



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104380021 B

(45)授权公告日 2016. 11. 30

(21)申请号 201380031698.7

(22)申请日 2013.05.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104380021 A

(43)申请公布日 2015.02.25

(30)优先权数据
61/643,103 2012.05.04 US
13/886,207 2013.05.02 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.12.16

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/039534 2013.05.03

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/166432 EN 2013.11.07

(73)专利权人 彼得·艾森伯格
地址 美国新泽西

(72)发明人 彼得·艾森伯格

(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 柳冀

(51)Int.Cl.
F25J 3/08(2006.01)
B01D 53/62(2006.01)
B01D 53/02(2006.01)

(56)对比文件
US 2011296872 A1,2011.12.08,
CN 201333374 Y,2009.10.28,
CN 101143288 A,2008.03.19,
US 2011203311 A1,2011.08.25,
US 2011041688 A1,2011.02.24,
审查员 王美芳

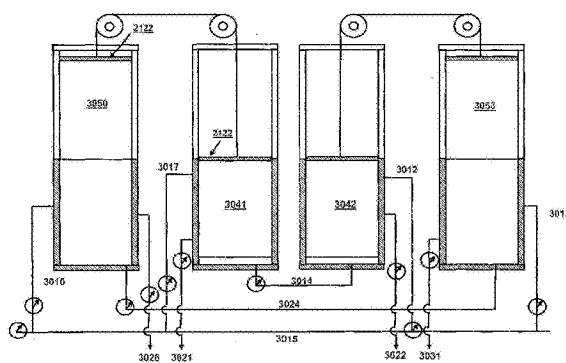
权利要求书2页 说明书17页 附图8页

(54)发明名称

用于二氧化碳捕集和储存的系统和方法

(57)摘要

降低工业方法的净二氧化碳足迹的系统和方法,其由烃燃料的燃烧来产生能量,其中环境空气与来自该工业方法的至多50体积%的废气进行混合,以在处理之前显著增加空气中的CO₂浓度。该处理包括使用冷却的多孔基底负载的胺吸着剂来从混合的环境空气中吸附CO₂,其中该多孔基底初始时在它的孔中接触含有冷凝水的混合的环境空气,其充当了由该吸附方法所产生的放热热量的固有冷却剂。另外,在再生该负载的吸着剂之前,在密封的再生室中显著降低空气压力,并且将低压室与含有蒸汽和二氧化碳的高压再生室流体连接放置,以预热待再生的吸着剂和用于进一步CO₂吸附之前快速冷却该再生的吸着剂。



1. 从带有二氧化碳的空气中除去和捕集浓缩的二氧化碳的方法,该方法包括:

将带有二氧化碳的环境空气的第一流与不大于50体积%的废气进行混合,其中该废气来源于烃燃烧的烟道气,和将该混合的环境空气的第一流导至第一二氧化碳除去结构;该二氧化碳除去结构包括负载在多孔基底上的吸着剂,并且其能够放热地和可释放地结合二氧化碳,以从该第一混合的环境空气混合物中除去预定部分的二氧化碳;

将该第一二氧化碳除去结构送入第一密封的二氧化碳捕集室中,从该第一密封的二氧化碳捕集室中排出空气以降低其中的空气压力,和将温度不高于120℃的蒸汽送入和送过该第一二氧化碳除去结构,以从该吸着剂中汽提二氧化碳并再生该吸着剂,和从该第一密封的二氧化碳捕集室中除去该汽提的二氧化碳,从而捕集浓缩的二氧化碳;

将带有二氧化碳的环境空气的第二流与不大于50体积%的废气进行混合,其中该废气来源于烃燃烧的烟道气,和将该混合的环境空气流导入第二二氧化碳除去结构;该第二二氧化碳除去结构包括负载在多孔基底上的吸着剂,并且其能够可释放地结合二氧化碳,以从该第二混合的环境空气混合物中除去预定部分的二氧化碳;

将该第二二氧化碳除去结构送入第二密封的二氧化碳捕集室中,从该第二密封的二氧化碳捕集室中排出空气以降低其中的空气压力,和将温度不高于120℃的蒸汽送入和送过该第二二氧化碳除去结构,以从该吸着剂中汽提二氧化碳并再生该吸着剂,同时该蒸汽冷凝,和从该第二密封的二氧化碳捕集室中除去该汽提的二氧化碳,从而捕集浓缩的二氧化碳;

该第一和第二二氧化碳除去结构串联操作,以使得当该第一二氧化碳除去结构完成再生循环,和该第二二氧化碳除去结构准备好进行它的再生时,将该第一密封的二氧化碳捕集室中的剩余蒸汽闪蒸到降压的第二密封的二氧化碳捕集室中,以冷却该第一二氧化碳除去结构和在用饱和蒸汽再生之前预热该第二二氧化碳除去结构;和将该第一二氧化碳除去结构从该第一密封的二氧化碳捕集室中除去并移入混合的环境空气流中;

将饱和蒸汽送入该第二密封的二氧化碳捕集室中,以再生该第二二氧化碳除去结构,和从该第二二氧化碳除去结构中除去二氧化碳和冷凝蒸汽;和

重复所述串联操作,以使得该第一二氧化碳除去结构在从混合的空气流中吸附二氧化碳之后返回到该第一密封的二氧化碳捕集室,和该第一密封的二氧化碳捕集室中的压力降低,并向该第二密封的二氧化碳捕集室中的较高压力敞开。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中将从各捕集结构除去的二氧化碳和冷凝蒸汽送到分离容器,以除去液体形式的冷凝蒸汽和将该浓缩的二氧化碳送去进一步处理。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中该二氧化碳通过以下来进一步处理:充分压缩以除去剩余水蒸气,来获得至少95%纯度的高度浓缩的CO₂。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中将各二氧化碳捕集室中的压力降低到不大于0.2巴绝压。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中将各二氧化碳捕集室中的压力降低到不大于0.15巴绝压。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中该混合的环境空气包含CO₂的浓度比环境空气中CO₂的浓度高至少两个数量级。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中该二氧化碳除去结构包括多孔基底整料的阵列,其

由选自二氧化硅、氧化铝和氧化铝涂覆的二氧化硅中的材料形成,和其中该基底负载着胺吸着剂。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中该吸着剂是伯胺。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中该蒸汽是饱和蒸汽。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中该饱和蒸汽是工艺热蒸汽。

11. 根据权利要求5所述的方法,其中将各二氧化碳捕集室中的压力降低到0.1巴绝压。

12. 根据权利要求1所述的方法,其中当将再生的二氧化碳除去结构从捕集室中除去,并且返回到混合的环境空气流中时,冷凝蒸汽保持在基底的孔中,以用于当从该混合的空气中吸附CO₂时缓和吸着剂和基底的温度。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中将该环境空气与小于50体积%的废气进行混合。

14. 用于从带有二氧化碳的空气中除去二氧化碳的系统,该系统包括:

一对二氧化碳除去结构,各结构包括吸着剂,该吸着剂能够吸收或者结合二氧化碳,以从该空气中除去二氧化碳,和高度多孔的整料陶瓷结构基底,该基底的表面上负载该吸着剂以吸收或结合该空气中的二氧化碳,和用于该基底的可移动的结构载体;该结构载体负载该基底,从而使该吸着剂处于将要暴露于带有二氧化碳的空气流以能够从该空气中除去CO₂的位置;

一对可密封的CO₂捕集室,分别用于各二氧化碳除去结构以从载有CO₂的除去结构中捕集二氧化碳;在该二氧化碳捕集室与排气泵之间的可打开的流体连接装置,其用于在除去结构入口之后降低密封的二氧化碳捕集室内的大气压;在该二氧化碳捕集室与工艺热蒸汽源之间的可打开的流体连接装置;在两个二氧化碳捕集室之间的可打开的流体连接装置;和在各二氧化碳捕集室与CO₂收集室之间的可打开的流体连接装置;和

用于将二氧化碳除去结构移入和移出二氧化碳捕集室的设备。

15. 根据权利要求14所述的系统,其包括用于竖直移动一对竖直取向的碳捕集结构的升降机系统,其每个能够以以下方式选择性操作:其中,该一对竖直取向的碳捕集结构之一交替地和相继地位于带有二氧化碳的空气的路径上,而该一对竖直取向的碳捕集结构的另一个用工艺热来加热,以从该吸着剂中分离之前吸附的二氧化碳和再生在该多孔载体上的该吸着剂。

16. 根据权利要求15所述的系统,其中该竖直取向的碳捕集结构经配置并且可操作,从而它交替地和相继地位于带有二氧化碳的空气的路径上,以从该空气中除去该二氧化碳,并且暴露以用工艺热加热,来从该吸着剂中分离该二氧化碳和再生该吸着剂。

17. 根据权利要求14所述的系统,其进一步包括自动运行阀系统,其经设计和调整以交替地和相继地将带有二氧化碳的空气送到碳捕集结构和将工艺热蒸汽送到该碳捕集结构,以从该吸着剂中分离该二氧化碳和再生该吸着剂。

用于二氧化碳捕集和储存的系统和方法

[0001] 本申请要求依照35U.S.C.119(e)来自于下面的申请的权益或优先权:2010年4月30日提交的申请号61/643,103的美国临时专利申请;2010年4月30日提交的申请号61/330,108的美国临时专利申请;2010年6月3日提交的申请号61/351,216的美国临时专利申请,和2011年2月15日提交的申请号61/443,061的美国临时专利申请,和2011年4月29日提交的共同待决美国申请序列号13/098,370。

[0002] 发明背景

[0003] 本发明涉及用于从大气中除去温室气体的系统和方法,和特别是涉及用于从气流包括环境空气中除去二氧化碳的系统和方法。

[0004] 作为2011年4月29日提交的共同待决美国申请序列号13/098,370中所述系统的进一步改进,提出了一种合适的系统和方法,其现在公认可以用于比较早申请所公开的更宽的应用范围,特别是当进一步改进时更是如此。该共同待决申请的公开内容在此引入作为参考,如同全部重复一样,作为这里提出的新公开内容所改进的。

[0005] 目前许多的关注集中于尝试实现三种稍微矛盾的与能量有关的目标:1)提供用于经济发展的供应得起的能量;2)实现能量安全;和3)避免由于全球变暖引起的破坏性气候变化。但是,如果我们打算具有发展经济所需的能量和避免能量不足(其会导致矛盾),则没有可行的方式在本世纪剩余的时期内避免使用化石燃料。

[0006] 科学家们最没有争议的是所谓温室气体如二氧化碳(甲烷和水蒸气是其他主要的温室气体)的量的增加将会增加行星的平均温度。

[0007] 同样很显然的是不存在这样的解决方案,其仅降低正在发生的人类引起的二氧化碳排放,其能够成功地消除气候变化的风险。从大气中除去另外的CO₂也是必需的。具有空气提取和增加或降低大气中二氧化碳的量的能力,原则上会抵偿其他温室气体如甲烷(天然存在的和来自人类活动),这会增加它们的浓度和引起气候变化。

[0008] 直至本申请人的本发明之前,通常本领域技术人员公认的是直接从大气中捕集二氧化碳是不可行的,这归因于该化合物的低浓度。后来所述共同待决在先申请显示,在规定的条件下进行这样的CO₂降低实际上是实用的和有效的。

[0009] 它显示了在环境条件下,可以使用合适的可再生吸着剂系统和低温汽提或再生方法来从空气中有效提取CO₂。

发明内容

[0010] 本发明提供了进一步的新颖和有用的系统和方法,用于从大量带有二氧化碳的空气中除去二氧化碳。

[0011] 本发明现在已经通过这样的发现而进一步改进,即相同的低温系统也可以如下来用于从具有增加的二氧化碳浓度的气体混合物中捕集CO₂:将空气与相对浓缩的含CO₂的烟道来源的气体(用占优量的环境空气进行了稀释)混合;作为另一令人惊讶的,这进一步改进了效率。这会产生对于这种另外的“脏”源例如发电厂或者炼厂或者水泥制造厂而言减CO₂系统事件。在这样的情况中,通常优选的是在接触二氧化碳吸着剂之前,预处理该废气

来除去微粒和某些破坏性化合物例如硫氧化物和氮氧化物化合物,例如在来源于煤燃烧的气体的情况中。

[0012] 通常,具有直接从大气中提取,和具有通过与高CO₂含量的气体混合物例如烟道来源的气体混合来增加要处理的环境空气中二氧化碳浓度的能力时,能够降低大气中以前存在的CO₂浓度,因此提供了一种组合的减碳方法,并且抵偿了会以其他增加它们浓度的方式添加到大气中的其他温室气体例如甲烷。因此现在可以降低或者甚至逆转气候变化。

[0013] 在我们早期的工作中,已经认识到用于从环境空气中除去相对低浓度的CO₂的高度有效的系统是可以实现的,而无需使用饱和工艺蒸汽,使用大量能量来再生该载有CO₂的吸着剂。现在已经发现可以如下来获得改进的结果:使用相对薄的、大表面积的整料多孔基底的阵列,作为用于活性吸着剂位的载体,彼此串联。对于这样的系统,大量的烟道来源的气体可以与环境空气混合,来将被处理的空气中的CO₂浓度增加一个数量级,并且甚至更可能的,同时通过改变所述条件和与另一整料系统串联操作,来持续改进单独的环境空气之前所达到的低温效率。

[0014] 在这种改进的系统中,所述串联对是分阶段的,以使得当该对之一在它的再生盒中完成再生时,第二成员刚刚进入它的再生盒。将该第二再生盒密封,如共同待决的申请和同样如下所述,并且将所捕集的大气从该第二再生盒排出,到低于0.4巴绝压,和优选低于0.3巴绝压和最佳地下降到0.1-0.2巴绝压。该第一再生盒(其也已经排出了它的空气)已经用饱和蒸汽再生,该蒸汽在CO₂从吸着剂中汽提时冷凝在该整料的孔中。当再生已经达到其期望的终点时,该整料包含热的冷凝水,并且密封盒周围的大气(其含有一些蒸汽蒸气和剩余CO₂)已经增加到至少约0.7巴绝压。这两个串联再生盒的内部然后互连,以产生朝着平衡的急剧快速的压力变化;该第一整料中的热的冷凝水在低压蒸发,并且当该蒸气遇到第二整料时,其升温并释放出一些CO₂,同时该蒸气在第二整料上冷凝;因此快速冷却该第一整料和将它准备移出第一盒并与带有CO₂的气体混合物接触。对该阵列的全部成员继续进行这种串联操作,来实现带有CO₂的气体混合物的基本连续处理,并且不断重复。

[0015] 必须要理解的是,“多孔基底”是具有开放孔的基底,其中气体或蒸气会在前表面进入孔和从后表面离开,以使得该气体或蒸气可以经由该开放孔完全通过基底厚度。该整料的厚度优选比与待处理的带有CO₂的气体混合物的流动方向垂直的整料表面的任一尺寸小了至少一个数量级。

[0016] 作为本说明书中所用的,术语“环境空气”表示和包括在具体的地理位置上,在大气中存在的物质的条件和浓度下的未封闭的空气。术语“烟道来源的气体”指的是含有高浓度的CO₂,并且从含碳物质例如所谓化石燃料的燃烧所排出的气体,包括在从燃烧点排出后已经进行了预处理的气体。

[0017] 已经发现这种方法对于环境空气的几乎任何混合物都是成功的,其包含至少占优体积量的环境空气,来稀释烟道来源的气体。与环境空气相比,该烟道来源的气体将明显增加混合物中CO₂的浓度,并且通过例如在先共同待决申请的图25和26所示的系统混入到空气中,来形成基本均匀的高CO₂含量的气体混合物。

[0018] 该处于环境温度的带有CO₂的气体混合物如下来处理:将它引导通过吸着剂结构,该结构包含相对薄的高表面积多孔整料,其负载了活性CO₂吸着剂位,其可以结合(捕集)CO₂,然后如下来再生该吸着剂:使吸附的CO₂从吸着剂释放,在低温处理该吸着剂结构,优选

在大于约120℃的温度用不饱和的工艺蒸汽处理,并且取出所释放的CO₂(由此有效的再生该吸着剂结构)和获得高品质CO₂。该吸着剂优选放热吸附CO₂,其允许从吸着剂中以相对低的温度汽提CO₂。

[0019] 在本申请中,该基底结构优选包含胺,其结合到CO₂,并且其被基底结构所携带。该吸着剂优选将保持在基底的表面上,包括孔内表面。之前的观点是,当二氧化碳浓度远高于环境空气时,CO₂吸着剂温度将由于CO₂吸附的放热而过高,这将升高该整料的温度。已知的是在空气存在下,吸着剂的有效性在这种较高温度时将降低。可以预期的是,捕集CO₂的有效性将减小,并且需要较高的温度来再生该吸着剂。

[0020] 已知的是,对于可获得的伯胺吸着剂而言,通过吸附所捕集的部分将以它的Langmuir等温线所给出的方式来取决于放热吸着剂的温度。该等温线是温度的指数,这是因为吸着剂与CO₂反应的高热量,即约84kJ/mol。例如,从25℃到35℃的温度增加,在平衡时能够捕集CO₂的胺位的百分比降低了约e⁻¹。结果,在寒冷气候(即在中或较高纬度或海拔地区的冬天)中的环境温度减少了这个问题,或者允许处理更高浓度的CO₂。例如,如果环境温度是15℃,则升高10℃将产生与在25℃情况的环境位置中处理低浓度CO₂相同的性能。用于伯胺的Langmuir等温线在约15℃时,在如下方面中接近于最佳:在平衡的胺位的分数,和从吸着剂中汽提和收集CO₂以在约100℃有效地再生该吸着剂所需要的显热。在先共同待决申请的图27显示了一种概念性设计,其中废气通过合适的设备与空气完全混合,并且分析了温度升高。

[0021] 如果将它整合到产生CO₂的方法例如发电厂中(其包括现有技术的处理方法,其最起码除去了微粒和吸着剂毒物,例如硫和氮的氧化物),则可以实现本发明的特别有效的实施方案。通常,在北美或欧洲的大多数燃煤厂提供了后燃烧处理,其使用了通常被称为CSS技术的方法。一种通常使用的这样的方法是所谓的“后燃烧MEA方法”,如英格兰的Costain Group PLC所实施的,并且如图3中所示,其显示了它在燃煤发电厂中的使用,和送到本发明方法的其经处理的流出物。来自CSS方法的流出物(其没有微粒和本发明方法所用的吸着剂的通常的毒物)与环境空气混合,用于用本发明的方法处理来捕集所合并的CO₂。当增加从气体混合物中除去的CO₂的百分比时,通过CSS方法除去每吨CO₂的边际成本急剧增加,并且在将90%增加到95%除去时变得非常昂贵。另一方面,当降低CSS方法单独所捕集的百分比时,它经常变得非常昂贵,这是因为在管制CO₂排放的情况中,对于没有捕集的CO₂的罚款增加了,因此降低了整个方法的价值。由于这些原因,CSS的目标通常是90%。

[0022] 另一方面,通过本发明的方法捕集的每单位量的纯CO₂的成本随着进入本发明方法的工艺流中的CO₂百分比的增加而降低;当与来自这样的CSS方法的流出物相组合,或者其他废气预处理相组合时,这是特别有效的。但是,随着进料流中CO₂浓度的增加,本发明的方法必须提供必需的冷却手段,来确保来自于混合的CO₂的放热捕集的升温不会导致吸着剂效力的下降。因此存在着一个机会来通过降低在CSS阶段中所除去的CO₂的百分比(假如退回到现有技术的CSS方法的80%CO₂除去率,并且将剩余的CO₂含量相对高的CSS流出物(其包含例如2%的CO₂)与环境空气混合),通过校正CSS方法和本发明的组合中的相对效应,来优化所捕集的每吨CO₂的成本。在那种情况中,对于每1%的与空气混合的CSS流出物流,在进入本发明方法的进料气体混合物中CO₂浓度将增加约50%。

[0023] 相关的升温是可以确定的,因为该升温取决于CO₂吸附速率和因此取决于混合的

加工进料流中的CO₂浓度。如果在5%的CSS流出物中混合,则相对于单独的纯环境空气捕集方法,本发明方法的资金成本将降低为三分之一(因为所述混合流中的浓度是单独的空气的三(3)倍)。那种情况的升温接近于当混合汽化器的全部废气流形式时的升温,或者约3.5℃。最重要的,如果本发明的空气捕集方法设置来除去混合流中仅70%的CO₂,则该组合方法将除去发电厂所排出的100%的CO₂。因此将产生无碳的或减碳的电力或其他产品,其用于作为能源的化石燃料的燃烧。在通过本发明的方法从混合气体中除去75-80%的CO₂中,结果将是减碳的发电方法。

[0024] 除了通过优化另一个的成本的各方法来实现从降低所收集的每吨CO₂的成本中所获得的直接好处之外,从所述方法整合中还获得了其他好处。这些好处包括来自该废气处理的排出流是清洁的,消除了用于混合步骤的问题/成本,和能量使用更有效以及成本更低。除了CSS方法之外,还存在着许多所寻求的不同的预燃烧和后燃烧CO₂除去方法,并且新的方法也会在将来出现。环境空气和CSS流出物的混合量的细节,和来自第一级废气方法的废气可能的另外的处理,将会在细节上发生变化,但是所述组合方法的基本优点保持了定性相同。

[0025] 为了能够从较高浓度的CO₂中捕集,本发明基于这样的发现,即在完成CO₂的汽提之后,将冷凝蒸汽以水的形式保持在整料孔中,快速蒸发热的冷凝物液体的一部分是用于快速冷却所述整料的一种非常有用的工具。该汽提的、冷却的整料然后返回到CO₂捕集站和用于进一步的吸附步骤,同时通过初步预热该载有CO₂的吸着剂来汽提而保存所述热。所述整料和吸着剂否则会在吸附步骤期间发生不期望的受热,和因此在暴露于带有CO₂的空气时更易于降解。这种效果在这样的整料上是最容易实现的,该整料在进入空气流的方向上的厚度或长度优选不大于该整料的最大其他尺寸的10%,例如厚度为十五(15)厘米,和长度或宽度是至少二(2)米乘以0.5米,即垂直于空气流的表面积至少是1平方米。

[0026] 冷却该再生的基底的速率也可以如下来改进:在工艺蒸汽开始流过基底之前,将该再生盒压力抽气(pump down)到例如优选小于0.3巴绝压和最优选0.1-0.2巴绝压,来除去大部分空气。这也将通过在汽提CO₂之前消除大部分不可冷凝的气体,来增加高纯度CO₂的除去效率。

[0027] 在它的基础方面之一中,本发明提供了另外的结构和技术来从带有二氧化碳的空气中捕集二氧化碳,并且使用工艺热来从吸着剂中分离二氧化碳和再生该吸着剂。

[0028] 此外,在它的另一方面,本发明提供一些另外的结构和技术,其能够从空气中的高浓度二氧化碳中有效地捕集二氧化碳,而不失去使用低温工艺热来从吸着剂中分离二氧化碳和再生该吸着剂。本发明进一步能够通过吸附来从空气与废气的混合物中捕集二氧化碳,并且分离和再生。这使得CO₂发生初级系统实现CO₂净减少,和因此降低大气中CO₂的量。

[0029] 另外,本发明提供了一种相对低成本和相对纯的CO₂源,用于如生物燃料生产的饲料藻类养殖场这样的有益的用途,这里该捕集成本代表了CO₂供给的整体成本。

[0030] 在另一实施方案中,打算进一步改进所述系统的性能和效率,对该再生室盒进行构造,以使得再生盒3051的后壁(气体收集侧,与蒸汽注入侧相对)充当以蒸气形式送过所述整料的任何蒸汽的冷凝器。如果该壁通过循环水冷却或者具有足够的热质量来除去热,和因此通过空气冷却,则该蒸汽将通过将它的潜热传给所述壁而在冷却表面上冷凝,形成水。另外的节约通过消除另外的热交换器来实现。如果该后壁通过冷却它的热质量而保持

在40℃或更低,则通过降低封闭的再生盒中的温度,该后壁将充当泵。该后壁的内表面可以具有向下的倾斜肋条,来将冷凝水导入所述盒的侧边,以防止冷凝水在该后壁上大量累积;这样的累积将减缓冷却。由于下面的原因,这样的系统提供了一种有效的方式来冷却所述整料:1)它可以快速进行;2)不需要另外的资金支出来用于分别的冷凝器;和3)不需要泵送水蒸气来用于蒸发性冷却,这节约了大量的能量。

[0031] 虽然本发明的方法最好用于较冷的气候中,来优化吸着剂的有效再生,同时限制任何潜在的效力损失,但是困难在于在最冷的气候中(即在最高的纬度),存在着非常少的先前存在的附属于CO₂捕集方法的设备设施。但是现在已经认识到,归因于在这样的位置处较大的效率,存在着提供独立的设备的基础,在这里没有其他的设施来提供增强的CO₂浓度或者提供必需的工艺热。根据这种实施方案,一种系统提供了独立的单元,其不可使用外部的工艺热或电能,并且存在于具有极低温度的较冷气候中例如北极地区。基本上无限制地,所述温度越低,将产生越有效的操作系统。当整个包括该系统时,甚至在例如易于发生极寒和冷冻沉淀的北极地区的条件下,也应当不会干扰这种系统的运行。在下面的情况中尤其如此:该系统在长距离管线的邻近或附近运行,所述管线将例如原油或天然气从例如遥远的北方携带到人类居住的那些地区(在这里它通常更可能有用)。

[0032] 根据本发明的一个实施方案,一种系统包括热发生器例如锅炉,其连接到发电机上用来运行必需的辅助系统例如升降机系统,必需的控制装置,阀和压缩机泵,用于高纯CO₂。该高温热被用于产生高压蒸汽来运行发电机,并且通过与环境空气混合来使用排出的废气,以根据早前所述的系统来进行。以此方式,提供热和其他能量来运行所述系统,并且为了没有另外的成本,将该环境空气进一步富含CO₂,来允许更有效地捕集合并的CO₂。这样的系统可以是几乎收入中性的(但是几乎总是CO₂减少的),甚至这里存在着能量成本也是如此,只要存在着市场或者用于产生纯CO₂的用途就行。例如,在长距离管线的情形中,净化的CO₂可以至少部分地存储在所述管线邻近。在任何的意外着火或者泄露事件中,该CO₂可以用于消灭大部分会喷出的火焰。

[0033] 要注意的是会存在这样的情形,净化的CO₂的价值实际上大于在具体位置上用于发电的燃料的成本。在那种情形中,例如紧邻管线或者高纬度天然气井,所用的能量越大和所产生的烟道气越多,用于产生纯二氧化碳的最终方法的价值越大。在这种情况下,表现得非常令人惊讶,更有价值的是使用尽可能多的能量和因此产生更多的CO₂,而不是在更普通的情形中保存能量。这样的情形未必总是存在于高纬度的室外,而是在那种情况中(例如在中纬度的冬天),这种实施方案将是非常实用的。

[0034] 用于吸着剂的基底可以是整料,其例如由二氧化硅材料例如堇青石形成,或者由氧化铝结构形成,或者由具有固有的吸附位置的聚合物材料,例如具有伯胺侧基的聚合物形成。通常该堇青石整料将预期需要比氧化铝基底更多的热。在CO₂具有增加的价值的情形中,将因此产生更大的益处。

[0035] 在操作中,一种体现这种能量增强方法的系统将使用高温热源和微型涡轮机来产生所需的电能。从该涡轮机排出的低温热将用于再生CO₂吸着剂。到CO₂吸着剂的原料将包含环境空气加上来自热源的排气的混合物。在该热源是天然气的情况中,在供入吸着剂之前极少需要预热所述排气。但是,如果使用煤或燃料油,则将需要一些初始的缓解性预处理来除去微粒材料,其否则将堵塞基底孔,以及来除去某些副产物例如硫和氮氧化物,其否则会

使得吸着剂中毒。

[0036] 在计算本发明任何系统的成本效率之前,可以使用下面的等式,其中

[0037] CE/T 等于每吨 CO_2 的能量成本

[0038] $CE/MMBTU$ 等于每百万BTU的能量成本,即 1.055×10^9 焦耳 $\times 1/CE$

[0039] E/T 等于每吨 CO_2 所需能量,以MMBTU来计

[0040] $CO_2/MMBTU$ 等于每百万BTU所排出的 CO_2 的量。

[0041] REV 等于每吨 CO_2 的收入

[0042] 当计算所述系统的操作成本时,锅炉和发电的资金成本应当忽略,并且将假定没有用于燃料产生的 CO_2 的额外的资金支出,而仅是用于燃料的成本。假定这种情况的 SH/HR 等于1.2,其转化为 E/T 等于4MMBTU和 REV 等于\$40.00/每吨天然气, $CE/MMBTU$ 等于\$3.00; $CO_2/MMBTU$ 等于53kg,因此 CE/T 等于 4×3 减去 $40 \times 4 \times 0.053$ 等于\$3.50/吨。

[0043] 另一方面,对于煤来说,每百万BTU的能量成本是高度变化的,但是可以假定等于\$2.50; $CO_2/MMBTU$ 同样等于.092,因此 CE/T 等于 4×2.50 减去 $40 \times 4 \times 0.092$ 等于\$7.60/吨。令人感兴趣的,电的成本将等于从烟道加入的 CO_2 的百分比,即在天然气的情况中是21%和在煤的情况中是37%。

[0044] 此外,对于EOR和商业气体市场的遥远位置来说,收入应当远大于\$40.00/吨,因此进一步降低了所提供的任何能量的净成本,假定用于生产另外的 CO_2 的边际成本是低的。通过使用高温能量来产生电和工艺热来从吸着剂中汽提 CO_2 ,经济性变得极为有利。

[0045] 本发明的这些和其他特征描述在下面的详细说明和附图中,或者从中是清晰可见的。

附图说明

[0046] 图1是根据本发明的一个示例性实施方案,一种用于从大气中除去二氧化碳的系统的框图;

[0047] 图2是一幅地图,其显示了根据本发明的一个示例性实施方案的多单元全球系统,其适于充当全球气候变化系统;

[0048] 图3是现有技术的用于废气的预处理系统的图示,并且其连接到本发明的这种系统中;

[0049] 图4图示了优选的串联形式的系统和技术,用于根据本发明的原理,从带有二氧化碳的空气中除去二氧化碳,和再生所述的吸收或结合了二氧化碳的吸着剂;其中吸收时间约等于再生时间,来实现最大效率;

[0050] 图5是竖直形式的整料介质的图示,其用于从大气中除去二氧化碳和用于从该介质中除去二氧化碳,使用了竖直运动系统或升降机来将该整料在上部空气接触位置和下部再生位置之间移动,其中该空气移动借助机械鼓风机;

[0051] 图6是水平形式的整料介质的图示,其用于从大气中除去二氧化碳和用于从该介质中除去二氧化碳,使用了水平轨迹;和

[0052] 图7图示了图4的串联系统升降机结构之一的截去侧视图,其显示了再生室中的整料。

[0053] 图8是最初显示于所引入的在先申请13/098,370中的二氧化碳除去系统的图示,

其显示了形成本发明的一部分的增加的串联对的二氧化碳除去结构之一。

具体实施方式

[0054] 申请序列号13/098370的系统和方法概念的背景说明-依照共同待决申请(美国专利公布2011/0296872)中所示的系统,已经发现本发明下面的优选实施方案能够处理CO₂的更高浓缩的气体混合物。通过依照这里所述的方法,确保了基底满足本说明书中所述的要求,一种浓缩的CO₂混合物可以有效地和低成本地成功处理,以使得不仅从大气中完全去除了来自于例如发电厂的温室气体,而且本发明的方法将产生一种净减碳效应,从大气中取出比工厂排放更多的CO₂,和因此导致大气中CO₂的总体减少。

[0055] 将带有CO₂的空气送过该吸着剂结构,其优选成形以使得在空气流动方向上的尺寸远小于限定了面朝空气流动路径的表面的其他两个尺寸,例如小了至少一个数量级和优选至少两个数量级。基底结构表面上的CO₂结合位例如伯胺位,必须能够同时结合CO₂,这通常意味着它在环境条件是放热反应,直到该吸着剂结构达到接近于饱和水平;这可以例如通过测量离开该吸着剂结构的空气的CO₂浓度来确定,也称作贯穿量(breakthrough amount)。

[0056] 当达到期望的CO₂贯穿量时,将该吸着剂结构从带有二氧化碳的空气流中除去,并且在密封的再生室中与大气分离,并且汽提掉CO₂和以下面进一步所述的方式,通过暴露于送过该吸着剂结构的低温饱和(在环境压力)蒸汽形式的工艺热,而再生该吸着剂结构。所述蒸汽在它从吸着剂结构前部送出和送过,直到整个吸着剂结构达到均匀的升高的饱和温度为止时,将初始冷凝和将它的冷凝潜热传递给该吸着剂结构,加热该结构,直到温度达到CO₂从吸着剂位汽提的温度,并且通过蒸汽从基底结构中逐出。在该蒸汽接触和加热吸着剂时,它在整料上冷凝,对于约二(2)摩尔的各蒸汽,冷凝它提供了从伯胺吸着剂释放或者汽提一(1)摩尔的CO₂和将该CO₂从吸着剂结构逐出所需的足够的潜热;排气扇/泵也可以用于在汽提掉CO₂时从再生室收集和除去CO₂。这种技术被称作“蒸汽汽提”,并且也在下面进一步描述。出于能量效率和成本的原因,令人期望的是使得蒸汽的用量最小和混入CO₂流出物中,和回收热的冷凝物来重新加热到蒸汽。因此,无论有多少(或者可以)冷凝,通过离开再生室,该冷凝物可以加入到再生室中所产生的中,并且再循环来加热和转化回蒸汽,进一步使用。

[0057] 当从吸着剂结构后端出现的未冷凝的蒸汽的量变得大于新汽提的CO₂时,该汽提方法通常将在蒸汽贯穿开始时终止。用于终止新蒸汽注入的精确条件将如下来确定:当蒸汽方法在每单位蒸汽用量所释放的CO₂的比率方面变得不太有效时,通过平衡所除去的CO₂增加的分数与增加的能量成本来确定。当蒸汽和冷凝物重新加热用于接下来的汽提循环时,需要更换所述能量,即维持CO₂捕集时间和CO₂汽提和冷却时间之间的平衡所需的能量。

[0058] 系统

[0059] 在设计待商业化的包括本发明的系统的结构时,应当考虑下面的设计参数。通常当增加基底上的吸着剂位的负载量时,也希望高胺效率(由所存在的胺位的分数来定义)可用于结合CO₂。这是伯胺优选的原因,也是用于调整所述负载量来使得过量吸着剂导致的孔堵塞最小化的原因。实验结果表明最佳的负载量(其平衡了胺效率与增加的负载量)是40-60体积%的有机胺含量,其相对于它连接到或者它沉积到的孔表面上的多孔基底/骨架。这

可以通过下面的计算来确定,其中:

[0060] P_{cm} = 骨架材料(例如二氧化硅或氧化铝)的密度,单位是kg/立方米

[0061] POR_c = 孔隙率,开放壁面积与垂直于空气流方向的总表面积之比

[0062] PUR = 所释放的 CO_2 与捕集的空气之比, CO_2 的纯度,

[0063] RH = 反应热;

[0064] SH/RH = 显热与再生期间反应热 RH 之比

[0065] S_{avc} = 表面积/骨架体积,单位是1/表面的平方米/立方米

[0066] SH = 显热

[0067] TA = 用 CO_2 填充到饱和的时间,吸附时间,

[0068] TS = 使用蒸汽汽提再生的时间,

[0069] w = 骨架孔壁厚

[0070] d = 平均孔/通道尺寸

[0071] 它们是这种方法设计中要考虑的重要设计参数。在这种模型中,为了便于计算, POR_c 等于平均开放通道面积与总的平均面积之比,忽略了多孔介质壁中的曲面的弯曲性。因此, $POR_c = d^2 / (d+w)^2$ 。该表面积/体积通过 $S_{avc} = 4d / (d+w)^2 = 4POR_c / d$ 来给出。压力降低取决于通道中开口的尺寸,整料的空隙分数,长度和穿过孔的气流的速度。

[0072] 吸着剂结构和吸着剂的通用操作

[0073] 可以使用的基底类型的一个例子是二氧化硅整料,由Corning以商标CELCOR.RTM生产。根据本发明的原理,该整料可以用作吸着剂结构的载体。吸着剂(例如伯胺)通过(例如涂覆于或者以其他方式固定在)一种或多种的CELCOR.RTM.,多孔陶瓷基底上来携带,其在带有 CO_2 的空气流过基底时提供了高表面积和低压降。该吸着剂整料结构可以包括例如多个CELCOR.RTM.多孔陶瓷基底,其作为块堆叠,或者是单个的整料基底,如相关的共同待决申请中所述。其他例子包括公开在申请US2011/0179948中的基底和吸着剂,或者描述在Choi等人的期刊文章,Amine-Tethered Solid Adsorbents Coupling High Adsorption Capacity and Regenerability for CO_2 Capture From Ambient Air,Sunho Choi等人,CHEMSUSCHEM 2011,4,628-635(2011Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.KGaA,Weinheim)中。

[0074] 将该带有 CO_2 的空气导过吸着剂结构的孔。还可以预期的是该吸着剂结构可以如下来形成:将吸着剂材料植入例如CELCOR.RTM.多孔陶瓷结构壁上的氧化铝涂层中,来形成整料吸着剂结构。

[0075] 还要注意的是一种甚至更优选的结构由多孔氧化铝的块形成,代替堇青石的二氧化硅。虽然该氧化铝结构没有二氧化硅结构在物理和/或热方面那样坚固,但是在这种环境温度捕集方法中所遇到的不太苛刻的条件以及相对低温的汽提方法,允许使用不太坚固的结构。另外,应当注意的是除了上述陶瓷结构,无机材料之外,所述基底,吸着剂结构可以是有机材料例如由聚合的多胺,通过将该胺聚合物交联来形成固体聚合物而形成,该固体聚合物应当能够在足够低的温度挤出,在该温度时,所述聚合物不挥发,在用于再生吸着剂的汽提蒸汽的温度(即在高到120°C)也不软化。

[0076] 通常当增加负载量时,也希望高胺效率(由所存在的胺位的分数来定义)可用于结合 CO_2 。这是伯胺优选的原因,也是用于调整所述负载量来使得孔堵塞最小化的原因。实验结果表明最佳的负载量(其平衡了胺效率与增加的负载量)是40-60体积%的有机胺含量,

其相对于它连接到或者它沉积的孔表面上的多孔基底/骨架。

[0077] 如果 N_s 是每平方米孔表面的 CO_2 结合位的数目, A_v 是Avogadro值,和如果骨架结构的材料的密度是 P_{cm} ,则该多孔骨架将具有通过 $P_c = (1 - POR_c)P_{cm}$ 给出的密度 P_c ;则吸着剂结构的负载量 L (mol/kg)如下来给出:

$$[0078] \quad L = N_s \text{ Savc} / A_v \quad P_c = 4N_s \text{ POR}_c / A_v \quad d \quad P_{cm}(1 - \text{POR}_c)$$

[0079] 如果解决了上述用于 POR_c 的表达,会发现

$$[0080] \quad L = (4N_s / A_v \quad P_{cm})(1 / (2w + w^2/d))$$

[0081] 因为令人期望的是使得所述结构所吸附的 CO_2 的负载量最大化,该多胺吸着剂提供了期望的高 N_s 。在任何情况中,从上面的分析很显然优选的是在多孔载体的孔/通道之间具有尽可能薄的壁。负载量(mol/kg)是一阶,独立于孔的尺寸,并且 S_{avc} 下降,因为孔隙率通过使得孔尺寸更大而增加,通过降低多孔载体的密度 P_{cm} 来取消一阶。

[0082] 可以插入用于 A_v 和用于 P_{cm} 的值 $2,500 \text{ Kg/m}^3$ (备注:取石英和气相法二氧化硅的值中的差值的平均值)和将 N_s 转化成 N_{sn} ,其是每平方纳米的连接位的数目,其中

[0083] w 和 d 是纳米单位的,来获得:骨架结构的 $L = 1.33(N_{sn}/w(1+w/2d)) \text{ mol/kg}$ 。对于 $N_{sn} = 5$ 个位/平方纳米和 $w = 2$ 纳米,约0.5的孔隙率产生了每克为 400 mm^2 或 $160,000 \text{ mm}^2$ 的表面积,和骨架结构的 $L = 2.5 \text{ mol/kg}$ 。

[0084] 实际的 CO_2 负载能力(单位为 kg/m^3 输入空气, L_d/a ,其中载体壁厚是 W_e 和整料长度(在空气流动方向上)是 L_m)通过下式给出: $L_d/a = L(0.044)(P_{cm}(1 - \text{POR}_c))S_{avm} \quad W_e \quad L_m$,其代替了 L ,

$$[0085] \quad L_d/a = (N_s \text{ Savc} / A_v \quad P_{cm}(1 - \text{POR}_c)) \times (0.044)(P_{cm}(1 - \text{POR}_c)) \times S_{avm} \times W_e \times L_m;$$

$$[0086] \quad L_d/a = N_s(0.044)/A_v(S_{avc} \times S_{avm} \times W_e \times L_m), \text{ 代替 } S_{avc},$$

$$[0087] \quad L_d/a = N_s(0.044)/A_v \times (S_{avm} \quad W_e \quad L_m) \times (4/d(1+w/d) \cdot \text{sup.} 2)。$$

[0088] 在一个例子中,对于一定量的 CO_2 (单位 $\text{kg}/\text{输入空气面积m}^2$),使用Corning 230孔CELCOR整料,孔流动长度 L_m 是0.146米,表面积/整料体积 S_{avm} 是约 $2000 \text{ m}^2/\text{m}^3$,和整料的孔壁厚 W_m 是0.265mm,由 $L_d/a = L(.044 \text{ kg/mol})(P_c \quad S_{avm} 0.146 W_m)$ 来确定。一个通用的设计标准是使得 L 和 L_d/a 尽可能大,其被压力降限制因素所限制,即,受限于风和/或风扇阵列的力,其在本发明的第一实施方案中遇到,该方案使用了用于230个孔的Corning整料的 S_{avm} 的模拟结果,并且在空气流动方向上的孔长度是0.146m和输入空气流速是 2.5 m/s 。

[0089] 该整料的壁应当具有期望的 POR_c ,和连接位数,来提供高的 N_{sn} 。 W_m 基于优化(最小化)压力降/ S_{avm} 来确定,其基于其他限制因素(见下面),又将受限于以下限制,即多小可以使得 W_m 具有可接受的负载量。应当注意的是, L 随着 w 降低而增加,和对于固定的 w ,当增加孔尺寸时, d 增加,但是 L_d/a 降低,因为随着孔隙率增加, P_c 降低。在通常的术语中,该优化设计具有可能最小的 w ,和孔隙率,其平衡了孔尺寸对于下述性能参数的影响。必须要记住的是,胺化合物可以以液体形式浸渍到整料的孔中,以及或者代替地,负载到孔结构的壁上。

[0090] 按照本发明的空气捕集是相对温和的条件。本发明的这个特征允许使用明显不太坚固的整料结构。具体地,这允许使用相对薄的壁,其由具有高孔隙率的材料制成,在其上沉积了吸着剂;一种这样的材料是氧化铝。使用通常不太坚固和因此制造成本不高的材料,这将节约成本。为了防止吸着剂降解,在吸附阶段,将它暴露于空气(氧气)之前,必须将再生的整料冷却降温到低于 70°C 。该冷却降温必须快速进行,来使得整料吸附 CO_2 的时间最大

化。在不可冷凝物的存在下,在短时间内(即10-20s)需要除去大量的热(对于目前的系统是约 10^9 焦耳-是氧化铝情况的约2/3多)是非常大的挑战;作为另一挑战,经济性要求避免对于具有快速水流的大型冷凝器的需要。虽然这可以与几个单元共享,来摊薄它的成本,但是它会有成本影响,并且对于热回收不是有效的。另外,下面的方案也对所用的蒸汽和水和 CO_2 纯度产生积极作用。此外,这种理念可用于这样的吸着剂系统,其当使用较高浓度的气体混合物时串联作用,但是也可以用于仅对环境空气运行的单个吸附系统。

[0091] 在该系统中,如图4所示,密封的盒3051包括整料阵列3041,其刚刚完成蒸汽再生和 CO_2 捕集,并且蒸脱(steam off)压力是约0.7-0.8巴绝压,大部分 CO_2 通过管线3021取出,该管线已经封闭。在那时,盒3052包括整料阵列3042,其已经下降(在从空气混合物中吸收 CO_2 之后)进入再生盒3052中,并且盒3052被泵送出来将盒3052降压到0.1巴绝压,其允许45 $^\circ\text{C}$ 的饱和蒸汽温度。通过降低盒压,最终的结果将是再生的吸着剂中汽提的更大纯度的 CO_2 ,这是因为空气的量当然仅是初始的1巴绝压大气的10%。当使用电能时,将盒中空气抽气到期望压力的成本小于移动100帕压力降的air的成本的10%。

[0092] 另外量的蒸汽可以加入盒3051来使用蒸汽力逐出所述盒中的剩余 CO_2 ,其也驱使了一些另外的冷凝物来聚集在整料阵列3041的孔中。当盒3051暴露于盒3052的低压时,通过管线3014,盒3051中的任何蒸汽和热冷凝物将突然膨胀和蒸发,产生进入盒3052的初始蒸汽爆破。盒3051出口管线3014(当盒3051和盒3052达到平衡时)封闭,并且盒3052与蒸汽分配器输入管3012连接。来自盒3051的这种蒸汽爆破,加入到盒3052中在盒3052的冷却器整料阵列上冷凝,升高了它的温度。该蒸汽爆破还用于当冷凝物蒸发和任何的蒸汽膨胀时,快速冷却整料阵列3041。来自盒3051整料阵列的水蒸发的这种初始蒸汽爆破的速度被设计来达到这样的速度,其至少是空气流速的10倍,或者0.5mps。两个连接的盒(盒3051和盒3052)在低于 $T_{\text{再生}}-T_{\text{空气}}/2$ 的温度达到平衡,这是因为一部分热将通过来自盒3052的汽提的 CO_2 而除去。

[0093] 盒3051和盒3052之间的连接3014在盒3051达到低温时然后封闭,并且将工艺蒸汽引入穿过管线3012进入盒3052,并且使得压力增加到0.7-0.8巴绝压,该工艺蒸汽从整料阵列3042中汽提了 CO_2 。该工艺蒸汽将整料阵列加热到 $T_{\text{再生}}$ 温度,并且当 CO_2 收集下降到较低速率时,其给出了吸着剂在盒3042中的再生完成的信号。在初始蒸汽从盒3051中爆破后,盒3051中较低的压力(其由于整料阵列3041上热的冷凝水蒸发而形成)也将整料阵列3041的温度快速降低到低于70 $^\circ\text{C}$,其允许引入空气来将整料阵列3041进一步冷却下降到它的吸附操作温度,其基本上是环境温度。该冷却的整料阵列3041在它进行空气冷却时升高到吸附位,接收新的带有 CO_2 的空气或者混合的高浓度气体。当整料阵列3042变成充分汽提的和整料阵列3041从空气捕集区返回进入密封的盒3051时,将这个循环反向重复。

[0094] 除了显著降低的冷却时间之外,在水中和使用热的优点是清楚的,都节约了至少2倍。基底提供了非常好的散热器,这归因于它们的大表面积和薄孔壁。来自盒3051的盒3052中浓缩的二氧化碳和冷凝蒸汽经由管线3022从盒3052回收到捕集容器,并且管线3022中的阀关闭,蒸汽从管线3012送入盒3052中。

[0095] 虽然本发明的二氧化硅基整料阵列(即堇青石)具有足够的热导率,但是氧化铝整料阵列将具有进一步改进的传导率和因此当与盒3051中的冷凝水的蒸发和盒3052上蒸汽爆破的冷凝相组合时,将产生甚至更快的冷却。已经显示热交换效应是 10^9 焦耳,在10秒内

导致整料阵列3041冷却到低于70°C的温度。这种方法避免了用于分别的水冷却的冷凝器的任何另外的成本,并且超过工艺蒸汽所用的水当然是不必需的。

[0096] 令人期望的是,使得整料阵列3041或盒3042整料阵列中,不发生CO₂吸附期间的的时间尽可能最小化。这如下来实现:将两组整料阵列串联操作,优选并排操作,以使得所述两个盒的循环可以分阶段布置,以使得当一个吸附时,另一个再生,来允许冷却一个来产生另一个的加热,如上面所解释的。这使得最短的期间,在其过程中在两种整料阵列中没有发生吸附,和实际上,所述对的成员优选限制到冷却步骤的每个循环稍大于10s。当使用这种双串联循环时,较高浓度CO₂气体混合物的处理会更成功。

[0097] 作为进一步的能量和设备节约,如图4所示,所述串联对可以充当彼此的升降机配重,因此降低了每个升高和下降循环所需能量的量,同时也降低了如果使用更常规的配重系统时所需升降机系统的数目,包括发动机和配重。但是这样的系统需要仔细平衡捕集和汽提循环每个所需的时间,包括加热和冷却整料阵列,和捕集和汽提CO₂。

[0098] 已经证实了化石燃料燃烧器,特别是天然气点火的共发生设施(cogen)可以有效地但是最低程度地预处理,来除去一些CO₂和任何潜在的堵塞或者有毒杂质,相对于本发明方法的整料阵列。随后,该预处理流出物可以用环境空气稀释,并且用作整料阵列的原料。虽然某些气体点火的燃烧器仅需要最小的预处理来除去问题杂质,但是通常来自燃煤锅炉的废气需要广泛的预处理来除去微粒和任何化合物(其会使得吸着剂中毒或者其倾向于降解基底)。在一个实施方案中,将来自该共发生方法的预处理的废气与另外的环境空气一起注入到本发明的吸附系统中。在这种混合方法中,空气中的CO₂浓度明显增加(甚至使用小比例的另外的废气),以使得该吸附步骤可以在与再生步骤相当的较短时间内进行。在一个优选实施方案中,平行组的吸着剂/再生模块与现有的设施串联操作。即,一个将吸附CO₂,而另一个再生,反之亦然。这模拟了CO₂连续的捕集。该方法通过两个阶段:CO₂吸附和例如涡轮机排气的再生来表示,如附图的图1所示。在一个优选系统中,两对一起操作,以使得每个受限的(tethered)对可以充当彼此的平衡,由此节约用于升降机的资金成本。

[0099] 在阶段1中,大气空气与共发生的废气混合,并且将该混合物送过CO₂吸附模块。这种方法使用了低成本的高孔隙率陶瓷基底(整料),例如用于汽车催化转化器的那些,例如堇青石,一种二氧化硅产品。CO₂被捕集到固体吸着剂上,其结合到和被基底所负载。所述吸着剂在吸附和汽提二者期间,或者在再生的操作条件下不蒸发或者溶解。同样,用于本发明的效力的基础是汽提和吸附二者在相对低的温度操作。

[0100] 如前,阶段2如下来提供了吸着剂的再生:使用低温加工(蒸汽)在分别的再生室中汽提吸附的CO₂,优选位于这样的高度,其不同于、优选低于吸附外壳位置。这允许简单升降机系统将整料阵列吸着剂3041在两个水平之间移动。在发达地区,这里土地具有价值,所述竖直偏移排列具有减少的面积。在不太发达地区中,例如极地地区,并排排列在布置时会是优选的,并且例如沿着轨道的侧面移动可以优选用于代替升降机。

[0101] CO₂和蒸汽冷凝物是来自于阶段2再生器的唯一流出物。通常,已经显示了当在这里所述的温度操作时,该蒸汽冷凝物液体基本上没有用它除去的吸着剂材料。该方法从环境空气中吸附CO₂和可以产生相对纯的CO₂产物气体流,其适于储存(sequestration),或者更有意义的,适于进一步的工业用途。这样的用途的一个例子是使用CO₂作为生物系统的原料来产生新燃料。CO₂捕集效率具有能量使用的度量,并且吸着剂参数基于进料流中的CO₂浓

度和提供到吸附系统的任何天然可利用的空气速度(即主风(prevaling wind))来确定。该效率也进一步通过来自用于从吸着剂中汽提CO₂和再生该吸着剂的共发生方法的饱和的相对低的温度蒸汽可利用性来确定。通过提供相对纯的CO₂废气,这样的CO₂除去成本最小,或者当使用该CO₂例如来培育藻类(其能够提供新燃料),用于油田中来增强石油回收率,或者用于其他商业或者工业应用(现在提出的或者其在未来会变成可利用的)时,甚至会是是有利可图的。培育用于生物燃料的藻类被预期是使用这种方法的二氧化碳产物的主要利润核心。

[0102] 串联操作:

[0103] 作为这种方法的进一步改进,已经发现通过整合所述吸附/再生单元相邻的模块来优化每个单元的性能,能够实现显著量的资金和能量节约。

[0104] 已经发现所述系统的操作和经济性可以通过快速冷却该再生的整料到低于这样的温度来优化,在该温度时它将与环境空气接触降解。虽然具体的温度将取决于所用的吸着剂和整料的性质,但是对于堇青石基底和胺吸着剂,这个温度限度低于70℃,目的是避免整料在环境空气存在下过度降解。另外,这应当作为规则的一部分,完成来最小化到与需要加入到所述方法的外部提供的热的量尽可能相同的程度,同时收集从吸着剂所除去的高纯度CO₂。

[0105] 为了优化这种系统的整体效率,和为了获得有效的操作系统,再生后整料的冷却必须非常快的完成,以使得通过吸着剂在整料上捕集CO₂的步骤可以与再生步骤同步进行。最有利地,该冷却降温应当优选在不大于约10秒内完成,以使得二氧化碳没有被整料吸附的时间最小化。基于本发明,这种效应可以根据下面的加工参数的使用来实现:

[0106] 已经发现通过将多个模块的操作串联组合,当处理环境空气和烟道来源的气态流出物(其加入来将进料气体中的CO₂的浓度增加到高于环境空气数倍)的均匀混合物时,提供了一种高效的系统。另外,从汽提步骤获得期望纯度的CO₂要求在CO₂从吸着剂中汽提之前,所述再生盒具有排出的空气的大部分。该第一阵列整料3041刚刚已经通过完全的蒸汽再生循环,并且二氧化碳废气压力是约0.7-1巴。串联操作的第二整料阵列3042在完成CO₂吸附步骤之后已经下降进入再生室,并且再生室3042中的空气抽气到0.2-0.1巴(其提供了饱和温度分别是60℃-45℃的蒸汽)。该空气排出允许提高再生后从再生室抽出的汽提的CO₂的纯度,并且在整料阵列已经进入所述室和所述室密封之后排出空气的成本是相对少量的能量(通常是电能形式)。

[0107] 这两个串联阵列在T=0是同步的,来满足这些条件。在那一点时,第一再生的阵列盒3041的出口切换到盒3042的输入管,以使得当管线3014由于大的压力差(0.7-1到0.2-0.1巴)而打开时,盒3041中所捕集的和通过盒3051中的整料阵列蒸发性冷却所产生的任何蒸汽被泵入盒3042中,并且该蒸汽然后冷凝到盒3052中相对冷却的整料阵列3042上,升高它的温度,如再生所需的那样。以此方式,当冷却时,从第一整料阵列中除去的热被直接转移到第二整料阵列,来提供至少初始热来增加它的温度。从盒3051进入盒3052的蒸汽爆破以快的流速发生,并且优选的流速是至少约0.5m/s,目的是实现10秒的目标。两个再生室之间大的压力降应当使得这是可行的。当该方法完成时,所述系统处于冷却时间(T_{冷却})。

[0108] 盒3052优选泵送下降到0.1巴绝压,但是当盒3052达到0.15巴绝压的压力时,盒3051相对于盒3052关闭。这将导致盒3052中产生令人期望的空气减少,和因此进一步提高

最终所除去CO₂的纯度。在盒3051和盒3052之间的连接关闭之后,使得用于再生的蒸气进入盒3052中,并且初始冷凝在整料阵列3042上(其已经预先升温到某种程度)。当CO₂从整料阵列上的吸着剂中被除去和送入盒3052中,并且通过最终的蒸汽逐出时,允许蒸汽进入导致压力累积到约0.7-1巴绝压。作为CO₂和蒸汽收集结果,通过使得盒3052中的压力增加到0.7-1,盒3052如盒3051那样在T=0终止,其包括了当CO₂从整料阵列上的吸着剂中除去时收集它。达到这一点的时间等于T_{冷却}+T_{收集}(到收集再生的CO₂的时间)。

[0109] 同时,当它升高到吸附位时,将该冷却的整料阵列3041暴露于空气和环境温度。整料阵列3041返回到吸附位的时间等于T_{冷却}(到冷却整料阵列3041的时间)+T_{升降}(到整料阵列升高到吸附位置的时间)。整料阵列3041暴露于空气流,并且在T_{吸附}的时间,直到所述吸附达到期望的程度,如饱和的百分比,或者平衡。要注意的是,为了以最有效的方式来操作此,对于进料气体中的CO₂的浓度,吸附不要持续到平衡,而是通过从较低水平的吸附位置除去来终止,其通常处于平衡量的80%-90%。

[0110] 为了将这种结果构建成数学式,可以说明的是T_{冷却}+T_{收集2}等于T_{冷却}+2T_{升降}+T_{吸附1}。要注意的是T_{收集}和T_{吸附}可以独立调整,来达到这个期望的结果。因为通常令人期望的是使得T_{吸附}最大,通常T_{冷却}和T_{收集}应当最小化到可行的程度,并且T_{升降}应当保持在低值。

[0111] 当处理混合的高浓度CO₂气体时,令人期望的是两个串联模块每个具有两个模块阵列,并且每个串联模块的两个前盒和两个串联模块的两个后盒将连接,以使得从空气中处理和除去CO₂的循环将仅是彼此异相的1/2循环;在处理没有加入CO₂的环境空气的情况下,串联设计不是必需的,但是T_{吸附}可以高到T_{收集}的10倍,以使得如果要分段执行10个装置(其中装置N将提供用于装置N+1的1/2显热),则原则上,来自N10的热能够再循环回到N1,但是效率的增加可能不足以抵消成本。这种类型的串联系统使水和热的用量几乎减半,并且消除了使用冷凝器或其他冷却辅助手段,以及对于分离冷却水的需要。

[0112] 该整料基底提供了大型散热器。作为它们的大表面积、薄多孔壁和在许多情况中良好热导率的结果,当蒸汽经过多孔整料时,通过冷凝该蒸汽来提供快速冷却。

[0113] 已经发现,通过产生这种过程集成的系统,可以增加吸着剂的寿命,可以降低热需求和水用量,同时可以增加CO₂产物的纯度。还已经发现资金和能量节约通过整合相邻的模块来获得。此外,它也对于单个模块的性能具有显著影响。因此,成本有效解决了下面三个处理目标:

[0114] 目标1. 在将它们暴露于空气之前,将目前的实施方案(即堇青石)的整料冷却到低于70°C,来防止降解。必须要注意的是,另外的吸着剂可以是更耐氧的,以使得温度不必降低得那么大;但是,整料的温度越低,CO₂吸附越快。

[0115] 目标2. 在所述方法中使用尽可能少的热;和

[0116] 目标3. 收集高纯度CO₂。

[0117] 目标1已经变得越来越重要,这是因为在汽提后需要非常快的冷却所述整料,因为该整料阵列通常在所述方法的该点具有大量显热。用于冷却的设计目标是10秒,目的是使得未吸附CO₂的时间最小。现有技术相信需要分别的冷凝器来实现这个结果。但是,已经开发了使用冷凝器的许多替代选项,但是因为它们全部都需要非常大的表面积和大量的冷却水,由于它的除去需要大量热和短时间,因此它们尚未获得实际应用。确实如此,不管所用的整料基底的性质如何;虽然堇青石需要除去大量的热,但是另一类型例如氧化铝整料

需要显著程度的较少量。但是,甚至对于那些类型,分别的冷凝器也未获得实际应用。其他吸着剂负载整料会需要除去甚至更少的热,但是在任何事件中,使用冷凝器已经显示出在几乎任何可行的情形下是低效的。

[0118] 目标2也无法通过使用冷凝器来满足,因为传热到冷却水(这里水温需要保持在低温,来用于有效的传热速率)使得它几乎不可能经济地回收热,和因此不能降低系统所需的净能量。

[0119] 最后,目标3要求在收集CO₂之前,从再生盒3052除去所捕集的空气。另外,通过设计用于活塞流的系统,以使得在系统切换来收集CO₂之前,产生的CO₂将逐出空气,剩余空气首先从再生室中除去。为了实现至少95%的目标纯度,高度的活塞流是令人期望的。活塞流要求没有组分随温度的径向浓度差和在气体流动方向上没有轴向混合。当在单模块中处理环境空气时,或者当在串联模块系统中处理CO₂高浓缩气体时,可以实现此。下面的文本仅考虑了两个相邻的串联分子来说明所述方法。该方法步骤如下:

[0120] 盒3051/整料阵列3041:该整料阵列处于密封的再生盒3051中,并且刚完成蒸汽再生和CO₂收集;-蒸脱压力是约0.7-1.0巴绝压。这可以包括在贯穿后将一些外部的蒸汽引入来逐出任何剩余的CO₂(见下面)。

[0121] 在捕集CO₂后,盒3052/整料阵列3042刚经降低进入密封的再生盒3052中。将盒3052抽气到0.2-0.1巴,其分别在那些压力提供了60°C和45°C的蒸汽饱和温度。空气的这种排出当然将大大有助于CO₂产物的纯度,这是因为空气的量仅是环境空气的20-10%,并且使用电能泵送一盒空气的成本小于在100帕的压力降时移动空气的成本的10%,并且在目前的实施方案中仅是5%。

[0122] 在这种方法之前,我们预期在再生后仅抽气来冷却,并且如果我们还想在再生之前抽气来改进纯度,则将必须将它进行两次。两个相邻模块的这种整合用单次排空同时实现了这两种任务。可以调度两个相邻的模块,其具有独立的循环,以使得它们同时都达到它们的上述条件。可以将此称作T=0。

[0123] 从二氧化碳捕集中除去二氧化碳和冷凝蒸汽与一些蒸汽和冷凝蒸汽进入分离室一起进行,在其之前通过完成汽提和CO₂从整料3041排出,盒3051输出管3021然后切换到封闭,和盒3051敞开来来自盒3052的蒸汽分配器输入管3014。盒3051所捕集的和通过整料阵列3041蒸发(冷却)所产生的剩余蒸汽通过大的初始压力差(-0.7-1:0.2-0.1巴绝压)“泵”入盒3052中,并且冷凝在盒3052中的冷却整料阵列上,升高它的温度。这样从整料阵列3041除去来冷却它的热被直接转移到整料阵列3042,来加热它。来自整料阵列的水蒸发的这种初始蒸汽爆破速度要求至少为目前用于蒸汽再生的5cm速度的10倍,或者0.5m/s,来满足10秒的设计目标。当整料阵列中存在大质量流量和低压力降时,给定大压力差,这应当易于实现。所述两盒将在0.2-0.1巴绝压的蒸汽的饱和蒸气温度达到平衡,其是60-45C。

[0124] 为了确保所述方法足够快,优选的是将盒3052中的压力降低到0.1巴绝压,但是盒3052的出口阀在0.15巴绝压封闭。所寻求的温度将取决于所限制来使得降解最小化的最大温度。所述泵将在它上面具有检查阀,并且如果在盒3052中存在着CO₂累积(其是不太可能的,因为在低温时,CO₂的分压低于0.15巴绝压将代表的15%),则将仅在初始泵送之后泵送。因此吸着剂将可能将CO₂的分压保持低于1%。可以如下来调整这个:在我们打开阀3014之前,我们在盒3051中留下了多少CO₂,其又会逐出剩余空气,进一步增加纯度,甚至在再生

方法开始之前也是如此。冷却时间加上蒸汽切换和转接的时间 = $T_{\text{冷却}}$ ；然后关闭盒3051和3052之间的连接3014，并且通过管线3012将正常的蒸汽源引入盒3052中；该蒸汽冷凝在预升温的整料阵列3042上，并且在开始 CO_2 收集之前，通过 CO_2 的存在，让压力累积高到0.7-1，并且以较慢的速率完成该蒸汽再生方法和 CO_2 收集，来完成盒3052的再生—在盒30511开始的情况中，由盒3052来终止。这花费了时间 $T_{\text{收集}}$ ，所以盒3052所消耗的总时间是 $T_{\text{冷却}}+T_{\text{收集}}$ 。

[0125] 当冷却的整料阵列3041升高到吸附位时，冷却的盒3051返回环境压力。它花费了总时间 $T_{\text{冷却}}+T_{\text{升降}}$ ，和吸附时间是 $T_{\text{吸附}}$ ，因此下降总消耗时间 $T_{\text{冷却}}+2T_{\text{升降}}+T_{\text{吸附}}$ 。为了使得两个盒处于同相，以使得它们可以在需要时前后交换它们的热

[0126] $T_{\text{冷却}}+T_{\text{收集}} = T_{\text{冷却}}+2T_{\text{升降}}+T_{\text{吸附}}$

[0127] 因为 $T_{\text{收集}}$ 和 $T_{\text{吸附}}$ 是独立的可调整的，因此这种条件会易于满足。为了最大化 $T_{\text{吸附}}$ ，会想到最小化 $T_{\text{冷却}}$ 和 $T_{\text{收集}}$ 和具有低 $T_{\text{升降}}$ 。对于汽化器和串联设计的情况，两个相邻的模块每个将具有两个模块阵列，并且将两个前盒和两个后盒每个相连，以使得在工作循环中不存在损失，它们将是彼此异相的一半周期。

[0128] 在仅是空气的情况中，非串联设计是有用的，这里 $T_{\text{吸附}}$ 可以是 $T_{\text{收集}}$ 的10倍，原则上可以分段执行10个装置，这里装置 n 将提供用于装置 $n+1$ 的1/2显热。原则上也可以将来自 $N10$ 的热再循环回到 $N1$ ，但是将仅获得额外的5%热效率，具有很大的附加成本和复杂性。

[0129] 这种方法在水中和热使用中的优点是明显的，通过两种输入的两倍而降低了接近一半。不存在用于大型冷凝器的额外的资金成本，并且也不需要任何冷却水。基底是大型散热器，这归因于它们的大表面积和薄壁，并且氧化铝具有良好的热导率和因此提供了冷凝蒸汽的可能的极快的“冷却”。

[0130] 为了证实这些优点，下面的计算说明了这种系统的基本性能在于能够使用前述系统，以足够的速率除去再生的整料阵列的热，以满足10秒的设计目标。虽然使用整料作为散热器以前已经是公知的，但是以这样的方式和在从空气中捕集 CO_2 的这种方法的上下文中使用它们是未知的或者未建议的。

[0131] 基本性能

[0132] 为了在目前的系统中操作，必须从640个单个整料的热量的整料阵列中蒸发22Kg的水/蒸汽，来将该阵列例如整料阵列3042从110°C冷却到55°C和在10秒内将该蒸发的蒸汽冷凝到冷却的例如整料阵列3041上，来预热该阵列。处于这个温度范围的蒸汽的潜热是 2.3×10^6 焦耳，这样需要在 $T=10$ 秒中除去 $HR=50.6 \times 10^6$ 焦耳。

[0133] 单个整料的表面积相当大。在每个6in×6in×6in整料中存在着 6.4m^2 ($N_c=230$ 孔/in², $SA=$ 表面积/整料= $4s N_c L FA$)，其中 s 是开口=1.3mm, 36.8×10^4 孔/m², $L=.15$)。对于640个整料的标准单元阵列例如单元3041或3042，总表面积是 $TSA=4,216\text{m}^2$ 。

[0134] 因此，所需的10秒内的热通量是 $TFN=HR/TSA=12 \times 10^3$ 焦耳/m²，其相当低；即使存在着任何不可冷凝的气体，该蒸汽也将足够快地冷凝来冷却所述单元。唯一的问题是热能否足够快地除去。要注意的是，冷凝水（其倾向于限制大部分冷凝系统中的传热）不太可能在这种情况的传热中出现大的问题。22kg水占据了 $22 \times 10^{-3}\text{m}^3$ ，其如果除以 $TSA4,216\text{m}^2$ ，则将产生仅0.005mm的水深，甚至不考虑一些水将处于壁的孔中也是如此。此外在这些低温和压力，整料本身上的吸着剂将除去和固定 CO_2 ，这限制了气相中 CO_2 浓度的任何累积。

[0135] 氧化铝的热导率 k 是18瓦/m/°K，但是因为它是多孔的，因此假定 $k=10$ 瓦/m°K。由

于TF,整料壁中的10秒中的热通量/ $m^2 = kT(\Delta \text{温度}/w)$,其中w是整料的1/2通道壁厚。采用保守的w值0.2mm,和对于仅 $10^\circ K$ 的 $\Delta \text{温度}$, $TF = 5 \times 10^6$ 焦耳/ m^2 ,其远大于TFN。潜在性能超过了足够量的要求,它增加了以非常快的速率进行 CO_2 收集的可能性。这会使得非常短的循环时间成为可能,其会具有其他益处。最显著的是使得能够使用短整料阵列来捕集混合气体情况中处于非常高浓度的 CO_2 。可选地,也可以考虑较小尺寸的模块阵列单元,用于少量的废气,因为它们的生产率将非常高。

[0136] 在该基础的实施方案中,对于在单元3051中在再生后处理整料阵列来将它冷却降温和同时传热到单元3052中相邻的整料阵列来说,载有 CO_2 ,可以假定负载的整料阵列的温度与输入进料环境空气废气混合物(其具有8倍增加的 CO_2 浓度)温度相同。应当注意在一些情形中,令人期望的是排列来加热单元3052中的整料阵列,这归因于 CO_2 吸附因此存储了反应热。例如通过减少在吸附过程中可用于冷却的冷凝水;这可以甚至更大地升高所述方法的整体热效率—

[0137] 在基础的情况下,可以节约一半的显热—在这种情况下,它将是1/2反应热+1/2显热之和。

[0138] 可以考虑这个,通过调整它的操作温度来增加气体混合热效率:最佳结果将取决于整料的氧化性降解的温度相关性。通常,将考虑吸着剂的反应热,和每吨 CO_2 的显热与反应热之比(例如整料壁的负载量和材料和密度)。

[0139] 一旦不可冷凝的气体的浓度降低到实现所需的冷凝速率所需的水平,则接下来的挑战是足够快的除热。如Martin和其他人所指出的一这是质量问题(多少冷却剂-比热)和热导率问题(多快可以从冷凝表面除热)。

[0140] 在图8的实施方案中(取自所引入的在先申请13/098,370,其中仅显示了成对二氧化碳除去结构之一,但是增加连接到第二再生室2006A),二氧化碳除去结构在 CO_2 捕集区2003和可密封的 CO_2 汽提/再生室2006之间移动。当基底移动到 CO_2 汽提室2006(即图8所示的较低位置)时,该基底基本上处于环境温度,这归因于当移出二氧化碳捕集室时,基底中冷凝蒸汽的冷却效应,吸附活动的反应热已经通过水的蒸发效应并结合空气(从其中除去 CO_2)的吹出质量(其远大于 CO_2 的量)的对流效应而除去。

[0141] 在基底2002和室2006中所捕集的任何空气可以例如通过空气排出泵2023泵出,或者甚至通过排气扇排出,来在室2006中形成部分真空。接着,将工艺热(例如处于来自蒸汽共发生器2019的饱和蒸汽的形式)引导至并穿过二氧化碳捕集室2006中的载有 CO_2 的基底2002。

[0142] 二氧化碳通过相对热的蒸汽的流动来从吸着剂除去(汽提掉);进入蒸汽的温度不大于 $130^\circ C$ 和优选不大于 $120^\circ C$,最优选不大于 $110^\circ C$ 。在多数情况下, $100^\circ C$ 的蒸汽温度是足够的。包含主要的二氧化碳和一些蒸汽的蒸气流出二氧化碳捕集室2006,通过排气管2008进入分离器3009,这里液体水如所示进行分离,并且所存在的至少一些蒸汽冷凝。液体冷凝水与气态汽提的 CO_2 分离。一些蒸汽(其在汽提方法过程中在吸着剂结构本身中冷凝)将收集在再生室底部的排水管中(例如通过将所述结构倾斜稍偏离水平,并且送入容器20中),或者在大部分 CO_2 已经从室3009中除去后,在泵出成对的第二再生室2006A时通过暴露于低压而蒸发。留在多孔基底结构中的冷凝水将在混合的环境空气在吸附步骤期间送过二氧化碳除去结构时蒸发。

[0143] 从再生的吸着剂中汽提的CO₂依次泵入存储容器2012,其中它保持在稍高的压力来用于即刻使用,例如来提供富含CO₂的大气来增强藻类生长,或者该二氧化碳气体可以依靠压缩机2014压缩到较高压力,用于长期存储或者通过管线送到远处最终使用,例如储存或者处理油井或天然气井来改进生产。在任何压缩阶段中,CO₂通过冷凝任何剩余水蒸气来进一步净化,该水冷凝物又通过已知手段与CO₂分离。

[0144] 所述理念可以用于二者串联(其是优选的实施方案),但是也可以用于非串联的情况。盒/整料1已经完成蒸汽再生,并且蒸汽关闭。盒3052在吸附CO₂后刚降低,并且开始从盒3052中泵出空气,来将盒3052中的压力降低到0.2-0.1巴绝压。将盒3051输出管切换到盒3052的蒸汽分配器输入管;来自盒3051的蒸发冷凝水的蒸汽在盒3052中相对冷却的整料上冷凝,升高了它的温度。来自整料的水蒸发的这种初始蒸汽爆破的速度需要至少为目前速度的10倍,或者0.5m/s;这将有助于分散所述加热,但是仍将比空气的情况陡峭5倍,因此没有蒸汽从后端出来。两个盒将在小于 $(T_{\text{再生}} - T_{\text{空气}})/2$ 的温度达到平衡,因为一些热将通过蒸发CO₂而消耗。然后关闭3051连接,并将蒸汽从蒸汽源引入盒3052中,来完成加热到 $T_{\text{再生}}$ 和以较慢的速度收集CO₂,来完成盒3052的再生。含有冷却的整料阵列3041的盒3051然后暴露于环境空气,并且升高到吸附位置。

[0145] 一种不利的减碳方法是,在短时间内盒3051和盒3052二者没有从空气中吸收CO₂。在盒3051和3050是并排的空气捕集的情况中;用于这两个盒的循环可以分段执行,以使得二者在工作循环中没有减少。同样在串联应用的另一实施方案中,如果整料是背对背排列的,则一个盒将在与捕集方向相反的方向上进行蒸汽汽提。

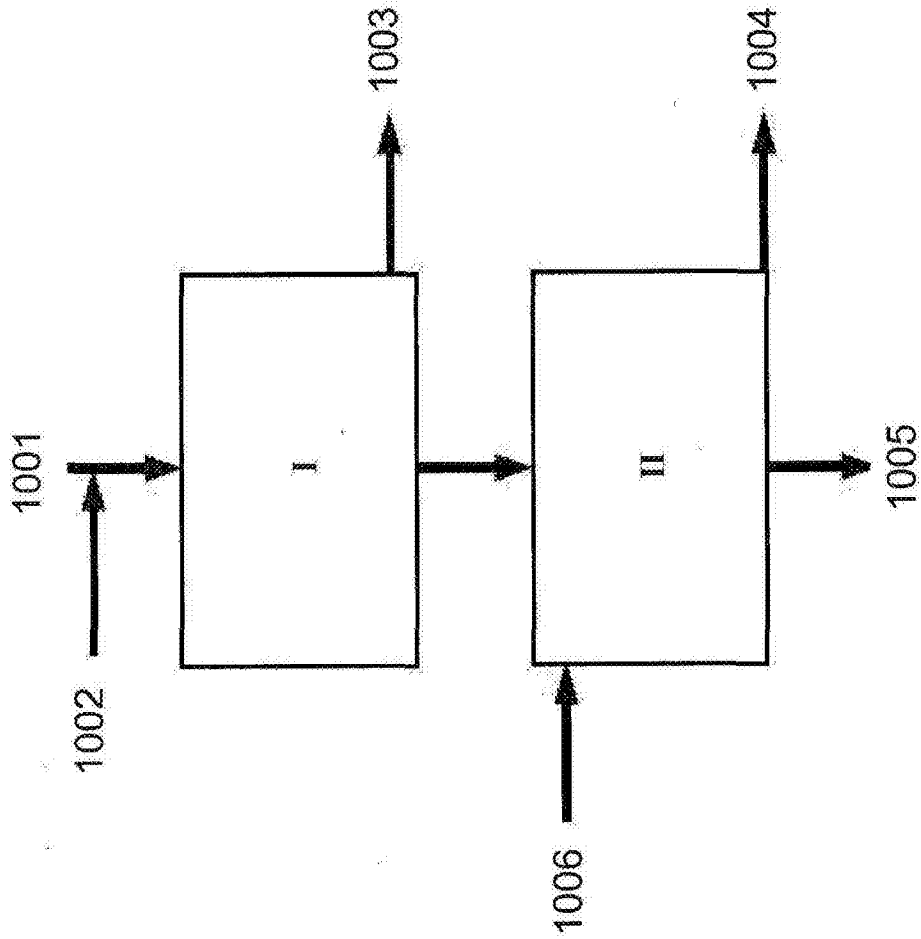


图1

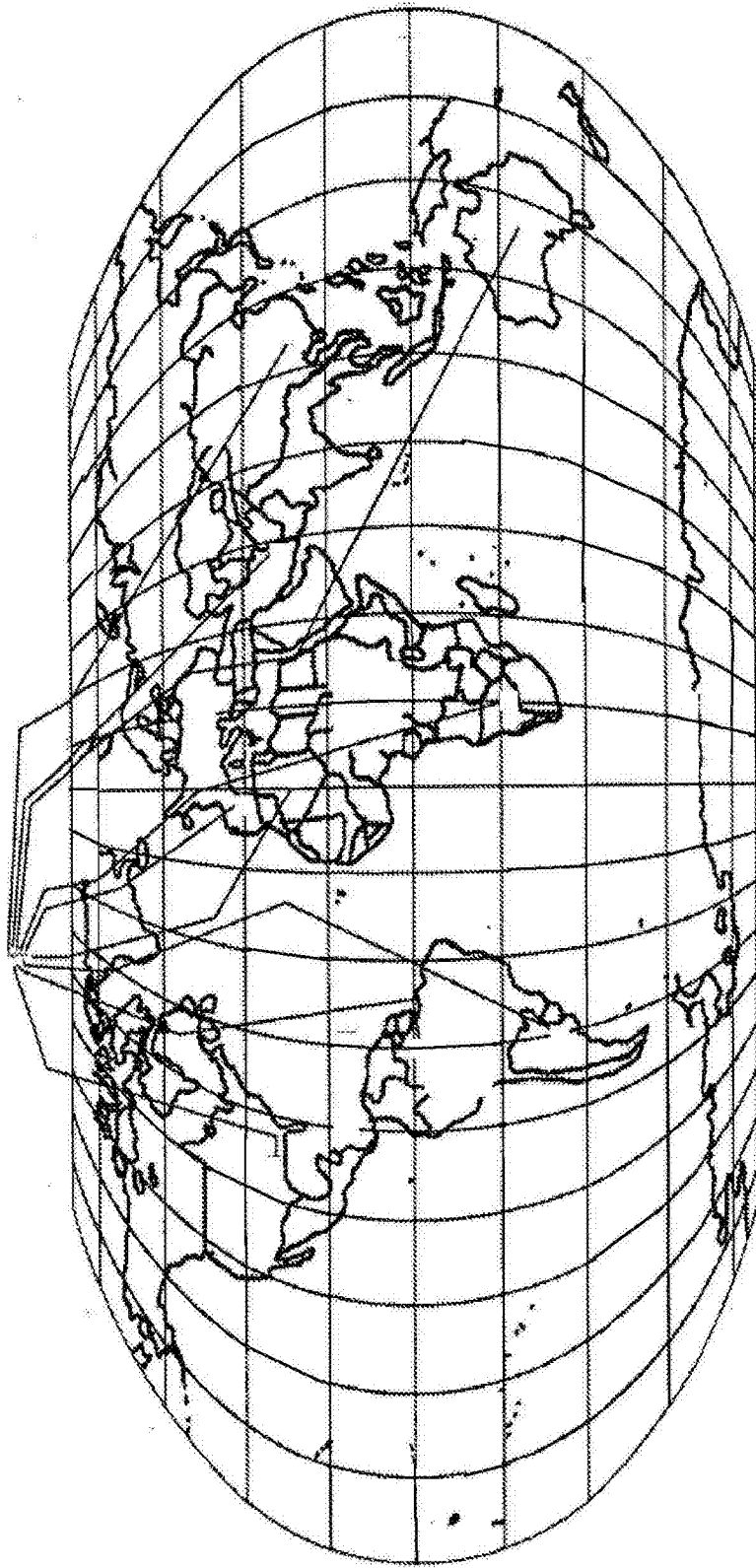


图2

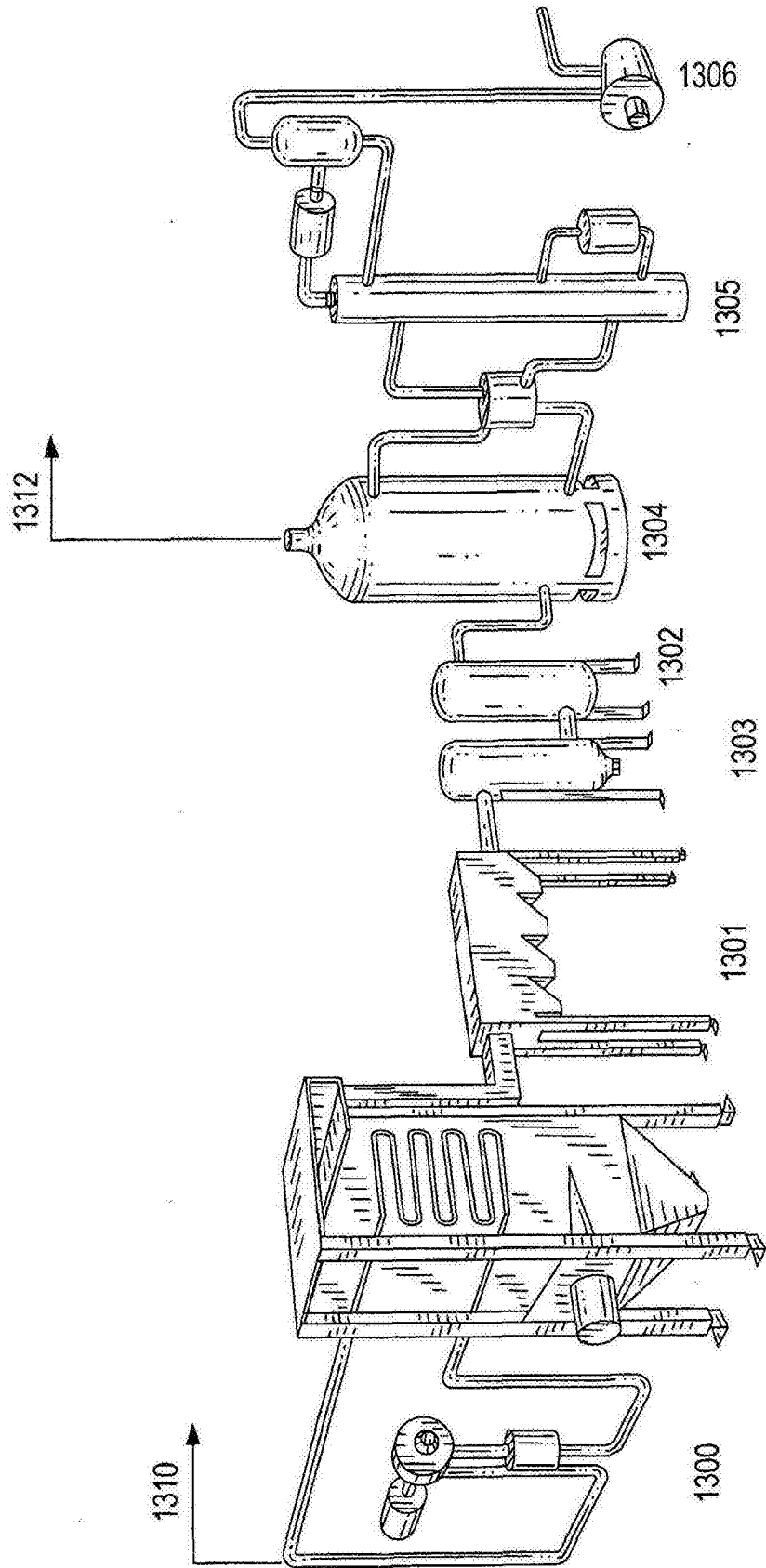


图3

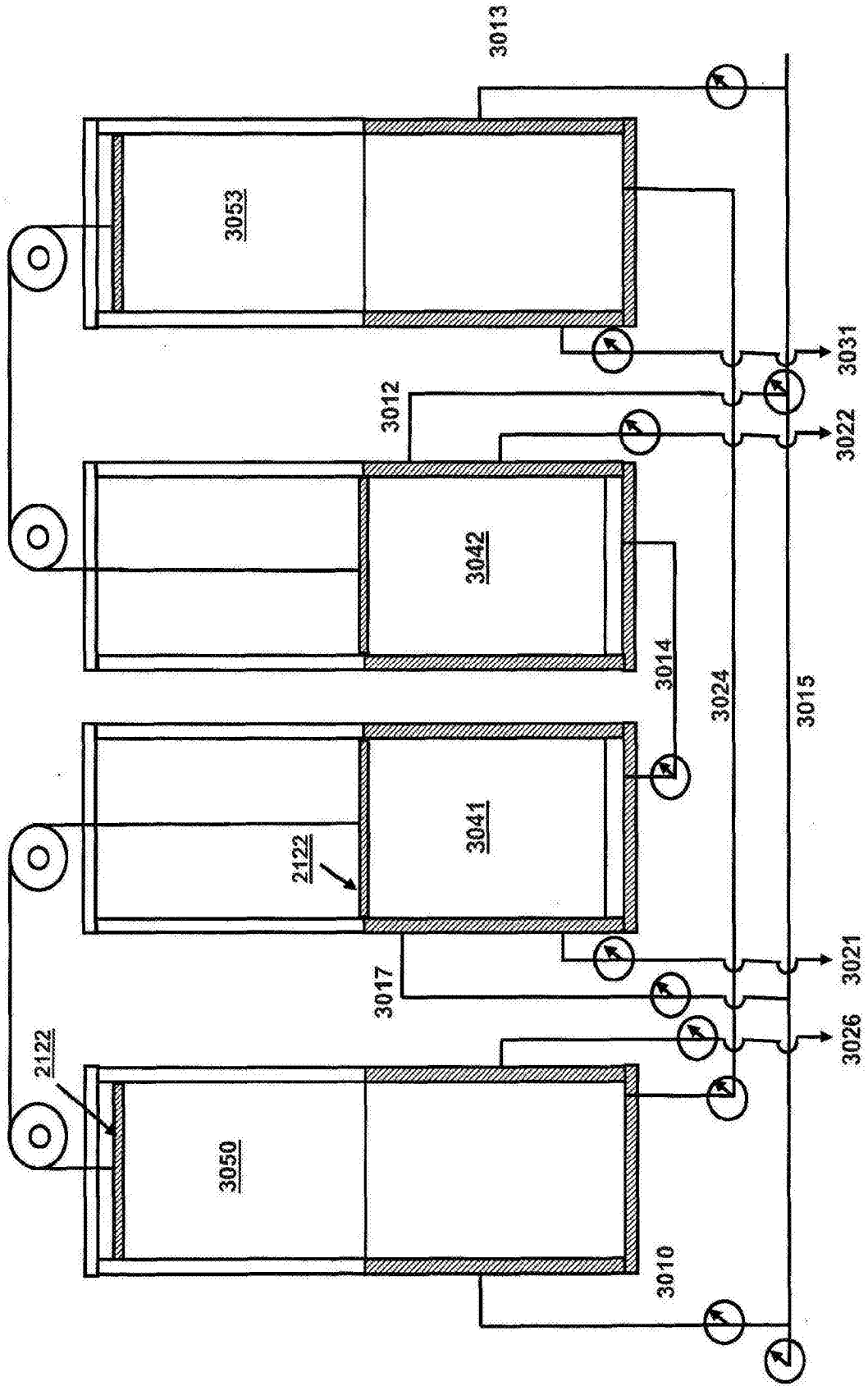


图4

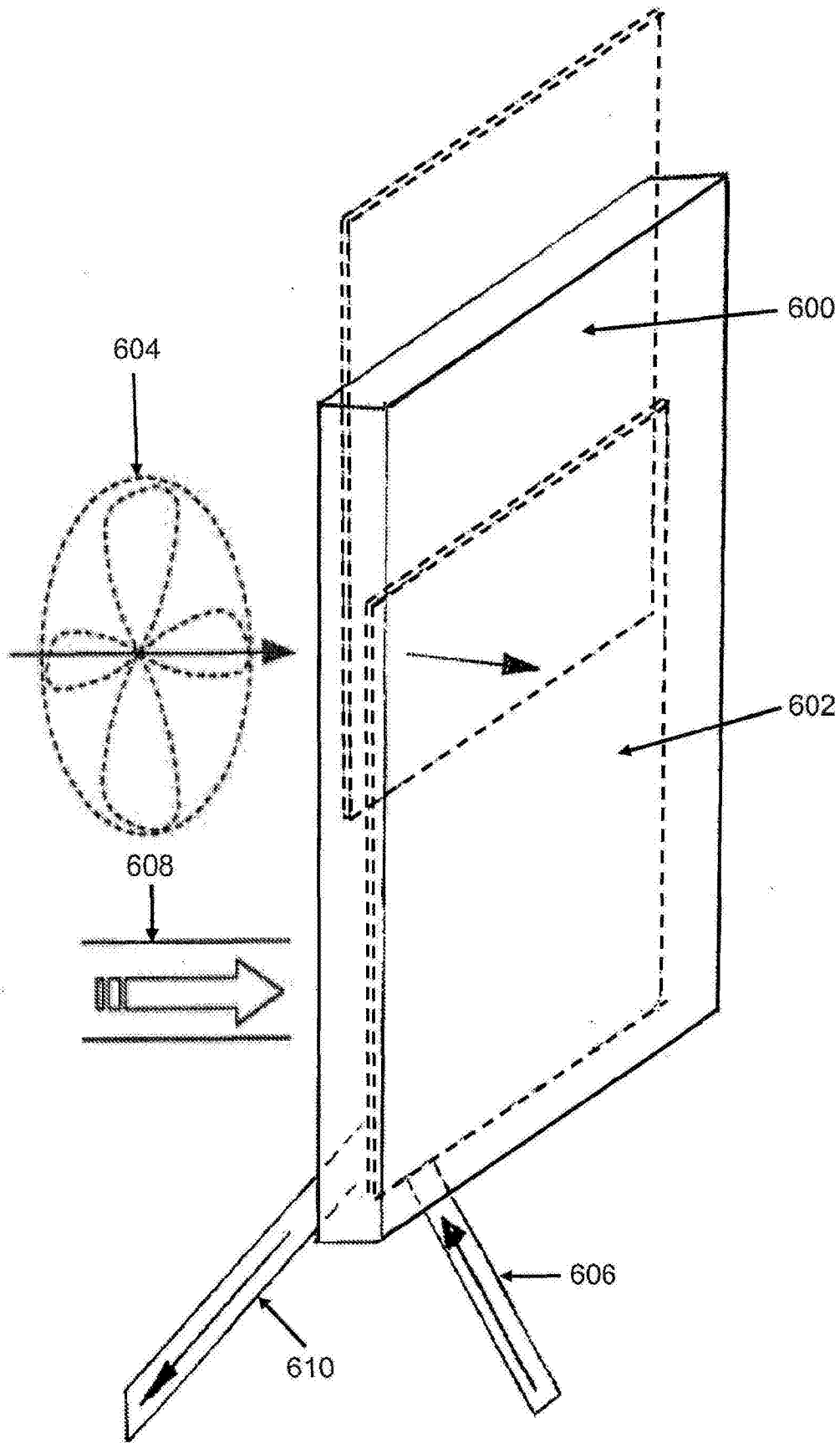


图5

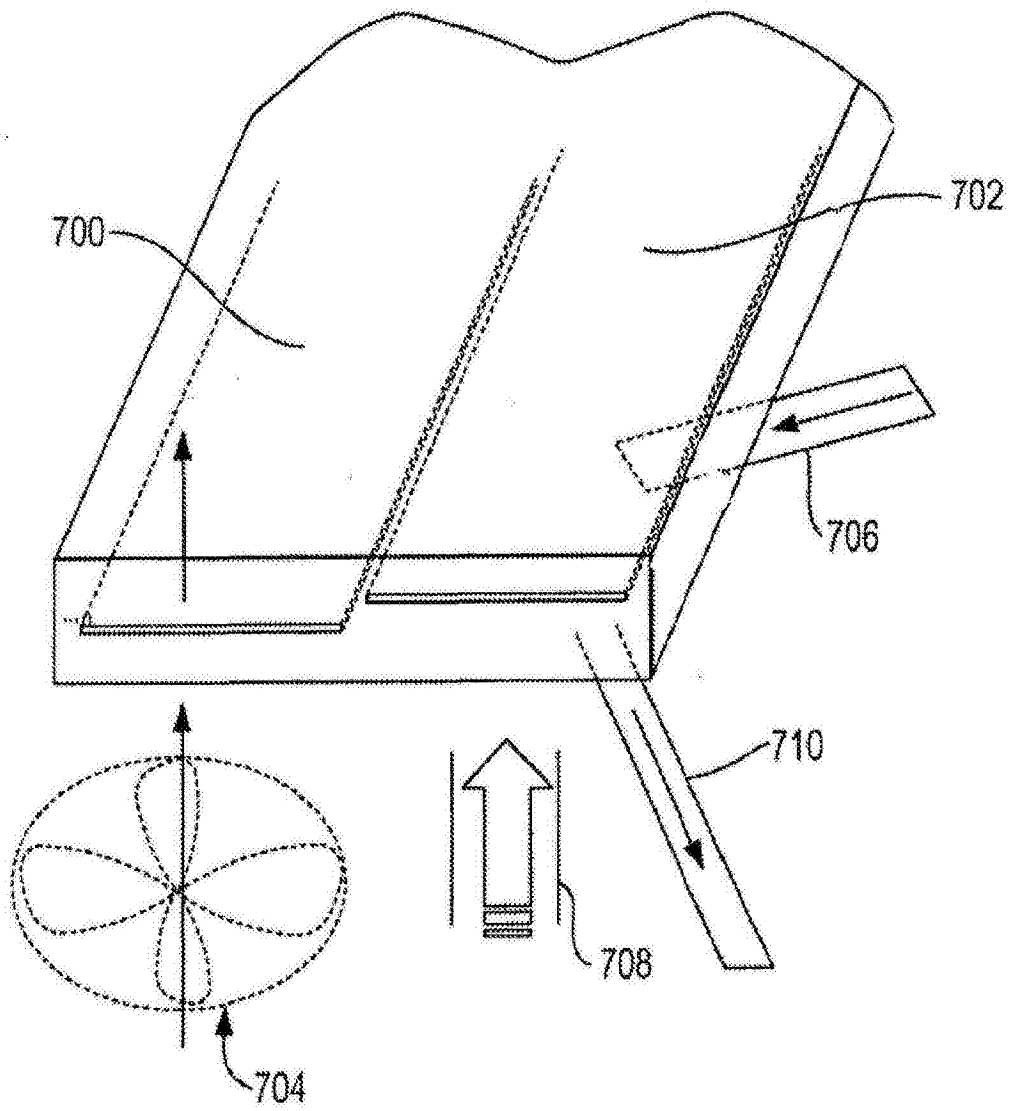


图6

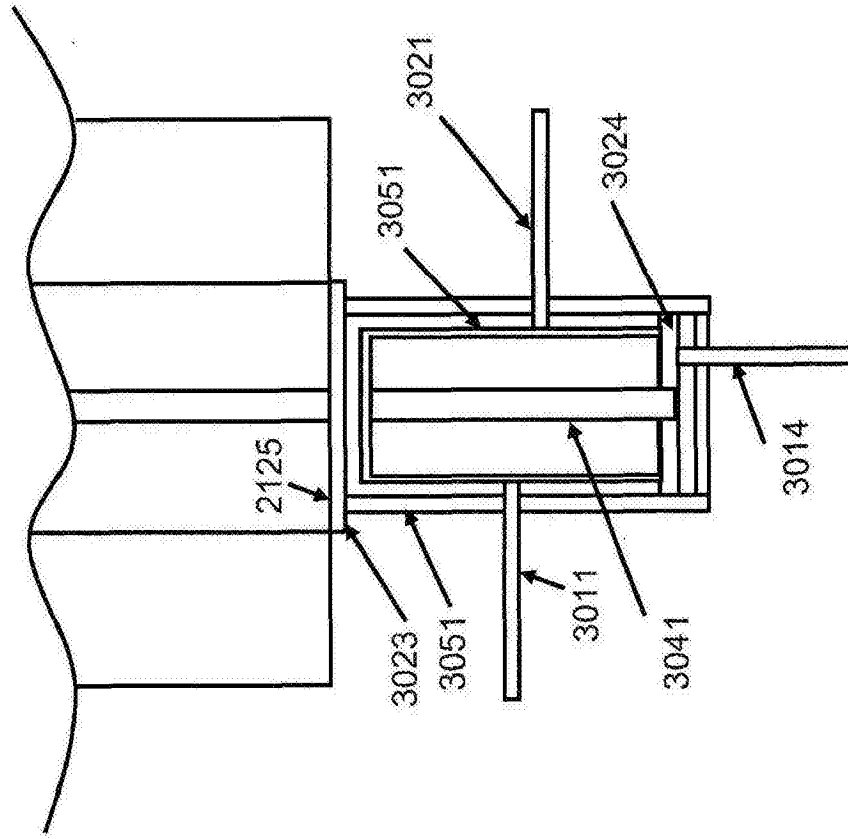


图7

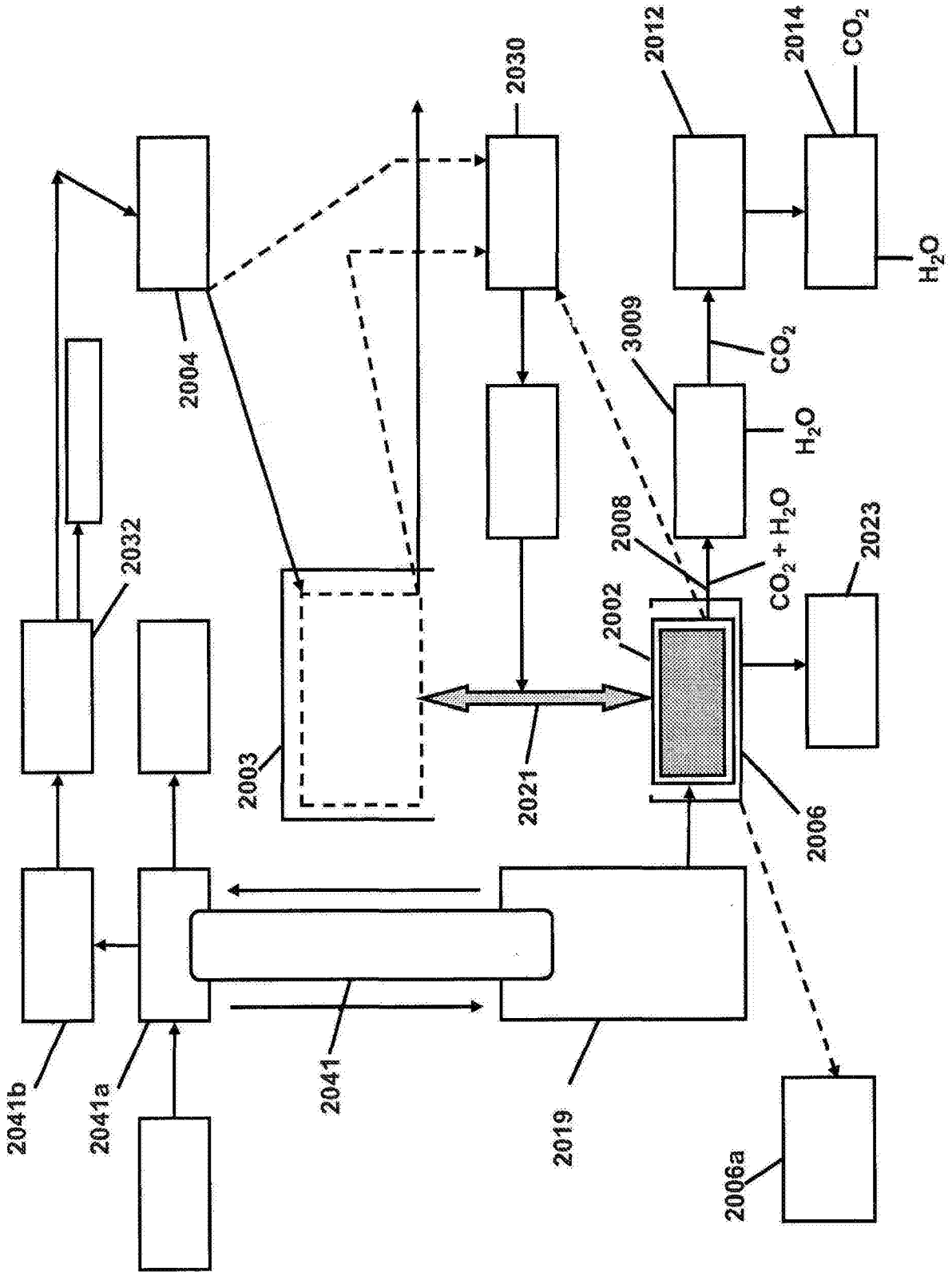


图8