

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0384-08

大型坳陷湖盆层序地层格架的研究方法体系 ——以鄂尔多斯盆地中生界延长组为例

郭彦如¹ 刘化清² 李相博² 完颜容² 郑希民²

(1 中国石油勘探开发研究院鄂尔多斯分院 北京 100083; 2 中国石油勘探开发研究院西北分院 兰州 730020)

摘要 大型坳陷湖盆层序地层学研究有很大进展,但鄂尔多斯大型湖盆层序地层研究进展缓慢,主要原因是黄土塬地震资料品质差,钻井资料多解性强,横向等时对比困难,尚未找到合适的研究方法体系。本文通过三年攻关研究,总结出适合于这种湖盆层序地层格架建立的方法体系,笔者称之为“六定”方法体系:“露头剖面定标准、小波变换定级次、湖平面变化定旋回、测井曲线定样式、地震解释定格架、三者结合定方案”。通过“六定”方法体系的系统应用,建立了可以在全盆地范围内进行地层划分与对比的三级层序地层格架。

关键词 大型坳陷湖盆 层序地层格架 露头剖面 相对湖平面变化 小波变化

第一作者简介 郭彦如 男 1962 年出生 高级工程师 博士 石油地质和层序地层学 E-mail: guoyanru126@163.com

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

0 前言

兴起于 20 世纪 70 年代的层序地层学,在过去的 30 年中受到了极大的关注,得到了极高的评价,已成为一种研究地层分布、降低勘探风险的重要技术和方法^[1]。经过二十多年的发展,已基本建立起陆相断陷盆地、坳陷盆地和陆内前陆盆地的层序模式及河流相层序地层模式,形成了诸多的研究方法和技术^[2-3]。

鄂尔多斯盆地层序地层学研究也经历了数十年的工作。然而,所用层序地层方法各异,观点分歧大,实际应用难以推广,尚未总结出适合鄂尔多斯大型坳陷湖盆层序地层的有效、实用的研究方法体系,单个技术孤立的应用还不能有效解决层序格架问题^[4-15]。主要原因有以下三方面的难点,一是黄土塬地震资料品质差,形不成闭合网格,难以横向追踪对比,无法建立三维层序地层格架;二是钻井资料多解性强,层序界面不易识别,层序级次无法确定;三是陆相湖盆具有物源多、物源近、相变快、沉积中心多、砂体薄等特点,等时对比困难。作者通过三年潜心研究,总结出一套适合此类大型坳陷湖盆层序地层学的研究方法体系,有望解决如何建立三级层序地层格架这一核心问题。

1 大型坳陷湖盆层序地层学研究思路

经典层序理论诞生于海相被动陆源,陆相中无海平面甚至无湖平面,如何使用?现在基本无人怀疑其适用性,因为可以用沉积基准面来代替海平面或湖平面。由于基准面(或湖平面)变化对陆相湖盆沉积作用的基本控制在很大程度上类似于相对海平面变化对浅海地层的控制,所以源于海相沉积地层研究而形成发展起来的经典层序地层学,其理论、研究思路及方法同样能有效地应用于陆相沉积盆地研究中。实际上,经典层序地层学中以不整合面或与之可对比的整合面进行层序划分与对比的思路和方法,是陆相层序地层学研究的一个主要流派^[16-18]。在进行层序地层研究时,必须充分认识到层序地层学是一门综合性很强的地层学分支学科,应结合多学科、多种手段及多类资料,始终遵循层序地层划分的三大基本原则——最大间断原则、等时性原则和统一性原则,按照先宏观、整体再微观、细致的操作程序进行综合分析^[19]。

基于上述考虑,在充分分析以往层序地层研究认识和区域地质背景的基础上,本文以经典的 Vail 层序地层理论为指导,采用地质、物探、测井三结合的思路方法,对遍布全盆地的 10 口关键井进行标志层分析、准层序分析、古水深分析和 GR 曲线的小波变换

分析, 并结合露头剖面及地震层序解释等资料, 针对鄂尔多斯盆地砂体厚度薄、横向变化大, 层序界面特征往往不易识别, 层序级次划分不准的特点, 开发了大型凹陷型湖相地层层序地层研究方法体系, 即“六定”研究方法体系: “露头剖面定标准、小波变换定级次、湖平面变化定旋回、测井曲线定样式、地震解释定格架、三者结合定方案”。通过“六定”方法体系的系统应用, 建立了可以在全盆地范围内进行地层划分对比的三级层序地层格架。

2 建立大型坳陷湖盆层序地层格架的研究方法体系

2.1 露头剖面定标准

层序地层格架是否准确, 取决于岩性剖面分析的深入程度。只有地面露头剖面才能达到这一要求。因此, 露头剖面最适合建立标准的高分辨率层序地层剖面, 以此作为层序地层标准剖面用以标定盆地内的钻井剖面。以延河剖面为例(图 1), 具体研究过程可分以下六个步骤进行:

- (1) 层序界面的确定;
- (2) 最大湖泛面的确定;
- (3) 准层序的识别;
- (4) 准层序组的建立;
- (5) 沉积相研究;
- (6) 确定露头剖面层序地层划分方案。

由于地面露头剖面的直观性, 可系统进行地层描述、沉积构造观察、微观实验分析, 在此基础上进行综合层序地层划分, 最终建立标准的高分辨率层序地层格架。

2.2 湖平面变化定旋回

在露头标准高分辨率层序地层剖面建立之后, 更重要的工作是建立钻井层序地层格架。钻井层序地层格架的建立有多种方法, 首先要找到识别钻井层序地层旋回的有效方法。近年来, 以 Cross 为代表的高分辨率层序地层研究方法在陆相盆地中应用较为广泛^[6 7 12 20 21], 但旋回级次的确定存在模糊性, 不同学者有不同的判别尺度, 难以形成统一标准, 且每一口井要进行各级旋回的分析, 工作量大, 对于以钻井资料为主要资料、以盆地级别为尺度的三级层序地层格架研究难度很大。笔者认为, 从经典层序地层原理出发, 采用重点井的湖平面变化曲线分析, 建立具有全盆地共性的三级旋回后, 通过标定找到可替代的识别三级旋回的快速量化识别方法, 这不失为一种最佳途

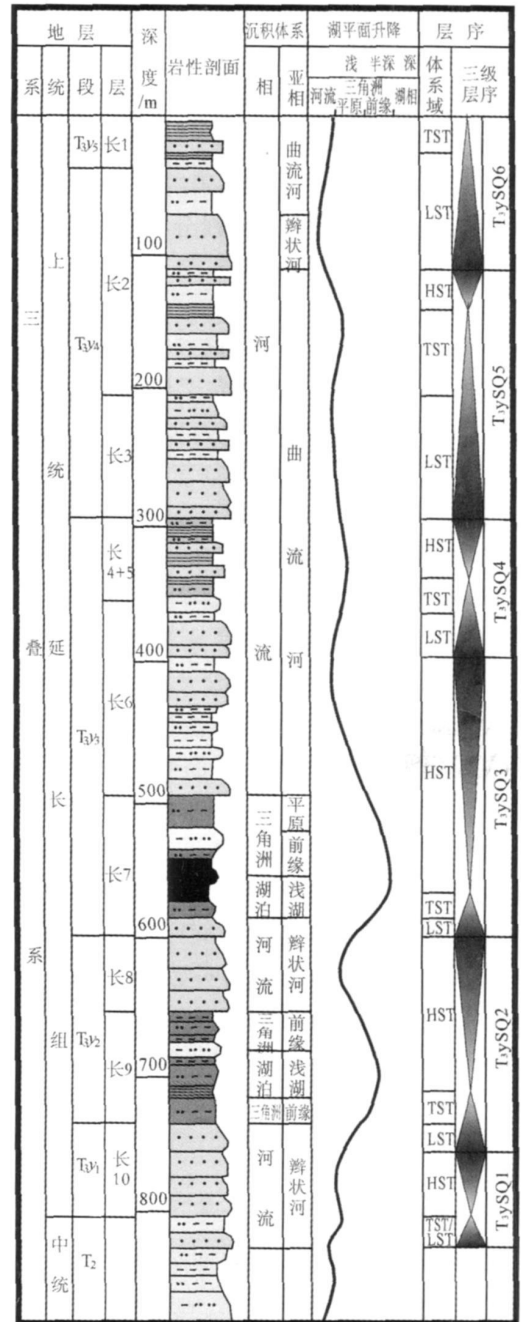


图 1 鄂尔多斯盆地延河剖面延长组层序地层划分
Fig 1 The division of sequence stratigraphy in Yanhe Formation, Yanhe profile, Ordos Basin

径。

湖平面可以被近似地看作基准面^[21]。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。正因为湖平面的变化是多种因素的函数, 一直被认为是控制湖盆可容纳空间变化和层序发育特征的最重要因素。实际过程是, 湖平面(基准面)相对变化决定着可容纳空间的变化, 可容纳空间与沉积

物供应速率比值的变化导致湖盆地层沉积格式的变化,从而控制了层序的分布模式和沉积相的分布规律。相对湖平面变化曲线可以反映出湖盆可容纳空间的变化情况,从中进一步研究层序地层在时间上的变化规律、周期、频率、生、储、盖组合系统等^[22, 23]。

相对湖平面升降变化曲线分析是解决层序级别混乱的最好方法。用 Vail 等^[24]提出“上超点法”的半定量方法可以编制基准面相对变化曲线,即利用地震剖面反射界面上超点的转移幅度研究海平面的升降变化,经过差异沉降、脱压实、古水深及剥蚀厚度等校正获得曲线,这种方法更具科学性。但由于研究区缺乏连续的高分辨率地震剖面变得难以实现。只能选取具有代表性的钻井剖面进行钻井相对湖平面升降变化曲线分析,同样可以得出规律性的认识。

利用钻井资料编制相对湖平面升降变化曲线的方法是:首先利用能够反映古水深和古环境的古生物、岩石矿物学标志、微量元素及其他相标志确定古水深,然后通过脱压实校正方法恢复沉积物原始厚度,据此可以计算出相对湖平面变化(沉积基准面)曲线^[18, 22]。

本文采用该方法编制了黄深 1 井等 10 口关键井的相对湖平面变化曲线(图 2)。从图中可看出 6 个由浅到深,再由深到浅的沉积旋回,反映延长组经历了六次湖平面的升降变化,表明延长组存在六个三级层序。也可以看出体系域、准层序组的变化。这六个三级旋回所表现的古水深明显不同(图 2),反映了古气候环境由早期干旱转向潮湿再向干旱变化的过程,也反映出湖盆经历了发育初期、湖盆扩张到湖泊消亡的过程。

2.3 小波变换定级次

相对湖平面变化(沉积基准面)曲线的制作比较复杂,难以大批量制作。为此,通过标定找到可替代的快速识别三级旋回的量化识别方法——GR 曲线小波变换分析方法,它可以作为鄂尔多斯盆地延长组层序的参照性量化标准。

小波变换是傅立叶变换的发展,其基本思想是用一族函数去表示或者逼近某一信号或函数,其实质是引入伸缩、平移思想,对不同频率成分自动地选取时域和取样步长,从而能够聚焦到物体的任意微小细节^[25]。

目前,小波分析技术已被越来越多地应用到了层序地层研究中,主要用来识别转换基准面、剥蚀面及隐含周期等^[26]。

对陆相湖盆来说,周期性的构造运动、交替变化的古气候条件、断层的间歇性活动都会引起基准面的周期性升降变化、湖盆水体深度和水域大小的变化、沉积物供给速率的变化,最终导致可容空间的变化,由此决定了地层旋回的形成与发育特征。但由于地质过程的多时间、多尺度特征和各种串级过程,地层沉积序列实际上是各种地质周期沉积响应的叠加,再加上不确定因素和局部因素引起的随机波动的干扰,从测井曲线上我们很难直观的判读各种隐含周期。传统的层序划分、对比及沉积旋回的检测方法主要是根据测井曲线形态定性划分的,其研究范围局限性较大,横向上的对比分析显得过于主观。

小波分析技术可以把测井信号分解在任意精度的不同频带内,根据感兴趣的信号频带范围,把信号在一定尺度上分解,从而提取相应频带的信息,得到相应的地质周期^[25, 26]。我们正是利用小波分析的这一特性,选取信号中代表地质长周期的低频部分,来确定大的层序地层格架(三级层序)。

在碎屑岩沉积地层中,自然伽马曲线与其它测井曲线相比,对泥质含量变化反映最敏感,能连续地反映所测地层的旋回性、周期性等沉积特征。自然伽马曲线经过小波变换处理后使其中的频率结构暴露无疑,并可探测到各个频率段之间的突变点或突变区域,其地质含义就是揭示了不同周期和频率的地层旋回和基准面变化。余继峰等还探讨了测井数据小波变换的地质意义^[25],认为测井数据经小波变换后所得的小波系数周期性震荡的位置代表了各级的突变点和突变区域,是一种界面的响应,可与各级层序界面建立一定对应关系,作为测井层序分析的依据。

为验证小波变换分析的适用性,在全盆地范围内选择了 30 口多井做试验研究,对每口井的 GR 测井曲线都做了小波变化分析(用 Matlab 软件实现)^[27, 28],并同步选择重点井利用古水深与湖平面变化分析法、标志层法、准层序分析法及地震层序解释等方法进行层序地层划分,标定小波变化分析曲线,最后得出适合三级层序分析的 GR—Dm_{ey}—D10 小波变化曲线作为最终层序对比曲线(图 2)。

通过 30 多条小波变化曲线对比得出,延长组存在六大沉积旋回,与相对湖平面变化曲线相吻合。表明利用该技术可以作为相对湖平面变化曲线判断三级层序的快速量化技术。

2.4 测井曲线定样式

层序级别问题解决了,面临的重要任务是层序界

面的准确识别。测井曲线的准层序叠置样式分析则是解决这一问题的主要手段。

根据层序地层学原理,不同体系域的准层序叠置样式不同,不同叠置样式的准层序组之间的转换面代表了层序界面。具体地说,进积叠置样式或加积叠置样式转退积叠置样式的转换面为层序界面;退积叠置样式转进积叠置样式的转换面代表最大湖泛面(图 3)。因此,通过测井曲线的叠置样式分析,可识别出各级层序界面,划分体系域。具体操作时,还应根据其他录井资料和分析化验资料综合判断。

2 5 地震解释定格架

测井资料划分层序或多或少存在穿时现象,校正的最好方法是地震层序格架的建立。尽管鄂尔多斯盆地黄土塬区地震资料品质差,不成网,横向对比困难,难以建立完整的地震层序地层格架,但在部分地震剖面上,仍然可以识别出延长组内部层序界面,在

二维地震剖面上可以建立二维空间的层序地层格架。

笔者选择了相对较好的几条地震剖面进行了地震层序地层解释。地震层序地层划分的基本原则是以地震反射界面的结构特征为主确定各个层序界面,但它首先必须建立在钻井层位标定的基础上,才能确定各个层序界面。经过井震层位标定,对所选的多条格架剖面和多条辅助剖面的层序地层分析,将关键钻井的层序划分方案沿地震剖面推广。结果表明,所选择的地震剖面上几乎所有层序界面都有不同程度的可追踪的反射出现,层序内的加积、进积和退积亦有表现(图 4),不难建立二维地震层序地层格架。

2 6 三者结合定方案

单项技术的应用都难以确定最终层序地层格架,必须综合各种技术的研究成果才能准确划分层序地层。上述五种研究方法研究的结果可概括为三个格架:露头剖面层序地层格架、钻井剖面层序地层格架

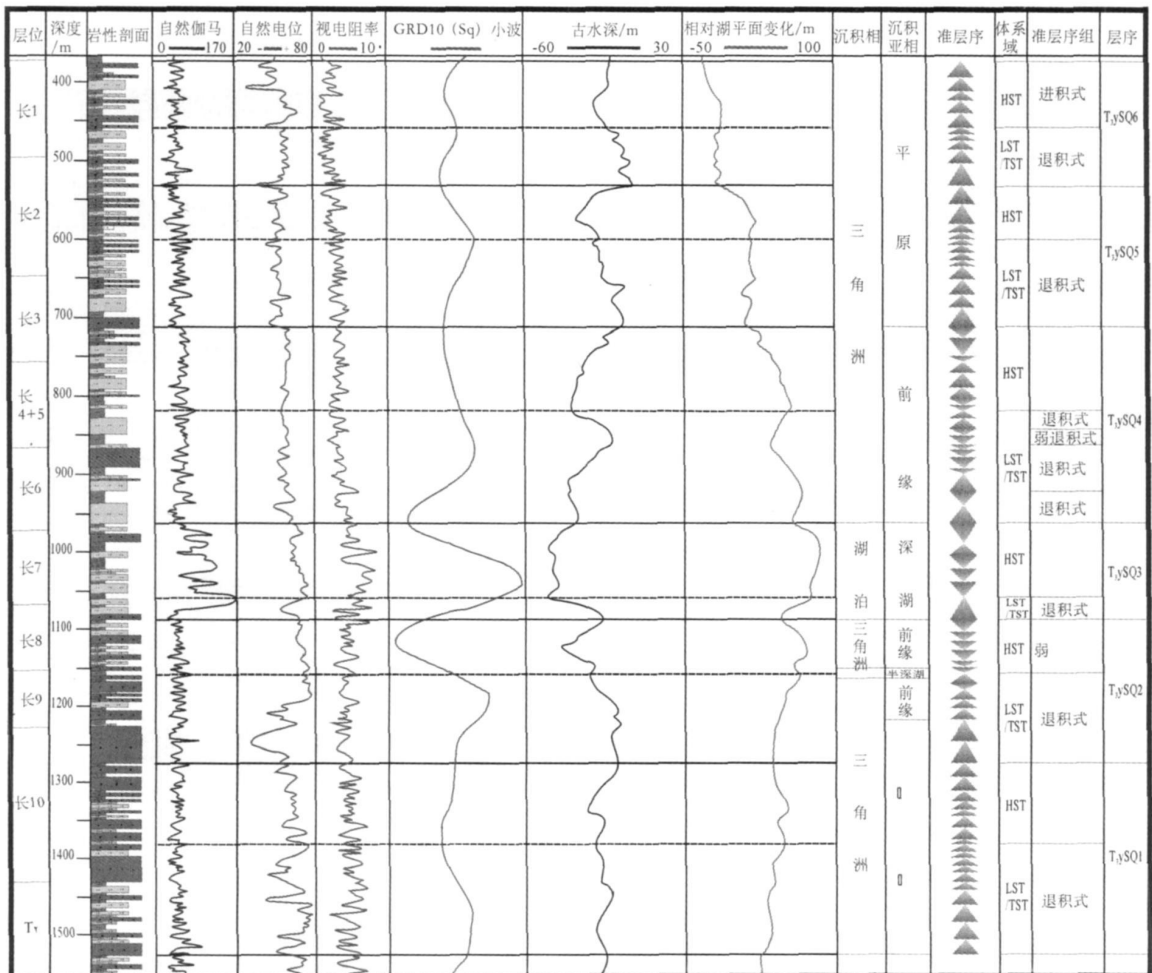


图 2 鄂尔多斯盆地黄深 1 井延长组层序地层划分

Fig 2 The division of sequence stratigraphy in Yanchang Formation Well Huangshen 1, Ordos Basin

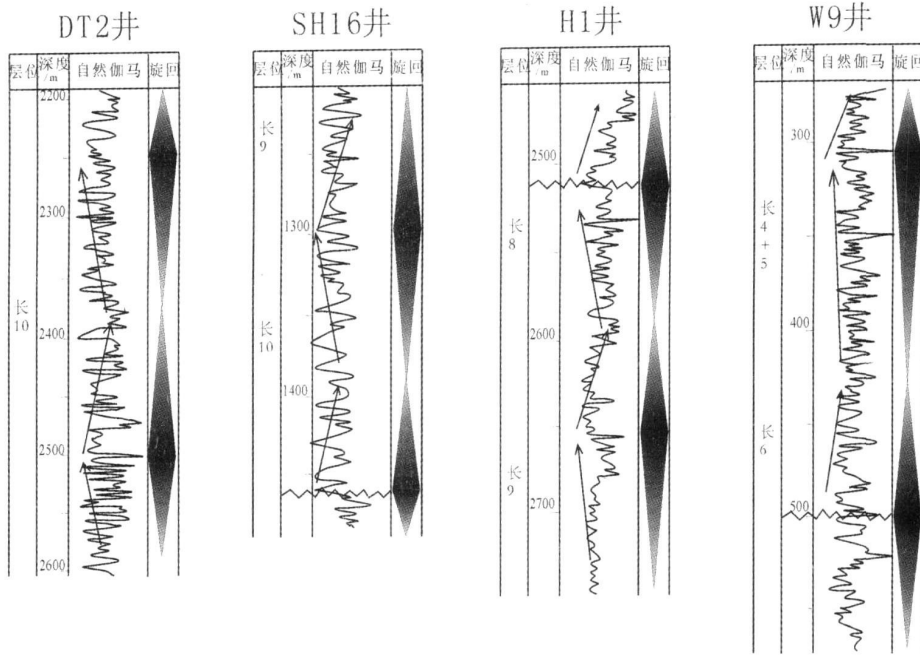


图 3 测井曲线的三级层序界面识别

Fig. 3 Identification of the third sequence boundary in borehole logs

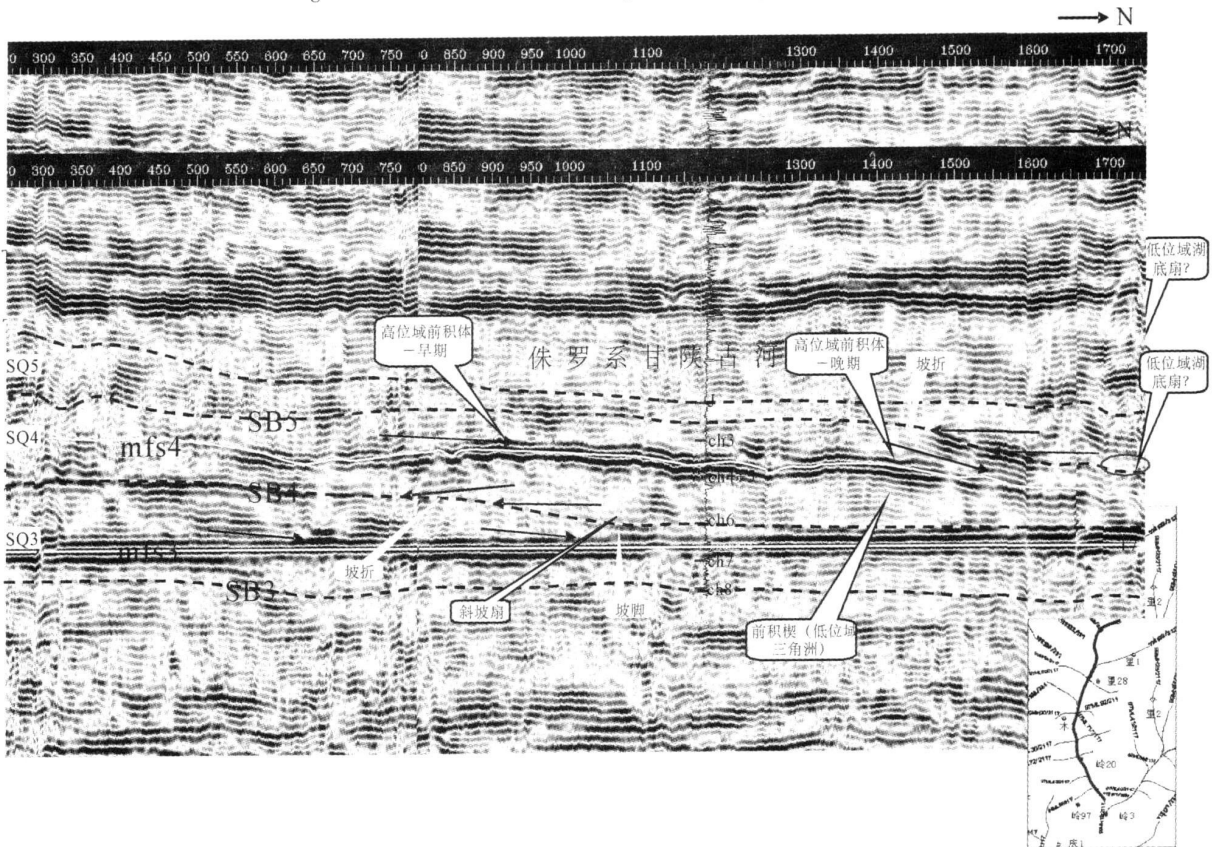


图 4 鄂尔多斯盆地延长组南北向地震层序地层解释剖面

Fig. 4 Seismic sequence stratigraphic interpretation (SN) of Yanchang Formation, Ordos Basin

(由湖平面变化曲线、小波变化曲线和测井曲线共同 确定的格架)和地震剖面层序地层格架。总体来看,

露头剖面层序地层格架综合了各类层序地层识别标志, 可以建立高分辨率层序地层格架, 能够成为指导盆地内部层序地层研究的标准剖面。钻井剖面层序地层格架是通过与露头剖面对比, 以测井曲线为主要识别标志的高分辨率层序地层格架, 可实现快速、批量对比。地震剖面层序地层格架是在钻井层序地层格架的标定下建立的层序地层格架, 用以检验钻井层序地层格架的准确性。三种层序地层格架有时存在差异。因此, 在层序地层研究过程中进行露头剖面、钻井剖面 and 地震剖面三结合综合分析, 不断互相验证, 去粗取精, 去伪存真, 才能最终建立层序地层格架。

运用上述研究方法体系, 在鄂尔多斯盆地延长组沉积建造中识别出 7 个层序界面: SB1、SB2、SB3、SB4、SB5、SB6 和 SB7。据此 7 个层序界面将本区延长组划分为 6 个沉积层序: T₃ySQ1、T₃ySQ2、T₃ySQ3、T₃ySQ4、T₃ySQ5 和 T₃ySQ6 (见表 1)。每个层序的平均时限约为 3.5 Ma (延长组对应于晚三叠世的卡尼期—瑞替期 (231~210 Ma), 约为 21 Ma), 与 Vail 和我国学者普遍认同的三级层序发育年限吻合。由表 1 可见, 6 个沉积层序与传统油层组的对应关系在盆地不同地区有差异。这说明, 等时地层对比与岩性地层对比有着明显的不同。

3 结论

(1) 针对地震资料品质差、不成网、等时对比困难, 而钻井资料丰富等具体情况, 笔者认为建立鄂尔多斯大型拗陷湖盆层序地层格架最有效的方法是“六定”研究方法体系: “露头剖面定标准、湖平面变化定旋回、小波变换定级次、测井曲线定样式、地震解释定格架、三者结合定方案”。

(2) 用“六定”方法体系进行湖相沉积三级层序地层格架建立的思路是“相对湖平面变化与小波分析定旋回、定级次; 露头剖面、测井曲线和地震剖面的常规方法定界面、定格架”。这一方法的优点是好操作, 易对比, 可以对全盆地三级层序进行对比。

(3) “六定”方法体系中, 露头剖面提供了层序地层划分与对比的标准; 湖平面变化分析确定了盆地内钻井层序地层的三级旋回对比标准; 小波变化分析实现了三级旋回的平面量化对比; 测井曲线的准层序组叠加样式分析有效地确定了各级层序界面; 地震解释是建立三维层序地层格架的有效手段, 可以检验钻井层序地层格架的正确性; 露头剖面、钻井剖面 and 地震剖面三结合综合分析是层序地层格架建立的核心。“六定”各技术环节互为补充, 相互依存, 缺一不可。

表 1 鄂尔多斯盆地延长组层序与油组对应关系表

Table 1 Correlation between sequence and oil formation in Yanchang Formation, Ordos Basin

分区 油组	西部北区				西部南区				东部地区								
	北台1-1	池10	定探1	黄20	庆深2	庆深1	庆36	镇探1	富古1	黄深1							
C1	剥蚀	SQ6	SQ6	剥蚀	剥蚀	SQ5	剥蚀	剥蚀	SQ6	SQ6							
C21		SQ5	SQ5	SQ5	SQ5		SQ4	SQ4	SQ4	SQ4	SQ4						
C22												SQ4	SQ4	SQ4	SQ4	SQ4	SQ4
C23																	
C31	SQ3	SQ2	SQ2	SQ2	SQ2	SQ2	SQ2	SQ2									
C32									SQ2	SQ1	SQ1	SQ1	SQ1	SQ1	SQ1	SQ1	
C33	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C4+5-1									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C4+5-2	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C61									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C62	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C63									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C71	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C72									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C73	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C81									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C82	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C9									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C10-1	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1
C10-2									未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1	
C10-3	未穿	未穿	未穿	未穿	SQ1	SQ1	T2z	SQ1									SQ1

参考文献 (References)

- 1 尹太举, 张昌民. 层序地层格架内的油气勘探 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 25-30 [Yin Taiju Zhang Changmin Hydrocarbon exploration in the sequence stratigraphy framework [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1): 25-30]
- 2 顾家裕, 郭彬程, 张兴阳. 中国陆相盆地层序地层格架及模式 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 11-14 [Gu Jiayu Guo Bincheng Zhang Xinyang Sequence stratigraphic framework and model of the continental basins in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 11-14]
- 3 郭彦如. 银额盆地查干断陷闭流湖盆层序类型与层序地层模式 [J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 448-452 [Guo Yanru Sequence types and sequence stratigraphic models of Chagan fault-depressed stagnant lacustrine depression, Yin'e Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(6): 448-452]
- 4 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例 [J]. 地学前缘, 1995, 2(3-4): 133-136 [Li Si Tian, Lin Changsong Xie Xiong et al. Approaches of nonmarine sequence stratigraphy: a case study on the Mesozoic Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3-4): 133-136]
- 5 陈波, 潘仁芳, 郭甲世. 鄂尔多斯盆地中部三叠系延长组层序地层学探讨 [J]. 江汉石油学院学报, 1996, 18(3): 19-24 [Chen Bo Pan Renfang Guo Jiashi Sequence stratigraphy of Yanchang Formation (Triassic) in Ordos Basin [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1996, 18(3): 19-24]
- 6 郑荣才, 彭军. 陕北志丹三角洲长6油层组高分辨率层序分析与等时对比 [J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 92-100 [Zheng Rongcai Peng Jun Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang-6 Oil Reservoir Set in Zhidan Delta Northern Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 92-100]
- 7 屈红军, 李文厚, 梅志超, 等. 论层序地层学与含油气系统在油气勘探中的联系——以鄂尔多斯中生代盆地为例 [J]. 地质论评, 2003, 49(5): 495-500 [Qu Hongjun Li Wenhou Mei Zhichao et al. Relationship between sequence stratigraphy and petroleum system in oil and gas exploration an example in the Mesozoic Ordos Basin [J]. Geological Review, 2003, 49(5): 495-500]
- 8 吴志宇, 赵虹, 李文厚, 等. 安塞地区延长组层序地层特征 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 190-193 [Wu Zhiyu Zhao Hong Li Wenhou et al. Sequence stratigraphy of Yanchang Formation in Ansai area [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(2): 190-193]
- 9 杨友运. 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系和层序特征 [J]. 地质通报, 2005, 24(4): 369-372 [Yang Youyong Characteristics of the depositional systems and sequence evolution of the Yanchang Formation in the southern Ordos basin [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(4): 369-372]
- 10 毛明陆, 李元昊. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层特征 [J]. 低渗透油气田, 2005, 10(4): 5-11 [Mao Minglu Li Yuanhao Sequence-stratigraphic features of Yanchang Formation, Triassic system in Ordos Basin [J]. Low-Permeability Oil/Gas Field, 2005, 10(4): 5-11]
- 11 王宏波, 郭彦如, 郑希民, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层与生储盖组合特征 [J]. 西北油气勘探, 2005, 17(3): 35-40 [Wang Hongbo Guo Yanru Zheng Ximing et al. Sequence stratigraphy and source-reservoir-cap assemblages of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Northwest Oil & Gas Exploration, 2005, 17(3): 35-40]
- 12 李凤杰, 王多云. 鄂尔多斯盆地西峰油田延长组高分辨率层序地层学研究 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 339-344 [Li Fengjie Wang Duoyun The high-resolution sequence stratigraphic feature of Yanchang Formation in Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 339-344]
- 13 杨明慧, 刘池洋. 鄂尔多斯中生代陆相盆地层序地层格架及多种能源矿产聚集 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 563-569 [Yang Minghui Liu Chiyang Sequence stratigraphic framework and its control on accumulation of various energy resources in the Mesozoic continental basins in Ordos [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(4): 563-569]
- 14 陈洪德, 倪新锋. 陇东地区三叠系延长组沉积层序及充填响应特征 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 143-151 [Chen Hongde Ni Xinfeng Depositional sequence and filling response characteristics of Triassic Yanchang Formation in Longdong Area [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 143-151]
- 15 张兴阳, 罗平, 顾家裕, 等. 三级基准面旋回内三角洲砂体骨架模型的建立 [J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 540-547 [Zhang Xinyang, Luo Ping, Gu Jiayu et al. Establishment of the delta sandbody framework model in a 3rd order base-level cycle: taking Shanbei-Ansai delta outcrop as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 540-547]
- 16 徐怀大. 从地震地层学到层序地层学: 油气盆地的定性化与定量描述 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Xu Huaida From Seismic Stratigraphy to Sequence Stratigraphy: the Qualitative and Quantitative Description about Oil & Gas Basins [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997]
- 17 魏魁生, 徐怀大, 雷怀玉, 等. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例. 北京: 地质出版社, 1996 [Wei Kuisheng Xu Huaida Lei Huayu et al. Nonmarine Sequence Stratigraphy: an example in the Songliao Basin [J]. Beijing Geological Publishing House, 1996]
- 18 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 [Ji Youliang Zhang Shiqi Sequence Stratigraphy in Continental Fault-Trough Lacustrine Basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1996]
- 19 谢渊, 王剑, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组湖盆致密砂岩储层层序地层与油气勘探 [M]. 北京: 地质出版社, 2004 [Xie Yuan Wang Jian et al. The Sequence Stratigraphy & Oil Gas Exploration of Dense Sandstone Reservoir in the Southeastern Ordos Basin [M]. Beijing Geological Publishing House, 2004]
- 20 Cross T A. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis [C] // Proceedings of the 7th Exploration and Production Research Conference, 1995, 11-13
- 21 邓宏文, 王红亮, 宁宁. 沉积体积分配原理——高分辨率层序地层学

- 学的理论基础 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305-313 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle: theory basis for high-resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305-313]
- 22 张世奇, 任延广. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究 [J]. 长安大学学报 (地球科学版), 2003, 25(2): 1-5 [Zhang Shiqi, Ren Yanguang. The study of base level changes of the Songliao Basin in Mesozoic [J]. Journal of Chang'an University (Earth Science Edition), 2003, 25(2): 1-5]
- 23 郭彦如. 银额盆地查干断陷闭流湖盆层序的控制因素与形成机理 [J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 295-301 [Guo Y anru. Controls and formation mechanism of the sequences in the Chagan fault-depressed stagnant lacustrine depression, Yin'e Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 295-301]
- 24 Vail P R, M itchum R M. Seismic stratigraphy and global changes in sea level from coastal onlap [C] // Payton C E, ed. Seismic stratigraphy application to hydrocarbon exploration. AAPG, Memoir 1977, 26: 51-212
- 25 余继峰, 李增学. 测井数据小波变换及其地质意义 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(3): 336-339 [Yu Jifeng, Li Zengxue. Wavelet transform of logging data and its geological significance [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(3): 336-339]
- 26 王志坤, 王多云, 宋广寿, 等. 测井信号小波分析在高分辨率层序地层划分中的应用 [J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(6): 17-20 [Wang Zhikun, Wang Duoyun, Song Guangshou, et al. Application of wavelet analysis to sequence stratigraphic division of high resolution sequence stratigraphy [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005, 29(6): 17-20]
- 27 郑希民, 郭彦如, 刘化清, 等. 应用自然伽玛测井曲线小波分析划分陆相坳陷盆地三级层序的方法: 以鄂尔多斯盆地延长组为例 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 672-676 [Zheng Ximin, Guo Y anru, Liu Huaqing, et al. The method of division third-degree succession of strata by gamma ray logging wavelet analysis in stationary continental facies depression basin: taking Yanchang Formation of Ordos Basin as an example [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 672-676]
- 28 李相博, 郭彦如, 刘化清, 等. 浅谈小波分析在鄂尔多斯盆地延长组层序地层划分中的应用 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 779-782 [Li Xiangbo, Guo Y anru, Liu Huaqing, et al. The application of wavelet analysis in sequence stratigraphic subdivision of the Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(6): 779-782]

Method System on Studying Sequence Stratigraphic Framework of Large Sagged Lacustrine Basin: a case study from Mesozoic Yanchang Fm., Ordos Basin

GUO Y an-ru¹ LIU Hua-qing² LIX iang-bo² WANYAN R ong² ZHENG X i-m in²

(1 Ordos Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083)

2 Northwest Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou 730020)

Abstract The study on sequence stratigraphy in Large sagged lacustrine basin have made a quiet great progress, but the study about sequence stratigraphy in Ordos Large sagged lacustrine basin have obtained less progress. The reasons are as follows: the trait of seismic data on Loess Plateau is bad, the logging data may be interpreted variedly, comparison in isochronous is difficult, and correct method system has not been found. In this paper, authors put forward a new method system of studying sequence stratigraphic framework of Large sagged lacustrine basin which include six parts: establishing standard from outcrop profiles, confirming grade of sequence from wavelet analysis, ascertaining sequence cycles from lake level changes, affirming mode from borehole logs, notarizing framework from seismic interpretation, and proposing scheme from the integration of outcrop profiles, borehole logs and seismic interpreted profiles. This method system has been applied to the projects about petroleum prospecting of Ordos Mesozoic Basin. Finally, we have established the sequence stratigraphic framework which adapts to divide and compare stratigraphy in Ordos Mesozoic basin.

Key words Large sagged lacustrine basin, sequence stratigraphic framework, outcrop profile, relative lake level changes, wavelet analysis, borehole log, seismic profile, Yanchang Formation, Ordos Basin