

大芦家地区渐新统东二₁亚段 三角洲前缘砂体微相及储集性研究

欧成华 陈景山

(西南石油学院 四川南充 637001)

摘要 通过岩芯、录井、测井资料的综合分析,发现大芦家地区渐新统东二段主要由三角洲前缘亚相组成,砂体的成因类型主要包括三角洲前缘亚相的河口坝、水下分流河道、水下天然堤和决口扇、席状砂、远砂坝。它们不仅具有各自独特的沉积特征和测井相特征,而且其空间储集物性的分布也各不相同。此外,它们还具有较强的层内非均质性,层间非均质性和平面非均质性却较弱。

关键词 砂体 微相 三角洲前缘 储集性能

第一作者简介 欧成华 男 26岁 博士生 油气田开发 (含开发地质)

1 地层概况

研究区地处山东省临邑县北部的大芦家地区^[3],本区渐新统东营组主要为一套陆相砂、泥岩不等厚互层,可进一步分为上、下两段。上部东一段以大套灰、绿灰色泥岩为主,夹少量粉砂岩和薄层泥灰岩,厚度可达250 m。下部东二段的岩性主要为粉砂岩、粉细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩的不等厚互层,厚度可达480 m。东三段上部的东二₁亚段为本文的研究层段。该层段在垂向上通常发育13个厚度不等的砂体,其间被泥岩层分隔,据此可将该层段细分为13个单砂层。单个砂层的厚度变化较大,为1~14 m不等,其中,下部的较厚,中上部的较薄。

2 微相类型及特征

根据录井、岩芯及测井相^[1]等的综合分析,研究区东二₁亚段主要发育湖相河控型三角洲沉积体系,并且以三角洲前缘亚相占优势,主要包括河口坝、水下分流河道、水下天然堤和决口扇、席状砂、远砂坝、分流间湾等微相。它们的主要识别特征列于表1。

2.1 河口坝微相

该微相主要由浅灰、灰白色的粉砂岩、粉细砂岩及细砂岩组成,顶部常见灰色致密薄层灰质砂岩。

整个砂体自下而上粒度由细变粗呈反旋回沉积。砂体中通常发育板状交错层理以及流水或波浪成因的沙纹层理,还可见到平行层理和块状层理。粒度概率曲线表现为三段式或两段式,跳跃总体发育,有的还具有双跳跃特征(图1)。测井相多为漏斗形,有时呈箱形或二者的复合(图2)。单个沉积序列的厚度一般为3~10 m不等。

2.2 水下分流河道微相

它主要由灰色细砂岩、粉细砂岩及粉砂岩组成。垂向上呈现下粗上细的正旋回沉积序列,底部常含灰绿、灰色泥砾和冲刷侵蚀现象。板状交错层理、沙纹层理、变形层理等较为发育。粒度概率曲线以两段式或三段式为主,滚动总体发育(图1)。测井相以钟形为主,有时呈箱形或两者的复合(图2)。单个沉积序列的厚度变化于3~8 m之间。

2.3 水下天然堤与决口扇微相

本区水下天然堤和决口扇常常伴生在一起,其沉积物均为灰色极细砂和粉砂,其间夹少量的粘土夹层,常含植物碎片。常见流水沙纹层理,局部出现流水与波浪共同作用形成的复杂交错层理,可见冲刷-充填构造、虫孔、泥球和包卷层理等。两者的粒度概率曲线均为两段式,以悬浮总体为主,只是天然堤的悬浮总体较决口扇更发育(图1)。天然堤的测井相以低幅刺刀形为主,决口扇则以低幅钟形为主(图2)。单个沉积序列的厚度变化于0.5~2.5 m

表1 东二₁亚段各沉积微相特征对比表

Table 1 The microfacies characteristics of the first submember of the second Member of Dongyin Formation

| 相 | 亚相 | 微相 | 岩性 | 沉积构造 | 典型测井相 | 单个砂体厚度 / m | 沉积韵律 | 粒度概率曲线 |
|-------|-------|-----------|--|--------------------------------------|--------------------------|------------|------|-----------------------------------|
| 三角洲前缘 | 三角洲前缘 | 河口坝 | 以浅灰、灰白色的粉砂岩、粉细砂岩及细砂岩为主, 顶部常见灰色薄层致密灰质砂岩 | 板状交错层理以及流水或波浪成因的沙纹层理, 平行层理和块状层理 | 多为漏斗形, 有时呈箱形或二者的复合 | 3~10 | 反 | 三段式或两段式, 跳跃总体发育, 有的具有双跳跃特征 |
| | | 水下分流河道 | 由灰色细砂、粉砂岩组成, 底部常含有灰绿、灰色泥砾 | 板状交错层理、沙纹层理、变形层理等较为发育, 底部有冲刷侵蚀现象 | 以钟形为主, 也可见箱形及两者的复合 | 3~8 | 正 | 以两段式或三段式为主, 滚动总体发育 |
| | | 水下天然堤与决口扇 | 灰色极细砂和粉砂, 其间夹少量的粘土夹层, 含水量植物碎片 | 流水沙纹层理、冲刷—充填构造、虫孔、泥球和包卷层理等 | 天然堤以低幅刺刀形为主, 决口扇则以低幅钟形为主 | 0.5~2.5 | 正 | 均为两段式, 以悬浮总体为主, 其中天然堤的悬浮总体较决口扇更发育 |
| | | 远砂坝 | 灰色粉砂岩、泥质粉砂岩和钙质粉砂岩互层 | 沙纹层理和水平层理 | 中到低幅的反向刺刀形、指形, 或低幅漏斗形 | 0.5~3 | 反 | 两段式, 悬浮总体较发育 |
| | | 席状砂 | 粉砂岩为主, 含少量细砂岩, 砂质纯、分选好 | 流水沙纹层理, 浪成沙纹层理及水平层理等 | 以中幅指形为主, 有时呈中幅刺刀形 | 1~3.5 | 不明显 | 三段式或两段式, 跳跃总体发育 |
| | | 间湾 | 以浅灰、绿色泥页岩为主 | 以水平层理为主, 含有一些透镜状层理和浪成波痕; 虫孔和生物扰动构造发育 | 平直形或微齿形 | — | — | — |

之间。

2.4 远砂坝微相

沉积物主要为灰色粉砂岩、泥质粉砂岩和钙质粉砂岩互层。常见沙纹层理和水平层理。纵向上为下细上粗的反旋回沉积序列。粒度概率曲线为双段式, 悬浮总体较发育(图1)。测井相表现为中到低幅的反向刺刀形、指形, 或低幅漏斗形(图2)。单个沉积序列的厚度一般为0.5~3 m不等。

2.5 席状砂微相

沉积物主要由粉砂岩或少量细砂岩组成, 砂质纯、分选好, 并以厚度较薄和平面上分布较广其特征。沉积构造主要有流水沙纹层理, 浪成沙纹层理及水平层理等。测井相以中幅指形为主, 也可见中幅刺刀形(图1)。粒度概率曲线为三段式或两段式, 跳跃总体发育(图2)。单个沉积序列的厚度一般为1~3.5 m。

2.6 间湾微相

沉积物以浅灰、灰绿色泥页岩为主, 夹有特大洪水带来沉积的薄层粉砂岩和泥质粉砂岩。沉积构造以水平层理为主, 含有一些透镜状层理和浪成波痕, 虫孔和生物扰动构造发育。测井相为平直形或微齿型(图2)。

3 储集性能分析

组成本区砂体的岩石类型主要有四种: 粉砂岩、细砂质粉砂岩、细砂岩和粉砂质细砂岩, 其中, 前两种主要分布在远砂坝、席状砂、天然堤和决口扇砂体中, 后两种主要见于水下分流河道和河口坝砂体中。另外, 在水下分流河道砂体的底部和河口坝砂体的顶部偶见有含细砾的细砂岩。根据薄片分析, 岩类以长石砂岩为主, 含有一些石英砂岩; 砂岩的碎屑成分主要包括石英、长石、岩屑、片状矿物等, 含有少量

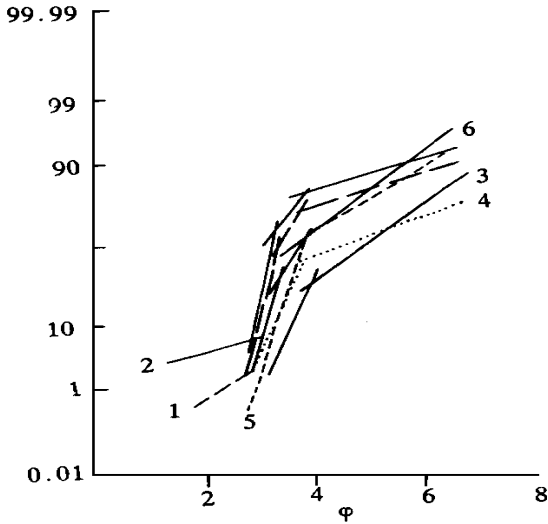


图 1 不同微相砂体的粒度概率图

- 1. 河口坝; 2. 水下分流河道; 3. 水下天然堤; 4. 水下决口扇;
- 5. 远砂坝; 6. 席状砂

Fig. 1 Grain size probability plot of the following sandstones microfacies: 1 River-mouth bar, 2 Sublacustrine distributary channel, 3 Sublacustrine levee, 4 Sublacustrine crevasse-splay, 5 Distal bar, 6 Sand sheet.

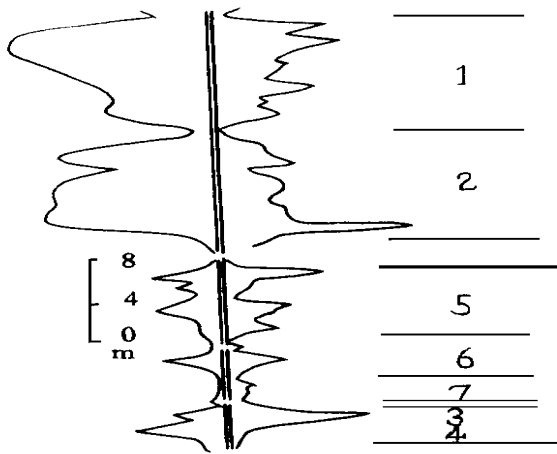


图 2 主要微相的典型测井响应特征

- 1. 河口坝; 2. 水下分流河道; 3. 水下天然堤;
- 4. 水下决口扇; 5. 远砂坝; 6. 席状砂; 7. 间湾

Fig. 2 Well log facies characteristics for the following microfacies: 1 River-mouth bar, 2 Sublacustrine distributary channel, 3 Sublacustrine levee, 4 Sublacustrine crevasse-splay, 5 Distal bar, 6 Sand sheet, 7 Sediment between distributary

物,胶结类型为孔隙式或接触式,颗粒间为点到线接触;颗粒分选中到好、次棱角一次圆状;砂岩的结构成熟度和成分成熟度均较低。埋深一般为1 500~2 200 m,处在中埋藏、中成岩阶段。

3.1 微相与砂体物性的关系

本区微相类型在宏观上控制了砂体储集性能的好坏,即是说,古水动能强的相带,其储集物性好于古水动能弱的相带。以渗透率为例,本区河口坝的区域平均渗透率为 $428.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,水下分流河道的区域平均渗透率为 $407.70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而席状砂、远砂坝、水下天然堤和决口扇则分别只有 $134.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $123 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $5.40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。本区不同微相的孔隙度值也有类似的分布规律。具体的统计数据见表 2 所示。

3.2 不同微相间的孔渗相关性分析

研究区各微相的孔渗参数具有良好的正相关关系^[3]。如表 3 所示,通过对 150 个以上样本数的河口坝、水下分流河道、席状砂和 30 个以上样本数的远砂坝、水下天然堤和决口扇的孔渗值进行相关分析,发现本区各微相的孔渗间具有大致相同的相关性,即渗透率的对数值和孔隙度值呈良好的递增式线性关系。也就是说,本区孔隙度高的砂体,其渗透率也高;反之,孔隙度低,其渗透率也低。

3.3 砂体微相类型与层内非均质性

为了便于研究,我们依据垂向上单层内砂体的粒度韵律性、沉积构造规模及渗透率变化规律和高渗段位置将研究区层内非均质性分为如下四种类型(图 3)。

钟形非均质性 渗透率在垂向上表现为自上而下由小变大的趋势,最高渗透段分布在序列的底部,同时,自上而下层序的粒度也由细变粗,且下部沉积构造的规模多较上部大,表现出水动力自上而下、由弱增强的趋势。

漏斗形非均质性 渗透率在垂向上表现为自上而下由大变小的趋势,最高渗透段分布在序列的顶部,同时,整个垂向序列的粒度自上而下由粗变细,沉积构造规模也由大变小,表现出水动力强度自上而下由强变弱的趋势。

中间突出型非均质性 渗透率在垂向上表现为中间大,顶底小的趋势,最高渗透段分布在序列的中部,同时,整个垂向序列的粒度也是中间较粗、顶底渐细,沉积构造的规模也表现为中间大、顶底小,体现出水动力中间强、顶底弱的趋势。

粘土杂基;砂岩胶结物以方解石为主,其次是粘土矿

表2 各微相砂体物性统计表

Table 2 Statistical data about physical parameters of various sandbodies in the delta front

| 砂体类型 | 孔隙度/% | | 渗透率/ $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ | |
|-----------|-------------|-------|-------------------------------------|--------|
| | 范围 | 平均值 | 范围 | 平均值 |
| 河口坝(浅滩) | 18.19~35.63 | 29.92 | 3.9~3 530 | 428.05 |
| 水下分流河道 | 21.17~35.20 | 29.59 | 10~1 360 | 407.7 |
| 席状砂 | 14.10~31.53 | 26.67 | 2~2 807 | 134.5 |
| 远砂坝 | 22.80~34.8 | 27.67 | 2~346 | 123 |
| 水下天然堤、决口扇 | 16.50~27.5 | 23.10 | 8~173 | 54 |

表3 孔隙度(ϕ)和渗透率(K)相关拟合表

Table 3 The correlation analysis between porosity and permeability

| 砂体类型 | 拟合方程 | 相关系数 | 样本数 | 临界值 | 相关性 |
|-----------|----------------------------------|-------|-----|-------|-----|
| 河口坝 | $\lg K = 0.24447\phi - 1.69296$ | 0.892 | 278 | 0.155 | 正相关 |
| 水下分流河道 | $\lg K = 0.231533\phi - 1.36525$ | 0.878 | 153 | 0.206 | 正相关 |
| 席状砂 | $\lg K = 0.24983\phi - 1.7044$ | 0.928 | 280 | 0.155 | 正相关 |
| 远砂坝 | $\lg K = 0.331822\phi - 3.62265$ | 0.999 | 35 | 0.418 | 正相关 |
| 水下天然堤、决口扇 | $\lg K = 0.230776\phi - 1.12698$ | 0.938 | 35 | 0.418 | 正相关 |

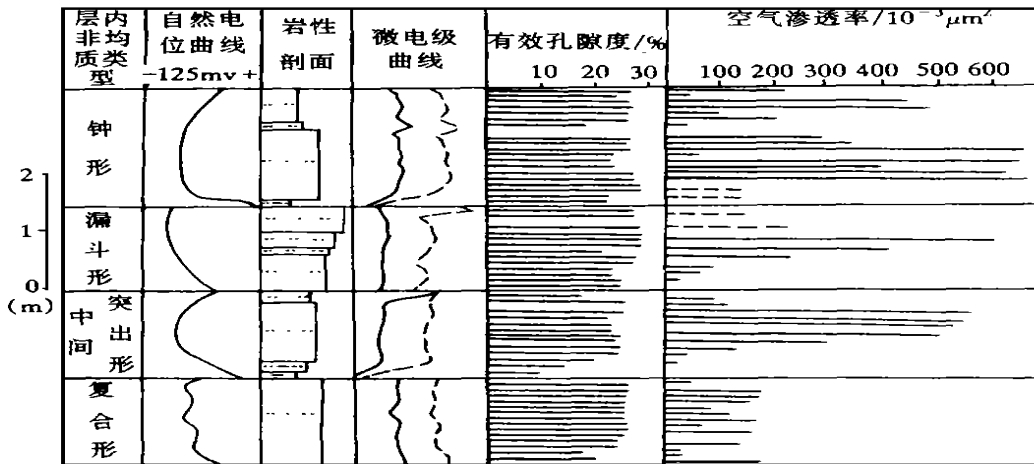


图3 层内非均质类型

Fig. 3 The various types of intraformational nonuniformity

复合型非均质性 自上而下, 整个垂向层序的渗透率、粒度、沉积构造变化没有统一的规律, 出现多个极大值和极小值, 局部可识别出钟形、中间突出形非均质性。

从表4可以看出, 本区各微相砂体的层内非均质性较强。其中尤以席状砂为最强, 其渗透率突进

系数达20.87, 粒度分异系数为1.64, 渗透率级差竟达到1 403.5; 其次为河口坝, 渗透率突进系数虽只有8.25, 但渗透率级差仍达到905.13, 粒度分异系数仍有1.6; 水下分流河道与天然堤和决口扇的层内非均质较前两者弱, 渗透率突进系数略大于3, 粒度分异系数略大于1.2, 渗透率级差分别为136.0

表 4 不同微相砂体的层内非均质特征

Table 4 The characteristics of intraformational nonuniformity of sandbodies in various microfacies

| 微相类型 | 韵律性 | 层内非均质类型 | 渗透率突进系数 | 渗透率级差 | 粒度分异系数 |
|---------|---------------|--------------|---------|----------|--------|
| 水下分流河道 | 正韵律 | 钟形为主 | 3.34 | 136.00 | 1.35 |
| 河口坝 | 反韵律,有时可见到复合韵律 | 漏斗型为主,其次为复合型 | 8.25 | 905.13 | 1.60 |
| 席状砂 | 复合韵律 | 中间突出形和复合型 | 20.87 | 1 403.50 | 1.64 |
| 天然堤和决口扇 | 正韵律为主 | 钟形和复合型 | 3.20 | 21.63 | 1.20 |
| 远砂坝 | 反韵律 | 漏斗形和复合型 | — | — | — |

注:表中“—”号表示资料不足,无此项数据

和 21.63,远砂坝则由于资料不足,没有相应的定量参数。另外,本区不同微相类型的层内非均质性还有其自身的特点:水下分流河道、水下天然堤和决口扇的层内非均质以钟形为主,河口坝、远砂坝以漏斗形为主,席状砂则以中间突出形为主。

3.4 层间非均质性和平面非均质性

研究区层间非均质性表现在:① 泥质隔层分

布广且稳定,厚度从 0.5~5 m 不等,但东二₁油砂组的 10 到 13 小层之间的泥质隔层分布范围较窄,且不稳定;② 从表 5 中可以看出,本区层间孔渗分布差异不大。这是由于各砂层成因相似,形成时的水动力强弱差异不大;③ 层间粒度中值变化不大,研究区各砂层砂岩粒度中值的变化范围均分布在 0.05~0.12 mm 之间,差异不明显。

表 5 东二₁各砂层物性统计表

Table 5 Statistical data about physical parameters of individual sandstone beds

| 层位 | 样品数 | 孔隙度/% | | 渗透率/ $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ | |
|-------------------------------|-----|-------------|-------|------------------------------------|--------|
| | | 范围 | 平均值 | 范围 | 平均值 |
| 东二 ₁ ¹ | 80 | 22.59~33.58 | 26.59 | 39.56~1440.54 | 186.07 |
| 东二 ₁ ² | 91 | 18.14~33.52 | 26.49 | 5.59~1 757.23 | 174.26 |
| 东二 ₁ ⁴ | 92 | 15.94~33.16 | 26.87 | 6.53~2 635.9 | 169.72 |
| 东二 ₁ ⁵ | 78 | 19.11~34.01 | 25.74 | 8.58~827.62 | 122.34 |
| 东二 ₁ ⁶ | 89 | 22.73~33.67 | 25.59 | 17.40~1 389.24 | 137.82 |
| 东二 ₁ ⁷ | 83 | 21.72~33.67 | 25.82 | 17.01~1 389.24 | 142.40 |
| 东二 ₁ ⁸ | 62 | 21.09~33.28 | 25.40 | 21.21~560.48 | 120.29 |
| 东二 ₁ ¹⁰ | 77 | 20.10~34.02 | 26.34 | 16.44~1 070.63 | 155.68 |
| 东二 ₁ ¹¹ | 85 | 20.26~32.55 | 26.23 | 14.15~1 987.36 | 118.50 |
| 东二 ₁ ¹² | 83 | 20.46~31.92 | 26.62 | 12.4~2 631.26 | 183.77 |
| 东二 ₁ ¹³ | 78 | 15.82~32.08 | 26.54 | 6.43~2 641.57 | 182.50 |

研究区平面非均质性主要涉及到砂体的平面形态,连通性以及孔渗分布等方面。本区砂体主要产于朵状的高建设性的河控三角洲,其中发育的水下分流河道呈树枝状分布,河口坝呈带状或席状分布于水下分流河道外侧,席状砂和远砂坝呈席状或带状展布于三角洲远端,决口扇则多呈小型扇状体分布于河道的侧面。由于本区研究的砂层为单砂层,砂层内只有一些平面延伸不远的泥质夹层,不同

砂体间在形成时已复合叠加,相互间已彼此接触,所以本区砂体的平面连通性都较好,各砂层只有局部区域连通性较差。

本区各砂层的孔隙度的分布较为均匀,平面上各处的差异也不甚明显,只是北部和西部较东部与南部略高一些,但本区渗透率的平面分布差异则很大,高渗区多分布在北部和西部,低渗区多分布在东部和南部,研究区中部的渗透率则介于两者之间。

4 结论

(1)通过岩芯、录井,以及测井相资料的综合分析,研究区主要发育三角洲前缘亚相,可进一步细分出河口坝、水下分流河道、水下决口扇和天然堤、远砂坝、席状砂、分流间湾等微相,另外还零星分布有前三角洲亚相等,未见三角洲平原亚相。

(2)本区砂体岩石以长石砂岩为主,砂岩的成分成熟度和结构成熟度均较低。砂岩储集空间以孔隙型为主,孔隙包括原生孔隙和次生孔隙,本区砂岩储层属中孔中渗型。

(3)本区砂体按物性好坏排序为:河口坝、水下

分流河道、席状砂、远砂坝、水下天然堤和决口扇。砂体的微相类型在宏观上控制了本区砂体物性的空间分布。

(4)本区砂体具有较强的层内非均质性,但平面非均质性和层间的非均质性较弱。

参 考 文 献

- 1 蔺景龙,张淑梅.测井相分析方法研究.大庆石油学院学报,1993,17(1):16~22
- 2 胜利油田石油地质志编写组编.中国石油地质志·卷六,北京:石油工业出版社,1992.135~139
- 3 数学手册编写组.数学手册.北京:高等教育出版社,1979.837

Study on Microfacies and Reservoir Characteristics of the Delta—Front Sandbody of the First Submember of the Second member of Dongyin Formation, Oligocene Series in Dalujia Area

Ou Chenghua Chen Jingshan

(Southwest Petroleum Institute, Nanchong Sichuan 637001)

Abstract

The sandstone reservoir of Dongyin Formation, Oligocene Series in Dalujia area is one of the main production formation of Linpan Oil Field in the Eastern area of China. Its depositional system including delta, especially the delta front part, and its sandbody genetic type including river—mouth bar, sublacustrine distributary channel, sublacustrine levee, sublacustrine crevasse splay and distal bar, have been identified though comprehensive analysis on core, logging and well log data, and all these sandbody microfacies have different depositional characteristics, well log facies, porosity and permeability. In addition, these sandbodies have strong intraformational nonuniformity and not so strong an interstratal one.

Key words sandbody microfacies delta front reservoir characteristics