

国际稠油开采技术 论文集

吴 奇 等编译



石油工业出版社

国际稠油开采技术论文集

吴 奇 张义堂 任芳祥
张学鲁 张志东 刘立平 等编译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以在 2001 年国际稠油会议上发表的部分论文为基础,介绍了近些年来在稠油开采技术方面取得的新进展,包括多分支水平井钻井与完井技术、出砂冷采技术、蒸汽吞吐热能优化管理技术和改善热采效果的单项技术,如井下蒸汽发生器技术、井下注汽分配技术等。此外,还介绍了 SAGD、火烧油层、油藏监测、油藏描述、数值模拟等。本书适合于从事稠油开采的工程技术人员阅读,也可供有关院校师生学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

国际稠油开采技术论文集/吴奇等编译.

北京:石油工业出版社,2002.4

ISBN 7-5021-3756-4

I. 国…

II. 吴…

III. 粘性原油-石油开采-文集

IV. TE345-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026612 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 26 25 印张 665 千字 印 1—2000

2002 年 4 月北京第 1 版 2002 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3756-4/TE·2741

定价·48.00 元

序

国际稠油会议于2001年3月12日至14日在委内瑞拉的马格瑞塔岛召开,共有来自生产稠油国家的代表300余人参加了此次会议。这次会议的主题是:“现在是稠油时代,我们准备好了吗?”会上发表了论文54篇,重点介绍了四个方面的新进展。

第一方面,多分支水平井钻井与完井技术日趋完善,初步形成了工业化应用规模。该技术是近些年发展起来的,正逐渐成为一种新的开采方式,在新油田开发建设和老油田调整控制中得到了广泛应用。同时,针对新的开采技术,完善了油藏工程分析研究方法,开发了二维、三维油藏描述软件,为制定科学合理的开采井网和优化水平段轨迹提供了技术保证。

第二方面,出砂冷采开采技术进一步完善配套,现场应用规模不断扩大。

第三方面,热采吞吐高轮次周期注采热能优化管理技术是提高油井产量、降低开发成本的有效方法。

第四方面,改善热采效果的单体技术有了较大发展。一是井下蒸汽发生器技术;二是井下注汽分配技术,可以实现对油层不同层段分配注汽,进一步提高储量动用程度;三是新型地面管输泵,可以大幅度降低集输系统回压。

此外,会议还介绍了SAGD、火烧油层、油藏监测、油藏描述、数值模拟、开发生产管理自动化及环境保护等。

这些论文对于我们提高稠油开发效益及水平,改善开发效果具有很好的借鉴价值。为此,我们组织有关人员将论文进行了编译,并提供给稠油开发工作者学习与借鉴。

吴 奇

2002年3月21日

目 录

蒸汽吞吐水平井的完井评价·····	(1)
注蒸汽—丙烷提高 Morichal 油田稠油产量 ·····	(7)
利用数值模拟优化 SAGD 效果:方法与现场实例 ·····	(18)
注蒸汽条件下利用加氢技术对超稠油进行井下改质 ·····	(29)
利用 THAI—SARA 分析对阿萨巴斯卡焦油砂沥青进行井下改质 ·····	(34)
应用核磁共振测井技术(NMR)了解稠油特性 ·····	(48)
委内瑞拉东部盆地 Zuata 油田中新世 Oficina 地层 Orinoco 稠油带的油藏特征 ·····	(54)
在委内瑞拉 Faja 地区的 Zuata 油田利用多侧向水平井提高采油速度、降低开采成本·····	(70)
加利福尼亚 Cymric 油田成功的蒸汽吞吐开采分析·····	(80)
用于模拟多孔介质内火烧油层方法的孔隙网络模型 ·····	(90)
应用解析解和经验方法预测蒸汽驱产油曲线·····	(104)
利用水平井改善蒸汽驱开发效果·····	(116)
稠油冷采 ESP 自动化技术在委内瑞拉东部油田的应用 ·····	(126)
油层电加热方法在油田应用中取得的新进展·····	(131)
利用水平井眼轨迹和多分支井眼轨迹控制的组合井技术对 Orinoco 油田进行钻完井 ·····	(145)
沥青含量和稀释作用对稠油流变性的影响·····	(154)
全井眼三重侧钻水平井在 Orinoco 稠油油田的应用 ·····	(162)
稠油带砂冷采中产砂和泡沫油流动的综合油藏模型·····	(171)
计算机模拟由热采引起的地层损害·····	(182)
稠油溶解汽驱的力学模型·····	(193)
耦合油藏地质力学模型及其对井筒稳定性和出砂预测的作用·····	(207)
泡沫油的 PVT 热力学特性 ·····	(222)
利用 Helitherm 太阳能系统提高稠油管线管输量 ·····	(228)
碳酸盐岩稠油优化开采的实用方法:埃及东沙漠区 Issaran 油田实例分析·····	(237)
稠油热采新技术及技术转让·····	(250)
Orinoco 稠油带轻质/中质原油和成品油的市场前景 ·····	(256)
利用毛细管自吸作用开采天然裂缝性稠油油藏·····	(268)
委内瑞拉 Orinoco 稠油带先进稠油开采技术的应用 ·····	(276)
MFB—5 油藏的最优开发方案 ·····	(285)
加热和稀释技术在有杆泵抽油过程中开采稠油和超稠油的经验·····	(295)
采用汽—水交替方式成功开采稠油油藏·····	(300)
委内瑞拉 Cerro Negro 稠油油藏中流体和岩石物性对产量的影响 ·····	(312)
委内瑞拉 SAGD 开采智能控制的可观测性和可操作性 ·····	(323)
稠油和超稠油冷采中螺杆泵的模式识别·····	(327)

SAGD 过程优化的替代模型 (332)

委内瑞拉 Orinoco 稠油带稠油溶解汽驱:室内实验与现场模拟 (340)

用于模拟冷采过程的流体—地质力学耦合模型 (350)

模拟稠油在多孔介质中流动的新方法 (369)

评价 Boscan 油田改善采油(IOR)方法的研究 (379)

泡沫油溶解汽驱的实验研究 (391)

双螺杆泵多相流运输中的砂处理 (399)

三维地震在水平钻井中的重要作用:Cerro Negro 地区应用的经验 (407)

蒸汽吞吐水平井的完井评价

李秀雯 编译 刘尚奇 校

摘 要

在委内瑞拉马拉开波湖盆地的稠油区,应用水平井进行蒸汽吞吐已作为一种可行的开采方法。但是,到目前为止,准确测量注入剖面是很困难的,也是很昂贵的,这需要修井作业以测得井内的温度、压力及流体流动。此外,修井作业本身就意味着,测得的参数可能不能准确反映真实条件下的注入剖面。

本文的目的是要说明,应用一套完井设备如何评价实时条件下的蒸汽注入过程。收集到的资料可以对假设进行评价,也可以更准确地预测未来水平井的注入效率。可以估算或预测的重要参数包括激励面积、蒸汽扩展到油藏的距离及注入蒸汽的体积。详细了解这些参数有助于优化未来水平井的完井设计。

这项技术是在 Bachaquero 油田的 LB2644 井上应用的。Bachaquero 油田是马拉开波湖东部近岸的一稠油油田。该油藏是中新统三角洲沉积的疏松砂岩,油藏储量近 10300Mbbl。该油藏应用直井的蒸汽吞吐开发,大约有 40 年,采出程度为 20%~35%。随着水平钻井技术的发展,4 年前该油藏钻了 40 口水平井并投入蒸汽吞吐开发。通过水平井技术的应用,增加了注入蒸汽与油藏的接触面积,提高了蒸汽吞吐的采收率。本文给出了蒸汽注入阶段和原油生产阶段的完井设计,并配置了可永久安装的监测系统,在不需要修井作业的情况下,对井底条件进行连续监测。井底传感器是沿完井段长度捆扎在油管管柱上的。这些仪器包括测量单点温度的热电偶、监测单点压力的毛细管以及可监测沿整个完井段温度分布的纤维光学系统。

监测结果可显示蒸汽前缘在水平段扩展的状态,直至整个水平井全部为蒸汽的情形。此外,监测结果也可以说明注入工业用表面活性剂的效果,观察到它对注入剖面的影响。

这种完井设计使得在注入和生产阶段,很容易实时监测井的动态,而不会遇到象在修井作业时,所导致的额外的直接费用和间接费用(测井所需的直接费用和延期开井生产所带来的间接费用)。有关表面活性剂的应用及其对注入剖面或生产的影响,在以前的出版物中未有记载。所得到的结果可以证实一些假设,并且以后的工作将着重于优化蒸汽注入量和新水平井的完井设计上。

一、前 言

应用直井进行蒸汽吞吐开采,是在马拉开波湖周围近岸区域应用的传统的强化采油方法。水平井技术的出现,提供了同样的蒸汽吞吐方式,水平井的应用可以增加与油藏的接触面积,并且它特别适用于生产指数低的稠油油藏,这些油藏具有渗透率低、温度低、原油粘度高

藏特性。

以前水平井的监测只局限于应用常规的和传统的测井工具,这些工具应用于直井是为了定性地确定激励区域的大小。水平井的特点决定了其测试必须用牵引仪器或连续油管将测试工具输送到水平井段。而这些方法并不能连续监测注入过程,并且使用这些方法也是很昂贵的。

我们所提出的方法在 Bachaquero 油田 LB2644 井上进行了试验,以较低的费用完成了长时间的油井连续监测。这种完井设计使我们对此开发领域存在的问题也进行了研究并取得了结论性的认识。研究的范围是调查使用改进的表面活性剂的有效性和合理性,确定水平井段内有多长比例是蒸汽,以及预测蒸汽吞吐条件下,水平井段的最优长度。这种完井设计以较低的费用,为研究上述问题提供了条件。得到的结果可以用于今后的开发实践,将对更好地设计开发方案、获取知识产生影响,并有助于油藏的最优开发。

二、试验区位置

该试验是在 Bachaquero 油田 CC9 块的 LB2644 井实施的。Bachaquero 油田是委内瑞拉 Zulia 州马拉开波湖近岸的三个稠油油田之一。试验区位于延伸带,靠近主油藏的北部,主油藏具有很高的产油量。该区域的油藏埋深在 1000~1500ft,以前一直是以 231m 井距的直井开发,实施水平井加密后,改善了油藏的波及效率(如图 1 所示)。

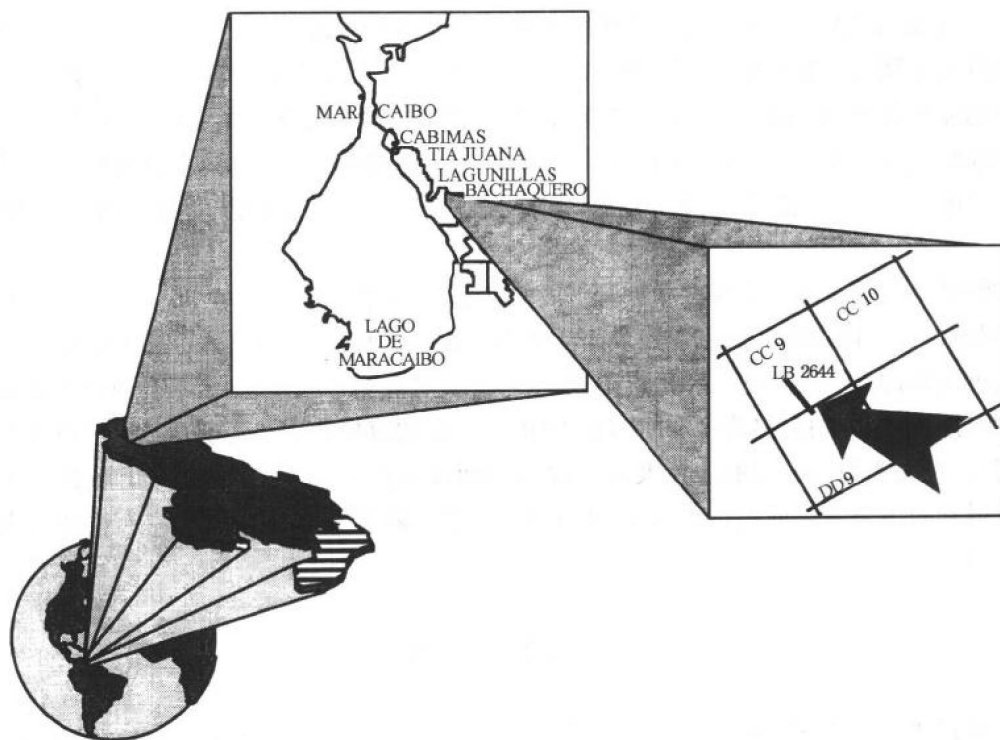


图 1 Bachaquero 油田的地理位置

三、先导试验区的地质和油藏特征

试验区的地质特征与主油藏类似,是一没有断层的略向南倾单斜,属于中新统三角洲沉积。试验区的油藏顶深在 1300ft,水平井测量深度为 3000ft,水平段长度为 1400 ft。试验区的一些重要油藏参数如下:

压力:300psi;温度:120°F;100°F下原油粘度:2000cP;井距:100m;孔隙度:33%;渗透率:2D;厚度:100ft;含油饱和度:80%;含水饱和度:20%。

典型的生产历史表明该区产量较好,周期产油量在 10000t 左右。

四、试验计划

试验第一步是设计和安装与以下描述相匹配的完井工具。完井完成后,试验分为三个阶段。

第一阶段,单独注入 3000t 蒸汽。在该阶段,要优化蒸汽注入量,评价、测试注入能力,监测蒸汽的流动区域,以及井筒内饱和蒸汽或冷凝水的条件。

第二阶段是注入表面活性剂,产生高粘度的泡沫,使蒸汽转向未波及区域。第三阶段是在注入蒸汽(注入 8000t)后研究生产周期。

在全部过程中,用纤维光学分布式温度传感器、测单点压力的毛细管及测单点温度的热电偶,进行连续监测,以分析井筒内流动特性(压力和温度)。

五、完 井

完井设计考虑到注入和生产两个方面,在转入生产之前而不需要将注入管柱提出。在该油田,一般来说,在注入和生产之间都需要一次作业(如图2所示)。先导试验井是水泥固井,

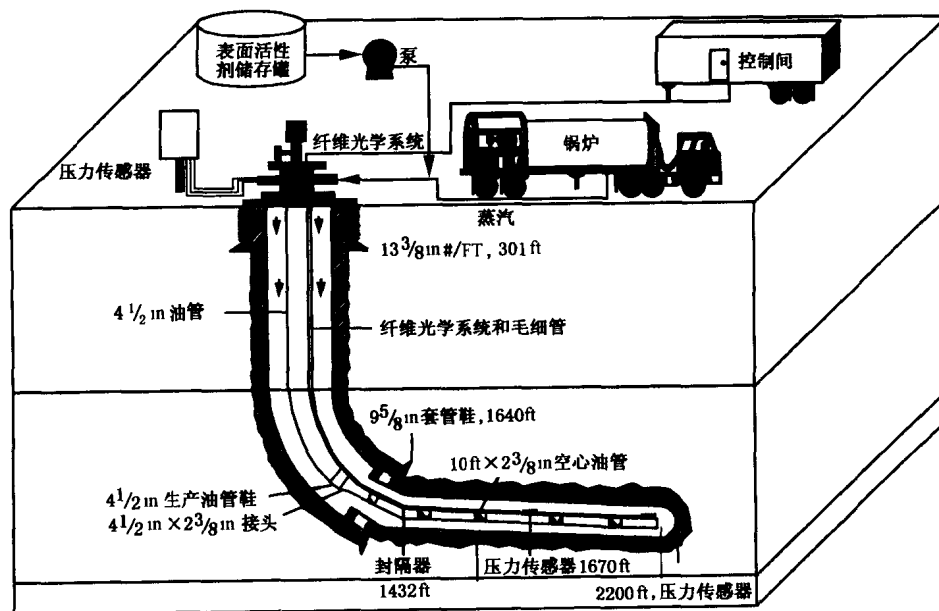
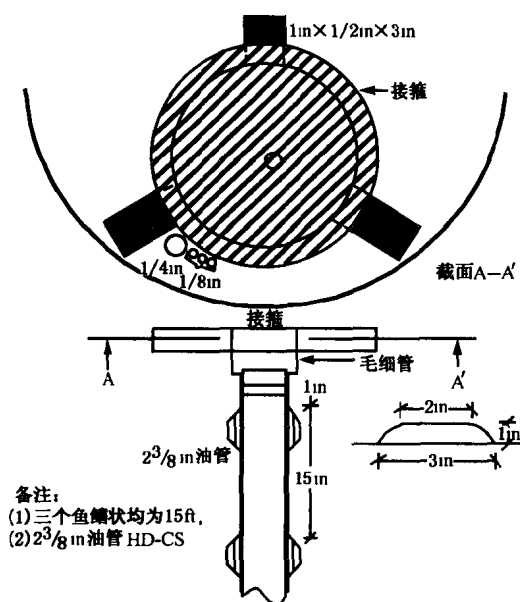


图2 蒸汽/泡沫注入过程布局图

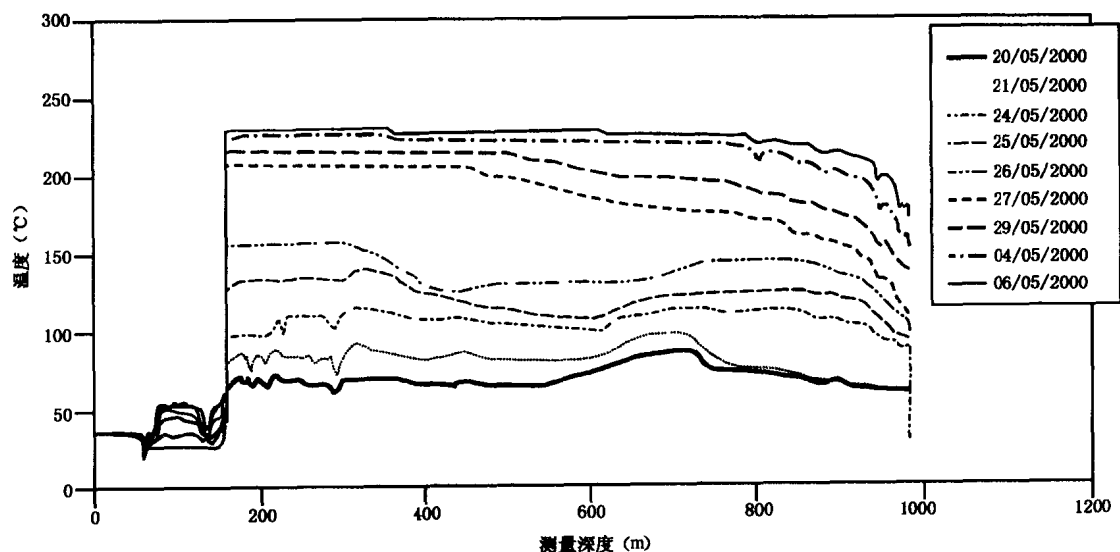


完井管柱用 9 $\frac{5}{8}$ in 的套管及水平井段为 7in 割缝衬管。在 1300ft 的水平井段内,是 2 $\frac{3}{8}$ in 的油管,考虑到油管和环空之间的流动,油管上每间隔 120ft 有 10ft 的射孔段。杆式泵系统的生产管鞋安装在水平段的跟部。蒸汽以平均 170t/d 的速度,70%左右的干度,通过 9 $\frac{5}{8}$ in $\times$ 4 $\frac{1}{2}$ in 和 7in $\times$ 2 $\frac{3}{8}$ in 的环空注入。

连续监测的主要工具分为三种:一种是在 $1/4$ in 毛细管内的分布式温度测试仪,它是应用 纤维光学传感器,提供井内每米温度点的测试。第二种是在 $5/32$ in 毛细管内的热电偶,它提供 单点温度测试。最后一种是在 $1/8$ in 管内的水 准仪水泡管,它用来测试单点压力。所有的毛 细管均是由焊接在油管管柱上的鳍状物保护, 并用金属带子固定在油管上(如图 3 所示)。

六、结果讨论

由不同仪器得到的结果受一系列操作问题的影响。由于井口密封装置的问题,引起了试验的三次拖延。此外,由于蒸汽发生器的供水不足以及地面纤维光学传感器的原因,也延迟了试验的进行。尽管在操作上遇到了一些问题,但我们认为得到的结果对于了解蒸汽的注入以及在今后如何使其最优化是很有用的。在水平井注入蒸汽过程中,能得到完整的温度测井,这还是第一次(如图4所示)。正如所描述的,在环空中注入蒸汽,得到了每天有代表性的测试结果。2000年5月17日与2000年6月6日之间的差异说明存在操作问题。整个阶段的测井数



据说明饱和蒸汽是向井的头部扩展的,并且直到 2000 年 6 月 17 日,压力是逐渐增加的(如图 5 所示)。2000 年 6 月 17 日,由于地面纤维光学传感器的故障,没有得到分布数据,直到传感器修好。到 2000 年 6 月 17 日为止,所获得的数据与没有添加剂的蒸汽注入的第一个阶段是一致的。这说明整个水平井段内都被蒸汽驱扫过,但这并不意味着整个井段都在吸收蒸汽。最后定性确定生产阶段的变化情况。分布式温度测试仪测得哪儿温度变化,就说明产量来自于哪儿。首先要说明,由 LB2644 井得到的一些有趣的结果需要进一步证实。其次是记录得到的剖面与井本身的特性有关,这也需要今后在其他井上进一步证实,这些井最好是与 LB2644 井在相同区域。得到的结果有助于确定蒸汽注入井的水平井段的最优长度。初步的试验结果说明以试验井的注入条件,可以激励更长的水平井段。LB2644 井累计注入 8000t 蒸汽,仅注入 3000t 后,井筒内就充满了蒸汽。

油田研究的第二个阶段如图 6 所示,这是 0.4 % (10 %) 浓度的表面活性剂与蒸汽联合注

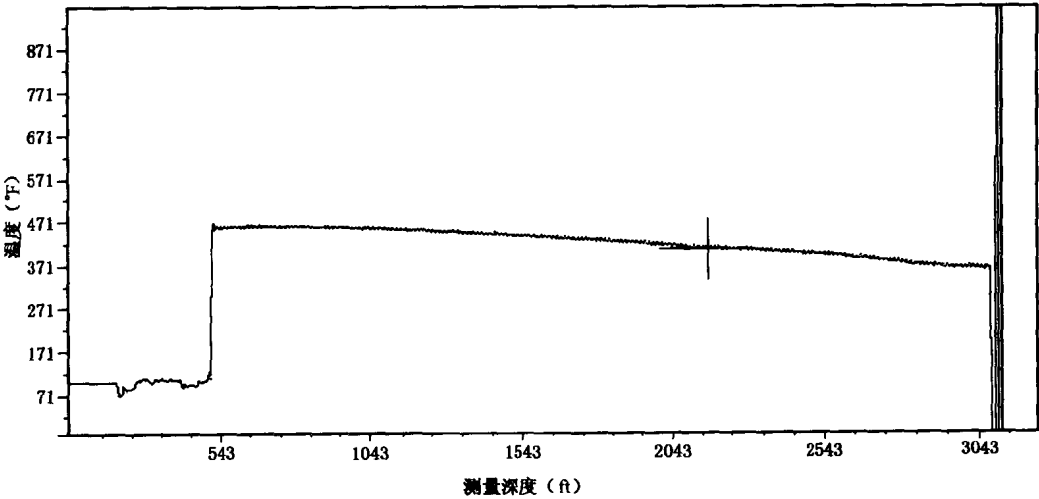


图 5 注入 3000t 蒸汽后的温度剖面

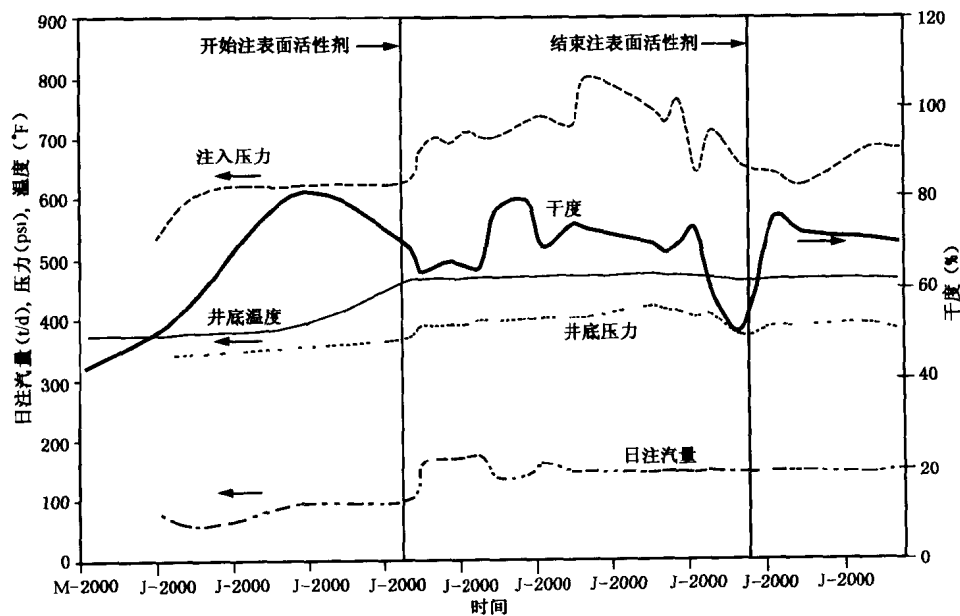


图 6 LB2644 井的蒸汽/泡沫注入参数

入后的结果。地面压力增加了 100psi,井底压力增加了 40psi,这说明已产生了有效的泡沫。然而由于井筒内光学传感器的故障,而没有监测到它对蒸汽剖面的影响。为做到有效地、定性和定量地测试注入和生产过程,需要改进完井设计,以保证光学传感器在整个阶段能正常工作。目前的结果表明纤维光学传感器的分布式温度测试仪具有很大的使用价值。

七、结 论

(1)在 Bachaquero 油田的 LB2644 井的注入和生产条件下,不用起出管柱的这一完井设计是简单、有效的,且费用较低。

(2)注入剖面的测试说明,水平井段的长度还可以比目前更长。

(3)此外还需要在与 Bachaquero 油田情况相类似的油田进行研究,以最终确定水平段的最优长度。

(4)商用表面活性剂可以产生高粘度的泡沫,然而,由于井筒内饱和蒸汽占绝对优势,因此,很难评价它的效果。

参 考 文 献

- [1] Mendoza, H. A , "Horizontal Well Stimulation: A pilot Test in WesternVenezuela" 7th Unitar International on Heavy Crude and Tar Sands Paper N° 1998 129, Beijing China
- [2] Puig, F , "Steam Soaking in the Bolivar Coast" Internal PDVSA report, Nov 1984
- [3] Kasraie, M. , and Farouq, S. M. , "Role of Foam, Non Newtonian Flow, and Thermal Upgrading in Steam Injection" SPE 18784 1989 California Regional Meeting
- [4] Eson, R. L. , "A Comprehensive Analysis of Steam Foam Diverters and Application Methods" SPE 18785 1989 California Regional Meeting
- [5] Brown, G, A , and Kennedy, B , and Meling, T. , "Using Fibre Optic Distributed Temperature Measurements to Provide Real Time Reservoir Surveillance Data on Wytch farm Field Horizontal Extended Reach Wells" SPE 62952, 2000 Annual Technical Conference in Dallas

注蒸汽—丙烷提高 Morichal 油田稠油产量

高永荣 编译 赵郭平 校

摘 要

开展了应用丙烷作为蒸汽添加剂提高稠油产量的实验研究,实验用油样的重度为 13.5°API,取自委内瑞拉的 Morichal 油田。实验装置的主要部件是一个注入模型,其内填充砂子、水、原油的混合物。并在里面放置了热电偶跟踪蒸汽前缘,过热蒸汽(温度为 160℃)以 5ml/min(冷水当量)的速度从模型的顶部注入,模型的压力设置为 50psig。产出的液体从容器的底部收集,经过破乳处理后,再测量出油和水的体积。

丙烷—蒸汽质量比的变化范围是 0:100(只注蒸汽)到 5:100,分别进行了实验研究。也做了氮气与蒸汽质量比为 5:100 的实验,来评价对流传热对产油量的贡献大小。这项研究的主要发现如下(从相同操作条件的 4 个实验中得出):首先,与单纯注蒸汽相比,当丙烷与蒸汽的质量比为 5:100 时,达到原油初产和峰值产量所需的蒸汽注入(冷水当量)分别减少了 20% 和 13% 孔隙体积。在现场生产时,这能够转化为巨大的贴现收益,同时也降低了注蒸汽的成本。其次,在所有的实验中,原油的采收率表现为相似性,大约为 63%~70% OOIP(原始石油地质储量)。第三,对于丙烷蒸汽比为 0:100 和 1:100 以及氮气蒸汽比为 5:100 的三个实验,它们的初产时间实际上是一样的,这一结果表现了所需要的最小的丙烷蒸汽比。第四,在丙烷蒸汽比为 5:100 这个实验中,干馏可能是导致生产速度提高的原因。最后,在丙烷蒸汽比低于 5:100 的任何一个实验中,对流传热是第二个重要因素。要继续开展此项研究,以便更好地理解这种方式的采油机理,为以后模拟注蒸汽—丙烷条件下原油的产量打下基础。

一、引 言

油田应用的热力提高采收率方法包括热水驱、注蒸汽和火烧油层。因为可以利用来自蒸汽的汽化潜热,注蒸汽采油方式比热水驱更有效。因此,如今很少采用热水驱的采油方式。由于井筒存在着热损失,深度超过 3000ft 的油藏可能不适合注蒸汽。这样,对于较深的油藏,火烧油层技术可能是最适合的提高采收率的热力方法。到目前为止,注蒸汽是应用最广泛的热力采油方法。

在过去的 20 年中,一些研究人员进行了有关用蒸汽添加剂来改善单纯注蒸汽原油采收率的实验研究。与我们的研究工作有关的研究结果简要总结如下。

1980 年,Redford 和 McKay 描述了一个开采稠油的实验过程,稠油来自加拿大阿尔伯达油砂,原油粘度是困扰这个地区原油开采的一个特殊问题(油藏条件下原油粘度为 5×10^6 cP)。同时由于埋藏浅,上覆岩层压力低,阻碍了高温、高压蒸汽的应用。

实验中所用的样品在沥青含量、颗粒的分选程度以及岩屑和粘土的含量方面都是变化的。

作者强调的是在注入井与生产井之间必须存在一个干净的连通通道。连通通道厚 $1/8\text{in}$, 宽 2in , 内部充填干净的、预先浸泡过的 20~40 目的压裂砂。

实验用化学剂有甲烷、丙烷、丁烷和戊烷, 以及若干个商用碳氢混合物。有两种不同的操作方式。第一种方式: 单元装填, 保持 500psig 的围压至少 24h, 然后用循环水通过冷却盘管将岩样冷却到大约 55°F 。最后, 注蒸汽, 直到在生产井能观察到蒸汽为止。此后, 关闭生产井, 直到回压达到 285psig 为止。再从该点调节回压, 使得产出的流体为饱和热水, 而没有蒸汽。这种“直通”的注入方式一直持续到实验结束。这一过程持续 16~24h。第二种方式: 除了进行注采井之间的连通建立后的压力恢复和卸压以外, 其他方面都和第一种方式是相同的。这种方式需要大约 20min 的“直通”注入, 随后有大约 10min 的卸压过程。这种过程重复进行, 需要的时间和“直通”方式一样, 大约为 16~24h, 在实验结束时, 关闭模型。

Redford 和 Mckay 研究工作的发现总结如下:

(1) 对于一套给定的温度和压力系统, 烃类添加剂和蒸汽一起注入的开采方式对原油的最终采收率有重大的影响。

(2) 像 Athabasca 这种高沥青含量的原油加入直链添加剂后, 不会大幅度降低油藏渗透率, 相反在早期还会改善渗透率。

(3) 烃类添加剂在驱替采油和衰竭采油过程中都是有效的。卸压的作用是增加蒸汽扫油面积, 相应地增加了残余油饱和度降低的面积。这样在下一轮次中, 能使更多的蒸汽进入单元, 加热更大的面积。

(4) 只要有充足的较轻组分提供采油过程的驱动能量, 较高分子量的烃类添加剂的应用对原油采收率将产生有益的影响。

1993 年, Mokrys 和 Butler 描述了一种用新的方式所做的实验——Vapex 方法, 是为开采加拿大的 Lloydminster 类型稠油油藏[原油重度 13°API , 沥青含量 16%]而开发的。Vapex 的主要目的是原地去掉沥青质, 从而提高产出原油的品质, 减少与生产稠油有关的一些问题。此外, 沥青里含有重金属, 可使在炼油厂内起裂解作用的催化剂中毒。

实验是在含有一对水平井的二维模型中进行的。实验方式类似于蒸汽辅助重力泄油 (SAGD)。大量的热电偶被放在模型内来测量其内部的温度分布。Mokrys 和 Butler 用两种方式来做实验。一种方式(干萃取)是使丙烷通过模型进行简单的循环; 另一种方式是丙烷和蒸汽一起注入(湿萃取)。实验的压力变化范围为 708~984kPa (88~130psig) 是在室温的条件下进行的。

湿萃取工艺过程的机理可以认为有以下几点: 由于存在着相对较高的露点, 蒸汽的活动范围不在, 因此蒸汽在注采井附近形成了一个有限的加热区。相比之下, 丙烷能够超过这个区域而进入较冷的区域。温度测试结果表明, 蒸汽占据了注入井(生产井)附近的一个相对较小的加热区域。当生产的原油到达这个区域的时候, 丙烷气体就从这个区域被汽化, 同时以一种“内部循环”的方式再返回到较冷的区域。结果, 在油—丙烷界面处的油受益于丙烷溶液中潜热的作用, 比单独注蒸汽时更能有效地向前扩展。实验结果表明, 干、湿萃取的生产过程所得到的原油采收率大致相同。并且蒸汽—丙烷过程的能量利用比 SAGD 更有效。据报道, 蒸汽—丙烷注入过程采出的原油油品比初始原油的高, 原油粘度可以降低 50%。

1995 年, Butler, Mokrys 和 Das 提出的更重要的一点是考虑其比例。达到最优开采所需的丙烷量, 很可能在现场操作中会小于实验室中的量。产生这种差别的原因在于, 实验室中需要一些气体充填注入管路和与实验设备相连的容器。这或许被认为优先选择使用丙烷而不是

乙烷是合理的,乙烷的饱和蒸汽密度相对较高,因此更会增大这种差别。

1997年,Butler和Jiang采用井距更大的水平注入井和水平生产井进一步进行了萃取实验。研究结果与1993年Mokrys和Butler做的实验结果相似。值得注意的是,如果开始注汽的速度较高,那么总的采收率就会提高。

1999年,Dehghani和Kamath采用注蒸汽后降低压力,也就是高温降压开采方法进行了实验。实验中所用的岩样来自轻油、多孔碳酸岩油藏。实验研究的主要目的是评价各种采油机理的相对作用,包括干馏。干馏与常规的蒸汽蒸馏不同,它是气态烃驱扫原油从而抽提原油中挥发性馏分的过程。这些馏分在标准条件下冷凝随原油产出。

降压开采实验是在初始含油饱和度和残余油饱和度两种条件下进行的。岩心需要提前预热到300°F。实验开始时,背压调节阀设置的初始压力刚刚高于原油的泡点压力。压力以18psi/h的固定速度降低。不同采油机理的贡献可以从生产气油比、产出原油中C¹⁶⁺的摩尔百分数以及产水量与原油采收率的函数关系曲线中估算出来。

当产出的原油组分发生变化时,就认为干馏过程开始;在给定的温度条件下,达到水的汽化压力时,干馏过程就结束了。在这种情况下,烃是以自由气的形式存在于岩心中的。作者发现,在各自的采油机理中,干馏占原油最终采收率的12%~16%。

1997年,Buter和Jiang指出,为了使沥青沉淀,原油中溶剂的浓度必须首先超过一个临界值。如果用丙烷作溶剂,则其临界值通常为重量百分比的20%~30%。如果初始注入速度较高,那么就能用较少的溶剂获得较高的原油采收率。

1999年,Goite描述了一系列的应用丙烷作为蒸汽添加剂来提高原油采收率的实验。油样来自Morichal,重度为13.5°API。实验是在不同的丙烷蒸汽质量比的条件下进行的,比例范围为0:100~100:0。在实验过程中,总质量注入速度保持在5g/min。结果表明,当丙烷蒸汽比为5:95时,产出原油的速度最高,并且加快了原油开始产出的时间。Goite建议在一定的蒸汽质量速度下,进行进一步实验研究,以便获得更加准确的最优丙烷蒸汽比。

湿萃取过程和我们的研究有类似之处。可以推测,随着湿萃取过程的进行,丙烷扩大了油藏内部的温度剖面,形成了一个向油藏传递热量的前缘。在蒸汽—丙烷注入过程中,丙烷可以通过以下几个方面提高原油采收率。首先,丙烷(气相)在蒸汽的前面能够深入油藏内温度较低的区域。其次,除了对流传热之外,丙烷气还可以和原油混相,由此通过降低原油的界面张力来减小原油的粘度和残余油饱和度。

二、研究目的

这项研究的主要目的是更好地理解在注入蒸汽—丙烷条件下提高原油采收率的机理。

主要的研究任务如下:

(1)研究各种较低的丙烷—蒸汽比对Morichal原油采收率更全面的影响。

此项研究将工作重点集中于比Goite(1999年)所做的研究更窄的范围内进行。用丙烷蒸汽质量比5:95作为实验起始点。在所有的实验中,蒸汽的质量注入速度是相同的,为5g/min,而对比于Goite的实验,采用恒定的质量注入速度。

(2)研究对流传热在蒸汽丙烷注入过程中的作用。这个实验,需要用氮气作为添加剂,所用氮气的质量和某个使用丙烷实验中的质量相同。

三、实验装置和程序

图 1 是实验装置的示意图。模型和注入—收集面板照片如图 2、图 3 所示。实验装置由以下几个主要部件组成：

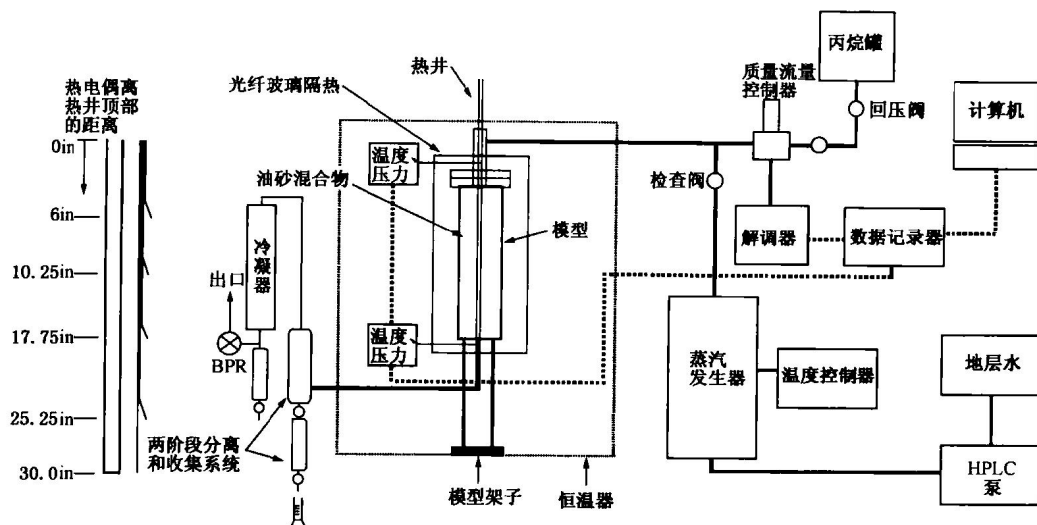


图 1 实验装置示意图



图 2 恒温器内部的模型照片(隔热之前)

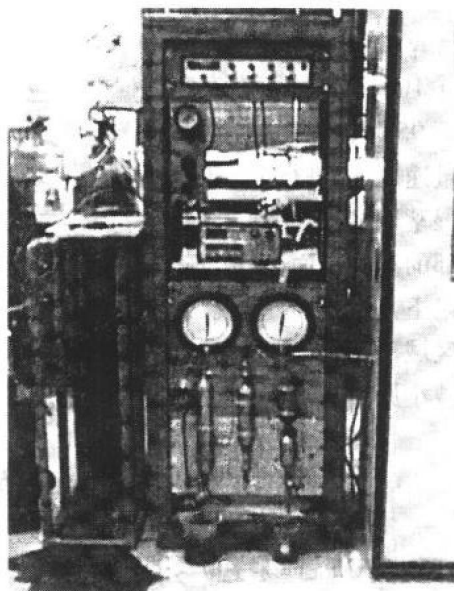


图 3 面板照片—质量流量控制器、HPLC 泵、分离—冷凝系统

(1) Alcott 706 型高性能液体色谱泵, 最大泵速为 20ml/min。这台泵以一个精确已知的速度向蒸汽发生器供水。

(2) 蒸汽发生器。它的最大功率是 1000W, 向模型中注入蒸汽。

(3) 模型。模型长 33in, 其内部充填混合砂并被放置在恒温箱内。混合砂是由测量过质量的水、砂和 Morichal 原油组成的。

(4)高精度恒温箱。恒温箱设置的温度为 148°F,是 Morichal 油田的油藏温度。

(5)两阶段分离和收集系统,如图 3 所示。这部分的作用是通过冷凝器将产生的气体从产生的液体里分离出来,冷凝器是通过水冷凝装置进行冷却的。

(6)Brooks5850E 型质量流量控制器。它用来调节丙烷的注入速度。

(7)Hewlett—packard3497A 型数据记录系统。除了温度是由放置在位于模型中轴线上的热电偶套管内的四个热电偶测量之外,数据记录系统以每 10s 的间隔记录注入压力、注入温度和出口压力。

一般实验按以下方式进行(详细资料见参考文献[10])。首先测量所需要的砂子、水和油的重量。将水加到砂子中并完全混合起来,然后将原油加到砂—水的混合物中并混合,直到混合物均匀为止。然后将一小部分的砂子混合物填充到模型中,直到充填到顶部为止。装好模型,同时用氮气测量压力,以防泄漏。将模型直立地装牢在放置于恒温箱内的铁架子上,模型用一层光纤玻璃进行隔热。恒温箱设置温度为 148°F,并保持恒温。

冷水以 5ml/min 的恒定速度泵入到蒸汽发生器中。开始时蒸汽进入模型的旁通管,直到压力为 50psig 时,得到所需要的温度为 316°F 的过热蒸汽为止。如果需要的话,用氮气来提供模型出口端的回压。一旦达到所希望的压力 50psig,就开始注入蒸汽—丙烷。产生的液体收集到容积为 50ml 的离心分离机样品瓶中。将这些样品进行各种破乳,以便将原油从水中分离出来。通过油、水体积的测量,确定油、水的生产速度与时间的关系。实验大约持续 5h。

我们开发了一套特殊的破乳方法,专门用于产出液体样品中极稳定的油水乳化液。先将 15ml 的商用油漆稀释剂放入每一个样品瓶中,当取完一个样品之后,轻轻地摇晃瓶子来稀释原油,同时读取总的液体体积 V_T (ml)。再将大约 1g 的氯化钠放入瓶中,然后充满油漆稀释剂。轻轻摇晃瓶子,将其放在温度为 120°F 的水浴中大约 30min。将四个样品瓶全部放在离心机上,以 2300r/min 的速度旋转 30min 以破乳。然后可看到一个清晰的油水界面。读取水的体积 V_w (ml),这样,油的体积就等于 $V_T - V_w - 15$ (ml)。

四、实验结果

做了 8 次实验(实验 1~8),每一次实验蒸汽的注入速度都为 5ml/min 冷水当量。实验中,丙烷蒸汽比的变化范围为 0:100~5:100。第 8 次实验使用的是氮气,氮气蒸汽比为 5:100。每一次实验的实验条件及充填砂的性质总结在表 1 和表 2 中。图 4~图 6 描绘了一组典型的速度、温度及压力数据曲线。

表 1 实验 1~8 的实验条件

实验	质量(g)			填砂模型的长度(in)	丙烷蒸汽	注入压力(psig)	注入温度(°C)	标准隔热
	砂	油	水					
1	1901 9	207 1	101 3	17 9	0 100	44~52	145~155	No
2	1906 9	220 2	101 5	17 8	5 100	23~27	135~150	No
3	1901 2	234 3	101 3	17 4	2 5 100	48~52	148~158	No
4	1928 8	221 4	102 8	18 1	5 100	50~55	147~149	No
5	2446 5	281 3	130 3	23 5	1 100	45~54	159~161	Yes
6	2497 2	289 8	133 0	23 8	5 100	44~56	157~162	Yes
7	2465 7	291 3	131 4	23 1	0 100	46~55	162~166	Yes
8	2516 7	298 2	134 1	23 3	5N ₂ , 100	50	163~164	Yes