

文章编号:1009-2722(2013)09-0015-05

西湖凹陷层序划分及海平面变化响应

陈忠云,张建培,张 涛,鲁法伟

(中海石油(中国)有限公司上海分公司,上海 200030)

摘 要:层序识别与划分是东海西湖凹陷油气勘探研究工作的重要基础。利用层序地层学、古生物学、地层学等技术手段,对西湖凹陷古近系和新近系地层进行识别,共识别出 14 个层序界面、15 个三级层序,并找出各层序在海平面升降变化上的响应。从层序划分结果来看,始新统至上新统发育的各地层界面在震相上都显示出不整合或对应于不整合的整合界面,而这些层序界面均与海平面变化曲线中的关键界面相吻合,也与古生物特征吻合。

关键词:西湖凹陷;层序划分;海平面变化

中图分类号:P535;P731 文献标识码:A

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部,面积约 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$,新生代最大沉积厚度约 18 万 m,是东海陆架盆地规模最大的新生代含油气盆地^[1]。该凹陷新生代总体上可划分为 3 个构造演化阶段:断陷阶段(古新世—始新世)、坳陷阶段(渐新世—中新世)、区域沉降阶段(上新世—第四纪)^[2,3],形成了多个广泛分布的区域性不整合面。其中,T10 反射界面是上新统三潭组与中新统柳浪组的分界面,是盆地裂后坳陷期发育的规模较大的区域性角度不整合面;T20 反射界面是中新统龙井组与渐新统花港组的分界面,是盆地裂后坳陷期发育的第 1 个区域性角度不整合面;T30 反射界面是花港组的底界面,与下伏裂陷期沉积的平湖组分开,是坳陷期与裂陷期的沉积分界面。

1 层序识别

层序是一套成因上相关的、相对整合的、连续地层序列;以不整合或与不整合相对应的整合为界。层序界面的识别是进行层序划分并建立层序

地层格架的基础,其识别标志很多,包括地震反射界面、岩心岩相和测井标志等,另外古生物和地球化学也可以作为层序界面的辅助识别标志^[4]。

西湖凹陷主要利用地震资料进行层序识别,将上超、顶超、削蚀以及向盆地方向迁移的海岸上超作为确定层序边界的标志,同时结合钻井地质资料和古生物资料分析识别结果。西湖凹陷古近系和新近系地层共识别出 15 个三级层序,14 个层序界面(表 1)。

T10、T11、T12、T13、T21、T22 层序界面在凹陷边缘都可见规模不等的削蚀现象,在凹陷内部大多数呈整合界面。T14 和 T20 层序界面在凹陷边缘和内部都见到清晰的削蚀现象(图 1),其中 T20 是古近系和新近系分界面。T30 层序界面为区域不整合,在整个西湖凹陷都有发育,不仅在凹陷边缘见到明显的削蚀现象,在凹陷内部的削蚀现象也非常清楚,是西湖凹陷平湖组和花港组分界面(图 1)。

T31 层序界面由于受到 T30 的削蚀,层序发育不完整,因此层序界面特征不清,该层序划分仅凭岩性和测井特征进行划分。A—B 井连井测线(图 2)显示 T32—T33 层序呈一低水位楔形体,向高部位迅速减薄,T32 存在削蚀下伏地层的特征。该界面在平湖组一、二、三段沉积中心与下伏

收稿日期:2013-02-19

作者简介:陈忠云(1979—),男,工程师,主要从事石油勘探综合研究工作。E-mail:chenzhy2@cnooc.com.cn

表1 西湖凹陷古近系和新近系地层系统
Table 1 Stratigraphic system of the Tertiary in the Xihu Sag

系	地层系统			地震反射界面
	统	组	段	
新近系	上新统	三潭组		T10
	上中新统	柳浪组		T11
	中中新统	玉泉组	上段	T12
			下段	T13
	下中新统	龙井组	上段	T14
			下段	T20
古近系	上渐新统	花港组	一段	T21
			二段	T22
			三段	T30
	下渐新统		缺失	
	上始新统	平湖组	一段	T31
			二段	T32
			三段	T33
	中始新统		四段	T34
			五段	T35
			六段	T36

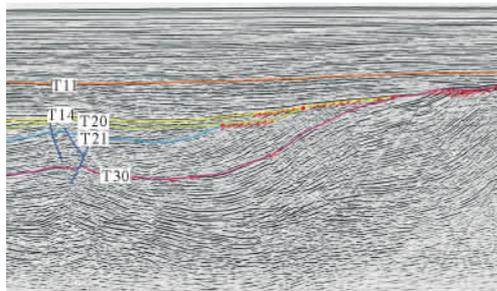


图1 T14、T20、T30层序界面
Fig. 1 Sequence boundaries of T14, T20, T30

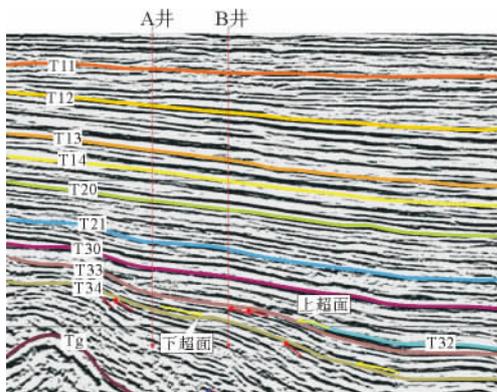


图2 T33、T34层序界面
Fig. 2 Sequence boundaries of T33, T34

地层整合接触,在沉积中心周围超覆于 T33 界面之上。T33 层序界面上超下削现象明显,在凹陷高部位 T33 削蚀下伏地层明显,在凹陷低部位与下伏地层呈整合接触,向西在凹陷边缘受 T30 的削蚀。T34 层序界面上超下削现象明显(图 2),且见下超现象。在凹陷内部呈整合接触,向西在凹陷边缘受到 T30 的削蚀。T35 层序界面上超下削现象明显,在凹陷内部呈整合接触,向西可越过渔山隆起与台北坳陷温州组相通。

2 层序地层划分与海平面变化响应

西湖凹陷古近系和新近系地层自下而上分为平湖组、花港组、龙井组、玉泉组、柳浪组、三潭组,其中始新统平湖组和渐新统花港组是油气勘探主要目的层段^[5]。

不同频率的海平面变化周期都会造成一系列可以预测的由不同体系域组成的层序。叠置在低频海平面相对变化曲线上的高频海平面升降周期可能形成准层序组或准层序,而那些发生在海平面升降曲线上的非周期性波动则会产生不同的地层响应。海平面相对变化曲线包括了丰富的地层信息:①显示了海平面的上升和下降以及对应的时间;②指明了海岸上超的规模、层序的级别、各级别层序的界面;③指出了沉积层序的发育时间和沉积厚度。

3.1 平湖组

平湖组以灰质泥岩为主,夹灰质粉—细砂岩、砂岩和沥青质煤等,为海陆过渡相的半封闭海湾沉积,是西湖凹陷主力生油和储油岩系。

3.1.1 平湖组六段

平湖组六段仅在少数井发育,与上覆层段相比,该段泥岩更厚、更纯,显示本段沉积时水位比上覆层沉积时水位高;从海平面变化曲线来看(图 3),TA3(4)层序与上覆层序相比水位更高,分布范围更广。平湖组六段响应于海平面变化曲线的 TA3(4)层序,时代为鲁帝特晚期。

3.1.2 平湖组四、五段

从区域地层发育特征来看(图 4),平湖组五段(T34—T35 层序)厚度大、分布范围广,而平湖组四段(T33—T34 层序)则厚度薄,分布范围局

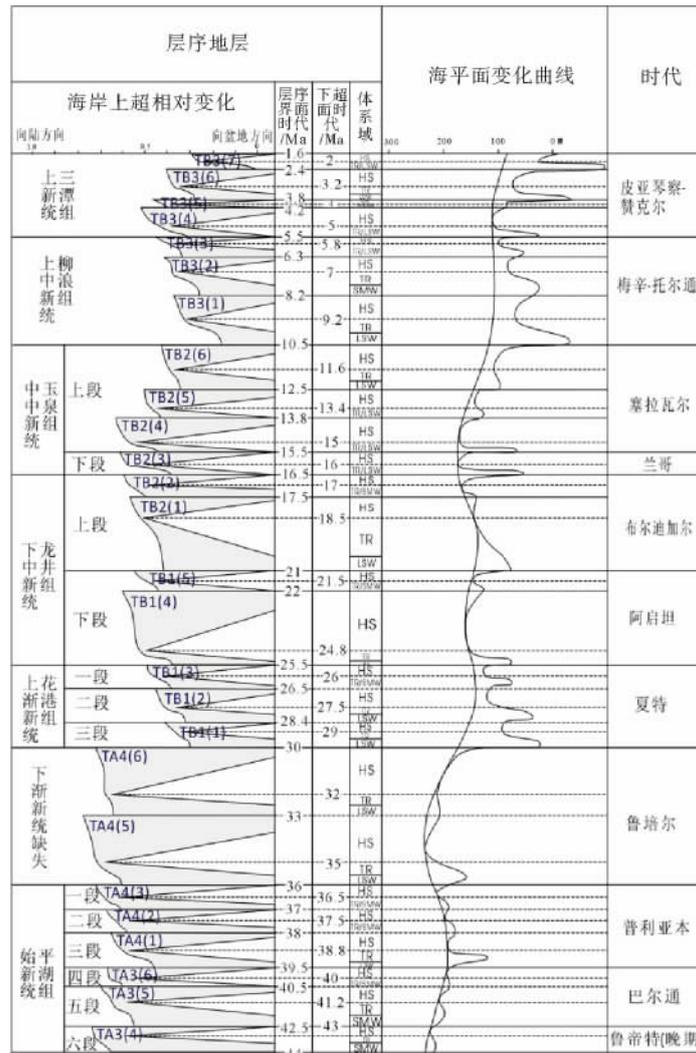


图 3 西湖凹陷层序划分与海平面变化曲线响应(据文献[6],略有修改)

Fig. 3 Stratigraphic sequences and their response to sea level changes in Xihu Sag (modified from reference [6])

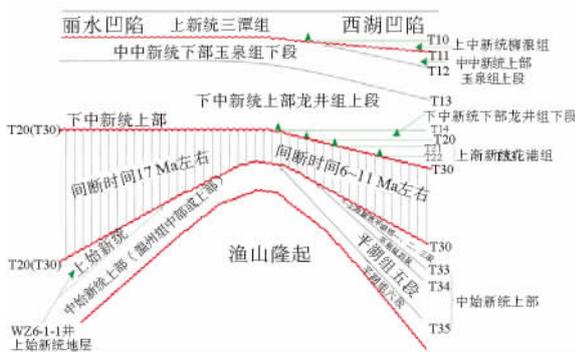


图 4 西湖凹陷与丽水凹陷各界面接触关系示意图

Fig. 4 Correlation of sequence boundaries from Xihu Sag to Lishui Sag

限。海平面变化曲线显示(图 3),39.5 Ma 层序界面海岸上超初始点与 40.5 Ma 层序界面海岸上超初始点相比向海退却,TA3(5)层序水位高、周期长、分布广,而层序 TA3(6)层序水位较低,周期较短,分布局限。根据以上特征,平湖组四段、五段的层序发育分别响应于海平面变化曲线的 TA3(6)和 TA3(5)层序,属巴尔通期。

3.1.3 平湖组一、二、三段

平湖组一段受 T30 削蚀层序发育不全,平湖组二段为高水位沉积、广泛分布,平湖组三段呈一楔形体局部分布,呈正旋回特征。海平面变化曲线显示(图 3),普利亚本期存在海平面由低到高的、正旋回的 3 个三级层序。平湖组一、二、三段

旋回特征与 TA4(3)、TA4(2)、TA4(1)旋回特征相似,因此,平湖组一、二、三段归属普利亚本期。

3.2 下渐新统

本区 T30 是一个区域不整合面,不仅在海岸上超部位削蚀了下伏地层,而且在盆地内部也削蚀了下伏地层(图 1)。海平面变化曲线显示新生代只存在一个 30 Ma 前的超二级周期,即 30 Ma 前的区域不整合。因此,本区 T30 不整合发育规模和海平面变化曲线中 30 Ma 超二级层序相当。

海平面变化曲线(图 3)显示,30 Ma 以前鲁培尔期存在反旋回的、高水位的、长周期的 2 个三级层序,但是,在本区 T30 区域不整合面以下,目前尚未发现与此相类似的、反旋回的、高水位的、长周期的 2 个三级层序。钻井剖面也未见这种反旋回的、高水位长周期层序发育。在花港组中发现晚渐新世生物群,而在平湖组一段中发现的台湾蜆指示晚始新世。始新世末期,邻区台北拗陷和苏北盆地均抬升接受剥蚀,均不存在下渐新统。以上证据都可表明本区缺失下渐新统。

3.3 花港组

花港组发育上段和下段,从地震剖面来看,T20 和 T21 均超覆在 T30 不整合面之上。然而,海平面变化曲线(图 3)显示夏特期发育 3 套地层,这与我们在沉积最深处发现的 1 套低水位的三级层序(花港组三段)相吻合。3 套层序的海岸上超最终点由下向上一级比一级向陆超覆。

3.4 龙井组

3.4.1 龙井组下段

海平面变化曲线(图 3)显示,21 Ma 层序界面是一个二级层序界面,海岸上超部位不整合规模大于 25.5 Ma 海岸上超部位不整合的规模;在 Line 1 测线(图 1)显示了本区 T14 水岸上超部位不整合规模大于 T20 水岸上超部位不整合的规模,因此 T14 应对应于 21 Ma 层序界面,T20 对应于 25.5 Ma 层序界面。T14 和 T20 所夹持的龙井组下段属于阿启坦阶。

3.4.2 龙井组上段

海平面变化曲线(图 3)显示,布尔迪加尔期末 16.5 Ma 层序界面是一个三级层序界面,在海

岸上超部位显示一个小的不整合,其规模远<21 Ma 二级层序界面海岸上超部位不整合的规模,从区域资料来看,T13 水岸上超部位不整合面的规模远<T14 水岸上超部位不整合的规模。因此,T13 应对应于 16.5 Ma 层序界面,这与 T13 比 T14 向陆推进是吻合的。

3.5 玉泉组

3.5.1 玉泉组下段

海平面变化曲线(图 3)显示,兰哥期末 15.5 Ma 是一个三级层序界面,在海岸上超部位显示一个小的不整合,Line 1 测线(图 1)T12 水岸上超部位也显示出一个小不整合,同时海平面变化曲线显示 15.5 Ma 层序界面比 16.5 Ma 层序界面向陆推进。由于资料限制,未发现 T12 水岸上超的最终点,但 T12 与 T13 向陆推进的规模相当,因此,暂将玉泉组下段归属于兰哥阶。

3.5.2 玉泉组上段

海平面变化曲线(图 3)显示,塞拉瓦尔期末 10.5 Ma 是一个二级周期的层序界面,表示一个大区域不整合。本区 T11 也是一个区域不整合。该期存在 3 个层序,从地震资料上也见到这 3 个三级层序,具有相同的反旋回特征,类似的层序发育厚度等。因此玉泉组上段属于塞拉瓦尔阶。

3.6 柳浪组

海平面变化曲线显示(图 3),5.5 Ma 层序界面为一个三级层序界面,梅辛—托尔通期发育 3 个三级层序,从下至上层序厚度依次减薄,水位依次上升,依次向陆推进。由于资料限制,柳浪组未发现 3 个三级层序,但区域资料(图 4)显示 T10 水岸上超最终点和 T20 水岸上超最终点基本相同。因此,暂将柳浪组归属于梅辛—托尔通阶。

3.7 三潭组

三潭组层序特征发育不明显,因此其地层划分主要参照古生物特征。三潭组发现 *Reticulofenestra pseudoumbilica*、*Discoaster surculus*、*Sphenolithus abies*、*Gephyrocapsa oceanica small*、*Pseudoemiliana lacunosa*、*Helicosphaera sellii* 等超微化石,星轮虫—卷转虫有孔虫组合,与此共生的禾本粉—蓼粉组合,因此,三潭组属上

新统,对应于皮亚琴察—赞克尔阶。

4 地层划分结果分析

4.1 古生物特征与海平面曲线相吻合

根据西湖凹陷层序划分结果,构建古近系和新近系松粉含量变化曲线(图 5),从图中我们可以明显的看出松粉含量变化曲线与海平面升降曲线的变化趋势良好匹配,海平面下降松粉含量增大,反之海平面上升松粉含量降低。气候变热导

致了海平面上升,由于松科是温带植物,因而气候变热导致了松粉含量的减少,反之亦然。松粉含量变化曲线与海平面升降曲线的良好匹配在整个研究区多数井都可以见到。

4.2 岩性特征与海平面曲线相吻合

在龙井组沉积最深处,龙井组下段泥岩厚度增大,下伏花港组出现杂色泥岩及红层,而上覆龙井组却为灰色岩性,表明纵向上龙井组下段沉积时较花港组沉积时水体变深。区域上龙井组下段广泛分布,而花港组向西仅分布于西湖凹陷边缘,

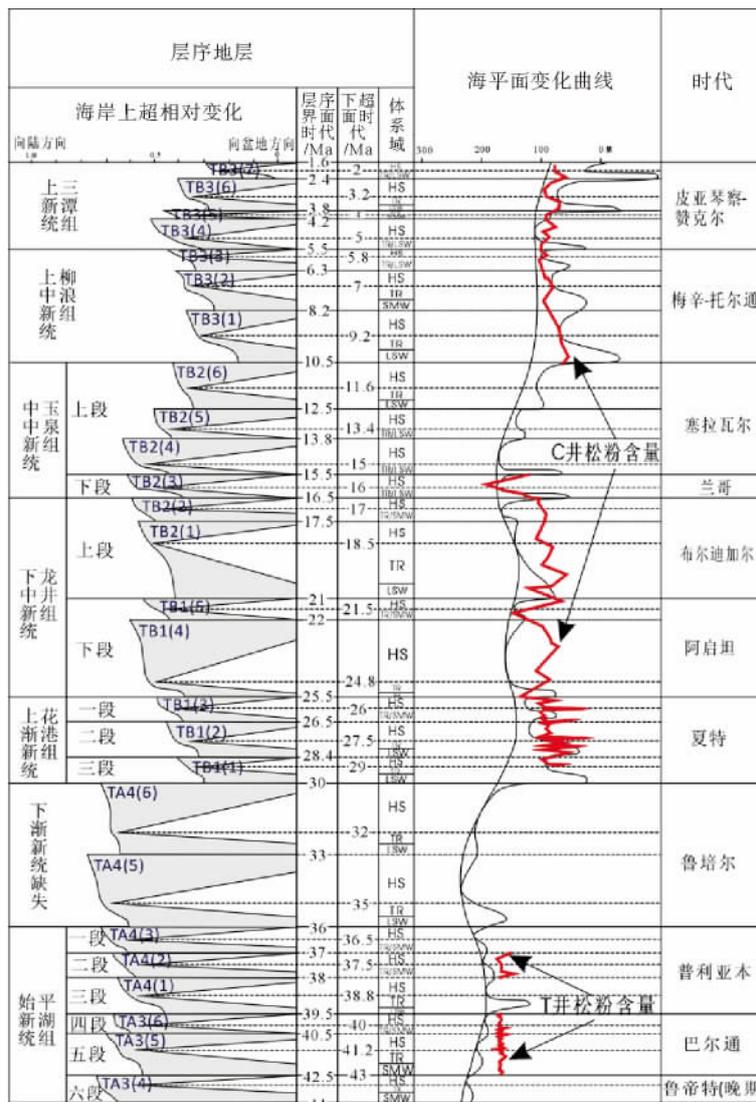


图 5 松粉特征与海平面变化响应

Fig. 5 Pinuspollenites and its response to sea level change

显示从花港组到龙井组,可容空间增大。海平面变化曲线(图3)显示阿启坦期由2个三级层序组成的反旋回,钻井资料揭示龙井组下段也是2个粗细旋回组成的反旋回^[9,10]。

5 结束语

在 seismic 剖面上识别的层序界面都能在海平面变化曲线上找到相对应的层序界面,而且与古生物特征和地层岩性特征分析相一致,说明了该地区海平面变化曲线可以用来进行地层划分,并帮助判断地层时代、发育厚度和形成环境。海平面升降变化最为可靠的地层标志是层序的海岸上超和顶超现象,利用这些标志可以确定海平面升降变化的持续时间和变化幅度,进行地层划分,并与岩性地层、生物地层等联系起来综合分析得到较为可靠的地层划分结果。

参考文献:

[1] 徐发,张建培,张田,等. 西湖凹陷输导体系特征及其对

油气成藏的控制作用[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 24-29.

- [2] 张敏强,钟志洪,夏斌,等. 东海西湖凹陷中南部晚中新世构造反转与油气运聚[J]. 2005, 17(2): 73-79.
- [3] 张建培,张涛,刘景彦,等. 西湖凹陷反转构造分布与样式[J]. 海洋石油, 2008, 28(4): 14-20.
- [4] 王丽静,赵林,曹维福,等. 徐家围子西部地区层序划分及控制因素分析[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(2): 193-196.
- [5] 张建培,徐福,钟韬,等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组—花港组层序地层模式及沉积演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 35-41.
- [6] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles[J]. Society of Economic Paleontologist and Special Publication, USA, 1988 (42): 71-108.
- [7] 张银国,东海西湖凹陷花港组油气地质条件与油气分布规律[J]. 石油实验地质, 2010, 32(3): 221-231.
- [8] 孙思敏,彭仕宓. 东海西湖凹陷平湖油气田花港组高分辨率层序地层特征[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(4): 184-187.
- [9] 王丽顺,陈琳琳. 东海西湖凹陷下第三系层序地层分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(3): 33-42.
- [10] 熊斌辉,王春红,张锦伟,等. 西湖凹陷龙井运动特征[J]. 中国海上油气, 2008, 20(2): 77-81.

STRATIGRAPHIC SEQUENCES IN XIHU SAG AND THEIR REPOSE TO SEA LEVEL CHANGES

CHEN Zhongyun, ZHANG Jianpei, ZHANG Tao, LU Fawei
(CNOOC (China) Co. Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract: With the help of sedimentology, paleontology, and stratigraphy, 14 sequence boundaries were recognized and 15 third-order sequences divided in the Xihu Sag, and each sequence is a response to the sea level change. Sequences from the Eocene to Pliocene were divided with the boundaries of unconformity or conformity equivalent to unconformity, which matches well the key boundaries in the curve of sea level change and is supported by palaeontological records.

Key words: Xihu Sag; sequence division; sea level change