



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103557092 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 05

(21) 申请号 201310452002. X

(22) 申请日 2013. 09. 27

(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 袁涛 李龙 陆阳 孟令瑾 黄鹏 范学军

(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 王艺

(51) Int. Cl.

F02K 7/10(2006. 01)

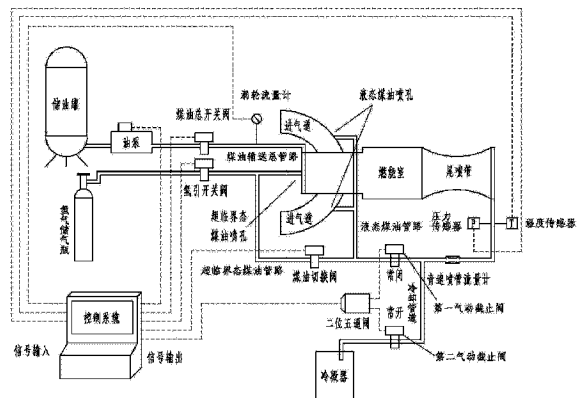
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭 环切换装置

(57) 摘要

本发明公开一种主动冷却亚燃冲压发动机冷 却和燃烧闭环切换装置,包括:供油系统、煤油管 路、切换系统、氢气供给系统、点火器、测量系统 和控制系统,其中,供油系统提供用于冷却和燃烧 的煤油;煤油管路包括煤油输送总管路、超临界态 煤油管路和液态煤油管路;氢气供给系统与点火 器相连,点火器用于点燃煤油;控制系统用于控 制煤油和氢气输送,控制点火器点燃煤油,以及 根据测量系统检测到的煤油温度,控制切换系统 使超临界态煤油管路处于关闭或导通状态。本发 明使得亚燃冲压发动机的工作状态从单一的液态 煤油燃烧工况提升到液态煤油燃烧和超临界态煤 油燃烧的双模态工况,而且,超临界态煤油燃烧 大大提高了亚燃冲压发动机的燃烧效率。



1. 一种主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置,其特征在于,包括:供油系统、煤油管路、切换系统、氢气供给系统、点火器、测量系统和控制系统,其中,

所述供油系统与煤油管路相连,提供用于冷却和燃烧的煤油;所述煤油管路包括煤油输送总管路、超临界态煤油管路和液态煤油管路,其中,所述煤油输送总管路对亚燃冲压发动机的燃烧室和尾喷管进行冷却,所述煤油输送总管路的出口连接超临界态煤油管路和液态煤油管路;

所述氢气供给系统与点火器相连,所述点火器位于在燃烧室壁面上,用于点燃煤油;

所述控制系统与供油系统、氢气供给系统、点火器、测量系统和切换系统相连,用于控制煤油和氢气输送,控制点火器点燃煤油,以及根据测量系统检测到的煤油温度,控制切换系统使超临界态煤油管路处于关闭或导通状态。

2. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,

所述切换系统包括煤油切换阀,所述煤油切换阀位于超临界态煤油管路上,初始为关闭状态;

所述测量系统包括温度传感器,所述温度传感器位于煤油输送总管路上,尾喷管冷却煤油出口和音速喷管流量计之间;所述控制系统与所述温度传感器和煤油切换阀相连;控制系统通过温度传感器检测到煤油温度达到超临界状态时,则开启煤油切换阀,使超临界态煤油管路和液态煤油管路均为导通状态。

3. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,

所述装置还包括冷凝器和冷却管道;所述切换系统还包括二位五通阀、第一气动截止阀和第二气动截止阀;所述冷凝器与所述冷却管道相连,用于收集实验开始前提前通入的冷却煤油和实验结束后继续对设备进行冷却的煤油;

所述煤油输送总管路上设置有音速喷管流量计,所述第一气动截止阀位于所述煤油输送总管路上,音速喷管流量计的出口;所述第二气动截止阀位于所述冷却管道上;所述冷却管道一端连接所述煤油输送总管路,且位于音速喷管流量计的出口和第一气动截止阀之间,另一端连接所述冷凝器;

所述二位五通阀与控制系统相连,且二位五通阀的常开端连接第二气动截止阀,二位五通阀的常闭端连接第一气动截止阀;实验时,控制系统控制二位五通阀动作,使得第一气动截止阀打开,第二气动截止阀关闭。

4. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,

所述超临界态煤油管路末端设置有超临界态煤油喷油孔,所述超临界态煤油喷油孔位于燃烧室面向尾喷管的法兰盘上;

所述液态煤油管路末端设置有液态煤油喷油孔,所述液态煤油喷油孔位于进气道与燃烧室连接处的进气道侧壁面上。

5. 如权利要求 4 所述的系统,其特征在于,

所述超临界态煤油喷油孔的面积比液态煤油喷油孔面积大一个数量级。

6. 如权利要求 5 所述的系统,其特征在于,

所述超临界态煤油喷油孔为 8 个,直径为 1.5 毫米;

所述液态煤油喷油孔在两侧进气道上各有 4 个,直径为 0.4mm 毫米。

7. 如权利要求 4 ~ 6 中任意一项所述的装置,其特征在于,

所述点火器位于所述法兰盘的圆心；所述氢气供给系统与所述超临界态煤油喷油孔相连，用于将引燃用的氢气借用超临界煤油喷孔喷入燃烧室；

所述控制系统在实验开始时和控制切换系统使超临界态煤油管路处于导通状态时，控制点火器点火。

8. 如权利要求 1 所述装置，其特征在于，

所述供油系统包括相连的储油罐和油泵，所述油泵与煤油输送总管路相连；

所述切换系统还包括煤油总开关阀，所述煤油总开关阀与所述控制系统相连，位于所述煤油输送总管上。

9. 如权利要求 1～8 中任意一项所述装置，其特征在于，

所述测量系统还包括涡轮流量计和压力传感器；

所述涡轮流量计位于所述煤油输送总管上，用于测量煤油流量，并将测量结果发送至所述控制系统；

所述压力传感器位于煤油输送总管路上，尾喷管冷却煤油出口和音速喷管流量计之间，与所述控制系统相连，用于测量尾喷管冷却煤油出口的煤油压力，并将测量结果发送至所述控制系统。

## 一种主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及亚燃冲压发动机领域,特别涉及一种主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置。

### 背景技术

[0002] 主动冷却亚声速燃烧冲压发动机是依靠机载煤油对燃烧室进行冷却,煤油对燃烧室进行冷却的同时也是对煤油的预热过程。将通过燃烧室壁面通道预热后的煤油喷入燃烧室进行燃烧,即构成了闭环系统。

[0003] 通常在主动冷却亚声速燃烧冲压发动机工作过程中流经燃烧室壁面冷却通道的煤油会经历从液态转变为超临界态的过程,这就需要针对不同物态煤油燃烧的进行工作状态的切换。为了实现上述内容,既需要解决冷却和燃烧的闭环结合,又需要解决不同物态煤油燃烧的切换。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题就是针对现有技术的缺陷,提出一种主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置,适用于亚声速燃烧冲压发动机冷却和燃烧闭环工作,并能够在液态和超临界态煤油燃烧两种工况下进行燃烧切换。

[0005] 为了解决上述问题,本发明提供一种主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置,包括:供油系统、煤油管路、切换系统、氢气供给系统、点火器、测量系统和控制系统,其中,

[0006] 所述供油系统与煤油管路相连,提供用于冷却和燃烧的煤油;所述煤油管路包括煤油输送总管路、超临界态煤油管路和液态煤油管路,其中,所述煤油输送总管路对亚燃冲压发动机的燃烧室和尾喷管进行冷却,所述煤油输送总管路的出口连接超临界态煤油管路和液态煤油管路;

[0007] 所述氢气供给系统与点火器相连,所述点火器位于在燃烧室壁面上,用于点燃煤油;

[0008] 所述控制系统与供油系统、氢气供给系统、点火器、测量系统和切换系统相连,用于控制煤油和氢气输送,控制点火器点燃煤油,以及根据测量系统检测到的煤油温度,控制切换系统使超临界态煤油管路处于关闭或导通状态。

[0009] 优选地,所述切换系统包括煤油切换阀,所述煤油切换阀位于超临界态煤油管路上,初始为关闭状态;

[0010] 所述测量系统包括温度传感器,所述温度传感器位于煤油输送总管路上,尾喷管冷却煤油出口和音速喷管流量计之间;所述控制系统与所述温度传感器和煤油切换阀相连;控制系统通过温度传感器检测到煤油温度达到超临界状态时,则开启煤油切换阀,使超临界态煤油管路和液态煤油管路均为导通状态。

[0011] 优选地,所述装置还包括冷凝器和冷却管道;所述切换系统还包括二位五通阀、第

一气动截止阀和第二气动截止阀；所述冷凝器与所述冷却管道相连，用于收集实验开始前提前通入的冷却煤油和实验结束后继续对设备进行冷却的煤油；

[0012] 所述煤油输送总管路上设置有音速喷管流量计，所述第一气动截止阀位于所述煤油输送总管路上，音速喷管流量计的出口；所述第二气动截止阀位于所述冷却管道上；所述冷却管道一端连接所述煤油输送总管路，且位于音速喷管流量计的出口和第一气动截止阀之间，另一端连接所述冷凝器；

[0013] 所述二位五通阀与控制系统相连，且二位五通阀的常开端连接第二气动截止阀，二位五通阀的常闭端连接第一气动截止阀；实验时，控制系统控制二位五通阀动作，使得第一气动截止阀打开，第二气动截止阀关闭。

[0014] 优选地，所述超临界态煤油管路末端设置有超临界态煤油喷油孔，所述超临界态煤油喷油孔位于燃烧室面向尾喷管的法兰盘上；

[0015] 所述液态煤油管路末端设置有液态煤油喷油孔，所述液态煤油喷油孔位于进气道与燃烧室连接处的进气道侧壁面上。

[0016] 优选地，所述超临界态煤油喷油孔的面积比液态煤油喷油孔面积大一个数量级。

[0017] 优选地，所述超临界态煤油喷油孔为 8 个，直径为 1.5 毫米；

[0018] 所述液态煤油喷油孔在两侧进气道上各有 4 个，直径为 0.4mm 毫米。

[0019] 优选地，所述点火器位于所述法兰盘的圆心；所述氢气供给系统与所述超临界态煤油喷油孔相连，用于将引燃用的氢气借用超临界煤油喷孔喷入燃烧室；

[0020] 所述控制系统在实验开始时和控制切换系统使超临界态煤油管路处于导通状态时，控制点火器点火。

[0021] 优选地，所述供油系统包括相连的储油罐和油泵，所述油泵与煤油输送总管路相连；

[0022] 所述切换系统还包括煤油总开关阀，所述煤油总开关阀与所述控制系统相连，位于所述煤油输送总管上。

[0023] 优选地，所述测量系统还包括涡轮流量计和压力传感器；

[0024] 所述涡轮流量计位于所述煤油输送总管上，用于测量煤油流量，并将测量结果发送至所述控制系统；

[0025] 所述压力传感器位于煤油输送总管路上，尾喷管冷却煤油出口和音速喷管流量计之间，与所述控制系统相连，用于测量尾喷管冷却煤油出口的煤油压力，并将测量结果发送至所述控制系统。

[0026] 在主动冷却亚燃冲压发动机上应用本发明的冷却和燃烧闭环切换装置，一方面，使得亚燃冲压发动机的工作状态从单一的液态煤油燃烧工况提升到液态煤油燃烧和超临界态煤油燃烧的双模态工况；另一方面，超临界态煤油燃烧大大提高了亚燃冲压发动机的燃烧效率。

## 附图说明

[0027] 图 1 是本发明实施例的主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置示意图；

[0028] 图 2 是本发明实施例的主动冷却亚燃冲压发动机燃烧推力曲线；

[0029] 图 3 是本发明实施例的主动冷却亚燃冲压发动机进气道和燃烧室总温曲线。

### 具体实施方式

[0030] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0031] 如图 1 所示,本发明实验中所使用的亚燃冲压发动机由进气道、燃烧室和尾喷管组成。进气道由两个弧形通道连接到燃烧室上;燃烧室截面为圆形,由两段直径不等的圆柱筒组成;尾喷管截面也是圆形,尾喷管先收缩后扩张。实验中需要冷却的部分包括燃烧室和尾喷管两部分。燃烧室和尾喷管的壁面内开设冷却通道,煤油从冷却通道内流过,带走壁面热量,以保护燃烧室和尾喷管。

[0032] 本发明实施例的主动冷却亚燃冲压发动机冷却和燃烧闭环切换装置包括:供油系统、煤油管路、切换系统、氢气供给系统、点火器、测量系统和控制系统,其中,

[0033] 所述供油系统与煤油管路相连,提供用于冷却和燃烧的煤油;所述煤油管路包括煤油输送总管路、超临界态煤油管路和液态煤油管路,其中,所述煤油输送总管路对亚燃冲压发动机的燃烧室和尾喷管进行冷却,所述煤油输送总管路的出口连接超临界态煤油管路和液态煤油管路;

[0034] 所述氢气供给系统与点火器相连,所述点火器位于在燃烧室壁面上,用于点燃煤油;

[0035] 所述控制系统与供油系统、氢气供给系统、点火器、测量系统和切换系统相连,用于控制煤油和氢气输送,控制点火器点燃煤油,以及根据测量系统检测到的煤油温度,控制切换系统使超临界态煤油管路处于关闭或导通状态。

[0036] 该装置还可包括冷凝器和冷却管道,所述冷凝器与所述冷却管道相连,用于收集实验开始前提前通入的冷却煤油和实验结束后继续对设备进行冷却的煤油。冷却管道一端连接所述煤油输送总管路,且位于音速喷管流量计的出口和第一气动截止阀之间,另一端连接所述冷凝器;

[0037] 供油系统包括相连的储油罐和油泵(柱塞泵),油泵与煤油输送总管路相连。

[0038] 氢气供给系统包括相连的氢气储气瓶和氢气管道。

[0039] 切换系统包括切换系统还包括煤油总开关阀、氢引开关阀、煤油切换阀、二位五通阀、第一气动截止阀和第二气动截止阀。煤油总开关阀、氢引开关阀、煤油切换阀和二位五通阀均与控制系统相连。煤油总开关阀位于所述煤油输送总管上,氢引开关阀位于氢气管道上;煤油切换阀位于超临界态煤油管路上;第一气动截止阀位于煤油输送总管路上,音速喷管流量计的出口;第二气动截止阀位于所述冷却管道上;二位五通阀的常开端连接第二气动截止阀,二位五通阀的常闭端连接第一气动截止阀。

[0040] 测量系统包括涡轮流量计、温度传感器和压力传感器,所述涡轮流量计位于所述煤油输送总管上,煤油总开关阀之后,用于测量煤油流量,并将测量结果发送至所述控制系统。温度传感器位于煤油输送总管路上,尾喷管冷却煤油出口和音速喷管流量计之间;所述控制系统与所述温度传感器和煤油切换阀相连;控制系统通过温度传感器检测到煤油温度达到超临界状态时,则开启煤油切换阀,使超临界态煤油管路和液态煤油管路均为导通状态。压力传感器位于煤油输送总管路上,尾喷管冷却煤油出口和音速喷管流量计之间,与所

述控制系统相连,用于测量尾喷管冷却煤油出口的煤油压力,并将测量结果发送至所述控制系统。

[0041] 超临界态煤油管路末端设置有超临界态煤油喷油孔,液态煤油管路末端设置有液态煤油喷油孔。液态煤油喷孔的设计可以根据实验所需的液态煤油流量进行设计,其设计思路是根据孔板流量计的原理,选择合适的喷注压力和流量计算设计其喷孔面积。因为超临界态煤油比液态煤油密度约小一个数量级,要使得同样流量的超临界态煤油能够喷注进入燃烧室,需要所述超临界态煤油喷油孔面积要比液态煤油喷油孔面积大一个数量级。考虑到煤油密度随温度的变化,所述超临界态煤油喷孔要设置的更大一些,而超临界态时煤油流量通过音速喷管流量计进行控制。本实施例中,液态煤油喷油孔设置在进气道与燃烧室连接处的进气道侧壁面上,两侧进气道上各设置了4个 $\Phi 0.4\text{mm}$ 的孔。超临界态煤油喷油孔设置在燃烧室面向尾喷管的法兰盘上,以法兰圆心为圆心45mm为半径开设了8个 $\Phi 1.5\text{mm}$ 的喷油孔。由于超临界态煤油喷孔的面积比液态煤油喷孔的面积大一个数量级以上,故在超临界态煤油管路开通时,液态煤油管路的煤油流量可以忽略。

[0042] 在本发明中,冷却煤油的供油是由油泵从储油罐中抽取室温状态的液态煤油并供给冷却油路。液态煤油的流量通过油泵出口处的涡轮流量计测量其流量并反馈给控制系统。冷却煤油从燃烧室前端的冷却油入口进入燃烧室的冷却通道,对燃烧室进行冷却之后,再进入尾喷管的冷却通道,对尾喷管进行冷却。燃烧室和尾喷管在冷却油路上是串联关系,只需一路煤油进行冷却。冷却煤油从尾喷管末端的冷却煤油出口流出,此时用温度传感器(如K行热电偶)和压力传感器分别测量冷却煤油出口温度和压力,并反馈给控制系统。在压力和温度测量点之后,煤油输送总管路立即连接音速喷管流量计。音速喷管流量计的原理是根据超临界态液态的流动特性与气体一样,只要温度够高,可以加速到音速而不发生凝结,因此,气态和超临界态煤油的流量可以用音速喷管流量计测量。当煤油达到超临界温度时,根据音速喷管流量计入口的压力、温度和流量计的通径面积就可以计算煤油流量。当煤油温度低于超临界温度时,煤油的密度远大于超临界煤油密度,故对于液态煤油音速喷管流量计不起流量控制作用。煤油经过音速喷管流量计之后,煤油输送总管路分为两路,一路通向冷凝器,另一路将煤油通入燃烧室喷油孔进行燃烧。这两路管道上各安装了一个气动截止阀,两个气动截止阀由一个二位五通阀控制,通向冷凝器管路的第二气动截止阀接二位五通阀的常通端口,通向燃烧室喷油孔管路的第一气动截止阀接二位五通阀的常闭端口。以此来保证通向冷凝器和燃烧室喷油孔的两条管路中有且仅有一条是畅通的。冷凝器用于收集实验开始前预排放的冷却煤油和实验结束后继续冷却保护实验装置的冷却煤油。因此,通向冷凝器的管路要保持常通状态。而实验开始时,二位五通阀切换,打开通向燃烧室喷油孔的管路,关闭通向冷凝器的管路,使得冷却煤油喷入燃烧室。冷却煤油通向燃烧室的管路又分为两路,一路为液态煤油管路,通向燃烧室液态煤油喷油孔,另一路为超临界态煤油管路,通向燃烧室超临界态煤油喷油孔。液态煤油管路上设置有一个气动截止阀作为煤油切换阀。在煤油温度未达到超临界温度时,煤油切换阀处于关闭状态,此时只有液态煤油管路通畅。当煤油温度达到超临界温度后,煤油切换阀开启,此时液态煤油管路和超临界态煤油管路均为通畅状态。当液态煤油喷入燃烧室时,同时开启点火器和氢气将液态煤油点燃。由于超临界态煤油喷油孔面积比液态煤油喷油孔面积大一个数量级以上,故当煤油切换阀开启后,90%以上的煤油从超临界态煤油喷油孔喷入燃烧室。通过煤油切换阀的通断

就解决了液态煤油和超临界态煤油的切换。并且在切换瞬间开启点火器 3 秒钟,就可以保证切换后超临界态煤油能够顺利点燃。

[0043] 图 2 给出的主动冷却亚燃冲压发动机实验中的推力随时间变化曲线。从图中可以看出 39s 时推力有一个下降的突变。此时刻代表的是液态煤油和超临界态煤油切换点。从图中看出切换后推力迅速恢复,表明了超临界态煤油切换后正常燃烧。图 3 给出的是亚燃冲压发动机进气道和燃烧室总温随时间变化曲线。从图中可以看出,进气道总温在实验过程中始终保持平稳状态。证明来流的热空气温度是恒温的。而燃烧室总温同样在 39s 时出现了一个下降的突变。39s 之前的是液态煤油燃烧,39s 之后是超临界态煤油燃烧,可以看出超临界态煤油燃烧温度比液态煤油燃烧温度更高。证明了超临界态煤油燃烧效率更高。

[0044] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



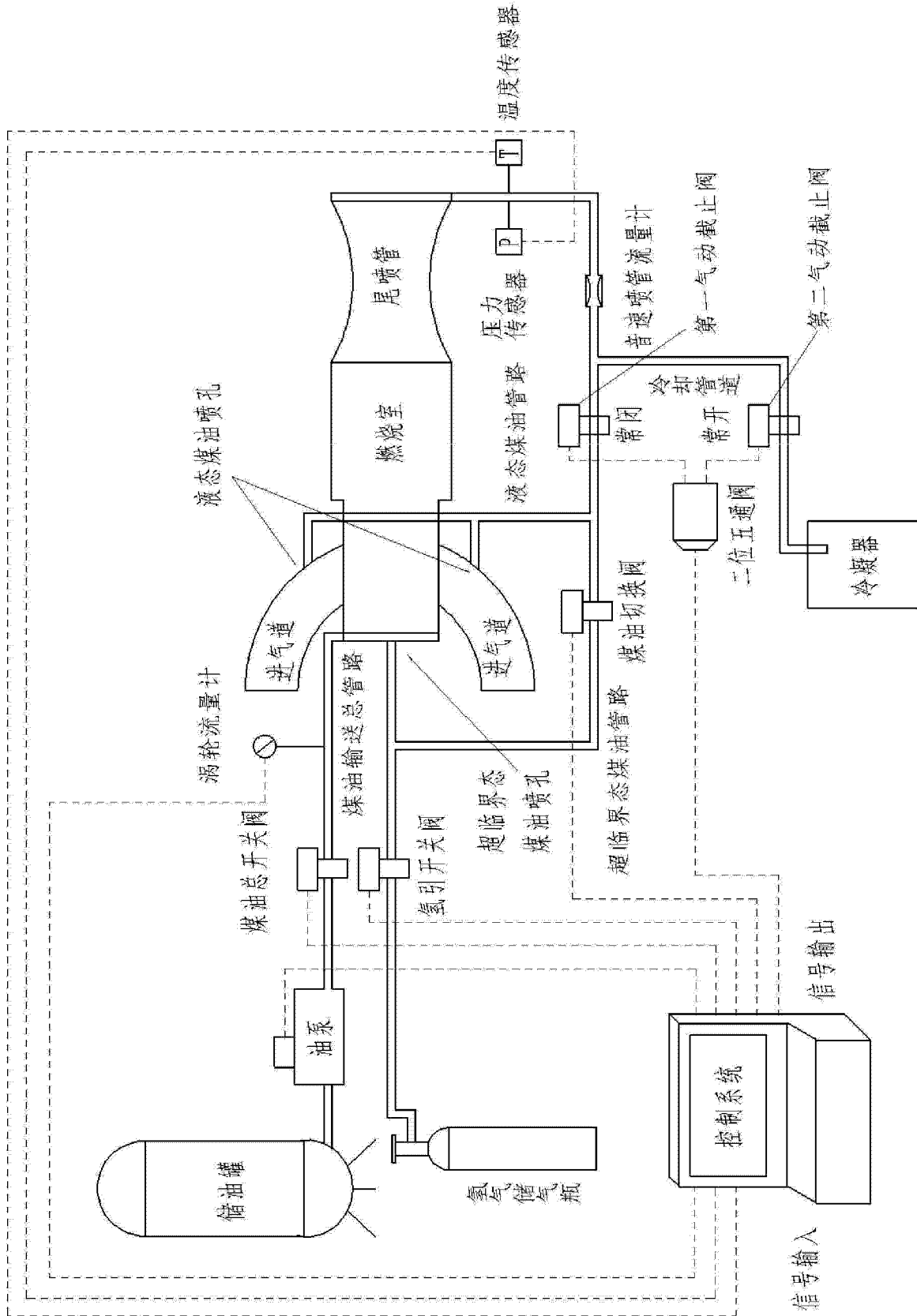


图 1

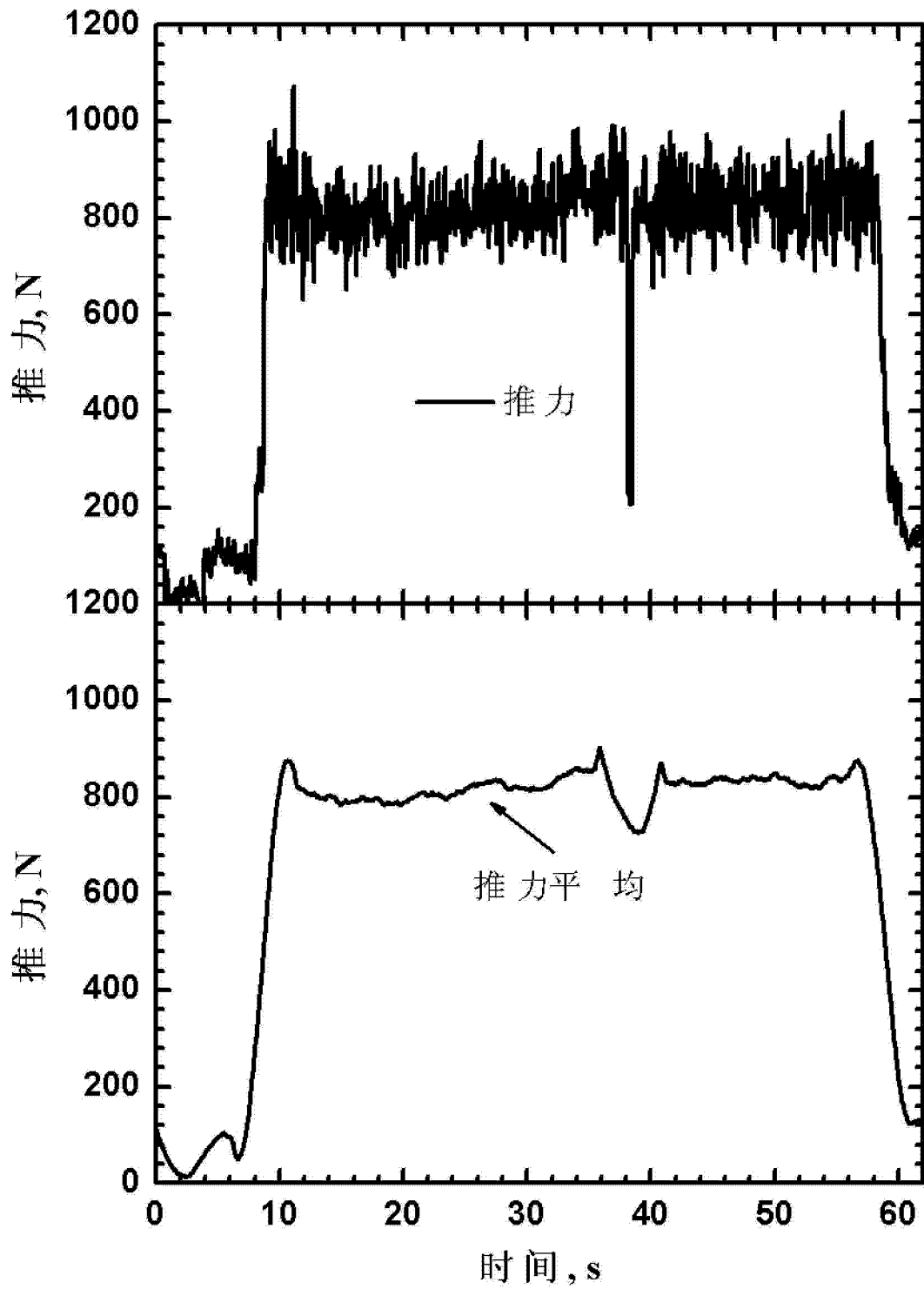


图 2

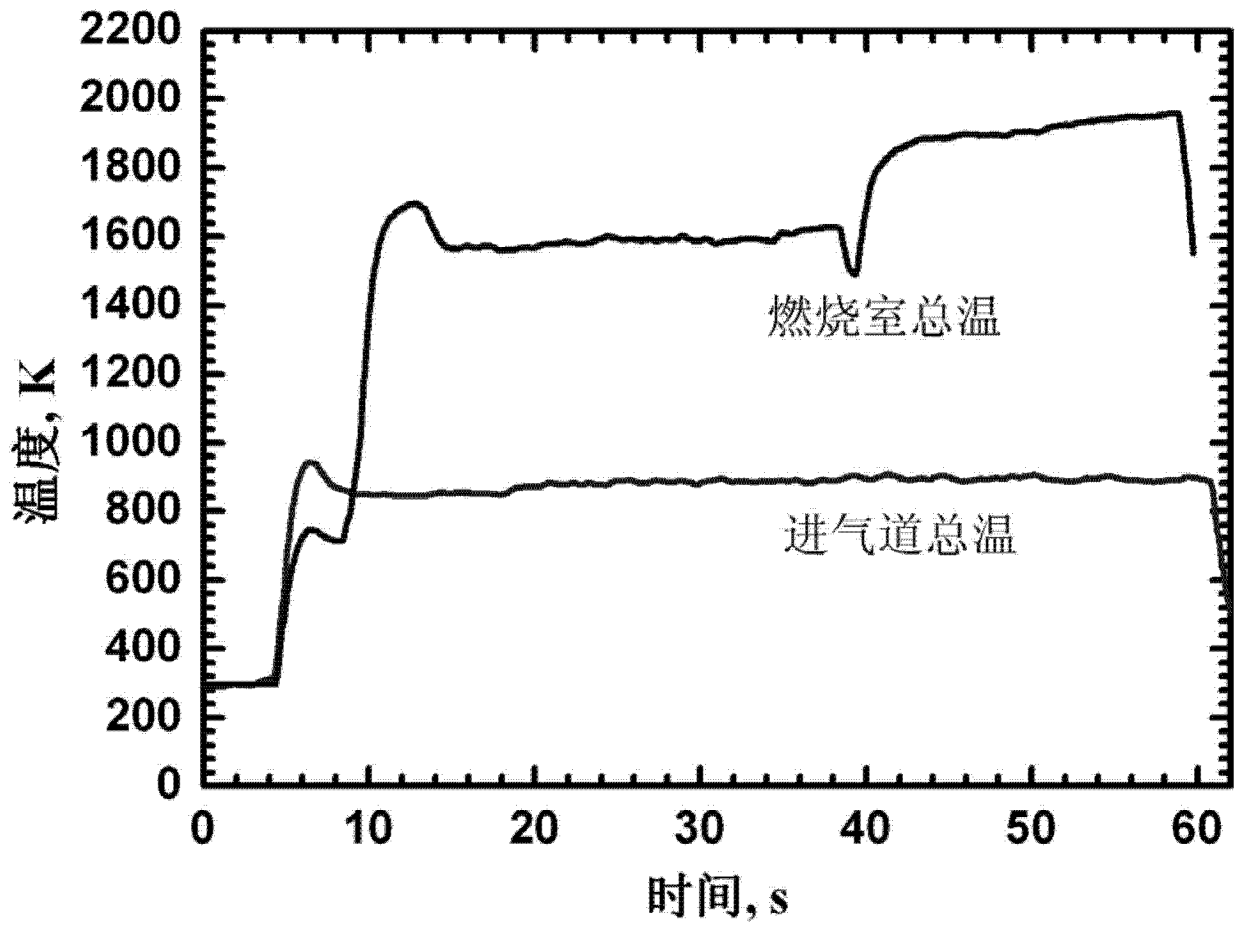


图 3