



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117928882 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 29

(21) 申请号 202311561902.8

G01M 9/08 (2006.01)

(22) 申请日 2023.11.22

G01M 9/04 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 117928882 A

(56) 对比文件

CN 108458852 A, 2018.08.28

CN 110207936 A, 2019.09.06

(43) 申请公布日 2024.04.26

CN 110514388 A, 2019.11.29

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 117588467 A, 2024.02.23

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 117589415 A, 2024.02.23

审查员 任兴

(72) 发明人 吴松 彭毅 盛三川 喻江

何小龙 李福松

(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

专利代理师 席卷

(51) Int. Cl.

G01M 9/06 (2006.01)

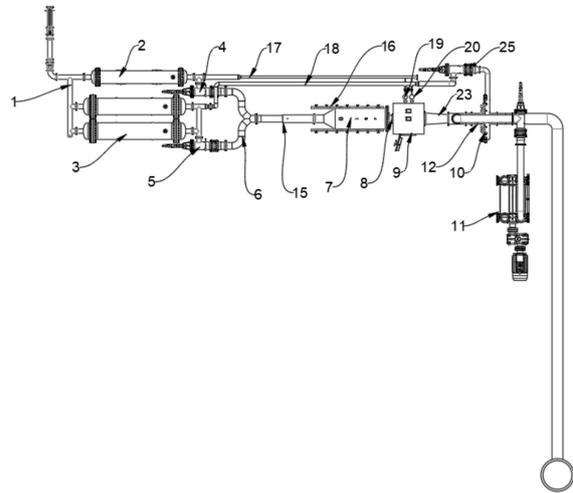
权利要求书3页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

一种高海拔宽速域流动模拟系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了高海拔风洞技术领域的一种高海拔宽速域流动模拟系统和方法,包括依气流通过顺序依次连接设置的进气管、冷交换器和热交换器、冷气针阀和热气针阀、汇流器、稳定段、喷管、驻室和背压生成装置;冷交换器和热交换器并列设置,分别用于对进气管输入系统的高压气流降温 and 加热;冷气针阀和热气针阀分别与冷交换器和热交换器连通;汇流器的两个进气端分别与冷气针阀和热气针阀连接,用于汇聚混合低温气流和高温气流;喷管设置有多个,并且每个喷管的喉道直径与出口直径之比不同;背压生成装置用于抽吸驻室来流,以在驻室中形成稳定流场,并调节驻室内的压力。



1. 一种高海拔宽速域流动模拟系统,其特征在于,包括依气流通过顺序依次连接设置的进气管(1)、冷换热器(2)和热换热器(3)、冷气针阀(4)和热气针阀(5)、汇流器(6)、稳定段(7)、喷管(8)、驻室(9)和背压生成装置;

所述进气管(1)用于接通高压气源,以向系统提供高压气流;

所述冷换热器(2)和所述热换热器(3)并列设置,且均连接于所述进气管(1)上,分别用于对所述进气管(1)输入系统的高压气流降温和加热;

所述冷气针阀(4)和所述热气针阀(5)分别与所述冷换热器(2)和所述热换热器(3)连通,用于调控低温气流和高温气流的输入比和输入气流总量,以调节所述稳定段(7)和所述驻室(9)的温度和压力,模拟高原气压环境与温度环境;

所述汇流器(6)的两个进气端分别与所述冷气针阀(4)和所述热气针阀(5)连接,用于汇聚混合低温气流和高温气流,混合气流经所述汇流器(6)的出气端进入所述稳定段(7);

所述稳定段(7)的管径大于所述汇流器(6)的管径,用于稳定混合气流,使混合气流温度均匀;

所述喷管(8)设置有多个,并且每个所述喷管(8)的喉道直径与出口直径之比不同,比值越大,喷出的气流速度越小;所述喷管(8)能够拆卸替换,以调节气流速度,模拟宽速域流场;

所述驻室(9)用于放置飞行器模型,进行飞行模拟实验;

所述背压生成装置用于抽吸所述驻室(9)来流,以在所述驻室(9)中形成稳定流场,并调节所述驻室(9)内的静压力;

所述稳定段(7)和驻室(9)中均设置有传感器,能够实时采集温度、压力和风速的数据,并传输至工控机,以便调整实验并监控实验状态;

所述背压生成装置包括引射器(10)和真空泵(11);

所述驻室(9)和所述引射器(10)通过扩压管(23)连接,并且所述引射器(10)与扩压管(23)之间设置有射流调节阀(12),所述引射器(10)的环管通过引射供气阀(25)与所述热换热器(3)连通;

所述扩压管(23)上还设置有分流管(24),用于连通所述真空泵(11);

模拟亚声速流场时,所述引射供气阀(25)和射流调节阀(12)关闭,通过所述真空泵(11)抽吸驻室(9)来流;

模拟跨声速流场或超声速流场时,所述引射供气阀(25)和所述射流调节阀(12)开启,通过所述真空泵(11)和所述引射器(10)共同抽吸驻室(9)来流;

所述引射器(10)环向设置有多路引射喷管(13),所述射流调节阀(12)环向设置有多组气流出口,所述引射喷管(13)与所述气流出口一一对应连通;

每组所述引射喷管(13)上均设置有球阀(14),以根据系统运行工况,调节组合恰当的所述引射喷管(13)工作。

2. 根据权利要求1所述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,其特征在于,

所述汇流器(6)与所述稳定段(7)之间安装有伸缩套管(15),在供气管路热胀冷时能够伸缩,以补偿管路长度变化。

3. 根据权利要求2所述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,其特征在于,

所述稳定段(7)的底部安装有滑轨(16),使所述稳定段(7)能够压缩或拉长所述伸缩套

管(15)进行左右移动,以便更换所述喷管(8)。

4. 根据权利要求1-3中的任意一项所述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,其特征在于,

所述冷换热器(2)和所述冷气针阀(4)之间的管路上连接有冷气管(17),所述热换热器(3)和所述热气针阀(5)之间的管路上连接有热气管(18);

所述冷气管(17)和所述热气管(18)均通过支管路与横向风缓冲器(19)连通,所述横向风缓冲器(19)的出气端与所述驻室(9)连通,以模拟侧向干扰风;

所述支管路上依气流流动顺序依次设置有限流喷管(20)和同轴电磁阀(21),以控制所述横向风缓冲器(19)吹入所述驻室(9)的气流的温度和风速。

5. 根据权利要求4所述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,其特征在于,

所述驻室(9)的一侧还连通补气缓冲器(22),所述补气缓冲器(22)通过两个支管分别与所述冷气管(17)和所述热气管(18)连通,支管上也设置有限流喷管(20)和同轴电磁阀(21),用于实时调节驻室(9)内的压力。

6. 一种高海拔宽速域流动模拟方法,其特征在于,使用权利要求5所述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,包括以下步骤:

根据预设的模拟流速,在稳定段(7)与驻室(9)之间安装对应的喷管(8);

启动背压生成装置将稳定段(7)和驻室(9)压力抽至预定压力;

打开进气管(1)上的气动球阀(14),通过冷换热器(2)和热换热器(3)将进气管(1)输入的高压气流降温或加热,根据控制策略,设置冷气针阀(4)和热气针阀(5)的开启百分比;

冷热气流经过汇流器(6)汇流,混合气流在稳定段(7)充分混合,后经过喷管(8)加速至预设速度后进入驻室(9)内;

通过背压生成装置抽吸驻室(9)来流,以在驻室(9)中形成稳定流场;

控制稳定段(7)末端和驻室(9)内的压力及温度数据与预设数据误差在10%以内;

保持系统流场运行10s以上,后关闭进气管(1)和背压生成装置。

7. 根据权利要求6所述的一种高海拔宽速域流动模拟方法,其特征在于,

控制数据误差的方法如下:

将采集的稳定段(7)末端和驻室(9)内的温度数据及压力数据与预设数据做比对;

若采集温度高于预设温度,则增大热气针阀(5)的开启度和/或减小冷气针阀(4)的开启度;若采集温度低于预设温度,则减小热气针阀(5)的开启度和/或增大冷气针阀(4)的开启度;

若稳定段(7)末端总压的采集数据低于预设数据,则增大冷气针阀(4)和热气针阀(5)的开启度;若稳定段(7)末端的总压采集数据高于预设数据,则减小冷气针阀(4)和热气针阀(5)的开启度;

若驻室(9)内的静压采集数据高于预设数据,则增大背压生成装置的抽吸速度;若驻室(9)内的静压采集数据低于预设数据,则减小背压生成装置的抽吸速度。

8. 根据权利要求6所述的一种高海拔宽速域流动模拟方法,其特征在于,

若模拟亚声速流场,则关闭射流调节阀(12),单独通过真空泵(11)抽吸驻室(9)来流;

若模拟跨声速流场或超声速流场,则开启射流调节阀(12),通过真空泵(11)和引射器(10)共同抽吸驻室(9)来流。

9. 根据权利要求6所述的一种高海拔宽速域流动模拟方法,其特征在于,  
将侧向风干扰装置中的两个同轴电磁阀(21)开启,热气管(18)和冷气管(17)中的气流进入横向风缓冲器(19)内缓冲混合;  
后混合气流通过驻室(9)上的横向风喷口吹入驻室(9)内,模拟高海拔环境侧向风;  
PWM可控制两个同轴电磁阀(21)的开合度,以控制吹入驻室(9)内的气流的压力、风速和温度。

## 一种高海拔宽速域流动模拟系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高海拔风洞技术领域,具体涉及一种高海拔宽速域流动模拟系统和方法。

### 背景技术

[0002] 风洞是以人工的方式产生并且控制气流,用来模拟飞行器或实体周围气体的流动情况,并可量度气流对实体的作用效果以及观察物理现象的一种管道状实验设备,它是进行空气动力实验最常用、最有效的工具之一。

[0003] 目前地面模拟飞行装置主要以风洞为主。按速度可分为:风洞 ( $Ma < 0.4$ )、亚声速风洞 ( $Ma = 0.4 \sim 0.7$ )、跨声速风洞 ( $Ma = 0.5 \sim 1.3$ )、超声速风洞 ( $Ma = 1.5 \sim 4.5$ )、高超声速风洞 ( $Ma = 4.5 \sim 12$ ) 和极高速度风洞 ( $Ma > 12$ )。

[0004] 高原环境下气压低,空气密度小,与平原环境有很大差别,对于海拔4500m的高原环境,气压降至约60kPa,气温降至约260K。目前行业内对高原环境下的风洞技术研究还存在诸多不足,制约航空航天事业的发展。

[0005] 高原环境是低温低压环境,低速时,模拟需对气源制冷并且产生负压;高速时,需对气源加热并提供正压;现有的模拟高原环境的风洞一般只有制冷设备,无法加热;模拟超声速的设备,一般只有加热器,无法制冷。

[0006] 因此,虽然国内外已经建立了很多大型风洞设施,能够复现低密度、低温和低气压的高空真实环境,但其复现的风洞气流速度速度较低,基本处于亚声速,难以模拟高速、超高速环境。例如美国AWT风洞模拟马赫数范围为0~0.9,日本MWT风洞模拟马赫数0~0.7。

[0007] 而能模拟跨声速的设备,其模拟高度通常为海拔0米或万米以上高空,不能模拟高原的低温低压环境。

[0008] 综上,现有的风洞技术中能够模拟高原低温低压环境的风洞,却难以模拟高速、超高速环境;能够模拟超声速的风洞,却无法模拟高原的低温低压环境;因此,其难以同时满足模拟高原的同时实现超声速的模拟。

### 发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种高海拔宽速域流动模拟系统和方法,以解决现有技术的风洞难以同时满足模拟高原的同时实现超声速的模拟的技术问题。

[0010] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0011] 一种高海拔宽速域流动模拟系统,包括依气流通过顺序依次连接设置的进气管、冷交换器和热交换器、冷气针阀和热气针阀、汇流器、稳定段、喷管、驻室和背压生成装置;

[0012] 所述进气管用于接通高压气源,以向系统提供高压气流;

[0013] 所述冷交换器和所述热交换器并列设置,且均连接于所述进气管上,分别用于对所述进气管输入系统的高压气流降温 and 加热;

[0014] 所述冷气针阀和所述热气针阀分别与所述冷交换器和所述热交换器连通,用于调

控低温气流和高温气流的输入比和输入气流总量,以调节所述稳定段和所述驻室的气流的温度和压力,模拟高海拔的气压环境与温度环境;

[0015] 所述汇流器的两个进气端分别与所述冷气针阀和所述热气针阀连接,用于汇聚混合低温气流和高温气流,混合气流经所述汇流器的出气端进入所述稳定段;

[0016] 所述稳定段的管径大于所述汇流器的管径,用于用于稳定混合气流,使混合气流温度均匀;

[0017] 所述喷管设置有多个,并且每个所述喷管的喉道直径与出口直径之比不同,比值越大,喷出的气流速度越小;所述喷管能够拆卸替换,以调节气流速度,模拟宽速域流场;

[0018] 所述驻室用于放置飞行器模型,进行飞行模拟实验;

[0019] 所述背压生成装置用于抽吸所述驻室来流,以在所述驻室中形成稳定流场,并调节所述驻室内的静压力;

[0020] 所述稳定段和驻室中均设置有传感器,能够实时采集温度、压力和风速的数据,并传输至工控机,以便调整实验并监控实验状态。

[0021] 作为本发明的一种优选方案,所述背压生成装置包括引射器和真空泵;

[0022] 所述驻室和所述引射器通过扩压管连接,并且所述引射器与扩压管之间设置有射流调节阀,所述引射器的环管通过引射供气阀与所述热交换器连通;

[0023] 所述扩压管上还设置有分流管,用于连通所述真空泵;

[0024] 模拟亚声速流场时,所述引射供气阀和所述射流调节阀关闭,通过所述真空泵抽吸驻室来流;

[0025] 模拟跨声速流场或超声速流场时,所述引射供气阀和所述射流调节阀开启,通过所述真空泵和所述引射器共同抽吸驻室来流。

[0026] 作为本发明的一种优选方案,所述引射器环向设置有多路引射喷管,所述射流调节阀环向设置有多多个气流出口,所述引射喷管与所述气流出口一一对应连通;

[0027] 每路所述气流通道上均设置有球阀,以根据系统运行工况,调节组合恰当的所述引射喷管工作。

[0028] 作为本发明的一种优选方案,所述引射器的出气口连通有消声器。

[0029] 作为本发明的一种优选方案,所述汇流器与所述稳定段之间安装有伸缩套管,在供气管路热胀冷时能够伸缩,以补偿管路长度变化。

[0030] 作为本发明的一种优选方案,所述稳定段的底部安装有滑轨,使所述稳定段能够压缩或拉长所述伸缩套管进行左右移动,以便更换所述喷管。

[0031] 作为本发明的一种优选方案,所述冷交换器和所述冷气针阀之间的管路上连接有冷气管,所述热交换器和所述热气针阀之间的管路上连接有热气管;

[0032] 所述冷气管和所述热气管均通过支管路与横向风缓冲器连通,所述横向风缓冲器的出气端与所述驻室连通,以模拟侧向干扰风;

[0033] 所述支管路上依气流流动顺序依次设置有限流喷管和同轴电磁阀,所述同轴电磁阀通过PWM控制,以控制所述横向风缓冲器吹入所述驻室的气流的温度和风速。

[0034] 作为本发明的一种优选方案,所述驻室的一侧还连通补气缓冲器,所述补气缓冲器通过两个支管分别与所述冷气管和所述热气管连通,支管上也设置有限流喷管和同轴电磁阀,用于实时调节驻室内的压力。

- [0035] 为解决上述技术问题,本发明还进一步提供下述技术方案:
- [0036] 一种高海拔宽速域流动模拟方法,使用上述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,包括以下步骤:
- [0037] 根据预设的模拟流速,在稳定段与驻室之间安装对应的喷管;
- [0038] 启动背压生成装置将稳定段和驻室压力抽至预定压力;
- [0039] 打开进气管上的气动球阀,通过冷交换器和热交换器将进气管输入的高压气流降温或加热,根据控制策略,设置冷气针阀和热气针阀的开启百分比;
- [0040] 冷热气流经过汇流器汇流,混合气流在稳定段充分混合,后经过喷管加速至预设速度后进入驻室内;
- [0041] 通过背压生成装置抽吸驻室来流,以在驻室中形成稳定流场;
- [0042] 控制稳定段末端和驻室内的压力及温度数据与预设数据误差在10%以内;
- [0043] 保持系统流场运行10s以上,后关闭进气管和背压生成装置。
- [0044] 作为本发明的一种优选方案,控制数据误差的方法如下:
- [0045] 将采集的稳定段末端和驻室内的温度数据及压力数据与预设数据做比对;
- [0046] 若采集温度高于预设温度,则增大热气针阀的开启度和/或减小冷气针阀的开启度;若采集温度低于预设温度,则减小热气针阀的开启度和/或增大冷气针阀的开启度;
- [0047] 若稳定段末端总压的采集数据低于预设数据,则增大冷气针阀和热气针阀的开启度;若稳定段末端的总压采集数据高于预设数据,则减小冷气针阀和热气针阀的开启度;
- [0048] 若驻室内的静压采集数据高于预设数据,则增大背压生成装置的抽吸速度;若驻室内的静压采集数据低于预设数据,则减小背压生成装置的抽吸速度。
- [0049] 作为本发明的一种优选方案,若模拟亚声速流场,则关闭射流调节阀,单独通过真空泵抽吸驻室来流;
- [0050] 若模拟跨声速流场或超声速流场,则开启射流调节阀,通过真空泵和引射器共同抽吸驻室来流。
- [0051] 作为本发明的一种优选方案,将侧向风干扰装置中的两个同轴电磁阀开启,热气管和冷气管中的气流进入横向风缓冲器内缓冲混合;
- [0052] 后混合气流通过驻室上的横向风喷口吹入驻室内,模拟高海拔环境侧向风;
- [0053] PWM可控制两个同轴电磁阀的开合度,以控制吹入驻室内的气流的压力、风速和温度。
- [0054] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:
- [0055] 该方法能够既能够通过调节冷气针阀和热气针阀的开启度来模拟高海拔的低温低压环境,又能够通过更换喉道内径与出口直径比值不同的喷管,在低温低压环境中模拟亚声速气流、跨声速气流和超声速气流,在同一风洞中实现高海拔环境中的宽速域气流模拟。

## 附图说明

- [0056] 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。

[0057] 图1为本发明实施例中模拟系统的俯视结构示意图；

[0058] 图2为本发明实施例中稳定段及滑轨的结构示意图；

[0059] 图3为本发明实施例中扩压管及分流管的结构示意图；

[0060] 图4为本发明实施例中射流调节阀和引射器的剖视结构示意图；

[0061] 图5为本发明实施例中引射器的主视结构示意图；

[0062] 图6为本发明实施例中侧向风模拟系统和补气系统的结构示意图；

[0063] 图7为本发明实施例中喷管的结构示意图；

[0064] 图8为本发明实施例中热交换器的结构示意图。

[0065] 图中的标号分别表示如下：

[0066] 1-进气管,2-冷交换器,3-热交换器,4-冷气针阀,5-热气针阀,6-汇流器,7-稳定段,8-喷管,9-驻室,10-引射器,11-真空泵,12-射流调节阀,13-引射喷管,14-球阀,15-伸缩套管,16-滑轨,17-冷气管,18-热气管,19-横向风缓冲器,20-限流喷管,21-同轴电磁阀,22-补气缓冲器,23-扩压管,24-分流管,25-引射供气阀。

### 具体实施方式

[0067] 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。

[0068] 在对技术方案进行展开描述前,还是需要强调的是,高原环境是低温低压环境,低速时,模拟需对气源制冷并且产生负压;高速时,需加热气源并提供正压。现有的模拟高原环境的风洞一般只有制冷设备,无法加热。模拟超声速的设备,一般只有加热器,无法制冷。风洞中,压力、温度、密度都是耦合的,并不是简单的可以只调节某一种参量;并且制冷和加热都具有,加大了设备复杂性和控制难度。

[0069] 本发明提供了一种高海拔宽速域流动模拟系统,包括依气流通过顺序依次连接设置的进气管1、冷交换器2和热交换器3、冷气针阀4和热气针阀5、汇流器6、稳定段7、喷管8、驻室9和背压生成装置;

[0070] 进气管1用于接通高压气源,以向系统提供高压气流;

[0071] 冷交换器2和热交换器3并列设置,且均连接于进气管1上,分别用于对进气管1输入系统的高压气流降温 and 加热;

[0072] 冷气针阀4和热气针阀5分别与冷交换器2和热交换器3连通,用于调控低温气流和高温气流的输入比和输入气流总量,以调节稳定段7和驻室9的气流的温度和压力,模拟高海拔的气压环境与温度环境;

[0073] 汇流器6的两个进气端分别与冷气针阀4和热气针阀5连接,用于汇聚混合低温气流和高温气流,混合气流经汇流器6的出气端进入稳定段7;

[0074] 稳定段7的管径大于汇流器6的管径,用于稳定混合气流,使混合气流温度均匀;

[0075] 喷管8设置有多个,并且每个喷管8的喉道直径与出口直径之比不同,比值越大,喷出的气流速度越小;喷管8能够拆卸替换,以调节气流速度,模拟宽速域流场;

- [0076] 驻室9用于放置飞行器模型,进行飞行模拟实验;
- [0077] 背压生成装置用于抽吸驻室9来流,以在驻室9中形成稳定流场,并调节驻室9内的静压力;
- [0078] 稳定段7和驻室9中均设置有传感器,能够实时采集温度、压力和风速的数据,并传输至工控机,以便调整实验并监控实验状态。
- [0079] 系统中气流流经的相邻构建之间采用法兰连接。
- [0080] 之所以在稳定段7设置传感器的原因在于,在稳定段7末端即喷管上游时,气流速度近乎为0( $V=0$ ),此时气流的压力和温度称为总压 $P_0$ 和总温 $T_0$ 。当喷管8下游即驻室9压力低于喷管8上游时,气流通过喷管8进入驻室9,气流速度增大( $V>0$ ),此时除去动能,气流的压力和温度称为静压 $P_\infty$ 和静温 $T_\infty$ 。总压等于静压和动压之和,即 $P_0=P_\infty+1/2\rho V^2$ ;同理,总温等于静温加上动能转化为热的部分,总温也大于静温,这不再赘述公式。
- [0081] 由于驻室9中的气流速度大于0,静温 $T_\infty$ 难以直接测量; $V$ 较大时,比如超声速时,也难以直接测量;静压 $P_\infty$ 可通过静压管测得。为确定静温 $T_\infty$ 和速度 $V$ ,需要测量总压 $P_0$ 和总温 $T_0$ ,而稳定段末端的压力和温度就是总压 $P_0$ 和总温 $T_0$ 。
- [0082] 上述的冷气针阀4、热气针阀5以及背压生成装置均可用于调节压力,具体调节过称为:当稳定段的总压低时,需要调大冷气针阀4和热气针阀5的开启度。
- [0083] 当所述驻室9内的静压低于设定值时,调节降低背压生成装置的抽吸速率,提高静压值;
- [0084] 当所述驻室9内的静压高于设定值时,调节增大背压生成装置的抽吸速率,降低静压值。当总压、总温和静压调控到预定值,根据总静压公式和总静温公式,此时速度和静温也就确定了。
- [0085] 下面以模拟过程中气流在系统内的流动顺序,来对系统内各组成部分的功能进行进一步的说明。
- [0086] 首先模拟开始时,进气管1上的阀门打开,高压气源中的高压气流经由进气管1通入冷交换器2和热交换器3中,两个交换器分别对通入其中的气流进行降温或加热。
- [0087] 根据设计的模拟实验要求,设置冷气针阀4和热气针阀5的开合度,以调控低温气流和高温气流的输入比和输入气流总量,使混合气流的总温快速达到预设值,进而调节稳定段7和驻室9内的压力和气流温度,能够模拟高海拔的高原环境的低温低压环境。
- [0088] 冷热气流从针阀流出后,通过汇流器6混合,后通入稳定段7中,在稳定段7中冷热气流充分的混合,使气流温度均匀。
- [0089] 温度均匀的混合气流进入喷管8中加速至预设速度,后进入驻室9中吹向飞行器模型,进行飞行模拟实验。根据模拟流速的不同,可以更换不同的喷管8,能够在同一个风洞中模拟亚声速、跨声速和超声速,即实现宽速域流场模拟。
- [0090] 实验过程中可以根据稳定段7和驻室9中设置的传感器所检测到的温度、压力和风速的数据,实时调控冷气针阀4可热气针阀5的开启度,调节流量、压力和温度;并能够监控实验状态。
- [0091] 综上,该模拟系统能够既能够通过调节冷气针阀4和热气针阀5的开启度来模拟高海拔的低温低压环境,又能够通过更换喉道内径与出口直径比值不同的喷管8,在低温低压环境中模拟亚声速气流、跨声速气流和超声速气流,实现高海拔环境中的宽速域气流模拟。

其中,模拟亚声速气流时,用的管道为喉道直径与出口直径相等;在模拟跨声速气流和超声速气流时,用的是拉瓦尔喷管。

[0092] 另外需要说明的是,在高海拔低温低压环境中模拟亚声速状态时,气流温度在260K以下,因此需要预先对高压气流进行预先降温处理;在高海拔低温低压环境中模拟跨声速和超声速状态时,气流总温可达360K,则需要对高压气流进行预先加热处理。

[0093] 传统的气流加热是通过改变热交换器3的功率来进行的,速度较慢且精度不高。

[0094] 本发明充分考虑了高海拔模拟的特性,针对该特性设置了双换热器和双针阀调温的模式。在模拟时,若要升温,根据控制算法,相应的提高热气针阀5的开启度,同时相应降低冷气针阀4的开启度,提高混合气流中热气的占比,以提高混合气流的总温,并是压力稳定,调温速度快且精准。

[0095] 进一步地,由于建立高海拔宽速域稳定流场,除模拟高海拔低气压低温环境外,速度范围较宽,包含亚声速、跨声速和超声速。

[0096] 建立稳定流场,需要在驻室9的下游将驻室9内的气流引导排出,一般风洞要么采用大型真空罐,形成较低的背压环境,建立稳定流场;要么采用引射器10单级或多级抽吸来流,形成稳定流场。

[0097] 对于大流量的工况,类如海拔4500m、450m/s时流量约11.2kg/s,若只采用真空罐,需要500m<sup>3</sup>以上,建设和使用成本太大。而只采用引射,需要的引射气源流量巨大,并且在小流量工况时,采用引射器10的性价比太低。

[0098] 本发明采用真空加引射的方式,由引射器10和真空泵11共同组成背压生成装置,不需要真空球罐。具体如下:

[0099] 所述驻室9和所述引射器10通过扩压管23连接,并且所述引射器10与扩压管23之间设置有射流调节阀12,所述引射器10的环管通过引射供气阀25与所述热交换器3连通;引射供气阀25从热气换热器出口引气,热气驱动(温度150°C~200°C),提高引射效率。设计驱动流量6~8kg/s;

[0100] 所述扩压管23上还设置有分流管24,用于连通所述真空泵11;

[0101] 模拟亚声速流场时,引射供气阀25和射流调节阀12关闭,通过真空泵11抽吸驻室9来流;

[0102] 模拟跨声速流场或超声速流场时,引射供气阀25和射流调节阀12开启,通过真空泵11和引射器10共同抽吸驻室9来流。

[0103] 不仅大幅降低成本,也能在背压是一个大气压时快速建立起高海拔环境下的宽速域稳定流场。

[0104] 进一步地,为提高引射效率,引射器10环向设置有多路引射喷管13,射流调节阀12环向设置有多多个气流出口,引射喷管13与气流出口一一对应连通;

[0105] 每路气流通道上均设置有球阀14,以根据系统运行工况,调节组合恰当的引射喷管13工作。

[0106] 进一步地,为降低模拟时系统产生的噪声,引射器10的出气口连通有消声器,引射器10引射出的气流经消声器降噪后排出。

[0107] 进一步地,由于在模拟不同工况时,气流温度有时需要升高,有时需要降温,在此过程中需要考虑到管道的热胀冷缩,因此在汇流器6与稳定段7之间安装有伸缩套管15,在

供气管路热胀冷时能够伸缩,以补偿管路长度变化。

[0108] 需要说明的是,伸缩套管15实质上是被伸缩,即管路热胀时,伸缩套管15被缩短,管路冷缩时,伸缩套管15被拉长。

[0109] 进一步地,为便于更换喷管8,稳定段7的底部安装有滑轨16,在更换喷管8时,由于伸缩套管15的存在,可以所有移动稳定段7,压缩或拉长伸缩套管15,增大或减小稳定段7与驻室9之间的距离,以便更换喷管8。

[0110] 进一步地,高原低气压环境中飞行时会受到来自不同方向的侧向干扰风的影响,为了更为真实地还原高原环境,需要对侧向干扰风进行模拟,干扰风模拟风速范围 $1\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ ,角度可调范围 $0^\circ \sim 45^\circ$ 。

[0111] 具体的方案为:冷交换器2和冷气针阀4之间的管路上连接有冷气管17,热交换器3和热气针阀5之间的管路上连接有热气管18,冷气管17和热气管18分别从冷交换器2和热交换器3的下游延伸出来;

[0112] 冷气管17和热气管18均通过支管路与横向风缓冲器19连通,横向风缓冲器19的出气端与驻室9连通,以模拟侧向干扰风;

[0113] 支管路上依气流流动顺序依次设置有限流喷管20和同轴电磁阀21,由于横向风的风速很低,约 $1\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ ,总体流量很小,限流喷管20的作用就是限制控制横向气流量的,同轴电磁阀21通过PWM控制,控制横向风缓冲器19吹入驻室9的气流的温度和风速。

[0114] 进一步地,驻室9的一侧还连通补气缓冲器22,补气缓冲器22通过两个支管分别与冷气管17和热气管18连通,支管上也设置有限流喷管20和同轴电磁阀21,用于实时调节驻室9内的压力。

[0115] 为解决上述技术问题,本发明还进一步提供下述技术方案:

[0116] 一种高海拔宽速域流动模拟方法,使用上述的一种高海拔宽速域流动模拟系统,包括以下步骤:

[0117] 根据预设的模拟流速,在稳定段7与驻室9之间安装对应的喷管8;

[0118] 启动背压生成装置将稳定段7和驻室9压力抽至预定压力;

[0119] 打开进气管1上的气动球阀14,通过冷交换器2和热交换器3将进气管1输入的高压气流降温或加热,根据控制策略,设置冷气针阀4和热气针阀5的开启百分比;

[0120] 冷热气流经过汇流器6汇流,混合气流在稳定段7充分混合,后经过喷管8加速至预设速度后进入驻室9内;

[0121] 通过背压生成装置抽吸驻室9来流,以在驻室9中形成稳定流场;

[0122] 控制稳定段7末端和驻室9内的压力及温度数据与预设数据误差在10%以内;

[0123] 保持系统流场运行10s以上,后关闭进气管1和背压生成装置。

[0124] 该方法能够既能够通过调节冷气针阀4和热气针阀5的开启度来模拟高海拔的低温低压环境,又能够通过更换喉道内径与出口直径比值不同的喷管8,在低温低压环境中模拟亚声速气流、跨声速气流和超声速气流,实现高海拔环境中的宽速域气流模拟。

[0125] 进一步地,控制数据误差的方法如下:

[0126] 将采集的稳定段7末端和驻室9内的温度数据及压力数据与预设数据做比对;

[0127] 若采集温度高于预设温度,则增大热气针阀5的开启度和/或减小冷气针阀4的开启度;若采集温度低于预设温度,则减小热气针阀5的开启度和/或增大冷气针阀4的开启

度;

[0128] 若稳定段7末端总压的采集数据低于预设数据,则增大冷气针阀4和热气针阀5的开启度;若稳定段7末端的总压采集数据高于预设数据,则减小冷气针阀4和热气针阀5的开启度;

[0129] 若驻室9内的静压采集数据高于预设数据,则增大背压生成装置的抽吸速度;若驻室9内的静压采集数据低于预设数据,则减小背压生成装置的抽吸速度。

[0130] 进一步地,若模拟亚声速流场,则关闭射流调节阀12,单独通过真空泵11抽吸驻室9来流;

[0131] 若模拟跨声速流场或超声速流场,则开启射流调节阀12,通过真空泵11和引射器10共同抽吸驻室9来流。

[0132] 进一步地,将侧向风干扰装置中的两个同轴电磁阀21开启,热气管18和冷气管17中的气流进入横向风缓冲器19内缓冲混合;

[0133] 后混合气流通过驻室9上的横向风喷口吹入驻室9内,模拟高海拔环境侧向风;

[0134] PWM可控制两个同轴电磁阀21的开合度,以控制吹入驻室9内的气流的压力、风速和温度。

[0135] 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。

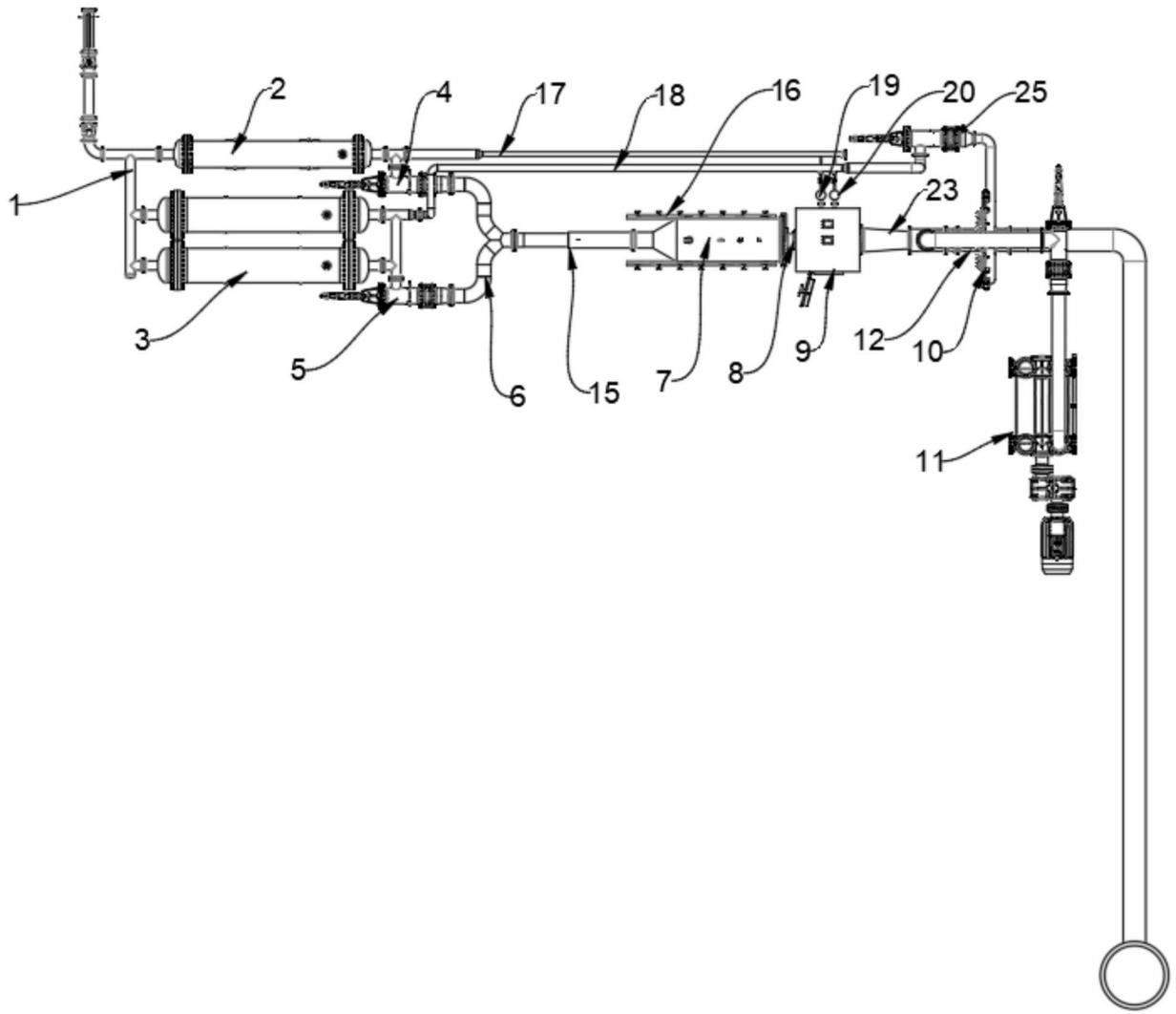


图1

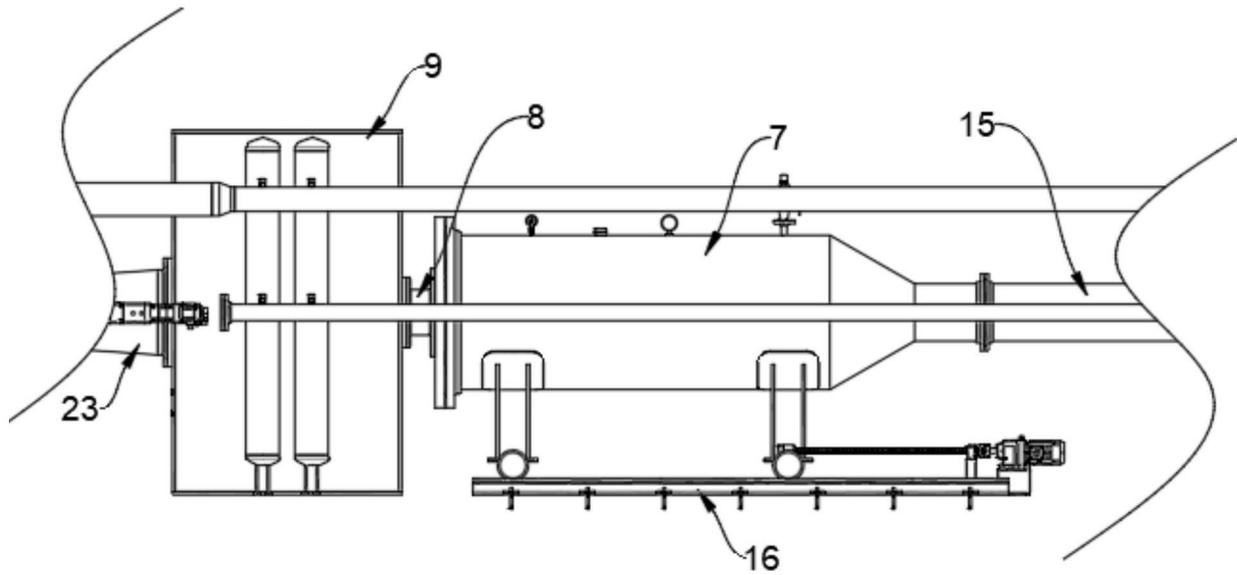


图2

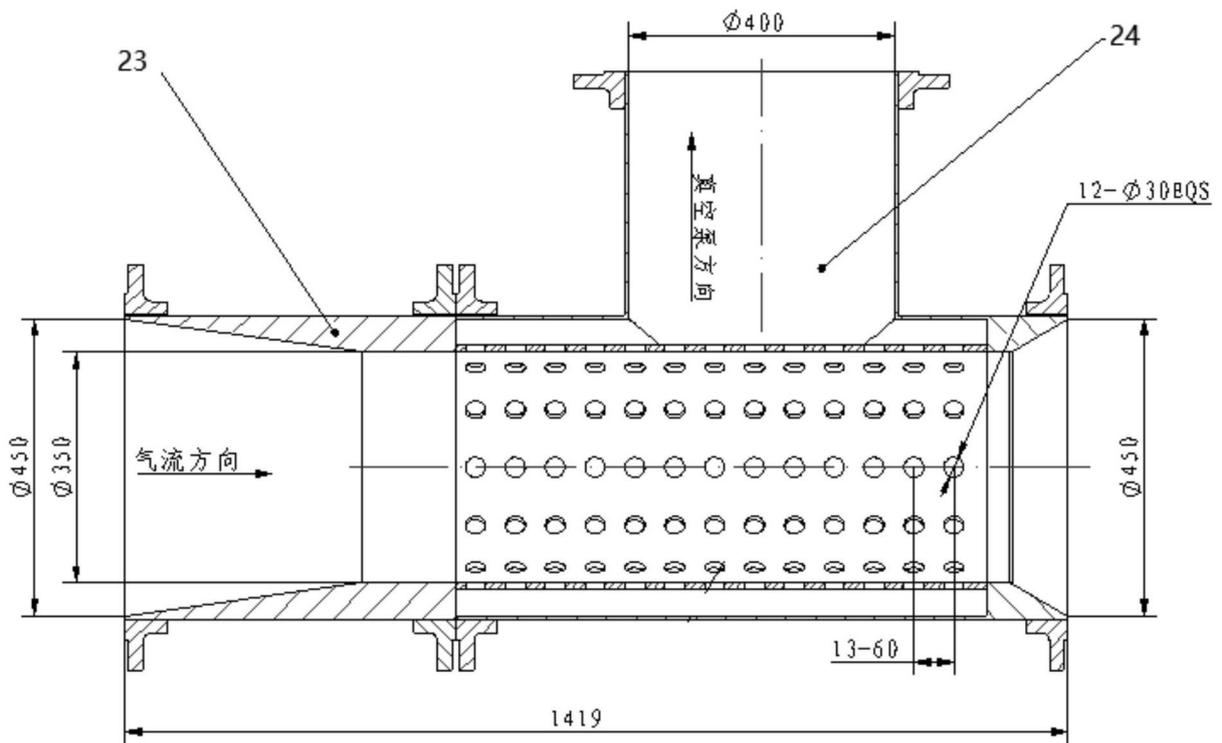


图3

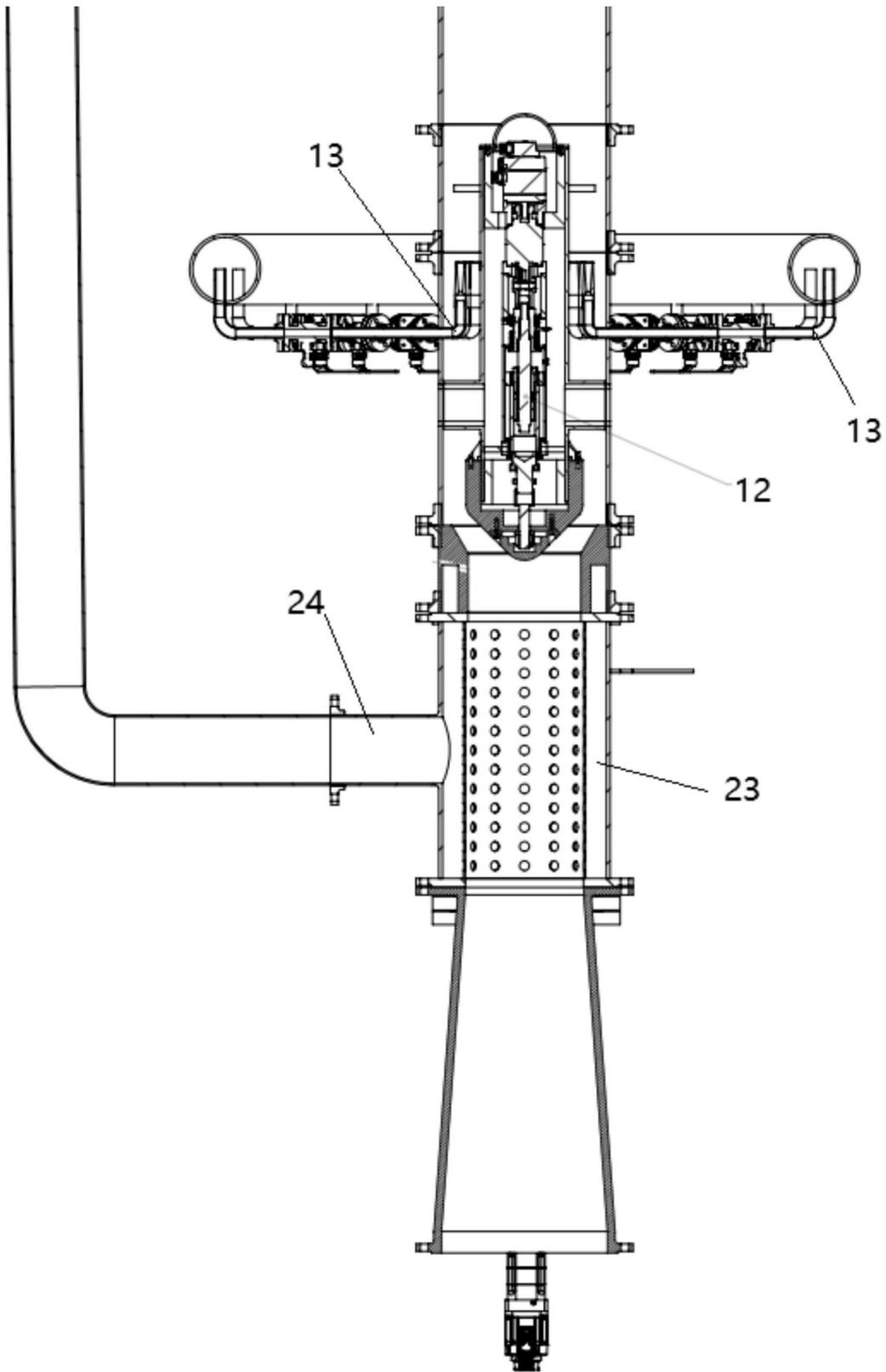


图4

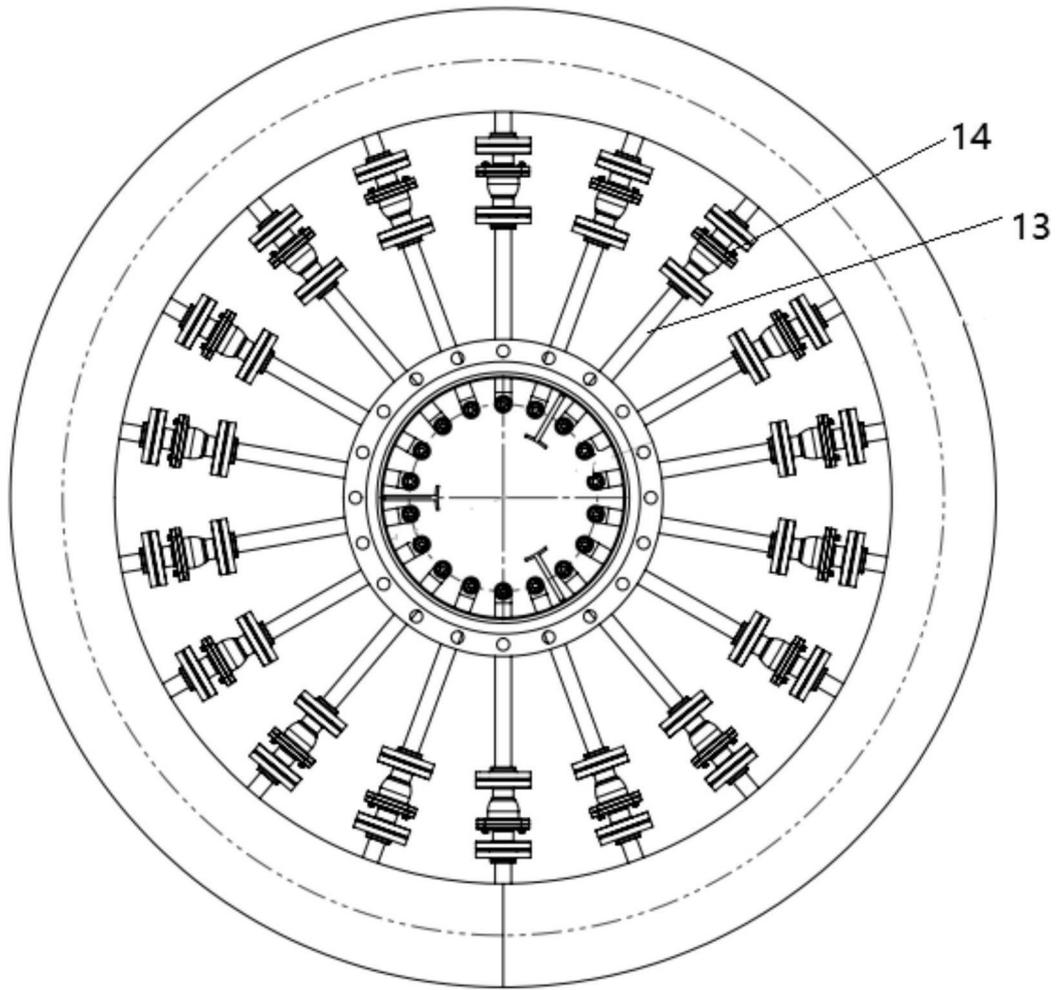


图5

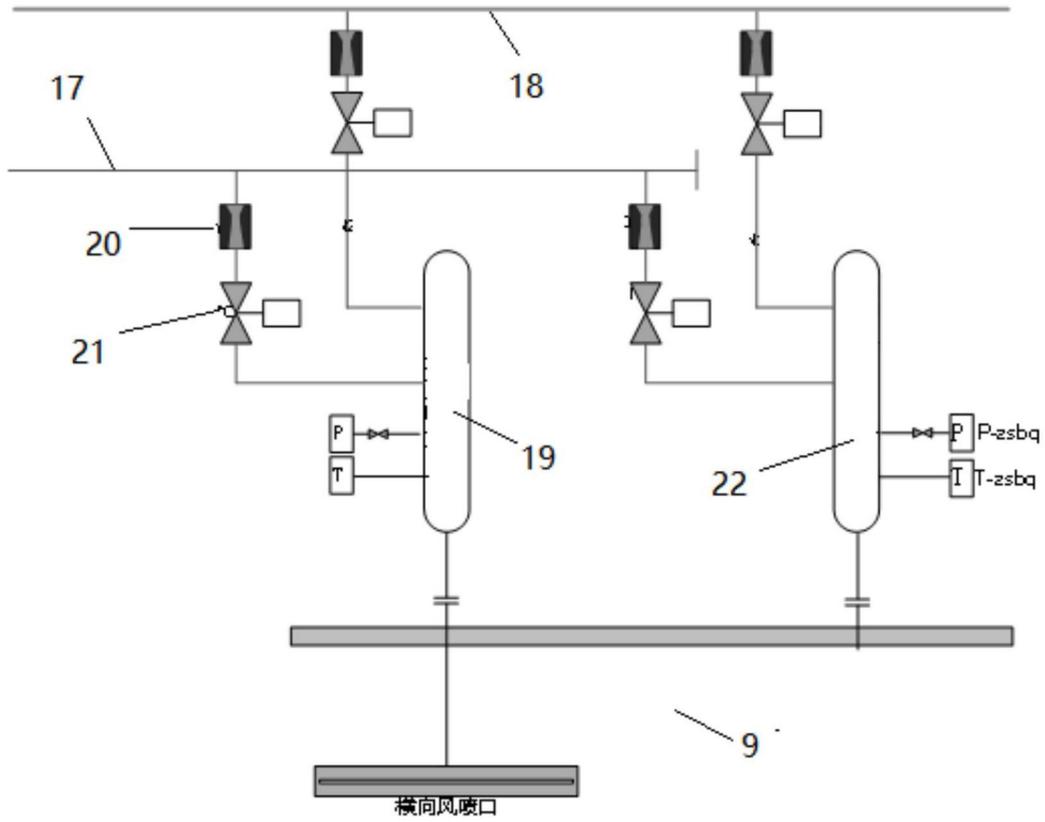


图6

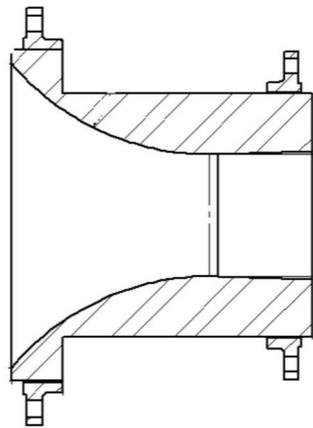


图7

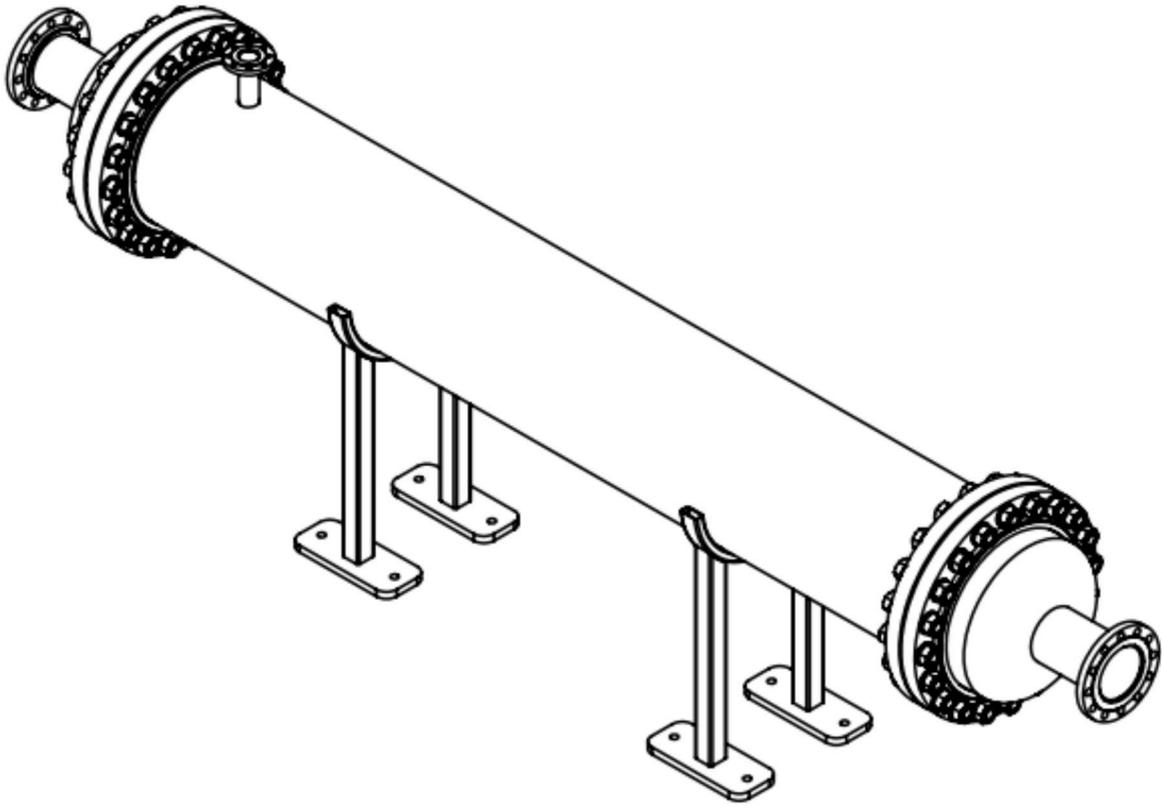


图8