

文章编号:1001 - 6112(2007)02 - 0149 - 05

# 构造演化与含油气系统的形成

——以准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷为例

方世虎<sup>1</sup>, 宋岩<sup>1</sup>, 徐怀民<sup>2</sup>, 范瑞东<sup>3</sup>, 刘楼军<sup>4</sup>, 许秀才<sup>3</sup>

(1. 中国石油天然气股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 石油大学资源与环境学院, 北京 102200; 3. 中国石油天然气股份有限公司大庆油田分公司, 黑龙江大庆 163000; 4. 中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司, 乌鲁木齐 834000)

**摘要:**准噶尔盆地东部自晚石炭世洋壳消减后进入陆相盆地演化阶段, 是一个构造演化复杂、由多个含油气凹陷和凸起构成的构造带, 其构造演化历史主要分为 4 个阶段, 即裂谷—断陷盆地阶段、断—坳盆地阶段、陆内坳陷盆地阶段和再生前陆盆地阶段。结合盆地东部吉木萨尔凹陷复合含油气系统特征, 探讨了构造演化与含油气系统形成之间的关系。研究表明, 构造演化在一定程度上控制着生储盖组合的形成, 影响烃源岩的演化进程, 控制着含油气系统的多期生烃和多期成藏, 构成含油气系统的运聚、改造和后期保存的关键时刻。

**关键词:**复合含油气系统; 构造演化; 吉木萨尔凹陷; 准噶尔盆地东部

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

## RELATIONSHIP BETWEEN TECTONIC EVOLUTION AND PETROLEUM SYSTEM FORMATION —TAKING THE JIMSAR SAG OF EASTERN JUNGGAR BASIN AS AN EXAMPLE

Fang Shihu<sup>1</sup>, Song Yan<sup>1</sup>, Xu Huaimin<sup>2</sup>, Fan Ruidong<sup>3</sup>, Liu Loujun<sup>4</sup>, Xu Xiucui<sup>3</sup>

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;*  
2. *School of Resource and Environment Sciences, Petroleum University, Beijing 102200, China;*  
3. *Daqing Oil Field Branch Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163000, China;*  
4. *Xinjiang Oil Field Branch Company, PetroChina, Urumqi, Xinjiang 834000, China*)

**Abstract:** The eastern Junggar Basin has entered the stage of continental basin evolution since the late Carboniferous. It is composed of several hydrocarbon bearing sags and uplifts with complicated tectonic evolution history, which can be divided into 4 stages: rift-faulted basin during Permian, faulted-depression basin from Triassic to Jurassic, intra-continental depression basin from Cretaceous to Eocene, and rejuvenated foreland basin during late Cenozoic. Tectonic evolution of the Jimsar Sag has great influence on petroleum system formation in the following 3 aspects: a) Tectonic evolution controls the formation of source rocks and source-reservoir-caprock assemblages; b) Tectonic evolution is likely to postpone the evolution processes of source rocks; c) The most important, tectonic evolution may control the multi-phase hydrocarbon generation and the multi-phase pool forming of every petroleum system, which make up of the critical moments for hydrocarbon migration, accumulation, rebuilding and preservation of composite petroleum system.

**Key words:** composite petroleum system; tectonic evolution; the Jimsar Sag; the eastern Junggar Basin

收稿日期: 2006 - 01 - 30; 修订日期: 2007 - 01 - 30。

作者简介: 方世虎 (1975 - ), 男 (汉族), 安徽桐城人, 博士后, 高级工程师, 主要从事盆地构造与油气成藏综合研究。

基金项目: 中国石油天然气集团公司中青年石油科技创新基金 (05E7036)、中国博士后科学基金 (2005037101) 和中国石油天然气集团公司重点科技攻关项目 (0601A - 02 - 01)。

盆地构造演化直接影响烃源岩的成熟演化,对含油气系统的形成及油气成藏关键时刻具有重要的控制作用。油气大量生运聚时期与圈闭形成期的匹配决定了圈闭的有效性;区域剥蚀抬升作用可能极大地影响烃源岩的演化进程;成藏后的构造活动对先期形成的油气藏进行改造和重组,促使油气的再分配,而最后一次构造运动的强烈程度对油气保存意义最大,构成含油气系统油气保存的关键时刻。研究中以准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷为例,剖析了含油气系统形成与构造演化之间的关系。

### 1 区域概况

准噶尔盆地东部包括帐北断褶带及其以东的一系列小型凹陷及凸起,根据二叠系沉积及厚度变化特征,结合侏罗系断裂分布及地层发育特征可将南北坳陷区进一步划分为多个次级构造单元(图 1a)。其中吉木萨尔凹陷(图 1a 方框所示,图 1b)由帐北断褶带、奇台凸起和三台凸起所包围,地层发育较为齐全,其周边的吉木萨尔断裂、西地断裂、三台断裂及阜康断裂等大型边界断裂和基底构造格局对该区各构造单元内的局部构造特点和沉积特征具有控制作用,对分析区域构造演化具有指示作用。准噶尔盆地东部复合含油气系统的形成和演化与区域构造演化关系密切,在一定程度上控制着生储盖组合的形成,影响烃源岩的演化进程,决定含油气系统的运聚、改造和后期保存的关键时刻<sup>[1~3]</sup>。

### 2 构造演化历史

准噶尔盆地东部自二叠纪开始逐渐进入陆相盆地演化阶段,主要经历 4 个阶段。

#### 2.1 裂谷—断陷盆地阶段(二叠纪)

晚石炭世新疆主要洋盆已经闭合完毕<sup>[4,5]</sup>,二叠纪进入后造山活动时期,以晚石炭世碰撞挤压最为强烈。晚石炭世末期是博格达地区地球动力学环境由挤压变为拉张的重大转折时期<sup>[6,7]</sup>,钙碱性系列火山岩的发育也表明博格达裂谷的性质<sup>[8]</sup>,沉积序列对比也显示二叠纪断陷盆地发育特征<sup>[9]</sup>。准噶尔盆地东部发育 270~290 Ma 左右的后碰撞幔源岩浆岩<sup>[10,11]</sup>,表明早二叠世早期该地区已进入碰撞后伸展转折期。从整个中亚地区来看,晚古生代裂谷作用主要集中在 300~260 Ma<sup>[12]</sup>,二叠纪新疆及邻区大范围火山岩的喷发<sup>[12,13]</sup>、裂谷或断陷盆地的形成<sup>[14]</sup>、正 Nd(t) 和低的 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> 特征的超镁铁岩的侵位<sup>[15]</sup> 以及大范围具有正 Nd(t) 和低的 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> 特征的后造山花岗岩侵位<sup>[16,17]</sup>,指示出当时区域上大范围的伸展拉张作用和亏损地幔大范围的作用。因此,准噶尔盆地及邻区二叠纪岩浆作用强,范围广,多数学者认为其岩浆成因于拉张伸展裂谷背景之下。

准噶尔盆地中部的二叠系呈现明显的南断北超型箕状凹陷,断裂作用强烈控制沉积作用(图 2)。与此相似,准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷早二

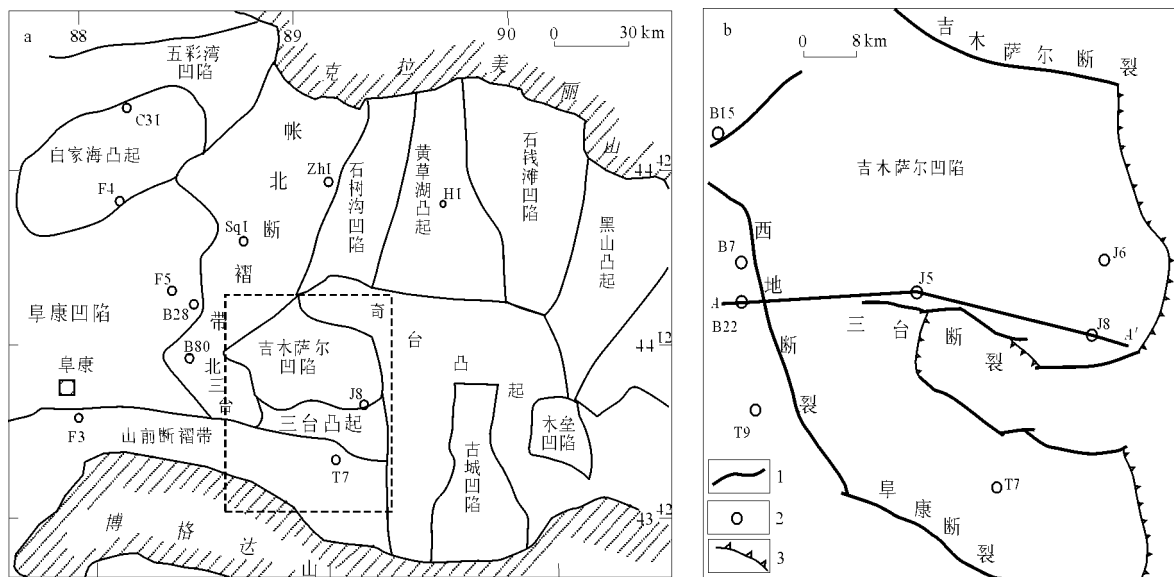


图 1 准噶尔盆地东部构造单元划分(a)及吉木萨尔凹陷构造纲要(b)

1. 主要断层; 2. 井位; 3. 二叠系平地泉组尖灭线

Fig. 1 Schematic map showing the main tectonic units of the eastern Junggar Basin(a) and the Jimsar Sag(b)

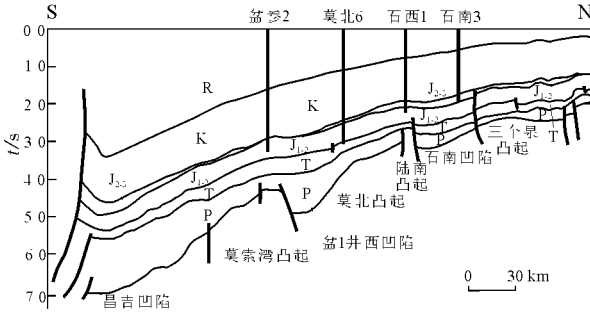


图2 准噶尔盆地中部南北向剖面  
据地震剖面 99SN4 绘制。

Fig. 2 Seismic profile (99SN4) crossing the central Junggar Basin

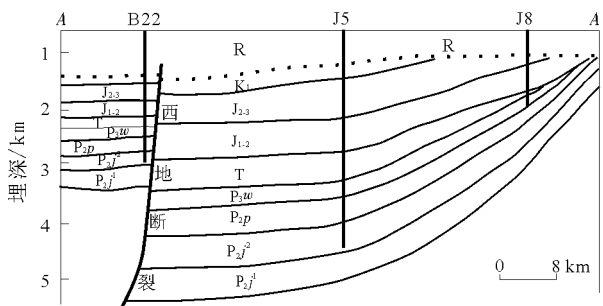


图3 准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷东西向剖面  
据地震剖面 J8751 绘制,剖面位置见图 1b。  
P<sub>2j</sub><sup>1</sup>. 将军庙组下段; P<sub>2j</sub><sup>2</sup>. 将军庙组上段;  
P<sub>2p</sub>. 平地泉组; P<sub>3w</sub>. 梧桐组

Fig. 3 Seismic profile (J8751) crossing the Jimsar Sag, the eastern Junggar Basin

叠世—中二叠世发生剧烈沉降,接受了较厚的下二叠统下茆茆槽群、中二叠统将军庙组(最厚达 1 100 m)和平地泉组沉积(最厚达 600 m),向东斜坡上逐渐超覆尖灭,地层厚度平面上受边界断裂控制明显,在大断裂下降盘沉积厚度明显加大,最厚可达 1 500 m(图 3)。晚二叠世沉积了梧桐沟组,分布范围稍有扩大,但凹陷与凸起上地层厚度相差仍较大,如吉木萨尔凹陷内厚度一般可达 600 m,三台凸起、奇台凸起上的地层厚度明显减薄。可见,二叠纪边界断层控制了地层沉积厚度,断裂活动强烈,反映裂谷—断陷盆地发育特征。

## 2.2 断—坳盆地阶段(三叠纪—侏罗纪)

三叠系—侏罗系沉积时期,准噶尔盆地断裂活动有所减弱,但断层对地层厚度仍有控制作用(图 2),盆地西北缘车排子—红旗坝断裂带,三叠纪—侏罗纪以同生断裂活动为主,断层对上下盘地层岩相、厚度有明显的控制作用<sup>[18]</sup>。准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷的边界断层对岩相、地层厚度具有相似的控制作用(图 3)。侏罗纪是准噶尔盆地沉积

范围最大的时期,显示张性为主的构造背景<sup>[19]</sup>,准东吉木萨尔地区除阜康断裂外,其他边界断裂活动变弱。吉木萨尔凹陷的箕状变得不明显,沉积中心转至凹陷中部,且凹陷与三台凸起上的地层厚度差异减小(图 3)。综合分析认为,三叠纪—侏罗纪盆地演化是以二叠纪张性构造背景为基础<sup>[9,19,20]</sup>,为断—坳盆地演化阶段。

## 2.3 陆内坳陷盆地阶段(白垩纪—早第三纪)

晚侏罗世—早白垩世,拉萨地块与欧亚板块沿班公湖—怒江缝合带发生碰撞<sup>[21,22]</sup>,准噶尔盆地南缘发育了晚侏罗世形成于干旱环境下的砾岩冲积体系(喀拉扎组)和白垩系底砾岩的原地堆积,盆地沉积范围明显减小且向盆萎缩<sup>[23]</sup>。准噶尔盆地和塔里木盆地早白垩世沉积环境及岩石成分的巨大差异<sup>[20,22,23]</sup>表明,天山地貌在早白垩世可能具有一定的规模,反映晚侏罗世晚期—早白垩世早期天山地区构造活动增强,是天山快速隆升的一个重要时期<sup>[18,20]</sup>,较强的构造作用使盆地由张性—压性转化阶段逐渐转入以挤压背景为主的演化阶段。

晚侏罗世,准噶尔盆地东部吉木萨尔地区的沉积范围明显向北西方向收缩,地层厚度向凹陷腹部增厚,三台凸起南部沉积范围向北明显收缩,南东以吉 5 井为界,呈现出由南东向北西逐渐增厚的趋势,反映盆地处于挤压的构造背景。晚白垩世,冈底斯地块与拉萨地块发生碰撞<sup>[24,25]</sup>,准噶尔盆地东部及其邻近盆地(如三塘湖盆地、柴窝堡盆地)则普遍缺失上白垩统沉积,发生明显水退事件并经受较强的剥蚀作用。早第三纪,沉积范围有所扩大,表现为铺盖填平式沉积,吉木萨尔凹陷东部形成新生界与白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系的角度不整合接触关系(图 3)。因此,白垩纪—早第三纪,准噶尔盆地东部形成于挤压为主的构造背景,断裂活动很弱,为弱挤压背景下的陆内坳陷盆地演化阶段。

## 2.4 再生前陆盆地阶段(新近纪—第四纪)

晚新生代印度板块与欧亚板块碰撞所引起的构造变形分布于碰撞带以北 2 000 ~ 3 000 km 的广大地区<sup>[26~28]</sup>,碰撞产生的强烈构造作用明显改造了中亚的大部分地区,准噶尔盆地的沉积范围收缩到南缘沿天山一线,沉积了几千米厚的磨拉石建造,强烈的构造作用形成了山前推覆构造,天山山脉再次活跃形成再生造山带,其两侧盆地进入再生前陆盆地演化阶段<sup>[26,27]</sup>。准噶尔盆地东部由于博格达山的向盆逆冲和强烈隆升,博格达山前凹陷和吉木萨尔凹陷边界断层性质发生转变(图 3),进入与再生造山带相关的再生前陆盆地演化阶段。

### 3 构造演化与复合含油气系统的形成

准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷主要发育  $P_2j^1 - P_2j^2 + P_2p + P_3w + T + J$  和  $P_2p - P_3w + T + J + K$  这 2 个已知的含油气系统,相互叠置、交叉或串通,构成一藏多源、一源多藏的复合含油气系统<sup>[29]</sup>。构造演化对含油气系统形成的控制作用主要表现在 3 个方面。

#### 3.1 构造演化控制着烃源岩和储盖组合的形成

构造演化控制着岩性、岩相的发育特征,而烃源岩、储层和盖层的发育与岩相、岩性息息相关。吉木萨尔凹陷多旋回演化特征造就了凹陷内发育多套烃源岩和储盖组合(图 4)<sup>[29]</sup>,二叠纪碰撞后伸展转折期的裂谷—断陷作用形成了区内重要的烃源岩<sup>[30]</sup>,但烃源岩评价结果表明,中二叠统将军庙组下段( $P_2j^1$ )和平地泉组( $P_2p$ )半深湖—深湖相沉积是 2 套有效的主力烃源岩,形成 2 个已知的含油气系统<sup>[29]</sup>。上三叠统、下侏罗统虽然也发育较好的烃源岩,但由于演化程度较低,对油气运聚意义不大。

泥岩是区内主导的盖层类型,在盆地演化的水进体系域晚期和高水位域早期往往形成厚度大且分布稳定的泥岩,构成区内重要的区域性盖层。其一是平地泉组大套泥岩组合,井下揭示单层平均厚度 40 m,最大可达 300 m;其二是三叠系小泉沟群泥岩,单层平均厚度 35 m,最大可达 100 m;其三为三工河组和西山窑组下部的大套泥岩组合,单层平均厚度 20 m,最大可达 80 m 左右。3 套区域性盖层控制了油气主要赋存层位,决定了区内 3 套主要的储盖组合,油气主要富集在与之相应的将军庙组上段、梧桐沟组、上苍房沟群和八道湾组地层(图 4)<sup>[29]</sup>。此外,局部盖层的发育对局部地区、局部构

造或单个圈闭的油气具有一定的封闭作用,如吉木萨尔凹陷东斜坡的侏罗系顶部的风化壳对局部油藏具有控制作用。局部的储盖组合在将军庙组上段( $P_2j^2$ )、梧桐沟组( $P_3w$ )、上苍房沟群( $T_1$ )内部均有发育。

#### 3.2 构造演化影响烃源岩的演化进程

区内存在 3 个主要的抬升剥蚀期,即三叠纪末期、侏罗纪末期和晚白垩世<sup>[29]</sup>。三叠纪末期,烃源岩处于未成熟演化阶段,抬升作用对烃源岩演化没有影响,只是在一定程度上延缓了烃源岩进入生烃门限的进程。侏罗纪末期的剥蚀抬升较小,对烃源岩演化的影响也不显著。而晚白垩世的剥蚀抬升对烃源岩演化影响很大,此时正值平地泉组烃源岩进入生油门限,构造抬升使其生烃过程停滞,对将军庙组下段的演化也有一定的延缓作用;晚新生代以来特别是新近纪以来,强烈的构造作用使得凹陷快速挠曲沉降,平地泉组烃源岩演化程度升高,重新进入生油门限二次生油,现今主体仍处于低熟—成熟阶段(图 4)<sup>[29]</sup>,凹陷的快速沉降使得将军庙组下段烃源岩的演化程度也有所提高,部分开始进入高熟演化时期,与早白垩世末期的演化程度基本相当。

#### 3.3 构造事件对应时期构成含油气系统关键时刻

含油气系统演化过程中,构造事件的发生对含油气系统中圈闭形成、油气运聚、含油气系统改造、油气保存等往往具有重大影响,构成含油气系统的关键时刻。吉木萨尔凹陷  $P_2j^1 - P_2j^2 + P_2p + P_3w + T + J$  含油气系统的主力烃源岩是将军庙组下段( $P_2j^1$ ),早侏罗世末期部分开始进入低熟演化时期,中侏罗世末期烃源岩开始进入成熟演化阶段,是含油气系统的生运聚关键时刻,油气大量生运聚时间持续至白垩纪末期;晚白垩世的剥蚀抬升

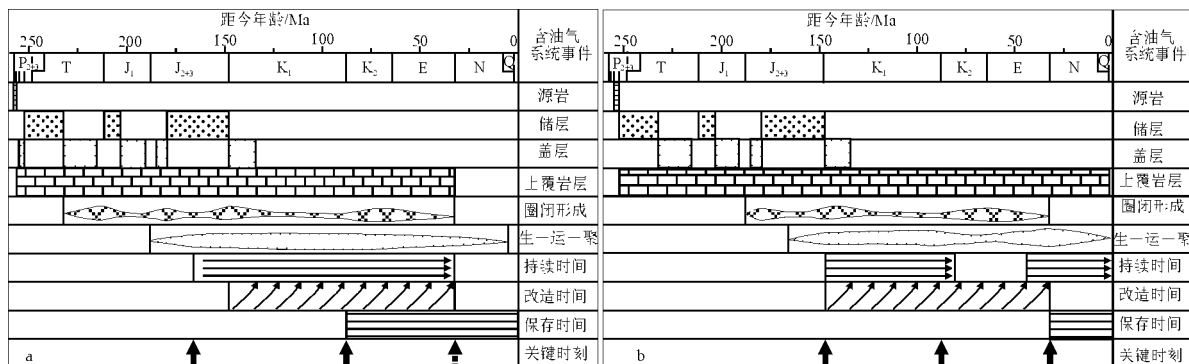


图 4 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷含油气系统事件<sup>[29]</sup>

a.  $P_2j^1 - P_2j^2 + P_2p + P_3w + T + J$  含油气系统; b.  $P_2p - P_3w + T + J + K$  含油气系统

Fig. 4 Critical episodes of petroleum systems in the Jimsar Sag, the eastern Junggar Basin

作用是含油气系统的重要改造时期,决定了含油气系统内部的油气再分配,是油气保存的关键时刻;新近纪印—藏碰撞的远程效应波及研究区,是油气保存的又一关键时刻(图 4a)<sup>[29]</sup>。吉木萨尔凹陷  $P_2p-P_3w+T+J+K$  含油气系统中侏罗世晚期开始进入低熟生烃,侏罗纪末期部分烃源岩进入成熟演化,是含油气系统的生运聚关键时刻,但是晚白垩世的剥蚀抬升使烃源岩演化一度停滞,是含油气系统改造的关键时刻;古近纪中期以后进入二次生油和油气运聚的高峰,新近纪构造活跃时期处于油气大量生运聚时刻,在一定程度上决定油气运聚和后期保存,构成油气保存的关键时刻(图 4b)<sup>[29]</sup>。2 个含油气系统均为三台鼻状构造带、凹陷西部和东部斜坡带提供油源,从而形成了一藏多源、一源多藏的油气分布格局,构成吉木萨尔凹陷复合含油气系统。复合含油气系统的圈闭主要形成于三叠纪末期、晚侏罗世和晚白垩世,油气大量生运聚时期由中侏罗世末期持续至第三纪,经历晚侏罗世、晚白垩世以及新近纪的改造,其中晚白垩世的改造基本决定了系统内部的油气分布,新近纪的改造在一定程度上决定了系统内部油气的保存(图 4)<sup>[29]</sup>。

## 5 结论与认识

准噶尔盆地东部的构造演化可以划分为 4 个阶段:裂谷—断陷盆地阶段、断—坳盆地阶段、陆内坳陷盆地阶段和再生前陆盆地阶段。盆地演化阶段与区域大地构造事件具有较好的对应关系,构造演化在一定程度上对复合含油气系统的形成具有重要控制作用,主要表现在以下 3 个方面:1) 构造演化控制着多套烃源岩和多套储盖组合的形成,从而控制着油气的主要运聚层位;2) 剥蚀抬升作用可能影响烃源岩的演化进程,如白垩纪末期的剥蚀抬升作用使平地泉组烃源岩的演化进程停滞,也延缓将军庙组下段烃源岩的演化进程;3) 构造事件往往是含油气系统中圈闭形成、油气大量生运聚、系统改造和油气保存的关键因素,决定了含油气系统油气运聚、系统改造和油气保存的关键时刻,对准噶尔盆地东部复合含油气系统的形成具有重要控制作用。

### 参考文献:

- 肖序常,汤耀庆,冯益民. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京:地质出版社,1992. 1~169
- 尚尔杰,金之钧,丁文龙等. 断裂控油的物理模拟实验研究:以

- 准噶尔盆地西北缘红车断裂带为例[J]. 石油实验地质,2005,27(4):414~418
- 史建南,郝芳,邹华耀等. 调整改造型隐蔽油气藏形成与分布模拟实验研究:以准噶尔盆地腹部地区为例[J]. 石油实验地质,2006,28(3):590~594
- 何国琦,李茂松,刘德权等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1994. 1~437
- 李锦轶. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. 岩石学报,1995,11(增刊):73~84
- 顾连兴,胡受奚,于春水等. 博格达陆内碰撞造山带挤压—拉张构造转折期的侵入活动[J]. 岩石学报,2001,17(2):187~198
- 顾连兴,胡受奚,于春水等. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化[J]. 岩石学报,2001,17(4):585~597
- 曹守连,何登发. 柴窝堡盆地的构造演化[J]. 大地构造与成矿学,1997,21(3):262~269
- 方世虎,贾承造,郭召杰等. 准噶尔盆地二叠纪盆地属性的再认识及其构造意义[J]. 地学前缘,2006,13(3):108~121
- 韩宝福,何国琦,王式洸等. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长[J]. 地质论评,1998,44(4):396~406
- Han B F, He G Q, Wang S G. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin[J]. Science in China (Series D). 1999,42(2):113~119
- Yarmolyuk V V, Samoilov V S, Ivanov V G, et al. Composition and sources of basalts in the late Paleozoic rift system of central Asian: geochemical and isotopic data[J]. Geochemical International,1999,37(10):921~935
- Allen M B, Windley B F, Zhang C. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan, Central Asia[J]. Tectonophysics,1992,220:89~115
- 舒良树,郭召杰,朱文斌等. 山地区碰撞后构造与盆山演化[J]. 高校地质学报,2004,10(3):393~404
- Zhou M F, Leshner C M, Yang Z X, et al. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu (PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt[J]. Chemical Geology,2004,209:233~257
- Han B F, Wang S G, Jahn B M, et al. Depleted-mantle magma source for the Ulungur River A-type granites from north Xinjiang, China: geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implication for Phanerozoic crustal growth[J]. Chemical Geology,1997,138:135~159
- Jahn B M, Wu F Y, Chen B. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. Episodes,2000,23:82~92
- 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. 29~30
- 方世虎,郭召杰,宋岩等. 准噶尔盆地南缘侏罗系沉积相演化与盆山格局[J]. 古地理学报,2005,7(3):347~356
- 方世虎,郭召杰,张志诚等. 准噶尔盆地南缘侏罗系碎屑成分及其对盆山格局、构造属性的指示意义[J]. 地质学报,2006,80(2):196~209

- 22 Yang Xiaoyong, Zheng Yongfei, Liu Deliang, et al. Study on chemical compositions of fluid inclusions from peridotite and eclogites in Eastern - Central China: The geodynamic implications [J]. *Phys Chem Earth*, 2001, 26(7-8): 705 ~ 718
- 23 Nadeau S. Carbon concentration and isotopic ratios in fluid-inclusion-bearing upper mantle xenoliths along the northwestern margin of North America [J]. *Chem Geol*, 1990, 81(2): 271 ~ 297
- 24 Sugisaki R, Mimura K. Mantle hydrocarbons: Abiotic or biotic? [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, 58(11): 2527 ~ 2542
- 25 Anovitz L M, Essene E J. Phase equilibrium in the system  $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3 - \text{FeCO}_3$  [J]. *Journal of Petrology*, 1987, 28: 389 ~ 414
- 26 Dipple G, Ferry J M. Identification of the scales of differential element mobility in fault zone [J]. *J Metamorphic Geol*, 1990, 8(6): 645 ~ 661
- 27 Ferry J M. Dehydration and decarbonation reactions as a record of fluid infiltration [J]. *Reviews in Mineralogy*, 1991, 26(3): 351 ~ 393
- 28 Ferry J M, Gerdes M L. Chemically reactive fluid flow during metamorphism [J]. *Annual Rev Earth Planet Sci*, 1998, 26(2): 255 ~ 287
- 29 Ferry J M. Regional metamorphism of the Waits River Formation, Eastern Vermont: delineation of a new type of giant metamorphic hydrothermal system [J]. *Journal of Petrology*, 1992, 33(1): 45 ~ 94
- 30 Kreulen R. High integrated fluid/rock ratios during metamorphism at Naxos: evidence from carbon isotopes of calcite in schists and fluid inclusions [J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1988, 98(1): 28 ~ 32
- 31 Lasaga A C, Rye D M. Fluid flow and chemical reaction kinetics in metamorphic systems [J]. *Am J Sci*, 1993, 293(3): 361 ~ 404
- 32 Leger A, Ferry J M. Fluid infiltration and regional metamorphism of the Waits River Formation, north - east Vermont, USA [J]. *J Metamorphic Geol*, 1993, 11(1): 3 ~ 29
- 33 Ferry J M. Mineral reactions and element migration during metamorphism of calcareous sediments from the Vassalboro Formation, South - central Maine [J]. *American Mineralogist*, 1983, 68(3): 334 ~ 354
- 34 O'hara K. Fluid flow and volume loss during mylonization: an origin for phyllonite in an overthrust setting, North California [J]. *Tectonophysics*, 1988, 156(1): 21 ~ 36
- 35 Yang Xiaoyong, Yang Xueming, Liu Deliang, et al. Study on the characteristics of migration in mylonites of the ductile shear zones from the southern part of Tancheng - Lujiang fault belt, Anhui Province [J]. *Acta Geol Sinica*, 1998, 72(1): 35 ~ 48
- 36 杨晓勇, 刘德良, 张交东等. 郯庐断裂带南段双山韧—脆性剪切带物质迁移与  $\text{CO}_2$  释放研究 [J]. *地质学报*, 2002, 76(3): 335 ~ 346
- 37 谈迎, 刘德良, 李振生等. 松辽盆地北部二氧化碳气成藏成因地球化学研究 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(5): 480 ~ 483
- 38 Xu J W, Zhu G, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng - Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean [J]. *Tectonophysics*, 1987, 134(2): 273 ~ 310
- 39 马锦龙, 陶明信. 郯庐断裂带中段幔源岩包体中的流体组成特征 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(1): 85 ~ 89
- 40 袁彩萍, 徐思煌, 贾霍甫等. 渤海湾盆地东营凹陷孔店组烃源岩特征研究 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(2): 177 ~ 181
- 41 黄泽光, 高长林. 南华北中生代火山岩与前渊盆地 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(1): 1 ~ 7
- 42 苏惠, 曲丽萍, 张金川等. 渤海湾盆地东濮凹陷天然气成藏条件与富集规律 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(2): 123 ~ 128
- 43 程有义. 济阳拗陷阳信—花沟—南南地区  $\text{CO}_2$  气藏的储层和盖层 [J]. *沉积学报*, 2001, 19(3): 405 ~ 409
- 44 Yang Xiao yong, Liu Deliang, Dai Jinxing. Extremely high  $\text{H}_2$ -bearing fluid inclusions in eclogite from Dabie Shan orogenic belt, eastern China [J]. *Geol Soc India*, 2002, 61(1): 101 ~ 102

## (上接第 153 页)

- 21 Allen M B, Windley B F, Zhang C. Cenozoic tectonics in the Urumqi-Korla region of the Chinese Tian Shan [J]. *Geologische Rundschau*, 1994, 83: 406 ~ 416
- 22 Hendrix M S, Graham S A, Carroll A R, et al. Sedimentary record and climatic implications of recurrent deformation in the Tianshan: evidence from Mesozoic strata of the north Tarim, South Junggar, and Turpan basins, northwest China [J]. *Geol Soc Am Bull*, 1992, 104: 53 ~ 79
- 23 谷云飞, 马明福, 苏世龙. 准噶尔盆地白垩系岩相古地理 [J]. *石油实验地质*, 2003, 25(4): 337 ~ 342
- 24 Vincent S J, Allen M B. Evolution of Minle and Chaoshui Basin, China: implications for Mesozoic strike-slip basin formation in central Asia [J]. *GSA Bulletin*, 1999, 111(5): 725 ~ 742
- 25 Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects on a continental collision [J]. *Science*, 1975, 189: 419 ~ 426
- 26 贾承造, 魏国齐, 李本亮等. 中国中西部两期前陆盆地的形成及其控气作用 [J]. *石油学报*, 2003, 24(2): 13 ~ 17
- 27 郭令智, 朱文斌, 马瑞士等. 论构造耦合作用 [J]. *大地构造与成矿学*, 2003, 27(3): 197 ~ 205
- 28 Tapponnier P, Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia, and Baykal Regions [J]. *J Geophys Res*, 1979, 84: 3425 ~ 3459
- 29 方世虎, 徐怀民, 宋岩等. 准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷复合含油气系统特征及其演化 [J]. *地球学报*, 2005, 26(3): 259 ~ 264
- 30 周松柏, 刘光祥. 准噶尔盆地东南部油气地质条件研究 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(3): 231 ~ 235