

层序地层学综述

周贤文 摘编

概念发展阶段及特点

层序地层学是研究以侵蚀面或无沉积作用面以及可与之对比的整合面为界的、有成因联系并具旋回性的地层的年代地层格架内的岩石关系为主要内容的一门学科。它属于成因地层学的范畴,是一种划分、对比和分析沉积岩的新方法,当与生物地层学及构造沉降分析相结合时,便提供了一种更精确的地质时代对比、古地理再造和钻前预测储油岩、生油岩和盖层的方法。层序地层学经过四十多年的发展,可分为三个阶段:(1)概念萌芽阶段。1949年 Sloss 在地层解释中首先使用了现代地层层序的概念。(2)模式形成阶段。它以 AAPG 第 26 届专题报告出版为标志(1977)。P. R. Vail 等人提出了海平面升降的概念以及相应的应用于并由地震反射数据记录的以不整合面为边界的地层型式。主要应用于地震资料范围内的盆地分析。(3)综合发展阶段。以 1988 年美国经济古生物家和矿物学家协会的第 42 号特别文集出版的《海平面变化:一个综合的应用方法》(Wilgus)一书以及 SEPM 层序地层学特刊(J. C. Wagoner 主编)、“层序地层学工作手册”“层序地层学基础”(P. R. Vail 及 J. B. Sangree 主编)为标志,宣告了层序地层学的诞生,使层序地层学与岩石地层、年代地层、生物地层及地震资料相结合。此理论有两大特点:一是深入、详尽地使用了地震测井、岩芯和地面露头等资料;二是它总结的沉积模式具有三维空间的主体概念。这样,层序地层学已从理论上有所争论的模型演化成了一种在实践上可采纳的方法^[1]。

层序地层学的理论基础是周期性的全球海平面升降变化控制着各海相盆地旋回性的沉积作用。在影响层序形成的所有因素中,海平面升降变化是最重要的因素,它直接控制层序的形成。层序地层学所划分的基本单元—层序,比地震地层学的地震层序更细,而每一层序内部又可以划分出最低海泛面的位置、次层序和体系域的界面。在斜坡沉积盆地中通常有三种体系域:低水位体系域(LST)、海进体系域(TST)和高水位体系域(HST)。层序地层学方法就是根据海平面升降变化所产生的实际物理界面来划分层序。

1994 年 William Helland - Hansen 等人对层序地层学模式提出了质疑。在定义“滨线轨迹”的基础上,将滨线轨迹划分加积与非加积强制海退、正常海退和加积与非加积强制海退等不同类型。因响应相对海平面连续上升和下降而形成的沉积旋回应分为四个体系域:强制海退楔体系域、低水位进积楔体系域、海进体系域、高水位体系域;而不是以往文献中所说的三个体系域^[2]。

胡受权将层序地层学的特点概括为六个方面:(1)层序地层学注意到盆地构造沉降、全球海平面波动、物理供给变化和古气候变迁是层序形成的基本控制因素,首先对沉积地层从成因机制和分布规律上加以分析。(2)层序地层学认为,层序是层序地层学的基本单元,是一个完整的全球海平面变化旋回周期内的沉积产物,正是因为这一点,层序地层学将成为全球地层对比最有效的方法手段之一。(3)层序地层学强调以不整合面及其相应的整合面作为划分层序的依据,同时还强调了层序界面之间地层的三维构型,即在一个等时地质年代格架内,从三维空间上研究有成因联系的沉积组合体。(4)层序地层学注重不同级别等时地层单元地层格架

的建立,并从理论上解决了不同级别层序单元的基本控制因素。(5)层序地层学具有利综合资料进行分析的特点,把地震、测井、岩芯和露头等资料都作为基础资料,并结合生物地层学等资料进行综合分析,将地层学研究从单因素讨论提高到多因素分析、从定性描述上升到定量刻划的水平。(6)层序地层学中对体系域的组合体的三维分布的研究,本身就具含油气盆地生储盖组合分析的意义,因此在油气勘探领域中得到广泛应用^[3]。

研究方法

层序地层学研究是一项复杂的综合性研究,它涉及生物地层学、沉积学、地球化学、地震地层学、测井地层学等学科的内容,同时又有自己独特的研究方法,一般可以以下八个方面进行研究:(1)区域地质背景;(2)生物(年代)地层学;(3)划分层序;(4)岩石学—体系域研究;(5)层序旋回成因(海平面变化);(6)层序地层学;(7)沉积环境(古地理)模式;(8)石油地质学。其中层序地层学是对上述研究的总概括。J. B. Sangree(1990)总结了一个层序地层学的综合地层解释程序^[1]:

- (1)用井壁取芯,岩芯,测井曲线解释岩性;
- (2)用微古生物化石,测井曲线特征解释沉积环境;
- (3)用动物群高丰度值,富粘土层,如伽马和电阻曲线解释密集段;
- (4)用测井曲线特征,密集段,不整合面的对比进行层序和体系域界线的选择;
- (5)用高精度的生物地层和全球性层序图表确定年代;
- (6)首先解释层序,体系域,准层序和标准层关系,然后解释测井曲线对比网;
- (7)通过合成记录的骨干地震测线与测井网的交互解释综合解释测井—地震地层剖面;
- (8)应用地层剖面建立年代地层图表;
- (9)用地层的和年代地层的解释来解释含油气远景带和含油气远景圈闭类型;
- (10)应用详细的钻井和地震测网解释含油气远景图。

研究现状及新进展

研究现状

1. 三种层序 在盆地分析中有三种常用的层序:沉积层序、异地层单位(allostratigraphic unit)和成因地层层序。

2. 不同构造背景下的层序地层学模式 人们不断地修改“经典”模式或提出新的模式,但每一层序的内部结构不同。其体系域已由原来的3种(高水位、低水位、海进体系域)变为4种(强制海退楔体系域、低水位进积楔体系域、海进体系域、高水位体系域)。

3. 前积型盆地和加积型盆地 前积型盆地是指盆地的充填过程为从盆地边缘向盆地中心的充填。在前积型盆地中,海、湖平面变化幅度和海、湖岸线迁移距离都比较大,因而最大洪泛面与不整合面较易识别。加积型盆地是指以垂向上的充填过程为主的盆地。在加积盆地中,海、湖岸线迁移的幅度比较小,地层上超特征不明显。常规地震资料的分辨率较低,识别最大洪泛面与不整合面(特别是高频层序)比较困难。测井资料的层序地层学分析就成为主要研究手段。

4. 层序级别与成因解释 现将沉积层序划分为8个级别。划分层序级别的主要目的就是

为层序的解释提供依据。1~3级层序可为构造成因,也可以是全球性海平面变化引起的;4~6级层序则是全球性海平面变化引起的;7~8级层序是海、湖平面高频振荡性变化引起(起因于米兰柯维奇轨道旋回所驱动的古气候变迁)。前四级属低频层序,后四级为高频层序。

5. 高分辨率层序地层学 高分辨率层序地层学的发展较快,主要利用高分辨率地震剖面、三维地震、测井资料、岩心和露头资料识别4~8级层序和准层序。

6. 全球性海平面变化曲线 全球性海平面曲线是综合了地质年代、磁性地层和生物地层方面的最新资料和海相盆地和地震剖面和海相露头的层序地层特征而编制的。它可以对地震资料中获得的地质参数提供钻前预测,并可以提供一种进行全球对比的参考。

7. 湖相盆地的层序地层学研究 层序地层学虽然是在海相盆地中发展起来的,但其基本原则和研究方法完全可以在湖相盆地中应用。国内外期刊发表了一些湖相盆地层序地层学的研究实例^[4]。

8. 层序地层学在原理认识、研究方法及应用取得了突出的成果^[1]。

(1) 强制海退概念的产生

Posamentier 和 Vail(1988)在介绍低水位海退沉积概念的基础上,识别出了两种海退:正常海退—形成于海平面相对静止或上升期;强制海退—形成于海平面相对下降期。强制海退与沉积物的输入量无关,通常与一个过水区、地面出露以及新老海岸线之间的可能河流侵蚀有关,是在早期低水位体系域中形成低水位前积楔的主要机制。识别强制海退是解释和预测海岸沉积几何形态的一种方法,它能解释低水位海岸下切通道的形成,通常用来解释远离海岸线的大陆架沉积的许多准则。

(2) 利用地貌学原理应用于层序地层学模型的研究导致了以下发现:在海平面升降的低水位期,河流可以通过改变其河道形态来调节降低了的基准面及坡度的变化。在海平面下降到陆棚—陆坡分界线以下更可能形成以河谷下切为特征的I类层序边界。地貌体系在海平面变化期不必经过大的变动就可以很容易地保持平衡并且在陆棚上来回迁移。最终的地层几何形态是由沉积供给和当海岸线响应海平面升降沿陆棚移动时对沉积物的作用控制的。

(3) 综合局部因素的影响

局部的自然地理对地层的影响可能很大。局部因素不仅影响体系域或层序的地层表达方式,也影响层序及体系域界面的时间和岩性表达方向。经过修改盆地模式,使层序地层学原理完全适用于各种沉积盆地。

(4) 淹没不整合

高水位沉积和淹没不整合在层序地层学中是碳酸盐岩特有的模式,并证明了沉积体系在层序剖面记录中记录海平面和其它因素的方式是不同的。造成大规模淹没的关键因素似乎是环境压力,环境变化在控制层序方面是一个与海平面相对变化竞相并存的独立因素。

新进展

1. 将高分辨率的生物地层资料、古水深资料、测井曲线特征和地震反射剖面结合起来形成一种测井—地震层序地层学分析的新方法。

该方法利用资料和地震剖面所确定具有时间地层学意义的聚敛面及其伴生的最大洪泛面和层序界面,把一个地层剖面细分成一些沉积单元。根据特性测井模式,每一个层序可细分为较小的被称为体系域的岩性单位。体系域界线是在测井曲线上识别的,用测井或合成地震记录的双程时间标定,并将其与在地震剖面上的用地震地层学流程单独识别出的相应体系域进

行对比。

2. 运用地球化学进行地层及层序研究

(1) 将层序地层学与以测井曲线、岩心和岩屑为基础的总有机碳(TOC)分析相结合设计出海相源岩的总有机碳积聚模式。

TOC 垂向分布复现型式可以用层序地层学概念来解释。与 TOC 向最大海泛面增加相对应, 有机质类型越来越海相化, 因而其生油能力也不断增加。

(2) 根据氧同位素, 与有限的生物地层控制因素联系, 以构成一个时间格架来分析沉积方式^[5]。

3. 应用层序地层学方法研究生油岩^[6]

目前已能依靠测井曲线识别沉积旋回和对比层序, 结合生油岩评价仪热解烃分析数据, 还能得到生油岩有机质分布的非均质性时空记录, 如果地层中有有机质特别富集, 则说明它们与有利的保存条件及产出率有密切关系, 并能根据有利的生油部位预测勘探层位。

下面介绍如何用层序地层学方法识别和对比生油岩

(1) 用测井手段识别沉积旋回和分析层序

国外学者目前已能用傅里叶变换方法对测井曲线进行再处理, 然后, 根据微体古生物化石证据再将深度推演到时间刻度, 从而确定出可能出现的沉积旋回, 能利用连井测井曲线上反映出的有机质纵向非均质分别识别和对比生油岩。

法国石油研究院 1988 年提出的有机碳测井评价法(CARBOLOG 法)和美国 Exxon/Esso 公司 1979 年提出的 $\Delta\log R$ 评价法都能利用常规测井数据绘制出生油岩(地层厚度为 60cm~1m)有机碳丰度剖面能控制出比较薄的富含有机质的层段(层段厚度不到 0.5m)。然后处理可得到生油岩总有机碳丰度, 还能得到反映整个盆地横剖面的 TOC 连续剖面图, 以便跟踪和对比生油岩。

按 Haq 等人的时序曲线能对不同沉积旋回中的总有机碳作出定量评价。

把合成测井曲线与 Haq 等人(1987 年)研究得到的海岸超复沉积的相对变化曲线作对比, 建立区域海岸超复沉积与海平面升降的相对变化曲线, 需要有最大海泛面与有机质富集部位的对对应关系, 因此, 利用这种对比关系并结合全球旋回图的总变化曲线就能准确识别和对比出生油岩的可能部位。

(2) 用测井—地震层序地层学对比生油岩层段

测井—地震层序地层学方法是 90 年代勘探人员使用的一种综合分析方法, 需要利用测井图、高分辨率生物地层学和古水深测量资料, 地震反射剖面等资料。

年代地层的确定和用测井—地震层序地层学方法进行的地层划分工作主要依据密集段微体化石的变化性况并结合全球旋回图进行对比, 与通常使用的生物地层学划分地层的方法相比, 这种方法能给出生油密集段更可靠的年代地层对比。

4. 碳酸盐岩层序地层模式的发展^[7]

对一些碳酸盐岩台地及礁体的层序地层学分析, 出现了一系列成果。总体结论是: 海平面变化的规模与速率对礁体的发育起着控制作用, 对碳酸盐岩台地中的水动力状态、沉积速度、沉积物分布也起控制作用。Opdige 和 Walker(1990)提出了原理。生物礁碳酸盐岩沉积的变化反映了过去 24 万年以来大气中 CO_2 的自然变化。M. E. Tucker(1991)在总结层序地层学原理在碳酸盐岩层序中的应用状况后, 总结出碳酸盐岩层序地层模式。在相对海平面变化及

堆积空间中认识碳酸盐岩地层,就能在一定程度上预测沉积体的分布及堆积方式。由此可见,层序地层学原理为更好地了解碳酸盐岩沉积控制因素及分布规律提供了理论框架。

J. F. Sarg 认为碳酸盐岩产率的变化与台地或浅滩的发育及所形成的岩相分布一样,其主要的控制因素都是叠加在较长期构造变化之上的海平面相对变化。与海平面高水位期伴生的碳酸盐岩台地,以相对较厚的加积—进积形态为特征,其底界是海进单元的顶面,而顶界则是一个层序界面。高水位期台地可分为两类:追赶型(Keep-up)和保持型(Catch-up)。在海平面低水位期可以鉴别出三类碳酸盐岩沉积物。

5. 成岩层序地层研究进展

成岩作用信息有助于对不整合面的认识,有利于重建海平面的变化,据此, Akihiro Kano (1993)提出了成岩层序地层的概念。认为浅水碳酸盐岩层序中的岩石成岩特征,可帮助认识不整合面。他根据随埋深的增加成岩作用序列,分析认为不整合面明显地出现在由上部海水成岩相的岩石和下部淡水成岩相的岩石之间,并在瑞士 Gotland 盆地泥盆系浅水海相碳酸盐岩层序中,至少找到了9种不整合面。

6. 应用层序地层学进行泥质岩层序地层分析

把层序地层学概念应用于细粒地层(泥质岩)和硅质碎屑沉积物中,了解生油岩地层状况。Derald Carpentiner (1992)等人综合生物地层信息、密集采样分析、地震测井解释及露头沉积相分析,全面研究了盆地范围内油源岩的分布及其不均一性,突出地将有机质含量置身于沉积环境的时空演化中。他分析了几个盆地,并分析了全球生油岩状况,大多数海相硅质碎屑岩发育在一定的三级或二级沉积层序中^[1]。

7. 使用计算机沉积模拟程序进行层序地层学分析

Sedpak 软件包是一种经验方法,借助图像模拟来预测地层。利用它已对世界上很多地区的盆地地层序列进行了成功的分析,具有很强的层序地层意义,可以识别海平面升降对于岩相前积及交互沉积的影响。它适用于许多不同类型的盆地中由控制点外推岩相结构,形象化地表现层序地层学的概念和沉积作用。

8. 层序地层学在含油气系统中的应用

层序地层学是综合运用岩相、沉积相、地震解释成果数据、生物地层数据和生产数据等进行层序分析,进而建立地层结构,为分析油气分布提供一个综合方法。层序地层学是含油气系统分析中必不可少的一个步骤。

9. 层序地层学在陆相地层中的应用

经典层序地层学起源于被动大陆边缘盆地,在早期阶段,主要应用于海相领域。层序地层学应用于陆相地层要求详细地考虑基准面和沉积物补给的控制因素,陆相环境中的沉积物补给变化通常比海相环境更为复杂。层序地层学的概念,已被用于各种陆相环境中相构型变化的解释。其中最突出的是有把海洋岸平原的河流相构型和同期海相地层所指示的相对海平面变化相联系的研究,以及说明水位沉积和低水位沉积之间岩相明显变化的湖相环境的研究。层序地层在陆相地层中的应用可能提出能够更好地预测河流相的风成相储集层的位置与特征的对比方法与模式^[5]。

层序地层学在中国含油气盆地的应用

1. 研究海相碳酸盐岩地层

层序地层学的基本模式是建立在被动大陆边缘的碎屑岩沉积区。碎屑岩地区的模式是用

边缘海环境建立的;碳酸盐岩的模式是用台地—盆地模式建立的。国外层序地层学的研究主要集中在这些地区。在我国,碳酸盐岩地层十分发育,且时代较老,多为古生代沉积盆地中的沉积,研究难度大。在“七五”期间,以刘宝君教授为首的课题组,运用层序地层学的理论和方法,对中国南方震旦纪至二叠纪的沉积层序进行了研究,建立起离散型被动大陆边缘、汇聚型挤压盆地和板内盆地中沉积层序模式和海平面升降曲线。许效松等运用层序地层学方法,详细阐述了南方泥盆纪板内盆地沉积层序与成矿的关系,探讨了沉积体系域的控矿作用。牟传龙等人(1992)在缺乏地震资料的情况下,对中国南方三叠纪地层开展了露头层序地层学的研究。在碎屑岩沉积体系中,划分出了Ⅰ类和Ⅱ类层序界面,并确定了层序界面的特征。

目前,国内在大比例尺沉积岩区调查工作中也开展了露头层序地层学的研究。在露头上进行观察有关沉积层序特征的研究,比运用地震和测井资料更直观和准确,但也有不足之处^[8]。

2. 在海相层序地层学方面

由中国科学院院士王鸿祯教授任首席科学家的《中国大陆及其边缘层序地层和海平面变化(sslc)》国家重大科研项目,通过大量露头层序地层调查和室内测试研究,已在基础理论和技术方法领域做出了一批阶段性成果。从中扬子地区晚古生代至三叠纪部分中不同古气候条件(冰期和间冰期),不同构造背景、不同岩石类型、不同古地理部位的层序地层发育特征、级别、空间对比、形成机制和研究方法等方面,从一些侧面反映了层序地层和海平面变化研究与当前地球科学普遍关注的全球变化和地球各圈层之间关系和紧密衔接,并对油气资源和矿产以及新一轮地质填图有直接关系^[1]。

3. 应用层序地层学研究陆棚盆地

经典层序地层学理论起源于被动边缘盆地,建立起来的层序地层格架、模式的研究方法普遍认为适合于其它类型的海相盆地,甚至陆相盆地,但陆相沉积盆地在构造、沉积、油气生成运移等方面与海相盆地有较大的差异。由于陆相盆地沉积受多种因素控制,且不同盆地其主要因素又各不相同,沉积类型多,在较小的范围内相变快,横向连续性差,纵向层序相对较薄,频繁的湖进湖退使纵向上韵律性变化较快,所以对陆相层序地层要有一个新的方法。

陆相沉积盆地与海相沉积盆地的差异性决定了在陆相盆地层序地层学研究中不能把海相盆地的一切概念和模式引入并应用于陆相盆地,而应该在基本理论指导下,创造一套适合陆相盆地的概念与模式。

(1)顾家裕(1995)提出关于层序边界确定、层序地层学研究范围,关于密集段的识别、湖平面变化是湖相沉积层序的主控因素、陆相盆地层序地层学研究方法等新概念和方法,同时根据陆相盆地特征建立了陡坡型和缓坡型两类地层层序模式,为油气勘探提供指导。

(2)胡受权(1998)认为陆相层序地层学应采取宏观控制微观、微观反过来补充或印证宏观的思路,以钻井、测井资料作点,连井剖面、地震剖面作为线,由多条线纵横交叉,从三维上控制整个研究区块。通过对陆相层序及其体系域的剖析,探讨了陆相层序地层几何学特征及动力学机制,建立一个较为完善的陆相层序地层学模式,倡导一套适用于大多数陆相盆地的陆相层序地层学术语体系,以丰富和发展层序地层学理论。

层序地层学是一门实用的动态性科学,为油气勘探提供了崭新的思想和方法;层序地层分析以其思路的先进性和预测的有效性引起地质学界的高度重视。对于陆相盆地,运用陆相层序地层学理论和陆相层序地层分析方法,将有助于预测陆相层序中油气生、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有经济价值的、潜在的隐蔽性油气成藏类型,从而减少油气勘探风险,提高油气开发的经济效益^[3]。

(3)国内运用层序地层学理论,对复杂的前陆盆地层序地层研究的思路和方法进行了有益的探索。如罗志立等对四川盆地西部前陆盆地的研究;丘东洲等建立的西准葛尔界山前陆盆地晚期层序地层模式。研究的思路和方法一般为:利用钻井和露头资料进行单井层序地层学、露头层序地层学分析;由地震层序地层学分析得出反射界面的类型、形态;由地质解释得到可容空间;由层序及体系域边界和时代确定研究区内的层序和体系域边界,得出沉积相、沉积地层模式,从而指导油气勘探。

(4)根据层序地层学原理应用的主要内容对海相盆地与湖相盆地进行对比,得出了一些重要差异,如薛良清(1990)通过松辽地区青山口组—嫩江组地层研究后认为海湖有4点差异。探讨了层序地层学在湖盆中的应用。韩殿杰(1992)对松辽盆地白垩统进行了层序地层学研究,探讨了各个体系域的沉积特征及其与油气的关系,运用中对层序地层学中的某些概念作了适当的修改与补充。

(5)张万选等(1994)通过对渤海湾盆地辽河凹陷、黄骅凹陷等地区的层序地层学分析,阐明了研究区生、储、盖层的性质、类型及分布,探索了适合陆相断陷盆地特征的层序地层学原理和方法。

(6)沙玉宝(1994)从陆相湖盆地构造升降、水面高低、物源条件、古气候变化等四个方面分析了哈密盆地的沉积特征,运用层序地层学原理划出了四个I类层序界面,并绘制了各组的沉积环境图,并指出了有利相带,为进一步勘探提出有利区带。

(7)张振生等(1994)应用层序地层学的观点,根据塔里木盆地的地震、野外露头和钻井资料,对下古生界寒武系—下奥陶统的地震反射点和沉积环境做了详细工作,根据岩相分析预测出有利储集相带为台地边缘和台地前缘斜坡相。

(8)姜在兴等以层序地层学、湖泊学和石油地质学的最新理论为指导,充分利用地震、测井、岩心、录井和油藏工程等资料,研究了湖平面升降的动力学机制及其对济阳凹陷下第三系湖相层序地层发育的控制,还指出了湖相层序地层学研究在等时性地层对比、相变和油气预测中的具体应用。

(9)李思田等(1992)将层序地层学的理论、概念和方法应用于鄂尔多斯盆地研究,建立了适合我国实际的陆相层序地层学的概念与方法体系,重建了盆地沉积体系和体系域^[5]。

(10)初步建立起了湖相层序地层学模式,总结了局部地区层序地层学格架的特征。如魏魁生和徐怀大(1993)通过研究华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式后认为:断陷盆地发育Z型层序,其内部所含体系域与海相相同,但各体系域中的沉积体系不尽相同;断陷盆地环境分带性没有海洋明显,没有确切的“陆架边缘坡折”,建立了以I型层序为背景的层序地层学理想模型。他的模式与Vail模式主要有3点差异。纪友亮(1994)通过研究东营凹陷陡坡带后认为陡坡带总是处于湖浸状态,各体系域都是由加积—退积或准层序组组成,在水进期发育浊积扇,湖底扇体系与海相模式显然不同^[1]。

(11)初步建立起了湖相层序、体系域、准层序边界的识别标准,包括地震反射响应、古生物、沉积学标志、测井响应、地球化学标志等;并建立了非海相层序地层对比的概念^[1]。

4. 层序地层学在岩相古地理方面的应用

传统的年代地层学单位、生物地层和岩石地层单位都存在不同程度的穿时性。国内研究

者如李文汉等(1993)正尝试将层序界面作为等时面,来编制岩相古地理图,其关键是如何选择等时地质体或沉积相,以及怎样选择等时面。大多数学者认为层序和体系域间的界面可以是时,用这种既等时,又有具体确定年龄的地层单位来作为岩相古地理研究的基础地层单元和成图单元,较之迄今所用的地层单位来要合理得多。

牟传龙、许效松等人(1993)根据这套思路,编制湖南及邻区泥盆纪岩相古地理图,首先在图上绘出层序界线类型及特征,然后以层序界线不整合面上下的低水位域或海浸体系域、陆棚边缘体系域和高水位体系域中最靠近层序界线的沉积相、岩性绘出当时的岩相古地理面貌。同时在平面展布图的下方,画出相关体系域的垂向时空演化柱状图或层序地层沉积模式剖面图。最后还可以绘制盆地性质与超层序的综合展布迁移、超覆的相关性。这样的图件就更能真实地反映在某一个时间间隔内,盆地四维空间的沉积演化史^[8]。

5. 层序地层学在油田开发上的应用

在油田开发阶段,通过高分辨率层序地层学研究可以更好地确定和预测储层的分隔性,有效地选择完井和开发井目标,从而达到提高采收率、增加储量并降低勘探开发成本之目的。在油田开发范围内改进储集层、生油岩和盖层的预测。

可以通过体系域和岩相的分布规律预测形成油气藏及其它沉积矿产的有利分布带。而且通过高精度、高分辨率的地震勘探(尤其是三维地震)、油藏描述、碳氢检测等手段,可以进行钻前油藏、油层质量预测,以及已开发油田的扩边和开发效率的预测。

我国东部油田大部分已进入中、高含水阶段,控水稳油、增储上产、提高开发效率与采收率、节约勘探成本已是当务之急,我们应该运用、发展层序地层学理论,重建老油田的地质模型。

几个有争议的问题

层序地层学作为一种地学理论已在地质学界得到广泛承认与应用,在我国取得了可喜的成果。但层序地层学理论还存在许多不完善的地方。如利用层序地层学研究地质问题时,往往表现出较多的个人主观性。如把特定的沉积相指定为某种沉积体系域,把滨岸相限定为高水位体系域,把深海相限定为低水位体系域。

沉积层序的定义

Wolfgang schager(1991)发表文章认为:Exxon 公司层序地层学定义的层序概念(Van Wagoner 等,1988)由于重新定义了不整合概念而使沉积层序受到限制。在层序地层学中用的不整合与其他地质家应用的定义有显著的不同。用这一定义,层序地层学就要舍弃一个受到广泛承认的原理即层序是“通过一个唯一的客观推测—地层的实际关系来定义的”,且还要引入依赖于环境解释的成因观点。利用地震确定的层序必须依赖于几乎不可能提供的暴露的地震证据或者要求地面准确的校正。但有一个优点即用这种方式的不整合总是与海平面的相对下降一致。

Mitchun 关于不整合的定义:在给定的地层剖面中显著的层间间断,它显示有明显的地层间断,具有剥蚀或没有沉积迹象。这个定义包括了 Wan Wagoner(1988)定义的由海平面升降控制的层序,并且对一些可能层序留有余地。Gallowag(1989)的成因层序地层学完全符合这个特征。

关于 Exxon 公司的地层学存在的其他一些问题

有人认为 Exxon 公司的地层学没有提出规模问题,没有定义“相对不整合”,没有人解释“成因上有联系”的意义,许多海相岩石系列不含准层序,划分准层序的界面和层序不整合面的标准不合格。

关于全球海平面变化旋回

全球海平面变化曲线的科学依据的详细资料很少出版,且关于这些曲线及其应用有许多争议。有人认为该曲线是作为全球对比和未勘探与勘探程度不高的盆地的年代模式使用的重要工具(以 Exxon 公司为代表);有人认为关于海平面变化曲线的真实性争论是不相干的,毫不影响在单个盆地中运用层序地层学概念来预测岩性;还有人认为海平面变化不具有真实性,层序地层学概念是完全错误的。

随着层序地层学概念应用于高分辨率数据库,有人质疑三级旋回能否同四级、五级甚至六级区别开,三级事件形成的层序事实上是否能同外观类似的更高级别的层序区别开来,学者们意见不一。事实上,如果没有精确的年代资料,很难根据露头分析来阐明层序的级次^[1]。

关于层序地层学模式

一般来说,沉积构型的数目虽然是无限的,但可以用有限的模式加以阐释。现有的层序分析模式(如 Vail 等 1984; Van Wagoner 等, 1987; Posamentier 和 Vail, 1988; Embry 和 Podrusky, 1988; Galloway, 1989)是用来解释特殊地质条件的一种方法,但不能把这些模式当作不变的教条。

一些作者(Miall, 1986, 1991, 1992; Hubbard, 1988; Vnderhill, 1991)曾对建立年代模式(如 Haq 等, 1987)全球海平面旋回曲线的层序地层学原理提出过强烈批评。Schager(1993)对这些模式的有效性提出质疑,他特别强调模式在受沉积物供给状况控制的旋回中的局限性。William Helland-Hansen 等(1994)对层序地层学模式(尤其是 Exxon 模式)作为在可容空间、沉积物供给和盆地地质背景,而不是在模式所描述背景下岩性预测工具的实用性持怀疑态度。他们在定义“滨线轨迹”概念的基础上,将滨线轨迹划分为加积与非加积强制海进等不同类型。他们只讨论了二维沉积倾斜的变化性。由于三维变化,完全不同的沉积型式会在同一时期发生于不同的倾向剖面。如果对沉积体系二维与三维性质的重要差别,以及它们如何演化为可容空间和沉积物供给条件变化的结果缺乏认识,有关对相对海平面变化响应的模式将是错误的。

我国学者重点对陆相层序地层学模式进行有益的探讨。陆相层序地层学模式的核心内容包括三个方面:陆相层序及其体系域界面模式;体系域模式;陆相层序地层模式(包括岩相格架模式和年代框架模式)^[2]。

虽然层序地层学在某些问题上还存在一些争议,有些地方还有待于后继研究者发展、完善,事实上,这一学说在理论、实践上均取得了很大的成果,指导了油气勘探开发。

致谢! 本文应读者所需,从综述角度摘编了部分学者的观点,以期获得较全面的认识,在此一并致谢。

参考文献

1. 鲁洪波, 姜在兴. 层序地层学国内外研究现状综述. 世界石油科学, 1995, 72(6): 12~20, 1996, 73(1): 25~34, 1996, 74(2): 20~25
2. William Helland-Hansen 等著, 王晓峰、梅志超译, 层序地层学的理论基础及变化. 国外油气勘探, 1997, 9(5): 548~562
3. 胡受权. 陆相层序地层学理论体系框架及其研究的新思路. 滇黔桂油气, 1998, 11(1)
4. 薛良清. 层序地层学研究现状、方法与前景. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 8~13
5. 蒋录全. 层序地层学研究新进展及其在中国含油气盆地中的应用. 南方油气地质, 1995, 1(4): 52~58
6. 张建国. 应用层序地层学方法研究生油岩. 世界石油工业, 1997, 4(1): 18~20
7. J. F. Sarg 著. 碳酸盐岩层序地层学. 国外油气勘探, 1992, 4(4): 39~57
8. 罗啸泉. 层序地层学研究在国内的进展. 青海石油, 1996, 14(1): 36~39