

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98805390. X

[43]公开日 2000年6月21日

[11]公开号 CN 1257563A

[22]申请日 1998.5.14 [21]申请号 98805390. X

[30]优先权

[32]1997.5.23 [33]US [31]60/047,620

[32]1997.6.30 [33]US [31]08/885,507

[32]1998.4.17 [33]US [31]09/062,167

[86]国际申请 PCT/US98/10092 1998.5.14

[87]国际公布 WO98/53181 英 1998.11.26

[85]进入国家阶段日期 1999.11.23

[71]申请人 埃克森生产研究公司

地址 美国得克萨斯州

[72]发明人 J·R·布拉格

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

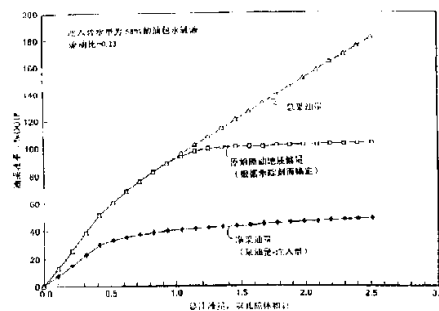
代理人 黄泽雄

权利要求书 4 页 说明书 24 页 附图页数 9 页

[54]发明名称 使用乳液的采油方法

[57]摘要

本发明申请公开了一种从地层中回收烃类的方法，其中向地层中注入一种包含油和水的乳液。更确切地说，该乳液是使用不溶解的固体颗粒稳定化的，该颗粒优选至少是部分亲油的。固体稳定化的乳液既可用作从地层中顶替烃类的顶替液，也可用于在地层中形成一种障碍，以导流流体流动。这种固体颗粒既可以是地层固体颗粒（例如取材于地层的那些）或非地层固体颗粒（例如地层之外的固体颗粒）。非地层固体颗粒既可是天然的或合成的。一些优选的固体包括粘土、石英、长石、石膏、煤灰、沥青物质和聚合物。二氧化碳或另外的气体可被加到乳液中，以将乳液的粘度调节到所需水平。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种固体稳定的乳液，用于从地下地层中开采烃，该乳液包括：
 - (a) 第一种液体；
 - (b) 悬浮于该第一种液体中的第二种液体的液珠；以及
 - (c) 固体颗粒，该固体颗粒在上述地下地层条件下既不溶于上述第一种液体，也不溶于上述第二种液体。
2. 权利要求 1 的固体稳定的乳液，该固体稳定的乳液还包括足够量的一种气体，以便将上述固体稳定的乳液的粘度降低到上述烃的粘度的约 10 倍以下。
3. 权利要求 2 的固体稳定的乳液，其中的固体稳定的乳液含有足够的气体，以使该固体稳定的乳液的流动性提高到大约等于、但不大于上述烃的流动性。
4. 权利要求 2 或 3 的固体稳定的乳液，其中的气体选自 CO_2 、 SO_2 和烃气。
5. 权利要求 1、2、3 或 4 的固体稳定的乳液，其中的第一种液体是油，该第二种液体是水，该固体颗粒至少具有部分亲油性。
6. 权利要求 5 的固体稳定的乳液，其中的水至少占该固体稳定的乳液的 60(V)%。
7. 权利要求 1、2、3 或 4 的固体稳定的乳液，其中的第一种液体是水，第二种液体是油，固体颗粒至少具有部分亲水性。
8. 权利要求 1、2、3 或 4 的固体稳定的乳液，其中的固体颗粒是选自粘土、石英、长石、石膏、煤灰、沥青物质和聚合物中。
9. 权利要求 1、2、3 或 4 的固体稳定的乳液，其中的固体颗粒包括膨润土的基本粒子。
10. 权利要求 1、2、3 或 4 的固体稳定的乳液，其中的固体颗粒包括高岭土。
11. 权利要求 1、2、3 或 4 的固体稳定的乳液，其中的固体颗粒包括煅制 SiO_2 。



12. 前面任一权利要求的固体稳定的乳液，其中的固体颗粒的平均粒度小于大约 10μ 。

13. 一种从地下地层中开采烃的方法，该方法包括下述步骤：

(a) 配制一种固体稳定的乳液，该乳液含有一种第一种液体，悬浮在该第一种液体中的一种第二种液体的液珠以及固体颗粒；该固体颗粒在上述地下地层的条件下既不溶于上述第一种液体，也不溶于上述第二种液体；

(b) 将上述固体稳定的乳液注入上述地下地层中；

(c) 从上述地下地层中开采上述烃。

14. 权利要求 13 的方法，其中的固体稳定的乳液是用来形成一个流动屏障，它用于对上述地下地层中的上述烃进行导流。

15. 权利要求 14 的方法，其中的固体稳定的乳液被注入到上述地下地层中的一个高渗透率漏失层，以防止上述烃流入上述漏失层。

16. 权利要求 14 的方法，其中的固体稳定的乳液用来形成一种对油和气的垂向流动的水平屏障，以减少该油和气对一个产烃层的锥进。

17. 权利要求 13 的方法，其中的固体稳定的乳液还含有足够数量的一种气体，它可以将上述固体稳定的乳液的粘度降低到上述烃的粘度的约 10 倍以下。

18. 权利要求 17 的方法，其中的固体稳定的乳液含有足够数量的气体，该气体可以使该固体稳定的乳液的流动性提高到大约等于、但不大于上述烃的流动性。

19. 权利要求 17 或 18 的方法，其中的气体是选自 CO_2 ， SO_2 和烃气中。

20. 权利要求 13、17、18 或 19 的方法，其中的固体稳定的乳液作为驱替液从上述地下地层中驱替上述烃。

21. 权利要求 13 至 20 中任一项的方法，其中的第一种液体是油，第二种液体是水，而其中的固体颗粒至少具有部分亲油性。

22. 权利要求 13 至 20 中任一项的方法，其中的第一种液体是水，第二种液体是油，而其中的固体颗粒至少具有部分亲水性。



23. 权利要求 13 至 20 中任一项的方法，其中的固体颗粒是选自粘土、石英、长石、石膏、煤灰、沥青物质以及聚合物中。

24. 配制一种用于从地下地层中开采烃的乳液的方法，包括下述步骤：

(a) 选择在该乳液中使用的一种第一种液体和一种第二种液体；

(b) 选择一种用于稳定上述乳液的一种固体颗粒，该固体颗粒在上述地下地层条件下既不溶于上述第一种液体，也不溶于上述第二种液体；

(c) 将上述第一种液体，上述第二种液体，以及上述固体颗粒混合在一起，制成混合物；

(d) 剪切上述混合物制成乳液，在该乳液中，上述第二种液体的液珠悬浮于上述第一种液体中；

(e) 由此，通过防止上述第二种液体的上述液珠的聚合，上述固体颗粒起到了稳定上述乳液的作用。

25. 权利要求 24 的方法，其中的将上述第一种液体、上述第二种液体以及上述固体颗粒混合在一起的方法包括：先将上述固体颗粒混入上述第一种液体，然后加入上述第二种液体。

26. 权利要求 24 或 25 的方法，该方法还包括一个步骤，即向上述混合物中加入足够数量的一种气体，以将上述乳液的粘度降至上述烃的粘度的约 10 倍以下。

27. 权利要求 24 或 25 的方法，其中的气体是在剪切上述混合物这一步骤之前加入该混合物中的。

28. 权利要求 24 或 25 的方法，其中的气体是在剪切上述混合物这一步骤之后加入该混合物中的。

29. 权利要求 24~28 中任一项的方法，其中的第一种液体是油，第二种液体是水，而其中的固体颗粒至少具有部分亲油性。

30. 权利要求 29 的方法，该方法还包括下述步骤，即在配制上述混合物之前对上述固体颗粒进行预处理，使该固体颗粒至少具有部分亲油性。



31. 权利要求 24-28 中任一项的方法，其中的第一种液体是油，第二种液体是水，而其中的固体颗粒至少具有部分亲水性。

32. 权利要求 31 的方法，该方法还包括下述步骤，即在配制上述混合物之前对上述固体颗粒进行预处理，使该固体颗粒至少具有部分亲水性。

33. 权利要求 26、27 或 28 的方法，其中的气体是选自 CO_2 、 SO_2 和烃气中。

34. 权利要求 24 至 33 中任一项的方法，其中的固体颗粒是选自粘土、石英、长石、石膏、煤灰、沥青物质以及聚合物中。

35. 权利要求 24 至 33 中任一项的方法，其中的固体颗粒包括膨润土的基本粒子。

36. 权利要求 24 至 33 中任一项的方法，其中的固体颗粒包括高岭土颗粒。

37. 权利要求 24 至 33 中任一项的方法，其中的固体颗粒包括煅制 SiO_2 。

说明书

使用乳液的采油方法

发明的范围

本发明涉及一种通过向地层中注入乳液来开采石油(烃)的工艺方法。更明确地说,该乳液是用不溶解的固体颗粒来稳定的,既可以将油从地层中驱替出来,也可以形成一个阻挡层,使地层流体发生分流。可以用二氧化碳或另一种气体将该乳液的粘度调整到合适的水平。

发明的背景

在地下地层(以下简称地层)中,当开采的原生石油的流动性大大低于驱替石油所用的驱替液的流动性时,石油常常不能被充分地开采出来。地层中某一液相的流动性指的是液相的相对渗透率与其粘度的比值。例如,当用注水法顶替地层中非常粘稠的石油时,由于油的流动性大大低于水的流动性,顶替的效率是很低的。水会很快通过地层流入生产井中,结果油流被迫改变流动路线而留在地下。在加拿大 Saskatchewan 地区,据报道一次开采的原油只有原地储量的 2~8%,而水驱也只能再采出另外 2~5% 的原地储量来。因此,为了提高采收率,要么提高水驱水的粘度,要么使用其它顶替液,使顶替液不致在油流中窜流。由于需量很大,因此驱替液的成本要低,且在流动条件下要保证稳定性。当驱替液的流动性大大低于油的流动性时,油驱的效率最高。因此用最经济的方法生产出低流动性驱替液是目前的当务之急。

岩石渗透率变化过大对开采率也有影响。例如,夹在注采井之间的渗透性很高的漏失层使注入的绝大多数驱替液很快窜入生产井中,使其它层中的油开采率降低。因此需要开发一种低成本的流体,将其

注入这种漏失层(从注、采井注入皆可),降低流体的流动性,由此将压力能转化成从相邻的低渗透层驱油的能量。

在某些地层中,会发生气体向下锥进或水向上锥进到产层中使开采量降低的情况。这就需要开发一种低成本的注入剂,它可以利用低流动性流体以形成一个水平衬垫,从而起到一种产油层和发生锥进的地层之间的垂向阻挡层作用。这种低流动性流体将延缓气和水的垂向锥进,从而提高采收率。

对于中等粘度的油(粘度在大约 20~100cp 之间),曾使用水溶性聚合物(如聚丙烯酰胺 PAM 和黄原胶)提高注入水的粘度来达到驱油的目的。例如,在内布拉斯加 Sleepy Hollow 油田,曾用 PAM 增粘注入水以顶替粘度为 24cp 的原油。而在法国 Chateaufrenard 油田也曾用 PAM 增粘注入水以顶替粘度为 40cp 的原油。在这些工艺过程中,将聚合物加入水中,以提高水的粘度。

对于低粘到中粘原油来说,尽管可以使用水溶性聚合物来很好地调节注入水的流动性,但对于粘度更高(大于 100cp)的原油来说,这种工艺在成本方面就不令人满意了。由于原油粘度过高,调节注入水的流动性所需的聚合物加量是相当可观的。而且,内行人都知道,溶于水的聚合物会从注入水中析出并附着在地层岩石上,从而降低了聚合物的增粘效果。这会导致注入水流动性难以控制,石油采收率降低,以及相当可观的聚合物使用成本。基于这些考虑,用聚合物驱来开采粘度大于 100cp 的原油,从技术和经济方面来说是行不通的。而且,地层水中溶解的一些离子的浓度对很多聚合物的性能有不利影响,这也使得聚合物的使用和/或效率受到限制。

有人曾提出用油包水宏乳液来配制一种高粘驱替液,它在驱替中粘原油时可以有效地维持其流动性。例如,曾经对油包水和水包油宏乳液的使用进行评价,以确定其作为驱替液开采高粘原油的效能。在加拿大和委内瑞拉,这些乳液是用于在酸性原油中加入烧碱形成的。在本研究项目中,乳液是用皂膜来稳定的。皂膜可通过氢氧化钠与原油中的酸性烃类成分之间的皂化反应形成。皂膜降低了油/水界面张力,



起到一种表面活性剂的作用，从而稳定了油包水乳液。众所周知，这种乳液的稳定性对于氢氧化钠（烧碱）的使用有很强的依赖性，因为是用烧碱来产生皂膜以降低油/水界面张力的。

用烧碱来产生这种乳液的种种研究证明了这种方法的可行性。但将这种工艺用于实际的采油过程却受到烧碱高成本的限制，原因是皂膜同样会吸附在地层岩石上，使乳液逐渐失去稳定性，并使乳液粘度对水的矿化度和含水量的微小变化更敏感。例如，由于绝大多数地层中含有溶解了多种固体的地层水，用淡水或蒸馏水配制的乳液常常会失效。地层中的离子溶入地层水中，注入的淡水与高矿化度的原生地层水混合，使界面张力很低的乳液遭到破坏。

人们采用各种方法来有选择地降低高渗透率漏失层的渗透性，这种工艺过程称为调剖。向油层注入调剖剂可以降低地层渗透率。典型的调剖剂有聚合物凝胶或胶联的醛类。聚合物凝胶是通过将 PAM、黄原胶乙烯基聚合物或木质素磺酸盐等聚合物进行胶联而形成的。将这些凝胶注入地层，胶联作用使凝胶粘度增大。这样在凝胶流过被处理的地层时降低地层的渗透率。

在这些工艺的绝大多数应用中，由于胶凝剂的成本和反应时间的影响，地层受处理区域仅限于井眼周围。一旦在适当的地点开始处理过程后，胶凝的流动性就开始降低。这是很不利的。原因在于注入的流体（如水驱中的水）会在流动性很差的胶凝中逐渐形成通路，从而降低胶凝的作用效率。如果调剖剂能够缓慢地进入地层，并深入到地层中相当深的距离（相对于注采井），则调剖剂的性能就比较好。

在美国专利 5,350,014 中，McKay 介绍了一种用热采法从地层中开采重油或沥青的方法。开采过程中使用了水包油乳液。小心地调控波及带的温度剖面，维持在高于最低温度之上的水平。用控制地层的温度剖面的方法形成的乳液，可以造成一个阻挡层，有效地封堵用热采法开采的地层中的无水漏失层，还可以控制水的垂向锥进。但这种方法要求对地层温度进行谨慎的控制，故只适用于热采。亦即 McKay 介绍的方法不适用于重油的非热采（称为冷流）工艺。



因此，需要开发一种生产乳液的新方法，使乳液的生产既能节约成本，又能使生产出来的乳液适用于包括矿化度、温度和渗透率在内的各种地层条件。

发明概述

根据本发明，提供了一种从含有油气和地层固体的地下地层中开采含有油气的流体的方法，包括：

- (a) 生产一种固体稳定的乳液，该乳液含有水、油和不溶性固体，该固体包括下述一种或几种颗粒物质：地层固体颗粒，非地层固体颗粒，或两者的组合；
- (b) 使上述乳液与地层接触；并
- (c) 使用上述乳液从地层中开采出上述流体。

这些固体最好能含有具有某些亲油特性的颗粒物质，以形成以油为外相的乳液；或最好能含有具有某些亲水特性的颗粒物质，以形成以水为外相的乳液。更理想的情况是，这些颗粒的平均粒径大约为 $2\ \mu$ 或更小。该平均粒径是沿 x 、 y 和 z 轴三个方向测得的最大粒径。在对粒径取平均值时，应对该固体进行取样，然后按这些颗粒的重量或数量分布来求取颗粒平均值。必要的话，可在乳液中加入 CO_2 或其它气体，以降低乳液的粘度。

对附图的简要说明

参照以下详述和附图，可以更好地了解本发明及其优点。附图内容如下：

图 1 是一幅三元图，表示了能够代表颗粒特征的一些（而非全部）颗粒形状。这些颗粒组成了用来生产固体稳定的乳液的固体；

图 2 所示是一种固体稳定的乳液在剪切速率为 $75\ \text{秒}^{-1}$ 时的粘度与乳液中水的体积含量之间的关系图；

图 3 所示是某种水体积含量为 58% 的固体稳定的乳液的粘度与剪切速率 (秒^{-1}) 之间的关系图；

图 4 所示是流体的体积含水率和注入的固体稳定的乳液的总量(孔隙体积)之间的关系图。流体是从室内实验岩心中采出来的;

图 5 所示是室内实验用岩心的平均水饱和度(孔隙体积百分比)和注入的固体稳定的乳液的总量(孔隙体积)之间的关系图;

图 6 所示是从室内实验用岩心上产生出来的两种不同的示踪剂的浓度和注入的固体稳定的乳液的总量(孔隙体积)之间的关系图。溴化物示踪剂用来示踪注入的固体稳定的乳液中的水,而二氯代苯示踪剂则用来示踪注入的固体稳定的乳液中的油;

图 7 所示是室内岩心实验中压降(磅/英寸²)和注入的固体稳定的乳液的总量(孔隙体积)之间的关系图;

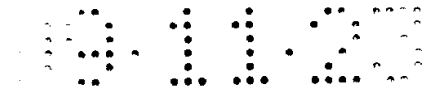
图 8 所示是在室内岩心实验中用三种不同的开采方法采油时,原始原油地质储量(OOIP)的百分数和注入的固体稳定的乳液的总量(孔隙体积)之间的关系图;

图 9 所示是某种固体稳定的乳液(含 60%体积的水)的粘度与溶解于乳液中的 CO₂ 的浓度的关系图。

本发明将结合其最佳实例进行描述。但当以下详细描述对本发明的某一特例或某一特殊应用而言比较个别时,则将只作示例性说明,而不应解释为本发明的应用范围受到了限制。相反,本发明应涵盖后附权利要求所定义的发明实质内容范围内的各种不同情况。

本发明的详细描述

在实施下面将详细描述的本发明时,用含有很细的固体颗粒物质制得的一种“固体稳定的”乳液是很关键的。固体稳定的乳液是指固体颗粒是其中的主要组分,但不必是唯一的组分。通过固体颗粒,包围乳液内相液珠的薄膜能够在地层条件下稳定足够长的时间,从而达到乳液的使用目的(例如提高地层中油气的采收率和开采量)。这种固体颗粒能够耐得住一些会使表面活性剂活性降低(因而使乳液失去稳定性或遭到破坏)的化学反应。因此,固体稳定的乳液在较大范围的地层水矿化度条件下都很稳定。



此外，此处所使用的“固体”一词，是指某种物质，它处于其最高度浓缩的形态，亦即，在地层条件或非地层条件下，该物质的原子或分子比其处于液态或气态时结合更为紧密。符合上述条件的固体，如聚合物或某种陶瓷材料(包括但不限于玻璃或瓷)，按照严格的材料科学的定义，应属于高粘液体，原因在于它们具有无定形性(亦即没有晶体结构)。但在这里它们具有固体含义，尽管严格来讲它们被划分成液体。

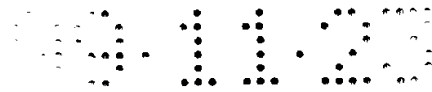
此外，用于生产固体稳定的乳液的固体可以来源于使用该乳液的地层(以下称为地层固体)，也可以取自该地层之外(以下称为非地层固体)，无论是来自其它地层，采矿所得，甚至合成所得均可。实际上有些物质无论是地层固体形态，还是非地层固体形态，其组成是相似的，只是来源不同罢了。

本文所介绍的用于生产固体稳定的乳液的固体的颗粒其化学成分、形状和粒度范围较宽。但固体颗粒应具有某种物理和化学特性。

首先，固体颗粒应至少具有一些亲油性，以形成以油为外相的乳液，或至少具有一些亲水性，以形成以水为外相的乳液。这一点对于保证外相对颗粒的润湿性具有重要意义。润湿颗粒的外相可以是油，水或其它溶剂，它们对不连续的内相形成包围。有些固体颗粒天生具有合适的亲油或亲水性，有些则可以通过处理而使其具有亲油或亲水性。这些固体颗粒物质包括但不限于粘土，石英，长石，石膏，金属硫化物，金属硫酸盐，金属氧化物，煤粉，沥青物质或聚合物。但更为理想的固体颗粒应包含 5%(重量)的离子或非离子物质，而此处所使用的有机物，则是指至少含有碳和氢两种原子的物质。

其二，在地层条件下固体颗粒应不溶于水或油相，但应具有合适的电荷分布，来稳定内相液珠之间的界面膜。内相最好是水、但油可选，外相最好是油、但水可选。这样可以生产出固体稳定的油为外相的乳液或水为外相的乳液。

其三，为了能够充分包围内相液珠，实际的颗粒尺寸应足够小。可用粒度分析技术测定大量颗粒的尺寸，以确定其粒径。粒度分析技

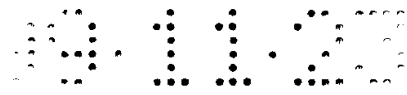


术包括激光散射，网筛分析，库特计法，以及沉降速度法(利用斯托克斯定律将流体中固体样品的沉降速度转化成平均粒径)。需要注意的是，上述方法得出的粒径值都是有效粒径，它们可以用球形颗粒样品进行相应的实验得到。因此，颗粒形状越偏离球形，其有效直径相对于其真实尺寸来说就越不准确。对大多数物质来讲，其颗粒形状是不规则、不整齐的。

对于本发明的适用范围不意味着限制，图 1 用三元图 114 表示了这一点。图 114 有三个基本形状组。第一组是板状和饼状，即 102 和 104；第二组是条状和柱状，即 106 和 108；第三组是立方体或球体即 110 和 112。一般地，生产这里所介绍的固体稳定的乳液所用的固体颗粒将具有各种各样的不规则形状，如三元图 114 中所描绘的两种或三种基本形状组。相应地，组成这些固体的颗粒的直径用扫描探针显微 (SPM) 技术来测量较好。这种技术的一个例子是原子力显微法。加利福尼亚 Santa Barbara 的 Digital Instruments 公司生产了一种原子力显微镜 (AFM)，叫做 Nanoscope Multimode™，该仪器曾在下述实际作业中用来测量某些固体颗粒的平均尺寸和形状。

使用 AFM 或一些其它的 SPM 技术，可以确定颗粒沿 x, y 和 z 轴方向上的最大尺寸。因此，对所选用的粒径分析方法除非指定了一个参考值，否则以 SPM 测得的 x, y 或 z 轴方向的最大值作为参考值。对于球度很好的颗粒 112，或立方体 110，每一维的尺寸都相等；而对饼状颗粒 104 和板状颗粒 102 而言，沿 z 轴测得的厚度要比沿 x 轴测得的长度和沿 y 轴测得的宽度小。要确定一个颗粒样品的平均尺寸，需要对大量颗粒进行次数足够多的最大尺寸测量。最好是 50 次或更多。平均尺寸可以用重量平均值法或数量平均值法来确定。数量平均值法用总的测量颗粒中具有某一特定 x, y 或 z (无论哪一个最大) 值的颗粒数量来表示。而重量平均值法则采用总的测量颗粒中具有某一特征 x, y 或 z (无论哪一个最大) 值的颗粒的重量分布来表示。在本发明的具体应用中，将使用两种平均值中的每一种的最小值。

这里所介绍的固体稳定的乳液可以在某一地层中所进行的一系列



作业中使用，以提高采收率，其作用包括(但不限于):

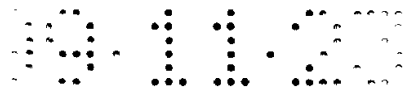
- (a) 在非热采(或冷流)或热采作业中进行水驱时可以做为驱替液，以有效地顶替因粘度过高而难以开采的石油;
- (b) 可以充填到高渗透率地层进行调剖作业，以改善后续水驱效果，尤其是在含有低粘($<100\text{cp}$)油的地层中;
- (c) 可以形成一个有效的水平阻挡层，以阻挡水或气体的垂向流动，从而减小水锥进或气锥进对油井产能的影响。

本发明的具体实践中所使用的固体稳定的乳液是在地面上用比较理想的工艺方法生产的，并以预混合乳液的方式注入井中。另一种可供选择的方法是将分散于水中的固体颗粒注入到含油气地层中，在油气的参与下，形成可原地使用的固体稳定的乳液。

用于生成固体稳定的乳液的油中应含有足够的沥青物质，极性碳氢化合物或极性树脂，以帮助稳定固体颗粒和油之间的相互作用。最理想的油是从将要使用该乳液的井中以前采出的油；或者，如果用原地生成法形成乳液，则就用形成乳液的地方的原油原地形成乳液。例如这里介绍的固体稳定的乳液用于开采中粘原油或重油(亦即粘度大约在 20 到 3000cp 之间)最理想。根据其组分的性质可知，这类原油通常含有足够的沥青物质和极性碳氢化合物，这有助于稳定固体稳定的乳液。但当乳液用油不含足够的沥青物质和极性碳氢化合物时，可以和固体一起加入这些物质，用量以能够稳定乳液为合适。可以用乳化试验(详细描述见下文)来决定是否需要调节沥青物质和极性碳氢化合物的加量。

用于生产固体稳定的乳液的水中应有足够的离子浓度，以保证在地层条件下乳液的稳定性。用地层水配制乳液最为理想。但也可以使用淡水，调节其中的离子浓度，使其能够满足在地层条件下稳定乳液的要求。

此外，如上所述，颗粒尺寸在配制地层条件下的固体稳定的乳液起着关键的作用。平均固体颗粒尺寸(如上文所定义)，应为大约 10μ



或更小，但优选为约 2μ 或更小，更优选约为 1μ 或更小，且最理想的粒径是 100 毫微米或更小。颗粒的形状对于地层条件下乳液的稳定性也起一定作用。

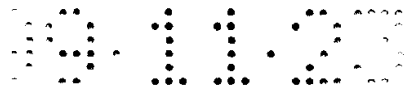
配制固体稳定的乳液所要考虑的其它因素包括、但不限于：各种流体在混合以形成所要求外相和内相时的混入次序；将内相液珠分散到外相中所施加的混合能的大小；以及固体的润湿性，它影响到油水混合后形成的乳液的类型。例如，油润湿的固体（即亲油固体）会形成油为外相的乳液；而水润湿的固体（即亲水固体）则更倾向于形成水为外相的乳液。由于混合工艺在配制有效的固体稳定的乳液中起到很重要的作用，因此将在下文中对与配制固体稳定的乳液、油包水、水包油、以及含气体的乳液的一般原理进行论述。

配制油包水固体稳定的乳液

用来配制油包水（即油为外相）乳液的固体最好具有亲油性或混合润湿性。若该固体先天不具有油润湿性或混合润湿性，在使用前应先与油接触或进行预处理，接触或预处理的时间要足够长，以保证极性碳氢化合物或沥青物质能够吸附在固体表面，使固体在和最终浓度的油和水混合前具有部分或全亲油性。固体在加入油和水之前为使其具有亲油表面，还需进行其它处理，如：使矿物固体表面的硅醇类物质与有机硅烷等化学物质反应，或使表面活性剂吸附到固体表面上等。

配制这种油包水固体稳定的乳液的一个较好的方法是，先将固体（需要的话进行预处理）分散到油相中，然后将形成的油-固体混合物与水混合，对形成的混合物进行充分的剪切/混合，以形成足够小的、在油中能够分散和稳定的水珠。

混合的次序和方式对所形成的乳液的性质有很大的影响。例如，将水加入油中而非将油加入水中能够配制出质量最佳的高含水量的油包水乳液。将水加入油中可以在连续剪切的同时以很小的幅度增加水的浓度，直到达到所需含水量。该工艺所产生的水珠的平均直径分布



在从亚微米级到 30μ 范围内，大小取决于剪切能的类型和方式、所使用的固体颗粒的尺寸和浓度、油的粘度、极性碳氢化合物和沥青物质的成分，以及影响较小的因素——所用水的离子组成成分。专家们所了解的其它混合方法也可以使用，只要所形成的是油包水乳液，且在地层条件下能够保持稳定，并具有合适的粘度就行。

配制水包油固体稳定的乳液

用来配制水包油、即水为外相的乳液的固体最好具有亲水润湿特性，而且在用于稳定乳液之前该固体最好不要暴露于烃类化合物之中。配制这种水包油乳液的一个较好的方法是，先将固体分散到水相中，然后将油加入到形成的水-固体混合物中，对最终形成的混合物进行充分的剪切/混合，以形成足够小的、在水中能够分散和稳定的油珠。如果有必要防止形成油包水乳液，在加油时其加量要很小，同时进行连续剪切，直至达到所需含油量。该工艺所产生的油珠的平均直径分布在从亚微米级到 30μ 范围内，大小取决于剪切能的类型和方式、所使用的固体颗粒的尺寸和浓度、油的粘度、极性碳氢化合物和沥青物质的成分，以及影响较小的因素——所用水的离子组成成分。专家们所了解的其它混合方法也可以使用，只要所形成的乳液是水包油乳液，且在地层条件下能够保持稳定，并具有合适的粘度就行。

适用于油包水和水包油乳液的一般原理

液珠经过剪切作用，其尺寸达到合适的值时，固体颗粒就会在油/水界面处调整自身的位置，以防止液珠之间发生聚合。通过这些步骤从而形成稳定的乳液。与真正的微乳液相比，用这种方式形成的乳液在热力学上可能不稳定，但它们能够以亚稳态形式存在几个月甚至几年，而且在实际的采油作业中，其稳定性也足以应付。

在地面配制乳液，然后或将其作为驱替液，或将其作为粘性阻流

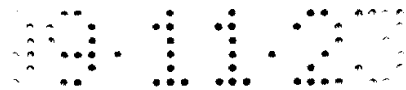
层注入井中，对于控制乳液中油，水和固体的比例，以及确保对其粘度和液珠尺寸分布进行有效的控制等等而言，都是一种最好的办法。但当在地面进行混合不可行时，可以将分散了固体的水注入地层中，使其与地层中的油进行原地混合。此时剪切作用可以通过流体在多孔性岩石中的流动来自然完成。

在一种地层中使用固体稳定的油包水和水包油乳液

固体稳定的乳液的应用范围很广，在地层环境温度(如 140°F)下用这种乳液驱替重油(如粘度为 325cp)仅是其应用之一。在这种情况下使用的固体稳定的油包水乳液其流动性将会比其要驱替的原油低。为降低作业成本，油最好使用从地层中开采的，水最好从当地(地下或其它来源)获得，而固体最好用平均粒度小于 2 μ 的粘土颗粒。

在地层绝对渗透率足够高、孔喉足够大、从而使乳液液珠能够畅通无阻地穿过的地层中，本发明的使用效果最好。因此渗透率的下限不但取决于岩石孔隙结构，还取决于乳液的液珠尺寸分布状况。对于绝大多数应用来说，岩石渗透率并非一个限制因素。例如，许多含重油的地层其岩石绝对渗透率都在 2,000 ~ 15,000 豪达西(md)之间。这些岩石的孔喉平均直径大约在 20 ~ 200 μ 之间。注入到这些岩石中的乳液的液珠尺寸一般在小于 1.0 μ ~ 15 μ 之间。因此液珠在流经这些岩石时不会受到阻挡。当然，小的液珠尺寸还是有助于降低乳液内相被捕集的可能性。

在室内试验中，让某一特定乳液流经一系列绝对渗透率依次降低、但已知的岩石，可以确定允许该特定乳液流过的岩石渗透率的下限。对于技术人员来说进行这种岩心试验的程序是显而易见的，问题是如何确定特定流速下沿岩心方向的压降，以及如何确定乳液是被岩心捕集了还是畅通无阻地流过了岩心。该固体稳定的乳液应用的确切的渗透率下限尚未确定，但对于平均液珠直径小于 5 μ 的乳液而言，该下限据信是 1,000md。用颇能代表目的地层的岩石进行这类岩心驱替试



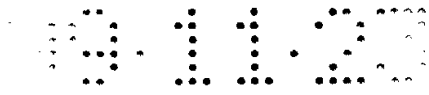
验，在目前来说，确实提供了一种最好的方法，能够确定乳液的液珠尺寸分布是否足够小，从而使乳液能够畅通无阻地通过岩石孔喉而不被捕集。如果这种岩心驱替试验表面发生了乳液捕集，则在配制乳液时，可以对乳液进行更强烈的剪切以减小其平均液珠直径，即可减轻或避免捕集问题。此外，在确定乳液在流动过程中其稳定性是否增加时，可以用备选固体做对比流动试验。备选固体应比原始固体具有或强或弱的亲油性。因此，可以用对比流动试验来确定最佳的固体类型、润湿性和浓度。

配制和使用含气的固体稳定的乳液

上文介绍了如何用水，油和细固体颗粒配制乳液来提高采收率，而这种细颗粒在稳定乳液方面的应用可以延伸到含气体的乳液中。例如，天然气，二氧化碳，氮气，烟气，空气或其它气体都可以结合到上述乳液中以调整乳液的密度和粘度，或者使乳液具有其它有利于提高石油采收率的特性。

泡沫是气体含量较高的乳液的一个特例。其内相气泡是由含水、烃或其它液体的界面膜来稳定的。泡沫是用表面活性剂或其它乳化剂来稳定的。通常，表面活性剂用来产生生成泡沫的稳定的膜。在本方法中，稳定的膜是通过混合油、水和细固体颗粒而形成的，其中固体颗粒通过与油和水相互作用来稳定泡沫中的膜。

在将油，水和固体掺和和混合在一起并进行剪切的时候，向其中加入气体，可以形成两种乳液，一种以液体为主，含有较少量的气体，另一种以气体为主的泡沫体，它含有足以稳定泡沫的液体。具体形成哪种乳液，取决于对最终混合物的性质的要求。本发明的一个应用实例油包水乳液(不含气体)的密度可远大于其驱替的地层中的原油的密度。若将不含气体的该乳液注入地层以驱替原油，会发生原油重力下沉(gravity underride)，因为乳液有向地层下方沉降的趋势。但在乳液中加入足够的气体后，可以使乳液在地层条件下的密度等于被驱



替的原油的密度，从而避免发生重力下沉。

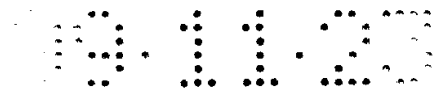
这种用细粒固体稳定的含气乳液还有一些其它为技术人员所了解的应用。例如，在一些应用中，向注入井中的乳液中加入气体以降低其粘度，或加入可压缩气体以储能，当乳液在地层中遇到低压区时可以释放出来。

加入气体以调节乳液粘度

如上所述，可以将气体加入一种乳液中以调节其粘度。如图 2 所示，用固体稳定的油包水乳液的一个重要特征就是乳液的粘度总是高于外相基础油的粘度。尽管图 2 显示出一种油包水乳液在 75 秒^{-1} 的剪切速率下的粘度与含水量之间的关系，其粘度增加与含水量之间的关系与其它油包水乳液还是十分类似。当用该乳液作为驱替液驱替地层中的油时，在高乳液含水量、如体积含量为 60%~70% 或更高时采油效率最高。在这种高的含水量下，乳液的粘度大约是配制乳液的基础油粘度的 10~20 倍。如果配制乳液所用的基础油与该乳液驱替的地层原油的粘度相同，则乳液的粘度将会高于有效驱替所需的乳液粘度。

为了有效地驱替原油，乳状驱替液的流动性最好等于或低于被驱替原油的流动性。如上所述，流体的流动性就是流体的相对渗透率与其粘度之比。被驱替的原油或具有一定含水量的乳液的相对渗透率取决于岩石的岩性，如孔隙尺寸分布和润湿性。这些参数自然取决于流体—岩石系统，一般不能改变。但可以通过改变乳液的粘度来控制其流动性。对于通常的油的相对渗透率和乳液的相对渗透率，乳液粘度大约是油粘度的 2~6 倍时，乳液流动性与油流动性之比大约为 1 或更低。这样，在有效地驱替原油的同时，乳液的注入能力和注水期限仍可以接受。当乳液的粘度高于所需的达到这个流动比的数值时，仍能有效地驱替原油，但泵送成本会上升，注水期限会延长。两种情况都会降低该工艺的经济效益。

调节油包水乳液粘度的一个有效的方法就是向乳液中加入溶于其油

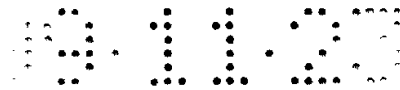


相(连续相或外相)的气体以降低其粘度。加入诸如甲烷, 乙烷, 丙烷, 丁烷或天然气化合物等烃气将降低油的粘度。但其它气体如 CO_2 和 SO_2 等只有在加量适中的情况下才能非常有效地降低油粘度。因此可以通过向乳液中加入气体的方式降低乳液的粘度。一般地, 要想将乳液粘度降至比被开采的原油的粘度低十余倍(最好低约 6 倍), 就需加入足够量的气体。这可以通过在压力作用下用气体饱和乳液来完成。压力应足以保证气体在乳液的水相和油相中具有所需的平衡浓度。

图 9 所示油中初始含水量为 60%(V%) 的乳液的粘度与 140°F 下测得的乳液中溶解的 CO_2 浓度之间的关系。乳液最初是用水掺和粘度为 325cp 的原油配制而成的。在乳液中加入了 0.5g/L 的亲油的煅制 SiO_2 (Aerosil R972) 作为稳定剂。为了获得图 9 所示的数据, 在一定的压力下向乳液中加入 CO_2 。搅拌乳液直至 CO_2 在 140°F 下达到饱和。然后测定乳液粘度和 CO_2 浓度。图 9 表明, 在 700 磅/英寸² 压力下乳液含有 123 标准立方英尺的 CO_2 , 乳液粘度从不含溶解 CO_2 时的 5,000cp 降至 1,100cp。乳液粘度与基础油粘度之比从 15.4 降至 3.4。

在现场应用中, CO_2 可以在油水掺和之前加入, 当然乳液也可以在加入 CO_2 之前先行掺和。在掺和之前加入 CO_2 有一个额外的好处就是, 在掺和过程中可以降低流体粘度, 从而减少所需的混合能。向流体中加入 CO_2 时, 可以采用业内常用的多种机械搅拌方式。例如, 可以在维持大于或等于 CO_2 饱和压力的压力下, 在高速剪切混合设备的上游将该气体加入流体中, 或者将 CO_2 注入按规定的压力进行作业的逆流吸收塔中。无论采用什么方法来混合, 在地面设备中, 混入所要求的数量的 CO_2 所需的压力(例如大约 400~1,000 磅/英寸²)都将大大低于乳液此后在注入管线内、注入井中或油藏内所遇到的压力。因此, 在几乎全部使用时间内, CO_2 都会在乳液内保持溶解状态, 从而能够稳定地调节粘度。

尽管上文表明可以向乳液中加入 CO_2 来降低其粘度, 但应该明白, 用其它气体来调节乳液粘度并未偏离本发明的范围。同样, 尽管对于油包水乳液来说, 加入气体时其粘度降幅最大, 但对于水包油乳液来



说，加气降粘同样有效。因此，本发明包括了用加入 CO_2 或其它气体对油包水或水包油乳液进行降粘的方法。

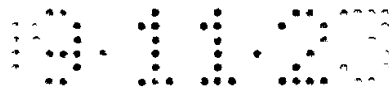
候选固体的选择和处理

选用具有下列特点的固体可以使乳液稳定性得到强化：表面积/体积比大、不结块、平均粒径 2μ 或更小、在油相中可以 and 极性 or 沥青烃类附着在一起、具有部分或完全亲油（用于形成油包水乳液）或亲水（用于形成水包油乳液）的表面。满足上述要求且用于形成油包水乳液的固体包括、但不限于高岭土、膨润土和加以煅制了的 SiO_2 ，使其表面具有部分或完全亲油性。

Degussa AG 生产的亲油的煅制 SiO_2 如 Aerosil® R972 或 Aerosil® R974, 以及 Cabot 公司生产的 CAB-O-SIL®TS-530 或 CAB-O-SIL®TS-610 都含有微小的球状煅制 SiO_2 ，其表面用有机硅烷或有机硅杂烷 (organosilazanes) 加以处理，使其表面具有亲油性。这些固体可以有效地稳定很多原油乳液。这些固体颗粒主要呈球状，尽管会发生相互作用而形成大的聚结块，但其粒度极小，大约为 $10 \sim 20\text{nm}$ 。这些 SiO_2 加量在 $0.5 \sim 20\text{g/L}$ 乳液时效果最好。

可以对矿产天然粘土进行加工，以生产出价格低廉的具有大的质量比表面积 of 的固体来。例如，用激光散射技术测得有效直径约为 1.0μ 或更小的高岭土颗粒具有很大的比表面积（约为 $10 \sim 20\text{m}^2/\text{g}$ ）。这些粘土的表面一般具有亲水性。但可以在合适的容器中在地温条件下将它们与原油混合，维持足够长的时间，使大分子量的极性烃和沥青物质吸附到粘土表面，以使其具有部分或完全亲油性。轻轻搅拌混合物以保证颗粒处于悬浮状态并与原油有良好的接触。 $24 \sim 72$ 小时或更长的接触时间一般可使粘土表面表现出亲油性。

在怀俄明、佐治亚或世界其它各地粘土矿中采出的膨润土特别适于作为原油乳液的稳定剂。刚采出时，这些粘土呈颗粒聚结体，可分散于水中，并可通过搅拌使聚结体分散成平均直径（用激光散射技术测得）为 2μ 或更小的颗粒。但每一个这样的颗粒都是一个层状单元体，含



有大约 100 个 1nm 厚的基本硅酸盐层。这些层通过层间原子例如钙结合在一起。用钠或锂原子(其直径较大, 在淡水中能更强烈地吸附水原子)交换钙原子, 再将膨润土放入淡水中, 膨润土就会分散成单个的 1nm 厚的层, 称为基本粒子。粘土化学业内对这种脱层工艺的化学原理是耳熟能详的。在淡水中, 由于层间钠或锂粒子吸附了足够多的水原子(在水化过程中), 各层被分成基本粒子, 这就是脱层过程。这一过程可以使膨润土的单位质量的表面积提高大约 100 倍, 从而以十分经济的方法形成极细(1nm 厚, 1 μ 或更小的宽度)的活性颗粒。

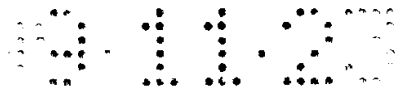
同时, 还可以对配制乳液的固体颗粒进行处理, 以使其具有或提高其亲油性或亲水性。例如, 在地层温度下将脱层膨润土颗粒与原油进行预混合, 使膨润土颗粒吸附极性烃和沥青物质, 从而使膨润土颗粒具有部分或完全的亲油性。应当明白的是, 这仅仅是使固体获得亲油性的许多种方法中的一种; 使用其它方法并不违反本发明的精神。

测试方法

相态筛分试验

首先对从目的层中采出的原油和水源水(或模拟水源水的组成而配制的合成水)进行测试, 以确定其用各种候选固体进行乳化试验时的效率。在本筛分试验例子中, 先将 40ml 以地层温度预热过的原油放入 250ml 离心试管中。然后在油中加入称重过的粘土颗粒(如膨润土, 高岭土, 伊利土或其它粒径在 1 μ 以下到 2 μ 之间的粘土), 或另一种微米级固体如煅制 SiO₂ 或煤粉。用高剪切速率的实验室用搅拌器(如 Silverson L4RT 型搅拌器, 可以全速运转, 或以大约 6,000rpm 转速运转)搅拌原油 2 分钟, 使固体分散。然后在继续剪切的情况下, 逐步递增地加入所需数量的水(预热至地层温度), (例如, 60ml 水分 3 次在 6 分钟内加完, 最终混合物的体积为 100ml)。将混合物剪切 10 分钟, 用盖子盖好试管, 将试管放入烘箱中, 烘箱温度维持在地层温度。

试管静置 24 小时, 观察分离出来的自由水的体积。在 1,000rpm 下将样品离心 20 分钟(或以其它的转速和时间, 只要适于乳液的稳定

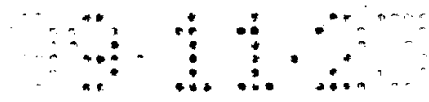


即可), 测定分离出来的自由水的体积。如果没有观察到自由水, 则以 2,000rpm 的转速再离心 10 分钟。在该试验条件下不分离出自由水的乳液才是下一步做岩心驱替试验的合格样品。也可以将稳定性极好的样品再放入烘箱中静置, 观察其在任意希望的时间(如几个月)内的稳定性的变化情况。

对于每一种候选固体, 应配制具有各种不同水、油和固体浓度比例的一系列乳液, 以确定各种充分的最佳分配。稳定这种乳液所需的典型的颗粒浓度应在小于 0.1g/L 乳液 ~ 20 g/L 乳液之间。乳液中水的首选浓度为 50%~90%, 取决于所希望的乳液粘度和其它出于地层条件方面的考虑。因此, 进一步的筛分试验将涉及对乳液粘度的测量。附带的其它试验项目包括用显微镜法或 NMR 法测定液珠尺寸分布和平均液珠尺寸。首选的液珠尺寸为从小于 1.0μ ~ 10μ 之间。如果最初加到油中的固体没有产生出所需要的液珠尺寸, 就需要再加入具有不同粒度分布和/或组成的固体, 以期获得所需的液珠尺寸分布。调节所用固体的尺寸分布只是几个所要调节的参数中的一个。调节这些参数, 可以获得所需的液珠尺寸分布和乳液含水量。平均粒度和平均液珠直径之比将位于大约 0.001~1 之间, 而首选的比率应小于大约 0.5。精确的比值取决于所用固体颗粒的尺寸分布和组成, 以及搅拌的力度大小等。具有不同组成和/或润湿性的固体的混合也可使用。但是, 固体浓度、乳液的含水量、乳液的相态以及液珠尺寸的最终选择, 应以地层流动试验为基础。而流动试验应在乳液流过其岩石孔隙而且必须保持稳定的地层条件下进行。

岩心驱替试验

乳液组成的最终选择应由试验来决定。在试验中, 将候选乳液注入能够代表地层岩性且含有地层原油和盐水(或其组成与地层盐水相同的合成盐水)的岩心中, 试验温度维持在地层温度。这种试验具有重要意义, 因为静态试验或离心相态试验中乳液并不像其流经多孔介质时那样受到恒定的低速剪切作用, 而且在离心试验中液珠会受到比其在流



经多孔介质时更大的重力作用。因此岩心驱替试验最好在能够代表预期在现场应用中将会遇到的间隙渗流速度(例如 1~3 英尺/天(ft/d))下进行,以确定乳液的相稳定性及其有效地驱油和采油的能力。

岩心驱替试验程序为业内所熟知。下面简要介绍一下评价乳液驱油效率的试验。先将原油注入含地层盐水的岩心中,建立束缚(或原生)水饱和状态。岩心既可以是保存完好的实际的地层岩心,也可以是能够代表地层的压制(沙)岩心。然后在驱替试验之前用原油平衡岩心,使岩心具有所需要的润湿性。此时以恒定流速和压力梯度将乳液沿从入口到出口的方向注入岩心。沿岩心方向选定一段距离,测定其长度和乳液的注入体积。测定流出的水、油体积,确定岩心的水油饱和度与注入的乳液体积之间的函数关系。

可以在各种流体中使用水相和油相示踪剂来帮助确定乳液在流动过程中的稳定性。乳液稳定性的主要测定参数有:采油效率、乳液析出的水量、乳液前缘油带内的稳定压力梯度与时间和沿岩心方向的距离之间的关系。对比与乳液组成有关的岩心驱替试验结果和乳液配制方法,以便对乳液的配方进行优化。提高采收率方面的业内人士都知道,最佳乳液应是能够满足一个或多个主观标准如最大的开采率或最小的被驱油带流动性的那些乳液。

在现场配制和使用油包水乳液

没有范围限制且仅具说明性的以下描述只是一个如何将本发明用于现场施工的例子。就下述现场应用来说,其它的现场配制和使用固体稳定的乳液的方法都是业内人士所熟知的。在盛有原油、最好是从同一地层中开采的油相中加入所需浓度和类型的亲油固体,其浓度和类型由室内筛分试验确定。油相和流通管道要进行绝缘处理,以保证原油的温度达到或接近地层温度。在加入固体的同时连续泵入原油,使原油处于搅动状态以便分散固体。也可以使用业内人士所熟知的其它混合方法。油箱中是浓的原油固体分散体系。

将一定体积比的原油 / 固体混合物与原油和水连续流过一个或多个胶体磨 (或其它的为业内所熟知的剪切设备) 进行掺和, 或者以批量作业方式, 用一个单独的剪切设备将流体从一个油箱回收到另一个油箱, 即可以配制乳液。例如, 如果用连续 (直通) 方式使用多个胶体磨, 可以通过调整胶体磨的数量, 转速及其孔隙宽度来产生所要求的水珠的平均直径 (最好是大约 5μ 或更小)。水的加量可以在每个胶体磨之间递增, 这样既可实现最终目的, 又不致产生不希望的相变。然后即可将乳液注入地层驱油。

在该应用例子中, 若油的粘度为 325cp , 乳液中水含量为 80% , 则乳液在 10秒^{-1} 下的粘度约为 $3,000\text{cp}$ 。但在某些情况下对于经济的注水期限来说, 这种高粘乳液的注入能力可能比所要求的低。有一个提高这种乳液注入能力的方法, 那就是在注入前将乳液加热, 降低乳液在近井壁区域的粘度。在离开近井壁区域的过程中, 乳液逐渐冷却至地层温度, 从而达到目标粘度。因此, 无论加热还是不加热乳液, 都可以有效地驱替重油。在地层中波及良好的地带, 最终水饱和度可达 80% 或与注入乳液中水的浓度相等。因此, 在最理想的作业模式下, 由于其流动性大大低于原油, 注入的乳液应能像活塞一样驱替原油。在这些条件下, 由于乳液很粘, 而且是油包水乳液, 因而在相对渗透率特征方面, 更类似油而非水, 使最终油饱和度低于水驱方法, 但注入体积却大大降低。在这些地层条件下, 在注入 1.0 孔隙体积后面积注水法可望获得 20% 或更低的原油采收率, 而乳液驱的净回收率可超过 50% 或 3 倍于水驱回收率。

固体稳定的乳液的评价—室内试验

下述实验室试验可以说明固体稳定的乳液作为驱替流体从地层中驱替和开采重油的效率。试验中, 制备了用高岭土颗粒稳定的油包水乳液。高岭土颗粒的尺寸用激光散射技术测得为 2.2μ 。在 140°F 的地层温度下将乳液注入含有粘度为 325cp 重油的地层砂岩岩心中。

在乳液的油和水中加入化学示踪剂，以指示从岩心采出的流体中的这些组分，以及试验开始时乳液中的油、水与岩心中驻留的原油和盐水之间的区别。收集数据以测量总压降，采收率，采出流体的含水量，以及岩心的平均流体饱和度。所有这些参数都与注入的乳液量有关。

利用从含重油的地层中所取的抽洗过的岩心中的欠压实砂岩做岩心试验样品。在制岩心时，先将砂岩置入铅制岩心筒中，在出口和入口处放置丝网以留住砂样。用塑料薄膜和铝箔包裹装置外端的长度部分，然后以和通常制备欠压实砂样岩心用于驱替试验的同样的方式将其放入橡胶套筒中。然后将岩心装置放入三轴岩心夹持器上，向岩心施加 1,800 磅/英寸² 的上覆应力，以模拟典型的地层上覆压力条件。用压力传感器来测量沿岩心方向的压降。然后将岩心夹持器放入烘箱中，维持 140°F 的恒定地层温度。随后的所有驱替试验，包括乳液的配制和保存，都在该温度下进行。表 1 示出了岩心的有关性质。

表 1

岩心性质	测定结果
在 S_{wi} 下对油的渗透率	3,440md
孔隙度	27.9%
S_{wi} (束缚水饱和度)	20.1%pv
岩心长度	16.1cm
岩心横截面积	11.4cm ²
岩心孔隙体积 (pv)	51.2 毫升
净上覆应力	1,800 磅/英寸 ²

向蒸馏水中加入 NaCl 和 KCl，以配制具有表 2 所示离子浓度的盐水。该盐水用于饱和岩心和配制注入的乳液。

表 2

组分	浓度
----	----

	(mg/kg 盐水)
K ⁺ 离子	5,244
Na ⁺ 离子	7,867
Cl ⁻	16,888
总的溶解固体	30,000

为了制作驱替试验岩心，在岩心上安装真空装置，然后注入盐水，直到 100% 的水饱和度。然后以 2 毫升 / 分钟的速率注入粘度为 325cp 的重油，使束缚(原生)水饱和度 (S_{wi}) 达到 20.1%pv (孔隙体积)。这样，代表注入任何流体前的原始地层条件就建立起来了。

将细的矿物颗粒加到待乳化的油中，使颗粒在与水掺和前具有油润湿性。如果要配制油包水乳液，则在加水前先将固体加到油中较好。首先将主要成分 (>90%) 为高岭土 (还含有少量绿泥石，钾石盐和石英) 的细矿物颗粒 (此处称为现场配料) 加到粘度为 325cp 的重油中。用激光粒度仪测定加入的颗粒的粒度分布。颗粒的平均粒度为 3.2μ ，粒度中值为 2.2μ ，其中 40% 的颗粒其有效直径为 2μ 或更小。但该仪器不能测定粒度小于 0.8μ 的颗粒，因此有可能会低估粒度小于 1μ 的颗粒的数量。

加到油中的现场配料的总量大约为 10g / L 油；它大大超过了有效乳化所需的加量。在 140°F 下将油以 3,000rpm 的转速离心 18 小时，以除去多余的油。有大约 90% 的固体被离心作用除掉。试验表明，这些离心出来的油很容易与水发生乳化，而且含有足够的矿物细颗粒用于有效乳化。为了证明矿物细颗粒确实是一种乳化剂，将离心出来的油样用公称孔眼直径为 0.4μ 的滤网过滤。但滤网也可能将小于 0.4μ 的颗粒滤去，因为它们会被滤饼夹带走。对过滤掉的物质的扫描电镜分析结果表明，其组分几乎全是细粒物质，因此除去的烃类组分的量是微乎其微的。滤掉的油不会和水发生乳化作用。但向滤掉的油中重新加入细粒物质将会使其恢复乳化作用。

进一步的试验表明，平均粒径约为 2μ 或更小 (最好为 1μ 或更小)

表 3 乳液驱数据

特性	数值
乳液中水的含量	58% (V%)
驱替液注入速率	0.215ml / 分钟
驱替间隙速率	97.5cm / 天 (3.2 英尺 / 天)
油粘度 (140°F)	325cp
盐水粘度 (140°F)	0.485cp
油密度 (140°F)	0.93 g / ml
盐水密度 (140°F)	1.018g / ml
75 秒 ⁻¹ 下乳液粘度	2200cp

图 4 示出了岩心产出液的含水量与注入液 (即固体稳定的乳液) 总量的关系。图 5 所示是岩心平均水饱和度与注入的乳液体积之间的关系。图 6 所示是岩心产出液中示踪剂浓度 C 与乳液首次注入岩心时的示踪剂浓度 C_0 之比 (亦即归一化示踪剂浓度), 与以孔隙体积表示的注入岩心的乳液总量之间的关系。其中一条曲线表示乳液水相中溴示踪剂的浓度比, 而另一条曲线表示乳液油相中二氯苯 (“DCB”) 示踪剂的浓度比。图 7 所示是沿岩心方向的压力降与以孔隙体积表示的乳液总注入量之间的关系。图 6 表明, 在注入 1.0 孔隙体积的乳液后溴示踪剂的浓度为 0.5, 而在注入 1.17 孔隙体积的乳液后 DCB 的浓度为 0.5。因此, 按平均值来算, 乳液在注入 1.0 孔隙体积后发生水突破, 而在注入 1.17 孔隙体积后发生油突破。图 7 中的这些示踪剂试验结果和相应的压力降结果表明, 乳液具有良好的稳定性和优异的流动性控制, 既无流失也没有粘度损失。

图 8 所示岩心出油量的三个测量结果。“总出油量”包括了所有产出的油。标有“最初原地油量”的曲线表明了岩心在注入乳液前的原始出油量, 是由产出液中的乳液油示踪剂的浓度确定的。净采油量可以通过总出油量减去注入乳液中的油量得到, 在评价该工艺的经济效益时十分有用。



注入体积为 1.0 孔隙体积时的净采油量约为 40%OOIP(原始原油地质储量)。在水驱时,类似岩心中这种油的采收率在 10.4%OOIP 到 18.8%OOIP 之间,因此采用固体稳定的乳液的净采油量效率是原来的 2.1~3.8 倍。在注入体积仅为 1.0 孔隙体积时,几乎可以完全把原地原油驱替出来,这表明,已经实现了有效的流动性控制。

该试验显示了固体稳定油包水乳液流过地层岩石并有效地驱替重油的过程。如上所示,试验用的固体稳定的乳液在室内模拟地层条件下具有良好的乳液稳定性和优异的流动性控制能力。而且,尽管与水驱相比,该室内评价结果显示出更好的经济效益,性能更加优异,驱替试验中所用的乳液仍尚未对提高采收率进行优化。如果使用含水量为 80%的乳液,在 1.0 孔隙体积的注入量下净采油量有可能高达 70%OOIP。更进一步,正如专业人员所熟知的,注入的乳液带的尺寸也是一个可以用来提高净采油量的参数。例如,在注入 1.0 孔隙体积的乳液带后注入水,在达到 2.5 孔隙体积总注入量时,可进一步提高采油量。对于某一特定的现场应用来说,注入的乳液带的尺寸和乳液含水量是基于经济方面的考虑进行优化时所选择的两个参数。

上文已经说明了按照本发明进行实际作业的几个优选实例。应该注意的是,上述内容仅是说明性的。在不背离本发明范围的情况下也可以使用其它方法和技术。

说明书附图

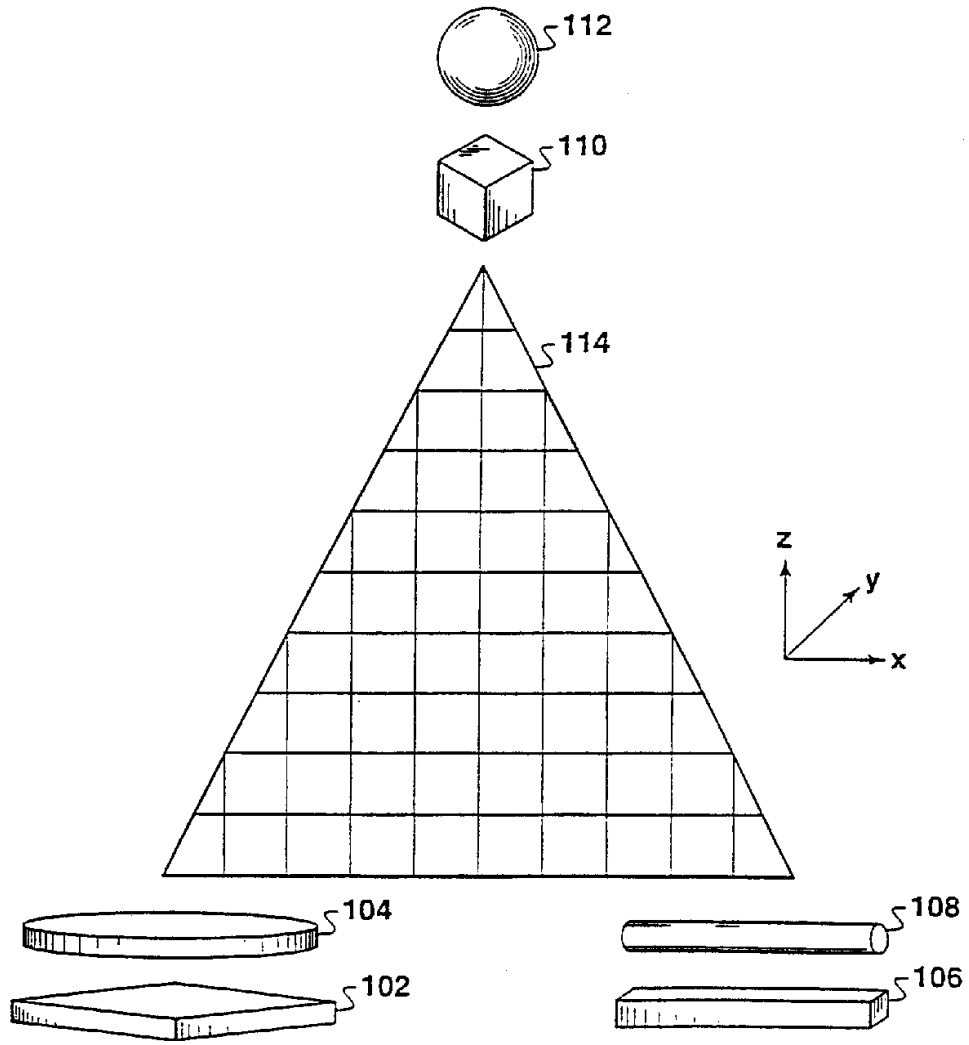


图 1

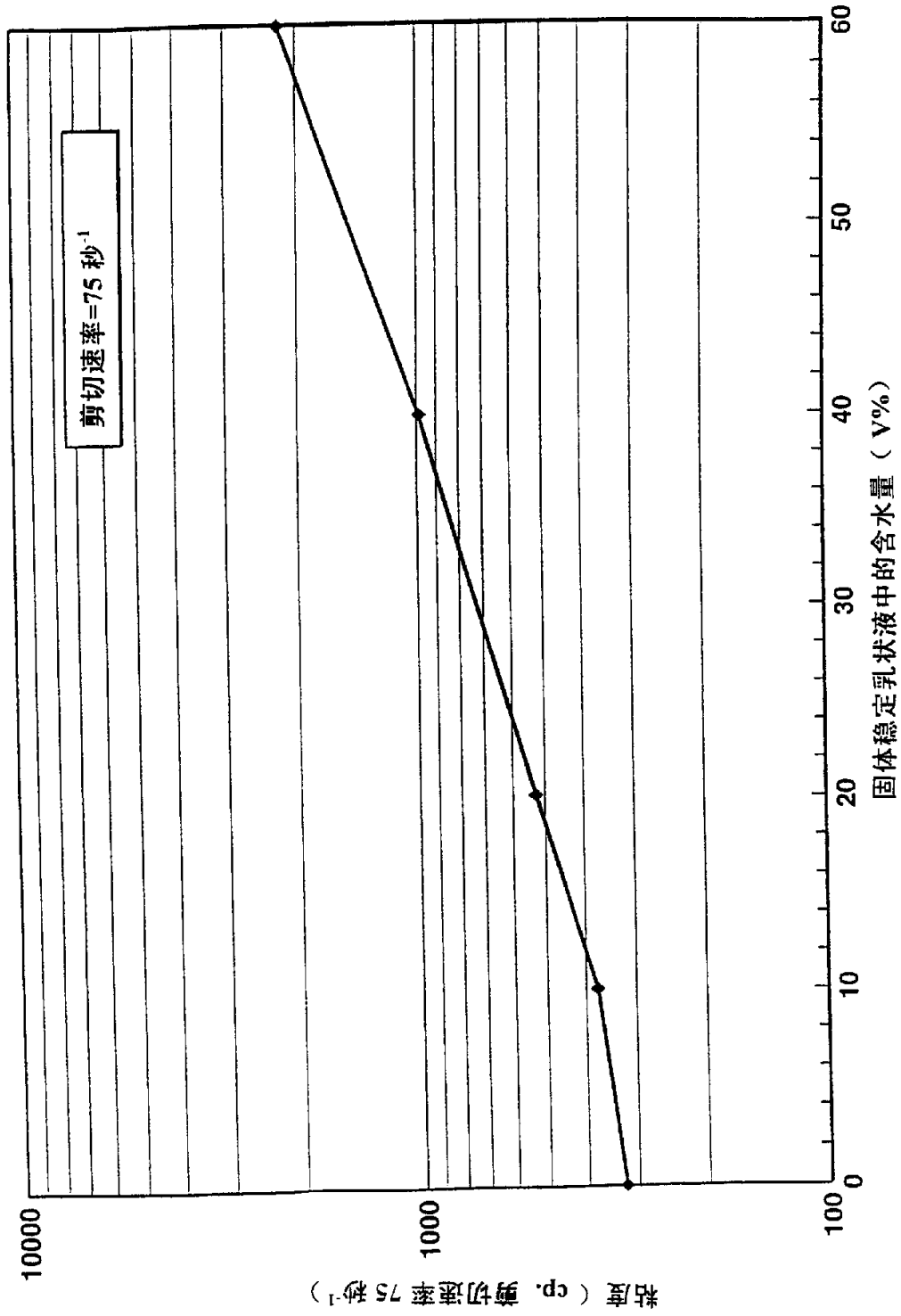


图 2

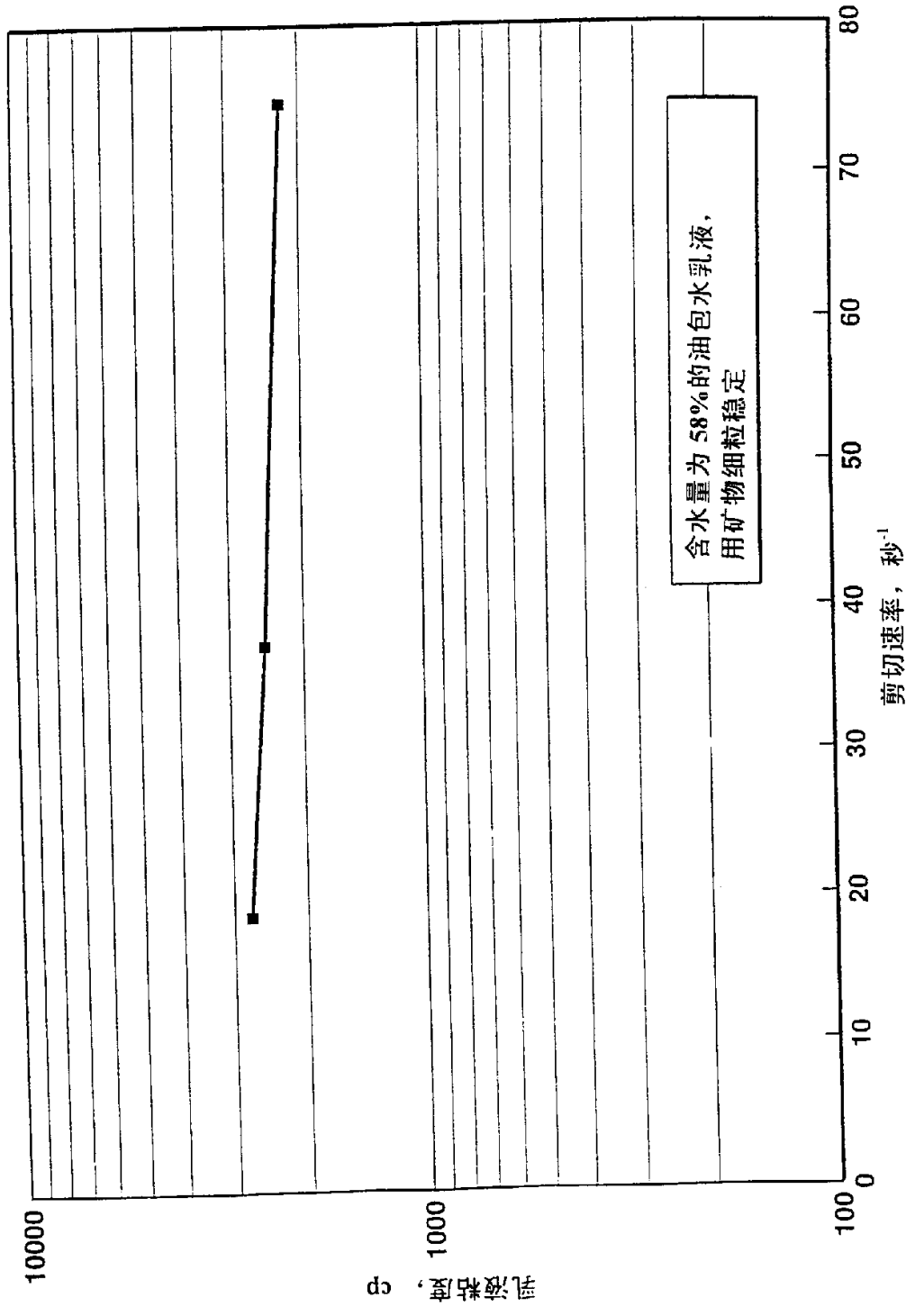


图 3

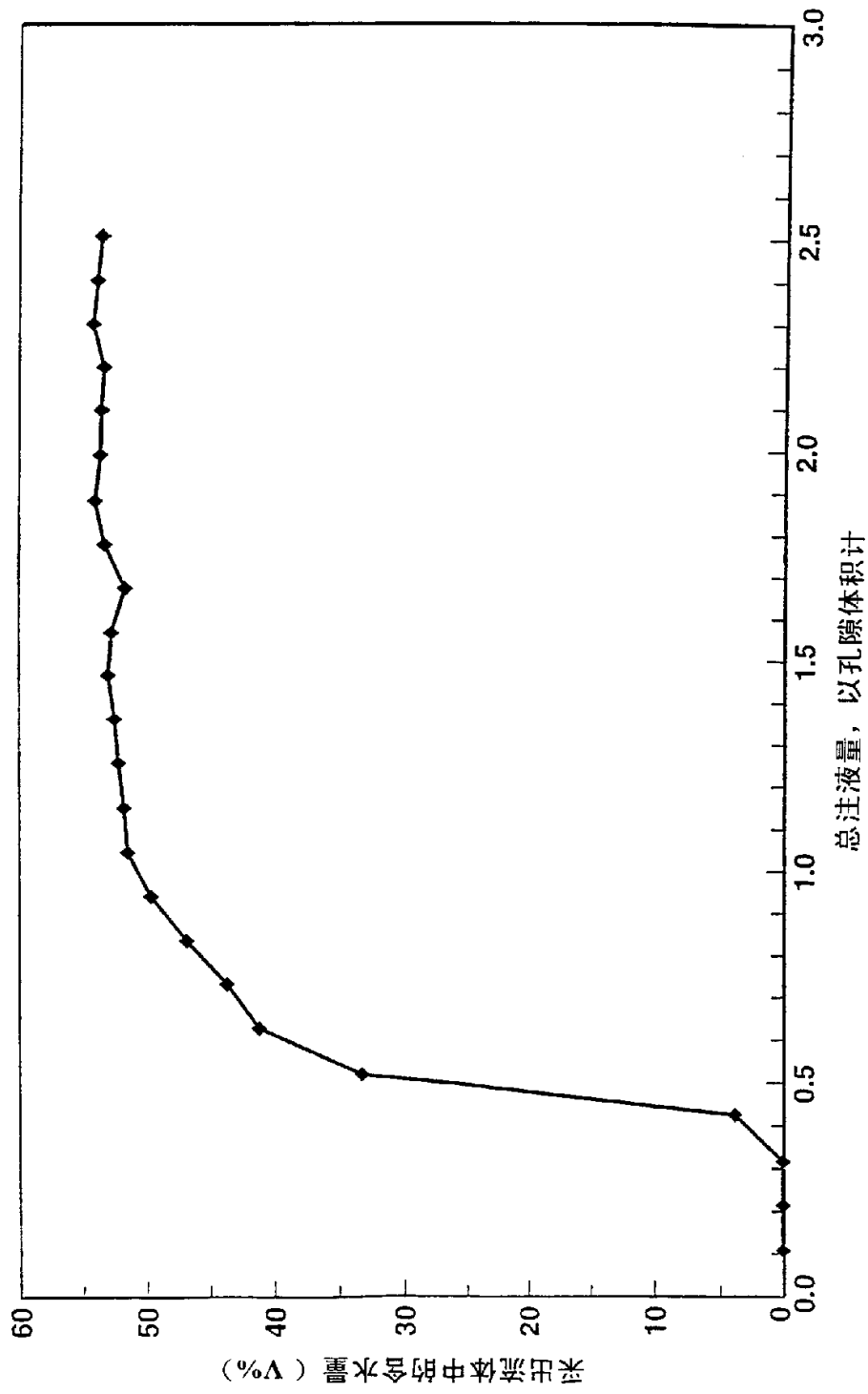


图 4

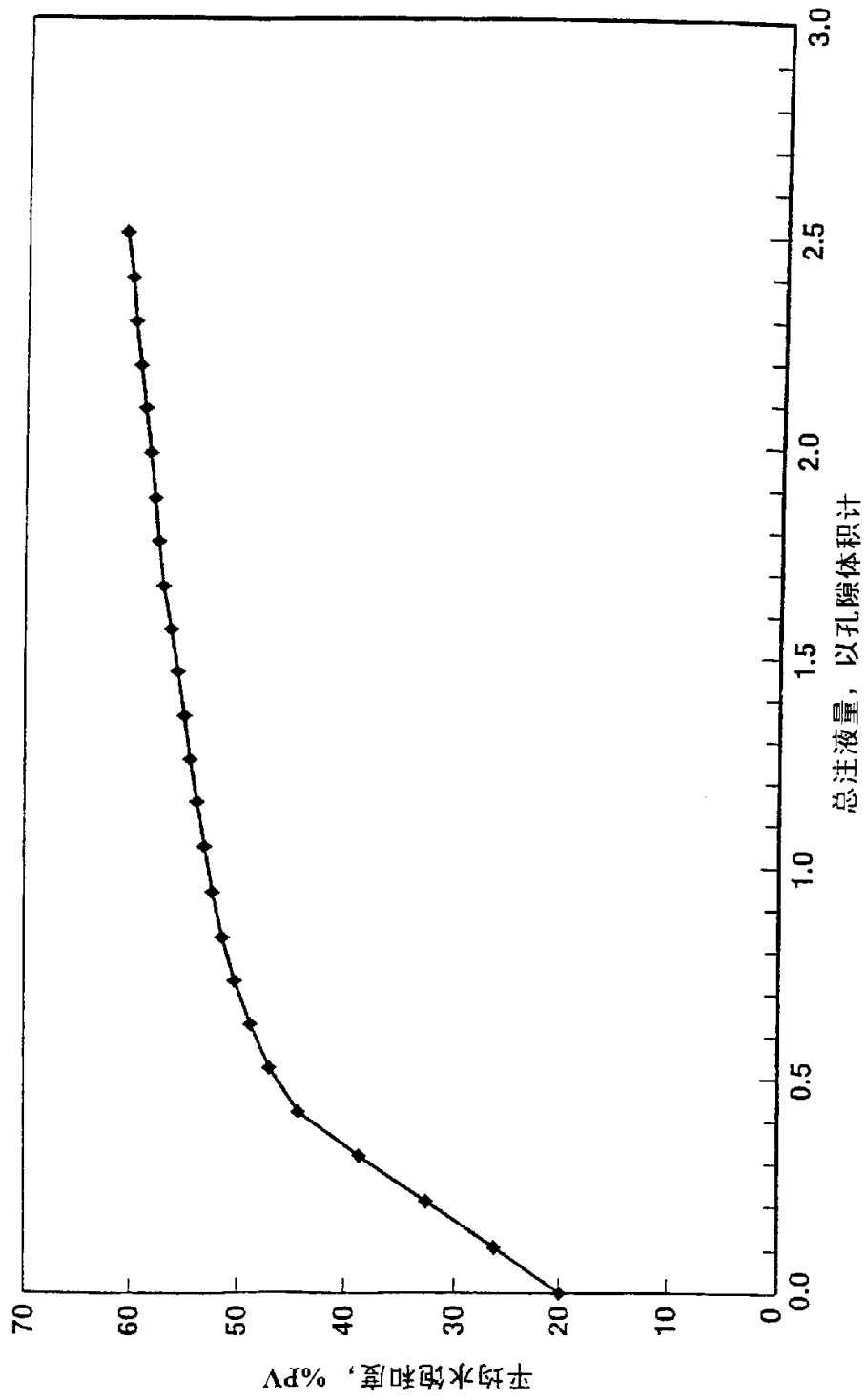


图 5

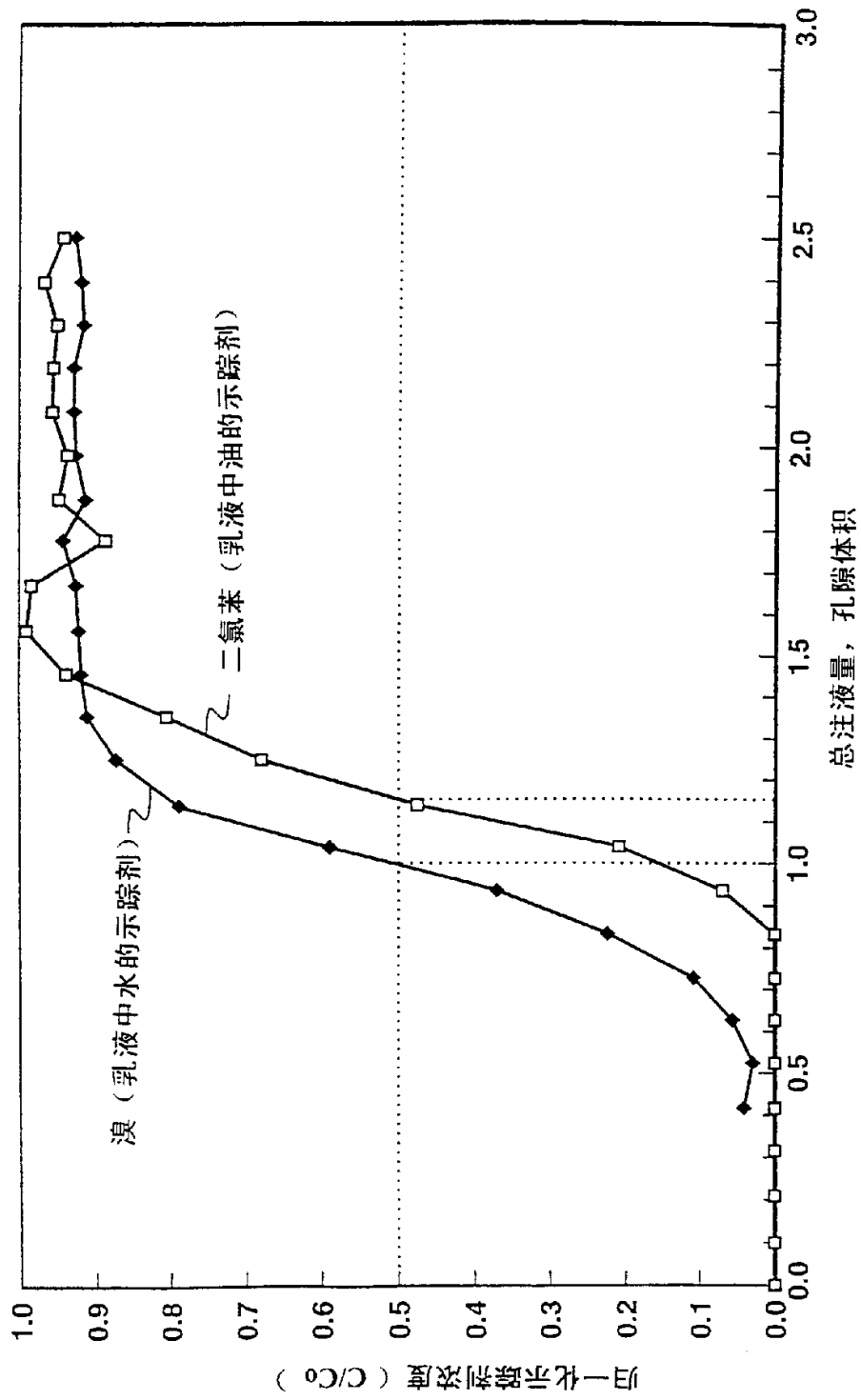


图 6

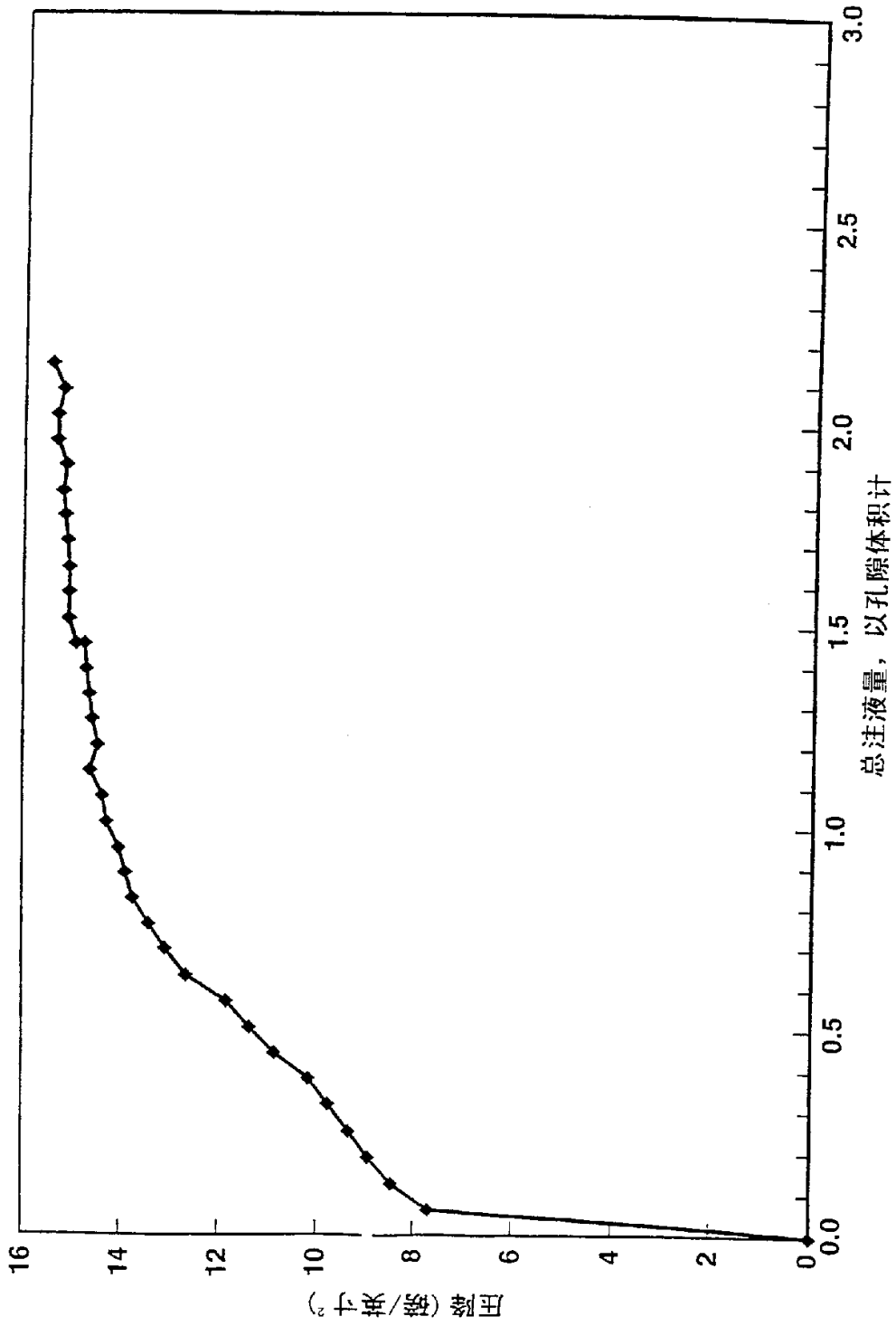


图 7

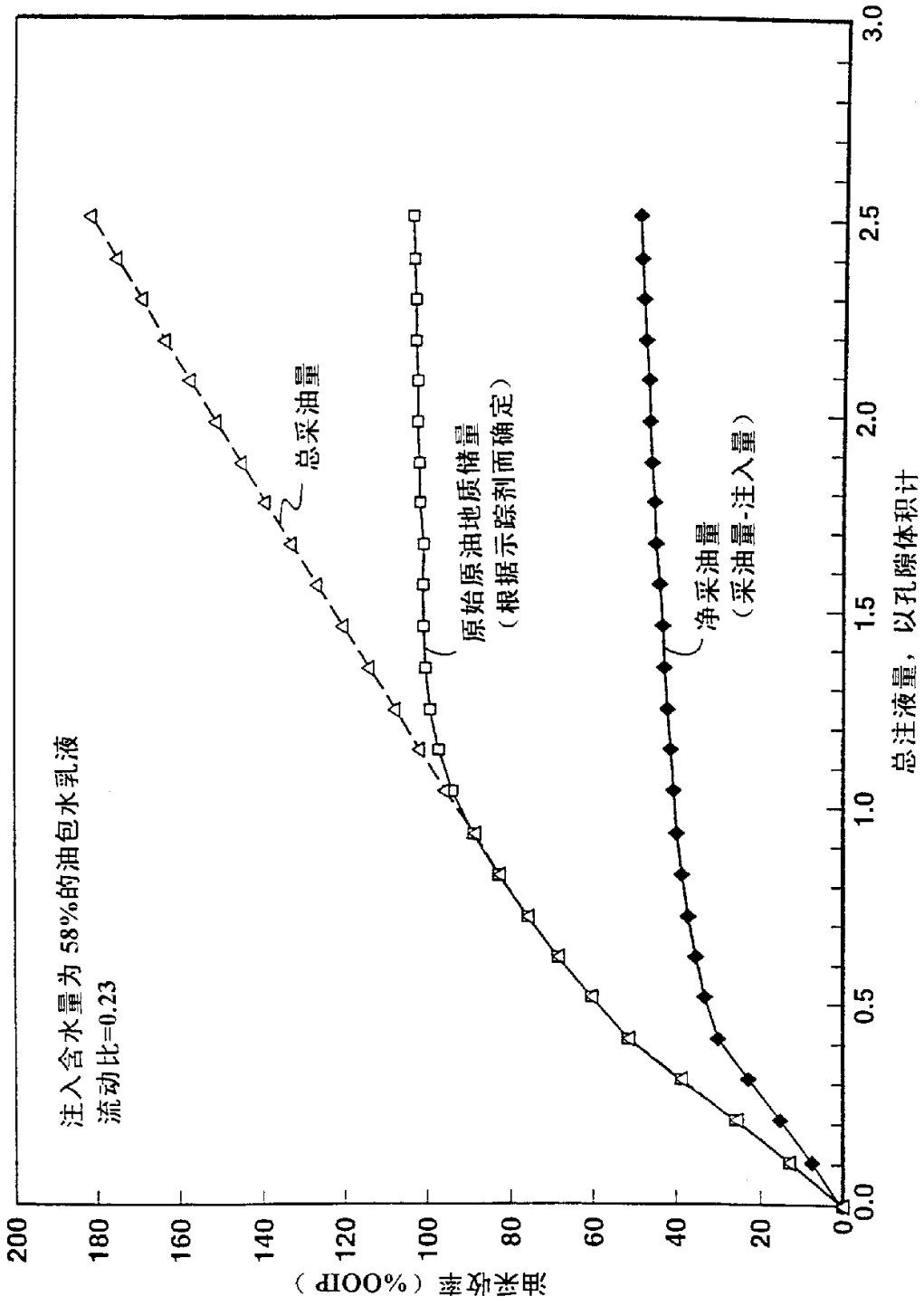


图 8

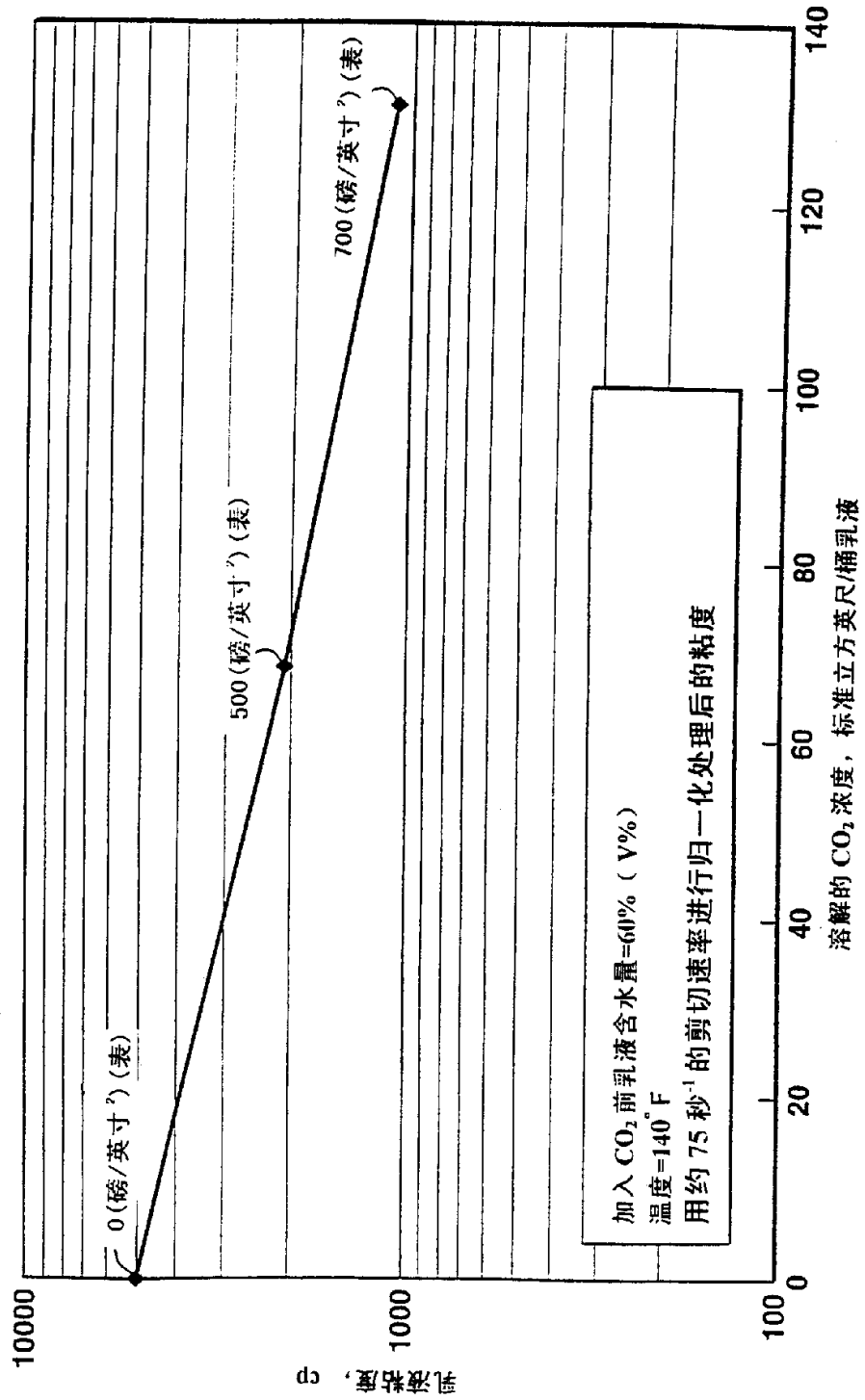


图 9