

哈得逊油田奥陶系碳酸盐岩油藏模式探讨

陈新¹, 路鹏程², 彭传平², 郑伟², 闫顺来²

(1. 西安石油大学石油工程学院, 陕西西安 710000; 2. 中国石油集团东方地球物理公司勘探有限责任公司)

摘要: 哈得逊油田碳酸盐岩缝洞型油藏地质特征复杂, 储集体复杂多样。在油田开发前期, 由于钻井密度和井间压力等资料缺少, 对油藏的认识有一定的制约, 需要尽早判定油藏的类型, 为制定开发对策做提前准备。通过静态地震资料、测井资料和动态生产特征、能量驱动类型、压力恢复曲线等资料研究, 得出研究区主要有定容型油藏和多缝洞连通性油藏两种类型, 并分别分析了两种油藏类型的地震反射特征、生产特点。两种类型油藏差异明显, 应采用不同的开发策略。

关键词: 哈得逊油田奥陶系; 碳酸盐岩; 连通性; 油藏类型

中图分类号: TE344

文献标志码: A

1 概况

哈得逊油田哈得 23 井区油藏是英买力-塔河-轮南奥陶系风化壳型油藏的一部分, 为一整体层状含油的大型古老油气系统, 具有大面积、准层状整体含油气的特征。该油田奥陶系油藏发现于 2009 年, 埋藏深度 6 150~6 650 m, 累积探明储量 $2\,268.61 \times 10^4$ t, 探明面积 294.24 km^2 , 共有钻井 32 口, 产油量 960 t/d, 建成产能 12.5×10^4 t, 累积产油量 148.4×10^4 t。井区油藏主要有井间产能差异大、油水分布复杂、地层压力和压降差异明显、井间干扰和井间连通性差异明显等几个特征。

不同于孔隙型常规碎屑岩与碳酸盐岩油气藏, 奥陶系碳酸盐岩不同特征的油气藏表现出明显的复杂性, 油气水分布复杂、产量变化大^[1-4]。生产井往往也极其复杂, 地层压力递减快、生产不稳定、开发方式选择难度大等因素制约着油田的高效开发生产。因此, 明确研究区碳酸盐岩油藏类型, 对油田下一步井位选择、开发技术的完善、提高采收率方面有很好的指导作用^[5-6]。

一般来说, 成熟开发区块可依据示踪剂追踪法、地层压力变化分析法、类干扰试井分析法等手段来研究判断油藏的连通性并进一步划分缝洞单元、指导油田开发。然而, 哈得 23 井区油藏由于建产时间短, 钻井密度小, 压力资料缺乏, 制约了油藏类型的研究和开发方案的制定。本文依据现有钻井的油气生产特征, 结合试井、地震等静态资料, 综合分

析判断风化壳型碳酸盐岩油藏的连通能力, 总结归纳定容型和多缝洞连通型两类油藏的静、动态特征, 指导油田下一步合理开发建产。

2 定容型油藏

碳酸盐岩定容型油藏是指以大型洞穴为主的储集空间因长期深埋与成岩作用, 大多洞穴间的通道发生垮塌充填、或被胶结物充填, 连通性差, 从而形成相对独立的封闭油气藏。

下面以研究区典型井哈得 well1 井为例, 从四个方面分析该类油藏模式特征。

2.1 地震反射特征

“串珠”状反射是缝洞体中裂缝和溶洞的综合响应^[7]。对具有一定规模的大型缝洞系统, 其在高精度三维地震数据体上往往形成强能量的“串珠”状反射, 很容易在地震剖面和平面上识别。well1 在地震剖面上表现为强能量串珠状反射(图 1a), 表明该井点处有大的缝洞体储层发育, 但是其内部各个储集单元是否联通, 单从地震剖面无法识别其连通性。从标定来看, 储层响应特征为两峰夹一谷的地震反射, 井点处串珠在纵向上延伸不长, 前人正演结论表明该井储层向下延伸距离小; 从 well1 井空

收稿日期: 2017-07-18

作者简介: 陈新, 工程师, 1982 年生, 2004 年毕业于西南石油大学勘查技术与工程专业, 现主要从事油气田开发研究工作。

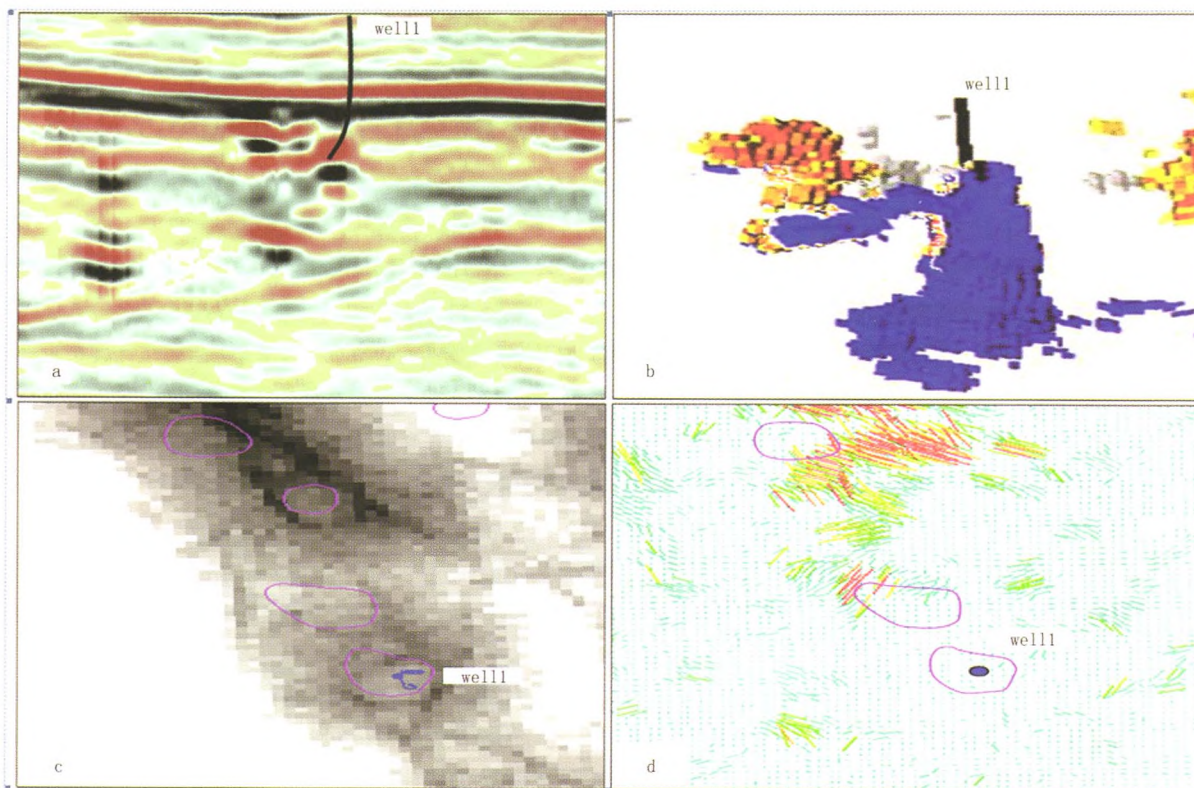


图1 well1井地震信息图版

间雕刻来看(图1b),蓝色部分为井点所在串珠型储层的空间轮廓,容积为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3$,红、黄色部位表示旁边另一个串珠型储层,容积为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

地震原始数据剖面及空间雕刻无法判断两个串珠型储集体的连通性,而裂缝预测能大体反映多个缝洞体连通性的问题。在这里要说明一下,地震中所能预测的“裂缝”至少是一个宽25 m(2个CDP点)、长250 m(缝宽的10倍)范围内的地质体的综合响应,而不可能识别和分辨真正地质尺度的裂缝。一般认为利用地震资料所预测出的“裂缝”实际是微断裂或是裂缝破碎带。图1c为地震叠后裂缝预测图,图中黑色表示裂缝发育或者裂缝密度大,白色表示裂缝不发育,粉色圆圈为地震串珠轮廓在平面上的投影,即表示两个串珠在平面上的位置。由此可见在well1井周缘裂缝发育程度不高,裂缝发育带与串珠发育的方向不一致,无法沟通另一个储集体。图1d为叠前裂缝预测平面图与串珠平面位置的叠合,叠前裂缝预测可靠性较叠后要高,根据研究需要,先将数据体划分为六个方位,然后通过椭圆拟合得出裂缝发育的方向和密度。图中线条的方向代表裂缝发育的方向,红、黄色表示裂缝发育,白色表示裂缝不发育,粉色圆圈表示串珠的平面轮廓。由此可见,井点处裂缝不发育,无法沟通附近的储集体。

2.2 试井特征

从该井压力恢复曲线来看(图2),初期压力恢复速率较快,下凹不明显,关井末期压力仍在缓慢恢复,反映储层渗流能力差。由此可判断该井在试井期间没有沟通其它储集体,从一定程度上也反映了该大型缝洞体周缘渗透能力差。

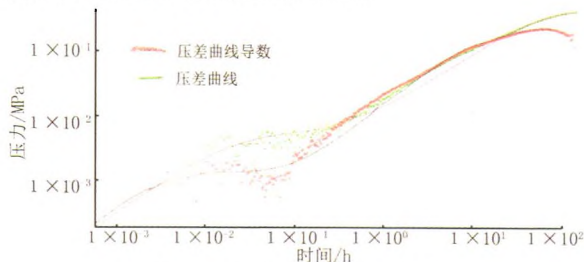


图2 well1井双对数诊断

2.3 生产特征

well1是该区的勘探突破井,2009年投产,初期日产油109 t,不含水。投产后产量、压力快速下降,后经7轮注水替油,至2009年含水100%后关井,累计产油7659 t,累计产水586 t,累计产气 $145 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2.4 能量驱动类型

产油量与油压降关系(图3)显示,well1井在自喷生产过程中,产油量与油压降呈正比关系,单位压降产液量为149 t/MPa,属于中等偏弱能量井,

说明油藏的驱替能量主要是油藏自身的弹性能量, 且无其它能量补充, 具有定容特征。

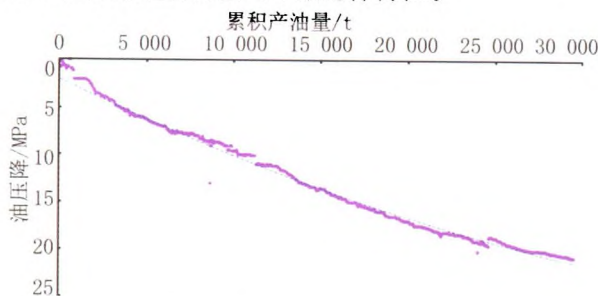


图3 well11井产油量与油压降关系

通过以上几点分析, well11井都表现为定容型油藏的油藏特征。目前该类型油藏钻井在研究区占到13%。

3 多缝洞连通型油藏

多缝洞连通型油藏是指在风化壳缝洞储层发育过程中, 受河道、裂缝与断裂系统的沟通作用而得以保存的多缝洞系统。或是在一定历史时期、一定的压差下, 邻近的相互独立的缝洞体通过孔隙连通, 形成统一的缝洞型油气藏^[4]。

缝洞型油气藏具有连通性多样的多套缝洞系统, 同一缝洞体中具有相同的流体性质、统一的油气水界面, 而不同缝洞体中则可能有差异。油气产出过程中出现新的缝洞体的油气供给, 油气产出不稳定, 出水类型多样, 出现油气产量忽高忽低、忽油忽水等复杂现象。此油藏类型的钻井在哈得逊油田分布较多, 具有以下几点特征。

3.1 地震反射特征

Well2 在地震剖面上表现为局部构造背景下的大型串珠状反射特征, 储层横向发育规模较大, 空间雕刻其容积为 $32 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。地震叠后裂缝预测显示, well2井周边裂缝发育程度高, 裂缝发育带与串珠发育方向基本一致, 能起到储集体沟通的作用。对叠前裂缝预测与串珠平面轮廓叠合图分析认为, 裂缝发育带与串珠发育方向一致, 裂缝沟通了附近其它的串珠型储集体。

Well3 在地震剖面上同样表现为大型串珠状反射特征, 纵向发育深, 横向延展范围大, 规模较大, 空间雕刻容积为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。钻井显示该储集体下部出水, 底水能量充足。叠后裂缝预测与叠前裂缝预测结果较为一致, 均显示 well3井周缘裂缝发育程度较高, 裂缝发育带与串珠发育方向一致, 为南北向展布发育, 各个储集体得以沟通。但是, 单从裂缝

预测无法定性判定储集体的连通性, 吻合率不高, 还应结合其它的方法综合分析。

3.2 试井特征

从 well2 井压力恢复曲线可以看出 (图4), 至少有两个大的储集体连通, 开口大, 储集性能较好, 压力恢复曲线反映地层能量充足、储层渗流能力较好; 内区有效渗透率小于外区有效渗透率, 储层表现为内差外好的复合特征, 有多个下凹的特点, 为典型的多缝洞连通特征。Well3 井, 没有试井资料。

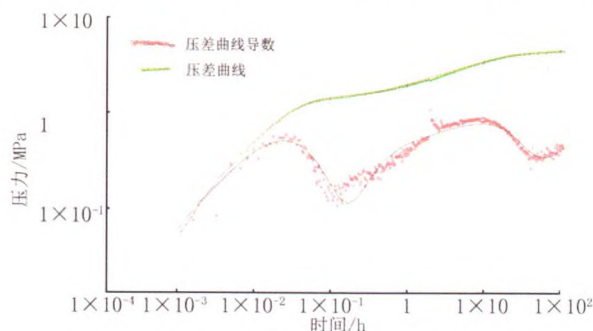


图4 well12井双对数诊断

3.3 生产特征

Well2 于 2013 年采用 4 mm 油嘴投产, 初期油压 27 MPa, 日产油 86 t, 不含水; 期间因产能测试, 由 5 mm 扩至 6 mm 油嘴生产, 油压下降加快, 并迅速见水。缩嘴至 4 mm 后含水下降, 逐渐低至 2% 以下, 表明该井有一定底水能量。目前 4 mm 油嘴生产情况比较稳定, 油压 5.1 MPa, 日产油 26 t, 不含水, 累计产油超过 $1.6 \times 10^4 \text{ t}$ 。

well3 井初期用 3 mm 油嘴投产 (图5), 油压 23 MPa, 日产油 61 t, 不含水。目前油压 7.1 MPa, 日产油 50 t, 不含水, 累计产油超过 $2 \times 10^4 \text{ t}$ 。

3.4 能量驱动类型

图5中 well2、well3 井的产油量与油压降关系较为相似, 均体现为多段斜率不同的区间: 第一阶段代表井点所在储集体自生弹性驱动生产段; well2 井的第二段和第三段的斜率变化差异则表明有其它储集体作用于产油能量补充, 即井点处储集体和周围储集体连通, 共同生产。Well3 井第二段认为是弹性驱动与水体驱动共同作用的特征。

well2 井和 well3 井均表现为多缝洞连通型特征的油藏, 研究区此油藏特征的钻井占到 87%。

4 结论

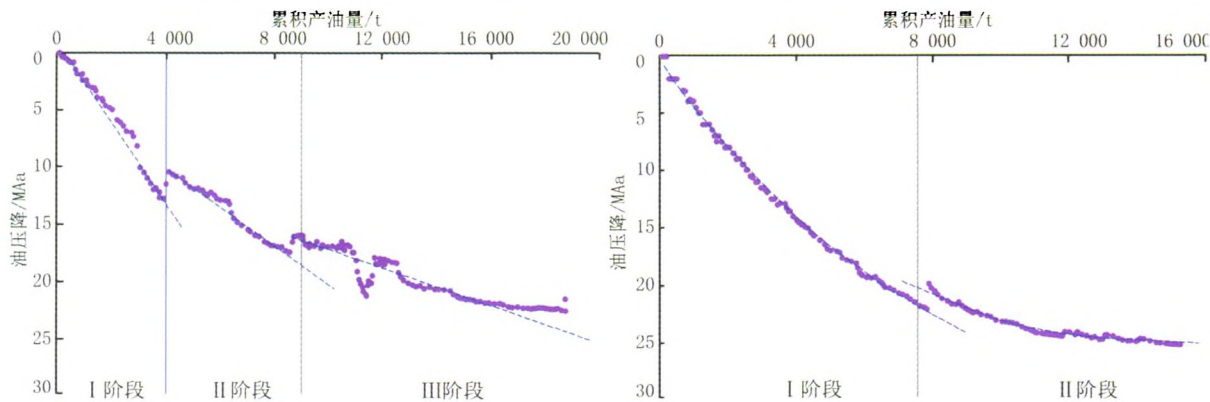


图5 well112井(左)、well113(右)井产油量与油压降关系

(1) 两类油藏均表现为“串珠状”强反射地震响应特征, 裂缝预测手段能大致反映缝洞储层的连通性, 但定性描述较为困难。

(2) 压力恢复曲线能够较好地分辨这两类油藏。定容型油藏为水平径流段短、阶段 III 导数曲线段上翘的特征; 多缝洞连通型油藏试井特征导数曲线开口大, 缝洞体连通性好。

(3) 两种类型的油藏在采油曲线上差异明显。定容型油藏在地层压力持续下降后, 通过注水增压能有效提高油气产量; 多缝洞连通型油藏在开采初期油压和产油量有一定下降, 至后期则趋于平稳。

(4) 定容型油藏在自喷阶段是单一的弹性驱动, 无其它储集体参与供液; 多缝洞连通型油藏在初期为储集体自生弹性驱动阶段, 后期有其它储集体参与能量补充, 驱动类型多样。

(5) 两种类型油藏的开发策略有所不同。定容型油藏开发早期利用天然能量, 衰竭后则利用重力分异和物质平衡原理进行注水替油开采; 而对多缝洞连通型油藏的开发需在后期建立更为灵活的注采井网进行注水开发。

参考文献

- [1] 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四: 塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 31-38.
- [2] 周新源, 王招明, 杨海军, 等. 中国海相油气田勘探实例之五: 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 45-51.
- [3] 翟晓先, 云露. 塔里木盆地塔河大型油气田地质特征

及勘探思路回顾[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 555-573.

- [4] 杜金虎, 邬光辉, 潘文庆, 等. 塔里木盆地下古生界碳酸盐岩油气藏特征及其分类[J]. 海相油气地质, 2011, 16(4): 39-46.
- [5] 张林艳. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏的储层连通性及其油(气)水分布关系[J]. 中外能源, 2006, 11(5): 32-36.
- [6] 周新源, 吕修祥. 塔里木盆地构造活动枢纽部位碳酸盐岩油气聚集[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 19-23.
- [7] 杨平. 哈 6 三维区碳酸盐岩储层“串珠状反射”研究[D]. 山东青岛, 中国石油大学(华东), 2010, 1-14.
- [8] 张建荣, 苏苇. 江汉盆地新沟嘴组碳酸盐岩油藏特征及开发技术[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(10): 116-120.
- [9] 李宗宇. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏油水界面变化规律探讨[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(2): 96-102.
- [10] 伍家和, 李宗宇. 缝洞型碳酸盐岩油藏溶洞描述技术研究[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(4): 23-55.
- [11] 吴永超, 黄广涛, 胡向阳, 等. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏剩余油分布特征及影响因素[J]. 石油地质与工程, 2014, 28(3): 66-71.
- [12] 谢昕翰, 闫长辉, 赖思宇, 等. 塔河六区缝洞型碳酸盐岩油藏井间连通性研究[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(6): 35-40.

编辑: 赵川喜