



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104606915 B

(45) 授权公告日 2016. 02. 03

(21) 申请号 201510068202. 4

审查员 江涵

(22) 申请日 2015. 02. 09

(73) 专利权人 南京工业大学

地址 210009 江苏省南京市新模范马路 5 号

(72) 发明人 凌祥 刘冬稳

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207

代理人 张苏沛

(51) Int. Cl.

B01D 5/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102166463 A, 2011. 08. 31,

CN 104083981 A, 2014. 10. 08,

CN 202666652 U, 2013. 01. 16,

JP 2010172804 A, 2010. 08. 12,

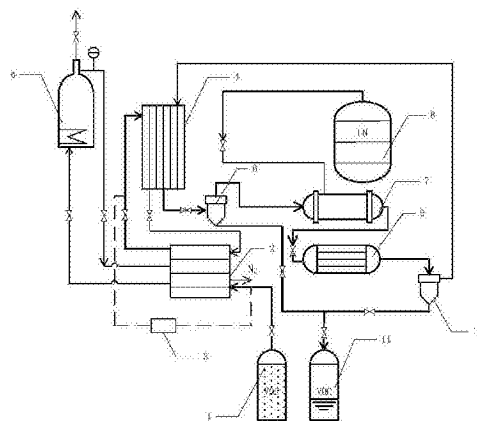
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种高效低成本的 VOC 回收系统及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种高效低成本的 VOC 回收系统及方法。本发明采用液氮作为 VOC 回收的冷却剂，与 VOC 气体在混合器内混合后再进行接触式换热，换热过程中液氮蒸发为气态，而 VOC 气体冷凝为液态，换热后从冷凝器流出的氮气与 VOC 液体的气液混合物经气液分离器分离，氮气进入预冷器对 VOC 气体进行预冷，利用剩余的冷量使 VOC 中的水蒸气发生冷凝结冰后除去，被冷凝的 VOC 液体则进入储罐回收利用。本发明有效提高了能量的利用率，大大减少了系统的复杂性，降低了 VOC 回收系统的运行及维护成本。本方法具有高通量、低阻力、短流程、能量利用率高等特点，运行过程中无动设备，可大大提高系统的稳定性，降低投资成本。



1. 一种高效低成本的 VOC 回收系统,包括气态 VOC 储罐、液态 VOC 储罐、液氮储罐,其特征在于:还包括一级预冷器、二级预冷器、混合器、接触式冷凝器、一号气液分离器和二号气液分离器;所述一级预冷器和二级预冷器分别有 VOC 气体通道和氮气通道,气态 VOC 储罐通过 VOC 气体管路依次与一级预冷器 VOC 气体通道、二级预冷器 VOC 气体通道、一号气液分离器、混合器、接触式冷凝器、二号气液分离器连接;液氮储罐通过液氮管路与混合器连接;二号气液分离器的气体出口通过氮气管路依次与二级预冷器氮气通道、一级预冷器氮气通道连接;一号气液分离器和二号气液分离器的液体出口都与液态 VOC 储罐连接。

2. 根据权利要求 1 所述 VOC 回收系统,其特征在于:还包括高温氮气储罐,所述高温氮气储罐氮气入口与一级预冷器氮气出口连接,高温氮气储罐氮气出口与一级预冷器 VOC 气体通道连接。

3. 根据权利要求 2 所述 VOC 回收系统,其特征在于:所述高温氮气储罐装有电加热装置、压力传感器和安全阀,所述电加热装置加热氮气;所述压力传感器用于测量储罐压力;所述安全阀在储罐压力超过设定值时打开进行泄压。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述 VOC 回收系统,其特征在于:还包括压力变送器,所述压力变送器连接于一级预冷器 VOC 气体通道进口和出口管路之间,用于测量一级预冷器 VOC 气体流通时压力。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述 VOC 回收系统,其特征在于:还包括压缩机和膨胀机,所述一级预冷器的氮气出口之后依次连接压缩机、膨胀机和液氮储罐。

6. 根据权利要求 1 所述 VOC 回收系统,其特征在于:所述一级预冷器、二级预冷器采用微通道预冷器,所述微通道预冷器采用模块化的板式结构,氮气通道翅片板芯和 VOC 通道翅片板芯间隔排列,所述一级预冷器氮气通道、二级预冷器氮气通道和一级预冷器 VOC 气体通道、二级预冷器 VOC 气体通道的两侧采用边条密封,两种流体通道采用钎焊连接。

7. 根据权利要求 1 所述 VOC 回收系统,其特征在于:所述混合器为微通道混合器或静态混合器;所述接触式冷凝器为微通道冷凝器。

8. 一种高效低成本的 VOC 回收方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤 1:VOC 气体经一级预冷器与低温氮气进行换热,VOC 气体中水蒸气冷凝成冰,得到去除水蒸气的 VOC 气体;

步骤 2:去除水蒸气的 VOC 气体经二级预冷器与低温氮气进行换热,冷凝析出气体重组分,经气液分离将冷凝液回收,得到轻组分 VOC 气体;

步骤 3:轻组分 VOC 气体经混合器与液氮混合,再经接触式冷凝器析出 VOC 气体,同时液氮气化,气液分离后将冷凝液回收;

步骤 3 中的气化液氮回收,作为步骤 2 中低温氮气;步骤 2 中低温氮气经换热后排出二级预冷器,回收作为步骤 1 中低温氮气。

9. 根据权利要求 8 所述 VOC 回收方法,其特征在于,步骤 1 中排出一级预冷器的氮气,回收加热后,通入一级预冷器的 VOC 气体通道除冰。

10. 根据权利要求 8 所述 VOC 回收方法,其特征在于,步骤 1 中一级预冷器出口 VOC 气体温度控制在 $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$;所述步骤 2 中经二级预冷器后 VOC 气体的温度冷却至 $-85^{\circ}\text{C} \sim -95^{\circ}\text{C}$ 。

一种高效低成本的 VOC 回收系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于挥发性有机气体回收领域,具体涉及一种高效、低成本回收挥发性有机气体的系统及方法。

背景技术

[0002] 挥发性有机气体化合物 (Volatile Organic Compounds 简称 VOC) 是大气中较为常见且普遍存在的大气污染物。常见的组分有碳氢化合物、苯系物、醇类、酮类、酚类、醛类、酯类、胺类、腈(氰)类等。VOCs 在光照作用下发生光化学反应,会导致光化学烟雾、二次有机气溶胶和大气有机酸的升高,可破坏臭氧层,是灰霾天气 (PM_{2.5}) 形成的重要原因,还会表现出一定毒性、刺激性、致癌性,对人体健康造成较大的影响。

[0003] VOC 的来源主要有固定源和移动源两种。移动源主要有汽车、轮船和飞机等以石油产品为燃料的交通工具的排放气;固定源的种类很多,主要为石油化工工艺过程和储存设备等的排出物及各种使用有机溶剂的场合,如喷漆、印刷、金属除油和脱脂、粘合剂、制药、塑料和橡胶加工等。因此 VOC 的回收和处理对于上述行业具有十分重要的意义。

[0004] 目前用于 VOC 回收的主要技术存在两大类即物理方法和化学方法。物理方法主要是通过改变温度、压力或采用选择性吸附剂和选择性渗透膜等方法来富集分离 VOC;化学性方法有直接燃烧、热氧化、催化燃烧、生物氧化、等离子体法、紫外光催化氧化法及其集成技术,主要是通过化学或生化反应,用热、光、催化剂或微生物将 VOC 转变成为 CO₂ 和水等无毒害的无机小分子化合物。传统上 VOC 的废气处理常采用吸附或吸收去除、燃烧去除等方法,传统方法虽然原理简单,实施容易,但都具有一定的缺陷和局限性。如吸附法对于吸附剂具有较大的选择性和依赖性,且大多数吸附剂在多次长时间使用后会逐步失去活性,因此必须每三到五年更换一次。燃烧法虽然可以将 VOC 中的大部分有机物转化为环境无害的 H₂O 和 CO₂,但是由于 VOC 成分复杂且燃烧温度各不相同,通入空气量过多导致燃料消耗大,同时降低炉温造成燃烧不充分,极易对环境造成二次污染。其他方法虽然较新,但技术尚不十分成熟。目前已公开的专利如:CN200610037129.5 有机废气回收方法、CN201210271165.3 有机废气吸附系统、CN201410203863.9 有机废气净化回收系统、CN201010269302.0 吸附-催化燃烧处理有机废气的系统、CN200710075337.9 有机废气处理系统、CN201010554364.6 有机废气活性炭吸附的干法脱附装置等,上述公开的有机废气回收方法大多为吸附法。CN201110424881.6 一种回收有机废气中有机溶剂的方法、CN200910256411.6 一种有机废气处理设备、CN201010140795.8 有机废气微乳吸收剂及其制备方法和用途等公开的方法为吸收法, CN00110696.1 含水蒸汽有机废气的处理方法、CN200910138879.5 有机废气处理装置等采用的方法为催化燃烧法, CN200410050398.6 一种恶臭及有机废气的净化方法等,采用的方法为生物化学方法,这些专利与本发明相比,在原理、设备及流程上都存在较大差异,且无法有效解决上述方法原本存在的问题。近年来,随着自然环境的不断恶化,我国不仅颁布了《中华人民共和国大气污染防治法》和《大气污染物综合排放标准》等综合性的法律法规,也对炼焦、油气储运、工业合成皮革等行业颁布

了专门的行业标准,控制这些行业 VOC 的排放。因此对于上述行业来说,亟需一种高效低成本的 VOC 回收方法和设备,不仅不造成二次污染,且设备的初期投入和后期的运行维护所需成本都较为低廉,解决 VOC 的排放问题。

发明内容

[0005] 为了解决 VOC 回收过程中普遍存在的高成本和二次污染问题,本发明提供一种以液氮作为冷却剂的高效低成本 VOC 回收系统及方法,能够充分利用液氮的冷量,降低 VOC 回收过程中的能源消耗,真正达到节能减排的目的。

[0006] 本发明采用的原理,是利用价格较为低廉的液氮与气态的 VOC 在微通道内混合直接接触换热,将 VOC 的气化潜热置换出来,使气态的 VOC 冷凝为液态进行回收,同时液氮释放热量发生相变而转化为约 -150°C 的低温氮气。由于此时氮气温度较低,直接排放会造成冷量的浪费;另一方面来自储罐的 VOC 气体也含有大量的水蒸气,若直接与液氮混合通入微通道混合器将造成水蒸气结冰,堵塞微通道。因此,将经过第一次换热后的氮气通入预冷器内,与来自储罐的 VOC 进行换热,经过两级预冷,第一级预冷使 VOC 中所含的水蒸气冷凝结冰与气态的 VOC 发生分离,防止含水 VOC 进入微通道造成微通道堵塞,影响设备的正常运行。第二级预冷使 VOC 中重组分先冷凝成液体,分层次利用冷量到达 VOC 组分初分离。采用低温氮气预冷的方法不仅可以有效解决 VOC 中水蒸气造成设备的冰堵问题,也可以对冷量进行二次回收利用,大大提高了能源利用的效率,进一步降低了设备的运行成本。

[0007] 本发明第一个目的提供一种 VOC 回收系统,通过以下技术方案实现。

[0008] 一种高效低成本的 VOC 回收系统,包括气态 VOC 储罐、液态 VOC 储罐、液氮储罐、一级预冷器、二级预冷器、混合器、接触式冷凝器、一号气液分离器和二号气液分离器;所述一级预冷器和二级预冷器分别有 VOC 气体通道和氮气通道,气态 VOC 储罐通过 VOC 气体管路依次与一级预冷器 VOC 气体通道、二级预冷器 VOC 气体通道、一号气液分离器、混合器、接触式冷凝器、二号气液分离器连接;液氮储罐通过液氮管路与混合器连接;二号气液分离器的气体出口通过氮气管路依次与二级预冷器氮气通道、一级预冷器氮气通道连接;一号气液分离器和二号气液分离器的液体出口都与液态 VOC 储罐连接。

[0009] 作为优选,上述回收系统还包括高温氮气储罐,所述高温氮气储罐氮气入口与一级预冷器氮气通道出口连接,高温氮气储罐氮气出口与一级预冷器的 VOC 通道连接。

[0010] 优选,高温氮气储罐装有电加热装置、压力传感器和安全阀,所述电加热装置加热氮气;当储罐压力超过设计工作压力时,安全阀可打开对储罐进行泄压。

[0011] 上述回收系统优选在一级预冷器 VOC 气体的进口和出口管路之间设置压力变送器,当一级预冷器的进出口的压力差大于设定值时,表示一级预冷器 VOC 气体通道中冰块较多,需要清理。可由高温氮气储罐中氮气对一级预冷器进行除冰,此时 VOC 气体和氮气停止通入,高温氮气储罐氮气进入一级预冷器的 VOC 通道,进行吹、烘除冰。

[0012] 所述 VOC 回收系统,可以在一级预冷器的氮气出口之后依次连接压缩机、膨胀机,最后送至液氮储罐中,这样更能够减少氮气排放,充分循环利用氮气。

[0013] 所述 VOC 回收系统中混合器可以为微通道混合器或者静态混合器,所述静态混合器如 SM V 型、SM X 型、SV 型、SL 型或 SK 型。所述接触式冷凝器为微通道冷凝器。

[0014] 本发明中预冷器可以采用微通道结构,这种结构具有高通量、低成本、高效率的特

点。微通道预冷器可采用模块化板式结构,氮气通道翅片板芯和 VOC 通道翅片板芯间隔排列,每种流体通道的两侧都采用边条密封,两种流体通道采用钎焊连接。氮气侧由于介质较为清洁,所以采用微通道结构提高热通量,降低成本提高传热效率。与之相邻的 VOC 气体由于在预冷前含有大量水蒸气,经换热后水蒸气发生冷凝和凝固现象,极易对微通道造成堵塞,因此为了预防冰堵现象的发生,VOC 通道采用大尺寸的翅片板结构,便于调节通道间距,既强化传热又可有效预防通道内由于水蒸气结冰而造成通道堵塞。本发明中接触式冷凝器采用微通道结构,VOC 气体与液氮通过不同的入口进入微通道混合器混合后,进入微通道冷凝器直接接触换热,通过控制液氮的流量和冷凝器通道长度对 VOC 的冷凝温度进行控制,并可根据实际处理量调节。

[0015] 本发明系统运作时流程如下:

[0016] 来自储罐 VOC 气体含有较多的水蒸汽,需要首先进入一级预冷器预冷,与二级预冷器流出的氮气进行换热将其中的水蒸气冷凝结冰除去。一级预冷器出口温度优选控制在 $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$,以保证 VOC 内的水蒸气全部结冰与 VOC 气体发生分离。经一级预冷器预冷的 VOC 气体再进入二级预冷器与接触式冷凝器流出的氮气进行二次换热,使 VOC 气体的温度进一步冷却至 $-85^{\circ}\text{C} \sim -95^{\circ}\text{C}$ 左右,在此温度下,VOC 气体中的部分重组分发生冷凝析出,从二级预冷器流出的 VOC 气液混合物进入气液分离器,对重组分液体进行回收,气体则进入混合器。进入混合器的 VOC 气体与来自液氮储罐的液氮进行混合,混合后的液氮和 VOC 进入接触式冷凝器进行接触式换热,使 VOC 中剩余的轻组分冷凝,换热后的气液混合物再次通过气液分离器,对 VOC 的轻组分进行二次回收。

[0017] 氮气的流动方向:来自储罐的液氮则首先进入混合器内与二级预冷器预冷的轻组分 VOC 混合,再进入微通道冷凝器与轻组分的 VOC 气体直接接触换热,换热后被气化的氮气与被冷凝的液态轻组分 VOC 经气液分离器分离后,进入二级预冷器与来自一级预冷器的 VOC 进行换热,在这一过程中氮气的温度升高,而 VOC 气体中的部分重组分被冷凝。离开二级预冷器的氮气进入一级预冷器与来自储罐的 VOC 气体换热,从而除去其中的水蒸气。

[0018] 优选方案中,在一级预冷器换热完成后的氮气,进入带有电加热功能的氮气储罐储存并加热。加热后的氮气在除冰程序启动时,通过管道进入一级预冷器对 VOC 通道进行吹扫除冰。

[0019] 优选方案中,一级预冷器的 VOC 进出口管道上装有压差变送器,除冰过程通过压差变送器进行控制,当一级预冷器进口和出口的压力差较大时,说明设备内部水蒸气结冰堵塞通道,此时即停止通入氮气和 VOC 气体,打开热流体通道的入口阀门,通入热氮气对预冷器内部进行加热,使 VOC 通道温度升高,起到除冰、烘干的作用。

[0020] 本发明第二个目的提供一种 VOC 回收方法,通过以下技术方案实现。

[0021] 一种高效低成本的 VOC 回收方法,包括如下步骤:

[0022] 步骤 1:VOC 气体经一级预冷器与低温氮气进行换热,VOC 气体中水蒸气冷凝成冰,得到去除水蒸气的 VOC 气体;

[0023] 步骤 2:去除水蒸气的 VOC 气体经二级预冷器与低温氮气进行换热,冷凝析出重组分气体,经气液分离将冷凝液回收,得到轻组分 VOC 气体;

[0024] 步骤 3:轻组分 VOC 气体经混合器与液氮混合,再经接触式冷凝器析出 VOC 气体,同时液氮气化,气液分离后将冷凝液回收;

[0025] 步骤3中的气化液氮回收,作为步骤2中低温氮气;步骤2中低温氮气经换热后排出二级预冷器,回收作为步骤1中低温氮气。

[0026] 优选方案,步骤1中排出一级预冷器的氮气,回收加热后,通入一级预冷器的VOC气体管路除冰。

[0027] 优选方案,所述步骤1中一级预冷器出口VOC气体温度控制在 $-15^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$;所述步骤2中经二级预冷器后VOC气体的温度冷却至 $-85^{\circ}\text{C}\sim -95^{\circ}\text{C}$ 。

[0028] 所述步骤2和步骤3中气液分离通过气液分离器实现。

[0029] 具体的,一种VOC回收的高效低成本方法,VOC气体经过两级预冷后与来自液氮储罐的液氮按一定的气液比通入混合器混合,混合后的气液混合物进入接触式冷凝器进行直接接触换热,换热过程中液氮被气化,VOC气体则发生冷凝。换热后从接触式冷凝器流出的液态VOC和氮气的气液混合物进入气液分离器进行气液分离。液态VOC通入液态VOC储罐,较低温度的氮气依次进入二级预冷器和一级预冷器,对VOC气体进行两级预冷。二级预冷中VOC气体重组分冷凝,并进行回收。一级预冷中氮气与含水蒸汽的VOC气体进行换热,使VOC气体内的水蒸气转变为固态而除去。从一级预冷器流出的氮气进入氮气储罐进行储存并加热,热氮气用于一级预冷器的除冰,除冰过程可以通过压差变送器进行控制。

[0030] 有益效果:

[0031] 本发明系统及方法能够综合利用液氮的冷量,同时本发明减少了VOC回收系统的复杂性,降低了系统的运行及维护成本。本发明具有高通量、低阻力、短流程、能量利用率高的特点,运行过程中无动设备,可大大提高系统的稳定性,降低投资成本。

[0032] 本发明中液氮与VOC气体换热后气化成低温氮气,经过两级预冷器回收处理将冷量充分利用。本发明系统可以增设除冰的装置,能够及时对VOC气体通道进行疏通清理。除冰过程也能充分利用一级预冷器流出的氮气。

[0033] 本发明中VOC气体经过除水蒸气、液化重组分、液化轻组分进行回收,能够做到将不同气体组分大致分离,便于分类回收。另一方面不同预冷器、冷凝器作用不一样,可以根据分离出组分的特点选择不同型号的预冷器、冷凝器。在一级预冷器去除水蒸气,水蒸气凝结成冰易对VOC气体通道造成堵塞,VOC通道可以采用大尺寸的翅片板结构,便于调节通道间距,既强化传热又可有效预防通道内由于水蒸气结冰而造成通道堵塞。二级预冷器和接触式冷凝器的VOC通道和氮气通道则可以采用较小的尺寸,增加能量交换效率。本发明运行时节能、清洁,没有污染性气体、液体的排放,运用本发明回收VOC气体不会出现二次污染问题。

附图说明

[0034] 图1为本发明实施例一的流程图;

[0035] 图2为本发明实施例二的流程图;

[0036] 图3为本发明实施例三的流程。

具体实施方式

[0037] 下面结合说明书附图和具体的实施例,对本发明作详细描述。

[0038] 实施例1

[0039] 如图 1 所示,VOC 回收系统,包括气态 VOC 储罐 1、液态 VOC 储罐 11、液氮储罐 8、一级预冷器 2、二级预冷器 4、微通道混合器 7、微通道冷凝器 9、一号气液分离器 6、二号气液分离器 10 和高温氮气储罐 5;一级预冷器 2 和二级预冷器 4 分别有 VOC 气体通道和氮气通道,气态 VOC 储罐通过 VOC 气体管路依次与一级预冷器 2VOC 气体通道、二级预冷器 4VOC 气体通道、一号气液分离器 6、微通道混合器 7、微通道冷凝器 9、二号气液分离器 10 连接;液氮储罐 8 通过液氮管路与微通道混合器 7 连接;二号气液分离器 10 的气体出口通过氮气管路依次与二级预冷器 4 氮气通道、一级预冷器 2 氮气通道连接;一号气液分离器 6 和二号气液分离器 10 的液体出口都与液态 VOC 储罐 11 连接。高温氮气储罐 5 的氮气入口与一级预冷器 2 氮气通道出口连接,高温氮气储罐 5 的氮气出口与一级预冷器 2 的 VOC 通道连接。一级预冷器 2VOC 气体的进口和出口管路之间设置压力变送器 3。

[0040] 上述高温氮气储罐 5 装有电加热装置、压力传感器和安全阀,电加热装置加热氮气,当储罐压力超过设计工作压力时,安全阀可打开对储罐进行泄压。

[0041] 来自气态 VOC 储罐 1 的气态 VOC 从储罐的出口管道流出,进入一级预冷器 2 的 VOC 通道入口,经导流装置均匀的流入预冷器内部与相邻通道的低温氮气进行换热,一级预冷器内低温氮气为来自二级预冷器 4 出口的低温氮气,VOC 气体被冷却到 $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$,保证水蒸气在通道内完全凝结结冰与 VOC 气体发生分离。

[0042] 在一级预冷器 2 的 VOC 进出口管道上装有压力变送器 3,当进出口压差过大,VOC 通道因水蒸气结冰而发生堵塞时,VOC 气体和氮气停止通入,打开高温氮气储罐 5 的出口阀门,使高温氮气进入一级预冷器 2 的 VOC 通道对设备进行除冰。

[0043] 被一次预冷后的 VOC 气体从一级预冷器 2 的 VOC 出口流出,进入二级预冷器 4 的 VOC 通道与来自微通道冷凝器 9 的氮气进行换热,在二级预冷器 4 内 VOC 气体被冷却至 -90°C ,其中的重组分在此温度下发生冷凝并与 VOC 气体分离,冷凝液经气液分离器 6 与气态轻组分分离后直接进入液态 VOC 储罐 11 储存,气态轻组分 VOC 进入微通道混合器 7 与来自液氮储罐 8 的液氮混合,混合后的气液混合物进入微通道冷凝器 9,在这一过程中,液氮与轻组分 VOC 进行接触式换热,液氮被气化而 VOC 轻组分被冷凝为液态,这一气液混合物离开微通道冷凝器 9 后经气液分离器 10 分离,液体进入储罐 11,而气体则回到二级预冷器作为 VOC 的冷却剂。

[0044] 实施例 2

[0045] 本发明除实施例一所采用的微通道混合器 7 外,还可以采用工业生产中较为常见的 SM 系列静态混合器或国内较为常见的 SV, SL, SK, SX 和 SH 等型号的静态混合器对液氮和预冷后的 VOC 气体进行混合换热,如图 2 所示,将微通道混合器 7 替换为静态混合器 14,其他设备与实施例 1 中设备相同,故不赘述。

[0046] 实施例 3

[0047] 在 VOC 气体处理量较大的场合,如果在流程的末端对氮气直接进行排空,将会造成成本的提高和浪费,因此可以在流程中增加压缩机 12 和膨胀机 13 对从用于除冰的热氮气进行回收,如图 3 所示,氮气经压缩和膨胀过程重新液化,并返回液氮储罐 8。其他设备与实施例 2 中设备相同,故不赘述。

[0048] 以上描述了本发明,以下实施例例证性说明本发明的实施效果,不能理解为是对本发明范围的限定。

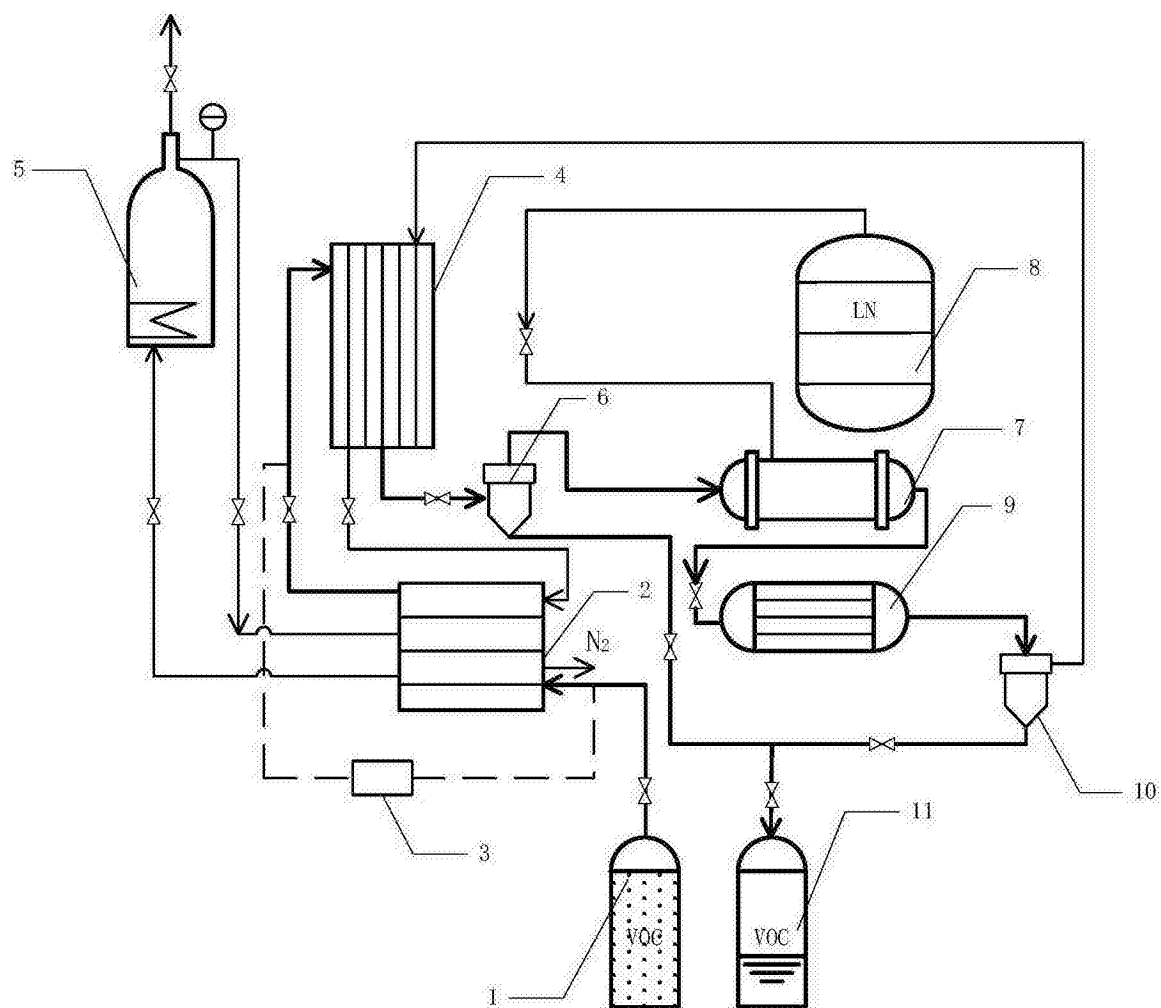


图 1

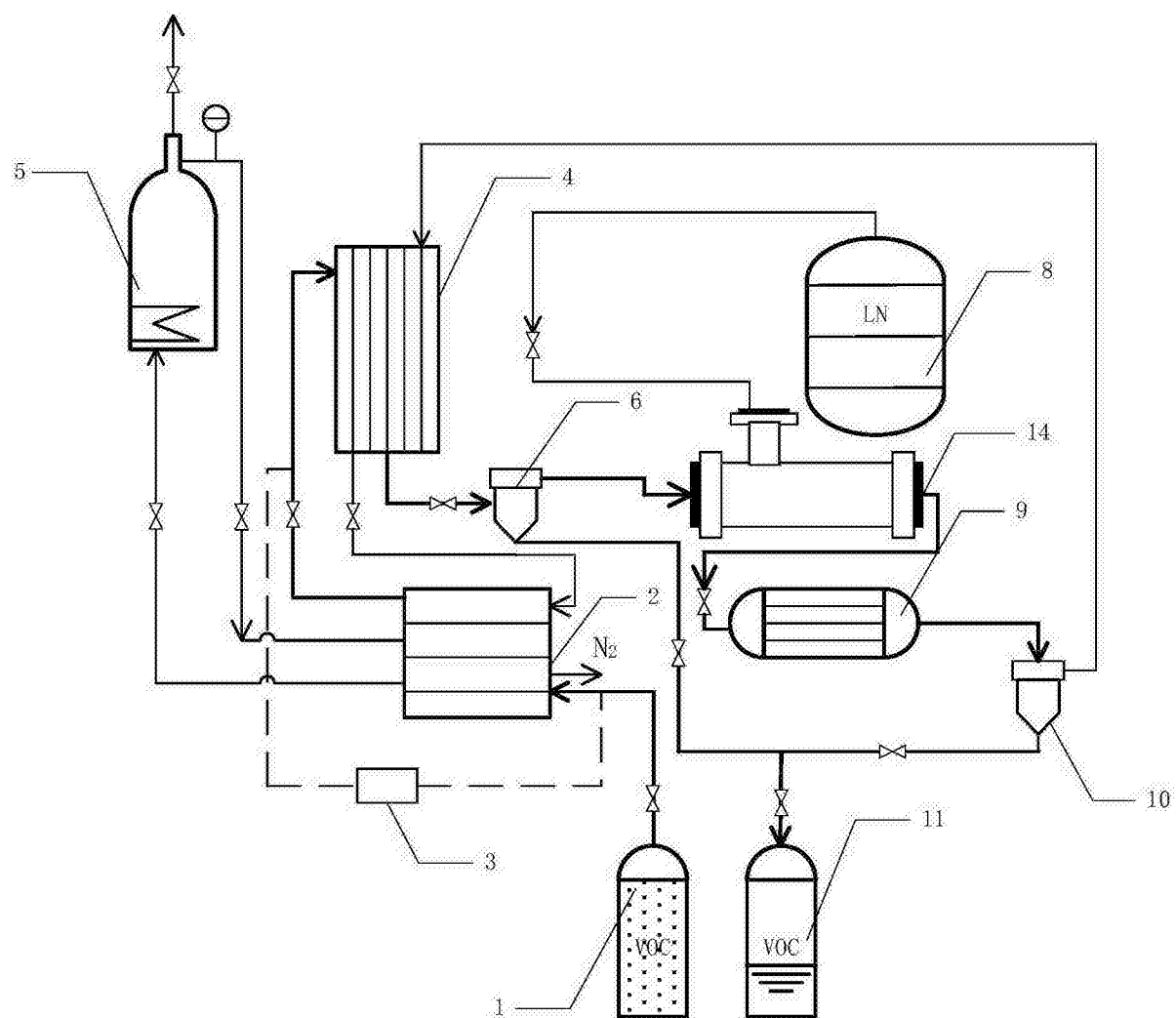


图 2

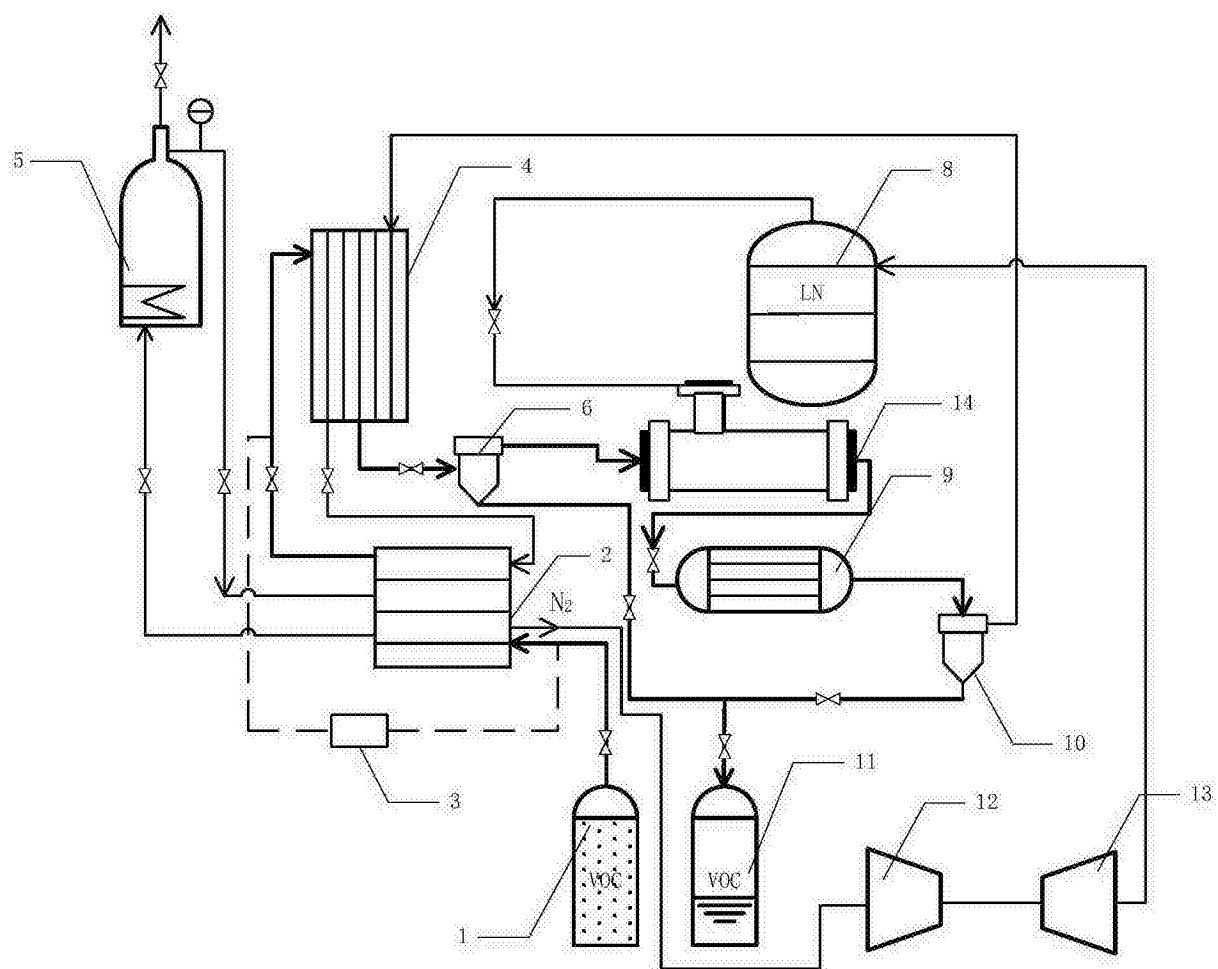


图 3