



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 219891899 U

(45) 授权公告日 2023. 10. 24

(21) 申请号 202320777575.9

(22) 申请日 2023.04.10

(73) 专利权人 中国科学院理化技术研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村东路29号

(72) 发明人 侯超 李伟钊 唐将 杨鲁伟
张冲 张桂兰 孙椰望 魏娟
蔺雪军 陶磊

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002
专利代理师 李文丽

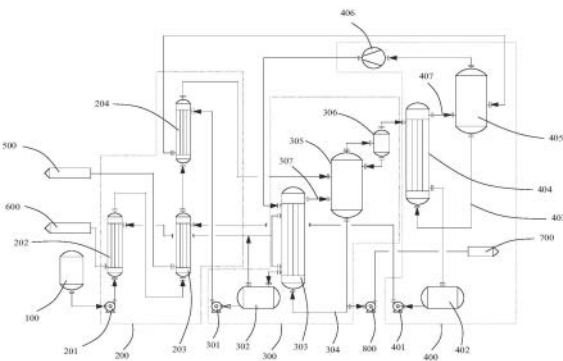
(51) Int. Cl.
G21F 9/08 (2006.01)
G21F 9/20 (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 实用新型名称
一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统

(57) 摘要

本实用新型提供一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,应用到放射性废液处理的技术领域,包括废液蒸发子系统以及热交换子系统,废液蒸发子系统用于将放射性废液加热蒸发并分离出二次蒸汽;热交换子系统包括以二次蒸汽作为热源的热量交换装置、汽液分离装置以及蒸汽压缩装置,热量交换装置能够存储清洁的蒸发工质;蒸发工质受热蒸发后产生的蒸汽通过蒸汽压缩装置压缩提升温度及压力后输入到废液蒸发子系统中并作为废液蒸发子系统的热源;废液受热蒸发出的二次蒸汽与蒸发工质进行间壁换热,解决了含低沸点物质的放射性废液热泵蒸发时,二次蒸汽直接压缩造成的压缩机污染问题以及压缩过程的存在的泄漏、爆炸、腐蚀等风险。



1. 一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,包括:

废液蒸发子系统,用于放射性废液的加热蒸发浓缩及将蒸发产生的二次蒸汽进行汽液分离;

热交换子系统,包括以所述二次蒸汽作为热源的热量交换装置、汽液分离装置以及蒸汽压缩装置,所述汽液分离装置分别与所述热量交换装置、所述蒸汽压缩装置相连通,所述热量交换装置能够存储清洁的蒸发工质;

其中,所述蒸汽压缩装置与所述废液蒸发子系统相连通,使得所述蒸发工质受热蒸发后产生的蒸汽通过所述蒸汽压缩装置压缩提升温度及压力后输入到所述废液蒸发子系统中并作为所述废液蒸发子系统的热源。

2. 根据权利要求1所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,还包括:

原料储罐;

进料预热子系统,所述进料预热子系统分别与所述原料储罐、所述废液蒸发子系统、所述热交换子系统相连,以用于对放射性废液预热并将预热的放射性废液输入到所述废液蒸发子系统中。

3. 根据权利要求2所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述热量交换装置上连通有第二冷凝水储罐,所述第二冷凝水储罐通过冷凝泵与所述进料预热子系统相连通。

4. 根据权利要求3所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述废液蒸发子系统包括蒸发器、第一汽液分离器、第二汽液分离器以及第一冷凝水储罐,所述蒸发器分别与所述第一汽液分离器、所述第一冷凝水储罐、所述蒸汽压缩装置相连通,所述第二汽液分离器分别与所述第一汽液分离器、所述热量交换装置相连通。

5. 根据权利要求4所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述进料预热子系统包括顺序连通的一级预热器、二级预热器、三级预热器;所述三级预热器分别与所述第一汽液分离器、所述第一冷凝水储罐、所述汽液分离装置相连通,所述二级预热器与所述第二冷凝水储罐连通。

6. 根据权利要求5所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述一级预热器配置有不凝气输出管路,所述不凝气输出管路分别与所述蒸发器、所述第一冷凝水储罐相连通。

7. 根据权利要求5或6所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述二级预热器上配置有用于蒸发冷凝液回收的冷凝液回收输出管路。

8. 根据权利要求5所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述汽液分离装置至少配置有用于所述蒸发工质循环流动的汽液两相介质入口、汽相介质出口、液相介质入口、液相介质出口;其中,所述液相介质入口与所述三级预热器相连通,所述液相介质出口通过第二下循环管路与所述热量交换装置相连通,以使得所述蒸发工质能够循环进入到所述热量交换装置中。

9. 根据权利要求4或5所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述第一汽液分离器上至少配置有废液输入口、废液出口、汽液两相进口、二次蒸汽出口、液相回流口;其中,所述废液出口与所述蒸发器通过第一下循环管路相连通,以使得放射性废液循环蒸发实现浓缩。

10. 根据权利要求9所述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统,其特征在于,所述第一下循环管路上配置有用于浓缩液排出的浓缩液排出管路。

一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及放射性废液处理的技术领域,尤其涉及一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统。

背景技术

[0002] 核燃料的生产、核技术的推广应用等过程中不可避免的产生大量放射性废液,由于来源广泛、成分复杂,并且含有一定放射性,为后期处理带来了一定困难。其中,低放及中放废液体积庞大、所含放射性总量较高,是废液治理的重点与难点。

[0003] 为了解决上述问题,在现有技术中行之有效并被广泛采用的是蒸发浓缩法。其中,单效蒸发是目前放射性废液蒸发浓缩法处理的主要工艺手段,该方式在系统运行过程需要消耗大量外界生蒸汽,热能利用率较低,导致运行能耗及废液处理成本偏高。为了解决该单效蒸发的问题,研究人员设计了机械蒸汽再压缩(MVR)热泵蒸发工艺,机械蒸汽再压缩(MVR)热泵蒸发可实现废液蒸发过程二次蒸汽潜热的完全回收及再利用,可以有效减少系统能耗,是目前较为突出且行之有效的节能方法。

[0004] 但在机械蒸汽再压缩(MVR)热泵蒸发处理工艺中是将二次蒸汽进行直接压缩,虽然该工艺具有较高的节能效果,但是当废液中含有低沸点物质时,蒸发过程中低沸物会随着二次蒸汽进入压缩机,导致压缩机被放射性物质污染、造成压缩机自身放射性水平升高,为后期维护保养带来不便,同时低沸物直接压缩也存在泄漏、爆炸、腐蚀等隐患。

实用新型内容

[0005] 本实用新型提供一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,用以解决现有MVR热泵蒸发技术在处理含低沸点物质的放射性废液时存在放射性物质容易污染蒸汽压缩设备以及极易出现泄露、爆炸、腐蚀的缺陷,实现系统高效、安全可靠的运行。

[0006] 本实用新型提供一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,包括废液蒸发子系统以及热交换子系统,所述废液蒸发子系统接入放射性废液,用于将放射性废液加热蒸发浓缩并将蒸发产生的二次蒸汽进行分离;所述热交换子系统包括以所述二次蒸汽作为热源的热量交换装置、汽液分离装置以及蒸汽压缩装置,所述汽液分离装置分别与所述热量交换装置、所述蒸汽压缩装置相连通,所述热量交换装置内能够存储清洁的蒸发工质;其中,所述蒸汽压缩装置与所述废液蒸发子系统相连通,使得所述蒸发工质受热蒸发后产生的蒸汽通过所述蒸汽压缩装置压缩提升温度及压力后输入到所述废液蒸发子系统中并作为所述废液蒸发子系统的热源。

[0007] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,还包括原料储罐以及进料预热子系统,所述进料预热子系统分别与所述原料储罐、所述废液蒸发子系统、所述热交换子系统相连,以用于对放射性废液预热并将预热的放射性废液输入到所述废液蒸发子系统中。

[0008] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述热量交换装置

上连通有第二冷凝水储罐,所述第二冷凝水储罐通过冷凝泵与所述进料预热子系统相连接。

[0009] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述废液蒸发子系统包括蒸发器、第一汽液分离器、第二汽液分离器以及第一冷凝水储罐,所述蒸发器分别与所述第一汽液分离器、所述第一冷凝水储罐、所述蒸汽压缩装置相连接,所述第二汽液分离器分别与所述第一汽液分离器、所述热量交换装置相连接。

[0010] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述进料预热子系统包括顺序连通的一级预热器、二级预热器、三级预热器;所述三级预热器分别与所述第一汽液分离器、所述第一冷凝水储罐、所述汽液分离装置相连接,所述二级预热器与所述第二冷凝水储罐连接。

[0011] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述一级预热器配置有不凝气输出管路,所述不凝气输出管路分别与所述蒸发器、所述第一冷凝水储罐相连接。

[0012] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述二级预热器上配置有用于蒸发冷凝液回收的冷凝液回收输出管路。

[0013] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述汽液分离装置至少配置有用于所述蒸发工质循环流动的汽液两相介质入口、汽相介质出口、液相介质入口、液相介质出口;其中,所述液相介质入口与所述三级预热器相连接,所述液相介质出口通过第二下循环管路与所述热量交换装置相连接,以使得所述蒸发工质能够循环进入到所述热量交换装置中。

[0014] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述第一汽液分离器上至少配置有废液输入口、废液出口、汽液两相进口、二次蒸汽出口、液相回流口;其中,所述废液出口与所述蒸发器通过第一下循环管路相连接,以使得放射性废液循环蒸发实现浓缩。

[0015] 根据本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统,所述第一下循环管路上配置有用于浓缩液排出的浓缩液排出管路。

[0016] 本实用新型提供的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统的有益效果是,通过在二次蒸汽的后端接入了热交换子系统,使得通过热交换子系统将放射性废液蒸发产生的二次蒸汽与清洁的蒸发工质进行间壁式换热,解决了含低沸点物质的放射性废液热泵蒸发时,二次蒸汽直接压缩造成的压缩装置污染问题以及压缩过程的存在泄漏、爆炸、腐蚀等风险,同时,由于完全回收了二次蒸汽潜热,提高了蒸发过程能源利用率,降低了运行能耗。

附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本实用新型或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本实用新型的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图1是本实用新型提供的放射性废液间壁式热泵蒸发系统的结构示意图;

[0019] 图2是本实用新型一实施例提供的汽液分离装置的具体结构图;

[0020] 图3是本实用新型一实施例提供的第一汽液分离器的具体结构图。

[0021] 附图标记：

[0022] 100：原料储罐；200：进料预热子系统；201：原料泵；202：一级预热器；203：二级预热器；204：三级预热器；300：废液蒸发子系统；301：冷凝液回流泵；302：第一冷凝水储罐；303：蒸发器；304：第一下循环管路；305：第一汽液分离器；305-1：废液输入口；305-2：汽液两相进口；305-3：废液出口；305-4：液相回流口；305-5：二次蒸汽出口；306：第二汽液分离器；307：第一上循环管路；400：热交换子系统；401：冷凝泵；402：第二冷凝水储罐；403：第二下循环管路；404：热量交换装置；405：汽液分离装置；405-1：汽液两相介质入口；405-2：汽相介质出口；405-3：液相介质入口；405-4：液相介质出口；406：蒸汽压缩装置；407：第二上循环管路；500：冷凝液回收输出管路；600：不凝气输出管路；700：浓缩液排出管路；800：浓缩液泵。

具体实施方式

[0023] 为使本实用新型的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本实用新型中的附图，对本实用新型中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本实用新型一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本实用新型中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本实用新型保护的范围。

[0024] 本申请的描述中，“相连通”可以理解为两设备之间能够通过一条或多条管道传输汽体或液体。液体或汽体在传输过程过程都可以通过驱动装置或加压或减压等方式来实现。其中，汽体是液体在受热而形成的一种形态。

[0025] 下面结合图1描述本实用新型的一种放射性废液间壁式热泵蒸发系统，包括原料储罐100，原料储罐100构造为圆桶状结构，在原料储罐100中存储有待处理的放射性废液，在储料罐的底部配置有原料出口，原料出口连接有具有阀门的管路。

[0026] 进料预热子系统200，与原料出口连通，在连通时设置原料泵201，通过原料泵201将放射性原料输入到进料预热子系统200中进行预热。

[0027] 废液蒸发子系统300，用于将放射性废液加热蒸发浓缩并将蒸发产生的二次蒸汽进行汽液分离。例如，可以通过加热装置对放射性废液进行加热使得放射性废液沸腾产生蒸汽，然后通过两个汽液分离机构进行蒸汽的二次分离净化，得到较纯净的二次蒸汽。在废液蒸发子系统300中可以配置能够为进料预热子系统200提供热源的管路或组件等，具体可通过在后的实施例进行说明。当然为了提高放射性废液的处理效率，可以对接入的放射性废液预先进行预热。

[0028] 热交换子系统400；热交换子系统400包括以二次蒸汽作为热源的热量交换装置404、汽液分离装置405以及蒸汽压缩装置406，汽液分离装置405分别与热量交换装置404、蒸汽压缩装置406相连通，热量交换装置404内能够存储清洁的蒸发工质，例如，将清水作为蒸发工质，便于取材且成本低廉。热量交换装置404可以是管壳式换热器或板式换热器，优选管壳式换热器。在热交换子系统400中可以配置能够进一步为进料预热子系统200提供预热的管路或组件等，具体可通过在后的实施例进行说明。

[0029] 进料预热子系统200分别与原料储罐100、废液蒸发子系统300、热交换子系统400

相连,以用于对放射性废液预热并将预热的放射性废液输入到废液蒸发子系统300中,蒸汽压缩装置406与废液蒸发子系统300相连通,使得沸腾汽化的蒸发工质的蒸汽通过蒸汽压缩装置406提升温度和压力后输入到废液蒸发子系统300中并作为所述废液蒸发子系统300的热源。

[0030] 可以理解的是,在上述实施例,关键提供了热交换子系统400,通过热交换子系统400与二次蒸汽发生热能的交换,例如,间壁式换热,使得蒸发工质被加热蒸发并通过蒸汽压缩装置406进行压缩升温,最后进入到废液蒸发子系统中,实现了压缩机清洁安全的工作环境,避免了放射性物质的污染以及泄漏等安全隐患。

[0031] 在一实施例中,热量交换装置404上连通有第二冷凝水储罐402,第二冷凝水储罐402通过冷凝泵401与所述进料预热子系统200相连通,以此实现热交换子系统400对进料预热子系统200的热源提供。更具体地实施例为,进料预热子系统200包括顺序连通的一级预热器202、二级预热器203、三级预热器204;二级预热器203与第二冷凝水储罐402连通,使得热量交换装置404的冷凝水作为二级预热器203的热源,实现放射性废液的二级预热,且在二级预热器上配置有用于蒸发冷凝液回收的冷凝液回收输出管路500。具体地,一级预热器202为不凝汽预热器、二级预热器203为蒸发冷凝液预热器、三级预热器204为清水预热器。进一步地实施例,废液蒸发子系统300包括蒸发器303、第一汽液分离器305、第二汽液分离器306以及第一冷凝水储罐302,其中,蒸发器303可以是管壳式换热器或板式换热器,优选管壳式换热器。蒸发器303分别与第一汽液分离器305、第一冷凝水储罐302、蒸汽压缩装置406相连通,第二汽液分离器306分别与第一汽液分离器305、热量交换装置404相连通;三级预热器204分别与第一汽液分离器305、第一冷凝水储罐302、汽液分离装置405相连通,第一冷凝水储罐302与所述蒸发器303的壳程连通,使得蒸发器303的冷凝水作为三级预热器204的热源,实现三级预热器204的预热。进一步地的实施例,一级预热器202配置有不凝气输出管路600,所述不凝气输出管路600分别与蒸发器303、第一冷凝水储罐302相连通,即是,将蒸发器303内的不凝汽、第一冷凝水储罐302内的不凝气集中输入到一级预热器202中,使得不凝汽能够作为热源来对放射性废液进行一级预热。

[0032] 上述实施例中,通过设计管路将废液蒸发系统中的蒸发器303、第一冷凝水储罐302与三级预热器204以及一级预热器202相连通,三级预热器204与第一冷凝水储罐302连接的管路通过冷凝液回流泵301将冷凝液输入作为三级预热器204的热源,一级预热器202连接的管路通过不凝汽的输入作为热源;通过设计管路将热交换子系统400中的热量交换装置404、第二冷凝水储罐连通,二级预热器203的连接管路通过冷凝泵401将热量交换装置404中的冷凝液输入作为热源。可以理解的是,系统中冷凝液回流泵301中流经的冷凝液为冷凝后的蒸发工质;每一级的预热器的热源均是利用后续废液蒸发子系统300和热交换子系统400中的热能,使得整个系统的中的热能得到充分利用,达到高效和节能目的。

[0033] 如图2所示,在一具体的实施例中,汽液分离装置405至少配置有用于所述蒸发工质循环流动的汽液两相介质入口405-1、汽相介质出口405-2、液相介质入口405-3、液相介质出口405-4;其中,汽液两相介质入口405-1与汽相介质出口405-2用于汽化的清洁的蒸发工质流通,也即是清水蒸汽流通,具体地,汽化的蒸发工质由热量交换装置404通过汽液两相介质入口405-1进入到汽液分离装置405中,通过汽液分离装置405将液相分离,汽化的蒸发工质由汽液分离装置405进入到蒸汽压缩装置406中;液相介质入口405-3与三级预热器

204相连通,液相介质出口405-4通过第二下循环管路403与热量交换装置404相连通,以使得所述蒸发工质能够循环进入到所述热量交换装置404中。如图3所示,进一步地实施例中,第一汽液分离器305上至少配置有废液输入口305-1、废液出口305-3、汽液两相进口305-2、二次蒸汽出口305-5、液相回流口305-4;其中废液出口305-3与蒸发器303通过第一下循环管路304相连通使得废液循环蒸发实现浓缩;废液输入口305-1接入到三级预热器204中,使得预热后的放射性废液进入第一汽液分离器305中。在另一具体实施例中,在第一循环管路上配置有用于浓缩液排出的浓缩液排出管路700,浓缩液排出管路700上设置由浓缩液泵800,以使得当浓缩到预定浓度时便可以将浓缩液通过浓缩液排出管路700排出。

[0034] 结合上述实施例,蒸汽压缩装置406与蒸发器303连通,并通过压缩升温后的汽化的蒸发工质作为蒸发器303的热源,换热冷凝后的蒸发工质通过连通的第一冷凝水储罐302进入到三级预热器204进一步作为三级预热器204的热源,预热废液进料后通过液相介质入口405-3与三级预热器204的连通管路将蒸发工质输入到汽液分离装置405中,由此实现蒸发工质在系统中的循环。

[0035] 在本申请的实施例中,第一汽液分离器305、汽液分离装置405均是用于对蒸发过程得到的汽液混合物进行汽液分离,可采用重力分离形式,具体可在分离器汽相部分设置旋流板或丝网填料去除夹带液滴,提高净化效果。第二汽液分离器306,用于进一步对蒸发过程得到的二次蒸汽进行汽液分离,进一步提高净化效果,可采用填料过滤、喷淋洗涤等净化方式。原料泵201、冷凝液回流泵301、浓缩液泵800以及冷凝泵401在系统中用于流体传送;优选,进料泵、冷凝水泵、冷凝液泵、浓缩液泵等选用变频泵,也可选用工频泵。

[0036] 下面对本实用新型的放射性废液间壁式热泵蒸发系统的具体工作流程进行描述,下文描述的工作流程与上文描述的放射性废液间壁式热泵蒸发系统可相互对应参照。

[0037] 参照图1所示,放射性废液由原料储罐100原料出口排出,经进原料泵201打入一级预热器202的冷流进口进行初步预热;随后,物料进入二级预热器203继续预热后由二级预热器203上的冷流出口排出;进一步,物料进入三级预热器204后继续进行预热,完成预热后由三级预热器204上的冷流出口排出。预热后的放射性废液由第一汽液分离器305的物料进口进入第一汽液分离器305中,随后放射性废液随着第一下循环管路304内的流体由蒸发器303下部进入蒸发器303的管程,管程内的放射性废液经过与壳程蒸发工质的蒸汽换热后沸腾蒸发成为汽液混合物,随后由第一上循环管路307进入第一汽液分离器305中进行汽液分离;分离得到的二次蒸汽由第一汽液分离器305顶部排出后进入到第二汽液分离器306中,剩余的浓缩液由第一汽液分离器305底部进入第一下循环管路304继续参与循环与蒸发。二次蒸汽在第二汽液分离器306内进一步去除夹带液滴后,汽相的二次蒸汽进入热量交换装置404的壳程中作为热源加热管程内的清水,液相的二次蒸汽回流至第一汽液分离器305内。二次蒸汽与热量交换装置404中的清水换热后成为冷凝液进入第二冷凝水储罐402中;进一步,第二冷凝水储罐402中的高温的冷凝液由冷凝泵401打入二级预热器203热流进口,作为热源预热进料后排出系统进行后续处理;热量交换装置404的管程清水受热后沸腾蒸发,产生的汽液混合物由第二上循环管路407进入汽液分离装置405,经过分离得到的二次清水蒸汽由顶部排出后进入蒸汽压缩装置406中,剩余清水液体进入第二下循环管路403继续参与循环蒸发。蒸汽经蒸汽压缩装置406压缩提高温度及压力后进入蒸发器303中的壳程作为热源加热管程中的废液,换热后高温蒸汽成为冷凝水进入第一冷凝水储罐302中,高温

的冷凝水由冷凝水回流泵打入三级预热器204的热流进口,作为热源预热放射性废液后由出口排出并返回到汽液分离装置405中。在一下循环管路304上设置有浓缩液排料口,当系统内废液浓缩到设定浓度时,由浓缩液泵800将浓缩液打出系统进行后续处理。考虑到运行过程中系统内部可能存在少量不凝结气体,因此在蒸发器303壳程和第一冷凝水储罐302的顶部设置不凝气排口,通过管路连接后接入一级预热器202的热流进口,预热进料后排出系统接入不凝汽处理装置。

[0038] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式能够充分利用系统的热能,整个系统设计合理、结构简单、热能利用率高。

[0039] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本实用新型的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本实用新型进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本实用新型各实施例技术方案的精神和范围。

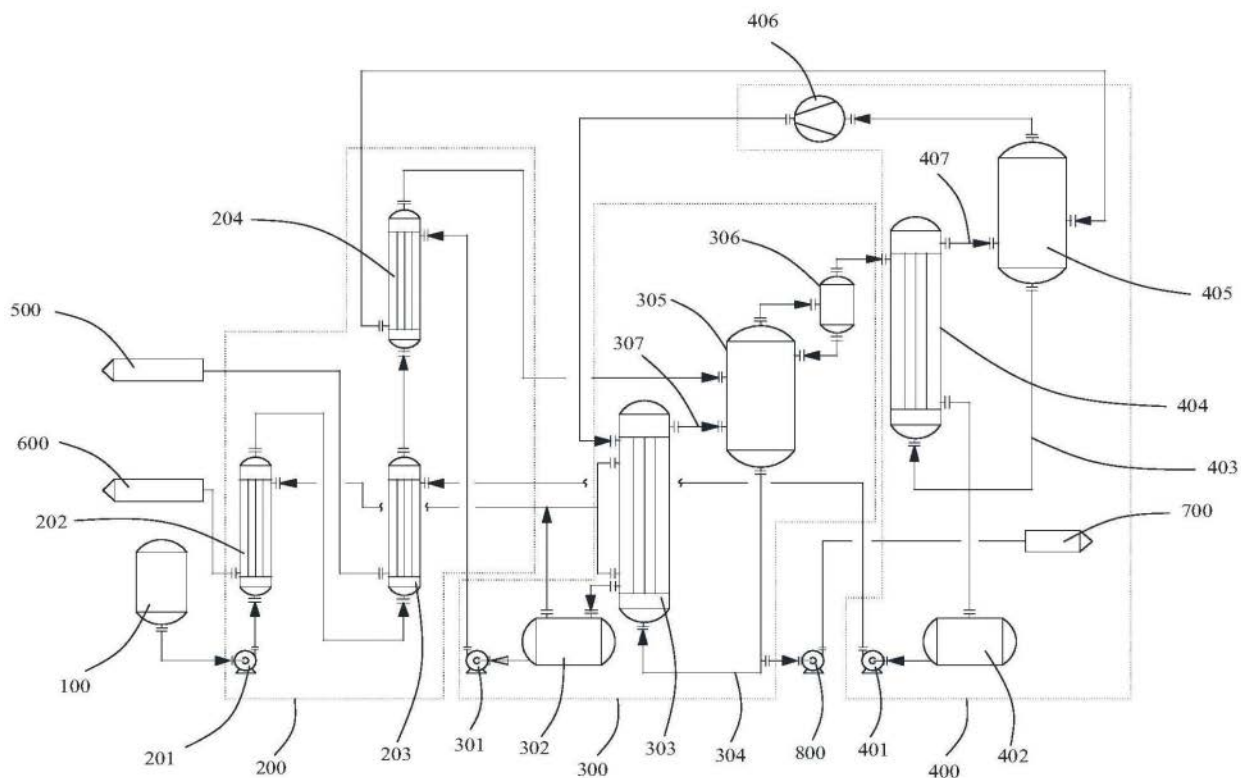


图1

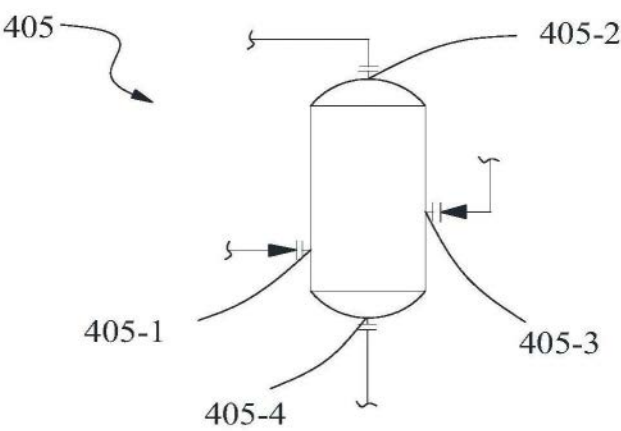


图2

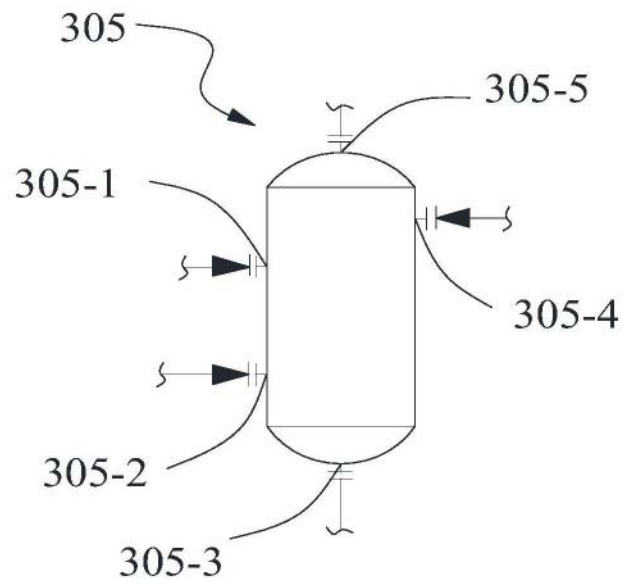


图3