

碳酸盐岩缝洞型油藏离散数值试井解释方法研究*

龙武, 万小勇, 李冬梅

西北油田分公司石油工程技术研究院, 乌鲁木齐, 830011

塔里木盆地河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏是一个在大型古隆起上经过多期构造岩溶作用形成的, 储集体以缝洞为主, 非均质性极强, 储集体在三维空间发育极其复杂, 缝洞发育的规模及形态具有较大的不确定性。油藏埋藏超深达 5300-7300m, 是国内外已开发的埋藏最深的油气藏, 由于多期构造、多期岩溶、多期成藏的特点导致油水关系复杂, 受缝洞体发育程度以及油气充注的控制, 油藏具有储量丰度差异大, 产能差异大、含水上升类型多样、递减大的特征。塔河油田碳酸盐岩油藏储集体空间分布具有不连续性, 裂缝将溶洞连通, 致使流体在缝洞系统内的流动规律十分复杂, 裂缝是主要的渗流通道, 而流体又主要储存在溶洞中。

1 缝洞型油藏介质描述

1.1 介质类型分析

目前基于以多重连续介质模型和解析渗流理论为基础的试井解释方法难以对测试资料进行有效解释, 无法解释出地下的溶洞性质, 其分析解释结果与缝洞型网络状油藏的实际地质特征有很大的差异。将缝洞型油藏作为离散介质来处理更符合缝洞型储层的真实地质特征, 离散介质数值试井方法对该井的解释结果更好地反应了缝洞的发育特征。

1.2 离散介质

塔河油田奥陶系储集层由两个基本的储集单元组成: 洞穴和缝洞连续介质。洞穴之间由缝洞连续介质分开, 因而是离散的; 缝洞连续介质由洞穴分开, 因而也是离散的。整个地层局部为连续的, 整体为离散的。塔河碳酸盐岩油藏中储层结构应该描述为粗细溶洞相间的组合情形(图 1), 粗细溶洞是间隔排列的, 粗细溶洞半径比的数值变化范围是

非常大的, 它可以在 $1 \sim \infty$ 之间取任何值, 溶洞型地层的流动过程, 受瓶颈效应即细溶洞的影响很大, 否则, 油井的产量则高得惊人。油井钻遇了溶洞的较粗部分, 而较细的部分则很难发现, 但它对流体的流动起着至关重要的限流作用。

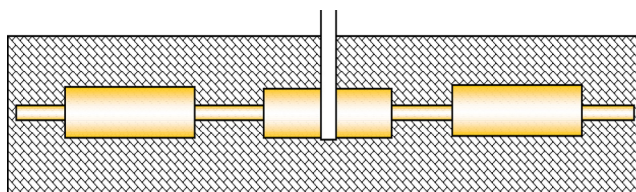


图 1 缝洞型储层结构示意图

2 离散介质试井地质模型

2.1 圆形地质模型

对于缝洞大面积发育的地层, 中间一口油井生产时, 可以把单井的地质模型建立成圆形储层模型。根据塔河油田碳酸盐岩储层特征, 圆形储层模型可分为三种亚类(图 2): ① 圆形均质模型: 均质等厚圆形地层中心一口油井, 碳酸盐储层中主要为大的溶洞和物性相对均匀溶蚀缝洞储层; ② 圆形复合模型: 是一种非均质地层, 若缝洞发育不均匀, 地层物性出现了内外分区的现象, 这种地层则为圆形复合地层; ③ 圆形单洞地层: 圆形地层中若出现一个大型洞穴, 其中必定储集了大量的流体, 是地层能量的重要源泉。

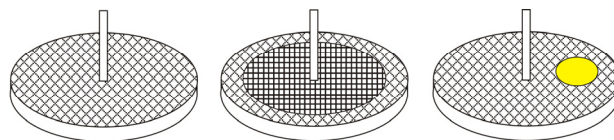


图 2 圆形地质模型

1—均质模型; 2—复合模型; 3—单洞模型

缝洞发育成条带状河道形态, 则可以把单井的地质模型建立成线性储层模型, 主要报 5 种情况(图

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 龙武, 男, 1983 年生, 硕士, 工程师, 石油工程专业。Email: 305118621@qq.com。

3): ① 线性均质模型: 若古岩溶均匀发育, 则形成了线性均质储层。② 线性复合模型: 若古水流的能量不均匀, 则会出现非均质的线性储层, 即储层由高渗透和低渗透两个均质层段组合而成; ③ 线性单洞模型: 若线性储层中发育了一个大型溶洞, 则成为线性单洞储层; ④ 线性哑铃模型: 若线性储层中对称发育了二个大型溶洞, 则成为线性哑铃储层; ⑤ 线性串珠模型: 若线性储层中单边发育了二个大型溶洞, 则成为线性串珠储层。

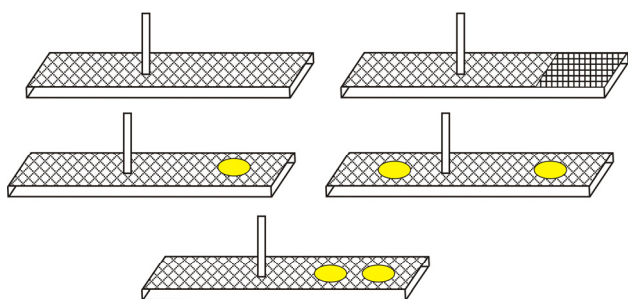


图 3 线形地质模型

1—均质模型; 2—复合模型; 3—单洞模型; 4—哑铃模型;
5—串珠模型

3 试井数值模型建立

根据建立地质模型用有限差分法对其进行数值求解, 采用直角坐标系下的块中心网格系统对渗流河道空间进行离散, 即用网格将求解区域分为小块, 以块的几何中心作为网格的节点。油井所在网格为径向流, 需采用径向网格系统(图 4)。局部径向网格加密适合圆形油藏和线性油藏, 为了模拟近井地带的径向流和提高数值试井模拟结果的精度, 需要对井所在的矩形网格进行径向网格加密。这样既能保证求解精度, 也能大大减少网格节点的数目。

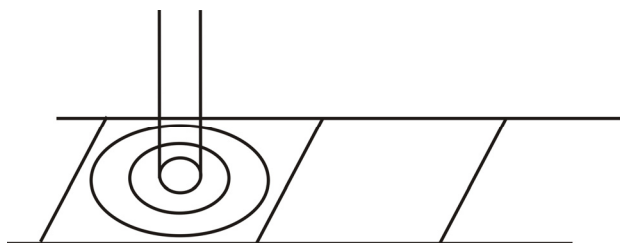


图 4 径向网格示意图

3 离散数值试井解释实例

用缝洞型油藏离散介质数值试井软件对塔河油田 T762 井压力恢复数据进行了解释, 得到了合理的解释结果。通过离散数值试井解释与常规试井解释结果对比, 用离散介质试井模型解释得到的地质参数比较合理, 反应了缝洞型油藏特有的大溶洞特征, 其解释结果更具有实际应用价值(表 1)。T762 井钻至 5523.96~5525.61m 放空, 钻至 5533.55m 井涌。8 月 16~25 日进行钻杆测试, 用 7mm 油嘴, 油压 6.8MPa, 日产原油 160m³。因钻杆测试获工业油气流, 所以在井深 5533.55m 提前终孔。钻井过程显示井底存在溶洞。T762 井 2001 年 8 月 19 日投产至今, 累产生原油 6.5 万吨, 产水 5.3 万吨, 表明地下溶洞较为发育。

表 1 T762 离散数值试井解释结果

参数	取值
地质模型	线性单洞
边界条件	定压+封闭
井底溶洞容积 (m ³)	29840
储层渗透率 (D)	2.46
河道宽度 (m)	180
外边界距离 (m)	400
地层溶洞距离 (m)	310
地层溶洞渗透率 (D)	8
地层溶洞容积 (m ³)	700000

参 考 文 献 / References

- 常学军, 姚军, 戴卫华. 2004. 裂缝和洞与井筒连通的三重介质油藏试井解释方法研究. 水动力学研究与进展, 19(3): 339-346.
- 李传亮. 2008. 两种双重介质的对比与分析. 岩性油气藏, 20(4): 128-131.
- 李传亮, 张学磊. 2007. 管流与渗流的统一. 新疆石油地质, 28(2): 446-449.
- 鲁新便. 2003. 岩溶缝洞型碳酸盐岩储集层的非均质性. 新疆石油地质, 24(4): 360-362.
- 彭小龙, 杜志敏, 刘学利. 2008. 大尺度溶洞裂缝型油藏试井新模型. 西南石油大学学报: 自然科学版, 46(4): 57-65.