

珠江口盆地琼海凸起文昌A区 断层侧向封闭性综合评价

叶青, 王猛, 杨朝强, 梁文锋, 甘永年

中海石油(中国)有限公司湛江分公司

摘要 珠江口盆地文昌A区圈闭类型以断层圈闭为主,断层是油气运移的主要通道,断层封堵性是影响该区断块成藏的主控因素。首先通过Allan图快速评价断层侧向封堵性,结合实际钻井情况分析Allan图的适用性和研究区的断层封闭类型;然后选取影响断层封闭属性的主要参数,断层泥比率(SGR)和泥岩涂抹系数(SSF),依据中新统珠江组二段已钻井圈闭的SGR和SSF数据,结合测井解释成果,建立了SGR-SSF判别图版,定量研究文昌A区断层侧向封堵能力。结果表明:SGR>0.32且SSF≤3.2,断层封堵性相对较好;SGR≤0.25,或SSF>4.2,断层封堵性最差,可排除成藏的可能性;0.25<SGR≤0.32且SSF≤4.2,或SGR>0.32且3.2<SSF≤4.2,参数范围落在未经钻井证实区域,具有一定的成藏潜力。据此图版对文昌A区E1断块和W1断块珠江组二段高部位的断层封堵性进行分析,认为E1断块ZJ2-3U、ZJ2-3M、ZJ2-3L、ZJ2-4U油组高部位的断层封堵性相对较好,W1断块ZJ2-1L、ZJ2-3U、ZJ2-3L、ZJ2-4U油组高部位的断层封堵性较好,是下一步油气勘探的有利区。

关键词 珠江口盆地;琼海凸起;珠江组;断层侧向封闭;评价

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

中新生代断陷盆地断块圈闭广泛发育,断层侧向封堵性是油气成藏的关键影响因素之一。从机理上讲,断层内部与围岩的排替压力差是断层侧向封闭形成的根本原因,当断层内排替压力大于外部压力时,断层对侧向油气储层单元起封堵作用^[1-3]。依据差异渗透的影响因素,断层封堵主要分为两大类:对接封闭和断层岩封闭^[4]。一般通过Allan图快速分析来判定断层两盘的岩性对接形式,初步判断断层的封堵性,如果目标盘储层与对接盘泥岩对接,说明断层封堵性较好^[5-7]。对于以断层岩封闭类型为主的断层来说,断层内的泥质含量是断层侧向封闭能力的主要影响因素,较高的泥质含量会使断层本身具有很好的封堵能力。珠江口盆地文昌A区中新统珠江组断块发育,已探明的含油区明显受控于断层,但尚未开展系统的断层封堵性研究,笔者利用较丰富的钻井、地质、地震资料开展相关分析,希望为优选勘探目标、实现储量接替提供基础依据。

1 地质概况

文昌A区位于南海北部珠江口盆地西部珠三坳陷的琼海凸起东部(图1a),发育大型鼻状构造,受②号断层控制^[8-9]。研究区主要发育有北西向和北东向两组正断层(图1b),主断层为北东向,断距相对较大,且沿北东走向断距逐渐增大;北西向次要断层被北东向正断层所切割,研究区被复杂化为E1、E2、W1、W2、W3等5个断块,每个断块受两条断层控制。

勘探实践证实,研究区具有良好的生储盖条件,已发现的含油气层主要分布在中新统珠江组二段(图2)。珠江组二段主要为潮坪沉积,砂泥互层广泛发育(图2),可划分15个油组,主力油层主要发育于砂坪沉积。区内探明含油区域的分布受控于主干断层和分支断层,断层侧向封闭能力直接决定了圈闭的有效性和油气的富集程度,但这方面一直未进行系统研究,一定程度上制约了该区进一步的油气勘探。笔者首先选取控制成藏的主控断层,应用Allan图对多条断层

收稿日期: 2017-11-30; 改回日期: 2018-07-27

本文受中海油“十二五”重大专项“南海西部海域典型低孔低渗油气藏勘探开发关键技术研究及实践”(编号:CNOOC-KJ 125 ZDXM 07 LTD 02 ZJ 11)资助

叶青: 1983年生,硕士,工程师,2007年毕业于中国地质大学(北京),现从事油气田开发地质研究。通信地址: 524057 广东省湛江市坡头区22号信箱; E-mail: yeqing@cnooc.com.cn



2 研究方法

地层		油层组	GR/ API	深度/ m	岩性 剖面	测井 解释	$R_{so}/$ ($D=0$)	微相	亚相	相
			20	200			0.1	20		
中 新 统	珠江组一段	ZD-1I		1800				砂坪	潮 间 带	坪
		ZD-1L		1850				泥坪		
		ZD-2I		1900				砂坪		
		ZD-2L		1950				泥坪 砂坪		
		ZD-3I		2000				混合坪		
		ZD-3L		2050				砂坪		
		ZD-4I		2100				泥坪		
		ZD-4L		2150				混合坪		
		ZD-5I		2200				砂坪		
		ZD-5L		2250				混合坪		
		ZD-6I		2300				砂坪		
		ZD-6L		2350				混合坪		
		ZD-7		2400				砂坪		
		珠江组一段		2450						

细砂岩

粉砂岩

泥岩

油层

水层

干层

泥岩涂抹系数(SSF) 断层泥比率(SGR)

$$SSF = \frac{D}{\sum T_i}$$

$$SGR = \sum \frac{V_{sh} \cdot T_i}{D}$$

D —垂直断距/m;
 T_i —单层厚度/m;
 V_{sh} —泥质含量/%




图例：
 断层
 泥岩
 砂岩

图3 断面各点封闭属性 SSF 和 SGR 算法定义模型
(据文献[4]修改)

3 应用 Allan 图快速分析断层侧向封闭性

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

深转换和岩性插值,分别将断层两盘与断面相接触的地层投影到断面上,得出砂泥岩对接图。本文Allan图中目标盘为正断层下盘,对接盘为正断层上盘。

通过文昌A区E1断块、W1断块所涉及断层的Allan图解(见图4,图5)能够看出,断层面两盘对接情况以砂砂对接为主,局部存在砂泥对接的区域,结合已钻井分析认为,研究区对接封闭欠发育,仅在部分油组的高部位储层与对接盘泥岩对置。

以ZJ2-2L油组为例,在E1断块②号断层的Allan图解中(图4a),对应深度1900m、CDP 6770的ZJ2-2L

油组储层的目标盘的高部位与对接盘的泥岩相对接,为对接封闭类型;而在E1断块F₁断层Allan图中(图4b),ZJ2-2L油组储层在目标盘高部位与对接盘储层相对接,出现砂砂对接的情况,说明E1断块在ZJ2-2L油组成藏时期断层不封堵,这也符合实际钻遇的情况。

而ZJ2-5L油组的②号断层和F₁断层在Allan图上均表现为不封堵(图4),但实际上位于②号断层CDP 6780附近的探井在ZJ2-5L油组钻遇了油层,这说明Allan图并不能完全准确地评价该地区的断层封堵性,也体现了断层封堵具有垂向差异性和平面分段性的特征。

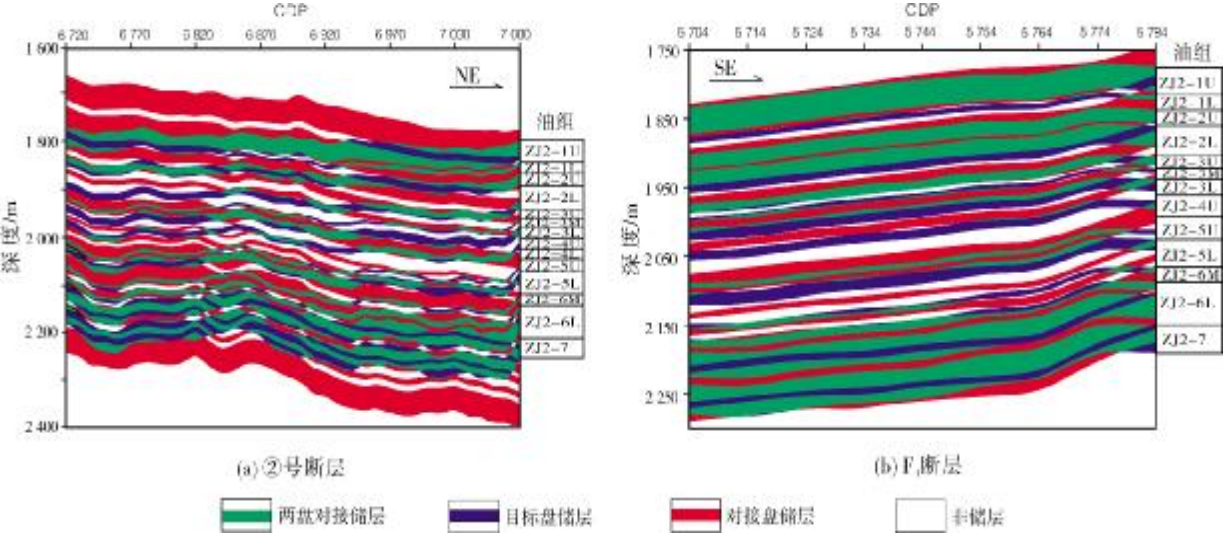


图4 珠江口盆地文昌A区E1断块珠江组二段断层Allan图解

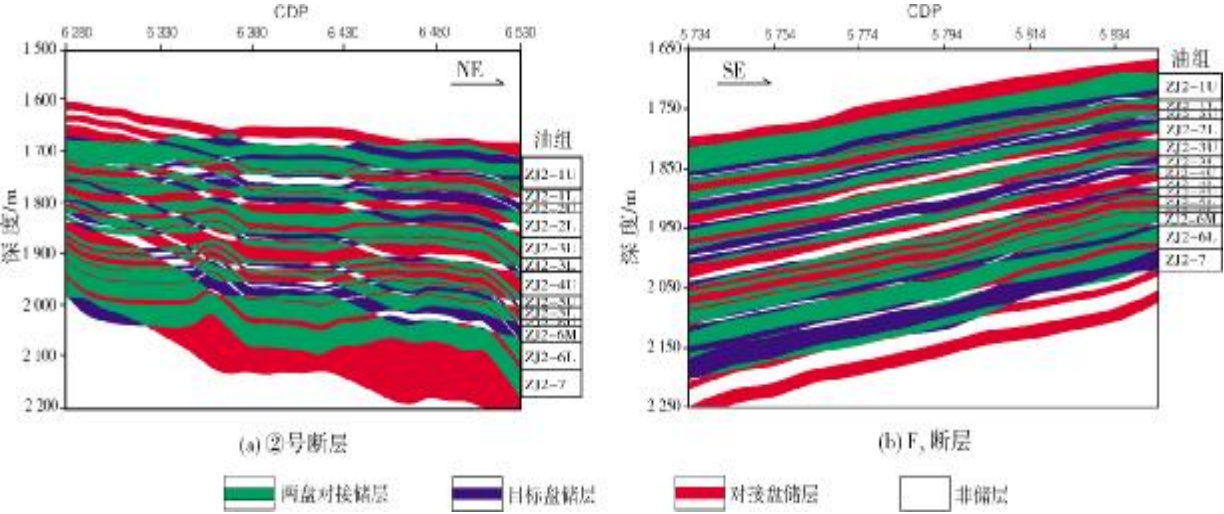


图5 珠江口盆地文昌A区W1断块珠江组二段断层Allan图解

4 应用SSF-SGR图版定量评价断层封堵性

从断层岩封闭的角度入手,选用泥岩涂抹系数(SSF)、断层泥比率(SGR)这2个参数来反映断层泥岩涂抹程度及涂抹层的非均质性。随着SSF的减小,SGR的增大,断层的封闭性也随之增强^[15]。通过统计研究区各油组与已钻遇油层、水层的样本点相关断层的SSF、SGR,制作SGR-SSF图版,建立研究区的定量评价标准。

4.1 文昌A区SSF-SGR图版的建立

研究区内分布5口钻井,探明5个断层圈闭,这为研究断层侧向封堵提供了较好的基础。通过统计断面SGR、SSF,并分析二者之间的对应关系,评价断层侧向封闭能力。具体步骤如下:

(1)利用断层和地层的地震解释成果,选取适当测线,以油组为计算临界值的单元,读取覆盖断层面的断点时间值,通过时深转换及岩性插值,计算得出SGR、SSF。

(2)为确保图版的准确性,对于全区已钻遇油层、水层的断块圈闭,选取相关断层的SGR、SSF(样点数量大于500),并统计分析得出钻遇油层、水层时断层的SGR、SSF临界值。

(3)将计算得出的各断层的SGR和SSF投到坐标系中,根据获得的油层、水层对应的断层SGR、SSF临界值,可以划分出3个区域,分别为油层区、潜力区和水区,最终建立了文昌A区SGR-SSF图版(图6),其中,潜力区代表未经钻井证实的断面。

由SGR-SSF图版可以看出:SGR>0.32且SSF≤3.2,为油层区,说明断层封堵性相对较好,成藏概率

较高;SGR≤0.25,或SSF>4.2,处于水区,说明断层封堵性相对较差,成藏风险很大;0.25<SGR≤0.32且SSF≤4.2,或SGR>0.32且3.2<SSF≤4.2,为潜力区,属未经钻井证实的区域,具有一定的成藏潜力。

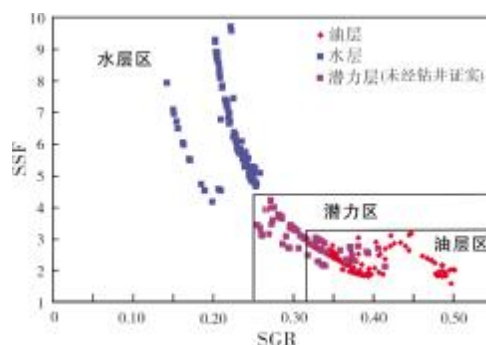


图6 珠江口盆地文昌A区断层侧向封堵性评价的SGR-SSF图版

4.2 实例分析

选取已钻井的E1断块和W1断块,利用上述方法评价各断块珠江组二段各油组高部位的断层侧向封闭能力。通过计算E1断块高部位②号断层和F₁断层的SGR、SSF,W1断块高部位②号断层和F₃断层的SGR、SSF,并分别将各样本点投到SGR-SSF判别图版。

关于E1断块②号断层的封堵性(图7a),ZJ2-3U、ZJ2-3M、ZJ2-3L、ZJ2-4U、ZJ2-5U、ZJ2-5L油组封堵性好,高部位成藏可能性大;关于F₁断层的封堵性(图7b),ZJ2-1U、ZJ2-2L、ZJ2-3U、ZJ2-3M、ZJ2-3L、ZJ2-4U、ZJ2-5U、ZJ2-5L油组的高部位成藏可能性大。综合分析认为,E1断块ZJ2-3U、ZJ2-3M、ZJ2-3L、ZJ2-4U油组的高部位成藏可能性大,它们均位于SGR-SSF图版中的油层区。

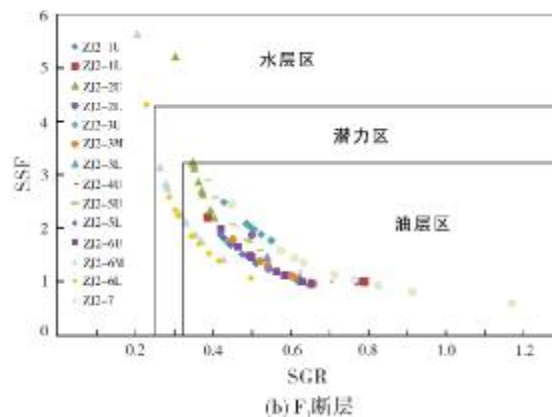
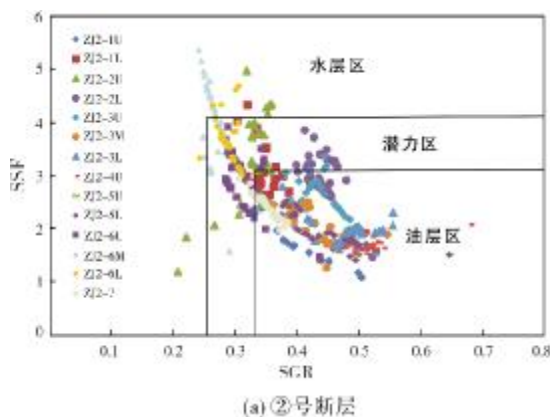


图7 珠江口盆地文昌A区E1断块断层侧向封堵性评价

同理,对W1断块②号断层和F₃断层的封堵性进行判定(图8),可知W1断块ZJ2-1L、ZJ2-3U、ZJ2-3L、

ZJ2-4U油组均位于SGR-SSF图版中的油层区,其高部位成藏的可能性大。

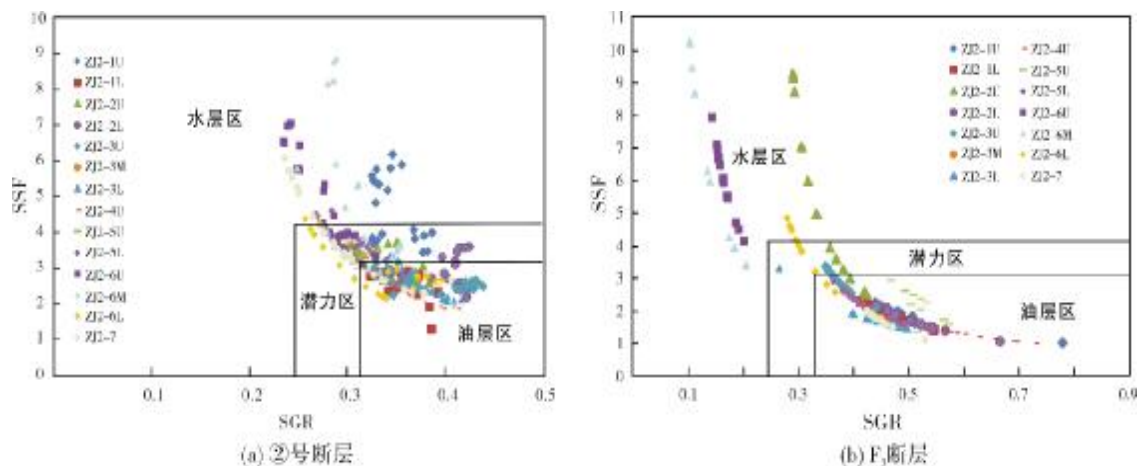


图8 珠江口盆地文昌A区W1断块断层侧向封堵性评价

5 结论

(1)珠江口盆地文昌A区中新统珠江组二段发育5个断块,各有1口井钻遇,可作为开展断层侧向封堵性研究的典型实例。首先,应用Allan图对多条断层侧向封闭性进行快速分析,对比实际钻井情况来判定其适用性和断层封闭类型,结果表明断层岩封闭为研究区主要的封闭类型,局部发育对接封闭。基于这个认识,选取断层泥比率(SGR)、泥岩涂抹系数(SSF)2个参数来模拟断层封闭属性,建立SGR-SSF图版以定量评价断层侧向封堵性。

(2)通过对已钻圈闭相关断层的SGR、SSF的统计,建立了研究区断层侧向封堵性评价的SGR-SSF图版。 $SGR > 0.32$ 且 $SSF \leq 3.2$,断层封堵性相对较好,成藏概率高; $SGR \leq 0.25$,或 $SSF > 4.2$,断层封堵性最差,可排除成藏的可能性; $0.25 < SGR \leq 0.32$ 且 $SSF \leq 4.2$,或 $SGR > 0.32$ 且 $3.2 < SSF \leq 4.2$,断层封堵性中等,具有一定的成藏潜力。

(3)对研究区E1断块和W1断块珠江组二段高部位的断层封堵性进行分析,E1断块ZJ2-3U、ZJ2-3M、ZJ2-3L、ZJ2-4U油组的高部位断层封堵性较好,W1断块ZJ2-1L、ZJ2-3U、ZJ2-3L、ZJ2-4U油组的高部位断层封堵性较好,是下一步油气勘探的有利区。

参考文献

- [1] 吕延防,张绍臣,王亚明. 盖层封闭能力与盖层厚度的定量关系[J]. 石油学报,2000,21(2): 27-30.
- [2] FISHER Q J, KNIPE R J. The permeability of faults within siliciclastic petroleum reservoirs of the North Sea and Norwegian Continental Shelf[J]. Marine and petroleum geology, 2001, 18 (10): 1063-1081.
- [3] 付晓飞,潘国强,贺向阳,等. 大庆长垣南部黑帝庙浅层生物气的断层侧向封闭性[J]. 石油学报,2009,30(5): 678-684.
- [4] 刘哲,吕延防,付晓飞,等. 贝尔凹陷断层侧向封闭能力定量研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(2): 353-360.
- [5] ALLAN U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures[J]. AAPG bulletin, 1989, 73 (7): 803-811.
- [6] KNIPE R J. Juxtaposition and seal diagrams to help analyze fault seals in hydrocarbon reservoirs[J]. AAPG bulletin, 1997, 81(2): 187-195.
- [7] 宋建平. 断层封堵技术在尼日利亚p64区块应用[J]. 石油天然气学报,2011,33(2): 54-57.
- [8] 姜华,王华,李俊良,等. 珠江口盆地珠三拗陷断层特征及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油实验地质,2008,30(5): 460-466.
- [9] 姜华,王华,李俊良,等. 珠江口盆地珠三拗陷油气成藏模式与分布规律[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3): 275-286.
- [10] BOUVIER J D, SUPESTEIJN C K, KLUESNER D, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun River Field, Nigeria[J]. AAPG bulletin, 1989, 73(11): 1397-1414.

- [11] YIELDING G, FREEMAN B, NEEDHAM D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG bulletin, 1997, 81(6): 897-917.
- [12] 赵密福, 李阳, 李东旭. 泥岩涂抹定量研究[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 60-64.
- [13] 付晓飞, 温海波, 吕延防, 等. 勘探早期断层封闭性快速评价方法及应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(3): 615-620.
- [14] 付广, 孟庆芬. 断层封闭性影响因素的理论分析[J]. 天然气地球科学, 2002, 13(3/4): 40-44.
- [15] 吕延防, 付广, 付晓飞, 等. 断层对油气的输导与封堵作用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013: 134-138.

编辑: 董庸

Comprehensive evaluation of fault lateral sealing ability in Wenchang A area, Qionghai Swell, Pearl River Mouth Basin

YE Qing, WANG Meng, YANG Zhaoqiang,
LIANG Wenfeng, GAN Yongnian

Abstract: Fault sealing is the main factor of hydrocarbon accumulation in Wenchang A area, Pearl River Mouth Basin, where faulted traps developed. The Allan map is used to quickly evaluate the lateral sealing property of the faults, and with the actual drilling results, the applicability of the Allan map and the type of fault sealing are analyzed in the study area. It is shown that the Allan map can't completely evaluated the lateral sealing character. Then the main parameters, SGR and SSF, are selected to setup SGR-SSF discrimination chart for quantitative study. According to seismic interpretation, SGR and SSF of the faults related to the drilling traps in Member-2 of Miocene Zhujiang Formation are obtained, and the SGR-SSF discrimination chart is set up combined with logging results of oil and water. It is shown that when $SGR > 0.32$ and $SSF \leq 3.2$, the fault sealing property is relatively good; when $SGR \leq 0.25$, or $SSF > 4.2$, it is the worst, with little possibility of oil accumulation; when $0.25 < SGR \leq 0.32$ and $SSF \leq 4.2$, or $SGR > 0.32$ and $3.2 < SSF \leq 4.2$, it is in the unproven area, with a certain potential. According to the chart, the lateral sealing feature of faults in E1 and W1 blocks of Wenchang A are analyzed. It is proved that the oil formation of ZJ2-3U, ZJ2-3M, ZJ2-3L, ZJ2-4U in high position of E1 block, and ZJ2-1L, ZJ2-3U, ZJ2-3L, ZJ2-4U of W1 block are relatively good in fault sealing condition, which could be the favorable targets for further exploration.

Key words: Zhujiang Formation; fault lateral sealing; evaluation; Qionghai Swell; Pearl River Mouth Basin

YE Qing: MSc, Geological Engineer. Add: CNOOC Zhanjiang Branch Company, Potou, Zhanjiang, Guangdong 524057, China