



刘一江 编著

YOUTIAN KAICAI ZHUANJIA XITONG

油田开采专家系统



石油工业出版社

油田开采专家系统

刘一江 编著

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

油田开采专家系统/刘一江 编著.
北京:石油工业出版社, 2001.11
ISBN 7-5021-3579-0

I. 油…

II. 刘…

III. 石油开采-专家系统

IV. TE35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 077720 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)

石油工业出版社印刷厂印刷

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—1500

2001 年 11 月北京第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3579-0/TE·2641

定价: 25.00 元

序

专家系统 (Expert System) 的概念与初型, 是由美国斯坦福大学的费根博姆 (Feigenbaum) 教授于 20 世纪 70 年代首先提出的。它是当前人工智能研究中最活跃的一门学科, 也是人类生产实践、科学研究、人工智能与计算机技术发展的结晶。专家系统, 实质上也是在某一个领域内, 利用专家智慧解决问题能力的程序系统, 因而也有知识工程之称。众所周知, 目前应用比较成熟的专家系统有: 诊断型专家系统、预测型专家系统、解释型专家系统、设计与规划型专家系统、咨询与决策型专家系统、教学型专家系统, 以及各行各业的专门专用型专家系统。油田开采专家系统, 就是专业性和实践性很强的工程专家系统。

在我国, 将专家系统的原理和方法用于解决石油工业有关方面的不同实际问题, 已有近十年的时间, 并取得了较好的效果与经验。由刘一江编著的这本《油田开采专家系统》, 是一本内容丰富、涵盖面宽、实用性强的新作。该书除对专家系统的基本原理和方法做简要的介绍之外, 着重介绍了近十多年来, 国内外在机械采油、油气层改造、提高原油采收率、油气藏动态分析、重油开采、矿场试井、油气层保护、堵水防砂注水以及井下作业等方面的专家系统基本内容 and 应用实例。该书的问世, 相信会引起有关读者的关注和兴趣, 并会对专家系统今后在我国油田开采方面的应用与发展起到积极的作用和影响。

我因受邀写这篇短序, 而成为本书的第一位超前读者。仓促阅读, 收获甚多。我为《油田开采专家系统》一书的出版感到高兴, 并表示由衷的祝贺!

陈元千

2001 年 11 月 1 日于北京

目 录

第一章 油田开采专家系统概述	(1)
第一节 专家系统的基本原理.....	(1)
第二节 国外油田开采专家系统的研究现状.....	(3)
第三节 国内油田开采专家系统的研究现状.....	(8)
第四节 认识与启发.....	(8)
第二章 机械采油专家系统	(10)
第一节 选择最佳机械采油方式的人工举升 (AL) 专家系统	(10)
第二节 优选机采方案的 SEDLA 专家系统	(15)
第三节 有杆泵工况诊断专家系统	(22)
第四节 有杆泵抽油井故障诊断专家系统	(30)
第五节 采油电泵井故障诊断专家系统	(33)
第三章 油气层改造专家系统	(37)
第一节 水力压裂设计专家系统	(37)
第二节 压裂施工参数设计神经网络专家系统	(39)
第三节 区块整体油层改造效果评价神经网络专家系统	(42)
第四节 压裂与酸化选井选层神经网络专家系统	(47)
第五节 优选压裂液和压裂液用量的专家系统	(51)
第六节 井下酸化作业液体设计的专家系统	(61)
第七节 设计与评价基质酸化的专家系统	(65)
第四章 提高原油采收率专家系统	(67)
第一节 提高原油采收率项目风险分析专家系统	(67)
第二节 提高原油采收率工艺方法筛选专家系统	(73)
第五章 油藏动态分析专家系统	(82)
第一节 基于专家系统的油气田开发方案综合评价新方法	(82)
第二节 注水油田开发动态分析系统分析法	(86)
第三节 油井动态分析专家系统	(91)
第四节 面向油田开发的专家数据库系统	(96)
第六章 稠油开采专家系统	(100)
第一节 稠油 (超稠油) 开采专家系统.....	(100)
第二节 蒸汽法提高原油采收率专家系统.....	(102)
第三节 蒸汽吞吐专家系统.....	(106)
第四节 稠油分注选注专家系统.....	(110)
第七章 试井分析专家系统	(114)
第一节 试井解释模型识别专家系统.....	(114)
第二节 改进的试井解释专家系统.....	(117)

第三节 试井分析专家系统的建立·····	(121)
第八章 油藏伤害预测与保护专家系统·····	(125)
第一节 低渗储层损害预测与保护专家系统·····	(125)
第二节 油层损害识别、评价、诊断、预防和处理协同式专家系统·····	(128)
第三节 面向对象的专家系统的应用·····	(134)
第九章 堵水、防砂和注水专家系统·····	(139)
第一节 堵水专家系统·····	(139)
第二节 防砂专家系统·····	(144)
第三节 提高注水系统效率的专家诊断系统·····	(161)
第十章 井下打捞作业专家系统·····	(167)
第一节 井下打捞专家系统·····	(167)
第二节 井下落鱼事故诊断专家系统·····	(171)
参考文献·····	(176)

第一章 油田开采专家系统概述

20 世纪 80 年代中期, 由于人工智能 (Artificial Intelligence, 简称 AI) 技术与常规计算机硬件体系结构的密切结合, 出现了一批适应勘探开发需要的实用技术。专家系统、模糊逻辑系统、神经网络和遗传算法这四种人工智能技术已对石油工业产生了重要的影响。目前, 这些技术正处在不同的成熟阶段 (图 1-1), 专家系统最成熟, 遗传算法最不成熟。但无论如何, 这些方法都已投入了实际应用。

当今计算机已成为人类不可缺少的现代科学工具, 其应用领域已从数据处理转向知识处理。近些年来, 人们对人工智能与专家系统的兴趣与日俱增, 使人工智能专家系统成为各国都极为关注的热门学科。专家系统是人工智能应用的最前缘和最为成熟的领域, 目前已进入商品化阶段, 专家系统的应用已开始产生巨大的技术经济效益。

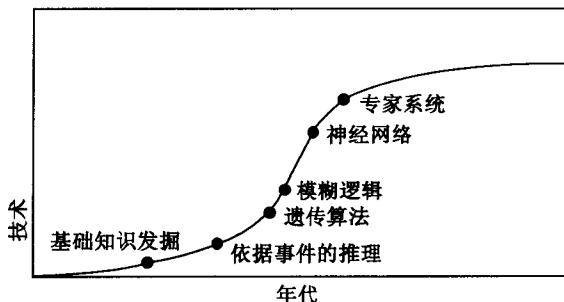


图 1-1 技术进展曲线说明专家系统、神经网络、模糊逻辑和遗传算法的相对成熟度

第一节 专家系统的基本原理

1. 专家系统的基本思想

专家系统是人工智能技术的一个重要应用领域。随着人工智能技术 (如知识表示、知识获取等) 的发展与应用, 这些年来, 专家系统得到了很大发展。

专家系统是一个在某特定的领域内具有大量专门知识与经验、能以人类专家的水平去解决该领域中困难问题的智能化计算机软件系统。由此可见, 专家系统强调的是高性能, 具有下列重要特征:

- ①专家系统是一个智能化的计算机软件系统;
- ②专家系统中存储有知识, 并具有处理知识的能力或具有智能;
- ③专家系统能完成那些由专家才能完成的任务, 即达到了专家的水平, 并提出专家水平的解决方法或决策;
- ④专家系统与人类专家相比, 知识面是窄的, 只能在一定范围内解决某特定领域中的困难问题。

一个专家系统要达到这样高的性能, 必须具备知识获取能力、逻辑推理能力、决策能力以及学习能力。只有这样, 它才能模仿人类专家的推理过程, 对用户提出的问题选择知识库中相应的知识加以分析推理, 从而得出相应的结论。

人类专家之所以成为某一领域的专家, 关键就在于他掌握了有关该领域的大量专门知识 (书本知识和启发性知识)。正是这些在长期实践中逐渐积累起来的启发性知识, 才使得专家

在处理问题时比别人技高一等。由此我们可以想象，如果计算机能够存储关于某一领域的大量专门知识，并能有效地利用这些知识去解决问题，那么，计算机也应该能像人类专家一样很好地解决该领域中的复杂问题。这就是专家系统的基本思想，其理论基础，我们可用“知识就是力量”这句话来概括。由此可见，专家系统实际上是通过在系统中存储大量与应用领域有关的专门知识，来获得高水平的问题求解能力。

2. 专家系统的基本结构

通常，一个专家系统由知识库、推理机、知识获取机制、综合数据库、用户接口和解释机制等六部分组成，其基本结构如图 1-2 所示。

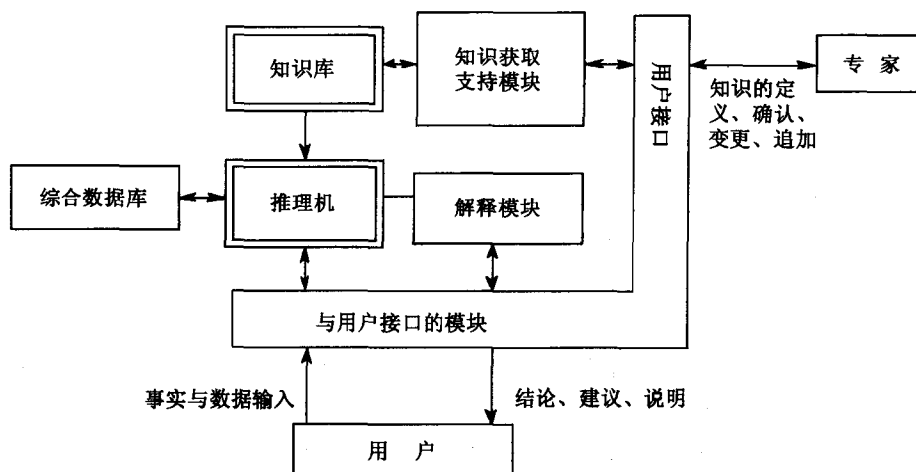


图 1-2 专家系统的基本结构

①知识库：知识库或许是专家系统最主要的组成部分，因为其中存放有系统求解问题所需的专门知识与经验。专家系统的性能水平很大程度上取决于提供知识的专家的知识数量和质量。

②推理机：负责协调、控制整个系统，以决定如何使用知识库中的知识，按一定的推理控制策略去解决实际问题。现存的有三种推理方式（正向推理、逆向推理、混合推理），每一种推理的过程都是不同的。有些问题可能适于用正向推理，而另一些问题则可能适于用逆向推理或混合推理。设计者的任务之一，就是要选择一个适合求解问题的推理方式。

③知识获取机制：负责管理知识库中的知识，根据需要对知识库中的知识进行修改、删除或添加，从而实现系统的灵活性。

④综合数据库：用于存放专家系统在执行与推理过程中的论据和中间结果。

⑤用户接口：专家系统与用户间基于声、文、图、像的接口，使专家系统与用户达到友善。

⑥解释机制：负责对推理过程给予必要的解释，回答用户提出的诸如“Why”、“How”等问题，使用户了解系统的推理过程，使系统易于理解和接受，从而实现系统的透明性。

由此可见，专家系统的工作原理主要是运用知识库中的知识进行推理，从而解决问题。因此，上述各部分中，知识库和推理机构成了专家系统的核心。

3. 专家系统的开发

开发一个成功的专家系统大致要经历准备、研究问题、整理知识、建立模型系统、改进

和扩充系统、测试与评价、商品化等几个阶段。其中最重要的有以下两个方面：一是知识的获取，也就是捕获专家的知识，并把它以可使用的形式存储在知识库中；二是知识的处理，也就是应用这些知识来解决问题。

①知识的获取。获取专家知识有两种主要方法：一是人工获取法，即通过访问知识工程师和专家们，以获得某一领域内的知识，从而直接定义一些规则，其结果是得到一系列包含有专家知识的规则。二是归纳法，即用计算机化的工具，从某个领域专家们所提供的实例中引导出一些规则，所选的实例能够被修正和反复归纳。因此，我们可根据应用领域内现有知识的表示形式来选择知识获取方法。如果知识以上述两种形式中的一种存在的话，那么知识的获取就有了很好的基础；但是，如果知识不是以任何一种形式存在的话，那么对于开发一个应用系统来说，将需要相当长的时间。

②知识的处理。建立专家系统有许多方法，例如可使用通用的和专用的语言，应用外壳和成套工具等开发专家系统。像 Lisp 语言及其语支就是一种面向专家系统的语言，这种语言使用较成熟，运行速度快，但所需要的专家系统机构要由知识工程师去开发，其编程较难，程序可读性差，需要熟练技巧和长时间的实践活动。专用语言包括 OPS5、OPS83 和 PROLOG。OPS 语言通常用于工业中为一些特殊应用而建造的专家系统。应用外壳（如 EX-TRAN、S.1、M.1 和 EMYCIN、EXPERT 等）为建造专家系统和今后更进一步简化知识工程师的任务，提供了一种更高级有效的方法。成套工具是以部件的形式提供的，用户可根据对象问题选择所需的部件进行组合，以便快速开发一个专家系统。

一旦开发了一个专家系统，就必须对它进行评价，以便批准其实施。评价组应当评价该系统的特性，指出知识库中的遗漏之处并对用户接口提出改进意见。这个阶段为更进一步开发提供了一个检查的机会。

第二节 国外油田开采专家系统的研究现状

油田开采是一个实践性和经验性都很强的领域，因为在开采过程中，地质条件或其他因素都非常复杂，而且井下情况看不见，无法直接观察。因此，具有丰富的开采经验和知识对于开采来说就显得非常重要，而获得这些专业知识不仅需要在实践中长期积累，而且还需要不断更新，以掌握新知识。现场上能很好地掌握这些知识的人不多，所以极少数优秀专家在长期开采实践中积累起来的经验是一笔相当宝贵的财富，应加以继承。而专家系统特别适合于模拟和保存这类启发性知识，因此，在油田开采领域建立专家系统具有特别重要的意义。

20 世纪 80 年代中后期以来，油田开采方面的专家系统已从试验研究阶段逐渐走向实用阶段，取得了一定的经济效益和社会效益。下面分别叙述有关的专家系统。

1. 优选抽油方法的专家系统

(1) AL (Artificial Lift) 系统

由 Missouri-Rolla 大学石油工程系 1988 年研制。采用 Technolowdge 公司开发的 M.1 专家系统外壳建造，用 C 语言编制，可在 IBM-XT 机上运行。可对四种抽油方法进行优选：气举、电潜泵、水力泵、有杆泵。优选时要考虑的问题有：出砂、结蜡、井眼弯曲、腐蚀、套管尺寸、结垢、改变产量的方便程度等。系统既可采用数据驱动方式，也可采用目标驱动方式，还可采用两者混合驱动方式。最后，AL 系统可给出最佳举升方法的专家意见。

(2) OPUS 系统

由法国石油研究院 1987 年底研制，采用 S.1 专家系统外壳开发，最初是在 Xerox1108 计算机上开发，其后又用在 Xerox 机上，现在已可在 VAX 机上运行。用 C 语言编写，系统知识用“属性—目标—值”的形式表达，每条规则用“IF…THEN”的产生式规则表示。运用 OPUS 系统，通过对全部技术及经济指标的分析，优选出最适合的抽油设备（杆式泵、螺杆泵、喷射泵、电潜泵或气举）。该系统还可用来验证某一具体方法的适用性。

(3) SEDLA 系统

由委内瑞拉 Intevep S.A 公司于 1993 年研制。它比 AL 和 OPUS 系统更完善，可对十种人工举升方法进行优选，并可对其进行技术经济评价以保证选出的方法是最优方法：有杆泵（游梁式或水力式）、水力泵（活塞式或喷射式）、电潜泵、螺杆泵、连续气举（过油管或过环空）、间歇气举、用柱塞的间歇气举、等段塞注入气举、汇集室式气举、常规柱塞气举。SEDLA 是由专家系统外壳 ESE 开发的交互式计算机程序，由三个主模块、一个用户友好界面组成。模块间可相互交换信息。模块 1 是专家模块，模块 2 是技术设计模块，模块 3 是经济评价模块（包括成本数据库及计算举升利润的成本分析程序）。系统根据输入的定量参数（深度、预期产量、生产指数、气液比、含水率、API 重度、油藏压力、油藏温度、油套管直径）、定性参数（井场位置、完井类型、适用于天然油藏衰竭及产量变化的方法）及生产中遇到的问题，首先排除不适合的举升方法，对于定性参数及生产中遇到的问题，据其影响程度大小给出一个适应系数（1~5），数值越大，适应性越强。系统对给出的举升方法还进行经济评价，给出利率为 10% 时的净现值大小，以供用户进一步精选。

2. 专家系统在增产处理方面的应用

(1) 专家系统在酸化设计中的应用

酸化是一项消除近井地带地层损害、恢复或提高油气井产能的重要措施。酸化设计是确保酸化效果的重要环节。通常一个完整的酸化设计应包括：酸化选井选层；确定酸化工艺；确定酸化施工参数；酸化模拟计算及效果预测；施工质量监测和评价。为了提高酸化设计水平和作业成功率，需要广泛的专业知识和现场经验，在该领域开发专家系统有助于提高酸化设计水平和作业成功率，可望产生较大的技术经济效益。国外前几年对此已开始研究，开发出了几个较为实用的专家系统。

1) 砂岩酸化专家系统

由美国 Petrosoft 有限公司和 Hendrickson 公司于 1986 年开发成功，用于酸化设计。由四个软件包组成：软件包 1 用于优选酸化基液；软件包 2 用于选择配伍性添加剂；软件包 3 根据贝叶斯定理，采用逆向推理技术，用来处理不确定因素，还能对每种情况推荐多种酸液配方，并给每个配方附上一定的可信度以供用户选择；软件包 4 是四个软件包中最好的一个，它除了包括软件包 1 中所特有的归纳方法外，还综合吸取了其他软件包的内容，此外还能对用户提出的酸化井数据进行简单计算。

2) ACIDMAN 系统

由 ARCO 油气公司开发，用于设计和评价基质酸化的专家系统，可在 PC 机和 APPLE Macintosh™ 机上运行，使用“IF…THEN”的产生式规则表示知识，采用反向链接推理技术并具有处理不确定性知识的能力，可进行酸液选择、酸液用量选择、添加剂和转向剂的选择。系统基本输入数据包括油井类型、采出流体、井史及损害类型。酸液选择主要取决于损害类型、地层类型及温度。酸液用量主要取决于损害深度、油层温度、层段长度、矿物含量、孔隙度、渗透率及经济效益。添加剂的选择是根据输入数据及二次反应可能带来的问题

选择的。每一种添加剂都有其具体的作用，如防腐剂用来保护管线，反乳化剂可防止溶液形成乳化液等；当处理层段超过 6m 时，需采用转向剂以保证酸液对整个处理层进行有效处理。系统可自动将处理分为层段范围在 3~6m 的几个方案，并为每个方案计算出合适的酸液用量。该系统的第一阶段已于 1990 年 3 月转入试验，现已全面实施。

3) MAXS 系统

由 Halliburton Services 公司于 1992 年开发，可在个人计算机窗口环境下运行，采用 Nexpert Object™ 专家系统外壳建立知识库，用 db-VTSTA™ 进行数据库管理，用 Tool-book™ 来开发用户接口软件包。

基质酸化的目的是解除各种污染，以恢复和提高油气井产量。为此，将解除污染的处理分为如下四类：解除井眼周围的污染、油管清洗、井眼清洗、除垢。目前已完成第一部分关于解除井眼周围污染的工作。在处理方式中，考虑的输入参数有：地层特征、矿物组成、油井资料、井史资料、污染评价及防腐规范等。系统提供的选择产品分为三种：系统推荐的产品，主要替代产品，次要替代产品。主要替代产品与系统推荐产品一样好，次要替代产品是适合于给定条件下的产品。根据所选产品，系统分阶段（包括预处理液、酸液、酸化顶替液）向用户提供最终推荐结果；对于每个阶段，除了给出基液和添加剂之外，还给出用量和预期的注入排量及顶替液用量。

4) 基质处理液体选择专家系统

由 Dowell Schlumberger 公司于 1992 年开发，采用 Nexpert Object™ 专家系统外壳，可在 VAXVMS 平台上运行。

基质处理就是在低于破裂压力下，向地层中注入化学剂，以解除污染或绕过污染地带。确定正确的流体序列对酸化专家来说仍是十分棘手的，这是因为根据某一口井的损害资料及地层资料，要选出适合该井的流体并调节其浓度大小要依据许多化学规则，并要对产品有透彻的了解，才不致于产生不配伍的问题，这通常是很困难的。以前曾经有人研究过开发此类专家系统，但都不理想，只有 Blackburn 等人曾经开发了一个专家系统，可为用户提供带有化学品描述的基质处理设计。

由 Dowell Schlumberger 公司开发的这一专家系统，可对不同问题确定出不同的流体序列并按效率大小排序，给出化学品的动态解释，同时指明化学品浓度。该系统可给出关于所选流体特性的定性信息及流体浓度，但不计算注入量或注入速率。目前还没有关于充填的建议。

系统通过两个阶段的推理，为用户选择出完整的流体序列。第一阶段，系统选择如下几种可能的作用机理：污染矿物溶解、表面油膜包覆的脱附、绕过污染层、乳化剂两个阶段的溶解作用、溶解污染矿物及稳定剩余颗粒。根据所选择的机理再选择出主要流体序列。第二阶段进行风险评价，加入添加剂。制图阶段给出现场产品而不是像流体序列中所述的化学品成分。该系统已进行了试验，现已投入现场应用。

(2) 专家系统在压裂设计中的应用

在压裂设计中应用的专家系统是由 S.A.Holditch & Assocs. 公司和 Texas A & M 大学于 1993 年开发的以 PC 机为基础的交互式计算机模型，采用产生式规则及面向目标的编程，用数据库及数学函数表示领域知识。该系统可以帮助工程师们针对某一油藏特性选择最佳基液、添加剂及支撑剂，还可根据油藏动态及经济性优化作业用量。

用户首先输入岩性、深度、地层渗透率、地层流体粘度、油藏压力梯度、油藏温度以及

裂缝缝高的估算值；系统还要询问要户关于地层组成的信息以确定地层是否对水侵敏感。在基液选择时有许多重要参数需考虑。这里给出五个必须考虑的参数：渗透率与粘度的比值、最优裂缝半长、油藏压力梯度、油藏温度、裂缝高度的估算值。这五个参数的大小又分为小、中、大、超大四种，在进行基液选择时要依次考虑这五个参数，最后优选出最好的基液。

添加剂的选择较为复杂，因为添加剂种类繁多、浓度又可变化，并且何时添加、浓度多少等都是问题，使得建立选择添加剂的规则特别困难。尽管如此，仍参照压裂液选择规则，开发出了许多选择添加剂的规则，用于优选添加剂及浓度。

压裂液、添加剂选择完毕后，接下来就是优选支撑剂了，所用信息主要是地层渗透率及地层流体粘度。然后估算作用在支撑剂上的闭合压力的大小，再就是计算裂缝导流能力，一旦知道其大小，就可根据数据库中的信息选择各种尺寸、类型、深度的支撑剂了。

最后是选择基液及支撑剂用量。计算出作为压裂液用量或支撑裂缝半长的函数的净现值、利润投资比、内部回收率的估算值，于是可选出最优的处理液、支撑剂及作业用量。

(3) 增产处理专家系统

由 Texas A&M 大学 1990 年在 Macintosh 机上开发的用于指导油井增产处理的专家系统，采用“IF…THEN”的产生式规则表示知识，采用数据驱动、正向链接推理技术。主要考察了压裂、基质酸化和酸压三种增产措施。可确定油井（地层）是否需进行增产处理，如需处理，哪种生产措施是适合该油井（地层）的最佳方式，进而选择处理时的最佳处理液和添加剂及其用量。如进行压裂处理，还可选择最佳支撑剂，并对压裂时的最佳裂缝长度进行经济评价。系统运行时，可自动给用户提出处理建议和指导。

(4) 热采方面的专家系统

随着稀油资源的不断减少，人们现在已开始把注意力转向稠油（超稠油）资源的开发。开采这类油藏的主要方法是蒸汽吞吐和蒸汽驱。用这些方法开采也需要领域专家的经验指导。世界上稠油资源多的美国、委内瑞拉已开始了这方面专家系统的研究，并已开发出了有关的专家系统。

1) 蒸汽热力采油知识库模拟系统

该系统由南达科地矿业技术学校在 PC 机上开发，采用 LISP 语言编写。该系统主要用于对蒸汽吞吐和蒸汽驱的效果进行分析预测，从而确定某一油藏是否能用这一方法开采。效果分析的内容包括工作参数、热损失、热传导、产量增加速度以及所有其他用于生产经济分析的油田参数。在进行生产经济分析时，要精确选择 350 个参数和 250 多个不同的方程。在分析的每一阶段，还要从用于参数计算的不同方程中选出合适的方程。系统共有 17 个子系统，550 多条规则，可方便地进行上述选择；同时，该系统中的某些用于特殊计算的参数，既可由用户直接输入，又可根据已获得的油藏参数进行近似计算或内插来确定；而且在选择合适的方程时，必须深刻理解专业知识，进行计算时要有高度的精确性。该系统综合了上述几个方面的优点，因此可以进行注蒸汽提高采收率方法的效果预测。

2) 蒸汽吞吐开采稠油专家系统 SEIAV

该系统由委内瑞拉 PDVSA 附属机构 Corpover.S.A 于 1990 年在 PC 机上开发，用于注蒸汽候选井的自动选择及注蒸汽和热采作用中的异常探测。由 14 个不同模块（2 个专家模块和 12 个信息模块）组成，包含 2000 多条规则及指令。自 1990 年投入使用以来，已成功地用于委内瑞拉重油油田注蒸汽井的选择及对在热采中遇到问题的处理。

3. 有杆泵故障诊断专家系统

石油工业中最常用的机构采油方法是有杆泵采油，美国大约有 85% 的油井是用这种方法开采的。在我国，有杆泵抽油所占比例更大。抽油井泵抽装置的常规维修和检查是一件既花钱又费时的事情，因此维持有杆泵抽油井的长期正常工作，对于最大限度地提高原油产量和降低原油生产成本具有十分重要的意义，发展有杆泵抽油装置的故障诊断技术因而一直受到重视，目前已开发出了几个实用的故障诊断专家系统。

(1) DES 诊断专家系统

该系统由美国 ARCO 油气公司于 1988 年在 PC/XT 机上开发，用于分析井下抽油泵故障，全部程序均采用 C 语言编制。该系统由若干辅助程序组成，其中有三个主要的辅助程序：一是 API 程序，用于提供抽油泵装置的基准数据；二是 DHOLE 程序，用于将地面示功图转换成井下示功图，此程序可指导用户计算流体载荷和泵的进口压力等；三是 VIEW 程序，用于帮助用户根据所得的井下示功图识别故障，用户可从所显示的各种故障组的典型示功图中，找出与该井下示功图相似的某一故障组，进而查看该故障组的典型示功图以判断故障，并通过屏幕显示得到类似专家对该种故障所做出的解释。

(2) 有杆泵诊断专家系统

该系统由美国 Chevron 公司于 1988 年在 HP9816 微机上开发，采用 Basic 语言，利用统计型识别图及“IF...THEN”形式的经验规则，应用反向链接推理进行故障诊断。

该系统包括 SADA、COMM、EXPROD、CHEVROD、REPORT 程序。SADA（地面和井下分析）是解决系统存在问题的主要诊断分析程序，其主要功能是分析地面和井下设备以帮助用户探测存在于有杆泵系统中的问题。COMM 可使计算机与动力仪系统联系起来，将动力仪数据送往 SADA；CHEVROD 可模拟泵抽系统的性能，预测任何系统设计的动态；REPORT 用于生成 SADA 或 CHEVROD 结果的最终报告的程序。EXPROD 用于解释 SADA 得出的结果，是 SADA 的一个辅助程序，它可识别一般的抽油泵示功图，并可给出如液体产量、总冲程和最大光杆载荷等数据，以帮助鉴别油管漏失、泵磨损和卡泵等故障；还可查明一些难以识别的问题并将其显示给用户。目前还只能用于普通 API 泵的诊断，不能用于特殊井下泵故障的诊断。

(3) 人工神经网络在示功图识别中的应用

已有各种图形识别技术用于井下示功图分析，但因处理时间长，不能适时应用，于是人们把目光转向了人工神经网络（ANN）。ANN 有很强的模式识别能力，目前已开发出了用 ANN 进行示功图自动分析的计算机程序，可对如下 11 种不同问题或这些问题的任意组合进行识别：油管锚故障、液体撞击、气体干扰、游动阀柱塞磨损、下撞、上撞、正常情况、固定阀磨损、套筒弯曲、油管卡紧、卡泵。实践证明，ANN 能够提供精确有效的示功图分析，为人工举升系统的操作及监测完全自动化创造了条件。

4. 其他有关专家系统

(1) EOR 方法筛选专家系统

为提高原油采收率，目前世界上已经普遍采用了三次采油方法即 EOR 方法。面对众多的 EOR 方法，如何选择适合油田特征的 EOR 方法呢？为此，法国石油研究院于 1983 年开始利用专家系统外壳开发了 EOR 方法筛选专家系统，采用“目标—属性—值”的三元组形式，用模糊逻辑理论表示知识，运用反向链接推理技术，用 C 语言编程。

通过人机对话的形式，用户输入有关油藏、岩石及地下流体的特性参数，如油藏深度、

岩性、泡点压力、破裂压力、孔隙度、渗透率、含油饱和度、粘度等。系统利用知识库中的知识,可从如下9种开采方式中给出推荐采用的方法:注热水、蒸汽吞吐、蒸汽驱、火烧油层、注二氧化碳、注烃气、注聚合物、先注聚合物再注表面活性剂、注碱水。

(2) 堵水专家系统

该系统是1993年由Halliburton Services公司在PC机上用C语言开发的。采用数值概率法表示不确定信息,除了采用基于规则的推理外,还采用了一独特的矩阵技术,依概率的大小,利用已有的油藏信息、生产及注入信息,可对8种有关堵水问题的信息进行处理:底水、水锥、管外窜、套管漏、高渗夹层、注到层外、井间连通、增注。系统首先识别堵水问题,针对每一识别出的问题,系统可给出最有效的处理方法、选择恰当的处理液并提供最佳的充填技术。

第三节 国内油田开采专家系统的研究现状

我国在石油工业领域专家系统的研究方面起步较晚,有关油田开采专家系统的研究工作也只在几个方面有所开展,目前较为成熟的是有杆泵抽油机井故障诊断专家系统。1990年在石油大学利用专家系统建造工具M.1,采用Turbo Prolog语言,运用反向链接推理技术,在IBM-PC机上开发了有杆泵抽油井故障诊断专家系统(EXROFD)。采用“如果…那么”形式表达知识,在形成知识库的内容时,提出了有杆泵抽油井综合故障诊断技术的概念并首次引入故障树分析技术(FTA),即在对有杆泵抽油设备井下装置(抽油杆柱、油管柱和抽油泵)进行故障分析的基础上,建立有杆泵抽油设备井下装置(SOPS)的故障树。由于知识库只存储了那些受到一种因素影响而发生油井故障方面的知识,目前它只适用于示功图图形特征较为明显的那些油井。1993年,由天津大学和大港油田共同开发了抽油机井集成化智能诊断系统,其智能化、集成化及自动化程度都很高,运用它的四个子系统进行综合诊断,可得出比较可靠的结论。

在酸化设计专家系统的研制方面,江汉石油学院、河南油田都开展了这方面的工作,开发出的系统主要用于确定酸液配方、优选酸液和添加剂的类型和用量,今后还将进一步完善这类专家系统,将酸化设计专家系统与现有的优化设计计算程序结合起来完成整个基质酸化优化设计任务。

西南石油学院和石油大学共同研制的“油气田开采动态智能分析系统”,是一个为咨询当前油气田开采生产过程中复杂的技术经济决策问题、分析油气藏经营状况及改善措施、预测未来动态等而开发的实用专家系统。运用这个专家系统,对油藏经营水平和工作质量的提高极为有利。但该系统是一个非常复杂而庞大的系统,涉及的知识领域广阔、信息量巨大,还有许多问题仍需进一步深入和不断完善。

总之,我国油田开采方面的专家系统开发得还不多,涉及面也不广,还有许多领域迫切需要专家系统的指导,希望随着科学技术的不断发展,开发出更多、功能更强的专家系统来满足油田开采部门的需要。

第四节 认识与启发

①由于专家系统的实用性和高性能及其带来的巨大经济效益,专家系统已受到世界各国

的普遍重视，其应用已渗透到各个领域。近年来，在油田开采领域也开始应用专家系统来处理一些复杂问题。

②开发一个专家系统，往往需要知识工程师和领域专家的密切合作。油田开采是一门实践性和经验性都很强的工作，在该领域有大量的人类专家，他们拥有丰富的实践经验知识。因此，在该领域内适合于开发专家系统。鉴于科研单位、高等院校和油田各自的特点，建议有条件的科研单位、高等院校与具体油田的领域专家通力合作，开发出适合于我国油田的各种专家系统，解决该领域中人类专家缺乏的问题，从而使领域专家的经验知识更好地服务于油田开采。

③为了缩短专家系统的开发周期，减少不必要的重复劳动，在开发油田开采方面的专家系统时，建议选用适合于该领域问题特点的专家系统开发工具来开发这方面的专家系统，这样有助于快速原型化，然后通过原型系统的不断扩充、完善和商品化，使之成为实用的专家系统，早日投入现场使用。

第二章 机械采油专家系统

第一节 选择最佳机械采油方式的人工举升（AL）专家系统

1. 引言

对石油工业中的某些问题，人们正在用比较新的、被称为人工智能的计算机系统来分析。为说明专家系统技术的用途，开发了用于优选抽油方法的原型规则基专家顾问程序。程序中考虑了四种基本的抽油方法：气举、电潜泵、水力泵和有杆泵。该系统（AL）从向用户询问所考察井的有关参数开始，得到用户的回答后，将缩小选择范围。此后，AL 专家系统将针对剩余的举升法的一些具体问题继续向用户询问，进一步缩小选择范围。最后，AL 专家系统便给出关于最佳举升方法的专家意见。用户，无论是未毕业的石油工程专业的学生，还是有经验的工程师，在回答 AL 专家系统的询问时，对于影响人工举升方法选择的因素可以得到 AL 专家系统的提示。

专家系统是在某一狭隘领域内，用专家知识以求达到高水准的工作性能所编的计算机程序。人类专家解释和处理资料（在给定的条件下，确定出哪一种举升方法最好）所需的技能，来自多年的正规训练、凭经验处理问题的方法以及应付限制条件和人类偏见的方法。总之，人类已从经验知识中获益。

AL 专家系统与普通程序的不同之处，在于知识、数据和算法的明确表达。随着人们对某特定领域问题认识的提高，很容易增加 AL 专家系统的知识。AL 专家系统有一个知识库（用一系列如果…那么规则表示专业经验知识）、一个推理机（依据某些控制策略处理规则）和一个数据库（事实、推理及中间答案存在其中）。控制策略既可是数据驱动，也可是目标驱动，同时还可以是两者混合驱动。在数据驱动策略中，AL 专家系统用规则正向搜索检查数据库，以得出进一步的结论；在目标驱动策略中，AL 专家系统从一个假设开始，用建立假设的规则逆向搜索，检查出与数据库不相符合的前提条件。与大多数专家系统一样，AL 专家系统具有如下特征：

①知识的符号表达。如果温度 t 大于某一温度 T ，且温度 $t > 250^{\circ}\text{C}$ ，则电潜泵举升法不适用。

②符号推理。如果 A 隐含 B 且 A 属真，则 B 属真。

③决策路径非预先规定。AL 专家系统依据用户对所提问题的回答，仔细考虑事实或假设，用自己的人工举升知识确定一个可供选择的搜索方向进行求解，每一用户的回答都会使 AL 专家系统选出一条特定的决策路径。当 AL 专家系统运行到不同的部分时，它无须向用户询问相同序列的问题。

④AL 专家系统可在存在不完整或不确定信息的领域内，执行复杂的非数值工作。如果用户不能断定正确的答案，则可以告诉 AL 专家系统“不知道”或给 AL 专家系统几个可能的答案，且相应地告诉 AL 专家系统每一答案的概率。AL 专家系统用称为可信度（CF）的术语来处理这类模糊逻辑。

⑤AL 专家系统用人工列举知识更有效地求解。如果问题是可解的，它将给出与通常方法区分开的主要信息；如果问题是不可解的，那么 AL 专家系统将告诉你，它没有找到答案。

⑥AL 专家系统具有证明它的推理并提供解释的能力。用户随时都可以向 AL 专家系统询问为什么，或者要求解释。

⑦AL 专家系统有一个知识库（规则、事实、启发式规则等）+ 推理机（规则解释程序）+ 数据库（工作存储器）（图 2-1）。

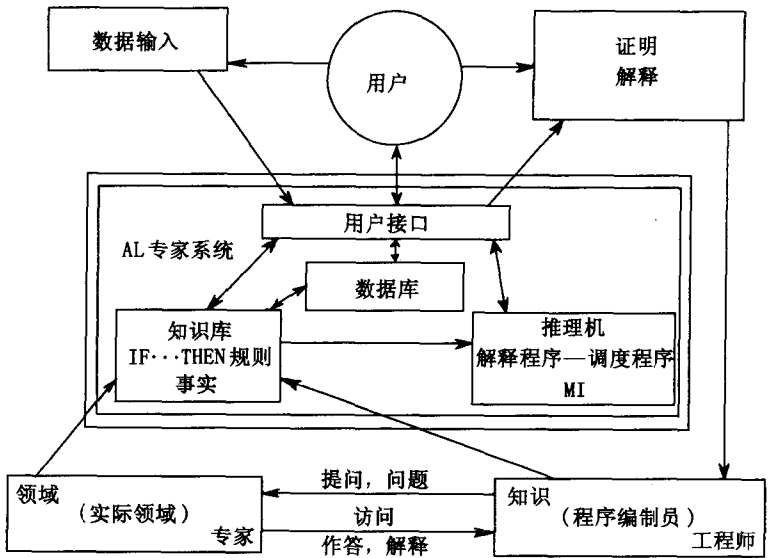


图 2-1 AL 专家系统

AL 专家系统将知识库（用规则表示）和推理机（怎样运用知识）分开，单独编程并保持独立。与一般系统相比，这样明确的知识表达具有如下优点：

①AL 专家系统的知识库容易为专家或系统开发人员所理解，这就使得修改编程知识的工作变得易于完成，且易于检查其连续性或完整性。

②AL 专家系统易于存取特定的规则，以求自身的解释（目的是推理或提供证明）或应用户的要求进行解释。由于 AL 专家系统主要是为石油工程专业的学生而开发的，因此，用户应能够看到系统是怎样或为什么能得出确定的解，这点显得很重要。AL 专家系统有一个特设的面板模，它允许用户从一套窗口中看到逐步搜索的规则，并且当它逐步通过其推理过程时，可以看到存在数据库中的临时决策。

③由于 AL 专家系统组成部分的模块化，原型系统可以很快地开发出来。知识库和推理机分开的优点之一，是易于单独改变其任一部分。

而在常规的程序中：

①知识的实质意义隐含于过程、程序编码及子程序中，因此，只有编程人员才能追踪它。而编程人员本身要跟踪程序流程，有时都会显得很困难。

②程序不易存取这些知识。例如，提供解释或允许知识库的交互更新。

2. 知识库

(1) 知识的表达