



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103221632 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 24

(21) 申请号 201180055939. 2

代理人 张雅莉

(22) 申请日 2011. 09. 20

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

61/385, 069 2010. 09. 21 US

61/506, 429 2011. 07. 11 US

E21B 36/02 (2006. 01)

E21B 43/16 (2006. 01)

E21B 43/40 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 05. 21

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/052307 2011. 09. 20

(87) PCT申请的公布数据

W02012/040169 EN 2012. 03. 29

(71) 申请人 帕尔默实验室有限责任公司

地址 美国北卡罗来纳州

申请人 八河流资产有限责任公司

(72) 发明人 M. R. 帕尔默 R. J. 奥勒姆

J. E. 费特维特 D. A. 弗里德

小格伦. W. 布朗

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

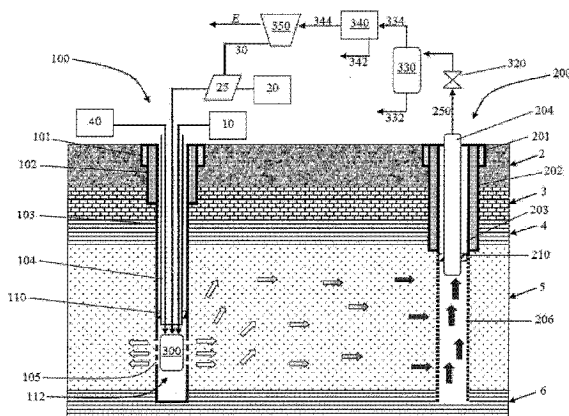
权利要求书4页 说明书31页 附图4页

(54) 发明名称

利用二氧化碳开采地层沉积物的方法

(57) 摘要

本发明涉及用于提供可靠的高纯度 CO₂ 源的系统、设备和方法, 该 CO₂ 源用于开采地层沉积物, 诸如化石燃料。所开采的至少一部分化石燃料可直接燃烧, 或者可利用与用于提供纯 CO₂ 源相同的方法进行提取, 而无需首先去除 CO₂、硫、其他化石燃料或其他杂质。



1. 一种用于从地层开采燃料组分沉积物的方法,所述方法包括:
将燃烧燃料和氧化剂供应到蒸发冷却燃烧器中;
燃烧所述燃烧燃料,以提供包含超临界 CO₂ 的含 CO₂ 流;和
将至少一部分所述含 CO₂ 流注入包含用于开采的燃料组分沉积物的地层中,使得地层中的至少一部分燃料组分和至少一部分 CO₂ 流从地层中流出并进入生产井中。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述燃烧燃料和氧化物被供应到位于地面上的蒸发冷却燃烧器。
3. 如权利要求 2 所述的方法,还包括,在所述燃烧步骤之后和所述注入步骤之前,使所述含 CO₂ 流经过用于产生动力的涡轮机膨胀,形成膨胀的含 CO₂ 流。
4. 如权利要求 3 所述的方法,还包括,在所述注入步骤之前,使所述膨胀的含 CO₂ 流顺序经过冷却所述含 CO₂ 流的热交换器和一个或多个去除所述含 CO₂ 流中存在的一种或多种次要组分的分离器。
5. 如权利要求 4 所述的方法,还包括,在所述注入步骤之前,将所述含 CO₂ 流分成被注入所述地层中的注入 CO₂ 流和作为工作流体被供应到蒸发冷却燃烧器中的再循环 CO₂ 流。
6. 如权利要求 5 所述的方法,还包括下述中的一个或多个:通过使所述再循环 CO₂ 流经过压缩机,压缩所述再循环 CO₂ 流;和通过使所述再循环 CO₂ 流经过冷却所述膨胀的含 CO₂ 流的热交换器,加热所述再循环 CO₂ 流。
7. 如权利要求 6 所述的方法,还包括将作为工作流体的再循环 CO₂ 流供应到所述燃烧器中。
8. 如权利要求 7 所述的方法,其中所述再循环 CO₂ 流在至少约 2MPa 的压力下被供应到所述燃烧器中。
9. 如权利要求 7 所述的方法,其中,至少一部分所述再循环 CO₂ 流作为用于冷却蒸发冷却燃烧器的至少一部分蒸发流体被供应到所述燃烧器中。
10. 如权利要求 7 所述的方法,其中所述供应到燃烧器中的再循环 CO₂ 流具有至少 95 摩尔 % 的纯度。
11. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述膨胀的含 CO₂ 流具有至少约 1.5MPa 的压力。
12. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述注入地层中的含 CO₂ 流具有至少约 7.5MPa 的压力。
13. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述注入地层中的含 CO₂ 流包含超临界 CO₂。
14. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述燃烧在至少约 400℃ 的温度下实施。
15. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述燃烧燃料和所述氧化剂被供应到井下位于通向所述地层的井中的燃烧器。
16. 如权利要求 15 所述的方法,还包括将水供应到所述蒸发冷却燃烧器,使得含 CO₂ 流还包括蒸汽。
17. 如权利要求 16 所述的方法,其中所述水作为蒸发冷却流体被供应到蒸发冷却燃烧器中。
18. 如权利要求 1 所述的方法,还包括从生产井接收包含燃料组分和所述 CO₂ 的开采流。
19. 如权利要求 18 所述的方法,还包括将所述开采流分离成开采气流和开采液流。

20. 如权利要求 19 所述的方法,其中所述开采气流包含甲烷和 CO₂。
21. 如权利要求 20 所述的方法,其中所述开采气流还包 C₂ 烃类、C₃ 烃类和 C₄ 烃类中的一种或多种。
22. 如权利要求 19 所述的方法,其中所述开采液流包含石油。
23. 如权利要求 22 所述的方法,其中所述石油包含原油。
24. 如权利要求 19 所述的方法,其中所述开采液流包含流化固体燃料组分。
25. 如权利要求 19 所述的方法,包括将至少一部分所述开采气流作为所述燃烧燃料的至少一部分引导至燃烧器。
26. 如权利要求 19 所述的方法,其中所述分离包括在确定的压力下将所述开采流引导经过至少一个压力降低阶段,由此一种或多种燃料组分气体馏分被提取,而在确定压力下的剩余开采流馏分包含液体燃料组分。
27. 如权利要求 26 所述的方法,其中一种或多种的所述燃料组分气体馏分包含 CO₂。
28. 如权利要求 27 所述的方法,还包括将包含 CO₂ 的燃料组分气体馏分作为所述燃烧燃料的至少一部分引导至燃烧器。
29. 如权利要求 28 所述的方法,还包括在燃料组分气体馏分被引入燃烧器之前,使其经过压缩机,所述压缩机增加所述燃料组分气体馏分的压力。
30. 如权利要求 26 所述的方法,其中所述分离产生多种燃料组分气体馏分,每种都包含 CO₂。
31. 如权利要求 29 所述的方法,其中所述包含 CO₂ 的多种燃料组分气体馏分中的两种或更多种被合并并作为所述燃烧燃料的至少一部分被引导至燃烧器。
32. 如权利要求 31 所述的方法,还包括在燃料组分气体馏分被引入燃烧器之前,使其经过压缩机,所述压缩机增加所述燃料组分气体馏分的压力。
33. 如权利要求 31 所述的方法,其中所述压缩机是多级压缩机。
34. 如权利要求 27 所述的方法,其中一种或多种所述包含 CO₂ 的燃料组分气体馏分包括存在于开采流中的 CO₂ 总质量的至少约 95%。
35. 如权利要求 19 所述的方法,包括将所述开采气流分成开采烃气流和开采非烃气流。
36. 一种在井中井下生产含 CO₂ 流的方法,所述方法包括:
将燃烧燃料和氧化剂供应到井下位于井中的蒸发冷却燃烧器中,所述燃烧器位于包括燃料组分沉积物的地层中或地层周围;
将蒸发冷却流体供应到燃烧器中;和
在所述蒸发冷却流体存在下,在所述蒸发冷却燃烧器内燃烧所述燃料,以便从燃烧器出口提供压力至少约 7.5MPa 且温度至少约 400℃ 的含 CO₂ 流,其中所述含 CO₂ 流包含超临界 CO₂。
37. 如权利要求 36 所述的方法,还包括将所述含 CO₂ 流引导向地层,使得从所述燃烧器出口供应的含 CO₂ 流钻穿到地层中并在其中建立通道。
38. 如权利要求 37 所述的方法,还包括经过所形成的通道推进所述燃烧器。
39. 如权利要求 36 所述的方法,还包括将至少一部分含 CO₂ 流注入包括燃料组分沉积物的地层中,使得地层中的至少一部分燃料组分和至少一部分 CO₂ 流从所述地层流出并进

入生产井中。

40. 如权利要求 39 所述的方法,还包括从生产井接收包含燃料组分和所述 CO₂ 的开采流。

41. 如权利要求 40 所述的方法,还包括将所述开采流分成开采气流和开采液流。

42. 如权利要求 41 所述的方法,其中所述开采气流包含甲烷和 CO₂。

43. 如权利要求 41 所述的方法,其中所述开采液流包含石油。

44. 如权利要求 43 所述的方法,其中所述石油包含原油。

45. 如权利要求 41 所述的方法,包括将至少一部分的所述开采气流作为燃烧燃料的至少一部分引导至燃烧器。

46. 如权利要求 41 所述的方法,其中所述分离包括在确定的压力下将所述开采流引导经过一个或多个压力降低阶段,由此开采流中的燃料组分在确定的压力下分离成一种或多种燃料组分气体馏分和一种或多种燃料组分液体馏分。

47. 如权利要求 46 所述的方法,其中一种或多种所述燃料组分气体馏分包含 CO₂。

48. 如权利要求 47 所述的方法,还包括将包含 CO₂ 的燃料组分气体馏分作为燃烧燃料的至少一部分引导至所述燃烧器。

49. 如权利要求 48 所述的方法,还包括在燃料组分气体馏分被引入燃烧器之前,使其经过压缩机,所述压缩机增加所述燃料组分气体馏分的压力。

50. 如权利要求 47 所述的方法,其中所述一种或多种包含 CO₂ 的燃料组分气体馏分包括存在于开采流中的 CO₂ 总质量的至少约 95%。

51. 一种用于在井中井下生产含 CO₂ 流的装置,所述装置包括:

蒸发冷却燃烧器;

与所述燃烧器流体连接的燃烧燃料供应;

与所述燃烧器流体连接的氧化剂供应;

与所述燃烧器流体连接的蒸发冷却剂供应;

位于蒸发冷却燃烧器内的腔室,其中燃料的燃烧在至少约 600°C 的温度下发生,产生含 CO₂ 流;和

所述燃烧器上的出口,其将所述含 CO₂ 流从所述燃烧器输送到井中。

52. 如权利要求 51 所述的装置,其中所述出口包括圆锥形喷嘴,所述喷嘴使从其中输送的含 CO₂ 流浓缩。

53. 一种用于产生 CO₂ 并从地层中开采燃料组分沉积物的系统,所述系统包括:

蒸发冷却燃烧器;

与所述燃烧器流体连接的燃烧燃料供应;

与所述燃烧器流体连接的氧化剂供应;

与所述燃烧器流体连接的蒸发冷却剂供应;

位于所述蒸发冷却燃烧器内的腔室,其被配置成接收并燃料燃烧燃料,以提供包含超临界 CO₂ 的含 CO₂ 流;

注入组件,其将含 CO₂ 流输送到包括燃料组分沉积物的地层中,使得地层中的至少一部分燃料组分和至少一部分 CO₂ 流从地层中流出并作为开采流进入生产井中;和

一种或多种处理组件,用于处理所述开采流中的已开采燃料组分和 CO₂。

54. 如权利要求 53 所述的系统,其中所述一种或多种处理组件包括降低所述开采流压力的膨胀器。
55. 如权利要求 54 所述的系统,其中所述膨胀器包括动力生产涡轮机。
56. 如权利要求 53 所述的系统,其中所述一种或多种处理组件包括一个或多个分离单元。
57. 如权利要求 56 所述的系统,其中所述一个或多个分离单元包括分离气流与液流的单元。
58. 如权利要求 53 所述的系统,其中所述注入组件包括延伸进入在地层中形成的井中的管道。
59. 如权利要求 53 所述的系统,其中所述燃烧燃料供应、所述氧化剂供应和所述蒸发冷却剂供应中的一种或多种包括足够尺寸的管线,以将各自的物质井下输送到在地层中形成的井中。
60. 如权利要求 53 所述的系统,其中所述蒸发冷却燃烧器被配置成井下用于地层中形成的井中。
61. 如权利要求 53 所述的系统,其中所述系统构造上足够模块化,使得所述系统能够在运输状态与 CO₂ 生产状态之间重新配置。

利用二氧化碳开采地层沉积物的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及在地层沉积物开采中利用 CO₂ 的系统和方法。具体而言,本发明提供了将来自燃烧过程的 CO₂ 导入地质地层以便于从该地质地层中开采一种或多种地层沉积物诸如燃料组分沉积物的系统和方法。

背景技术

[0002] 用于能源生产的众多有用物质天然发现于地下。例如,化石燃料(例如,原油、天然气和煤)作为沉积物位于世界各地的岩层中,而且人类已经通过采矿、钻孔等对这些物质进行了多年的开采。随着更易获取的沉积物被耗尽,一直在寻求可促进有用物质开采的有利技术。

[0003] 例如,利用流体和流化混合物来提高各种化石燃料的开采已经处于开发下多年。强化开采的机理通常基于提高化石燃料经过其周围的地质底层而流向提取井的流动。三种以此种方式来提高化石燃料开采的主要机理包括下述:1) 利用流体在岩层中产生断裂并使之保持,以促进更自由的流动通道;2) 依赖注入流体,实现化石燃料的体积或压力位移;和3) 使流体与化石燃料掺和,使得化石燃料的密度和粘度之一或两者都减小。通过使其他物质与混合进入化石燃料中、通过加热化石燃料或者通过这两种方式也可使粘度降低。所有这些机理包括将物质注入一个或多个井中,然后从该注入井或多个注入井(或者从附近的一个或多个其他井)获得增加的化石燃料输出。

[0004] 作为提高化石燃料采收率的方法,水力压裂从钻入储油岩层的井筒进行。通过将压裂液以足以将井下压力增至超过地层岩石的断裂梯度的值的速度泵入钻井孔中,可形成水力压裂。压力导致地层断裂,使得压裂液进入地层中并进一步延伸至裂缝。为了在注入停止后使这种断裂保持敞开,通常将固体支撑剂加至压裂液。通常为过筛圆粒沙子的支撑剂被带入断裂中。选择这种沙的渗透率要高于周围的地层,然后所支撑的水力压裂变成高渗透率管道,地层流体可经过该管道流至井中。多种流体已被提出并用作压裂液、顶替液和粘度降低液,以提高化石燃料储层的开采。然而,现有的方法采用的流体具有非常有争议的环境影响、低于所期望的效果或者成本高,或者综合了这些因素。已经提出一些环境和人类健康关注点与现有技术水力压裂通常使用的流体相关,其包括潜在的固体有毒废物的不正确运转、潜在的空气质量风险、潜在的地下水污染以及气体和水力压裂化学品意外地迁移到钻井作业给定半径内的表面。

[0005] 含或不含表面活性剂以及具有或不具有高热值的流体,诸如水和蒸汽,在提高化石燃料采收率方面通常显示低于期望的性能。关键的原因在于水比某些化石燃料稠密得多,而且水在平衡条件下是液体。此类化学因素限制或很大程度上消除了水/蒸汽与疏水性化石燃料之间的溶混性及混合,从而限制或很大程度上消除了化石燃料粘度的任何降低。较高密度的水可导致化石燃料的物理驱替,但是这种作用在时间和效率方面经常局限于不可取的程度。较稠密的水可向下流动并远离化石燃料储层,这迅速减小或消除了任何驱替效果。

[0006] 超临界二氧化碳对提高采油非常有用。具体而言,超临界流体的性质以及物质的化学性质使得其与油溶混,从而降低油的粘度和密度,和 / 或改进经过地层的油流动。另外,超临界二氧化碳的密度充分低于水的密度,引起其倾向于上升到化石燃料储层中,而非如同较稠密的水一般向下流动。此外,超临界 CO₂ 的物质属性使其还可以作为其他物质的更好溶剂。具体而言,与气态或液态 CO₂ 相比,超临界 CO₂ 所展示的物质属性能充分增加其溶解性。目前,为了在开采方法中利用超临界二氧化碳,必须将 CO₂ 从其来源(天然的或人造的)输送到应用场所。

[0007] 目前,在不利用提高油采收率法的情况下,特别是 CO₂ 驱动的 EOR 的情况下,多达 70% 的油是不能开采的。尽管其 EOR 具有潜能,但是目前现有技术中利用 EOR 存在若干限制因素。首先,工业生产提纯 CO₂ 以便分离、提纯并压缩用于 EOR 是非常昂贵的,因为这通常要求系统添置(诸如胺和 / 或其他溶剂洗涤器)形式的很大的资金和运转投资。即使在此之后,CO₂ 必须被压缩至足以注入井中的压力。这些系统不仅昂贵且危害环境,而且需要能量,因此限制总体系统的效率。其次,管道网是必需的而且在大部分 EOR 可能发生的位置是不足的,因此限制了其接触大量地层。在目前的情况中,管道网已经自地质 CO₂ 来源输入。然而,可用 CO₂ 的位置和数量极其有限。

[0008] 此外,在 CO₂ 排放受到密切监控并总是受阻的经济和政治背景中,开采已经在地质学上被隔离的 CO₂ 沉积物通常是不受欢迎的。

[0009] 当利用强化开采法将化石燃料从地下沉积物取出后,这些化石燃料通常含有溶解的 CO₂ 以及其他必须利用诸如吸收过程进行分离的杂质。这些可包括下述:化学、物理和 / 或固体表面过程;通过膜或低温冷冻装置进行的物理分离;或提供了混合的物理和化学溶剂的混合解决方案。这些方法可包括但不限于:昂贵且低效的 Ryan/Holmes 法、低温分离器(LTX)法、FLUOR 胺法、天然气脱硫法、低温甲醇洗法、以及其他方法。这些方法用于去除分离自液体油的天然气中的 CO₂ 含量,使得有用的气体馏分(例如,CH₄ 馏分)可以待售的足够纯度在管道系统中生产,以及使得 C₂ 和更大的烃类馏分可以分离进行销售。此外,这些方法可用于在烟道气和 / 或含硫气被输送或再用之前对其进行处理。在 CO₂ 含量具有足够量(例如,按重量或分压大于 30%)的情况中,经分离的 CO₂ 可被再循环,用于进一步 EOR 任务。具体而言,关于其他杂质,含高含量硫化氢(通常,H₂S 含量超过 5.7mg/m³)的天然气被称为含硫气,而 H₂S 必须在注入管道中之前利用诸如胺法或克劳斯法被去除(即,使得天然气“脱硫”)。这些杂质去除过程对环境、系统效率和总开采成本具有有害作用。

[0010] 即使当 CO₂ 用于强化开采时,地层中存在的可开采的化石燃料最终被耗尽。然后,CO₂ 注入系统必须拆除,并且转移至可能非常远的新的位置,或者中断和报废。这要求 CO₂ 输送管道的安装需要大量的许可、时间和开支。可选地,将 CO₂ 转移至注入位置的劣势依然能阻止在化石燃料的强化开采法中经济地甚至成功地利用 CO₂。

[0011] 特别地,对将 EOR 用于开采重油(诸如低于约 15API 度的原油、沥青和沥青砂)的方法存在需要。重油沉积物通常通过注入蒸汽来开采,该蒸汽自地面蒸汽发生器产生,或者作为来自蒸汽式发电系统的抽汽。这些系统通常陈旧、低效且高污染,特别是 CO₂ 排放高。因此,一直努力设计这样的热发生设备,其足够紧凑以便被容纳在井筒内,而且其能够在储层中燃烧化石燃料,不仅产生热而且产生用于驱替经加热的低粘度油的 CO₂ 和蒸汽。美国专利第 4,397,356 号描述了井下燃烧器,其中燃料和氧化剂在包括催化部分的燃烧器内燃烧

以确保充分燃烧无积灰形成,积灰会阻挡储油层的表面。

[0012] 然而,这些努力仍不能提供足够的方法,可用于在很多种设置中以有效、经济、环境友好且易于流动以便根据需要输送到不同的工作位置的方式提高多种地层沉积物的开采。因此,在本领域对提供地层沉积物开采的其他系统和方法仍存在需要,其不仅减轻对环境的影响而且还能提供其他现有能量产生问题的解决方案。

发明内容

[0013] 本发明提供用于提高多种地层沉积物的开采的系统和方法,所述地层沉积物包括但不限于化石燃料和其他物质。有益地,强化开采(enhanced recovery)能够利用从燃烧过程导出的 CO_2 来实现,该燃烧过程任选地在能够提供强化开采法中所用的 CO_2 的同时还能够提供动力。

[0014] 在与化石燃料开采相关的各种实施方式中, CO_2 可用于建立并维持岩石地层中的断裂以促进地层中所含的化石燃料的更自由的流动通道;用于从地层表面(诸如煤层甲烷地层中)驱替烃类(例如,甲烷);用于提供地层内的化石燃料的体积或增压驱替(volumetric or pressurized displacement);以及用于与化石燃料混合,以便降低化石燃料的密度和粘度之一或二者。仍进一步, CO_2 (单独的,或与优选为蒸汽形式的水一起,或者与其他物质一起)通过直接与化石燃料掺和在一起或者通过间接加热化石燃料,或者两者兼有,可用于降低化石燃料(例如,重油)的粘度。

[0015] 利用 CO_2 来提高燃料组分沉积物开采的本发明的方法和系统可展示出多种有用的特征。例如,在一些实施方式中,所用的 CO_2 可作为副产物(例如,作为燃烧产物)从动力生成过程(例如,该过程燃烧化石燃料)获取。在某些实施方式中, CO_2 可在适于直接注入沉积物地层(特别是地质结构或岩层)中的压力下从动力生成过程供应。在其他实施方式中, CO_2 可在适于直接注入沉积物地层中的位置从动力生成过程供应。更特别地,这种直接注入可意味着与注入用 CO_2 的输送相关的任何 CO_2 输送管线将具有接近零的长度——例如,少于约10英里、少于约5英里、少于约1英里、少于约1,000英尺或少于约100英尺。在进一步的实施方式中,本发明能够提供可输送的 CO_2 生成系统,其可被安装在应用 CO_2 的位置处或者其附近——例如,与一个或多个井位于同一油田内,甚或直接位于井筒内。在其他实施方式中,本发明能够提供可输送的 CO_2 生成系统,其可被容易地拆卸、迁移以及在第一位置应用系统之后在一个或多个随后的使用 CO_2 的位置重新组装。仍在其他实施方式中,本发明能够提供可输送的 CO_2 生成系统,其可连接至应用 CO_2 的位置而无需管线,或者利用最小长度的管线,如本文另外所述。

[0016] 在各种实施方式中,产生 CO_2 的动力生成过程可至少部分利用分离自根据本发明方法开采的燃料组分馏分的流来供应燃料。在某些实施方式中,所分离的流(其可以是气流)可至少含有 CO_2 ,并且所分离的流在任选被压缩并成为到达产生 CO_2 的动力生成过程的燃料进料的至少一部分之前,可在无其他去除烃或存在的污染物组分的处理步骤的情况下使用。在优选的实施方式中,根据本发明有用的动力生成过程可利用 CO_2 作为工作流体。

[0017] 本发明总体包括生产 CO_2 的方法,并且此种方法可同样用于发电,这具有附加价值。任选地,所述方法基本上可被简化成仅仅燃烧器。在这种情况下,建设成本极低。当燃料成本非常低时,这种情况是最佳效果,正如在天然气(NG)闪光的位置,或者当煤泥作用

低成本燃料可用时。

[0018] 在其他实施方式中,燃烧器可用于直接将 CO₂ (和 / 或任选地水) 注入适于诸如化石燃料的沉积物开采的储层中。燃料气、氧、水、氮、氩、空气和其他添加剂的任意组合可被加至高压高温燃烧器中。

[0019] 在一个实施方式中, CO₂ (和 / 或水) 作为燃烧的结果 (地上的或者井下) 可被引导至适于化石燃料开采的储层中。在另一实施方式中, CO₂ (和 / 或水) 在注入用于化石燃料开采的井中之前可被引导经过冷却器、过滤器和泵的任意组合。该实施方式特别地可仅用于产生超临界 CO₂, 以提高化石燃料自适宜储层的开采。在这些过程中, 二氧化碳可被压缩至显著的压力——通常超过 200 巴 (20MPa), 以注入到已经失去了必要压力的地下地层中, 从而促进化石燃料和其他物质向井筒的流动, 以实现移出。二氧化碳可用于再压迫地下地层并充当天然的表面活性剂, 以油和其他化石燃料膨胀和 / 或从岩石表面和孔中移出。在提高煤层甲烷开采 (ECBMR) 和其他形式的天然气开采的情况中, 煤层和其他地下结构被 CO₂ 注入或断裂, CO₂ 再次用于使井增压, 使岩石破坏从而释放气体, 或者作为天然表面活性剂而使天然气移出。在煤层甲烷的情况中, CO₂ 置换出 CH₄ 和与煤颗粒表面相关的 (例如, 吸附在其上) 各种短链烃气, 而 CO₂ 本身则吸附在煤上, 有效地将 CO₂ 隔离在地层中。

[0020] 还在其他实施方式中, 燃烧器可特别地位于井下, 以便特别是在燃料的 API 低于约 20 的地层中, 诸如沥青砂中, 在强制开采应用 (诸如 EOR) 中产生蒸汽和 / 或热。在具有燃料组分的地层中, 水淬的井下燃烧器可产生蒸汽和热以移出燃料组分。在一个实施方式中, 随着含燃料组分的加压流离开储层, 该流经过膨胀器并进入重油被移出的储层。然后将水和 / 或 CO₂ 引导经过动力生产组件而发电, 并且产生 CO₂ 来稀释进入井下燃烧器的燃料。

[0021] 本发明是特别有益的, 原因在于可提供可靠的、持续的、高纯度 CO₂ 源用作开采流体。因为从动力生成过程产生的 CO₂ 被导向开采方法, 因此这有利地阻止了 CO₂ 立刻释放到大气中, 更确切地说, 在井下泵送用于开采目的之后, CO₂ 可 (至少部分) 被隔离在化石燃料储层中和 / 或将被一次或多次再循环经过该过程。此外, 可靠的、持续的、高纯度 CO₂ 源的可用性能够代替石油环境损害性物质作为压裂液, 因此 CO₂ 是更具毒性选项的易于可得、节约成本的替代物。

[0022] 在另一实施方式中, 由井下燃烧器或高效循环产生的 CO₂ 流还可用水冷却以建立蒸汽发生器。本发明还提供可利用水蒸气作为蒸发流体的选择。

[0023] 更具体而言, 本发明可涉及从地层开采燃料组分沉积物的方法。该方法可包括燃烧燃料以提供含 CO₂ 流, 其中至少一部分 CO₂ 处于超临界状态。换言之, 所述流的至少一部分可包含超临界 CO₂。该方法还可包括将至少一部分含 CO₂ 流注入包括用于开采的燃料组分沉积物的地层中, 使得地层中燃料组分的至少一部分和 CO₂ 流的至少一部分从地层流动并进入生产井中。

[0024] 在更具体的实施方式中, 所述方法可呈现多种特性。其他实施方式的非限定性实例如下所述。

[0025] 当含 CO₂ 流被注入地层中时, 含 CO₂ 流可显示至少 7.5MPa 的压力。

[0026] 燃烧步骤可在地面上在距离含 CO₂ 流被注入地层的场所很短 (例如, 少于约 5km) 的位置进行。

[0027] 在被注入地层之前, 含 CO₂ 流经涡轮机膨胀以发电。

[0028] 来自燃烧的含 CO₂ 流可被注入地层中, 无需任何介入中间的压缩、收集或输送至含 CO₂ 流被导入地层中的位置。类似地, 含 CO₂ 流可被直接注入地层中, 无需经历任何介入中间的处理。

[0029] 含 CO₂ 流可经过注入井被注入地层中。此外, 燃烧步骤可在注入井中井下进行。

[0030] 燃烧步骤特别地可利用蒸发冷却燃烧器进行。更具体而言, 该方法可包括向蒸发冷却燃烧器提供燃料、氧化剂和蒸发流体。甚至更具体而言, 该方法可包括向燃烧器提供不同于蒸发流体工作流体。

[0031] 在某些实施方式中, 根据本发明从地层开采燃料组分沉积物的方法可包括下述步骤: 将燃烧燃料和氧化剂供应到蒸发冷却燃烧器中; 使燃烧燃料燃烧, 提供包含超临界 CO₂ 的含 CO₂ 流; 将至少一部分的含 CO₂ 流注入包括用于开采的燃料组分沉积物的地层中, 使得地层中燃料组分的至少一部分和 CO₂ 流的至少一部分从地层流动并进入生产井中。

[0032] 具体而言, 燃烧可在地面上进行。因此, 燃烧燃料和氧化剂可被供应至地面上放置的蒸发冷却燃烧器中。

[0033] 在燃烧之后和注入之前, 该方法可包括经用于产生动力的涡轮机膨胀含 CO₂ 流以形成经膨胀的含 CO₂ 流。可使该经膨胀的含 CO₂ 流经过冷却含 CO₂ 流的热交换器, 和 / 或经过一个或多个分离器, 其去除含 CO₂ 流中存在的一种或多种次要组分。优选地, 首先进行冷却, 分离顺序跟随其后。

[0034] 同样, 在注入之前, 含 CO₂ 流可被分离成注入地层中的注入 CO₂ 流和作为工作流体被供应至蒸发冷却燃烧器中的再循环 CO₂ 流。为此, 该方法还可包括下述步骤之一或多种: 通过使再循环 CO₂ 流经过压缩机使其压缩, 并且通过使再循环 CO₂ 流经过冷却含膨胀 CO₂ 流的热交换器对其加热。因此, 该方法然后可包括将再循环 CO₂ 流供应到燃烧器中作为工作流体。优选地, 所述再循环 CO₂ 流可在至少约 2MPa 的压力下被供应到燃烧器中。在一些实施方式中, 将再循环 CO₂ 流的至少一部分供应到燃烧器中, 作为用于冷却蒸发冷却燃烧器的蒸发流体的至少一部分。对于再循环 CO₂ 流而言, 还可以优选的是以特定的纯度水平供应到燃烧器中, 例如, 具有至少 95% 摩尔的纯度。

[0035] 含 CO₂ 流的压力在整个方法中可变。例如, 已膨胀含 CO₂ 流可具有至少约 1.5MPa 的压力。进一步地, 注入地层中的含 CO₂ 流可具有至少约 7.5MPa 的压力。压力可与 CO₂ 的状态相关。具体而言, 可优选的是, 被注入地层中的含 CO₂ 流包含超临界 CO₂。类似地, 燃烧可在特定的温度范围进行, 例如, 至少约 400°C 的温度。

[0036] 在具体实施方式中, 可将燃烧燃料和氧化剂供应到蒸发冷却燃烧器中, 其在井下位于通向地层中的井中。在这样的实施方式中, 本发明还可包括向蒸发冷却燃烧器中供应水, 以使含 CO₂ 流还包括蒸汽。具体而言, 水可作为蒸发冷却流体被供应蒸发冷却燃烧室中。

[0037] 如前所述, 本发明的方法还可包括从生产井接收包含燃料组分和 CO₂ 的开采流。因此, 该方法可包括将开采流分离成已开采气流和已开采液流。具体而言, 已开采气流可包含甲烷和 CO₂ (以及任选包含 C₂ 烃类、C₃ 烃类和 C₄ 烃类中的一种或多种)。已开采液流特别地可包含石油 (其具体可以是原油, 但不排除气态和 / 或液态形式的石油)。在一些实施方式中, 已开采液流可包含流化的固体燃料组分。

[0038] 在某些实施方式中, 本发明的方法可包括将至少一部分已开采气流导向燃烧室, 作为燃烧燃料的至少一部分。为此, 分离可包括在确定压力下使开采流经过至少压力降低

阶段,由此提取一种或多种燃料组分气体馏分,而处于确定压力下的剩余部分的燃料组分包括液态燃料组分。在具体实施方式中,一种或多种燃料组分气体馏分可包含 CO₂。此外,所述方法还可包括将包含 CO₂ 的燃料组分气体馏分引导至燃烧室,作为燃烧燃料的至少一部分。该方法还可包括使燃料组分气体馏分经过压缩机,其在燃料组分气体馏分被引入燃烧室之前增加燃料组分气体馏分的压力。在具体实施方式中,分离可产生多种燃料组分气体馏分,而且每一种馏分都可包含 CO₂。在这样的实施方式中,所述包含 CO₂ 的多种燃料组分气体馏分中的两种或多种可被合并并作为至少一部分燃烧燃料被引导至燃烧器。这还可包括使燃料组分气体馏分经过压缩机,该压缩机在燃料组分气体馏分被引入燃烧室之前可增加其压力。这种压缩机特别地可以是多级压缩机。优选地,分离步骤将来自开采流的所有 CO₂ 充分分隔到所述一种或多种燃料组分气体馏分中。例如,包含 CO₂ 的燃料组分气体馏分可包括存在于开采流中 CO₂ 总质量的至少约 95%。

[0039] 如果需要,该方法还可包括将已开采气流分离成已开采烃气流和已开采非烃气流(例如,使至少一部分 CO₂ 从燃料气馏分中分离)。尽管按照本发明这并非必要,但是在具体实施方式中其可能是期望的且因此被本发明的方法所涵盖。

[0040] 在进一步的实施方式中,本发明的特征可在于提供在井中井下生产含 CO₂ 流的方法。具体而言,所述方法可包括下述步骤:将燃烧燃料和氧化剂供应到井下位于井中的蒸发冷却燃烧器中,该燃烧器位于包括燃料组分沉积物的地层中或其周围;将蒸发冷却流体供应到所述燃烧器中;以及,在蒸发冷却流体存在下在蒸发冷却燃烧器中燃烧燃料,以便在至少约 7.5MPa 的压力和至少约 400°C 的温度下从所述燃烧器的出口提供含 CO₂ 流。优选地,至少一部分含 CO₂ 流包含超临界 CO₂。

[0041] 在具体实施方式中,本发明可包括利用所形成的含 CO₂ 流作为一种膨胀先前形成井的工具和/或经过地层形成单独通路的工具。具体而言,所述方法可包括朝向地层引导含 CO₂ 流,使得从燃烧器出口供应的该含 CO₂ 流钻穿到地层中并在其中建立通路。该方法还可包括经过所形成的通路推进所述燃烧器。

[0042] 优选地,至少一部分的任意形成的含 CO₂ 流可被注入包含燃料组分沉积物的地层中,使得地层中的至少一部分燃料组分和至少一部分 CO₂ 流从地层流出并进入生产井中。之后,可如前面所述实施开采步骤。

[0043] 本发明还提供各种可用于从地层开采沉积物的系统和装置。例如,在某些实施方式中,本发明的特征可在于提供用于在井中井下生产含 CO₂ 流的装置。具体而言,所述装置可包括蒸发冷却燃烧器;与该燃烧器流体连接的燃料供给;与该燃烧器流体连接的氧化剂供给;与该燃烧器流体连接的蒸发冷却剂供给;位于该蒸发冷却燃烧器内的腔室,其中燃料的燃烧发生在至少约 600°C 的温度下,以产生含 CO₂ 流;和位于燃烧器上的出口,其将含 CO₂ 流从该燃烧器输送到井中。在具体实施方式中,所述出口可包括圆锥形喷嘴,其集中从中输送的含 CO₂ 流。换言之,与处理的燃烧器端部相比,该喷嘴将含 CO₂ 流集中成变窄的流,该变窄的流显示出增加的能量。

[0044] 在进一步的实施方式中,本发明的特征可在于提供 CO₂ 生成系统。此类系统可用于从地层开采燃料组分。例如,此类系统可包含下述组件:蒸发冷却燃烧器;与该燃烧器流体连接的燃烧燃料供给;与该燃烧器流体连接的氧化剂供给;与该燃烧器流体连接的蒸发冷却剂供给;位于该蒸发冷却燃烧器内的腔室,其被配置成接收燃烧燃料并使其燃烧以提

供包含超临界 CO₂ 的含 CO₂ 流；注入组件，其将含 CO₂ 输送到包含燃料组分沉积物的地层中，使得地层中的至少一部分燃料组分和至少一部分 CO₂ 流从地层中流出并作为开采流进入生产井中；和一个或多个处理组件，用于处理开采流中的已开采燃料组分和 CO₂。

[0045] 在具体实施方式中，所述一个或多个处理组件可包括膨胀器，其降低开采流的压力。更具体而言，膨胀器可包括发电涡轮机。此外，所述一个或多个处理组件可包括一个或多个分离单元。更具体而言，所述分离单元可以是分离气流与液流的单元。所述注入组件可包括延伸进入在地层中形成的井中的管道。

[0046] 在具体实施方式中，燃烧燃料供给、氧化剂供给和蒸发冷却剂供给中的一种或多种可包括足够尺寸的管路，以将各自的材料井下输送到地层中形成的井中。在其他实施方式中，蒸发冷却燃烧器可被配置为井下用于地层中形成的井中。优选地，所述系统在构造上可以是足够模块化的，以使该系统可在运输状态与生成 CO₂ 状态之间再配置。此种重新配置具体可在大约数小时、数日或数周之内实施。

[0047] 附图简述

[0048] 为了帮助理解本发明的实施方式，现在对附图进行介绍，其中相同的引用数字指代相同的组件，而且其不必按比例绘制。所述附图仅仅是示例性的，并且不应被解释为限定本发明。

[0049] 图 1 提供了含有油作为沉积物的典型地质地层的横截面，并图解了提高地层中油开采率的系统和方法，其按照本发明实施方式通过在位于注入井中的井下燃烧器中燃烧燃料从而产生 CO₂，该 CO₂ 从注入井被导入地层中，经由生产井提高油的开采，并任选地处理所产生的油；

[0050] 图 2 提供了含有天然气作为沉积物的典型地质地层的横截面，并图解了提高地层中天然物开采率的系统和方法，其按照本发明实施方式通过在地面燃烧器中燃烧燃料从而产生 CO₂，该 CO₂ 从注入井被导入地层中，经由生产井提高天然气的开采，并任选地处理所产生的原油；

[0051] 图 3 提供了含有化石燃料的一部分典型地质地层的横截面，并图解了通过燃烧燃料产生 CO₂ 来提高化石燃料开采的系统和方法，该 CO₂ 从注入井被导入地层中，其中提供了双燃烧器系统和方法，以促进可能形成灰分或作为燃烧产物的其他微粒物质的燃烧燃料的利用；和

[0052] 图 4 提供了图解按照本发明一个实施方式的动力生成方法的效率的图表，其中含硫气（即，含 H₂S 含量的天然气）用作燃烧燃料，效率显示为分离出含硫气的原油开采流中的 H₂S 含量的函数。

[0053] 发明详述

[0054] 现在本发明在此之后将通过参考具体实施方式而进行更完全地描述。提供这些实施方式目的是使本公开成分且完整，并向本领域技术人员充分表达本发明的范围。的确，本发明可以多种不同方式来实施，且不应被解释为局限于本文所述的实施方式；相反，提供这些实施方式的目的实施本公开满足适用的法律要求。如说明书和所述权利要求书中所用，单数形式“一个 (a 或 an)”、“该 (the)”包括复数指代，除非上下文另外明确指示。

[0055] 本发明涉及用于提供可靠、高纯度 CO₂ 来源的系统和方法，其可安全且有效地用于提高各种地层沉积物特别是燃料组分沉积物的开采。在具体实施方式中，术语“沉积物

(deposit)”和“地层沉积物 (formation deposit)”具体可指燃料组分沉积物。如本文所用,术语“燃料组分 (fuel material)”具体可包括被认为提供能量的任意物质,诸如通过物质燃烧、传热或藉此实现了所述物质的储能潜力的其他方式。燃料组分可包括含碳物质 (包括生物质、废料等),其还可包括固态、液态和气态烃类 (包括全部由氢和碳组成的形式,以及包括还包含其他元素或化合物 (诸如硫和氧) 的形式,所述其他元素或化合物作为烃化学结构的一部分或者作为与烃的物理混合物)。更具体而言,燃料组分的特征可在于化石燃料、石油、原油、天然气、煤、焦炭、沥青、油页岩、沥青砂和 / 或其组合,和 / 或其衍生物。满足上述标准的地质地层的其他方面也被本发明所涵盖,正如本领域技术人员在本发明的教导下可认识到的。

[0056] 在各种实施方式中,本发明的特征可在于将 CO_2 或含 CO_2 流注入地层中。在这个意义上,注入可包括使物质被动输送到地层中。因为将液态或气态物质输送到岩石的表面或者另外多孔地层中这种特有的行动通常要求作用压力显著渗透地层,因此,注入的特征可在于施加力,诸如作用压力。因为本发明的燃烧器可在高压下提供燃烧产物流,因此所产生的燃烧产物的固有压力可足以实现将燃烧产物流 (或其一部分) 注入地层中。然而,在其他实施方式中,可利用额外的增压,特别是如果燃烧产物流已经在电力产生方法中被膨胀。当然,还可使用额外的膨胀。

[0057] 在某些实施方式中,地层沉积物强化开采所用的 CO_2 可产生自燃烧法或者其中燃料燃烧以提供包含 CO_2 的燃烧产物流的循环。 CO_2 可从燃烧产物流中提取并因此以各种状态的纯度获得。有利地,通过上述特定处理步骤,所分离的 CO_2 能够是基本完全纯的。然而,在一些实施方式中,根据本发明 CO_2 可用作燃烧产物流的组成成分。换言之,如下面更充分讨论的,尽管来源于燃烧产物流的 CO_2 在使用之前可被纯化至确定的程度,但是含 CO_2 的燃烧产物流可用在本发明中,而没有充分的提纯或者没有任何提纯 (即,直接注入燃烧产物流,其特征可在于含 CO_2 流)。燃烧可以是较大系统或方法 (电力产生系统或方法) 的组成部分或者可以不是。因此,根据本发明所使用的 CO_2 可产生自电力产生系统或方法。该 CO_2 (或者作为净化流或者作为燃烧产物流的组分) 可直接用于开采方法中,如本文所讨论的。

[0058] 提供 CO_2 以用在强化开采的系统可包括燃烧器,其被配置成通过燃料燃烧而生产 CO_2 。燃烧的一方面可以是电力生产,而且提供 CO_2 用于沉积物的强化开采可发生在电力生产之后、电力生产之前或者电力生产之后和之前两种情况。然而,在一些实施方式中,实施燃烧可仅仅用于实现沉积物强化开采的 CO_2 生产。因此,根据本公开,任何燃烧含碳燃料并以本文所述的量和形式产生 CO_2 的系统可被配置成根据本发明使用。

[0059] 作为一种产生 CO_2 的方式的燃烧可包括利用高效燃料燃烧器 (诸如蒸发冷却燃烧器) 和任选地淬火流体,其同样可充当蒸发流体、混合流体和 / 或循环流体。具体而言,循环流体可在燃烧器中与适当的燃料、任何必要的氧化剂和可用于有效燃烧和 / 或用于进一步提高沉积物开采的任何相关物质一起提供。在某些实施方式中,本发明可包括利用在非常高的温度下操作的燃烧器 (例如,在约 1,600°C 至约 3,300°C 的范围内,或者如本文所公开的其他温度范围),并且如果需要,循环流体可用于调节离开燃烧器的燃烧产物流的温度。根据本发明可用的示例性的燃烧器公开在美国公开号 2011/0083435 和美国公开号 2010/0300063 中,其公开内容在此通过参考以其整体并入。

[0060] 在一些实施方式中,燃烧可在使得所得燃烧产物流中的 CO_2 处于超临界态的条

件下进行。鉴于实现燃料的基本完全燃烧、使效率最大化以及防止产生大量微粒物质或其他固体形式的物质的能力,高温燃烧对提供用于强化开采法中的 CO₂ 流可以是特别有用的。在各种实施方式中,高温燃烧可指在至少约 400°C、至少约 600°C、至少约 800°C、至少约 1,000°C、至少约 1,200°C、至少约 1,300°C、至少约 1,400°C、至少约 1,500°C、至少约 1,600°C、至少约 1,750°C、至少约 2,000°C、至少约 2,500°C 或至少约 3,000°C 的温度下的燃烧。在进一步的实施方式中,高温燃烧可指在约 1,200°C 至约 5,000°C、约 1,500°C 至约 4,000°C、约 1,600°C 至约 3,500°C、约 1,700°C 至约 3,200°C、约 1,800°C 至约 3,100°C、约 1,900°C 至约 3,000°C 或约 2,000°C 至约 3,000°C 的温度下的燃烧。

[0061] 根据本发明利用蒸发冷却对防止燃烧器中的腐蚀、积垢和侵蚀可特别有用。这还使得燃烧器在足够高的温度范围内工作,从而提供了所用燃料的完全或基本完全的燃烧。

[0062] 举例来说,根据本发明有用的蒸发冷却燃烧器可包括至少部分由蒸发部件界定的燃烧室,其中所述蒸发部件至少部分被耐压部件包围。燃烧室可具有入口部和相对的出口部。燃烧室的入口部可被配置成接收燃料,该燃料要在燃烧室内于燃烧温度下燃烧以形成燃烧产物。燃烧室还可被配置成朝向出口部引导燃烧产物。蒸发部件可被配置成朝向燃烧室引导蒸发物质经过其中,以便缓冲燃烧产物与蒸发部件之间的相互作用。另外,蒸发物质可被引入燃烧室中以实现所需的燃烧产物出口温度。在具体实施方式中,蒸发物质可至少部分包含循环流体。燃烧室的壁可铺衬一层多孔物质,蒸发物质被引导经过其中并流动,诸如 CO₂ 和 / 或 H₂O。蒸发冷却燃烧器的穿孔 / 多孔性质可基本完全(轴向)地从入口向出口延伸,使得蒸发流体被导入基本上全长的燃烧室。换言之,基本上全长的燃烧室可被蒸发冷却。在其他燃烧室中,穿孔 / 孔可以适宜的密度间隔分开,使得实现基本均匀的蒸发物质分布(即,不存在缺乏蒸发物质流动或存在的“死角”)。孔面积与总壁面积之比(%孔隙率)例如可以是至少约 5%、至少约 10%、至少约 15%、至少约 20%、至少约 30%、至少约 40% 或至少约 50%。在一些实例中,可利用约 10x10 至约 10,000x10,000/英寸且孔隙率百分比约 10% 至约 80% 的阵列大小。

[0063] 一种示例性的燃烧器可包括由蒸发部件界定的燃烧室,其可至少部分被耐用部件包围。在一些情况中,所述耐压部件还可至少部分被传热夹套包围,其中该传热夹套可与耐压部件一起界定出位于其间的一个或多个通道,经过所述通道,可循环低压水流。通过蒸发机制,循环水因此可被用于控制和 / 或维持选定的耐压部件温度,例如在约 100°C 至约 250°C 的范围内。在一些方面,绝热层可被布置在蒸发部件与耐压部件之间。

[0064] 在一些情况中,蒸发部件例如可包括外蒸发部件和内蒸发部件,所述内蒸发部件自耐压部件与所述外蒸发部件相对布置并界定出燃烧室。外蒸发部件可由任何合适的耐高温材料构成,诸如例如,钢和钢合金,包括不锈钢和镍合金。在一些情况中,外蒸发部件可配置成界定第一蒸发流体供应通道,该通道从其毗连绝热层的表面延伸经过其中而到达其毗连内蒸发部件的表面。在一些情况中,第一蒸发流体供应通道可对应于由耐压部件、传热夹套和 / 或绝热层所界定的第二蒸发流体供应通道。第一和第二蒸发流体供应通道因此可被配置成协作将蒸发流体引导经过其中到达内蒸发部件。

[0065] 内蒸发部件例如可由下述构成:多孔陶瓷材料、穿孔材料、层压材料、由两维随机定向和第三维有序排列的纤维构成的多孔垫、或者任意其他材料、或者其组合,其展示如本文所公开的所需特性,即,多流道或孔或其他合适的开口,用于接收蒸发流体并将其引导经

过内蒸发部件。多孔陶瓷材料和适合此类蒸发冷却系统的其他材料的非限定性实例包括氧化铝、氧化锆、相变增韧锆 (transformation-toughened zirconium)、铜、钼、钨、渗铜的钨 (copper-infiltrated tungsten)、涂钨钼、涂钨铜、各种高温镍合金, 以及包裹或涂覆铼的材料。适宜的材料来源包括例如 CoorsTek, Inc., (Golden, CO) (锆); UltraMet Advanced Materials Solutions (Pacoima, CA) (难熔金属涂层); Orsam Sylvania (Danvers, MA) (钨 / 铜); 以及 MarkeTech International, Inc. (Port Townsend, WA) (钨)。适宜用于这种蒸发冷却系统的穿孔材料的示例包括以上所有材料和供应商 (在此可通过例如对初始未穿孔的结构使用本制造领域内已知的方法进行穿孔, 以获得穿孔的端部结构)。适宜的层压材料的示例包括以上所有材料和供应商 (此处可通过例如以使用本制造领域内已知的方法获得期望的端部多孔性这样的方式对非多孔或部分多孔的结构进行层压获得层压端部结构)。适宜的层压材料的示例包括以上所有材料和供应商 (此处可通过例如以使用本制造领域内已知的方法获得期望的端部多孔性这样的方式对非多孔或部分多孔的结构进行层压获得层压端部结构)。

[0066] 蒸发物质可被引导经过内蒸发部件, 使得蒸发物质在燃烧室内紧邻内蒸发部件形成缓冲层 (即, “蒸汽壁”)。在一些情况中, 蒸发流体至少在燃烧室内部的压力下输送, 使得进入燃烧室的蒸发流体流速足以使蒸发流体与燃烧产物混合并使其冷却, 以形成处于期望温度下的出口流体混合物 (例如, 在一些实施方式中低至约 100°C 至在其他实施方式中高至约 2,000°C)。

[0067] 根据本发明有用的燃烧器装置可包括各种辅助组件, 诸如用于提供燃烧过程中所用的各种物质的组件。例如, 燃烧器可包括综合混合室, 其中燃料、循环流体 (例如, CO₂ 和 / 或水)、氧化剂和任何实施燃烧必需的其他物质可以任意组合结合。可选地, 这些物质可以燃烧器外面混合, 并以充分混合的状态被输入燃烧器中。在各种实施方式中, 燃烧器可包括燃料、氧化剂 (例如, O₂ 或空气)、循环流体和蒸发流体输入。在具体实施方式中, 循环流体和蒸发流体可以是相同的物质或者是物质的混合物。空气分离或压缩单元可用于提供氧化剂 (例如, 以基本纯化的状态), 而燃料注入器设备可被设置用于接收氧化剂并使其与 CO₂ 循环流体和燃料流组合, 燃料流可包括气体、液体、超临界流体或在高密度 CO₂ 流体中浆化的固体微粒燃料。

[0068] 在另一方面蒸发冷却的燃烧器装置可包括燃料注入器, 用于将增压燃料流注入燃烧器装置的燃烧室中, 增压燃料流任意与循环流体和 / 或氧化剂结合。氧化剂 (任选地, 富氧) 和 CO₂ 循环流体可被组合成均匀的超临界混合物。

[0069] 在具体实施方式中, 根据本发明的燃烧器可具有能够便于具体应用诸如井下燃烧的特定构造。例如, 在一些实施方式中, 对于燃烧器而言, 提供聚集的产物流可以是有用的, 该聚焦产物流在部分或完全溶解至少部分地层方面是有效的, 该地层伴随着燃烧产物流从中流出的燃烧器部分。具体而言, 燃烧器可包括喷嘴或类似地圆锥形部分, 其将燃烧产物在离开燃烧器之后浓缩成高压高温流。在此类配置中, 根据本发明的井下燃烧器可至少部分在地层中建造钻孔, 经过该钻孔燃烧器可继续将超临界 CO₂ 注入周围的地层中。

[0070] 另外, 除了上面已经叙述的蒸发冷却构造之外, 燃烧器可包括外壳 (例如, 金属或陶瓷材料)。此种外壳可针对对燃烧器的物理损坏提供结构保护 (例如, 来自于岩层的无意接触) 并且还能针对有机物的生长或者可能被井下燃烧流逐出的来自岩石、烟灰和其他物

质的其他污染物的沉积。在具体实施方式中,外壳还可进行蒸发保护(其可处于比主燃烧器壁的蒸发更低的温度)。此类额外的蒸发保护对保护和/或润滑井下设备以促进经过地层的流动可以是有用的。

[0071] 多种物质可被用作燃烧器中的燃料。例如,生产用于提高地层沉积物开采的CO₂可利用任意下述进行:煤、原油、燃料油、天然气、煤基燃料气、来自焦油砂的焦油、沥青等的各种级别、类型和衍生物。可用作燃料的甚至更多的物质可包括生物质、藻类、分级可燃固体废物再利用、沥青、废轮胎、柴油、汽油、喷气燃料(JP-5, JP-4)、源自碳氢物质的气化或热解的气体、乙醇、固态和液态生物燃料等。在其中用于开采的地层沉积物包括化石燃料的实施方式中,对于燃烧器中所用的燃料而言,其为开采自地层沉积物的开采流中的组分可以是特别有利的(例如,天然气、油或从地层开采的油馏分)。任意上述燃烧燃料可以含碳燃料为特征,在此意义而言,所述物质包括碳组分。

[0072] 在注入燃烧装置之前燃料可以各种方式进行处理,并且可以有益于实现期望的燃烧产物流的期望的速率和压力注入。这类燃料可以是液体、浆料、凝胶或膏体形式,且在环境温度或升高的温度下,具有适宜的流动性和粘度。例如,燃料可以在约30℃至约500℃、约40℃至约450℃、约50℃至约425℃或者约75℃至约400℃的温度下提供。视情况而定,任何固体燃料组分可被研磨或切碎或以其他方式处理,从而降低颗粒大小。可根据需要添加流化或浆化介质,以获得合适的形式(例如,煤泥)并满足高压泵送的流动要求。当然,取决于燃料的形式(即,液体或气体),流化介质可能不是必需的。同样,在一些实施方式中,循环的循环流体可用作流化介质。

[0073] 作为生产CO₂以实现地层沉积物的强化开采的一种方法的燃烧可利用特定的工艺参数和组件实施。根据本发明可用的生产CO₂的高效燃烧系统和方法的实例描述在美国公开号2011/0179799中,该公开内容通过参考以其整体并入本文。优选地,在注入用于提高沉积物(诸如化石燃料)开采的管道或地层之前,燃烧系统无需额外的压缩或去除杂质。本发明还可应用于能够接受含大量CO₂的进料燃料流的其他燃烧过程。

[0074] 在本发明的各种实施方式中,强化开采方法中所用的燃烧装置可位于地面位置,其接近用于注入所生产的CO₂的场所。地面设置的燃烧器可以处于永久、半永久或可运输状态。例如,燃烧器可以是电厂产生系统的一部分,其中燃料在循环流体(特别是CO₂)或其他淬火流体存在下燃烧(优选在高温下),所述循环流体或淬火流体可调节离开燃烧器的燃烧产物流的温度,使得燃烧产物流可被用于能量转移而发电。具体而言,燃烧产物流可经过至少一个涡轮机膨胀从而产生电力。经膨胀的气流可经历如下面进一步叙述的处理,或者可被直接注入地层中。

[0075] 在各种实施方式中,可能需要CO₂在确定压力和/或温度下被引入燃烧器中。具体而言,可能有利的是,引入燃烧器中的CO₂具有至少约2MPa、至少约5MPa、至少约8MPa、至少约10MPa、至少约12MPa、至少约15MPa、至少约18MPa或至少约20MPa的压力。在其他实施方式中,压力可以是约2MPa至约50MPa、约5MPa至约40MPa或约10MPa至约30MPa。此外,可能有利的是,引入燃烧器中的CO₂具有至少约200℃、至少约250℃、至少约300℃、至少约400℃、至少约500℃、至少约600℃、至少约700℃、至少约800℃或至少约900℃的温度。

[0076] 在一些实施方式中,供应至燃烧器的O₂被充分提纯可以是有用的(即,就与空气中天然存在的其他组分相关的O₂的摩尔含量而言是升高的)。在某些实施方式中,O₂可

具有大于约 50 摩尔 %、大于约 75 摩尔 %、大于约 85 摩尔 %、大于约 90% 摩尔 %、大于约 9 摩尔 %、大于约 98 摩尔 % 或大于约 99 摩尔 % 的纯度。在其他实施方式中, O₂ 可具有约 85% 至约 99.6 摩尔 %、约 85% 至约 99 摩尔 % 或约 90% 至约 98 摩尔 % 的纯度。来自燃料中碳的总 CO₂ 回收有利于利用至少约 99.5 摩尔 % 范围内的较高纯度。

[0077] 在某些实施方式中, 所供应的 O₂ 的量可超过所述化学计算量至少约 0.1 摩尔 %、至少约 0.25 摩尔 %、至少约 0.5 摩尔 %、至少约 1 摩尔 %、至少约 2 摩尔 %、至少约 3 摩尔 %、至少约 4 摩尔 % 或至少约 5 摩尔 %。在其他实施方式中, 所供应的 O₂ 的量可超过所述化学计算量约 0.1% 至约 5 摩尔 %、约 0.25% 至约 4 摩尔 % 或约 0.5% 至约 3 摩尔 %。

[0078] 将循环流体和 / 或蒸发流体引入燃烧器中可有助于控制燃烧温度, 使得离开燃烧器的燃烧产物流具有期望的温度。例如, 离开燃烧室的燃烧产物流具有至少约 500°C、至少约 750°C、至少约 900°C、至少约 1,000°C、至少约 1,200°C 或至少约 1,500°C 的温度可以是有用的。在一些实施方式中, 燃烧产物流可具有约 100°C 至约 2,000°C、约 150°C 至约 1,800°C、约 200°C 至约 1,600°C、约 200°C 至约 1,400°C、约 200°C 至约 1,200°C 或约 200°C 至约 1,000°C 的温度。

[0079] 燃烧产物流可被引导至涡轮机, 其中该燃烧产物流被膨胀而产生动力 (例如, 经发电机产生电力)。涡轮机可具有用于接收燃烧产物流的入口和用于释放包含 CO₂ 的涡轮机排出流的出口。在一些实施方式中可采用单一涡轮机, 或者可采用多于一个涡轮机, 多个涡轮机连续连接起来或者任选被一个或多个其他组件 (诸如其他燃烧组件、压缩组件、分离器组件等) 隔开。来源于如本文所述的燃烧过程并进入和 / 或离开任意这些组件的流可被描述为含 CO₂ 流并且可产生自一个或多个燃烧器。

[0080] 涡轮机入口处的流的温度可变, 诸如高达约 1,350°C。在其他实施方式中, 本系统和方法可利用低得多范围内的涡轮机入口温度, 如上所述。此外, 离开燃烧器的燃烧产物流可具有与进入燃烧器的 CO₂ 循环流体的压力紧密匹配的压力。在具体实施方式中, 燃烧产物流可具有能使流中存在的 CO₂ 处于超临界流体态的温度和压力。当燃烧产物流经过涡轮机膨胀时, 流的压力可被降低。这种压降可进行控制, 使得燃烧产物流的压力与涡轮机排出流的压力处于确定的比例, 例如小于约 12、小于约 10、小于约 8 或小于约 7 的比例。在其他实施方式中, 涡轮机入口压力与出口压力比可以是约 1.5 至约 12、约 2 至约 10、约 3 至约 9 或约 4 至约 8。

[0081] 在具体实施方式中, 可期望涡轮机排出流处于使得流中的 CO₂ 不再处于超临界流体态而是处于气态的条件。例如, 提供气态的 CO₂ 能在注入地层中之前促进流的进一步处理。因此, 涡轮机排出流可具有低于 CO₂ 将会处于超临界态的压力的压力, 即, 小于约 7.3MPa、小于约 7MPa、小于约 6MPa、小于约 5MPa、小于约 4MPa、小于约 3MPa、小于约 2MPa 或小于约 1.5MPa。在其他实施方式中, 涡轮机排出流的压力可以是约 1.5MPa 至约 7MPa、约 3MPa 至约 7MPa 或约 4MPa 至约 7MPa。在具体实施方式中, 涡轮机排出流的压力在流所遇到的冷却温度下可以小于 CO₂ 冷凝压力 (例如, 自然冷却)。然而, 在其他实施方式中, 在可能不需要冷却和 / 或分离的情况下, 涡轮机排出流的压力更大可以是有用的。例如, 该压力可以是至少约 7.5MPa、至少约 8MPa、至少约 8.5MPa、至少约 9MPa 或至少约 10MPa。仍在其他实施方式中, 涡轮机排出流的压力可以是至少约 1.5MPa、至少约 2MPa、至少约 3MPa、至少约 4MPa 或至少约 5MPa。

[0082] 尽管燃烧产物流流经涡轮机可导致一些程度的温度下降,但是涡轮机排出流可显著地类似于燃烧产物流的温度。例如,涡轮机排出流可具有约 500°C 至约 1,000°C、约 600°C 至约 1,000°C、约 700°C 至约 1,000°C 或约 800°C 至约 1,000°C 的温度。因为燃烧产物流相对高的温度,因此涡轮机由能够耐受此类温度的材料形成可以是有利的。涡轮机包含对可能存在于燃烧产物流中的次要物质类型提供耐化学性的材料也可以是有用的。

[0083] 燃烧产物流(或在能源产生实施方式中为涡轮机排出流)可处于直接注入需要提高沉积物开采的地层中的条件下(意指无需进一步处理该流,诸如去除杂质等)。然而,在一些实施方式中,可能期望在注入之前进一步处理所述流。例如,在 CO₂ 流被注入通常可能由于足够高的压力注入而受损的井、管道或地层的情况下,对来自燃烧过程的 CO₂ 可进行压力修饰。如上所述,电力产生中的膨胀可降低 CO₂ 流压力;然而,甚至进一步的减压可能是期望的,而且此类减压可通过经过一个或多个其他电力产生涡轮机来提供。也可以利用用于减压的其他方法,这是本领域技术人员利用本公开内容的优势可理解的。优选地,根据所需的可能的能量输入,对 CO₂ 流进行压缩将不是必需的。然而,例如由于地层结构或管道规格的特定地质学之故,可实施对 CO₂ 的压缩。

[0084] 在一些实施方式中,在注入地层之前调节 CO₂ 流的温度可以是有用的。如下面进一步讨论的,在诸如重油的强化开采中利用相对高温的流可以是有用的。然而,因为本发明包括高温燃烧系统和方法,在一些实施方式中在注入之前冷却 CO₂ 流可以是有用的。

[0085] 具体而言,使 CO₂ 流经过至少一个热交换器可以是有用的,该热交换器冷却所述流并提供温度在确定范围内的 CO₂ 流。在具体实施方式中,冷却的 CO₂ 可具有小于约 1,000°C、小于约 750°C、小于约 500°C、小于约 250°C、小于约 100°C、小于约 80°C、小于约 60°C 或小于约 40°C 的温度。在某些实施方式中,热交换器包括至少两个串联的用于接收 CO₂ 流并使其冷却至期望温度的热交换器可以是特别有的。所用的热交换器的类型取决于进入热交换器的流的条件可以变化。例如,因为 CO₂ 流可处于相对高的温度,因此直接接收 CO₂ 流的热交换器由设计为耐受极端条件的高性能材料制成可以是有用的(例如, INCONEL[®] 合金或类似材料)。系列中的第一热交换器可包括能够耐受至少约 400°C、至少约 600°C、至少约 800°C 或至少约 1,000°C 的连续工作温度的材料。一个或多个热交换器包括对可能存在于燃烧产物流中的次要物质类型提供优良耐化学性的材料也可以是有用的。合适的热交换器可包括以商品名 HEATRIC[®] (得自 Meggitt USA, Houston, TX) 可得的那些。在系列中的第一热交换器可从 CO₂ 流传递足够热量的实施方式中,系列中存在的一个或多个进一步的热交换器可由常规材料制成,例如,不锈钢。在具体实施方式中,至少两个热交换器或至少三个热交换器用于系列中以将涡轮机排出流冷却至期望的温度。

[0086] 在一些实施方式中,可能期望来自燃烧方法的 CO₂ 流经历进一步的处理以分离出留在 CO₂ 流中的任何次要组分。这种次要组分可能存在或可能不存在,这具体取决于燃烧方法中所用的燃料的性质。同样,可能期望或可能不期望分离 CO₂ 流中存在的任何次要组分,这取决于 CO₂ 流所注入的地层。因此,本方法和系统可包括应用一个或多个分离单元。

[0087] 在具体实施方式中,去除 CO₂ 流中存在的一些或全部的任意水可以是有用的。尽管“湿”CO₂ 流被直接输入用于某些沉积物(包括与某些化石燃料相关的那些)的强化开采可能是有用的,但是如果另外必要,CO₂ 流中存在的水(例如,在含碳燃料燃烧过程中形成且在注

入之前经历任何进一步处理而继续存在的水)能够主要作为液相从已冷却的 CO₂ 流中被去除。这种分离可通过在下述压力下提供 CO₂ 流(例如,气态的)而实现:该压力小于当气体混合物被冷却至利用环境温度冷却装置所述实现的最低温度时该气体混合物中存在的 CO₂ 被液化的压力。例如,在从中分离次要组分的过程中,所述 CO₂ 流可在小于 7.38MPa 的压力下提供。如果利用了温度在较低环境范围或充分小于环境的冷却方法,则甚至更低的压力可能是必需的。这允许分离作为液体的水。在一些实施方式中,所述压力可与涡轮机出口处的压力基本相同。水分离之后的“干”CO₂ 流可包含基于摩尔含量小于 1.5%、基于摩尔含量小于 1% 或基于摩尔含量小于 0.5% 的水蒸气。如果需要,可应用进一步的干燥,使得 CO₂ 流完全或基本上不含水。例如,低浓度的水可通过除湿式干燥机或者根据本公开适合的其他手段来去除。

[0088] 可从 CO₂ 流中去除的其他次要组分包括例如 SO₂、SO₃、HCl、NO、NO₂、Hg、O₂、N₂ 和 Ar。CO₂ 流的这些次要组分均可利用合适的方法从冷却的 CO₂ 流中去除,诸如美国专利申请公开号 2008/0226515 及欧洲专利申请号 EP1952874 和 EP1953486 中所述的方法,所有这些均以其整体并入本文作为参考。在具体实施方式中,各种次要组分可通过下述方法去除:SO₂ 和 SO₃ 可 100% 转化为硫酸;>95% 的 NO 和 NO₂ 可转化为硝酸;过量 O₂ 可作为富集流分离用于任选的再循环至燃烧器;以及惰性气体(例如, N₂ 和 Ar)可以低压排到大气中。

[0089] 在其中燃烧产物流被冷却以促进其一种或多种组分被去除的实施方式中,在注入地层之前对流再加热可以是有用的。如上所述,一个或多个热交换器可用于冷却燃烧产物流。如果需要,可使含 CO₂ 流返回经过同一热交换器(或多个),以捕获先前从燃烧产物流抽取的热。

[0090] 如果需要,CO₂ 流可作为基本提纯形式的循环流体来供应,用于注入或再循环回到燃烧器中。具体而言,提纯的 CO₂ 流可具有至少约 95 摩尔%、至少约 97 摩尔%、至少约 98.5 摩尔%、至少约 99 摩尔%、至少约 99.5 摩尔%或至少约 99.8 摩尔%的 CO₂ 浓度。而且,含 CO₂ 流可以期望的压力提供,以注入地层中、输入管道中和/或输入燃烧器中。含 CO₂ 流具有处于最低水平的注入压力可以是特别有用的(即,在注入地层中位置处含 CO₂ 流的压力,诸如离开井筒并进入地层中)。例如,含 CO₂ 流可具有至少约 1.5MPa、至少约 2MPa、至少约 3MPa、至少约 4MPa、至少约 5MPa、至少约 6MPa、至少约 7MPa、至少约 7.5MPa、至少约 8MPa、至少约 9MPa、至少约 10MPa、至少约 11Mpa 或至少约 12Mpa 的注入压力。在其他实施方式中,含 CO₂ 流可具有环境压力至约 30MPa 的压力。这类压力同样适用被再循环回到燃烧器和/或被输入管道的中任何部分的 CO₂ 流。

[0091] 在某些实施方式中,含 CO₂ 流的特征可涉及其粘度和/或密度。优选地,含 CO₂ 流具有的注入压力接近或高于地层(及其燃料组分沉积物)的最低混相压力(MMP)。因此,根据本发明,含 CO₂ 流的密度和粘度可以是具体井的 MMP 的函数,其可以是已知的值。例如,已经显示在北海储层中,EOR 中所用的 CO₂ 必须具有 570kg/m³ 至 800kg/m³ 的密度和 0.04mPa s 至 0.07mPa s 的粘度。如果需要,本发明还包括使用添加剂来改变含 CO₂ 流的密度和/或粘度。

[0092] 在优选的实施方式中,产生自燃烧系统或方法的 CO₂ 流可被注入沉积物地层中,而不必分离任何非-CO₂ 组分和/或压缩该 CO₂ 流。因此,在涉及地面燃烧的实施方式中,CO₂ 流可在仅燃烧后、在燃烧和膨胀用于发电之后、在燃烧和冷却之后或者在燃烧、膨胀和冷却

之后被注入地层中。优选地,在涉及地面燃烧的实施方式中,至少一个膨胀步骤被包括,以便提供动力生产,特别是在其中注入地层中之前一定水平的压降可有利的实施方式中。

[0093] 在一些实施方式中,CO₂流直接注入地层中可能是特别期望的。直接注入的特征可在于含CO₂燃烧产物流注入地层中,而无需任何中间步骤,如本文另外所述(例如,无需膨胀、冷却或者从流中分离组分)。直接注入可包括将CO₂流从燃烧器输送到单独的管道(其将CO₂流递送到注入位置),或者从燃烧器经作为所述系统和方法的专用组件的管道。根据本发明,经过现有的油井组件、天然气井组件等输送至井口组件进行注入也可被认为是直接注入CO₂流。

[0094] 如上所述的生产用于提高地层沉积物开采的CO₂的动力生产设施基本位于CO₂将被注入的地层附近,可以是特别有益的。这种邻近能降低或消除过度转移CO₂的需要。例如,在其中开采的地层沉积物是化石燃料的实施方式中,动力生产设施位于包括开采化石燃料的井或多个井的现场中或其附近可以是有利的。优选地,动力生产设施可与将注入CO₂以提高化石燃料开采的现场非常近。以这种方式,管道、油罐卡车等的应用可被降低或者完全消除。具体而言,本发明的CO₂生产系统可包括管道部分,其与燃烧系统的剩余组件流体连接,以使燃烧产生的CO₂被特定地经过管道而引导至注入井,而无需可使CO₂从与本发明系统外部的来源输入的连接物。

[0095] 在一些实施方式中,动力生产可足够接近所产生CO₂的被注入的位置,使得用于将所产生的CO₂引导至注入位置的任何管道具有小于约50km、小于约40km、小于约30km、小于约20km、小于约10km、小于约5km、小于约2km、小于约1km、小于约0.5km、小于约0.25km或小于约0.1km的总长度。在一些实施方式中,与将CO₂从动力生产设施输送至注入位置的相关的任何输送管道可被描述为具有接近零的长度。这特定地可意味着管道的总长度小于约0.5km、小于约0.25km或小于约0.1km。根据本发明,这种距离可被认为是“接近零”的距离,因为CO₂输送管道通常具有以数百公里计的长度。因此,对比而言,上述值可被认为相对接近零。而且,提供如此接近注入位置的CO₂生产设施的能力并非仅仅是无需真正努力就可实现的最优化的问题。相反,已知的CO₂源通常不适合与注入位置所在之处具有特定距离的特定位置处的构造。这种局限性就是为何现有技术通常需要到达需要强化开采的化石燃烧沉积物所必需的巨大管道长度和/或用于远距离输送CO₂的其他装置。

[0096] 本发明的这种优势特别地可通过能够提供完全可运输的CO₂生产系统来实现,这是由于CO₂生产系统具有的小尺寸和模块化设计,但并不限于此。根据本发明完全可运输的系统可以是地面生产设施或井下燃烧系统,其由相对短的时间内能够被组装而形成可操作设施的组件形成,而且无论何时需要,该组件能够在相对短的时间拆卸,使得该组件的全部零件可在相对短的时间内被运输到不同的位置(例如,通过卡车、铁路或其他合适的运载工具)并再次组装。因此,所述系统或装置可被描述为本质上是模块化的,以便允许该系统从运输模式被重新配置成操作模式。如关于这些实施方式所用的,相对短的时间可定义为指从单独的组件到可操作设施(即,生产CO₂)的总组装时间,或者小于56天、小于49天、小于42天、小于35天、小于28天、小于21天、小于14天、小于10天、小于7天、小于5天或小于2天的重新配置总时间。同样的时间期间可适用从可操作设施到单独组件的拆卸。此类可运输系统可包括如本文所述的动力生产组件,可基本局限于燃烧器以及CO₂生产用所必需的相关组件。而且,此类可运输系统可以是充分紧凑的,以至于能被装在滑动底座。以这

种方式, CO₂ 生产系统可被运输到特定的注入井并基本上被直接连接于用于将所生产的 CO₂ 直接注入井中的井口装置。CO₂ 生产过程因此是紧凑的, 并且能够以实现拆卸、运输到新开采位置并以最低可能成本再组装的形式来构建。这同样能起到消除 CO₂ 管道成本的作用。

[0097] 除了诸如上述的地面燃烧之前, 本发明还包括其中燃烧是在地下位置进行的实施方式。术语“地下 (sub-surface)”是指产生 CO₂ 的燃料的真正燃烧是在低于地平面的物理位置进行的。在一些实施方式中, 燃烧器可仅仅位于地平面之下数米。在其他实施方式中, 燃烧器可位于地平面之下多达约 10m、多达约 100m、多达约 500m、多达约 1,000m、多达约 1,500m、多达约 2,000m、多达约 5,000m 或多达约 10,000。在进一步的实施方式中, 燃烧器可位于地平面之下至少约 1m、至少约 10m、至少约 25m、至少约 50m、至少约 100m、至少约 250m、至少约 500m 或至少约 1,000m。还在其他实施方式中, 燃烧器可位于地平面之下约 1m 至约 5,000m、约 5m 至约 4,000m、约 10m 至约 3,000m 或约 25m 至约 2,000m。根据本发明的该发明, 燃烧器特征可在于位于井下 (特别是涉及化石燃料地层或可钻井以开采沉积物的其他地层)、位于期望强化开采的地层内、位于期望强化开采的沉积物之上、位于期望强化开采的沉积物之下或者位于期望强化开采的沉积物一侧 (即, 与沉积物处于共同的水平面)。

[0098] 当使用井下燃烧时, 能够特别有利的是完全消除其中使用工作流体以便产生动力的预注动力生产系统。以这种方式, 本发明的方法和系统可被有效地压缩成尽可能小的燃烧器和将燃烧物质从井下输送到燃烧器输入端所需的任何管路 (以及任何额外所述的强化开采组件, 例如, 用于产生蒸汽的水)。因此, 可进行燃烧以产生 CO₂ (以及任选地用于某些沉积物的强化开采的蒸汽或其他产物), 其直接从燃烧器的输出端进入地层, 以提高特定沉积物 (诸如本文进一步描述的) 的开采。如在下面更详细讨论的, 所产生的 CO₂ 可在开采流中与从地层开采的沉积物合并。如果需要, 所产生的 CO₂, 具体而言, 或者部分或全部的开采流可用来以与上述大致相同的方式来产生动力。在这些实施方式中, 所述系统和方法的动力生产组件可以与燃烧器物理分开 (即, 燃烧器位于井下, 而动力生产涡轮机和类似的或其他的组件位于地面上)。然而, 还在这样的实施方式中, 燃烧器和动力生产组件可描述为流体连通。具体而言, 离开燃烧器出口端的燃烧产物流进入地层, 与沉积物混合或以其他方式促进沉积物的开采, 并被包括在来自地层的开采流中, 该开采流可直接经过动力生产组件或者在经过动力生产组件之前被分离成一个或多个部分。

[0099] 无论是采用地面燃烧还是井下燃烧, 本发明可涉及各种物质的提高的开采。在具体实施方式中, 本发明的方法和系统可用于提高化石燃料的开采。在特别优选的实施方式中, 本发明可特别涉及流体形式的燃料化石的提高的开采。在具体实施方式中, 流体形式可指在标准温度和压力下可流动的形式。化石燃料可基本是处于流体形式, 通常保持在其地层内 (或储层), 诸如足够低粘度的原油或天然气的情况。化石燃料的特征还可在于与 CO₂ 和 / 或任何蒸汽或者可利用的其他加热和 / 或稀释物质接触后成为流体形式, 诸如沥青、焦油砂、油页岩等的情况。

[0100] 本发明的提高开采率法 (强化开采法) 可包括将含 CO₂ 流输送至包括用于开采的沉积物的地层。尽管含 CO₂ 流可包括一直或多种其他组分, 但是期望含 CO₂ 流包含基于所述流的总重至少约 10wt%、至少约 20wt%、至少约 30wt%、至少约 40wt%、至少约 50wt%、至少约 60wt%、至少约 70wt%、至少约 80wt%、至少约 90wt%、至少约 95wt%、至少约 98wt% 或至少约 99wt% 的 CO₂。在进一步的实施方式中, 含 CO₂ 流可包含约 50wt% 至约 100wt%、约 60wt% 至

约 98wt%、约 70wt% 至约 97wt% 或约 75wt% 至约 95wt% 的 CO₂。如上所述,含 CO₂ 流中 CO₂ 的可以是超临界流体或气体的形式。在一些实施方式中,含 CO₂ 流特征可在于由 CO₂ 组成。在其他实施方式中,含 CO₂ 流特征可在于基本由 CO₂ 组成。在这样的实施方式中,“基本由……组成”具体可指任意下述:含 CO₂ 流包含小于 2wt% 的任意非 -CO₂ 组分;含 CO₂ 流明确不含通常被认为是压裂液的任何其他物质;含 CO₂ 流明确不含任何压裂支撑剂;或含 CO₂ 流明确不含任何表面活性剂。

[0101] 如从上述可见,本发明特征可提供用于提高化石燃料储层开采的方法。在各种实施方式中,该方法可用于任意地层,其可含有下述中的一种或多种:甲烷、其他轻质烃气(例如, C₂ 至 C₄ 气体)、粘度变化的油、沥青、焦油砂和页岩油。例如,根据本发明的方法可包括:燃烧含碳燃料,提供包含 CO₂ 的燃烧产物流;将至少一部分 CO₂ 引导至含用于开采的化石燃料的地层中。此外,该方法可包括接收来自地层的流体流,其包含来自地层的化石燃料馏分和注入地层中的 CO₂ 馏分。在进一步的实施方式中,至少一部分自地层开采的化石燃料馏分可从流体流中分离。所分离的化石燃料馏分可包括轻油、重油、轻质气或高粘度燃料组分(例如,沥青、焦油砂和页岩油)。多种分离可用于从流体流获得所有适销产品,而且此类分离可产生包括在 CO₂ 内的非烃物质的分离。在其他实施方式中,至少一部分已开采流体流可被再循环回到燃烧方法中。具体而言,再循环流可包括 CO₂ 和 / 或已开采化石燃料含量(例如,轻质气馏分)。而且,在开采混合烃产物的实施方式中(例如,包括气体馏分和液体油馏分),可以有利的是分离销售用液体馏分。剩余的气体馏分(包括任意杂质和 CO₂)可作为全部或部分的燃烧燃料而直接输入燃烧器中。优选地,已开采的化石燃料的含量足以完全为燃烧过程提供燃料,而无需输入外部燃料源。在其他实施方式中,再循环回到系统的已开采化石燃料部分可用于补充外部燃料源。此类方法类似可用于开采其他类型的地层沉积物。

[0102] 在进一步的实施方式中,本发明可提供用于提供 CO₂ 以从地层中开采化石燃料的系统。例如,根据本发明的系统可包括下述:燃烧器,其被配置成用于接收含碳燃料并具有至少一个燃烧阶段,该燃烧器燃烧燃料以提供包含 CO₂ 的燃烧产物流;和一个或多个用于将至少一部分 CO₂ 引导至地层的组件。该系统还可包括一个或多个用于产生电力的组件,诸如发电涡轮机组件,其可与燃烧器流体连接和 / 或可设置为利用已开采燃料组分流的组分来产生动力。该系统还可包括一个或多个用于从地层接收燃料流的组件,该燃料流包含来自地层的化石燃料馏分和导入地层中的 CO₂ 馏分。该系统还可包括一个或多个用于从流体流分离至少一部分已开采化石燃料馏分的组件,和 / 或一个或多个用于将至少一部分流体流再循环回到燃烧器的组件。此种系统类似可适于开采其他类型的地层沉积物。

[0103] 在一些实施方式中,本发明可涉及 CO₂ 在经压裂过程提高化石燃料开采中的用途。压裂在提高烃气开采中可特别有用,诸如在煤层和含烃含页岩地层中,该地层通常含甲烷(CH₄)和少量的其他轻质烃气。

[0104] 当将含 CO₂ 工作液以高于地层断裂压力的压力注入适宜地层中时(例如,如上所述),地层可被有效断裂,从而刺激甲烷和其他烃气的生产。压力减轻地层中的应力,为捕获气体开封并产生孔隙和通道,用于气体从地层流入井筒中。另外,由于 CO₂ 优先驱替吸收或晶格状甲烷,相比利用其他压裂处理或利用其他气体所出现的情况,更多的甲烷从该处理中形成。使用 CO₂ 还提供了对总气体产量更长期的促进,这是因为 CO₂ 驱替甲烷的能力。

如果足够的甲烷在围绕井筒的断裂面的局部区域中移出,则地层中的压力也可能下降足够低,使得其降至地层内甲烷的临界解吸压力之下,这可导致甲烷的自发解吸和大量生产。

[0105] 根据本发明的压裂可用于任何地层,其中烃类生产,特别是气态烃类生产,充分受阻于低地层压力和/或低地层渗透性(即,“紧密”地层)。具有足够低渗透性以致使压裂成为提高开采的有利方法的地层(例如,页岩地层、煤层等)可包括那些渗透性小于约 10mD、小于约 5mD、小于约 1mD 或小于约 0.5mD 的地层。

[0106] 根据本发明的压裂方法可包括将含 CO₂ 流(诸如经过井筒或其他注入井)在高于地层断裂压力的压力下引入地层中。压裂方法可特别包括使用地面燃烧器。因此,含 CO₂ 流基本可以是离开燃烧器的燃烧产物流。在其他实施方式中,含 CO₂ 流可以是离开涡轮机或其他动力产生组件的流。还在其他实施方式中,含 CO₂ 流可以是离开可实施的任何分离过程步骤中所用组件的流。而且,其他压裂物质可在燃烧之后或刚好在引入断裂之前被加至含 CO₂ 流(这可包括在井筒本身内发生的组合)。此类其他组分可包括但不限于压裂支撑剂、表面活性剂(例如,脂族或含氧烃类聚合物、氢氟聚合物或全氟聚合物、分子量可到 400g/mol 的部分或完全氟化小分子、全氟醚、中性表面活性剂、带电表面活性剂、两性离子表面活性剂、脂肪酸酯和/或产生粘弹性行为的表面活性剂)、胶凝剂或水(包括盐水)。含 CO₂ 流的特征还可在于明确不含任何或全部上述组分或者通常被认为用于压裂液的任何其他组分。另外,含 CO₂ 流可与水和/或其他压裂液或物质同时、在其之前、之后或与其顺序引入地层中。

[0107] 二氧化碳对于将甲烷从晶格结构(诸如甲烷水合物和甲烷气水包合物)中驱替(转移)出来以及将吸附的甲烷从地层的表面、孔隙、间隙和缝隙中驱替出来可以是特别有用的。其他气体诸如氮气或空气通常不显示优先驱替吸收或晶格状甲烷的类似倾向。与甲烷相比,煤层和气体水合物特别地显示了被 CO₂ 优先吸附或驱替。

[0108] 由于 CO₂ 倾向于从晶格结构驱替甲烷以及从地层的表面、孔隙、间隙和缝隙驱替吸附的甲烷,根据本发明产生的 CO₂ 还可在缺乏压力时特别用于实现这些功能。换言之,含 CO₂ 流可在诸如低于地层的断裂压力的压力下,但在足以进入地层的缝隙或裂缝的压力下,或者在足以进入地层的至少一部分孔的压力下,被引入地层中,以便驱替吸附的烃气或另外促进烃气从地层的移出。这对于从煤层、地下煤层(特别是那些较深和/或具有经济和技术生产问题之一或两者的煤层)以及页岩气地层(其中天然气或其他短链烃气与固体物质相关且优先被 CO₂ 驱替)开采天然气可以特别有益。尽管压裂方法中的 CO₂ 优选通过地面燃烧产生以允许任选包含其他物质,但是用于无需压裂的纯气体开采方法的 CO₂ 可通过地面燃烧或在井下燃烧器中生产。经第一井筒(即,注入井)被注入此类地层中的含 CO₂ 流从中驱替烃气,至少部分与所驱替的烃气结合,并通过诸如注入井或一个或多个生产井促进烃气从地层中开采。所开采的烃气任选可进行处理,如下面进一步所述。

[0109] 除了提高烃气开采之外,本发明的方法还可用于形成和开采燃料组分。例如,CO₂ 特别是在升高的温度和压力下将与煤化学反应,产生 CO 和 H₂(以及水)。因此,根据本发明所生产的 CO₂ 可被引至煤中并形成 CO 和 H₂,其可如本文另外所述进行开采并用嘴燃料组分,例如,在合成气生产中。在某些实施方式中,可进行多种功能,其中将 CO₂ 注入含煤地层中可驱替出与其相关的任何用于开采的烃气,和/或与煤反应,形成用于采用的 CO 和 H₂,和/或在含煤地层中隔离至少一部分 CO₂。

[0110] 根据本发明所产生 CO₂ 还可用于提高液体燃料组分（例如，原油）和甚至高粘度燃料组分（例如，沥青、焦油砂和油页岩）的开采。与此类液体和 / 或高粘度燃料组分相关的含 CO₂ 流的应用能通过多种方法有效地提高其开采，诸如下述方法之一或两者：增加地层压力并改变燃料组分的物理性质（例如，降低其粘度）。

[0111] 通过 CO₂ 注入进行的油驱替可取决于 CO₂ 与原油混合物的相行为，其可取决于多种因素，诸如储层温度、储层压力和原油组成。尽管不希望束缚于理论，认为促进原油驱替的机制可包括油膨胀、降低粘度和使 CO₂ 与原油完全混溶。本发明的方法可提供此类机制的一种或任意组合，用于提高油和高粘度油从地层的开采。尽管下面的讨论大体讨论关于油（或原油）的液态烃的移出，应理解，该公开内容可涉及提供宽范围粘度的油的开采，并且还可涉及其他高粘度烃的开采，例如，沥青、焦油砂、油页岩等。

[0112] 当将 CO₂ 注入储油层中时，随着来自油的轻烃溶解在 CO₂ 中且 CO₂ 溶解在油中，CO₂ 可变成与残留的原油相互溶解。此种相互溶解的程度可随着 CO₂ 密度的增加而增加，这可特别有利于提供压缩（即，加压的）形式的 CO₂。相互溶解在其中油含有显著体积的“轻”（即，低碳）烃的地层中还可更大。当注入的 CO₂ 和残留油可混溶时，使两相保持分离的物理力（界面张力）有效消失。这使得 CO₂ 能够从岩石孔中驱替出油，将其推向生产井。随着 CO₂ 溶解在油中，其使油膨胀并降低油粘度，其还有助于改进驱替过程的效率。

[0113] 因此实现油与 CO₂ 的相互溶解所需的最小压力可以是储层温度、储层压力、CO₂ 流压力和油密度（即，轻烃的相对分数）的因素，因此，实现油 / CO₂ 混溶性所需的最小压力可变。因此，除了控制所注入的 CO₂ 流的性质（即，温度、压力和任选的添加剂诸如蒸汽）之外，本发明还包括除 CO₂ 注入之外的其他处理。例如，在 CO₂ 注入之前、之后或同时，本发明还可包括将水注入地层中，这对增加储层压力可特别有利。更具体而言，本发明可包括交替注入 CO₂ 流与大量水。这种技术可被称为水气交替（或“WAG”）注入。这种方法可用于减轻较低粘度的 CO₂ 在被驱替的油之前蔓延的任何倾向。本发明还可包括其他类似的技术。

[0114] 仅举例来说，根据本发明用于提高采收率法采油的 CO₂ 注入法可如下实施。首先，可如本文已经描述的进行燃烧，产生含 CO₂ 流（优选包含超临界 CO₂）。燃烧可在地面上或井下进行，并且可实施在被刺激的地层的具体环境下被认为适宜的任何中间步骤（例如，膨胀用以产生动力和 / 或分离出不是诸如所需的任何流组分）。优选地，如果利用地面燃烧，燃烧系统的位置可与注入井和 / 或待使用含 CO₂ 流的现场非常接近。特别地，CO₂ 可在注入压力下提供，进行注入，如本文另外所述。

[0115] 接下来，离开燃烧器（或者所需的其他系统组件）的含 CO₂ 流可被引导至一个或多个注入井，所述注入井战略上布置于井网内，以最优化储层的面积波及（areal sweep）。这可通过如上所讨论的相对短的传输线进行。当利用井下燃烧时，引导含 CO₂ 流可包括简单从燃烧器输出含 CO₂ 流并直接输入地层中，诸如经过井管中的穿孔或经过透水岩石。所注入的 CO₂ 进入储层并移动经过地层岩石的孔隙。随着 CO₂ 移动经过储层并遇到原油沉积物，其与原油开始混溶并形成向着分离的产油井移动的浓缩油堆（oil bank），所述产油井在一些实施方式中可包括注入井。换言之，含 CO₂ 流移动经过储层提高了油离开地层并进入产油井（一个或多个）的运动。这可继续进行，这是因为上述的互溶性现象，以及还因为地层仍存在足够的压力将“推动”油 / CO₂ 组合（关于单独的油而言，其此刻具有降低的粘度和 / 或密度）到达开口产油井（关于地层本身，其具有低得多的密度）。油移动到产油井还可源自

由于 CO₂ 注入其中（和 / 或可被注入的任何其他再增压物质, 例如, 水）而引起的地层压力增加。

[0116] 在产油井, 油（通常为油、CO₂、水和可能的烃气的混合物）被输送至表面（其通常可包括主动泵送）进行处理, 如下所述。含 CO₂ 流可被注入很多注入井中, 并且注入井和产油井的井网(pattern) 可随时间而变。所需的井网可根据公认的工程模型(诸如基于不同的设计场景模拟储层行为的计算机模拟) 确定。

[0117] 尽管利用 CO₂ 刺激油和气井先前已知, 但是公认的是 CO₂EOR 是一种资本密集型的任务, 其中单个最大项目成本通常是购买注入用 CO₂ 的成本, 特别是必需压力和纯度下的 CO₂。据估计, 在 EOR 方法中, 总 CO₂ 成本（购买价格和再循环成本）可相当于所生产的每桶油的成本的 25-50%。本发明通过提供连续的 CO₂ 来源可克服这种局限性, 该 CO₂ 在注入位置附近形成, 甚至可在井下形成以甚至进一步消除 CO₂ 运输成本。而且, CO₂ 生产成本可经由如上所述的预注入循环通过动力生产而被有效抵消, 以及甚至在一些实施方式中利用产物流经过动力生产而被有效抵消。而且, 如本文另外所述, 燃烧燃料成本可通过利用在提高的开采过程中开采的燃料组分的馏分（包括液体和气体燃料组分）而被显著抵消。

[0118] 除了 CO₂ 供应 / 注入 / 再循环方案的高前端资本成本外, 通常必须大大提前于增量生产的开始, 就要购买初始 CO₂ 注入体积。因此, CO₂EOR 的投资回报率倾向于较低, 具有逐渐的长期的支出。考虑到井、再循环设备和 CO₂ 的大量前端投资, 实现增产的采油量反应上的时间耽搁, 以及可显著降低预期反应的意外的地质非均质性的潜在风险, CO₂EOR 因此被很多经营者认为是一种风险性投资, 特别是在先前还未实施的区域和储层中。而且, 先前已经认识到, 在没有改进的技术和 / 或储存 CO₂ 的财政 / 税务机理的情况下, 具有较高资本成本和较不利的注入 CO₂ 与所产出的增产油量之比的储油层将不会实现经济上合理的投资回报。再次, 本发明克服了这些缺点, 并使基于的强化开采方法经济上无可非议, 在很宽范围的燃料组分沉积物和甚至更多类型的沉积物上甚至是有利的。

[0119] 如上已经提到的, 鉴于将燃烧器装置井下布置在储层或地层内的能力, 本发明的方法和系统可以是特别有利的。这类实施方式在 EOR 方法中可以是特别有用的。更具体而言, 井下燃烧器实施方式用于含沥青地层、用于焦油砂、用于油页岩提取以及用于重油(通常, 即, 具有低于约 20 的美国石油协会 (API) 度的油) 可以是非常有利的。在具体实施方式中, 本发明的方法和系统具体可用于下述地层, 其含有具有下述 API 度的油: 小于约 19、小于约 18、小于约 17、小于约 16、小于约 15、小于约 14、小于约 13、小于约 12、小于约 11、小于约 10、小于约 9 或小于约 8。API 度可利用以 API 度单位为刻度的比重计直接测量, 如 ASTM D287 中详述的。可选地, API 度可从油的密度计算, 其可如 ASTM D1298 中详述利用比重计测量, 或者可如 ASTM D4052 中详述利用震荡 U 形管法测量。不同温度下的密度调整、对钠钙玻璃伸缩率的纠正以及对不透明油的弯月面校正详述于 ASTM D1250 详述的石油计量表应用详情中。然后根据下面的公式 1 计算比重, 并根据下面的式 2 计算 API 度。

[0120]

$$SG_{油} = \frac{\rho_{油}}{\rho_{水}} \quad \text{公式 1}$$

[0121]

$$API度 = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \quad \text{公式 2}$$

[0122] 根据本发明的某些实施方式,井下燃烧器在提高来自地层的燃料组分沉积物的开采中的应用图解在图 1 的流程图中。具体而言,该图图解了由下述组成的典型地质地层(从顶部到底部)的横截面:表层土层 2;低孔隙率岩石层 3(诸如页岩),其不允许显著的油渗透;中孔隙率岩石层 4,其可能允许或不允许油渗透;含油层 5(诸如砂岩或石灰岩),其具有足够的孔隙率,以容纳含有油并可能允许从中自由流动至低压区;和进一步中孔隙率岩石层 6。应理解,这种地质地层仅仅是示例性的,并且可受益于本发明方法的地质地层具有或多或少的层,且具有多种不同构造,包括层的相交。而且,与含油层相关的讨论不应被视为将井下燃烧仅限于此种地层。

[0123] 显示注入井 100 穿入包括含油层 5 在内的各地质地层。尽管显示为单一注入井,但是应理解可利用多个注入井。而且,注入井可以是预存在的井筒,如果需要,对其进行修改以适应井筒燃烧器(或其产物),或者可以是有目的形成的钻孔。图解的注入井 100 包括导向套管 101、表层套管 102 和生产套管 103,其中每个可以原位注水泥。生产套管的内部是工作管道 104,其用于输送燃烧物质。在一些实施方式中,工作管道可不存在,并且燃烧物质的输送可经生产套管进行。在其中井形成的目的明确用于井下燃烧的情况下,套管组合是可变的,或者基本可以不存在。例如,注入井可仅包括导管(conductor)、表层套管和在表层套管的下边缘延伸的开放钻孔。在图解的实施方式中,在工作管道 104 的较低端部附近提供了用作压力封闭的注入密封塞(injection packing plug)110,以使井的上部与下面的燃烧区 112 分离。

[0124] 燃烧器 300 位于燃烧区 112 内,诸如如本文所述的蒸发冷却燃烧器。该燃烧器地理上与地层中相对低的含油层对齐(或地层)。在地层内的确切位置可变,例如,在地层中较高有利于所注入物质向下运动,或者在地层中较低有助于所注入物质向上渗透,并且这种位置可取决于所注入物质的确切性质和待开采自地层的沉积物的确切性质)。在具体实施方式中,可期望利用一个或多个非垂直井作为注入井。例如,注入井可包括一个或多个对角或水平截面,含 CO₂ 流可被注入地层中。注入井同样可包括一个或多个分支,其相对于地平面的表面可以是垂直的、水平的或对角的。在进一步的实施方式中,含 CO₂ 流的燃烧器或组件可坐落于铁路或滑车上,或可利用其他机构以使其在所有潜在的方向移动。控制到达燃烧器各部分的流动的值还可以用于控制 CO₂ 流动的方向。

[0125] 燃烧燃料源 10 提供燃烧燃料至井下燃烧器 300,诸如经由相关的管道或另外合适的输送装置。如下面进一步所述,燃烧燃料可以是来自沉积地层的开采燃料组分的馏分。氧化剂源 20(举例而言,在该实施方式中,其是提供 O₂ 的空气分离单元)井下提供 O₂(优选以基本纯的形式,如上所述)至燃烧室,诸如经由相关的管道或另外合适的输送装置。还提供 CO₂ 流 30 经过燃烧器。在图解的实施方式中,CO₂ 流与来自氧源的 O₂ 流在混合器 25 处汇集。可选地,CO₂ 流可直接在单独的输送管线中进入燃烧室。仍进一步,其他的或不同的混合器装置可用于组合燃料、氧和 CO₂,然后进入燃烧器中。在其中来自燃烧的 CO₂ 显著被隔离在注入地层内或者未被再循环至燃烧方法的实施方式中,CO₂ 流可不存在。在图解的实施方式中,燃烧系统还包括淬火流体源 40,其经由相关管道或另外合适的输送装置向燃烧器提供水、不同的淬火流体(包括 CO₂)或淬火流体混合物。淬火流体具体可作为蒸发冷却流

体而被引导至燃烧器。另外,CO₂流经过淬灭流体源被递送至燃烧器(特别是当期望CO₂可被用作蒸发流体源时)。

[0126] 将进料组合(即,O₂、水、CO₂和燃料)输送到燃烧器时,燃烧可继续进行,并且离开燃烧器的燃烧产物可包括热量、蒸汽、CO₂和反应副产物之一或多种,如本文另外所讨论的。燃烧器可描述为具有一个输入区,其中燃料和其他物质被递送;和输出区,燃烧产物流从中生产。如在图1中所见,生产套管103可包括一个或多个穿孔105,其可大量位于燃烧器300的区域内或者可以对应于产油地层在不同的位置隔开。这些穿孔可提供离开井和进入含油地层中的燃烧产物流的通路。在其他实施方式中,生产套管103可以至少不存在于产油地层中,而且燃烧产物流可容易地流经地层的孔。

[0127] 燃烧产物经过生产地层的传送促进了地层沉积物(例如,油)经过一个或多个生产井200的开采。燃烧产物和地层沉积物的这种传送通过图1的箭头总汇来阐述。未填充的箭头代表进入地层的燃烧产物。相继更暗的箭头表示地层沉积物(例如,油),其与CO₂混溶并进入生产井,该地层沉积物此刻具有降低的粘度(以及任选,由于蒸汽处理而增加的温度和/或增加的压力)。在一些实施方式中,注入井100可被配置为在生产地层内的第一区注入燃烧产物流,并在生产地层内的第二区接收所产生的地层沉积物。例如,燃烧产物流的注入可从密封塞110之下的生产套管进行,沉积物可在密封塞之上经过一个或多个附加的穿孔(未显示)进入生产套管,而所开采的沉积物可流经生产套管103与工作管道104之间的环形空间。

[0128] 图1中所示的单独的生产井200包括导向套管201、表层套管202和生产套管203,其中每个可在原位注水泥。在该实施方式中,生产套管仅在表层套管的较低端部之下延伸较短距离,其下井的剩余部分简单图解为开口井筒206。在其他实施方式中,生产套管可在井内进一步向下延伸,而开口井筒实际上可包括可被穿孔或以其他方式成为多孔以允许所生产的沉积物经过而进入井中的内衬或套管。生产套管内部是生产管道204,其用于将已开采的沉积物输送至表面,并且生产管道在其较低端部附近被生产密封塞210包围。

[0129] 被输送至生产井200的表面的已开采沉积物流250可经历一个或多个处理步骤。例如,已开采的沉积物流可经过膨胀器320,以降低流的压力。该任选压力降低的流可经过分离单元330,以便分离重油流332与轻质气流334。轻质气流可继续经过气体分离器340,其能分离烃气流342与任何与已开采沉积物流结合的CO₂(和/或杂质,例如,H₂S)。膨胀CO₂流344可任选行进通过动力产生涡轮机350,以产生电力(E),而膨胀CO₂流30可行进至混合器25,用于与O₂流结合,以再注入注入井100中。在可选的实施方式中,流250、332、334、342和344中任一种可被直接输入燃烧系统,特别是如果不需要或不期望任何介入的压力调整、分离或动力产生组件的情况。

[0130] 在一些实施方式中,不是分离出轻质气体,此类组分可保持与用于输入燃烧器的CO₂流相结合。以这种方式,可部分或完全消除对用于燃烧器的单独燃料源的需求。实际上,根据本发明的方法因此能产生市场用原油产物,而且任何所生产的轻质气可用作燃烧器的燃料源以形成更多的CO₂从而继续EOR操作。仍进一步,气体分离步骤仍可发生,而且任何分离的烃气可被作为燃料源被输送至燃烧器。涉及产物开采流的组分分离的进一步的实施方式在本文另外讨论。

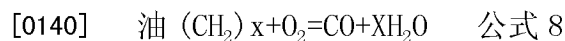
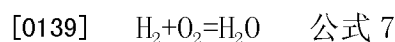
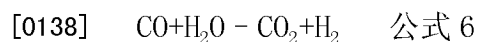
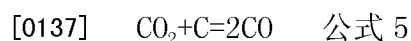
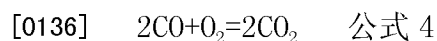
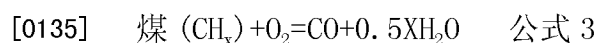
[0131] 在一些实施方式中,具体使输入燃烧器的氧化剂与CO₂之比均衡可以是有用的。例

如,引入燃烧器的氧化剂的量可小于引入燃烧器的 CO₂ 量的约 50wt%。在进一步的实施方式中,引入燃烧器的氧化剂的量可小于约 45wt%、小于约 40wt%、小于约 35wt% 或小于约 30wt% 的引入燃烧器的 CO₂ 量。在具体实施方式中,引入燃烧器的氧化剂的量可以是引入燃烧器的 CO₂ 量的约 10wt% 至约 50wt%、约 10wt% 至约 45wt%、约 12wt% 至约 40wt%、约 12wt% 至约 35wt% 或约 15wt% 至约 30wt%。

[0132] 在某些实施方式中,可特别期望产生显著量的蒸汽作为燃烧过程的一部分。具体而言,水可被加至燃烧循环(例如,作为燃烧器中的淬火流体)并且具体可作为蒸发冷却剂被输入燃烧器中。因此,除 CO₂ 之外,燃烧过程还可提供相当大量的蒸汽。在某些实施方式中,蒸汽馏分基于质量比质量可以小于约 50%、小于约 40%、小于约 30%、小于约 20%、小于约 10% 或小于约 5% 的燃烧流。然而,如果需要(诸如在热 EOR 过程中),蒸汽馏分可以大于燃烧产物流质量的 50%。

[0133] 在有利的实施方式中,在关于井下使用燃烧器方面,本发明特征可在于过量的氧化剂(例如, O₂ 或空气)。在具体实施方式中,以超过化学计量所需含量提供的用于燃料燃烧的 O₂ 的量以摩尔计为至少约 0.1%、至少约 0.2%、至少约 0.25%、至少约 0.5% 或至少约 1.0%。在其他实施方式中,超过燃料燃烧所需量的 O₂ 化学计量过量以摩尔计为约 0.1% 至约 5%、约 0.15% 至约 4%、约 0.2% 至约 3% 或约 0.25% 至约 2.5%。以超过化学计量所需含量提供的用于燃料燃烧的空气的量可多达约 40 倍过量。提供此种化学计量过量可用于确保含碳燃料的完全燃烧(这与上述直接接受所生产的开采率提高的尾气能力具有相同的特征)。这是期望的,原因在于其能基本或完全消除碳的产生(即,煤烟),该煤烟可大幅堵塞地层。例如,提供过量的氧化剂可有效氧化煤而产生一氧化碳(CO)。在具体实施方式中,碳生产可收到限制,使得燃烧产物流包含小于约 2wt%、小于约 1.5wt%、小于约 1wt%、小于约 0.5wt%、小于约 0.25wt% 或小于约 0.1wt% 的微粒碳(或煤烟)。

[0134] 提供过量的氧化剂(特别是 O₂) 在涉及油或天然气井方面是违反直觉的,这是因为这类井通常要求任何存在的 O₂ 应严格限制在非常低的水平,以避免藻类生长或硫沉积的问题。然而,在本发明的燃烧系统和方法中,提供了过量 O₂, 作为高温气流的一部分。在本文所述的条件下,燃烧后剩余的任何过量 O₂ 可通过与储层中烃类的副反应而被有效去除。例如,在此类条件下,可发生下述反应。



[0141] 预期公式 4-7 的反应同样将跟随公式 8 的反应。

[0142] 除上述之外,利用具有蒸发注入水流的井下燃烧器对于控制开采率提高的流体流的温度可特别有利。更具体而言,含水量(及任选 CO₂ 流)可根据需要调节,以将燃烧产物流直接冷却至用户设计的受控的温度,该温度可针对具体储层中的最大油开采率来设定。例如,燃烧产物流温度可控制在约 100°C 至约 1,800°C 范围内或者本文另外公开的任意其他范围。

[0143] 尽管井下燃烧器之前在现有技术中已经进行了讨论,但是此类方法不同于本发明,因为已知系统中的燃烧不包括这样的技术,其中可实现足够高的温度和压力从而促进甚至被污染的燃料的燃烧,如下面进一步讨论的。而且,已知的井下燃烧技术通常要求使用固体载体催化剂(solid support catalyst),以防止烟煤产生并阻塞产油地层的表面。如上述,本发明可消除对此类催化剂体系的需求。然而,如果需要,在具体实施方式中,根据本发明的燃烧(地面燃烧或井下燃烧)也可引入催化剂的应用。

[0144] 包括地面燃烧的具体实施方式在图 2 中图解。如在此所见,该系统和方法一般性类似于井下燃烧,因为燃料源 10 提供燃烧燃料至位于地面的燃烧器 300 中,优选充分接近注入井 100。氧源 20(在该示例性实施方式中,诸如空气分离单元)提供 O₂(优选以基本纯的方式,如上所述)至燃烧器中。还包括工作流体源 31,其提供工作流体,诸如 CO₂ 流,用于经过燃烧器。任选地,进一步的淬火流体诸如水可被提供给燃烧器。根据上面已经提供的讨论,淬火流体和 / 或工作流体具体可作为蒸发冷却流体被输送至燃烧器。混合器装置可用于在燃料、氧和 CO₂ 进入燃烧器之前使其合并。

[0145] 举例来说,图 2 图解了由下述组成的典型地质地层(从顶部到底部)的横截面:表层土层 2;低孔隙率岩石层 3(诸如页岩);化石燃料储层和 / 或煤层 7,其包括甲烷和可能的位于其中的其他轻质烃类;和进一步中孔隙率岩石层 6。同样,地层的实际层次可变。

[0146] 显示注入井 100 穿入包括煤层 7 在内的各地质地层。尽管显示为单一注入井,但是应理解可利用多个注入井。而且,注入井可以是预存在的井筒,如果需要,对其进行修改以促进 CO₂ 流动,或者可以是有目的形成的钻孔。图解的注入井 100 包括导向套管 101、表层套管 102 和生产套管 103,其中每个可以原位注水泥。生产套管的内部是工作管道 104,其包括用于将含 CO₂ 流注入井中的中心管 115。在一些实施方式中,工作管道可不存在,并且含 CO₂ 流的输送可经单独的中心管进行。在图解的实施方式中,在工作管道 104 的较低端部附近提供了用作压力封闭的注入密封塞 110,以使井的上部与下面的注入区 113 分离。

[0147] 如在图 2 中所图解,生产套管 103 可包括一个或多个穿孔 105,其可以在煤层地层内在不同的位置被隔开。这些穿孔可提供离开井和进入煤层中的燃烧产物流的通路。在其他实施方式中,生产套管 103 可以至少不存在于煤层地层中,而且燃烧产物流可容易地流经煤层表面中的孔和 / 或流经煤层中的缝隙。

[0148] 在具体实施方式中,可期望利用一个或多个非垂直井作为注入井。例如,注入井可包括一个或多个对角或水平截面,从中含 CO₂ 流可被注入地层中。注入井同样可包括一个或多个分支,其相对于地平面处的表面可以是垂直的、水平的或对角的。注入再次可具有潜在的或平移的、轴向的和旋转的移动。

[0149] 操作上,燃烧燃料源 10 提供燃料至燃烧器 300,诸如经由相关的管道或另外合适的输送装置,而且,此种燃料可以是自沉积地层开采的燃料组分的馏分。氧源 20(诸如空气分离单元)提供 O₂(优选以基本纯的形式,如上所述)至燃烧室,诸如经由相关的管道或另外合适的输送装置。还提供 CO₂ 流 30 经过燃烧器。在图解的实施方式中,CO₂ 流优选起工作流体和 / 或淬火流体和 / 或蒸发流体的作用。如果需要,可使用不同的工作流体和 / 或淬火流体和 / 或蒸发流体(其可以相同或不同),并且可提供各流的单独来源。混合器装置可用在燃料、氧和工作流体进入燃烧器之前使其合并。

[0150] 燃烧器 300 包括流出燃烧产物流的输出,该燃烧产物流可被描述为含 CO₂ 流。该

CO₂ 可处于如上面已经讨论的任何形式。燃烧产物流被输入涡轮机 360 以产生电力,并且涡轮输出流被引导至进一步处理或引导至注入井。处理组件 375 可包括一个或多个热交换器、分离单元(例如,用于去除水或痕量杂质)、压缩机、膨胀器和冷却单元。含 CO₂ 流 - 离开涡轮机或处理组件 - 至少部分经由中心管 115 被引导入井中并经过生产套管 103 中的穿孔 105 进入煤层地层 7。

[0151] 含 CO₂ 流经过煤层的传送促进了地层沉积物(例如,甲烷)经过一个或多个生产井 200 的开采。燃烧产物和地层沉积物的这种传送通过图 2 的箭头总汇来阐述。未填充的箭头代表进入地层的含 CO₂ 流。相继更暗的箭头表示地层沉积物(例如,甲烷),其与 CO₂ 混合和 / 或简单被 CO₂ 置换并进入生产井中。在一些实施方式中,注入井 100 可被配置为在生产地层内的第一区注入燃烧产物流,并在生产地层内的第二区接收所产生的地层沉积物。例如,燃烧产物流的注入可在密封塞 110 之下进行,沉积物可在密封塞之上经过一个或多个附加的穿孔(未显示)进入生产套管,而所开采的沉积物可流经生产套管 103 与工作管道 104 之间的环形空间。

[0152] 图 3 中所示的单独的生产井 200 包括导向套管 201、表层套管 202 和生产套管 203,其中每个可在原位注水泥。在该实施方式中,生产套管仅在表层套管的较低端部之下延伸较短距离,而其下井的剩余部分简单图解为开口井筒 206。在其他实施方式中,生产套管可在井内进一步向下延伸,而开口井筒实际上可包括可被穿孔或以其他方式成为多孔以允许所生产的沉积物经过而进入井中的内衬或套管。生产套管内部是生产管道 204,其用于将已开采的沉积物输送至表面,并且生产管道在其较低末端附近被提供密封的生产密封塞 210 包围。

[0153] 被输送至生产井 200 的表面的已开采甲烷流 251 可经历一个或多个处理步骤,并且全部或部分的甲烷流可被引导返回燃烧器系统中。例如,已开采的沉积物流可经一个或多个膨胀器处理以降低流压力、经一个或多个分离单元处理以分离用于销售的纯甲烷流和 / 或分离更多烃气流与任何 CO₂(和 / 或杂质,例如, H₂S),以及经过其他动力生产涡轮机处理,所有这些都上面涉及图 1 时进行了描述。如在图 2 中所示的,一部分甲烷流 251 可被引导至燃料源。该部分可以是一种或多种烃气的组合并可包括在甲烷流成产生的任何杂质。甲烷流的其他部分可被引导至工作流体源。该部分可以是分离的 CO₂ 流并且可包括在甲烷流成产生的任何杂质。

[0154] 选择使用地面燃烧或者井下燃烧可取决于多种因素,包括带开采的物质类型和地层的物理条件。通常,任一系统都可用于流体形式的任何化石燃料的强化开采,例如,气态烃类、低粘度油和甚至高粘度油。对于非常高粘度的油和其他非常粘的烃类(例如,沥青、焦油砂和页岩油),井下燃烧系统可能是有利的,原因在于能够容易地提供高温燃烧产物流,该燃烧产物流可包括大量的蒸汽部分,其可有利于增加此类较高粘度物质的流动性。

[0155] 在利用地面燃烧或井下燃烧的情况下,多种燃烧燃料是可以使用的。具体而言,可使用气态烃类和液体石油,而且燃烧燃料因此可至少部分由通过所述方法开采的燃料组分形成。燃烧方法还可包括作为燃烧燃料的固体燃料。例如,可使用煤,优选处于颗粒状(particulate)和流化状态的煤。在这样的实施方式中,本发明的系统包括多个燃烧器可以是有用的。

[0156] 例如,图 3 图解了图 2 所示的地面燃烧实施方式的局部视图,其被修改为引入部分

氧化燃烧器 600。图 3 图解了由下述组成的典型地质地层(从顶部到底部)的横截面:表层土层 2;低孔隙率岩石层 3(诸如页岩);和燃料组分层 8。如前面的附图,显示注入井 100 穿入包括燃料组分层 8 在内的各地质地层。尽管显示为单一注入井,但是应理解可利用多个注入井。而且,注入井可以是预存在的井筒,如果需要,对其进行修改以促进 CO₂ 流动,或者可以是有目的形成的钻孔。图解的注入井 100 包括导向套管 101、表层套管 102 和生产套管 103,其中每个可以原位注水泥。生产套管的内部是工作管道 104,其包括用于将含 CO₂ 流注入井中的中心管 115。在一些实施方式中,工作管道可不存在,并且含 CO₂ 流的输送可经单独的中心管进行。如图 1 和图 2 所示的一个或多个生产井同样可包括在本实施方式中。

[0157] 如图 3 所示,固体煤燃料 1010 被提供给部分氧化燃烧器 600,其是系列中的第一燃烧器。尽管该实施方式是关于煤方面进行讨论,但是应理解可如所述使用任何固体燃料组分。优选地,诸如煤的固体燃料可通过诸如经过磨机装置而颗粒化。这可现场进行或者固体燃料可以与颗粒形式提供。该颗粒尺寸可使得能提供约 10 μm 至约 500 μm、约 25 μm 至约 400 μm 或约 50 μm 至约 200 μm 的平均粒度。粉煤可与流化物质混合,以提供浆形式的煤(其可以与 CO₂ 成浆)。

[0158] 除了固体煤燃料 1010 之外,来自氧源 20 的 O₂ 和来自工作流体源 31 的 CO₂ 可被提供至部分氧化燃烧器 600。CO₂ 可以是任选的,并且可以流化介质来源。CO₂ 还可用于冷却部分氧化燃烧器 600。优选地,所用的 CO₂ 的量足以冷却离开部分氧化燃烧器的部分氧化燃烧流的温度,使得以固体形式存在的任何灰分可被安全去除。因此,CO₂、煤和 O₂ 可以下述比例提供给部分氧化燃烧器,该比例使得煤仅被部分氧化从而产生包含 CO₂ 以及 H₂、CO、CH₄、H₂S 和 NH₃ 中一种或多种的部分氧化燃烧产物流。CO₂、煤和 O₂ 还可优选以必要的比例引入部分氧化燃烧器 600 中,该比例使得部分氧化燃烧产物流的温度足以低,使得所述流中以固体颗粒形式存在的所有灰分可易于通过一种或多种分离器和/或过滤器(旋风过滤器)来去除。如图 3 所示,显示了灰分经过滤器 650 去除。在具体实施方式中,部分氧化燃烧产物流的温度可小于约 1,100°C、小于约 1,000°C、小于约 900°C、小于约 800°C 或小于约 700°C。在进一步的实施方式中,部分氧化燃烧产物流的温度可以是约 300°C 至约 1,000°C、约 400°C 至约 950°C 或约 500°C 至约 900°C。离开过滤器 650 的经过滤的部分氧化燃烧产物流可被直接输入蒸发冷却燃烧器 300 中。该输入与来自氧源 20 的 O₂ 流和来自工作流体源 31 的 CO₂ 工作流体一起提供。在该处的燃料可如本发明另外所述类似地进行。部分氧化燃烧产物流中可燃物在 O₂ 和 CO₂ 存在下在燃烧器 300 中燃烧,提供包含 CO₂ 的燃烧流。该流可经过涡轮机 350 膨胀,以产生电力(例如,通过发电机)。可使涡轮机排出流经过一个或多个处理组件 375,并被输入中心管 115,用于注如井中。当然,应理解,此种部分氧化实施方式可适合井下燃烧器实施方式,如本发明另外所述,特别关于图 1 所述的。

[0159] 本发明还提供了优于本领域已知的 CO₂ 水驱(CO₂ flooding)方法的总体改进。因为本发明中所形成和所用的含 CO₂ 流是燃烧产物流,因此含 CO₂ 流还能向地层提供大量的热。燃烧热因此可被转移到一部分地层,并且此类加热可起着促进其中的沉积物开采提高的作用,特别是在化石燃料方面。如果需要,含 CO₂ 流可在足以促进诸如原油地层中的长链烃断裂的温度下提供。这对提高高粘度油以及甚至其他高度粘性沉积物的开采特别有用。

[0160] 在根据本发明可被利用的任意系统和方法中,从生产井或多个井移出的产物流通常将包含物质的混合物。例如,开采的化石燃料可包括一小部分(在某些情况中甚至高含

量) 硫化氢, 如果需要, 其可被去除以提供基本纯的化石燃料流。同样, 经过地层并进入开采流中的任何 CO_2 通常必须被去除, 以提供可销售的化石燃料。本发明利用了可提供用于提高开采的含 CO_2 流的燃烧过程, 因此本发明能够减轻或消除在已开采化石燃料流中杂质的存在所引起的副作用。例如, 因为燃烧过程可与使用 CO_2 作为工作流体的高效清洁超临界动力循环 (诸如上述) 结合, 因此此种循环可有效处理含大量硫化合物 (和其他杂质) 的燃料流。因此, 化石燃料、 CO_2 、 H_2S 和其他杂质的混合物可被用作燃烧过程中的燃料, 甚至具有高含量 CO_2 、 H_2S 和 / 或其他杂质。因此, 举例来说, 可将油、轻质气、 CO_2 、硫化合物和其他杂质的各种组合直接注入用于燃烧和产生动力的动力生产循环, 以产生额外的 CO_2 和电力。同样, 在高压、高温、井筒燃烧实施方式中, 输入的燃烧燃料可从基本纯的烃到各种组合的一种或多种烃类燃料与多种杂质的混合物的范围。换言之, 根据本发明的产生 CO_2 用于在提高开采技术中注入的燃烧过程可基本畅通地进行, 包括在存在甚至大量杂质的情况下。

[0161] 开采流中被用作燃烧器的燃烧燃料以生产更多用于提高开采 (以及任选地, 动力生产) 的 CO_2 部分, 取决于地层性质以及可从流中提取的任何可销售物质可以是变化的。例如, 在提高油开采中, 开采流将包括原油和可能的水、气态烃和 / 或 H_2S 。在一些实施方式中, 原油的一部分被用作燃烧燃料可以是有用的。通常, 此类应用将发生于油开采流已经经历了用于提取该流的其他组分 (诸如天然气和 / 或水) 的步骤之后。

[0162] 当包含原油的开采流含有足够含量的气体烃时, 具体的处理步骤可用于分离该气态烃与原油。气态烃 (包括其中所含的各种杂质) 然后可用作燃烧燃料。在具体实施方式中, 气态烃 (其主要可包含甲烷作为气态烃组分) 可包括显著含量的 H_2S 。本发明特别有用, 原因在于含硫气可被直接输入燃烧器中, 而无需任何脱硫要求 (即, 无显著量的 H_2S 被去除), 尽管不必排除脱硫。有利地, 燃烧可利用含硫气进行, 而不会实际上减少燃烧循环的效率 (效率为实际动力生产比理论动力生产, 基于天然气燃料的低热值)。这图解在图 4 中, 其中经过天然气燃烧的动力生产效率显示为初始采油流中含硫气含量的函数。如其中所见, 基于输入的效率 (即, 基于包括天然气和 H_2S 的总燃料输入的效率) 随着 H_2S 含量的增加基本保持不变, 这表明 H_2S 的存在不会减少过程效率。然而, 使用含硫气的特征可在于与使用纯天然气相比是有利的, 这是因为基于燃料的效率 (即, 仅基于天然气的潜在动力生产的效率) 实际上显示了随着 H_2S 含量的增加而轻微的增加。这是因为随着 H_2S 含量的增加, 被燃烧的天然气的实际量减小了, 而在实际动力生产中基本无损失。燃烧作为已开采天然气流的组分的 H_2S 因此可作为去除 H_2S 的简化手段。例如, 包括 H_2S 的天然气流可被输入具有氧化剂和任选的 CO_2 (除 H_2S 之外, 其可至少部分存在于天然气流中) 的燃烧器中。燃烧流 (其中 H_2S 提供在燃烧器中与氧反应而被转化为 SO_3) 可经过涡轮机用于产生动力 (例如, 经由与涡轮机相连的发电机) 然后经过热交换器, 以降低该流的温度。冷却的流 (例如, 小于约 90°C 、小于约 50°C 或小于约 30°C) 可具有大于约 8MPa、大于约 12MPa 或大于约 15MPa 的压力。然后该流可经过一个或多个分离单元 (诸如冷凝器和酸反应器) 进行处理, 其中最初输入作为 H_2S 的硫在酸反应器中作为硫酸被去除。

[0163] 尽管已开采的化石燃料流可含有一种或多种杂质 (包括 CO_2), 但是在各种实施方式中, 本发明的系统和方法特征可在于仅将分离的化石燃料 (其被收集用以销售或直接应用)、电力和受控的安全的废物流 (其也被收集并从系统中安全去除) 中的一种或多种排放到环境中。这可根据可用于已开采化石燃料流的具体处理来实现, 该处理可基于流的实际

组成来定制。

[0164] 例如,开采流可显著地仅含有燃料组分和 CO_2 。如上所述的,此类物质混合物可经历分离过程,以提取在给定压力下可冷凝或者另外在环境条件下处于液态的燃料组分。因此,可提供可销售的液体燃料组分的产物流。剩余的流可基本由燃料组分(特别是轻烃或气态烃)和 CO_2 组成,并且该流可直接用作确定的燃烧过程中的燃烧燃料。以这种方式,该确定的燃烧过程特征在于开采其燃料进料中几乎 100% 的总 CO_2 (包括存在的任何 CO_2),即,到大气的 CO_2 排放几乎为零。而且,因为 CO_2 和气态烃的任何开采混合物可被直接输送至燃烧过程,因此无需分离 CO_2 与低分子量烃类,诸如利用吸收过程、物理分离或者已知领域所需的混合溶解。

[0165] 在某些实施方式中,根据本发明的产油过程可包括从井中生产高压流体,其压力必须降低,以分离液体油部分与气流。在涉及井筒燃烧时,已经在上面描述了这种情况,但是这种公开同样可应用于地面燃烧系统和方法。

[0166] 用于分离液体油馏分与气态烃馏分(其通常包括任何 CO_2 部分)的压降可在很多阶段实施,其中在各阶段的气体分离最小化气体再压缩功率。阶段性的压力降低还具有以更受控的方式分馏尾气的益处,因此允许气体分离用于商业分配。这在一种或多种这些分馏气体具有商业价值的情况下可以特别有用。在特定压力水平脱气的气流可被进一步处理进行收集,而不是被返回到燃烧过程。残留气流可含有很大部分的 CO_2 。同样,本发明因此能够克服已知领域的局限性,即,要求已开采的气态烃流在处理单元(Ryan-Holmes 和 LTX)进行处理,以产生管道级天然气、液态丙烷气(LPG)和被再循环用于进一步开采法的 CO_2 部分。

[0167] 在提高油开采率方法中,取决于地层的确切性质,沉积物开采流包含原油气态烃(例如,甲烷)和水的各种比例的混合物是常见的。在一些实施方式中,可利用已知的分馏技术和方法,以分离开采流的组分。因此,根据本公开内容的整体并结合同样有用的已知现有技术方法,可确定用于分离期望馏分的期望步骤。作为实例,为处理混合物以实现组分分离,使开采流处于有利的温度范围可以是期望的,例如,约 10°C 至约 50°C 、约 15°C 至约 40°C ,或者另外为地层位置处的环境表面温度。不排除其他处理温度,并且在一些实施方式其实际上可能是期望的。然而,应理解,下面关于工作压力的讨论给予开采流的确切温度可以是变化的。因此,在一些实施方式中,可能期望开采流在经历任何压力降低分离步骤之前甚或在压力降低步骤期间进行温度调节(例如,在使流从一个工作压力过渡到另一非不同的工作压力之前升高或降低温度)。

[0168] 例如,包含油/气/水混合物的开采流可在大于约 60 巴(6MPa)、大于约 75 巴(7.5MPa)、大于约 90 巴(9MPa)或大于约 100 巴(10MPa)的压力下开采。当在约 15°C 至约 40°C 的温度下处理流时,流的压力可首先被降至约 50 巴(5MPa)。在该压力下,可以气态形式提取的可能的混合物组分包括 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 H_2 、Ar、 N_2 和 He。基本上流中存在的所有 CO_2 在该压力下同样可作为气体提取。流的压力则可被降至约 7 巴(0.7MPa)。在该压力下,可以气态形式提取的可能的混合物组分包括 C_2H_6 、所有 C_3 化合物(例如, C_3H_8)和 H_2S 。接下来压力可降至约 2 巴(0.1MPa)。在该压力下,可以气态形式提取的可能的混合物组分包括全部 C_4 化合物(例如, C_4H_{10})和额外的 H_2S 。之后的开采流主要由水、油和任何残留 H_2S (尽管在该温度和压力下可有多达约 3g/L 的 H_2S 溶于水,但是油馏分还可包括溶于其中的残留

量的 H_2S) 组成。此种混合物此时可被降至环境压力,并使其经过油 / 水分离器处理。开采的油可根据需要被送至油罐、管道或者其他储存或转移装置。分离的水可被再注入同一地层或不同地层中,或者水可被储存或转移到场地外。

[0169] 应理解其他的和 / 或不同的压力阶段可用于分离开采流的特定组分。而且,根据本公开内容可想到的压力降低阶段的任何组合被本文涵盖。一旦鉴定了开采流的化学组成,上述方案可细化到具体化学组成,以根据需求分开开采流的具体组分。

[0170] 在某些实施方式中,可能期望从开采产物流中分离甲烷气流(或包含甲烷和 / 或其他气态烃的流,包括可在商业上被认为是天然气的气态化合物组合)。此种开采产物流可以是如上讨论的包括气体馏分的原油流。在这样的实施方式中,上述高压馏分可以被提取并进一步处理,以分离出一种或多种所需的产物流。在其他实施方式中,开采产物流可主要包含气态物质,诸如提高开采中来自天然气地层的气态物质或者提高煤层中的甲烷生产。在这样的实施方式中,开采流可包含甲烷、其他气态燃料和 / 或非燃料气,诸如惰性气体或 CO_2 。在一些实施方式中,根据本公开内容可通过已知技术实现气态组分的分离。

[0171] 作为示例性实施方式,包含诸如 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 H_2 、Ar、 N_2 、He 和 CO_2 的物质的开采产物流可被分成三种流。第一种流可包括诸如 Ar、 N_2 、He 和 H_2 的组分。第二种流可包括主要的 CH_4 ,以及可包括少量的 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 和 C_3 烃类(该混合物可被认为是天然气流)。第三种流可包括主要的 C_2H_2 和 C_2H_4 ,以及了包括少量的 C_2H_6 和 C_3 烃类。上述蒸馏步骤可在显著更低的温度下进行,例如,约 $-150^\circ C$ 至约 $-100^\circ C$ 。在此种条件下,气体的蒸汽压差可用于实现蒸馏。多种温度和压力可用于实现蒸馏,这取决于原煤气流的组成以及期望的天然气产物流(或其他气体产物流)纯度。此种条件可根据本公开内容和本领域公认的蒸馏程序来确定。

[0172] 引入动力生产组件可用于提供用于输电网分配和 / 或内部使用的电力。相关的动力循环组件可基本上用作洗涤器以捕获所有的污染性副产物(诸如硫、氮、灰分、重金属等)并将其转化为其最良性及易于销售或处置的形式。硫可被转化为硫酸;氮化合物可被转化为硝酸;金属可被转化为金属盐;灰分可被转化为不浸出灰分。在各种实施方式中,动力输出可从开采燃料组分总能量的较小百分比变化至较大百分比。在煤的情况中,其可以是 100%,其中电力比煤更有价值,除非煤转化为液体燃料像汽油,在这种情况下,电力生产仅能足以为该过程系统提供动力。这可在开采燃料组分总能量的约 10% 至约 50%、约 15% 至约 40% 或 20% 至 35% 范围内。在其中被开采产物是油的实施方式中,电力生产可被最小化至仅运转相关系统所必需的。例如,在提高油开采中,约 1% 至约 10%、约 1% 至约 7% 或约 2% 至约 5% 的开采油总能量可现场转化为能力。

[0173] 在上述各种方式中,本发明因此可提供下述燃烧过程,其在高压下产生纯 CO_2 流用于注入地层中,以使沉积物从中开采,特别是化石燃料沉积物。尽管燃烧过程可能需要输入含碳物质(包括油、天然气等),所产生的 CO_2 流可含有基本上全部 CO_2 ,其存在于至燃烧器的化石燃料进料中。因此,本发明的方法特征可在于燃烧化石燃料以提高更多化石燃料的开采。优选地,经本发明方法开采的化石燃料的量可显著超过输入燃烧系统的化石燃料的量,使得所述方法和系统在经济上有利于提高化石燃料的开采。而且,显著地,通过燃烧过程产生的全部 CO_2 作为离开一个或多个生产井的开采流的组分而被开采,被隔离在其所注入的地层内,或者两种处理的组合。无论如何,直接通过燃烧过程产生的 CO_2 包含于本发明的参

数, 以便其被隔离、再循环回燃烧过程中, 或者另外被捕获。

[0174] 距离来说, 根据本发明的燃烧系统可包括与动力生产装置诸如涡轮机流体连通的燃烧器。燃料可在燃烧器中燃烧, 并且所产生的含 CO_2 燃烧产物流可被传递至涡轮机, 在那里其被膨胀而产生动力。然后可使该膨胀的含 CO_2 流经过管线或者与该涡轮机流体连接的其他合适的装置到达位于含化石燃料地层中的注入井, 此种管线任选向下延伸一定距离进入注入井中。所注入的含 CO_2 流可传送经过含化石燃料地层, 以便从中提高化石燃料的开采, 诸如通过本文所述的各种方法。随着含 CO_2 流进一步传送经过地层, 化石燃料和来自流的 CO_2 的组合可移动至低压区, 诸如生产井, 并且所合并的 CO_2 / 化石燃料流可从生产井中提取。在生产上, 本发明的系统可包括与生产井流体连通的管线, 所述管线将所开采的沉积物输送至一个或多个与其流体连通的其他组件。此种其他组件已经在上面进行了描述。

[0175] 如已经叙述的, 本发明的方法和系统可针对待从地层开采的沉积物的具体要求而定制。例如, 在化石燃料开采方面, 根据本发明的系统和方法的规格可通过解决考虑了诸如下述的因素的决策树来定制:

[0176] 是否地层的性质以及提高开采必需的物理参数有利于使用地面燃烧或井下燃烧;

[0177] 是否期望被递送至地层的 CO_2 处于气态或超临界态;

[0178] 是否期望含 CO_2 流还包括蒸汽或者其他用于进一步提高化石燃料开采的物质;

[0179] 是否期望燃烧产物流在注入地层之前首先用于动力生产方法中;

[0180] 是否期望燃烧产物流在注入地层之前另外进行压力调节和 / 或温度调节; 和

[0181] 是否在注入地层之前必需要过滤或另外分离来自燃烧产物流的一种或多种组分。

[0182] 本发明的特定优势源自能够使用所有或部分被开采作为燃烧器的燃料的化石燃料。这能够完全消除将燃料从外部来源递送到燃烧器位置的需求。用于燃烧器的燃料类型可以是变化的, 这取决于地层中存在的化石燃料(一种或多种)和作为井或油田的主要经济驱动力的期望的可开采产物。

[0183] 例如, 在提高油开采的实施方式中, CO_2 / 化石燃料流可被处理, 以分离存在的任何液态油或其他液态烃类。可利用最初的解压步骤, 诸如如上所述。从液体分离中去除的总气流可任选被再压缩, 然后作为全部或部分所需化石燃料, 可被直接输入燃烧过程中。如果残留的气态烃馏分超出燃烧燃料要求, 则如上所述, 可利用其他分离步骤, 以分离一种或多种可用于市场的烃气组分。

[0184] 作为进一步的实例, 在提高天然气开采实施方式和 / 或提高煤层甲烷开采实施方式中, 总烃气生产(主要部分为甲烷)优选将显著超出燃烧过程的燃料需求。因此, 全部已开采 CO_2 / 甲烷流可被分成两种或多种部分。一种馏分(代表总生产气流的一部分)可任选再压缩, 然后作为燃烧燃料被直接输入燃烧过程中。剩余的馏分(一种或多种馏分)可根据需要经历各种分离过程, 以分离出市场用甲烷(或其他可销售气体, 诸如丙烷和丁烷)。优选地, 基本上所有的 CO_2 将被分入第一馏分中, 其被用作燃料组分。在这样的实施方式中, 所生产是甲烷流可被直接输入天然气管道, 除了可能的 LPG 开采之外基本上无需提纯。同样, 当提高油开采方法中的全部气体组分被用作燃烧燃料时, 来自提高油开采系统的产物可基本上仅仅是油、(任选地) LPG 和(任选地) 电力。

[0185] 本发明的系统和方法可以是特别有利的, 更多原因如下。例如, 本发明的系统和方

法可降低提取化石燃料所需的操作成本和 / 或资本成本。另外,所述系统和方法可产生有价值的副产物,包括但不限于电力、氨、油、合成气、氢、石油和石油产品、天然气、其他化石燃料、热量、蒸汽和对阅读过本公开的本领域技术人员显而易见的其他物质。此外,本发明的方法可消除对燃烧过程所需的外部天然气、液体燃料或固体燃料的任何需求。仍进一步,本发明的方法可消除对分离 CO₂、硫、CO、石油气或其他杂质的任何需求。

[0186] 在其他实施方式中,根据本发明用于生产 CO₂ 的燃烧过程可将已开采化石燃料流中包括的所有杂质燃烧成能提供易于处理的废物流的形式。例如,所有的硫化物可被转化为硫酸,其可以最低资本和运营成本容易地与石灰石反应,形成可销售的石膏,或者可作为固体硫产生。

[0187] 本发明另外是有利的,原因在于可提供可靠的、持续的、清洁的 CO₂ 源,用作提高开采流体。将作为动力生产副产物所产生的 CO₂ 引导至开采方法有利地防止 CO₂ 立刻释放到大气中,因为 CO₂ 在井下泵送之后将被隔离在化石燃料储层中用于开采目的,或者将经过燃烧系统再循环。地层中隔离的 CO₂ 的量可取决于油的溶混性和储层的地质学。未在储层中沉积的 CO₂ 可被再压缩并被再循环用于额外的提高的燃料化石开采。再循环 CO₂/ 注入用新 CO₂ 的比例,以及因此储层中储存的 CO₂ 的量可以在 1 至约 3 的范围内,这取决于上面规定的参数以及井的寿命。在某些实施方式中,平均比率可使得按质量计约 50% 的注入 CO₂ 被再循环,因此按质量计约 50% 的注入 CO₂ 被隔离在储层中,取代到达地面的化石燃料。

[0188] 得益于上述描述和附图所呈现的教导的本发明所属领域技术人员在会想到本发明的很多修改和其他实施方式。因此,应理解,本发明并不限于所公开的具有实施方式,而且所述修改和其他实施方式意图包括在所附权利要求的范围内。尽管本文使用了特定术语,但是它们仅以一般性和描述性程度使用,并非为了限制的目的。

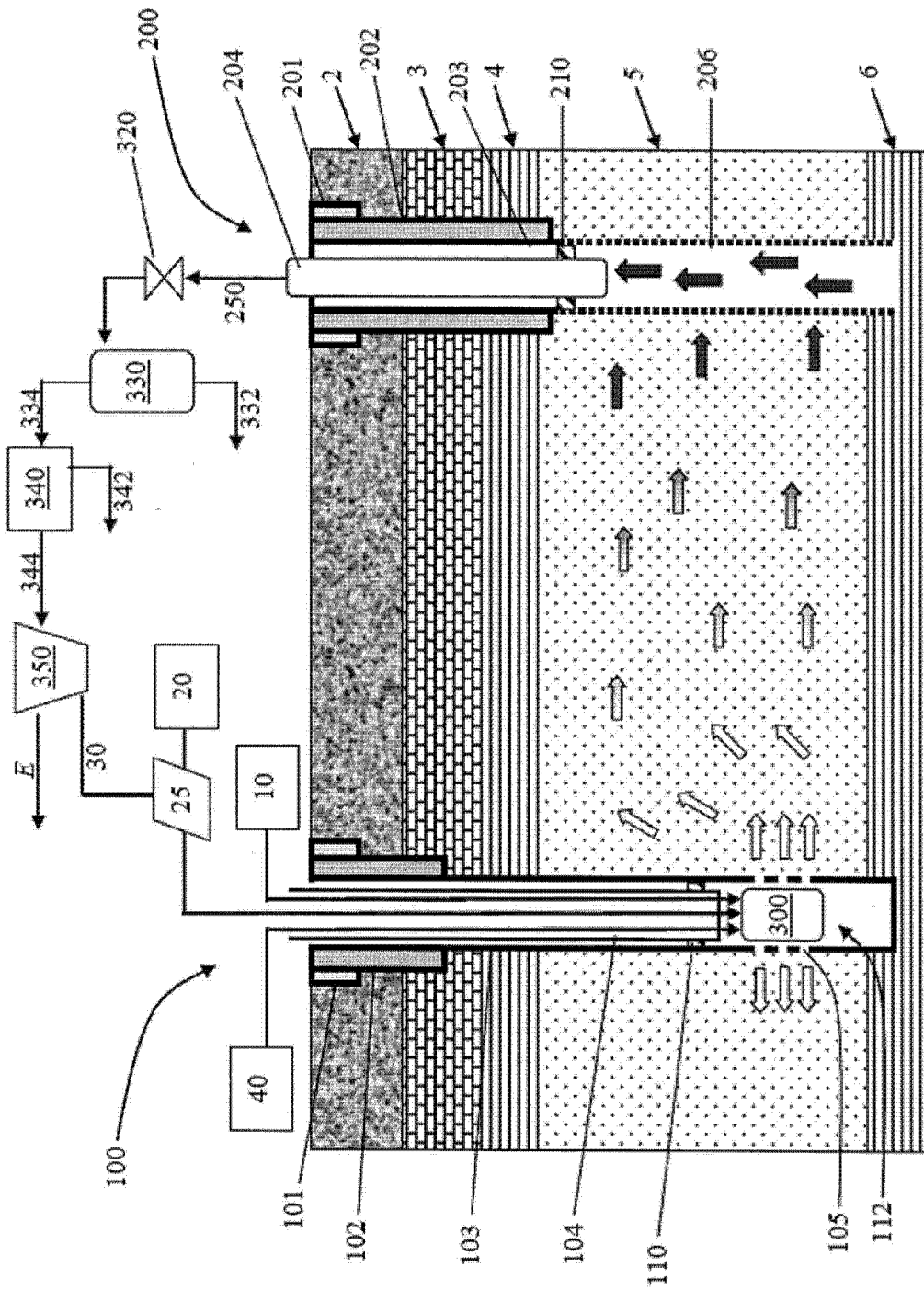


图 1

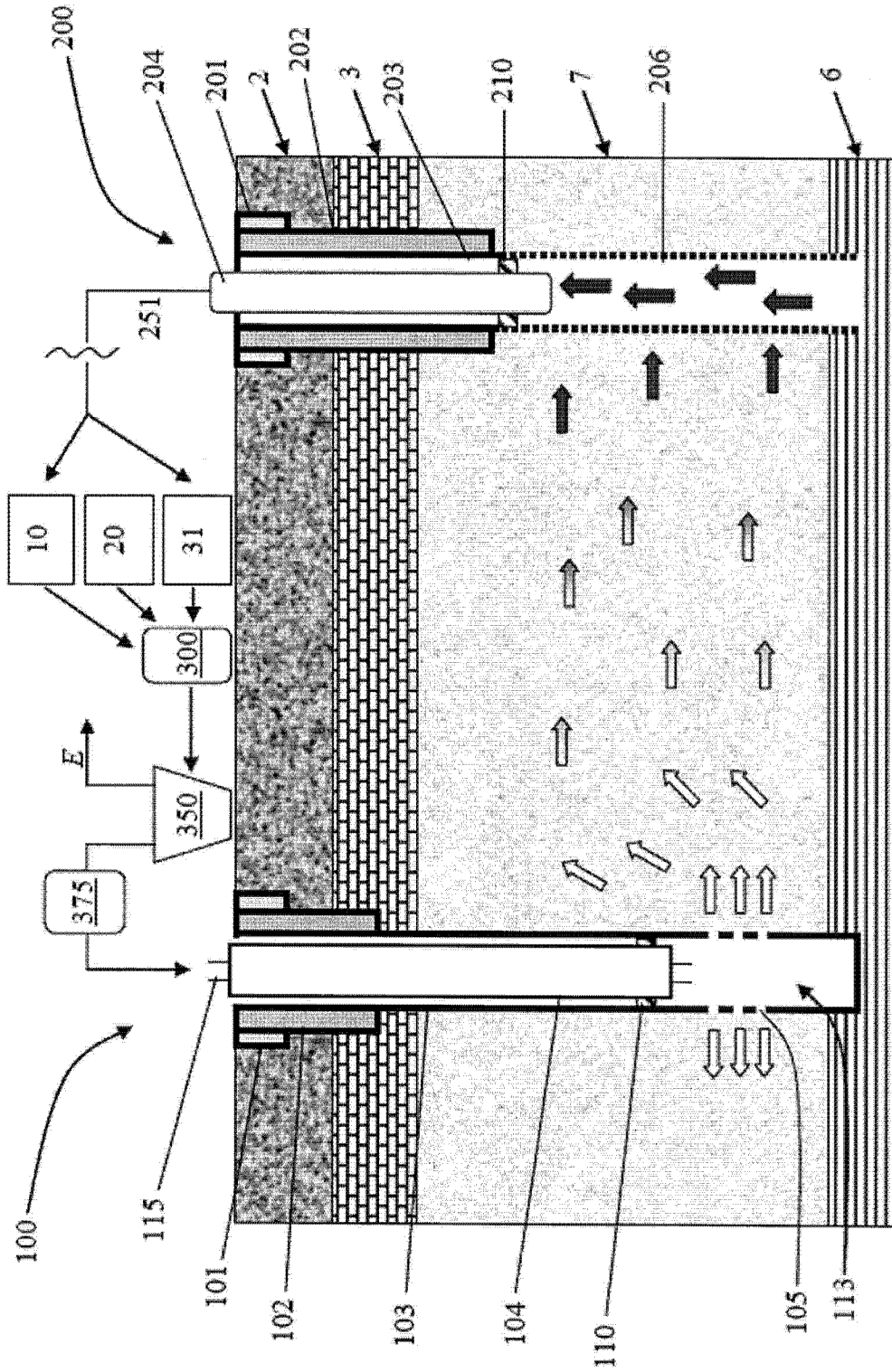


图 2

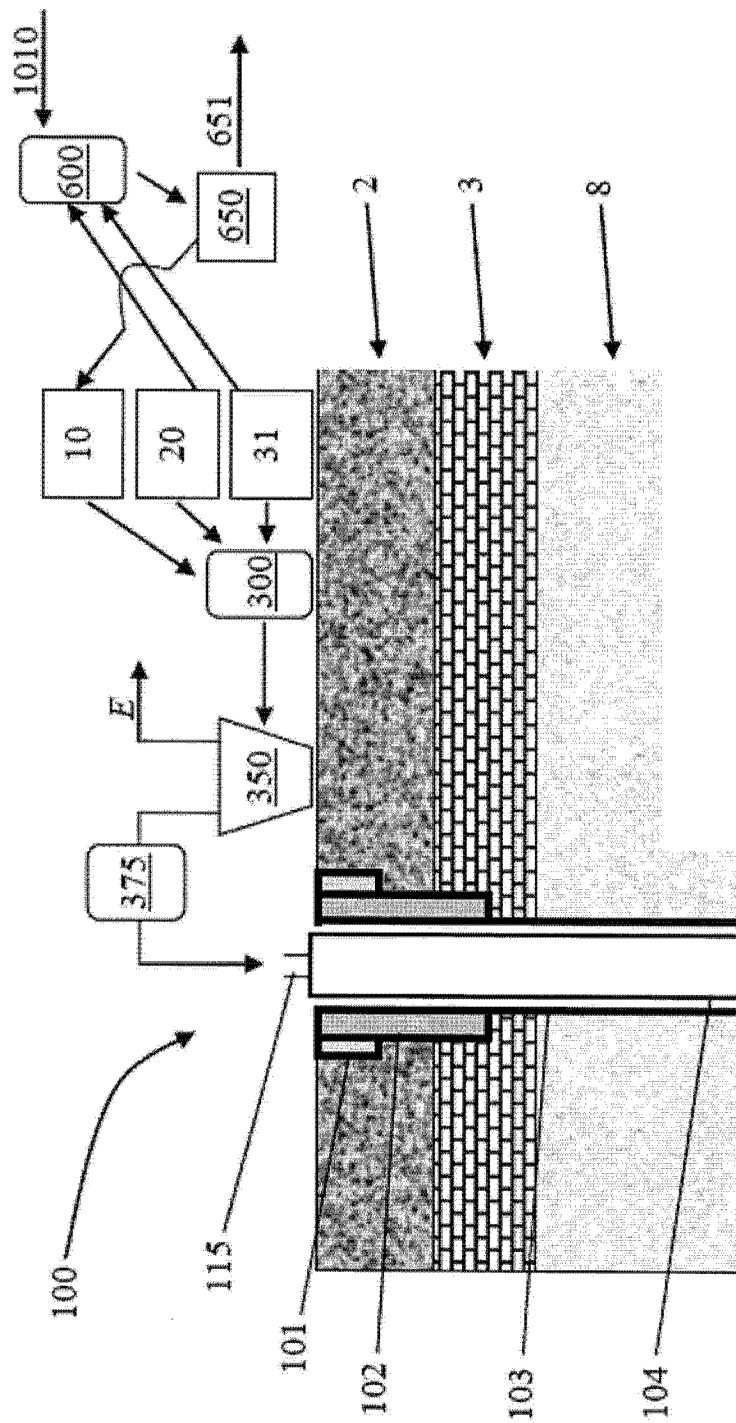


图 3

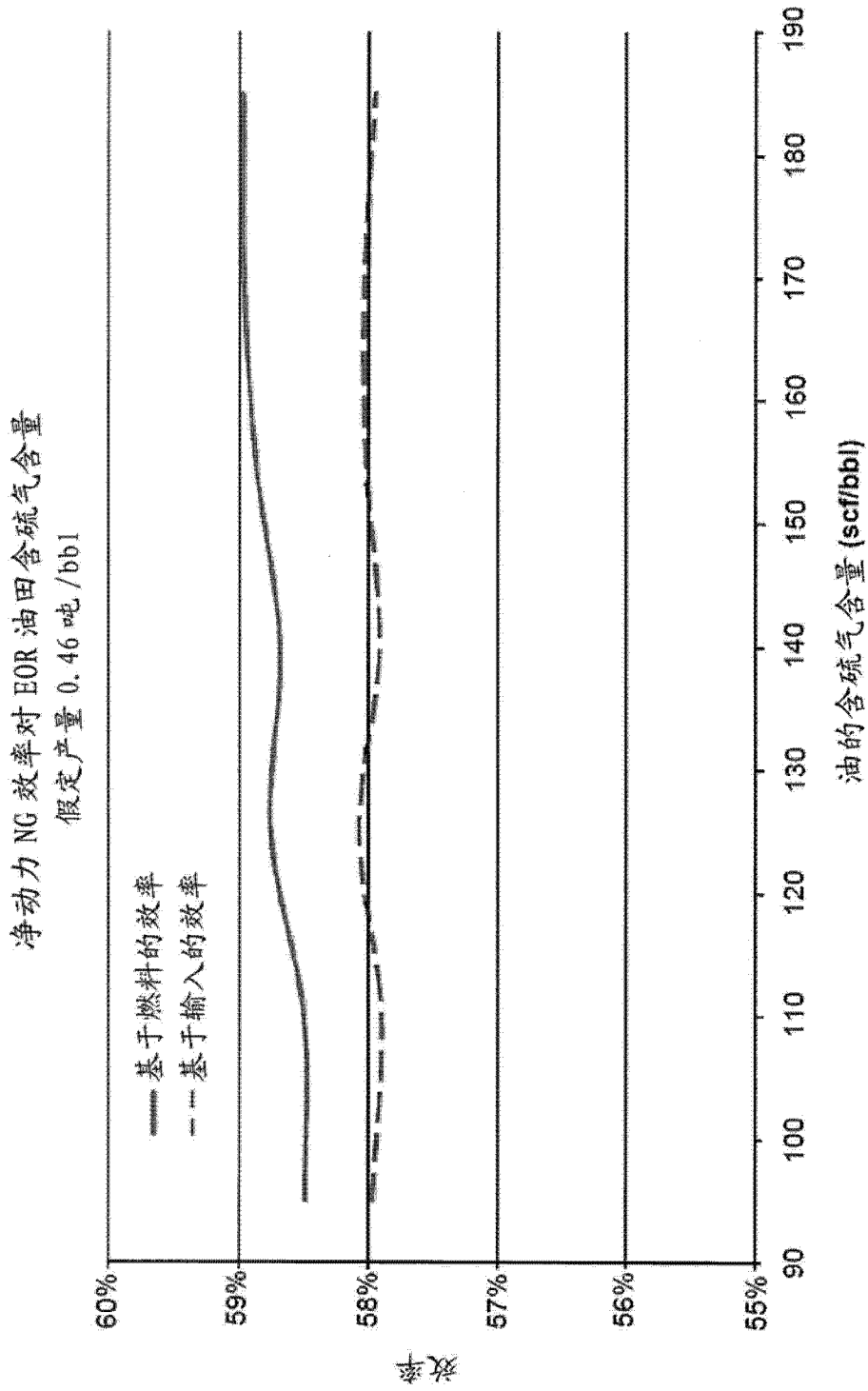


图 4