

塔里木盆地巴楚隆起同岗断裂封闭性综合评价

全裕科^{1,2},丁文龙³,余腾孝⁴,黄太柱⁴

(1. 中国石油大学,北京 102249; 2. 中国海洋石油股份有限公司,北京 100010;

3. 中国地质大学 能源学院,北京 100083; 4. 中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:巴楚隆起西北部同岗断裂构造带发育了同岗断鼻和同岗南断背斜两个构造圈闭,但对圈闭的有效性尚存在疑虑,尤其是同岗断裂的封堵性直接影响着同岗构造圈闭的有效性。本文采用断裂两盘岩性的对置关系、断面图、泥岩涂抹系数、断层面压力计算等方法综合评价了同岗断裂的封闭性。结果表明:同岗断裂的侧向封闭性总体较差,垂向封闭性属于中等~较好,纵向上,断裂的深部(下奥陶统顶界以下地层)封闭性好于浅部;平面上,断裂南段好于北段,封闭性自南向北逐渐变差。

关键词:封闭性评价;同岗断裂;巴楚隆起;塔里木盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Comprehensive evaluation of sealing ability of Tonggang fault in the Bachu uplift of the Tarim basin

Quan Yuke^{1,2}, Ding Wenlong³, Yu Tengxiao⁴, Huang Taizhu⁴

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. China National Offshore Oil Co., Beijing 100010, China;

3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4. Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Two structural traps (the Tonggang fault nose and the southern Tonggang faulted anticline) were developed in the Tonggang fault belt of the northwest Bachu uplift. The effectiveness of these traps, however, is still uncertain. The sealing ability of the Tonggang fault has a direct effect on the effectiveness of the Tonggang structural traps. It is comprehensively evaluated through study of formation juxtaposition across, fault, surface mapping, shale smear factor, and calculation of pressure on fault surface. The following understandings are obtained. The lateral sealing ability is relatively low as a whole, while the vertical sealing ability is moderate to fair. Vertically, the seal is better in the deeper part (below the top of the Lower Ordovician) than that in the upper part; while laterally, it is better in the southern segment of the Tonggang fault than that in its northern segment.

Key words: seal evaluation; Tonggang fault; Bachu Uplift; Tarim Basin

对于受断裂直接控制的构造圈闭,断层封闭性控制着油气藏的形成与分布。因此,为了更好地评价巴楚隆起西北部主要受同岗断裂控制的同岗构造圈闭的有效性,采用多种断层封闭性评价方法综合研究同岗断裂的封闭性,对该构造圈闭的油气钻探部署具有重要意义。

1 储盖组合与构造特征

同岗构造带位于巴楚隆起的西北部,地震资料解释和钻井(巴3井、巴5井、康1井和康2井等)揭示,主要发育古生界和新生界,缺失中、上奥

收稿日期:2008-06-10。

第一作者简介:全裕科(1962—),男,教授级高级工程师、博士研究生,油气田勘探开发管理与研究。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB202302);中国石化西部新区勘探指挥部项目(XBKY04-44-01)。

陶统,泥盆系上统东河塘组和中生界,在构造高部位缺失下石炭统卡拉沙依组上段—中新统;新生界新近系上新统及中新统超覆在古生界之上;在鼻隆的高部位,上新统直接覆盖于泥盆系之上,向北部古生界缺失层位越多。

古生界是巴楚隆起区重要勘探目的层,共发育有8套储盖组合。其中,最好的储层是石炭系小海子组生屑灰岩;最好盖层为中、下寒武统膏盐岩。目前作为主要勘探目标储盖组合有3套,即1)下寒武统白云岩(储层)—中寒武统盐岩、膏盐岩、泥质膏岩(盖层)组合;2)上寒武统一下奥陶统蓬莱坝组(O_{1p})白云岩(储层)—中、下奥

陶统鹰山组(O_{1-2y})泥—微晶致密灰岩段(盖层)组合;3)泥盆系一下石炭统巴楚组(C_1b)下部中—细砂岩(储层)—巴楚组中部泥岩段(盖层)组合。

同岗构造带发育有6条断裂,自南而北分别为色力布亚南断裂、色力布亚断裂、同岗西断裂(2条)、同岗断裂、同岗东断裂(图1)。同岗构造带形成发育、几何形态及展布主要受色力布亚断裂和同岗断裂控制,二者共同构成反“Y”字型背冲断鼻—断背斜带(图2)。控制同岗断鼻和同岗南断背斜构造圈闭的断裂主要是同岗断裂、同岗西断裂和同岗东断裂。

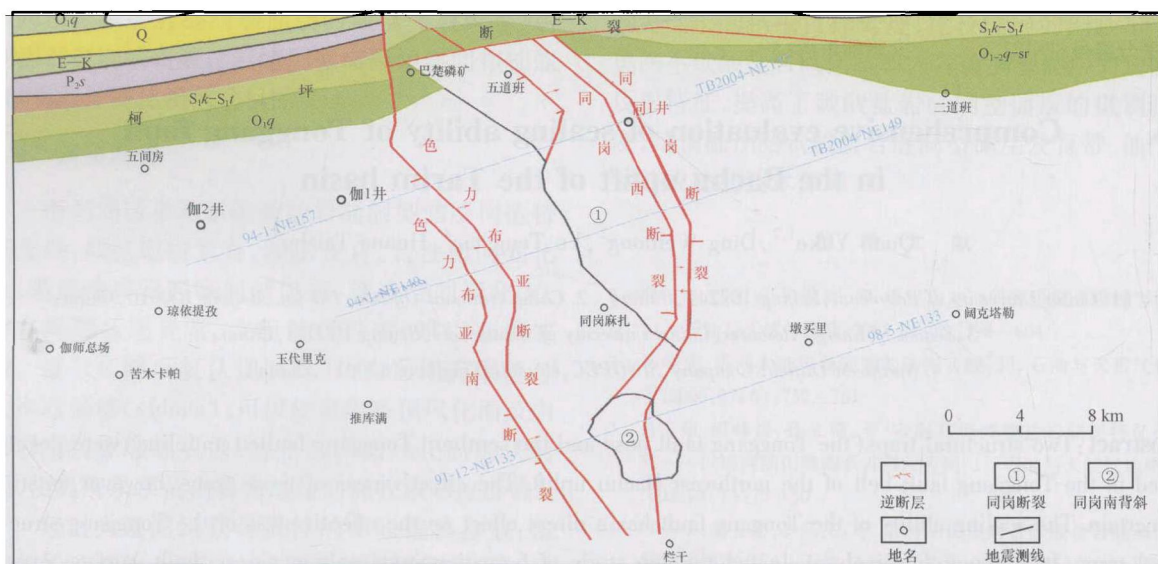


图1 巴楚隆起同岗构造下奥陶统顶面(T_7^4)构造纲要

Fig. 1 Structural outline of the top Lower Ordovician of the Tonggang structure in the Bachu uplift

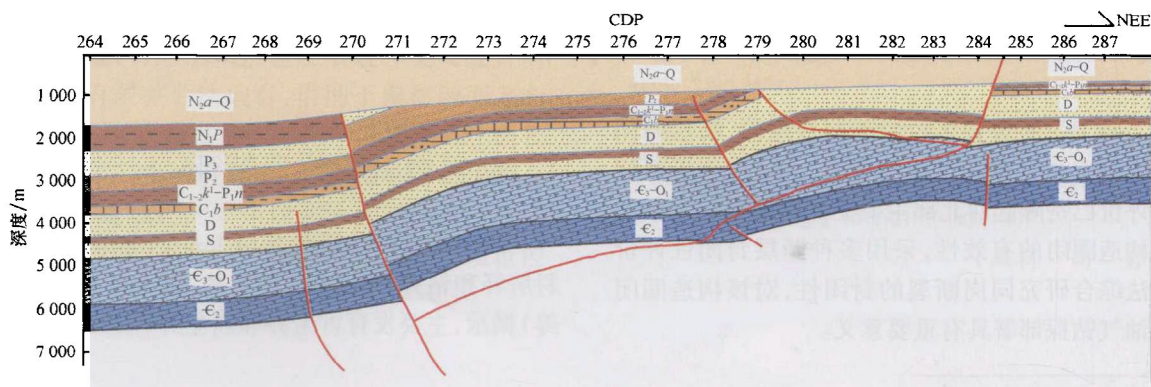


图2 同岗断背斜构造 NE157 测线岩性对置预测

Fig. 2 Prediction of formation juxtaposition on line NE157 crossing the TongGang faulted anticline

2 断裂封闭性分析及评价

影响断裂封闭条件的因素很多,主要的地质因素包括断裂发育的地层环境和构造环境^[1-12];断裂封闭性评价方法种类也比较多^[13-23]。由于本文所要评价封闭性的同岗断裂属于早期勘探阶段,钻井资料少、主要是地震资料,故对其封闭性评价,是以地质定性分析到半定量评价为主,并从以下4个方面对同岗断裂的封闭性进行分析评价。

2.1 两盘岩性对置关系评价

当目的盘储层与另一盘非渗透性地层相对置,断层具有侧向封闭性;当两盘储层相对置时,断层泥也可提供侧向封闭。从穿过同岗断鼻构造圈闭的 NE157 测线的岩性对置预测剖面图(图2)可以看出,由于同岗断裂的断距比较小,断裂两侧的砂岩(碳酸盐岩储层)与泥岩的对接面积很小。因此,断裂的侧向封闭性较差。但在岩性对置剖面上,本区发育的5套区域性盐岩、膏泥岩、泥岩层在断裂两侧相对接,可以将断层作用(活动期)产生的破裂空间完全充填和愈合,从而使同岗断裂在断裂活动期后,在垂向上具有较好的封闭性,阻止含油气流体沿着断层面的垂向运移。

评价断层封闭性不仅需要在剖面上研究断层两侧泥岩的对置情况,而且还需要对整个断面的

情况进行全面研究。Allan(1989),Knipe(1996)等学者^[8,10]先后提出了一种做断面图的方法判断断层封闭性。本文在对研究区内各地层的沉积相类型、少数已钻井(巴5井、巴3井和康2井)解释的地层厚度和岩性组合特征分析的基础上,利用同岗构造带的地震资料求取主要地震剖面的地层砂岩(碳酸盐岩)的百分含量。确定出沿同岗断裂断面上盘和下盘地层的平面变化及砂岩、泥岩及碳酸盐岩层段的接触关系,即断面图(图3)。该图可以比较直观清楚地看出断面地层接触关系。图中同样反映出断面砂岩(碳酸盐岩)泥岩接触范围小,断层侧向封闭性较差。

2.2 断层泥岩涂抹系数

所谓的泥岩涂抹是指在断层活动过程中,由于泥岩(膏泥岩、盐岩)的塑性较强,在构造挤压应力和重力作用下,使泥岩粉碎成粘土或泥岩本身发生塑性变形在断层上、下盘断臂间形成一个由粘土隔层构成的剪切带^[7]。这种泥岩涂抹层可以依靠自身较高的排替压力封闭侧向运移的油气。

断层的涂抹系数由下列公式求得:

$$SSF = L / \sum h_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

式中:SSF为泥岩涂抹系数;L为断层最大倾向滑距,m; h_i 为被断开的第*i*层泥岩的厚度,m;*n*为被断开泥岩的层数。

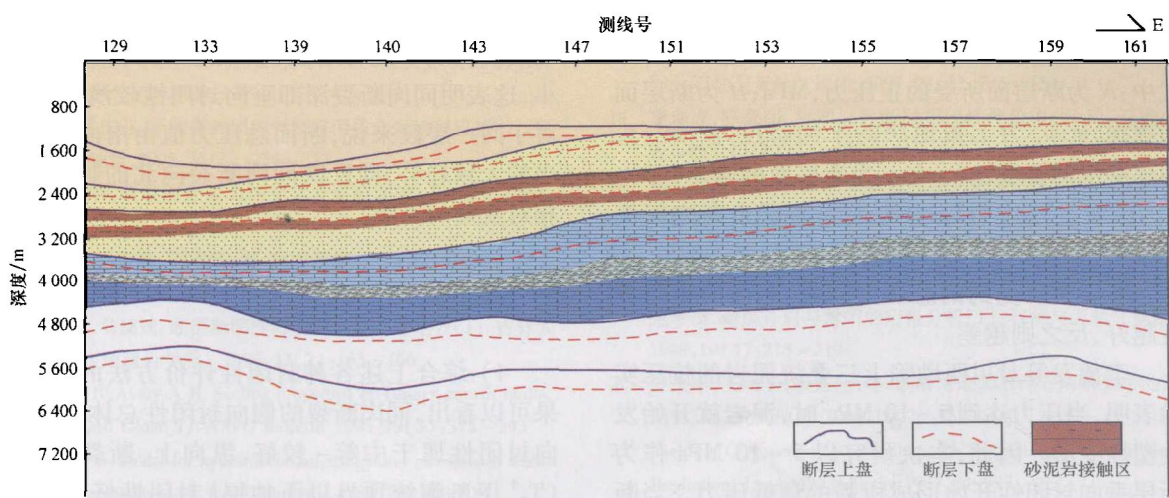


图3 同岗断裂断面

Fig. 3 Map showing the cut-off of the Tonggang fault

表1 同岗断裂断移地层泥岩涂抹系数

Table 1 Shale smear factor of strata offset by the Tonggang fault

断裂名称	数据采集位置	最大倾向滑距/m	断穿层位	被断开的泥岩厚度/m		涂抹系数		
				上盘	下盘	上盘	下盘	平均
同岗断裂	NE133	3 600	$T_5^4-T_8^2$	1 314	1 572	2.74	2.29	2.52
	NE149	3 800	$T_5^4-T_8^2$	960	1 188	3.96	3.20	3.58
	NE157	2 950	$T_5^6-T_8^2$	396	712	7.45	4.14	5.80

由表1可知,同岗断裂的泥岩涂抹系数在2.50~6.00之间,平均值为3.97。该值比较大,接近泥岩(膏泥岩)在断层中形成连续分布所要求的泥岩涂抹系数 $SSF \leq 4$ (Robert, 1995),所以,同岗断裂中泥岩(膏泥岩)涂抹层在断层分布中的分布连续性较差,并且,沿断裂走向由南向北涂抹系数变大。断裂南段(同岗断背斜)泥岩涂抹层在断层中分布的连续性比断裂中部和北部的要好,具有形成较好封闭性的条件,可以有效地阻止含油气流体的侧向和垂向运移。

2.3 利用断层面压力探讨断层垂向封闭性

影响断层垂向封闭性的关键因素是断层面的紧密程度,如果断层面紧闭,断层的垂向封闭性就好。断层面的紧闭程度可以用其所受正应力的的大小来衡量。

当断裂活动停止后,断面上受到两个力的作用:即上覆地层对断面产生的静岩压力(N_1)和区域主压应力对断面产生的压力(N_2),断层面上所受到的总压力(N)应为上述两个力之和。

$$N = N_1 + N_2 = H(p_r - p_w) \times$$

$$0.009876 \cos \alpha + \sigma_1 \sin \alpha \sin \beta \quad (2)$$

式中: N 为断层面所受的正压力,MPa; H 为断层面的埋深,m; p_r 为上覆地层的平均密度, g/cm^3 ; p_w 为地层水的密度, g/cm^3 ; α 为断层面的倾角, $(^\circ)$; β 为区域主压应力(σ_1)方向与断层走向之间夹角, $(^\circ)$ 。

断层面所受到的总压力越大,断面的紧闭程度越好,反之则越差。

李德发等对川西坳陷上三叠统泥岩的抗压实验表明,当压力达到5~10 MPa时,泥岩就开始发生塑性变形。因此,本次研究以5~10 MPa作为断层垂向封闭性开始形成所需的最低压力。当断面压力达到或超过此范围值时,泥质岩已经塑性变形流动,堵塞因断面起伏(不平坦)而在某些部

位留下的渗漏空间,形成较强的垂向封闭性。但当断面压力小于5 MPa时,虽然断面在压力的作用下可以紧闭,但泥质岩不能发生塑性变形,不能堵塞断带内遗留空间,难以形成较强的垂向封闭性。

根据公式(2),对同岗断裂所断移的主要3套勘探目的层(即储盖组合①、②和③)泥岩处断面压力分别进行了计算,求出的同岗断裂南段(NE133测线)、中段(NE149测线)和北段(NE157测线)处的断层面的正应力(表2)。在计算过程中,地层水的密度(p_w)为1.00~1.15 g/cm^3 ,平均值取1.10 g/cm^3 ;上覆地层平均密度(p_r)在2.45~2.72 g/cm^3 ,平均值取2.59 g/cm^3 。根据前人研究成果^[13~17],巴楚隆起区域主压应力方向为近南北向(NNE-SSW向),最大主压应力值为20~40 MPa。

计算结果表明,同岗断裂断面所受总压力均已大大超过泥岩开始塑性变形所需要的最小压力范围值(5~10 MPa)。即便考虑“砂地比”的影响^[6],如在同岗鼻隆区高砂地比值(>50%)的岩性环境下,同岗断裂垂向封闭性仍属于较好-中等级别。从表2还可看出,断面总压力由深到浅变小,这表明同岗断裂深部垂向封闭性较浅部的好。对于同一层段来说,断面总压力值由南向北有变小的大致趋势,即反映同岗断裂向北的封闭性有相对变差的可能。

3 结论

1) 综合上述各种封闭性评价方法的评价结果可以看出,同岗断裂的侧向封闭性总体较差,垂向封闭性属于中等-较好,纵向上,断裂的深部(T_7^4 下奥陶统顶界以下地层)封闭性好于浅部。平面上,断裂南段好于北段,即封闭性自南向北逐渐变差。

表2 同岗断裂断开不同储盖组合的盖层处断面压力计算

Table 2 Calculation of pressures on cut-offs of cap rocks in different reservoir-cap rock combinations offset by the Tonggang fault

储盖组合	数据采集位置	断面倾角/(°)	断穿层位	断开盖层岩性段的顶、底埋深/m	断面所受静岩压力/MPa	区域主压应力/MPa	区域主压应力与断层走向夹角/(°)	区域主压应力对断面产生的压应力/MPa	断面所受总压力/MPa
①	NE133	30	T ₅ ⁴ —T ₈ ²	4 730 ~ 5 100	52.63 ~ 65.00	20 ~ 40	10	1.74 ~ 3.48	54.37 ~ 68.48
	NE149	20	T ₅ ⁶ —T ₈ ²	4 100 ~ 4 420	74.67 ~ 61.12	20 ~ 40	15	1.77 ~ 3.54	62.89 ~ 78.21
	NE157	30	T ₆ ⁰ —T ₈ ²	3 700 ~ 4 130	52.63 ~ 47.14	20 ~ 40	15	2.59 ~ 5.18	49.73 ~ 57.81
②	NE133	43	T ₅ ⁴ —T ₈ ²	3 750 ~ 3 300	40.36 ~ 35.52	20 ~ 40	5	1.19 ~ 2.38	36.71 ~ 42.74
	NE149	13	T ₅ ⁶ —T ₈ ²	3 460 ~ 2 900	49.61 ~ 41.58	20 ~ 40	10	0.78 ~ 1.56	42.36 ~ 51.17
	NE157	20	T ₆ ⁰ —T ₈ ²	2 600 ~ 2 300	35.95 ~ 31.80	20 ~ 40	20	2.34 ~ 4.68	34.14 ~ 40.63
④	NE133	67	T ₅ ⁴ —T ₈ ²	2 100 ~ 2 000	12.07 ~ 11.50	20 ~ 40	5	1.61 ~ 6.22	13.11 ~ 18.29
	NE149	55	T ₅ ⁶ —T ₈ ²	1 400 ~ 1 310	11.82 ~ 11.06	20 ~ 40	10	2.85 ~ 5.70	13.91 ~ 17.52
	NE157	67	T ₆ ⁰ —T ₈ ²	1 100 ~ 880	6.33 ~ 5.06	20 ~ 40	20	11.98 ~ 23.97	17.04 ~ 30.30

2) 造成上述结果的原因主要是:同岗断裂断裂距较小,侧向上断裂两侧的砂、泥岩层对接面积小;断裂南段断裂活动强度较北段的弱,断裂北段的次级平行断裂发育,南段构造后期遭受破坏的程度较北段的低,致使同岗南断背斜构造圈闭古生界地层保存层位较同岗断鼻构造圈闭的多,其(储)盖层(组合)数也相应地比断裂北段的多,故同岗断裂南段形成泥岩涂抹封闭的可能性较北段的大;深部断裂埋藏深、断面缓、倾角小,断面所承受的正压力较浅部陡倾的断裂断面压力大。

参 考 文 献

- 鲁兵,丁文龙. 断层封闭性研究进展[J]. 地质科技情报, 1998, 17(3): 75 ~ 80
- 付晓飞,付广,赵平伟. 断层封闭机理及主要影响因素研究[J]. 天然气地球科学, 1999, 10(3-4): 7 ~ 9
- 付广,孟庆芬. 断裂带封闭油气所需泥质含量物理模拟[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(3): 234 ~ 237
- 王平. 试论断层面正应力的变化及影响因素[J]. 江苏油气, 1994, 1(4): 9 ~ 13
- 周新桂,孙宝珊,谭成轩,等. 现今地应力与断层封闭效应[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 127 ~ 131
- 吕延防,马福建. 断层封闭性影响因素及类型划分[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(2): 163 ~ 166
- Berg R R, Avery A H. Sealing properties of Tertiary growth faults. Texas Gulf Coast[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(3): 375 ~ 393
- Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 803 ~ 811
- Knipe R J. Faulting process and fault seal[J]. NPF, Special publication, 1992, 1: 325 ~ 342
- Knipe R J. Juxtaposition and Seal Diagrams to Help Analyze Fault Seals in Hydrocarbon Reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(2): 187 ~ 195
- Knott S D. Fault seal analysis in the North sea[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77: 778 ~ 792
- Watts N L. Theoretical aspects of caprock and fault seals for single and two-phase hydrocarbon columns[J]. Marine and Petroleum Geology, 1987, 4: 274 ~ 307
- 蔡希源. 塔里木盆地大中型油气田成控因素与展布规律[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 693 ~ 702
- 靳久强,宋建国. 中国板块构造对油气盆地演化和油气分布特征的控制[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 2 ~ 8, 22
- 何登发,贾承造,李德生,等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64 ~ 77
- 龚洪林,潘建国,王宏斌,等. 塔中地区碳酸盐岩裂缝综合预测技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 841 ~ 846
- 张涛,闫相宾. 塔里木盆地深层碳酸盐岩储层主控因素探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 745 ~ 754
- 曹瑞成,陈章明. 早期探区断层封闭性评价方法[J]. 石油学报, 1992, 13(1): 33 ~ 37
- 付广,薛永超,杨勉. 利用断裂充填物泥质含量研究断层封闭性的方法[J]. 断块油气田, 1999, 6(1): 9 ~ 12
- 吕延防,付广. 断层封闭性研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2002
- 童亨茂. 断层开启与封闭的定量分析[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 215 ~ 219
- 万天丰,王明明,殷秀兰,等. 渤海湾地区不同方向断裂带的封闭性[J]. 现代地质, 2004, 18(2): 157 ~ 162
- Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative Fault Seal Prediction[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 987 ~ 917

(编辑 陈喜禄)