

中一加科技合作交流资料

为研制岩心评价测试 设备进行的试验

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

概 要

本报告总结了在岩心评价试验设备(CETF)上做的8个基本实验。前5个实验中,只有蒸汽被注入到带有连通通道的岩心中,实验CETF106—CETF108是在这种设备上做的首批等温实验,在这些实验中没有连通的通道。替代的方法是,初始沥青的流动能力是加热覆盖层的水(205—210℃,4.5MPa)而产生的。在CETF106和CETF108实验中只注蒸汽,而在CETF107实验的后一阶段空气和蒸汽一起注入。

设计这8个实验的目的是:

- (1)试运行一个新的数据收集和计算机控制系统;
- (2)试验低滞留体积堵头的设计;
- (3)试运行覆盖层温度控制系统;
- (4)评价沥青采收率、压降以及空气与蒸汽一起注入蒸汽驱后的油砂所引起的物理化学变化。

数据收集和计算机控制系统的安装和运行是满意的。覆盖层温度控制系统也是成功的遗憾的是实验后覆盖层都出现了渗漏,因此,建议在今后任何CETF实验中套筒该焊在堵头上。CETF107实验的结果表明注入蒸汽—空气改进了沥青的采收率曲线,并且改变了沥青、水和固体物质的性质。在等温实验中,空气与蒸汽一起注入使实验后的原油饱和度从19%降到14%。降低的原因可能是:(1)沥青回收速度加快,和(或)(2)沥青的热裂解使较轻的碳氢化合物采出来,而较重的沥青留在油层中。空气和蒸汽一起注入使通过岩心的压降增加了约一倍。压降的增加比预计的用泡沫的要低。但它的优点是一旦氧化反应在枯竭区产生了高流动阻力后,空气注入可以停止。这与注泡沫的情况相反。注泡沫时,如果要维持已增加的流动阻力必须保持泡沫的注入。在CETF107实验中注空气的效益可概括如下:

1. 实验后的沥青饱和度从19%降到14%。
2. 通过岩心的压降加倍。
3. 残余沥青的粘度增大了一个数量级。
4. 残余沥青的酸数加倍。
5. 残余沥青中沥青质的含量明显增加(从17.3%—20.0%,增加到24.5%)。
6. 为了使残余沥青中的沥青质沉淀所需要的戊烷量明显减少。
7. 实验后固体物质焦炭的含量加倍(从1.1%—1.4%增加到2.4%)
8. 所产出的水乳化物的PH值降至3.4,这主要是由于硫酸盐含量从7mg/l增加到196mg/l所引起的。
9. 在蒸汽—空气实验中采出的气体中没有检测到CO和CO₂。
10. 注入的O₂中约一半被氧化反应所消耗。

上述关于注入空气效应的结论,只是根据一次实验得出的,还需要通过一系列蒸汽—空气实验作进一步研究。

目 录

摘要.....	(1)
1. 引言.....	(1)
2. 实验设备和过程.....	(1)
2.1 设备	(2)
2.1.1 注入系统	(2)
2.1.1.1 过热蒸汽管线	(2)
2.1.1.2 注水管线	(2)
2.1.1.3 注气体添加剂的管线	(2)
2.1.2 油砂岩心和覆盖层	(2)
2.1.3 生产系统	(3)
2.1.4 计算机控制与参数收集	(3)
2.2 过程	(4)
3. 实验结果.....	(4)
3.1 连通通道实验 CETF101—CETF105 的结果	(4)
3.2 等温实验 CETF106—CETF108 的结果	(5)
3.3 气体分析结果	(5)
3.4 实验后覆盖层的渗漏	(6)
4. 总结.....	(6)
5. 结论.....	(6)
6. 建议.....	(7)

图 目 录

- 图 1: 岩心评价试验设备
- 图 2: 实验 CETF101—CETF105 中所用的堵头
- 图 3: 实验 CETF106—CETF108 中所用的堵头
- 图 4: 实验 CETF101, CETF103, CETF104, CETF105 沥青采收率(包括滞留体积)与时间的关系
- 图 5: 实验 CETF101, CETF103, CETF104, CETF105 沥青采收率(不包括滞留体积)与时间的关系
- 图 6: 实验 CETF101, CETF103, CETF104, CETF105 沥青采收率(包括滞留体积)与产出流体体积的关系
- 图 7: 沥青采收率(不包括滞体积)与产出流体体积的关系
- 图 8: 实验 CETF101, CETF103, CETF104, 和 CETF105 产出流体体积与时间的关系
- 图 9: 实验 CETF104, 通过岩心的压降
- 图 10: 实验 CETF105, 通过岩心的压降
- 图 11: 实验 CETF106, CETF107 和 CETF108, 沥青采收率(包括滞留体积)与时间的关系
- 图 12: 实验 CETF106, CETF107 和 CETF108 的沥青采收率(不包括滞留体积)与时间的关系
- 图 13: 实验 CETF106, CETF107 和 CETF108 的沥青采收率(包括滞留体积)与采出流体体积的关系
- 图 14: 实验 CETF106, CETF107, 和 CETF108 的沥青采收率(包括滞滞留体积)与采出流体体积的关系
- 图 15: 实验 CETF106, CETF107, 和 CETF108 的采出流体体积与时间的关系。
- 图 16: 蒸汽—空气实验 CETF107 的压降与时间关系

表 目 录

- 表 1: 83—14 油砂数据表
- 表 2: 86—19 油砂数据表
- 表 3: CETF 的实验条件
- 表 4: 实验后原油饱和度小结
- 表 5: 等温 CETF 实验结果小结
- 表 6: CETF107 的采出水

为研制岩心评价测试设备进行的试验

摘 要

这一报告总结了在岩心评价试验设备(CETF)上做的 8 个实验。设计这些实验的目的是：

- (1)试运行一个新的数据收集和计算机控制系统。
- (2)试验低滞留体积堵头的设计。
- (3)试运行覆盖层温度控制系统。
- (4)评价沥青采收率、压降以及空气与蒸汽同时注入蒸汽驱后的油砂所引起的物理化学变化。

在这些实验中：

1. 数据收集的控制系统运行良好。特别要指出的是，对生产分级和压力控制系统作的修改是成功的。蒸汽流动控制系统仍需要改进，但在低流速并用孔板流量计时对这一系统作改进大概没有可能了。用一台 Tracor 或 Constametric 泵产生不变的水流速度然后再把水煮沸可能是必要的。
2. 空气和蒸汽一起注入使实验后沥青饱和度从 19% 降到 14%，并使通过岩心的压降加倍。
3. 空气注入的结果使沥青粘度，酸数和沥青质含量明显增加。另外，焦炭的含量加倍了。空气的注入也使水乳化物的 PH 减低到 3，并使砂粒变为亲油的趋势增加了。

1. 引 言

在阿尔伯塔省研究院(ARC)所做的实验(1,2)已显示出注蒸汽—空气和蒸汽—氧气的方法的前景。这些方法的好处包括：(1)更快地回收沥青，(2)更低的残余油饱和度，(3)改进波及效率。这一项目的目的是要检查氧化反应对沥青采收率，压降和驱替后原油饱和度的影响。并检测沥青、产出的水和残余砂子的性质的变化。

已经确定要在 CETF 上做该项研究工作需要使设备升级。特别是需要安装一个数据收集和计算机控制系统。除此之外，一个覆盖层温度控制系统被合并到该系统中，以便能做等温实验。对不同堵头设计做了试验以减少岩心下游滞留体积。本报告总结了在该设备开发过程中所做的 8 个实验。其中一个(CETF107)是蒸汽—空气实验，在报告中对该实验做了较为详细的讨论。

2. 实验装置和过程

2.1 设备

实验是在岩心评价试验设备上做的,该设备的概图如图 1 所示。设备有 4 个主要组成部分:

1. 注入系统
2. 岩心、压力容器和覆盖层系统
3. 生产系统
4. 数据收集和控制系统

2.1.1 注入系统

注入系统主要由以下三部分组成:

1. 过热蒸汽管线
2. 水管线
3. 气体添加剂

2.1.1.1 过热蒸汽管线

从 Celanese Chemical 来的蒸汽用 Masoneilan 流动控制阀保持 4MPa 的常压。然后蒸汽用 Chromolox 过热器加热到 330℃。稳定的蒸汽流速(用孔板流量计测量)是由 Fisher 控制阀得到的。蒸气在流经这一控制阀时,其压力 4MPa 降到注入压力。

2.1.1.2 注水管线

把过冷(5—10℃)的水在上堵头上边加到过蒸汽中产生了饱和蒸汽(干度为 80%或 90%)。水是用 Constametric 泵从 3.8 升的蓄水池中抽上来的。通过一个标定过的不锈钢毛细管(外径=1.588mm,壁厚=0.508mm,长度=35cm)的压力降被用来测定水的流速。水在流经覆盖层的同时被加热。

2.1.1.3 气体添加剂管线

空气从高压缸中经 Hastings 气体质量流量计流入,并与水流汇合,然后一起加到过热蒸汽中。

2.1.2 油砂岩心和覆盖层

油砂岩心是由高质量的 Athabasca 油砂组成的,由压缩空气填塞好的油砂用一个铅套筒密封。用这种方法,8 个实验在加覆盖层前的平均油砂密度为 2.045g/cc。在所有实验中都用高质量的 Athabasca 油砂、CETF105 选用 83—14 那批油砂,而所有其它的物理性质列在表 1 和 2 中。在实验 CETF101—CETF105 中用了轴向连通通道(如图 2 所示)。用于这一通道的砂子类型和尺寸是变化的,以便使通过岩心的压降是低的。用于这 5 个实验中的每一个连通通道如下:

CETF101	20—40	石英砂	1.27cm diam.
CETF102	20—40	石英砂	1.905cm diam.

CETF103	20—40	石英砂	1.905cm diam.
CETF104	12—20	石英砂	1.905cm diam.
CETF105	12—20	石英砂	1.905cm diam.

86—19 中的沥青在 25℃ 时的粘度为 923cp, 125℃ 时粘度为 60cp、它的酸数是 2.8。固体成分中的泥质成分主要是高岑土, 带有少量伊利石。没有可检测到的蒙脱石和绿泥石。

根据 Cora * 3 小组的建议, 决定在 CETF106—CETF108 实验中不用连通通道。替代的方法是把覆盖层加热到 205—210℃。进而使原油加热, 原油中的沥青有开始流动的能力。使覆盖层达到所要求的温度花了约 4 小时。覆盖层加热与实验是在同一天进行的。

在 CETF101—CETF104 实验中用了一种低流体滞留量的堵头。这些堵头以前在别的设备上做实验时已经用过了, 使用时没有遇到困难。这种堵头有一个金属毡过滤器。遗憾的是, 这个过滤器被油砂中驱替出来的微细颗粒所堵塞。因此在实验过程中测量的通过岩心和堵头的压降不断增加, 甚至在沥青产量下降时压降也没有减小。当有很小一点蒙脱石存在时, 可以认为在所有实验中都出现的压降是由于微细颗粒的运动而不是粘土膨胀所致。我们决定改用在以前的项目中用在 CETF 上的堵头(图 3)。这些堵头有较多的滞留, 但它的好处是能允许微细颗粒通过, 并进入集油站。这与低滞留量堵头相反, 在那里金属毡把微细颗粒挡住了。

在 CETF101—CETF105 中用了 N₂ 覆盖层。在这些实验中覆盖层是不加热的。在等温实验 CETF106—CETF108 中用了带有 N₂ 气顶的水的覆盖层。在这些实验中水的覆盖层被三个 ARI 加热器加热。覆盖层的压力保持在 4.5MPa。

2.1.3 生产系统

产出的流体流入高压分离器, 在分离器中被合为液相(油乳化物、水乳化物和水)和气相(蒸汽, 空气和产出的天然气)组分。开始时分离器中充填了 200ml 的水, 并用 2.07MPa N₂ 回压。水防止回压气体流入岩心。分离器中液面用 Fisher 控制阀维持。液面是用通过分离器中液柱的压降计算的。

产出的液体先收集在 2 公升的罐子里(每小时换一次), 然后分析沥青含量。接下来确定水乳化物的 PH, 硫酸根和醋酸根的含量。气流通过一个湿式测试表以测定流速。气体样品(在湿式测试表之前)被收集在 75ml 不锈钢容器里然后作气相色谱分析。另外, Kitegawa 气体检测管被用来确定气流中心 H₂S 和 SO₂ 的浓度。

2.1.4 计算机控制和数据收集

一台 DEC PDP11/44 计算机被用来监测和控制实验。在试验过程中, 各类参数都显示在 ISC 彩色控制台上。大多数测量的位置能在图 1 上见到。几乎所有的热电偶是 K 类型的。水—空气混合物温度是用热电偶 TE200 记录的。过热蒸汽的温度是用 TE120 测定的。注入流体的温度是用 TE600 在上堵头以上和 TE610 在上堵头底部记录的。

三点热电偶探头被插入到岩心轴和铅套筒之间大约中间处。对 CETF101—CETF105 实验, 岩心热电偶分别在下堵头顶以上 5cm(TE710), 14cm(TE720)和 23cm(TE730)处, 距中轴 2.3cm。在 CETF106—CETF108 中对应的热电偶垂向位置在 3cm, 12cm 和 21cm 处, 其距

离中轴的距离为 1.8cm。

2.2 实验过程

在所有实验中,蒸汽都是以 1.5kg/h 的速度(在 CETF101—CETF105 中干度为 80%,在 CETF106—CETF108 中干度为 90%)注入岩心顶部,产出的液体从底部出去。在每一实验过程中都维持不变的生产回压,没有压力降落。在 CETF101 中用的是 3.45MPa 回压,但在注入压力限制在 4.1MPa 时,在实验的最后 1 小时压降升高到 600KPa 以上时所期望的蒸汽流速 1.5kg/h 不能保持。在后来的实验 CETF102—CETF108 中,所用的回压降低为 2.07MPa。在蒸汽—空气实验(CETF107)中先注 4 小时蒸汽以得到空气注入之前的稳定的累积沥青采收率和压降曲线,这样空气注入对这些变量受的影响可以清楚地看出来。实验后,在分析实验室中把油砂弄均匀,取一个有代表性的样品做沥青、水和砂子成分的分析,粘度(75℃, 125℃),酸值,沥青质含量以及要把沥青质从实验后抽提过沥青的溶液中沉淀出来所需要的戊烷的体积被确定了。残余固体中灰分含量也得到了。

3. 实验结果

3.1 连通通道实验 CETF101—CETF105 的结果

总的来说,CETF 数据收集和控制系统工作得很好。但是,由于 11/44 计算机的用户非常多,因此碰到了一些计算机方面的问题。分离器的压力,液面和覆盖层的温度得到了满意的控制。因为选用了低的蒸汽流速,所以孔板流量计的计量不像所期望的那样精确。这反应在图 4 中,图 4 是产出液累积孔隙体与时间的关系。从图 4 中可看出,CETF105 的蒸汽注入速度高于其它三个实验。

CETF 实验典型条件列在表 3 中,操作和实验条件细节在附录 A 中给出。图 5—8 是 CETF101, CETF103—CETF105 的采收率曲线。这些采收率曲线是不同的,因为在做前 5 个实验时,实验系统和方案还在不断发展的过程中,由于热水已通过压力传感器的连接管线漏失并进入岩心。决定不对 CETF102 以前的实验做产出流体的分析。CETF105 的采收率低是因为在该实验中所用的油砂的批号(83—14)不同。CETF103 和 CETF104 的采收率曲线相类似,虽然用于 CETF104 的砂子(12—20)比 CETF103 的(20—40)粗。

因为 Athabasca 油砂中微细颗粒的含量高(6%),所以堵头中的金属毡阻塞。由此造成通过岩心的压降在整个实验过程中增加,达到约 300KPa。这一现象的有代表性的数据是 CETF104 的压降与时间关系曲线(见图 9)。这种趋势与以前的项目中典型的 CETF 的情况相反,在那里压降在大约 1 小时后达到最大值,然后降至约 20KPa。因此决定改用以前的 CETF 实验中用过的带槽缝的堵头(见图 3)。这种允许微细颗粒通过并进入集油站的堵头用在 CETF105—CETF108 中。同时还决定在 CETF105 实验中用不同批号的油砂(83—14)以确定是否能得到低的降压从图 10 中可以看到在 CETF105 中通过岩心的压降(40KPa)比前几个实验的低得多。

3.2 等温实验 CETF106—CETF108 的结果

等温控制系统工作得很好,然而它需要 4 个小时使系统达到操作温度(205—210℃)。

CETF106 和 CETF108 是纯注蒸汽实验,实验时间分别为 8 小时和 4 小时。CETF107 先注 4 小时蒸汽,接下来注 4 小时蒸汽—空气(空气的质量百分数为 3.6)然后再注 1 小时蒸汽。

CETF 前 4 小时的沥青采收率曲线与 CETF108 的非常相似。CETF106 的曲线低一些,这可能是因为在该实验中一直到实验的那天才开始加围压,而 CETF107 和 CETF108 是在前一天晚上就加围压的。注蒸汽—空气的实验 CETF107 表明空气的注入对沥青的采收率曲线有积极的作用。

图 15 给出这三个等温实验产出液体的累积孔隙体积与时间的关系。还可以看到,在这些实验中注蒸汽速度有某些变化。图 16 表示 蒸汽—空气实验 CETF107 中压降随时间的变化。很明显,把空气加入到注入蒸汽中使注蒸汽—空气的前三小时中压降增加了一倍。然后,在该实验剩下的时间中(包括 1 小时注蒸汽—空气和 1 小时只注蒸汽)压降基本保持不变。这可能是由于永久性的氧化变化或者是岩心中存在的被捕捉的空气所引起的。

对蒸汽—空气实验,驱替后的原油含量为 14%,而两个只注蒸汽的实验是 19%和 20%(见表 4)。实验后沥青的粘度、酸值和沥青质含量由于空气的注入明显地增加了(见表 5)。

絮凝试验结果表明蒸汽—空气的注入使沥青在戊烷中的溶解度降低了。在这一个试验中,10ml 的甲苯加到 1g 沥青中,得到的溶液用戊烷滴定,直到溶液中开始形成颗粒(沥青质)和溶液的吸收比提高了。

蒸汽—空气注入的结果使油砂固体物质中焦炭(甲苯不溶解)量增加了一倍。焦炭的形成明显地降低了绝对渗透率,因此这也是空气的注入导致压降增加的原因之一。

空气的注入没有千万产出的以油乳化物形式存在的沥青的百分数增加,但这一百分数在这三个实验中都是很高的(对 CETF106 和 CETF107 是 84%,CETF108 是 91%)。

在 CETF107 实验中注入空气使产出水的 PH 值减小,硫酸根和醋酸根含量增加(见表 6)。

3.3 气样分析结果

对于这 8 个实验,产出的气体中都没有检测到 CO_2 。在某些实验中检测到含量很小的 CO,而在另一些实验中根本没有(包括蒸汽—空气实验 CETF107),在蒸汽—空气实验中存在 CO 和 CO_2 表明燃烧反应是不重要的,或者是产出的 CO 和 CO_2 都溶解在沥青或水中。在 CETF107 中得到了高于 215℃的岩心温度,人们期望在产出气中将检测到 CO 和 CO_2 。

H_2S (质量百分数为 0.1),只在 CETF107 实验中检测到,而 SO_2 (质量百分数为 0.01)只在 CETF108 中观测到。气相色谱结果表明要 CETF108 中 H_2 浓度很高(在 2 小时为 89%,4 小时为 59%)。这可能是由于分析误差所引起的。

CETF107 实验注空气期间所产出的气体中包含 12%的 O_2 和 85—86%的 N_2 。因为注入的空气中 O_2 和 N_2 分别占 21%和 78%,所以很容易地计算出注入的 O_2 中近一半消耗于氧化反应中。

3.4 实验后覆盖层的渗漏

在这次实验中始终存在的问题是实验后覆盖层中流体渗漏进入岩心。这显然是由于 CETF101—CETF105 中用的硅橡胶垫圈受热退化以及在 CETF106—CETF108 中用的氟橡胶圈硬化所造成的。实验后的渗漏有一些可能出现在配件,但这一类渗漏现象在实验前已用氦渗漏检测器作了检查(除 CETF101 外)。因为实验后的渗漏相当于水驱,因此它不应该影响实验后的原油饱和度。

4. 总 结

1. 新的数据收集和控制系统运行良好。特别要指出的是,对生产分级和压力控制系统的改造是成功的。蒸汽控制系统仍需改进。但是在采用低流速并用孔板流量计时要改进这一系统大概没有可能,用一台 Tracor 或 Constametric 泵产生不变的水流速度然后再把水煮沸可能是必要的。

2. 覆盖层温度控制系统的状况是令人满意的,虽然需要花大约 4 小时来将覆盖层加热到操作温度。

3. 用金属毡堵头不如带槽缝的堵头好,因为金属毡堵头阻挡住微细颗粒,而带槽缝的堵头允许它们通过并进入集油站。

只是在一个实验(CETF107)的基础上总结蒸汽与空气一起注入的结果如下:

4. 实验后的沥青饱和度从 19% 降至 14%。
5. 通过岩心的压降加倍。
6. 残余沥青的粘度增大了一个数量级。
7. 残余沥青的酸值加倍。
8. 残余沥青的沥青质含量明显增加(从 17.3%—20.0%,增加到 24.5%)。
9. 把沥青质从残余沥青中沉淀出来所需要的戊烷量明显减少。
10. 残余的固体物质中焦炭的含量加倍(从 1.1%—1.4%,增加到 2.4%)。
11. 产出的水乳化物的 PH 值降到 3.4。这主要是因为硫酸盐的含量 7mg/l 增加到 196mg/l。
- 12 在注蒸汽—空气实验期间,在产出的气体中没有检测到 CO 和 CO₂。
13. 注入氧气的大约一半被氧化反应所消耗。

5. 结 论

从一系列实验中可总结出如下结论:

1. 新的数据收集和控制系统以及覆盖层温度和控制的工作状况是令人满意的,但蒸汽流测定系统需要改进。
2. 空气和蒸汽一起注入使实验后的沥青饱和度减少。
3. 空气有作为波及控制剂的潜在的能力,因为它能用来增加通过油藏中已枯竭的区域的压降。

4. 空气的注入增加了沥青的粘度,酸值和沥青质的含量。它也增加了用过的砂子中的焦炭含量的产出的水乳化物的硫酸根和醋酸根的含量。

5. 空气使水乳化物的 PH 值降到 3.4,因此增加了固体物质变为亲油的趋势。

6. 建 议

1. Celanese 蒸汽—孔板流量计—过热蒸汽系统应该用水—Tracor 泵—过热蒸汽系统代替。这样能得到更稳定不变的蒸汽注入速度。

2. 套筒应该软焊(铅套筒和黄铜堵头)或焊接(不锈钢套筒和堵头)到堵头上,以尽可能减小覆盖层出现渗漏的可能性。

3. 建议以后的实验用相对渗透率设备,因为它对确定蒸汽—添加剂处理方法对压降和残余沥青饱和度的影响有更大的适应性,设计相对渗透率设备就是用来研究这些影响因素的。

表 1 83—14 油砂数据表

样品号:	83—14%
油田:	Athabasca
地层单元:	McMurray
位置:	23—92—10—W4M
深度:	Middle mining bench
来源:	Suncor Canada Ltd
取样日期:	1983 年 4 月

分析:

	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	平均
沥青(重量%)	13.9	14.0	14.5	14.3	14.2
水(重量%)	2.3	2.5	1.9	2.0	2.2
固体(重量%)	83.9	83.5	83.5	83.6	83.6

颗粒尺寸分析:

ϕ	目	微米	累积百分数	
			样品 1	样品 2
0.0	18	1000.0	3.0	0.5
0.5	25	710.0	3.1	0.5
1.0	35	500.0	3.2	0.5
1.5	45	350.0	3.3	0.6

2.0	60	250.0	4.0	1.3
2.5	80	177.0	19.4	20.9
3.0	120	125.0	78.7	81.0
3.5	170	88.0	92.6	94.2
4.0	230	62.5	95.2	96.3
4.5	325	44.0	96.0	97.0
4.75	400	37.0	96.2	97.2
	<400		100.0	100.0

颗粒尺寸分布的统计参数:

	样品 1	样品 3
中值(φ):	2.758	2.738
图平均值(φ):	2.780	2.733
图解标准偏差(φ):	0.400	0.356
	0.493	0.420
图形偏斜度	0.081	-0.023
	0.165	0.086
图形的峰态	1.885	1.598

表 2 86—19 油砂数据表

样品号:	86—19
油田:	Athabasca
地层单元:	McMurray
位置:	23—92—10—W4M
深度:	Second bench
来源:	Suncor Canada Ltd.
取样日期:	1986 年 10 月

分析:

沥青(重量%)	13.2
水(重量%)	2.5
固体(重量%)	83.9

颗粒尺寸分析:

φ	目	微米	累积百分数
0.0	18	1000.0	0.1
0.5	25	710.0	0.1
1.0	35	500.0	0.2
1.5	45	350.0	0.5
2.0	60	250.0	7.9
2.5	80	177.0	63.0
3.0	120	125.0	87.3
3.5	170	88.0	91.6
4.0	230	62.5	93.0
4.5	325	44.0	93.7
4.75	400	37.0	94.0
	<400		100.0

颗粒尺寸分布的统计参数:

中值(φ):	2.382
图解平均值(φ):	2.462
图解标准偏差(φ):	0.429
	0.730
图形偏斜度:	0.281
	0.472
图形峰态	2.360

表 3 CETF 实验条件

岩心方向:垂直

蒸汽流速:1.5kg/h(2.6pv/h)

空气流速:0.56kg/h(3.6 质量%)(在 CETF107)

生产压力:

3.45MP(蒸汽饱和温度=242℃)CETF101

2.07MPa(蒸汽饱和温度=214℃),CETF102—CETF108

覆盖层温度:

对 CETF101—CETF105,开始时在室温下

对 CETF106—CETF108,是 205℃

岩心直径:

对 CETF101—CETF104;8.89cm(3.5inch)

对 CETF105—CETF108;9.21cm(3.625inch)

岩心长度:25—28cm

岩心孔隙体积:580cm³

岩心质量:3.45kg

表 4 实验后原油饱和度表

CETF101	40%	连通通道
CETF103	52%	连通通道
CETF104	38%	连通通道
CETF105	68%	连通通道
CETF106	19%	等温
CETF107	14%	等温
CETF108	20%	等温

表 5 等温 CETF 实验结果总结

粘度(CP)

	<u>75℃</u>	<u>125℃</u>
实验前	923	60
CETF106	23,800	536
CETF107	411,000	3580
CETF108	7,550	264

酸值

	<u>实验前</u>	<u>实验后</u>
CETF106	2.83	3.14
CETF107	3.04	5.98
CETF108	2.87	2.70

沥青质含量(%)

<u>实验前</u>	<u>实验后</u>
------------	------------

CETF106	—	20.0
CETF107	11.2	24.5
CETF108	15.5	17.3

絮凝实验结果

	<u>实验前</u>	<u>实验后</u>	<u>实验后/实验前</u>
CETF106	14.58	14.31	0.981
CETF107	13.75	10.78	0.784
CETF108	18.6	22.4	1.204

焦炭(不溶于甲苯)

	<u>实验前</u>	<u>实验后</u>
CETF106	0.76	1.14
CETF107	1.10	2.39
CETF108	1.85	1.37

产出的在油乳化物中的沥青的百分数

CETF106	84%
CETF107	84%
CETF108	91%

表 6 在 CETF107 是产出的水和气

时间(小时)	PH ¹	硫酸根 ² (mg/l)	醋酸根 ² (mg/l)	N ₂ /O ₂
2	6.8			2.5
4	5.9	7	It2	3.2
6	3.4			7.2
8	3.4	196	6.7	7.1

¹ 未过滤的水乳化物的 PH

² 过滤过的水乳化物的硫酸根和醋酸根的程度

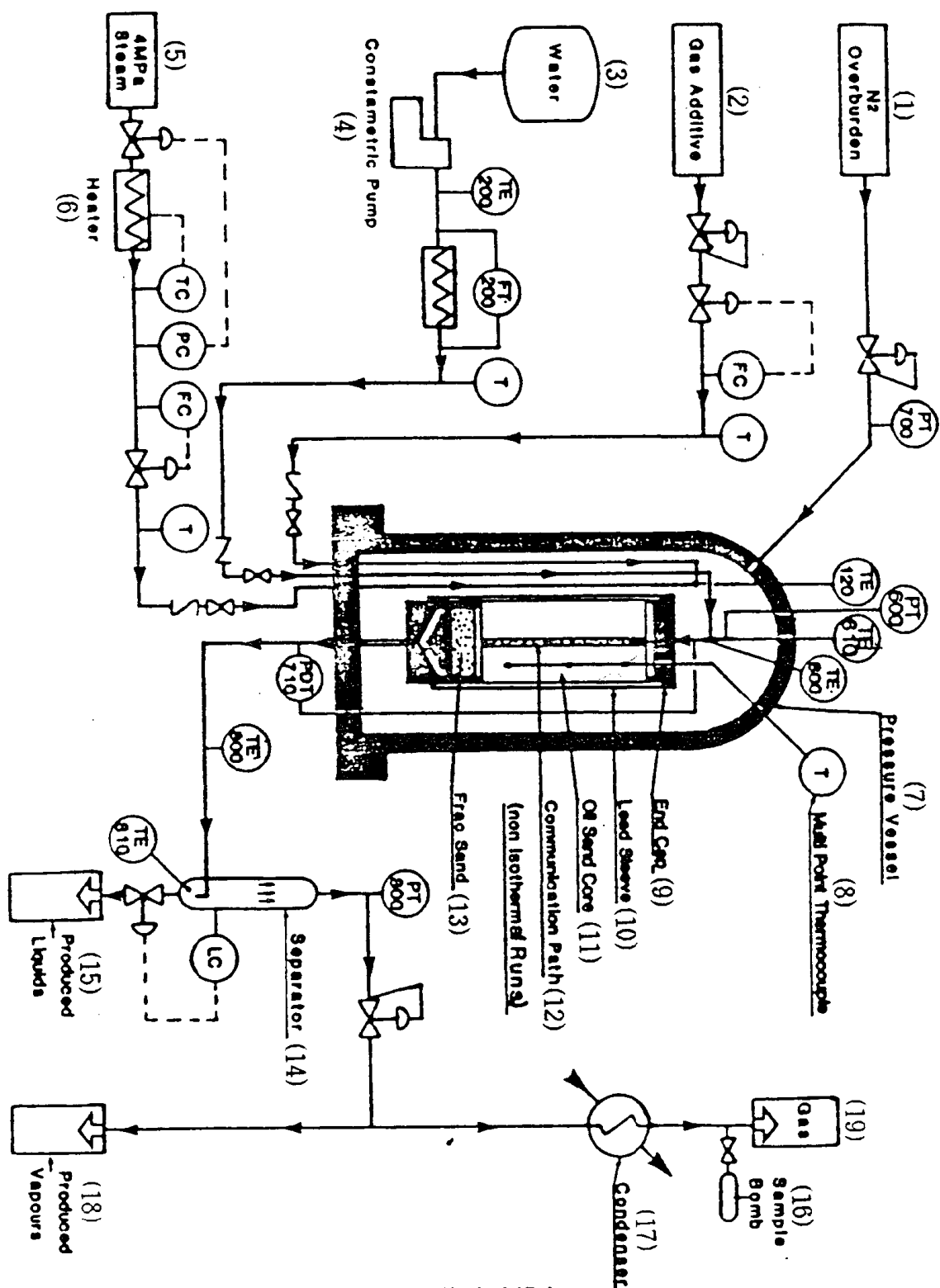


图 1 岩心评价试验设备

- ①N² 覆盖层 ②气体添加物 ③水 ④Constametric 泵 ⑤4MPa 蒸汽 ⑥加热器 ⑦
 压力容器 ⑧多点热电偶 ⑨堵头 ⑩铅套筒 ⑪油砂岩心 ⑫连通通道(非等温实验)
 ⑬砂 ⑭分离器 ⑮产出的液体 ⑯取样桶 ⑰冷凝器 ⑱产出的蒸汽 ⑲气体

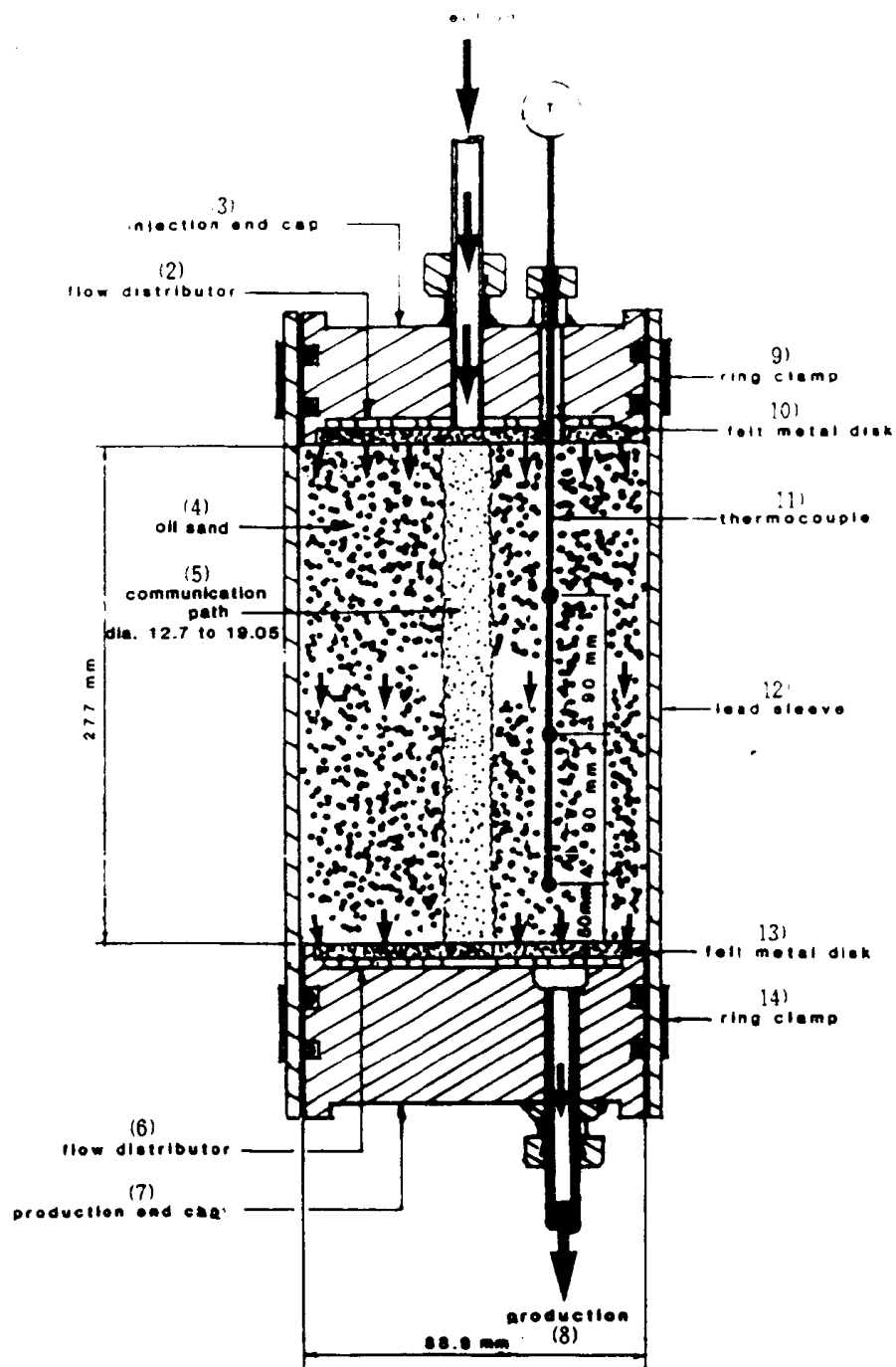


图 2 用于 CETF101—CETF105 的岩心夹持器

- ①注入 ②注入堵头 ③流量分配器 ④油砂 ⑤连通通道(直径 12.7 到 19.05)
 ⑥流量分配器 ⑦生产堵头 ⑧生产 ⑨环形夹板 ⑩金属毡盘 ⑪热电偶 ⑫铅套筒
 ⑬金属毡盘 ⑭环形夹板