

文章编号:1673-5005(2007)04-0008-06

塔里木盆地塔中地区油气运移输导体系研究

赵勇生^{1,2,3}, 刘克奇⁴

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 胜利油田有限公司东辛采油厂, 山东东营 257094)

摘要: 构成塔中地区输导网络格架的输导体包括断裂、不整合面、裂缝和孔隙等。利用分形方法, 对塔中地区4个重要构造面的断裂体系进行了分形研究。结果表明, 塔中地区下奥陶统顶(Tg5')的分形维数最高, 为1.39; 其次是寒武系膏盐岩层顶(Tg7), 为1.24; 最小的是石炭系生屑灰岩顶(Tg2''), 为1.05。按其流体运动特点, 塔中地区不整合面上、下输导体分属于两个不同的流体流动场, 不整合面以下输导体主要由孔-洞-缝体系构成; 不整合面以上输导体为层状渗透体, 在大多数情况下属于孔隙型介质。根据塔中地区输导网络的特征, 提出了以限制性横向输导为主的输导网络和以非限制性纵向输导为主的输导网络的分类方案。

关键词: 塔里木盆地; 塔中地区; 断裂; 不整合; 输导体系

中图分类号: TE 122.3 文献标识码: A

Petroleum migration pathway system of Tazhong area in Tarim Basin

ZHAO Yong-sheng^{1,2,3}, LIU Ke-qi⁴

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry in Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;
3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
4. Dongxin Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, Dongying 257094, Shandong Province, China)

Abstract: Petroleum migration pathway system, which is the link between source rock and trap, is the key factor of petroleum accumulation system. The migration pathway network in Tazhong area is composed of faults, unconformities, fractures, and pores. The four fault systems were studied by fractal method. The results show that the fault system is self-similar within a certain scale range. The fractal dimension of Tg7, Tg5', Tg5 and Tg2'' is 1.24, 1.39, 1.09 and 1.05 respectively. There are two different fields of fluid flow above and under the unconformities in terms of the characteristics of fluid flow in Tazhong area. The migration pathway under the unconformity is mainly composed of pores, caves and fractures where the flow regularities are complicated. While the migration pathway above the unconformity mainly consists of pores where the fluid flow can be characterized by Darcy's law. There are limited lateral migration network and unlimited vertical migration network in Tazhong area.

Key words: Tarim Basin; Tazhong area; fault; unconformity; pathway system

国内外学者对输导体系的大量研究^[1-7]最早可以追溯到20世纪50年代。最初, 人们认为油气沿着断层、不整合面和储集层3种界面发生垂向、横向运移; 自20世纪80年代以后, 随着油气勘探程度的提高和技术手段的进步, 人们逐渐认识到地下油气运移通道绝不是一个简单的面状体, 而是一个复杂

的三维网络系统。输导体系的分类基本是以运移通道为主线, 可根据不同类型的运移通道所起的作用来具体划分。输导体系的研究思路是, 根据不同类型的运移通道, 包括不整合面、断层、裂缝、沉积输导层等, 研究油气从烃源岩到圈闭的优势运移通道和有效运移空间; 采用地质、地球物理以及地球化学等

收稿日期: 2007-01-21

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043309)

作者简介: 赵勇生(1972-), 男(汉族), 山西洪洞人, 讲师, 博士研究生, 主要从事油气成藏机理与沉积储层研究。

技术方法,研究油气运移特征;建立输导体系三维模型,对油气运移输导体系进行评价;利用油藏地球化学方法或流体示踪技术验证输导体系的有效性;根据流体动力学特征辅助确定油气运移聚集的方向,最终确定油气运移特征。依据此思路,笔者对塔里木盆地塔中地区的油气运移输导体系进行研究,以了解该地区的输导网络特征。

1 区域概况

塔里木盆地位于新疆维吾尔自治区南部,面积达 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。依据盆地基底顶面起伏特征,将塔里木盆地划分为“三隆四拗”7个一级构造单元,即塔北隆起、中央隆起、塔南隆起、库车拗陷、北部拗陷、西南拗陷和东南拗陷。中央隆起又可分为巴楚低凸起、塔中低凸起和塔东低凸起3个次一级的构造单元。塔中地区包括中央隆起带中段的塔中低凸起、满加尔凹陷南部和塘古孜巴斯凹陷北部。塔中地区地层发育比较齐全,除了局部缺失侏罗系和面积缺失震旦系外,寒武系至第三系均有分布。但许多层系由于受构造运动影响,有不同程度的剥蚀,地层之间表现为不整合接触关系^[8]。

2 断裂和裂缝的输导性

断裂作为自然界中的一种非常普遍的地质现象,其分布和几何形态具有明显的分形结构。一般表达式为

$$N = (1/r)^D$$

式中, r 为标度; N 为该标度下测量得到的量值;幂指数 D 即为分维数^[9-11]。

断裂系统分维数的计算方法最常用的是数盒子法。具体做法是,选择一定的区域范围,将其分成若干个边长为 r 的格子,确定存在断裂的格子数目 $N(r)$,然后改变标度 r 求相应的 $N(r)$,在双对数坐标系中以 r 为横坐标, $N(r)$ 为纵坐标,拟合直线段的斜率即为分维数 D 。

利用这一方法,对塔中地区几个重要构造面即寒武系膏盐岩层顶($Tg7$)、下奥陶统顶($Tg5'$)、奥陶系顶($Tg5$)和石炭系生屑灰岩顶($Tg2''$)的断裂体系进行了分形。断裂分形研究的步骤为:①用 Coreldraw 绘制断裂体系展布图(1:80万);②用 Coreldraw 制作网格;③将网格拼接至能够覆盖断裂体系的展布图;④统计含有断层的格子数目;⑤求取 $\lg N(r)$ 与 $\lg r$;⑥以 $\lg r$ 为横坐标,以 $\lg N(r)$ 为纵坐标,用 Grapher 作相关图(散点图);⑦用 Grapher 进行回归

分析,斜率即为分维数(图1)。

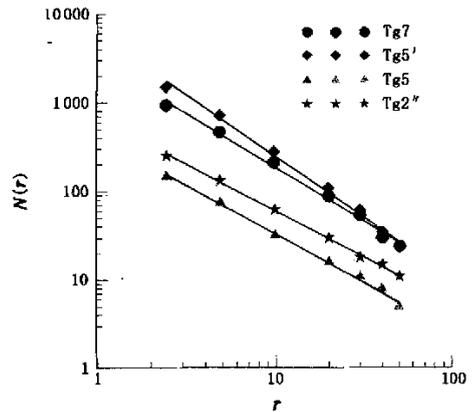


图1 塔中地区断裂分形曲线

由图1可以看出,在塔中地区4个主要构造界面上, $Tg5'$ 的分形维数最高,其次是 $Tg7$,最小的是 $Tg2''$,表明下奥陶统顶面断裂体系最发育。由于寒武系膏盐岩层是一个塑性地层,可以导致断裂体系沿该膏盐岩层产生滑脱,因此穿越膏盐岩层顶面的断裂体系发育程度要差于下奥陶统顶面。从断裂体系油气运移输导能力上进行比较,下奥陶统顶面的流体渗透性要强于其他几个界面的。

裂缝和油气聚集有着密切的关系。裂缝是油气运移的良好通道;裂缝本身具有一定的储集空间;裂缝为埋藏溶蚀作用的发生提供了条件;裂缝对油气藏有破坏作用。塔中地区奥陶系碳酸盐岩裂缝非常发育,碳酸盐岩地层按岩性被划分为3段,即中上奥陶统灰岩段、下奥陶统上部灰云岩段和下奥陶统下部白云岩段。塔中地区裂缝的渗透性结构模型可以分两种情况,即褶皱变形和断裂变形。与褶皱有关的裂缝的发育程度可以通过建立褶皱曲率与裂缝线密度之间的关系来表示。曲率和裂缝密度具有密切的相关性,曲率越大,裂缝越发育。断裂损害带的宽度和节理的密度与断层滑动幅度正相关^[12]。大多数情况下,断裂带厚度要比断裂位移小1.0~2.5个数量级。根据塔中地区断裂的位移情况,可以计算出断裂带厚度的变化范围。

3 不整合带的输导性

由于受构造运动影响,塔中地区许多层系有不同程度的剥蚀,地层之间表现为不整合接触关系。不整合主要有寒武系与前寒武系间的平行不整合、中上奥陶统与下奥陶统间的角度不整合、志留系与奥陶系间的角度不整合、泥盆系与志留系间的平行

不整合、石炭系与其下伏地层的角度不整合。这些不整合是构造运动的产物,反映了塔中地区具有多期构造活动的特点^[13-15]。

3.1 不整合输导体的界定

按渗透性构造的空间发育部位,与不整合面的发育有关的渗透性构造可以分成不整合面下和不整合面上来讨论。在渗透性构造上,不整合面上、下存在着明显的非对称性,因为在成因机制上两者明显不同。不整合面下的渗透性结构主要由大气淡水溶蚀作用所造成;而不整合面上的渗透性结构主要由海侵(或湖侵)作用造成。

3.2 不整合输导体的渗透性结构

3.2.1 不整合输导体垂向渗透性结构

根据塔中地区岩心及测井资料分析,地表大气淡水岩溶作用在垂向上可划分出3个带,即垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带(表1)。

表1 塔中1井不整合带结构

地层	岩溶分带	岩溶特征	
石炭系	下统	孔洞发育	
奥陶系	下奥陶统	垂直渗流带	3585~3727 m井段,高角度溶缝、溶蚀加宽节理、溶蚀孔洞发育
		水平潜流带	发育4个水平潜流带,分别为3727~3807 m,3835~3885 m,3925~3985 m,4035~4135 m。孔洞相对发育,以中小溶洞为主,形态多呈水平延伸状
		水平潜流带	
		水平潜流带	
		水平潜流带	
		深部缓流带	4135~4336 m井段,溶蚀孔洞发育零散,程度变差,洞径变小

(1)垂直渗流带。直接位于不整合面之下,地表大气淡水的运动特点主要沿着垂向发育的裂缝体系在重力作用下做垂向运动,因此溶蚀作用特征主要表现为沿裂缝发育的大型到小型溶蚀孔洞。大型溶洞主要为落水洞,小型孔洞具有垂向不连续串珠状分布特点,溶蚀孔洞的延伸方向大多垂直于层面。

(2)水平潜流带。纵向上位于垂直渗流带之下。地表岩溶水的运动主要以水力压力梯度控制下的水平运动为特征,因此溶蚀作用特征主要表现为中、小型溶蚀孔洞甚至大型孔洞比较发育,溶蚀孔洞的形态常具有水平伸长状的特点。塔中地区可以识别出多个水平岩溶发育带,这些带的发育与不整合面形成过程中的幕式抬升作用有关,每一次抬升幕形成一个相对完整的潜流带和渗流带,其中上部的

渗流带可能由于后期的抬升已被剥蚀破坏掉或部分相互叠加在一起。

(3)深部缓流岩溶带。位于水平潜流带岩溶带之下,底界是岩溶作用的下限。带内岩溶地下水运动与交替已变得十分缓慢,因而溶解作用比较微弱,主要以发育零散的溶孔、溶缝为特征,规模和程度远较上述两个带小,因此该带实际上是水平潜流带与深部滞留带之间的过渡带。

总之,对于不整合面之下碳酸盐岩的输导结构总体表现为从渗流带的垂向输导网络为主向下逐渐转变为潜流带的横向输导网络为主。

3.2.2 不整合输导体横向渗透特征

不整合面之下碳酸盐岩岩溶的横向发育特征主要与古地貌有密切关系。根据大气淡水的运动特点及其岩溶特征,岩溶地貌可以划分为岩溶高地、岩溶斜坡和岩溶洼地,不同岩溶地貌背景上岩溶作用的发育特征不同。岩溶高地上大气淡水的运动主要以垂向运动为主,因此常以主要发育垂直渗流带为特征;岩溶斜坡上地表岩溶水的运动往往以水平运动为主,因此导致水平潜流带较发育;岩溶洼地一般代表了地表淡水的泄水区,因此,岩溶作用相对比较弱。塔中地区奥陶系的岩溶主要出现在中上奥陶统灰岩段和下奥陶统灰云岩段中,其中对中上奥陶统灰岩段造成岩溶的主要时期是加里东期构造运动,而下奥陶统灰云岩段中的岩溶的形成是多期作用叠加的结果。

总之,在按流体运动特点,不整合面上、下的输导体分属于两个不同的流体流动场,不整合面以下输导体主要由孔-洞-缝体系构成,因此流体的运动属于复杂介质条件下的流体运动;不整合面以上的层状渗透性体大多数情况下属于孔隙型介质,流体在其中的流动通常可以用达西定律加以描述。因此,在不整合输导体中,流体从不整合面向不整合面上运动,在流型上必然发生明显的转换,这种转换对烃类的聚集是非常重要的。

4 输导体系格架

目前,塔中地区主要勘探、开发层系是奥陶系、志留系和石炭系,这些含油气层系在垂向上的分布是由塔中地区的输导网络决定的。组成塔中地区输导网络格架的输导体包括断裂、不整合面、裂缝和孔隙。这些输导体在不同地区、不同演化阶段具有不同的组合特点,从而决定了该区油气藏的分布规律。塔中地区输导网络的形成与关键构造变革期存在密切关系,

这里选择塔中地区 $Tg5'$ 、 $Tg5$ 和 $Tg3$ 三个主要构造运动面的输导体系进行研究(图 2~4)。

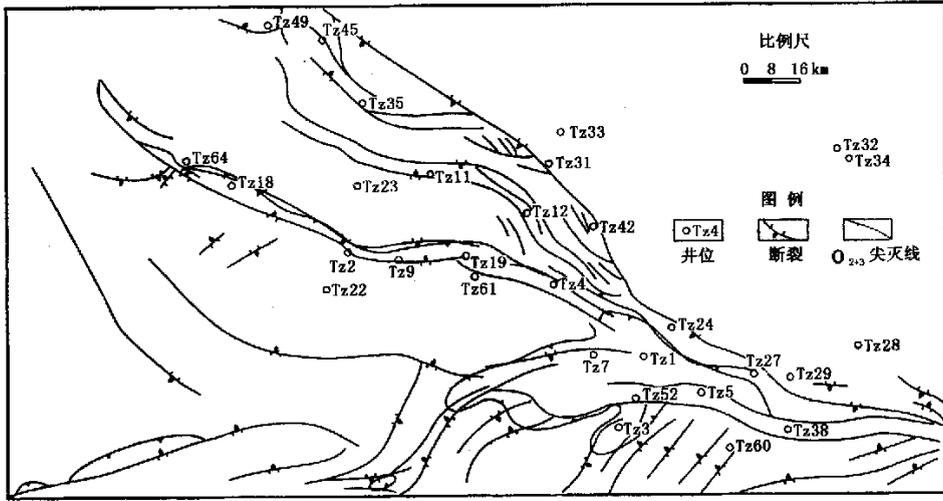


图 2 塔中地区 $Tg5'$ 不整合面与断裂所构成的输导网络

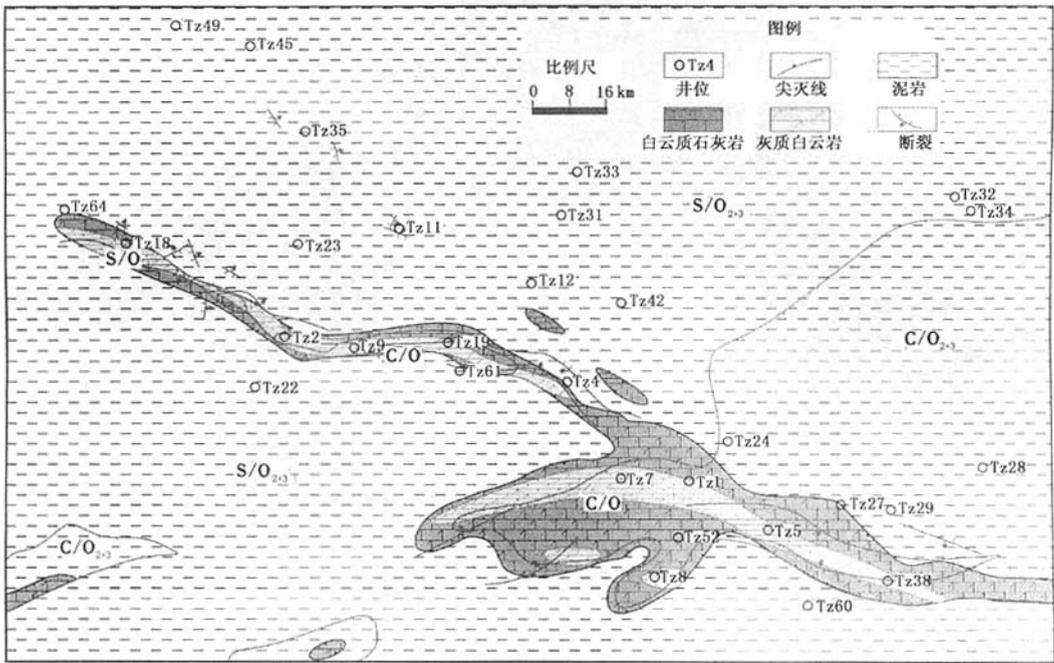


图 3 塔中地区 $Tg5$ 不整合面与断裂所构成的输导网络

4.1 下奥陶统顶部构造运动面 ($Tg5'$)

下奥陶统顶部断裂体系发育,其中大部分断裂终止于该界面上,部分断裂断入上覆地层(图 2)。塔中大部分地区下奥陶统灰云岩段被中上奥陶统灰岩段所覆盖,由于构造面上、下岩性存在一定差异,因此在垂向输导网络上,特别是在裂缝体系的发育程度上并不完全相同,构造面以下的灰云岩段裂缝的发育程度要高于构造面以上灰岩的,因此垂向上

的输导能力也更好。在塔中东南部地区及中央断垒带,志留系下砂岩段直接覆盖在下奥陶统灰云岩段之上,两种输导体直接沟通,因而这些地区不利于下奥陶统油气的保存。

4.2 奥陶系顶部构造运动面 ($Tg5$)

奥陶系顶部断裂体系发育程度明显减弱,仅中央断垒带上的断裂体系发育相对比较连续,塔中 I 号断裂带已终止于下伏中上奥陶统中,因此在垂向

上中央断垒带上穿越该界面的输导能力最强,不利于中上奥陶统油气的保存(图3)。沿该不整合面,塔中大部分地区由志留系下砂岩段覆盖在中上奥陶统之上,但在塔中I号断裂带以北的广大地区,由柯坪塔格组泥岩段覆盖在中上奥陶统之上,两者相比,北斜坡更有利于中上奥陶统油气的保存。塔中东部地区则由石炭系东河砂岩直接覆盖在中上奥陶统之上,由于东河砂岩的输导条件较志留系下砂岩段好,因此东部地区中上奥陶统的油气更有利于向上进入东河砂岩进一步横向输导。沿中央断垒带,石炭系东河砂岩直接覆盖在下奥陶统之上,导致东河砂岩

段直接通过不整合面与早奥陶世古风化壳、志留系下砂岩段沟通,而这些不同时代的孔隙性面状砂岩输导体和不整合面同时又被油源断裂串通,使得输导网络的流体输导性能非常优越。

4.3 石炭系底部构造运动面(Tg3)

石炭系底部构造面上的断裂体系发育特征与Tg5比较接近,除中央断垒带外,整个塔中地区从西北向东南,东河砂岩渐次覆盖在泥盆系、志留系和中上奥陶统之上(图4)。不整合面上、下的孔隙性面状输导体的流体沟通能力已变得很差。

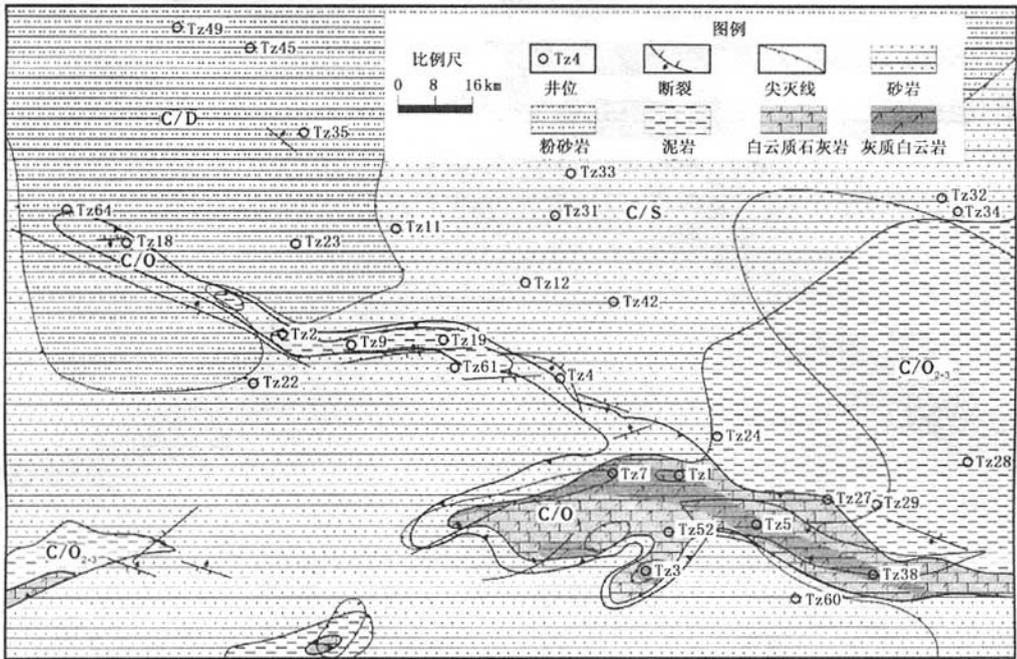


图4 塔中地区 Tg3 不整合面与断裂体系构成的输导网络

5 结论

(1) 构成塔中地区输导网络格架的输导体包括断裂、不整合面、裂缝和孔隙。其中,下奥陶统顶(Tg5')的分形维数最高,为1.39;其次是寒武系膏盐岩层顶(Tg7),为1.24;最小的是石炭系生屑灰岩顶(Tg2''),为1.05。

(2) 按其流体运动特点,塔中地区不整合面上、下输导体分属于两个不同的流体流动场,不整合面以下输导体主要由孔-洞-缝体系构成;不整合面以上输导体为层状渗透体,在大多数情况下属于孔隙型介质。

(3) 根据塔中地区输导网络的特征,提出了以限制性横向输导为主的输导网络和以非限制性纵向

输导为主的输导网络的分类方案。

参考文献:

[1] 张卫海, 查明, 曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(2): 118-120.
ZHANG Wei-hai, ZHA Ming, QU Jiang-xiu. The type and configuration of petroleum transportation system[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(2): 118-120.

[2] ENGLAND W A. Secondary migration and accumulation of hydrocarbons[C]//MAGOON L B, DOW M J. The Petroleum System from Source to Trap. American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, c1994: 211-217.

[3] 李明诚. 石油与天然气运移研究综述[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 3-10.
LI Ming-cheng. An overview of hydrocarbon migration re-

- search [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000,27(4):3-10.
- [4] 张照录,王华,杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. *石油与天然气地质*, 2000,21(2):133-135.
ZHANG Zhao-lu, WANG Hua, YANG Hong. Study on passage system of petroliferous basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000,21(2):133-135.
- [5] 付广,薛永超,付晓飞. 油气运移输导系统及其对成藏的控制[J]. *新疆石油地质*, 2001,22(1):24-26.
FU Guang, XUE Yong-chao, FU Xiao-fei. On oil-gas migration systems and their control over the formation of reservoir[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001,22(1):24-26.
- [6] 吕修祥. 塔里木盆地不整合面石油运移散失量的实验研究[J]. *石油大学学报:自然科学版*, 2000,24(4):112-114.
LÜ Xiu-xiang. Experimental study on losing amount of oil migration along the surface of unconformity in Tarim Basin [J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2000,24(4):112-114.
- [7] 姜建群,胡建武. 含油气系统中流体输导体系的研究[J]. *新疆石油地质*, 2000,21(3):193-196.
JIANG Jian-qun, HU Jian-wu. On fluid conducting system in petroleum system[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2000,21(3):193-196.
- [8] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997:1-28.
- [9] 张拴宏,周显强. 断裂系统分形研究新进展[J]. *桂林工学院学报*, 2000,20(1):84-88.
ZHANG Shuan-hong, ZHOU Xian-qiang. A review on the fractal of fault systems[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2000,20(1):84-88.
- [10] 曾联波,金之钧,李京昌,等. 柴达木盆地北缘断裂构造分形特征与油气分布关系研究[J]. *地质科学*, 2001,36(2):241-247.
- ZENG Lian-bo, JIN Zhi-jun, LI Jing-chang, et al. Fractal characteristics of fractural structures and its relation to oil-gas distribution in north Qaidam Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001,36(2):241-247.
- [11] 邬光辉,李建军,杨栓荣,等. 塔里木盆地中部地区奥陶纪碳酸盐岩裂缝与断裂的分形特征[J]. *地质科学*, 2002,37(增刊):51-56.
WU Guang-hui, LI Jian-jun, YANG Shuan-rong, et al. Fractal characteristics of fissures and fractures of Ordovician carbonate rocks in the central Tarim area[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2002,37(sup):51-56.
- [12] WALSH J J, WATTERSON J, HEATH A E, et al. Representation and scaling of faults in fluid flow models [J]. *Petroleum Geoscience*, 1998,4(3):241-251.
- [13] 贾振远,蔡忠贤,肖玉茹. 古风化壳是碳酸盐岩一个重要的储集层(体)类型[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1995,20(3):283-289.
JIA Zhen-yuan, CAI Zhong-xian, XIAO Yu-ru. Paleoweathering crust: an important reservoir (body) type of carbonate rocks [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1995,20(3):283-289.
- [14] 吴亚军,张守安,艾华国. 塔里木盆地不整合类型及其与油气藏的关系[J]. *新疆石油地质*, 1998,19(2):101-105.
WU Ya-jun, ZHANG Shou-an, AI Hua-guo. The unconformity types and their relations with oil/gas reservoirs in Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1998,19(2):101-105.
- [15] 何登发. 塔里木盆地的地层不整合面与油气聚集[J]. *石油学报*, 1995,16(3):14-21.
HE Deng-fa. Unconformities and oil and gas accumulation in Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1995,16(3):14-21.

(编辑 刘艳荣)

(上接第7页)

- [7] 高先志,陈发景. 柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2002,27(6):757-762.
GAO Xian-zhi, CHEN Fa-jing. Accumulation model of petroleum in the Tertiary system of the northwestern Qaidam Basin[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2002,27(6):757-762.
- [8] LAW B E. Basin-centered gas systems[J]. *AAPG Bulletin*, 2002,88(11):1891-1919.
- [9] JOHNSON R C, FINN T M, NUCCIO V F. Potential for ba-

sin-centered gas accumulation in the Albuquerque Basin, New Mexico[J]. *Geological Survey Bulletin*, 2001,21(8):4-21.

- [10] 薛光华,杨永泰. 柴达木盆地北缘油气分布规律研究[J]. *石油实验地质*, 2002,24(2):141-146.
XUE Guang-hua, YANG Yong-tai. Study on the distribution rules of hydrocarbon in the northern margin of Qaidam Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2002,24(2):141-146.

(编辑 刘艳荣)