



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119020426 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 26

(21) 申请号 202411127531.7

C12P 19/02 (2006.01)

(22) 申请日 2020.03.25

C12P 7/04 (2006.01)

(30) 优先权数据

C12F 3/02 (2006.01)

2019900999 2019.03.25 AU

C12M 1/107 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

C12M 1/12 (2006.01)

202080035464.X 2020.03.25

C12M 1/00 (2006.01)

C12R 1/89 (2006.01)

(71) 申请人 海德鲁贝私人有限公司

地址 澳大利亚西澳大利亚州

(72) 发明人 D·安德森 C·C·席尔瓦

(74) 专利代理机构 北京世峰知识产权代理有限公司 11713

专利代理师 王建秀 刘小立

(51) Int. Cl.

C12P 3/00 (2006.01)

C12P 5/00 (2006.01)

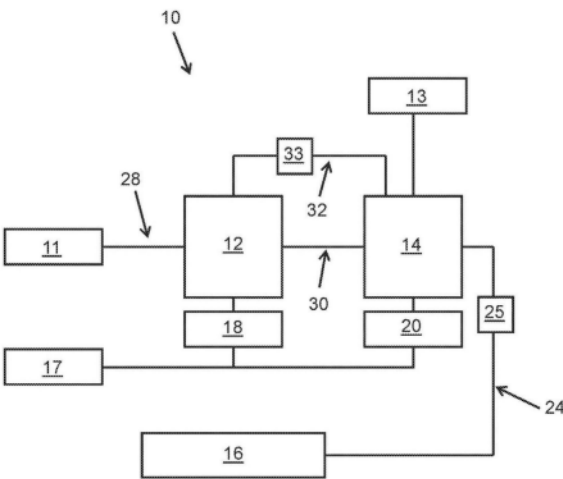
权利要求书3页 说明书18页 附图9页

(54) 发明名称

生成氢的方法和系统

(57) 摘要

本申请公开了用于由二氧化碳生成氢的方法和系统。用于由二氧化碳气流生成氢气流的方法和系统包括,在光合作用步骤中使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料。然后在生物分解步骤中使用生物体将有机原料转化为氢气流和气态副产物。然后可以收集所生成的氢气。



1. 一种用于由二氧化碳气流生成氢气流的方法,所述方法包括:
 - (i) 在光合作用步骤中使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料;和
 - (ii) 在生物分解步骤中,使用生物体将所述有机原料转化为第一氢气流和气态副产物,所述生物分解步骤包括生物分解步骤和厌氧生物分解步骤。
2. 如权利要求1所述的方法,还包括收集步骤(ii)的气态副产物并过滤所述气态副产物以分离第二废二氧化碳气流;和任选地将所述第二废二氧化碳气流转移到步骤(i)。
3. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中步骤(i)在配备有光子源的微生物反应器中进行。
4. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中在好氧生物分解步骤在厌氧生物分解步骤之前进行。
5. 如权利要求4所述的方法,其中在所述厌氧生物分解步骤之前,将所述好氧生物分解步骤的至少一部分产物与步骤(i)中的所述藻源混合。
6. 如权利要求1-5中任一项所述的方法,其中步骤(ii)在一个或多个生物分解反应器中进行。
7. 如权利要求1-6中任一项所述的方法,其中由气体重整器生成所述第一废二氧化碳气流,所述气体重整器由烃源例如天然气形成副氢气流。
8. 如权利要求7所述的方法,其中通过利用至少一些由所述气体重整器生成的热量调节步骤(i)和/或步骤(ii)的温度。
9. 如权利要求7或权利要求8所述的方法,还包括过滤所述气态副产物以分离废烃气流,其中所述废烃气流用于补充所述烃源。
10. 如权利要求7-9中任一项所述的方法,其中所述第一氢气流补充由所述气体重整器生产的所述副氢气流。
11. 如权利要求1-10中任一项所述的方法,还包括收集在步骤(i)和/或步骤(ii)中生成的生物质废物流。
12. 如权利要求1-11中任一项所述的方法,其中步骤(i)和步骤(ii)能够在同一反应器中进行。
13. 用于由二氧化碳气流生成氢气流的方法,所述方法包括:
 - (i) 混合第一废二氧化碳气流和藻源以形成有机原料;
 - (ii) 在第一生物分解步骤中处理所述有机原料以产生第一生物分解产物;和
 - (iii) 在第二生物分解步骤中处理所述第一生物分解产物以产生氢气;其中,在步骤(iii)之前,将至少一部分所述第一生物分解产物与步骤(i)中的所述藻源混合。
14. 如权利要求13所述的方法,其中所述第一生物分解步骤是好氧的,并且所述第二生物分解步骤是厌氧的。
15. 如权利要求13或14所述的方法,其中所述方法的其他方面如权利要求1-12中的任一项所定义。
16. 一种发电方法,包括:

根据权利要求1-15中的任一项生成氢气流,并在发电步骤中使用所述氢气流作为燃料源。

17. 如权利要求16所述的方法,其中所述发电步骤包括使所述氢气流通过燃料电池从而发电;或

用所述氢气流充实可燃燃料以形成富氢燃料并燃烧所述富氢燃料以驱动发电机。

18. 由二氧化碳气流生成氢气流的系统,包括:

光合作用反应器,其被配置为使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料,所述光合作用反应器具有用于接收二氧化碳气流的入口和有机原料出口;和

生物分解反应器,其包括与所述有机原料出口连通、用于接收所述有机原料的入口,所述生物分解反应器被配置为好氧生物分解反应器和厌氧生物分解反应器以使用生物体将来自所述光合作用反应器的所述有机原料转化为所述氢气流。

19. 如权利要求18所述的系统,其中所述好氧生物分解反应器被配置为与所述厌氧生物分解反应器分开的反应器。

20. 如权利要求18所述的系统,其中所述光合作用反应器和所述生物分解反应器是一个相同的单元。

21. 如权利要求18-20中任一项所述的系统,还包括用于将所述生物分解反应器中生成的二氧化碳转移到所述光合作用反应器的辅助二氧化碳供应线,所述辅助二氧化碳供应线包括用于过滤除二氧化碳以外的气体的过滤器。

22. 如权利要求18-21中任一项所述的系统,还包括用于将烃转化为第二氢气流和所述第一废二氧化碳气流的气体重整器,其中:

所述第二氢气流与氢储存容器流体连通,并且

所述第一废二氧化碳气流与所述光合作用反应器流体连通。

23. 如权利要求22所述的系统,还包括将所述生物分解反应器与所述气体重整器连接的辅助烃进料线,用于将在所述生物分解反应器中生成的烃转移到所述气体重整器,所述辅助烃供应线包括用于过滤除烃之外的气体的过滤器。

24. 如权利要求18-23中任一项所述的系统,还包括用于将至少一部分在所述生物分解反应器中形成的产物转移到所述光合作用反应器的转移线。

25. 一种用于从包含二氧化碳的气流中封存二氧化碳的方法,所述方法包括:

在光合作用步骤中使用藻源将所述气流中的所述二氧化碳转化为有机原料;和

在好氧生物分解步骤中使用生物体将所述有机原料转化为精制生物质。

26. 如权利要求25所述的方法,其中将由所述好氧生物分解步骤(ii)生成的至少一部分精制生物质转移以与所述光合作用步骤(i)中的所述藻源混合。

27. 如权利要求25或权利要求26所述的方法,其中通过在生物分解步骤(iii)中使用生物体转化在步骤(ii)中生成的所述精制生物质来生成氢。

28. 如权利要求27所述的方法,其中所述生物分解步骤(iii)是厌氧的。

29. 如权利要求25-28中任一项所述的方法,其中所述方法的其他方面如权利要求1-12中任一项所述。

30. 一种用于提高来自二氧化碳气流的葡萄糖产量的方法,所述方法包括:

在光合作用步骤中使用藻类源将所述二氧化碳气流转化为有机原料,所述原料包括葡萄糖;和

使包括所述葡萄糖的所述有机原料经历好氧生物分解步骤以产生生物质;

其中将在所述好氧生物分解步骤中产生的一部分生物质再循环到藻类光合作用步骤，从而提高所述有机原料中的葡萄糖产量。

31. 如权利要求30所述的方法，其中通过在生物分解步骤(iii)中，使用生物体转化步骤(i)中生成的所述葡萄糖来生成醇。

32. 如权利要求31所述的方法，其中所述生物分解步骤(iii)是厌氧的。

33. 如权利要求31或32所述的方法，其中所述醇包括甲醇。

34. 如权利要求30-33中任一项所述的方法，其中所述方法的其他方面如权利要求1-12中任一项所述。

生成氢的方法和系统

[0001] 本申请是申请日为2020年3月25日的PCT国际专利申请PCT/AU2020/050285进入中国国家阶段的中国专利申请号202080035464.X、发明名称为“生成氢的方法和系统”的分案申请。

技术领域

[0002] 本公开涉及使用生物反应器将二氧化碳转化为氢,更具体地,本申请涉及生成氢的方法和系统。

背景技术

[0003] 锂和氢技术正在竞争决定电动汽车的未来。锂的限制是车辆的续航里程和充电时间,与氢相关的挑战是燃料、运输和储存的高成本。

[0004] 这两种技术表面上都是“绿色”的,因为运行的车辆不会排放二氧化碳。然而,氢燃料和锂燃料电动汽车都需要在某些时候会导致温室气体排放的燃料源。

[0005] 锂电池已成为电动汽车行业的主导技术。尽管如此,传统的内燃机仍然更具成本效益和便利性,特别是对于长途运输。因此,无论采用何种技术,电动汽车仍然是一个有利可图的市场,尚无法完全颠覆汽车市场。由于许多世界领先国家希望在中期逐步淘汰内燃机,因此具有成本效益的燃料电池技术潜力是巨大的。由于目前氢的生产价格太高,无法支持在电动汽车中的大规模使用,因此需要以更具成本效益的水平提供氢。

[0006] 在这方面,对于氢动力汽车,氢“出泵”价格必须与汽油相媲美,才能成为主流。例如,一辆丰田Mirai行驶500公里需要约5公斤氢。一辆等效的汽油动力乘用车行驶相同的距离需要约40升汽油。假设汽油价格在每升1.00美元到1.25美元之间,那么这次出行的费用在40美元到50美元之间。为了使以氢为燃料的丰田Mirai在相同距离内具有价格竞争力,氢的零售价需要在每公斤8美元至10美元之间。然而,消费者尚无法获得这样的氢价格。

[0007] 当前氢生产的一个问题是大部分(即>90%)氢来自烃。迁移到由烃产生氢的氢经济对减轻温室气体生产的影响无济于事。

[0008] 另一种生成氢的方法是电解水。然而,由于多种原因,水裂解不是长期可行的。例如,要实现每天500公斤的氢生产率,需要大型设备,不动产的可用性具有挑战性,并且资本成本非常昂贵。产生每单位氢的能源需求很高,这可以通过使用太阳能来抵消,但太阳能的使用仅在白天可用,并且可能不规律。因此,需要大量的缓冲存储来提供可行的解决方案,这会增加资本成本。由水裂解产生氢的总产量受到物理限制,不太可能达到单位成本(包括资本回收)永远低于目标价格的水平。

[0009] 也可以通过现场甲烷蒸汽重整(供应网气体(grid gas))来产生氢。蒸汽重整需要700°C-1000°C的温度并且是能源密集型的。蒸汽重整的氢产量远高于水裂解。然而,使用供应网气体的小型蒸汽重整厂面临着问题。供应网气体含有甲烷、丁烷和乙烷气体的混合物,其中通常仅使用甲烷进行蒸汽重整,并且零售点的供应网气体通常比液化天然气(liquefied natural gas,LNG)生产设施中的甲烷昂贵。每产生一公斤氢,蒸汽重整还会产

生约9公斤二氧化碳。如果没有碳捕获和储存解决方案,在寻求转向氢经济时,蒸汽重整在环境上是不可行的。

[0010] 用微生物将甲烷和其他烃直接转化为纯氢在效率是决定性因素的大规模上仍然是一项挑战。例如,已知诸如解糖热解纤维素菌属(*Caldicellulosiruptor saccharolyticus*)等细菌物种将腐烂有机物质中的甲烷转化为氢。然而,这种直接转化不像通过蒸汽重整将来自供应网气体的甲烷转化为氢气那样有效。此外,如果没有周围的生物物质,二氧化碳的产生仍然是细菌将供应网气体转化为氢的未解决问题。

[0011] 涉及传统化学过程(蒸汽重整)的混合系统也可用于生成氢。在这些混合系统中,蒸汽重整过程中生成的二氧化碳被捕获并加工成有机成分,以便使用微生物藻类进行处理。然而,尽管混合系统确实提供了低成本的碳储存解决方案,但它们并没有减轻二氧化碳产生的问题,而且它们也没有解决供应网气体小规模蒸汽重整的成本方程。

[0012] 应当理解,对于本文提及的任何现有技术出版物或参考文献,此类参考文献并不构成承认该出版物在澳大利亚或任何其他国家构成本领域公知常识的一部分。

发明内容

[0013] 本公开的第一方面提供了由二氧化碳气流生成氢气流的方法。该方法包括:(i)在光合作用步骤中使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料。该方法还包括:(ii)在生物分解步骤中使用生物体将有机原料转化为氢气流和气态副产物,该生物分解步骤包括好氧生物分解步骤和厌氧生物分解步骤。一个实施方案还可以包括收集氢气流。

[0014] 本文所用的术语“藻源”是指一种或多种能够将二氧化碳光合转化为有机原料的藻类物种。本文所用的术语“有机原料”是指具有诸如生物质等有机物质的原料,其可以包括简单和复杂的碳水化合物、例如简单和复杂的糖,生物聚合物例如胞外多糖,藻类碎片和光合作用副产物。有机原料还可以包括在光合作用步骤期间使用的材料,例如存在于培养基中、用于将二氧化碳光合转化为有机原料的材料和试剂。本文所用的术语“生物分解”是指在一种或多种生物过程中使用一种或多种生物体将有机原料转化为其他形式,包括氢气。

[0015] 可以通过例如在燃煤或燃气发电站中燃烧烃,或在蒸汽重整中将烃转化为包括二氧化碳的其他气体,来生成二氧化碳气流。所公开的方法可以通过反常识地将例如甲烷(即烃)转化为氢分成两个独立的步骤来提供效率节省。所公开的方法的优点可以是可以将废二氧化碳,例如由工业过程生成的二氧化碳,转化为氢。因此,该方法可用作从大气或从二氧化碳生产活动中“清除”或去除二氧化碳的方式。所公开的方法可用于代替二氧化碳封存,例如将二氧化碳泵送并储存在地质地层中。与现有的二氧化碳封存技术相比,所公开的方法的一个附加优点可以是,本方法还产生作为可再生气体源的氢。

[0016] 该方法还可以包括收集气态副产物并过滤气态副产物以分离第二废二氧化碳气流。该方法还可包括将第二废二氧化碳流转移至步骤(i)。可以合并第一和第二废二氧化碳气流。在一个实施方案中,步骤(i)可以在配备有光子源的微生物反应器中进行。藻源可以包括绿藻纲(*Chlorophyceae*)和/或共球藻纲(*Trebouxiophyceae*)中的藻类。藻源可以是绿色植物。藻类物种可以是小球藻属(*Chlorella*)的一部分。在一个实施方案中,藻类物种可以是小球藻(*Chlorella vulgaris*)。

[0017] 步骤(ii)可以包括好氧生物分解步骤和厌氧生物分解步骤。好氧生物分解步骤可以在厌氧生物分解步骤之前进行。在一个实施方案中,可以将至少一部分好氧生物分解步骤的产物与步骤(i)中的藻源混合,例如再循环,然后再将其传送到厌氧生物分解步骤。在一个实施方案中,将至少一部分好氧生物分解步骤的产物与步骤(i)中的藻源混合作为厌氧生物分解步骤的集体“进料生产阶段”。

[0018] 在一个实施方案中,步骤(ii)可以在一个或多个生物分解反应器中进行。例如,每个生物分解反应器都可以包括好氧反应器和厌氧反应器。生物分解反应器可包含一种或多种细菌物种。细菌物种可以属于梭菌纲(*Clostridia*)、 γ 变形菌纲(*Gammaproteobacteria*)、芽孢杆菌纲(*Bacilli*)、球菌纲(*Cocci*)和/或 β 变形菌纲(*Betaproteobacteria*)。细菌物种可以是革兰氏阳性和/或过氧化氢酶阳性细菌。细菌物种可以包括革兰氏阴性细菌。细菌物种可以是芽孢杆菌属(*Bacillus*)的一部分。在一个实施方案中,细菌物种可以包括枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。细菌物种可以是 γ 变形菌纲的一部分。细菌物种可以是克雷伯氏菌属(*Klebsiella*)的一部分。在一个实施方案中,好氧生物分解反应器可包括 γ -变形菌,且厌氧生物分解反应器可包括产气克雷伯氏菌(*Klebsiella aerogenes*)。

[0019] 该方法还可以包括例如用热源调节步骤(i)和/或步骤(ii)的温度。例如,可以将步骤(i)和(ii)都保持在约35°C。光合作用步骤和/或生物分解步骤的具体温度可以由这些步骤中使用的藻源和/或细菌确定和调节以利于这些步骤中使用的藻源和/或细菌。

[0020] 可以由气体重整步骤(例如通过蒸汽重整器)生成第一废二氧化碳气流,该步骤由烃源形成副氢气流(secondary hydrogen gas stream)。可以由蒸汽重整器生成的热量提供用于调节步骤(i)和/或步骤(ii)的温度的热源。烃源可以是天然气,例如甲烷。

[0021] 气体重整器生成氢和二氧化碳。当由气体重整器形成第一废二氧化碳气流时,所公开的方法可用于补充由气体重整器生成的氢(即提供副氢气流)。当使用气体重整器时,使用本公开的至少一些实施方案每消耗单位体积天然气,来自气体重整器的氢产量可以从40%增加到65%。

[0022] 该方法还可以包括过滤气态副产物以分离废烃气流。废烃气流可用于补充烃源。在一个实施方案中,可以将氢气流和副氢气流合并。与(主)氢气流相比,副氢气流可产生更大体积的氢气。该方法还可以包括向步骤(i)供应水。

[0023] 该方法还可以包括从步骤(ii)收集富含有机物的物质。富含有机物的物质可以是有机原料转化为氢的生物分解步骤的副产物。富含有机物的物质可用作生物肥料。在一个实施方案中,该方法可用于将任何二氧化碳源转化为甲烷、氢和生物肥料。

[0024] 公开了用于由二氧化碳气流生成氢气流的方法。该方法包括(i)混合第一废二氧化碳气流和藻源以形成有机原料。该方法还包括(ii)在第一生物分解步骤中处理有机原料以产生第一生物分解产物。该方法还步包括(iii)在第二生物分解步骤中处理第一生物分解产物以产生氢气;其中,在步骤(iii)之前,将至少一部分第一生物分解产物与步骤(i)中的藻源混合。在一个实施方案中,第一生物分解步骤可以是好氧的并且第二生物分解步骤可以是厌氧的。当第一个生物分解步骤好氧时,第一生物分解步骤和藻源的组合可以视为厌氧生物分解步骤的集体“进料生产阶段”。在一个实施方案中,该方法的其他方面可以如上所述。

[0025] 不受理论束缚,认为将至少一部分第一生物分解产物与藻源混合有助于(i)通过增加葡萄糖产量实现更高的二氧化碳浓度,和(ii)通过制备生物质,包括pH值,以便在第二个生物分解反应器中进行更有效的生物处理,增加氢产量。一个实施方案可以允许在第一生物分解步骤中生成的精制生物质和葡萄糖在第一生物分解步骤中的好氧细菌与步骤(i)中的好氧藻类之间再循环。通过转移至少一部分第一生物分解产物并将其与步骤(i)中的藻源混合,可以生成除氢之外的化合物,例如甲醇和其他醇,而不是生成氢。用于生成氢的生物体可以与用于产生诸如醇等其他产物的生物不同。

[0026] 该方法的一个实施方案可以消除二氧化碳排放,降低生成每千克氢的能源成本,并增加消耗每单位天然气生成的氢单位。

[0027] 本公开还提供了使用上述方法生成的氢。

[0028] 本公开还提供了由上述方法产生的有机物质。

[0029] 还公开了用于从包含二氧化碳的气流中封存二氧化碳的方法。该方法包括在光合作用步骤中使用藻源将气流中的二氧化碳转化为有机原料。该方法还包括在好氧生物分解步骤中使用生物体将有机原料转化为精制生物质。

[0030] 还公开了用于提高来自二氧化碳气流的葡萄糖产量的方法。该方法包括在光合作用步骤中使用藻源将二氧化碳气流转化为有机原料,该原料包括葡萄糖。该方法还包括使包括葡萄糖的有机原料经历好氧生物分解步骤以产生生物质。在该方法中,将在好氧生物分解步骤中生产的一部分生物质再循环到藻类光合作用步骤,从而提高有机原料中葡萄糖的产量。

[0031] 本公开还提供了发电方法,包括:生成如上所述的氢气流并且在发电步骤中使用该氢气流作为燃料源。

[0032] 发电步骤可包括使氢气通过燃料电池从而发电。发电步骤可以包括用氢充实可燃燃料以形成富氢燃料。可以使富氢燃料燃烧以驱动发电机。可以从燃煤或燃气发电站生成第一废二氧化碳气流。

[0033] 本公开还提供了用于由二氧化碳气流生成氢气流的系统。该系统包括配置成使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料的光合作用反应器,光合作用反应器具有用于接收二氧化碳气流的入口和有机原料出口。该系统还包括生物分解反应器,该生物分解反应器包括与有机原料出口连通、用于接收有机原料的入口,该生物分解反应器配置为好氧生物分解反应器和厌氧生物分解反应器以将来自光合作用反应器的有机原料转化为氢气流。

[0034] 该系统还可以包括与生物分解反应器流体连通的氢储存容器,用于接收和储存在生物分解反应器中生成的氢气流。该系统还可以包括用于将生物分解反应器中生成的二氧化碳转移到光合作用反应器的辅助二氧化碳供应线。辅助二氧化碳供应线可包括用于过滤除二氧化碳之外的气体的过滤器。该系统还可以包括一个或多个热交换器以加热光合作用反应器和生物分解反应器中的每一个。

[0035] 在一个实施方案中,该系统还以包括用于将烃转化为第二氢气流(second hydrogen gas stream)和第一废二氧化碳气流的气体重整器。第二氢气流可以与氢储存容器流体连通。第一废二氧化碳气流可与光合作用反应器流体连通。一个或多个热交换器可以配置为将气体重整器生成的热量转移到光合作用反应器和/或生物分解反应器。

[0036] 在一个实施方案中,该系统还可包括将生物分解反应器与气体重整器连接的辅助烃进料线,用于将生物分解反应器生成的烃转移到气体重整器。辅助烃供应线可包括用于过滤除烃之外的气体的过滤器。

[0037] 该系统还可包括与光合作用反应器流体连通并位于光合作用反应器上游的燃烧室。燃烧室可以配置成燃烧燃料源,以生成第一废二氧化碳气流。

[0038] 可以将光合作用反应器和/或生物分解反应器设置在可运输的结构上,例如在标准运输容器中。光合作用反应器和/或生物分解反应器可各自作为模块化单元提供。可以通过增加或减少适当的单元来按比例放大或缩小该系统。该系统还可以包括,例如与光合作用反应器和/或生物分解反应器流体连通的水供应装置(water supply)。光合作用反应器和/或生物分解反应器可以包括多个反应器。多个反应器可以彼此串联或并联布置。

[0039] 在一个实施方案中,该系统还可以包括配置为防止在光合作用反应器中起泡的光合作用消泡剂和/或配置为防止在生物分解反应器中起泡的生物分解消泡剂。该系统可设置有助于在光合作用反应器与生物分解反应器之间再循环水和/或生物质的再循环器。再循环器可以在系统周围运输材料和养分,例如以支持光合作用反应器和/或生物分解反应器中的藻类和/或细菌群落。再循环器中使用的水可用作在系统周围运输物质的运输介质。

[0040] 该系统还可以包括用于控制光合作用反应器和/或生物分解反应器的控制器。该系统还可以包括用于向生物分解反应器供应空气的空气供应装置(air supply)。空气供应装置可以包括用于从由空气供应装置供应到生物分解反应器的空气中过滤生物物质的生物过滤器。可以将来自水源的水供应到光合作用反应器。

[0041] 在一个实施方案中,本公开还提供了上述系统生成氢的用途。

[0042] 在一个实施方案中,本公开还提供了包括上述系统的氢动力汽车加气站。

附图说明

[0043] 现在参考所附的非限制性附图仅作为示例来描述实施方案。

[0044] 图1示出了根据本公开一个实施方案的用于生成氢的系统的示意图。

[0045] 图2示出了根据本公开另一个实施方案的用于生成氢的系统的示意图。

[0046] 图3示出了光合作用反应器一个实施方案的示意图。

[0047] 图4示出了根据本公开另一个实施方案的用于生成氢的系统的示意图。

[0048] 图5示出了光合作用反应器的一个实施方案。

[0049] 图6示出了根据本公开另一个实施方案的用于生成氢的系统的示意图。

[0050] 图7示出了根据本公开另一个实施方案的用于生成氢的系统的示意图。

[0051] 图8示出了用于在相对于气体供应装置的多个位置生成氢的分配系统的示意图。

[0052] 图9示出了根据本公开一个实施方案的用于发电的系统的示意图。

[0053] 图10示出了根据本公开另一个实施方案的用于发电的系统的示意图。

[0054] 图11示出了根据本公开另一个实施方案的用于生成氢的系统的示意图。

[0055] 图12示出了生物分解反应器一个实施方案的示意图。

具体实施方式

[0056] 用于产生氢的系统10的一个实施方案如图1所示。系统10具有呈光生物反应器12

的形式的微生物反应器,其配置为利用光合作用将二氧化碳转化为有机原料。有机原料包括简单和复杂的碳水化合物,例如简单和复杂的糖,以及诸如胞外多糖等生物聚合物。在一个实施方案中,由光生物反应器12产生的有机原料包括源自葡萄糖和多糖的生物质和糖。在一个实施方案中,有机原料包括不同碳水化合物的混合物。系统10还具有二氧化碳供应线28,其将来自二氧化碳源11的二氧化碳供给到光生物反应器12中。二氧化碳供应线28可以包括过滤除二氧化碳之外的气体的过滤器。系统10还包括生物分解反应器14。

[0057] 递送到光生物反应器12的二氧化碳可以与其他气体,例如空气混合。在一个实施方案中,递送到光生物反应器12的二氧化碳的浓度范围高达约50%。在一个实施方案中,递送到光生物反应器12的二氧化碳的浓度范围为约8%至约20%。二氧化碳可以以约0.2至约0.8VVM的速率供应到光生物反应器12。在一个实施方案中,提供混合歧管(图中未示出)以允许调节废二氧化碳气流中的二氧化碳浓度。

[0058] 光生物反应器12和生物分解反应器14通过导管30相互连接。导管30将来自光生物反应器12的有机原料出口的有机原料传送到生物分解反应器14的入口。有机原料以固体、浆液和/或液体提供。在一个实施方案中,有机原料以溶液提供被供给生物分解反应器14。在一个实施方案中,导管30具有用于将有机原料从光生物反应器12泵送或运输到生物分解反应器14的泵或螺旋钻。设置生物分解反应器14以将有机原料转化为氢。在一个实施方案中,在光生物反应器12处设置过滤器,使得只有有机原料从光生物反应器12传送到生物分解反应器14。在一个实施方案中,只有一部分在光生物反应器12中生成的有机原料被转移到生物分解反应器14。例如,一部分有机原料作为接种体得以保留。在一个实施方案中,60%的在光生物反应器12中产生的有机原料被转移到生物分解反应器14,并且40%的有机原料被保留作为接种体,供在光生物反应器12中进一步使用。反应器12和14可以以分批、半分批或连续过程运行。

[0059] 在生物分解反应器14中生成的氢通过导管24转移到呈储存容器(例如罐)16形式的氢储存容器。导管24包括将生成的氢泵送到储存容器16的泵25。泵25可以允许储存容器16加压。然而,并非所有实施方案都需要泵25。应当理解,术语“储存容器”应广义地解释为包括任何形式的能够储存氢的封闭/可封闭容器,并且还包括能够吸附(即可逆吸附)氢的材料,诸如碳质材料、金属-有机骨架和分子筛。

[0060] 所需的氢输出决定了所需的光生物反应器12的输出。所需的光生物反应器12的输出将取决于输入生物分解反应器14的有机原料的所需输入速率。

[0061] 光生物反应器12配置成用于将二氧化碳光合转化为有机原料。光生物反应器12的具体反应条件取决于存在于光生物反应器12中的生物体的生化要求。然而,存在于光生物反应器12中的生物体通常是光养的。光养生物体可包括藻类物种和藓类,以及光养细菌例如蓝细菌和紫细菌。应当理解,蓝细菌有时被认为是藻类物种,在本公开中也如此称呼。在一个实施方案中,光生物反应器包括绿藻纲和/或共球藻纲的藻类。蓝藻纲(Cyanophyceae)可包括蓝细菌和蓝绿藻。在一个实施方案中,绿藻纲包括斜生尖带藻(*Acutodesmus obliquus*)、四尾栅藻(*Scenedesmus subspicatus*)、盐生杜氏藻(*Dunaliella salina*)和/或斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)。在一个实施方案中,共球藻纲包括小球藻。

[0062] 生成有机原料所需的具体时间可以取决于细胞浓度和在光生物反应器12中用作接种体的藻类物种。当达到藻类物种浓度阈值时,这可以代表触发将所得有机原料转移到

生物分解反应器。例如,在一个实施方案中,当藻类物种的密度为约 2×10^7 至约 2×10^9 CFU/ml时,将有机原料从光生物反应器12转移到生物分解反应器14。在一个实施方案中,光生物反应器12运行48小时以产生有机原料。24小时后,有机原料可具有 2×10^7 CFU/ml的藻类物种密度。应该注意的是,达到最终最大细胞密度的时间可能取决于用于最初接种光生物反应器的接种体细胞浓度。

[0063] 光生物反应器12中使用的培养基的组成应取决于光养生物体。诸如培养基、pH、盐度、营养需求、所需光剂量率、光合作用温度等参数,应根据光养生物体的需求来调整。通常,在光生物反应器12中进行的将二氧化碳光合转化为有机原料的温度范围应为约 30°C 至约 40°C 。可以根据生物分解反应器14的要求选择所用的光养生物体的类型以及由光养生物体产生的所得有机原料。在一个实施方案中,在光生物反应器12中使用不止一种类型的光养生物体。在整个本公开中,术语“光养生物体”的使用包括两种或更多种具体光养生物体的混合物。

[0064] 可以以转移到光生物反应器12中并允许增殖的浓缩溶液形式提供光养生物体。在一个实施方案中,可以以在光生物反应器12中再水合的脱水形式提供光养生物体。光生物反应器12可能需要定期清洁,由此培养基和光养生物体被新批次的培养基和光养生物体替换。此时可以去除不需要的副产物,例如生物膜。在二氧化碳转化为糖的过程中,还会产生生物物质。

[0065] 在生物分解反应器14中进行的生物分解步骤将光生物反应器12中生成的有机原料转化为氢。生物分解步骤的具体机制和生化要求取决于生物分解反应器14中存在的生物体和光生物反应器12产生的有机原料的类型。例如,在一个实施方案中,发酵工艺用于在生物分解反应器14中将有机原料转化为氢。在一个实施方案中,生物分解反应器14在厌氧和/或好氧条件下运行。在一个实施方案中,基于有机原料中的葡萄糖当量,生物分解反应器14中产生的氢的量为41mol %。

[0066] 基于体积为0.5L的光生物反应器,在一个实施方案中,使用系统10每24小时产生5.04克氢气、32.06克二氧化碳和18.49克甲烷。在一个实施方案中,由在光生物反应器12中产生的1L有机原料可以产生约10.08克氢。该0.5L光生物反应器可根据所需的氢输出按比例放大或扩展。基于体积为0.5L的光生物反应器12,表1提供了输入和输出的质量平衡。令人惊讶的是,基于二氧化碳输入的量,二氧化碳转化为氢的效率为64.3mol %,是基于已知文献值的4-5倍。

输介质有助于在光生物反应器12中分配二氧化碳和养分。在一个实施方案中,水运输介质在系统10周围再循环,并且系统10中的二氧化碳可以混合(例如乳化)并在光生物反应器12与生物分解反应器14之间再循环,直到二氧化碳转化为有机材料或氢。类似地,在生物分解反应器14中形成的一些产物可以在系统10周围再循环。可以过滤水运输介质以过滤掉在系统10的使用过程中产生的水溶性气体。术语“水运输介质”应广义地解释为包括任何水基溶液。例如,水运输介质可包括反应介质、盐、缓冲剂、养分、促进有利气体吸收的添加剂等。

[0069] 生物分解反应器14中使用的细菌可以属于嗜热厌氧菌目(Thermoanaerobacterales)。嗜热厌氧菌目细菌可包括海栖热袍菌(Thermotoga maritima)、解糖热解纤维素菌(Caldicellulosiruptor saccharolyticus)和埃氏栖热袍菌(Thermotoga elfii),但这些细菌仅是示例性的并且不限制本公开的范围。在一个实施方案中,生物分解反应器14中使用的细菌属于梭菌纲。梭菌纲可包括海栖热袍菌、解糖热解纤维素菌和/或埃氏栖热袍菌。在一个实施方案中,生物分解反应器14中使用的细菌属于 γ 变形菌纲。 γ 变形菌纲可以包括大肠杆菌(Escherichia coli)和丁香假单胞菌(Pseudomonas syringae)。在一个实施方案中,生物分解反应器14中使用的细菌属于芽孢杆菌纲。芽孢杆菌纲可包括地衣芽孢杆菌(Bacillus licheniformis)、解淀粉芽孢杆菌(Bacillus amyloliquefaciens)、枯草芽孢杆菌(Bacillus subtilis)和/或萎缩芽孢杆菌(Bacillus atrophaeus)。在一个实施方案中,生物分解反应器14中使用的细菌属于球菌纲。球菌纲可包括华氏葡萄球菌(Staphylococcus warneri)的非致病性变种。在一个实施方案中,生物分解反应器14中使用的细菌属于 β 变形菌纲。可以在生物分解反应器14中使用细菌的组合,例如梭菌、 γ 变形菌、芽孢杆菌、球菌和/或 β 变形菌纲中细菌的各种组合。梭菌纲可包括解糖热解纤维素菌。生物分解反应器14还可以包括根瘤细菌。

[0070] 在一个实施方案中,生物分解反应器14中使用的细菌使用光生物反应器12中产生的糖作为食物来源,并且还在没有机械或化学干预的情况下提取相关生物质中的糖。水运输机制用于促进将光生物反应器12中产生的糖和生物质转移到生物分解反应器14中。使用利用光生物反应器12中产生的糖作为食物来源并在没有机械或化学干预的情况下提取相关生物质中的糖的细菌的优点是,生物分解反应器14可以提供节能,因为需要较少的设备和/或过程来生成氢。

[0071] 在一个实施方案中,可以将额外的原料,例如未加工的生物质源和水,添加到生物分解反应器14中以促进氢的产生。当冲洗光生物反应器12和/或生物分解反应器14时,可以从系统中去除生物质。可以同时或在不同时间冲洗光生物反应器12和生物分解反应器14。光生物反应器12和/或生物分解反应器14的冲洗允许将新鲜接种体引入光生物反应器12和/或生物分解反应器14中。

[0072] 在一个实施方案中,光生物反应器12具有约 2×10^{11} 细胞/ml的藻类浓度,并且生物分解反应器14具有约 1.5×10^{10} 细胞/ml的细菌浓度。在一个实施方案中,可以在1atm至5atm的压力下运行光生物反应器12和/或生物分解反应器14。

[0073] 生物分解反应器14包括用于提取在有机原料转化为氢期间生成的富含有机物的物质的出口(图中未示出)。富含有机物的材料的出口可以是来自反应器14的底流(underflow)。富含有机物的材料可以用作生物肥料并作为单独的原料出售。从单独的原料生成的收入可用于补充系统10的运行成本。在一个实施方案中,当系统10更新或用光生物

反应器12和/或生物分解反应器14中的新物种净化时,提取富含有机物的材料,提取的物质是富含有机物的材料。在一个实施方案中,富含有机物的材料可以提供生物肥料。从系统10中提取的富含有机物的材料随后被光生物反应器12和生物分解反应器14中新接种的诸如微藻和细菌等物种替代。富含有机物的材料的提取可以定期进行,例如约每两至三周进行。

[0074] 在一个实施方案中,富含有机物的材料具有以下组成:

- [0075] • 钾:2.67%
- [0076] • 钙:4.77%
- [0077] • 镁:0.74%
- [0078] • 铜:20.26ppm
- [0079] • 锰:309.52ppm
- [0080] • 铁:1ppm
- [0081] • 锌:80ppm
- [0082] • 铝:1%
- [0083] • 硫:0.5%
- [0084] • 钠:2%
- [0085] • 硼:0.008%
- [0086] • 有机碳:23.3%
- [0087] • 碳/氮比:24:1
- [0088] • 湿度 (65°C) 90%
- [0089] • 有机物质:10%
- [0090] • 总氮:0.96%
- [0091] • 密度:1.1g/cm³

[0092] 在使用时,生物分解反应器14生成氢和废二氧化碳和/或废烃。生物分解反应器14中生成的氢、二氧化碳和烃的相对量通常取决于生物分解反应器的条件。因为光生物反应器12使用二氧化碳作为进料,所以生物分解反应器14可以配备有辅助二氧化碳供应线32,其将生物分解反应器14生成的任何二氧化碳转移到光生物反应器12(即二氧化碳再循环线)。这意味着生物分解反应器14生成的二氧化碳可以用作光生物反应器12的进料。辅助二氧化碳供应线32可以有助于提高系统10的效率,因为通过二氧化碳供应线28递送到系统的每单位二氧化碳,可实现更大的氢产量。

[0093] 辅助二氧化碳供应线32可连接至生物分解反应器14,或者辅助二氧化碳供应线32可是导管24的分支。在任一配置中,辅助二氧化碳供应线32都配备有过滤器33,例如膜过滤器,用于从诸如氢和烃等其他气体中过滤二氧化碳气体。

[0094] 光合作用热交换器18与光生物反应器12热连通,生物分解热交换器20与生物分解反应器14热连通。热交换器18和20连接至热源17以向反应器12和14供热。在图1中,热交换器18和20并联连接至热源17,但是热交换器18和20可以可选地串联连接。

[0095] 在另一个实施方案中,如图2最佳所示,水供应装置21与光生物反应器12流体连通,并且光合作用热交换器18与水供应装置21热连通。这种布置意味着提供给光生物反应器12的热量借助于有机原料从光生物反应器12到生物降解反应器14的通道,被传送到生物分解反应器14。然而,图2所示的实施方案也可以包括生物分解热交换器20。在图2所示的实

施方案中,水供应装置21可以包括用于从水供应装置生成水雾的雾发生器。光合作用热交换器18可与雾发生器热连通。

[0096] 在图2的实施方案的变型中,水供应装置21不与热交换器18热连通,而是热交换器18仅与光生物反应器12热连通。

[0097] 水供应装置21可以具有两条供水通道,一条直接通向光生物反应器12,另一条通向二氧化碳混合室40。二氧化碳混合室40接收例如来自二氧化碳供应线28的二氧化碳,以形成富二氧化碳的溶液,该溶液然后被递送到光生物反应器12。在一个实施方案中,混合室40形成二氧化碳和水的乳液。

[0098] 通常,热交换器18和20会加热它们各自的反应器,以将反应器维持在所需温度。通常,将反应器12和14维持在约30°C至约40°C的温度范围内。然而,如果反应器12和/或14包括极端微生物,运行温度可能超过40°C,例如大于80°C。还应当认识到,也可以运行热交换器18和20以冷却它们各自的反应器。可替代地或另外,光生物反应器12可以与生物分解反应器14热连通以在反应器12与14之间转移热量,例如如果一个反应器需要持续冷却而另一个反应器需要持续加热。

[0099] 光生物反应器12和生物分解反应器14各自在图1和2中描绘为单个反应器,但在一个实施方案中,光生物反应器12和/或生物分解反应器14可以包括多个反应器。例如,图3显示了光生物反应器12具有六个反应器12a-12f的实施方案。反应器12a-12f并联连接。气体歧管39将二氧化碳供应线28连接到反应器12a-12f。藻类歧管41将藻类供应线29连接到反应器12a-12f。反应器12a-12f被布置成用于二氧化碳和藻类材料的逆流流动。在图3的实施方案的变型中,反应器12a-12f串联连接。

[0100] 提供出口气体线31以允许从反应器12a-12f中去除过量气体。如果过量气体包括二氧化碳,则可以将过量气体再引入二氧化碳供应线28。当反应器12a-12f串联连接时,二氧化碳和藻类流可以是顺流的或逆流的。图3仅是示例性的,并且包括多个反应器的光生物反应器12的实施方案也可以适用于生物分解反应器14。在一个实施方案中,多个反应器中的每一个都是模块化单元。为了增加系统10的输出,可以向各自的反应器添加额外的模块化单元。模块化反应器单元的另一个优点是,可以关闭一个单元,例如用于维护,而不必完全关闭系统10。在一个实施方案中,光生物反应器12具有六个模块化反应器,并且生物分解反应器14具有六个模块化反应器。

[0101] 模块化光生物反应器(即光合作用反应器)的一个实例如图5所示。模块化光生物反应器200是中空管202,在管202的内部空间中配备有呈灯204形式的光源。反应器200具有约1,200L的容量。电源206与灯204连接。反应器200可以具有多个灯204。灯204可以发射可见光和/或UV光。使用中的中空管202填充有包括藻源的反应介质212。反应器200具有安装在中空管202的使用中底端附近的气体入口208。气体入口208用于将二氧化碳通入中空管202中。输入线210位于中空管202的使用中的顶端附近。输入线210用于将藻源、反应介质、缓冲剂、pH调节剂等添加到中空管202中。反应器200还具有出口(未示出),用于提取由二氧化碳光合转化生成的有机原料。灯204可以使用可再生能源供电。

[0102] 在一个实施方案中,系统10设置有可用于为光源204供电的光伏元件和相关电池系统。在一个变型中,省略光源,并且使用日光作为光源。在另一个变型中,在白天利用日光作为光源,并且在夜间利用灯204作为光源以允许光生物反应器连续运行。

[0103] 回到图1和2,生物分解反应器14与空气供应装置13连接。在一个实施方案中,空气供应装置是压缩机。空气供应装置13可以配备有生物过滤器,用于从供应的空气中过滤掉生物材料。由空气供应装置13供应到生物分解反应器14的空气有助于细菌驱动由光生物反应器12产生的有机原料转化为氢。

[0104] 在光生物反应器12中的光合作用步骤和生物分解反应器14中的生物分解步骤期间,可能存在溶解的有机物质的积累。溶解的有机物质有可能充当表面活性剂并产生泡沫。在每个反应器12和14中产生泡沫会降低系统10将二氧化碳转化为氢的能力。为了解决这个问题,在一个实施方案中(图中未示出),光生物反应器12和生物分解反应器14中的每一个都还包括防止泡沫在反应器12和14中积累的消泡剂。

[0105] 在一个实施方案中,光生物反应器12和生物分解反应器14各自包括许多传感器,包括pH传感器、温度传感器、反应器液位传感器(reactor level sensor)以及监测光生物反应器12的原料生成和生物分解反应器14的气体生成的传感器。在一个实施方案中,反应器12和14配备有监测气体流入反应器的转子流量计。系统10还包括从各种传感器接收信息的控制系统(图中未示出)。控制系统可以调节例如反应器温度、藻类和细菌加载速率以及pH值等参数以优化反应条件,从而最有效地生成氢。通常,每条供应线,例如辅助二氧化碳供应线32和导管28、30和24,都配备有阀,阀可由控制系统操作和控制,以控制系统10周围各种组分的流动。控制系统还可以包括数据记录器。

[0106] 图11显示了一个实施方案,在该实施方案中,返回线(return line)50连接光生物反应器12和生物分解反应器14。返回线50允许将生物分解反应器14中的产物的至少一部分转移(即再循环)回光生物反应器12。使生物分解反应器14中的产物在光生物反应器12中接受进一步的藻类处理可以通过使更多的有机原料可用于通过系统10的生物过程转化为氢来帮助改善二氧化碳转化为氢。

[0107] 在一个实施方案中,生物分解反应器14具有一个以上的反应器。如图12最佳所示,生物分解反应器14的一个实施方案具有第一反应器14a和第二反应器14b。反应器14a和14b中的每一个都可以具有不同的反应器条件。例如,反应器14a和14b可以具有不同的细菌物种以进行第一和第二生物降解过程。在一个实施方案中,反应器14a和14b中的一个是好氧反应器而另一个是厌氧反应器。在一个实施方案中,反应器14a是好氧反应器,而反应器14b是厌氧反应器。当使用两个或更多个生物分解反应器时,每个反应器中的反应条件可以彼此独立地运行。

[0108] 当使用两个或更多个生物分解反应器时,也可以使用返回线50。例如,返回线50可以与反应器14a和/或14b连接。在一个实施方案中,返回线50连接好氧反应器(例如14a)和光合作用反应器12。这种布置可以视为是厌氧生物分解步骤的集体“进料生产阶段”。当使用好氧反应器时,可以为反应器配备空气供应装置(例如13)以提供空气供应。在一个实施方案中,好氧反应器14a运行24小时并且厌氧反应器14b运行48小时。

[0109] 尽管图12中显示了两个反应器14a和14b,但在一个实施方案中,可以使用单个反应器执行不同的生物分解过程。例如,在一个实施方案中,可以设置单个反应器,以便首先进行好氧生物分解,然后改变反应器条件(例如抽空氧气/空气)以进行厌氧生物分解,反之亦然。

[0110] 系统10的一个优点是,它可以用于去除工业过程中的二氧化碳排放,例如来自天

然气液化的排放,并且可以产生氢。在消耗二氧化碳的同时产生氢,而不是封存二氧化碳,可以有助于消除对封存二氧化碳所需的地质构造的需要。此外,系统10可根据需要处理的二氧化碳量按需要按比例放大或缩小,而二氧化碳封存通常仅对大量二氧化碳是可行的。

[0111] 系统100的另一个实施方案如图4所示。系统100类似于系统10,不同之处在于二氧化碳源11是由气体重整器22生成的废二氧化碳气流。气体重整器22通过蒸汽重整将诸如甲烷或管道天然气等烃源26转化为氢。蒸汽重整的副产物是二氧化碳。在图4的实施方案中,收集二氧化碳副产物,并通过二氧化碳供应线28将其从气体重整器22传送到光生物反应器12。为了将供应线28中的二氧化碳与由气体重整器22生成的诸如一氧化碳、蒸汽和氢等其他气体分离,可以在二氧化碳供应线28上设置气体过滤器29。

[0112] 收集由气体重整器22产生的氢,并使其通过导管36进入储存容器16。导管36可以设置有过滤器37以从氢气流中去除任何污染物。在一个实施方案中,当来自光生物反应器12的有机原料转化为氢时,生物分解反应器14还产生烃。辅助烃进料线34将生物分解反应器14与气体重整器22连接,用于将生物分解反应器14生成的烃传送至气体重整器22。在一个实施方案中,辅助烃供应线34配备有过滤器35,用于在递送到重整器22之前纯化由生物分解反应器14生成的烃。

[0113] 向气体重整器22供应由生物分解反应器14生成的烃,并且还向光生物反应器12供应由生物分解反应器14生成的二氧化碳,可以有助于将每单位烃(例如源26)生成的氢量从约40%增加到约65%,这代表生成的氢量增加了约63%。

[0114] 在一个实施方案中,供应线32和34以及导管24连接至歧管102,如图6所示。歧管102连接至生物分解反应器14的气体出口。歧管102还配备有过滤器,使得由生物分解反应器14生成的氢、二氧化碳和任何烃被过滤并通过各自的线24、32和34。在图4和图6所示的实施方案中,辅助烃进料线34可替代地连接进料线27以形成烃的单一供应,而不是具有两条进入重整器22的烃输入线。

[0115] 气体重整器22与热交换器18和20热连通,使得由气体重整器22生成的热量用于加热反应器12和/或14。利用重整器22生成的热量加热反应器12和14有助于降低反应器12和14的能量需求。

[0116] 在一个实施方案中,系统10和/或100设置有用提取在系统使用中生成的气体(例如氢)的提取系统。提取系统通常与生物分解反应器14连通以提取其中生成的气体。提取系统可施加减压以使生物分解反应器14中溶解在反应介质内的气体脱气。

[0117] 在一个实施方案中,系统10和/或100被放置在诸如船运集装箱等结构上。该结构可以是便携式结构。该结构可以是模块化的。系统的不同部件,例如光生物反应器12和生物分解反应器14,可以设置在不同的结构上,使得每个反应器都作为其自己的模块化单元提供。这意味着,可以根据需要的氢气输出,通过增加或减少所需的模块化单元,根据需要容易地按比例放大或缩小系统10和/或100。

[0118] 图7中示出了用于产生氢的加工厂间300的一个实施方案的示意图,并且基于系统100。加工厂间300具有太阳能发电系统302,其用于向系统100提供电力以维持对电网能源的较低的总体需求,并且当电网能源暂时中断时作为日光故障安全装置。在一个实施方案中,加工厂间300安装在两个20英尺海运集装箱的占地面积内。在厂间300的另一个实施方案中,用系统10替换系统100。

[0119] 可以利用系统100(例如厂间300)作为氢动力汽车加气站。人口稠密地区的大多数地点都可以使用供应网气体,并且将供应网气体用作重整器22的气源。使用现有零售供应网气体网络和基础设施来生成氢的一个优势是可以消除氢到加气站的运输,并且氢可以根据需求在现场产生。系统100还可以减少储存大量氢以满足预期需求的需要。系统100将现有零售气体基础设施与位于服务站的生物反应器相结合以生成氢。使用光生物反应器12和生物分解反应器14由从重整器22生成的二氧化碳生成氢,可以允许使用更小的重整器,因为输入系统100的每单位气体的氢输出增加了约65%。较小的重整器可降低资本和运营成本并有助于降低氢成本。

[0120] 图8示出了用于在诸如多个氢动力汽车加气站等不同位置生成氢的分配系统400的一个实施方案。系统400具有经由气体网络和基础设施404连接到在不同位置406a-d处的多个系统100的供应网气体供应装置402。位置406a-d中的每一个都可以是氢动力汽车加气站。取决于每个位置406a-d的氢需求,可以优化每个系统100以在每个位置406a-d处生成氢。

[0121] 在一个实施方案中,每个位置406a-d处的系统100可以具有约14,400L的容量,总氢输出为约500kg/天。当系统10用于捕获由LNG车间产生的二氧化碳时,系统10可以具有约11,700,000L的容量,总氢输出为约10,000kg/天。

[0122] 图中描述的实施方案将光生物反应器12和生物分解反应器14显示为单独的反应器。然而,在一个实施方案中,二氧化碳光合转化为有机原料和有机原料生物分解转化为氢,可以在同一反应器中发生,因此光生物反应器12和生物分解反应器14是同一个单元。

[0123] 所公开方法的一个实施方案可以使用比空气中的二氧化碳浓度(0.0314%)高的二氧化碳浓度(8%-20%),并且对于给定质量的氢输出可以需要少得多的水质量(氢源)。此外,正如本发明人合理预测的那样,与当今任何已知的技术相比,所公开方法的一个实施方案可以:对于给定的反应器容器尺寸,每天生产多达500-2,000倍的氢;每消耗一公斤二氧化碳,产生多达28倍的氢(公斤);每产生一千克氢消耗多达51倍的二氧化碳(千克);并在生物系统内产生13%的总可用氢(相比0.009%)。

[0124] 图9示出了用于发电的系统600的一个实施方案。系统600具有燃煤发电站602。发电站602的烟道气包括二氧化碳。发电站602的烟道气与系统10的光生物反应器12流体连通并且充当第一废二氧化碳气流。在一个实施方案中,在发电站602与光生物反应器12之间设置有过滤器以过滤掉烟道气中除二氧化碳之外的气体。如上所述,系统10将第一废二氧化碳流转化为氢储存在容器16中。在系统600中,氢燃料电池604通过导管606与容器16连接。储存在容器16中的氢可以通过导管606转移到燃料电池604以在其中发电。在一个实施方案中,容器16和导管606被省略,并且生物分解反应器14中产生的氢直接通过导管24传输到燃料电池604。由燃料电池604产生的电力可以供给到发电站602以供分配或可以独立于发电站602产生的电力分配。通过利用来自发电站的烟道气中存在的二氧化碳作为燃料源,系统600可以有助于从输入到发电站602的单位煤中提取更多的能量。系统600还可以有助于减少燃煤发电站排放的二氧化碳量。

[0125] 图10示出了用于发电的系统700的另一个实施方案。系统700包括燃气发电站702。燃气发电站可以使用烃例如天然气运行。发电站702的烟道气包括二氧化碳。发电站702的烟道气与系统10的光生物反应器12流体连通并且充当第一废二氧化碳气流。在一个实施方

案中,在发电站702与光生物反应器12之间设置有过滤器以过滤除二氧化碳之外的气体。如上所述,系统10将第一废二氧化碳流转化为氢储存在容器16中。容器16通过导管704连接至发电站702。导管704允许储存在容器16中的氢转移到发电站702,在那里,氢气可以与烃气体混合以形成在发电站702中燃烧的富氢气体。系统700还可以任选地配备有辅助烃供应线706。生物分解反应器14中产生的任何烃,例如甲烷,可以通过导管706转移到发电站702,并与在发电厂702中燃烧的天然气的混合。由系统10产生的氢和任选的烃用于补充在发电厂702中燃烧的主要气体输入。通过利用来自发电厂的烟道气中的二氧化碳作为燃料源,系统700可以有助于从输入到发电站702的单位气体中提取更多能量。系统700还可以有助于减少燃气发电站排放的二氧化碳量。

[0126] 本发明涉及以下项目的实施方案。

[0127] 1.一种用于由二氧化碳气流生成氢气流的方法,所述方法包括:

[0128] (i) 在光合作用步骤中使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料;和

[0129] (ii) 在生物分解步骤中,使用生物体将所述有机原料转化为第一氢气流和气态副产物。

[0130] 2.如项目1所述的方法,还包括收集步骤(ii)的气态副产物并过滤所述气态副产物以分离第二废二氧化碳气流。

[0131] 3.如项目2所述的方法,还包括将所述第二废二氧化碳流转移到步骤(i)。

[0132] 4.如项目1-3中任一项所述的方法,其中步骤(i)在配备有光子源的微生物反应器中进行。

[0133] 5.如项目1-4中任一项所述的方法,其中步骤(ii)包括好氧生物降解步骤和厌氧生物降解步骤。

[0134] 6.如项目5所述的方法,其中在好氧生物分解步骤在厌氧生物分解步骤之前进行。

[0135] 7.如项目6所述的方法,其中在所述厌氧生物分解步骤之前,将所述好氧生物分解步骤的至少一部分产物与步骤(i)中的所述藻源混合。

[0136] 8.如项目1-7中任一项所述的方法,其中步骤(ii)在一个或多个生物分解反应器中进行。

[0137] 9.如项目1-8中任一项所述的方法,还包括调节步骤(i)和/或步骤(ii)的温度。

[0138] 10.如项目1-9中任一项所述的方法,其中由气体重整器生成所述第一废二氧化碳气流,所述气体重整器由烃源形成副氢气流。

[0139] 11.如从属于项目9时的项目10所述的方法,其中通过利用至少一些由所述气体重整器生成的热量调节步骤(i)和/或步骤(ii)的温度。

[0140] 12.如项目10或11所述的方法,其中所述烃源是天然气。

[0141] 13.如项目1-12中任一项所述的方法,还包括过滤所述气态副产物以分离废烃气流。

[0142] 14.如从属于项目10-12中任一项时的项目13所述的方法,其中所述废烃气流用于补充所述烃源。

[0143] 15.如项目10-14中任一项所述的方法,其中所述第一氢气流补充所述副氢气流。

[0144] 16.如项目1-9中任一项所述的方法,其中所述第一废二氧化碳气流由燃煤或燃气发电站生成。

- [0145] 17. 如项目1-16中任一项所述的方法,还包括向步骤(i)供应水。
- [0146] 18. 如项目1-17中任一项所述的方法,还包括收集在步骤(i)和/或步骤(ii)中生成的生物质废物流。
- [0147] 19. 用于由二氧化碳气流生成氢气流的方法,所述方法包括:
- [0148] (i) 混合第一废二氧化碳气流和藻源以形成有机原料;
- [0149] (ii) 在第一生物分解步骤中处理所述有机原料以产生第一生物分解产物;和
- [0150] (iii) 在第二生物分解步骤中处理所述第一生物分解产物以产生氢气;
- [0151] 其中,在步骤(iii)之前,将至少一部分所述第一生物分解产物与步骤(i)中的所述藻源混合。
- [0152] 20. 如项目19所述的方法,其中所述第一生物分解步骤是好氧的,并且所述第二生物分解步骤是厌氧的。
- [0153] 21. 如项目19或20所述的方法,其中所述方法的其他方面如项目1-18中的任一项所定义。
- [0154] 22. 使用项目1-21中任一项所述的方法生成的氢。
- [0155] 23. 一种发电方法,包括:
- [0156] 根据项目1-21中的任一项生成氢气流,并在发电步骤中使用所述氢气流作为燃料源。
- [0157] 24. 如项目23所述的方法,其中所述发电步骤包括使所述氢气流通过燃料电池从而发电。
- [0158] 25. 如项目23所述的方法,其中所述发电步骤包括用所述氢气流充实可燃燃料以形成富氢燃料和燃烧所述富氢燃料以驱动发电机。
- [0159] 26. 如项目23-25中任一项所述的方法,其中由燃煤或燃气发电站生成所述第一废二氧化碳气流。
- [0160] 27. 由二氧化碳气流生成氢气流的系统,包括:
- [0161] 光合作用反应器,其被配置为使用藻源将第一废二氧化碳气流转化为有机原料,所述光合作用反应器具有用于接收二氧化碳气流的入口和有机原料出口;和
- [0162] 生物分解反应器,其包括与所述有机原料出口连通、用于接收所述有机原料的入口,所述生物分解反应器被配置为使用生物体将来自所述光合作用反应器的所述有机原料转化为所述氢气流。
- [0163] 28. 如项目27所述的系统,还包括与所述生物分解反应器流体连通的氢储存容器,用于接收和储存在所述生物分解反应器中生成的所述氢气流。
- [0164] 29. 如项目27或28所述的系统,还包括用于将所述生物分解反应器中生成的二氧化碳转移到所述光合作用反应器的辅助二氧化碳供应线,所述辅助二氧化碳供应线包括用于过滤除二氧化碳以外的气体的过滤器。
- [0165] 30. 如项目27-29中任一项所述的系统,还包括一个或多个被配置为加热所述光合作用反应器和所述生物分解反应器中的每一个的热交换器。
- [0166] 31. 如项目27-30中任一项所述的系统,还包括用于将烃转化为第二氢气流和所述第一废二氧化碳气流的气体重整器,其中:
- [0167] 所述第二氢气流与所述氢储存容器流体连通,并且

- [0168] 所述第一废二氧化碳气流与所述光合作用反应器流体连通。
- [0169] 32. 如从属于项目30时的项目31所述的系统,其中所述热交换器被配置为将由所述气体重整器生成的热量转移到所述光合作用反应器和/或所述生物分解反应器。
- [0170] 33. 如项目31或32所述的系统,还包括将所述生物分解反应器与所述气体重整器连接的辅助烃进料线,用于将在所述生物分解反应器中生成的烃转移到所述气体重整器,所述辅助烃供应线包括用于过滤除烃之外的气体的过滤器。
- [0171] 34. 如项目27-30中任一项所述的系统,还包括与所述光合作用反应器流体连通并位于所述光合作用反应器上游的燃烧室,所述燃烧室被配置为燃烧燃料源以生成所述第一废二氧化碳气流。
- [0172] 35. 如项目27-34中任一项所述的系统,其中所述光合作用反应器和/或所述生物分解反应器设置在可运输的结构上。
- [0173] 36. 如项目27-35中任一项所述的系统,还包括用于向所述光合作用反应器和/或所述生物分解反应器供应水的水供应装置。
- [0174] 37. 如项目27-33中任一项所述的系统,其中所述光合作用反应器和/或所述生物分解反应器各自包括多个反应器。
- [0175] 38. 如项目27-37中任一项所述的系统,还包括用于将至少一部分在所述生物分解反应器中形成的产物转移到所述光合作用反应器的转移线。
- [0176] 39. 如项目27-38中任一项所述的系统,还包括被配置为在所述光合作用反应器中防止起泡的光合作用消泡剂和/或被配置为在所述生物分解反应器中防止起泡的生物分解消泡剂。
- [0177] 40. 如项目27-39中任一项所述的系统,还包括用于控制所述光合作用反应器和/或所述生物分解反应器的控制器。
- [0178] 41. 如项目27-40中任一项所述的系统,还包括用于向所述生物分解反应器供应空气的空气供应装置。
- [0179] 42. 如项目41所述的系统,其中所述空气供应装置包括用于从所述空气供应装置供应的空气中过滤生物物质的生物过滤器。
- [0180] 43. 如项目27-42中任一项所述的系统生成氢的用途。
- [0181] 44. 氢动力汽车加气站,包括项目27-42中任一项所述的系统。
- [0182] 实施例
- [0183] 现在将利用非限制性实施例描述实施方案。
- [0184] 实施例1
- [0185] 实验室测试的实施方案如下。
- [0186] 将120L培养基溶液和5升小球藻接种体以0.5-1.0VVM的流速注入空气和CO₂,在光合作用反应器内处理4天,直到反应器具有足以用于流通和清除的生物质折射。光生物反应器配备有两个12V LED,其蓝色和红色波长为400-1500-1800 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。
- [0187] 将在光合作用反应器中产生的部分生物质(60%)转移到生物分解反应器,用于将生物质(例如糖)消化成气体,包括氢。剩余的40%的生物质被储存起来用作光合作用反应器的接种体或用作生物肥料原料。
- [0188] 在生物分解反应器中,将生物质与15升浓度为 2×10^{11} (细胞/ml)的枯草芽孢杆菌接

种体一起放入生物反应器的好氧体系(aerobic regime)中,并在0.8VVM下引入大气气体48小时,之后,将生物分解反应器转移到具有厌氧细菌产气克雷伯氏菌(*K.aerogenes*)的厌氧体系,产气克雷伯氏菌的浓度为 1.5×10^{10} (细胞/ml)。

[0189] 将生物分解反应器中的生物质消化48小时,形成的气体被排气系统去除并通过过滤分离成各自的组分(例如 CO_2 流、 H_2 流、 CH_4 流),这些组分被再循环或去除并储存,这具体取决于用于产生 H_2 的系统的要求。消化后,含有消化过的养分、细菌和水的液体被重新用作系统的接种体或用作生物肥料土壤改良剂。

[0190] 实施例2

[0191] 将120L培养基溶液和5升小球藻接种体以0.2-0.8VVM的流速注入空气和 CO_2 ,在光合作用反应器内使用48小时,直到反应器具有足以用于流通和清除的生物质折射。二氧化碳的浓度范围为8-20vol%。光生物反应器配备有两个12V LED,其蓝色和红色波长为400-1500-1800 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

[0192] 将光合作用反应器中产生的部分生物质(60%)转移到生物分解反应器,用于将生物质(例如糖)消化成气体,包括氢。转移到生物分解反应器的生物质具有约78%的碳水化合物产率,由约35%的葡萄糖当量和半乳糖变体组成。剩余的40%的生物质被储存起来用作光合作用反应器的接种体或用作生物肥料原料。

[0193] 在生物分解反应器中,将生物质与15升浓度为 2×10^{11} (细胞/ml)的枯草芽孢杆菌接种体一起放入生物反应器的好氧体系中,并在0.8VVM下引入大气气体24小时,之后,将生物分解反应器转移到具有厌氧细菌产气克雷伯氏菌的厌氧体系,持续48小时,产气克雷伯氏菌的浓度为 1.5×10^{10} (细胞每毫升)。

[0194] 实施例3

[0195] 重复实施例2,但将8010L培养基和335L小球藻在光合反应器中孵育48小时。将光生物反应器中产生的60%的生物质转移到具有1000L枯草芽孢杆菌的好氧生物分解反应器中,在那里,将其孵育24小时。在好氧生物降解之后,用产气克雷伯氏菌进行厌氧生物降解,产生81kg/天的氢气、513kg/天的二氧化碳、596kg/天的甲烷。

[0196] 本领域技术人员应当理解,在不脱离本公开的精神和范围的情况下,可以对上述实施方案进行许多修改。上述实施方案仅是示例性的,并不用于限制本公开的范围。

[0197] 在随后的权利要求和前面的描述中,除非上下文由于表达语言或必要的暗示而另有要求,否则“包含/包括(comprise)”一词或诸如“包含/包括(comprises)”或“包含/包括(comprising)”等变型以包括的意义使用,即规定在各种实施方案中存在所述特征,但不排除存在或添加其他特征。

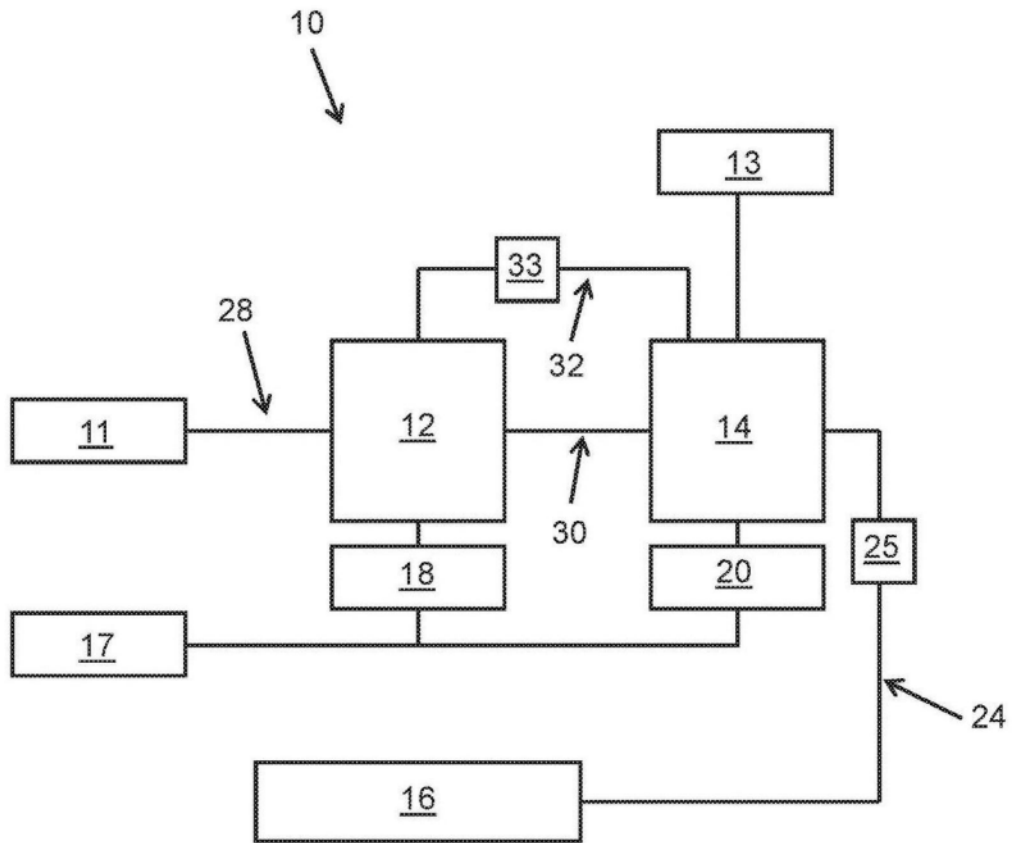


图1

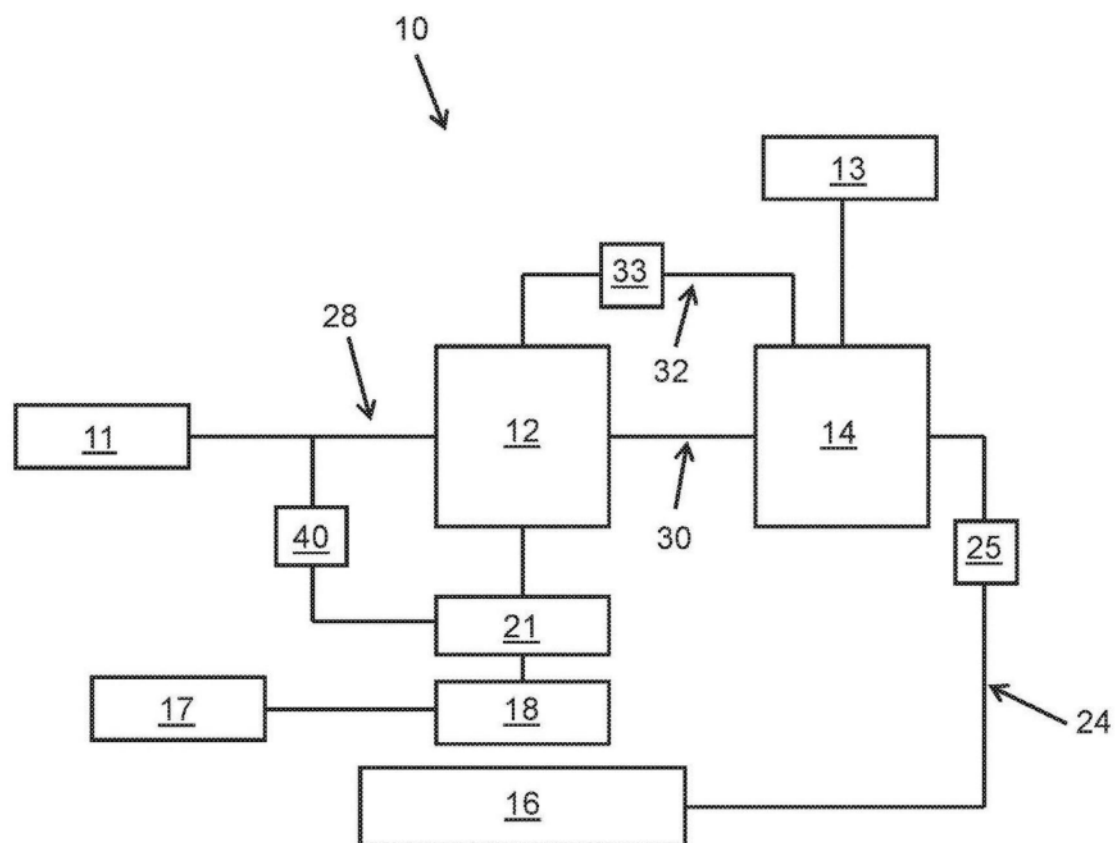


图2

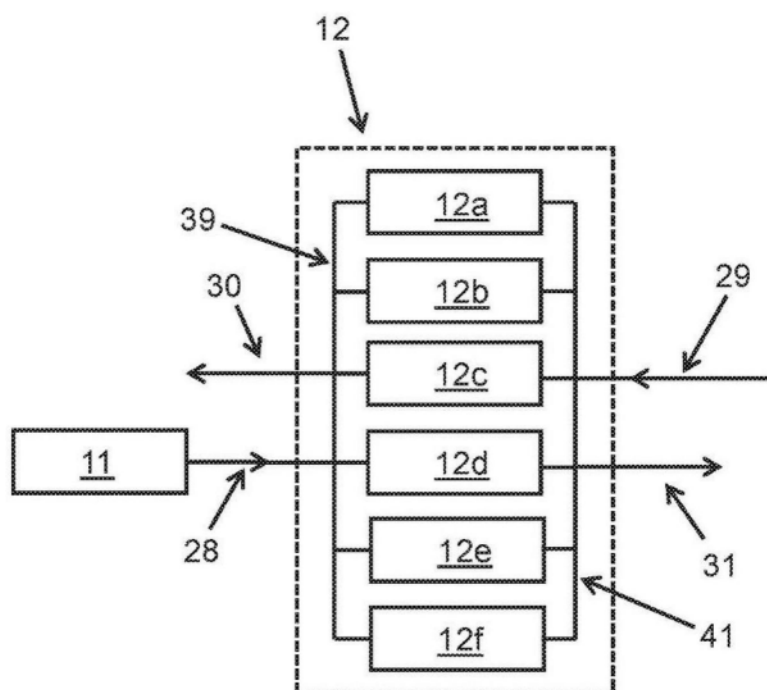


图3

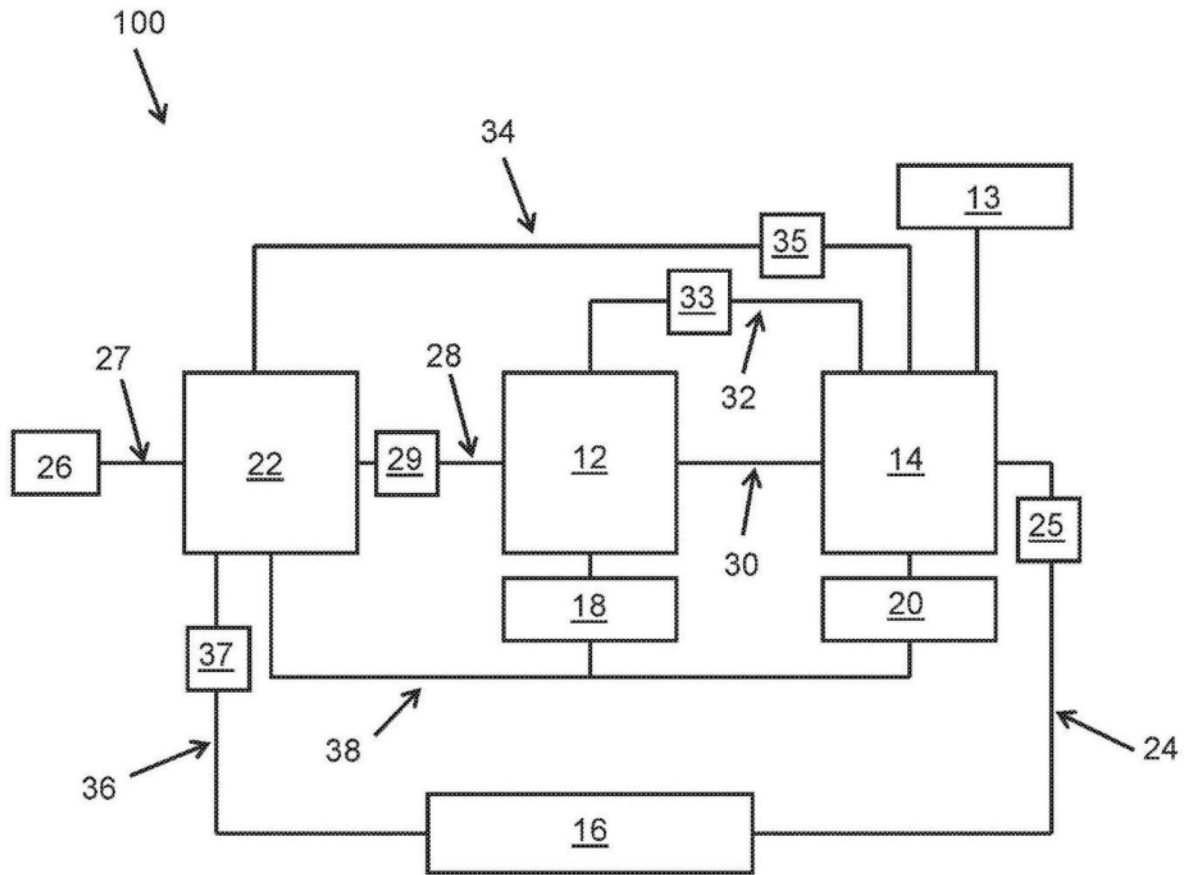


图4

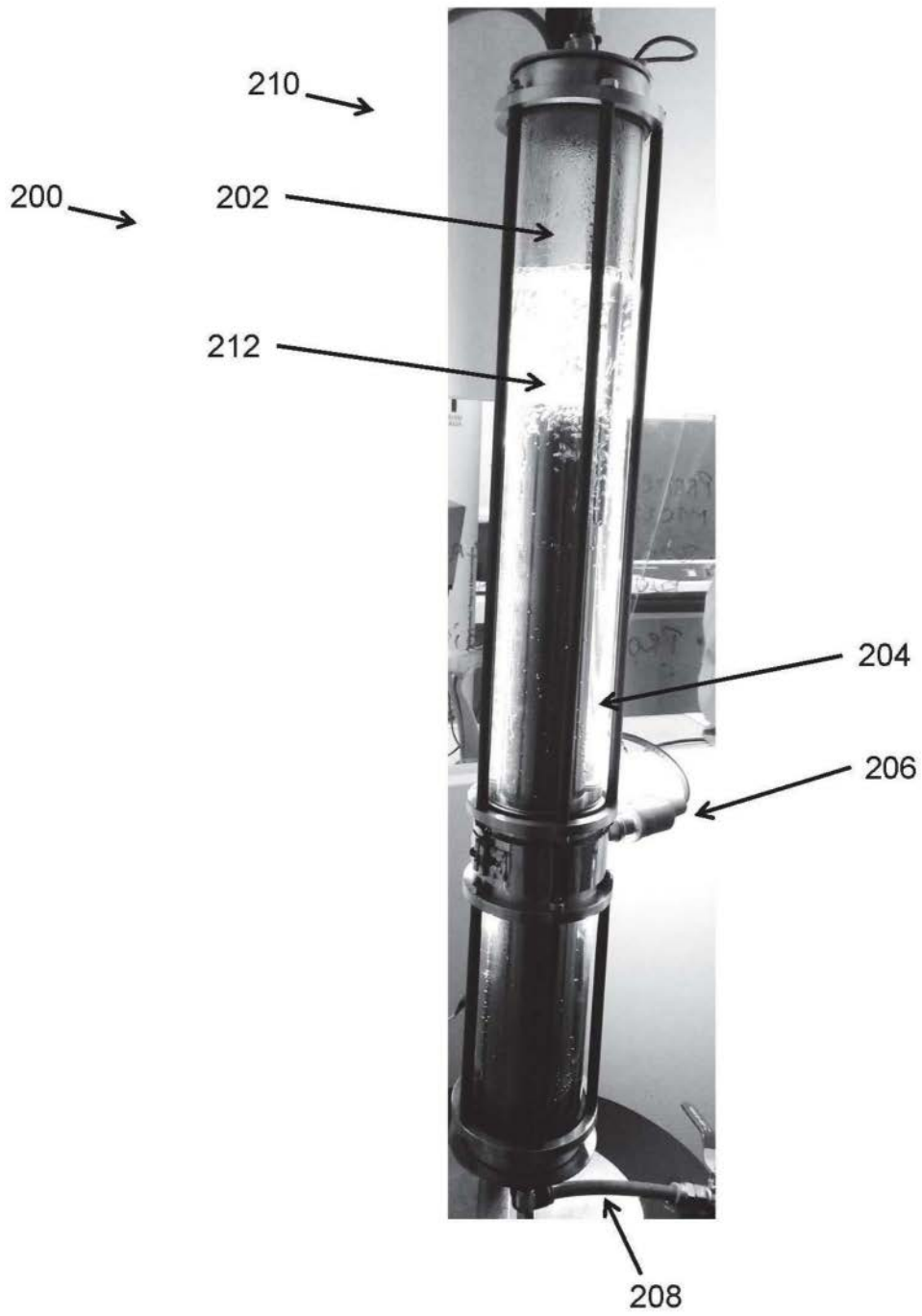


图5

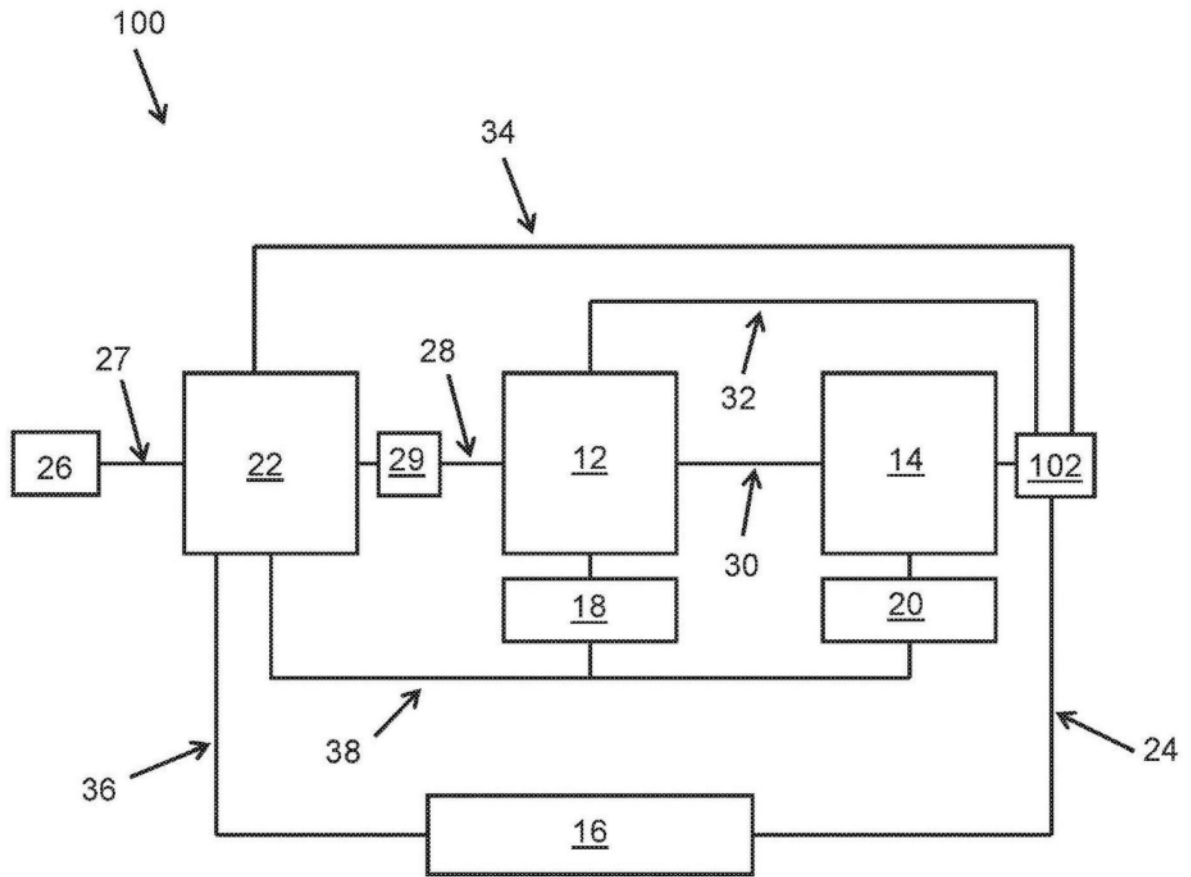


图6

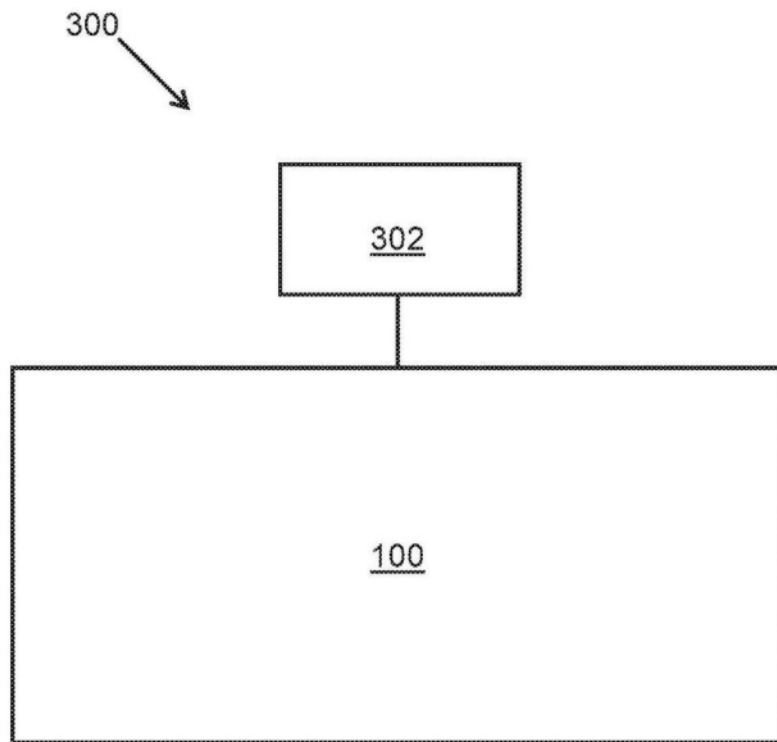


图7

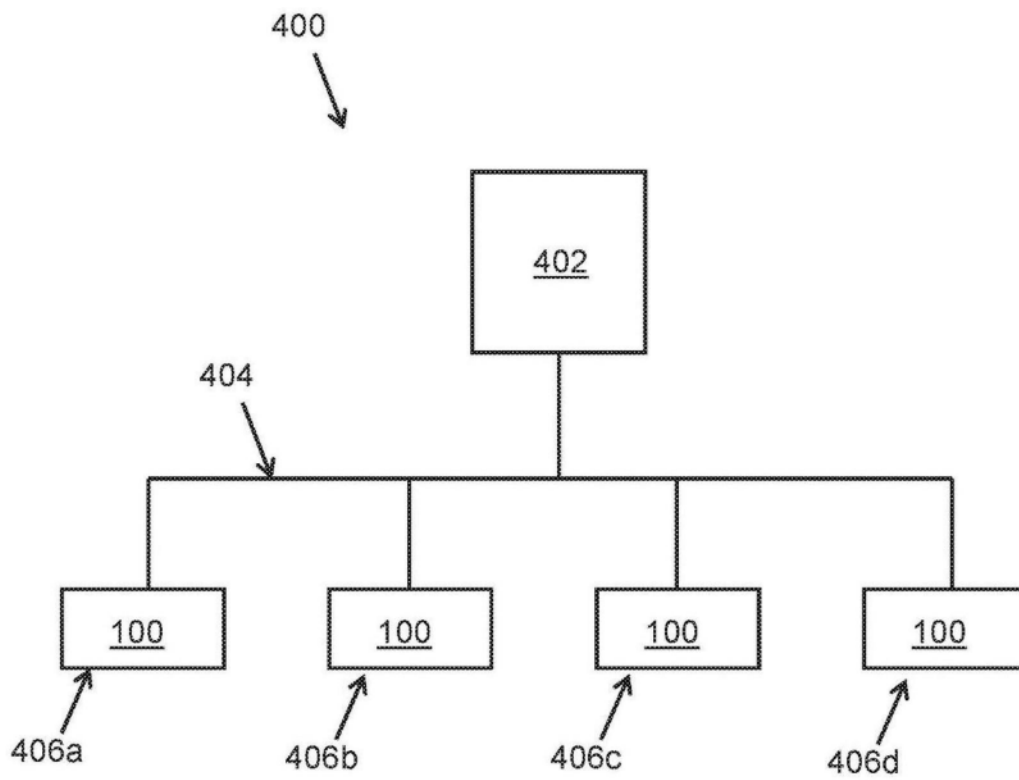


图8

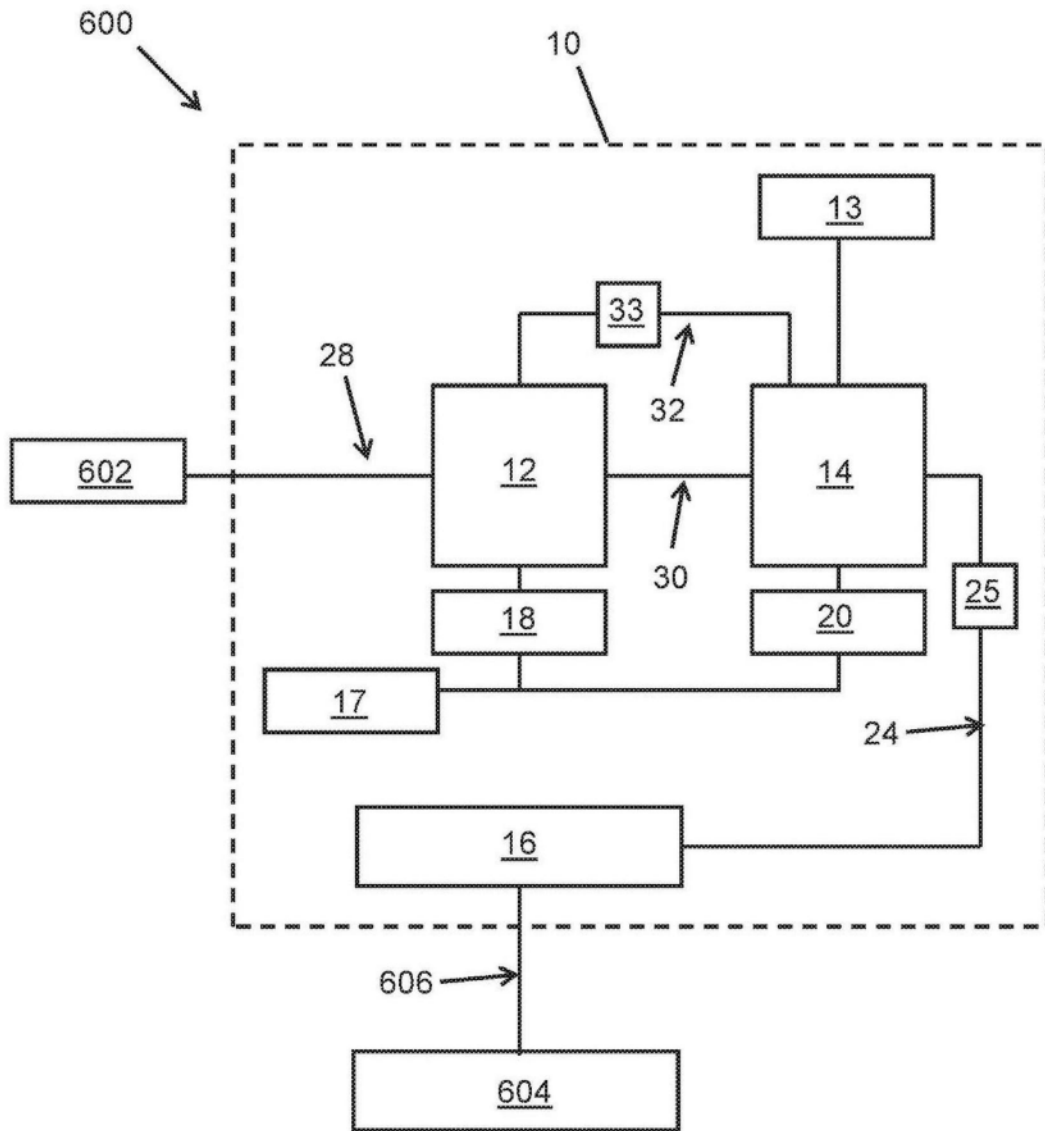


图9

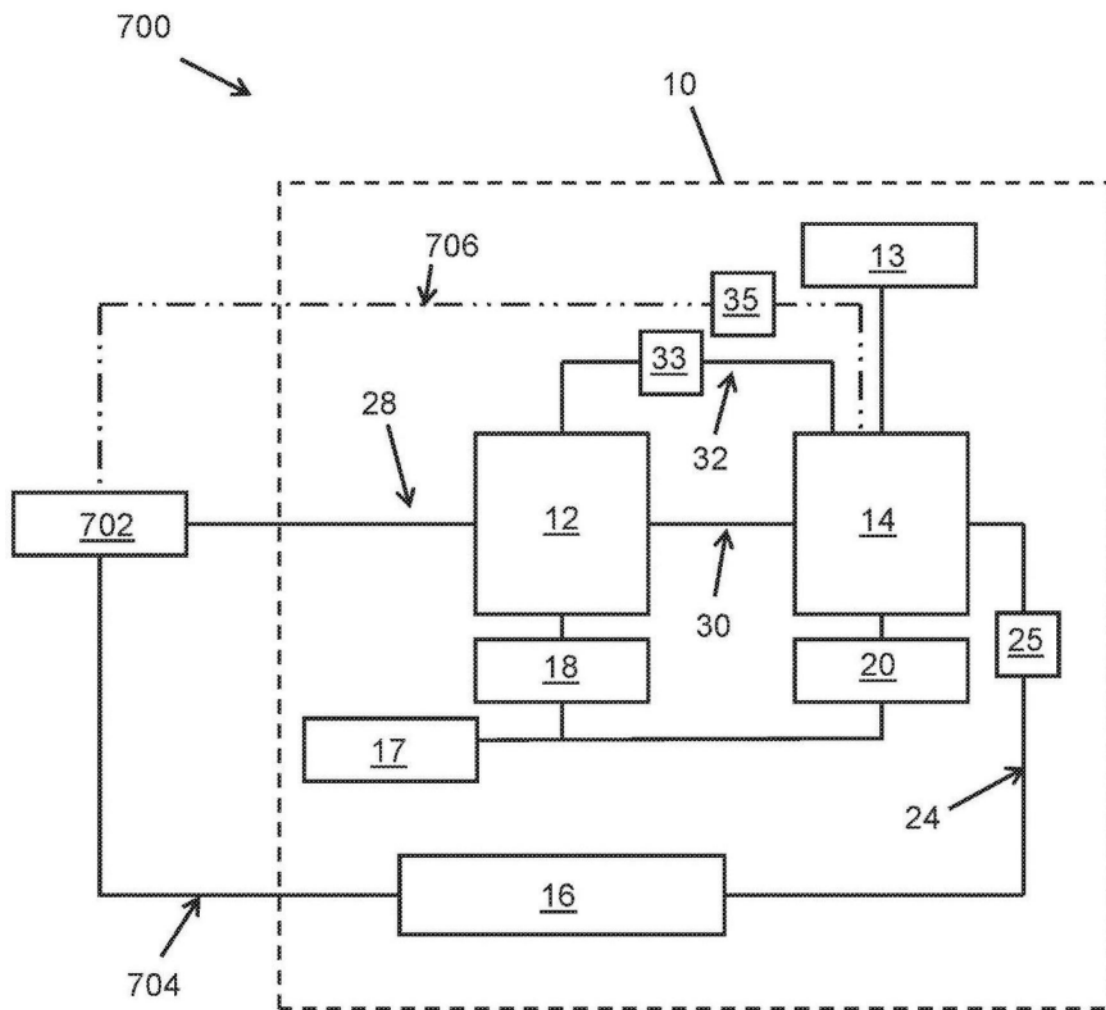


图10

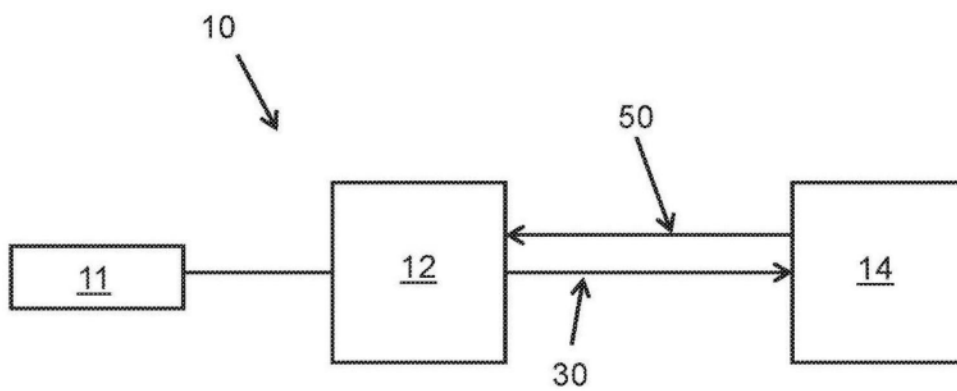


图11

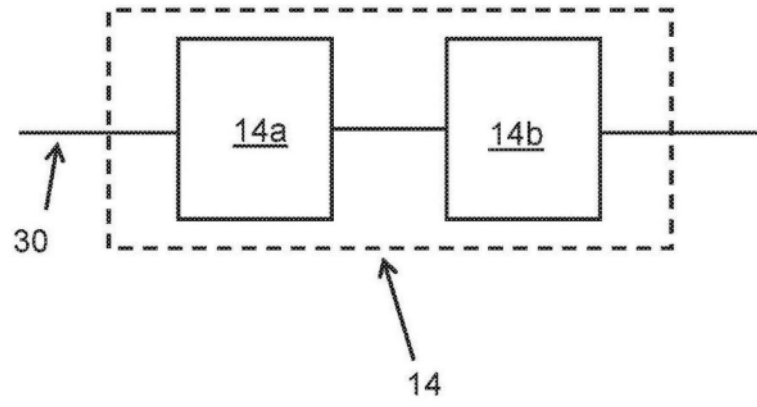


图12