



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103676981 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201310436804. 1

(22) 申请日 2013. 09. 24

(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 李龙 王晶 程迪 袁涛 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.

G05D 7/06(2006. 01)

G01N 31/12(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 2756964 Y, 2006. 02. 08,

JP H11126101 A, 1999. 05. 11,

US 2011060470 A1, 2011. 03. 10,

CN 1687661 A, 2005. 10. 26,

张建强等. 燃烧加热型煤油加热器工作特性
试验. 《国防科技大学学报》. 2013, 第 35 卷 (第
4 期), 第 30-34 页.

仲峰泉等. 带主动冷却的超声速燃烧室传热
分析. 《推进技术》. 2009, 第 30 卷 (第 5 期), 第
513-517、532 页.

江晨曦等. 超临界压力下航空煤油流动与传
热特性试验. 《推进技术》. 2010, 第 31 卷 (第 2
期), 第 230-234 页.

范学军等. 超临界煤油超声速燃烧特性实
验. 《推进技术》. 2006, 第 27 卷 (第 1 期), 第
79-82 页.

韦又毓. 含有两相流的超燃冲压发动机燃油
供给系统控制研究. 《万方学位论文》. 2013, 摘
要、第 4.3 节及图 4-1.

审查员 魏利君

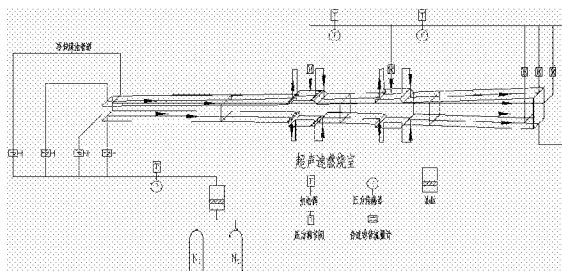
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

超声速燃烧试验的煤油流量控制方法

(57) 摘要

本发明公开一种超声速燃烧试验的煤油流量
控制方法, 包括: 流量计实时检测输入至超声速
燃烧室的冷却槽道的煤油流量, 并将煤油流量信
息发送至控制单元; 控制单元根据接收到的煤油
流量信息, 通过调节单元控制流量调节阀, 调节
输入至超声速燃烧室燃烧的煤油的流量. 本发明
能够对采用煤油主动冷却的超声速燃烧试验中的
冷却煤油的流量的不断变化做出实时的调节, 使
得长时间的超声速燃烧试验中, 煤油的流量始
终保持稳定, 这样就能够保证超声速燃烧室的
整体温度在一个安全范围内, 避免发生危险.



CN 103676981 B

1. 一种超声速燃烧试验的煤油流量控制方法,包括:

流量计实时检测输入至超声速燃烧室的冷却槽道的煤油流量,并将煤油流量信息发送至控制单元;

控制单元根据接收到的煤油流量信息,通过调节单元控制流量调节阀,调节输入至超声速燃烧室燃烧的煤油的流量;

当煤油输运管道中的煤油流量减小时,所述控制单元监测到的流量计的煤油流量信号减小,则通过调节单元控制流量调节阀进行阀门开大的操作,阀门单位面积的开大速度等于煤油的密度减小速度,使得通过开大阀门增加的煤油流量等于煤油密度减小造成的煤油流量损失,从而保持控制过程中的煤油流量恒定;

当煤油输运管道中的煤油流量增大时,所述控制单元监测到的流量计的煤油流量信号增大,则通过调节单元控制流量调节阀进行阀门关小的操作,阀门单位面积的关小速度等于煤油密度的增大速度,使得通过关小阀门减小的煤油流量等于煤油密度增加造成的煤油流量增加,从而保持控制过程中的煤油流量恒定。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,

所述调节单元包括依次相连的电机控制器、电机和联轴器,其中,所述电机控制器与所述控制单元相连,所述联轴器与所述流量调节阀的阀杆相连;

所述控制单元通过调节单元控制流量调节阀的步骤包括:

所述控制单元发送控制信号至所述电机控制器;

所述电机控制器接收到的控制信号,调节所述电机的运转方向和转速;

所述电机通过所述联轴器带动所述流量调节阀进行不同速度的开关操作。

超声速燃烧试验的煤油流量控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超声速燃烧试验领域,特别涉及一种应用于煤油主动冷却的超声速燃烧试验的煤油流量控制方法。

背景技术

[0002] 在超声速燃烧试验中,需要各种气体和液体(主要有空气、氢气、氧气、氮气、乙烯、航空煤油等)通过管道输送以一定的流量比例和准确到达燃烧室的时间来完成点火、燃烧和做功的过程。实验中,通常是氢气和氧气首先汇合点火,产生一个高温(温度大于 1200 摄氏度)、高压(压力高于 1MPa)的气体,这个高温、高压的气体再经过一个拉瓦尔喷管产生超声速气流(马赫数大于 2),然后超声速气流进入燃烧室,在燃烧室中喷注入煤油,进行点火,燃烧,这就是超声速燃烧试验的大致过程。

[0003] 在这个过程中,燃烧室中的煤油点火燃烧后气流的总温可到 2500℃ 以上。这样的高温条件下,必须对组成燃烧室的构件进行冷却。目前最好的冷却方式是采用自带的碳氢燃料(通常为高热沉的航空煤油)进行冷却,使得燃烧室温度降低、燃料温度升高,再将高温燃料喷入燃烧室进行燃烧,形成一个闭环过程,高温燃料的燃烧效率要远高于常温燃料。这就是采用煤油闭环主动冷却的超声速燃烧。这样做的优点是在飞行器飞行过程中不用携带其他的冷却剂,即通过闭环主动冷却,及保护了超声速燃烧室的安全运行,也能够有效的提高燃料的燃烧效率。

[0004] 如图 1 所示,为煤油主动冷却的闭环超声速燃烧室的示意图,从图中可以看出,冷却煤油分成 4 路分别对 4 块燃烧室面板进行冷却后再汇聚到一起,喷注入燃烧室进行燃烧。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题就是,上述燃烧室冷却结构中由于没有流量控制或调节装置,而可能导致煤油温度逐渐上升,密度减小、压力升高,流量减小,造成燃烧的冷却量减小,燃烧室温度升高,容易发生危险的问题,提出一种应用于煤油主动冷却的超声速燃烧试验的煤油流量控制方法,使得超声速燃烧试验中的冷却煤油的流量保持稳定。

[0006] 为了解决上述问题,本发明提供一种超声速燃烧试验的煤油流量控制方法,包括:

[0007] 流量计实时检测输入至超声速燃烧室的冷却槽道的煤油流量,并将煤油流量信息发送至控制单元;

[0008] 控制单元根据接收到的煤油流量信息,通过调节单元控制流量调节阀,调节输入至超声速燃烧室燃烧的煤油的流量。

[0009] 优选地,所述调节单元包括依次相连的电机控制器、电机和联轴器,其中,所述电机控制器与所述控制单元相连,所述联轴器与所述流量调节阀的阀杆相连;

[0010] 所述控制单元通过调节单元控制流量调节阀的步骤包括:

[0011] 所述控制单元发送控制信号至所述电机控制器;

- [0012] 所述电机控制器接收到的控制信号,调节所述电机的运转方向和转速;
- [0013] 所述电机通过所述联轴器带动所述流量调节阀进行不同速度的开关操作。
- [0014] 优选地,当煤油输运管道中的煤油流量减小时,所述控制单元监测到的流量计的煤油流量信号减小,则通过调节单元控制流量调节阀进行阀门开大的操作;
- [0015] 当煤油输运管道中的煤油流量增大时,所述控制单元监测到的流量计的煤油流量信号增大,则通过调节单元控制流量调节阀进行阀门关小的操作。
- [0016] 优选地,当煤油输运管道中的煤油流量减小时,所述控制单元通过调节单元控制流量调节阀进行阀门开大的操作,阀门单位面积的开大速度等于煤油的密度减小速度,使得通过开大阀门增加的煤油流量等于煤油密度减小造成的煤油流量损失,从而保持控制过程中的煤油流量恒定;
- [0017] 当煤油输运管道中的煤油流量增大时,所述控制单元通过调节单元控制流量调节阀进行阀门关小的操作,阀门单位面积的关小速度等于煤油密度的增大速度,使得通过关小阀门减小的煤油流量等于煤油密度增加造成的煤油流量增加,从而保持控制过程中的煤油流量恒定。
- [0018] 本发明能够对采用煤油主动冷却的超声速燃烧试验中的冷却煤油的流量的不断变化做出实时的调节,使得长时间的超声速燃烧试验中,煤油的流量始终保持稳定,这样就能够保证超声速燃烧室的整体温度在一个安全范围内,避免发生危险。

附图说明

- [0019] 图 1 为现有技术采用闭环主动冷却的超声速燃烧室示意图;
- [0020] 图 2 为喉道流量示意图;
- [0021] 图 3 为不采用流量控制的典型温度升高曲线;
- [0022] 图 4 为不采用流量控制的典型流量下降曲线;
- [0023] 图 5 为本发明实施例的超声速燃烧试验的煤油流量控制装置示意图;
- [0024] 图 6 为本发明应用实例例的超声速燃烧试验的煤油流量控制装置示意图;
- [0025] 图 7 为超声速燃烧试验中添加控制装置与不加控制装置的流量曲线对比图。

具体实施方式

- [0026] 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。
- [0027] 在采用煤油主动冷却的闭环超声速燃烧试验中,冷却油路在燃烧室运行过程中,随着油温的不断升高,煤油密度下降,油压升高,会使得煤油流量下降。这样在几条并联的冷却通道中,如果某一路油温率先开始升高,压力增加,流量下降,会使得其余通道流量增加,进一步的流量下降会使得该通道冷却不充分,油温进一步升高,流量进一步下降,形成一个正反馈系统,从而导致该冷却面板流量过低而被烧毁。
- [0028] 在超声速燃烧试验运行中,为了保证冷却结束后的热煤油在喷注入燃烧室进行燃烧时有较大的穿透深度,需要喷注压力较大。为了取得一个较大的喷注压力,需要在冷却通道的末端安装一个拉瓦尔超音速喷管流量计,产生一个喉道节流的效果,从而提高喷注压力,喷管在冷却通道的位置如图 1 所示。采用喷管还有一个好处就是能够提高冷却通道内

煤油的压力,避免煤油压力过低而变为气态造成冷却效果变差。

[0029] 对于煤油冷却通道中的“喉道”——音速喷管流量计进行分析,如图 2 所示,煤油流量为

$$[0030] \quad Q = \rho u A \quad (1)$$

[0031] 上述参数均为喉道参数。

[0032] 实验过程中,流量的变化为

$$[0033] \quad \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{u} \frac{du}{dt} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} \quad (2)$$

[0034] 实验运行中,喉道面积不变,即

$$[0035] \quad \frac{dA}{dt} = 0 \quad (3)$$

[0036] 对于音速喷管流量计,流速基本上决定于上下游的压差。实验中上下游的压差也基本上保持恒定,因此流速也保持不变,即

$$[0037] \quad \frac{du}{dt} = 0 \quad (4)$$

[0038] 实验中,随着实验的进行,煤油温度升高,使得密度降低,即

$$[0039] \quad \frac{d\rho}{dt} < 0 \quad (5)$$

[0040] 因此可以得出,实验过程中,煤油温度升高,流量是减小的,即

$$[0041] \quad \frac{dQ}{dt} < 0 \quad (6)$$

[0042] 如图 3 和图 4 所示为典型的实验中燃烧室上部面板的不采用流量控制时的温度和流量的变化曲线,从图中可以看出,随着时间的推移,煤油温度在迅速升高,最高升到了 400 摄氏度以上,而流量则从最开始的 80g/s 下降到了 40g/s 以下。

[0043] 煤油流量的减小使得燃烧室的冷却量减小,燃烧室温度升高,煤油温度进一步升高,导致煤油流量的再减小,这样就会形成一个正反馈,最后造成燃烧室温度过高而烧毁的危险情况。

[0044] 根据上面的分析,为了能够对管道中的煤油流量进行调节,必需对管道中的喉道面积或直径进行调节。因此,这里将原来的拉瓦尔喷管改成了一个流量调节阀,能够起到一个可调节喉道面积的喉道作用,再针对这个调节阀,开发出一个系统,形成了一套应用于超声速燃烧试验的煤油流量控制装置。

[0045] 如图 5 所示,为煤油流量控制装置的示意图,其中,包括:控制单元、流量计、超声速燃烧室、煤油输运管道、流量调节阀和调节单元,其中,所述控制单元分别与所述流量计和调节单元相连,所述调节单元与所述流量调节阀相连,所述流量计和流量调节阀均位于煤油输运管道上;所述超声速燃烧室与所述煤油输运管道相连;流量计实时检测输入至超声速燃烧室的冷却槽道的煤油流量,并将煤油流量信息发送至所述控制单元;控制单元根据接收到的煤油流量信息,通过调节单元控制流量调节阀,调节输入至所述超声速燃烧室燃烧的煤油的流量。

[0046] 当煤油输运管道中的煤油流量减小时,所述控制单元监测到的流量计的煤油流量

信号减小,则通过调节单元控制流量调节阀进行阀门开大的操作;

[0047] 当煤油输运管道中的煤油流量增大时,所述控制单元监测到的流量计的煤油流量信号增大,则通过调节单元控制流量调节阀进行阀门关小的操作。

[0048] 所述调节单元可包括依次相连的电机控制器、电机和联轴器,其中,所述电机控制器与所述控制单元相连,所述联轴器与所述流量调节阀的阀杆相连;控制单元通过调节单元控制流量调节阀的步骤包括:所述控制单元发送控制信号至所述电机控制器;所述电机控制器接收到的控制信号,调节所述电机的运转方向和转速;所述电机通过所述联轴器带动所述流量调节阀进行不同速度的开关操作。

[0049] 如图 6 所示,为煤油流量控制装置应用实例的示意图,其中,控制单元为控制电脑 11,调节单元包括依次相连的电机控制器 9、电机 7 和联轴器 6。流量调节阀为高温流量调节阀 5。煤油 1 经过煤油输运管道 2 输运后,经过流量计 3 获得一个流量信号,该信号经过信号传输线路 10 进入控制电脑 11,从控制电脑上就能够实时的检测煤油的流量。煤油继续经过超声速燃烧室 4 的冷却槽道,对超声速燃烧室 4 进行冷却,从超声速燃烧室 4 出来的煤油就是高温煤油,再经过一个高温流量调节阀 5,高温流量调节阀 5 主要用于调节流量与压力。从高温流量调节阀 5 出来之后,煤油再喷注入超声速燃烧室 4 进行点火燃烧,这样煤油就形成了一个闭环的燃烧过程。高温流量调节阀 5 的阀杆通过一个联轴器 6 与一个电机 7 相连,这样通过电机 7 的转动就能够带动高温流量调节阀 5 进行开关操作。电机 7 是通过的控制线 8 连接到一个电机控制器 9 进行工作的,电机控制器 9 通过控制电脑 10 给出的控制信号,能操作电机 7 进行正反转与调速的转动,从而使得高温流量调节阀 5 进行不同速度的开关操作。

[0050] 增加了流量调节阀 5 之后,喉道面积就可以调节了。此时的流量可进行如下分析。

[0051] 为了使流量保持恒定,则有

$$[0052] \quad \frac{dQ}{dt} = 0 \quad (7)$$

[0053] 对三个参数分别求导,有

$$[0054] \quad \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} = - \left(\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{u} \frac{du}{dt} \right) \quad (8)$$

[0055] 忽略速度的变化量,则有

$$[0056] \quad \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} = - \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} > 0 \quad (9)$$

[0057] 可以看出,面积的变化率等于密度的变化率与流速的变化率的函数,喉道面积可以通过阀门的转动来得到,即

$$[0058] \quad dA = v dt \quad (10)$$

[0059] 上式中, v 为阀门转速,定义正转阀门开大是 $v > 0$,反转阀门关小是 $v < 0$,那么上式则可以写成

$$[0060] \quad \frac{1}{A} v = - \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (11)$$

[0061] 当煤油温度升高,密度减小,流量降低,即

$$[0062] \quad \frac{d\rho}{dt} < 0 \quad (12)$$

[0063] 此时

$$[0064] \quad v = -\frac{A d\rho}{\rho dt} > 0 \quad (13)$$

[0065] 即电机正转, 阀门开大。反之, 当煤油温度降低, 密度增大, 流量增大时, 需要阀门开大。

[0066] 因此, 在采用煤油主动冷却的超声速燃烧试验中, 煤油流量的控制装置的工作过程为:

[0067] 实验运行过程中, 煤油对燃烧室壁面进行冷却, 煤油温度升高, 密度降低, 冷却通道中的煤油流量减小, 为了保持流量恒定, 需要开大流量调节阀来增大喉道面积使得煤油流量增大。这就需要保持阀门单位面积的开大速度等于煤油的密度减小速度, 使得煤油流量减小。即煤油温度升高越快, 密度下降越快, 需要阀门开大的速度就越快。这样就能够使得通过开大阀门增加的煤油流量正好等于煤油密度减小造成的煤油流量损失, 从而保持控制过程中的煤油流量恒定;

[0068] 实验运行过程中, 当煤油冷却量过量时, 油温降低, 密度增加, 冷却通道中的煤油流量增加, 为了保持流量恒定, 需要关小流量调节阀来减小喉道面积使得煤油流量减小。这就需要保持阀门单位面积的关小速度等于煤油密度的增大速度, 使得煤油流量增加。即煤油温度减小越快, 密度增大越快, 需要阀门关小的速度就越快。这样就能够使得通过关小阀门减小的煤油流量正好等于煤油密度增加造成的煤油流量增加, 从而保持控制过程中的煤油流量恒定

[0069] 实际实验中, 为了时刻对流量保持精准的控制, 采用了一台控制电脑 10, 根据流量计 3 的信号检测煤油流量的变化, 当流量减小时, 通过控制程序来控制电机驱动器 9, 驱动电机 7 带动流量调节阀 5 进行开大阀门的操作。反之, 当流量增大时, 就进行关小阀门的操作。

[0070] 如 7 所示为典型的采用煤油冷却的超声速燃烧试验中, 对燃烧室的上部冷却板不使用煤油流量控制, 对西部冷却面板使用煤油流量控制, 两者的流量对比可以很明显的看出来, 上板的流量一直在下降, 西板由于采取了流量控制, 流量始终稳定在一个平稳的值附近。这证明了这套超声速燃烧试验中煤油流量控制方法是成功的。

[0071] 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。

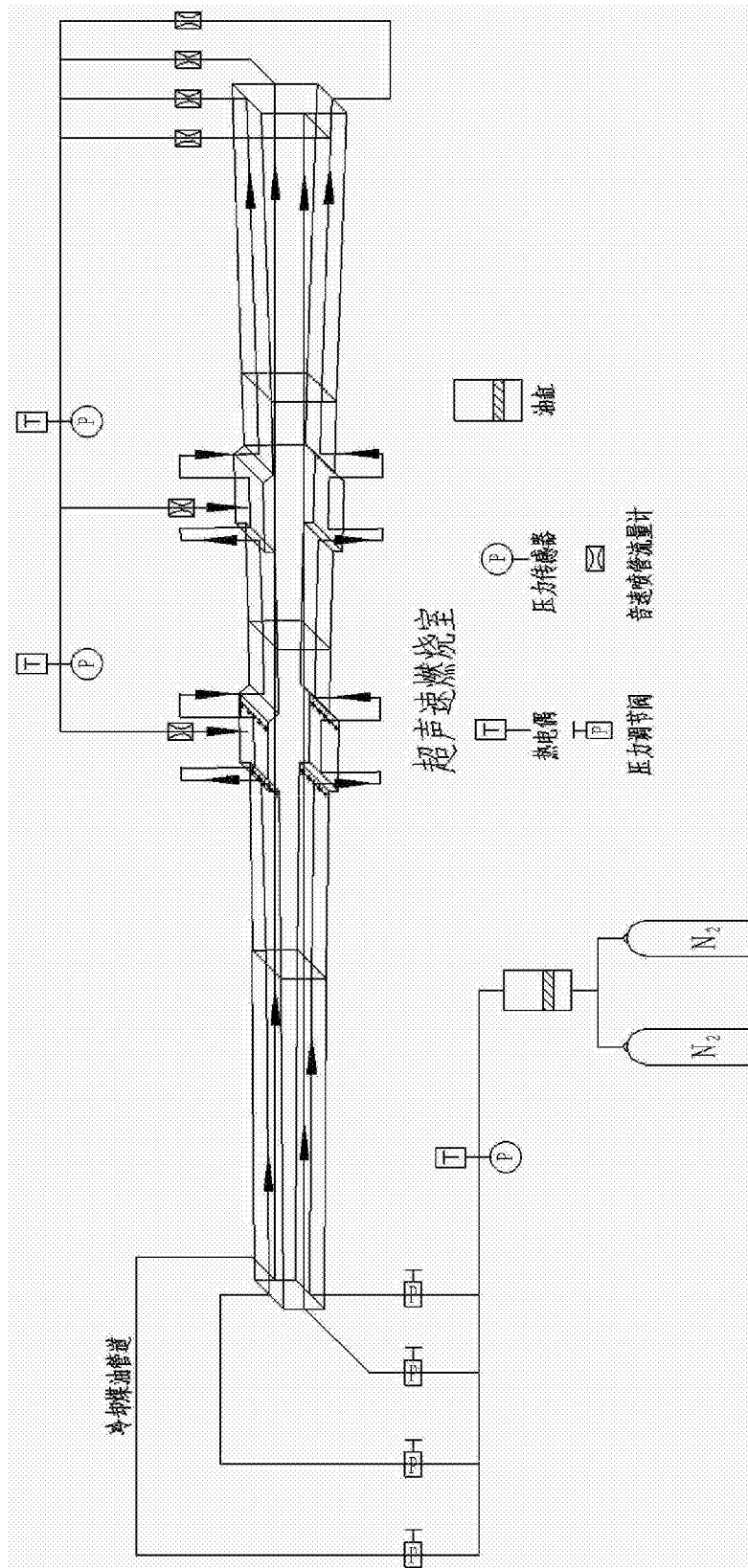


图 1

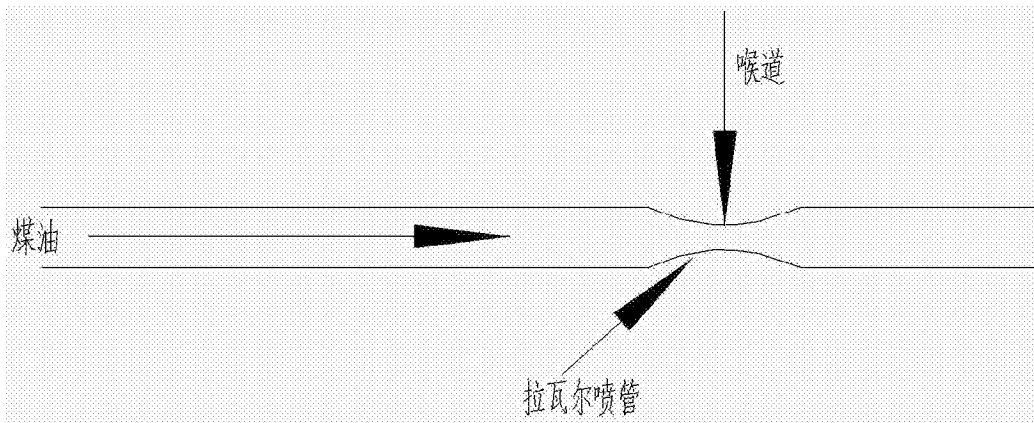


图 2

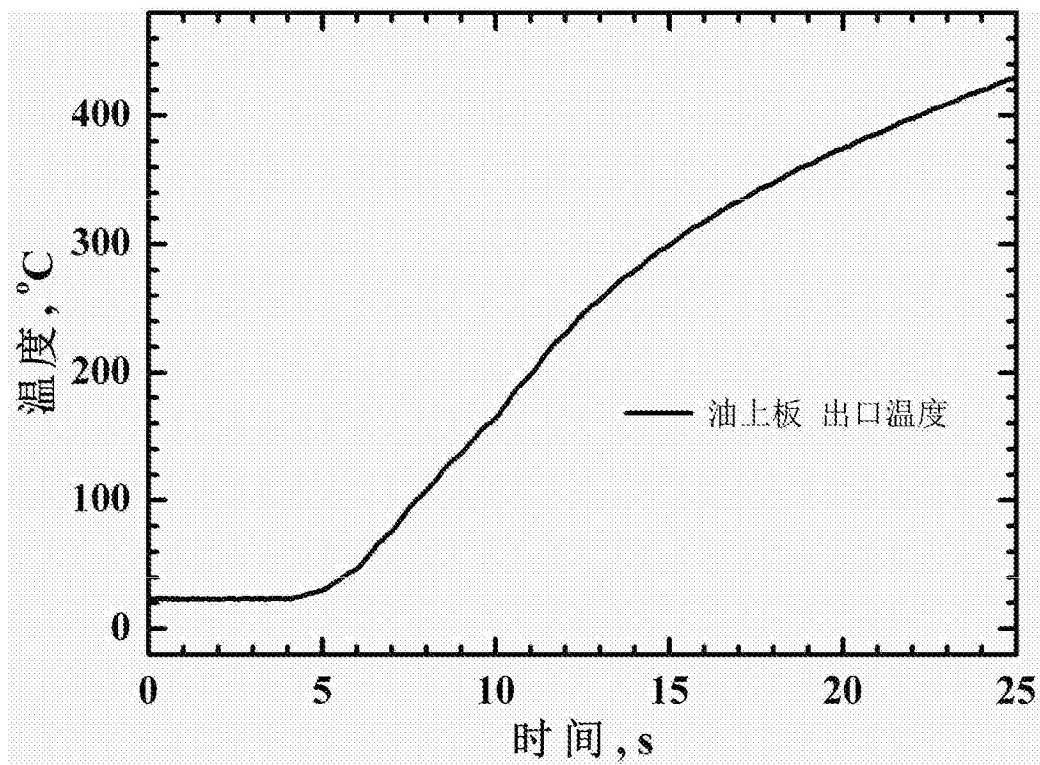


图 3

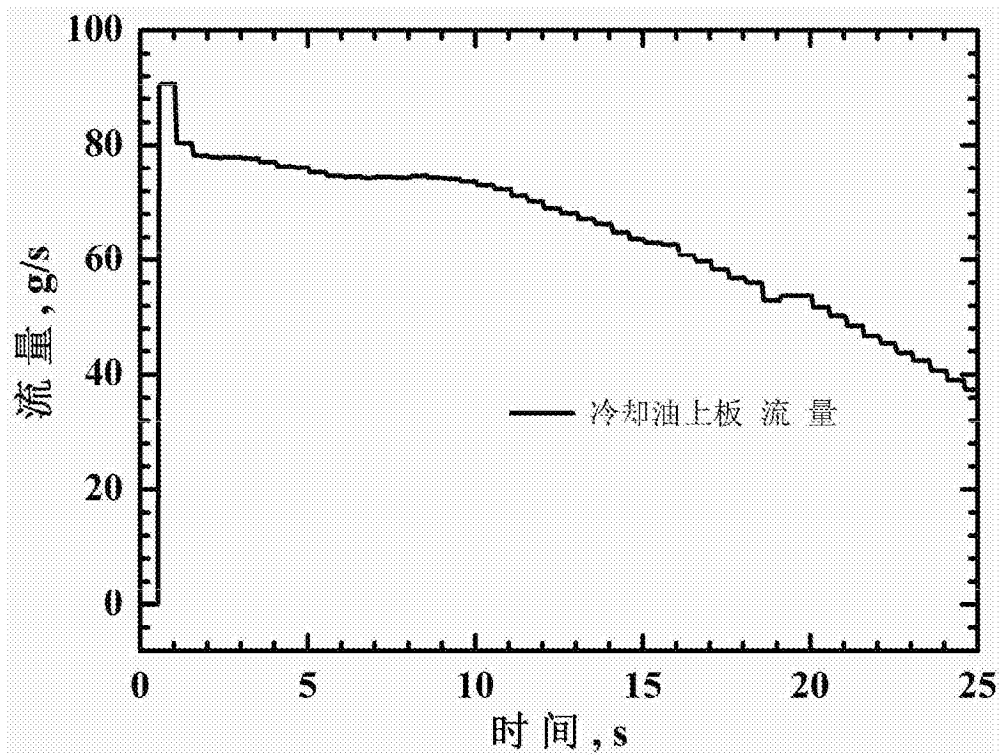


图 4

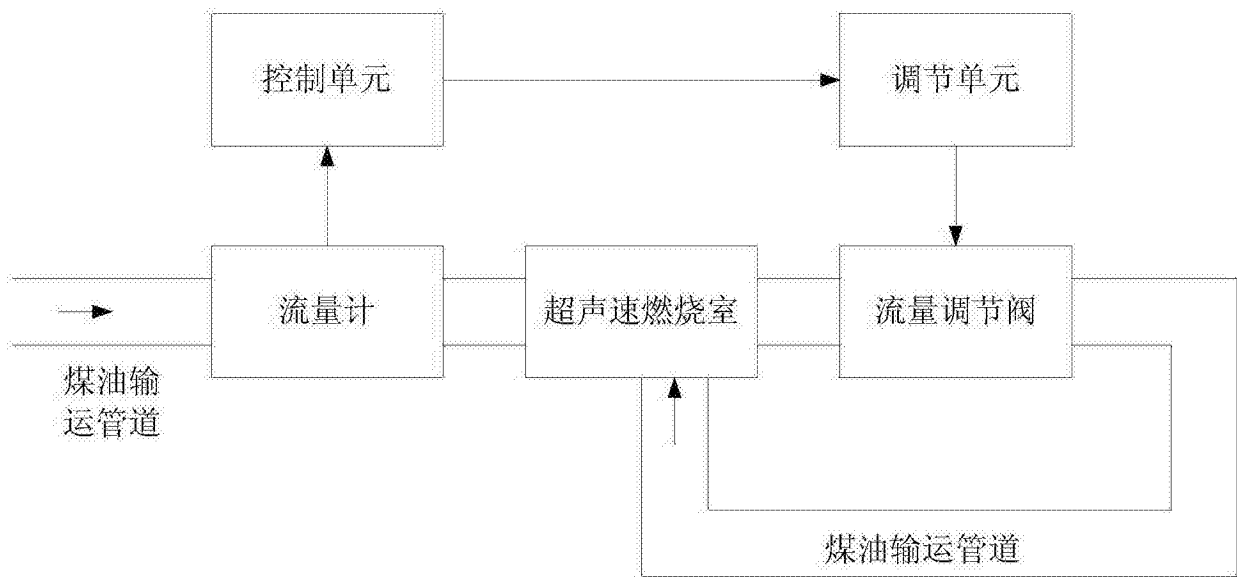


图 5

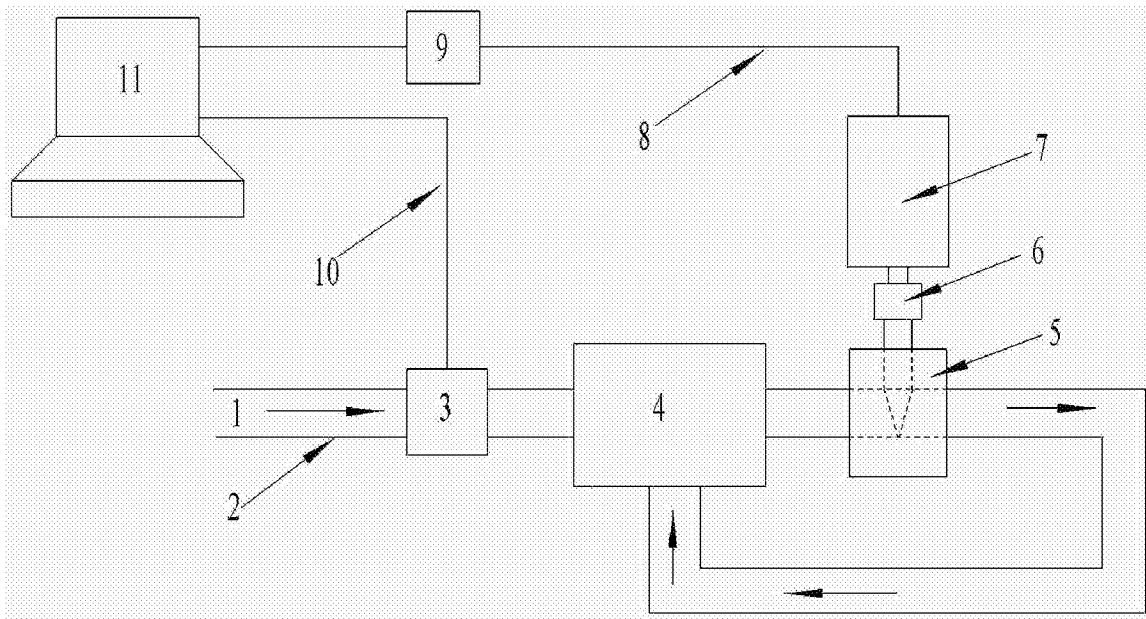


图 6

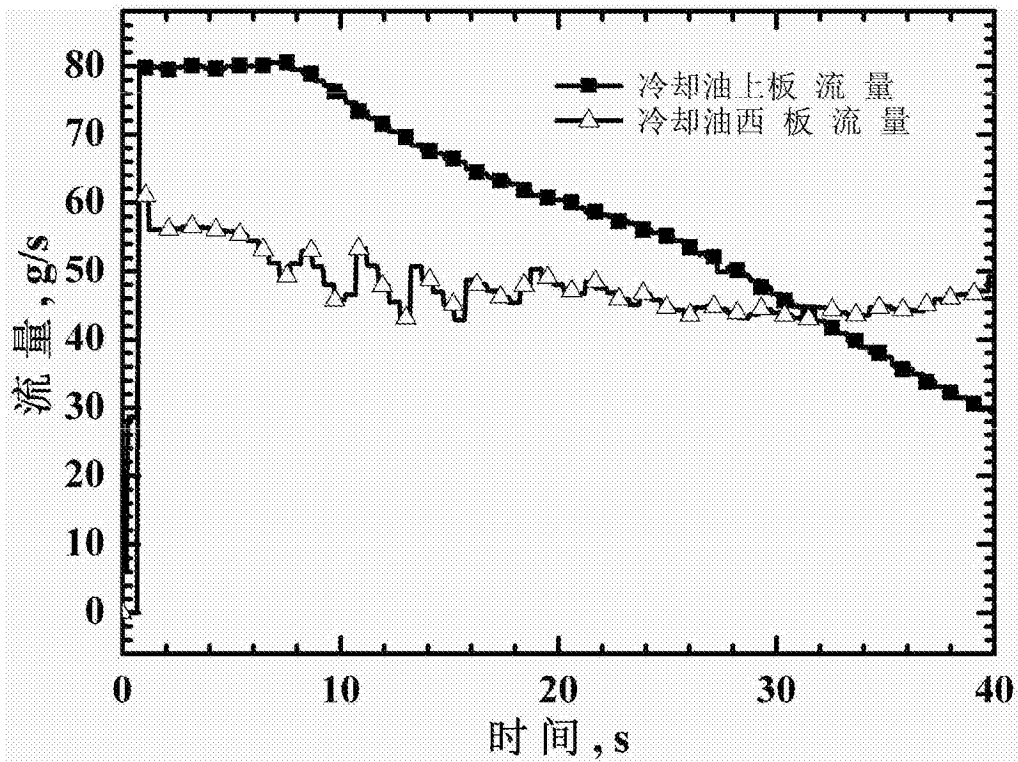


图 7