

## 鄂尔多斯盆地新安边油田

# 长 7 致密油有效储层识别与甜点优选

何崇康<sup>1</sup>, 成良丙<sup>2,3</sup>, 陈旭峰<sup>4</sup>, 孙钿翔<sup>5</sup>, 李超<sup>6</sup>, 赵国玺<sup>2,3</sup>

(1. 中国石油长庆油田分公司 油田开发处, 西安 710018; 2. 中国石油长庆油田分公司 勘探开发研究院, 西安 710018; 3. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 西安 710018; 4. 中国石油长庆油田分公司 第二采油厂, 西安 710018; 5. 中国石油长庆油田分公司 第十二采油厂, 西安 710018; 6. 中国石油长庆油田分公司 第六采油厂, 西安 710018)

**摘要:**以鄂尔多斯盆地新安边油田长 7 油藏试油、生产数据为基础, 界定在当前技术条件下能够开发的储层为有效储层, 从岩心观察、录井显示、储层实验分析、测井响应等 4 个方面建立有效储层的识别标准。认为现阶段鄂尔多斯盆地能够开发的致密油储层为孔隙度大于 5.5%、渗透率大于  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的油斑细砂岩。有效储层恒速压汞显示喉道半径大于  $0.25 \mu\text{m}$ , 可动流体饱和度大于 30%, 测井响应声波时差大于  $215 \mu\text{s}/\text{m}$ 。“甜点”区含油性较好, 全烃气测录井气测值为基线的 3 倍以上, 电阻率达到  $30 \Omega \cdot \text{m}$  以上。从钻井允许误差和单井控制储量规模分析, 最大单油层厚度应大于 4 m, 压裂后可动用油层厚度达到 6 m 以上。有利区筛选过程中按照先从沉积相带进行有利区带优选, 然后用储层物性、油层厚度下限标准进行“甜点”筛选, 在油藏内部产能建设实施过程中按照含油性、邻井实施效果排序, 扣除风险区, 避免低产低效区。形成的技术指标和技术方法, 在新安边地区提交探明储量  $1.0 \times 10^8 \text{ t}$ , 建成了致密油规模开发区块。

**关键词:**致密油下限标准; 有效储层; 甜点优选; 长 7 致密油; 新安边油田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## Effective reservoir identification and “sweet spot” optimization of Chang 7 tight oil reservoir in Xin’ anbian oil field, Ordos Basin

He Chongkang<sup>1</sup>, Cheng Liangbing<sup>2,3</sup>, Chen Xufeng<sup>4</sup>, Sun Dianxiang<sup>5</sup>, Li Chao<sup>6</sup>, Zhao Guoxi<sup>2,3</sup>

(1. Oil Field Development Office, PetroChina Changqing Oil Field Company, Xi’an, Shaanxi 710018, China;  
2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oil Field Company, Xi’an, Shaanxi 710018, China;  
3. National Engineering Laboratory of Low Permeability Oilfield Exploration and Development, Xi’an, Shaanxi 710018, China;  
4. No. 2 Oil Production Plant, PetroChina Changqing Oil Field Company, Xi’an, Shaanxi 710018, China;  
5. No. 12 Oil Production Plant, PetroChina Changqing Oil Field Company, Xi’an, Shaanxi 710018, China;  
6. No. 6 Oil Production Plant, PetroChina Changqing Oil Field Company, Xi’an, Shaanxi 710018, China)

**Abstract:** We proposed criteria whereby tight oil wells can obtain industrial oil flow under the current technical conditions based on the well test results and dynamic production data for Chang 7 tight oil reservoirs in the Xin’ anbian oil field of the Ordos Basin. The criteria were established using core observation, petrophysical logging results, reservoir analysis, and well-logging response. We found that the effective fine sandstone formation has porosity greater than 5.5%, and permeability greater than  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ . Mercury injection experiments under constant rate showed that the channel radius is greater than  $0.25 \mu\text{m}$ , the movable fluid saturation is greater than 30%, and the interval acoustic transit time in well logging is larger than  $215 \mu\text{s}/\text{m}$ . In the “sweet spot” zone, oil saturation is higher, and the measured gas value in well cutting logging is 3 times higher than that of the baseline, and the resistivity is greater than  $30 \Omega \cdot \text{m}$ . The maximum thickness tolerance for a single oil layer in well drilling should be greater than 4 m, and the thickness of multi-layer oil is more than 6 m. In optimization, favorable zones were firstly selected from the sedimentary facies belt, and then the lower limit criteria of reservoir physical properties and layer thickness to make “sweet spot”

收稿日期: 2017-01-09; 修订日期: 2017-09-13。

作者简介: 何崇康 (1963—), 男, 高级工程师, 硕士, 从事油气田开发、地质研究。E-mail: hck\_cq@petrochina.com.cn。

通信作者: 成良丙 (1982—), 男, 工程师, 从事致密油开发工作。E-mail: clb\_cq@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家重大科技专项“鄂尔多斯盆地致密油开发示范工程”(2017ZX05069)和中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“长庆油田 5 000 万吨持续高效稳产关键技术研究与应用”(2016E-05)联合资助。

zone selection. During development, oil saturation and adjacent well performance were considered for reducing the risk of low yield or low efficiency areas. Through the screening analysis of the technical indicators above, the proven oil reserve is up to 100 million tons in the Xin'anbian oil field.

**Key words:** lower limit criteria of tight oil; effective reservoir; "sweet spot" zone optimization; Chang 7 tight oil reservoir; Xin'anbian oil field; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地石油资源丰富,将储层地面空气渗透率小于  $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,紧邻优质烃源岩,未经过长距离运移的长7砂岩油藏称为致密油。盆地东北部陕北地区为三角洲前缘沉积,主要有利储层是水下分流河道砂体;盆地中部陇东地区为深湖—半深湖环境下的砂质碎屑流沉积,浊积水道砂是有利储集体。目前长7已经开发水平井393口,部分井试验效果较差,主要表现为低液量或高含水,扣除固井质量较差、压裂改造不彻底等因素的影响,平面上高产井、部分低产井连片出现。为避免出现低产井,核心问题是如何确定有效储层的下限,建立相应的识别标准,优选致密油储层筛选的几个关键参数。目前关于储层物性下限的研究比较多<sup>[1-6]</sup>,而且方法多样、精度不断提高,油田生产更需要简单有效、容易实现的方法。本文试图建立岩心观察、岩心物性分析、测井、录井资料的致密油有效储层识别方法,确定各参数的下限,指导致密油甜点筛选。

## 1 有效储层是决定产能的关键因素

由于致密油储层致密,不经过大规模改造,一般无自然能量。在目前技术条件下,有效储层识别标准更符合当前技术条件。因此影响水平井产能的因素,可以分为地质因素、工艺因素2大类。在同一区块,通常水平井改造工艺相近,影响产能的地质因素包括储层孔隙空间大小、连通性、含油性等,水平井产能研究可借用定向井的研究方式,因此可以将水平井储层筛选问题简化为常规的定向井储层筛选。

新安边油田位于陕北新安边地区,是中国第一个亿吨级大型致密油田,北到安边,南到铁边城,东到学庄,西到王洼子,包含An83、H230、W464等开发区块(图1)。新安边油田长7油层组属于陕北三角洲体系三角洲前缘亚相,主要发育有水下分流河道、河口坝、分流间湾、前缘席状砂等4种微相类型。长7油藏储层以灰色、灰褐色极细—细粒、细粒岩屑质长石砂岩为主,储层岩石具低成分成熟度、中等结构成熟度特征,为一套低孔、特低孔致密储层;岩心分析孔隙度5%~11%,平均8.9%,渗透

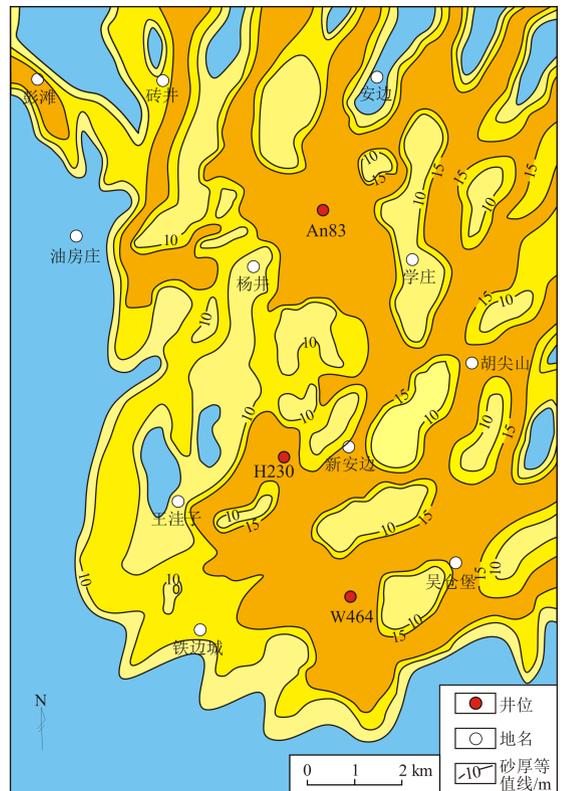


图1 鄂尔多斯盆地新安边油田长7砂层厚度

Fig.1 Sandstone thickness of Chang 7 in Xin'anbian oil field, Ordos Basin

率  $(0.01 \sim 0.2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $0.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。新安边油田 An83 区长  $7_2$  储层原生粒间孔、次生粒间孔及次生溶孔都比较发育,次生溶蚀孔主要发育长石溶孔。粒间孔与溶孔含量相当,其中粒间孔占总孔隙的 48.2%,溶孔占总孔隙的 50%,总面孔率较低,为 2.74%。2010 年开始进行定向井开发,生产前 3 个月平均单井日产量 1.4 t;2012 年以后开始水平井开发,平均初期单井日产量达到 10 t,目前以水平井开发为主。

### 1.1 水平井与定向井产能对比

新安边地区 22 口水平井有对应的邻井进行了试采。水平井水平段长度 700~800 m,平均 790 m,排量  $6.0 \text{ m}^3/\text{min}$ ;相邻定向井排量  $4.0 \sim 8.0 \text{ m}^3/\text{min}$ ,平均  $6.9 \text{ m}^3/\text{min}$ ,二者排量相近,都采用了体积压裂工艺。对比水平井和相邻定向井的初期产能(图2)可以看出,当定向井初期产量小于  $3 \text{ t/d}$  时,两者有一定相关性。当定向井单井产量大于  $1.3 \text{ t/d}$ 、

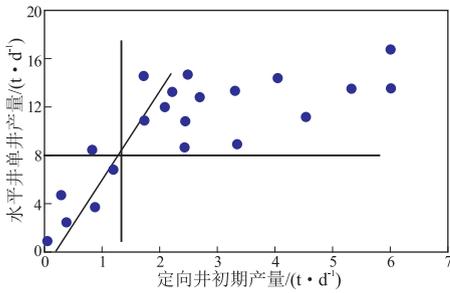


图 2 鄂尔多斯盆地新安边油田定向井与相邻水平井初期产量关系

Fig.2 Initial production of directional wells and adjacent horizontal wells in Xin'anbian oil field, Ordos Basin

水平井产量大于 8.0 t/d 时,达到水平井单井产能设计的要求。从水平井和定向井产量相关性可以看出,利用定向井试采资料对水平井部署区筛选指导性较好。

对比长庆油田已开发各区块丛式井与水平井开发平均值初期产量,各区块定向井单井产量越高,水平井初期产量越高,其中 An83 区定向井初期产量为 1.6 t/d,水平井初期产量为 10.4 t/d,水平段较短,开发效果较好。

通过新安边油田水平井和定向井初期产量关系对比,以及目前鄂尔多斯盆地长 7 致密油主要区块水平井和定向井对比可以看出,在水平井长度 800 m 左右,水平井产量达到 8 t/d,需要筛选定向井试采效果较好,产量达到 1.3 t/d 以上的区块。当水平井最低产量目标确定为 6 t/d 时,对应定向井初期产量为 1.0 t。

## 1.2 影响水平井产能的主要地质因素

### 1.2.1 砂层钻遇率

新安边油田属三角洲前缘亚相沉积,水下分流河道微相沉积规模较大,沉积砂体稳定,但在分流河道两侧河道摆动,砂层多次叠加。纵向上发育多个含油小层,平面上总体分布稳定,但局部单油层分布不稳定,给井位部署和水平井轨迹设计增加难度。横向上砂层变化大,砂层尖灭,水平井无法钻遇有效储层,从而影响水平井单井产量;纵向多油层发育,夹层较多,当水平井轨迹穿在两套砂体之间时,可能钻遇泥岩,导致油层钻遇率低,从而影响水平井产量。

### 1.2.2 含油性

新安边油田长 7 层为三角洲前缘沉积,位于生烃中心边部,砂体连片发育,含油性变化较复杂,平面上整体含油性较好,局部出现高含水区,油井投产后高含水、低含油,“甜点”优选受到限制,影响了水平井产能。该区 13 口高含水井与正常区块水平

井相比,砂层厚度相近,孔隙度相差不大,平均声波时差 215.5  $\mu\text{s}/\text{m}$ ,电阻率 26.5  $\Omega \cdot \text{m}$ ,比正常区块低,开发过程中显示为高含水,平均含水 79.6%。

### 1.2.3 油层厚度

油层厚度大小直接决定单井控制储量,影响油井的稳产效果。目前开发的水平井油层厚度都在 6 m 以上,扣除低阻高含水井影响,油层厚度越大,3 年累产油越高。从钻井方面考虑,钻井过程中水平井轨迹有上下 2 m 的允许误差,目的层单层厚度需大于 4 m,才能保证水平井顺利钻井,因此有效厚度下限为 6 m。

## 2 有效储层界定

### 2.1 岩心观察特征

长 7 致密油储层以长石细砂岩为主,从岩心上看,有效储层为灰褐色块状油斑细砂岩;无效储层为细纹交错层理、脉状层理的薄层砂岩连通差,为浅灰色细砂岩。新安边油田取心井岩心显示,长 7 纵向上含油性变化大,含油性达到要求的岩心 a 和 d 对应电阻率为 94  $\Omega \cdot \text{m}$  和 63  $\Omega \cdot \text{m}$ ,含油性较差的岩心 b 和 c 对应电阻率在 30  $\Omega \cdot \text{m}$  以下(图 3),可以根据岩心观察的层理结构、颜色确定有效储层。

### 2.2 储层物性分布特征

致密油储层岩性致密,新安边油田 29 口取心井岩心分析孔隙度主要分布在 5%~10% 之间,渗透率小于  $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,其中 58.5% 的样品分布在  $(0.03 \sim 0.15) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间。根据开发区及周围取心井岩心录井显示结果,79 块样品无油迹显示,75% 的样品点渗透率小于  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,油斑显示的样品渗透率峰值在  $(0.03 \sim 0.05) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,油迹显示的岩心渗透率分布范围较广,主要分布在  $(0.03 \sim 0.15) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据录井显示结果,长 7 致密油的渗透率下限为  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,录井显示为油斑(图 4)。根据长 7 段 35 口井 35 个单层测试资料,分析渗透率与单位厚度产油量的关系,当储层渗透率下限值取  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时,储层仍有一定的产油能力。根据岩心含油产状统计,储层渗透率大于  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔隙度大于 5.5% 时,含油级别一般在油斑级以上,试油可获油流,由此确定渗透率  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、孔隙度 5.5% 为新安边地区延长组长 7<sub>2</sub> 储层物性下限。

### 2.3 孔喉结构特征

#### 2.3.1 恒速压汞

恒速压汞是以很低的恒定速度将汞注入岩石,以准静态进汞,通过检测注入汞过程中的压力升

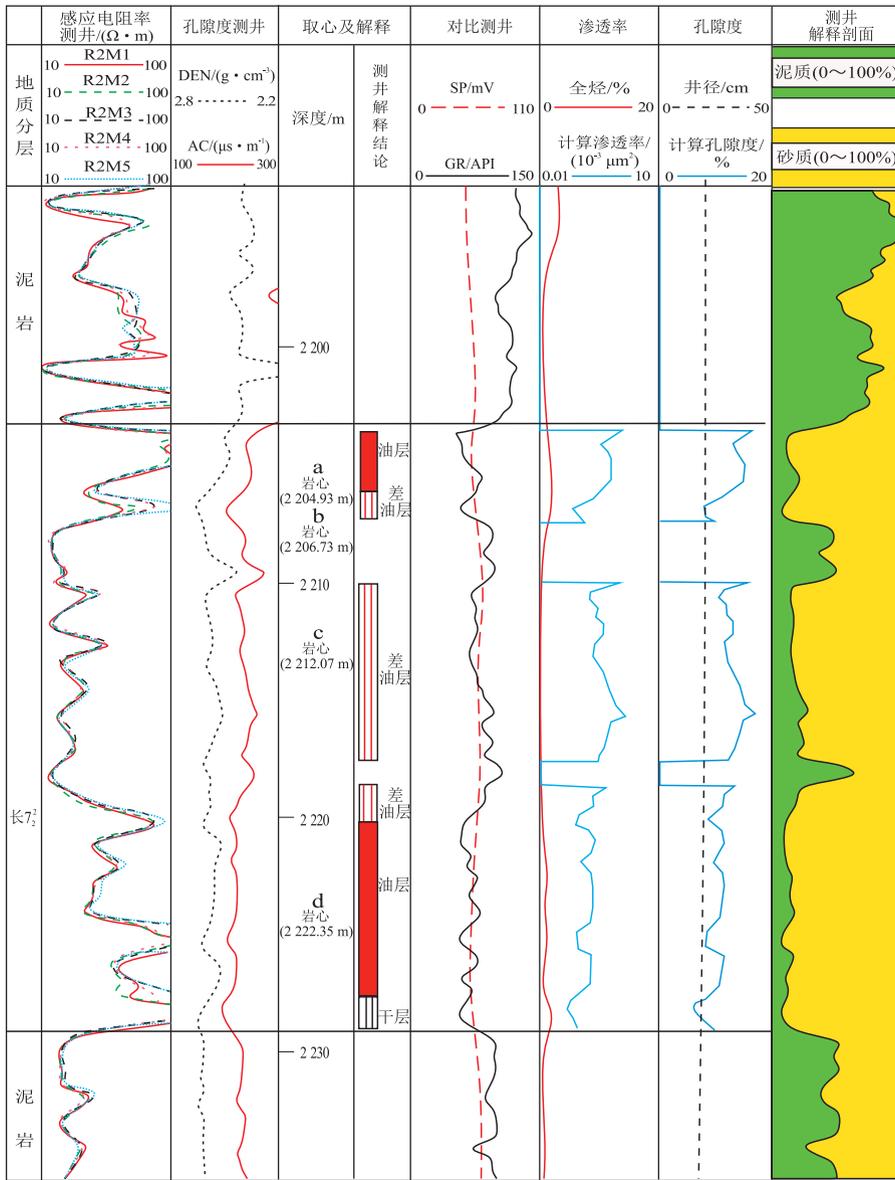


图3 鄂尔多斯盆地新安边油田XX井长7层测井解释成果

Fig.3 Logging interpretation of Chang 7 in well XX, Xin'anbian oil field, Ordos Basin

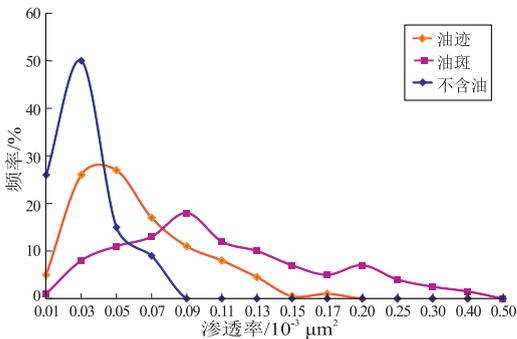


图4 鄂尔多斯盆地新安边油田岩心含油性 with 储层物性关系

Fig.4 Relationship between oil containing capacity and reservoir physical properties of core samples from Xin'anbian oil field, Ordos Basin

直接决定了渗透率的大小,影响了水平井单井产量。根据试油和生产数据分析,试油产量越高,水平井单井产量越高。致密油储层经过远距离筛选,岩石颗粒大小比较均匀,经过压实成岩之后孔隙度分布比较集中。9块恒速压汞样品孔隙半径分布在100~250 μm之间,主要集中在130~190 μm,峰值165 μm,分布比较集中。选取其中有试油、生产数据的4口井进行对比(图5),A244-10井样品渗透率 $0.011 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,主流喉道半径0.2 μm,平均日产油0.21 t,目前技术条件难以开发,为无效储层。H190井渗透率 $0.063 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,试油产量5.27 t/d,初期产量达到0.7 t/d,相邻水平井产量12.8 t/d。渗透率在 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上的安98、H191井,试油产量分别为13.1 t/d和14.3 t/d,试

降,区分岩石孔隙和喉道大小<sup>[7-10]</sup>。喉道半径大小

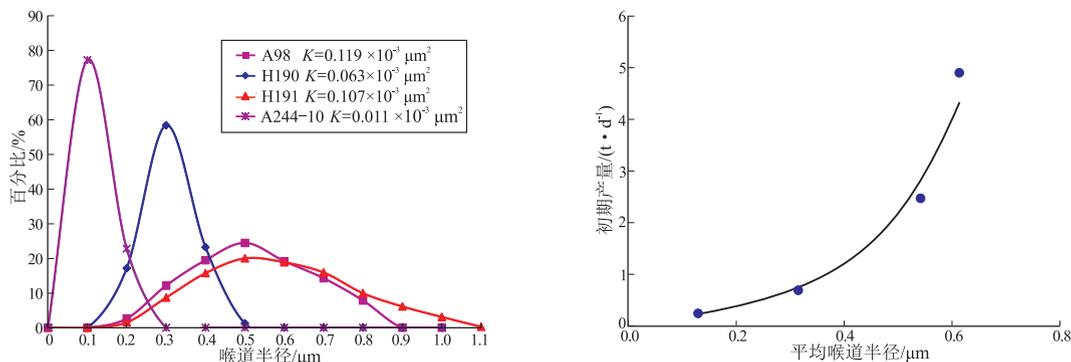


图 5 鄂尔多斯盆地新安边油田长 7 储层恒速压汞喉道半径分布特征及平均喉道半径与初期产量关系

Fig.5 Pore throat radius and average pore throat radius under constant-rate mercury injection vs. early productivity of Chang 7 reservoir, Xin'anbian oil field, Ordos Basin

采产量均在 3 t/d 以上,为致密油高产井。因此根据恒速压汞实验区分出的有效喉道半径大于 0.2 μm,主要分布在 0.2~0.9 μm 之间。研究区密闭取心 3 口井,孔隙度大于 5.5% 时,对应渗透率大于  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含油饱和度大于 60%,含油饱和度较高。通过对鄂尔多斯长 7 致密油可动流体与喉道半径的研究,当渗透率为  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时,可动流体饱和度大于 30%,地下流体流动性较好,适合开发。综上所述,目前新安边油田长 7 致密油储层开发下限可以达到  $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

### 2.3.2 高压压汞

长 7 储层喉道细小,平均孔隙半径 0.26 μm,喉道分选差,0.10~0.65 μm 的孔隙是储层的主要储集空间,小孔隙比例高,小于 0.1 μm 的孔隙体积比例大于 30%。根据孔渗及压汞数据分析,渗透率和平均喉道半径及喉道分选系数呈正相关,与平均喉道半径的相关性较高,与喉道分选系数相关性较低,说明储层孔喉大小及分布特征共同决定了储层的渗透强弱。长 7 致密油层不同渗透率级别样品喉道对渗透率的贡献存在明显差异,样品渗透率越小,喉道对渗透率的贡献分布越集中。随着渗透率的逐渐增大,喉道的分布区间变宽,大喉道增多,小喉道对渗透率的贡献明显减小,大喉道对渗透率的贡献增大,贡献峰值对应的喉道半径向大喉道一侧移动。当渗透率小于  $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,对应孔喉半径峰值小于 0.25 μm;渗透率在  $(0.05 \sim 0.15) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,喉道半径为 0.25~0.65 μm。因此高压压汞表征的储层孔喉半径在 0.25~0.65 μm 之间时,为致密油有效储层。

## 3 有效储层识别与“甜点”优选

### 3.1 储层电性特征

含油性评价是致密油储层识别最重要的因素,致密油储层中钻遇高含水层是水平井低产的一个

重要原因。根据盆地低渗透—致密油开发经验,致密油大面积成藏,含油性受物性控制,物性好的出油,物性较致密的为干层,储层含油性评价主要考虑物性<sup>[12-16]</sup>。在大面积成藏理论指导下,An83 区采用水平井大面积钻井,在含油区内部集中投产后发现高含水低产井,和正常区相比储层厚度和物性相差不大,但是含油性差异大,表现在比正常区电阻率低,由此认识到致密油在大面积成藏背景下,可能存在局部高含水带。水平井电阻率大小受轨迹位置影响,测量油层纵向信息,定向井垂直井筒,测量值更能反映储层电性。含油性是影响单井产量的主要因素,电阻率越高,初期产量越高,当电阻率小于  $30 \Omega \cdot \text{m}$  时,初期产量小于 5 t/d,为低产高含水井。据此将电阻率下限从原来的  $20 \Omega \cdot \text{m}$  提高到  $30 \Omega \cdot \text{m}$ ,从而避免了高含水井的出现。低阻带在平面上有一定的排列规律,和主应力方向相近,为北东  $70^\circ \sim 75^\circ$ ,宽度一般不超过 500 m,少数低阻带南北宽度能大于 1 km、东西长 2 km,形成连片低产高含水区。

### 3.2 全烃录井特征

长 7 致密储层紧邻烃源岩,为近源运聚的岩性油藏。储层具有致密、油质轻、非均质性强的特点,储层含油性主要受物性、砂体连通性控制。油气显示直照消光,肉眼不易落实含油性;致密储层油水分离性差,流体性质判别困难;孔隙流体饱和度高,但流体产能取决于流体可动性大小。

针对以上特点,钻井过程中主要采用气测录井技术。以气测全烃基值为基础,3 倍于基值定义为一般异常层;结合岩屑的荧光鉴定资料落实含油性,当气测全烃 5 倍于基值,定义为明显异常层,可能钻遇油层。原油中含有溶解气、轻烃、重烃、沥青质等组分,轻烃组分含量越高,越易于流动,全烃气测值越高,当比值相等时,全烃含量越高,含油性越好,越偏向油层;当全烃含量相同时,轻烃组分(甲

烷含量)越高,越趋向油层,甲烷含量越低,含油性越差,可能为油层和油水同层。在水平井钻井过程中要特别注意全烃含量以及组分,及时发现问题,便于调整。

### 3.3 油层厚度

致密油目前主要采用水平井开发,油层厚度越大,单井控制储量越大,单井累积产量越高。An83区满2年水平井102口,水平段长度600~800 m,油层厚度和24个月累产油存在明显相关性,油层厚度越大,累产油越多,为提高效益,应该具备一定油层厚度。另外,根据钻井工程上的要求,一般允许实际钻轨迹与设计之间上下误差2 m,因此单段油层最大厚度需要达到4 m。根据目前开发实践,油层厚度需要达到6 m,跟踪调整比较容易,油层钻遇率高。

An83区设计参考井A目标油层单层厚度4.6 m(图6),长 $7_2^1$ 小层油层厚度7.8 m;参考井B差油层厚度2.3 m,单油层厚度接近极限水平。实际水平段长度800 m,射孔8段,入地液7 460 m<sup>3</sup>,初期产量14.5 t/d,含水21.6%,生产640 d,累产5 348 t,开发效果较好。

### 3.4 致密油“甜点”优选方法

致密油大规模采用800~1 500 m长水平段水平井开发之后,减少了骨架井部署,部署区内可参考的定向井较少,水平井有利区筛选风险增加。“甜点”优选难度增加,需要从沉积相、储层特征等方面筛选有利区,然后用储层物性、油层厚度下限标准来筛选“甜点”,在油藏内部产能建设实施过程中参考邻井含油性和开发效果,避免低产低效区。

水平井“甜点”筛选方法:(1)新安边地区有利储层为水下分流河道砂体,沉积过程比较稳定,河道规模较大,砂体连续性好,整体都可以作为有利区带。(2)优选有利储层,要求岩心分析孔隙度大于5.5%,渗透率大于 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,对应的声波时差大于215  $\mu\text{s}/\text{m}$ ,在开发井区辅助应用声波时差资料。(3)优选“甜点”区:油层最大单层厚度大

于4 m、总厚度大于6 m,含油性较好,录井显示油斑,测井反映电阻率大于 $30 \Omega \cdot \text{m}$ ,全烃气测达到基线的3倍以上,达到以上标准都可以作为产能建设部署区。(4)对油层厚度小于4 m,或者电阻率小于 $30 \Omega \cdot \text{m}$ 的区域坚决缓钻,减少低产井,提高高产建效益。

通过对新安边油田长7致密油开发过程的总结,形成了以沉积相选区带,以物性、油层厚度选区块,以邻井含油性确定井位的致密油“甜点”优选方法。

### 3.5 应用效果

2012年以前,通过在新安边地区沉积相带分析,筛选出An83、H230、W464等区块。2012—2015年在新安边地区长7致密油进行水平井规模建产,完钻水平井197口,探明并开发了石油地质储量 $1.0 \times 10^8 \text{ t}$ ,预测储量 $2.56 \times 10^8 \text{ t}$ 。特别是2014年在确定有效储层下限及“甜点”筛选标准以后,可建产的致密油“甜点”区范围扩大,有利区边界更加明确。按照致密油储层下限标准和“甜点”优选的方法实施,缓钻油藏边部储层物性差、油层厚度较薄的14口水平井,缓钻面积9 km<sup>2</sup>,优选50 km<sup>2</sup>建产区,保障了近几年钻井的需求;实施过程中控制风险,未出现高含水井、低产井,保证了油田开发的效果。

## 4 结论

(1)油层钻遇率、油层厚度、含油性是影响水平井单井产能的主要地质因素,油层钻遇率高、油层厚度大、含油性好的储层单井产量高。

(2)鄂尔多斯盆地长7致密储层恒速压汞实验分析有效半径大于0.2  $\mu\text{m}$ ,孔喉半径主要分布在0.2~0.9  $\mu\text{m}$ 之间,可动流体饱和度大于30%,流体的可流动性较好是长7致密储层开发的内在因素。

(3)目前能够开发的有效储层岩心孔隙度下限为5.5%,地面渗透率为 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,声波时

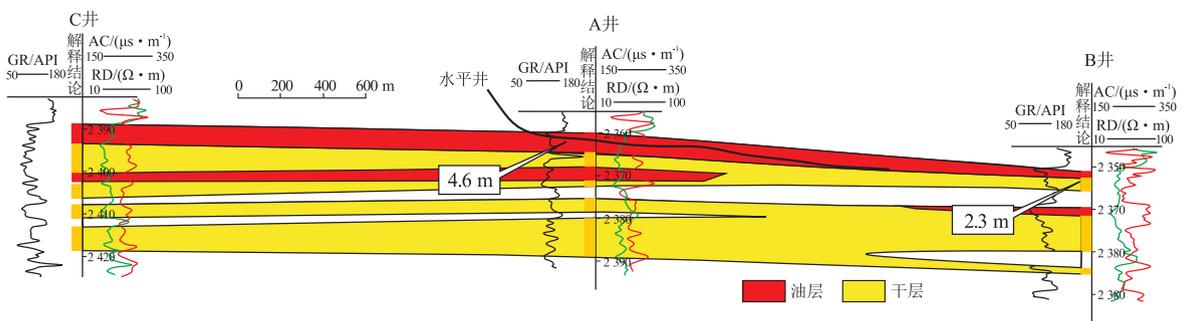


图6 鄂尔多斯盆地新安边油田水平井实钻轨迹

Fig.6 Drilling path of horizontal wells in Xin'anbian oil field, Ordos Basin

差为 215  $\mu\text{s}/\text{m}$ 。

(4) 致密油在 大面积成藏背景下, 局部含油性差异大, “甜点” 区录井显示为油斑, 单层厚度为 4 m 以上, 油藏叠加厚度大于 6 m, 气测全烃值在基值的 3 倍以上, 电阻率大于 30  $\Omega \cdot \text{m}$ 。

(4) 针对长 7 致密油开发区选择, 形成了以沉积相选区带, 以物性、油层厚度选区块, 以邻井含油性确定井位的致密油“甜点” 优选方法。

参考文献:

[1] 吴康军, 刘洛夫, 徐正建, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 段致密油成藏物性下限研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(1): 63-69.  
Wu Kangjun, Liu Luofu, Xu Zhengjian, et al. Lower limits of pore throat radius, porosity and permeability for tight oil accumulations in the Chang7 Member, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 63-69.

[2] 席辉, 成志刚, 张蕾, 等. 陇东地区长 7 致密油储层下限值的确定[J]. 复杂油气藏, 2015, 8(2): 15-18.  
Xi Hui, Cheng Zhigang, Zhang Lei, et al. Determination of lower limits for Chang7 tight-oil reservoir in Longdong area[J]. Small Hydrocarbon Reservoirs, 2015, 8(2): 15-18.

[3] 梁全胜, 张志升. 陕北下寺湾油区长 7 致密油储层物性下限的确定[J]. 非常规油气, 2016, 3(2): 17-21.  
Liang Quansheng, Zhang Zhisheng. Lower limit determination of Chang 7 tight oil reservoir property in Xiasiwan Oilfield, northern Shaanxi Province[J]. Unconventional Oil & Gas, 2016, 3(2): 17-21.

[4] 张以明, 付小东, 郭永军, 等. 二连盆地阿南凹陷白垩系腾下段致密油有效储层物性下限研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(4): 551-558.  
Zhang Yiming, Fu Xiaodong, Guo Yongjun, et al. Petrophysical property limits of effective tight oil reservoirs in the lower part of the first member of Cretaceous Tengger Formation, A'nan Sag, Ertian Basin, North China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(4): 551-558.

[5] 付金华, 罗安湘, 张妮妮, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 油层组有效储层物性下限的确定[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(6): 82-88.  
Fu Jinhua, Luo Anxiang, Zhang Nini, et al. Determine lower limits of physical properties of effective reservoirs in Chang 7 oil formation in Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(6): 82-88.

[6] 王伟明, 卢双舫, 田伟超, 等. 吸附水膜厚度确定致密油储层物性下限新方法: 以辽河油田大民屯凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(1): 135-140.  
Wang Weiming, Lu Shuangfang, Tian Weichao, et al. A new method to determine porosity and permeability cutoffs of tight oil reservoirs by using thickness of adsorption water film: A case study from the Damintun Sag, Liaohe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(1): 135-140.

[7] 李卫成, 张艳梅, 王芳, 等. 应用恒速压汞技术研究致密油储层微观孔喉特征: 以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为例[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(6): 60-65.  
Li Weicheng, Zhang Yanmei, Wang Fang, et al. Application of constant-rate mercury penetration technique to study of pore

throat characteristics of tight reservoir: A case study from the Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(6): 60-65.

[8] 何小鹤. 孔隙表征技术及其在储层孔隙结构研究中的应用[J]. 江汉石油职工大学学报, 2016, 29(2): 4-7.  
He Xiaohu. Pore characterization technique and its application in reservoir void structure identification[J]. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers, 2016, 29(2): 4-7.

[9] 陈国军. 核磁共振测井在致密油孔隙结构及储层综合评价中的应用[J]. 测井技术, 2015, 39(1): 57-61.  
Chen Guojun. Application of NMR data to evaluation of the pore structure and reservoir with tight oil[J]. Well Logging Technology, 2015, 39(1): 57-61.

[10] 白瑞婷, 李治平, 王慧玲, 等. 陇东地区长 7 致密油储层微观孔喉结构分形特征[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(5): 54-59.  
Bai Ruiting, Li Zhiping, Wang Huiling, et al. Fractal nature of microscopic pore-throat structure in Chang 7 tight oil reservoir of Longdong area[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(5): 54-59.

[11] 祝海华, 钟大康, 姚泾利, 等. 鄂尔多斯西南地区长 7 段致密油储层微观特征及成因机理[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(5): 853-863.  
Zhu Haihua, Zhong Dakang, Yao Jingli, et al. Microscopic characteristics and formation mechanism of Upper Triassic Chang 7 tight oil reservoir in the southwest Ordos Basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(5): 853-863.

[12] 李海波, 郭和坤, 杨正明, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区三叠系长 7 致密油赋存空间[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(3): 396-400.  
Li Haiho, Guo Hekun, Yang Zhengming, et al. Tight oil occurrence space of Triassic Chang 7 Member in northern Shaanxi area, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(3): 396-400.

[13] 屈红军, 蒲仁海, 曹金舟. 鄂尔多斯盆地南部地区长 7 致密油储层特征[J]. 非常规油气, 2015, 2(1): 1-9.  
Qu Hongjun, Pu Renhai, Cao Jinzhou. Characteristics of Chang 7 tight oil reservoir in the southern Ordos Basin[J]. Unconventional Oil & Gas, 2015, 2(1): 1-9.

[14] 何小娟, 郑光辉, 郭路, 等. 安边地区长 7 致密油储层综合评价[J]. 低渗透油气田, 2015(2): 89-93.  
He Xiaojuan, Zheng Guanghui, Guo Lu, et al. Comprehensive evaluation of tight Chang7 oil reservoirs in Anbian area[J]. Low Permeability Oil & Gas Fields, 2015(2): 89-93.

[15] 孙军昌, 郭和坤, 刘卫, 等. 低渗火山岩气藏可动流体  $T_2$  截止值实验研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(4): 109-114.  
Sun Junchang, Guo Hekun, Liu Wei, et al. Experimental study on the movable fluid  $T_2$  cut of value of volcanic gas reservoir[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2010, 32(4): 109-114.

[16] 姚宜同, 李士祥, 赵彦德, 等. 鄂尔多斯盆地新安边地区长 7 致密油特征及控制因素[J]. 沉积学报, 2015, 33(3): 625-632.  
Yao Yitong, Li Shixiang, Zhao Yande, et al. Characteristics & controlling factors of Chang7 tight oil in Xin'anbian area, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, 33(3): 625-632.