

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02810863.9

E21B 43/24 (2006.01)

E21B 49/00 (2006.01)

E21B 43/30 (2006.01)

E21B 36/04 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年9月30日

[11] 授权公告号 CN 100545415C

[22] 申请日 2002.4.24 [21] 申请号 02810863.9

[30] 优先权

[32] 2001.4.24 [33] US [31] 60/286,156

[32] 2001.10.24 [33] US [31] 60/337,059

[86] 国际申请 PCT/EP2002/004549 2002.4.24

[87] 国际公布 WO2002/086276 英 2002.10.31

[85] 进入国家阶段日期 2003.11.28

[73] 专利权人 国际壳牌研究有限公司

地址 荷兰海牙

[72] 发明人 S·D·克兰

M·D·S·丁德洛克

J·M·卡拉尼克斯

K·A·美赫尔 A·M·梅西尔

E·德罗菲格内克 H·J·文格尔

S·L·韦林顿 E·张

[56] 参考文献

US4429745A 1984.2.7

US4682652A 1987.7.28

US5211230A 1993.5.18

US2390770A 1945.12.11

地下水热催化裂化降粘开采稠油新技术研究. 范洪富, 刘永建, 杨付林. 油田化学, 第18卷第1期. 2001

审查员 韩树刚

[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 孙爱

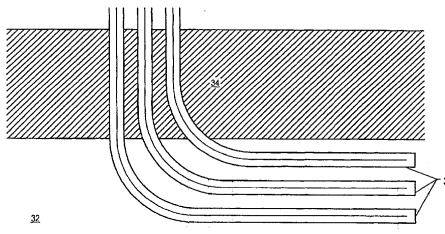
权利要求书6页 说明书47页 附图27页

[54] 发明名称

现场处理含烃地层的方法

[57] 摘要

一种现场处理沥青砂地层(32)的方法, 包括由一或若干热源(30)给沥青砂地层的一部分提供热量。使热量从热源传递到地层的选定区段, 将选定区段内的至少一些烃热解。通过控制混合物的采出过程来调节在地层中至少一些烃经受热解温度的时间的手段, 从选定区段采出具有选定品质的烃混合物。



1. 一种现场处理含烃地层的方法，包括：

由一或若干热源给至少一部分地层提供热量；

使热量能从一或若干热源传递到地层的一个选定区段，将选定区段内的至少一些烃热解；

从选定区段采出烃混合物；特征在于地层是沥青砂地层，热源包括加热器，由至少一个热源提供的热量基本是通过热传导作用传递到至少一部分地层，该方法进一步包括：

控制混合物的采出过程来调节至少一些烃在地层中经受热解温度的时间，以便采出选定品质的烃混合物。

2. 根据权利要求1所述的方法，进一步包括在至少一些烃已热解之前禁止采出至少一部分烃混合物。

3. 根据权利要求1或2所述的方法，其中选定的品质包括API比重至少约为20°。

4. 根据权利要求1或2所述的方法，其中选定的烃混合物的品质包括平均碳数小于12。

5. 根据权利要求1或2所述的方法，进一步包括经至少一个采出井从选定区段中采出混合物。

6. 根据权利要求1或2所述的方法，进一步包括从采出混合物中取出样流来测定采出混合物的选定品质。

7. 根据权利要求1或2所述的方法，进一步包括用实验室处理地层样品的方法来确定采出混合物中至少一些烃经受热解温度的时间。

8. 根据权利要求1或2所述的方法，进一步包括用计算机模拟处理地层的方法来确定采出混合物中至少一些烃经受热解温度的时间。

9. 根据权利要求1或2所述的方法，进一步包括维持选定区段的压力，使该压力低于地层的静岩压力。

10. 根据权利要求1或2所述的方法，进一步包括维持选定区段中的压力，使该压力低于地层的静水压力。

11. 根据权利要求1或2所述的方法,进一步包括通过调控由至少一个加热器所提供的热量来控制烃混合物的选定品质。

12. 根据权利要求1或2所述的方法,进一步包括通过调控地层中一或若干采出井内的压力来控制烃混合物的选定品质。

13. 根据权利要求1或2所述的方法,进一步包括维持地层压力低于35巴(绝对值)。

14. 根据权利要求1或2所述的方法,进一步包括维持选定区段内的平均温度低于375°C。

15. 根据权利要求1或2所述的方法,进一步包括当地层中氢气分压为至少约0.5巴(绝对值)时采出烃混合物。

16. 根据权利要求1或2所述的方法,其中一或若干加热器包括电加热器、燃烧加热器、射频加热器。

17. 根据权利要求1或2所述的方法,进一步包括:

由一或若干加热器构成的第一组热源给地层的第一区段提供热量,使提供给第一区段的热量能将至少一些烃热解;

由一或若干加热器构成的第二组热源给地层的第二区段提供热量,使提供给第二区段的热量能使至少一些烃可移动;

促使至少一部分烃从第二区段流入第一区段;和从地层采出烃混合物,所采出混合物包括至少一些热解的烃。

18. 根据权利要求17所述的方法,进一步包括给第二区段提供热量,使提供给第二区段的热量能将至少一些烃热解。

19. 根据权利要求17所述的方法,进一步包括

由一或若干热源构成的第三组热源给地层的第三区段提供热量,使提供给第三区段的热量能使至少一些烃可移动;和

使第三区段的一部分烃经第二区段流入第一区段。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中第三区段基本邻近第二区段和/或第二区段基本邻近第一区段。

21. 根据权利要求19或者20所述的方法,进一步包括:

用提供给第三区段的热量将第三区段内的至少一些烃热解。

22. 根据权利要求 17 所述的方法, 进一步包括经第一区段内或附近的至少一个采出井采出烃混合物。

23. 根据权利要求 17 所述的方法, 进一步包括促使至少一部分可移动烃从第二区段流入第一区段。

24. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 进一步包括:

由一或若干加热器给地层的的一个选定区段提供热量, 使提供给选定区段的热量能将地层下层部位的至少一些烃热解; 和

从地层的上层部位采出烃混合物, 其中烃混合物包括至少一些来自地层下层部位的热解烃。

25. 根据权利要求 24 所述的方法, 其中上层部位包括沥青砂地层的上面一半。

26. 根据权利要求 24 所述的方法, 其中下层部位包括沥青砂地层的下面一半。

27. 根据权利要求 24 所述的方法, 进一步包括采出气态的烃混合物。

28. 根据权利要求 24 所述的方法, 其中烃混合物包括 API 比重大于约 15°。

29. 根据权利要求 24 所述的方法, 进一步包括促使至少一部分烃从下层部位流入上层部位。

30. 根据权利要求 1 所述的方法, 进一步包括:

选择性限制靠近加热井选定部位的温度, 以防止在选定部位或附近处形成焦炭; 和

经加热井选定部位采出至少一些烃混合物; 其中所述热源布置在所述加热井中。

31. 根据权利要求 30 所述的方法, 进一步包括在选定部位产生水, 以防止在加热井选定部位或附近处形成焦炭。

32. 根据权利要求 30 所述的方法, 其中加热井基本是水平方向布置在选定区段内。

33. 根据权利要求 30 所述的方法, 其中选择性限制温度的方法包

括在选定区段中给加热井选定部位处提供的热量要低于给加热井其它部位提供的热量。

34. 根据权利要求 30 所述的方法, 其中选择性限制温度的方法包括维持选定部位附近的温度低于热解温度。

35. 根据权利要求 30 所述的方法, 进一步包括经至少一个采出井从选定区段采出混合物。

36. 根据权利要求 30 所述的方法, 进一步包括给加热井的顶头部分提供至少一些热量, 以维持所采出的烃为气态。

37. 根据权利要求 1 所述的方法, 进一步包括:

通过变动混合物的采出位置来控制所采出混合物的品质。

38. 根据权利要求 37 所述的方法, 进一步包括经选定区段中或附近的至少一个采出井采出烃混合物。

39. 根据权利要求 37 所述的方法, 其中变动采出井内采出位置的方法包括改变采出井中用于采出混合物的穿孔位置和/或改变地层中采出井的位置和/或改变地层中采出井的数量。

40. 根据权利要求 37 所述的方法, 其中变动混合物采出位置的方法包括改变地层中基本水平走向的采出井位置。

41. 根据权利要求 37 所述的方法, 其中变动混合物采出位置的方法包括改变采出井与一或若干热源之间的距离。

42. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中所述方法用来从选定区段采出一种调合剂, 至少一部分调合剂适合与第二混合物调合, 以形成具有选定性质的第三混合物。

43. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第二混合物包括 API 比重小于约 15°的粘性原油, 且调合剂适合与该粘性液体调合以形成粘度低于该粘性液体的第三混合物。

44. 根据权利要求 42 所述的方法, 进一步包括从沥青砂地层第二区段采出第二混合物, 且将第二混合物与调合剂进行调合来形成第三混合物。

45. 根据权利要求 44 所述的方法, 其中选定区段和第二区段位于横向和/或垂向错开的不同沥青砂地层。

46. 根据权利要求 37 所述的方法, 其中选定区段和第二区段是在同一沥青砂地层内垂向错开。

47. 根据权利要求 42 所述的方法, 进一步包括从沥青砂地层的第二区段冷采出第二混合物。

48. 根据权利要求 42 所述的方法, 进一步包括将调合剂注入沥青砂地层的第二区段, 以便在沥青砂地层中采出第三混合物。

49. 根据权利要求 42 所述的方法, 进一步包括将调合剂注入沥青砂地层第二区段的采出井中, 以便在采出井中采出第三混合物。

50. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第三混合物适合经管线输送。

51. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第二混合物的粘度较高, 不能经济地通过管线输送 100 公里以上距离, 而第三混合物的粘度降低, 能够经济地通过管线输送 100 公里以上。

52. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中通过将调合剂与液体进行调合的手段来形成第三混合物的选定性质, 从而使第三混合物具有选定的 API 比重、选定的粘度、选定的密度、选定的沥青质/饱和烃比、选定的芳烃/饱和烃比和/或选定的杂质含量。

53. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第三混合物选定的性质包括 API 比重大于约 10° 。

54. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第三混合物选定的性质包括在 4°C 时粘度小于约 7500cs。

55. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第三混合物选定的性质包括在 4°C 时密度小于约 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

56. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第三混合物选定的性质包括沥青质/饱和烃比小于 1。

57. 根据权利要求 42 所述的方法, 其中第三混合物选定的性质包

括芳烃/饱和烃比小于4。

58. 根据权利要求42所述的方法,其中调合剂包括至少一些热解的烃。

现场处理含烃地层的方法

技术领域

本发明广义涉及从各种沥青砂地层生产烃、氢气和/或其它产品的方法和系统。某些实施方案涉及将来自地下沥青砂地层的烃现场转化来生产烃、氢气和/或其它的产品料流的方法。

背景技术

从地下岩层获得的烃通常作为能源、原料和消费品来使用。对可利用烃源枯竭的担忧驱使人们开发能够更加有效对可利用烃源进行开采、处理和/或利用的方法。现场方法可以用来采出地下岩层的烃原料。为将烃原料从地下岩层采出，可能需要改变地下岩层内烃原料的化学和/或物理性质。一些能使地层内烃原料产生可采出流体、组分变化、溶解度变化、相变化和/或粘度变化的现场反应可导致化学和物理性质变化。所述的流体可以是但不限于是气体、液体、乳化液、浆液和/或流动性类似于液流的固体颗粒流。

在北美洲、南美洲和亚洲已发现在地层中含有大量重烃沉积物(如重油和/或焦油)。沥青砂沉积层是可以开采的。地面处理工艺可将沥青与砂和/或与烃一起采出的其它物质分离开来。可采用常规炼油方法将分离出的沥青转化为轻烃。开采和改质沥青砂的成本通常比从传统油层中生产轻烃的方法要高。

授权 Gregoli 等人的美国专利 5340467 和授权等人的美国专利 5316467 描述了一种将水和化学添加剂加入沥青砂来形成浆液的方法。该浆液可分离成烃和水。

授权 Hanson 等人的美国专利 4409090 描述了一种将沥青砂物理分离成仍含一些砂的富沥青浓缩液的方法。可在流化床内进一步从砂中分离出富沥青浓缩液。

授权 Humphreys 的美国专利 5985138 和授权 Duyvesteyn 等人的

美国专利 5968349 描述了开采沥青砂和从沥青砂中物理分离出沥青的方法。在地面设施中进一步对沥青进行处理可改质从沥青生产的油。

现场从沥青砂生产烃的过程可采用加热或将气体注入地层的方法来实施。授权 Ostapovich 等人的美国专利 5211230 和授权 Leaute 的 5339897 描述了一种位于油藏内的水平采出井。纵向导管可用于将氧化剂气体注入油藏进行现场燃烧。

授权 Ljungstrom 的美国专利 US2780450 描述了一种现场加热含沥青地质岩层而使焦油状物质转化或者裂解为石油或者天然气的方法。

授权给 Ware 等人的美国专利 4597441 描述了在一个油层内将油、热量和氢气同时接触的方法，氢气化作用可提高油从油层中的回收率。

授权给 Glandt 的美国专利 5046559 和授权给 Glandt 等人的 5060726 描述了一种将注入井和采出井之间的一部分沥青砂地层进行预热的方法。可将蒸汽从注入井注入到地层内以在采出井采出烃。

如上所述，已做出很多努力来开发用于从沥青砂地层经济地开采烃、氢气和/或其它产品的方法和系统。但是，目前还有许多地层中的烃、氢气和/或其它产品无法被经济地开采。因此，需要一种从各种沥青砂地层生产烃、氢气和/或其它产品的改进方法和系统。

发明内容

在根据本发明方法的一个优选实施方案中，对流体从地层采出的过程进行控制来调节烃在裂解区或流入裂解区或者置于裂解温度下的平均时间。控制采出过程的方法能从地层内采出大量满足期望品质的烃。

在一个实施方案中，由第一组热源提供热量给沥青砂地层的第一区段，将第一区段内的一部分烃热解。也可以由第二组热源提供热量给地层的第二区段。该热量可降低第二区段内烃的粘度而使第二区段内一部分烃可以移动。第二区段的一部分烃可被导向流入第一区段。从地层采出烃混合物。采出的混合物可包括至少一些热解烃。

在一个实施方案中，由热源给一部分沥青砂地层提供热量。热量

可以从热源传递到地层的选定区段，以降低选定区段内烃的粘度。可以向地层的选定区段提供气体。该气体可使烃从选定区段朝着采出井或若干采出井移动。可通过采出井或若干采出井从选定区段采出烃混合物。

在一些实施方案中，对提供给热源或者热源区段的能量进行选择限制来控制温度和阻止在热源附近形成焦炭。在一些实施方案中，可通过以抑制焦炭形成方式操作的热源部分采出烃混合物。

在某些实施方案中，通过改变采出混合物的位置可以控制采出混合物的品质。通过改变采出流体的地层相对于上覆岩层和下覆岩层的深度来改变采出位置。也可以通过改变用于采出流体的采出井来改变采出位置。在某些实施方案中，可根据采出井与激活热源的距离来选择采出流体的采出井。

在一个实施方案中，可从沥青砂地层的选定区段生产调合剂。一部分调合剂可与重烃混合来生产具有选定特性（密度、粘度和/或稳定性）的混合物。

在某些实施方案中，可向地层的选定区段提供热量以使地层较下部分的一些烃热解。可从地层的较上部分采出烃混合物。烃混合物可以包括至少一些来自地层较下部分的热解烃。

根据本发明方法的这些和更多实施方案以及可得产品将在所附权利要求书和附图中详细说明。

附图说明

借助于下面有关优选实施方案的描述并参照下列附图，本领域普通技术人员将更容易理解本发明的优点，这些附图包括：

图 1 示出一个处理沥青砂地层的实施方案；

图 2 示出一个处理沥青砂地层的实施方案；

图 3 示出一个能选择性加热的加热井的实施方案；

图 4 示出一个有多个加热层区段的处理含重烃沥青砂地层实施方案的剖面图；

图 5 示出沥青砂地层现场处理模拟实验中使用的加热井和采出井的大规模布局图;

图 6 示出一个组合使用地层内采出井和加热井来处理沥青砂地层的实施方案的端视图;

图 7 示出图 6 实施方案的侧视图;

图 8 示出一个在地层中使用增压流体实施方案的示意图;

图 9 示出另一个在地层中使用增压流体实施方案的示意图;

图 10 示出一个处理沥青砂地层的实施方案的平面图;

图 11 示出一个位于地层内的采出井的实施方案的剖面图;

图 12 示出一个用来采出第一混合物以便与第二混合物调合的沥青砂地层实施方案的平面图。

图 13 示出五种调合物的 SARA 结果 (饱和烃/芳烃比与沥青质/树脂比的关系);

图 14 示出三种调合物的粘度与温度的关系;

图 15 示出从沥青砂地层采出的不同碳原子数的碳化合物所对应的重量百分比;

图 16 示出从沥青砂滚筒实验所产出液体的 API 比重;

图 17 例示说明在一个模拟实验中重烃和轻烃油产率与时间的关系;

图 18 例示说明在一个模拟实验中,前期加热的 500 天不采出条件下重烃和轻烃油产率与时间的关系;

图 19 例示说明在一个模拟实验中,三个不同位置的水平采出井的油累积回收百分率与时间的关系;

图 20 例示说明在一个模拟实验中,中部和底部采出井位置的重烃和轻烃油产率与时间的关系;

图 21 示出用于 3-D STARS 模拟实验的另一种加热井模型图;

图 22 例示说明在一个模拟实验中,中部采出井的重烃和轻烃油产率与时间的关系;

图 23 例示说明在一个模拟实验中底部采出井的重烃和轻烃油产

率与时间的关系；

图 24 例示说明用于模拟实验的另一种加热井布局图；

图 25 例示说明在一个模拟实验中，采用底部采出井采出时重烃和轻烃油产率与时间的关系；

图 26 例示说明在一个模拟实验中，采用中部采出井采出时重烃和轻烃油产率与时间的关系；

图 27 说明在一个模拟实验中，采用顶部采出井采出时重烃和轻烃油产率与时间的关系；

虽然本发明能够做出各种改进和替换形式，但本文通过图示例举方式示出了其具体实施方案并进行了详细描述。附图并不是成比例的。应该能够理解，附图和说明书的详细描述不是把本发明限制为所公开的具体形式，相反，本发明将覆盖所有所附权利要求定义的属于本发明精神实质和范围的改进、等同和替换方案。

发明详细描述

下面的说明广义涉及处理沥青砂地层的系统和方法。将这些地层进行处理来获得较高品质的烃产品、氢气和其它产品。

在说明书和所附权利要求书中常用的一些术语的定义如下。

“烃”是指其分子结构包括碳和氢气的有机物。烃也可以包括其它元素，例如但不限于卤素、金属元素、氮、氧和/或硫。烃可以但不限于是沥青、焦沥青和油。烃可以在位于或邻近于地层内的矿物基岩中。基岩包括但不限于沉积岩、砂岩、沉积石英岩、碳酸岩、硅藻土和其它多孔性媒质。“烃流体”是包括烃的流体。烃流体可包含、夹带有非烃流体（例如氢气（“H₂”）、氮（“N₂”）、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢气、水和氨）或是被夹带在非烃流体内。

“沥青”是指基本上可溶于二硫化碳的非晶固体或者粘性烃原料。

“油”通常定义为含有可凝烃的复合物。

“地层”包括一或多个含烃层、一或多个无烃岩层、一个上覆岩层和/或一个下覆岩层。“上覆岩层”和/或“下覆岩层”包括一或多个

不同类型的不渗透材料。例如，上覆岩层和/或下覆岩层可以包括岩石、页岩、泥岩或者湿/致密碳酸岩（即无烃的不渗透碳酸岩）。在某些现场转化过程中，上覆岩层和/或下覆岩层可包括一个含烃层或一个低渗透的含烃层且在转化过程中不经加温处理来使上覆岩层和/或下覆岩层的含烃层的性质发生显著变化。例如下覆岩层可包括一个基本上无裂缝的煤层。

术语“地层流体”和“采出流体”是指从沥青砂地层采出的流体，可以包括热解流体、合成气、可移动烃和水（蒸汽）。术语“可移动流体”是指地层内因热处理地层而能够流动的流体。地层流体包括烃流体和非烃流体。

“碳原子数”是指一个烃分子中的碳原子数。烃流体可包括具有不同碳原子数的各种烃。烃流体可以用碳数分布来描述。碳原子数和/或碳数分布可以通过真沸点分布和/或气液色谱分析来确定。

“热源”是指一些主要能通过传导和/或辐射传热把热量提供给至少一部分地层的任何系统。例如，热源可以包括电加热器例如一个绝缘导体、一个加长元件和一个置于导管内的导体。热源还可以包括能通过在地层外或内燃烧燃料产生热量的热源，例如象地面燃烧器、无火焰分布的燃烧器和自然分布的燃烧器。此外，应该能够预见，在某些实施方案中提供给一或若干热源的热量或者在一或若干热源内产生的热量可以通过其它能源来提供。其它能源可以直接加热地层或者将该能源施用于传热介质来直接或间接加热地层。应该能够理解，用来加热地层的一或若干热源可以使用不同的能源。例如，对于给定的地层来说，某些热源可以由电阻加热器来提供热量，某些热源可以由燃烧过程来提供热量，而某些热源可以由一或多个其它能源（例如化学反应、太阳能、风能和其它可再生能源）提供热量。化学反应可以包括放热反应（例如氧化反应）。热源也可以包括一个能给一个接近和/或围绕加热位置如加热井的区域提供热量的加热器。加热器可以但不限于电加热器、炉子和自然分布燃烧器。

术语“加热器”是指任何能在井眼或靠近井眼区域产生热量的系

统。加热器可以但不限于电加热器、炉子、能与地层内或从地层采出物料反应的燃烧剂或它们的组合形式。“热源单元”是指由若干热源形成的一个样板，地层内的热源布局图则由此样板重复构成。

术语“井眼”是指通过钻孔或将导管插入地层的方法在地层中形成的一个孔。井眼可以具有基本为圆形的截面或其它横截面形状（例如：圆形、椭圆形、正方形、矩形、三角形、狭缝或是其它规则或不规则形状）。在涉及有关地层内的孔洞时，本文所用术语“井”和“孔洞”可与“井眼”互换使用。

“热解”是指因加热而使化学键断裂的反应。热解过程包括仅靠热量而使一种化合物转化为一或多种其它物质的反应。热解过程所用热量可源自于一个氧化反应。该热量被传递到一区段地层从而引起热解反应。

本文所用术语“热解流体”或“热解产物”指基本是在烃热解过程中产生的流体。热解反应所产生的流体可与地层内的其它流体混合。混合物也被认为是热解流体或热解产物。本文所用术语“热解区”是指能够进行反应或经反应形成热解流体的一大块沥青砂。

“裂解”是指一种包括有机化合物分解和分子重组反应而产生比最初更多种类分子的过程。裂解时，伴随分子之间氢原子的转移会发生一系列反应。例如石脑油可经过热裂解反应可以形成乙烯和 H_2 。

“流体压力”是指由地层内流体所产生的压力。“静岩压力”（有时称为“岩层静应力”）是指地层内的压力，等于每单位面积的上覆岩体的重量。“静水压力”是由水柱施加到岩层内的压力。

“可凝烃”是指 $25^\circ C$ 和一个绝对大气压条件下可冷凝的烃。可凝烃包括碳原子数大于 4 的烃的混合物。“不凝烃”是指 $25^\circ C$ 和一个绝对大气压条件下不能冷凝的烃。不凝烃包括碳原子数小于 5 的烃。

“烯烃”是一些包括有一或多个非芳香属碳-碳双键的不饱和烃的分子。

地层的“厚度”指一个地层横截面的厚度，所述横截面与地层立面垂直。

术语“选定移动区段”是指平均温度处于可移动温度范围的一区段沥青砂地层。若将一个驱动力施加到选定移动区段内的流体上，则该流体可以移动。在某些实施方案中，驱动力可以是经一或若干采出井采出流体所形成的压差。在某些实施方案中，驱动力可以是引入地层的驱动流体。术语“选定热解区段”指平均温度处于热解温度范围的一区段沥青砂地层。

“重烃”是指一些粘性的烃流体。重烃可以包括高粘烃流体如重油、焦油和/或沥青。重烃可包括碳和氢以及少量浓度的硫、氧和氮。其它微量元素也可以存在于重烃中。重烃的 API 比重通常低于约 20°。例如，重油的 API 比重通常约为 10 - 20°，而沥青砂的 API 比重通常低于约 10°。重烃 15℃ 下的粘度通常大于 100 厘泊。重烃还可以包括芳烃或其它复杂的环烃。

“焦油”是指一些 15℃ 下的粘度大于 10000 厘泊的粘性烃。焦油的比重通常超过 1.000。焦油的 API 比重小于 10°。

“沥青砂地层”是指该地层中的烃主要是以夹带在砂、砂岩、碳酸岩、碎碳酸岩、火山岩、基岩或其它岩石中的重烃和/或焦油形式存在。在某些情况下，一部分或所有沥青砂地层的烃部分可主要是重烃和/或焦油，不含支承构架且仅有浮动的（或不含有）矿物质。

术语“改质”是指提高烃的品质。例如，对重烃进行改质可使重烃的 API 比重得以提高。

词语“非高峰时间”通常是指运转时间处于用能闲时因而比较便宜的时区段。

图 1 示出一种使用水平式热源来处理沥青砂地层的实施方案。热源 30 可以水平放置在沥青砂地层的含烃层 32 中。含烃层 32 可在岩层 34 之下（例如一个上覆岩层）。岩层 34 可包括但不限于是泥岩、碳酸岩和/或其它类型的沉积岩。岩层 34 的厚度为约 10m 或更厚。但岩层 34 的厚度例如可根据地层类型不同而变动。热源 30 可基本是水平放置，或在某些实施方案中与含烃层 32 的水平方向和垂直方向成一定角度放置。热源 30 可将热量提供给一部分含烃层 32。

热源 30 可以包括一个低温热源和/或一个高温热源。低温热源可以是一个能够给含烃层 32 中选定移动区段提供热量的热源或加热器, 选定移动区段可以邻近低温热源。所提供的热量可将选定移动区段的一部分或全部加热到平均温度处于含烃层 32 所含重烃可移动温度范围内。可移动温度范围在约 50 - 210℃ 之间。选定的可移动温度约为 100℃。但可移动温度随含烃层 32 所含重烃的粘度不同而不同。例如, 对于含烃层 32 中较高粘度的流体就需要较高的可移动温度。

高温热源可以是一个能为含烃层 32 中选定热解区段提供热量的热源或者加热器。选定热解区段可以邻近高温热源。所提供的热量可将选定裂解区段的一部分或全部加热到平均温度处于含烃层 32 所含重烃裂解温度范围内。热解温度范围可在约 225 - 400℃ 之间。选定的热解温度可约为 300℃。但热解温度可根据地层特性、组成、压力和/或含烃层 32 所生产产品的期望品质的不同而变动。产品的品质可以根据产品的性质(例如产品的 API 比重)来确定。热解过程可包括将重烃裂解成烃碎片和/或轻烃的步骤。重烃热解过程可对重烃品质进行改质。

所提供的热量可使含烃层 32 中的一部分重烃可移动。所提供的热量也可以将含烃层 32 中的一部分重烃热解。置于含烃层 32 中的热源 30 的长度约在 50m - 1500m 之间。但含烃层 32 中的热源 30 的长度可以依据沥青砂层宽度、期望的产率、热源 30 的能量输出和/或井眼和/或热源的最大可能长度的不同而变动。

图 2 示出一种基本使用水平式热源来处理沥青砂地层的实施方案。热源 30 可水平放置在含烃层 32 中。含烃层 32 可位于岩层 34 以下。采出井 36 可按垂直、水平方向或与含烃层 32 成一定角度进行布置。采出井 36 在含烃层 32 中的位置取决于多种因素(例如: 期望的产品和/或期望的产率)。在某些实施方案中, 采出井 36 可布置在接近含烃层 32 底部处。在接近含烃层 32 底部处采出的方法能够采出较低 API 比重的流体。在另一些实施方案中, 采出井 36 可以布置在接近含烃层 32 顶部处。在接近含烃层 32 顶部处采出能够采出较高 API 比重

的流体。

热源 30 可以提供热量使含烃层 32 中的一部分重烃可移动。可移动流体在重力作用下流向含烃层 32 的底部。经采出井 36 采出可移动流体。放置在含烃层 32 底部或者底部附近的每一个热源 30 可将沥青砂地层底部附近的某些区段或所有区段加热到足以热解该区段内重烃的温度。该区段称为选定热解区段。选定热解区段内的温度可在约 225 °C -400 °C 之间。选定热解区段内重烃的热解反应可将重烃转化为热解流体。

热解流体可通过采出井 36 采出。采出井 36 可布置在选定热解区段。在某些实施方案中，含烃层 32 中的大部分重烃移动后可减少和/或关闭一个或若干热源 30。这样做可以更有效地加热地层和/或节省相关现场处理过程的能量输出成本。此外，若加热器是电加热器，则可在电费较便宜的非高峰时间对地层进行加热。

在某些实施方案中，可在采出井 36 内提供能使地层流体汽化的热量。也在采出井 36 内提供能使地层流体热解和/或改质的热量。

在某些实施方案中，可经热源 30 向含烃层 32 提供增压流体。增压流体能使可移动流体朝采出井 36 流动的速度提高。提高热源 30 附近的增压流体的压力往往能使可移动流体朝采出井 36 流动的速度提高。增压流体可包括但不限于 N_2 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2 、蒸汽、燃烧产物、从地层采出流体中的不凝组分和/或它们的混合物。在某些实施方案中，增压流体可以经布置在含烃层 32 中的注入井来提供。

可调控含烃层 32 中的压力以便控制从地层采出的地层流体的产率。可通过调节连接采出井 36、热源 30 和/或置于含烃层 32 的控制井的控制阀对含烃层 32 中的压力进行控制。

在一个实施方案中，在地层内至少有一些烃被热解之前禁止从地层采出烃的操作。当混合物包括了选定的混合物品质（例如 API 比重、氢气浓度、芳烃含量等等）时，可从地层内采出混合物。在某些实施方案中，选定的品质包括 API 比重至少约为 20°、30°或 40°。在至少一些烃被热解之前禁止采出的方法可以提高重烃变为轻烃的转化率。

禁止初期采出的方法可使从地层采出的重烃最少。采出较多数量的重烃需要昂贵的设备和/或会降低生产设备的寿命。

在一个实施方案中，可通过对从地层采出的样流进行取样来确定开始生产的时间。样流可以是经采出井或测试井采出的一定量流体。样流可以是控制地层内压力而从地层移出的流体的一部分。可对样流进行测试以确定样流是否具有选定的品质。例如，选定的品质可以是选定的最低 API 比重或最高重烃重量百分比。当样流具有选定的品质时，可开始经地层内的采出井和/或热源采出混合物。

在一个实施方案中，可通过对从地层获得的样流进行实验室处理来确定开始生产的时间。例如，实验室处理可以包括热解实验，用于确定从样流到产生选定的最小 API 比重所需的处理时间。

在一个实施方案中，可从一个处理地层的模拟实验来确定开始生产的时间。该模拟实验可以是能模拟地层条件（例如压力、温度、产率等）来确定从地层采出流体品质的计算机模拟实验。

当从地层内采出烃才操作受抑制时，随地层内温度的升高，地层内的重烃和其它流体（例如水）发生热膨胀和/或相变化，从而使地层内的压力增加。为防止出现不期望采出、上覆或者下覆岩层破裂和/或地层中的烃结焦的现象，地层内的压力要维持在选定压力以下。在一个实施方案中，选定的压力可以是约 35 巴（绝对值）。对采出井的产率进行调控可以控制地层内的压力。在某些实施方案中，可通过地层内一或多个压力释放井释放出地层内汽体的方法对地层内的压力进行调控。压力释放井可以是热源或者插入地层的独立井。经压力释放井从地层移出的地层流体可被送到地面设施中。将至少一部分烃从地层采出的方法可防止地层内的压力升高到选定压力以上。

在某些实施方案中，可经一个热源井眼逆向采出一些地层流体。例如，在加热沥青砂地层的初期阶段，可经一个热源井眼逆向采出一些地层流体。在一个实施方案中，可经热源井眼的一部分采出一些地层流体。可调节沿井眼长度方向的注热量以使经井眼采出的流体不会过热。可经热源井眼中温度低于井眼其它部分的那部分采出流体。

经热源井眼采出至少一些地层流体的方法可减免对地层内其它采出井的需求量。此外，经热源井眼采出流体的方法可以降低地层内（特别是热源井眼周围区域内）的压力。降低地层内的压力可使从地层采出的液体产量增加和汽体产量减少。在某些实施方案中，经热源井眼采出流体的方法使流体得以更早地从地层内采出。地层中最靠近热源井眼的部分要先于地层中靠近采出井的部分升温到可移动和/或热解温度。因此，在更早的时间里就可从靠近热源井眼的部分采出流体。

图3示出一种能选择性加热的加热井的实施方案。热源30可以放置在含烃层32内的孔洞38中。在某些实施方案中，孔洞38在含烃层32中是一个基本水平方向的孔洞。孔洞38中可放置一个有孔套管40。有孔套管40可起支撑作用以防止含烃层32中的烃和/或其它材料塌陷到孔洞38内。有孔套管40上的孔眼允许流体从含烃层32流到孔洞38内。热源30可以包括高热部分42。高热部分42可以是热源30中以输出热量高于热源其它部分进行操作的那部分。在一个实施方案中，高热部分42的输出热量约在650瓦/米到1650瓦/米之间。高热部分42可位于靠近热源30的“脚趾”处（即靠近热源进入含烃层32的入口端最远的热源端）。

在一个实施方案中，热源30可以包括温热部分44。温热部分44可以是热源中30中以输出热量低于高热部分42进行操作的部分。例如温热部分44的输出热量可在约150瓦/米到650瓦/米之间。温热部分44可位于靠近热源30的“脚后跟”处。热源30的脚后跟可以是热源中靠近热源进入含烃层32的进入点处的那部分。在某些实施方案中，温热部分44可以是介于高热部分42和顶头部分46之间的一个过渡部分（亦即过渡导体）。顶头部分46可以位于上覆岩层48内。顶头部分46所提供的输出热量低于温热部分44。例如，顶头部分的输出热量可在约30瓦/米到90瓦/米之间。在某些实施方案中，顶头部分46尽可能不给上覆岩层48提供什么热量（0瓦/米）。但可用一些热量来使经孔洞38采出的流体在上覆岩层48内保持汽相状态。

在某些实施方案中，热源30的高热部分42可将烃加热到温度高

至足以导致含烃层 32 中形成焦炭 50。在孔洞 38 周围可能出现结焦现象。温热部分 44 是在较低输出热量下进行操作，因此在热源 30 的温热部分处或其附近不会形成焦炭。当热源 30 的热从孔洞向外传递时，焦炭 50 可从孔洞 38 沿径向外延。但延伸到一定距离后就不再会形成焦炭 50，因为一定距离后含烃层 32 的温度将达不到结焦温度。不发生结焦的距离与输出热量（从热源 30 输出的瓦数/米）、地层类型、地层的含烃量和/或地层内的其它条件密切相关。

所形成的焦炭 50 会阻止流体流入孔洞 38。但地层内的流体可在几乎没有焦炭的热源 30 脚后跟处（亦即热源的温热部分 44）经孔洞 38 采出。热源 30 的脚后跟处温度较低，因而降低了经脚后跟处采出的地层流体更深度裂解的可能性。经孔洞 38 采出地层流体的时间可以比经含烃层 32 内的采出井采出地层流体的时间更早。由于热量是从热源 30 穿过含烃层 32 进行传导，所以靠近孔洞处的温度比远离孔洞处的温度上升得快，因此经孔洞 38 进行早期采出是可能的。采用将地层流体早期采出的方法能使含烃层 32 中的压力在进行地层加热期间（亦即地层内采出井开始采出之前）保持较低。降低地层内的压力可使从地层采出的液体产量增加。此外，经孔洞 38 采出地层流体的方法可减少含烃层 32 内所需采出井的数量。

在处理沥青砂地层的一个实施方案中，可从地层内采出可移动流体，该可移动流体经过了有限热解处理或未经热解处理和/或改质处理。采出的流体进一步在该地层附近或远处的地面设施中进行处理。可对采出流体进行处理而使流体便于（如通过管道或轮船等）输送。在此实施方案中的热源间距要比采出已热解地层流体所需的热源间距更大。例如，从沥青砂地层采出基本未热解流体所需热源间距可以约为 15m、约 30m 甚或 40m。地层的平均温度可在约 50℃-250℃ 之间，或者在某些实施方案中平均温度是在约 150℃-200℃ 之间或约 100℃-150℃ 之间。可采用较小的热源间距来加强地层内的温升。井眼间距较大则能使建造井眼、购买和安装加热设备以及为地层提供热量等所涉及的费用（且并不局限于这些费用）减少。

在某些实施方案中，使从地层采出的重烃百分比高于轻烃可提高地层输出能量/输入地层能量比。重烃的含能量往往高于轻烃的含能量。采出更多重烃可提高输出能量/输入能量比。此外，从沥青砂地层采出重烃的生产费用（如供热量）要低于采出轻烃的费用。在某些实施方案中，输出能量/输入能量比约为 5。在其它一些实施方案中，输出能量/输入能量比至少约为 6 或者至少约为 7。

在地层内可形成“热区”（或者“热区段”），以便能够从地层采出烃。在热区内流体可移动的温度下，原在热区内的烃流体可被采出。流体从热区移出会产生一个压力或流动梯度场，这样在其它区加热到可移动温度时可移动流体就能从地层其它区（或区段）流到热区。一或多个热区可以加热到能热解流入热区内烃的温度。地层其它区的温度只要高到足以使其它区内的流体可移动并流入热区即可。在这些其它区内维持较低温度与加热整个地层（包括热区和其它区）到热解温度相比，能使加热沥青砂地层所需的能耗降低。此外，流体从一或多个热区而不是从整个地层采出的方法能减少建造和操作采出井所需费用。

图 4 示出一种经多个加热区段对地层内重烃进行处理的实施方案的剖面图。热源 30 可布置在第一区段 52 内。可按期望的布局图（例如六边形、三角形、正方形等等）布置若干热源 30。在一个实施方案中，热源 30 以如图 4 所示的三角形进行布置。第一区段 52 内，热源 30 间的距离可小于约 25m，或者在某些实施方案中小于约 20m 或小于约 15m。第一区段 52（及第二区段 54 和第三区段 56）的体积可由该区段内的热源 30 布局图和热源间距和/或热源的输出量来确定。在第一区段 52 内可布置一些采出井 36。采出井 36 数量、走向和位置的确定因素包括但不限于期望的产率、选定的产品品质和/或重烃-轻烃比。例如，可如图 4 所示在第一区段 52 的上部布置一个采出井 36。在一些实施方案中，第一区段 52 内要布置一个注入井 58。注入井 58（和/或热源或者采出井）可用来给第一区段 52 提供增压流体。增压流体包括但不限于二氧化碳、 N_2 、 CH_4 、蒸汽、燃烧产物、从地层采出的不

凝流体或它们的组合形式。在某些实施方案中，注入井 58 的位置应选择能使从第一区段 52 回收的流体量随所提供的增压流体而提高的地方。

在一个实施方案中，热源 30 用来给第一区段 52 提供热量。第一区段 52 被加热到能使第一区段内的至少一些重烃可移动的温度。能使至少一些烃可移动的温度（即可移动温度）约在 50°C - 210°C 之间。在其它一些实施方案中，可移动温度约在 50°C - 150°C 之间或约在 50°C - 100°C 之间。

在一个实施方案中，可从第一区段 52 采出第一混合物。第一混合物可经采出井 36 或若干采出井和/或热源 30 采出。第一混合物可包括第一区段的可移动流体。可移动流体可包括至少一些第一区段 52 的烃。在某些实施方案中，所采出的可移动流体包括重烃。第一混合物的 API 比重为小于约 20° 、小于约 15° 或者小于约 10° 。在某些实施方案中，第一混合物包括至少一些热解烃。有一些烃是在第一区段 52 中温度比第一区段其余部分要高的区域热解。例如，靠近热源 30 的区域就比第一区段 52 其余部分的温度略高（约高出约 50°C - 100°C ）。

如图 4 所示，第二区段 54 可邻近第一区段 52。第二区段 54 可包括热源 30。第二区段 54 内的热源 30 可采用类似第一区段 52 的热源 30 布局图进行布置。在一些实施方案中，为给第二区段 54 提供所期望的加热，第二区段 54 的热源 30 布局图可与第一区段 52 的热源 30 布局图不同。在某些实施方案中，第二区段 54 中的热源 30 间距比第一区段 52 中的热源 30 间距要大。热源 30 可给第二区段 54 提供热量以使第二区段内的至少一些烃可移动。

在一个实施方案中，采出第一混合物后，可将第一区段 52 内的温度提高到热解温度。第一区段中的热解温度可在约 225°C - 375°C 之间。在某些情况下，第一区段的热解温度至少约 250°C 或至少约 275°C 。可移动流体（如可移动重烃）就能从第二区段 54 流入第一区段 52。从第二区段 54 流入第一区段 52 的一些可移动流体可在第一区段 52 内被热解。在第一区段 52 内热解可移动流体的方法可改善流体的品质（例

如：提高流体的 API 比重)。

在某些实施方案中，可从第一区段 52 采出第二混合物。第二混合物可经采出井 36 或若干采出井和/或热源 30 采出。第二混合物可包括至少一些在第一区段 52 内热解的烃。来自第二区段 54 的可移动流体和/或原在第一区段 52 内的烃可在第一区段 52 内被热解。可通过调控供给第一区段 52 和第二区段 54 的热量大小来控制重烃热解成轻烃的转化率。在一些实施方案中，可通过调节第一区段内的热源或者若干热源 30 的输出热量来控制供给第一区段 52 和第二区段 54 的热量。在林一些实施方案中，可通过调节第二区段内的热源或者若干热源 30 的输出热量来控制供给第一区段 52 和第二区段 54 的热量。可调节第一区段 52 和第二区段 54 内热源 30 的输出热量以便对因含烃层 32 内的热量分布而导致流体在地层中沿垂直和/或水平面的流动进行控制。例如输出热量可调节为地层内热流量和品质流量保持平衡，从而使地层中的物质（即地层内的流体和矿物基岩）能基本被均匀加热。

从第一区段采出井采出流体的方法可使采出井处的压力较低，从而产生一个压力梯度场。此压力梯度场可使邻近区段的可移动流体流入第一区段。在一些实施方案中，第二区段 54 中要提供增压流体（如通过注入井 58 提供）来增加第二区段中的烃向第一区段 52 的移动量。该增压流体可加大地层内的压力梯度，以便使可移动流体向第一区段 52 流动。一些实施方案中，从第一区段 52 采出流体的方法可使第二区段 54 内的压力维持在静岩压力之下（例如，低于能使上覆岩层破裂的压力）。

如图 4 所示，第三区段 56 可邻近第二区段 54。可由热源 30 向第三区段 56 供热。第三区段 56 内的热源 30 可采用类似第一区段 52 和/或第二区段 54 的热源 30 布局图进行布置。在一些实施方案中，按与第一区段 52 和/或第二区段 54 的热源 30 布局图不同的方式布置第三区段 56 的热源 30。一些实施方案中，第三区段 56 中的热源 30 间距比第一区段 52 中的热源 30 间距要大。热源 30 可给第三区段 56 提供热量以使第三区段内的至少一些烃可移动。

在一个实施方案中,采出第一混合物之后,可将第二区段 54 内的温度提高到热解温度。可移动流体就能从第三区段 56 流入第二区段 54。从第三区段 56 流入第二区段 54 的一些可移动流体可在第二区段 54 内被热解。可从第二区段 54 采出该混合物。从第二区段 54 采出的混合物包括至少一些热解烃。从第二区段 54 采出的混合物的 API 比重为至少约 20°、30°或 40°。可经采出井 36 和/或位于第二区段 54 内的热源 30 采出该混合物。可调控供给第三区段 56 和第二区段 54 的热量来控制重烃变轻烃的转化率和/或第二区段内采出的混合物具有所期望的性质。

在另一个实施方案中,使来自第三区段 56 的可移动流体流过第二区段 54 并进入第一区段 52。至少有一些来自第三区段 56 的可移动流体在第一区段 52 被热解。另外,来自第三区段 56 的至少一些可移动流体是作为第二混合物的一部分在第一区段 52 采出。随地层从第一区段 52 开始经过几个区段的采出,所采出流体中的重烃成分依次减少。

在一些实施方案中,在第三区段 56 中要提供增压流体(如通过注入井 58 提供)来增加第三区段 56 内的烃移动量。该增压流体能使可移动烃向第一区段 52 和/或第二区段 54 的流速提高。例如,在第三区段 56 和第一区段 52 之间形成压力梯度场以使流体从第三区段向第一区段的流速提高。

在一个实施方案中,可同时或间隔较短时间内开启向第一区段 52、第二区段 54 和/或其它区段的供热。在一个实施方案中,可在第一区段 52 中烃和其它流体(如盐水)基本枯竭后的同时开启向第二区段 54、第三区段 56 和任何其它后续区段的供热。在其它一些实施方案中,第一区段 52 与后续区段(例如第二区段 54、第三区段 56)间的开启推后时间例如可为约 1 年、1.5 年或 2 年。

可从第一区段 52 和/或第二区段 54 采出烃,使地层内最初所含烃物质有 50%(重量)被采出。在其它一些实施方案中,地层内最初所含烃物质有至少 60%或者 70%(重量)被采出。

采用 3-D 模拟实验进行现场处理沥青砂地层的大规模布局模拟。

图 5 示出一个布置在含烃层 32 中并用于大规模布局模拟的热源 30 和采出井 36 (A-E) 的布局图。热源 30 和采出井 36 (A-E) 沿水平方向布置在长度为 1000m 的含烃层 32 中。含烃层 32 的水平方向宽度为 145m 米, 垂直高度为 28 米。五个采出井 36 (A-E) 位于热源 30 的布局图内, 间距如图 5 所示。

第一级加热包括开启第一区段 62 中的热源 30。第一级加热过程中经第一区段 62 内的采出井 36A 进行采出。采出井 36A 的最小采出压力设定为 6.8 巴 (绝对值)。当流体在含烃层 32 中可移动和/或被热解时, 可经采出井 36A 采出流体。第一级加热过程在模拟实验的前 360 天进行。

第二级加热过程包括开启第二区段 64、第三区段 66、第四区段 68 和第五区段 70 中的热源 30。第二区段 64、第三区段 66、第四区段 68 和第五区段 70 中的热源 30 在第 360 天时开启。采出井 36 (B-E) 的最小采出压力设定为 6.8 巴 (绝对值)。

第一区段 62 中的热源 30 在 1860 天时关闭。1860 天时采出井 36A 停止采出。类似地, 其它区段 64、66、68、70 中的热源 30 在 2200 天后关闭。模拟实验在 2580 天时终止, 但经采出井 36 (B-E) 进行的采出继续进行。热源 30 维持在相对恒定的 1150 瓦输出热量/米。

第一级加热后可经采出井 36 (A-E) 的任何一个进行采出。因为前期阶段是经采出井 36A 采出流体, 当含烃层 32 其它区段中的流体可移动和/或被热解时, 地层中的流体往往会流向采出井 36A。流体流动主要归因于含烃层 32 中流体的汽相输运。

进入模拟实验约 800 天时, 第五区段 70 中的最大平均压力仍低于约 100 巴 (绝对值)。当第五区段 70 中的流体可移动 (即平均温度提高约到 100℃ 以上) 时压力就随之降低。

油产量在前 1500 天左右慢慢增加, 约 1500 天后快速增加, 1785 天时到最大值 880m³/天。约 1785 天后, 由于大部分流体已从含烃层 32 中采出, 因而产率下降。1785 天时的高产率可能是因为地层中烃热解后使地层内汽相输运速度较高的缘故。

前期的 1500 天左右气体产率慢慢增加，约 1500 天后快速增加，约 1800 天时达到最大值 23500 m³/天。达到最高气体产率的时间与达到最高油产率的时间基本相同。因此，最高油产率主要是源于高气体产率。

图 6 示出一种在地层中组合使用采出井和加热井来处理沥青砂地层的实施方案的示意图。热源 30 和 72 基本是水平布置在含烃层 32 内。热源 30 可以布置在含烃层 32 的上部 74。热源 72 可布置在含烃层 32 的下部 76。在一些实施方案中，热源 30、72 或是选定的热源可用作流体注入井。热源 30 和/或热源 72 在含烃层 32 中可成三角形分布。含烃层 32 中的热源布局图可依据各种因素（例如：地层宽度、所需加热速度和/或所需产率）按需要重复布置。

在一些实施方案中，热源 72 可布置在含烃层 32 的近底部处。热源 72 可布置在距地层底部约 1m-6m 处，距地层底部约 1m-4m 处或距地层底部约 1m-2m 处。在一些实施方案中，热源 30 和 72 的输入热量有所不同。输入热量有差异可降低成本和/或能生产所期望的产品。例如，可在地层内有一些流体可移动后将含烃层 32 上部的热源 30 关闭或关小。关停或减小加热器的热量输出可抑制烃蒸汽从地层采出之前发生蒸汽过度裂解的现象。关停或减小加热器或若干加热器的热量输出可降低加热地层的能耗。

图 7 是从另一个角度描述图 6 实施方案的示意图。热源 30 和 72 基本是水平布置在含烃层 32 中。热源 30 和 72 可经一或多个穿过上覆岩层 48 所形成的直井或斜井而进入含烃层 32。在一些实施方案中，每一热源都有各自的井眼。在其它一些实施方案中，从一个公共井眼可分支出一或若干热源。

可如图 6 和 7 所示经采出井 36 采出地层流体。在一些实施方案中，采出井 36 位于含烃层 32 的上部 74。采出井 36 可布置在接近地层的上覆岩层 48 处。例如，采出井 36 可位于距上覆岩层 48 约 1-20m 处、距上覆岩层 48 约 1-4m 处、距上覆岩层 48 约 1-3m 处。在一些实施方案中，至少有一些地层流体要经热源 30、72 或选定热源采出。

在一些实施方案中，为了移送烃或是说提高烃的移动性，要为沥青砂地层提供增压流体（例如气体）。提供增压流体的做法可提高施加于地层中烃流体上的剪切速率，使地层中的烃流体粘度降低。在一些实施方案中，是在有效加热地层之前给选定的区段提供增压流体。增压流体的注入可增加地层的可采部分。增压流体的注入可提高地层能量输出（亦即从地层采出产品的能含量）与输入地层能量（亦即处理地层的能耗）之比。

如图 6 所示，注入井 58 或若干注入井可布置在含烃层 32 中，以将增压流体引入地层。在某些实施方案中，注入井 58 可位于两个热源 30、72 之间。但注入井的位置是可以变动的。在某些实施方案中，增压流体是经布置在地层中的热源或者采出井注入的。在一些实施方案中，含烃层 32 中布置了一个以上的注入井 58。增压流体可包括气体例如象二氧化碳、 N_2 、蒸汽、 CH_4 和/或它们的组合形式。在一些实施方案中，从地层采出的流体（例如：燃烧气体、加热剂废气或采出的地层流体）可用作增压流体。供入增压流体将会使含烃层 32 中选定区段的压力增加。选定区段的压力可维持在选定压力以下。例如，该压力可以维持在约 35 巴（绝对值）、约 30 巴（绝对值）或者约 25 巴（绝对值）以下。压力的大小可由许多因素（例如：地层的深度、期望的产率、地层中焦油的初粘度等）来决定。

在一些实施方案中，通过控制增压流体进入选定区段的流速（即注射速率）来维持压力。在另一些实施方案中，通过变动增压流体的注入位置来控制压力。在另一些实施方案中，通过控制采出井 36 的产率来维持压力。

在某些实施方案中，热源可用来在注入井和采出井之间建立一个流体流动通道。热源所提供的热量可降低热源处或热源附近重烃的粘度。在烃流动通道建立之前减粘烃是不能移动的。通过沿着热源长度的不同位置和靠近热源处布置注入井和采出井的方法可建立起烃流动通道。经注入井提供的增压流体可产生一个减粘烃向采出井的流动。

图 8 示出一个在地层中使用增压流体实施方案的示意图。热源 30

基本是垂直布置在含烃层 32 中。注入井 58 和采出井 36 基本是水平布置在含烃层 32 中。热源 30 可为含烃层 32 提供热量以降低地层中烃的粘度。由于热前缘是自热源向外径向传播的，因此热源 30 或附近处烃的粘度比远离热源处烃的粘度更早下降。可经注入井 58 向含烃层 32 提供增压流体。增压流体可产生一个减粘烃向采出井 36 的流动。用增压流体的注入速率和/或采出井 36 处的压力来控制流速。

在一些实施方案中，当沿热源 30 长度上注入井 58 和采出井 36 之间已产生烃流动后，可减小或关闭热源。减小和/或关闭热源 30 能节省从含烃层 32 采出流体能量费用。采用注入增压流体使流体移向和清扫向注入井 36 的方法，可连续从含烃层 32 中采出流体。在某些实施方案中，可以在地面设施（如加热器）中将增压流体加热到较高温度。加热的增压流体可用来为含烃层 32 提供一些热量。在一个实施方案中，在热源 30 所提供的热量减小和/或关停后，加热的增压流体可用来维持地层内的温度。

在某些实施方案中，注入井 58、采出井 36 和热源 30 可采用另一类角度布置在含烃层 32 中。图 9 示出在含烃层 32 中使用增压流体的另一实施方案示意图。如图 9 所示，注入井 58 和采出井 36 基本是垂直布置在含烃层 32 中。热源 30 基本是水平布置在含烃层 32 中。如图 8 的实施方案中所示，通过注入增压流体而使粘度降低的烃是沿热源 30 的长度在注入井 58 和采出井 36 之间流动，

在选定的区段中提供增压流体的方法可以加大从地层中清扫出烃的力度（亦即提高被加热和从地层采出烃的总量）。加大对地层中烃的清扫力度可提高地层中烃的总采收率。在一些实施方案中，可从地层中采出最初估计烃量的 50%（重量）以上。在其它实施方案中，可从地层中采出最初估计烃量的 60% 或者 70%（重量）以上。

可通过控制流体从地层中的移出量和/或控制流体注入地层的速率来控制地层内的压力。在一个实施方案中，在重烃变为可移动和/或热解过程中部分沥青砂地层中的压力可提高到理想压力。理想压力与烃在地表下的深度有关。在一些实施方案中，理想压力可在从 2 巴到

70 巴（绝对值）的范围。当压力维持在 7-30 巴（绝对值）范围时就可采出烃液体。在可移动和/或热解过程中压力可发生变化或者被改变。可改变压力来控制采出流体的组成、控制可凝流体/不凝流体重量百分比和/或控制要采出流体的 API 比重。增加压力可以提高采出流体的 API 比重。增加压力也可以提高采出流体中链烷烃的百分比。

增加地层压力会提高地层采出流体中的氢气分压（hydrogen）。采出流体中的氢气分压源自于地层中升高的氢气分压。例如，采出流体中的氢气分压可能会自动升高或通过注入氢气而升高。升高氢气分压可进一步改质重烃。重烃可以减小为较轻的高品质烃。通过氢气与采出流体中的重烃碎片反应可生成较轻的烃。流体内容解的烃还可还原采出流体中的烯烃。因此流体中氢气分压升高能减少采出流体中烯烃的百分比。减少采出流体中烯烃和/或重烃的百分比可提高采出流体的品质（如 API 比重）。

在一个实施方案中，可对部分沥青砂地层进行加热来提高 H_2 分压。可在采出井、监测井、加热井和/或注入井处对 H_2 分压进行测量。在一些实施方案中，升高的 H_2 分压可包括从约 0.5 巴到 7 巴（绝对值）的范围的 H_2 分压。或者，升高的 H_2 分压包括从约 5 巴到 7 巴（绝对值）范围的 H_2 分压。例如，大部分采出烃流体中的 H_2 分压是在约 5 巴到 7 巴（绝对值）范围内。属于热解 H_2 分压的 H_2 分压范围例如可根据地层被加热部分的温度和压力而变动。

在一个实施方案中，可控制地层内的压力以提高理想碳数分布烃的产量。地层压力低有利于具有大部分采出流体是可凝烃的碳数分布烃的生产。在一些实施方案中，碳数分布的主峰碳数（最可几值）在约 12 到 16 之间。地层压力低可减少烃裂解成较轻烃的现象。地层压力高会使碳数分布主峰碳数移向左侧（向低碳原子数）方向移动。降低地层压力能提高可凝烃的产量而降低不凝烃的产量。较低地层压力下进行操作可抑制地层中产生二氧化碳和/或增加地层中烃的采收率。

通过在地层中形成一个压差可控制或降低沥青砂地层中的压力。在一个实施方案中，地层的第一区段可先于地层其它区段（亦即邻近

区段)进行加热。第一区段加热过程中,第一区段中的至少一些烃被热解。在其它区段开始加热之前或者开始加热的过程中(亦即在其它区段中的温度达到可移动温度之前的前期加热阶段)从第一区段采出热解的烃(例如轻烃)。在一些实施方案中,可以从第一区段采出一些未热解烃(例如重烃)。可在第一区段温度未达到热解温度的前期加热阶段采出未热解烃。从第一区段采出流体可在地层中建立一个压力梯度场,采出井处的压力为最低。

当邻近第一区段的地层区段被加热时,加给地层的热量可以降低烃的粘度而使烃可以移动。这些烃被称为可移动烃。可移动的液态烃在重力排泄作用下向下移动。因从第一区段采出流体而形成的压力梯度场使可移动的汽态烃向第一区段移动。可移动汽态烃向第一区段的运动可防止被加热和/或被热解区段中累积的压力过大。第一区段的温度可维持在要从第一区段的采出井采出的期望烃流体的冷凝温度以下。

经第一区段采出井采出来自其它区段流体的做法可减少从地层采出流体所需的采出井数量。地层其它区段中的压力(例如,其它区段中邻近热源处的压力)仍然较低。即使在相对较深的沥青砂地层中仍维持较低的地层压力。例如,在地面以下约 540m 处地层的压力可维持在约 15 巴(绝对值)以下。

控制被加热区段中的压力可防止热源中的套管挤坏。控制被加热区段中的压力可防止在热源处或附近处形成过量焦炭。通过控制烃从邻近区段采出井采出的产率和/或释放热源处或邻近处的压力来对被加热区段的压力进行控制。

图 10 示出一个处理沥青砂地层实施方案的平面视图。热源 30 可用来为含烃层 32 的 52、54 和 56 区段提供热量。热源 30 可按类似图 4 实施方案所示的布局图进行布置。采出井 36 可位于第一区段 52 的中心。采出井 36 基本是水平布置在第一区段 52 中。根据所期望的产率、所期望的产品品质或者特性等因素,可采用另外的采出井 36 位置和/或走向。

在一个实施方案中，可由热源 30 给第一区段 52 供热。提供给第一区段的热量可使第一区段内的至少一些烃可移动。在温度超过约 50 °C 或在一些实施方案中超过约 75 °C 或 100 °C 时第一区段 52 内的烃变为可移动（粘度显著降低）。在一个实施方案中，第一区段 52 达到热解温度之前不采出可移动烃。在提高第一区段 52 温度的同时不采出烃的做法会使第一区段内的压力升高。在一些实施方案中，经采出井 36 采出至少一些可移动烃，以防止地层内的压力过高。采出的可移动烃包括重烃、液态轻烃和/或未热解烃。在某些实施方案中，仅采出能使第一区段 52 中的压力维持在选定压力以下的部分可移动烃即可。选定压力例如可以是地层的静岩压力、天然静水压力或是一个为产生所期望产品特性而选择的压力。

在一个实施方案中，可由热源 30 给第一区段 52 供热以将第一区段 52 的温度升高热解温度。热解温度包括 250 °C 以上的温度。在一些实施方案中，热解温度可在约 270 °C、300 °C 或 325 °C 以上。可经采出井 36 或若干采出井从第一区段 52 采出热解烃。经采出井 36 或若干采出井采出的过程中，可由热源 30 给第二区段 54 供热以使第二区段内的烃可移动。将第二区段 54 进一步加热可使第二区段内的至少一些烃发生热解。还可由热源 30 给第三区段 56 提供热量以使第三区段内的一些烃变为可移动和/或发生热解。在一些实施方案中，第三区段 56 中的热源 30 是在第二区段 54 中的热源 30 之后开启。在另一些实施方案中，第三区段 56 中的热源 30 与第二区段 54 中的热源 30 同时开启。

利用采出井 36 或若干采出井从第一区段 52 开采烃可以在采出井处形成压降。压降是指与含烃层 32 中的压力相比采出井 36 或若干采出井四周为一个低压区。由于采出井处有压降，流体可从第二区段 54 和第三区段 56 流向采出井 36 或若干采出井。流向采出井 36 的流体包括至少一些汽态轻烃。在一些实施方案中，流体包括一些液态烃。与流体仍留在第二区段 54 和第三区段 56 中并被加热到较高温度的情况相比，流体向采出井 36 的流动能使第二区段 54 和第三区段 56 中维持较低压力。另外，流向采出井 36 的流体在加热区段的停留时间较短，

与仍留在加热区段的流体相比所经历的热解反应要少。可经采出井 36 采出第二区段 54 和/或第三区段 56 中的至少一部分流体。在某些实施方案中，在第二区段 54 和/或第三区段 56 中布置一或若干采出井，以便从这些区段采出一些烃。

最初在各区段（第一区段 52、第二区段 54 和第三区段 56）中存在的烃基本被采出后，关小或者关闭各区段的热源 30 以减小对给定区段的供热量。关小和/或关闭热源 30 可降低加热含烃层 32 的能耗。此外，关小和/或关闭热源 30 可在烃流向地层的采出井 36 或其它采出井时防止发生进一步的裂解。在一个实施方案中，第一区段 52 的热源 30 要先于第二区段 54 的热源 30 或第三区段 56 的热源 30 被关闭。各区段 52、54 和 56 中每个热源 30 的开启和持续时间可根据实验和/或模拟数据进行确定。

流体向采出井 36 的流动可增加含烃层 32 的烃采收率。一般来说，降低含烃层 32 中的压力往往能增加烃从地层的累积采收率，并减少不凝烃从地层的采出量。减少不凝烃的采出可使从地层采出混合物的 API 比重降低。在某些实施方案中，压力的选择应使所期望的采出混合物 API 比重和烃从地层的采收率之间保持平衡。流体向采出井 36 的流动可提高烃从地层清扫出来的效率。清扫效率的提高可使烃从地层的采收率增加。

在某些实施方案中，要选择含烃层 32 中的压力以便从地层采出具有期望品质的混合物。例如，可通过控制地层内加热速度、控制经采出井 36 或若干采出井的产率、控制热源 30 的启动时间、控制使用热源 30 的持续时间等来控制含烃层 32 中的压力。可对含烃层 32 中的压力连同其它操作条件（例如：温度、产率等）进行选择和控制来采出所期望品质的混合物。在某些实施方案中，地层中的压力和/或其它操作条件是根据所采出混合物的价格特点进行选择的。

在地层上部采出地层流体的方法能够采出基本为汽态的烃。可从位于沥青砂地层上部的采出井采出较轻的烃。从地层上部采出的烃品质要高于从地层下部采出的烃。经上层部位的井进行采出还可防止所

采出流体在采出井眼处结焦。经位于地层下部的井进行采出的方法能采出比上部采出烃更重的烃。较重的烃流体可含有大量的冷沥青或焦油。当经位于地层上部的井眼采出时，冷沥青或焦油采出量往往会减少。在一些实施方案中，地层上部包括地层的上半部分。但上部的尺寸会根据若干因素（例如：地层厚度、地层的垂向渗透率、地层深度、所期望的采出流体品质和/或所期望的产率）而有所变动。

在一些实施方案中，从地层采出混合物的品质可通过变动地层中混合物的采出位置来进行控制。采出混合物的品质可以根据不同指标（如混合物的 API 比重，碳数分布、混合物中各组分重量比和/或混合物中氢气分压）进行评级。混合物的其它品质包括但不限于混合物中重烃与轻烃比值和/或混合物中芳烃与链烷烃比值。在一个实施方案中，通过在处理过程的不同时间从不同采出井采出流体来改变混合物的采出位置。例如，通过变动采出井与热源间的距离来改变混合物的品质。从位于热源附近的采出井采出流体的方法能增强在采出井处或附近的裂解作用。采出的流体具有高 API 比重和高不凝烃分数。从不靠近热源或若干热源的采出井处采出流体的方法能够采出含较少不凝烃的流体。

在一些实施方案中，变动采出位置的方法包括改变混合物从烃层采出的部位。例如，可在地层采出过程中在不同时间从烃层的上层部位、烃层的中层部位和/或烃层的下层部位采出混合物。改变混合物从烃层采出部位的方法包括变动烃层中采出井的深度和/或变动采出井中采出混合物的深度。在某些实施方案中，上层部位采出比中层部位和下层部位采出更能提高采出混合物的品质。上层部位采出往往能增加从地层采出汽相和/或轻烃的量。下层部位采出会降低采出混合物的品质，但在较低部位（例如中层部位和下层部位）采出可使从地层和/或选定处理的一部分地层的总物质采收率（亦即采出物与烃层或选定那部分烃层中最初存在物的重量百分比）。在一些实施方案中，下层部位采出可提供最高的总物质采收率。

在某些实施方案中，上层部位包括最接近地层上覆岩层的约三分

之一烃层。但上层部位可包括最接近地层上覆岩层的高至约 35%、40% 或者 45% 烃层。下层部位可包括最接近地层下覆地层或基岩的一部分烃层，这部分烃层所占的百分比基本与上层部位所占的烃层百分比相等。中层部位可包括上层部位和下层部位间剩余的烃层。例如，上层部位包括最接近上覆岩层的约三分之一烃层，下层部位包括最接近下覆岩层的约三分之一烃层，则中层部位包括上层部位和下层部位之间的其余约三分之一烃层。图 11（如下文所述）示出在含烃层 32 中沿采出井 36 的上层部位 78、中层部位 80 和下层部位 82 的实施方案。

在一些实施方案中，下层部位在烃层中所占的百分比与上层部位所占百分比不同。例如，上层部位包括最接近上覆岩层的约 30% 烃层而下层部位包括最接近下覆岩层的约 40% 烃层，则中层部位包括上层部位和下层部位间剩余的约 30% 烃层。烃层中上层部位、中层部位和下层部位所占的百分比例如可根据地层中热源的位置、地层中热源的间距、地层的结构（如烃层内的不渗透层）等参数而变动。在一些实施方案中，烃层只包括上层部位和下层部位。上层部位、中层部位和/或下层部位在烃层中所占的百分比随烃层的渗透率不同而变动。渗透率在地层的垂直方向上可能有变动。例如，上层部位的渗透率可能低于下层部位的渗透率。

在一些地层中，烃层的上层部位、中层部位和下层部位可由各部位的特性来确定。例如，中层部位可包括地层中位置高至足以在至少一些烃可流动后不会有重烃在该部分沉积的部分。底层部位可包括在可移动化作用后因重力渗泄作用而使重烃基本沉积在此的部分。顶层部位可以是在至少一些重烃可移动后生产过程基本为汽相采出的部分。

在一个实施方案中，可通过变动采出井中的采出深度来改变采出混合物的位置。可从烃层的不同部位或不同位置采出混合物来控制采出混合物的品质。可调节采出井中的采出深度来改变混合物从烃层采出的部位。在一些实施方案中，在从地层采出混合物之前确定采出深度。在另一些实施方案中，采出深度可在采出混合物的过程中进行调

节，以便控制采出混合物的品质。在某些实施方案中，采出井中的采出深度包括沿采出井长度对采出位置进行变动。例如，采出位置可以是沿地层中采出井长度的任何深度。变动地层中的采出位置的深度可改变从地层采出的混合物品质。

在一些实施方案中，变动采出井中采出位置的方法包括改变采出井中填充层的高度。例如可改变采出井中填充层的高度来改变采出井中从地层采出流体的部位。采出井中的填充层往往能阻止流体在填充层所在位置采出。在其它实施方案中，变动采出井中采出位置的方法包括改变在采出混合物所用采出井眼上的穿孔位置。采出井眼上的穿孔用来使流体进入采出井内。变动这些穿孔的位置可改变流体进采出井的位置或若干位置。

图 11 示出一个位于含烃层 32 中的采出井 36 的实施方案的剖面图。含烃层 32 包括上层部位 78、中层部位 80 和下层部位 82。采出井 36 可处于含烃层 32 的全部三个部位 78、80 和 82 内或者只处在含烃层一或多个部位内。如图 11 所示，采出井 36 基本是垂直于含烃层 32 进行设置。然而，例如可根据所期望的产品品质、上覆岩层 48 的深度和所期望的产率等因素，采出井 36 可采取另一些角度（例如水平向或者介于水平向和垂直向之间的其它角度）布置在含烃层 32 中。

采出井 36 内可布置一个填充层 84。填充层 84 往往能阻止在采出井中填充层位置处采出流体（亦即在填充层处流体不能流向采出井 36）。可以调节采出井 36 内填充层 84 的高度来改变采出井中采出流体处的深度。例如，增大填充层高度降低地层中经采出井 36 采出流体处的最大深度。减小填充层高度将增加采出深度。在某些实施方案中，填充层 84 可布置在井眼内的不同深度以便能在不同高度处阻止流体的采出。可布置一个穿过填充层 84 的导管 86 以便深入到采出井 36 的填充层以下处采出流体。

可沿采出井 36 的长度布置一或多个穿孔 88。穿孔 88 用来使流体能够进入采出井 36 内。在某些实施方案中，可沿采出井 36 的全长布置穿孔 88，使流体能在沿采出井长度的任何位置处进入采出井 36。在

其它实施方案中，可变动穿孔 88 的位置来调节沿采出井 36 长度方向上用来从含烃层 32 采出流体的区段。在一些实施方案中，可以关闭一或若干穿孔 88 以禁止经一或若干穿孔采出流体。例如，可在想要禁止采出而关闭的穿孔 88 上方布置一个滑动元件。沿采出井 36 的某些穿孔 88 可在选定时间关闭或打开，以便能在选定时间里沿采出井的不同位置采出流体。

在一个实施方案中，从上层部位 78 采出第一混合物，从中层部位 80 采出第二混合物，从下层部位 82 采出第三混合物。可在处理含烃层 32 的过程中于不同时间采出第一、第二和第三混合物。例如，第一混合物可在第二混合物或者第三混合物之前采出，而第二混合物可在第三混合物之前采出。在某些实施方案中，所采出第一混合物应达到使其 API 比重大于约 20°。所采出第二混合物或第三混合物也应达到使各混合物的 API 比重大于约 20°。每个 API 比重大于约 20°的混合物的采出时间对每个混合物都不相同。例如，第一混合物的采出时间可早于第二混合物和第三混合物。第一混合物可更早采出的原因是第一混合物从上层部位 78 采出。前期上层部位 78 处的流体往往比中层部位 80 或下层部位 82 的流体具有更高的 API 比重，这是因地层内较重流体（例如重烃）的重力渗泄作用和/或在地层较高部位汽相产量较高的缘故，

从沥青砂地层采出的烃流体品质可用碳数分布来描述。通常，较低碳数分布的产品如碳原子数小于 25 的产品被认为比碳原子数高于 25 的产品更有价值。在一个实施方案中，沥青砂地层处理过程可包括给至少一些地层供热以便能从该地层采出大部分流体为碳原子数小于约 25 或例如小于约 20 的烃流体。例如所采出的可凝流体中碳原子数大于约 20 的流体要少于 20%（重量）。

现场处理方法可为沥青砂地层内的烃提供用来可移动化和/或热解的热量，以便从一些采用常规开采技术如地面采矿、溶解萃取等技术无法采出的地层中采出烃。这些烃存在于相对较深的沥青砂地层中。例如这些烃可存在于比地表下 500m 深但比地表下 700m 浅的沥青砂地

层中。这些较深沥青砂地层中的烃处于较冷温度下而使这些烃基本是不可移动的。由于随着地层在地表下深度的增加会使地层自然加热现象加剧，因而在较深地层（例如大于地面以下 700m 的深度）中发现的烃可移动性要略高一些。因其可移动性烃可能更容易从这些较深地层中采出。但这些烃通常是 API 比重低于 20°的重烃。在一些实施方案中，API 比重可能会低于 15°或者 10°。

从沥青砂地层采出的重烃可与轻烃混合，以使重烃可输送到地面设施（例如经管线泵送烃）。在一些实施方案中，经第二管线（或用货车）从其它地方（例如地面设施或另一采出点）将轻烃（例如石脑油）运来与重烃混合。购买轻烃和/或运送轻烃到地层处所花费用会使从地层采烃过程的费用显著增加。在一个实施方案中，采出轻烃的地点就在采出重烃的地层处或附近（如距地层处 100 公里以内）而不是用第二管线供应轻烃，这样就可使第二管线用于其它目的。除已用于泵送采出流体的第一管线外，第二管线可用来将采出流体从地层处泵送到地面设施。第二管线的这种利用方式进一步加大了在地层处或附近采出轻烃（调合剂）的经济可行性。另一个任选方法是在地层处建设一个地面设施或炼油厂。但这样做成本高且在某些情况下是不可能的。

在一个实施方案中，可在采出重烃的地层处或附近（亦即重烃采出点附近）采出轻烃（例如调合剂）。轻烃可与重烃混合以便形成可输送的混合物。将可输送混合物引入第一管线内，将流体输送到距采出点约 100 公里外的远方炼油厂或者运送设备。可输送混合物也可被引入到先前用来将调合剂（例如石脑油）输送到采出点或附近的第二管线中。在采出点或附近处采出调合剂的方法能使向远方炼油厂或运送设备的输送量显著提高而不用安装另外管线。另外，所用调合剂可由炼油厂回收和出售而不用送回重烃采出点。可输送混合物也用作作为远方炼油厂生产过程的原料。

在使用两条管线系统且其中的一条管线专门用于把调合剂输送到重烃采出点的实施方案中，重烃向现有的远方地面设施的输送量可能是一个限制因素。使用在重烃采出点或者附近处采出的调合剂能使重

烃向远方地面设施的输送量显著提高。在一些实施方案中，调合剂可用于清洗罐、管线、井眼等等。用于这些用途的调合剂将使从罐、管线或者井洗出的组分不会沉淀。

在一个实施方案中，重烃以第一混合物的形式从沥青砂地层的第一区段采出。重烃可以包括 API 比重低于 20°、15°或者 10°的烃。提供给第一区段的热量可使第一区段内至少一些烃可移动。第一混合物可包括至少一些来自第一区段的可移动烃。第一混合物中的重烃可包括含量高于饱和烃含量的沥青。例如，第一混合物的重烃中沥青与饱和烃的比例大于约 1、约 1.5 或大于约 2。

提供给地层第二区段的热量可将第二区段内的至少一些烃热解。可从第二区段采出第二混合物。第二混合物包括至少一些来自第二区段的热解烃。来自第二区段的热解烃包括第二区段采出的轻烃。第二混合物可包括较多量（与地层内发现的重烃或烃相比）的诸如石脑油、甲烷、乙烷或丙烷（即饱和烃）和/或芳烃的烃。在一些实施方案中，轻烃中的沥青与饱和烃比例小于约 0.5、小于约 0.05 或者小于约 0.005。

第二混合物的轻烃中的可凝成分可用作调合剂。除石脑油外，调合剂中还存在一些组分能使调合剂溶解大量的沥青和/或固体烃。调合剂可用于清洗罐、管线和其它有固体（或半固体）烃沉淀的容器。

与重烃相比，第二混合物的轻烃包括更少的氮、氧气和/或硫。例如，轻烃可结合有重量总百分比小于约 5%、小于约 2% 或小于约 1% 的氮、氧和硫。重烃可结合有重量总百分比大于约 10%、大于约 15% 或者大于约 18% 的氮、氧和硫。轻烃的 API 比重大于约 20°、大于约 30°或者大于约 40°。

可将第一混合物和第二混合物进行调合来形成第三混合物。第三混合物可在重烃采出设备处或附近的地面生产设施处形成。第三混合物可有选定的 API 比重。选定的 API 比重可以为至少 10°且在一些实施方案中为至少 20°或 30°。所选定的 API 比重应能使第三混合物进行有效运输（例如经管线输送）。

第三混合物中第一混合物与第二混合物的比例可由第一混合物与

第二混合物的 API 比重来确定。例如，第一混合物的 API 比重越低，则要生产具有选定 API 比重的第三混合物所需的第二混合物就越多。类似地，若要提高第二混合物的 API 比重，就要增大第一混合物/第二混合物的比值。在一些实施方案中，第三混合物中第一混合物/第二混合物的比值至少为 3: 1。也可采用其它比例来生产具有所期望 API 比重的第三混合物。在某些实施方案中，可选择第一混合物与第二混合物的比例从而使地层的总物质采收率尽可能高。在一个实施方案中，第一混合物与第二混合物的比例选定为能将地层中最初烃质量的至少 50%（重量）采出。在其它一些实施方案中，地层中最初烃质量的至少 60% 或者 70% 重量被采出。在一些实施方案中，第一混合物和第二混合物按能使从地层的采收率高于仅从地层采出第二混合物（亦即现场处理地层来生产轻烃）的特定比例进行调合。

可根据所期望的粘度、所期望的沸点、所期望的组成、所期望的各组分比例（例如所期望的沥青与饱和烃之比或者所期望的芳烃与饱和烃之比）和/或所期望的第三混合物的密度来选择第三混合物中第一混合物与第二混合物的比例。所选定的粘度和密度应使第三混合物能经管线输送或者可在地面设施中使用。在一些实施方案中，粘度（在大约 4℃ 时）可选择为小于约 7500 厘沲（cs）、小于约 2000 厘沲、小于约 100 厘沲或小于约 10 厘沲。厘沲是运动粘度单位。运动粘度乘以密度绝对粘度。密度（在大约 4℃ 时）可以选择为小于约 1.0g/cm³、小于约 0.95 g/cm³ 或者小于约 0.9 g/cm³。沥青与饱和烃之比可以选择为小于约 1、小于约 0.9 或者小于约 0.7。芳烃与饱和烃之比可选为小于约 4、小于约 3.5 或者小于约 2.5。

在一个实施方案中，第三混合物中第一混合物与第二混合物的比例可根据第三混合物的相对稳定性来选择。第三混合物的一或若干组分可能从第三混合物中沉淀出来。例如沥青沉淀物可能是因一些重烃和轻烃混合物所带来的问题。当流体被减压（如从增压地层或容器移出时）和/或混合物组分有变化时沥青质可能会沉降。为使第三混合物能经管线输送或在地面设施中使用，可能需要第三混合物有最低相对

稳定性。最低相对稳定性包括第一混合物与第二混合物之比应能使沥青质不会在室温和/或升温条件下从第三混合物中沉降出来。可用实验来确定能形成相对稳定第三混合物所需要的第一混合物与第二混合物之比。例如，诱导沉降法、色谱分析法、滴定法和/或激光技术可用来确定第三混合物中沥青的稳定性。在一些实施方案中，沥青质从混合物中沉降出来但仍能悬浮于混合物中，因而该混合物可以进行运输。通过现场处理采出的调合剂具有良好的与重烃调合特性（即重烃从与调合剂的混合物中沉降出来的可能性很小）。

在某些实施方案中，第二混合物（亦即轻烃混合物）中的树脂含量可以决定第三混合物的稳定性。例如，第二混合物中可能存在诸如软沥青或含杂原子如 N、S 或 O 树脂的一些树脂。通过将第一混合物与第二混合物进行混合，这些树脂可提高所形成的第三混合物的稳定性。在一些情况下，树脂可使沥青悬浮于混合物中并阻止沥青质沉降。

在某些实施方案中，市场状况可决定第三混合物的性质。市场状况的实例包括但不限于对选定的辛烷值汽油的需求、寒冷气候下需要加热油品的需求、选定的柴油十六烷值的需求、选定的喷气燃料烟点的需求、化学合成所用的气态产品混合物的需求、含一定硫或氧化物量的车用燃料的需求或选定化学过程对原料的需求。

在一个实施方案中，可从沥青砂地层的一个区段采出调合剂。“调合剂”是一种能与另一种材料混合而形成具有所期望性质（例如粘度、密度、API 比重等）混合物的材料。调合剂可以包括至少一些热解烃。调合剂可以包括上述轻烃的第二混合物的一些性质。例如，调合剂的 API 比重可为大于约 20°、大于约 30°或大于约 40°。调合剂可与重烃调合来形成具有选定 API 比重的混合物。例如，调合剂可与 API 比重约 15°以下的重烃调合来形成 API 比重至少约为 20°的混合物。在某些实施方案中，调合剂可与重烃调合来形成可输送混合物（例如可在管线中流动）。在某些实施方案中，重烃是从沥青砂地层的另一区段采出的。在另一些实施方案中，重烃是从另一个沥青砂地层或含重烃的任何其它地层采出的。

在一些实施方案中，地层的第一区段和第二区段可以位于同一地层的不同深度。例如，可从深度约 500m 到约 1500m 之间的区段、从深度约 500m 到约 1200m 之间的区段或从深度约 500m 到约 800m 之间区段采出重烃。在这些深度处，因油藏内自然温度较高，重烃略可移动（和可采出）。可从深度约 10m 到约 500m 之间的区段、从深度约 10m 到约 400m 之间的区段或从深度约 10m 到约 250m 之间的区段采出轻烃。在这些深度较浅处，因深度较浅处的自然温度较低，重烃不易采出。此外，由于水冲刷和/或细菌降解作用增强，在这些深度较浅处重烃的 API 比重较低。在其它实施方案中，重烃和轻烃是从地下深度接近的第一区段和第二区段采出。在另一个实施方案中，轻烃和重烃是从不同地层中采出，但是两个不同地层的相互距离较近。

在一个实施方案中，重烃是从深度约 760m 到约 1070m 之间的地层中（例如 Faja（委内瑞拉）的地层）冷采的。采出烃的 API 比重小于约 9° 。重烃冷采法的定义一般是指不给地层或采出井提供热量（或者仅提供很少热量）而采出温热（亦即可移动）重烃的过程。在其它实施方案中，可通过蒸汽注入法或蒸汽注入与冷采法相结合来采出重烃。重烃可与调合剂混合，以便将所采出重烃经管线输送。在一个实施方案中，调合剂是石脑油。石脑油可在远离地层的的一个地面设施中生产。

在其它实施方案中，可采用现场转化处理法，将重烃与从地层较浅区段采出的调合剂进行混合。较浅区段可在深度小于约 400m（例如小于 150m）处。地层较浅区段可含有 API 比重小于约 7° 的重烃。调合剂可包括通过将地层较浅区段中的某些重烃进行热解而生成的轻烃。调合剂的 API 比重约在 35° 以上（例如在 40° 以上）。

在某些实施方案中，可在沥青砂地层的第一部分采出调合剂，再将其注入到（例如注入采出井）沥青砂地层的第二部分（或者，在某些实施方案中，第二部分在另一个沥青砂地层中）。可以从第二部分采出重烃（例如通过冷采法）。与调合剂的混合过程可在采出井中和/或地层第二部分中进行。可经第一部分中的采出井采出调合剂再将其泵

送到第二部分的采出井。在一些实施方案中，可在与重烃混合液将调合剂中的非烃流体（例如水或二氧化碳）、相-相分离烃和/或其它不期望的流体分离出去。

将调合剂注入沥青砂地层一部分的方法能使调合剂与该部分中的重烃混合。调合剂可用来帮助从该地层中采出重烃。调合剂可降低该地层内重烃的粘度。降低地层内重烃的粘度可减轻与重烃冷采有关的结块问题或其它问题。在一些实施方案中，调合剂可处于较高温度并可用来给地层提供至少一些热量以加大地层内重烃的可移动性（亦即降低粘度）。调合剂升高的温度可以是一个大约为调合剂采出时的温度减去调合剂采出和运输过程中一些热量损失后的温度。在某些实施方案中，调合剂可经一个绝热管线输送以降低输送过程中的热量损失。

调合剂可与冷采重烃按照选定比例混合来形成具有选定 API 比重的第三混合物。例如，调合剂可与冷采重烃按 1: 2 或者 1: 4 的比例混合，以形成 API 比重大于约 20°的第三混合物。在某些实施方案中，第三混合物的 API 比重大于约 25°或是 API 比重高至足以使第三混合物可经导管或管线输送。在一些实施方案中，第三烃混合物的 API 比重介于约 20°到约 45°之间。在其它实施方案中，调合剂可与冷采重烃混合形成具有选定粘度、选定稳定性和/或选定密度的第三混合物。

第三混合物可经一个地层与地面设施或炼油厂之间的导管例如管线来输送。第三混合物可经管线输送到另一个用于进一步运输的地方（例如，混合物可经管线输送到位于河流或者海岸的一个设备，混合物将从这些地方被油轮输送到处理厂或者炼油厂）。在地层处采出调合剂（亦即从地层采出调合剂）的方法可降低从地层采出烃的总成本。此外，在地层处采出第三烃混合物的方法可省去另外供应轻烃和/或在该地点建造地面设施的需求。

在一个实施方案中，从沥青砂地层采出的第三烃混合物可包括约 20%（重量）或以上的轻烃（例如约 50%（重量）或者 80%（重量）的轻烃）和 80%（重量）或以下的重烃（例如约 50%（重量）或者约 20%（重量）的重烃）。轻烃和重烃的重量百分比可根据例如轻烃和重

烃的重量分布（或 API 比重）、第三混合物的相对稳定性或者所期望的混合物 API 比重而变动。在某些实施方案中，可选择轻烃的重量百分比，以便能将最少量的轻烃与重烃混合形成具有所期望密度和粘度的混合物。

图 12 示出一个用来采出第一混合物以便与第二混合物调合的沥青砂地层的实施方案的平面图。沥青砂地层 90 可包括第一区段 92 和第二区段 94。例如，第一区段 92 可处在例如大于地表下约 800m 的深度。第一区段 92 中的重烃可经第一区段中的采出井 96 采出。由于第一区段 92 的深度所致，第一区段 92 中的重烃无须加热就可采出。第一区段 92 可处于能自然加热而使第一区段中重烃可移动的深度以下。在一些实施方案中，可给第一区段 92 提供至少一些热量以使第一区段 92 中的流体可移动。

可用位于第二区段内的热源 30 来加热第二区段 94。图 12 示出的热源 30 为基本上水平的热源。热源 30 所提供的热量可将第二区段 94 内的至少一些烃热解。热解的流体可经采出井 36 从第二区段 94 采出。图 12 示出的采出井 36 为基本上垂直的采出井。

在一个实施方案中，重烃在第一混合物中经采出井 96 从第一区段 92 中采出。轻烃（亦即热解烃）是在第二混合物中经采出井 36 采出。第一混合物和第二混合物可在地面设施 100 中混合以形成第三混合物。第一混合物和第二混合物可按选定比例混合以便能形成所期望的第三混合物。第三混合物可经管线 98 输送到生产设施或者运输设备。生产设施或者运输设备可在远离地面设施 100 的地方。在一些实施方案中，可用卡车或者轮船将第三混合物运送到生产设施或者运输设备。在某些实施方案中，地面设施 100 可以是一个将采出井 96 采出混合物与采出井 36 采出混合物进行混合的简单混合站。

在某些实施方案中，从第二区段 94 采出的调合剂可经采出井 96 注入到第一区段 92 中。调合剂与第一区段 92 中的重烃混合后可经采出井 96 采出重烃与轻烃的混合物。在一些实施方案中，可通过将第二区段 94 采出的混合物中一些不期望的组分（例如水）分离出后形成调

合剂。调合剂可在地面设施生产。可经采出井 96 将调合剂从地面设施泵送并进入第一区段 92。

图 13 和 14 示出一个实验结果。在该实验中，经热解过程形成的调合剂 102 以不同比例与阿萨巴斯卡焦油（重烃 110）混合形成三种调合混合物。第一混合物 104 包括 80% 调合剂 102 和 20% 重烃 110。第二混合物 106 包括 50% 调合剂 102 和 50% 重烃 110。第三混合物 108 包括 20% 调合剂 102 和 80% 重烃 110。测定调合剂、重烃和各混合物的组成、性质和沥青质稳定性。

表 1 是混合物组成的测定结果。SARA 分析法测定基于拔顶油的组成。SARA 分析包括结合使用诱导沉降（对于沥青）法和色谱柱分析法。还测定了基于全油的组成。

表 1

调合物	调合比	基于拔顶油的组成(SARA)				基于全油的组成	
		Sat	Aro	NSO	Asph	NSO	Asph
102	0:100	43.4	46.5	9.8	0.23	0.42	0.01
104	20:80	20.6	49.4	20.6	9.30	4.91	2.21
106	50:50	15.3	51.5	20.1	13.0	10.7	6.91
108	80:20	14.4	51.5	20.8	13.1	16.4	10.3
110	100:0	12.5	52.8	20.2	14.5	18.4	13.2

关键词:

Sat 饱和烃

Aro 芳烃

NSO 树脂（含杂原子例如 N、S 和 O）

Asph 沥青质

全油基本组成中沥青质含量随混合物中调合剂 102 的百分比呈线性变化。图 13 示出各个调合物（102、104、106、108 和 110）的 SARA 分析结果（饱和烃/芳烃比与沥青质/树脂比的关系）。图 13 的曲线示出依据 SARA 分析结果稳定混合物和不稳定混合物之间的差别。SARA 分析过程的拔顶处理步骤去除了调合剂 102 的大部分影响（与基于全

油的组成相比), 造成图 13 中的非线性分布。所绘的第一混合物 104、第二混合物 106 和第三混合物 108 比调合剂 102 更靠近重烃 110。此外, 所绘的第二混合物 106 和第三混合物 108 比较接近。所有调合物 (102、104、106、108 和 110) 都绘在临界稳定性区域内。

调合剂 102 中包括极少量的沥青质 (0.01% (重量), 基于全油组成), 重烃 110 约占 13.2% (重量) (基于全油组成), 混合物 (104、106 和 108) 中沥青质的量在 2.2% (重量) 到 10.3% (重量) (基于全油组成) 间变动。全油性质的其它指标是饱和烃/芳烃比和沥青质/树脂比。第一混合物 104 的沥青质/树脂比最低, 该混合物所用的调合剂 102 百分比最大。第二混合物 106 和第三混合物 108 的沥青质/树脂比近似, 这表明混合物中的大部分树脂源于重烃 110 的贡献。各混合物的饱和物/芳烃比相对近似。

在三个温度 4.4°C (40°F)、21°C (70°F) 和 32°C (90°F) 下测定混合物的密度和粘度。还测定了混合物在 15°C (60°F) 下的密度和 API 比重, 并用于计算在其它温度下的 API 比重。此外, 测定了三个混合物 (104、106 和 108) 各自的絮凝点分析值 (FPA)。FPA 是通过正庚烷滴定法来确定的。用近红外激光器确定絮凝点。从溶液沉降出的沥青质会阻断光源。FPA 实验用一组已知问题和没问题混合物的值进行修正。通常, FPA 值小于 2.5 被认为是不稳定的, 大于 3.0 被认为是稳定的, 2.5-3.0 之间认为是临界状态。表 2 示出三个混合物在四个温度下的 FPA、密度、粘度和 API 比重的值。

调合物	FPA	温度			15°C			4.4°C			21°C			32°C		
		Spec. Grav.	Density (g/cc)	API	Density (g/cc)	Visc. (cs)	API	Density (g/cc)	Visc. (cs)	API	Density (g/cc)	Visc. (cs)	API	Density (g/cc)	Visc. (cs)	API
104	1.5	0.845	0.8443	35.9	0.8535	4.20	34.12	0.8405	2.95	36.7	0.8324	2.39	39.3			
106	2.2	0.909	0.186	24.1	0.9177	53.9	22.54	0.9052	25.6	24.7	0.8974	16.2	26.0			
108	2.8	0.976	0.9751	13.5	0.9839	5934	12.18	0.9717	1267	14.0	0.9643	531.6	15.1			

关键词

FPA 絮凝点分析值

Spec. Grav. 相对于水的比重

Density (g/cc) 密度, 单位: 克/立方厘米

API 相对于水的 API 比重

Visc. (cs) 粘度, 单位: 厘沲

FPA 实验结果表明含有较少量重烃的混合物不太稳定。稳定性较差原因可能是已在这些混合物中有一定比例会降低沥青质溶解度的脂族组分的缘故。第一混合物 104 是最不稳定的，其 FPA 值为 1.5，示出不稳定性与沥青质沉降的关系。

第二混合物 106 呈现出不同性能。第二混合物 106 的 FPA 值为 2.2，示出不稳定性与沥青质沉降的关系。FPA 分析表明沥青质发生沉降、重新溶解、然后随着正庚烷的持续加入而再次沉降。

第三混合物 108 的 FPA 分析表明，如同第二混合物 106 所出现的情况，沥青质发生沉降、重新溶解、然后随着正庚烷的持续加入而再次沉降。但第三混合物 108 的第一次沉降没有第二混合物 106 的明显。第三混合物 108 的 FPA 值为 2.8，表明第三混合物具有临界稳定性。样品混合物的高粘度所带来的缓慢均质化问题最可能是导致沉降、重新溶解、然后随着正庚烷的持续加入而再次沉降的原因。

随着温度的提高，各个混合物（104、106 和 108）都示出相似的密度变化。API 值随密度的降低而相应增加。但各混合物的粘度变化有所不同。

第一混合物 104 的粘度受温度影响最小，21℃ 和 32℃ 下的粘度分别为 4.4℃ 下粘度的约 70% 和约 57%。第二混合物 106 的 21℃ 下粘度降低到原值（4.4℃ 下的粘度）的约 48% 且 32℃ 下降低到原值的约 30%。第三混合物 108 受温度影响最大，21℃ 和 32℃ 时的粘度分别为原值的约 21% 和约 9%。如图 14 所示，在粘度与温度的对数曲线上，粘度变化近似呈线性关系。

对三个天然沥青砂基岩中所含的焦油样品进行实验室实验。三个焦油样品从西加拿大的阿萨巴斯卡沥青砂矿区采集。在每种情况下，将从井眼收集的岩芯材料混合然后进行破碎处理。破碎后的岩芯材料一份用于蒸馏处理，而另一个重复抽样的等分样品则保存用于对比分析。所取样材料包括砂矿基岩内的焦油样品。

各实验所采用的加热速率为 1℃/天、5℃/天和 10℃/天不等。各实验所采用的压力为 1 巴、7.9 巴和 28.6 巴不等。实验#78 在无背压（约

1 巴绝对值)和加热速率为 1℃/天的条件下进行。实验#79 在无背压(约 1 巴绝对值)和加热速率为 5℃/天的条件下进行。实验#81 在无背压(约 1 巴绝对值)和加热速率为 10℃/天的条件下进行。实验#86 在 7.9 巴(绝对值)和加热速率为 10℃/天的条件下进行。实验#96 在 28.6 巴(绝对值)和加热速率为 10℃/天的条件下进行。通常,最初需要 0.5 到 1.5 千克样品才能装满蒸馏室。

表 3 示出实验#81、实验#86 和实验#96 中最初焦油样品和所产出流体的元素分析结果。这些数据全部采用 10℃/天的加热速率。各实验的差别仅是压力不同。

表 3

实验#	P (巴)	C (重%)	H (重%)	N (重%)	O (重%)	S (重%)
最初焦油	----	76.58	11.28	1.87	5.96	4.32
81	1	85.31	12.17	0.08	----	2.47
86	7.9	81.78	11.69	0.06	4.71	1.76
96	28.6	82.68	11.65	0.03	4.31	1.33

如表 3 所示,沥青砂的热解过程降低了产出流体中的氮、硫和氧的重量百分比。提高热解实验中的压力看来能降低采出流体中的氮、硫和氧的重量百分比。

表 4 示出实验#81、实验#86、实验#96 和最初焦油的 NOISE (氮氧化物离子化频谱分析评价法)分析数据。高分子量残渣中发现仍留有一定重量百分比(47.2%)的最初焦油。

表 4

实验#	P (巴)	链烷烃 (重%)	环烷烃 (重%)	苯酚 (重%)	单环芳烃 (重%)
最初焦油	----	7.08	29.15	0	6.73
81	1	15.36	46.7	0.34	21.04
86	7.9	27.16	45.8	0.54	16.88
96	28.6	26.45	36.56	0.47	28.0

实验#	P (巴)	双环芳烃 (重%)	三环芳烃 (重%)	四环芳烃 (重%)
最初焦油	----	8.12	1.70	0.02
81	1	14.83	1.72	0.01
86	7.9	9.09	0.53	0
96	28.6	8.52	0	0

如表 4 所示，沥青砂热解所产出的流体产物中链烷烃、环烷烃和单环芳烃的重量百分比最初沥青砂中所发现的明显要高。压力提高到 7.9 巴（绝对值）看来基本上消除了四环芳烃的产出。进一步将压力提高到 28.6（绝对值）看来基本上消除了三环芳烃的产出。提高压力看来还能减少双环芳烃的产出。压力提高到 28.6（绝对值）看来还能显著增加单环芳烃的产出。这可能是因为在较高压力下氢气分压提高的缘故。氢气分压提高能减少多环芳烃化合物的数量并增加单环芳烃、链烷烃和/或环烷的数量。

图 15 示出最初焦油 112 和压力为 1 巴（绝对值）的实验 114、压力为 7.9 巴（绝对值）的实验 116 和压力为 28.6 巴（绝对值）的实验 118 中不同碳原子数的碳化合物所对应重量百分比的曲线，加热速率为 10℃/天。从最初焦油 112 和压力为 1 巴（绝对值）的实验 114 的曲线可以看出，热解作用使平均碳数分布移向较低的碳数。例如，112 的碳数分布曲线中平均碳数约为碳原子数 19，而 114 的碳数分布曲线中平均碳数约为碳原子数 17。压力提高到 7.9 巴（绝对值）的实验 116 则使平均碳数分布进一步移向更低的碳原子数。压力提高到 7.9 巴（绝对值）的实验 116 使碳数分布中平均碳数移到约碳原子数 13。压力提高到 28.6 巴（绝对值）的实验 118 使平均碳数降低到约 11。据信提高压力能够通过提高产物流体中的氢气分压而降低平均碳数。产物流体中氢气分压升高能使氢化反应、脱芳构化反应和/或大分子热解形成较小分子的反应得以进行。增加压力还能提高产出流体的品质。例如，流体的 API 比重从最初焦油样品的约 6°提高到压力 1 巴（绝对值）时

的 31°、压力为 7.9 巴（绝对值）时的 39°和压力为 28.6 巴（绝对值）时的 45°。

在一个滚筒中装入阿萨巴斯卡沥青砂并加热。从滚筒中产出蒸汽，将其冷却、分离成液体和气体，然后进行分析。进行两个独立实验，每个实验使用来自同一批次的沥青砂，但一个实验中滚筒压力维持在 1 巴（绝对值）（低压实验），而另一个实验中滚筒压力维持在 6.9 巴（绝对值）（高压实验）。温度升高时，使滚筒压力自动提高到所维持的压力。

图 16 示出当滚筒温度升高时滚筒所产出液体的 API 比重。曲线 120 表示高压实验的结果而曲线 122 表示低压实验的结果。如图 16 所示，较高滚筒压力下能够产出较高品质的流体。据信在较高滚筒压力下形成较高品质流体的原因是在高压实验过程中滚筒内发生了更多的氢化反应。尽管高压实验中气体内的氢气浓度较低，但滚筒压力很高，因此，高压实验中滚筒内的氢气分压较大。

采用三维（3-D）模拟模型（STARS，计算机建模小组(CMG)，卡尔加里，加拿大）来模拟沥青砂地层现场转化处理过程。采用另一类数字编码（CFX, AEA Technology, Oxfordshire, UK）来计算注热量。初始注热量计算为 500 瓦/英尺（1640 瓦/米）。该三维模拟以沥青砂所用的膨胀-再压缩模型为基础。所用的目标区厚度为 50 米。依据加拿大北阿尔伯达省的沥青砂地层的平均油藏性质，模拟过程所输入数据如下：

目标区深度 = 280m;

厚度 = 50m;

孔隙度 = 0.27;

油饱和度 = 0.84;

水饱和度 = 0.16;

渗透率 = 1000 毫达;

垂向渗透率/横向渗透率 = 0.1;

上覆岩层 = 页岩; 和

基岩 = 湿碳酸岩。

根据阿萨巴斯卡沥青砂中所发现的流体种类,在 STARS 模拟过程中使用 6 个组分的流体。这 6 个组分流体是:重流体、轻流体、气体、水、预焦物 (pre-char) 和焦炭。加热井间的间距设定为 9.1m,呈三角形布局分布,在一个模拟实验中,使用 11 个水平加热器,每个加热器长度为 91.4m,初始输出热量按预先计算的值设定为约 1640 瓦/米。在地层中央布置一个垂直采出井。

图 17 例示说明重烃 124 和轻烃 126 的油产率($\text{m}^3/\text{天}$)与时间(天)的关系。重烃 124 在约 150 天时达到最大值 $3 \text{ m}^3/\text{天}$ 。轻烃 126 在约 950 天时达到最大值 $9.6 \text{ m}^3/\text{天}$ 。此外,在轻烃 126 开始产出之前几乎所有重烃 124 就已采完。重烃较早产出要归因于冷重烃(相对未加热和未热解重烃而言)的产出。

在一些实施方案中,不需要过早产出重烃。图 18 说明在加热前期 500 天禁采条件下重烃 128 和轻烃的 130 的油产率($\text{m}^3/\text{天}$)与时间的关系。图 18 中重烃 128 的产量显著低于图 17 中重烃 124 的产量。而图 18 中轻烃 130 的产量要高于图 17 中轻烃 126 的产量,约 950 天时达到最大值 $11.5 \text{ m}^3/\text{天}$ 。通过在加热前期 500 天禁采的方法可提高轻烃/重烃百分比。

图 19 说明三个不同位置的水平采出井:顶部 132、中部 134 和底部 136 所得到的油累积采收百分率与时间(天)的关系。最高的油累积采收率是用底层部位采出井 136 获得的。中部采出井 134 和顶部采出井 132 的油累积采收率差别较小。图 20 说明在中部采出井和底部采出井处重烃和轻烃产率($\text{m}^3/\text{天}$)与时间关系。如图 20 所示,底部采出井 138 的重烃产量高于中部采出井 140 的重烃产量。底部采出井 142 的轻烃产量与中部采出井 144 的轻烃产量之间的差别较小。底部采出井获得较高油累积采收率(如图 19 所示)的原因是重烃产量增加。

用 3-D 模拟模型(STARS)来模拟沥青砂地层现场转化过程。采用有限差分模拟(CFX)的另一类数字编码来计算地层的井眼布局所需的热量输入值数据。热量输入值数据用作三维模拟模型的边界条

件。

模拟所用参数以加拿大阿尔伯达省 Peace River 盆地的地层性质为基础:

地层厚度 = 28m, 地层有三层(河口层, 下河口层和河流沉积层);

河口层厚度 = 10m (地层的上层部位);

孔隙度=0.28;

渗透率=150 毫达;

垂向渗透率/横向渗透率=0.07;

油饱和度=0.79;

下河口层厚度=9m(地层的中层部位);

孔隙度=0.28;

渗透率=825 毫达;

垂向渗透率/横向渗透率=0.6;

油饱和度=0.81;

河流沉积层厚度=9m(地层下部);

孔隙度=0.30;

渗透率=1500 毫达;

垂向渗透率/水平渗透率=0.7;和

油饱和度=0.81。

图 21 示出在 3-D STARS 模拟实验中所用的 6 个加热井 146 在地层 148 中的布局图。如图 21 所示, 加热井之间的水平间距为约 15m, 且加热井的水平长度为 91.4m。采出井位置在中层部位 150 和底层部位 152 之间变动, 图 22 和 23 示出实验数据。

图 22 说明采用中层部位采出井和井底压力为 7.9 巴(绝对值)条件下采出的油 API 比重以及重烃和轻烃的油产率 ($\text{m}^3/\text{天}$)。如图 22 所示, 轻烃 154 的产出时间要晚于重烃 156 的产出时间。在轻烃 154 产率达到最大(约第 900 天)和重烃 156 基本采完的同时, 组合采出的 158 的 API 比重增加到最大值 40°。

图 23 说明采用底层部位采出井和井底压力约为 7.9 巴(绝对值)

条件下采出的油 API 比重以及重烃和轻烃的油产率 ($\text{m}^3/\text{天}$)。如图 23 所示, 与图 22 对中部采出井所示出的情况相似, 轻烃 160 的产出时间晚于重烃 162 的产出时间。组合采出的 164 的 API 比重在 1200 天达到最大值 35° , 约同一时间重烃 156 采完。与用中层部位采出井得到的 API 比重 (图 22 所示) 相比, 图 23 中 API 比重较低的原因可能缘于早期采出过程中重 (冷) 烃产出量的增加。

图 24 说明 3-D STARS 模拟实验所采用的另一种加热井和采出井布局图。加热井 166 (a-l) 以如图 24 所示的交替三角形布局水平布置在地层 148 中。加热井 166 (a-l) 之间的水平间距约为 6m。以交替三角形布局的加热井的水平长度为 91.4m。水平采出井布置在地层顶部 (顶部采出井 168)、地层中部 (中部采出井 170) 或者地层底部 (底部采出井 172) 附近。加热井距地层的不渗透部分 (例如下覆和/或上覆岩层) 约 3m。

图 25 说明采用底部采出井和井底压力约为 7.9 巴 (绝对值) 条件下重烃 174 和轻烃 176 的油产率 ($\text{m}^3/\text{天}$) 与时间 (天) 的关系。如图 25 所示, 在生产早期 (约前 250 天) 重烃 174 的采出量非常显著。约 200 天后油生产似乎移向轻烃 176 的产出。曲线 178 说明地层中的平均压力与时间的关系。在重烃采出的早期阶段地层中的平均压力示出是上升的。当轻烃开始采出时, 平均压力开始下降。

图 26 说明采用中部采出井和井底压力约为 7.9 巴 (绝对值) 条件下重烃 180 和轻烃 182 的油产率 ($\text{m}^3/\text{天}$) 与时间 (天) 的关系。如图 26 所示, 在轻烃产出之前就有一些重烃产出。但与采用底部采出井的模拟实验相比 (如图 25 所示), 重烃产量要少。在图 26 中重烃最高产率为 $9\text{m}^3/\text{天}$, 而图 25 中重烃最高产率为 $23\text{m}^3/\text{天}$ 。曲线 184 说明地层中的平均压力与时间的关系。在重烃采出的早期阶段地层中的平均压力略有增加, 随着轻烃开始采出则压力会略有下降。

图 27 说明采用顶部采出井和井底压力约为 7.9 巴 (绝对值) 条件下重烃 186 和轻烃 188 的油产率 ($\text{m}^3/\text{天}$) 与时间 (天) 的关系。如图 27 所示, 顶部采出井的轻烃产量略高于中部采出井的轻烃产量 (如图

26 所示)。顶部采出井的重烃产量小于底部采出井的重烃产量(如图 25 所示)。采出井越靠近地层的顶部,重烃的产量就越低。重烃产量降低的原因可能是当重烃可移动时因重烃的重力渗泄作用而造成的,以及在地层顶部汽相流体产出量增加导致的。曲线 190 说明地层中的平均压力与时间的关系。地层中的平均压力基本成上升趋势,一直到轻烃开始采出才开始下降。

从本说明书中,本领域技术人员可显见本发明各个方面的进一步改进和替换实施方案。因此,本说明书应理解为是说明性的,只是用来为本领域技术人员讲解实施本发明的通常方式。应该理解,本文所示出和描述的本发明形式是作为目前的优选实施方案。所说明和描述的要素和材料都可以替换,部分过程和整个过程可反向进行,且本发明的某些特点可独立使用,所有这些对已了解本发明说明书的本领域技术人员来说都是显而易见的。在不偏离下述权利要求定义的本发明精神实质和范围的前提下,本文所述的要素可以做出变动。

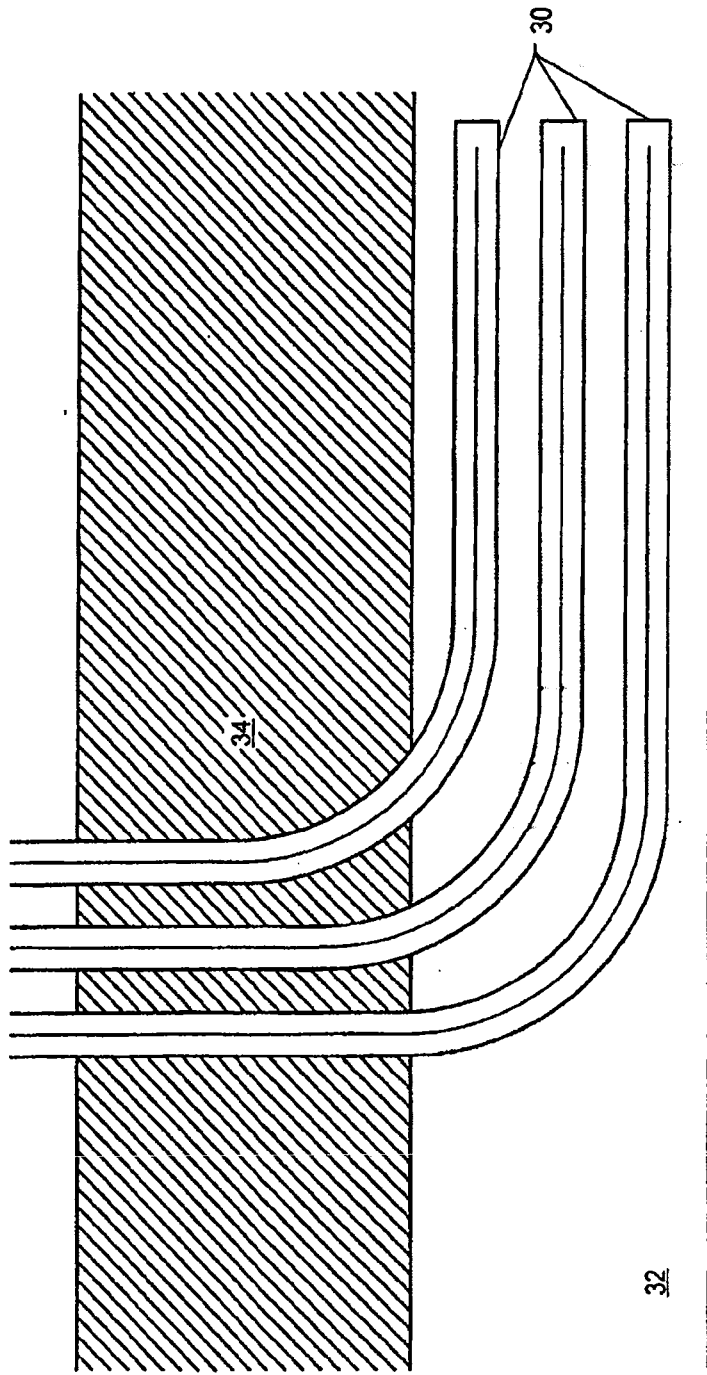


图1

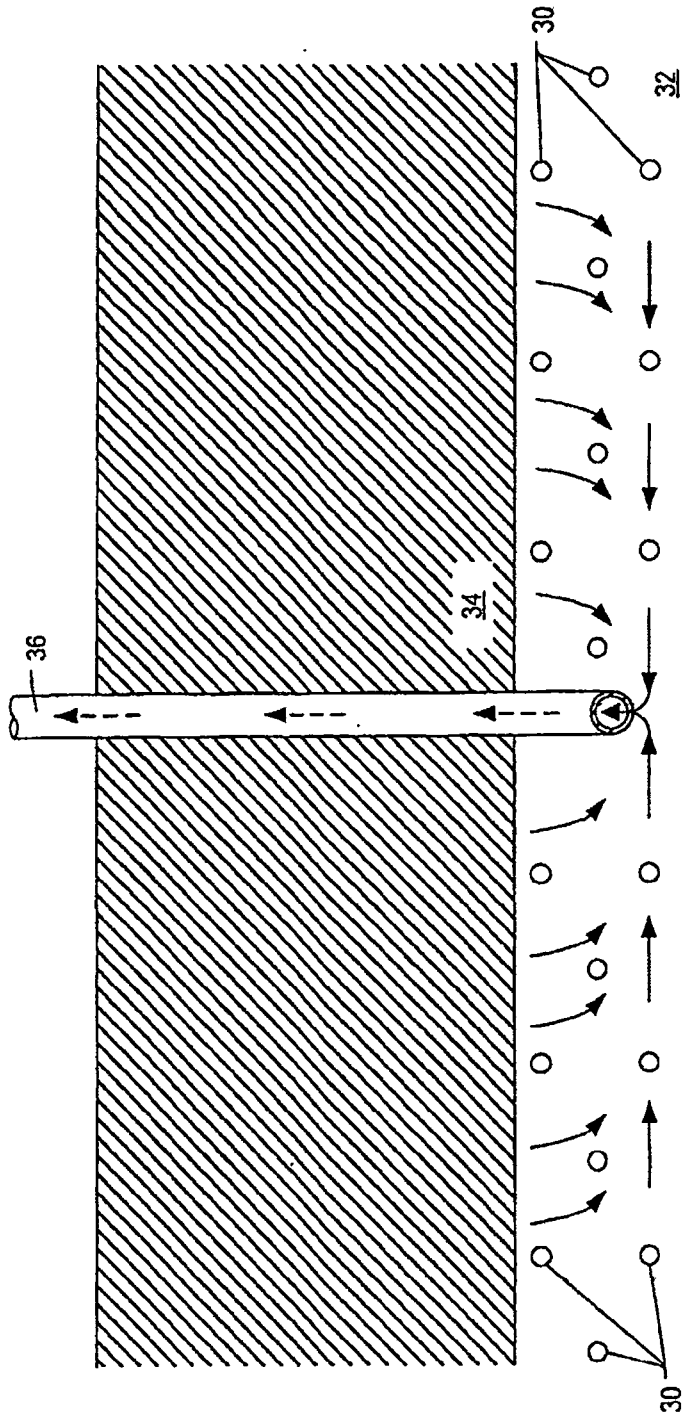


图2

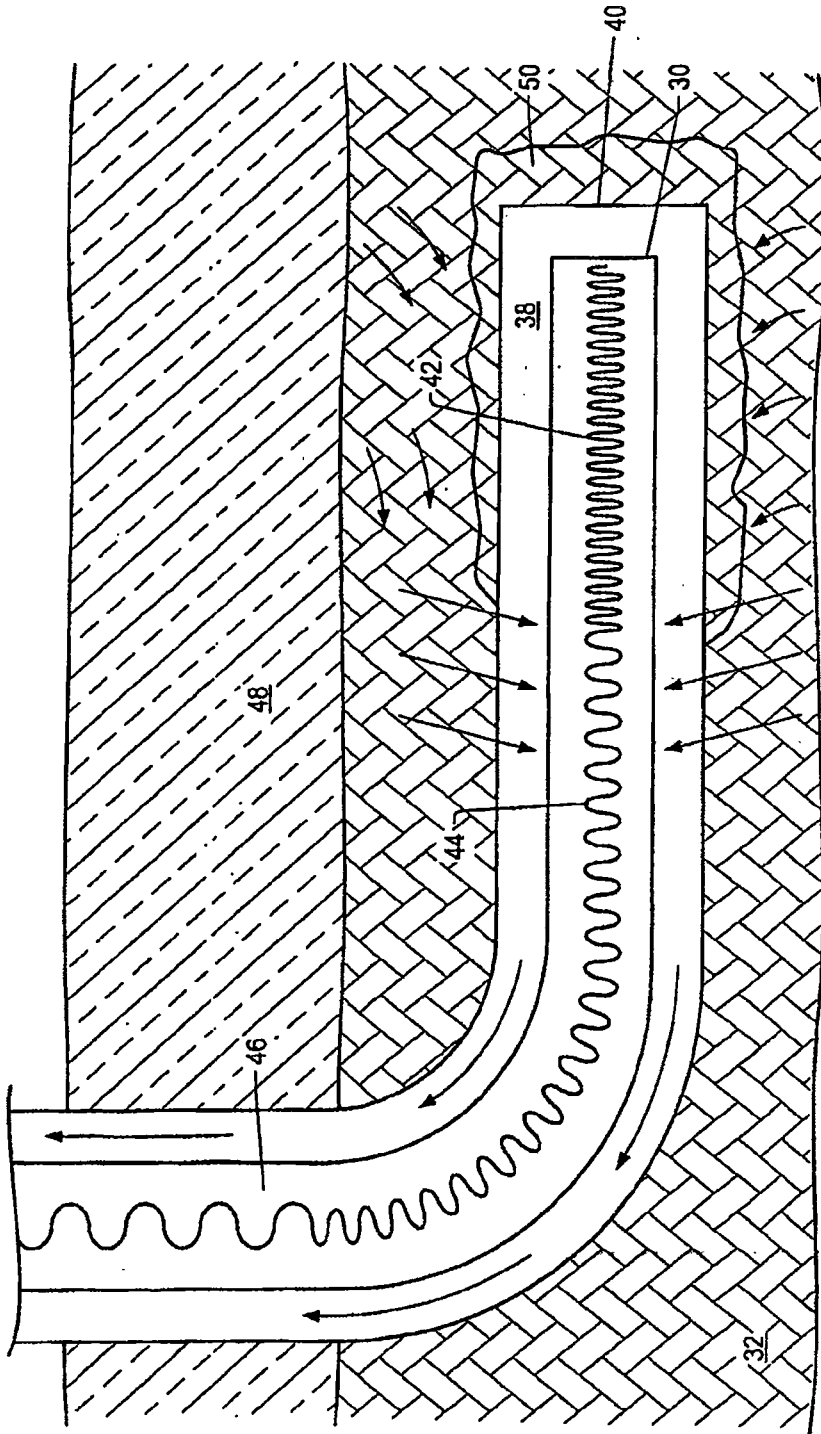


图 3

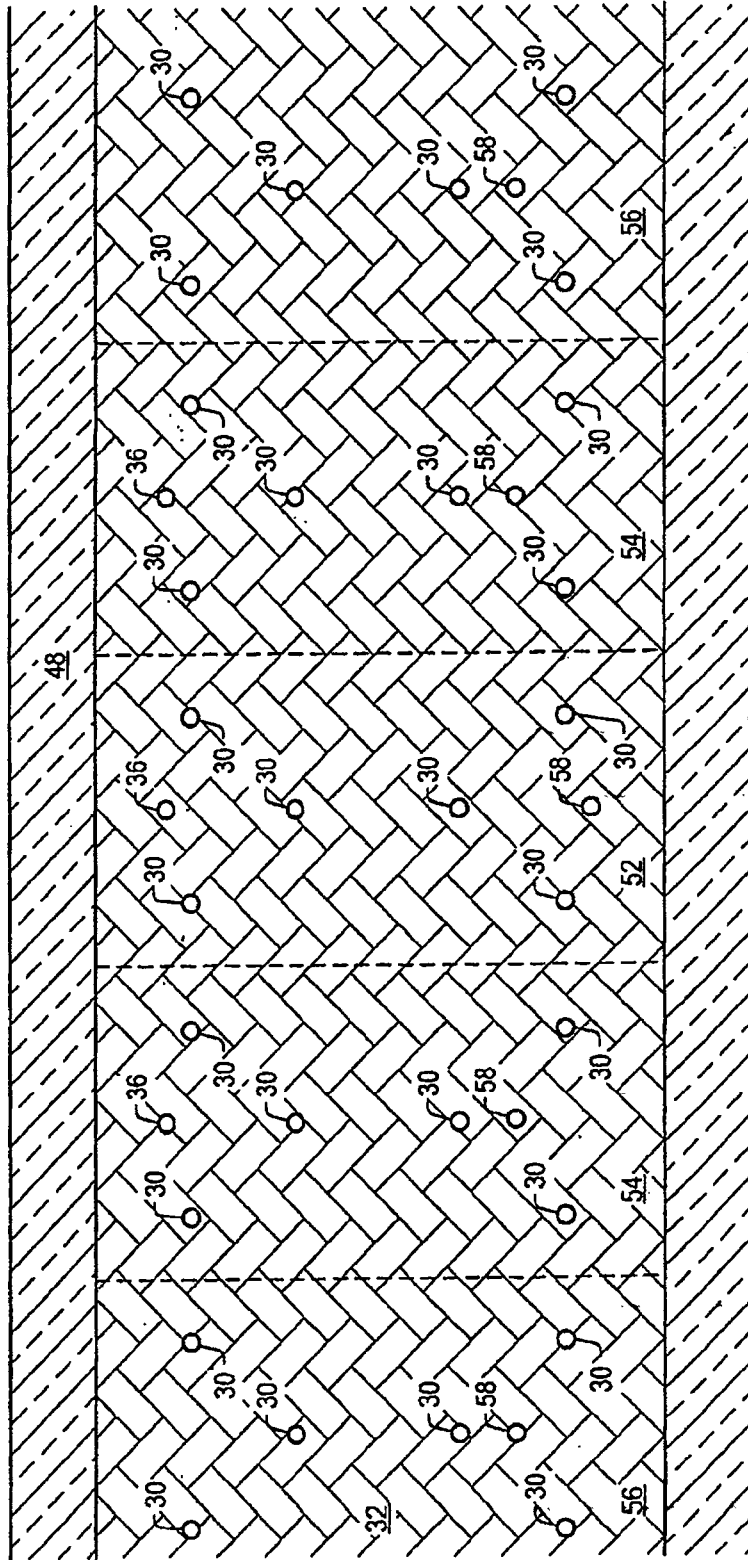


图4

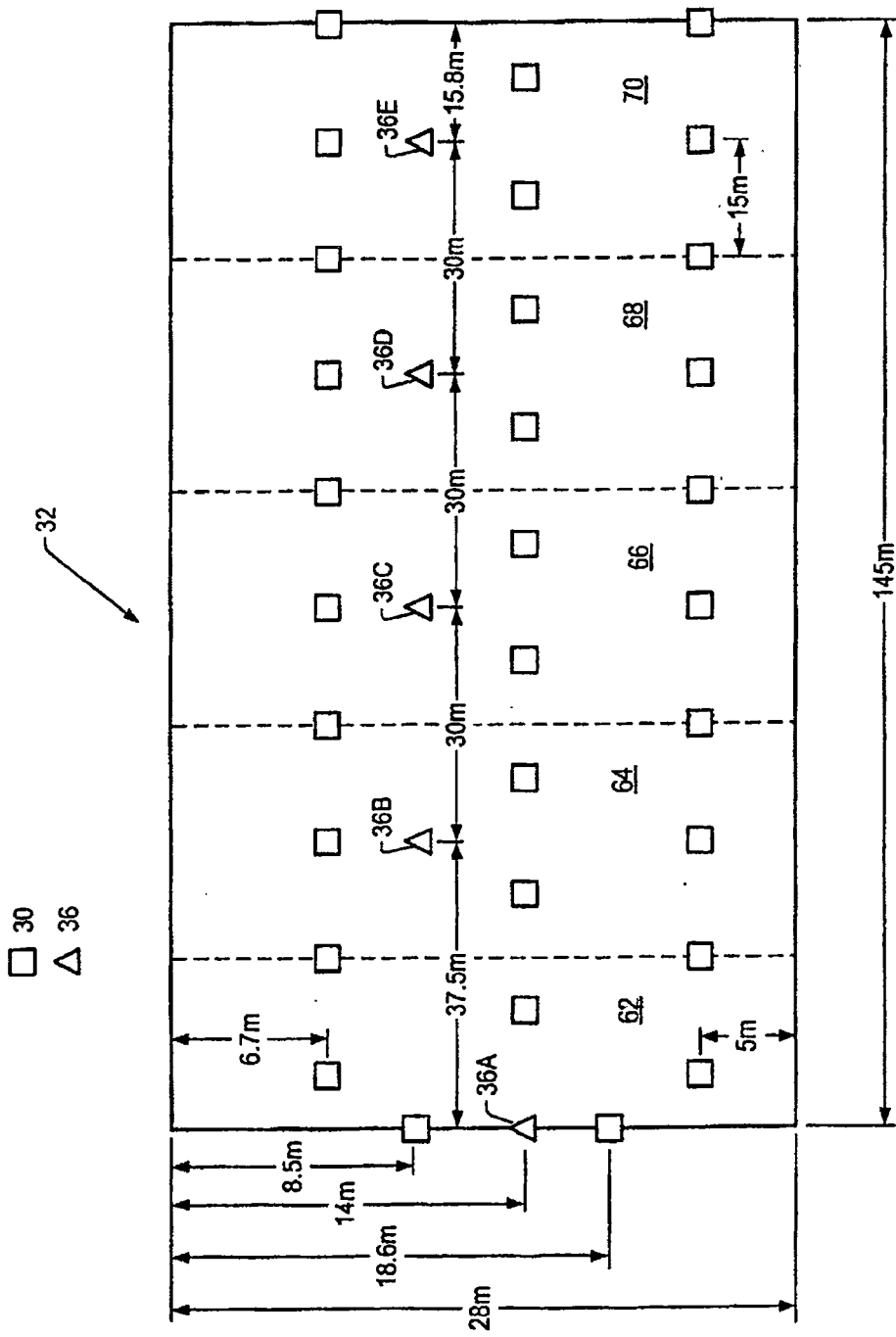


图5

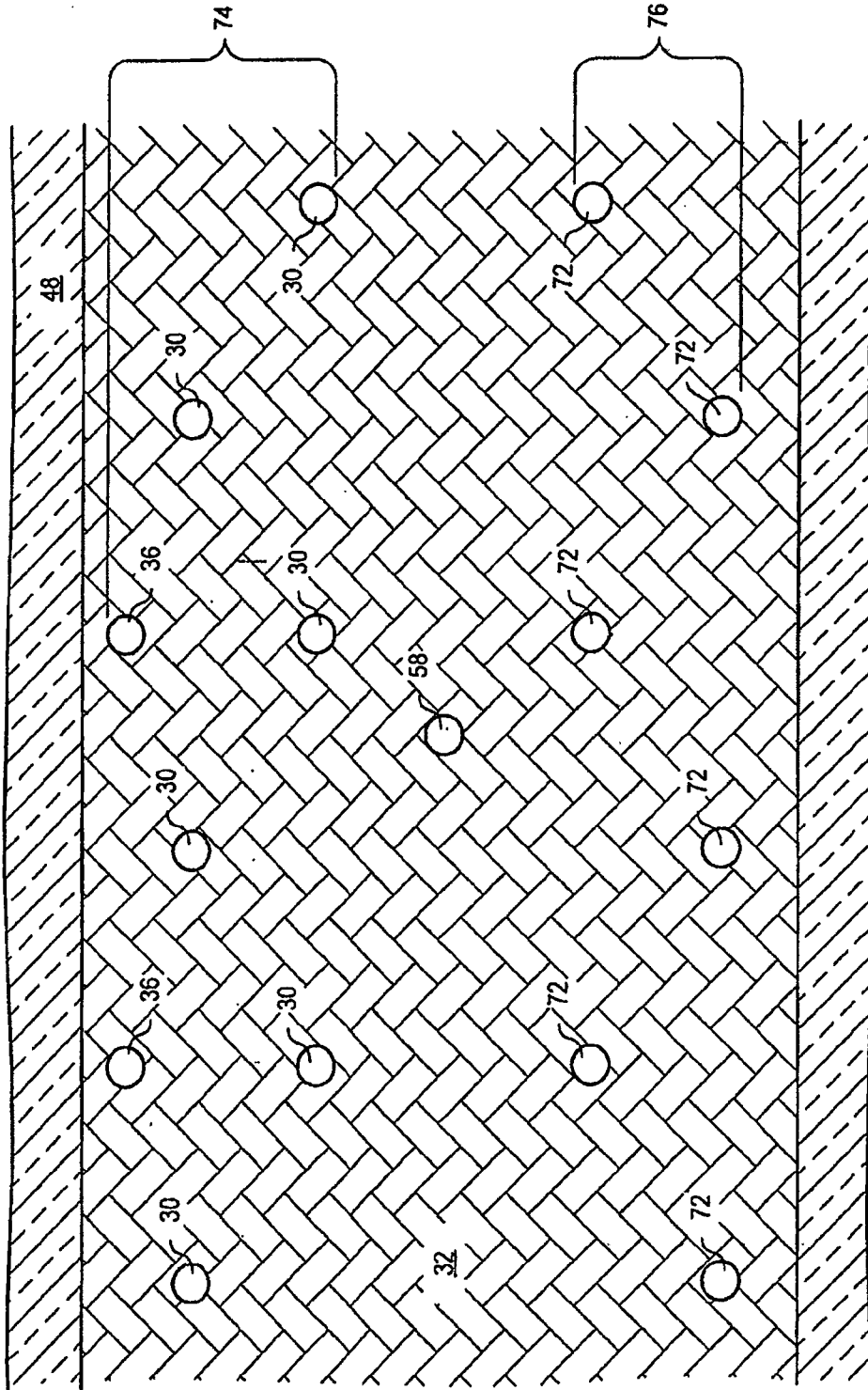


图6

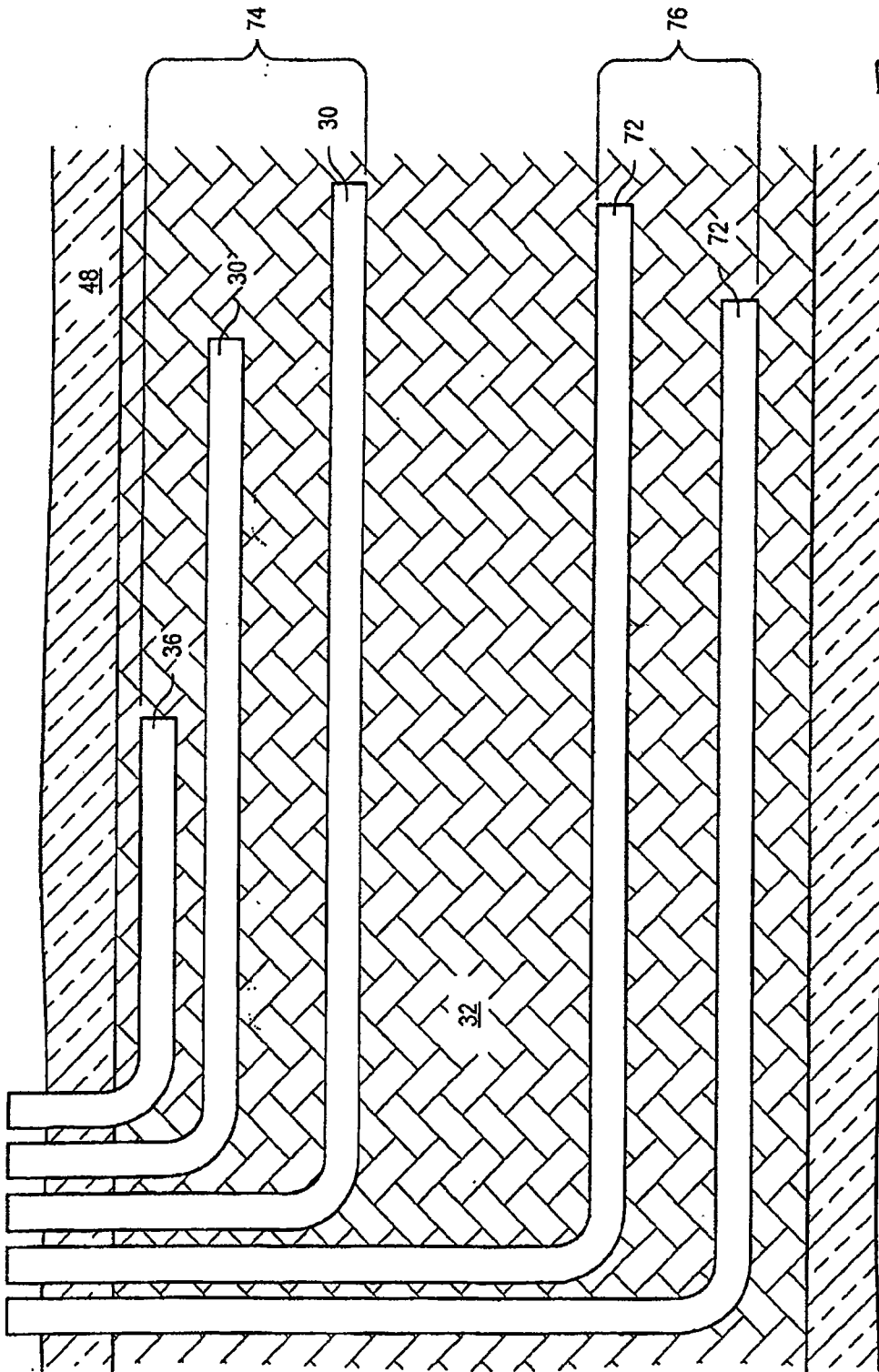


图7

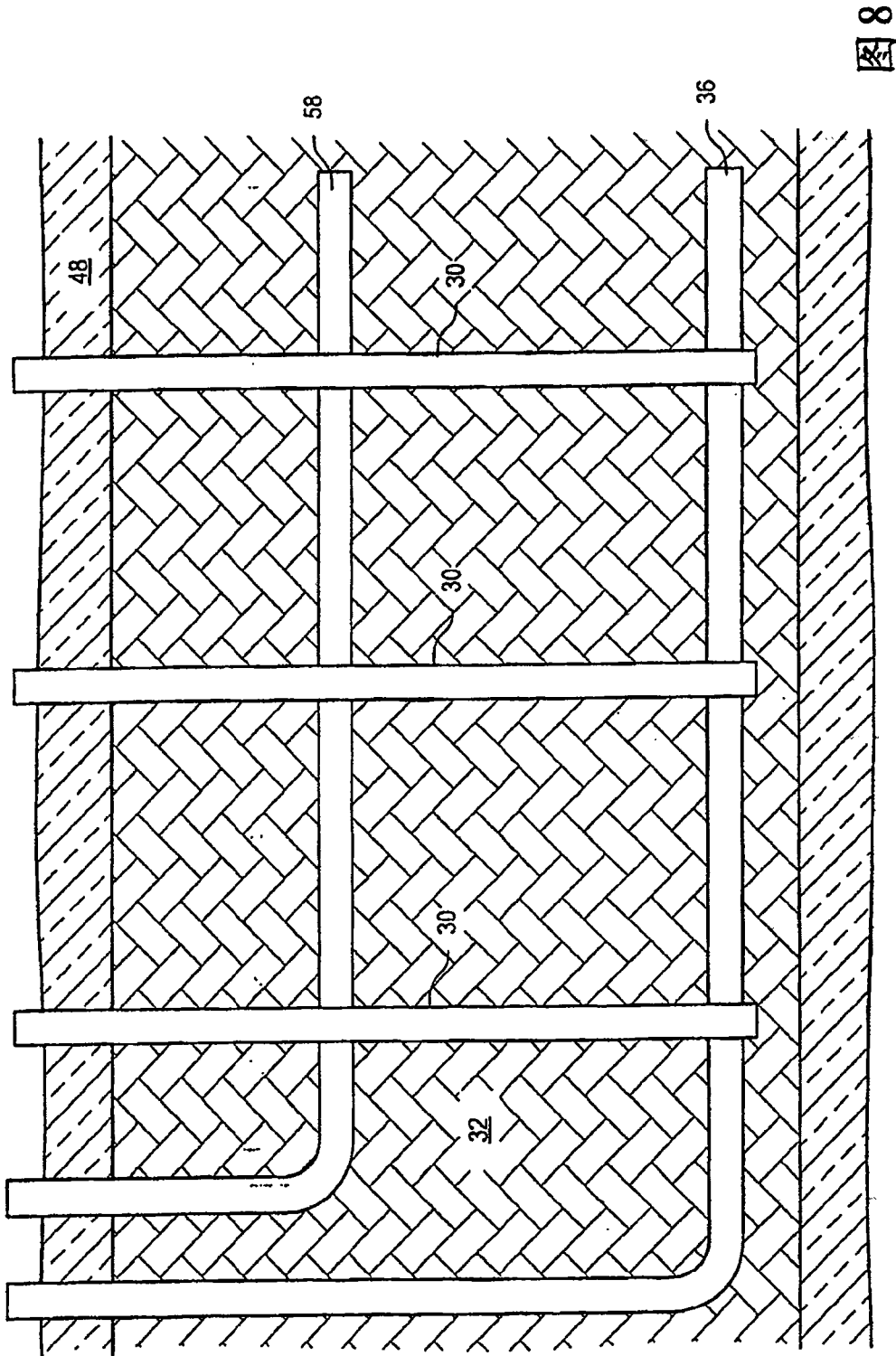


图 8

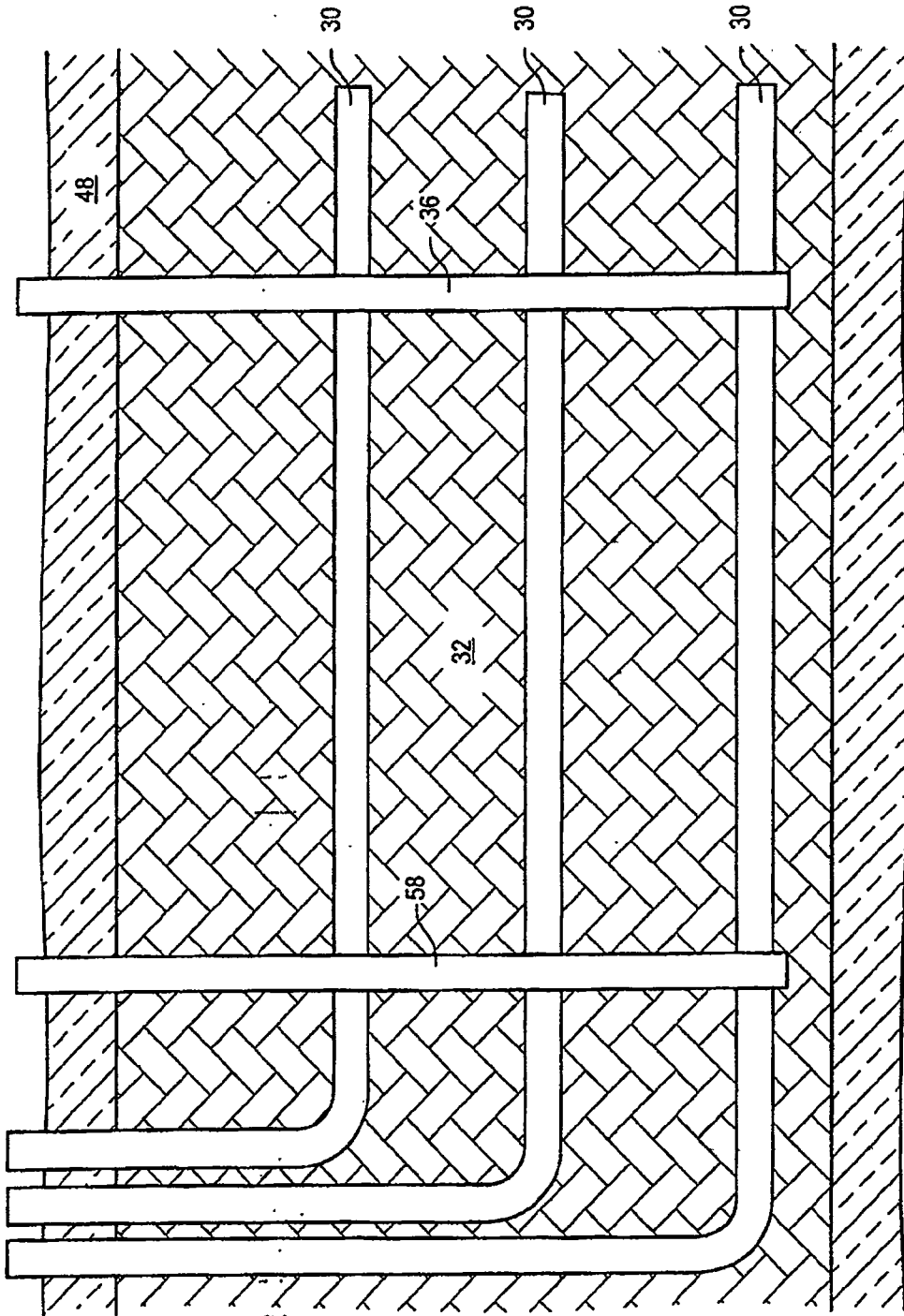


图9

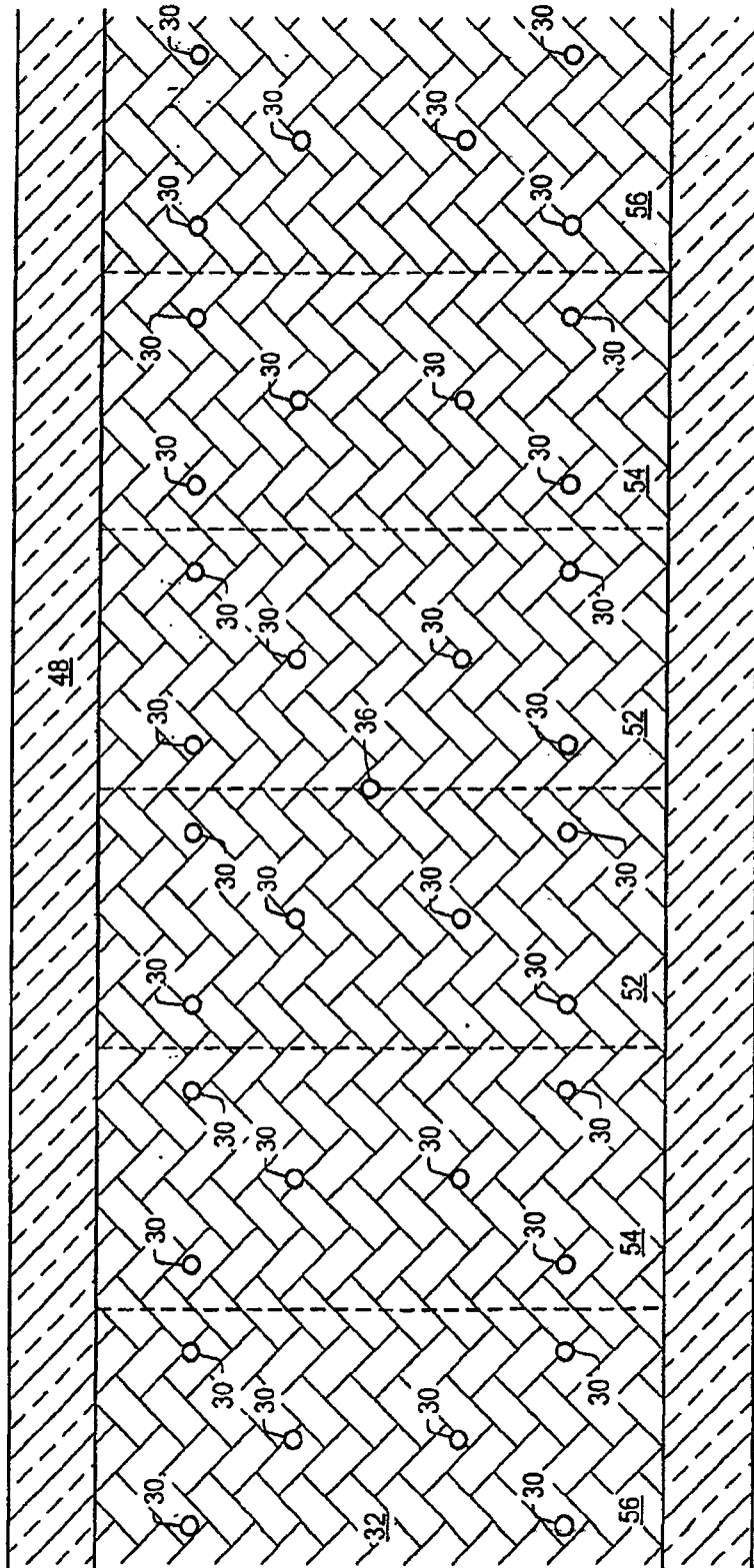


图10

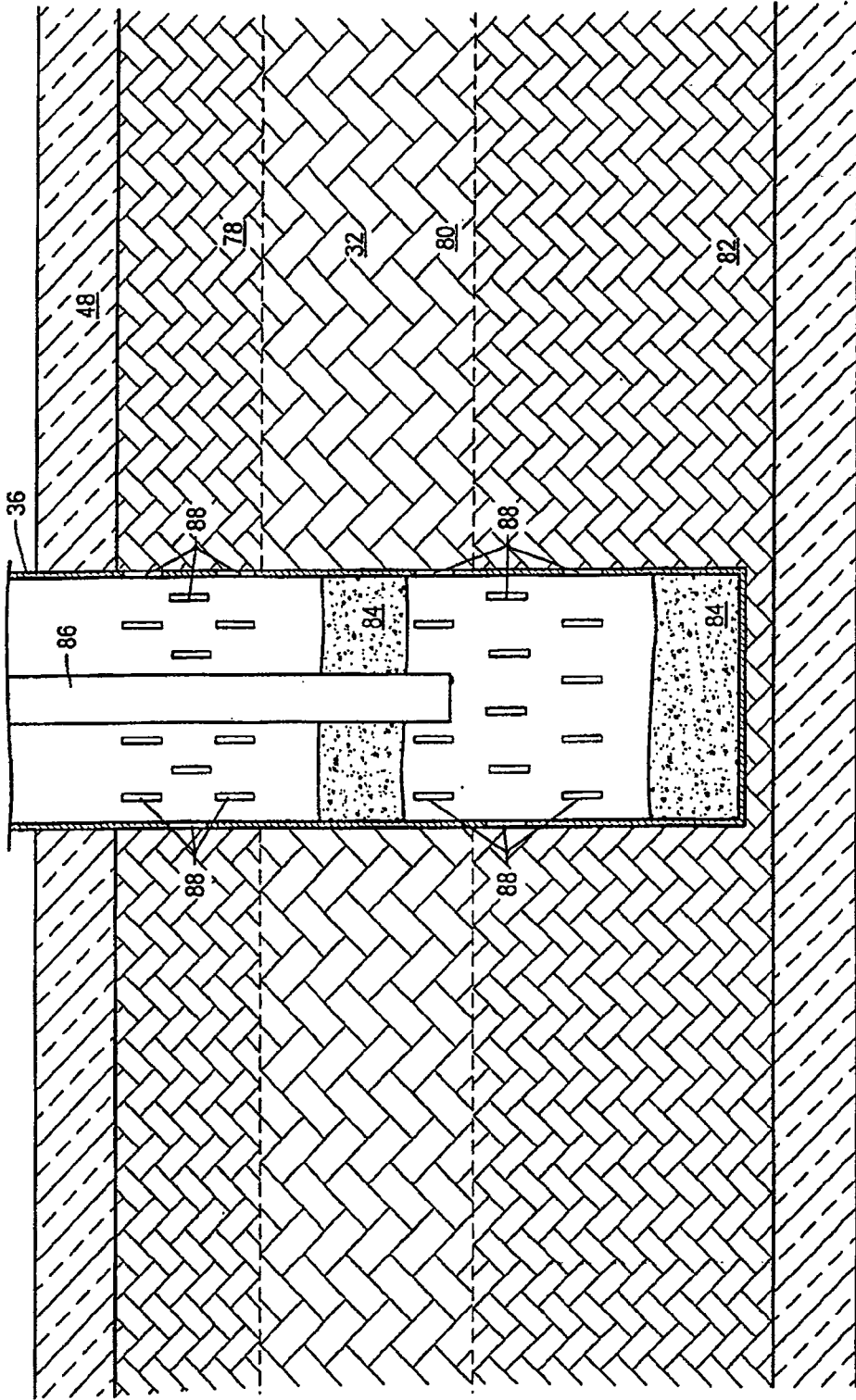


图11

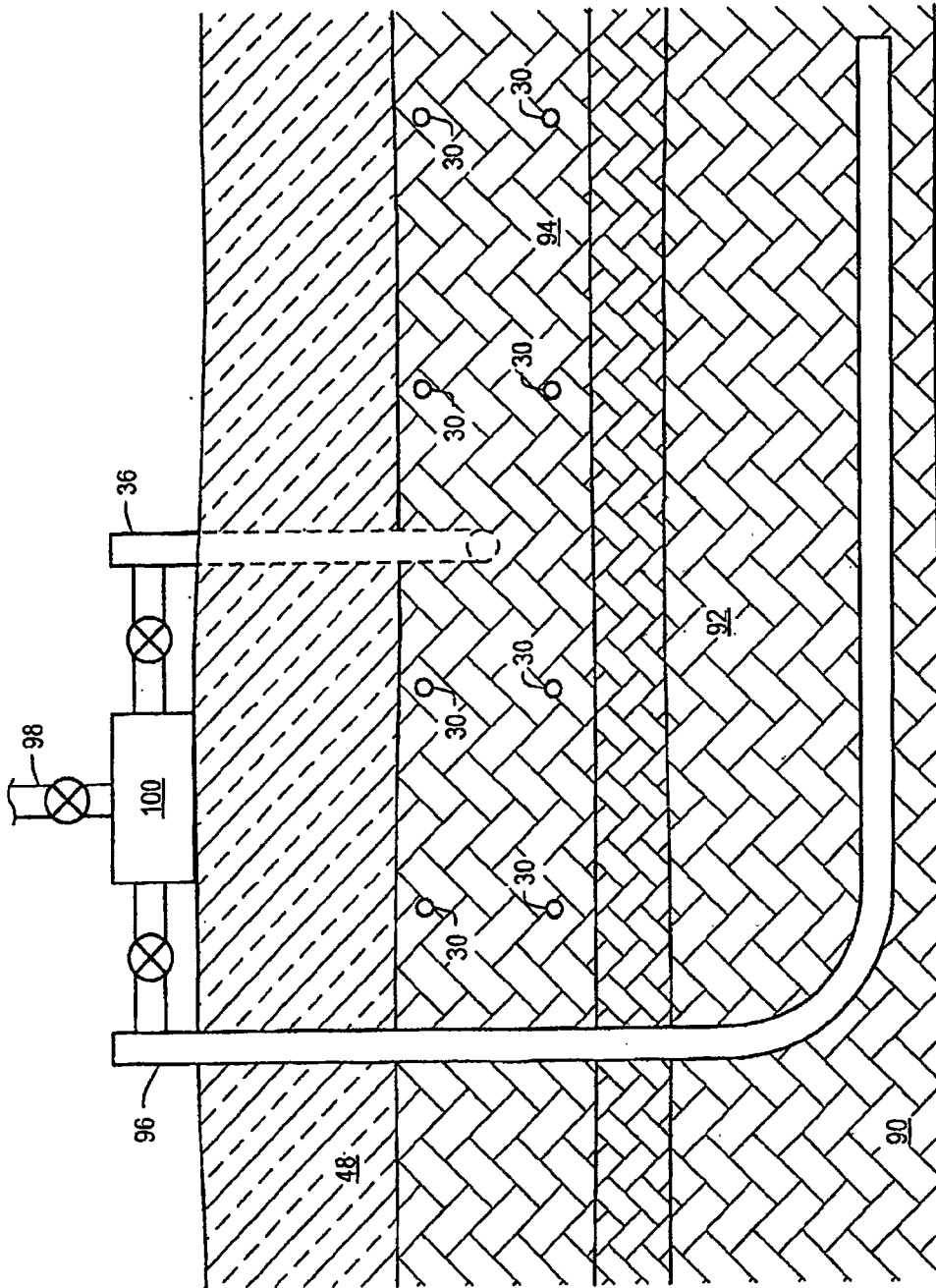


图12

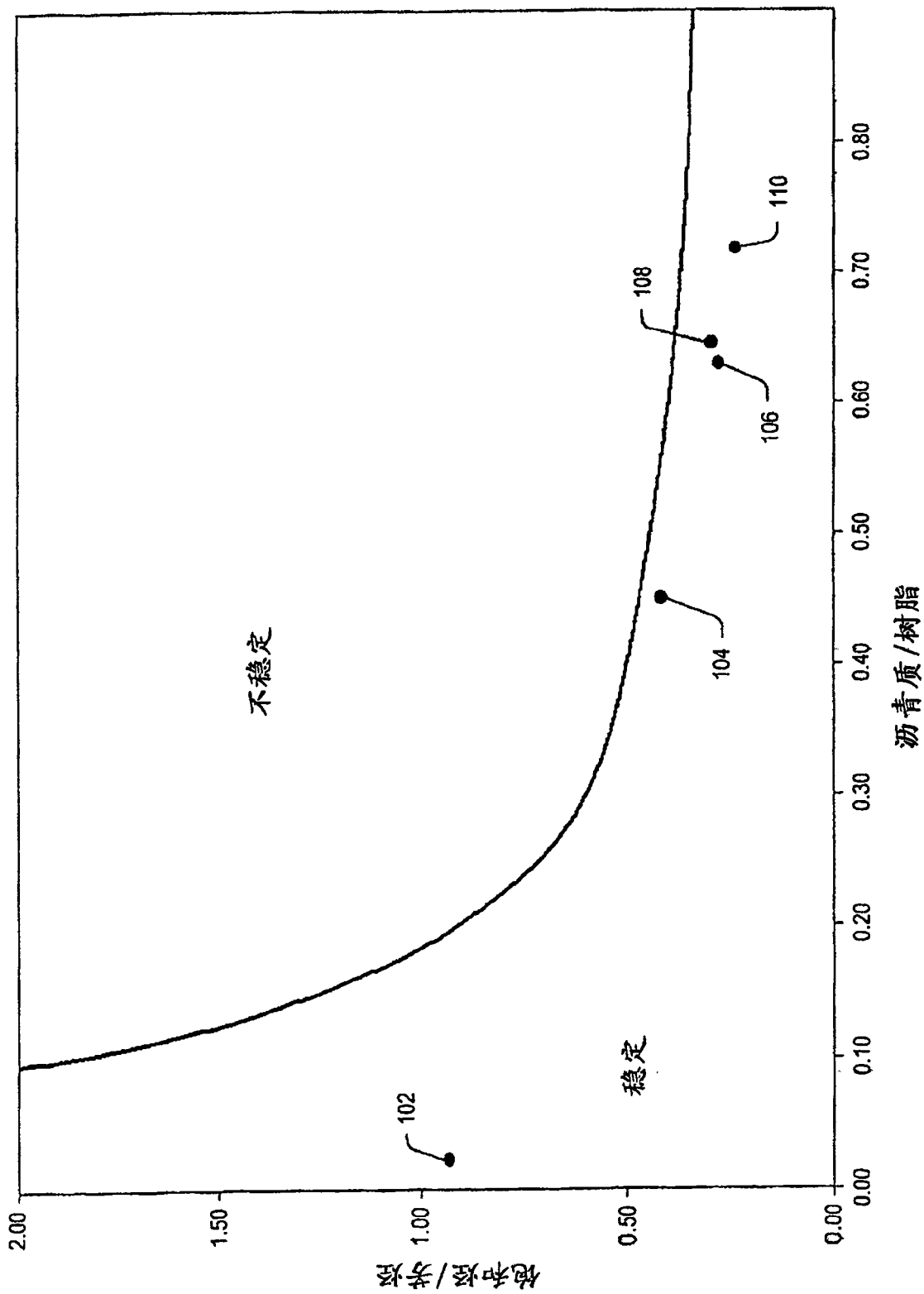


图13

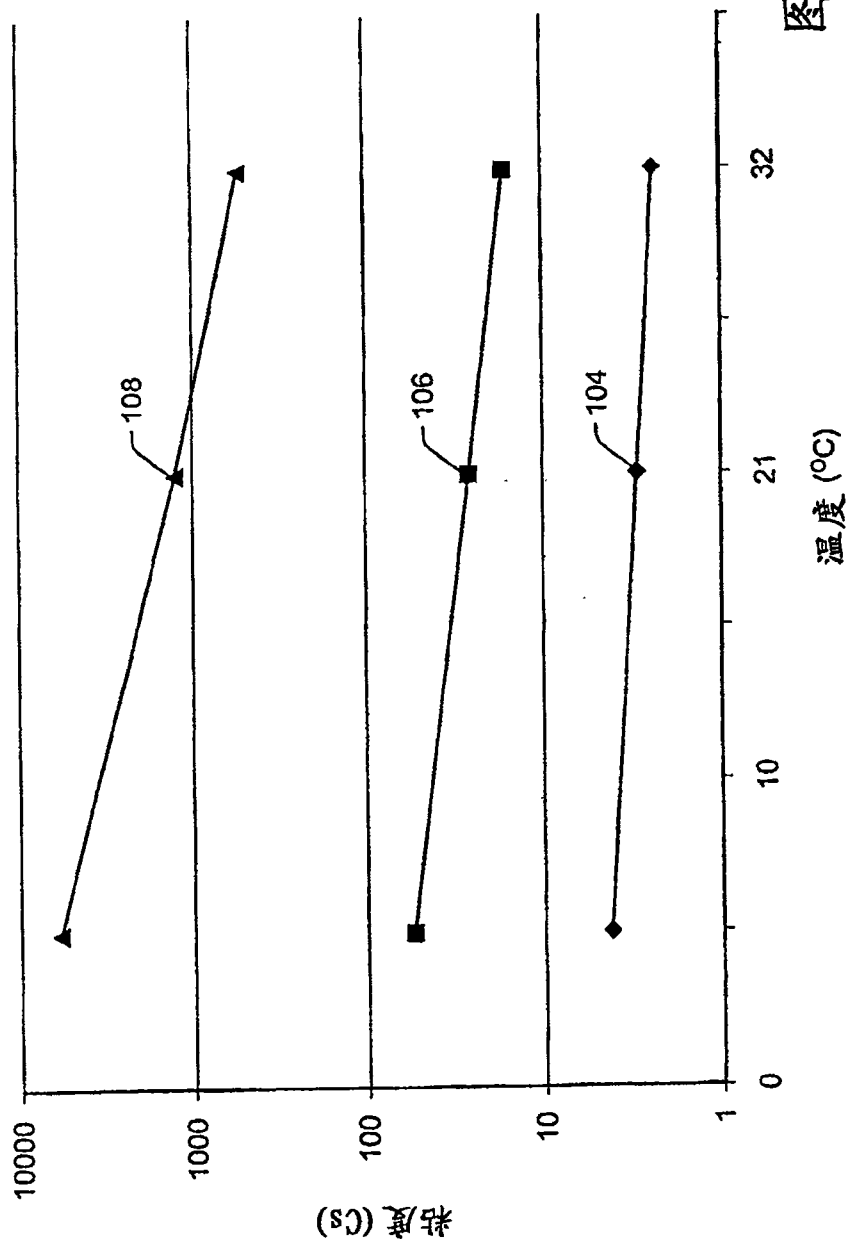


图14

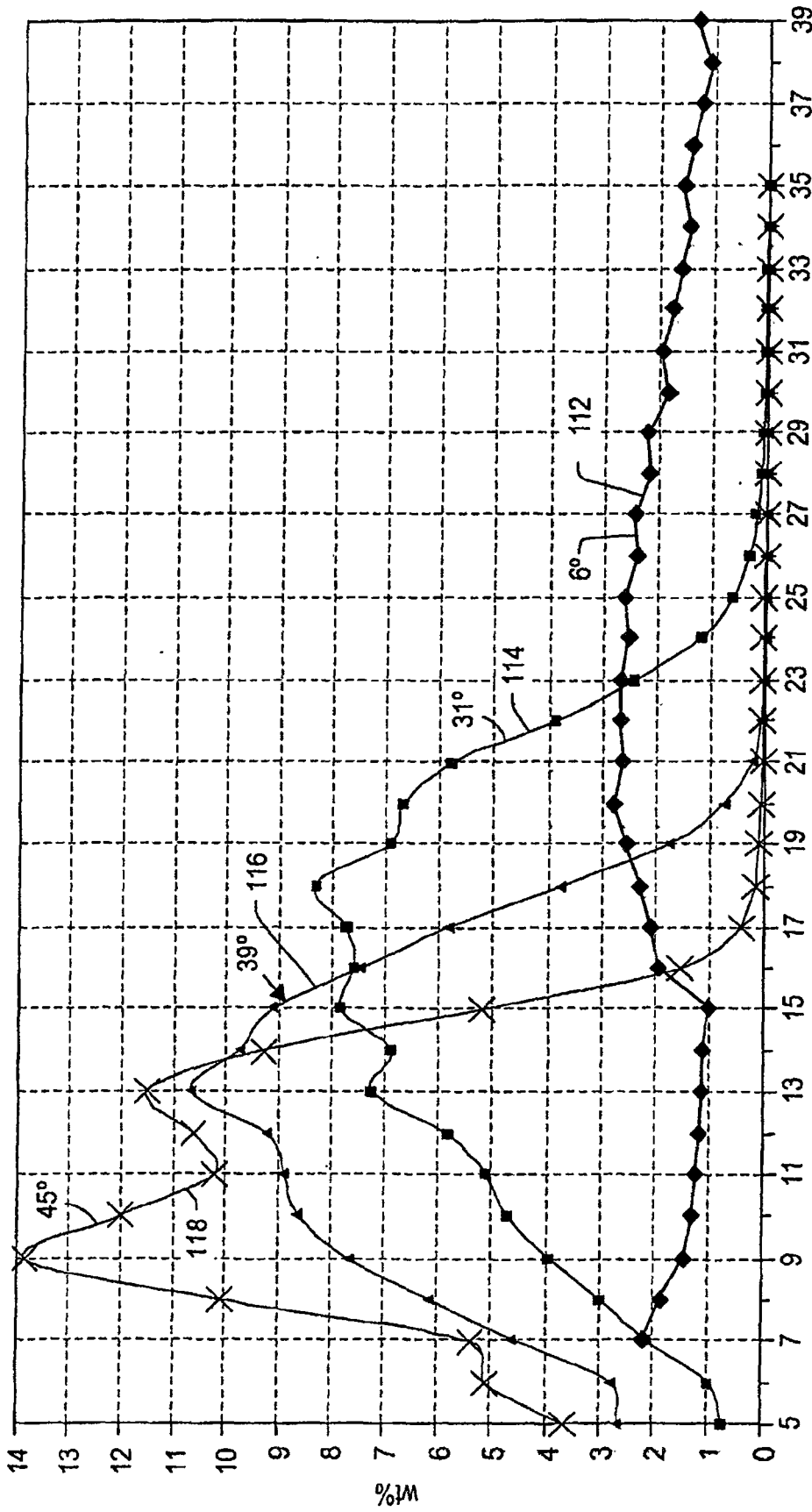


图15

碳原子数

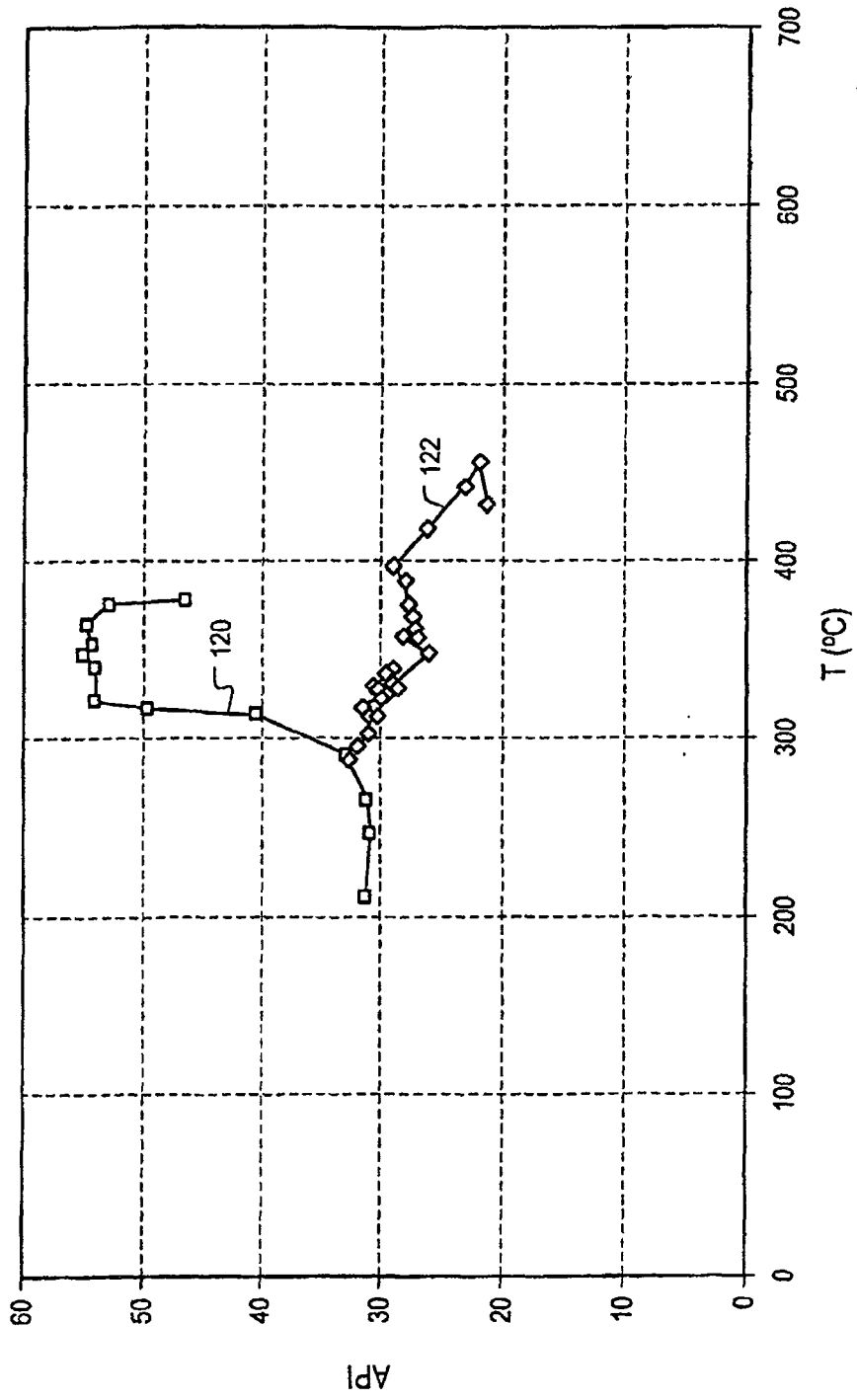


图16

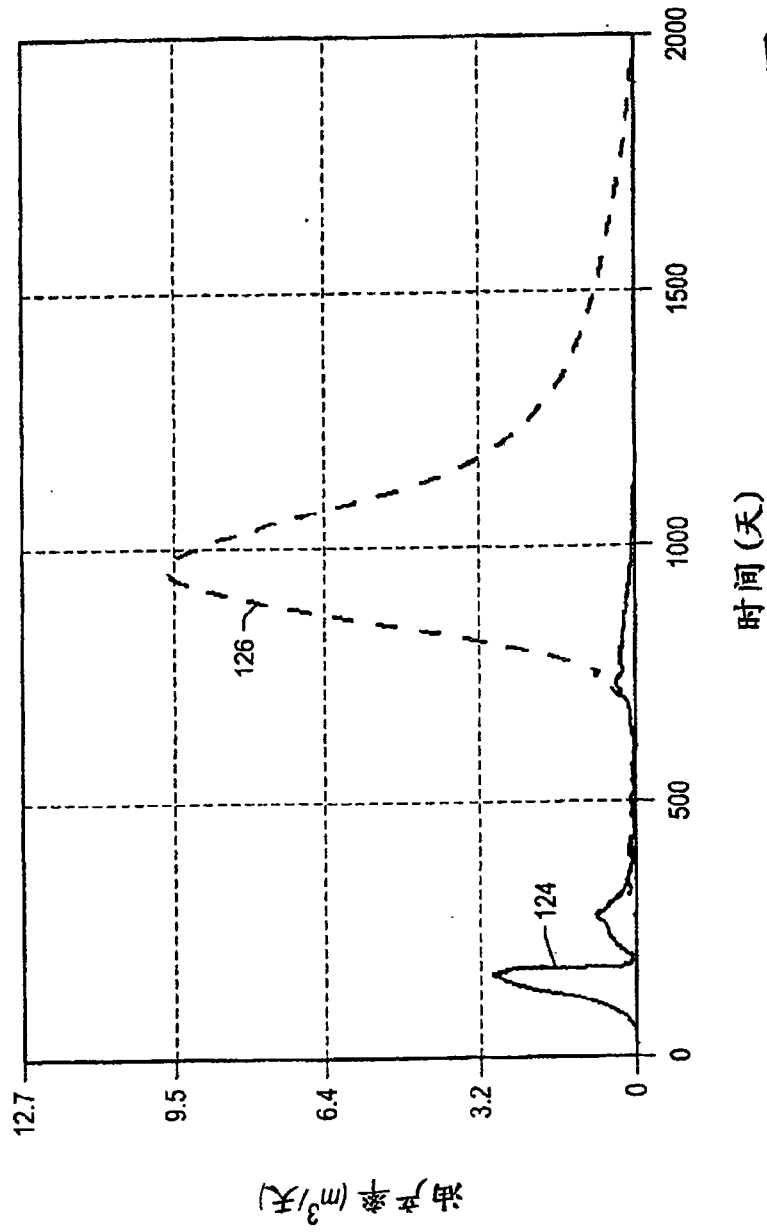


图17

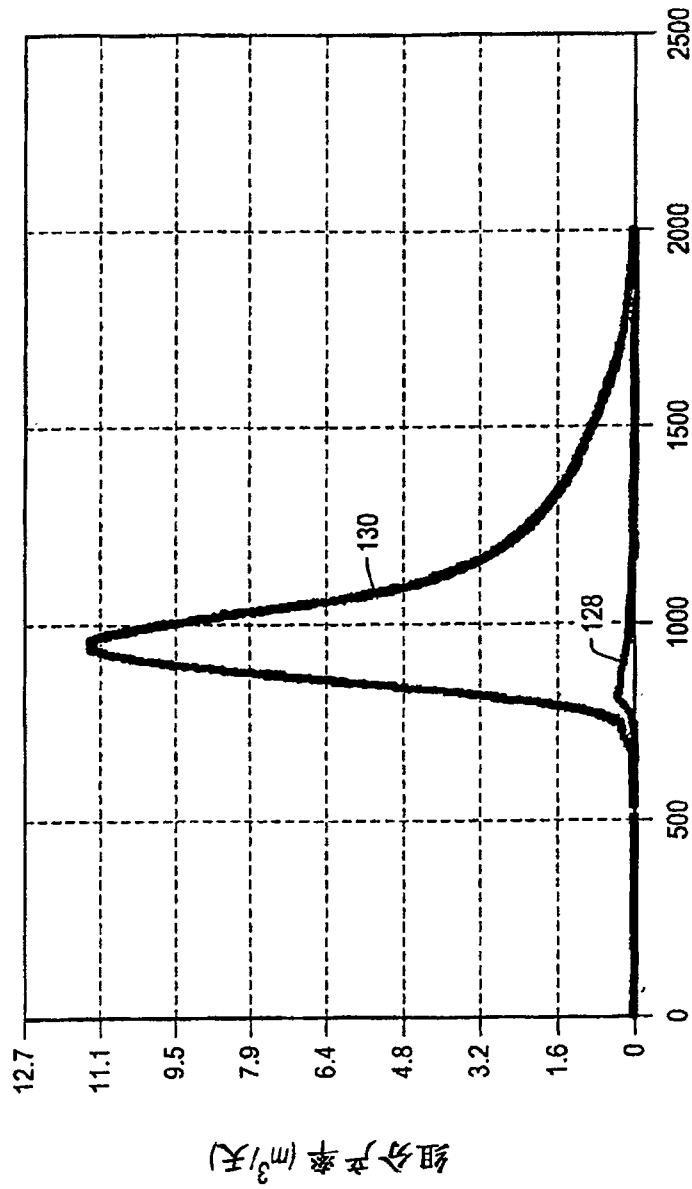


图18
时间(天)

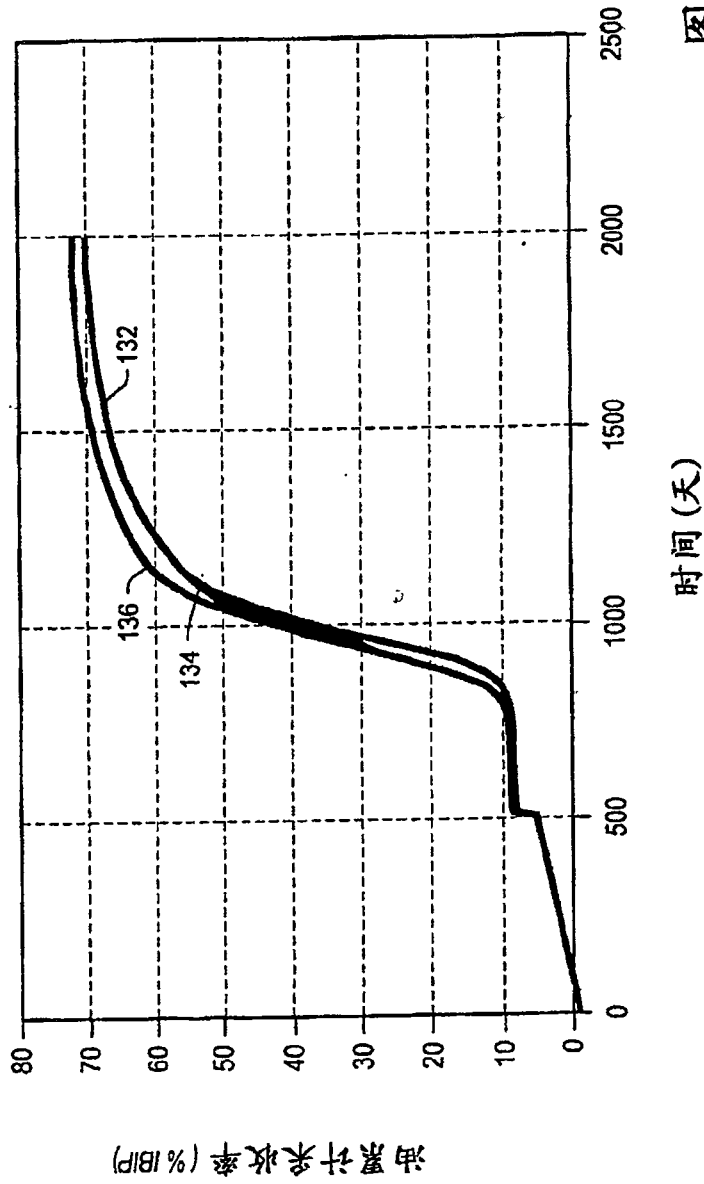


图19

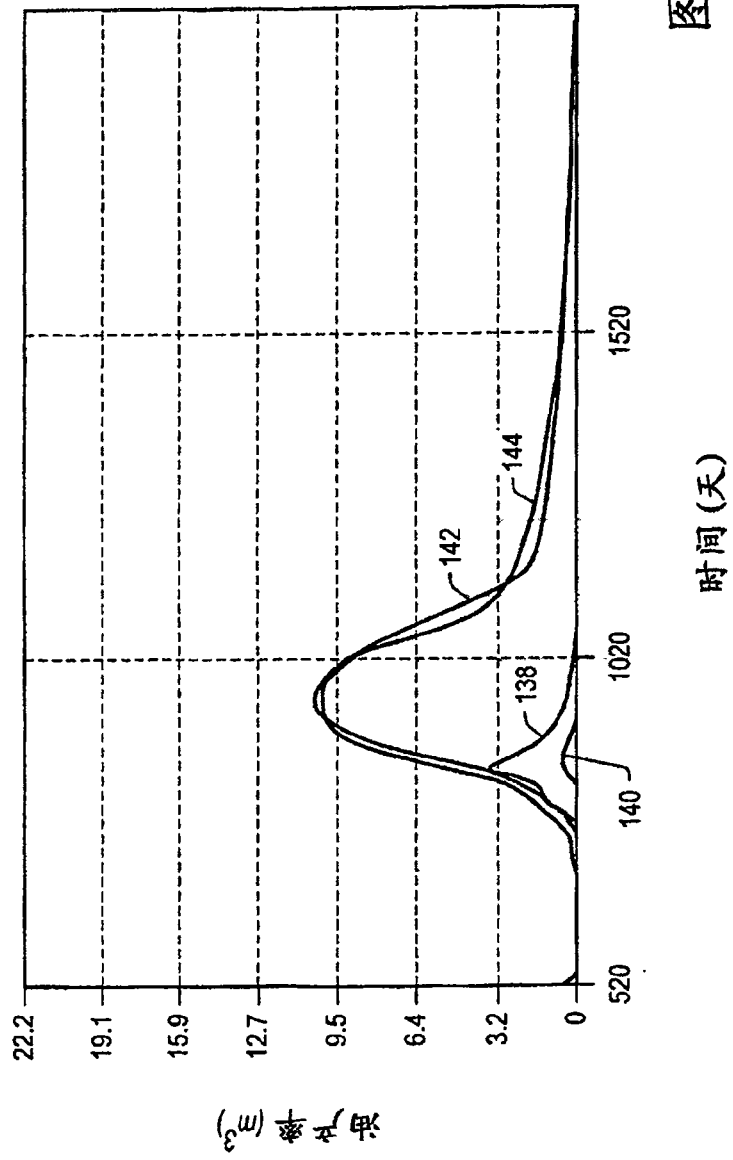


图20

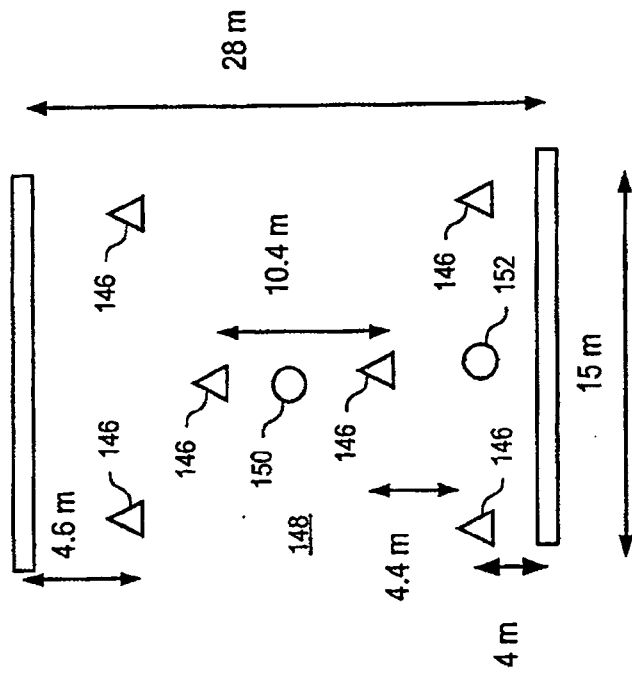


图21

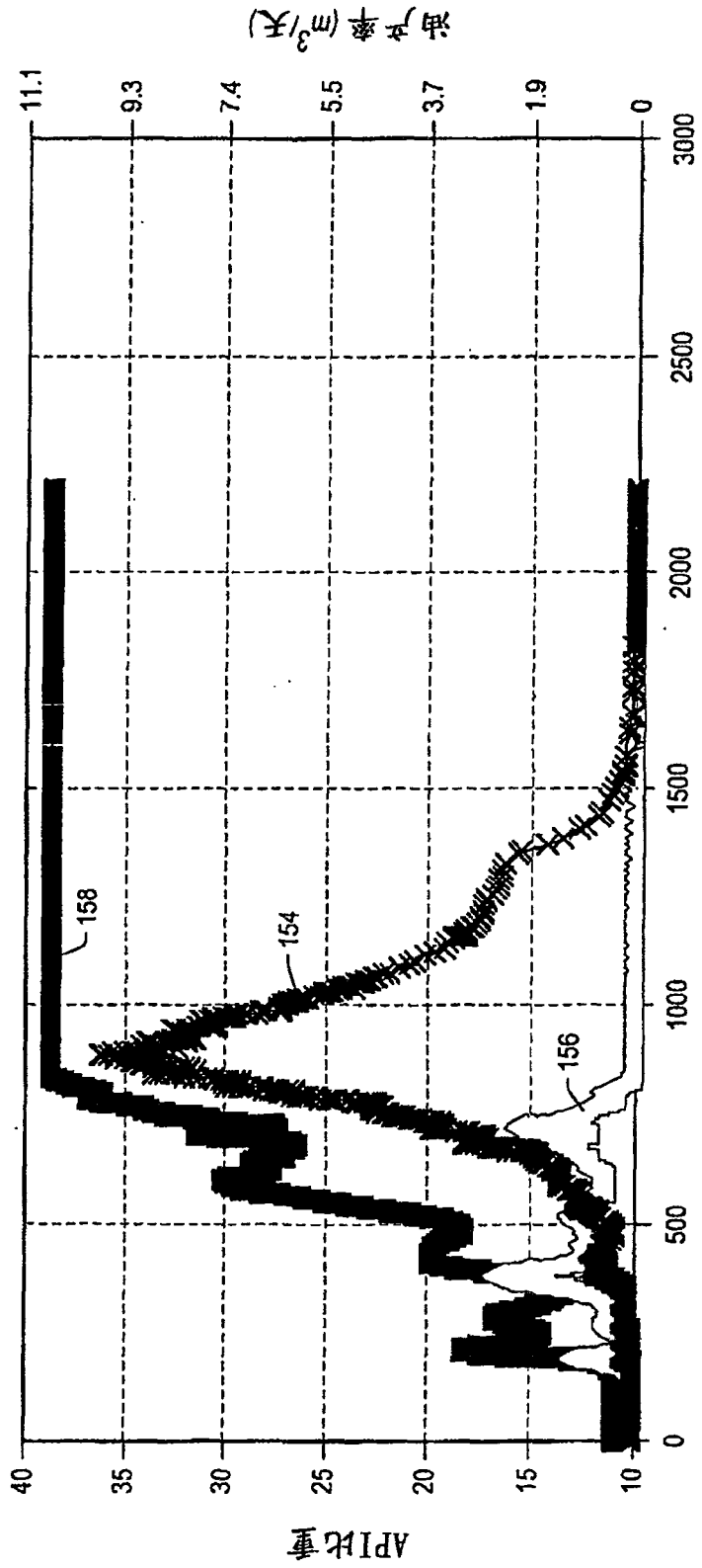


图 22

时间(天)

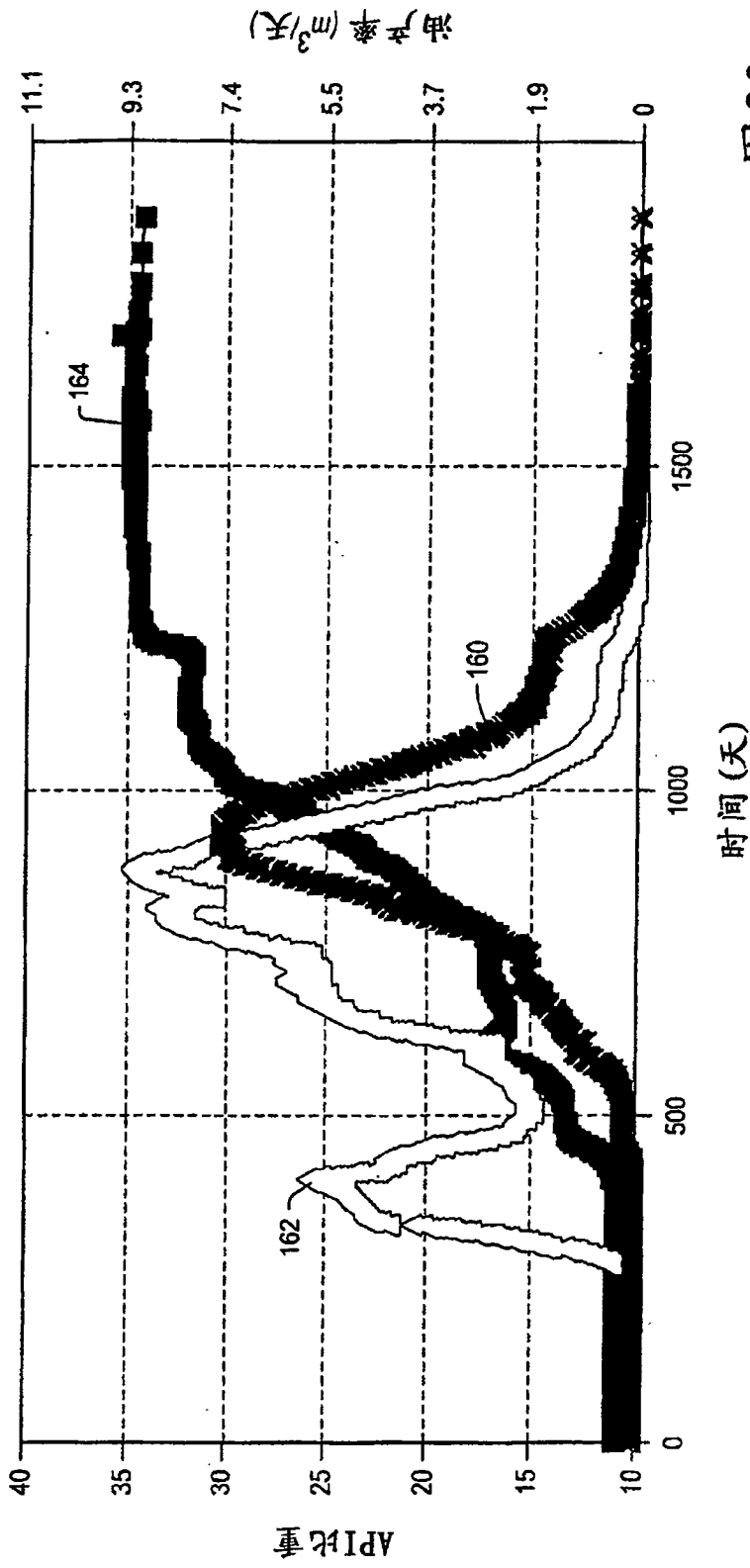


图 23

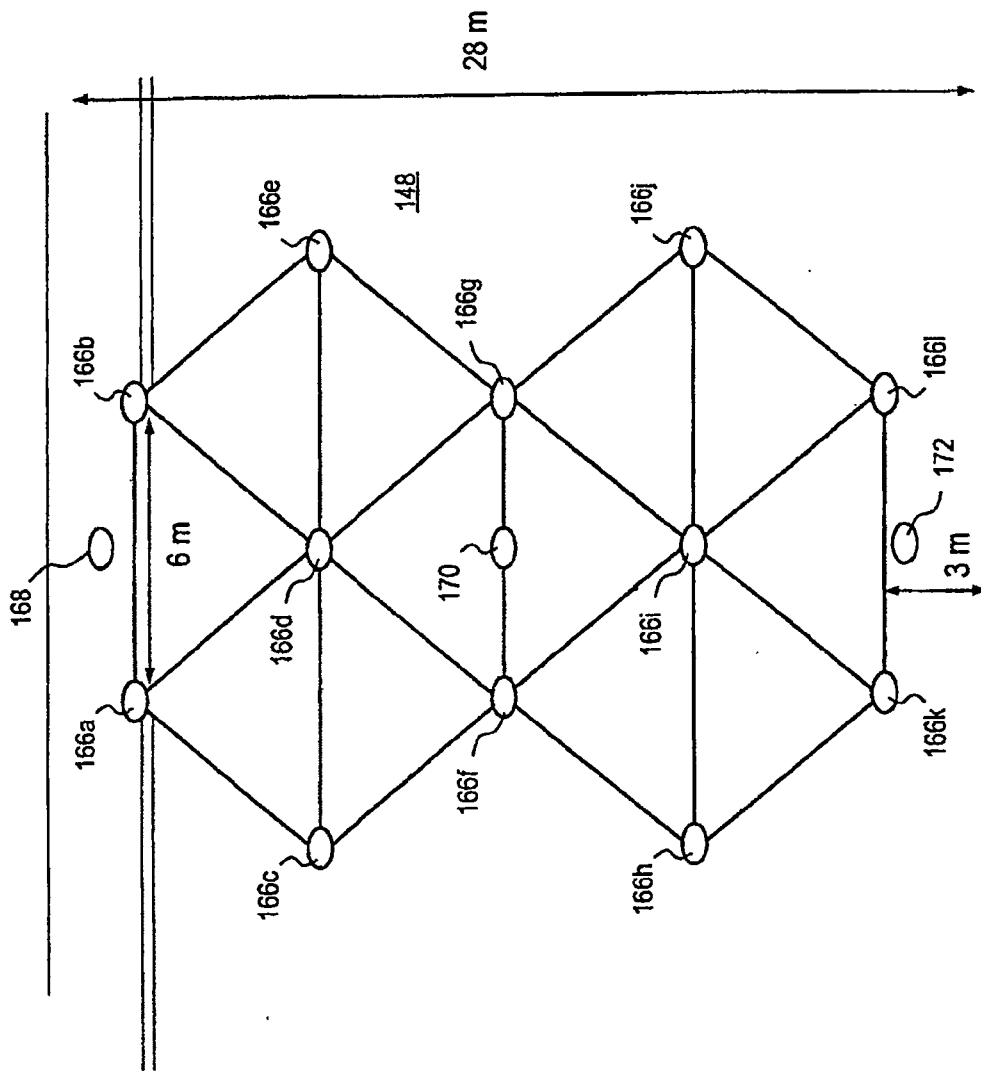


图 24

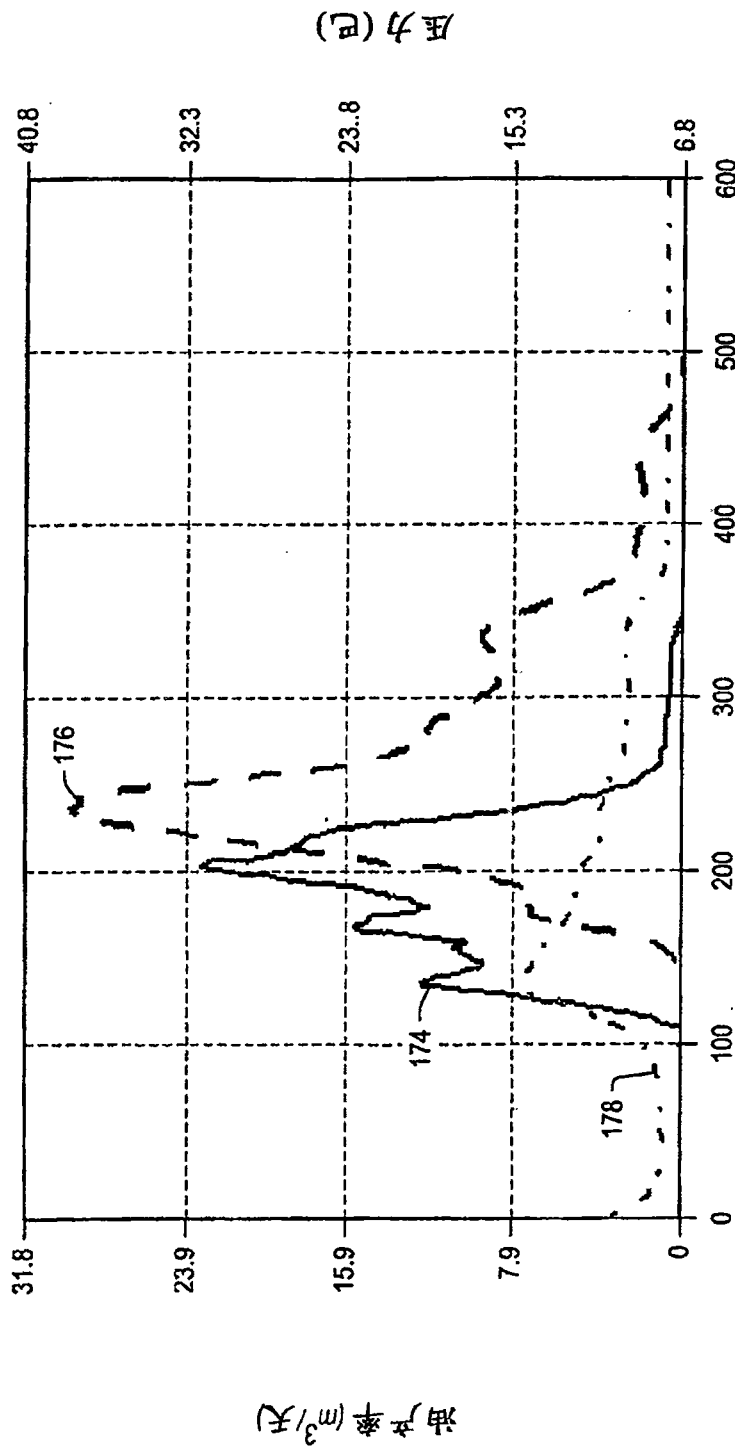


图 25
时间(天)

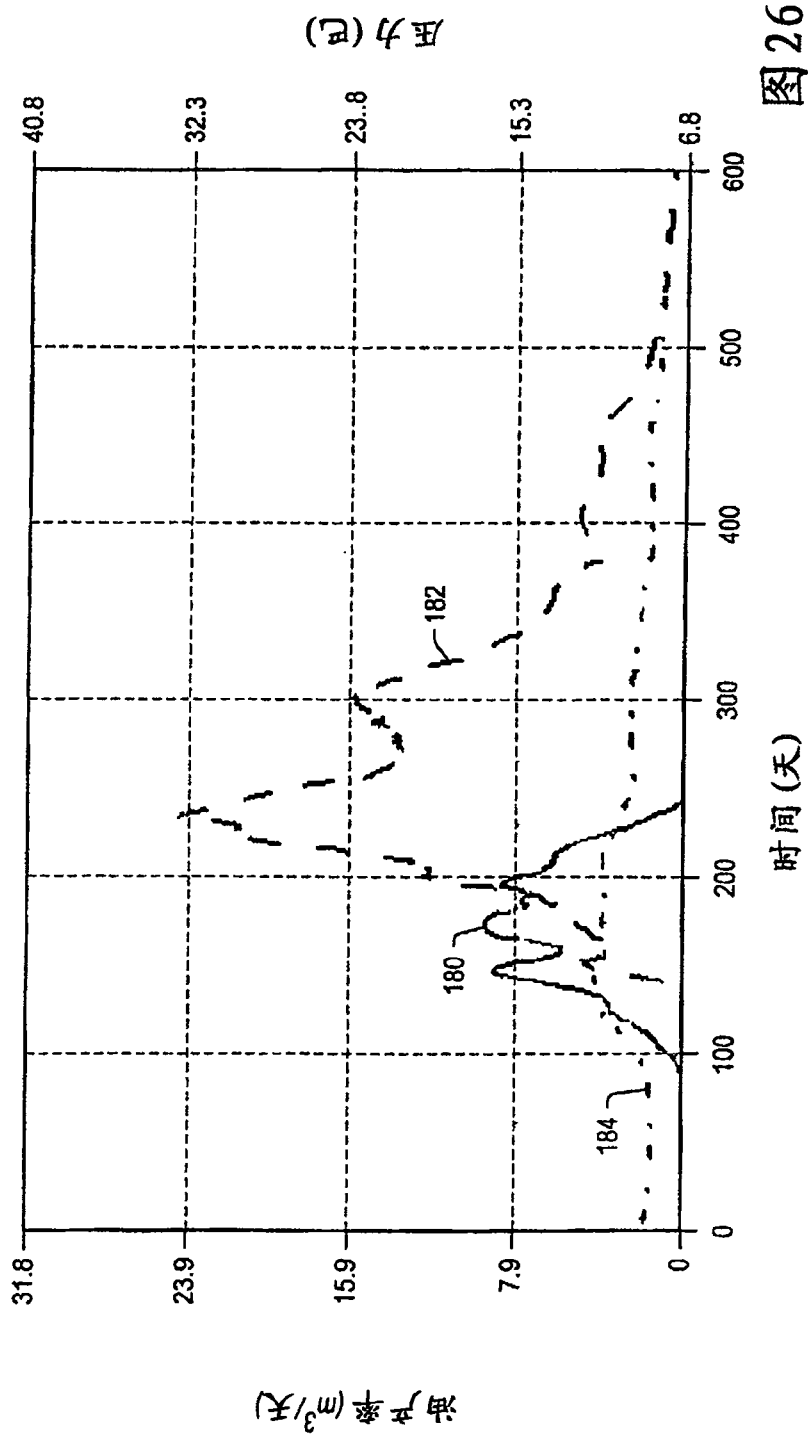


图26

