

中一加科技合作交流资料

编号:9091—3

重力泄油试验中空气作用的研究

中国石油天然气总公司
石油勘探开发科学研究院
一九九一年十二月

目 录

附图目录

表格目录

摘要

一、前言	(1)
二、试验装置和步骤	(2)
1). 装置	(2)
①注蒸汽	(2)
a. 水系统	(2)
b. 气体添加剂系统	(2)
②油砂岩心和盖层	(3)
③生产系统	(3)
④数据采集	(4)
2). 实验步骤	(4)
①样品分析	(4)
3). 操作难点	(5)
三、试验结果	(5)
1). 沿通道的压降	(5)
2). 试验后的沥青饱和度	(6)
3). 沥青的产出	(6)
4). 油乳状液中的产出水	(6)
5). 试验后的沥青和砂的性质	(7)
6). 试验后岩心的直观状态	(7)
7). 产出水分析	(8)
8). 产出气体的组分	(8)
9). 采出的油砂在重力排油试验中的应用	(8)
四、结论	(9)

表 格 目 录

表 1:试验条件	(10)
表 2:注入方案	(11)
表 3:岩心含油饱和度	(11)
表 4:岩心中沥青的质量	(12)
表 5:岩心中沥青的质量%	(12)
表 6:岩心中水的质量%	(13)
表 7:岩心中砂的质量%	(13)
表 8:RP250 和 RP257 中的初始沥青、沥青产量和试验结束时岩心中的沥青	(14)
表 9:RP252 和 RP253 的初始沥青、沥青产量和试验结束时岩心中的沥青	(14)
表 10:产出乳状液	(15)
表 11:试验后沥青性质	(15)
表 12:试验后的焦炭组成	(16)
表 13:产出水性质	(16)
表 14:产出水乳状液中的全部硫酸盐,醋酸盐和 TIC	(17)
表 15:产出气体的组成	(17)

附 图 目 录

图 1:重力排油试验 RP252 和 RP253 的流程图	(18)
图 2:200℃蒸汽—空气(RP250)和蒸汽—氮气(RP251)重力排油试验中沿下伏通道的压降	(19)
图 3:在 200℃水—氮气(RP252)和水—空气(RP253)重力排油试验中沿下伏通道的压降	(19)
图 4:在 200℃蒸汽—空气(RP250)和水—空气(RP253)重力排油试验中沿下伏通道的压降	(20)
图 5:水—氮气(RP252)和水—空气(RP253)重力排油过程中沥青产量随时间的变化	(20)
图 6:与水—氮气(RP252)和水—空气(RP253)重力排油过程中沥青采收率随时间的变化	(21)

重力泄油试验中空气作用的研究

J. Ivory, K, Scott

M. DeRocco

摘 要

本报告对一些试验进行了总结。这些试验是用来研究低温氧化反应对采出油砂中的沥青的重力排油过程的影响的。由于采出的油砂中微粒含量高(6%),造成有效渗透率很低,沥青与气体的对流很小。这样,大部分沥青是在油砂最初被加热时产生的热膨胀中产出的。由于气体很难穿透油砂,空气与蒸汽的混合注入没有改变采收速率(与氮气相比)。为了在一个合适的时间范围内进行重力排油试验,应使用一个绝对渗透率为 10 达西的合成油砂(不含微粒)。

即使在有一高渗透率通道存在并且沥青产量很小的情况下,空气也显示了大幅度增加压降的能力和作为蒸汽分流剂的广阔前景。

一、前 言

空气在注蒸汽或注水过程中大幅度提高沥表采收速率的潜力已被 Cram、Redford 和 Ivory 等人所论证。当空气与蒸汽一起注入时发生的氧化反应使水相的 PH 值急剧下降(曾观察到低达 2 的 PH 值)。在蒸汽—空气过程中得到的 PH 值情况下,预计砂粒将变成油湿的¹⁶⁻¹⁸,这样就可能降低重力排油的采收速率²。因此这里描述的四个试验(RP250—RP253)的目的是确定在注入蒸汽或热水时空气的注入如何影响排油过程。RP250 和 RP251 分别是蒸汽—空气和蒸汽—N₂ 试验,RP252 和 RP253 分别是水—N₂ 和水—空气测试。

象经前的蒸汽—空气试验⁵⁻¹⁵一样,测量了空气注入对残余沥青的性质(粘度,沥青烯含量,酸值)的影响。另外还确定了 LTO 反应引起的产出的水相(硫酸盐、醋酸盐,全部无机碳,和 PH)的变化及实验后固体颗粒的焦炭含量的变化。还分析了产出的气体,基本目的是确定产出的 CO 和 CO₂ 量和注入的 O₂ 中有多少参与了反应。

二、试验装置和步骤

1). 装置

试验是在相对渗透率装置(RPF2)中进行的。如图 1 所示,该装置有四个主要的组成部分:

1. 注入系统
2. 岩心、压力容器、和盖层系统
3. 生产系统
4. 数据采集和控制系统

①注入系统

在 RP250 和 RP251 中,通过在混合蒸汽流管进入装有岩心和高压容器的巨型炉之前向 1g/h 脱气水中加入 1g/h 的空气或 N_2 制取饱和蒸汽(如图 1)。在 RP250 和 RP251 的注蒸汽过程中,从蒸汽、空气混合注入管线至岩心顶部有一压力平衡(PE)管线。这使岩心顶部和底部的压力相等,从而使重力发挥作用。在 RP252 和 RP253 的注水阶段,压力平衡管线将气体添加剂管线(与水混合点上游)与岩心顶部连接。这是为确保不使水进入压力平衡管线,因为管线中的水会对重力起反作用,即岩心顶部的压力等于底部注入压力减去压力平衡管线中的静压头。由于在岩心顶部的压力平衡管线上安装了一个单流阀(图 1 中 A,目的是最初对炉子和岩心加热时不使沥青回流到压力平衡管线中),亦需在压力平衡管线与气体添加剂管线分流处的下游安装一单流阀(图 1 中 B)。这样,两个单流阀之间的压降大至相同,且岩心底部与顶部的压力相等。图 1 表示的是 RP252 和 RP253 实际设备的安排。

在 H_2O-N_2 的二元系统中使用了平衡数据来确定应用于规定炉温的回压以便使质量比为 0.5 的 H_2O 得到质量为 71% 的蒸汽。应当指出由于保持了恒定的炉温,任何注入压力的提高(由压降的升高引起)都导致注入蒸汽质量的下降。蒸汽质量的下降反过来又影响了压降。

RP252 和 RP253 进行的是注水而不是注蒸汽。水的流速为 10g/h,气(RP252 中是 N_2 , RP253 中为空气)的流速为 1g/h。回压被保持在相当高的水平(4.0MPa)以将由于和气体添加剂相混合引起的水的汽化降到最低限度。

注入系统有两个主要组成部分:

1. 水系统
 2. 气体添加剂系统
- a. 水系统

在注水管线上使用了一个 LSCOC-5000 注入泵。水在流经装有岩心和压力容器的蓝(Blue)M 机械对流炉的过程中被加热。炉温保持在 200℃。岩心压力容器、注入和生产管线都不隔热。这样,岩心温度与炉温基本相同。

- b. 气体添加剂系统

气体由一个 Ruska 泵缸流经一个 PRI 回压调节器,该调节使泵缸中保持一恒定压力(空气为 8.46MPa, N_2 为 8.56MPa)。通过保持恒定的 Ruska 体积流速和恒定的 Ruska 缸气体压力得到 1 克/小时的恒定气体质量流速。Ruska 缸内空气温度与室温相同,试验中室内温度一般是 24℃。

②油砂岩心和盖层

岩心由高质量的 Athadasca 油砂组成(一般含 13.2% 沥青)。油砂被气动填塞,并用一个薄壁(壁厚 0.5mm)铜套筒包裹。先把套筒加热到 550℃ 使之软化,然后在室温下淬火。岩心长 60.8cm(包括两头的压裂砂),直径为 3.8cm。在 RP250 和 RP251 中岩心两端各有一厚度为 1cm 的 20—40 压裂砂层(渗透率约为 200 达西)。在 RP252 和 RP253 中,底部和顶部的压裂砂层厚度分别增加到 5cm 和 2cm。直径为 0.5cm 的注入孔和产出口相距 2.9cm。两孔均在底部的压裂砂层之下。

表 1 中列出了岩心的性质。套筒装在一个碳钢压力容器中(图 1),该容器安装在炉中。

盖层由水和空气组成,并用手摇泵加压到 11.8MPa 达 1 小时。这一较高的盖层压力压实岩心并排出填塞阶段进入岩心的全部空气。一小时后,盖层压力由一组 N_2 供给,用一个气体调节器和一个放空阀组来控制,使其在高于回压 3.45MPa(500psi)的压力下。

试验由 17 小时的单纯注水开始。注入开始时启动炉子。最初的单纯注水阶段油砂被炉子加热,使一部分沥青移动。余下的时间气体和水蒸汽同时注入。

③生产系统

RP250 和 RP251

在蒸汽—气体试验 RP250 和 RP251 中,产出的流体流入一个高压收集器中,其压力通过 N_2 气体—Mighty Mite 回压调节系统保持在 3.1MPa。回压经过选择使水—空气混合物(50 体积%水)中 71% 的水在炉温下发生闪蒸。在头二十四小时,产出的液体绕过 150ml 生产分离器(见图 1)并收集在一个 2l 高压收集器中。这是为了防止将沥青带入排气管线,并导致管线堵塞。使用高压收集器的缺点是气体流过收集器的滞留时间为 20 小时左右。这样气体在离开岩块产出一开才被取样(在收集器的下游)。在考虑到不使分离器下游的管线被夹带沥青所堵塞(即沥青停止流动),流量被引导从分离器通过。气体从分离器顶部离开,液体留在分离器内并在选定时间被清除。

气体从高压收集器或分离器流过回压调节器并通过一个低压收集器(这样所有夹带液体均被收集)然后排出。液体样品是通过暂时引导流量通过高压收集器和 75ml 排空分离器来取得的。气体样品是在回压调节器的下游收集的(在一样品瓶中)。在收集气体样品时,流量绕过低压收集器。这样做是为了避免收集器中的滞留,而使收取的样品是十小时前从岩心中产出的样品。

RP252 和 RP253

在这两个水—气体试验中,产出液体被引导直接流经位于装有岩心的大炉附近的 Mighty Mite 回压调节器。这样就可把产出液体连续收集在玻璃取样瓶中。来自回压调节器

的产出液被定期导入 75ml 或 150ml 不锈钢样品罐中。与回压调节器管线平行的来自 RP250 和 RP251 生产管线仍保持接通,这样一旦回压调节器由于流经其中的沥青的氧化而发生堵塞时,流体可通过它流入产出物收集器。实际上这种情况从未发生过。流体进行加压的收集器时生产压力的波动加大了(如 RP250 和 RP251)。但是,由于系统压力保持在大大高于饱和压力以上以防止闪蒸,生产压力微小波动并不重要。

④数据采集

试验中应用了 A DEC PDP11/44 计算机来记录数据。可变值每十分钟扫描一次。数据也显示在一个 ISC 彩色控制器上。图 1 显示了大部分变量测量装置的位置。所有的热电偶均为 K 型(铬镍—铝镍热电偶)。注入流体(CT600)和产出流体的温度是在距底端盖几厘米的地方测得的。还记录了顶端盖底部的温度(TE720)和炉温(TE700)。穿越通道的压降由一个差压传感器(PDT-700)测量,该传感器的量程为 0—7KPa。注入和产出压力分别由 PT600 和 PT800 测量。在 RP253 试验中注入压力和岩心顶部压力之间的压差由 PDT730 记录,PDT730 的量程为 0—7KPa。

PDT700 和 PDT800 用一个图表记录器连续记录。另外由一个微机(PC)应用 CIM-PAC 数据采集和控制系统进行测量。

2). 实验步骤

RPF2 实验的标准条件和注入方案列在表 1 和表 2 中。每个试验中都保持了恒定的回压,没有压力下降。

①样品分析

RP250 和 RP251 产出流体

由于流速较低和系统中生产管线滞留体积较高,没有努力取得生产曲线,但测量了全部产出沥青。另外还测量了未经过滤的产出水的 PH 值。还测定了混合样品中经过滤的水乳状液中的硫酸盐含量(离子色层分析)和醋酸盐的含量(离子排斥色层分析)。应该指出,这些液体被试验开始时存在于高压收集器中的约 400ml 的 MilliQ 水稀释了,这些水防止回压气体流入岩心。

在 RP252 中,流体被引导流经一靠近炉子的回压调节器。因此在这一试验中有可能测定生产曲线。这在 RP253 中也是可能的,只是岩心顶部的单流阀出了毛病,造成沥青向回渗漏,使试验过早结束。由于试验中的困难,我们认为不值得测定 RP253 的生产曲线。

枯竭岩心

在 RP250—RP252 中,枯竭岩心被分为相等的五块,测定了每一块的沥青饱和度。另外,还取得了岩心顶部和底的压裂砂的沥青饱和度,测量了底部油砂样品的沥青粘度(在 120℃ 温度下测定)、沥青稀含量和酸值。另外,还测定了顶部油砂样品的酸值。酸值(强酸)指的是中和 1 克油中的强酸所需的 KOH 的毫克数。酸值(总酸)指的是中和 1 克油中的所有酸所需

的 KOH 的毫克数。

3). 操作中的困难

RP250 和 RP251, 这些试验中未遇到操作问题。

RP252, 遇到的唯一操作问题是在 72.5 小时时 ISCO 注水泵停止了(由于保险丝损坏)。在维修 ISCO 时, N_2 和水的注入停止了 30 分钟。在这 30 分钟里, 炉外的 N_2 和水注入阀被关闭, 内的注入阀则还是打开的。

RP253, 当由于注入压力过高而停止注水时, 水流停了一夜(整个个试验时间为 40 小时)。在这之前试验一直按计划进行。ISCO 中泵超压并自动停止。由于原来设想注入管线中可能出现了堵塞, 所以将单向阀从混合液体注入管线上卸下。这样做并未降低注入压力。然后流体被引导通过注入管线中的一个测压孔管线。注入压力又急剧升高。这时我们断定高注入压力是由通道的状况引起的, 因而中断了试验。

试验后观察到, 通道很柔软, 没有固结现象, 看上去并未堵塞。但其中有相当数量的黑色物质, 这种物质并未包裹砂粒。这些颗粒可能造成了某些堵塞。

三、试验结果

1) 沿通道的压降

图 2—4 总结了不同的试验中的压降(沿通道)数据。图 2 显示的是蒸汽—空气 RP250 和蒸汽— N_2 (RP251)试验中沿通道的压降。从取得的较高的压降来看, 蒸汽—空气试验中显然发生了堵塞。高 60.8 厘米的岩心有 5KPa 的重力势能压头。这样, 要使重力在试验中起主导作用, 最好使沿通道的压降大大小于 5KPa。在蒸汽— N_2 试验中就是这种状况, 试验中压降为 2KPa 左右。而在蒸汽—空气试验中取得了约为 20KPa 的压降。这样高的压降值是由于低氧化作用在注入井周围形成了一个黑色的固结区。相反, 生产井周围的砂子柔软而不含沥青。

为确保在水—添加剂试验中压降小于 5KPa, 决定将下伏通道的厚度从 1cm 增至 5cm。 H_2O 的流速从 1g/h 提高到 10g/h, 而气体添加剂的流速象蒸汽试验中的那样保持在 1g/h。较高的水速用来更快地冲刷沿着管线的沥青(即最大限度地减少滞留)。另外, 它可使注入液体中使用较低的气体饱和度(9 质量%)(与 RP250 和 251 中的 50 质量%相比)。

图 3 中列出了水— N_2 (RP252)和水—空气(RP253)试验中的压降结果。水—空气试验在 45 小时时结束, 原因是遇到了操作问题(一个单向阀泄漏)。这一问题在 34 小时发展到很明显的程度(参看图 4 中压降的降低), 因此这一时间以后的压降数据不可靠。但是, 在这一时间之前, 水—空气和水— N_2 试验中压降非常相似。这表明 LTO 反应尚未对压降起明显作用, 这与蒸汽—空气试验恰恰相反, 在那一试验中, 24 小时后 LTO 反应对压降的影响非常明显(见图 4)。水—空气试验中延迟的 LTO 反应的堵塞效果可能是由于水—空气试验中的通道厚度增加了五倍。

2). 试验中的沥青饱和度

表 3、表 4 总结了试验前和试验后岩心的沥青饱和度和沥青质量。表 5、6、7 中分别给出了试验前、后的沥青、水、砂的质量百分比。顶部的四个油砂层试验后沥青饱和度很高(80—96%),说明所有产出的沥青(除去由热膨胀产出的沥青)都来自底部油砂层。顶部压裂砂层中存在沥青是由岩心加热的初期产生的热膨胀引起的。

3). 沥青的产出

表 8 列出了 RP250 和 RP251 的沥青产量,表 9 中列出了 RP252 和 RP253 的沥青产量。另外,图 5 和图 6 中给出了后两个试验中的沥青产量和采收率数据。

经过 6 小时单纯注水后,RP252 试验中产出了 6g 沥青,而 RP253 中未产出沥青。RP253 中沥青产出的延迟显然是由油砂加热初期沥青流过岩心顶部的一个失灵的单流阀引起的。在 RP252 中,此阀未曾泄漏,因而更多的沥青膨胀到岩心底部。这些沥青的大部分被采出。RP253 中通过单向阀的沥青最终进入了注空气管线。注空气在 17 小时开始,一些沥青被空气驱入水—空气混合注入管线,使管线被堵。空气随后进入岩心顶部的压力平衡管线并将沥青向下驱入通道。这时试验就不能被认为是重力排油试验,因而被停止了。

下列数据表明大部分沥青产量是油砂加热初期热膨胀的结果,只有很少部分与重力排油有关。

	RP250	RP251	RP252
	蒸汽—空气	蒸汽—N ₂	水—N ₂
油砂和压裂砂中的沥青	25.5g	23.3g	12.9g
的减少			
由热膨胀产生的产量	18.6g	18.5g	12.8g
由重力排油、CO ₂ 、CO 和	6.9g	4.8g	0.1g
焦炭产生的沥青质量产			
量			

由于 RP252 有更厚的通道(5cm 对 1cm),由重力排油产出的沥青比 RP250 和 RP251 少。因此,有更多的沥青停留在通道中而不是流入生产管线。在所有试验中,由重力排油产出的沥青仅占原来岩心中所含沥青的不到 3%。

4). 产出的油包水乳状液

在 RP250(蒸汽—空气)和 RP251(蒸汽—N₂)中,油乳状液中的水含量约为 44%(见表 10)。但是应指出,大部分沥青是在油砂加热过程中产出的。这样,估计在空气和 N₂ 试验中这一变量不会有大的变化。

5). 试验后的沥青和砂的性质

试验后的岩心的性质列在表 11 和表 12 中。油砂中沥青没有明显的氧化迹象。蒸汽—空气试验 RP250 的试验后的沥青中的沥青烯含量、粘度、和酸值和试验后的固体物质中的焦碳含量与蒸汽—N₂ 试验 RP251 大致相同。

6). 试验后岩心的直观状态

试验后的岩心被分为下列各层：

试验后岩心

RP250 和 RP251		RP252 和 RP253	
TC—压裂砂	1cm	TCP—压裂砂	2cm
POST(后)—TOP(顶)	11.7cm	POST(后)5—TOP(顶)	10.76cm
POST(后)4	11.7cm	POST(后)4	10.76cm
POST(后)3	11.7cm	POST(后)3	10.76cm
POST(后)2	11.7cm	POST(后)2	10.76cm
POST(后)1—BOTTOM(底)	11.7cm	POST(后)1—BOTTOM	10.76cm
BCP—压裂砂	1cm	BCP—压裂砂	10.76m

蒸汽—空气试验 RP250

顶部压裂砂柔软且沥青饱和度低。顶部油砂层呈灰色并已部分枯竭，而它下面的三个层 (POST(后)4 至 POST(后)2) 很少有枯竭迹象。底部油砂层 (POST(后)1) 呈灰色并已固结。底部压裂砂 (通道) 的约三分之二部分呈黑色并已高度固结。余下的通道 (生产端) 含有不含沥青的非固结砂。得到如下结论：由于空气难以穿透油砂，大部分沥青的氧化发生在通道 (热膨胀和重力排油导致沥青进入通道) 和底部油砂层。

底部压裂砂的注入面呈黑色并已高度固结。这一层余下的三分之一含有无沥青的未固结砂。

蒸汽—N₂ 试验 RP251

顶部压裂砂的沥青饱和度很低。顶部的四个油砂层含油饱和度高 (呈黑色) 且很柔软。底

部油砂层(POST(后)5)呈黑色且柔软。但是,这一层显示了一些枯竭的迹象,即颜色不如其他四个油砂层那样深。通道柔软(未固结),呈灰色且含有一些沥青。

水-N₂ 试验 RP252

顶部压裂砂层由富含沥青的中心区域和无沥青的周围区域组成。沥青饱和区域的范围随深度增加。顶部两个油砂层有些枯竭迹象,而中间的油砂层(POST(后)3)看上去好象充满了沥青。油砂层 POST(后)2 呈现一定程度的枯竭,底部油砂层呈现很大枯竭。在通道中,即有沥青饱和区域,也有不含沥青区域(在岩心的生产端)。

水-空气试验 RP253

顶部压裂砂层含沥青。顶部油层有一些棕黄色痕迹,表明这里部分沥青被驱替。下面的两层(POST(后)和 POST(后)3)无枯竭现象(呈黑色)。POST(后)2 层呈现了一些枯竭现象。底部油砂层有一定程度的枯竭并已部分固结。底部压裂砂层含有饱和的沥青。

7). 产出水分析

表 13 总结了产出水中的硫酸盐,醋酸盐和 TIC 含量。表 14 列出了产出的水相中的硫酸盐,醋酸盐和 TIC 的总质量。蒸汽-空气(RP250)和水-空气(RP253)试验中,较高的硫酸盐和醋酸盐浓度说明确实发生了沥青的氧化。

8). 产出气体的组分

表 5 中列出产出气体的组分。蒸汽-空气和水-空气试验中很低的 O₂ 含量说明大部分注入的 O₂ 被反应了。由于氧化反应,两个空气试验中的产出气体中 CO₂ 含量为 9%。CO₂/CO 的比约为 6。

9). 重力排油试验中采出油砂的使用

由于实验使用了采出的油砂,沥青产率很低,尽管使用的油砂品位很高,砂中微粒含量仍为 6%。很明显,尽管采用了 200℃的试验温度,沥青和气体的对流仍然难以发生。较低的有效渗透率(由于微粒存在)妨碍了气体和沥青的对流。使用渗透率较高的(10 达西)合成油砂可提高采收率,这种油砂将由均匀的石英砂和冷湖沥青制成。这样,合成油砂比目前研究中使用的采出油砂具有更高的亲水性,从而使沥青的流动更加容易(相同的 S₀ 下更高的 K_{ro})。Cold Lake(冷湖)沥青的较低的粘度也使采收率提高。为进一步提高采收率,可降低净盖层压力(即盖层压力与内部岩心压力之间的差值)从而使油砂孔隙度有所增加。

使用空气进行重力排油试验很困难,因为(低温氧化)LTO 反应将使沿通道的压降超过重力的作用。为避免这种情况应用一个很高的通道渗透率,那么空气会直接流过通道,而向上流的却极少。

四、结 论

从这一系列试验中得出的主要结论总结为以下几点：

1). 即在使通道渗透率很高、沥青产量很少的情况下,空气在蒸汽—空气注入过程中成功地使沿通道的压降大大提高。

2). 由于使用了致密的岩心,沥青与气体的对流很困难。因此,由重力排油产出的沥青很少。大部分沥青是由油砂最初加热时的热膨胀产出的。

3). 为了在一个适当的时间内进行重力排油试验,应使用不含微粒,绝对渗透率为 10 达西的合成油砂。

译者:李培中

校者:曾米兰

表 1 试验条件

岩心方向:	垂直
流动方向:	向下
蒸汽/水流速:	RP250 和 RP251,只注水时 5 克/小时 蒸汽—水注入时 1 克/小时 RP252 和 RP253,全过程 10 克/小时
空气或 N ₂ 流速:	1.0 克/小时
生产压力:	RP250 和 RP251,3.1MPa RP252 和 RP253,4.0MPa
炉温:	200℃
岩心直径:	3.81cm
油砂长度:	RP250 和 RP251,58.8cm RP252 和 RP253,54.4cm
顶部压裂砂长度:	RP250 和 RP251,1cm RP252 和 RP253,2cm
底部压裂砂长度:	RP250 和 RP251,1cm RP252 和 RP253,5cm
岩心孔隙体积:	235cm ³ (RP250 和 RP251) 219cm ³ (RP252 和 RP253)
油砂质量:	RP250,1442g(克) RP251,1444g(克) RP252,1342g(克) RP253,1322g(克)
原始沥青质量:	RP250,189g(克) RP251,204g(克) RP252,182g(克) RP253,180g(克)
加上盖层以前的油砂密度:	RP250,2.02 RP251 和 RP252,2.03 RP253,2.00

表 2 注入方案

RP250	17 小时只注水
	24 小时注蒸汽—空气
	2.7 小时只注水
RP251	17 小时只注水
	24 小时注蒸汽—N ₂
	2.7 小时只注水
RP252	17 小时只注水
	24 小时水—N ₂
	2.7 小时只注水
RP253	17 小时只注水
	16.2 小时水—空气
	6.8 小时只注空气
	2.3 小时由于操作故障注入中断
	1.7 小时水—空气
	2.7 小时只注水

表 3 岩心含油饱和度
油饱和度

试验前室温下含油饱和度

RP250:85.9%

RP251:88.4%

RP252:84.6%

最后温度下试验后岩心的(假设 X=33.5%)的油饱和度

RP250 (201.7℃)		RP251 (202.4℃)	
27.7%	1cm	32.4%	51.6%
80.9%	11.76cm	81.8%	87.2%
86.9%	11.76cm	93.4%	91.2%
91.6%	11.76cm	95.9%	86.8%
88.7%	11.76cm	89.8%	89.5%
74.2%	11.76cm	78.6%	76.2%
ALL OS=84.63		ALL OS=87.9%	ALL OS=86.0%
14.16%	1cm	27.2%	14.8%
			5cm

1. 试验前含油饱和度=沥青质量/(沥青质量+水的质量),即假设试验开始时岩心中无气体,而且沥青密度=水的密度。

2. 试验后含油饱和度=沥青体积/总体积。

3. ALL OS=五个油砂层中的平均含油饱和度。(总的含油饱和度)

表 4 岩心中沥青的质量

试验前岩心内沥青质量

RP250;198.0 克

RP251;203.9 克

RP252;169.5 克

试验后每层中的沥青质量:

RP250		RP251		RP252	
0.70 克	1cm	1.16 克		2.93 克	2cm
32.28 克	11.76cm	33.06 克		32.35 克	10.76cm
37.14 克	11.76cm	38.42 克		32.63 克	10.76cm
37.35 克	11.76cm	38.90 克		33.18 克	10.76cm
35.81 克	11.76cm	36.38 克		34.24 克	10.76cm
28.65 克	11.76cm	31.74 克		31.59 克	10.76cm
ALL OS=111.2		ALL OS=178.5 克		ALL OS=164.0	
0.56 克	1cm	0.93 克		2.63 克	5cm

表 5 岩心中沥青的质量%

试验前沥青质量%

RP250;13.73%

RP251;14.12%

RP252;13.59%

试验后沥青质量%:

RP250		RP251		RP252	
4.19%	1cm	4.93%		7.94%	2cm
11.78%	11.76cm	11.91%		12.83%	10.76cm
12.62%	11.76cm	13.40%		13.31%	10.76cm
13.22%	11.76cm	13.74%		12.77%	10.76cm
12.84%	11.76cm	12.93%		13.07%	11.67cm
10.80%	11.76cm	11.41%		11.35%	10.76cm
ALL OS=12.27%		ALL OS=12.6%		ALL OS=12.64	
2.26%	1cm	4.21%		2.30%	5cm

ALL OS:总的含油饱和度。

表 6 岩心中水的质量%

试验前水的质量%

RP250:1.71%

RP251:2.13%

RP252:1.99%

试验后水的质量:

RP250		RP251		RP252	
5.63%	1cm	5.95%		2.19%	
2.69%	11.76cm	2.88%		1.11%	
2.17%	11.76cm	2.49%		1.33%	
2.30%	11.76cm	2.30%		1.27%	
2.30%	11.76cm	2.66%		1.44%	
3.53%	11.76cm	3.21%		1.65%	
ALL OS=2.58%		ALL OS=2.71%		ALL OS=1.37	
6.66%	1cm	5.38%		6.53%	

ALL OS:总的含油饱和度。

表 7 岩心中砂的质量%

试验前砂的%

RP250:84.12%

RP251:83.12%

试验后砂的%:

RP250		RP251		RP252	
88.51%	1cm	88.96%		90.00%	2cm
85.10%	11.76cm	85.12%		86.07%	10.76cm
84.94%	11.76cm	83.94%		85.44%	10.76cm
84.33%	11.76cm	83.84%		86.02%	10.76cm
84.65%	11.76cm	84.24%		85.48%	11.67cm
85.20%	11.76cm	84.98%		87.07%	10.76cm
ALL OS=84.84%		ALL OS=84.42%		ALL OS=86.04	
90.43%	1cm	90.41%		90.75%	5cm

ALL OS:总的含油饱和度。