

文章编号: 1000-0550(2012)01-0065-08

# 金湖凹陷西斜坡阜二段湖相碳酸盐岩沉积模式研究

刘金华<sup>1,2</sup> 唐建东<sup>3</sup> 钟思瑛<sup>1</sup> 姚富来<sup>1</sup> 葛政俊<sup>1</sup>

(1. 江苏油田地质科学研究所 江苏扬州 225012;

2. 江苏油田博士后流动工作站 江苏扬州 225012; 3. 江苏油田开发处 江苏扬州 225012)

**摘要** 前人对金湖凹陷西斜坡地区阜宁组阜二段湖相碳酸盐岩地层的成因认识不统一,因而本次研究以该层碳酸盐岩沉积相为重点,通过对研究区碳酸盐岩的成分组成、虫管保存程度、地层厚度分布规律、泥晶灰岩等的研究,提出研究区发育一套碳酸盐岩坪沉积体系。碳酸盐岩坪是一套静水环境下的泥晶灰岩和生物碎屑灰岩为主体的沉积体系,包含碳酸盐岩席、碳酸盐岩坝、碳酸盐岩滩以及泥坪四种微相。平面上在研究区西部水体较浅,水体动力较强,发育碳酸盐岩滩、坝相,东部水体较深,水动力较弱,发育碳酸盐岩席。并在全面研究基础上提出了碳酸盐岩坪沉积体系的沉积模式。

**关键词** 金湖凹陷 阜二段 碳酸盐岩 沉积相 湖泊相

**第一作者简介** 刘金华 男 1981年出生 石油地质学 E-mail: liujinhua@joeco.com.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 引言

湖相碳酸盐岩油气储层的研究从20世纪80年代开始,至今已有30余年的历史。前人对国内四川盆地侏罗系大安寨组、华北盆地济阳拗陷下第三系纯化镇组、黄骅拗陷下第三系沙河街组、松辽盆地下白垩统等多个区域存在的碳酸盐岩均进行了详细研究,湖相碳酸盐岩主要以生物礁和碳酸盐岩滩坝相为主<sup>[1-4]</sup>。金湖凹陷西斜坡地区阜宁组阜二段地层湖相碳酸盐岩是一套较好的油气储层,前人对此地层成因的研究多认为是滨浅湖中的碳酸盐岩滩坝相沉积,但是本次研究中通过对大量取芯资料和测井、录井等资料的分析,发现存在碳酸盐岩分布稳定,厚度变化不大,生物碎屑灰岩内部生物介壳保存完好等现象与碳酸盐岩滩坝相存在较大分歧,因而提出一种碳酸盐岩坪沉积体系发育模式。为下一步油田的勘探开发提供了新的地质依据,对油气的勘探和开发具有重要的研究意义。

## 1 区域地质概况

金湖凹陷位于苏北盆地东台拗陷西部,为晚白垩世发育起来的南断北超的箕状凹陷。北起建湖隆起,南至天长凸起,西邻张八岭隆起,东与菱塘桥—柳堡低凸起相连,面积约5 000 km<sup>2</sup>(图1)。金湖凹陷西

斜坡则是指三河、汉涧次凹的西部斜坡带,西连建湖隆起,南邻张八岭隆起,斜坡整体呈西抬东倾,走向北东,地理上跨江苏、安徽两省,总面积约1 500 km<sup>2</sup>(图1)<sup>[5-9]</sup>。

研究区阜宁组的地层与下伏泰州组呈假整合—整合接触,与上覆戴南组呈假整合接触,根据大套岩性组合自下而上称之为阜一段、阜二段、阜三段和阜四段。阜二段地层是阜一段沉积末的最大水进的开始,阜二段自上而下形成三个亚段:第一亚段( $E_1f_1^1$ )称“泥脖子”、“四尖峰”和“七尖峰”段,为暗色泥岩段,厚60~120 m,是一套生油岩。第二亚段( $E_1f_1^2$ )称为“碳酸盐岩层”,为生物碎屑灰岩与灰质泥岩互层,其中包含云灰岩、生物灰岩、粉砂质泥岩等,也是一套生油岩,厚10~30 m;第三亚段( $E_1f_1^3$ )称“山字型”段,为砂、泥岩互层夹少量生物灰岩段,厚60~80 m,是金湖凹陷的主要油气储层。本次研究的目的是层段就是第二亚段( $E_1f_1^2$ )“碳酸盐岩层”。

## 2 碳酸盐岩岩石学及组构特征

湖相碳酸盐岩由碳酸盐岩颗粒和灰泥等沉积物组成,经成岩作用以一定的方式固结为不同的岩石类型。碳酸盐岩的岩石学及其组构特征是碳酸盐岩判别沉积环境的重要依据。本次研究从组成岩石的颗粒、基质和胶结物等方面进行分析。

收稿日期: 2011-01-14; 收修改稿日期: 2011-04-12

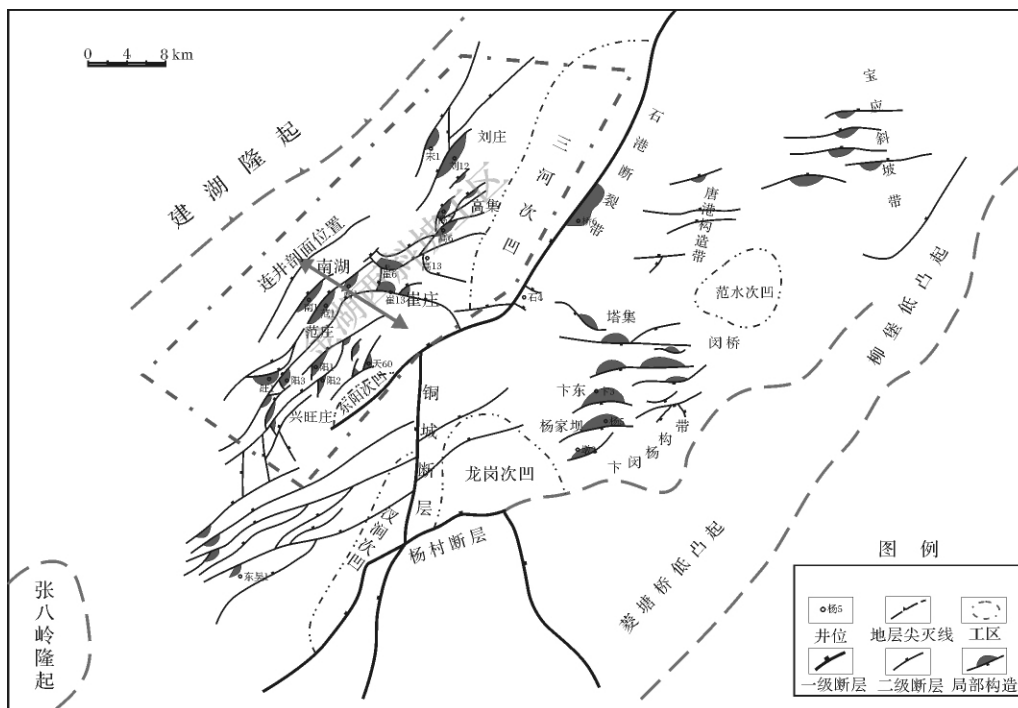


图1 苏北盆地金湖凹陷西斜坡工区位置图

Fig. 1 The positions of the west slope of Jinhu Sag, Subei Basin

## 2.1 颗粒特征

在研究区内的碳酸盐岩按常规分析方法,借鉴前人的研究成果基础上,对存在的内碎屑、生物屑、鲕粒和团粒的基本特征进行了分析。

### (1) 内碎屑

内碎屑是主要指砾屑、砂屑和粉屑。砾屑是先成岩石(或半固结—准固结的沉积物)再破碎的产物<sup>[10]</sup>,故其内部结构必然受先成岩石、先成沉积物类型的制约,常见岩类有泥晶砾屑灰岩、含砾屑粉晶灰岩、砾屑虫管灰岩等。

研究区内砾屑大小不一,粒径为2~15 mm,形态多变,分选性差,圆度为次棱—次圆;砾屑含量7%~65%,主要由泥晶方解石、白云石组成,具有泥晶结构和含颗粒泥晶结构,砾屑间充填物为泥晶方解石、白云石或鲕粒。

砂屑在本区分布广泛,含量5%~55%,主要成分为泥晶方解石、其次为白云石,形态不规则(图版-1),分选、圆度较差,粒径0.1~0.2 mm,砂屑间为泥晶方解石、少量泥晶白云石或陆源碎屑充填,多具泥晶结构,常与砾屑或其它颗粒伴生。常见岩类有泥晶砂屑含泥质灰岩,灰色亮晶砂屑藻含云质灰岩、砂屑泥晶云灰岩等。

### (2) 生物屑

生物屑主要有虫管、藻、管孔藻、藻叠层,其次有介形虫、介壳及腹足类<sup>[11,12]</sup>。生物种属比较单一,但生物屑含量比较高,变化大,含量1%~80%。

碳酸盐岩中虫管生物屑含量30%~70%。虫管多保存较好,多呈簇状分布,偶见平行层理分布,具有一定方向性。虫管内充填亮晶方解石、粉屑;管壁多粘结着球粒或粉屑,使管壳表面呈瘤状(图版I-1);有的虫管外被藻包覆,使管壁形成增厚环。虫管直径0.5~2.5 mm,具有生物骨架结构。伴生颗粒有砾屑、砂屑以及藻屑等。虫管屑间多为泥晶方解石充填,偶有被亮晶方解石充填。常见岩类为泥晶虫管灰岩、虫管泥晶灰云岩、亮晶虫管灰云岩或虫管亮晶灰云岩。

碳酸盐岩中藻或藻屑较为发育,含量3%~85%,具有层纹同心纹层及辐射条纹结构。色暗、透明,由泥晶方解石、白云石组成夹有少量泥质。形态有半球状、波状或小型单体柱状等。

### (3) 鲕粒

鲕粒是我本区碳酸盐岩中的重要颗粒,含量1%~70%,常见鲕粒有藻鲕、正常鲕、负鲕、复鲕、结晶鲕和变形鲕(图版I-2)。

### (4) 团粒

本区岩层中团粒含量变化较大,变化范围5%~

45%。形态各异,大小0.06~2 mm不等,圆度、分选较差,由粉砂级或泥晶方解石、白云石组成,色暗,圆度和分选性好。

## 2.2 泥晶基质与亮晶胶结物

泥晶是本区碳酸盐岩中颗粒之间常见的填隙物,其含量变化可在0~100%之间,主要由泥晶方解石、其次为泥晶白云石,局部重结晶呈块状或条带状分布。

泥晶和颗粒是同时沉积的,它的存在与否或含量多少,是衡量沉积时水体能量的指标。灰泥(即泥晶)是低能环境的产物,与其共存的颗粒亦为低能颗粒。

亮晶胶结物是在颗粒沉积之后,由颗粒间的粒间水以化学沉淀的方式形成的,其特点是干净明亮,它是成岩期的产物。本区亮晶胶结物一般具有一世代、二世代胶结结构,亮晶胶结物含量0~40%,主要由亮晶方解石,次为白云石组成,一般基质含量大于亮晶胶结物含量。

## 3 沉积特征及沉积模式

通过岩芯观察、分析化验、单井相等研究,金湖凹陷西斜坡阜二段第二亚段( $E_{1f_2}$ )主要发育碳酸盐岩地层,该层碳酸盐岩沉积为半咸水环境下沉积的一套生物灰岩为主,泥晶灰岩为辅的沉积物,该碳酸盐岩地层具有如下特征:①地层中虫管的保存完好,大多数地区虫管无任何破损。②地层发育厚度分布规律性强,厚度变化小,无明显坝体特征。③碳酸盐岩地层发育广泛,全区分布,分布面积广,也与滩坝相不符。④泥晶灰岩全区分布,含量普遍较高,在较强水动力环境下很难沉积。鉴于此,本次研究认为该区目的层的沉积成因为碳酸盐岩坪沉积;并且目的层中的蠕虫状虫管化石,经中国科学院南京地质古生物研究所俞昌民、王惠基(1976)研究,确定为环节动物门多

毛纲隐居亚纲的栖管化石。现代栖管多毛纲均营栖生活,主要生活于近岸滨海到水下60 m左右深处。因而可以说工区阜二段碳酸盐岩沉积时水体环境应较深。

本次研究中提出工区沉积了一套碳酸盐岩坪沉积体系,碳酸盐岩坪是一套在盆地斜坡带发育,发育于湖泊中滨湖和浅湖地区的一套碳酸盐岩沉积,包含碳酸盐岩席、碳酸盐岩坝、碳酸盐岩滩以及泥坪四种微相的沉积体系(图2),属于静水环境下的泥晶灰岩和生物碎屑灰岩为主体的沉积体系。

碳酸盐岩坝:该微相发育于工区边缘,受湖浪作用明显,厚度大,为15~40 m,以泥晶灰岩与生物碎屑灰岩伴生为主,多处可见波浪作用形成的破碎生物介壳(图3,图版I-3,图版I-4)。

碳酸盐岩滩:与碳酸盐岩坝发育同一位置,只是厚度上较小,纵向上分布于厚层的碳酸盐岩坝之间的薄层碳酸盐岩,分布相对稳定,也以泥晶灰岩与生物碎屑灰岩伴生为主(图版I-5,图版I-6),生物碎屑也多见破碎或水动力改造现象。

碳酸盐岩席:分布于高集—崔庄等水体较深区域,以生物灰岩为主,生物介壳保存完好,成层分布,一般与灰黑色泥岩或页岩伴生(图3,图版I-7,图版I-8),碳酸盐岩滩与碳酸盐岩席虽然均为薄层碳酸盐岩,但是其发育环境的水体深度不同,导致的生物碎屑的保存程度以及含有的泥质颜色均有所不同。

从岩芯观察中可以看出,在 $E_{1f_2}$ 砂岩沉积后沉积了碳酸盐岩,继而是半深湖相灰黑色泥岩、泥页岩沉积,形成一套典型的水体由浅变深,由强水动力到弱水动力的典型地层。碳酸盐岩沉积环境位于砂岩与灰黑色泥岩之间,其沉积环境应为水动力介于半深湖的静水环境和砂岩的强水动力环境之间,属于静水—弱水动力沉积。

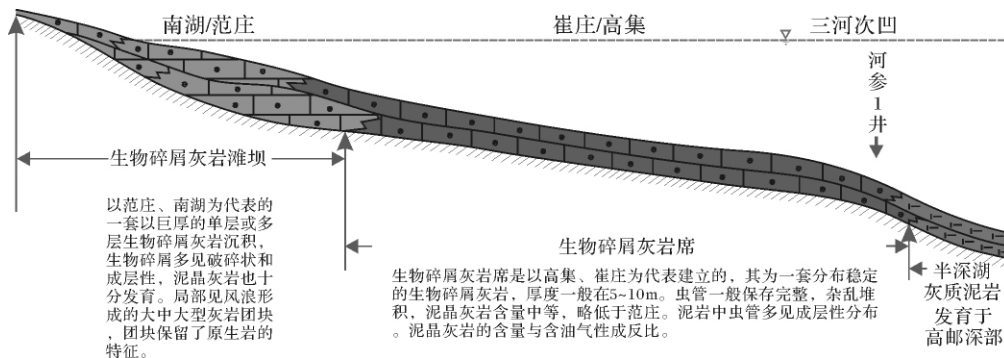


图2 碳酸盐岩坪沉积体系相模式图

Fig. 2 The model of the carbonate terrace sedimentary system

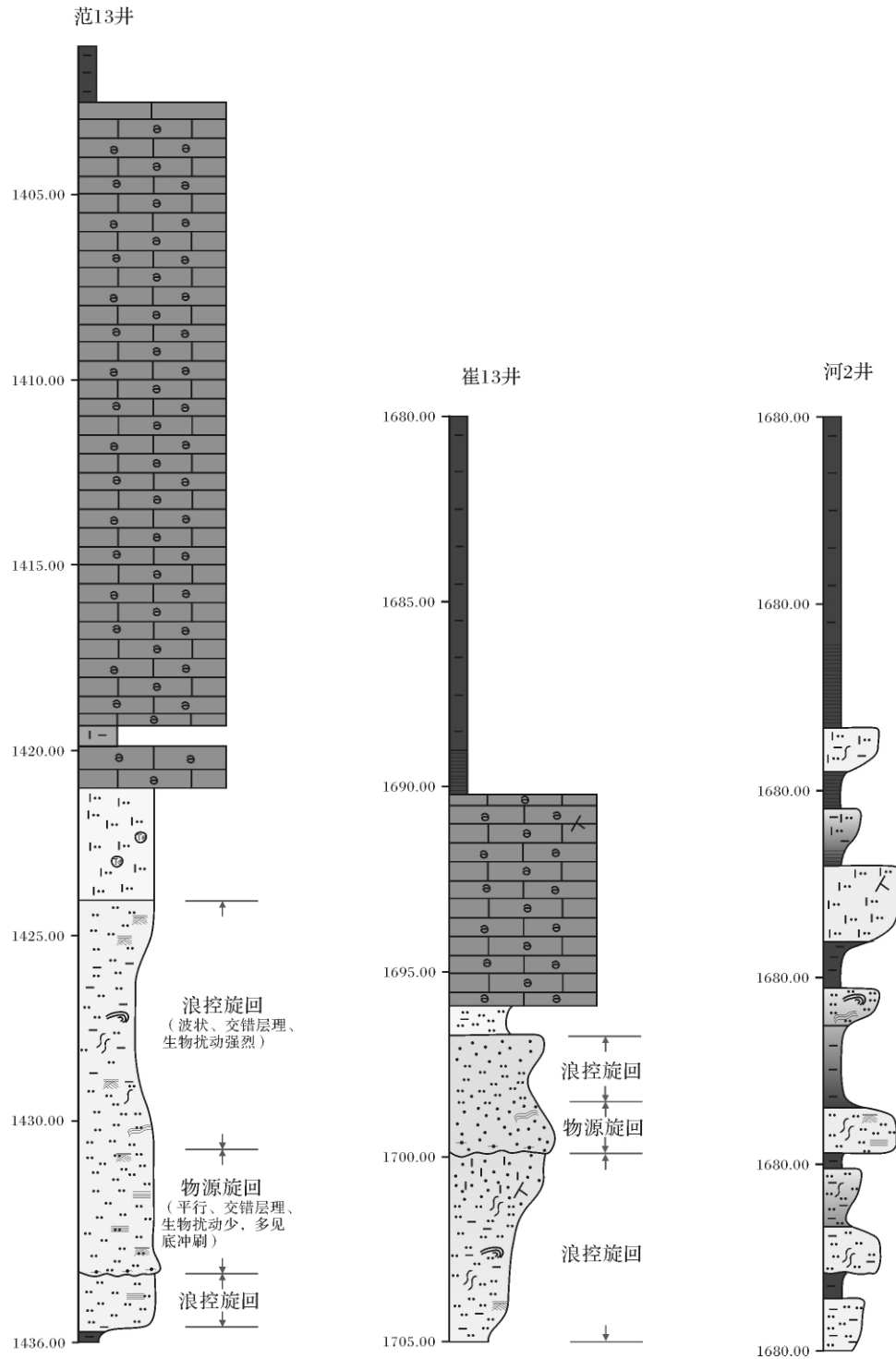


图3 碳酸盐岩坪沉积体系相序

Fig. 3 The facies sequence of the carbonate terrace depositional system

### 4 沉积相展布及演化

从剖面和平面上分析,研究区内碳酸盐岩坪沉积体系发育地层厚度不大,较大厚度位于南湖—范庄地区,最大厚度约40 m,从斜坡西缘向东南部地层逐渐

变薄(图4),地层中碳酸盐岩得相对含量也逐渐变低,到河参1井等井区出现了无碳酸岩盐发育区,这种分布特征主要受到湖水深度和水动力环境控制,沉积相带的分布与古构造相匹配。

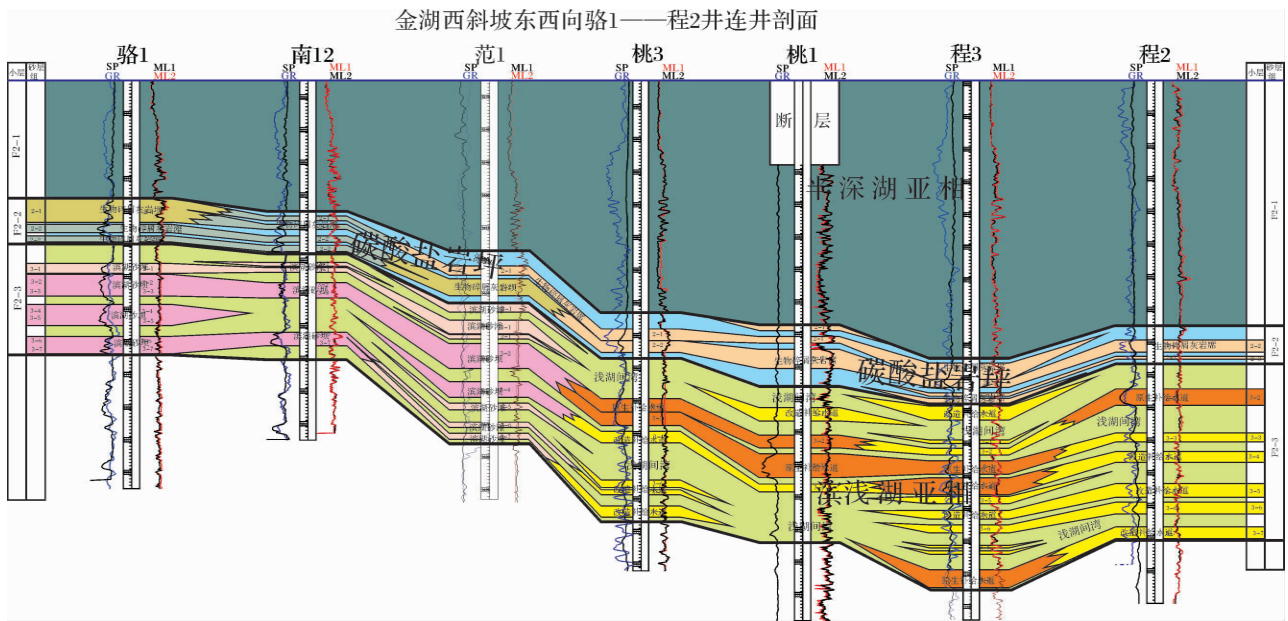


图 4 金湖西斜坡东西向连井剖面相

Fig. 4 The sedimentary facies of the east-west well tie profile in the west slope of Jinhu Sag

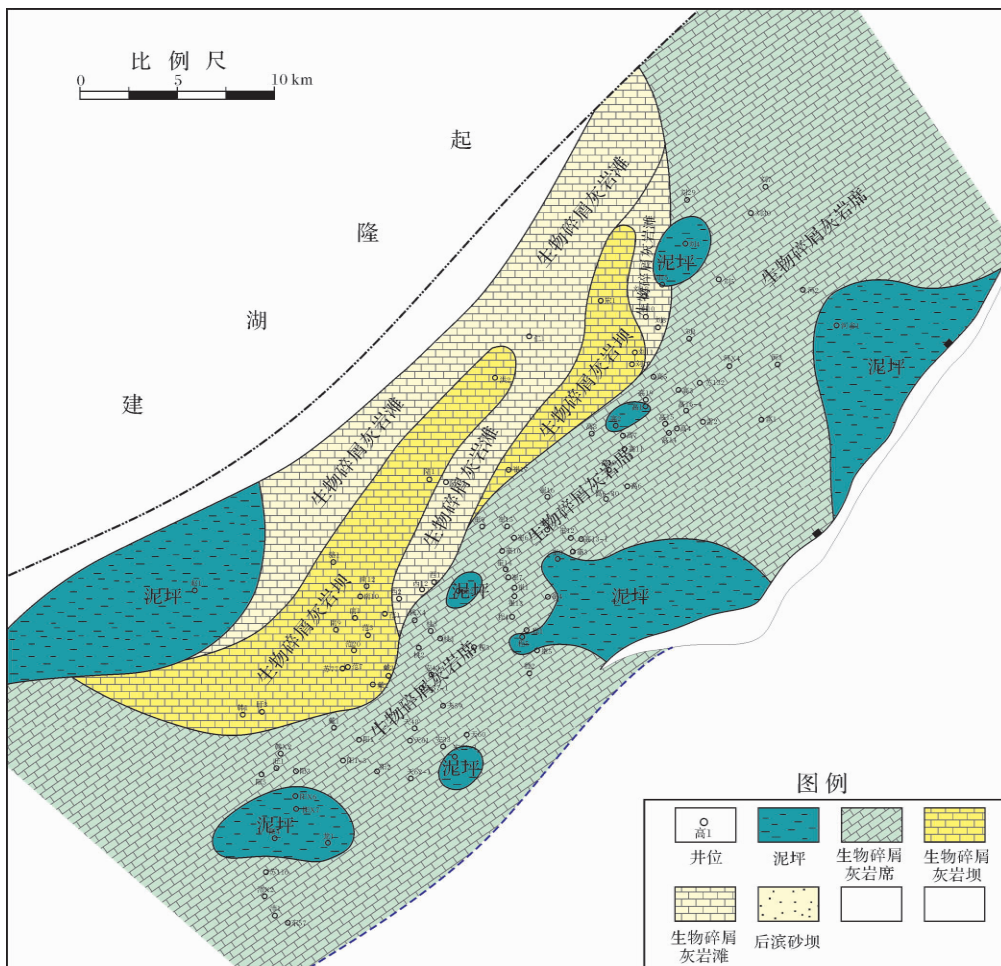


图 5 金湖凹陷西斜坡  $E_{1J_2}^{2-2}$  小层沉积相平面图

Fig. 5 The sedimentary planimetric map of the  $E_{1J_2}^{2-2}$  sublayer in the west slope of Jinhu Sag

金湖凹陷西斜坡地区阜宁组阜二段二砂组碳酸盐岩地层主要发育三套碳酸盐岩沉积,因而将二砂组划分为三个小层,从下而上分别为  $E_1f_2^{2-3}$ 、 $E_1f_2^{2-2}$ 、 $E_1f_2^{2-1}$  小层(后文中简称 3、2、1 小层)。下边针对 2 小层的具体情况对工区沉积相平面分布进行分析。

在 2 小层中,范 7 井—南 1 井—陆 1 井—洪 2 井—崔 17 井—宋 1 井两个区域主要发育碳酸盐岩滩坝,形成了两个与湖岸线成一定角度的坝体,西 1 井—陆 2 井—仁 1 井、刘 8 井—刘 10 井一线发育碳酸盐岩滩。从研究区南部的阳 3 井到中部的崔 7 井,再到北部的高 6 井、高 3 井的大片地区发育碳酸盐岩席微相,仅在南部的阳 X7 井周围、崔 4 井东部、河参 1 井东部等地区发育泥坪微相沉积(图 5)。从平面上分析,沉积相的分布基本符合了西部水体较浅,水体动力较强,发育碳酸盐岩滩坝相,东部水体较深,水体动力较弱,发育碳酸盐岩席,这与单井和剖面上的认识也是相符的。

从纵向上看,3 小层是碳酸盐岩刚刚开始沉积的地层,碳酸盐岩分布局限,仅在崔庄和高集等区域的局部发育,厚度薄,泥晶灰岩发育,说明当时的水体盐度相对较低,不利于大规模碳酸盐岩的沉积。1 小层与 2 小层的碳酸盐岩发育规模相似,全区分布;从厚度看,2 小层比 1 小层大。整体分析,研究区阜二段二砂组地层碳酸盐岩从 3 小层开始沉积,到 2 小层达到沉积高峰,1 小层又开始减退,从而形成了一套完整的湖相碳酸盐岩沉积体系。

## 5 结论

(1) 研究区碳酸盐岩的组成以内碎屑和生物碎屑两种颗粒为主,含少量的鲕粒和团粒,颗粒的含量不同,区域差异巨大,不同层位也有较大差异,基质为泥晶基质,胶结物多为亮晶胶结物。

(2) 阜二段碳酸盐岩地层中虫管的保存完好,地层发育厚度分布规律性强,厚度变化小,泥晶灰岩全区分布;本次研究中提出研究区发育一套碳酸盐岩坪沉积体系,碳酸盐岩坪是一套静水环境下的泥晶灰岩和生物碎屑灰岩为主体的沉积体系,包含碳酸盐岩席、碳酸盐岩坝、碳酸盐岩滩以及泥坪四种微相。

(3) 研究区阜二段二砂组平面上在西部水体较浅,水体动力较强,发育碳酸盐岩滩坝相,东部水体较深,水体动力较弱,发育碳酸盐岩席;纵向上碳酸盐岩地层从  $E_1f_2^{2-3}$  小层开始沉积,到  $E_1f_2^{2-2}$  小层达到沉积高峰, $E_1f_2^{2-1}$  小层又开始减退,从而形成了一套完整的

湖相碳酸盐岩沉积体系。

## 参考文献(References)

- 冯增昭,王英华,刘焕杰,等. 中国沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,1994: 153-175 [Feng Zengzhao, Wang Yinghua, Liu Huanjie, et al. Sedimentology of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 153-175]
- 宋华颖,伊海生,范爱春,等. 柴达木盆地西部西岔沟剖面湖相碳酸盐岩岩石学特征与沉积环境分析[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 117-126 [Song Huanying, Yi Haisheng, Fan Aichun. Petrology and sedimentary environments of lacustrine carbonate rocks in the Xichagou Section, western Qaidam Basin [J]. Geology in China, 2010, 37(1): 117-126]
- 王洪宝,王书宝,李勇,等. 东辛油田沙一段碳酸盐岩储集层研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 38-43 [Wang Hongbao, Wang Shubao, Li Yong, et al. Carbonate reservoir of the Oligocene Member 1, Shahejie Formation, Dongxin Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 38-43]
- 夏青松,田景春,倪新锋. 湖相碳酸盐岩研究现状及意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(1): 105-112 [Xia Qingsong, Tian Jingchun, Ni Xinfeng. Lacustrine carbonate rocks in China: An overview [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(1): 105-112]
- 高炎,李维锋,施小荣. 金湖凹陷范庄油田阜宁组层序划分及沉积相分析[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(5): 225-227 [Gao Yan, Li Weifeng, Shi Xiaorong. The division of sequence and the analysis of the sedimentary facies in Fanzhuang Oilfield of Jinhu Depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(5): 225-227]
- 张金亮,司学强,林辉. 金湖凹陷阜三段沉积相分析[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 535-539 [Zhang Jinliang, Si Xueqiang, Lin Hui. Sedimentary facies analysis of the 3<sup>rd</sup> Member of the Funing Formation in the Jinhu Depression [J]. Periodical of Ocean University of China, 36(4): 535-539]
- 冀国盛,戴俊生,马欣本,等. 金湖凹陷闵北地区阜一、二段火山岩地层划分与对比[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(4): 5-8 [Ji Guosheng, Dai Junsheng, Ma Xinben, et al. Stratigraphic classification and correlation of volcanic rock in first and second segments of Funing Group in Jinhu Sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2002, 26(4): 5-8]
- 王伟锋,杨少春,金强,等. 金湖凹陷西园地区阜宁组二段储层的微观特征[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 1996, 20(5): 12-16 [Wang Weifeng, Yang Shaochun, Jin Qiang, et al. Reservoir microcharacteristics of Member II in Funing Formation at Xiyuan area of Jinhu Sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1996, 20(5): 12-16]
- 居春荣,黄杏珍,闫存凤,等. 湖相碳酸盐岩在建立苏北盆地第三系层序地层格架中的作用[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 113-121 [Ju Chunrong, Huang Xingzhen, Yan Chunfen, et al. Role of lacustrine carbonate rock in establishment of sequence stratigraphy framework of Lower Tertiary in Subei Basin [J]. Acta Sedimentologica Sini-

- ca, 2005, 23(1): 113-121]
- 10 杨剑萍, 杨君, 邓爱居, 等. 河北饶阳凹陷中央隆起带古近系沙三段上部碳酸盐岩沉积模式研究 [J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 682-687 [Yang Jianping, Yang Jun, Deng Aiju, et al. Carbonate rock facies model of the upper third member of Shahejie Formation of Paleogene in the central uplift belt of Raoyang Depression, Hebei province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 682-687]
- 11 曹来圣, 喻林, 英紫娟, 等. 辽西凹陷沙四段湖相碳酸盐岩沉积模式及储层预测效果 [J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(6): 733-738 [Cao Laisheng, Yu Lin, Ying Zijuan, et al. Sedimentary pattern and reservoir prediction effects for lacustrine carbonate in No. 4 of Shahejie Formation, Liaoxi Depression [J]. Oil Geophysics Prospection, 2009, 44(6): 733-738]
- 12 陈登辉, 巩恩普, 梁俊红, 等. 辽西下白垩统义县组湖相碳酸盐岩及其沉积环境研究 [J]. 地质论评, 2009, 55(6): 897-904 [Chen Denghui, Gong Enpu, Liang Junhong, et al. The lacustrine carbonates and their sedimentary environment of lower Cretaceous Yixian Formation in Western Liaoning [J]. Geological Review, 2009, 55(6): 897-904]

## Sedimentary Model of Lacustrine Carbonate Rock in the Second Member of Funing Formation, the West Slope of Jinhu Sag

LIU Jin-hua<sup>1 2</sup> TANG Jian-dong<sup>3</sup> ZHONG Si-ying<sup>1</sup> YAO Fu-lai<sup>1</sup> GE Zheng-jun<sup>1</sup>

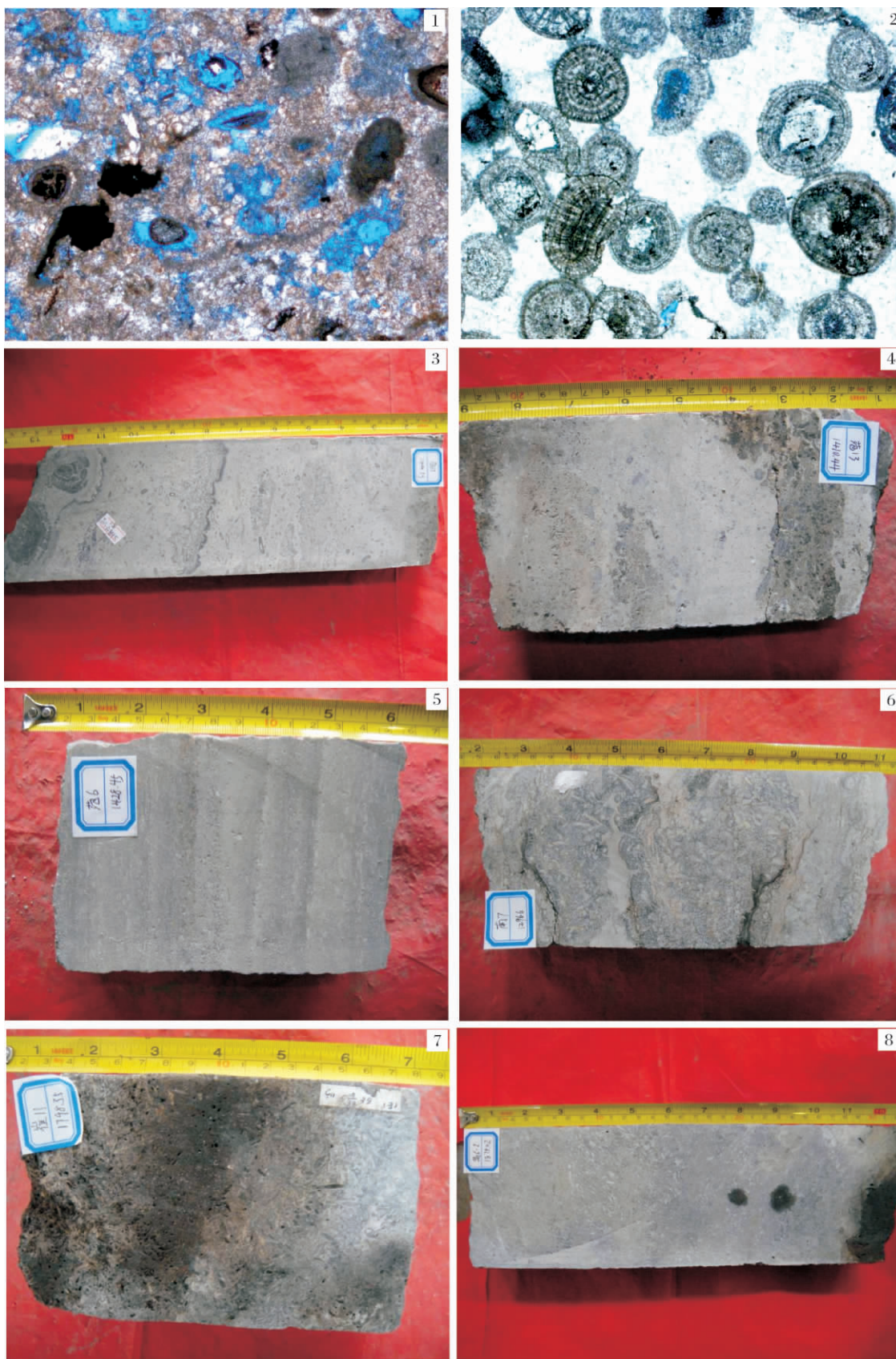
(1. Geology Research Institute, Jiangsu Oilfield, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225012;

2. Mobile Post-doctoral Center, Jiangsu Oilfield, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225012;

3. The Exploration and Development Department of Jiangsu Oilfield Branch Company, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225012)

**Abstract:** The recognition of carbonate origin in lake facies of the second Member of Funing Formation, the west slope of Jinhu Sag existed different views, so the major part of this research was the sedimentary facies of the carbonate rock. The main components of the carbonate rock were intraclast and bioclast, and other components were few oolite and crinoid, the grain content of the rock were different, the content of different area were different, and the content of different formation were alike different; the matrix of the rock was micrite matrix, and cementing material of the rock was calcsparite cementing material. After the analysis of the components of carbonate rock, the conservation of fossil, the distributed law of the stratum thickness and cryptite, the conservation of fossil in the workarea was unbroken, the distributed law of the stratum thickness was obvious, the change of the stratum thickness was little; and the cryptite was distributed in all the area. So a kind sedimentary facies was established which was the carbonate terrace, the carbonate terrace was a kind of depositional system made up by the bioclastic limestone and cryptite, and it was a kind of standard carbonate formation formed in the strong-weak hydrodynamic force environment. This facies can be classified into carbonate sheet, carbonate dam, and carbonate strand and corals. In the plane, the water was shallow in the west part of the study area, and hydrodynamic force was powerful, so the carbonate dam and strand was developed; in the east, the water was deep, and hydrodynamic force was weak, so the carbonate terrace was developed, in longitudinal direction, the carbonate formation deposited from the  $E_1f_2^{2-3}$  sublayer, the fastigium of the deposition was  $E_1f_2^{2-2}$  sublayer, and declined in the  $E_1f_2^{2-1}$  sublayer, the deposition formed a entire carbonate sedimentary system. Finally, the sedimentary model of the carbonate rock in Lake Facies was established.

**Key words:** Jinhu Sag; the second member of Funing Formation; carbonate rock; sedimentary facies; lake facies



图版 I 说明: 1. 崔 14 井 1719.81 m 生物碎屑灰岩  $\times 50$ ; 2. 范 13 井 1409.34 m 鲕粒灰岩  $\times 25$ ; 3. 范 13 井生物碎屑灰岩 (碳酸盐岩坝); 4. 范 13 井生物碎屑灰岩 (碳酸盐岩坝); 5. 范 6 井生物碎屑灰岩 (碳酸盐岩滩); 6. 南 7 井生物碎屑灰岩 (碳酸盐岩滩); 7. 崔 11 井生物碎屑灰岩 (碳酸盐岩席); 8. 高 6-2 井生物碎屑灰岩 (碳酸盐岩席)