

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

库车再生前陆盆地油气运移特征

何光玉¹⁾ 卢华复²⁾ 李树新³⁾

1) 浙江大学地球科学系,杭州,310027; 2) 南京大学地球科学系,210093

3) 石油地球物理勘探局研究院吐哈研究中心,吐鲁番,838000

内容提要 本文首先在数值模拟的基础上对库车再生前陆盆地中主要烃源岩的排烃特征进行了研究。结果表明,侏罗系湖沼相泥岩和煤岩是盆地主要的气源岩,三叠系湖相泥岩是盆地主要的油源岩,克依构造带是盆地主要的烃源区。在此基础上进一步结合构造、地层压力和油气分布等资料对盆地的油气运移特征进行了系统地分析和总结,认为库车盆地的油气运移通道主要有两种,即断层、不整合面和砂体。断层是油气垂向运移的主要通道,位于盆地北部的克依构造带;不整合面和砂体是油气侧向运移的主要通道,主要与盆地南部秋里塔格构造带和塔北隆起上的油气有关。不同类型的源岩具有不同的排烃时间和油气运移时间。运移动力主要为异常孔隙流体压力,垂向运移距离在2~5km之间,侧向运移距离较长,一般在20~40km之上,并以前者为主。

关键词 库车 再生前陆盆地 油气运移 克依构造带

库车再生前陆盆地(Lu et al., 1994; 贾承造, 1997; 贾东等, 1997; 刘志宏等, 2000; 魏国齐等, 2000)位于塔里木盆地北缘南天山山前,为一中新生代的陆相沉积拗陷。盆地呈东西向展布,东西长470 km,南北宽40~90 km,面积约25000 km²(图1),是我国最重要的天然气产区之一。

库车盆地自北而南可划分出斯的克背斜带、克依构造带、拜城凹陷、秋里塔格构造带等4个构造带(图1)。盆地中自下而上沉积有上二叠统、三叠系、侏罗系、下白垩统、古近系、新近系和第四系等地层。其中,中、上三叠统克拉玛依组和黄山街组与中、下侏罗统阳霞组和克孜勒努尔组是主要的烃源岩(张水昌等, 1995; 张寄良等, 1997; 王飞宇等, 1999; 张宝民等, 2000),侏罗系下统阿合组与白垩系下统亚格列木组、巴西盖组和巴什基奇克组的砂岩是重要的储层(戴金星等, 1997; 贾承造, 1999),而古近系、新近系的膏盐岩是重要的区域性盖层(赵文智等, 1998; 张朝军等, 1998)。

前人有关库车盆地油气运移的研究主要是从以拜城凹陷为盆地的主力烃源区(赵林等, 1999; 周兴熙, 2001; 卢双舫等, 2001)这一前提开展的,而这一

认识与库车盆地作为前陆盆地的特征并不相符,也与拜城凹陷的演化特征不相符。事实上,拜城凹陷在古近纪之前并不是一个凹陷,而是一个斜坡,它是在新近纪吉迪克组沉积以来由于大规模的逆冲推覆作用所形成的(Lu et al., 1994; 贾承造, 1997; 贾东等, 1997; 田作基等, 1999; 魏国齐等, 2000; 卢华复等, 2000; 刘志宏等, 2000),因此它与通常所说的生油凹陷具有本质的区别。而其北部的克依构造带在三叠纪、侏罗纪时由于处于(前陆)拗陷^①的构造与沉积环境,因而是烃源岩发育的最有利地区^②。

本文试图从盆地构造的角度出发,在盆地模拟的基础上对库车盆地的油气运移特征进行系统地分析,探讨新的勘探领域,促进叠合盆地油气成藏理论的建立。

1 烃源岩排烃特征

库车盆地的烃源岩主要有两类,一是中、上三叠统克拉玛依组和黄山街组的浅湖、半深湖、深湖相暗色泥岩,以生油为主;二是中、下侏罗统阳霞组与克孜勒努尔组湖沼相煤岩和暗色泥岩,以生气为主,它们是盆地最为重要的气源岩。

注:本文为国家重点自然科学基金(编号49832040)资助的成果。

收稿日期:2004-01-26; 改回日期:2004-08-05; 责任编辑:郝梓国。

作者简介:何光玉,男,1968年生。1998年毕业于中国地质大学(武汉),现为浙江大学地球科学系博士后、副教授。通讯地址:310027,杭州市浙大路38号,浙江大学地球科学系;电话:0571-87952791;Email: hegy@zju.edu.cn。

① 张光亚,李洪辉,李小地,等。1999. 库车前陆盆地演化与油气资源评价。塔里木石油勘探指挥部。

② 何光玉。2000. 库车再生前陆盆地原型及油气成藏动力学特征。南京大学博士后研究报告, 31~42。

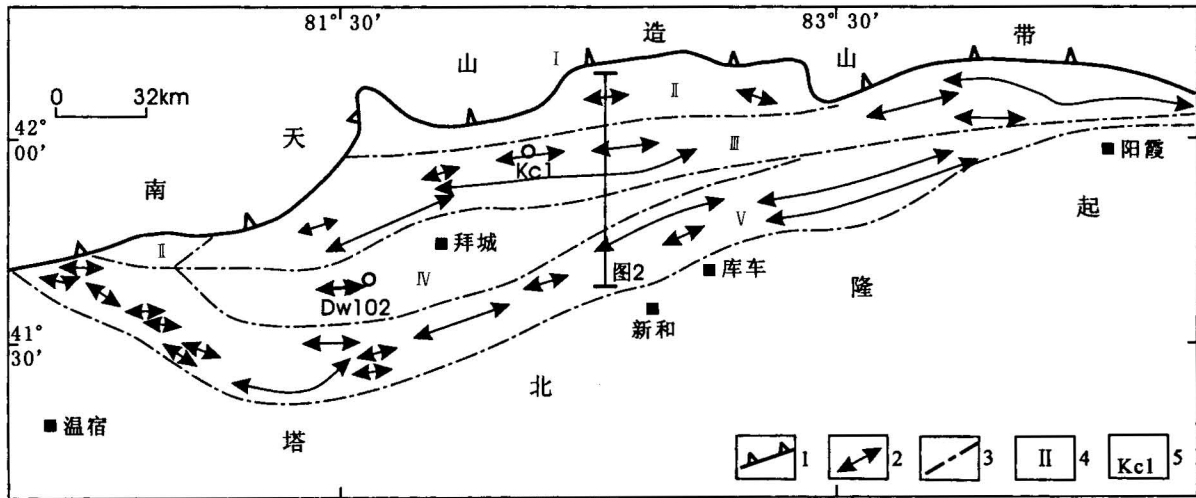


图 1 库车冲断带构造简图(据卢华复等,1999)

Fig. 1 Structural sketch of Kuqa thrust belt (from Lu et al., 1999)

构造单元: I—边缘冲断带; II—斯的克背斜带; III—克依构造带; IV—拜城凹陷; V—秋里塔格构造带

1—山前逆冲断层; 2—地表背斜; 3—构造单元界线; 4—构造单元编号; 5—钻井

Unites: I—Marginal thrust belt; II—Sidike anticline belt; III—Keyi structural belt; IV—Baicheng sag; V—Qiliutage structural belt;

1—piedmont thrust fault; 2—surface anticline; 3—structural boundary line; 4—structural unit number; 5—well

1.1 排烃史模拟原理

本文采用“双开关排烃模型”(陈荣书等,1995)对库车盆地的烃源岩排烃进行数值模拟。该模型与郝石生等(1994)提出的微裂缝排烃模型一样,也认为微裂缝是油气排出的唯一通道。同时,该模型还认为烃源岩中只有当孔隙流体压力大于岩石破裂的临界压力和含烃饱和度大于排烃临界含烃饱和度时,才会有烃类排出,否则无流体排出或只有水排出。

本文采用下列超压方程来描述烃源岩中的孔隙流体压力(Bethke et al., 1991):

$$\left(\varphi \beta_f + \beta_b \right) \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{K_x}{\mu} \frac{\partial^2 p}{\partial X^2} + \frac{\partial}{\partial Z} \left[\frac{K_z}{\mu} \frac{\partial}{\partial t} (P - \rho g z) \right] + \beta_b \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{1}{1 - \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \alpha \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{Q_f}{\rho}$$

式中, φ 为孔隙度, 可据测井资料回归得到(%); β_f, β_b 分别为流体和烃源岩压缩系数(Pa^{-1}); p 为流体压力(MPa); K_x, K_z 分别为烃源岩在 X、Z 方向的渗透率(m^2); μ 为流体粘度(CP); ρ 为流体密度(g/cm^3); α 为流体膨胀系数(K^{-1}); T 为古地层温度; t 为时间(s); 可据 R. 资料反演得到(K); Q_f 为新生流体质量(g/cm^3)。

上式右端前两项表示流体在压力梯度作用下的渗流, 第三项表示由沉积压实作用引起的压力变化, 第四项表示由于构造应力引起的孔隙塌陷增压作用, 第五项表示水热增压作用, 第六项表示生烃增压

作用。由此可见, 方程综合考虑了盆地中流体的渗流作用、生烃作用、压实作用和水热作用对压力演化的影响。

1.2 排烃模拟有关参数的确定

岩石破裂压力系数(即地静压力的倍数)泥岩取 0.85(Lerche, 1990), 煤岩因其塑性较强, 取 0.90。临界含油饱和度可据下式(陈荣书等, 1995)求得:

$$S_{oc} = A \cdot C_{rg} \cdot (1 - \varphi) \cdot \rho_b / (\varphi \cdot \rho_o)$$

式中, A 为烃源岩氯仿抽提物含量(%); C_{rg} 为原油恢复系数, 常数; ρ_b 为岩石骨架密度(g/cm^3); ρ_o 为地下原油密度(g/cm^3); φ 为烃源岩孔隙度(%)。

由于天然气在油中的溶解度巨大, 因此临界含气饱和度可以根据临界含油饱和度与天然气在油中的溶解度的乘积得到。

1.3 排烃史模拟结果分析

由于篇幅有限, 选取大宛 102 井(Dw102)与克参 1 井(Kc1)来介绍, 分别代表拜城凹陷与克依构造带。

表 1 至表 3 分别为库车盆地中、上三叠统湖相泥岩与中、下侏罗统湖沼相泥岩和煤岩的排烃模拟结果。由表可知: ①无论是三叠系的湖相泥岩还是侏罗系的湖沼相泥岩和煤岩, 也无论是排油还是排气, 排烃强度均以克参 1 井为最大, 大宛 102 井居次, 如库车末期(库车组沉积末期的简称, 以下的“吉迪克

末期”与“康村末期”类同)三叠系湖相泥岩在大宛102井的累积排烃强度为 $142.11 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ (油)和 $74.04 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (气),而在克参1井却为 $936.66 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ (油)和 $699.83 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (气),表明克依构造带较之拜城凹陷具有较高的排烃能力;②拜城凹陷不仅排烃强度较小,而且排烃时间较晚。如克参1井的湖沼相泥岩在古近纪末期以后,吉迪克末期以前进入排气高峰,排气强度为 $74.19 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。在康村末期以前进入排油高峰,累积排油强度为 $522.00 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。而大宛102井的湖沼相泥岩在吉迪克末期以后,康村末期以前进入排烃高峰。康村末期累积排油强度为 $215.35 \times 10^4 \text{ t/km}^2$;累积排气强度为 $101.44 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;③煤岩排油强度较小,排油时间较早。如三叠系湖相泥岩、侏罗系湖沼相泥岩在大宛102井的现今累积排油强度分别为 $156.08 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 、 $443.47 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,而侏罗系煤岩仅为 $67.08 \times 10^4 \text{ t/km}^2$;但煤岩排气强度很高。如现今累积排油强度为 $280.93 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,远远超过上述两类源岩;④同样是在克依构造带,三叠系湖相泥岩的排烃时间要较侏罗系湖沼相泥岩早许多。如前者在吉迪克末期累积排烃强度为 $411.00 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ (油)和 $1495.30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (气),分别占总排烃强度的43.8%和26.4%;而后者未出油,仅产气 $74.19 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,分别占总排烃强度的0(油)和9.3%(气)。

综上所述,克依构造带较之拜城凹陷是盆地更为主要的烃源区。侏罗系煤岩和泥岩排气能力较强,排气时间较晚,是盆地主要的气源岩。

2 油气运移特征

2.1 运移方向及通道

地化研究表明^①,库车盆地中天然气的分布具有自北而南变湿的规律,平面上甲烷的含量在北部克依构造带(克拉苏)为95.74%,在南部秋里塔格背斜带(东秋5井区)为92.24%,在更南面的塔北隆起(轮台断隆)上为76.3%。可见,产出的天然气有自北部克依构造带向南部塔北隆起变湿的趋势,表明天然气是由北往南运移的。这是因为,晚生成的天然气必将驱替已经成藏的石油而成藏,被驱替出来的石油则继续向前运移,结果造成靠近源岩处甲烷含量高,湿度低;远离源岩处甲烷含量低,湿度高。

此外,盆地的构造格局,即盆地中大量向南冲断的北倾逆断层也决定了盆地中的油气只能是由北向南、由深处向浅处运移(图2)。

表1 库车盆地三叠系湖相泥岩排烃模拟结果

Table 1 Simulated hydrocarbon-expulsion intensity of Triassic mudstone in Kuqa basin

地质时期	大宛102井		克参1井	
	油	气	油	气
现代	156.08	82.89	938.22	740.44
库车末期(距今2.5Ma)	142.11	74.04	936.66	699.83
康村末期(距今5.3Ma)	79.89	56.95	849.99	598.80
吉迪克末期(距今16.9Ma)	0.00	4.84	411.00	195.30
古近纪末期(距今25Ma)	0.00	0.00	0.00	69.79

注:油单位 10^4 t/km^2 ,气单位 $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,下同。

表2 库车盆地侏罗系湖沼相泥岩排烃模拟结果

Table 2 Simulated hydrocarbon-expulsion intensity of Jurassic mudstone in Kuqa basin

地质时期	大宛102井		克参1井	
	油	气	油	气
现代	443.47	168.61	695.25	797.46
库车末期(距今2.5Ma)	329.80	142.37	621.22	746.64
康村末期(距今5.3Ma)	215.35	101.44	522.06	705.88
吉迪克末期(距今16.9Ma)	0.00	0.00	0.00	74.19
古近纪末期(距今25Ma)	0.00	0.00	0.00	0.00

表3 库车盆地侏罗系煤岩排烃模拟结果

Table 3 Simulated hydrocarbon expulsion-intensity of Jurassic coal in Kuqa basin

地质时期	大宛102井		克参1井	
	油	气	油	气
现代	0.00	280.93	0.00	746.58
库车末期(距今2.5Ma)	0.00	248.96	0.00	698.51
康村末期(距今5.3Ma)	0.00	193.76	0.00	656.21
吉迪克末期(距今16.9Ma)	67.08	28.82	145.43	108.06
古近纪末期(距今25Ma)	0.00	0.00	6.58	0.00

至于油气运移的通道,主要有两种:断层、不整合面和砂体(图2)。其中,断层是油气垂向运移的主要通道,主要位于盆地北部的克依构造带,侏罗纪地层生成的油气主要沿这些断层向上倾方向运移、聚集并由此形成了克拉2、克拉3等大气田。而三叠系、侏罗系中的砂体及其与下伏古生代地层之间的角度或平行不整合面则是油气侧向运移的主要通道,主要与盆地南部秋里塔格构造带和塔北隆起上的油气有关。北部烃源岩地层生成的油气主要沿该不整合面和砂体向上倾方向运移、聚集并由此形成了秋里塔格构造带的迪那1、迪那2气田和塔北隆起上的英买力、羊塔克等凝析油气田。

① 张光亚,李洪辉,李小地,等. 1999. 库车前陆盆地演化与油气资源评价. 塔里木石油勘探指挥部.

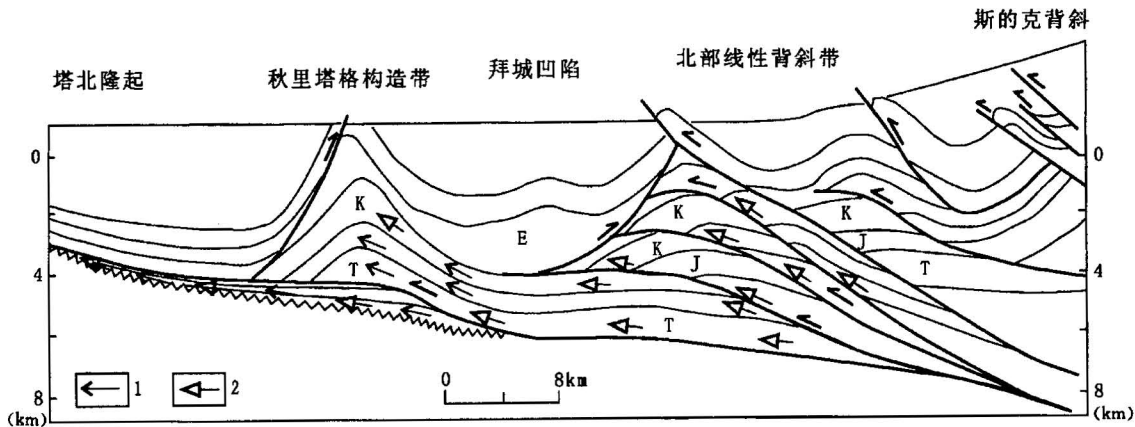


图 2 库车盆地油气运移模式图

Fig. 2 Petroleum migration mode in Kuqa basin

1—拜城凹陷生成的油气运移方向;2—克依构造带生成的油气运移方向

1—Migration direction of petroleum generated in Baicheng sag; 2—migration direction of petroleum generated in Keyi structural belt

2.2 运移时间

根据模拟结果,克依构造带处的三叠系湖相泥岩在古近纪末期(距今 25 Ma)以后,吉迪克末期(距今 16.9 Ma)以前进入排烃高峰,到康村末期(距今 5.3 Ma)结束排烃高峰,因此油气的主要运移期为吉迪克组沉积期至康村组沉积期。由于此时盆地中只形成了北部的斯的克背斜带,而它在后期又遭受了严重的破坏,因此不利于这部分油气的聚集和保存。而尽管拜城凹陷中的三叠系湖相泥岩排烃更晚,为康村组沉积期至库车组沉积期,但由于其运移指向的秋里塔格构造带还未形成,因此也不利于这部分油气的聚集。

侏罗系湖沼相泥岩生成的油气运移较三叠系湖相泥岩要晚。克依构造带在吉迪克组沉积末期以后,康村组沉积末期以前进入排烃高峰,到库车组沉积末期结束排烃高峰。而此时除克依构造带已经形成外,拜城凹陷及其中的大宛齐背斜均已经形成,连南面的秋里塔格构造带也正在形成和发展。因此极有利于这部分油气的运移和聚集。拜城凹陷中的湖沼相泥岩也在库车组沉积末期结束生排烃高峰,排烃也较晚。由于此时其运移指向的秋里塔格构造带已经开始形成,因此可以聚集部分油气。

侏罗系的煤岩排油较早,排油高峰期在吉迪克组沉积期间,因此不利于聚集。而排气较晚,大致在古近纪末期以后,吉迪克末期以前进入排气高峰,到库车期末结束排气高峰。由于此时盆地中绝大部分构造已经形成,因此极有利于聚集。

2.3 运移动力

库车盆地中油气运移的动力主要来源于烃源岩的异常孔隙流体压力,亦即人们通常所说的超压驱动。由于库车盆地的主力烃源岩——侏罗系湖沼相泥岩和煤岩的生气能力极强,生气量巨大,从而使烃源岩具有很高的孔隙流体压力。当这些孔隙流体压力达到或超过烃源岩破裂的临界压力时油气就从烃源岩排出来,并在该异常高的孔隙流体压力的驱动下源源不断地向气藏方向运移。当然,在肯定超压驱动占主导的同时,不排除浮力驱动的作用。

2.4 运移距离

从油气的分布来看,主要有两种情况。一种情况主要分布于克依构造带上,如克拉 2、克拉 3 和依南 2 等气藏中的油气。这部分油气主要以垂向运移为主,因而运移距离较短,一般在 2~5km 之间;另一种情况主要分布于盆地南部的秋里塔格构造带和塔北隆起上,如秋里塔格构造带的迪那 1、迪那 2 气田和塔北隆起上的英买、牙哈、羊塔克、王东 2、提尔根、红旗、雅克拉等气藏和凝析油气藏中的油气。这部分油气主要以侧向运移为主,因而运移距离较长,一般在 20~40km 之上。二者以前者为主。

3 结论

(1) 库车再生前陆盆地中主要发育有两类烃源岩:一是中、上三叠统克拉玛依组和黄山街组的浅湖、半深湖和深湖相暗色泥岩,它们以生油为主,是盆地重要的油源岩;二是中、下侏罗统阳霞组和克孜

勒努尔组湖沼相煤岩和暗色泥岩,它们以生气为主,是盆地重要的气源岩。而盆地北部克依构造带处的烃源岩无论是排油还是排气,其强度都要比拜城凹陷中的烃源岩要大,表明克依构造带是盆地最主要的烃源区。

(2) 库车盆地中油气运移的通道主要有两种:断层、不整合面和砂体。其中,断层是油气垂向运移的主要通道,主要位于盆地北部的克依构造带。而三叠系、侏罗系中的砂体及其与下伏古生代地层之间的角度或平行不整合面则是油气侧向运移的主要通道,主要与盆地南部的秋里塔格构造带和塔北隆起上的油气有关。

(3) 不同类型的烃源岩具有不同的排烃时间和油气运移时间。克依构造带烃源岩的主要排烃期和油气运移期依次为:三叠系湖相泥岩为吉迪克组沉积期至康村组沉积期,侏罗系湖沼相泥岩为康村组沉积期和库车组沉积期,侏罗系煤岩为吉迪克组沉积期(油)和康村组与库车组沉积期(气)。

(4) 由于库车盆地中主力烃源岩的生气能力极强,生气量巨大,因此油气运移的动力主要来源于烃源岩中的异常孔隙流体压力。而运移方式则既有垂向运移,又有侧向运移,以垂向运移为主。前者的运移距离较短,一般在2~5km之间,后者的运移距离较长,一般在20~40km之上。

致谢:本文研究得到中国石油天然气股份有限公司贾承造,塔里木油田分公司王招明、李启明、赵恩宏、皮学军、谢会文、徐峰、齐英敏、雷刚林、张建伟和南京大学地球科学系施央申、王良书、贾东、边立曾及浙江大学地球科学系杨树锋、陈汉林与肖安成等老师的大力支持与帮助,在此深表感谢。

参 考 文 献

- 陈荣书,唐仲华,徐世煌,何光玉. 1995. 双开关排烃模型及其在辽东湾地区的应用. 中国海上油气(地质), 9(4): 253~262.
- 戴金星,宋岩,张厚福. 1997. 中国天然气的聚集区带. 北京: 科学出版社, 110~135.
- 郝石生,柳广弟,黄志龙,高耀斌. 1994. 油气初次运移模拟模型. 石油学报, 15(2): 21~31.
- 贾承造. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 348~357.
- 贾承造. 1999. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律. 新疆石油地质, 20(3): 177~220.
- 贾东,卢华复,蔡东升,陈楚铭. 1997. 塔里木盆地北缘库车前陆褶皱—冲断带构造分析. 大地构造与成矿, 21(1): 1~8.
- 刘志宏,卢华复,李西建,贾承造,雷刚林,陈楚铭,王国强,范湘涛. 2000. 库车再生前陆盆地的构造演化. 地质科学, 35(4): 482~492.
- 卢华复,贾东,陈楚铭,刘志宏,王国强. 1999. 库车新生代构造性质和变形时间. 地学前缘, 6(4): 215~220.
- 卢华复,陈楚铭,刘志宏,贾东,王国强,贾承造. 2000. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因. 石油学报, 21(3): 19~24.
- 卢双舫,赵孟军,付广,王朋岩. 2001. 塔里木盆地库车油气系统富气的主控因素分析. 大庆石油学院学报, 25(3): 10~13.
- 田作基,宋建国. 1999. 塔里木库车新生代前陆盆地构造特征及形成演化. 石油学报, 20(4): 7~13.
- 王飞宇,张水昌,张宝民,赵孟军. 1999. 塔里木盆地库车坳陷中生界烃源岩有机质成熟度. 新疆石油地质, 20(3): 221~224.
- 魏国齐,贾承造,施央申,卢华复. 2000. 塔里木新生代复合再生前陆盆地构造特征与油气. 地质学报, 74(2): 123~133.
- 张宝民,赵孟军,肖中尧,曾强,等. 2000. 塔里木盆地优质气源岩特征. 新疆石油地质, 21(1): 33~41.
- 张朝军,田在艺. 1998. 塔里木盆地库车凹陷第三系盐构造与油气. 石油学报, 19(1): 6~10.
- 张奇良,刘毅,白森舒,等. 1997. 塔里木盆地油气与资源. 北京: 地质出版社, 25~31, 44~73.
- 张水昌,邓攀,彭燕,徐志明,等. 1995. 塔里木盆地轮台断隆带中新世代陆相原油成因及其源岩潜力评价. 新疆石油地质, 16(4): 307~311.
- 赵林,秦胜飞. 1999. 库车坳陷天然气藏成藏条件分析. 石油实验地质, 21(4): 307~310.
- 赵文智,许大丰,张朝军,张研. 1998. 库车凹陷构造变形层序划分及在油气勘探中的意义. 石油学报, 19(3): 1~5.
- 周兴熙. 2001. 库车油气系统成藏作用与成藏模式. 石油勘探与开发, 28(2): 8~10.

References

- Bethke C M, Reed J D, Oltz D F. 1991. Long-rang petroleum migration in the Illinois basin. AAPG Bulletin, 75(5): 925~945.
- Chen Rongshu, Tang Zhonghua, Xu Shihuang, He Guangyu. 1995. The double switches model of hydrocarbon expulsion and its application in the region of eastern Liao sea gulf. China Seashore Petroleum (Geology), 9(4): 253~262 (in Chinese with English abstract).
- Hao Shisheng, Liu Guangdi, Huang Zhilong, Gao Yaobin. 1994. Simulation models for primary hydrocarbon migration. Acta Petrolei Sinica, 15(2): 21~31 (in Chinese with English abstract).
- Jia Chengzao. 1999. Structural features and petroleum accumulation of Tarim basin, northwestern China. Xinjiang Petroleum Geology, 348~357, 20(3): 177~220 (in Chinese).
- Jia Dong, Lu Huafu, Cai Dongsheng, Chen Chuming. 1997. Structural analyses on the Kuqa foreland Fold-thrust belt along the north margin of Tarim basin. Geotectonic et Metallogenia, 21(1): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Lerche I. 1990. Basin Analysis; Quantitative Models, Volume I. Academic Press Inc, 12~19.
- Liu Zhihong, Lu Huafu, Li Xijian, Jia Chengzao, Lei Ganglin, Chen Chuming, Wang Guoqiang, Fan Xiangtao. 2000. Evolving of structures in Kuqa rejuvenation foreland basin. Scientia Geologica Sinica, 35(4): 482~492 (in Chinese with English abstract).
- Lu H, Howell D G, Jia D. 1994. Rejuvenation of the Kuqa foreland basin, northern flank of the Tarim basin, Northwest China. International Geology Review, 36: 1151~1158.
- Lu Huafu, Jia Dong, Chen Chuming, Liu Zhihong, Wang Guoqiang,

- Jia Chengzao. 1999. Nature and timing of Kuqa Cenozoic structures. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 215~220 (in Chinese with English abstract).
- Lu Huafu, Chen Chuming, Liu Zhihong, Jia Dong, Wang Guoqiang, Jia Chengzao. 2000. Structural features and origin of Kuqa foreland thrust belt. *Acta Petrolei Sinica*, 21(3): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Lu Shuangfang, Zhao Mengjun, Fu Guang, Wang Pengyan. 2001. Key factors of controlling on Kuqa petroleum system of Tarim basin. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 25(3): 10~13 (in Chinese with English abstract).
- Tian Zuoji, Song Jianguo. 1999. Cenozoic structural features and evolution of Kuqa rejuvenation foreland basin of Tarim. *Acta Petrolei Sinica*, 20(4): 7~13(in Chinese with English abstract).
- Wang Feiyu, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Zhao Mengjun. 1999. The maturity of organic matter in Kuqa Depression of Tarim basin, northwestern China. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(3): 221~224(in Chinese).
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, Lu Huafu, Wang Liangshu. 2000. Tectonic characteristics and petroleum prospects of Cenozoic compound rejuvenation foreland basins in Tarim. *Acta Geologica Sinica*, 74(2): 123~133(in Chinese with English abstract).
- Zhang Baomin, Zhao Mengjun, Xiao Zhongrao, Xiao Zhongrao, et al. 2000. The features of the excellent source rocks in Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 21(1): 33~41 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chaojun, Tian Zaiyi. 1998. Salt structure and petroleum of Tertiary in Kuqa depression of Tarim basin. *Acta Petrolei Sinica*, 19(1): 6~10(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiliang, Liu Yi, Bai Senshu, et al. 1997. Petroleum and resource of Tarim basin. Beijing: Geological Publishing House, 25~31, 44~73(in Chinese).
- Zhang Shuichang, Deng Pan, Peng Yan, Xu Zhiming, et al. 1995. Origin of Mesozoic and Cenozoic land crude oil and source rocks evaluation in Luntai faulting uplift of Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 16(4): 307~311(in Chinese).
- Zhao Lin, Qing Shenfei. 1999. Analysis on the pool-forming conditions of natural gas accumulations in the Kuqa Depression. *Experimental Petroleum Geology*, 21(4): 307~310 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Xu Dafeng, Zhang Chaojun, Zhang Yan. 1998. Division of structural deformation sequences and the implication to petroleum exploration in Kuqa Depression. *Acta Petrolei Sinica*, 19(3): 1~5(in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinxi. 2001. Pool-forming process and modes of Kuqa petroleum system. *Petroleum Exploration and Development*, 28(2): 8~10(in Chinese).

Petroleum Migration Features in the Kuqa Rejuvenated Foreland Basin, Northwestern China

HE Guangyu¹⁾, LU Huafu²⁾, LI Shuxin³⁾

1) Dept. of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, 310027

2) Dept. of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093

3) Research Center of Petroleum Geophysical Prospecting Bureau, Tuluфан, 838000

Abstract

The paper presents firstly the features of the hydrocarbon-expulsion of the major source rocks in the Kuqa rejuvenated foreland basin, northwestern China. The results indicate that while the Triassic mudstone is the main oil source rocks, the Jurassic coal and lake-swamp mudstone are the main gas source rocks. And the Keyi structure belt is the main source area of oil and gas. Moreover, the paper also presents the features of the petroleum migration in Kuqa basin based on the study of the basin structure and gas distribution. There were such two types of petroleum migration routines as faults, unconformities and sandstone in Kuqa basin. The unconformities and sandstone were the main lateral migration routines in which the oil and gas of the Qiulitage structural belt and Northern Tarim Uplift migrated, and the faults were the main vertical migration routines in which the oil and gas of the Keyi structural belt migrated. The migration time of oil and gas came from different source rocks was different distinctively. And the migration power was mainly abnormal pore fluid pressure. Finally, the vertical and lateral migration distances were also different, the former was about 2~5 km, and the latter was above 20~40 km.

Key words: Kuqa; rejuvenated foreland basin; petroleum migration; Keyi structural belt