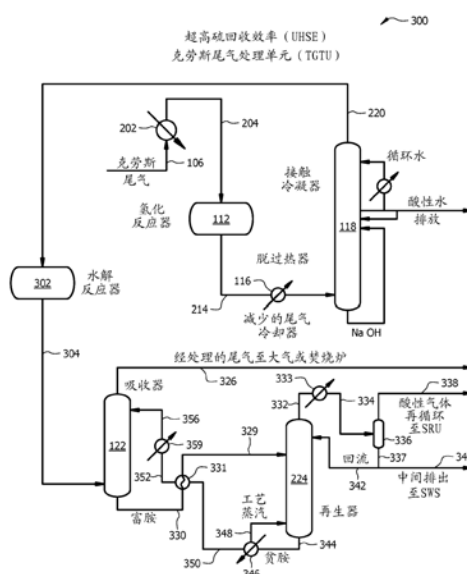




(45) 授权公告日 2021.08.31

权利要求书2页 说明书11页 附图5页

降低SO₂排放的系统包括氢化反应器、尾气冷却器、接触冷凝器、水解反应器和吸收器。所述氢化反应器被设置成接收克劳斯尾气并将所述克劳斯尾气中的至少一部分的SO₂转化成H₂S以产生经氢化的克劳斯尾气物流。所述水解反应器被设置成将至少一部分的COS转化成H₂S。所述吸收器包含基于胺的溶剂并被设置成吸收至少一部分的H₂S并将H₂S再循环至克劳斯装置。



1.降低SO₂排放的系统,所述系统包括:

氢化反应器,其被设置成接收克劳斯尾气并将所述克劳斯尾气中的至少一部分的SO₂转化成H₂S以产生经氢化的克劳斯尾气物流,其中所述克劳斯尾气包含SO₂、COS和水;

尾气冷却器,其被流体连接至所述氢化反应器并被设置成冷却所述经氢化的克劳斯尾气物流以产生经冷却的经氢化的尾气;

包含碱性溶液的接触冷凝器,其中所述接触冷凝器被设置成接收第一中间经处理的尾气物流,除去至少部分CO₂,并产生第二中间经处理的尾气物流,其中所述第一中间经处理的尾气物流是所述经冷却的经氢化的尾气;

水解反应器,其被设置成接收所述第二中间经处理的尾气物流,并将所述第二中间经处理的尾气物流中的至少一部分的COS转化成H₂S,以产生第三中间经处理的尾气物流;和

吸收器,其包含基于胺的溶剂并被设置成接收所述第三中间经处理的尾气物流,其中所述尾气冷却器被设置在所述氢化反应器和所述水解反应器之间。

2.权利要求1的系统,其中所述水解反应器被设置成将至少50%的COS转化成H₂S。

3.权利要求1的系统,其还包括被流体连接至所述吸收器的再生器。

4.权利要求3的系统,其还包括克劳斯反应器,其中所述克劳斯反应器被设置成接收来自所述再生器的闪蒸气物流,其中所述闪蒸气物流包含在所述氢化反应器中由SO₂转化的H₂S和在所述水解反应器中由COS转化的H₂S,并且其中所述克劳斯反应器被进一步设置成将至少一部分的H₂S转化成元素硫。

5.权利要求1的系统,其还包括焚烧炉,其中所述焚烧炉被流体连接至所述吸收器并且被设置成接收来自所述吸收器的上部的气相。

6.降低来自克劳斯装置的SO₂排放的方法,所述方法包括:

使来自克劳斯法的尾气物流与氢化催化剂接触以产生经氢化的尾气;

冷却所述经氢化的尾气以产生经冷却的尾气;

使所述经冷却的尾气与包含碱性溶液的接触冷凝器中的碱性溶液接触,并将所述尾气从所述接触冷凝器传送至水解催化剂;

使所述尾气与所述水解催化剂接触以产生经水解的尾气;

和

用基于胺的溶剂处理所述经水解的尾气。

7.权利要求6的方法,其中使所述尾气物流与所述氢化催化剂接触将所述尾气物流中的至少一部分的SO₂转化成H₂S。

8.权利要求6的方法,其中使所述尾气与所述水解催化剂接触将所述尾气中的至少一部分的COS转化成H₂S。

9.权利要求6的方法,其中用基于胺的溶剂处理所述经水解的尾气包括:

使所述经水解的尾气与贫溶剂接触;

将所述经水解的尾气中的至少一部分的H₂S吸收到贫溶剂中以产生富溶剂;

加热所述富溶剂;

响应于加热而闪蒸至少一部分的H₂S;和

回收所述H₂S。

10.权利要求6的方法,其中使所述尾气与所述水解催化剂接触在所述接触冷凝器的出

口温度下发生。

改善从克劳斯法尾气中回收硫的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2015年8月6日提交的标题为“Systems and Methods for Improved Sulfur Recovery from Claus Process Tail Gas”的美国临时申请62/201,865的优先权，其通过引用以其全部并入本文。

[0003] 关于联邦政府赞助研究或开发的声明

[0004] 不适用。

[0005] 参考缩微胶片附录

[0006] 不适用。

[0007] 发明背景

[0008] 硫是石油化工生产中使用的原材料中的主要污染物，其中大量的法规已用于 (in place to) 使最终产品的硫含量降至最低。在大多数地区中，加氢处理导致以硫化氢 (H₂S) 的形式从各种液体和气体物流中除去硫。然后将该H₂S进一步处理以回收元素硫 (S)，典型地通过克劳斯法。

[0009] 克劳斯法采用热量、催化和氧气 (O₂) 按如下所示将一部分的回收的H₂S转化成二氧化硫硫：

[0010] $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{热量}$ 。

[0011] 得到的H₂S和SO₂的混合物按如下所示反应以产生元素硫：

[0012] $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 \rightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

[0013] 该第二个反应通常被称为克劳斯反应。尽管在这样的方法中大量的硫可作为元素硫回收，但在现实世界的方法中，实施克劳斯反应的反应器产生包含H₂S、氢气 (H₂)、一氧化碳 (CO)、二硫化碳 (CS₂)、二氧化硫 (SO₂) 和硫化羰 (COS) 的尾气。为了满足硫排放目标，这样的克劳斯尾气通常需要额外的处理。

[0014] 常规的氢化/配制胺克劳斯尾气处理单元 (TGTU) 能够将经氢化/水解的克劳斯尾气的H₂S浓度降至约5ppmv。然而，由于高CO₂含量 (煤气化和煤气厂设施的酸性气体中通常高于40%)，随后的经氢化/水解的克劳斯尾气中的COS浓度将非常高，通常为100-300ppmv。这是由于以下反应的化学和热平衡：

[0015] $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} \leftrightarrow \text{COS} + \text{H}_2\text{O}$ 。

[0016] 虽然含胺的溶液在回收H₂S中有效，但这样的溶液对该经氢化/水解的克劳斯尾气中的COS组分的作用很小。因此，尽管胺吸收器顶部气体流出物可能仅含有5ppmv或更少的H₂S，但它仍然可以含有大量的COS形式的硫。在焚烧之后，这样的吸收器顶部流出物中的H₂S和COS的总量可能导致超过当地法规允许的SO₂浓度。将SO₂浓度降低至低于100-400mg/Nm³ (毫克/标准立方米，其中标准条件采用0℃和1013毫巴) 可能是昂贵的并且可能产生另一种待处理的废物流 (例如，如果苛性洗涤技术被用作另外的硫去除步骤)。

[0017] 因此，仍然需要提供从克劳斯法尾气物流中有效且高效地去除COS的系统和方法。

[0018] 概述

[0019] 降低SO₂排放的系统包括氢化反应器、尾气冷却器、接触冷凝器、水解反应器和吸

收器。所述氢化反应器被设置成接收克劳斯尾气并将所述克劳斯尾气中的至少一部分的 SO_2 转化成 H_2S 以产生经氢化的克劳斯尾气物流。所述克劳斯尾气包含 SO_2 、 COS 和水。所述尾气冷却器被流体连接至所述氢化反应器并被设置成冷却所述经氢化的克劳斯尾气物流以产生经冷却的经氢化的尾气。所述接触冷凝器包含碱性溶液,并且所述接触冷凝器被设置成接收第一中间经处理的尾气物流并产生第二中间经处理的尾气物流。所述水解反应器被设置成接收第三中间经处理的尾气物流,并将所述第三中间经处理的尾气物流中的至少一部分的 COS 转化成 H_2S ,以产生第四中间经处理的气体物流。所述吸收器包含基于胺的溶剂并被设置成接收第五中间经处理的尾气物流。所述尾气冷却器被设置在所述氢化反应器和所述水解反应器之间。

[0020] 在一个实施方案中,降低 SO_2 排放的系统包括转化反应器、接触冷凝器和吸收器。所述转化反应器包含第一催化剂和第二催化剂。所述第一催化剂包含氢化催化剂,并且所述第二催化剂包含水解催化剂。所述转化反应器被设置成接收包含 SO_2 、 COS 的克劳斯尾气物流并将至少一部分的 SO_2 和 COS 转化成 H_2S 以产生经处理的克劳斯尾气物流。所述接触冷凝器包含碱性溶液,并且所述接触冷凝器与所述转化反应器流体连通。所述接触冷凝器被设置成接收所述经处理的尾气物流并产生中间经处理的尾气物流。所述吸收器包含基于胺的溶剂并被设置成接收所述中间经处理的尾气物流。

[0021] 在一个实施方案中,降低来自克劳斯装置的 SO_2 排放的方法包括使来自克劳斯法的尾气物流与氢化催化剂接触以产生经氢化的尾气,使所述经氢化的尾气与水解催化剂接触以产生经水解的尾气,用接触冷凝器处理所述经水解的尾气以产生经提取的尾气,并且用基于胺的溶剂处理所述经提取的尾气。

[0022] 通过结合附图和权利要求的下文的详细描述将更清楚地理解这些和其他特征。

[0023] 附图简述

[0024] 为了更完整地理解本公开内容,现在参考下面的简述,结合附图和详细描述,其中相同的附图标记表示相同的部件。

[0025] 图1图示说明根据一个实施方案的 SO_2 回收系统。

[0026] 图2图示说明根据一个实施方案的另一种 SO_2 回收系统。

[0027] 图3图示说明根据一个实施方案的包括水解反应器的 SO_2 回收系统。

[0028] 图4图示说明根据一个实施方案的包括水解反应器的另一种 SO_2 回收系统。

[0029] 图5图示说明根据一个实施方案的包括转化反应器的 SO_2 回收系统。

[0030] 详细说明

[0031] 首先应当理解,尽管下文举例说明了一个或多个实施方案的说明性实施方式,但是可以使用任何数量的技术(无论目前是已知的还是尚未存在的)来实施所公开的系统和方法。本公开内容绝不应受限于下文举例说明的说明性实施方式、附图和技术,而是可以在所附权利要求的范围内连同其等同方案的全部范围内进行修改。

[0032] 以下简要的术语定义适用于整个申请:

[0033] 术语“包括”意指包括但不限于,并且应当以其在专利文本中通常使用的方式来解释;

[0034] 短语“在一个实施方案中”、“根据一个实施方案”等通常意味着在该短语之后的特定特征、结构或特性可以被包括在至少一个实施方案中,并且可以被包括在本发明的系统

和方法的多于一个实施方案中(重要的是,这样的短语不一定指的是相同的实施方案);

[0035] 如果说明书将某些内容描述为“示例性的”或“实施例”,则应该理解为指的是非排他性的实施例;

[0036] 当与数字一起使用时,术语“约”或“大约”等可以表示具体数字或接近具体数字的范围,如本领域技术人员所理解的那样;并且

[0037] 如果说明书陈述组件或特征“可能(may)”、“可以(can)”、“可以(could)”、“应当”、“将会”、“优选地”、“可能(possibly)”、“典型地”、“任选地”、“例如”、“通常”、或“可能(might)”(或其他这样的语言)被包括或具有特性,那么该具体的组件或特征不需要被包括或具有该特性。这样的组件或特征可以任选地包括在一些实施方案中,或者可以被排除在外。

[0038] 本发明减少了从通过克劳斯法处理的一定体积的焚烧炉烟道气中去除SO₂的需要,其通过在使用基于胺的溶剂的吸收器中处理气体物流之前降低这样的经处理的气体物流的COS含量。在冷却之后,氢化反应器气体流出物中的高COS浓度在其中COS被转化成CO₂和H₂S的COS水解反应器或催化剂床中降低。然后,使用基于胺的吸收器处理随后经处理的尾气以将H₂S浓度降至低于5ppmv。

[0039] 在这样的方法中,胺吸收器顶部气体流出物中的总H₂S和COS含量将大大降低,导致来自焚烧炉烟道气的总SO₂排放低于35mg/Nm³。本发明具有成本效益,因为水解反应器可以在接触冷凝器的入口或出口的气体温度下操作,使得其操作不需要额外的再加热器或冷却器。在一些方面中,水解反应器是在氢化反应器或氢化催化剂床的条件下操作的催化剂床。

[0040] 应当理解,所公开的技术提供了许多有利的技术效果,包括有效地且高效地减少由含硫化石燃料燃烧产生的二氧化硫废物,同时不产生额外的废物物流。

[0041] 在一些实施方案中,用于描述和要求保护本发明的某些实施方案的表示成分的量、性质如浓度、反应条件等的数字应被理解为在一些情况下被术语“约”修饰。因此,在一些实施方案中,书面描述和所附权利要求中列出的数值参数是近似值,其可以根据寻求通过特定实施方案获得的期望性质而变化。在一些实施方案中,应当根据所报告的有效数字的数值并通过应用普通四舍五入技术来解释数值参数。虽然阐述本发明的一些实施方案的宽泛范围的数值范围和参数是近似值,但是在具体实施例中阐述的数值被尽可能精确地报告。在本发明的一些实施方案中呈现的数值可能包含必然由其各自测试测量中发现的标准偏差导致的某些误差。

[0042] 如本文中的描述以及随后的权利要求中所使用的,除非上下文另外明确指出,否则“一个”、“一种”和“所述”的含义包括复数对象。而且,如本文中的描述中所使用的,除非上下文另外明确指出,否则“在...中”的含义包括“在...中”和“在...上”。

[0043] 本文中对数值范围的引用仅仅旨在用作单独提及落入该范围内的每个单独值的速记方法。除非本文中另有说明,否则每个单独值如同它在本文中被单独提及一样被并入说明书中。除非本文中另有指示或者与上下文明显矛盾,本文中描述的所有方法可以以任何合适的顺序实施。关于本文中的某些实施方案提供的任何和所有实施例或示例性语言(例如“诸如”)的使用仅仅旨在更好地阐明本发明,而不是对本发明另外所要求保护的范围进行限制。说明书中的任何语言都不应被解释为表示对本发明的实践必不可少的任何非要

求保护的要素。

[0044] 下文的讨论提供了本发明的主题的许多示例实施方案。虽然每个实施方案表示本发明的要素的单个组合,但是本发明的主题被认为包括所公开要素的所有可能的组合。因此,如果一个实施方案包括要素A、要素B和要素C,并且第二实施方案包括要素B和要素D,则本发明的主题也被认为包括A、B、C或D的其他剩余组合,即使没有被明确公开。

[0045] 如本文所用,并且除非上下文另外指出,否则术语“连接至”旨在包括直接连接(其中两个彼此连接的要素彼此接触)和间接连接(其中至少一个另外的要素位于这两个要素之间)。因此,术语“连接至”和“与…连接”被同义使用。

[0046] 本文中公开的本发明的替代要素或实施方案的分组不应被解释为限制。每个组成员可以单独地被提及和要求保护或以与该组中的其他成员或本文中发现的其他要素的任何组合的形式被提及和要求保护。一个组中的一个或多个成员可以出于便利性和/或专利性的原因被包含在组中或从组中删除。当出现任何这样的包含或删除时,说明书在本文中被认为包含依修改的该组,因此实现所附权利要求中使用的所有马库什组的书面描述。

[0047] 处理系统和方法的典型实例示于图1和图2中。如图1的系统100中所示,可将天然气102和燃烧空气物流104连同任选的硫回收单元尾气物流106一起进料至燃烧单元108。可以通过使燃烧气物流110经过氢化催化剂在氢化反应器112中处理作为燃烧气物流110的产生的燃烧产物。燃烧气物流110可以处于约500°F-约650°F的温度。在燃烧气物流110进入氢化单元之前,可以将氢气加入该物流和/或氢气可以基于各种反应存在。

[0048] 在氢化反应器112内,燃烧气物流中的硫化合物、例如 SO_2 可以在氢化催化剂的存在下被氢化成 H_2S 。合适的催化剂可以包括包含第V族、第VI族和第VIII族的金属的化合物的那些催化剂,例如钴、钼、铬、钒、钽、镍、钨、铀、其氧化物及其任何组合。氢化反应可以在约420°F-约650°F的温度下进行,这取决于氢化催化剂组成。在氢化反应器112内,存在于燃烧气物流110中的至少约80%、至少约90%、至少约95%、至少约99%或基本上全部的 SO_2 可以转化成 H_2S 。

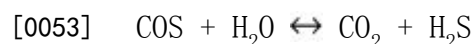
[0049] 离开氢化反应器112的作为物流114的产生的氢化产物然后可以在进入接触冷凝器118之前经过冷却器116。在接触冷凝器118内,可以使用碱的水溶液来除去至少一部分的 CO_2 。离开接触冷凝器118的蒸气物流120可以被转移到胺吸收器122,以使用基于胺的溶剂提取任何 H_2S ,所述基于胺的溶剂可以被转移至再生器124中。作为物流126的未吸收的组分(例如经处理的尾气)可以排放到大气中或转移至焚烧炉。 COS 在所述基于胺的溶剂中的低溶解度可导致任何残余的 COS 随物流126经过胺吸收器122并且排放到大气中或在焚烧时转化成 SO_2 。

[0050] 用于除去含硫污染物的系统200的另一个实例示于图2中。在该系统200中,作为物流106的来自克劳斯反应器的尾气可以在被转移至氢化反应器112之前经过热交换器202。氢化反应器112可以与参考图1描述的氢化反应器相同或相似。来自该反应器的产物可以作为物流214流出氢化反应器112并在被转移至接触冷凝器118之前在冷却器116中冷却。可以在接触冷凝器118内除去至少一些 CO_2 。来自接触冷凝器118的蒸气级分可以作为物流220流出接触冷凝器118并被转移至吸收器122。在吸收器122内,作为物流220的蒸气可以接触溶剂以吸收酸性气体组分,包括但不限于 H_2S 和 CO_2 。虽然基于胺的溶剂可以将物流220中的至少一部分的 H_2S 溶剂化,但该溶剂在溶剂化 COS 方面相对无效。然后可将富溶剂转移至再生

器224,而作为物流226的未吸收的蒸气相(例如经处理的尾气)可以被排放到大气中或被转移至焚烧炉。再次,尾气中的COS的存在导致COS或SO₂(在焚烧后)被释放到大气中。

[0051] 克劳斯反应器尾气中的过量COS的问题对于中国用户而言可能是一个特别的问题,因为由中国政府规定的SO₂排放限制(即100-400mg/Nm³)显著低于世界的其他地区中的那些SO₂排放限制(通常为500-750mg/Nm³)。最具成本效益和经商业验证的氢化/胺克劳斯尾气处理单元(TGTU)之一,例如图1和图2中所示的那些由于在中国境内的炼油厂、煤气化和煤气厂设施中产生的酸性气体的高CO₂含量而不能达到中国政府所规定的标准。

[0052] 在本文公开的系统和方法中,水解反应器可以用于在用基于胺的溶剂在吸收器中进行处理之前降低尾气中的COS浓度。在可包含催化剂的水解反应器内发生以下反应:



[0054] CO₂和H₂S两者进而可溶于后续吸收器的基于胺的溶剂中。这导致COS向大气或焚烧炉(随后作为SO₂释放)的转移大大减少。通过基于胺的吸收器分离得到的H₂S可以被分离并送入硫回收单元,所述硫回收单元可以将闪蒸气中的H₂S转化成元素硫。

[0055] 图3图示说明另一种硫转化系统300。在该实施方案中,可以在热交换器202中冷却作为物流106的由克劳斯法产生的尾气,然后经冷却的物流204经过氢化反应器112。氢化反应器112可以与参考图1描述的氢化反应器相同或相似。经冷却的物流204可进入氢化反应器112并在约400°F-约650°F或约420°F-约600°F的温度下接触氢化催化剂。在氢化反应器112内,可以将任何SO₂的至少一部分转化成H₂S。一般来说,大部分的COS可能不会在氢化反应器内转化。

[0056] 来自氢化反应器112的产生的产物物流214在被引导至直接接触冷凝器118之前可以在冷却器116中冷却。在接触冷凝器118内,可使用碱的水溶液来除去至少一部分的CO₂。接触水溶液的蒸气可以被冷却并且可以作为顶部物流220流出直接接触冷凝器118。

[0057] 随后可以将来自接触冷凝器118的顶部物流220引导至水解反应器302,在水解反应器302中,含有水的蒸气物流可以接触催化剂以将COS的至少一部分转化成H₂S和CO₂。一般来说,进入系统300的尾气物流106可以含有水,例如作为燃烧的产物。替代地或另外地,直接接触冷凝器118中使用的水溶液可能导致水被转移到蒸气相。在任一种情况下,在顶部物流220与水解反应器302中的催化剂接触期间,顶部物流220可以具有存在于蒸气中的水。

[0058] 进入水解反应器302的顶部物流220可以具有约350°F-约620°F的温度。在水解反应器302内使用的催化剂可以包含基于氧化铝的催化剂。在水解反应器302内,蒸气物流可以经过一个或多个催化剂床以提供与催化剂的接触。在一个实施方案中,在水解反应器302中,顶部物流220中的COS含量的至少约10%、至少约20%、至少约30%、至少约40%、至少约50%、至少约60%、至少约70%、至少约80%、至少约90%、或大于90%v/v可被转化成H₂S。如系统300中所示,水解反应器302可以在接触冷凝器118的出口温度下操作。

[0059] 可以将来自水解反应器302的产生的输出物流304转移至吸收器122,所述吸收器122使用基于胺的溶剂,至少一部分的H₂S以及至少一部分的CO₂可溶于所述基于胺的溶剂中。未吸收的蒸气级分可以作为物流326流出吸收器122,相对于不包括水解反应器的类似系统,物流326的COS含量降低,并且物流326随后可以被排放或转移至焚烧炉中。

[0060] 被溶剂吸收的那部分H₂S和CO₂可以作为富溶剂物流330流出吸收器122。热交换器331可以用于加热所述富溶剂物流330以产生经加热的富溶剂物流329,富溶剂物流329可以

进入再生器224。在再生器内,任何酸性气体(例如在吸收器122中被溶剂化的 H_2S 和 CO_2)的一部分可被释放以产生顶部物流332,顶部物流332可以在冷凝器333中冷却以产生两相物流334。闪蒸罐336可接收两相物流334并产生含有可被再循环至硫回收单元的酸性气体的蒸气顶部物流338和液体底部物流337。底部物流337可作为回流物流342返回再生器224。任选的排出物流(purge stream) 340可根据需要从底部物流337分离。

[0061] 来自再生器224的底部贫溶剂物流344可以经过再沸器346以产生蒸气物流348,蒸气物流348返回再生器224。经加热的贫溶剂350可以经过热交换器331,在其中通过富溶剂物流330将经加热的贫溶剂350冷却以形成经冷却的贫溶剂物流352,可以在交换器359(例如,空气冷却器等)中将经冷却的贫溶剂物流352进一步冷却以在贫溶剂物流356返回至吸收器122的入口之前冷却贫溶剂物流356。

[0062] 硫回收方法的另一个实施方案示于图4中。图4中图示说明的许多组件与上文参照图1-图3描述的那些单元相同或相似。为了简要起见,没有详细讨论相似编号的组件。如图示说明的,包含显著的 CO_2 的克劳斯尾气物流106可以在被引导至氢化反应器112之前经过热交换器202,在氢化反应器112中可以将任何 SO_2 的至少一部分转化成 H_2S 。来自氢化反应器112的输出物可以在冷却器116(例如,脱过热器等)中冷却并转移至水解反应器302,在水解反应器302中COS含量的至少一部分(例如至少约10%、至少约20%、至少约30%、至少约40%、至少约50%、至少约60%、至少约70%、至少约80%、至少约90%、或大于90%v/v)可以被转化成 H_2S 。进入水解反应器302的脱过热的物流402可具有约350°F-约620°F的温度。

[0063] 水解反应器302的输出物可以被转移至直接接触冷凝器118,在直接接触冷凝器118中用碱性水溶液处理所述输出物。来自接触冷凝器118的作为物流406的气相产物可以被转移至使用基于胺的溶剂的吸收器122。来自吸收器122的作为物流426的未吸收的级分可以随后被排放或转移至焚烧炉,相对于不包括氢化反应器的类似系统,物流426的COS含量降低。此外,由氢化反应器112和水解反应器302两者产生的回收的 H_2S 可以从吸收器系统作为物流438回收,物流438可以被再循环至硫回收单元。

[0064] 图5中图示说明了另一个实施方案。图5中图示说明的许多组件与上文参考图1-图4描述的那些单元相同或相似。为了简要起见,没有详细讨论相似编号的组件。

[0065] 如图示说明的,克劳斯尾气物流106可以在作为物流204被引导至转化反应器502之前经过热交换器202。转化反应器502可以包括多个催化剂区域504、506。在一个实施方案中,第一催化剂区域504(例如,相对于流体流动的上游催化剂区域)可包含氢化催化剂,并且第二催化剂区域506(例如,在第一催化剂区域504的下游)可包含水解催化剂。进入转化反应器502的尾气物流可首先接触氢化催化剂以将尾气物流204中的至少一部分的 SO_2 氢化成 H_2S 。该物流然后可以向下流流动以接触第二催化剂区域506中的水解催化剂,以将任何COS的至少一部分转化成 H_2S 和 CO_2 。在转化反应器502内,尾气物流204可以在没有任何中间热交换或其他处理的情况下经过两个催化剂区域504、506。在一个实施方案中,流入转化反应器502的尾气物流204可具有约350°F-约620°F的温度,并且该温度在转化反应器502内可保持在该范围内。在转化反应器502内,COS含量的至少一部分(例如,至少约10%、至少约20%、至少约30%、至少约40%、至少约50%、至少约60%、至少约70%、至少约80%、至少约90%、或大于90%v/v)可以被转化成 H_2S 。

[0066] 然后,来自转化反应器502的产生的产物物流508可以在经过接触冷凝器118之前

经过冷却器116,在接触冷凝器118中可以用碱性水溶液处理产物物流508。来自接触冷凝器118的作为物流520的气相产物可以被转移至使用基于胺的溶剂的吸收器122。来自吸收器122的作为物流526的未吸收的级分可以随后被排放或转移至焚烧炉,相对于不包括氢化反应器的类似系统,物流526的COS含量降低。此外,由转化反应器502产生的回收的 H_2S 可以从吸收器系统作为物流538回收,物流538可以被再循环至硫回收单元。

[0067] 如上所述,将COS水解反应器设置在减少的尾气冷却器和直接接触冷凝器之间、设置在直接接触冷凝器和基于胺的溶剂吸收器之间、或作为氢化反应器内的催化剂区域,可以大幅度地降低经处理的尾气中的COS含量,并且提供简单且具有成本效益的解决方案,而不会产生额外的废物物流。应当理解,在图3和图4所示的实例中,水解反应器的温度与接触冷凝器的输入温度或输出温度相匹配。

[0068] 实施例1

[0069] 将图3和图4所示的系统使用工艺模拟器建模。将样品SRU尾气组成输入模型中,并且确定来自水解反应器的产生的输出以证明将水解单元包括在系统中的有效性。表1包含进入氢化反应器的物流和来自水解反应器的流出物物流的相对物流组成。

[0070] 表1

	氢化反应器	水解反应器
湿组成	进料摩尔%	流出物摩尔%
H_2	2.20	3.43
Ar	0.71	0.71
N_2	60.36	60.46
CO	1.89	0.03
CO_2	5.44	7.35
H_2S	0.54	0.94
COS	0.04	1 ppmv
SO_2	0.14	-
CS_2	0.01	-
H_2O	28.64	27.06
作为 S_x 的S蒸气	0.04	-
总摩尔%	100.00	100.00
温度 $^{\circ}F$	554	620

[0071] 如表1所示,水解反应器流出物中的COS从0.04摩尔%降至约1ppmv。因此COS在水解反应器中被转化成 H_2S ,可以在酸性气体除去单元中除去该 H_2S 。因此,该模型表明,图3和图4的系统对于减少经过酸性气体去除系统的COS是有效的,这可以降低系统的总体硫损失。

[0072] 实施例2

[0073] 将如图5所示的系统使用工艺模拟器建模。将样品SRU尾气组成输入模型中,并且确定来自水解反应器的产生的输出以证明将水解单元包括在系统中的有效性。表2包含进入氢化反应器的物流和来自水解反应器的流出物物流的相对物流组成。

[0074] 表2

	氢化反应器	水解反应器
湿组成	进料摩尔%	流出物摩尔%
H ₂	2.40	3.65
Ar	0.69	0.69
N ₂	58.60	58.69
CO	2.05	0.04
CO ₂	24.50	29.87
H ₂ S	0.62	1.20
COS	0.64	1 ppmv
SO ₂	0.21	-
CS ₂	0.15	-
H ₂ O	10.09	5.86
作为S _x 的S蒸气	0.05	-
总摩尔%	100.00	100.00
温度°F	420	350

[0075] 如表2所示,水解反应器流出物中的COS从0.64摩尔%降至约1ppmv。如实施例1那样,COS因此在水解反应器中被转化成H₂S,可以在酸性气体除去单元中除去该H₂S。因此,该模型表明,图5的系统对于减少经过酸性气体去除系统的COS是有效的,这可以降低系统的总体硫损失。

[0076] 已经在本文中描述了各种系统和方法,各种实施方案可以包括但不限于:

[0077] 在第一实施方案中,降低SO₂排放的系统包括:氢化反应器,其被设置成接收克劳斯尾气并将所述克劳斯尾气中的至少一部分的SO₂转化成H₂S以产生经氢化的克劳斯尾气物流,其中所述克劳斯尾气包含SO₂、COS和水;尾气冷却器,其被流体连接至所述氢化反应器并被设置成冷却所述经氢化的克劳斯尾气物流以产生经冷却的经氢化的尾气;包含碱性溶液的接触冷凝器,其中所述接触冷凝器被设置成接收第一中间经处理的尾气物流并产生第二中间经处理的尾气物流;水解反应器,其被设置成接收第三中间经处理的尾气物流,并将所述第三中间经处理的尾气物流中的至少一部分的COS转化成H₂S,以产生第四中间经处理的气体物流;和吸收器,其包含基于胺的溶剂并被设置成接收第五中间经处理的尾气物流,其中所述尾气冷却器被设置在所述氢化反应器和所述水解反应器之间。

[0078] 第二实施方案可以包括第一实施方案的系统,其中所述水解反应器与所述接触冷凝器流体连通,其中所述第二中间经处理的气体物流和所述第三中间经处理的气体物流相同,并且其中所述第四中间经处理的气体物流和所述第五中间经处理的气体物流相同。

[0079] 第三实施方案可以包括第一实施方案的系统,其中所述水解反应器与减少的尾气冷却器流体连通,其中经冷却的减少的尾气物流与所述第三中间经处理的尾气物流相同,并且其中所述第一中间经处理的尾气物流与所述第四中间经处理的气体物流相同。

[0080] 第四实施方案可以包括第一实施方案至第三实施方案中的任一个的系统,其中所述水解反应器被设置成将至少50%的COS转化成H₂S。

[0081] 第五实施方案可以包括第一实施方案至第四实施方案中的任一个的系统,其还包括被流体连接至所述吸收器的再生器。

[0082] 第六实施方案可以包括第五实施方案的系统,其还包括克劳斯反应器,其中所述克劳斯反应器被设置成接收来自所述再生器的闪蒸气物流,其中所述闪蒸气物流包含在所述氢化反应器中由 SO_2 转化的 H_2S 和在所述水解反应器中由 COS 转化的 H_2S ,并且其中所述克劳斯反应器被进一步设置成将至少一部分的 H_2S 转化成元素硫。

[0083] 第七实施方案可以包括第一实施方案至第六实施方案中的任一个的系统,其还包括焚烧炉,其中所述焚烧炉被流体连接至所述吸收器并且被设置成接收来自所述吸收器的上部的气相。

[0084] 在第八实施方案中,降低 SO_2 排放的系统包括:包含第一催化剂和第二催化剂的转化反应器,其中所述第一催化剂包含氢化催化剂,并且其中所述第二催化剂包含水解催化剂,其中所述转化反应器被设置成接收包含 SO_2 、 COS 的克劳斯尾气物流并将至少一部分的 SO_2 和 COS 转化成 H_2S 以产生经处理的克劳斯尾气物流;包含碱性溶液的接触冷凝器,其中所述接触冷凝器与所述转化反应器流体连通,并且其中所述接触冷凝器被设置成接收所述经处理的尾气物流并产生中间经处理的尾气物流;和包含基于胺的溶剂并被设置成接收所述中间经处理的尾气物流的吸收器。

[0085] 第九实施方案可以包括第八实施方案的系统,其中所述吸收器被设置成吸收所述中间经处理的尾气物流中的至少一部分的 H_2S 。

[0086] 第十实施方案可以包括第八实施方案或第九实施方案的系统,其还包括被流体连接至所述吸收器的再生器。

[0087] 第十一实施方案可以包括第十实施方案的系统,其还包括克劳斯反应器,其中所述克劳斯反应器被设置成接收来自所述再生器的闪蒸气物流,其中所述闪蒸气物流包含在所述吸收器中吸收的 H_2S ,并且其中所述克劳斯反应器被进一步设置成将至少一部分的 H_2S 转化成元素硫。

[0088] 第十二实施方案可以包括第八实施方案至第十一实施方案中的任一个的系统,其中所述水解催化剂被设置成将所述克劳斯尾气物流中的至少50%的 COS 转化成 H_2S 。

[0089] 在第十三实施方案中,降低来自克劳斯装置的 SO_2 排放的方法包括:使来自克劳斯法的尾气物流与氢化催化剂接触以产生经氢化的尾气;使所述经氢化的尾气与水解催化剂接触以产生经水解的尾气;用接触冷凝器处理所述经水解的尾气以产生经提取的尾气;和用基于胺的溶剂处理所述经提取的尾气。

[0090] 第十四实施方案可以包括第十三实施方案的方法,其中使所述尾气物流与所述氢化催化剂接触将所述尾气物流中的至少一部分的 SO_2 转化成 H_2S 。

[0091] 第十五实施方案可以包括第十三实施方案或第十四实施方案的方法,其中使所述经氢化的尾气与所述水解催化剂接触将所述经氢化的尾气中的至少一部分的 COS 转化成 H_2S 。

[0092] 第十六实施方案可以包括第十三实施方案至第十五实施方案中的任一个的方法,其中用基于胺的溶剂处理所述经提取的尾气包括:使所述经提取的尾气与贫溶剂接触;将所述经提取的尾气中的至少一部分的 H_2S 吸收到贫溶剂中以产生富溶剂;加热所述富溶剂;响应于加热而闪蒸至少一部分的 H_2S ;和回收所述 H_2S 。

[0093] 第十七实施方案可以包括第十三实施方案的方法,其还包括冷却所述经氢化的尾气以产生经冷却的尾气,其中使所述经氢化的尾气与所述水解催化剂接触包括使所述经冷

却的尾气与所述水解催化剂接触。

[0094] 第十八实施方案可以包括第十三实施方案的方法,其中所述氢化催化剂和所述水解催化剂在相同容器中。

[0095] 第十九实施方案可以包括第十三实施方案的方法,其还包括:使所述经氢化的尾气与接触冷凝器中的碱性溶液接触,并将所述经氢化的尾气从所述接触冷凝器传送至所述水解催化剂。

[0096] 第二十实施方案可以包括第十三实施方案的方法,其还包括:使所述经氢化的尾气与接触冷凝器中的碱性溶液接触,其中使所述经氢化的尾气与所述水解催化剂接触在所述接触冷凝器的入口温度或出口温度下发生。

[0097] 虽然已经在上文中示出和描述了根据本文公开的原理的各种实施方案,但是本领域技术人员在不脱离本公开内容的精神和教导下可以对其进行修改。本文描述的实施方案仅仅是代表性的并且不意图是限制性的。许多变化、组合和修改是可能的并且在本公开内容的范围内。通过组合、集成和/或省略一个或多个实施方案的特征而产生的替代实施方案也在本公开内容的范围内。因此,保护范围不受上文阐述的描述限制,而是通过下文权利要求被限定成包括权利要求的主题的所有等同方案的范围。每一项权利要求都作为进一步的公开内容并入说明书中,并且权利要求是一个或多个发明的一个或多个实施方案。此外,上文描述的任何优点和特征可以涉及特定的实施方案,但是不应当将这样发布的权利要求的应用限制于实现任何或全部上述优点或者具有任何或全部上述特征的方法和结构。

[0098] 另外,本文所用的章节标题是为了与37 C.F.R. 1.77下的建议保持一致而提供或提供组织线索。这些标题不应限制或表征可能由本公开内容发布的任何权利要求中列出的一个或多个发明。具体而言并且举例来说,尽管标题可能提及“领域”,但是权利要求不应受本标题下选择的用于描述所谓的领域的语言的限制。此外,“背景”中对技术的描述不应被解释为承认某些技术是本公开内容中的任何一个或多个发明的现有技术。“概述”也不被视为对所发布的权利要求中列出的一个或多个发明的限制性表征。此外,在本公开内容中对单数形式的“发明”的任何提及不应被用于论证在本公开内容中仅存在一个新颖性的点。多个发明可以根据由本公开内容发布的多个权利要求的限制阐述,并且这样的权利要求因此限定了由此受到保护的一个或多个发明及其等同方案。在所有情况下,权利要求的范围应根据本公开内容基于其自身的优点进行考虑,但不应受到本文阐述的标题的限制。

[0099] 使用诸如“包含”、“包括”和“具有”的较宽术语应当被理解为提供对诸如“由……组成”、“主要由……组成”和“基本上由…组成”等较窄术语的支持。关于实施方案的任意要素使用术语“任选地”、“可以(may)”、“可能(might)”、“可能(possibly)”等意味着该要素不是必需的,或者,该要素是必需的,两种替代方案都在一个或多个实施方案的范围内。此外,仅仅为了举例说明的目的而提供实施例,而不意图是排他性的。

[0100] 尽管在本公开内容中已经提供了若干个实施方案,但是应当理解,在不脱离本公开内容的精神或范围下,可以以许多其他特定形式来体现所公开的系统和方法。本发明的实施例被认为是说明性的而不是限制性的,并且本发明的意图不限于本文给出的细节。例如,可以将各种要素或组件组合或集成到另一系统中,或者可以省略或不实施某些特征。

[0101] 另外,可以在不脱离本公开内容的范围下将各种实施方案中离散地或者独立地描述和举例说明的技术、系统、子系统和方法与其他系统、模块、技术或方法组合或集成。彼此

直接连接或连通地示出或讨论的其他项目可以通过一些界面、装置或中间组件间接连接或连通,无论是电连接或连通、机械连接或连通或其他方式的连接或连通。变化、代替和替代的其他实例对于本领域技术人员而言是可确定的,并且可以在不脱离本文公开的精神或范围下作出。

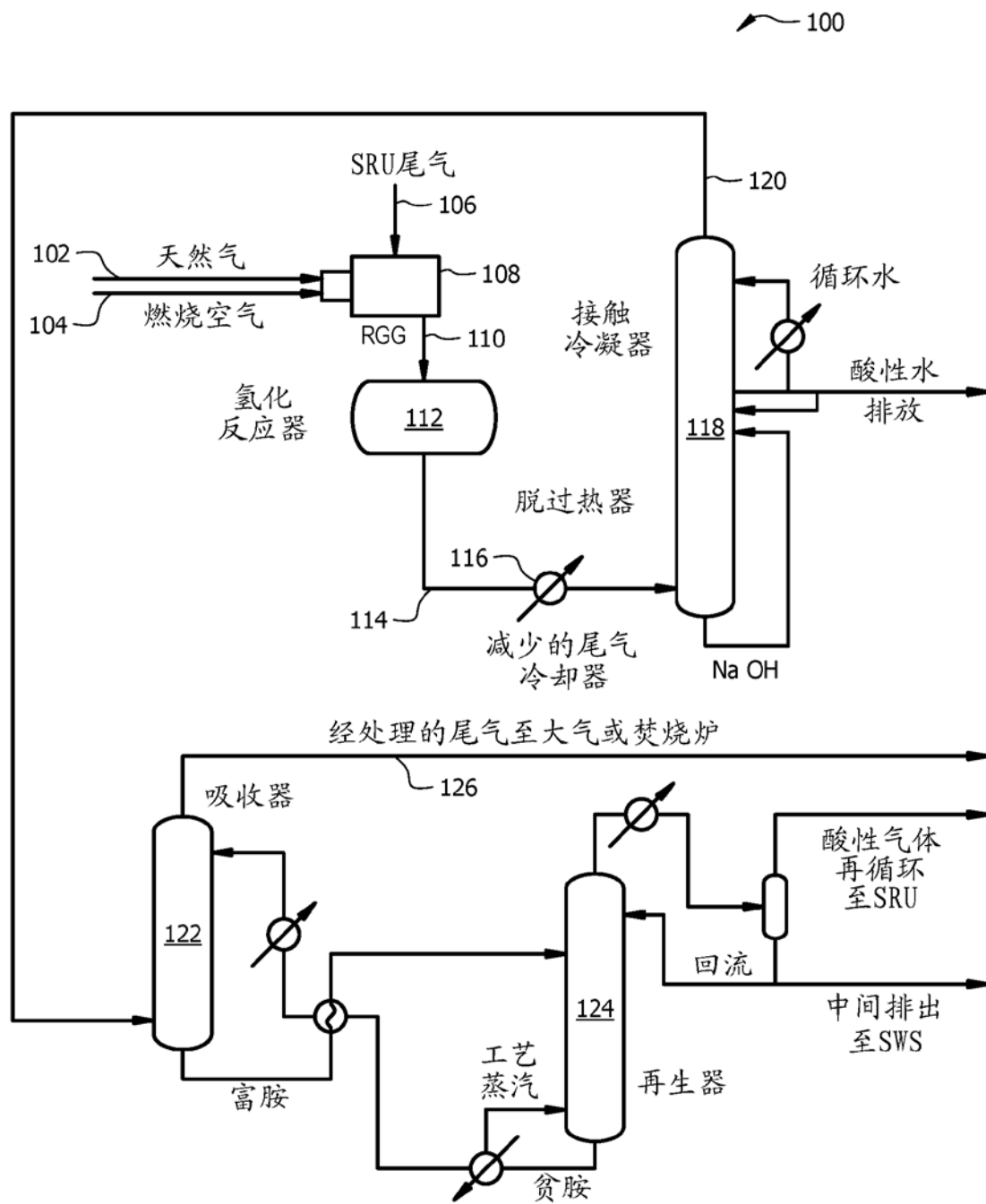


图 1

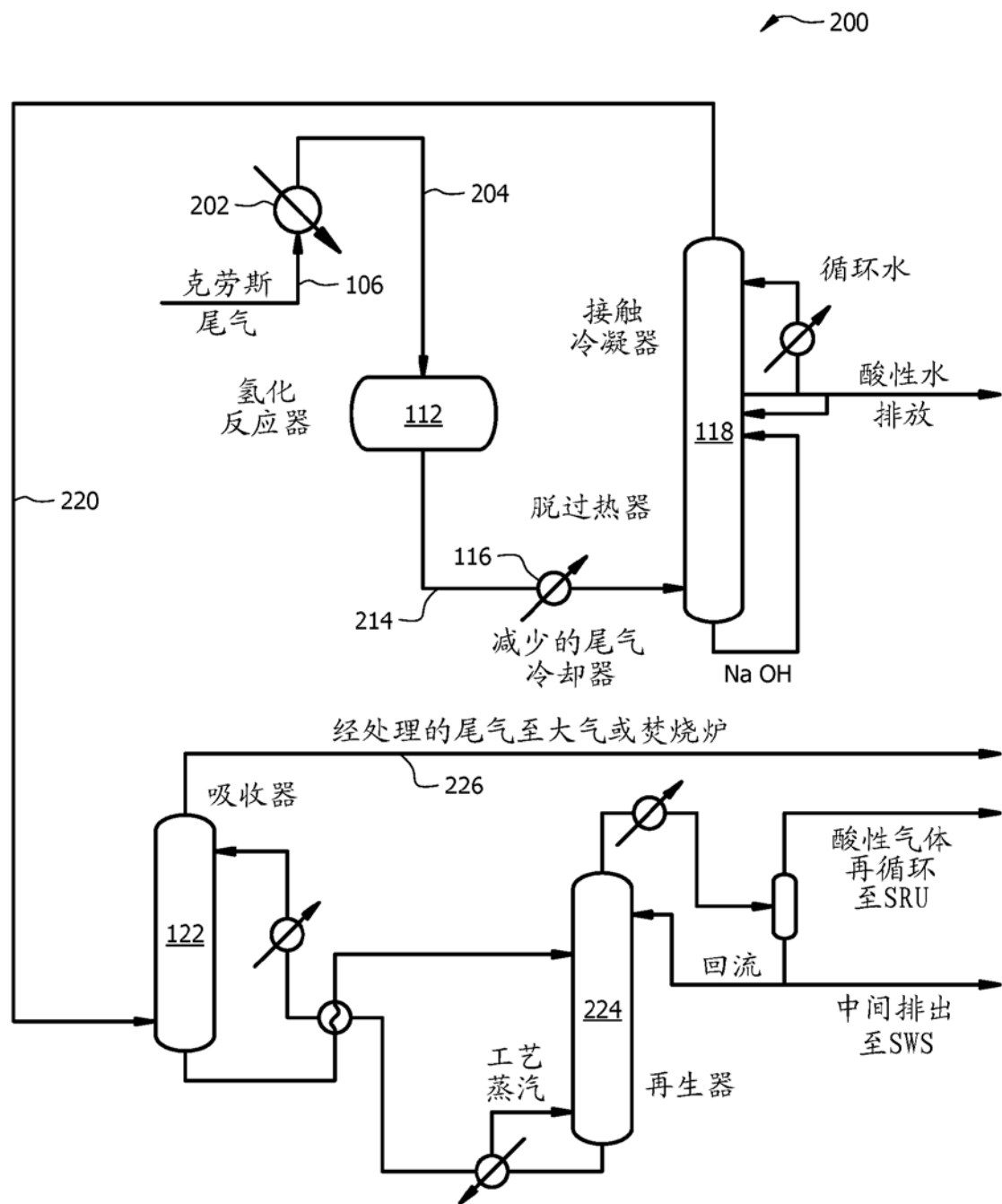


图 2

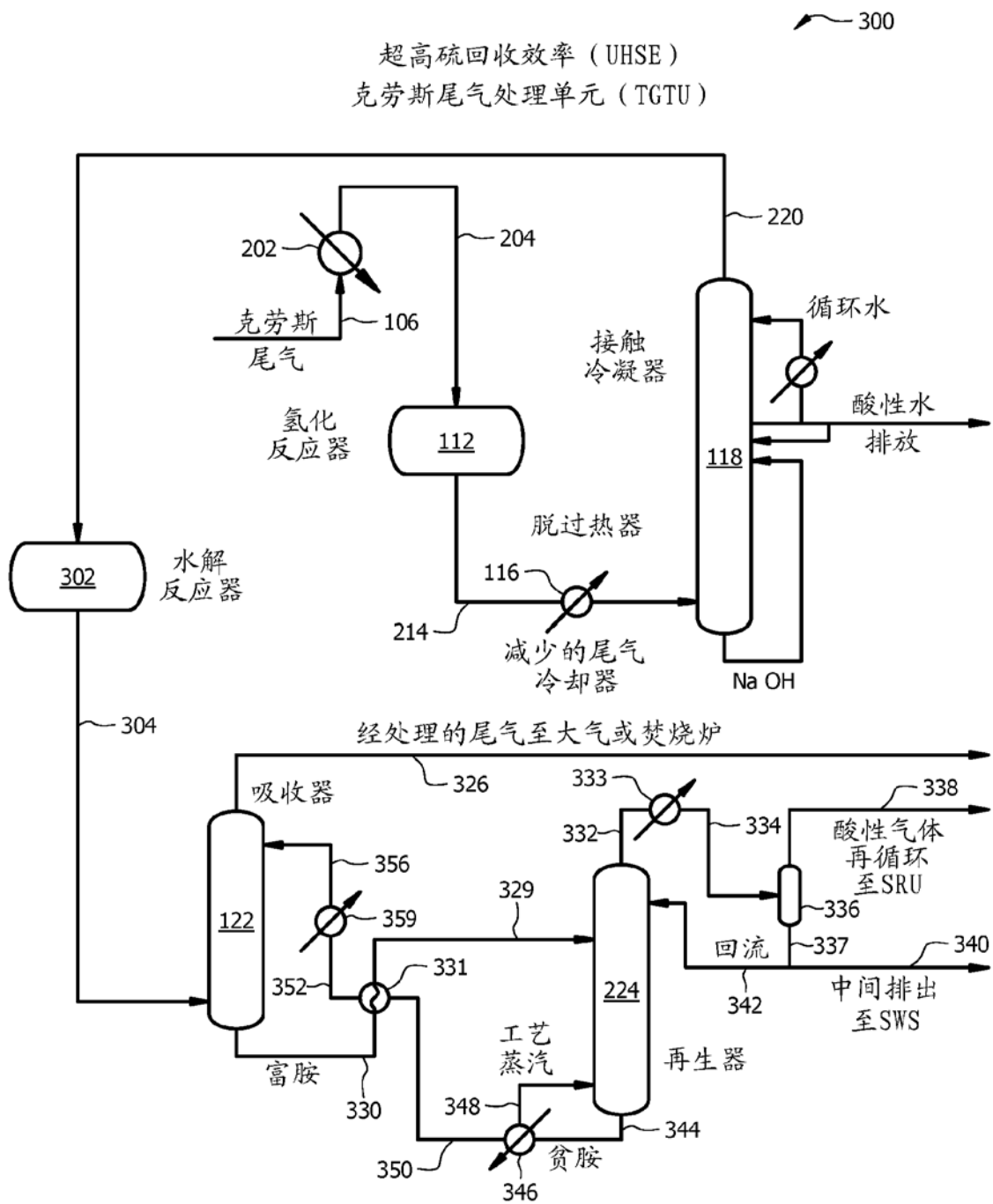


图 3

400

低温克劳斯尾气处理单元 (TGTU)

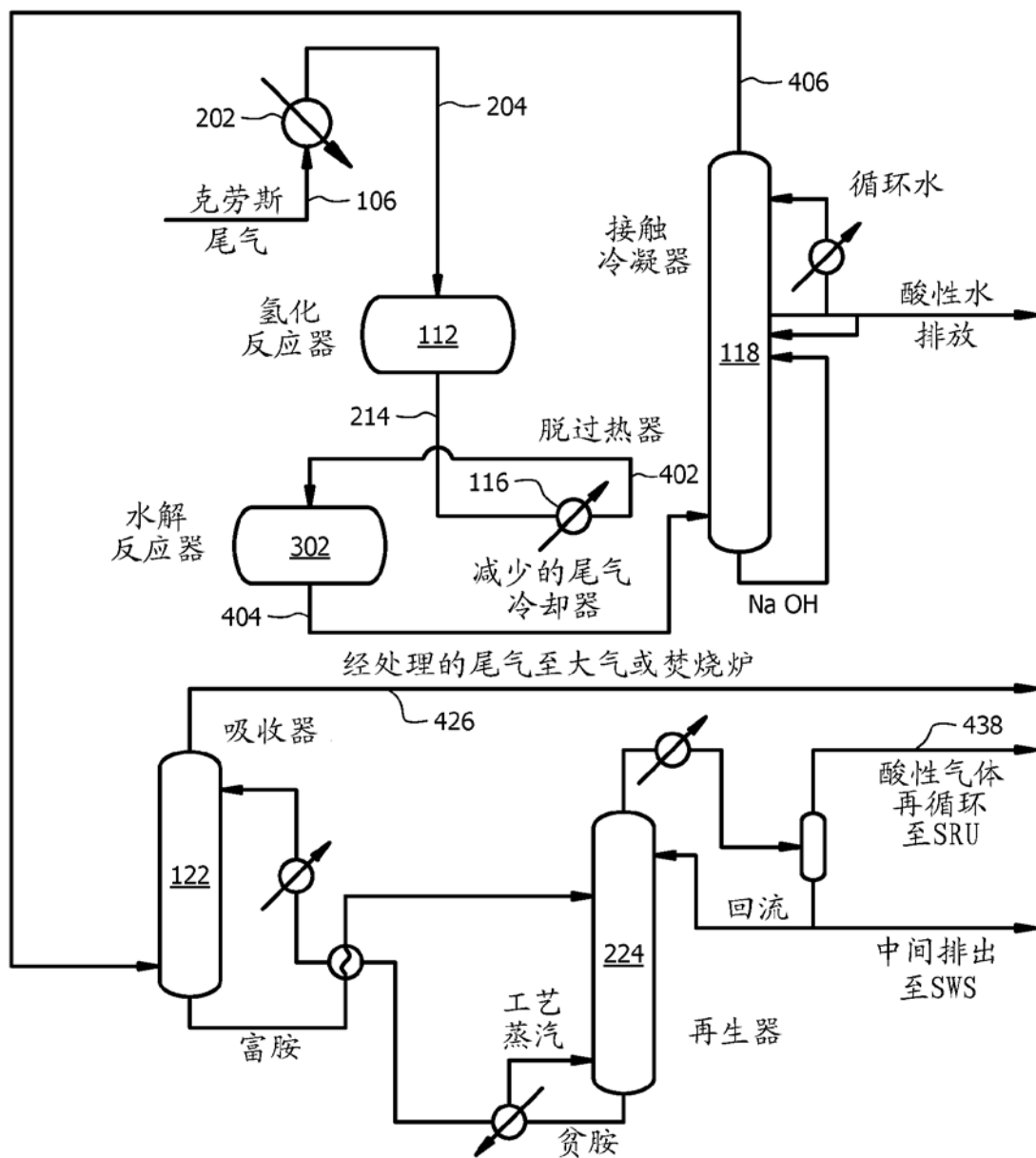


图 4

500

常规克劳斯尾气处理单元 (TGTU)

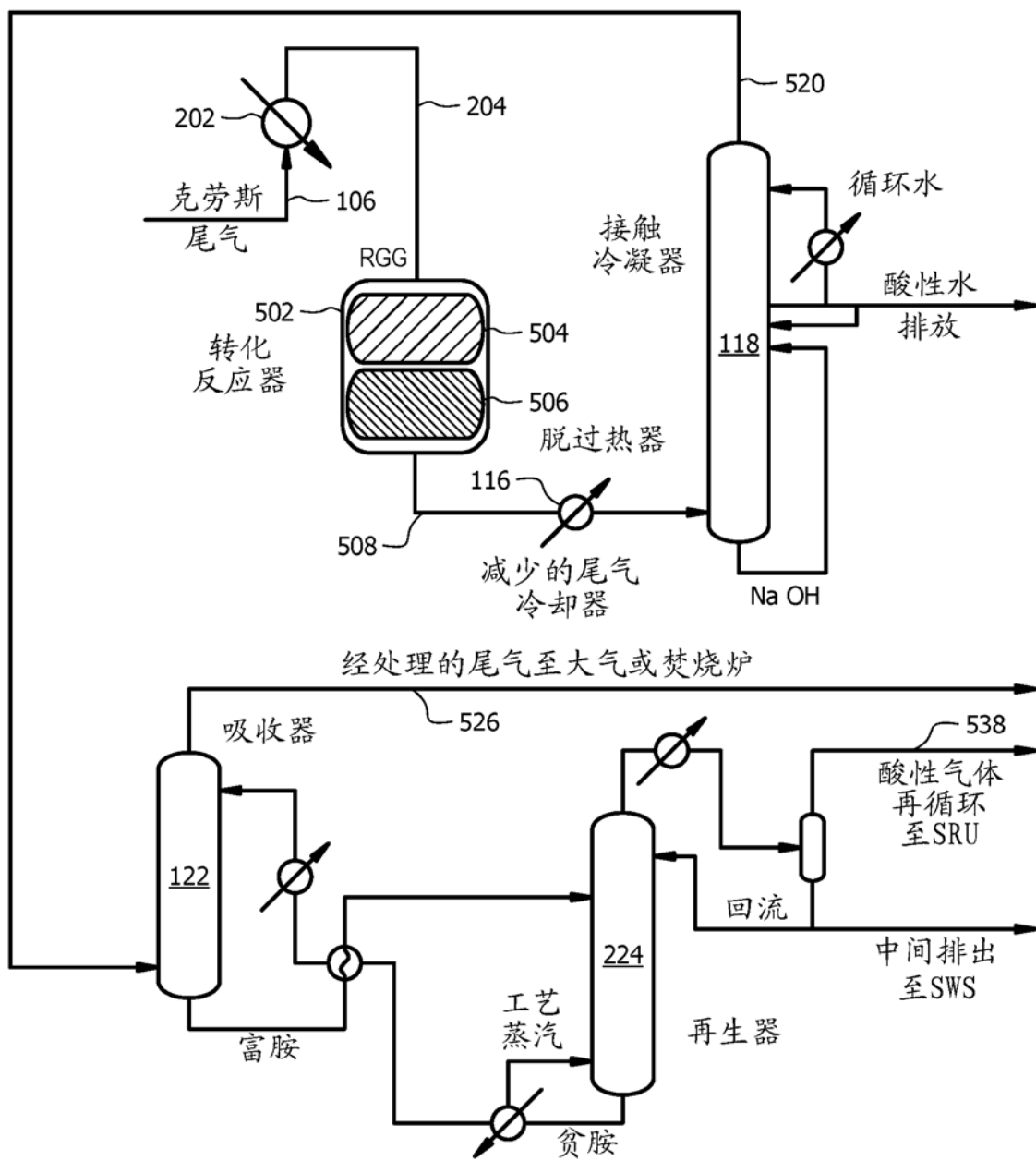


图 5