

文章编号: 1000-0550(2010)04-0706-11

苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及沉积演化

高丽坤¹ 林春明¹ 姚玉来¹ 张志萍¹ 张霞¹ 李艳丽¹ 岳信东² 刘玉瑞³ 马英俊³

(1. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 南京大学地球科学与工程学院 南京 210093;

2. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院 乌鲁木齐 830011;

3. 中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司地质科学研究院 江苏扬州 225009)

摘要 根据岩心、电测曲线、录井以及地震资料,对苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组的沉积相类型、展布特征及其演化规律进行了系统的研究。结果表明,戴南组发育扇三角洲、三角洲、近岸水下扇和湖泊四种沉积相类型,扇三角洲、近岸水下扇分布在凹陷南部陡坡,三角洲分布在北部缓坡,湖泊分布在凹陷的中心及扇三角洲、三角洲、近岸水下扇的侧翼,从凹陷边缘到中心,沉积相由扇三角洲、三角洲、近岸水下扇沉积逐渐变为滨浅湖、半深湖沉积,整体呈南北分异、隆凹成带的格局。戴南组的沉积演化可划分为戴南组一段和戴南组二段两个时期,不同时期的沉积特征、沉积相展布表现各异,总体表现出水体由浅变深,再变浅,沉积范围逐渐扩大,扇三角洲、三角洲、近岸水下扇先退积,后沉积的特点。

关键词 沉积相 三角洲 戴南组 高邮凹陷 苏北盆地

第一作者简介 高丽坤 女 1981年出生 博士研究生 沉积学与石油地质学 E-mail: gaolk@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 前言

高邮凹陷地理上位于江苏省扬州市北部,构造上位于苏北盆地东台拗陷中部,西部为菱塘桥低凸起,东部以吴堡断裂带与吴堡低凸起相连,南部以真武断裂带与通扬隆起相接,北部以斜坡形式过渡到柘垛低凸起(图1)。东西长约100 km,南北宽约20~35 km,面积约2 670 km²,是在晚白垩世征征运动和古新世末期吴堡运动期间,由于断块差异沉降而形成的南断北超箕状凹陷^[1,2]。受区域地质应力的影响,研究区内断裂与凹陷的展布方向基本一致,以北东东向为主,将凹陷切割成三部分,自南向北依次为南部断阶带、中部深凹带和北部斜坡带,自西向东发育邵伯、樊川、刘五舍三个次凹(图2)。高邮凹陷是苏北盆地油气最富集的一个凹陷,中、新生界沉积厚度达7 000 m,目前已经发现的主要含油层系有上白垩统泰州组(K₂t)、古近系阜宁组(E₁f)、戴南组(E₂d)和三垛组(E₂s)。

对苏北盆地高邮凹陷戴南组的研究,前人主要集中在古生物、层序地层、油气藏等方面^[3-7],沉积相方面也做过一些研究,但认识的分歧较大,陈泽润等^[8]认为高邮凹陷西部戴南组早期发育三角洲、水下冲积扇、浅一半深湖和三角洲前缘沿岸砂体前方浅水浊积

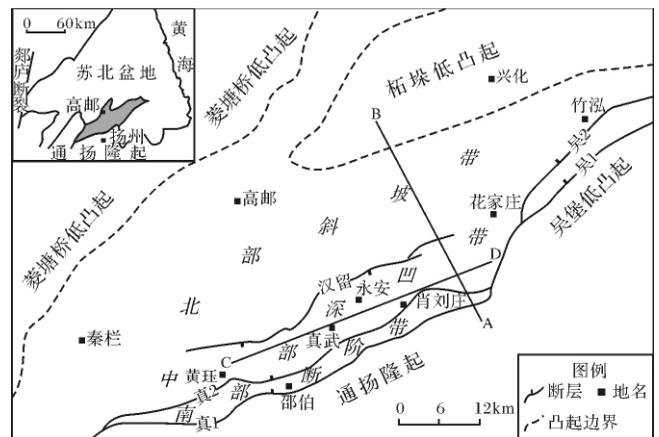


图1 高邮凹陷构造略图及其地理位置

Fig. 1 Tectonic sketch map of Gaoyou Sag

岩沉积。张小兵等^[9]认为,戴南组时期马家嘴—联盟庄地区北部主要形成了沿断裂展布方向分布的扇三角洲,而南部沿断裂走向沉积了一套近岸水下扇沉积体,深一半深湖与湖底扇沉积体系交替发育于湖盆中心。夏连军^[10]认为,高邮凹陷南部陡坡一侧普遍发育近岸水下扇,并利用多种地震解释手段,对邵伯工区的近岸水下扇进行了预测。前人多关注的是单个区块或单个层位的沉积特征,而整体上对高邮凹陷戴南组沉积相展布及其演化规律的研究,至今未见很

收稿日期: 2009-09-28; 收修改稿日期: 2009-10-10

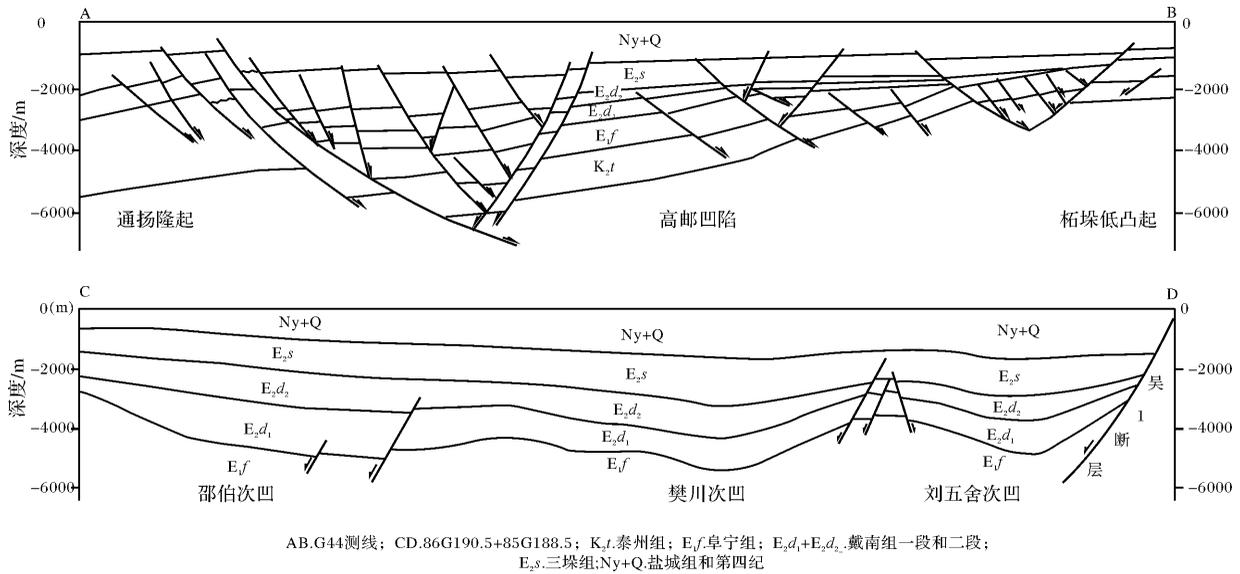


图 2 高邮凹陷地震地质解释构造剖面(据邱旭明等^[1]修改;剖面位置见图 1)

Fig. 2 Tectonic profiles of seismogeological interpretation in the Gaoyou Sag (see profiles location in Fig. 1)

好的报道。本文通过对区内 56 口钻井 1 728.8 m 的岩心、236 口井的录井和测井资料综合分析,对高邮凹陷戴南组的沉积相类型及沉积特征进行了深入分析,在此基础上,运用沉积学基本原理和方法,分别编制了高邮凹陷戴南组各亚段的地层等厚图、砂岩等厚图、砂岩百分比图、暗色泥岩等厚图等系列图件,对高邮凹陷戴南组各沉积时期沉积相平面分布及演化特点进行了研究,以期寻找岩性油气藏提供依据。

1 沉积地层

高邮凹陷古近系戴南组地层发育广泛,是该凹陷的主要储集层之一,与下伏古近系阜宁组和上覆三垛组呈不整合接触(表 1)。自下而上可分为戴南组一段(E_2d_1)和戴南组二段(E_2d_2)。戴南组一段厚度一般为 0~400 m,最厚可达 900 m,下部为棕色、灰色砂岩与灰—深灰色泥岩不等厚互层;上部为 1~5 层黑色、深灰色泥岩夹浅灰色砂岩,电性特征突出,泥岩段电阻率值为 $1 \Omega \cdot m$ 左右,且分布稳定,构成戴南组一段上部“五高导”标志层,纵向上自下而上形成粗—细的沉积旋回。根据次级沉积旋回和泥岩隔层发育特征又可将戴南组一段细分为一亚段($E_2d_1^1$)、二亚段($E_2d_1^2$)和三亚段($E_2d_1^3$)。戴南组二段地层厚度一般为 100~500 m,最厚可达 950 m,岩性为浅灰色砂岩、粉砂岩与棕色、紫色、灰色泥岩不等厚互层,纵向上自下而上形成粗—细—粗的沉积旋回,又可划分为一亚段($E_2d_2^1$)、二亚段($E_2d_2^2$)、三亚段($E_2d_2^3$)、四亚段($E_2d_2^4$)和五亚段($E_2d_2^5$)。

表 1 高邮凹陷古近系戴南组地层简表

Table 1 Stratigraphic division of the Paleogene Dainan Formation, Gaoyou Sag

系	统	组	段	亚段	最大厚度/m	岩性	岩性描述	地质事件
古近系	始新统	戴南组	戴南组	三垛组一段	700	浅棕色、灰色砂岩夹棕色或灰黑色泥岩	浅棕色、灰色砂岩夹棕色或灰黑色泥岩	真武事件
				$E_2d_2^1$	150	灰色、暗棕色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩与灰色粉砂岩夹细砂岩呈略等厚互层	灰色、暗棕色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩与灰色粉砂岩夹细砂岩呈略等厚互层	
				$E_2d_2^2$	200	棕色、暗棕色泥岩夹浅棕色、浅灰色粉砂岩、细砂岩,向上变细以泥岩为主	棕色、暗棕色泥岩夹浅棕色、浅灰色粉砂岩、细砂岩,向上变细以泥岩为主	
				$E_2d_2^3$	150	浅棕色、浅灰色粉砂岩、细砂岩、不等粒砂岩与灰色、棕色、紫色泥岩,粉砂质泥岩互层	浅棕色、浅灰色粉砂岩、细砂岩、不等粒砂岩与灰色、棕色、紫色泥岩,粉砂质泥岩互层	
				$E_2d_2^4$	200	黑色、深灰色、紫色泥岩为主夹深灰色粉砂质泥岩,浅灰色砂岩	黑色、深灰色、紫色泥岩为主夹深灰色粉砂质泥岩,浅灰色砂岩	
				$E_2d_2^5$	250	棕色、灰色不等粒砂岩、粉砂岩、棕色、暗紫色泥岩呈不等厚互层	棕色、灰色不等粒砂岩、粉砂岩、棕色、暗紫色泥岩呈不等厚互层	
				$E_2d_1^1$	200	灰色细砂岩,不等粒砂岩,砾状砂岩与深灰色、灰色、暗紫色泥岩,粉砂质泥岩呈不等厚互层	灰色细砂岩,不等粒砂岩,砾状砂岩与深灰色、灰色、暗紫色泥岩,粉砂质泥岩呈不等厚互层	吴堡事件
				$E_2d_1^2$	300	深灰—灰黑色泥页岩	深灰—灰黑色泥页岩	
				$E_2d_1^3$	400			
								古近统阜宁组四段

2 戴南组沉积相类型及特征

根据岩心观察,结合录、测井和分析化验等资料分析表明,高邮凹陷戴南组沉积以扇三角洲—湖泊和三角洲—湖泊沉积体系为主,发育有扇三角洲、三角洲、近岸水下扇和湖泊4种沉积相。岩相代码和解释参考 Miall^[11,12]的方案(表2)。

表2 高邮凹陷戴南组岩相、岩相代码和沉积构造, (据 Miall, 1977, 1978 修改)

Table 2 Lithofacies, symbols and sedimentary structures of Dainan Formation, Gaoyou Sag (modified from Miall, 1977, 1978)

岩相代码	岩相	沉积构造
Gm	杂基支撑砾岩 砂砾岩	块状构造
S-Gm	颗粒支撑砾岩 砂砾岩	块状构造
Sm	砾状砂岩 砂岩 粉砂岩	块状层理
Sg	砂岩	递变层理
Sp	细砂岩 粉—细砂岩 粉砂岩	板状交错层理
St	中—细砂岩 细砂岩 粉砂岩	槽状交错层理
Sw	细砂岩 粉砂岩	楔状交错层理
Sh	中—细砂岩 细砂岩 粉砂岩	平行层理
Slu	细砂岩 粉砂岩	包卷层理
Sdi	细砂岩 粉砂岩	泄水构造
Se	具泥砾的细砂岩 粉砂岩	泥砾
Sde	砂岩	变形构造
Sl	细砂岩 粉砂岩	透镜状层理
Sr	细砂岩 粉—细砂岩 粉砂岩	波状层理
Sc	细砂岩 粉—细砂岩 粉砂岩	爬升层理
Sbi	粉砂岩 泥岩	生物扰动构造
Fsc	粉砂岩 泥岩	水平—块状层理
F1	粉砂岩 泥岩	水平层理
Fr	含植物炭屑粉砂岩 泥岩	植物炭屑

2.1 扇三角洲相

扇三角洲沉积属于陡地形、近物源背景下快速沉积的粗碎屑岩^[3,4]。高邮凹陷戴南组扇三角洲主要分布于南部陡坡,可识别出扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲亚相。

2.1.1 扇三角洲平原亚相

系扇三角洲的水上部分,其岩石类型、结构和构造特征类似于冲积扇沉积^[5]。扇三角洲平原发育有分流河道和漫滩沼泽微相。分流河道由 S-Gm 和 Sm 组成,岩性主要为灰色、杂色厚层块状砾岩,灰色砾状砂岩、粗砂岩,成熟度低,分选差,混杂块状构造,局部见平行层理。砾石成分复杂,有石英、长石、燧石、灰岩、泥岩以及火成岩,砾径一般在 1~5 cm,最大可达 8 cm,次棱角至次圆状,颗粒支撑,泥质胶结。自然电位曲线低—中幅、齿化。漫滩沼泽位于分流河道间或单

个扇体之间的低洼地区,沉积物粒度较细,为棕色、紫红色泥岩,夹灰色、棕色粉砂岩及细砂岩薄层。

2.1.2 扇三角洲前缘亚相

系冲积扇入湖之后的水下部分,本区主要发育水下分流河道、水下分流河道间,偶尔发育河口坝、席状砂微相(图3)。

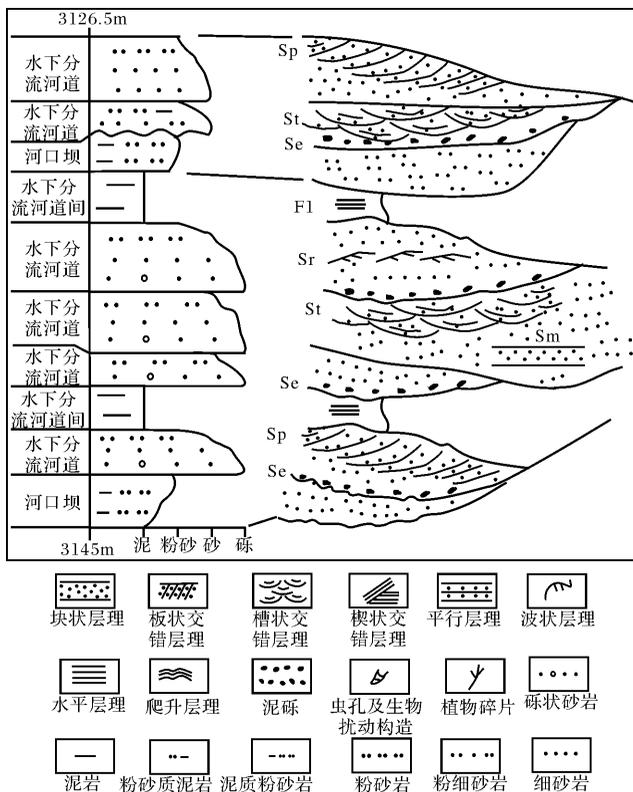


图3 高邮凹陷富35井戴南组扇三角洲前缘沉积特征
Fig. 3 Sedimentary characteristics of fan delta front of Well Fu 35 in Dainan Formation, Gaoyou Sag

1) 水下分流河道微相 该微相主要由 Sm, Sp, St, Sh, Slu, Sdi 和 Se 组成,岩性以浅灰色砾状砂岩,灰色、棕色、褐色细砂岩、粉砂岩为主。砾石砾径 0.5~2.5 cm,分选及磨圆较好,沉积构造发育,主要有块状层理、交错层理(图4-1)、平行层理、波状层理、包卷层理(图4-2)、泄水构造(图4-3)、冲刷面(图4-4)等。底部具有泥砾层(图4-5),充填序列具有向上变细的结构,显示河道充填特征。自然电位曲线负异常明显,反映其具有较好的孔渗性。

2) 水下分流河道间微相 该微相主要由 Sbi, F1 和 Fr 组成,岩性为灰色粉砂质泥岩,紫红色、棕色、深灰色泥岩,偶夹薄层泥质粉砂岩,水平层理、波状层理、透镜状层理发育,层理面上含较多云母,可见植物炭屑和生物扰动构造。由于水下分流河道冲刷力强,水下分流河道间泥岩往往被冲刷减薄,以至完全被冲

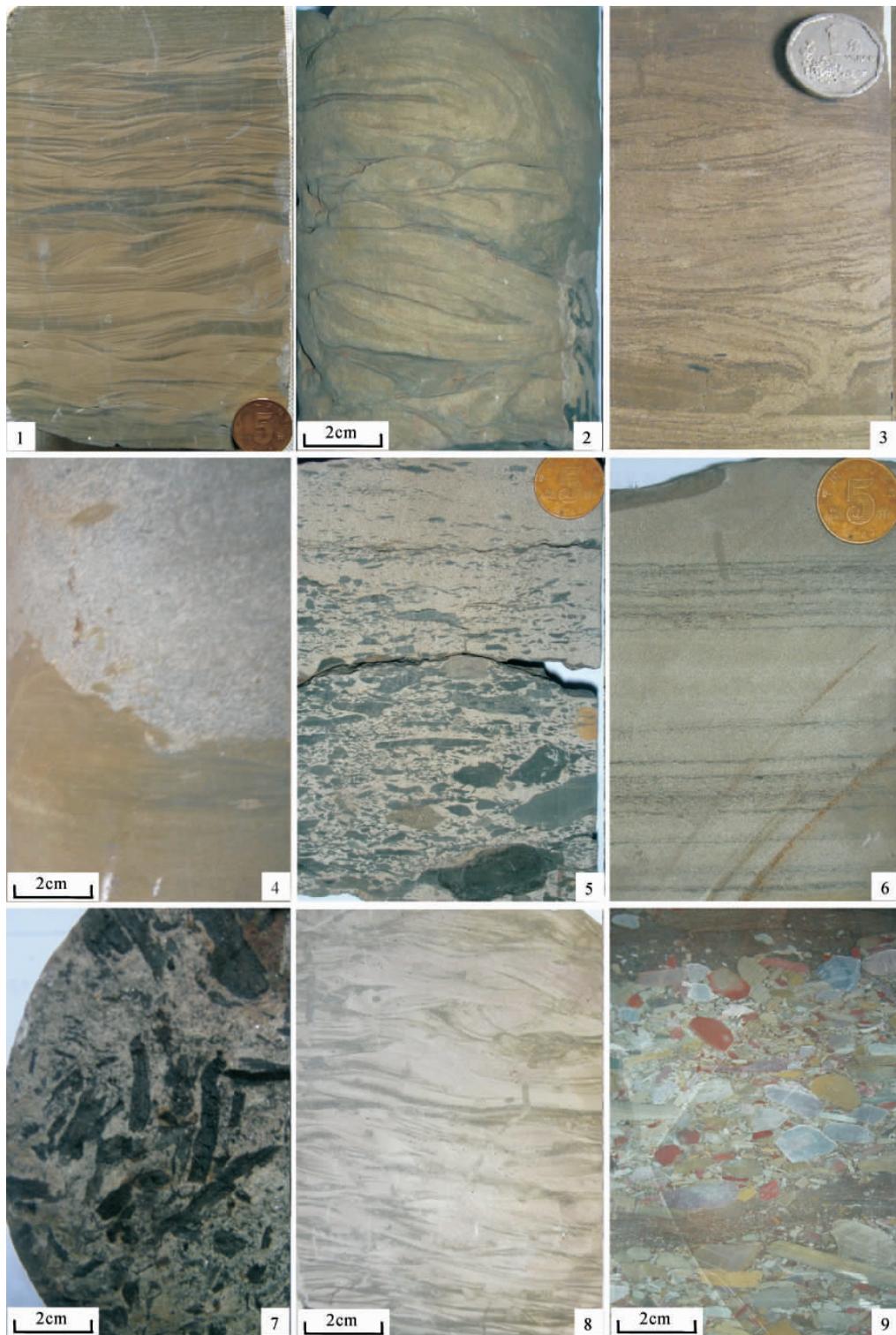


图 4 高邮凹陷戴南组岩心沉积结构构造

1. 扇三角洲前缘浅灰色泥质粉砂岩,底部具中型交错层理,中部小型交错层理,上部平行层理,富 16 井,戴一段 β 242.5 m; 2. 扇三角洲前缘浅灰色粉砂岩,发育包卷层理,曹 20 井,戴一段 β 250.66 m; 3. 扇三角洲前缘灰色细砂岩中的泄水构造,富 44 井,戴一段 β 021.34 m; 4. 扇三角洲前缘的冲刷面,曹 20 井,戴二段 β 242.28 m; 5. 扇三角洲前缘浅灰色泥砾岩,向上渐变为浅褐灰色细砂岩,富 35 井,戴一段 β 127 m; 6. 三角洲前缘浅灰色粉砂岩,发育平行层理,永 X27 井,戴一段 β 631.98 m; 7. 三角洲前缘浅灰色粉砂岩含植物炭屑,永 16 井,戴一段 β 2 607 m; 8. 三角洲前缘褐灰色泥质粉砂岩,发育虫孔及生物扰动构造,马 19 井,戴一段 β 2 029.93 m; 9. 近岸水下扇内扇杂色混杂砾岩,邵 9 井,戴一段 β 2 984.54 m.

Fig. 4 Sedimentary structures of core in Dainan Formation, Gaoyou Sag

刷掉,因此,水下分流河道间泥岩一般较薄,多以夹层形式出现。其自然电位曲线接近泥岩基线,电阻率曲线为低值齿状。

3) 河口坝微相 该微相包括 Sp, St, Sh 和 Sr, 主要由灰色、棕色粉砂岩、细砂岩组成反韵律结构,发育交错层理、平行层理、波状层理,自然电位曲线呈漏斗状。河口坝保存下来的规模较小,可能与水下分流河道能量较大和经常改道有关。

4) 席状砂微相 在扇三角洲前缘靠近湖泊的远端,水下分流河道砂体容易受到波浪的改造,在水下分流河道间以及水下分流河道前端形成单层厚度薄、分布面积大的席状砂,岩性以粉砂岩、泥质粉砂岩为主。受湖进湖退影响,席状砂常与滨浅湖泥岩交互沉

积^[6,17],自然电位曲线多为指状。

2.1.3 前扇三角洲亚相

前扇三角洲亚相主要由灰色、棕色泥岩组成,夹有砂质条带或砂质团块,包括 Sl, Sr, Fl 和 Fr,以水平层理为主,偶有波状层理、透镜状层理。自然电位曲线平直,电阻率曲线呈低值的小齿状。

2.2 三角洲相

研究区三角洲沉积广泛发育,主要出现在凹陷北部缓坡,总体岩性较扇三角洲细(表 3),地震剖面具有平行、亚平行席状的反射特点。根据岩性组合特征、沉积构造和砂体形态,可分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲,以三角洲前缘沉积最为发育,是区内戴南组的主要储集体之一。

表 3 高邮凹陷戴南组扇三角洲、三角洲、近岸水下扇的主要区别

Table 3 Differences between fan delta, delta, nearshore subaqueous fan of Dainan Formation, Gaoyou Sag

	扇三角洲	三角洲	近岸水下扇
发育部位	凹陷南部多断阶陡坡带	凹陷北部缓坡带	凹陷南部断阶陡坡带
沉积特征	具有牵引流沉积特征,发育颗粒支撑砾岩,粒度概率曲线呈两段式,沉积物的粒度相对较粗,分选较好	具有牵引流沉积特征,粒度概率曲线呈两段式,沉积物的粒度相对细小,分选好	具有重力流沉积特征,砾岩一般为杂基支撑,粒度概率曲线特征与浊流相近,颗粒混杂,分选差
微相类型	微相类型单一,扇三角洲平原亚相发育不好,前缘亚相以水下分流河道、水下分流河道间和微相为主	不仅平原亚相特别发育,且前缘亚相发育类型丰富的各种微相,包括水下分支河道、水下分支河道间、分支河口坝和前缘席状砂微相	内扇发育一条或几条主水道,中扇以辫状水道和水道间微相为主
分布特征	规模较小,平面上呈朵状	规模较大,平面上呈朵叶状	规模较小,平面上呈朵状
地震相特征	呈楔形前积地震反射,厚度大	呈平行、亚平行席状地震反射	呈楔形和丘形地震反射

2.2.1 三角洲平原亚相

系三角洲的水上部分,本区三角洲平原可分为分支河道和分支河道间微相。其中以分支河道沉积最为典型,由 Sm, Sp, St, Sh, Se 和 Sr 组成,具向上变细的沉积序列,底部发育冲刷面,含零星分布的泥砾,向上为中—细砂岩,发育块状层理、槽状交错层理、平行层理,顶部为粉—细砂岩与泥岩互层,具波状层理、爬升层理。

2.2.2 三角洲前缘亚相

三角洲前缘处于滨浅湖缓坡带,受河湖共同作用的影响^[8],可分为水下分支河道、水下分支河道间、分支河口坝及前缘席状砂微相(图 5)。

1) 水下分支河道微相 是陆上分支河道的水下延伸,当其向湖泊推进时逐渐变宽以致消失^[9]。本区的水下分支河道由 Sm, Sp, St, Sh, Se 和 Sc 组成,沉积物主要为灰色、褐色细砂岩、粉砂岩,夹有灰色、深灰色、棕色泥岩,砂岩底部具冲刷面,其上含有磨圆度

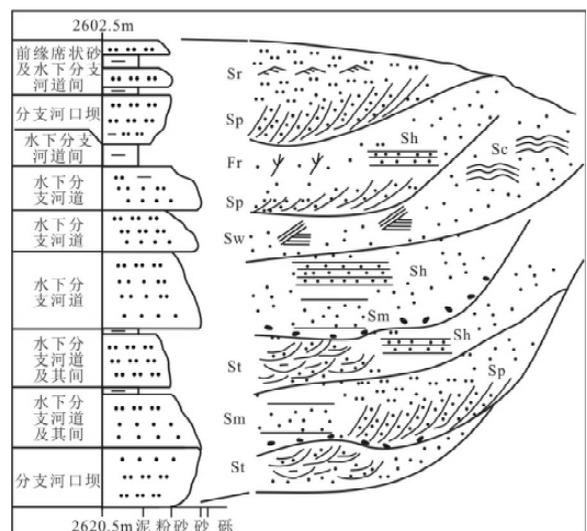


图 5 高邮凹陷永 16 井戴南组三角洲前缘沉积特征 (图例同图 3)

Fig. 5 Sedimentary characteristics of delta front of Well Yong 16 in Dainan Formation, Gaoyou Sag (illustration see Fig. 3)

较好的泥砾。底部砂岩一般不显层理,为块状,向上出现平行层理(图 4-6)、交错层理、爬升层理和水平层理。总的看来,水下分支河道呈向上变细的特征。自然电位曲线呈钟形或箱形。

2) 水下分支河道间微相 位于三角洲前缘水下分支河道砂体之间,以细粒沉积为主。由 Sr, Sbi, F1 和 Fr 组成,岩性为棕色、灰色泥岩和泥质粉砂岩,具水平层理及波状层理,植物炭屑(图 4-7)、虫孔及生物扰动构造较发育(图 4-8)。

3) 分支河口坝和前缘席状砂微相 分支河口坝的突出特点是具向上变粗的沉积序列,包括 Sp, St, Sw 和 Sh,自下而上为灰色、棕色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩,可见平行层理和交错层理。前缘席状砂位于三角洲前缘的远端,包括 Sp, Sr, Sbi 和 F1,是在河口坝周围和前方呈席状分布的粉—细砂岩薄层。砂岩、粉砂岩具波状层理、交错层理及水平层理。

值得说明的是,在联 11 等井的取心井段中可以看见发育球枕构造和包卷层理的沉积体,前人将其划分为湖底扇^[6]。在本次的研究中,笔者发现这类沉积体并不发育在水体较深的暗色泥岩间,其上下均为棕色、紫红色泥岩,推测其为滨浅湖沉积,且沉积体除变形层段外未见其它的似鲍马层序特征,因此有别于真正的湖底扇。这类沉积体主要是断层活动和古地貌等因素导致未完全固结的沉积物滑动形成的,仍然属于三角洲前缘的一部分。

2.2.3 前三角洲亚相

前三角洲位于三角洲入湖的最远端,处于正常浪基面以下,岩性主要为灰色、棕色泥岩或页岩夹灰色

粉砂岩薄层,自然电位曲线低幅,变化近于平直,间或出现细砂岩的小齿峰。

2.3 近岸水下扇相

通过详细的岩心观察,测井和录井资料分析,在研究区邵伯地区戴一段地层中发现了近岸水下扇沉积体系,并参考 Walker 的模式^[20]自物源区向凹陷方向将其分为内扇、中扇和外扇三个亚相。近岸水下扇以重力流为主,与扇三角洲的牵引流不同^[21](表 3)。粒度概率累积曲线能够较好地反映沉积物的水动力特征,扇三角洲、三角洲与近岸水下扇粒度概率累积曲线均为两段型(图 6),以跳跃搬运为主,悬浮搬运为次,缺乏滚动组分,其中,扇三角洲悬浮组分占总组分的 25% 之多,沉积物粒度相对较粗,跳跃组分粒度在 -1.0 ~ 3.5φ,三角洲悬浮组分占总组分的 10% 以上,沉积物粒度相对较细,跳跃组分粒度在 1.0 ~ 4.0φ(图 6-a),而近岸水下扇基质(>4.5φ 的颗粒)含量高,一般大于 30%,反映杂砂岩的特点,悬浮总体较扇三角洲和三角洲含量高,跳跃组分粒度在 -1.0 ~ 3.0φ(图 6-b)。三角洲粒度概率累积曲线跳跃段较扇三角洲跳跃段陡,前者斜率接近 70°,后者斜率为 57°左右,反映出三角洲分选性较扇三角洲好,而近岸水下扇各组分斜率都很低,跳跃组分斜率为 52°左右,分选最差。此外,三者跳跃次总体与悬浮次总体的截点 φ 值不同,扇三角洲的截点 φ 值在 3.0 ~ 3.5φ,三角洲的截点 φ 值在 3.5 ~ 4.0φ,近岸水下扇的截点 φ 值为在 2.5 ~ 3.0φ 之间(图 6),跳跃次总体与悬浮次总体的交截点 φ 值可反映搬运介质的扰动强度,交截点 φ 值越小,扰动强度越高^[22],

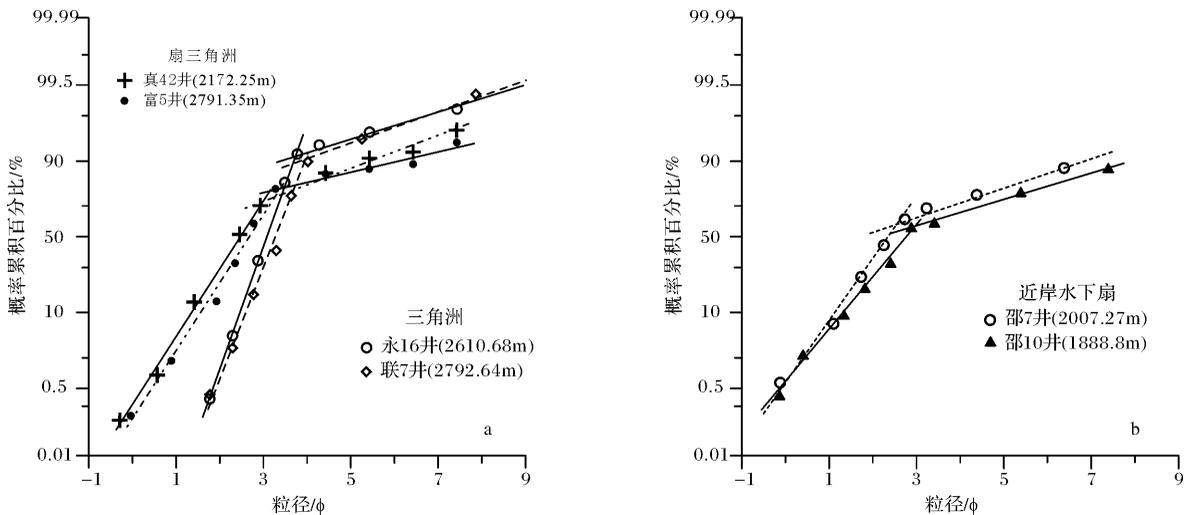


图 6 高邮凹陷戴南组扇三角洲、三角洲、近岸水下扇粒度概率累积曲线特征
 Fig.6 Characteristics of probability accumulation curves of grain sizes of fan delta ,
 delta , nearshore subaqueous fan in Dainan Formation , Gaoyou Sag

可见近岸水下扇水动力条件最强、扇三角洲次之、而三角洲的水动力条件最弱。

2.3.1 内扇亚相

内扇亚相发育一条或几条主水道,主水道实际上是欠补偿的下切谷^[23],包括Gm,Se和Sde(图7),主要由杂基支撑杂色砾岩、砂砾岩、砂岩夹暗棕色泥岩组成,常见大量巨砾悬浮在杂基中,底部常发育冲刷面,可称其为水下泥石流沉积。主水堤由漫出水道的低密度浊积岩组成,但因其易被破坏,不易保存,因而垂向剖面上多为砾岩层直接叠置,中间无或含少量泥质夹层。沉积构造以混杂块状构造(图4-9)、滑塌变形构造和冲蚀构造为主。

2.3.2 中扇亚相

中扇亚相由辫状水道和水道间微相组成。辫状水道是中扇的主体,由S-Gm,Sm,Sg,Sp,St,Sh组成(图7),岩性为灰色、灰白色砂砾岩、砂岩,成分成熟度和结构成熟度中等或较低,其底部常见冲刷面和底面印模(如槽模),内部常发育块状层理,有时见递变层理、平行层理或交错层理。由于辫状水道没有堤,加之水道易发生侧向迁移,使水道间形成的细粒物质易被冲刷掉^[20],本区水道间主要由薄层泥岩夹层组成。中扇一般具有正旋回性,自然电位曲线常呈指形、钟形或齿化箱形。

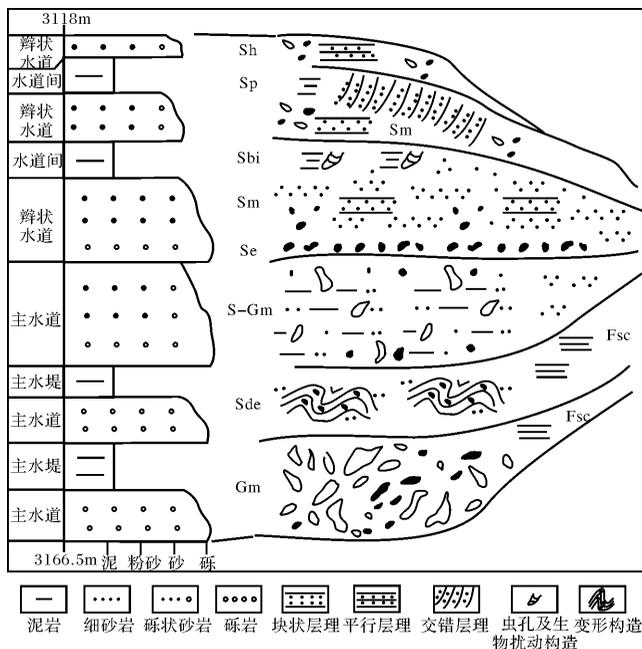


图7 高邮凹陷邵6井戴南组近岸水下扇沉积特征

Fig.7 Sedimentary characteristics of nearshore subaqueous fan of Well Shao 6 in Dainan Formation, Gaoyou Sag

2.3.3 外扇亚相

外扇位于近岸水下扇的最前缘,岩性以暗色泥岩为主,有粉砂岩、泥质粉砂岩,偶见薄层细砂岩。沉积构造为波状层理、水平层理。自然电位曲线为低幅齿化。

2.4 湖泊相

湖泊沉积发育于整个戴南组,岩性整体偏细,分布于扇三角洲、三角洲和近岸水下扇的侧翼和远端,根据岩心观察、录测井资料及地理位置分析,研究区发育滨浅湖和半深湖亚相。

2.4.1 滨浅湖亚相

位于洪水线和正常波基面之间,受湖水进退的影响较大,时而被湖水淹没时而暴露氧化。砾质、砂质供应充分时,可形成砾质、砂质湖滩沉积,若湖滨地形平缓,水动力较弱,物质供应以泥质为主,可形成泥滩沉积^[15]。研究区滨浅湖亚相由Sbi,Fl和Fr组成,岩性主要为棕灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、暗紫色粉砂质泥岩和暗棕色泥岩,发育水平层理、波状层理,并见垂直生物潜穴、生物扰动构造以及植物根茎等化石碎片。自然电位曲线呈低幅线状,电阻率曲线呈中—低值锯齿状。

2.4.2 半深湖亚相

位于正常浪基面以下到湖盆中水体最深的部位,处于缺氧的弱还原—还原环境。由Sl和Fsc组成,该相带岩性特征表现为粒度细、颜色深、有机质含量高,岩石类型以暗色泥岩为主,发育水平层理及透镜状层理。

3 戴南组沉积相展布及其演化规律

根据戴南组残留地层的分布特征,戴南组沉积时期凹陷演化过程可划分为戴南组一段沉积时期和戴南组二段沉积时期,戴南组一段沉积时期又可划分为早期、中期和晚期。不同阶段的沉积特征表现各异,但总体表现出一套完整的水进—水退沉积旋回,沉积物粒度由粗变细再变粗的特点。

3.1 戴南组一段沉积时期

吴堡运动后,高邮凹陷基底抬升,北东向断裂进一步发育,沉积了戴南组一段地层,其与下伏阜宁组地层呈不整合接触,地层南厚北薄,最大厚度达900m。戴南组一段沉积时期表现为向上变细的水进半旋回沉积序列。

早期断层活动强烈,地层的发育受断裂控制,南部真2断层形成了凹陷的南界,北部汉留断层起着坡折带的作用,沉积范围主要局限于真2和汉留两大断

层(图 1)之间的深凹地区,沉降中心位于邵伯次凹,厚度接近 400 m。砂岩厚度东高西低,最厚可达 60 m 以上,如富民地区,一般在 20~40 m(图 8-a)。凹陷南部主要形成黄珏、真武—曹庄、肖刘庄、富民、周庄五个扇三角洲,邵伯地区断层陡,发育规模较小的近岸水下扇(图 9-a)。北部物源大体分三支进入湖盆,在联盟庄、永安和富民北部形成独立的三角洲沉积。凹陷的中部主要为滨浅湖沉积(图 9-a)。

中期构造活动减弱,受小规模的水进活动影响,水体加深,沉积边界向南、向北分别越过真 2 断层和汉留断层,沉积范围增大,地震剖面上可见到地层逐层超覆。沉降中心位于邵伯、樊川次凹,最大厚度将近 300 m。砂岩厚度东高西低,富民、永安地区最厚可达 80 m 以上,一般在 20~40 m(图 8-b)。南部从西往东发育黄珏、真武—曹庄、肖刘庄、富民、周庄扇三角洲,邵伯地区继承早期沉积特征,发育近岸水下扇。该时期由于可容空间增大,物源供应充分,扇体规模均有所扩大。北部由早期孤立的小型三角洲发育成为一个统一、大型的三角洲。该时期的马家嘴地区开始接受沉积,在凹陷的南坡和北坡分别发育两个独立的三角洲(图 9-b)。

晚期凹陷发生湖侵,水体深度达到最大,沉积范围继续扩大。“五高导”黑色泥岩的分布范围代表了当时湖盆的沉积边界,沉降中心位于邵伯次凹,厚度为 200 m。砂岩厚度在富民、永安和沙埕地区较大,可达 40 m,一般在 20 m(图 8-c)。这一时期水进持续时间长,湖盆规模大,波浪作用强,南北砂体向岸退缩。在南部真武—曹庄和周庄地区,分别由中期一个统一的扇三角洲演化成两个独立、小型的扇三角洲,北斜坡的三角洲尽管向岸退缩,但仍为一个统一的三角洲(图 9-c)。在凹陷的邵伯、樊川和刘五舍次凹发育半深湖沉积,在扇三角洲、三角洲和近岸水下扇的侧翼发育滨浅湖沉积。

戴南组一段主要发育有扇三角洲、三角洲、近岸水下扇和湖泊相,水体由浅变深。邵伯、樊川和刘五舍次凹的暗色泥岩较厚,可达 120 m,为凹陷的三个沉积中心。南部靠近真 2 断层附近地带自下而上发育扇三角洲平原—扇三角洲前缘—滨浅湖的沉积序列,邵伯地区为单断阶的构造模式,发育近岸水下扇沉积,南部扇体沿陡岸呈相对孤立状分布。北部和西部缓坡带发育大型三角洲沉积,自下而上为三角洲平原—三角洲前缘—滨浅湖沉积序列。

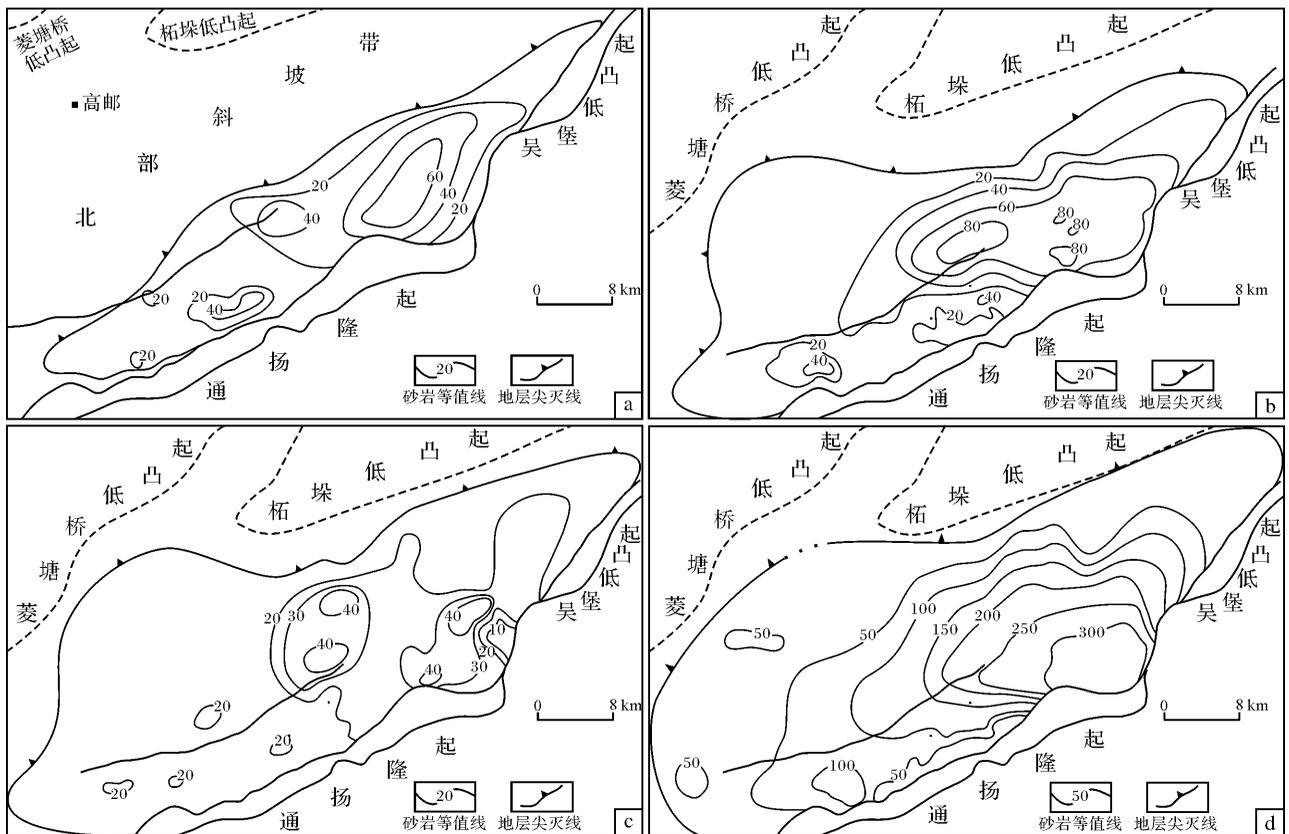


图 8 高邮凹陷戴南组各期砂岩等厚图

Fig. 8 Isopach map of sandstone in different stages of Dainan Formation, Gaoyou Sag

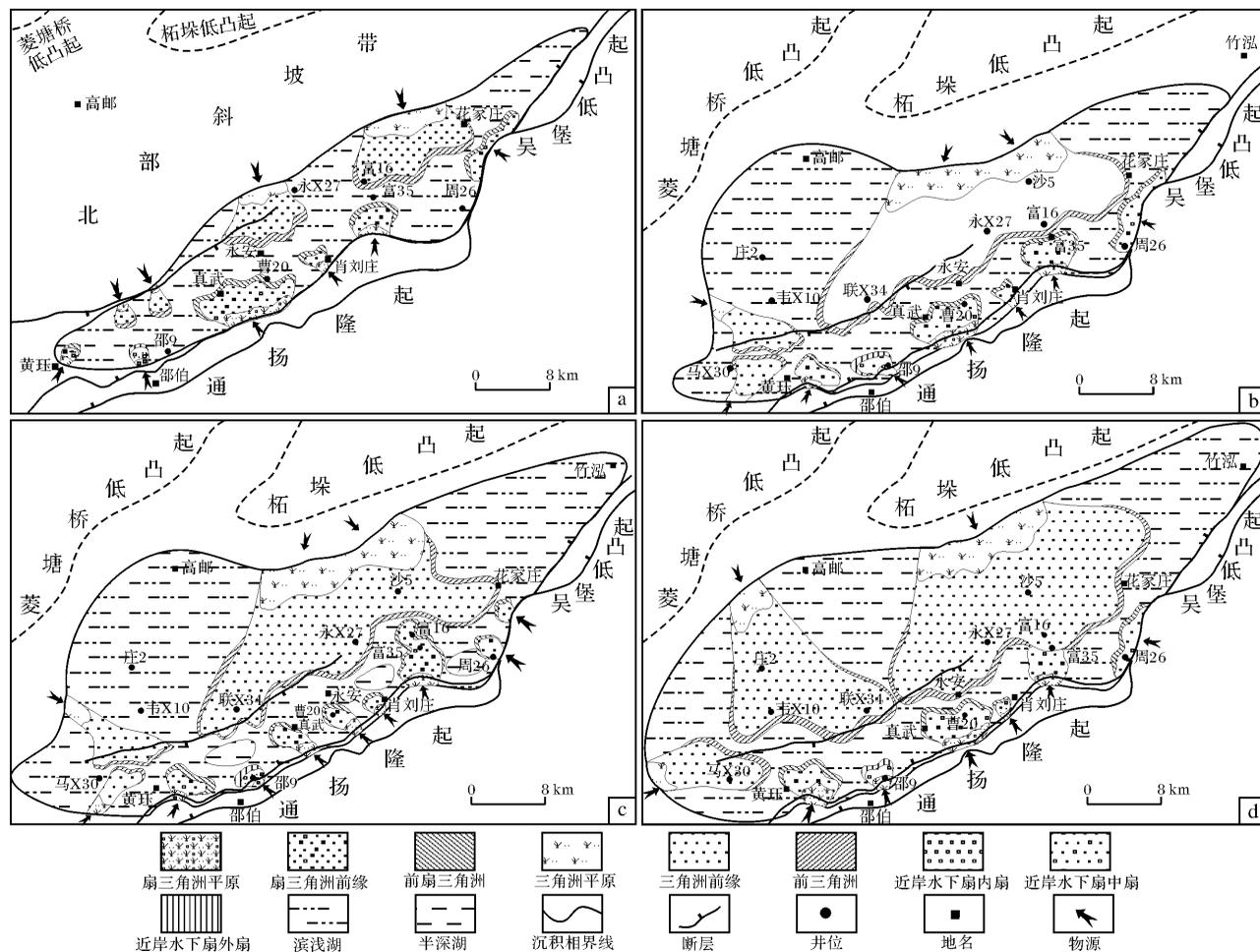


图9 高邮凹陷戴南组各期沉积相

Fig.9 Sedimentary facies of different stages in Dainan Formation , Gaoyou Sag

3.2 戴南组二段沉积时期

戴南组二段沉积继承了戴南组一段的沉积格局，凹陷经过戴一段的沉积充填及戴二段的区域性的抬升，水体变浅，沉积范围扩大，基本上遍布了整个凹陷（图9-d）。沉降中心在邵伯、樊川次凹，最大沉积厚度超过700 m，向北地层厚度逐渐减薄。戴南组二段沉积时期总体表现为一个大的向上变粗的水退半旋回沉积序列，期间发生过1次小的水进和水退旋回，沉积物粒度自下而上显示粗—细—粗的三段性。

南部靠近断裂附近地带自下而上发育扇三角洲平原—扇三角洲前缘—滨浅湖—扇三角洲前缘—扇三角洲平原的沉积序列，邵伯地区由于水体变浅，沉积体有露出水面的部分，发育扇三角洲沉积，扇三角洲平面上呈朵状，相带分布相对较窄。北部和西部缓坡带继承发育大型三角洲沉积，自下而上为三角洲前缘—滨浅湖—三角洲前缘沉积序列，平面呈朵叶状，前缘亚相横向展布面积较大。该时期陆源沉积体规

模的增大，使富民地区南部扇三角洲与北部三角洲交叉叠置，砂岩厚度达300 m（图8-d）。湖泊由戴一段晚期的半深湖变为滨浅湖，沉积在凹陷中部和扇三角洲、三角洲和近岸水下扇的侧翼（图9-d）。

由此可见，高邮凹陷北部斜坡宽缓、开阔，主要发育大型的三角洲沉积。南部陡坡带相对狭窄、陡峭，主要发育扇三角洲、近岸水下扇沉积，沉积体系规模总体较小，其中在有多级断阶发育的地区因地形相对宽缓，多级断阶起到了台地的作用，因此发育扇三角洲沉积，如黄珏、真武—曹庄、肖刘庄、富民、周庄地区；而在单断阶发育的邵伯地区相对陡峭，河流出口后直接进入湖则形成近岸水下扇沉积。马家嘴地区因距离物源区相对较远，地形平缓而形成小型三角洲沉积。

4 结论

高邮凹陷戴南组主要发育扇三角洲、三角洲、近

岸水下扇和湖泊四种沉积相类型。平面上,近岸水下扇和扇三角洲沉积体系主要分布在凹陷的南部陡坡,三角洲体系继承性发育于凹陷北部缓坡,湖泊沉积体系发育于凹陷中心和扇三角洲、三角洲和近岸水下扇的侧翼。纵向上,由下向上地层逐渐超覆,沉积范围不断扩大,戴南组一段以发育近岸水下扇—扇三角洲—三角洲—湖泊相组合为特征,戴南组二段以发育扇三角洲—三角洲—湖泊相组合为特征,这种沉积格局受凹陷周边断层和古地形控制,它们除限制湖盆的范围、演化外,还为湖盆提供大量陆源物质,这些变化可由沉积物组合和沉积相分布变化得到反映。扇三角洲前缘水下分流河道和三角洲前缘水下分支河道砂体物性较好,是油气富集的有利相带,可能成为下一步岩性油气藏勘探的目标。

致谢 本文得到江苏油田地质科学研究院有关人员大力支持,在此致以衷心的感谢!

参考文献(References)

- 1 陈安定. 苏北箕状断陷形成的动力学机制 [J]. 高校地质学报, 2001, 7(4): 409-418 [Chen Anding. Dynamic mechanism of formation of dustpan subsidence, Northern Jiangsu [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(4): 409-418]
- 2 曾萍. G78 区域大剖面综合解释与苏北盆地构造特征 [J]. 石油天然气学报, 2007, 29(3): 82-86 [Zeng Ping. Synthetic interpretation of the G78 profile and tectonic characteristics of Subei Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(3): 82-86]
- 3 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: 1-154 [Qiu Xuming, Liu Yurui, Fu Qiang. Sequence Stratigraphy and Sedimentary Evolution of Upper Cretaceous - Tertiary in Northern Jiangsu Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-154]
- 4 陆红梅. 苏北盆地高邮凹陷陆相层序地层研究 [J]. 断块油气田, 2000, 7(1): 18-22 [Lu Hongmei. Continental sequence stratigraphy study of Gaoyou Sag in Subei Basin [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2000, 7(1), 18-22]
- 5 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷第三系—上白垩统层序地层格架特征 [J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 393-399 [Zhang Xilin, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang, et al. The character of sequence framework of Tertiary and Upper Cretaceous in Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 393-399]
- 6 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制 [J]. 古地理学报, 2005, 7(2): 207-218 [Zhang Xilin, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang, et al. Sedimentary facies and its controlling on subtle oil and gas reservoirs of the Dainan Formation of Paleogene in Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2): 207-218]
- 7 庞金梅, 曹冰. 高邮凹陷戴南组隐蔽油气藏的成因及勘探实践 [J]. 海洋石油, 2005, 25(3): 7-13 [Pang Jinmei, Cao Bing. Origin and exploration practice of E₂d concealed oil and gas accumulation in Gaoyou Sag [J]. Offshore Oil, 2005, 25(3): 7-13]
- 8 陈泽润, 吴建耀. 高邮凹陷西部戴南组早期沉积特征与油气关系 [J]. 小型油气藏, 2006, 11(2): 11-15 [Chen Zerun, Wu Jianyao. Early deposition feature of Dainan Formation in the west of Gaoyou sag and its relation to oil and gas [J]. Small Hydrocarbon Reservoirs, 2006, 11(2): 11-15]
- 9 张小兵, 郑荣才, 张峭楠. 高邮凹陷马家嘴—联盟庄地区戴南组构造—沉积体系 [J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(1): 13-17 [Zhang Xiaobing, Zheng Rongcai, Zhang Shaonan. The tectonic-sedimentary system of the Dainan Formation in Majiazui-Lianmenzhuang region, Gaoyou Sag [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(1): 13-17]
- 10 夏连军, 吴向阳, 毛树礼, 等. 高邮凹陷邵伯地区近岸水下扇的地震预测 [J]. 勘探地球物理进展, 2008, 31(3): 212-218 [Xia Lianjun, Wu Xiangyang, Mao Shuli, et al. Seismic prediction of nearshore subaqueous fan in Shaobo, Gaoyou Depression [J]. Progress in Exploration Geophysics. 2008, 31(3): 212-218]
- 11 Miall A D. A review of the braided river depositional environment [J]. Earth Science Reviews, 1977, 13: 1-62
- 12 Miall A D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary [M]//Miall A D, ed. Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geology Memoir 5, 1978: 597-604
- 13 Falk P D, Dorsey R J. Rapid development of gravelly high-density turbidity currents in marine Gilbert-type fan deltas, Loreto Basin, Baja California Sur, Mexico [J]. Sedimentology, 1998, 45: 331-349
- 14 Longhitano S G. Sedimentary facies and sequence stratigraphy of coarse-grained Gilbert-type deltas within the Pliocene thrust-top Potenza Basin (Southern Apennines, Italy) [J]. Sedimentary Geology, 2008, 210: 87-110
- 15 林春明, 宋宁, 牟荣, 等. 江苏盐阜拗陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化 [J]. 沉积学报, 2003, 19(4): 553-559 [Lin Chunming, Song Ning, Mu Rong, et al. Sedimentary facies and evolution of Late Cretaceous in the Yanfu Depression from Jiangsu Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 19(4): 553-559]
- 16 楼章华, 卢庆梅, 蔡希源, 等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响 [J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 27-31 [Lou Zhanghua, Lu Qingmei, Cai Xiyuan, et al. Influence of lake level fluctuation on sandbody shapes at shallow-water delta front [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(4): 27-31]
- 17 夏文臣, 雷建喜, 王超勇. 鄂尔多斯盆地南部延安组水下分流河道型湖泊三角洲体系的沉积构成 [J]. 地球科学, 1991, 16(2): 219-228 [Xia Wenchen, Lei Jianxi, Wang Chaoyong. The depositional architecture of the lacustrine deltaic system with subaqueous distributary channel of Yan'an Formation in Southern Ordos Basin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1991, 16(2): 219-228]
- 18 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化 [J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315 [Wu Fuli, Li Wenhou, Li Yuhong, et al. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin [J].

- Journal of Palaeogeography, 2004, 6(3): 307-315]
- 19 楼章华, 兰翔, 卢庆梅, 等. 地形、气候与湖面波动对浅水三角洲沉积环境的控制作用 [J]. 地质学报, 1999, 73(1): 83-92 [Lou Zhanghua, Lan Xiang, Lu Qingmei, *et al.*. Controls of the topography, climate and lake level fluctuation on the depositional environment of a shallow-water delta [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(1): 83-92]
- 20 Walker R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: Models for exploration for stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62: 932-966
- 21 张萌, 田景春. “近岸水下扇”的命名、特征及其储集性 [J]. 岩相古地理, 1999, 19(4): 42-52 [Zhang Meng, Tiang Jingchun. The nomenclature, sedimentary characteristics and reservoir potential of nearshore subaqueous fans [J]. Lithofacies and Palaeogeography, 1999, 19(4): 42-52]
- 22 林春明, 李广月, 卓弘春, 等. 杭州湾地区晚第四纪下切河谷充填物沉积相与生物气勘探 [J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 12-24 [Lin Chunming, Li Guangyue, Zhuo Hongchun, *et al.*. Sedimentary facies of incised filling of the Late Quaternary in Hangzhou Bay area and shallow biogenic gas exploration [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 12-24]
- 23 刘招君. 湖泊水下扇沉积特征及影响因素——以伊通盆地莫里青断裂双阳组为例 [J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 148-154 [Liu Zhaojun. Subaqueous fan sedimentary characteristics and influence factors: A case study of Shuangyang Formation in Moliqing fault subsidence of Yitong Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 148-154]

Sedimentary Facies and Evolution of Paleogene Dainan Formation in Gaoyou Sag, Subei Basin

GAO Li-kun¹ LIN Chun-ming¹ YAO Yu-lai¹ ZHANG Zhi-ping¹ ZHANG Xia¹
LI Yan-li¹ YUE Xin-dong² LIU Yu-rui³ MA Ying-jun³

(1. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093;

2. E & D Research Institute of Northwest Branch, SINOPEC, Urumqi 830011;

3. Institute of Geological Sciences, Jiangsu Oilfield Branch Company, SINOPEC, Yangzhou Jiangsu 225009)

Abstract Based on a comprehensive analysis of core, logging data and seismic survey, the sedimentary facies types of Paleogene Dainan Formation, Gaoyou Sag, Subei Basin were studied systematically, as well as their distribution and evolution. The research showed that fan delta, delta, nearshore subaqueous fan and lacustrine facies deposited in the formation, of which fan delta and nearshore subaqueous fan located along the steep south border, delta in the gently north slope and lacustrine in the central zone of the deep area and the flank of the fan delta, delta and nearshore subaqueous fan. From the margin to the depocenter of the sag, the sedimentary environments gradually changed from fan delta, delta or nearshore subaqueous fan to shore-shallow sediments and middle depth lacustrine. The palaeogeography of the Dainan Formation displayed a clear south-north zonation. The sedimentary evolution of Dainan Formation was divided into two stages, in which the sedimentary characteristics and the sedimentary facies distribution were correspondingly different. As a whole, the depth of water changed from shallow to deep, and then to shallow, sedimentary area gradually enlarged, and fan delta, delta and nearshore subaqueous fan first retrogradated, then progradated.

Key words sedimentary facies; delta; Dainan Formation; Gaoyou Sag; Subei Basin