

文章编号: 1000-0747(2004)01-0064-03

淮南地区断层垂向封闭性评价

袁政文^{1,2,3}, 王震亮¹, 何明喜³, 宋建华³, 古哲³

(1. 西北大学; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所; 3. 中国石化河南油田分公司)

基金项目: 中国石油天然气集团公司“九五”科技工程项目(96-110-补-09-01-01)

摘要: 准噶尔盆地南缘西部地区处于天山山前冲断带, 背斜大多被断层切割, 存在异常高压, 油气藏的形成和破坏与断层的垂向封闭性关系密切。利用断层封闭系数评价安集海构造、独南构造和吐谷鲁构造内断层的垂向封闭性, 认为受流体压力分布等因素的制约, 同一地区不同断层的垂向封闭性明显不同, 而同一条断层在不同深度段的封闭性也可能截然不同。图3表1参16

关键词: 准噶尔盆地南缘; 断层; 垂向封闭性; 异常压力

中图分类号: TE122.3 文献标识码: A

准噶尔盆地南缘西部地区是天山地槽石炭纪回返后形成的山前拗陷^{1,2}, 面积约1.6万 km², 二叠系与中、新生界最厚达15km。本区属于天山山前冲断带^{3,4}, 现今构造面貌主要受喜马拉雅期扭压构造作用控制, 由于烃源岩主要是埋藏特别深的侏罗系、三叠系, 油气成藏的主要模式为古生新储型, 断裂是沟通下伏油气源的主要通道, 因此富集油气的背斜多与断裂相伴生, 如呼图壁、齐古、独山子等油气田。构造作用强烈是准噶尔盆地南缘的重要特点, 存在明显的异常高压, 断层能否有效地封闭油气^{4,8}, 关键在其垂向封闭能力, 在分析断层垂向封闭能力时, 既要充分考虑构造应力的作用, 也要重视流体动力作用的影响。

1 研究断层垂向封闭性的定量模型

断层是封闭还是开启, 主要取决于作用于断层面法向的正应力与孔隙流体压力的关系。当流体压力不小于断面上的正应力时断层开启, 反之断层封闭。因此, 可以根据流体压力和作用于断面的正应力之间的关系定量分析断层的封闭性。文献[9]在结构力学与流体力学相结合的基础上, 提出断层封闭系数(I_f)的概念:

$$I_f = \sigma_n / p \quad (1)$$

其中

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \rho_s g Z \left[(1 + \cos 2\theta) + (1 - \cos 2\theta) \left(\frac{\nu}{1 - \nu} \right)^{1/n} \right] + \left[\frac{\sigma_H + \sigma_h}{2} - \frac{\sigma_H - \sigma_h}{2} \cos 2\alpha \right] (1 - \cos 2\theta) \right\} \quad (2)$$

$$p = f \rho_w g Z \quad (3)$$

式中 I_f ——断层封闭系数; p ——流体压力, Pa; σ_n ——作用于断面法向的正应力, Pa; θ ——断面倾角, ($^\circ$); α ——断层走向与构造主应力的夹角, ($^\circ$); ρ_w ——水的密度, kg/m³; ρ_s ——上覆岩层的平均密度, kg/m³; Z ——深度, m; g ——重力加速度, 9.8062m/s²; ν ——泊松比, 成岩很好的砂岩一般为0.25左右, 含水泥岩接近0.5, 其值随着异常流体压力增大、构造挤压力的减小而变小; n ——与非线性压缩有关的常数, 一般岩石常用0.67; σ_H, σ_h ——水平方向的最大、最小主应力, Pa; f ——异常压力系数。

当 $I_f > 1$ 时, 断层封闭, 该值越大, 封闭程度越高; 当 $I_f < 1$ 时, 断层开启, 其值越小, 开启程度越大。

2 断层垂向封闭性判别参数

2.1 构造应力场的定量估计

对淮南地区区域构造应力场的综合研究¹⁰表明, 断裂带的最大主应力明显大于周围地区, 最大主应力向下亦变大。根据钻孔崩落形态和油井压裂曲线, 结合地层倾角测井资料, 本区构造应力场特点为: ①以南北向水平挤压为主, 主应力方向以 N10°E 为主; ② σ_H 和 σ_h 均随 Z 的增加而增加, 回归得到它们的关系为:

$$\sigma_H = 16.1156 + 0.01153 Z \quad (R^2 = 0.991) \quad (4)$$

$$\sigma_h = 10.704 + 0.00883 Z \quad (R^2 = 0.973) \quad (5)$$

根据呼2井岩心声发射实验求得的安集海河组 σ_H 梯度为 0.0273MPa/m, σ_h 梯度为 0.0182MPa/m^[11], σ_v (上覆地层压力)梯度为 0.0243MPa/m; 水力破裂实验确定的地应力也是 $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$,

2.2 断层几何要素的确定

断层几何要素(走向及剖面形态等)主要根据地面地质和地震解释资料确定。图 1 为安集海背斜 Nt^1 地震反射层(相当于沙湾组底界)构造图,有安 1、安 3 两条大断层和安 2、安 4、安 5 等小断层。因过该构造的地震测线 NS9015、NS9050b 只经过安 1、安 2、安 3、安 4 断层,故只分析这 4 条断层的垂向封闭性。

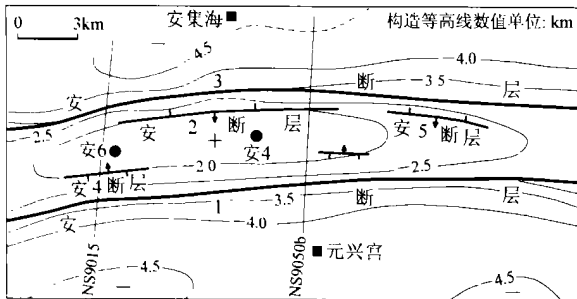


图 1 淮南地区安集海构造 Nt^1 地震反射层构造图

2.3 断层两侧岩性分布及目的层流体压力系数的确定

根据统计出的地震层速度与深度、泥岩百分比(岩性)的关系,求出了目的断层两盘地层的泥岩百分含量,以 50% 为界,区分出砂、泥岩。

根据泥岩压实曲线可以计算出它们在最大埋深时期的古压力^[11-13]。对比泥岩异常压力与砂岩现今实测地层压力,安 6 井、吐谷 1 井及呼 2 井所在地区异常压力形成的主要原因不是欠压实^[14],不能采用建立测井声波时差(地震层速度)与实测地层压力关系的常规方法来求取这些井的井间地区地层压力系数。

反复试算后决定,先根据实测压力确定异常压力趋势、由压实曲线确定异常压力顶部深度,获得地层压力随深度的变化关系,然后求得未知区(层位)的异常压力系数。这一方法尽管存在某些误差,但在异常压力成因比较复杂的淮南地区不失为有效的探索。根据实际情况和资料对比,用拟合出的安 6 井、吐谷 1 井、独深 1 井及独南 1 井压力系数与深度的关系式(多项式)计算不同地区流体压力纵向分布。

3 断层封闭性评价结果分析

本文仅给出安集海构造、独南构造和吐谷鲁构造的断层封闭性研究结果(见表 1)。

根据断层封闭系数,在穿过安集海构造的 2 条地震剖面中,NS9015 剖面只有安 2 断层呈开启状态,其它断层皆为闭合,而安 2 断层在过不远处的 NS9050b 剖面时也已经是在封闭的了。独南背斜过 ZN96D02 剖面的独南 1、独南 2 断层全部封闭。吐谷鲁构造过 TG9615 剖面的 5 条断层中,除吐 1、吐 2 断层在 1500m

以上呈闭合状态、在 1500m 以下深度段呈开启状态外,其它断层均呈开启性。

表 1 有关断层的封闭系数与评价结果

构造	地震测线	断层名称	断层封闭系数	评价结果
安集海	NS9015	安 1	1.12~1.58	闭合
	NS9015	安 2	0.54~0.67	开启
	NS9015	安 3	1.14~1.18	闭合
	NS9015	安 4	1.08~1.29	闭合
	NS9050b	安 1	1.14~1.39	闭合
	NS9050b	安 2	1.08~1.36	闭合
独南	ZN96D02	独南 1	1.81~2.46	闭合
	ZN96D02	独南 2	2.03~2.41	闭合
吐谷鲁	TG9615	吐 1	>1 (深度<1500m) <1 (深度 1500~8000m)	上部闭合 下部开启
	TG9615	吐 2	>1 (深度<1500m) <1 (深度 1500~8000m)	上部闭合 下部开启
	TG9615	吐 3	0.59~0.79	开启
	TG9615	吐 4	0.70~0.81	开启
	TG9615	吐 5	0.59~0.99(深度<8000m)	开启

断层能否有效地封闭油气,关键在其垂向封闭能力。安集海构造的 4 条断层中,只有安 2 断层在过 NS9015 剖面处呈开启状态(见图 2),却已足以导致油气沿该断层向上逸散。这可能是安 6 井钻探失利的重要原因之一。

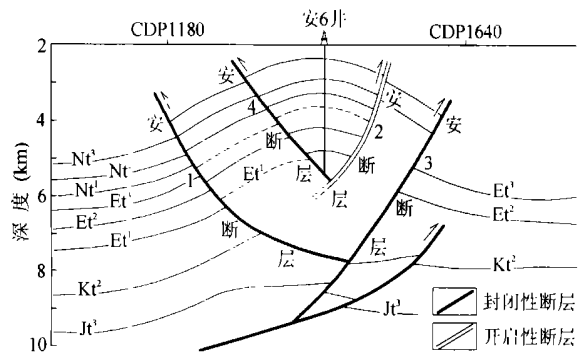


图 2 过安 6 井的 NS9015 剖面断层封闭性评价图

表 1 所示断层封闭和开启状态说明,断层的封闭性在不同地区相差很大。如果从断层的发育历史来看,无论什么性质的断层,作为流体通道的时间是有限的,断层一旦闭合或被堵塞即成为形成圈闭的良好遮挡体,因此断层的封闭性还具有因时而异的特点。断层封闭性分析十分复杂,还有待进一步研究。

4 断层活动与油气成藏的关系

淮南地区中、下侏罗统煤系烃源岩在白垩纪末期开始成熟,生成的煤型油气由凹陷向边缘高部位侧向运移,进入山前第一排构造带的侏罗系圈闭,在白垩系的封盖下形成侏罗系油气藏^[13]。

喜马拉雅运动在盆地南缘表现最为强烈,山前第

一排构造大幅度逆冲隆升, 侏罗系及以上地层遭受强烈剥蚀。逆冲构造活动强度向凹陷一侧逐渐减弱, 凹陷快速沉降使中、下侏罗统煤系烃源岩热演化加快, 主要生成游离气态烃, 这些干气在凹陷部位沿气源断裂大规模垂向运移, 进入紫泥泉子组砂层后, 由于上覆安集海河组巨厚泥岩的遮挡而聚集, 形成第二、第三排构造的紫泥泉子组气藏, 如呼图壁气田(见图3)。

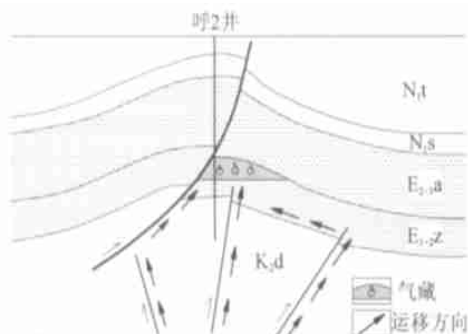


图3 呼图壁背斜气藏形成示意图

呼图壁气田天然气来自中、下侏罗统煤系, 储气层主要为古近系紫泥泉子组, 盖层为安集海河组巨厚泥岩。呼图壁背斜深部为基岩断凸上拱形成的断块, 上覆继承性宽缓背斜, 发育上、下2套断层, 最初形成于基岩断凸期, 在喜马拉雅期挤压力作用下定型, 上部逆冲断层断开白垩系吐谷鲁群至新近系塔西河组, 断面南倾, 凹面向上, 向深部逐渐顺层滑脱; 下部由3条断层组成花状构造。这些断层主要断开紫泥泉子组至八道湾组, 是沟通侏罗系气源的重要通道, 在安集海河组巨厚泥岩的封盖作用下, 最终形成古生新储气藏^[19]。

参考文献:

- [1] 宋岩. 准噶尔盆地天然气聚集区带地质特征[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [2] 宋岩, 王震亮, 王毅, 等. 准噶尔盆地天然气成藏条件[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 贾承造, 何登发, 雷振宇, 等. 前陆冲断带油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [4] 曹瑞成, 陈章明. 早期勘探区断层封闭性评价方法[J]. 石油学报, 1992, 13(2): 13-22.
- [5] 吕延防, 李国会, 王跃文, 等. 断层封闭性的定量研究方法[J]. 石油学报, 1996, 17(1): 39-45.
- [6] 鲁兵, 陈章明, 关德范, 等. 断面活动特征及其对油气的封闭作用[J]. 石油学报, 1996, 17(3): 33-38.
- [7] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG, 1997, 81(6): 897-917.
- [8] Jones G, Fisher Q J, Knipe R J. Fault sealing and fluid flow in hydrocarbon reservoirs[C]. London: The Geological Society, 1998.

- [9] 董亨茂. 断层开启与封闭的定量分析[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 215-220.
- [10] 国家地震局地壳应力研究所, 四川石油管理局勘探公司. 准噶尔盆地南缘区域应力场综合研究[R]. 北京: 国家地震局地壳应力研究所, 成都: 四川石油管理局勘探公司, 1997.
- [11] 陈荷立, 罗晓容. 砂泥岩中异常高流体压力的定量计算及其地质应用[J]. 地质论评, 1988, 34(1): 54-63.
- [12] 真柄钦次. 压实与流体运移[M]. 陈荷立, 等(译). 北京: 石油工业出版社, 1981.
- [13] 罗晓容, 杨计海, 王振峰. 盆地内渗透性地层超压形成机制及钻前压力预测[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 22-31.
- [14] 王震亮, 孙明亮, 宋岩, 等. 准南地区异常地层压力发育特征及形成机理[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 33-35.
- [15] 王屿涛, 谷斌, 王立宏. 准噶尔盆地南缘油气成藏聚集史[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 291-295.
- [16] 王宜林, 张义杰, 况军, 等. 准噶尔盆地天然气勘探目标评价[R]. 克拉玛依: 新疆石油管理局, 1998.

第一作者简介: 袁政文(1955-), 男, 陕西富平人, 河南油田教授级高级工程师, 从事油气地质研究与勘探工作, 现为西北大学与中国科学院地质与地球物理研究所的构造地质与石油地质专业博士研究生。地址: 河南省南阳市, 中国石化河南油田分公司, 邮政编码: 473132; 电话: (0377) 3830306。

收稿日期: 2003-02-08

(编辑、绘图 梁大新)

Vertical seal ability of faults to hydrocarbon in southern Junggar Basin, Northwest China

YUAN Zheng-wen^{1,2,3}, WANG Zhen-liang¹, HE Ming-xi³, SONG Jian-hua³, GU Zhe³ (1. Northwest University, Shaanxi 710069, China; 2. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China; 3. Henan Oilfield Company Ltd., Sinopec, Henan 473132, China)

Abstract Abundant faults are developed in west part of southern Junggar Basin, and the anticlines in Tianshan foreland thrust belt are usually be cut by the faults. Because of being abnormal high pressure, possibility of opening faults is increased, so the fault is a main pathway of upward migration of hydrocarbon from overlying Jurassic source rock, as well as the thrust developed in compressive environment. The nature of vertical seal of faults is more important for controlling degree of rich accumulation of hydrocarbon. By means of the theoretical model of fault vertical seal, the vertical seal of faults in three structures of Anjihai, Dunan and Tugulu are evaluated. It is discovered that in condition of distribution of fluid pressure, etc, the vertical seal of several faults in same area is obvious different, and the seal may be sharply different in some depth of the same fault.

Key words: fault; vertical seal; abnormal high pressure; southern Junggar Basin