

东海陆架盆地丽水凹陷古新统层序地层的划分及控制因素

张银国^{1,2}, 葛和平³, 杨艳秋^{1,2}, 梁杰^{1,2}

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室; 2 国土资源部青岛海洋地质研究所)

(3 中海石油(中国)有限公司上海分公司)

摘要 依据层序界面及湖/海泛面的钻井、测井、古生物和地震特征,将丽水凹陷古新统划分为4个三级层序,分别对应于湖相沉积月桂峰组(SQⅢ₁)和海相沉积下灵峰组(SQⅢ₂)、上灵峰组(SQⅢ₃)、明月峰组(SQⅢ₄)。通过层序的综合分析对比,认为古新统层序发育的主控因素是构造沉降和构造格架、海平面变化及沉积物源补给,它们对本区的沉积充填样式具有较强的影响,而气候条件的影响表现较弱。

关键词 古新统; 层序地层; 层序划分; 沉积旋回; 控制因素; 东海盆地; 丽水凹陷

中图分类号: TE11.3

文献标识码: A

近年来,东海盆地丽水凹陷部分钻井在古新统月桂峰组和明月峰组(尤其是在丽水36-1构造的明月峰组)发现油气显示或获得了工业性油气流^[1]。一直以来,对于丽水凹陷古新统层序地层的研究工作较少,且总体上并不系统,本文针对丽水凹陷古新统早期为湖相、中期和晚期为海相的沉积特点,结合Exxon和Cross层序地层理论,对其进行较系统的层序地层研究,旨在为后续的沉积相带和有利砂体预测以及油气勘探奠定基础。

1 区域地质背景

丽水凹陷位于东海台北坳陷中西部,是在中生代残留盆地基底上拉张断陷形成的新生代箕状凹陷^[2-4],总体走向NNE,总面积14600 km²(图1)。凹陷地质结构表现为东断西超,西部边缘坡度较缓,发育反向正断层形成的掀斜断块,凹陷内部被中央潜山-披覆构造带灵峰低凸起分割为东、西两个次凹^[5](图2)。

丽水凹陷目前钻遇的沉积地层主要为上白垩统至第四系,其中发育有四次沉积间断和区域性不整合,即上白垩统/下伏地层、古新统/上白垩统、始新统/古新统以及中新统/始新统不整合。沉积期间,由于太平洋板块的运动方向由NWW转向NNW,造成整

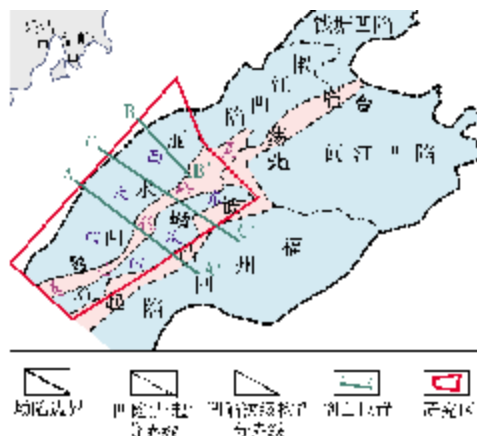


图1 东海盆地丽水凹陷及研究区构造位置图

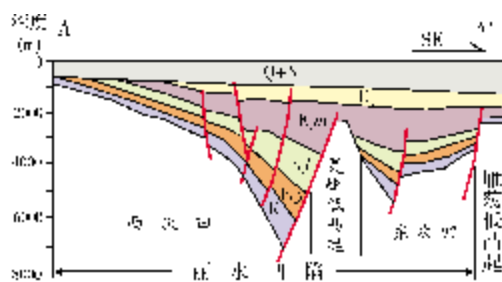


图2 东海盆地丽水凹陷构造单元划分剖面图

A—A'剖面位置见图1。E_{1y} 月桂峰组; E_{1l} 灵峰组; E_{1m} 明月峰组

收稿日期: 2011-12-09; 改回日期: 2012-05-09

基金项目: 本文为国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室资助项目(项目编号: MRE201226)

张银国: 1973生, 硕士, 助理研究员。主要从事石油地质和层序地层研究。通讯地址: 266071 山东省青岛市福州南路62号国土资源部中国地质调查局青岛海洋地质研究所; 电话: (0532)85755822

个东海陆架区处于剪切拉张应力状态,并分别发生了两次与盆地断陷型结构形成直接相关联的区域性构造事件(雁荡运动和瓯江运动)^[6],从而造成晚始新世至早中新世地层缺失。本次研究的层段为古新统,它由下而上发育月桂峰组、灵峰组和明月峰组,灵峰组又分为下灵峰组和上灵峰组。月桂峰组主要为湖相沉积^[7],灵峰组和明月峰组主要为海相沉积。

2 层序地层划分

层序地层学大体分为Exxon的经典沉积层序理论学派、Galloway的成因地层学学派和Cross的陆相高分辨率层序地层学理论学派等三个主流学派^[8]。目前用得较多的是Exxon和Cross的层序地层理论,尤其是在油气田勘探开发阶段,运用Cross高分辨率层序地层理论可进行勘探目标高精度预测^[9]。Exxon层序理论是以不整合面或与之可对比的整合面进行层序地层划分与对比^[10],更适合于三级层序及以下的层序划分,而Cross层序理论是强调利用基准面沉积旋回进行层序地层划分与对比,在相对勘探成熟阶段,进行小级次的层序划分表现了其优越性。本文采用两者相结合的办法,对丽水凹陷进行层序地层识别与划分。

层序基准面沉积旋回的识别,主要的依据是地层识别标志^[11],此外,层序旋回的变化也反映在古生物发育程度上,即生物层序地层中古生物在层序上、下界面或者海泛面/湖泛面重要的纵向上的生物地层变化(如不整合面、带的界线)^[12]。地层记录中的旋回性记录了不同级次基准面旋回的变化,在钻井地层剖面及对应的测井曲线上能很好地反映每一级次的基准面旋回,同时层序界面在地震上存在相应的层序反射特征,比如地层上超、削截、下超等。

本文以钻井、生物和地震相资料^[13]为基础,对丽水凹陷古新统进行层序地层划分,其重要环节是进行层序界面及湖/海泛面识别。

2.1 层序界面

层序界面(SB)是一反映进积与退积的转换面,在钻井上表现为地层叠加样式的改变,即由进积向退积的转变。丽水凹陷层序界面最为明显的是SB4转换面,其自然伽马(GR)为低值,电阻率(RD)为中高值(图3)^[14]。古生物化石在层序界面附近具有明显减少的特征,而古生物化石断代或绝灭往往是一个较高级别的层序界面,如SB4面和SB5面附近标志化石*Helolithus riedelii*的出现与灭绝(图4)^[14]。通

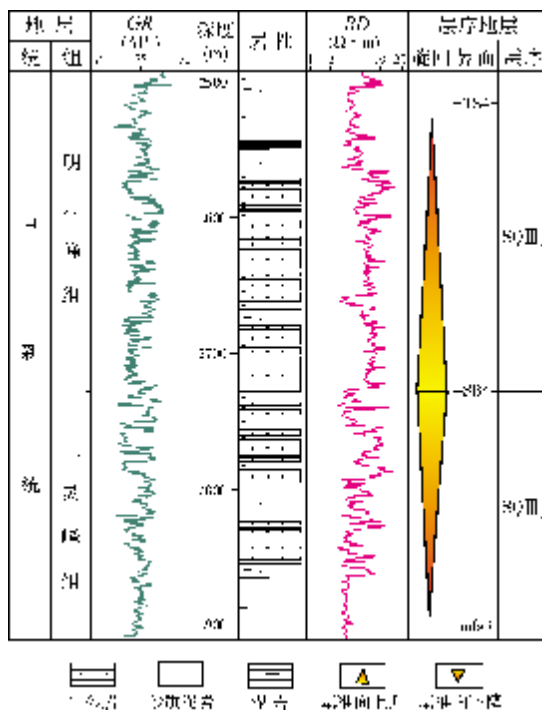


图3 丽水凹陷B井层序转换面岩电性特征(据文献[14]修改)
TS 初次海泛面; SB 层序界面; mfs 最大海泛面

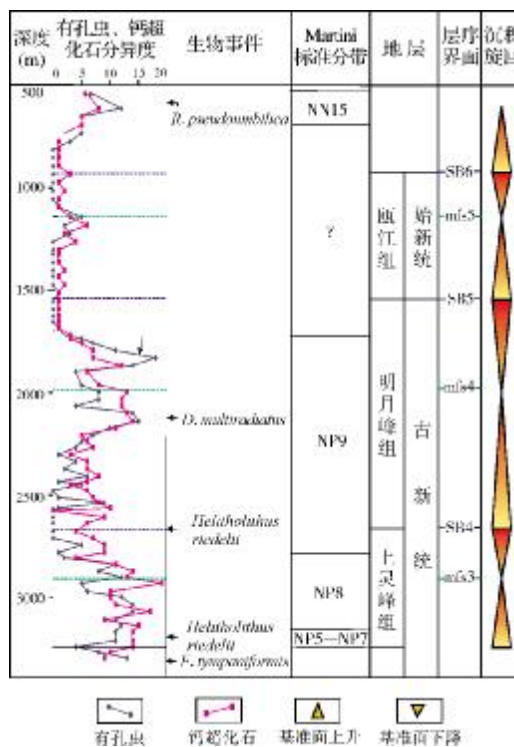


图4 丽水凹陷B井钙质超微化石标准分带和重要生物事件
(据文献[14]修改)
SB 层序界面; mfs 最大海泛面

过钻井与地震标定,在丽水凹陷西部斜坡地震界面(图5)上反映层序界面的反射特征较强,总体上SB3面地震反射特征较弱,SB5面特征最强,表现为界面下的地层高角度削截。

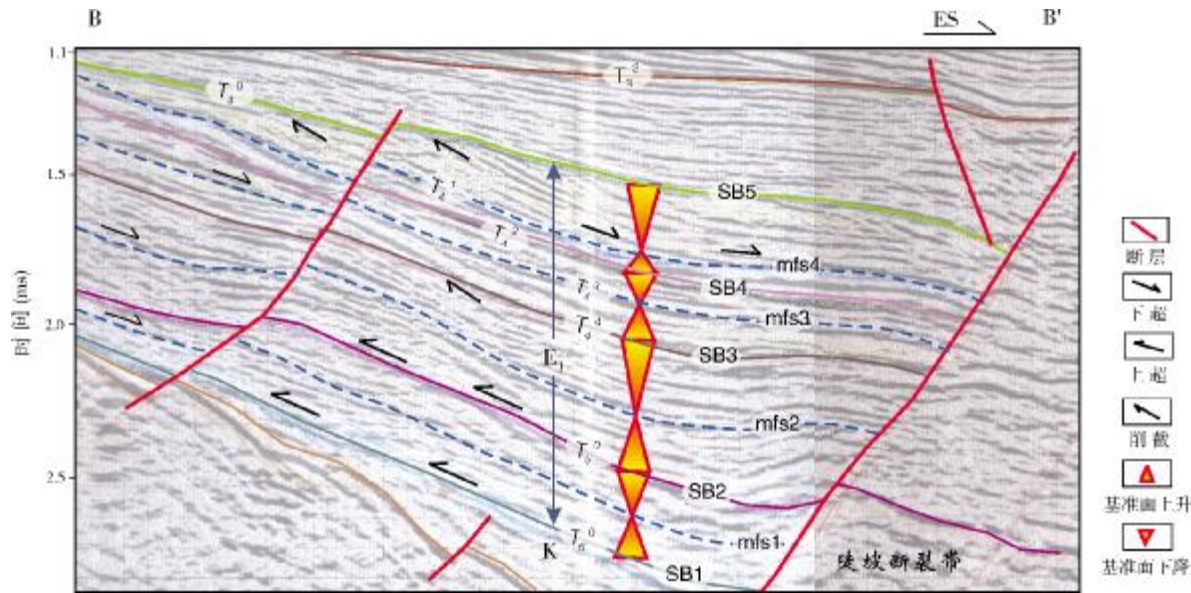


图5 东海盆地丽水凹陷古近系层序地层界面地震反射特征图
B—B'剖面位置见图1。SB 层序界面; mfs 最大海泛面

2.2 湖/海泛面

湖/海泛面是退积与进积的转换面,在三级层序中往往可以划分为初次湖/海泛面(TS)和最大湖/海泛面(mfs),钻井上表现为颜色较深的页岩、泥岩和粉砂质泥岩,自然伽马曲线为高值,呈平直状,电阻率曲线为低值,呈平直状(图6)。在古生物分布上具有明显的特征,如mfs3和mfs4海泛面附近古生物较为发育,底栖有孔虫、浮游有孔虫以及超微钙化石的丰度和分异度都较高(参见图4)。在本区地震上难见初次湖/海泛面反射特征,在地震上较难进行追踪,主要在钻井上进行划分对比,而最大湖/海泛面在地震上能见下超反射(图5)。

根据以上对层序界面的识别与划分,充分利用井—震相结合的方法进行追踪对比,由此,丽水凹陷可以古新统不整合面为基础划分4个三级层序单元,即分别对应于月桂峰组(SQⅢ₁)、下灵峰组(SQⅢ₂)、上灵峰组(SQⅢ₃)、明月峰组(SQⅢ₄)(图7)。根据钻井沉积旋回特征,每个三级层序在钻井上可以对比划分出低水位体系域、水进体系域和高水位体系域(图7),本文所说的低水位体系域,并非指经典层序

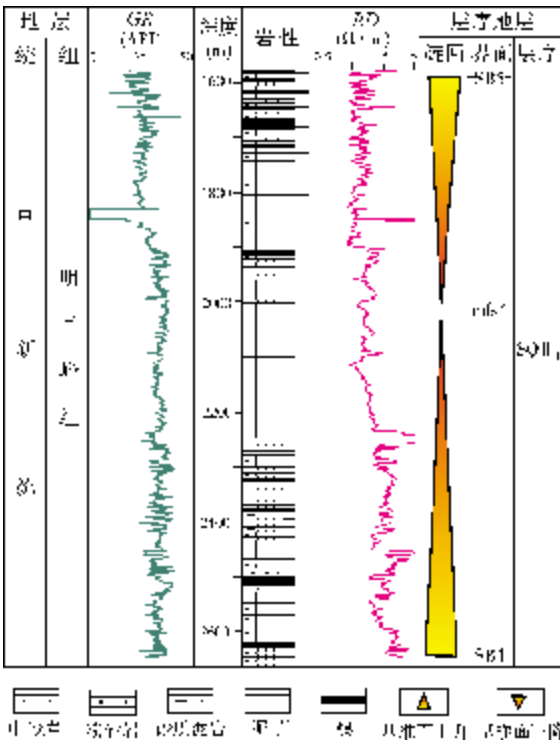


图6 东海盆地丽水凹陷C井层序最大海泛面岩电性特征
SB 层序界面; mfs 最大海泛面

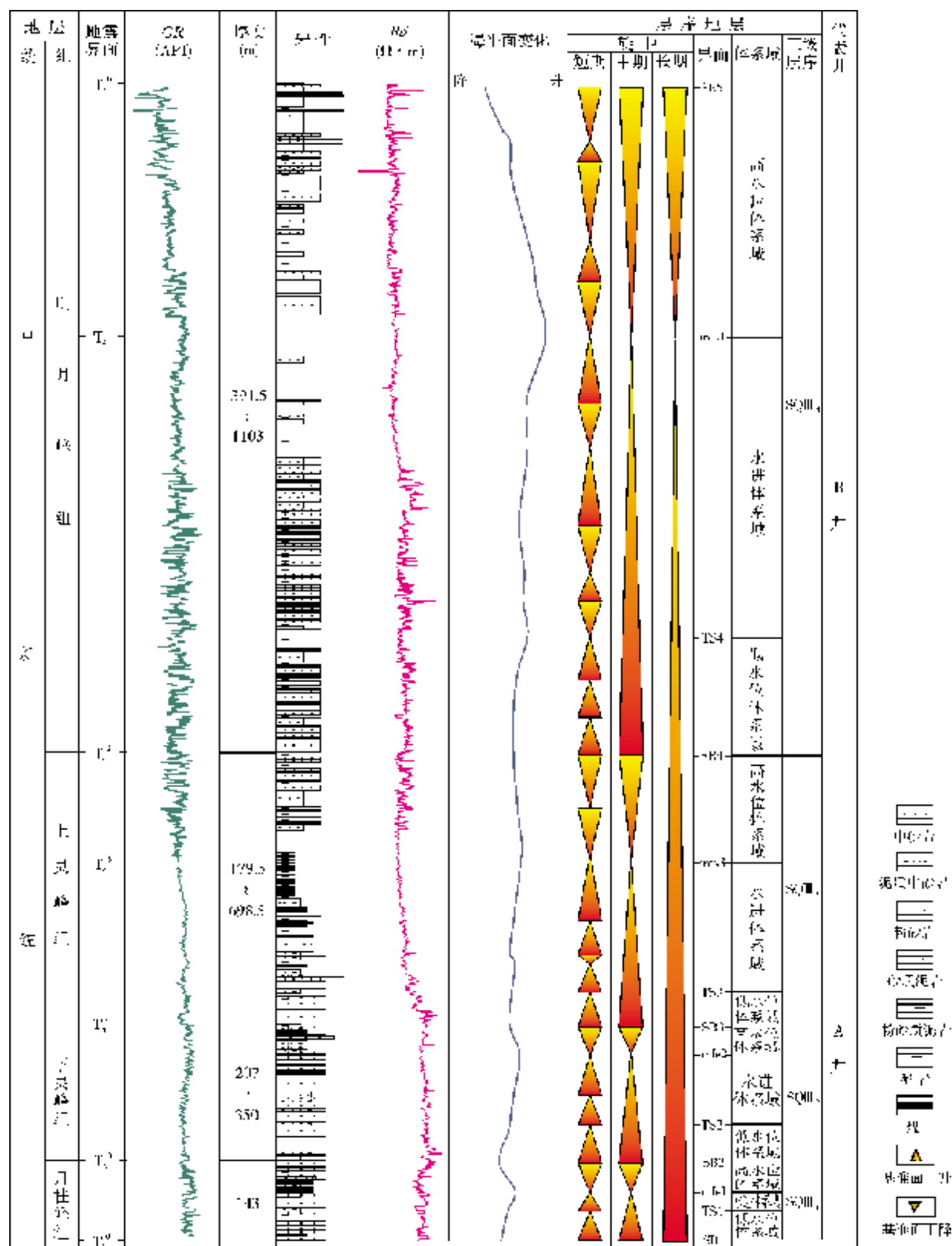


图 7 东海盆地丽水凹陷层序地层综合分析柱状图

地层理论中的“当海平面下降到下降拐点以下至发生初次海泛阶段沉积的低水位体系域或陆架之上的陆架边缘体系域”,因为丽水凹陷在整个东海陆架盆地中只是其中一个断陷,不具备经典层序地层中陆架边缘坡折带的特点。本文强调的低水位体系域,是指具有与经典层序地层低水位体系域或陆架边缘体系域相似的初次较大规模的海侵或湖侵特征,这也是目前断陷型体系域划分用得较多的划分方法,这样划分的结果有利于更好地进行生、储、盖及其组合的预测评价。

古新世总体上发生了4次较大规模的构造抬升,形成4个古新统内层序界面,即SB2、SB3、SB4和SB5(图7)。研究层段的底界SB1、SB2、SB3、SB4和SB5依次相当于传统层位的 T_6^0 、 T_5^0 、 T_4^4 、 T_4^2 和 T_4^0 (图5,图7)。古新世发生过一次湖侵和三次较大规模海侵,从下而上依次为mfs1、mfs2、mfs3和mfs4,其中mfs3和mfs4(相当于传统的 T_4^3 和 T_4^1)为两次大规模的海侵。

3 层序沉积的控制因素

层序充填过程和层序发育是一个极为复杂的地质过程,其显著的特点就是多因素的综合作用,并在众多影响因素的控制下,导致不同几何形态和叠置样式的充填沉积物的发育^[15]。层序地层的控制因素主要是构造升降变化、全球海平面变化、沉积物补给及气候四大因素。根据分析,认为本区层序地层的控制因素主要受构造沉降和构造格架变化、全球海平面变化、沉积物补给的影响,气候是次要因素,因此本文主要从构造沉降和构造格架、全球海平面变化、沉积物补给三方面进行分析。

3.1 构造沉降和构造格架

丽水凹陷古新统总体上经历了早期构造下降和晚期构造抬升,加之灵峰低凸起两侧和雁荡低凸起东侧的主控断裂活动,丽水凹陷形成了独特的古构造格架特点——凹陷被中央的灵峰低凸起分割成东次凹和西次凹,西次凹为东断西超的半地堑,东次凹为东西双断的地堑。从古构造格架上,明月峰组沉积中期以前,西次凹可划分为东侧陡坡带、中部洼陷带、西部缓坡带等次级构造单元,断块掀斜作用和盆缘断裂等同沉积构造作用对沉积充填和层序的发育具有重要的影响(图8a)。由于丽水凹陷特殊的构造

格架,造成在西部缓坡带发育延伸较长的三角洲沉积体系,而在中部和东部断裂的陡坡带发育近源水下扇沉积。明月峰组沉积中期后,整个东海陆架盆地发生西部抬升,造成在丽水凹陷发生填平补齐的沉积作用,并且沉积层进一步向东部前积(图8b),最终导致整个丽水凹陷被填平,并且在丽水凹陷东部的雁荡低凸起也沉积砂泥岩层。

3.2 湖/海平面变化

丽水凹陷古新统月桂峰组为湖相沉积,其层序主要受构造、气候条件及沉积物补给影响,从而引起湖平面的变化,形成一定的沉积旋回序列——湖平面上升体现退积沉积特征,湖平面下降则体现进积特征。灵峰组 and 明月峰组为海相沉积,因此受海平面变化影响较强,同样每个层序形成一定的沉积旋回序列——海平面上升体现退积特征,海平面下降则体现进积特征。

通过研究区相对海平面变化与Haq全球海平面变化曲线^[16]作比较(图9),区内海平面升降曲线从总体变化的趋势上看是相一致的,但是无法与Haq的海平面变化曲线完全对应,主要还是受局部构造沉降的叠加效应影响。明月峰组、上灵峰组和下灵峰组三级层序的底界大体位于Haq曲线上的海平面下降拐点处,只是上灵峰组的底界位于57 Ma处,而Haq曲线的下降拐点位于58.2 Ma处,这中间无法排除在定年上存在的偏差。明月峰组和上灵峰组发生最大海侵与全球海平面海侵相一致,下灵峰组稍有偏差。明月峰组沉积晚期全球海平面变化表现为上升,而本区则表现为急剧的海退特征^[17]。显然,区内这几个层序界面的形成主要受到了全球海平面变化的影响,但是局部的差异主要受构造沉降和物源供给的影响。月桂峰组三级层序为湖相沉积,但基本上是对应Haq曲线上的2个三级周期。

3.3 物源供给

在丽水凹陷,物源的供给是控制层序格架中沉积体系发育的重要因素。

在SQⅢ₄层序(明月峰组)发育之前,丽水凹陷被灵峰低凸起分割成东、西次凹,因而存在多物源供给,除了西部浙闽隆起方向注入盆地的物源之外,还有灵峰低凸起物源和东部雁荡低凸起物源。后两者为近物源性质,并且物源供给相对较少,形成的水下

4 结 论

(1)依据钻井、测井的岩石与电性特征、古生物垂向丰度变化和地震反射特征,将丽水凹陷古新统划分为SQⅢ₁—SQⅢ₄四个三级层序,分别对应于地层月桂峰组、下灵峰组、上灵峰组和明月峰组。以三级层序划分为基础,进一步划分出了低水位体系域、水进体系域和高水位体系域,它们能在研究区进行较好的对比,尤其是明月峰组(SQⅢ₄)层序具有三个体系域最明显的三分特征。

(2)湖相地层的月桂峰组层序地层受构造沉降、气候条件及物源补给控制作用较强,而海相地层的灵峰组和明月峰组层序地层受构造沉降、全球海平面变化、沉积物补给控制较强,受气候条件影响则相对较小。总体上构造沉降和沉积物补给对本区沉积充填样式具有较强的影响作用。

参 考 文 献

- [1] 张敏强,黄思静,吴志轩,等. 东海盆地丽水凹陷古近系储层砂岩中碳酸盐胶结物及形成机制[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2007,34(3):259-266.
- [2] 贾成业,夏斌,王核. 东海陆架盆地丽水凹陷构造演化及油气地质分析[J]. 天然气地球科学,2001,23(4):368-372.
- [3] 姜亮,王毅,金强. 东海盆地丽水西凹陷含油气系统与油气勘探目标[J]. 石油实验地质,2006,17(3):397-400.
- [4] 张升平,吕宝凤,夏斌,等. 东海盆地丽水—椒江凹陷构造转换带及其对油气藏形成和分布的意义[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):654.
- [5] 杨玉卿,田洪,刘大能,等. 东海陆架盆地丽水凹陷丽水 36-1 构造上古新统物源分析[J]. 古地理学报,2003,5(2):171.
- [6] 刘金水,廖宗廷,贾健谊. 东海陆架盆地地质结构及构造演化[J]. 上海地质,2003(3):1-6.
- [7] 姜亮,李保华,钟石兰,等. 东海陆架盆地台北坳陷月桂峰组生物地层及古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质,2004,24(1):38-40.
- [8] 付志方,王焕弟,邢卫新,等. 层序地层学研究现状及进展[J]. 勘探地球物理进展,2005,28(5):320-321.
- [9] 邓宏文, Cross T A, 王红亮,等. 高分辨率层序地层学:原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002:64-69.
- [10] 许怀大. 从地震地层学到层序地层学[M]. 北京:石油工业出版社,1997:49-58.
- [11] Lane H R, Frye M W, Couples G D. 生物序层——以生物地层学为基础的层序地层单位[J]. 微体古生物学报,1997,14(1):1-20.
- [12] 王丽顺,陈琳琳. 东海瓊江凹陷下第三系层序地层学研究[J]. 上海地质,1993,(4):13-18.
- [13] 朱红涛,史军, Liu Keyu, 等. 层序地层控制因素的多变量系统[J]. 油气地质与采收率,2008,15(4):5-9.
- [14] 刘丽娟,陈建文,张银国. 东海陆架盆地丽水凹陷古新统明月峰组层序地层模式[J]. 世界地质,2008,27(2):198-203.
- [15] 张胜利,夏斌. 丽水—椒江凹陷构造演化特征与油气聚集[J]. 天然气地球科学,2005,16(3):325-326.
- [16] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. The chronology of fluctuating sea level since the Triassic[J]. Science,1987,235:1156-1167.
- [17] 杨玉卿,田洪,姜亮,等. 丽水凹陷晚古新世海平面变化及有利储层分布预测[J]. 中国海上油气(地质),2003,17(1):69-72.

编辑:赵国宪

Division and Controlling Factors of Paleocene Sequence Strata in Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin

Zhang Yinguo, Ge Heping, Yang Yanqiu, Liang Jie

Abstract: According to the features of sequence boundary surfaces combined with drilling, logging, and seismic data, four 3rd sequences can be divided in the Palaeocene strata in Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin, which are corresponded respectively to lacustrine Yueguifeng (SQⅢ₁) and marine Lower Lingfeng (SQⅢ₂), Upper Lingfeng (SQⅢ₃) and Mingyuefeng (SQⅢ₄). Integrated analysis and comparison of the sequence have shown that the development of Palaeocene sequence mainly depends on tectonic subsidence and framework, sea-level change and sediment supply which directly influence on the styles of sediment filling in this region while the development of sequence is weakly influenced by climatic condition.

Key words: Paleocene; Sequence stratigraphy; Sequence division; Sedimentary cycle; Controlling factor; Lishui Sag; East China Sea Shelf Basin

Zhang Yinguo: male, M.S., Assistant Professor. Add: Key Laboratory of Marine Petroleum Resources and Environmental Geology, China National Ministry of Land and Resources, 62 Fuzhou Nan Rd., Qingdao, Shandong, 266071, China