

# 金湖凹陷西斜坡阜宁组灰岩段成因机理

苏娟<sup>1</sup>, 刘辰生<sup>2,3</sup>, 于汪<sup>2,3</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011; 2. 中南大学有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083; 3. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

**摘要:** 金湖凹陷古近系灰岩段是重要的油气产层, 但灰岩段沉积特征和成因机理认识不清, 给油气储层预测带来困难。通过岩心资料、地震资料和测井资料的综合分析认为研究区灰岩段为混合沉积, 有别于中国东部其他盆地古近系混积岩。金湖凹陷灰岩段沉积相类型包括湖泊相、三角洲相和湖底扇相, 其中湖泊相是主要的沉积相类型。三角洲相和湖底扇相受断层和物源的控制, 主要分布在靠近物源的区域。自下而上, 灰岩段中碎屑岩的含量逐渐减少, 表明湖侵的规模逐渐扩大, 因此灰岩段形成于湖侵期。灰岩段沉积期研究区广布的同沉积断层是碎屑沉积物运输的通道, 对碎屑岩的分布具有调节作用。同时, 碎屑岩的填平补齐及物源的改道使地势变得平坦、水体变得清澈, 因此生物灰岩常分布于碎屑岩的上部, 且灰岩中不含有碎屑岩。总之, 物源和同沉积断层是研究区灰岩段混合沉积的主要控制因素。

**关键词:** 成因机理; 灰岩段; 混积岩; 同沉积断层; 阜宁组; 金湖凹陷; 苏北盆地

中图分类号: TE122.2<sup>+</sup>1

文献标识码: A

## Depositional features and forming mechanism of the limestone member of Funing Formation in Jinhu Sag

Su Juan<sup>1</sup>, Liu Chensheng<sup>2,3</sup>, Yu Wang<sup>2,3</sup>

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Key Laboratory of Nonferrous Metallogenic Prognosis, Ministry of Education, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China; 3. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

**Abstract:** The Paleogene limestone member in the Jinhu Sag is an important petroleum producing formation. However, the depositional features and forming mechanism of the limestone member are not clear, which brings difficulty for the forecast of reservoir. Different from peperites in other Paleogene basins in East China, the limestone member in the Jinhu Sag is the mixture of siliciclastic-carbonate sediments, based on the comprehensive analysis of core, seismic and logging data. The limestone member is mainly of lake, delta and lacustrine fan facies, among which the lake facies is dominant. The delta and lacustrine fan facies, controlled by faults and provenance, mainly distribute close to sediment sources. Clastic rock content decreases upwards in the limestone member, indicating the expansion of transgression, during which the limestone member was deposited. During the deposition of the limestone member, widespread syn-sedimentary faults served as the channels for sediment migration, and adjusted clastic rock distribution. Additionally, clastic rock deposition and provenance rechanneling made the terrain flat and water clear. As a result, biolithite limestones cover clastic rocks and there are no clastic rocks in the limestone. Provenance and faults are the main controlling factors for the limestone member in the study area.

**Key words:** formation mechanism; limestone member; peperite; syn-sedimentary fault; Funing Formation; Jinhu Sag; Northern Jiangsu Basin

金湖凹陷位于苏北盆地东台坳陷西部, 为晚白垩世发育起来的南断北超的箕状凹陷。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>。金湖凹陷西斜坡自北向南分布着刘庄、高集、崔庄、南湖、范庄、安乐等油气田(图1)。灰岩段属古近系

收稿日期: 2013-11-14; 修订日期: 2015-01-12。

作者简介: 苏娟(1981—), 女, 工程师, 从事沉积学与石油地质学研究。E-mail: suj.xbsj@sinopec.com。

通讯作者: 刘辰生(1976—), 男, 讲师, 从事沉积学与层序地层学研究。E-mail: lcsjed@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX05002-005-007HZ)资助。

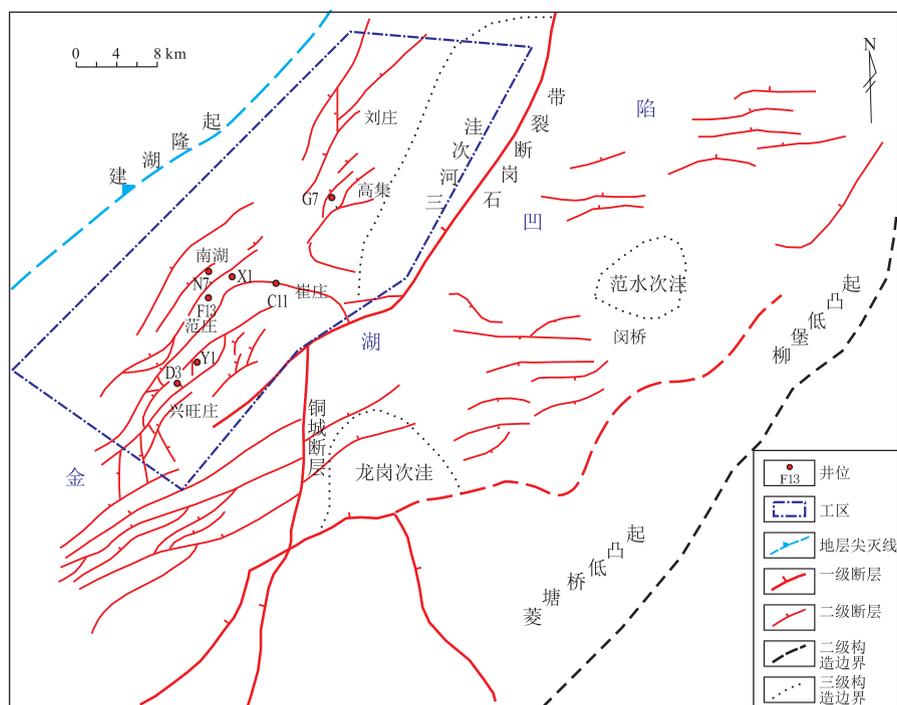


图1 金湖凹陷西斜坡构造区划

Fig.1 Structural location of the western slope in Jinhu Sag

阜宁组,该段岩性复杂,既有灰岩也有碎屑岩,灰岩又分为生物灰岩、泥灰岩和含生物碎屑灰岩。但该区灰岩与碎屑岩呈层系混积,即灰岩与碎屑岩互层沉积,而同为古近纪断陷湖盆的济阳拗陷混积岩却为岩性混积,即灰岩中陆源碎屑颗粒含量高,2个盆地灰岩段岩性明显不同,沉积环境各异。张金亮等认为济阳拗陷中混积岩为滨浅湖混积滩坝沉积,其受到构造、物源供给和湖平面等因素的控制<sup>[1-6]</sup>。Balossino认为砂岩和灰岩混合沉积是海岸平原上湖盆常见的沉积类型,不断的海侵作用是造成湖盆发育碳酸盐岩的主要原因<sup>[7]</sup>;Aynur Geccer研究认为湖盆中碳酸盐岩与砂岩混合沉积主要是季节性河流和海侵共同作用的结果,沉积相类型包括滨浅湖滩坝、三角洲以及湖底扇等,不同沉积相形成的储层,其物性相差较大<sup>[8]</sup>。研究区灰岩段是重要的油气产生层,但长期以来对该灰岩段的形成机理和沉积特征认识不清,从而影响了灰岩段储层预测和油气勘探。本文根据岩心资料、测井资料和地震资料对金湖凹陷灰岩段沉积特征和形成机理进行了初步探讨,认为灰岩段混积岩最主要的控制因素为断层和碎屑岩物源。

## 1 岩性特征

阜宁组灰岩段分布在砂岩段和泥岩段之间(图2)。灰岩段岩性包括生物灰岩、泥灰岩和砂岩

等。根据岩性特征,灰岩段可识别出3个亚段,由下而上分别是第1亚段生物碎屑灰岩层、第2亚段砂岩层和第3亚段生物碎屑灰岩层(图2)。每个亚段的下部均为泥岩或泥灰岩,上部为颗粒灰岩和砂岩。

由于砂岩层与灰岩段具有相似的测井曲线特征,所以在油田勘探和生产中很容易忽略该砂岩层的存在,从而对储量计算和油田开发造成一定的影响。事实上,灰岩段中的生物碎屑灰岩和砂岩储层物性、储层空间相差较大。据统计,灰岩孔隙度多集中在5%~15%,平均孔隙度为12.7%,平均渗透率为 $19.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属低孔低渗型储层。砂岩平均孔隙度为16.36%,平均渗透率为 $47.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右,属中孔中—高渗型储层,所以砂岩的物性远好于灰岩,因此有必要对灰岩段的沉积相类型和形成机理进行探讨。

## 2 沉积相类型

阜宁组灰岩段沉积岩性包括泥晶灰岩、生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、泥岩和砂岩。

(1)泥晶灰岩:常为深灰色,具水平层理和少量生物碎屑,生物碎屑完整,杂乱分布。

(2)生物碎屑灰岩:生物碎屑灰岩中生物屑含量30%~70%。生物屑呈簇状分布,大致顺层分布。生物屑以虫管为主,虫管直径0.5~2.5 mm,虫管内充填亮晶方解石,而虫管间多为泥晶充填<sup>[9]</sup>。

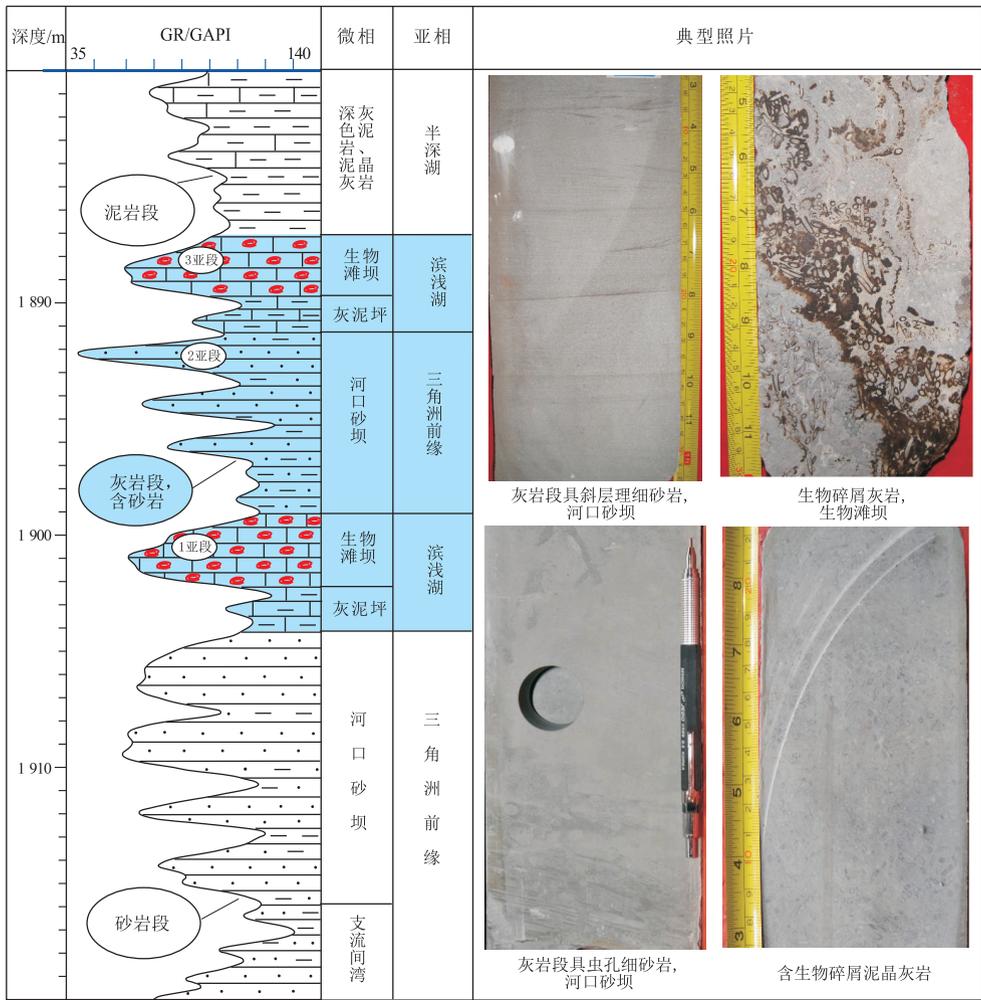


图 2 金湖凹陷西斜坡灰岩段沉积地层

Fig.2 Sedimentary stratigraphy of the limestone member of western slope in Jinhu Sag

(3) 鲕粒灰岩: 鲕类含量 20%~70%, 以藻鲕为主, 次为正常鲕、结晶鲕、表鲕、变形鲕和复鲕。藻鲕直径 0.3~1.0 mm, 形态有圆形、椭圆形、肾状形, 具有同心层纹和放射纹结构。结晶鲕直径 0.4~1 mm, 圆度、分选好, 有单晶鲕和多晶鲕。鲕核心一般为粉砂粒, 个别为海绿石。

(4) 泥岩: 常为深灰色、灰黑色, 具水平层理。

(5) 砂岩: 灰岩段砂岩包括粉砂岩和细砂岩, 其中粉砂岩约占 90%, 细砂岩约占 10%。砂岩类型主要为长石砂岩, 其次为长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩和少量石英砂岩。石英含量 48.0%~64.0%, 长石含量 17.2%~24.1%, 岩屑含量 16.0%~26.0%。成分成熟度中等, 为远源沉积的产物; 碎屑颗粒磨圆度为次棱角状一次圆状, 颗粒分选中等。胶结物成分为方解石和白云石, 少量硅质胶结, 胶结物平均含量 10.7%~19.3%。砂岩中常见沙纹层理、波状层理以及生物钻孔和生物扰动构造。

综合岩性组合、沉积构造和测井相特征, 研究

区灰岩段可识别出湖泊相、三角洲相和湖底扇相。其中灰岩段砂岩层沉积相类型包括碎屑滨浅湖和三角洲, 而灰岩层主要为灰质滨浅湖沉积。

### 2.1 湖泊相

研究区湖泊相可识别出滨浅湖亚相。滨浅湖亚相根据岩性的不同又分为碎屑滨浅湖亚相和灰质滨浅湖亚相。

#### 2.1.1 碎屑滨浅湖亚相

该亚相主要分布在第 2 亚段, 碎屑滨浅湖亚相可划分为碎屑滩坝微相和浅湖泥岩等微相。碎屑滩坝微相: 该微相岩性以棕红色细砂岩和粉砂岩为主, 砂岩中发育大量的生物钻孔、生物扰动构造和沙纹层理。测井曲线上, 碎屑滩坝呈指状、钟形或漏斗形。碎屑滩坝常与泥岩互层沉积, 组成米级沉积旋回。米级旋回下部为水体较深的浅湖泥岩沉积, 上部为湖平面较低时滨浅湖砂岩沉积。

#### 2.1.2 灰质滨浅湖亚相

灰质滨浅湖亚相广泛分布在灰岩段第 1 和第

3 亚段,是灰岩段主要的沉积相类型,可识别出生物灰岩滩坝和灰泥坪微相。生物滩坝微相常分布在构造高部位或构造高点,是水体清浅且温暖的环境下沉积的。滩坝生物碎屑灰岩常与暗色泥页岩和泥晶灰岩互层沉积,形成下细上粗的反旋回(图 3),另外,灰质滩坝中还沉积有少量的鲕粒灰岩。测井曲线上,生物碎屑的含量与电阻率曲线和伽马曲线的幅度具有一定的相关性。生物碎屑含量越高,测井曲线的异常幅度越大。

灰泥坪以含生物碎屑泥晶灰岩和泥晶灰岩为主,生物碎屑的含量少于 25%。灰泥坪存在于 2 种沉积环境中:浅湖灰泥坪和半深湖灰泥坪。浅湖灰泥坪是由于浅湖局部隆起的生物滩坝遮挡形成的低洼区,以泥页岩、泥灰岩和含生物碎屑泥灰岩等细粒沉积为主(图 3);半深湖中的灰泥坪位于半深湖靠近浅湖一侧,由于该区水动力较弱,所以以细粒沉积为主。值得注意的是,虽然这 2 种灰泥坪都具有弱水动力条件,但浅湖灰泥坪中生物碎屑的含量明显大于半深湖灰泥坪。另外,这 2 种不同成因的灰泥坪纵向叠置就形成一个复合沉积韵律(图 3)。

### 2.2 三角洲相

三角洲相主要分布在高集地区灰岩段第 2 亚段。三角洲相以三角洲前缘亚相为主,可识别出河口砂坝微相。河口砂坝微相以粉砂岩沉积为主,常与泥岩、粉砂质泥岩和粉砂岩组成反韵律,具沙纹层理和生物钻孔,测井曲线常呈漏斗状(图 4)。河

口砂坝沉积的砂体分选性和磨圆度均较好,所以物性好,是油气有利的储集场所,研究区河口砂坝砂体均具有良好的油气显示。由于这套砂体的电阻率曲线与灰岩非常相似,且夹在灰岩之间,所以前人研究均把这套砂岩误认为是灰岩。

研究区灰岩段三角洲物源主要来自北部,该物源为继承性物源。研究表明北部物源是其主要物源,自研究区北部向南至高集地区,砂泥比逐渐增大。在刘庄地区的东部分布有一条近南北向的同沉积断层,该断层下降盘一侧沿断层带形成北高南低的断层斜坡带,该斜坡带就是沉积物运移的通道,并在高集地区沉积下来,所以断层带南部高集地区砂体厚度远大于断层带北部的刘庄地区。

### 2.3 湖底扇相

本区在灰岩段第 2 亚段发育湖底扇沉积。湖底扇必须具备如下形成条件:(1)物源条件,即研究区必须具备充足的物质来源;(2)构造条件。研究区必须具备一定的坡度,即具备重力失稳的条件;(3)通道条件,即沉积物的输送通道条件。近年来研究成果表明断层调节带是沉积物搬运的重要通道;(4)一定的水体深度。水体深度是区别扇体类型的依据之一,湖底扇一般分布在半深湖—深湖。研究区的东北部三河次洼均具备以上湖底扇发育条件。研究区东北部紧邻北部物源区,且该物源是继承性物源,对研究区的影响较大。该物源在灰岩段沉积期对研究区的影响是有变化的。研究

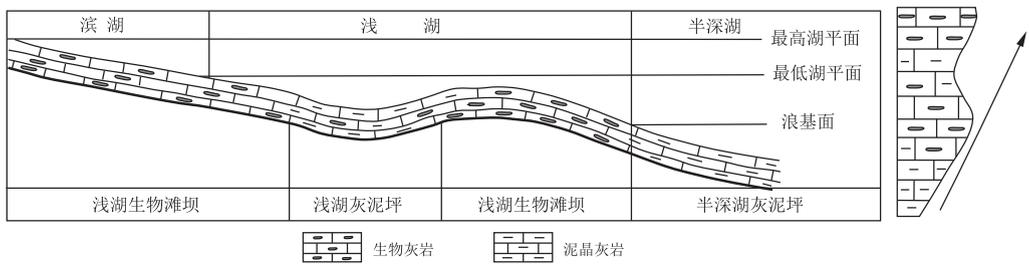


图 3 金湖凹陷西斜坡灰岩段生物滩坝灰岩与灰泥坪沉积模式

Fig.3 Depositional model of biological bar and marl flat in the western slope of Jinhu Sag

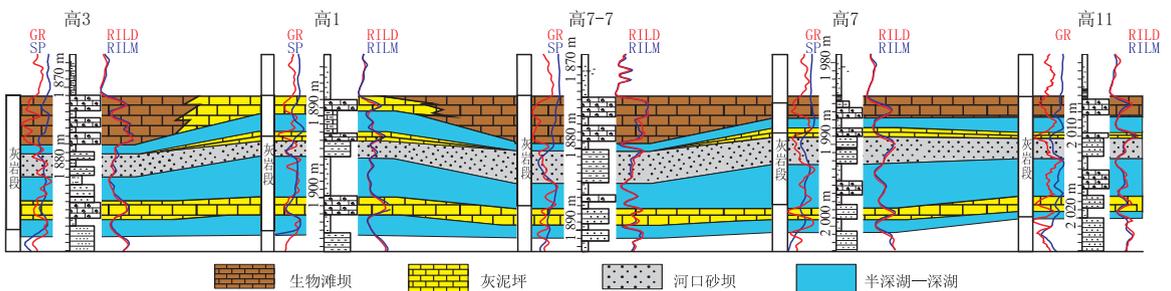


图 4 金湖凹陷高集地区阜宁组灰岩段沉积相连井对比

Fig.4 Cross-well correlation of limestones in Funing Formation, Gaoji area, Jinhu Sag

区北部发育大量的北北东向断层坡折带<sup>[10-11]</sup>,使研究区具备了一定的构造条件。研究区南部为沉积坡折带,坡度普遍较小,不具备形成湖底扇的条件。另外,研究区东北部水体普遍较深,灰岩段沉积期普遍发育半深湖—深湖,所以具备了水体深度条件。

岩心观察表明,河参 1、河 3、雷 1 等井灰岩段第 2 小层常发育鲍马序列。众所周知,鲍马序列是湖底扇常见的识别标志。岩心中鲍马序列 A 段主要为砾岩沉积,如河 3 井鲍马序列底部发育泥质砾岩,该砾岩为泥质胶结,基质支撑,砾石磨圆度中等,分选性差;而河参 1 井中鲍马序列底部为泥砾岩,砾石磨圆度差,砂泥质胶结,基质支撑,分选性差。实际上,这些砾岩的母岩都不是物源区提供的,是研究区内早期沉积物被破碎、搬运、再沉积形成的,所以母岩很可能是下切水道早期的沉积物。

河参 1 和河 3 井岩心中常见到 B-C 段,即平行层理段和沙纹层理段。D-E 段由于上覆沉积物的冲刷、侵蚀作用,常发育不全。如河 3 井 2 737.2 m 处发育典型的具平行层理的 B 段和具沙纹层理的 C 段(图 5a)。在河参 1 井中也发育鲍马序列的 B-C 段(图 5b)。另外,在河参 1 井还发育由于水流的冲刷作用形成的槽模等层面构造。

在测井曲线上,湖底扇常呈钟型、指状等,纵向上表现为正韵律,这与岩心表现出的沉积韵律一致。从测井曲线和岩心可以看出,湖底扇常包夹在半深湖—深湖相暗色泥岩中。泥页岩在测井曲线上表现平直,微齿化,而湖底扇多为砂岩沉积,测井曲线异常幅度较大,所以在测井曲线中易于识别。

### 3 沉积相展布及演化

在单井和连井沉积相对比的基础上,勾画灰岩段沉积相平面图。第 1 亚段沉积相类型包括半深湖—深湖相、碎屑滨浅湖相、灰质滨浅湖相,其中灰质滨浅湖相又可划分为灰泥坪和生物滩坝等微相。半深湖—深湖相分布在研究区东部,向西过渡为灰质滨浅湖相和碎屑滨浅湖相。生物滩坝主要分布在南湖—范庄等构造高部位。第 2 亚段沉积相类型包括半深湖—深湖相、灰质滨浅湖相、碎屑滨浅湖相、三角洲相、湖底扇相等。半深湖—深湖相仍然分布在研究区东部,向西过渡为碎屑滨浅湖相、灰质滨浅湖相。三角洲呈条带状分布在刘庄东部至高集地区,湖底扇分布在研究区东北部半深湖—深湖内。生物滩坝灰岩主要分布在南湖—范庄—刘庄一线,这主要是由于该区为构造高部位,水动力强,生物繁盛。第 3 亚段沉积相类型主要为

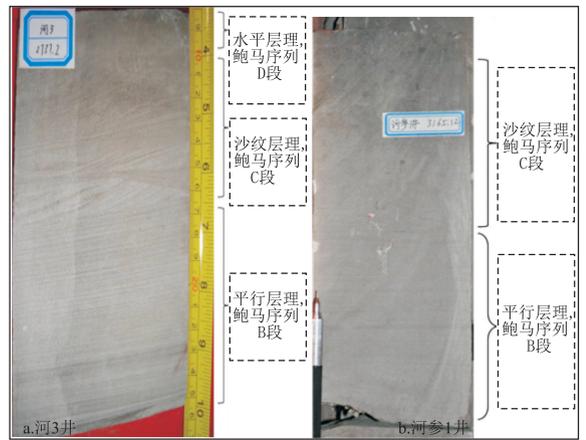


图 5 金湖凹陷西斜坡灰岩段第 2 小层鲍马序列沉积特征  
Fig.5 Bouma sequence features of the second lay of limestone member in well He3 (a) and well Hecan1 (b) in the western slope of Jinhu Sag

半深湖—深湖相、灰质滨浅湖相,碎屑滨浅湖相局限分布在刘庄东部。

自第 1 亚段至第 3 亚段碎屑岩的分布范围逐渐缩小,表明湖侵的规模逐渐增大,这与灰岩段形成于湖侵初始阶段的认识一致。生物滩坝主要分布在第 2 亚段,这主要是因为该段受陆源碎屑物的影响减小,但在第 3 亚段沉积期湖平面范围不断扩大,使得生物滩坝仅局限在继承性的构造高部位。

根据灰岩段沉积特征,总结出了研究区灰岩段沉积模式(图 6)。研究区以滨浅湖沉积为主,滨浅湖沉积区分布有滩坝,滩坝东侧为中深湖沉积区。由于滩坝的遮挡作用,在滩坝向陆地一侧发育灰泥坪沉积。滩坝以砂岩和生物碎屑灰岩沉积为主,而灰泥坪则以泥页岩、泥晶灰岩和含生物碎屑泥晶灰

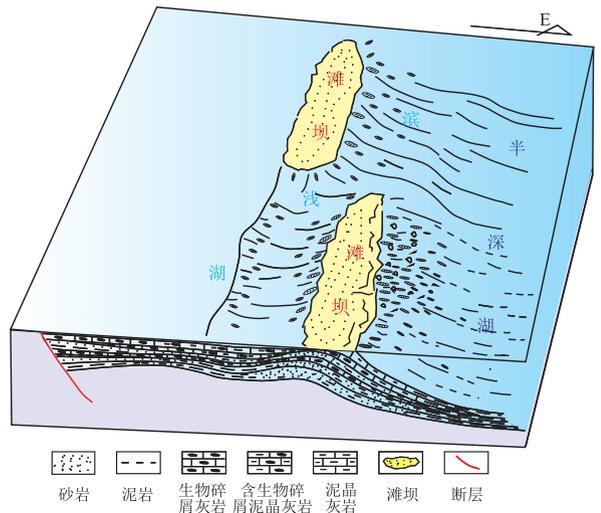


图 6 金湖凹陷西斜坡灰岩段沉积相模式  
Fig.6 Facies model of the limestone member in the western slope of Jinhu Sag

岩沉积为主。滨浅湖发育大量的正断层,在正断层下降盘一侧自下而上沉积泥岩、砂岩和灰岩,它们构成一个完整的沉积旋回,而这个沉积旋回完全受断裂活动的影响。

## 4 灰岩段形成机理

由于湖盆规模小,受周围物源影响大,所以灰岩段沉积岩性复杂。研究区灰岩段中灰岩与碎屑岩成互层沉积,并没有出现灰岩与砂岩混积的现象,所以研究区灰岩段这种独特的沉积现象与我国其它东部盆地古近系灰岩明显不同。研究区这种灰岩与碎屑岩混合沉积与物源周期性供应和断层的幕式活动密切相关。

### 4.1 碎屑岩物源方向

灰岩段下伏碎屑岩沉积期研究区有2个物源,分别是东北物源和西南物源。灰岩段沉积期这2个物源仍然对灰岩的沉积具有重要的影响。但灰岩段沉积期物源的主次关系发生变化,北部物源变成了主要物源,而南部物源则是次要物源。虽然物源的主次发生了变化,但它们同样对研究区灰岩段的沉积具有较大影响。从灰岩段沉积相平面分布情况可以看出,北部物源影响范围是崔庄以北的区域,南部物源的影响范围是崔庄以南的区域。物源对研究区灰岩的影响与同沉积断层关系密切。

### 4.2 断层活动特征分析

灰岩段沉积期金湖凹陷属断陷盆地,研究区同沉积断层多呈“Y”型<sup>[12-14]</sup>,这种同沉积断层具有幕式活动的特点,即突然活动,缓慢停止。虽然断层的突然活动时间短暂,却形成了下降盘大量的可容纳空间,同时由于下降盘靠近断层带的区域地势较低,有利于沉积物沿断层带下降盘搬运。这种断层作为运输通道的实例在济阳拗陷比较常见。在断层突然活动后断层进入衰减期直至完全停止活动,该阶段所经历的时间较长,也是断层幕式活动的主要时期。

资料显示,西斜坡灰岩段沉积期由早至晚活动性断层数量逐渐增多,断层活动速率值也递增,反映断层活动性变强<sup>[15]</sup>。灰岩段底部第1亚段沉积期断层活动速率相对较小,断距也较小,同沉积断层形成的断距容易被碎屑沉积物填平,研究区发育滨浅湖沉积。第2亚段沉积期,断层活动速率增强,断距增大,此时沉积物沿着断层带斜坡在负地形区不断堆积,形成滨浅湖和三角洲沉积,直至断距完全被沉积物填平,如刘庄—高集断层沉积系统。这时的刘庄南北向断层斜坡就形成了三

角洲水下分流河道,而高集地区为三角洲前缘河口砂坝。

到了第3亚段沉积期,断层的活动速率进一步增大,断层的断距也进一步增加,但这时由于湖侵的规模和范围逐渐增大,物源逐渐远离斜坡沉积区,虽然这是的输送通道仍然存在,但由于缺少了沉积物供应,所以该亚段砂岩沉积仍不发育。砂岩仅分布在研究区北部的局部区域,而南部已没有砂体沉积。

### 4.3 混合沉积形成机理

通过前面分析可以看出,断层在砂岩沉积过程中起到了调节和限制作用,即断层约束了砂体的分布范围和形态,使砂岩局限在断层带下降盘和负地形区域。当断层的断距被填平后断层斜坡就失去了输送沉积物的作用,物源区输送的沉积物就“另寻他路”了。研究区没有了砂岩等碎屑物的供给,水体逐渐变得清澈,适合生物生存,生物灰岩开始大量沉积,所以灰岩段经常见到泥岩和砂岩上部直接覆盖生物灰岩的现象,而不是砂岩与灰岩混积沉积。

实际上,灰岩段沉积期断层的活动速率很小,据前人资料计算断层的活动速率约为2 m/Ma。而1个米级旋回(或沉积旋回)的时间约为0.25 Ma,所以断层的断距平均为5 m,而混合沉积下部碎屑岩的厚度为3~5 m,两者厚度相吻合。

综上所述,灰岩段混合沉积过程可归纳如下:米级旋回下部泥岩为湖平面突然上升期半深湖—浅湖等深水沉积,该期对应断层强烈活动期。随后断层活动进入衰减期,陆源碎屑物供应充分并通过断层斜坡不断输送到研究区构造低部位并沉积下来,形成滨浅湖滩坝和三角洲砂体。由于陆源碎屑不断充填,断层断距不断减小直至消失,而这时同沉积断层基本停止活动,不会产生新的断距用来运输来自物源的沉积物。填平补齐作用使断层斜坡失去输送沉积物的作用,物源碎屑物改道,水体逐渐变得清澈,研究区开始生物灰岩沉积,就形成了灰岩段碎屑岩与生物灰岩互层沉积。

## 5 结论

(1)金湖凹陷灰岩段及上覆泥岩段组成1个三级层序,层序边界位于灰岩段底部,最大湖泛面位于泥岩段内。灰岩段位于湖侵体系域下部,是初始湖侵期在物源影响下沉积的一套混积岩。

(2)灰岩段沉积相类型丰富,包括湖泊相、三角洲相、湖底扇相,其中湖泊相是主要的沉积相类

型,可识别出灰质滨浅湖和碎屑滨浅湖亚相。三角洲相主要分布在刘庄东部至高集地区,可识别出三角洲前缘河口砂坝微相。湖底扇相分布在研究区北部半深湖—深湖的区域。自下而上,灰岩段碎屑岩含量逐渐减少,灰质成分逐渐增加,体现了湖侵的规模逐渐增大。

(3)灰岩段混积岩主要的控制因素是断层和物源。同沉积断层幕式活动早期断距大,断层上盘形成陆源碎屑岩输送通道。幕式活动平静期,由于碎屑岩的填平补齐作用,使断层失去了输送通道的作用,物源改道,水体清澈,适合生物灰岩沉积。

#### 参考文献:

- [1] 张金亮, 司学强. 断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积: 以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段为例[J]. 地质论评, 2007, 53(4): 448-453.  
Zhang Jinliang, Si Xueqiang. Mixed siliciclastic-carbonate sediment in rift lacustrine basin: a case on the Upper Part of the Fourth Member of the Eocene Shahejie Formation in Jinjia area, Dongying Depression[J]. Geological Review, 2007, 53(4): 448-453.
- [2] 曾德铭, 赵敏, 石新, 等. 黄骅坳陷古近系沙一段下部湖相碳酸盐岩储层特征及控制因素[J]. 新疆地质, 2010, 28(2): 186-189.  
Zeng Deming, Zhao Min, Shi Xin, et al. Diagenesis of limestone rocks in the lower part of 1st Member of Eocene Shahejie Formation in Huanghua depression [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(2): 186-189.
- [3] 梁宏斌, 旷红伟, 刘俊奇, 等. 冀中坳陷东鹿凹陷古近系沙河街组三段泥灰岩成因探讨[J]. 古地学报, 2007, 9(2): 168-173.  
Liang Hongbin, Kuang Hongwei, Liu Junqi, et al. Discussion on origin for marls of the Member 3 of Shahejie Formation of Paleogene in Shulu Sag of Central Hebei Depression [J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(2): 168-173.
- [4] 郭洪金, 李勇, 钟建华, 等. 山东东辛油田古近系沙河街组一段碳酸盐岩储集特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(3): 351-355.  
Guo Hongjin, Li Yong, Zhong Jianhua, et al. Carbonate reservoir properties in Member 1 of Shahejie Formation of Paleogene in the Dongxin Oilfield, Shandong Province [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(3): 351-355.
- [5] 曾德铭, 赵敏, 石新, 等. 黄骅坳陷古近系沙一段下部碳酸盐岩成岩作用[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 110-115.  
Zeng Deming, Zhao Min, Shi Xin, et al. Diagenesis of carbonate rocks in the lower part of 1st Member of Eocene Shahejie Formation in Huanghua depression [J]. Geology in China, 2010, 37(1): 110-115.
- [6] 倪军娥, 孙立春, 古莉, 等. 渤海海域石臼坨凸起 Q 油田沙二段储层沉积模式[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 491-498.  
Ni Jun'e, Sun Lichun, Gu Li, et al. Depositional patterns of the 2nd member of the Shahejie Formation in Q oilfield of the Shijiu Uplift, Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 491-498.
- [7] Balossino P, Pampuri F, Bruni C, et al. An integrated approach to obtain reliable permeability profiles from logs in a carbonate reservoir [J]. SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 2008, 11(4): 8-9.
- [8] Büyüktoku A G. Reservoir properties of Karaisali formation in the Adana Basin, Southern Turkey [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009, 65(1/2): 33-44.
- [9] 廖光明. 范庄油田阜宁组沉积体系及砂体建筑结构分析 [J]. 西南石油学院学报, 2006, 28(2): 4-7.  
Liao Guangming. Analysis on sedimentary system and reservoir architecture of delta-shallow lake facies of Fanzhuang in Jinhu depression [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2006, 28(2): 4-7.
- [10] 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, 2006, 36(4): 535-539.
- [11] 张宏国, 戴俊生, 王霞田, 等. 苏北盆地金湖凹陷西斜坡构造特征及构造演化 [J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 349-353.  
Zhang Hongguo, Dai Junsheng, Wang Xiatian, et al. Structural feature and tectonic evolution of western slope in Jinhu Sag, Su-bei Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(4): 349-353.
- [12] 戴俊生, 王霞田, 季宗镇, 等. 高邮凹陷南断阶东部阜宁期构造应力场及其对断层的控制作用 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 1-5.  
Dai Junsheng, Wang Xiatian, Ji Zongzhen, et al. Structural stress field of Funing sedimentary period and its control on faults in the east of south fault terrace in Gaoyou sag [J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35(2): 1-5.
- [13] 宋书君. 复杂断块群四维应力场模型及油藏预测 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 63-67.  
Song Shujun. Reservoir prediction and the four-dimensional model of stress field in complex fault group [M]. Beijing: Petroleum Press, 2003: 63-67.
- [14] 张琴, 朱筱敏, 董国栋, 等. 苏北盆地金湖凹陷戴南组成岩阶段划分及其油气地质意义 [J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 53-59.  
Zhang Qin, Zhu Xiaomin, Dong Guodong, et al. Diagenesis stage division and petroleum geologic significances of Dainan Formation in Jinhu Sag, Northern Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 53-59.
- [15] 傅学斌. 小型箕状断陷盆地构造—沉积模式与油气成藏: 以苏北管镇次凹为例 [J]. 地质科技情报, 2009, 28(2): 77-80.  
Fu Xuebin. The structure-sedimentation model and reservoir forming of little half-graben basin: A case study of Guanzhen Subsag in northern Jiangsu Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(2): 77-80.