

文章编号: 0253-9985(2007)05-0669-06

穆格莱德盆地构造地质特征与油气富集

张亚敏¹, 漆家福²

(1. 长安大学, 陕西 西安 710054 2. 中国石油大学, 北京 102249)

摘要: 穆格莱德盆地是非洲大陆内部的裂陷盆地, 其构造演化过程可以分为 3 个阶段: 1) 早白垩世早期初始裂陷阶段; 2) 早白垩世晚期—晚白垩世继承性裂陷阶段; 3) 新生代拗陷阶段。晚白垩世末, 中非大断裂的走滑运动对穆格莱德盆地有强烈的改造, 使得图卢斯、巴加拉凹陷在裂陷伸展基础上叠加走滑构造变形, 并使穆格莱德盆地南部发生明显的构造反转。初始裂陷阶段该盆地发育有半深湖—深湖相的泥岩, 是较好的烃源岩; 继承性裂陷阶段发育了多种类型的砂岩储层和厚层泥岩作为区域盖层, 使穆格莱德盆地具有良好的油气勘探前景。盆地后期改造方式成为油气勘探评价关注的重要地质问题。

关键词: 半地堑, 半地垒; 花状构造; 反转构造; 伸展构造; 穆格莱德盆地

中图分类号: TE111.2 **文献标识码:** A

Structural geological characteristics and hydrocarbon enrichment of the Muglad Basin

Zhang Yanmin¹, Qi Jiafu²

(1. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054 China; 2. China University of Petroleum, Beijing 102249 China)

Abstract Muglad Basin is an intracontinental rift basin in Africa and its tectonic evolution process can be divided into three stages, including initial rifting in early of the Early Cretaceous, inherited rifting in late of the Early Cretaceous to the Late Cretaceous, and depression in the Cenozoic. At the end of the Late Cretaceous, the Muglad Basin was strongly modified by the strike-slip movement of the Central African Fault, superimposing strike slipping deformation on the rifting structures of the Tullus Sag and the Bagarra Sag, and also causing an obvious tectonic inversion in south part of the basin. At the initial rifting stage, the basin was filled with semi-deep or deep lacustrine mudstones which were good source rocks; at the inherited rifting stage, the basin developed various types of sandstone as reservoirs and thick mudstone as regional seals. The favorable source-reservoir-cap rocks combination gives the basin large exploration potential. Later modification of the basin has been an important geological issue for evaluation of oil and gas exploration.

Key words half-graben; half-horst; flower structure; inverted structure; extensional structure; Muglad Basin

穆格莱德 (Muglad) 盆地位于中非断裂带东端南侧^[1~3], 走向西北, 平面形态北宽南窄, 呈长楔形展布, 面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。该盆地油气勘探始于 20 世纪 70 年代, 20 世纪 80 年代至今进行了大规模的石油勘探。近年来勘探不断获得新突破, 在北区已发现 Great Fula, Great Moga, Hadida, Shoka, Naha 等油田, 在南区已发现 El Toor, Torma, South Wizeen, Wizeen North, El Nar, El Nar

North, El Har, Faras East 等油田, 已探明石油地质储量超过 $14 \times 10^8 \text{ t}$ 并进行了大规模的开采。截至 2006 年底, 穆格莱德盆地建成年产原油能力 $2000 \times 10^4 \text{ t}$ 。该盆地勘探周期短, 开发效益高, 是中国石油公司首次在海外进行大规模勘探开发并取得巨大成功的项目。本文根据已有勘探资料和勘探成果, 讨论穆格莱德盆地的构造特征, 并在此基础上分析油气的富集规律。

收稿日期: 2007-07-13

第一作者简介: 张亚敏 (1958—), 男, 博士, 石油构造地质

基金项目: 中国石油天然气集团公司科技攻关项目 (EDR/CN-01-102)

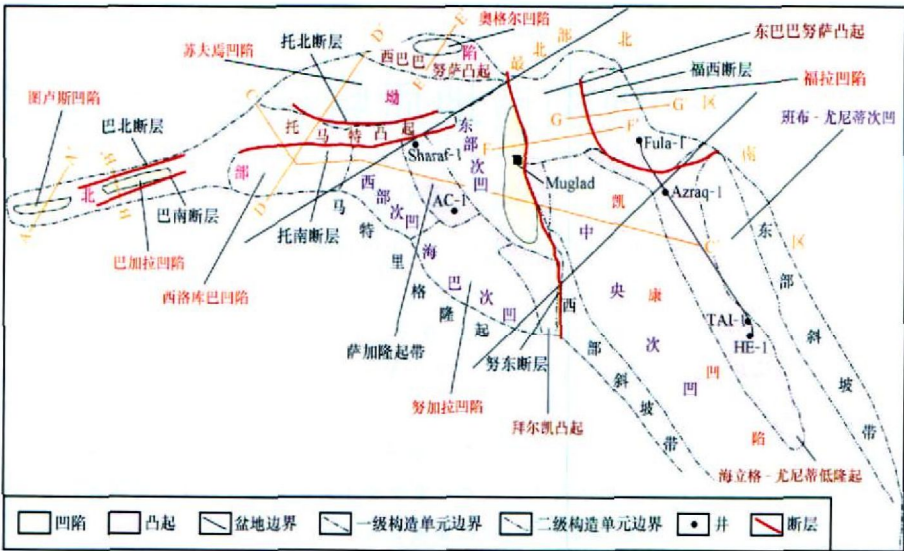


图 1 穆格莱德盆地构造纲要
Fig. 1 Tectonic outline of the Muglad Basin

1 盆地结构特征

1.1 地层

穆格莱德盆地是在前寒武纪稳定地台上发育而成的陆内裂陷盆地。盆地基底由前寒武系区域变质岩系组成,岩性主要为片麻岩、花岗片麻岩、花岗闪长片麻岩等^[4]。盆地盖层包括下白垩统、上白垩统、古近系、新近系和第四系,最大沉积厚度超过 15 000 m。钻井资料揭示,盆地盖层自上而下可以分为 5 套岩石组合。

- 1) 腾迪组 (E₃, Tendi): 厚度 80~ 247 m, 主要为灰色泥岩, 湖相沉积。
- 2) 阿马勒组 (K₂, Amal): 厚度 154~ 896 m, 红色块状砂岩为主, 河流- 泛滥平原相沉积。森纳组 (E₂, Senna): 厚度 0~ 225 m, 灰色泥岩为主夹砂岩, 主要为泛滥平原相沉积。

- 3) 达尔富尔群 (K₂, Darfur): 厚度 94~ 914 m, 暗色泥岩为主夹砂岩, 深湖相沉积为主, 为区域盖层。
 - 4) 苯蒂乌组 (K₁, Bentiu): 厚度 505~ 1 602 m, 红色砂岩为主夹薄层泥岩, 河流- 浅湖相沉积, 为主力储油层。
 - 5) 阿布加布拉组上部 (K₁, Upper Abu Gabra): 厚度 660~ 3 300 m, 下粗上细、下红上灰, 暗色泥岩发育, 泥、砂岩互层, 为河流- 浅湖- 深湖相, 其中发育深湖、半深湖相主力生油层。阿布加布拉组下部 (K₁, Lower Abu Gabra): 厚度 329~ 500 m, 下粗上细、下红上灰, 河流相沉积。
- 穆格莱德盆地由多个沉积凹陷组成, 不同区域的盆地结构、构造样式有较大差异。

1.2 盆地结构

穆格莱德盆地的盆地原型应该属于裂陷盆地; 后期其北部边缘受中非断裂走滑作用改造, 南

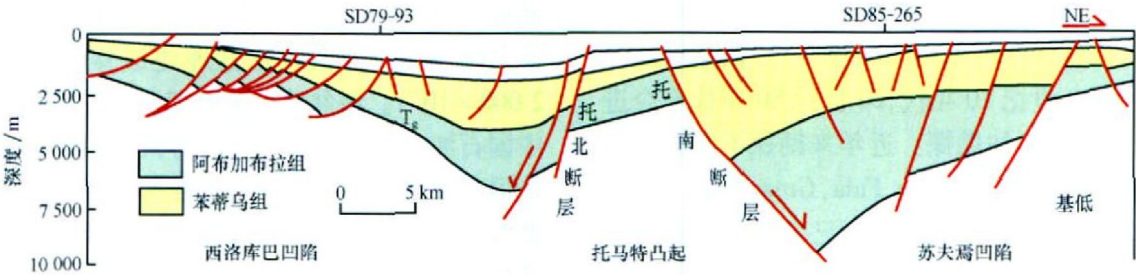


图 2 穆格莱德盆地横剖面
Fig. 2 Cross-section of the Muglad Basin
(剖面位置为图 1 中的 DD' 线)

区则受挤压而发生构造反转。北区的后期改造相对较弱,基本上保持原始的裂陷盆地基本结构特征。因此,该盆地由 3 类盆地组合而成:一类是未受改造的伸展断陷盆地(如北区的努加拉凹陷、福拉凹陷);第二类是挤压反转的伸展断陷盆地(如南区的凯康凹陷);第三类是走滑改造的伸展断陷盆地^[5,6](如最北部的巴加拉凹陷)(图 1)。

穆格莱德盆地由两组走向分别为 NEE 向和 NW 向基底正断层控制的半地堑-半地垒组成(图 2)。断陷结构形态自北而南表现出由北区的东断西超不对称半地堑,至南区的地堑,再至最南端的西断东超的半地堑的变化规律,主要构造样式为滚动背斜、披覆背斜和掀斜断块等^[7]。

2 盆地形成演化

2.1 裂陷伸展Ⅳ期(早白垩世早期)

早白垩世早期,即阿布加布拉(Abu Gabra)组沉积时期,随着非洲-南美泛大陆的裂开,产生了穆格莱德第一期伸展断陷盆地。区域北东向伸展运动的结果,形成了穆格莱德盆地北西向的构造系统(图 1),造成穆格莱德盆地主体部位诸断陷边界主断层以西倾为主,北西走向,断陷均呈东断西超,导致下白垩统阿布加布拉组东厚西薄,沉积了厚度大于 6 000 m 的下白垩统阿布加布拉(Abu Gabra)组。其中,阿布加布拉(Abu Gabra)组是盆地唯一一套厚度巨大的半深湖-深湖相沉积的生油岩系。

2.2 裂陷伸展Ⅴ期(早白垩世晚期-晚白垩世)

早白垩世晚期-晚白垩世,即苯蒂乌(Bentiu)组、达尔富尔(Darfur)群和阿马勒(Almal)组沉积时期,随着原始大西洋的产生,形成了第二期伸展断陷盆地。NEE 向的拉张力在南区形成了 NNW 走向的构造系统。该系统不仅走向与早白垩世的 NW 走向断裂系统具有一定夹角,而且倾向相反,即早白垩世的断裂为西倾,晚白垩世的断裂为东倾;也使南、北区的断陷结构发生改变。在许多早白垩世形成的东断西超断陷的缓侧,晚白垩世形成了新的东倾主断裂,使断陷由早白垩世的东断西超变为晚白垩世的西断东超,沉积地层由下白

垩统的东厚西薄变为上白垩统的西厚东薄。由于早期盆地受力南区弱、北区强,晚期盆地受力南区强、北区弱,两者相叠加,使盆地北部断陷由早白垩世的单断箕状式变为晚白垩世的东深西浅的不对称地堑式,盆地南区的断陷整体表现为“牛头状”典型地堑式,同时南区沉积了上白垩统优质的浅湖相厚层泥岩,形成了大油田的区域盖层。

裂谷期后,新生代随着区域沉降,该断陷盆地演化为伸展拗陷盆地^[8]。

2.3 后裂陷期(新生代)

古近纪和新近纪,穆格莱德盆地伸展断陷活动结束,演化为整体沉降,盆地进入伸展拗陷,沉积了森纳(Senna)和腾迪(Tendi)两组暗色泥岩为主的地层及阿多克(Adok)红色砂泥岩地层,沉降中心完全位于南区的中、南部。

2.4 盆地的后期改造

2.4.1 走滑改造

晚白垩世末期,在盆地西北侧沿中非大断裂带有走滑运动^[1],其结果强烈改造了断裂带内早期发育的伸展断陷盆地,使得图卢斯、巴加拉凹陷的边界产生了陡倾,甚至形成直立的走滑构造和负花状构造。经研究,这类凹陷不是由于走滑活动产生的拉分盆地^[8],而是为早期(白垩纪)伸展断陷盆地,后期(晚白垩世末期)为走滑断层活动所改造。其主要证据是巴加拉凹陷虽然被走滑断裂改造,但仍看出伸展箕状断陷面貌,其缓坡为一系列反向正断层分割成断陷(图 3),往 NEE 方向延伸不远即可见到相同走向的未受走滑断层改造的西洛库巴、苏夫焉伸展断陷。

走滑构造系统主要由走滑断层及其伴生构造组成,呈狭窄的“带状”分布于穆格莱德盆地西北部边缘,与盆地内“中非断裂”的位置基本一致^[9]。

穆格莱德盆地中的中生代伸展构造和走滑构造是两种不同类型的构造,各自成为相对独立的构造系统。在空间上它们又相互叠加和改造,形成复杂的构造复合关系。

2.4.2 挤压改造

在穆格莱德盆地南部的凯康凹陷,晚白垩世

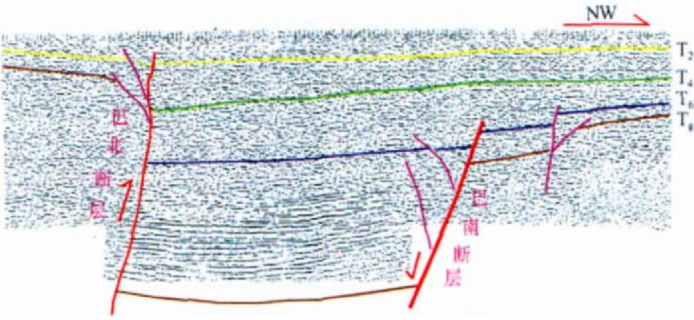


图 3 巴加拉走滑伸展凹陷地震剖面
Fig. 3 Seismic profile of the Bagara strike-slip extensional depression
(剖面位置为图 1 中的 BB'线)

末期发育挤压运动,发生由负向凹陷变为正向局部背斜的反转。这种作用力使先存的正断层发生逆向变形,形成下正上逆的逆断层^[10]。这一特征与国内外研究的反转构造是一样的^[11~13]。

因此,穆格莱德盆地内存在 3 个相对独立又相互关联的白垩系构造系统——伸展构造、走滑构造和反转构造。伸展构造是控制盆地形成和演化的主体构造,它是由不同级别的伸展断层构成的大型铲式正断层系,整个裂陷盆地是在该断层系上盘发育形成的。

3 油气富集特征

3.1 盖层控制油气富集

上白垩统阿拉德巴组的湖相泥岩是穆格莱德盆地最重要的区域盖层,其发育程度控制油气藏的规模和富集。该组沉积厚度大于 200 m,单层最

并未见到该套优质泥岩发育,只有良好油气显示。目前追踪此套泥岩的分布是勘探此类块状油藏的关键。

晚期活动的通天断层发育地区,在断层断距小于盖层厚度的地带,断层上盘泥岩与下盘泥岩相接触,组成一个统一的泥岩封闭带,形成顶部封闭(图 4)。这是油气高产富集地带^[14]。

3.2 生储盖组合控制油气富集高产

钻井证明,穆格莱德盆地主要具有两种生储盖组合,即下白垩统阿布加布拉组生、本蒂乌组储、上白垩统达富尔群底部盖组合及阿布加布拉组的自生、自储、自盖式组合。前者出现于上部地层,是跨组段地层组合的生、储、盖,厚度均比较大,尤其储层为大套平原河流相块状砂岩,单层厚度大、物性好,可称之为“大组合”;下部生成的油气经过二次运移和富集,形成块状油藏,具有统一的水动力系统,油藏高度大于 100 m,单井产原油

8.1~20 m 以上,在 100~180 m 之间有一个异常高压带。该组地层具有良好的毛细管力封闭且底部具异常高压封闭特征,是良好的盖层。Baleela-1 井和 A zraq-1

组主晚期的上白垩统达富尔群,由北区将穆土南区,决定了南区达尔富尔群阿拉德巴组泥岩纯净,盖层性能好;而北区的上白垩统达尔富尔群阿拉德巴组泥岩普遍含砂,未形成良好区域盖层。

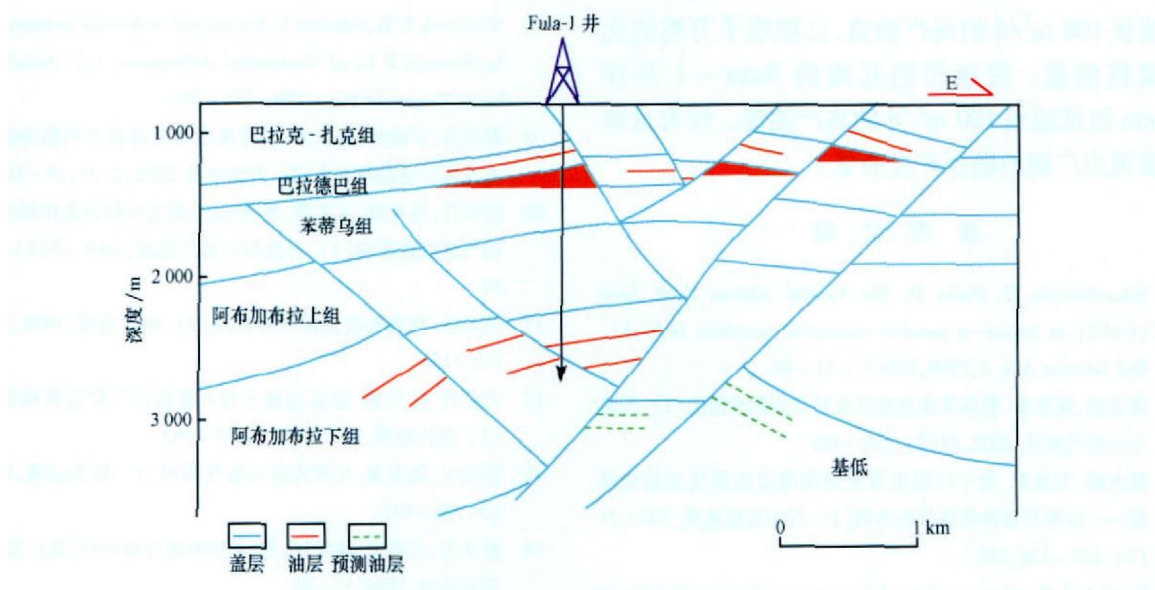


图 4 Fula-1 井油藏剖面

Fig. 4 Reservoir profile across Well Fula-1

(剖面位置为图 1 中的 GG' 线)

即盆地南区主要是大组合, 北部则以小组合为主。因此, 大油田多发现于盆地南区。盖层的这种差异是第一期伸展断陷和第二期伸展断陷的构造运动所造成的^[15]。

3.3 反向断块构造控制油气富集

该区断层断距较小, 一般在 100 m 左右。由于主要目的层为大套河道沙岩, 断层的侧向封堵性较差, 油气聚集在反向断块、断背斜、断鼻圈闭内; 尤其是反向断块形成了顶面泥岩封盖, 储层上倾方向被断层下降盘的泥岩封堵, 形成高产富集油藏。Fula-1 井属此类油藏, 穆格莱德盆地南区已发现的油藏中 90% 以上属此类型。通过精细落实构造, 瞄准构造最高点钻探, 这是发现厚油层、寻找富集区块、提高勘探效益的有效途径。

3.4 砂体控制油气富集

断陷湖盆多物源、近物源、有利相带窄、岩性变化快的沉积特点, 导致三角洲前缘亚相的砂岩控制油气的富集。三角洲前缘水下分流主河道砂体厚度大, 一般为 30~100 m, 物性好, 当其与构造符合时往往形成富集^[16]。如努加拉凹陷阿布加布拉组油藏, 在没有此砂体的构造上钻探基本上全落空, Fula-1 井在阿布加布拉没有打到此类砂体, 仅电测解释油层 1.6 m/层。阿布加布拉组油气勘探以寻找此类砂体为主要目标。

3.5 断层控制油气运移

阿布加布拉组油气沿一条主断裂带作单向垂向运移, 直接从深层运移至浅层。其中油气可以简单地直接沿主断裂面运移, 也可以在下部沿主断裂面运移, 在上部沿向上分叉成马尾状、羽毛状和丫字形的断层呈分支状运移。这种运移现象常见于中部构造带浅层, 与此有关的断块成为油气勘探的有利目标。

油气沿断层面垂向运移和横穿断面侧向运移交替进行, 象爬阶梯那样从深层运移到浅层。油气分布过一个断层, 含油层上抬一个砂层组, 油层节节抬高^[14]。总之, 油气总是寻求最短途径作垂向或侧向运移, 即沿垂直构造等高线向高部位运移。福拉凹陷中部构造带就成为油气运移的主要指向区^[17]。

近几年勘探不断取得重大突破, 在福拉凹陷 Fula-1 井新发现类似南区的主力油层, 在 Bentu 组顶部试油获 231.84 m³/d 的高产油流, 已探明数千万吨的优质规模储量。努加拉凹陷东北部的 Hadila-1 井发现新的含油气构造, 该井在 Abu Gabra 组试油获 278 m³/d 的高产油流, 在 Bentu 组试油获 89 m³/d 的高产油流, 已探明多于 3 000 × 10⁴ t 的优质规模储量; 凹陷南部的 Shoka-1 井发现新的含油气构造, 在 Bentu 组试油获 150 m³/d 的高产油流, 已探明数千万吨的优质规模储量。盆地北端苏夫焉凹陷的 Suf-1 井在 Abu Gabra 组

试油获 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 的高产油流, 已探明千万吨的优质规模储量。凯康凹陷北端的 Naha-1 井在 Bentu 组试油获 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 的高产油流。所有这些展现出广阔的勘探开发前景。

参 考 文 献

- Schandermeier H, Pudlo D. The Central African Fault Zone (CAFZ) in Sudan—a possible continental transform fault [J]. *Berl Geowiss Abh A*, 1990, 120(1): 31–44
- 张亚敏, 陈发景. 穆格莱德盆地形成特点及勘探潜力 [J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(3): 236–240
- 魏永佩, 刘池阳. 位于巨型走滑断裂端部盆地演化的地质模型——以苏丹穆格莱德盆地为例 [J]. *石油实验地质*, 2003, 25(2): 129–136, 142
- Genik G J. Petroleum geology of Cretaceous–Tertiary rift basin in Niger Chad and Central African Republic [J]. *AAPG Bulletin*, 1993, 8: 1405–1434
- Gibbs A D. Balanced cross-section construction from seismic sections in areas of extensional tectonics [J]. *Journal of Structural Geology*, 1983, 5: 152–160
- Dahlstrom C D A. Balanced cross sections [J]. *Canada Journal of Earth Science*, 1969, 6: 743–757
- Chull T J R. Rift basins of interior Sudan: petroleum exploration and discovery [J]. *AAPG Bulletin*, 1988, 72: 1128–1142
- Woodcock N H, Schubert C. Continental strike-slip tectonics [A]. In Hancock P L, ed. *Continental deformation* [C]. Oxford, England: Pergamon Press, 1994: 251–263
- 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义 [J]. *石油学报*, 2001, 2(2): 19–24
- 侯贵廷, 冯大晨, 王文明, 等. 松辽盆地的反转构造作用及其对油气成藏的影响 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(1): 49–53
- 刘和甫. 伸展构造及其反转作用 [J]. *地学前缘*, 1995, 2(1): 113–124
- 龙胜祥, 陈发景. 松辽盆地十屋–德惠含气带反转构造分析 [J]. *现代地质*, 1997, 11(2): 157–163
- 陈昭年, 陈发景. 反转构造与油气圈闭 [J]. *地学前缘*, 1995, 2(3): 96–102
- 陈发景, 汪新文, 陈昭年, 等. 伸展断陷盆地分析 [M]. 北京: 地质出版社, 2004: 52–85
- 张亚敏, 吕延仓. 东濮凹陷兰聊断裂带构造演化与油气勘探 [J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(1): 57–60
- 陈发景, 贾庆素, 张洪年. 传递带及其在砂体发育中的作用 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 143–148
- 窦立荣, 潘校华, 田作基, 等. 苏丹裂谷盆地油气藏的形成与分布——兼与中国东部裂谷盆地对比分析 [J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(3): 255–261

(编辑 李 军)

(上接第 668 页)

参 考 文 献

- 张洪, 何顺利, 庞雄奇, 等. 克拉 2 气田成藏过程的物理模拟 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(1): 23–26
- 孙东胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 库车前陆盆地迪那 2 气田成藏机理和成藏年代 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(5): 559–564
- Liang Digang, Zhang Shuichang, Chen Jianping et al. Organic Geochemistry of oil and gas in the Kuqa Depression of Tarim Basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34(7): 873–888
- 杨树春, 卢庆治, 宋传真, 等. 库车前陆盆地中生界烃源岩有机质成熟度演化及影响因素 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(6): 770–777
- 付晓飞, 宋岩, 吕延防, 等. 塔里木盆地库车坳陷膏盐层特征与天然气保存 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(1): 25–29
- 李剑, 谢增业, 李志生, 等. 塔里木盆地库车坳陷天然气气源对比 [J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(5): 29–32
- 赵文智, 王红军, 单家增, 等. 库车坳陷天然气高效成藏过程分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(6): 703–710
- 刘文汇, 张殿伟, 郑建军, 等. 地球化学动态示踪油气成藏过程探讨——以库车坳陷大宛气构造为例 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(6): 717–723
- 梁狄刚, 陈建平, 张宝民, 等. 塔里木盆地库车坳陷陆相油气的生成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 142–187
- 卢双舫, 赵孟军, 付广, 等. 塔里木盆地库车油气系统富气的主控因素分析 [J]. *大庆石油学院学报*, 2001, 25(3): 10–13
- 贾承造, 顾家裕, 张光亚. 库车坳陷大中型气田形成的地质条件 [J]. *科学通报*, 2002, 47(S0): 49–55
- 宋岩, 贾承造, 赵孟军, 等. 库车煤成烃前陆盆地冲断带大气田形成的控制因素 [J]. *科学通报*, 2002, 47(S0): 64–69
- 宋岩, 魏国齐, 洪峰, 等. 天然气地质研究与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 211–218
- 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 47–72
- 戴金星, 裴锡古, 戚厚发, 等. 中国天然气地质学 (卷 1) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 65–87
- 戴金星, 宋岩, 关德师, 等. 鉴别煤型的指标 [A]. *煤成气地质研究* [M]. 北京: 石油工业出版社, 1987: 156–170
- 冯福闯, 王庭斌, 张士亚, 等. 中国天然气地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 113–164
- Schoell M. The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins [J]. *Geochim et Cosmochim Acta*, 1980, 44(5): 649–661
- Stahl W J. Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbon research and exploration [J]. *Chemical Geology*, 1977, 20(1): 121–149

(编辑 李 军)