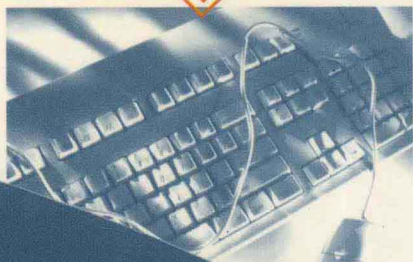


油 气 田 地 质  
工 程 丛 书



王志章 杨金华 等著

# 计算机勘探技术

石油工业出版社

油气田地质工程丛书

# 计算机勘探技术

王志章 杨金华 吴欣松 张庆春 等著  
葛君敏 蔡毅 王福焕 范贵良

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书以计算机技术在油气田勘探中的充分应用为主线, 阐明了计算机勘探技术在现代油气田综合勘探中的巨大作用和地位。并以国家“九五”重点攻关课题《塔里木盆地计算机勘探技术》为依托, 详细阐述了油气勘探信息管理数据平台的设计、研制、功能和特点; 区带数值模拟评价技术、圈闭评价技术、油藏描述技术、粘弹性介质高分辨聚焦成像处理和小波变换技术的基本原理、软件实现、应用效果、相干数据体技术、神经网络技术、地质统计学分析技术、模式识别技术、储层预测技术、变速成图技术、计算机绘图等技术的实现过程和综合应用。

本书可供科研、生产部门的石油地质科技人员及高等院校有关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

计算机勘探技术/王志章, 杨金华等著.  
北京: 石油工业出版社, 2000.12  
(油气田地质工程丛书)  
ISBN 7-5021-2831-X

I. 计…  
II. ①王…②杨…  
III. 计算机-应用-油气勘探  
IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 65722 号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)  
河北省徐水县印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 294 千字印 1—1000 册  
2000 年 12 月北京第 1 版 2000 年 12 月河北第 1 次印刷  
ISBN 7-5021-2831-X/TE·2214

定价: 20.00 元

## 序

地质工程是集油气勘探地质、油气开发地质、油气评价及预测、环境地质、水文地质及工程地质于一体，具有极强的实用性、现场性、实时性的应用地质科学，是现代地质基础科学与应用科学有机结合的典范。

地质工程学科是各类工程学科中较特殊的学科，它除了具有一次性、系统性、严格的约束条件、明确的目标等一般工程学科的特征外，尚具有其特殊性：

(1) 地质工程的工作对象是特定的地质单元，这在各类工程中是绝无仅有的。在地质工程的运行初期，研究人员对地质单元的认识往往是不全面的，甚至是错误的。随着勘探开发工作的进展及研究程度的加深，人们的认识会逐渐接近实际，但认识与实际的完全统一通常是达不到的，这一点，决定了地质工程学科的复杂性。

(2) 地质工程具有极高的风险性。地质工程与其他工程相比，不仅具有较高的作业风险，更具有一般工程不存在的资源风险，其中地质工程立项、勘探开发部署、各类井位的确定是决定资源风险的三大关键环节。

(3) 同其他工程相比，地质工程的作业任务不是构筑新的物质系统，而是采集各种信息的资料，这些信息和资料是否丰富正确，直接制约着地质工程成果的可靠程度。

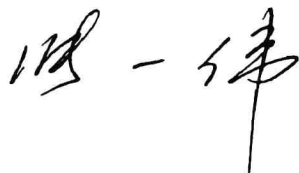
(4) 由于人们对地质规律的认识是随着勘探开发工作的进展而不断升华。因此，地质工程的计划和设计与其他工程相比具有很大的可变性。

(5) 地质工程作业和研究工作同时或交叉进行，这也是多数工程不存在的。

(6) 地质工程是多学科协同作业的系统工程，各种作业手段都具有成本高、风险高的特点，在工程运作中，各项作业需要紧密衔接，任何环节发生问题或出现脱节，均可能造成巨大的损失。

《油气田地质工程丛书》是石油大学（北京）油藏描述与预测研究所全体研究成员、历届博士、硕士生及其合作单位，十余年来，一直从事油气田地质工程方面研究成果的结晶，包括现代油气田综合勘探、不同勘探开发阶段油藏表征及预测、储层地质学研究及储层建模、测录井地质学研究、油气田勘探开发战略分析及经济评价，油气藏信息处理技术及油气勘探信息超级资料平台研制等。这套丛书共分《油气田地质工程》、《现代油气田综合勘探》、《测井地质学及测井地质工程》、《录井地质学及录井地质工程》、《地质系统工程分析与设计》、《计算机勘探技术》、《油气勘探信息集成技术》、《储层岩石物理相》、《油藏渗流地质学》、《现代油藏管理》十个分册。

相信它的出版，会对指导今后定量、高效地进行油气田勘探、开发起到积极的作用。



1999年5月

# 前 言

现代油气勘探已进入综合勘探阶段，计算机技术是综合勘探中必不可少的一项关键技术，该技术在油气勘探中的广泛应用，已成为现代勘探的一大特点。在遥感、重磁电、化探、地质、地震、测井、测试、钻录井等方面大量繁多的资料处理中，计算机技术发挥着越来越重要的作用。数据库及其配套应用软件，使多学科相互渗透、协同作业成为可能。各种应用软件的研制成功，实现了油气勘探综合化、程序化、量化、关键环节自动化及研究成果最大限度可视化。

计算机勘探是一项内容宏大、难度系数高、经济效益好的系统工程，是综合勘探中必不可少的一项关键技术。该项技术在油气勘探中的广泛应用已成为现代勘探的一大特点。油气勘探成效的大小，计算机技术的应用起到了不可忽视的作用。在计算机油气勘探中，涉及的技术方法非常多，通常包括：测井、地震、地化、钻录井等信息的单项处理解释技术及盆地模拟、圈闭评价、油气藏描述、油藏模拟等多学科信息综合处理、解释、集成与显示技术。上述方法无疑在油气勘探开发中起着重要作用。

进行计算机勘探的重要条件就是建立多学科工作组。协同勘探多学科工作组的目的是使各种技术能更好的互相交流，密切配合，以使先进技术发挥更大的效率。Philips 公司近年来一直把“协同勘探组”作为公司经营战略的重要部分，这种协同工作组，一般由地质、地球物理、油藏工程师、计算机人员等组成，还要吸收一些钻井生产及地面工程和管理人员参加。人员一般从十几名到三十几名不等。这种协同勘探工作组的效益是显而易见的。几年前美国国家石油公司对这种组织进行了试验，其结果协同组油气发现成本 4.13 美元/桶，不到大公司（8.97 美元/桶）的一半，探明储量是大石油公司的 2.8 倍，许多国家和石油公司还成立了多学科研究中心。其中于 1991 年 7 月成立的澳大利亚石油合作研究中心（APCRC）最有代表性。该研究中心的业务人员主要由地质学家、地球物理学家、岩石学家、同位素学家、无机地球化学家、石油工程师、油藏工程师、数学家、电子工程师及计算机人员组成。该研究中心具有多学科联合研究的巨大潜力。

进行计算机勘探的另一个重要条件就是有一批有协作精神的高层次的复合型人才，尽管现代化的计算机网络技术可以使不同的专业人员进行长距离的随时性的广泛交流。但在对复杂对象的研究中，如果一个人能掌握更多的知识则可在自己的大脑中随时完成“交流”，提高驾驭问题的能力。技术进步与革新也要求人的观念发生相应的变化，“小农生产意识”是无法同社会化大生产、大协作相适应的。这是当代科学的一大特点之一。特别是对于那些从事业务管理的人员来说，这种知识的意义就显得更加重要。在这种形势下，对于新型人才的培养也提出了新的挑战。美国 SPE1992~1993 年度 J. Bosio 主席说：“将来我们应该拥有与目前我们所有大量的，在工作岗位上的石油工程师相比的，一种新型工程师……他们能领导一个包括地质家、地球物理学家、油藏工程师等组成的研究队，并能做出广泛的解释。每个石油工程师将比过去具有更多的多学科精神，这是我们将来的重点之一”。而这种新型的工程师只有最大限度地应用计算机技术，才可能实现这一目标。

本书以计算机技术在油气田勘探中的充分应用为主线，阐明了计算机勘探技术在现代油气田综合勘探中的巨大作用和地位。并以国家“九五”重点攻关课题《塔里木盆地计算机勘探技术》为依托，详细阐述了油气勘探信息超级数据平台的设计、研制、功能和特点；区带

数值模拟评价技术、圈闭评价技术、油藏描述技术、粘弹性介质高分辨聚焦成像处理和小波变换技术、叠前深度偏移技术、相干数据体技术、神经网络技术、地质统计学分析技术、模式识别技术、储层预测技术、变速成图技术、计算机绘图等技术的应用效果。

全书共分六章，第一章系统阐述了90年代以来，油气勘探中计算机在硬件、软件方面的发展和应用，阐述了数据库技术、Internet技术、盆地模拟、圈闭评价、油藏描述等技术的发展现状及趋势。第二章主要阐述了勘探数据库系统设计、网络系统设计及建立、数据库建立及现代勘探数据库系统主要功能和特点。第三章则在简介区带数值模拟评价软件基础上，详细阐述了地史模拟、热史模拟、生烃史模拟、油气运聚史模拟及油气资源综合评价的基本原理、创新技术和方法。并以塔里木盆地满加尔下古生界含油气系统数值模拟为例，阐明了区带数值模拟用于石油地质定量评价的有效性。第四章则在阐述国内国外圈闭评价技术及软件发展现状基础上，系统阐明了圈闭评价所必须的配套技术，符合油田实际的圈闭评价软件的设计、功能、特点及实验区的应用效果。第五章则重点介绍了粘弹性介质地震波高分辨聚焦成像计算机技术，详细阐明了大地介质对地震波吸收和衰减的机理，粘弹性波动方程逆向外推公式及算法，小波多分辨反演方法及应用效果。第六章则在扼要阐述勘探阶段油藏描述目的、任务、内容及流程基础上，从构造、沉积、储层、油藏诸方面，对实验区油藏进行系统的表征和预测，并重点阐述了计算机技术在各个环节的充分应用。

本书的第一章由王志章编写，第二章由匡祥友、葛君敏编写，第三章由张庆春、石广仁编写，第四章由吴欣松、王福焕编写，第五章由宋守根、范贵良、匡祥友编写，第六章由王志章、杨金华、熊琦华、蔡毅、马晓芬编写。

全书统稿工作由王志章、杨金华、吴欣松完成。

本书是国家“九五”重点攻关课题《塔里木盆地计算机勘探技术》的高度概括与总结。该课题历时3年，参加研究工作的人员50余名，不能一一列出，甚为抱歉。

在本书的编写过程中，得到石油大学（北京）、塔里木盆石油勘探开发指挥部、北京石油勘探开发研究院等单位和个人的大力支持、帮助和指导，沈阳洋同志打印全文，在此一并致谢。

由于作者学识水平有限，书中不妥之处，敬请批评指正。

作者

2000年12月

# 目 录

第一章 总 论	1
第一节 计算机在硬件方面的发展和应用	1
一、大型机和服务器	1
二、工作站和 PC 机	3
三、发展趋势	3
第二节 计算机在石油勘探中的应用	4
一、油气勘探中的计算机	4
二、石油勘探中的应用软件	6
三、油气勘探中的数据库技术	9
四、Internet/Intranet 技术及应用	10
五、盆地模拟计算机技术	12
六、圈闭评价计算机技术	13
七、解释性处理与深度成像	13
八、采集、处理、解释一体化及实时地震	14
九、数据集成及早期油藏描述	15
十、地震油藏监测及四维地震	15
十一、智能数据挖掘及人机和谐环境	16
十二、窗口技术	17
十三、计算机图形技术的应用	17
十四、人工智能技术的充分应用	17
十五、多学科协同工作和技术集成	18
参考文献	18
第二章 勘探数据库网络系统建立及应用	19
第一节 勘探数据库系统设计	19
一、勘探数据库系统总体结构	19
二、勘探数据库设计	20
三、勘探数据库管理系统设计	23
第二节 网络系统设计及建立	36
一、勘探数据库对网络建设要求	36
二、网络方案设计	36
三、网络系统建立	37
第三节 勘探数据库建设	38
一、数据整理与校对	38
二、勘探数据库的建立	40
第四节 现代勘探数据库系统主要功能的特点	42

一、有一套完整的勘探数据模型 .....	42
二、有一套完整的勘探数据库管理系统 .....	45
三、系统数据整理、数据录入和维护简单 .....	46
四、有配套的应用软件 .....	47
五、勘探数据库和各种应用软件研制开发是完全独立的 .....	48
六、是一特大型分布式数据库，与 POSC 国际数据库有良好的兼容性，并具有良好 的可扩充性 .....	49
<b>第三章 区带数值模拟技术及应用 .....</b>	<b>51</b>
第一节 概述 .....	51
第二节 区带数值模拟评价软件 .....	51
一、前处理程序 .....	52
二、后处理程序 .....	52
三、主程序 .....	52
第三节 地史模型 .....	52
一、回剥技术（正常压实带） .....	53
二、超压技术（欠压实带） .....	54
三、回剥与超压相结合的技术 .....	55
四、正断层处理 .....	55
五、古水深处理 .....	55
六、平衡地质剖面 .....	55
第四节 热史模型 .....	58
一、 $R$ 。法 .....	59
二、AFT 法 .....	59
三、古热流的非线性变化 .....	61
四、统计法求今热流 .....	61
第五节 生烃史模型 .....	62
一、烃类成熟度史 .....	63
二、生烃量史 .....	65
第六节 排烃史模型 .....	65
一、排油 .....	66
二、排气 .....	67
第七节 运移聚集史模型 .....	69
一、二维三相（油气水）历史模拟法 .....	69
二、三维二相（油气）历史模拟法 .....	71
三、改进的现今流体势模拟法 .....	73
第八节 综合评价模型 .....	75
第九节 实例分析 .....	75
一、满加尔下古生界成油气系统概况 .....	76
二、地质模型及参数研究 .....	78
三、模拟成果及地质分析 .....	82

四、运移运聚史分析 .....	86
五、成油气系统的配套史分析 .....	89
六、有利区带综合分析评价 .....	89
参考文献 .....	92
<b>第四章 圈闭评价技术及应用 .....</b>	<b>96</b>
第一节 圈闭评价应用现状分析 .....	96
一、国内外圈闭评价技术发展现状 .....	96
二、中国主要圈闭评价软件系统调研 .....	97
第二节 圈闭评价配套技术 .....	98
一、以扎实的地质研究为基础的区带评价技术 .....	98
二、以油气系统理论为指导的圈闭地质评价技术 .....	99
三、以系统论为评价方法的圈闭综合评价技术 .....	99
四、以成藏模式与勘探条件为依据的圈闭评价模式建立技术 .....	99
第三节 圈闭评价软件设计思路 .....	104
一、软件开发运行环境设计 .....	104
二、软件界面风格设计 .....	105
三、软件系统结构与方法设计 .....	105
四、软件的结构与功能 .....	106
第四节 圈闭评价应用及效果分析 .....	108
一、塔中探区圈闭评价 .....	108
二、巴楚探区圈闭评价 .....	110
三、库车坳陷圈闭评价 .....	113
四、应用效果分析 .....	115
<b>第五章 粘弹性介质地震波高分辨聚焦成像技术 .....</b>	<b>116</b>
第一节 概 述 .....	116
第二节 声波方程与地震勘探纵向分辨率 .....	116
第三节 大地介质对地震波吸收和衰减的机理 .....	118
第四节 粘弹性波动方程逆向外推公式及算法 .....	120
第五节 小波多分辨反演 (MRAI) .....	121
第六节 理论方法的检验分析 .....	126
第七节 应用实例 .....	131
<b>第六章 油藏描述技术及应用 .....</b>	<b>134</b>
第一节 概述 .....	134
第二节 构造精细解释及圈闭描述 .....	136
一、叠偏后地震资料小波分析 .....	136
二、地震地质层位标定 .....	138
三、人机联作交互解释 .....	138
四、变速成图 .....	140
五、圈闭构造描述 .....	140
第三节 沉积相研究 .....	142

第四节 关键井研究与多井评价·····	143
第五节 储层横向预测·····	145
一、TZ16-161井区、YTK断裂构造带下第三系、白垩系储层预测·····	145
二、碳酸盐岩储层地震预测·····	153
第六节 储层岩石物理相研究·····	154
一、储层岩石物理相分类与描述·····	154
二、储层岩石物理相的研究内容与研究流程·····	155
三、TZ16-161井区巴楚底砂砾岩段储层岩石物理相·····	155
第七节 储层随机模拟及预测·····	158
一、储层孔隙度的序贯高斯模拟及预测·····	159
二、储层渗透率的序贯指示模拟及预测·····	161
三、储层含油饱和度的模拟退火模拟及预测·····	161
四、结论及认识·····	162
第八节 油藏三维模型的建立·····	162
第九节 储量计算及油藏地质综合评价·····	163
一、储量计算·····	163
二、油藏地质综合评价·····	164
第十节 建议·····	165
一、TZ16-161井区·····	165
二、轮南低凸起奥陶系潜山碳酸盐岩·····	165
参考文献·····	167

# 第一章 总 论

## 第一节 计算机在硬件方面的发展和应用

进入 90 年代,无论是大型机、服务器,还是工作站、PC 机在技术上都有不同程度的突破。外围技术如: DRAM、磁盘存储等也都发展到一个新的水平,其中  $0.5\mu\text{m}$  半导体加工技术的广泛使用,是推动各种计算机产品发展的原动力。

### 一、大型机和服务器

大型通用计算机(MAINFRAME)是综合反映一个国家或计算机公司发展水平的产品,因此各国、各大计算机公司都非常重视它的开发和利用。美国政府在 1993 年制定了 HPPC (High Performance Computer& Communication)计划,重点发展大型计算机系统和高速通讯网络。日本的 RWC (Reality World Computer)计划,以及欧洲的“万亿次计算机计划”,都是围绕着万亿次计算机的研制展开的。近几年巨型机的研制实现了以下两个方面的突破:

(1) 在计算机的结构上 MPP (包括 VPP, PVP 等多处理器向量并行机)已经战胜了单向量处理机 VP 和共享式内存即 SMP 结构的并行机。由于各国的国情不同,在研制巨型机的过程中所走的技术路线也是不一样的。日本在半导体加工工艺上有独到之处,所采用的技术路线是 VP (单向量处理机)方式,其特点是在一个处理器芯片上作足文章,尽量提高处理器芯片的处理能力,目前单处理器计算机的能力可以达到每秒百亿次。就目前的工艺水平而言,这种技术路线已走到尽头,要想进一步提高是非常困难的。美国在结构设计上有独到之处,所采用的技术路线是多处理器方式。目前无论是美国还是日本,无论是标量处理器还是向量处理器,都在沿着分布式内存的 MPP 方式(即用成百以至上千个处理器芯片集成在一起的超大规模并行机)并行地、协同完成计算任务。这种技术路线获得成功,1996 年分别有两家美国公司的 MPP 和两家日本公司的 VPP 并行机实现了万亿次机的目标。

(2) CMOS 取代双极性半导体器件。在处理器芯片上也开始从双极性(bipolar)半导体器件转向互补型金属氧化物半导体器件(CMOS)。传统的巨型机为达到最高的运算速度,往往采用双极性半导体器件,其开关速度可比普通 CMOS 器件快一至两个数量级,代价是大电流、大功耗、集成度不高。近几年由于 CMOS 技术的改进,解决了极间电容的存储效应问题,使得开关速度大大提高,工作时钟频率也上升到数百兆赫兹,具备了逐步淘汰双极性半导体的实力,加之并行处理技术的发展,使得大型机对芯片的要求退到次要地位,因此目前大型机的发展趋势是采用通用 CMOS 芯片。大型通用计算机制造商大多是世界著名的计算机企业,主要有 IBM, NEC, UNISYS, BULL, 日立、富士通等。在技术上,各主要的计算机生产厂商都推出了自己的更新换代产品,为同迅速增长的 UNIX 服务器相竞争,他们更强调其产品的可伸缩性(Scalability)、卓越的性能(extreme performance)和性能价格比(price/performance)。在可伸缩性上,美国克雷公司(Cray Research)采用 PE (Processors Element) 阵列技术生产的 CRAY T3E 巨型机,配置的处理器单元可以从 32 个直到

上千个，其中每一个处理器单元由 4 个处理器组成，其运算速度达到 600 megaflops，相当于每秒 6 亿次浮点运算的能力，而 CRAY T3E 的系统峰值运算速度则可从 5400 megaflops 直到 1800,000 megaflops，相当于每秒执行 1.8 万亿次数学浮点运算。根据系统配置的大小，机器中的 PE 可执行不同的任务。美国的 INTEL 公司为表明其 PENTIUM PRO 处理器芯片的优越，在 1996 年 10 月为美国圣地亚哥国家实验室研制了一台用 9000 个 PENTIUM PRO 芯片组成的巨型机，其数学运算能力达到每秒 1.4 万次浮点运算。以勘探为中心的石油公司和研究机构是这些巨型机的主要使用者，以美国能源研究中心（NERSC）的机器为例，其主机为 CRAY T3E，机器的基本配置为 136 个 PE，其中 120 个 PE 用于并行处理应用程序，13 个为命令 PE，3 个为操作系统 PE，专门用于系统管理，每一个 PE 配有 256MB 的内存。可以看出，CRAY T3E 在低配置时的能力只相当于一台高档工作站，而在高配置时，则可以提供上万亿次的运算能力，确实相当的灵活。据报道，莫比尔石油公司的勘探和生产研究中心也安装了一台 CRAY T3E900 巨型机，用于地震资料处理和油藏模拟，其运行速度相当于 3000 台个人计算机或 50 台 SGI 公司生产的 Power Challenge 并行机。

开放性差是 Mainframe 的一个致命的弱点。1996 年首先由 IBM 公司迈出了大型机向 UNIX 开放系统靠拢的步子。IBM 在 1996 年 10 月推出的 OS/390 Release2 中，已把由 X/OPEN 机构认定的统一的 UNIX 的所有 API 安装上去。这样，面向开放系统的许多先进的应用软件包，诸如 JAVA, Internet, Intranet 等就可以很好地在 IBM 的 SYSTEM390 大型机上运行。此外，IBM 公司还计划将流行的 WINDOWS NT 的 API 安装到 SYSTEM390 机上，使其改善与流行的开放系统的亲和性。据说已有 840 家独立软件生产厂家参与了为 IBM 的 OS/390 移植 UNIX 应用软件工作。

UNIX 服务器是随着 CMOS 技术和对称多处理技术的发展而发展起来的计算机系统。

UNIX 服务器的性能，尤其是运算能力越来越接近大型机，加之其固有的开放性，灵活性，系统价格的低廉，使得自 90 年代以来，在计算机界几乎众口一词地认为其必将最终取代大型机。一般认为，UNIX 机战胜大型机的两件利器中，一是价格便宜，二是开放，但在实际应用中，用户往往会发现，采用客户机/服务器方式在管理上的开销反而比大型机还大，在可靠性，工作效率方面则不如大型机。这就是大型机在近几年起死回生的基本原因。一般认为大型机的可用程度为 99.999%，折算成时间为每年停机 5min，而最好的 UNIX 系统由于各种各样的原因停机每年至少也要 4h 以上，从中可以看出大型机与 UNIX 之间的水平差距，但对于一般用户来说，每年 4h 的停机是完全可以容忍的。

继美国 DEC 公司之后，SUN MICROSYSTEM 公司、HP 公司也都相继推出了基于 64 位处理器芯片的企业级服务器。这些处理器芯片除了一次处理数据的位数增加到 64 位外，还在并行处理、流水线、分支预测、容错能力和时钟频率等方面比上一代产品有了成倍的增长，这也为 UNIX 系统最终取代 Mainframe 打下基础。目前美国 SGI 公司、SUN 公司、DEC 公司都可提供超过 20 个 CPU 的企业级服务器，其运算速度高达每秒近百亿次，尽管与巨型机还有一定的差距，但对于一般的企业来说是绰绰有余的。

在究竟选择巨型机还是客户机/服务器结构这一问题上，各企业仍然有不同的说法。由美国一家公共调查公司的调查显示，35 个被调查的公司中，在过去的两年中只有 2 家公司完成了用客户机/服务器替代主机的工作，另外有 12 家计划在 3 年内完成这一转变，其余的不考虑转到客户机服务器结构上。在完成转变的公司中有一家叫做 Global Marine 的石油勘探公司已完全转到以 SUN 为服务器的网络上，运行 SYBASE、POWER - BUILDER 等软

件，供每台钻机上的 PC 访问。这一转变估计每月可为公司节省经费 126 万美元，效率提高 5%。

## 二、工作站和 PC 机

工作站是介于大型机与 PC 机之间的计算机，其计算能力不如大型机，但比 PC 机强，最大的特点是图形交互能力很强，因此广泛地用在计算机辅助设计 (CAD)、地理信息系统、三维动画制作等领域。目前最流行的工作站大都采用 RISC 芯片，64 位的图形加速单元和大屏幕显示器，操作系统为 UNIX。 workstation 在技术上的最大进步是在 1996 年 4 月 5 日美国 HP 公司宣布了其新一代 64 位的 RISC 芯片 PA-8000，它采用了超标量结构，可并行发送 4 条指令，同时还采用了无序执行策略，不按照程序的记述顺序，而是按最合理原则安排执行程序使运算速度达到新水平。该芯片采用比其他的微处理器芯片更多的函数执行单元和域外指令缓冲区，实现了低时钟频率下高运算速度。至此所有 RISC 芯片生产厂家全都开始了 64 位芯片的生产，可以说计算机的 64 位时代正式到来了。

随着 PC 机功能的迅速增强，其与工作站之间的差距正在缩小，尤其是 INTEL 公司新推出的 PENTIUM PRO 芯片，其内部集成了 550 万个半导体器件，运行速度达到 300MIPS，能力与 80 年代的大型机不相上下。最近 INTEL 又宣布了将在该芯片中集成多媒体功能，这将使 PC 与工作站的功能界线进一步模糊，有的 PC 机生产厂家已提出了 PC 工作站的概念，其目标显然是对准工作站市场。

今后 RISC 工作站的发展方向是：

(1) 进一步扩充超标量基本结构，并将逐渐融入 VLIW (超长指令字) 技术。VLIW 的特点是一条指令 (128 位) 可以并行执行多个操作，使多个处理器可以对同一组寄存器进行操作，因此各处理器之间几乎不存在通讯延迟，从而提高了处理器的速度。估计不久的将来，即可推出能同时发送 68 条指令的处理器芯片。

(2) 提高主频。预计今后 5 年内，CPU 主频将提高 3 倍，达到 800MHz 以上。

(3) 增大片上高速缓存容量。在目前使用  $0.5\mu\text{m}$  CMOS 工艺的情况下，片上指令和数据高速缓存大多为 16 ~ 32KB，预计到 2000 年，采用  $0.18\mu\text{m}$  工艺，高速缓存可达到 256KB。

(4) 开发多 CPU 芯片。开发多 CPU 芯片已成为下一代微处理器并行处理结构发展的一个重要趋势。INTEL 公司在其微处理器长期发展规划中规划在 2000 年推出 4CPU 芯片，每个 CPU 中都含有一个专用浮点数值运算部件。

石油工业是工作站的传统市场，在现场数据采集、地震解释等领域有着广泛的应用。1984 年出现的交互地震处理技术和工作站具备了完成实时叠前和叠后处理的能力。工作站最适合现代测井数据处理解释，包括单井处理解释、多井处理解释、油藏描述处理解释、测井地质应用处理解释等。近几年的发展更使原来由大型机完成的工作改由工作站来完成，许多软件厂家也纷纷将大型机上的软件移植到工作站上，使工作站的能力日趋增强。

## 三、发展趋势

随着计算机网络的发展和上述工作站、大型机的进步，计算机集成油气勘探技术进一步成熟起来。在以网络为中心的计算机时代，地震现场、数据处理中心、专家办公室通过各种高速网络连接在一起，勘探专家、地质专家可以实时对地震数据、测井数据进行综合分析和

评价。由于数据仓库技术的发展，他们可以从成千上万的资料中检索出各种有用的数据进行对比，高性能的交互图形工作站则可实时模拟根据不同模型计算出来的虚拟地质图象，使人们能在更直观、更接近实际的环境中分析油气生成的规律，这将是今后计算机在石油工业应用中的主要发展方向。

## 第二节 计算机在石油勘探中的应用

近年来油气计算机勘探技术进步突出表现在：微型机和工作站的普及；大规模并行机及工作站网络的发展；存储与数据管理技术的进步；软件集成平台与应用软件互操作性规范的建立。信息集成勘探技术，特别是油气勘探计算机应用中的解释性处理与高精度深度成像技术，采集、处理、解释一体化与实时地震技术；数据集成与早期油藏描述技术，地震油藏监测和四维地震技术，以及数据挖掘与人机和谐界面技术，正在迅速发展之中。

1996 年是世界上第一台现代数字计算机诞生 50 周年，也是发明地震数字处理技术 14 周年。近半个世纪以来，计算机应用技术经历了三次发展浪潮，即：

- (1) 主机中心时代 (50~70 年代)；
- (2) PC 机及工作站中心时代 (80~90 年代中)；
- (3) 网络计算中心时代 (90 年代中至目前)。

油气勘探技术，也经历了三次比较大的飞跃：

- (1) 二维地震与测井 (50~70 年代)；
- (2) 三维地震与油藏描述 (80~90 年代中)；
- (3) 信息集成勘探 (90 年代中至目前)。

这里的三次发展浪潮和三次技术飞跃的阶段划分，是参考了 IBM 公司和兰德马克公司的提法。不管这种划分是否全面，可以肯定的是：我们正进入技术飞跃的新时期，现代信息技术计算机软件革命，对未来油气勘探将发生难以估量的影响。

### 一、油气勘探中的计算机

#### 1. 微型机和工作站的普及

近 10 年间，油气勘探应用计算机一个十分突出的特点是微型机和工作站迅猛发展和普及。特别是 1984 年推出商品化交互地震解释系统，1987 年推出交互地震处理系统，1994 年推出交互地质解释系统，标志着以往由大型机垄断时代结束，微型机和工作站已普及到油气勘探各个应用领域。

现代高性能工作站，采用精简指令系统 (RISC) 技术，其运算速度每 5~6 年上升一个数量级。DEC 公司的 Alpha 芯片，IBM 公司的 Power PC 芯片，SGI 的 MIPS 芯片，SUN 公司的 Sparc 芯片，HP 公司的 PA-RISC 芯片，都在不断大幅度提高性能。目前新一代芯片发展目标是主频 500MHz，而每个周期可处理 6~8 条指令。例如，SUN 公司市场策略也有变化，以 Ultra Sparc (US) 芯片为基础，提出高性能计算 (HPC) 策略。1995 年已推出 US1，167MHz，每秒 3.34 亿次浮点运算，相当于以往石油界用的巨型机 CRAY YMP/1；1996 年 US2，达 250MHz；1997 年 US3，500MHz，每秒 10 亿次浮点运算，相当于 CRAYC90-1。

工作站不仅运算速度高，内存也很大。DEC 推出 64 位的 Unix 操作系统，支持超大型

内存 (VLM) 技术, 内存已达 14GB (即 140 亿字节)。VLM 对于 Oracle 数据库应用, 数据仓库, 联机交互处理已显示出了卓越性能。

## 2. 大规模并行计算机和 workstation 网络的发展

油气勘探需要非常高性能计算机。目前, 多 CPU 超级服务器提供高性能、低成本计算能力。例如, SGI 公司利用 MIPS R10000 超标量数据流技术; 提供如下型号系列:

- (1) L: 2-12 R10000CPU, >46 亿次浮点运算/s;
- (2) GR: 2-24 R10000CPU, >93 亿次浮点运算/s;
- (3) XL: 20-36 R10000CPU, >140 亿次浮点运算/s;
- (4) 阵列: 2-288 R10000CPU, >1120 亿次浮点运算/s。

这里, 值得注意的是, 由高性能 workstation 组成的网络 (称 NOW) 或阵列, 是一个重要发展方向。有人认为, 在 1984 年, 油气勘探主要由大型机和向量机为主, workstation 和微型机崭露头角; 1994 年大型机和向量机已接近消失, 被微处理器芯片组成的大规模并行机发展取而代之; 到 2004 年 workstation 网络可能成为主流。

目前大规模并行机追求的目标是万亿 (Trillion, 10<sup>12</sup>): 每秒运算速度 1 万亿次以上, 以及 1 万亿字节存储能力和数据通信能力。IBM 公司正在制造世界上最快的计算机, 称为 Option Blue 计划, 每秒 3 万亿次, 由能源部投资 9300 万美元。这是 4096 个 CPU 组成的大规模并行机。

## 3. 存储和数据管理技术的进步

在油气勘探领域, 大规模并行计算机主要用于地震数据处理, 特别是三维叠前深度偏移。对于这种应用领域, 除了计算速度外, 大容量存储技术也十分重要。如机器人磁带库, 24h 自动操作; 磁盘阵列, 高传输率、高可靠性, 简化系统管理等。Ampex 推出低价格机械手磁带库, 改善性能价格 LkIDST110 磁带机支持 25GB 盒式带, 与 DST810 自动磁带库配合。存储与输入输出技术进步使信息传输、存储、利用发生了一系列变革。

石油信息 (PI) 公司宣布了一种多平台数据管理系统 P2000, 具备易于使用的客户/服务器体系结构, 可用于勘探开发数据快速加载、浏览、编辑、作图、报表、输出。Geco-Prakla 推出了 SmartVue, 可以实时地浏览 Geco 的三维仓库, 可以扫描区域网络, 解释感兴趣区域。兰德马克公司和 QC Data 公司合作, 联合开发软件, 提供企业范围内数据存储和存取环境, 有助于对待石油工业数据爆炸问题。IBM 和 PGS 合作, 建立数据银行。PGS 打算在全世界范围拥有和操作石油数据存储技术, 并与科学应用国际公司和 PGS 的 Tigress 系统结合, 把 Sybase 产品连接到勘探开发专门应用软件及数据管理工具。

这里介绍 PGS 的数据银行 GeoBanking。其目标包括:

- (1) 每年加载和存储 6~10TB (万亿字节) 数据;
- (2) 每天加载和存储 50GB 数据;
- (3) 维护数据完整性和安全性及使用资格;
- (4) 通过高速网络及工业标准介质分布数据。

其数据管理考虑了联机 (On-line), 近机 (Near-line) 和脱机 (Off-line) 存储, 如表 1-1 所示。

近年来三维数据管理技术重要突破之一是地震数据压缩, 目前可靠压缩比可达 1:100。这使得可能更有效地管理万亿字节级数据体。地震数据压缩对传输、处理、解释具有很大影响。从采集队到处理中心当天可传送整个数据集。在工作站环境下也可以存放三维叠前数

据。技术进步有助于加速从采集到最终解释周期。

表 1-1 数据管理表

存储分级	联机 On-line	近机 Near-line	脱机 Off-line
数据类型	工作站数据	工作站数据 偏移数据 叠加数据	叠前数据 野外数据 导航数据
存储系统	磁盘	自动带库（机器人）	归档磁带（带架存储）
存储量	10~1000GB	10~50TB	100 万盘以上 “3480” 磁带

#### 4. 软件集成平台和应用软件互操作性规范的建立

工业界从 90 年代初就提出共同研究信息集成技术和建立软件集成平台标准。1990 年，由美国、欧洲五大石油公司发起成立“石油开放软件协会”，POSC，目前已有超过 120 个会员单位，包括了世界上主要油气公司和计算机公司，以及许多服务公司、大学、研究机构。

POSC 主要目标是建立、维护并推动石油工业上游信息共享的技术标准。其中第一优先是 Epicentre 数据模型；第二优先是互操作标准。POSC 软件集成平台（SIP）是指应用软件及运行环境（数据，用户，系统软件及通信）之间的接口。经过几年的努力，POSC 已推出勘探开发中心数据模型，Epicentre2.1 版本，数据存取与交换（DAE）规范，应用程序间通信（IAC）规范，以及基础计算机标准。工业界已广泛使用这些标准。

关于应用软件互操作性，工业界基本要求包括：

- (1) 任何时间、任何地点存取信息和应用软件；
- (2) 连接广大机构，促进协同工作，支持动态组织机构；
- (3) 使程序和信息成为有价值资产。

一些主要石油公司对应用软件互操作性级别提出了划分意见，如 Shell 公司分四级：

共存、桥接、静态、动态；Chevron 公司四级：桥接、数据共享、事件共享、对象共享。

油气勘探软件集成，可以分四个层次：

- (1) 显示集成——用户界面提供存取应用功能一致的视觉感观；
- (2) 数据集成——共享公共数据模型和信息；
- (3) 控制集成——应用软件相互影响并提供服务；
- (4) 进程集成——可用进程模型或其他方式指导进程间合作；

## 二、石油勘探中的应用软件

众所周知，在遥感、重磁电、化探、测井、地震、钻录井等方面大量繁多的资料处理中，计算机发挥着越来越重要的作用。各种应用软件应运而生，如 Landmark 公司研制的以 Windows 为基础的综合对比、剖面作图一体化的 Starwork 系统。Stratamodel 公司开发的 SGM, GTM, Stratamap, Stratasim 系统等地层模拟软件。Dynamic 图形公司开发的综合二维、三维空间技术进行复杂地质关系的制图、模拟、图形处理以及分析系统等工作。Earth Vision AMOC 公司研究中心研制的以岩心分析与评价为主的地球科学评价——GEM 软件及完成区块成本分析的 Risk 系统。Platte River Associates 公司开发的一维、二维盆地模拟软

件。

英国威特国际有限公司 (V&T INTERNATIONAL, INC) 推出的目前世界上评价断层封堵性最先进的软件 FAPS (Fault Analysis Projection System), 它综合利用地震、测井和地质资料, 并在软件工作流程的前期对地震资料解释的结果进行校正, 从而保证了后期对断层面封堵性评价的正确性。同时, FAPS 软件将地质 (断层封堵性) 的概念模型和地球物理 (地震, 测井) 数值模型进行了有机的结合, 并以断层两侧地层的接触关系、涂抹因子、断层泥比率、断层两侧地层压力差等为主要评价依据, 建立了对断层面封堵不均一性进行综合定量评价的方法, 为石油的勘探开发提供重要的依据。FAPS 软件的主要特点包括:

- (1) 首创断层面岩性并置接触的三维立体图像;
- (2) 可定量评价断层面封堵的不均一性;
- (3) 操作简单、方便、易掌握。

FAPS 软件从 1989 年 10 月推出 1.0 版本到目前的 3.0 版本, 在不到 10 年的时间里, 使用户迅速发展到了 80 多家, 遍布 17 个国家和地区, 世界上大多数著名的石油公司都在使用 FAPS 软件, 其中包括 SHELL, TEXACO, MOBIL, AMOCO 以及 BP 等公司。

美国 GeoGraphix 公司 (Landmark 子公司) 在微机及 Windows 环境上开发的综合数据管理及油藏图形绘制系统 GES (GeoGraphix Exploration System), 可以把地质、地震、测井资料综合在一个平台上统一管理、统一绘制高精度的图形。

GES 由八大模块组成: 人机交互的图形及编辑系统、地质地理信息管理系统、租赁信息管理系统、井数据库管理系统、地震数据库管理系统、绘图及建模系统、数据采集系统以及连井剖面、地质剖面 and 地震剖面。这八大模块基本满足了地质学、地球物理学、地理学、石油工程和土地管理等方面的不同需求。它可以对地理信息、地质数据、地震数据进行分析和管理; 可制作各种类型的等值线图 and 地质剖面图, 还可把地质学家的认识结合到绘图中, 并可通过井数据校正地震解释结果。GES 可进行构造类型和有效圈闭的确定, 同时还可以进行有效圈闭面积、体积和储量计算。GES 软件的主要特点包括:

(1) GES 是一套功能齐全的石油地质图形数据库管理系统, 可以把勘探与开发信息 (如平面图、井位图、井眼描述图及施工图等) 有机结合, 编制各类复杂的石油地质图件;

(2) GES 的数据与图形的动态连接, 建立了数据库和图形之间的联系, 使其可以进行快速的数据查询;

(3) 地质数据库和地震数据库对数据的管理具有极强的针对性, 通过有条件的索引, 使用人员可以方便地提取目标数据;

(4) GES 对工区的管理灵活方便, 通过鼠标拖拽和数据输入两种方法可以方便的提取研究人员所需要的研究区域;

(5) GES 系统可以吸收地质学家、地球物理学家和油藏工程师的经验和认识, 进行图形绘制, 使所绘制的图形能更好地反映实际地质情况;

(6) GES 系统可以利用钻井资料对地震解释结果进行再标定和校正;

(7) 与 NDS/MAP (图形数字化软件) 的数字化成果数据全方位兼容。两套软件的有机结合使得油气勘探开发研究工作中的中间成果图件和最终成果图件能做到快速更新与数字化保存。

我国大庆石油管理局、胜利石油管理局、北京石油勘探开发科学研究所和中国海洋石油勘探开发研究中心也都开发了自己的盆地模拟与油气资源评价软件。在地震资料处理解释方