

准噶尔盆地西北缘克-乌断裂带 油气分布控制因素分析

陈建平^{1,3}, 查明², 刘传虎¹

(1. 胜利油田 新疆勘探公司, 山东 东营 257000; 2. 石油大学(华东) 资源与信息学院, 山东 东营 257000;
3. 石油大学(北京) 资源学院, 北京 102200)

摘要: 根据地化指标及测井资料分析了准噶尔盆地西北缘克-乌断裂带断裂活动以及断裂带岩性(火山岩、碎屑岩)对油气分布的影响。认为断裂活动及断裂带岩石物性对油气分布具有明显控制作用,在断裂活动期间,断裂带为油气运移提供良好通道,成熟度较低的油气通过断裂带运移至上覆地层;断裂活动平静期,断裂带碎屑岩对油气起封闭作用,火山岩断裂带仍是油气运移通道。成熟度较高的油气经过火山岩运移到断裂带内缘聚集成藏,在断裂带外缘,由于碎屑岩封闭作用及成熟度较高油气的排替作用,油气成熟度呈现“上低下高”的分布格局。

关键词: 克-乌断裂带; 断裂活动; 油气分布; 运移通道; 新疆

中图分类号: P618.130 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)01-0047-04

准噶尔盆地西北缘克-乌断裂为冲断推覆构造,走向NE,延伸约100 km。它形成于海西期,印支期经历多次推覆,是由多条逆断层组成的巨型推覆构造前缘断裂带^[1]。三叠纪是断裂带的强烈活动期,早-中侏罗世,断裂带的主断裂及下盘的次级断裂活动渐弱。近年来,该地区油气运移期次及成藏研究取得了一系列新认识,认为断裂带油气源于玛湖凹陷上二叠统风城组烃源岩,经历了多期成藏,主要成藏期为晚三叠世、中-晚侏罗世两期^[2]。断裂对油气运聚的影响前人做了大量工作^[4-9],本文在前人工作基础之上,分析了断裂带油气分布特征,探讨断裂活动及断裂带岩石物性对油气分布的影响。

1 断裂带油气分布特征

克-乌断裂在平面上以NE向展布为主,由一组大体近于平行的逆冲断裂组成的阶梯式逆冲断裂带。其西北侧基岩裸露或为基岩浅埋藏区,东南侧为巨厚沉积凹陷区。在剖面上断层基本上向NW倾,与岩层倾向相反。断面呈较高角度逆冲断裂,上陡(60°~80°)下缓(30°~40°),垂直断距可达40~

450 m。断裂上盘主要由上石炭-下二叠统火山岩组成,其上分布有中、新生界的超覆尖灭地层;断裂下盘二叠系、三叠系整体为西高东低的单斜构造,与上覆侏罗系呈不整合接触。断裂带包括外缘及内缘。断裂带油气分布具有特殊性,断裂带内缘,油的密度介于0.850~0.88 g/cm³,C₂₉甾烷 $w(\alpha\alpha 20S)/w(20R+20S)$ 为0.51~0.62, C₂₉甾烷 $w(\alpha\beta\beta)/w(\Sigma C_{29})$ 为0.58~0.65,以高成熟油气为主。断裂带外缘油气成熟度纵向上存在差异,上部层位(T₂l) C₂₉甾烷 $w(\alpha\alpha 20S)/w(20R+S)$ 值低,小于0.45,成熟度相对较低,下部(P₂w)大于0.56,油 C₂₉甾烷 $w(\alpha\beta\beta)/w(\Sigma C_{29})$ 大于0.6,成熟度较高^[2](图1),呈现“上低下高”的分布格局。

2 影响断裂带油气分布的因素

由于造山推覆事件是幕式的,断裂活动呈现活动期与静止期的交替^[3]。断裂发展表现出不均衡性,有时活动强,有时活动弱,甚至停止活动。本区三叠纪末期由于受印支运动影响,断裂活动相当活跃,克拉玛依断裂三叠纪生长指数达到2.37,侏罗纪

收稿日期: 2002-07-21; 修订日期: 2002-11-28

基金项目: 胜利油田博士后科研项目资助。

作者简介: 陈建平(1970-),男,安徽潜山人,博士,主要从事油气成藏动力学、有机地球化学等方面科研工作。

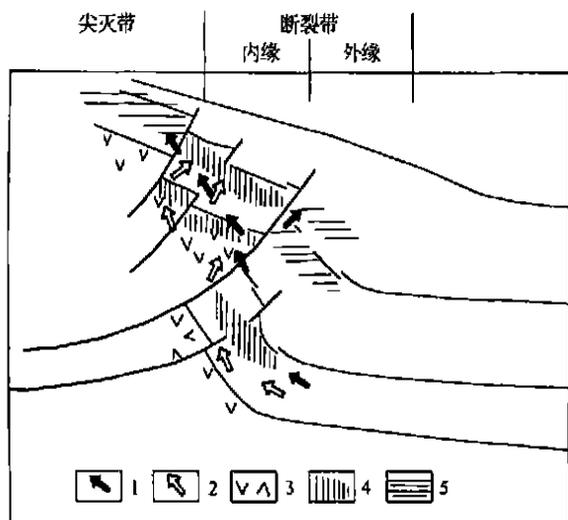


图1 准噶尔盆地西北缘断裂带油气分布图

Fig. 1 Natural gas and petroleum distribution map of the northwest margin of Junggar basin

断裂活动减弱^[1]。

2.1 断裂活跃期油气运移特征

2.1.1 断裂活动为油气运移提供了主要动力

褶皱与断裂活动造成的流体压力差和流体压力梯度是油气运移的主要动力。褶皱过程中,岩层缩短量不一致,造成一定的虚脱,产生极大的流体压力差;当构造力积累使地应力达到破裂条件,产生断裂或使原有断层发生位移、破裂或断层活动时,造成能量释放和构造应力下降,也能形成足够的流体压力差,造成油气运移、聚集。若砂岩断裂前后($L_a - L_b$)增值为 1 cm^2 ,罗群等^[10](1998)根据公式(2)计算出流体压力可达到 2500 kg ($E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $T = 8 \times 10^4 \text{ erg/m}$)。

$$P = 2\sigma_m \sin\theta(L_a - L_b)$$

$$\sigma_m = 2 \sqrt{\frac{ET}{\pi L_a}} \quad (1)$$

$$\Delta P = 4 \sqrt{\frac{ET}{\pi L_a}} \sin\theta(L_a - L_b) \quad (2)$$

公式(1)为格瑞菲斯平均应力张裂公式。

ΔP 为流体压力差, σ_m 为裂隙张应力, θ 为裂隙与最大主应力夹角, L_a 为破裂后的裂隙面积, L_b 为破裂前孔隙面积, E 为固体弹性模量, T 为固体表面能。

$$\varphi = -\rho_0 gh + P + 2\sigma_0/\gamma \quad (3)$$

式中: φ 为油势, ρ 为油密度 (kg/m^3), σ_0 为油

水界面张力 (N/m), γ 为孔隙毛管半径。

根据公式(3),断层处于活动期, P 减小,孔隙毛管半径增大,流体势降低。

2.1.2 断裂活动改善断裂带孔渗性

断裂活动期,由于应力的释放,产生大量的微裂缝,断裂带的渗透率远远大于沉积岩渗透率,是流体优先选择的运移通道。虽然断裂活动时间有限,仍可以汇流大量的流体。

Zoback 和 Byerlee (1975) 通过对碎屑岩模拟实验表明,岩石断裂前沿一特定裂缝面的微断裂开启,渗透率可提高 300%。裂缝渗透率 (K_f) 可用 $\omega^2/12f$ 来计算, (f 是裂缝表面特征因子,取 $f = 1$, ω 是裂缝宽度)。若裂缝宽 10 mm ,渗透率 K_f 约 $8.33 \times 10^6 \text{ D}$; 裂缝宽 0.01 mm 的, K_f 也可达到 8.33 D ; 中等胶结的砂岩渗透率为 $1 \sim 10^{-3} \text{ D}$, 页岩为 $10^{-6} \sim 10^{-12} \text{ D}$ 。断裂作用大大提高岩石孔渗性,火山岩由于断层剪切破碎,成为高渗透带。

新疆石油管理局研究院根据 Snow (1968) 和

Witherspoon 等(1980)公式 $k = \frac{n(2b)^3}{12f}$, 计算出西斜坡火山岩渗透率 k 约为 $1.3 \times 10^3 \text{ D}$, (裂缝密度 $n = 10 \text{ 条}/10 \text{ cm}$, $f = 1$, b 是孔隙宽度的一半,取缝宽 0.25 mm)。由此可见断裂活动期,碎屑岩及火山岩都可作为油气运移良好通道。

另外,断裂作用下岩石破裂而形成的裂缝,是酸性水溶液和油气运移的通道,有利于产生溶蚀孔隙,从而使孔隙度增加。

2.2 断裂平静期油气运移

断裂带断开底部石炭系为火山岩地层,二叠系、三叠系及其上部地层为碎屑岩。碎屑岩断裂带和火山岩断裂带在构造活动平静期岩石物性差异较大,它们对油气运移影响不同。

2.2.1 碎屑岩断裂带特征

碎屑岩断裂带现今电阻率明显增大,声波时差曲线呈平缓状,变化幅度小(图2),表明孔隙度降低。这是由于断裂活动使岩石颗粒趋向细粒化,裂缝被后期泥质充填,岩石进一步胶结,碎屑岩断层区的孔隙度大幅度下降。

孔隙度的减少取决于围压和形变的程度; Knipe (1986) 认为一般情况下断裂带孔隙度会减半。Galloway 等(1982)认为断层区的渗透率是围岩的 $1/1.75 \sim 1/5$ 。Antonellini M. A 和 Aydin A (1995)^[9] 指出,断裂带孔隙度比围岩低 1 个数量级,渗透率比围岩低 3 个数量级。

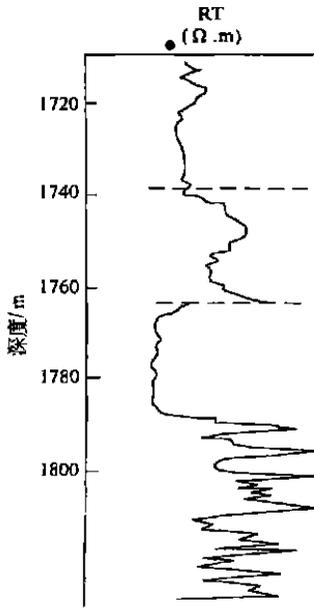


图 2 碎屑岩断裂带特征

Fig. 2 Characteristics of fault in elastic rock

2.2.2 火山岩断裂带特征

火山岩断裂带声波时差曲线、密度测井曲线呈锯齿状, 井径扩大(图 3)。这是由于火山岩岩石破碎严重, 裂缝发育。实际钻井取样观察, 裂缝发育, 如古 28 井 1469 m 钻遇南白碱滩断裂。1 230.17

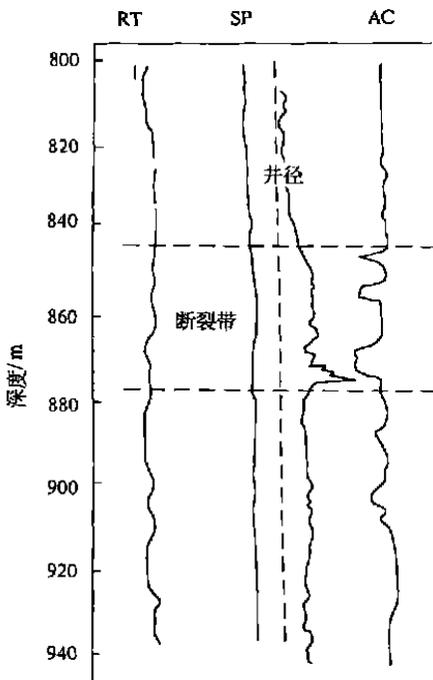


图 3 火山岩断裂带特征

Fig. 3 Characteristics of fault in volcanic rock

~ 1 450.77 m 发育两组裂缝(一组为立缝, 一组为斜裂缝), 密度约为 15~ 20 条/10 cm, 呈纵横交错的网格状, 局部可见岩石错动变位现象, 裂缝孔洞大部分被方解石充填, 断面见擦痕。

本区火山岩主要为安山岩和玄武岩, 脆性较大, 在断裂作用下岩石发生破裂而形成裂缝, 明显改善火山岩储层的孔渗性能。另外较长时间的暴露, 遭受风化剥蚀, 孔渗性较好。在构造活动平静期, 火山岩断裂带仍是油气运移的良好通道。

3 断裂带油气成藏分析

童亨茂(1999)^[4,5]认为, 当流体压力大于或等于断面上的正压应力时, 断层就可以张开而成为油气运移的通道。断面上的正压力 σ_n 为:

$$\sigma_n = \left\{ \rho_{\text{岩}} gh \left[(1 + \cos 2\theta) + (1 - \cos 2\theta) \left(\frac{\mu}{1 - \mu} \right)^{1/n} \right] + \left(\frac{\sigma_{\text{ta}} + \sigma_{\text{ti}}}{2} - \frac{\sigma_{\text{ta}} - \sigma_{\text{ti}}}{2} \cos 2\varphi \right) (1 - \cos 2\theta) \right\} / 2$$

(θ 为倾角, φ 为断层走向与构造主压应力的夹角, $\sigma_{\text{ta}}, \sigma_{\text{ti}}$ 分别为水平方向的构造应力)。流体压力(P)为: $P = f \rho_{\text{水}} gh$, (f 为异常压力系数, $\rho_{\text{水}}$ 为水的密度, h 为深度)。当 $P > \sigma_n$ 时, 断面就可以张开成为油气运移的通道。本区油气主要经历三叠纪末、中晚侏罗纪两期充注^[2]。三叠纪末断裂活动强烈, 构造差应力大, 无论是火山岩、碎屑岩, 裂缝发育、孔渗性好, 为油气运移的良好通道。此时风城组烃源岩排出的成熟油气, 侧向运移至内缘, 在超覆尖灭带聚集成藏。随着断裂活动减弱, 碎屑岩裂缝较易于被泥质充填, 碎屑岩泊松比(μ)比火山岩大, σ_n 相对较大, 断裂难以形成运移通道, 对油气起封闭作用; 火山岩为脆性岩石, 经断裂带剪切破碎, 成为高渗透带, 泊松比(μ)较小。另外, 该地区逆掩断裂上陡下缓, 断面倾角较小, σ_n 相对较小, 在断裂活动静止期, 火山岩断裂带依然是油气运移良好通道。中晚侏罗纪, 风城组烃源岩进入高成熟阶段, 此时排出的成熟度较高的油气沿火山岩侧向运移至内缘, 由于上部碎屑岩断裂带封闭作用, 在此聚集成藏, 因此断裂带内缘聚有成熟度较高的轻质油气藏。断裂带外缘, 由于成熟度较高油气的排替作用, 三叠纪末期聚集的成熟度较低、密度较大的油气向上运移, 在上部地层聚集成藏, 剖面上油气成熟度呈现“上低下高”分布格局(图 2)。由此可见, 克-乌断裂带油气分布受

断裂活动及断裂带岩性控制。

气成熟度呈现“上低下高”的分布格局。

4 结论

(1) 准噶尔盆地西北缘断裂带油气分布具有特殊性, 断裂带内缘分布油气成熟度较高; 断裂带外缘油气成熟度纵向上呈现“上低下高”的分布格局, 聚集上部地层三叠系克拉玛依组油气成熟度相对较低, 下部二叠系乌尔禾组油气成熟度较高。

(2) 断裂活动期间, 碎屑岩及火山岩断裂带都可作为油气运移的良好通道, 断裂活动平静期, 碎屑岩断裂带对油气起封闭作用。

(3) 克-乌断裂带油气分布受断裂活动及断裂带岩性控制: 三叠纪末断裂活动强烈, 断裂带为油气运移的良好通道, 此时成熟度较低的油气侧向运移至内缘, 在超覆尖灭带聚集成藏; 中晚侏罗纪, 断裂活动减弱, 上部碎屑岩断裂带对油气起封闭作用, 在断裂带内缘聚集风城组烃源岩排出成熟度较高的轻质油气藏; 断裂带外缘, 由于中晚侏罗纪末期生成的高成熟油气排替作用, 三叠纪末期聚集的成熟度较低、密度较大的油气在上部地层聚集成藏, 剖面上油

参考文献:

- [1] 中国科学院地学部, 新疆石油管理局. 准噶尔盆地形成演化与油气形成[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 120-160.
- [2] 陈建平, 查明, 周琪瑶. 准噶尔盆地克拉玛依油田油气运聚期次及成藏研究[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(1): 19-22.
- [3] 李思田. 沉积盆地的动力学分析[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 1-8.
- [4] 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): 215-220.
- [5] 童亨茂, 李德同. 应力对流体及油气二次运移作用的几种模式[J]. 石油大学学报, 1999, 23(2): 14-17.
- [6] 吕延防, 李国会, 王跃文, 等. 断层的封闭性的定量研究方法[J]. 石油学报, 1996, 17(3): 39-45.
- [7] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 161-180.
- [8] Pratsch P C. Vertical hydrocarbon migration: a major parameter[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(4): 53-67.
- [9] Marco Antonellini, Atila Aydin. Effect of faulting on fluid in porous sandstone a geometry and spatial distribution[J]. AAPG. Bulletin, 1995, 79(5): 642-669.
- [10] 罗群, 白新华. 断裂控烃理论与实践——断裂活动与油气聚集研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.

CONTROLLING FACTORS OF PETROLEUM OCCURRENCE IN KE-WU FAULT BELT IN NORTHWESTERN MARGIN OF JUNGGAR BASIN

CHEN Jian-ping^{1,3}, ZHA Ming², LIU Chuan-hu³

(1. Xinjiang Exploration Co. Shengli Oil Field, Dongying 257000, China;

2. Resources and Information Institute of the East China Petroleum University, Dongying 257000, China;

3. Resources Institute of Beijing Petroleum University, Dongying 102200, China)

Abstract: Distribution of petroleum is apparently controlled by fault activities and rock's physical properties in fault belt. During the fault activities, petroleum with low maturation migrate along the fault belt into the pinch-out zone; During the quiet period of fault activities, the clastic rocks in fault belt sealed the petroleum, and the volcanic rocks is still the migration passage. Petroleum with high maturation migrate through volcanic rocks and accumulate in the inner part of fault belt. In the outer part, the maturation of petroleum decrease upward owing to the seal of clastic rocks and displacement of high-matured petroleum.

Key words: Ke-Wu fault belt; fault activities; petroleum occurrence; migration path; Xinjiang