

中—加科技合作交流资料

AOSTRA/ARC 岩心研究项目 半年报告

中国石油天然气总公司
石油勘探开发科学研究院
一九九一年七月

AOSTRA/ARC 岩心研究项目 半年报告

摘要 TE31
030

本报告是 AOSTRA/ARC 室内岩心试验研究半年报,主要阐述七项科研课题研究进展及所获得的成果,并附有七项试验成果简介,及下步工作计划。

一、 七项科研课题是:

- 1) 多孔介质中渗流机理研究
- 2) 波及系数的控制
- 3) 改善油田开发过程
- 4) 近井地带对生产的影响
- 5) 相态平衡及运移现象
- 6) 基础研究
- 7) 研究项目之间的协调

二、 精选要点:

- 1) 对岩心中蒸汽和水的驱替试验采用 CT(Computer Tomograph 图像扫描)分析表明:
 - 多孔介质中毛细管现象主要机理可用于解释压差和饱和度的历史变化过程。
 - 蒸汽前沿是稳定的。但其前沿推进速度在很大程度上取决于注入速度和蒸汽干度,与多孔介质的相对渗透率和导热系数关系较小。
- 2) 在岩心渗透率为 20 达西、试验温度为 180℃ 条件下,用阳离子表面活性剂或混合型表面活性剂进行试验表明,岩心在残余油饱和度下可以产生泡沫。
在工作温度高于 300℃ 的细长岩心管中,对 Sun Tech IV 泡沫剂和 N₂ 气的一系列试验表明,该泡沫剂的热稳定性随温度增加稍有下降。
- 3) 采用组装好的相似物模型进行冷湖底水油藏蒸汽驱试验。完成了在底水中添加化学剂开采沥青的新方法的试验研究。
- 4) 对比测定钻井岩心束缚水方法,说明采用超速离心法测得值高于抽吸法,以此可获得原始束缚水值。
- 5) 从方解石溶解试验数据中整理出一条新的反应速度公式,既适于模拟油藏中方解石的溶解度和产生的 CO₂,也适用于清除在井筒中方解石沉积的计算。
- 6) 建立一套带观察孔的装置,用于研究在蒸汽或水存在时气体在沥青中的溶解度。100℃ 下所进行的 CO₂-Athabasca 沥青砂拟二相混合体系的实验数据与文献报导的结果完全一致。
- 7) 一种适用于高温高压的螺旋式的 ~~程度测定仪~~ 已进入调试,调试结果表明是一种很有希望的试验装置。
- 8) 对汽-油-水-砂系统 ~~完成三种高压下相似法的对比试验。~~
- 9) 针对油田现场情况,综合研究了含油饱和度对泡沫性能的影响。并用泡沫运移模型对位于阿尔伯达省东部的波都(Bodo)油藏进行注入工艺参数优化设计。

第一项 渗流机理研究

任 务

用一般的相对渗透值在数值模拟中处理乳化液渗流,或对于高流度比而产生的粘性指进,其处理结果与实际不符。本项课题任务是确证用简单相对渗透概念是不能代表油层的渗流特性的。通过试验,根据渗流原理及试验结果建立新的关系式,使它既能代表试验室情况,又能代表油田的渗流状态。

本期工作进展

以前用 CT (Computer Tomograph) 在饱和水的岩心中蒸汽驱扫描结果,显示了蒸汽前沿在岩心中稳定推进的趋势。然而详细地分析图象后,发现蒸汽前沿推进现象要比予想的复杂得多。蒸汽在横剖面上的推进已不能简单地用重力影响来解释。此外在岩心的某些部位内,最终含水饱和度具有个自不同的特性。

本课题研究期间继续进行 CT 蒸汽驱扫描工作,以及这些实验的数值模型模拟工作。这些数值模拟有两种截然不同的类型。第一种是一维模型,以园柱体岩芯拟合实验所得的蒸汽前沿推进速度、压力变化规律和含水饱和度的平均值。第二种模拟的目的至少是定性的再现,所观察到的最终含水饱和度的空间不连续性。为了方便起见,第二种模型是用 7 个纵向网格,5 个垂直网格和 1 个横向网格的长方体,以此模拟实际岩芯的体积和长度。模拟中对不连续的物性采取“阶梯”形状,近似地描述了实验中观察到的饱和度不连续性。

所有模拟均采用 ARC 的多组份油层模型,发现蒸汽/水的毛细管压力不能等于零。当采用 leverett 形式毛管压力时,相应的岩芯渗透率为 2.8 达西,孔隙度为 35% 和考虑空气/水面表张力值,此时很好地拟合了在驱替开始和结束时所观察到的压力阶梯(图 1.1)。在一维模拟中为了拟合在驱替过程中压力上升,相渗透率的端点值须接近 1。这和 Verma 和 Pruess 对蒸汽/水的数据是一致的。以前,在多组份模型中曾采用较低值。最初的模拟采用固定的蒸汽干度值,其压力随蒸汽沿岩心推进而线性地上升。实验的曲线有些弯曲(图 1.1)。在分析实验数据和完成几次数值模拟后,发现弯曲是因为蒸汽沿岩芯扩散时蒸汽干度改变所致。实验证实,在蒸汽前沿推进时岩心夹持器和压力容器的温度有缓慢上升的变化现象。

还进行了推进时间的模拟。出现了一些有趣的观点。简单地讲,相对渗透率和介质导热系数对蒸汽前沿推进速度影响很小。前沿推进速度主要受注入速度和蒸汽干度影响,这与 Udell 所得的结果一致。实验的蒸汽干度为 45% 左右。然而模拟拟合前沿推进时间采用的蒸汽干度为 35%。实验与模拟所得的蒸汽干度所以不同,可能是由于试验装置对热损失还有某种不确定性所致。

为了进行二维模拟,还修改了 ARC 多组份模型。早期采用汽-水毛管压力曲线作为绝对渗透率的函数。为了确定岩心中不同部位的毛管压力,就必须有不同部位的绝对渗透率。为了把绝对渗透率和毛管压力分开考虑,必须将毛管压力值作为网格中的变量。特别是,毛管压力是三个参数的函数,在每个网格块内均可确定。

采用新的毛管压力二维模拟表明,有可能获得岩芯中不同部位的不同的最终含水饱和度和。此时假设了不同的毛细管压力关系式,即使对于绝对渗透率和束缚水相同的岩芯也是如此。假设在模拟的岩心中有三个不同的区域,毛管压力有点不同,也能很好地拟合试验中所得的含水饱和度。(图 1.2)。

整个期间作了大量的 CT 蒸汽驱扫描。其中包括继续研究蒸汽在含水多孔介质中的推进,继之用沥青进行短时间的连续驱替。进行若干个蒸汽驱替水的试验,以此研究与蒸汽推进有关的机理,和有趣的残余水饱和度的分布。有一岩心在蒸汽驱后关闭一夜,第二天水的分布基本不变。这就证实是毛管压力控制最终水饱和度的分布。毛管压力在剖面上的变化可归因于多孔介质中孔隙大小特性的改变。目前正与地质研究所合作,用切片的显微镜分析技术来证实这种解释。

另一个有趣的实验是在蒸汽驱后干燥岩心。在干燥过程中,岩芯仍维持水饱和度的空间变化,只是水饱和度的绝对值逐渐减少到零。岩芯干燥后再次用湿蒸汽驱替。湿蒸汽的注入使水含量迅速上升,便恢复到干燥前水饱和度空间分布的状态。这种水饱和度分布过程既可开始于干岩芯($S_w=0$),也可开始于完全为水饱和的岩芯($S_w=1$)。我们认为液滴捕捉是产生水饱和度分布的原因,其最终数值受粘滞力和毛管力平衡的控制。

在装填两种不同粘度沥青的岩芯里进行了蒸汽驱试验。初步的观测结果表明:对于粘度较低的沥青,其前沿推进和 ΔP 的响应类似于充水岩芯的情况,只是残余液体的含量更高一些。对高粘度的沥青,前沿推进现象改变了,在蒸汽沿岩芯推进前 ΔP 已增加到某个稳定的值。这与蒸汽驱水的特性相反, ΔP 值在蒸汽推进中是一直上升的,现正在继续研究沥青存在时,蒸汽驱特性的 CT 图象扫描分析。

下步计划

完成初期蒸汽驱的报告

完成一种新的岩芯夹持器的设计,用于进行各种蒸汽驱试验,包括蒸汽拖曳形状的研究。

制定第二阶段蒸汽驱和蒸汽拖曳的试验计划。包括由技术分会的评审和接受。

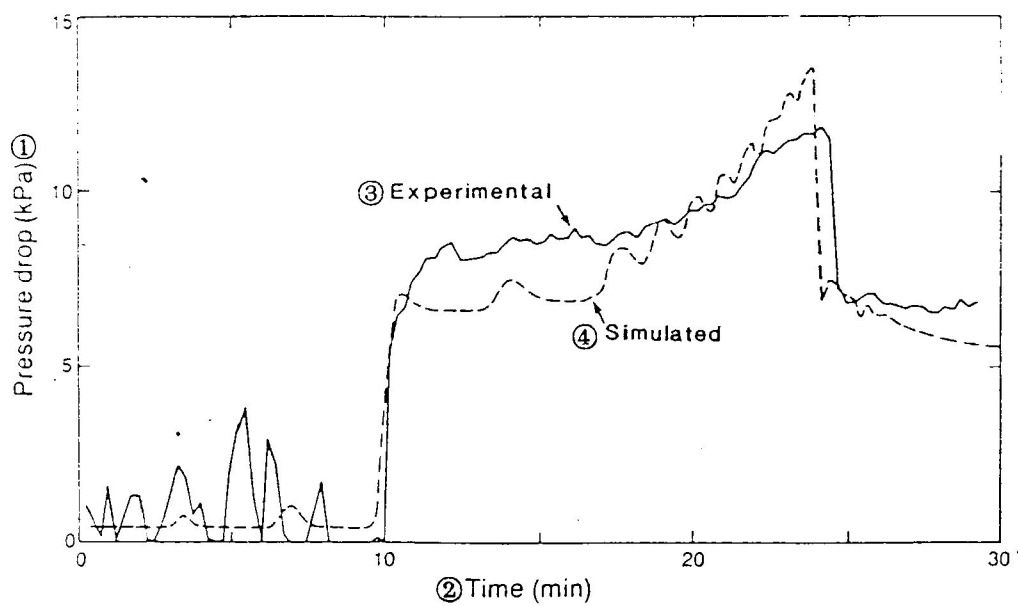
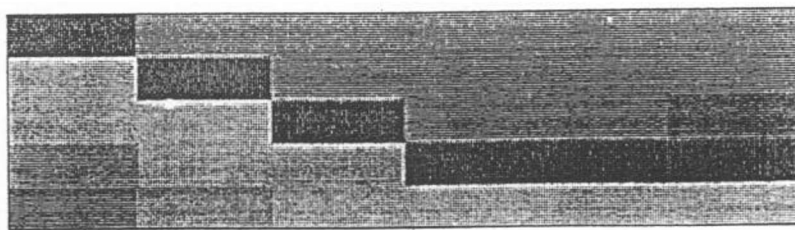


图 1.1 实验室和数值模拟压力差的对比曲线

①压力降(千帕)②时间(分)③试验结果④数值模拟



(a)



(b)

图 1.2 最终含水饱和度对比正视图

(a)观察的最终含水饱和度图

(b)二维毛细管压力模型模拟所得的最终含水饱和度

图

第二项 波及系数的控制

任 务

此项目为长期研究课题。在不牺牲油气比和产油量的情况下,优选油藏开发中的波及系数。增添的研究内容有:试验添加剂对残余油饱和度的影响,有效渗透率对蒸汽—添加剂的混合物的影响,不同凝结气和非凝结气体加入蒸汽时所引起的重力作用,和提高油层传热速度的方法。

此期间的成果

在 1.7 达西岩心试验装置中,用饱和盐水和 BP 油藏的地层水(含有 150ppm 的 Ca 离子),进行发泡和泡沫推进试验。使用 Sun Teach IV 表面活性剂作试验,由于二价离子的存在使一部分泡沫消失。试验中当大部分孔隙体积注入表面活性剂后,在 180℃ 时产生沉淀而堵塞岩心。在存在二价阳离子时,进行 25℃~150℃ 界面张力测量时,旋滴管中也发现表面活性剂的沉淀现象。

在 20 达西的砂管中,在 180℃ 下进行发泡与残余油饱和度关系的试验。砂管中存在原油(冷湖原油)则能阻止泡沫剂发泡。无论采用 Chaser SD1020(一种新的耐油表面活性剂)或 Sun Teach IV 或 Chaser SD1000 混合液,即使岩心中有盐份时也能生成泡沫。在相同条件下,不管是 Sun Teach IV 或 Chaser SD1000 都不能发泡。图 2.1 表示有油时和无油时 SD1020 表面活性剂的发泡方式不同,没有油时泡沫突然产生;而有油时,压力梯度是逐渐增加的。有油时的发泡能力取决于表面活性剂降低砂管中残余饱和度的能力。

采用微观模型观察石油对泡沫稳定性的影响,除了了解泡沫的流动特性以外,这些观察试验还能观察到水驱沥青或沥青驱水过程的特点,还能相当清楚地观察到在多孔介质中油包水乳化液的形成。

为了研究表面活性剂发泡的稳定性,进行定压差(ΔP)的驱替试验,与蒸汽驱时相比,流动度最多可降低 15 倍,显示出注入的蒸汽约 90% 分散。试验结果表明 Sun Teach IV 和 Chaser SD1000 有些不同,并与 N_2 同注时也没有多大的影响。采收率指标为 50%。

二种不同原始含液量(0.72 和 0.90)的细长岩心管中,在温度为 25~270℃ 的范围内,进行 Sun Teach IV 伴随注入 N_2 的发泡试验,发现随温度下降,其流动有下降趋势,流动能力一般可减少 5~15 倍。在某些条件下,流度可减少 100 倍以上。

继续在 90cm 模型上作分析研究,特别着重 Sun Teach IV 与 N_2 一块注入试验。结果发现在相当低的含油饱和度范围内,渗透率仍大幅度降低。图 2.2 表示其试验结果,图中表示一个区为注汽井附近区,另一个区为生产井附近区,二个试验区的压力与时间关系曲线。

计划

建立表面活性剂的发泡压力—表面张力的试验分析方法。

完成高温下稠油表面张力的试验报告。

研制一种可用于测量混相驱分散体系流变性的螺杆泵。

继续进行在不同渗透率岩心中,残余油存在时的泡沫剂发泡试验。

采用细长岩心管装置研究凝胶的形成和稳定性。

改进驱替试验装置,使得在定压差(ΔP)下试验时,仍保证一定的 N_2 和蒸汽比以及表面活性剂浓度。

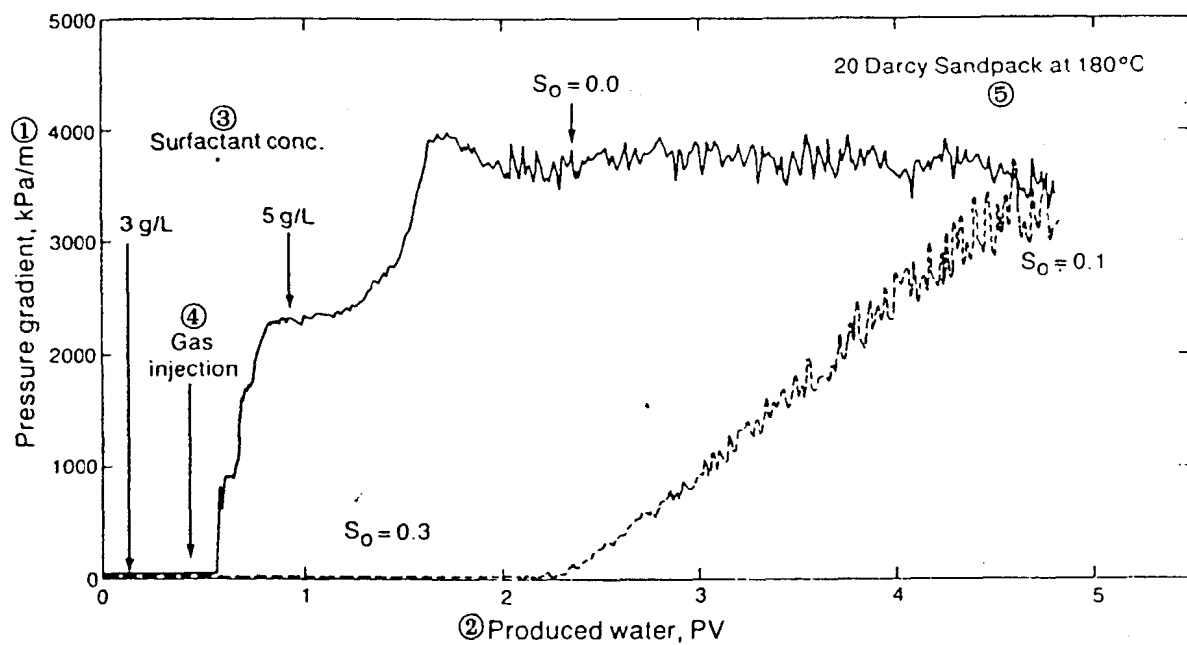


图 2.1 在 20 达西砂管中含油饱和度对 Chaser SD1020 表面活性剂发泡的影响,压力梯度取决于发泡的强度。

- ①压力梯度 ②产出水,(孔隙倍数)
- ③活性剂浓度 ④注入天然气
- ⑤20 达西砂管,试验温度 180℃。

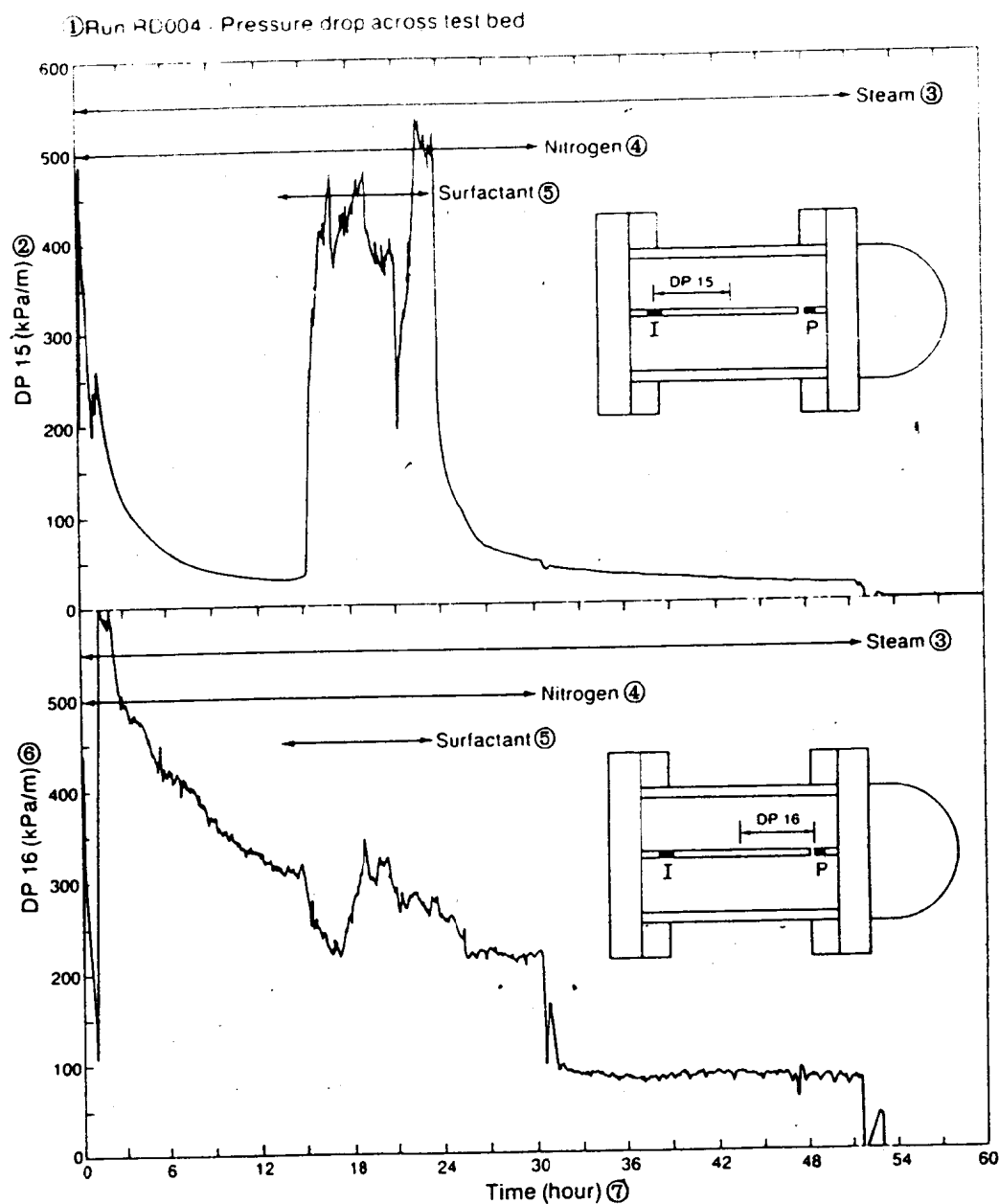


图 2.2 在 90cm 岩心管中注蒸汽,表面活性注入剂对
注入井(上图)和生产井(下图)压差的影响

①RD004 试验—试验断面间的压差

②DP15(千帕/米)

③蒸汽 ④氮气

⑤活性剂 ⑥DP16(千帕/米)

⑦时间(小时)

第三项 改善油田开发过程的研究

任 务

研究有希望改善现有开采工艺的新方法和开采方式。检验优选时最敏感的参数,并评价对先导性试验有希望的新方法。

本期工作进展

在试验温度为 100°C ~ 150°C 下进行 Athabasca 油砂的岩心试验:研究热碱水,热水— CO_2 和热水—碱— CO_2 三种方法开采的可行性。试验时岩心管回压为 3.6 兆帕(500psi)。

注入液的 PH 值在 10.5~11.5 之间时,大部分产出含油量为 2.0~3.6% 的水包油乳化液,沥青采收率在 35%~55% 之间(图 3.1A)。可以相信,在油藏条件下,由于可动油较长时间的滞留,产出液将得到更高的含油量。在低压过程中,热碱水驱将具有较大的吸引力。

对比热水驱情况,低温热水添加 CO_2 的试验结果,说明可以有效地改善沥青的开采(图 3.1B)。热水— CO_2 试验证明能生产更多的油包水乳化液,此时含油量上升到 6.0%,沥青采收率由 35% 至 48% 之间。当温度达到 130°C 范围时,可获得最高的沥青采收率。当生产液体温度降至 100°C 时,沥青采收率为 35%,与热水 CO_2 驱实验时生产温度为 150°C 时的情况相同。

进行热水— CO_2 驱替试验时,其生产温度为 100°C 。由于可动液体截面的增加, CO_2 注入量从第一个小时起逐渐增加,由 1.2 增至 3.0 摩尔%,以抵销压力差的减小,因此含油量增加至 10%,沥青采收率可达 53%。

在试验温度分别为 150°C 、 130°C 和 100°C 下采用三个速法进行热水—碱— CO_2 驱替试验乳化液的含油量高达 11%,沥青采收率为 43%—35%(图 3.1C)。令人鼓舞的是,试验温度为 100°C 时沥青采收率可达 43%,高于只注 CO_2 时的采收率。有趣的是,如加入少量 NaOH (400ppm) 与 CO_2 起反应,能显著地增加沥青的流动性,此阶段最有希望开采沥青。它的机理和有关表面化学作用尚未理解。

在热采高压模型装置中,用五点井网的八分之一模型,模拟冷湖底水油藏的蒸汽驱,此模型是按 pujol 和 Boberg 的相似准则设计的。模拟砂层厚 13 米,下部为厚 2m 的含水饱和度 100% 的底水层,油层和水层渗透率皆为 $1.33\mu\text{m}^2$ 。五点井网面积为 4.5 英亩,蒸汽注入速度 60 吨/天,注入压力 1.75 兆帕,蒸汽干度 100%,蒸汽注入底水一直到产出的温度达到注入温度之后,蒸汽注入速度降至 45 吨/天。

试验结果表明,汽驱第一年产油量很低(油汽比为 0.07),但底水层已被加热。开始时产水量高于注入蒸汽的水当量,之后逐渐降低。汽驱至第三年和第四年,累积油汽比达到峰值 0.38。之后开始下降,在试验所采用的注入速度下,出现明显的重力超覆现象。汽驱七年后,总采油 50,000 方,蒸汽注入量为 160.000 吨,累积油汽比为 0.3(图 3.2)。

在相对渗透率试验装置中,进行注蒸汽,蒸汽—空气,注热水和热水—空气四种驱替试验,以此研究添加空气的驱替机理。整个试验是在 218°C 的典型岩芯装置中进行的,四种试验的残余油饱和度值摘录如下:

注热水	32.7%
注热水—空气	23.8%
注蒸汽	21.0%

当空气加入热水(218℃)注入时,岩心两端压差明显增加(图 3.3)。可是当空气继续注入时,压差未能继续增加。其原因是当岩心中空气饱和度增加时,空气有效渗透率增加,压差就下降。一个蒸汽—空气试验结果表明,在空气伴着蒸汽注入时,压差上升并能维持不降。

将来计划

在热采高压物理模型中,完成一系列不同注入速度对底水油藏生产动态影响的试验。写出热水—空气的试验报告,并继续进行蒸汽—空气驱替过程对下列参数的影响试验:

- 温度
- 空气对 N_2 对 O_2
- 空气浓度
- 原始含油饱和度
- 蒸汽干度
- 油砂性质

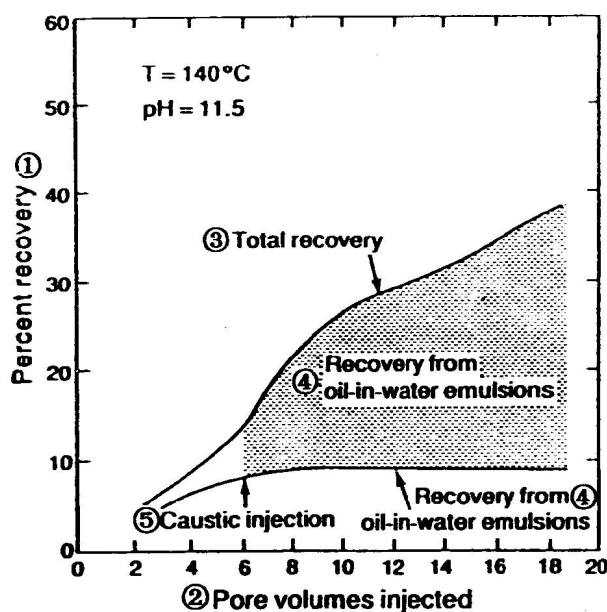


图 3.1A

①采收率(百分数)②注入的孔隙体积数③总采收率④
从水包油乳化液中获得采收率⑤注入碱水

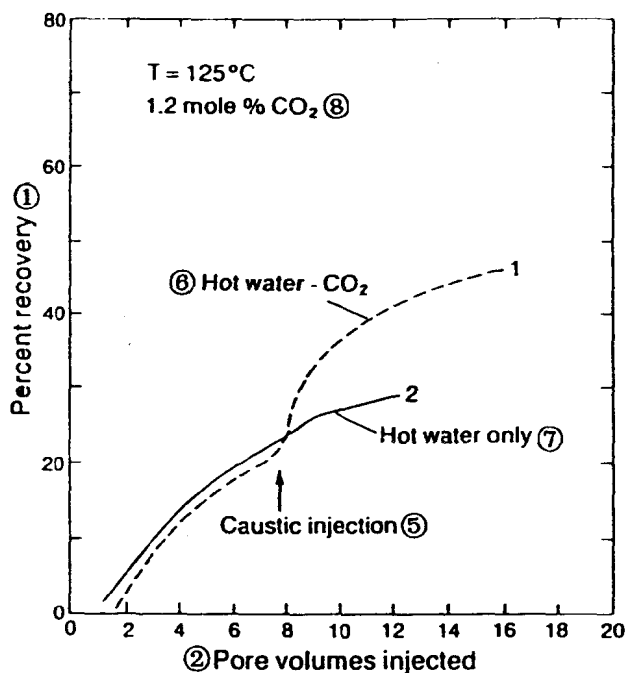


图 3.1B

①, ②, ⑤同图 3.1a;

⑥注热水-CO₂ ⑦注热水 ⑧1.2 摩尔%CO₂

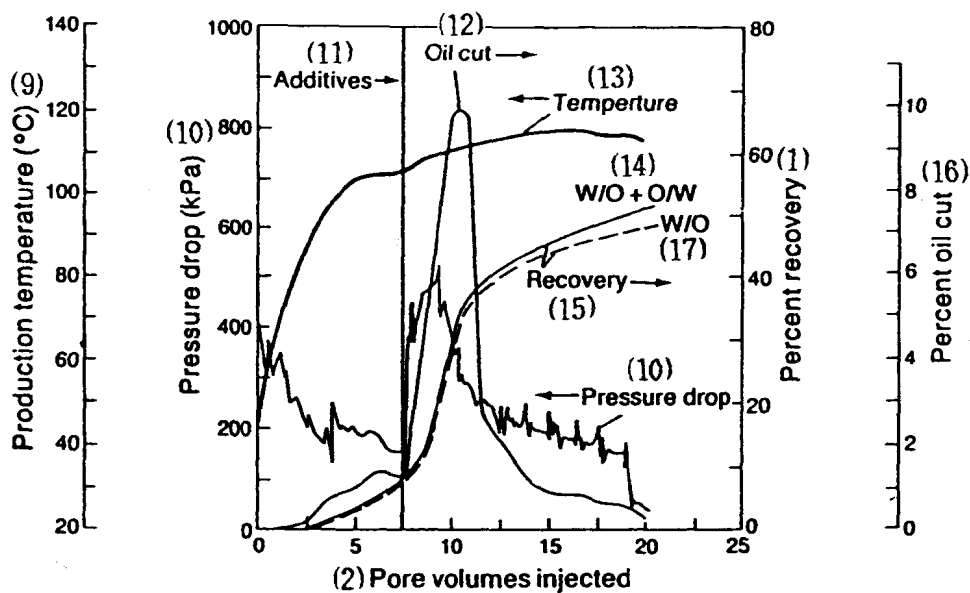


图 3.1C

①, ②同图 3.1a ⑮采收率 ⑨生产温度(°C) ⑯
含油量百分数 ⑩压差(千帕) ⑰水/油 ⑪添加剂 ⑫含油
量 ⑬温度 ⑭水/油+油/水

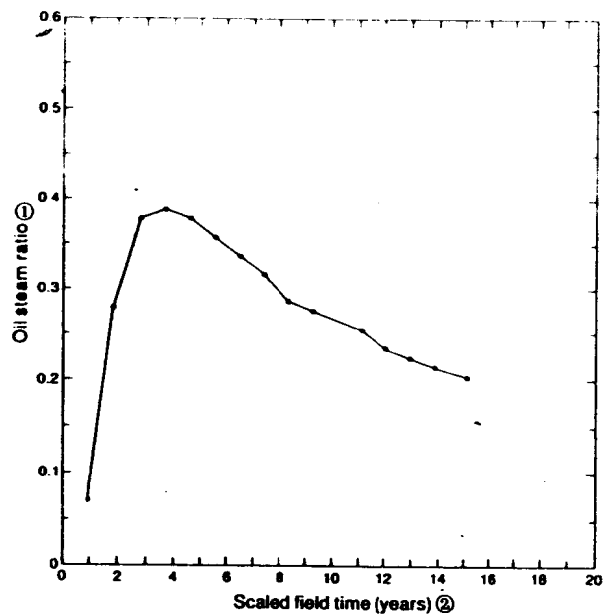


图 3.2 具有底水层的冷湖油藏生产中不同时间的油
汽比曲线

①油汽比②模拟油田时间(年)

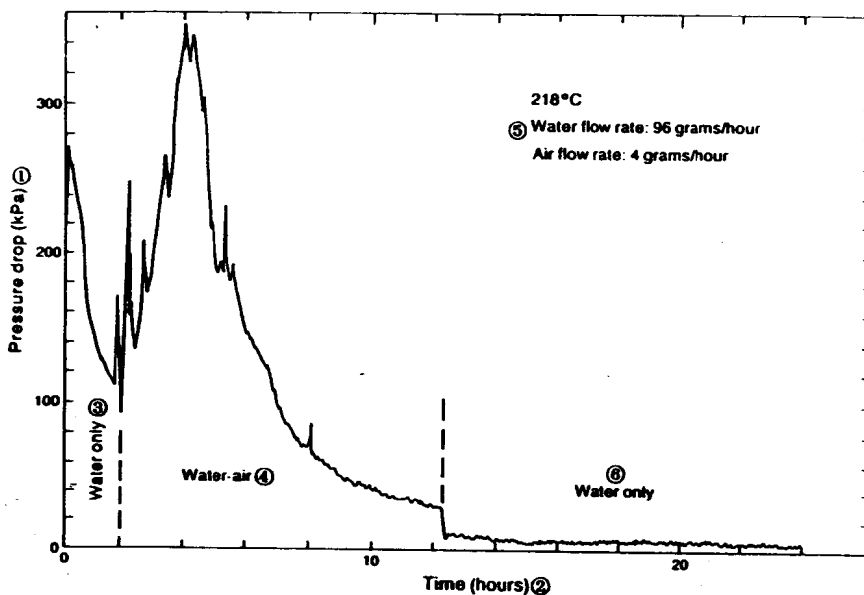


图 3.3 在注热水过程中注入空气对压差的影响

①压差(千帕) ②时间(小时) ③注水 ④水—空气

⑤水流速:96 克/小时

空气流速:4 克/小时

技术报告,手稿,发表文献及讲演情况略

第四项 近井地带对生产的影响

任 务

描述近井地带的化学和物理特性的现象,评价矿物反应积垢形成,微粒运移,生产中的出砂和腐蚀对生产的影响。

发展能实际解决注入和生产问题的化学剂。

本阶段的成果

油层的敏感性

着手了一维地球化学流速/反应模型的工作。此模型详细地描述一维流动系统中地球化学反应,该模型将非常详细地描述地球化学方面。水相中将包含全部可能的水组份及化合物;在所有固相中,必须考虑能够从水溶液中析出,也能够溶解在水溶液中的物质。在水溶液中往往要考虑内部的热力学平衡,水溶液相和固相间的相互作用都是受动力学的控制。至今所作的工作是评价模型所需的一些热动力数据。(特别是,检验水中不同组份和化合物的平衡常数)。此外还研究了改变主要组份对与固相的溶解和沉淀有关的动力学状态方程的影响。

目前正在编写 Clearwater 地层区域矿物学的数据报告。文中叙述含油和含水地层中矿物的变化,以及碳的同位素矿物组份。在含油饱和度高的砂层中发现大量的兰铁矿(一种富铁的粘土),而以前一直认为砂层中的粘土矿物为高岭土。Barthierine 地层是否对热采有敏感性还不清楚。在油藏的碳矿物中发现碳和氧的同位素,其强度分别为 -5 至 $+18\text{‰}\delta^{13}\text{C}_{\text{POB}}$ 和 $+17$ 至 $25\text{‰}\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 。与冷湖的沥青($\approx -30\text{‰}\delta^{13}\text{C}_{\text{POB}}$)有明显的区别,这样可以用来估计开采时油藏中 CO_2 无机盐的总产量。

测定 Clearwater 层高含油砂层束缚水成份表明,其矿化度含量范围由 5000 至 8000PPM ,而底水的矿化度则大于 $20,000\text{PPM}$ 。

在 $100\sim 250^\circ\text{C}$ 的高压釜中,进行一系列 Clearwater 经萃取后的油砂的试验,标定冷湖 Clearwater 油砂层的石英地温计。一种以石英温度为 100°C 来控制试验,和予测的石英溶解值相一致。

可是在整个试验中,在冷湖油层高压釜中的石英溶解值,比予测的纯石英溶解度高,这可能是由于在冷湖油砂中存在另一种硅矿物之故。地温计用于协助井底热电偶的测量,以此来确定油藏温度。

已完成方解石溶解速度的试验。这些试验是根据 AOSTRA 和大学联合研究计划,正由 Alberta 大学的 Chris Scarfe 进行。对几种不同单晶体的方解石进行试验,发现其溶解速度相同。采用新设计的一种晶体夹持器和评价方法,发现可较大地增加方解石的溶解速度。可是当搅拌速度大于 500 转/分(原文为 PPM),溶解速度与搅拌速度无关,说明其反应是受表面反应机理所控制。增加 CO_2 压力的结果可增加溶解速度。根据方解石饱和指数的简单溶解速度定律,用于拟合各个试验。但这个定律不适用于检验 PCO_2 的变化或者搅拌速度的变化。因此,目前用一个更复杂的速度定律来拟合这些数据。

Plummer 等人(1979 年)的公式如下:

$$\begin{aligned}\text{溶解速率} &= (\text{dCa}^{++}/\text{dt}) \\ &= K_1\text{aH}^+ + K_2\text{aH}_2\text{CO}_3 + K_3\text{aH}_2\text{O} - K_4\text{aCa}^{++}\text{aHCO}_3^-\end{aligned}$$

这个速度定律是由这些试验得来的,将用于模拟方解石的溶解度、在油藏中产生的 CO_2 量和井筒的方解石结垢的清除。

油井的伤害

完成 O_2 和 CO_2 在稀 NaCl 溶液对碳钢的腐蚀性的室内试验。着重于模拟对火烧油层产出流体的试验研究。当产出水的 PH 值低且含有 CO_2 和 O_2 时,油层套管通常腐蚀严重。氧的存在促使更严重斑点腐蚀和局部腐蚀的趋势。相反, CO_2 和 O_2 混合溶于 NaCl 溶液中,钢的全面腐蚀程度提高了,而局部腐蚀趋势减少,特别是在已经腐蚀的表面上更是如此。SEM 研究显示出许多包有 MnS 核的局部腐蚀,得出在低含硫钢中局部腐蚀不敏感。在表面上结有大块的垢是疏松的,也不能防止的,这些垢含有大量的非晶体的氧化铁。因此必须用防腐剂防腐,这些防腐剂可以控制产生疏松的粘着物,也控制局部和全部的腐蚀。当氧的浓度大于 0.3PPM(原文为 0.3Kpa)时腐蚀大大地增加,并且随着流体流速的增加腐蚀速度也增加,分析其作用是相当复杂的。当含 $\text{SO}_4 = (\text{SO}_2 + \text{SO}_3)$ 的水溶液在 PH 值等于 4 时,其腐蚀特性与溶有 Cl^- 的溶液相似。

将来计划

油层敏感性

将完成于 1986/87 年开始的,对 Clearwater 油层的区域研究。这些资料将有助于解释产出水的化学成份(从相似模型中收集的水),也用来解释 BP 油田中蒸汽吞吐过程中水的热作用。将完成地温计的标定,并用来确定油藏的反应温度。

有时间的话,将评价表面地球化学模型对沥青砂的应用。进行方解石溶解速度公式的试验(与大学联合研究的计划)。另外,计划于年底进行的白云石溶解度和方解石沉淀的补充试验。决定碳酸盐沉淀颗粒大小的因素是矿物成长速度,这将决定在井底或在生产设备上是否发生结垢。用于计算碳酸盐矿物的动力学公式,以及以前用于石英的动力学公式,都将构成地球化学模拟数据库的一部分。这个模拟在用于地球化学计算中,综合考虑了矿物的溶解和沉淀的动力学,以及 PH 值的影响,同时该模型将作为一个子程序,用于计算在井筒和油藏开采过程中的质量传递过程

碳酸盐胶结可能是 Clearwater 油层蒸汽吞吐时产生大量 CO_2 的主要来源。这亦可作为控制局部蒸汽驱汽窜的一个主要方法,因为它们可以堵塞通道。计划进行一系列岩心驱替试验,使用从这些胶结带取样品,测定在蒸汽开采温度下夹层的稳定性。因为碳酸盐容易起反应,这些夹层有可能变为高渗透层带。

为估计粘土损坏和化学处理试验所设计的一系列岩心驱替试验将延期,延期直到有适合该项工作的粘土矿物学方面的专业人员为止。在人力允许条件下,技术委员会建议进行微粒运移试验。(从岩心 1 号项目移出)。

油井损害

由 BP 股东和加拿大石油公司提出的一个合同,在 1987/88 年度内,尽快在 BP 的狼湖先导试验区取心。在一维相似模拟中进行:产出水的分析;地温计的标定和拖出筛网的试验。这个相似模型将展现在岩心项目六号中,此模型尤其能描述在井筒中的质量传递。具有预测结垢速度和结垢成份的能力,由此,我们就可建立和评价结垢的处理和抑制的方法。我们积极响应,关于 BP 现场的结垢抑制剂试验,希望在年底开始该试验。

腐蚀的项目在 1988/89 内将大量减少(正在准备一篇有关 O_2 和 CO_2/O_2 对碳钢腐蚀的

详细报告),仅局限于生产沥青油管的润湿性研究。若干项技术正在试验,包括检测碳钢在高温下的润湿性,和测定一定范围内的油田流体的润湿性。从油田的观察得到,当油管亲油时,钢就能防止 CO_2 的腐蚀。这一层沥青薄膜,还可以防止矿物质沉淀在油管上,这是由于在产出的高饱和水与钢管之间形成一层障碍物之故。建议在这种条件下,确定在钢管变为亲水即易受腐蚀及结垢影响的临界条件。

在减少和控制生产时出砂的工序方面,尚没有研究计划,假如人力允许,将建立这个项目并呈报技术分会。

第五项 相态平衡关系及运移现象

任 务

此项目有二个主要任务。第一个是测定沥青/天然气系统和沥青/天然气/水的气液平衡(VLE)的试验数据,及在油层条件下沥青—天然气添加剂—水的初步数据。这些数据用于建立三次方程或其他的状态方程式,此方程式可用来预测当温度为 250°C 和压力为 12 兆帕时,沥青—天然气添加剂—水系统的 VLE 性质。第二个任务是测定沥青包水乳化液,和多种组份的沥青流体的流变性,以建立半经验公式来描述在油层条件下这些流体的粘度特性。

本期间成果

已完成用摇动式平衡筒来测定,在 70 和 100°C 温度下二氧化碳—甲烷—Athabasca 沥青的拟三相系统。在相同的系统下,正着手测定 150°C 下的情况。这组不同等温条件的三相系统的数据,可用来检验预测多组份系统的方法(用一个状态方程式)

用摇动式平衡筒在 70°C , 100°C 和 200°C 下,测量二氧化碳和冷湖沥青的拟二相系统试验数据。测量所得的二相数据用 Robinson 和 Sin 来评价,并进行对比结果,发现二者的数据基本一致。这组数据也用来验证甲烷—二氧化碳—冷湖沥青混合物拟三相系统 VLE 曲线的包络面。

为寻找在水/汽情况下,研究天然气溶解于沥青的有关资料,查阅了一些文献。没有发现重要文献。为进行这种研究,设计并建造了一种可观察的容器。已对可观察容器和该装置的其它部件进行了初步试压。从这些试验中发现容器因受热和冷却使密封松开发生漏失。这个问题已克服。最后,已选择二氧化碳—Athabasca 沥青在 100°C 的拟二相系统,以测试新设计的可观察容器,该系统的试验已完成。我们发现这一新装置适于 VLE 的测量,因为测量的数据与文献上发表的数据基本一致。研究报告正在编写中。

已考虑 CJPT 评阅者的评审意见,“天然气—冷湖沥青混合物的汽—液平衡性质”的手稿已修改完毕,并已寄给 CJPT 出版。

“Alberta 重质原油和沥青特性参数”的摘要,已呈交给将于 1988 年 8 月召开的 UNITAR/UNDP 重油和沥青砂第四届国际会议。

“测量含沥青系统热力学性质的 VLE 值”的报告摘要已呈交给将于 1988 年 5 月召开的化学工程和化工热力学国际会议,已被接受。

流变学

关于筹备流变学子课题的建议已呈交给技术分会。此建议的中心意见是采用标准工艺程序和用多孔介质流变仪测量沥青混物流变性质和平衡特性。作到这一点,就可使多孔介质外测得的性质与在油层条件下所测得之值具有可比性,同时确定混合液是否是非牛顿液

体。

已花了相当大的努力去设计和完善多孔介质的流变仪和 PVT 测量装置。改装现有的 Haake 粘度计和建造多孔介质的流变仪的工作,由于安全章程而拖延。

改进了为 Haake 粘度计进行循环混合液的螺旋螺杆泵。采用这种技术后,螺旋中心部位的压差是液体流变性的函数,也是转速和装置形状的函数。用牛顿型原油作了一些试验,以检查此装置的精度。测定结果表明很有希望,并与油品厂家的报告数据相同。之后以此装置在高压高温下对 Athabasca 沥青进行试验,对此用 Haake 粘度计所测得数据相同。叙述这个装置的原理和优点,及一些基本试验结果的报告已出版。

将来计划

完成“Alberta 重原油和沥青特性参数”的技术报告,呈交给将于 1988 年 8 月召开的: UNITAR/UNDP 重油和沥青的第四届国际会议。

完成“测量含沥青层位热力学性质的 VLE”的技术报告,呈交给将于 1988 年 5 月召开的化学工程和化工热力学国际会议。

完成在水/汽情况下沥青中溶解气的研究报告。

继续摇动式平衡筒测量沥青/天然气添加剂系统的试验数据。

继续进行在油层条件下,存在水/汽情况下天然气溶于沥青的初步研究。

流变性项目已列入岩心 2 号项目,并进行微乳液和混相驱试验,研究的重点是:

— 在多孔介质内部和外部分散相的流动情况。

— 用微观模型研究在多孔介质内破乳机理。

— 多孔介质中新产生分散相的流变特性。

技术报告,手稿,发表文献

(略)

技术报告讲演

(略)

第六项 基础研究

任 务

继续执行开始于 1981/85 年 AOSTRA/ARC 的发展先进技术和专业合作计划。协助和提高其它项目的研究活动。

本期间工作进展

相似比例法

一系列的蒸汽—油—水—砂的相似物理模拟试验已完成,并评价三个相似方法的能力。在这期间进行二种相似方法试验,方法 1 和方法 2。这些方法在前阶段一系列蒸汽—水—砂的试验中是最有前途的。本期间方法 3 的试验,是对前阶段的方法 3 修改后进行的。这个方法改进了支配顶底盖层的相似准则。这种改进适用任何相似方法,放松了几何形状的相似性。除了一系列蒸汽—油—水—砂的试验,还进行了若干个蒸汽—水—砂的试验,以检查前阶段试验结果的参量。对方法 3 作了许多改进后,但仍不如方法 1 和方法 2 好(图 6.1)。

现正在着手分析蒸汽—油—水—砂的试验。三个相似方法的情况在下一期出报告。

热的传递

由于试验中超过密封圈的强度,第一个容器在饱和时失败了,又准备第二个容器。经过 11 次组装之后,终于作到了密封。开始第一个水—砂试验时,容器显然经受住了饱和状态。

泡沫的运移

完成在油田工艺情况下,含油饱和度对泡沫剂发泡的综合影响研究。根据对岩心项目二号的流动试验中所产生发泡情况,说明存在着一个临界发泡含油饱和度。对油田相似模拟中,检验了几项油的影响(图 6.2),这些结果于 1987 年半年评审会上发表,也发表在 AOSTRA/ARC 第 8788—18 期的技术报告上。包括上述对油的影响在内的泡沫运移模型,用来对 Alberta 省东部 Bodo 油田进行注泡沫剂的优化研究。现正在着手分析数值模拟的结果。

数值模拟研究

继续协助在 AOSTRA/ARC 的战略和岩心计划内的各个研究项目。同时,包括以前提出的为发展驱油模型的研究。

将来计划

相似准则

着手分析最后的一系列蒸汽—油—砂的试验。对比三种相似方法能力。将于 1988 年七月出版一份描述各方法能力及局限性的报告。

热的传递

在热采过程中,继续检验在水层,水—汽—砂层,水—油—砂层和水—汽—油—砂层系统中的自然对流热传导现象,以研究强化传热的方法。整个试验包括用不同油的四个研究阶段,现开始用 1 号柴油试验,将于 1988 年 8 月完成,并于 1988 年 11 月份完成对该结果的分析。

泡沫运移

对 Alberta 省东部 Bodo 油田优选注泡沫过程的研究报告,将于 1988 年 5 月发表。用泡沫运移模型进行三维波及历史拟合,参数取自岩心 2 号项目的 90cm 物理模拟试验。

数值模拟

由于 AOSTRA—RIPED 合作协议第五项于 1988 年二月到期,其访问学者终止工作,以及该组组长于 1988 年 4 月脱产学习,担搁了数值模拟工作。