

文章编号:1673-8217(2009)02-0001-04

层序地层学的发展现状 及其学科地位与研究前沿

杨国臣,于炳松

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要:综述了层序地层学的发展状况及其学科地位。层序地层学在其发展过程中,理论体系经历了经典层序地层学和现代层序地层学阶段,方法体系经历了地震层序地层、露头层序地层和测井层序地层分析,发展到层序地层的计算机模拟分析;它的诞生被誉为地球科学的一次革命,把地球科学的研究从定性推向定量,促进了相关地质学科的革命性发展。提出了对当前和今后研究热点和前沿的一些基本认识,强调高分辨率层序地层学和微观尺度的层序地层学研究、层序地层学横向交叉研究、层序地层的计算机模拟分析等将是当前和今后层序地层学研究中的热点和前沿。

关键词:层序地层学;发展现状;学科地位;研究热点

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

层序地层学是20世纪80年代发展起来的一门新学科和新技术^[1],是以地震地层学为基础,综合利用地震、钻井及露头资料,结合沉积环境及岩相古地理解释,对地层层序格架进行综合解释的科学。它同时也是在生物地层学、年代地层学和岩石地层学的基础上发展起来的^[2]。在地质历史的概念上,它以依据生物地层学与年代地层学所建立的宏观年代地层格架为基础开展研究。在理论和方法上,它将地质学和地球物理学相互交叉渗透而发展起来^[3],逐渐形成了一套相对独立的理论方法体系,形成为一门相对独立的地球科学分支学科。

1 层序地层学的发展

层序地层学的发展集中体现在理论方法体系、研究领域和视角两方面,并愈来愈注重对微观领域的研究。

1.1 理论方法体系的发展

层序地层学在其发展过程中建立了海相层序地层学、陆相层序地层学和高分辨率层序地层学三大理论体系,以及地震层序地层学分析、露头层序地层学分析、测井层序地层学分析和层序地层的计算机模拟分析四大方法体系^[4]。

1.1.1 理论体系现状

层序地层学理论体系的发展经历了经典层序地层学和现代层序地层学阶段^[5]。

(1)经典层序地层学理论体系构成。经典层序

地层学理论体系大致分为三大学派,均强调海平面的变化是控制层序成因和相分布的内在机制。一是以 Vail 为代表的学派^[6],强调以地层不整合或与之可对比的整合界面为层序边界,特别强调全球海平面变化是层序发育的主控因素;主要利用地震资料解释地震层序,通过地震反射确定界面的形态和分布,并根据在层序内与层序不整合界面的关系来解释沉积体系(域)^[1]。二是以 Galloway 为代表的学派^[7],强调以最大洪泛面及其对应的沉积间断面作为层序边界,特别强调层序是在相对基准面或构造稳定期沿盆缘沉积的一套沉积组合,考虑了共同控制沉积旋回产生的全球海平面变化、陆源物质供给和盆地沉降速率3个基本因素,认为陆架边缘和斜坡上的侵蚀作用是一个不断发生的过程并受多种因素控制;主要利用井资料进行沉积体系分析,在确定的三维沉积体系格架内分析划分层序界面^[1]。三是以 Johnson^[8]和 Embry^[9]为代表的学派,强调以低水位体系域或陆棚边缘体系域与海进体系域之间的初始海泛面作为层序的界面,以 T-R 旋回作为地层的基本单元^[1,5]。

收稿日期:2008-09-16;改回日期:2008-10-31

作者简介:杨国臣,1971年生,1995年毕业于中南工业大学应用地球物理专业,在读博士生,从事油气储层地质与评价研究工作。

基金项目:中国石油化工股份有限公司“中上扬子中新世构造演化与上组合研究”项目(编号:G080006ZS286)

(2)我国现代层序地层学理论体系构成。现代层序地层学的基本理论框架由陆相层序地层学和高分辨率层序地层学理论构筑而成。我国陆相层序地层学在发展过程中产生了多个学派,综合国内陆相层序地层研究成果^[1,3,4,10~13],笔者归纳为三大派系:类海派、构造派和综合派。类海派强调,湖泊与海洋类似,湖平面变化是整个湖盆层序发育的主控因素,不仅控制着自身的沉积,也控制着毗邻的河流及风成沉积,故可把海相层序地层学的模式应用于陆相沉积盆地^[4]。构造派强调,构造作用在层序发育过程中扮演着重要角色,并主张:①把相、沉积体系放于盆地整体等时地层格架中进行层序分析,把盆地充填序列划分为不同级别的建造块;②将古构造面作为划分层序的唯一界面,存在一定的局限性,因为如果该界面不连续,则影响等时对比的精确性;③忽略气候作用、物源供给速率等其它因素的影响^[4,11,12]。综合派强调,控制沉积物沉积的基准面是湖平面和河流平衡剖面,层序受海/湖平面变化、沉积物供给、基底沉降及气候等因素的综合影响,划分为构造与气候层序;层序界面可以是古构造运动面、构造应力场转换面、沉积间断面和大面积超覆面^[1,4,13]。

高分辨率层序地层学由 Cross^[14] 创立,邓宏文等引入我国并结合研究实践逐渐发展完善起来^[15,16]。其理论基础可概括为4个方面:地层基准面原理、沉积物体积分配原理、相分异原理和基准面旋回等时对比法则。其核心理论是基准面旋回变化原理,强调基准面是变化的直接驱动机制,因此,如何准确识别地层记录中不同级次的基准面和基准面旋回,是进行高精度等时地层对比和建立高分辨率时间-地层格架的关键。

1.1.2 方法体系现状

随着地层分析对精度要求的不断提高,层序地层分析越来越向定量化方向发展。分析方法除了早期的地震层序地层、露头层序地层和测井层序地层分析外,已发展到进行层序地层的计算机模拟分析和智能识别。这种层序地层模拟分析方法的产生,有力地促进了层序地层学理论和定量分析技术的发展,增强了沉积盆地分析和定量预测能力。通过层序地层计算机模拟,可以加深对层序发育和构成特征的理解,揭示层序形成演化的控制因素,定量分析和预测沉积体系和沉积相的空间组合及分布样式,快速检验前缘盆地的勘探预测方案^[4],降低前缘盆地的勘探风险。

1.2 研究领域和视角的发展

层序地层学按研究对象的岩石类型,可划分为碳酸盐岩层序地层学和碎屑岩层序地层学。随着在研究领域和视角上对微观尺度的层序地层学研究的注重,又产生了成岩-层序地层学和胶结物层序地层学的概念。特别在碳酸盐岩层序地层研究中,一些学者注意到在微观上成岩作用和成岩环境影响层序和体系域的发育,进而开始重视成岩-层序地层研究,并进行了有意义的探索^[17,18,20],从而促生了层序地层学的前沿分支——成岩层序地层学。Tucker 等研究指出,在海平面升降变化旋回中,高水位富含方解石,低水位富含文石和高镁方解石,揭示了随着海平面的升降,成岩环境发生改变,引起了不同的成岩作用^[17]。贾振远等认为可以通过成岩作用的微观研究来识别那些隐伏的层序界面^[18], Ginsburg(1992)阐述了海平面变化对碳酸盐岩成岩作用的影响^[19]。Akihiro Kamo(1993)提出了成岩层序地层学的概念,认为浅水碳酸盐岩中的岩石成岩特征,如胶结物及溶孔,可帮助认识不整合面^[19]。Braithwaite 则提出了胶结物层序地层学的概念,强调胶结作用在层序中的重要意义,根据胶结作用的增生和特点,划分出胶结物带的区域分布,胶结物层序可以与上超、下超和其它的相关层序对比^[20]。这些研究,确立了层序地层学微观研究的基本思路,开阔了层序地层学的研究领域和视角。

2 层序地层学的学科地位

2.1 层序地层学在地球科学中的地位和作用

层序地层学作为地层学、沉积地质学与地球物理学的交叉边缘学科^[3],它的诞生改变了分析地层记录的基本原则,被誉为地球科学的一次革命。它消除了地层学中长期存在的年代地层、岩石地层与生物地层单位的三重命名的混乱现象,第一次提出了全球统一的成因地层划分方案,建立了地层分布模式,提高了对地层分布预测的能力,将地球科学的研究从定性推向定量。随着其理论方法不断发展完善、应用领域日益广泛以及解决实际问题的能力不断增强,它在地球科学领域,特别在能源地质领域的重要地位和作用日益凸显。它为沉积学和地震勘探学提供了一个解决实际问题的有机结合点,给油气等能源地质勘探开发带来了持续的活力。它的不断发展和广泛应用,极大地促进了相关地质学科的发展,拓展了研究者对自身学科的研究视角和认识深度。

2.2 层序地层学与相关学科之间的关系

2.2.1 层序地层学与沉积学的关系

许多学者在文献中把层序地层学均作为沉积学的重要进展之一^[21~23],揭示了二者之间的相互关系。刘宝珺等指出^[23],层序地层学及精确的定年技术不仅提出了建立等时地层格架、确定盆地中沉积体系三维配置的理论与方法,而且大大推动了沉积充填动力学的研究。层序地层学的重要突破在于,建立了盆地、区域乃至全球的等时地层格架,并将沉积相和沉积体系的研究放在统一的等时地层格架中进行,因而能有效地揭示沉积体系的三维配置关系。这就使层序地层学有力地提高了研究者进行沉积学研究的能力,进而推动沉积学不断发展。而沉积学的发展对于精确分析地层的层序构型、层序界面类型、层序内部体系域沉积相或相组合类型等发挥着更为重要的作用,为储层层序地层精细对比和储层预测提供了更加可靠的科学根据。

2.2.2 层序地层学与旋回地层学的关系

旋回地层学的研究对象是海或湖平面和沉积基准面升降旋回所产生的各个级次的沉积旋回,因而,也有学者把旋回地层学称为旋回沉积学。研究表明,米兰柯维奇节律在不同的沉积环境都有体现,并具有特定的沉积标识^[10],为旋回地层学应用于层序地层学研究提供了依据。李培廉等将米氏旋回作为层序地层划分和对比的标尺,建立了可靠的高分辨率层序地层格架,提高了地层分析的分辨程度^[24~26]。王军等把层序地层学与旋回地层学的理论方法有机地结合,打破传统的旋回法地层划分对比方法,建立了高精度的冲积-河流相、海陆过渡相地层的层序格架,提高了对不同沉积相地层的分析精度和认识程度^[27,28]。这些实例表明,旋回地层学在层序地层学研究中能有效地提高地层分析的分辨程度和精度,因而推动了层序地层学的发展。反过来,层序地层学的发展也促进了旋回地层学研究的进步。

2.2.3 层序地层学与沉积盆地分析的关系

层序地层学的发展促进了沉积盆地分析的快速发展,引发了层序充填动力学的兴起。陈洪德等从地球系统科学的观点出发,以层序-盆地-地球系统科学理论为指导,从层序界面与地质事件、层序级别与盆地充填格架、层序发育与盆地构造活动、层序充填过程与盆地演化史4个方面进行初步的层序充填动力学研究,取得了有说服力的认识成果^[29]。我国沉积地质学家和构造地质学家在研究我国西部的

大型盆地中,把盆山之间的结构型式结合起来,从盆地内的层序结构揭示造山过程的响应,研究地壳的形成演化和动力学机制,作为恢复古大陆和古大洋的重要依据;以盆-山系统为整体目标,以全球构造活动论和沉积-构造地质学、对比沉积学、层序地层学为指导,从各种充填堆积物的样式、序列中寻找已经消失了的古动力学和古构造环境指标,恢复各盆地的相对位置^[10]。这些研究表明,层序地层学研究可提高沉积盆地分析的精准度,有效地推动沉积盆地动力学研究的发展。层序地层学已日益成为进行高精度沉积盆地分析的一种必需的有力工具,而高精度的沉积盆地分析和沉积盆地动力学研究对于建立更加符合地质客体的盆地充填序列、层序地层格架、精细层序划分与对比等,则发挥着重要的作用。

2.2.4 层序地层学与其它相关学科的关系

除上述学科外,与层序地层学关系紧密的学科还有地震地层学、地震勘探学、测井学、测井地质学等,它们是进行层序地层分析的重要基础。井、震地质资料是层序地层分析不可或缺的第一性资料,这些学科的发展状况决定了这些资料对地层分析的分辨程度,从而直接决定了层序地层分析的精度。而层序地层学发展的需要,更有力地促进了这些学科的发展和技术方法的进步。

3 当前和今后的研究热点与前沿

综观层序地层学的发展历程,层序地层学研究已发展到宏观与微观结合、定性与定量同行、纵向与横向交叉并进,从而不断促生了一个又一个的研究热点和前沿。概括起来,当前和今后的研究热点与前沿可包括以下几个方面:

(1) 高分辨率层序地层学研究不仅适合于海相地层,更重要的是它特别适用于我国陆相地层,因而必将成为我国今后陆相地层研究的长期热点和前沿。

(2) 从我国陆相碎屑岩地层、碳酸盐岩地层油气勘探开发现状的需要看,陆相层序地层学、碳酸盐岩层序地层学研究也仍将是我国今后的长期热点和前沿。

(3) 成岩层序地层学、胶结物层序地层学在微观上开展层序地层研究,提高了层序地层学的研究精度,方便对更小尺度的沉积体进行圈定描述。因而,这种微观尺度上的层序地层学研究对于精细研究储层具有更大价值,必然成为今后的一个热点。

(4) 层序地层的计算机模拟分析与智能识别大

大提高了层序地层学的定量化研究水平,并赋予它全新的地层学概念,因而必是今后层序地层学发展的一个重要前沿。

(5)在层序地层学与数学地质、应用地球化学、古生物学、古地磁学、岩相岩石学等的交叉结合点上,期望产生相应的层序地层学研究新热点和前沿。

参考文献

- 纪友亮. 层序地层学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2005. 1~203
- 陈淦. 高分辨率层序地层学质疑[J]. 石油科技论坛, 2003, (10): 30~31
- 赵国连. 层序地层学的研究现状[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(3): 97~104
- 顾家裕, 范士芝. 层序地层学回顾与展望[J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 15~25
- 肖传桃, 刘莉, 陈志勇. 层序地层学的研究状况及有关理论问题探讨[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(6): 1~7
- Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure[J]. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, 1987, 27(1): 1~10
- Galloway W E. Genetic stratigraphy sequence in basin analysis I: Architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 125~142
- Johnson J H, Klaper G. North American midcontinent Devonian T-R cycles[J]. Oklahoma Geological Survey Bulletin, 1992, 145: 127~135
- Embry A F. Global sequence boundaries of the Triassic and their identification in the Western Canada sedimentary basin[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1997, 45: 415~433
- 侯明才, 陈洪德, 田景春. 层序地层学的研究进展[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 128~134
- 李思田, 程守田, 杨士薛等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 13~21
- 解习农. 断陷盆地构造作用与层序样式[J]. 地质论评, 1996, 42(3): 398~412
- 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 1~83
- Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles Upper Cretaceous Western Interior USA[C]. in Wilgus C K, Hastings B S, Ross C A. Sea-level changes: An integrated approach[M]. SPEM Special Publish, 1988. 371~380
- 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
- 邓宏文, 王洪亮, 祝永军等. 高分辨率层序地层学原理及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 1~24
- Tucker M E, Bathurst R G C. Carbonate diagenesis. Reprint series volume 1 of the International Association of Sedimentologists[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1990. 1~77
- 贾振远, 蔡忠贤. 成岩地层学与层序地层学[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1997, 22(5): 538~543
- 杨小萍, 刘桂侠, 马文杰. 层序地层学研究现状及发展趋势[J]. 西北地质, 2001, 34(2): 16~20
- Braithwaite C J R. Cement sequence stratigraphy in carbonates[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(2): 295~303
- 徐强, 刘宝珺, 朱同兴等. 中国沉积学研究的现状和发展方向[J]. 西南石油学院学报, 2000, 22(3): 1~4
- 孙枢. 中国沉积学的今后发展: 若干思考与建议[J]. 地质前缘, 2005, 12(2): 3~10
- 刘宝珺, 韩作振, 杨仁超. 当代沉积学研究进展、前瞻与思考[J]. 特种油气藏, 2006, 13(5): 1~3, 9
- 李培廉, 盛蔚. 米氏旋回在平湖油气田高分辨率层序地层分析中的应用[J]. 中国海上油气(地质), 1994, 8(4): 171~177
- 张海峰. 以米氏旋回为标尺进行高级别层序地层划分与对比—以准噶尔盆地中 I 区块为例[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 18~20
- 郭少斌, 陈成龙. 利用米兰科维奇旋回划分柴达木盆地第四系层序地层[J]. 地质科技情报, 2007, 26(4): 27~30
- 王军, 郑浚茂, 张俊峰等. 卫城油田沙四下段冲积—河流相层序地层划分[J]. 石油地质与工程, 2006, 20(5): 10~12
- 李明月, 孙晓明. 塔中地区志留系沉积相及层序地层研究[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(2): 11~13, 17
- 雷燕平, 林畅松, 刘景彦等. 海拉尔盆地贝尔凹陷下白垩统层序地层与沉积体系分析[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(5): 11~15
- 陈洪德, 覃建雄, 田景春等. 右江盆地层序充填动力学初探[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 165~171
- 王华, 赵忠新, 陆永潮等. 博湖凹陷八道湾组露头、单井层序及沉积学研究[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(6): 01~6
- 魏福军, 朱伟. 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区二叠系高分辨率层序地层学研究[J]. 石油地质与工程, 2006, 20(6): 4~5