

应用专家系统技术评价松辽南 圈闭的含气性

陈志高 李检龙

(地矿部石油地质综合大队, 湖北荆沙 434100)

本文应用“凹陷与圈闭资源评价专家系统”对松辽南泉头组、登娄库组所属 58 个主要圈闭, 进行含气性评价。其中评为有利含气性圈闭 20 个。这些有利圈闭具备优越的成藏地质条件, 有些圈闭经过钻探已获工业气(油)流或显示。说明该技术具有较高的可信度, 这些圈闭可选为今后松南地区天然气勘探的重要目标。

关键词 专家系统 泉头组 登娄库组 圈闭 含气性评价

第一作者简介 陈志高 男 55 岁 高级工程师 石油地质、数学地质

应用专家系统评价圈闭含气性在松辽南尚属首次。本次采用地矿部石油地质研究所及北京工业大学合作研制的“凹陷与圈闭天然气资源评价专家系统”中的圈闭油气资源评价专家系统, 对松辽盆地南部主要评价层为下白垩统泉头组及登娄库组所属圈闭进行含气性评价, 取得初步成果, 旨在为松南今后天然气勘探部署提供参考。

1 圈闭油气资源评价专家系统基本特征

圈闭油气资源评价专家系统是资源评价软件系统的一个分支。以评价圈闭成藏条件为出发点, 依据不同的成藏机理, 不同专家关于成藏的不同观点, 建立多种可能的气藏模型, 使机器专家的思维方式尽可能符合于地质专家的思维方式, 从而达到预测圈闭含油性的目的。

该专家系统具有如下的特点。(1)通过大量的油气藏模型实例, 与领域专家进行交流, 使用地质类比推理模拟地质专家的思维方式。在系统中, 除建立形成气藏基本条件的评价系统以外, 还放置了尽可能多的油气藏模型, 面对评价目标, 经过基本条件评价判断以后, 转入模型评价判断。(2)具有专家的知识度与广度。在基本条件评价中, 该系统放置了从数量和知识领域方面尽可能多的信息, 如油气藏的形成方面, 有油气生成、储集、保存。从科学知识来说, 有油层物理、有机地化、油气运移、构造、沉积、地下水、地震地球物理、测井、化探等方面。在模型评价中, 放置了尽可能多的油气藏模型, 如致密砂岩气藏类、古风化壳气藏类、碎屑岩气藏类、次生气藏类等。(3)为减少用户对原始资料的整理和对系统输出结果的再加工, 对油气地质知识庞大数量, 采用“调入生成”方式以建造系统的知识库。(4)采用不确定性推理和正反向混合推理的方式。

以碎屑岩气藏成藏模型为例, 其推理判别和计算步骤大致如下: (1)计算生物气生气量; (2)判断水溶生物气量; (3)判断游离生物气量; (4)计算热裂解气量; (5)判断总水溶气量; (6)判断总水溶脱气量; (7)判断总游离气量; (8)计算生油量; (9)判断油溶气量; (10)判断油

溶脱气量；(11)在上述 10 项计算的基本上，确定评价区天然气的运移相态及相应的成藏机制；(12)通过流体势的分析，结合天然气运移的地化标志，判断天然气游离气的运移方向及其有利的聚集带；(13)由后期构造抬升幅度的计算，预测水溶脱气成藏的有利地区；(14)依据储集层供气量与扩散散失量的关系，结合盖层条件分析，判别天然气保存条件的优劣程度；(15)通过圈闭天然气含气高度及气水过渡带高度的计算，结合钻井、测井、地震及化探等标志的分析，判断气藏的几何形态。

2 松辽南下白垩统泉头组、登娄库组气藏类型及成藏模式分析

松辽盆地是我国大型陆相碎屑岩含油气盆地。经过 30 多年来的勘探及综合研究，先后发现了扶余、新立、红岗、乾安、大安、农安、万金塔、小五家子及后五家户等一批油气田(藏)。分析研究这些已知气藏的成藏特征和富集规律，为圈闭含气性评价提供模型基础。

2.1 松辽南气藏类型及特征

勘探实践表明，松辽南天然气分布范围广，含气层位多，具多种类型的圈闭，因此可能形成多种类型的气(油)藏。据已发现的气藏特征，大致可归纳为构造气藏、地层岩性气藏及复合型气藏等 3 种类型气藏(图 1)。

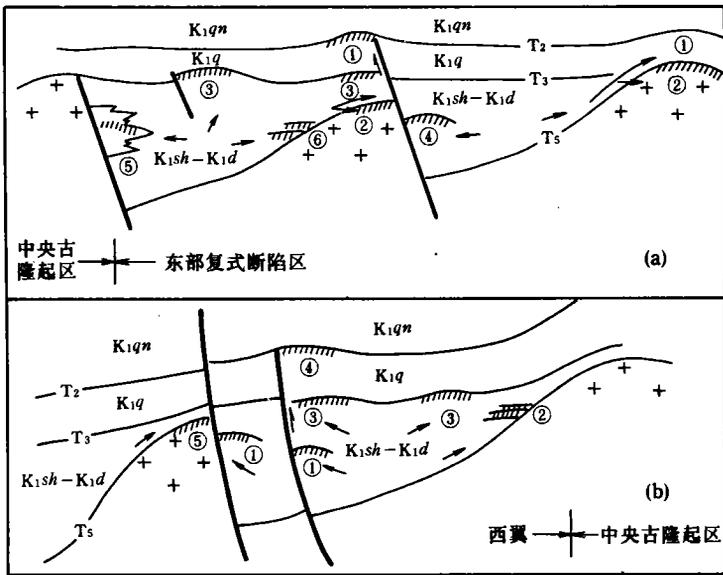


图 1 东部复式断陷区(a)中央古隆起西翼(b)高熟至过熟气成藏模式图

(据陈日恒等,75-54-01-11 报告)

- (a) ① 远源跨越型气藏；② 断内或断缘基岩或古潜山气藏；③ 断末或断后迭加构造气藏；④ 滚动背斜气藏；⑤ 扇-三角洲岩性气藏；⑥ 地层-岩性气藏
- (b) ① 滚动背斜-断块-岩性气藏；② 地层-岩性气藏；③ 构造气藏；④ 跨越型构造气藏；⑤ 低幅基岩凸起气藏

(1)构造气(油)藏:构造油气藏是松辽南占主导地位的一种类型,其中以背斜构造气藏为多见。如后五家户气田、农安背斜北高点气藏及万金塔 CO₂ 气田等,均为背斜控气为主的气藏。此类气藏共同特点,背斜褶皱宽缓,断裂在储层内较为发育,背斜形成时间晚,以跨越式次生气藏多见。

(2)地层岩性气藏:地层岩性气藏一般与砂体发育状况及地层超覆尖灭有密切关系。松辽南白垩系主要有永康、英台、怀德及北部砂岩 4 大砂体,大致分布在英台、古龙、红岗、大安及长岭一带,层位为上白垩统明水组、嫩江组。由于砂岩上倾尖灭而形圈闭,此类圈闭是寻找生物气的有利圈闭,如新北气藏等。

(3)复合型气藏:松辽南复合型气藏一般为构造-岩性复合型多见。如乾安青二、三段背斜-岩性复合型气(油)藏;伏龙泉北高点泉三段气藏等属于跨越式背斜-断块-岩性复合型气藏。

除上述 3 类气藏外,松辽南还发现有风化壳型和裂缝型的气藏。如登娄库背在古生界风化壳中见气显示;西丁家窝堡在岩石裂缝中含油。

2.2 松辽南下白垩统泉头组、登娄库组气藏成藏模式

勘探实践表明,下白垩统泉头组、登娄库组是目前松辽南深部含气领域的天然气主要勘探目的层。据统计,泉头组中发现工业气流构造 14 个,占已钻圈闭总数 35%;登娄库组在十屋断陷几个构造上也发现工业气流,揭示了登娄库组天然气良好勘探前景。

泉头组、登娄库组虽属两个不同层位,但沉积环境基本一致。泉头组为一套棕色、棕红色砂泥岩互层;登娄库组为一套杂色中一细粒长石砂岩、岩屑砂岩或砂泥岩互层。已有资料表明,泉头组、登娄库组本身生气能力较差,特别是泉头组基本无生气能力。但两套地层储集岩极为发育,物性条件好,是良好的储集层。泉头组上覆上白垩统青山口组被证明是良好的区域盖层;深部下白垩统营城组、沙河子组及 J₃ 火石岭组沉积岩段主要为一套煤系地层,有机质丰度高,演化程度高,有机质类型以Ⅲ型为主,是一套主要生气源岩。加之该套地层主要展布于各断陷盆地中,断裂发育,是沟通深部源岩的良好通道。因而从青山口组—泉头组、登娄库组—营城组、沙河子组及 J₃ 火石岭组,构成了一套完整的深生浅储跨越式生、储、盖组合关系,该套组合形式是松南地区天然气成藏的主要模式(图 1)。

3 圈闭含气性评价条件及参数讨论

根据专家系统建立的气藏判别及评价的知识库,按基本条件评价系统和气藏模型评价系统参数的要求,通过对松辽南气藏类例分析归纳的成藏模式,对松南地区目前已发现的各类圈闭进行统计归类,针对每一个圈闭所处区域地质条件,进行逐个赋值,然后输入计算机,调动专家系统有关模块进行推理运算。下面对赋值参数进行讨论。

3.1 松南基本条件评价参数讨论

3.1.1 气源条件

具备有利的沉积相带、源岩规模、丰度、类型及演化程度,生、排气强度大小等。

前已述及,泉头组、登娄库组气藏的气源主要来自深部的营城组、沙河子组及 J₃ 火石岭组。据已有资料表明,该套源岩厚度一般大于 500m,最厚可达 3000m;有机碳含量平均大于

1%,有机质类型以Ⅲ型为主,亦有少部分Ⅰ型和Ⅱ型。演化程度一般达高熟到过熟。经计算生气强度一般在 $50 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$,最大可达 $600 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 。

3.1.2 储集条件

具备有利的储集相带、储层厚度、储集岩物性条件、次生孔隙发育状况、断裂裂隙发育情况等。

泉头组、登娄库组以河流、三角洲及洪泛平原相为主,局部发育有浅水湖到滨湖相沉积。岩性主要为一套棕色、棕红色及杂色砂泥岩互层,砂岩较为发育,累计厚度一般为500~1000m。砂岩孔隙度随深度而变化,泉三、四段孔隙度一般大于10%,属常规储层;泉一、二段及登娄库组孔隙度一般在5%~10%,部分地区小于5%。据研究,泉三、四段属中成岩阶段晚期,泉一、二段及登娄库组属晚成岩阶段早期。

3.1.3 保存条件

包括盖层岩性、厚度、埋深,储盖之间组合关系,断裂岩浆活动情况,突破压力与排驱压力差及水文地质条件等。

泉头组、登娄库组区域盖层为青山口组泥、页岩,登娄库组局部盖层为泉头组泉二段厚层泥岩。青山口组泥岩厚10~300m,断裂一般不发育。泉二段泥岩经微孔结构分析,泥岩突破压力一般大于10MPa,封盖性能良好。

3.1.4 油气运移条件

断层、裂隙、不整合面及节理、层理面均可作油气运移的通道,天然气通过孔隙进行扩散,也是一种运移方式。

深部源岩大多位于断陷盆地中,在断陷盆地的一侧或两侧发育规模较大的同沉积断裂,在主断裂上盘或缓坡带上发育一系列次级断层和裂隙,这些断裂是沟通深部油气的主要通道。另外深部领域泉头组与登娄组之间、登娄库组与营城组之间、营城组与沙河街组之间以及 T_5 石江组较大的不整合面是油气侧向运移的主要通道。

3.1.5 流体势

据对泉头组顶流体势计算,宏观上看,中央拗陷区的为高势区,长春岭-登娄库-伏龙泉背斜带为一低势区,华字井阶地处于高势区和低势区之间;各断陷盆地斜坡带一般为低势区。按流体势由高势区向低势区运移的原则,一般处于低势区的圈闭是油气运移的指向区(图2、图3)。

3.2 气藏模型评价参数

(1)具有一定规模的圈闭,包括圈闭类型、面积及闭合幅度。

(2)以气相运移的条件:①圈闭处于有利的构造部位;②圈闭形成与生气期配置关系;③圈闭与凹陷的距离;④流体势条件,是否处于区域运移的有利指向区,气相运移的地化指标。

(3)以水相运移为主的有利配置:①天然气具有水相运移的标志,包括水溶相的地化标志,水中含气饱和度,水中具有气测异常,具有一定规模水量。②圈闭具有水溶脱气成藏的地质条件,包括圈闭处于构造抬升地区、抬升幅度大小,水相运移的动力条件,圈闭处于水势图中的低势区等。

(4)源层与储层配置关系:①同生式气源,生、储层同属一“世”的沉积,气源丰度高;②后

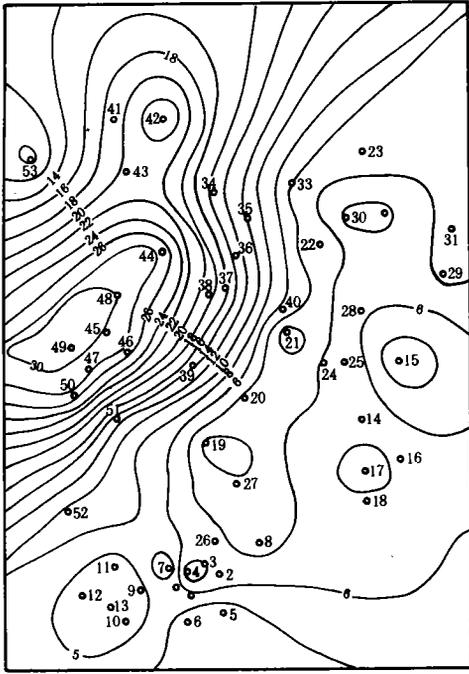


图 2 松辽南泉头组顶势图

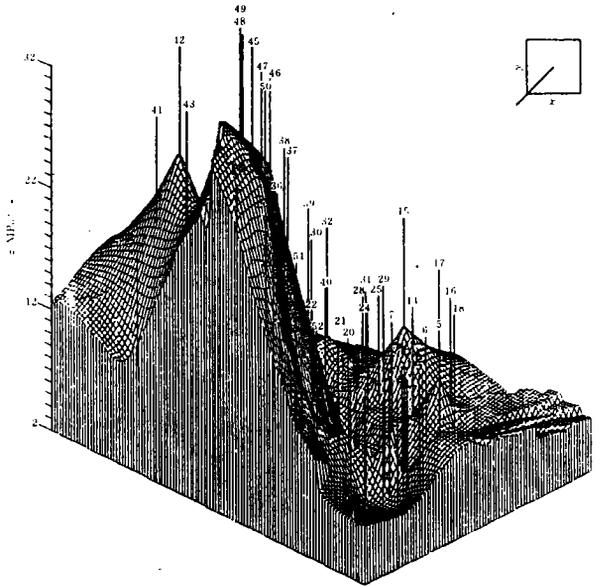


图 3 松辽南泉头组顶势立体图

生式气源,生、储层跨越同一“世”沉积,区域上具有跨越式生、储、盖组合,具有垂向运移通道。

3.3 关于事实结点信度赋值

事实结点信度指从页结点到根部每一参数赋值的信度。该信度主要依各个圈闭地质资料可靠程度,结合对本区地质规律的认识,其赋值原则:

- (1)圈闭落实程度高,且有钻井证实和化验测试成果的信度赋值为 1.0~0.8;
- (2)圈闭较落实,且邻近有钻井,在区块有平面图为依据,信度赋值为 0.8~0.6;
- (3)圈闭落实程度差,邻近无钻,又无平面图为依据,仅靠地质类比获取的地质数据,信度赋值为 0.5~0.4;
- (4)圈闭不落实,邻近无钻井,地质依据不足,取值为 0.3~0.2。

4 松南下白垩统泉头组、登娄库组圈闭含气性评价结果解释及可信度分析

4.1 评价结果

经初步筛选,泉头组参加评价的圈闭 37 个,登娄库组圈闭 21 个,评价结果见表 1。

表1 松南 K_{1q} 、 K_{1d} 圈闭评价结果表

区块名称	圈闭(构造)名称	圈闭目的层	资源量期望值 ($\times 10^8 m^3$)	专家系统推理 运算信度值	评价级别
德惠断陷	开安背斜	K_{1q} 、 T_5	78.70	0.8	I
伏龙泉断陷	伏龙泉背斜	K_{1d} 、 K_{1yc}	47.04	0.9	I
社里断陷	扶余 I 号背斜	K_{1g} 、 K_{1d} 、 T_5	39.58	0.9	I
社里断陷	扶余 I 号背斜	K_{1q}	3.76	0.9	I
十屋断陷	张家屯断鼻	K_{1q}	1.08	0.75	I
中央拗陷	大安背斜	K_{1q}	31.14	0.9	I
中央拗陷	乾安	K_{1q}	8.32	0.8	I
中央拗陷	新立	K_{1q}	11.82	0.8	I
中央拗陷	大情字井	K_{1d} 、 K_{1yc}	17.36	0.8	I
德惠断陷	刘城子背斜	K_{1q}	19.07	0.78	I
哈拉海断陷	刘城子背斜	K_{1q}	24.88	0.78	I
社里断陷	千家窝堡	K_{1q}	3.93	0.7	I
十屋断陷	老公林子	K_{1d}	3.70	0.7	I
柳条断陷	双山	K_{1q}	2.17	0.7	I
中央拗陷	黑帝庙	K_{1q} 、 K_{1d} 、 K_{1yc}	53.66	0.7	I
中央拗陷	孤店	K_{1q} 、 K_{1d}	38.2	0.7	I
中央拗陷	双坨子	K_{1q} 、 K_{1d} 、 K_{1yc}	48.52	0.7	I
中央拗陷	万家围子	K_{1d}	11.78	0.7	I
中央拗陷	红岗	K_{1q}	30.11	0.7	I
中央拗陷	前旗	K_{1q}	1.73	0.7	I
社里断陷	大三井子	K_{1q} 、 K_{1d}	38.20	0.6	III
青山口背斜带	青山口背斜	K_{1q}	13.47	0.6	III
十屋断陷	葛家屯	K_{1d}	10.98	0.6	III
十屋断陷	西丁家窝堡	K_{1d}	8.78	0.6	III
柳条断陷	后望杏	K_{1q}	4.09	0.4	IV
柳条断陷	集福屯	K_{1q}	0.72	0.54	III
德惠断陷南	小合隆	K_{1q}	4.35	0.6	III
登娄库背斜带	登娄库背斜	K_{1q}	48.53	0.6	III
十屋断陷	双龙	K_{1d}	3.06	0.63	III
中央拗陷	大老爷府	K_{1q} 、 K_{1d} 、 K_{1yc}	47.37	0.6	III
中央拗陷	窗户	K_{1d}	27.42	0.5	III
中央拗陷	大坨子	K_{1q} 、 K_{1yc}	48.40	0.5	III
十屋断陷	太平庄	K_{1d}	0.19	0.5	III

续表 1

区块名称	圈闭(构造)名称	圈闭目的层	资源量期望值 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	专家系统推理 运算信度值	评价级别
社里断陷东	万发东背斜	K_{1g}		0.5	Ⅱ
哈拉海断陷	莺山屯北	K_{1d}	13.60	0.5	Ⅱ
德惠西	柴岗断鼻	K_{1g}	7.78	0.5	Ⅲ
十屋断陷	皮家窝堡	K_{1d}		0.5	Ⅱ
八面城凸起	边家店	K_{1g}		0.3	Ⅳ
八面城凸起	倪家窑	K_{1g}		0.3	Ⅳ

4.2 评价结果解释及可信度分析

(1) 泉头组圈闭比较发育,其中评为Ⅰ类的有8个,Ⅱ类8个,Ⅰ、Ⅱ类圈闭占评价圈闭总数的57.1%。目前已形成气田(藏)或见工业气流的圈闭13个,占评价圈闭的46.4%,反映了泉头组圈闭是松南地区主要勘探目的层。

(2) 登娄库圈闭总体看不十分发育,从已发现的21个圈闭中评为Ⅰ类有3个(除已见工业气流的圈闭外),Ⅱ类5个,Ⅰ、Ⅱ类占圈闭总数的38.1%。目前已发现工业气流的圈闭2个,占圈闭总数的9.5%。从宏观地质条件分析,登娄库组储层发育,离源层近,有断裂作通道,泉头组底部大套泥岩可作局部盖层。预测登娄库组是松南深部含气领域具有良好勘探前景的重要目的层。

(3) 从推理运算的6个方面的地质因素分析,其中气源条件、油气运移的有利配置与保存条件起主要作用。储集相带、物性与含气标志作用不显著,说明泉头组、登娄库组储集条件一般良好,不是影响成藏条件的决定因素。

(4) 从平面展布情况分析,泉头组37个评价圈闭中,东南隆起区25个,占66%,已发现工业气流构造也绝大多数在东南隆起区,其次是分布在中央拗陷区。西部斜坡及西南隆起区分布较少,且大多为鼻状构造。登娄库组圈闭也基本是这种规律。因此今后天然气的勘探仍然以东南隆起区为主要方向。中央拗陷今后要加强深部地震勘探,进一步摸清深层圈闭的情况。

(5) 为比较专家系统评价结果的可信性,对部分圈闭同时采用专家系统和模糊集合两种方法进行含气性评价,其评价对比结果列于表2。

从表2可以看出在25个圈闭中,两种方法评价结果不一致的有4个,符合率为84%。专家系统是以逻辑运算实现推理,模糊集合方法属数理统计范畴,是进行数值运算。他们是两种完全不同的运算机制,其评价结果基本吻合,表明专家系统用于石油地质领域是可行的。同时专家系统能够充分考虑每项地质因素的实际作用,输入容纳大量的各类地质信息,在推理过程中又能突出重要地质因素的主导作用的影响,因而其评价结果的可信度一般高于其他方法的结果。

另外,对评价结果从具体地质条件分析,凡被评为Ⅰ、Ⅱ类的有利圈闭大多位于生气凹陷的中心或附近,具有丰富的气源条件。圈闭的构造位置一般位于断坡带或斜坡带,有的位于生气凹陷与晚期构造迭置区,具有优越的成藏条件。一部分构造经过钻探已获得突破,表明评价结果可信度高。这些圈闭是今后松南地区天然气勘探的重要选择目标。

表2 松南部分圈闭两种方法评价结果对比表

圈闭名称	专家系统评价级别	模糊集合评价级别	圈闭名称	专家系统评价级别	模糊集合评价级别
张家屯 (K _{1q})	I	I *	登娄库 (K _{1q})	II	II
刘城子 (K _{1q})	I	I	边家店 (K _{1q})	IV	IV
伏龙泉 (K _{1q})	I	I	万发东 (K _{1q})	II	IV *
扶余 I 号 (K _{1q})	I	I	倪家窑 (K _{1q})	IV	IV
集福屯 (K _{1q})	II	II	艾家窝堡 (K _{1d})	I	I
后望杏 (K _{1q})	IV	IV	双龙 (K _{1d})	II	II
双山 (K _{1q})	II	II	老公林子 (K _{1d})	I	I
小合隆 (K _{1q})	II	II	西丁家窝堡 (K _{1d})	I	II *
柴岗 (K _{1q})	II	II	皮家窝堡 (K _{1d})	II	II
小城子 (K _{1q})	I	I	大三井子 (K _{1d})	I	I *
于家窝堡 (K _{1q})	I	I	扶余 I 号 (K _{1d})	I	I
大三井子 (K _{1q})	I	I	莺山屯	II	II
青山口 (K _{1q})	II	II			

* 为不符合圈闭

(收稿日期:1995年7月24日)

参 考 文 献

- 1 刘承祚等.地质专家系统.北京:海洋出版社,1991

EXPERT SYSTEM TECHNOLOGY APPLIED TO THE EVALUATION OF GAS-BEARING POSSIBILITY OF THE SOUTH SONGLIAO TRAPS

Chen Zhigao Li Jianlong

(Comprehensive Party of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

In this paper, the resource evaluation expert system of depressions and traps is used to evaluate the gas-bearing possibility of 58 major traps in the Quantou Formation and Denglou Formation of the South Songliao Basin. Among them, twenty are regarded as favourable gas-bearing traps. These favourable traps have advantageous pool-generation geological conditions. After drilling, some traps have obtained industrial gas/oil or shows. It is indicated that this evaluation technology has higher reliability. So these traps can be selected as major targets for the natural gas exploration of the South Songliao area in the future.