

文章编号: 0253-9985(2004)05-0565-05

应用地球化学方法研究断层的渗漏性

侯读杰¹, 朱俊章², 唐友军², 肖中尧³, 王清华³

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 长江大学分析测试研究中心, 湖北荆州 434023;

3. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000)

摘要: 应用地球化学方法进行断层的渗漏性判定是油藏地球化学近年的新进展之一。根据原油中正构烷烃的分布和生物标志物特征, 柯克亚油藏存在着5种原油类型, 即第一类基态原油、第二类运移分馏残余油、第三类蒸发-反凝析形成的凝析油和轻质油、第四类气洗残余原油及第五类发生晶析作用的原油。其中第二类原油主要分布在构造的顶部, 说明原油沿小断层和构造顶部发生了渗漏, 造成古今油水界面明显不同。原油分子地球化学分析结果也证实, 在构造的顶部原油成熟度相对较高, 重质组分和不易运移的组分相对较高。

关键词: 断层的封闭性; 油藏渗漏; 柯克亚; 油藏地球化学

中图分类号: TE112.113

文献标识码: A

Study leakage of fault with geochemical techniques

Hou Dujie¹, Zhu Junzhang², Tang Youjun², Xiao Zhongyao³, Wang Qinghua³

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. Yangtze University, Jingzhou, Hubei; 3. Tarim Oilfield Company, CNPC, Korla, Xinjiang)

Abstract: It is one of the new advances in reservoir geochemistry to study leakage of fault with geochemical techniques. According to the distribution of n-alkane and the characteristics of biomarkers, there exist 5 types of crude in Kokyar oil reservoir, including original-state oil, residual oil from fractionation through migration, condensate and light oils from evaporation and retrograde condensation, residual crude from gas washing, and crude with wax crystallization. The second type of crude is mainly distributed on the top of the structure, indicating that leakage occurred along small faults and the top of the structure, leading to the obvious difference between ancient and present OWC. Moreover, molecular geochemical analysis of the crude verifies that crude on the top of the structure have relatively higher maturity and higher contents of heavy components and those uneasily to be migrated.

Key words: fault sealing; leakage of reservoir; Kokyar; reservoir geochemistry

断层广泛地存在于地下含油气构造中, 在不同的地区它可以对油气起到封堵作用, 有时起到运移的通道作用, 而在某些情况则成为油气逸散的通道^[1~7]。正因为油气的散失作用对天然气的成藏至关重要, 王庭斌教授提出了中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动^[8], 说明气藏的保存条件对大气藏的形成是至关重要的。当然, 油气形成的时间越晚, 越有利于油气的保存, 也越有利于形成较大的油气聚集^[9]。由于构造运动和断层的发育不同, 造成油气的分布和保存条件差异很大。如何判断油气的逸散, 地球化学有

着自己优势, 可以从成分上解析油气逸散的过程^[10, 11]。

1 地质概况

柯克亚背斜位于昆仑山前第二排构造带, 为一近东西向的短轴背斜, 两翼不对称, 北陡南缓, 轴面略南倾, 深部高点稍往南偏移, 闭合幅度下大上小, 从浅至深虽同为背斜, 但性质不同: 浅层为同沉积背斜, 中层为挤压背斜, 深层(中生界一下第三系)为明显被断层复杂化的挤压断阶式背斜。柯克亚中新统凝析气藏组合主要由6个油气藏组

基金项目: 国家基础研究发展项目(2001CB209100-01)及教育部重点项目(104040)

第一作者简介: 侯读杰, 男, 40岁, 教授(博导), 油藏地球化学和油气运移

收稿日期: 2004-08-23

成,均以中新统西河甫组(N_{1x})砂岩作为储层。西河甫组从上到下可划分为 10 个岩性段,以中间的第六岩性段(N_{1x_6})为界,之上称上油组,之下称下油组。上油组包括有西河甫组三段(以下简称西三段,下同)(N_{1x_3})、西河甫组四段一亚段($N_{1x_4}^1$)和西河甫组四段二亚段—西河甫组五段二亚段($N_{1x_4}^2-N_{1x_5}^2$);下油组包括西河甫组七段一亚段($N_{1x_7}^1$)、西河甫组七段二亚段($N_{1x_7}^2$)和西河甫组八段(N_{1x_8}),这 6 个油组组成了柯克亚中新统凝析气田 6 个独立的储盖组合及油气水系统。在本次研究工作中,我们重点对西河甫组五段二亚段(以下简称西五二段)($N_{1x_5}^2$)的原油进行分析研究。

2 原油类型

基态原油(即保存完好未发生后期变化作用的原油)中正构烷烃的摩尔分数与其碳数呈指数关系($MC(n)=WC(n)/MW(n)=A\exp(\alpha,n)$),其中 α 为斜率因子, n 为正构烷烃碳数, $MC(n)$ 为某碳数正烷烃摩尔浓度, $WC(n)$ 为某碳数正烷烃重量百分比, $MW(n)$ 为某碳数正烷烃的分子量^[12]。若原油发生气洗作用,则其 α 将会在 C_9-C_{15} 之间出现斜率断点,断点前的斜率因子由负变正,且随气洗量的增大,断点前的斜率因子 α 逐渐变大,断点后的斜率因子基本保持不变。随成熟度增大, α 变小。通过对柯克亚 49 个具有丰富正构烷烃且完整的凝析油和原油样品统计,用正构烷烃摩尔分数的自然对数与正构烷烃碳数作关系图(图 1,表 1)发现,柯克亚油田原油可分为 5 种类型。

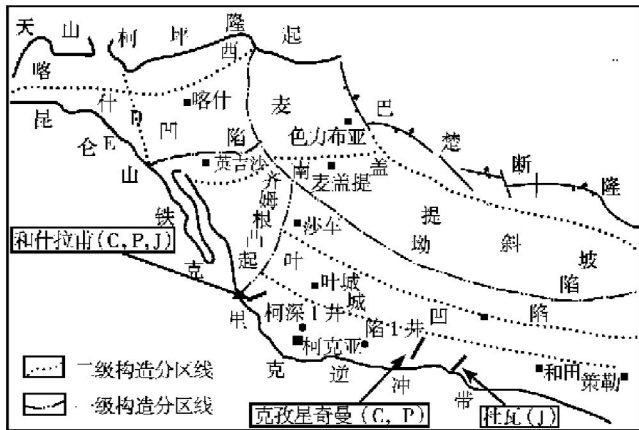


图 1 塔西南地区的构造分布及本研究采样分布的位置图^[13]

Fig. 1 Distribution of structures and sampling locations in southwestern Tarim basin

表 1 原油类型统计表
Table 1 Statistics of crude types

井号	层位	原油类型	井号	层位	原油类型
柯 300	$N_{1x_5}^2$	第一类	柯 416	$N_{1x_5}^2$	第三类
柯 322	$N_{1x_5}^2$	第一类	柯 352	$N_{1x_5}^2$	第五类
柯 341	$N_{1x_5}^2$	第一类	柯 321	$N_{1x_5}^2$	第二类
柯 351	$N_{1x_5}^2$	第一类	柯 332	$N_{1x_5}^2$	第二类
柯 410	$N_{1x_5}^2$	第一类	柯 428	$N_{1x_5}^2$	第二类
柯 222	$N_{1x_5}^2$	第二类	柯 342	$N_{1x_5}^2$	第二类

第一类原油(图 2)斜率因子基本保持不变,波动较小,且正构烷烃碳数分布完整(C_3-C_{30}),属基态原油,即原油原生性较强,次生蚀变较小。 α 微小的波动仅与石油的运移充注史有关。

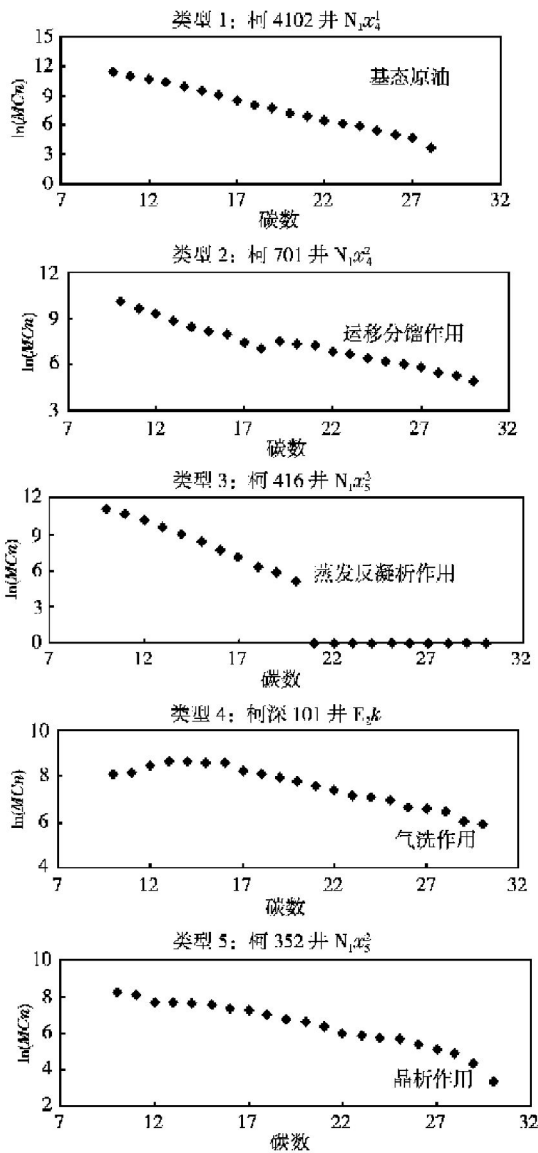


图 2 柯克亚油气田不同类型原油摩尔浓度图
Fig. 2 Diagram showing molar concentration of different types of crude in Kokyar field

第二类原油(图2)约在 nC_{18} 处出现断点,且断点前的斜率因子 α 仍为负,断点前的摩尔分数值明显小于按断点后的斜率因子 α 所计算出的摩尔分数值,即 nC_{18} 以前组分含量明显损失。这类油主要是因为油藏受到烃类(气体)不断注入,或构造运动致使油藏处于欠压实状态,油藏中分子量小、体积小、渗透能力强的中小分子以气相运移,穿过薄弱盖层,逃离原生油藏,并形成残余油藏。

第三类原油(图2)则是以气相运移出去的中分子烃类,遇适当的圈闭条件再次聚集成藏,并由于压力的释放成为凝析油气藏或轻质油藏。

第四类原油(图2)约在 $nC_{13} - nC_{15}$ 处出现斜率断点,且断点前的斜率因子由负变正,断点后的斜率因子基本保持不变。这两个油样均为柯深101井 E_2k 组原油,该组原油明显经受了来自深部气体的气洗作用和多次蒸发分馏作用,致使该油藏轻质烃类被气体萃取。各物质萃取量的大小与该物质同气体瞬间亲合力大小成正比。低分子量烃类与烃类气体的瞬间亲合力较强,损失较大,碳数较高的长链正构烷烃与烃类气体的瞬间亲合力较弱,损失相对较小。

第五类原油(图2)大约在 nC_{27} 处摩尔分数突然降低,斜率因子突然变小,该类原油与石油在储层运移过程中晶析和结蜡作用有关。对原油中同碳数各类烃类而言,正烷烃分子体积最小,异构烷烃较大,芳烃最大,因而高碳数正构烷在油藏充注过程中最易发生晶析和结蜡作用,从而使得原油中高碳数正构烷烃摩尔分数急骤减小。

3 分布

在一个油藏中,不同类型原油的分布可以提供油藏状态的信息。西五二油组原油的分布见图3。第一类基态原油分布在该油藏的底部,第二类

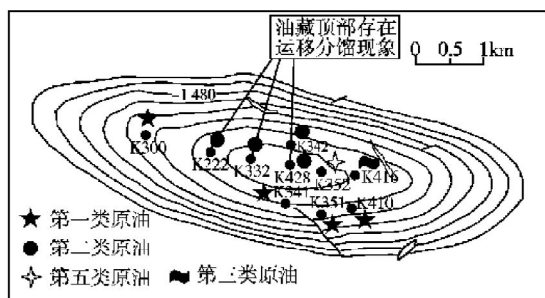


图3 西五二油组原油的类型分布

Fig. 3 Distribution of oil types in N_{1x5} reservoir

原油分布在该油藏的顶部,说明在顶部可能存在着原油渗漏的现象。同时,顶部原油的成熟度参数和三环萜烷/五环萜烷分布也支持这种推论(图4, 5)。

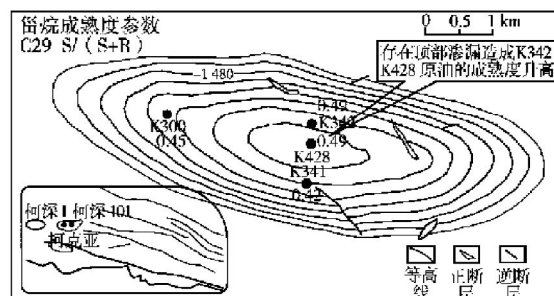


图4 西五二油组原油甾烷的成熟度参数

Fig. 4 Distribution of maturity index of C_{29} sterane in N_{1x5} reservoir

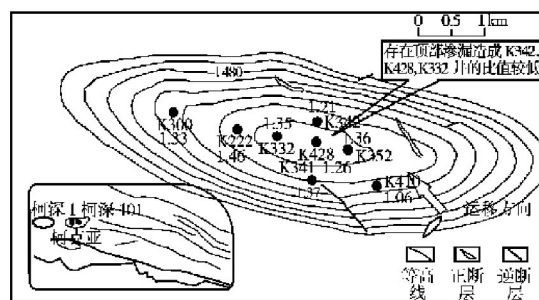


图5 根据三环萜烷/五环萜烷参数判定原油的运移方向

Fig. 5 Migration direction determined according to tricyclic terpanes/pentacyclic triterpanes

据三维地震解释,背斜上的中新统中发育31条断裂,多属层间小断裂,除5条为正断裂外,其余26条都为逆断裂,断面倾向大多数为南倾-南东倾,断裂延伸长度大多在1 km以内,位移较小,基本在30 m左右。经柯深1井的FM1成像图反映的裂缝特征表明,深部碳酸盐岩层中的低角度的缝主要为张开缝,对油气的运移和调整起重要作用。因而笔者推测,这种油藏的再调整可能主要与顶部的小断层和微裂缝有关。西五二油组的古油水界面与今油水界面也充分说明断层在油气渗漏中的作用(图6, 7)。

4 对比

在本次研究工作中,我们对原油的含氮化合物进行了分析(表2)。尽管由于原油中含氮化合物的含量比较低,难于在平面上判定原油的方向,

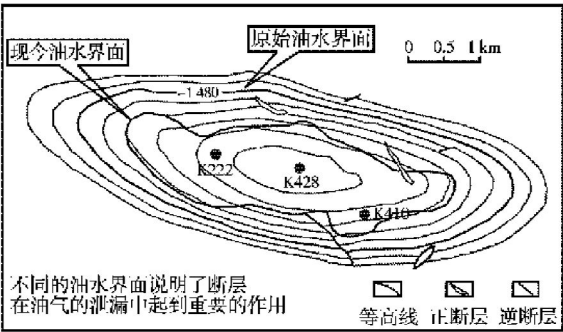


图 6 西五二油组原油的古油水界面和今油水界面

Fig. 6 Ancient and present OWC in N_{1x52} reservoir

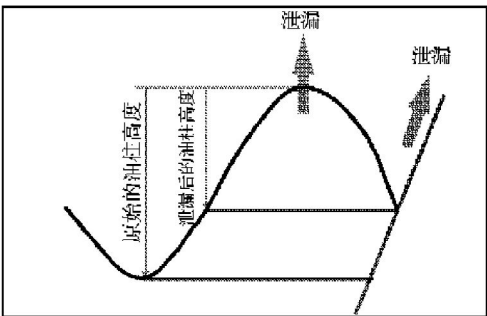


图 7 断层在油气泄漏中的作用示意图

Fig. 7 Schematic diagram showing oil leakage along faults

但从纵向上, 它们的分布仍具有明显的规律性。在西河甫组八段油组和西河甫组七段油组原油中的含氮化合物浓度比较高, 因而它们更接近源岩区, 即原油很有可能是由下部运移形成的。另外一种可能性则是因为上部原油的成熟度较高, 造成含氮化合物的破坏, 而下部原油存在着后期原油的注入。这两种可能性均应引起我们的重视。柯克亚的储油层并不是生油层, 其生储模式为古生新储, 即油源层在深部。深部生油层生成的石油通过断裂向上运移, 并依次聚集到白垩系、古近系和新近系的储集层中, 有如下一些证据: (1) 原油的族组成由下到上饱和烃含量增加, 芳烃含量

降低, 基本不含非烃和沥青质; (2) 原油的含蜡量由下油组的 10.39% 下降到上油组的 6.24%; (3) C_{21}/C_{22} 值由 N_{1x7} 油组的 6.0 增加到 N_{1x4} 油组的 4.0 左右, $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} + C_{29})$ 也是由下到上有规律地增加; (4) 原油中有机含氮化合物分析结果表明, N_{1x4} 和 N_{1x5} 油组的原油中基本不含咪唑系列化合物, 而 N_{1x7} 油组原油中烷基咪唑类和苯并咪唑类具有一定丰度。与此相比, 柯深 1 井 E_2k 油藏的原油, 咪唑丰度甚高; (5) 原油的正构烷烃分布也说明西甫组四段—亚段油组和西五二油组原油向上发生过油气的运移, 这些特征均说明原油是从深部向浅部运移。

表 2 原油中含氮化合物的丰度

Table 2 Abundance of nitrogenous compounds in crude

井号	深度/m	层位	咪唑类化合物丰度	资料出处	井号	深度/m	层位	咪唑类化合物丰度	资料出处
柯 232	3 175~ 3 245	N_{1x4}	-	据[14]	柯 24	3 892~ 3 901	N_{1x7}	++	据[14]
柯 333	3 058~ 3 095	N_{1x4}	-	据[14]	柯 7005	3 892.9~ 3 901.8	N_{1x7}	++	据[14]
柯 23	3 300	N_{1x4}	-	据[14]	柯 7006	3 876~ 3 901	N_{1x7}	-	据[14]
柯 2	3 247~ 3 298	N_{1x5}	-	据[14]	柯 20	/	N_{1x7}	++	本文
柯 428	3 287~ 3 331	N_{1x5}	-	据[14]	柯 50	/	N_{1x7}	+	本文
柯 410	3 308~ 3 330	N_{1x5}	-	据[14]	柯 701	/	N_{1x7}	+	本文
柯 8	3 282~ 3 304	N_{1x5}	-	据[14]	柯 7003	/	N_{1x7}	++	本文
柯 352	3 302~ 3 328	N_{1x5}	-	据[14]	柯 7005	/	N_{1x7}	++	本文
柯 300	/	N_{1x5}	-	本文	柯 7006	/	N_{1x7}	+	本文
柯 222	/	N_{1x5}	-	本文	柯 7011	/	N_{1x7}	+	本文
柯 321	/	N_{1x5}	-	本文	柯 7012	/	N_{1x7}	+	本文
柯 332	/	N_{1x5}	-	本文	柯 7014	/	N_{1x7}	+	本文
柯 341	/	N_{1x5}	-	本文	柯 103	3 715~ 3 723	N_{1x7}	+++	本文
柯 352	/	N_{1x5}	-	本文	柯 103	3 855.5~ 3 878	N_{1x8}	++	本文
柯 410	/	N_{1x5}	-	本文	柯 1	6 370~ 6 388	E_{2-3}	+++	[14]
柯 428	/	N_{1x5}	+	本文	柯深 101	6 354~ 6 389	E_2k	++	本文
柯 342	/	N_{1x5}	+	本文	柯深 1	6 370~ 6 388	E_2k	++	本文
柯 8	3 743	N_{1x7}	-	据[14]	柯深 101	6 676~ 6 651	K	+++	本文
柯 9	3 871~ 3 872	N_{1x7}	-	据[14]	柯深 101	6 807~ 6 835	K	+++	本文

注: - 没有检测出; + 微量; ++ 中等; +++ 丰富

5 结论

通过对48个油样统计,第一类基态原油占46%,第二类运移分馏残余油占27%,第三类蒸发-反凝析形成的凝析油和轻质油占15%,第四类气洗残余原油占4%,第五类发生晶析作用的原油占8%。第一类基态原油分布在该油藏的底部,第二类原油分布在该油藏的顶部。第二类运移分馏残余原油说明在顶部原油存在着渗漏现象。由于顶部原油的渗漏,从而造成顶部原油的成熟度较高,三环萜烷/五环萜烷相对较低。这些特征均说明柯克亚地区原油存在油藏渗漏现象。此外,由于断层的渗漏作用,从而造成原油的古油水界面与今油水界面明显不同。

同时,西甫组八段油组和七段油组原油中的含氮化合物浓度比较高,因而它们更接近源岩区,即很有可能原油是由下部运移形成的。原油的族组成、含蜡量、原油中含氮化合物等特征均支持这种推论。

本研究所应用的地球化学分析方法可以为油藏的保存状态的研究提供一种可参考的思路和范例。

致谢:本研究得到了塔里木勘探开发研究院的大力支持,地化室张秋茶、李梅、席勤、卢玉红为我们的研究工作提供便利的条件和许多帮助。塔里木油田分公司刘胜经理为我们取样提供了许多帮助,同时,杨举勇副总地质师在构造方面提出了宝贵意见,张光亚高级工程师和杨文静高级工程师也提出了许多中肯和难能可贵的意见,在此一

并表示感谢。

参 考 文 献

- 李理,戴俊生,谢传礼. 埕岛地区中、古生界裂缝与油气的关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 264~ 267
- 陈忠,李涛. 川南香溪群四段低渗裂缝性砂岩储层保护[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 340~ 345
- 胡朝元,孔志平. 油气成藏原理[M]. 北京:石油工业出版社, 2002. 111~ 113
- 向才富,夏斌,解习农,等. 松辽盆地西部斜坡油气运移输送的主要通道[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 204~ 208
- 贾庆素,周庆凡. 塔北地区含油气系统[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 103~ 106
- 余晓宇,施泽进,刘高波. 巴楚-麦盖提地区油气成藏的输导系统[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 346~ 350
- 张照录,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
- 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 126~ 132
- 任延广,陈均亮,冯志强,等. 喜山运动对松辽盆地含油气系统的影响[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 185~ 190
- Megregor D S. Factors controlling the destruction or preservation of giant light oilfields[J]. Petroleum Geoscience, 1996, 2: 197~ 217
- Montel F G, Caillet A P, Caltagirone J. Diffusion model for predicting reservoir gas losses[J]. Marine and Petroleum Geology, 1993, 10: 51~ 57
- Kissin Y V. Catagenesis and composition of petroleum: origin of n-alkanes and isoalkanes in petroleum crudes[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51: 2 445~ 2 457
- 贾承造,魏国齐,姚慧君,等. 塔里木盆地构造演化与区域构造地质[M]. 北京:石油工业出版社, 1995. 1~ 20
- 黎茂稳,林壬子,王培荣,等. 柯克亚凝析油气田的油气源研究[A]. 见:林壬子. 油气勘探与油藏地球化学[C]. 北京:石油工业出版社, 1998. 17~ 32
- 吴世祥,汪泽成,张林,等. 川西前陆盆地勘探思路分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 210~ 216
- 郭正吾,邓康龄,韩永辉. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社, 1996. 163~ 175
- 李绍虎,吴冲龙,王华,等. 四川须家河组层序地层格架与天然气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 146~ 151
- 戴金星,宋岩,张厚福. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京:科学出版社, 1997. 219~ 225
- 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京:地质出版社, 1992. 102~ 112
- 王充诚,朱永路. 川西坳陷上三叠统须家河组的天然气成藏模式和盖层封闭机理[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(4): 95~ 105
- 赵永胜. 川西前陆盆地上三叠统储层流体动力学机制[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 204~ 215
- 杨克明. 川西坳陷油气资源现状及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 322~ 331
- Posamentier H W, Allen G P. Siliciclastic sequence stratigraphic patterns in foreland ramp-type basins[J]. Geology, 1993, 21(5): 455~ 458
- De Celles P G, Giles K A. Foreland basin systems[J]. Basin Research, 1996, 8(2): 105~ 123
- Weimer P, Posamentier H W. Siliciclastic sequence stratigraphy recent developments and applications[J]. AAPG Memoir, 1993, 58(1): 1~ 47
- 姜在兴,李华启. 层序地层学原理及应用[M]. 北京:石油工业出版社, 1996. 23~ 37
- Katz B J, Pratt L M. Source rocks in a sequence stratigraphic framework[J]. AAPG Studies in Geology, 1994, 37(2): 221~ 238
- 马新华,魏国齐,钱凯,等. 我国中西部前陆盆地天然气勘探的几点认识[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 114~ 117

(上接第523页)

参 考 文 献