

文章编号: 1009-3850(2002)04-0035-09

陆相层序地层学理论体系及其发展趋势

倪新锋, 陈洪德, 田景春, 夏青松

(成都理工大学 沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 笔者在综合了国内外大量学者研究成果的基础上, 以全新的角度, 从陆相层序几何学和陆相层序充填动力学两个方面, 初步总结了陆相层序地层的特征、研究难点、层序的内部构成和外部构成、地层的控制因素, 并且简略地归纳了陆相层序地层学的模式, 展望了未来陆相层序地层学的发展趋势及其前景。

关键词: 陆相层序地层学; 陆相层序几何学; 陆相层序充填动力学; 理论体系; 发展趋势

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

1 前言

20 世纪 90 年代初, 层序地层学研究进入了空前迅猛的发展阶段, 陆相层序地层学的理论研究和实践逐渐成为沉积学和石油地质学界的热门课题。以 1991 年在 Banff 举行的 NUNA 会议为标志性起点, 经过国内外大量学者的研究与探索, 陆相层序地层学走过了十年的历程。陆相层序地层学作为层序地层学的一个发展, 在地学界受到了高度的重视, 其全新的观念和独特的视角给地学工作者提供了广阔的思维空间, 不失为地学界的又一场革命。

近年来, 我国地学工作者在油气的勘探、开发、盆地模拟与评价、油气预测、油藏描述等方面, 充分应用层序地层学的原理和方法, 发现了一批隐蔽性油气藏, 取得了巨大的经济效益, 并且在提高采收率和降低成本上也发挥了陆相层序地层学独特的优势。鉴于我国的油气田大多属于陆相盆地, 东部地区地质条件的复杂性及其勘探开发已经进入中后期这些特点, 在稳定东部、发展西部的总体战略中, 想要找到有利成藏区带, 尤其是找到有利的地层与岩性圈闭, 存在很大的困难。为了解决上述的困

难与矛盾, 加强陆相层序地层学概念、理论和方法的研究与实践已经成为当务之急。本文就陆相层序地层学的十年发展及其广阔前景作粗略地归纳与分析, 希望对我国的陆相层序地层学的研究和发展有所帮助。

2 陆相地层基本特征

层序地层学的核心思想是建立等时地层格架, 并将相和沉积体系的研究放在等时地层格架中进行, 使层序地层学具有年代地层学和成因地层学的意义^[1]。作为层序地层学的应用基础, 陆相地层中存在着旋回沉积作用、等时地层界面(不整合面)以及可以预测的地层空间分布型式等特点。

1. 陆相地层具有韵律性、旋回性及周期性

无论是地面露头还是井下岩心剖面, 均可发现沉积物类型、颜色、结构等具有韵律性、旋回性或周期性。这些旋回性的沉积地层都可以划分为成因地层单元, 并可运用层序地层学的基本概念进行解释和分析。

2. 存在着多旋回的幕式构造运动^[2]

地学工作者通过对我国东部中、新生代陆相盆

地层序地层分析,得出的诸多结论表明,陆相盆地层序的形成与演化主要受控于盆地构造格局与多幕式构造运动。周期性的构造运动是造成沉积基准面周期性升降变化的一个重要原因。构造旋回可以划分为不同的级次,不同级别的构造运动幕式旋回造成了不同规模的基准面升降运动,也形成了不同级别的不整合面或无沉积作用面,是控制层序发育的一个基本因素。陆相盆地复杂的构造格局和多幕式构造活动导致层序构成样式的多样性和层序内部构成的复杂性。

3. 存在着气候的周期性变化

陆相沉积层序受气候变化的影响十分显著。从大量的微体、超微体化石和孢粉研究中发现,在地质历史时期内存在着气候干旱、潮湿和炎热、寒冷的频繁的周期性的变化。从现代江湖沉积作用可以看出,长江及鄱阳湖等水域每年5~9月份常是洪峰季节,每次洪峰水面可以上升几米至几十米,并留下了洪泛面的灾变沉积记录。而且,与海平面变化根本不同的是,河湖水体的变化不是单向性的水进、水退,而是在古气候控制下的整体性的扩展和萎缩。一些时候,气候变迁可能成为控制陆相地层发育的最重要因素。

4. 存在着不同级别的不整合面

陆相盆地中由于存在着周期性的构造运动、古气候条件的交替变化等因素,从而引起基准面周期性变化最终造成地层剖面中存在一系列不同级别的不整合面。地层中这种不同级别的不整合面是划分等时地层单元的基础。

正是由于陆相地层所具有旋回性、周期性等特点,决定了可对其进行详细的层序地层学研究。

3 陆相层序地层学研究中的难点

陆相地层与海相地层存在着显著的差异,它远不如海相大陆边缘地层那么有规律。因此我们要将起源于海相地层的层序地层学的理论和模式应用于陆相地层,还存在许多难点。陆相地层表现出以下特点。

(1)多物源、多沉积体系和充填方式比较复杂是陆相地层独有的特点,沉积物供应量随气候变化的波动很大。

(2)陆相地层沉积速率高^[3]。地层沉积的厚度通常很大,一般可以达近千米。这是因为其距离物

源近,陆源碎屑物的供给源源不断,形成了陆相沉积速率高的物质基础。

(3)陆相地层沉积作用方式复杂^[3]。陆相地层除了具有海相地层的沉积作用方式外,还广泛发育侧向加积作用。这种侧向加积作用是陆相盆地最重要,也是最常见的一种堆积方式,在曲流河、河道、湖泊中甚为发育。

(4)陆相地层具有很强的分隔性,构造运动明显控制着沉积基准面的变化和地层分布。复杂的地理背景,如沿海盆地和内陆盆地可以形成不同的陆相盆地,其沉积物类型差异极大。而且需要指出,远离海岸线的内陆盆地,构造运动和气候周期性在基准面的变化和地层分布上起着决定性的作用。

(5)由于受到多物源、近物源、高沉积速率、复杂的地理背景等条件的影响,陆相盆地层序内部体系域的分布样式和叠置形式比较复杂。陆相地层远不是“千层饼”式的,而是不规则、不连续的“夹饼状”,它们都呈透镜状或楔状夹在具平展、连续延伸特征的层状地层之间。因而陆相地层表现为纵向上十分有序而横向上却十分无序、岩性和岩相变化很快的特点^[3]。这样,地层对比的“层板模式”就不适应陆相层序对比的需要,这就给陆相盆地中层序地层学的应用提出了严峻的挑战。

(6)基准面确定难^[4]。在海相地层中基准面为海平面;而在陆相地层中,基准面却是一个相对于地表起伏的、连续的、略向盆地方向下倾的抽象势能面。

(7)年龄确定难。在陆相地层中,缺乏断代和推定其绝对年龄的化石证据,而古生物所确定的年龄误差较大。

4 陆相层序地层学理论体系

如何在陆相沉积盆地中应用层序地层学?虽然大多数学者一致认为传统的层序地层学的理论可以应用到陆相地层中来,但他们并不愿意完全照搬起源于被动大陆边缘的海相地层学的基本术语和理论体系。笔者在充分考虑了陆相地层的复杂性与特殊性的基础上,从全新的角度来归纳陆相层序地层学研究和理论体系。陆相层序几何学和陆相层序充填动力学研究是陆相层序地层学研究中两个非常重要的方面,也囊括了几乎陆相层序地层学的全部内容,陆相层序几何学侧重于构成研究,陆相层序

充填动力学侧重于过程研究,即形成机理研究。

4.1 陆相层序几何学

陆相层序几何学指的是不同级别层序单元的几何形态及相互组合关系,研究内容包括层序界面、层序外部构成及内部构成三个方面(图1)。

1. 层序界面类型及特征

层序界面为不整合面或与其相关的整合界面^[9]。陆相盆地分析过程中,准确地控制各级层序地层单位的沉积构成及其相互关系的关键在于不同级别界面的分析。陆相盆地具有很强的分隔性,盆地内相变又非常复杂,寻找区域性较稳定的层序界面比较困难。

结合我国中、新生代陆相盆地的特点,将陆相盆地划分出4种常见的层序界面^[7],即古构造运动面(或区域性不整合界面)、大面积侵蚀或冲刷不整合面(或沉积间断型界面)、构造应力场转换面和大面积超覆面。上述4种界面在野外露头、岩心资料、测井曲线上往往显示古风化壳、古土壤层或强烈冲刷现象等一系列特征性标志。界面上下地层不仅存在明显的岩性差异,而且在古生物组合、有机质丰度和有机质类型等方面有显著的差异。这些地层在地震剖面上常见有顶超、削截和超覆现象。需要指出的是,在盆地的边缘部位一般为强烈不整合面,向盆地内部逐渐过渡为假整合,乃至与不整合相关的整合界面。

2. 陆相层序外部构成

层序外部构成是指盆地内部各级层序单元的外部形态及其在时间上的相互垂向叠置关系(即层序地层格架)。层序的外部构成主要研究层序级别的厘定与划分,从而建立层序地层格架。层序地层学研究的一个核心内容就是建立一个旋回式的、成因上有联系的年代地层格架^[8]。

目前,对于层序级别的划分方案比较多,不同的学者有不同的观点。谢习农将伊通地堑层序地层划分为7个级别^[9],即盆地充填序列、构造层序、层序、小层序组、小层序或沉积体系单元、成因相和岩性相。胡受权将断陷湖盆陆相层序划分为8个级别^[5],即盆地充填序列、构造层序、地震层序(层序组)、层序、体系域、小层序组、小层序、小层单元。其中,前4级属于低频层序,后4级为高频层序。岳文浙等将陆相层序划分为5个等级^[10],即盆地充填序列、构造层序、层序、亚层序、小层序,分别与Vail的

大层序、超层序(组)、层序、副层序和小层序对比。

从众多的划分方案可以看出,一般较高级别的层序单元如盆地充填序列、构造层序和层序的划分比较一致,主要差异表现在较低级别(即高频)层序的基本构成单元上,因为不同盆地高频层序构成单元要依照资料的精细程度和研究目的而定。

3. 陆相层序内部构成

层序内部构成特指各级层序单元内部几何形态及其内部各种环境下的沉积体在空间上的相互侧向配置关系(即体系域)。

在建立了盆地的层序地层格架以后,就需要对年代地层格架中各部分的沉积环境及与之相关的演化和分布规律进行研究,即陆相层序地层学的内部构成研究。同时揭示各成藏要素在时空上的分布和配置关系,以评价油气远景和指导油气勘探。层序内部构成指示了层序内沉积体系构成及其相互配置关系,即沉积体系域特征。

在体系域的划分上存在较大分歧,而且术语混杂。魏魁生和徐怀大^[11,12]、张希明^[13]等人基本上沿用经典模式中低水位体系域、水进或湖进(水侵或湖侵)体系域和高位体系域的三分性观点和术语。李思田等^[4]、谢习农等^[9]、胡受权等^[19]认为将一个层序三分的做法仅在一定条件下适用,而不能作为一种模式加以推广,陆相盆地可以根据小层序组的沉积体系组合特征来命名体系域类型。如谢习农等人将伊通地堑划分为冲积扇-扇前洪泛平原型、冲积扇-扇前浅水湖盆型、进积式扇三角洲较深水湖盆型等6种体系域类型;程日辉等^[15]将陆相层序划分为湖进体系域、湖泛体系域和湖退体系域;胡受权等^[5]认为一个完整的陆相层序应该包括低水位体系域、水进体系域、高水位体系域和水退体系域4种体系域类型。

从诸多体系域分类中,可以将其笼统地归纳为3种观点,一是选择与陆架边缘坡折带相对应的参照物,体系域采用固定的三分法;二是以陆相冲积体系与湖泊体系的不同比例的组合来划分,体系域的划分并非全都为三分性;三是以控制陆相层序发育的主导因素(如构造运动、气候变迁等)出发,其划分方案也没有定论。

4.2 陆相层序充填动力学

陆相层序充填动力学主要研究层序的成因问题,包括陆相层序形成机理和陆相层序控制因素两

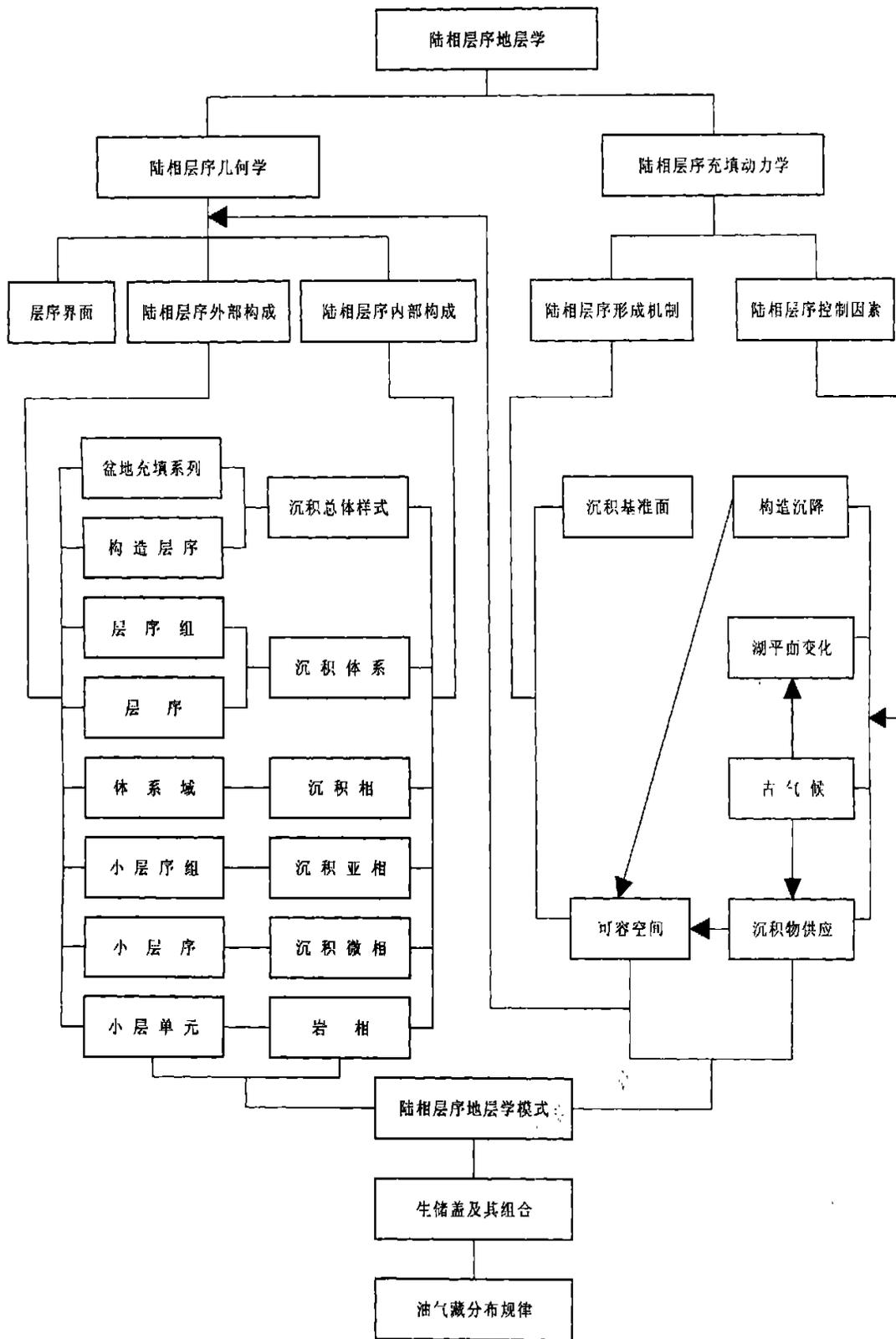


图1 陆相层序地层学理论体系框架图^[9] (有修改)

Fig.1 The framework of the theoretical systems of continental sequence stratigraphy (modified from Hu Shouquan et al., 2001)

个方面的研究。

1. 陆相层序形成机理

沉积基准面原理、可容空间的概念、沉积物体积分配和相分异原理、基准面旋回识别技术及其基准面旋回等时对比技术等,是认识陆相层序形成机理沉积物堆积和迁移等过程——响应动力学机制的重要理论基础。在一个基准面旋回过程中,由于可容空间与沉积物补给通量比值的变化,相同沉积体系域或相域中发生沉积物的体积分配作用,导致沉积物的保存程度、地层堆积样式、相序、相类型及岩石结构发生变化。这些变化是其在该基准面旋回过程中所处的位置和可容空间的函数。

由此可见,由基准面旋回所控制的等时地层单元的地层分布形式是有规律可循的,而且是可以预测的。通过沉积基准面旋回分析及其可容空间变化关系,建立陆相层序形成机理的动力学模型,进而采用定量层序地层学计算机模拟技术,探讨陆相层序形成过程——响应机制。

2. 陆相层序控制因素

陆相层序地层学的基本观点是,地层单元的几何形态和岩性是受构造沉降(控制沉积物的沉积空间)、湖平面变化(控制地层和岩相型式)、古气候(控制沉积物类型)和沉积物供应(控制沉积物充填和古水深)四大主要因素控制的,还有可能受到突发性海水入侵和火山活动等因素的影响。气候条件主要影响沉积物类型,构造沉降和沉积物供应共同控制层序内部构成及其形态。目前,更多的研究表明,构造作用有着和全球海平面变化同等级别的控制作用。李思田等^[14]、魏魁生、徐怀大^[11]等学者在对我国陆相盆地的研究中得出,我国陆相盆地层序地层的主要控制因素是构造作用。

5 陆相层序地层学模式探讨

陆相层序地层学模式是陆相层序几何学和陆相层序充填动力学综合研究的产物。陆相层序地层学模式的核心内容包括3部分——陆相层序及其体系域界面模式、体系域模式和陆相层序地层模式。其中陆相层序界面模式和体系域模式在陆相层序地层几何学中讨论过,这里只对陆相层序模式进行初步概括。

对于陆相层序地层模式,许多学者通过对某一区块进行层序地层学研究后,大都提出一个针对地

区特点的层序发育模式,但这些模式随地区的不同变化很大。陆相层序地层学迄今还没有一个比较成熟的、大家所公认的层序地层模式,建立陆相层序发育模式已成为层序地层学研究的一个重点和难点。在今后的工作中,要注重对不同盆地类型和不同沉积背景下层序发育模式的研究。

层序模式因地制宜,层序地层的模式没有定论。笔者在综合了众多学者提出的层序模式的基础上,结合实际,借用胡受权的层序模式方案^[19],将陆相层序地层模式分为岩相格架模式和年代格架模式来作初步性的探讨。

5.1 陆相层序地层岩相格架模式

目前已初步建立了断陷盆地、坳陷盆地以及河流体系冲积地层背景下的层序地层模式(表1)。但关于风成沉积地层的研究几乎还是一个空白。

1. 陆相断陷盆地层序地层模式

断陷盆地中往往因受断层的影响,在近断层处形成陡坡,而另一侧形成缓坡。因而,陆相断陷盆地层序地层模式有下面两种形式。

(1)缓坡型(图2A)。缓坡型地层的流域水系可能是梳子状结构,河流分叉后又合并,其弯度较小。低水位时,洪水期河流可直接流入湖盆,形成部分洪水湖底扇,陆上部分形成侵蚀河谷,最大湖侵期可沉积较纯泥岩、碳酸盐岩、煤层或煤线。高水位期常发育三角洲。

(2)陡坡型(图2B)。陡坡型盆地沉积位置紧靠断层,地形具有一定的高程差,物源又比较丰富,因此主要以粗粒沉积物堆积为主,夹杂泥质细粒沉积物,此为粗粒沉积物缺乏时的产物。低水位体系域主要以冲积扇或扇三角洲(少)沉积为主,湖相沉积退缩到远离断层的近中心区;水进体系域则以扇三角洲-冲积扇、湖底扇沉积为主,具有相带比较窄的浅湖沉积和深湖沉积;高水位体系域则常发育冲积扇、辫状河流、滨-浅湖、深湖沉积。

2. 陆相坳陷盆地层序地层模式

坳陷盆地面积大,地势平坦,相类型分布齐全,相带较宽,构造抬升,湖水变浅,湖区萎缩,河流可直入原浪基面以下深湖区,沉积较粗粒物质。随着构造沉降、湖水入侵,在原来的不整合面之上沉积湖相地层,形成湖侵体系域。随后湖侵速度减缓或出现湖退,陆源物质前积,接着其后缘或顶部出现侵蚀,组成高位体系域。一般而言,发育完善的大型坳陷

表 1 陆相层序地层模式

Table 1 Continental sequence stratigraphic models

沉积类型及细分		低水位体系域	水进体系域	高水位体系域	典型	
断陷盆地	魏魁生, 徐怀大 ^[11] (陡坡带和缓坡带)	湖泊发育	冲积扇、低水位三角洲、土壤、河流、滑塌、盆底洪积岩、泥石流砂滩	砂滩、砂坝、碳酸盐岩浅滩、湖底扇、网状河、下切谷充填、扇三角洲、浊积扇、沼泽、水进式三角洲	三角洲(陡坡)、扇三角洲(缓坡)、曲流河、滨岸砂带、深水粉砂和暗色泥岩、蒸发岩和碳酸盐岩	华北箕状断陷盆地
		湖泊消亡			河成冲积平原、沼泽	
	顾家裕 ^[17]	陡坡型	冲积扇或扇三角洲沉积为主	扇三角洲为主, 较窄的浅湖和深湖沉积	冲积扇、辫状河流、滨浅湖和深湖沉积	
		缓坡型	洪水湖底扇、滨浅湖、河流沉积	深湖沉积	河流沉积、三角洲、滨浅湖	
	王东坡, 刘立 ^[18] 陡坡型 缓坡型	冲积扇沉积	扇三角洲沉积、半深-深湖沉积、水下扇或水下沉积物重力流沉积、滨浅湖沉积、辫状河三角洲沉积	扇三角洲冲积扇沉积、辫状河或砂质低弯度河流沉积	松辽盆地	
坳陷盆地	王东坡, 刘立 ^[18]	冲积沉积体系、滨岸-浅湖沉积体系、冲积沉积体系	半深-深湖沉积体系、滨浅湖沉积、洪泛平原湖沉积体系	滨岸-浅湖沉积体系、冲积沉积	松辽盆地	
	顾家裕 ^[17]	在平均浪基面以下深湖区沉积较粗粒物质, 气候炎热时见盐和石膏等化学沉积	冲积河流沉积区, 湖滨在陆上平原出现煤层、煤线, 部分碳酸盐岩沉积	陆缘物质前积, 后缘或顶部出现侵蚀		
河流冲积地层	Wright 和 Marriott ^[19]	下切谷中的河道充填物和河流阶地上的高成熟度的土壤组成的, 低弯曲度河道, 以粗粒沉积为主	早期: 形成多层河道砂体和洪泛平原上的沉积物 后期: 形成孤立的河道砂体	河道砂体的密度向上增大, 形成较多的土壤层	理论模型	
	Shanlley 和 Mecabe ^[20]	床砂载荷为主的粗粒沉积, 向上变粗, 为辫状河流	河床载荷和悬浮载荷混合而成, 向上变细, 曲流河	悬浮载荷为主, 形成一些彼此孤立的河道砂体及较多的土壤层, 为网状河		
	张周良 ^[21]	彼此切割的纵向、横向上相互连通的辫状河道砂体和阶地上的土壤层组成	垂向加积的孤立于巨厚湖泛物质中的细粒砂体组成的网状河道沉积, 伴生有大片沼泽形成的煤和泥炭	较密的曲流河砂体, 含有较多的根土层		

湖盆地形分异明显, 存在着沉积滨线坡折带, 其层序模式(图 3)与被动大陆边缘层序模式类似。

3. 河流体系冲积地层层序地层模式

河流冲积相沉积属于陆区沉积, 当不整合出现时, 在同一河流体系范围内可能很少有与之相当的整合面发育, 因此, 河流冲积相地层更加强调大范围的不整合性质。在河流相层序地层模式的建立上, Olsen 等提出了具有代表性的河流相地层的模式^[22](池秋鄂, 层序地层学原理及在油气勘探开发中的应用, 1998)(图 4), 将河流冲积地层分为上部层、中部层和下部层。上部层为冲积平原向盆进积, 向上粒度变粗, 砂体复合度提高, 侵蚀面增多; 中部层为直流河、低弯度曲流河、孤立的河床, 滩坝侧向加积形态和细屑沉积保存完好, 侵蚀面较少, 偶有湖泊、潮汐或微咸水侵入; 下部层为复合河流砂席, 辫状河向

盆地内迁移并切割下伏岩层。Wright 和 Marriott 将其分为低水位体系域、水进体系域和高水位体系域; Shanlley 和 Mecabe 也提出了河流相冲积地层的层序模式。从 Wright 和 Shanlley 等的模式中不难发现, 只有在基准面快速抬升时才能形成有效的垂向加积, 当基准面上升速率变慢时, 侧向迁移变成主要营力, 改造泛滥平原, 而高水位时期, 基准面虽然很高, 但其抬升速率已变得很慢, 主要为侧向迁移。

5.2 陆相层序地层年代格架模式

陆相层序地层不仅具有成因地层意义, 而且具有年代地层内涵, 因为每一级层序单元的界面均要求具等时性或准等时性。因此, 层序地层学可以方便地将沉积体系或沉积相放入盆地等时地层格架中进行分析研究, 从整体上阐明沉积体系的时空配置

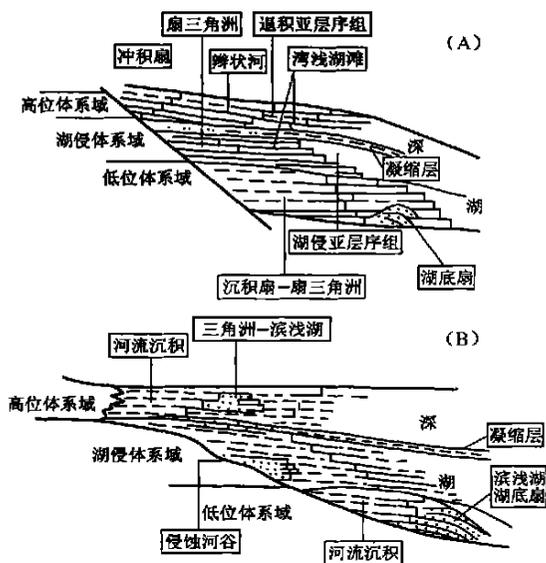


图2 陆相断陷盆地层序地层模式图^[1]

A. 陡坡型 B. 缓坡型

Fig.2 Idealized sequence stratigraphic models for continental faulted lake basins (after Wei Kuisheng et al., 1993)

A. steep slope-type; B. ramp-type

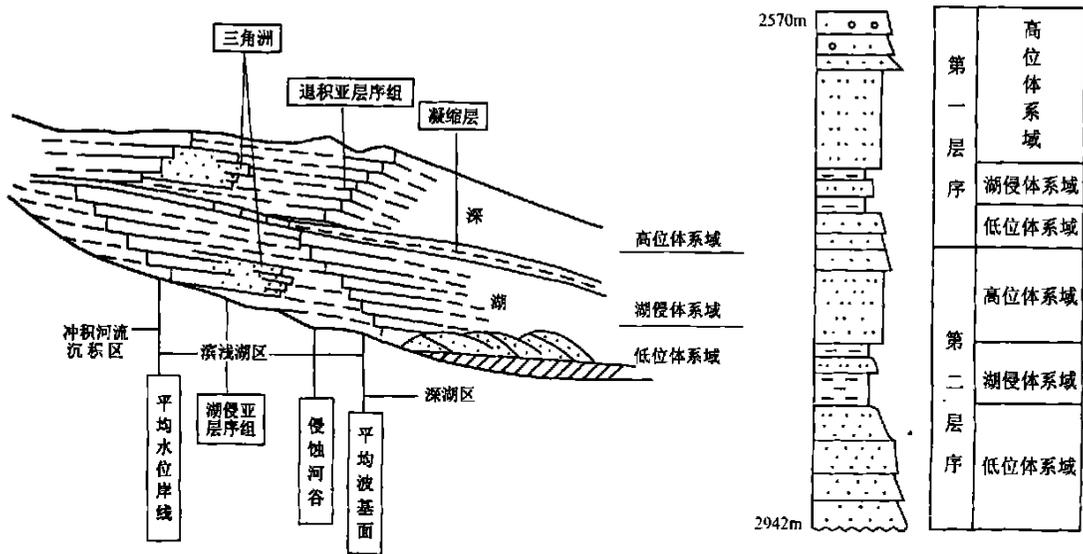


图3 陆相拗陷盆地层序地层模式^[17]

Fig.3 Sequence stratigraphic model for a continental down-warped basin (after Gu Jiayu, 1995)

关系及其展布规律。该类模式在岩相格架模式的基础上加入时间概念,使其具有年代地层学的意义。

目前尚没有比较理想的陆相层序地层年代格架模式图。

6 陆相层序地层学在油气勘探与开发中的应用

陆相层序地层学是一门实用的动态科学,为油

气的勘探与开发提供了崭新的思路与方法;层序地层学分析以其思路的先进性与预测的有效性得到了国内外广大地学工作者的高度重视。对于陆相地层,地学界应用层序地层学的原理和分析方法,取得了以下几个主要方面的成果。

(1)预测陆相地层中油气的生、储、盖层沉积体系和沉积相的时空演化与配置关系,更好地确定陆相层序中的潜在、隐蔽性油气藏,从而减少勘探成

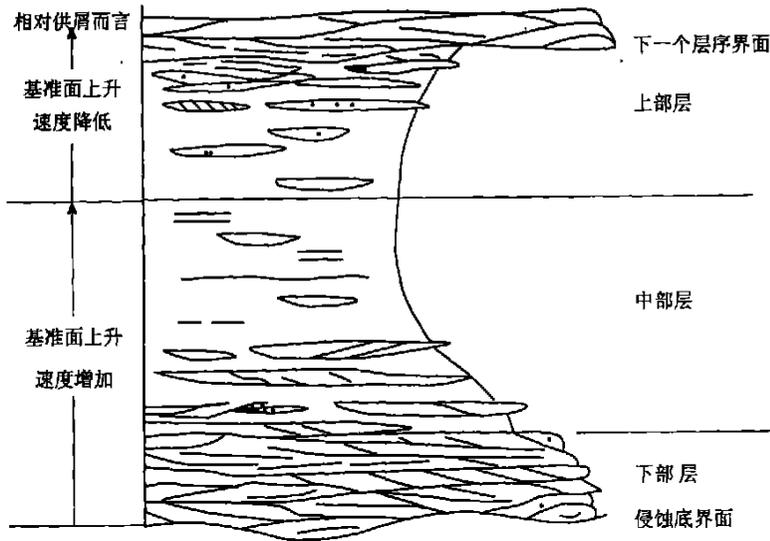


图4 理想冲积层序的构成^[21]

Fig. 4 The architectures of an idealized fluvial succession (after Olsen et al., 1995)

本, 提高经济效益。

(2) 陆相盆地中油气生、储、盖层的发育与陆相层序中的体系域有一定的成因联系, 且不同的层序样式可以构成不同的生、储、盖组合。瞿辉等在对松辽盆地南部东南隆起梨树凹陷的主要试油井段进行了陆相层序地层学分析^[4]。结果表明, 有 72% 的油气段分布在低水位体系域中, 24% 的油气段分布在高水位体系域中, 而只有 4% 的油气段分布在水进体系域中。同样, 瞿辉在他的博士论文中, 对松辽盆地南部东南隆起区层序格架中油气的分布规律进行过讨论, 结果发现约有 80% 的油气藏位于低水位体系域中。Baum(1995) 的统计也表明, 全世界有 86% 的油气储于低水位体系域中。因而, 一个地区是否发育低水位体系域, 是评价该工区油气远景的一个重要标志。

(3) 由于层序地层学具有年代地层和成因地层意义, 通过陆相层序地层学的研究, 使得地层单元的划分和陆相地层的等时对比更加精确。

(4) 层序地层学强调沉积体的形态研究, 将成因相和沉积体系放入盆地等时地层格架中研究, 从整体上阐明沉积体的展布规律, 从而更合理地评价砂体的连续性、延伸方向以及内部构成特征, 更加有效地确定油气成藏类型。

近年来, 陆相层序地层学在松辽盆地、伊通地堑、二连盆地以及鄂尔多斯盆地等地区的应用取得了显著的效果, 获得了巨大的经济效益。

7 陆相层序地层学的发展趋势

陆相层序地层学问世十年多以来, 发展很快, 已经渗透到了与沉积地质有关的各个学科, 目前依然保持着强劲的发展势头。

(1) 随着陆相层序地层学研究的不断深入和发展以及计算机软件的不断开发与研制, 使用计算机沉积模拟进行层序地层学分析已经成为陆相层序地层学的一个新的发展方向。从而可以更精确地研究陆相层序的形成、相带的组合与分异、主要控制因素, 及其对层序的几何形态、沉积相、地震层序(层序组)等的影响, 促使地层学由定性到定量方向发展。

(2) 从成因上来分析陆相地层中各种类型层序的形成与演化, 特别强调地震地层学、测井地层学以及与生物地层学与钻井资料相结合的综合研究。

(3) 将构造运动、沉积体系、相分析和含油气系统相结合, 综合分析地层的形成、演化、相带匹配以及岩性分布规律, 通过生、储、盖配置的静态研究和含油气系统中各事件的动态分析, 进行有利成藏区带预测和提高已开发油田采收率或老区挖潜。

陆相层序地层学在高科技条件下诞生, 丰富的地震与测井资料以及岩心等资料提供了大量的三维、四维信息, 陆相层序地层学就是要充分利用和正确解释这些信息, 使之与油气的勘探与开发相结合, 带来巨大的经济效益。可以预言, 21 世纪是陆相层序地层学蓬勃发展的时期。

参考文献

- [1] VAN WAGONER J C, MITCHUM R M et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correction of time and facies [C]. Tulsa: AAPG Housing Bureau, 1990.
- [2] 谢习农, 程守田, 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学, 1996, 21(1): 23-27.
- [3] 蔡雄飞, 李长安, 占车生. 陆相盆地地层研究进展[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 407.
- [4] 瞿辉, 赵文智, 徐怀大. 陆相层序特征与油气勘探对策[J]. 勘探家, 2000, 5(3): 59-63.
- [5] 胡受权, 郭文平. 论陆相层序地层学理论体系及其研究思路[J]. 断块油气田, 2001, 8(5): 1-7.
- [6] 谢习农, 刘耀宗, 张惠. 伊通地堑层序构成及层序地层格架样式[J]. 现代地质, 1994, 8(3): 246-250.
- [7] 谢习农, 李思田. 陆相盆地层序地层研究特点[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 22-24.
- [8] 樊太亮, 刘金辉, 徐怀大等. 新疆塔里木盆地北部层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [9] 谢习农, 李思田. 伊通地堑层序地层分析及充填史研究[J]. 地球科学, 1993.
- [10] 岳文浙, 等. 江苏白垩纪陆相地层研究[J]. 火山地质与矿产, 1999, 20(4): 336-339.
- [11] 魏魁生, 徐怀大. 华北地区典型箕状凹陷层序地层模式及其与油气赋存关系[J]. 地球科学, 1993, 18(2): 139-149.
- [12] 魏魁生, 徐怀大. 二连盆地白垩系非海相沉积层序特征[J]. 地球科学, 1994, 19(2): 181-193.
- [13] 张希明. 塔里木盆地北部陆相层序地层特征[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5).
- [14] 李思田, 杨士恭, 林畅松. 论沉积盆地的等时地层和基本构造单元[J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 11-20.
- [15] 程日辉, 王东坡. 陆相层序地层学进展[J]. 岩相古地理, 1996, 16(4): 56-60.
- [16] 胡受权, 郭文平, 刘树根等. 断陷湖盆陡坡带陆相层序地层学模式研究[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(2): 151-156.
- [17] 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(14): 6-10.
- [18] 王东坡, 刘立. 大陆裂谷盆地层序地层学的研究[J]. 岩相古地理, 1994, 14(3): 1-6.
- [19] WRIGHT V P, MARRIOTT S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage [J]. Sedimentary Geology, 1993, 86(3-4): 203-210.
- [20] SHANLEY K W, MECABE P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544-568.
- [21] 张周良. 河流相地层的层序地层学和河流类型[J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 188-193.
- [22] OISEN T, STEEL R, HOGSETH K et al. Sequential architecture in a fluvial succession: sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Price Canyon, Utah [J]. Journal of Sedimentary Research, 1995, B65(2): 265-280.

Continental sequence stratigraphy: theoretical systems and development trend

NI Xin-feng, CHEN Hong-de, TIAN Jing-chun, XIA Qing-song

(Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The theoretical and practical approaches of continental sequence stratigraphy are becoming one of the hot spots faced by the communities of sedimentologists and petroleum geologists. The key aspects of continental sequence stratigraphy are referred to as the geometry and filling dynamics of continental strata. Although numerous studies have been accomplished and a number of models have been presented, no well-documented models have been constructed yet. The applications of computer modeling to continental sequence stratigraphy permit us to more exactly examine the sequence formation, facies association, major controls and effects on stratial geometry, sedimentary facies and seismic sequences (sequence sets). The further studies will be conducted to genetically explore the formation and evolution of continental stratigraphic sequences, with the emphasis on seismic stratigraphy, logging stratigraphy, biostratigraphy and well data, and to make the prediction of the prospects through the static and dynamic analysis of the source-reservoir-seal associations and the events within the oil-bearing systems, respectively.

Key words: continental sequence stratigraphy; geometry of continental strata; filling dynamics of continental strata; theoretical systems; development trend