

川西地区雷四³亚段圈闭储层条件半定量化评价

陈小梅, 廖荣峰, 郝哲敏

(中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川成都 610041)

摘要: 现行圈闭评价技术规范中明确了储层条件是含油气概率评价主因子之一, 其关键参数和评价标准需根据区带、领域、层系的特点来选取和建立, 目前属于定性评价。川西地区雷四³亚段主要发育构造、构造-岩性复合圈闭, 为了有效地评价圈闭含油气概率, 利用已钻井资料对雷四³亚段上、下储层段进行划分, 分析沉积微相类型、储层岩性、物性与含气性相关性及其差异性。结果表明: 雷四³亚段上、下储层段发育不同的有利沉积微相, 储层分类及裂缝发育程度直接影响储层条件的赋值结果, 由此建立储层条件评价标准。实际应用证实, 通过优选关键评价参数及概率赋值半定量化, 可有效地提高雷四³亚段圈闭含油气概率评价准确度。

关键词: 川西地区; 储层条件; 含油气概率评价; 概率赋值; 半定量化

中图分类号: TE112.36

文献标识码: A

Semi-quantitative evaluation of reservoir conditions of the trap in the third subsection of the 4th member of Leikoupo formation in western Sichuan region

CHEN Xiaomei, LIAO Rongfeng, HAO Zhemin

(Exploration & Development Research Institute of Southwest Oil and Gas Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: In the current technical specifications for trap evaluation, it is clear that reservoir conditions are one of the main factors for the probability evaluation of oil and gas. The key parameters and evaluation criteria need to be selected and established according to the characteristics of zones, fields and strata series. At present, they belong to qualitative evaluation. Structural and structural lithologic complex traps are mainly developed in the third subsection of the 4th member of Leikoupo formation in western Sichuan region. In order to effectively evaluate the probability of oil and gas in the trap, the upper and lower reservoir sections of the third subsection of the 4th member of Leikoupo formation are divided to analyze the correlation and difference of sedimentary microfacies type, reservoir lithology, physical properties and gas bearing properties. The results show that different favorable sedimentary microfacies are developed in the upper and lower reservoir sections of the third subsection, and the reservoir classification and fracture development directly affect the evaluation results of reservoir conditions, thus establishing the evaluation criteria of reservoir conditions. The practical application proves that the accuracy of probability evaluation of oil and gas in third subsection can be effectively improved by optimizing key evaluation parameters and semi quantitative evaluation of probability assignment.

Key words: western Sichuan region; reservoir conditions; hydrocarbon probability evaluation; probability assignment; semi-quantitative evaluation

圈闭目标是油气勘探的基础, 油气预探阶段的圈闭评价按圈闭识别及可靠性评价、圈闭含油气性评价、经济评价、综合评价、钻探效果分析的程序循

序渐进地进行^[1]。其中含油气性评价是根据圈闭识别的结果, 从油气成藏过程出发, 进行圈闭条件、烃源与充注条件、储层条件、保存条件等四个方面的分

收稿日期: 2020-03-23; 修订日期: 2020-05-18。

第一作者简介: 陈小梅(1981—), 女, 副研究员, 现从事石油地质研究工作。E-mail: cxmsmail@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“川西山前带潮坪相白云岩储层地震预测应用研究”(2017ZX05005-004-010)。

析, 表征地质风险、圈闭钻探发现油气的地质可能性和圈闭资源量, 因此, 其评价的准确性尤为重要。现行的中国石化圈闭评价规范明确根据概率论原理, 通过油气成藏四项主因子概率分析来计算圈闭含油气概率^[2], 而评价主因子的关键参数和评价标准则需根据区带、领域、层系的特点来选取和建立。目前研究区内, 钻探程度相对较高的雷口坡组雷四段含油气概率评价主要为定性化评价, 因此, 建立针对各主因子的评价参数及量化评价标准, 并不断完善, 做到评价分级有据可依, 提高含油气概率评价准确性, 具有十分重要的意义。

沉积微相、储层厚度及物性、裂缝分布等参数能直接地反映储集条件的差异^[3], 因此, 本文依据川西地区雷口坡组已钻井资料数据, 统计分析相关参数差异特征, 建立储层条件的关键参数概率赋值半定量评价标准, 为雷口坡组圈闭进行含油气概率评价、获取储层条件因子概率提供一定的资料。

1 评价因子 - 沉积微相

根据钻井及野外露头资料揭示, 四川盆地雷口坡组受印支早期运动影响, “泸州 - 开江古隆起” 渐进式持续隆起, 控制了台地内部雷口坡组沉积分异与相带展布^[4-5]。川西雷口坡组划分为两个三级层序, 即两套海侵 - 海退旋回, 主要为镶边台地沉积体系,

微相类别	山前带	新场构造带	斜坡带
(藻) 砂屑滩	53%	53%	0
(藻) 灰坪	18%	19%	28%
云灰坪	16%	7%	0
灰云坪	9%	4%	32%
云坪	4%	8%	0
藻云坪	0	9%	39%

a. 上储层段

发育潮坪 - 泻湖沉积亚相, 雷口坡组白云岩、蒸发岩、灰岩的频繁交互, 表明当时台内沉积环境对海平面升降变化非常敏感, 较小幅度的海平面升降变化就能造成相带大幅度迁移, 即地势较为平坦的浅水陆表海碳酸盐岩台地环境^[6]。

受中三叠世末印支运动早期的影响, 川西地区中三叠统碳酸盐岩普遍受到剥蚀和岩溶作用^[7], 现今四川盆地雷口坡组残余厚度整体分为四段十个亚段, 其中, 雷四³亚段为主要油气层段, 平面上呈“西厚东薄”的分布特征, 地震资料及钻井资料揭示, 在川西斜坡带东部、新场构造带 A 井以东, 雷口坡组顶部地层缺失。通过对雷口坡组 15 口井的岩性描述、沉积微相统计, 雷四³亚段早期以潮间带上带藻云坪、云坪沉积为主, 夹潮间下带薄层灰云坪及云灰坪; 可以看出, 川西地区雷四³亚段下部储层段藻云坪、云坪微相覆盖探区中西部; 晚期水体较深特征更为明显, 以潮间下 - 潮下的藻砂屑滩及灰坪沉积为主, 次为灰云坪、(藻) 云坪。

利用孔隙度 (ϕ) 值对研究区海相碳酸盐岩储层进行分类, 可分为三类: I 类储层 $\phi \geq 10\%$, II 类储层 $5\% \leq \phi < 10\%$, III 类储层 $2\% \leq \phi < 5\%$ 。各类沉积微相中储层类别统计表明: I 类储层岩性主要为晶粒白云岩、藻白云岩及藻纹层白云岩; II 类储层岩性主要为藻白云岩、藻砂屑白云岩及藻纹层白云岩; III 类储层在白云岩及灰岩中均有分布 (图 1)。

微相类别	山前带	新场构造带	斜坡带
(藻) 砂屑滩	5%	9%	8%
(藻) 灰坪	3%	6%	0
云灰坪	7%	11%	2%
灰云坪	10%	29%	11%
云坪	37%	25%	20%
藻云坪	37%	21%	59%

b. 下储层段

图1 川西地区雷四³亚段上、下储层段沉积微相比例

通过沉积微相与储层综合解释成果的统计对比可见, 雷四³亚段上储层段各沉积微相中均有钻遇不同级别气显示层, 但综合解释级别高的气层、气水同层主要分布在藻砂屑滩沉积微相, 其次为灰云坪、云灰坪等; 雷四³亚段下储层段各沉积微相中也均有钻遇不同级别气显示层, 但综合解释级别高的气层、气水同层主要分布在藻云坪及云坪沉积微相, 其次为藻砂屑滩、灰云坪及(藻) 灰坪 (图 2)。储层物性与含气性具有较好的匹配关系。结合统计分析研究成果, 认为川西地区雷四³亚段上储层段中以藻砂屑滩为优势沉积相带, 次为灰云坪及云灰坪。

前期研究认为云坪、藻云坪沉积成岩环境控制了白云化范围, 同时, 准同生白云化奠定了大规模白云岩储层形成的岩性基础; 浅埋藏渗透回流白云化进一步结晶改造, 产生大规模的储集空间^[8]。因此, 雷四³亚段下储层段中以藻云坪、云坪沉积微相为优势沉积相带, 次为藻砂屑滩、灰云坪。

2 评价因子 - 储层物性

雷四³亚段上储层段为孔隙 - 裂缝型低孔高渗灰岩储层夹孔隙型中孔低渗白云岩储层, 累计厚度

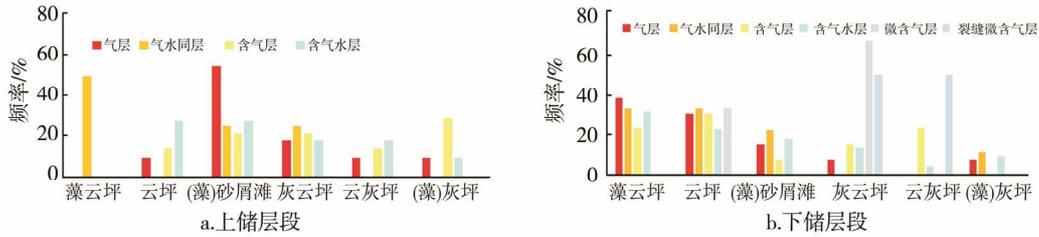


图2 川西雷四³亚段上、下储层段沉积微相含气性分析

为0~36.0 m, 优质储层平均厚度为8.0 m, 由西向东逐渐减薄尖灭, 测井解释有效孔隙度为2.02%~20.09%; 下储层段为溶蚀孔隙型中孔低渗白云岩储层^[9], 累计厚度为35.0~80.0 m, 横向分布较稳定, 测井解释有效孔隙度为2.01%~22.14%。据测井数据统计, 各沉积微相物性由好到差均有分布(表1)。川西地区雷四³亚段上储层段有效储层平均孔隙度为5.05%, 平均渗透率为 $0.463 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 下储层段有效储层平均孔隙度为4.26%, 平均渗透率为 $2.820 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从单井沉积微相分类孔隙度-渗透率关系图可

知(图3、图4), 川西雷四³亚段上储层段在(藻)砂屑滩、(藻)云坪、灰云坪中存在优势物性区间。其中, 山前带以藻砂屑滩、云坪、灰云坪为主, 孔隙度为2.09%~14.59%; 新场构造带以(藻)云坪为主, 孔隙度为2.01%~20.09%; 斜坡带以(藻)云坪、灰云坪为主, 孔隙度为2.10%~6.53%。下储层段在(藻)云坪、灰云坪中存在优势物性区间。其中, 山前带以(藻)云坪、灰云坪为主, 孔隙度为2.00%~15.61%; 新场构造带以(藻)云坪、灰云坪为主, 孔隙度为2.00%~12.96%; 斜坡带以(藻)云坪为主, 孔隙度为2.00%~22.14%。

表1 川西地区雷四³亚段沉积微相孔隙度统计

%

层段	(藻)砂屑滩	(藻)云坪	灰云坪	云灰坪
山前带上储层段	2.12~14.59	2.15~12.53	2.29~14.23	2.09~10.54
	5.05	5.18	5.52	5.52
山前带下储层段	2.01~6.88	2.00~15.61	2.00~9.91	2.00~7.81
	3.99	4.82	3.99	4.07
新场构造带上储层段	2.01~8.98	2.86~20.09		
	3.92	9.04		
新场构造带下储层段	2.08~9.15	2.00~12.60	2.00~12.96	2.00~6.53
	4.60	4.69	4.95	3.65
斜坡带上储层段		2.08~6.53	2.10~5.29	
		4.20	3.51	
斜坡带下储层段	2.31~22.14	2.00~10.31	2.02~7.89	2.02~8.15
	12.24	4.09	3.75	4.80

注: 表中数字结构为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$

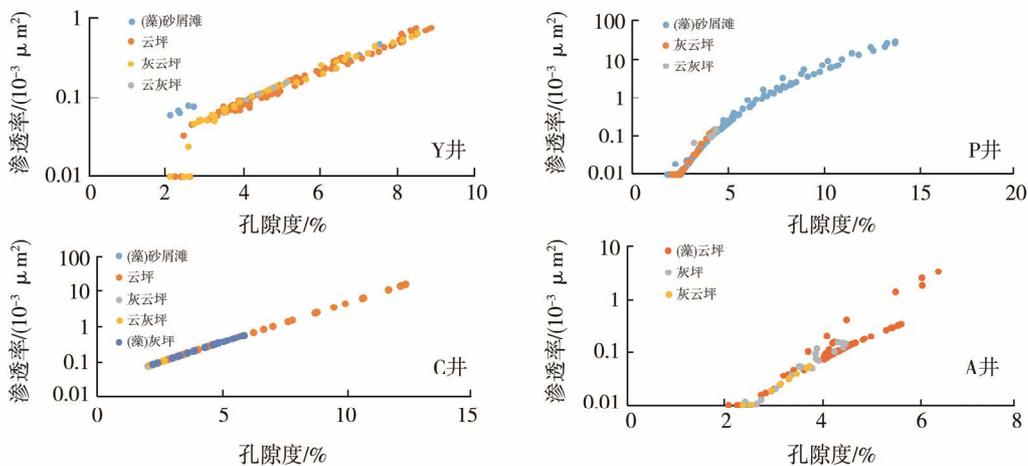


图3 川西地区雷四³亚段上储层段单井孔隙度-渗透率分布

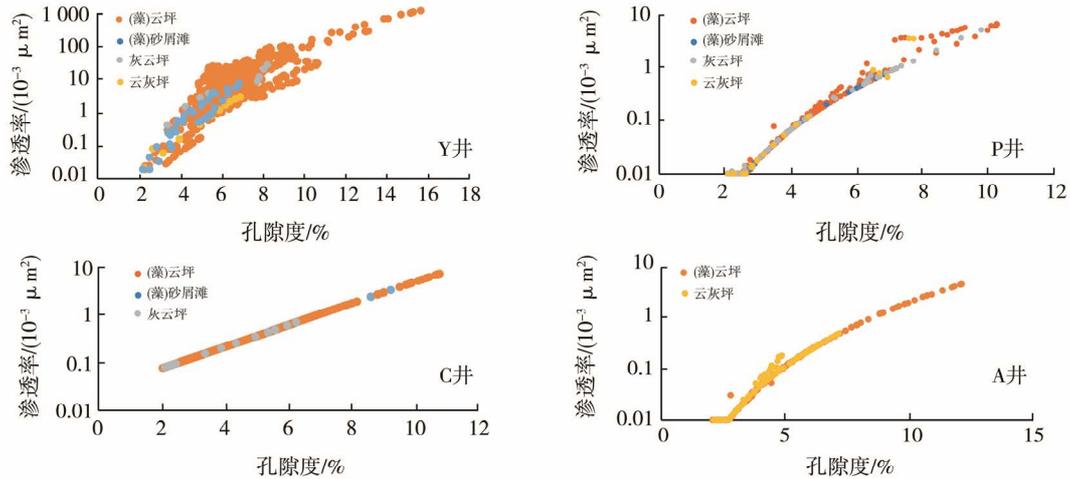


图4 川西地区雷四³亚段下储层段单井孔隙度 - 渗透率分布

3 评价因子 - 裂缝分布

天然裂缝按其产状的大小可以分为高角度缝、斜交缝、低角度缝。其中低角度缝倾角小于 30°，是沿交错层理的细层面裂开而形成的裂缝，这类裂缝角度较低，渗透性差^[10]。同时，裂缝径向延伸极浅时，无储渗意义（彭州地区小于 0.3 m）。测井成像测量揭示川西雷口坡钻井雷四³亚段裂缝均较为发育，下储层段主要发育大量低角度裂缝，其次为斜交缝，仅发育少量高角度裂缝；上储层段有效裂缝较下储层段差。前期通过对山前带钻井裂缝发育情况进行分析，认为在储层厚度接近的情况下（上储层段厚度为 25.0~35.0 m，下储层段厚度为 70.0~83.0 m），气井的产能与裂缝发育程度及产状有关，P 井裂缝最发育，气井的产能最高。同时，在斜坡带 M 井位于裂缝发育带，再次证实，网状缝发育，储层渗流性能会得到改善。

4 储层条件概率赋值标准及应用

4.1 储层条件概率赋值标准建立

圈闭评价技术规范中概率赋值的原则为：根据某成藏条件/关键因素参数，按资料充足性将赋值范围分为 5 个区间进行分级评价（表 2）。

在上述研究中，储层条件概率评价参数主要选取沉积微相、储层厚度、储层物性、裂缝，川西地区雷四³亚段地层存在由西往东减薄的分布特征，并且单层有效厚度差异较大，故主要针对沉积微相和储层物性、裂缝进行半定量赋值，建立评价标准。结果表明，沉积微相决定储层物性，但各沉积微相均

具有较好的储层，故依据主次作用，分别赋予沉积微相、储层物性、裂缝发育程度权重值为 0.4、0.4、0.2。

4.2 应用效果

斜坡带马井地区雷四³亚段构造 - 岩性圈闭钻前预测其下储层段位于藻云坪、灰云坪微相带，因此赋值区间选择 0.8~1.0（根据资料可靠程度，赋值为 0.8）；预测储层为 II 类储层发育区，赋值区间选择 0.6~0.8（根据资料可靠程度，赋值为 0.7）；平面预测位于网状裂缝发育区，赋值区间选择 0.8~1.0（根据资料可靠程度，赋值为 0.9）。因此圈闭的含油气概率中的储层条件最后的赋值为 $0.8 \times 0.4 + 0.7 \times 0.4 + 0.9 \times 0.2$ ，最后计算结果为 0.78。M 井完钻后证实储层以 II、III 类为主，整体赋值合理，山前带其余井钻后风险因素对比，也可证实储层条件概率赋值标准合理可行。

5 结论及建议

(1) 通过对川西地区雷四³亚段沉积微相类型、储层类型及含气性统计分析，明确不同沉积微相、储层物性差异；建立储层条件半定量概率赋值标准，能够有效地提高评价准确度，可应用到预探圈闭含油气概率评价中。

(2) 川西地区雷口坡组上下储层段均含多种岩石类型，但部分不同岩性孔渗值分布区间差异不明显，评价分级尚未能做到细致区分，需要做进一步的研究。

(3) 目前，裂缝预测主要为平面分布的预测，在概率赋值标准中属于定性化评价。

表2 川西地区雷四³亚段圈闭评价 - 储层条件概率赋值

变量	赋值					
	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0~0.2	
沉积相带	上储层段	根据钻井和储层预测,有效储层为藻砂屑滩	根据钻井和储层预测,有效储层为灰云坪、(藻)云坪	根据钻井和储层预测,有效储层为云灰坪、(藻)灰坪	根据钻井和储层预测,有效储层可能为云灰坪、(藻)灰坪	根据钻井和储层预测,无有效储层或者缺失
	下储层段	根据钻井和储层预测,有效储层为(藻)云坪	根据钻井和储层预测,有效储层为灰云坪、(藻)砂屑滩	根据钻井和储层预测,有效储层为云灰坪、(藻)灰坪	根据钻井和储层预测,有效储层可能为云灰坪、(藻)灰坪	根据钻井和储层预测,无有效储层或者缺失
储层物性	上储层段	孔隙类型为孔隙型、裂缝-孔隙型,孔隙度大于7.00%;分布稳定	孔隙类型为孔隙型,孔隙度为4.50%~7.00%;分布较稳定	孔隙度为2.00%~4.50%;分布较稳定	孔隙度为2.00%~4.50%,分布不稳定	物性小于资源评价设定的下限值
	下储层段	孔隙类型为孔隙型、裂缝-孔隙型,孔隙度大于9.00%;分布稳定	孔隙类型为孔隙型,孔隙度6.00%~9.00%;分布较稳定	孔隙度为2.00%~6.00%;分布较稳定	孔隙度为2.00%~6.00%;分布不稳定	物性小于资源评价设定的下限值
裂缝发育程度	位于裂缝发育区,(区内钻井)岩心发育高角度缝	位于裂缝发育区,(区内钻井)偶见裂缝	位于裂缝较发育区,(区内钻井)薄片下可见裂缝	预测位于裂缝较发育区	预测位于裂缝不发育区	

参考文献

- [1] 陈国民. 油气圈闭综合评价程序[J]. 重庆科技学院学报, 2010, 12(2): 16-18.
- [2] 闫相宾, 李军, 杨双. 三级圈闭含油气概率和资源量表征方法探讨[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 495-499.
- [3] 钱治家, 钟克修. 川东北地区须家河组沉积相与储层特征[J]. 天然气工业, 2009, 29(6): 9-12.
- [4] 曾洪扬, 陈洪德, 林良彪, 等. 川西前陆盆地晚三叠世构造层序岩相古地理特征[J]. 石油实验地质, 2009, 31(1): 46-49, 53.
- [5] 贾晓静, 柯光明, 徐守成, 等. 超深层复杂碳酸盐岩滩相储层发育特征[J]. 石油地质与工程, 2019, 33(5): 5-10.
- [6] 李凌, 谭秀成, 丁熊, 等. 四川盆地雷口坡组台内滩与台缘滩沉积特征差异及对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 70-76.
- [7] 宋晓波, 王琼仙, 隆轲, 等. 川西地区中三叠统雷口坡组古岩溶储层特征及发育主控因素[J]. 海相油气地质, 2013, 21(2): 8-14.
- [8] 吴世祥, 李宏涛, 龙胜祥, 等. 川西雷口坡组碳酸盐岩储层特征及成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 542-550, 559.
- [9] 王琼仙, 宋晓波, 王东, 等. 川西龙门山前雷口坡组四段储层特征及形成机理[J]. 石油实验地质, 2017, 39(4): 491-497.
- [10] 刘兴周, 顾国忠, 李娜, 等. 成像测井裂缝期次研究及控油裂缝分布确定[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(5): 39-42.

(编辑 蒲洪果)