



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114252477 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 29

(21) 申请号 202111658987.2

(22) 申请日 2021.12.30

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 姚远 魏小林 潘利生 李森 宾峰

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390

代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.

G01N 25/20 (2006.01)

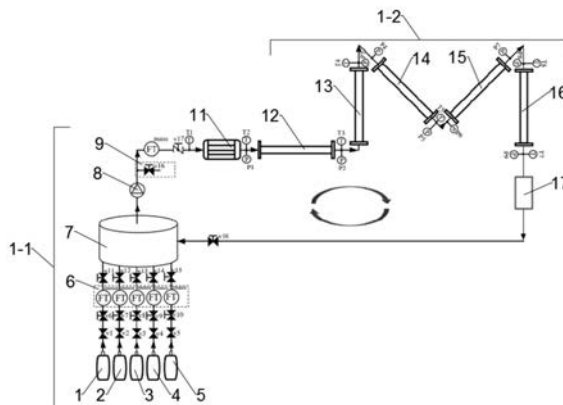
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置

(57) 摘要

本发明公开了一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,包括二氧化碳混合工质配气系统和M型循环实验系统,二氧化碳混合工质配气系统用于存储并提供不同实验参数的混合工质;M型循环实验系统用于提供多个首尾依次串联连接且呈M型分布的微通道换热实验段,每个微通道换热实验段均采用独立工作的加热装置,每个微通道换热实验段的加热温度相同或不等;M型循环实验系统的首尾均与二氧化碳混合工质配气系统连接以形成循环管路,使得同一种组合和实验参数的混合工质重复多次充入M型循环实验系统内进行实验;本发明形成循环实验管路,实现对多种混合工质的物性研究,满足现实工况中局部换热实验段的超高温模拟加热需求。



1. 一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于,包括:

二氧化碳混合工质配气系统(1-1),用于存储并提供实验所需的不同实验参数的混合工质;

M型循环实验系统(1-2),用于提供多个首尾依次串联连接且呈M型分布的微通道换热实验段,每个所述微通道换热实验段均采用独立工作的加热装置,且所述M型循环实验系统(1-2)的多个所述微通道换热实验段的加热温度相同或不等;

所述M型循环实验系统(1-2)的首尾均与所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)连接以形成一个循环管路,使得同一种组合和实验参数的混合工质重复多次充入所述M型循环实验系统(1-2)内进行实验。

2. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述M型循环实验系统(1-2)包括依次连接且呈M型分布的逆重力加速度微通道换热实验段(13)、斜向下微通道换热实验段(14)、斜向上微通道换热实验段(15)以及顺重力加速度微通道换热实验段(16),其中,所述逆重力加速度微通道换热实验段(13)的上游连接有水平微通道换热实验段(12);

其中所述水平微通道换热实验段(12)和所述顺重力加速度微通道换热实验段(16)均与所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)连接,所述M型循环实验系统(1-2)内输出的混合工质重新导入所述M型循环实验系统(1-2)内,以对同一种组合和实验参数的混合工质进行重复多次实验。

3. 根据权利要求2所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述顺重力加速度微通道换热实验段(16)与所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)之间的连接管道上设有制冷装置(17),所述制冷装置(17)用于降低换热后的混合工质的温度,以维持重新返回至所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)的温度达到平衡。

4. 根据权利要求2所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述水平微通道换热实验段(12)、逆重力加速度微通道换热实验段(13)、斜向下微通道换热实验段(14)、斜向上微通道换热实验段(15)以及顺重力加速度微通道换热实验段(16)的管道外设置独立调控的加热装置,每个所述加热装置采用微通道燃烧、电阻焦耳释热、熔盐浴以及水浴的一种方式或者多种加热方式,且每个加热装置通过调控多个加热方式的组合以设定不同的加热温度,其中,

每个加热装置通过调控多个加热方式的组合设定加热温度范围为0~3000℃。

5. 根据权利要求4所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:电阻焦耳释热加热装置采用单面电阻丝网络或双面电阻丝网络对各微通道换热实验段进行加热;

且电阻焦耳释热加热装置通过电阻丝网络布置的稀疏,实现均匀或者非均匀加热;

且所述电阻丝网络的布置形状为工字型,且工字型的所述电阻丝网络的四个末端设置有突起,所述电阻丝网络将热流引导至四个所述的突起,以模拟新能源热源的非均匀加热以及存在局部热点的现实工况。

6. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)连接有配气控制系统,所述配气控制系统用于调控所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)提供所需的不同实验参数,并监控所述二氧化

碳混合工质配气系统(1-1)连接管路的实验参数数据;

所述M型循环实验系统(1-2)连接有循环实验控制系统,所述循环实验控制系统用于独立调控每个所述微通道换热实验段的加热装置的加热方式,以及监控每个所述微通道换热实验段内的混合工质的工作状态。

7. 根据权利要求3所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述水平微通道换热实验段(12)、逆重力加速度微通道换热实验段(13)、斜向下微通道换热实验段(14)、斜向上微通道换热实验段(15)和顺重力加速度微通道换热实验段(16)的管道内,以及所述顺重力加速度微通道换热实验段(16)与所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)的连接管道内均设有至少两个压力传感器和至少两个温度传感器;

所述压力传感器和温度传感器连接在循环实验控制系统的输入端,所述加热装置和制冷装置(17)连接在循环实验控制系统的输出端,所述循环实验控制系统基于实验设定和所述温度传感器的输出值调控所述加热装置和制冷装置(17)的工作。

8. 根据权利要求7所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述水平微通道换热实验段(12)、逆重力加速度微通道换热实验段(13)、斜向下微通道换热实验段(14)、斜向上微通道换热实验段(15)和顺重力加速度微通道换热实验段(16)内的压力传感器安装在各实验段的前后两端,且所述水平微通道换热实验段(12)、逆重力加速度微通道换热实验段(13)、斜向下微通道换热实验段(14)、斜向上微通道换热实验段(15)和顺重力加速度微通道换热实验段(16)内的温度传感器安装在各实验段的前后两端。

9. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述二氧化碳混合工质配气系统(1-1)包括多个气体存储罐,多个所述存储罐连接在同一个混合工质缓冲罐(7)内,多个所述气体存储罐通过不同组合方式以及不同的实验参数形成多种混合工质,所述混合工质缓冲罐(7)与所述M型循环实验系统(1-2)首部的微通道换热管道连接,且M型循环实验系统(1-2)尾部的微通道换热管道也与所述混合工质缓冲罐(7)连接。

10. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述混合工质的组分浓度配比为体积分数,所述混合工质的组分浓度配比具体为二氧化碳90%~100%、丙烷0%~10%、丙烯0%~10%、一氟乙烷0%~10%、二氟乙烷0%~10%。

11. 根据权利要求10所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于:所述混合工质缓冲罐(7)的底部设有连接多个所述气体存储罐的输出管道的旋流器(18),所述旋流器(18)的侧曲面上设有多个与所述气体存储罐连接的小水利直径入口,多个所述小水利直径入口分布在同一个圆面上,两个相邻的所述小水利直径入口之间的夹角相同,且每个所述小水利直径入口分布在该圆的切线方向,所述气体存储罐内的气体工质沿着所述小水利直径入口的喷射流速方向与所述圆面相切,所述小水利直径入口使每个所述气体存储罐内的工质进入所述混合工质缓冲罐(7)时形成高速旋流。

12. 根据权利要求9所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于,每个所述气体存储罐与所述混合工质缓冲罐(7)的连接管路上依次设有减压阀、截止阀、质量流量计(6)和截止阀,且所述混合工质缓冲罐(7)与所述M型循环实验系统(1-2)的连接管路上设有二氧化碳高压泵(8)和采样口(9);

其中,所述减压阀用于降低并控制每个气体工质的输出压力;
所述质量流量计(6)用于测量每个气体工质的流体流量;
所述截止阀用于截断流体;
所述二氧化碳高压泵(8)用于为M型循环实验系统(1-2)提供动力和流动方向;
所述采样口(9)用于测量所述混合工质缓冲罐(7)与所述M型循环实验系统(1-2)的连接管路中的混合工质的组分浓度。

13.根据权利要求1所述的一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,其特征在于,在所述微通道换热实验段设置石英玻璃观察管。

一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置

技术领域

[0001] 本发明涉及新能源热源换热装置技术领域,具体涉及一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置。

背景技术

[0002] 新能源资源丰富,普遍具备可再生特性,不含碳或含碳量很少,对环境影响小,但是成本高、转换效率低,能量密度低使得开发利用需要较大空间,受环境或者工艺影响间断且波动式供应导致热源温度宽域(0~1600℃以上)、无法持续供能,且中低温热源能量无法回收或者回收效率低,因此新能源利用技术的提高至关重要。

[0003] 二氧化碳具有无毒、不燃、热稳定性强、热性能优良等特点,可作为替代工质用于动力循环,在新能源发电领域具有广阔的应用前景,二氧化碳工质跨临界循环适用于热源温度宽域(包括中低温热源),有利于提高能源利用效率,但是工作压力较高,压比很低,对换热装置提出较高要求。

[0004] 现有的新能源热源换热实验装置还存在的缺陷如下:

[0005] (1)大多在同一微通道换热管道的壁面设置非均匀加热机构,模拟新能源热源跨临界二氧化碳余热回收利用装置中换热管道的热量非均匀特征,但是单一电加热方式无法满足现实工况不同微通道换热管道的某个管道超高温模拟加热需求;

[0006] (2)大多利用二氧化碳这一单一实验工质,单一实验工质物性特性限制循环效率,缺乏对混合工质物性优化实验研究。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,以解决现有技术中单一电加热方式无法满足现实工况不同微通道换热管道的某个管道超高温模拟加热需求,单一实验工质物性特性限制循环效率,缺乏对混合工质物性优化实验研究的技术问题。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0009] 一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,包括:

[0010] 二氧化碳混合工质配气系统,用于存储并提供实验所需的不同实验参数的混合工质;

[0011] M型循环实验系统,用于提供多个首尾依次串联连接且呈M型分布的微通道换热实验段,每个所述微通道换热实验段均采用独立工作的加热装置,所述加热装置通过微通道燃烧加热方式实现加热,以使得所述M型循环实验系统的每个所述微通道换热实验段的加热温度相同或不等;

[0012] 其中,所述M型循环实验系统的首尾均与所述二氧化碳混合工质配气系统连接以形成一个循环管路,使得同一种组合和实验参数的混合工质重复多次充入所述M型循环实验系统内进行实验。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,所述M型循环实验系统包括依次连接且呈M型分布的逆重力加速度微通道换热实验段、斜向下微通道换热实验段、斜向上微通道换热实验段以及顺重力加速度微通道换热实验段,其中,所述逆重力加速度微通道换热实验段的上游连接有水平微通道换热实验段;

[0014] 其中所述水平微通道换热实验段和所述顺重力加速度微通道换热实验段均与所述二氧化碳混合工质配气系统连接,所述M型循环实验系统内输出的混合工质重新导入所述M型循环实验系统内,以对同一种组合和实验参数的混合工质进行重复多次实验。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,所述顺重力加速度微通道换热实验段与所述二氧化碳混合工质配气系统之间的连接管道上设有制冷装置,所述制冷装置用于降低换热后的混合工质的温度,以维持重新返回至所述二氧化碳混合工质配气系统的温度达到平衡。

[0016] 作为本发明的一种优选方案,所述水平微通道换热实验段、逆重力加速度微通道换热实验段、斜向下微通道换热实验段、斜向上微通道换热实验段以及顺重力加速度微通道换热实验段的管道外设置独立调控的加热装置,且每个加热装置采用微通道燃烧、电阻焦耳释热、熔盐浴以及水浴的一种方式或者多种加热装置,每个加热装置通过调控多个加热方式的组合以设定不同的加热温度,其中,

[0017] 每个加热装置通过调控多个加热方式的组合设定的加热温度范围为 $0^{\circ}\text{C}\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 。

[0018] 作为本发明的一种优选方案,所述电阻焦耳释热加热装置采用单面电阻丝网络或双面电阻丝网络对各微通道换热实验段进行加热;

[0019] 且所述电阻焦耳释热加热装置通过电阻丝网络布置的稀疏,实现均匀或者非均匀加热;

[0020] 且所述电阻丝网络的布置形状为工字型,且工字型的所述电阻丝网络的四个末端设置有突起,工字型的所述电阻丝网络将热流引导至四个所述的突起,以模拟新能源热源的非均匀加热以及存在局部热点的现实工况。

[0021] 作为本发明的一种优选方案,所述二氧化碳混合工质配气系统连接有配气控制系统,所述配气控制系统用于调控所述二氧化碳混合工质配气系统提供所需的不同实验参数,并监控所述二氧化碳混合工质配气系统连接管路的实验参数数据;

[0022] 所述M型循环实验系统连接有循环实验控制系统,所述循环实验控制系统用于独立调控每个所述微通道换热实验段的加热装置的加热方式,以及监控每个所述微通道换热实验段内的混合工质的工作状态。

[0023] 作为本发明的一种优选方案,所述水平微通道换热实验段、逆重力加速度微通道换热实验段、斜向下微通道换热实验段、斜向上微通道换热实验段和顺重力加速度微通道换热实验段的管道内,以及所述顺重力加速度微通道换热实验段与所述二氧化碳混合工质配气系统的连接管道内均设有至少两个压力传感器和至少两个温度传感器;

[0024] 所述压力传感器和温度传感器连接在循环实验控制系统的输入端,所述加热装置和制冷装置连接在循环实验控制系统的输出端,所述循环实验控制系统基于实验设定和所述温度传感器的输出值调控所述加热装置和制冷装置的工作。

[0025] 作为本发明的一种优选方案,所述水平微通道换热实验段、逆重力加速度微通道换热实验段、斜向下微通道换热实验段、斜向上微通道换热实验段和顺重力加速度微通道

换热实验段内的压力传感器安装在各实验段的前后两端,且所述水平微通道换热实验段、逆重力加速度微通道换热实验段、斜向下微通道换热实验段、斜向上微通道换热实验段和顺重力加速度微通道换热实验段内的温度传感器安装在各实验段的前后两端。

[0026] 作为本发明的一种优选方案,所述二氧化碳混合工质配气系统包括多个气体存储罐,多个所述存储罐连接在同一个混合工质缓冲罐内,多个所述气体存储罐通过不同组合方式以及不同的实验参数形成多种混合工质,所述混合工质缓冲罐与所述M型循环实验系统头部的微通道换热管道连接,且M型循环实验系统尾部的微通道换热管道也与所述混合工质缓冲罐连接。

[0027] 作为本发明的一种优选方案,所述混合工质的组分浓度配比为体积分数,所述混合工质的组分浓度配比具体为二氧化碳90%~100%、丙烷0%~10%、丙烯0%~10%、一氟乙烷0%~10%、二氟乙烷0%~10%。

[0028] 作为本发明的一种优选方案,所述混合工质缓冲罐的底部设有连接多个所述气体存储罐的输出管道的旋流器,所述旋流器的侧曲面上设有多个与所述气体存储罐连接的小水利直径入口,多个所述小水利直径入口分布在同一个圆上,两个相邻的所述小水利直径入口之间的夹角相同,且每个所述小水利直径入口分布在该圆的切线方向,所述气体存储罐内的气体工质沿着所述小水利直径入口的喷射流速方向与所述该圆相切,所述小水利直径入口使每个所述气体存储罐内的工质进入所述混合工质缓冲罐时形成高速旋流。

[0029] 作为本发明的一种优选方案,每个所述气体存储罐与所述混合工质缓冲罐的连接管路上依次设有减压阀、截止阀、质量流量计和截止阀,且所述混合工质缓冲罐与所述M型循环实验系统的连接管路上设有二氧化碳高压泵和采样口;

[0030] 其中,所述减压阀用于降低并控制每个气体工质的输出压力;

[0031] 所述质量流量计用于测量每个气体工质的流体流量;

[0032] 所述截止阀用于截断流体;

[0033] 所述二氧化碳高压泵用于为M型循环实验系统提供动力和流动方向;

[0034] 所述采样口用于测量所述混合工质缓冲罐与所述M型循环实验系统的连接管路中的混合工质的组分浓度。

[0035] 作为本发明的一种优选方案,在所述微通道换热实验段设置石英玻璃观察管。

[0036] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:

[0037] (1) 本发明的五个微通道换热实验段用于模拟新能源热源跨临界二氧化碳余热回收利用装置中换热管道的真实布置情况,使得模拟输出数据更加接近实际情况,且将同一组实验参数的混合工质重复实验,方便实现混合工质的物性优化。

[0038] (2) 本发明的各微通道换热实验段采用单独的加热装置,可以通过控制加热系统开关来选择使用单个或多个实验段开展实验,从而每个微通道换热实验段的加热温度可以控制相同或者不同,满足现实工况中局部换热实验段的超高温模拟加热需求。

附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,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

提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0040] 图1为本发明实施例提供的结构示意图；

[0041] 图2为本发明实施例提供的旋流器结构示意图；

[0042] 图3为本发明实施例提供的工字型电阻丝网络的结构示意图。

[0043] 图中的标号分别表示如下：

[0044] 1-1:二氧化碳混合工质配气系统;1-2:M型循环实验系统;

[0045] 1:二氧化碳存储瓶/罐;2:丙烷存储瓶/罐;3:丙烯存储瓶/罐;4:一氟乙烷存储瓶/罐;5:二氟乙烷存储瓶/罐;6:质量流量计;7:混合工质缓冲罐;8:二氧化碳高压泵;9:采样口;11:预热段;12:水平微通道换热实验段;13:逆重力加速度微通道换热实验段;14:斜向下微通道换热实验段;15:斜向上微通道换热实验段;16:顺重力加速度竖直微通道换热实验段;17:制冷装置;18:旋流器。

具体实施方式

[0046] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅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做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。

[0047] 如图1所示,本发明提供了一种二氧化碳混合工质的循环微通道换热实验装置,包括二氧化碳混合工质配气系统1-1、配气控制系统以及M型循环实验系统1-2。

[0048] 其中,二氧化碳混合工质配气系统1-1用于存储并提供实验所需的混合工质,配气控制系统与二氧化碳混合工质配气系统1-1连接,配气控制系统用于调控二氧化碳混合工质配气系统1-1提供所需的不同组合且不同实验参数的混合工质。

[0049] 二氧化碳混合工质配气系统1-1提供的工质可选为二氧化碳、丙烷、丙烯、一氟乙烷和二氟乙烷,其中实验参数具体为组分、浓度、流量/流速、压力,配气控制系统调控二氧化碳、丙烷、丙烯、一氟乙烷和二氟乙烷按照不同的组分、浓度、流量/流速、压力形成混合工质,为实现装置提供不同的实验工况。

[0050] M型循环实验系统1-2用于提供多个首尾依次串联连接且呈M型分布的微通道换热实验段,每个微通道换热实验段均采用独立工作的加热装置,所述加热装置通过微通道燃烧加热方式实现加热,以使得M型循环实验系统1-2的每个微通道换热实验段的加热温度相同或不等。

[0051] 五个实验段采用串联方式依次连接,在同一竖直平面内呈多一横的M形状,M型循环实验系统1-2的管道分布情况用于模拟新能源热源跨临界二氧化碳余热回收利用装置中换热管道的真实布置情况,用于研究模拟新能源热源温度宽域工况下的跨临界二氧化碳混合工质在微通道结构中的流动及换热性能。

[0052] 而作为本实施方式的创新点,各微通道换热实验段采用单独的加热装置,可以通过控制加热系统开关来选择使用单个或多个实验段开展实验,从而每个微通道换热实验段的加热温度可以控制相同或者不同,满足现实工况中局部换热实验段的超高温模拟加热需求。

[0053] 其中,M型循环实验系统1-2的首尾均与二氧化碳混合工质配气系统1-1连接以形

成一个循环管路,使得同一种组合和实验参数的混合工质重复多次充入M型循环实验系统1-2内进行实验。

[0054] 需要补充说明的是,M型循环实验系统1-2与二氧化碳混合工质配气系统1-1形成的循环管路外设有绝热保温系统,减少实验装置与环境的热交换,绝热保温系统采用双层材料,一层包裹2~5mm厚保温棉减少导热损失,二层包裹1~10层铝箔纸降低辐射换热损失,并用铝箔胶带进行连接。

[0055] 在本实施方式中,二氧化碳混合工质配气系统1-1包括多个气体存储罐,多个存储罐连接在同一个混合工质缓冲罐7内,多个气体存储罐通过不同组合方式以及不同的实验参数形成多种混合工质,混合工质缓冲罐7与M型循环实验系统1-2头部的微通道换热管道连接,且M型循环实验系统1-2尾部的微通道换热管道也与混合工质缓冲罐7连接。

[0056] 一般情况下,混合工质的组分浓度配比为体积分数,混合工质的组分浓度配比具体为二氧化碳90%~100%、丙烷0%~10%、丙烯0%~10%、一氟乙烷0%~10%、二氟乙烷0%~10%,本实施方式利用混合工质特性解决纯二氧化碳工质压比过低的问题,通过调节混合工质组分浓度寻求最佳配比和压比。

[0057] 其中,气体存储罐分为二氧化碳存储瓶/罐1、丙烷存储瓶/罐2、丙烯存储瓶/罐3、一氟乙烷存储瓶/罐4、以及二氟乙烷存储瓶/罐5,每个气体存储罐与混合工质缓冲罐7的连接管路上依次设有减压阀、截止阀、质量流量计6和截止阀。

[0058] 其中,减压阀用于降低并控制每个气体工质的输出压力;

[0059] 质量流量计6用于测量每个气体工质的流体流量;

[0060] 截止阀用于截断流体。

[0061] 其中,减压阀可选择一级减压阀和二级减压阀使用。一级减压阀可以控制工质的输出压力降至1MPa,二级减压阀可以控制工质的输出压力降至0~0.5MPa。根据气体性能分别定制,二氧化碳采用普通减压阀,丙烷、丙烯、一氟乙烷、二氟乙烷采用可燃气体减压阀,保证安全。

[0062] 质量流量计6根据气体流量分别定制不同量程,二氧化碳采用大量程质量流量计6,考虑到二氧化碳汽化吸热容易导致存储瓶/罐及其出口管道结霜,特别是冬季环境温度低,配气系统难以提供大流量、稳定的流量这一技术难点,通常采用串联存储瓶/罐的形式供工质。丙烷、丙烯、一氟乙烷、二氟乙烷采用小量程质量流量计6提高精度。

[0063] 在本实施方式中,减压阀和截止阀的具体安装和分布如图2中的标记v1-v5以及v6-v10,质量流量计6的安装和分布具体如图2中的标记FT,在此不做赘述。

[0064] 混合工质缓冲罐7一方面可以缓解高流速混合工质对实验段管路的冲击力,另一方面可用于将多个工质进行混合,并将每个工质按照不同的实验参数浓度、流量/流速、压力,形成给定工况的混合工质。

[0065] 由于气体存储罐存储的工质气压比较大,因此为了避免工质混合时对冲增加阻力、导致不稳定,如图2所示,本实施方式在混合工质缓冲罐7的底部设有连接多个气体存储罐的输出管道的旋流器18,旋流器18的侧曲面上设有多个与气体存储罐连接的小水利直径入口,多个小水利直径入口分布在同一个圆上,两个相邻的小水利直径入口之间的夹角相同,且每个小水利直径入口分布在该圆的切线方向,气体存储罐内的气体工质沿着小水利直径入口的喷射流速方向与该圆相切,小水利直径入口使每个气体存储罐内的工质进入混

合工质缓冲罐7时形成高速旋流。

[0066] 混合工质缓冲罐7与M型循环实验系统1-2的连接管路上设有二氧化碳高压泵8和采样口9;二氧化碳高压泵8用于为M型循环实验系统1-2提供动力和流动方向;采样口9用于测量混合工质缓冲罐7与M型循环实验系统1-2的连接管路中的混合工质的组分浓度。

[0067] 进一步的,为了在混合工质通入M型循环实验系统1-2之前,将混合工质加热到实验工况给定的温度,从而保证M型循环实验系统1-2的每个实验段对流动工质进行及时加热,在混合工质缓冲罐7与M型循环实验系统1-2的连接管路上还设有预热段11,其中,预热段11采用电阻丝缠绕均匀加热方式。

[0068] 为了调控二氧化碳混合工质配气系统1-1输出的混合工质中的各个二氧化碳、丙烷、丙烯、一氟乙烷以及二氟乙烷的组分、浓度、温度、压力、流量,本实施方式利用配气控制系统调控二氧化碳混合工质配气系统1-1的工质混合和输出。

[0069] 配气控制系统包括在线压力/温度数据采集仪、在线组分浓度采集用气相色谱仪或烟气分析仪,以及显示记录及控制调节用计算机硬件及软件等。在线组分浓度采集用气相色谱仪或烟气分析仪,以及在线压力/温度数据采集仪可以检测、监视、控制调节并记录实验过程中由配气系统供给的二氧化碳混合工质组成及浓度、压力、流量、阀门开闭及开度、二氧化碳泵功率及转速等参数数据,监测进入M型循环实验系统的混合工质是否达到标准给定工况,实验数据及结果是否可靠,与循环实验系统的各个环节形成反馈,保障二氧化碳混合工质配气系统供气过程的安全高效进行。

[0070] 在本实施方式中,二氧化碳混合工质配气系统1-1和M型循环实验系统1-2形成一个循环的管路,这样从M型循环实验系统1-2排出的混合工质可以重新输入至M型循环实验系统1-2,以使得该混合工质可以重复多次使用,以实现节能减排降低消耗。

[0071] 具体的细节如下,M型循环实验系统1-2包括依次连接且呈M型分布的逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15以及顺重力加速度微通道换热实验段16,其中,逆重力加速度微通道换热实验段13的上游连接有水平微通道换热实验段12。

[0072] 水平微通道换热实验段12和顺重力加速度微通道换热实验段16均与二氧化碳混合工质配气系统1-1连接,M型循环实验系统1-2内输出的混合工质重新导入M型循环实验系统1-2内,以对同一种组合和实验参数的混合工质进行重复多次实验。

[0073] 重复多次实验的目的在于:实验过程一般需要半小时到一小时达到稳定,再记录实验数据,一方面可以节约工质减少排放,排放过多二氧化碳对周边的实验人员有一定危险,另一方面用气瓶持续供给工质容易产生波动性,重复循环下工质的流量确定,有利于实验稳定。

[0074] 因此在本实施方式中,还可以架设至少两种相同的微通道换热实验装置,通过更改M型循环实验系统1-2的微通道换热实验段的分布角度,只要调控混合工质的实验参数相同且两个微通道换热实验装置的加热方式相同,通过监测M型循环实验系统1-2的最后一个实验段输出的混合工质的温度以及气压,来进一步的验证M型循环实验系统的实验段布置方式及重力加速度的影响规律。

[0075] 经实验证明,逆重力加速度微通道换热实验段13为竖直状态,斜向下微通道换热实验段14的倾角为 45° ,斜向上微通道换热实验段15为竖直状态,以及顺重力加速度微通道

换热实验段16的倾角为45°时,此时的气体流速和及传热效率最高。

[0076] 另外,水平微通道换热实验段12、逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15以及顺重力加速度微通道换热实验段16的管道外设置独立调控的加热装置,且每个加热装置采用微通道燃烧、电阻焦耳释热、熔盐浴以及水浴的一种方式或者多种加热装置,每个加热装置通过调控多个加热方式的组合以设定不同的加热温度,其中,每个加热装置通过调控多个加热方式的组合设定的加热温度范围为0℃~3000℃。

[0077] 0℃~3000℃为模拟新能源热源温度宽域的加热工作温度,而微通道燃烧、电阻焦耳释热、熔盐浴以及水浴的一种方式或者多种加热装置的组合,可以满足工况要求均匀、非均匀、高热流密度、或者高精度恒温环境的实验要求。

[0078] 其中,微通道燃烧加热装置通常采用气/液体燃料燃烧的方式,燃料可以为煤气、液化石油气、氢气、乙炔等,助燃气可以为氧气、空气等,可以提供800~3000℃非均匀、高热流密度、高工作温度,模拟新能源热源能量/热能/热流/温度峰值、非均匀加热、存在局部热点的复杂工况。

[0079] 电阻焦耳释热加热装置可以提供0~2000℃的加热工作温度,电阻焦耳释热加热装置采用单面电阻丝网络或双面电阻丝网络对各微通道换热实验段进行加热,通过电阻丝网络布置的稀疏完成均匀或者非均匀加热,且电阻丝网络布置的形状,完成蛇型、工字型或者其他形式的加热。

[0080] 本实施方式优选为工字型加热形式,如图3所示,工字型加热形式可以将热流引导至电阻丝网络的四个末端的每个突起,以模拟新能源热源能量/热能/热流/温度峰值、非均匀加热、存在局部热点的复杂工况,相比微通道燃烧加热方式,可以人为确定热点位置,但无法模拟极高温工况。

[0081] 突起实现非均匀加热的原理为:

[0082] 参照避雷针尖端放电原理,工字型四个突起作为加热器的尖端,产生热流汇聚的作用,因此这4个位置是加热热流密度最大或者说容易产生局部热点的区域,因此这种加热方式是非均匀的;由于工字型电阻丝的粗细不同、布置位置未覆盖整个被加热壁面,会形成非均匀加热;另外,工字型加热电阻丝布置可以是1个或者多个,之间位置布置灵活,也会形成非均匀加热。

[0083] 微通道熔盐浴装置可以提供140~540℃均匀、偏差±1℃以内高精度恒温环境,模拟真实新能源热源工况。

[0084] 微通道水浴装置可以提供0~100℃均匀、偏差±1℃以内高精度恒温环境,模拟新能源热源能量/热能/热流/温度谷底工况。

[0085] 因此水平微通道换热实验段12、逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15以及顺重力加速度微通道换热实验段16五个实验段上,均配置有一个加热装置,而加热装置采用微通道燃烧、电阻焦耳释热、熔盐浴以及水浴的一种方式或者多种方式,按照排列组合的计算规则,每个实验段12的加热方式和加热温度可以调控为不同或者相同,因此可以实现对其中一个实验段的超高温加热极值3000℃,满足现实工况局部超高温模拟加热需求。

[0086] 上述加热方式优选微通道燃烧的家人方式。

[0087] 作为优选,上述的加热装置可开展进一步的热利用,分为低温<200℃和中高温>200利用。目前低温利用主要有供热/采暖、空调制冷、供热水、干燥、蒸馏、温室等,中高温利用主要有余热锅炉产蒸汽、发电等,实现系统功能多样化。

[0088] 在顺重力加速度微通道换热实验段16通过与二氧化碳混合工质配气系统1-1之间的连接管道将混合工质重新返回至二氧化碳混合工质配气系统1-1内,而由于顺重力加速度微通道换热实验段16排出的混合工质的气温比较高,因此为了实现混合工质的回收利用,以及下一次的实验段加热回收稳定性,本实施方式在顺重力加速度微通道换热实验段16与二氧化碳混合工质配气系统1-1之间的连接管道上设有制冷装置17,制冷装置17用于降低换热后的混合工质的温度,以维持重新返回至二氧化碳混合工质配气系统1-1的温度达到平衡。以使得整个实验系统加热量(热量输入)和制冷量(热量输出)相等,使得每次循环的入口条件如温度、压力、流量相等,维持实验工况的稳定和统一,数据的有效性。

[0089] 水平微通道换热实验段12、逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15和顺重力加速度微通道换热实验段16的管道内,以及顺重力加速度微通道换热实验段16与二氧化碳混合工质配气系统1-1的连接管道内均设有至少两个压力传感器和至少两个温度传感器。

[0090] 水平微通道换热实验段12、逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15和顺重力加速度微通道换热实验段16内的压力传感器安装在各实验段的前后两端,且水平微通道换热实验段12、逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15和顺重力加速度微通道换热实验段16内的温度传感器安装在各实验段的前后两端。

[0091] 压力传感器和温度传感器连接在循环实验控制系统的输入端,加热装置和制冷装置17连接在循环实验控制系统的输出端,循环实验控制系统基于实验设定和温度传感器的输出值调控加热装置和制冷装置17的工作。

[0092] 压力传感器用于测量每个实验段前后管道内流体压力,计算得到混合工质在每个实验段沿程或局部压降,即压力损失,其中在本实施方式中,压力传感器的数量至少为9个,其中设置在水平微通道换热实验段12后端的压力传感器P2,也可作为用于监测逆重力加速度微通道换热实验段13前端流体压力的压力传感器。

[0093] 压力传感器分别为设置在水平微通道换热实验段12前后的压力传感器P1和压力传感器P2、设置在逆重力加速度微通道换热实验段13前后的压力传感器P2和压力传感器P3、设置在斜向下微通道换热实验段14前后的压力传感器P4和压力传感器P5、设置在斜向上微通道换热实验段15前后的压力传感器P6和压力传感器P7,以及设置在顺重力加速度微通道换热实验段16前后的压力传感器P8和压力传感器P9。

[0094] 温度传感器用于测量各个微通道换热实验段前后管道内流体温度,计算得到进出口温差、热流密度以及实验段的传热系数等,其中,在本实施方式中,温度传感器的数量至少为6个,前一个实验段后端的温度传感器检测到的输出的混合工质的温度值,可以作为下一个实验段前端输入的混合工质的温度值。

[0095] 因此温度传感器分别为设置在水平微通道换热实验段12前后的温度传感器T2和温度传感器T3、设置在逆重力加速度微通道换热实验段13后端的温度传感器T4、设置在斜向下微通道换热实验段14后端的温度传感器T5、设置在斜向上微通道换热实验段15后端的

温度传感器T6,以及设置在顺重力加速度微通道换热实验段16后端的温度传感器T7。

[0096] 进一步补充说明的是,五个实验段均包括法兰、不锈钢管道、石英玻璃观察管,即相邻的两个不锈钢管道通过法兰连接各换热实验段;石英玻璃观察管用于观察混合工质流型变化。

[0097] 每个实验段的不锈钢管道可以为圆型管或者扁平管。圆型管长为0.1~1m,直径为1~5mm;扁平管长为0.1~1m,宽为1~2mm,高为5~6mm。采用扩散焊、真空钎焊、印刷电路板焊等紧凑式换热器加工工艺。

[0098] 需要补充说明的是,M型循环实验系统1-2内安装有循环实验控制系统,循环实验控制系统包括可视化图像录制及处理用高速摄像机、热图像和温度采集用红外热像仪、显示记录及控制调节用计算机硬件及PCC软件等。

[0099] 综上所述,本实施方式的混合工质M型循环微通道换热实验装置的工作原理具体为:

[0100] (一)二氧化碳混合工质配气系统1-1中的多个工质存储瓶/罐中的纯工质根据给定工况的要求,经过质量流量计6进入混合工质缓冲罐7中进行混合;

[0101] (二)二氧化碳高压泵8将混合工质缓冲罐7中的混合工质流过质量流量计,泵入M型循环实验系统的预热段11,将混合工质温度调节到给定工况;

[0102] (三)调节到给定工况的混合工质再依次流入水平微通道换热实验段12、逆重力加速度微通道换热实验段13、斜向下微通道换热实验段14、斜向上微通道换热实验段15、顺重力加速度微通道换热实验段16,完成实验;

[0103] (四)由于各实验段的加热装置是独立的,因此通过控制加热装置实现各实验段单独或者组合型实验,且每个实验段的加热装置的加热方式也可以组合或者独立操作,从而使得五个实验段的加热温度各不相同或者完全相同,来模拟现实工况中的热量分布不均匀的情景;

[0104] (五)实验完成后的混合工质流入制冷装置17降温至实验前温度,再送入配气系统的混合工质缓冲罐7中,形成一个循环。可以进行循环实验或者将循环工质由采样口9排出结束,由于部分工质具有毒性和可燃性,后续需按标准进行处理;如果实验为纯工质,还可以将工质导入存储瓶/罐中回收,以便下一次使用。各个实验段的温度传感器和压力传感器均连接到M型循环实验系统1-2,温度传感器和压力传感器可以检测、监视并记录主体工作过程中混合工质温度、压力参数数据;质量流量计可以检测、监视并记录主体工作过程中混合工质流量参数数据;可视化图像录制及处理用高速摄像机可以检测、监视并记录主体工作过程中混合工质流型参数数据;加热装置可以检测、监视、控制调节并记录主体工作过程中混合工质加热电压及电流参数数据;各个阀门可以控制调节主体工作过程中制冷装置节流阀开度、阀门开关及开度。

[0105] 在所述微通道换热实验段设置石英玻璃观察管,以实现微通道换热实验段内的可视化观察。

[0106] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

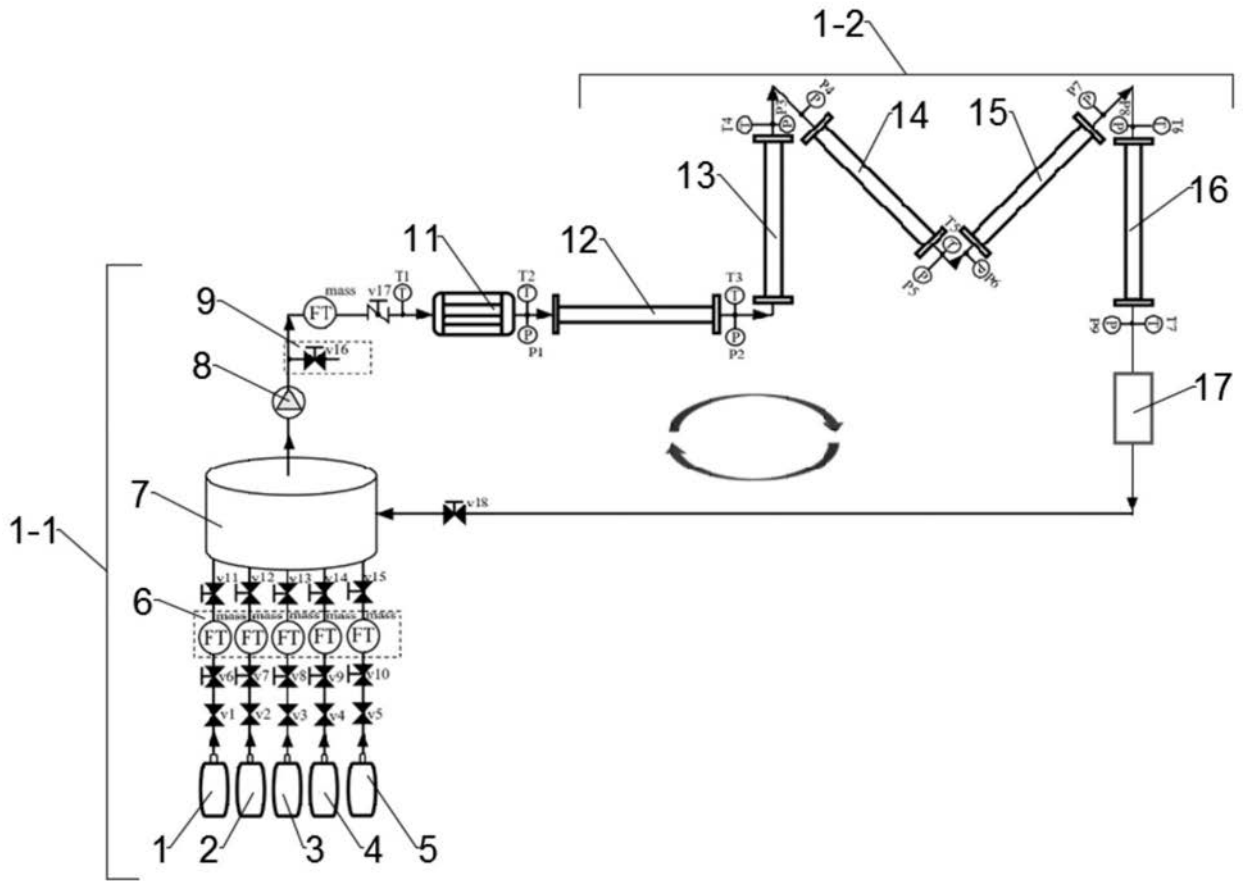


图1

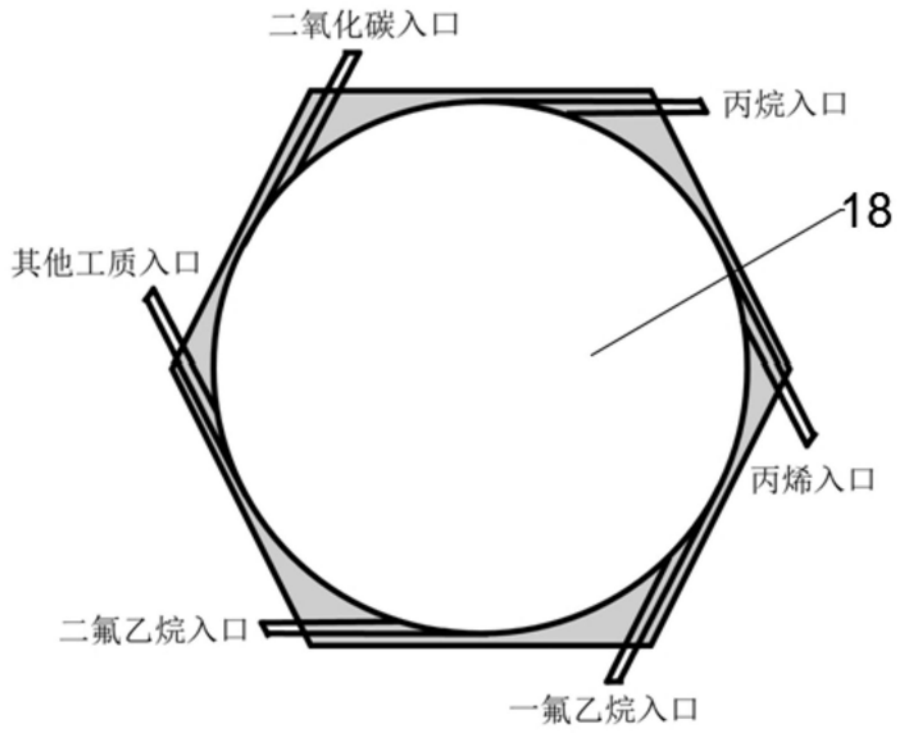


图2

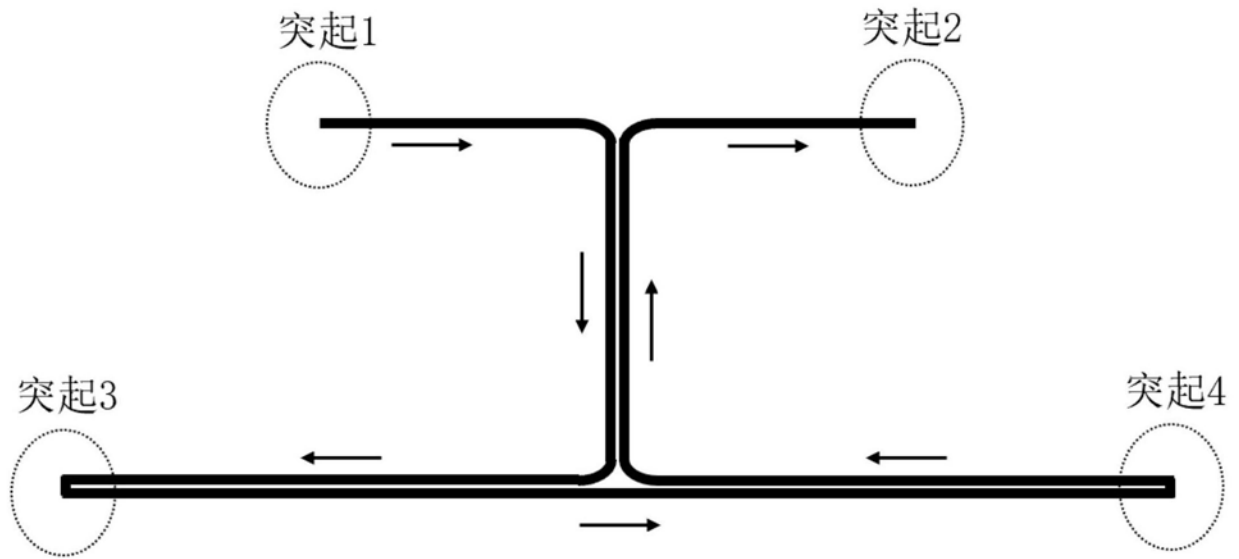


图3