



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103670357 B

(45)授权公告日 2017.06.06

(21)申请号 201210354916.8

(22)申请日 2012.09.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103670357 A

(43)申请公布日 2014.03.26

(73)专利权人 新奥科技发展有限公司

地址 065001 河北省廊坊市开发区广阳道  
北

(72)发明人 陈峰 张树川 刘刚 庞旭林

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司  
11332

代理人 巩克栋

(51)Int.Cl.

E21B 43/26(2006.01)

E21B 43/295(2006.01)

(56)对比文件

CN 102477857 A, 2012.05.30,

CN 102477857 A, 2012.05.30,

CN 102486085 A, 2012.06.06,

CN 1135782 A, 1996.11.13,

CN 1216337 A, 1999.05.12,

CN 101382065 A, 2009.03.11,

CN 101424181 A, 2009.05.06,

CN 101749005 A, 2010.06.23,

US 4092052 A, 1978.05.30,

审查员 夏凡壹

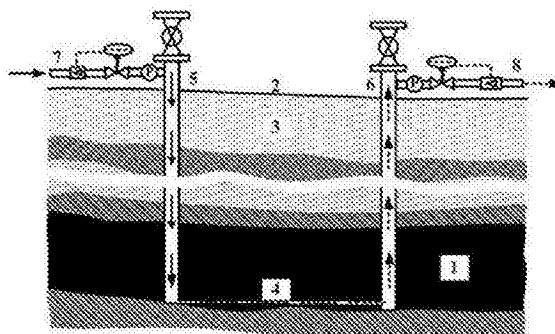
权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

地下含碳有机矿物储层的裂隙沟通、通道加工及地下气化方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于地下含碳有机矿物储层的裂隙沟通、通道加工及地下气化方法,其中使用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物作为所述地下气化过程的裂隙沟通步骤、通道加工步骤和/或气化步骤的介质。本发明方法通过CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物开发和利用地下含碳有机矿物储层中的能量,和传统的利用方式(井工开采等)相比能量利用效率大大提高,和传统的地下气化技术相比,提高可燃气体的热值、提升和调节有效气体组成、抑制CO<sub>2</sub>生成、降低原料气生产成本,同时实现CO<sub>2</sub>捕集和资源化利用。



1. 一种用于地下含碳有机矿物储层的地下气化的方法, 其中所述含碳有机矿物储层设置有分别使所述含碳有机矿物储层与地面连通的至少一个进气钻孔和至少一个出气钻孔, 其特征在于, 所述地下气化方法包括: 对所述含碳有机矿物储层进行裂隙沟通以形成连通裂隙的裂隙沟通步骤; 对所述连通裂隙进行通道加工以形成气化通道的通道加工步骤; 和使所述地下含碳有机矿物储层发生气化以生成粗煤气的气化步骤, 其中在所述裂隙沟通步骤、通道加工步骤和气化步骤中的至少一个中使用 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物作为介质; 用于所述裂隙沟通和通道加工的所述介质中的氧气体积浓度为25%–40%, 用于所述气化步骤的所述介质中的氧气体积浓度为50~70%。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述方法包括: 通过从所述进气钻孔注入作为压裂介质的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物, 以在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中形成连通裂隙。

3. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述方法包括: 采用 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物作为通道加工介质对所述连通裂隙进行加工, 通过增压和/或燃烧来使所述连通裂隙扩大成气化通道。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述进气钻孔和所述出气钻孔是定向钻孔或垂直钻孔。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述裂隙沟通步骤之后, 在所述含碳有机矿物储层中点火以建立火区, 然后再进行所述通道加工步骤和气化步骤。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述裂隙沟通步骤之前, 在所述含碳有机矿物储层中已建立火区, 利用所述含碳有机矿物储层的原有火区进行裂隙沟通步骤、通道加工步骤和气化步骤。

7. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述裂隙沟通步骤中, 通过从所述进气钻孔注入 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物作为压裂介质, 在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中形成所述连通裂隙。

8. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述通道加工步骤中, 采用 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物作为通道加工介质, 通过增压和/或燃烧来扩大所述连通裂隙以形成所述气化通道。

9. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述气化步骤中, 通过在所述气化通道中增加作为气化介质的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物的进气量同时进行燃烧反应, 以使所述含碳有机矿物储层发生气化而生成粗煤气。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述含碳有机矿物储层是煤层或油页岩层。

11. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述裂隙沟通步骤中, 首先通过机械钻进在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中进行造隙, 然后再注入所述介质而形成所述连通裂隙。

12. 根据权利要求11所述方法, 其特征在于, 所述机械钻进是定向水平钻进、超短半径水平钻进或羽状水平钻进技术中的至少一种。

13. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述裂隙沟通中, 监测所述进气钻孔和所述出气钻孔中的压力变化情况, 并且当所述进气钻孔中的压力急剧下降并且所述出气钻孔的出气流量为 $100\text{Nm}^3/\text{h}$ 以上时, 表明已形成所述连通裂隙。

14. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 用于所述气化步骤的所述介质中的氧气体积浓度为50~65%。

15. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 还包括: CO<sub>2</sub>回收步骤: 从所述气化步骤产生的粗煤气中分离出CO<sub>2</sub>进行回收, 其中, 至少一部分所回收的CO<sub>2</sub>加压后, 注入到所述含碳有机矿物储层用于所述裂隙沟通、通道加工和/或气化。

16. 根据权利要求15所述的方法, 其特征在于, 还包括: CO<sub>2</sub>封存步骤: 将所回收的CO<sub>2</sub>注入在所述含碳有机矿物储层气化后产生的燃空区内进行封存。

17. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述介质中的CO<sub>2</sub>为气态、液态或超临界态的CO<sub>2</sub>。

18. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述介质中的CO<sub>2</sub>为由液态CO<sub>2</sub>、原胶液和化学添加剂组成的混合液。

19. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述介质中添加有固相颗粒以支撑形成的所述连通裂隙。

20. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物是通过在地面上或在进气钻孔中混配CO<sub>2</sub>和纯氧得到的。

21. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在所述进气钻孔或所述出气钻孔底部建立火区, 并且所述CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物通过环空型输送管道或者所述进气钻孔由地面输送至所述火区。

22. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述进气钻孔的入口处安装有用于输送所述CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物或用于在气化完成后进行二氧化碳封存步骤时输入高压CO<sub>2</sub>的高压管线, 以及用于输送低压CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物的低压管线, 并且所述出气钻孔的出口处安装有用于输送所述裂隙沟通过程中产生的混合气体的高压煤气管线和用于输送所述气化生成的低压粗煤气的低压煤气管线。

23. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 对所产生的粗煤气中的二氧化碳进行分离和捕集, 并将所捕集的二氧化碳用于所述裂隙沟通、通道加工或地下气化。

24. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述介质还包括水蒸气。

## 地下含碳有机矿物储层的裂隙沟通、通道加工及地下气化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种新型地下气化工艺。更具体地,本发明涉及含碳有机矿物储层尤其是煤层及油页岩等的裂隙沟通、通道加工及地下气化工艺。

### 背景技术

[0002] 煤炭地下气化技术是将地下煤层直接转化为煤气的一种原位煤气化技术,在地下气化过程中气化剂(如空气、氧气、水蒸汽等)通过地面钻孔注入到地下煤层中,使煤层与气化剂直接进行气化反应(主要反应 $C+CO_2 \rightarrow 2CO$ 、 $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ 等)生成煤气(主要成分 $CO$ 、 $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO_2$ 等),而反应生成的煤气经钻孔收集至地面,作为工业燃料直接燃烧发电、供暖等,也可以作为化工原料用于合成甲醇、甲烷、化肥等。与地面煤气化技术,需要进行建井、采煤、洗选、备煤、气化、除渣等前置和后续工艺过程相比,地下气化技术将建井、采煤、气化三大工艺集成为一体,省去了庞杂的地面、地下设备,繁琐的中间过程,可减少资金投入20~40%;同时能够降低过程污染物和废弃物的排放,减少了对水资源的过度依赖等,因而与传统煤炭开采和利用方式相比,地下气化技术是一项集煤炭绿色开采与清洁转化为一体的高效洁净能源技术。

[0003] 利用地下气化技术生产空气煤气,基本实现了煤气热值和产量的稳定,并实现了商业化应用,如前苏联高峰时期曾经有5座地下气化站投入运营,产气规模达到25亿 $Nm^3/yr$ ,所产煤气主要供给热电厂发电,煤气热值850~950 $kcal/Nm^3$ 。生产空气煤气控制工艺相对简单,但是该地下气化工艺的煤气热值较低(600~1100 $kcal/Nm^3$ ),有效组分( $H_2+CH_4+CO$ )含量只有18~32%左右,而且大部分为 $H_2$ (14~24%),如用作化工合成的原料气则 $CO$ 含量偏低。为了提高空气煤气热值、调控有效组分的含量,改善煤气使用品质,通常做法是采用连续供给固定组份的气化剂(如富氧气化)或分阶段供给不同组份的气化剂(如两阶段工艺)来进行煤炭地下气化技术的研究和开发利用,但是这些气化剂大部分是空气或富氧空气及添加水蒸汽,存在的主要问题包括:

[0004] (1) 煤气中仍含有较高组分的 $N_2$ (40~60%),增加了后续工段压缩输送的功耗,而对于 $N_2$ 含量要求较高的合成工段,则必须设置脱氮工段,但是煤气中 $N_2$ 的脱除较难,从设备投资、操作、维护和运行成本等角度考虑,从煤气中脱 $N_2$ 也不够经济。

[0005] (2) 为了控制煤气中 $N_2$ 含量,也有工艺采用的气化剂为纯氧添加水蒸汽,但是水蒸汽在输送过程中,由于与钻孔井壁换热会导致部分水蒸汽凝结成水,减弱了水蒸汽的调温作用,导致气化炉局部温度过高,灰分熔融阻碍气化反应进行,并且水蒸汽产生过程中需要消耗大量的热量,能量的利用率会降低。

[0006] (3) 地下煤层一般含水,使得出口煤气含有一定的蒸汽,而添加水蒸汽作为气化剂会造成有效出气负荷增加,地面污水处理量增大,并且由于煤气在地下气化炉内停留时间较长,会导致水煤气变换反应( $CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$ )加剧,使得出口煤气中 $CO$ 含量降低。

[0007] (4) 作为气化过程的中间体及产物, $CO_2$ 参与了一系列的氧化还原反应,是出口煤

气中的重要组分,含量约占15~60%,是提升煤气热值和有效组分的重要因素,但是现有工艺通常没有考虑CO<sub>2</sub>的回收与利用。

[0008] 近年来,非常规油气资源(如油页岩、稠油资源等)的开发被提上日程,国际上一些大的石油公司一直致力于地下原位转化技术的研发,并取得了一定的技术成果;国内一些科研院所和企业结合资源现状,积极探索和创新原位转化技术,其中采用地下气化技术来开采油页岩、稠油资源已有试验验证,但要具备商业利用价值还需深入的探索和研究。煤炭、油页岩、稠油等均为含碳有机矿物储层,煤炭地下气化过程中存在的上述问题和解决的技术路径,对于其他含碳有机矿物储层的气化,具有同样实践参考价值 and 意义。从资源开发和利用的角度考虑,如果能利用地下气化技术原位转化为可燃气体或制取天然气,对于非常规油气资源的开发和利用,对于调整能源结构,促进节能减排无疑具有同样重要的经济和环境效益。

### 发明内容

[0009] 鉴于已有技术存在的问题和CO<sub>2</sub>在地下气化过程中的特殊作用,本发明的目的是提供一种新型的用于地下含碳有机矿物储层的裂隙沟通、通道加工及地下气化方法,其中以CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物(本文中有时也表示为“CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>或CO<sub>2</sub>富氧介质”)作为地下含碳有机矿物储层的地下气化过程的介质。

[0010] 为此,在一方面,本发明提供了CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物作为介质应用在地下含碳有机矿物储层的裂隙沟通或通道加工中。

[0011] 在另一方面,本发明提供了一种用于地下含碳有机矿物储层的裂隙沟通的方法,其中所述含碳有机矿物储层设置有分别使所述含碳有机矿物储层与地面连通的至少一个进气钻孔和至少一个出气钻孔,其特征在于,所述方法包括:通过从所述进气钻孔注入作为压裂介质的CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物,以在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中形成连通裂隙。

[0012] 在另一方面,本发明提供了一种用于地下含碳有机矿物储层的气化通道加工的方法,其中所述含碳有机矿物储层设置有分别使所述含碳有机矿物储层与地面连通的至少一个进气钻孔和至少一个出气钻孔,并且在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中已经形成连通裂隙,其特征在于,所述方法包括:采用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物作为通道加工介质对所述连通裂隙进行加工,通过增压和/或燃烧来使所述连通裂隙扩大成气化通道。

[0013] 在另一方面,本发明提供了一种用于地下含碳有机矿物储层的地下气化的方法,其中所述含碳有机矿物储层设置有分别使所述含碳有机矿物储层与地面连通的至少一个进气钻孔和至少一个出气钻孔,其特征在于,所述地下气化方法包括:对所述含碳有机矿物储层进行裂隙沟通以形成连通裂隙的裂隙沟通步骤;对所述连通裂隙进行通道加工以形成气化通道的通道加工步骤;和使所述地下含碳有机矿物储层发生气化以生成粗煤气的气化步骤,其中在所述裂隙沟通步骤、通道加工步骤和气化步骤中的至少一个中使用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物作为介质,即分别作为压裂介质(裂隙沟通介质)、通道加工介质和气化介质。

[0014] 在一个优选实施方式中,所述进气钻孔和所述出气钻孔是定向钻孔或垂直钻孔。

[0015] 在一个优选实施方式中,在所述裂隙沟通步骤之后,在所述含碳有机矿物储层中

点火以建立火区,然后再进行所述通道加工步骤和气化步骤。

[0016] 在一个优选实施方式中,在所述裂隙沟通步骤之前,在所述含碳有机矿物储层中已建立火区,其中利用所述含碳有机矿物储层的原有火区进行裂隙沟通步骤、通道加工步骤和气化步骤。

[0017] 在一个优选实施方式中,在所述裂隙沟通步骤中,通过从所述进气钻孔注入 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物作为压裂介质,在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中形成所述连通裂隙。

[0018] 在一个优选实施方式中,在所述通道加工步骤中,采用 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物作为通道加工介质,通过增压和/或燃烧来扩大所述连通裂隙以形成所述气化通道。

[0019] 在一个优选实施方式中,在所述气化步骤中,通过在所述气化通道中增加作为气化介质的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 的混合物的进气量同时进行燃烧反应,以使所述含碳有机矿物储层发生气化而生成粗煤气。

[0020] 在一个优选实施方式中,其特征在于,所述含碳有机矿物储层是煤层或油页岩层。

[0021] 在一个优选实施方式中,在所述裂隙沟通步骤中,首先通过机械钻进在所述进气钻孔和所述出气钻孔之间的所述含碳有机矿物储层中进行造隙,然后再注入所述介质而形成所述连通裂隙。

[0022] 在一个优选实施方式中,所述机械钻进是定向水平钻进、超短半径水平钻进或羽状水平钻进技术中的至少一种。

[0023] 在一个优选实施方式中,在所述裂隙沟通中,监测所述进气钻孔和所述出气钻孔中的压力变化情况,并且当所述进气钻孔中的压力急剧下降并且所述出气钻孔的出气流量为 $100\text{Nm}^3/\text{h}$ 以上时,表明已形成所述连通裂隙。

[0024] 在一个优选实施方式中,用于所述裂隙沟通和/或通道加工的所述介质中的氧气体积浓度为20~50%。

[0025] 在一个优选实施方式中,用于所述裂隙沟通和/或通道加工的所述介质中的氧气体积浓度为20~35%。

[0026] 在一个优选实施方式中,用于所述气化步骤的所述介质中的氧气体积浓度为50~70%。

[0027] 在一个优选实施方式中,用于所述气化步骤的所述介质中的氧气体积浓度为50~65%。

[0028] 在一个优选实施方式中,还包括: $\text{CO}_2$ 回收步骤:从所述气化步骤产生的粗煤气中分离出 $\text{CO}_2$ 进行回收,其中,至少一部分所回收的 $\text{CO}_2$ 加压后,注入到所述含碳有机矿物储层用于所述裂隙沟通、通道加工和/或气化。

[0029] 在一个优选实施方式中,还包括: $\text{CO}_2$ 封存步骤:将所回收的 $\text{CO}_2$ 注入在所述含碳有机矿物储层气化后产生的燃空区内进行封存。

[0030] 在一个优选实施方式中,所述介质中的 $\text{CO}_2$ 为气态、液态或超临界态的 $\text{CO}_2$ 。

[0031] 在一个优选实施方式中,所述介质中的 $\text{CO}_2$ 为由液态 $\text{CO}_2$ 、原胶液和化学添加剂组成的混合液。

[0032] 在一个优选实施方式中,所述介质中添加有固相颗粒以支撑形成的所述连通裂隙。

[0033] 在一个优选实施方式中,所述CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物是通过在地面上或在进气钻孔中混配CO<sub>2</sub>和纯氧得到的。

[0034] 在一个优选实施方式中,在所述进气钻孔或所述出气钻孔底部建立火区,并且所述CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物通过环空型输送管道或者所述进气钻孔由地面输送至所述火区。

[0035] 在一个优选实施方式中,所述进气钻孔的入口处安装有用于输送所述CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物或用于在气化完成后进行二氧化碳封存步骤时输入高压CO<sub>2</sub>的高压管线,以及用于输送低压CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物的低压管线,并且所述出气钻孔的出口处安装有用于输送所述裂隙沟通过程中产生的混合气体的高压煤气管线和用于输送所述气化生成的低压粗煤气的低压煤气管线。

[0036] 在一个优选实施方式中,对所产生的粗煤气中的二氧化碳进行分离和捕集,并将所捕集的二氧化碳用于所述裂隙沟通、通道加工或地下气化。

[0037] 在一个优选实施方式中,所述介质还包括水蒸气。

[0038] 本发明通过采用以CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物作为含碳有机矿物储层的裂隙沟通、通道加工和/或地下气化过程的介质,分别将CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物用作压裂介质、气化通道加工介质、气化介质,另外,CO<sub>2</sub>可以作为含碳有机矿物储层气化后形成的燃空区后续处置时的重要冷却介质。本发明方法为一体化技术,通过上述技术的集成,可提高可燃气体的热值、调节粗煤气中CO、H<sub>2</sub>比例、抑制CO<sub>2</sub>生成、降低粗煤气生产成本,同时实现CO<sub>2</sub>捕集和资源化利用。

## 附图说明

[0039] 图1是根据本发明一个实施方式的地下气化方法的过程示意图,其中(a)为裂隙沟通过程;(b)通道加工过程;(c)为气化过程;(d)CO<sub>2</sub>封存;

[0040] 图2是根据本发明另一个实施方式的地下气化方法的裂隙沟通过程的示意图,其中采用超短半径水平钻进技术进行造隙以形成连通裂隙;

[0041] 图3是根据本发明另一个实施方式的地下气化方法的裂隙沟通过程的示意图,其中采用定向水平钻进技术直接与火区对接;和

[0042] 图4是根据本发明另一个实施方式的地下气化方法的裂隙沟通过程的示意图,其中采用羽状水平钻井技术开采油页岩。

[0043] 附图标记说明

[0044] 1-含碳有机矿物储层

[0045] 2-地面

[0046] 3-上覆岩层

[0047] 4-直接裂隙沟通产生的连通裂隙

[0048] 5-进气钻孔

[0049] 6-出气钻孔

[0050] 7-CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的高压管线

[0051] 8-高压煤气管线

[0052] 9-点火区

[0053] 10-气化通道

[0054] 11-CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的低压管线

- [0055] 12-低压煤气管线
- [0056] 13-燃空区
- [0057] 14-水平钻进的连通裂隙
- [0058] 15-超短半径水平钻进设备
- [0059] 16-火区
- [0060] 17-定向钻进的连通裂隙
- [0061] 18-羽状分支井

### 具体实施方式

[0062] 鉴于已有技术存在的问题和CO<sub>2</sub>在地下气化过程中的特殊作用,本发明提供一种含碳有机矿物储层的地下气化新工艺,该工艺以CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物作为地下气化过程的介质,分别将CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物用作压裂介质、气化通道加工的加工介质、生产粗煤气的气化介质,以及CO<sub>2</sub>作为燃空区后续处置时的冷却介质。本发明方法通过CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物开发和利用地下含碳有机矿物储层中的能量,和传统的利用方式(井工开采等)相比能量利用效率大大提高,和传统的地下气化技术相比,提高可燃气体的热值、提升和调节有效气体组成、抑制CO<sub>2</sub>生成、降低原料气生产成本,同时实现CO<sub>2</sub>捕集和资源化利用。

[0063] 为此,本发明的具体方法至少包括如下步骤之一或它们的组合:

[0064] (1)在有钻孔与地面连通的拟气化含碳有机矿物储层例如煤层或油页岩中,选择两个邻近的钻孔分别作为进气钻孔和出气钻孔,该进出气孔可以是垂直钻孔和/或者定向钻孔,对两钻孔间的含碳有机矿物储层进行裂隙沟通、增隙改造。从进气钻孔注入二氧化碳和纯氧的高压混合物(氧气体积浓度20%-35%)对含碳有机矿物储层进行裂隙沟通,其中的“高压”是指作为压裂介质的混合物的压力不低于含碳有机矿物储层的破裂压力。CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物沿着含碳有机矿物储层中的孔隙和裂隙移动并从出气钻孔排出,从而在进气钻孔和出气钻孔之间的含碳有机矿物储层中建立连通裂隙;

[0065] 如果实施本技术发明时,含碳有机矿物储层例如煤层没有建立火区,则需要点火步骤。具体是在进气钻孔或者出气钻孔处理完淤泥后,下入电加热装置,控制进出气孔压力均大于煤层静水压头,然后打开电加热器对煤层进行加热,待温度超过煤层着火点后,保持该温度一段时间(一天左右)然后在点火孔通入氧气和二氧化碳混合物(氧气体积浓度20%-50%之间),在保证进出口压力大于静水压头的条件下,缓慢打开另外一个钻孔,观察出口气的组分,当出口气中煤气热值大于700大卡/Nm<sup>3</sup>左右时,煤层被点燃,完成点火步骤,然后进行通道加工步骤;

[0066] 另外一种点火方法是在进出气孔处理完淤泥后,控制进出气孔压力均大于煤层静水压头,然后快速下入被点燃的焦炭,然后在点火孔通入氧气和二氧化碳的混合气体(氧气体积浓度20%-50%左右),在保证进出口压力大于静水压头的条件下,缓慢打开另外一个钻孔,观察出口气的组分,当出口气中煤气热值大于700大卡/Nm<sup>3</sup>左右时,煤层被点燃,然后开始气化通道加工步骤;

[0067] 如果含碳有机矿物储层例如煤层在实施本技术发明前已经存在火区,则不需要进行点火步骤。如果实施本技术发明时在地下含碳有机矿物储层(例如煤层)已有火区,则可利用含碳有机矿物储层原有火区进行裂隙沟通步骤、通道加工步骤和气化步骤。

[0068] (2) 对两钻孔间的含碳有机矿物储层中形成的裂隙进行热加工,扩大成气化通道。将CO<sub>2</sub>和纯氧混配成氧气体积浓度为20-50%的富氧气体(有时称为CO<sub>2</sub>富氧介质)从进气钻孔注入,沿着所述钻孔间的含碳有机矿物储层形成的连通裂隙输送至点火区(该点火区在例如出气钻孔的底部建立),控制CO<sub>2</sub>富氧介质的流量(500Nm<sup>3</sup>/h至5000Nm<sup>3</sup>/h)和浓度(氧气体积浓度20%-50%),使火源迎着CO<sub>2</sub>富氧介质气流方向向进气钻孔方向移动,对所述钻孔间的含碳有机矿物储层中形成的裂隙进行热加工作业,以将所述裂隙扩大成气化通道;

[0069] (3) 增加气化通道进气量,进行气化。当所述CO<sub>2</sub>富氧介质进气钻孔压力出现明显降低(通常是指压力降幅达到初始压力的5%/天左右或更大)后,增大CO<sub>2</sub>富氧介质的流量(增加至6000Nm<sup>3</sup>/h到10000Nm<sup>3</sup>/h)或增加CO<sub>2</sub>富氧介质的氧浓度(氧气体积浓度增加在50%-70%),以提高反应区温度,并使火源逆着CO<sub>2</sub>富氧介质的气流方向向另一钻孔(这里一般是指出气钻孔)方向移动,以保证CO<sub>2</sub>富氧介质与含碳有机矿物储层接触反应,同时完成钻孔间的含碳有机矿物储层的气化以生成粗煤气(其是氢气、甲烷、一氧化碳、二氧化碳等混合物);

[0070] 上述方法中,还可以包括:步骤(4)将CO<sub>2</sub>加压后注入到两钻孔间的含碳有机矿物储层燃烧、气化后形成的燃空区内进行封存。将所述步骤(3)中产生的粗煤气中的CO<sub>2</sub>进行分离、回收,加压后由其中一个钻孔注入到燃空区内,由于燃空区一部分空间被灰渣、焦渣、夹矸、顶板岩石、未气化的含碳有机矿物储层所充填,注入的CO<sub>2</sub>竞争吸附(即,二氧化碳吸附能力强于甲烷)可以置换出燃空区灰渣、焦渣、夹矸、顶板岩石、未气化的含碳有机矿物储层吸附的可燃气体,并将CO<sub>2</sub>吸附到这些物质内,从而实现CO<sub>2</sub>封存。

[0071] 上述方法中,使用的CO<sub>2</sub>可以通过多种途径获取,主要取决于含碳有机矿物储层在地下气化中生成的粗煤气的用途和品质等,如果粗煤气用于发电,可以回收发电中产生的烟气中的CO<sub>2</sub>,如果粗煤气用于化工产品合成,可以回收作为化工产品合作的原料气即粗煤气中的CO<sub>2</sub>。

[0072] 进一步,步骤(1)所述增隙改造的方法,可以联合其他钻进技术,例如首先采用机械钻进方式(如定向水平钻进技术、超短半径水平钻进技术)进行造隙(形成连通裂隙),再用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物对裂隙进行处理。

[0073] 进一步,所述裂隙沟通使用的CO<sub>2</sub>,可以为气态、液态、超临界态CO<sub>2</sub>,也可以由液态CO<sub>2</sub>、原胶液例如胍胶和各种化学添加剂例如氯化钾组成的混合液。替代地,在介质里添加固相颗粒例如石英砂对裂隙沟通形成的裂缝进行支撑。

[0074] 进一步,在所述裂隙沟通作业中,监测CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物注入钻孔压力变化情况,当钻孔压力出现急剧下降,即压力降幅一般为初始压力的5%/天左右或更大,且所述出气钻孔的出气流量为100Nm<sup>3</sup>/h以上时,表明在两钻孔间的含碳有机矿物储层中已经形成连通裂缝。

[0075] 进一步,所使用的二氧化碳可来自于地面煤气净化工段的脱碳单元分离出的CO<sub>2</sub>。

[0076] 进一步,所述步骤(2)中氧气体积浓度要求为20~50%,优选20~35%,可以根据进气钻孔压力进行调节,以保证灰分不发生熔融,通道不堵塞;

[0077] 进一步,所述步骤(3)中氧气体积浓度要求为50~70%,优选50~65%,可以根据出气钻孔粗煤气中可燃气体组分进行调节,以保证适宜的气化通道温度,组分满足后续化工合成工艺要求;

[0078] 进一步,CO<sub>2</sub>和纯氧的混配方式,可以是先在地面对两种气体混合,也可以是先不在地面混合,分别从双层套套(环空型套管)注入,两种气体在钻孔底部或之中混合的方式。

[0079] 进一步,所述CO<sub>2</sub>富氧的输送,可以通过环空型输送管道由地面输送至地下含碳有机矿物储层,也可以直接通过钻孔套管由地面输送至地下含碳有机矿物储层。

[0080] 在一个优选实施方式中,所述进气钻孔的入口处安装有用于输送CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物或在气化完成后进行二氧化碳封存步骤时需要输入高压二氧化碳的高压管线(高压是指高于煤层破裂压力,该破裂压力由煤岩的力学强度决定),以及用于输送CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的混合物的低压管线(低压是指小于煤层的静水压头),并且所述出气钻孔的出口处安装有用于输送裂隙沟通过程中产生的混合气体的高压煤气管线(高压是指略高于煤层静水压头,并小于进气钻孔压力)和用于输送气化生成的低压粗煤气的低压煤气管线(这里的低压一般是指低于进气孔压力3~5kg左右)。

[0081] 在一个优选实施方式中,对所产生的煤气中的二氧化碳进行分离和捕集,并将所收集的二氧化碳作为裂隙沟通、通道加工或地下气化的介质。

[0082] 在一个优选实施方式中,所述介质用于通道加工和/或气化步骤时还包括水蒸气。对于含水量少的煤层,也可以采用二氧化碳、氧气和水蒸气作为气化通道加工和气化的介质,加入的水量应根据煤层的含水量和气化所需的水量的差再除以水蒸气的分解率来决定。

[0083] 本发明以CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物作为地下气化过程(裂隙沟通、通道加工、气化)的处理介质,全过程中没有N<sub>2</sub>的输入,因而反应后出口可燃气体中基本没有N<sub>2</sub>组分,有利于甲烷等后续化工产品合成利用;由于CO<sub>2</sub>与含碳有机矿物储层中碳的反应为吸热反应,避免了氧浓度高,灰分在氧化层过热而熔融,起到了与水蒸汽在氧化层调节温度相似的作用,克服了水蒸汽在地下气化过程中不易输送,水蒸汽发生过程能耗大等缺点;试验证明CO<sub>2</sub>能够加快CO的生成速率,抑制水煤气变换反应,有效地调节气化中生成的粗煤气中的可燃气体组分含量,同时,二氧化碳也是一种碳资源,二氧化碳参与气化反应,降低了碳的消耗,增加了含碳有机矿物储层中碳资源转变为CO等可燃气体组分的有效利用率;另外,CO<sub>2</sub>经回收后部分CO<sub>2</sub>用作二氧化碳氧气介质的原料,部分封存到含碳有机矿物储层气化后形成的燃空区内,可同时实现CO<sub>2</sub>捕集和资源化利用,降低甲烷等后续化工产品合成的原料气生产成本,实现CO<sub>2</sub>减排,降低过程能耗。

[0084] 除了具有上述优点外,CO<sub>2</sub>的引入可以对主要的三个步骤(裂隙沟通、通道加工和酸化)产生明显的协同效果,主要表现为:

[0085] (1) 采用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物作为压裂介质,由于CO<sub>2</sub>的比热容较N<sub>2</sub>高,能够在含碳有机矿物储层例如煤层表面产生冷却作用,同时二氧化碳有灭火作用,因而可以避免裂隙沟通过程中煤层发生自燃。

[0086] (2) 采用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物作为压裂介质,在裂隙沟通过程中,CO<sub>2</sub>被含碳有机矿物储层吸附,在通道热加工过程中,有利于CO<sub>2</sub>还原反应的进行,可以防止通道在热加工过程中局部温度超温,避免加工通道中出现多个火源,或是通道加工中因局部加工点温度超过含碳有机矿物储层例如煤层灰熔点而产生局部通道熔融情况,同时提高了含碳有机矿物储层碳资源的利用率。

[0087] (3) 采用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物作为裂隙沟通和通道加工介质,含碳有机矿物储层例如煤

层中吸附二氧化碳,有利于后续气化过程中温度控制,同时利用二氧化碳竞争吸附甲烷的能力增加热解气(特别是甲烷)的析出。

[0088] (4) 采用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物为介质的通道加工和气化过程,强化对含碳有机矿物储层例如煤层的热作用,可以克服煤层在传统的压裂后出现的裂隙的减少或是裂隙封闭问题,更有利于含碳有机矿物储层的气化,因而,有利于增大含碳有机矿物储层的碳资源的开采率,例如提高煤层的回采率。

[0089] 下面通过具体实施例并结合附图对本发明做进一步的详细描述,但应当理解,本发明并不局限于这些实施例。

#### [0090] 实施例1

[0091] 图1是根据本发明一个实施方式的地下气化方法的过程示意图,其中(a)为裂隙沟通过程;(b)为通道加工过程;(c)为气化过程;(d)为CO<sub>2</sub>封存,其中采用本发明所述方法对煤层进行气化开采。在本实施例中,根据拟气化煤层范围设置钻孔,钻孔数量、布置方式由煤层特性、原料气生产规模等决定,但为了实现本发明,至少应该包括或设置一个进气钻孔和一个出气钻孔,具体过程如下:

[0092] 参见图1(a)。由地面2经由上覆岩层3向煤层(即本发明中的含碳有机矿物储层)1中施工进气钻孔5,在距进气钻孔5一定距离范围例如20米到500米内(这里需要说明的是,对于本领域技术人员已知的是,该距离范围具体可以根据煤层裂隙沟通的形成方式确定,例如如果是机械钻进进行裂隙沟通,该距离可以稍大,例如可以是150米至500米;如果仅使用本发明的压裂介质进行压裂沟通,则该距离可以较小,例如可以是20米至50米)施工出气钻孔6,这里进气钻孔5和出气钻孔6均为垂直钻孔,钻孔底部位于拟气化的煤层中。

[0093] 参见图1(a)和(b),进气钻孔5的进口处安装CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>高压管线7(即其中作为处理介质的压力不低于含碳有机矿物储层的破裂压力)、CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>低压管线11(即其中作为介质的压力不高于含碳有机矿物储层的静水压力),出气钻孔6的出口处安装高压煤气(压力0.7MPa左右)管线8、低压煤气(煤气压力0.5MPa左右)管线12。其中,CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的高压管线7用于输送CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>高压混合物(煤层破裂压力的1.1倍左右),也用于在气化完成后输送CO<sub>2</sub>,并将CO<sub>2</sub>输送以封存到含碳有机矿物储层1气化后所形成的燃空区内;CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的低压管线11用于输送低压CO<sub>2</sub>富氧(煤层静水压头的0.8倍左右);高压煤气管线8用于输送裂隙沟通过程中产生的混合气体,低压煤气管线12用于输送反应生成的低压粗煤气。

[0094] 在图1(a)中,首先对煤层(即含碳有机矿物储层)1实施裂隙沟通,裂隙沟通过程中关闭CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>低压管线11和低压煤气管线12阀门,打开CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>高压管线7阀门,并打开高压煤气管线8阀门,强制CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>混合物从进气钻孔5沿着煤层中的孔隙和裂隙移动,并经过出气钻孔6,由高压煤气管线8排出,注入CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>后,例如通过压力表密切监测CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>注入的进气钻孔5孔口压力变化情况和出气钻孔6流量变化情况,当进气钻孔5孔口压力出现急剧下降,即压力表监测的压力的降幅为孔口的初始压力的5%/天或者更大,且出气钻孔6的出气流量为100Nm<sup>3</sup>/h以上时,表明在上述钻孔间的煤层中已经形成直接裂隙沟通产生的连通裂隙4,使得进气钻孔5与出气钻孔6在煤层中实现了相互连通。

[0095] 如图1(b)所示,裂隙沟通完成后,开始气化通道加工,此时,进气钻孔5与出气钻孔6通过连通裂隙相互连通。增加进气钻孔5的CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>流量(一般是每次增加100Nm<sup>3</sup>/h),将两钻孔间的煤层内的水分与注入的CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>一起经由高压煤气管线8带出,使出气钻孔6的孔底

煤层保持干燥,之后将电点火器下放至出气钻孔6孔底煤层段的点火区9。在地面将 $O_2$ 配入 $CO_2$ 中,配成 $O_2$ 体积浓度为20%的 $CO_2$ 富氧介质,并由 $CO_2$ 和 $O_2$ 高压管线7经进气钻孔5,直接沿裂隙沟通产生的连通裂缝4送入出气钻孔6孔底,启动点火器对出气钻孔6的孔底煤层进行点火,煤层点燃后,二氧化碳和氧气混合物与煤层发生反应生成的粗煤气经由高压煤气管线8排出,出气钻孔6的孔底煤层形成点火区9以后,依据煤层涌水量、出气温度等,通过调节 $CO_2$ 富氧介质的氧浓度和流量,来控制火区温度,该火区温度一般不低于煤层自燃温度(大约 $250\sim 350^\circ C$ ,具体根据煤种自燃温度确定)。

[0096] 火区调试稳定以后,根据钻孔间距、孔间阻力、钻孔承压能力、煤层静水压力、煤层顶底板结构强度等参数调节进气钻孔5的流量(梯级增加,每次增加 $1000Nm^3/h$ )、氧浓度(梯级增加,每次增加5%氧气体积浓度)强制使 $CO_2$ 富氧介质以所需流量沿进气钻孔5供入点火区9。之后维持该流量(约 $3000Nm^3/h$ 至 $4000Nm^3/h$ )进行逆向燃烧(即,火焰前沿的扩展方向与供入气体的流向相反),并实时监测进气钻孔5的压力。逆向燃烧过程中 $CO_2$ 富氧介质中的 $O_2$ 与煤层中连通裂隙处的可燃物反应,消耗了部分煤,从而使连通裂隙断面逐渐扩大,以有利于生成的煤气的排出和形成有利于气化反应和传热、传质的渗滤条件。

[0097] 当进气钻孔5与出气钻孔6上端连接的压力表所显示的压力相差不大(或压差小于 $0.3MPa$ 左右)时,表明:进气钻孔5孔底与出气钻孔6孔底之间的连通裂隙已经扩大成气化通道10(参见图1(c)),气化通道加工步骤完成。

[0098] 气化通道10完成构建后, $CO_2$ 和 $O_2$ 高压管线7停止进气, $CO_2$ 富氧改由 $CO_2$ 和 $O_2$ 低压管线11进气;同时高压煤气管线8停止出气,改由低压煤气管线12输送反应生成的粗煤气。之后增大 $CO_2$ 富氧气体的流量(增大至约 $6000Nm^3/h$ 到 $10000Nm^3/h$ )和/或增加氧气体积浓度(氧气体积浓度调节为约55%),以提高反应区温度,并进行正向气化(即,火焰前沿的扩展方向与供入气体的流向相同),正向气化反应温度提高,可保证 $CO_2$ 与气化通道10中炽热的煤层表面充分接触反应,加快 $CO_2$ 富氧与煤层发生气化反应、热解反应的速度,提高了煤气中可燃气体等有效组分含量。正向气化过程中,随着气化通道10不断增宽,氧气输送到燃烧煤层表面的速率会下降,此时可以根据出气钻孔6中的煤气组分、煤层夹矸厚度、含水量、钻孔间距等情况,对 $CO_2$ 富氧气体流量和/或氧气体积浓度进行调整(调整幅度一般不超过正常状态下流量和氧气体积浓度的20%);当出口煤气的有效组分(主要是甲烷、一氧化碳、氢气)体积浓度的总和出现10%以上的下降,并维持48小时以上时,钻孔间煤层的气化过程结束。

[0099] 如果在气化过程中发现煤层中的水量不足以支撑煤层的气化反应进行(一种方法是根据出口氢气的组分,如果在过程中煤气的氢气含量下降,下降程度大于原始的浓度的20%或以上,并且长期不能恢复到原有水平,则可以判断水少),加入的量为煤层气化所需的水量减去煤层含水量再除以水蒸气分解率。

[0100] 煤层气化过程结束后,气化通道10扩展为燃空区13(如图1(d)所示),燃空区一部分空间被灰渣、焦渣、夹矸、顶板岩石、未气化的煤层所充填,可以作为封存 $CO_2$ 的空间。气化过程结束后,燃空区还具有一定的高温(平均温度 $300\sim 800^\circ C$ ,之前煤层燃烧后蓄积的热量)。首先,将 $CO_2$ 由低压 $CO_2$ 和 $O_2$ 管线11送入燃空区, $CO_2$ 与燃空区内灰渣、焦渣、夹矸、顶板岩石、未气化的煤层进行热量交换,使高温燃空区逐渐降温、冷却;同时 $CO_2$ 在灰渣、焦渣、夹矸、顶板岩石、未气化的煤层表面进行竞争吸附,置换出其上吸附的 $CH_4$ 等可燃气体组分。产生的含有 $CH_4$ 等可燃气体和 $CO_2$ 的混合物经过出气钻孔6由低压煤气管线12排除至地面,供地

面热量回收和可燃气体回收。待燃空区温度降至 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 后,关闭出气钻孔6,打开 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 高压管线7的阀门,注入 $\text{CO}_2$ , $\text{CO}_2$ 压力一般控制在煤层静水压头左右, $\text{CO}_2$ 注入量一般控制在 $400\sim 500\text{Nm}^3/\text{m}^3$ (每单位体积的燃空区内可以封存 $400\sim 500$ 标立方的 $\text{CO}_2$ ),具体根据燃空区体积、煤层水文地质情况等决定,从而完成燃空区对 $\text{CO}_2$ 的封存。

#### [0101] 实施例2

[0102] 实施例2与实施例1的所采用的方法基本相同,不同之处在于实施例2在裂隙沟通步骤采用了超短半径水平钻进技术。图2是根据本发明实施例2的地下气化方法的裂隙沟通过程的示意图,其中采用超短半径水平钻进技术进行造隙以形成连通裂隙。如图2所示,由地面2经由上覆岩层3向煤层(即含碳有机矿物储层)1中施工进气钻孔5,在距进气钻孔5一定距离范围(约40米至100米,本领域技术人员可以具体根据超短水平钻能够施工的最大长度)内施工出气钻孔6,该进、出气钻孔5和6均为垂直钻孔,钻孔底部位于预气化的煤层中。采用超短半径水平钻井设备15,由进气钻孔5沿着进气钻孔5和出气钻孔6水平连线方向,直接在垂直钻孔的内壁打开一个供超短水平钻出入的通道,进行侧向水平钻进,在煤层中形成水平钻进的连通裂隙14使进气钻孔5与出气钻孔6在煤层中相互连通。

[0103] 超短半径水平钻进完成施工后,移出钻具,开始气化通道加工。打开 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 高压管线7阀门,打开高压煤气管线8阀门,通过控制进气钻孔5的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 流量(约 $500\text{Nm}^3/\text{h}$ 至 $1000\text{Nm}^3/\text{h}$ ),将两钻孔间煤层中的水平钻进的连通裂隙14内积存的水分与注入的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 一起经由高压煤气管线8带出,使出气钻孔6孔底煤层保持干燥,之后将电点火器下放至出气钻孔6孔底煤层段。在地面将 $\text{O}_2$ 配入 $\text{CO}_2$ 中,配成氧气体积浓度为30%的 $\text{CO}_2$ 氧气混合物,并由 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 高压管线7经进气钻孔5,沿水平钻进的连通裂隙14送入出气钻孔6孔底,启动点火器对出气钻孔6孔底煤层进行点火,煤层点燃后,二氧化碳和氧气混合物与煤层发生反应生成的粗煤气经由高压煤气管线8排出,出气钻孔6孔底煤层形成初步点火区以后,依据煤层涌水量、出气温度等,通过调节气化剂氧浓度和流量,来控制火区温度,该火区温度一般不低于煤层自燃温度(大约 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ ,具体根据煤种的自燃温度确定)。

[0104] 火区调试稳定以后,进行气化通道加工步骤和气化步骤,具体过程类似于实施例1。

#### [0105] 实施例3

[0106] 实施例3与实施例2的所采用的方法基本相同,不同之处在于实施例3中含碳有机矿物储层在进行裂隙沟通步骤前已经存在火区,并且在裂隙沟通阶段采用定向水平钻进技术与已有火区直接对接。图3是根据本发明实施例3的地下气化方法的裂隙沟通过程的示意图,其中采用定向水平钻进技术直接与火区对接。如图3所示,现有出气钻孔6,钻孔孔底已经存在火区16,拟采用本发明所述方法对新的煤层进行气化,生产合成气。

[0107] 采用定向钻进方法,在距离出气钻孔6一定距离范围内,由地面2经由上覆岩层3向煤层即含碳有机矿物储层1中施工进气钻孔5,并在煤层中形成定向钻进的连通裂隙17,与已有的火区16直接钻通。定向钻进完成施工后,打开 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 高压管线7阀门,打开高压煤气管线8阀门,通入 $\text{CO}_2$ 富氧气体,开始对定向钻进的连通裂隙17进行热加工。

[0108] 通过调整 $\text{CO}_2$ 和 $\text{O}_2$ 管线7的压力,强制 $\text{CO}_2$ 富氧气体以所需的固定流量(约 $800\sim 1500\text{Nm}^3/\text{h}$ )沿进气钻孔5进入煤层, $\text{CO}_2$ 富氧气体中的氧气体积浓度为40%。维持该固定流量,并实时监测进气钻孔5的压力。

[0109] 通过在进气钻孔5处连接的压力仪表对压力进行监测,当监测到进气钻孔5的压力明显降低后(例如,压力降幅达到初始压力的5%/天左右),增大CO<sub>2</sub>富氧气体的流量和/或增加氧气体积浓度(流量增加至3000Nm<sup>3</sup>/h到5000Nm<sup>3</sup>/h之间,氧气体积浓度25%-40%),所述流量或者氧气浓度具体根据煤层夹矸厚度、含水量,钻孔间距等情况进行调整。当进气钻孔5与出气钻孔6上端连接的压力表所显示的压力相差不大(例如,压差小于0.3MPa)时,表明进气钻孔5与出气钻孔6完成气化通道构建,。

[0110] 气化通道完成构建后,气化的步骤类似于实施例1。

[0111] 实施例4

[0112] 实施例4拟采用本工艺所述方法对油页岩进行气化开采,由图4所示,图4是根据本发明另一个实施方式的地下气化方法的裂隙沟通过程的示意图,其中采用羽状水平钻井技术开采油页岩。实施例4采用的方法与实施例2基本相同,不同之处在于实施例4先采用羽状水平钻井技术,在进气钻孔和出气钻孔间的油页岩层内建立连通裂隙,之后点火并进行通道加工和气化,具体实施方式如下所述:

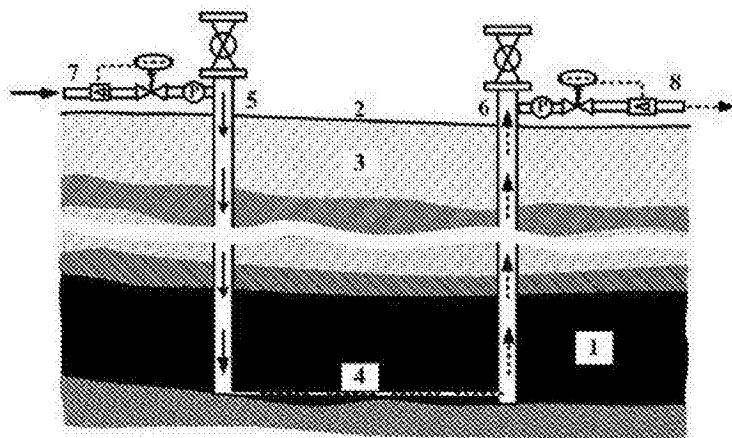
[0113] 由地面2经由上覆岩层3向油页岩层即含碳有机矿物储层1中施工垂直钻孔作为出气钻孔6,在出气钻孔6距离300米到500米施工一条羽状定向钻作为进气钻孔5,使进气钻孔5与出气钻孔6在油页岩层中连通,进气钻孔5为羽状水平钻孔,包括若干组羽状分支井18,进气钻孔和出气钻孔的底部位于预气化油页岩层中。

[0114] 羽状水平钻井完成施工后,按照实施例2所述方法,采用CO<sub>2</sub>将羽状分支井18内积存的水分带出,使出气钻孔6孔底油页岩层保持干燥,之后将电点火器下放至出气钻孔6孔底油页岩段,启动点火器供送CO<sub>2</sub>富氧对出气钻孔6孔底油页岩进行点火,油页岩点燃后,依据涌水量、出气温度等,通过调节气化剂氧浓度和/或流量,来控制火区温度。

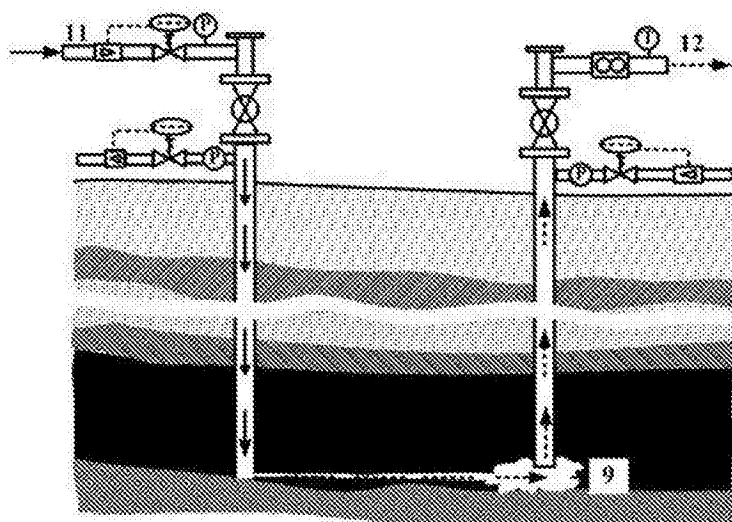
[0115] 火区调试稳定以后,通过调节进气钻孔5的流量(约500Nm<sup>3</sup>/h-1000Nm<sup>3</sup>/h左右)、氧浓度(体积浓度20%)和压力(约0.7-1.0Mpa左右)等参数,强制CO<sub>2</sub>富氧气体以所需流量沿进气钻孔5供入点火区9。之后维持该流量进行逆向燃烧,并实时监测进气钻孔5的压力。当进气钻孔5上端连接的压力表所显示的压力出现明显降低(压力降幅达到初始压力的5%每天左右)时,表明初始形成的点火区9扩展至进气钻孔5孔底附近。当进气钻孔5与出气钻孔6上端连接的压力表所显示的压力相差不大(压差小于0.3MPa)时,表明:进气钻孔5的孔底与钻孔6的孔底之间的连通裂隙已经热加工成气化通道。气化通道构建完成后,气化步骤与实施例2相类似。

[0116] 基于二氧化碳和氧气的混合物为介质的这种地下气化新方法,可以充分调节含碳有机矿物储层在地下气化时的反应温度,提升和调整煤气组分中有效气成分和氢碳比,提高能量利用效率,同时该方法还可以对二氧化碳进行化学利用(例如资源化利用)和物理封存,是一个低碳、高效、清洁的地下气化新方法。

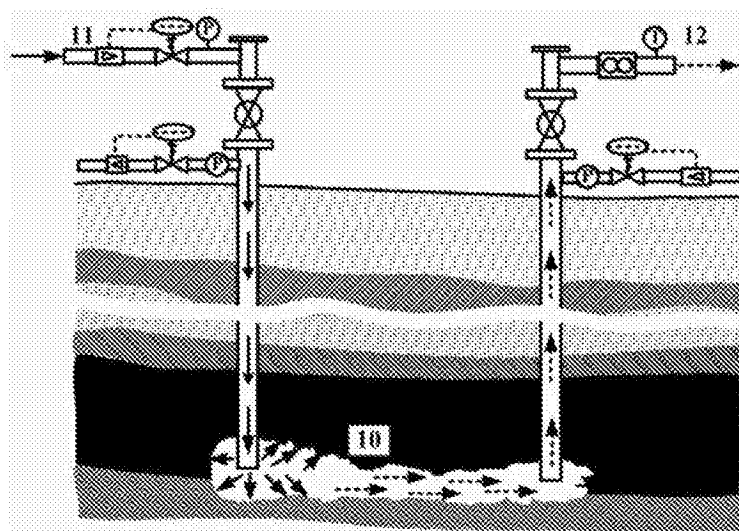
[0117] 以上已对本发明进行了详细描述,但本发明并不局限于本文所描述具体实施方式。本领域技术人员理解,在不背离本发明范围的情况下,可以作出其他更改和变形。本发明的范围由所附权利要求限定。



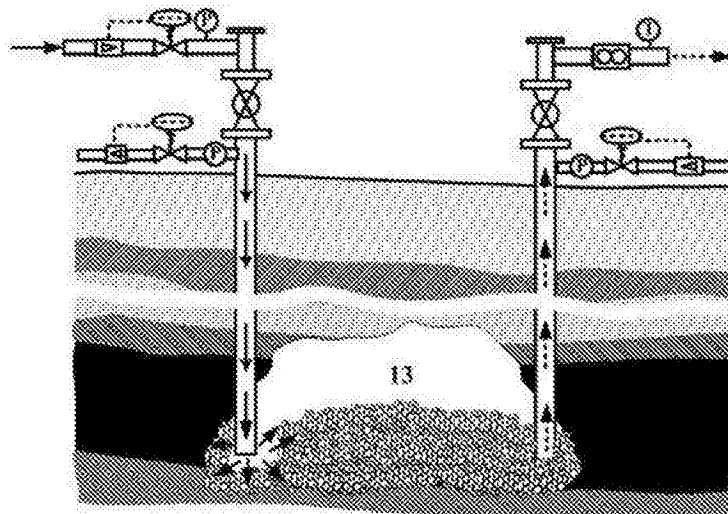
(a)



(b)



(c)



(d)

图1

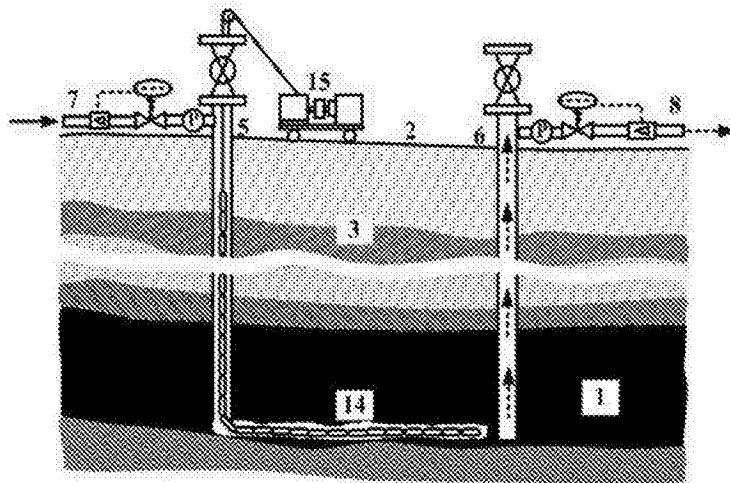


图2

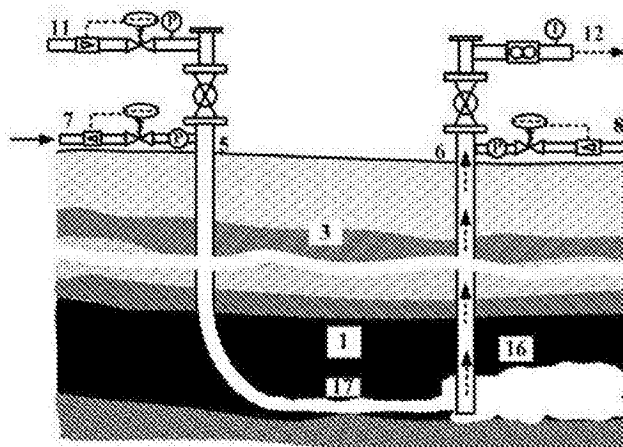


图3

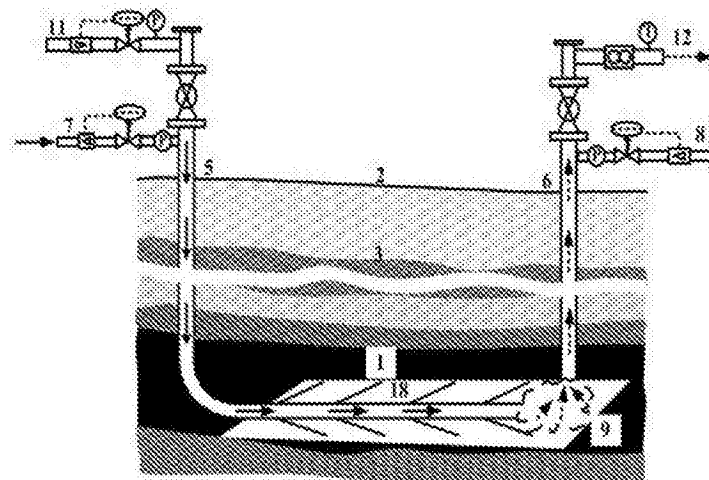


图4