

文章编号: 0253-9985(2007)05-0628-06

层序地层学与成藏动力学的耦合及在油气勘探中的意义

刘敬强¹, 田世澄¹, 焦勇², 张汝祥³

(1. 中国地质大学, 北京 100083 2. 中国石油 华北油田分公司 物探院, 河北 任丘 062552)

3. 中国石油 华北石油管理局 燃气处, 河北 任丘 062552)

摘要: 层序地层格架和成藏动力系统都以地层沉积的多期旋回性作为层序或子系统划分的依据。文章讨论了层序地层格架与成藏动力系统在划分上的耦合, 指出最大洪泛面既是层序地层格架中的重要界面又是成藏动力系统子系统划分的界面; 探讨了层序地层中的体系域与成藏动力子系统在成藏条件包括烃源灶、侧向疏导体系、封盖层、隐蔽圈闭等方面的关系, 指出了生、运、聚等成藏作用研究在应用层序地层学寻找隐蔽油气藏中的重要作用, 强调遵循“油气从源岩到圈闭”的思路是应用层序地层学技术寻找隐蔽油气藏的灵魂。

关键词: 耦合; 界面划分; 子系统; 体系域; 成藏动力学; 层序地层学

中图分类号: TE111.3 **文献标识码:** A

Coupling of sequence stratigraphy and hydrocarbon accumulation dynamics and its significance in petroleum exploration

Liu Jingqiang¹, Tian Shicheng¹, Jiao Yong², Zhang Ruxiang³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geophysical Exploration, Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552, China;

3. Gas Department, Huabei Petroleum Administration Bureau, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract Both sequence stratigraphic frameworks and hydrocarbon reservoiring dynamic systems employ the multicyclicality of stratigraphy sedimentation as the basis of sequence or subsystem division. This article discusses the coupling of sequence stratigraphic frameworks and hydrocarbon reservoiring dynamic systems and points out that the maximum flooding surface not only serves as the important boundary in sequence stratigraphic frameworks but also acts as the boundary for dividing subsystems in the hydrocarbon reservoiring dynamic systems. It analyzes the relationship between the sequence stratigraphy system tracts and hydrocarbon reservoiring dynamic subsystems in terms of hydrocarbon accumulation conditions which include source kitchens, lateral carrier systems, sealings and subtle traps. It also stresses the importance of research on oil and gas pooling processes, such as hydrocarbon generation, migration and accumulation in subtle reservoir exploration by using sequence stratigraphy theories. Moreover, it emphasizes that abiding by the concept of “hydrocarbon from source rocks to traps” is essential to the application of sequence stratigraphy technologies in the exploration of subtle reservoirs.

Key words coupling; interface division; subsystem; system tract; hydrocarbon accumulation dynamics; sequence stratigraphy

层序地层学经过 Vail, Galloway 和 Cross 等地质家开创性的工作^[1~5], 以地层沉积的旋回性为

依据, 研究地层的等时划分、对比和追踪, 分析不同体系域地层的性质, 已经成为含油气盆地分析

收稿日期: 2007-07-11

第一作者简介: 刘敬强 (1968—), 男, 博士生, 成藏动力学

的有力工具。从含油气系统理论^[6-7]发展而来的成藏动力学^[8]研究盆地中的流体系统,特别是研究油气从烃源岩到圈闭的运移路线、动力、聚集成藏的作用和过程,成为指导油气勘探的有力工具。层序地层学和成藏动力学都以含油气盆地为研究对象,因此探讨这两个学科的交叉和相互渗透^[9-15],对提高含油气盆地分析的整体性、系统性和寻找隐蔽油气藏具有积极意义。

1 层序地层格架与成藏动力子系统划分的耦合

作为成藏动力子系统划分的界面是具有旋回性分布的异常高孔隙流体压力界面^[16],其存在于沉积旋回中区域分布的大套泥岩地层中,这样的大套泥岩地层在层序地层格架中是最大洪泛面的标志,因此成藏动力系统异常高孔隙流体压力界面、致密压实界面与层序地层格架中的最大洪泛面耦合。这样,盆地中的成藏动力子系统就与由低位体系域、水进体系域和高位体系域构成的层序地层格架在三级层序上是耦合的。

以海拉尔盆地某井为例(图 1),通过对岩性组合特征和测井曲线特征地旋回性分析,层序地层学研究将铜钵庙组和大磨拐河组共划分出 4 个三级层序 9 个体域;利用校正后的泥岩声波时差计算地层的剩余孔隙流体压力^[17]识别出 3 个异常高剩余孔隙流体压力界面,将此井铜钵庙组和大磨拐河组划分为 4 个成藏动力子系统。通过体系域界面与成藏动力子系统界面比较发现层序 Sq3、Sq4、Sq5 水进体系域顶界面(最大湖泛面)与成藏动力系统的 iv、㊸、㊹ 子系统顶界面相同,从而证实了岩性和电性特征旋回性较明显地层组合中,最大洪泛面与异常高剩余孔隙流体压力界面具有耦合性。

通过对层序地层格架和成藏动力系统的比较(图 2),认为在体系域级别上层序地层格架与成藏动力系统具有明显的耦合关系,层序地层格架内发育的旋回性地层构成了成藏动力子系统:最大洪泛期沉积的泥岩构成了成藏动力子系统分隔

2 层序地层格架与成藏动力系统在成藏条件上的耦合

层序地层沉积体系配置关系与成藏动力系统成藏条件(生、储、盖、圈闭)具有一定的相关性,而成藏动力系统的成藏条件与层序地层格架在层序、体系域、准层序(或长期旋回、中期旋回、短期旋回)尺度上耦合是两个学科进一步交叉渗透的重要内容。

2.1 成藏动力系统与层序地层格架在三级层序(长期旋回)尺度上成藏条件的耦合

一个成藏动力子系统是受上下两个包含最大洪泛面的泥岩地层所限定的。因此子系统强调最大洪泛面的作用,子系统的尺度大致相当于 Gallo-way 成因层序地层学的一个长期旋回,也相当于 Vail 代表的经典层序地层学的一个三级层序。但子系统划分界面与经典层序地层学划分界面不同在于,如果一个成藏动力子系统位于生烃门限以下,其底部最大洪泛期沉积的泥岩即为烃源岩,顶部的泥岩既是子系统的烃源岩又是子系统的盖层;一个三级层序(成因层序地层学的长期旋回)内部发育的砂体与不整合面就是成藏动力子系统的输导层;从成藏动力子系统的角度看,一个三级层序或成因地层学长期旋回就是一个生储盖组合。如果一个成藏动力子系统位于生烃门限以上,顶部最大洪泛期沉积的泥岩则只具有封盖性,而不是生烃层,从成藏动力子系统的角度看,一个三级层序或成因地层学长期旋回就只是一个储盖组合。

不同旋回特征的地层构成的成藏动力子系统在生储盖成藏条件上的特征也是不同的。处于生烃门限以下由最大洪泛期、或较高水进期时间较长而较低水退期或低位期时间较短的三级层序地层构成的成藏动力子系统,其烃源层范围、厚度较大而储集岩范围、厚度、物性较小,其生烃能力和封盖性较强而储集能力较弱;相反,处于生烃门限以下由最大洪泛期、或较高水进期时间较短而较低水退期或低位期时间较长的三级层序地层构成

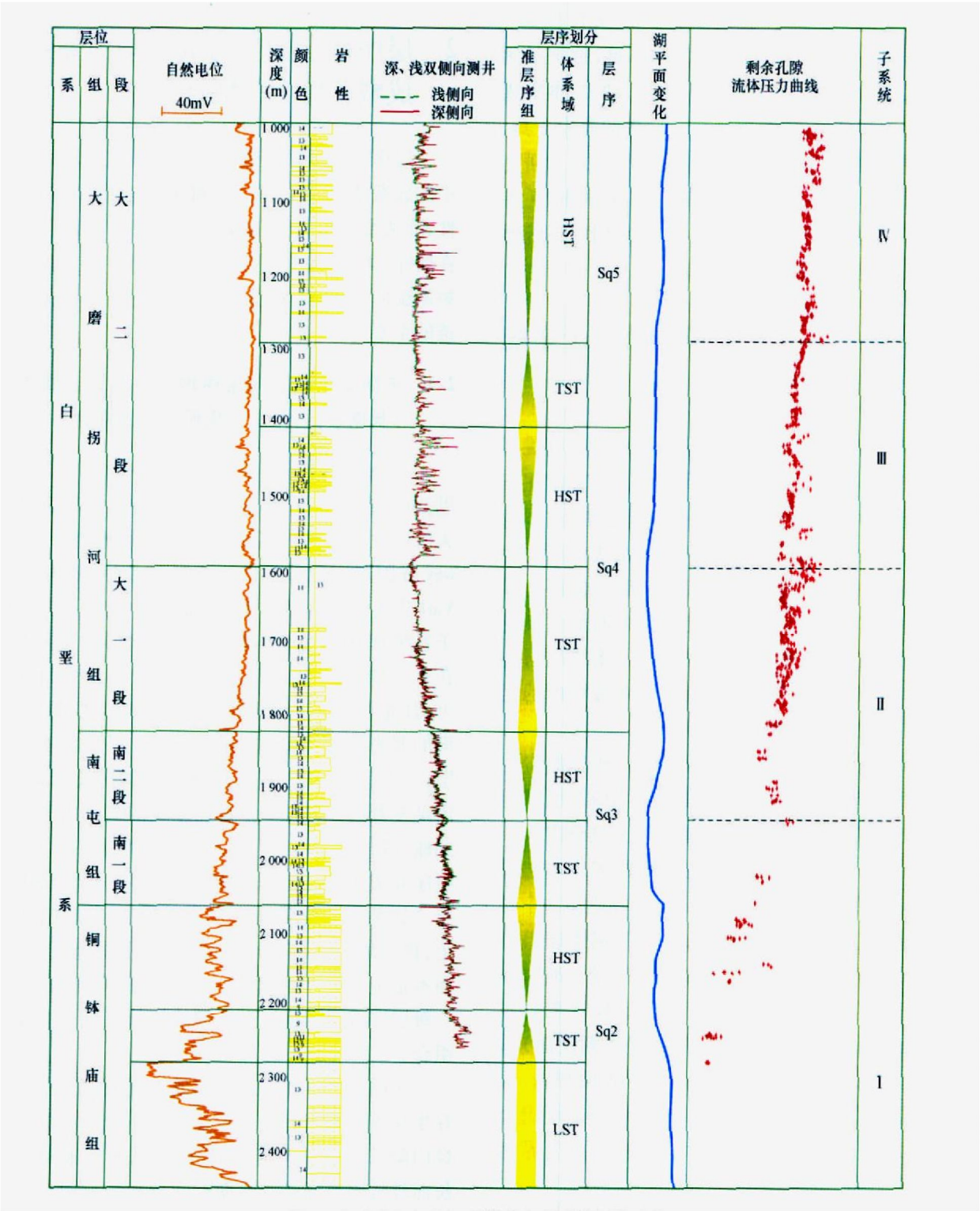


图 1 地层层序划分与成藏动力子系统划分比较

Fig. 1 Correlation of stratigraphic sequence division and hydrocarbon accumulation dynamic subsystem division

2.2 成藏动力系统与层序地层格架在体系域(中期旋回)尺度上成藏条件的耦合

一个成藏动力子系统的排液组合^[18]大体上相当于经典层序地层学的一个体系域(中期旋回),

不同类型的体系域其岩性组合特征也不同。一个位于低位体系域的排液组合其泥岩范围、厚度较小,而储集岩范围、厚度、物性较大,其生烃能力和封盖能力较弱而储集能力较强;一个位于水进体系域的排液组合其泥岩和储集岩范围、厚度均较

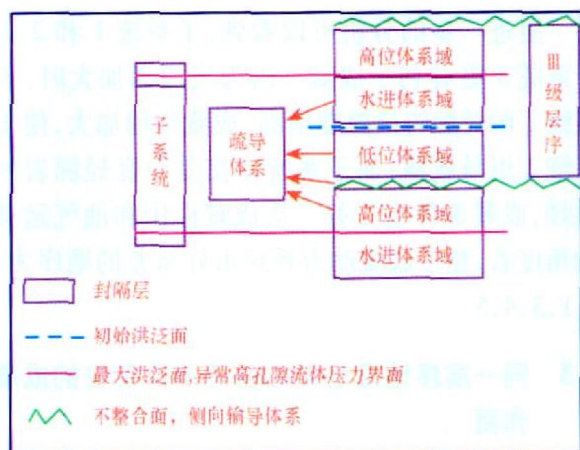


图 2 层序地层格架与成藏动力系统的耦合

Fig. 2 Coupling map of sequence stratigraphic framework and hydrocarbon accumulation dynamic system

强, 生烃能力、封盖能力、储集能力配置适中; 一个位于高位体系域的排液组合其泥岩范围、厚度较大而储集岩范围、厚度、物性较差, 生烃能力和封盖能力较弱, 而其储集能力较强。因此, 对层序地层体系域的划分和类型分析有助于成藏动力子系统性质的研究。

2.3 成藏动力系统与层序地层格架在单旋回尺度上成藏条件的耦合

一个单砂层与其上下的两个暗色泥岩层组成的地层, 在成藏动力子系统中称之为一个排液单元 (图 3)。在生烃门限以下, 烃源岩排烃, 排液单元就演变为一个排烃单元。排液单元在层序地层格架上相当于一个最小的短期旋回——单旋回, 流体在压实和膨胀等动力作用下向砂层流动。不同盆地、不同层序以及位于层序格架中不同部位的排液单元其生、储、盖能力不同。对排液单元地

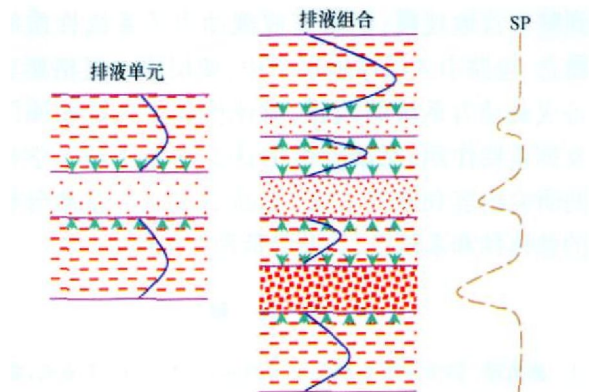


图 3 排液单元与排液组合

Fig. 3 Hydrocarbon expulsion units and their assemblages

分析类似于体系域级别地分析。一般地说, 位于高位体系域的单旋回, 其地层特征是厚层泥岩夹薄层储集岩, 烃源岩较好而储集性能稍差, 排烃单元中易出现滞烃带; 位于水进体系域的排烃单元地层特征是砂泥岩互层, 泥岩与砂岩的厚度配置适中, 若烃源岩质量较好, 排烃单元生排烃能力较强; 位于低位体系域的排烃单元, 其地层特征是厚层砂岩夹薄层泥岩。这样的排烃单元生烃能力较弱而排烃能力较强。

3 层序地层格架与成藏动力系统在成藏作用上的结合

从成藏作用的角度看, 将层序地层学与成藏动力学交叉融合, 使两个学科都得到长足发展。运用层序地层学方法构建成藏动力系统, 寻找和评价油气从源岩到圈闭的油气运移路线上的隐蔽圈闭是层序地层学与成藏动力学在成藏作用上结合的一个重要方面; 另一方面将盆地成藏演化的概念引入到层序地层格架中, 使层序地层格架具备成藏动力系统的内涵是层序地层学在评价隐蔽圈闭、提高勘探成功率的重要基础。

3.1 运用层序地层学方法构建成藏动力系统, 寻找油气从源岩到圈闭的油气运移路线

盆地层序地层格架的建立, 为在盆地中寻找油气运移的路线提供了新的方法。最大洪泛面的识别确定了成藏动力子系统的顶底界面, 在最大洪泛面地限定下, 油气不能跨过子系统界面运移, 只能在子系统内部进行侧向运移。体系域的划分使得成藏动力学更为清晰的了解作为侧向输导层的砂体垂向和横向的分布, 优势的侧向输导体主要发育在低位体系域, 其次为水进体系域。沿着侧向输导体发育的部位, 就可建立油气从源岩到圈闭的运移路线, 从而能更好地寻找和评价隐蔽圈闭。

在断层、火成岩侵入、底辟等垂向输导体系发育的部位, 油气会穿越成藏动力子系统界面运移。但在油气穿越子系统界面后仍然会在由最大洪泛面所限定的另一个子系统内作侧向运移, 因此在断层、火成岩侵入、底辟等垂向输导体系发育的盆地内, 层序地层格架的建立仍然对在盆地中寻找油气运移的路线具有指导意义。

3.2 层序地层格架在盆地不同演化阶段的成藏作用

同一套层序地层格架在盆地的不同演化阶段具有不同的成藏作用。在初始阶段, 尽管沉积了一个甚至几个三级层序, 但均未达到生烃门限, 盆内不发生成藏作用。

随着盆地沉降、沉积物的加厚, 最早沉积的一个最大洪泛面所在的泥岩地层达到生烃门限后, 开始发生生烃作用, 生成的油气开始从源岩向上、下两侧的地层排出, 此时盆地内各个最大洪泛面之间的地层转化为成藏动力子系统 (图 4a)。位于最早的一个最大洪泛面上下由层序 iv、层序 ④的低位域和水进域构成的子系统 1 和 2 为自源性质, 其他的子系统为它源性质。显然从成藏作用的角度讲, 子系统 1 和 2 更有利于成藏, 因为子系统 1 和 2 的油气运移是在子系统内部, 没有断层是否活动的限制, 而且油气直接进入储集体或作短距离侧向运移, 易于聚集。

盆地沉积的第二个最大洪泛面所在的泥岩沉降到生烃门限以下后, 第二套泥岩转化为烃源岩, 开始向周围的地层排烃, 此时由层序 iv、④和 ⑤下部的低位域、水进域构成的子系统 1、2 和 3 为自源子系统, 油气可直接进入储集体或作短距离侧向运移。其他子系统为它源或混源子系统, 油气向其他子系统运移时, 不但要侧向运移, 而且要通过断层作垂向运移。显然子系统 1、2 和 3 的成藏条件和成藏作用更有利于成藏 (图 4b)。

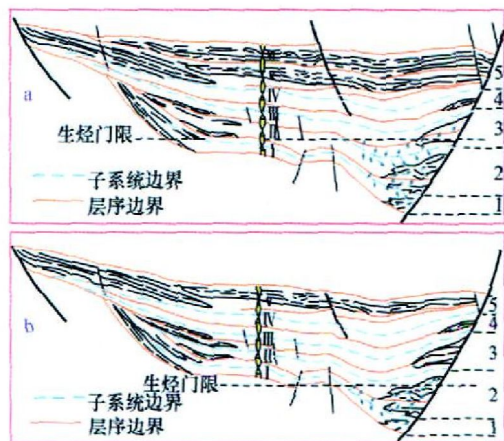


图 4 济阳拗陷成藏作用演化

Fig. 4 Evolution map of hydrocarbon accumulation in the Jiyang Depression

更进一步的分析可以看到, 子系统 1 和 2 比子系统 3 更有利于成藏。因为当埋深加大时, 子系统 1 的烃源岩成熟度增高, 成藏作用加大, 使子系统 1 更易成藏; 而子系统 2 接受两套烃源岩的供烃, 成藏条件也变好。从成藏作用和油气运移的角度看, 整个成藏动力系统由好至差的顺序为: 2 1, 3 4 5。

3.3 同一层序地层格架在盆地不同部位的成藏作用

位于不同盆地构造部位的同一层序格架的地层其成藏作用也有很大的差异。如图 4 所示, 子系统 1、2、3 在第二个最大洪泛面进入生烃门限以后, 位于盆地缓坡带的层序 iv、④及 ⑤的储集体位于成熟烃源岩的外部, 仍然主要靠子系统内部的侧向运移而成藏; 而位于陡坡带的储集体油气则可直接从源岩进入。在不考虑其它因素的情况下, 显然位于陡坡带的储集体更易成藏。

以上论述表明, 不考虑成藏作用而直接应用层序地层学进行隐蔽圈闭的勘探, 显然风险要大于考虑成藏作用进行的勘探, 因此, 在层序地层学研究中引入油气从源岩到圈闭的思路是极为必要的。

4 结论

对层序地层格架和成藏动力系统的分析表明, 两者在体系域级别上具有明显的耦合关系。层序地层学对成藏动力学在子系统、排液组合和排液单元等尺度上成藏条件的研究具有指导意义, 而且可以将成藏动力子系统的划分、类型拓展到整个盆地规模; 把研究成藏动力子系统性质的概念、思路引入层序地层学中, 使层序地层格架具备成藏动力系统的内涵, 对评价和优选隐蔽圈闭发挥重要作用; 对耦合性的认识丰富了两个学科的研究内容和研究方法, 提高了含油气盆地分析的整体性和系统性, 从而降低勘探风险。

参 考 文 献

- 路甬祥. 科学问题是科学发现的起点 [A]. 见: 李喜先, 编. 21 世纪 100 个交叉科学难题 [C]. 北京: 科学出版社, 2005
- Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy (Part iv): seismic stratigraphy interpretation procedure

- [A]. In Bally A W, ed Atlas of seismic stratigraphy[C]. AAPG Studies in Geology, 1987, 27: 1-10
- 3 Mitchum R M, Vail P R, Thompson S I. Seismic stratigraphy and global changes of sea level(Part 2): the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis[A]. In Payton C E, ed Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration[C]. AAPG Memoir 26, 1977: 53-62
 - 4 Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis (iv): architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 125-142
 - 5 Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles Upper Cretaceous Western Interior USA [A]. In Wilgaus C K, ed Sea-level changes an integrated approach[C]. SEPM Special Publication 42, 1988: 371-380
 - 6 Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Williston basin [J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(7): 1253-1262
 - 7 Magoon L B. The petroleum system—a classification scheme for research, exploration, and resource assessment[A]. In Magoon L B, ed Petroleum system of the United States[J]. USGS Bulletin 187Q, 1988: 2-15
 - 8 田世澄, 陈建渝, 张树林, 等. 论成藏动力学系统 [J]. 勘探家, 1996, 1(1): 20-24
 - 9 陈开远, 孙爱霞, 杜宁平. 成油体系中的层序地层学 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 221-226
 - 10 Peters K E, Snedden J W, Sulaiman A, et al. A new geochemical-sequence stratigraphic model for the Mahakam Delta and Makassar Slope, Kalimantan, Indonesia [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84: 12-44
 - 11 焦翠华, 王海更, 牛玉杰, 等. 塔里木盆地哈得 4 油田东河砂岩层序地层界面类型及测井识别方法 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1): 69-76
 - 12 高志勇, 韩国猛, 张丽华. 河流相沉积中的准层序——以四川中部须家河组为例 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1): 59-68
 - 13 郭建华, 朱美衡, 刘辰生, 等. 阿克库勒凸起东河砂岩的沉积相与层序地层 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 808-815
 - 14 庄丽. 东营凹陷永安镇三角洲层序地层与沉积体系 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 544-548
 - 15 郝雪峰, 陆相断陷盆地层序地层与成藏单元类比分析——以济阳坳陷为例 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(2): 16-18
 - 16 田世澄, 张树林, 袁国礼. 论成藏动力学系统的划分和类型 [A]. 见: 胡见义, 编. 中国含油气系统的应用与进展 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 33-41
 - 17 陈发景, 田世澄. 压实与油气运移 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1986: 7-27
 - 18 田世澄, 李纯菊. 泌阳凹陷孔隙流体压力及油气运移特征 [J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 1986, 11(3): 323-327

(编辑 陈喜禄)

(上接第 614 页)

- 3 杜金虎, 易士威, 张以明, 等. 二连盆地隐蔽油藏勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 4 刘震, 刘俊榜, 高先志, 等. 二连盆地岩性油藏的幕式充注和相对早期成藏特征分析 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 40-49
- 5 赵志刚, 史原鹏, 贾继荣, 等. 二连盆地腾二段高产油藏成藏模式 [J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(2): 5-6
- 6 李心宁, 王同和. 二连盆地反转构造与油气 [J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(2): 106-110
- 7 李素梅, 庞雄奇, 金之钧, 等. 未熟-低熟油研究现状与存在的问题 [J]. 地质论评, 2003, 49(3): 298-303
- 8 王永霖, 张吉光, 秦建中. 海拉尔盆地巴彦呼舒凹陷未熟油勘探前景 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 8-15
- 9 孙永红, 宋兰斌. 松辽盆地北部未熟低熟油成藏特征 [J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(6): 11-13
- 10 秦建中, 王静, 李欣, 等. 渤海湾盆地饶阳凹陷未熟-低熟油成烃成藏条件研究 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(S0): 66-72
- 11 朱芳冰. 辽河盆地西部凹陷源岩特征及低熟油分布规律研究 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(1): 25-29
- 12 庞雄奇, 李素梅, 黎茂稳, 等. 八面河地区“未熟-低熟油”成因探讨 [J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 86-91
- 13 胡瑛, 张枝焕, 方朝合. 溱潼凹陷低熟油生物标志物特征及成熟度浅析 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 12-17
- 14 姜振学, 庞雄奇, 曾溅辉, 等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究 [J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 507-516
- 15 金之钧, 张发强. 油气运移研究现状及主要进展 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 63-70
- 16 彭先焰, 唐宏, 张晓龙, 等. 二连盆地盖层条件与油气保存 [J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2002, 17(5): 14-16
- 17 孙志华, 洪月英, 吴奇之, 等. 二连盆地阿南凹陷气藏地震特征 [J]. 天然气工业, 2001, 21(3): 26-29

(编辑 高岩)