

苏北盆地码头庄油田阜一段、阜二段 湖泊—三角洲沉积模型

杨 柏¹, 杨少春¹, 张建良^{2,3,4}, 汪嘉月⁴, 刘金华¹

(1. 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东 东营 257061;

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 江苏油田地质科学研究所, 江苏 扬州 225261)

摘要:通过分析各种沉积体的岩性、结构、沉积构造、沉积序列和电性特征, 划分了苏北盆地码头庄油田阜一段、阜二段沉积相; 根据滩和坝在剖面、平面以及岩性上所呈现的特征, 划分了滩和坝的类型, 建立了各种相的沉积模式, 分析了沉积模型的演化历史。据此指出: 阜一段发育三角洲前缘亚相沉积, 至下而上发育前缘席状砂、河口坝、水下分流河道、水下分流间湾和水下天然堤微相, 呈现出三角洲进积的特点, 三角洲前缘亚相在阜一段沉积末期消失; 阜二段发育滨浅湖亚相沉积, 分为生物滩、鲕粒滩、灰质滩、浅湖砂坝和滨浅湖泥微相, 有开阔浅湖砂坝和水下隆起区碳酸盐岩滩 2 种沉积模式。

关键词: 码头庄油田; 湖泊—三角洲沉积模型; 三角洲前缘亚相; 滨浅湖亚相; 滩坝

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2008)06-0790-06

三角洲和滩坝沉积是陆相断陷湖盆滨浅湖区常见的沉积类型, 是含油气盆地中良好的油气储集体。滩坝储集体具有近油源、储集性能较好以及生储盖组合配置较为完善等有利的地质条件, 越来越引起人们的重视^[1-2]。由于钻井和地震资料的局限性, 目前还无法把断陷湖盆中分布广泛、厚度较薄的滩与分布狭窄、厚度较大的坝严格区分开来^[3], 对各种碳酸盐岩滩坝的命名还不统一, 不同学者对滩坝体的沉积特征还存在不同的认识。本次研究以码头庄油田庄 2 断块阜一段、阜二段为对象, 通过对各种沉积体的岩性、结构、构造、沉积序列和电性特征的研究, 划分各种沉积相, 细滩和坝的类型, 建立三角洲前缘亚相和滩坝的沉积模式, 分析湖泊—三角洲沉积模型的演化过程。

1 区域概况

高邮凹陷位于苏北盆地南部, 南为通扬隆起, 北接柘垛低凸起与建湖隆起相连, 东起白驹凹陷, 东南靠吴堡低凸起与溱潼凹陷相连, 西接菱塘桥低凸起

与金湖凹陷相隔, 东西长约为 100 km, 南北宽约为 25~30 km, 面积达 2 670 km², 呈北东向长条形分布, 新生界地层沉积厚达 7 000 m, 是苏北盆地沉降最深的一个凹陷。高邮凹陷构造单元可划分为南断阶、深洼带和北斜坡 3 个部分。

码头庄油田庄 2 断块油藏位于江苏省高邮市郭集乡, 构造上位于高邮凹陷北斜坡带码头庄背斜构造的南翼, 面积约为 2.5 km², 是一个北东向展布的受断鼻构造控制的油藏。研究区地层平缓南倾, 倾角为 4°~6°, 东西两翼基本对称。按埋深由浅到深排列, 本次研究的地层依次为古近系阜二段 2、3 砂组、阜一段 1、2 砂组, 阜一段以灰色、灰绿色砂、泥岩不等厚互层为特征, 岩性变化大, 发育三角洲前缘亚相; 阜二段为一套以暗色泥岩为主的地层, 是一套有利的生油层段, 下部为夹生物灰岩和鲕粒灰岩的灰黑色泥岩, 主要发育滨浅湖亚相沉积。

2 三角洲前缘亚相

研究区阜一段 1、2 砂组发育三角洲前缘亚相沉

积,分为水下分流河道、水下分流间湾、水下天然堤、河口坝和前缘席状砂 5 种沉积微相。

2.1 水下分流河道

由于流程长,分流河道流至河口部位能量变弱,水下分流河道主要沉积细碎屑组分^[4],以灰色、深灰色粉砂岩为主,含灰色、灰黑色泥砾(图 1)。可见槽状交错层理、板状交错层理、平行层理、小型交错层理和波状交错层理。有时在砂体底部见凹凸不平的冲刷面(图 2),生物扰动构造、虫孔发育。水下河道砂一般分选较差,泥质含量偏高。粒度概率曲线呈两段式,以悬浮次总体为主,含量在 70% 左右,分选中等。垂向呈向上变细的正粒序结构,反映河道能量渐弱的沉积过程,有时呈复合韵律。此外,也出现复合河道为多成因单元叠覆,表现为上部河道成因单元下切下伏河道成因单元,多期河道成因单元在同一个河道叠覆,说明河道有一定的稳定性和河水流动的间歇性^[5]。砂层较厚,一般大于 3 m,最厚可达 10 m。自然电位曲线呈钟形、箱形及钟形—箱形组合形态(图 3)。



图 1 庄 2-62 井泥砾



图 2 庄 2-62 井冲刷面

水下河道沉积特点是砂岩粒度细、泥质含量高;冲刷不强烈,滞留沉积几乎全为灰色泥砾,且磨圆较差,厚度很薄。砂岩层理规模小、纹层倾角缓;河道砂顶、底泥岩的颜色均为灰绿色或深灰色,表明形成

于覆水欠氧的浅湖环境^[6]。

2.2 水下分流间湾

水下分流间湾为水下分流河道之间的低洼地带,与开阔湖畅通。沉积物以灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩为主,夹薄层状、透镜状粉砂岩^[7]。砂质沉积多是洪水季节河床漫溢沉积的结果。发育水平层理、波状层理,具虫孔、生物扰动构造发育。自然电位曲线在砂体处有较小的幅度。

2.3 水下天然堤

水下天然堤常不连续地分布于河道两侧,垂向上位于水下分流河道的顶部,由细砂岩、粉砂岩与泥岩薄互层组成,泥岩颜色为灰绿色。可见波纹层理、爬升层理,具生物扰动构造。测井曲线呈齿状、指状。

2.4 河口坝

由河流带来的碎屑物质在河口处因流速降低堆积而成,分布于水下分流河道末端。以灰色、灰绿色粉砂岩为主,夹灰色泥岩。发育交错层理和水平层理。砂层呈厚层—块状层,最厚可达 9 m,单砂层厚度一般为 3~8 m。砂岩层的厚度、粒度均表现出向上变大、变粗的趋势,呈现反韵律层序特征。砂体质较纯净,粒度分布均一,分选较好。粒度概率曲线呈两段式或三段式,三段式粒度曲线具有特征性的双跳跃次总体,双跳跃组分占总含量的 80% 以上。底部粒度细,孔隙度、渗透率低,上部粒度粗,渗透率高,呈反韵律孔渗特征。自然电位曲线呈漏斗形或漏斗—箱形复合形(图 3)。

2.5 前缘席状砂

前缘席状砂是三角洲前缘的水下分流河道、河口坝等砂体经水流的冲刷作用,再分布于其侧翼而形成的薄而面积大的砂层。沉积物由灰色粉砂岩和少量灰色、深灰色泥岩组成,粒度比河口坝细,砂层分选好,质较纯净。沉积构造以波状层理和低角度交错层理为特征,生物扰动构造和虫孔发育(图 4)。单砂层厚度一般小于 2.5 m,垂向上呈下细上粗的反韵律结构^[8]。粒度概率曲线大多呈两段式。自然电位曲线多呈低—中幅度指形、漏斗形,部分呈钟形。

3 滨浅湖亚相

阜二段 2、3 砂组发育滨浅湖亚相沉积。根据滩和坝在剖面、平面以及岩性上呈现的特征,将滨浅湖亚相沉积分为生物滩、鲕粒滩、灰质滩、浅湖砂坝和滨浅湖泥 5 种沉积微相。生物滩、鲕粒滩和灰质滩属碳酸盐滩沉积,按岩性细分碳酸盐岩滩的类型,使各种碳酸盐岩滩的名称更加简洁、具体。

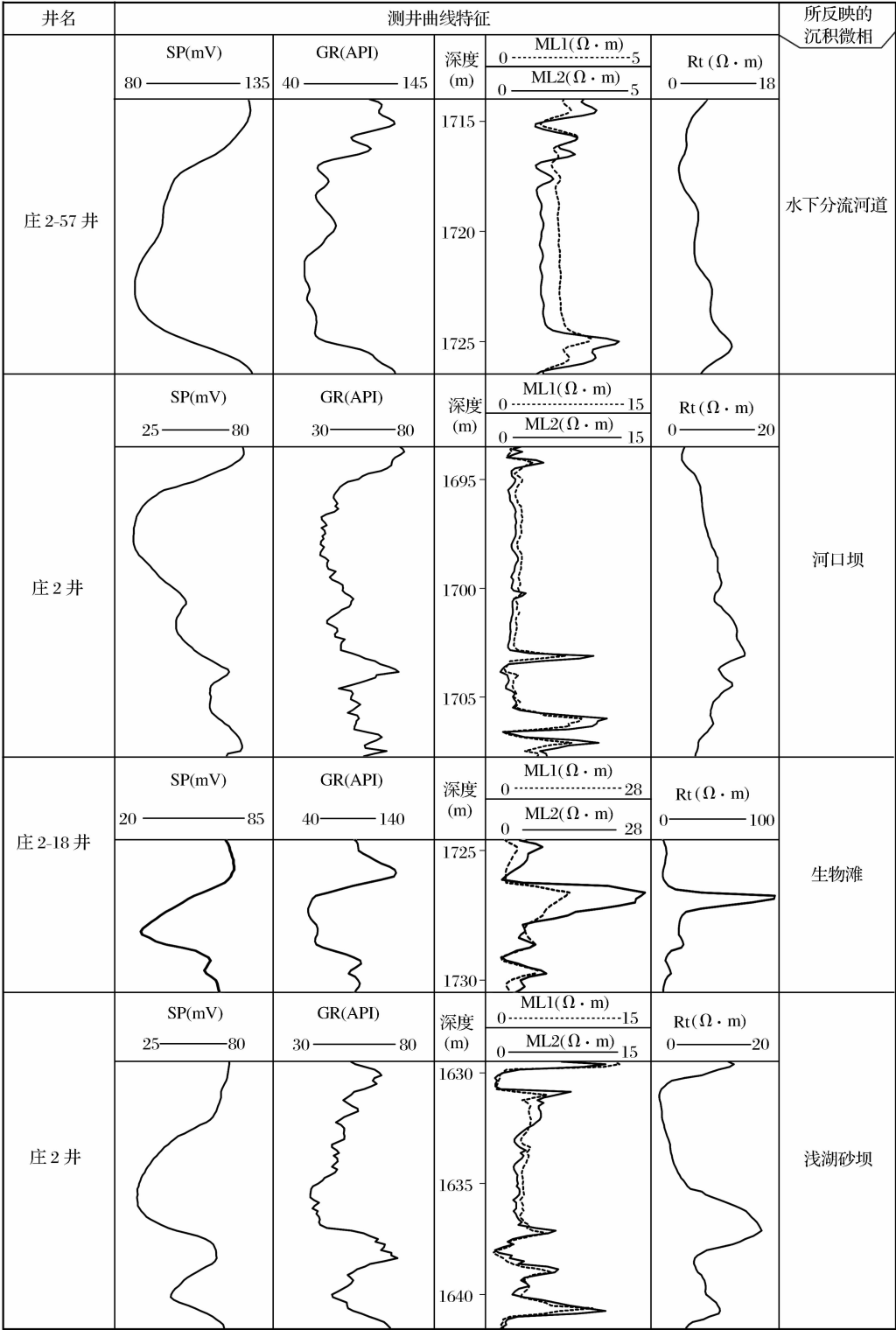


图 3 部分沉积微相的测井曲线特征

生物滩、鲕粒滩和灰质滩多分布于邻近物源区附近无大河注入的比较安静的湖湾地区^[9]。剖面上呈多层出现，平面上呈席状展布。

3.1 生物滩

岩石中的生物体腔保存完好，磨蚀分选差，属低能条件下生物在原地生长死亡之后堆积的产物。该

微相主要由灰色、深灰色生物灰岩组成，有时含少量灰黑色泥岩，可见波状层理，单层厚度为 1~3 m。见鲕粒状灰岩条带和虫管(图 5)。电阻率曲线呈高值，有时呈尖峰(图 3)。

3.2 鲕粒滩

多发育在岸边和水中隆起的高处。由灰色、深

灰色鲕粒灰岩组成,有时夹杂深灰色泥岩,发育泥质条带。鲕粒灰岩呈块状,正常鲕和表鲕的核心多为陆源碎屑。鲕粒粒径为 0.2~0.4 mm,形态为圆或椭圆状。单砂层厚为 0.1~2 m。电阻率曲线多呈高阻尖刀状。

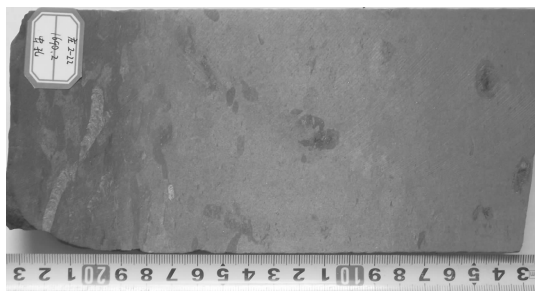


图4 庄2-22井生物扰动构造和虫孔

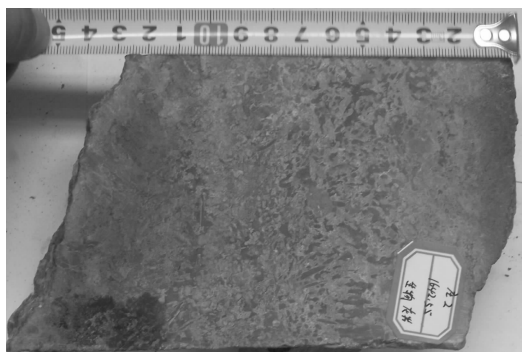


图5 庄2井生物灰岩

3.3 灰质滩

出现于浪基面附近,沉积水体较前2种灰岩的水体深。由灰色、深灰色内碎屑灰岩、泥晶灰岩和泥灰岩组成,有时夹灰色、灰黑色泥岩。单层厚度小于2 m。自然伽马曲线呈微齿化,电阻率曲线较平直。

3.4 浅湖砂坝

坝砂体主要由附近三角洲或其他近岸边浅水砂体,经湖浪和沿岸流再搬运、再沉积而成。平面上呈长条状、带状分布。

纵向上分布在阜二段下部,厚度在4 m以上。以灰色、灰绿色粉砂岩为主,钙质含量较高,泥质含量较低,下部见生物灰岩。常见平行层理、波状层理、砂纹层理、水平层理。生物扰动构造和虫孔发育,虫孔中充填物多发生赤铁矿化,呈红棕色。

砂体颗粒磨圆度较好,以次圆状—次棱角状为主,棱角状颗粒较少见。粒度概率曲线多呈两段式,以跳跃次总体为主,含量在75%以上,少数呈三段式,具有双跳跃次总体。砂体分选好,结构成熟度高。

完整的砂质滩坝沉积相层序自下而上一般为:灰色泥岩(局部含生物碎屑或生物灰岩)→泥质粉砂

岩→粉砂岩(细砂岩)→泥质粉砂岩→碳质页岩^[10]。由于受沉积条件控制,常较难见到一个完整的沉积相层序,但总是以反映较深水条件下形成的沉积产物构成相层序的底部,以反映浅水环境的沉积产物构成沉积相层序的顶部。研究区的砂坝表现出明显的上述特征,垂向上呈典型的反韵律特征。

坝砂体自然电位曲线为中高幅的漏斗形、箱形、漏斗形—箱形组合和钟形—箱形组合(图3)。

3.5 滨浅湖泥

该微相以滨湖、浅湖和湖湾泥岩为主,夹少量的灰色、灰绿色泥质、钙质粉砂岩。自然电位曲线除在薄砂层处呈低幅度突起外,总体呈平直状。

滨湖泥岩以浅灰色、浅棕色泥岩为主,含少量粉砂岩,泥质沉积物主要分布在平缓的背风湖岸地带。发育水平、波状、块状层理等低能层理,粉砂层发育波状层理,植物化石丰富。滨湖带是周期性暴露环境,在枯水期由于许多地方出露在水面之上,常形成许多泥裂、雨痕、脊椎动物的足迹等暴露构造(图6)。

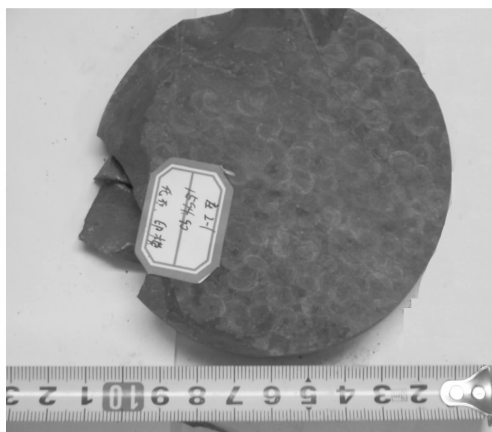


图6 庄2-1井滨湖雨痕

浅湖泥岩形成于浅湖长期覆水、欠氧化地带,主要呈灰色、灰绿色,夹少量粉砂质泥岩、粉砂岩,部分含钙质。发育波状层理、水平层理,生物扰动强烈。

湖湾泥岩形成于湖湾滞流区,水体流通不畅,波浪和湖流作用弱,水体较平静,湖底缺氧。沉积物以灰色、灰黑色泥岩、泥页岩、钙质泥岩为主;在碳酸盐环境下,可发育少量泥质灰岩、生物灰岩等类型岩石。水平层理、雨痕、虫孔发育,生物扰动构造常破坏层理。灰岩、钙质泥岩段电阻率曲线呈高值。

4 湖泊—三角洲沉积模型与演化

在深入了解阜一段、阜二段的沉积背景、发育过程、沉积微相类型和沉积特征的基础上,概括研究区三角洲前缘、砂质坝和碳酸盐岩滩等相的沉积模式。

4.1 三角洲前缘沉积模式

阜一段 1、2 砂组发育三角洲前缘亚相沉积,至下而上发育前缘席状砂—水下分流间湾—河口坝—水下分流间湾—水下分流河道—水下天然堤—水下分流间湾微相,呈现出三角洲进积的特点(图 7a)。

三角洲前缘亚相的发育情况受湖泊的影响,水下分流河道在湖泊的影响下能量逐渐减弱,最终尖灭消失。

4.2 开阔浅湖砂坝沉积模式

当波浪由湖盆中央垂直或斜交于岸线流向湖岸时,波浪触及湖底,形成升浪,并继续向岸的方向运动形成碎浪,波浪能量消耗较大,使得较粗粒碎屑沉积下来,形成开阔浅湖砂坝,其砂质物质主要源于附近的三角洲和扇三角洲等较大的砂体。开阔浅湖砂坝沉积由灰色和深灰色泥质粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩夹薄层泥灰岩组成,具水平层理,可见生物潜穴。在物源充足的情况下,形成砂质坝,岩性为浅灰色粉、细砂岩和泥质粉砂岩,砂粒分选和磨圆均较好(图 7b)。

当陆源碎屑较少时,可形成鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩、钙质泥岩和泥灰岩等,生物碎片是由靠湖心一侧的生物体腔经过波浪、湖流的搬运、冲洗^[11],并在向岸的高能带沉积下来的产物。生物体腔遭受磨蚀、破碎严重,其含量占生物体腔总数的 50% 以上,分选较好。

4.3 水下隆起区碳酸盐岩滩沉积模式

断陷湖盆水下隆起的成因主要包括以下 4 种类型:构造挤压造成的隆起、基底升降造成的隆起、火山喷发形成的隆起和持续性的古地形而形成的隆起。研究区位于苏北盆地的北斜坡,主要是由持续性的古地形造成的隆起,包括码头庄在内的广大地区发育在该隆起区上^[12]。当陆源碎屑供给区远离隆起区时,受湖浪和沿岸流的共同作用,在陆源碎屑供给相对较少的地区,发育鲕粒灰岩、生物灰岩和泥灰岩等,形成成鲕粒、生物滩和灰质滩(图 7c)。

4.4 湖泊—三角洲沉积模型的演化特征

阜一段沉积晚期(阜一段 2、3 砂组沉积时期),湖盆面积继续扩大,码头庄地区开始发育三角洲沉积^[13]。这一时期,研究区发生了构造抬升,早期主要沉积了前缘席状砂、河口坝,晚期沉积了水下分流河道等沉积体,三角洲表现为进积的特点。水下分流河道十分发育,构成了研究区的主要储集体。

阜二段沉积期为湖平面快速上升时期,受湖侵作用的影响,三角洲前缘沉积在阜一段沉积末期消

失,研究区快速进入滨浅湖沉积区。阜二段沉积早期,水体变深,陆源碎屑供给充足,研究区广泛发育浅湖砂坝沉积,沉积物粒度细,相带展布宽广。之后,研究区气候温暖湿润,水体清洁透光,氧气充足,生物大量繁殖;由于陆源碎屑物质供给相对较少,此时研究区受古地形影响表现为古隆起地貌,发育多期碳酸盐岩滩沉积(图 7)。

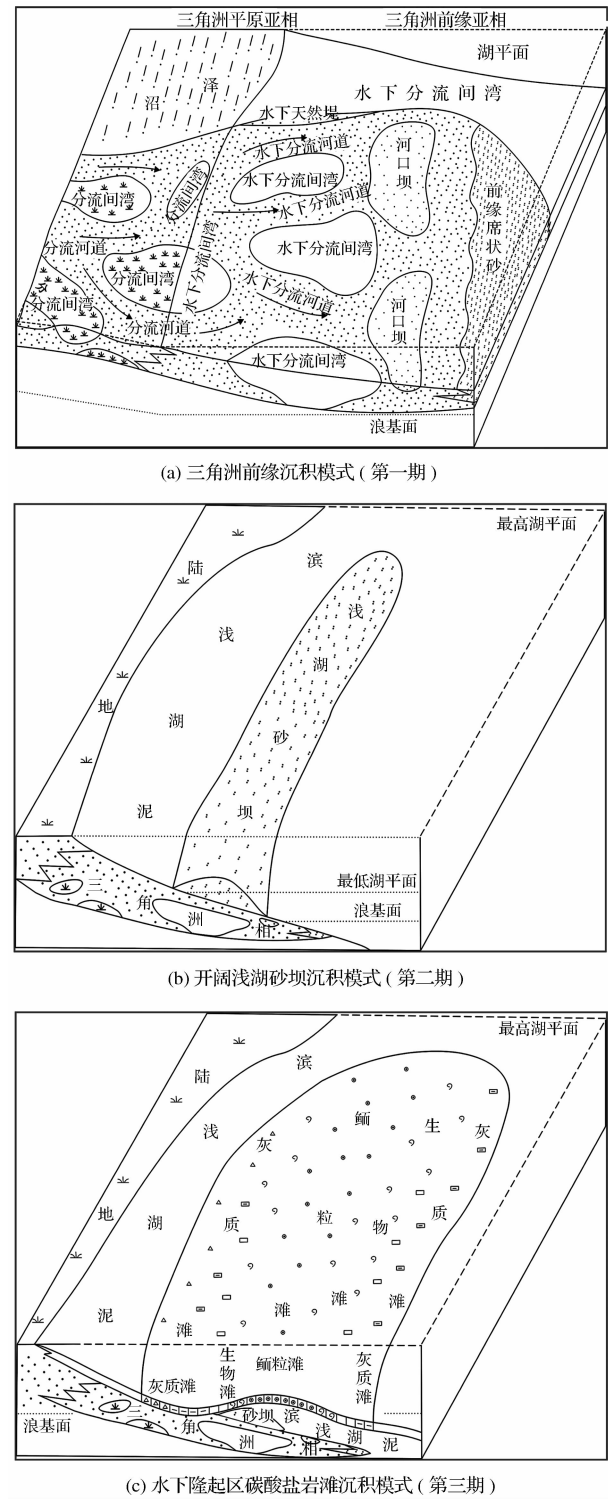


图 7 庄 2 断块阜一段、阜二段沉积模型与演化模式

5 结论

(1)阜一段 1、2 砂组发育三角洲前缘亚相沉积,至下而上发育前缘席状砂—水下分流间湾—河口坝—水下分流间湾—水下分流河道—水下天然堤—水下分流间湾微相,呈现出三角洲进积的特点。水下分流河道在湖泊的影响下能量逐渐减弱,最终尖灭消失。

(2)阜二段 2、3 砂组发育滨浅湖亚相沉积。根据滩和坝在剖面、平面以及岩性上呈现的特征,将滨浅湖亚相沉积分为生物滩、鲕粒滩、灰质滩、浅湖砂坝和滨浅湖泥 5 种微相。按岩性细分碳酸盐岩滩的类型,使其名称更加简洁、具体。研究区阜二段发育开阔浅湖砂坝和水下隆起区碳酸盐岩滩 2 种沉积模式。

(3)阜一段沉积晚期,码头庄地区开始发育三角洲沉积。受湖侵作用的影响,三角洲前缘沉积在阜一段沉积末期消失,研究区阜二段为滨浅湖亚相沉积。阜二段沉积早期,陆源碎屑供给充足,研究区广泛发育浅湖砂坝沉积。之后,由于陆源碎屑物质供给相对较少,此时研究区受古地形影响呈现为古隆起,发育多期碳酸盐岩滩沉积。

参考文献:

[1] Houser C, Greenwood C. Hydrodynamic and sediment trans-

port within the inner surf of zone a lacustrine multiple-barred nearshore[J]. Marine Geology, 2005, 218(1-4): 37-63.

[2] 朱筱敏,信荃麟,张晋仁. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 20-27.

[3] 陈世悦,杨剑萍,操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(3): 1-3.

[4] 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社, 1997: 1-200.

[5] 于广瀛,周锋德. 泌阳凹陷双江地区核三段 I、III、IV 砂组沉积微相研究[J]. 天然气地球科学, 2002, 13(1-2): 77-80.

[6] 李延平,陈树民,宋永忠,等. 大庆长垣及以东泉三、四段扶杨油层浅水湖泊—三角洲体系沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(5): 13-15.

[7] 宋春晖,方小敏,师永民,等. 青海湖现代三角洲沉积特征及形成控制因素[J]. 兰州大学学报, 2001, 37(3): 112-119.

[8] 党彝,赵虹,李文厚,等. 安塞油田延长组长 6 油层组沉积微相特征[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 597-600.

[9] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2003: 375-390.

[10] 伊强,周京津,郭志远,等. 惠民凹陷沙河街组滨浅湖碎屑滩坝沉积特征[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(增刊): 213-214.

[11] 赵澄林. 油区岩相古地理[M]. 东营:石油大学出版社, 2001: 295-307.

[12] 邱旭明,刘玉瑞,傅强. 苏北盆地上白垩统一第三系层序地层与沉积演化[M]. 北京:地质出版社, 2006: 96-106.

[13] 赵澄林,朱平,陈方鸿. 高邮凹陷高分辨率层序地层学及储层研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2001: 8-35.

The Lacustrine-deltaic Sedimentary Model of Fu1 and Fu2 Member in Matouzhuang Oilfield, Subei Basin

YANG Bai¹, YANG Shao-chun¹, ZHANG Jian-liang^{2,3,4}, WANG Jia-yue⁴, LIU Jin-hua¹

(1. Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Geology Research Institute of Jiangsu Oilfield Branch, SINOPEC, Yangzhou 225261, China)

Abstract: By studying the lithology, structure, sedimentary structure, sedimentary sequence, and character of electrical property of the lithosomic body, the sedimentary facies of Fu1 and Fu2 Member in Matouzhuang oilfield are classified. The sedimentary models of all facies are established, and the evolution of them is analyzed. There are delta front intrafacies in Fu1 Member, and frontal sand sheet, mouth bar, distributary channel under water, bay between distributary channels under water, and natural levee under water occur from bottom to top. It is characteristic of progradation of delta. Delta front intrafacies vanishes at the end of the sedimentation of Fu1 member. There are offshore-shallow lacustrine intrafacies in Fu2 Member, including the subdivided facies of organic beach, oolitic beach, calcareous beach, sandy bar in shallow lake, and mud in offshore-shallow lake. Classifying the type of carbonatite beach by lithology makes its name simple and concrete. In Fu2 Member, there are two sedimentary models of wide shallow lake sand bar and carbonatite beach in uplifted area underwater.

Key words: Matouzhuang oilfield; Lacustrine-deltaic sedimentary model; Delta front intrafacies; Longshore shallow lacustrine intrafacies; Beach and bar.