



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111397833 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 202010322141.0

审查员 孔芳芳

(22) 申请日 2020.04.22

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111397833 A

(43) 申请公布日 2020.07.10

(73) 专利权人 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 顾洪斌 张新宇

(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 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01M 9/04 (2006.01)

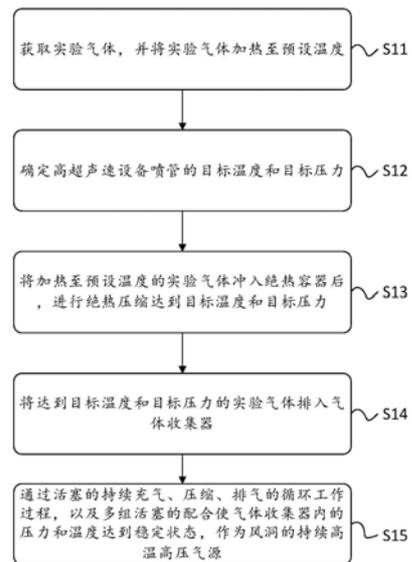
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54) 发明名称

一种高焓超声速风洞气流生成方法

(57) 摘要

本发明实施例涉及一种高焓超声速风洞气流生成方法,包括:获取实验气体,并将所述实验气体加热至预设温度;确定高超声速设备实验要求的目标温度和目标压力;将加热至目标温度的实验气体冲入绝热容器后,进行绝热压缩达到目标温度和目标压力;将达到目标温度和目标压力的实验气体排入气体收集器;通过活塞的持续充气、压缩、排气的循环工作过程,以及多组活塞的配合使所述气体收集器内的压力和温度达到稳定状态,作为风洞的持续高温高压气源。该方案通过活塞压缩的方式提高气体压力,从而获得高温和高压气体,通过压缩做功的方式提高气体的总焓值。该方法可以根据需求的参数设计加热温度和压力来满足风洞对温度和压力的同时需求。



1. 一种高焓超声速风洞气流生成方法,其特征在于,包括:  
确定高超声速设备实验要求的总温度和总压力;  
获取实验气体,并将所述实验气体加热至预设温度;  
将加热至预设温度的实验气体充入绝热容器后,进行绝热压缩达到目标温度和目标压力;

将达到目标温度和目标压力的实验气体排入气体收集器;  
通过活塞的持续充气、压缩、排气的循环工作过程,以及多组活塞的配合使所述气体收集器内的压力和温度达到稳定状态,作为风洞的持续高温高压气源;

所述目标温度通过以下方式计算得到:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1} = T_1 Z^{k-1}$$

其中, $P_2$ 为目标压力, $P_1$ 为预充气压力, $T_2$ 为目标总温度, $T_1$ 为预加热总温度, $Z$ 为压缩比, $k$ 为实验气体的比热比。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述对实验气体进行预加热的方式包括:蓄热加热或热交换加热。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述目标压力通过以下方式计算得到:

$$P_2 = P_1 Z^k$$

其中, $P_2$ 为目标压力, $P_1$ 为总压力, $Z$ 为压缩比, $k$ 为实验气体的比热比。

## 一种高焓超声速风洞气流生成方法

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及一种高焓超声速风洞气流生成方法。

### 背景技术

[0002] 目前能够模拟真实飞行状态的高超声速地面模拟设备中主要是以脉冲式和暂冲式两种。脉冲式风洞的加热方式主要通过激波加压加热,原理是通过高压气体在破膜瞬间产生的激波来加热工作介质。高压气体的产生有活塞压缩、爆轰等方法。其作用时间短,实验时间受到实验工质的总量限制,一般在微秒到毫秒量级,很难超过秒量级。

[0003] 另一种暂冲式主要以燃烧加热和蓄热加热为主,时间从几秒到几百秒,燃烧方式设备的运行时间理论上可以无限长,只要供气可以连续;而蓄热方式受蓄能体容积的限制,也就是总蓄热能量的限制。但总的来讲,总温2100K以下适合燃烧和蓄热加热方式,即可获得较长的实验时间。总温2100K以上,燃烧和蓄热方式虽然也能达到,但是系统设计和运行极为复杂。

[0004] 对于吸气式推进系统燃烧的研究,由于需要模拟燃烧过程,因此除了要模拟雷诺数、马赫数和普朗特数以外,温度需要一致而且来流组分最好是纯空气。另外设备运行时间不能太短,主要是温度边界层的建立需要的时间尺度较长,一般是几秒到几十秒量级左右。目前常用的燃烧加热的风洞热源方式实际上是得不到更准确的燃烧研究结果。

[0005] 由于本装置通过绝热压缩的能量添加方式可以获得超过燃烧火焰绝热温度以上的状态,同时采用蓄热或间接加热避免了实验气体组分的污染,对于吸气式推进系统和气动热方面的研究,组分的影响很重要,采用本方案可以完全的复现飞行状态和获得更长的实验时间。

### 发明内容

[0006] 为了解决上述技术问题或者至少部分地解决上述技术问题,本申请实施例提供了一种高焓超声速风洞气流的连续生成方法,包括:

[0007] 获取实验气体,并将所述实验气体加热至预设温度;

[0008] 确定高超声速设备实验要求的目标温度和目标压力;

[0009] 将加热至所述预设温度的实验气体充入绝热容器后,进行绝热压缩达到所述目标温度和所述目标压力;

[0010] 将达到所述目标温度和目标压力的实验气体排入气体收集器;

[0011] 通过活塞的持续充气、压缩、排气的循环工作过程,以及多组活塞的配合使所述气体收集器内的压力和温度达到稳定状态,作为风洞的持续高温高压气源。

[0012] 在一个可能的实施方式中,所述对实验气体进行加热的方式包括:蓄热加热或热交换的预热。

[0013] 在一个可能的实施方式中,所述目标温度通过以下方式计算得到:

$$[0014] \quad T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1} = T_1 Z^{k-1}$$

[0015] 其中,  $P_2$  为目标压力,  $P_1$  为预充气压力,  $T_2$  为目标总温度,  $T_1$  为预设温度,  $Z$  为压缩比,  $k$  为实验气体的比热比。

[0016] 在一个可能的实施方式中, 所述目标压力通过以下方式计算得到:

$$[0017] \quad P_2 = P_1 Z^k$$

[0018] 其中,  $P_2$  为目标压力,  $P_1$  为预充气压力,  $Z$  为压缩比,  $k$  为实验气体的比热比。

[0019] 通过多组活塞的连续工作, 保证工作容器内的温度和压力的稳定, 达到连续工作的目的

[0020] 本发明实施例提供一种高焓超声速风洞气流生成方法, 该方案通过将低压下气体加热到预设温度并加入绝热容器, 通过活塞压缩的方式提高气体压力和温度, 从而获得高温和高压气体, 通过压缩做功的方式提高气体的总焓值。该方法可以根据需求的参数设计预加热温度和压力来满足风洞对温度和压力的同时需求。

## 附图说明

[0021] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分, 示出了符合本发明的实施例, 并与说明书一起用于解释本发明的原理。

[0022] 为了更清楚地说明本发明实施例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简单地介绍, 显而易见地, 对于本领域普通技术人员而言, 在不付出创造性劳动性的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0023] 图1为本申请实施例提供的一种高焓超声速风洞气流生成方法的流程图;

[0024] 图2为本申请实施例提供的新型风洞气源运行原理示意图。

[0025] 图3为本申请实施例提供的连续气源工作的原理示意图

## 具体实施方式

[0026] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚, 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, 所描述的实施例只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成果前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明的保护范围。

[0027] 需要说明, 若本发明实施例中有涉及方向性指示 (诸如上、下、左、右、前、后等), 则该方向性指示仅用于解释在某一特定姿态下各部件之间的相对位置关系, 运动情况等, 如果该特定姿态发生改变时, 则该方向性指示也相应地随之改变。

[0028] 图1为本申请实施例提供的一种高焓超声速风洞气流生成方法的流程图, 如图1所示, 该方法, 包括:

[0029] 步骤S11、获取实验气体, 并将实验气体加热至预设温度;

[0030] 步骤S12、确定高超声速设备实验要求的目标温度和目标压力;

[0031] 本步骤中, 可以根据实验的要求确定高超声速设备喷管前的目标温度和目标压力。

[0032] 步骤S13、将加热至预设温度的实验气体冲入绝热容器后,进行绝热压缩达到目标温度和目标压力;其中实验气体冲入绝热容器时的预充气压力为 $P_1$ 。

[0033] 本实施例中,实验气体是理想或真实可压缩的气体,特别是适合于空气、氧气、氮气等遵循可压缩气体规律的实验工质。对实验气体进行加热的方式包括:蓄热加热或热交换加热。本步骤通过预压缩热气体采用采用蓄热加热或者热交换加热,保证被加热气体的纯净度。

[0034] 本步骤中的目标压力通过以下方式计算得到:

$$[0035] \quad P_2 = P_1 Z^k$$

[0036] 其中, $P_2$ 为目标压力, $P_1$ 为预充气压力, $Z$ 为压缩比, $k$ 为实验气体的比热比。压缩比 $Z$ 是可调整的参数,因此设备的运行参数压力、温度和时间可以更灵活设定。

[0037] 本步骤中的目标温度通过以下方式计算得到:

$$[0038] \quad T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1} = T_1 Z^{k-1}$$

[0039] 其中, $T_2$ 为目标温度, $T_1$ 为预设温度, $Z$ 为压缩比, $k$ 为实验气体的比热比。压缩比 $Z$ 是可调整的参数,因此设备的运行参数压力、温度和时间可以更灵活设定。

[0040] 步骤S14、将达到目标温度和目标压力的实验气体排入气体收集器;

[0041] 步骤S15、通过活塞的持续充气、压缩、排气的循环工作过程,以及多组活塞的配合使气体收集器内的压力和温度达到稳定状态,作为风洞的持续高温高压气源。

[0042] 本步骤中是压缩功通过积蓄高压气体来驱动压缩过程,保持稳定的充气压力即可获得恒定的压缩压力,也可获得稳定的工作气体压力。

[0043] 压缩气体驱动的方式可以采用大活塞驱动小活塞的方法获得增压。这样在实现超高压时可以大大减少对蓄能压力的要求,减少整体运行的能源消耗。

[0044] 具体的,根据牛顿第一定律,能够确定活塞前后的力是平衡的。而活塞受的力为前后活塞压力乘以面积。计算公式如下:

$$[0045] \quad \frac{P_2}{P_0} = \frac{S_0}{S_2} = \frac{d_0^2}{d_2^2}$$

[0046] 其中, $P_0$ 是活塞的驱动压力, $S_0$ 是活塞驱动侧面积, $S_2$ 是实验气体侧活塞面积。 $d_0$ 是大活塞直径, $d_2$ 是小活塞直径。

[0047] 本实施例,通过实验气体通过快速开关阀的开关来控制工作过程,即为充气和压缩过程关闭阀门,工作过程打开阀门,工作过程结束关闭阀门。图2为本申请实施例提供的新型风洞运行原理示意图,如图2所示,每个活塞的工作过程“充气-压缩-排气”可以认为是一个独立的工作过程,并行多个独立的过程可以实现连续的高压高温气体生成。结合图3,最终生成的高温气体压力状态稳定,脉动小,是非常好的风洞气流。

[0048] 以上对发明的具体实施方式进行了详细说明,但是作为范例,本发明并不限制与以上描述的具体实施方式。对于本领域的技术人员而言,任何对该发明进行的同等修改或替代也都在本发明的范畴之中,因此,在不脱离本发明的精神和原则范围下所作的均等变换和修改、改进等,都应涵盖在本发明的范围内。

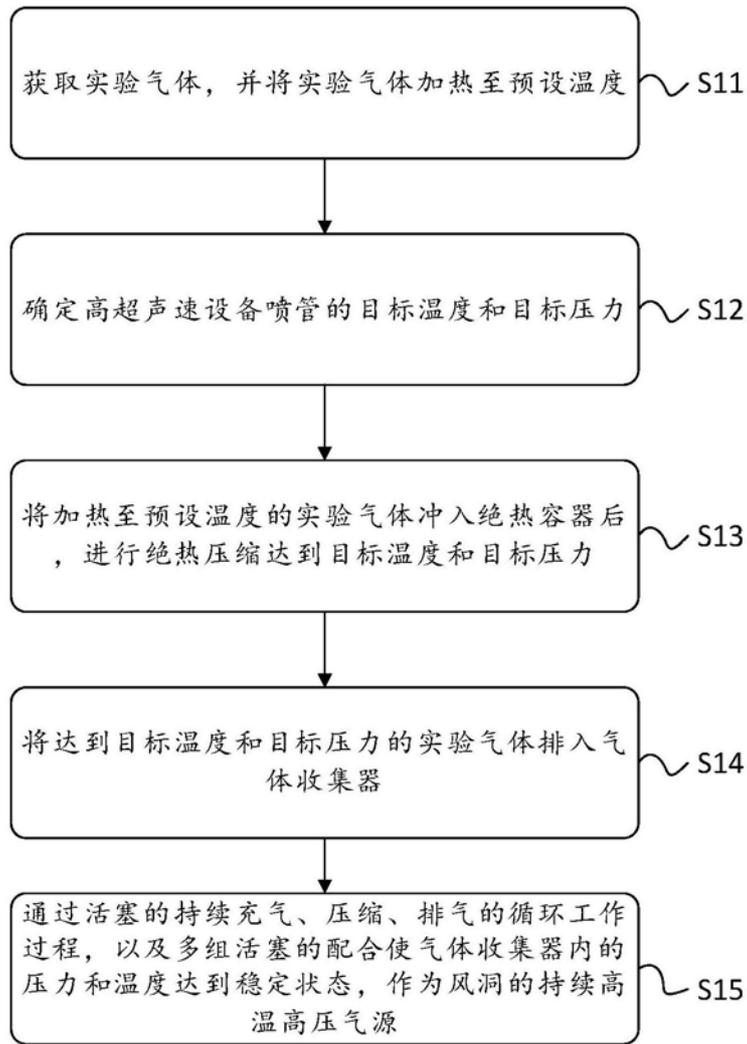


图1

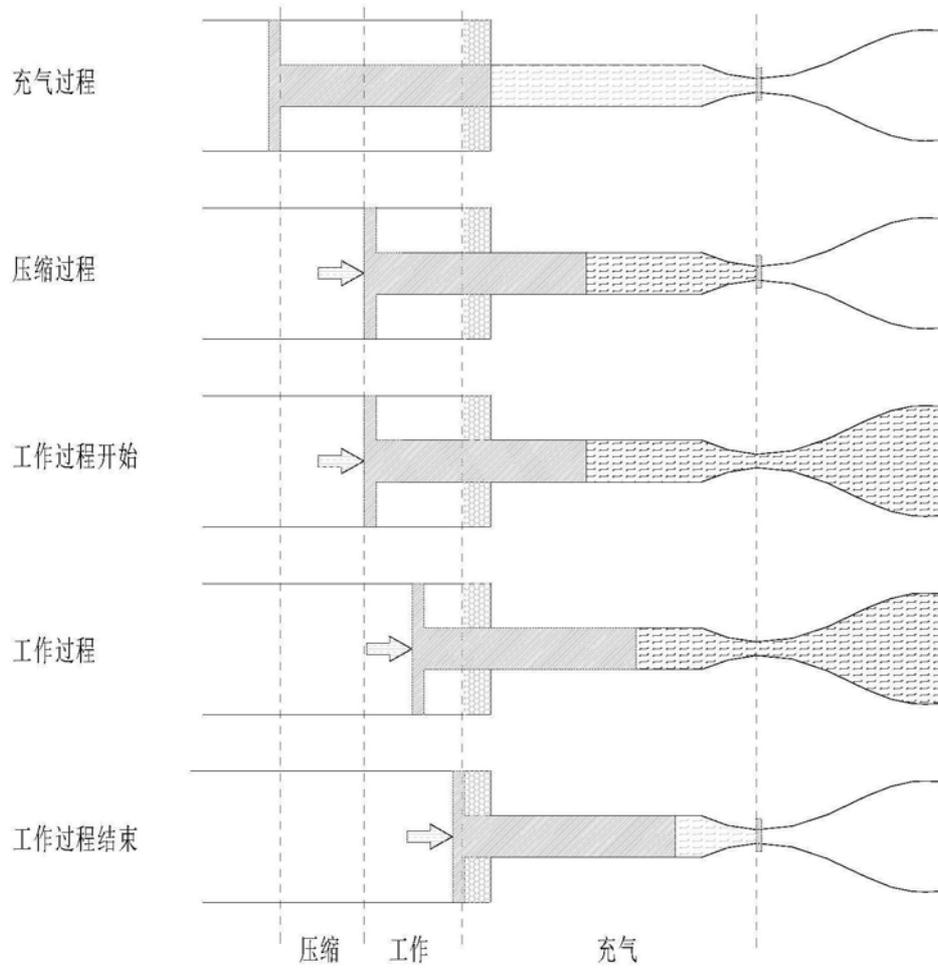


图2

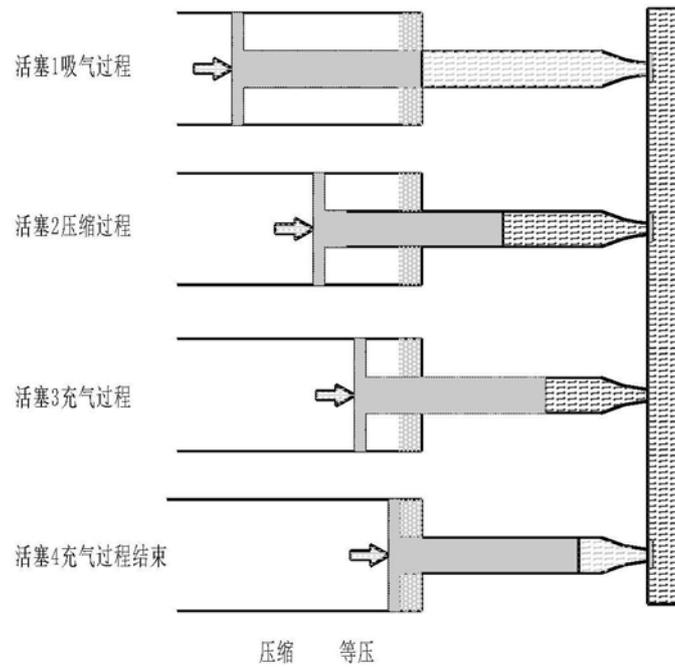


图3