

化 学 工 业 信 息 化 丛 书

数字油田

李剑峰 李恕中 张志橦 编著



化学工业出版社

化 学 工 业 信 息 化 丛 书

数字油田

李剑峰 李恕中 张志橦 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是《化学工业信息化丛书》之一。

本书系统地讲述了数字油田的由来、概念、发展现状、相关技术及未来发展前景等诸多方面的知识和技术。第1章阐述了数字油田的缘起；第2章为数字油田的概念、分类及系统架构；第3、4章为数字油田主要业务流程和信息技术；第5章为数字油田数据库技术；第6章为数字油田的虚拟现实与网格技术；第7章为数字油田的信息安全技术；第8章为数字油田与油田的经营管理；第9、10章则分别叙述了数字油田工程的实施纲要与发展展望。

本书可供油气工业界的信息化工作管理者、决策者、从业者阅读；也可供相关专业师生参考及培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

数字油田/李剑峰,李恕中,张志橐编著. —北京:

化学工业出版社, 2006.5

(化学工业信息化丛书)

ISBN 7-5025-8624-5

I. 数… II. ①李…②李…③张… III. 数字技术-应用-油田开发
IV. TE319

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 040753 号

化学工业信息化丛书

数字油田

李剑峰 李恕中 张志橐 编著

责任编辑:戴燕红 郑宇印

责任校对:战河红

封面设计:关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 3/4 字数 362 千字

2006年7月第1版 2006年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8624-5

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

化学工业信息化丛书编委会

- 名誉主编:** 成思危 全国人大常委会副委员长
- 主 编:** 曹湘洪 中国工程院院士、中国化工学会理事长
- 副主编:** 杨友麒 中国化工学会信息技术应用专业委员会秘书长 教授级高工
张志橦 中国石油化工股份公司信息管理部原副主任 教授级高工
- 编 委:** 陈丙珍 清华大学化工系 中国工程院院士、教授
麻德贤 北京化工大学 教授、博导
朱群雄 北京化工大学信息科学与技术学院院长 教授
韩方煜 青岛科技大学计算机与化工研究所所长 教授
温 浩 中科院过程工程研究所室主任 研究员
钱 宇 华南理工大学化工学院院长 教授
金以慧 清华大学自动化系 教授
黄德先 清华大学自动化系 研究员
郭锦标 中石化石油化工科学研究院副总工程师 教授级高工
李德芳 中国石油化工股份公司信息管理部主任 教授级高工
齐学忠 中国石油化工股份公司信息管理部主任 教授级高工
李剑峰 中国石化勘探开发研究院副总工兼南京石油物探研究所所长
教授级高工
古学进 中国石油天然气股份有限公司信息管理部副总经理 教授级高工
张 昆 中国石油天然气集团公司大庆石化总厂计算机开发公司总经理 高工
- 特邀编委:** 刘裔安教授 (美国 Virginia Tech 大学)
刘有鸿博士 (INVENSYS)
陶兴文博士 (Honeywell)
黄志明博士 (AspenTech)
张雪峰博士 (SAP)
陈 雷经理 (IBM 中国有限公司)
王立行教授级高工 (石化盈科)

总 序

在《化学工业信息化丛书》编委会、中国化工学会秘书处与信息技术应用专业委员会、化学工业出版社以及各位作者和有关单位共同努力下，历时三年，该《丛书》问世了。我仅以中国化工学会和丛书编委会的名义，对丛书的出版问世表示热烈祝贺！

三年前，我们开始策划出版该套丛书。根据以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走新型工业发展道路的战略思想，中国化工学会信息技术应用专业委员会建议，利用专业委员会在化工信息技术应用领域的代表性和权威性，调动专业委员会内部力量与社会外部力量，尽快编写出一套化工信息化丛书。主要着眼点是总结国内外石油、石化、化工行业信息技术应用的经验，梳理其成长的轨迹，介绍其主流的技术，推荐其优秀的案例，展望其发展的未来，以满足广大石油、石化、化工领域技术工人、工程技术人员和领导干部从事信息化建设的需要，促进、推动在石油、石化、化工行业方兴未艾的企业信息化建设的科学、和谐与健康发展。

本丛书包括《企业信息化组织与管理》、《化工过程控制系统》、《化工过程模拟与优化》、《化工企业资源计划系统 ERP》、《化工生产执行系统 MES》、《化工过程先进控制》、《化工生产计划与调度优化》、《化工实验室信息管理系统 LIMS》和《数字油田》9 个分册。

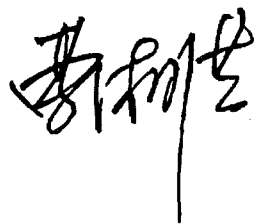
该套丛书的编写，采用了开放的模式，石油、石化、化工行业的信息技术应用专家、科研院所和高等院校的学者和教授，以及国外知名信息技术公司的高层技术主管“三结合”，参与书稿的讨论或撰写，达到了博采众长、兼收并蓄的效果。

该套丛书反映了石油、石化、化工行业信息技术的最新应用成果，具有前瞻性和先进性；同时又深入浅出，具有良好的实用性和可读性。丛书的编写原则是成系列而又不繁杂，选题新颖而又避免重复，突出行业特点而不是仅考虑通用性，重视实用而不仅偏重理论，也可以说是一套具有技术性、实用性、工具性、通俗性的高级科普读物或工具丛书。

在本书编写过程中，许多国内外石油、石化、化工行业的信息技术应用专家，高等院校、科研院所从事信息技术应用教学科研的教授、学者、化工出版社的领导和编辑，以及国内外许多 IT 公司的高级技术总监和顾问为本丛书的策划、组织、编写付出了大量心血，提供了大量资料甚至经费上的支持。在此，我谨代表中国化工学会暨信息技术应用专业委员会、代表丛书编委会向所有为丛书做出贡献的同志、朋友表示衷心的感谢！

社会在进步，科学在发展，技术在不断涌现。我希望这套丛书在知识经济条件下，能成为石油、石化、化工领域的各级管理人员、技术工人和工程技术专家在信息化建设的过程中爱看、经常看的工具书。

中国工程院院士
中国化工学会理事长
《化学工业信息化丛书》编委会主任



2006 年 1 月

前言

数字油田是一个比较新的概念，目前在世界上还没有见到成功的实践案例，很多概念还在争论、发展、完善阶段。因此本书作为同行之间相互交流、相互促进之用。

本书在编写过程中得到了许多领导、专家、同事、朋友的鼓励、支持和帮助。中国石化石油勘探开发研究院院长金之钧教授给予作者多方面的鼓励和关怀，是本书最终得以完稿的最大动力。在为人处世、治学修身、经营管理等许多方面他都是笔者心中的楷模，与之相处如入芝兰之室。研究院的其他领导如曲寿利副院长、赵廷寿教授、查忠圻教授、苏长明教授，同事如宁俊瑞、管路平、董宁、赵改善、关达、王卫平、朱成宏、曹辉、胡中平等，他们的一些很好的想法、思路都曾带给笔者许多启发，文中的有些图件也来自他们的无私援助。在这里一并向以上提到的诸位以及没有提到但曾给予作者无私帮助的其他领导、朋友和同事表示衷心的感谢。最后还要特别感谢三位作者的家人们，他们在漫长的成书过程中对我们三位作者表现了极大的宽容和耐心，并在很多方面给予方便和支持。

本书的第1、2、3、6、10章由李剑峰执笔，其他章节由李恕中执笔，张志橦先生统校了全书。特别要感谢的是中国石油的王秀明先生，他认真地审阅了全文，并抽出宝贵的时间和作者多次倾心长谈，提出了很多宝贵的意见，他的许多真知灼见让笔者获益良多，他严谨的治学态度也让笔者由衷地钦佩。

还要再次说明的是，数字油田到目前为止还没有见到公认的成功现实案例，在很大程度上还处于探索和发展阶段。而且各个油田企业所进行的数字油田方面的探索也都是根据自己的具体情况各有侧重、各有专长，甚至可以说呈现了一种“一树千叶、一脉万流”的“混乱”局面。因此本书还无法从一个完整的、成熟的数字油田模型出发，条分缕析，深入解剖，而只能是一种宏观的、概念性的介绍，同时，这样做也恰好符合本套丛书出版的宗旨。书中对一些尚处于发展阶段的概念由作者给出了自己的看法或定义，也许有的读者会有不同的观点或认识，我们欢迎大家批评指正，“多岐为贵，不取苟同”，才能“百花齐放、百家争鸣”。我们期望以后有机会能够就同样的题目写出更深入、更全面、更成熟的文字以飨热心关注数字油田技术发展的读者朋友。

清朝著名诗人随园老人袁枚有一首咏苔花的诗：“白日不到处，青春还自来。苔花如米小，也学牡丹开。”特别欣赏其中“苔花如米小，也学牡丹开”的精神，即使小如米粒的苔花，又何妨奋发灿烂，像雍容华贵的牡丹一样向大千世界展现自己的美丽呢？这是作者撰写本书的精神动力，并愿以此诗与天下千千万万甘于寂寞、奋发向学的读书人共勉。

李剑峰

2006年元旦于北京

目 录

第 1 章 数字油田的缘起——数字地球	1
1.1 数字地球概念溯源	1
1.2 数字地球的基础设施 (Digital Earth Infrastructure)	2
1.3 数字地球与全球信息化	4
1.4 数字地球所涉及的技术领域	5
1.5 数字地球的基本体系及核心技术	6
1.6 数字地球的发展前景与数字油田	9
第 2 章 数字油田的概念、分类及系统架构	11
2.1 数字油田的概念	11
2.2 数字油田的分类	13
2.3 数字油田的基本架构	14
2.4 数字油田的应用需求	19
2.5 数字油田涉及的主要学科及技术领域	19
2.6 数字油田关键技术概述	20
2.7 数字油田技术发展阶段	23
第 3 章 油田企业主要业务流程及信息化	26
3.1 整个油田生命周期的宏观业务过程	26
3.2 油气发现阶段主要业务流程及信息化	29
3.2.1 概述	29
3.2.2 地震勘探概要	30
3.2.3 地震资料处理	33
3.2.4 地震资料综合解释	34
3.2.5 地震勘探技术的信息化	40
3.3 生产建设阶段主要业务流程及信息化	43
3.3.1 生产测井	43
3.3.2 油气钻井工程业务流程及信息化	46
3.3.3 油气井下作业业务流程及信息化	51
3.3.4 油田地面建设业务流程及信息化	54
第 4 章 地理信息系统	64
4.1 地理信息系统的用途	64
4.2 地理信息系统的构成	65
4.3 数字油田中的地理信息系统	66
4.4 地理信息系统中的数据与数据管理	67
4.4.1 地理空间数据的组成	68
4.4.2 地理空间数据的矢量模型	68

4.4.3	地理空间数据的栅格模型	69
4.4.4	矢量数据模型与栅格数据模型的比较	71
4.4.5	地理空间数据的管理	71
4.4.6	地理空间数据的元数据	72
4.5	地理空间数据处理和分析	73
4.5.1	地理空间数据处理	74
4.5.2	地理空间数据的空间分析	74
4.5.3	地理信息系统实施要点	76
4.6	常用地理信息系统简介	78
4.6.1	ArcGIS	78
4.6.2	MapInfo	82
4.6.3	GeoMedia	86
4.6.4	MAPGIS 系列	88
4.7	油田地面建设基础地理信息系统实施要点	90
第 5 章	数字油田核心信息技术 (数据库)	94
5.1	数据库技术	94
5.1.1	数据库和数据库管理系统	94
5.1.2	数据库系统的构成	95
5.1.3	数字油田中的数据库系统	97
5.1.4	油田数据库系统举例	98
5.1.5	常用数据库管理系统	100
5.1.6	油田数据库系统实施要点	108
5.2	企业应用集成 (EAI)	112
5.2.1	企业应用集成的概念	112
5.2.2	IT 的发展演变模式	113
5.2.3	企业应用集成的分层与实现	116
5.2.4	EAI 工具产品	121
5.2.5	石油石化企业中的 EAI	123
第 6 章	数字油田前缘信息技术	128
6.1	虚拟现实技术	128
6.1.1	虚拟现实技术的基本定义、概念与关键技术	129
6.1.2	VR 分类及技术特点	131
6.1.3	VR 系统的体系结构	133
6.1.4	VR 常见技术产品介绍	136
6.1.5	VR 技术的应用情况概览	137
6.1.6	VR 技术在石油工业的应用	139
6.2	网格技术	143
6.2.1	什么是网格	143
6.2.2	网格技术的核心思想	145
6.2.3	网格的分类与网格应用	148

6.2.4	网格技术的发展现状	150
6.2.5	我国网格研究现状	151
6.2.6	网格技术在石油工业的应用	153
第7章	数字油田信息安全技术	166
7.1	信息系统安全的体系结构	166
7.1.1	信息安全	166
7.1.2	信息安全管理标准 BS7799	167
7.1.3	建立企业的信息安全体系	168
7.2	网络安全	170
7.2.1	常见的网络安全防范技术	172
7.2.2	防火墙技术	173
7.3	公开密钥基础设施 (PKI) 与身份论证	177
7.3.1	公开密钥基础设施概要	177
7.3.2	PKI 组成	179
7.3.3	证书认证机构 (CA)	180
7.3.4	数字证书的构成和使用	183
7.4	数据库安全控制策略	185
7.5	数字油田中安全系统的体系结构	186
7.5.1	安全系统的功能概述	187
7.5.2	油田数据安全性指标体系	187
7.5.3	油田数据用户分类及数据安全方案	188
第8章	数字油田与油田的经营管理	190
8.1	ERP 的形成	190
8.2	石油工业上游企业的 ERP	194
8.3	数字油田与 ERP	198
8.4	ERP 的实施	198
8.4.1	ERP 系统实施的前期工作	199
8.4.2	项目实施	201
8.5	供应链 (SCM) 和客户关系管理 (CRM)	203
8.5.1	供应链管理 (SCM)	204
8.5.2	客户关系管理 (CRM)	205
第9章	数字油田工程的实施关键	207
9.1	工程实施条件	207
9.2	工程实施纲要	208
9.2.1	工程实施的组织机构建设	208
9.2.2	油田企业信息化现状调查和需求分析	209
9.2.3	系统设计	210
9.2.4	基础设施建设	211
9.2.5	数据准备	211
9.2.6	人员培训	211

9.2.7 测试与试运行	211
9.3 工程实施管理	211
9.3.1 工程风险管理	212
9.3.2 工程变更管理	213
9.3.3 工程监理	213
9.3.4 工程审计	214
第 10 章 数字油田发展展望	216
10.1 数字油田技术的发展需求	216
10.1.1 我国油气资源现状及发展需求对数字油田技术提出了迫切的要求	216
10.1.2 我国油气勘探开发技术的亟须提升对数字油田提出了需求	217
10.1.3 油田企业降本增效的压力是数字油田发展的动力	217
10.1.4 油气工业全球一体化对数字油田技术提出的要求	218
10.1.5 信息技术在石油工业的发展及带来的必然趋势	219
10.2 数字油田技术的应用领域	219
10.3 数字油田在中国的发展现状	221
10.4 我国数字油田建设中存在的问题	223
10.5 数字油田发展展望	224
参考文献	226

第 1 章 数字油田的缘起——数字地球

1998 年 1 月 31 日, 时任美国副总统的戈尔 (Al Gore) 先生, 在美国加利福尼亚科学中心发表了题为“数字地球: 对 21 世纪人类星球的认识”的著名讲演, 首次提出了“数字地球”的创意。自此之后, 数字地球像一波汹涌的大潮, 在人类居住的这个小小的星球上迅速蔓延, 很快地波及到了人类生活的各个方面, 从数字政府、数字城市到数字河流、数字生存、数字经济, 各种各样披上数字外衣的概念充斥了各种媒体。从街谈巷议到科学殿堂, 数字化已经成为了一种新的生活方式、交流方式甚至是一种新的语言。在这种无所不在的数字大潮中, 作为现代经济的一个重要支柱的石油行业, 自然也不能免俗, 在很短时间内石油行业的各个层面都被镀上一层数字外衣, 数字油田的概念应运而生。现在已经很难知道数字油田的概念最先出自何处, 但很明显地是, 它最初是作为数字地球概念的一个延伸提出来的, 因为到目前为止, 数字油田还没有一个明确的定义, 不同的人对数字油田的理解可能有很大的差别。不过可以从日渐清晰的关于数字地球的研究中理出一条主线, 从而对数字油田的概念有一个更好的理解。

1.1 数字地球概念溯源

数字地球的发展历史并不长, 是随着信息技术的发展和全球一体化步伐的加快逐渐发展起来的。可以从“高速公路—信息高速公路—数字地球”这条主线看到从传统技术到信息技术的发展、再到数字地球概念的提出这样一条清晰的脉络。

早在 1956 年, 美国政治家 Albert Gore 作为国会议员, 单独提出了“州际高速公路”的提案并获得通过。这个提案提出建设 7 万多公里的高速公路, 把美国各州用高速公路连接起来。这一覆盖全美的高速公路网络像一条条通畅的动脉血管, 给美国经济带来了巨大的活力, 是美国经济保持多年持续发展的坚实基础。无独有偶, 时隔 25 年之后的 1981 年, 这位国会议员的儿子戈尔同样作为国会议员, 在美国科学与电视艺术研究院的一次演讲中, 首次提出了风靡全球的“信息高速公路”的概念, 把工业经济中的基础设施“高速公路”的概念进行了大跨度的引申, 形成了知识经济的基础设施“信息高速公路”的概念, 为日后互联网经济 (Internet Economy) 的快速发展奠定了坚实的基础。从高速公路到信息高速公路的跨越, 可以很清晰地看到 Gore 父子不仅在血缘上, 而且在学术思想上的一脉相承和推陈出新的不断发展。正是这位毕业于哈佛大学政治专业的国会议员戈尔, 日后成为了美国第 45 任副总统, 并于 1998 年 1 月 31 日在美国加利福尼亚科学中心提出了“数字地球”的概念。为自己早先提出的信息高速公路设计了一列满载信息货物的高速列车, 从而解决了信息高速公路有路无车的问题, 构成了“路-车-货物”均衡的完美体系。

数字地球是一个不断完善的庞大的信息体系, 其定义和内涵也在不断地发展和充实。对数字地球的最正统的定义源于戈尔先生, 在他首次提出数字地球创意的那个讲演中提到: “我们需要一个数字地球, 即一种可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的和三维的地球的表

示，并可以在其上添加许多与我们所处的星球有关的数据。”他甚至富有想象力地描述了我们进入数字地球系统时的情景：“戴上头盔便可以看到与从太空看到的一模一样的地球。还可以使用数据手套对所看到的影像进行放大，以达到越来越高的分辨率。这样便可以看到各大洲不同的地区、国家、城市等内容，甚至最后可以看到更为具体的房屋、树木以及其他自然的或人造的对象。”而1999年在美国马里兰大学召开的数字地球研讨会上，大多数学者同意把数字地球定义为：“数字地球是地球的虚拟表示，能够汇集地球的自然和人文信息，人们可以对该虚拟体进行探查和互动。”

不同的研究者对数字地球的定义会略有差异。中科院陈述彭院士等（2001年）认为：“数字地球是对真实地球及其相关现象的统一的数字化的认识，是以因特网为基础，以空间数据为依托，以虚拟现实技术为特征，具有三维界面和多种分辨率浏览器的面向公众的开放系统。”主要由三部分组成：

① 不同分辨率尺度下的地球三维可视化的浏览界面（与目前普遍使用的地理信息系统不同），这是与用户交流的接口；

② 网络化的地理信息世界，为用户提供公用信息和商业信息，甚至可以为各类网络用户开辟一个认识“我们这个星球”的“没有围墙的实验室”；

③ 多源信息的集成和显示机制，就是融合和利用现有的多源信息，并将其“嵌入”数字地球的框架，进行“三维描述”和智能化的网络虚拟分析，这是建立数字地球的关键技术。

数字地球从本质上看是一个关于地球的信息化“巨系统”，其中包括多种多样复杂的信息体系，如数据的获取与更新体系、数据的存储与处理体系、信息提取分析与知识挖掘体系、信息传播体系、数据库及网络体系、数据模型及应用模型体系、专家咨询服务体系、标准化体系、人文政治管理体系、法律财务体系等，是地球科学、信息科学、空间科学等多学科交叉融合的前缘。数字地球具有空间性、数字性和整体性融合统一的特征，是人类首次在技术层面从整个地球出发去考虑问题，这是数字地球与一般信息系统的根本区别。数字地球的数据具有无边无缝的分布式数据层次结构，包括多源多尺度的、历史的和现实的、自然的和人文的、矢量的和格栅的等各种数据，这些数据都和地球空间地理数据库相联系，可以迅速地查阅、修改和充实。

数字地球采用开放平台、构件、动态互操作等最先进的信息技术方案，能够以图像、图表、文字报告等多媒体方式提供服务，服务对象覆盖全球整个社会层面。数字地球的用户无论何时、何地、为何种目的都能够以多种方式轻松取得自己权限所允许的数据、信息或知识，甚至可以利用数据手套、头盔、鸟群跟踪器、三维鼠标等交互工具对数字地球进行各种可视化操作。

不难看出，数字地球的最突出的特征就是全球化和多尺度，其核心思想就是用数字化的手段、标准化的模型统一地描述地球及其上的人类的各种活动，其最终目的就是要更好地理解“理解”地球、更有效地利用地球，为人类创造更美好的生存空间。

从技术层面上讲，数字地球的发展依赖多种信息技术的发展，但其最核心的基础设施就是信息高速公路和空间数据基础设施。

1.2 数字地球的基础设施 (Digital Earth Infrastructure)

数字地球的核心基础设施的主体应当包括国家信息基础设施 (NII, National Information

Infrastructure, 即信息高速公路) 和国家空间数据基础设施 (NSDI, National Spatial Data Infrastructure), 也应当包括地球观测系统 (EOS, Earth Observational System) 和地球观测信息网络 (GOIN, Global Observation Information Network), 其中尤以前两者为核心。

(1) 信息高速公路 信息高速公路是数字地球的核心基础之一。那么, 什么是信息高速公路 (Information Highway) 呢? 如果说美国的州际高速公路计划就是工业时代的高速网络, 它给美国经济的稳定发展提供了持久的、强有力的基础支撑。那么, 信息高速公路计划就是美国抢占知识经济时代新的制高点的全球战略。1993 年 2 月, 当时的美国总统克林顿签署法令, 建立国家信息基础设施 (NII), 即全美的信息高速公路, 计划投资 4000 亿美元, 用 20 年的时间建设主要由高速网络设施、超级计算机服务器和计算机终端构成的信息基础设施。它是通过光纤或电缆把政府机构、科研单位、公司企业、图书馆、学校、商店以及千家万户的计算机或者其他电子设备连接起来, 让最终用户可以通过个人计算机终端、电视机、传真机等终端设备, 像使用电话那样方便地传递和处理信息, 并在方便信息处理的同时, 最大限度地实现信息共享, 从而在真正意义上消除信息孤岛。信息高速公路进一步的目标就是要将目前正在运行的电信网络、计算机网络和有线电视网三网合一, 实现为任何人、在任何时间、地点 (所谓 5W: Who, Where, When, Why, Which——任何人、任何地点、任何时间、任何原因、任何方式) 提供智能化多媒体综合信息业务服务, 实现全球一网、每人一号的全球个人多媒体通讯。不难看出, 信息高速公路实际上是一个高速电子信息网络, 它有 5 个基本要素。

① 设备 用于传输、存储处理和显现声音、数据和图像的物理设备, 如计算机、摄像机、扫描仪、键盘、电话机、传真机、转换器、视频和音频带、电缆、电线、卫星、光纤传输线、微波网、打印机等。

② 信息 包括资源、环境、社会、经济、文化教育等各个领域的图形、图像、文本、数字、多媒体等的海量信息, 其中 80% 与空间位置相关。

③ 软件 应用软件、系统软件、管理软件和工具软件等。它们允许用户使用、处理、组织和整理由信息高速公路提供给用户的大量信息。

④ 标准 传输编码与网络标准。这些编码与标准促进网络之间的互相联系和兼容, 同时保证网络的安全性和可靠性。

⑤ 人才 包括信息及设施的生产者、维护者、使用者和决策者等。

(2) 空间数据基础设施 为了在信息高速公路上表示和查询与地球有关的地理和空间信息。克林顿政府于 1994 年 4 月发布 12906 号总统令——“协调信息获取和建立国家 (地球) 空间数据基础设施 (NSDI)”, 这是构成数字地球系统的另一个核心要素。空间数据基础设施 (NSDI) 主要包括以下几方面。

① 地球空间数据框架 它提供一个可以进行精确地、始终如一地获取、配置和集成地球空间信息的基础, 此框架中包括正射影像系统、大地控制点、高程、交通、水系、政区、公用地籍以及资源、环境、社会、经济历史记录等方面的数据。

② 空间数据协调、管理与分发体系 是组织生产和使用地理数据的人员, 建立相应的组织机构, 制定有关空间数据的发展战略和政策, 建立地理空间数据个人和机构之间的联系渠道, 传输数据和开发数据库。其目标是生产和使用共用的空间地理数据集, 共享和开发基础数据资源, 以提高决策能力。

③ 空间数据交换网络 它是一个拥有地理空间信息, 在地理空间数据生产者、管理者和用户之间的一个分布式电子网络。其用户能够在授权范围内决定保存哪类地理空间数据,

了解数据状况（内容、质量及其他特征等），寻找他们需要的数据，根据他们的应用项目评价数据是否有用，尽可能经济地获取或订购数据。地理空间数据生产者以各种软件工具根据元数据标准，提供电子形式的元数据（即关于数据的数据）。元数据标准规定了不同地理空间数据的元数据内容，其目的是提供一个共同的标准化的元数据术语和定义。

④ 空间数据转换标准 空间数据转换标准是一个异种计算机之间空间数据转换的规范，该标准规定了带有空间参考系信息的矢量和栅格（包括格网）数据的交换约定、寻址格式、结构和内容。标准中包括概念模型、质量报告、传输组件说明和对空间要素和属性的定义。

目前已有 60 多个国家有 NSDI 计划或类似 NSDI 的计划，除美国外，启动类似 NSDI 计划的国家还有英国、法国、德国、日本、瑞典、荷兰、新西兰、澳大利亚、芬兰、印度、巴基斯坦、希腊、俄罗斯、波兰、加拿大等。

1.3 数字地球与全球信息化

从 20 世纪中叶开始，由于信息科学的创立和计算机技术的发展，信息经济在西方发达国家的经济生活中渐露头角。到 20 世纪 70 年代中期，信息经济已在西方发达国家的国民经济占有相当的比例。到 20 世纪 80 年代，发达国家国民生产总值的 50% 被认为与信息活动有关，信息经济已经日渐成为发达国家保持经济持续增长的强劲动力。1998 年底，德国、英国、瑞士、奥地利、西班牙和以色列等国联合开展了一个研究项目，项目题目为欧洲信息社会区域持续发展模拟（Modeling Sustainable Regional Development in the European Information Society），通过该项目的研究认为，欧洲社会正在向以信息为基础的经济社会迈进。在这一转型过程中，计算机网络、电讯网络及相关信息基础设施发挥着关键的作用，就像 19 世纪初欧洲从农业社会向工业社会迈进时期，铁路网和蒸汽机的作用一样。在 20 世纪 80 年代中后期以前，由于人类加工信息的能力和速度较低，信息存储和传输的能力有限，信息积累缓慢，对信息的利用能力及信息自身的可用性不够，信息的共享能力很弱，信息经济像任何幼小的事物一样处于缓慢的成长期。但是，进入 21 世纪以后，信息技术产生了质的飞跃，信息的处理能力、存储能力和传输能力都有了几十倍甚至是数百倍的提高。生活在新世纪的每个人都切实地感受到了信息爆炸给人类社会带来的巨大冲击，如何消化如此大量的信息，充分利用这些信息而不被信息的大潮所淹没，是新世纪每一个人、每一个团体，甚至是每一个政府都必须考虑的问题。应该说数字地球的概念就是在这种全球信息化的大背景下的必然产物，同时又反过来促进了全球的进一步信息化。因此，数字地球既是美国的全球战略，也是地球上每个人的全球战略，毕竟我们都生活在同一个地球上。

正是在这种大背景下，数字地球的概念一经提出就得到了全球各国的迅速响应，各国政府都制定了自己的数字地球战略。我国政府也非常重视，从 1998 年至今，我国的学者和政府有关部门已经举行过多次咨询会和研讨会，对数字地球进行了充分的讨论，并着手准备我国的数字地球研究计划。

在数字地球的大背景下，数字地球的各子课题或各个下属的子研究领域纷纷出笼，数字政府、数字城市、数字交通、数字水利、数字矿山、数字建筑、数字农业等冠以数字头衔的各种概念充斥各种媒体，以数字地球概念为主导的分领域研究全面展开。在这种全球一片数字化的浪潮中，数字油田的概念应运而生。

1.4 数字地球所涉及的技术领域

数字地球虽然是一个新的概念，但它所涉及的理论、技术、数据及应用都是建立在现有的知识基础之上的，它只是从更高的层次、从系统论和一体化的角度来整合这些技术，或者从新的角度来应用和发展现有的理论、数据和能力，从而更好、更广泛、更深入、更有效、更经济、更可靠地挖掘和利用地球的各种资源，为全人类提供更加优质的服务。

数字地球可以说是人类文明发展创造的所有技术的集大成，涵盖了人类生活的各个方面，主要或者是直接相关的技术和理论领域被认为有 8 类：空间对地观测技术、遥感技术、全球定位系统、地理信息系统、计算机技术、网络技术、通讯技术、地学数字技术。笔者认为大体可归纳为如下四个方面。

(1) 计算机、网络和通讯技术方面

- ① 大规模并行计算机及并行计算技术
- ② 机群技术及相应的软件技术
- ③ 群集服务器技术
- ④ 分布式计算机技术
- ⑤ 宽带网络技术
- ⑥ 面向对象的分布式网络服务
- ⑦ 智能网络技术
- ⑧ 分布处理和互操作协议
- ⑨ 网格技术

(2) 信息（数据）的获取与更新方面

① 各种遥感新技术（高光谱卫星图像技术、雷达卫星技术、植被卫星技术、水色卫星技术等）

② 星-机-地数据获取与继承一体化技术

③ 空间数据智能采集、处理与建库技术

(3) 信息的存储分析方面

① 海量数据存储、压缩、处理技术

② 多比例尺多时相多元数据采集技术

③ 数据互操作技术

④ 智能图像处理技术

⑤ 空间数据的无级缩放与无损转换技术

⑥ 数据仓库技术

⑦ 分布式数据库和面向对象数据库技术

⑧ 数据挖掘和知识提取技术

⑨ 多媒体数据库技术

⑩ 实时数据库技术

⑪ 专家系统和决策支持系统

(4) 人机界面等综合方面

- ① GIS 相关技术（跨平台开发、互操作性等）
- ② WEBGIS 技术
- ③ 图形搜索引擎（Geographic Search Engine）
- ④ 三维数字景观、三维建模技术
- ⑤ 交互式三维可视化技术
- ⑥ 虚拟现实技术
- ⑦ 分布式数据库的异构融合技术
- ⑧ 天、地、生各学科研究领域的数字建模技术
- ⑨ 各种防灾、预警及评估系统

1.5 数字地球的基本体系及核心技术

数字地球作为一门面向应用的新学科，其基本组成包括三个部分：基础理论、技术系统和应用领域。其基本体系结构见表 1-1。

表 1-1 数字地球的基本体系结构

数字地球	基础理论	地球系统理论 地球系统的信息理论 地球系统的非线性和复杂性	
	技术系统	基础设施	国家信息基础设施(NII) 国家空间信息基础设施(NSDI) 对地观测系统 全球观测信息网络 元数据(Metadata) 标准化 安全性
		核心技术	虚拟地球系统模型 计算科学 空间数据智能获取 海量数据存取技术 网络数据库、数据仓库、数据交换与知识挖掘 信息系统与分布计算技术 OpenGis 标准与互操作技术 多尺度数据融合与立体表达 仿真与虚拟技术 卫星图像
		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 电脑空间 信息地球 地球模拟
	应用领域		中国数字地球 数字中国 具体应用领域:数字政府、数字城市、数字海洋、数字农业、数字交通、数字长江、数字油田……

数字地球涉及庞大的技术体系，其核心技术也有很多，择略介绍以下几个方面。

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，从而极大地拓展了人们获得知识创新和发展理论的技术手段，所以，把科学计算放在科学研究的重要地位。

② 海量存储 (Mass Storage) 仅美国航天局 (NASA) 每天产生 1000G 字节的信息，要求每天能存储和处理 1×10^{15} 字节以上的设施，而且，信息量还在持续不断地爆炸式增长，数据存储设备的容量总是处于不足状态。海量数据的保存同时带来极大的安全隐患。

③ 卫星图像 (Satellite Image) 抛开用于军事目的的卫星图像技术，仅商业卫星系统就已经能够提供 1m 分辨率、甚至 1ft (1ft=0.3048m，下同) 分辨率的图像，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绝不是由一个数据库来存储，而是由无数个、分布在不同部分、不同地点的分布式的数据库来存储，并由高速网络来连接。网络的传输速度目前已经可以达到 10G 字节/s 以上，并且在迅速提升。

⑤ 互操作 (Interoperability) Internet (信息高速公路的雏形) 和 World Wide Web (即 WWW 或 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 是针对 GIS 技术的开放、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“美国开放地理信息系统联合会” (OpenGIS Consortium, 简称 OGC) 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，美国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。

数字地球的核心难题之一是庞大的数据量所带来的一系列问题，因此数字地球的关键技术主要在于对海量数据的各种处理和应用技术，包括信息的获取技术、安全保存技术、数据交换与传输技术、数据共享与加工技术等，涉及的一些主要内容见表 1-2。各关键技术之间的逻辑关系见图 1-1。

表 1-2 数字地球的关键技术

要解决的问题	关键技术
信息的获取	地球空间数据智能获取技术，主要是卫星、遥感、遥测技术
信息的存取	海量数据存取技术，包括纳米与激光全息存储技术、分形编码技术、数据的无损压缩及复原技术等
信息的传输	宽带网技术，包括宽带光缆网和宽带卫星网技术、空间数据库技术及数据交换技术
信息处理、科学计算	GIS 的远程操作与互运算技术、数据或知识的挖掘技术、多尺度数据融合与立体表达技术、仿真与虚拟技术、虚拟地球系统模型
信息共享规范	OpenGIS 规范
前沿问题	数字地球的神经系统、数字地球的网络行为、数字地球的进化机制