



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118463562 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 09

(21) 申请号 202410654087.8

(22) 申请日 2024.05.24

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 鱼剑琳 邹霖庚 李焕民 刘晔

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215

专利代理师 何会侠

(51) Int. Cl.

F26B 21/00 (2006.01)

F25B 9/08 (2006.01)

F25B 39/04 (2006.01)

权利要求书3页 说明书6页 附图1页

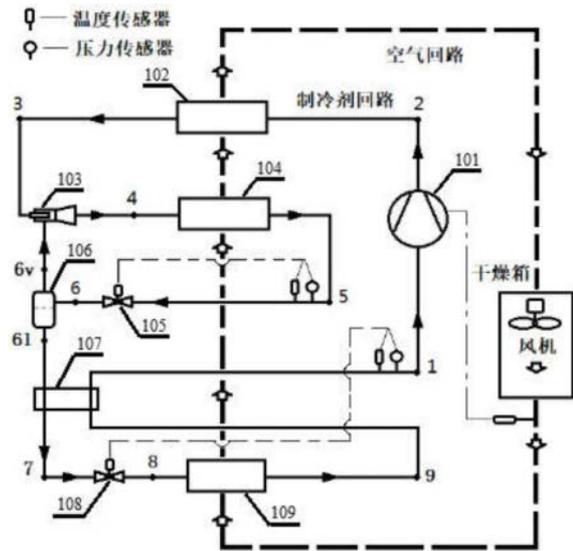
(54) 发明名称

一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统及控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统及控制方法,该系统包括:空气循环回路与制冷剂循环回路;空气循环回路中,干燥箱出口的湿空气经蒸发器降温除湿后依次通过低压、高压冷凝器,被加热为高温干燥空气进入干燥箱进行热湿交换,使物料干燥,同时其变成湿空气再次循环;制冷剂循环回路包括:变频压缩机、高压冷凝器、喷射器、低压冷凝器、两个电子膨胀阀、闪蒸器、过冷器、蒸发器及温度与压力传感器。本发明通过引入喷射器回收膨胀功,降低节流过程的不可逆损失,提升热泵干燥系统效率,闪蒸器和过冷器增大了蒸发器前制冷剂的过冷度,提升了蒸发器的除湿能力,过冷器的回热作用避免了压缩机吸气带液,增强了系统稳定性。

CN 118463562 A



1. 一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统,其特征在于:该系统包括空气循环回路和制冷剂循环回路,其中制冷剂循环回路配备一台变频压缩机(101),变频压缩机(101)具有变转速功能,通过电机频率变化控制变频压缩机(101)转速,从而调节制冷剂循环回路内制冷剂的质量流速;变频压缩机(101)具有吸气口、排气口,变频压缩机(101)排气口与高压冷凝器(102)入口相连接,经变频压缩机(101)压缩,升温升压后的高温制冷剂蒸气进入高压冷凝器(102),在其中制冷剂与干燥空气进行热交换,使制冷剂部分冷凝;高压冷凝器(102)的出口处气液两相制冷剂作为一次流进入喷射器(103)的喷嘴入口,喷射器(103)出口与低压冷凝器(104)的入口相连,两相制冷剂在低压冷凝器(104)内完全冷凝,低压冷凝器(104)出口的饱和液态制冷剂进入第一电子膨胀阀(105),经过等焓节流过程后,两相制冷剂从第一电子膨胀阀(105)出口处进入闪蒸器(106)入口,其中饱和气相制冷剂作为二次流体,被引射至喷射器(103)二次流入口,饱和液相制冷剂进入过冷器(107)热端进口,经过冷后的制冷剂进入第二电子膨胀阀(108)的入口,进行等焓节流过程,第二电子膨胀阀(108)出口与除湿蒸发器(109)入口相连,气液两相制冷剂在除湿蒸发器(109)中与来自干燥箱的高湿湿空气换热,吸热后完全蒸发,除湿蒸发器(109)出口的饱和气相制冷剂进入过冷器(107)冷端入口,经过回热后进入变频压缩机(101)进气口,完成制冷剂循环回路的制冷剂循环;空气循环回路中,经过干燥箱的高湿湿空气首先通过除湿蒸发器(109),温度及湿度降低,形成干燥冷空气,干燥冷空气经过低压冷凝器(104)与制冷剂进行热交换,进行第一次升温,后经过高压冷凝器(102)与制冷剂进行热交换,进行二次升温,形成高温干燥空气进入干燥箱入口,完成空气循环回路的空气循环。

2. 根据权利要求1所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统,其特征在于:所述喷射器(103)中,来自高压冷凝器(102)的部分冷凝的气液两相混合制冷剂作为喷射器(103)的一次流体,其压力高于从闪蒸器(106)气相出口的二次流体,即被引射流体的压力,且高压冷凝器(102)实现对变频压缩机(101)排气的部分冷凝,因此其出口制冷剂为气液两相流,具有较高的焓值,提高了喷射器(103)回收膨胀功的能力;闪蒸器(106)内气相出口处为饱和气相制冷剂,被气液两相制冷剂引射,共同进入喷射器(103)混合段中进行等压混合,经过喷射器(103)的扩压段减速升压后进入低压冷凝器(104)。

3. 根据权利要求1所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统,其特征在于:将变频压缩机(101)排出的过热制冷剂蒸气在高压冷凝器(102)与低压冷凝器(104)梯级冷凝,高压冷凝器(102)出口处制冷剂为气液两相状态,低压冷凝器(104)出口处制冷剂为饱和液相;在高低压冷凝器之间增设喷射器(103),能有效回收膨胀功,并且通过高压冷凝与低压冷凝两个冷凝过程,降低了平均冷凝温度,提升了系统能效;干燥冷空气首先与低压冷凝器(104)进行换热,经过一次升温后,进入高压冷凝器(102)进行二次升温,通过高低压冷凝器使空气侧梯级升温的设置减小空气与制冷剂间的平均换热温差,从而减少冷凝换热过程的不可逆损失,综合提升系统效率。

4. 根据权利要求1所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统,其特征在于:来自第一电子膨胀阀(105)的气液两相制冷剂进入闪蒸器(106),其中气相制冷剂提供了喷射器(103)的二次流体,液相制冷剂在过冷器(107)中过冷、第二电子膨胀阀(108)节流后进入除湿蒸发器(109),闪蒸器(106)有效降低了第二电子膨胀阀(108)前的制冷剂入口温度,使得通过第二电子膨胀阀(108)的制冷剂干度减小,增大了制冷剂的单位制冷量,

且过冷器(107)提供过冷效果,进一步增大了单位制冷量,提升了除湿蒸发器(109)的冷却除湿能力,且由于过冷度的存在,使得制冷剂在进入第二电子膨胀阀(108)前保持稳定的状态,增强了系统稳定性,同时过冷器(107)冷端在进行热交换后,进入变频压缩机(101)入口处的制冷剂获得了过热度,利用过冷器(107)的回热作用,避免了变频压缩机(101)吸气带液,从而保护变频压缩机(101),进一步提升系统稳定性。

5. 权利要求1至4任一项所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的工作方法,其特征在于:制冷剂循环回路的工作过程如下:变频压缩机(101)排气口处的高温高压过热蒸气状态制冷剂进入高压冷凝器(102),与预热过的干燥空气进行换热,使高温干燥空气获得了干燥除湿能力;过热态制冷剂在放出热量部分冷凝后形成焓值高的气液两相混合制冷剂,因此作为一次流体进入喷射器(103)的喷嘴入口,在喷嘴中膨胀后变为低压高速气液两相混合制冷剂,与从闪蒸器(106)气相出口的饱和气相制冷剂在喷射器(103)的混合段进行等压混合,再经喷射器(103)的扩压段减速升压后以气液两相制冷剂进入低压冷凝器(104),对来自除湿蒸发器(109)的干燥冷空气进行预热,在这个过程中制冷剂完全冷凝,饱和液相制冷剂进入第一电子膨胀阀(105),经过等焓节流过程后形成气液两相制冷剂,进入闪蒸器(106),其中饱和气相制冷剂作为二次流体被引射至喷射器(103)内,饱和液相制冷剂进入过冷器(107)热端入口,与除湿蒸发器(109)出口处的饱和气相制冷剂进行回热,制冷剂在过冷器(107)内获得过冷度,进入第二电子膨胀阀(108),经过等焓节流过程后形成气液两相制冷剂,进入除湿蒸发器(109)吸收热量形成饱和气相制冷剂,对来自干燥箱的高湿湿空气进行冷却除湿,随后进入过冷器(107)冷端入口,为来自闪蒸器(106)的饱和液相制冷剂提供过冷度,自身获得过热度后返回至变频压缩机(101)吸气口;通过引入喷射器(103)实现了对膨胀功的回收,降低了节流型膨胀机构中节流过程的不可逆损失,进而显著提升热泵干燥系统的效率,闪蒸器(106)和过冷器(107)增大了除湿蒸发器(109)前制冷剂的过冷度,提升了除湿蒸发器(109)的冷却除湿能力,同时过冷器(107)的回热作用避免了变频压缩机(101)吸气带液,增强了系统稳定性。

6. 权利要求1至4任一项所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的控制方法,其特征在于:在低压冷凝器(104)出口处设置温度传感器和压力传感器,获取低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{rol}$ 、低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{rol}$ ;在压缩机(101)吸气口处设置温度传感器和压力传感器,获取压缩机吸气口处制冷剂温度 $T_{ric}$ 、压缩机吸气口处制冷剂压力 $P_{ric}$ ;在干燥箱出口处设置温度传感器,获取干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ ;利用低压冷凝器(104)出口处的制冷剂温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处的制冷剂是否处于饱和液体状态,以此调控第一电子膨胀阀(105)的开度;利用变频压缩机(101)吸气口处的制冷剂温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处制冷剂的过热度,以此调控第二电子膨胀阀(108)的开度;采用干燥箱出来的高湿湿空气温度控制变频压缩机(101)的转速;第一电子膨胀阀(105)通过检测低压冷凝器(104)出口处的制冷剂温度和压力参数,实现控制制冷剂流量的目的,第二电子膨胀阀(108)通过检测变频压缩机(101)吸气口处的制冷剂过热度,实现控制制冷剂流量的目的。

7. 根据权利要求6所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的控制方法,其特征在于:具体实施如下:当检测到干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ 低于预设温度值 $T_{aods}$ 时,控制变频压缩机(101)提高转速;当检测到干燥箱出口处的高湿湿空气温度

$T_{\text{aod}}$  高于预设温度值  $T_{\text{aods}}$  时, 控制变频压缩机 (101) 降低转速; 当检测到低压冷凝器出口处制冷剂的温度  $T_{\text{ro1}}$  低于计算得到的与低压冷凝器出口处制冷剂的压力  $P_{\text{ro1}}$  相同下的饱和液相制冷剂温度, 即预设温度值  $T_{\text{ro1s}}$  时, 增大第一电子膨胀阀 (105) 的开度; 当检测到低压冷凝器出口处制冷剂的温度  $T_{\text{ro1}}$  高于计算得到的与低压冷凝器出口处制冷剂的压力  $P_{\text{ro1}}$  相同下的饱和液相制冷剂温度, 即预设温度值  $T_{\text{ro1s}}$  时, 减小第一电子膨胀阀 (105) 的开度; 当通过检测并计算出压缩机 (101) 吸气口处制冷剂的过热度  $\Delta T_{\text{ric}}$  高于预设过热度值  $\Delta T_{\text{rics}}$  时, 增大第二电子膨胀阀 (108) 的开度; 当通过检测并计算出压缩机 (101) 吸气口处制冷剂的过热度  $\Delta T_{\text{ric}}$  低于预设过热度值  $\Delta T_{\text{rics}}$  时, 减小第二电子膨胀阀 (108) 的开度。

## 一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于热泵干燥技术及除湿技术领域,具体涉及用于空气源热泵装置的一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统及控制方法。

### 背景技术

[0002] 干燥技术涉及国民经济的各个领域,但却是高能耗的应用技术,约占国民经济总能耗的12%。目前,常用的干燥技术主要包括热风干燥、微波干燥、红外干燥、真空冷冻干燥和热泵干燥。其中热泵干燥技术作为我国工业和农产品加工行业的重要组成部分,以其高效、节能、污染小、水分提取率高、投资成本低、干燥品质高等特点,逐步成为备受关注的物料干燥方法,具备良好的发展前景和应用价值。

[0003] 为了优化热泵干燥系统的性能响应热泵干燥市场的快速发展,提高系统能效,增强系统稳定性,研究人员在过去十年里进行了诸多实验和改进,其中压缩机变频技术得到了关注和应用。然而,目前的热泵干燥技术仍面临一定技术层面的限制,当前市场上最常见的热泵干燥系统存在干燥速率慢,干燥温度较低等问题,因仅采用节流型膨胀机构进行制冷剂的节流,节流前后压差较大,导致制冷剂循环过程的不可逆损失增大,使得系统效率偏低,特别是当烘干温度要求高时,热泵干燥系统效率降低显著;其次,压缩机吸气管存在吸气带液的问题,容易出现湿压缩和液击现象,这些都不利于压缩机的稳定运行。因此,研发高效节能的热泵干燥装置是干燥领域的重要任务,也是热泵干燥技术的重要发展方向。

### 发明内容

[0004] 为解决上述现有技术中存在的问题和缺陷,本发明提供了一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统及控制方法,在系统中引入喷射器,通过喷射器实现了对膨胀功的回收,降低了节流型膨胀机构中节流过程的不可逆损失,进而显著提升热泵干燥系统的效率,闪蒸器和过冷器增大了除湿蒸发器前制冷剂的过冷度,提升了蒸发器的冷却除湿能力,同时过冷器的回热作用避免了变频压缩机吸气带液,增强系统稳定性。并且通过高压冷凝与低压冷凝两个冷凝过程,降低了平均冷凝温度,提升了系统能效。干燥冷空气首先与低压冷凝器进行换热,经过一次升温后,进入高压冷凝器进行二次升温,通过高低压冷凝器使空气侧梯级升温的设置可以减小空气与制冷剂间的平均换热温差,从而减少冷凝换热过程的不可逆损失,综合提升系统效率。此外,通过检测低压冷凝器出口处制冷剂状态、变频压缩机吸气口处制冷剂状态,从而控制制冷系统内制冷剂的流量。

[0005] 为达到上述目的,本发明所采用的技术方案是:

[0006] 一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统,该系统包括空气循环回路和制冷剂循环回路,其中制冷剂循环回路配备一台变频压缩机101,变频压缩机101具有变速功能,通过电机频率变化控制变频压缩机101转速,从而调节日制冷循环回路内制冷剂的质量流速;变频压缩机101具有吸气口、排气口,变频压缩机101排气口与高压冷凝器102

入口相连接,经变频压缩机101压缩,升温升压后的高温制冷剂蒸气进入高压冷凝器102,在其中制冷剂与干燥空气进行热交换,使制冷剂部分冷凝;高压冷凝器102的出口处气液两相制冷剂作为一次流进入喷射器103的喷嘴入口,喷射器103出口与低压冷凝器104的入口相连,两相制冷剂在低压冷凝器104内完全冷凝,低压冷凝器104出口的饱和液态制冷剂进入第一电子膨胀阀105,经过等焓节流过程后,两相制冷剂从第一电子膨胀阀105出口处进入闪蒸器106入口,其中饱和气相制冷剂作为二次流体,被引射至喷射器103二次流入口,饱和液相制冷剂进入过冷器107热端进口,经过冷后的制冷剂进入第二电子膨胀阀108的入口,进行等焓节流过程,第二电子膨胀阀108出口与除湿蒸发器109入口相连,气液两相制冷剂在除湿蒸发器109中与来自干燥箱的高湿湿空气换热,吸热后完全蒸发,除湿蒸发器109出口的饱和气相制冷剂进入过冷器107冷端入口,经过回热后进入变频压缩机101进气口,完成制冷剂循环回路的制冷剂循环;空气循环回路中,经过干燥箱的高湿湿空气首先通过除湿蒸发器109,温度及湿度降低,形成干燥冷空气,干燥冷空气经过低压冷凝器104与制冷剂进行热交换,进行第一次升温,后经过高压冷凝器102与制冷剂进行热交换,进行二次升温,形成高温干燥空气进入干燥箱入口,完成空气循环回路的空气循环。

[0007] 所述喷射器103中,来自高压冷凝器102的部分冷凝的气液两相混合制冷剂作为喷射器103的一次流体,其压力高于从闪蒸器106气相出口的二次流体,即被引射流体的压力,且高压冷凝器102实现对变频压缩机101排气的部分冷凝,因此其出口制冷剂为气液两相流,具有较高的焓值,提高了喷射器103回收膨胀功的能力;闪蒸器106内气相出口处为饱和气相制冷剂,被气液两相制冷剂引射,共同进入喷射器103混合段中进行等压混合,经过喷射器103的扩压段减速升压后进入低压冷凝器104。

[0008] 将变频压缩机101排出的过热制冷剂蒸气在高压冷凝器102与低压冷凝器104梯级冷凝,高压冷凝器102出口处制冷剂为气液两相状态,低压冷凝器104出口处制冷剂为饱和液相;在高低压冷凝器之间增设喷射器103,能有效回收膨胀功,并且通过高压冷凝与低压冷凝两个冷凝过程,降低了平均冷凝温度,提升了系统能效;干燥冷空气首先与低压冷凝器104进行换热,经过一次升温后,进入高压冷凝器102进行二次升温,通过高低压冷凝器使空气侧梯级升温的设置减小空气与制冷剂间的平均换热温差,从而减少冷凝换热过程的不可逆损失,综合提升系统效率。

[0009] 来自第一电子膨胀阀105的气液两相制冷剂进入闪蒸器106,其中气相制冷剂提供了喷射器103的二次流体,液相制冷剂在过冷器107中过冷、第二电子膨胀阀108节流后进入除湿蒸发器109,闪蒸器106有效降低了第二电子膨胀阀108前的制冷剂入口温度,使得通过第二电子膨胀阀108的制冷剂干度减小,增大了制冷剂的单位制冷量,且过冷器107提供过冷效果,进一步增大了单位制冷量,提升了除湿蒸发器109的冷却除湿能力,且由于过冷度的存在,使得制冷剂在进入第二电子膨胀阀108前保持稳定的状态,增强了系统稳定性,同时过冷器107冷端在进行热交换后,进入变频压缩机101入口处的制冷剂获得了过热度,利用过冷器107的回热作用,避免了变频压缩机101吸气带液,从而保护变频压缩机101,进一步提升系统稳定性。

[0010] 所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的工作方法,制冷剂循环回路的工作过程如下:变频压缩机101排气口处的高温高压过热蒸气状态制冷剂进入高压冷凝器102,与预热过的干燥空气进行换热,使高温干燥空气获得了干燥除湿能力;过热

态制冷剂在放出热量部分冷凝后形成焓值高的气液两相混合制冷剂,因此作为一次流体进入喷射器103的喷嘴入口,在喷嘴中膨胀后变为低压高速气液两相混合制冷剂,与从闪蒸器106气相出口的饱和气相制冷剂在喷射器103的混合段进行等压混合,再经喷射器103的扩压段减速升压后以气液两相制冷剂进入低压冷凝器104,对来自除湿蒸发器109的干燥冷空气进行预热,在这个过程中制冷剂完全冷凝,饱和液相制冷剂进入第一电子膨胀阀105,经过等焓节流过程后形成气液两相制冷剂,进入闪蒸器106,其中饱和气相制冷剂作为二次流体被引射至喷射器103内,饱和液相制冷剂进入过冷器107热端入口,与除湿蒸发器109出口处的饱和气相制冷剂进行回热,制冷剂在过冷器107内获得过冷度,进入第二电子膨胀阀108,经过等焓节流过程后形成气液两相制冷剂,进入除湿蒸发器109吸收热量形成饱和气相制冷剂,对来自干燥箱的高湿湿空气进行冷却除湿,随后进入过冷器107冷端入口,为来自闪蒸器106的饱和液相制冷剂提供过冷度,自身获得过热度后返回至变频压缩机101吸气口;通过引入喷射器103实现了对膨胀功的回收,降低了节流型膨胀机构中节流过程的不可逆损失,进而显著提升热泵干燥系统的效率,闪蒸器106和过冷器107增大了除湿蒸发器109前制冷剂的过冷度,提升了除湿蒸发器109的冷却除湿能力,同时过冷器107的回热作用避免了变频压缩机101吸气带液,增强了系统稳定性。

[0011] 所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的控制方法,在低压冷凝器104出口处设置温度传感器和压力传感器,获取低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{ro1}$ 、低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{ro1}$ ;在压缩机101吸气口处设置温度传感器和压力传感器,获取压缩机吸气口处制冷剂温度 $T_{ric}$ 、压缩机吸气口处制冷剂压力 $P_{ric}$ ;在干燥箱出口处设置温度传感器,获取干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ ;利用低压冷凝器104出口处的制冷剂温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处的制冷剂是否处于饱和液体状态,以此调控第一电子膨胀阀105的开度;利用变频压缩机101吸气口处的制冷剂温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处制冷剂的过热度,以此调控第二电子膨胀阀108的开度;采用干燥箱出来的高湿湿空气温度控制变频压缩机101的转速;第一电子膨胀阀105通过检测低压冷凝器104出口处的制冷剂温度和压力参数,实现控制制冷剂流量的目的,第二电子膨胀阀108通过检测变频压缩机101吸气口处的制冷剂过热度,实现控制制冷剂流量的目的。

[0012] 所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的控制方法,具体实施如下:当检测到干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ 低于预设温度值 $T_{aods}$ 时,控制变频压缩机101提高转速;当检测到干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ 高于预设温度值 $T_{aods}$ 时,控制变频压缩机101降低转速;当检测到低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{ro1}$ 低于计算得到的与低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{ro1}$ 相同下的饱和液相制冷剂温度,即预设温度值 $T_{ro1s}$ 时,增大第一电子膨胀阀105的开度;当检测到低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{ro1}$ 高于计算得到的与低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{ro1}$ 相同下的饱和液相制冷剂温度,即预设温度值 $T_{ro1s}$ 时,减小第一电子膨胀阀105的开度;当通过检测并计算出压缩机101吸气口处制冷剂的过热度 $\Delta T_{ric}$ 高于预设过热度值 $\Delta T_{rics}$ 时,增大第二电子膨胀阀108的开度;当通过检测并计算出压缩机101吸气口处制冷剂的过热度 $\Delta T_{ric}$ 低于预设过热度值 $\Delta T_{rics}$ 时,减小第二电子膨胀阀108的开度。

[0013] 相比于现有的单级压缩热泵干燥系统,本发明提出了一种用于物料干燥的喷射器

增效双冷凝器热泵干燥系统及控制方法,在制冷剂循环回路中引入喷射器103,利用喷射器103实现高压冷凝器102出口处气液两相制冷剂引射来自闪蒸器106气相出口的制冷剂蒸气,将高压制冷剂的做功能力转化为对二次流体的引射和升压,减小了系统的不可逆损失,有效提高热泵干燥系统能效;闪蒸器106有效降低了第二电子膨胀阀108前的制冷剂入口温度,使得通过第二电子膨胀阀108的制冷剂干度减小,增大了制冷剂的单位制冷量,且过冷器107提供过冷效果,进一步增大了单位制冷量,提升了除湿蒸发器109的冷却除湿能力,且由于过冷度的存在,使得制冷剂在进入第二电子膨胀阀108前保持稳定的状态,增强了系统稳定性,同时过冷器107冷端在进行热交换后,进入变频压缩机101入口处的制冷剂获得了过热度,利用过冷器107的回热作用,避免了变频压缩机101吸气带液,从而保护变频压缩机101,进一步提升系统稳定性。本发明提出的方案对热泵干燥系统的整体性能提升和节能减排效果起到了积极的促进作用,能够带来更好地经济效益和环境效益。本发明提供了一种经济、可靠、高效的创新方案,为热泵干燥系统将来在工业、农产品加工行业的广泛应用奠定了基础。

### 附图说明

[0014] 图1是本发明热泵干燥系统示意图。

[0015] 图2是本发明热泵干燥系统工作过程的循环压-焓图(p-h图)。

### 具体实施方式

[0016] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0017] 如图1所示,本发明是一种用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统,该系统包括空气循环回路和制冷剂循环回路,其中制冷剂循环回路配备一台变频压缩机101,变频压缩机101具有变转速功能,可以通过电机频率变化控制变频压缩机101转速,从而调制冷系统内制冷剂的质量流速。变频压缩机101具有吸气口、排气口,变频压缩机101排气口与高压冷凝器102入口相连接,经变频压缩机101压缩,升温升压后的高温制冷剂蒸气进入高压冷凝器102,在其中制冷剂与干燥空气进行热交换,使制冷剂部分冷凝。高压冷凝器102的出口处气液两相制冷剂作为一次流进入喷射器103的喷嘴入口,喷射器103出口与低压冷凝器104的入口相连,两相制冷剂在低压冷凝器104内完全冷凝,低压冷凝器104出口的饱和液态制冷剂进入第一电子膨胀阀105,经过等焓节流过程后,两相制冷剂从第一电子膨胀阀105出口处进入闪蒸器106入口,其中饱和气相制冷剂作为二次流体,被引射至喷射器103二次流入口,饱和液相制冷剂进入过冷器107热端进口,经过冷后的制冷剂进入第二电子膨胀阀108的入口,进行等焓节流过程,第二电子膨胀阀108出口与除湿蒸发器109入口相连,气液两相制冷剂在除湿蒸发器109中与来自干燥箱的高湿湿空气换热,吸热后完全蒸发,除湿蒸发器109出口的饱和气相制冷剂进入过冷器107冷端入口,经过回热后进入变频压缩机101进气口,完成制冷剂循环回路的制冷剂循环;空气循环回路中,经过干燥箱的高湿湿空气首先通过除湿蒸发器109,温度及湿度降低,形成干燥冷空气,干燥冷空气经过低压冷凝器104与制冷剂进行热交换,进行第一次升温,后经过高压冷凝器102与制冷剂进行热交换,进行二次升温,形成高温干燥空气进入干燥箱入口,完成空气循环回路的空气循环。

[0018] 如图2所示,是本发明用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统工作过程的压-焓图(也即p-h图),如图所示的热泵系统工作过程为:制冷剂循环回路的工作过程如下。变频压缩机101排气口处的高温高压过热蒸气状态制冷剂(状态点2)进入高压冷凝器102,与预热过的干燥空气进行换热,使高温干燥空气获得了干燥除湿能力。过热态制冷剂在放出热量部分冷凝后形成气液两相混合制冷剂(状态点3),焓值较高,因此作为一次流体进入喷射器103的喷嘴入口,在喷嘴中膨胀后变为低压高速气液两相混合制冷剂,与从闪蒸器106气相出口的饱和气相制冷剂在喷射器103的混合段进行等压混合,再经喷射器103的扩压段减速升压后以气液两相制冷剂(状态点4)进入低压冷凝器104,对来自除湿蒸发器109的干燥冷空气进行预热,在这个过程中制冷剂完全冷凝,饱和液相制冷剂进入第一电子膨胀阀105(状态点5),经过等焓节流过程后形成气液两相制冷剂(状态点6),进入闪蒸器106,其中饱和气相制冷剂(状态点6v)作为二次流体被引射至喷射器103内,饱和液相制冷剂(状态点6l)进入过冷器107热端入口,与除湿蒸发器109出口处的饱和气相制冷剂(状态点9)进行回热,制冷剂在过冷器107内获得过冷度(状态点7),进入第二电子膨胀阀108,经过等焓节流过程后形成气液两相制冷剂(状态点8),进入除湿蒸发器109吸收热量形成饱和气相制冷剂(状态点9),对来自干燥箱的高湿湿空气进行冷却除湿,随后进入过冷器107冷端入口,为来自闪蒸器106的饱和液相制冷剂提供过冷度,自身获得过热度后返回至变频压缩机101吸气口(状态点1)。本发明通过引入喷射器103实现了对膨胀功的回收,降低了节流型膨胀机构中节流过程的不可逆损失,进而显著提升热泵干燥系统的效率,闪蒸器106和过冷器107增大了除湿蒸发器109前制冷剂的过冷度,提升了除湿蒸发器109的冷却除湿能力,同时过冷器107的回热作用避免了变频压缩机101吸气带液,增强了系统稳定性。

[0019] 如图1所示,本发明用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的控制方法如下,在低压冷凝器104出口处设置温度传感器和压力传感器,获取低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{ro1}$ 、低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{ro1}$ ;在压缩机101吸气口处设置温度传感器和压力传感器,获取压缩机吸气口处制冷剂温度 $T_{ric}$ 、压缩机吸气口处制冷剂压力 $P_{ric}$ ;在干燥箱出口处设置温度传感器,获取干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ ;利用低压冷凝器104出口处制冷剂的温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处的制冷剂是否处于饱和液体状态,以此调控第一电子膨胀阀105的开度;利用压缩机101吸气口处的制冷剂温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处制冷剂的过热度,以此调控第二电子膨胀阀108的开度;采用干燥箱出来的高湿湿空气温度控制变频压缩机101的转速;第一电子膨胀阀105通过检测低压冷凝器104出口处的制冷剂温度和压力参数,实现控制制冷剂流量的目的,第二电子膨胀阀108通过检测变频压缩机101吸气口处的制冷剂过热度,实现控制制冷剂流量的目的。

[0020] 上文所述的用于物料干燥的喷射器增效双冷凝器热泵干燥系统的控制方法,具体实施如下:当检测到干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ 低于预设温度值 $T_{aods}$ 时,控制变频压缩机101提高转速;当检测到干燥箱出口处的高湿湿空气温度 $T_{aod}$ 高于预设温度值 $T_{aods}$ 时,控制变频压缩机101降低转速;当检测到低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{ro1}$ 低于计算得到的与低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{ro1}$ 相同下的饱和液相制冷剂温度,即预设温度值 $T_{ro1s}$ 时,增大第一电子膨胀阀105的开度;当检测到低压冷凝器出口处制冷剂的温度 $T_{ro1}$ 高于计算得到的与低压冷凝器出口处制冷剂的压力 $P_{ro1}$ 相同下的饱和液相制冷剂温度,即

预设温度值 $T_{rois}$ 时,减小第一电子膨胀阀105的开度;当通过检测并计算出压缩机101吸气口处制冷剂的过热度 $\Delta T_{ric}$ 高于预设过热度值 $\Delta T_{rics}$ 时,增大第二电子膨胀阀108的开度;当通过检测并计算出压缩机101吸气口处制冷剂的过热度 $\Delta T_{ric}$ 低于预设过热度值 $\Delta T_{rics}$ 时,减小第二电子膨胀阀108的开度。

[0021] 与常规的单级压缩热泵干燥系统相比,本发明新型热泵干燥系统通过引入喷射器103实现了对传统节流机构的膨胀功的回收,降低了节流型膨胀机构中节流过程的不可逆损失,进而显著提升热泵干燥系统的效率,闪蒸器106和过冷器107增大了除湿蒸发器109前制冷剂的过冷度,提高了制冷剂的单位质量制冷量,提升了除湿蒸发器109的冷却除湿能力,同时过冷器107的回热作用避免了压缩机101吸气带液,增强了系统稳定性。将压缩机101排出的过热制冷剂蒸气在高压冷凝器102与低压冷凝器104梯级冷凝,通过高压冷凝与低压冷凝,实现平均冷凝温度降低,且减少了冷凝换热过程的不可逆损失,综合提升系统效率。采用干燥箱出口的高湿湿空气温度控制变频压缩机101的转速;采用低压冷凝器104出口处的制冷剂温度与压力,并根据制冷剂的热物性方程计算判断出制冷剂是否处于饱和和液体状态,以此调控第一电子膨胀阀105的开度;利用变频压缩机101吸气口处的制冷剂温度和压力,根据制冷剂的热物性方程计算判断出此处制冷剂的过热度,以此调控第二电子膨胀阀108的开度;第一电子膨胀阀105通过检测低压冷凝器104出口处的制冷剂温度和压力参数,实现控制制冷剂流量的目的,第二电子膨胀阀108通过检测变频压缩机101吸气口处的制冷剂过热度,实现控制制冷剂流量的目的。

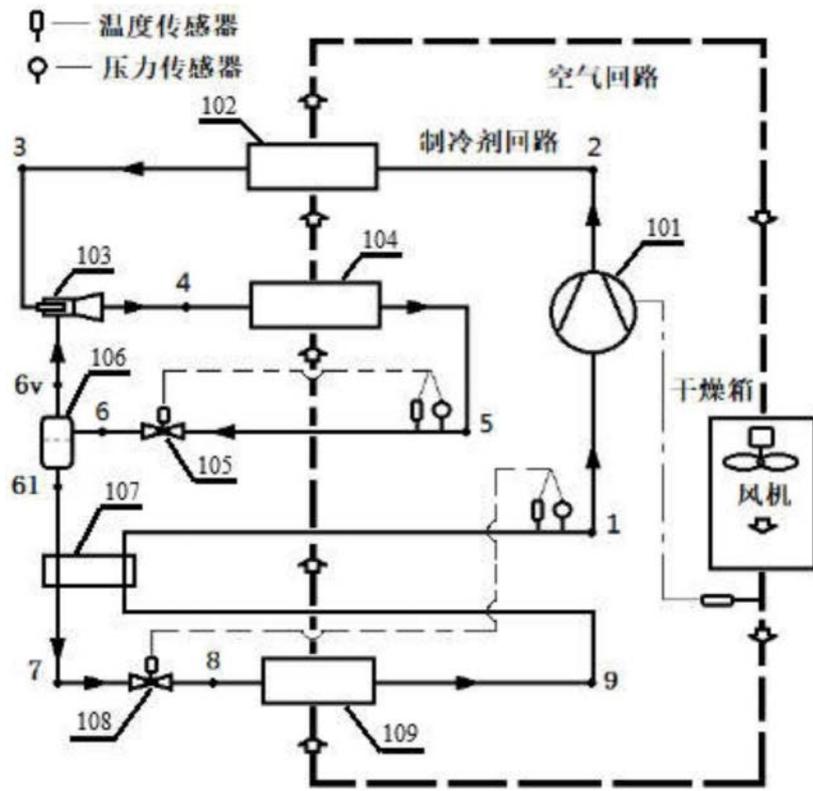


图1

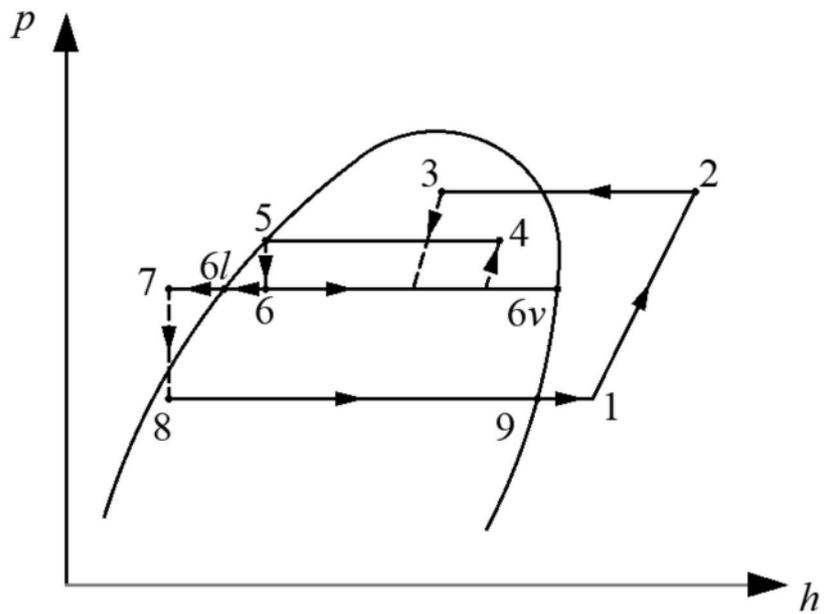


图2