

文章编号: 0253-9985(2007)04-0479-06

东濮凹陷古近系含盐地层层序特征及成因分析

黄建军¹, 纪友亮², 王改卫¹, 陈发亮³, 韩福民³

(1. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092 2. 中国石油大学, 北京 102249

3. 中国石化 中原油田分公司 物探研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要: 东濮凹陷古近系含盐地层的层序划分除了依据常规的层序边界识别标志之外, 还应该考虑盐韵律的发育特征, 使其层序地层划分更为符合含盐地层的实际情况, 据此将东濮凹陷古近系含盐地层划分为 2 个二级层序, 10 个三级层序, 使得盐韵律的发育过程与层序的发育过程得到了统一。含盐地层的三级层序(低频层序)结构中表现出特有的规律: 湖侵体系域和高水位体系域中的盐岩层横向展布面积大于低水位体系域中盐岩层的横向展布面积。在高频层序特别是五级层序对应的准层序地层单元中, 盐岩层与砂岩层表现出同时异相的沉积关系, 它们与下部的暗色泥岩层构成一个完整的准层序地层单元, 盐岩的高频层序发育模式为准层序地层高位蒸发成盐。

关键词: 含盐地层; 盐韵律; 层序结构; 东濮凹陷; 古近系

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

Sequence characteristics and genesis of the Eocene salt-bearing formation in Dongpu depression

Huang Jianjun¹, Ji Youliang², Wang Gaimei¹, Chen Faliang³, Han Fumin³

(1. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092 2. China University of Petroleum, Beijing 102249

3. Geophysical Exploration Research Institute, SINOPEC Zhongyuan Oilfield Company, Puyang, Henan 457001)

Abstract A sequence demarcation that integrates the conventional markers of sequence boundaries and characteristics of salt rhythm is more practical for the salt-bearing Eocene in Dongpu depression. According to this demarcation, the Eocene can be divided into 2 second-order sequences and 10 third-order sequences, ensuring the unity of salt rhythm development and sequence growth. The salt-bearing third-order sequence (low-frequency) composition displays a peculiar regularity: the horizontal distribution area of salt-bearing formation in Transgressive Systems Tract (TST) and Highstand Systems Tract (HST) is larger than that in Lowstand Systems Tract (LST). Within the high-frequency sequences, especially the subsequence units corresponding with the fifth-order sequences, salt and sandstone layers are synchronous deposits of different faces, and they form a complete unit of subsequences together with the underlying dark mudstone layers. The developing mode of high-frequency salt-bearing sequence is believed to be formed by high-stand evaporation.

Key words salt-bearing formation; salt rhythm; sequence composition; Dongpu depression

渤海湾盆地东濮凹陷的北部古近系发育了 4 套含盐地层 (E_{s3}^4 , E_{s3}^3 , E_{s3}^2 , E_{s1}), 是一个含盐的富油气区。关于该凹陷的盐岩成因及层序划分的研究前人已经做了很多工作, 如陈发亮^[1]、纪友亮^[4]、郑洪稳^[5]等。但是对于盐韵律在层序地层

划分中所起的标志性作用及其与层序结构之间的内在关系涉及较少。通过对东濮凹陷古近系中发育的 4 套盐韵律详细的井间对比, 横向展布面积的统计、分析, 并且综合应用研究区内各种层序划分的常规标志信息(地震、测井、岩心、生物地化

收稿日期: 2007-05-20

第一作者简介: 黄建军(1979-), 男, 博士生, 层序地层学及储层沉积学

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(CB202302)

等), 给出了一套符合该凹陷实际情况并与实际生产结合较为紧密的层序地层划分方案(图 3), 使得盐韵律分布与层序地层的形成实现了较为合理的统一, 并且分析了含盐地层层序特有的地层结构特征, 得出了单盐层在高频层序(准层序)中的发育特征和盐岩韵律在低频层序(二级和三级)地层格架中的空间分布规律, 进行了相应的成因解释, 为类似含盐盆地层序地层分析提供了一定的参考。

1 地球物理特征

前人对于盐岩的地质识别标志已经进行了大量的工作^[1~13], 实际过程中测井资料和地震资料中的盐岩识别标志对于盐岩的空间展布特征研究起到重要的作用。在东濮凹陷的测井资料中, 盐岩与砂岩、泥岩相比表现出明显的差异性特征(图 1): 盐岩的自然伽马(GR)曲线表现出明显的低值; 感应测井曲线(CON)表现出明显的高值; 电阻率曲线(Rt)和自然电位曲线(SP)也表现出与砂、泥岩地层不同的响应特征, 并且这种特征基本不受地层埋深的影响。利用盐岩的电性识别特征可以对研究区内所有钻井的电性资料进行分析, 识别出单井中盐岩的纵向分布位置。另外, 地层中盐岩一般与泥膏或者泥页岩互层, 由于盐岩低密度、高速度和泥岩低密度、低速度的地球物理特征, 所以含盐地层可形成较强的波阻抗界面和较大的反射系数, 所以在地震剖面中盐岩地层易形成强振幅、高连续和中低频率的地震反射, 而无盐的砂泥岩地层一般地震反射相对要弱, 这样便可以在地震剖面中较为容易的识别出含盐地层, 将钻井中识别出的盐岩层实现无井区域的横向对比分析。

2 高频层序中盐岩分布特征及成因分析

一般将四级及以上层序称为高频层序(准层序), 在不同的地区高频层序对应的地层单元不同。在东濮凹陷, 一般四级层序与准层序组对应, 五级层序与准层序对应^[14~21]。

2.1 准层序中盐岩的发育特征

一般将一次湖泛开始至该次湖泛结束时期内形成的, 成因相对连续的地层称为一个准层序。在含盐地层中, 准层序的形成机制仍然符合碎屑岩地层准层序的概念^[1, 3, 17~22]。在图 1 中, 含盐的文 105 井分别和两侧无盐的文 148 井和卫 15 井进行了准层序对比分析, 图中的编号 4 和 5 是油田生产中使用的泥岩对比标志层, 编号 49 和 50 为研究过程中对单盐层的统计编号。以 4 号泥岩标志层做为一个含盐准层序地层的发育开始, 该套泥岩的形成必然对应着一次较为明显的湖泛期, 湖泊水体瞬间扩大、变深, 此时在图中的 3 口井井区附近均无盐岩沉积, 测井曲线特征显示主要为泥岩沉积, 说明该时期此处的水体盐度未达到盐岩析出的浓度; 随着湖泊水体的逐渐被蒸发, 水体的深度逐渐变浅, 盐度升高, 在文 105 井区附近开始有盐岩沉淀析出(图 1 中的 50 号单盐层), 而在文 148 井和卫 15 井区附近则与该套盐岩横向对应层位中沉积了几套单砂岩层, 说明该时期的湖泊水体的盐度在文 105 井附近达到了盐岩析出的浓度。该套地层向上, 又重新开始了一期湖泛, 沉积了 5 号泥岩对比标志层, 因此 4 号泥岩层和 50 号

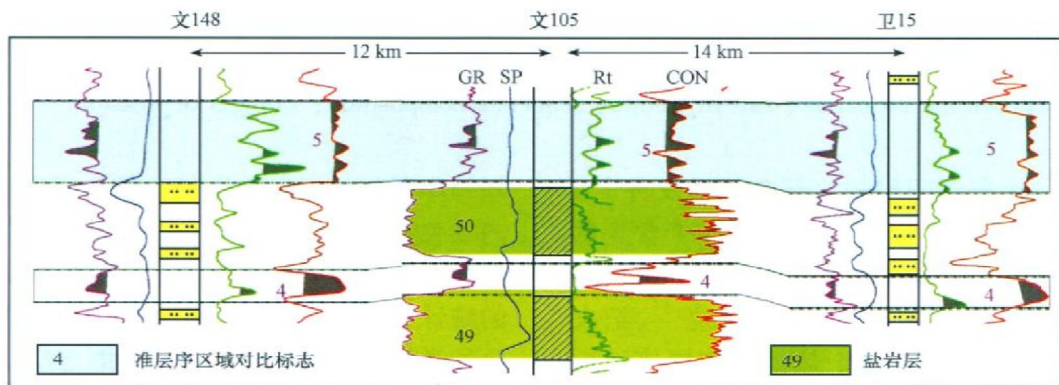


图 1 盐岩的测井标志及井间准层序对比

Fig. 1 Log responses and interwell correlation of salt-bearing subsequences

单盐层及 50 号单盐层所对应的砂岩层构成了一个完整的准层序地层单元。由此我们可以总结出盐岩在准层序(高频层序)中的发育规律: 盐岩在准层序的高位蒸发成盐, 盐岩层与其周围的砂岩层为同时异相沉积关系, 下部的泥岩层与上部的砂-盐岩层构成一个完整的准层序地层单元。

2.2 高频层序中盐岩的高位蒸发成盐模式

一般湖泊水体的盐度达到盐岩的析出浓度时才会有盐岩的沉积^[6 10 14], 因此在一个准层序地层单元所对应的高频层序中, 在准层序的发育初期一般为湖泛初期, 因为淡水的注入等原因导致湖泊水体瞬间变深, 水体的盐度可能低于盐岩析出的浓度, 同时由于较深的水体容易形成大范围的还原沉积环境, 所以在该时期主要沉积暗色细粒物质(泥岩)(图 2a); 在准层序发育的高位期, 湖泊水体可能因为蒸发等原因导致其逐渐变浅、盐度逐渐变大, 其盐度可能达到盐岩能够析出的浓度, 则会在湖泊水体的沉积、沉降中心形成盐岩沉积, 由盐岩层沉积区向周围区域一般依次会沉积膏泥岩、泥岩、砂岩等, 因此盐岩和其周围沉积的砂岩存在着同时异相的沉积关系(图 2b)。

3 盐韵律在低频层序中的分布特征及成因分析

3.1 分布特征

利用盐岩的地球物理识别标志, 并参考实际

生产中的地层对比标志层和盐岩识别的各种地质资料, 对研究区内的所有钻井以准层序为单位进行了井间对比, 在对比各个单盐层横向展布情况的同时对每个单盐层自下而上进行了编号, 对编号后的每个单盐层的平面展布面积进行了统计, 并在低频层序地层格架中对每个单盐层进行了归位, 得出了东濮凹陷北部含盐地层中盐韵律在低频层序格架中的空间分布规律(图 3)。

由图 3 中的盐韵律及其与东濮凹陷低频层序的对应关系可以看出, $E_{s_3}^4$ 中的盐韵律自下而上分布面积总体上表现为由大到小的变化趋势, 而且整套的盐韵律在纵向上是连续发育的, 这些盐韵律主要发育在三级层序 SQ2 的湖侵体系域(TST)和高位体系域(HST)中, 并且 TST 中的盐韵律面积要大于 HST 中的盐韵律面积; $E_{s_3}^3$ 的盐韵律自下至上表现为分布面积逐渐扩大的趋势, 并且 $E_{s_3}^2$ 的 0 号单盐层在纵向上和 $E_{s_3}^3$ 的盐韵律是连续沉淀发育的, 因此 $E_{s_3}^3$ 盐韵律和 $E_{s_3}^2$ 的 0 号单盐层同属于三级层序 SQ3 该组盐韵律主要分布在三级层序 SQ3 的 TST 和 HST; $E_{s_3}^2$ 的 1 号单盐层至 8 号单盐层在纵向上表现为面积逐渐缩小的趋势, 同时在凹陷的局部地区 8 号和 9 号单盐层之间存在着一定厚度的无盐地层(纯砂泥地层, 我们称之为“盐间地层”), 因此 $E_{s_3}^2$ 的 1 号至 8 号单盐层属于三级层序 SQ4 该三级层序中的盐韵律仍然主要分布在 TST 和 HST 中。 $E_{s_3}^2$ 中的 9 号单盐层至 11 号单盐层自下至上表现为面积由小到大的变化趋势, 同时局部发育的 $E_{s_3}^1$ 中的盐

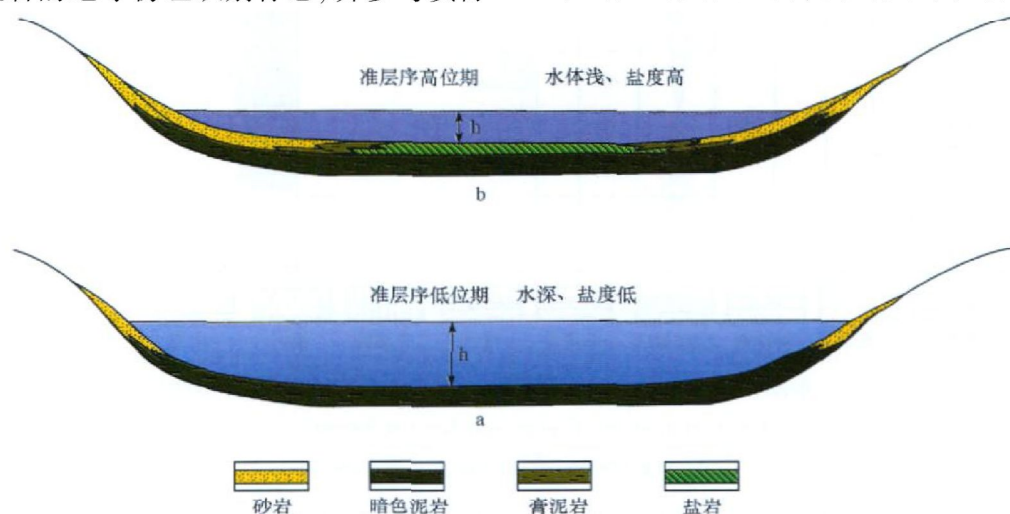


图 2 高频层序高位蒸发成盐模式图解

Fig. 2 Pictogram showing the salification process of high-stand evaporation in high-frequency sequence

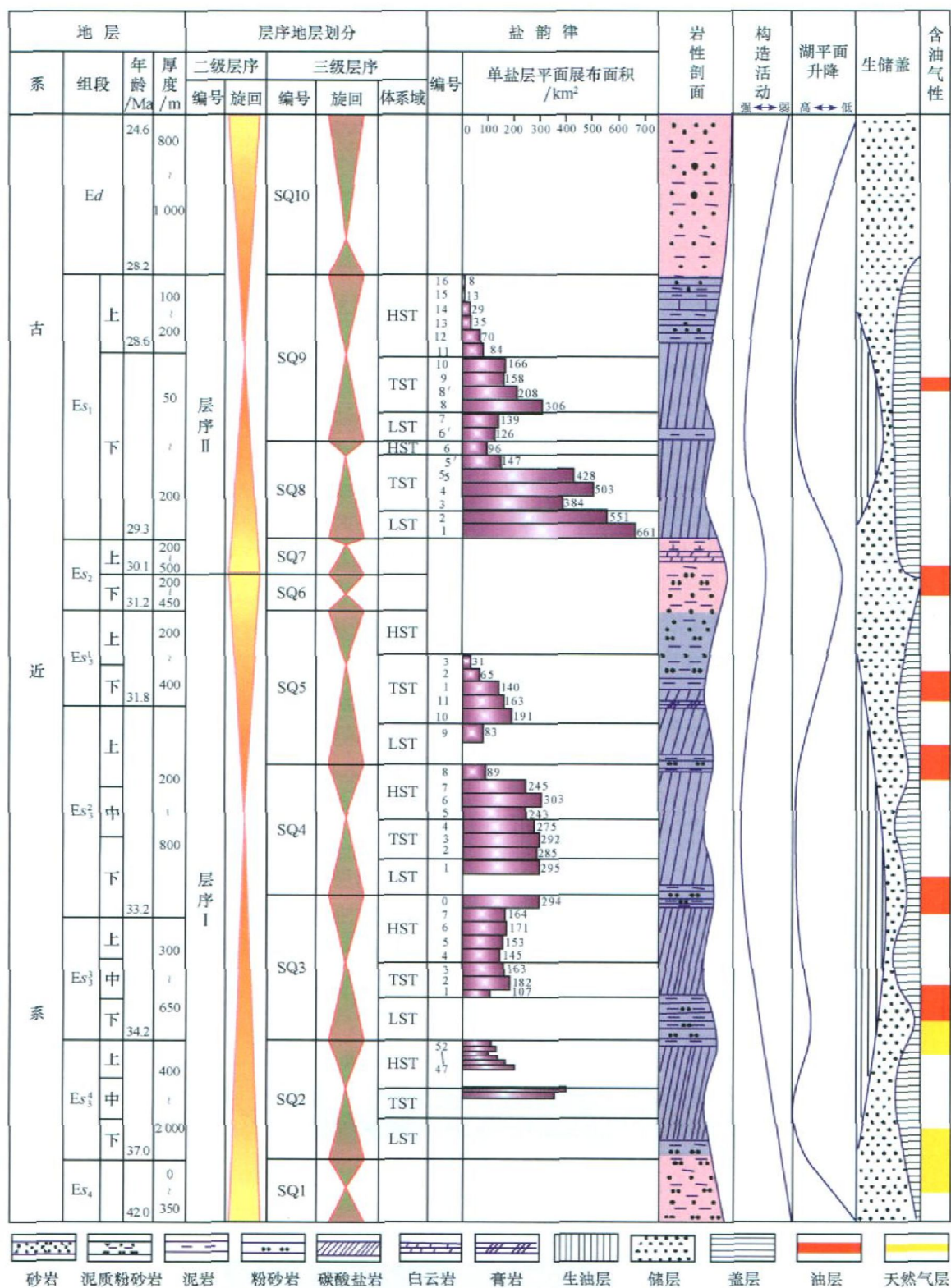


图 3 东濮凹陷古近系盐岩地层在低频层序格架中的空间分布规律

Fig. 3 Spatial distribution of the Eocene salt-bearing formations in low-frequency sequence framework of Dongpu depression

岩层在纵向上与 Es_3^2 中的 9 号至 11 号单盐层连续沉淀发育, 故该套盐韵律同属于三级层序 SQ5, 该套盐韵律主要分布在三级层序 SQ5 的 TST 中;

Es_1 中的盐韵律表现出两个明显的变化趋势, 1 号单盐层到 6 号单盐层和 6' 号单盐层到 16 号单盐层自下而上分别表现出分布面积逐渐缩小的变化

趋势, 它们分别属于三级层序 SQ8 和 SQ9 这两组盐韵律在三级层序的各个体系域中均有分布。

显然, 盐韵律在低频层序格架中主要在湖侵体系域和高位体系域中发育, 并且湖侵体系域中的盐韵律平面展布面积一般要比高位体系域中盐韵律面积大, 在本区大部分三级层序的低位体系域中较少有盐韵律发育。对于二级层序, 这种规律更为明显, 盐韵律主要位于二级层序的湖侵和高位体系域中。

3.2 成因分析

一般认为盐岩的析出沉淀只与湖泊水体的盐度有关, 当湖泊水体的盐度高于某值时便有盐岩的沉淀析出, 反之则无盐岩沉淀析出^[1~6]。因此单盐层的平面展布面积取决于盐度高于某值的湖泊水体的平面展布面积, 单盐层的单层厚度则取决于湖泊水体盐度高于某值所持续的时间。因此盐韵律在低频层序格架中的空间展布规律可以用图 4 的模式图进行解释。

在低频层序的 LST(低位体系域)中, 一般湖盆中的湖泊水体的深度较小, 水体的横向展布面积也较小, 即湖泊水体处于“小面积、浅水体”的状态, 因此在低频层序的低位体系域很少形成盐岩地层, 即使形成, 其盐岩地层的横向展布面积也较小(但单盐层的厚度可以较厚)。

在低频层序的 TST(湖侵体系域)中, 一般湖盆中湖泊水体的深度逐渐变深, 横向展布面积逐渐扩大, 即湖泊水体处于“大面积、深水体”的状态, 这种状态下形成的可供盐岩沉淀的“可容空间”也较大, 一旦湖泊水体的盐度高于某值, 则可以形成横向展布面积较大的盐韵律沉积。

在低频层序的 HST(高位体系域)中, 一般湖泊水体在延续最大湖泛面时期湖泊水体横向展布面积一段时间之后, 便开始收缩, 因此高位体系域的湖泊水体相对于湖侵体系域而言, 则处于“较大面积、浅水体”的状态, 这种状态下形成的盐韵律的平面展布面积要比湖侵体系域时期形成的盐韵律的平面展布面积小。

由此看来, 在低频层序的不同体系域中, 由于湖泊水体的横向展布面积和纵向深度不同, 湖盆所能提供的盐韵律沉积可容空间的大小也就不同, 表现在盐韵律在低频层序格架中空间分布规律上, 便是盐韵律一般在低频层序的 TST 和 HST 中发育, 并且盐韵律的横向展布面积一般是 TST 中的盐韵律面积大于 HST 中的盐韵律面积。

陆相层序地层学理论认为, 可容空间的变化是控制层序地层形成的主要因素, 层序界面的形成也主要取决于沉积可容空间的变化, 由于盐韵律在低频层序格架中的横向展布面积的变化从一定程度上反映了沉积可容空间的变化, 所以可以

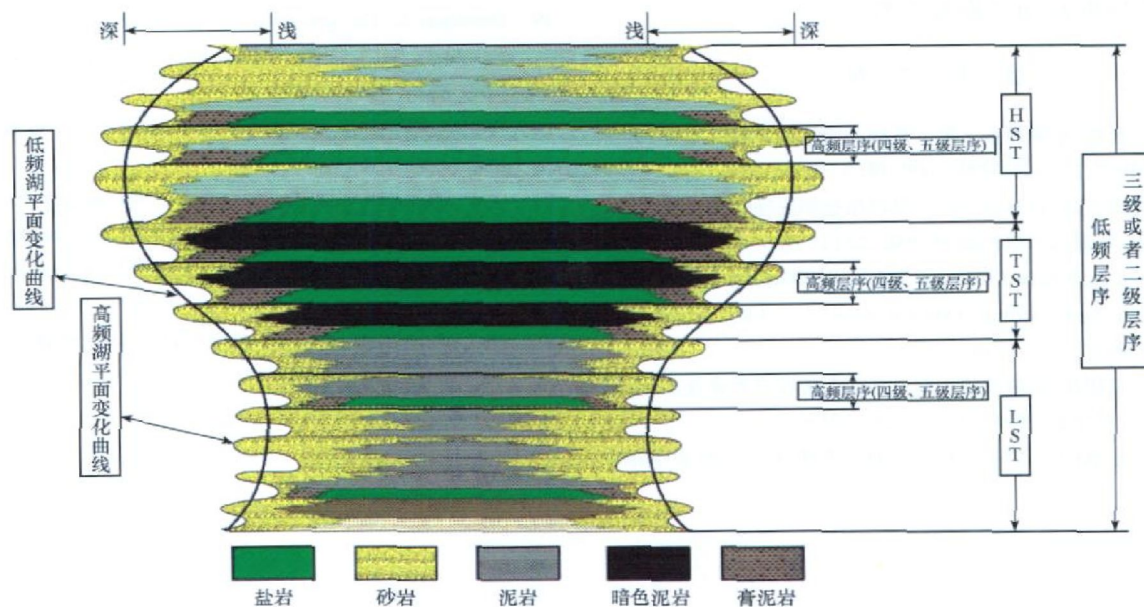


图 4 低频层序各体系域盐岩平面分布面积成因模式图

Fig. 4 Genetic model diagram showing the plane distribution of salt-bearing formation in different system tracts of low frequency sequence

将含盐地层中盐韵律的变化作为含盐地层层序划分的重要参考信息。

4 结论与讨论

含盐盆地是一种重要的油气盆地类型,重视盐韵律对于该类盆地地层序地层分析的重要性可以更为客观的探讨含盐盆地的层序地层发育规律:

1)从东濮凹陷古近系含盐地层中高频层序盐岩发育规律来看,盐岩地层一般是准层序高位期湖泊水体蒸发时期的产物,该时期的盐岩与其周围的砂岩为同时异相沉积关系,在准层序的低位期一般为泥岩等细粒沉积产物;

2)从东濮凹陷古近系含盐地层的盐韵律在低频层序格架中的分布规律来看,盐韵律的空间展布面积与层序地层的盐岩沉积可容空间的变化有密切的关系,湖侵体系域和高位体系域一般盐岩的沉积可容空间较大,其沉积的盐岩地层的横向展布面积也较大。

含盐盆地中仍然有一些问题需要探讨,如盐韵律横向展布面积的空间变化趋势与可容空间变化趋势之间的关系,盐韵律与其他层序界面之间的关系等等,加强这些问题的研究和探讨,有助于得出更为客观的、完善的含盐盆地层序地层发育规律,这样可以更为有效的指导类似含盐盆地的层序地层分析及油气勘探工作。

参 考 文 献

- 1 陈发亮,朱晖.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
- 2 杨香华,陈开远,石万忠,等.东濮凹陷盐湖层序结构与隐藏油气藏[J].石油与天然气地质,2002,23(2):139~142
- 3 Brown L F Jr, Benson JM, Brink G J et al. Sequence stratigraphy in Offshore South African divergent basin[J]. AAPG Studies in Geology, 1995, 41: 1-184
- 4 纪友亮,冯建辉.东濮凹陷下第三系沙三段盐岩和膏盐岩的成因[J].沉积学报,2005,23(2):225~231
- 5 郑洪稳.东濮凹陷下第三系层序地层学模式[J].石油学报,2002,23(4):24~28
- 6 张孝义,王运所.东濮凹陷北部浅水成盐与油气分布初探[J].断块油气田,2002,9(4):12~14
- 7 金强,黄醒汉.东濮凹陷下第三系深水成盐模式[J].华东石油学院学报(自然科学版),1985,9(1):1~4
- 8 刘孟慧,赵激林.东濮凹陷文留地区盐下含气层系的储层特征[J].华东石油学院学报,1986,10(2):1~6
- 9 张永才.东濮凹陷早第三纪含盐地层[J].石油学报,1992,13(2):232~239
- 10 李任伟,辛茂安.东濮盆地蒸发岩的成因[J].沉积学报,1989,7(4):141~148
- 11 顾家裕.中国东部古代扇-三角洲沉积[J].石油与天然气地质,1984,5(3):236~244
- 12 苏惠,曲丽萍,张金川,等.裂谷盆地构造演化及盆地伸展模式——以东濮凹陷为例[J].石油与天然气地质,2006,27(1):70~77
- 13 赖生华,麻建明,孙来喜.断陷湖盆层序演化对储集体成因类型及构型的控制[J].石油实验地质,2005,27(4):360~364
- 14 赵澄林,刘孟慧,姜在兴,等.渤海湾早第三纪断陷盆地含油气岩系沉积学及沉积相的基本特征[J].石油学报,1991,12(2):8~32
- 15 屈红军,李文厚,苗建宇,等.东濮凹陷濮卫洼陷盐岩发育规律及其成因探讨[J].中国地质,2003,30(3):309~314
- 16 赵振宇,周瑶琪,马晓鸣,等.含油气盆地中膏盐岩层对油气成藏的重要影响[J].石油与天然气地质,2007,28(2):299~308
- 17 Vail P R. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview. cycles and events in stratigraphy[M]. Berlin Heidelberg Springer-Verlag 1991, 167-695
- 18 王新运,辛茂安.东濮凹陷油气藏形成条件及油气富集规律[J].石油与天然气地质,1989,10(4):407~417
- 19 Demaison G. The generative basin concept[A]. In: Demaison G, Murriss R J eds. Petroleum geochemistry and basin evaluation [C]. AAPG Memoir 1984, 35: 1-14
- 20 樊太亮.沉积基准面变化分析技术及应用[J].石油与天然气地质,1997,18(2):120~127
- 21 Van Wagoner. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops—concept for high-resolution correlation of time and facies[J]. AAPG Methods in Exploration series, 1990, 7(55):1-57
- 22 焦大庆,王德仁,武晓玲.东濮凹陷天然气成藏及富集规律[J].石油与天然气地质,2006,27(6):794~803

(编辑 陈喜禄)