

人工智能在勘探开发中的应用译文集

金振武 刘瑞林等 译



石油工业出版社



登录号	087123
分类号	P618.13
种次号	030

人工智能在勘探开发中 的应用译文集

金振武 刘瑞林 等 译



石 油 工 业 出 版 社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本文集主要介绍了专家系统和人工神经网络在烃类资源评价、地球化学数据识别、试井解释模型识别、岩性识别、波形识别、钻头诊断、抽油机示功图识别等方面的应用实例、理论和实例兼备,是从事石油勘探和开发工作者一本较好的参考书。

人工智能在勘探开发中的应用译文集

金振武 刘瑞林 等 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 $12\frac{3}{4}$ 印张 317 千字 印 1—1500

1994 年 3 月北京第 1 版 1994 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0963-3/TE·898

定价: 10.55 元

前 言

人工智能是近 30 多年来发展起来的一门综合性学科。从目前的发展趋势看,它不仅在石油工业中具有实用价值,而且愈来愈引起石油专业人员的兴趣和重视。在国外,人工智能在石油工业中的应用研究几乎遍及每一领域。在国内,人工智能在石油工业中的应用研究也正在逐步开展。翻译这本文集的目的之一是想通过它来反映国外近年来人工智能在石油工业中应用的最新进展,从而对我国人工智能在石油工业中的应用研究起到借鉴和促进作用。

本文集分为两个部分。第一部分是专家系统,基于知识的系统在石油勘探开发中的应用。专家系统,基于知识的系统假定可以用符号方法来描述人的智能。利用知识的符号表达形式加上相应的算法模仿人进行逻辑推理来求解特定的问题。这类系统的共同特点是:①它总是用来解决某个专门领域的问题的,通常起专家咨询作用;②系统以专家知识为基础;③通常可以达到专家处理专门问题的水平。这类系统对于那些要应用专家的专门知识和经验,并且可以按一定步骤求解的问题取得了很大成功。本译文集第一部分主要包括如下几个方面的应用:在地质学领域中沉积环境的识别、解释;试井解释模型的鉴别;基于知识的测井解释系统;基于知识的井间对比系统;用蒸汽法提高采收率的基于知识的系统;选择最佳抽油方案的咨询系统;抽油装置的智能诊断系统。这些应用系统包括了勘探开发的一些重要方面。

本译文集的第二部分是人工神经网络在石油勘探开发中的应用。人工神经网络是目前国内外异常活跃的研究领域,现已开始应用于石油勘探开发中,并取得了好效果。人工神经网络系统基于另外一种信念来实现类似人的信息处理能力,即用大量的简单处理单元——模拟神经元高度复杂连接而成的网络系统模仿人的智能行为。这种信念来自于人们对大脑结构的理解。现代神经生理学和神经解剖学研究表明,人脑由数以亿计的神经元组成,神经元通过突触连接而形成神经网络。人通过各种感觉器官接受信息,神经网络以并行方式传递、加工和贮存信息,然后再送到相应的效应器官(如肌肉和腺体等)给出相应的反应,直到引出人的各种智能行为,如联想存储、容错性、自适应性和学习能力等。人工神经网络试图从结构及功能上用软件或硬件来模拟人的神经网络系统。于是,模拟神经元的特性,连接的拓扑结构以及学习或自适应的方式便构成了一个人工神经网络系统的三要素。值得指出的是,现有的人工神经网络模型,还不是人脑系统的真实描写,而只是它的某种简化、抽象和模拟。目前在石油工业中应用最多的是反传播(Back-propagation)模型。用这一模型构成的系统通过对实例的学习来获得解决问题的知识。学习不同的实例,就解决不同的问题。因此,它很方便地解决了以往一些智能系统中知识获取的困难。人工神经网络系统对于那些不能用明确步骤求解的问题(如图象识别等)具有很大的实用价值。本译文集第二部分包括如下几个方面的应用:烃类资源评价;地化数据的识别;试井解释模型识别;根据测井资料进行岩性识别,波形识别,曲线对比,参数计算;地震资料的波形识别;地震道编辑;钻头故障诊断;抽油机示功图识别。这些应用都很有启发性。

这本文集主要译自“Conference on Artificial Intelligence in Petroleum Exploration & Production”文集。为了全面反映近年来人工智能在勘探开发中的应用进展,我们也从 SPE 会议文集和相应石油专业刊物上挑选了几篇文章。

译文中的不足之处,敬请读者批评指正。

金振武

1991 年 10 月于荆州

目 录

I 专家系统在勘探开发中的应用

一、人工智能在石油勘探开发中的应用	(3)
二、LOBSTER——沉积环境识别专家系统	(11)
三、DENIS——一个用于识别沉积环境的专家系统	(16)
四、试井解释模型识别专家系统	(24)
五、用于 Horner 分析的模拟问题求解范例	(29)
六、利用专家系统改进试井解释	(34)
七、一种基于知识的井壁图象解释方法	(40)
八、一种用于电缆测井资料解释的知识库系统	(46)
九、GEOLOGIX——一种基于知识的交互式井间对比系统	(53)
十、蒸汽法提高原油采收率的模拟系统	(58)
十一、符号计算在石油工业中的应用	(62)
十二、选择最佳抽油方法的专家系统	(66)
十三、利用专家系统诊断有杆泵装置	(73)

II 神经网络在勘探开发中的应用

十四、香农盆地烃类资源评价	(85)
十五、容许缺失输入数据的 Kohonen / BP 网络	(92)
十六、人工神经网络方法识别试井解释模型的应用	(97)
十七、BP 神经网络与统计模式识别技术识别砂岩岩相的比较研究	(104)
十八、神经网络模拟器在测井曲线模式识别中的应用	(112)
十九、神经网络模拟器在测井解释中的应用	(136)
二十、应用神经网络解决测井解释中矿物识别问题	(147)
二十一、利用神经网络进行波形识别	(164)
二十二、利用神经网络进行地震道编辑和初至波拾取	(170)
二十三、用神经网络诊断钻头	(174)
二十四、人工神经网络识别游梁式抽油机示功图	(186)

I 专家系统在勘探开发中的应用

一、人工智能在石油勘探开发中的应用

B.L.Braunschweig

金振武 译

刘瑞林 校

引 言

本文介绍了法国石油研究院进行的有关人工智能在石油工业中应用调查的主要结果。1989年,通过访问石油界的专家和学术界的专家开展了此项调查工作。这项研究取得了两项主要结果:

①一本保存在法国石油研究院的内部文献;

②在分析统计的基础上,形成的综合文献给出了人工智能在石油工业中研究和应用的趋势。

本文试图强调这项调查所表明的某些主要趋势,并表明在石油勘探和开发应用中的一些详细结果。图件给出了调查数据库的结果,该数据库由150多应用调查表和30多机构调查表组成。

调 查 范 围

1. 地理分布

我们把调查表寄给了全世界经过选择的专家,收到的大多数回执来自欧洲、北美和南美洲。这并不意味着中东和非洲没有开展人工智能方面的工作。可是,在远东(主要在日本)和澳大利亚也有不少著名的工程项目。

2. 调查的领域

法国石油研究院的研究领域包括采油公司和炼油公司的所有业务活动范围。因此,对这些方面都进行了调查。很自然,我们对人工智能在下列学科中的应用更感兴趣:地质、地球化学、地球物理/地震资料处理、油藏工程、钻井、完井、陆地采油和海上采油、物理化学和热力学、反应动力学和催化、炼制、石油化学、处理工程、安全工程、管理、油气的运输和利用等等。我们未曾收集有关非技术项目的资料,例如会计、人事管理、战略规划等,这些对大的石油公司是有意义的,但是未列入法国研究院的调查项目。

我们获得的有关石油勘探和开采方面的资料比炼制和石油化学方面的资料多。其主要原因是前者有大量的研究计划,以及更多的关于石油勘探和开发方面的国际会议。本文给出一般的概述(包括炼制和石油化学),以及石油勘探和开发方面的专门评论。

概 述

不论成功与否,人工智能已经应用于整个石油工业领域。从有关地质知识表达的基础研究到如何清洗一个空油罐的应用软件,已经开展了几百个项目的研究,不少项目已由石油工程师和人工智能专家完成。某些常提到的专家系统已被主要的石油公司和石油服务公司所采用。许多由石油工业部门发起的学术研究,也将理论研究成果应用于与石油有关的学科。差不多每个石油公司都有几个人工智能小组,尽管与其它工业部门,如电力、运输或财政相比,规模还很小,但就欧洲和美洲的调查情况来看,石油工业每年大约有1000多人工作在人工智能有关的学科上。由于我们仅调查了大约一半的大公司,因此估计在过去的十年中,投在人工智能研究中的总工作量大约在2000~3000人年之间,即耗资约3亿美元。

值得注意的是专家系统的第二次浪潮(所谓“第二代专家系统”)似乎与人工智能应用的第二次浪潮一起发生。第二代专家系统的出现不仅与该领域的方法的进步有关,而且与80年代后期的石油危机有关。石油危机对人工智能小组和主要石油公司内的科研项目产生了冲击性的影响:一些研究小组由于缺乏经费而停止工作;而一些新的项目又不得不开始,因为需要去做与具有很少经验的人的同样工作。只要原油价格保持在20美元/桶,就可以得到所需要的人工智能开发和研究的经费。

就人工智能研究来说,石油工业的情况很不一样。少数公司取得了某些主要的进展,决定将基于知识的系统作为信息系统的基本部分,并使研究队伍维持在先进课题的研究上,其它公司的研究始于专家系统的第二次浪潮,并且仍在论证这些技术的有用性。正如Feigenbaum著名的书(《专家系统的产生》)中所论述的那样,机构内部人工智能专家系统的开发,依赖于一个或少数几个第一流的专家热心于新技术实现,以及有浓厚兴趣的研究人员和管理人员的存在。那些具有第一流专家的石油公司目前已处于领先地位,像许多其它工业一样,他们正在研究神经网络,意识到人工智能研究投资很低,而收获不少。

一 些 数 字

下列图表给出了从我们调查数据库中提取的某些非相关的统计结果。

1. 取自应用调查表

(1) 问题的类型 (图1)

用人工智能方法(诊断和解释)研究的首批问题仍然是石油应用中非常普通的问题。单纯的过程控制应用正在起步,虽然某些过程控制也是诊断/维护问题。智能前端的课题未列入调查表中,但似乎是新研究计划所建议的主要问题类型。即使这种技术不很成熟,但仍可找出某些宏伟目标的规划生成应用。

(2) 1989年状况 (图2)

1989年的项目状况表明,在人工智能作为一种可选用的方法以前,我们需要取得多大进步。绝大多数的项目仍然处在演示、开发原型和测试阶段;少数项目已经最后完成,但也未投入应用。大约只有十多个软件认为是产品,或者内部使用,或者投入商业性使用。现在只有五个软件处于扩展阶段,这意味着第一代软件已被采用,新的特征已在实现。

(3) 项目成本 (图3)

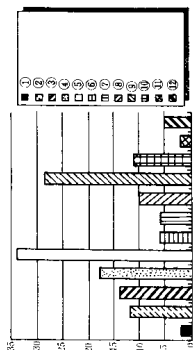


图 1 问题的类型

1. 解释; 2. 设计/配置; 3. 诊断/维护; 4. 过巴控制;
5. 计划/产生; 6. 安全; 7. 智能前端; 8. 管理; 9. 其他

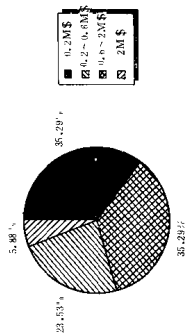


图 3 项目成本

图 2 1989 年的状况

1. 计划阶段; 2. 开始阶段; 3. 开发阶段; 4. 演示阶段;
5. 原型系统; 6. 工业化阶段; 7. 测试阶段; 8. 完
善阶段; 9. 使用阶段; 10. 产品化阶段; 11. 商
业化阶段; 12. 结束阶段

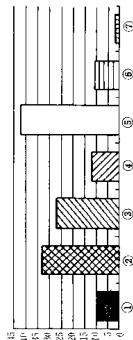


图 4 硬件类型

1. IBM 主机; 2. DEC 的 Vax 机; 3. Unix 工作站; 4. 智能
机; 5. PC 机和兼容机; 6. Macintosh 机; 7. 其他

绝大多数的人工智能项目都是小项目，其财政预算在 60 万美元以下。大多数石油公司喜欢在非常窄的领域实现有限的目标，而不是试图在大范围内将专业知识形式化成大的知识库。只有少数几个重要的开发项目，但它们并不是纯粹的人工智能。这些科研项目经常把人工智能作为研究方法之一，例如模拟，并行处理。

(4) 计算机和软件 (图 4、5)

在下面的图中，分类如下：

- 1) Dec VAX: 所有的 VMS 计算机，包括 VAX 主机、VAX 工作站和微 VAX;
- 2) Unix 工作站: Sun, HP, Apollo 等;
- 3) 智能站: Symbolics, Xerox, Explorer 等;
- 4) Lisp: 所有的 Lisp 语言 (Common Lisp, Inter Lisp, Le Lisp 等);
- 5) Prolog: 所有的 Prolog 语言;
- 6) ESE/ADS: 在 IBM 主机上的人工智能开发软件;
- 7) 混合软件: Kee, Art, Knowledge craft kool;
- 8) 小的 PC 机专家系统外壳: Guru, Vp-Expert, $\bar{X}1+$ 等;
- 9) OPS5: 所有的 OPS;
- 10) NN 工具: 神经网络开发工具 (Neural Ware, Ansim, Axon, Nestor, PDP3 等);

(11) 常规语言: 所有其它程序设计语言。

大多数科研项目用几种语言。

(5) 应用子领域 (图 6)

图 6 给出了我们调查数据库中的主要应用领域。最常提到的应用领域是：地质、采油、油藏工程和炼制。

(6) 在地质学中的应用 (图 7)

在地质学中，大多数应用是有关勘探/盆地评价以及测井解释方面。首先应用的是复杂领域，在这个领域中，每项应用都有其特点。而测井解释、地层对比和过程控制应用，虽然采用不同的方法（专家系统、信号处理和神经网络等）一般具有相同的目标。

(7) 在地球化学中的应用 (图 8)

采用基于知识的方法或者神经网络方法，人们已经发现在地球化学中的各种应用，包括岩石分析、气相色谱和测井解释等方面。

(8) 在地球物理中的应用 (图 9)

这里所说的地震资料处理是指与地震资料变换和解释的一个或几个步骤有关的所有应用。提及的两个应用是为地震资料处理作准备的，而其它的则属于测量解释领域。

(9) 在油藏工程中的应用 (图 10)

试井解释是一个非常普及的问题。因而牵涉到所有的应用，也与测井分析有关。因为油藏模拟模型的程序是庞大而复杂的程序，所以有人尝试研制智能前端系统。

(10) 在钻井和完井中的应用 (图 11)

为了安全操作和降低成本，操作过程的控制是钻井和完井中的主要问题。钻具的设计/选择和完井设计也是普遍的问题，通常采用基于知识的系统，而神经网络除外。

(11) 在采油中的应用 (图 12)

在海洋石油开采中差不多所有的应用都是过程控制和工艺设计的应用。我们将过程控制

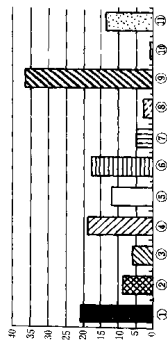


图 5 开发软件类型

1: Lisp; 2: Prolog; 3: ESE / ADS; 4: 混合软件; 5: Nextpert Object; 6: 小 PC 机外壳; 7: OPS; 8: 神经网络 T. 具; 9: 常规语言; 10: C++; 11 其它

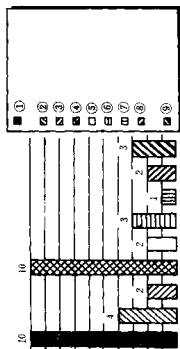


图 7 在地质中的应用

1: 勘探 / 盆地评价; 2: 岩石分析; 3: 地震仪器设计; 4: 测井解释; 5: 测井曲线对比; 6: 测井质量控制; 7: 试井资料解释; 8: 软件的前端; 9: 其它

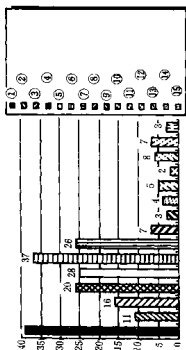


图 6 应用于领域

1: 地质; 2: 地球化学; 3: 地球物理; 4: 油气工程; 5: 钻井和完井; 6: 采油; 7: 炼制; 8: 石油化学; 9: 运输; 10: 回收; 11: 煤; 12: 污染; 13: 经济; 14: 安全; 15: 其它

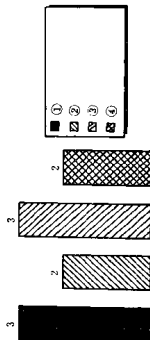


图 8 在地球化学中的应用

1: 岩石分析; 2: 色温; 3: 测井解释; 4: 其它

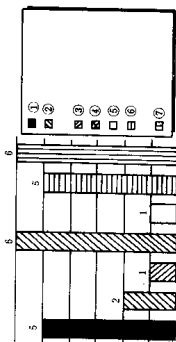


图 9 地球物理中的应用

①地震资料处理; ②仪器设计; ③测量解释; ④作为软件
前端; ⑤其它

图 10 油藏工程中的应用

①压力试井; ②油藏工程; ③设备设计; ④测井分析; ⑤
开发控制; ⑥软件前端; ⑦其它

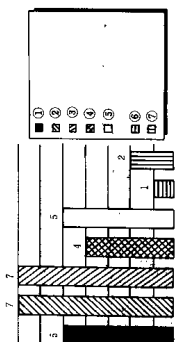


图 11 在钻井和完井中的应用

①仪器设计; ②完井设计; ③定向钻井; ④钻井控制; ⑤
软件; ⑥测井分析; ⑦其它

图 12 在采油中的应用

①采油控制; ②设备诊断; ③设备设计; ④风险/安全;
⑤性能监测; ⑥软件; ⑦其它

的应用划分为几个子领域：生产控制、设备诊断、性能监测。生产控制倾向于整个开采过程；而设备诊断则集中在某台设备发生故障的原因上；性能监测是为了保持某台设备的性能接近其额定值。

风险分析和安全措施正在成为专家系统的主要应用领域。

2. 取自机构调查表

(1) 项目 (图 13)

调查的大多数组织机构开始时都不到 10 个人工智能项目。少数先进的组织提到它们有足够数量的人工智能应用项目，其中有 2 个组织最多，超过 100 项。对这些数字应非常小心，因为这些第一流的组织研究探讨的项目和领域是各种各样的，例如，有项目完全与石油勘探、开采或炼制无关。人工智能项目的多少也不与组织规模的大小成线性关系，如某些主要的大公司只提到几个项目；而一些不太重要的公司却有 20~50 项。所有项目合计为 820 项。

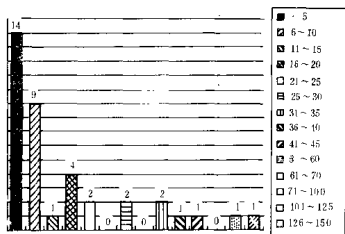


图 13 项目的数量

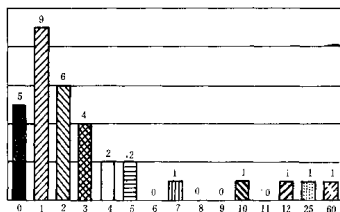


图 14 操作系统的数量

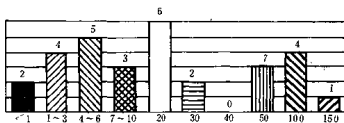


图 15 投入的力量 (人年)

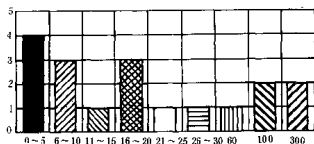


图 16 利用人工智能软件的人员

(2) 操作系统

显然值得高兴的是，已经研制成许多具有人工智能功能的操作系统（图 14）。大约有 150 多个操作系统，尽管不是所有的系统都被广泛应用。在大多数时间，人们所说的“操作系统”是指质量和可靠性达到一定水平，且能正确地自动完成给定任务的系统。这些系统是否被应用，甚至仅被设计者所使用，则是另一问题了。

(3) 自开始研究以来所花费的人年

投入的人年分布表明，自开始研究起，特别是自 80 年代中期以来，大多数组织每年投入在人工智能项目上的人年小于 20 人年。每个组织平均每年投入的力量约在 1~5 人年之间，有些组织投入的多一些。这一总体估计可以花费在人工智能项目上的人年（图 15）。

(4) 使用人工智能系统的人员

除极少数情况外，现在仍然是研制人员多于用户。已证明有 5 至 6 个系统非常成功，并安装了几套。然而，大多数人工智能系统仅在 1 个或 2 个用户手里（图 16）。

译自“1990 Conference on Artificial Intelligence in Petroleum Exploration & Production,” P7~16。

二、LOBSTER——沉积环境识别专家系统

L.Matteini

金振武 译

张超谟 校

摘要 矿物层序沉积环境解释是油气勘探中的关键问题。搞清楚最初的沉积环境可以帮助勘探工作者求准储油岩层或生油岩层的分布范围,几何形态以及岩石物理性质。相分析是解决相应问题的成功方法。但其精度取决于沉积学家长期的工作经验。一个石油公司通常只有几个人具有这样的经验。

LOBSTER (Lisp Object Based System Tool for Environments Recognition) 是一个利用知识库系统进行相分析和沉积环境识别的原型。LOBSTER 采用各种相作为基本单元,每一单元包含许多不同的同类符号,它们来自岩心和测井分析。

知识表达范例严重影响最终原型成功。由于简单规则的方法对广泛地描述自然环境的巨大可变性显得不够灵活,这种简单方法构成的系统仅在处理那些对特殊特征识别时才能取得成功。

LOBSTER 采用了基于框架的知识表达和面向目标的程序设计技术,并且用 Lisp 语言来实现。原型的推断机理提供了正确识别沉积环境或者识别最相似的沉积环境,以及管理和评价带有“what if”多种假设能力的有效方法。在这种意义上,处理不完全的或者断层的资料也是可能的。此外,框架的范例在任何时候都能提高知识库的固定部分,而不会影响识别机理。

原型的特点在于:①友好的用户—系统界面是基于图形和菜单的,它们由输入数据驱动;②具有自动形成最终报告的能力。

领域的特点和系统的要求

LOBSTER 的目的在于相分析作为识别岩石沉积环境的一个工具,它所提供的结果要合理,并对它进行编码。

沉积环境的解释是油气勘探中非常关键的、且具有决定意义的工作。这是因为,如果能正确地识别出与给定沉积物有关的沉积模型,那么就可以得到在油气生成至聚集过程中与岩层的延伸、几何形态和岩石物理特性(渗透率、孔隙度)有关的详细信息,即生油岩或储油岩。沉积环境解释是关键性的还因为沉积学家是靠知识得出他的解释结果,而他所用的知识主要是从实际沉积过程的第一手经验资料中得到的。将该知识应用于过去沉积的实例(即沉积构造、颗粒大小)就可以识别原始的沉积环境。

非常清楚,相同的沉积环境在自然界可以表现为许多不同的形式。以滩环境为例,沉积学家必须能识别这种滩环境究竟是 Main 的石滩还是夏威夷型沙滩。

然而,所有这些说明了培养一个好的沉积学家需要经历许多年,以便在解释工作的岗位上取得成功。完成这一解释工作的最新方法叫“相分析”(图 1)。沉积学家利用岩心和测井资料进行这种分析的基础是沉积相的描述。沉积相定义的具有同类特征且根据一系列的描述符对它进行识别的一个单元。

在本研究中, 沉积环境不是根据描述符来识别的, 而是根据描述符本身所能推导出的沉积机理的函数来识别的, 这种函数相对于这一环境来说是特有的。

根据最终用户的技术说明, 可由用户直接供给与井下岩心描述有关的资料, 或者从数据库自动检索。可以列出多种解的假设, 并对它们进行核实, 同时对解释模型的符合情况进行检验, 最后形成成果报告和最终图形输出 (沉积测井曲线)。现在, LOBSTER 完全可以嵌入并且合成在 AGIP'S 勘探信息系统中。

专家系统技术可有效地用来实施逻辑—演绎处理。该处理建立在相分析基础上。容易对知识库进行修改的可能性容许以后的经验不断发展。这就可以使沉积学家直接与经常增加的有关实例打交道。

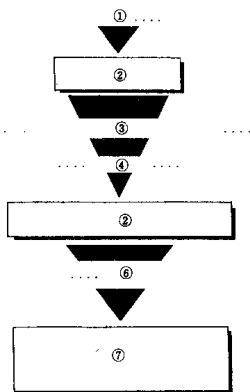


图1 相分析处理

①描述; ②相; ③解释, 每个相的处理; ④联合; ⑤亚层序; ⑥解释; ⑦沉积环境

系统的特点

采用图形接口和鼠标器, 用户就能快速选择预先设计好的选择项来实现人一机对话, 这样就可避免数据输入错误。

设计该系统是为了在输入端接收井底岩心的描述, 这种描述正像沉积学家一般所描述的那样。用图象表示的一组描述符与实际工作采用的相同。典型的 LOBSTER 对话由下列步骤组成 (图2):