

川东北二叠、三叠系天然气勘探方向*

龙胜祥 曾涛 李检龙

(地质矿产部石油地质综合大队, 湖北荆沙 434100)

川东北地区二叠、三叠系天然气成藏地质条件优越, 已找到沙罐坪等多个气田和含气构造, 是重点勘探区。用天然气资源评价专家系统和模糊集合法分别对下二叠统、上二叠统和中、下三叠统共88个圈闭进行资源评价, 并加以综合分析, 然后, 应用勘探决策系统对具I、II级有利含气的21个圈闭构造进行了勘探决策分析, 提出了两套勘探部署方案。

关键词 川东北 天然气 圈闭评价 专家系统 决策分析 部署方案

第一作者简介 龙胜祥 男 36岁 高级工程师 石油地质

1 地质概况

川东北地区有效面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。自晋宁运动后, 该区长期稳定下沉, 沉积物总厚达8 000~12 000 m, 其中志留系、二叠系及中、下三叠统海相泥质岩和碳酸盐岩气源岩十分发育, 生气量大。区内广泛分布的二叠系和中、下三叠统多套储层虽然孔隙度低(各层平均值<5%), 但在裂缝发育带物性条件大为改善, 储集条件变好。各储层之上, 膏盐岩、泥质岩和致密碳酸盐岩盖层发育, 保存条件甚佳。更主要的是, 印支期以来, 局部构造陆续形成和发展, 具有构造成熟度较高、规模大的特点。总之, 川东北地区具备形成大中型气田(藏)的有利条件, 近十余年已找到沙罐坪、亭子铺、雷音铺、黄龙、东岳寨、涪阳坝、九龙山等气田和含气构造, 一直是重点勘探区。

2 圈闭天然气资源评价

川东北地区二叠、三叠系各层系圈闭众多, 大小悬殊, 本次仅选择面积 $\geq 10 \text{ km}^2$ 的圈闭, 使用地质矿产部石油地质研究所研制的天然气资源评价专家系统**^[1]和模糊集合法***进行评价。

2.1 圈闭天然气资源评价——专家系统应用

2.1.1 评价模型建立

通过对本区及川东沙罐坪、涪阳坝、大池干井和卧龙河四个气田和含气构造解剖及干井分析, 笔者认为: 本区二叠、三叠系可分成下二叠统、上二叠统和中、下三叠统3个含气组

* “八五”国家攻关专题(85-102-01-05-04)部分成果, 第一作者为中国地质大学博士生

** 地质矿产部石油地质研究所. 天然气资源评价专家系统的研制. 1994

*** 地质矿产部石油地质研究所等. 我国油气资源评价系统的研究. 1990

收稿日期: 1995-05-02 改回日期: 1995-09-06

合,当其储层为孔隙型或裂缝-孔隙型时,气藏似层状展布,受气水分异、构造双重控制;为裂缝型或孔隙-裂缝型时,气藏展布不完全受圈闭所限,还受裂缝等多重控制。总的来说,二叠、三叠系的气藏成藏模式相似:气源以自生为主,可能有下伏层系气混入;储层为低孔渗碳酸盐岩;盖层封盖能力强,地层水属沉积承压水系统,水型多为CaCl型,保存条件很好;圈闭绝大多数是构造型,开始形成期各异,但最后均定型于喜山期;气藏分布在地层压力过渡带和超高压带。其演化机制为:

沉积期:含气组合下部是台地开阔浅海相、台地局限浅海相、深水缓坡相或生物礁相泥-细晶碳酸盐岩,有机质丰富,I型为主,是气源层,其中粒屑和粉-细晶碳酸盐岩是储层,上部泥质岩或膏盐岩是盖层,形成自生自储,下储上盖的生储盖组合。此期,自身生成的生物气很少,下伏气源又因无断裂等连通很少进入本层,加之区域上不存在较高隆起或斜坡,故没形成气的有效聚集。

气源岩未熟期:成岩作用总体使储层物性变差,但白云化作用、有机溶蚀作用等对储层物性起改善作用。盖层则在此期间逐渐变好,封盖能力增强,地层异常高压开始形成,地层水处于沉积承压系统,矿化度增高。烃源岩先生成生物气,后大量生油。此时区域上有斜坡和隆起形成,为油气区域性运移创造了条件。同时一批局部构造和断裂粗具雏形,其中的圈闭可能捕获油气,断裂则导致油气向上运移富集。

气源岩高-过熟期:储层已十分致密,孔隙度平均值小于3%,但此期大量裂缝形成,改善储层物性。盖层封盖性很好,地层异常高压继续发展,地层水几乎停滞,保存条件很好。烃源岩以生气为主或全部生气,前期形成之油亦热裂解成气。原有构造继续发展,同时又形成大量新构造,断层发育,但断裂向上消失于下、中三叠统膏盐层。原气藏可能在圈闭扩大和气源不断补充下不断变大,亦可能因无气补充而在扩散作用下逐渐变小乃至消亡,更可能因断层或裂缝垂向沟通而遭破坏且运移至上覆层位形成次生气藏。新生圈闭可捕获横向或垂向运移之气而形成气藏,但总体上看,越晚形成的圈闭含气性越差,空圈闭的风险越大。

2.1.2 参数及其赋值

专家系统所用参数主要是事实节点(叶节点或中间节点)的信度值,本次输入的事实节点中,气源方面7个,储集方面27个,区域地质、构造及圈闭方面14个、保存条件方面13个、含气标志方面1个。事实节点信度赋值主要依据勘探程度与资料可靠性等,具体取值原则是:物探程度较高,反射界面清晰且连续性好,确定可靠的构造相应节点信度为1.0;较可靠构造,规模较大时赋值0.8~1.0,较小时赋值0.6~0.8;不可靠的构造信度为0.2~0.6。钻井测试、样品分析确定的节点信度1.0;测井确定的为0.8~1.0;物化探确定的为0.5~0.8。由平面图或剖面图取值,当附近有实际资料点或图件可靠性很高时,节点信度0.7~0.9;当附近无实际资料点时,但图件符合实际时节点信度0.6~0.7;当图件可靠性差时为0.3~0.6。未知地质体与标型体地质条件相近时类比确定节点信度为0.5~0.8,否则<0.5。当区内规律性明显,地质模型可靠时节点信度0.4~0.7,否则<0.4。获工业气流1.0,测试气显示0.7~1.0,测井解释结果0.5~0.9。

2.1.3 系统推理

当叶节点无资料或不能确定时,用其上一级或多级中间节点进行输入,避免因节点未输入而造成推理中断。

当临时知识库包含节点较多时,为避免推理出错和内存溢出等问题,采取先分模块推出

分部结论,再总模块推出最终结论的方法。

充分利用系统的解释功能,在推理至重要中间节点时,根据需要不断要求系统解释当前节点是怎么推得的,当发现不符合实际时及时输入新的信息或修改原有节点信度,以达满意的结果。

2.1.4 结果

经过推理,得到各圈闭含气信度值,然后按下述标准对各圈闭含气性进行分级:

I级	1~0.6	已知气藏或有利含气圈闭
II级	0.6~0.5	较有利含气圈闭
III级	0.5~0.3	可能含气圈闭
IV级	≤0.3	不利圈闭

最后评价结果为:下二叠统圈闭含气的信度在0.411~1.0之间,I级圈闭有雷音铺、亭子铺、沙罐坪、九龙山、赵家山、塌洞坪、南阳场、税南、水口场、付家山、东岳寨、雷西、双石庙、黄龙、檀木场、七西、达西、毛坝场共18个,II级圈闭有涪阳坝等9个,III级圈闭有彭店等5个,IV级圈闭为元山场、白衣庵;上二叠统圈闭含气的信度在0.435~1.0之间,I级圈闭有赵家山、塌洞坪、九龙山、涪阳坝、东岳寨、黄龙、沙罐坪、亭子铺、达西、雷音铺共10个,II级有南阳场等15个,III级有彭店等7个,IV级可能为元山场、白衣庵;下、中三叠统圈闭含气的信度在0.2~1.0之间,I级圈闭有九龙山、涪阳坝、高岩寺、沙罐坪、东岳寨共5个,II级圈闭有南阳场等7个,III级圈闭有营山等5个,IV级圈闭有龙会场等3个。

推理过程通过解释还发现,圈闭含气性之关键决定因素一是储层,二是保存条件。故在川东北二叠、三叠系勘探中应首先注意储层识别和保存条件分析。

2.2 圈闭含气性综合分析

根据16个参数,用模糊集合法评价圈闭,其结果与专家系统评价结果基本相符,符合率为75%,其中I级圈闭符合率76%,II级圈闭符合率70%,III-IV级圈闭符合率82%;不完全相符之主要原因是运算机制不同、模型稍有差异。

在对比分析上述两方法计算结果的基础上进行综合分析,结果相同的准确无疑的圈闭直接引用它们的评价级别,结果不同的圈闭再依据实际地质条件作适当的调整。

在综合评价圈闭时还有一个含气概率问题,理论上讲,专家系统圈闭含气性评价之信度即是圈闭含气概率。对于一些在专家系统评价中适当调大输入节点信度的圈闭,依据资料的可靠性,分别以0.9,0.85甚至0.8去乘信度值,以得到适当的含气概率值。关于各圈闭之含气概率除已知气藏含气概率为1外,其它圈闭的含气概率一般为0.4~0.7,这与我们统计的川东北及川东圈闭钻探成功率(P_1 , P_2 , P_3 分别为0.571, 0.476和0.619)比较接近,故是比较合理的。

综合评价结果为:下二叠统I级圈闭有九龙山、沙罐坪、亭子铺、雷音铺4个已知含气圈闭和张家扁(含气概率0.54)、塌洞坪(含气概率0.62)、南阳场(含气概率0.66)、税南(含气概率0.65)、水口场(含气概率0.71)、付家山(含气概率0.65)、东岳寨(含气概率0.75)、黄龙(含气概率0.65)、檀木场(含气概率0.65)、七西(含气概率0.58)、达西(含气概率0.60)、毛坝场(含气概率0.65)12个圈闭,II级圈闭有涪阳坝等11个,III级圈闭有彭店等5个,IV级圈闭为元山场、白衣庵2个;上二叠统I级圈闭有黄龙、沙罐坪、亭子铺、雷音铺4个已知含气圈闭和九龙山(含气概率0.8)、涪阳坝(含气概率0.63)、付家山(含气概率0.58)、东岳寨(含气概率0.7)、

檀木场(含气概率 0.58)共 5 个待证实圈闭,Ⅱ级圈闭有南阳场等 16 个,Ⅲ级圈闭有彭店等 7 个,Ⅳ级圈闭为元山场、白衣庵;下、中三叠统Ⅰ级圈闭有涪阳坝、沙罐坪、东岳寨 3 个已知含气圈闭和九龙山(含气概率 0.74)、高岩寺(含气概率 0.60)2 个待证实圈闭,Ⅱ级圈闭有南阳场等 7 个,Ⅲ级圈闭有营山等 5 个,Ⅳ级圈闭有花丛、北山场、龙合场 3 个。

从总评结果看,二叠系Ⅰ,Ⅱ级圈闭集中分布在开江古隆起及其周围地区和北部斜坡,Ⅲ,Ⅳ级圈闭则占据凹陷中部及南部斜坡西段;下、中三叠统Ⅰ,Ⅱ级圈闭分布在凹陷四周斜坡带,Ⅲ,Ⅳ级集中在凹陷中部。

3 主要构造勘探决策分析

运用程学福等研制的油气勘探决策系统*对 21 个条件优越(具Ⅰ、Ⅱ级圈闭)的主要构造进行勘探决策分析。

3.1 参数的取值

川东北地区是一个勘探难度很大的地区,地形险恶使地震勘探和钻井施工困难,地面高差悬殊使物探资料处理难度加大;构造复杂,断层发育,必须用新技术进行资料(特别是物探资料)处理;目的层一般埋深大,为碳酸盐地层,且断层错乱,发育缝洞,钻探困难。所有这些导致该区勘探成本高昂,二维地震(以接收道数 96、道间距 40、叠加次数 48 为例)成本约为 2.6×10^4 元/km,加处理及解释费用,其成本逾 3.0×10^4 元/km;钻一口 5 500 m 深的井,费用超过 $1\,700 \times 10^4$ 元,单位成本为 3 160 元/m。若钻探井前须作一些物探工作,则在探井成本中外加入 100×10^4 元;探井若为发现井,外加 100×10^4 元测试费;开发井,外加测试费、储层改造费、采气及其它费用 100×10^4 元。因此,按物价上涨率 10%推算到 1996 年,则干井(不作物探)费用为 3 400 元×井深;干井(作物探)费用为 3 400 元×井深+ 100×10^4 元;发现井(不作物探)费用为 3 400 元×井深+ 100×10^4 元;发现井(作物探)费用为 3 400 元×井深+ 200×10^4 元;按物价上涨率 10%推算到 1998 年,开发井费用为 4 200 元×井深+ 200×10^4 元。

据 1994 年天然气影子价格(0.878 元/m³),以每年 10%的物价上涨率算得 1998 年天然气价格为 1.28 元/m³。

根据各圈闭含气概率计算出局部构造含气概率,然后考虑布井和钻井测试工艺等因素,将局部构造含气概率减 0.1 作为第一口探井为发现井的概率 P_{a2} , $1-P_{a2}$ 即为干井概率。第二、三口为发现井和干井的概率分别为 $P_{b2}=1.1P_{a2}$, $1-P_{b2}$, $P_{c2}=1.1P_{b2}$, $1-P_{c2}$, 并限定各探井之干井概率 ≥ 0.1 ,即有一定风险。

开发井密度:川东北二叠系、三叠系是裂缝-孔隙型、孔隙-裂隙缝型甚至裂隙型储层,开发井应主要布置在裂缝发育带,不宜像磨溪气田雷口坡组气藏那样均匀布井,又因裂缝发育带渗滤条件好,没有必要将井布得较密,故对于单圈闭其开发井密度取为 0.6 口/km²;双圈闭构造的开发井密度为 0.5 口/km²;三圈闭构造的开发井密度为 0.45 口/km²。

3.2 决策分析结果

利用勘探决策系统单目的层、双目的层和三目的层 3 种决策树模型,对川东北地区局部构造二叠系、下、中三叠统地层进行分析,其基本步骤是先用圈闭容积法(各参数确定方法

* 地质矿产部石油地质研究所.我国油气资源评价系统的研究.1990

从略) 计算各圈闭之天然气资源量和含气面积, 然后输入风险参数和经济参数, 计算钻探效益。具体结果(第一部署方案)为:

(1) 钻探效益超 10×10^8 元的构造属最优先进行钻探的对象, 它们的排序为: 南阳场、檀木场和雷西构造。

(2) 钻探效益在 $5 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8$ 元之间的构造, 可作为优先考虑上钻的对象, 它们的排序为: 铁山肖家山、七里峡五灵山、炉坪、七西、双石庙和东岳寨构造。

(3) 钻探效益在 $1 \times 10^8 \sim 5 \times 10^8$ 元之间的构造, 可作为次优先考虑上钻的对象, 它们的排序为: 达西、仪陇、水口场、涪阳坝、高岩寺、付家山和分水岭构造。

(4) 黄洋场、毛坝场、张家扁、塌洞坪和赵家山构造可作为准备勘探的对象, 钻探效益小于 1×10^8 元, 但这次计算因地层参数可靠性不高未必能反映真实情况, 故应对其开展科研工作及部分物化探工作, 在摸清实际地质情况后, 再决策是否布钻。

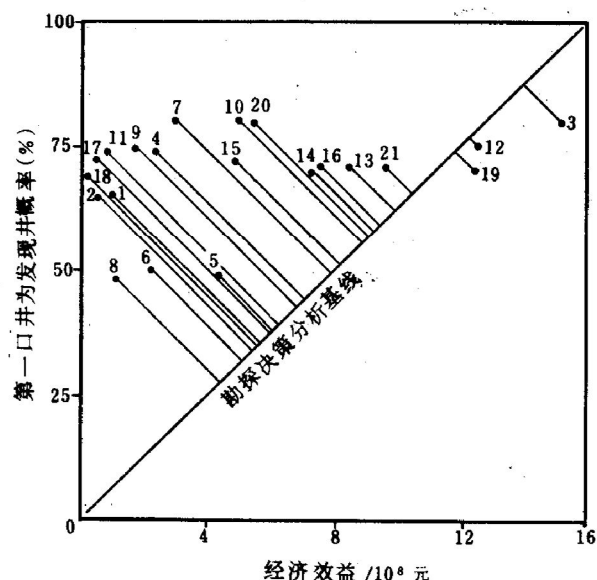


图1 川东北主要构造风险-效益排序图

较好。综合排队为: 檀木场构造(12号)、雷西构造(19号)、铁山肖家山(21号)、七里峡构造五灵山高点(13号)、炉坪构造(16号)、七西构造(14号)。

3.3.2 可优先上钻类

含气概率大于 0.80, 风险小, 效益大于 5.00×10^8 元, 或效益在 $5.00 \times 10^8 \sim 1.00 \times 10^9$ 元, 但该构造已发现气藏, 可顺带勘探下部目的层, 总体具最佳-较佳勘探效益; 缺点是井深大, 投资增加, 周期拖长, 但总体上讲值得小公司选择钻探。综合排队为: 东岳寨构造(10号)、涪阳坝构造(4号)、南阳坝构造(3号)、达西构造(15号)、双石庙构造(20号)。

3.3.3 可考虑上钻类

仪陇构造(5号)、水口场构造(7号)、付家山构造(9号)、黄洋场构造(1号), 有的效益值较高但风险大, 有的效益值不高($1 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8$ 元), 但风险较小(含气概率 ≥ 0.75), 井深均 ≤ 700 m, 可考虑上钻, 或许能获得一些效益。

3.3.4 可暂缓上钻类

含气概率 0.58~0.85, 风险中等-较小, 勘探效益在 $0.03 \times 10^8 \sim 3.00 \times 10^8$ 元之间; 井深

3.3 决策结果的讨论

前面决策方法是追求最佳勘探(经济)效益, 而对投资多少及风险高低未作考虑, 决策结果更多地适合资金雄厚的大公司。小公司资金少, 一次大失误即可能导致破产, 因此其追求的是风险小、投资少和效益较高。图1是用决策系统结果所作的勘探经济效益-风险排序图, 小公司应以下列顺序部署上述21个局部构造(第二部署方案)。

3.3.1 最优先上钻类

含气概率 0.80 以上, 风险低, 钻达最深目的层的井深小于 5 000 m, 周期短, 近两三年探井投资在 $0.110 \times 10^8 \sim 0.180 \times 10^8$ 元之间, 开发井投资为 $0.160 \times 10^8 \sim 0.230 \times 10^8$ 元, 小公司承受得起; 勘探效益大于 5.0×10^8 元, 效益

较大,投资较高,周期较长,可在对上三类构造进行钻探并获效益后考虑上钻。综合排队为:高岩寺构造(6号)、分水岭构造(8号)、张家扁构造(2号)、毛坝场构造(11号)、塌洞坪构造(17号)、赵家山构造(18号)。

4 结束语

川东北地区二叠系、三叠系天然气成藏地质条件优越,圈闭以构造型为主,其中有利圈闭主要分布在开江古隆起及其斜坡带和北部九龙山-通南巴一带及旺苍一带。对于这些有利构造的勘探部署,不同公司应有不同方案。前面提出的两套部署方案分别适用于大公司和小公司,供有关决策部门参考。

参 考 文 献

- 1 李树森,王川,樊民星.对圈闭油气资源评价专家系统的认识.石油与天然气地质,1994,15(3):187~192

GAS EXPLORATION TARGETS OF PERMO-TRIASSIC IN NORTHEASTERN SICHUAN

Long Shengxiang Zeng Tao Li Jianlong

(Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology, MGMR, Jingsha, Hubei)

Abstract

Northeastern Sichuan Basin has favourable geological condition to form gas pools in Permian and Triassic. A number of gas fields or gas-bearing structures have been discovered. This region is one of the important gas exploration area. This paper describes how to use the gas resource assessment expert system and fuzzy set analysis method to appraise the gas-bearing probability of 88 traps in Lower Permian, Upper Permian and Lower-Middle Triassic in the study area. The traps were analysed and divided into four levels of gas-bearing traps. Finally, exploration decision analysis system was adopted to analyse the 21 structures of I and II level traps, and two exploration plans are put forward.