

文章编号: 1000-0550(2003)04-0553-07

# 江苏盐阜拗陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化<sup>①</sup>

林春明<sup>1</sup> 宋宁<sup>1</sup> 牟荣<sup>2</sup> 赵彦彦<sup>1</sup> 汪亚军<sup>2</sup> 杨德洲<sup>2</sup>

1(南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室 南京 210093)

2(中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司物探技术研究院 南京 210016)

**摘要** 为系统探讨区内晚白垩世浦口组沉积相类型、沉积特征, 深入研究了浦口组各亚段沉积相平面分布及盆地沉积演化规律。研究表明, 浦口组主要发育冲积扇、扇三角洲和湖泊三种主要沉积相类型。从盆地边缘到盆地中心, 沉积相由冲积扇沉积逐渐变为扇三角洲或滨湖、浅湖、半深湖或盐湖相沉积; 自下而上由冲积扇沉积逐渐变为扇三角洲或滨湖, 至浅湖、半深湖或盐湖相, 再到浅湖相沉积。晚白垩世浦口组沉积时期, 盆地演化过程可划分为初、早、中和晚四个时期。不同时期、不同地区的沉积特征表现各异, 但总体表现出拗陷具有由小到大, 再缩小的发育特点。

**关键词** 沉积相 沉积演化 浦口组 盐阜拗陷

**第一作者简介** 林春明 男 1964年出生 副教授 博士 沉积学与石油地质学

中图分类号 P534.5 文献标识码 A

## 1 前言

盐阜拗陷位于苏北盆地的北部, 是下扬子区北缘一个大型的以陆相沉积为主的中、新生代沉积拗陷, 面积约7 000 km<sup>2</sup>。盐阜拗陷北接滨海隆起, 南以断裂与建湖隆起相接, 西以淮阴—响水断裂与鲁苏隆起相隔, 东临黄海(图1)。从浦口组现今残留厚度看, 存在两个残留厚度较大的地区, 即形成了盐城和淮阴两个拗陷(图1、图2), 它们之间被溱潼—大喇叭凸起所分割, 构成了东西凹凸相间、南北隆拗成带的构造格局。两拗陷均呈南断北超箕状, 但其残留厚度不尽相同(图

1, 图2), 且岩相也有一定差异, 表明它们之间既有相互联系, 又有一定的区别。盐城拗陷代表井为苏参1井、盘斜1井、苏104井和盐城3井, 浦口组厚度分别为1 899.0 m、676.33 m、643.5 m和675.0 m。淮阴拗陷代表井有苏123、苏131和N参1井, 其浦口组厚度都超过2 000.0 m, N参1井为最厚, 达2 730.5 m。

研究区晚白垩世浦口组生物地层、构造演化方面<sup>[1, 2, 3]</sup>研究程度较高, 近年来, 由于在盐城拗陷朱家墩构造第三纪阜宁组、晚白垩世泰州组和浦口组、泥盆纪五通组见油气显示, 并在阜宁组和泰州组获得天然气生产, 从而引起人们对研究区上白垩统油气地质条

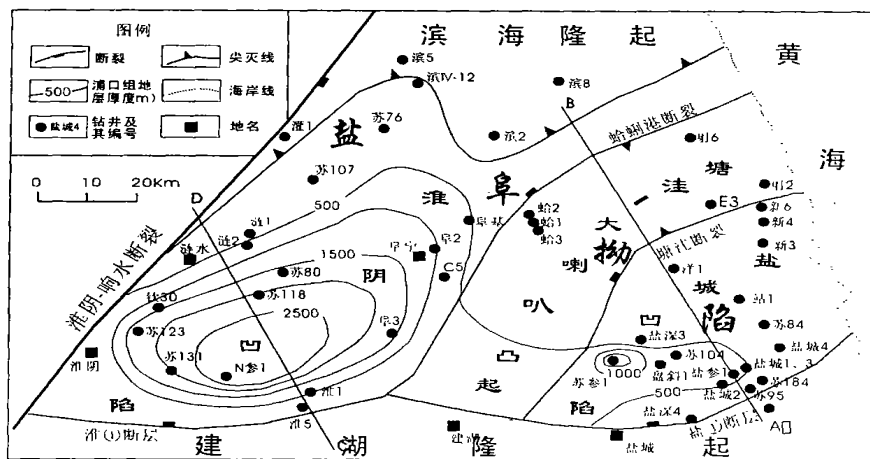
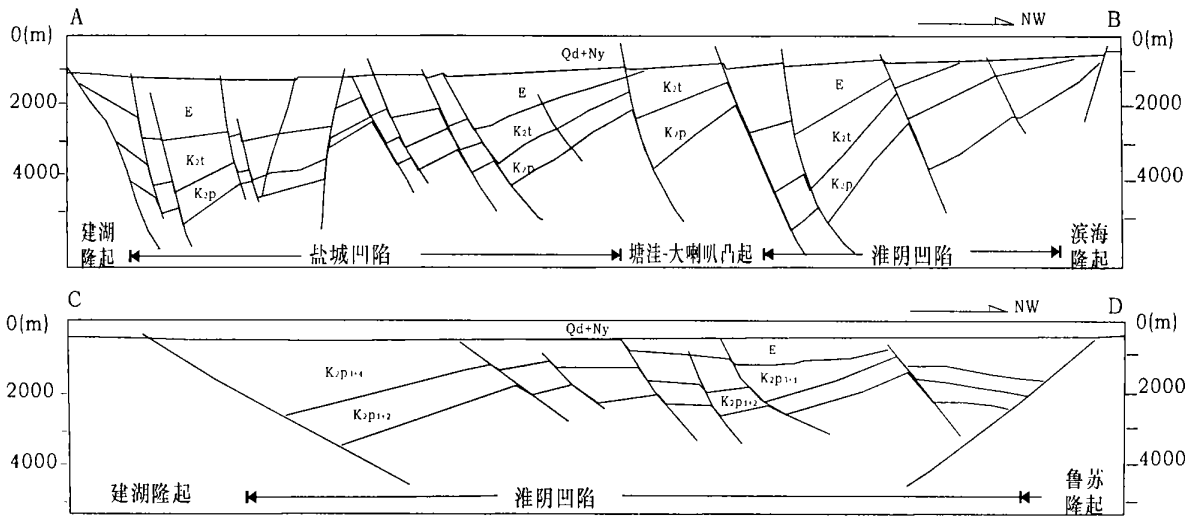


图1 盐阜拗陷晚白垩纪构造略图

Fig. 1 A sketch tectonic map of the Late Cretaceous in the Yanfu Depression

① 国家自然科学基金项目(批准号: 40272063)资助

收稿日期: 2002-10-09 收修改稿日期: 2002-11-25



AB—NY77.5+SCG126 测线; CD—G44 测线;  $K_2p_{1+2}$ —浦口组一段和二段;  $K_2p_{3+4}$ —浦口组三段和四段;

$K_2t$ —泰州组; E—老第三系; Ny—盐城组; Qd—东台组

图2 盐阜拗陷地震地质解释构造剖面

Fig. 2 Structure profiles of seismogeological interpretation in the Yanfu Depression

件的更多重视<sup>[4]</sup>。浦口组沉积相及其沉积演化方面,前人也提出了一些有益的认识<sup>[5,6]</sup>,然而,就其研究的系统性、全面性尚嫌不足。本文在大量钻井、地震和分析化验资料基础上,运用沉积学基本原理和方法,对盐阜拗陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化进行了较为系统的研究,这对该区中生界的油气藏的勘探开发有着重要的意义。

## 2 沉积地层

江苏省上白垩统自下而上发育浦口组( $K_2p$ )、赤山组( $K_2c$ )和泰州组( $K_2t$ ),浦口组为晚土伦期(Turonian)至桑顿期(Santonian)地层<sup>[7]</sup>。研究区浦口组与下伏海相中古生界多以不整合接触,较易划分。依据岩性、电性特征,结合古生物资料,浦口组垂向上可分为四段,自下向上分别称为浦一段( $K_2p_1$ )、浦二段( $K_2p_2$ )、浦三段( $K_2p_3$ )和浦四段( $K_2p_4$ )。

$K_2p_1$ 以砾岩、砂砾岩为其主要岩性,也称为砾岩段,其砾石成份混杂,有灰岩砾、白云岩砾、石英砾、泥岩砾、火山岩砾等,灰岩砾的分布最为广泛。砾岩颜色呈灰色、棕红色、棕色及杂色,砾石分选差,次圆至棱角状。砾岩及火山角砾岩的电阻率曲线(Rd)呈高值箱状、中—高值块状、不规则锯齿状;自然电位曲线(SP)呈中—高幅度箱状及中—低值不规则状;自然伽玛曲线(GR)呈低值近平直状。 $K_2p_1$ 视厚度0~540.0 m。

$K_2p_2$ 岩性横向变化较大。淮阴凹陷以苏131井和N参1井为代表,为白色盐岩夹灰色、咖啡色泥岩,或两者互层,电阻率值 $10\Omega_m$ 左右,GR呈低值锯齿状

夹高值刺状。盐城凹陷以苏参1井为代表,岩性较粗,为棕色、褐色砂岩,下部夹杂色砾岩、砂砾岩。视厚度0~1194 m。

$K_2p_3$ 岩性为棕色泥岩、含膏泥岩夹膏质粉砂岩。淮阴凹陷含膏、含盐丰富,尤以N参1井 $K_2p_3$ 上部,甚至发育大套无色盐岩。Rd以梳齿状为特征, $K_2p_3$ 视厚度0~1004.0 m。

$K_2p_4$ 呈棕色,局部为灰色,岩性为泥岩、粉砂质泥岩,Rd值低,岩、电性横向变化小。该段以Rd梳状特征的出现作为与下伏地层的分界,此特征在淮阴凹陷N参1等井表现明显,Rd与GR均呈锯齿状,SP微弱起伏或近于平直。产介形虫、轮藻等化石。视厚度0~607 m。

## 3 沉积相类型及其特征

我们依据岩石相、生物相、沉积构造,以及所处的地理位置、形成机制、流动体制等综合因素,将本区浦口组概括为冲积扇、扇三角洲和湖泊三种主要沉积相类型(表1)。

### 3.1 冲(洪)积扇相

分布在盆缘和湖区的最外缘,扇体的规模较大, $K_2p_1$ 最发育(表1)。以盐城凹陷盘斜1井为例, $K_2p_1$ 是一个发育较好的冲积扇沉积层序,自下而上可划分出扇中和扇缘2个亚相,缺扇根亚相。

#### 3.1.1 扇中

分布于冲积扇中部,构成冲积扇的主体。与扇根相比,砂/砾比值较大,以辫状分支河道和片流或漫流

表 1 盐阜拗陷浦口组沉积相类型

Table 1 Types of sedimentary facies of Pukou Formation in Yanfu Depression

| 沉积相     | 沉积亚相   | 微相或岩石类型            | 凹陷、典型钻井及层位   |   |
|---------|--------|--------------------|--|---|
|         |        |                    | 盐城凹陷   | 淮阴凹陷  |
| 冲(洪)积扇  | 扇中     | 河道充填、漫流            | K <sub>2</sub> p <sub>1f</sub> : 盘斜 1 井、盐城 4 井、苏参 1 井、盐城 3 井、盐深 3 井  | K <sub>2</sub> p <sub>1</sub> : 涟 2 井, 苏 83 井, N 参 1 井  |
|         | 扇端     | 浅河道、漫流             | K <sub>2</sub> p <sub>1f</sub> : 盘斜 1 井、盐城 3 井、盐深 3 井  |   |
| 扇三角洲    | 扇三角洲平原 | 泥石流、分流河道、河道间       | K <sub>2</sub> p <sub>1f</sub> : 盐城 3 井  |   |
|         | 扇三角洲前缘 | 水下分流河道、水下河道间、片状颗粒流 | K <sub>2</sub> p <sub>2s</sub> : 苏参 1 井、苏 104 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>3s</sub> : 苏 95 井   |   |
|         | 前扇三角洲  | 前扇三角洲泥             | K <sub>2</sub> p <sub>2s</sub> : 苏 104 井   |   |
| 湖泊(或盐湖) | 滨湖     | 滩砂、湖泥              | K <sub>2</sub> p <sub>1f</sub> : 苏 104 井   | K <sub>2</sub> p <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> p <sub>3</sub> : 涟 2 井、苏 76 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>4</sub> : 涟 1 井, 涟 2 井, 苏 76 井, 苏 107 井                                   |
|         | 浅湖     | 较暗色泥岩、粉砂           | K <sub>2</sub> p <sub>1f</sub> : 盐城 3 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>2s</sub> : 苏 104 井、盐城 3 井、盘斜 1 井、新洋 1 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>3s</sub> : 苏 104 井、盐城 3 井、盘斜 1 井、苏参 1 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>4s</sub> : 苏参 1 井 | K <sub>2</sub> p <sub>2</sub> : 苏 123 井、苏 83 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>3</sub> : 苏 76 井、苏 118 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>4</sub> : 苏 123 井、苏 131 井、N 参 1 井、苏 118 井、苏 80 井、阜基井。 |
|         | 半深湖    | 暗色泥岩、石盐、石膏         | K <sub>2</sub> p <sub>3s</sub> : 盐城 3 井  | K <sub>2</sub> p <sub>2</sub> : 苏 131 井、N 参 1 井<br>K <sub>2</sub> p <sub>3</sub> : 苏 123 井、苏 131 井、N 参 1 井  |

沉积为主。沉积物较粗，以红色、棕色、棕褐色含砾不等厚砂岩为主，夹少量砂质泥岩、泥岩薄层，泥岩可见水平纹层。含砾不等厚砂岩成分以石英为主，长石次之，含少量暗色矿物；砂粒主要为细砂和粉砂，棱角状，分选差，泥质胶结。砾石的砾径 2~5 mm，圆度较好，表明沉积物距离物源区较近，但又经过一定距离的搬运，为扇中亚相的漫流—水道沉积。3 055.0~2 954.0 m 井深，岩性以厚层状红色、棕色、棕褐色含砾不等厚砂岩为主，砂/泥比值高，属于辫状分支河道微相沉积，2 954.0~2 924.0 m 井段，砂质泥岩、泥岩薄层相对增多，砂/泥比值变小，以片流或漫流沉积为主。Rd 呈高值箱状，中—高值箱状、不规则锯齿状；SP 呈中—高幅度箱状及中—低值不规则状，而 GR 呈低值。

3.1.2 扇缘

出现在冲积扇的下部至外缘，地形平缓，沉积坡度角小，以片流沉积为主。以较细的棕色粉砂岩夹砂质泥岩和软泥岩为主，局部细砂岩含硬膏(干扇的标志)，分选中—较差。SP 表现为齿化箱状，Rd 为低齿化状。

3.2 扇三角洲相

多发育于盆地断陷早期、狭窄盆地的边缘向湖泊推进的一侧，空间上与冲积扇相连，构成冲积扇—扇三角洲沉积体系。扇三角洲与冲积扇的重要区别在于前者具有三角洲沉积相序，又与湖相沉积紧密共生(图

3)。扇三角洲沉积具有沉积坡度大，近物源，沉积物粒度粗，成分成熟度低，由砂砾岩、中粗粒砂岩组成的特征，常见进积型向上变粗的反旋回层序特点。本区发育于 K<sub>2</sub>p<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>p<sub>2</sub> 和 K<sub>2</sub>p<sub>3</sub> 中，为灰白或棕色厚层状砂砾岩、含砾砂岩，咖啡、棕红、黑色泥岩。晚白垩世时为

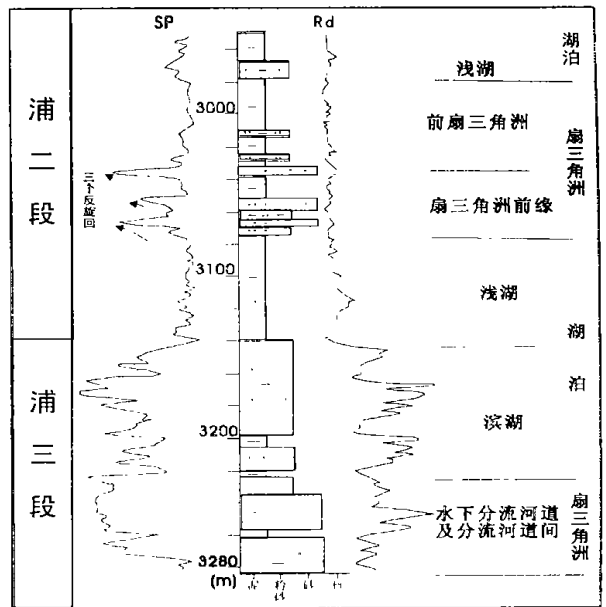


图 3 盐阜拗陷浦一段和浦二段垂向沉积序列(苏 104 井)  
Fig. 3 Vertical sedimentary succession of the first and second members of Pukou Formation in Yanfu Depression (Well Su 104)

盆地强烈断陷期,盆地与其相邻物源区以陡立断层相隔,造成二者之间地形高差相对较大,注入河水流程短,推移载荷含量高,辫状河道多,这就为扇三角洲的形成提供了充足的条件。本区扇三角洲有明显的三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三层结构。

### 3.2.1 扇三角洲平原

系扇三角洲的水上部分,其岩石类型、结构和构造特征表现为冲积扇环境。扇三角洲平原发育泥石流沉积,其他沉积类型少见。如盐城3井  $K_2p_1$  下部 4 868.0~4 843.0m 井段,岩性为棕色厚层状砾岩,夹一层棕色泥岩。砾石砾径一般为 2~3 mm,次圆~圆状,分选差,泥质胶结。砾石成分复杂,有石英、长石、燧石、灰岩、泥岩。SP 呈中值齿化箱状负异常,Rd 呈中值锯齿状。一般认为,厚层状砾岩的形成包括泥石流、颗粒流和牵引流三种沉积作用<sup>[8]</sup>。牵引流和片状洪流沉积常见砾石的叠瓦状构造、定向排列、分选较好和颗粒支撑等结构构造特征<sup>[9]</sup>。颗粒流成因的砂砾岩一般具有颗粒—杂基支撑,内部无层理,砾石无定向结构,基质以无粘性的砂,且含量高等为特征。但本区砂砾岩的沉积特征表明,其可能为扇三角洲平原亚相的泥石流沉积。

### 3.2.2 扇三角洲前缘

即冲积入扇湖之后的水下部分,靠近扇三角洲平原部分有时可能露出水面。水下分流河道、片状牵引流和片状颗粒沉积在本区十分发育,而河口砂坝和前缘席状砂不发育。

水下分流河道 由于河流水动力与湖泊水动力的相互作用,使水下河道的流速减缓,下切作用变弱,侧向侵蚀作用变强,水下河道得以加宽、变浅、分叉增多,沉积物堆积速度加快。水下分流河道沉积物常受湖浪、沿岸流改造,形成席状化砂体<sup>[10]</sup>。因此,水下河道较水上河道沉积物颗粒细,以砂、粉砂为主,含少量的泥质沉积物,砂岩中发育块状层理、平行层理、沙纹层理、同生变形构造,以及浪成对称波痕、冲刷、充填沟、侵蚀面<sup>[11]</sup>。低水位期分流河道向湖泊方向长距离推进,有时在凹陷中形成占支配地位的沉积体系;高水位期则向湖岸长距离后退,导致分流河道沉积大面积位于水下<sup>[11]</sup>。

本区水下分流河道由厚层微紫、微绿、白色的含砾砂岩组成,砾石成分有石英、长石、硅质岩等,砾石的砾径一般在 1 mm×2 mm×3 mm,最大为 1 mm×2 mm×4 mm。含砾砂岩分选中等—差,次圆状,含泥质,为高岭土嵌晶接触式—孔隙式胶结,致密,坚硬。SP 呈中—高幅箱状负异常,Rd 呈高值齿化箱状,如苏 104 井  $K_2p_1$  下部 3 283.5~3 222.0 m 沉积(图 3)。

水下分流河道间 由黑灰色泥岩组成,偶夹薄层泥质粉砂岩(图 3),其质纯、性脆、色均,微细层理发育,层理面上含较多的云母,岩屑呈片条状,为扇三角洲前缘亚相的水下分流河道间湾沉积。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。

片状颗粒流或片状牵引流 由厚层状砂砾岩组成,剖面上呈透镜状,顶、底与泥岩为突变接触,顶界平坦,底部可见小的冲槽,但无明显下切泥岩的水道形态。牵引流粗砂岩的形成机理是,阵发性洪峰时期,变密度的片状颗粒流在扇三角洲平原和前缘很发育。当洪峰降落时,由于粗粒物质的停积,湖水的掺入,流体密度减小,结果片状颗粒流逐渐过渡为密度降低的牵引流,但仍保留了片状流动的特点<sup>[9]</sup>。本区苏 104 井  $K_2p_2$  中部 3 073.0~3 033.0 m 井深,咖啡色泥岩与灰白、棕红色含砾砂岩呈不等厚互层状沉积,有三个细到粗的反旋回沉积,SP 曲线上也表现的非常明显,呈三个大小不一的圆滑指状(图 3),这是水退砂质沉积速度的反映<sup>[12]</sup>,表明了一次湖平面的下降过程,此沉积序列为典型扇三角洲沉积相,可能为前缘亚相的片状颗粒流或片状牵引流沉积<sup>[13]</sup>。

### 3.2.3 前扇三角洲

位于扇三角洲前缘向湖方向一侧,由泥岩组成,偶夹薄层粉砂岩。如苏 104 井  $K_2p_2$  上部 3 033.0~2 979.0 m 井深,为咖啡色泥岩、少量深灰色泥岩,夹暗棕色泥质粉砂岩薄层或条带沉积,SP 总体呈中低值平滑小齿形,Rd 呈低值的平滑小齿状,为前三角洲泥(图 3)。

## 3.3 湖泊相

湖泊相沉积在浦口组持续时间最长,沉积厚度最大,分布范围最广,从  $K_2p_1$  到  $K_2p_4$  都很发育,可划分为滨湖、浅湖和半深湖三种主要亚相类型。

### 3.3.1 滨湖亚相

位于湖盆边缘。在开阔湖岸湖区,当湖岸较陡、滨湖水动力作用较强,击岸浪对湖岸的侵蚀产生粗碎屑,或近物源河流有粗物质的充分供应,滨湖区可形成砾质湖滩沉积,其相带相对较窄。如苏 104 井  $K_2p_1$  的上部(图 3),岩性为微绿、灰白色含砾砂岩夹黑色泥岩,中下段有两层 1~2 m 厚煤层。砾石粒径一般 1 mm×2 mm×2 mm,最大为 12 mm×7 mm×5 mm,分选差,次棱角—次圆状。SP 呈中—高值指形,Rd 呈中—高值漏斗、齿化漏斗状。

若湖滨地形平缓,滨湖相带更宽一些,其水动力较弱,波浪作用不能波及岸边,物质供应以泥质为主,则

形成滨湖泥滩或泥坪。岩性以泥岩和粉砂岩为主,常发育水平层理及季节性韵律层理和块状层层理,见泥裂、雨痕、生物扰动构造和植物碎片。如盘斜1井  $K_2p_2$  2 832.5~2 712.0 m 井深,为棕色砂质泥岩,夹薄层棕色泥质粉砂岩、泥岩,SP 曲线呈低值线状,Rd 呈中—低值锯齿状。

### 3.3.2 浅湖亚相

位于滨湖亚相内侧至波基面以上地带,水体较滨湖区深。本区  $K_2p_2$ 、 $K_2p_3$ 、 $K_2p_4$  最发育(表1),岩性多为咖啡、浅棕、深灰、黑色泥岩,夹暗棕色泥质粉砂岩、砂质泥岩。水平、波状层理发育,也见小型交错层理和透镜状层理。生物化石丰富,保存完好。若湖底地形平缓,砂质供应充分,在宽阔的浅湖地带可形成具席状展布的细砂岩。SP 总体呈低值线性,起伏不大,Rd 呈低值平滑小齿状(图3)。

### 3.3.3 半深湖亚相

位于波基面以下水体较深部位,为乏氧的弱还原—还原环境。沉积物主要受湖流作用的影响,波浪作用已很难影响沉积物表面。本区浦口组的  $K_2p_2$ 、 $K_2p_3$  局部发育半深湖亚相(表1),岩石以暗色富含有机质泥岩为主,常夹粉砂岩、化学岩薄层或透镜体,水平层理发育。化石以保存较好的浮游生物为主,底栖生物不发育,可见菱铁矿和黄铁矿等自生矿物。SP 和 Rd 曲线均呈低值小齿状。

## 4 晚白垩世浦口组沉积演化

根据浦口组残留地层的分布特征,晚白垩世浦口组沉积时期盆地演化过程可划分为初、早、中和晚四个时期。不同时期、不同地区的沉积特征表现各异,但总体表现出拗陷具有由小到大,再缩小的发育特点。

### 4.1 浦口组初期

为苏北地区断陷湖盆发育时期,此时气候干燥,沉积了  $K_2p_1$ ,受各古地形、古构造的控制,分布仅限盐城凹陷和淮阴凹陷。由于地壳升降运动造成风化剥蚀作用强烈,在山前或大型隆起陡坡带冲积扇发育,向凹陷中心逐渐过渡为扇三角洲、滨湖—浅湖沉积(图4a)。地层厚度变化反映了湖泊沉降幅度和古地形的基本轮廓,盐城凹陷盐城3井  $K_2p_1$  地层厚度最大,为247.0 m,盘斜1井和苏104井分别为145.72 m、143.5 m,沉积物颗粒较粗,多为杂色含砾砂岩,夹少量砂质泥岩、泥岩薄层,为冲积扇沉积或扇三角洲沉积,砂岩厚度在78.0~116.6 m 之间变化(图4a),自西南向东北方向砂岩百分含量由94%到77%,再到33%,呈现出明显的递变化趋势。上述特征反映了  $K_2p_1$  沉积物快速堆积、物源既来自建湖隆起又有塘洼一大喇叭凸起供应

的特点,盐城3井为盐城凹陷的沉降中心。从  $K_2p_1$  暗色泥岩厚度来看,苏104井相对最厚,达32.5 m,而盐城3井暗色泥岩不发育,说明苏104井附近为盐城凹陷的沉积中心。因此,该时期凹陷的沉降中心和沉积中心并不一致。

淮阴凹陷涟1井、N参1井地层厚度最大,达176.5 m,为凹陷的沉降中心。

### 4.2 浦口组早期

沉积了  $K_2p_2$ ,其分布范围、沉积厚度都变大。盐城凹陷,盐城3井为182.0 m,苏104井厚295.0 m,盘斜1井为219.53 m,而苏参1井达到最大,厚1 034.0 m(图4b),表明苏参1井为最大的沉降中心,与浦口组初期相比,沉降中心向西部迁移。苏参1井沉积物颗粒较粗,为扇三角洲前缘的杂色砾岩、砂砾岩、岩屑长石砂岩,夹泥质粉砂岩及粉砂质泥岩,砾岩、砂砾岩及岩屑长石砂岩的厚度为595.0 m,砂岩含量达到54.64%,但暗色泥岩厚度仅为19.0 m,因此,苏参1井虽然为最大的沉降中心,但不是一个沉积中心。而盘斜1井砂岩厚度及砂岩含量为零,但暗色泥岩厚度相对最厚,为127.0 m,因此,盘斜1井既是一个较大的沉降中心,又是盐城凹陷的沉积中心。

淮阴凹陷涟2井  $K_2p_2$  厚245.0 m,苏123井为25.62 m,N参1井最大,达1 194.0 m(图4b),表明N参1井为淮阴凹陷的沉降中心。此时期,淮阴凹陷发育盐湖相沉积,沉积有大套的红色盐岩和膏岩沉积,说明当时气候干燥,蒸发量较大。

上述特征表明,浦口组早期沉积时,盆地拉张强烈,河流向盆地内汇聚的补偿量增大,湖水继续变深,沉积范围进一步扩大,由断陷湖盆发育转为拗陷湖盆发育阶段。湖盆周缘发育扇三角洲和滨湖沉积,至湖盆中心逐渐过渡为浅湖相、盐湖相或半深湖相。此时期湖平面上升幅度并不大,盐阜拗陷仍不是一个统一的大湖盆。

### 4.3 浦口组中期

接受了  $K_2p_3$  沉积,分布范围进一步扩大,沉积厚度明显增大,盐城凹陷盐城3井为247.0 m,苏104井厚205.0 m,盘斜1井为311.08 m,而苏参1井最大,达399.0 m(图4c),表明苏参1井仍为盐城凹陷的沉降中心。苏参1井砂岩及砂岩百分含量均较低,暗色泥岩也不发育,因此,苏参1井虽为沉降中心,但不是一个沉积中心。苏95井、盐参1井地层残留厚度分别为169.2 m和144.34 m,但暗色泥岩发育,分别为77.0 m和103.0 m,是盐城凹陷的沉积中心。因此,该时期凹陷的沉降中心和沉积中心分离的格局更为明显。

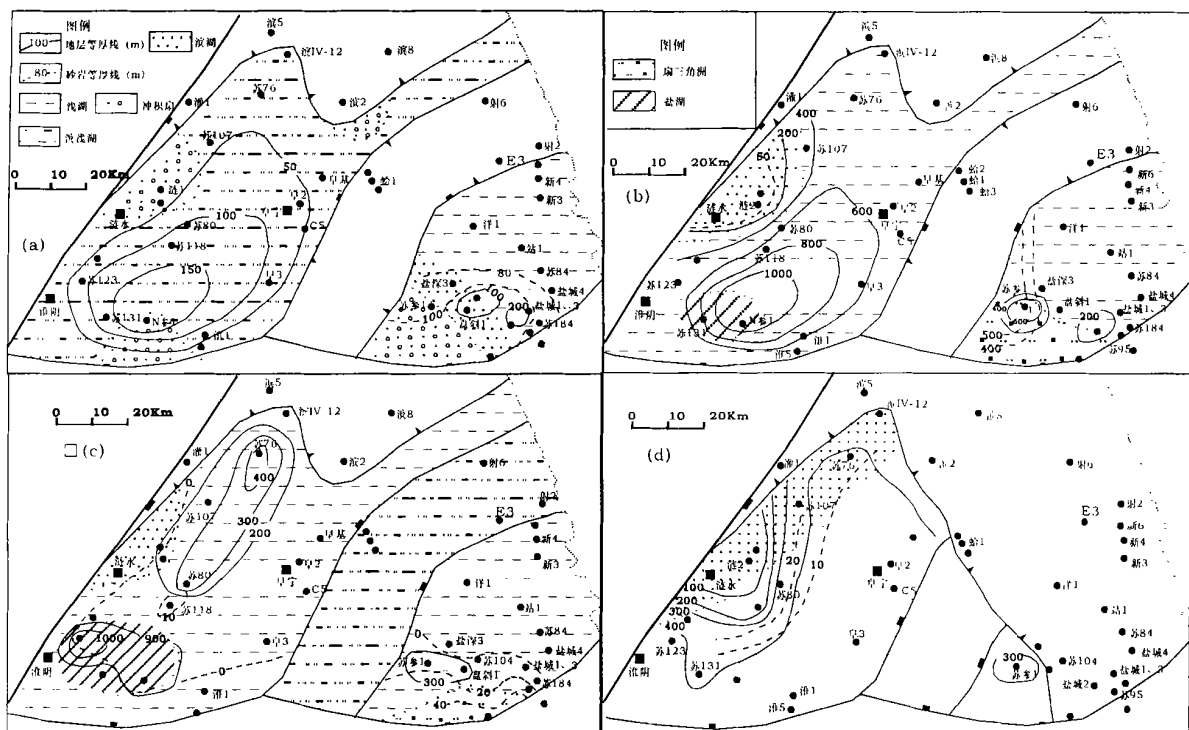


图4 盐阜拗陷晚白垩世浦口组各期岩相古地理图

Fig. 4 Lithofacies paleogeography of Pukou Age 1~4 of Late Cretaceous in the Yanfu Depression

淮阴凹陷, 苏 123 井、131 井和 N 参 1 井地层厚度较大, 在 881.5~1 004.0 m 变化(图 4c), 表明苏 123 井、131 井和 N 参 1 井为淮阴凹陷的沉降中心。

总的来说, 浦口组中期盆地继续拉张, 湖平面持续上升, 湖水进一步加深, 已漫过溇洼一大喇叭凸起, 使盐阜拗陷变成一个统一的大湖盆, 湖泊发育达到鼎盛时期。沉积物粒度进一步变细, 泥岩颜色逐渐加深, 盐湖沉积范围较浦口组早期有所扩大。地层以发育浅红色、暗色的泥岩、含膏泥岩、泥膏岩为特征。淮阴地区出现大量的钙芒硝, 反映蒸发盆地的典型特征。沉积相类型以半封闭浅湖为主, 淮阴凹陷局部则为封闭的盐湖相沉积。

#### 4.4 浦口组晚期

为  $K_2p_4$  沉积时期。残留地层的分布范围较浦口组中期明显变小, 仅仅局限在盐城凹陷的西南部和淮阴凹陷。盐城凹陷大部分钻井缺失浦四段地层, 仅苏参 1 井有  $K_2p_4$  地层揭露(图 4d)。苏参 1 井  $K_2p_4$  残留地层厚 383.5 m, 浅灰褐色灰质粉砂岩与棕色含灰、含粉砂软泥岩呈频繁薄互层沉积, 普遍含有灰质、云质和石膏, 可能为低能浅湖沉积, 苏参 1 井既是沉降中心, 又是沉积中心。淮阴凹陷, 沉积物以浅灰灰质粉砂岩与棕色含灰、含粉砂软泥岩为主, 略含膏或含盐岩, 为滨湖—浅湖沉积; 残留地层一般厚 50~500 m(图 4d), 苏 76、80、123 井和 N 参 1 井的视厚度分别为

592.5 m、377.87 m、451.0 m 和 402.5 m, 它们可能为淮阴凹陷的几个不同的沉降中心。据砂岩及砂岩百分含量统计, 苏 76、80 井和阜基 1 井值高, 而暗色泥岩厚度苏 131 井要大, 达 140.0 m, 该井应为淮阴凹陷的沉积中心。盐阜拗陷  $K_2p_4$  与上覆地层均为角度不整合接触, 反映了浦口组晚期盆地整体抬升, 从而导致地层遭受后期的改造、剥蚀作用, 使  $K_2p_4$  大面积缺失。

综上所述, 研究区浦口组由下而上、从盆地边缘到盆地中心, 碎屑颗粒均由粗变细, 即由砂砾岩段变为泥质粉砂岩及泥岩段, 沉积相由冲积扇逐渐变为扇三角洲、滨湖, 至浅湖、盐湖或半深湖相。这反映了沉积盆地经历了下降到上升的活动过程, 盆地沉积由冲积扇堆积开始, 经历了较长时期的较深水湖、滨浅湖沉积, 最终过渡为晚期的盆地整体抬升、地层遭受剥蚀及改造作用阶段而结束。盆地内部局部分割, 沉降中心与沉积中心分离, 干旱气候条件下, 红色膏盐建造为其主要的沉积特征。浦口组沉积过程一直受到古构造、古地形隆起的控制, 南部受建湖隆起控制, 淮①断层和盐①断层分别为淮阴凹陷和盐城凹陷的南部边界断层; 北部受滨海隆起控制。这些隆起(凸起)及边界大断裂既限制了湖盆的范围、演化、沉积物组合和沉积相二维分布, 又为湖盆提供了大量的沉积物。

致谢 本文得到江苏油田物探技术研究院有关人员的大力支持, 在此致以衷心的感谢!

## 参考文献(References)

- 周山富. 创立淮安组的建议[J]. 华东油气勘查, 1997, 15(3): 12~20 [Zhou Shanfu. The suggestion of creating Huaian Formation[J]. Petroleum Exploration in East China, 1997, 15(3): 12~20]
- 张永鸿. 下扬子区构造演化中的黄桥转换事件与中、古生界油气勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(4): 439~448 [Zhang Yonghong. Huangqiao transforming event in tectonic evolution of lower Yangtze region and the Meso-Paleozoic hydrocarbon exploration target[J]. Oil & Gas Geology, 1991, 12(4): 439~448]
- 尚彦军, 夏邦栋, 杜延军, 等. 下扬子区侏罗纪—早白垩世盆地沉积构造特征及其演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 188~191 [Shang Yanjun, Xia Bangdong, Du Yanjun, *et al.* Sedimentary structure feature and evolution of the Jurassic-Early Cretaceous basins in Lower Yangtze region[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 188~191]
- 钱基, 金之钧, 张金川, 等. 苏北盆地盐城凹陷深盆气藏[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 26~29 [Qian Ji, Jin Zhijun, Zhang Jinchuan, *et al.* Gaspools of deep basin in Yancheng sag, Subei basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 26~29]
- 龚与甄, 孔庆玉. 苏北淮安凹陷白垩系浦口组成盐条件的讨论[J]. 石油实验地质, 1989, 11(2): 136~143 [Gong Yujin, Kong Qingyu. Discussion on formative conditions for salt in Pukou Formation of Cretaceous System in Huaian Depression, Northern Jiangsu[J]. Experimental Petroleum Geology, 1989, 11(2): 136~143]
- 岳文浙, 丁保良. 江苏白垩纪陆相地层研究[J]. 火山地质与矿产, 1999, 20(4): 287~344 [Yue Wenzhe, Ding Baoliang. Study on Cretaceous stratigraphic sequence of continental basin in Jiangsu[J]. Volcanology & Mineral Resources, 1999, 20(4): 287~344]
- 陈丕基. 中国陆相侏罗—白垩系划分对比述评[J]. 地层学杂志, 2000, 24(2): 114~119 [Chen Piji. Comments on the classification and correlation of non-marine Jurassic and Cretaceous of China[J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24(2): 114~119]
- Allen P A. Sediments and processes on a small stream-flow dominated, Devonian alluvial fan, Shetland Island[J]. Sedimentary Geology, 1981, 29(1): 31~61
- 刘宝基, 余光明, 陈成生. 西藏日喀则地区第三系大竹卡组砾质扇三角洲—片状颗粒流沉积[J]. 岩相古地理, 1990, (1): 1~11 [Liu Baojun, Yu Guangming and Chen Chengsheng. Sheet grain-flow-dominated gravel fan deltas of the Tertiary Dazhuka Formation in the Xigaze area, Tibet[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1990, (1): 1~11]
- 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): 83~91. [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), 83~91]
- 于建国, 林春明, 杨云岭, 等. 分利河道特征及其识别方法: 以东营凹陷东部地区为例[J]. 高校地质学报, 2002, 8(2): 152~159 [Yu Jianguo, Lin Chunming, Yang Yunling, *et al.* Features of distributary channel and its diagnosis methods—Exemplified by the Eastern Dongying Depression[J]. Geological Journal of China Universities, 2002, 8(2): 152~159]
- 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993, 84~155 [Feng Zengzhao. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993, 84~155]
- 李文厚, 周立发. 苏红图—银根盆地白垩纪沉积相与构造环境[J]. 地质科学, 1997, 32(3): 387~396 [Li Wenhou and Zhou Lifa. Sedimentary facies and tectonic setting of the Cretaceous in the Suhongtu-Yingen basin[J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32(3): 387~396]

## Sedimentary Facies and Evolution of Late Cretaceous in the Yanfu Depression from Jiangsu Province

LIN Chun-ming<sup>1</sup> SONG Ning<sup>1</sup> MU Rong<sup>2</sup>  
ZHAO Yan-yan<sup>1</sup> WANG Ya-jun<sup>2</sup> YANG De-zhou<sup>2</sup>

1 (Department of Earth Sciences, State Key Laboratory of Ore Genesis Nanjing University, Nanjing 210093)

2 (Geophysical Research Institute, Jiangsu Oil-field, Nanjing 210016)

**Abstract** The types of sedimentary facies and sedimentary characteristics in Pukou Formation of Late Cretaceous System in Yanfu Depression are systematically analyzed, and the planar distribution of sedimentary facies in the members of Pukou Formation and the laws of facies evolution are studied in detail. The conclusions show that Pukou Formation is mainly comprised by alluvial fans, fan deltas and lacustrine facies. In the basin, from the margin to the center, the facies developed from alluvial fans, gradually to fan deltas or lakefront facies, shallow-lake facies, semi-deep lake facies, or saline lake facies; from the bottom to the top, the facies gradually changed from alluvial fans to fan-deltas or lakefront facies, to shallow-lake facies, semi-deep-lake facies or saline facies, finally to shallow-lake facies. The Pukou Formation can be divided into four stages: initial stage, fore-stage, metaphase and terminal-stage. The sedimentary characteristics are correspondingly different in various stages and areas. But, as a whole, the Yanfu Depression changed from narrow to wide, and then to narrow.

**Key words** sedimentary facies, facies evolution, Pukou Formation, Yanfu Depression