://www.remotesensing.org/

71. NAME: European Space Agency

http://esrin.esa.it/

72. NAME: REMOTE SENSING/GIS/GPS DATA AND INFORMATION

http://triton.cms.udel.edu/~oliver/rs_gis.html

73. NAME: REMOTE SENSING AND GIS HOME PAGE

http://www.gis.umn.edu/rsgisnfo/rsgis.html

74. NAME: GPS PAGE

http://www.mvangel.com/gps.html

75. NAME: GPS PAGE

http://www.mvangel.com/gps.html

76. NAME: GPS USER EQUIPMENT HOME PAGE

http://www.gps-ue.robins.af.mil/

77. NAME: GPS WORLD HOME PAGE

http://www.gpsworld.com/gps.htm

78. NAME: GPS SITE

http://www.valley.ne.jp/~kazuo/gps.htm

79. NAME: GS RESOURCES

http://www.gpsworld.com/resource.htm

80. NAME: GLOSSARY OF GPS RELATED TERMS

http://www.gpsworld.com/resources/glossary.htm

81. NAME: GPS GENERAL INFORMATION SITES

http://www.irunet.com/~pwt/gps-gen.html

82. NAME: global position system(GPS)and glonass

http://www.auslig.gov.au/geodesy/gps.htm

83. NAME: GPS. INFORMATION AND OBSERVATION

http://gibs.leipzig.ifag.de/Welcome-en.html

84. NAME: USNO GPS DATA & INFORMATION

http://tycho.usno.navy.mil/gps-datafiles.html

85. NAME: GPS APPLICATION HOME PAGE

http://www.gpsapps.com/

86. NAME: GROTON PUBLIC SCHOOL: GPS ON LINE

http://www.groton.k12.ct.us/

87. NAME: JPL GPS NETWORKS AND IONOSPHERIC SYSTEM DEVELOPMENT

http://sideshow.jpl.nasa.gov/gpsiono/

88. NAME: GPS SERVER

http://www.pc.unisys.com/servers/gps.htm

89. NAME: MIT EAPS GPS/GEODYNAMIC HOMEPAGE

http://www-gpsg.mit.edu/

90. NAME: A GPS GIS COURCE HOME PAGE

http://www.rlageosystems.com/

91. NAME: OIL PAINTING PHOTOGRAPHY PRINT AND MORE

http://oilpaintings.hypernart.net/index.htm

92. NAME: DBL FRANCE

http://www.dbl.fr/

93. NAME: ALIENMAIL.COM(SM) STARPORT EARTH 1999

http://www.alienmail.com/

94. NAME: TOLKIEN ENTERPRISES

http://www.tolkien-ent.com/things.htm/

95. NAME: CLIENTS OF FIND US AT.COM

http://www.findusat.com/

96. NAME: DAYPUBB.COM INTERNET RADIO

http://www.daypub.com/index.htm/

97. NAME: CONNECTED EARTH VIES OF SPACE AND SPACE VIEWS OF ERTH

http://spaceupdate.com/

98. NAME: STOCK PHOTOGRAPHY EARTH/GLOBE

http://www.mediafocus.com/symbo/14.htm/

99. NAME: LNR COMMUNICATIONS TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND EQUIPMENT

http://www.lnr.com/

100. NAME: USA.WHITEHOUSE

http://www.pub.whitehouse.gov

101. NAME: USGU

http://www-ak.wrs.usgs.gov/aedd/a edd.html

102. NAME: CHAART Data Sources on the Internet

http://geo.arc.nasa.gov/sge/health/links/links.html

103. NAME:CGRER AVAILABLE DATA:U.S. PROTYPE LAND COVER DATA BASE

http://www.cgrer.uiowa.edu/cgrer-lab/data-sources/land-cover.html

c4. NAME:NEWS CENSUS BUREAU

http://www.census.gov/pubinfo/www.news.html

105. NAME:CENSUS BUREAU TECHNICAL INFORMATION

http://www.census.gov/main/www/popcld.html

106. NAME:CENSUS STATISTICS

http://www.lk/national/census/sl-figures95.html

107. NAME:TIGERAMPPING SERVICE

http://tiger.census.gov/

108. NAME:HOME PAGE OF EDWIN KELZER

http://gissrv.iend.wau.nV ~ keizer/

109. NAME:CIESIN

http://www.ciesin.org

110. NAME:FGAC

http://www.fgac.gov

111. NAME:THE FAO GLOBE INFORMATION AND EARLY WARNING SYSTEM.

http://www.fao.org/giews/eglish/giewse.htm

112. NAME:FAO GLOBAL INFORMATION AND EARLING WARNING SYSTEM

http://www.cirad.fr/FR/fao/smiar/home _ fao.html

113. NAME:DATABASE ON FOOD AND AGRICULTURE(SADC COUNTRIES DATA DATABASE)

http://www.zimbabwe.net/sadc-fanr/sadcbase.htm

114. NAME:FAO OF UNITED NATIONS ANNUAL REVIEW

http://www.fao.org/review/reviewe.htm

115. NAME:FAO FORESTRY HOME PAGE

http://www.fao.org/WAICENT/faoinfo/forestry/forestry.htm

116. NAME:FAO DIGITAL SOIL MAP OF THE WORLD

http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/fao

117. NAME:FAO POPULATION OF THE WORD

http://www.undp.org/popin/fao/faohome/htm

118. NAME:UNDP WORLD BANK WATER AND SANITATION PROGRAM

http://www.wsp.org/

119. NAME:UNDP HOME PAGE

http://www.un.ru/undp/

http://www.un-bd.org/WELUNDP.HTM

120. NAME:UNDP PROGRAPMS

http://UN.home.by/programmes.html

121. NAME:UNDP CHINA SUSTAINABLE HUMAN DEVELOPMENT

http://www.edu.cn/undp/shd/shd.htm

122. NAME:CEOS Information Locator Service

http://cils.dlr.de/

123. NAME:European Wide Service Exchange

http://ewse.ceo.org/

124. NAME:The Environment and Natural Resources Management project

http://www.g7.fed.us/final.html

125. NAME:Environment Canada:The Green Lane on the Information Highway

http://www.ec.gc.cs/envhome.html

126. NAME:European Environment Agency Catalog ue of Data Sources

http://www.eea.dk/locate /cds/default.htm

127. NAME:Master Environment Library

http://www-mel.nrlmry.navy.mil/

128. NAME:Inter American Biodiversity Information Network

http://www.nbs.gov/nbii.iabin/

129. NAME:Global Environment Information Locator Service

http://ceo.gelos.org

130. NAME:AGdb Agricultural Database

http://www.agaic.org

131. NAME:ERDAS Inc.

http://www.erdas.com

132. NAME:NASA Langley

http://eosdis.larc.nasa.gov

133. NAME:USGS Home Page

http://info.er.usgs.gov/

134. NAME:NOAA Home Page

http://www.noaa.gov/

135. NAME:Geomatics Canada

http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/gcnet/

136. NAME:Global Land Info

http://sunl.cr.usgs.gov/glis/glis.html

137. NAME:NASA EOS

http://eos.nasa.gov/

138. NAME:IEEE Geoss & RS

http://www.ieee.org/grs/index.html

139. NAME:UM/NGIS archive

http://www.odyssey.maine.edu/gisweb

140. NAME:Russian Satellite Data

http://cen.cenet.com/htmls.Services.html

141. NAME:ENVIRONMENTAL CHANGE NETWORK HOME PAGE

http://www.nmw.ac.uk/ecn/index.html

142. NAME:FRONTIER RESEARCH SYSTEM FOR GLOBAL CHANGE HOME PAGE

http://www.frontier.esto.or.jp/

143. NAME:GLOBAL CHANGE HOME PAGE

http://www.globalchange.org/gc.htm

144. NAME:US GLOBAL CHANGE RESEARCH INFORMATION OFFICE HOME PAGE

http://gcrio.gcrio.org/

145. NAME:GLOBAL CHANGE

http://www.usgs.gov/education/learnweb/GC.html

146. NAME:GLOBAL CHANGE DATA CENTER

http://gcdc.gsfc.nasa.gov/gcdc/gcdc.html

147. NAME:CIESIN LAND USE AND GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE

http://www.ciesin.org/TG/LUC/LUC-home.html

148. NAME:Mar/Apr 99:Think Globally, Act Digitally

http://www.techreview.com/articles/ma99/benchmark1.html

149. NAME:Kinetic Earth:Portfolio

http://www.hydragroup.com/kineticearth/kinetic_Earth_Portfolio.htm