

文章编号:1673-5005(2010)02-0024-07

吐哈盆地西部弧形带油气远距离运移 成藏主控因素

刘江涛¹, 黄志龙¹, 王海²

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油 塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:根据源-盖控藏理论, 结合油源对比结果, 对吐哈盆地西部弧形带油气分布规律和油气藏形成的主控因素进行研究。结果表明:西部弧形带油气主要有煤系油、湖相油和二者的混合油3种类型, 主力油层原油以煤系油为主, 混有少量湖相油, 其他含油层位为煤系油; 油气远距离运聚成藏主要受4个因素控制, 侏罗系水西沟群煤系烃源岩和七克台组湖相烃源岩油气供给充足是油气藏形成的基础; 烃源岩大量排烃期由东向西持续隆升的构造脊严格约束油气运移指向和油气藏分布; 由不整合面和砂体组成的侧向输导网络是油气远距离运移的关键; 白垩系和第三系良好的区域性盖层有效地阻止了油气在长距离运移路径中的散失。

关键词:吐哈盆地; 西部弧形带; 油气运聚成藏; 主控因素

中图分类号: TE 122.31

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2010.02.005

Dominant control factors of hydrocarbon distance accumulating in western arc-like zone of Turpan-hami Basin

LIU Jiang-tao¹, HUANG Zhi-long¹, WANG Hai²

(1. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Tarim Oilfield Branch Company, PetroChina, Korle 841000, China)

Abstract: Based on theory of source and seal controlling hydrocarbon accumulation, associating the newest results of oil and source rock correlation, the distribution of hydrocarbon and dominant control factors of oil and gas field were researched in western arc-like zone of Turpan-hami Basin. The results indicate that there are three kinds of hydrocarbon including hydrocarbon derived from coal, claystone and the mixture. The hydrocarbon of the main layer is derived from coal mixing handful hydrocarbon derived from claystone. The hydrocarbon of rest layers is the hydrocarbon derived from coal. The dominant control factors of hydrocarbon distance accumulating are as follows: The mother rock of Shuixigou group coal and Qiketai claystone of Jurassic was oil and gas source. The structure back was elevated piecemeal from east to west in main escaping period of hydrocarbon and controlled the hydrocarbon migration heading and distribution. The sideway transforming system including sand and unconformity was the key factor of hydrocarbon distance migration and accumulation. The superior cap rock of Cretaceous and Tertiary system averted effectively loss of hydrocarbon during migration.

Key words: Turpan-hami Basin; western arc-like zone; migration and accumulation of hydrocarbon; dominant control factors

根据“源控论”思想, 中国大部分陆相盆地围绕“烃源灶”区域的勘探已经进入中后期, 加大远离“烃源灶”区域的勘探, 研究其成藏规律对于扩大勘探领域、增加后备储量具有十分重要的理论和现实意义。陆相盆地由于其构造运动的频繁性、沉积层序的不连续性, 油气运移距离通常不超过40 km^[1-2]。但是, 仍发现了一些油气藏距离烃源灶超

过40 km, 如松辽盆地西部斜坡带、塔里木盆地、淮南前陆盆地斜坡带等。吐哈盆地西部弧形带雁木西油田和大墩构造距离生烃凹陷(胜北次凹)超过60 km, 是油气远距离运聚成藏的典型代表, 并且中间夹持着火焰山断裂带, 地震资料品质不佳, 局部构造复杂, 油气成藏的主控因素至今没有形成清晰的认识。因此, 笔者结合油源对比分析, 对吐哈盆地西部

收稿日期: 2009-11-15

基金项目: 国家“973”项目(2006CB202303)

作者简介: 刘江涛(1981-), 男(汉族), 河北邢台人, 博士研究生, 主要从事石油地质研究工作。

弧形带油气分布及成藏主控因素进行研究。

1 区域地质概况

西部弧形构造带位于吐哈盆地台北凹陷西部,东与胜北次凹隔火焰山相望,西与托克逊相接,南临胜南次凹,北依博格达山,面积约 1090 km²,形成于印支-早燕山运动,改造、定型于喜山运动,是在西部布尔加凸起的控制下形成的古弧形构造带。目前自东向西已发现了神泉、胜南和雁木西 3 个油田及大墩含油构造。主要发育两套储盖组合:以侏罗系三间房组 and 七克台组顶部砂岩及白垩系底部砂砾岩为储层,以白垩系中上部泥岩为盖层;以鄯善群底部砂砾岩为储层,以第三系厚层膏泥岩为盖层。该区带油气藏以胜北次凹中下侏罗统水西沟群煤系烃源岩和七克台组湖相烃源岩为主要油源^①。

2 原油成因类型及分布

2.1 原油成因类型

西部弧形带油田原油物性总体具有低密度、低黏度、低凝固点、中等蜡含量和中等初馏点的“三低二中”的特点,属于轻质油;雁木西原油密度和黏度明显高于神泉和胜南油田的,这和油气自东向西长距离运移过程中层析作用有关。原油在生物标志化合物组成特征上表现出多样性的显著特点^[3,4]。根据研究区原油样品的甾烷、萜烷生物标志物特征,对油气的成因和来源进行分析,依据分析结果将研究区原油划分为 3 类: I 类原油姥植比高,甾烷组成中 $\alpha\alpha\alpha RC_{27}$ 和 $\alpha\alpha\alpha RC_{28}$ 含量低、 $\alpha\alpha\alpha RC_{29}$ 含量高, $w(\alpha\alpha\alpha RC_{29})$ 为 36.3% ~ 85.4%, $w(\alpha\alpha\alpha RC_{27})/w(C_{29})$ 小于 1.2, $w(\gamma$ 蜡烷)/ w (藿烷 $C_{31}R$) 平均为 0.338, $Tm(17\alpha-22, 29, 30$ -三降藿烷) 的含量大于 $Ts(18\alpha-22, 29, 30$ -三降藿烷) 的含量,具有明显的煤系油特点; II 类原油姥植比较低, $\alpha\alpha\alpha RC_{27}$ 和 $\alpha\alpha\alpha RC_{29}$ 含量远高于 $\alpha\alpha\alpha RC_{28}$ 含量, $w(\alpha\alpha\alpha RC_{27})/w(C_{29})$ 为 0.89 ~ 1.85, 平均值为 1.16, $w(\gamma$ 蜡烷)/ w (藿烷 $C_{31}R$) 平均为 0.972, Ts 与 Tm 含量差距不明显,表现为湖相泥岩生油的特征; III 类原油甾烷化合物中, $\alpha\alpha\alpha RC_{27}$ 含量、 $w(\gamma$ 蜡烷)/ w (藿烷 $C_{31}R$) 值和 $w(Ts)/w(Tm)$ 、 $w(\gamma$ 蜡烷)/ w (藿烷 $C_{31}R$) 的平均值都介于 I 类和 II 类原油之间,为前两类的混合油。

从甾烷异构化指数可以看出(图 1), I 类原油为成熟油, II 类原油大多数属于未熟油, III 类原油位

于二者之间,反映出其源岩成熟度的差异。

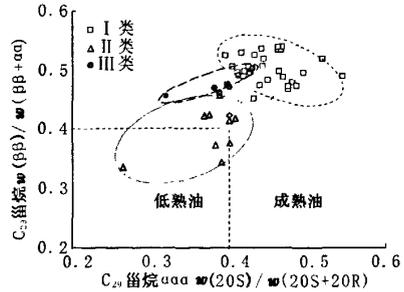


图 1 西部弧形带不同类型原油甾烷异构化指数的对比

Fig. 1 Comparison of sterane isomerization index of distinguished hydrocarbon in western arc-like zone

2.2 原油分布规律

西部弧形带油气主要分布在侏罗系三间房组 (J_2s)、七克台组 (J_2q)、白垩系 (K)、第三系鄯善群 (Esh) 4 个层位,但不同油田油气的分布层位有差异,神泉油田在 4 个层位均有油气分布,胜南油田油气主要分布在 J_2s 和 J_2q ,雁木西油田油气主要分布在 K 和 Esh ,总体特征为自东向西油气分布层位依次变浅。通过对 34 个原油样品分析,不同地区油的分布主要呈现以下规律:①神泉油田浅层 K 和 Esh 原油为煤系油,侏罗系 J_2s 和 J_2q 原油以湖相油为主,混有少量煤系油;②胜南油田为混合油;③雁木西油田 Esh 为煤系油, K 以煤系油为主,混有少量湖相油。

平面上油气的分布严格受到西部弧形带构造脊的控制,自东向西沿着构造脊呈线状分布。浅层圈闭的成藏明显受到断裂的控制,只有存在沟通深部储层或输导层的断裂,浅层才能成藏。油气的分布特征反映了西部弧形带成藏规律的复杂性,因此剖析油气成藏的主控因素是寻找油气富集规律的关键。

3 成藏主控因素

“源控论”和“源盖共控论”指明了油气分布与成藏主要受烃源岩和盖层双重因素的控制^[5],油气成藏的主控因素分析是在源盖的基础上剖析油气成藏的特殊性,这种特殊条件既能解释油气如何成藏,又能清晰地剖析钻探失利的原因。西部弧形带成藏的特殊性在于油气不是来自本区的源岩,而是经过长距离侧向运移后聚集成藏的。充足的源岩供给、畅通的输导网络以及良好的区域盖层条件是油气远距离成藏的必要条件,因此主要从这 3 个方面分析研究区成藏主控因素。

① 黄志龙,高岗,等.吐哈盆地天然气成因类型分析及成藏特征研究.中国石油大学科研报告,2003:49-96.

3.1 充足的烃源岩供给

烃源岩是油气藏形成的物质基础,只有排出足够量的油气,才能克服油气在运聚过程中的各种耗散,否则其他条件再好,油气也无法聚集成藏。烃源岩供烃条件的优劣既要受到烃源岩本身品质(有机质类型、丰度及成熟度)的影响,又受到源岩发育程度(厚度和分布面积)的制约^[6]。

西部弧形构造带油气主要来自两套烃源岩,即

表1 吐哈盆地胜北凹陷烃源岩发育特征

Table 1 Developed character of source rocks in Shengbei sag in Turpan-hami Basin

类型	暗色泥岩			碳质泥岩			煤岩			成熟度 $R_o/\%$
	厚度 δ/m	有机碳含量 $w(\text{TOC})/\%$	生烃潜量 $(S_1 + S_2)/$ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	厚度 δ/m	有机碳含量 $w(\text{TOC})/\%$	生烃潜量 $(S_1 + S_2)/$ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	厚度 δ/m	有机碳含量 $w(\text{TOC})/\%$	生烃潜量 $(S_1 + S_2)/$ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	
七克台组	150~200	1.33	4.29	零星分布			小于10			0.5~0.8
西山窑组		1.66	2.35	10~40	12.6	33.37	20~60	53.29	141.8	0.7~0.9
三工河组	400~650	4.12	8.65	零星分布			小于10			0.8~0.9
八道湾组		2.92	6.03	10~40	11.5	24.77	20~60	56.3	171.5	0.9~1.3

两套烃源岩均已成熟排烃。台参2井生油门限约为2.8 km,对应层位为喀拉扎组。七克台组湖相泥岩的 R_o 值在0.5%以上,一般为0.5%~0.7%,深凹区可达0.8%,处于低成熟阶段;西山窑组的 R_o 值为0.7%~0.9%,处于成熟阶段;八道湾组的 R_o 值为0.9%~1.3%,为成熟烃源岩,部分可达高成熟烃源岩。水西沟群煤系烃源岩在白垩纪中后期即开始排烃,目前仍处于排烃高峰期,七克台组湖相泥岩在早第三纪末一晚第三纪早期达到低成熟阶段,这和西部弧形带湖相油的特征是一致的(图1)。

3.2 自东向西持续隆升的构造脊约束

在平面砂体物性相当的情况下,断层和构造脊线是约束油气运移路径的主要因素^[7]。在静水条件下,浮力是油气运移的主要动力^[8-10]。浮力作用的外在表现主要为油气由构造低部位向构造高部位运移。只有长期发育、由近源岩区向远源岩区逐渐隆升的构造背景才能为油气的长距离运移提供可能性。本区的勘探实践也表明,油气藏沿着构造脊呈线状分布,构造脊两侧区域至今未获突破。

从目前的构造形态来看,西部弧形带从神泉至雁木西是一条狭窄的、逐渐隆升的构造脊,油气由神泉向西运移,但火焰山断裂带夹持在胜北凹陷与西部弧形带之间,阻断了胜北凹陷至西部弧形带的油气运移路径,油气如何从胜北次凹翻越火焰山向西运移,至今未有权威解释,因此有必要分析火焰山断裂带对胜北凹陷油气西运的影响。

3.2.1 火焰山断裂带构造演化史

火焰山断裂是在北部博格达山挤压应力作用下

中侏罗统七克台组暗色泥岩及中下侏罗统水西沟群河湖沼泽相的煤系地层。在胜北次凹可将烃源岩细分为3类:普通泥岩、碳质泥岩和煤岩。暗色泥岩在各套烃源岩均有发育,厚度大于100 m,有机碳含量为1.33%~4.12%,生烃潜量为2.35~8.65 kg/t,属于中等—好生油岩;碳质泥岩和煤层主要在西山窑组和八道湾组发育,厚度为10~60 m,有机碳含量高,生烃潜量大,属于好的生油岩(表1)。

沿侏罗系水西沟群煤系地层滑动逆冲形成的大断裂逆掩推覆构造群体^[4]。

燕山运动I幕(早、中侏罗世),火焰山断裂是一条沿八道湾组煤层滑脱的正断层。燕山运动II幕(侏罗纪末期),由于受到北部博格达山抬升并向北挤压的影响,沿着煤系地层滑脱面向上逆冲,反转为逆断层。燕山运动III幕—喜马拉雅运动I幕(白垩纪—早第三纪),盆地处于均衡沉降阶段,火焰山断裂形态没有发生大的变化。喜马拉雅运动II幕(晚第三纪—第四纪),由于亚洲南大陆与印度板块碰撞,博格达山发生强烈隆升,并向吐哈盆地逆冲推覆,在自北向南强大的挤压应力作用下台北凹陷产生大型盖层滑脱,由于滑脱层在中央古隆起带受阻,在其前缘强烈向上逆冲,最终形成火焰山前锋褶皱带(图2)。

3.2.2 与油气运移的关系

流体包裹体测温表明,西部弧形带油气充注主要有两期,白垩纪末—早第三纪和晚第三纪—第四纪早期^①。从烃源岩排烃关键期、油气充注期和火焰山构造带形成期的匹配关系(图3)可以看出,台北凹陷胜北次凹烃源岩在火焰山前锋褶皱带最终冲起之前已经开始向西部弧形带排烃。在第四纪之前,胜北凹陷至西部弧形带处于持续隆升的构造背景之下,流体势从东向西逐渐降低,油气的运移指向从东向西没有间断,在发育良好输导通道的前提下,油气可以沿着西部弧形带构造脊一直向西运移,遇到合适的圈闭即可成藏,因此持续隆升的构造脊决定了油气藏的运移指向,是油气长距离运移的必要条件。第四纪火焰山断裂最终形成后,由于向西运移的路径被阻断,油气由

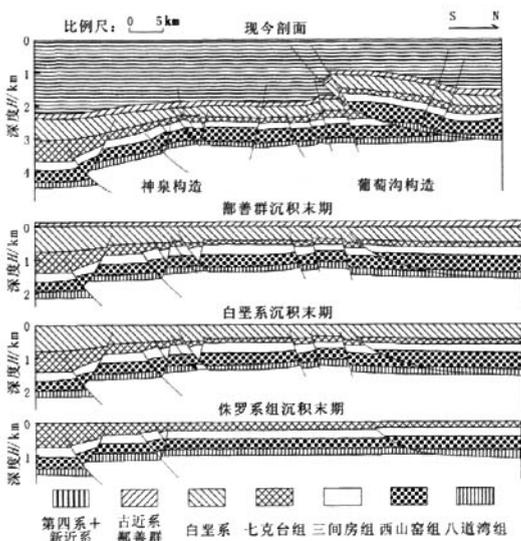


图 2 火焰山断裂带神泉-葡萄沟段构造演化剖面

Fig.2 Evolution section of Shenquan-Putuogou segment in flaming mountain fault zone

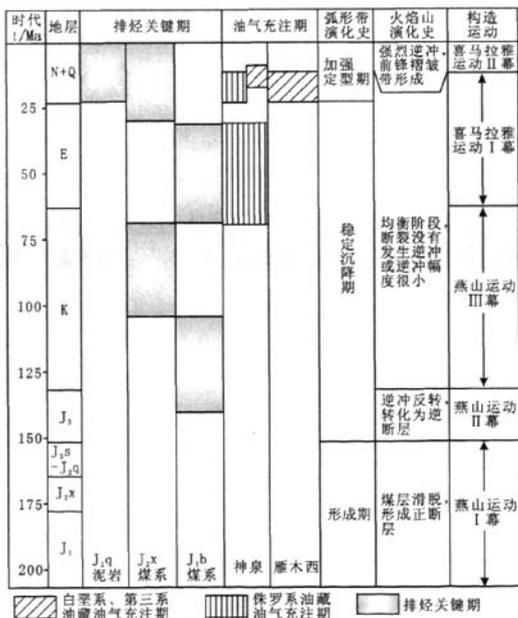


图 3 胜北凹陷生排烃史、火焰山断裂形成期和神泉-雁木西构造油气充注时期对比

Fig.3 Comparison of period of hydrocarbon generation and expulsion of Shenbei sag and formation of flaming mountain fracture and hydrocarbon charging of Shenquan-Yanmuxi structure

胜北次凹运移至火焰山后或进入火焰山上盘圈闭成藏,或沿着通天断裂散失于地表。因此,尽管目前胜北次凹侏罗系水西沟群煤系烃源岩仍处于排烃高峰期,七克台组湖相烃源岩已进入排烃高峰期,但油气向西运移在第四纪早期即告结束,这也是西部弧形带原油类型以煤系油为主,湖相油较少的根本原因。

3.3 畅通的输导网络

油气侧向运移距离决定于输导网络延伸的距离,输导网络延伸距离越大,油气侧向运移距离越大。油气输导通道主要有断层、不整合面和砂体 3 种基本类型^[11-16]。

西部弧形带神泉-胜南地区断裂相对较发育,雁木西断裂较少,断裂规模小,断距一般小于 20 m,延伸距离一般不超过 5 km,倾角一般在 80°以上,断裂特征决定其侧向封闭性差,有利于油气的侧向向西运移,但不是油气侧向运移的主要通道,个别规模较大的断裂对于沟通上下储层、垂向调整油气起到至关重要的作用,如神泉油田白垩系和第三系油气藏、雁木西油田第三系油气藏都是通过断裂的调整才形成的。白垩系和侏罗系间的不整合面全区发育,在西部弧形带上,由于构造部位较高,胜南和雁木西不发育风化黏土层。不整合面之上砂、砾岩主要在神泉和雁木西发育,之下砂岩主要发育在胜南地区。油气沿神泉地区侏罗系砂岩层侧向运移过胜南后,由于风化黏土层的缺失,直接进入不整合面上部的底砾岩层,这就使油气的侧向运移通道实现了良好的接力。神泉-胜南地区侏罗系七克台组底部发育砂泥岩频繁互层的湖相滩坝砂体,单层砂岩厚度一般小于 10 m,但连续性较好,且有断裂沟通,是油气从神泉运移至胜南的主要通道。胜南地区七克台组剥蚀殆尽,七克台底部砂岩直接和不整合面接触,油气由七克台组砂层进入不整合面上部白垩系三十里大墩组底部砾岩,继续向雁木西运移。雁木西地区白垩系三十里大墩组底部发育一套稳定的砂、砾岩层,是油气越过胜南后向西运移的主要通道(图 4)。

西部弧形带由不整合面和砂体相互配置构成油气侧向运移的主通道,个别沟通上下储层的大断裂在构造活动时期起到垂向调整油气的作用。

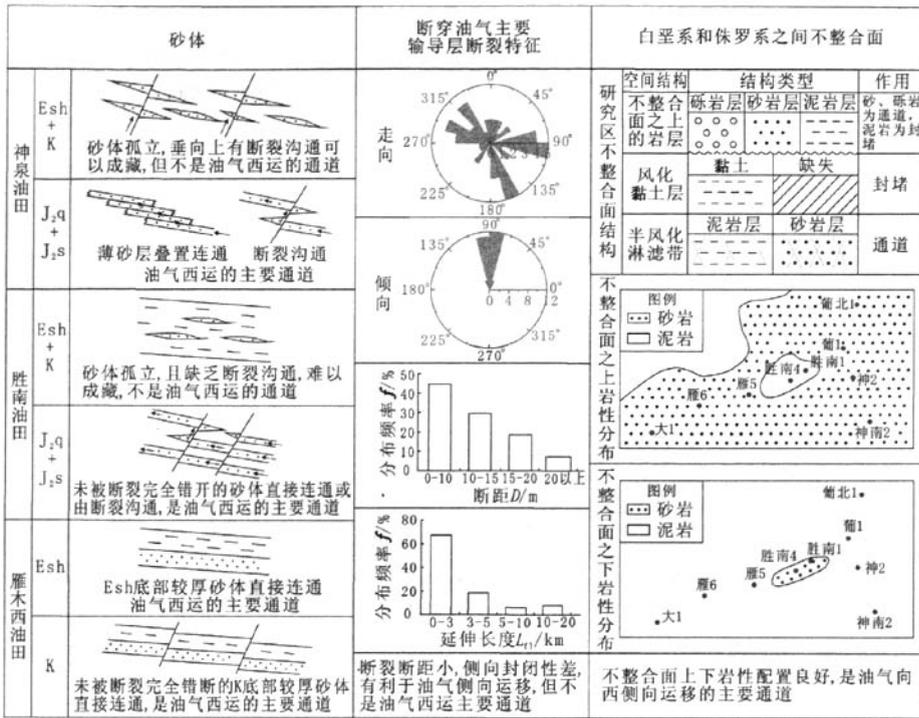


图4 西部弧形带输导层类型及特征

Fig.4 Characters and types of carrier bed in western arc-like zone

3.4 良好的区域盖层条件

盖层对油气聚集的控制作用是其作为一个盆地或凹陷内的区域性保护层,阻止了油气在运移过程中的大面积散失^[17]。这里主要从盖层的岩性、厚度(包括总厚度和单层厚度)及平面展布的连续性方面进行分析。对西部弧形带油气起到主要封闭作用的区域性盖层有两套:一是白垩系泥岩盖层,主要封闭神泉和胜南油田的侏罗系油藏和雁木西油田的白垩系底部油藏及侏罗系油藏;二是第三系鄯善群膏泥岩盖层,主要封闭神泉油田和雁木西-大墩构造的第三系鄯善群底部油藏。

盖层岩性是决定封闭能力的关键因素之一。据前人研究,不同类型岩性封盖油气的能力从大到小依次为:膏盐岩、泥岩、砂质泥岩、砂岩^[18]。白垩系盖层岩性主要为泥岩,第三系鄯善群盖层以干盐湖相沉积为主,岩性为泥岩、膏泥岩、膏岩,砂质含量极低。因此,从岩性特征来看,研究区的盖层质量是非常高的。

盖层厚度与封闭能力之间的关系主要体现在盖层连续性上,厚度越大,盖层横向连续性就越好,被断层错断的可能性就越小,盖层越容易保持完整性^[19-20]。因此,只要盖层达到横向连续分布的厚

度,就能封闭住大量油气。从纵贯西部弧形带的岩性连井剖面可以看出,第三系泥岩、膏岩盖层和白垩系泥岩盖层分布稳定,没有渗漏区或者盖层发育薄弱区,除了第三系和白垩系的底部发育一套砂砾岩外,其余均为纯泥岩或膏岩。研究区两套盖层总厚度分别在130和300m以上,最大单层厚度甚至分别达到了250和150m,连续性好,加之未遭受剧烈构造运动的破坏和穿层断裂的切割,封闭性极好。

良好的盖层条件减少了运移路径中油气的散失,保证了油气的高效聚集。

4 成藏过程

根据对研究区油藏特征及主控因素的分析,建立了油气远距离运聚成藏模式(图5)。白垩纪末期,胜北凹陷侏罗系水西沟群煤系烃源岩成熟排烃,此时火焰山断裂带尚未形成,从胜北凹陷至西部弧形带处于由东向西逐渐升高的构造背景之下,油气具备了向西运移的动力条件;神泉构造七克台组砂体、胜南构造白垩系底部不整合面及雁木西白垩系底部砂体构成侧向输导网络,提供了油气向西远距离运移的优势通道,而少数规模较大的断裂主要起到调整作用,是浅层储层成藏的关键因素;白垩系和

第三系厚层的泥岩、膏泥岩盖层保证了油气在运移过程中的高效聚集,防止了油气的大量散失。在上述因素具备的情况下,油气向西运移至雁木西和大墩构造,形成了神泉油田、胜南油田、雁木西油田及大墩含油构造。

第三纪末期,七克台组湖相泥岩开始排烃,由于烃源岩成熟度较低,因此排烃和运移的油气质有限。随着第四纪初期喜山期运动Ⅱ幕火焰山断裂带的形成,油气向西运移的通道被阻断,胜北凹陷向西部弧形带供烃终止。

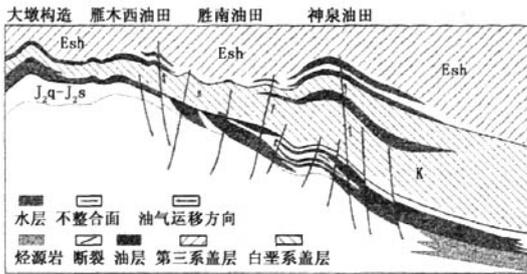


图5 台北凹陷西部弧形带油气远距离运移成藏模式
Fig.5 Model of hydrocarbon distance migration and accumulation in arc-like zone of Taibei sag

5 结论

(1) 西部弧形带原油主要有3种类型:煤系油、湖相油和二者的混合油。煤系油为成熟油,湖相油为低熟油。主力油层(神泉油田侏罗系、雁木西油田白垩系油藏)原油以煤系油为主,混有少量湖相油;浅层(神泉油田白垩系和第三系、雁木西油田第三系油藏)为煤系油。

(2) 吐哈盆地西部弧形带油气聚集成藏主要受到4个因素的控制:胜北凹陷烃源灶水西沟群煤系烃源岩和七克台组泥岩相继成熟排烃,烃源供给充足;第四纪火焰山断裂带形成之前,自东向西持续隆升的构造脊为油气的远距离运移提供了动力,并严格约束了油气的运移路线和油气藏的分布;由砂体和不整合面构成的侧向输导网络为油气运移提供了优质的输导通道;白垩系和第三系分布稳定的泥岩、膏岩盖层避免了油气长距离运移过程中的大量散失。

(3) 火焰山断裂形成后,自西向东持续隆升的构造背景被破坏,油气向西运移的通道被隔断,胜北凹陷向西部弧形带供烃终止。

参考文献:

[1] 周新源. 前陆盆地油气分布规律[M]. 北京:石油工业

出版社,2002:264-267.
 [2] 胡朝元. 生油区控制油气田分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报,1982,2(2):9-13.
 HU Chao-yuan. Oil generative zone controlled the distribution of oil and gas field—the effective theory of regional exploration in the terrestrial basin in the eastern of china [J]. Acta Petroleum Sinica,1982,2(2):9-13.
 [3] 杜宏宇,梁桂宾,徐桂芳,等. 吐哈盆地台北凹陷西部原油“混源”分析[J]. 中国西部油气地质,2006,2(1):79-83.
 DU Hong-yu, LIANG Gui-bin, XU Gui-fang, et al. Mixed sources analysis on crude oil of the west Taibei sag of the Turpan-Hami Basin [J]. West China Petroleum Geosciences,2006,2(1):79-83.
 [4] 张振英,邵龙义,张枝焕,等. 吐哈盆地台北凹陷西部弧形构造带混源原油特征[J]. 石油学报,2005,26(2):15-20.
 ZHANG Zhen-ying, SHAO Long-yi, ZHANG Zhi-huan, et al. Distribution of mixed crude in western arc structural belt of Taibei depression in Turpan-Hami Basin [J]. Acta Petroleli Sinica,2005,26(2):15-20.
 [5] 周兴熙. 源-盖共控论述要[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6):4-7.
 ZHOU Xing-xi. Essentials about hydrocarbon distribution controlled by source and seal [J]. Petroleum Exploration and Development,1997,24(6):4-7.
 [6] 付广,吕延防,于丹. 我国不同类型盆地高效大中型气田形成的主控因素[J]. 地球科学,2007,32(1):82-88.
 FU Guang, LÜ Yan-fang, YU Dan. Major factors controlling formation of large and intermediate gas field with high gas accumulation efficiency in different types of basins in China [J]. Earth Science,2007,32(1):82-88.
 [7] 向才富,夏斌,解习农,等. 松辽盆地西部斜坡带油气运移主输导通道[J]. 石油与天然气地质,2004,25(2):205-215.
 XIANG Cai-fu, XIA Bin, XIE Xi-nong, et al. Major hydrocarbon migration pathway system in western slope zone of Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology,2004,25(2):205-215.
 [8] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 第二版. 北京:石油工业出版社,1994,46-65.
 [9] 曾溅辉,郑和荣. 圈闭系统油气运移的动力学机制及定量模型[R]. 北京:中国石油大学,1998:32-58.
 [10] 李明诚. 油气运移研究的现状与发展[J]. 石油勘探与开发,1994,21(2):1-6.
 LI Ming-cheng. Present status of hydrocarbons migration research and its development [J]. Petroleum Exploration

- and Development, 1994, 21(2):1-6.
- [11] GHISSETTI F, VEZZANI L. Detachments and normal faulting in the Marche fold-and-thrust belt (central Apennines, Italy): inferences on fluid migration paths [J]. *Journal of Geodynamics*, 2000, 29(3/5):345-369.
- [12] NIE Fengjun, LI Sitian, WANG Hua, et al. Lateral migration pathways of petroleum in the Zhu III subbasin, pearl river mouth basin, South China Sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18(5):561-575.
- [13] 姜素华, 李涛, 姜雨. 东营凹陷网毯式油气成藏体系油气运聚探讨[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2007, 31(5):12-17.
- JIANG Su-hua, LI Tao, JIANG Yu. Discussion on petroleum migrating and accumulating of meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system in Dongying depression [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2007, 31(5):12-17.
- [14] 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. *地学前缘*, 2000, 7(3):11-21.
- HAO Fang, ZOU Hua-yao, JIANG Jian-qun. Dynamics of petroleum accumulation and its advances [J]. *Earth Science Frontier*, 2000, 7(3):11-21.
- [15] 刘华, 蒋有录, 陈涛. 东营凹陷辛东地区有效输导体系及成藏模式[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2008, 32(4):13-18.
- LIU Hua, JIANG You-lu, CHEN Tao. Effective migration pathways and pool-forming model of Xindong area in Dongying depression [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2008, 32(4):13-18.
- [16] 罗群, 庞雄奇, 姜振学. 一种有效追踪油气运移轨迹的新方法——断面优势运移通道的提出及其应用 [J]. *地质论评*, 2005, 51(2):156-162.
- LUO Qun, PANG Xiong-qi, JIANG Zhen-xue. A new method for effective trace petroleum migration path—concept of fault section dominant migrating channel and its application [J]. *Geological Review*, 2005, 51(2):156-162.
- [17] 付广, 付晓飞, 吕延防. 盖层对油气聚集的控制作用 [J]. *天然气地球科学*, 1999, 10(5):17-22.
- FU Guang, FU Xiao-fei, LÜ Yan-fang. The controlling of caprock on accumulation of oil and gas [J]. *Natural Gas Geoscience*, 1999, 10(5):17-22.
- [18] 付晓飞, 刘小波, 宋岩, 等. 中国中西部前陆冲断带盖层品质与油气成藏 [J]. *地质论评*, 2008, 54(1):82-93.
- FU Xiao-fei, LIU Xiao-bo, SONG Yan, et al. Caprock quality and hydrocarbon accumulation in the basin of foreland thrust belts in central and western China [J]. *Geological Review*, 2008, 54(1):82-93.
- [19] 吕延防, 付广, 高大岭, 等. 油气藏封盖研究 [M]. 北京:石油工业出版社, 1996:55-123.
- [20] 付广, 许凤鸣. 盖层厚度对封闭能力控制作用分析 [J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(3):186-190.
- FU Guang, XU Feng-ming. Quantitative research on controlling of thickness to seal abilities of caprock [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(3):186-190.

(编辑 徐会永)

(上接第23页)

- [16] 薄冬梅, 姜林, 曲江秀. 准噶尔盆地莫索湾地区原油运移研究 [J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2007, 31(4):18-23.
- BO Dong-mei, JIANG Lin, QU Jiang-xiu. Study on oil migration in Mosuwan area of Junggar Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Nature Science)*, 2007, 31(4):18-23.
- [17] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集 [J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(2):142-149.
- HE Deng-fa. Structure of unconformity and its control on hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(2):142-149.
- [18] 洪太元, 蔡希源, 何治亮, 等. 准噶尔盆地腹部白垩系底部不整合的控油作用 [J]. *新疆地质*, 2007, 25(1):87-91.
- HONG Tai-yuan, CAI Xi-yuan, HE Zhi-liang, et al. Effect of Cretaceous bottom unconformity on controlling on oil in the blackland of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2007, 25(1):87-91.

(编辑 徐会永)