

东濮凹陷盐湖准层序发育特征研究

陈发亮^{1,2,3}, 陈业全³, 魏生祥³, 杨小波³, 杜劲松³

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 中原油田分公司物探研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要:层序地层学理论是在研究海相地层的基础上发展起来的,它注重的是地层的沉积成因和周期性的旋回变化。准层序是层序的基本组成单元,代表一个水体向上变浅的沉积过程,在开展层序地层学研究工作时加强对准层序的分析非常重要。通过应用岩心、测井等资料开展高分辨层序地层学研究发现,陆相地层中准层序的发育特征与海相明显不同,表现为以向上变细的正韵律为主。通过深入分析影响陆相地层层序发育的主要控制因素,指出构造是决定湖盆有无的先决条件,气候和沉积物供给是层序发育的决定性因素。研究成果进一步丰富了陆相层序地层学理论,使得层序边界的划分和识别更趋合理和可操作性,使等时性地层对比和岩性对比趋于统一,从而也可以更好地开展沉积相和沉积微相描述。通过实际应用,进一步明确了东濮凹陷深水成盐观点,指出砂岩与盐岩属于夹在稳定泥页岩中的同时异相的沉积体,这种认识为东濮凹陷深层低渗透储层地震预测提供了新的思路。

关键词:准层序;层序地层学;正韵律;深水成盐;陆相湖盆

中图分类号:P539.2

文献标识码:A

文章编号:1008—858X(2004)04—0018—06

0 引言

层序地层学理论是在研究海相地层的基础上发展起来的,它注重的是沉积地层的成因和周期性的旋回变化^[1],在这方面陆相地层有着与海相地层完全相同的规律性。近几年国内外不少专家学者都相继在陆相地层中开展了大量的层序地层学研究工作^[2],实践证明,层序地层学理论和技术同样可以很好地应用于陆相地层中^[3]。准层序是层序的基本组成单元,在开展层序地层学研究工作时加强对准层序的分析非常重要。在多年的工作实践中发现,陆相地层中准层序的发育特征与海相明显不同,陆相地

层准层序满足它的原始定义,并符合层序地层学的基本要求,它虽然同样是一个水体向上变浅的沉积过程,但大部分准层序的沉积却是表现为向上变细的正韵律,这进一步说明了陆相地层在层序地层学研究的最基本地层单元的发育特征上与海相地层的明显差异,当然这种差异是由各自不同的主要控制因素造成的,这种认识有可能为当前陆相层序地层学研究中出现的众多争端和传统海相层序地层学中存在的一些问题的解决提供一种新的思路和依据。

1 陆相地层中层序地层的主控因素

起源于海相地层的经典层序地层学认为,

收稿日期:2003—12—19

基金项目:中国石油化工集团总公司“十五”重点科技开发项目资助(项目编号:P00034)

作者简介:陈发亮(1973—),男,工程师,在读博士,主要从事地震资料采集、解释及地质综合研究工作。

层序的发育受构造沉降、海平面升降、沉积物供给和气候 4 个因素的制约^[4], P. R. Vail 在其层序地层学理论中把海平面变化放在非常重要的位置。全球海平面的变化是控制层序形成演化的主要因素, 一些学者在陆相地层中进行层序地层学研究时也参照其原理, 将湖平面变化作为控制陆相湖盆地层层序发育的主要因素。但应该认识到控制海平面和湖平面升降变化的影响因素是明显不同的。

1.1 海平面变化的控制因素

对于全球性海平面变化, R. W. Fairbridge (1961) 认为冰川的消长、洋盆形态的变化和极地迁移是其主要的影响因素; T. M. Guidish 等人 (1984) 认为冰川的消长作用、海底扩张的速度、陆源碎屑的供给速度、大型盆地水体的变化、局部的板块运动等是引起全球海平面变化的主要原因; E. E. Milahofski (1989) 则认为海平面升降是由地球体积的胀缩变化引起的^[5]。无论受哪种因素的影响, 在某种意义上, 可以这样认为, 海平面的相对升降基本上是海洋水体自身因素造成的。

1.2 湖平面变化的控制因素

内陆湖盆(不考虑与海洋连通的湖盆)一般面积都较小, 水体少, 影响因素多, 外界条件的稍微改变就可能引起湖平面的变化。在陆相湖盆中, 湖平面升降的影响因素主要有构造运动、气候变化、沉积物充填、大气淡水的注入等^[6], 其中构造运动是形成湖盆的先决条件, 而对于一个湖盆, 尤其是闭流湖盆, 地层层序的发育, 气候因素则是最关键的, 它是决定湖平面升降的最主要因素, 从这方面来说, 湖平面的变化则是由外界因素造成的。因为湖平面的升高主要是由大气降水造成的, 而大气淡水注入的同时, 也是大量陆源碎屑进入湖盆的时候, 所以湖平面的升降与沉积物的对应关系就与海相地层明显不同。

2 陆相湖盆地层层序中准层序的特征

经典层序地层学中对层序的定义为: 相对

整合的、成因上有联系的, 顶底以不整合面或它们的相应整合面为界的一套地层 (Mitchum, 1977); 对准层序的定义是: 以海泛面或与其对应的界面为边界的一组有内在联系的、相对整合的岩层或岩层组序列, 在层序中有特定的位置, 可以以层序边界为顶界面或底界面 (Van Wagoner, 1985; Van Wagoner 等, 1987)”^[7]。这两个定义都强调了两点: “成因上有内在联系”、“相对整合”, 无论对哪一级别的层序地层单元, 都要强调这两点, 这就是层序地层学理论的核心, 是其优越于其它地层学、研究方法和手段更具有科学性和合理性的关键, 也是其研究的地层单元具有可预测性的关键所在。无论海相还是陆相的沉积地层都具备这两个条件, 都可以开展层序地层学的应用和研究工作。

层序地层学在划分地层单元时不仅强调“成因上有内在联系”和“相对整合”, 它还强调“最大间断”原则^[8], 就是说它所划分出来的层序地层单元顶底界应是该单元的最大规模的沉积间断, 在其内部不应该有比该地层单元顶底边界规模再大的沉积间断, 只有这样才能满足它所强调的以上两个条件。那么在海相地层中准层序是以海泛面和与之对应的地层界面为边界, 一次海泛面就意味着一个准层序的开始, 穿过该海泛面有水深突然增加的证据。准层序是一个水深向上变浅的过程, 海相硅质碎屑岩的准层序一般都是进积型的, 碳酸盐岩的准层序通常是加积型的。在大部分有关准层序的文献中, 准层序都被描述成向上变粗的反韵律, 只有一种发育在潮汐浅滩到潮下环境的准层序是向上变细的正旋回^[8]。而在陆相湖盆地层中, 大部分准层序也被描述成向上变粗的反旋回, 根据前面的分析, 笔者认为这种划分方法值得进一步商榷。

根据准层序的定义, 考虑到“成因上有内在联系”、“相对整合”, 以及“最大间断”原则, 水体向上变浅应当是准层序形成的正确、合理的过程, 关键是海平面的升高和湖平面的变化其制约机制是不一样的, 在陆相闭流湖盆中, 湖平面的升高主要是大气淡水注入的结果, 而大气淡水注入的同时, 也为湖盆输入了大量陆源碎屑物质, 根据这种对应关系, 在陆相地层中, 准层

序的发育应该以向上变细的正韵律居多,虽然它也是一个向上变浅的沉积过程。

3 陆相湖盆准层序的识别证据

在陆相地层中准层序是否是向上变细的?笔者根据多年的现场工作实践,认为在陆相地层中不仅有大量的证据表明这种向上变细的准层序是广泛存在的,而且进行这种向上变细准层序的划分,使地层关系更为合理,也可以更好地指导油气的勘探,具有较好的实际应用效果。

3.1 岩心上的证据

在进行岩心观察描述时,发现很多的砂岩、砂砾岩与下伏的泥页岩是突变接触的,二者的接触面常出现重荷构造、火焰构造、球枕构造、冲刷充填构造和冲刷面(图 1),而砂岩、砂砾岩向上一般都渐变为泥岩(图 2),二者之间为整合的接触关系,由此可见,陆相地层中向上变细的准层序是很常见的。

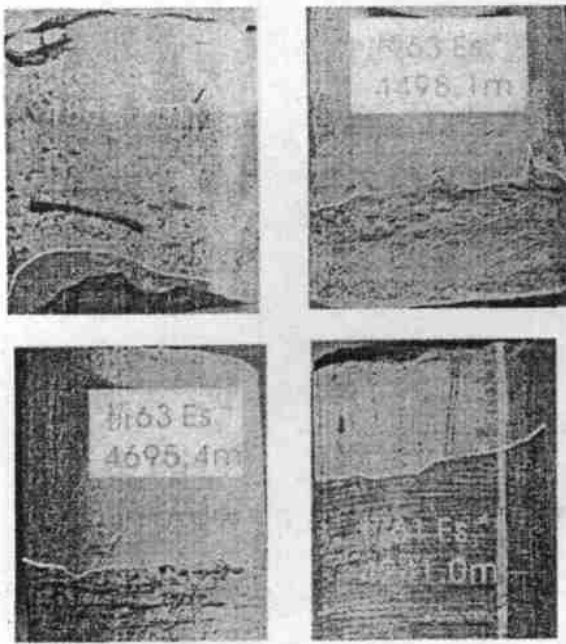


图 1 岩心上的准层序边界

Fig.1 Parasequence boundaries in cores

3.2 电测曲线特征

在电测曲线上,一般都有多个比较典型的标志层,一些还是可全区对比的标志层。比如

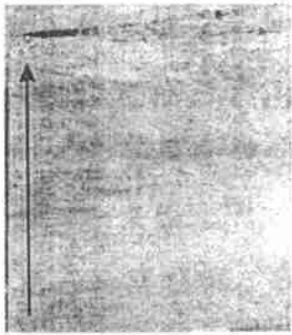


图 2 准层序向上变细

Fig.2 The upward fining parasequence

在东濮凹陷沙三亚段有 11 个对比明显的标志层,其中 2 号标志层基本上在整个东濮凹陷都可对比。这些标志层一般在电性曲线上表现为中高自然伽玛、高电阻率、低感应电导,其岩性为暗灰色页岩、泥页岩,灰质或有机质含量高。从岩性上来看,其沉积环境应当是水深较大的、比较稳定的、欠饱和沉积的一种深水环境,但不是水深突然增加时的深水环境,而是水深增加到最大并逐渐减小时的深水环境,这时的陆源碎屑供给很少,主要沉积的是早期进入湖盆的悬浮质泥质沉积物或化学成分较高的灰质沉积物,岩心上可观察到其沉积岩性以页岩为主,灰质成分高。

4 应用效果分析

4.1 可靠落实沉积相及油气藏类型

根据以上分析,按照陆相准层序发育特点,在东濮凹陷杜寨地区开展了高分辨层序地层学研究,进一步明确了该区沉积岩相和油气成藏特征。杜寨地区位于东濮凹陷前梨园洼陷南部,主要目的层埋深在 3 500 m 以下,该区已完钻各类探井 4 口,其中 1 口井在井深 4 820 m 获工业气流,1 口井在 4 700~4 900 m 井段获低产气流,2 口井见油气显示,其中 PS4 显示井段长达 1 500 m,未见明显水层,且发生强烈井喷。通过进行准层序对比,将该区沙三亚段划分出了 7 个准层序,并对该区主要产气层进行深入分析。结合地层倾角、岩心相分析,认为 PS12

井钻遇的该亚段底部含气砂岩属于三角洲前缘水下分流河道沉积, 该河道砂在 PS12 最为发育, 在 PS4 井明显减薄, 在 PS5、PS15 基本相变为泥岩, 而非断缺。由此可见, 该区油气分布与岩性变化密切相关, 油气藏类型主要为受构造背景控制的岩性油气藏。

4.2 进一步明确了东濮凹陷砂、泥、盐横向对应关系, 为含盐地层低渗透致密薄储层地震预测提供了新的思路

东濮凹陷是中国东部典型的新生代含盐断

陷盆地, 新生界下第三系沙河街组发育了四套巨厚的、分布广泛的盐膏层沉积, 其中沙三段包括三套(即 ES_3^4 盐、 ES_3^3 盐、 ES_3^2 盐)、沙一段一套($ES_1^下$ 盐)。四套盐膏层在横向上具有不同的分布范围, 其沉积厚度也不等, 小则几米, 多则千米以上^[9]。

通过深入开展高分辨层序地层学研究, 将盐岩纳入了层序地层框架, 在区域准层序对比的基础上, 明确了盐岩与砂体的空间对应关系, 二者夹于稳定的泥页岩中间, 属于同时异相的产物(图 3), 横向上表现为长消进退的分布关系。

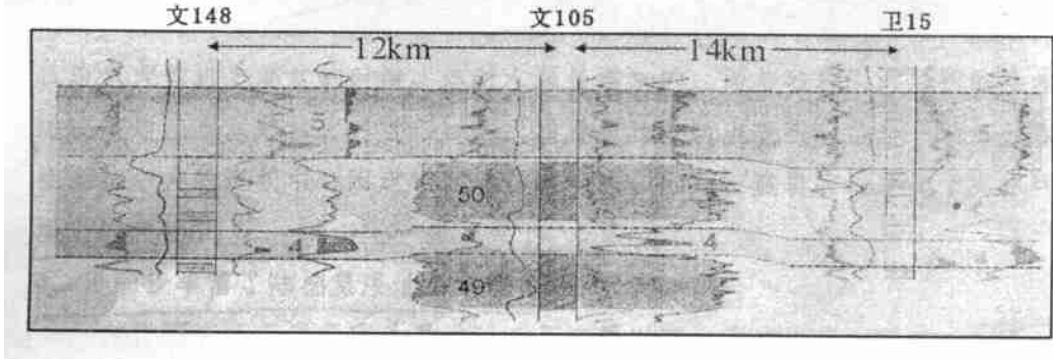


图 3 准层序对比落实盐—砂关系
Fig.3 The salt-sand relationship in respect of parasequences

根据东濮凹陷不同岩性的岩电特征分析和地震正演分析结果, 认为由于盐岩在地球物理属性上的特殊性, 在地震剖面上大多表现为强反射、低频率的特征, 在进行地震储层预测时, 判别盐岩要比砂岩相对容易。而作为油气良好储层的沉积砂体是与盐岩相对应的, 而且在东濮凹陷, 储集体一般埋深都较大、单层厚度薄, 低孔低渗、致密高速, 地球物理属性与泥页岩差别不大, 在地震资料中直接描述砂体比较困难。根据砂岩和盐岩的对应关系, 在含盐地层中先确定盐岩, 再落实储集砂体的思路比较可行, 在应用过程中也取得了初步效果^[10]。

4.3 为盐岩成因提供了佐证

Walther 相律(1894)认为:“只有那些没有间断的, 现在能看到的、相互邻接的相或相区, 才能重迭在一起”^[11], 也就是说, 只有在横向上成因相近且紧密相邻而发育着的沉积相, 才能在垂向上依次叠覆出现而没有间断。东濮凹陷

的盐岩一般都与深水还原环境下的暗色泥页岩相邻, 盐岩与砂岩在横向和纵向上一般都不直接接触(指自然沉积关系, 不包括断层接触), 二者表现为盐岩—泥膏岩—含膏泥岩—泥岩—砂岩的过渡关系。如果盐岩是属于浅水蒸发条件下的产物, 那么盐岩与这些暗色泥岩之间必定是不整合的接触关系, 即每一个单一的盐岩层就标志着至少一次沉积间断, 这种推断明显是不合理的。因此这次利用各组段特征明显的电测曲线标志层, 通过准层序对比, 可以看出, 含盐准层序和含砂准层序是可以一一对比的, 也就是说东濮凹陷沉积的盐岩与砂岩应当是在同一时间单元同时形成的不同沉积体, 即二者是同时异相的。明确了盐岩与砂、泥岩的相互关系以后, 根据砂岩和盐岩这种同时异相的对应关系, 结合前面的分析, 认为砂岩进入湖盆的同时, 也是大气淡水大量进入湖盆的时候, 这时水深是增加的, 而与砂岩同时沉积的盐岩也应该是水深增加的时候形成的, 而且盆地分析也

表明,盐岩一般都分布在湖盆中央的沉积中心附近相对低洼的地区,因此,盐岩应该是属于深水环境下的产物^[9]。

4.4 进一步丰富了陆相层序地层学理论

自我国广泛开展层序地层学研究及应用以来,国内大量的学者、专家在应用过程中都提出了各种各样的观点和看法,可以说当前我们在陆相层序地层学研究方面是百花齐放,百家争鸣。比如对于湖平面升降曲线和层序边界的位置^[12]、对于体系域的划分和命名^[13]、对于沉积密集段的识别和发育位置^[14]等等,有着许多不同的意见。陆相地层准层序形成机制的探讨可以为以上这些争端的解决提供一定的借鉴,为我们今后进一步规范陆相层序地层学理论和方法、更好地开展实际应用工作提供一定的基础。

5 结 论

通过以上分析,可以得出以下几点结论:

- 1. 陆相湖盆层序发育的控制因素与海相不同,气候因素是主导因素;
- 2. 陆相湖盆准层序仍然是一个水体向上变浅的过程,但沉积韵律以向上变细的正旋回为主;
- 3. 正韵律准层序的提出,可以更好地描述沉积相、沉积微相和油气成藏特征;
- 4. 正韵律准层序的提出,明确了含盐盆地砂、泥、盐的对应关系,为含盐地层地震储层预测提供了新的思路;
- 5. 为深水成盐模式提供了佐证;

6. 正韵律准层序的提出,进一步丰富了陆相层序地层学理论。

参考文献:

[1] 姜在兴,李华启.层序地层学原理及应用[M].北京:石油工业出版社,1996.

[2] 纪友亮,张世奇,等.陆相断陷湖盆层序地层学[M].北京:石油工业出版社,1996.

[3] 吴因业,等.含油气盆地层序解释技术与应用[M].北京:石油工业出版社,2000.

[4] C.K. 威尔格斯特著,徐怀大译.层序地层学原理——海平面变化综合分析[M].北京:石油工业出版社,1993.

[5] 纪友亮,张世奇,等.层序地层学原理及层序成因机制模式[M].北京:地质出版社,1998.

[6] 姜在兴,操应长,等.砂体层序地层及沉积学研究[M].北京:地质出版社,2000.

[7] 姜在兴译.层序地层学译文专集[J].世界石油科学,1992,(48):1—15.

[8] J.C. Van Wagoner 著,凡夫译.前陆盆地层序地层学综述:术语、论文摘要及层序地层学词汇[J].国外油气勘探,1996,8(4):404—416.

[9] 陈发亮,朱晖,李绪涛,等.东濮凹陷下第三系沙河街组层序地层划分及盐岩成因探讨[J].沉积学报,2000,18(3):384—388.

[10] 陈发亮,魏生祥,等.逆向储层预测法与东濮凹陷深层隐蔽油气藏勘探[J].石油物探,2002,41(10):204—207.

[11] 冯增昭.沉积岩石学(上下册)[M].北京:石油工业出版社,1993.

[12] 金莉,等.强制海退概念与层序地层学体系域的讨论[J].中国海上油气(地质),1997,11(3):229—232.

[13] 操应长.断陷湖盆层序地层下降体系域的划分[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(1):22—25.

[14] 杨剑萍,姜在兴,陈发亮,等.惠民凹陷下第三系湖相沉积密集段特征[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(4):21—24.

The Characteristics of Parasequence and Its Applied Significance in Continental Lake Basin

CHEN Fa-liang^{1,2,3} CHEN Ye-quan³ WEI Sheng-xiang³ YANG Xiao-bo³ DU Jing-song³
(1. *Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences* ;
2. *Institute of graduate Chinese Academy of Sciences* ;
3. *Geophysical Research Institute of Zhongyuan Oil Field Company · SINOPEC*

Abstract : The sequence theory developed from the study of the marine formation focusses on the depositional genesis and periodic changes of formation. As the basic unit of one sequence, the parasequence is a sedimentary process when water shoaling. After the study of high-resolution sequence stratigraphy on the core, and logging data, the author finds that the parasequence charactehstics are dififerent in continental forimation from that in marine formation. The parasequence is a thinning and fining upward cadence. After the analysis of the control-ling facts of continental sequence, the paper indicates that tectonics is the main reason to form a lake basin and the climate and the sedimentary supply are the decisive factors to sequence. This makes the partition and iden-tification of sequence boundaries more reasonable and more maneuverable, and unifies the sgnchronos-tratigraphic and lithostratigraphic correlation. This paper enriches the sequence theory, and this method is useful to describe sedimentary facies and microfacies. The author confirms that the salt rock was formed in deep water in Dongpu depression, and indicates that sandstone and salt stone have sediment as the same time and all nipped between the steady mudstone and (or) shale stone. Base on this analysis, a new measure of the seismic reservoir prediction has been found to low permeable strata in Dongpu depression.

Key words : Parasequence ; Sequence stratigraphy ; Sositive cadence ; Salt formed in deep water ; Ccontinental lake basin

《盐湖研究》合订本征订启事

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版,1993 年创刊并在国内外公开发行。《盐湖研究》自公开发行以来,深受广大读者的厚爱,为了便于我刊读者和文献情报服务单位系统收藏,编辑部已完成 2000 年—2003 年《盐湖研究》的合订本装订工作。合订本共计 3 册,每册仅收取工本费 90 元。数量有限,欲购者请与《盐湖研究》编辑部联系,联系电话:0971—6301683。