

文章编号:0253-9985(2001)02-0158-03

哈南阿尔善油藏微裂缝特征及其对开发的影响

张莉¹, 杨亚娟¹, 岳乐平¹, 苗坤², 宋社民², 张满库²

(1. 西北大学地质系, 陕西西安 710069; 2. 华北油田二连公司, 内蒙锡林浩特 026017)

摘要: 哈南油田阿尔善储层发育构造微裂缝。经显微镜薄片观察, 微裂缝的开展区间为 $10 \sim 30 \mu\text{m}$, 延伸长度为 $1 \sim 3 \text{ mm}$, 面积密度为每平方米 0.025 mm 。微裂缝是大裂缝的前奏, 大裂缝发育区也是微裂缝发育区, 微裂缝发育受控于断裂构造, 与断裂及大裂缝同向, 以 NE 向为主。经模型观察, 双重孔隙介质模型的水驱油方式为裂缝-部分基质孔隙驱油。微裂缝对开发具有双重作用, 一方面微裂缝可以改善基质渗流能力, 另一方面微裂缝与大裂缝、断层形成断裂网络, 对注水产生不利影响。针对这一特点, 在微裂缝发育区域, 应采用周期性注水以期提高驱油效果。

关键词: 哈南油田; 阿尔善油藏; 储层微裂缝; 注水开发

第一作者简介: 张莉, 女, 27岁, 博士生, 石油地质

中图分类号: TE344

文献标识码: A

近年来, 低渗透油田裂缝研究日益受到国内外研究者的重视^[1-3]。哈南油田位于二连盆地马尼特坳陷阿南凹陷中部的阿尔善构造带。开发的主要目的层为白垩系阿尔善组, 油层埋深 $1\,150 \sim 1\,970 \text{ m}$ 。油田发育断层 24 条, 断层主要走向为 NNE 向。油层岩性横向变化大, 阿尔善组油层北部平均渗透率为 $154 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 南部为 $90 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均孔隙度为 16.4%。岩芯观察和薄片分析显示储集层存在大裂缝和微裂缝。哈南油田为低孔隙、低渗透、受岩性物性及断层、裂缝控制较明显的复杂油藏。哈南油田原油产量波动起伏较大, 产量递减快, 含水上升快, 目前, 已进入中高含水开发阶段。注水开发中裂缝的影响因素日渐明显, 为解决裂缝在注水开发的作用问题, 展开了哈南油田裂缝及微裂缝特征研究。本文主要讨论了阿尔善油藏微裂缝特征, 微裂缝对储层渗流的贡献及其对开发的影响。

1 基本特征

共观察阿尔善油藏微裂缝薄片 77 块, 其中定向薄片 25 块, 微裂缝开展区间主要集中在 $10 \sim 30 \mu\text{m}$, 延伸长度为 $1 \sim 3 \text{ mm}$ (图 1, 2)。密度为每平方米 0.025 mm 。主要类型为构造微裂缝。

观察发现, 65.7% 的微裂缝没有被矿物质充填,

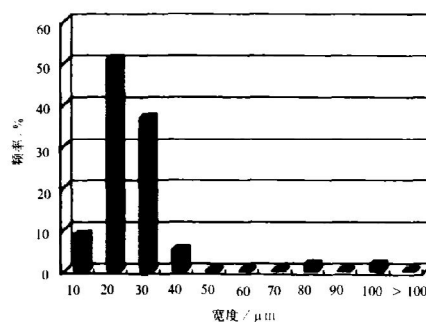


图1 阿尔善组微裂缝宽度频率分布图

Fig.1 Frequency histogram of micro-fracture width in Aershan Formation

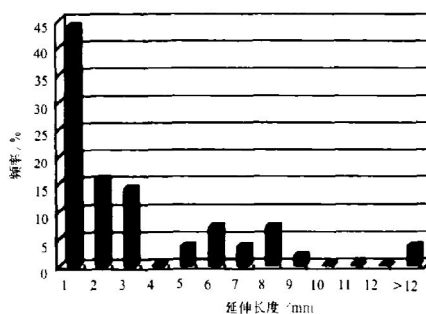


图2 阿尔善组微裂缝延伸长度频率分布图

Fig.2 Frequency histogram of micro-fracture length in Aershan Formation

可以作为油水运移通道, 微裂缝中含油迹。34.3%

收稿日期: 2000-11-25

的微裂缝被矿物充填,充填物质主要为钙质,也有部分泥质。微裂缝完全充填时有效程度低,不能作为油水运移通道,甚至成为油水渗流的阻挡。

不同岩性的微裂缝特征有所不同。粉砂岩中微裂缝延伸短,不连续,有时呈雁行状排列沟通,组成微裂缝带。泥岩中微裂缝多数短而尖,不连续出现,末端有时分叉成树枝状,也可彼此沟通成蛛网状,有时被钙质或泥质充填。而未被充填或部分充填的微裂缝中含有油迹,说明泥岩中的微裂缝可以作为油水运移通道。不同岩性的微裂缝面密度也有所不同,泥岩中裂缝面密度最发育,为每平方米0.033 mm,分析认为,哈南油田泥岩中一般粉砂含量较高,另外,钙质泥岩也占有一定的比例,与纯泥岩相比,钙质泥岩硬度、脆性要大得多,因此裂缝也较为发育。

哈南油田阿尔善组共取芯128.73 m,发现裂缝31条,裂缝频率为0.24条/m。裂缝纵向切深规模不大,集中在10~50 cm。裂缝倾角大于80°者占63%,反映出阿尔善组以高角度裂缝为主。阿尔善组裂缝主要方位为NE30°,这组裂缝与哈南油田阿尔善组内部断层的总体方向一致。此外还存在少量NW和EW向裂缝。哈南油田中,断层发育的北部断块裂缝密度为0.36条/m,东南断块断层不发育,其裂缝密度仅为0.117条/m。因此,裂

缝分布受断层的控制^[4]。

2 水驱油实验

利用岩芯制作的真实砂岩模型,在实验室内进行了双重介质的油水相互驱替实验。模型尺寸为2.5 cm×2.5 cm,厚度0.5 mm左右,模型承受压力为0.2 MPa,耐温能力为200℃,加压耐温能力为100℃左右。实验过程中,流体的渗流过程可以直接进行显微镜观察,并可进行拍照和录像。

2.1 实验过程

将模型抽真空,饱和地层水,然后用地层水测液体渗透率,再用原油驱水至残余水饱和度并统计原始含油饱和度,最后注入水驱油至残余油饱和度并统计驱油效率。显微镜下可明显观察到,模型裂缝发育,而基质孔隙较为致密。油驱水过程中,油首先沿裂缝突进,裂缝中充满油后,基质孔隙才开始饱和油,最终微裂缝原始含油饱和度较高,而基质含油饱和度较低。水驱油过程中,注入水首先沿裂缝向出口前进,且速度很快,水在裂缝中基本为活塞式推进,裂缝中的油驱得比较干净,而基质中注入水难以波及,水驱油波及面积不规则,驱油效率低。水驱油结束时,微裂缝的最终驱油效率可达到80%~90%,而基质孔隙中的驱油效率仅为20%~40%(表1)。

表1 阿尔善组微模型裂缝水驱油结果

Table 1 Results of micro-model waterflooding displacement in Aershan Formation

模型号	油驱水过程		水驱油过程	
	基质含油饱和度/%	微裂缝含油饱和度/%	基质驱油效率/%	微裂缝驱油效率/%
No. 38	40.1	95	31.2	90
No. 44	30	> 70	24	> 80
No. 4	36.9	> 70	42.5	> 80
No. 2-1	35	95	23.5	90

实验结果表明,哈南油田阿尔善组微裂缝原始含油饱和度为80%~95%,微裂缝最终驱油效率为75%~90%,这两项指标高出基质的1~2倍。

2.2 吸渗作用

裂缝性亲水低渗透油田注水开发中的吸渗驱油作用正引起人们越来越多的关注。吸渗是一种自然现象,通常把一种润湿相流体在多孔介质中只依靠毛管力作用驱动置换另一种非润湿相流体的过程称为吸渗作用。在实验中观察到,对于双重孔隙介质模型,由于孔隙介质孔喉较细,可以发生较为明显的吸渗作用。水驱油过程中,注入水首先沿着阻力较小的裂缝推进,水驱油停止后,

注入水在毛管力的作用下,通过自吸进入基质孔隙介质中,油、水重新分布,裂缝中的水和基质孔隙介质中的油产生交换,把基质中的油置换至裂缝中流动,再次加压水驱油时,裂缝中的油又被驱出,从而改善了此类模型的水驱效果。因此亲水性裂缝型低渗透油藏,采用间歇注水可以改善其注水开发效果。

3 对注水开发的影响

微裂缝型油藏在注水开发初期,不会表现出明显的裂缝特征,但是随着注水开发的不断进行,微裂缝会逐渐张开、扩大,与大裂缝和断层形成网络,

极大影响着油田的开发生产^[5-7]。微裂缝的存在对注水开发具有双重作用。

3.1 有利方面

阿尔善组微裂缝宽度变化范围是10~30 μm ,最大宽度为150 μm ,其相应的微裂缝孔隙度变化范围是0.0015%~0.053%,平均为0.011%,渗透率变化范围是 $0.027 \times 10^{-3} \sim 300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $32 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。微裂缝孔隙度很低,但提供的内蕴渗透率相对较高。相当多的薄片显示,在微裂缝发育的区域含油丰富,开启微裂缝大都充填原油,微裂缝附近的基质孔隙内含油较多,而远离微裂缝的区域为斑状含油或不含油。统计表明,微裂缝中的含油饱和度高达95%,大于基质含油饱和度1~3倍,微裂缝中存在可采储量。微观水驱油实验表明,沿微裂缝方向渗流速度大于垂直微裂缝方向渗流速度,表明沿微裂缝方向有补充渗透率,可以使微裂缝方向上注入水的推进速度加快。微裂缝最终驱油效率一般大于80%,而基质驱油效率为20%~30%。因此微裂缝具有较高的含油饱和度与驱油效率,而且微裂缝还可以沟通空隙间的联系,改善基质渗透性,提高油井产能。这是微裂缝对油藏开发影响的有利方面。

3.2 不利方面

注水后由于地下微裂缝的开启,使微裂缝、大裂缝和断层形成裂缝网络,构成断裂网络导水。哈南油田北部断块,断层附近裂缝发育区域,油井含水上升很快,因此曾做过示踪剂检测^[4]。7号断层附近的6-9井投放示踪剂15天后,与其相距400 m的断层另一侧的8-417井就检测到示踪剂,注水运移速度非常快,达到26.7 m/d。13-15井投入示踪剂后,其周围油井13-314,14-316,13-313井在2~8天内就检测到示踪剂,表明井间裂缝已完全开启,成为水运移通道。因此微裂缝、大裂缝和断层可以形成断裂网络,导致油井水淹,水驱效果差。裂缝渗流的影响使注入水不能形成有效的驱替前缘,裂缝侧向的油井注入水难以波及,造成了孔隙驱油效果差,形成剩余油区,导致最终采收率低。

3.3 相应对策

针对上述不利影响,应当采取一些相应措施。例如,哈南油田长期以来强采强注,裂缝系统早见效、早水淹,而基质水驱状况较弱,造成沿断层附近裂缝见效的油井比基质见效井含水高20%以上,

整体地层压力比原始地层压力高6~7 MPa甚至更高。因此下一步应控制断层附近微裂缝发育区域注水井的注水量,部分井少注或停注。由于阿尔善组微裂缝方向与大裂缝方向基本平行,即沿NNE向延伸,与主要断层方向一致。在断层、大裂缝附近,同方向的微裂缝也较发育。因此,为了防止裂缝水窜引起的油井暴性水淹,应当避免在断层附近将注水井、采油井布置在断裂延伸方向上,并且在断层附近,裂缝方向上应当控制注水,少注或停注。

在微观砂岩模型水驱油实验中观察到,注入水迅速进入微裂缝后,向孔隙扩散速度较慢,微裂缝内压力升高,继续加压注水,微裂缝内会形成水通道,使注入水无法向基质孔隙中扩散。此时若停止注水,由于微裂缝内的压力,微裂缝中的水会向周围孔隙中扩散,当压力平衡后,再次注水。如此反复,会使最终驱油效率提高。因此在微裂缝发育区域,周期性调整裂缝附近注水井注水,可以控制裂缝能量,发挥基质潜力。以北部断块为例,对13-15断层附近的13-15井,7号断层附近的11-19,12-217,11-13,11-15,12-20,12-314等注水井实施周期注水。一方面控制注水压力和注入水量,以避免微裂缝内压力过高扩张成为大裂缝形成水窜。另一方面,可以利用微裂缝内憋压驱动孔隙内原油,扩大注水波及体积,达到微裂缝、孔隙同时驱油的目的,从而大大提高油藏的注水开发效果。

南部断块为微裂缝不发育区,而且油层渗透率相对较低,因此,适当提高南部断块的注水压力,可以增加地层吸水能力,改善开发效果。

参考文献

- 1 曾联波. 雷家油田下第三系低渗透储层裂缝特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 167~169
- 2 张莉, 岳乐平. 鄯善油田储层裂缝特征及形成时期[J]. 西北大学学报, 1999, 29(2): 153~155
- 3 张莉, 岳乐平, 杨亚娟. 鄯善油田地应力、裂缝系统与油田开发[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 330~332
- 4 岳乐平, 张莉, 杨亚娟, 等. 断裂导水对哈南油田注采的影响及开发对策[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 48~51
- 5 周文. 裂缝性油气储集层评价方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998
- 6 李道品. 低渗透砂岩油藏开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 7 王平. 有天然裂缝的砂岩油藏的开发[J]. 石油勘探与开发, 1993, 14(4): 69~74

(下转第193页)

个值分别评价,以便给决策人员提供某种信息,有助于经济分析的勘探决策。

(4)本方法在川西、松辽、塔里木盆地进行勘探决策分析和经济评价时起到重要作用。

勘探与开发,1989,16(6):1~10

2 Lee P J, Wang P C C. A petroleum resources information management and evaluation system[J]. Oil and Gas Journal, 1984, 10(1):204~206

参 考 文 献

1 石广仁,李惠芬,王素明,等. 维盆地模拟系统 BASI[J]. 石油

SIMULATING METHOD OF PARETO TRUNCATED DISTRIBUTION: A New Approach to Predicting the Number, Size and Distribution of Gasfields

Zhang Jiliang

(Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi)

Abstract: Gas resources assessment methods could be divided into two kinds: genetic method and statistical simulation method. The assessment results of these two methods obtained from the same geologic unit may differ differently, and usually the result of the genetic method is greater than that of the later. But combine these two methods together, use Pareto truncated distribution as numerical model, use iterative algorithm to obtain uniform results, the size, the number and the distribution of the gas fields and also gas resources enrichment which in a very important parameter for regional estimation analysis.

Key Words: resource assessment; Pareto truncated distribution; resource; enrichment degree; resource extene; gasfield size; gasfield number

(上接第160页)

CHARACTERISTICS OF MICRO-FRACTURES AND THEIR INFLUENCE ON WATERFLOODING IN AERSHAN RESERVOIR, HANAN OILFIELD

Zhang Li¹ Yang Yajuan¹ Yue Leping¹ Miao Kun² Song Shemin² Zhang Manku²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi; 2. Erlan Company of Huabei Oilfields, Xilinhote, Nei Monggol)

Abstract: Structural fractures developed well in Aershan reservoir, Hanan Oilfield. The width of the micro-fractures is 10~30 μm , the length is 1~3 mm and surface density is 0.025 mm^2 . The micro-fracture porosity and permeability have been calculated, and the distribution is analyzed. Micro-fractures are preface of macro-fractures and the macro-fracture developed areas are also micro-fracture developed areas. A sandstone micro-model experiment has been done to investigate the process of displacement between fractures and matrix. Based on the above studies, micro-fractures play two different roles on waterflooding. On one hand, they may improve the permeability of the reservoirs; on the other hand, they together with macro-fractures and faults may form network, which have bad effect on waterflooding. According to the characteristics of micro-fractures in Aershan reservoir, some suggestions such as periodic injection are put forward to improve the effect of waterflooding in fracture-developed areas.

Key words: Hanan Oilfield; Aershan reservoir; reservoir micro-fractures; waterflooding