

浅层稠油油藏注蒸汽储层变化规律研究与应用

黄伟强, 郑爱萍, 陈宏飞, 张卫国, 刘静

中国石油新疆油田公司重油开发公司, 新疆克拉玛依, 834000

克拉玛依油田九区侏罗系齐古组浅层稠油油藏属辫状河流相沉积, 岩性以中细砂岩为主, 具有高孔、高渗、非均质性强的特点, 九区区和检 230 井区是九区齐古组油藏的生产区块之一, 其中九区属特稠油, 检 230 井区属普通稠油, 油藏经过十余年的注蒸汽开发, 储层条件发生了很大的变化, 本文从储层物性变化特征、流变性特征和油藏启动压力特征入手, 揭示注蒸汽储层的变化规律, 为稠油热采后期综合治理措施的优选提供科学依据。

1 储层物性变化特征及机理

1.1 岩矿变化特征

注蒸汽前储层整体上呈低成分成熟度、低结构成熟度、高杂基含量、高胶结物的“两低两高”的特征, 经过多年的注蒸汽开发后, 储层呈中成分成熟度、中结构成熟度、低杂基含量、低胶结物的“两中两低”的特征(表 1)。

1.2 孔隙结构变化特征

通过注蒸汽前后储层毛管压力特征对比分析发现, 注蒸汽后储层中值压力、排驱压力、非饱和孔隙体积降低, 中值半径、平均毛管半径大幅度增加, 孔喉类型变粗, 渗透性变好(表 2)。

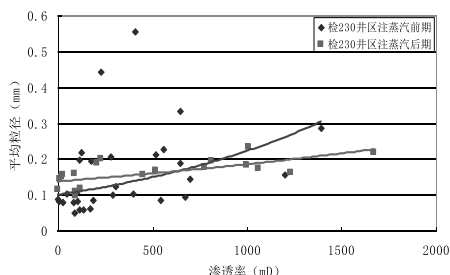


图 1 注蒸汽前后平均粒径与渗透率交会图

1.3 储集孔、渗变化特征

注蒸汽前后储层物性的变化主要表现为孔隙度变化不大, 但是其渗透率有显著变化(表 3), 做渗

透率与粒度中值交会图版, 发现当平均粒径在 0.15mm 以下, 注蒸汽后储层渗透率略有降低, 粒径越细, 降低幅度越大, 当平均粒径在 0.15mm 以上, 注蒸汽后储层渗透率增大, 粒径越粗, 渗透率增大幅度越大(图 1)。

1.4 储层物性变化机理分析

储层注蒸汽后, 经过长期水洗, 高孔、高渗储层岩石骨架颗粒表面的泥质、细粒碎屑及填充物被带走或溶蚀, 使颗粒表面变的清洁, 粒间填隙物的减少扩大了孔隙、喉道的半径, 整个岩石的孔隙网络体系的连通状况得到极大改善, 呈现孔隙度变化不大、渗透率增大的特征, 而低孔、低渗储层随着水洗的进行, 在局部区域出现矿物颗粒迁移和架桥堵塞的现象, 使得渗透率变差。

2 原油流变性特征

原油动力粘度与其流动时的速度梯度(剪切率)和剪切应力的变化关系称为原油的流变性, 剪切应力和速度梯度(剪切率)按直线定律变化, 即动力粘度 μ 为常数的流体, 叫做牛顿流体, 不符合粘滞摩擦牛顿定律的流体则为非牛顿流体。较低温度下的稠油一般是符合宾加姆模式或是幂律模式的非牛顿流体。

$$\tau = \tau_0 + \mu^* \times \frac{dv}{dr}$$
$$\tau = \mu^* \times \left(\frac{dv}{dr}\right)^n$$

式中: τ ——剪切应力, dy/cm²; τ_0 ——最小剪切应力、静剪切应力, dy/cm²; μ^* ——非牛顿液体的视粘度(有效粘度), mPa.s; $\frac{dv}{dr}$ ——剪切率, s⁻¹。

九区特稠油样品, 在较低温度下其流变性特征主要表现为幂律模式, 根据各测温点所得数据回归的 n 值, 可求得 n 与 T 的关系方程:

$$98704 \text{ 井: } n = 0.7062 + 0.003T$$

97088 井: $n = 0.8757 + 0.0012T$

在 n 与 T 的关系式中, 令 $n=1$, 解得 T 分别为 98℃ 和 104℃, 做出不同温度下剪切应力随剪切率变化关系曲线可知(图 2), 当地层温度在 80℃ 时, 流体的非牛顿流体特性较弱, 在 100℃ 时流体的非牛顿流体特性基本消失。

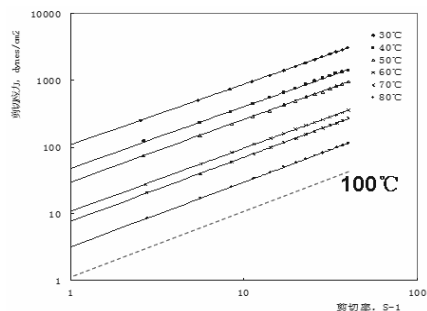


图2 九6区特稠油不同温度下剪切应力随剪切率变化关系曲线

检 230 井区普通稠油用相同的方法求出(图 3), 当地层温度在 80℃ 时流体的非牛顿流体特性基本消失。

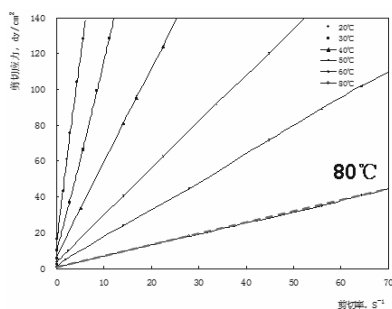


图3 检 230 井区普通稠油不同温度下剪切应力随剪切率变化关系曲线

3 稠油启动压力特征

根据实验数据可知, 特稠油的启动压力梯度特性较普通稠油明显, 当地层温度为 80℃ 时, 九6区特稠油的启动压力梯度大致在 2.2MPa/m 左右, 该温度下当驱替速度为 0.30ml/min 时, 60~80℃ 的原油流动基本上都属于牛顿流体范畴了(图 4)。检 230 井区储集层地层温度为 80℃ 时, 启动压力梯度在 1.5MPa/m 左右, 当井底流压为 10MPa 时, 150℃ 温度下, 井筒附近 30m 的稠油参与流动, 当驱替速度为 0.50ml/min 时, 80℃ 的原油流动基本上属于牛顿流体范畴了(图 5)。

4 储层变化对生产的影响

4.1 储层非均质性加剧、影响储层动用程度

在浅层稠油注汽开发过程中储层中胶质沉淀大量出现, 一般以团粒、细小微粒存在, 矿物转化过程中碎屑颗粒易碎裂生成大量细小微粒, 由于注蒸汽开发对储层的强烈冲刷作用, 储层中的填隙物、骨架颗粒极易发生运移, 堵塞或疏通孔喉, 加剧了储层的非均质性, 从而导致蒸汽沿高渗孔道发生突进, 发生汽窜干扰, 影响生产时率, 造成纵向动用储层不均。

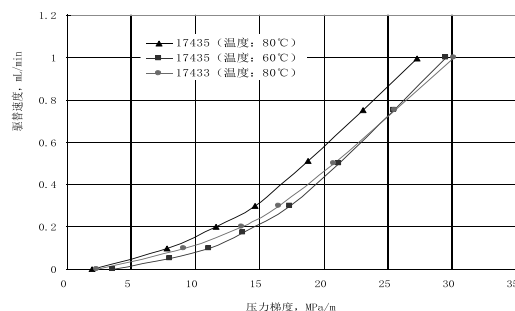
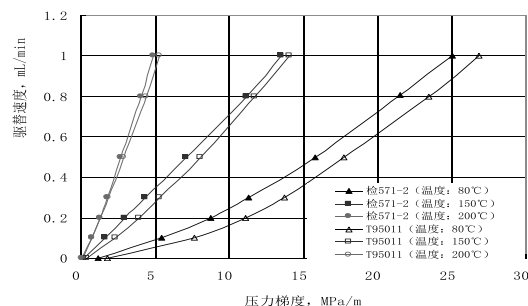


图4 九6区驱替速度与压力梯度关系曲线

4.2 重质组分增加、原油粘度升高

二是多轮次的蒸汽吞吐生产后, 相对较轻的组分会被大量采出, 残留在储层中的胶质沥青质等重质组分的相对含量越来越高, 随着开发时间的延长, 20℃ 原油粘度由投产初期的 18879mPa.s 变为目前的 76021mPa.s(表 4), 前期研究结果表明原油胶质沥青质含量不同, 表现出不同的粘度差别和粘温性质, 因此, 生产时应针对原油性质存在的差异来



采取相应的降粘措施。

图5 检 230 井区驱替速度与压力梯度关系曲线

4.3 孔、渗及流体变化引起油井出砂

随着开采时间的延长, 储层非均质情况加剧, 原油粘度呈增大趋势, 从而导致原油携砂能力增强, 储层中细小微粒被带出造成油井出砂, 降低生

产时率,根据出砂颗粒实验数据发现(图 8),出砂样品的粒径主要为极细砂质(0.0625~0.125mm),搬运主要分为跳跃和悬浮两种方式,其中跳跃总体与悬浮总体的交截点在 3.5 Φ (0.1mm)左右,大于 3.5 Φ (小于 0.1mm)主要以悬浮搬运为主,小于 3.5 Φ (大于 0.1mm)主要以跳跃搬运为主,而跳跃搬运累积质量占到总质量的 85%左右,因此,防砂时应以 0.1mm 为界。

5 治理对策

5.1 注汽方式的优选

针对储层物性变化造成的汽窜、出砂情况,采取组合式蒸汽吞吐、整体吞吐的注汽方式整体加热地下热场,同时利用控关、间开关闭高渗方向泄压通道,达到重新分配地下蒸汽热场的目的,2010 年九₆区实施组合式注汽 28 井次,措施有效率达 100%。

5.2 封堵、调剖的优选

当储层平均粒径在 0.15mm 以下时,注蒸汽会使细小颗粒堵塞孔喉,从而造成储层渗透率下降,针对这一特点对调剖试剂进行了优化,调剖配方选用粒径小于 0.15mm 的苛化泥作为主剂,优先进入汽窜通道和高渗透带,2011 年九₆区实施高温封堵措施 12 井次,措施有效率达 100%。

5.3 降粘措施的优选

开发后期原油粘度逐渐增大,吞吐前期采用高效驱油助排剂可降低油、水界面张力,提高油层排液能力,大大降低原油粘度和流动阻力,措施有效率在 70%以上,但随着开发时间的延长,发现此类化学降粘措施效果逐渐下降。

5.4 防砂措施的优选

根据出砂规律分析认为,大于 0.1mm 粒径的颗粒呈跳跃搬运为主,且占出砂总量的 85%,在进行先期筛管防砂设计时,提出割缝缝宽约在 0.1mm 以下,实施该措施 17 井次,措施有效率达 88.2%(表 5)。

5.5 油藏启动压力在生产中的应用

检 230 井区普通稠油在地层温度为 80℃时,启动压力梯度是 1.2MPa/m,该区注汽压力在 6MPa 左右,当井底温度为 200℃时,井筒 44m 范围内原油参与流动,原井距为 100×140m,认为具有加密调整的潜力,2010 年该区进行加密调整后获得较好开发效果。

6 结论及认识

(1)、注蒸汽后储层物性发生了明显的变化,主要表现为孔隙度变化不大,粒径在 0.15mm 以上储层渗透率呈增大趋势,反之呈减小趋势,该特征易加剧储层的非均质性,造成储层纵向动用不均,采用整体吞吐、封堵调剖能有效降低储层物性变化对生产的影响;

(2)、大于 0.1mm 粒径的颗粒呈跳跃搬运为主,且占出砂总量的 85%,在进行先期筛管防砂设计时,割缝缝宽应在 0.1mm 以下防砂效果更有效;

(3)、当地层温度为 80℃时,九₆区特稠油和检 230 井区普通稠油非牛顿流体特性基本消失,且在该温度条件下,九₆区油藏启动压力梯度为 2.2MPa/m,检 230 井区油藏启动压力梯度为 1.5MPa/m,当井底温度为 200℃时,井筒 44m 范围内原油参与流动,原井距为 100×140m,区块具有加密调整的潜力。

参考文献 / References

- [1] 徐同台,王行信,张有瑜等. 2003. 中国含油气盆地粘土矿物. 北京:石油工业出版社
- [2] 于兴河. 2008. 碎屑岩系油气储层沉积学. 北京:石油工业出版社
- [3] 王洪光,蒋明,张继春等. 高含水期油藏储集层物性变化特征模拟研究. 石油学报,2004,25(6)
- [4] 吕学成,付洁,张冲等. 注水开发中濮城油田储集层性质变化的研究. 江汉石油学院学报,2000,22(4)
- [5] 赵新军,赵跃华,台怀忠. 流体性质变化对双河油田储集层的损害. 石油勘探与开发,1998,25(5)

表 1 注蒸汽前后储层岩石学特征统计表

区块	开发期次	碎屑组分(%)			结构类型		胶结程度		杂基总量(%)
		石英	长石	岩屑	颗粒形状	分选程度	胶结类型	接触关系	
九 ₆ 区	早期	18.0	7.8	74.2	次棱角状	中等	孔隙-压嵌型	点接触	8.4
	后期	25.8	20.2	53.9	次棱角-次圆状为主	好、中等	压嵌型	点-线接触	5.2

检 230 井区	早期	24.2	14.2	61.6	次棱角状	中等	孔隙-压嵌型	点-线接触	7.3
	后期	27.6	21.6	50.7	次棱角-次圆状为主	好、中等	孔隙-压嵌型	线接触	2.1

表 2 注蒸汽前后储层孔隙结构特征表

区块	阶段	中值压力 (MPa)	中值半径 (μm)	排驱压力 (MPa)	平均毛管 半径 (μm)	非饱和孔 隙体积 (%)	孔喉类型
九 ₆ 区	注汽前	2.575	0.63	0.4	3.51	33.08	中等孔喉
	注汽后	0.42	4.57	0.04	9.33	10.41	偏粗-粗孔喉
检 230 井 区	注汽前	4.89	1.68	0.5	8.36	36.39	细-中等偏细孔喉
	注汽后	0.72	5.84	0.03	14.11	15.76	粗孔喉

表 3 注蒸汽前后储层物性参数变化统计表

区块	早期		后期		渗透率变化
	孔隙度(%)	渗透率(md)	孔隙度(%)	渗透率(md)	
九 ₆ 区	24.26	111.71	24.46	304.57	2.73↑
检 230	26.70	172.68	27.21	509.96	2.95↑

表 4 九₆区齐古组油藏阶段原油粘度变化统计表

时间(年)	1989—1993	1994—1998	1999—2004	2005—2010
统计井数(井次)	318	266	259	72
20℃密度(g/cm^3)	0.9315	0.9373	0.9415	0.9459
20℃粘度($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	18879	23419	50603	76021

表 5 九₈区不同完井方式出砂情况对比数据表

完井方式	井数	单井月生产天数 (d)	出砂 (井/次)	平均砂厚 (m)	百分比 (%)
筛管	17	26.1	2/2	11.2	11.8
射孔	59	14.1	31/115	43.4	52.5