



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115451663 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 09

(21) 申请号 202211047948.3

(22) 申请日 2022.08.30

(71) 申请人 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 公茂琼 刘莹 赵延兴 王昊成 郭浩

(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 王亮

(51) Int. Cl.  
F26B 5/06 (2006.01)  
F26B 3/08 (2006.01)  
F26B 21/14 (2006.01)  
B01D 53/26 (2006.01)

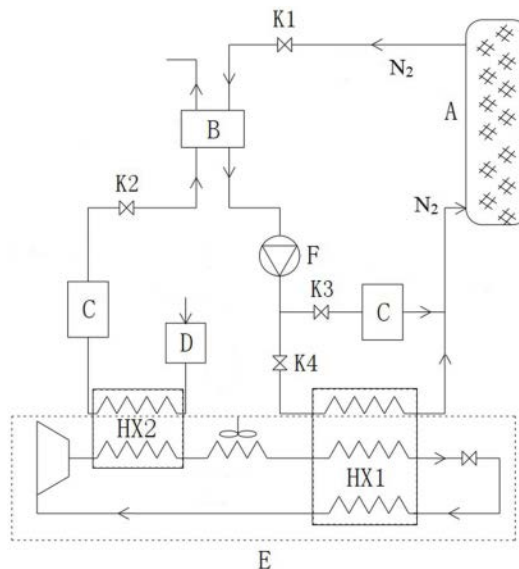
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

## (54) 发明名称

利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统及方法

## (57) 摘要

本发明提供一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统及方法,通过设置物料腔,冷冻循环风道由物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一换热器至物料腔另一端形成回路,升华干燥循环风道由物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一加热器至物料腔另一端形成回路,解吸干燥循环风道,由物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一加热器至物料腔另一端形成回路,从而实现对物料的冷冻、升华干燥和解吸干燥的步骤;吸附再生风道由进风口至出风口依次连接第二换热器和除湿装置,收集干燥过程产生的水蒸气,去除传统真空冷冻干燥中耗能高的冷阱及真空泵,降低能耗和成本,有利于保证产品质量。



1. 一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,包括:  
物料腔;  
冷冻循环风道,由所述物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一换热器至所述物料腔另一端形成回路,以为所述物料腔提供冷冻气体;  
升华干燥循环风道,由所述物料腔的一端依次连接所述除湿装置、所述风机以及第一加热器至所述物料腔另一端形成回路,以为所述物料腔提供升华干燥气体;  
解吸干燥循环风道,由所述物料腔的一端依次连接所述除湿装置、所述风机以及所述第一加热器至所述物料腔另一端形成回路,以为所述物料腔提供解吸干燥气体;  
吸附再生风道,由进风口至出风口依次连接第二换热器和所述除湿装置,以为所述除湿装置提供除湿气体。
2. 根据权利要求1所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述物料腔为立式流化床,所述立式流化床由冷冻气体、升华干燥气体以及解吸干燥气体自下往上贯穿。
3. 根据权利要求1所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述物料腔为螺旋式流化床,所述螺旋式流化床具有螺旋槽,所述螺旋槽由冷冻气体、升华干燥气体以及解吸干燥气体自下往上贯穿。
4. 根据权利要求1所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述物料腔为卧式流化床,所述卧式流化床具有传送带,所述传送带由冷冻气体、升华干燥气体以及解吸干燥气体自下往上或自上往下贯穿。
5. 根据权利要求1所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述冷冻循环风道提供的冷冻气体为 $-60^{\circ}\text{C}\sim-196^{\circ}\text{C}$ 的氮气。
6. 根据权利要求1所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述升华干燥循环风道提供的升华干燥气体为低于物料共晶温度的氮气。
7. 根据权利要求1所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述解吸干燥循环风道提供的解吸干燥气体为 $20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的干燥氮气。
8. 根据权利要求1-7任一项所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述除湿装置包括吸附脱水塔,所述吸附再生风道的出风口设有真空泵,所述吸附脱水塔连接所述真空泵,所述吸附再生风道的进风口处设有净化器。
9. 根据权利要求8所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,其特征在于,所述第二换热器与所述吸附脱水塔之间的吸附再生风道上还设有第二加热器。
10. 一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥方法,其特征在于,包括:通过如权利要求1-9任一项所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统对物料进行处理,其中,包括如下步骤:  
将物料设置于物料腔中;  
通过冷冻循环风道对物料进行冷冻;  
通过升华干燥循环风道对物料进行升华干燥;  
通过解吸干燥循环风道对物料进行解吸干燥。

## 利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及冷冻干燥技术领域,尤其涉及一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统及方法。

### 背景技术

[0002] 脱水是保存水分含量高、保质期较短的高价值材料的最有效方法之一。脱水后的干燥产品水分含量低(5~8%),因此不容易发生微生物腐败和不良的酶反应。湿物料干燥方式对产品质量有重要影响,合理的干燥工艺有利于产品的保存和工艺性能的提高。

[0003] 传统的干燥方法要么由于其高生产成本(例如,真空升华脱水),要么由于产品在高温下暴露时间长而造成高质量损失(例如,太阳干燥或热风干燥)而受到限制,或者采用传统底部搁板加热方式,传热效率低,都不适用于高价值材料的冷冻干燥。

### 发明内容

[0004] 本发明提供一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统及方法,用以解决现有技术中的冷冻干燥方法成本高、效果不佳的缺陷,实现低成本高效率的冷冻干燥,提升产品质量。

[0005] 本发明提供一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,包括:

[0006] 物料腔;

[0007] 冷冻循环风道,由所述物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一换热器至所述物料腔另一端形成回路,以为所述物料腔提供冷冻气体;

[0008] 升华干燥循环风道,由所述物料腔的一端依次连接所述除湿装置、所述风机以及第一加热器至所述物料腔另一端形成回路,以为所述物料腔提供升华干燥气体;

[0009] 解吸干燥循环风道,由所述物料腔的一端依次连接所述除湿装置、所述风机以及所述第一加热器至所述物料腔另一端形成回路,以为所述物料腔提供解吸干燥气体;

[0010] 吸附再生风道,由进风口至出风口依次连接净化器、第二换热器以及所述除湿装置,以为所述除湿装置提供除湿气体。

[0011] 根据本发明的一个实施例,所述物料腔为立式流化床,所述立式流化床由冷冻气体、升华干燥气体以及解吸干燥气体自下往上贯穿。

[0012] 根据本发明的一个实施例,所述物料腔为螺旋式流化床,所述螺旋式流化床具有螺旋槽,所述螺旋槽由冷冻气体、升华干燥气体以及解吸干燥气体自下往上贯穿。

[0013] 根据本发明的一个实施例,所述物料腔为卧式流化床,所述卧式流化床具有传送带,所述传送带由冷冻气体、升华干燥气体以及解吸干燥气体自下往上或自上往下贯穿。

[0014] 根据本发明的一个实施例,所述冷冻循环风道提供的冷冻气体为 $-60^{\circ}\text{C}\sim-196^{\circ}\text{C}$ 的氮气。

[0015] 根据本发明的一个实施例,所述升华干燥循环风道提供的升华干燥气体为低于物料共晶温度的氮气。

[0016] 根据本发明的一个实施例,所述解吸干燥循环风道提供的解吸干燥气体为20℃~70℃的干燥氮气。

[0017] 根据本发明的一个实施例,所述除湿装置包括吸附脱水塔,所述吸附再生风道的出风口设有真空泵,所述吸附脱水塔连接所述真空泵,所述吸附再生风道的进风口处设有净化器。

[0018] 根据本发明的一个实施例,所述第二换热器与所述吸附脱水塔之间的吸附再生风道上还设有第二加热器。

[0019] 本发明还提供一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥方法,包括:通过如上所述的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统对物料进行处理,其中,包括如下步骤:

[0020] 将物料设置于物料腔中;

[0021] 通过冷冻循环风道对物料进行冷冻;

[0022] 通过升华干燥循环风道对物料进行升华干燥;

[0023] 通过解吸干燥循环风道对物料进行解吸干燥。

[0024] 本发明提供的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统及方法,通过设置物料腔,冷冻循环风道由物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一换热器至物料腔另一端形成回路,以为物料腔提供冷冻气体;升华干燥循环风道由物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一加热器至物料腔另一端形成回路,以为物料腔提供升华干燥气体;解吸干燥循环风道,由物料腔的一端依次连接除湿装置、风机以及第一加热器至物料腔另一端形成回路,以为物料腔提供解吸干燥气体;从而实现对物料的冷冻、升华干燥和解吸干燥的步骤;吸附再生风道由进风口至出风口依次连接第二换热器和除湿装置,以为除湿装置提供除湿气体,收集干燥过程产生的水蒸气,去除传统真空冷冻干燥中耗能高的冷阱及真空泵,降低能耗和成本,有利于保证产品质量。

## 附图说明

[0025] 为了更清楚地说明本发明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发明的一些实施例,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。

[0026] 图1是本发明提供的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统的结构示意图;

[0027] 图2是本发明提供的立式流化床形式的物料腔结构示意图;

[0028] 图3是本发明提供的螺旋式流化床形式的物料腔结构示意图;

[0029] 图4是本发明提供的卧式流化床形式的物料腔结构示意图;

[0030] 图5是本发明提供的吸附脱水塔的结构示意图。

[0031] 附图标记:

[0032] A、物料腔;B、除湿装置;C、加热器;D、净化器;E、制冷装置;F、风机;G、真空泵;H/H'、吸附脱水塔;HX1、第一换热器;HX2、第二换热器;K1~K4、风门;V1~V10、阀门。

## 具体实施方式

[0033] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明中的附图,对本

发明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发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,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,都属于本发明保护的范围。

[0034] 在本发明实施例的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明实施例和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明实施例的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0035] 在本发明实施例的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明实施例中的具体含义。

[0036] 在本发明实施例中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0037] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明实施例的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0038] 下面结合图1-图5描述本发明的具体实施例。

[0039] 如图1所示,本发明实施例提供一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统,该系统包括物料腔A以及与物料腔A连通的冷冻循环风道、升华干燥循环风道和解吸干燥循环风道。

[0040] 冷冻循环风道包括依次连接的物料腔A、除湿装置B、风机F、第一换热器HX1、制冷装置E以及连接管道、风门K1~K4,冷冻过程中,风门K4打开,K3关闭,冷冻循环风道为物料腔A提供冷冻气体,该冷冻气体为常压/带压低温氮气(-60℃~-196℃),常压/带压低温氮气流过物料腔A冷冻物料后变为含湿气体,含湿气体进入脱湿装置B干燥,干燥氮气通过风机F加速(加压)、经与第一换热器HX1调节温度得到常压/带压低温氮气(-60℃~-196℃),完成一个回路。

[0041] 升华干燥循环风道包括依次连接的物料腔A、脱湿装置B、风机F、加热器C以及连接管道、风门K1~K4,升华干燥过程中,风门K3打开,K4关闭,升华干燥循环风道为物料腔A提供升华干燥气体,升华干燥气体为常压/带压控温冷风(温度约~-40℃,比共晶温度略低3

~5℃),常压/带压控温冷风流过物料腔A为物料的升华干燥提供热量,再次干燥之后通过风机F加速(加压)、加热器C调节温度得到常压/带压控温冷风(温度约~-40℃,比共晶温度略低3~5℃),完成一个回路。

[0042] 解吸干燥循环风道与升华干燥循环风道连接结构相同,在解吸干燥过程中,解吸干燥循环风道为物料腔A提供解吸干燥气体,解吸干燥气体为常压/带压高温干燥氮气,常压/带压高温干燥氮气流过物料腔A为物料的解吸干燥提供热量后进入脱湿装置B干燥,通过风机F加速(加压)、经加热器C调节温度得到常压/带压高温干燥氮气,完成一个回路。

[0043] 本实施例中,物料冷冻干燥的三个过程:冷冻、升华干燥、解吸干燥均在物料腔A内进行,自下而上进入物料腔的常压/带压低温氮气(-60℃~-196℃)、常压/带压控温冷风(温度约~-40℃,比共晶温度略低3~5℃)、常压/带压高温干燥氮气(20℃~70℃)分别为各阶段提供所需能量,最终可得到常温干料,干燥系统也可单独完成冷冻干燥的任意阶段。

[0044] 本实施例还设有吸附再生风道,吸附再生风道由进风口至出风口依次连接净化器D、第二换热器HX2以及除湿装置B,为除湿装置B提供除湿气体。

[0045] 如图1和图5所示,吸附再生风道包括依次连接的净化器D、换热器HX2、制冷装置E、第二加热器、脱湿装置B以及连接管道、阀门,除湿装置B包括吸附脱水塔H/H',吸附再生风道的出风口设有真空泵G,吸附脱水塔连接真空泵G。吸附脱水塔H/H'再生过程中,外界空气通过净化器D净化后,进入与制冷装置E的冷凝端换热的第二换热器HX2换热形成再生气,再生气通过第二加热器调节温度得到60℃~80℃,再生热气进入脱湿装置B再生形成含湿热气,最终直接排到大气中或采用真空泵G抽走,形成吸附再生风道。

[0046] 其中,在部分运行工况下第二换热器HX2的热量足够立完成再生气的加热过程,在该情况下第二加热器可关闭或去除。

[0047] 如图5所示,双塔吸附式脱水塔中左右两塔交替工作。当脱水塔H工作时,常压/带压低温低含湿量氮气从α口进入,通过阀门V4自上而下进入脱水塔H进行吸附干燥,然后通过V6阀由β口流出;同时再生气通过γ口进入,由制冷压缩机机排气热供热的第二换热器HX2加热得到再生热气,通过阀门V7自下而上进入脱水塔H'进行再生,之后再再生气流通过阀门V1、V10由真空泵将脱水塔H'内的再生热气抽出,再生阶段结束后,阀门V10关闭,阀门V9打开,对脱水塔H'进行升压,以达到额定的吸附工作压力;

[0048] 升压阶段结束后,阀门V4、V6、V7关闭,阀门V3、V5、V8打开,脱水塔H'由再生塔转为吸附塔,脱水塔H进行再生,保证系统的持续运行。

[0049] 在一个实施例中,吸附式脱水塔不限于双塔结构,也可以扩展为多个吸附塔,吸附再生流程和所列举的两个吸附塔相同,各塔交替进行吸附干燥和再生,此处不再赘述。

[0050] 本实施例中,制冷装置E循环过程:制冷剂通过压缩机压缩后进入第一换热器HX2为净化空气提供热量,经风扇冷却后进入第一换热器HX1为干燥氮气提供冷量,经节流阀节流后进入第一换热器HX1为干燥氮气提供冷量后回到压缩机,完成制冷剂循环。

[0051] 实验证明:水蒸气从升华界面通过干燥层的扩散主要是由蒸汽压梯度驱动而不是绝对压力,因此常压真空冷冻干燥在常压或者带压的条件下,采用特定手段进行除湿,使物料周围低温气氛中的水蒸气分压始终低于升华界面上的饱和蒸汽压,从而使冷冻物料中的水分得以升华。常压真空冷冻干燥在常压下采用流态化的方式实现对物料的干燥;同时通过建立循环风道,采用对流换热而非传统冻干机的搁板加热促进热源与物料的热交换,有

利于保证产品质量的同时减少冻干过程耗能。

[0052] 本发明实施例采用常压/带压强制风循环为各阶段提供所需能量,与传统真空冷冻干燥底部搁板加热相比,传热系数提高;采用循环冷风附加吸附设备收集干燥过程产生的水蒸气,去除传统真空冷冻干燥中耗能高的冷阱及真空泵,降低设备成本,同时利用制冷压缩机机排气热来实现吸附设备的再生,有利于保证产品质量的同时减少冻干过程耗能。

[0053] 本发明实施例中采用的循环风不限于氮气,其他不与物料发生反应,不对物料造成影响的气体也是可以的。

[0054] 如图2所示,在一个实施例中,物料腔A可采用立式流化床形式,循环氮气未进入前,物料在流化床底部均匀放置,送风仍采用下送风方式,循环氮气向上导入物料腔A将物料吹起,物料靠重力掉落,与循环氮气逆向运动,同物料交换能量后从顶部排出,有利于提高氮气与物料的充分接触。

[0055] 如图3所示,在一个实施例中,物料腔A可采用螺旋式流化床形式,物料自受重力作用沿螺旋窄槽堆放,循环氮气从物料腔底部逆向流入,以圆周运动的方式与物料交叉流动,同物料交换能量后通过物料腔顶部排出。

[0056] 如图4所示,在一个实施例中,物料腔A可采用卧式流化床形式,物料在传送带上均匀放置,流化床送风采用下送风方式,循环氮气向上穿过流化床同物料交换能量后,从顶部风口排出;流化床也可采用上送风方式,循环氮气从顶部窄口通道流入在腔内以圆周运动的方式与物料交叉流动,并通过顶部纵向膨胀腔排出,送风速度及送风温度可根据干燥物料种类进行调控。

[0057] 上述三种物料腔A的实施例均有利于物料与氮气的充分接触,提高冷冻干燥效果。

[0058] 本发明实施例还提供一种利用循环风吸附脱水的冷冻干燥方法,该方法通过上述实施例的利用循环风吸附脱水的冷冻干燥系统对物料进行处理,其中,包括如下步骤:

[0059] 步骤一,将物料设置于物料腔A中,物料腔A处于常压状态;

[0060] 步骤二,冷冻步骤,通过冷冻循环风道自下而上对物料腔A通入常压/带压低温氮气(-60℃~-196℃)对物料进行冷冻;

[0061] 步骤三,升华干燥步骤,通过升华干燥循环风道自下而上对物料腔A通入常压/带压控温冷风(温度约~-40℃,比共晶温度略低3~5℃)对物料进行升华干燥;

[0062] 步骤四,解吸干燥步骤,通过解吸干燥循环风道对物料腔A通入常压/带压高温干燥氮气(20℃~70℃)对物料进行解吸干燥。

[0063] 上述过程中,通过吸附再生风道不选再生新风,并吸收除湿装置B中的水份,利用制冷压缩机机排气热来实现吸附设备的再生,减少冻干过程耗能,保证产品质量。

[0064] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,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发明各实施例技术方案的精神和范围。

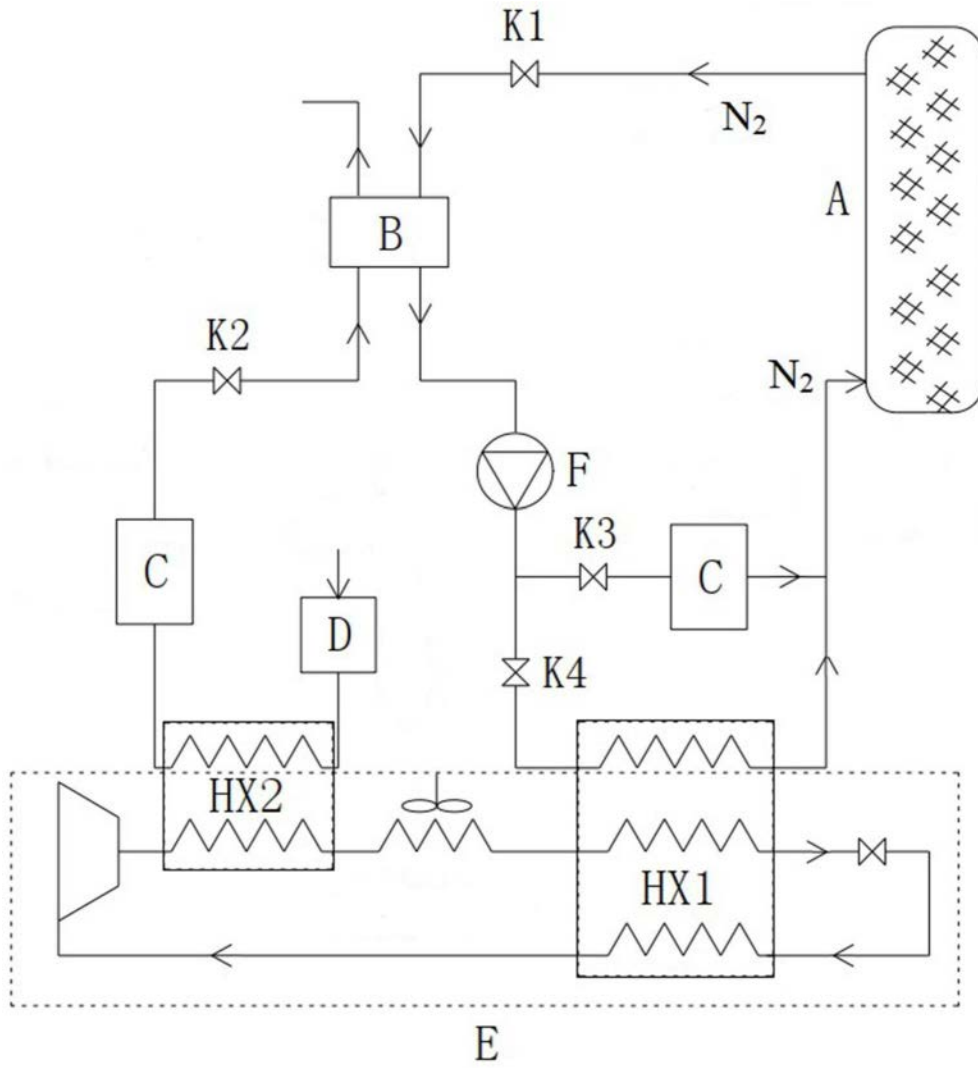


图1

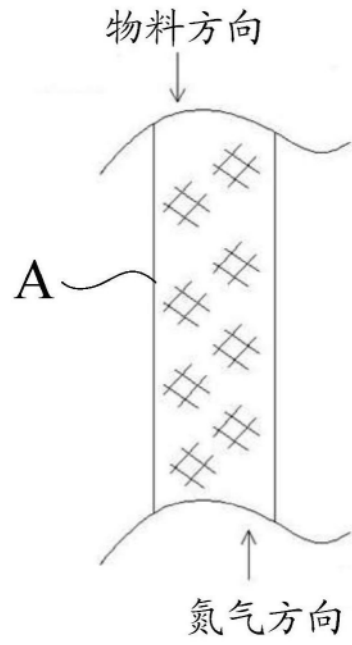


图2

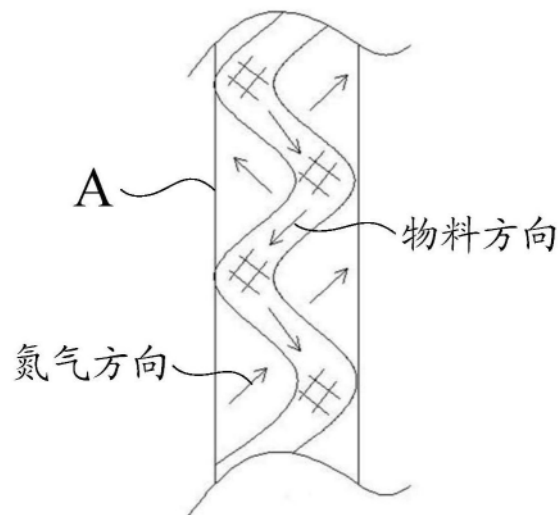


图3

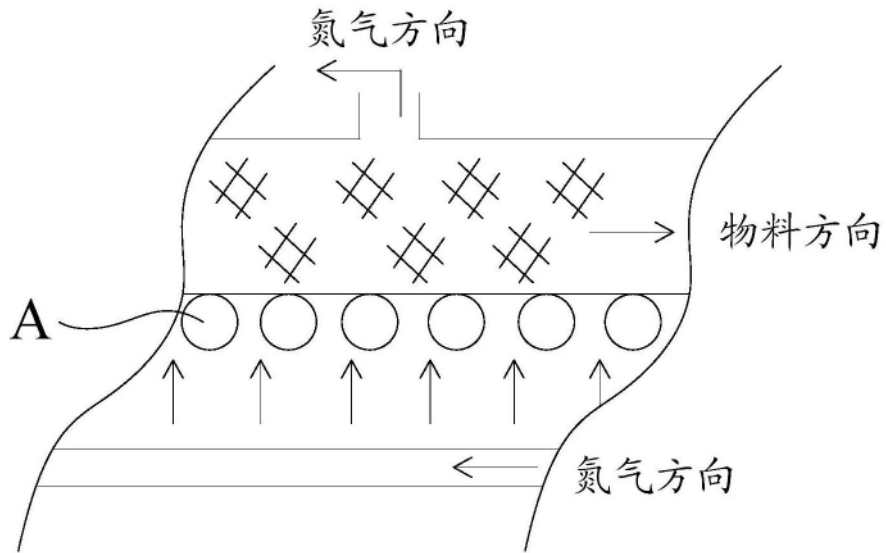


图4

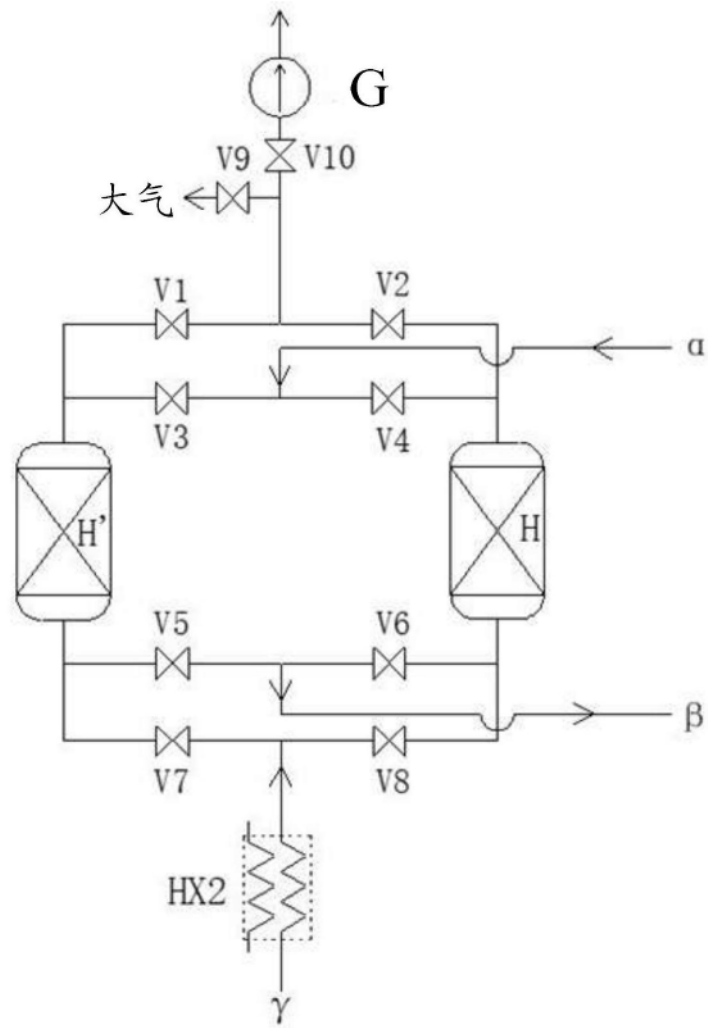


图5