

# 基于产生式探井决策专家系统的研究与应用<sup>①</sup>

孙莉莉<sup>1</sup> 李军<sup>1</sup> 李怀佳<sup>2</sup>

(1. 钻井工艺研究院 山东 东营 257000; 2. 山东兖矿集团 山东 邹城 273500)

**摘要:** 基于产生式的探井决策专家系统以人工智能为理论, 采用产生式知识表示方法, 以油井钻探数据为依据, 将获取的探井专家经验知识存入知识库, 通过高效的推理, 给出合理的决策方案, 提高探井工程效率。

**关键词:** 专家系统; 产生式; 知识库; 推理机

## Production Rule-Based Decision Expert System

SUN Li-Li<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1</sup>, LI Huai-Jia<sup>2</sup>

(1. Drilling Technology Research Institute, Dongying 257000, China; 2. Yankuang Group Co., Ltd., Zoucheng 273500, China)

**Abstract:** The production rule-based decision expert system takes drilling oil well as an example. It adopts the methods of production knowledge presentation based on the data of drilling oil well. It stores the experience and knowledge of experts into knowledge base, gives reasonable proposal through efficient reasoning and then improves the efficiency of the project.

**Keywords:** expert system; production rule; knowledge base; reasoning machine

## 1 系统研究背景

随着计算机软硬件技术的发展和人工智能理论的成熟, 开发具有实用价值的专家系统日益成为人工智能应用研究的主要领域。在油井钻探过程中, 需要统计大量参数, 如: 钻时、岩屑、荧光、井壁取心、钻井液录井、罐装样、碳酸盐岩含量、泥页岩密度、后效测量、古生物分析、生烃能力分析、钻井取心等。据有关资料显示, 资料数据信息的收集时间, 占石油勘探整个活动时间的 60% 左右。研究人员在如此大量的信息中查找相关的信息, 进行与探井相关的管理决策和战略决策活动, 是一件十分困难的事情, 将这些地质信息形成有机的整体, 对现有的资料、方法进行有效组织, 形成系统化的知识体系, 并能随钻分析, 减少决策所耗费的时间, 是提升信息管理水平的关键所在。因此, 基于产生式的探井决策专家系统以油井钻探为实例, 将提取出的探井专家的大量经验知识转化成产生式规则, 通过合理的组织方式存入知识库,

模仿钻探专家, 进行高效的推理, 最终给出合理的决策方案, 从而提高探井工程效率。

## 2 系统主要功能的实现

### 2.1 知识获取与知识库的构建

知识获取是指从专家或其他专门知识来源汲取知识并向知识型系统转移的过程或技术, 分为非自动知识获取和自动知识获取两部分。由于各方面的原因, 自动知识获取至今仍是一个相当困难的工作, 被公认为构建专家系统的“瓶颈”。本系统没有致力于自动知识获取的深入研究, 直接从探井资料中分析归纳, 将探井决策的资料获取为产生式规则, 用于知识库的构建。这样, 不仅提高了推理效率, 在知识扩充的时候可以在中间结论的基础上增加, 减少了添加规则的数量<sup>[1]</sup>。本系统选用了十七条规则, 经过分析整理, 知识获取得到的十七条规则可拆分为如下九条规则元素:

<sup>①</sup> 收稿时间: 2009-11-11; 收到修改稿时间: 2009-12-19

参数 1 全烃浓度和甲烷浓度：1 全烃浓度 <12.8%，甲烷浓度 <8.28%；2 全烃浓度 >21.2%，甲烷浓度 >19.12%

参数 2 槽面：1 未上涨；2 上涨

参数 3 所处地层：1 水层；2 油水层；3 油层

参数 4 钻井液相对密度：1 <0.76；2 (0.76,1.76)；3 >1.76

参数 5 钻井取心中井芯：1 油浸级；2 油斑级；3 油迹级

参数6 钻时：1 <16.0min/m；2 (16.0,45.0) min/m；3 >45.0min/m

参数 7 粘度：1 <50s；2 (50s,71s)；3 >71s

参数 8 泥岩：1 较硬；2 胶结，疏松

参数 9 探井决策：1 加深；2 侧钻；3 完钻

根据需要，知识库的构建包括参数表(parameter)，规则表(rule)，规则可信度及规则说明表(certainty)和事实表(fact)。

### 2.2 推理树的设计和推理机制的实现

推理树的设计是指对规则库中的知识进行合理的树结构形式设计，可使推理避免访问那些与当前问题求解无关的知识，从而提高求解问题的效率<sup>[2]</sup>。本系统采用的是正向推理方式，正向推理是从已知事实出发，通过规则库求得结论一个数据驱动过程 也称数据驱动或自底向上方式<sup>[3]</sup>。即自顶向下的推理方式。以一个参数为固定的根节点，根据用户选择的参数值，向下推理，直到得出最终结论。根据规则和探井资料，构建的推理树如图 1 所示：

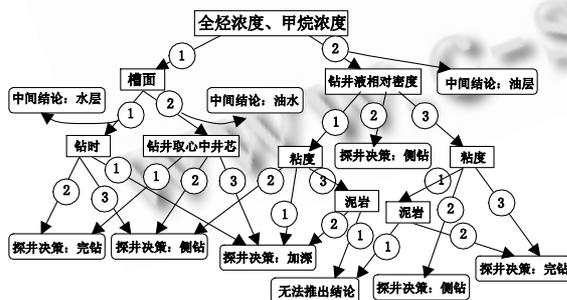


图 1 推理树图

图中各参数标号所代表的参数值：全烃浓度和甲烷浓度：1 全烃浓度 <12.8%，甲烷浓度 <8.28%；2 全烃浓度 >21.2%，甲烷浓度 >19.12%。槽面：1 未上涨；2 上涨。所处地层：1 水层；2 油水层；3 油层。钻井取心中芯井：1 油浸级；2 油斑级；3 油迹级。钻时：1 <16.0min/m；2(16.0,45.0)min/m；3 >45.0min/m。粘度：1 <50s；2(50s,71s)；3 >71s。泥岩：1 较硬；2 胶结，疏松。探井决策：1 加深；2 侧钻；3 完钻。

推理树在知识库中是以链表的形式存放的，知识库中的每条记录均有 nextpara\_id 字段，用来存放以下一个规则元素，也就是推理树中每个节点的扩展子节点。链表式的存储方式将层次的树状结构转化成线性链表结构，存储简单并易于操作。

在推理的过程中，系统采用的是深度优先遍历树和启发式搜索相结合的策略。深度优先搜索是指在搜索树的每一层始终先只扩展一个子节点，不断地向纵向前进，直到不能再前进(到达叶子节点或受到深度限制)。若能到达的叶子节点，则推理结束，输出结论；若不能到达叶子节点，则从当前节点返回到上一级节点，沿另一方向继续前进，直到得出最终结论。启发式搜索是指加入与问题有关的启发性信息，用以指导搜索朝着最有希望的方向前进，加速问题的求解过程并找到最优解。启发式搜索是靠用户选择下一参数模块实现的。在搜索树的某一层上，可能会扩展出多个子节点，系统将可扩展的子节点输出到人机界面的列表框供用户选择，按选择的节点纵向扩展。这样，推理过程更为人性化，推理效率也更高。

推理树遍历和启发式搜索就是推理的实现过程。具体在 VC++ 的实现中，主要通过推理类 CConsequence 的匹配函数 OnMatch()来实现的。用户选择好参数值后，首先调用 InsertIntoFact()函数，将事实写入事实库，然后调用 PreActiveCon()函数实现匹配。再调用 SelectNextPara()函数选择当前节点可扩展的子节点，并显示到“选择下一参数”列表框供用户选择推理路径。根据用户的选择，点击“下一步”后，即进入下一个参数的选择与匹配过程。PreActiveCon()函数是匹配函数的核心，本系统采用激活机制实现匹配，首先将 rule 表中与事实匹配的前提激活，如果某条规则的前提均激活，则将该规则的结论激活。此处的难点是对中间结论的处理。中间结论是由一组前提得出，又可以作为新的前提推出新结论的规则元素，一般的处理是将其作为新的事实写入事实库，然后重复事实与前提的匹配。考虑到数据库中 isfinal 字段可区分中间结论和最终结论，所以以“flag= '1' and isfinal= '0'”查询条件，可建立一个中间结论的记录集，而无需再写入事实库。因此，此处对中间结论的处理省略了将中间结论作为新事实插入事实库的操作，直接将与中间结论匹配的前提激活。上述操作是在 while(true)循环中完成的，循

环终止的条件就是不再有新的中间结论产生。

### 2.3 解释功能的设计与可信度的计算

解释机构是对推理过程的跟踪和记录。由于本系统采用规则激活机制进行推理,所以,推理的构成均记录在数据库中,用户提出“解释”请求时,系统只需从数据库中调出推理过程即可。这种实现方法简单,高效。解释机构实现的界面如图 2 所示:

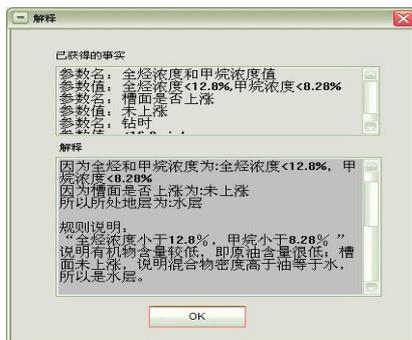


图 2 解释功能界面图

“已获得事实”列表框中显示的是从当前事实库获得的事实,通过 `GetFact()` 函数实现;“解释”编辑框中显示的是数据库中被激活的规则和该规则的详细说明,首先通过 `GetPreConId()` 获得被激活规则的前提 ID 和结论 ID,再通过 `GetPreConName()` 函数获得相应的参数名和参数值,加上“因为”或“所以”后,形成一条完整的规则显示;查询被激活的规则号,并将其规则说明同时显示出来,使用户更详尽的了解推理过程。

本系统采用的是不确定性推理方法。所谓不确定性推理就是从不确定性的证据出发,通过运用不确定性的知识,最终推出具有一定程度的不确定性但却是合理或近乎合理结论的思维过程。常用的不确定性推理方法有可信度方法,主观 Bayes 方法,证据理论(D-S 理论),可能性理论和模糊推理等。其中,常用的是可信度方法,又称确定性方法,即按照确定性推理,再加以可信度作为不确定性度量。可信度分为:规则可信度,事实可信度和结论的可信度。

可信度的计算是通过结论类 `CConclusion` 类中的 `GetCertainty()` 函数实现的。规则可信度由领域专家对规则分析后决定的,与相应的规则号存入规则可信度表 `certainty`;事实可信度由用户输入,与相应事实存入事实表 `fact`。计算规则可信度的算法如下:

定义一个二维数组: `int m_Certainty[10,20]` 存放规则可信度和事实可信度,数组的第 1 行,存放的是所用规则的可信度,存放在依次对应的位置上。数组的第 2 到 10 行,存放的是每个被激活规则前提的可信度。每一列的第 2 到 10 行求得的最小值,为该规则前提的可信度,该列的第 1 行为规则可信度,事实可信度与规则可信度相乘,即可得出结论可信度。如果是中间结论,则计算得到的中间结论可信度又作为新的前提可信度,直到得出最终结论的可信度。

### 3 系统的测试与应用

对该系统的测试重点是决策推理过程。根据推理树的设计,按每一个路径进行推理,均能得出相应的叶节点上的决策信息;按其他条件组合,则均提示“无法推出结论”。

解释功能的测试是在推理正确的基础上进行。用户在每一步的推理过程中,可随时发出解释请求,所以需要在推理的每一步都进行测试,分析解释的内容是否符合当前推理情形。

采用以下几条典型规则进行测试:

首先添加参数:参数名为“槽面见棕褐色油花”,参数值 1 为“呈星点状分布”,参数值 2 为“呈条带状分布”。

然后添加规则:

If “全烃和甲烷浓度”为“全烃浓度 < 12.8%, 甲烷浓度 < 8.28% and 槽面见棕褐色油花”为“呈星点状分布”, then “所处地层”为“油水层”。

此规则代表添加新参数,推出中间结论的类型,添加参数并从推理树的根节点扩展出一条新的分支,推理完毕后回归推理树,测试成功。

添加规则: If “全烃和甲烷浓度”为“全烃浓度 > 21.2% and 甲烷 > 19.12%” and “泥岩”为“胶结、疏松”, then “探井决策”为“加深”。

此规则代表直接由前提推出最终结论,从推理树的根节点扩展出一条分支,直接推出叶节点信息的类型,测试成功。

添加规则: If “钻井液密度”为“钻井液密度 < 50s and 槽面见棕褐色油花”为“呈星点状分布”, then “探井决策”为“完钻”。此规则代表直接由前提推出最终结论,从推理树的非根节点扩展出一条分支,直接推出叶节点信息的类型,测试成功。

综合测试成功后,我们进入该系统,普通用户点击“开始推理”,进入推理模块;领域专家点击“领域专家进入”,通过身份验证后,即可进入添加参数和规则;点击“帮助”,可以获得使用该系统的帮助;点击“退出”,确认后关闭系统。

本系统的核心功能主要在推理实现模块。在该模块中“选择参数”部分的参数名和参数值选项均从数据库动态获得。用户进行选择,输入相应的事实可信度,点击“匹配”,完成事实与规则的匹配。系统根据推理树得出下一参数,由于在推理树的构建中,对于每一个参数,选择不同的参数值会进入不同的分支,而选择相同的参数值,也会有不同的分支可供选择,因此,在用户选择参数值并完成匹配后,系统会从数据库查询出 NEXT 域对应的下一参数,并放入列表框供用户选择。然后,根据用户的选择,进入相应的分支。用户参与推理路径的选择,是本系统的一个创新点。比如,选择参数“全烃浓度和甲烷浓度值”的参数值为“全烃浓度 $>21.2\%$ ,甲烷浓度 $>19.12\%$ ”后,下一参数可以是“粘度”,也可以是“钻井液相对密度”。如果当前用户没有获得“粘度”值,或者对“钻井液相对密度”的确定性更高,则可选择“钻井液相

对密度”,然后点击“下一步”,即进入“钻井液相对密度”的参数选择。这样,不仅提高了推理效率,还有助于用户得出可信度较高的结论。

此外,添加规则功能界面,是领域专家与专家系统的接口。领域专家通过此界面输入要添加的参数和规则,完成知识库的扩充。

## 4 结语

该系统从设计到完成,经过严格的测试后,进行使用,得出结论:该系统推理流程可行,解释功能完备,添加规则功能基本符合要求。相信,随着该系统的不断应用与完善,一定会大大提高探井工程效率。

### 参考文献

- 1 薛冬娟,张冬冬,张彦峰,等.农业专家系统中分类产生式规则的知识表示方法.河北农业大学学报,2004,27(3):104-107.
- 2 刘宏伟,姚寿广.数据库技术在专家系统知识表示中的应用.江苏科技大学学报(自然科学版),2007,21(3):51-53.
- 3 程慧霞编著.用C++建造专家系统.北京:电子工业出版社,1996.45-48.