

中—加科技合作交流材料

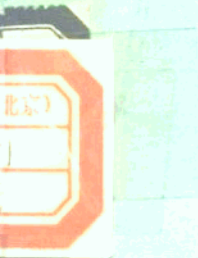
AOSTRA / ARC 岩心 研究计划半年报告

1988.4.1—1988.9.30

项目编号 8889—16

中国石油天然气总公司

石油勘探开发科学研究院



48813

TE31/029



00283663

目 录



项目编号	题 目	页
	序 言	(3)
	选择出的重点	(4)
1	工艺流程机制	(5)
2	波及控制	(9)
3	新方法的发展	(15)
4	近井筒与有关生产问题的研究	(19)
5	平衡关系和迁移现象	(26)
6	基础保障研究项目	(29)
7	计划协调和后勤保障	(34)
	后 记	(37)



48813



200416772

48813

TE31/029



00283663

目 录



项目编号	题 目	页
	序 言	(3)
	选择出的重点	(4)
1	工艺流程机制	(5)
2	波及控制	(9)
3	新方法的发展	(15)
4	近井筒与有关生产问题的研究	(19)
5	平衡关系和迁移现象	(26)
6	基础保障研究项目	(29)
7	计划协调和后勤保障	(34)
	后 记	(37)



48813



200416772

插图目录单

- 图 1.1 岩心粒度分布
- 图 1.2 用岩石物理图像分析确定的孔隙灰度级图像
- 图 2.1 在有油存在的情况下低界面张力段塞对泡沫传播的效应
- 图 2.2 油和水产率的对比
- 图 2.3 累积产油量和产水量的对比
- 图 3.1 注蒸汽速率对油—蒸汽比的效应
- 图 3.2 蒸汽注入速率对累积采油量的效应
- 图 3.3 从试验开始空气随蒸汽注入后的岩心压力降
- 图 4.1 冷湖区北部 clearwater 层油藏
- 图 4.2 表示方解石溶解速率方程 (方程 (1)) 中的三项主要作用范围。
- 图 5.1 确定水/沥青混合物组分的干式法
- 图 6.1 石油产量预测的比较
- 图 6.2 最佳单泡沫段塞工艺方法

表格目录清单

- 表 7.1 工程技术委员会成员 1988 / 1989
- 表 7.2 项目小组成员 1988 / 1989

序 言

概括在该半年报告中的进展情况是 AOSTRA 和 ARC 岩心研究计划的续篇。它的格式和以前半年报告所采用的格式相同。

岩心研究计划半年报告

选择出的重点

岩石薄片分析在确定由于孔隙空间的局部减小而导致毛细压力效应使蒸汽驱初期见到的异常高含水“层带”是成功的。对由水和沥青两种物质灌注过的岩心进行蒸汽驱实验分析，进一步证实了早先用水灌注岩心实验所确定的那种毛细管作用和蒸汽相对渗透率值。

用凝胶做的初步实验表明，Borden C302 在相对高的温度条件下能显著降低孔隙介质的渗透率。泡沫流研究促进了改善泡沫传播速率的新工艺的开发。从而提高了油田应用的经济效益。

实施了不同比例的模型实验，以便研究通过底水层注蒸汽的流量对 Cold Lake 油芷进行蒸汽驱的效应。资料分析表明，这样的油芷其采收率和汽—油比都受蒸汽流量的影响。

为了研究注蒸汽—空气工艺的机理，完成了十二种岩心实验。实验结果表明，注空气对枯竭区压力降的效应取决于注入的蒸汽干度、枯竭区的温度及在注空气期间枯竭区的含油饱和度。采出的流体和油砂的性质由于氧化反应而发生很大变化。

clearwater 层的原始矿物学和同位素地球化学特征根据科尔德莱克地区六口井中取出的 150 块样品进行了详细描述，这样为输入我们的地球化学模型提供了大量的资料。

一系列物理实验模拟了火烧油层法对生产井的腐蚀情况，发现 CO_2 能改变腐蚀的结构，它是通过促使均匀的化学反应和有效地减少结垢来改变由 O_2 引起的腐蚀的。 CO_2 的存在使得能更准确的预测火烧油层采油法的井中管壁的变薄量和进行更有效的防腐处理。

实验测定含水的 Cold Lake 沥青层中甲烷气溶解度的最大难题是缺少适宜的分析方法来确定每种平衡相中的混合物组份（包括水），一种可靠的测定沥青和水混合物的分析方法正在研究中。

高压注蒸汽现场到实验室条件的按比例缩小参数的试验研究工作已结束。建立并测试了三种缩小比例的方法。为按比例注蒸汽试验的设计提供了新的方案。

传热元件衬套损耗问题通过用氟硅铜橡胶涂敷衬套已得到解决。

在位于艾伯塔东—中部的 Bodo 油田完成了注蒸汽—泡沫驱方法的优化研究工作。

项目 1: 工艺流程机制

联系人: T.Heidrick

目 的

一般说来, 目前用在数字模拟中的相对渗透率方法不适用于出现乳化作用的情况或者由于高流度比发生粘性指进的情况。该项目的目的是确定单一相对渗透概念不能充分反映流动特性的那种情况下的流动状态。根据理论和实验结果建立的新型关系式将发展成为表示在室内和现场两种情况下的流动状态。

研究期间所需人员

1.3 名专业人员, 1.3 名工程技术人员

重 点

1.岩相薄片分析在确定由于孔隙尺寸的局部减小而导致毛细压力效应使蒸汽驱初期见到的异常高含水“层带”是成功的。

2.用含水和沥青两种物质灌注的岩心进行的蒸汽驱实验分析, 进一步证实了早先含水岩心实验所确定的那种毛细管作用和蒸汽的相对渗透率值。

研究进展情况

在充满水的人造岩心模型中实施蒸汽驱的研究结果曾在以前的半年报告中介绍过。有意义的结论是: 在这些实验中毛细现象在蒸汽沿岩心驱替后见到的含水饱和度的独特分布和压降动态两方面都起着重要作用。以孔隙结构局部非均质性会引起毛细管压力发生变化

为前提，模拟了含水饱和度的这种分布特征。研究期间，用全直径切片岩石物理图象分析和岩心的人工粒度分析结果证实了这种分布特征。

按下述步骤完成岩心的岩石物理分析：在完成沥青—水实验方面，清洗岩心、干燥、其长度的一半注入环氧树脂。在蒸汽驱过程中为了保持其完整的孔隙结构，整个试验期间保持围压不变。岩心未固结部分不封严，并从不同含水饱和度部分（根据 CT 扫描图象处理结果）进行选择人工采样。岩心横断面基本上分为上层带和下层带，但不要把相应的高饱和带单独分开。用岩石物理图象分析法进行局部分块研究。取样物质的粒度分析显示出这上下两带的粒度分布和平均值明显的不同（图 1.1）。首先证实岩心的非均质性，第二项岩石物理图象分析结果与地质调查局共同完成。

在岩石物性分析工作中，全直径薄片是从一块注入环氧树脂的岩心上切取的。另一方面，用 CT 扫描图象来确定感兴趣的部位，包括中部高含水带，然后把该带制成图象并数字化，以使用岩石物理图象分析法作孔隙结构分析。每个岩石物理分析的图象的视场大约等于 CT 扫描图象的一个像素（元）。这样，两种方法提供了互补的尺度。岩石物理图象分析的结果显示一个孔隙缩小带，该带与 CT 扫描图象上见到的高含水饱和带相一致。孔隙数据的灰阶图（图 1.2）清楚地显示出这种非均匀孔隙的情况。这直接证实了早先的模拟假设，即非均质的孔隙大小是由毛细管压力作用形成的异常饱和度造成的。反过来说，岩心的非均匀性归因于进行装填制作岩心的震动技术工艺。改进岩心均一性问题目前好像采用非震动工艺技术得到解决，然而最后的证实将在蒸汽—水驱做出回答后才能得到结果。

沥青—水蒸汽驱动的 CT 扫描图象分析已完成。这个实验是用同在水中实验一样的岩心并通过出口向入口端反向注沥青。用 CT 扫描仪监测沥青前缘的位置和残余水梯度。目的是用沥青部分地充填岩心，为初始注入蒸汽的传播在近入口处留一含水区。CT 处理数据表明，沥青前缘不是一个完整的平面，沿着岩心底部沥青前进的稍远些。这归因于早讨论过的非均质性造成的沿底部渗透率稍高的缘故。

用固定输入蒸汽量的数字模拟表明，因沥青注入岩心中，预计会有更高的压力降。然而，实验的压力降仅稍微的高些，原因是改变了入口的蒸汽量，起始值相对较低，但向着标定蒸汽量期间所获取的最终值爬升，这一点也由数字模拟所证实。正如在水的实验中一样，预测的稳态压力降受蒸汽相对渗透率的影响。沥青—水数据中的降低值与仅用水的实验所取得的数据一致，换句话说，这些数据接近于其它研究者最近发表的数据。

总之，在沥青—水实验中，液体饱和度的空间分布特征与用非均质岩心的单一水实

验中的饱和度分布特征相似，尽管当有沥青存在时岩心横断面上的液体饱和度低了，但是高饱和条带仍然明显可见，换句话说，毛细管的作用仍然是显著的。

沿岩心纵向任何一个给定的位置上（以及沥青充填带），饱和度的瞬间变化与在蒸汽—水驱中的变化也不相同，冷凝前缘的特点决定于沥青的粘度，对于低粘度的沥青（Cold Lake 油田生产的），其前缘相当的平整，而高粘度的 Athabasca 沥青（岩心抽提的），CT 处理图像显示了某些指状的形态。然而，在各种不同例子中，都在高液态饱和带（相对纯水实验而言）发生蒸汽突破，继而是缓慢的下降，反映了沥青相的低流量。

总的来说，一些参数，如相对渗透率都是在岩心上测量的，这些参数在模拟中可用来预测油藏大范围的动态。在这些小比例的实验中，必须考虑毛细管压力、岩心非均质性和不稳定的驱替条件的作用，以便恰当地对测量的参数进行饱和度非均匀分布的修正。这里所讨论的蒸汽—水和蒸汽—沥青实验的结果极大地强调了考虑这些要素的必要性。

将来的计划

完成最初蒸汽驱实验结果报告的编写。

继续实验和模拟有关蒸汽阻力的试验，即通过实验评价数字模型模拟联通通道附近沥青移动的能力。为减少岩心的非均质性，在改进岩心填料技术和改装设备更好的控制蒸汽质量方面都取得了进展。

在驱替稳定性研究领域与艾伯塔大学的研究人员合作，以此对目前蒸汽驱研究提供基础理论支持。此外，艾伯塔大学博士后研究人员可参加完成有关工作。这项工作涉及到该数值模拟器具备用基本动量公式逼近法代替相对渗透率法的能力。建议该项研究继续进行，直到完成为止。这些都要经过技术委员会的审查和批准才行。

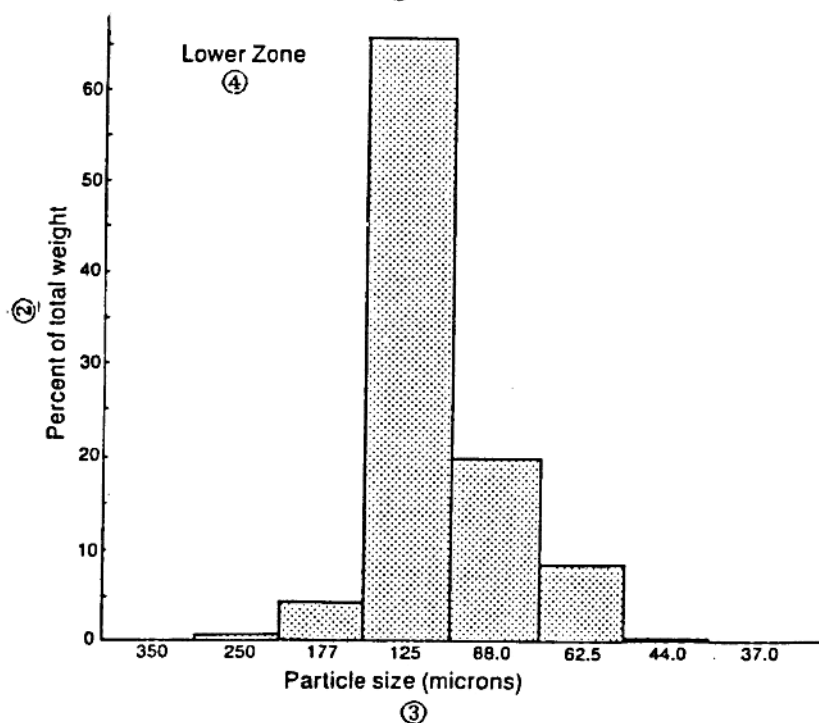
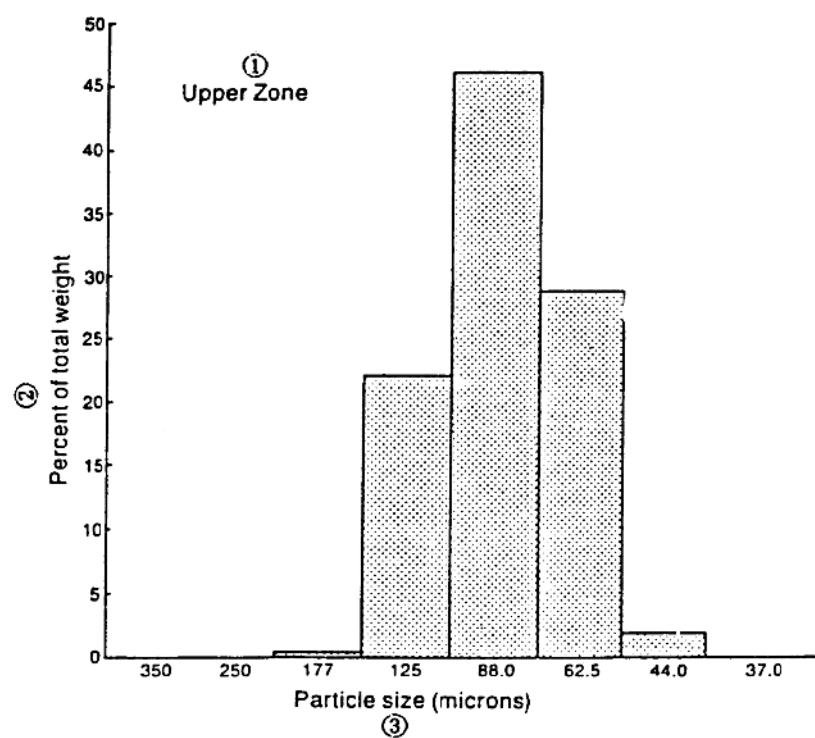


图 1.1 岩心粒度分布

(1) 上部带 (2) 总重量百分比 (3) 粒度 (微米) (4) 下部带

项目 2: 波及控制

联系人: *E.Isaacs*

目 的

这项计划的长期目的是在不损坏油—汽比或产率的条件下研究使油波波及优化的工艺技术。附加的研究工作能够检测添加剂对残余油饱和度的影响, 研究注蒸汽—添加剂组合物的地层有效渗透率、当一些可冷凝的和非可冷凝的气体加到蒸汽里时重力可能起的作用、以及提高地层热传导率的方法。

工作期间需要的人员

3.2 名专业人员 3.4 名工程技术人员

重 点

- 1 研究多孔介质中乳化液流动的实验室已交付使用, 进行了应用水包油乳化液的初步实验。实验结果表明, 由于微滴滞留而使渗透率降低。
2. 使用凝胶的初步实验已做完, 实验初步结果表明, 研究最充分的凝胶Borden C302, 在高温下具有使多孔介质中高渗透率降低的能力。
3. 泡沫流研究为提高泡沫传播速率发展了新工艺, 从而提高了油田应用的经济效益。
4. 数据库已建成, 能方便地对比90厘米物理模拟和数字模拟实验。用泡沫传播模型在物理模拟器上做的3维历史拟合实验正在进行中。

研究进展情况

在温度达到 200℃ 条件下，用螺旋型粘度计测定了 Athabasca 沥青的粘度，还测定了压力（0—12MPa）的效应。两种实验结果与文献报导的结果相似。实施这些实验是为了确定螺旋型粘度计在高压和高温下的性能。这些仪器的优质特性促进了新装置的设计和制造。把样品装入新装置的存储器在设计新仪器时要加以考虑。这样在岩样输送和实验的过程中可以使挥发性化合物保持在液相状态。

作波及实验的凝胶粘度也用螺旋型粘度计在 100℃ 条件下进行了测定。粘度从 0.3mpa.秒上升到约 2300mpa.秒，约提高了 7000 倍，接近于在人造岩心实验中所观测到的 ΔP 增量。

研究多孔介质中乳化液流动的实验室已交付使用，并完成了使用水包油乳化液的初步实验。实验结果表明，由于微滴滞留现象而使渗透率降低。

三种凝胶配方进行了实验以便取得在密封管中、温度在 100—200℃ 范围内的胶凝特征，似乎看到在 200℃ 条件下有两种配方令人满意地形成凝胶。所有凝胶在温度 300℃ 条件下 4 天后完全离解。其中一种凝胶 Borden C302 被选为在 4 达西的人造岩心中做短期的研究，在 100℃ 条件下注入凝胶，后注入 100℃ 和 200℃ 的水，与无凝胶充填的岩心相比，百分之 5（重量）的凝胶使初始渗透率降低 3—4 个数量级。凝胶似乎形成连续的空间网络，它在高流动切力下受到一定程度的破坏。即使在破坏之后，由于凝胶堵塞孔隙喉道，仍保持低的渗透率。在温度为 200℃ 的条件下恒速注水几天后，渗透率至少比初始渗透率低 50 倍。在较高的温度和较高的流速下，降解作用更快。

一系列泡沫流实验在 180℃ 和 3.2MPa 条件下的 2 达西人造岩心中进行实验，这些人造岩心进行过蒸汽驱（10—20 液态孔隙体积）以便降低残余油饱和度。研究最后表明，泡沫流传播速度是含油饱和度的函数。当比较了 Sun Tech IV, chaser SD1000, 和 TRS10-80 后，证明 chaser SD1000 在饱含油的砂岩中有极好的发泡性能。不过，和不含油的情况相比其泡沫传播的速度还是大大的降低了。为了提高泡沫的传播速度，发明了一项新工艺技术，即在注入泡沫前先使用一个化学段塞，这个段塞是用来降低油水界面张力从而降低残余油饱和度的。图 2.1 表示出由于新工艺技术的使用，其泡沫传播的速度接近理想的情况（在人造岩心中没有任何油）。所做的进一步研究是优化注入方案，从而出现一个经济效益更好的前景。

为实验地层盐水和温度（25—180℃）的作用。用 chaser SD1020, Sun Tech IV,

TRS10—80 和 chaser SD1000 进行沥青—水界面张力的研究，这些研究的目的是为了确定低界面张力形成的条件。它再次表明，对于低温不利的二价阳离子在高温下可能是有益的。

一项确定工业用磺酸盐表面活性剂浓度的工艺技术得到了发展，这种方法是使用气泡压力表面张力计监测滴定过阳离子表面活性剂与磺酸盐活性剂络合的过程。这项技术对多种市售样品的应用都是成功的。常规两相渗透法的主要优点是很少受杂质和油的干扰，并且像 100ppm 低含量的表面活性剂都能测出。

有关 90 厘米蒸汽驱和蒸汽—表面活性剂实验的报告已经完成，下一步的实验规划正在编制中。

为了在 90 厘米物理模拟器上做 3 维历史拟合实验，在岩心计划 6 号中研制的泡沫传播模型已安装完毕，打算模拟纯蒸汽基础实验和注表面活性剂实验。纯蒸汽的历史拟合实验正在进行并接近完成。数值模拟预测和实验结果两者间的对比情况列在图 2.2 和图 2.3 中，可以看出它们有较好的相似性。注表面活性剂的历史拟合实验正在进行阶段，一些成果将在下一个半年评论会上发表。

将来的计划

测试新的螺旋型粘度计的特性

继续研究多孔介质中的乳化液流动特征。

检验在温度 100℃ 和有残余油及表面活性剂存在的情况下 Borden C302 的胶化能力。此外，在低于其屈服应力的流动条件下实验凝胶的稳定性。若时间允许的话将把人造岩心的研究扩展到用其它凝胶配方实验 (Pfizer 的 Floperm 325)，这种配方在封闭试管试验中显示出是有希望的。

提交一份用细长管形岩心做高温泡沫实验报告。

继续研究和试验气泡压力—表面张力法，分析表面活性剂。

继续研究新工艺并提交一份专利报告。

为表面活性剂试验使用 1 口注入井和两口生产井的 90 厘米模型正在组装中，这个设计是通过一个高渗透裂缝砂岩通路把生产井和注入井相连，用此来模拟油层中的高渗透带。这个实验的意图是用泡沫堵塞住这一通路。将用数字模型协助该实验的设计工作。

在下一个阶级，完成 90 厘米物理模拟实验结果的历史拟合。将出版一份阐述该结果

的报告，为今后用 90 厘米物理模拟实验做历史拟合的泡沫传输模型已准备完毕。

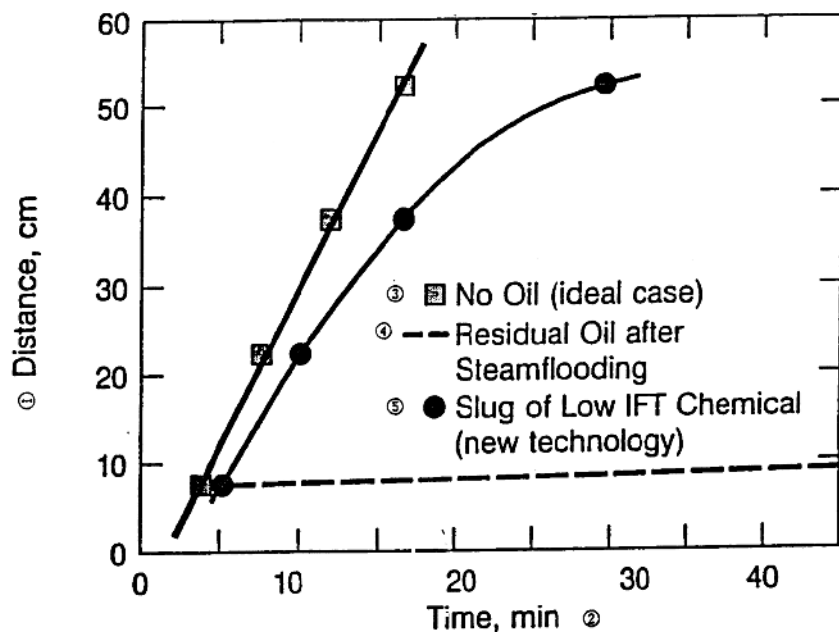


图 2.1 在有油存在的情况下，低界面张力段塞对泡沫传播的效应

(1) 距离，厘米 (2) 时间，分 (3) 不存在油（理想的情况）(4) 蒸汽驱之后的残余油 (5) 低界面张力化学段

塞（新技术工艺）

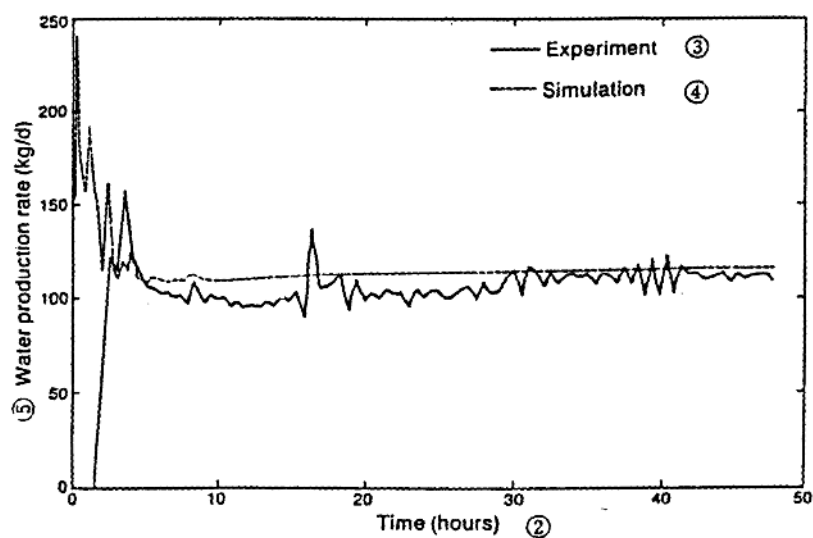
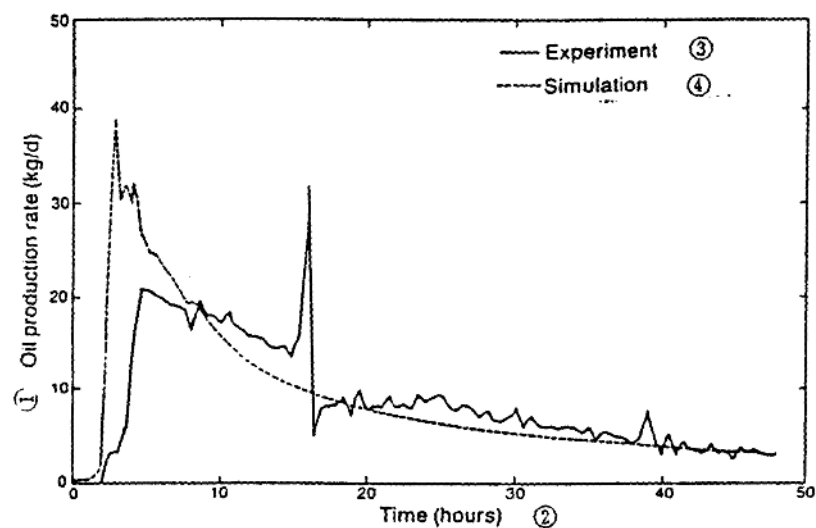


图 2.2 油和水产率的对比

(1) 产油率 (公斤/天) (2) 时间 (小时) (3) 产水率 (公斤/天) (4) 实验的 (5) 模拟的。

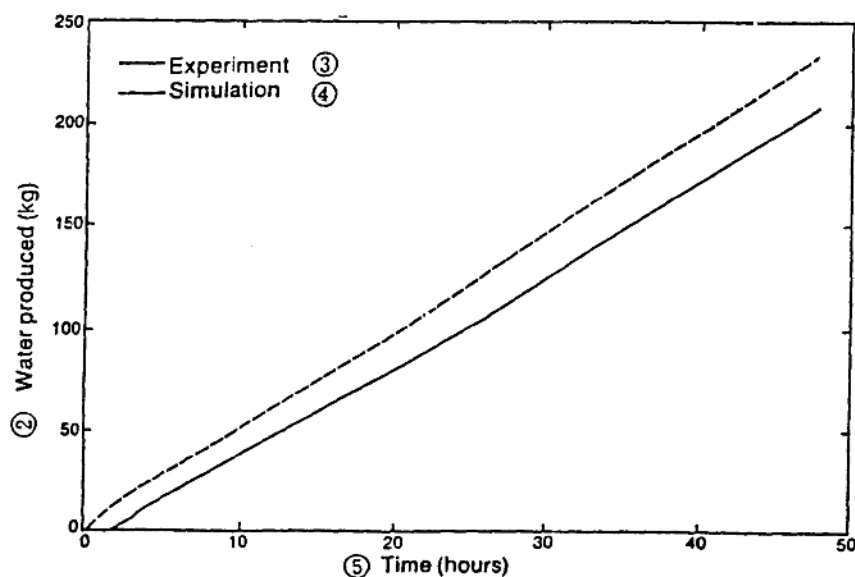
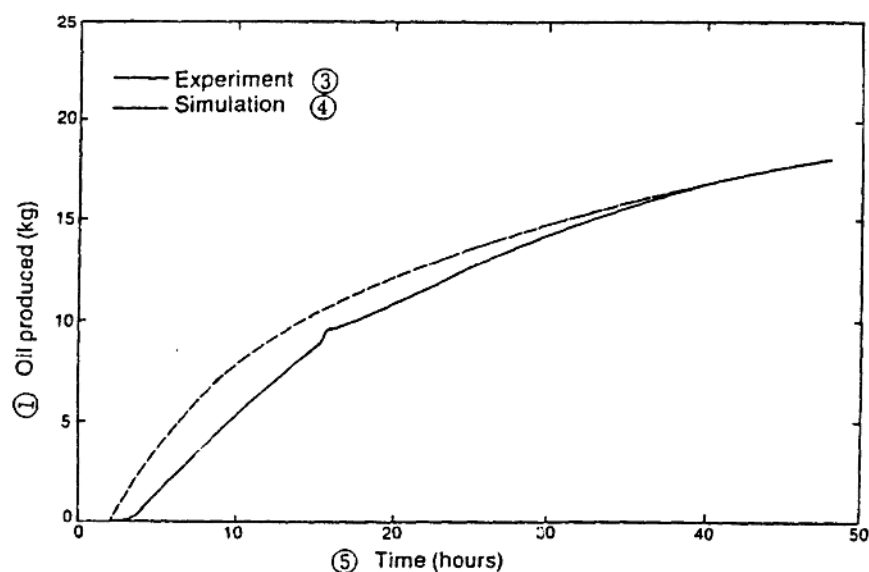


图 2.3 累积产油量和产水量的对比

(1) 采出油 (公斤) (2) 采出水 (公斤) (3) 实验的 (4) 模拟的 (5) 时间 (小时)

项目 3 新方法的发展

联系人: D.R.Prowse

目 的

该项目的主要目的是研究那些有希望改进目前开采工艺方法的新颖的工艺概念和生产方针, 以及确定那些在油田试验区应用中优化方案所需要的最敏感因素、评价油田试用的前景。

工作期间需要的人员

2.2 名专业人员 2.8 名工程技术人员

重 点

1. 实施了一系列不同比例的模型实验, 以便研究冷湖 (cold lake) 油层通过底水层注蒸汽的速率对蒸汽驱油效率的影响。
2. 中国石油勘探开发科学研究所的访问学者周光辉参加该课题组并进行底水油层比例模型研究。
3. 为研究蒸汽—空气驱油机理完成了十二块岩心的实验工作。

研究进展情况

根据 Pujol 和 Boberg's 定比例方法, 在热高压、物理比例模型上进行了一系列实验, 目的是研究冷湖油层通过底水层注蒸汽速率对蒸汽驱油的影响。该比例模型模拟了 5 点法采油面积的 $1/8$, 油砂层厚 15.5 米, 底水层 2.2 米。油砂层和底水层具有同样的渗透率 (1.33 达西), 底水层含水为 100%。

实验结果指出稠油油层 ($> 100,000$ 厘泊) 的蒸汽驱油受蒸汽注入速率的影响, 原因