(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114307204 B
(45)授权公告日 2023.01.24

(21)申请号 202111658263.8
(22)申请日 2021.12.30
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114307204 A
(43)申请公布日 2022.04.12
(73)专利权人 大连理工大学
地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工路2号
(72)发明人 沈胜强 白帆 牟兴森 郭亚丽 沈慧姝
(74)专利代理机构 辽宁鸿文知识产权代理有限公司 21102
专利代理师 王海波
(51)Int.Cl.
B01D 1/22(2006.01)
B01D 1/30(2006.01)

(56)对比文件
CN 104028008 A,2014.09.10
CN 209005236 U,2019.06.21
CN 1343861 A,2002.04.10
CN 206535387 U,2017.10.03
CN 202315342 U,2012.07.11
CN 209952256 U,2020.01.17
WO 2011124806 A1,2011.10.13
GB 1262400 A,1972.02.02
CN 2562830 Y,2003.07.30
郭亚丽,李爽,周宇航,龚路远,沈胜强.横管降膜蒸发过程中喷淋密度对传热系数影响的数值研究.《工程热物理学报》.2020,第2571-2579页.
龚路远,杨勇,沈胜强.横管降膜低温多效蒸发海水淡化系统的优化设计.《节能》.2011,

审查员 徐杏

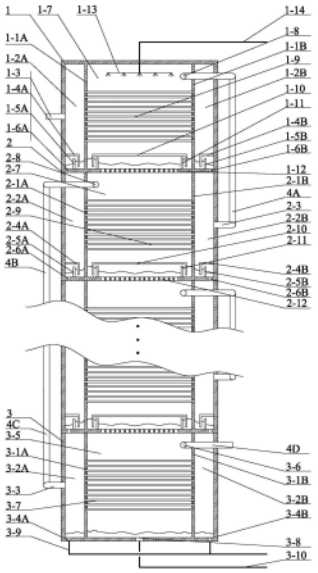
权利要求书4页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种塔式顺流进料MVC蒸发系统及其设计方法

(57)摘要

本发明属于蒸发浓缩和蒸发结晶领域,公开了一种塔式顺流进料MVC蒸发系统及其设计方法。该蒸发系统包括多个水平管降膜蒸发器构成的多效蒸发器、进料液入口管线、淡水排放管线、浓缩液排放管线等。一个单效蒸发器由管板、进料液喷淋板、淡水室、蒸汽入口管、液封板、淡水水封排放孔、蒸发室、二次蒸汽排放孔、水平换热管束、料液喷洒孔组成。本发明用以将水平管多效蒸发器应用于MVC蒸发系统的同时,将多效水平管降膜蒸发器进行塔式一体化布置,实现首效蒸发器单泵进料,其余各效蒸发器依靠重力喷淋布液,以达到既提高装置的传热效率、减少设备的占地面积、节能、提高浓缩比和节约空间的目的。



CN 114307204 B

1.一种塔式顺流进料MVC蒸发系统，其特征在于，包括多个水平管降膜蒸发器构成的n效蒸发器，n≥2；各效蒸发器采用水平管降膜流动与蒸发方式，当n＝2时，第一效蒸发器(1)与第n效蒸发器(3)连接，当n＞2时各效蒸发器的连接方式如下：

第一效蒸发器(1)由一效第一管板(1-1A)、一效第二管板(1-1B)、一效第一淡水室(1-2A)、一效第二淡水室(1-2B)、一效蒸汽入口管(1-3)、一效第一液封板(1-4A)、一效第二液封板(1-4B)、一效第三液封板(1-5A)、一效第四液封板(1-5B)、一效第一淡水水封排放孔(1-6A)、一效第二淡水水封排放孔(1-6B)、一效蒸发室(1-7)、一效二次蒸汽排放孔(1-8)、一效水平换热管束(1-9)、一效第五液封板(1-10)、一效第六液封板(1-11)、多个一效料液喷洒孔(1-12)、一效进料液喷淋板(1-13)、一效进料液入口管线(1-14)组成；

一效第一管板(1-1A)、一效第二管板(1-1B)通过与第一效蒸发器(1)箱体连接并构成一效第一淡水室(1-2A)、一效第二淡水室(1-2B)和一效蒸发室(1-7)；一效第一液封板(1-4A)与一效第二液封板(1-4B)呈“L”形状分别位于一效第一淡水室(1-2A)与一效第二淡水室(1-2B)内，并对称固定于第一效蒸发器(1)箱体左右两侧的壁板上；一效第一液封板(1-4A)与一效第二液封板(1-4B)不与第一效蒸发器(1)箱体底板相接触；一效第三液封板(1-5A)与一效第四液封板(1-5B)分别位于一效第一淡水室(1-2A)与一效第二淡水室(1-2B)中，并对称固定于第一效蒸发器(1)箱体底板的一效第一淡水水封排放孔(1-6A)和一效第二淡水水封排放孔(1-6B)的里侧；一效第六液封板(1-11)位于一效蒸发室(1-7)内，对称固定于一效蒸发室(1-7)底板之上且位于一效第五液封板(1-10)的里侧；一效第五液封板(1-10)呈倒“U”形状，位于一效蒸发室(1-7)内并固定于第一效蒸发器箱体前后壁面之上；一效水平换热管束(1-9)连接固定于一效第一管板(1-1A)与一效第二管板(1-1B)之间；一效进料液入口管线(1-14)贯穿第一效蒸发器(1)的蒸发室顶部箱体并与一效进料液喷淋板(1-13)连接；一效蒸汽入口管(1-3)与第一效蒸发器(1)的淡水室箱体连接；一效二次蒸汽排放孔(1-8)位于第一效蒸发器(1)蒸发室箱体的上端；多个一效料液喷洒孔(1-12)位于一效蒸发室(1-7)底部；

第二效蒸发器(2)由二效第一管板(2-1A)、二效第二管板(2-1B)、二效第一淡水室(2-2A)、二效第二淡水室(2-2B)、二效蒸汽入口管(2-3)、二效第一液封板(2-4A)、二效第二液封板(2-4B)、二效第三液封板(2-5A)、二效第四液封板(2-5B)、二效第一淡水水封排放孔(2-6A)、二效第二淡水水封排放孔(2-6B)、二效蒸发室(2-7)、二效二次蒸汽排放孔(2-8)、二效水平换热管束(2-9)、二效第五液封板(2-10)、二效第六液封板(2-11)、多个二效料液喷洒孔(2-12)组成；

二效第一管板(2-1A)、二效第二管板(2-1B)通过与第二效蒸发器(2)箱体连接并构成二效第一淡水室(2-2A)、二效第二淡水室(2-2B)和二效蒸发室(2-7)；二效第一液封板(2-4A)与二效第二液封板(2-4B)呈“L”形状分别位于二效第一淡水室(2-2A)与二效第二淡水室(2-2B)内，并对称固定于第二效蒸发器(2)箱体左右两侧的壁板上；二效第一液封板(2-4A)与二效第二液封板(2-4B)不与第二效蒸发器(2)箱体底板相接触；二效第三液封板(2-5A)与二效第四液封板(2-5B)分别位于二效第一淡水室(2-2A)与二效第二淡水室(2-2B)中，并对称固定于第二效蒸发器(2)箱体底板的二效第一淡水水封排放孔(2-6A)和二效第二淡水水封排放孔(2-6B)的里侧；二效第六液封板(2-11)位于二效蒸发室(2-7)内，对称固定于蒸发室(2-7)底板之上且位于二效第五液封板(2-10)的里侧；二效第五液封板(2-10)

呈倒“U”形状，位于二效蒸发室(2-7)内并固定于第二效蒸发器(2)箱体前后壁面之上；二效水平换热管束(2-9)连接固定于二效第一管板(2-1A)与二效第二管板(2-1B)之间；二效蒸汽入口管(2-3)与第二效蒸发器(2)的淡水室箱体连接；二效二次蒸汽排放孔(2-8)位于第二效蒸发器(2)蒸发室箱体的上端；多个二效料液喷洒孔(2-12)位于二效蒸发室(2-7)底部；

第n效蒸发器(3)由n效第一管板(3-1A)、n效第二管板(3-1B)、n效第一淡水室(3-2A)、n效第二淡水室(3-2B)、n效蒸汽入口管(3-3)、n效第一淡水水封排放孔(3-4A)、n效第二淡水水封排放孔(3-4B)、n效蒸发室(3-5)、n效二次蒸汽排放孔(3-6)、n效水平换热管束(3-7)、n效料液喷洒孔(3-8)、n效淡水排放管线(3-9)、n效浓缩液排放管线(3-10)组成；

n效第一管板(3-1A)、n效第二管板(3-1B)通过与第n效蒸发器(3)箱体连接并构成n效第一淡水室(3-2A)、n效第二淡水室(3-2B)和n效蒸发室(3-5)；n效水平换热管束(3-7)连接固定于n效第一管板(3-1A)与n效第二管板(3-1B)之间；n效浓缩液排放管线(3-10)与n效蒸发室(3-5)底部的n效料液喷洒孔(3-8)连接；n效淡水排放管线(3-9)分别与n效第一淡水室(3-2A)底部的n效第一淡水水封排放孔(3-4A)和n效第二淡水室(3-2B)底部的n效第二淡水水封排放孔(3-4B)连接；n效蒸汽入口管(3-3)与第n效蒸发器(3)的淡水室箱体连接；n效二次蒸汽排放孔(3-6)位于第n效蒸发器(3)蒸发室箱体的上端；第一效蒸发器(1)与第二效蒸发器(2)之间的一效第一淡水室(1-2A)与二效第一淡水室(2-2A)、一效第二淡水室(1-2B)与二效第二淡水室(2-2B)分别采用一效第一液封板(1-4A)、一效第三液封板(1-5A)与一效第二液封板(1-4B)、一效第四液封板(1-5B)或液封管使生成的淡水在相邻两效淡水室之间形成液封连通，一效蒸发室(1-7)与二效蒸发室(2-7)采用一效第五液封板(1-10)和一效第六液封板(1-11)或液封管使产生的浓缩液在相邻两效蒸发室之间形成液封连通；所述的第二效蒸发器(2)及之后各效蒸发器，与后面的相邻蒸发器之间都采用相同的液封连通方式。

2.用于权利要求1所述一种塔式顺流进料MVC蒸发系统的设计方法，其特征在于，

步骤一：确定蒸发器内蒸发进料流体介质及流量m；

步骤二：根据进料流体介质的物性确定MVC系统的工作温度区间$\triangle T_{all}$、蒸发器效数n和单效蒸发器的换热量Q；根据工艺要求确定单效蒸发器的传热温差△T、传热面积A，分别为：

$$\Delta T=\frac{\triangle T_{all}}{n}\ ①$$

$$A=\frac{Q}{K_{\Delta}T}\ ②$$

式中，$\triangle T_{all}$为MVC系统的工作温度区间，℃；n为蒸发器效数；Q为单效蒸发器的换热量，W；△T为单效蒸发器的传热温差，℃；K为单效蒸发器的传热系数，W/m^2·℃，K的计算与流体种类、流动方式、传热温差△T、传热面结构等因素有关；根据现场具体空间和传热特征，确定单效蒸发器内水平换热管束的管长L和直径D；

步骤三：根据单效蒸发器的换热面积A、换热管束的管长L和直径D确定单效蒸发器的总换热管数N为：$N=\frac{4A}{\pi DL}$③

式中：A为单效蒸发器的换热面积，m^2；D为换热管束的直径，m；L为换热管束的管长，m；

根据蒸发器的进料量确定水平换热管束水平方向单排的管数N_1为：

$$N_1=\frac{m}{2L\Gamma}④$$

式中，m为MVC蒸发器内的进料流体介质的质量流量，kg/s；L蒸发器内水平换热管束的管长，m；Γ为蒸发器内进料流体介质的喷淋密度，kg/(s·m)；则单效蒸发器水平换热管束竖直方向单排的管数N_2为：$N_2=\frac{N}{N_1}$⑤

步骤四：单效蒸发器内水平换热管束的相关参数确定后，可确定水平换热管束最下沿至料液喷洒孔的垂直距离h；根据设计的MVC系统的进料液质量流量换算进料液的入口流量V_b，m^3/h，并根据水蒸气的物性参数和系统换热量计算出排出蒸发系统淡水的体积流量V_d，m^3/h；最终根据上述参数，计算出各单效蒸发器中料液喷洒孔的个数k；分布间距λ，m；直径d_1，m；以及淡水水封排放孔的直径d_2，m。

3.用于权利要求1所述一种塔式顺流进料MVC蒸发系统的设计方法，其特征在于，

A、一效第五液封板(1-10)下沿与一效第六液封板(1-11)上沿的垂直距离h_1应满足：

$$h_1>\frac{\triangle p_1}{\rho g};$$

式中，$\triangle p_1$为一效蒸发室(1-7)与二效蒸发室(2-7)的压力差，Pa；ρ为浓缩液的密度，kg/m^3，g为重力加速度；

B、一效第一液封板(1-4A)下沿与一效第三液封板(1-5A)上沿的垂直距离h_2应满足：

$$h_2>\frac{\triangle p_2}{\rho_{水} g};$$

式中，$\triangle p_2$为一效第一淡水室(1-2A)与二效第一淡水室(2-2A)的压力差，Pa；$\rho_{水}$为淡水的密度，kg/m^3；

C、根据设计的MVC系统的进料液质量流量换算进料液的入口流量V_b，m^3/h，并根据水蒸气的物性参数和系统换热量计算出排出系统的淡水的体积流量V_d，m^3/h；

D、确定一效料液喷洒孔(1-12)的分布间距，公式如下：$\lambda=2\pi\sqrt{\frac{2\sigma}{\rho g}}$；其中，σ为浓缩液的表面张力，N/m；

E、确定一效料液喷洒孔(1-12)的个数，公式如下：$k=(\frac{L}{\lambda}+1)N_1$；其中，L为一效水平换热管束(1-9)的管长，m；λ为一效料液喷洒孔(1-12)的中心距，m；N_1为一效水平换热管束(1-9)水平方向单排的管数；

F、确定料液喷洒孔的直径，公式如下：$d_1=\sqrt{\frac{V_b-\frac{1}{n}V_d}{3600\frac{\pi}{4}knu_1}}$；其中，$V_b$为进入一效进料液入口管线(1-14)的进料液的体积流量，m^3/h；V_d为通过n效淡水排放管线(3-9)排出系统的淡

水的体积流量，m^3/h；n为MVC系统蒸发器的效数；k为一效料液喷洒孔(1-12)的个数；u_1为第一效蒸发器(1)浓缩液的流出速度，m/s；

G、确定一效第一淡水水封排放孔(1-6A)即一效第二淡水水封排放孔(1-6B)的直径，公式如下：$d_2=\sqrt{\frac{\frac{1}{2n}V_d}{3600\frac{\pi}{4}u_2}}$；其中，$V_d$为通过n效淡水排放管线(3-9)排出系统的淡水的体积流量，m^3/h；n为MVC系统蒸发器的效数；u_2为第一效蒸发器(1)淡水的流出速度，m/s。

一种塔式顺流进料MVC蒸发系统及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于蒸发浓缩和蒸发结晶技术领域，涉及一种塔式顺流进料MVC蒸发系统及其设计方法。

背景技术

[0002] MVC蒸发技术以其高效、环保、节能的优势近年来广泛应用于海水淡化、污水处理、化工炼化、工业制盐、制药、食品工程等领域。MVC蒸发系统大多采用竖管降膜、强制对流+闪蒸等类型的方式，设备占地面积较小，水平管降膜蒸发器由于缺少完整而系统的设计方法在MVC蒸发系统中采用较少。然而水平管降膜蒸发的传热系数为竖管降膜蒸发的2倍左右，布液简单，运行稳定，更适应小温差传热，能源利用效率高，这些优势非常适用于MVC蒸发系统，是其它形式蒸发器所无法比拟的。目前采用水平管降膜蒸发器的多效蒸发装置都采用了各效蒸发器水平布置，以方便各效蒸发器之间进料、蒸汽、凝结液、浓缩液的流通控制及压力、温度等参数的保持，但其占地面积大成为一个主要弊端。由于其换热管排布特点，各效蒸发器需要维持不同的工作压力且因各效蒸发器之间的连接方式的限制，将多效水平管降膜蒸发器布置成塔式蒸发器以减小设备占地面积较为困难。

发明内容

[0003] 针对上述技术中存在的不足，本发明提供一种塔式顺流进料MVC蒸发系统及其设计方法。该方法将水平管多效降膜蒸发器应用于MVC系统中的同时，将多效水平管降膜蒸发器进行塔式布置，以达到既提高装置传热效率又减少设备的占地面积、合理分布设备空间的目的，同时充分利用进料液的重力代替泵功维持流动，降低了能耗。

[0004] 本发明采用的技术方案如下：

[0005] 一种塔式顺流进料MVC蒸发系统，包括多个水平管降膜蒸发器构成的n效蒸发器(n≥2)，各效蒸发器采用水平管降膜流动与蒸发方式；一个单效蒸发器由管板、进料液喷淋板、淡水室、蒸汽入口管、液封板、淡水水封排放孔、蒸发室、二次蒸汽排放孔、水平换热管束、料液喷洒孔组成；第一效蒸发器(1)与第二效蒸发器(2)之间的一效第一淡水室(1-2A)与二效第一淡水室(2-2A)、一效第二淡水室(1-2B)与二效第二淡水室(2-2B)分别采用一效第一液封板(1-4A)、一效第三液封板(1-5A)与一效第二液封板(1-4B)、一效第四液封板(1-5B)或液封管使生成的淡水在相邻两效淡水室之间形成液封连通，一效蒸发室(1-7)与二效蒸发室(2-7)采用一效第五液封板(1-10)和一效第六液封板(1-11)或液封管使产生的浓缩液在相邻两效蒸发室之间形成液封连通。所述的第二效蒸发器(2)及之后各效蒸发器，与后面的相邻蒸发器之间都采用相同的液封连通方式。

[0006] 其设计方法包括如下步骤：

[0007] 步骤一：确定蒸发器内蒸发进料流体介质及流量m；

[0008] 步骤二：根据进料流体介质的物性确定MVC系统的工作温度区间$\triangle T_{all}$、蒸发器效数n和单效蒸发器的换热量Q；进而根据工艺要求确定单效蒸发器的传热温差$\triangle T$、传热面积A，

分别为：

[0009] $$\Delta T=\frac{\triangle T_{all}}{n}(1)$$

[0010] $$A=\frac{Q}{K_{\triangle}T}(2)$$

[0011] 式中，$_{\triangle}T_{all}$为MVC系统的工作温度区间，℃；n为蒸发器效数；Q为效蒸发器的换热量，W；$_{\triangle}T$为单效蒸发器的传热温差，℃；K为单效蒸发器的传热系数，W/m^2·℃，K的计算与流体种类、流动方式、传热温差$_{\triangle}T$、传热面结构等因素有关。根据现场具体空间和传热特征，确定单效蒸发器内水平换热管束的管长L和直径D；

[0012] 步骤三：根据单效蒸发器的换热面积A、换热管束的管长L和直径D确定单效蒸发器的总换热管数N为：$$N=\frac{4A}{\pi DL}(3)$$

[0013] 式中：A为单效蒸发器的换热面积，m^2；D为换热管束的直径，m；L为换热管束的管长，m。

[0014] 根据蒸发器的进料量确定水平换热管束水平方向单排的管数N_1为：

[0015] $$N_1=\frac{m}{2L\Gamma}(4)$$

[0016] 式中，m为MVC蒸发器内的进料流体介质的质量流量，kg/s；L蒸发器内水平换热管束的管长，m；Γ为蒸发器内进料流体介质的喷淋密度，kg/(s·m)。则单效蒸发器水平换热管束竖直方向单排的管数N_2为：$$N_2=\frac{N}{N_1}(5)$$

[0017] 步骤四：单效蒸发器内水平换热管束的相关参数确定后，可确定水平换热管束最下沿至料液喷洒孔的垂直距离h。根据设计的MVC系统的进料液质量流量换算进料液的入口流量V_b，m^3/h，并根据水蒸气的物性参数和系统换热量计算出蒸发系统淡水的体积流量V_d，m^3/h。最终根据上述参数，计算出各单效蒸发器中料液喷洒孔的个数k；分布间距λ，m；直径d_1，m；以及淡水水封排放孔的直径d_2，m。

[0018] 本发明提供了一种塔式顺流进料MVC蒸发系统的设计方法。通过该方法，使MVC系统中的水平管多效蒸发器呈塔式布置，充分利用水平管蒸发高效的传热效果的同时，减小装置的占地面积，达到优化设备分布空间的目的。

附图说明

[0019] 图1是本发明的结构示意图；

[0020] 图2是本发明的第一效蒸发器的结构图；

[0021] 图3是本发明的第二效蒸发器的结构图；

[0022] 图4是本发明的第n效蒸发器的结构图；

[0023] 图中：1第一效蒸发器；1-1A一效第一管板；1-1B一效第二管板；1-2A一效第一淡水室；1-2B一效第二淡水室；1-3一效蒸汽入口管；1-4A一效第一液封板；1-4B一效第二液封板；1-5A一效第三液封板；1-5B一效第四液封板；1-6A一效第一淡水水封排放孔；1-6B一效

第二淡水水封排放孔;1-7一效蒸发室;1-8一效二次蒸汽排放孔;1-9一效水平换热管束;1-10一效第五液封板;1-11一效第六液封板;1-12一效料液喷洒孔;1-13一效进料液喷淋板;1-14一效进料液入口管线;2第二效蒸发器;2-1A二效第一管板;2-1B二效第二管板;2-2A二效第一淡水室;2-2B二效第二淡水室;2-3二效蒸汽入口管;2-4A二效第一液封板;2-4B二效第二液封板;2-5A二效第三液封板;2-5B二效第四液封板;2-6A二效第一淡水水封排放孔;2-6B二效第二淡水水封排放孔;2-7二效蒸发室;2-8二效二次蒸汽排放孔;2-9二效水平换热管束;2-10二效第五液封板;2-11二效第六液封板;2-12二效料液喷洒孔;3第n效蒸发器;3-1A n效第一管板;3-1B n效第二管板;3-2A n效第一淡水室;3-2B n效第二淡水室;3-3n效蒸汽入口管;3-4A n效第一淡水水封排放孔;3-4B n效第二淡水水封排放孔;3-5n效蒸发室;3-6n效二次蒸汽排放孔;3-7n效水平换热管束;3-8n效料液喷洒孔;3-9n效淡水排放管线;3-10n效浓缩液排放管线;4A蒸汽管线;4B蒸汽管线;4C蒸汽管线;4D蒸汽管线。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例来进一步描述本发明。

[0025] 如图1所示,塔式顺流进料MVC蒸发系统由第一效蒸发器1、第二效蒸发器2、第n效蒸发器3、一效进料液喷淋板1-13、一效进料液入口管线1-14、n效淡水排放管线3-9、n效浓缩液排放管线3-10、蒸汽管线4A、蒸汽管线4B、蒸汽管线4C、蒸汽管线4D组成。

[0026] 如图2～4所示,第一效蒸发器1由一效第一管板1-1A、一效第二管板1-1B、一效第一淡水室1-2A、一效第二淡水室1-2B、一效蒸汽入口管1-3、一效第一液封板1-4A、一效第二液封板1-4B、一效第三液封板1-5A、一效第四液封板1-5B、一效第一淡水水封排放孔1-6A、一效第二淡水水封排放孔1-6B、一效蒸发室1-7、一效二次蒸汽排放孔1-8、一效水平换热管束1-9、一效第五液封板1-10、一效第六液封板1-11、一效料液喷洒孔1-12、一效进料液喷淋板1-13、一效进料液入口管线1-14组成;第二蒸发器2由二效第一管板2-1A、二效第二管板2-1B、二效第一淡水室2-2A、二效第二淡水室2-2B、二效蒸汽入口管2-3、二效第一液封板2-4A、二效第二液封板2-4B、二效第三液封板2-5A、二效第四液封板2-5B、二效第一淡水水封排放孔2-6A、二效第二淡水水封排放孔2-6B、二效蒸发室2-7、二效二次蒸汽排放孔2-8、二效水平换热管束2-9、二效第五液封板2-10、二效第六液封板2-11、二效料液喷洒孔2-12组成;第n蒸发器3由n效第一管板3-1A、n效第二管板3-1B、n效第一淡水室3-2A、n效第二淡水室3-2B、n效蒸汽入口管3-3、n效第一淡水水封排放孔3-4A、n效第二淡水水封排放孔3-4B、n效蒸发室3-5、n效二次蒸汽排放孔3-6、n效水平换热管束3-7、n效料液喷洒孔3-8、n效淡水排放管线3-9、n效浓缩液排放管线3-10组成。

[0027] 如图2所示,第一效蒸发器1为左右对称结构,h为第一效蒸发器1中一效水平换热管束1-9最下沿至一效料液喷洒孔1-12的垂直距离,h_1为一效第五液封板1-10下沿与一效第六液封板1-11上沿的垂直距离,h_2为一效第一液封板1-4A下沿与一效第三液封板1-5A上沿的垂直距离,d_1为一效料液喷洒孔1-12的直径,d_2为一效第一淡水水封排放孔1-6A及一效第二淡水水封排放孔1-6B的直径。

[0028] 则第一效蒸发器1在结构上应满足:$h_1 > \frac{\triangle p_1}{\rho g}$ (6)式中,$\triangle p_1$为一效蒸发室1-7与二效蒸发室2-7的压力差,Pa;ρ为浓缩液的密度,kg/m^3,g为重力加速度,m/s^2。

[0029] $$h_2>\frac{\triangle p_2}{\rho_{水}g}(7)$$

[0030] 式中，$\triangle p_2$为一效第一淡水室1-2A与二效第一淡水室2-2A的压力差，Pa；$\rho_{水}$为淡水的密度，kg/m^3。

[0031] 则第一效蒸发器1浓缩液的流出速度为：$u_1=\eta\Phi_1\sqrt{2g(\frac{h}{2}+\frac{\Delta p_1}{\rho g})}(8)$式中，$u_1$为第一效蒸发器1浓缩液的流出速度，m/s；η为一效料液喷洒孔1-12的阻力系数，η＝0.95～0.98；Φ_1为浓缩液流动的收缩系数，Φ_1＝0.80～0.82；h为第一效蒸发器1中一效水平换热管束1-9最下沿至一效料液喷洒孔1-12的垂直距离，m。

[0032] 则第一效蒸发器1淡水的流出速度为：

[0033] $$u_2=\eta\Phi_2\sqrt{2g(\frac{h}{2}+\frac{\Delta p_2}{\rho_{水}g})}(9)$$

[0034] 式中，u_2为第一效蒸发器1淡水的流出速度，m/s；Φ_2为淡水流动的收缩系数，Φ_2＝0.80～0.82。

[0035] 一效料液喷洒孔1-12的分布间距为：$\lambda=2\pi\sqrt{\frac{2\sigma}{\rho g}}(10)$式中，λ为一效料液喷洒孔1-12的中心距，m；σ为浓缩液的表面张力，N/m。

[0036] 一效料液喷洒孔1-12的个数为：$k=(\frac{L}{\lambda}+1)N_1(11)$式中，k为一效料液喷洒孔1-12的个数；L为一效水平换热管束1-9的管长，m；λ为式(10)中一效料液喷洒孔1-12的中心距，m；N_1一效水平换热管束1-9水平方向单排的管数。

[0037] 一效料液喷洒孔1-12的直径为：$d_1=\sqrt{\frac{V_b-\frac{1}{n}V_d}{3600\frac{\pi}{4}knu_1}}(12)$式中，$d_1$为一效料液喷洒孔1-12的直径，m；$V_b$为进入一效进料液入口管线1-14的进料液的体积流量，m^3/h；V_d为通过n效淡水排放管线3-9排出系统的淡水的体积流量，m^3/h；n为MVC系统蒸发器的效数。

[0038] 一效第一淡水水封排放孔1-6A和一效第二淡水水封排放孔1-6B的直径为：

[0039] $$d_2=\sqrt{\frac{\frac{1}{2n}V_d}{3600\frac{\pi}{4}u_2}}(13)$$

[0040] 式中，d_2为一效第一淡水水封排放孔1-6A和一效第二淡水水封排放孔1-6B的直径，m；V_d为n效通过淡水排放管线3-9排出系统的淡水的体积流量，m^3/h；n为MVC系统蒸发器的效数；u_2为式(9)中第一效蒸发器1淡水的流出速度，m/s。

[0041] 为方便工程上应用，如图2～4所示第一效蒸发器1、第二效蒸发器2直至第n效蒸发

器3的整体尺寸相同，二效料液喷洒孔2-12直至后第(n-1)效蒸发器的料液喷洒孔数量与直径均与一效料液喷洒孔1-12的参数相同，即式(11)和式(12)所示；二效第一淡水水封排放孔2-6A、二效第二淡水水封排放孔2-6B直至后第(n-1)效蒸发器的淡水水封排放孔的直径均与一效第一淡水水封排放孔1-6A和一效第二淡水水封排放孔1-6B的直径相同，即式(13)所示。

[0042] 当使用本发明进行蒸发浓缩时：进料液通过一效进料液入口管线1-14和一效进料液喷淋板1-13进入第一效蒸发器1的一效蒸发室1-7中，并以喷淋的状态落在一效水平换热管束1-9外侧。一效水平换热管束1-9通过一效第一管板1-1A、一效第二管板1-1B固定。经压缩机压缩提高焓值的饱和水蒸气通过一效蒸汽入口管1-3进入一效水平换热管束1-9内，对滴落在一效水平换热管束1-9外侧的进料液进行加热。一效水平换热管束1-9外侧的进料液受管内蒸汽的加热后蒸发浓缩并产生二次蒸汽，同时一效水平换热管束1-9内的饱和水蒸气放热后凝结成淡水。经蒸发后产生的浓缩液在重力的作用下滴落到一效蒸发室1-7的底部，并在一效第五液封板1-10和一效第六液封板1-11的作用下形成液封使第一效蒸发器1的一效蒸发室1-7与第二效蒸发器2的二效蒸发室2-7彼此的工作压力不受影响。生成的二次蒸汽通过一效二次蒸汽排放孔1-8排出第一效蒸发器1。一效水平换热管束1-9内凝结生成的淡水在重力的作用下流入两侧由一效第一管板1-1A、一效第二管板1-1B与第一效蒸发器1壳体组成的一效第一淡水室1-2A和一效第二淡水室1-2B中，并在一效第一液封板1-4A、一效第二液封板1-4B、液封板1-5A、一效第四液封板1-5B的作用下形成液封使一效第一淡水室1-2A与二效第一淡水室2-2A、一效第二淡水室1-2B与二效第二淡水室2-2B彼此的工作压力不受影响。第一效蒸发器1产生的淡水最终通过一效第一淡水水封排放孔1-6A、一效第二淡水水封排放孔1-6B排出并进入第二效蒸发器2的二效第一淡水室2-2A和二效第二淡水室2-2B中。

[0043] 第一效蒸发器1蒸发后产生的浓缩液通过一效料液喷洒孔1-12排出并作为第二效蒸发器2的进料液进入第二效蒸发器2的二效蒸发室2-7中，并以喷淋的状态落在二效水平换热管束2-9外侧。二效水平换热管束2-9通过二效第一管板2-1A、二效第二管板2-1B固定。第一效蒸发器1排出的二次蒸汽经蒸汽管线4A和二效蒸汽入口管2-3进入二效水平换热管束2-9内，并作为第二效蒸发器2的热源对滴落在二效水平换热管束2-9外侧的进料液进行加热。二效水平换热管束2-9外侧的进料液受管内蒸汽的加热后蒸发浓缩并产生二次蒸汽，同时二效水平换热管束2-9内的饱和水蒸气放热后凝结成淡水。经蒸发后产生的浓缩液在重力的作用下滴落到二效蒸发室2-7的底部，并在二效第五液封板2-10和二效第六液封板2-11的作用下形成液封使第二效蒸发器2的二效蒸发室2-7与下一效蒸发器的蒸发室彼此的工作压力不受影响。生成的二次蒸汽通过二效二次蒸汽排放孔2-8排出第二效蒸发器2。二效水平换热管束2-9内凝结生成的淡水在重力的作用下流入两侧由二效第一管板2-1A、二效第二管板2-1B与第二效蒸发器2壳体组成的二效第一淡水室2-2A和二效第二淡水室2-2B中，并在二效第一液封板2-4A、二效第二液封板2-4B、二效第三液封板2-5A、二效第四液封板2-5B的作用下形成液封使二效第一淡水室2-2A和二效第二淡水室2-2B与下一效蒸发器的淡水室彼此的工作压力不受影响。第二效蒸发器2产生的淡水最终通过二效第一淡水水封排放孔2-6A、二效第二淡水水封排放孔2-6B排出并进入下一效蒸发器两侧的淡水室中。

[0044] 系统后续各效蒸发器的工作过程均与上述蒸发器的工作流程相同，直至第(n-1)效蒸发器蒸发后产生的浓缩液通过料液喷洒孔排出并作为第n效蒸发器3的进料液进入第n效蒸发器3的n效蒸发室3-5中，并以喷淋的状态落在n效水平换热管束3-7外侧。n效水平换热管束3-7通过n效第一管板3-1A、n效第二管板3-1B固定。第(n-1)效蒸发器排出的二次蒸汽经蒸汽管线4C和n效蒸汽入口管3-3进入n效水平换热管束3-7内，并作为第n效蒸发器3的热源对滴落在n效水平换热管束3-7外侧的进料液进行加热。n效水平换热管束3-7外侧的进料液受管内蒸汽的加热后蒸发浓缩并产生二次蒸汽，同时n效水平换热管束3-7内的饱和水蒸气放热后凝结成淡水。经蒸发后产生的浓缩液在重力的作用下滴落到n效蒸发室3-5的底部，并从n效料液喷洒孔3-8经n效浓缩液排放管线3-10排出系统之外。生成的二次蒸汽通过n效二次蒸汽排放孔3-6排出第n效蒸发器3后，返回压缩机提高焓值后通过一效蒸汽入口管1-3进入第一效蒸发器1作为第一效蒸发器1的热源，形成一个完整的工作循环。第n效蒸发器3产生的淡水在重力的作用下流入两侧由n效第一管板3-1A、n效第二管板3-1B与第n效蒸发器3壳体组成的n效第一淡水室3-2A和n效第二淡水室3-2B中，并最终通过n效第一淡水水封排放孔3-4A、n效第二淡水水封排放孔3-4B后经n效淡水排放管线3-9排出系统之外。

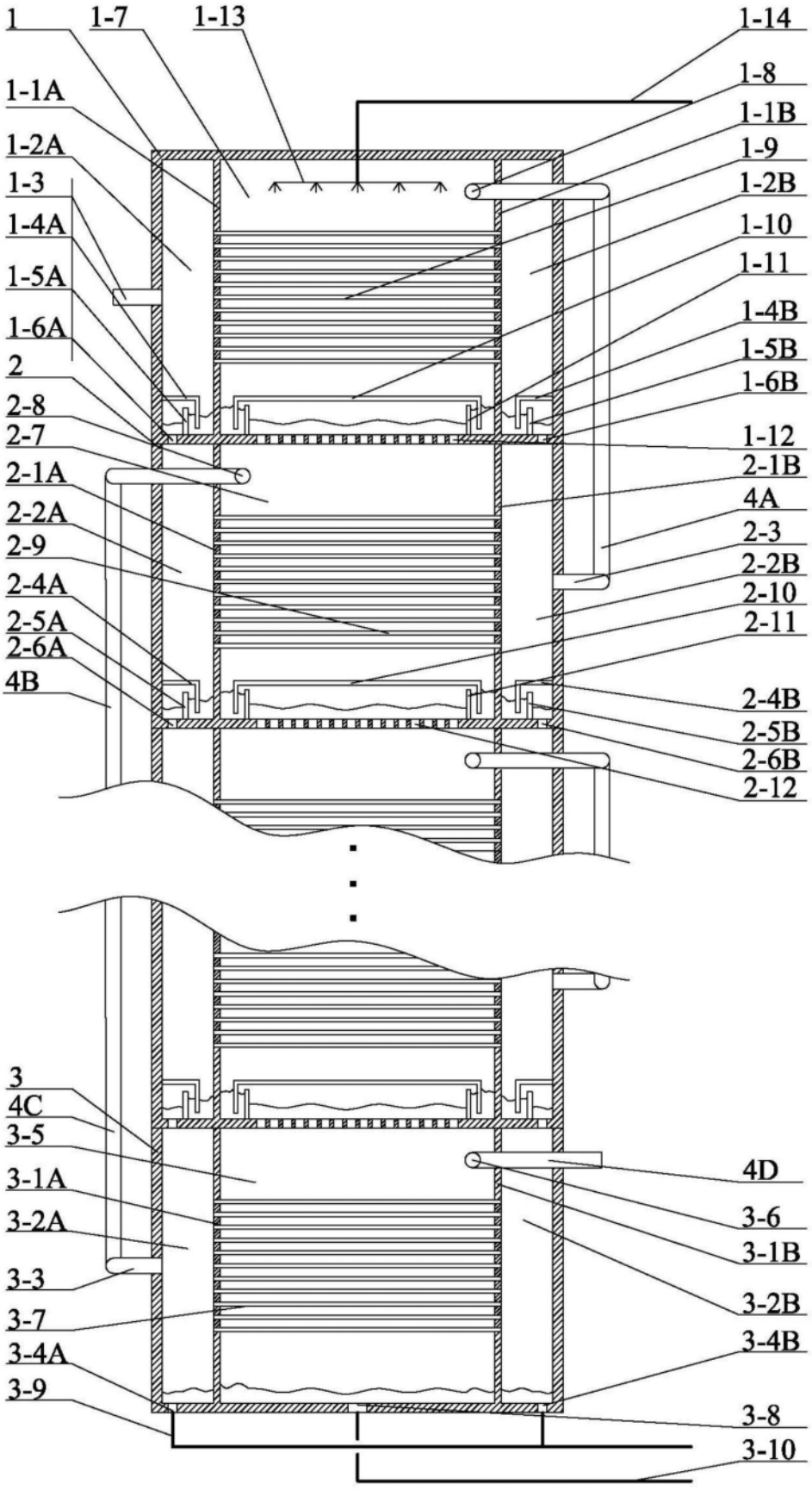

1
1-7
1-13
1-14
1-8
1-1A
1-1B
1-2A
1-9
1-3
1-2B
1-4A
1-10
1-5A
1-11
1-6A
1-4B
2
1-5B
2-8
1-6B
2-7
1-12
2-1A
2-1B
2-2A
4A
2-9
2-3
2-4A
2-2B
2-5A
2-10
2-6A
2-11
4B
2-4B
2-5B
2-6B
2-12
3
4C
3-5
4D
3-1A
3-6
3-2A
3-1B
3-3
3-2B
3-7
3-4B
3-4A
3-9
3-8
3-10

图1

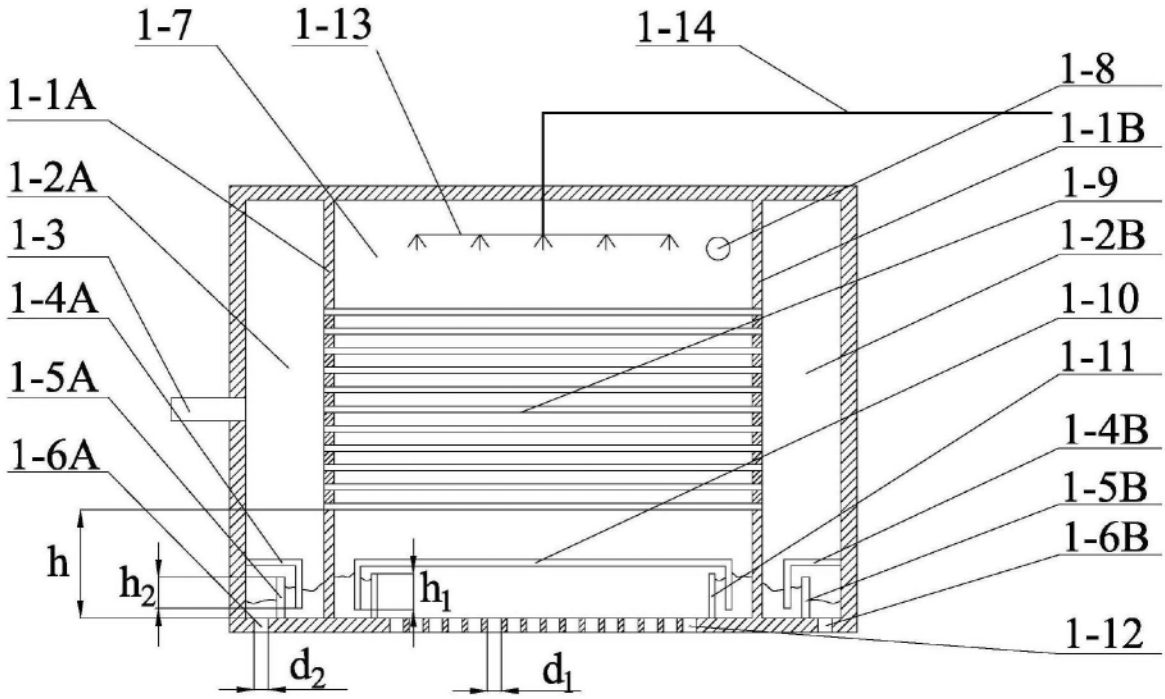

1-7
1-13
1-14
1-8
1-1A
1-1B
1-2A
1-9
1-3
1-2B
1-4A
1-10
1-5A
1-11
1-6A
1-4B
1-5B
1-6B
h
h2
h1
1-12
d2
d1

图2

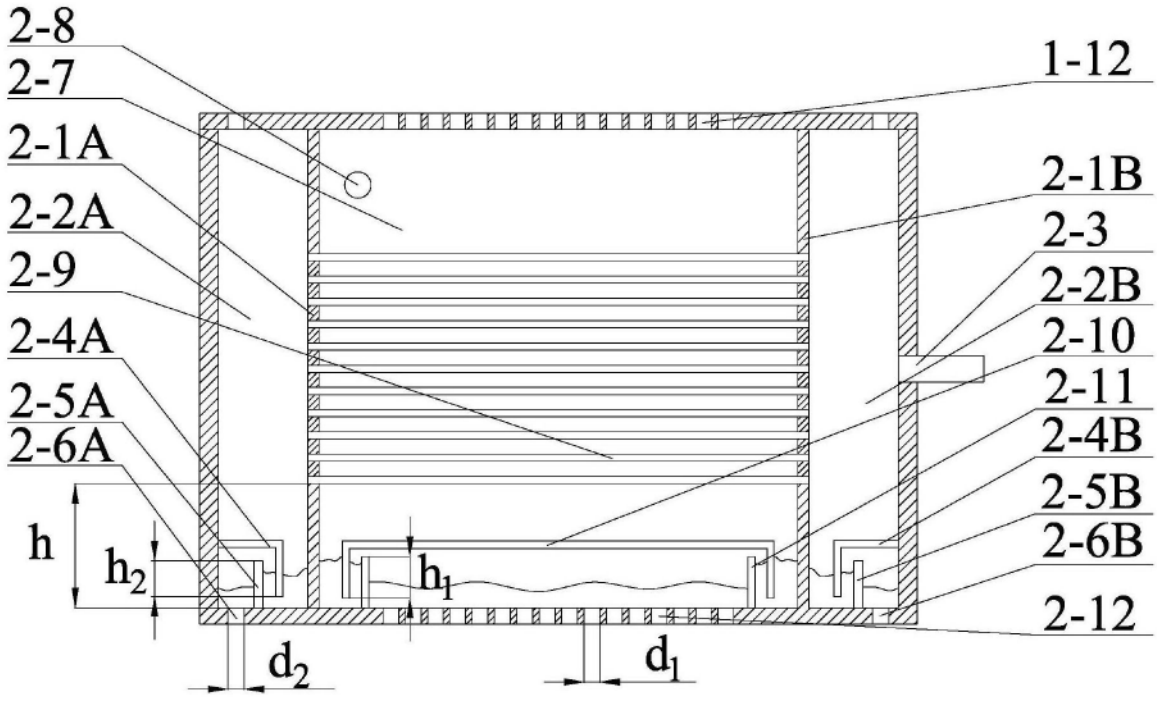

2-8
1-12
2-7
2-1A
2-1B
2-2A
2-3
2-9
2-2B
2-4A
2-10
2-5A
2-11
2-6A
2-4B
2-5B
h
h2
h1
2-6B
2-12
d2
d1

图3

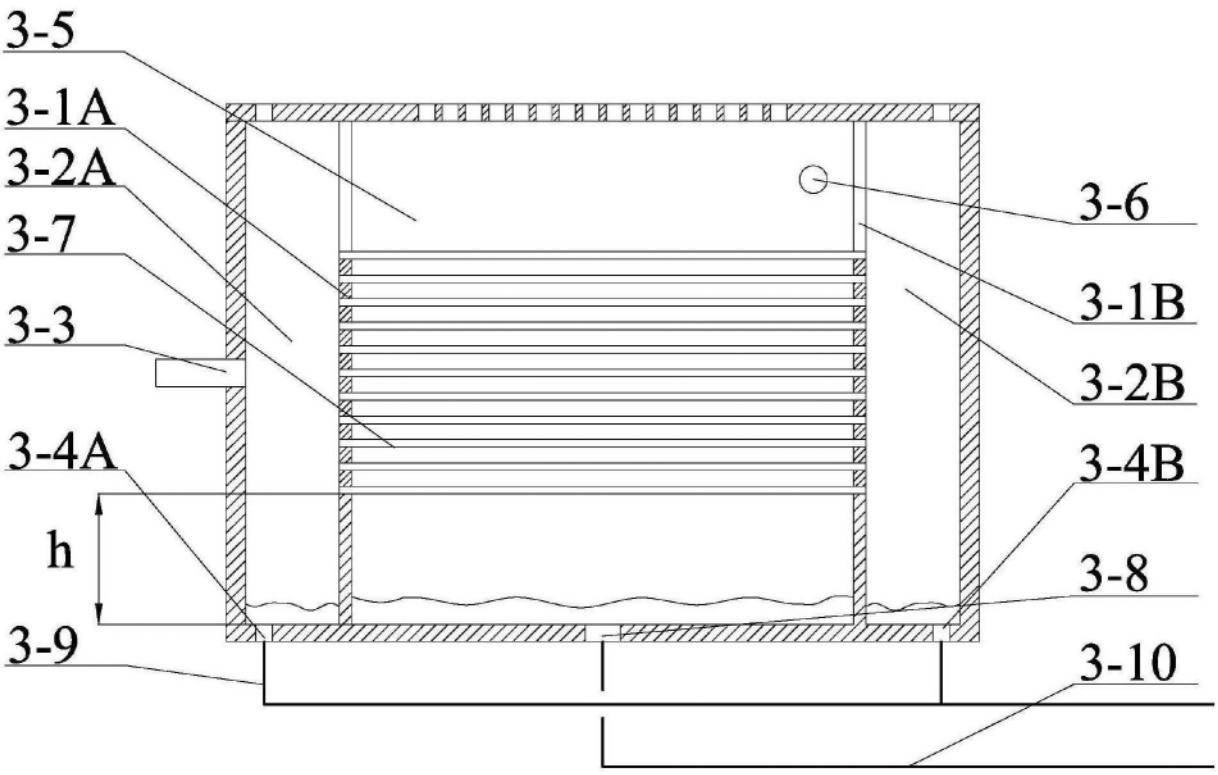


图4