

文章编号: 0253-9985(2004)05-0484-07

陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用

顾家裕, 张兴阳

(中国石油石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 陆相层序地层与被动大陆边缘海相层序地层之间存在较大的差异。陆相盆地沉积受多种因素控制, 而且不同类型盆地的主要控制因素又各不相同, 造就了陆相盆地沉积类型多、相变快、横向连续性差、纵向上层序厚度变化大, 频繁的湖侵湖退使湖盆沉积垂向上韵律变化快; 因此陆相层序地层的形成、结构和模式更为复杂, 研究更为困难。在研究与实践中, 中国学者根据陆相盆地的边界特征、体系域边界特征、初始湖泛面和最大湖泛面、是否有坡折带等因素, 建立了符合中国盆地沉积实际的坳陷型盆地和断陷型盆地层序地层格架和模式。控制陆相地层层序发育的因素主要是湖平面的变化、构造、气候、基准面的变化和物源的供给, 特别是构造和气候显得十分重要, 它们直接控制了湖平面的变化。陆相地层层序研究的方法体系主要包括露头层序研究方法、实验观测和分析方法、测井层序地层分析、地震层序地层分析和层序地层的数值模拟方法。在油气勘探中的区带勘探阶段、目标勘探阶段和开发阶段, 层序地层学都能发挥不可替代的作用。

关键词: 陆相层序地层; 体系域; 模式; 勘探和开发; 影响因素

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

Progress in continental sequence stratigraphy and its application in petroleum exploration and development

Gu Jiayu, Zhang Xingyang

(Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing)

Abstract: Sedimentation in continental basins has been controlled by many factors and the main control factors in basins of different types are not the same. All these would lead to various sedimentation types, frequent facies changes, poor lateral continuity and large variation of sequence thickness. Frequent alternating of lake transgression and regression results in frequent change of cyclothems. The formation, structure and model of continental sequence stratigraphy would, therefore, be more complex and more difficult to study. According to the boundary characteristics of both continental basins and system tracts, initial and maximum flooding surfaces and existence of slope-break zone, Chinese geologists have established sequence stratigraphic frameworks and models of depression basin and faulted basin, which tally with the reality of basin fills in China. Development of continental stratigraphic sequence has mainly been controlled by lake level fluctuation, tectonic movement, climate, base-level change and provenance supply, especially tectonic movement and climate are quite important, because they directly control the fluctuation of lake level. Methodologies for studying sequence stratigraphy in continental basins include outcrop sequence study, experimental observation and analysis, logging and seismic sequence stratigraphic analyses, and numerical simulation of sequence stratigraphy. Sequence stratigraphy can play an irreplaceable role in play exploration stage, prospect exploration stage and development stage.

Key words: continental sequence stratigraphy; system tracts; model; exploration and development; influence factor

起始于20世纪70年代, 根据被动大陆边缘盆地油气勘探实践总结, 由EXXON石油公司的研究

人员^[1]提出的, 又经过众多地质科学家^[2-8]的研究工作充实和完善的层序地层学理论体系和方法

体系, 以其强大的生命力在全世界得到迅速发展和应用。它作为一种成功的全球性理论, 在油气资源勘探开发中正发挥着巨大的作用; 以其概念的合理性和应用的可操作性, 提供了一种更为精确的以不整合面或与之相对应的整合面为边界, 在等时的地层格架内对地层进行对比、岩相古地理再造和勘探中钻前预测生储盖地层分布的有效方法。20 世纪 90 年代以后美国科罗拉多矿业学院的 Cross^[9~14] 教授基于沉积基准面原理、物质守恒原理、沉积物体积分配原理和相分异原理建立了高分辨率层序地层学的独立学派, 为精细的地层对比和开发阶段的层序地层应用, 建立开发地层流动单元成为可能。20 世纪 80 年代中期以后层序地层学的理论进入我国并很快引起广大地质工作者的极大热情和兴趣, 把海相层序地层学的理论和方法用于我国陆相盆地油气地质勘探的同时, 也发现来自海相盆地的层序地层学理论不完全适用于中国的陆相盆地。因此, 广大地质工作者在实践中摸索、在

实践中总结, 结合我国不同类型的陆相盆地沉积和层序特征, 建立了陆相盆地地层格架和模式, 并且总结我国陆相盆地层序地层的研究方法^[15~21], 有效地指导了当前和今后的油气勘探和开发。

1 地质基础的差异性

我国学者充分认识到以被动大陆边缘海相盆地为研究对象建立起来的层序地层理论、方法、格架和模式无疑对陆相层序地层的研究有着很好的指导性, 但陆相沉积盆地在构造、沉积、层序形成的主控因素和油气生成运移诸方面与海相盆地有很大的差异性(表 1)。由于陆相盆地沉积受多种因素控制, 且不同类型盆地其主要因素又各不相同, 沉积类型多, 在较小范围内相变快, 横向连续性差, 纵向上层序厚度变化大, 频繁的湖侵湖退使垂向上韵律变化快。基于上述情况对陆相层序的划分、对比、等时格架和模式的建立必须有新的思路 and 更精细有效的方法。

表 1 海、陆相盆地层序地层基础地质因素对比

盆地特征	盆地类型	
	海相盆地	陆相盆地
控制因素	主要受全球海平面变化、盆地沉降、沉积速率和气候 4 种因素影响	主要受构造沉降、物源供给、古气候和古地形因素的影响
沉积水动力	主要作用营力是波浪、潮汐、海流、风暴和海底火山等	大陆流水、波浪和湖流
沉积范围	海岸带、陆架、陆坡和深海, 横向距离数千千米、垂向距离数十千米至数百千米或更大	冲积扇沉积区、河流沉积区和湖泊沉积区
沉积层横向连续性	横向延伸距离大、连续性好	横向延伸距离短、连续性差
层序厚度及变化	层序厚度大且稳定	层序厚度小且变化大
沉积类型	相对简单、面积大、分布稳定	相对复杂、面积小、分布不稳定
沉积相变化	连续、稳定、逐渐过渡	相变快、常见相的突变
体系域特征	海侵海退幅度大、体系域界面特征明显、凝缩段易确定追踪	湖侵湖退频繁、幅度较小、体系域间界面难分辨、最大海泛面明显
构造影响	大范围影响、相对较弱	频繁影响、相对较强
预测难易程度	范围大相对较易	范围小、相对复杂困难

2 陆相层序地层格架与模式

我国陆相盆地包括了不同沉积特征的多种类型盆地。根据当前对层序地层学的研究, 一般把盆地分为 3 种类型, 即坳陷型盆地、断陷型盆地、前陆盆地。其中, 对前陆盆地研究相对较少, 发表的文章有限, 仅限于对前陆盆地的形成和充填序列、构造层序的划分和有关影响因素的讨论^[22]。另外, 还有一些学者论述了含煤盆地和含盐盆地

的层序地层学。关于海相层序地层学的原理和方法是否适用中国陆相盆地, 在我国是有争议的。一些学者认为层序地层学的基本原理可以用于陆相层序地层的研究, 虽然在陆相盆地中构造、气候和物源是影响层序形成的重要因素, 但毕竟要通过湖平面的变化而反映出来, 因而可以通过对初始湖泛面(一些盆地难以划分)和最大湖泛面的确定来划分体系域。当然, 在具体体系域的划分和其对应的沉积体系方面, 陆相地层与海相地层有

3.1 湖平面变化或沉积基准面

在沉积盆地中,湖平面的变化是控制层序发育、层序格架和层序变化和体系域结构变化的主控因素,实际上湖平面的变化是构造沉降、气候变化、沉积物供给等因素的综合反映,同时,湖平面近似地可以被看作基准面。湖平面或基准面缓慢变化,将引起河流特征如弯度、宽度和挟砂能力的改变;湖平面或基准面的快速下降将引起河流下切并伴有河流弯度的改变,使河流挟砂能力增强;湖平面或基准面的快速上升将导致河口的涌水、河流沉积形式有改变、导致沉积物的沉降。

3.2 气候

高频气候变化旋回(4~6级以下的气候旋回)的动力学机制是地球旋转产生的偏心率变化,其表现形式为米兰柯维奇气候旋回。二级到三级的气候旋回的动力学机制与海平面升降相一致。气候对陆相层序地层及基准面控制主要表现在:(1)气候影响流域植被、降水量;(2)气候影响岩石的风化性质、沉积物的供给和水流强度等,进而影响沉积物的搬运强度和沉积速率。层序内高频层序直接与米兰柯维奇气候旋回有关,而三级以下低频层序是构造、低频气候旋回等因素的沉积响应。纪友亮等^[28]研究了东濮凹陷沙河街组三段中的高频层序,沙河街组三段沉积时间约5 Ma,岩盐与泥岩频繁交互、盐岩累计厚度可达500 m,若平均单层盐岩的厚度按10 cm计算,则共发育约5 000层单盐岩层。因每一单层盐岩的沉积代表一次湖平面的下降,则沙河街组三段湖平面的变化频率达到1 000次/Ma,并认为这些高频的湖平面变化可能是由海水入侵的周期性和高频气候旋回变化所造成的。

3.3 构造

对陆相盆地而言,构造对层序地层的形成有极为重要的意义。构造比气候对层序形成的影响更大、范围更广。构造运动的动力学机制主要来源于:(1)地幔隆升而引起的地壳减薄、伸展及其伴随的因沉积物的堆积而产生的均衡沉降和构造沉降;(2)区域构造事件,如板块收敛和俯冲方式的改变导致区域应力状态的改变所产生的盆地伸展或压缩及其伴随的沉降和抬升;(3)板块碰撞的远距离效应,形成冲断造山,使沉积物源、可容空间和沉积体系的组合发生变化。故陆相断陷盆地构造运动的动力学机制源于地球本身。陆相盆地

中盆地级的层序发育往往与大规模的构造活动和边界断裂发育有关,而更小规模的如三级层序的发育在时间和规模上与盆地内的次级构造事件有一定的联系。渤海湾盆地第三系裂谷盆地各坳陷内其裂陷旋回和裂陷幕是具有可对比性的^[27]。

3.4 相对海平面变化

相对海平面变化对地史时期的滨海盆地基准面变化有一定控制作用,表现为湖泊基准面和河流平衡剖面随着相对海平面的变化作调整。在我国的渤海湾盆地中,层序地层事件与海侵和海退具有一定的联系,它影响了湖平面的变化和沉积体系的组成。在我国松辽盆地中海平面的变化直接与间接地影响了层序地层的发育^[29]。

(1)松辽盆地白垩纪存在着两次海侵事件。两次海侵的高峰时期分别是青山口组早期(95 Ma前后)和嫩江组早期(80 Ma前后),此间也恰是Haq全球海平面变化曲线上的两次最大海泛时期。因此,对于近海的松辽盆地而言,海侵的原因不难找到答案。有意义的是海侵直接影响了这一时期松辽盆地的层序地层特征,在层序构成上,以缺乏明显的低水位体系域为特征,说明持续的海侵对层序的发育有明显的控制作用。

(2)海平面升降通过影响全球基准面变化间接地影响陆相盆地层序地层特征。海平面是侵蚀基准面的终极状态,全球海平面的升降实质上与全球基准面的升降是同步的。因此,响应全球基准面变化的陆相盆地低频层序也就必然会间接受到全球海平面变化的影响。松辽盆地基准面升降二级曲线与全球海平面变化二级曲线的惊人吻合当是这种影响的突出例证。

3.5 沉积物供给速率

除上述4个因素外,沉积物供给影响着层序内部体系域的特征。一般而言,在物源供给速率大于可容空间增加速率时,常可形成进积式的准层序组,构成湖退体系域、低位体系域或高位体系域;沉积物供给速率相当于或低于可容空间的增加则可形成加积式的准层序组和退积式的准层序组,形成湖侵体系域。沉积物类型、物源特征、沉积的速率及沉积环境等还直接控制着沉积体系的发育和层序的结构。当然,沉积物供给是通过与其他因素的相互作用共同对层序发育产生影响的。同时,沉积物供给速率本身也受到构造和气候等因素的影响。

4 在油气勘探开发中的应用

近20年来,我国陆相层序地层学的研究自始至终紧密结合着油气勘探和开发,特别是在中国东部含油气盆地的勘探和开发中其作用显得更为突出,为岩性地层油气藏的勘探、开发中流动单元的确定和剩余油的开发起到了重要的作用。

4.1 方法体系

有了正确的理论,要在勘探和开发中发挥作用,必须通过正确的方法和技术去实现,没有有效的方法和技术则理论只能束之高阁,变成挂在墙上的画。通过实践,在层序地层学用于实际工作中已经建立了具有一定特色的方法体系。

4.1.1 露头层序地层学研究

露头层序地层学的研究是十分重要的,也是研究层序地层非常有效的方法。它可以清楚地观察到不整合,并发现许多表明不整合的标志,正确划分层序;可以实际观察到层序的格架和结构的变化及不同体系域中沉积体系的接触关系和不同体系的沉积特征,特别是油气勘探和开发中最重要的生、储、盖的关系,及它们厚度、质量的变化。野外露头研究是正确客观地认识沉积体系的基础,并能起到对地下沉积体进行定量描述和预测的关键作用。

4.1.2 实验观测和分析方法

实验观测和分析是传统的方法,但随着技术进步和设备的改进,许多实验仪器的数字分析、记录和输出都是通过计算机来实现,使数据更精细、正确,形态更逼真可视,因而可以发现许多以前所没有发现的现象,取得更多的数据,如各种方法的测年、古生物分析、磁性地层分析、及有关沉积体系分析,提高了层序解释的精度和对沉积体认识的正确性。

4.1.3 测井层序地层分析

测井技术分析是层序地层分析的基本方法,测井资料的连续性和精确性使我们可以正确地识别层序界面、层序中的沉积体系和旋回性的变化,特别是对准层序和准层序组的识别及其它们的叠加方式是其他方法所不可比拟的。通过测井可识别出准层序组、准层序、甚至层和纹层,可以为精细勘探和开发中小层的对比提供正确有效的方案。同时可以约束地震上大面积的对比。在测井曲线上,还可以分析沉积相、沉积特征及其变化,

因此测井层序地层研究是层序地层学研究不可缺少的重要部分。

4.1.4 地震层序地层分析

层序地层学本身是在地震地层学发展而来,可以想象地震在层序地层学研究中的位置。地震剖面可以从宏观上(三级以上)发现不整合面,划分层序,同时通过反射结构特征区分沉积体,可以在更大的范围内进行层序对比,从而可以确定储层分布的有利区带,在宏观上对测井层序的划分也有一定的约束性。特别是在井约束条件下精度可以大幅度提高,并可以在较大区域范围内进行闭合而不致于穿层。在三维地震区还可以使层序地层划分更为精细可靠。

4.1.5 层序地层的数值模拟

沉积盆地充填过程和沉积层序形成演化的模拟是一项复杂的系统工程,需要考虑盆地沉降、海或湖平面的变化、沉积物供给、沉积物压实、沉积和剥蚀过程和沉积体形态参数等的定量描述。林畅松^[30]通过对构造沉降和湖平面变化两个主控因素的变化(假设其他因素不变)模拟了具盆缘断裂控制的两种层序及沉积体的分布(图4)。胡受权等^[31]对泌阳断陷湖盆陆相层序过程-响应机制进行了单因素(高频湖平面变化与层序响应特征、构造沉降速率变化与层序响应特征、物源供给与层序响应)的机算模拟。为实际层序研究和成因探讨起到重要的作用。

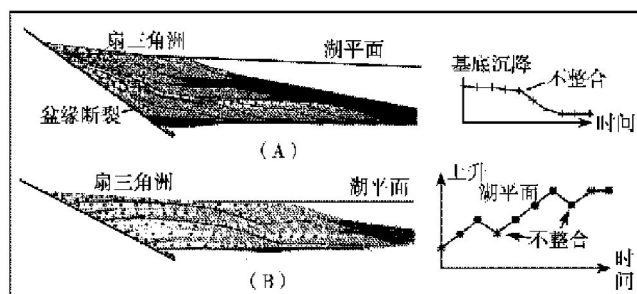


图4 计算机模拟的两种层序及其沉积体系分布^[30]

Fig. 4 Two sequence types simulated by SSM program and their sedimentary systems
A—构造沉降对层序发育的控制;
B—湖平面对层序发育的控制

4.2 应用

层序地层学已应用于油气勘探开发的各个阶段,不同阶段其要求和目的不同,层序地层学的研

究内容和精度也各不相同。在实际工作中一般可以划分为3个阶段,即区带预探阶段、目标勘探阶段和开发阶段。

4.2.1 区带预探阶段

新盆地中一般都进行了地面露头调查、一定量的物探工作和一定量的钻井,层序地层学的工作是应用野外、少量地震和钻井资料,在盆地内部正确地划分层序(包括二级和三级),以初步确定盆地的构造演化、沉积演化,推断是否具有生油条件、沉积体的分布,选择有利区带,并通过增加地震工作和进行石油地质分析,通过地震反射结构特征推断可能的生油层和储集层,确定有利区块。

4.2.2 目标勘探阶段

目标勘探是指通过比较精细的工作落实具体钻探的目标井位,一般是在具三维地震的相对较高成熟度的勘探区进行岩性地层油气藏的勘探。此时的层序地层学分析必须是精细到准层序组或准层序(有人称为4~5级层序),在高分辨率层序地层分析(基准面地层分析)中要精细到短期旋回。由于该阶段生油岩和区域盖层的分布比较清楚,对油气地质有了相当的了解,因此岩性地层油气藏勘探的主要任务是发现储层、选择优质储层、确定含油气储层。层序地层分析一般通过下列步骤实现:(1)了解构造沉积背景的基础;(2)应用三维模块从三级层序至准层序进行逐级层序地层的划分;(3)地震、地质和测井相互约束下进行各级层序界面追踪,并在三维地震数据体上进行闭合;(4)在层序地层等时格架的约束下进行沉积相的精细研究及进行多参数的地震储层反演^[32];(5)油气富集规律分析和优选目标、并进行细致的目标评价;(6)通过神经网络等手段进行含油性预测,确定目标供钻探。依据上述工作步骤,层序地层学研究在松辽南部和胜利油田济阳坳陷岩性油气藏的勘探中取得了巨大的突破^[32]。在松辽南部发现大量三角洲前缘的储集砂体,累计探明油气地质储量 3×10^8 t以上。在济阳坳陷中发现了大量的三角洲前缘砂体和深水浊积砂体,已探明油气地质储量 6×10^8 t以上。在其他含油气盆地,如渤海湾的冀中坳陷、南堡凹陷、二连盆地的一些断陷和鄂尔多斯盆地二叠系和准噶尔盆地侏罗系和白垩系的岩性油气藏勘探中都取得了重要的突破。

4.2.3 开发阶段

层序地层学在碎屑岩储层油田开发阶段的应

用有着广阔的发展前景,无论是建立精细油藏地质模型,还是油藏数值模拟需要的小层划分与对比及储层非均质性研究,都可在层序地层学的基础上结合储层沉积学等来开展综合研究。开展储层层序地层学研究,摸索层序地层对储层物性、砂体连通程度、储层非均质性和油藏水体大小等的控制作用,可帮助油藏工程师重新认识储层的特征,及时调整或加密井点,确定注水井的数量及投入时间,从而增加地质储量,提高采收率,最终达到延长油田寿命的目的^[33]。田昌炳等^[34]在塔中4油气田开发中应用层序地层的精细对比,划分了4个层序15个准层序和30个小层,克服了依岩性进行小层对比的穿时现象(图5),提高了开采的效率。

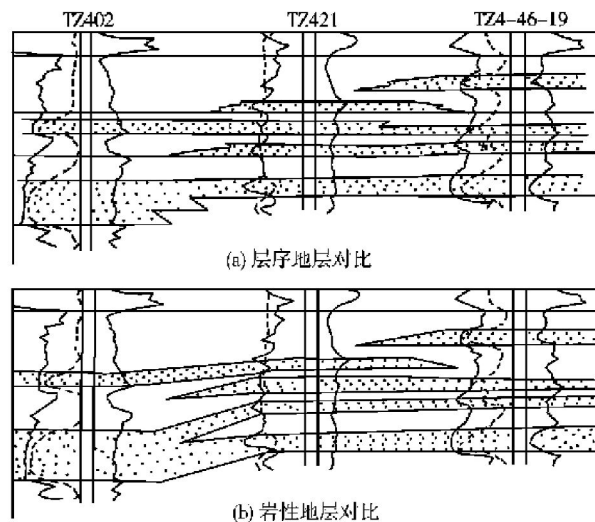


图5 塔中4油田C1油组退积准层序组层序地层
(a)和岩性地层(b)对比图^[34]

Fig. 5 (a) Sequence stratigraphic and
(b) lithostratigraphic correlations of C1 retrogradational
parasequence set in Tazhong 4 oilfield

在勘探成熟地区,精细的层序地层学研究可以通过湖泛面的确定和大量的钻井实际资料的对比在等时格架内划分小层,识别小层中的隔层和夹层,确定开发中的流动单元,为确定储层分类和剩余油的分布提供科学的依据。

参 考 文 献

- 1 Vail P R, Mitchum R M Jr, Thompsons S. Global cycles of relative changes of sea level [J]. AAPG Memoir, 1977, 26: 83~ 97
- 2 Vail P R. Sequence stratigraphy workbook, fundamentals of sequence

- stratigraphy[A]. In: Bally A W. AAPG annual convention short course: sequence stratigraphy interpretation of seismic stratigraphy interpretation procedure[C]. AAPG Atlas of seismic stratigraphy, 1988
- 3 Vail P R, Audelard F, Bowman S A, et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: an overview[A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A. Cycles and events in stratigraphy [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 617~ 659
- 4 van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops[J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, 7: 1~ 8
- 5 van Wagoner J C. Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy[J]. AAPG Memoir, 1995, 64: 490
- 6 Posamentier H W, Jervey M T, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition I—conceptual framework[A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea level changes: an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 69~ 125
- 7 Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present) [J]. Science, 1987, 235: 1 156~ 1 167
- 8 Jervey M T. Quantitative geological modeling expression[A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea level changes: an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 47~ 70
- 9 Cross T A, Homewood P W. Amant Gressly's role in founding modern stratigraphy[J]. Geological Society of American Bulletin, 1997, 109: 1 617~ 1 630
- 10 Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles, Upper Cretaceous, Western Interior, USA[A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea level changes: an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 293~ 308
- 11 Cross T A, Lessenger M A. Correlation strategies for clastic wedges [A]. In: Coalson E B, Osmund J C, Williams E T. Innovative applications of petroleum technology in the Rocky Mountain[C]. Denver: American Rocky Mountain Association of Geologists, 1997. 183~ 203
- 12 Cross T A, Lessenger M A. Construction and application of a stratigraphic inverse model[A]. In: Harbaugh J W, Watney W L, Rankey E C, et al. Numerical experiments in stratigraphy: recent advances in stratigraphic and sedimentologic computer simulations [C]. SEPM Special Publication, 1999, 62: 69~ 83
- 13 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~ 97
- 14 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~ 183
- 15 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52~ 57
- 16 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83~ 89
- 17 蒲仁海. 断陷盆地层序地层学的几点进展[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 410~ 414
- 18 高新生, 赵霞飞, 李天明, 等. 准噶尔盆地西部侏罗系层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 165~ 168
- 19 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
- 20 许广明, 徐怀大, 孔祥言. 高分辨率层序地层学在油藏数值模拟中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 115~ 119
- 21 胡宗全, 李明娟. 准噶尔盆地西北缘侏罗系层序模拟与沉积相演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 351~ 355
- 22 闫小雄, 周立发. 前陆盆地层序地层学研究现状及进展[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(3): 60~ 64
- 23 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6~ 10
- 24 朱筱敏, 康安, 王贵文. 陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 283~ 287
- 25 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷盆地层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 1~ 128
- 26 刘立, 王东坡. 陆相地层的层序地层学: 层序的特征与模式[J]. 岩相古地理, 1996, 16(5): 47~ 53
- 27 冯有良, 李思田, 解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学模式[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 119~ 132
- 28 纪友亮, 冯建辉. 东濮凹陷沙三段高频湖平面变化及低位砂体预测[J]. 高校地质学报, 2003, 9(1): 99~ 112
- 29 王嗣敏, 刘招君, 董清水, 等. 陆相盆地层序地层形成机制分析——以松辽盆地为例[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(2): 139~ 144
- 30 林畅松, 李思田, 任建业. 断陷湖盆层序地层学研究和计算机模拟——以二连盆地乌里亚斯太断陷为例[J]. 地学前缘, 1995, 2(3~ 4): 124~ 132
- 31 胡受权, 王英民, 王勇. 断陷湖盆陆相层序过程—响应机制的单因素计算机模拟[J]. 贵州工业大学学报, 1998, 27(1): 62~ 70
- 32 李丕龙, 庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳拗陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004
- 33 施和生, 李文湘, 邹晓萍, 等. 层序地层学在珠江口盆地(东部) 油田开发中的应用[J]. 中国海上油气地质, 2000, 14(1): 15~ 20
- 34 田昌炳, 贾爱林, 肖敬修. 层序地层学在塔中4油田C1油组开发中的应用[J]. 石油勘探和开发, 1996, 23(4): 46~ 49