



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101163855 B

(45) 授权公告日 2011.09.28

(21) 申请号 200680013101.6
 (22) 申请日 2006.04.21
 (30) 优先权数据
 60/674,081 2005.04.22 US
 (85) PCT申请进入国家阶段日
 2007.10.19
 (86) PCT申请的申请数据
 PCT/US2006/015167 2006.04.21
 (87) PCT申请的公布数据
 W02006/116131 EN 2006.11.02
 (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 R·M·巴斯 F·G·卡尔
 T·J·凯尔特纳 D·S·金
 S·L·梅森 G·L·斯蒂格梅尔
 H·J·维讷格
 (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 11038

代理人 田元媛

(51) Int. Cl.
E21B 36/04 (2006.01)
H01R 4/08 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 1441709 A, 2003.09.10, 全文.
 US 3513249, 1970.05.19, 全文.
 WO 97/23924 A1, 1997.07.03, 全文.
 US 2004/0140095 A1, 2004.07.22, 说明书第
 0602-0603 段, 第 0650 段, 第 0731-0733 段、附
 图 103, 112-118.
 US 3542276, 1970.11.24, 全文.
 US 3529075, 1970.09.15, 全文.

审查员 高立虎

权利要求书 3 页 说明书 25 页 附图 16 页

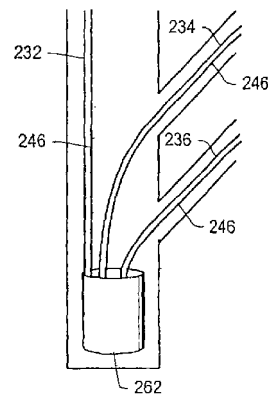
(54) 发明名称

用于加热地表下地层的系统及耦联该系统中加热器的方法

(57) 摘要

本发明描述了一种用于加热地表下地层的系统。该系统包括位于地层中第一开口中的第一伸长加热器 (246)。该第一伸长加热器包括该第一开口一部分中的暴露金属部分。第一开口中的这一部分低于地层的要被加热层 (240)。该暴露金属部分暴露于该地层。第二伸长加热器位于地层的第二开口中。该第二开口在位于或靠近低于要被加热层的第一开口的所述部分的地方与该第一开口连接。第二伸长加热器暴露金属部分的至少一部分与第一伸长加热器暴露金属部分的至少一部分在低于要被加热层的第一开口的所述部分中电耦联。

CN 101163855 B



1. 一种用于加热地表下地层的系统,包括:

在地层中的第一开口中的第一伸长加热器 (232),其中第一伸长加热器 (232) 在第一开口的一部分中包括暴露金属部分,所述第一开口的所述部分低于地层的要被加热层 (240),而暴露金属部分暴露于地层;

在地层中的第二开口中的第二伸长加热器 (234),其中第二开口在位于或靠近低于要被加热层 (240) 的第一开口的所述部分的地方与第一开口连接;以及

电耦联装置,所述电耦联装置使第二伸长加热器 (234) 的一暴露金属部分的至少一部分与第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分的至少一部分在低于要被加热层 (240) 的第一开口的所述部分中电耦联;

其特征在于,所述电耦联装置包括:

a) 容器 (262),所述容器被配置成与所述第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 中的至少一个加热器的端部部分耦联,该端部部分在要被加热层 (240) 之下,该容器 (262) 包括电耦联材料 (274),将该电耦联材料配置成当其被熔化和随后被冷却时促进第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 之间的电连接;和/或

b) 配置成与所述第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 中的至少一个加热器的端部部分耦联的爆炸元件,其中该端部部分在要被加热层 (240) 之下,将该爆炸元件配置成当被引爆时促进第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 之间的电连接。

2. 如权利要求 1 所述的系统,其中所述第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 中的至少一个加热器的长度至少为 30m。

3. 如权利要求 1 所述的系统,该系统还包括在地层中的一第三开口中的第三伸长加热器 (236),该第三开口在位于或靠近低于要被加热层 (240) 的第一开口的所述部分的地方与第一开口连接,第三伸长加热器 (236) 的一暴露金属部分的至少一部分与第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分的至少一部分电耦联。

4. 如权利要求 1 所述的系统,其中第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分在地层的要被加热层 (240) 之下至少 3m 处。

5. 如权利要求 1 所述的系统,其中第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 之间的电耦联装置在第一开口中的初始静水水位之下建立。

6. 如权利要求 1 所述的系统,其中第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分处在被加热少于要被加热层 (240) 的地带中。

7. 如权利要求 1 所述的系统,其中所述第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 中的至少一个加热器包括限温加热器,该限温加热器包括铁磁导体,并且被配置成当对该限温加热器施加时变电流时,和当该限温加热器低于选定的温度时提供电阻,以及当该铁磁导体处在或高于该选定的温度时,该限温加热器自动提供减少了的电阻。

8. 如权利要求 1 所述的系统,其中所述电耦联材料 (274) 的熔点低于容器 (262) 一深度处的水的沸点。

9. 如权利要求 1 所述的系统,该系统还包括与容器 (262) 耦联的引发器,将引发器配置成熔化电耦联材料 (274)。

10. 如权利要求 9 所述的系统,其中引发器包括熔化电耦联材料 (274) 的加热元件。

11. 如权利要求 8-10 任一所述的系统,其中电耦联材料 (274) 包括当被引发时产生化

学反应的化学混合物 (276), 该混合物的化学反应产生金属。

12. 如权利要求 11 所述的系统, 该系统还包括引发该化学混合物反应的点火装置 (278)。

13. 如权利要求 8-10 任一所述的系统, 其中电耦联材料 (274) 包括焊料。

14. 如权利要求 1 所述的系统, 其中所述电耦联装置还包括与爆炸元件耦联的引发器, 将该引发器配置成引发爆炸元件的爆炸。

15. 如权利要求 14 所述的系统, 其中将该容器 (262) 配置成容纳该爆炸元件, 从而使该容器 (262) 容纳该爆炸元件的爆炸。

16. 一种用于耦联如权利要求 1-15 任一所述系统中的加热器的方法, 该方法包括:

将第一伸长加热器 (232) 放在地层的第一开口中;

将第二伸长加热器 (234) 放在地层的第二开口中; 以及

在低于要被加热层 (240) 的第一开口的部分中将第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分耦联到第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分上, 从而使第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分与第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分电耦联,

其特征在于, 通过以下步骤将第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分电耦联到第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分上:

a) 将第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分的一端部部分放置在与第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分的一端部部分耦联的容器 (262) 中;

在该容器 (262) 中熔化电耦联材料 (274); 以及

使该容器 (262) 中的所述电耦联材料 (274) 冷却以在第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 之间建立电连接; 和 / 或

b) 将爆炸元件与所述第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分的端部部分耦联;

靠近该爆炸元件放置所述第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分的端部部分;

引爆爆炸元件, 从而在所述第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 之间建立电连接。

17. 如权利要求 16 所述的方法, 其中步骤 a) 还包括在温度低于该容器 (262) 一深度处的水的沸点时熔化所述电耦联材料 (274)。

18. 如权利要求 16 所述的方法, 其中步骤 a) 还包括通过熔化电耦联材料 (274) 使该容器 (262) 中的水移位。

19. 如权利要求 16 所述的方法, 其中步骤 a) 还包括使用引发器以熔化电耦联材料 (274)。

20. 如权利要求 16 所述的方法, 其中步骤 a) 还包括使用加热元件以熔化电耦联材料 (274)。

21. 如权利要求 16 所述的方法, 其中步骤 a) 还包括引发化学混合物的化学反应以产生电耦联材料 (274)。

22. 如权利要求 16 所述的方法, 其中所述方法包括步骤 a) 和 b), 并且通过以下步骤将第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分耦联到第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分上:

将第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分的端部部分放置在与第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分耦联的所述容器 (262) 的开口中; 以及

引爆一个或多个与该容器 (262) 耦联的爆炸元件, 以在第一伸长加热器 (232) 和第二伸长加热器 (234) 之间建立电连接。

23. 如权利要求 16 所述的方法, 其中第一伸长加热器 (232) 的暴露金属部分在地层的水位之下与第二伸长加热器 (234) 的暴露金属部分电耦联或者金属性结合。

24. 如权利要求 16 所述的方法, 其中该方法还包括提供热量给该地层的含有碳氢化合物的层 (240)。

25. 一种使用如权利要求 1-15 任一所述系统或使用如权利要求 16-24 任一所述方法生产包括碳氢化合物的混合物的方法。

用于加热地表下地层的系统及耦联该系统中加热器的方法

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及碳氢化合物、氢和 / 或其他各种地表下地层产物的加热与生产的方法和系统,所述各种地表下地层例如是含碳氢化合物的地层。具体涉及耦联加热器地表下部分的系统和方法。

[0002] 背景技术

[0003] 从地下地层获得的碳氢化合物经常用作能源、原料和消费品。对可用碳氢化合物资源耗尽的担忧和对生产的碳氢化合物整体质量下降的忧虑曾导致更加有效的开采程序的发展、可用碳氢化合物资源加工和 / 或使用的发展。可利用原地加工程序从地下地层中分离碳氢化合物材料。可能需要改变地下地层中碳氢化合物材料的化学和 / 或物理性质以使得更容易地从地下地层中分离碳氢化合物材料。化学和物理的改变可包括地层中碳氢化合物材料产生可移动流体的原地反应、成分改变、溶解度改变、密度改变、相位改变和 / 或粘性改变。流体可以是,但不限于,气体、液体、乳状液、泥浆和 / 或具有与液体流类似的流动特性的固体颗粒流。

[0004] 在原地加工过程中可将加热器放置在井眼中加热地层。授权给 Ljungstrom 的美国专利 US2, 634, 961、US2, 732, 195、US2, 780, 450、US2, 789, 805、US2, 923, 535 及授权给 Van Meurs 等人的美国专利 US4, 886, 118 中阐明了利用井下加热器的原地加工实例。

[0005] 授权给 Ljungstrom 的美国专利 US2, 923, 535 和授权给 Van Meurs 等人的美国专利 US4, 886, 118 中描述了对油页岩地层进行的加热。可将热量施加到油页岩地层以热解油页岩地层中的油母岩。热量也可使地层破裂以增加地层的渗透性。增加的渗透性可使得地层流体行进到生产井,流体在此从油页岩地层中分离出。例如,在 Ljungstrom 披露的一些加工程序中,将含氧气体介质导入可渗透地层,优选当其由于经过预热步骤而依然是热的时候,开始燃烧。

[0006] 可使用热源加热地下地层。可使用电加热器借助辐射和 / 或传导加热地下地层。电加热器可以电阻加热的方式加热元件。授权给 Germain 的美国专利 US2, 548, 360 描述了置于井眼中的粘性油内的电加热元件。该加热器元件加热并稀释该油以使该油从井眼中泵出。授权给 Eastlund 等人的美国专利 US4, 716, 960 描述了石油井的电加热管道系统,借助经过该管道系统传递相对低电压的电流以防止固体形成。授权给 Van Egmond 的美国专利 US5, 065, 818 描述了一种电加热元件,在没有套管围绕该加热元件的情况下将该电加热元件固结在井孔中。

[0007] 授权给 Vinegar 等人的美国专利 US6, 023, 554 描述了安置在套管中的电加热元件。该加热元件产生加热该套管的辐射能。可在套管和地层之间放置粒状固体填充材料。套管可传导加热填充材料,填充材料接下来传导加热地层。

[0008] 在有些地层中,在地层表面下的不同开口中电耦联加热器可能是有利的。例如,可在地表下地层中耦联加热器使得第一加热器向井下传送电流而第二加热器表现为反向电流。在有些情形中,可在地表下地层中电耦联三个加热器使得加热器能够以三相结构方式运行。这样,地表下地层中的电耦联加热器需要可靠的系统和方法。

[0009] 美国专利申请 US2004/0140095 公开了一种潜孔式加热系统和方法,包括排布在三个井中的加热器,加热器和井在潜孔分支点处互连,从而加热器能够以三相结构运行。该已知系统的问题在于怎样在潜孔分支点处以可靠的方式电气互连加热器。

[0010] PCT 申请 WO 97/23924 公开了一种包括渐缩的加热线圈的电气连接器,裸露的导体插入到所述线圈中,所述导体被扭曲和加热,从而形成焊接接头。该已知方法的问题在于不容易将导体扭曲并且可靠地施加在潜孔中。

[0011] 美国专利 US 3513249 公开了一种用于电连接电线端部的爆炸连接器,所述连接器包括不可变形的外部部件,在该外部部件中布置一对中空可变形的内部部件,通过在所述外部部件和内部部件之间空间中布置的爆炸元件,将内部部件夹在电线端部周围。这种已知的爆炸连接器体积大,因此不适于在穿透地表下地层的潜孔中使用。

[0012] 发明内容

[0013] 在此描述的实施方式大体上涉及处理地表下地层的系统、方法和加热器。在此描述的实施方式大体上也涉及具有新颖组件的加热器。这种加热器能够通过使用在此描述的系统和方法来获得。

[0014] 在一些实施方式中,本发明提供一种用于加热地表下地层的系统,包括:在地层中的第一开口中的第一伸长加热器,其中第一伸长加热器在第一开口的一部分中包括暴露金属部分,所述第一开口的所述部分低于地层的要被加热层,而暴露金属部分暴露于地层;在地层中的第二开口中的第二伸长加热器,其中第二开口在位于或靠近低于要被加热层的第一开口的所述部分的地方与第一开口连接;以及电耦联装置,所述电耦联装置使第二伸长加热器的一暴露金属部分的至少一部分与第一伸长加热器的暴露金属部分的至少一部分在低于要被加热层的第一开口的所述部分中电耦联;其特征在于,所述电耦联装置包括:a) 容器,所述容器被配置成与所述第一伸长加热器和第二伸长加热器中的至少一个加热器的端部部分耦联,该端部部分在要被加热层之下,该容器包括电耦联材料,将该电耦联材料配置成当其被熔化和随后被冷却时促进第一伸长加热器和第二伸长加热器之间的电连接;和/或 b) 配置成与所述第一伸长加热器和第二伸长加热器中的至少一个加热器的端部部分耦联的爆炸元件,其中该端部部分在要被加热层之下,将该爆炸元件配置成当被引爆时促进第一伸长加热器和第二伸长加热器之间的电连接。

[0015] 在某些实施方式中,本发明提供一种用于耦联如上所述系统中的加热器的方法,该方法包括:将第一伸长加热器放在地层的第一开口中;将第二伸长加热器放在地层的第二开口中;以及在低于要被加热层的第一开口的部分中将第二伸长加热器的暴露金属部分耦联到第一伸长加热器的暴露金属部分上,从而使第一伸长加热器的暴露金属部分与第二伸长加热器的暴露金属部分电耦联,其特征在于,通过以下步骤将第二伸长加热器的暴露金属部分电耦联到第一伸长加热器的暴露金属部分上:a) 将第二伸长加热器的暴露金属部分的一端部部分放置在与第一伸长加热器的暴露金属部分的一端部部分耦联的容器中;在该容器中熔化电耦联材料;以及使该容器中的所述电耦联材料冷却以在第一伸长加热器和第二伸长加热器之间建立电连接;和/或 b) 将爆炸元件与所述第一伸长加热器的暴露金属部分的端部部分耦联;靠近该爆炸元件放置所述第二伸长加热器的暴露金属部分的端部部分;引爆爆炸元件,从而在所述第一伸长加热器和第二伸长加热器之间建立电连接。还提供了一种使用如上所述系统或使用如上所述方法生产包括碳氢化合物的混合物的方法,以

及一种从如上所述的混合物生产运输燃料的方法。

[0016] 在另外的实施方式中,特定实施方式的特征可与其他实施方式的特征结合。例如,一个实施方式的特征可与任意其余实施方式的特征结合。

[0017] 在另外的实施方式中,使用任意在此描述的方法、系统或加热器执行地表下地层的处理。

[0018] 在另外的实施方式中,可为在此描述的特定实施方式添加额外的特征。

[0019] 附图说明

[0020] 借助下面的详细描述以及参照附图,本发明的优势对本领域技术人员而言可变得显而易见。在这些附图中:

[0021] 图 1 描述加热含碳氢化合物地层的阶段图。

[0022] 图 2 示出处理含碳氢化合物地层的一部分原地转换系统的一个实施方式的示意图。

[0023] 图 3、4 和 5 描述带有外部导体的限温加热器一个实施方式的剖面图,该外部导体具有铁磁部分和非铁磁部分。

[0024] 图 6 和 6B 描述限温加热器一个实施方式的剖面图。

[0025] 图 7 描述限温加热器的一个实施方式,其中支撑部件提供铁磁导体居里温度下的大部分热量输出。

[0026] 图 8 和 9 描述限温加热器的实施方式,其中护套提供铁磁导体居里温度下的大部分热量输出。

[0027] 图 10 描述以三相结构方式耦联在一起的限温加热器的一个实施方式。

[0028] 图 11 描述在单一接触部分耦联在一起的两个限温加热器的一个实施方式。

[0029] 图 12 描述带有在接触部分耦联的支路的两个限温加热器的一个实施方式。

[0030] 图 13 描述带有在接触部分耦联的支路的两个限温加热器的一个实施方式,该接触部分带有接触溶液。

[0031] 图 14 描述带有在接触部分不使用接触器耦联的支路的两个限温加热器的一个实施方式。

[0032] 图 15 描述以三相结构方式耦联的三个加热器的一个实施方式。

[0033] 图 16 和 17 描述用来耦联加热器三支路的接触元件的实施方式。

[0034] 图 18 描述带有用于熔化耦联材料的引发器 (initiator) 的容器的一个实施方式。

[0035] 图 19 描述用于耦联接触元件的容器的一个实施方式,该接触元件上带有球形物。

[0036] 图 20 描述容器的一个替代实施方式。

[0037] 图 21 描述用来耦联加热器三支路的接触元件的一个替代实施方式。

[0038] 图 22 描述用于耦联使用限温加热元件的接触元件的一个实施方式的侧视图。

[0039] 图 23 描述用于耦联使用限温加热元件的接触元件的一个替代实施方式的侧视图。

[0040] 图 24 描述用于耦联使用限温加热元件的接触元件的另一个替代实施方式的侧视图。

[0041] 图 25 描述用来耦联加热器三支路的接触元件一个替代实施方式的侧视图。

[0042] 图 26 描述图 25 所示用来耦联加热器三支路的接触元件替代实施方式的顶视图。

[0043] 图 27 描述带有电刷接触器的接触元件的一个实施方式。

[0044] 图 28 描述用于将电刷接触器与接触元件耦联的一个实施方式。

[0045] 虽然本发明容许各种修改和替代的形式,但其特定实施方式借助附图中的实例示出并且可在此对其进行详细描述。附图可不按比例绘制。然而应当理解的是不希望这些附图和详细描述将本发明限制在所披露的特殊形式内,而正相反,本发明将会覆盖落在由附带的权利要求所限定的本发明精神和范围内的所有修改、等同物和替代。

[0046] 具体实施方式

[0047] 下面的描述大体上涉及处理地层中碳氢化合物的系统和方法。可处理这种地层以生产碳氢化合物产品、氢和其他产品。

[0048] “碳氢化合物”大体上限定为主要由碳和氢原子形成的分子。碳氢化合物也可包括其他元素,例如,但不限于,卤素、金属元素、氮、氧和 / 或硫。碳氢化合物可以是,但不限于,油母岩、沥青、焦沥青、油、天然矿物蜡和沥青岩。碳氢化合物可位于或邻近地球中的矿物基岩。基岩可包括,但不限于,沉积岩、沙地、沉积石英岩、碳酸盐岩、硅藻土和其他多孔介质。“碳氢化合物流体”是包含碳氢化合物的流体。碳氢化合物流体可包括夹带非碳氢化合物或被非碳氢化合物夹带的流体,非碳氢化合物例如是氢、氮、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢、水和氨。

[0049] “地层”包括一个或多个含碳氢化合物层、一个或多个非碳氢化合物层、上覆岩层和 / 或下伏岩层。“上覆岩层”和 / 或“下伏岩层”包括一个或多个不同类型的不渗透材料。例如,上覆岩层和 / 或下伏岩层可包括岩石、页岩、泥岩或湿 / 密碳酸盐岩。在原地转换处理的一些实施方式中,上覆岩层和 / 或下伏岩层可包括一个或多个含碳氢化合物层,该含碳氢化合物层是相对不渗透的并且不经受在原地转换处理期间导致上覆岩层和 / 或下伏岩层的该含碳氢化合物层发生重大特性改变的温度。例如,下伏岩层可包含页岩或泥岩,但不允许在原地转换处理期间将该下伏岩层加热到热解的温度。在有些情形中,上覆岩层和 / 或下伏岩层可能是稍微可渗透的。

[0050] “加热器”是在井或近井眼区域中产生热的任意系统或热源。加热器可以是,但不限于,电加热器、燃烧器、与地层中或产生于地层的材料起反应的燃烧室,和 / 或它们的组合。

[0051] “绝缘导体”是指任何能够导电并且全部或部分被电绝缘材料覆盖的伸长材料。

[0052] 伸长部件可以是裸露的金属加热器或暴露的金属加热器。“裸露金属”和“暴露金属”是指不包含例如是矿物绝缘的电绝缘层的金属,电绝缘层被设计成贯穿该伸长部件的运行温度范围对金属提供电绝缘。裸露金属和暴露金属可环绕包含腐蚀抑制层的金属,腐蚀抑制层例如是天然出现的氧化层、应用氧化层和 / 或膜层。裸露金属和暴露金属包括带有聚合的或其他类型的电绝缘的金属,该电绝缘层不能在该伸长部件的典型运行温度下保持电绝缘特性。这种材料可放置在该金属上并且在加热器的使用期间可以是热退化的。

[0053] “限温加热器”大体是指在不使用外部控制的情况下在规定温度之上调节热量输出(例如,减少热量输出)的加热器,所述外部控制例如是温度控制器、功率调节器、整流器或其他装置。限温加热器可以是 AC(交流电)或调制(例如,“斩波”)DC(直流电)提供电力的电阻加热器。

[0054] “居里温度”是铁磁材料丧失其全部铁磁特性之上的温度。在居里温度之上除了丧

失其全部铁磁特性外,铁磁材料还在渐增的电流经过该铁磁材料时开始丧失其铁磁特性。

[0055] “时变电流”是指在铁磁导体中产生趋肤效应电流并且大小随时间变化的电流。时变电流不仅包括交流电 (AC),而且包括调制直流电 (DC)。

[0056] “交流电 (AC)”是指大体上沿正弦曲线变换方向的时变电流。AC 在铁磁导体中产生趋肤效应电流。

[0057] “调制直流电 (DC)”是指任何大体为非正弦曲线的时变电流,其在铁磁导体中产生趋肤效应电流。

[0058] 限温加热器的“调节比 (turndown ratio)”是指在居里温度以下的最高 AC 或调制 DC 电阻与给定电流居里温度之上的最低电阻的比率。

[0059] 在减少热量输出的加热系统、设备和方法的语境中,术语“自动地”意味这种系统、设备和方法在不使用外部控制 (例如,外部控制器,所述外部控制器例如是带有温度传感器和反馈回路的控制器、PID 控制器或预测控制器)的情况下以确定的方式运行。

[0060] “原地转换处理”是指由加热器加热含碳氢化合物地层的处理过程,以将至少一部分地层的温度升高到热解温度之上,从而在地层中产生热解流体。

[0061] 术语“井眼”是指通过将管道钻入或插入地层而在地层中形成的洞。井眼可具有大体为圆形的横截面或者是另一形状横截面。用在这里时,术语“井”和“开口”当指代地层中的开口时可与术语“井眼”互换使用。

[0062] 可以各种方式处理地层中的碳氢化合物以生产许多不同的产品。在某些实施方式中,分阶段处理地层中的碳氢化合物。图 1 描述加热含碳氢化合物地层的阶段图。图 1 还描述了以每吨当量油桶数 (barrelsof oil equivalent per ton) 为单位的来自地层的的地层流体产量 (“Y”) (y 轴) 相对于以摄氏度为单位的被加热地层温度 (“T”) (x 轴) 变化的实例。

[0063] 甲烷的解吸附和水的蒸发在阶段 1 的加热期间出现。贯穿阶段 1 的地层加热可尽可能快地执行。例如,当开始加热含碳氢化合物地层时,地层中的碳氢化合物释放出所吸附的甲烷。解吸的甲烷可从地层中生产出来。如果进一步加热含碳氢化合物地层,水就从含碳氢化合物地层蒸发出来。在一些含碳氢化合物地层中,水可能占地层孔隙体积的 10% 到 50%。在其他地层中,水占据更大或更小部分的孔隙体积。水通常在 160°C 和 285°C 之间在 600kPa 到 7000kPa 的绝对压力下从地层蒸发出来。在一些实施方式中,蒸发出的水导致地层中润湿性的改变和 / 或地层压力的增加。润湿性的改变和 / 或压力的增加可能影响热解反应或地层中的其他反应。在某些实施方式中,从地层中产生蒸发出来的水。在其他实施方式中,蒸发出来的水用于地层中或地层外的蒸汽提取和 / 或蒸馏。从地层中分离水并且在地层中增加孔隙体积增加了孔隙体积中碳氢化合物的存储空间。

[0064] 在某些实施方式中,在阶段 1 的加热之后,进一步加热地层,使地层中的温度达到 (至少) 初始热解温度 (例如在阶段 2 所示温度范围的低端温度)。贯穿阶段 2 地层中的碳氢化合物可被热解。热解温度范围根据地层中碳氢化合物的类型变化。热解温度范围可在 250°C 和 900°C 之间。生产期望产品的热解温度范围可仅为总的热解温度范围的一部分。在一些实施方式中,生产期望产品的热解温度范围可在 250°C 和 400°C 之间或在 270°C 和 350°C 之间。如果地层中碳氢化合物的温度经过从 250°C 到 400°C 的温度范围缓慢上升,热解产品的生产可在温度达到 400°C 时大体完成。可将碳氢化合物的平均温度每天以小于

5°C、小于 2°C、小于 1°C 或小于 0.5°C 的速率通过生产期望产品的热解温度范围升高。使用多个热源加热含碳氢化合物地层可在热源周围建立温度梯度,所述热源通过热解温度范围缓慢升高地层中碳氢化合物的温度。

[0065] 通过期望产品的热解温度范围而增加的温度速率可影响从含碳氢化合物地层中产生出的地层流体的质量和数量。通过期望产品的热解温度范围缓慢升高温度可抑制地层中大链分子的活化 (mobilization)。通过期望产品的热解温度范围缓慢升高温度可限制产生非期望产品的活化碳氢化合物之间的反应。通过期望产品的热解温度范围缓慢升高地层温度可使得从地层生产出高质量、高 API 重度碳氢化合物。通过期望产品的热解温度范围缓慢升高地层温度可使得作为碳氢化合物产品分离出大量存在于地层的碳氢化合物。

[0066] 在一些原地转换的实施方式中,将一部分地层加热到期望的温度来代替通过温度范围缓慢加热温度。在一些实施方式中,所期望的温度是 300°C、325°C 或 350°C。可选择其他温度作为所期望的温度。来自热源的热量的重合使得所期望的温度在地层中相对快速和有效地建立。可调节从热源向地层的能量输入以将地层温度大致维持在所期望的温度上。将地层被加热部分大致维持在所期望的温度上直到热解下降,热解下降使得来自地层的所期望地层流体的生产变得不经济。经受热解的地层部分可包括仅通过来自一个热源的热传递而进入热解温度范围的多个区域。

[0067] 在某些实施方式中,包含热解流体的地层流体从地层中产出。当地层温度增加时,产出的地层流体中的可冷凝碳氢化合物数量可能减少。在高温下,地层可主要生产甲烷和 / 或氢。如果贯穿整个热解范围加热含碳氢化合物地层,地层可朝向热解范围的上限仅生产少量的氢。在所有可用氢耗尽之后,通常会出现最少量的地层流体产出。

[0068] 在碳氢化合物热解后,大量碳和一些氢可能仍然存于地层中。滞留在地层中的碳的主要部分能够以合成气体的形式从地层产出。合成气体的产生可在图 1 所示阶段 3 的加热期间发生。阶段 3 可包括将含碳氢化合物地层加热到足以产生合成气体的温度。例如,合成气体可在从 400°C 到 1200°C、从 500°C 到 1100°C 或从 550°C 到 1000°C 的温度范围内产出。地层被加热部分的温度在将合成气体发生流体导入地层时决定产生于地层的合成气体的成分。可将生成的合成气体通过一个或多个生产井从地层中分离出。

[0069] 从含碳氢化合物地层产生的流体的总能量含量可在热解和合成气体生成过程中始终保持相对恒定。在相对低的地层温度下的热解过程中,所产出流体的主要部分可为可冷凝的碳氢化合物,其具有高能量含量。然而,在较高热解温度下,可能包含可冷凝碳氢化合物的地层流体较少。更多不可冷凝的地层流体可从地层中产出。所产出流体每单位体积的能量含量可能在不可冷凝占优势的地层流体的生成期间稍微下降。在合成气体生成期间,所产出合成气体每单位体积的能量含量相对于热解流体的能量含量显著下降。然而,所产出合成气体的体积将在许多情况下显著增加,因而补偿了减少的能量含量。

[0070] 图 2 描述处理含碳氢化合物地层的一部分原地转换系统的一个实施方式的示意图。该原地转换系统可包括屏障井 200。屏障井用于在处理区周围形成屏障。该屏障抑制流体流入和 / 或流出处理区。屏障井包括,但不限于,脱水井、真空井、俘获井、注入井、灌浆井、冷冻井或它们的组合。在一些实施方式中,屏障井 200 是脱水井。脱水井可去除液态水和 / 或抑制液态水进入一部分要被加热的地层或者正在被加热的地层。在图 2 所示的实施方式中,示出仅沿热源 202 的一侧延伸的屏障井 200,但屏障井通常环绕所有使用或要使用

的热源 202, 以加热地层的处理区。

[0071] 将热源 202 放置在至少一部分地层中。热源 202 可包括加热器, 例如绝缘导体、管包导体加热器、表面燃烧器、无焰分布式燃烧室和 / 或自然分布式燃烧室。热源 202 也可包括其他类型的加热器。热源 202 为至少一部分地层提供热量以加热地层中的碳氢化合物。可通过供应线 204 为热源 202 供应能量。根据用于加热地层的的一个或多个热源的类型, 供应线 204 在结构上可以是不同的。热源供应线 204 可为电加热器送电, 可为燃烧室输送燃料, 或者可输送在地层中循环的热交换流体。

[0072] 生产井 206 用于从地层分离地层流体。在一些实施方式中, 生产井 206 可包括一个或多个热源。生产井中的热源可在位于或靠近生产井的地方加热地层的的一个或多个部分。生产井中的热源可抑制正从地层分离出的地层流体的冷凝和逆流。

[0073] 可通过收集管道系统 208 向处理设备 210 输送生产井 206 产出的地层流体。地层流体也可从热源 202 中产出。例如, 流体可从热源 202 产出以控制邻近热源的地层中的压力。可通过管道系统向收集管道系统 208 输送从热源 202 产出的流体, 或者可通过管道系统直接向处理设备 210 输送所产出的流体。处理设备 210 可包括分离单元、反应单元、升级单元、燃料电池、涡轮、存储容器和 / 或其他加工所产出的地层流体的系统和单元。处理设备可从至少一部分从地层产出的碳氢化合物中形成运输燃料。

[0074] 限温加热器可以采用多种结构和 / 或可包含为确定温度下的加热器提供自动限温特性的材料。在某些实施方式中, 在限温加热器中使用铁磁材料。当对其施加时变电流时, 铁磁材料可在材料的居里温度下或临近材料的居里温度自限温度, 以在居里温度下或在临近居里温度时提供减少了数量的热量。在某些实施方式中, 铁磁材料在所选近似居里温度的温度下自我限制该限温加热器的温度。在某些实施方式中, 所选温度在居里温度的 35°C、25°C、20°C 或 10°C 的范围内。在某些实施方式中, 铁磁材料与其他材料 (例如, 高传导材料、高强度材料、抗腐蚀材料或它们的组合) 耦联以提供各种电性能和 / 或机械性能。限温加热器的一些部分可具有低于限温加热器其他部分的电阻 (由不同的几何形态和 / 或由使用不同的铁磁和 / 或非铁磁材料引起)。使限温加热器各部分具有各种不同的材料和 / 或尺寸, 使得能够定制来自加热器每一部分的所期望的热量输出。

[0075] 限温加热器可比其他加热器更可靠。限温加热器可较少具有因地层中的热点而导致损坏或出现故障的倾向。在一些实施方式中, 限温加热器使得地层的加热大体一致。在一些实施方式中, 限温加热器能够通过沿加热器整个长度的较高平均热量输出下运行而更有效地加热地层。因为如果沿加热器任一点的温度超过或将要超过加热器的最大运行温度, 那么就不必对整个加热器减少供给加热器的功率, 正如具有典型恒定瓦数加热器的情况, 所以限温加热器在沿加热器整个长度的较高平均热量输出下运行。在没有时变电流受控调节应用于加热器的情况下, 接近加热器居里温度的限温加热器的各部分热量输出自动减少。由于限温加热器各部分的电性能 (例如, 电阻) 的改变, 热量输出自动减少。这样, 在更大部分的加热过程期间, 由限温加热器供应更多的能量。

[0076] 在某些实施方式中, 当限温加热器由时变电流激励时, 包含限温加热器的系统最初提供第一热量输出, 然后在临近、处于或高于加热器电阻部分的居里温度时提供减少的热量输出 (第二热量输出)。第一热量输出是在低于该温度所述限温加热器开始自限温度时的热量输出。在一些实施方式中, 第一热量输出是低于限温加热器中铁磁材料的居里温

度 50°C、75°C、100°C 或 125°C 的温度下的热量输出。

[0077] 限温加热器可由在井口供应的时变电流（交流电或调制直流电）激励。井口可包括电源和其他用于给限温加热器供应电力的组件（例如，调制组件、变压器和 / 或电容器）。限温加热器可以是用于加热一部分地层的许多加热器中的一个。

[0078] 在某些实施方式中，限温加热器包括导体，当在该导体上施加时变电流时，该导体作为趋肤效应或邻近效应加热器运行。趋肤效应限制电流渗入导体内部的深度。对于铁磁材料，趋肤效应由导体的导磁率支配。铁磁材料的相对导磁率通常在 10 和 1000 之间（例如，铁磁材料的相对导磁率通常至少是 10，可能至少是 50、100、500、1000 或更大）。当铁磁材料的温度升高到居里温度之上时和 / 或当施加的电流增加时，铁磁材料的导磁率实质减少，趋肤深度迅速扩张（例如，趋肤深度扩张为导磁率的平方根倒数）。导磁率的减少导致在临近、处于或高于居里温度时和 / 或当施加的电流增加时，导体的 AC 或调制 DC 电阻减小。当限温加热器由大体恒定的电流源供能时，邻近、达到或高于居里温度的加热器部分可具有减少的散热。不处于或不临近居里温度的限温加热器部分可由趋肤效应加热支配，趋肤效应加热使得加热器由于较高的电阻负荷而具有高散热。

[0079] 使用限温加热器加热地层中碳氢化合物的优势是选择导体使其具有在期望的运行温度范围内的居里温度。在期望的运行温度范围内的运行使得充足的热量注入地层，并将限温加热器及其他设备的温度维持低于设计限制温度。设计限制温度是指在该温度下例如腐蚀、蠕变和 / 或变形的特性产生不利影响的温度。限温加热器的温度限制特性抑制邻近地层中低导热性“热点”的加热器发生过热或被烧坏。在一些实施方式中，根据用在加热器中的材料，限温加热器能够降低或控制热量输出和 / 或经受住高于 25°C、37°C、100°C、250°C、500°C、700°C、800°C、900°C 或更高到 1131°C 温度的热量。

[0080] 因为输入限温加热器的能量不必被限制以适应邻近加热器的低导热性区域，所以限温加热器使得多于恒定瓦数加热器的热量注入地层。例如，在绿河 (Green River) 油页岩中，在最低富油页岩层和最高富油页岩层的导热性之间存在至少为 3 倍的差别。当加热这种地层时，用限温加热器比用传统加热器传输实质更多的热量到该地层，传统加热器受低导热层温度的限制。沿传统加热器整个长度的热量输出需要适应该低导热层，以使得该加热器不在该低导热层过热和烧坏。对于限温加热器，邻近高温下的低导热层的热量输出将减少，但不处在高温下的限温加热器的其余部分将仍然提供高热量输出。因为加热碳氢化合物地层的加热器通常具有长的长度（例如，至少 10m、100m、300m、至少 500m、1km 或更长到 10km），限温加热器的大部分长度可低于居里温度运行，而仅少数部分处于或临近限温加热器的居里温度。

[0081] 限温加热器的使用使得热量有效传输到地层。热量的有效传输使得将地层加热到期望温度所需的时间减少。例如，在绿河油页岩中，当使用具有传统恒定瓦数加热器的 12m 加热器井距时，热解通常需要 9.5 年到 10 年的加热。对于相同的加热器间距，限温加热器可提供更大的平均热量输出，并维持加热器设备温度低于设备设计限制温度。使用由限温加热器提供的较大平均热量输出可比使用由恒定瓦数加热器提供的较低平均热量输出在更早的时间出现地层中的热解。例如，在绿河油页岩中，使用具有 12m 加热器井距的限温加热器的热解可在 5 年内出现。限温加热器抵消了由于不准确的井距或钻井导致的热点，在该不准确的钻井处加热器井靠得太近。在某些实施方式中，限温加热器能够随时间增加对

间隔太远的加热器井的能量输出,或限制对间隔太近的加热器井的能量输出。限温加热器还在邻近上覆岩层和下伏岩层的区域中供应更多能量以补偿这些区域中的温度损失。

[0082] 限温加热器可有利地用在许多类型的地层中。例如,在焦油沙地地层中或在含有重碳氢化合物相对可渗透的地层中,限温加热器可用于提供可控低温输出以在井眼处或靠近井眼或在地层中减少流体粘性、活化流体和 / 或增强流体的径向流动。限温加热器可用于抑制由于邻近井眼的地层区域过热导致的过焦化地层。

[0083] 在一些实施方式中,限温加热器的使用排除或减少对昂贵温度控制电路的需要。例如,限温加热器的使用排除或减少对执行温度测井的需要和 / 或对在加热器上使用固定热电偶以监测热点处潜在过热的需要。

[0084] 在某些实施方式中,限温加热器是耐形变的。井眼中材料的局部移动可在能改变其形状的加热器上导致横向应力。沿加热器长度的且井眼接近或靠近该加热器的位置可能是热点,在热点处,标准加热器过热并且具有烧坏的潜在可能。这些热点可能降低金属的屈服强度和蠕变强度,使加热器起皱或变形。限温加热器可在不导致加热器失灵的情况下以适应限温加热器的变形的 S 曲线 (或其他非线性形状)。

[0085] 在一些实施方式中,限温加热器的加工和制造比标准加热器更经济。典型的铁磁材料包括铁、碳钢或铁素体不锈钢。这种材料与通常用在绝缘导体 (矿物绝缘电缆) 加热器中的镍基加热合金 (例如镍铬合金, Kanthal™ (Bulten-Kanthal AB, 瑞典) 和 / 或 LOHM™ (Driver-Harris 公司, Harrison, 美国新泽西州)) 相比是便宜的。在限温加热器的一个实施方式中,限温加热器象绝缘导体加热器一样在连续的长度上制造以降低成本和改善可靠性。

[0086] 在一些实施方式中,限温加热器放置在使用盘管钻探设备的加热器井中。可使用金属制造能够在线轴上盘卷的加热器,所述金属例如是使用电阻焊接法 (ERW) 焊接的铁素体不锈钢 (例如, 409 不锈钢)。为形成加热器部分,来自一卷的金属带经过第一形成器,在此形成管状件,然后使用 ERW 在纵向上焊接。该管状件经过第二形成器,在此应用传导带 (例如,铜带),使传导带向下拉紧到该管状件上,并使用 ERW 在纵向上焊接。可通过在传导带材料之上纵向焊接支撑材料 (例如,诸如 347H 或 347HH 的钢) 形成外壳。支撑材料可以是在传导带材料之上滚轧成的带子。加热器的上覆岩层部分可以类似的方式形成。在某些实施方式中,上覆岩层部分使用非铁磁材料例如 304 不锈钢或 316 不锈钢代替铁磁材料。加热器部分和上覆岩层部分可使用标准技术例如使用轨道焊接机的对接焊接耦联在一起。在一些实施方式中,上覆岩层材料 (非铁磁材料) 可在滚轧之前预先与铁磁材料焊接。预先焊接可排除对单独耦联步骤 (例如,对接焊接) 的需要。在一个实施方式中,可在形成管状加热器之后通过中心拖拉柔性线缆 (例如,熔炉线缆 (furnace cable), 该熔炉线缆例如是 MGT1000 熔炉线缆)。可将该柔性线缆的端部套管与该管状加热器焊接以提供电流的返回路径。包括柔性线缆的该管状加热器可在安装入加热器井之前盘卷在线轴上。在一个实施方式中,限温加热器使用盘管钻探设备安装。盘管钻探设备可将限温加热器放置在地层中的抗形变容器中。可使用传统方法将该抗形变容器放置在加热器井中。

[0087] 用在限温加热器中的一个或多个铁磁合金决定加热器的居里温度。各种材料的居里温度数据列于 McGraw-Hill 编写的 “American Institute of Physics Handbook (美国物理学会手册)” 第二版第 5-170 到 5-176 页中。铁磁导体可包括一个或多个铁磁元素

(铁、钴和镍)和/或这些元素的合金。在一些实施方式中,铁磁导体包括含钨(W)的铁铬(Fe-Cr)合金(例如,HCM12A和SAVE12(日本SumitomoMetals公司))和/或含铬的铁合金(例如,Fe-Cr合金、Fe-Cr-W合金、Fe-Cr-V(钒)合金、Fe-Cr-Nb(铌)合金)。在这三种主要的铁磁元素中,铁具有770°C的居里温度;钴(Co)具有1131°C的居里温度;镍具有近似358°C的居里温度。铁钴合金具有高于铁的居里温度。例如,含2%重量百分比钴的铁钴合金具有800°C的居里温度;含12%重量百分比钴的铁钴合金具有900°C的居里温度;含20%重量百分比钴的铁钴合金具有950°C的居里温度。铁镍合金具有低于铁的居里温度。例如,含20%重量百分比镍的铁镍合金具有720°C的居里温度;含60%重量百分比镍的铁镍合金具有560°C的居里温度。

[0088] 一些用作合金的非铁磁元素提高了铁的居里温度。例如,含5.9%重量百分比钒的铁钒合金具有近似815°C的居里温度。其他非铁磁元素(例如,碳、铝、铜、硅和/或铬)可与铁或其他铁磁材料构成合金以降低居里温度。提高居里温度的非铁磁材料可与降低居里温度的非铁磁材料组合并且与铁或其他铁磁材料构成合金以产生具有期望的居里温度和其他期望的物理和/或化学特性的材料。在一些实施方式中,居里温度材料是铁素体,例如 NiFe_2O_4 。在其他实施方式中,居里温度材料是二元化合物,例如 FeNi_3 或 Fe_3Al 。

[0089] 限温加热器的某些实施方式可包括多于一种的铁磁材料。如果在此描述的任何状态应用于限温加热器的至少一种铁磁材料中,那么这样的实施方式处于在此描述的实施方案的范围内。

[0090] 当接近居里温度时,铁磁特性通常衰退。由C. James Erickson编写的“Handbook of Electrical Heating for Industry(工业电加热手册)”(IEEE出版社,1995)示出1%碳钢(碳重量占1%的钢)的典型曲线。导磁率的损失在高于650°C的温度开始并且在温度超过730°C时趋向完全损失。因而,自限温度可稍微低于铁磁导体的实际居里温度。室温下1%碳钢中的电流趋肤深度是0.132cm并在720°C下增加到0.445cm。从720°C到730°C,趋肤深度急剧增加到2.5cm以上。这样,使用1%碳钢的限温加热器实施方式开始在650°C和730°C之间自限。

[0091] 趋肤深度大体限定时变电流进入传导材料的有效渗透深度。通常,电流密度随着沿导体径向从外表面到中心的距离按指数规律地减少。电流密度近似是表面电流密度 $1/e$ 之处的深度被称为趋肤深度。对于直径比渗透深度大得多的固体圆柱杆,或者对于壁厚超过渗透深度的中空圆筒,趋肤深度 δ 为:

$$[0092] \quad (1) \delta = 1981.5 \times (\rho / (\mu \times f))^{1/2}$$

[0093] 其中:

[0094] δ = 以英寸为单位的趋肤深度;

[0095] ρ = 运行温度下的电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$);

[0096] μ = 相对导磁率;以及

[0097] f = 频率(Hz)。

[0098] 公式1从由C. James Erickson编写的“工业电加热手册”(IEEE出版社,1995)获得。对于大多数金属,电阻率(ρ)随温度增加。相对导磁率大体随温度和电流变化。附加的等式可用于确定导磁率的变化和/或基于温度和/或电流的趋肤深度的变化。 μ 与电流的依存关系源自其与磁场的依存关系。

[0099] 可选择用在限温加热器中的材料以提供期望的调节比。可为限温加热器选择的调节比为至少 1.1 : 1、2 : 1、3 : 1、4 : 1、5 : 1、10 : 1、30 : 1 或 50 : 1。也可使用较大的调节比。所选的调节比可能依赖许多因素,包括但不限于,限温加热器定位其中的地层的类型(例如,较高调节比可用于在富油和贫油页岩层之间的导热性具有大的变化的油页岩地层)和/或用在井眼中的材料的温度限制(例如,加热器材料的温度限制)。在一些实施方式中,通过在铁磁材料上耦联附加的铜或者另一个良好的电导体来增加调节比(例如,添加铜以降低居里温度之上的电阻)。

[0100] 限温加热器可在低于加热器的居里温度时提供最小热量输出(功率输出)。在某些实施方式中,最小热量输出是至少 400W/m(瓦特每米)、600W/m、700W/m、800W/m 或更高到 2000W/m。当一部分限温加热器的温度接近或高于居里温度时,限温加热器通过该加热器部分减少热量输出的数量。减少的热量数量可大致少于在低于居里温度时的热量输出。在一些实施方式中,减少的热量数量为至多 400W/m、200W/m、100W/m 或者可接近 0W/m。

[0101] 在一些实施方式中,调节 AC 频率以改变铁磁材料的趋肤深度。例如,1%碳钢在室温下的趋肤深度在 60Hz 时是 0.132cm,在 180Hz 时是 0.0762cm,在 440Hz 时是 0.046cm。由于加热器直径通常大于两倍趋肤深度,所以使用较高的频率(加热器因此具有较小的直径)减少了加热器成本。对于固定的几何形态,较高频率导致较高的调节比。通过将较低频率下的调节比与较高频率与较低频率比值的平方根相乘计算出较高频率下的调节比。在一些实施方式中,使用 100Hz 和 1000Hz 之间、140Hz 和 200Hz 之间或 400Hz 和 600Hz 之间的频率(例如,180Hz、540Hz 或 720Hz)。在一些实施方式中,可使用高频率。频率可大于 1000Hz。

[0102] 在某些实施方式中,调制 DC(例如,斩波 DC、波形调制 DC 或循环 DC)可用于为限温加热器提供电能。DC 调制器或 DC 斩波器可与 DC 电源耦联以提供调制直流电的输出。在一些实施方式中,DC 电源可包括调制 DC 的装置。DC 调制器的一个实例是 DC 对 DC 转换器系统。DC 对 DC 转换器系统在现有技术中大体是已知的。通常对 DC 进行调制或进行斩波使其形成期望的波形。DC 调制的波形包括,但不限于,方形波、正弦曲线、变形正弦曲线、变形方形波、三角形和其他规则或不规则的波形。

[0103] 调制 DC 波形大体限定该调制 DC 的频率。因而,可选择调制 DC 的波形以提供期望的调制 DC 频率。可改变调制 DC 波形的调制形状和/或调制率(例如斩波率)以改变调制 DC 频率。可将 DC 调制到高于通常可用 AC 频率的频率。例如,可在至少 1000Hz 的频率下提供调制 DC。增加所供应电流的频率到更高值有利地增加限温加热器的调节比。

[0104] 在某些实施方式中,调节或改变调制 DC 波形以改变调制 DC 的频率。DC 调制器可能在使用限温加热器期间的任何时候并且在高电流或高电压下调节或改变调制 DC 波形。这样,提供给限温加热器的调制 DC 不限于单一频率或甚至一小组频率值。使用 DC 调制器的波形选择通常考虑到了宽范围的调制 DC 频率以及调制 DC 频率的离散控制。这样,调制 DC 频率非常容易设置在明确的值下,而 AC 频率大体限制于行频的倍数。调制 DC 频率的离散控制考虑到限温加热器调节比之上的更多选择性控制。能够选择性地控制限温加热器的调节比使得更宽范围的材料能够用在限温加热器的设计和构造中。

[0105] 在一些实施方式中,调节调制 DC 频率或 AC 频率以补偿使用中的限温加热器的特性(例如,地表下状态,该地表下状态例如是温度或压力)改变。提供给限温加热器的调制

DC 频率或 AC 频率基于评定的井下状态变化。例如,当井眼中限温加热器的温度增加时,增加提供给加热器的电流频率,从而增加加热器的调节比可能是有利的。在一个实施方式中,井眼中限温加热器的井下温度被评定。

[0106] 在某些实施方式中,改变调制 DC 频率或 AC 频率以调节限温加热器的调节比。可调节该调节比以补偿沿限温加热器长度出现的热点。例如,由于某些位置的限温加热器变得太热,因而增加调节比。在一些实施方式中,改变调制 DC 频率或 AC 频率以在没有评定地表下状态的情况下调整调节比。

[0107] 在某些实施方式中,对应于抗腐蚀性、屈服强度和 / 或抗蠕变性选择限温加热器的最外层(例如,外部导体)。在一个实施方式中,奥氏体(非铁磁)不锈钢,例如 201、304H、347H、347HH、316H、310H、347HP、NF709(日本 Nippon Steel 公司)不锈钢、或者它们的组合可用在外部导体中。该最外层也可包括金属包层导体。例如,抗腐蚀合金例如 800H 或 347H 不锈钢可作为铁磁碳钢管的包层起到腐蚀保护的作用。如果不需要高温强度,该最外层可由具有良好抗腐蚀性的铁磁金属构成,所述铁磁金属例如是铁素体不锈钢中的一种。在一个实施方式中,铁重量占 82.3%、铬重量占 17.7%的铁素体合金(678°C 的居里温度)提供期望的抗腐蚀性。

[0108] The Metals Handbook(金属手册)第 8 卷第 291 页(美国材料协会(ASM))包括铁铬合金相对于合金中铬的数量的居里温度图表。在一些限温加热器的实施方式中,单独支撑杆或管(由 347H 不锈钢制成)与由铁铬合金制成的限温加热器联合以提供屈服强度和 / 或蠕变阻抗。在某些实施方式中,选择支撑材料和 / 或铁磁材料以提供 650°C 下至少 20.7MPa 的 100,000 小时蠕变破裂强度。在一些实施方式中,该 100,000 小时蠕变破裂强度在 650°C 下至少是 13.8MPa 或在 650°C 下至少是 6.9MPa。例如,347H 钢在处于或高于 650°C 的温度下具有良好的蠕变破裂强度。在一些实施方式中,该 100,000 小时蠕变破裂强度的范围从 6.9MPa 到 41.3MPa,或者对于较长的加热器和 / 或较高的地表或流体应力而言更高。

[0109] 在某些实施方式中,限温加热器包括具有铁磁管和非铁磁高导电芯的复合导体。该非铁磁高导电芯减小了所需导体直径。例如,该导体可以是复合的 1.19cm 直径的导体,具有 0.575cm 直径的铜芯线,外覆有围绕该芯的 0.298cm 厚的铁素体不锈钢或碳钢。该芯或非铁磁导体可以是铜或铜合金。该芯或非铁磁导体也可由其他展示出低电阻系数和临近 1 的相对导磁率的金属制成(例如,实质非铁磁材料,该非铁磁材料例如是铝和铝合金、磷青铜、铍铜和 / 或黄铜)。复合导体使得限温加热器的电阻在临近居里温度时更急剧地减小。当趋肤深度临近居里温度增加以包含了该铜芯线时,电阻非常急剧地减小。

[0110] 复合导体可增加限温加热器的传导性和 / 或允许加热器在较低电压下运行。在一个实施方式中,复合导体展示出相对于在低于临近该复合导体的铁磁导体居里温度的区域的温度下的温度分布相对较弱的电阻。在一些实施方式中,限温加热器展示出相对于 100°C 和 750°C 之间或 300°C 和 600°C 之间的温度分布相对较弱的电阻。相对于温度分布相对较弱的电阻也可在其他温度范围内通过例如调整限温加热器中的材料和 / 或材料的配置来展示。在某些实施方式中,选择复合导体中每一材料的相对厚度以产生相对于限温加热器的温度分布所期望的电阻系数。

[0111] 复合导体(例如,复合内部导体或复合外部导体)的制造方法可包括,但不限于,混合挤压、滚轧成形、紧密配合装管(例如,冷却内部部件并加热外部部件,然后将内部部

件插入外部部件,随后进行抽拉操作和 / 或使系统冷却)、爆破性或电磁性包覆、弧覆焊接、纵向带焊接、等离子粉末焊接、钢坯混合挤压、电镀、抽拉、溅射、等离子沉积、混合挤压铸造、磁力成形、熔铸缸铸造(内核材料在外部材料之内,反之亦然)、插入随后焊接或高温蒸煮、防护活性气体焊接(SAG)和 / 或内管插入外管,随后通过液压成形或使用扩管器(pig)靠着外管对内管进行扩张和型锻从而对内管进行机械扩张。在一些实施方式中,在非铁磁导体之上编织铁磁导体。在某些实施方式中,使用与用于金属外覆(例如,将铜外覆于钢)的那些方法类似的方法形成复合导体。铜覆层和基础铁磁材料之间使用冶金粘合剂可能是有利的。由形成良好粘合剂(例如,铜和 446 不锈钢之间的良好粘合剂)的混合挤压方法生产的复合导体可由 Anomet Products 有限公司(美国马萨诸塞州 Shrewsbury)提供。

[0112] 图 3-9 描述各种限温加热器的实施方式。在任一这些图中描述的限温加热器一个实施方式的一个或多个特征可与在这些图中描述的限温加热器其他实施方式的一个或多个特征组合。在此描述的某些实施方式中,将限温加热器的尺寸形成使其在 60Hz AC 频率下运行。应当理解的是可从在此描述的为了使限温加热器以与在其他 AC 频率下或在使用调制 DC 电流的情况下相似的方式运行的那些尺寸对限温加热器的尺寸进行调整。

[0113] 图 3 描述带有外部导体的限温加热器一个实施方式的剖面图,该外部导体具有铁磁部分和非铁磁部分。图 4 和 5 描述图 3 所示实施方式的横截面视图。在一个实施方式中,铁磁部分 212 用于给地层中的碳氢化合物层提供热量。非铁磁部分 214 用在地层的上覆岩层中。非铁磁部分 214 很少或不提供热量给上覆岩层,从而抑制上覆岩层中的热量损失并改善了加热器效率。铁磁部分 212 包含铁磁材料,例如 409 不锈钢或 410 不锈钢。铁磁部分 212 具有 0.3cm 的厚度。非铁磁部分 214 是铜制的,具有 0.3cm 厚度。内部导体 216 是铜制的。内部导体 216 具有 0.9cm 的直径。电绝缘层 218 是由氮化硅、氮化硼、氧化镁粉末或另外合适的绝缘材料制成的。电绝缘层 218 具有 0.1cm 到 0.3cm 的厚度。

[0114] 图 6A 和 6B 描述限温加热器一个实施方式的剖面图,该限温加热器具有铁磁内部导体和非铁磁芯。内部导体 216 可由 446 不锈钢、409 不锈钢、410 不锈钢、碳钢、阿姆科工业纯铁(Armco ingot iron)、铁钴合金或其他铁磁材料制成。芯 220 可紧密结合在内部导体 216 之内。芯 220 是铜或其他非铁磁材料制成的。在某些实施方式中,在进行抽拉操作之前将芯 220 以紧密配合方式插入内部导体 216 之内。在一些实施方式中,芯 220 和内部导体 216 是混合挤压结合的。外部导体 222 由 347H 不锈钢制成。对致密电绝缘层 218(例如,致密的氮化硅、氮化硼、或氧化镁粉末)的抽拉或辊轧操作可确保内部导体 216 和芯 220 之间的良好电接触。在这个实施方式中,热量主要在内部导体 216 中产生直到接近居里温度。于是由于电流渗透到芯 220,电阻急剧减小。

[0115] 对于其中铁磁导体在低于居里温度时提供大部分电阻热量输出的限温加热器,大部分的电流流经相对于磁感应(B)具有高非线性函数的磁场(H)的材料。这些非线性函数可导致强烈的诱导效应和失真,失真导致在低于居里温度的温度下的限温加热器的功率因数减小。这些效应可致使难以控制对限温加热器的电功率供应并且可导致额外的电流流经表面和 / 或上覆岩层电力供应导体。可能要使用昂贵的和 / 或难以实施的控制系统的,例如可变电容器或调制电源以试图补偿这些效应及控制限温加热器,在此大部分电阻热量输出由流经铁磁材料的电流提供。

[0116] 在某些限温加热器的实施方式中,铁磁导体在限温加热器低于或临近铁磁导体的

居里温度时限制大部分电流流向与铁磁导体耦联的电导体。电导体可以是外壳、护套、支撑部件、抗腐蚀部件或其他电阻部件。在一些实施方式中,铁磁导体限制大部分电流流向位于最外层和铁磁导体之间的电导体。铁磁导体位于限温加热器的横截面,使得铁磁导体在处于或低于铁磁导体居里温度时的磁特性限制大部分电流流向电导体。由于铁磁导体的趋肤效应,大部分电流被限制流向电导体。因而,大部分电流将流经贯穿加热器大部分运行范围具有大致线性特性的材料。

[0117] 在某些实施方式中,铁磁导体和电导体位于限温加热器的横截面上,使得铁磁材料的趋肤效应限制电流在处在低于铁磁导体居里温度的温度下的电导体和铁磁导体中的渗透深度。因而,电导体在处于或临近铁磁导体居里温度的温度下提供大部分限温加热器的电阻热量输出。在某些实施方式中,可选择电导体的尺寸以提供期望的热量输出特征。

[0118] 因为大部分电流在低于居里温度时流经电导体,所以限温加热器具有相对于温度分布变化的电阻,该电阻至少部分反映与电导体中材料的温度分布相对的电阻。因此,如果电导体中的材料相对于温度分布具有大体线性的电阻,那么相对于限温加热器温度分布的电阻在低于铁磁导体居里温度时大体是线性的。限温加热器的电阻很少或不依靠流经加热器的电流直到温度临近居里温度。大部分电流在低于居里温度时在电导体中而非在铁磁导体中流动。

[0119] 与在其中大部分电流在电导体中流动的限温加热器的温度分布相对的电阻也趋于在临近或处于铁磁导体居里温度时展示出较急剧的电阻减小。在临近或处于居里温度时的较急剧的电阻减小比在临近居里温度时的更加渐变的电阻减小更易于控制。

[0120] 在某些实施方式中,选择电导体中的材料和 / 或材料尺寸使得限温加热器在低于铁磁导体居里温度时具有与温度分布相对的所期望的电阻。

[0121] 在其中大部分电流在电导体中流动的限温加热器比低于居里温度时的铁磁导体更容易预测和 / 或控制。在其中大部分电流在电导体中流动的限温加热器而非低于居里温度时的铁磁导体的动作可被预测,例如通过其相对于温度分布的电阻和 / 或其相对于温度分布的功率因数。相对于温度分布的电阻和 / 或相对于温度分布的功率因数可被评定或预测,例如借助评定限温加热器动作的实验测量法、评定或预测限温加热器动作的分析方程式和 / 或评定或预测限温加热器动作的模拟方法。

[0122] 当限温加热器的温度接近或超过铁磁导体的居里温度时,铁磁导体铁磁特性的减少使得电流能够流经限温加热器的较大部分的导电横截面。从而,限温加热器的电阻减小而且限温加热器在处于或临近铁磁导体居里温度时自动提供减少了的热量输出。在某些实施方式中,高导电性部件与铁磁导体和电导体耦联以减小限温加热器在处于或高于铁磁导体居里温度时的电阻。该高导电性部件可以是内部导体、芯或另外的由铜、铝、镍或其合金制成的传导部件。

[0123] 在低于居里温度时限制大部分电流流向电导体的铁磁导体与在等于或临近居里温度时使用铁磁导体提供大部分电阻热量输出的限温加热器中的铁磁导体相比可具有相对小的横截面。在低于居里温度时使用电导体提供大部分电阻热量输出的限温加热器在温度低于居里温度时具有低的磁感应系数,这是因为与此处在低于居里温度时大部分电阻数量输出由铁磁材料提供的限温加热器相比,流经铁磁导体的电流较少。铁磁导体半径 (r) 上的磁场 (H) 与流经铁磁导体和所述芯的电流 (I) 和半径的比值成正比,或者:

[0124] (2) $H \propto I/r$

[0125] 对于在低于居里温度时使用外部导体提供大部分电阻热量输出的限温加热器，由于仅一部分电流流经铁磁导体，该限温加热器的磁场可显著小于此处大部分电流流经铁磁材料的限温加热器的磁场。磁场小，相对导磁率 (μ) 可能大。

[0126] 铁磁导体的趋肤深度 (δ) 与相对导磁率 (μ) 的平方根成反比：

[0127] (3) $\delta \propto (1/\mu)^{1/2}$

[0128] 增加相对导磁率则减小铁磁导体的趋肤深度。但是，因为对于低于居里温度的温度，仅一部分电流流经铁磁导体，所以对于具有大的相对导磁率的铁磁材料，铁磁导体的半径（或厚度）可被减小以补偿减小的趋肤深度，同时仍然允许趋肤效应在温度低于铁磁导体的居里温度时限制电流到电导体的渗透深度。根据铁磁导体的相对导磁率，铁磁导体的半径（厚度）可在 0.3mm 和 8mm、0.3mm 和 2mm 或 2mm 和 4mm 之间。由于铁磁材料的成本往往是限温加热器成本的重要部分，减小铁磁导体的厚度可减少制造限温加热器的成本。对于处于或临近铁磁导体居里温度的限温加热器，增加铁磁导体的相对导磁率可提供较高调节比和较急剧的电阻减小。

[0129] 具有高的相对导磁率（例如，至少 200、至少 1000、至少 1×10^4 或至少 1×10^5 ）和 / 或高的居里温度（例如，至少 600°C、至少 700°C 或至少 800°C）的铁磁材料（例如纯铁或铁钴合金）在高温下往往具有较小的抗腐蚀性和 / 或较小的机械强度。电导体可为限温加热器提供高温下的抗腐蚀性和 / 或高的机械强度。因而，可主要对于其铁磁特性选择铁磁导体。

[0130] 在低于铁磁导体居里温度时限制大部分电流流向电导体，减少了功率因数的变化。由于在低于居里温度时仅一部分电流流经铁磁导体，除了在处于或临近居里温度时之外，铁磁导体的非线性铁磁特性对限温加热器的功率因数影响很少或没有影响。甚至在处于或临近居里温度时，对功率因数的影响与在其中在低于居里温度时铁磁导体提供大部分电阻热量输出的限温加热器相比也是减少的。因而，很少或不需要外部补偿（例如，可变电容器或波形修正）来调节限温加热器感应负载的改变以维持相对高的功率因数。

[0131] 在某些实施方式中，在低于铁磁导体居里温度时限制大部分电流流向电导体的限温加热器在其使用期间维持功率因数高于 0.85、高于 0.9 或高于 0.95。任何功率因数的减小仅在温度临近居里温度的限温加热器部分出现。在使用中，限温加热器的大多数部分通常不处于或不临近居里温度。这些部分具有接近 1.0 的高功率因数。对于整个限温加热器，在加热器使用期间功率因数维持高于 0.85、高于 0.9 或高于 0.95，即使加热器一些部分的功率因数低于 0.85。

[0132] 维持高功率因数也考虑到了不太昂贵的电源和 / 或控制装置，例如固态电源或 SCR（可控硅整流器）。如果功率因数由于感应负载的原因变化太大的数量，这些装置可能无法适当地运行。然而，如果将功率因数维持于较高值，这些装置可用于给限温加热器提供功率。固态电源还具有使得能够良好旋转及对供应给限温加热器的功率进行可控调节的优势。

[0133] 在一些实施方式中，变压器用于提供功率给限温加热器。可将多重电压分接头制成变压器以提供功率给限温加热器。多重电压脉冲线使得所供应的电流在多重电压之间来回转换。这样将电流维持在由该多重电压脉冲线限制的范围之内。

[0134] 高导电性部件或内部导体增加限温加热器的调节比。在某些实施方式中,增加高导电性部件的厚度以增加限温加热器的调节比。在一些实施方式中,减小电导体的厚度以增加限温加热器的调节比。在某些实施方式中,限温加热器的调节比在 1.1 和 10、2 和 8 或 3 和 6 之间(例如,调节比为至少 1.1、至少 2 或至少 3)。

[0135] 图 7 描述限温加热器的一个实施方式,其中在低于铁磁导体居里温度时支撑部件提供大部分的热量输出。芯 220 是限温加热器的内部导体。在某些实施方式中,芯 220 是高导电性材料,例如铜或铝。在一些实施方式中,芯 220 是提供机械强度和良好导电性的铜合金,例如弥散强化铜。在一个实施方式中,芯 220 是 Glidcop[®] (SCM MetalProducts 有限公司, Research Triangle Park, 美国北卡罗来纳州)。铁磁导体 224 是电导体 226 和芯 220 之间的铁磁材料薄层。在某些实施方式中,电导体 226 也是支撑部件 228。在某些实施方式中,铁磁导体 224 是铁或铁合金材料的。在一些实施方式中,铁磁导体 224 包含具有高的相对导磁率的铁磁材料。例如,铁磁导体 224 可以是纯铁,例如含低碳工业纯铁(英国 AK Steel 有限公司)。含有一些杂质的铁通常具有大约 400 的相对导磁率。通过在 1450°C 下在氢气(H₂)中对铁进行退火来纯化铁增加了铁的相对导磁率。增加铁磁导体 224 的相对导磁率使得铁磁导体的厚度减小。例如,未纯化铁的厚度可近似为 4.5mm,而纯铁的厚度近似为 0.76mm。

[0136] 在某些实施方式中,电导体 226 提供对铁磁导体 224 和限温加热器的支撑。电导体 226 可由在温度临近或高于铁磁导体 224 的居里温度时提供良好机械强度的材料制成。在某些实施方式中,电导体 226 是抗腐蚀部件。电导体 226(支撑部件 228)可提供对铁磁导体 224 的支撑和腐蚀阻抗。电导体 226 由在温度等于和/或高于铁磁导体 224 的居里温度时提供期望的电阻热量输出的材料制成。

[0137] 在一个实施方式中,电导体 226 是 347H 不锈钢制成的。在一些实施方式中,电导体 226 是另一种具有导电性、良好机械强度、抗腐蚀性的材料。例如,电导体 226 可以是 304H、316H、347HH、NF709、Incoloy[®] 800H 合金(Inco Alloys International, Huntington, 美国西弗吉尼亚)、Haynes[®] HR120[®] 合金或 Inconel[®] 617 合金。

[0138] 在一些实施方式中,电导体 226(支撑部件 228)包括限温加热器不同部分中的不同合金。例如,电导体 226(支撑部件 228)的下部部分是 347H 不锈钢而电导体(支撑部件)的上部部分是 NF709。在某些实施方式中,不同合金用在电导体(支撑部件)的不同部分中以增加电导体(支撑部件)的机械强度,同时为限温加热器维持期望的加热特性。

[0139] 在一些实施方式中,铁磁导体 224 包括限温加热器不同部分中的不同铁磁导体。不同铁磁导体可用在限温加热器的不同部分中以改变居里温度,从而改变不同部分中的最大运行温度。在一些实施方式中,限温加热器上部部分中的居里温度低于加热器下部部分中的居里温度。上部部分中较低的居里温度增加加热器上部部分中的蠕变破裂强度寿命。

[0140] 在图 7 所示实施方式中,将铁磁导体 224、电导体 226 和芯 220 的尺寸形成使得铁磁导体的趋肤深度限制在温度低于铁磁导体居里温度时大部分电流对于支撑部件的渗透深度。从而,电导体 226 在温度处于或临近铁磁导体 224 的居里温度时提供限温加热器大部分的电阻热量输出。在某些实施方式中,图 7 所示限温加热器小于其他不使用电导体 226 以提供大部分电阻热量输出的限温加热器(例如,外径为 3cm、2.9cm、2.5cm 或更小)。因为

铁磁导体 224 比在其中大部分电阻热量输出由铁磁导体提供的限温加热器所需要的铁磁导体的尺寸更薄,所以图 7 所示限温加热器可更小。

[0141] 在一些实施方式中,支撑部件和抗腐蚀部件是限温加热器中的不同部件。图 8 和 9 描述在其中在低于铁磁导体居里温度时护套提供大部分热量输出的限温加热器的实施方式。在这些实施方式中,电导体 226 是护套 230。将电导体 226、铁磁导体 224、支撑部件 228 和芯 220(图 8)或内部导体 216(图 9)的尺寸形成使得铁磁导体的趋肤深度限制大部分电流对于护套厚度的渗透深度。在某些实施方式中,电导体 226 是抗腐蚀的并在低于铁磁导体 224 居里温度时提供电阻热量输出的材料。例如,电导体 226 是 825 不锈钢或 347H 不锈钢材料的。在一些实施方式中,电导体 226 具有小的厚度(例如,近似 0.5mm)。

[0142] 在图 8 中,芯 220 是高导电性材料的,例如铜或铝。支撑部件 228 是 347H 不锈钢的或其他在处于或临近铁磁导体 224 居里温度时具有良好机械强度的材料的。

[0143] 在图 9 中,支撑部件 228 是限温加热器的芯并且是 347H 不锈钢的或其他在处于或临近铁磁导体 224 居里温度时具有良好机械强度的材料的。内部导体 216 是高导电性材料的,例如铜或铝。

[0144] 限温加热器可以是单相加热器或三相加热器。在三相加热器的实施方式中,限温加热器具有三角形或 Y 字形结构。在一些实施方式中,三相加热器包括位于各自井眼中的三条支路。支路可在共同的接触部分(例如,中心井眼、连接井眼或充满溶液的接触部分)中耦联。图 10 描述以三相结构方式耦联在一起的限温加热器的一个实施方式。每条支路 232、234、236 可位于在上覆岩层 242 之下的碳氢化合物层中的各自的开口 238 中。每条支路 232、234、236 可包含加热元件 244。每条支路 232、234、236 可与一个开口 238 中的单一接触元件 246 耦联。接触元件 246 可以三相结构方式将支路 232、234、236 电耦联在一起。例如,接触元件 246 可位于地层中的中心开口中。接触元件 246 可位于碳氢化合物层之下的一部分开口 238 中(例如,在下伏岩层中)。在某些实施方式中,位于中心开口的磁元件的磁跟踪(magnetic tracking)用于引导外部开口(例如,带有支路 232 和 236 的开口 238)地层,使得外部开口与中心开口相交。可使用标准井眼钻孔方法首先形成中心开口。接触元件 246 可包括用于使每条支路插入该接触元件中的漏斗、导向器或捕捉器。

[0145] 在某些实施方式中,各自井眼中的两条支路在单一接触部分相交。图 11 描述在单一接触部分中耦联在一起的两个限温加热器的一个实施方式。支路 232 和 234 包含一个或多个加热元件 244。加热元件 244 可包含一个或多个电导体。在某些实施方式中,支路 232 和 234 在单相结构中以一条支路相对其他支路正向偏置的方式电耦联,使得电流经过一条支路向井下流动并经过另一支路返回。

[0146] 支路 232 和 234 中的加热元件 244 可以是限温加热器。在某些实施方式中,加热元件 244 是固体杆加热器。例如,加热元件 244 可以由单一铁磁导体元件或包含铁磁材料的复合导体制成的杆。在初始加热期间当水存在于在加热地层时,加热元件 244 可泄漏电流到碳氢化合物层 240。泄漏到碳氢化合物层 240 的电流可以电阻加热的方式加热该碳氢化合物层。

[0147] 在一些实施方式中(例如,在油页岩地层中),加热元件 244 不需要支撑部件。加热元件 244 可部分地或稍微地弯折、弯曲,制成 S 形或制成螺旋形以使得加热元件能够扩张和 / 或收缩。在某些实施方式中,将固体杆加热元件 244 置于小直径的井眼中(例如,大约

$3\frac{3}{4}$ " (大约 9.5cm) 直径的井眼)。小直径井眼的钻孔或形成比较大直径井眼不太昂贵并且对其进行的处理开凿较少。

[0148] 在某些实施方式中,上覆岩层 242 中的支路 232 和 234 部分具有抑制加热该上覆岩层的绝缘层(例如,聚合物绝缘层)。加热元件 244 在碳氢化合物层 240 中可彼此大体垂直和大体平行。位于或靠近碳氢化合物层 240 的底部,可朝向支路 234 对支路 232 定向钻孔以在接触部分 248 与支路 234 相交。定向钻孔例如可由 Vector Magnetics LLC(Ithaca, 美国纽约)来执行。接触部分 248 的深度依赖支路 232 中需要与支路 234 相交的弯曲长度。例如,对于支路 232 和 234 垂直部分之间 40ft(约 12m)的间距,需要约 200ft(约 61m)以使得支路 232 的弯曲部分与支路 234 相交。

[0149] 图 12 描述在接触部分 248 耦联支路 232 和 234 的一个实施方式。加热元件 244 在位于或靠近接触部分 248 和碳氢化合物层 240 交叉点的地方与接触元件 246 耦联。接触元件 246 可以是铜或另外合适的电导体。在某些实施方式中,支路 234 中的接触元件 246 是带有开口 250 的衬套。来自支路 232 的接触元件 246 经过开口 250。接触器 252 与来自支路 232 的接触元件 246 的端部耦联。接触器 252 在支路 232 和 234 中的接触元件之间提供电耦联。

[0150] 图 13 描述在接触部分 248 中耦联支路 232 和 234 的一个实施方式,接触部分 248 中带有接触溶液 254。接触溶液 254 置于支路 232 和 / 或支路 234 的带有接触元件 246 的部分中。接触溶液 254 促进接触元件 246 之间的电接触。接触溶液 254 可以是石墨基接合剂或另一种高导电性接合剂或溶液(例如,盐水或其他离子溶液)。

[0151] 在一些实施方式中,仅使用接触溶液 254 在接触元件 246 之间建立电接触。图 14 描述在没有接触器 252 的接触部分 248 中耦联支路 232 和 234 的一个实施方式。接触元件 246 可在或可不在接触部分 248 中接触。使用接触溶液 254 建立接触部分 248 中接触元件 246 之间的电接触。

[0152] 在某些实施方式中,接触元件 246 包括一个或多个翅片或凸起。该翅片或凸起可增加接触元件 246 的电接触面积。在一些实施方式中,支路 232 和 234(例如,加热元件 244 中的电导体)电耦联在一起,但彼此没有物理接触。这个类型的电耦联例如可由接触溶液 254 来实现。

[0153] 图 15 描述以三相结构方式耦联的三个加热器的一个实施方式。导体“支路”232、234、236 与三相变压器 256 耦联。变压器 256 可以是独立的三相变压器。在某些实施方式中,变压器 256 以 Y 形结构提供三相输出,如图 15 所示。对变压器 256 的输入可以任何输入结构(例如图 15 所示三角形结构)来完成。支路 232、234、236 的每一个包括在地层上覆岩层中与碳氢化合物层 240 中的加热元件 244 耦联的引入导体 258。引入导体 258 包括具有绝缘层的铜。例如,引入导体 258 可以是具有 TEFLON[®] 绝缘层的 4-0 铜缆、具有聚氨酯绝缘层的铜杆或其他金属导体,例如铝。加热元件 244 可以是限温加热器加热元件。在一个实施方式中,加热元件 244 是 410 不锈钢杆(例如,3.1cm 直径的 410 不锈钢杆)。在一些实施方式中,加热元件 244 是复合限温加热器加热元件(例如,347 不锈钢、410 不锈钢和铜的复合加热元件;347 不锈钢、铁和铜的复合加热元件;或 410 不锈钢和铜的复合加热元件)。在某些实施方式中,加热元件 244 的长度至少为约 10m 到约 2000m、约 20m 到约 400m

或约 30m 到 300m。

[0154] 在某些实施方式中,加热元件 244 暴露于碳氢化合物层 240 和来自碳氢化合物层的流体。因而,加热元件 244 是“裸露金属”或“暴露金属”加热元件。加热元件 244 可由在用于热解碳氢化合物的高温下具有可接受硫化率的材料制成。在某些实施方式中,加热元件 244 由随在至少一定温度范围(例如,530°C 到 650°C)之上渐增的温度而具有减小的硫化率的材料制成,例如 410 不锈钢。使用这种材料减少了由来自地层的含硫气体(例如 H₂S)导致的腐蚀问题。加热元件 244 对电化腐蚀也可是惰性的。

[0155] 在一些实施方式中,加热元件 244 具有薄电绝缘层,例如氧化铝或热喷涂氧化铝。在一些实施方式中,该薄电绝缘层是珐琅涂层陶瓷合成物。这些珐琅涂层包括,但不限于,高温搪瓷。高温搪瓷可包括二氧化硅、氧化硼、氧化铝和碱土金属氧化物(CaO 或 MgO),以及较少量的碱金属氧化物(Na₂O、K₂O、LiO)。通过将加热元件浸入该泥浆或用该泥浆喷涂加热元件,该珐琅涂层可作为优良的土地泥浆施加。然后在熔炉中加热涂敷后的加热元件直到达到玻璃转换温度,使得该泥浆散布在加热元件表面上并制成搪瓷涂层。搪瓷涂层在被冷却到低于玻璃转换温度时收缩从而使得涂层压紧。因而,当在加热器运行期间被加热时,该涂层能够在不破裂的情况下随加热器膨胀。

[0156] 该薄电绝缘层具有低电阻,该低电阻使得热量从加热元件传递到地层同时抑制电流在邻近开口中的加热元件之间的和进入地层的泄漏。在某些实施方式中,该薄电绝缘层在温度高于至少 350°C、高于 500°C 或高于 800°C 时是稳定的。在某些实施方式中,该薄电绝缘层具有至少 0.7、至少 0.8 或至少 0.9 的辐射率。使用该薄电绝缘层可允许地层中的加热器在具有低电流泄漏的情况下具有长的长度。

[0157] 加热元件 244 可在位于或靠近地层的下伏岩层的地方与接触元件 246 耦联。接触元件 246 是铜或铝杆或其他高传导性的材料。在某些实施方式中,过渡部分 260 位于引入导体 258 和加热元件 244 之间,和 / 或位于加热元件 244 和接触元件 246 之间。过渡部分 260 可由位于铜芯之上的传导材料制成,该传导材料是抗腐蚀的,例如 347 不锈钢。在某些实施方式中,过渡部分 260 由与引入导体 258 及加热元件 244 电耦联同时很少或不提供热量输出的材料制成。因此,过渡部分 260 帮助抑制导体和绝缘层过热,该绝缘层通过间隔引入导体和加热元件 244 而用在引入导体 258 中。过渡部分 260 的长度可在约 3m 和约 9m 之间(例如,大约 6m)。

[0158] 接触元件 246 在接触部分 248 与接触器 252 耦联以将支路 232、234、236 相互电耦联。在一些实施方式中,将接触溶液 254(例如,传导接合剂)置于接触部分 248 中以在接触部分中电耦联接触元件 246。在某些实施方式中,支路 232、234、236 在碳氢化合物层 240 中是大致平行的而且支路 232 大体垂直地延伸到接触部分 248 中。其他两个支路 234、236 被定向(例如,通过为支路井眼进行定向钻孔)来在接触部分 248 中与支路 232 相交。

[0159] 每条支路 232、234、236 是三相加热器实施方式中的一条支路,这些支路大体上与地层中的其他加热器和与地层是电隔离的。支路 232、234、236 以三角形的式样排列,使得这三条支路形成大体上电隔离的三联形状的三相加热器。在一个实施方式中,支路 232、234、236 以三角形的式样排列,在支路之间有大约 12m 的间距(每一联的侧边具有约 12m 长度)。

[0160] 如图 15 所示,支路 232、234、236 的接触元件 246 可使用接触器 252 和 / 或接触溶

液 254 进行耦联。在某些实施方式中,支路 232、234、236 的接触元件 246 物理耦联,例如通过软焊、焊接或其他技术。图 16 和 17 描述耦联支路 232、234、236 的接触元件 246 的一个实施方式。支路 234、236 可从任一所期望的方向进入支路 232 的井眼中。在一个实施方式中,如图 16 所示,支路 234、236 从井眼近似相同的侧边进入支路 232 的井眼。在一个替代实施方式中,如图 17 所示,支路 234、236 从井眼近似相对的侧边进入支路 232 的井眼中。

[0161] 容器 262 与支路 232 的接触元件 246 耦联。容器 262 可以软焊、焊接或以其他方式与接触元件 246 电耦联。容器 262 是金属罐或其他具有至少一个用于接收一个或多个接触元件 246 的开口的容器。在一个实施方式中,如图 16 所示,容器 262 是具有接收来自支路 234、236 的接触元件 246 的开口的罐。在某些实施方式中,支路 234、236 的井眼通过要加热的碳氢化合物层平行于支路 232 的井眼钻孔以及在碳氢化合物层之下定向钻孔使其与支路 232 井眼的相对垂直方向成大约 10° 到 20° 的角度地相交。可使用已知技术例如由 Vector Magnetics 有限公司使用的技术对井眼进行定向钻孔。

[0162] 在一些实施方式中,接触元件 246 与容器 262 的底部接触。接触元件 246 可接触容器 262 的底部和 / 或彼此接触以促进接触元件和 / 或容器之间的电连接。在某些实施方式中,将接触元件 246 的端部部分退火到“极软”状态以便于其进入容器 262。在一些实施方式中,橡胶或其他软化材料可附着在接触元件 246 的端部部分以便于其进入容器 262。在一些实施方式中,接触元件 246 包含网状部分,例如关节接点或有限旋转关节接点,以便于其进入容器 262。

[0163] 在某些实施方式中,在容器 262 中放置电耦联材料。该电耦联材料覆盖在容器 262 的壁上或填满容器的一部分。在某些实施方式中,该电耦联材料覆盖在容器 262 的上部部分,例如图 18 所示的漏斗形部分。电耦联材料包括一个或多个在被激励(例如,被加热、被点燃、被引爆、被组合、被混合和 / 或被起反应)时形成与一个或多个元件相互电耦联的材料。在一个实施方式中,该耦联材料与接触元件 246 在容器 262 中电耦联。在一些实施方式中,该耦联材料与接触元件 246 金属性结合,使得接触元件彼此金属性结合。在一些实施方式中,容器 262 最初充满高粘性水基聚物流体以限制钻孔开凿或限制其他材料在使用该耦联材料与接触元件耦联之前进入该容器。该聚物流体可以是,但不限于,交联 XC 聚合物(可从 Baroid Industrial Drilling Products(美国德克萨斯州休斯顿市)得到)、frac 凝胶体或交联聚丙烯酰胺凝胶体。

[0164] 在某些实施方式中,电耦联材料是低温焊料,该低温焊料在相对低的温度下熔化并且在被冷却时形成与暴露金属表面的电连接。在某些实施方式中,电耦联材料是低温焊料,该低温焊料在低于水沸点的温度下在容器 262 的一深度处熔化。在一个实施方式中,电耦联材料是 58%重量百分比的铋和 42%重量百分比的锡的共熔合金。这种焊料的其他例子包括,但不限于,54%重量百分比的铋、16%重量百分比的锡和 30%重量百分比的钢的合金以及 48%重量百分比的锡、52%重量百分比的钢的合金。这种低温焊料在熔化时将会使水移位(displace water),使水移向容器 262 的顶部。容器 262 顶部的水可抑制热传递进入该容器并且热绝缘该低温焊料,使该焊料保持在较低的温度下并在使用加热元件加热地层期间不熔化。

[0165] 可加热容器 262 以激励电耦联材料,从而便于接触元件 246 的连接。在某些实施方式中,加热容器 262 以熔化容器中的电耦联材料。当被熔化时,该电耦联材料流动并包围

容器 262 中的接触元件 246。当金属被熔化时,容器 262 内的所有水将浮在金属表面上。电耦联材料可被冷却并使接触元件 246 相互电连接。在某些实施方式中,最初用电耦联材料对支路 234、236 的接触元件 246、容器 262 的内壁和 / 或容器的底部进行预镀锡。

[0166] 支路 232、234、236 的接触元件 246 的端部部分可具有增强接触元件和耦联材料之间电连接的形状和 / 或特征。接触元件 246 的这些形状和 / 或特征也可增强接触元件和耦联材料之间连接的物理强度 (例如,接触元件 246 的可将接触元件锚定在耦联材料中的形状和 / 或特征)。接触元件 246 端部部分的形状和 / 或特征包括,但不限于,凹槽、凹口、孔、螺纹、锯齿形边缘、开口和中空端部部分。在某些实施方式中,最初用电耦联材料对接触元件 246 端部部分的形状和 / 或特征进行预镀锡。

[0167] 图 18 描述容器 262 的一个实施方式,该容器 262 具有用于熔化耦联材料的引发器。该引发器是电阻加热元件或其他用于提供激励或熔化容器 262 中耦联材料的热量的元件。在某些实施方式中,加热元件 264 是位于容器 262 壁内的加热元件。在一些实施方式中,加热元件 264 位于容器 262 的外部。例如,加热元件 264 可以是镍铬合金线、矿物绝缘导体、聚合物绝缘导体、电缆或在容器 262 壁内的或在容器外部的带子。在一些实施方式中,加热元件 264 缠绕容器的内壁或缠绕容器外部。引入线 266 可在地层表面与电源耦联。引出线 268 可在地层表面与电源耦联。引入线 266 和 / 或引出线 268 可沿支路 232 的长度耦联以提供机械支撑。引入线 266 和 / 或引出线 268 可在熔化了耦联材料之后从井眼中移除。引入线 266 和 / 或引出线 268 可在其他井眼中重复利用。

[0168] 在一些实施方式中,如图 18 所示,容器 262 具有便于接触元件 246 进入该容器的漏斗形。在某些实施方式中,为了良好的导电性和导热性,容器 262 由铜制成或包含铜。如果接触元件与该容器壁或底部接触,那么铜制容器 262 会与接触元件 (如图 16 和 17 所示的接触元件 246) 产生良好的电接触。

[0169] 图 19 描述容器 262 的一个实施方式,该容器具有接触元件 246 上的球形物。突出部 270 可与接触元件 246 的下部部分耦联。突出部 272 可与容器 262 的内壁耦联。突出部 270、272 可由铜或另一合适的导电材料制成。支路 236 的接触元件 246 的下部部分可具有球根形,如图 19 所示。在某些实施方式中,将支路 236 的接触元件 246 插入容器 262。在插入支路 236 的接触元件 246 之后,将支路 234 的接触元件 246 插入。然后可同时向上拖拉这两条支路。突出部 270 可将接触元件 246 锁在容器 262 中对着突出部 272 的适当位置。在接触元件 246 和突出部 270、272 之间产生摩擦配合。

[0170] 容器 262 内的接触元件 246 的下部部分可包含 410 不锈钢或任何其他热量生成电导体。在接触元件 246 的热量生成部分之上的接触元件的部分包含铜或另一种高导电性材料。定中心装置 273 可位于接触元件 246 的热量生成部分之上的接触元件部分上。定中心装置 273 限制接触元件 246 的热量生成部分之上的接触元件部分与容器 262 壁的物理和电接触。

[0171] 当通过突出部 270、272 将接触元件 246 锁在容器 262 内部的适当位置时,至少一些电流可通过突出部在接触元件之间经过。当电流经过接触元件 246 的热量生成部分时,热量在容器 262 中产生。生成的热量可熔化位于容器 262 内部的耦联材料 274。容器 262 中的水可能会煮沸。沸腾的水可通过对流将热量传递到容器 262 的上部部分并且帮助熔化耦联材料 274。容器 262 壁可以是热绝缘的以减少热量流失到容器外并且使容器内部更快

加热。当耦联材料 274 熔化时,该耦联材料向下流入容器 262 下部部分。耦联材料 274 填充容器 262 下部部分直到接触元件 246 的热量生成部分低于耦联材料的填充线。然后耦联材料 274 与接触元件 246 的热量生成部分之上的接触元件部分电耦联。接触元件 246 的电阻在这一点上减少并且热量不再在接触元件中生成,而耦联材料可以被冷却。

[0172] 在某些实施方式中,容器 262 包含容器壳体内部的绝缘层 275。绝缘层 275 可包含热绝缘材料以限制热量从容器中流失。例如,绝缘层 275 可包含氧化镁、氮化硅或其他能够经受容器 262 中运行温度的热绝缘材料。在某些实施方式中,容器 262 包含容器内表面上的衬套 277。衬套 277 可增加容器 262 内的导电性。衬套 277 可包含导电材料,例如铜或铝。

[0173] 图 20 描述容器 262 的一个替代实施方式。容器 262 中的耦联材料包括粉末 276。粉末 276 是化学混合物,熔融金属产品从该化学混合物的反应中产生。在一个实施方式中,粉末 276 是灼热剂粉末。粉末 276 覆盖容器 262 壁和 / 或被放置在该容器中。将点火器 278 放在粉末 276 中。例如,点火器 278 可以是镁带,当其被激励时激起粉末 276 的反应。当粉末 276 反应时,由该反应产生的熔融金属流动并包围放在容器 262 中的接触元件 246。当该熔融金属冷却时,冷却的金属与接触元件 246 电连接。在一些实施方式中,粉末 276 与另一耦联材料结合使用以耦联接触元件 246,所述另一耦联材料例如是低温焊料。粉末 276 反应的热量可用于熔化该低温焊料。

[0174] 在某些实施方式中,如图 16 或 20 所示,在容器 262 中放置爆炸元件。该爆炸元件例如可以是成形填料爆炸物或其他可控爆炸元件。该爆炸元件可被引爆以将接触元件 246 和 / 或容器 262 卷曲 (crimp) 在一起,从而使接触元件和容器电连接。在一些实施方式中,爆炸元件与电耦联材料结合使用以与接触元件 246 电连接,该电耦联材料例如是低温焊料或灼热剂粉末。

[0175] 图 21 描述用于耦联支路 232、234、236 的接触元件 246 的一个替代实施方式。容器 262A 与支路 234 的接触元件 246 耦联。容器 262B 与支路 236 的接触元件 246 耦联。将容器 262B 的大小和形状设计成使其放置在容器 262A 之内。容器 262C 与支路 232 的接触元件 246 耦联。将容器 262C 的大小和形状设计成使其放置在容器 262B 之内。在一些实施方式中,在没有容器附着在接触元件的情况下,将支路 232 的接触元件 246 置于容器 262B 中。如上所述,一个或多个容器 262A、262B、262C 可被耦联材料充满,激励该耦联材料以便于接触元件 246 之间的电连接。

[0176] 图 22 描述用于耦联使用限温加热元件的接触元件一个实施方式的侧视图。支路 232、234、236 的接触元件 246 可具有在容器 262 之上的接触元件部分上的绝缘层 280。容器 262 可成形和 / 或具有位于顶部的向导以引导接触元件 246 插入容器。耦联材料 274 可位于容器 262 之内,处在或靠近该容器的顶部。耦联材料 274 例如可以是焊料材料。在一些实施方式中,使用耦联材料或另一导电材料例如铜或铝对容器 262 的内壁进行预涂敷。定中心装置 273 可与接触元件 246 耦联以在容器 262 中的接触元件之间保持间隔。为了在接触元件下部部分之间保持至少一些电接触,容器 262 在底部可以是渐缩的以将接触元件 246 的下部部分推在一起。

[0177] 加热元件 282 可与容器 262 内部的接触元件 246 部分耦联。加热元件 282 可包含铁磁材料,例如铁或不锈钢。在一个实施方式中,加热元件 282 是覆盖在接触元件 246 上的

铁制圆筒。加热元件 282 可设计具有将会在容器 262 中产生期望数量的热量的尺寸和材料。在某些实施方式中,如图 22 所示,容器 262 壁与绝缘层 275 是热绝缘的以限制热量从容器中流失。加热元件 282 可被间隔开,使接触元件 246 在容器内部具有一个或多个暴露的材料部分。该暴露部分包含暴露的铜或另一合适的高导电性材料。该暴露部分使得在耦联材料已被熔化,填充了容器 262 及允许被冷却之后,在接触元件 246 和耦联材料 274 之间保持更好的电接触。

[0178] 在某些实施方式中,当给加热元件 282 施加时变电流时,该加热元件作为限温加热器运行。例如,可为加热元件 282 施加 400Hz 的 AC 电流。时变电流对接触元件 246 的施加导致加热元件 282 产生热量并熔化耦联材料 274。加热元件 282 可作为限温加热元件运行,其具有选定的自限温度,从而使得耦联材料 274 不会过热。当耦联材料 274 充满容器 262 时,该耦联材料在接触元件 246 上的暴露材料部分之间产生电接触,而电流开始流经该暴露材料部分而非加热元件 282。因而,接触元件之间的电阻减小。当这一点出现时,容器 262 内的温度开始降低而耦联材料 274 可以被冷却以在接触元件 246 之间制造出电接触部分。在某些实施方式中,当系统中的电阻降到选定的电阻以下时,关闭接触元件 246 和加热元件 282 的电源。该选定的电阻可指示耦联材料已经与接触元件充分地电连接。在一些实施方式中,对接触元件 246 和加热元件 282 的电源供应持续选定数量的时间,确定该时间能够提供足够的热量以熔化容器 262 中的块状耦联材料 274。

[0179] 图 23 描述用于耦联使用限温加热元件的接触元件一个替代实施方式的侧视图。支路 232 的接触元件 246 可通过焊接、硬焊或其他合适的方法与容器 262 耦联。支路 236 的接触元件 246 的下部部分可具有球根形。将支路 236 的接触元件 246 插入容器 262。在支路 236 的接触元件 246 插入之后,将支路 234 的接触元件 246 插入。然后可同时向上拖拉这两条支路。突出部 272 可将接触元件 246 锁入适当位置并且可在接触元件 246 之间产生摩擦配合。定中心装置 273 可抑制接触元件上部部分之间的电接触。

[0180] 可对接触元件 246 施加时变电流,使加热元件 282 产生热量。如图 22 所示实施方式所描述的,所产生的热量可熔化位于容器 262 中并且可以被冷却的耦联材料 274。如图 23 所示,在耦联材料 274 冷却后,支路 234、236 的接触元件 246 使用该耦联材料在容器 262 中电耦联。在一些实施方式中,接触元件 246 的下部部分具有将接触元件锚定在冷却后的耦联材料中的突出部或开口。接触元件的暴露部分在接触元件和耦联材料之间提供低电阻路径。

[0181] 图 24 描述用于耦联使用限温加热元件的接触元件的另一替代实施方式的侧视图。支路 232 的接触元件 246 可通过焊接、硬焊或其他合适的方法与容器 262 耦联。支路 236 的接触元件 246 的下部部分可具有球根形。将支路 236 的接触元件 246 插入容器 262。在支路 236 的接触元件 246 插入之后,将支路 234 的接触元件 246 插入。然后可同时向上拖拉这两条支路。突出部 272 可将接触元件 246 锁入适当位置并且可在接触元件 246 之间产生摩擦配合。定中心装置 273 可抑制接触元件上部部分之间的电接触。

[0182] 接触元件 246 的端部部分 246B 可由铁磁材料制成,例如 410 不锈钢。部分 246A 可包含非铁磁导电材料,例如铜或铝。可对接触元件 246 施加时变电流,使端部部分 246B 因其电阻而产生热量。如图 22 所示实施方式所描述的,所产生的热量可熔化位于容器 262 中并且可以被冷却的耦联材料 274。如图 23 所示,在耦联材料 274 冷却后,支路 234、236 的

接触元件 246 使用该耦联材料在容器 262 中电耦联。部分 246A 可在耦联材料 274 的填充线之下,使得接触元件的这些部分能够在接触元件和耦联材料之间提供低电阻路径。

[0183] 图 25 描述用来耦联加热器三支路的接触元件的一个替代实施方式的侧视图。图 26 描述图 25 所示用来耦联加热器三支路的接触元件的替代实施方式的顶视图。容器 262 可包括内容器 284 和外容器 286。内容器 284 可由铜或另一可锻的导电金属例如铝制成。外容器 286 可由刚性材料例如不锈钢制成。外容器 286 保护内容器 284 及其内含物不受容器 262 外部环境状况的影响。

[0184] 内容器 284 大体上可以是具有两个开口 288 和 290 的固体。内容器 284 与支路 232 的接触元件 246 耦联。例如,可将内容器 284 焊接或硬焊到支路 232 的接触元件 246 上。如图 25 所示将开口 288、290 的形状设计成使支路 234、236 的接触元件 246 能够进入该开口。漏斗或其他引导机构可与开口 288、290 的入口耦联以将支路 234、236 的接触元件 246 导入该开口。支路 232、234、236 的接触元件 246 可由与内容器 284 相同的材料制成。

[0185] 爆炸元件 292 可与内容器 284 的外壁耦联。在某些实施方式中,爆炸元件 292 是沿内容器 284 外壁延伸的伸长爆炸带。如图 26 所示,爆炸元件 292 可沿内容器 284 外壁设置,使该爆炸元件位于或靠近接触元件 246 的中心排列。爆炸元件 292 以这种构造设置,即使得来自该爆炸元件的爆炸能量能够导致接触元件 246 被推向内容器 284 的中心。

[0186] 爆炸元件 292 可与电池 294 和定时器 296 耦联。电池 294 可提供电能给爆炸元件 292 以引发爆炸。定时器 296 可用于控制爆炸元件 292 的点火时间。电池 294 和定时器 296 可与触发器 298 耦联。触发器 298 可位于开口 288、290 中。当将接触元件 246 放入开口 288、290 中时,该接触元件可启动触发器 298。当开口 288、290 中的两个触发器 298 都被触发时,定时器 296 可在爆炸元件 292 点火之前启动倒计时。这样,控制爆炸元件 292 使其仅在将接触元件 246 充分放入开口 288、290 之后爆炸,从而使得在爆炸后可在接触元件和内容器 284 之间产生电接触。爆炸元件 292 的爆炸使接触元件 246 和内容器 284 卷曲在一起以在接触元件和内容器之间产生电接触。在某些实施方式中,爆炸元件 292 从内容器 284 的底部向顶部引爆。可将爆炸元件 292 的长度和爆炸力(带宽)设计成使其在接触元件 246 和内容器 284 之间给出最适宜的电接触。

[0187] 在一些实施方式中,触发器 298、电池 294 和定时器 296 用于点燃容器(例如,容器 262 或内容器 284)内的粉末(例如,铜灼热剂粉末)。电池 294 可为粉末中的镁带或其他点火装置供电以引发粉末的反应,从而产生熔融金属产品。该熔融金属产品可流动,然后冷却以与接触元件电接触。

[0188] 在某些实施方式中,在接触元件 246 之间通过机械装置建立电连接。图 27 描述了具有电刷接触器的接触元件 246 的一个实施方式。电刷接触器 300 与接触元件 246 的下部部分耦联。电刷接触器 300 可由可锻的导电材料例如铜或铝制成。电刷接触器 300 可以是可压缩的和/或柔性的织带材料(a webbing of material)。定中心装置 273 可位于或靠近接触元件 246 的底部。

[0189] 图 28 描述用于将接触元件 246 与电刷接触器 300 耦联的一个实施方式。电刷接触器 300 与每条支路 232、234、236 的接触元件 246 耦联。电刷接触器 300 彼此对着压缩和交错以与支路 232、234、236 的接触元件 246 电耦联。定中心装置 273 在支路 232、234、236 的接触元件 246 之间保持间隔,使得接触元件之间的干涉和/或清除问题被抑制。

[0190] 在某些实施方式中,接触元件 246(如图 16-28 所示)在比地层中要被加热的该层冷的地层地带中(例如,在地层的下伏岩层中)耦联。接触元件 246 在较冷地带中耦联以抑制耦联材料的熔化和/或在加热该较冷地带之上的碳氢化合物层期间该元件之间电连接的退化。在某些实施方式中,接触元件 246 在地层要加热层之下至少大约 3m、至少大约 6m 或至少大约 9m 的地带中耦联。在一些实施方式中,该地带具有高于容器 262 深度的静水水位(standing water level)。

[0191] 考虑到本说明书,本发明各方面进一步的修改和替代实施方式对于本领域技术人员而言可以是显而易见的。另外,本说明书将被解释为仅是示例性的,是为了达到给本领域技术人员提供实现本发明的一般方式的目的。应当理解的是在此示出和描述的本发明的形式将被当作是目前优选的实施方式。在拥有本发明说明书的益处之后,在此示例和描述的元件和材料可被替代,各部分和程序可被颠倒,本发明的某些特征可单独利用,所有这些对本领域技术人员而言都是显而易见的。在此描述的元件可在不脱离如下面权利要求所述的本发明精神和范围的情形下发生改变。另外,应当理解的是在此单独描述的特征在某些实施方式中可以组合。

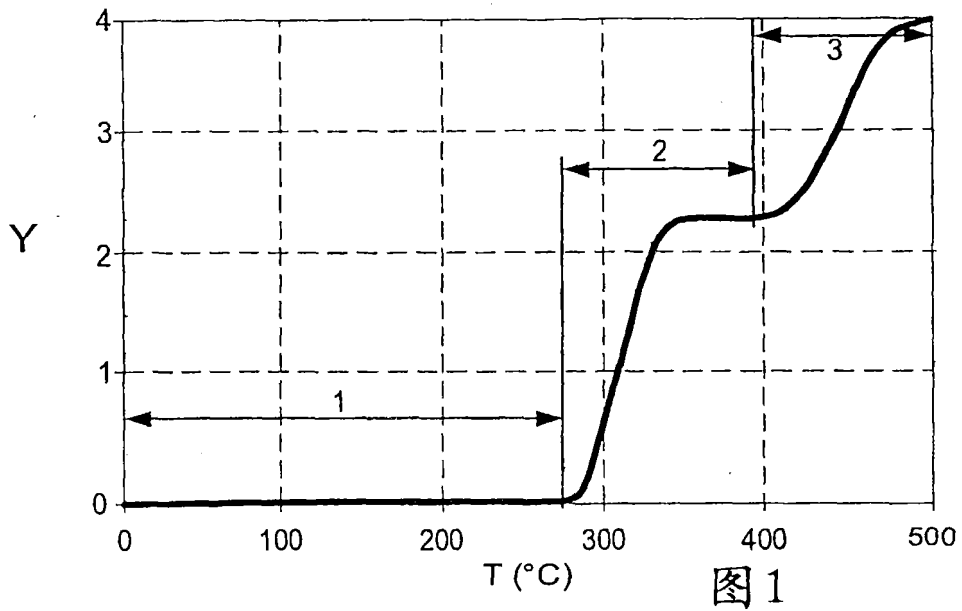


图 1

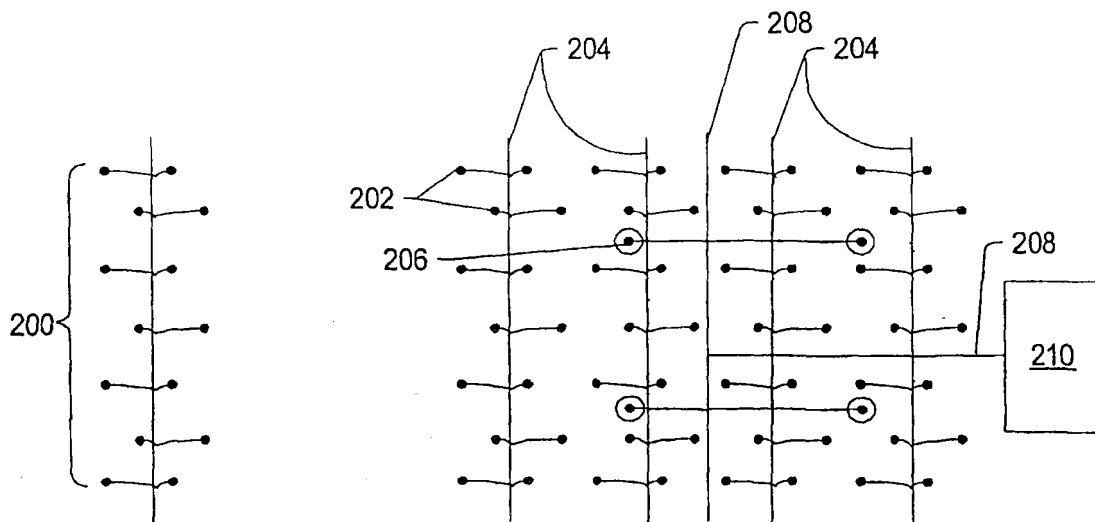
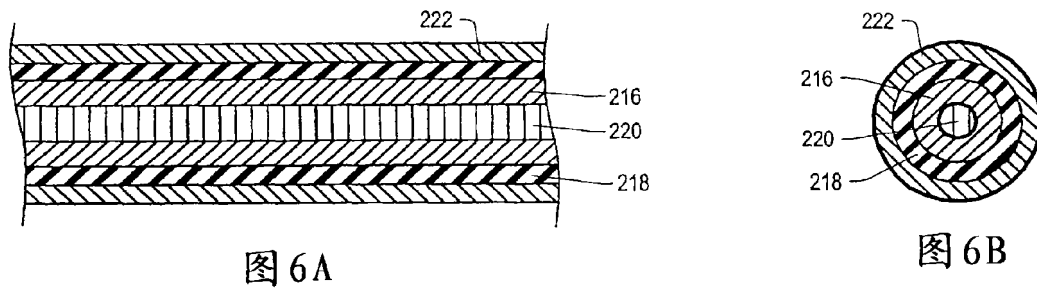
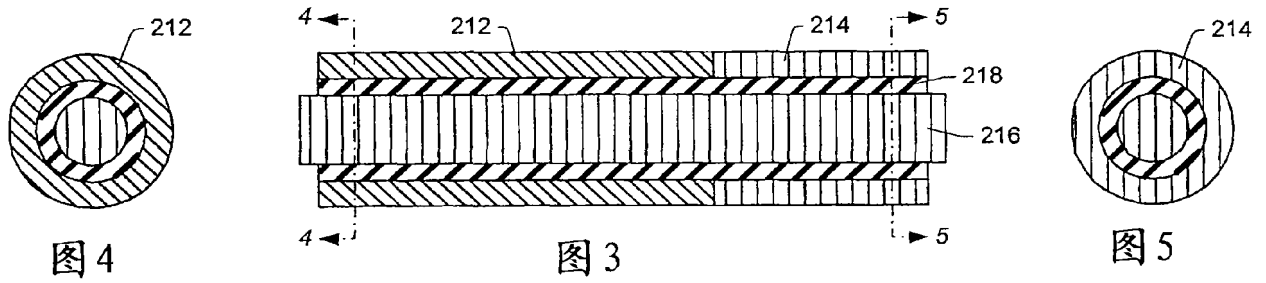


图 2



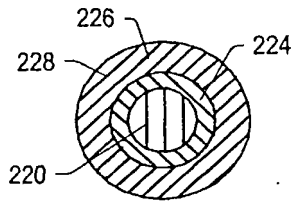


图 7

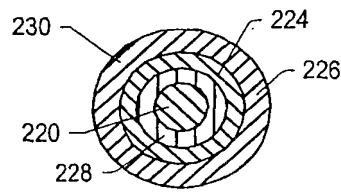


图 8

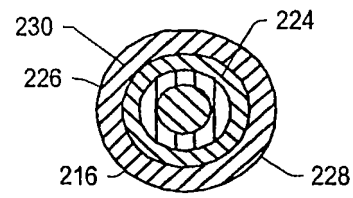


图 9

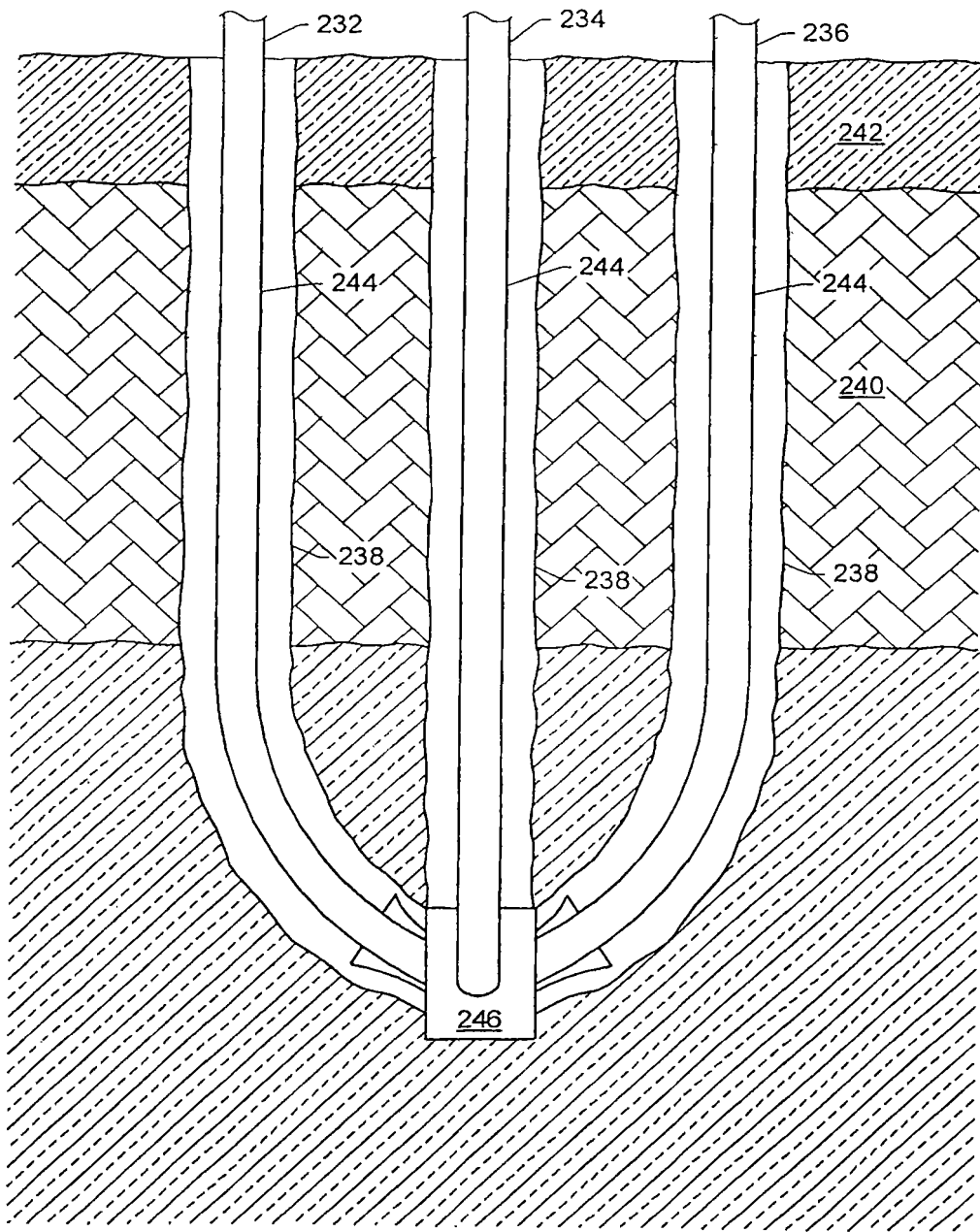


图10

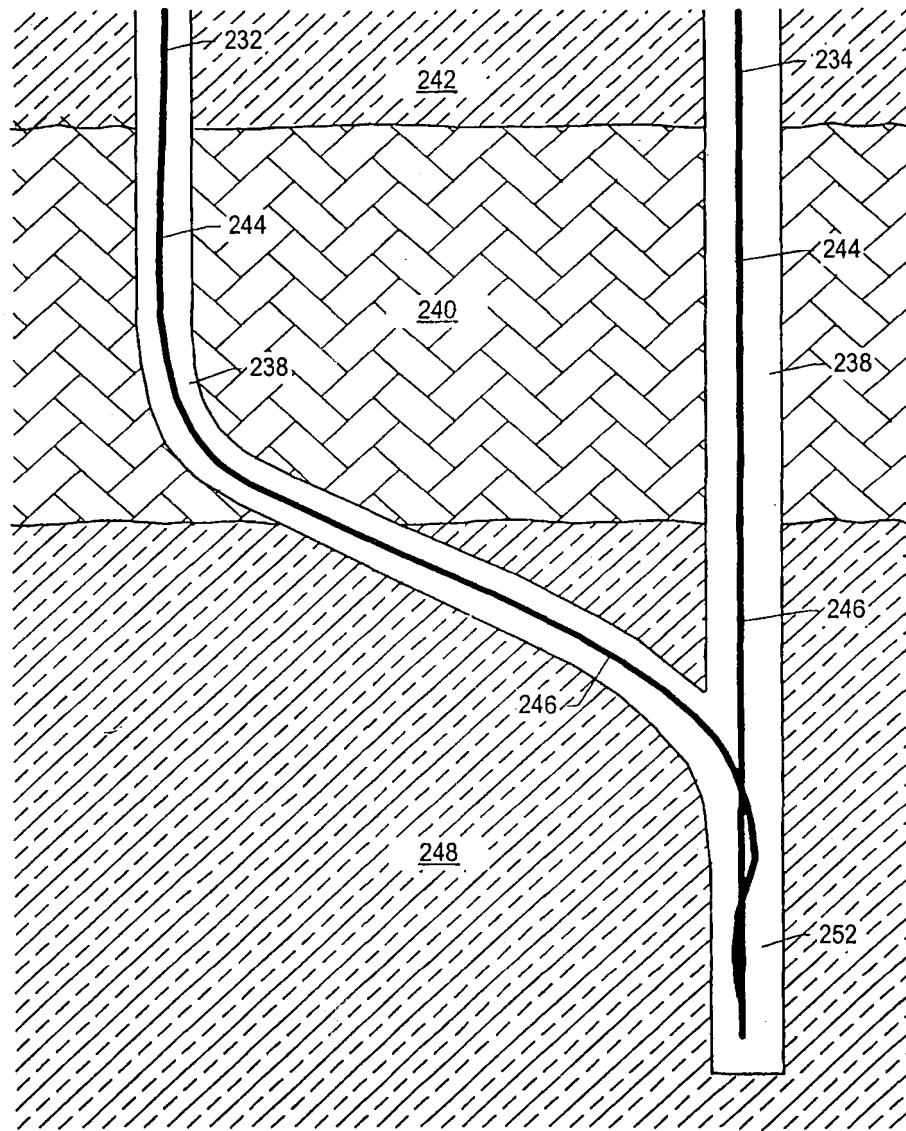


图 11

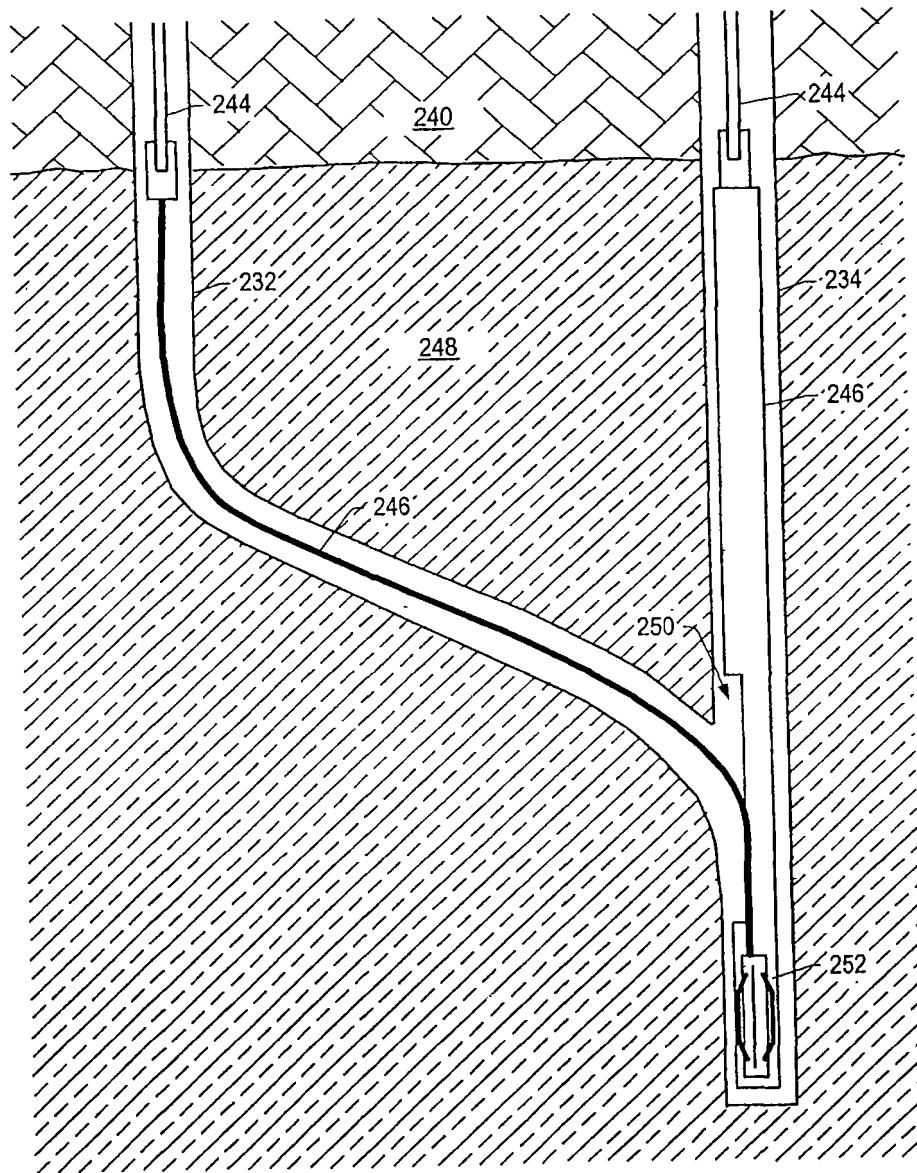


图12

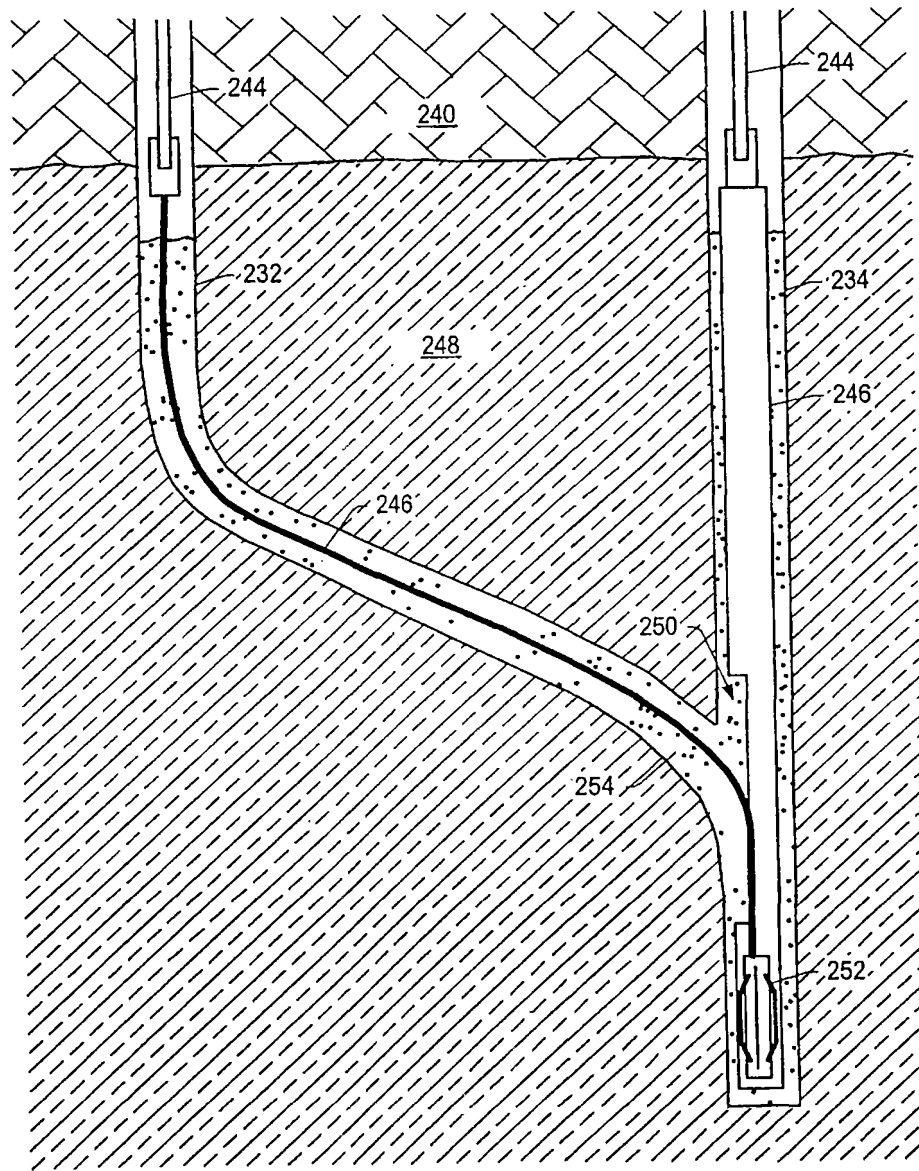


图 13

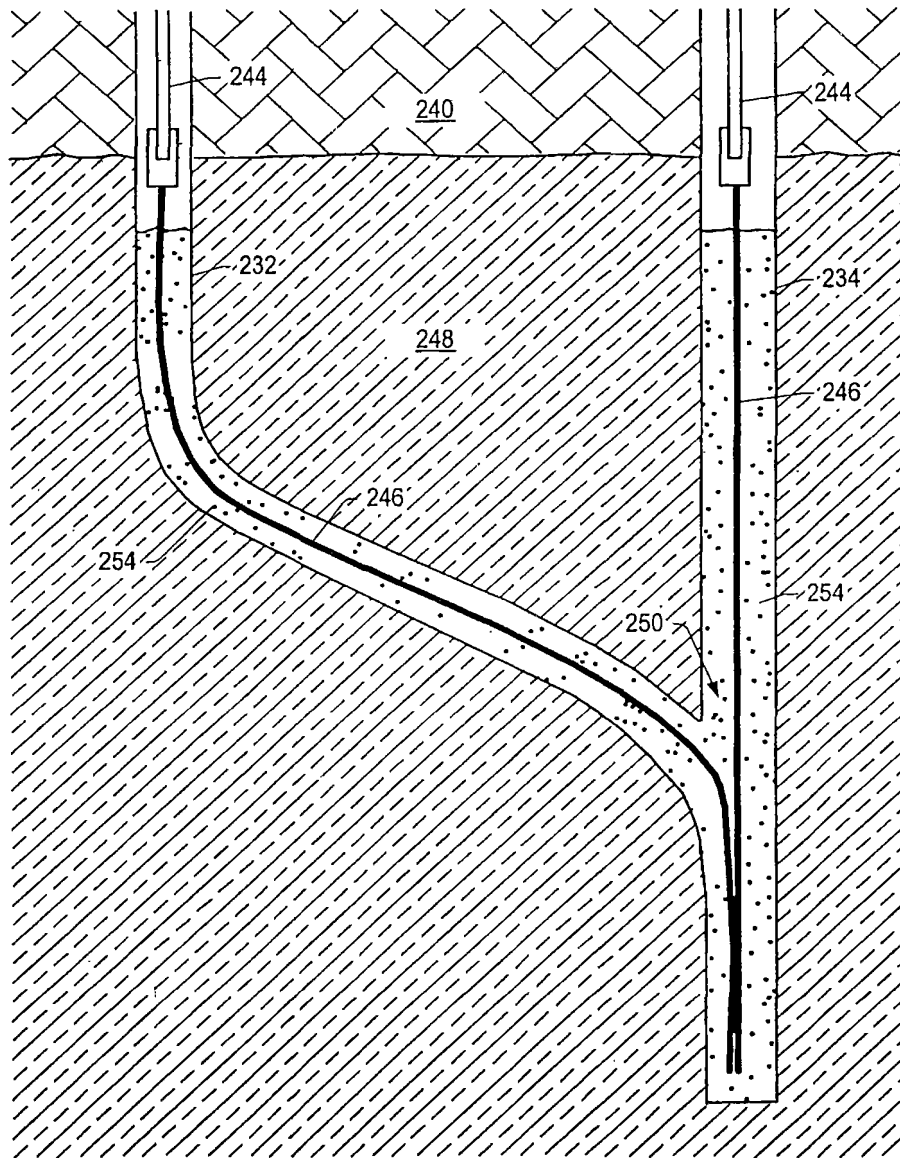


图14

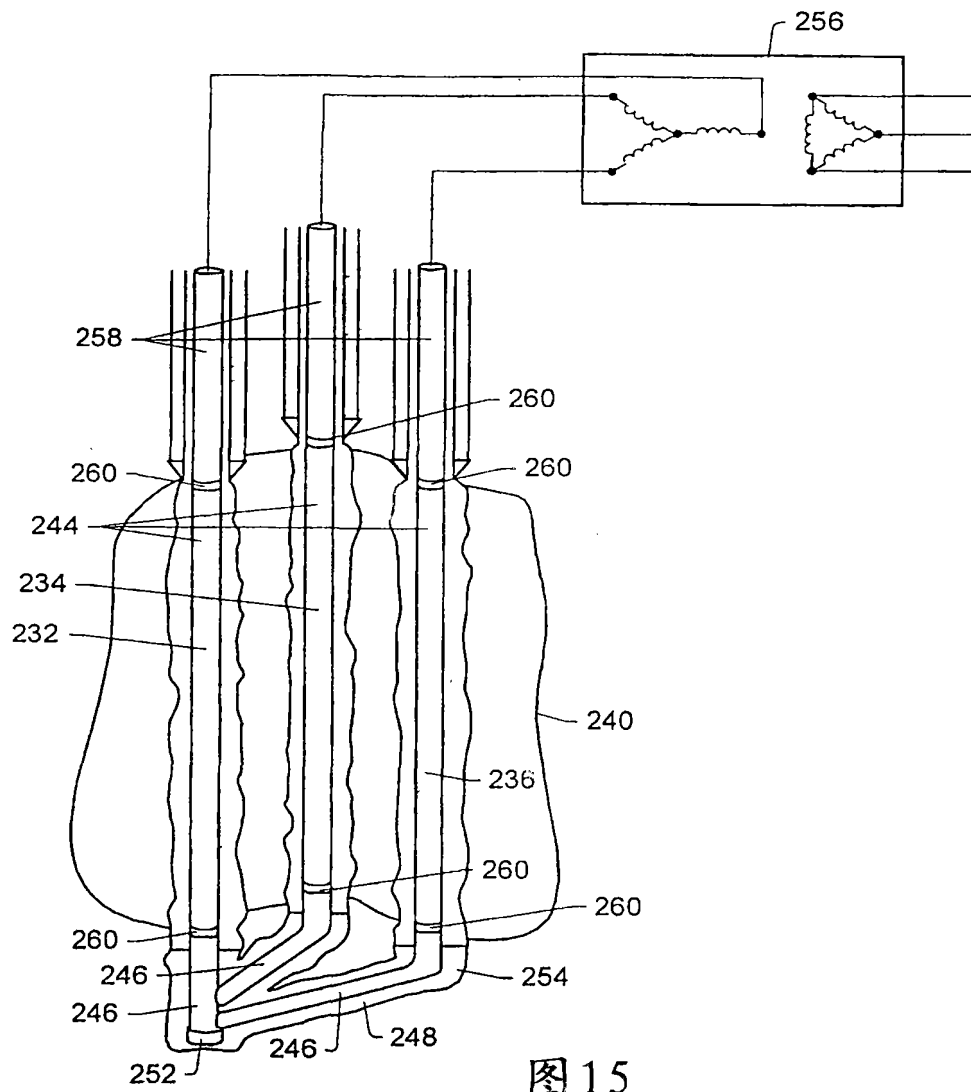


图15

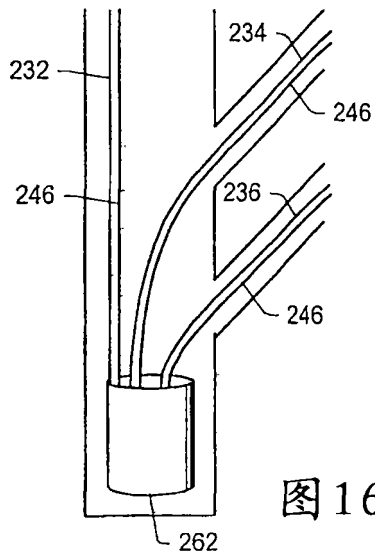


图 16

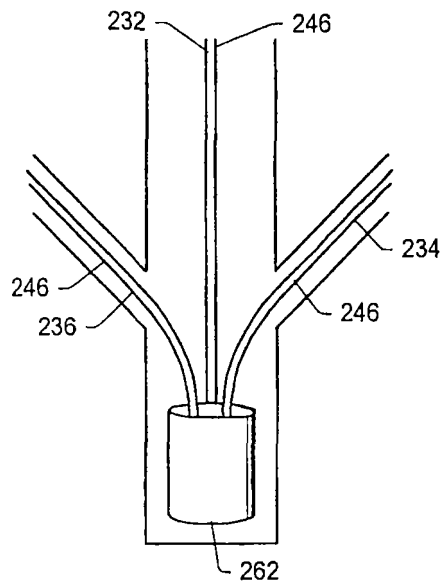


图 17

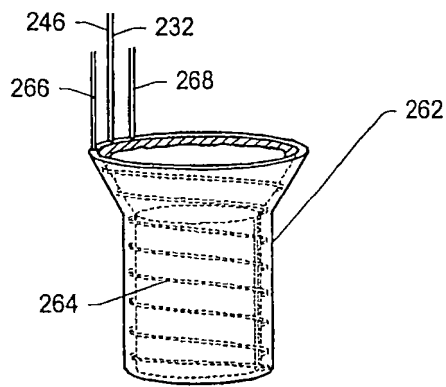


图 18

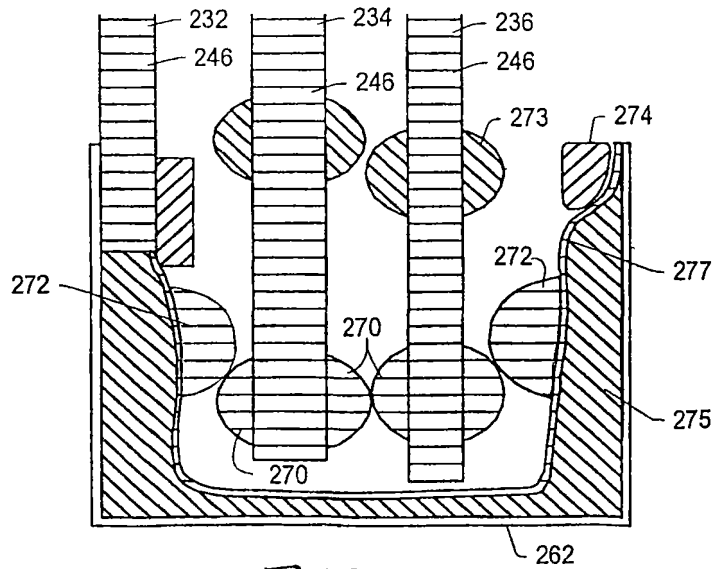


图 19

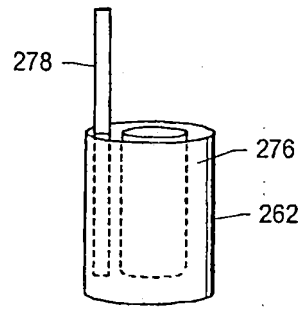


图 20

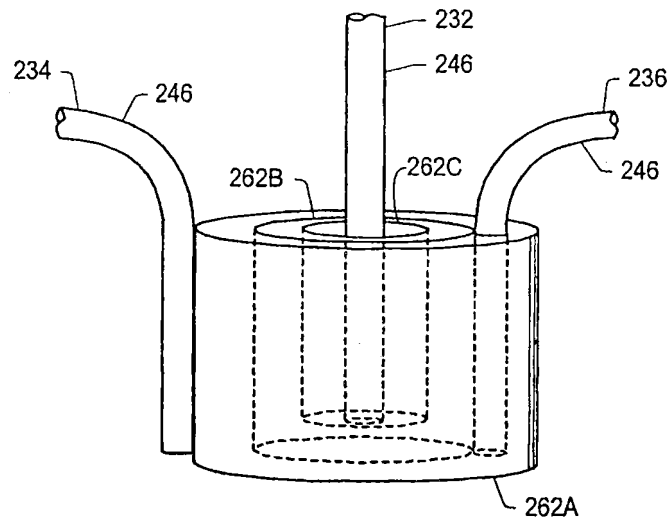


图 21

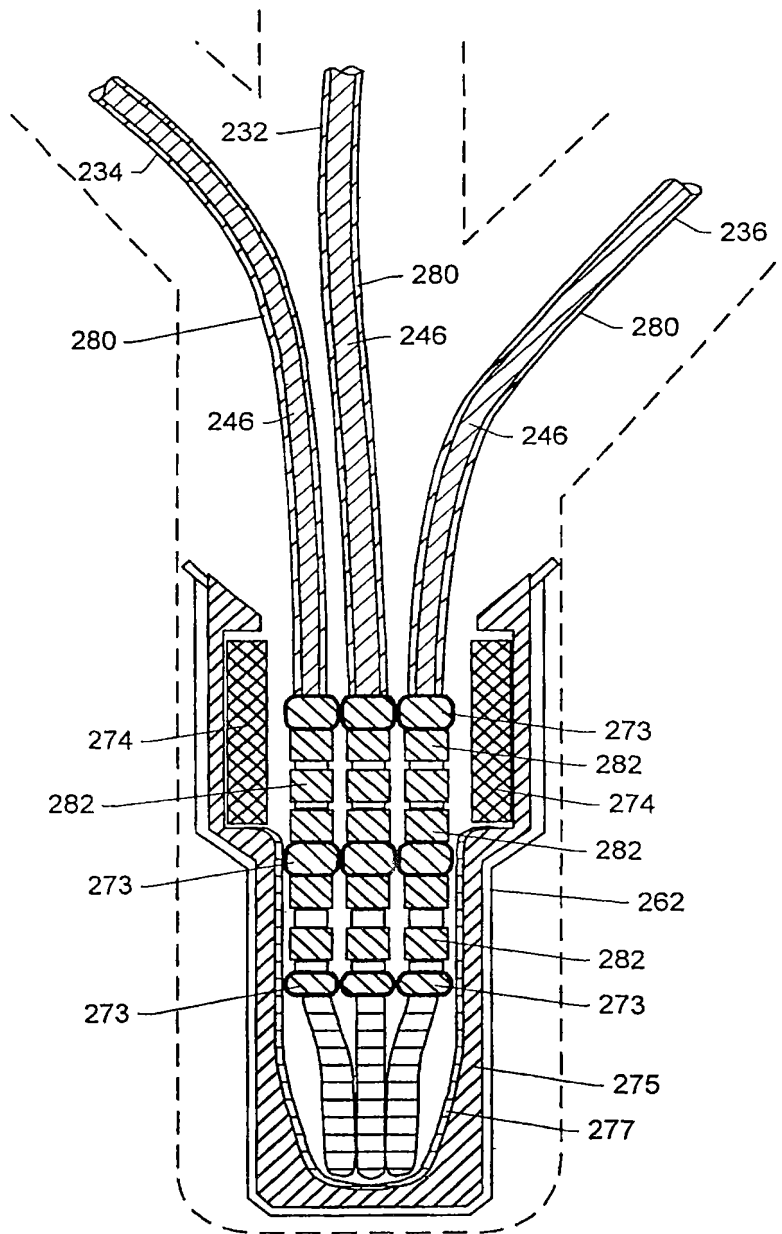


图 22

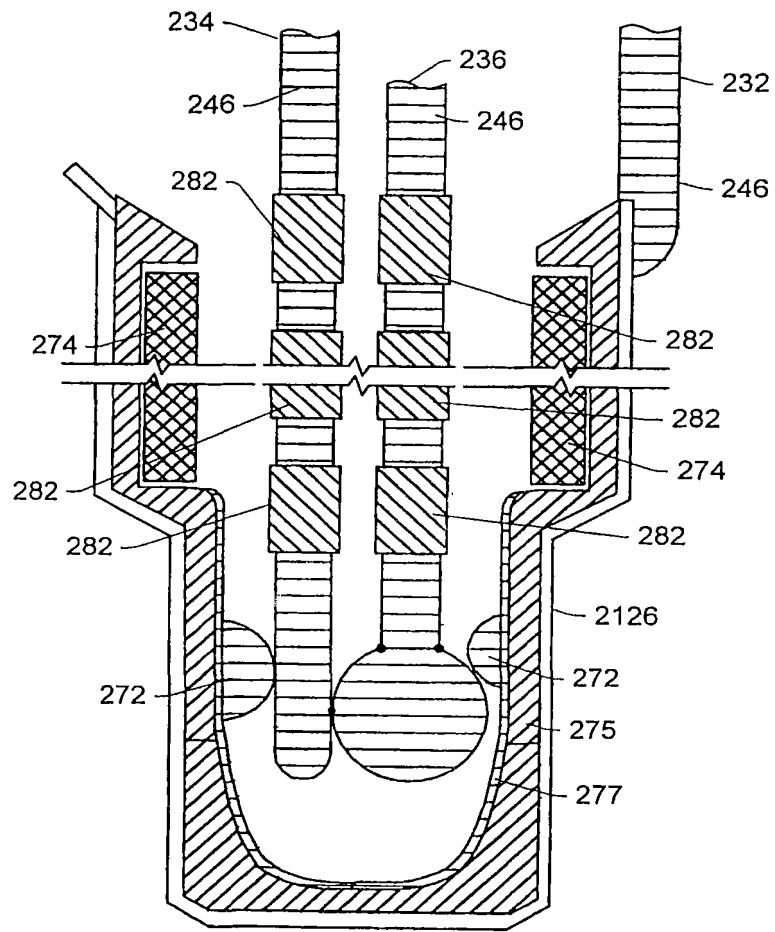


图 23

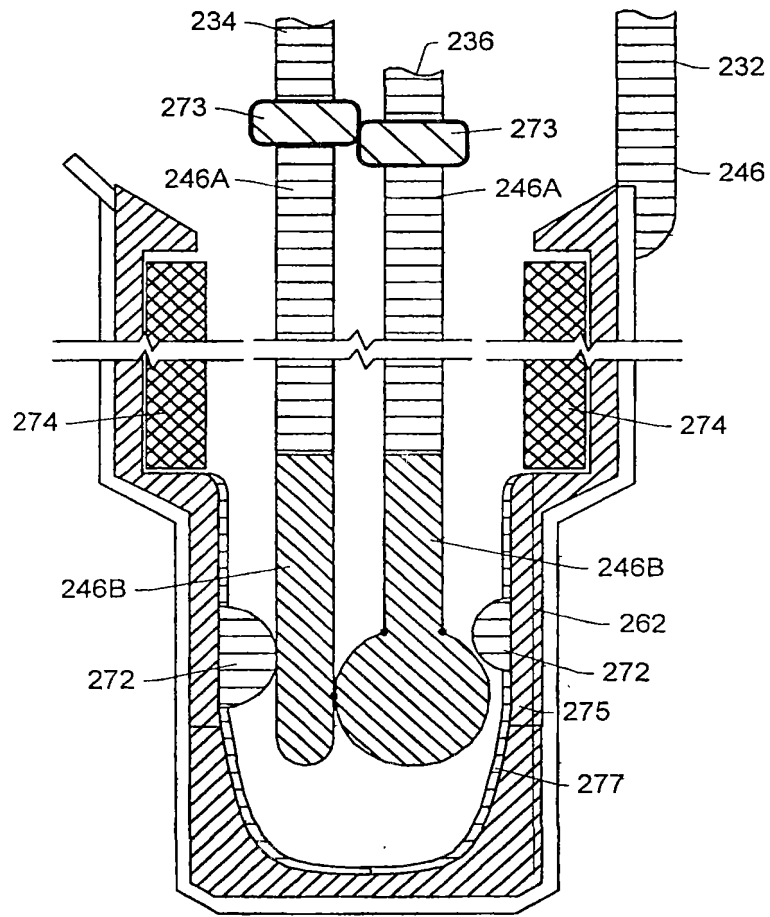


图 24

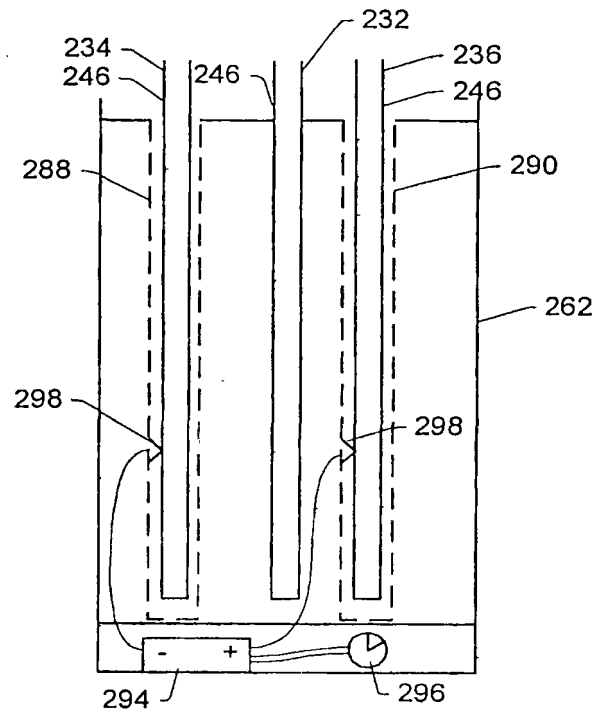


图 25

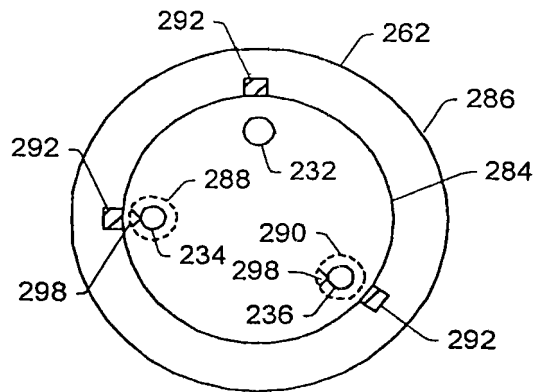


图 26

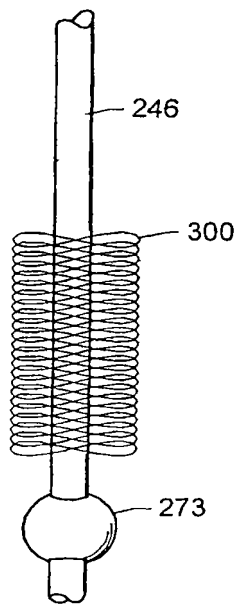


图 27

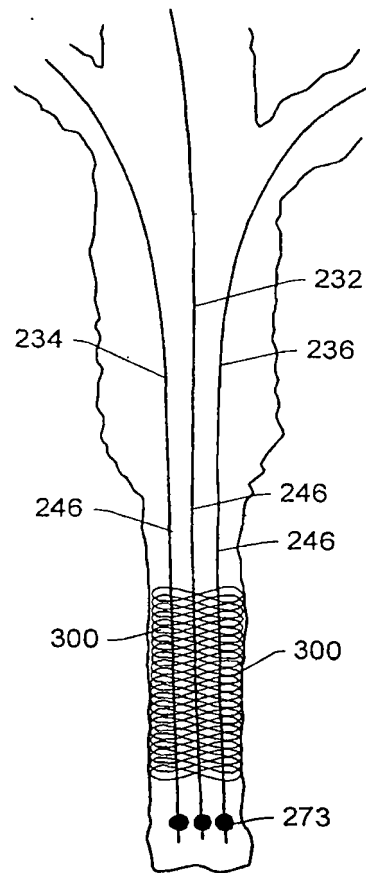


图 28