

# 浙江省栖霞组沉积微相、韵律、沉积旋回 及层序地层学分析

何海清

(中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院, 北京 100083)

本文以沉积微相及生物生态分析为基础, 对研究区3条剖面栖霞组的沉积韵律、沉积旋回、沉积环境进行了研究, 并在此基础上分析了层序界面、沉积层序及各沉积体系域的沉积特征。认为研究区栖霞组总体形成于潮下低能开阔无障壁的碳酸盐缓坡沉积背景, 其中可识别出两类界面, 4个沉积层序, 根据界面特征及准层序叠加型式划分出海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)。

**关键词** 沉积微相 沉积旋回 层序地层学 碳酸盐岩 栖霞组

**作者简介** 何海清 男 30岁 工程师 沉积、大地构造和石油地质

## 0 前言

层序地层学原理自1977年由Exxon石油公司的Vail等人提出后, 80年代经Vail、Galloway、Sangree、Mitchum等、Van Wagnor等、Sarg、Hag及Loutit等众多学者的发展和完善, 已形成较完整的理论体系, 并在实际应用中获得巨大成功, 成为国内外地质界瞩目的一个研究热点, 但是碳酸盐岩层序地层学研究还相对薄弱, 有关沉积层序划分、海平面变化机制和不同相带间层序对比方面还存在不同认识。

研究区的栖霞组, 前人已做过许多古生物地层方面的工作, 但就沉积学和层序地层学的研究还尚未见报道。笔者以沉积微相、沉积韵律、沉积旋回及生物生态学等的研究为基础, 以露头层序地层学原理和方法为指导, 通过对研究区三条代表性剖面, 长兴煤山剖面、桐庐冷坞剖面和江山双塔底剖面(图1)的研究, 对研究区栖霞组沉积特征、层序地层及海平面变化得到了新的认识。



图1 研究区地理位置及剖面位置图

## 1 沉积微相、沉积韵律、沉积旋回及沉积环境

### 1.1 沉积微相

根据研究区栖霞组岩石中生物碎屑种类、含量及沉积结构和构造特征, 将栖霞组划分为7种微相类型:

A: 裸海松藻泥(微)晶灰岩, 以裸海松藻化石极为丰富为特点, 其次有蠕孔藻、米齐藻、海百合茎、腕足壳及刺、三叶虫壳、有孔虫、介形虫等, 生物碎屑一般较破碎, 生物扰动构造不发育, 不显层理。通过对藻类生态分析, 该微相形成于较平静的浅水环境中, 水深不超过10~15m(J. D. Milliman, 1977)。

B: 含生物碎屑泥晶灰岩, 含少量保存较好的生物碎屑, 而且藻屑并不占主导地位, 生物包括藻、有孔虫、介形虫等, 一般为中、薄层状。根据上述生物屑少、藻类不发育、有孔虫、介形虫为小壳化石等特征, 说明沉积水体较微相A稍深。

C: 水平纹层状生物碎屑灰岩, 藻类化石极少,

以介壳碎屑的定向斜排列为特点,生物碎屑主要为海百合茎、苔藓虫及腕足碎屑,次为有孔虫、三叶虫等,岩石中有机质含量普遍较高。该微相的一个显著特点是具腕足、苔藓虫、海百合生物组合,这在江山双塔底和桐庐冷坞都有发现,海百合数量较少,腕足为个体小、凹凸型、薄壳、营躺卧生活,一般壳薄,在 5mm 左右,壳长和壳宽在 10mm 左右的壳体为最多,壳小而薄反映低能环境;苔藓虫呈扇体状,在岩层断面上可延续数厘米,主要由窗格苔藓虫组成,保存完好,因而象苔藓虫这种容易破碎的生物能有这样良好的保存状况,无疑反映较静水环境。通过对该生物群组合生态分析表明其形成于水体温暖、温度正常、水质清洁、水体流动微弱、沉积速度较低的浅海陆架较深水沉积,其深度范围大至在 30~100m 间(沙庆安,1990)。

D: 纹理状钙质泥(页)岩及硅质泥(页)岩,黑色或灰黑色,常与微相 C 互层或夹有灰岩透镜体,生物化石较少,主要为小壳腕足及有孔虫等,同微相 C 一样形成于浅海陆架较深水环境。

E: 硅质岩类,栖霞灰岩中普遍含有燧石结核或团块及条带状燧石,另外存在薄层状硅质岩。燧石团块(方便起见用  $E_1$  表示)常与微相 A 一起出现,而条带状燧石(用  $E_2$  表示)随微相 C 或 B 出现。燧石团块或条带中生物特征与其相互的岩相相近。薄层状硅质岩(用  $E_3$  表示)在长兴煤山剖面发育,生物以含海百合茎、腕足、介形虫、有孔虫及硅质海绵骨针为特征,属浅海较深水环境沉积。

F: 生物碎屑微晶、亮晶灰岩,主要在长兴煤山和桐庐冷坞剖面见到,生物化石以有孔虫、海百合、腕足、三叶虫为主,其次有部分藻类及球粒等,为微晶-亮晶胶结,为高能浅滩环境沉积。

G: 生物建隆相,为海绵及珊瑚构成的点礁(patch reef)或生物丘体,在长兴、桐庐都有不同程度的发育。

上述 7 种微相可根据岩石中生物碎屑含量多少、生物碎屑门类及岩石构成特征进一步细分。

## 1.2 沉积韵律

在剖面上 7 种微相常相互叠置而形成韵律或组合,主要有 6 种:

(1)BA 韵律:由中薄层生物碎屑泥灰岩及厚层状裸海松藻灰岩组成,单个韵律层厚一般 0.5~2.5 m。

(2) $E_1$ BA 韵律:表现为中厚层状微相 A 与中薄

层状微相 B 及断续状分布的燧石团块之间的韵律沉积,单个韵律层厚一般 0.5~2.0m。

(3) $E_2$ B 韵律:存在有两种现象,即一种为微相 B 向上逐渐增厚的韵律,另一种为微相 B 向上逐渐变薄的韵律沉积,单个韵律层厚一般 20~50cm。

(4)CDE<sub>2</sub> 韵律:以微相 C 为主,微相 D、E<sub>2</sub> 为薄层或极薄层状,单个韵律层厚一般小于 20cm,表现为黑色或灰黑色及纹理状,可夹有泥灰岩透镜体。

(5)DE<sub>3</sub> 韵律:以薄层硅质岩为主,主要发育于长兴煤山剖面。

(6)AFG 组合:在长兴、桐庐剖面见到,由厚层微相 A 与浅滩生物亮(微)晶灰岩及生物建隆相组成。

## 1.3 沉积旋回

根据上述沉积韵律及组合在剖面上的发育特征,栖霞组总体可划分为两大沉积旋回,每个沉积旋回由以下 6 段组成(图 2):

$R_1$ : 黑色、灰黑色薄层钙、硅质泥(页)岩夹薄层灰岩或灰岩透镜体,以微相 C 发育为其特征,即相当于 CDE<sub>2</sub> 韵律。在长兴煤山剖面,该段由单纯的薄层硅质岩( $E_3$ )组成。

$R_2$ : 由中薄层状生物碎屑泥晶灰岩夹燧石条带组成,以  $E_2$ B 韵律发育为特征,而且表现为向上灰岩层增厚、燧石条带减少。

$R_3$ : 由中薄层或厚层状燧石灰岩组成,以  $E_1$ BA 韵律为特征,而且灰岩层向上逐渐变厚。

$R_4$ : 由中薄层状生物碎屑泥灰岩与厚层状裸海松藻泥灰岩组成,且以后者为主,相当于 BA 韵律沉积。

$R_4'$ : 由 AFG 组合构成,在长兴及桐庐剖面上部旋回的局部层段发育。

$R_5$ : 其组成同  $R_3$ ,但与  $R_3$  不同的是灰岩层向上逐渐变薄。

$R_6$ : 其组成同  $R_2$ ,但与  $R_2$  不同的是灰岩层向上减薄,燧石条带有增多现象。研究区所选剖面的沉积旋回特征分别见图 3、图 4 和图 5。

## 1.4 沉积环境

根据研究区 3 条剖面的微相、生物生态及沉积特征的分析,栖霞组沉积中缺乏高能浅滩相的鲕粒灰岩,生物化石以开阔海生物为特征,从裸海松藻广泛发育且破碎不强及苔藓虫等化石保存完好的状况来看,水体能量较弱,除长兴煤山及桐庐冷坞剖面局部层段存在高能成礁或浅滩环境外,总体属于潮下

	沉积韵律	沉积构造	生物化石类型	沉积环境
R <sub>6</sub>	由 E <sub>2</sub> B 韵律组成, 微相 B 向上逐渐减薄, 单个韵律层厚一般 20~50cm	中薄层状	藻类不占主导地位, 以小壳有孔虫、腕足等为特征	浅海较浅水陆棚环境
R <sub>5</sub>	由 E <sub>1</sub> BA 韵律组成, 微相 A 向上逐渐减薄, 单个韵律层厚一般 0.3~2.0m	中厚层状块状	以裸海松藻发育为特征	浅海较浅水陆棚环境
R <sub>4</sub>	由 BA 韵律组成, 单个韵律层厚一般 0.5~2.5m	中厚层状块状	以裸海松藻发育为特征	浅海较浅水陆棚环境
R' <sub>4</sub>	由 AFG 韵律组成, 见于长兴煤山及桐庐冷坞剖面	中厚层状块状	以发育海百合、有孔虫、翁格达藻等为特征	高能浅滩环境
R <sub>3</sub>	由 E <sub>1</sub> BA 韵律组成, 微相 A 向上逐渐增厚, 单个韵律层厚一般 0.5~2.0m	中薄层状	以裸海松藻发育为特征	浅海较浅水陆棚环境
R <sub>2</sub>	由 E <sub>1</sub> B 韵律组成, 微相 B 向上逐渐增厚, 单个韵律层厚一般 20~50cm	中厚层状块状	藻类不占主导地位, 以小壳有孔虫、腕足等为特征	浅海较浅水陆棚环境
R <sub>1</sub>	由 CDE <sub>2</sub> 韵律组成, 单个韵律层厚一般 20cm, 黑色或灰黑色	微细纹理状	以发育腕足、苔藓虫、海百合生物组合为特征	浅海较深水陆棚环境

图 2 研究区栖霞组沉积旋回模式图

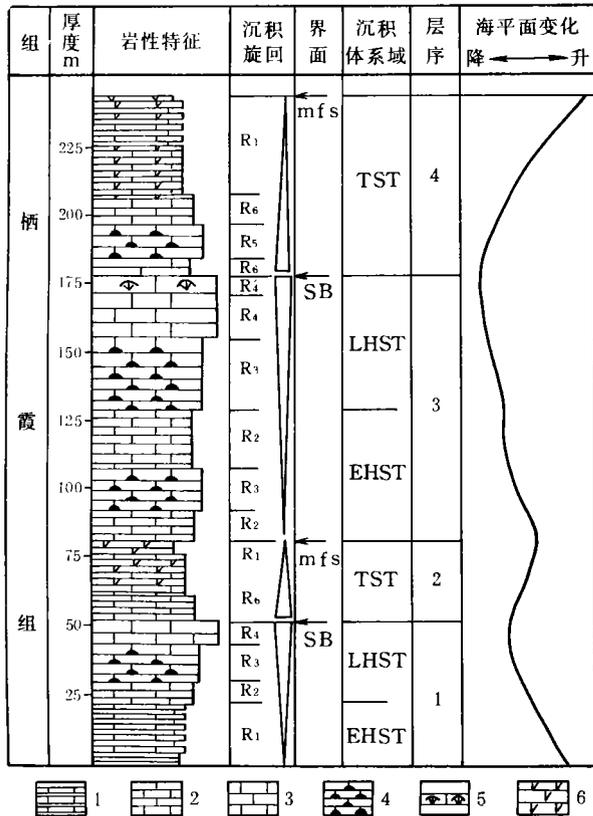


图 3 浙江省长兴煤山栖霞组沉积旋回、层序地层及海平面变化特征

1. 黑色、灰黑色微细层状钙、硅质泥(页)岩夹纹理状灰岩薄层及灰岩透镜体;
2. 中薄层状生屑灰岩;
3. 中厚层状生屑灰岩;
4. 含燧石团块或结核灰岩;
5. 生物格架岩;
6. 微细纹理状硅质岩

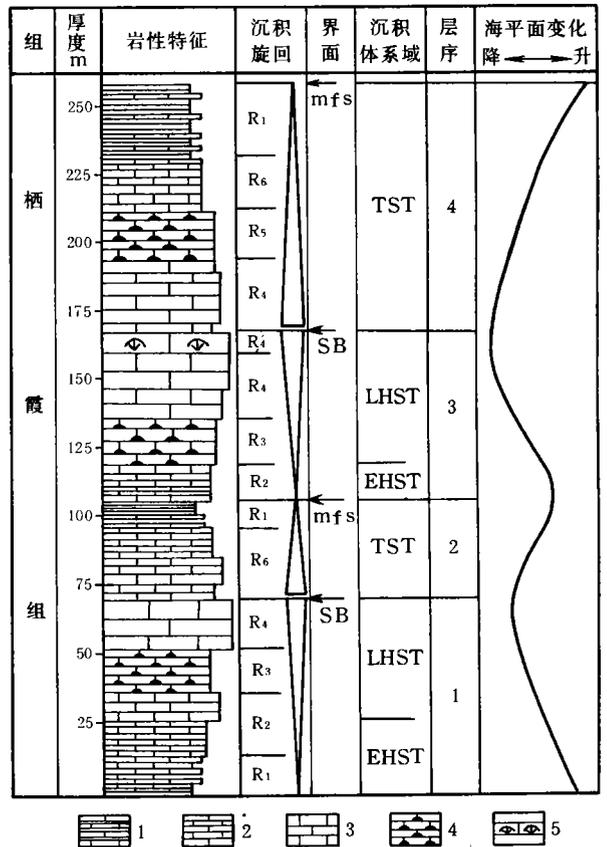


图 4 浙江省桐庐冷坞栖霞组沉积旋回、层序地层及海平面变化特征

1. 黑色、灰黑色微细层状钙、硅质泥(页)岩夹纹理状灰岩薄层及灰岩透镜体;
2. 中薄层状生屑灰岩;
3. 中厚层状生屑灰岩;
4. 含燧石团块或结核灰岩;
5. 生物格架岩;

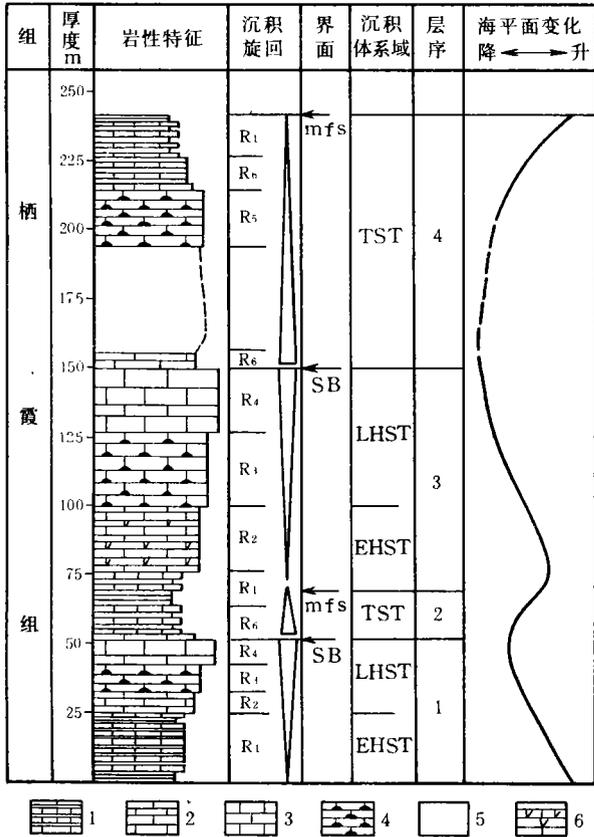


图5 浙江省江山双塔底栖霞组沉积旋回、层序地层及海平面变化特征

1. 黑色、灰黑色微细纹层状钙、硅质泥(页)岩夹纹层状灰岩薄层及灰岩透镜体; 2. 中薄层状生屑灰岩; 3. 中厚层状生屑灰岩; 4. 含燧石团块或结核灰岩; 5. 被掩岩; 地层; 6. 微细纹层状硅质岩夹纹层状灰岩薄层

低能开阔无障壁的浅海沉积环境。另据生物生态及组合分析,长兴剖面与另两个剖面相应层位相比,最具特色的是在局部层段出现了反映高能环境的翁格达藻及明显分布的亮晶灰岩,而整个剖面缺乏反映浅海较深水环境的腕足、苔藓虫、海百合生物组合;桐庐剖面藻类以裸海松藻为主,而无翁格达藻,剖面中存在腕足、苔藓虫、海百合组合,局部有少量微晶亮晶灰岩,说明沉积水体较长兴剖面稍深;江山剖面的最大特点是与另两个剖面相应层位相比,含有较多的保存完好的反映浅海较深水环境的腕足、苔藓虫、海百合生物组合,而且不存在其他两剖面都发育的生物建隆相,因而总体较长兴、桐庐剖面沉积水体要深,即有长兴—桐庐—江山沉积水体逐渐加深的规律,综合分析,研究区栖霞组形成于一向东南缓倾

斜的碳酸盐岩缓坡沉积背景(详细研究内容请见另文)。

## 2 层序地层分析

目前层序地层学有两种不同的倾向,以 Vail 为代表的沉积地层层序,将一个层序视为沉积于一个海平面升降变化期,并且以最大海泛面为中心,以不整合面为边界;而以 Galloway 为代表的成因地层学,主张幕式沉积作用,并以最大海泛面来分隔沉积幕,并以可对比界面为边界。这两种方法都考虑了沉积的旋回性,只是所选用的界面有所不同,因此两者之间在实际操作上是可以相通的。本文拟采用 Galloway 的层序分析方法,并从实际出发,根据微相、生物生态、沉积韵律和沉积旋回的分析对研究区栖霞组层序界面、沉积体系域进行分析,3条剖面的综合研究成果分别见图3、4、5。

### 2.1 层序界面的划分

关键性界面的研究被认为是层序地层学研究的重要环节,在浙江栖霞组沉积中可识别出两类界面:

**最大海泛面(mfs):**最大海泛面被认为是等时界面,在研究区栖霞组中有两个最大的海泛面,沉积物表现为黑色、灰黑色微细纹层状钙、硅质泥(页)岩夹纹层状灰岩薄层及灰岩透镜体(桐庐冷坞及江山双塔底剖面),或为微细纹层状薄层硅质岩(长兴煤山剖面),前者以富含腕足、苔藓虫、海百合生物组合为特征,生物化石保存完好;后者以含硅质海绵骨针、小壳腕足及有孔虫为特征,在碳酸盐缓坡沉积背景条件下,从缓坡较深水区的双塔底剖面微细纹层状钙、硅质泥(页)岩夹纹层状灰岩薄层及灰岩透镜体可追索至缓坡较浅水区长兴煤山剖面的微细纹层状薄层硅质岩。

**海侵面:**在碳酸盐缓坡沉积背景条件下,由于研究区栖霞组为潮下沉积环境,因而海侵面主要表现为岩性转换面,海侵面以上是一个退积型准层序组(parasequence set),反映在剖面上,准层序组表现为灰岩层逐渐变薄,藻类化石逐渐减少,而小壳腕足、有孔虫及腕足、苔藓虫、海百合生物组合逐渐出现、增多,代表海平面上升、水体加深和沉积欠补偿。

### 2.2 准层序的叠置形式和沉积体系域

根据传统的(exxonian)层序模式,完整的层序由低水位体系域(LST)或陆架边缘体系域(SMST)、海侵体系域(TST)和高水位体系域

(HST)3部分组成,但在碳酸盐缓坡层序模式中往往只见到海侵体系域和高水位体系域。

分析研究区栖霞组层序的准层序叠加型式与沉积体系域的关系,我们看到有这样的规律(图6):

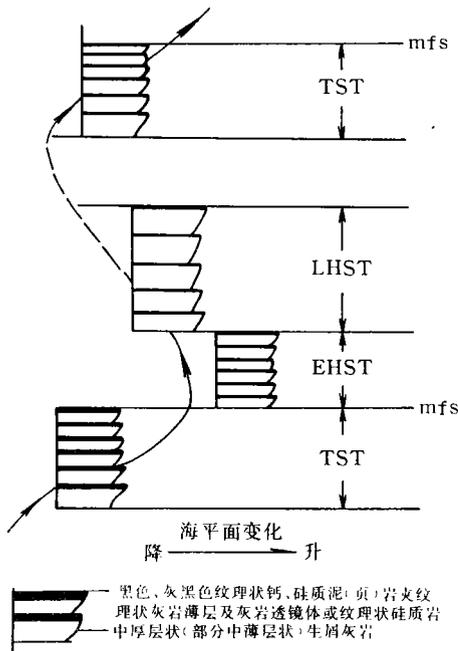


图6 研究区栖霞组准层序叠加型式与体系域关系示意图

①高水位体系域,根据准层序叠加型式又可分为早期高水位阶段(EHST)和晚期高水位阶段(LHST),EHST主要表现为仍以中薄层泥灰岩为主,但可容空间已不再增加;LHST表现为准层序厚度明显变厚,中厚层及厚层状裸海松藻灰岩占主导地位。总之,高水位体系域准层序表现为向上变厚的趋势,即潮下较浅水裸海松藻灰岩越来越发育,而中薄层状泥灰岩越来越少且越来越薄,反映沉积水体逐渐变浅,藻类大量繁殖,从而造成藻灰岩大量发育,沉积速度加大。

②海侵体系域,准层序表现为向上变薄的趋势,即裸海松藻灰岩向上逐渐减少减薄,而中薄层的泥灰岩越来越多,且同时出现了反映浅海较深水的黑色、灰黑色微细纹层状钙、硅质泥(頁)岩夹纹理状灰岩薄层及灰岩透镜体沉积,生物特征表现为向上藻类化石越来越少,而以代表缓坡较深水相的腕足、苔藓虫、海百合生物组合越来越多,生物化石的保存状况愈加完好,有机质含量增加,反映水体逐渐加深,可容空间增加,沉积欠补偿,为一退积型准层序叠加型式。

### 3 结语

在露头层序地层工作中详实的剖面研究是十分重要的,本文旨在以所选3条剖面的研究为基础。以沉积微相-沉积韵律-沉积旋回-沉积环境-准层序(组)-沉积体系域的研究为主线,结合层序界面的识别和研究,分析了浙江省栖霞组的沉积及层序地层特征。通过上述系统的研究得出了以下认识:

(1)浙江省栖霞组除在长兴和桐庐地区局部层位在高能成礁或浅滩环境外,总体属于潮下低能环境产物,同沉积期不存在地理屏障,与广海具有较好的连通性,形成于碳酸盐缓坡沉积背景。

(2)栖霞组沉积可划分为两个大的沉积旋回,每个沉积旋回由6个韵律沉积或组合有机组成的6段沉积所构成。

(3)浙江地区栖霞组由4个层序组成,分别代表4个沉积体系域。

(4)以最大海泛面和可对比的海侵面将栖霞组划分为海侵体系域和高水位体系域,高水位体系域以向上裸海松藻灰岩的增多增厚及中薄层泥灰岩的减少减薄为特征,海侵体系域则以向上裸海松藻灰岩的减少减薄和中薄层泥灰岩的增多及出现黑色、灰黑色微细纹层状钙、硅质泥(頁)岩夹纹理状灰岩薄层及灰岩透镜体沉积为特征。

### 参 考 文 献

- 1 Haq B U *et al.* Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Cycles of Sea-level Change. In: Wilgus C K *et al.* eds. Sea-level Changes: an Integrated Approach. Society of Economic Paleontologists and mineralogists Special Publication 1988, 42: 71~108
- 2 Galloway W E. Genetic Stratigraphic Sequence in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of Flooding—Surface Bounded Depositional Unites. AAPG, 1989, 73(2): 125~143
- 3 Vail P R *et al.* Seismic Stratigraphy and Global Change of Sea-level. In: Payton C E. ed. Seismic Stratigraphy—Application to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 1977, 26: 51~97
- 4 Van Wagoner J C *et al.* An Overview of the Fundamentals of Sequence Stratigraphy and Key Definitions. In: Wilgus C K *et al.* eds. Sea-level Changes: an Integrated Approach. Society of Economic Paleontologists and mineralogists Special Publication 1988, 42: 125~154
- 5 Tucker M E, Wilson J I, Crevello P D, Sarg J R, Read J F. Carbonate Platform Facies, Sequence and Evolution. Special Publication No. 9 of the International Association of Sedimentologists. 1990, Blackwell Scientific Publication.
- 6 薛良清. 层序地层学研究现状、方法与前景. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 8~13
- 7 沙庆安, 吴望始, 傅家谟主编. 黔桂地区二叠系综合研究—兼论含油气性. 北京: 科学出版社, 1990
- 8 陈中强. 高分辨率层序地层学的研究基础—准层序的识别. 地层学杂志, 1995, 19(1): 36~46
- 9 刘本培, 李儒峰, 尤德宏. 黔南独山石炭系层序地层及麦娅带冰川型全球海平面变化. 地球科学—中国地质大学学报, 1994, 19(5): 553~564

10 杨万容,江纳言,屈永隆. 浙江长兴栖霞组长兴灰岩及其含油性.

石油与天然气地质,1981,2(1):299~313

(收稿日期:1996年4月15日)

## DEPOSITIONAL MICROFACTES, RHYTHMS, CYCLES AND SEQUENCE STRATIGRAPHY OF QIXIA FORMATION IN ZHEJIANG PROVINCE, CHINA

He Haiqing

*(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)*

### Abstract

Based on the sedimentary microfacies and bioecologic analysis for the Qixia Formation of three sections in studied area, this paper summarized the depositional rhythms, cycles and sedimentary environment of Qixia Formation, and further analysed the characteristics of sequence boundary and depositional system tract. The results suggest that Qixia Formation in the study area was on the whole formed in a depositional setting of carbonate gradual slope that was subtidal, low-energi ed, open and non-barrier; and moreover two kinds of sequence boundaries and four sequences are recognized in Qixia Formation. According to the characteristics of sequence boundary and the stacking type of parasequences, it is divided into a transgressive system tract (TST) and a highstand system tract (HST).