

文章编号: 0253-2697(2005)05-0005-05

鄂尔多斯盆地苏里格气田低效气藏的形成机理

赵文智¹ 汪泽成¹ 朱怡翔¹ 王兆云¹ 王朋岩¹ 刘新社²

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国石油长庆油田公司 陕西西安 710021)

摘要: 鄂尔多斯盆地苏里格气田是一个地质储量为 $5336.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、含气面积为 4054.6 km^2 的大气田, 同时也是一个低丰度储量、开发难度大的气田。对该气田低效形成机理的研究结果表明, 储集体内部非均质性强, 平缓构造背景导致气柱高度小, 因而气层连通性变差, 异常低压使天然气渗透流动能量不足, 这些是导致气藏低效的主要因素。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 苏里格气田; 低效气藏; 非均质性; 低压异常; 连通性

中图分类号: TE112

文献标识码: A

Forming mechanism of low-efficiency gas reservoir in Sulige Gas Field of Ordos Basin

ZHAO Wen-zhi¹ WANG Ze-cheng¹ ZHU Yi-xiang¹ WANG Zhao-yun¹

WANG Peng-yan¹ LIU Xin-she²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China;

2. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China)

Abstract: Sulige Gas Field is the largest gas field with reserves in place of 533.652 billion cubic meters and gas-bearing area of 4054.6 square kilometers in Ordos Basin. It is a low-efficiency gas field with low reserves abundance. The forming mechanism of low-efficiency gas reservoir in Sulige Gas Field was researched. The geological factors resulting in low-efficiency gas reservoirs in Sulige Gas Field include the strong anisotropies in the reservoir, low height of gas column resulted from very gentle structures, poor connectivity and low energy induced by ultra-low pressure in gas pay zones.

Key words: Ordos Basin; Sulige Gas Field; low-efficiency gas reservoir; anisotropy; ultra-low pressure; connectivity

苏里格气田位于鄂尔多斯盆地西北部, 是近几年来勘探发现规模最大的气田, 截止2003年底, 已探明天然气地质储量 $5336.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ (全部属于三类储量), 探明含气面积 4054.6 km^2 , 储量丰度为 $1.32 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 。加上控制储量和预测储量, 三级储量超过 $8600 \times 10^8 \text{ m}^3$, 含气面积超过 8200 km^2 。同时, 该气田是单个气藏规模小、储量丰度低、产量变化大的低效气田, 开发动用难度大。产层为二叠系石盒子组盒8段和山西组山1段。气层压力为27~32MPa, 气层埋深在3200~3410m, 压力系数一般在0.83~0.89。对苏6井区进行的试采和开发前期评价初步结果表明, 气层厚度较薄, 平均气层厚度为8~20m; 气层连续性差, 单个含气砂体规模小, 一般长为1000~2500m, 宽为100~250m; 单井产能变化较大, 产量为 $(30 \sim 1) \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$ 。在试气和试采过程中, 地层压力下降快, 后期压力恢复慢。因此, 研究气藏低效的形成机理, 从低

效气藏中发现相对高渗透气层的分布规律, 对提高气田储量的动用程度有重要的现实意义。

1 苏里格气田气层分布特点

勘探和开发试验证实, 苏里格气田是一个含气面积大、储量规模大及单个气藏规模小、储量丰度低、产量变化大的低效气田。气层分布具有以下特征:

(1) 有效储层以粗砂岩为主, 主要发育在侵蚀基准面之上的一期河道充填沉积单元内。苏里格气田盒8段和山1段是一套以辫状河流相沉积为主的层系, 并不缺砂岩。但并不是所有的砂岩都可形成含气层, 仅在靠近沉积旋回底部的粗砂岩中才有较好的气层发育。向上砂岩粒度变细, 单层厚度变薄, 虽然含气, 但产量低, 多数达不到工业气流标准。粗砂岩的孔隙度大于10%, 渗透率大于 $0.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 中粗砂岩孔隙度为5%~10%, 渗透率为 $(0.1 \sim 0.82) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,

基金项目: 国家重大基础研究发展规划(973)项目(2001CB209100)。

作者简介: 赵文智, 男, 1958年9月生, 1982年毕业于西北大学, 博士, 中国石油勘探开发研究院教授级高级工程师, 现从事石油地质综合研究和科研管理工作。E-mail: ZWZ@Petrochina.com.cn

细粒砂岩孔隙度一般小于 5%，渗透率小于 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

(2) 高能水道心滩微相是最主要的粗砂岩相富集区。根据对沉积环境和微相的研究,粗砂岩主要沉积于高能水道的心滩部位,平流水道心滩的下部和河道充填的底部,也有部分粗砂岩沉积。对气田范围内的测试结果表明,粗砂岩单井产量一般高于 $5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,基本为高能水道心滩沉积,部分为平流水道心滩下部沉积。

(3) 侵蚀基准面之上充填河谷的粗砂岩是低产中找高产的重点。在苏里格地区二叠系沉积时,地形相当平缓。在沉积充填初期,地形和坡降相对较大,因而在侵蚀基准面上,一期河道充填沉积的粒度较粗,河道规模也比较大。砂岩的结构成熟度较高,物性较好,原始粒间孔保持较好,这为后来来自气源岩的酸性地层

水进入其中并发生溶蚀创造了条件。对苏6井试采区研究发现,这类砂岩的单层连续厚度大于 6m,单井产量高于 $10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,是低产区中的有利岩层。随着沉积充填的进行,地形被进一步淤平,河流的能量进一步减弱,河流的规模逐渐变小,而数量逐渐增加。砂岩沉积的粒度变细,厚度变薄(图1)。据全区钻井钻遇砂岩的频率统计,盒8段底部的盒8-6和盒8-5层段的砂岩钻遇率为 35%~50%,盒8段中上部的盒8-4—盒8-1段的砂岩钻遇率为 60%~90%。如苏4井盒8-6段高能水道心滩砂体的厚度为 7.3m,有效储层厚度为 6.8m,平均孔隙度为 12.3%,平均渗透率为 $2.65 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测试气产量为 $50.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$;而盒8-5—盒8-3段河道砂体累计厚度达 24.0m,孔隙度一般小于 7%,平均渗透率小于 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。上述结果表明,盒8段砂岩自下而上钻遇率增加,物性和含气性变差。

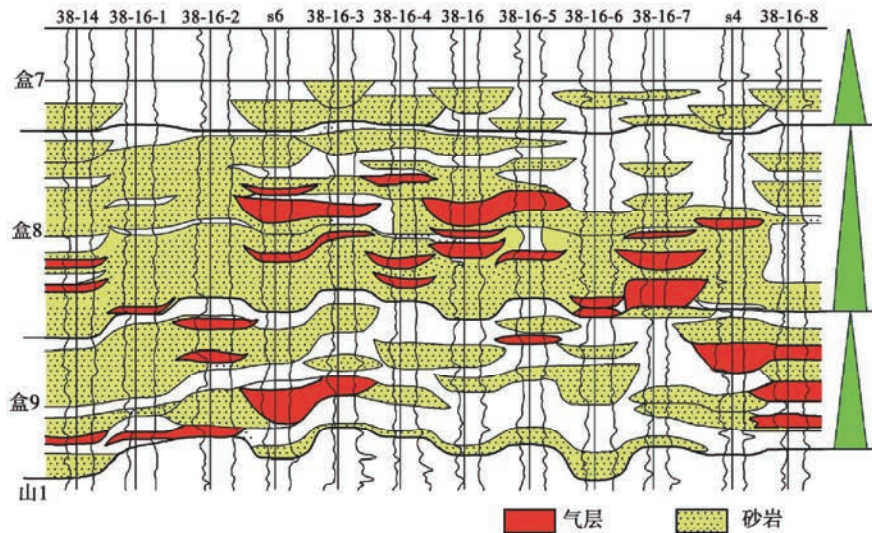


图1 苏里格气田盒8段气层分布特征

Fig. 1 Distribution of He-8 gas pay zone in Sulige Gas Field

2 气田低效的形成机理

气田低效的影响因素如下:

(1) “广覆型”气源灶生气效率低。研究结果表明^[1~3],生烃过程的快慢对天然气聚集规模与成藏效率有明显的控制作用。即使母质相同的烃源岩,在不同热动力环境下生气,也会有不同的成藏结果。根据气源灶受热历史,可分为3类气源灶:①缓慢受热型。即在一定的地温条件下,沉积埋藏呈缓慢递进过程,使气源岩进入生气门限以后,在生气窗范围内滞留时间过长。因而气源灶生气总量很大,但散失量也较大,聚集量则受到影响。华北地区C-P煤系气源灶属于此类;②早期快熟型。即早期受高地温条件的作用,气源岩进入生气门限后,生气高峰期出现较早,如果没有优

质盖层保持,尽管早期有可观的天然气聚集,但随后长时间扩散,同样会有大量气体损失,这是导致气藏能量不足的一个原因,苏里格气田的气源灶属于这种类型;③晚期快熟型。即晚期受快速埋藏或高地温条件作用,烃源岩进入生气门限时间晚,大量生气时间出现晚,延续时间短,因而气体散失量小,聚集量大,有利于天然气高效成藏和保存,如库车前陆盆地。

苏里格气田上古生界气源主要来自石炭系和二叠系的太原组和山西组煤系。这套煤系气源岩全区分布,厚度分布比较稳定。有机碳丰度高,TOC含量多为 2.1%~2.6%;有机质类型以腐植型为主,热演化程度高,镜质体反射率 R_o 值为 1.08%~2.50%^[4]。现今累计生气强度为 $(18 \sim 40) \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$,其中大于 $20 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 的面积可达 $12 \times 10^4 \text{km}^2$,大于

$40 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 的面积可达 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

鄂尔多斯盆地上古生界是发育在稳定克拉通基底上的拗陷型湖沼相沉积。这套煤系在三叠纪末除局部地区外,基本上都处于未成熟阶段。在晚侏罗世到早白垩世末,受区域性异常热事件的影响,有机质热演化快速进入成气阶段。用镜质体反射率、磷灰石裂变径迹、包裹体等资料反演了古地温^[5~7],在距今 135~140Ma 时期古地温梯度高达 $3.1 \sim 4.45 \text{ }^\circ\text{C} / 100\text{m}$,远远高于现今地温梯度($2.6 \sim 2.8 \text{ }^\circ\text{C} / 100\text{m}$)。当时石炭-二叠系烃源岩就经历了高达 $160 \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 的异常高温,使有机质热演化程度快速增高,很快进入凝析气和干气生成阶段。中生代异常热事件与燕山期区域性岩浆活动有关^[8,9]。岩浆岩体同位素年龄分析数据表明,包括鄂尔多斯盆地在内的广大华北地区在晚侏罗世—早白垩世末(距今 $95.34 \sim 158.4 \text{ Ma}$)有一次明显的构造热事件。因此,中生代异常高地温事件的持续时间大约在 80Ma 以上。早白垩世末至现今,盆地遭受抬升剥蚀,地温场降低,有机质成熟度基本上保持了早白垩世末期的状态,实际上递进性的生气过程可能从晚白垩世就几乎停止了。盆地模拟表明^[5],上古生界烃源岩生气强度在中侏罗世为 $2.84 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$,到早白垩世上升为 $18.574 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$,晚白垩世下降到 $1.254 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 。累计生气强度在中侏罗世为 $5.184 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$,到早白垩世上升为 $26.54 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$,晚白垩世为 $27.75 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 。因此,鄂尔多斯盆地上古生界气源灶在早白垩世末就已形成,属于早期快熟型气源灶,其后经历了长达 120Ma 的散失过程,散失量相当大。利用苏 1 井盒 8 段泥质岩实测扩散系数估算出天然气扩散量为 $127.59 \text{ m}^3 / \text{m}^2$;按最新资源评价所标定苏里格刻度区面积 34900 km^2 估算出的天然气散失量大约为 $4.45 \times 10^{12} \text{ m}^3$,扩散损失气量占总排气量($44.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$)的近 10%,是总聚集量($1.74 \times 10^{12} \text{ m}^3$)的 2.6 倍。

苏里格地区上古生界气源灶虽然丰度高,总生气量大,但因天然气生成早、散失量大,导致已聚集的天然气资源丰度低(仅为 $0.499 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$),是一类低效气源灶。低效气源灶对该区气藏低效形成的直接影响是后期气源供应不充裕,导致气藏能量不足,因而在储层非均质性条件下,气藏内部的分隔性就十分明显。

(2) 储层致密化的成岩作用时间早于大量生排气高峰,使储层非均质性增强。鄂尔多斯盆地苏里格气田上古生界砂岩储层基本上为低孔隙度、低渗透率储层,且非均质性较强。煤系源岩在热演化过程中产生 CO_2 、烃类、有机酸,在水、微生物等介质中,电离出 H^+ 。 H^+ 与岩石矿物反应,造成方解石溶解,孔隙充

填物减少,易于压实^[10]。对煤系产生酸的实验室模拟表明,当温度在 $60 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,产酸率最大。这一温度段对应的地质时代相当于晚三叠世,成岩作用已进入晚成岩 A1 期,孔隙度保存约为 9%。在中晚侏罗世,成岩作用进入晚成岩 A2 期,孔隙度降至 8% 以下(图 2),且非均质性较强。而上古生界气源灶大量生气时间为晚侏罗世—早白垩世,晚于储层大规模致密化的时间,这样就使后来进入其中聚集的气藏也有很大的非均质性。

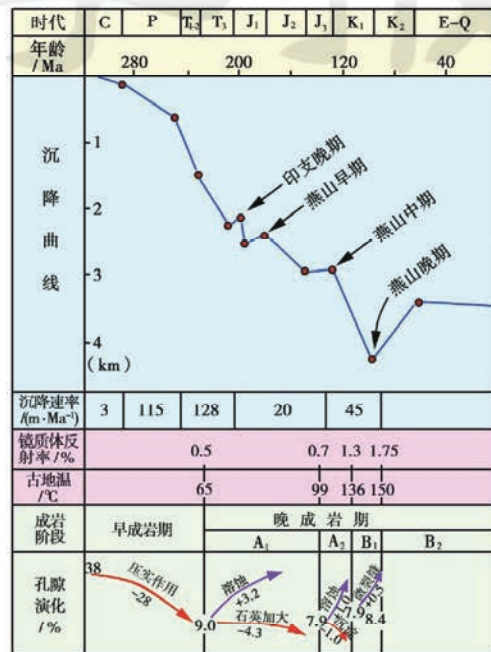


图 2 上古生界成岩阶段与储层演化模式

Fig. 2 Schematic model showing diagenetic stage and reservoir evolution in the Upper Paleozoic

(3) 低气柱高度产生的浮力不能突破阻流层的毛细管力。天然气自气源灶生成后经初次运移进入储集层(或运载层),在浮力或者水动力作用下发生二次运移。在静水条件下,天然气二次运移的主要动力是浮力^[11]。在浮力驱动下发生以垂向为主的运移,当毛细管阻力超过浮力时,运移就会停止,聚集过程才会发生。随着天然气聚集高度的增加,浮力也随之增大。当浮力大于阻力时,天然气将突破阻力层发生再次运移,直至遇到更大的阻力,聚集才会重新开始。因此,天然气成藏必须具备良好的盖层条件。从机理上,盖层之所以具有良好的封隔性,是因为其具有较高的毛细管力。

储集层内部的非均质性会导致流体流动时因“障壁”的阻隔而发生流动方向的改变而与流动单元分隔。“障壁”往往是由于沉积或成岩作用导致层内孔喉结构的变化而产生,它可以阻止流体在储集层内部的侧向

流动,这里称其为阻流层。它们阻止流体侧向流动的能力既与自身的封闭性有关,也与气藏能量有关。很显然,当气藏能量充足、气体浮力大于毛管阻力时,阻流层就不存在障壁性。储集层内部的排驱压力是衡量阻流层性能的重要参数。阻流层排驱压力越大,突破阻流层所需的气柱高度也应该越大。在静水条件下,天然气突破阻流层的临界气柱高度,可表示为

$$L(\rho_w - \rho_g)g \sin \alpha = 2\sigma(1/r_1 - 1/r_2) \quad (1)$$

$$Z_0 = L \sin \alpha \quad (2)$$

式中 Z_0 为天然气突破阻流层的临界高度, m; L 为气层延伸长度, m; σ 为气、水界面张力, N/m; r_1 为阻流层的最大喉道半径, m; r_2 为储集层的最小孔隙半径, m; ρ_w 和 ρ_g 分别为水和天然气的密度, kg/m³; g 是重力加速度; α 为气层的倾角。

从式(1)可知,阻流层喉道半径越小、储集层孔隙越大,由此产生的毛细管压力差就越大,突破阻流层所需的浮力就越大。由式(1)和式(2)可知,在阻流层和储集层相同的情况下,气层倾角越小,达到临界高度所要求的气层延伸长度越长。

苏里格气田区上古生界构造平缓,总体上呈北高南低及倾角为 1°~ 3°的单斜。现今气藏的形成基本上是静水条件,符合上述计算公式的计算要求。单个气藏的气柱高度仅为 8~ 20m,由气柱高度所产生的浮力最大为 0.15 MPa。实际上,该地区阻流层的排驱压力大于 1.2 MPa,气层和阻流层之间的排驱压力差大于 0.5 MPa。由此可见,气柱产生的浮力不足以突破阻流层而使得气层连通性差。

为检验这一观点的客观性,以榆林气田山 2 段气藏作为对比研究对象。榆林气田山 2 段储集层属于三角洲分流河道砂体。与苏里格气田主力气层的辫状河道砂体相比,前者连续性较好。其中,单砂体宽度为 10~ 12km,长度一般大于 20km,气层厚度为 5~ 15m,气柱高度在陕 141 井区达到 86m;产生的浮力为 0.67 MPa,大于阻流层的排驱压力(小于 0.4 MPa),气层连通性明显较好,气层延伸长度可达 45km(陕 141 井至陕 207 井),是一个规模较大的整装气藏。从气藏压力来看,陕 141 井区山 2 段气层压力系数为 0.96,而苏里格气田的气层压力系数多在 0.83~ 0.89。相比而言,榆林地区的山 2 气藏能量明显高于苏里格气田。

上述两个实例表明,平缓构造背景下,气柱高度差异导致了气层在储层内部连通性的差异和开发动用难度的差异。苏里格气田盒 8 气藏,尽管气藏叠合面积大、储量规模大,但气层分隔性强、连通性差,动用比例小,经济效益较差。相反,榆林地区山 2 气层连通性明显好于苏里格盒 8 气层,气藏能量相对较高,气藏可动

用比例较高,经济效益较好。

(4) 晚期地层抬升导致气藏低压与气体散失。早白垩世末发生的燕山运动导致鄂尔多斯盆地中生界地层剥蚀以及构造作用产生的裂缝发育^[12]。盆地东部绥德-子洲地区剥蚀厚度为 1500~ 2000m,中部靖边地区剥蚀厚度约为 1000m,西部天环向斜地区剥蚀厚度约为 300~ 500m。大规模的区域性抬升和剥蚀造成大规模区域性降温过程,使得气源岩生烃作用十分微弱,甚至完全停止^[5]。因此,上古生界气源岩自早白垩世末抬升以后,气藏无充足气源补充。

现今气藏以低压为主,低压成因与晚白垩世以来所发生大幅度降温有关。利用气态方程计算表明,苏里格气田区早白垩世末二叠系石盒子组的古压力约为 48~ 53 MPa,降温后压力为 32~ 35 MPa,现今压力为 29~ 30 MPa。在不考虑天然气散失和补充等因素的前提下,在苏里格地区降温导致的压力降低可达 30%~ 35%。天然气散失(扩散和沿裂缝运移)也是气藏部分压力下降的原因之一^[11]。用物质平衡法计算,天然气扩散在苏里格地区造成的压力损失为 2.29~ 9.9 MPa,占气藏压力损失量的 7%~ 26%。

可见,苏里格气田在成藏期后,构造运动导致的地层抬升与裂缝发育使得气藏温度和压力下降,气体散失量增大,因而加剧了气藏内部能量的不足,也助长了储层非均质性对气藏的分隔作用。

3 结 论

(1) 导致苏里格气田低效的因素有:①气源岩大量生气期偏早,主生气期持续时间长且距今时间也长,属于低效的气源灶;②储层致密化的成岩作用时间早于气源灶大量生排气高峰,气藏内储层较强的非均质性加剧了气层的分隔性;③平缓构造背景下,较低的气柱高度所产生的浮力不足以突破层间阻流层,气层连通性变差;④晚白垩世到现今,持续的地层抬升、降温与气体散失过程导致气藏低压与内部能量不足,不仅使气藏产能普遍偏低,而且对气层的连通性也有影响。

(2) 盒 8 段下部位于侵蚀基准面之上的一期河道充填沉积以及山西组三角洲分流河道砂体是未来勘探的重要目标。

参 考 文 献

- [1] 赵文智,张光亚,王红军.石油地质理论新进展及其在拓展勘探领域中的意义[J].石油学报,2005,26(1):1-8.
- [2] 赵文智,汪泽成,李晓清,等.油气藏形成的三大要素[J].自然科学进展,2005,15(3):304-312.
- [3] 赵文智,王兆云,张水昌,等.有机质接力成气模式的提出及其在勘探中的意义[J].石油勘探与开发,2005,32(2):1-7.

- [4] 杨华,张军,王飞雁.鄂尔多斯盆地古生界含气系统特征[J].天然气工业,2000,20(6):7-11.
- [5] 刘新社,席胜利,付金华,等.鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成[J].天然气工业,2000,20(6):19-23.
- [6] 任战利.利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J].地球物理学报,1995,38(3):339-348.
- [7] 赵孟为,Behr H J.鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率与地热史[J].石油学报,1996,70(2):186-194.
- [8] 孙少华,李小明,龚革联,等.鄂尔多斯盆地构造热事件研究[J].科学通报,1997,42(3):306-309.
- [9] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.
- [10] 杨俊杰,黄月明,张文正.乙酸对长石砂岩溶蚀作用的实验模拟[J].石油勘探与开发,1995,22(4):82-86.
- [11] 李明诚,主编.石油与天然气运移(第三版)[M].北京:石油工业出版社,2004:157-159.
- [12] 汪泽成,赵文智,门向勇,等.基底断裂“隐性活动”对鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏的作用[J].石油勘探与开发,2005,32(1):9-13.
- (收稿日期 2004-08-13 改回日期 2005-05-09 编辑 张 怡)

(上接第 4 页)

- [4] 何登发,陈新发,张义杰,等.准噶尔盆地油气富集规律[J].石油学报,2004,25(3):1-10.
- [5] 徐凤银,彭德华,侯恩科.柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J].石油学报,2003,24(4):1-6.
- [6] 郭秋麟,翟光明,石广仁.改进的区带综合评价模型及其实现方法[J].石油学报,2004,25(2):7-11.
- [7] 查明,曲江秀,张卫海.异常高压与油气成藏机理[J].石油勘探与开发,2002,29(1):19-23.
- [8] 马新华,王涛,庞雄奇,等.深盆气藏的压力特征及成因机理[J].石油学报,2002,23(5):23-27.
- [9] 周中毅.准噶尔盆地热历史[J].地球化学,1997,19(2):31-34.
- [10] 张启明.中国含油气盆地中的超压体系[J].石油学报,2001,21(6):1-11.
- [11] 张年富,张越迁,徐长胜,等.陆梁隆起断裂系统及其对油气运聚的控制作用[J].新疆石油地质,2003,24(4):281-283.
- [12] 李振宏,汤良杰,丁文龙,等.准噶尔盆地腹部地区断裂特征分析[J].新疆石油地质,2002,23(2):40-43.
- [13] 王平在,何登发,雷振宇,等.中国中西部前陆冲断带构造特征[J].石油学报,2002,23(3):11-17.
- [14] 李丕龙,庞雄奇.陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成[M].北京:石油工业出版社,2004:1-19.
- [15] 王英民,刘豪,王媛.准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景[J].新疆石油地质,2002,23(2):44-47.
- [16] 刘豪,王英民,王媛.坳陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制[J].石油学报,2004,25(2):30-35.
- [17] 林景晔.砂岩储集层孔隙结构与油气运聚的关系[J].石油学报,2004,25(1):44-47.
- (收稿日期 2005-01-28 改回日期 2005-04-03 编辑 张 怡)

《石油学报》2005 年第 6 期部分文章预告(I)

- 中国近海新生代盆地至今仍然是油气成藏的活跃期 冀再升
- 准噶尔盆地石油地质特征与大油气田勘探方向 李丕龙等
- 中国东部下第三系构造演化与源岩发育关系研究 饶丹等
- 西昆仑山前乌泊尔逆冲推覆带构造特征 刘胜等
- 苏里格气田辫状河沉积模式厘定及其指示意义 何顺利等
- 松辽盆地北部葡萄花油层事件沉积 王建功等
- 柴达木盆地西部生物礁储层的分布特征与规律 温志峰等
- 天然气运移速率的微观物理模拟及其相似性分析——以库车坳陷为例 王震亮等
- 苏仁诺尔断裂垂向封闭时空分布及与油气关系 付广等
- 重力资料在济阳坳陷石油勘探中的应用 陈海云等
- 高速层出露区常规地震勘探存在的问题与对策 刘洋等
- 核磁共振 T2 谱 SVD 反演改进算法 姚彦平等
- 济阳坳陷预探井失利地质原因分析 郭元岭等
- 陆相断陷湖盆油藏微观流场演化规律及演变机理 李阳等