

# 末端扇——在中国被忽略的一种沉积作用类型

张金亮<sup>1,2)</sup>, 戴朝强<sup>1)</sup>, 张晓华<sup>1)</sup>

1) 中国海洋大学地球科学学院, 青岛, 266100;

2) 山东省油气勘探开发工程技术研究中心, 青岛, 266510

**内容提要:**末端扇出现在有沉积物负载的河流末端蒸发和流量损失消减的地方, 多形成于干旱或半干旱的环境中。Mukerji 等于是上世纪 70 年代提出了末端扇的沉积学概念, 然而在中国至今仍未见这方面的研究。通过对国外多年来末端扇沉积相模式的发展分析, 本次以岩心描述和测井相分析为手段, 对濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组进行了研究, 在国内首次提出了末端扇这一沉积相类型, 并将其分为三个亚相: 近端亚相、中部亚相和远端亚相。研究区中部亚相可进一步细分为分流河道、泥滩、水道漫溢三个沉积微相, 分流河道是本区占主导地位的骨架砂体, 反映了河流能量的损失和流量的时空波动。本次研究建立了研究区末端扇的沉积模式, 根据岩心微相分析和砂体平面展布分析, 对该区沉积微相进行了研究, 掌握了沉积微相的时空展布和变化规律。

**关键词:**末端扇; 濮城油田; 沉积微相; 分流河道; 沉积模式

最近几十年以来, 国内外对不同河流体系及其伴生的沉积相的了解已经产生了曲流河、辫状河、网状河和三角洲的沉积模式, 但是近来的野外地质资料证明应该把末端扇模式加入上述沉积模式中。末端扇是指在干旱一半干旱环境下, 河流末端蒸发流量消减, 随着地形坡度逐渐变缓, 水流向四周散开, 流速骤减, 碎屑物质大量沉积, 邻近补给水道区的宽而浅的河道向扇体转变并逐渐变成片流, 在这种情况下形成的扇状堆积体。

Mukerji(1975, 1976)和 Friend(1978)等人首次提出了末端扇的沉积学概念, 此后 Parkash 等(1983)通过对印度马坎达河地区扇体形态学及岩相的详细描述, 人们对于末端扇的形成及其沉积过程形成了初步认识。Kelly 等(1993)等人结合对当时普遍接受的干旱地区河流特点的考虑提出了末端扇的假设相模式, 并与格陵兰、英格兰和爱尔兰地区的泥盆纪盆地实例作了对照, 把末端扇分成三个相带: 补给水道、分流河道和远端盆地。Newell 等(1999)研究了俄罗斯南乌拉尔阶上二叠纪横向河流沉积系统, 对末端扇各相带有了更充分理解, 并进一步划分了各个微环境, 为末端扇沉积体系的深化研究提供了重要的理论依据, 然而在中国至今仍未见这方面的研究。张金亮等(1989)提出砂质洪水岩砂体的概

念, 认为在浅水充氧陆源湖泊相中广泛发育的红色砂岩层, 为浅水砂质洪水流的产物, 称为洪水岩, 与本文研究的末端扇沉积具有相似之处。本次对濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组(以下简称沙二上亚段 2+3 砂组)沉积相的研究主要通过对岩心描述和地下测井资料的分析, 认为该区应该是末端扇沉积体系。

## 1 地质背景

东明—濮阳凹陷(简称东濮凹陷)为渤海湾盆地临清坳陷的次一级沉积单元, 呈北北东向延伸, 南宽(65 km)北窄(14~16 km), 南北长 140 km, 呈琵琶形(杨世刚, 2004)。东以兰考—聊城(简称兰聊)断裂系与鲁西隆起为界, 西与内黄隆起呈超覆接触, 南隔兰考凸起与开封坳陷中的中牟凹陷相望, 北以马陵断层与莘县凹陷相连, 是一个以古生界—中生界为基底, 新生界沉积为主的地堑式断陷盆地。

濮城油田位于东濮凹陷北部(图 1), 地处黄河冲积平原, 地势平坦, 区域构造位于东濮凹陷中央隆起带北部, 南北长 15 km, 东西宽 4.5 km, 为兰聊断层和濮城断层控制的箕状—屋脊式二级构造, 面积约 73 km<sup>2</sup>, 是一个被断层复杂化了的长轴背斜, 该构造南与文留构造带相接, 北与陈营构造相接, 东与

鲁西隆起相邻,西以濮城断层与濮城—卫城洼陷(简称濮卫洼陷)相邻。

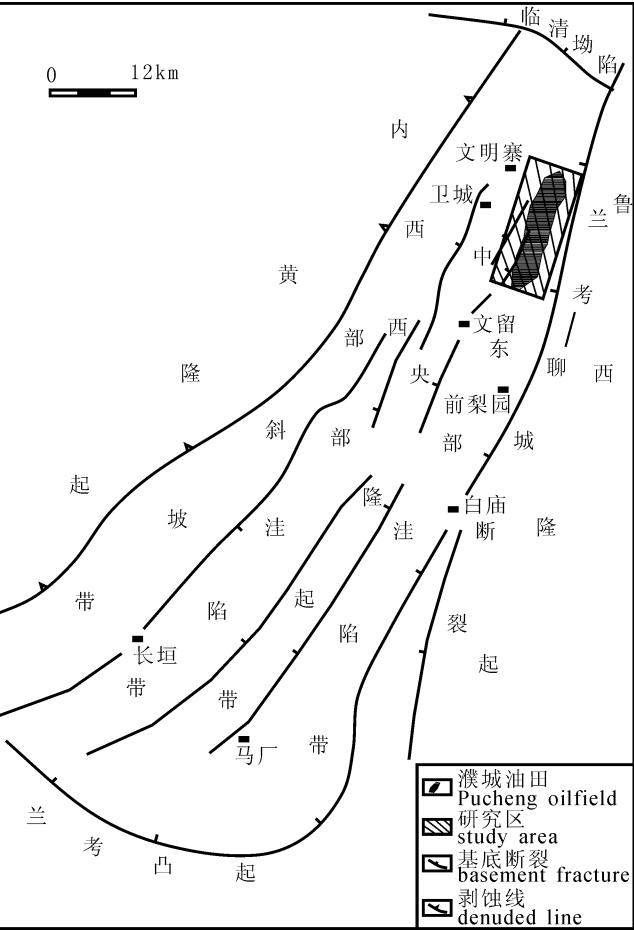


图 1 东明—濮阳凹陷区域位置图

Fig. 1 Sketch map showing the structural locations of the Dongming—Puyang Depression

2 岩性特征

通过对研究区探井的岩性数据统计分析,研究区内沙二上亚段 2+3 砂组岩性以粉砂岩沉积为主,粉砂含量高达 34.4%,岩性大致分为:中粗砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质砂岩和泥岩,砂岩类型从粉砂岩到粗砂岩皆有分布(图 2),粒度变化较大,粒径一般 40~250 $\mu\text{m}$ ,最大粒径可达 350~500 $\mu\text{m}$ ,磨圆中等一好,以次棱角至次圆状为主,颗粒分选中等一差,风化程度较低,结构成熟度不高。砂岩中杂基含量较高,一般为 3%~20%,杂砂岩约占 15%。砂岩类型主要为岩屑砂岩和长石岩屑砂岩类。碎屑含量一般为 75%~95%,填隙物含量 2%~25%。碎屑中石英含量 31.4%~77%,平均 59.38%;长石含量 6.2%~38.1%,平均 22.89%;岩屑含量 2%~

58.4%,平均 17.37%,主要为喷出岩、石英岩和沉积岩的岩屑。研究认为中粗砂岩主要发育在研究区东部靠近物源地区的河道层序底部,且含量较低,约为 4.36%,单层厚度较小,主要为中薄层,少见厚层发育。自东向西粒度逐渐减小,西部地区主要为泥岩和薄层泥质砂岩沉积。研究区内粉砂岩单层厚度最大可达 10m 以上,一般 2~4m,颜色以浅灰色、浅棕色为主,少量为灰绿色;细砂岩主要呈薄—中层状,颜色以紫红色、灰绿色为主。该区未见有砾岩和含砾砂岩沉积,这可能是由于沙二段沉积时期地形坡度较缓,水动力条件不强造成的。砂岩中泥质含量较高,泥岩含量约 28.6%,颜色以灰绿—棕色为主,表明当时是以浅水—陆上沉积环境为主。

3 沉积微相分析

通过岩心观察和分析,濮城油田沙二段发育末端扇沉积体系。研究表明该地区末端扇沉积体系可分为三个亚相:近端亚相、中部亚相和远端亚相,每个亚相又由多个微相组合而成。

3.1 近端亚相

近端亚相由补给水道和水道间沉积物组成。河道沉积主要由杂基支撑至碎屑支撑的砂砾岩和砂岩组成,以垂向加积沉积作用为主,河道一般深而窄,厚度在 5~10m,砂岩沉积主要为向上变细的正旋回,碎屑物粒度粗,成分复杂,颗粒大小混杂,泥质含量高,分选一般很差;水道间沉积物以浅棕色泥岩夹少量灰绿色泥岩为主,泥岩中夹中薄层粉细砂岩沉积,呈向上变细的正韵律。

3.2 中部亚相

中部亚相位于近端亚相的前方,是末端扇沉积体系的主体,也是砂体最发育部位,砂岩含量高,未

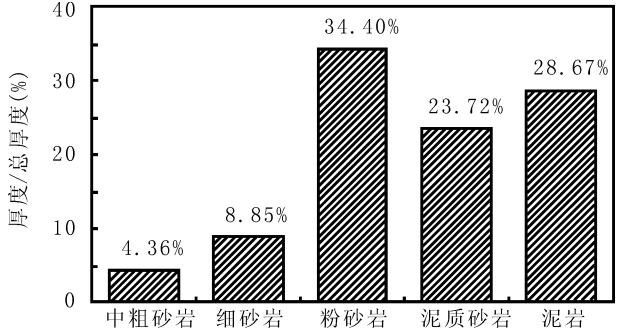


图 2 濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组岩性分布直方图

Fig. 2 Lithology histograms of the 2nd to 3rd layer, Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Pucheng oilfield

见砾岩发育,主要为厚层粉细砂岩沉积,为河道主要发育区,可进一步划分为三个沉积微相:分流河道、泥滩和水道漫溢。

### 3.2.1 泥滩

泥滩相主要发育在末端扇体之间的低洼地区,沉积物主要以较浅的阻塞洪水作用下的悬浮沉积为主。岩性主要为厚层红色泥岩、薄层含有干裂的泥岩、薄层灰绿色泥岩、含粉砂泥岩及含泥粉砂岩。它们出现在标准层序的底部,向上渐变为分流河道砂体和溢岸沉积。通过钻井取心可以看出泥滩泥岩中常夹一些漫溢成因的孤立薄层砂体,这是由于河流的不断分流形成的无约束的大面积漫流洪水导致的,是一种典型的干旱带泥滩相沉积(Tunbridge, 1984)。其岩性比较单一,多为粉砂岩或泥质粉砂岩,砂体厚度一般小于1m,呈正韵律或均匀韵律,发育波状层理及透镜状层理(图3a),少数发育平行层理。泥滩相大部分泥岩沉积中沉积构造不发育,这是由于沉积后动植物的均一化影响以及季节性的潮湿—干旱环境不断循环引起的(Talbot et al., 1994)。泥岩沉积中还存在植物残骸和脊椎动物足迹,这说明泥滩在沉积过程中至少部分地区有植被发育(Tverdokhlebov et al., 1996)。在现今泥岩沉积中还常见有碳屑,呈杂乱状分布于泥岩沉积中。此外,部分泥岩中夹有盐模,这是少见的蒸发岩相,它表明沉积地区是盐碱地,平时一般是干枯的,而只有在暴风雨、洪水来临或地下水位上涨时才变成临时性湖泊。

### 3.2.2 分流河道

分流河道是末端扇中部亚相的重要组成部分,是上游方向河流补给水道的继承。由于干旱气候下间歇性洪水作用,末端扇的河流作用强,推移质与悬移质比值较高,分流河道较为发育,所以成为末端扇的骨架砂体。随着分流河道远离补给水道,沉积载荷和河道大小沿下坡减少,岩石颗粒逐渐减小,沉积构造特点也发生相应变化。

近源区的分流河道砂体底部均具有明显的冲刷面,垂向上表现为正韵律,冲刷面之上发育小型槽状交错层理中细砂岩和粗砂岩(图3b),河道底部泥砾泥屑非常发育(图3c),槽状交错层理上部发育平行层理,部分地区还呈现低角度交错层理,河道砂岩顶部还出现水流沙纹层理。据岩心观察和描述,本区该型分流河道层序发育相对较少,垂向上单个河道砂体厚度多在2~4m之间,最大单层厚度在5m以上,说明沙二段沉积时期半干旱气候下的季节性降

雨并不强烈,河流水动力活动较弱,因此该区未见粗砾河道充填沉积,粗粒砂质沉积并不普遍发育。

远源区河道向盆地中部延伸,地势逐渐变得平缓,水流速度减缓,主河道不断分叉向四面散开,携带的碎屑物质快速沉积下来,形成以宽阔、低浅为主要特点的小型河道,该型河道砂体单层厚度一般为1~3m,最大单层厚度未超过4m(图4)。河道砂体粒度向边部逐渐变细,岩性以粉细砂岩发育为主,河道砂体与上覆泥岩沉积多呈突变接触关系,分流河道砂体底部多为微冲刷,冲刷面之上槽状交错层理不发育,而以平行层理发育为主要特征(图3d)。丰富的平行层理说明水流是短期的,但强度很大(Tunbridge, 1984)。河道层序中泥砾泥屑非常发育,特别是在平行层理粉砂岩中多夹有泥砾泥屑(图3e),此外砂岩中还有泥质条带和泥岩夹层发育。

由于干旱气候下季节性降雨造成的洪水作用,使得在末端扇的发育过程中,分流河道频繁改道,物源供应的强弱变化和由充填作用引起的地形地貌的随机变化等多种因素造成分流河道层序组合的多样化。分流河道微相常由数个单河道复合而成,在垂向上表现为多个小韵律层(一般为2~4个)叠置成较厚的复合韵律层(图5)。在横向上也表现为河道频繁迁移而形成广泛分布的分流河道复合体。此外该区河道沉积中丰富的平行层理发育说明水流是短期但强度很大的;而交错层理的缺乏则说明了砂体是低而浅的水流在流经平缓地带时产生的沉积,而不是在滑落面或斜坡带发生的沉积(Hein et al., 1977)。扇体表面的突起山坡也阻止了洪水的聚集和河道侵蚀,从而使洪水呈面状流动(Horton, 1945)。

### 3.2.3 水道漫溢

水道漫溢微相为洪水期分流河道水流溢出形成的沉积物,多以粉细砂岩为主,泥质含量较高,少见中粗砂岩沉积,分选极差,一般以颗粒流形式沉积为主,随着离河道远近又可以将其细分为近水道漫溢和远水道漫溢。

近水道漫溢是比较大的洪水事件时期沉积物横越河道形成的沉积物。由于水下分流河道冲刷强,改道频繁,河道一旦改道,沉积物常常被冲刷减薄,甚至完全被冲刷掉,因此该微相常常以夹层的形式产出,在垂向上往往是由多个正粒序相互叠加而成,平面上则分布在分流河道微相的前缘或两侧。砂岩单层厚度较厚,一般为2~4m之间,块状砂岩沉积中往往富集泥砾、泥屑层以及植物碎屑,砂质泥岩条

带及泥质夹层非常发育(图 3f),多与浅棕色泥岩不等厚互层。沉积物受到湖浪的改造,可见水平层理、斜层理、透镜状层理和水流沙纹层理,其中该微相中平行层理最为发育。粒度概率曲线仍为明显的两段式,剖面为下粗上细的正韵律或均匀韵律。

远水道漫溢发育于近水道漫溢前缘,岩性为粉砂岩、泥质粉砂岩与浅棕色、灰绿色泥岩间互沉积,泥质含量很高,主要以正韵律和均匀韵律为主,席状的砂岩岩层表现出向上变细的趋势,具有明显的底界和侧向边界。这些特征很有可能是由于末端扇上季节性浅水河道的频繁改造和随后的细粒沉积物充填而形成的。沉积构造主要为平行层理、波状层理、水流沙纹层理等,并常见撕裂屑及漩涡层,有时也可见生物潜穴和生物扰动的遗迹(图 3g)。单层砂岩

厚度 0.5~1m,最大不超过 2m。沉积物主要由浅棕色、灰绿色泥岩与中薄层粉细砂岩频繁互层组成,呈明显的砂泥互层沉积特征(图 3h)。概率曲线主要是两段或两段一过渡型,悬浮总体(粉砂岩—泥岩)占 60%以上。

3.3 远端亚相

远端亚相也叫远端盆地亚相,位于水道漫溢相前缘,并向盆地中部凹陷延伸。该区河流作用较弱,水体相对平静,沉积物颗粒较细,分选性较好,以悬浮总体为主,岩性以灰绿色、浅棕色泥岩为主,夹泥质含量很高的薄层泥质粉砂岩,在特大洪水期间有细砂沉积,多发育水平层理、透镜状层理和波状层理,粉砂岩夹层中发育沙纹层理和波痕,常有生物浅穴和遗迹。由于滨湖沉积的水动力条件复杂,沉积

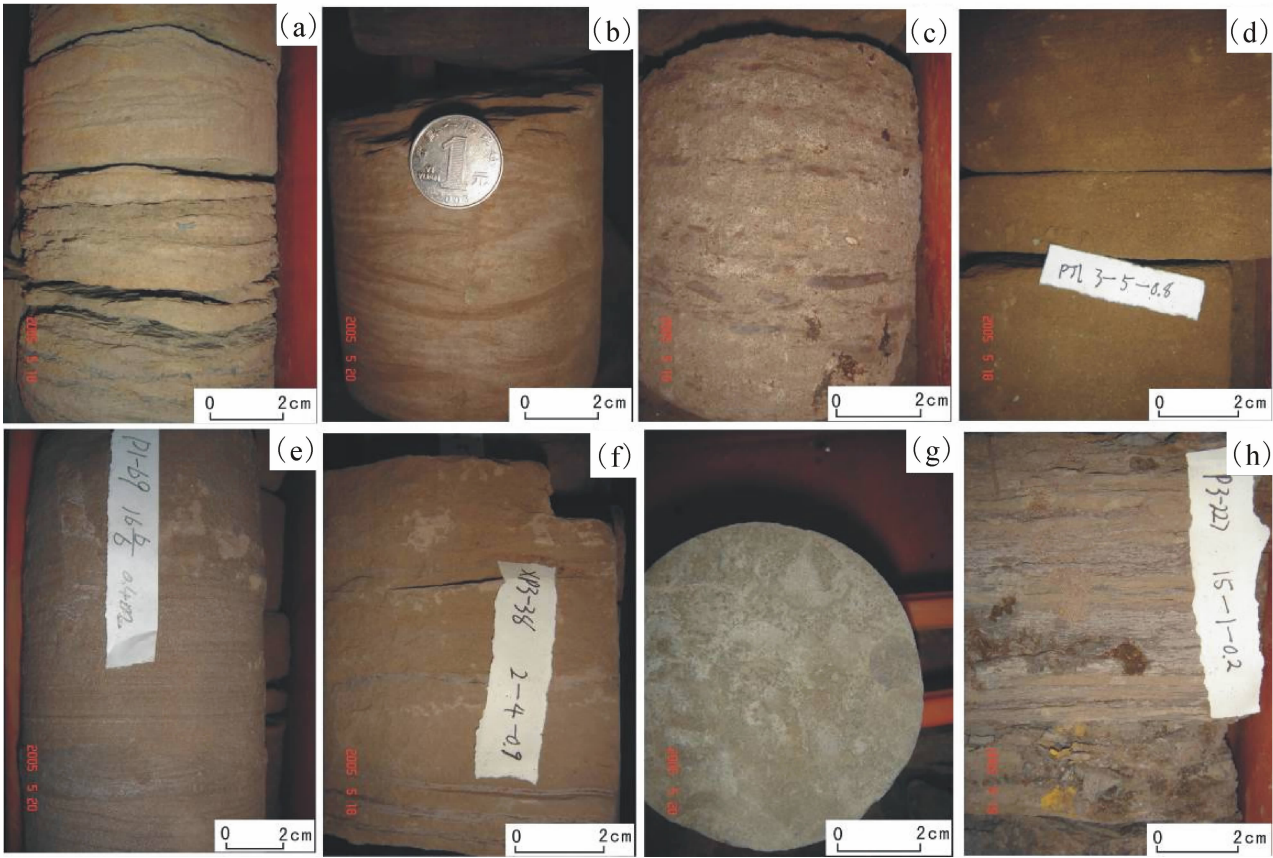


图 3 濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组末端扇沉积构造发育特征  
Fig. 3 Terminal fan sedimentary structure of the 2nd to 3rd layer, Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Pucheng oilfield

(a)一透镜状层理,濮 2-84 井,10-6-2(表示第 10 次取心的岩心共 6 段,图中的岩心为其中的第 2 段,下同);(b)一槽状交错层理,濮 1-207 (5-16-1);(c)一河道底部富含泥砾,濮检 1 井,7-7-1;(d)一平行层理,濮检 1 井,3-8-5;(e)一平行层理中富含泥砾泥屑,濮 1-69 井,16-6-6;(f)一砂岩中含泥质条带,新濮 3-38 井,2-10-4;(g)一生物扰动,濮 27 井,12-8-7;(h)一砂泥互层,濮 3-227,15-8-1  
(a)—lens bedding,Pu-2-84,10-6-2(means the core is the 2nd one of the 6 segments gotten in the 10th pitch);(b)—trough cross bedding, Pu-1-207,5-16-1;(c)—mud-rock on the channel bottom ,Puj-1 ,7-7-1;(d)—parallel bedding,Puj-1,3-8-5;(e)—mud-rock and mud-clastics in the parallel bedding,Pu-1-69,16-6-6;(f)—mud-stripe in sandstone,Xin-pu-3-38,2-10-4;(g)—bioturbation structure,Pu-27, 12-8-7; H—sand-shale alternating layer,Pu-3-227,15-8-1

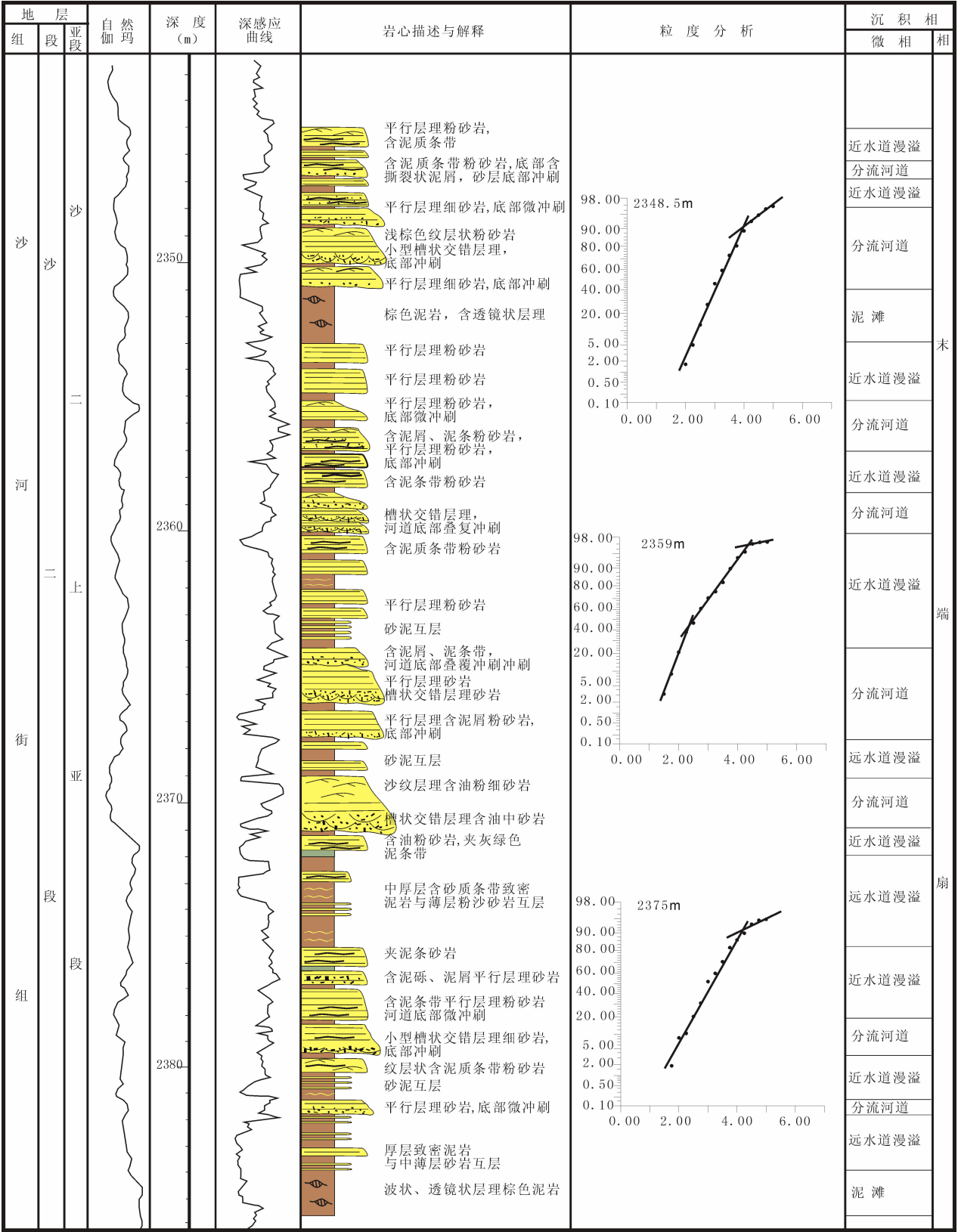


图 4 濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组 新濮 3-38 井末端扇沉积层序  
Fig. 4 Terminal fan sedimentary sequence of the 2nd to 3rd layer, Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Drill Xin-Pu-3-38

物多样,粒度较细,分选较好,常常以泥质粉砂岩或粉砂岩的透镜体形式出现,砂岩较薄,一般为 0.2~0.4m,为浅棕、棕褐色,剖面呈透镜状,含植物碎片。此外当暴风雨、洪水来临时,砂质供应较为充足,在

平缓宽阔的浅湖地带可能形成席状砂质浅滩,以泥质、钙质胶结的泥质粉砂岩为主,受湖水改造作用较强,细粒成分含量较高,这种类型砂岩与远水道漫溢末端砂岩不易区分,常根据砂岩颜色以及砂体的平

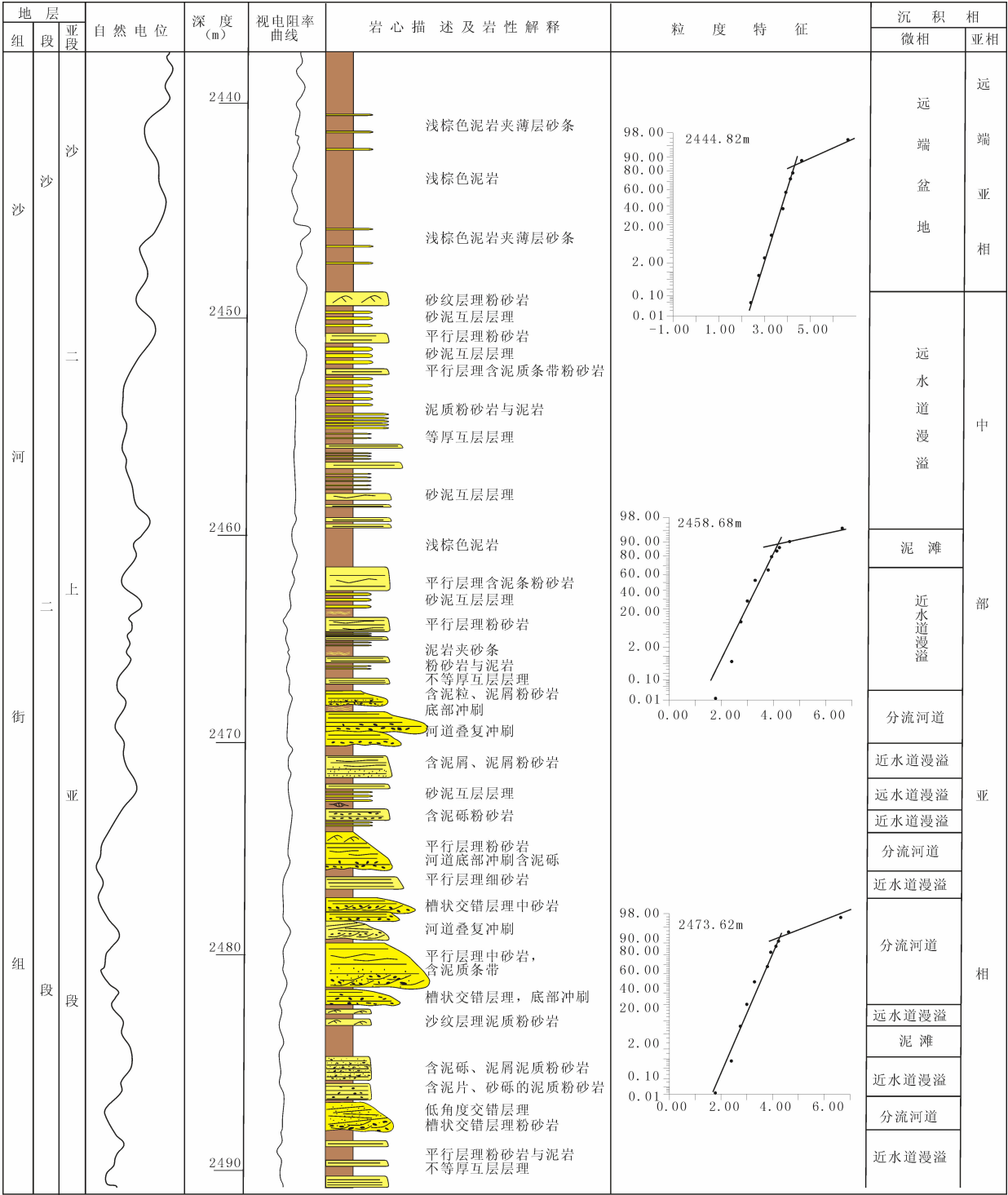


图 5 濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组濮 1-69 井末端扇沉积层序  
Fig. 5 Terminal fan Sedimentary sequence of the 2nd to 3rd layer, Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Well Pu-1-69

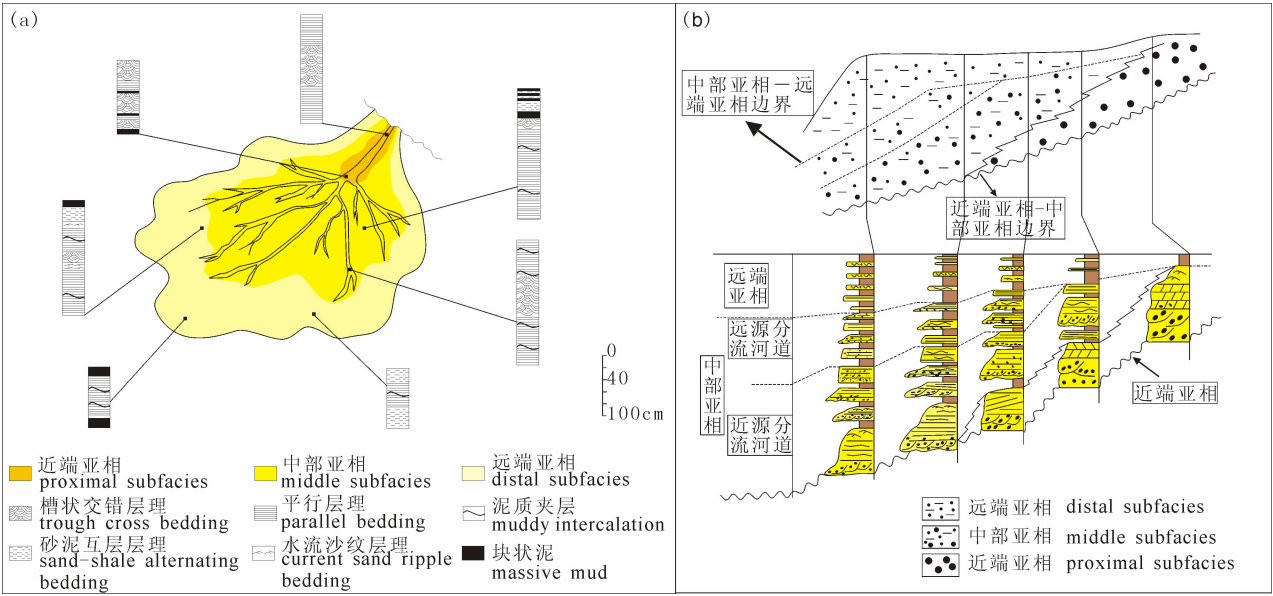


图 6 濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段 2+3 砂组沉积模式图: (a)平面图; (b)剖面图  
Fig. 6 Sedimentary model of the 2nd to 3rd layer, Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Pucheng oilfield: (a) Plan of sedimentary model (b) Profile of sedimentary model

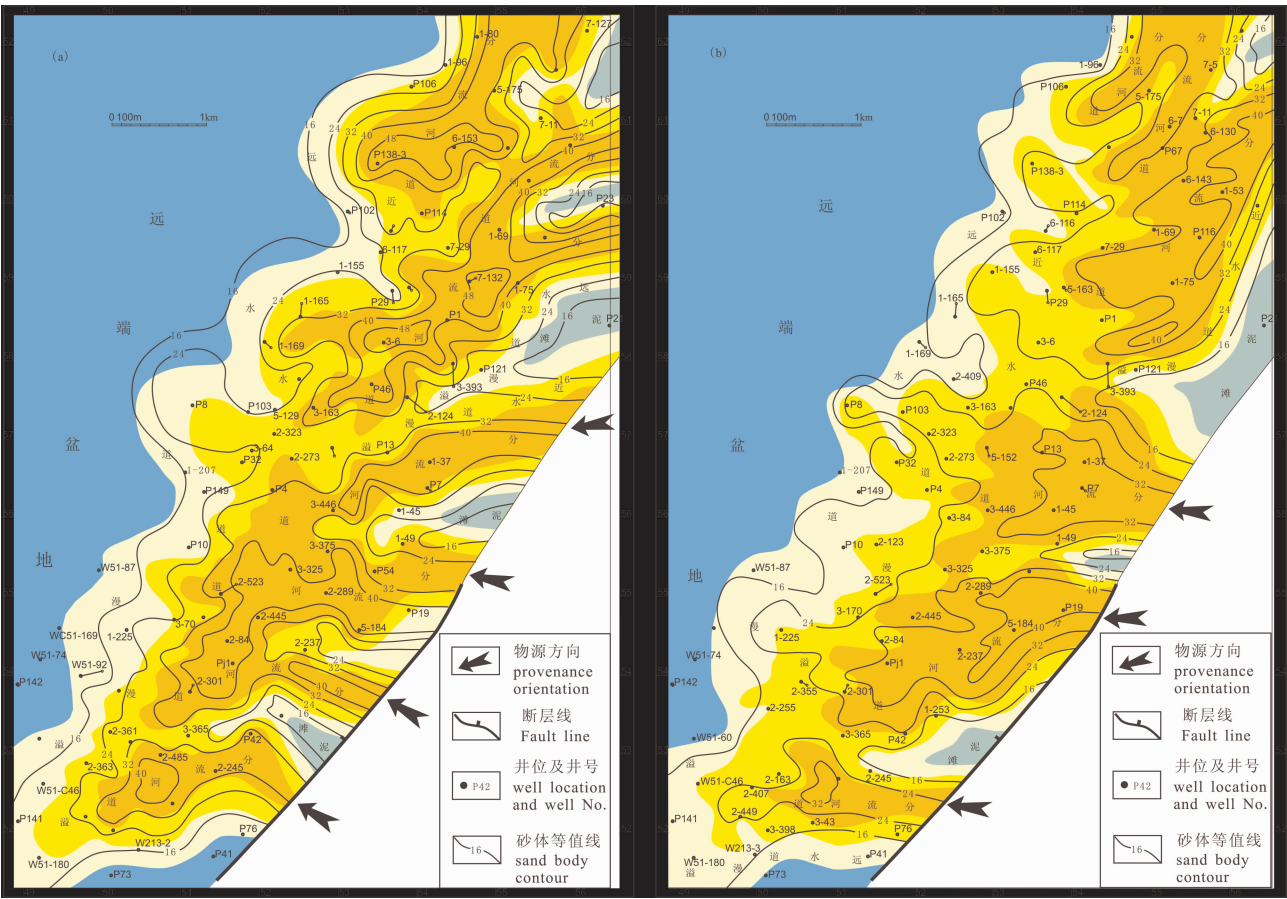


图 7 濮城油田古近系沙河街组沙二上亚段沉积微相及砂体分布图: (a)—3 砂组; (b) 2 砂组  
Fig. 7 Microfacies and sandstone distribution of the 3rd layer(a) and the 2nd layer(b), Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Pucheng oilfield

面展布和垂向共生序列识别。

4 末端扇沉积模式

4.1 末端扇相的识别

对于濮城油田沙二上亚段 2+3 砂组的沉积相研究,油田工作人员认为应该是辫状三角洲沉积体系,但我们认为末端扇与辫状三角洲是两个不同的沉积体系,并从沉积体系的物源供给、沉积物的岩石类型、沉积构造和沉积层序等方面对它们进行了区分,对末端扇沉积有了全面的把握(表 1)。

表 1 末端扇和辫状三角洲的主要识别标志  
Table 1 Recognition mark of terminal fan and braided delta

|      | 末端扇                                                                         | 辫状三角洲                                              |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 物源供给 | 物源供给随季节性降雨起伏,是季节性河流推进到不稳定水体的砂质堆积体,泥质含量高                                     | 物源供给充足,砂质含量高,是辫状水流推进到不稳定水体的砂质堆积体                   |
| 岩石类型 | 砂岩以粉细砂岩沉积为主,少数河道底部为中粗砂岩                                                     | 辫状三角洲以粗粒沉积为主,砾岩、中粗砂岩及块状砾岩常见                        |
| 沉积构造 | 在分流河道沉积和溢岸相沉积中,平行层理是最典型的标志,河道冲刷面之上常直接发育平行层理,溢岸沉积砂岩中富含泥质条带且含有泥砾泥屑,多发育有砂泥互层层理 | 层理构造比较复杂,以大型板状和槽状交错层理为发育特征                         |
| 沉积层序 | 单一砂体层序以上细下粗的正韵律砂体沉积为主,河道底部常显微冲刷                                             | 单一砂体层序既有下细上粗的反韵律砂坝砂体,也具有上细下粗的正韵律河道砂体,且河道底部冲刷充填构造发育 |

4.2 末端扇沉积模式

Tooth 等(1999,2000)根据澳大利亚北部河流终端末端扇的沉积模式特点,认为末端扇主要有两种沉积特征。第一种是在干旱气候下,在断层控制的斜坡断裂带由于坡度骤然减小,使水流能量减少,河流沉积物负载快速下沉,斜坡上没有断裂带,河流流量通过渗滤和蒸发迅速减少,进而造成水流能量的快速降低,最终形成末端扇的砂质堆积物;第二种是由于水流流量的减缓速度很慢,沿着河道水流能量也不断损失,河流没有能力再搬运沉积物,沉积物将在很长的流程中不断沉积,最后在河流末端水流中几乎已没有沉积物负载,因此不可能形成明显的

扇型堆积体。

研究表明,本区的末端扇属于第一种沉积模式,但又有自己的特点。沙二段沉积时期属于半干旱气候环境,河流流量减少,物源区的碎屑物质被季节性降雨和由此产生的洪水搬运在河流终端形成砂质沉积为主的末端扇沉积。砂体的沉积构造说明该区以牵引沉积为主,水动力条件主要是牵引流。但由于研究区内末端扇主要发育于涨缩湖盆,湖盆水面升降频繁,以及季节性降雨和洪水流的交替影响使得河道砂岩沉积中泥条及泥质夹层非常发育,且溢岸沉积砂泥互层非常频繁,成为该区末端扇沉积的一个显著特征。

末端扇具有复杂多变的内部环境及相的变化,通过研究本区可以划分为三个大的组成单元:近端亚相、中部亚相和远端亚相(图 6a)。近端亚相由补给水道和水道间沉积组成,补给水道为河流河道沉积的延续,主要为大、中型河道沉积,单一河道较为发育,叠覆冲刷现象并不明显,补给水道间泥岩夹薄层粉细砂岩沉积发育。中部亚相是研究区内的主要沉积单元,该地带为末端扇中砂质沉积物最丰富、最集中的地区,可以构成良好的油气储集层。由于物源区可获得丰富的疏松碎屑,受河流流量大小影响,加上渗滤造成流量的损失,必然导致雨季河流的大量沉积物载荷在扇体中游沉积,堵塞河道,河道频繁改道,叠覆冲刷较为明显,造成河道的分叉和多支分叉支流,这也导致了末端扇上小扇体的形成。砂体的形态受该地区复杂的水动力影响,近端分流河道非常发育,层理构造发育丰富,河道底部发育小型槽状交错层理,远源分流河道中缺失交错层理,冲刷面上多发育平行层理,这是末端扇中最显著的特点(图 6b)。随着离分流河道越远,扇体由近而远砂体厚度减少,表明河流经过渗滤和蒸发作用,使它的流量损失了相当一部分,导致了沉积物的快速沉积,河水常常溢出形成溢岸沉积,由于湖盆涨落频繁,溢岸沉积特别是远水道溢岸沉积物时而在湖水面以下,受到波浪改造,时而露出水面,受到来自河流的洪水流影响,砂岩中泥质条带非常发育。远端盆地处于中部亚相前方,并向盆地中部延伸,常常受到浅水波浪的干扰,泥质沉积物非常发育。

5 沉积微相分布

本文在岩心描述和分析的基础上,充分利用测井和录井岩性剖面资料,结合砂体平面分布特征对濮城油田的沉积微相分布特征进行了综合研究。

沙二上亚段 3 砂组沉积时期,整个地区总体表现为湖退砂进的特点,物源主要来自鲁西隆起。来自东北部的碎屑物质经三条主水道进入研究区,顶部水道进入研究区向西南形成一较大的沉积扇体,表明其水流强度较大,另两条水道向西南延伸并不断分叉,在濮 3-149 至濮 5-155 井区形成了分流河道网状体系,并向西南展布,在端部形成了鸟足状朵体,河道砂体砂/泥比值一般为 0.5~0.7,砂体最厚处大约为 40~53m;研究区中部三条水道自东向西延伸,并最终连成一片,形成较大的沉积朵体;南部发育来自东部方向的扇体沉积,扇体发育规模较小。从研究区平面整体来看,末端扇中部亚相和远端亚相各微相发育较为齐全,全区砂体发育厚度有自东向西明显减薄的趋势,在平面上表现为扇状堆积体的沉积特征,分流河道微相最终形成连片沉积,显示离源区远处水流活动依然较为强劲,使得河道频繁分叉汇聚。此外由全区范围来看河道呈现中北部强劲,由北向南逐渐减小,自东向西逐渐由分流河道向水道漫溢微相转变(图 7a)。

沙二上亚段 2 砂组沉积时期,整个地区总体表现为湖进砂退,物源主要来自于东部(或东北部)的鲁西隆起。在平面上,总体来说,河道砂体厚度较为平均,相差不大,只是北部河道厚度略高于南边。从东北部进入研究区内的主水道由于河流强烈的冲刷作用,形成一条条新的河道分叉,单一的分流河道微相区最终连成一片,河道砂体砂/泥比值一般为 0.5~0.7,砂体最厚处为 32~41m;研究区中部来自东部方向的沉积物负载在本区形成两个大型的扇体;南部发育一小型的末端扇沉积,分流河道微相呈鸟足状分布,面积较窄。整个 2 砂组溢岸沉积比 3 砂组更为发育,自东向西展布于分流河道前缘,濮城地区西部远水道漫溢前部发育远端盆地(图 7b)。

## 6 结论

(1)总结国外末端扇发展现状,以东濮凹陷濮城油田沙二上亚段 2+3 砂组沉积为例,以岩心描述和地下钻井资料为主要研究手段,在国内首次提出了末端扇这一独立的沉积相类型。

(2)以录井岩性剖面为主,结合油田工作人员提供的岩性资料,对濮城油田地下探井主要研究井段进行了岩性数据统计分析,认为该区岩性主要以粉砂岩沉积为主,偶有中粗砂岩沉积,未见砾岩沉积。通过岩心观察,表明该区主要为浅水—陆上沉积环境。

(3)通过单井岩心描述和分析,确定了该地区沙二上亚段 2+3 砂组为细粒的末端扇沉积体系,具有不同于其它沉积相类型的沉积构造,在分流河道和溢岸相沉积中,平行层理是最典型的标志,河道冲刷面之上常直接发育平行层理,砂岩中富含泥质条带,溢岸沉积多有砂泥互层层理发育,多含泥质条带且富含泥砾泥屑,普遍具下粗上细的粒度特征。

(4)建立了末端扇沉积体系的沉积模式,划分为三个亚环境:近端亚相、中部亚相和远端亚相。研究区钻井主要为中部亚相沉积物,该区中部亚相划分为三种沉积微相类型:分流河道、泥滩和水道漫溢沉积。远端亚相主要为远端盆地微相沉积。根据岩心描述所建立的沉积层序、测井横向剖面等多种储层微相研究手段,对沙二上亚段 2+3 砂组沉积微相进行了分析研究,揭示了物源来自于东部鲁西隆起的砂质扇状堆积体自东向西的展布趋势。

## 参 考 文 献 / References

- 王良忱,张金亮. 1996. 沉积环境和沉积相. 北京:石油工业出版社, 5~13.
- 杨世刚. 2004. 东濮凹陷断裂构造的复杂程度评价. 中国矿业大学学报, 33(5): 600~603.
- 张金亮,俞惠隆. 1989. 我国东部几个含油气盆地浅水湖泊砂体成因的认识. 石油与天然气地质, 10(1): 43~47.
- 赵澄林,刘孟慧. 1988. 东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用. 东营:石油大学出版社, 6~8.
- 赵澄林,刘孟慧,纪友亮. 1992. 东濮凹陷下第三系碎屑岩沉积体系与成岩作用. 北京:石油工业出版社, 1~2.
- 赵澄林. 2000. 沉积学原理. 北京:石油工业出版社, 43~54.
- Abdullatif O M. 1989. Channel-fill and sheet-flood facies sequences in the ephemeral terminal River Gash, Kassala, Sudan. Sedimentary Geology, 63: 171~184.
- Friend P F. 1978. Distinctive features of some ancient river systems. In: Miall A D. ed. Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists, 5: 531~542.
- Hein F J, Walker R G. 1977. Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided Kicking Horse River. British Columbia. Can. J. Earth Sci., 14: 562~570.
- Horton R E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., 56: 275~370.
- Kelly S B, Olsen H. 1993. Terminal fans—a review with reference to Devonian examples. Sedimentary Geology, 85: 339~374.
- Mukerji A B. 1975. Geomorphic patterns and processes in the terminal tract of inland streams in Sutlej—Yamuna plain. Journal of the Geological Society of India, 16: 450~459.
- Mukerji A B. 1976. Terminal fans of inland streams in Sutlej—Yamuna Plain, India. Zeitschrift fur Geomorphologie, 20: 190~204.
- Newell A J, Tverdokhlebov V P, Benton M J. 1999. Interplay of

tectonics and climate on a transverse fluvial system, Upper Permian, Southern Uralian Foreland Basin, Russia. *Sedimentary Geology*, 127:11~29.

Olsen H. 1987. Ancient ephemeral stream deposits; a local terminal fan model from the Bunter Sandstone Formation (L. Triassic) in the Tonder-3, -4 and -5wells, Denmark. In: Frostick L E, Reid I. Eds. *Desert Sediments*. Geological Society Special Publication 35, London, 69~86.

Parkash B, Awasthi A K, Gohain K. 1983. Lithofacies of the Markanda terminal fan, Kurukshetra district, Haryana, India. In: Collinson J D, Lewin J. eds. *Modern and Ancient Fluvial Systems*. International Association of Sedimentologists special publication, 6: 337~374.

Talbot M R. , Holm K. , Williams, M A J. 1994. Sedimentation in low-gradient desert margin systems; a comparison of the Late Triassic of northwest Somerset, England, and the late Quaternary of east-central Australia. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* , 289: 97~117.

Tooth S. 1999. Floodouts in Central Australia. In: Miller A J, Gupta A. eds. *Varieties of Fluvial*. New York: John Wiley & Sons, 219~247.

Tooth S. 2000. Downstream changes in dryland river channels; the Northern Plains of arid central Australia. *Geomorphology*, 34: 33~54.

Tunbridge I P. 1984. Facies model for a sandy ephemeral stream and clay playa complex; the Middle Devonian Trentishoe Formation of North Devon, UK. *Sedimentology*, 31, 697~715.

Tverdokhlebov V P, Tverdokhlebova, G I, Benton M J, Storrs G W. 1996. First record of footprints of terrestrial vertebrates from the Upper Permian of the Cis-Urals, Russia. *Palaeontology*, 40: 157~166.

## Terminal Fan——a Type of Sedimentation Ignored in China

ZHANG Jinliang<sup>1,2)</sup>, DAI Chaoqiang<sup>1)</sup>, ZHANG Xiaohua<sup>1)</sup>

1) *College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266100;*

2) *Center for Petroleum Exploration and Development Engineering of Shandong Province, Qindao, Shandong, 266510*

### Abstract

Terminal fan occur where sediment-laden streams decrease in size and vanish as a result of evaporation and transmission losses. They tend to form in arid or semi-arid region which is characterized by a moisture deficit. Mukerji et al. raised the sedimentological concept in the 1970s, however, in China, there has been no study in this aspect as yet. By the analyzing of well log data and careful core descriptions, terminal fan has been put forward on the 2nd to 3rd layer, Upper 2nd Sub-member, Shahejie Formation in the Pucheng oilfield for the first time in China. The model includes a tripartite zonation of terminal fan into proximal, middle and basinal zones. The main sedimentary microfacies of middle zones include distributary channel, mudflat and overbank. Distributary channel patterns are characteristic of terminal fan, and reflect both loss of stream power and spatially—temporally fluctuating discharge. The sedimentary model of the terminal fan is established; the sedimentary microfacies of the Pucheng oilfield are described in detail on the base of depositional sequence and sandbody geometry.

**Key words:** Terminal fan; Pucheng oilfield; sedimentary microfacies; distributary channel; sedimentary model

