

文章编号: 0253-9985(2011)02-0229-07

火烧山油田 H_3 层裂缝发育特征与剩余油分布关系

涂彬, 丁祖鹏, 刘月田

(中国石油大学 石油工程教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要: 火烧山油藏是准噶尔盆地东部复杂的裂缝性油藏, 裂缝分布规律和渗流机理复杂。油藏开发初期效果较差, 受裂缝影响, 注入水运动规律极难把握, 给剩余油的认识带来较大困难。在分析该油藏裂缝发育特征和分布规律的基础上, 结合裂缝的发育方向类型以及该区的成藏模式, 得到了裂缝的分布规律; 根据裂缝与砂岩基质的四种组合的水驱油模式, 以及该区油井的含水上升规律, 利用油藏数值模拟技术得出了油藏的剩余油分布规律。研究认为, 火烧山油藏中裂缝的主要影响因素是构造作用和岩性变化, 其分布为大裂缝发育区、微细裂缝发育区和裂缝弱发育区; 由于水窜的影响, 大裂缝发育区内的基质还存留大量的剩余油; 弱裂缝发育区中吸水能力差, 水驱油效果差, 也存留大量的剩余油。最后通过建立地质模型、运用油藏工程分析方法和数值模拟手段, 得到了 H_3 油藏的剩余油分布现状, 为后续的调整措施提供了依据。

关键词: 渗流机理; 裂缝分布; 剩余油分布; 裂缝油藏; 火烧山油田; 准噶尔盆地

中图分类号: TE321

文献标识码: A

Correlation of remaining oil distribution and fracture development in H_3 reservoir of Huoshaoshan oilfield

Tu Bin, Ding Zupeng and Liu Yuetian

(MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Located in the eastern Junggar Basin, the Huoshaoshan oil reservoir is characterized by complex fracture distribution and percolation mechanism. Due to the complexity of fractures, the effect of development was poor at the very beginning, the flow pattern of injected water is hard to understand, and the remaining oil distribution is difficult to predict. Based on analysis of the characters and orientation of the fractures and the reservoir-forming patterns, we understood the distribution of the fractures in the reservoir. According to the water/oil displacement patterns of four matrix-fracture combinations and in combination with the change of water cut of oil wells, we predicted remaining oil distribution in the reservoir through numerical simulation. It is concluded that tectonization and lithological change are the two major factors influencing three fracture development zones, including macro fracture zone, micro fracture zone and matrix zone. There are lots of remaining oil both in the macro fracture zone due to water channeling and in the matrix zone due to poor waterflooding efficiency. The remaining oil distribution is predicted through geologic modeling, reservoir engineering analysis and numerical simulation, laying a basis for reservoir adjustment in near future.

Key words: percolation mechanism, fracture distribution, remaining oil distribution, fractured reservoir, Huoshaoshan oilfield, Junggar Basin

火烧山油田位于准噶尔盆地东部北缘的克拉美丽山南麓(图1), 含油层系为二叠系平地泉组的中、下部, 目前分成4个相对独立的层系进行开发, 分别是 H_2 、 H_3 、 H_4^1 、 H_4^2 4套开发层系。其中的 H_3 层油藏为近南北向的背斜构造, 东翼地层倾角

20°左右, 西翼地层倾角6°左右。岩性以粗粉砂、细砂为主, 少量中砂, 分选性差, 砂岩百分比较高, 平均达70%。平面上该油层的沉积相变化大, 砂体呈透镜状分布, 连通性差^[1]。

火烧山油田 H_3 层自1987年开始投产, 1988

收稿日期: 2010-12-24。

第一作者简介: 涂彬(1974—), 男, 博士、讲师, 油气田开发工程。

基金项目: 国家科技重大专项(2009ZX05009)。

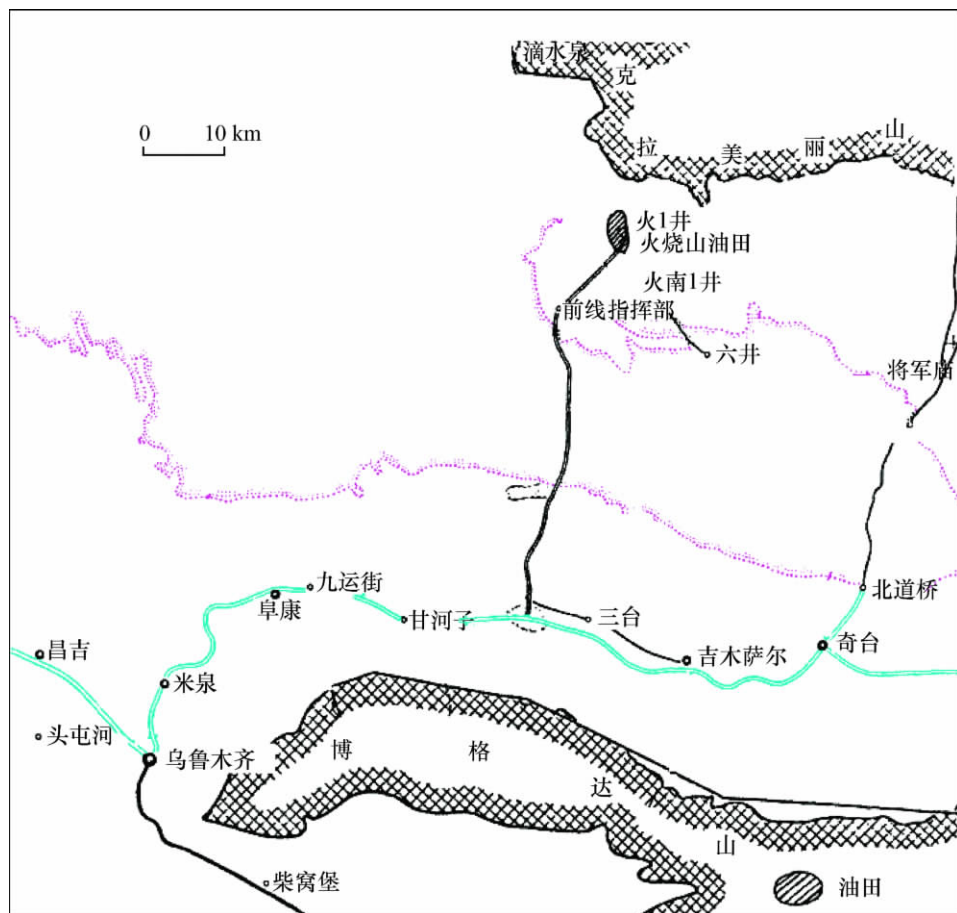


图1 火烧山油藏地理位置

Fig. 1 Location of Huoshaoshan oilfield

年转为正式开发,基本上采用反九点面积注水井网,井距350 m。油藏开发的前期,含水上升速度较快,在1994年后开始进行综合调整,目前油藏含水基本稳定在70%~80%之间,进入中高含水采油期。为进一步提高油藏的开发效果,需要针对油田的地质特征和油田的见水情况,运用多种方法加强对储层裂缝的研究和预测,并在此基础上运用多手段分析剩余可采储量,借助数值模拟技术摸清目前的剩余油分布现状,为该油藏继续稳产奠定坚实的基础。

1 裂缝发育特征及分布规律

1.1 裂缝研究方法

裂缝评价方法除利用野外相似露头观测、岩心观察等定性方法外,尚有构造应力场数值模拟

法、实验室测定法、微地震测量法、测井评价法、油藏工程动态分析法、钻井工程分析法等。研究人员在阐述各种方法基本原理基础上,充分利用实验室分析资料、成像及常规测井资料,遵循岩心刻度成像、成像刻度常规测井的工作思路,通过“视储集空间构成^①”,对 H_3 层各小层裂缝进行定量评价及预测。

1.2 H_3 油层裂缝类型与方向

H_3 储层内的裂缝在全区均有分布,主要发育在泥质粉砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩中。根据裂缝在储层中的存在形态分为充填缝、闭合缝、微裂缝、开启缝、潜在缝五类。此外, H_3 层的裂缝还可以分为天然裂缝和人工压裂裂缝,以及由于钻井、作业、注水等工艺措施形成的诱导缝。

众多的研究表明,火烧山油田受多期构造应力

① 王志章,刘月田.火烧山油田 H_3 层精细油藏描述.中国石油大学(北京)2008.

作用影响,且各期构造应力的方向不尽相同,如印支期早期为近东西向,晚期为南北向,燕山晚期为北西西向,因此储层裂缝是以井点为中心呈“米”字形网络分布,南北向、西北向、东北向裂缝在规模上略占优势,而东西向裂缝不太发育^[2-3]。目前已知的天然裂缝大都是高角度和网状缝,低角度裂缝不发育,无论从露头还是FMI测井资料中都少见。

1.3 H_3 油藏裂缝发育影响因素

影响 H_3 储层裂缝发育的因素主要有4种,分别是构造、岩性、沉积相和地层厚度。

前人的研究表明, H_3 油藏裂缝发育程度与构造位置密切相关^[2]。在背斜构造核部及轴线附近,裂缝延伸较远,以大裂缝为主,而在转折端裂缝开度较小^[4],延伸长度变小。例如,油藏的东北区域位于背斜下倾部位的转折部位,是 H_3 油藏中大裂缝发育的区域。

同时,裂缝密度与岩性也密切相关^[5-6]。裂缝密度从粉砂岩、细砂岩、中砂岩、含砾砂岩、泥岩到砾岩依次降低,但裂缝的规模正好相反。本区的物源来自北东和北西两个方向,而以北东方向的物源为主,因此油藏东北部的沉积物颗粒相对较粗一些,使得该区域的裂缝规模较大,但裂缝密度较小。

另外,由于 H_3 层的沉积相以三角洲前缘水下分流河道、分流河道间为主,并发育滨湖砂坪微相^[7],岩石相对较细,但油藏的北部区域的沉积相以河道沉积为主,岩层较厚,裂缝间距较大。 H_3 油藏中随着岩层层厚增大,裂缝的间距增大,而密度降低^[8]。

从大地构造演化和岩石力学性质分析,火烧山油藏属于单期成藏模式^[7],但受多期构造应力影响^[2,8],因此构造作用和岩性变化是影响裂缝发育和分布的重要因素。

1.4 火烧山油田 H_3 油藏裂缝分布特征

从图2中可以看出, H_3 油藏的裂缝在平面上具有比较明显的分区性。油藏的东北部区域是以大裂缝为主的裂缝发育区。该区域在构造上属于背斜的倾没端,在两条小断层的附近,是应力集中区域,裂缝比较发育。另外,由于 H_3 油藏的物源方向来自于北东方向和北西方向^[4],以北东方向为主,因此该区域的砂层比较厚,岩石的粒径比较

粗,地层容易形成大的裂缝。

油藏的西南部区域是以微细裂缝为主的裂缝发育区,该区域附近同样也存在两条小断层,但岩石粒径相对较细,因此虽然是裂缝较发育,但以中小裂缝为主。

油藏的东南部区域属于背斜的最高位置,该区域不属于河流的主体部分,因此砂层比较薄,从而该区的裂缝不够发育,以普通砂岩沉积为主,属于典型的低渗区域。

2 裂缝与基质渗流规律

由于“米”字形裂缝发育,地层内形成网状裂缝, H_3 油藏中流体渗流没有明显的方向性,影响渗流的主要因素是裂缝和基质中的流体交换。但实验表明,该油藏中岩石的自然渗吸驱油能力不强^[5],主要原因是油分子与岩石固体分子之间的吸附作用会在岩石固体表面上形成一定厚度的油膜;同时,火烧山油田中基质岩石中的渗流孔喉半径比较小,当孔道半径刚好等于或小于吸附层厚度时,会因吸附膜堵塞而失去流通通道作用,导致水分子较难克服岩心的末端效应渗入微细孔道中,或者即使能渗入微细孔道中,毛管压力梯度也不足以使具有反常的力学性质和很高的抗剪切能力的油膜产生流动。

通常,裂缝性砂岩油藏中一般存在4种主要的水驱油方式^[9-13],这4种方式在 H_3 油藏中均有存在。

2.1 裂缝渗流

在 H_3 油藏大裂缝发育的区域中,由于流体在裂缝中的渗流能力远远超过基质,裂缝成为实际唯一的水驱油通道。在这些区域中,裂缝本身驱油效率极低,大量的剩余油残留在孔隙介质中,由于液体的水锁作用,这些剩余油很难开发出来(图3a)。这种渗流现象在油藏的东北区域很常见,在经过了近20年的生产后,该区域的油井含水都相当高,但地层中还留有大量的剩余油储量。

2.2 裂缝-部分基质孔隙渗流

在裂缝较发育,且裂缝的渗透率较大于基质渗透率的情况下,油水主要在裂缝中渗流,当压力提

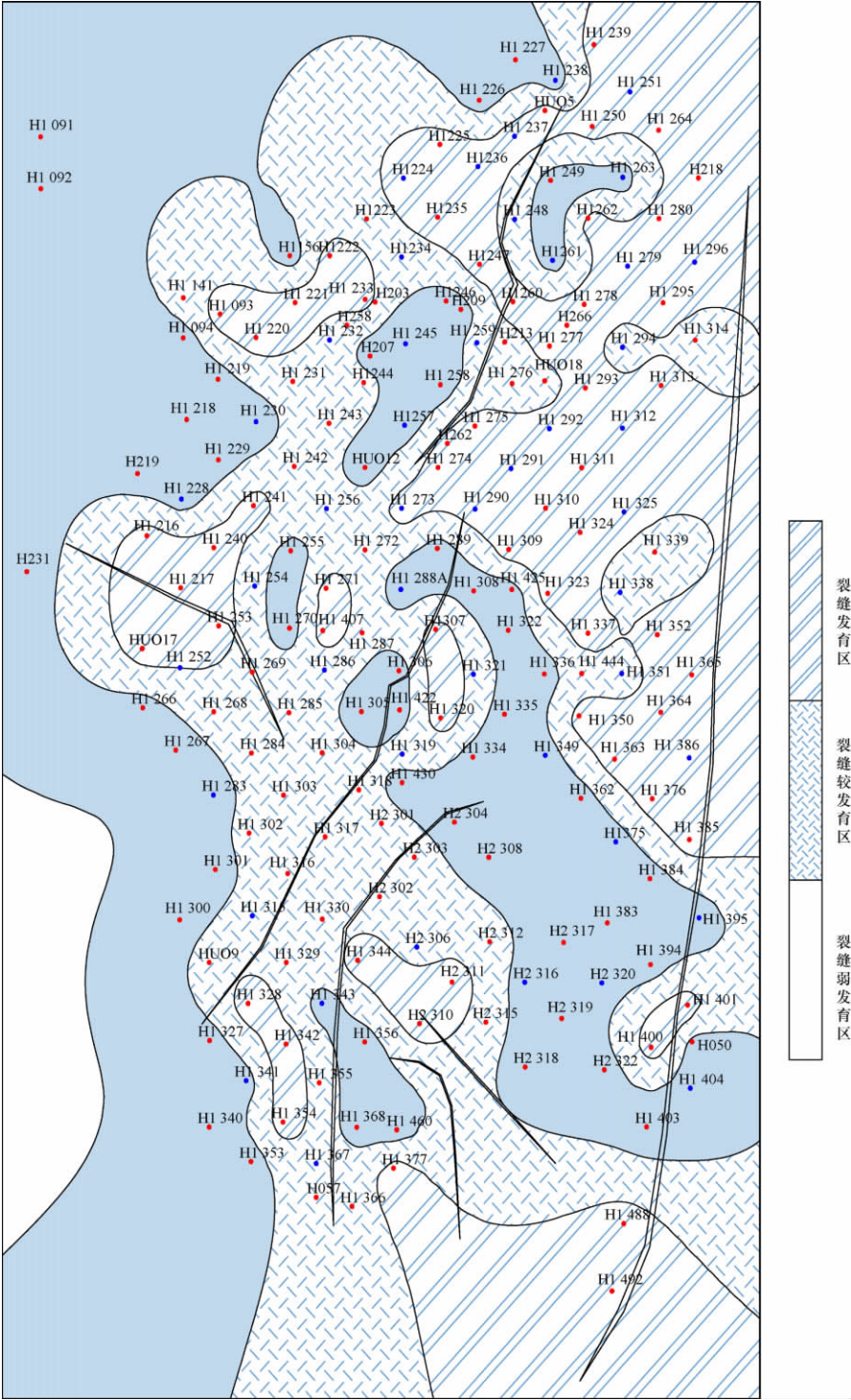


图 2 H₃ 油藏裂缝分区示意图

Fig. 2 Distribution of the fracture zones in H₃ oil reservoir

高时,注入水会沿垂直于裂缝走向的方向从裂缝两侧进入孔隙介质驱油,但波及面积不大(图 3b),此时基质孔隙中仍有大面积的残余油,裂缝中有少量的残余油滴。

2.3 双重介质渗流

主要发育微细裂缝,且缝与缝间的直接连通较少,基质的渗流作用较大,流体既能在裂缝中渗

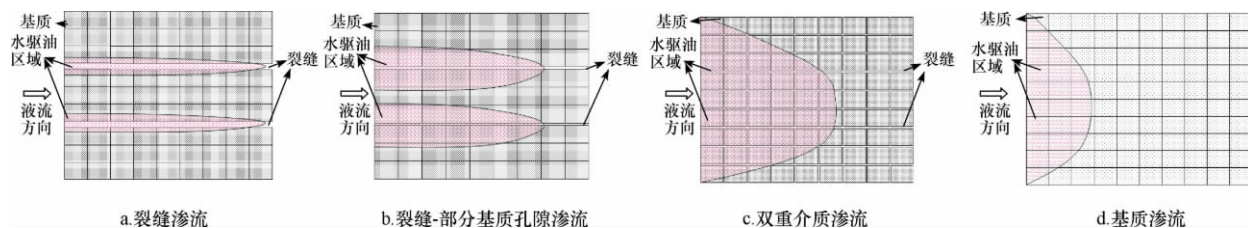


图3 裂缝与基质渗流模式示意图

Fig. 3 Sketch map showing water/oil displacement patterns between matrix and fracture

流,也能在基质中渗流(图3c)。此时,注入水同时进入孔隙介质及裂缝驱油。

最终驱油效率较高,大量的残余油滴仍是注入水绕流形成,但孔隙介质与裂缝中都有残余油滴。这种渗流形式在油藏的西南部很常见,油藏经过20多年的生产,区域内的油井含水都较低。由于油层较厚,微细裂缝发育,注水利用率较高,该区仍存有大量的剩余油。

2.4 基质渗流

和我国大多数的陆相砂岩油田一样,在 H_3 油藏中也存在裂缝不发育的区域,此时流体只能在基质中渗流(图3d),由于基质的渗透率比较低,导致油井的产能不足,区域会存留大量未驱替的剩余油^[14]。

3 剩余油分布

采用Petrel软件建立地质模型,用Eclipse软件进行数值模拟工作,对在 H_3 油藏生产过的近200口井进行历史拟合,得到了油藏的剩余油分布(图4),从图中我们可以看出剩余油的分布特点。

3.1 剩余油平面分布特征

影响剩余油分布的因素很多,取决于注入水的侵入速度、注采井网完善程度和储层微构造、沉积微相以及渗透率分布等,井网和注水状况决定了剩余油的分布范围,微构造、沉积微相以及渗透率等决定了剩余油的分布位置。而在 H_3 油藏,裂缝的分布是影响该区剩余油最重要的影响因素。

由于沉积相直接影响了裂缝的分布,如分流河道中裂缝相对比较发育,因此在平面上位于河道上、或距离河道比较近的区域剩余油较少,而远离河道的区域剩余油比较多。

虽然裂缝强发育的高渗透区块油井的含水都比较高,反映出严重的水淹程度,但实际基质中的剩余油饱和度比较高。相反,在以中小裂缝发育为主的区域,由于水驱前缘运动速度比较慢,油井见水相对比较晚,但油井见水之后,油水两相区中基质部分的剩余油饱和度相对较低。从剩余油丰度分布图中可以看出,在背斜的北部区域,由于靠近断层,且油层比较厚,主要发育大裂缝,导致在开发中后期还留存有大量的剩余油储量。

在油藏的东南部分,由于注采井网不完善,采油井多而注水井少,再加上该部分区域的主要发育的是微细裂缝,油井很少出现暴性水淹,因此剩余油饱和度较高,剩余油主要是未波及型剩余油。

3.2 剩余油纵向分布特征

从已有资料分析, H_3 油藏的纵向非均质性并不明显,因此没有发现明显的水淹层,且由于裂缝的贯通,纵向上各层之间存在不同程度的流体交换,也使得油井纵向上各层的剩余油饱和度比较接近,而剩余油丰度的区别则是由于有效厚度等不同而引起的^[15]。

3.3 裂缝类型和剩余油分布的关系

根据以上的分析,我们可以了解火烧山油田裂缝类型和剩余油分布的关系。首先,大裂缝区域,由于主要是裂缝渗流,基质和裂缝的流体交换不活跃,裂缝系统基本全部水淹,但基质系统存留大量剩余油。

在大裂缝发育区域中,存在一部分裂缝-部分基质孔隙渗流,例如,在H1258井区附近,由于基质和裂缝的流体交换比较顺畅,裂缝系统水淹的同时,基质系统的剩余油还比较丰富。

在微细裂缝发育区域中,主要是双重介质渗流,基质和裂缝的流体交换活跃,水驱效果较好,基质系统和裂缝系统的剩余油基本相同,都相对

区域在油藏中部的 H1292—H1336—H1308—H1339 井区, 剩余油储量丰度达到 $120 \times 10^4 \text{ t/km}^2$; 最后一个潜力区在油藏东南部的 H2306—H1383—H2308—H2318 井区, 剩余油储量丰度可达 $90 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。

从垂向上看, $H_3^{2(2)}$ 层剩余可采地质储量最多, 剩余油储量丰度最高, $H_3^{2(1)}$ 层剩余油储量次之, 然后是 H_3^3 层, 剩余油储量更低的层位依次为 $H_3^{1(3)}$ 层、 $H_3^{1(2)}$ 层和 $H_3^{1(1)}$ 层。

5 结论

1) 火烧山油田 H_3 油藏是复杂裂缝性油藏, 各种类型的裂缝均有发育, 其中以高角度缝为主。

2) 裂缝的发育程度和构造、沉积相以及岩石类型等密切相关, 导致平面上裂缝发育分区性明显, 基本可以分成 3 种类型的裂缝分布区域。

3) 影响油藏剩余油分布最重要的因素是裂缝分布, 其次是井网和注采关系。油藏的剩余油主要在 4 个小的区域中, 其中大裂缝发育的油藏东北部区域剩余油储量最多, 潜力最大, 但油井含水较高。

参 考 文 献

- [1] 吴承美, 王国先, 梁成刚, 等. 火烧山低渗透裂缝性油藏开采技术研究[J]. 新疆石油学院学报, 2004, 16(1): 56–58.
Wu Chengmei, Wang Guoxian, Qin Xusheng, et al. Study on production technology for low-permeability oil reservoir in Huoshaoshan oil-field[J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2004, 16(1): 56–58.
- [2] 单金榜. 火烧山地区含油气特征与油藏类型[J]. 新疆石油地质, 1986, 7(4): 17–24.
Shan Jinbang. The petroleum characteristics and reservoir type of oil reservoir in huoshaoshan oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1986, 7(4): 17–24.
- [3] 王国先, 翟兰新. 火烧山油田储层裂缝发育特征新认识[J]. 新疆石油地质, 1996, 17(2): 180–183.
Wang Guoxian, Zhai Lanxin. New idea on fracture characteristics of reservoir in Huoshaoshan oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1996, 17(2): 180–183.
- [4] 徐春华, 唐春荣, 李德同. 火烧山油田储层岩石力学特征与裂缝分布[J]. 新疆石油学院学报, 2000, 12(4): 10–14.
Xu Chunhua, Tang Chunrong, Li Detong. Huoshaoshan oilfield reservoir rock-mechanics property and the distribution of fracture[J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2000, 12(4): 10–14.
- [5] 孙玉善. 火烧山油藏储层成岩后生变化及含油特征[J]. 新疆石油地质, 1988, 3(1): 39–45.
Sun Yushan. Diagenetic and petroleum characteristics of the oil reservoir in Huoshaoshan oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1988, 3(1): 39–45.
- [6] 陈淦, 宋志理. 火烧山油田基质岩块渗吸特征[J]. 新疆石油地质, 1994, 15(3): 268–274.
Chen Gan, Song Zhili. Imbibitions characteristics of rock matrix in Huoshaoshan oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1994, 15(3): 268–274.
- [7] 吴冲龙, 林忠民, 毛小平, 等. “油气成藏模式”的概念、研究现状和发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2009, 12(6): 673–682.
Wu Chonglong, Lin Zhongmin, Mao Xiaoping, etc. Concept research status and trend of “Hydrocarbon Pooling Patterns”[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 12(6): 673–682.
- [8] 孙樯, 谢鸿森, 郭捷等. 构造应力与油气藏生成及分布[J]. 石油与天然气地质, 2006, 21(2): 100–103.
Sun Qiang, Xie Hongsen, Guo Jie, etc. Tectonic stress and oil-gas pool formation and distribution[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 21(2): 100–103.
- [9] Sarma P, Aziz K. New transfer functions for simulation of naturally fractured reservoirs with dual-porosity models[J]. SPEJ, 2006, 11(3): 328–340.
- [10] Matejka M C, Lianos E M, Civan F. Experimental determination of the matrix to fracture transfer function for oil recovery by water imbibitions[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2002, 33(4): 253–264.
- [11] Morrow N R, Mason G. Recovery of oil by spontaneous imbibitions[J]. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 2001, 6(4): 321–337.
- [12] Kazemi H. Numerical simulation of water-oil flow in naturally fractured reservoirs[J]. SPEJ, 1976: 317–326.
- [13] 刘肖军. 苏北盆地桥河口阜二段第三砂层组裂缝参数模拟计算[J]. 石油与天然气地质, 2010, 32(2): 250–254.
Liu Xiaojun. Simulation of fracture parameters in the 3rd sand unit of the Paleogene Fu-2 member in the Qiaohokou oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 32(2): 250–254.
- [14] 李胜利, 于兴河, 高兴军, 等. 剩余油分布研究新方法——灰色关联法[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 175–178.
Li Shengli, Yu Xinghe, Gao Xingjun, etc. New method for studying remaining oil distribution—grey association analysis[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 175–178.
- [15] 孙致学. 裂缝性油藏中高含水期开发技术研究——以火烧山油田 H_2 层为例. [D]. 四川成都: 成都理工大学, 2008.
Sun Zhixue. The study of development technology on naturally fractured reservoir in high watercut- H_2 formation of Huoshaoshan oilfield as example [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008.