

'94 国际石油与石油
化工科技研讨会论文

辽河油田热采驱油实验的 核磁共振成像研究

王卫民 郎东江

中国石化天然气总公司 廊坊所核磁共振成像实验室
中国科学院

1994 年 9 月 北京

辽河油田热采驱油实验的 核磁共振成像研究

摘 要

针对热力采油方法问题,利用高场强、超导核磁共振成像设备进行了实验,分析研究了蒸汽吞吐和热化学吞吐的采油过程,取得了纵向剖面的核磁共振图像及吞吐过程的驱油效率。实验证明,用核磁共振成像技术研究热力采油过程是可行的。

引 言

热力采油是一种较为经济的强化采油方法,特别是对稠油的开采具有很高的应用价值。热力采油一般采用蒸汽吞吐或热水吞吐方法进行,同时,近年来还采用在吞吐液中加入化学剂(如薄膜扩散剂等),来进一步提高采油效率。

对热力采油方法进行实验研究,对提高热力采油效率具有重要意义,但是常规研究方法,只能获得试样的平均信息。而在蒸汽吞吐过程中,剩余油的变化及其移动情况的二维分布,对于研究热采机理有着很大的参考价值,因此,开展热采过程的二维研究,是一个引人注目的研究方向之一。

我们利用 4.7T 高场强、超导核磁共振成像设备,对热力采油过程进行了实验探索研究,采用辽河研究院提供的样品,分析研究了蒸汽吞吐、热水吞吐及吞吐液中加入化学剂的采油过程,并得到了剩余油分布与运移的二维图像。

实验方法和材料

实验中核磁共振成像采用 2DFT 自旋回波序列,由于岩芯 T₂ 很短(1~10ms),因此在成像中采用了一个特殊的矩形 90°脉冲,其脉冲宽度仅为 260μs,与常规成像相比(通常脉冲宽度为几个毫秒,大大的缩短了回波时间,极大的提高了信噪比,具体成像方法为 2DFT,主要成像参数:视野(FOV)大小为 10cm,切片厚度为 4cm,重复时间为 TR=500ms,回波时间 TE=2ms,成像矩阵

128×128,图像分辨率 0.7mm,成像切面选为模型纵向切面,成像时间 2min33s。

为了更好地模拟现场的热采过程,实验中所用的原油、岩砂选自辽河油田的原油和岩砂,其中岩砂经过粉碎过筛后,目数为 40~60 目。两种吞吐液的配方见表 1、表 2。

表 1 吞吐液 LS-1 配方

名 称	LS-1	中性水(pH=7)
含 量	0.5g	100ml

表 2 吞吐液 LS-2 配方

名 称	LS-2	中性水(pH=7)
含 量	1g	100ml

实验所用的地层模型为均质的圆管填砂模型,由于实验需要在核磁共振成像设备上观察蒸汽吞吐、热水吞吐及吞吐液吞吐过程,所以模型采用聚四氟乙烯材料特殊加工制成,实验中模型内流压 1.5MPa,温度 80~260℃,模型参数见表 3。

表 3 地层模型参数

模型名称	长度 cm	直径 cm	填砂 目数 目	水测 渗透率 D	孔隙度 %	束缚水 饱和度 %
圆管 模型 I	8.16	4	40~60	4.2	45	22
圆管 模型 II	8.16	4	40~60	4.0	44	27
圆管 模型 III	8.16	4	40~60	6.8	45	24

根据现场要求,进行了三次模拟实验:①蒸汽吞吐实验;②吞吐液 LS-1 吞吐实验;③吞吐液

LS-2 吞吐实验。步骤如下:

(1) 蒸汽吞吐 先将模型 I 抽真空饱和含 Mn^{2+} 离子水,其目的是为了在核磁共振成像中造成油水间足够的反差,便于图像分析。然后将模型 I 放入恒温箱加热至 $80^{\circ}C$,用油驱水建立束缚水,再正向注蒸汽,待蒸汽突破后,出口端憋压至 $1 \sim 1.5 MPa$,30 分钟后反向注 $80^{\circ}C$ 含 Mn^{2+} 离子热水至锰离子水突破为止,完成一次蒸汽吞吐采油过程,实验共进行了四次蒸汽吞吐采油过程,每次蒸汽吞吐后,在核磁共振成像仪上获取纵向剖面的核磁共振图像,分析驱油特征,并计算各次吞吐过程的驱油效率。

(2) LS-1 热化学吞吐 先将模型 II 抽真空饱和含 Mn^{2+} 离子的水,目的同(1)中所述。然后将模型 II 放入恒温箱加热至 $80^{\circ}C$,用油驱水建立束缚水,再正向注入吞吐液 LS-1,注入 $0.7 PV$ 后,出口端憋压至 $1 \sim 1.5 MPa$,30 分钟后反向注 $80^{\circ}C$ 含 Mn^{2+} 离子热水,注入 $0.7 PV$ 后,完成一次吞吐液 LS-1 吞吐采油过程,实验共进行了四次吞吐过程,每次吞吐后,在核磁共振成像仪上获取纵向剖面的核磁共振图像,分析驱油特征,并计算各次吞吐过程的驱油效率。

(3) LS-2 热化学吞吐 先将模型 III 抽真空饱和含 Mn^{2+} 离子的水,目的如(1)中所述。然后将模型 III 放入恒温箱加热至 $80^{\circ}C$,用油驱水建立束缚水,再正向注入吞吐液 LS-2,注入 $0.7 PV$ 后,出口端憋压至 $1 \sim 1.5 MPa$,30 分钟后,反向注 $80^{\circ}C$ 含 Mn^{2+} 离子热水,注入 $0.7 PV$ 后,完成一次吞吐液 LS-2 吞吐过程,实验共进行了四次吞吐过程,每次吞吐后,在核磁共振成像仪上获取纵向剖面的核磁共振图像,分析驱油特征,并计算各次吞吐过程的驱油效率。

结果与讨论

1. 蒸汽吞吐

在蒸汽吞吐过程中,原油在岩芯中来回运移,并被反排液带出,反排液易于从岩芯中部突破油带,造成剩余油主要分布在岩芯中部的四周,前三次蒸汽吞吐,剩余油饱和度下降明显,第三次吞吐以后,剩余油饱和度变化不明显。

图 1~图 5 为蒸汽吞吐过程中剩余油的分布情况,图 1 为原始含油分布图像,图 2 为第一次蒸汽吞吐后,剩余油分布情况,从上到下为液体反排

方向,此时剩余油主要分布在模型的中下部,与图 1 相比,显然经过一次吞吐过程,剩余油有明显往复运移现象。图 3 为第二次蒸汽吞吐后,剩余油的分布情况,此时剩余油除了往复运移之外,还有一个显著特征就是反排液从岩芯中部突破油带,造成剩余油主要分布在岩芯中部的四周,这种反排液的突破现象对采油过程有不利的影响。图 4 为第三次蒸汽吞吐后,剩余油的分布情况,这个过程与第二次蒸汽吞吐十分类似,且反排液的突破现象更严重。图 5 为第四次蒸汽吞吐后剩余油的分布情况,剩余油的运移情况与图 4 相似。

上述过程与图 6 所示的采收率曲线是相吻合的。第一次吞吐提高采收率 78%,第二次吞吐提高采收率 18%,第三次吞吐提高采收率 11%,第四次吞吐提高采收率 5.4%。

2. 热化学吞吐

热化学吞吐与蒸汽吞吐略有不同,在热化学吞吐过程中,原油的往复运动不十分明显,但热化学吞吐采油作用比蒸汽吞吐均匀,增产效果持续时间较长。

图 7~图 11 为吞吐液 LS-2 吞吐实验过程中剩余油分布图像,此时图像从上至下为液体反排方向,与蒸汽吞吐相比,此时原油的运移不象蒸汽吞吐那样剧烈,且剩余油饱和度的变化比较均匀,在图 7~图 11 中反映为图像积分亮度逐渐均匀减弱,因而说明吞吐采油效果持续较长,这一点与图 12 所示的采收率曲线相吻合。第一次吞吐提高采收率 26%,第二次提高采收率 16%,第三次提高采收率 10.9%,第四次提高采收率 6%。

图 13~图 18 为吞吐液 LS-1 吞吐实验过程中剩余油分布图像,与 LS-2 吞吐液吞吐实验相比,原油的来回运移现象很不明显,除图 14 剩余油饱和度有明显变化之外,其余几幅图像之间剩余油饱和度变化均不十分明显,其原油采出速度不如 LS-2 吞吐液,这一点从图 18 所示的采收率曲线中也可以看出。第一次吞吐提高采收率 24%,第二次提高采收率 5%,第三次提高采收率 4%,第四次提高采收率 3%。LS-1 吞吐效果不太理想。

结 论

由以上实验,可以得出以下结论:

(1) 蒸汽吞吐过程中,原油有明显的往复运移

现象,但前三次吞吐效果明显。此后,吞吐采油效果下降,从图像分析可知,其主要原因是反排液突破油带,造成原油在岩芯中仅作往复运移,而较难被反排液带出。

(2)注吞吐液采油时,原油在岩芯中无明显的往复运移现象,但其吞吐作用均匀,采油效果持续时间较长,我们通过比较两次吞吐实验结果,可以看出 LS-2 吞吐液采油效果要比 LS-1 吞吐液采油效果好。

(3)实验证明,用核磁共振成像技术研究热力采油过程是可行的,它为热采过程中剩余油的运移、分布等情况的研究提供了一个全新的方法。并

对今后吞吐液的评价及蒸汽吞吐方案的设计等研究工作具有一定的指导意义。

参 考 文 献

- 1 黄延章,王为民等.核磁共振成像技术在石油勘探开发中的应用.大庆石油地质与开发,1993,12(4)
- 2 Baldwin B A. Detecting fluid movement and isolation in reservoir cores using medical NMR imaging techniques. SPE/DOE 14884. Presented at the 5th Symposium on Enhanced oil Recovery.
- 3 Chen J D, Dias M M, Patz S, Schwartz L M. Magnetic resonance imaging of immiscible fluid displacement in porous media, Phys. Rev. Lett, 61(13), 1489~1492

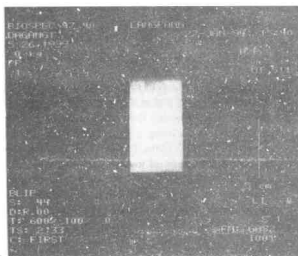


图1 蒸汽吞吐前饱和油分布图像

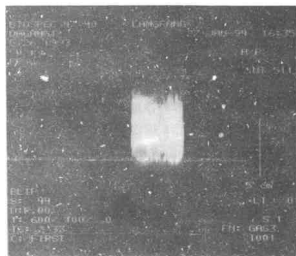


图2 第一次蒸汽吞吐后,剩余油分布图像

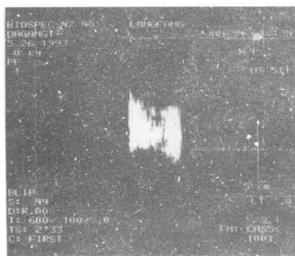


图3 第二次蒸汽吞吐后,剩余油分布图像

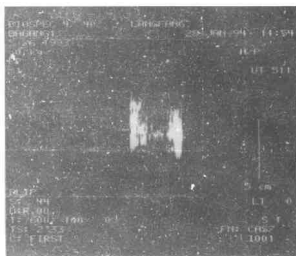


图4 第三次蒸汽吞吐后,剩余油分布图像



图5 第四次蒸汽吞吐后,剩余油分布图像

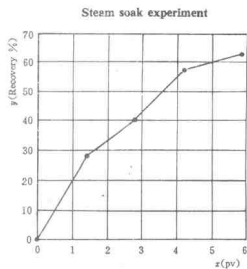


图6 蒸汽吞吐过程的采收率曲线

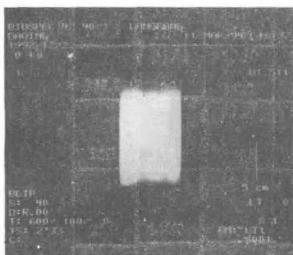


图7 LS-2 吞吐前,饱和油分布图像
(热水中加入1%的LS-2 化学剂)

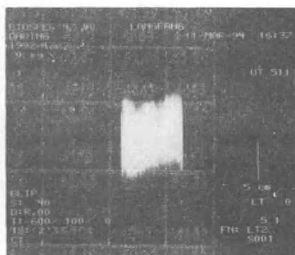


图8 第一次LS-2 吞吐后,剩余油分布图像
(热水中加入1%的LS-2 化学剂)

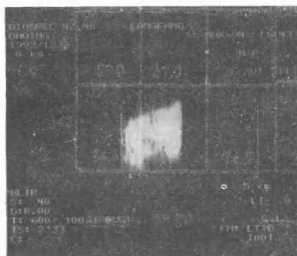


图9 第二次LS-2 吞吐后,剩余油分布图像
(热水中加入1%的LS-2 化学剂)

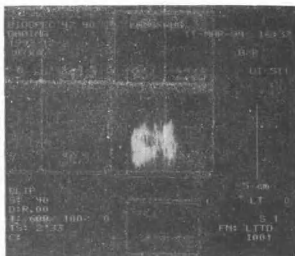


图10 第三次LS-2 吞吐后,剩余油分布图像
(热水中加入1%的LS-2 化学剂)

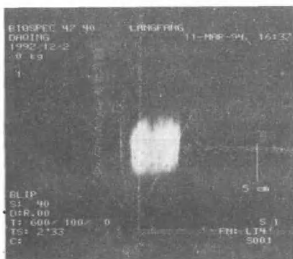


图11 第四次LS-2 吞吐后,剩余油分布图像
(热水中加入1%的LS-2 化学剂)

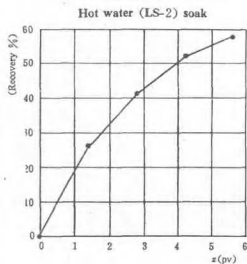


图12 注吞吐液LS-2 过程的采收率曲线

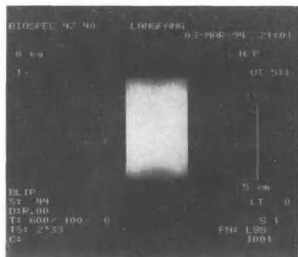


图 13 LS-1 吞吐前, 剩余油分布图像
(热水中加入 0.5% 的 LS-1 化学剂)

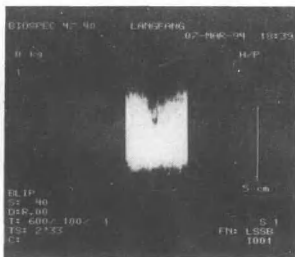


图 14 第一次 LS-1 吞吐后, 剩余油分布图像
(热水中加入 0.5% 的 LS-1 化学剂)



图 15 第二次 LS-1 吞吐后, 剩余油分布图像
(热水中加入 0.5% 的 LS-1 化学剂)

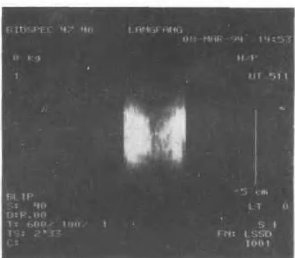


图 16 第三次 LS-1 吞吐后, 剩余油分布图像
(热水中加入 0.5% 的 LS-1 化学剂)

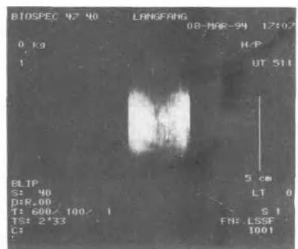


图 17 第四次 LS-1 吞吐后, 剩余油分布图像
(热水中加入 0.5% 的 LS-1 化学剂)

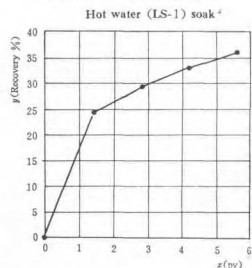


图 18 注吞吐液 (LS-1) 过程的采收率曲线

石油物探局制圖印刷廠
照排印刷