

文章编号: 0253-9985(2001)01-0048-04

断裂导水对哈南油田注采的影响及开发对策

岳乐平¹, 张莉¹, 杨亚娟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: 通过哈南油田岩芯裂缝古地磁定向, 确定了裂缝发育方向。鉴定了 121 块微裂缝薄片, 分析了微裂缝与大裂缝关系。作了一个井组的示踪剂实验, 检测裂缝与断层导水形式。在此基础上, 分析了前人的地震、钻井断层解释, 以及动态资料, 认为哈南油田阿尔善油藏断裂系统是 NE 向断层(包括裂缝)与 NW 向裂缝组成的一组共轭断裂系统。发现断裂系统导水严重, 断裂发育区水进速度约为 40~100 m/d。断层面导水、断层对接导水致使注采层系混乱, 形成上层注下层采或下层注上层采的非同层注采局面。同时部分油井憋压过高, 部分油井暴性水淹。针对油田断裂系统特征, 提出了应对措施: 导水断层附近注水井井距加大; 在断层面充水情况下, 断层附近注水井适当减少注入量或采用脉冲式注水; 针对层系之间串水现象, 调整开发层系。

关键词: 断裂系统; 断裂导水; 哈南油田; 油田开发

第一作者简介: 岳乐平, 男, 50 岁, 副教授(博士), 油田开发地质

中图分类号: P618.130.2

文献标识码: A

目前我国低渗透油气储集层的地质储量在全部探明储量中的比例日益增加^[1], 在开发过程中低渗透储层裂缝的存在严重影响着开发效果, 因此低渗透储层裂缝研究日益受到国内外学者关注^[2~6]。

哈南油田位于二连盆地马尼特坳陷阿南凹陷中的阿尔善构造带。阿尔善组油藏是油田主力油藏, 埋深 1 150~1 970 m。油藏平均孔隙度为 16.4%, 渗透率北部为 $154 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 南部为 $90 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。构造断裂十分复杂。

阿尔善组油藏分为 5 个层系, 由上至下分别为: AI 上段油层, AI 中段油层, AI 下段油层, A II 上段油层, A II 下段油层。开发初期主要生产 AI 下段, A II 段。开发初期由于储层物性差, 井距偏大, 注水见效差, 注水井憋压, 因此采用高压注水。1994 年动用 AI 上, AI 中时, 发现并未注水的该层系地层压力分别高出原始地层压力 7.08 MPa 和 7.43 MPa。其后打的大部分井的 AI 上, AI 中层段, 在未注水的情况下, 都见到注入水。说明流体已经以某种方式窜流于各层系之间, 扰乱了正常的细分层系开发, 降低了水驱油效率。这种情况如果持续发展, 将造成含水上升, 产油下降, 采收率降低, 最终破坏油田的有序开发。初步判断造成上述现象的原因是断层导水。

1 断层、裂缝系统

1.1 断层

阿尔善组油藏断层发育, 以 NE 向断层为主将油藏切割成长条形断块(图 1)。受上覆地层腾格

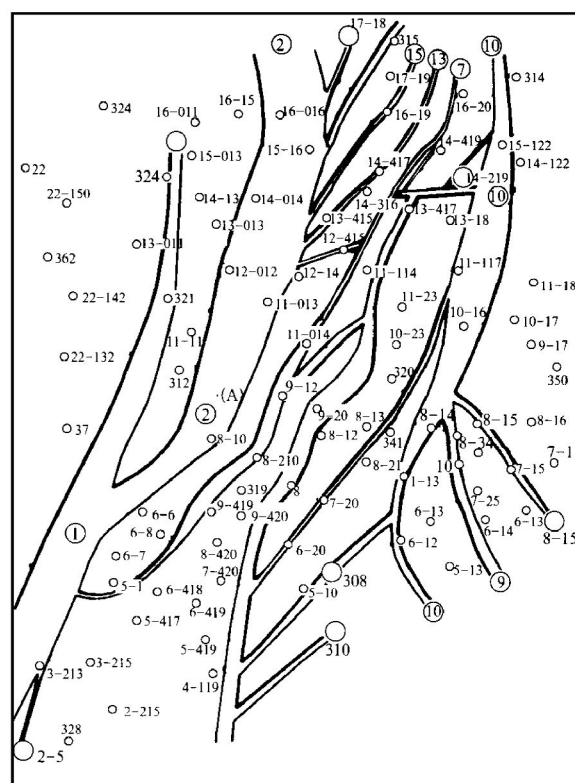


图1 哈南油田阿尔善油藏断层分布图

Fig. 1 Fault distribution of Aershan reservoir, Hanan Oilfield

尔组顺层滑动摩擦作用的影响, 断层大多具有一定程度开启。

根据断层对油藏的作用, 可将其分为4类。

第一类断层有3条, 即油藏西侧的1号、2号断层和东侧的10号断层。它们北段走向 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 或近NS向, 南段转为 $NE20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。1号、2号断层西倾, 断距最大在300~400 m以上; 10号断层东倾, 断距大者可达160~180 m, 南北端断距减小, 北端314井50~60 m, 南端5~12井约90 m。

第二类断层共4条, 是贯穿油藏南北的分块断层, 即7号和8号断层, 南北延伸长近4.0 km, 规模之大仅次于第一类断层; 南部的9号断层和8~15断层, 虽然断距较大, 约100~150 m, 但规模小, 延伸短仅0.6~1.0 km左右, 而且是NW走向。

第三类断层是小断层, 共有9条。

第四类断层是一条老断层, 即位于油藏北部的13~217断层。

1.2 裂缝

观察了10口井岩芯, 阿尔善组取芯长度共128.73 m, 发现裂缝31条, 裂缝频率0.24条/m, 裂缝较发育。裂缝切深(在岩芯上可见到的裂缝长度)多为10~50 cm, 部分岩芯上的裂缝切深长达150 cm。裂缝倾角主要为垂直缝或高角度缝。大部分裂缝呈开启状态, 见油、水运移痕迹。部分裂缝被碳酸钙充填。

裂缝方向是裂缝研究最关心的问题之一。钻井岩芯裂缝古地磁定向已经成为岩芯裂缝定向的主要方法^[7]。用古地磁定向方法测定了哈南油田10口取芯井中含有裂缝的岩芯56块, 其中阿尔善组标本21块(图2)。

图2-a是哈5井阿尔善组裂缝方位图。阿尔善组裂缝以 $NE20^{\circ}$ 为主, 显示出NE向裂缝特征。此外, 少数裂缝为近EW向。图2-b是哈1井阿尔善组裂缝方位图。哈1井阿尔善组裂缝以 $NE30^{\circ}$ 为主, 显示出NE向裂缝特征, 裂缝方向与10号断层方位大体一致。此外, 少数裂缝为 $NW30^{\circ}$, 与NE方向裂缝构成一对共轭裂缝体系。图2-c是哈24井阿尔善组裂缝方位图。阿尔善组显示出裂缝方向为 $NE40^{\circ}$ 与 $NW30^{\circ}$, 为一对共轭裂缝。图2-d是哈南油田阿尔善组裂缝方位图。阿尔善组显示出 $NE30^{\circ}$ 方向裂缝特征, 这组裂缝与哈南油田阿尔善组内部断层的总体方向一致。与NE方向裂缝共轭的NW方向裂缝虽然不及NE方向裂缝

发育, 但在一些井的许多岩芯中被发现。此外, EW向裂缝的存在也不容忽视。

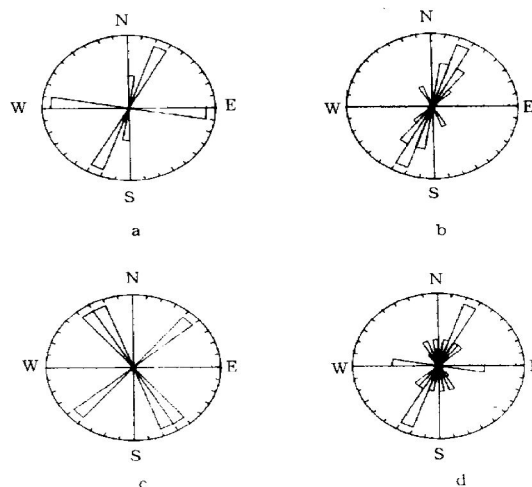


图2 哈南油田阿尔善油藏裂缝方向

Fig. 2 Direction of fractures in Aershan reservoir, Hanan Oilfield

1.3 断层与裂缝的关系

断裂是地层裂缝的宏观表现, 断裂和裂缝两者相互伴生、相互促进。因此, 从本质上说, 裂缝与断层是一样的, 他们都是岩石在构造力作用下达到破裂条件的永久变形, 只不过是构造破裂的发育程度不同而已^[8]。在应力差作用下, 岩石会发生显微变形, 出现微裂缝, 这是产生剪切破裂面的前兆裂缝, 亦即微裂缝。随着构造力的增加, 当达到岩石破裂强度时, 微裂缝将扩展到宽度较大、延伸较长的规模, 形成显裂缝。构造力进一步增加时, 显裂缝发展成为断层。因此, 裂缝和断层是破裂的不同形式, 按照发育阶段它们形成一个系列, 依次为: 微裂缝、显裂缝和断层, 它们在成因上是共通的, 只不过形成的构造应力数值有差别而已。

哈南油田岩芯定向薄片观察表明, 阿尔善组的微裂缝, 主要发育在大裂缝两侧, 其方向基本平行于大裂缝方向。统计表明, 岩芯上有大裂缝的薄片数为66块, 其中见微缝薄片数为26块, 见缝率为39.4%。而岩芯上见不到大裂缝的薄片数为54块, 其中见微缝薄片数为6块, 见缝率为11.1%。因此, 距离大裂缝较近的区域, 微裂缝也较为发育。这些微裂缝是形成显裂缝的先兆。阿尔善组岩芯古地磁方位统计表明, 大裂缝方向主要为NE向, 此外, 还有一组与其共轭的NW向裂缝, 但不发育。哈南油田发育多条NE向拉张正断层, 这组断层显然是由NE向裂缝在构造力的进一步增加过程中

的通道。

(2) 局部开启的裂缝: 有的裂缝在原始情况下, 就是局部开启的, 主要为半充填的裂缝在水的长期作用下, 充填物质被溶蚀带走, 使闭合裂缝局部开启成为开启裂缝。

(3) 在高压下才开启的裂缝: 即在一定的注水压差下, 裂缝由闭合变为开启, 成为流体流动的通道。

(4) 闭合的: 包括在地应力作用下闭合的断裂和被岩脉或断层泥等物质充填的断裂。这种裂缝虽然存在, 但不能给流体的流动提供通道。

在注水开发中, (1), (2), (3) 种裂缝或断层会对开发产生影响。哈南油田是一个断层发育, 构造复杂破碎的油田。全区断层较为发育, 以 NE 向断层为主将油田切割成长条断块, 由于受腾格尔组顺底滑动摩擦作用, 断层大多是具有一定程度开启性的拉张正断层。岩芯观察和薄片统计也表明, 微裂缝和大裂缝大多具有一定的开启性或局部开启性。开启断层或裂缝在油田注水开发中的影响主要表现为 3 个方面: 一是顺断层、裂缝串水, 导致油井过早水淹; 二是断层、裂缝串水, 断面、裂面经水润滑而滑动, 引起套管变形, 错断; 三是水从断层一侧串到另一侧, 或不同层系串水, 打乱原开发层系划分与组合。

哈南油田基质渗透率较低, 经压裂才可进行生产。根据现今应力场分布特征, 哈南油田最大水平应力方向为 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 水力压裂将会产生 NEE 方向人工裂缝。人工裂缝形成后, 也同天然裂缝一样对注水开发产生影响。因此, 在油田注水开发、部署井网时, 应考虑断层、天然裂缝和人工缝的共同影响。既要尽量避免油井发生水窜。又应使注水井能充分发挥注水能力。

哈南油田断层和裂缝较为发育, 井网部署时应注意以下几点:

(1) 哈南油田断裂是一组 NE, NW 向共轭的断裂系统, 其中 NE 向最发育, 在多数区域发育为规模不同的断层, 而另一组 NW 向断裂在地下发育为裂缝。断层附近发育与其斜交的裂缝, 并与其构成断裂网络。哈南油田是断层、裂缝共同导水, 断层附近注水井的注水是通过与断层共轭的裂缝进入断层的, 在目前断层面充水的状况下, 断层附近注

水井应当少注、停注, 或改为油井。待这一区域油井含水下降, 压力下降后再作调整。

(2) 在靠近断层或在断层附近, 天然裂缝较为发育, 加之断层为开启性质, 如果将注、采井都布置在断层方向上, 注水井和采油井之间必然会形成水短路, 造成油井的暴性水淹。因此应避免沿断层和天然裂缝的方向部署注水井和采油井, 以防止油水井发生水窜。建议顺导水断层大井距布置注水井, 垂直断层缩小井距布置油井。

(3) 在远离断层的区域, 由于天然裂缝不发育, 应重点考虑现今最大水平主应力对注水开发的影响, 井网部署时, 应避免将注采井布置在人工裂缝方向上。

(4) 阿尔善油藏属孔隙裂缝性油藏, 过高的水压, 过量的注水, 会造成裂缝内压力过高形成水窜, 裂缝形成水通道后孔隙压力随之降低, 介质空隙剩余油增加, 从而达不到孔隙驱油效果。适当的减少注水量, 或间歇脉冲注水, 一来节约注水, 二来利用裂缝内憋压驱动孔隙内原油, 达到裂缝、孔隙同时驱油的目的。

(5) 针对不同层系之间串水现象, 调整开发层系。在无法控制层间串水的情况下, 将多个串水层系作为一个层系处理。例如, 当某个井组 AI 下层系注水而 AI 中层系见水的情况下, 可将 AI 下、AI 中视为同层系, AI 中层系不必重复注水。

参 考 文 献

- 1 李道品. 低渗透砂岩油藏开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~ 10
- 2 纳尔逊 H A. 天然裂缝性储层的地质分析[M]. 柳广第, 朱筱敏, 译. 北京: 石油工业出版社, 1985. 142~ 157
- 3 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
- 4 岳乐平, 张莉, 吴诗平. 鄯善油田裂缝特征及构造应力[J]. 地质力学学报, 1999, 5(2): 59~ 64
- 5 Laubach S E. A method to detect natural fractures strike in sandstones [J]. AAPG Bull, 1997, 81(4): 604~ 623
- 6 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
- 7 岳乐平, 邸世祥, 李道品, 等. 油气田钻井岩芯裂缝方位确定的古地磁原理与方法[J]. 地球物理学进展, 1997, 12(3): 71~ 76
- 8 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. 275~ 280

DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF SAND-CONGLOMERATE BODIES IN FAULT-DEPRESSED BASINS: TAKE EOGENE SHA-3 MEMBER IN CHENGNAN FAULT BELT AS AN EXAMPLE

Wu Hengzhi

(*Exploration Project Department, Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong*)

Abstract: Seven sedimentary cycles could be distinguished in Tertiary Sha-3 member of Chengnan fault belt in Zhanhua Sag which recorded the changes of paleo-water levels. It is constant that the changes of water level caused by tectonic subsidence are bigger than that caused by climate. This suggests that: if faulting cycle and climate variation cycle synchronize perfectly, they are both helpful for the development of sand-conglomerate; if they do not synchronize, the development of sand-conglomerate is mainly controlled by faulting.

Key words: fault-depressed basin; sand-conglomerate body; genetic model; sedimentary cycle; climate cycle; faulting

(上接第 51 页)

EFFECTS OF WATER CONDUCTION OF FAULTS ON WATERFLOODING AND DEVELOPMENT COUNTERMEASURES IN HANAN OILFIELD

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

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

Abstract: The directions of fractures in Hanan Oilfield are determined by paleomagnetic method. 121 micro-fracture slices are identified to analyze the relationship between micro- and macro-fractures. The tracer experiment of a well group is done to detect the water transmission fractures and faults. Based on the data of seism, drilling interpretation in faults and the performance data, a conclusion is drawn that in the fault system of Aershan Reservoir, NE strike faults and NW strike fractures are conjugated. The transmissibility of the fault system is so serious that the inflow rate in fault-developed areas is 40-100 m/d. The effects of transmissibility resulted in the confusion of the injection-production layers, thus forming injection-production in different layers. On the same time, some production wells are of high pressure and flooded. According to the characteristics of the fault system, corresponding countermeasure is put forward.

Key Words: fault system; fault transmissibility; Hanan Oilfield; development