

中—高含水期低渗透储层优势渗流通道研究

——以温米油田温西一区块三间房组储层为例

惠 钢¹,王友净¹,李佳鸿¹,康 波²,葛启兵²,戴立波²

(1.中国石油勘探开发研究院,北京 100083; 2.中国石油吐哈油田分公司 勘探开发研究院,新疆 哈密 839009)

摘要:中—高含水期低渗透储层经过长期注水开发容易形成优势渗流通道,造成注入水无效循环加剧,严重影响油藏注水开发的效果。以温米油田温西一区块三间房组低孔、中—低渗透储层为例,基于岩性、沉积及微观特征分析优势渗流通道形成的控制因素,综合动、静态资料确定识别优势渗流通道的方法及评价标准,并优选动、静态参数建立综合评价指数模型。研究结果表明,温西一区块三间房组优势渗流通道的形成受岩性、沉积相及微观特征控制;其静态特征表现为岩性粗、物性好,沉积于水下分流河道的主流线上;动态特征表现为吸水剖面存在差异,油井含水率突然升高,示踪剂水线推进快,突破厚度小。研究区优势渗流通道的识别标准为:层内渗透率大于或等于 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,层内渗透率级差大于或等于20,孔喉半径大于或等于 $3.6 \mu\text{m}$,月含水率上升率大于或等于30%,单层吸水率大于或等于50%。

关键词:低渗透 优势渗流通道 识别方法 综合评价指数 温西一区块

中图分类号:TE348

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)06-0074-06

Research on dominant flow path of low permeability reservoir in medium-high water cut period: A case study of the Sanjianfang Formation of Wenxi1 block in Wenmi oilfield

Hui Gang¹, Wang Youjing¹, Li Jiahong¹, Kang Bo², Ge Qibing², Dai Libo²

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing City, 100083, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Tuha Oilfield Company, CNPC, Hami, Xinjiang, 839009, China)

Abstract: Dominant flow path tends to be formed in the low permeability reservoir after long term waterflooding in medium-high water cut period, which results in invalid water circulation and severe impact on the water flooding result. Low-porosity and medium-low permeability reservoirs in the Sanjianfang Formation of Wenxi1 block in Wenmi oilfield were taken as examples. Controlling factors of the formation of the dominant flow path were analyzed according to lithology, deposition and microscopic characteristics. An approach to identify the dominant flow path was proposed by use of dynamic and static data and standards suitable for the study area were given. A comprehensive evaluation index model was built up through optimizing dynamic and static parameters. The results suggest that the formation of the dominant flow path in the Sanjianfang Formation of Wenxi1 block is controlled by the lithology, sedimentary facies and microscopic characteristics. The static characteristics are concluded as coarse lithology, good physical property and deposited on the main stream line of underwater distributary channel. The dynamic characteristics include the difference of water injection profile, the sudden rise of water cut in production wells and the rapid flow and breakthrough of tracer material with thin layer. The judging criteria are as follows: permeability is larger than or equal to $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; permeability ratio is larger than or equal to 20; pore and pore throat radius is larger than or equal to $3.6 \mu\text{m}$; monthly increase of water cut is larger than or equal to 30%; water absorption in single layer is larger than or equal to 50%.

Key words: low permeability; dominant flow path; identification methods; comprehensive evaluation index; Wenxi1 block

收稿日期:2015-09-11。

作者简介:惠钢(1986—),男,山东诸城人,工程师,硕士,从事开发地质方面的研究。联系电话:(010)83595264, E-mail: huigang@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油科技重大专项“低渗透油藏有效开发关键技术”(2011B-1205)。

中—高含水期低渗透储层经过长期注水开发和多次改造后,局部已形成注入水的优势渗流通道,加剧了油层的层间矛盾,造成注入水无效循环加剧、波及系数降低,水驱动用程度降低,严重影响了油藏的注水开发效果^[1-2]。因此,开展中—高含水期低渗透储层优势渗流通道的研究,确定其发育情况及分布特征,明确剩余油分布规律,对改善研究区水驱开发效果和采收率具有重要的指导意义。

1 地质概况

温米油田位于吐哈盆地吐鲁番坳陷台北凹陷中部巴喀—四十里大墩构造带东段。温西一区块位于温米油田西部,为被断层切割的断背斜构造,具有南缓北陡、两翼不对称的构造特征,地层倾角为14°~21°。研究区开发目的层为中侏罗统三间房组,埋深为2 400~2 800 m,为辫状河三角洲沉积,发育水下分流河道、溢岸砂、席状砂、决口扇和分流间湾等沉积微相,属于水下弱还原—弱氧化沉积环境,其中水下分流河道微相的物性较好;岩石类型为砂砾岩、含砾不等粒砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩;其储层孔隙度为15%,渗透率为 $59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔、中—低渗透储层,发育受岩性控制的构造油气藏。研究区于1993年全面投入注水开发,历经1993—1997年低含水油藏开发阶段,1998—2004年中含水油藏开发阶段以及2005年以后高含水油藏开发阶段,至2012年12月综合含水率达75.3%,采油速度为0.38%,稳产压力很大。

2 优势渗流通道形成的控制因素

温西一区块三间房组储层优势渗流通道的形成受岩性、沉积相及微观特征的控制。岩心分析资料表明,不同岩性的物性存在差异,研究区含砾不等粒砂岩与砂砾岩的物性明显好于其他岩性,为优势渗流通道的发育提供了基础。沉积相分析结果表明,辫状河三角洲沉积的砂体多为条带状分布,沿水下分流河道主流线方向储层的孔隙发育较好,易于形成优势渗流通道。在微观特征方面,研究区砂岩储层经过长期注水开发,骨架结构逐渐发生变化,表现为岩石颗粒接触关系改变及胶结物发生运移^[3]。在注水开发初期,注入水对储层的冲刷作用有限,骨架颗粒的接触关系与原始状态变化不大;

而在高含水油藏开发阶段,注入水长期冲刷使孔隙内的胶结物及粘土杂基被冲走、运移,从而导致孔隙连通性变好,渗透率增大,部分颗粒呈流体衬托状态或游离状态。研究区储层的孔隙和喉道相应表现为2种变化趋势。储层孔隙的变化表现为小孔隙转变为大孔隙,中孔隙扩大为大孔隙,因而小孔隙减少,即长期水洗后低渗透储层的孔隙变好。储层喉道的变化表现为由于微粒的运移、沉降和溶解物的沉积,导致部分中喉道增大,喉道连通性变好,但也有部分中喉道转变为细喉道,使喉道连通性变差^[2]。因此,在储层孔隙增大的部位易于形成优势渗流通道。

3 优势渗流通道的识别特征及标准

3.1 识别特征

3.1.1 静态特征

岩电组合特征 岩心和物性分析资料表明,研究区主力产层S33-2-A的岩性主要为细砂岩、中砂岩、粗砂岩及含砾不等粒砂岩。其岩心孔隙度平均值为15.2%,最大值为18.2%;渗透率平均值为 $59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大值为 $1 151 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小值仅为 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (为物性下限值)。岩电组合特征分析结果(图1)表明,研究区主力产层S33-2-A发育优势渗流通道的相对高渗透层(温检1-1井2 428.27~2 429.42 m井段)的岩性主要为粗砂岩和含砾不等粒砂岩^[4],其渗透率平均值为 $293 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,水洗驱油效率大于40%,目前含油饱和度小于40%;自然电位测井曲线饱满呈箱型,感应测井系列曲线有明显

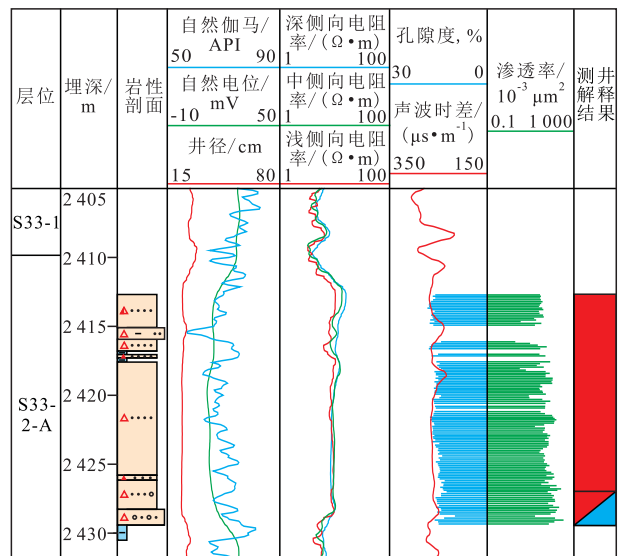


图1 温检1-1井典型岩电组合特征

Fig.1 Typical characteristics of logging and lithology in Well Wenjian1-1

的幅度差,声波测井曲线表现为高值,电阻率测井曲线表现为低值^[5]。此外,研究区其他主力产层S23-1-A, S23-1-B和S33-2-B也发育具有相似岩电组合特征的相对高渗透层。

微观孔喉特征 由研究区取心井的岩心分析资料可以看出,当岩心渗透率大于 $403 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,剩余油饱和度与原始含油饱和度相比明显减小,表明水驱造成的含油饱和度减少量逐渐增大,发育优势渗流通道的概率增加。分析压汞孔喉半径与岩心分析渗透率的关系发现,渗透率为 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 对应的主要孔喉半径为 $3.6 \mu\text{m}$ 、最大孔喉半径为 $8 \mu\text{m}$,即发育优势渗流通道的微量量化标准为最大孔喉半径大于 $8 \mu\text{m}$ 、岩心渗透率大于 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。研究区孔喉半径分布特征表明,孔喉半径大于 $8 \mu\text{m}$ 的孔隙体积占总孔隙体积的7%,孔喉半径大于 $3.6 \mu\text{m}$ 的孔隙体积占总孔隙体积的46%,表明约有7%的岩心样品所在层位可能为优势渗流通道发育段^[6-7]。

沉积特征 研究区三间房组发育的砂体主要为水下分流河道沉积。根据其分布特征可以划分为2类,一类砂体为连片状分布,平均有效厚度大于5 m,复合河道宽度大于500 m,最大宽度达1 500 m;另一类砂体呈枝状或条带状分布,平均有效厚度小于5 m,单一河道宽度为150~200 m,复合河道宽度普遍小于400 m。通常发育多期砂体叠置连片、单期河道侧向摆动拼接、顶平底凸透镜状砂体3种叠置形式。其中,研究区连片状分布的分流河道砂体的厚度较大、岩性相对较粗、泥质含量较低,储层物性较好,易于发育优势渗流通道。

非均质特征 储层非均质特征决定了注水开发过程中注入水的流动规律。受研究区三间房组储层沉积韵律的影响,注入水在具有复合韵律的层内会沿着高渗透部位流动,在正韵律(水下分流河道)层内,注入水会沿着底部突进,且这种流动性的差异随着注入体积倍数的增加而逐渐扩大,注入水会沿着水洗程度较高的部位逐步形成优势渗流。当非均质性和注入体积倍数达到一定程度后,在这种优势渗流的部位就形成了优势渗流通道。研究表明,研究区渗透率变异系数为0.47~1.3,突进系数为1.82~7.82,层内渗透率级差为6.09~171.1,具有强非均质性。通常储层的层内渗透率级差大于20,易于发育优势渗流通道^[5]。在注水开发过程中,注入水优先沿着高渗透层流动,易于形成单层突进。这种长期的不均衡流动导致高渗透层的水洗程度明显高于低渗透层的水洗程度,即当层

间层内渗透率级差满足一定条件时,易于形成单层突进。研究区的层间层内渗透率级差为33,突进系数为3,平面上沿着水下分流河道的主流线方向易于形成优势渗流通道。

3.1.2 动态特征

吸水剖面与产液剖面特征 高渗透层的吸水量远高于低渗透层,甚至为其数倍。如研究区温西1-25、温西1-63和温西1-74井主力产层S33-2-A下部高渗透层的吸水量较大,经证实发育优势渗流通道。由研究区吸水剖面和取心井资料证实,由于注入水沿高渗透带推进,层内高渗透带的水洗程度高,其他部位的水洗程度低,含油饱和度仍然很高;产液剖面的高产液段也表明可能已经形成优势渗流通道,在通常情况下,当单层吸水率超过50%时,可能已经产生优势渗流通道^[8]。

注采动态特征 研究表明,研究区具有注水井注水油压低、采油井含水率突然上升的注采动态特征。一些注水井的油压低、启动压力低、注水油压低、井口压力下降快,说明低油压注水井与对应采油井之间的渗流阻力较小,存在优势渗流通道。此外,采油井的含水率突然上升,且见水速度快、含水率上升快,生产情况受水井注水波动影响明显,平面上多表现为单方向受效,月含水率上升率大于30%时,可能已经形成优势渗流通道。

动态监测特征 示踪剂监测结果显示,发育优势渗流通道的储层水线推进快、突破厚度小。由于示踪剂的监测周期较长,因此产出曲线较为完整。研究区示踪剂产出曲线表现为典型的单峰特征和薄层单通道突破特征,即示踪剂突破速度快,峰值维持时间短且下降快。示踪剂产出曲线形状相对简单,注水井间受效均具有明显的方向性,表明井间水窜是由于存在优势渗流通道。研究区温西1-44井组注入水的主要驱替方向为温西1-53井,温西1-74井组注入水的主要驱替方向为温西1-705井。

3.2 识别标准

综合研究区优势渗流通道的识别特征,在主力产层S33-2-A中识别出温西1-53井—温西1-63井优势渗流通道。其识别依据为:①沉积特征。温西1-53井和温西1-63井在该主力产层均发育连片状分布的水下分流河道,且2口井分布于水下分流河道主流线上,单层渗透率分别为 132×10^{-3} 和 $83 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。②吸水剖面特征。注水井温西1-63射开S33-2-A和S21-2共2个主力产层,但大部分为S33-2-A吸水,S21-2吸水较少甚至未吸水。③注采动态特征。采油井温西1-53在1999年7月至

2000年4月的含水率从8%急剧上升至90.9%,且产油量迅速减少,产液量增加,为优势渗流通道形成的标志。④水驱前缘监测特征。2007年对温西1-63井进行水驱前缘测试,结果表明温西1-53井位于优势渗流区。

此外,在主力产层S13-1中识别出温西1-73井与温西1-604井及温检1-1井之间发育优势渗流通道。其识别依据为:①沉积特征。3口井在该主力产层均发育枝状分布的水下分流河道,且位于水下分流河道的主流线上,单层渗透率分别为 230×10^{-3} , 88×10^{-3} 和 $85 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。②岩电组合特征。温检1-1井2575.89~2577.93 m井段位于正韵律层底部,岩性主要为粗砂岩和含砾不等粒砂岩,泥质含量平均值为12%,孔隙度平均值为16%,渗透率平均值为 $278 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,目前含油饱和度平均值为9%,水洗驱油效率大于40%;自然电位测井曲线饱满呈箱型,感应测井系列曲线有明显的幅度差,声波测井曲线表现为高值,电阻率测井曲线表现为低值,且温西1-604井的测井曲线也表现出明显的水淹特征。③微观孔喉特征。由温检1-1井铸体薄片可见,其孔隙发育,骨架颗粒呈点接触甚至漂浮状,扫描电镜可见大孔喉发育;压汞资料显示平均孔喉半径为 $10.042 \mu\text{m}$,最大孔喉半径达 $122.5 \mu\text{m}$ 。④吸水剖面特征。注水井温西1-73射开主力产层S33-2-A,吸水量逐年增加;1999年6月吸水率为28.2%,2001年4月吸水率为100%,至2008年吸水率为90.2%。⑤注采动态特征。采油井温西1-604在2004年完钻并射开主力产层S13-1,2004年5月单采S13-1后含水率突然升至100%,2005年封堵S13-1后,含水率下降率为9%,表明已形成优势渗流通道。

选取渗透率、层内渗透率级差、孔喉半径、月含水率上升率及单层吸水率共5个动、静态参数来识别储层优势渗流通道,并确定温西一区块优势渗流通道的识别标准为:储层渗透率大于或等于 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,层内渗透率级差大于或等于20,孔喉半径大于或等于 $3.6 \mu\text{m}$,月含水率上升率大于或等于30%,单层吸水率大于或等于50%。

4 优势渗流通道的定量描述

4.1 建模数模一体化方法

通过建模数模一体化方法来定量描述优势渗流通道^[9-10]。其流程如下:①依据优势渗流通道的识别标准,对研究区发育的优势渗流通道进行识别;②利用Petrel建模软件,根据研究区小层精细对

比结果,建立构造模型;③结合沉积相分析及单井砂体发育情况,建立砂体模型;④在砂体模型约束下,根据识别的优势渗流通道约束孔隙度、渗透率,建立符合地下地质情况的储层属性模型;⑤将储层属性模型导入Eclipse数值模拟软件,对比并验证优势渗流通道的形成及分布特征。从模拟结果(图2)可以看出,注入水已在储层中发生突进贯通,形成水线,表明已形成优势渗流通道。

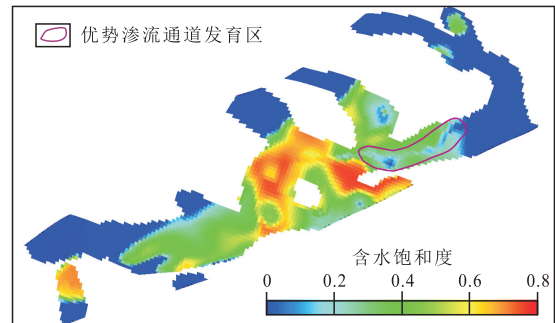


图2 温西一区块三间房组主力产层S21-2数值模拟结果
Fig.2 Numerical simulation result of the main productive layer of S21-2 in the Sanjianfang Formation, Wenxi1 block

4.2 综合评价指数建模方法

综合评价指数建模方法是另一种对优势渗流通道进行定量表征的方法^[1]。该方法是针对储层优势渗流通道形成的控制因素,综合油藏地质及开发资料,选取影响优势渗流通道形成的主要参数,依据其影响程度确定权重值,计算储层各小层单井优势渗流通道的综合评价指数(优势渗流通道指数),利用随机建模的方法建立三维优势渗流通道综合评价指数模型,定量描述优势渗流通道的发育情况及分布特征。

4.2.1 动、静态参数的选取及处理

综合选取的静态参数有渗透率、非均质参数(层内渗透率级差、突进系数和变异系数)、孔隙度及泥质含量。选取这4项参数的依据为:①相对高渗透率的储层优先受到注入水的冲刷,可逐渐形成优势渗流通道;②地层的纵向和平面非均质性越严重,注入水越易于沿着相对高渗透带突进,形成优势渗流通道;③孔隙度越大,水流阻力越小,易于形成优势渗流通道;④长时间注水开发后,储层骨架的部分胶结物杂基被注入水冲刷带走,使泥质含量降低,孔隙度和渗透率增高。选取的动态参数为含水率变化率,含水率发生突变表明可能已形成优势渗流通道。

由于选取的动、静态参数之间存在量纲及数量级的不同,因此须统一归一化至 $[0, 1]$ ^[11]。采用储集条件优劣判别方法,将动、静态参数分为越大越

优型和越小越优型2种类型,进而采用分层分阶段方法来进行处理。其中,渗透率、孔隙度和含水率变化率等越大越优型参数,其值越大表明储层的储集条件越好,单项越大越优型参数的归一化值可采用升半梯形分布数学模型来计算,其表达式为

$$\xi(\alpha) = \frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} \quad \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \quad (1)$$

式中: $\xi(\alpha)$ 为某小层单项越大越优型参数的归一化值; α 为某小层单项越大越优型参数的计算值。

泥质含量为越小越优型参数,其值越小表明储层的储集条件越好。单项越小越优型参数的归一化值可采用降半梯形分布数学模型来计算,其表达式为

$$\xi(b) = \frac{b_{\max} - b}{b_{\max} - b_{\min}} \quad b_{\min} \leq b \leq b_{\max} \quad (2)$$

式中: $\xi(b)$ 为某小层单项越小越优型参数的归一化值; b 为某小层单项越小越优型参数的计算值。

4.2.2 综合评价指数的定量计算

以研究区温西1-54井为例,对选取的动、静态参数作归一化处理后,定量计算综合评价指数。首先,确定选取的温西1-54井主力产层S33-2-A的动、静态参数的最小值和最大值。其次,根据温西1-54井的测井解释及非均质统计结果,确定单井单层的静态参数值,归一化处理后与根据研究区动、静态资料及开发经验设定的各静态参数的权重值乘积并求和,即可得到温西1-54井主力产层S33-2-A的静态指数(表1)。然后,根据研究区划分的低含水、中含水和高含水3个油藏开发阶段,计算温西1-54井各油藏开发阶段的含水率变化率,归一化处理后得到动态指数;温西1-54井3个油藏开发阶段的含水率变化率依次为0.112,0.223和0.418;相应的动态指数为0.223,0.446和0.836。最终,将静态指数和动态指数分别与其权重值乘积并求和,即

可得到温西1-54井主力产层S33-2-A优势渗流通道的综合评价指数(表2),其计算公式为

$$F_z = F_s \psi_s + F_d \psi_d \quad (3)$$

式中: F_z 为优势渗流通道的综合评价指数; F_s 为静态指数; ψ_s 为静态指数的权重值; F_d 为动态指数; ψ_d 为动态指数的权重值。

表1 温西1-54井主力产层S33-2-A静态参数统计

Table1 Static parameters and statistics for the main productive layer of S33-2-A in Well Wenxi1-54

取值类型	渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	层内渗透 率级差	突进 系数	变异 系数	孔隙度, %	泥质 含量
最小值	0.45	2.43	1.45	0.38	0.1	0.07
最大值	90.93	363.53	7.81	99.21	0.18	0.44
平均值	63.87	21.27	1.54	32.25	0.17	0.11
归一化值	0.701	0.014	0.052	0.322	0.802	0.904
权重值	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2

表2 温西1-54井综合评价指数计算结果

Table2 Calculated results of comprehensive evaluation index for Well Wenxi1-54

生产时间	静态指数		动态指数		综合评价指数
	取值	权重值	取值	权重值	
1993—1997	0.601	0.5	0.223	0.5	0.412
1998—2004	0.601	0.5	0.446	0.5	0.524
2005—2013	0.601	0.5	0.836	0.5	0.719

4.2.3 三维优势渗流通道综合评价指数模型的建立

通过计算研究区各井在主力产层S33-2-A的综合评价指数,分别建立3个油藏开发阶段优势渗流通道的综合评价指数模型(图3)。结果表明,随着注水时间的推移,储层优势渗流通道综合评价指数呈现逐渐增大的趋势;在研究区东部温西1-604井一带,综合评价指数从低含水油藏开发阶段的0.4升至中含水油藏开发阶段的0.7,最终达到高含水油藏开发阶段的0.9,说明已形成优势渗流通道^[12-13]。

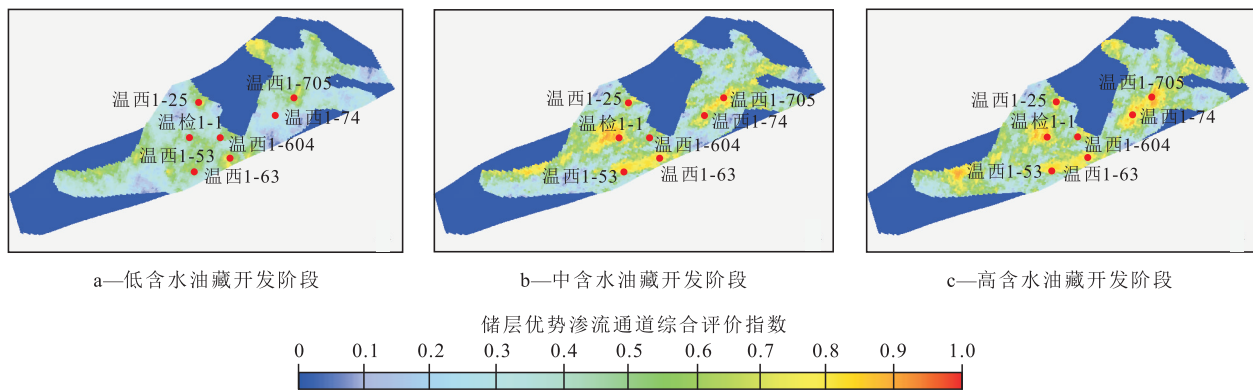


图3 温西一区块油藏开发阶段优势渗流通道综合评价指数模型

Fig.3 Comprehensive evaluation index model of dominant flow path in various development periods in oil reservoirs of Wenxi1 block

5 结论

温西一区块三间房组优势渗流通道的形成受岩性、沉积相及微观特征的控制。长期注水开发引起颗粒骨架结构发生变化,导致孔喉增大。通过动、静态特征可以对优势渗流通道进行识别,并确定识别标准。静态特征表现为岩性为粗砂岩和含砾不等粒砂岩,自然电位测井曲线饱满呈箱型,感应测井系列曲线有明显的幅度差,声波测井曲线显示为高值;储层连通性变好,沉积于水下分流河道的主流线上。动态特征表现为注水井的注水油压低、油井含水率突然上升,水线推进快,突破厚度小等。研究区优势渗流通道的识别标准为渗透率大于或等于 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,层内渗透率级差大于或等于20,孔喉半径大于或等于 $3.6 \mu\text{m}$,月含水率上升率大于或等于30%,单层吸水率大于或等于50%。利用综合评价指数建模方法来反映优势渗流通道的发育过程及位置,为研究区后续的水驱开发调整及剩余油研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 牛世忠,胡望水,熊平,等.红岗油田高台子油藏储层大孔道定量描述[J].石油实验地质,2012,34(2):202-206.
Niu Shizhong, Hu Wangshui, Xiong Ping, et al. Quantitative description of high-capacity channels in Gaotai Reservoir of Honggang Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2):202-206.
- [2] 王志章,蔡毅,杨蕾.开发中后期油藏参数变化规律及变化机理[M].北京:石油工业出版社,1999.
Wang Zhizhang, Cai Yi, Yang Lei. Changing law and mechanism of reservoir parameters in mid-later development period [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.
- [3] 孙明,李治平.注水开发砂岩油藏优势渗流通道识别与描述[J].断块油气田,2009,16(3):50-52.
Sun Ming, Li Zhiping. Identification and description of preferential percolation path for waterflooding sandstone reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(3):50-52.
- [4] 徐春华,侯加根,唐衍,等.砾岩储层注水开发后期高渗流通道成因特征及其识别[J].科技导报,2009,27(23):19-27.
Xu Chunhua, Hou Jiagen, Tang Xian, et al. Genesis feature and identification of high permeability pathways in conglomerate reservoir in high water cut stage [J]. Science & Technology Review, 2009, 27(23):19-27.
- [5] 刘海波.大庆油区长垣油田聚合物驱后优势渗流通道分布及渗流特征[J].油气地质与采收率,2014,21(5):69-72.
Liu Haibo. Dominant flowing channels distribution and seepage characteristics after polymer flooding in Daqing oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5):69-72.
- [6] 王子强,张代燕,杨军,等.普通稠油油藏渗流特征实验研究——以新疆油田九区齐古组油藏为例[J].石油与天然气地质,2012,33(2):302-306.
Wang Ziqiang, Zhang Daiyan, Yang Jun, et al. Experimentals study on percolation characteristics of ordinary heavy oil reservoirs: a case study from the Qigu Formation reservoir in Nine-4 Block of Xinjiang oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2):302-306.
- [7] 王欢,廖新维,赵晓亮,等.超低渗透油藏分段多簇压裂水平井产能影响因素与渗流规律——以鄂尔多斯盆地长8超低渗透油藏为例[J].油气地质与采收率,2014,21(6):107-110.
Wang Huan, Liao Xinwei, Zhao Xiaoliang, et al. A study on productivity and flow regimes of segmented multi-cluster fractured horizontal well in ultra-low permeability reservoir—a case of Chang8 ultra-low permeability reservoir in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6):107-110.
- [8] 王森,冯其红,宋玉龙,等.基于吸水剖面资料的优势通道分类方法——以孤东油田为例[J].油气地质与采收率,2013,20(5):99-102.
Wang Sen, Feng Qihong, Song Yulong, et al. Preferential flow path classification method based on injection profile data—taking Gudong oilfield as an example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5):99-102.
- [9] 郑浩,苏彦春,张迎春,等.裂缝性油藏渗流特征及驱替机理数值模拟研究[J].油气地质与采收率,2014,21(4):79-83.
Zheng Hao, Su Yanchun, Zhang Yingchun, et al. The numerical simulation study on percolation characteristics and displacement mechanism of fractured reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4):79-83.
- [10] 姜瑞忠,于成超,孔垂显,等.低渗透油藏优势渗流通道模型的建立及应用[J].特种油气藏,2014,21(5):85-88.
Jiang Ruizhong, Yu Chengchao, Kong Chuixian, et al. Establishment and application of dominant seepage path model of low-permeability oil reservoirs [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(5):85-88.
- [11] 郝金克.利用无因次压力指数定性识别优势通道[J].特种油气藏,2014,21(4):123-125.
Hao Jinke. Qualitative identification of prevailing channel by dimensionless pressure index [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(4):123-125.
- [12] 陈程,宋新民,李军.曲流河点砂坝储层水流优势通道及其对剩余油分布的控制[J].石油学报,2012,33(2):257-263.
Chen Cheng, Song Xinmin, Li Jun. Dominant flow channels of point-bar reservoirs and their control on the distribution of remaining oils [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2):257-263.
- [13] 李阳,陆相高含水油藏提高水驱采收率实践[J].石油学报,2009,30(3):396-399.
Li Yang. Study on enhancing oil recovery of continental reservoir by water drive technology [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3):396-399.