

中一加科技合作交流资料

编号:8990—6

蒸汽驱基准试验

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

目 录

图目录

摘要

1. 引言	(1)
2. 实验	(1)
2.1 材料	(1)
2.2 容器准备	(2)
2.3 注入装置	(3)
2.4 加热元件	(3)
2.5 注入蒸汽	(4)
2.6 生产站	(7)
2.7 数据记录	(7)
2.8 试验程序	(7)
3. 试验结果	(8)
3.1 产出流体	(8)
3.2 过程变量	(8)
3.3 温度数据	(12)
3.4 试验后岩心分析	(12)
4. 讨论	(13)
4.1 原油采收率	(13)
4.2 热传递和热损失	(14)
4.3 温度等值图	(15)
4.4 饱和度等值图	(15)
5. 结论和建议	(15)
6. 附录 1: 产出流体的实验室分析	(22)
7. 附录 2: 过程数据	(34)
8. 附录 3: 实验后岩心分析	(37)

图 目 录

- 图 1 利用泡沫改进蒸汽驱状况
- 图 2 利用泡沫分流蒸汽
- 图 3 90cm 模拟器图
- 图 4 蒸汽注入系统和 90cm 模拟器
- 图 5 90cm 模拟器的生产系统
- 图 6 总采出流体速度与时间的关系
- 图 7 原油生产速度与时间关系
- 图 8 水产出速度与时间关系
- 图 9 累积产油量与时间关系
- 图 10 累积产水量与时间关系
- 图 11 瞬时油水比与时间关系
- 图 12 累积油水比与时间关系
- 图 13 试验后取心面
- 图 14 试验后取心位置
- 图 15 生产温度与时间关系
- 图 16 累积产油与试验层平均温度的关系
- 图 17 试验层平均温度与时间关系
- 图 18 在选定时间的温度等值图
- 图 19 实验后原油饱和度等值图(1—4 段)
- 图 20 实验后原油饱和度等值图(5—8 段)
- 图 21 实验后原油饱和度等值图(9—11 段)

附 录

- 1. 产出流体实验分析
- 2. 过程数据
- 3. 试验后岩心分析

蒸汽驱基准试验

(90CM 模拟器,阿莫马斯卡油砂)

摘要

本报告中物理模拟器试验结果是下述研究工作一部分,该研究工作是要检验在改进蒸汽驱状态的过程中化学表面活性剂的使用。其结果也将用来建立一个为验证数值模型的数据库。本文描述了纯注蒸汽的基准实验,它将与以后的蒸汽添加剂试验对比。所得的结论如下:

——试验成功地进行了,并已建立了用来验证 ARC 数值模型的数据库

——蒸汽驱的原油采收率很大程度上依据于试验油层所达到的温度,因为物理模拟器的热损失在实验初期即控制着过程的效果。

1. 引言

蒸汽驱中,当大部分蒸汽通过含油饱和度低的高渗透区域损失掉时,表面活性剂能明显地提高油砂岩心中的沥青采收率。采收率的提高是由于在高渗透区形成了泡沫,泡沫降低了高渗透区的有效渗透率,因此也就减少了富含油的砂岩和高渗透通道之间渗透率的差别。这就使注入蒸汽的大部分进入油砂,提高了原油采收率。图 1 是这一过程的示意图。该试验是在 90cm 的物理模拟器上做的大规模试验中的第一个。这些实验将用来确定这种方法是否能用于蒸汽驱开采已在生产井中见蒸汽的情况。该情况假定油藏的渗透率是均匀的,而较高的有效渗透率是由于原油饱和度低造成的。图 2 是这一过程的示意图。RD001 试验是一个附加的纯注蒸汽的试验,用以作为与蒸汽加添加剂的试验作对比时的基准,并为测试 ARC 数值模型提供基础数据。

2. 实验

2.1 材料

本试验所用的油砂是从 Fort McMurray 附近 Suncor 现场采集的高品位的 Athabasca 油砂。在试验前对这些油砂做了手工挑选,去掉了大的岩石和泥岩块。在挑选过程中取了六个样品,并对它们做了沥青、水和砂子的分析。用于饱和度计算中的平均值为 14.2% 沥青, 1.8% 水和 83.7% 的砂子(重量百分数)。

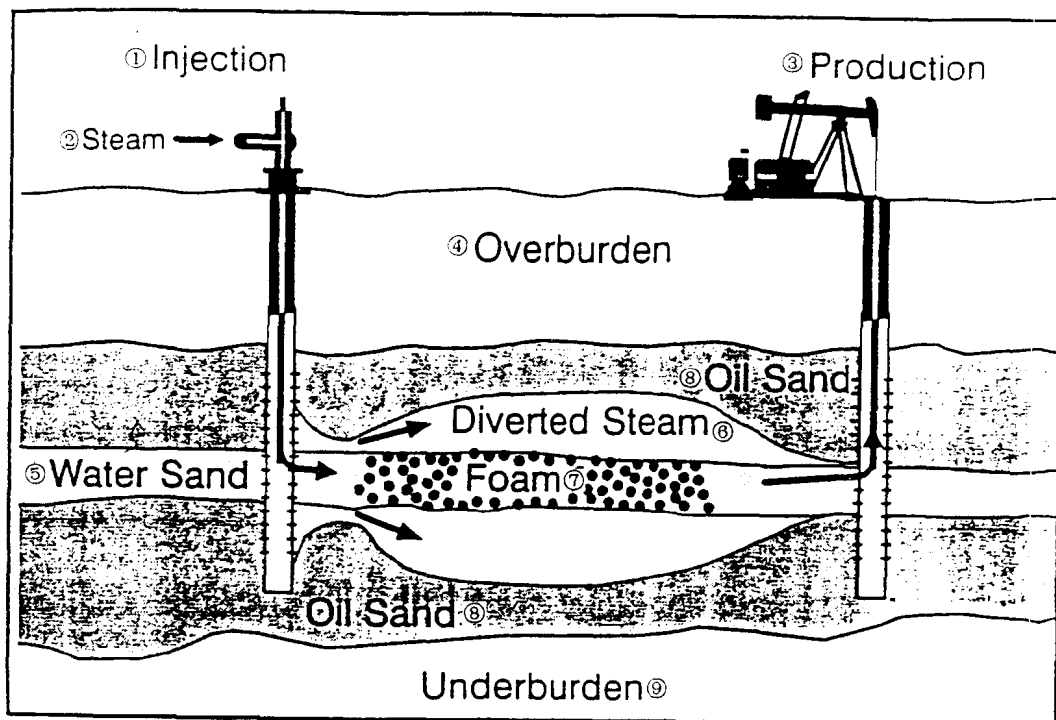


图 1 利用泡沫改进蒸汽驱动态

- ①注入井；②蒸汽；③生产井；④上覆层；⑤水砂
⑥分流的蒸汽；⑦泡沫；⑧油砂；⑨下覆层

2.2 容器准备

90cm 的容器被安装在一个特制的实验台上,这个实验台允许该容器垂直地或水平地安放就位。图 3 是这一物理模拟器的说明。容器是垂直安放的,高品位的 Athahasca 油砂用一个气动打夯机填入容器中。注入井、热电偶棒、加热器和压力传感装置在装填油砂前安装在容器的中部。当容器填充至离顶部 10cm 时,把热电偶棒从容器底部通过油砂提上来。当热电偶棒就位时,容器顶部 10cm 用油砂填充压实。带有一口生产井的钢质隔板被装配好并在油砂上面就位。一个带有 0.010 英寸孔眼的楔形金属丝滤网用来控制生产井出砂。钢隔板放好后,拧紧容器顶部的盖子,并用氮气加压至 7MPa 以模拟覆压。应该注意的是覆压只加在垂直于钢质隔板的方向,所以可以预期垂直于这一加热元件的应力将比平行于热元件的应力低。在砂子填入时,容器中捕捉到的游离气体可以通过生产井跑掉,测试层应放置一昼夜,

使尽可能多的气体跑掉。

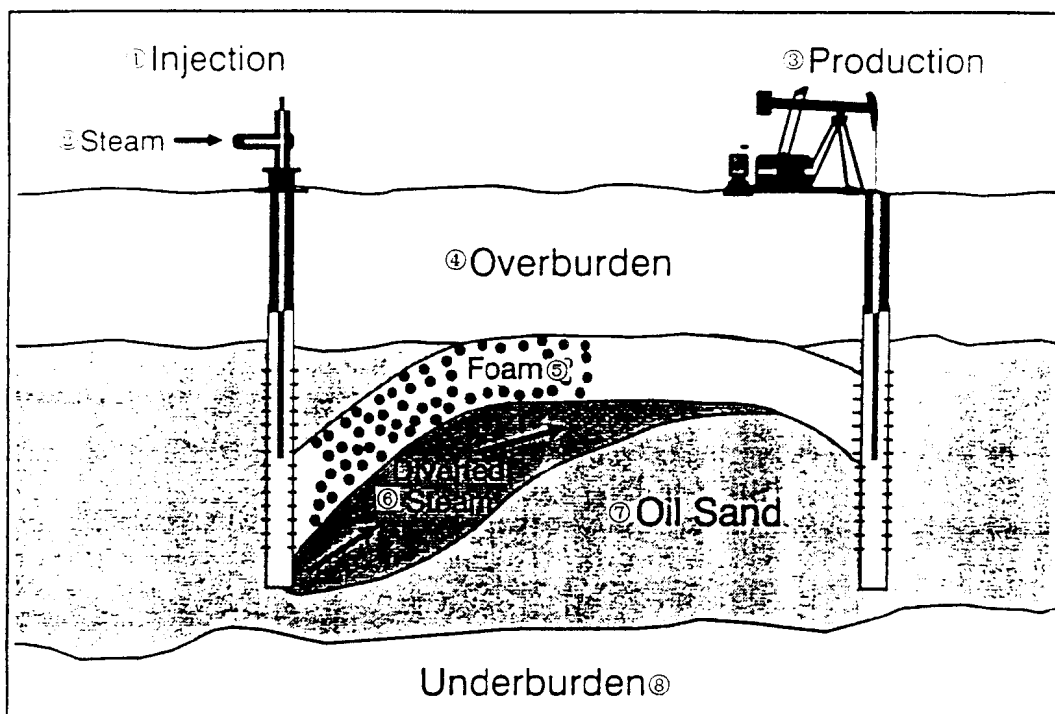


图 2 利用泡沫分流枯竭带的蒸汽

①注入井；②蒸汽；③生产井；④上覆层
⑤泡沫；⑥分流的蒸汽；⑦油砂；⑧下覆层

2.3 注入装置

本试验用了两个注入流程：

- 加热元件低压蒸汽流
- 高压工艺实验蒸汽流

2.4 加热元件

加热元件(图 3)安装在试验层的正中心从注入井到离生产井 5cm 处。在蒸汽注入之前低压蒸汽流通过加热元件循环 4 小时和注蒸汽的前 3 个小时仍用低压蒸汽循环。安装加热元件的目的是要建立一个连接注入井和生产井的热区。没有这样一个加热区,蒸汽的注入指数太低以至于不能开始试验。在加热元件里的蒸汽压力控制在 100KP(绝对),这样该元件的

温度将保持 100℃ 不变。

2.5 注入蒸汽

注入蒸汽是从 4.0MPa 的主供给管线中得到的。蒸汽在流经用于测量和控制注入流速的孔板流量计和控制阀系统之前被加热到 375℃。在到达注入井的混合三通之前的注入蒸汽管线包罩高压蒸汽管线外套。控制蒸汽套里的蒸汽压力使注入温度控制在过热 5 度左右。蒸汽注入系统的概图如图 4 所示。

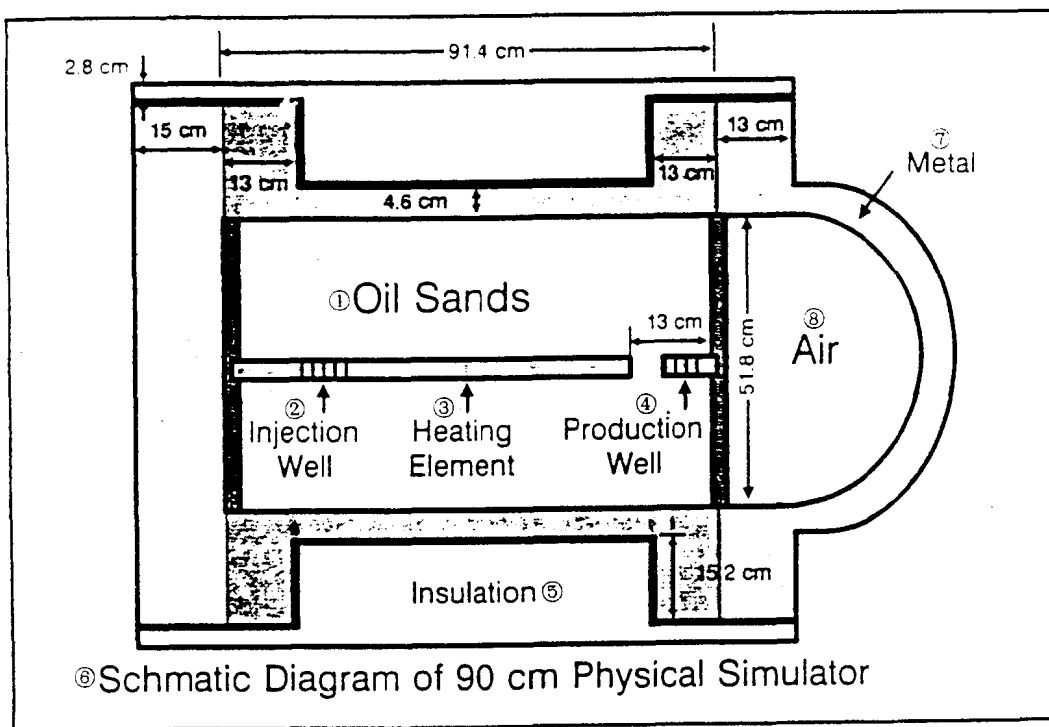


图 3 90cm 模拟器

①油砂；②注入井；③加热元件；④生产井

⑤绝热层；⑥90cm 物理模拟器的示意图；⑦金属壳

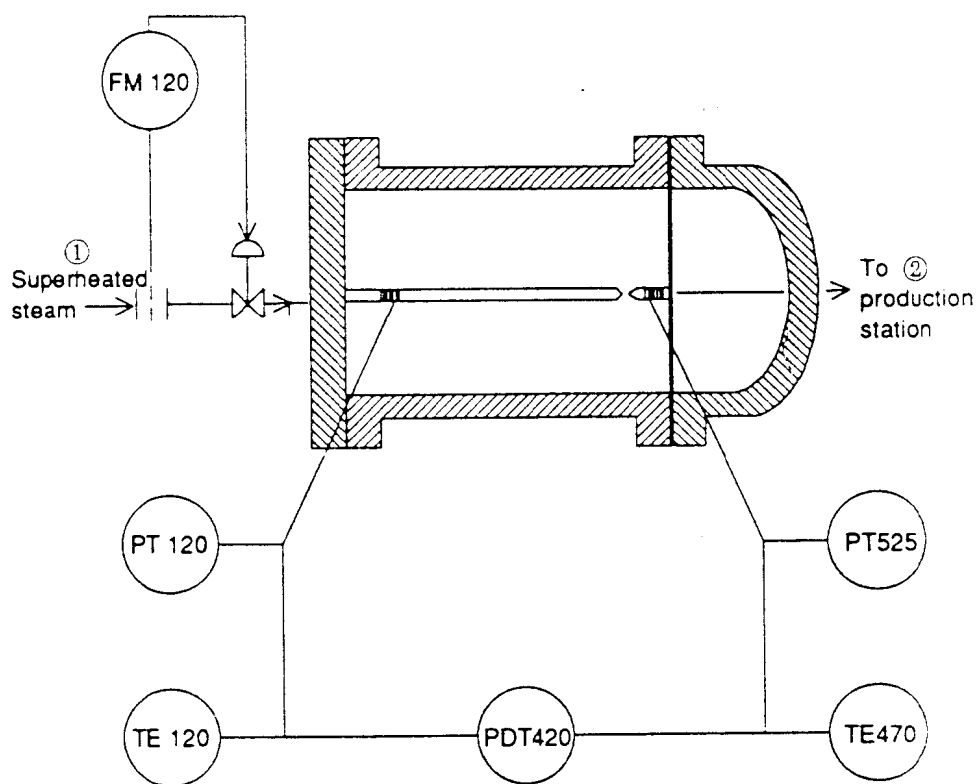


图 4 蒸汽注入系统和模拟器
①过热蒸汽；②通往生产站

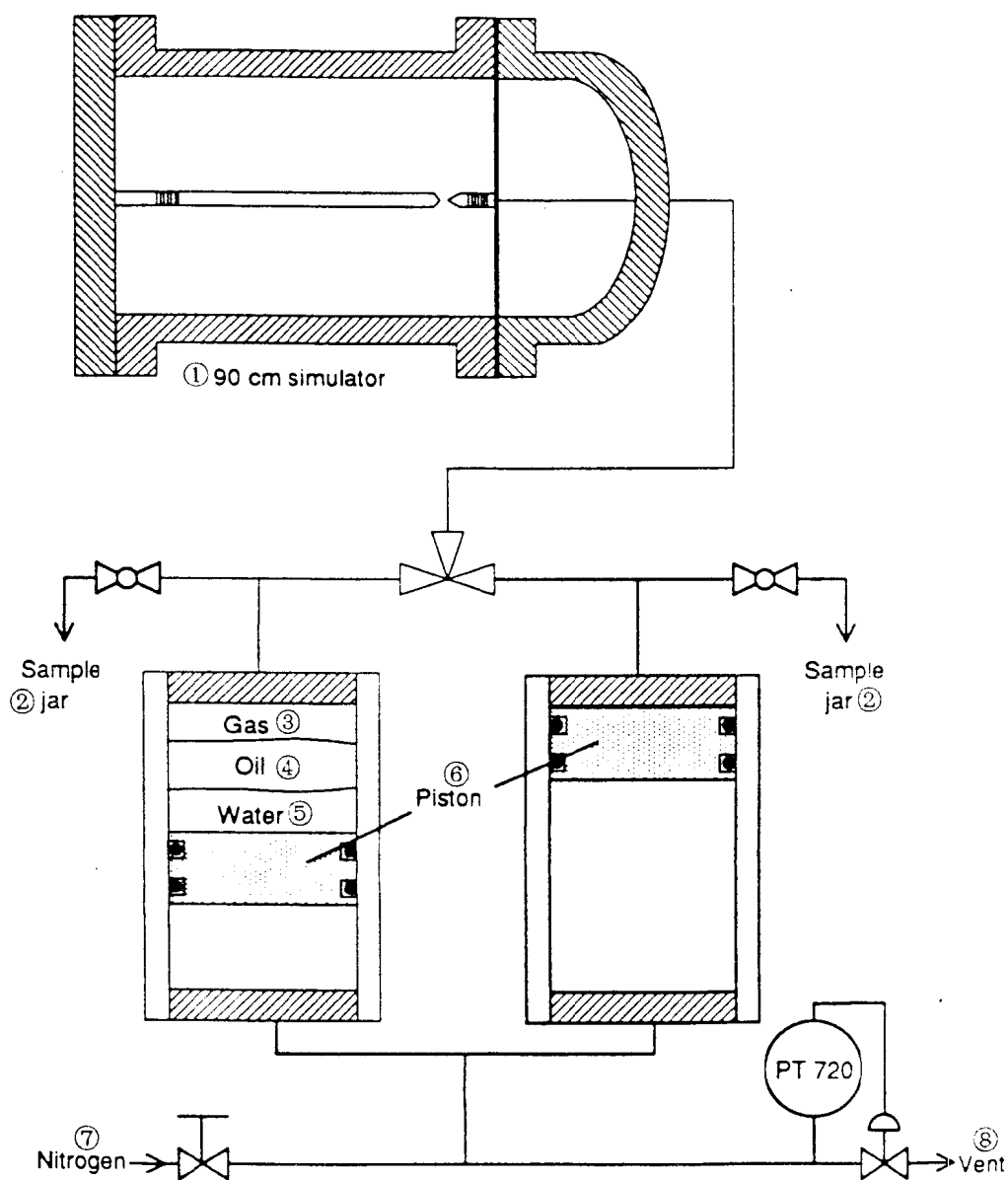


图 5 90cm 模拟器生产系统

①90cm 模拟器；②取样瓶；③气；④油；⑤水；⑥活塞；⑦氮气；⑧排气孔

2.6 生产站

试验层的回压控制和流体取样系统是用一个双收集器的生产站来实现的。该系统的概图如图 5 所示。产出的流体流经一个热水式热交换器,在那里流体被冷却到约 80℃。然后,流体经三通阀进入收集器 A 或收集器 B。每一圆筒都是一个有浮动活塞的收集器。活塞以下的压力是通过一个回压释放阀用氮气压力控制系统来控制的。氮气回压的设定是由计算机控制的,它能遵循任何一种压力~时间关系。在试验开始时,两个收集器都是空的,活塞都在顶部。开始时流体通过三通阀直接导向 A 收集器。在试验过程中,每 30 分钟切换一次并同时取样。

2.7 数据记录

所有流程节点都通过一个多路转换器 PDP11/44 计算机上,每 15 秒钟扫描一次并记录在动态文件上。安装在试验油层中的热电偶棒接在一个 AUTODATA-9 多路扫描器上,扫描器由计算机控制,每 2 分钟扫描一次并记录在扫描文件上。过程和温度点也以人机对话方式显示在 ISC 彩色仪器板上。

2.8 试验过程

90cm 的容器用从 fort Mc Murraygbwf 附近 Suncor 矿中采集的高标号 Athabassa 油砂填充,并用气动打夯机压实。将该填充物垂直放置并且加覆压一个晚上,游离气都从顶部排出。容器被放下至水平位置并用玻璃纤维热材料绝热。然后把容器安放就位,并把注入井和生产井接上。按以下安排开始试验:

9 月 10 日 9:30 水开始以每小时 400cc 的速度注入以保持测试层压力,使加热元件接通后测试层压力高于饱和压力。

9 月 10 日 9:36 通过试验层部的加热元件被接通。加热元件的温度维持在 100℃(t = -236 分钟)。

9 月 10 日 12:54 停止注水。总注水量为 1200cc(t = -36 分钟)。

9 月 10 日 13:30 蒸汽开始注入。该试验中平均蒸汽注入速度为 4.8kg/小时(t = 0 分钟)。

9 月 10 日 15:16 试验层的压力达到设定压力 3.3MPa,试验层开始生产(t = 106 分钟)。

9 月 10 日 16:36 通过试验层中部的加热元件被卸下(t = 186 分钟)。

9 月 11 日 5:08 由于生产站中一个阀出故障,回压在短期内降至 3.1MPa(t = 938 分钟)。

9 月 12 日 13:30 蒸汽注入停止并关闭测试层的隔离阀。

试 验 结 果

3.1 产出的流体

产出流体样品每 30 分钟取一次,同时切换生产管线。对每一样品的重量都做了记录,并对每一样品做了原油和水含量的分析。附录 I、表 1 中包含有产出流体的实验室分析结果。包含在表中的资料是:

1. 样品号。
2. 从开始注蒸汽时起算的时间,以分为单位。
3. 样品中产出水的重量,以克为单位。
4. 样品中产出油的重量,以克为单位。

附录 I,表 2 中包含流体生产速度。包括在该表中资料是:

1. 样品号。
2. 从开始注蒸汽时起算的时间,以分为单位。
3. 在该样品产出期间采液速度(油+水),单位为 $\text{cm}^3/\text{分}$ 。
4. 原油产率,每分钟产出克数。
5. 水产率,每分钟产出克数。

这一资料也以曲线方式表示在图 6、7 和 8 中。附录 I,表 3 包含有累积产出流体的数据。包括在该表中的数据是:

1. 样品号。
2. 从开始注蒸汽时起算的时间,以分为单位。
3. 累积产油量,以千克为单位。
4. 累积产水量,以千克为单位。
5. 瞬时油/水比。
6. 累积油/水比。

这些数据也以曲线形式在图 9 至 12 中给出。

3.2 过程变量

在试验中,过程变量每 15 秒钟扫描并记录一次。附录 I 中图 I-1 到图 I-6 是整个试验中过程数据与时间关系曲线。也求出了这些数据项在与产出流体样品对应的时间阶段中的平均值。被平均的数据项是:

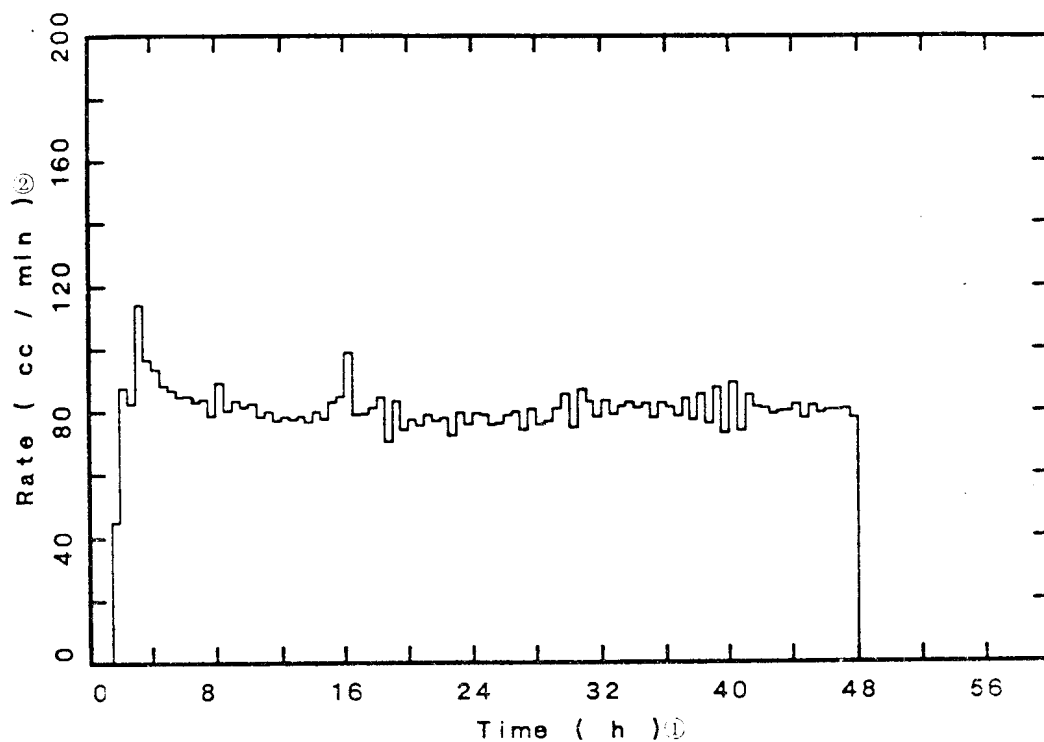


图 6 RD001 实验总产率
①时间(小时);②速度(cc/分钟)

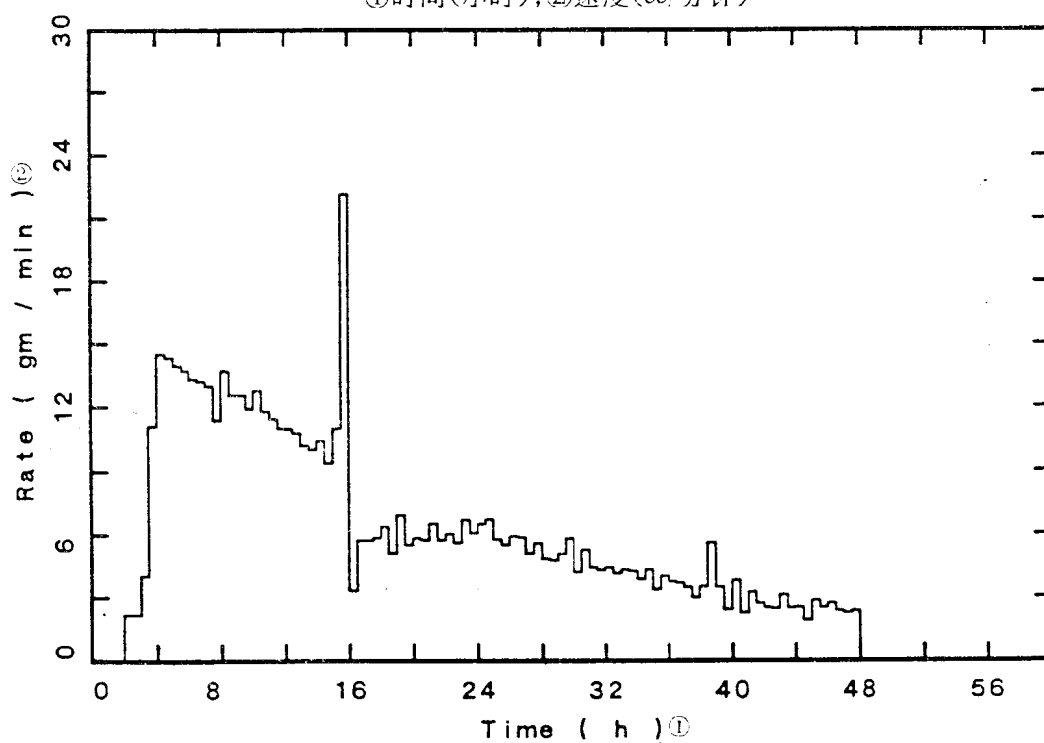


图 7 RD001 实验原油产率
①时间(小时);②速度(克/分钟)

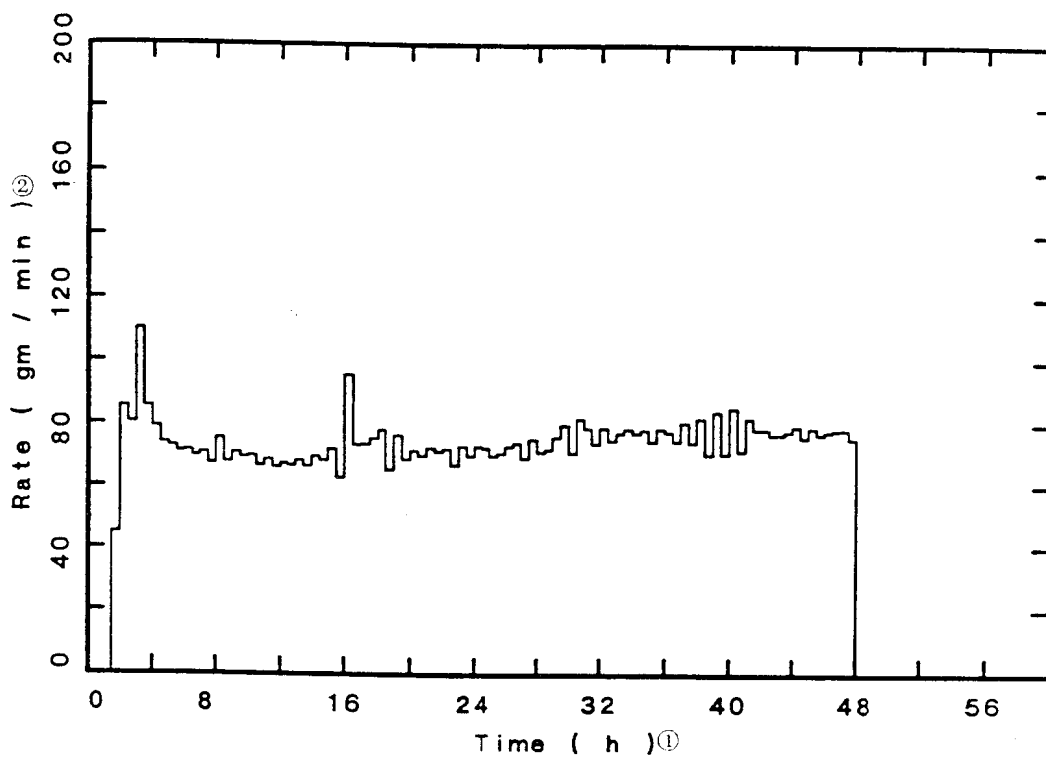


图 8 RD001 实验产水速度

①时间(小时);②速度(克/分钟)

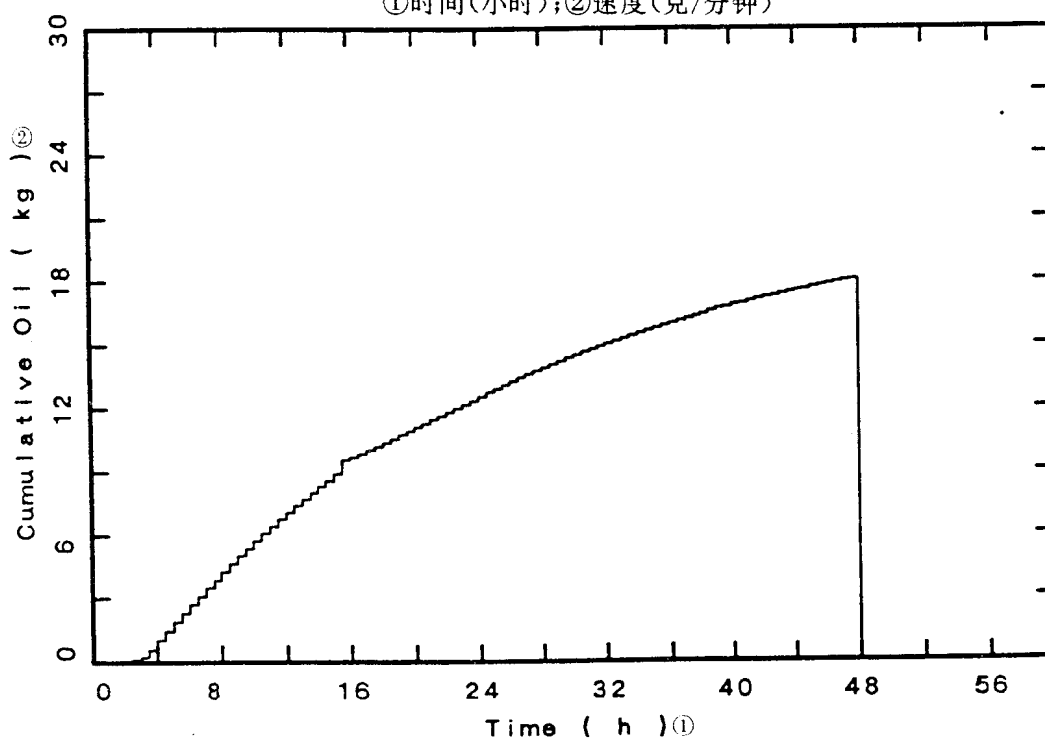


图 9 RD001 实验累积产油量

①时间(小时);②累积产油(kg)

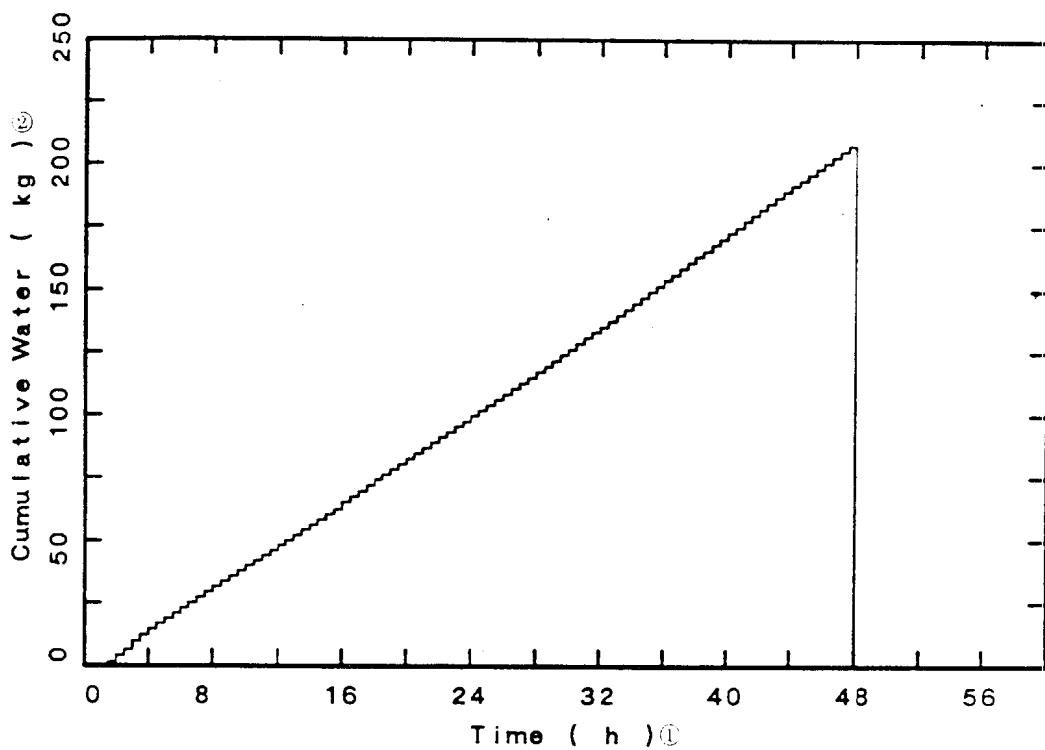


图 10 RD001 实验累积产水量

①时间(小时);②累积产水(kg)

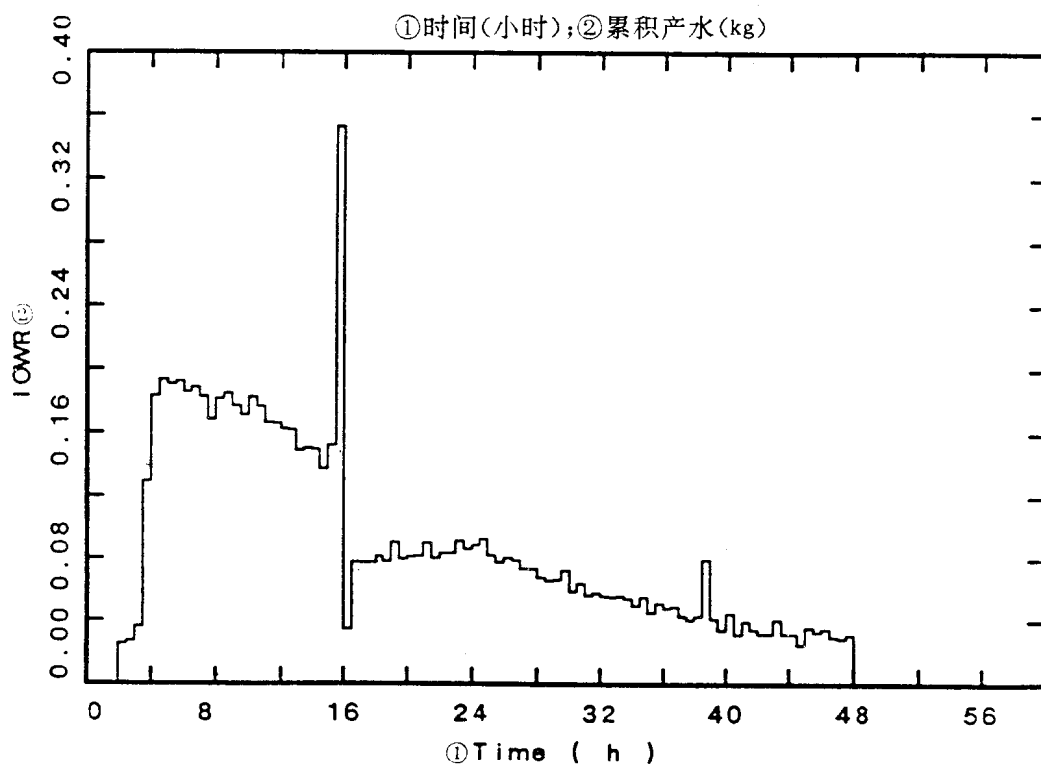


图 11 RD001 实验瞬时油/水比

①时间;②IOWR(瞬时油/水比)

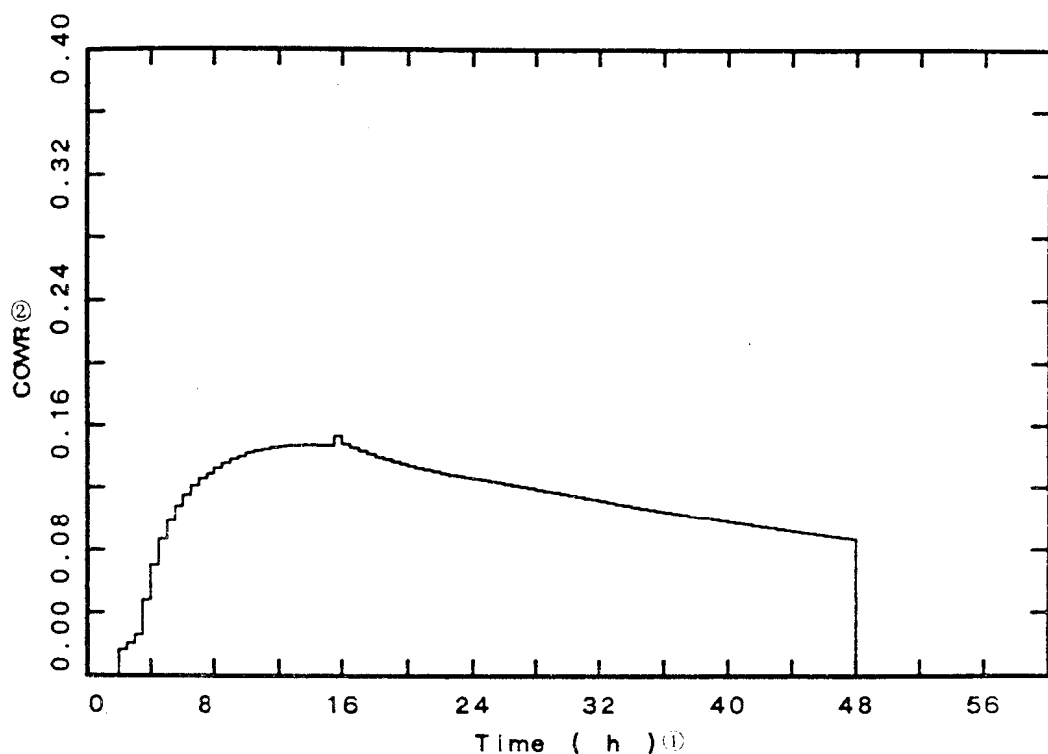


图 12 RD001 实验累积油/水比
①时间(小时);②IOWR(瞬时油/水比)

FM120 蒸汽注入流速(kg/小时)

PT420 注入井压力(MPa)

TE420 注入井温度(°C)

PT525 生产井压力(MPa)

TE470 生产温度(°C)

PDT420 通过试验层的压降(KPa)

附录 I, 表 4 中列出了每一数据项的平均值。

3.3 温度数据

在实验开始前,试验层中安装了约 25 个 8 点或热电偶棒,测点间距 10cm。在试验过程中,温度每 2 分钟被扫描并记录一次。这些数据被用来生成试验过程中所选定的时间间隔中试验层水平的和垂直的温度等值图。

3.4 试验后岩心分析

试验完成后,试验层被取心,并对样品做了沥青、水和固体物质的分析。试验层被分为 11 层(如图 13 所示),每层取 17 块岩心(如图 14 所示)。分析结果用来计算残余油饱和度。在计算中假定了下列常数:

原油密度: 1020.5kg/M³

水密度: 1000.0kg/M³

固体密度: 2293.6 kg/M^3

孔隙度: 0.3604

试验分析和计算结果列在附录Ⅱ, 表 6 中。

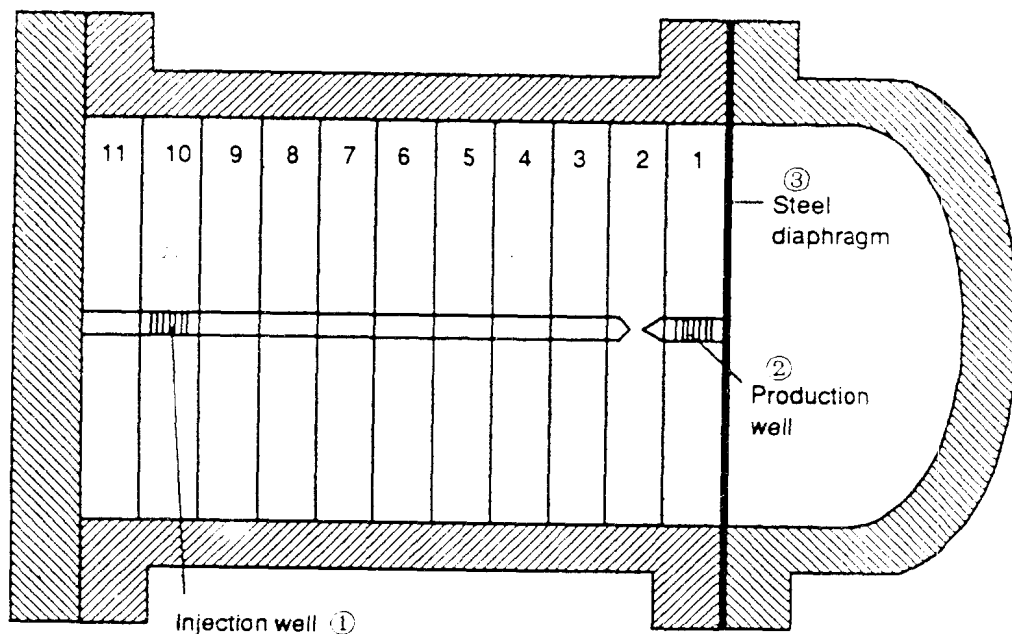


图 13 试验后取心面

①注入井; ②生产井; ③钢隔板

4. 讨 论

4.1 原油采收率

试验 RD001 是一个纯注蒸汽的蒸汽驱试验。该试验进行了 48 小时, 在此期间总共注入了 230kg 或 3.32 倍孔隙体积的蒸汽。充填的油砂总体积为 0.192 m^3 , 含有 363.24kg 油砂。初始原油储量是 50.86kg。试验结束时, 总共采出 18.06kg 或 35.5% 原油。

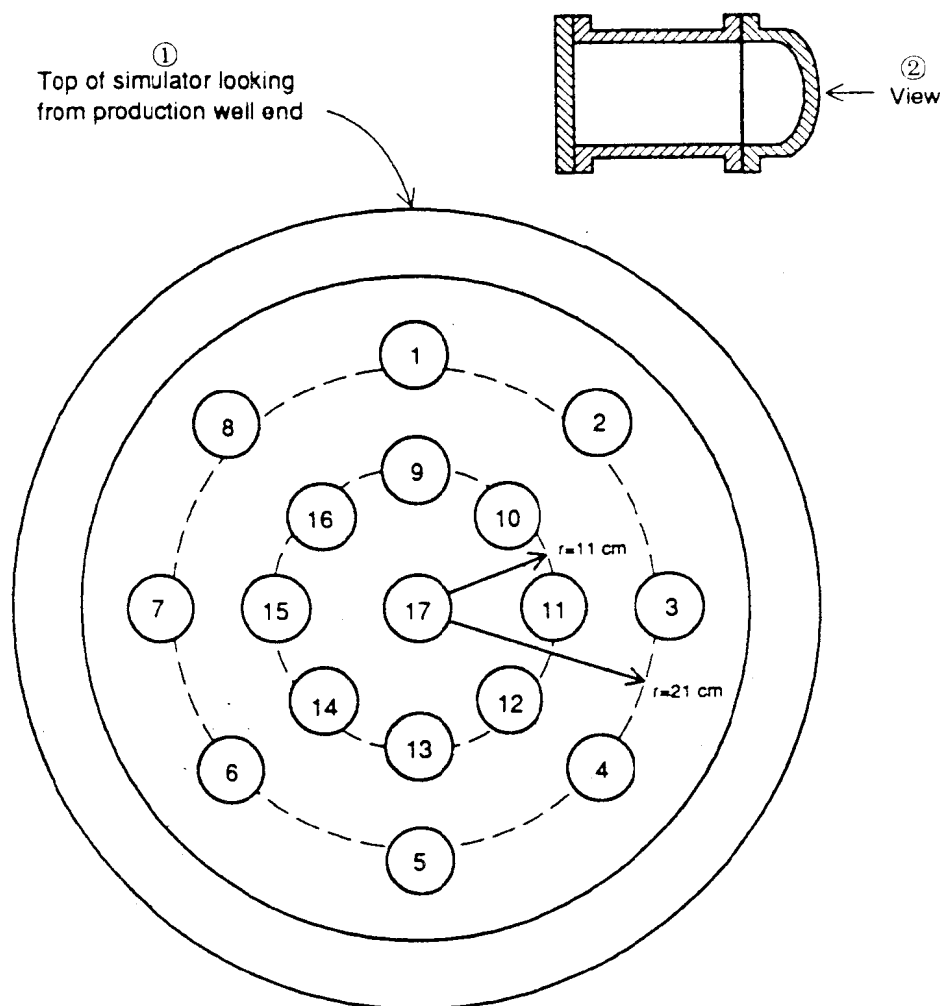


图 14 试验后取心位置

①从生产井端看模拟器顶部；②侧视

4.2 热传播和热损失

注入井和生产井之间的热传播用一个蒸汽加热热元件开始的,该热元件在试验层中部。注入井和生产井之间的热连通在试验初期就很好,在注蒸汽开始 4 小时时生产温度达到 100°C (图 15)。在试验进入 10 小时时,生产温度达到最大值 227°C 。从那时开始,生产井温度下降,直到 15 小时时降至 172°C 。检查一下温度数据可以看出,当试验油层温度增加时,从该物理模型中的热损失大到足以使热通道变冷下来。特别是通过该容器注入井一端的法兰的热损失是很大的。注入蒸汽的潜热是 1760KJ/kg 。在蒸汽流速为 4.8kg/小时 时,由蒸汽冷凝可利用的热为 2.35KJ/S 。当 $t=9$ 小时,生产温度开始降低时容器的热损失估计为