

超声波对多孔介质中两相流动的影响*

孙仁远 沈本善 罗荣章

(石油大学 山东东营 257062)

1996年8月13日收到

摘要 近年来, 超声技术已被应用于采油工程中, 在油井解堵、水井增注等方面发挥了重要的作用. 针对我国大部分油田采用注水开发的实际, 本文实验研究了超声波对多孔介质中油、水两相流动的影响. 实验采用的多孔介质为人造石英砂岩, 渗流液体为油和水. 实验结果表明: 超声波作用能够改善油水的流态, 提高水驱采收率, 并降低采出液的含水率.

关键词 超声波, 采收率, 多孔介质, 含水率

Effect of ultrasound on two-phase flow through porous media

Sun Renyuan Shen Benshan Luo Rongzhang

(University of Petroleum, Dongying Shandong 257062)

Abstract In recent years, the ultrasonic technique has been used in oil production and become an important measure for damage removal of oil wells and injection-rate increase of injection wells. This paper reports the experimental study on the effect of ultrasound on the two-phase flow through porous media. The porous media used are man-made sandstones and the penetrating liquids are oil and water. From the experiments, we can draw conclusions that ultrasonic stimulation can improve the flowing performance of oil and water, increase oil recovery and reduce the producing water cut.

Key words Ultrasonic wave, Recovery factor, Porous media, Water cut

1 引言

在石油开采中, 如何提高中后期油井的产量和油田采收率, 一直是采油工程技术人员关心的课题之一. 前苏联和美国率先将声波技术应用于采油, 获得了成功. 八十年代以来, 声波采油技术在国内重新受到重视. 严焱培等人研究了超声波对多孔岩样的渗流速度的影响^[1], 认为: 多孔岩样被泥浆等污染后, 经超声波作用, 使油的渗透率恢复到原来的 61-88%, 停止

超声作用后, 还有明显的滞后效果. 孙仁远等人研究了超声波对多孔介质渗透率的影响^[2], 研究表明: 超声波作用可以提高岩石的渗透率, 而且超声波作用具有明显的滞后效应. 以上研究基本限于单相流动的范围. 而在油田开发过程中, 更多涉及的是两相流动(甚至多相流动), 对注水开发的油田更是如此. 另一方面, 国内不少油田开展了声波采油的现场试验, 取得了较好的效果, 同时也暴露出一些问题, 这需要进一步的室内研究来解决. 因此, 进行超声波

* 中国石油天然气总公司项目的部分内容

对多孔介质中两相流动影响的研究, 无论从理论还是实际上都具有比较重要的意义.

2 实验装置和步骤

2.1 试验材料

(1) 人造岩心: 试验用人造岩心由石英砂和环氧树脂胶结而成. 其制作步骤是: a. 称取一定重量的石英砂, 在托盘中混合均匀; b. 将一定比例的无水乙二胺、无水乙醇和环氧树脂在容器中搅拌, 使环氧树脂完全溶解; c. 将搅拌均匀的环氧树脂加入石英砂中, 充分搅拌后过筛; d. 称取一定量的筛下细砂, 加入到特制的模型中, 在液压机上加压成型; e. 将压好的模型烘干后备用.

(2) 水: 3% KCl 盐水, 其 25°C 时的密度为 1.023g/cm³.

(3) 油: 变压器油, 其 25°C 时的粘度为 25.0mPa·s.

2.2 试验装置

试验装置如图 1 所示. 它主要由油容器 (1)、微量高压平流泵 (2)、水容器 (3)、压力表 (4)、手压泵 (5)、岩心夹持器 (6)、量筒 (7)、超声波发生器 (8) 等组成.

超声源的电功率为 250W, 频率为 20kHz.

2.3 实验步骤

(1) 将烘干处理的人造岩心抽真空饱和盐水.

(2) 在一定的流速下, 用变压器油驱动岩心中的水, 直到岩心出口端没有水流出为止.

(3) 在一定的流速下注水驱替岩心中的油, 记录出口端流出的油量和水量, 直至岩心出口端不再有油流出为止.

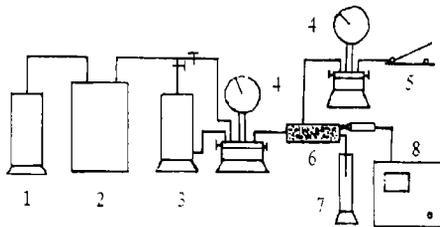


图 1 实验装置图

(4) 在同样的水驱速度下, 开始超声波作用, 记录岩心出口端流出的油量和水量, 研究超声波对两相流动的影响.

3 实验结果与讨论

3.1 超声波对水驱采收率的影响

在水驱油的基础上研究了超声波对水驱采收率 (采收率指从岩心中采出的油量占岩心原始含油量的百分数) 的影响, 试验结果见表 1.

图 2 是整个水驱过程中水驱采收率随注入孔隙体积倍数 (注入孔隙体积倍数, 指注入岩心中的水的总体积占岩心的孔隙体积的倍数) 的变化曲线. 从曲线上可以明显看出: 超声波作用可以进一步将单纯水驱后残留在岩心中的油从岩心中驱出, 曲线出现明显的上扬趋势, 采收率增大. 在本实验中, 单纯水驱的采收率为 55.38%, 加超声水驱的采收率为 69.15%, 采收率提高了 13.77%.

分析超声波提高采收率的机理, 推测有以下几个方面:

(1) 超声波的振动作用能够降低油水界面张力, 并导致孔隙毛细管半径的变化, 这降低了毛管力, 提高了采收率.

表 1 超声波提高水驱采收率试验结果

岩心号	长度 cm	直径 cm	渗透率 10 ⁻³ μm ²	单纯水驱采收率 %	加超声水驱采收率 %	采收率提高率 %
E01	7.98	2.45	108.3	57.73	68.50	10.77
E02	7.93	2.45	102.8	57.09	62.90	5.81
E03	7.61	2.44	106.0	54.68	66.07	11.39
E04	7.49	2.45	96.5	55.38	69.15	13.77
E06	7.83	2.45	87.1	58.33	68.57	10.24

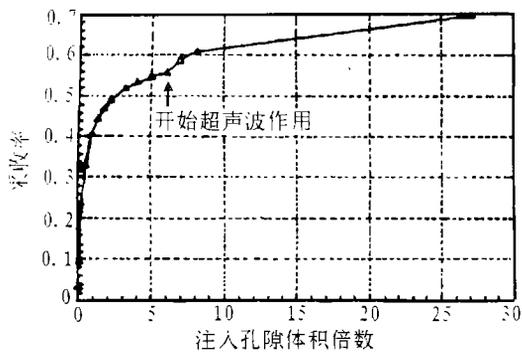


图2 水驱采收率曲线

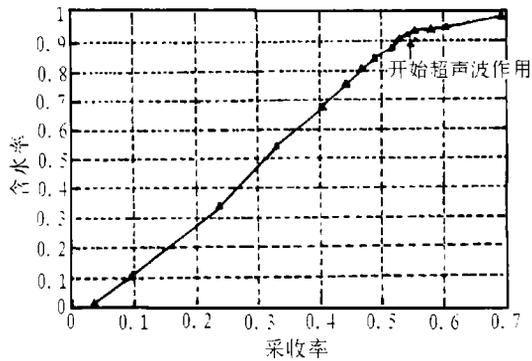


图3 产出液含水率变化曲线

(2) 在液体和多孔介质孔隙壁面间有一层液膜, 称为附面层. 它对多孔介质中液体的渗流影响很大. 超声波作用可以使附面层变薄, 从而为液体流动留下更大的流动截面, 提高了液体的渗流速度; 另一方面, 超声波的振动作用可以降低固-液界面的附着力, 使原油易于被水携走.

3.2 超声波对产出液含水率的影响

对于注水开发的油田, 油井出水将导致油

层能量的降低, 降低了原油采收率, 并需要花费大笔用于采出、集输、脱水以及设备防腐等方面的费用, 因此, 降低产出液的含水率甚至堵水是改善油田高含水期开发效果的重要措施之一. 为此, 我们研究了超声波对产出液含水率的影响.

实验结果如图3所示. 由图可见, 在超声波的作用下, 产出液的含水率下降, 曲线的斜率减小, 在相同的采油量情况下, 产水量下降. 这是因为, 在超声波的作用下, 部分在水驱条件下不能被驱动的油被超声波和水动力的共同作用而采出, 这些原油在流动过程中必然占据一部分水流通道, 导致多孔介质水相渗透率的降低, 从而降低了产出液含水率.

4 结论

通过实验, 可以得出以下结论:

- (1) 超声波作用, 可以在水驱油的基础上提高水驱采收率.
- (2) 超声波作用能够降低产出液的含水率.

致谢 本实验得到了石油大学石油工程系孙士孝高级工程师、机电系董守平教授的大力支持和帮助, 在此表示诚挚的谢意.

参 考 文 献

- 1 严焯培, 吴小薇, 李正开等. 石油大学学报, 1989, 13(6): 72-79.
- 2 孙仁远, 严焯培. 石油钻采工艺, 1996, 18(1): 101-103.
- 3 黄序韬, 梁淑寰. 石油学报, 1993, 14(4): 110-115.
- 4 于秋鹤. 应用声学, 1992, 11(5): 31-33.