

文章编号: 0253-2697(2005)03-0074-04

蒸汽吞吐后期近井地带储层的变化 及其对油田开发效果的影响

杨春梅^{1,2} 陆大卫^{1,3} 张方礼² 李洪奇¹ 刘卫东²

(1. 中国石油大学资源与信息学院 北京 102249; 2. 中国石油辽河油田公司 辽宁盘锦 124010;

3. 中国石油天然气股份有限公司 北京 100011)

摘要: 针对蒸汽吞吐超过5~6个周期之后稠油藏开发效果明显变差的问题,以距原开发井仅13m的侧钻取心井为依据,研究了近井地带储层性质变化规律及其对开发效果的影响。结果表明:在开发后期,近井地带储层及流体性质变化较大,颗粒溶蚀破碎现象严重,超大管状孔发育;油层动用程度高,含油饱和度接近甚至低于实验室确定的残余油饱和度;存在不可逆的沥青积淀现象。近井地带储层性质的一系列变化是造成钻井液漏失、固井质量差、油层污染严重并最终导致加密调整井开发效果不佳的主要原因,近井地带存水量的增加降低了吞吐后期的热效率;高渗透性大孔道使蒸汽在储层中发生窜流;原油中的硫化物在高温蒸汽作用下所发生的脱硫反应使热采稠油管柱严重腐蚀。虽然近井地带储层性质的一系列变化会对开发效果造成不利影响,但是孔隙结构的改善及亲水性的增强对于提高采收率也具有一定的积极作用。

关键词: 蒸汽吞吐井; 侧钻取心井; 近井地带储集层; 渗透性; 沥青积淀; 提高采收率

中图分类号: TE345

文献标识码: A

Reservoir characteristics in the near region of thermal recovery wells and their effects on development of oilfield in the later period of steam stimulation

YANG Chun-mei^{1,2} LU Da-wei^{1,3} ZHANG Fang-li² LI Hong-qi¹ LIU Wei-dong²

(1. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Liaohe Oilfield Company, CNPC, Panjin 124010, China; 3. PetroChina Company, Ltd. Beijing 100011, China)

Abstract: A sidetracked core hole with 13 meters away from original well in the pay zone was investigated. The changes of heavy oil reservoir property and their effects on production performances after five to six cycles of steam stimulation were analyzed. The result showed that in the later period of oilfield development, the characteristics of reservoir and fluid in the near region of thermal recovery well changed obviously. Rock grains were corroded seriously, and big pores were enhanced. The high-permeability wormhole appeared, and volume of clay decreased. Oil saturation was close to and lowers than the remaining oil saturation determined by water flooding test in laboratory. Bitumen was deposited in pores and could not be reversed. All changes have brought a series of problems in the process of steam stimulation development, such as sanding, leakage and loss of drilling fluid, poor quality of well cementing, casing failing, electrical anisotropy, steam channeling and low steam heat efficiency. Those factors affected the development effectiveness of infill wells and adjusting wells. Otherwise, wettability of reservoirs and improvement of pore structure would enhance heavy oil recovery.

Key words: steam stimulation well; sidetracked core hole; reservoir in near region of thermal recovery well; permeability; bitumen deposition; enhanced oil recovery

取心检查井是直观反映地下剩余油饱和度、剩余油的显微形态以及储层性质变化情况的第一性资料,精确程度较高,其结果可以应用于建立开发阶段精确的油藏地质模型、油藏工程计算、水淹层测井评价、钻井设计等多个领域,但是由于费用较高,一般很少采用,而侧钻井由于其与原井之间的特殊关系、特殊的钻

井工艺及小井眼的特点,取心资料更是珍贵。本文以辽河油田第一口侧钻小井眼取心井为研究对象,总结蒸汽吞吐后期近井地带储层性质的变化情况及其对开发效果的影响。

该侧钻取心井的开发目的层与原井相距仅13m,取心时地层压力比原始地层压力低11MPa左右,原井

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA605A09)部分成果。

作者简介: 杨春梅,女,1968年2月生,1991年毕业于石油大学(华东),现为石油大学(北京)在读博士。E-mail: ycm_lh@sina.com

射开油层厚度 40.7m, 关井侧钻前累积注入蒸汽量 $5380 \times 10^3 \text{ m}^3$, 产水量 6604 m^3 , 累积生产原油 33718t。研究对象所在区块开发初期(原始状态下)原油密度为 0.944 g/cm^3 , 原油中含硫量为 0.39%, 胶质沥青质含量 43.3%。

1 近井地带储层物性及含油性变化

1.1 储层性质变化

蒸汽吞吐是目前稠油油藏采用的主要开发方式^[1,2], 多周期的重复吞吐使储层中发生强烈的水(汽)-岩反映^[3~6]。对比相同沉积微相条件下的储层特征发现, 高温蒸汽作用后的储层性质发生了较大变化^[7], 与原始取心数据相比, 侧钻井的孔隙度、渗透率明显增大, 泥质含量降低(表 1), 孔隙结构明显改善。

表 1 侧钻取心井与原始取心井物性对比
Table 1 Comparison of reservoir properties of sidetracked core well and original well

井 别	孔隙度 / %	渗透率 / μm^2	泥质含量 / %	分选系数
侧钻井	27.4	2.903	7.7	2.40
原始井	22.3	2.364	10.1	2.07

从图 1 可见颗粒和填隙物被溶蚀成破碎的蛛网状, 只有稳定性较强的晶格骨架残存下来, 发育特大的粒间孔、溶蚀孔甚至铸模孔。

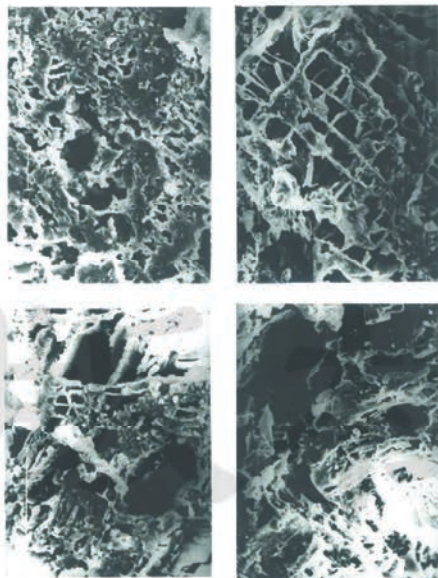


图 1 蒸汽作用后岩石的显微形态

Fig. 1 Micrograph of rock after steam stimulation

储层中颗粒溶解、破碎的程度因其在吞吐井中所处部位而不同。蒸汽的上浮作用使高部位储层性质的变化比低部位明显, 上部有溶孔的样品数占上部总样品数的 90.9%, 而下部只占 69%。与原始状态相比,

上部孔隙度增大了 5.7%, 渗透率增大了 $0.8 \mu\text{m}^2$, 下部孔隙度增大 1.2%, 渗透率变化不大。

原始物性的差异也导致储层性质的变化存在差异。相对而言, 高渗透条带中的冲刷、溶蚀现象更为严重, 在注入介质及高粘度稠油的拖曳、携带下, 溶解、破碎物不断被带出地层, 在储层中形成图 2 和图 3 所示的超大管状孔。

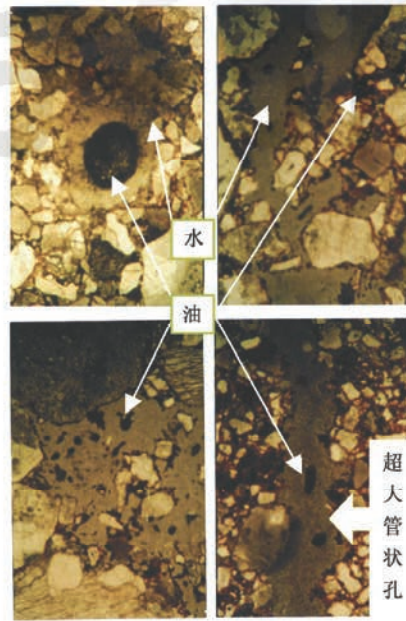


图 2 充满水的各种大孔道

Fig. 2 High permeability wormhole filled with water

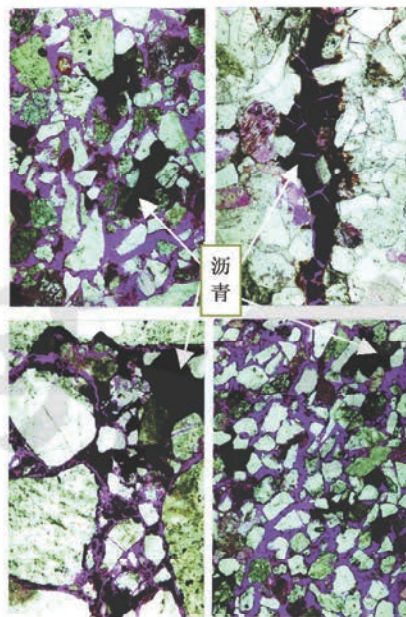


图 3 铸体薄片中的沥青积淀现象

Fig. 3 Micrograph of bitumen deposition

1.2 油层动用状况

研究发现, 侧钻井的油层经历过高温水洗作用。

取出的岩心除部分为细-粉砂岩外,其余含油均不饱满,有明显的水湿感。显微图像表明,物性好的中粗砂岩中有明显的水驱迹象,即大粒间孔中充满水,残余油的形态多为中-薄残环或孤滴、残迹状,只在局部见到残油斑块或环边形的油网或油脉(图2)。水洗过的孔壁干净,岩石润湿性表现为强亲水。另外,该井在现场取心过程中一直有很浓的 H_2S 气味,这是原油中的硫化物在高温蒸汽的热化学作用下发生脱硫反应的表现。

侧钻井的含油饱和度很低,最低值约5%,平均含油饱和度只有19.7%,接近所在区块界定的蒸汽吞吐开采的残余油饱和度值,即高温高压相渗的残余油饱和度(18.9%),低于常规相对渗透率的残余油饱和度值(24.9%)。

侧钻井中油层的动用程度主要取决于储层性质,物性越好、渗透率及孔隙度越高的储层,其剩余油饱和度越低,油层动用程度越高(图4);而原始物性差、泥质含量高的粉细砂岩含油性则相对较好。虽然如此,原油在泥质粉细砂岩中也不再是均匀无序的分布形态,而呈现出与注汽方向有关的明显的方向性,即图5

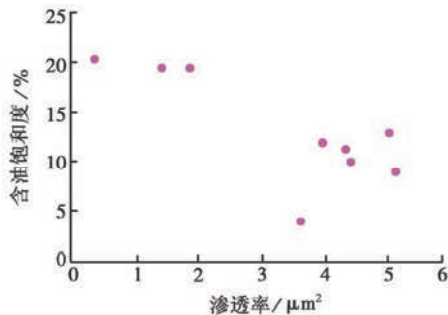
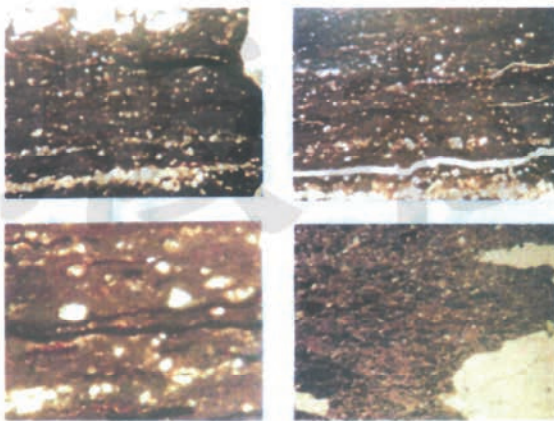


图4 含油饱和度与渗透率关系

Fig. 4 Relationship between oil saturation and permeability



(浅色部分为泥质颗粒或团块)

图5 粉细砂岩中原油呈平行线状分布

Fig. 5 Oil state in poor reservoir

所示的水平状态下的平行线状。粉细砂岩中原油分布形态的有序性表明,物性较差的储层虽然动用程度不如优质储层高,但已发生变化。

储层的微观非均质性也导致微观油水赋存状态的不同。对岩心做了7个不同方向(前、后、左、右、上、中、下)的含油切片表明,岩石孔隙中油水分布极不均匀,显微镜下大孔隙含油程度低,微孔隙含油相对饱满。这一现象既表现在不同位置的岩样之间,也表现在同一块岩样不同方向的切片中,甚至还表现在同一切片的不同部位也有较大差别(图2),这种不均匀性就是蒸汽驱动效果的真实反映。

在纵向上,受蒸汽上浮作用影响,物性相同的油层高部位的含油饱和度(平均值17.2%)明显低于低部位的含油饱和度(平均值30.4%)。

虽然侧钻井中油层动用程度普遍较高,但是也有一些物性好的储层基本上未动用,含油饱和度约为50%。产生这一现象的原因是,油层在陆相沉积中发生频繁的相变,使原生产井中与未动用层段对应的同一砂体的物性较差且较薄,吸汽能力有限;即使是在距离吞吐井很近的范围内,平面上与之对应的油层含油饱和度仍较高,基本上未动用或动用程度较低。

1.3 井筒附近的沥青积淀现象

物性好的油层动用程度较高,孔隙中充满水,但是在侧钻井的岩心照片中还存在另外一种现象,即大孔隙中充满“油”。此类岩心样品经长时间四氯化碳及高标号溶剂汽油清洗后,仍有像原油一样的黑色物质残留在孔隙中(图3),经分析确认该黑色物质为大分子沥青。

产生上述现象的原因是生产井附近的沥青积淀作用。在油田开发过程中,受分馏作用影响,原油中的轻质组分被优先采出,经多轮次吞吐后,储层中原油的性质越来越差(表2),含沥青等重质成分明显增多。油

表2 产出稠油与油砂抽提物特性对比

Table 2 Properties of produced oil and remaining oil

层位 (油层组)	样品 来源	粘度 /($mPa \cdot s$)	井号	油品 性质
兴隆台	油砂抽提物	67790	Jin 14	普通稠油
	采出稠油	580	Jin 014	
	油砂抽提物	113550*	Du 84	超稠油
	采出稠油	42990*	Du 84	
莲花	油砂抽提物	11400	Qi 45	普通稠油
	采出稠油	500	Qi 40	
东营	油砂抽提物	232660	Leng 556	特稠油
	采出稠油	3600	Leng 656	

注: * 为70℃时的脱气原油粘度,其余为50℃时的脱气原油粘度。

井侧钻过程中, 泥浆的冷却作用使热蒸汽长期作用的近井地带储层温度急剧变化, 原油中含量很高的沥青质发生凝结、沉淀, 堵塞在孔隙、喉道甚至是大孔道处。在该井的各种薄片资料中均见到沥青条带及斑块, 说明井筒附近沥青积淀的现象是普遍存在的; 经实验室洗油后仍不能去除岩心中积淀的沥青, 说明沥青积淀现象是不可逆的。

2 储层性质变化对油田开发效果的影响

2.1 储层性质变化的负面作用

(1) 溶蚀、冲刷作用使岩石骨架遭到破坏, 近井地带地层的不稳定性随之增加。高强度注入蒸汽的强烈冲刷以及吞吐过程中生产压差的急剧变化和放喷诱发作用使多周期吞吐后的储层非常脆弱, 频繁发生出砂及近井地带地层垮塌现象, 严重的则造成套管折断。统计资料显示, 目前辽河油田套管错断井已近 300 口。

(2) 侧钻过程中油层污染严重。多轮次吞吐后, 近井地带的渗透性明显增强, 储层中发育超大管状孔(图 2、图 3), 长期开发后油层压力显著降低。在低压及高渗透性双重因素作用下, 钻进过程中钻井液和水泥浆漏失严重, 油层污染严重, 固井质量较难保证, 最终导致开发后期完钻的加密调整井及侧钻井生产效果不佳。

(3) 开发层段出现严重的电阻率差异。高温蒸汽和热水线性突破的结果是在储层中形成低阻通道, 使开发层段电阻率出现严重的差异。由于普通分辨率的测井仪器对此类地层中的低阻部分反映特别灵敏, 因此油田开发中后期侧钻井及加密调整井的电阻率曲线显著降低, 测井资料不能全面反映储层中真实的含油水情况。

(4) 近井地带热量损耗严重, 蒸汽吞吐后期热效率显著降低。随吞吐周期的延长, 井筒附近含水饱和度增大, 孔隙度增大, 亲水性增强, 因而近井地带存水量增加。吞吐后期注入蒸汽所增加的热量大多被井筒附近地层孔隙中的水所吸收, 即蒸汽吞吐后期注入的热量大多损失在加热带内, 这对于扩大吞吐效果、提高远井处的原油采收率是极为不利的。

(5) 热采稠油管柱腐蚀严重。油井分析资料显

示, 经过几年的开发后, 该区地下原油中硫化物的含量明显降低, 由原始的 0.39% 下降到 0.2% 左右。原油中的硫化物在高温蒸汽的热化学作用下发生脱硫反应, 生成的 H_2S 是造成热采稠油管柱严重腐蚀的主要原因。目前辽河油田套管损坏井有 2000 多口, 已经成为油田开发的主要难题之一。

2.2 储层性质变化的积极作用

虽然近井地带储层性质的一系列变化会对油田开发效果造成不利影响, 但是注入蒸汽沿高渗透条带的线性突破有利于扩大波及半径; 所形成的超大管状孔隙有利于原油受热后向井中流动; 特别是储层润湿性的变化对于提高油层最终采收率也具有一定的积极作用。

3 结论

(1) 多周期蒸汽吞吐后, 近井地带的储层性质及流体饱和度均发生了较大变化, 这些变化是油田开发中、后期热效率低、套管损坏、油层出砂及油层污染等一系列问题产生的根源。

(2) 高温、高压蒸汽作用后, 油藏中大孔道发育、沥青积淀及原油脱硫生成 H_2S 等问题的提出, 为今后相关专题的研究奠定了基础, 对于改善蒸汽吞吐中后期油藏的开发效果及开发方式的转换也具有一定的积极作用。

参 考 文 献

- [1] 赵启双, 孙岩, 郭福军. 稠油蒸汽吞吐开发指标预测方法[J]. 石油学报, 1996, 17(2): 47-52.
- [2] 万仁溥. 依靠技术进步实现稠油开发高水平高效益[J]. 石油规划设计, 1994, 5(1): 14-18.
- [3] 谢加才, 王正江, 刘喜林, 等. 稠油产出水深度处理回用于热采锅炉的中试研究[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 93-98.
- [4] 梁金国, 张克舫, 沈惠坊. 焦化防砂室内实验研究[J]. 石油学报, 1998, 19(2): 132-134.
- [5] 李云峰, 钱会. 蒸汽吞吐稠油储层矿物溶蚀量和沉淀量的计算[J]. 油田化学, 1997, 14(2): 143-147.
- [6] 穆龙新, 李国诚, 王永杰, 等. 关于稠油有限排砂采油方法的探索[J]. 钻采工艺, 2003, 25(1): 20-22.
- [7] 赵跃华, 赵新军, 翁大丽, 等. 注水开发后期下二门油田储层特征[J]. 石油学报, 1999, 20(1): 43-49.

(收稿日期 2004-08-26 改回日期 2004-11-25 编辑 孟伟铭)