

沾化凹陷孤北油田古近系沙三段扇三角洲 沉积特征及油气储层意义*

杨剑萍, 赵卫卫, 姜在兴

(石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061)

摘要: 不同类型的扇三角洲沉积可发育在断陷盆地演化的不同阶段。由于受沉积物供给速率、可容空间增长速率及湖盆边界断层性质等因素的影响, 孤北油田沙三段发育4种扇三角洲沉积类型。在沙三段沉积早、中期, 伴随湖侵发育退积型扇三角洲, 而在沙三段沉积晚期, 伴随湖退发育进积型扇三角洲。陡坡型和缓坡型扇三角洲在沉积特征、储层分布、储层物性等方面有明显差异, 缓坡型扇三角洲前缘储层由于埋藏较浅, 成岩作用较弱, 平均孔隙度18.2%, 平均渗透率约 $293 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 因此其储集物性优于陡坡型扇三角洲前缘。另外, 沉积微相对储层储集物性也具有明显的控制作用, 扇三角洲前缘水下分流河道砂砾岩体物性最好, 平均孔隙度20.5%, 渗透率 $350 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 可成为优质储集层。深湖相暗色泥岩为主要的烃源岩和盖层, 扇三角洲前缘的砂砾岩体是较好的储集层, 生、储、盖发育齐全, 有着良好的勘探开发前景。

关键词: 扇三角洲; 陡坡型; 缓坡型; 沉积特征; 储层物性; 孤北油田; 沾化凹陷

第一作者简介: 杨剑萍, 女, 38岁, 副教授(在读博士), 储层沉积学

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

孤北油田位于济阳拗陷沾化凹陷的东北部的孤北洼陷内, 属于沾化凹陷的一个次级构造单元, 面积约300 km²。周边发育埕东、桩西、孤岛、长堤等4个凸起, 洼陷与凸起之间被边界断层分割^[1]。古近系沙河街组三段(以下简称沙三段)是孤北洼陷最主要的生、储油层段, 沉积厚度200~1 000 m。边界断层的性质、演化及沉积物的供给控制了湖盆内各种储集体的发育和分布, 扇三角洲沉积为本区最具特色的沉积相类型。在盆地演化过程中, 扇三角洲沉积条件不断变化, 因而其沉积特征也随之改变^[2], 本文将详细阐述各种类型扇三角洲的沉积特征及油气储层意义。

1 沉积特征

孤北油田沙三段沉积时期, 在古构造、古地形和古气候的共同影响下, 扇三角洲砂砾岩体储层十分发育。扇三角洲沉积可进一步划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲3个亚相。

1.1 扇三角洲平原亚相

该亚相为扇三角洲的水上部分, 其结构和构造表现为冲积扇的沉积特征, 最重要的识别标志

是共生的泥岩多为紫红色、棕色及杂色。在垂向上, 砂砾岩具有明显的块状层理和正向递变层理, 底部见冲刷构造, 且底界较平整, 由此可以推测, 砂砾岩形成时颗粒间的相互作用所产生的分散应力和高密度的砂水基质的上浮力, 是支撑粗碎屑和保持流体运动的主要动力。一旦摩擦作用解除, 流动迅速停止, 颗粒没有优选方位的机会从而杂乱堆积^[3]。研究区扇三角洲平原亚相分布范围窄, 向湖方向很快过渡到水下部分。根据岩性组合、结构、构造特征可将其细分为辫状河道和河道间微相。

(1) 河道微相: 辫状河道沉积微相主要为灰白色砾岩、砂质砾岩和砾状砂岩。砾石成分复杂, 大小不等, 杂乱分布, 呈次棱角-棱角状, 分选差。砾岩多为碎屑支撑, 砾石间多为混合杂基充填, 发育块状构造、递变层理。其粒度分布表现为粒级范围分布广、斜率低、截点不明显等特征, 粒度概率曲线主要呈单段弧形。

(2) 河道间微相: 辫状河道间沉积微相是洪水溢出辫状河道后在河道侧缘沉积而成。岩性主要为紫红色、棕色、杂色泥岩夹泥质粉砂岩及粉砂岩。此套沉积在垂向上和平面上夹于辫状河道之间; 在测井曲线响应上表现为较薄层的低幅平直或微齿化曲线。

* 国家十五科技攻关项目(编号: 2001BA605A09)

收稿日期: 2002-05-27

1.2 扇三角洲前缘亚相

扇三角洲前缘是冲积扇入湖之后的水下部分,也是扇三角洲发育最好的部分。既有重力流沉积,也有从扇三角洲平原进入到扇三角洲前缘的牵引流沉积。可进一步划分为水下分流河道、河口坝及河道间3个沉积微相。

(1) 水下分流河道微相: 由厚层状砂砾岩、砾状砂岩和含砾砂岩组成。岩石的碎屑成分复杂,不稳定的各种岩屑和基质含量较高,分选性较差,磨圆度较差,岩层底部大都具有冲刷面,向上依次为具递变层理、块状层理及平行层理的细砾岩、砾状砂岩及中-粗砂岩。这反映了水流速度在开始时较快,形成了冲刷面,先沉积粒度较粗的沉积物;随着水流速度降低,依次沉积粒度相对较细的沉积物,砂、砾岩层间常夹细粒的水下河道间沉积物。

(2) 水下分流河道间微相: 沉积物主要由暗色泥岩组成,偶见夹粉、细砂岩及含砾砂岩,水平层理发育。由于水下分流河道冲刷力强,改道频繁。一旦发生改道,沉积物往往被冲刷减薄,甚至完全被冲刷掉,因此常以夹层的形式出现。自然电位曲线多呈齿状、指状或齿化钟形。

(3) 河口砂坝微相: 本区河口砂坝沉积积极不发育,且形状不明显。沉积物主要为薄层细砂岩、粉砂岩或含砾细砂岩,岩芯可见清晰的交错层理,冲刷面少见,这是由于重力流沉积物快速堆积,从而中断水下分流河道稳定的扩展周期的缘故^[4]。

1.3 前扇三角洲亚相

该亚相位于扇三角洲层序的最底部,岩性为灰色及灰黑色泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩,具水平层理和块状层理,自然电位曲线呈指状或齿状。

2 退积和进积型扇三角洲

扇三角洲体系可发育在断陷盆地演化的不同阶段,但类型有所不同。孤北油田沙三段沉积时期,由于沉积物供给速率、可容空间增长速率及边界断层性质等因素的影响,扇三角洲沉积体系样式明显不同。

沙三段下部和中部沉积时期,随着埕东断层、孤北断层及长堤断层的强烈活动,湖盆面积继续扩大,水体加深。盆地可容空间增长速率大于沉积物供给速率,使该地区处于欠补偿状态,从而发育了大套退积型扇三角洲。退积型扇三角洲总体表现为一种湖泊逐渐扩张,而沉积体系逐渐向盆

地边缘退积的沉积过程。在垂向上总体表现为向上变细,或由多个扇三角洲扇体构成的一种向上逐渐萎缩的垂向序列^[5](图1)。

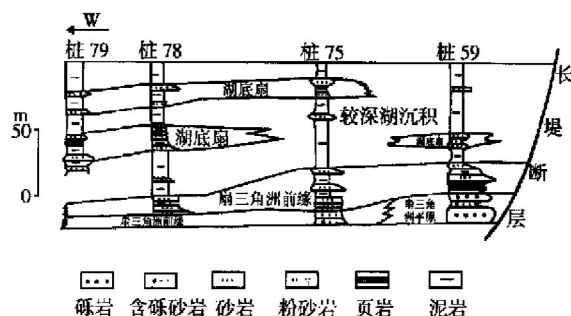


图1 孤北油田东部沙三段中部退积型扇三角洲剖面对比图

Fig. 1 Correlation of degrading fair delta sections in the middle part of the 3rd member of Shahejie Fm in eastern Gubei oilfield

沙三段上部沉积时期,随着湖盆收敛和充填作用的加强,湖水水体逐渐变浅,物源供应充分,盆地可容空间增长速率小于沉积物供给速率,使该地区处于过补偿性沉积状态,从而发育了大套进积型扇三角洲。进积型扇三角洲总体显示了一种湖泊逐渐萎缩,而扇三角洲逐渐向盆地方向进积的沉积过程。在垂向上大致表现为向上变粗,或由多个扇三角洲扇体构成的一种向上逐渐发育壮大的垂向序列(图2)。

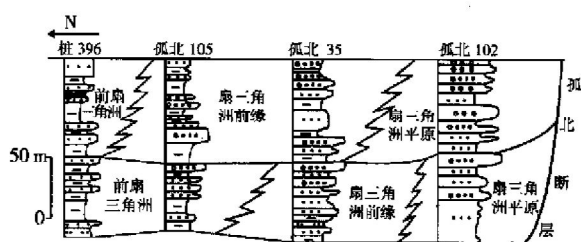


图2 孤北油田南部沙三段上部进积型扇三角洲剖面对比图(图例同图1)

Fig. 2 Correlation of prograding fair delta sections in the upper part of the 3rd member of Shahejie Fm in southern Gubei oilfield

3 陡坡和缓坡型扇三角洲

在进行岩芯观察描述和沙三段各沉积时期沉积相平面图的编制过程中,我们发现孤北油田的东部、西部、南部3个地区的扇三角洲在沉积特征、几何形态上表现出明显的持续性差异。东部

长堤断层下降盘沙三段中、下部发育缓坡扇三角洲, 沙三段上部过渡为三角洲沉积(图 3), 南部孤北断层下降盘主要发育缓坡扇三角洲, 而西部埕东断层下降盘则主要发育陡坡扇三角洲。

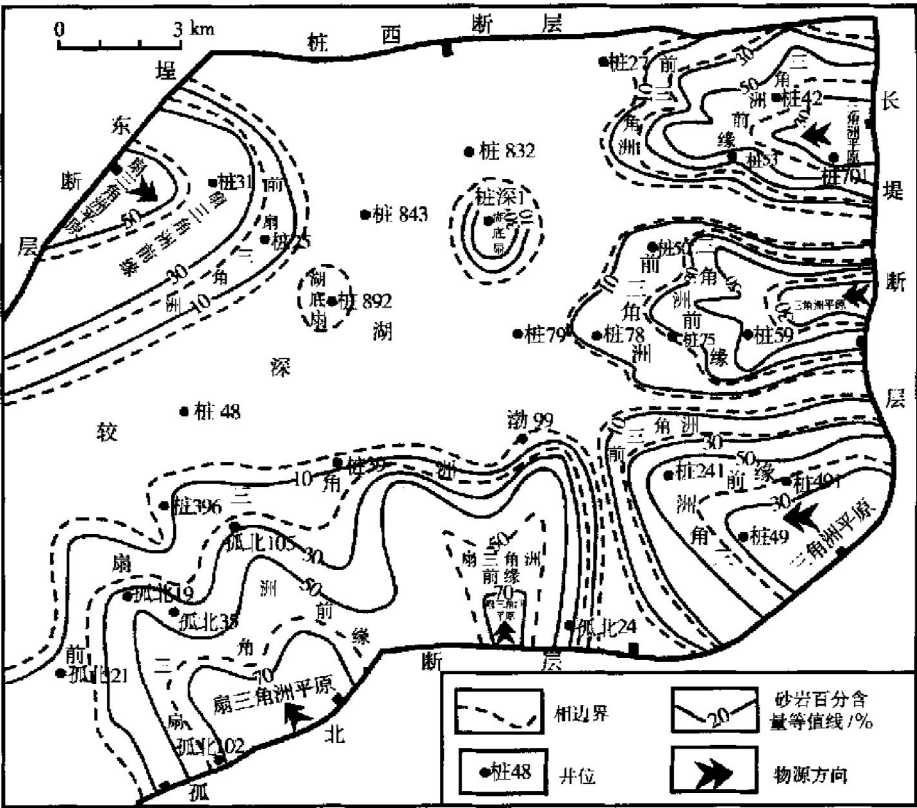


图 3 孤北油田沙三段上部沉积相平面图

Fig. 3 Plan view showing sedimentary facies of the upper part of the 3rd member of Shahejie Fm in Gubei oilfield

3.1 沉积特征的差异

虽然陡坡型和缓坡型扇三角洲具有相同的沉积相组合, 亦同样具有重力流为主、牵引流为次的

沉积物搬运机制。但是, 两者在沉积物粒度和沉积构造上具有明显差异(图 4)。在缓坡扇三角洲前缘中, 牵引流沉积比例相对较大, 平行层理、交

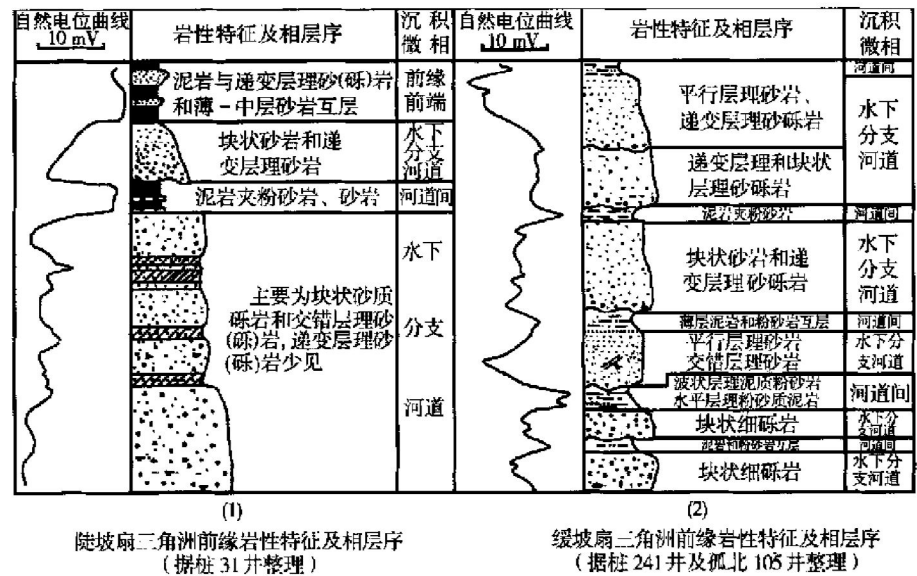


图 4 孤北油田沙三段陡坡和缓坡扇三角洲前缘岩性特征及相层序

Fig. 4 Lithologic characteristics and facies sequences of steep slope and gentle slope fan delta fronts in the 3rd member of Shahejie Fm in Gubei oilfield

错层理等牵引流沉积构造在取芯井段所占比例约大于25%;重力流沉积类型以浊流为主,而片状颗粒流沉积较陡坡扇三角洲的少,沉积物的粒度比陡坡扇三角洲的细。而陡坡扇三角洲前缘中,重力流沉积比例相对较大,沉积构造以块状层理和递变层理为主。

在扇体的形态上,缓坡扇三角洲表现为一种相对长轴分散体系,其前缘分布范围较宽,分流河道和扇三角洲平原相对发育,不发育滑塌浊积扇。而西部埕东断层下降盘发育陡坡扇三角洲,表现为一种相对短轴分散体系,扇体范围小,扇三角洲平原较窄,其前缘分布范围有限,向湖盆延伸不远,其前缘前方发育滑塌浊积扇(图3)。

Lemons^[6]研究了断陷盆地内不同的斜坡角度对沉积体系发育的控制作用,结果表明,造成沉积体系分布差异的首要因素在于边界断层的倾角不一致。西部埕东断层以单断面为主,北东走向,是一高角度、大落差边界断层,致使洼陷西部地形陡,水体较深。而东部五号桩断层和长堤断层形成“二台阶”,南部孤岛凸起呈弧形展布,断层落差相对较小,坡度较缓,因此扇体的分布范围和厚度较大,向湖盆延伸远。另外,3个方向不同的物源供给情况也是造成扇体差异的主要原因。沙三段沉积时期,孤北油田主要由西部埕东凸起、东部长堤潜山和南部孤岛潜山提供物源,东部和南部物源供应充足,而西部物源供应相对较少,这就影响了扇体的形状、规模和厚度。

3.2 储层特征差异

扇三角洲沉积作为重要的油气储层已被国内外的油气勘探所证实。本区沙三段前扇三角洲、较深湖及深湖泥岩、油页岩既是主力生油层,同时也可作为局部的盖层,生油岩最大厚度可达1 000 m以上,各项生油指标均已达到生油门限,油源充足是本区油气藏形成的基础。沙一段与东营组的厚层泥岩是良好的区域性盖层,因此本区可形成良好的自生自储型油气藏。扇三角洲前缘砂砾岩体是本区有利储层,陡坡型扇三角洲和缓坡型扇三角洲在储层特征方面有许多共性,但也有一定的差异。

(1) 储层分布格局的差异。本区西部陡坡型扇三角洲前缘分布范围有限,前缘砂砾岩体沿沉积物搬运方向延伸长度约2~3 km,但前缘方向发育滑塌浊积扇体,而缓坡型扇三角洲前缘砂砾岩

体分布范围较大,向湖盆方向延伸长度最大可达7 km。这种储层格局无疑对油气勘探具有较大的指导意义,并为油藏描述方案的总体设计提供重要依据。

(2) 储层沉积构造的差异。陡坡型扇三角洲前缘砂砾岩体沉积构造以块状层理为主,而缓坡型扇三角洲前缘砂砾岩体除了发育递变层理和块状层理之外,还发育丰富的平行层理和交错层理,总体沉积构造特征是递变层理、块状层理、平行层理和交错层理交互产出。显然,这种沉积构造的差异导致了扇三角洲储层内的非均质性,这对油气开采具有较大的实践意义。

(3) 储层物性的差异。研究区陡坡扇三角洲前缘砂砾岩体分选较差,且遭受了较强的成岩作用,储层物性相对较差,砂砾岩体平均孔隙度约15.3%,平均渗透率约 $133 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而缓坡型扇三角洲前缘砂砾岩体分选相对较好,且由于埋藏较浅,遭受较弱的成岩作用影响,平均孔隙度约18.2%,平均渗透率约 $293 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,因而储层物性相对较好。

除了扇三角洲类型的储层物性有差异外,沉积微相对储层物性也具有明显的控制作用,不同沉积微相内水动力条件不同,因而形成的砂体类型也不同。其岩性、粒度、分选、填隙物特征以及砂体的岩相组合、时空展布特征均有差异,结果导致不同微相内储集体物性特征各不相同。据对各种沉积微相砂砾岩的孔隙度、渗透率分布统计表明,扇三角洲前缘水下分流河道砂砾岩体物性最好,平均孔隙度20.5%,渗透率为 $350 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,显然具备了良好的储集条件。

4 结论

(1) 孤北油田沙三段沉积时期,受沉积物供给速率、可容空间增长速率及湖盆边界断层性质的影响,发育4种类型扇三角洲。沙三段沉积早、中期,伴随湖侵发育退积型扇三角洲;而沙三段沉积晚期,伴随湖退发育进积型扇三角洲。东部长堤断层和南部孤北断层的下降盘发育缓坡扇三角洲,西部埕东断层的下降盘发育陡坡扇三角洲。

(2) 陡坡型和缓坡型扇三角洲前缘砂砾岩体均可形成重要油气储层,但两者在沉积特征、形成机制、储层分布、储层物性及储层沉积构造(表现为层内非均质性)等方面有一定的差异。另外,沉

积微相对储层物性也具有明显的控制作用, 其中扇三角洲前缘水下分流河道砂体物性好, 可成为优质储集层。

(3) 研究区生、储、盖发育齐全, 能够成为良好的自生自储型油气藏, 应作为沾化凹陷下一步重点勘探开发目标。

参 考 文 献

- 1 张建林, 林畅松, 郑和荣. 断陷湖盆断裂、古地貌及物源对沉积体系的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 24~ 27
- 2 程日辉, 刘招君, 徐勇. 扇三角洲体系作为层序中体系域类型的

识别标志[J]. 长春地质学院学报, 1996, 26(4): 406~ 410

- 3 李文厚, 周立发, 赵文智, 等. 酒东盆地营尔凹陷的扇三角洲[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 300~ 304
- 4 曹辉兰, 华仁民, 纪友亮, 等. 扇三角洲砂砾岩储层沉积特征及与储层物性的关系——以罗家油田沙四段砂砾岩体为例[J]. 高校地质学报, 2001, 7(2): 222~ 229
- 5 焦养泉, 周海民, 庄新国, 等. 扇三角洲沉积体系及其与油气聚集的关系[J]. 沉积学报, 1998, 16(1): 70~ 75
- 6 Lemons D R. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine-grained lacustrine deltas along eastern margin of late Pleistocene lake Bonneville, northern Utah and southern Idaho[J]. AAPG Bull, 1999, 83(4): 635~ 665

SEDIMENTARY CHARACTERISTICS AND RESERVOIR SIGNIFICANCE OF Eocene E_{s3} FAN DELTA IN GUBEI OILFIELD, ZHANHUA DEPRESSION

Yang Jianping Zhao Weiwei Jiang Zaixing

(Geo-Resources and Information College, Petroleum University, Dongying, Shandong)

Abstract: Various types of fan delta systems have been developed in different evolution stages of faulted basin. Being controlled by the supply rate of sediments, expansion rate of available space and nature of lake basin's boundary fault, four types of fan deltas have been deposited in the 3rd member of Shahejie Fm(E_{s3}) in Gubei oilfield. Retrograding fan delta has been deposited along with the transgression of the lake in the early and middle E_{s3} ; and the prograding fan delta has been deposited during the regression of the lake in late E_{s3} . There are obviously different sedimentary characteristics, reservoir distribution and reservoir quality between the steep fan delta and the gentle one, the latter has better reservoir quality with an average porosity of 18.2% and average permeability of $293 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, because it has relatively shallow burial depth and weak diagenesis. In addition, the microfacies of sediments would also control the reservoir quality. The glutenites deposited in subaqueous distributary channels in front of the fan delta have the best reservoir quality with an average porosity and permeability of 20.5% and $350 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, respectively. The deep lacustrine dark-colored mudstones constitutes the major hydrocarbon source and cap rocks, and the glutenites deposited in front of the fan delta are relatively good reservoirs, which would constitute a good combination of source, reservoir and cap rocks. The E_{s3} would, therefore, be the target of further exploration.

Key words: fan delta; steep slope type; gentle slope type; sedimentary characteristics; reservoir quality; Gubei oilfield; Zhanhua depression