

文章编号: 0253-9985(2005)06-0724-06

我国典型天然气藏输导体系研究

——以鄂尔多斯盆地苏里格气田为例

朱筱敏¹, 刘成林¹, 曾庆猛², 门相勇³

(1 中国石油大学, 北京 102249 2 中国地质大学, 北京 100083

3 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 前陆盆地褶皱-冲断带气藏和裂谷盆地气藏油气输导体系以断裂为主, 天然气运移方向以垂向为主, 运移距离短, 输导效率高; 而克拉通盆地岩性气藏和前陆盆地斜坡带气藏油气输导体系以砂体为主, 油气运移方向为侧向、垂向, 运移距离较长, 输导效率低。苏里格气田属克拉通盆地岩性气藏, 输导体系主要类型为砂体型, 也有少量断裂型、砂体-断裂型。砂体型又可进一步分为厚层带状砂体、薄层带状砂体与透镜状砂体等类型。输导体系的输导能力随时间而变化。在 200~150 Ma 溶蚀作用和断层活动最强, 输导体系的输导能力增大到顶峰。在成藏关键时刻 (J_3-K_1), 输导体系格架产状西高东低、北高南低, 主要输导体系为砂体、断层与裂缝, 油气向西北方向运移, 输导效率高。在成藏后调整期 (K_2-Q), 输导体系格架大部为东高西低、北高南低, 主要输导体系为砂体与裂缝。油气运移效率较低, 运移不太明显。

关键词: 输导体系; 克拉通; 前陆; 裂谷; 苏里格气田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Study of carrier system of typical gas reservoirs in China

— taking Sulige gas field in Ordos basin as an example

Zhu Xiaomin¹, Liu Chenglin¹, Zeng Qingmeng², Men Xiangyong³

(1 China University of Petroleum, Beijing; 2 China University of Geosciences Beijing;

3 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing)

Abstract For gas reservoirs in the fold-thrust belts of foreland basins and in rift basins, faults constitute the main carrier systems, and hydrocarbons migrate mainly in vertical direction with short migration distance and high delivery efficiency. While for lithologic gas reservoirs in craton basins and gas reservoirs in slope zones of foreland basins, sandbodies act as the main carrier system, and hydrocarbons migrate both laterally and vertically with relatively long migration distance and low delivery efficiency. Sulige gas field is of lithologic gas reservoirs in craton basin, its main carrier system is of sandbody type, with a few fault type and sandbody-fault type carrier systems. The sandbody carrier system can be subdivided into thick belt sandbody, thin belt sandbody and lenticular sandbody. The delivery capacity of carrier system varied with time. It peaked in 200–150 Ma during the strongest dissolution and faulting. At the critical reservoiring period (J_3-K_1), the framework of carrier system was high in the west and north and low in the east and south, and the major carrier system consisted of sandbodies, faults and fractures. Hydrocarbons migrated northwestward with high delivery efficiency. While in the post-reservoiring adjustment period (K_2-Q), the framework of carrier system was basically high in the east and north and low in the west and south, and the major carrier system consisted of sandbody and fractures. Hydrocarbon migration efficiency was low and not evident.

Key words carrier system; craton; foreland; rift; Sulige gas field; Ordos basin

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2001CB209103)

第一作者简介: 朱筱敏, 男, 45 岁, 教授, 石油地质与沉积储层

收稿日期: 2005-09-27

20 世纪 90 年代以来, 含油气系统理论和成藏动力学系统理论的发展促进了系统化、动态化的油气成藏研究^[1, 2]。作为沟通源岩与储层的桥梁, 输导体系是油气成藏极为关键的控制因素, 也是系统化、动态化油气成藏研究的重要体现。深入研究输导体系的类型、特征、分布、影响因素、时空关系和有效性, 有助于认识油气运移的动态过程, 揭示油气成藏规律, 发现油气富集区。一般认为, 输导体系是油气从烃源岩运移到圈闭过程中所经历的所有路径网, 主要包括输导体 (高孔、渗砂体)、不整合面、断层和裂缝以及这 4 种类型的组合类型。目前, 人们着重研究输导体系类型及其特征, 很少涉及到各种输导体系类型的精细描述、输导性能随时间的演化和时空匹配等问题^[3~6]。

不同类型盆地因构造背景不同、沉积相不同、成岩作用机理不一样, 天然气输导体系类型和输导性能差异较大。在对不同盆地构造背景、沉积相、成岩作用机理分析的基础上, 对比了不同类型天然气藏输导体系的类型和输导性能。在对沉积相、砂体形态、断裂发育状况及烃源岩与储层配置关系等因素综合研究的基础上, 建立了苏里格气田的现今输导体地质模型。结合盆地模拟技术, 确立了输导体系地质模型的时空演化; 进而采用岩石薄片鉴定、电镜分析等储层分析技术, 通过成岩作用研究, 分析了不同类型油气输导体系的输导能力以及演化历史。

1 输导体系特征

按构造背景分类, 我国典型天然气藏类型主要有克拉通盆地古隆起构造气藏、克拉通盆地背斜气藏、克拉通盆地岩性气藏、前陆盆地褶皱-冲断带气藏、稳定前陆斜坡气藏和裂谷盆地气藏。不同类型天然气藏输导体系各具特征。

1.1 克拉通盆地天然气藏

克拉通盆地气藏地史时间长 (360~600 Ma), 具多构造运动旋回 (4~6 次), 埋藏速率小 (10 m/Ma), 成岩序列复杂 (5~6 个成岩期次, 成岩环境多变, 成岩作用多样), 输导体系类型多样, 输导性能演化史复杂。

以四川盆地乐山-龙女寺古隆起和川东石炭系天然气藏为例, 古隆起构造气藏和背斜气藏油气输导体系为不整合单一型、断层-不整合复合型, 输导性能持续、稳定, 输导效率较高, 油气以侧

向运移为主, 运移距离长^[7, 8]。

以鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏为例, 岩性气藏输导体系为砂体单一型、断裂-砂体复合型, 输导性能受成岩作用影响, 总体上输导效率较低^[9]。

1.2 前陆盆地天然气藏

前陆盆地气藏地史时间较短 (144~200 Ma), 构造运动旋回较少 (1~2 次), 埋藏速率较大 (20~50 m/Ma), 成岩序列较为简单 (5 个成岩期次, 成岩环境为浅至中-深埋藏, 成岩作用以压实、压溶、胶结和溶解作用为主), 输导体系类型较多, 输导性能演化史较为简单。

以塔里木盆地库车坳陷中-新生界天然气藏为例, 褶皱-冲断带气藏油气输导体系为断裂单一型、砂体-断裂复合型, 油气幕式运移, 输导效率高, 油气运移方向以垂向为主, 运移距离短^[10]。

以四川盆地川西上三叠统天然气藏为例, 斜坡带气藏油气输导体系为砂体单一型、断裂-砂体复合型, 输导性能受成岩作用影响总体上输导效率较低, 油气运移方向为侧向、垂向, 运移距离较长^[11]。

1.3 裂谷盆地天然气藏

裂谷盆地气藏地史时间短暂 (36 Ma), 构造运动旋回少, 埋藏速率大 (130 m/Ma), 成岩序列较简单 (6 个成岩期次, 成岩环境为浅至中-深埋藏, 成岩作用以压实和溶解作用为主), 输导体系类型较少, 输导性能演化史简单。

以莺-琼盆地第三系天然气藏为例, 输导体系为底辟型, 油气幕式运移, 输导效率高, 油气运移方向以垂向为主, 运移距离短 (图 1)^[12]。

2 苏里格气田的输导体系

苏里格气田地处内蒙古自治区伊克昭盟境内, 天然气勘探面积 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 地质构造隶属于鄂尔多斯盆地伊-陕斜坡西部, 是发育于上古生界碎屑岩系中的大型砂岩岩性圈闭气藏^[13]。该气藏烃源岩为上石炭统本溪组、下二叠统太原组与山西组的煤和泥岩, 主力含气层段为下二叠统下石盒子组盒 8 段和山西组山 1 段, 输导层主要为本溪一下石盒子组的低孔、低渗砂体。

2.1 类型与特征

输导体系的类型受控于盆地的构造类型、地层格架特点、沉积充填特征、流体活动方式等诸多因素。根据砂体形态、断裂发育状况及烃源岩与

储层配置关系等因素, 将苏里格气田的输导体系分为砂体型、砂体-断裂型和断裂型 3 大类; 又根

据砂体厚度与空间展布, 将砂体型次分为厚层带状砂体、薄层带状砂体与透镜体型 (图 2)^[14~16]。

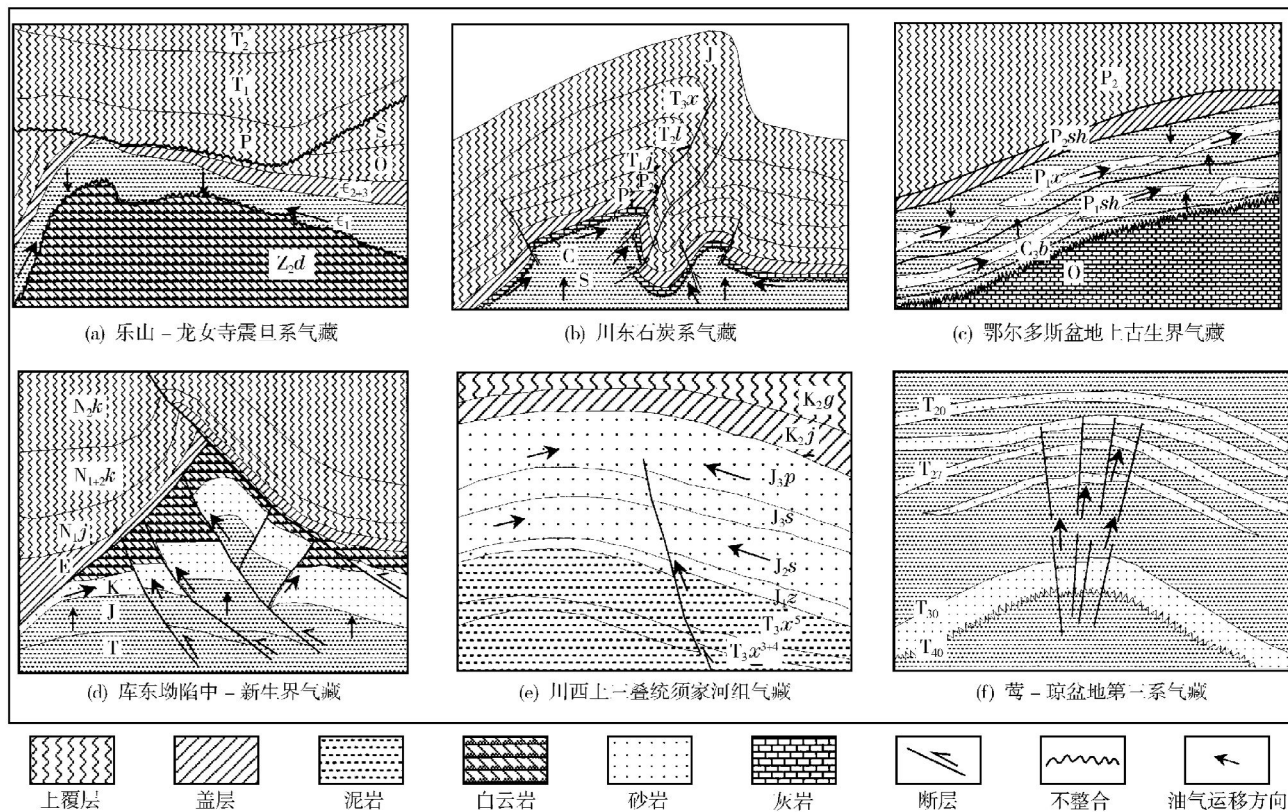


图 1 不同类型气藏油气输导体系及运移方式

Fig. 1 Carrier systems and migration patterns of hydrocarbons in various types of gas reservoirs

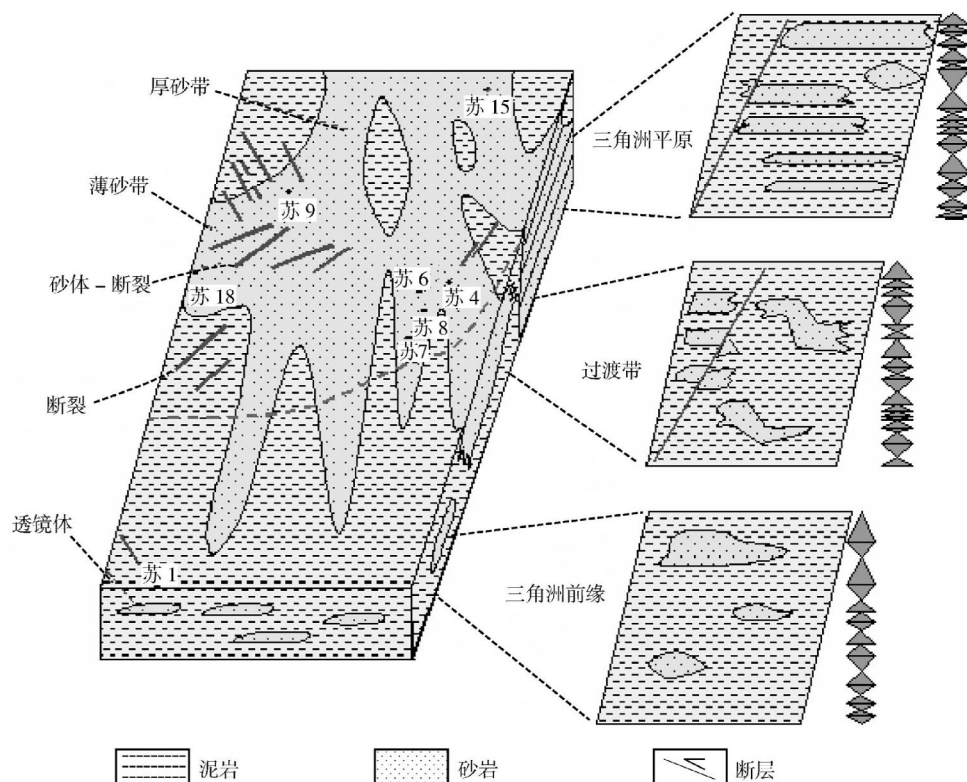


图 2 现今苏里格气田输导体系结构模型

Fig. 2 Structural models of carrier systems in Sulige gas field

2.2 输导能力演化

根据砂体成岩序列与孔隙演化分析, 苏里格气田不同类型输导体系的输导能力是随时间而变化的。约 250Ma 前, 随着埋深的增加, 主要受压实与压溶作用影响, 孔隙度减小, 从而导致输导能力急剧下降; 随后, 由于溶蚀作用的加强, 导致砂体的孔隙度加大, 从而使得输导体系的输导能力增加; 至 200~150Ma 溶蚀作用最强, 溶蚀孔隙增加最多, 同时断层活动最强, 产生了一系列的断层及裂缝, 输导体系的输导能力增大到顶峰; 150Ma 至今, 受后期胶结作用等成岩作用的影响, 输导能力缓慢下降。相比较而言, 厚砂体比薄砂体输导能力强(图 3)。

2.3 时空演化地质模型

2.3.1 现今

由北向南, 随着沉积相与断裂发育程度的变

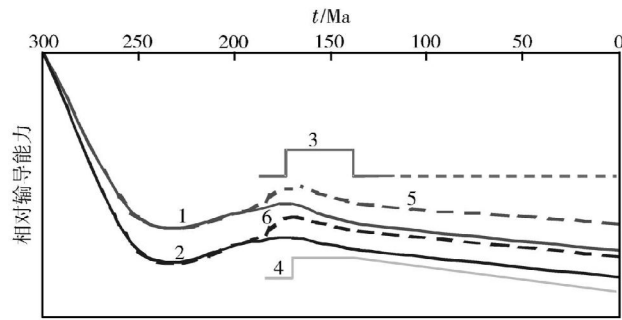


图 3 苏里格地区不同类型输导体系输导能力随时间变化示意图

Fig. 3 Sketch map showing delivery capability of different carrier systems varied with time in Sulige area

1—厚砂体; 2—薄砂体; 3—断层; 4—裂缝; 5—厚砂体综合;
6—薄砂体综合

化, 苏里格气田输导体系的类型及分布不一样:

1)北部发育三角洲平原亚相, 断裂不发育, 分流河道中央主要发育厚层带状砂体, 河道边部发育薄层带状砂体; 2)中部发育三角洲平原与三角洲前缘过渡亚相, 断裂发育, 主要发育断裂型与砂体—断裂型输导体系; 3)南部发育三角洲前缘亚相, 断裂不发育, 主要以透镜砂体为主要输导体系, 分流河道微相中发育厚层或薄层带状砂体。

通过盆地模拟研究发现, 苏里格气田经历了成藏前、成藏关键时刻与成藏后调整期 3 个成藏阶段。不同时期, 输导体系的类型与输导性能不同。对气田最重要的是成藏关键时刻与成藏后调整期输导体系的输导效率。

2.3.2 成藏关键时刻

苏里格气田的油气成藏关键时刻为晚侏罗—早白垩世, 输导体系格架产状西高东低、北高南低, 烃源岩(主要包括 C₃ 本溪组、P₁ 太原组、P₁ 山西组的煤层及泥岩)处于高成熟阶段, 砂体进入晚成岩 A 期, 同时断层活动强, 构造缝与成岩缝发育, 主要输导体为砂体、断裂与裂缝, 运移相态大都为游离相, 运移方向主要为垂向和侧向(由南向北、由东向西), 输导效率较高。

2.3.3 成藏后调整期

在成藏后调整期(K₂—Q), 输导体系格架产状呈东高西低、北高南低, 烃源岩大都处于高成熟时期, 砂体进入晚成岩 A 期、部分为晚成岩 B 期, 断层活动减弱, 局部发育构造缝, 主要输导体为砂体与裂缝, 运移相态大都为游离相, 运移方向为垂向以及侧向(由南向北、由西向东), 输导效率较低(表 1)。

表 1 苏里格气田天然气运、聚模式

Table 1 Summary of gas migration and accumulation patterns in Sulige gas field

阶段	地质时期	源岩	输导体成岩阶段	断层活动性	裂缝	主要运移通道	运移相态	运移方向	运移效率
成藏前	P 末前	局部成熟	早成岩 A 期末	不活动	不发育	砂体	水溶相	垂向	低
	T—J ₂	成熟	晚成岩 A 期			砂体	气—水两相	垂向、侧向(由南向北、由东向西)	较高
成藏关键时刻	J ₃ —K ₁	高成熟	晚成岩 A 期, 部分晚成岩 B 期	断层主要活动期	构造与成岩缝	砂体、断层、裂缝	游离相	垂向、侧向(由南向北、由东向西)	高
成藏后调整	K ₂ —Q			局部活动	构造缝	砂体、裂缝		垂向、侧向(由南向北、由西向东)	低

3 结论

按构造背景分类,我国典型天然气藏有 3 大类 6 种类型,即克拉通盆地古隆起构造气藏、克拉通盆地背斜气藏、克拉通盆地岩性气藏、前陆盆地褶皱-冲断带气藏、稳定前陆斜坡气藏和裂谷盆地气藏。构造背景不同、沉积相不同、成岩作用机理不一样,由此影响输导体系的类型和输导性能。前陆盆地褶皱-冲断带气藏和裂谷盆地气藏油气输导体系以断裂为主,天然气运移方向以垂向为主,运移距离短,输导效率高;克拉通盆地岩性气藏和前陆盆地斜坡带气藏油气输导体系以砂体为主,油气运移方向为侧向、垂向,运移距离较长,输导效率较低。苏里格气田的输导体系包括砂体、砂体-断裂和断裂。砂体型可次分为厚层带状砂体、薄层带状砂体与透镜体型 3 类。不同类型输导体系的输导能力是随时间而变化的。在 200~150Ma 溶蚀作用和断层活动最强,输导体系的输导能力增大到顶峰;在成藏关键时刻 (J_3-K_1),输导体系格架产状西高东低、北高南低,主要输导体系为砂体、断层与裂缝,油气向西北方向运移,输导效率高;在成藏后调整期 (K_2-Q),输导体系格架大部为东高西低、北高南低,主要输导体系为砂体与裂缝,油气运移效率较低,运移不太明显。

致谢:在科研工作期间,得到了中国石油勘探开发研究院廊坊分院同仁的指导和帮助,在此致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 1 Magoon L B, Dow W G. 含油气系统——从烃源岩到圈闭 [M]. 张刚,蔡希源,高泳生,译. 北京:石油工业出版社,1998. 3~25
Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap [M]. Zhang Gang, Cai Xiyuan, Gao Yongsheng translated. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998. 3~25
- 2 赵文智,何登发,池英柳,等. 中国复合含油气系统的基本特征与勘探技术 [J]. 石油学报,2001, 22(1): 6~13
Zhao Wenzhi, He Dengfa, Chi Yingliu, et al. Major characteristics and exploration technology of multisource petroleum systems in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 6~13
- 3 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): 118~121
Zhang Weihai, Zha Ming, Qu Jiangxiu. The type and configuration of petroleum transportation [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(2): 118~121
- 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,付晓飞. 断裂输导系统及其组合对油气成藏的控制作用 [J]. 世界地质,2001, 20(4): 344~349
Fu Guang, Fu Xiaofei. Controlling of fault transport system and its combination control over formation and distribution of oil or gas reservoirs [J]. World Geology, 2001, 20(4): 344~349
- 6 赵忠新,王华,郭齐军,等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析 [J]. 石油实验地质,2002, 24(6): 527~532
Zhao Zhongxin, Wang Hua, Guo Qijun, et al. Types of passage system and analysis of evolution of its capabilities in temporal and spatial range [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(6): 527~532
- 7 王兴志,穆曙光,方少仙,等. 四川盆地西南部震旦系白云岩成岩过程中的孔隙演化 [J]. 沉积学报,2000, 18(4): 549~554
Wang Xingzhi, Mu Shuguang, Fang Shaoxian, et al. A study on porosity evolution during the diagenesis of Sinian dolomite in Sichuan basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 549~554
- 8 刘成林,李景明. 川东小河坝砂岩天然气成藏地球化学研究 [J]. 西南石油学院学报,2002, 24(1): 46~49
Liu Chenglin, Li Jingming. Geochemistry research on natural gas reservoir formation of Xiaohaba Fm of Lower Silurian in the eastern Sichuan basin [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(1): 46~49
- 9 赵澄林,陈丽华,涂强,等. 中国天然气储层 [M]. 北京:石油工业出版社,1999. 63~160
Zhao Chenglin, Chen Lihua, Tu Qiang, et al. Natural gas reservoirs in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 63~160
- 10 易荣龙,黄泽光,刘树根. 中国中西部压扭性盆地油气地质特征 [A]. 见:李丕龙,编. 压扭性盆地勘探理论及方法文集 [C]. 北京:石油工业出版社,2001. 71~95
Yi Ronglong, Huang Zeguang, Liu Shugen. Petroleum geologic features of compressive basins in Central-Western China [A]. In: Li Pilong, ed. Proceedings of exploration theory and methodology of compressive basins [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 71~95
- 11 刘成林,李景明. 川西白马庙地区上侏罗统蓬莱镇组天然气成藏研究 [J]. 天然气工业,2002, 22(2): 10~13
Liu Chenglin, Li Jingming. Research on natural gas reservoir formation in Penglaizhen Formation of Upper Jurassic at Baimaiao region in western Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 10~13
- 12 吕明. 莺-琼盆地含气区储层特征 [J]. 天然气工业,1999, 19(1): 20~24
Lu Ming. Reservoir characteristics of the gas-bearing area in

- Yingqiong basin[J]. *Natural Gas Industry*, 1999, 19(1): 20–24
- 13 何自新, 付金华, 席胜利, 等. 苏里格大气田成藏地质特征[J]. *石油学报*, 2003, 24(2): 6–12
- He Zixin, Fu Jinhua, Xi Shengli, et al. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(2): 6–12
- 14 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测[J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(4): 336–340
- Zhai Aijun, Deng Hongwen, Deng Zuyou. Sequence stratigraphy and reservoir prediction of Upper Palaeozoic in Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(4): 336–340
- 15 李文厚, 魏红红, 马振芳, 等. 苏里格庙气田碎屑岩储集层特征与天然气富集规律[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(4): 387–391
- Li Wenhong, Wei Honghong, Ma Zhenfang, et al. Characteristics of detrital reservoirs and regularity of gas concentration in Suligemiao gas field[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(4): 387–391
- 16 田冷, 何顺利, 顾岱鸿. 苏里格气田储层三维地质建模技术研究[J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(6): 593–596
- Tian Leng, He Shunli, Gu Daohong. The use of 3-D reservoir geological modeling in Sulige gas field[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(6): 593–596

(编辑 李 军)

(上接第 723 页)

- 13 刘文汇, 徐永昌. 煤型气碳同位素演化二阶段分馏模式及机理[J]. *地球化学*, 1999, 7(4): 359–366
- Liu Wenhui, Xu Yongchang. A two-stage model of carbon isotopic fractionation in coal gas[J]. *Geochimica*, 1999, 7(4): 359–366
- 14 陈孟晋, 胡国艺. 流体包裹体中气体碳同位素测定新方法及其应用[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(4): 339–343
- Chen Mengjin, Hu Guoyi. A new method in assaying gas isotopes in fluid inclusion and the way of application[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(4): 339–343
- 15 苟捷. 天然气烃指纹分析在气藏地球化学描述中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(3): 349–354
- Gou Jie. Application of hydrocarbon finger print analysis to geochemical description of gas pools[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(3): 349–354
- 16 陈晋阳, 张红, 肖万生. 有机油气形成的影响因素——模拟实验的研究进展[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(3): 247–253
- Chen Jinyang, Zhang Hong, Xiao Wansheng. Factors affecting generation of organic origin petroleum: development of simulating experimental study[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(3): 247–253
- 17 梁狄刚, 张水昌, 赵孟军, 等. 库车坳陷的油气成藏期[J]. *科学通报*, 2002, 47(增 1): 56–63
- Liang Digang, Zhang Shuichang, Zhao Mengjun, et al. Hydrocarbon sources and stages of reservoir formation in Kuqa depression, Tarim basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(S1): 62–70
- 18 赵靖舟. 前陆盆地天然气成藏理论及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003, 1–191
- Zhao Jingzhou. Reservoiring theory of natural gas in foreland basins and its application[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003, 1–191
- 19 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, 1–265
- Liang Digang, Chen Jianping, Zhang Baomin, et al. Hydrocarbon generation from terrestrial sediments in Kuqa depression, Tarim basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004, 1–265
- 20 刘文汇, 徐永昌. 天然气中氦氩同位素组成意义[J]. *科学通报*, 1993, 38(9): 818–821
- Liu Wenhui, Xu Yongchang. The significance of He and Ar isotopic composition in natural gas[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(9): 818–821
- 21 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984, 1–548
- Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, et al. Element geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1984, 1–548
- 22 梅博文, 刘希江. 我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J]. *石油与天然气地质*, 1980, 1(2): 99–115
- Mei Bowen, Liu Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in China's crude oil and its relation with the geologic environment[J]. *Oil & Gas Geology*, 1980, 1(2): 99–115
- 23 Radke M, Welt D H. The methylphenanthrene index (MPI): a maturity parameter based on aromatic hydrocarbon[J]. *Organic Geochemistry*, 1981, 12: 504–512
- 24 田作基, 张光亚, 邹华耀, 等. 塔里木盆地库车含油气系统油气成藏的控制因素及成藏模式[J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(5): 12–16
- Tian Zuojì, Zhang Guangya, Zou Huayao, et al. Tarim basin Kuqa petroleum system controlling factor and reservoir forming pattern[J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2001, 28(5): 12–16
- 25 陈义才, 沈忠民, 李延钧, 等. 大宛齐油田溶解气扩散特征及其扩散量计算[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(2): 58–60
- Chen Yicai, Shen Zhongmin, Li Yanjun, et al. Simulation of diffusion quantity of solution gas in Dawanqi oil field[J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2002, 29(2): 58–60

(编辑 李 军)