

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0452-07

# 利用单渗砂层能量厚度研究有利沉积微相及其含油有利区的方法<sup>1</sup>

宋子齐 王桂成 赵宏宇 于小龙 杨立雷  
(西安石油大学 西安 710065)

**摘要** 针对鄂尔多斯盆地陕北斜坡中部特低渗透储层识别主体骨架砂体微相带及筛选含油有利区工作, 提出利用单渗砂层能量厚度控制划分最为有利的沉积微相带。利用多种测井响应提取单渗砂层沉积能量及其能量厚度信息, 使其曲线幅度、厚度、形状、接触关系、次级形态等特征和数据大小能够集中反映相对高渗的单渗砂层最大沉积能量及厚度变化, 确认出三角洲前缘水下分流河道微相及其河道叠置型河口坝微相骨架砂体的发育、规模及分布范围, 有效地克服了层段中几个成因相近薄砂层或砂泥互层中砂层累加厚度识别和划分主体骨架砂体微相的失误。通过该区目的层段自然电位、自然伽马、密度、中子、声波、电阻率测井曲线和岩性、物性及其能量厚度统计, 建立起单渗砂层能量厚度下限标准及夹层扣除标准, 在该区长 3+5<sup>1</sup> 特低渗透储层中提取单渗砂层及其沉积能量信息, 控制划分出有利沉积微相带及其骨架砂体分布, 预测和筛选出不同类型相对高渗高产含油有利区, 它们不同程度勾画出河道主体带油藏与南西部华池油藏连片延伸趋势、形态和特征, 为该区特低渗透油田增储上产提供有利目标和重点层位及井区。

**关键词** 特低渗透储层 单渗砂层 能量厚度 测井响应 骨架砂体 有利沉积微相 含油有利区

**第一作者简介** 宋子齐 男 1944 年出生 教授 油气储层、测井解释 E-mail songzhiq10827@126.com

**中图分类号** P512.2 TE122.2<sup>+</sup> 21 文献标识码 A

## 0 引言

BB 油田长 3 长 4+5 油藏位于鄂尔多斯盆地的陕北斜坡中部, 为一平缓的西倾单斜构造 (倾角仅 0.5°左右), 断层和褶皱不发育。该区长 3 长 4+5 油层主要为三角洲前缘相沉积, 发育水下分流河道及其河道叠置型河口坝微相, 储层受沉积环境、成岩作用、构造等因素影响, 具有低孔隙度、低渗透率、油层薄、非均质性强等特点, 属典型的特低渗透非均质岩性油藏。区内储层微观孔隙类型多样, 结构复杂, 残余粒间孔、溶孔及微孔的不同组合交织搭配, 储集性能相差悬殊。在宏观物性上则表现为孔隙度、渗透率分布范围宽, 孔渗关系复杂, 高孔低渗、低孔高渗、低孔低渗并存, 流动层带复杂<sup>[1-3]</sup>。特别是该区特低渗透储层泥浆对地层侵入作用弱, 泥饼难于形成, 微电极电阻率曲线在渗透层上的正幅度差异不明显; 直观指示油气层和水层的深、中、浅电阻率在常规储层的有序排列基本消失; 发育在储层中的微裂缝呈现的不规则扩径使测井曲线背景值失真。其综合效应反映出测井响应来自油气成分少, 有生产能力的低孔隙度

储层与无效层段之间差异很小<sup>[4-7]</sup>。因此, 在该区特低渗透储层中研究相对高渗的单砂层砂体能量厚度分布范围及划分方法, 有效地圈定目的层段水下分流河道和河道叠置型河口坝有利沉积微相及其含油有利区展布, 是十分重要的。

## 1 测井曲线、沉积环境与骨架砂体沉积能量及其单渗砂层能量厚度的概念

在鉴别和识别沉积相时, 岩性、粒度、分选性、泥质含量、垂向序列、砂体的形态及分布等都是重要的成因和微相标志。这些成因标志是各种沉积环境中水动力因素作用的结果, 同时水动力条件控制着岩石物理性质的变化, 如地层导电性、自然放射性、声波传导等。测井曲线正是各种物理性质沿井孔深度变化的物理响应, 以此建立起取心井准确的岩电关系, 进而推广至非取心井, 反推出非取心井储层特征。从而, 可以利用测井曲线形态有效地反馈上述成因标志在纵、横方向上的变化, 为识别沉积相提供有价值的资料, 并成为一种有效识别沉积相的途径<sup>[8-10]</sup>。

不同水动力条件造成了不同环境下的沉积层序

<sup>1</sup> 国家自然科学基金项目 (批准号: 40572082) 资助。

收稿日期: 2007-07-21; 收修改稿日期: 2007-08-16

在粒度、分选、泥质含量等方面的特征,因而具有不同的测井曲线形态。它集中反映出的基本形态和特征包括:

(1) 渐变型、突变型、振荡型、块状组合型、互层组合型基本形态测井曲线

渐变型表明顶部或底部沉积颗粒大小的逐渐变化,这种曲线特征往往是一种沉积环境到另一种沉积环境平稳过渡的表征,如由河流沉积区逐渐过渡到洪积平原或河漫滩沉积,曲线特征常表现为顶部渐变型;突变型表明一种沉积环境到另一种沉积环境的急剧变化或不同环境的不整合接触的表征,如河流相深切的河道沉积底部;振荡型是水体前进或后退长期变化的反映;块状组合型是沉积环境基本相同的情况下,沉积物快速堆积或砂体多层叠置的反映;互层组合型反映因环境频繁变化而成的砂岩、粉砂岩及页岩相间成的序列,如河道频繁迁移或以交织河为主的河流相沉积,常见互层组合型。

这几种曲线主要受控于三种因素:水体深度变化;搬运能量强度及其变化;沉积物的物源方向及其供应物的变化。

(2) 幅度、能量厚度、形状、接触关系、次级形态五个方面进行测井曲线形态分析

幅度的大小反映粒度、分选性及泥质含量等沉积特征的变化,如自然电位的异常幅度变化、自然伽马幅值高低可以反映地层粒度中值的大小,并能反映泥质含量的高低;最大单渗砂层能量厚度代表小层有利骨架砂体微相带沉积能量;形状指单砂体曲线形态,有箱形、钟形、漏斗形、菱形、指形等,反映沉积物沉积时的能量变化或相对稳定的情况,如钟形表示沉积能量由强到弱的变化;接触关系指砂岩的顶、底界的曲线形态,反映砂岩沉积初期及末期的沉积相变化;次级形态主要包括曲线的光滑、包络线形态及齿中线的形态,它们帮助提供沉积信息,如齿中线成水平表明每个薄砂层粒度均匀、沉积能量呈均匀周期性变化。

文中具体针对该区三角洲前缘亚相位于河道入湖口至变陡湖坡之间的滨浅湖地带,系三角洲沉积体系中厚度最大、沉积类型最为复杂的部位,其最具特色的水下分流河道和河道叠置型河口砂坝微相形成三角洲体系中储层最发育、成藏条件最好的有利沉积微相<sup>1</sup>,提出利用测井曲线研究单砂层渗砂体能量厚度,圈定和划分该区目的层段水下分流河道和河道叠置型河口坝有利沉积微相带及有利储集砂体展布。

利用单砂层渗砂体能量厚度控制划分最为有利

的沉积微相带,实质上是利用以河流作用为主、河口坝较为发育的河控型湖泊三角洲体系中骨架砂体的沉积能量的概念。利用小层最大的单渗砂层厚度代表整个小层能量,以其“单砂层渗砂体能量厚度”作为控制划分有利沉积微相带的标志。采用自然伽马、自然电位、密度、中子、声波及电阻率测井响应提取单砂层有利储集标志、厚度和能量变化特征,利用曲线幅度、厚度、形状、接触关系、次级形态等特征反馈有利相带储层重要成因标志和各种沉积环境中水动力因素作用结果,确认出三角洲前缘亚相水下分流河道微相及河道叠置型河口砂坝微相带的发育、规模及分布范围,有效地克服层段几个成因相近薄砂层或砂泥互层中砂层累加厚度识别和划分主要骨架砂体微相带的失误。从而,利用单渗砂层能量厚度控制划分有利沉积微相带和有利储集砂体展布及特征,预测和筛选相对高渗高产含油有利区油藏<sup>[11-15]</sup>。

## 2 单渗砂层能量厚度划分方法

BB 油田长 3 长 4+5 期主要发育三角洲前缘亚相的水下分流河道、河道叠置型河口坝、河道侧翼及分流间湾微相,不同微相带类型受岩性、沉积环境及发育部位影响<sup>[16-18]</sup>。水下分流河道是指入湖河流沿湖底水道向湖盆方向继续作惯性流动和向前延伸部分,由于水下分流河道的位置不稳定,分流汇合和侧向迁移频繁,因而同一时期发育的水下分流河道在平面上常呈宽带状和网状分布,具有成层性好和可对比性强的特点,形成湖泊三角洲前缘的骨架砂体。河口砂坝则为三角洲前缘亚相最具特色的沉积环境和标志,它位于分流河口的前端,是河水携带的载荷在河口附近的快速卸载的产物,也是该区三角洲前缘相带渗砂体能量厚度十分活跃的含油气沉积单元。它们在测井曲线上反映单渗砂层能量厚度有各自不同的响应。特别是三角洲前缘水下分流河道、河道叠置型河口坝骨架砂体沉积时水动力条件、物源供应能力、沉积速度变化及特征,它们控制着储层岩石物理性质的变化,反映出测井曲线具有的幅度、厚度、形态、接触关系及圆滑程度。这种沉积环境中较大的水动力因素作用形成的沉积能量,集中地反映为单渗砂层能量厚度特征<sup>[19-21]</sup>。

采用测井资料和岩性、物性资料建立单渗砂层能

<sup>1</sup> 宋子齐,朱兆信,杨立雷,等. BB 油田长 3 长 4+5 储层评价及有利区预测研究, 2006

量厚度的划分标准,利用自然电位、自然伽马、密度、中子、声波和电阻率测井响应提取单渗砂层沉积能量及其能量厚度信息,并使数据大小能够较好反映所研究储层沉积能量和参数变化,对其主要自然电位、自然伽马曲线采用纯砂岩、纯泥质测井响应归一化,称之为自然电位减小系数和自然伽马减小系数,密度、中子、声波测井确定下限并采用孔隙度变化范围归一化。在开展单渗砂层能量和厚度研究中,自然电位、自然伽马、密度、中子、声波测井曲线都是十分重要的,它们对于该地区特低渗透砂泥质反映都十分敏感。自然电位幅度(或减小系数)及幅度延伸大小反映单渗砂层沉积能量厚度和水动力作用强弱;自然伽马幅度(或减小系数)及幅度延伸大小可以反映单渗砂层岩性厚度和泥质含量;密度、中子、声波变化幅度及幅度延伸大小也同样可以反映单渗砂层沉积能量厚度及水动力作用。它们组合起来,可以明显划分单渗砂层能量厚度,并圈定有利沉积微相带。表 1 是该区长 3 长 4+5 建立的单渗砂层能量厚度下限标准。其中长 3 油层组自然电位减小系数下限 0.36 自然伽马减小系数下限 0.58 密度下限  $2.5 \text{ g/cm}^3$ , 中子下限 14.5%, 声波时差下限  $240 \mu\text{s/m}$ , 孔隙度下限 10%, 有利微相带单渗砂层能量厚度下限 5m。长 4+5 油层组自然电位减小系数下限 0.42 自然伽马减小系数下限 0.54 密度下限  $2.55 \text{ g/cm}^3$ , 中子下限 14.0%, 声波时差下限  $240 \mu\text{s/m}$ , 孔隙度下限 9%, 有利微相带单渗砂层能量厚度下限 5m(表 1)。

夹层扣除标准采用钙质、泥质夹层定量研究成果确定。钙质夹层一般含有钙质泥岩和胶结致密的钙质粉砂岩等,它与上下岩石相比,密度大而孔隙度低、

渗透率低。测井解释钙质夹层扣除标准包括:自然伽马(GR)41~81API 自然电位减小系数( $\alpha$ )0.61~0.91, 声波时差( $\Delta t$ )190~210  $\mu\text{s/m}$ , 密度( $\rho_b$ )2.5~2.7  $\text{g/cm}^3$ , 中子( $\phi_N$ )9%~15%, 微电位电阻率( $R_{mn}$ )15~23  $\Omega\text{m}$ , 微梯度电阻率( $R_{mi}$ )13.5~21.5  $\Omega\text{m}$ , 微电极幅度差 0.9~1.7  $\Omega\text{m}$ (表 2)。泥质夹层以泥质为主,因常伴随不同程度扩径,其密度减小,反映有效孔隙度、渗透率较低。测井解释反映泥质夹层扣除标准包括:自然伽马(GR)92~122API 自然电位减小系数( $\alpha$ )0.17~0.41, 声波时差( $\Delta t$ )237~277  $\mu\text{s/m}$ , 密度( $\rho_b$ )2.2~2.6  $\text{g/cm}^3$ , 中子( $\phi_N$ )25%~30%, 微电位电阻率( $R_{mn}$ )1.4~5.4  $\Omega\text{m}$ , 微梯度电阻率( $R_{mi}$ )0.9~4.9  $\Omega\text{m}$ , 微电极幅度差 0.2~0.6  $\Omega\text{m}$ (表 2)。

图 1 在该区华 191 井长 4+5<sub>1</sub>—长 3<sub>3</sub> 期发育的三角洲前缘亚相中,利用单渗砂层能量厚度下限在长 4+5<sub>1</sub> 和长 3<sub>3</sub> 期评价出各自层位的有利沉积微相带。长 4+5<sub>1</sub> 下部单渗砂层能量厚度 16m, 长 3<sub>3</sub> 上部单渗砂层能量厚度 10m, 它们都各自评价出一个后期的水下分流河道微相叠置在前期形成的河口坝微相上的最为有利部位,形成一个规模较大的单渗砂层朵状体。从而,有效地识别出目的层段河道叠置型河口坝有利沉积微相带及其有利储集砂体展布(图 1)。

### 3 有利沉积微相带及其含油有利区展布

在该区长 3 长 4+5 特低渗透储层评价中,有生产能力的低孔隙度储层与无效层段之间差异很小<sup>[22~24]</sup>,测井解释中小的分析误差就可能导致错误

表 1 长 3 长 4+5 单渗砂层能量厚度下限标准

Table 1 The cutoffs criterion of energy thickness of single permeability sand bed in Chang 3 Chang 4+5 Reservoirs

层组	自然电位 减小系数	自然伽马 减小系数	密度 $/( \text{g/cm}^3 )$	中子 %	声波时差 $/( \mu\text{s/m} )$	孔隙度 %	岩性	能量厚度(有 利相带) /m
长 3	$\geq 0.36$	$\geq 0.58$	$\leq 2.5$	$\geq 14.5$	$\geq 240$	$> 10$	细砂岩级	5.0
长 4+5	$\geq 0.42$	$\geq 0.54$	$\leq 2.55$	$\geq 14.0$	$\geq 240$	$> 9$	细砂岩级	5.0

表 2 长 3 长 4+5 夹层扣除标准表

Table 2 The elimination criterion of interlayer in Chang 3 Chang 4+5 Reservoirs

夹层分类	自然伽马 (API)	自然电位 减小系数	声波时差 $/( \mu\text{s/m} )$	密度 $/( \text{g/cm}^3 )$	中子 %	微电位 $/( \Omega\text{m} )$	微梯度 $/( \Omega\text{m} )$	微电极幅度差 $/( \Omega\text{m} )$	备注
钙质夹层	41~81	0.61~0.91	190~210	2.5~2.7	9~15	15~23	13.5~21.5	0.9~1.7	常伴随有不同
泥质夹层	92~122	0.17~0.41	237~277	2.2~2.6	25~30	1.4~5.4	0.9~4.9	0.2~0.6	程度扩径

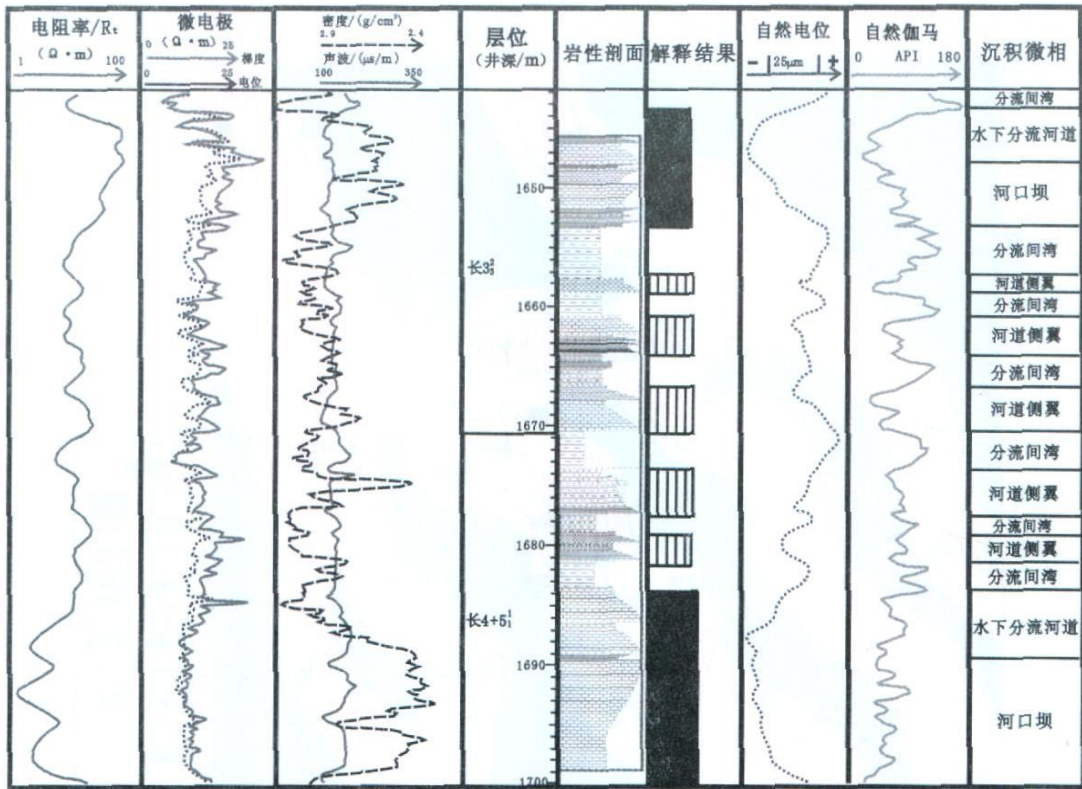


图 1 华 191 井长 4+ 5<sup>1</sup>-长 3<sup>3</sup>期单渗砂层能量厚度及其沉积微相剖面图

Fig 1 The profile of energy thickness of single permeability sand bed and sedimentary microfacies in Chang 4+ 5<sup>1</sup>, Chang 3<sup>3</sup> Reservoirs of Hua 191

的结论。为此, 利用了多种测井信息, 提取相对高渗的单渗砂层渗砂体能量厚度, 采用 5 m 以上单渗砂层能量厚度下限标准(含夹层扣除标准)和最大单渗砂层沉积能量的概念及其划分方法, 控制并圈定有利骨架砂体沉积微相带展布, 并结合特低渗透储层含油有利区圈闭条件和分类评价预测标准, 分别从该区长 3 长 4+ 5 目的层段预测和筛选出不同类型相对高渗高产含油有利区 24 个。图 2 是其中长 4+ 5<sup>1</sup> 期 87 口井测井评价标志与沉积环境及其水动力因素作用综合表征的有利沉积微相带及其含油有利区展布图, 长 4+ 5<sup>1</sup> 期骨架砂体规模和范围增大, 三角洲前缘斜坡比较平缓, 西、东仍然分布两条规模较大水系的水下分流河道及其相应河道叠置型河口砂坝有利沉积微相带, 呈北东-南西向展布。

① 西支水系由北部沿南西方向流经白 126 井、白 209 井与东支水系相连, 并沿南西方向在下游叠置白 239 井河口坝, 在油区北西部位贯穿北东-南西方向。该水系在区内长约 30 km, 宽约 3~ 5 km, 单渗砂层厚度 5~ 15 m。

④ 东支水系分布规模和范围明显增大, 由北东

楼坊坪贯入油区, 整体水系分布发育的规模和覆盖范围明显很大, 在北东-南西方向贯穿整个油区中部和南东部位。该水系进入中游通过华 199 井、华 198 井和白 232 井分别切割、超覆并叠置河口坝后, 分西、中、东三个分支分别向南西方向延伸展布。该水系在区内长约 30~ 45 km, 宽约 4~ 8 km, 单渗砂层厚度 5~ 20 m, 中下游延伸范围和规模明显较大, 反映出河道中部主体微相带与南西部华池油藏连片的规模和形态。

从图中可以看出, 该区特低渗透储层相对高渗的单渗砂层能量厚度控制着水下分流河道及其河道叠置型河口坝骨架砂体的走向和分布, 其单渗砂体厚度较大, 砂体连通性及其连片性也都较好。从而, 通过有利的圈闭条件分析, 在该区长 4+ 5<sup>1</sup> 层段预测评价划分出 5 个含油有利区, 除 iv 类流动单元控制划分已探明白 102 井区油藏外, 主要含油有利区白 131 井区(一类)、剖 503 井区(二类)分布发育在东支水系中下游河道主体带上, 次要含油有利区白 133 井区(三类)、白 213 井区(三类)则分别处于东支下游和西支上游河道主体带上。其中东支水系中下游河道主体



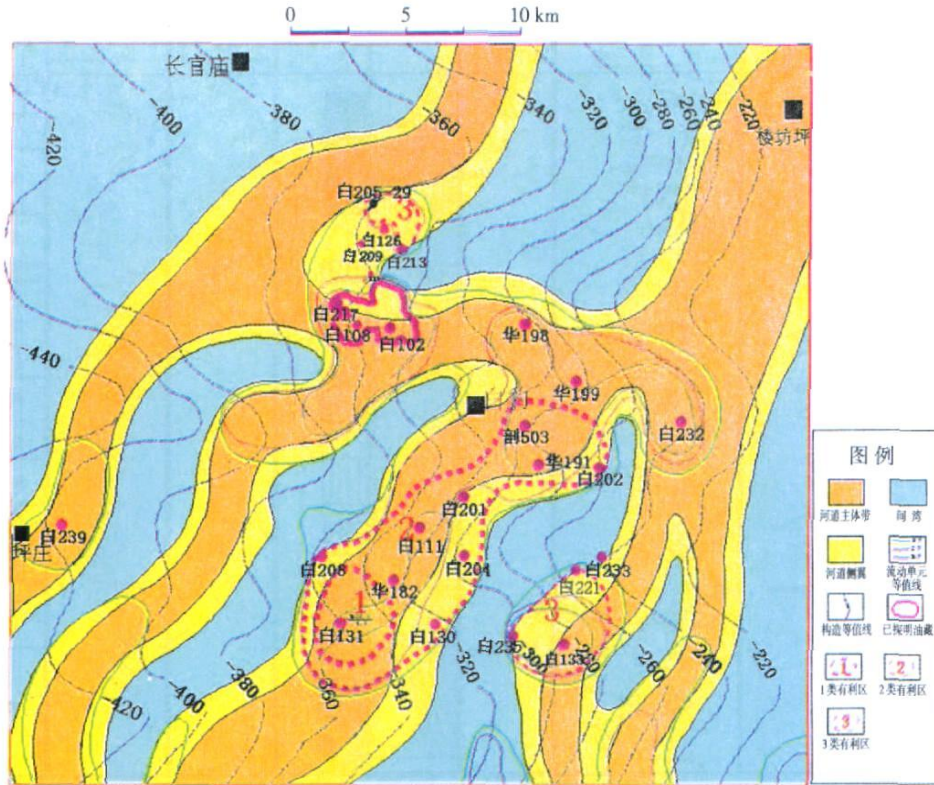


图 2 长 4+5<sub>1</sub> 期有利沉积微相带及其含油有利区展布

Fig 2 Distribution of favorable sedimentary microfacies belt and favorable oil-bearing areas in Chang 4+5<sub>1</sub> reservoirs

带上预测一类含油有利区白 131 井区, 含油面积 9.3 km<sup>2</sup>, 地质储量 321 × 10<sup>4</sup> t; 预测二类含油有利区剖 503 井区, 含油面积 53.8 km<sup>2</sup>, 地质储量 1 827 × 10<sup>4</sup> t。这些在中下游河道主体带上控制的一、二类含油有利区, 它们不仅反映出河道中部向南西方向含油有利区连片的规模和范围, 而且勾画出河道中部主体微相带油藏与南西部华池油藏连片延伸趋势、形态和特征 (图 2)。从而, 有效地分析了有利的含油气圈闭和油气富集条件, 指出了它们是该区油田进一步勘探开发的重点层位和井区, 为该区油田进一步滚动扩边开发提供了可靠依据<sup>1</sup>。

## 4 结论

(1) 不同水动力条件造成不同环境下沉积层序在粒度、分选、泥质含量等方面的特征, 因而具有不同的测井曲线。利用测井曲线识别和划分单渗砂层能量厚度, 圈定三角洲体系中储层最发育、成藏条件最好的有利沉积微相带及有利储集砂体展布, 确认三角洲前缘亚相水下分流河道微相及河口砂坝微相发

育、规模及分布范围, 是该区特低渗透储层测井精细评价解释、含油有利区预测和油田投入开发的关键。

(2) 特低渗透储层泥浆对地层侵入作用弱, 泥饼难于形成, 深、中、浅电阻率及微电极在常规储层的有序排列基本消失, 发育在低渗储层中的微裂缝, 可使钻井井眼呈不规则扩径, 不同程度影响测井曲线质量。为此, 我们采用多种测井曲线和岩性、物性资料建立单渗砂层能量厚度划分标准, 利用自然电位、自然伽马、密度、中子、声波和电阻率测井响应提取单渗砂层沉积能量及其能量厚度信息, 并使数据大小能够较好反映所研究储层沉积能量和参数变化, 有效地克服了单一测井曲线在特低渗透储层中测量和分析中带来的失误。

(3) 利用单砂层渗砂体能量厚度, 控制划分最为有利的沉积微相带, 实质上是利用以河流作用为主、河口坝较为发育的河控型湖泊三角洲体系中骨架砂体沉积能量的概念。利用小层最大单渗砂层厚度代表整个小层能量, 以单砂层渗砂体能量厚度在 5 m 以

<sup>1</sup> 宋子齐, 朱兆信, 杨立雷, 等. BB 油田长 3、长 4+5 储层评价及有利区预测研究, 2006.

上的测井响应作用控制划分有利骨架砂体沉积微相带的标志, 利用测井曲线集中反映单渗砂层厚度和能量特征反馈有利相带储层重要成因标志及各种沉积环境中水动力因素作用结果。从而, 有效地划分三角洲前缘亚相水下分流河道及河口砂坝有利微相带的发育、规模及分布范围, 克服了层段几个成因相近薄砂层或砂泥互层中砂层累加厚度识别划分有利主体骨架砂体微相带的失误。

(4) 利用单渗砂层能量厚度下限标准和最大单渗砂层沉积能量的概念, 在该区特低渗透储层中控制划分水下分流河道及其河道叠置型河口坝骨架砂体分布。通过有利圈闭条件分析, 在长 4+<sub>51</sub>小层中预测和筛选出不同类型相对高渗高产含油有利区 5 个, 它们不同程度勾画出河道主体带油藏与南西部华池油藏连片延伸趋势、形态和特征, 为该区特低渗透油田增储上产提供有利目标和重点层位及井区。

### 参考文献 (References)

- 1 宋子齐, 程国建, 王静, 等. 特低渗透油层有效厚度确定方法研究 [J]. 石油学报, 2006, 27(6): 103-106 [Song Ziqi, Cheng Guojian, Wang Jing, *et al.* Determination of effective thickness for oil reservoirs with extra-low permeability [J]. *Acta Petroli Sinica* 2006, 27(6): 103-106]
- 2 刘建华, 朱玉双, 胡友洲, 等. 安塞油田 H 区开发中后期储层地质建模 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 110-115 [Liu Jianhua, Zhu Yushuang, Hu Youzhou, *et al.* Reservoir modeling for middle or later step of exploitation in H area of Ansai oilfield [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(1): 110-115]
- 3 曾大乾, 李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征 [J]. 石油学报, 1994, 15(1): 38-45 [Zeng Daqian, Li Shuzhen. Types and characteristics of low permeability sandstone reservoirs in China [J]. *Acta Petroli Sinica* 1994, 15(1): 38-45]
- 4 付金华, 夏安湘, 喻建西, 等. 西峰油田成藏地质特征及勘探方向 [J]. 石油学报, 2004, 25(2): 25-29 [Fu Jinhua, Xia Anxiang, Yu Jianxi, *et al.* Geological features of reservoir formation and exploration strategy of Xifeng Oilfield [J]. *Acta Petroli Sinica* 2004, 25(2): 25-29]
- 5 宋子齐, 程国建, 杨立雷, 等. 利用测井资料精细评价特低渗透储层的方法 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 595-599 [Song Ziqi, Cheng Guojian, Yang Lilei, *et al.* A method for fine evaluation in extra-low permeability reservoirs using logging data [J]. *Petroleum Geology & Experiment* 2006, 28(6): 595-599]
- 6 陈景山, 周彦, 彭军, 等. 富县探区低孔低渗砂体的成因类型与层内非均质模式 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 53-58 [Chen Jingshan, Zhou Yan, Peng Jun, *et al.* Genetic type and intraformational heterogeneity pattern of low-porosity and low-permeability sandbodies in Fuxian exploration area [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(1): 53-58]
- 7 William E Calloway. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units [J]. *AAPG Bulletin* 1989, 73(2): 125-142
- 8 孙建孟. 低电阻率油气层评价技术 [J]. 石油学报, 1998, 19(3): 83-88 [Sun Jianmeng. Evaluation of low resistivity oil and gas reservoirs [J]. *Acta Petroli Sinica* 1998, 19(3): 83-88]
- 9 宋子齐, 白振强, 陈荣环, 等. 陕北斜坡东部低渗透储集层有利沉积相带 [J]. 新疆石油地质, 2004, 25(6): 588-591 [Song Ziqi, Bai Zhenqiang, Chen Ronghuan, *et al.* Favorable depositional facies of low permeability reservoir in eastern Shaanbei Slope [J]. *Xinjiang Petroleum Geology* 2004, 25(6): 588-591]
- 10 文华国, 郑荣才, 高红灿. 苏里格气田苏 6 井区下石盒子组盒 8 段沉积相特征 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 90-98 [Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Gao Hongcan. Sedimentary facies of the 8th Member of Lower Shihezi Formation in Su 6 Area, Sulige Gas Field [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(1): 90-98]
- 11 田波, 陈方鸿, 胡宗全. 岩性控制下的测井储集层参数评价与预测 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 75-77 [Tian Bo, Chen Fanghong, Hu Zongquan. Reservoir evaluation and prediction with log data under domination of lithological character [J]. *Petroleum Exploration and Development* 2003, 30(5): 75-77]
- 12 Ahl W M. Pore characteristics as surrogates for permeability in mapping reservoir flow units: Vacuum San Andres field, Lea County, New Mexico [J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 75(3): 532-533
- 13 朱家俊. 济阳拗陷低电阻率油层的微观机理及地质成因 [J]. 石油学报, 2006, 27(6): 103-106 [Zhu Jiajun. Geologic origin and microscopic mechanism of low-resistivity layers in Jiyang Depression [J]. *Acta Petroli Sinica* 2006, 27(6): 103-106]
- 14 刘锐娥, 孙粉锦, 卫孝锋, 等. 鄂尔多斯盆地中东部山 2 段储集层岩性微观特征差异性的地质意义 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 56-58 [Liu Ruie, Sun Fenjin, Wei Xiaofeng, *et al.* Difference of reservoir microscopic features of the quartz sandstone and litharenite of the 2nd Member of Shanxi Formation, Upper Paleozoic in the middle east Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development* 2005, 32(5): 56-58]
- 15 王伟锋, 金强, 徐怀民. 油藏描述中的沉积相研究 [J]. 沉积学报, 1995, 13(1): 94-100 [Wang Weifeng, Jin Qiang, Xu Huamin. Study of sedimentary facies in reservoir description [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1995, 13(1): 94-100]
- 16 宋子齐, 杨金林, 潘玲黎, 等. 利用粒度分析资料研究砾岩储层有利沉积相带 [J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(6): 16-18 [Song Ziqi, Yang Jinlin, Pan Lingli, *et al.* Study on the favorable sedimentary facies belt of conglomerate reservoir by using grain-size analysis data [J]. *Oil & Gas Recovery Technology*, 2005, 12(6): 16-18]
- 17 Sullivan K B, McBride E F. Diagenesis of sandstones at shale contacts and diagenetic heterogeneity: Frio Formation, Texas [J]. *AAPG Bulletin* 1991, 75(1): 121-138
- 18 宋子齐. 测井多参数的地质应用 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1993: 110-140 [Song Ziqi. Application for Logging Multiparameter in Geology [M]. Xi'an: Press of Northwestern Polytechnic University, 1993: 110-140]

- 19 Ebanks W J Flow unit concept integrated approach to reservoir description for engineering projects[C]// AAPG Annual Meeting AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 551-552
- 20 李双文, 刘洛夫, 张有平, 等. 准噶尔盆地莫北凸起侏罗系三工河组沉积演化及微相构成[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 819-828 [Li Shuangwen, Liu Luofu, Zhang Youping *et al.* Sedimentary evolution and microfacies architecture of the Jurassic Sangonghe Formation in Mobei Arch Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 819-828]
- 21 罗蛰潭. 油层物理[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 25-55 [Luo Zhetan Oil Layer Physics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 25-55]
- 22 王新民, 郭彦如, 付金华, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 8 段相对高孔渗砂岩储集层的控制因素分析[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 35-38 [Wang Xinmin, Guo Yanru, Fu Jinhua, *et al.* Control factors for forming higher porosity and permeability sandstone reservoirs in Chang 8 member of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 35-38]
- 23 杨友运, 常文静, 侯光才, 等. 鄂尔多斯白垩系自流水盆地水文地质特征与岩相古地理[J]. 沉积学报, 2006, 24(3): 387-393 [Yang Youyun, Chang Wenjing, Hou Guangcai *et al.* Hydrogeological characteristics and lithofacies paleogeography of Cretaceous Artesian Basin, Ordos[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(3): 387-393]
- 24 宋子齐, 李亚玲, 潘玲黎, 等. 测井资料在小洼油田盖层评价中的应用[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 4-6 [Song Ziqi, Li Yaling, Pan Lingli *et al.* Application of well log information to caprock evaluation in Xiaowa oilfield[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2005, 12(4): 4-6]

## Study on Favorable Sedimentary Microfacies and Favorable Oil-bearing Areas by Energy Thickness of Single Permeability Sand Bed

SONG Zi-qi WANG Gu-cheng ZHAO Hong-yu YU Xiao-long YANG Li-Lei

(Xian Petroleum University, Xian 710065)

**Abstract** Aiming at identifying microfacies belt of Main Framework Sandbody and filtering the relative high permeability, high production favorable oil-bearing areas with extra-low permeability reservoir in the middle of Shanbei Slope of Ordos Basin, it was presented that using Energy Thickness of Single Permeability Sand Bed controlled and classified optimum sedimentary microfacies belt. Information of depositional energy and its thickness in Single Permeability Sand Bed is extracted by multi logging response, in other words, maximum depositional energy and its thickness variation of Single Permeability Sand Bed with the relative high permeability could be reflected by the latitude, thickness, figure, contact relationship and secondary form of logging curve and data size, by which it is confirmed that development, the scale and distribution of the Framework Sandbody of the underwater distributary channel microfacies and channel overlying debouch bar microfacies of delta front subfacies, meanwhile, the mistakes are effectively overcome which resulted in failing to successfully identifying accumulate thickness and microfacies belt of Main Framework Sandbody of thin sand and sandstone and mudstone inter-bedding of several similar origin in the studied reservoirs. Through the statistics of natural-potential, natural gamma density, neutron, interval transit time, resistivity log curve, and lithology, physical property and Energy Thickness in the studied layers, the cutoffs criterion of Energy Thickness of Single Permeability Sand Bed and the elimination criterion of interlayer were proposed, and the information of Single Permeability Sand Bed and its Energy Thickness was extracted in extra-low permeability reservoirs Chang 4+ 511 in the studied areas, by which classification of favorable sedimentary microfacies belt and distribution of its framework sandbody could be controlled, and the relative high permeability, high production favorable oil-bearing areas which are different types were predicated and filtered, which sketching the extend tendency, form, and feature between the river channel body areas and Hua Chi oil field in the southwest. The results can offer favorable target, important positions and well field for enlarging reservoirs and raising yield in the extra-low permeability reservoirs.

**Key words** extra-low permeability reservoir, single permeability sand bed, energy thickness, logging response, framework sandbody, favorable sedimentary microfacies belt, favorable oil-bearing areas