[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
C02F 3/28
C12N 13/00 B01D 53/14
B01D 53/18

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00819274.X

[43] 公开日 2003 年 8 月 20 日

[11] 公开号 CN 1437564A

[22] 申请日 2000.2.1 [21] 申请号 00819274.X
[86] 国际申请 PCT/GB00/00288 2000.2.1
[87] 国际公布 WO01/56938 英 2001.8.9
[85] 进入国家阶段日期 2002.9.2
[71] 申请人 苏科马尔·罗伊乔德赫里
地址 美国阿利桑那州
共同申请人 罗伊·爱德华·麦克阿里斯特
[72] 发明人 苏科马尔·罗伊乔德赫里
罗伊·爱德华·麦克阿里斯特
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 卢新华 罗才希

权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 10 页

[54] 发明名称 从厌氧分解的有机物中制氢的方法

[57] 摘要

本发明涉及将厌氧分解的有机物如填埋场物质和污水系统污泥经在其中通电流处理，以提高氢的产生和抑制甲烷的生成，并减少处理这类物质所需的时间。 本发明还涉及用于分离从有机物分解产生的二氧化碳和其它气体产物的方法和设备。

ISSN1008-4274

1. 一种处理厌氧分解的有机物的方法，该方法包括在该物质内产生电流，以使产氢微生物的活性提高，产甲烷微生物的活性降低。

2. 权利要求1的方法，其中该厌氧分解的有机物包括厌氧制堆肥的纤维质和/或厌氧菌致分解的污水系统污泥。

3. 权利要求1或2的方法，其中该电流是通过在与有机物接触的电极间施加电位产生的。

4. 权利要求3的方法，其中电压为3-6伏。

5. 前述权利要求中任一项的方法，其中从有机物中产生的部分氢用于能转换过程，以提供用于产生电流的能。

6. 前述权利要求中任一项的方法，其中该电流是间歇式产生的。

7. 权利要求6的方法，其中该电流产生的时间间隔参照从有机物产生的气体中测出的氢和/或甲烷的量来确定。

8. 前述权利要求中任一项的方法，其中从有机物产生的二氧化碳通过在加压流体中的二氧化碳的优先吸收与从有机物产生的氢分离，该氢释放到收集机构中。

9. 权利要求8的方法，其中该加压流体包括其深度至少为300米的水柱，其温度保持在4-16°C。

10. 权利要求8或9的方法，其中所得的含二氧化碳的加压流体可经膨胀，以使二氧化碳释出，并将能量传给发动机。

11. 权利要求10的方法，其中在该含二氧化碳的加压流体膨胀之前向其加入热量。

12. 权利要求11的方法，其中膨胀后的流体接着经冷却、加压、循环、以继续吸收二氧化碳。

13. 一种用于分离从有机物分解产生的二氧化碳和其它气态物质的设备（300，400），该设备包括适于包容加压流体的容器，在该流体中二氧化碳比其它气态物质优先溶解；适于将该二氧化碳和其它气态物质的混合物引入该容器下部的供料装置（304，404）；适于从该容器中部收集不溶的其它气态物质的收集装置（308，408）；和适于从该容器上部导出含二氧化碳流体，有时还有二氧化碳的导出装置（310，410）。

14. 权利要求13的设备，其中该容器的形状为直立柱。

15. 权利要求 14 的设备，其中该柱的高度至少 300 米。

16. 权利要求 14 和 15 的设备，还包括一个或多个绕柱轴安置的螺旋叶片（306，406），该螺旋叶片的顶与该收集机构相通。

17. 权利要求 13-16 中任一项的设备，还包括控制该容器温度的装置。

18. 权利要求 13-17 中任一项的设备，还包括适于从该流体导出装置接收含二氧化碳加压流体的膨胀机（430、432、434、436、438、440）。

19. 权利要求 18 的设备，还包括适于从该膨胀机收集二氧化碳的二氧化碳收集装置（458）。

20. 权利要求 18 或 19 的设备，还包括加热机构（414、416、418、420、422、424），以加热从该流体导出装置通到该膨胀机的含二氧化碳的加压流体；冷却装置（456）和加压装置（454），以分别冷却和加压从该膨胀机收集的流体；以及将这种冷却和加压的流体引入该容器下部的装置。

从厌氧分解的有机物中制氢的方法

本发明涉及一种从厌氧分解的有机物，包括如填埋场物质和下水污泥的厌氧分解物质中制氢的方法，还涉及制得的氢与伴随产生的二氧化碳的分离，以及用于实现这种分离的设备。

大家公认，工业的持续发展需要补充性能源。过度依赖化石燃料总是存在危险。化石燃料（烃类）代表通常在燃烧过程中释放贮能的有限能源。通过烃类的燃烧，人类已将上十亿吨的有毒污染物排入大气。因此，从环境和经济两者的观点看来，开发另外的可再生燃料源是很有意义的。

氢是一种不产生污染的燃料，水是唯一的燃烧产物。氢有多种工业用途，例如制备肥料、染料、药物、塑料、氢化油和脂和甲醇，并用在多门工业部门。它同样用作火箭燃料，而且可按本发明用作普通发动机用的负排放燃料，以清洁空气。

已经建立的制备工业用量的氢的方法是：（1）烃类的蒸汽重整，（2）煤的部分氧化，（3）水的电解，和（4）太阳辐射的直接应用（光电法）。

烃类的蒸汽重整和煤的部分氧化的缺点在于要消耗化石烃燃料。通过水电解制氢是一种较简单而且无污染的方法，但它的费用很高，从而对于多数工业用途是不经济的，因为水电解所需要的能量超过了所得氢燃烧产生的能量。制氢的光电法受到限制，因多数世界人口只能有限地利用太阳辐射。

在 Energy and the Environment（能源和环境），Proceedings of the Ist World Renewable Energy Congress（第一届世界可再生能源会议学报），Reading，UK 23-28，1990 年 9 月：S. Roychowdhury and D. Cox（“Roychowdhury”）中讨论了一种由糖如葡萄糖和麦芽糖制备氢的方法。这种方法涉及从填埋场的不同深度得到的物质经过干燥、研磨（得到“填埋场粉末”）和就地保温培养以制备“填埋场培养物”。曾经发现，所得的培养介质主要产生二氧化碳和甲烷，几乎无其它物质，它表明在培养物中存在高产甲烷植物群。但是，曾经发现，用这种培养介质或者在某些情况下用填埋场粉末培养糖溶液却产生氢和二

氧化碳，而不产生甲烷和氧。这表明，在填埋场培养物中存在产氢细菌和/或释出的氢对填埋场物质和培养物有影响、曾经发现，氢的产率随酸度的增加而减小。

本发明部分基于厌氧分解的有机物可用通过较小的和/或中等的电流的方式处理，以便提高氢的产率和抑制甲烷的形成。这种处理能从如城市废物场和污水处理厂的典型废物中制备氢，其量将使所产氢的化学贮备潜能超过产生电流所需的能量，同时减小废物的容积和/或减小这种物质的处理或处置所需的时间。因此，本发明提供一种制氢方法，该法勿需利用化石燃料，该法不取决于太阳光的无规则出现，而且该法能为电力分配和其它能源设施较不发达的社区提供一种从收集的废物中产生有用能源的系统。

处理填埋场物质具有特殊的意义，因为这类物质为世界各城市带来一些普遍存在的问题，诸如作为如啮齿动物、蟑螂和传染病菌的带菌体繁殖地以及由于有毒浸出物的产生而成为温室气体和地下水污染的源泉。按本发明进行处理可隐蔽填埋场，包括污水系统污泥处置场的碳。

因此，本发明的一个方面是提供一种处理厌氧分解的有机物的方法，该方法包括在该物质中产生电流，致使产氢微生物的活性提高，使产甲烷微生物的活性降低。

按照本发明这方面可以处理的厌氧分解有机物包括厌氧制堆肥的纤维物质和厌氧菌致分解的下水污泥。厌氧制堆肥的纤维素质通常存在于填埋场的物质中，它们通常由大约 70%纤维素质组成，其湿含量为 36%-46%。厌氧菌致分解的污水系统污泥通常包括城市污水处理厂的污泥；它基本上呈液态，固体含量为 2-3%。填埋场物质和污水系统污泥两者当然含有产甲烷的菌种和产氢的菌种。

其它可被处理的有机物包括农家肥、农作物废和垃圾。这类物质例如宜用在电流处理前的填埋场物质或污水系统污泥培养。如果需要，这种使用的培养物可通过在其中产生电流的方式或在较高氢浓度存在下用菌致分解的方式进行预处理。

厌氧分解系指一种方法，其中有机化合物，例如通式为 $C_nH_{2n}O_n$ 的烃类及其它营氧素在无给氧剂的环境下分解。如醋酸的挥发性羧酸通过这种厌氧分解下以较高量生成；碳酸氢铵是另一种典型的分解产

物。虽然在某些情况下有氧分解可在厌氧分解之前进行，但这不是本发明要处理的厌氧分解有机物的前提条件。应该理解，该方法可应用于厌氧分解不同阶段的有机物，而且电流的产生可在分解之前或分解开始时发生。

不受限于理论，相信电流会促进挥发性羧酸的水解，已知它用作电解质，它也促进碳酸氢铵水解，从而产氢。由于未发现氧的产生，似乎水的电解未包括在氢的产生中。其次相信，这样产生的氢抑制了产甲烷物种的再分、生长和活性，同时大大促进了释氢酶的产生。

本发明的这一方面例如可在任何大的城市填埋场或污水处理设施中实施，例如可在污水菌致分解罐中连续运行。它同样可以小规模实施，只要那里存在或产生厌氧分解的有机物如厌氧制堆肥的纤维质或厌氧菌致分解污泥。因此，例如，纤维质和/或污水系统污泥可“就地”分解，如在局部的仓室或小室中进行，更宜在集中的填埋场或污水处理设施中进行。这类厌氧分解的有机物然后可任选地送到配有按本发明处理的设备的转运站中制氢，另一方案是通过在现场仓室或小室或其附近“就地”制氢。在这种实施方案中，氢可以经贮存或“就地”用于产生有用形式的能源，包括产生电流所需的较小量能源。

电流例如可以通过在与有机物接触的电极对上施加电位产生，例如置于有机物中的一组或多组电极。这类电极可由铅、铜、钢、黄铜、或碳制成，优选用铸铁棒，更优选为增强电导率的以金属浸渍的或其它形式的石墨。电极组可呈任一合适的形状，例如板、棒、栅格等。

按照本发明这一实施方案的处理可采用施加电位的方式方便地实现，电位为 1-7 伏，优选 3-6 伏，最优选 3.0～4.5 伏。

希望在低极化和低欧姆损失下产生电流。电极的置放和间隔可以调节，以便达到这些条件，并且采用电压控制程序，包括偶然的极性逆反是有利的。根据拟处理的有机物的大小和组分，可改变电极的电压、平均距离和电极的数量。

在本发明这方面的一个优选实施方案中，各个电极置于填埋场物质中，并被惰性“笼状物”围绕，该笼状物能有效地保证填埋场物质的水分和现有能干扰电活性的组分直接靠近每个电极的。应该理解，置于填埋场物质中的每个电极的最佳位置要求一些试探和修正。

电流可宜间断产生，其间隔优选能使电能消耗最小同时氢产率最大的，例如，参考由有机物产生的气体中所测出的氢和/或甲烷的量来确定的时间间隔。这样，例如，电压施加的工作循环可通过参照气体监测器和相关控制机构的反馈信息进行调节。在一个这样的实施方案中，在测出痕量甲烷时施加电位，并保持该电位到甲烷的产生基本上完全被抑制；记录下相关的时间周期。电位施加中断之后控制器记录下直至痕量甲烷重新被测出的时间周期，然后启动施加电位的工作循环，其所施加的时间间隔稍长于抑制甲烷产生所记录的时间，并且切断电位的时间间隔稍短于再测出痕量甲烷时记录的时间。如果需要，所施加电位的伏特数可作为自适调节控制的一个部分而有控制地降低，以便使能耗降至最低。

本发明这方面的处理方法的一个典型实施例中，氢从厌氧分解的有机物内产生电流开始产生并增加至产生的总气体中的 70%-75 体积%。产生甲烷的量从开始施加电流时所产总气体的高达 70 体积%左右，急剧降至痕量水平。二氧化碳和氮的产量保持相对恒定，并且不随甲烷和氢的产生显著变化。

按照本发明大量的二氧化碳将伴随厌氧分解的有机物中的氢而产生。希望氢与这种二氧化碳能得到经济的分离，以便增加氢的价值，例如，通过增加它的贮存密度和使其易于在燃料电池中应用。分离出的二氧化碳例如可用在温室和溶液培养中。

本发明的另一方面是提供一种使从有机物产生的二氧化碳与有机物产生的氢分离的方法，其方式是使该二氧化碳被一种加压流体优先吸收，而氢释放到收集装置。

加压流体宜为水。二氧化碳在水中的溶解度在 25 大气压和 12°C（54°F）下约为 21.6 气体体积/体积水。增加压力或降低温度将增加单位体积水中溶解的二氧化碳，而降低压力或增加温度会使溶解的二氧化碳释放出来。地球上的大部分地区，对向饱和区的每 24.4 米（80 英寸）土壤覆盖层地下水保持在年平均空气温度加 0.55°C（1.0°F）的温度下。

将混合气体，例如由氢、二氧化碳和较少量氮和其它气体组成的混合气体可强制送入水柱的底部，水柱高度至少为 300 米（大约 1000 英尺），其温度保持在 4-16°C（40-60°F）。这种柱例如可包括深入地

区地下水饱和区以下 300 米的井。这提供了对下层土壤，包括饱和区的地下水有利的极大的热阱，那里对大多数气候区在全年内的温度通常恒定在预期的温度范围内。沿山脊斜度升高的水柱同样是可行的，但可能经受冬季的冰冻和夏季的不利升温条件。

二氧化碳在所保持的压力和温度条件下容易进入溶液，同时，气态氢可被收集，并送到各个应用层面。

正如后面详细叙述的那样，含有二氧化碳的加压流体可流出，而且有时还可在加热之后使之膨胀，使二氧化碳释放，将能量传到发动机。膨胀的流体然后再经冷却，加压和循环，以再吸收二氧化碳。

本发明的另一方面是提供一种设备，该设备能用于此种分离过程，更普遍而言，能用于将有机物分解产生的氢与其它气体，例如燃料气体如氢、甲烷和氢和甲烷的混合物分离。这种设备界定在附录的权利项 13-20 中。

附图概述

附图阐明本发明，但不以任何方式限制本发明：

图 1 是流程图，它表示在有施加的电位存在下厌氧分解的有机物中氢的产生和甲烷生成的抑制，以及厌氧分解的有机物在无施加电位下的甲烷生成；

图 2 是流程图，它表示氢的产生过程，该过程包括有机 物的就地厌氧分解；

图 3 是表示实施例 1 中表 1 资料的条形图；

图 4 是表示实施例 2 中表 2 资料的条形图；

图 5 是表示实施例 3 中表 3 资料的条形图；

图 6 是表示实施例 5 中表 5 资料的条形图；

图 7 是表示实施例 5 中表 6 资料的条形图；

图 8 是表示实施例 6 中表 8 资料的条形图；

图 9 是表示实施例 7 中表 9 资料的条形图；

图 10 是表示实施例 8 中表 10 资料的条形图；

图 11 是一个实施方案的说明图，该方案自适控制间歇施加的电位，以便使氢的产生最大，同时使甲烷的产生最小；

图 12 是一个实施方案的说明图，该图表明用于本发明制氢的电压的产生；

图 13 是本发明的另一实施方案的说明图；和

图 14 是本发明再一个实施方案的说明图。

现在更详细地参阅附图，图 11 是表示实施方案 200，其中合适的电极如同心电极 202 和 204 接受间歇施加的电压，它对电极间溶剂化的有机废物发生感应，以产生氢气。在操作中，电压按照继电器 212 控制的工作循环由电压源 216 施加，继电器由控制器 210 不断地调节，以促进氢的产生和防止大量甲烷生成。

从气体监测器 206/208 的反馈信息被送入控制器 210。如果探测到痕量甲烷，则按记录的时间周期向电极 202 和 204 之间施加电压，直到甲烷的产生受到抑制。用控制器 210 记录直至痕量甲烷被再次探测到的时间，并在电极 202 和 204 之间施加电压的工作循环的时间间隔稍长于记录的用于抑制甲烷产生的时间，接着进行中性的电极操作，它的时间周期稍短于先前记下的测出痕量甲烷的时间。

此工作循环自适地改变，以缩短电压施加的时间和延长电压施加之间的时间，其目的是使甲烷的产生最小化，同时使氢的产生最大化，并在电极 202 和 204 上施加最小电压。降低电压水平以提供另一变量，而且自适调节电压施加时间，以使能耗最小。这种自适性控制规则系统按有机废物组分、湿含量、温度和其它变量的改变进行快速调节。

图 12 表示一个实施方案，其中在有电极 230 和 232 存在下按本发明方法制备燃料气体部分用于通过燃料电池或发电机组 240 转化为电能。对电极 230 和 232 所施加电压的自适控制由控制器 236 和继电器 234 按图所示实施，其目的在于使产生的氢的每个单位热量对应的能耗最小。此外，自适控制器 236 提供一种控制规则系统，以使甲烷的产生最小，同时有利使氢的产生最大。电磁阀 238 按需要控制燃料气体经管线 242 到能量转化装置 240 的输送，以满足自适调节的工作循环和满足绝缘电缆 244 输送电能的其它要求。在热泵循环条件下泵水的合适能源，或 240 的发电可以是热机和发电机、燃料电池、热电发电机、或将燃料潜能转化为电的其它装置。

在多数用途中，优选采用活塞发动机和发电机，其中发动机是采用 SmartPlug 混合燃料喷射器和点火系统供燃料，因为这可使极耗体力的操作容易进行。SmartPlug 操作公开在美国专利 NO. 5 394 852 和 5 343 699 中，它能使氢和二氧化碳的粗混合物在无需进一步调整的条件

下用作很低等级的燃料，同时与用汽油或柴油操作的发动机相比能产生很高的热效率和满载额定功率。对于远距离操作和禁止进口化石基燃料的不景气经济区带来燃料和能源是一个特别重要的优点。

优选制氢为基于燃料的快速燃烧、较宽的空气/燃料比例限值、及按 SmartPlug 操作的发动机器基本上无节流损失提供了热力学上的优点。这些热力学上的优点与汽油或柴油燃料相比提供在同样的热释放下高得多的平均制动有效压力（BMEP）。

正如表 A 所示，与利用汽油作燃料的操作相比，实际上可能采用从填埋场或活水系统有机废物中制备的氢特性燃料带动的机动发电机以达到清洁环境空气。

表 A

气体	HC (ppm)	CO (ppm)	NO (ppm)
环境空气	29	0.00	1.0
以氢作燃料的发动机尾气，空转	18	0.00	1.0
以氢作燃料的发动机尾气，全功率	6	0.00	2.0
以汽油作燃料的发动机尾气，空转	190	25,000	390
以汽油作燃料的发动机尾气，全功率	196	7,000	95

注：HC = 烃类；CO = 一氧化碳；NO = 氧化氮。

图 13 表示通过在一种适宜的介质如水或受阻胺类内的示差吸收二氧化碳将二氧化碳和氢分离的系统。在操作时，由氢、二氧化碳和较少量氮和其它气体组成的混合气体强制送入约 300 米（1000 英尺）或更深的水柱 302 的底部。

混合气体用适宜的泵（未示）送至管 304 的底部，并进入适宜的洗涤区如螺旋叶片 306，叶片附着在管 304 上，在附着点的提升度高于

旋转元件上的任何其它点，如图所示旋转元件形成螺旋表面。这样，当气体被吸收流体洗涤时，它们倾向于浮向管 304。二氧化碳在所保持的压力和温度条件下容易进入溶液。氢从螺旋的顶部流入管 308，并送至各应用层面。

如图所示，富集二氧化碳的水，经同轴管 310 导向表面。当压头变小时，产生二氧化碳气泡，并向上释放，形成低密度混合物，该混合物轻快地上升至气体分离段 312，在那里对二氧化碳失掉保留能力的较重的水返回至环形空间 302，并下降到底部，以置换在管 310 中提升的向上运动的水量。二氧化碳以管 314 在 310 的顶部收集。

图 14 表示一个实施方案，其中用于压缩氢和二氧化碳的能量用膨胀机进行再生性回收。实施方案 400 表示一种极为牢固和简单的能转化系统，它用太阳能将不同的可再生资源如污泥、垃圾和农田废物组合在一起，以提供电力、氢和二氧化碳。

在多种情况和用途中，按照需要，优选在适宜的罐 402 中压缩水，以通过溶解度差提供分离，达到纯化氢。在操作中，氢和二氧化碳的混合物经管 404 强制送入压力罐 402，其公称压力为 3100 kPa（450 psi）。优选用带螺旋叶片 406 的螺旋混合器，叶片使气体混合物沿表面洗涤，并且形成高的表面/体积比。混合气体沿延伸的途径通过水，如图所示，二氧化碳被吸收，氢在螺旋洗涤器的顶部用管 408 收集。二氧化碳被水吸收，而氢则如图所示收集在分离器 406 的顶部。

氢经导管 408 送到发动机或燃料电池以直接应用，或者可被贮存，以便以后在需要时应用。饱合二氧化碳的水从吸收罐 402 经管 410 至带阀集管 426，集管 426 装有控制阀，按时将富集二氧化碳的水分别送入各个换热器，如 414、416、418、420、422 和 424，如图所示。每个换热器均装有出口喷嘴，它们指向邻近的流体发动机转子如 430、432、434、436、438 和 440 的叶片，如图所示，转子将功传到共同的出口轴。

带压的水和二氧化碳溶液通过为换热器服务的控制阀的短暂开启被突然压入预热热交换器如 414。当流体被加热时，流体的温度和压力增高，并被汽化和以很高的动量射入功力发动机 430。每个其余的交换器室按时接收流体负荷，以使所示发动机组的轴功可被认为具有多相转矩，例如六相，如果各热交换器按不同时间接收流体，或者三相，如果两个热交换器同时充满。流体发动机输出的适宜用途是发电机

428，如果需要，也可是其它的有效载荷。

优选采用适宜的太阳能收集器如定日镜场或所示的抛物盘442，向热交换器提供集中辐射。在太阳能不能满足能量转换的需要时，可由适宜的燃烧炉 448 提供辅助热。对于这种辅助加热，优选采用从有机物厌氧菌致分解释放的二氧化碳和氢的混合物和/或其它可燃气体。

在经受加热和膨胀到适宜的低压之后，二氧化碳用管 458 收集，并用到适宜的用途中。水经冷凝并收集到接收罐 450 中，通过从 446 至 456，然后经过 448 至适宜的联产用途的逆流热交换器 456 冷却。经冷却的水用泵 454 加压，并返回压力罐 402 完成新的二氧化碳去除和能转换循环。

材料和方法

电极为铸铁棒，长 300 mm，宽 25 mm，厚 2.5 mm。曾采用其它的金属电极，包括铅、铜、钢和黄铜电极。亦曾采用过同样大小的一对浸渍铜的石墨电极，石墨电极的损坏不很显著。

曾经从纽约州的 Staten Island 的废物填埋场的 9.1-15.2 米（30-50 英尺）的深度取出填埋场物质的样品。填埋场物质通过甲烷化自发产生甲烷和二氧化碳作为初级气体（其比例为 55：35），其 pH 为 6.5-7.0。

污泥样品从纽约州 Brooklyn 的污水处理厂的主菌致分解器中采集。污水系统污泥通过甲烷化自发产生甲烷和二氧化碳（其比例为 65：30），其 pH 为 7.0-7.5。

在一组实验中，各个样品在带三孔橡皮塞的 800 ml 烧瓶中进行研究。电极通过两个孔插入样品中；第三个孔接有与气体分析仪相联的玻璃导管。电极跨接两个串连的 1.5 伏的电池，使施加的电位约为 3.0 伏。设备放入培养器装置中，温度保持在 37°C 或 55°C。其它实验采用 New Brunswick 发酵罐完成，该发酵罐有 6-8 升的玻璃容器，其中温度和搅拌速率可按需要控制。

实施例 1

作为实验对比，将 800 ml 烧杯中的新得到的污水系统污泥放入培养器，其温度为 37°C。产生气体，主要是甲烷，如表 1 所示并绘于图 3。

表 1-甲烷和二氧化碳的产生情况

天	$\%CH_4$	$\%CO_2$	$\%N_2$
1	65	30	5
2	70	25	5
3	70	25	5
4	65	30	4
5	60	35	4
6	55	40	5

实施例 2

将来自主菌致分解器的污水系统污泥放入 800 ml 烧瓶中，再将烧瓶放入 37°C 的预热培养器中。产生甲烷气体。一旦达到甲烷最佳产生时，使电流通过烧瓶中的液体，甲烷的产生逐渐下降，并产生氢和二氧化碳。当氢的产生达到峰值时，甲烷被完全抑制，如表 2 所示并绘于图 4。

表 2-氢的产生和甲烷的抑制

天	$\%CH_4$	$\%CO_2$	$\%N_2$
1	60	35	-
2	70	25	-
3*	45	25	20
4	25	28	46
5	5	30	60
6	痕量	30	68

* 开始通电流

实施例 3

将来自主菌致分解器来的污水系统污泥放入 800 ml 烧瓶，再将烧瓶放在 37°C 的培养器中。利用串联的两节 1.5 伏电池施加 3 伏电压，

让电流通过污泥。从开始产生的甲烷就很少。在三天内，氢的产生达到其峰值，甲烷实际上被完全抑制，如表 3 所示并绘于图 5。

表 3-在从开始施加电压的情况下氢和二氧化碳的产生

天	$\%H_2$	$\%CO_2$	$\%N_2$	$\%CH_4$
1	65	25	2	8
2	70	25	2	痕量
3	70	18	8	痕量
4	70	20	8	-
5	68	25	4	-

实施例 4

将污水系统污泥放入于 New Brunswick 发酵器中的 5 升烧瓶中，并引入 4 个电极。使电流（2.5 伏和 0.05-0.07 安）通过样品。开始只有甲烷和二氧化碳产生，氢的产生很少。一旦电压增至 4.0-4.5 和电流增至 0.11-0.15 安时，甲烷逐渐被抑制，氢气产生，如表 4 所示。

表 4-从 5 升容器的污水系统污泥中氢和二氧化碳的产生

天	$\%H_2$	$\%CO_2$	$\%N_2$	$\%CH_4$
1	-	30	12	50
2	5	35	8	46
3	4	30	6	60
5	25	30	5	40
6	48	25	5	20
7	60	20	2	8
9	70	25	4	痕量

实施例 5

用无规则钻孔收集的填埋场物质进行测试以确定产生单位能量所

需的最低能量消耗。实验从两个 800 ml 烧瓶中的填埋场物质（制堆肥的城市固体废物）开始，（1）只用填埋场物质，（2）用电流处理过的填埋场物质。结果列表表 5 和表 6，并绘于图 6 和图 7。

表 5-填埋场物质中氢的产生

天	$\%H_2$	$\%CO_2$	$\%N_2$	$\%CH_4$
1	-	-	-	-
2	-	3	10	-
3	-	20	8	10
5	-	40	6	50
6	-	30	5	63
7	-	30	5	60
8	-	35	4	60
9	-	35	5	62

表 6-电流处理过的填埋场物质中氢的产生

天	$\%H_2$	$\%CO_2$	$\%N_2$	$\%CH_4$	气体总体积(cc)
1	53	-	-	-	95
2	72	8	13	-	302
3	76	17	6	-	500
4	75	18	6	-	600
5	72	18	6	-	450
7	72	18	6	-	600
9	65	18	14	-	500

实施例 6

重复实施例 5 的程序，（1）只用污水系统污泥，（2）用电流处理过的污水系统污泥。结果列于表 7 和 8，并绘于图 8。

表 7-污水系统污泥中气体的产生

天	%H_2	%CO_2	%N_2	%CH_4	气体总体积(cc)
2	-	20	14	65	50
3	-	14	10	70	125
4	-	19	4	72	225
5	-	22	4	66	258
6	-	18	8	70	200

表 8-电流处理过的污水系统污泥中气体的产生

天	%H_2	%CO_2	%N_2	%CH_4	气体总体积(cc)
2	65	28	4	8	85
3	70	20	2	痕量	200
4	70	18	8	痕量	310
5	70	20	2	-	330
6	68	22	4	-	258

实施例 7

施加 3.5 伏电位让电流通过在 6 升的装有电极的容器中的填埋场物质。结果列于表 9，并绘于图 9。

表 9-6 升容器中填埋场物质中气体的产生

天	%H_2	%CO_2	%N_2	%CH_4	气体总体积(cc)
1	75	痕量	12	-	100
2	70	5	10	-	1020
4	75	7	15	-	850
6	75	8	17	-	750
8	70	5	20	-	600

实施例 8

将内含填埋场物质的 6 升的装有电极的容器放入 55°C 的预热培养器中。4 天之后，电极间施加 3.5 伏电位。结果列于表 10，并绘于图 10。

表 10-填埋场物质中气体的产生

天	%H_2	%CO_2	%N_2	%CH_4	气体总体积(cc)
1	-	5	-	-	20
2	-	20	-	35	125
3	-	35	-	55	200
4					
5*	-	30	-	20	150
7	25	31	-	7	150
8	60	35	-	痕量	250
9	68	31	-	-	285
10	65	30	-	-	200

* 开始通电流

混合较少量人体排泄物污泥的培养物与农庄粪便和/或农作物废物达到了类似的结果。在建立厌氧条件的培养期之后，产生甲烷和二氧化碳，以及很少的氢。施加 2.0-5.0 伏电位以产生 0.10-0.20 安电流时，甲烷的产生被抑制，并产生与表 10 类似量的氢。采用前面所述实施例 4 的培养物同样达到了相似的结果。

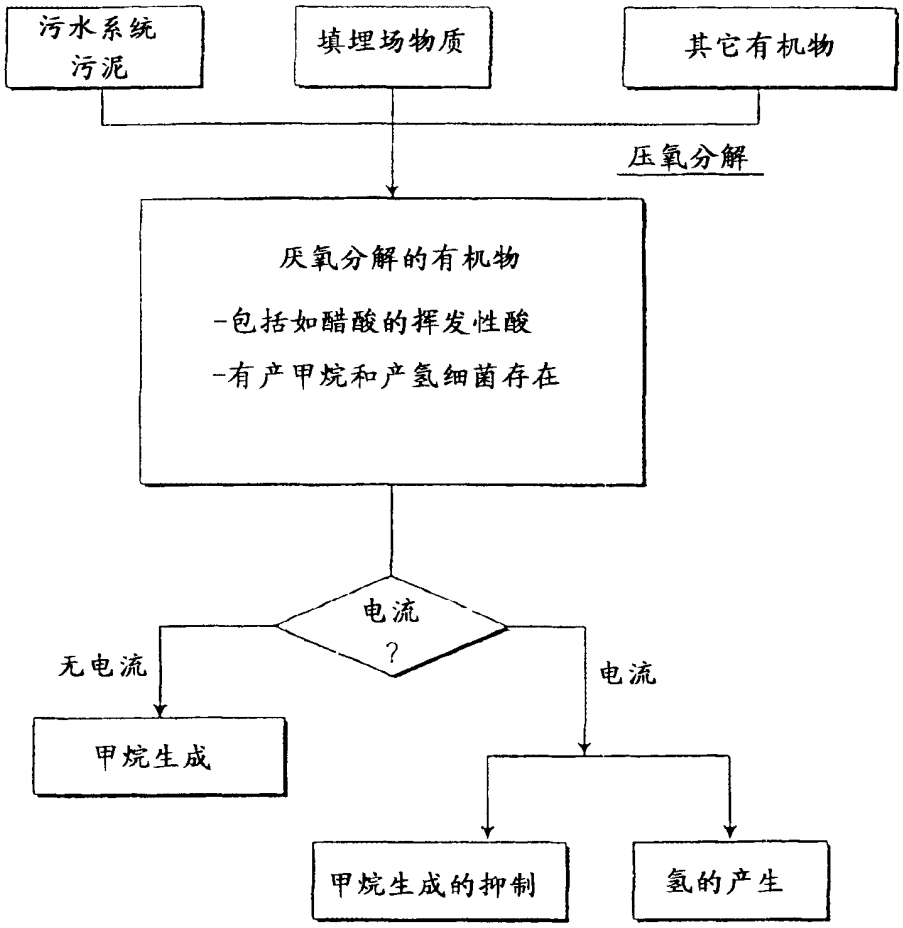

污水系统
污泥
填埋场物质
其它有机物
压氧分解
厌氧分解的有机物
-包括如醋酸的挥发性酸
-有产甲烷和产氢细菌存在
电流
?
无电流
电流
甲烷生成
甲烷生成的抑制
氢的产生

图 1

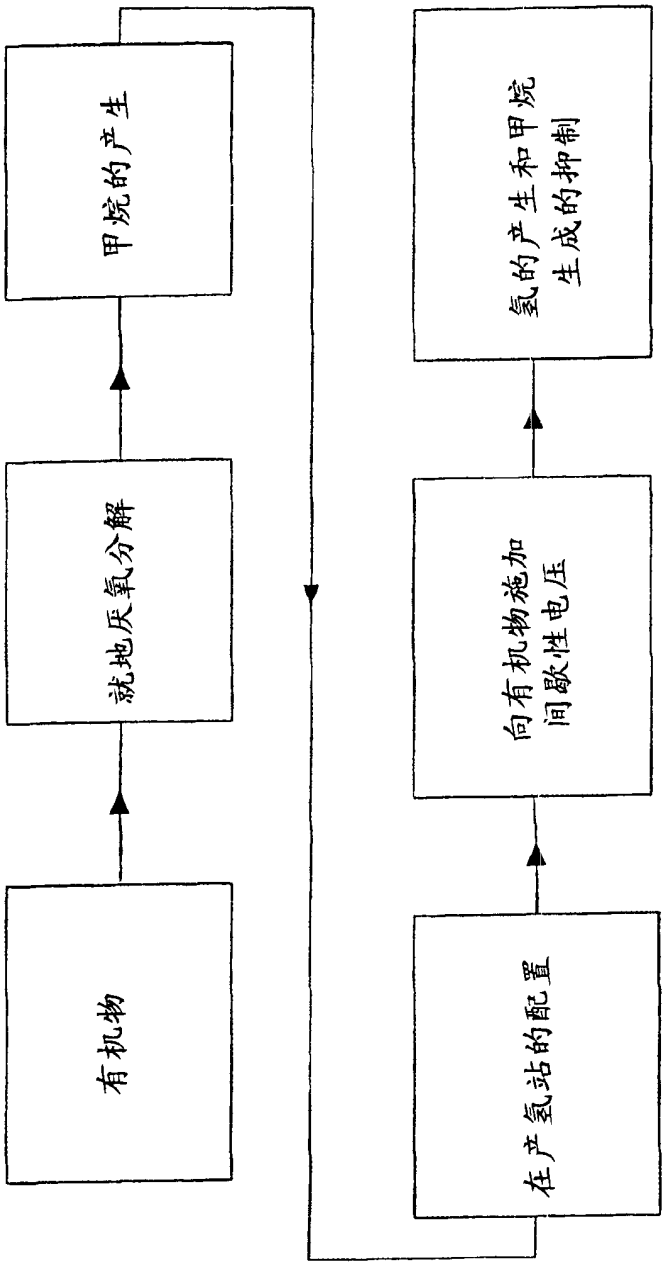


图 2

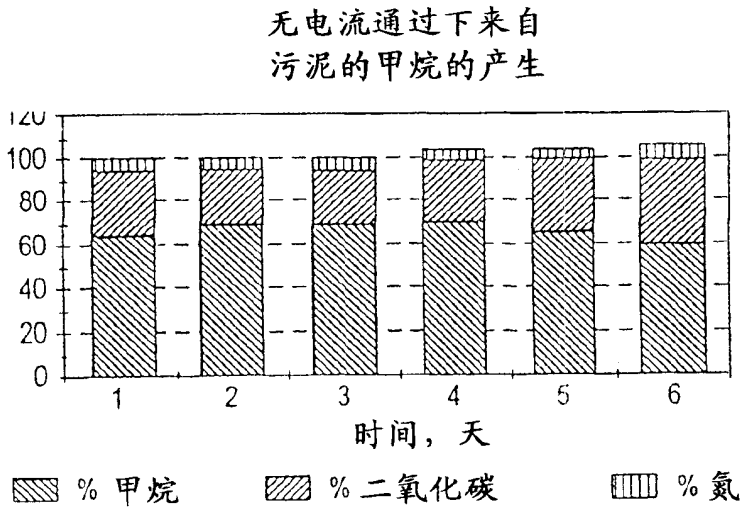

无电流通过下来自
污泥的甲烷的产生
120
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
6
时间，天
% 甲烷
% 二氧化碳
% 氮

图 3

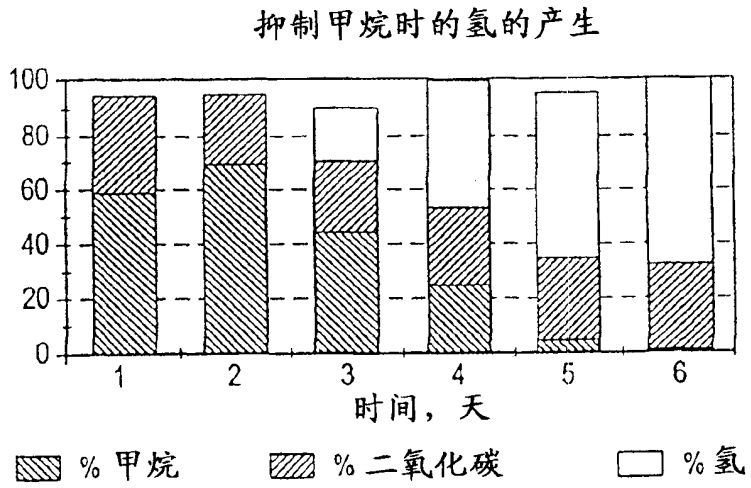

抑制甲烷时的氢的产生
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
6
时间，天
% 甲烷
% 二氧化碳
% 氢

图 4

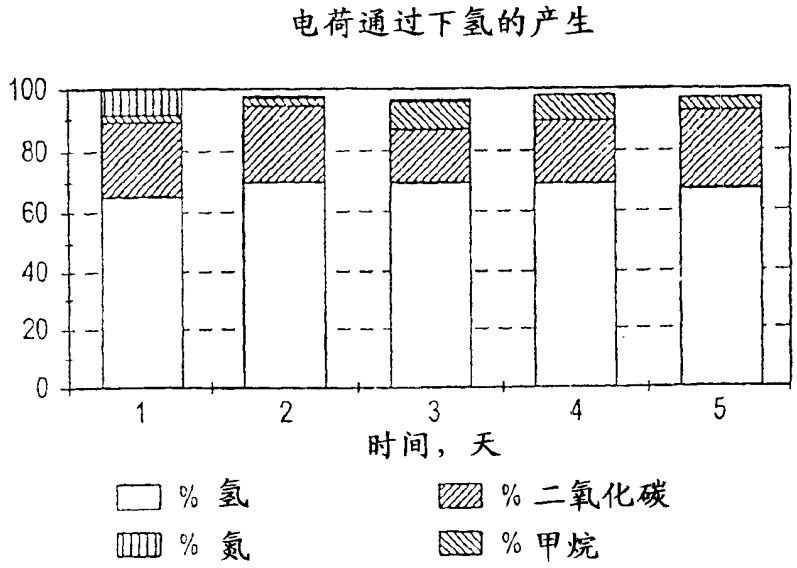

电荷通过下氢的产生
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
时间，天
% 氢
% 二氧化碳
% 氮
% 甲烷

图 5

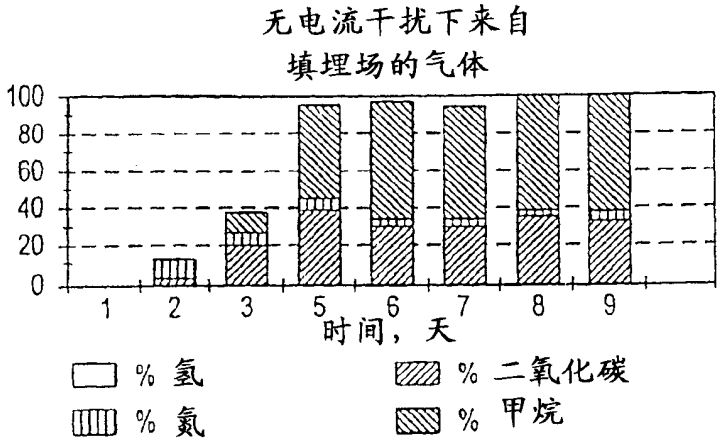

无电流干扰下来自
填埋场的气体
100
80
60
40
20
0
1
2
3
5
6
7
8
9
时间，天
% 氢
% 二氧化碳
% 氮
% 甲烷

图 6

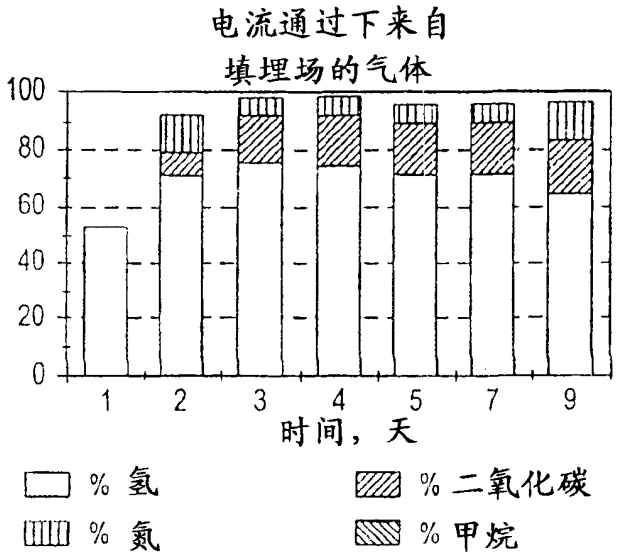

电流通过下来自
填埋场的气体
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
7
9
时间，天
% 氢
% 二氧化碳
% 氮
% 甲烷

图 7

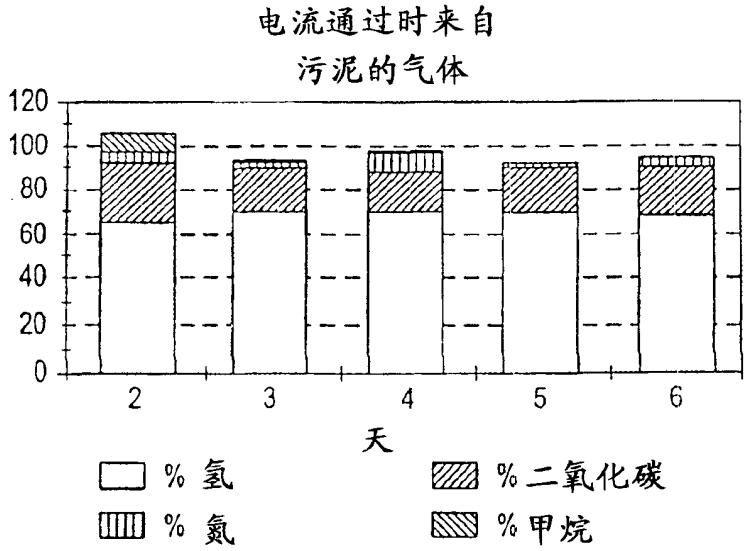

电流通过时来自
污泥的气体
120
100
80
60
40
20
0
2
3
4
5
6
天
% 氢
% 二氧化碳
% 氮
% 甲烷

图 8

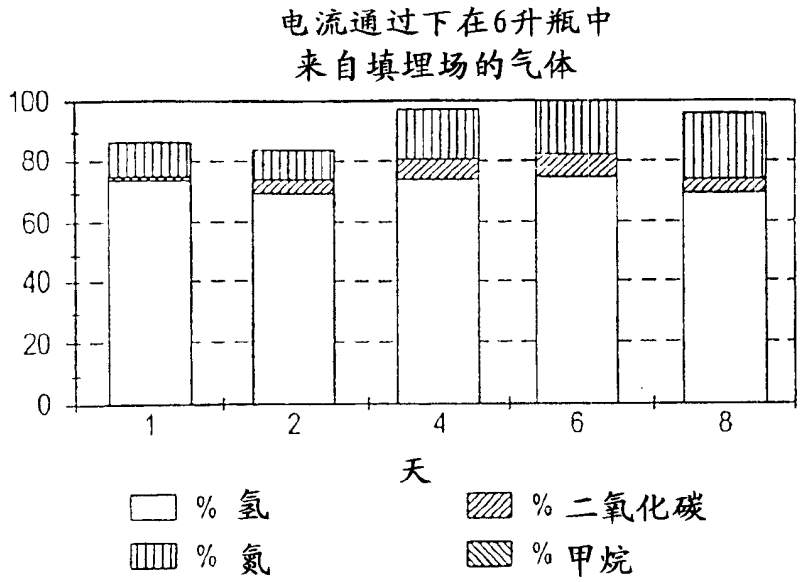

电流通过下在6升瓶中
来自填埋场的气体
100
80
60
40
20
0
1
2
4
6
8
天
% 氢
% 二氧化碳
% 氮
% 甲烷

图 9

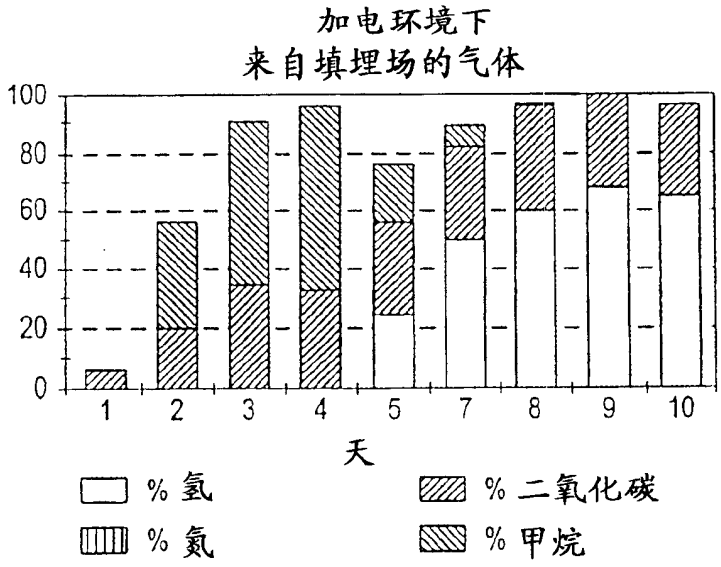

加电环境下
来自填埋场的气体
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
7
8
9
10
天
% 氢
% 二氧化碳
% 氮
% 甲烷

图 10

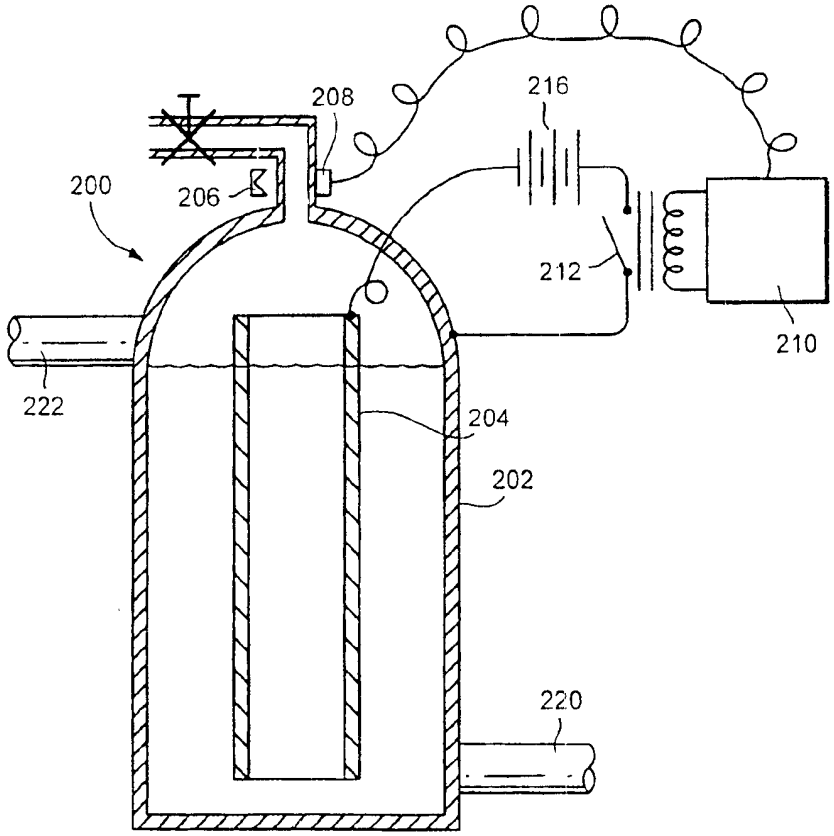


图 11

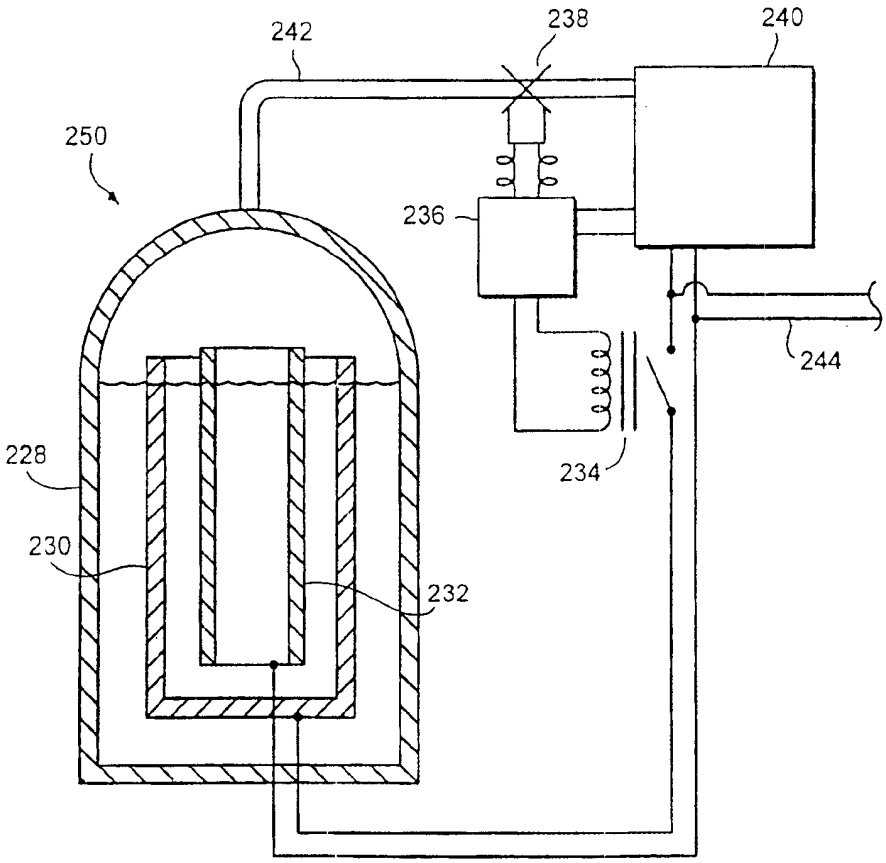


图 12

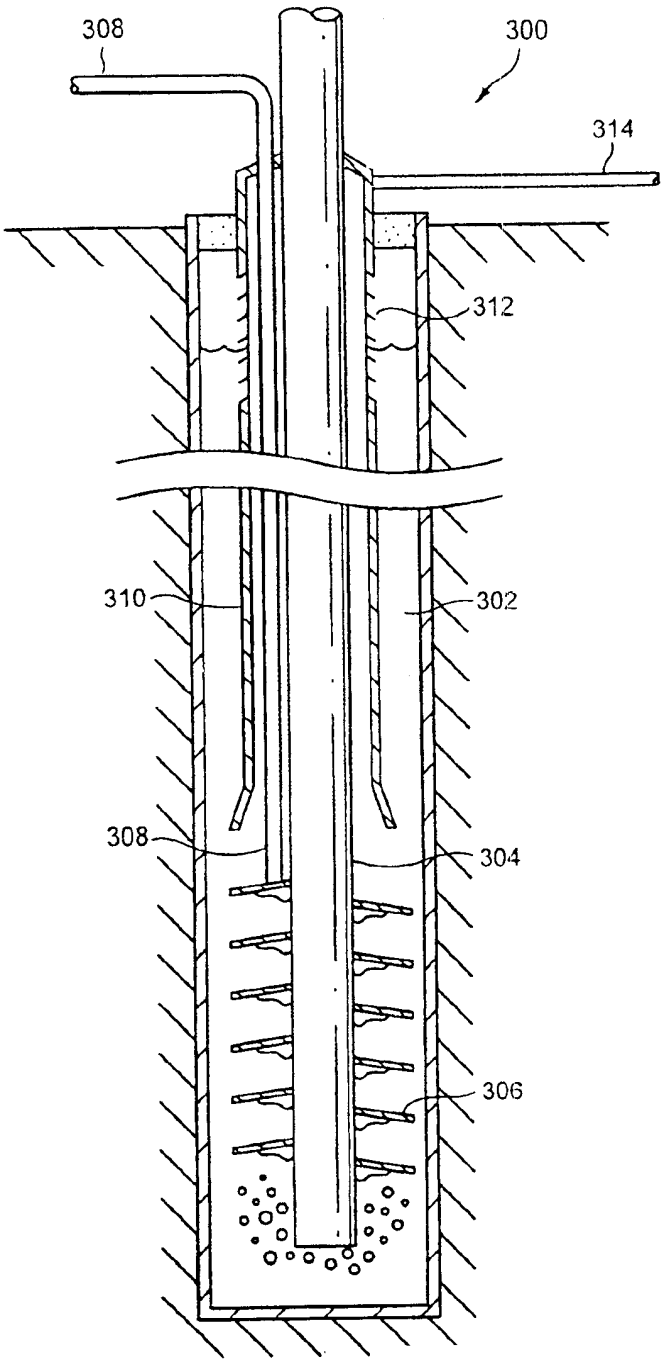


图 13

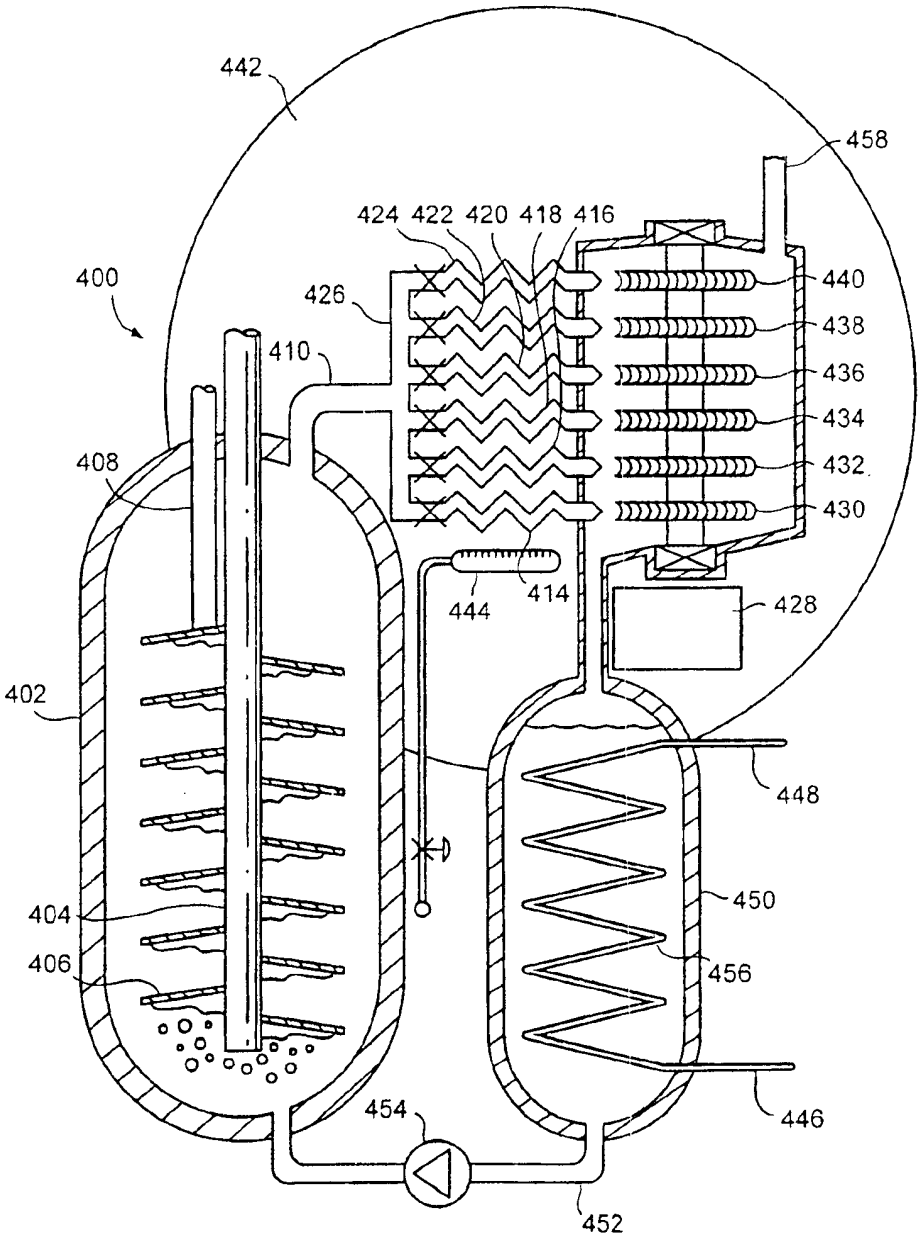

442
458
424 422 420 418 416
400
426
440
438
436
434
432
430
410
408
444
414
428
402
448
450
404
406
456
454
446
452

图 14