



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103867338 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201410073479. 1

(22) 申请日 2014. 03. 03

(71) 申请人 北京动力机械研究所

地址 100070 北京市 7208 信箱 2 分箱

(72) 发明人 张义宁 宫继双 朱守梅 孙孔倩  
孟皓

(51) Int. Cl.

F02K 7/02 (2006. 01)

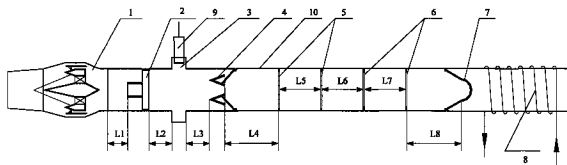
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种两相高频预爆器

(57) 摘要

本发明提出一种两相高频预爆器,包括气动阀和爆震管,所述的爆震管内部沿气流和燃油流动方向依次安装油气分配及掺混装置、扩焰装置、强化燃烧装置 A、强化燃烧装置 B 和激波反射装置,油气分配及掺混装置的前端面与爆震管前端面距离  $L1=(1.0 \sim 1.2D)$ ,在油气分配及掺混装置和扩焰装置之间的爆震管壁面上加工点火凹槽,油气分配及掺混装置的后端面与点火凹槽前端面距离  $L2=(0.5 \sim 0.7D)$ ,点火凹槽的后端面与扩焰装置前端距离  $L3=(1.0 \sim 1.2D)$ 。本发明通过合理设计了爆震室内部结构,优化各个主要部件及安装位置,采用强化燃烧和激波反射相结合的方式,在短距离内实现了缓燃向爆震的转捩。



1. 一种两相高频预爆器,包括气动阀(1)和爆震管(10),其特征在于:所述的爆震管(10)内部沿气流和燃油流动方向依次安装油气分配及掺混装置(2)、扩焰装置(4)、强化燃烧装置A(5)、强化燃烧装置B(6)和激波反射装置(7),油气分配及掺混装置(2)的前端面与爆震管(10)前端面距离 $L_1=(1.0 \sim 1.2D)$ ,在油气分配及掺混装置(2)和扩焰装置(4)之间的爆震管壁面上加工点火凹槽(3),油气分配及掺混装置(2)的后端面与点火凹槽(3)前端面距离 $L_2=(0.5 \sim 0.7D)$ ,点火凹槽(3)的后端面与扩焰装置(4)前端距离 $L_3=(1.0 \sim 1.2D)$ ,扩焰装置(4)的后端与强化燃烧装置A(5)的前端面距离 $L_4=(1.5 \sim 1.7D)$ ,强化燃烧装置B(6)的后端面与激波反射装置(7)的前端距离 $L_8=(1.0 \sim 1.2D)$ ,其中D为爆震管(10)的内径。

2. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的强化燃烧装置A(5)由两片A型强化燃烧装置组成,两片A型强化燃烧装置之间的距离 $L_5=(1.0 \sim 1.2D)$ ,单片A型强化燃烧装置的阻塞比为 $0.3 \sim 0.4$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的强化燃烧装置B(6)由两片B型强化燃烧装置组成,两片B型强化燃烧装置之间的距离 $L_7=(1.0 \sim 1.2D)$ ,单片B型强化燃烧装置的阻塞比为 $0.3 \sim 0.4$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的强化燃烧装置A(5)和强化燃烧装置B(6)之间的距离 $L_6=(1.0 \sim 1.2D)$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的扩焰装置(4)为横截面是V型开口的环形结构,V型开口朝向与气流方向相同,V型开口的夹角 $\beta$ 的取值范围为 $30^\circ \sim 40^\circ$ ,扩焰装置(4)阻塞比为 $0.3 \sim 0.4$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的激波反射装置(7)为抛物面形成的腔体结构,腔体结构开口朝向与气流方向相反,激波反射装置(7)阻塞比为 $0.3 \sim 0.4$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的油气分配及掺混装置(2)由分油环(21)和掺混段(22)组成,掺混段(22)为环状结构,环状结构端面上均匀分布若干V型开口槽(23),掺混段(22)通过V型开口槽(23)与分油环(21)连接成一整体,油气分配及掺混装置(2)阻塞比为 $0.3 \sim 0.4$ 。

8. 根据权利要求7所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的V型开口槽(23)的开口朝向气流和燃油的上游方向,V型开口槽的夹角 $\alpha$ 的取值范围为 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。

9. 根据权利要求1所述的一种两相高频预爆器,其特征在于:所述的气动阀(1)中心位置处安装旋流装置,旋流装置包括燃油溅板(11)、集油腔(12)、旋流器(13)和旋流装置中心锥(14),旋流装置中心锥(14)后缘为锥体结构,锥体结构夹角 $\gamma$ 的取值范围为 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。

## 一种两相高频预爆器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种两相高频预爆器,特别是涉及一种 80Hz 以上工作的气/液两相脉冲爆震发动机的预爆器,属于脉冲爆震发动机技术领域。

### 背景技术

[0002] 脉冲爆震发动机 (Pulse Detonation Engine, PDE) 是以爆震燃烧波模式释放化学能的动力装置。爆震波的触发通过两种方式来实现,一种是直接触发方式,另一种是间接触发方式。直接触发需要 105J 量级的点火能量,使用传统的电点火器无法满足高频爆震波的直接触发;间接触发爆震是通过缓燃向爆震转变的方式 (Deflagration to Detonation Transition, 简称 DDT) 实现,而 DDT 过程在光滑管内需要很长的距离。为了缩短发动机长度,减轻其质量,需在较短爆震室内实现 DDT 过程。为解决上述问题,目前,一般都是在爆震室内设置形式不同的助爆装置,但助爆装置在助爆的同时带来较大的阻力损失,无法产生高频爆震波。

[0003] 因此,在间接触发爆震的前提下,研制一种低流阻的爆震燃烧室,以最大限度的降低 PDE 内部装置带来的推力损失,成为当前研究的热点问题。而带预爆管装置的 PDE 能在小直径的、设有助爆装置的小型爆震管内产生爆震波,通过该爆震波向大管径传播直接触发大管径内可爆混气爆震燃烧,有效的减少 PDE 燃烧室内的助爆装置,增加 PDE 的性能。《航空学报》第 30 卷 (2009 年) 第 3 期有关于“预爆管式脉冲爆震原型机试验研究”的报道,预爆管装置的主要问题是爆震管内部结构复杂、流动阻力大,造成了工作频率仅为 66.7Hz,并且这个预爆器管直径只有 30mm,较难应用于大管径 PDE 爆震触发。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术不足,提供一种结构简单、流动阻力小、在短距离 (爆震管长径比  $L/D=10 \sim 14$ ) 内实现了缓燃向爆震的转捩的两相高频预爆器。

[0005] 本发明的技术方案:一种两相高频预爆器,包括气动阀、火花塞和爆震管,所述的爆震管内部沿气流和燃油流动方向依次安装油气分配及掺混装置、扩焰装置、强化燃烧装置 A、强化燃烧装置 B 和激波反射装置,油气分配及掺混装置的前端面与爆震管前端面距离  $L1=(1.0 \sim 1.2D)$ ,在油气分配及掺混装置和扩焰装置之间的爆震管壁面上加工点火凹槽,油气分配及掺混装置的后端面与点火凹槽前端面距离  $L2=(0.5 \sim 0.7D)$ ,点火凹槽的后端面与扩焰装置前端距离  $L3=(1.0 \sim 1.2D)$ ,扩焰装置的后端与强化燃烧装置 A 的前端面距离  $L4=(1.5 \sim 1.7D)$ ,强化燃烧装置 B 的后端面与激波反射装置的前端距离  $L8=(1.0 \sim 1.2D)$ ,其中 D 为爆震管的内径。

[0006] 所述的强化燃烧装置 A 由两片 A 型强化燃烧装置组成,两片 A 型强化燃烧装置之间的距离  $L5=(1.0 \sim 1.2D)$ ,单片 A 型强化燃烧装置的阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0007] 所述的强化燃烧装置 B 由两片 B 型强化燃烧装置组成,两片 B 型强化燃烧装置之间的距离  $L7=(1.0 \sim 1.2D)$ ,单片 B 型强化燃烧装置的阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0008] 所述的强化燃烧装置 A 和强化燃烧装置 B 之间的距离  $L_6=(1.0 \sim 1.2D)$ 。

[0009] 所述的扩焰装置为横截面是 V 型开口的环形结构, V 型开口朝向与气流方向相同, V 型开口的夹角  $\beta$  的取值范围为  $30^\circ \sim 40^\circ$ , 扩焰装置阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0010] 所述的激波反射装置为抛物面形成的腔体结构, 腔体结构开口朝向与气流方向相反, 激波反射装置阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0011] 所述的油气分配及掺混装置由分油环和掺混段组成, 掺混段为环状结构, 环状结构端面上均匀分布若干 V 型开口槽, 掺混段通过 V 型开口槽与分油环连接成一整体, 油气分配及掺混装置阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0012] 所述的 V 型开口槽的开口朝向气流和燃油的上游方向, V 型开口槽的夹角  $\alpha$  的取值范围为  $50^\circ \sim 60^\circ$ 。

[0013] 所述的气动阀中心位置处安装旋流装置, 旋流装置包括燃油溅板、集油腔、旋流器和旋流装置中心锥, 旋流装置中心锥后缘为锥体结构, 锥体结构夹角  $\gamma$  的取值范围为  $50^\circ \sim 60^\circ$ 。

[0014] 本发明与现有技术相比的有益效果:

[0015] (1) 本发明通过合理设计了爆震室内部结构, 优化各个主要部件及安装位置, 采用强化燃烧和激波反射相结合的方式, 在短距离(爆震管长径比  $L/D=10 \sim 14$ )内实现了缓燃向爆震的转捩;

[0016] (2) 本发明采用缓燃向爆震转变与激波向爆震转变相结合的组织混气燃烧方式, 有利于爆震波在爆震室较短距离(时间)内成功触发;

[0017] (3) 本发明实现了高频稳定的爆震燃烧, 最高工作频率可达  $84\text{Hz}$ , 比现有产品频率增加  $25\%$ ;

[0018] (4) 本发明油气分配及掺混装置采用特殊结构和位置, 使本发明预爆器具有较好的油气分布, 提高了油气的掺混程度, 最终在点火位置形成有利的点火条件;

[0019] (5) 本发明采用 A 型和 B 型两种强化燃烧装置, 其安装方式和位置, 使强化燃烧装置在起到强化燃烧的同时, 不会对强激波的形成产生破坏作用。

## 附图说明

[0020] 图 1 为本发明整体结构示意图;

[0021] 图 2 为本发明气动阀结构示意图;

[0022] 图 3 为本发明油气分配及掺混装置主视图;

[0023] 图 4 为本发明油气分配及掺混装置侧视图;

[0024] 图 5 为图 4A-A 方向剖视图;

[0025] 图 6 为本发明扩焰装置结构示意图;

[0026] 图 7 为本发明强化燃烧装置 A 结构示意图;

[0027] 图 8 为本发明强化燃烧装置 B 结构示意图;

[0028] 图 9 为本发明爆震室压力时序曲线 ( $f=84\text{Hz}$ )。

## 具体实施方式

[0029] 以下结合附图和具体实例对本发明进行详细说明。

[0030] 本发明设计原理:成功实现高频起爆的关键在于以下方面:1) 在较短时间内形成较均匀的可爆混气;2) 适时的可靠点火,有效的组织快速燃烧,释放出大量的化学反应热;3) 利用燃烧波叠加形成的激波,通过合理的结构设计,使爆震管内局部受限空间混气在激波的作用下发生微尺度爆炸,从而触发爆震波的形成。

[0031] 本发明如图 1 所示,包括气动阀 1 和爆震管 10,爆震管 10 内部沿气流和燃油流动方向依次安装油气分配及掺混装置 2、扩焰装置 4、强化燃烧装置 A5、强化燃烧装置 B6 和激波反射装置 7。为了装拆方便,爆震管 10 可拆成三段(前、中、后),油气分配及掺混装置 2 和扩焰装置 4 焊接在爆震管 10 前段的内壁上,强化燃烧装置 A5 和强化燃烧装置 B6 焊接在爆震管 10 中段的内壁上,激波反射装置 7 焊接在爆震管 10 后段的内壁上,爆震管 10 三段通过焊接或法兰连接成整体后,再与气动阀 1 利用法兰连接或焊接在一起。

### [0032] 1、气动阀

[0033] 气动阀 1 如图 2 所示,中心位置处安装旋流装置,旋流装置包括燃油溅板 11、集油腔 12、旋流器 13 和旋流装置中心锥 14,旋流装置中心锥 14 后缘为锥体结构,锥体结构夹角  $\gamma$  的取值范围为  $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

[0034] 气动阀 1 在设计时主要包括:

[0035] 1) 在混气充填时流阻小,但爆震波触发后,燃烧室压力上升时,压力及燃气的前传能够得到有效抑制;2) 在气动阀中心处设置旋流装置,增大进入燃烧室气流的湍流强度,旋流可延长携带燃油液滴的混气流经的路径,增加油珠与热壁面的接触机会与接触时间,有利于燃油的蒸发与均匀混气在短距离内的形成;3) 为了保证整体混气的充填速度,并非所有空气都经过旋流器进入爆震燃烧室,用于雾化燃油的部分高速气流经过带有文氏管直流通道直接进入燃烧室;充分利用气动阀喉道高速气流( $v_{\text{喉道}}=180 \sim 240\text{m/s}$ )改善燃油雾化,使燃油雾化索太尔平均直径(Sauter Mean Diameter, SMD)在  $10 \mu\text{m}$  左右,燃油蒸发率在 70%以上;4) 为了避免在中心锥的后缘形成涡流,在中心锥的后缘增设了锥体结构。

### [0036] 2、油气分配及掺混装置

[0037] 为了获得较好的油气分布,在距离爆震管前端面  $1.0 \sim 1.2D$  ( $D$  为爆震管的内径,下同)处设置了油气分配及掺混装置 2。油气分配及掺混装置 2 如图 3、4、5,由分油环 21 和掺混段 22 组成,掺混段 22 为环状结构,环状结构端面上均匀分布若干 V 型开口槽 23,掺混段 22 通过 V 型开口槽 23 与分油环 21 连接成一整体,油气分配及掺混装置 2 的阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。V 型开口槽 23 的开口朝向与气流方向相同,V 型开口槽 23 的夹角  $\alpha$  的取值范围为  $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

[0038] 由于气动阀出口为收敛型通道,大量的细小油珠随气流将向爆震室(爆震管内空间)轴线中心汇聚,分油环 21 可以起到分配油气的作用,掺混段 22V 型开口槽形成的涡流可以提高油气的掺混程度,最终在点火位置形成有利的点火条件。

### [0039] 3、点火凹槽

[0040] 为提高点火可靠性,本发明在点火位置设置了点火凹槽 3。点火凹槽 3 如图 1 所示,点火凹槽 3 位于油气分配及掺混装置 2 和扩焰装置 4 之间,油气分配及掺混装置 2 的后端面与点火凹槽 3 前端面距离  $L_2=(0.5 \sim 0.7D)$ ,火花塞 9 安装在点火凹槽位置处。

[0041] 本发明设计凹槽可以保证每次混气充填过程中,形成局部回流区,由于壁面的热传导,回流区的混气在点火之前基本实现了缓慢氧化态向快速氧化态的过渡,只因为卷吸

作用不断的带走部分高温混气,使得回流区达不到自燃的条件,然而一旦火花塞放电,将迅速实现成功点火,该凹槽的设计还可以实现局部混气着火迅速向凹槽的整个周向传播,如此可以使火焰沿管壁周向向内传播。点火凹槽的槽深  $W$  满足下列关系式(《参考航空发动机设计手册·第九分册》):

$$[0042] \quad W(m) \geq \frac{10v(m/s)}{p(KPa)T(K)}$$

[0043] 式中,  $W$  为凹槽深度 (m),  $v$  为爆震管平均气流速度 (m/s),  $p$  混气平均充填压力 (KPa),  $T$  混气温度 (K)。

[0044] 对于小管径 PDE, 点火凹槽 3 的设计比在光滑管内放置半“V”型稳定器更合理, 因为小管径爆震室内安装满足于点火条件的稳定装置必然带来很大的堵塞比, 因而会破坏流场的不均匀性引起流场畸变。

[0045] 4、扩焰装置

[0046] 当单个周期的混气成功点火之后, 在最短距离内实现火焰在爆震室整个截面扩开, 将有利于燃烧强度的增加, 燃烧波引起的前传压力波将不断的叠加, 有助于爆震室内强激波的形成, 所以在点火凹槽 3 的下游位置设置扩焰装置 4, 对于最终爆震波短距离内的形成有促进作用。

[0047] 扩焰装置 4 如图 6 所示, 通过支撑杆 41 和固定架 42 固定安装在爆震管 10 的内部, 安装位置为点火凹槽 3 的后端面与扩焰装置前端的距离  $L3=(1.0 \sim 1.2D)$ 。在混气充填过程中, 扩焰装置 4 可以起到掺混作用, 当点火成功后, 火焰传播至扩焰装置将被其后缘的强湍流区迅速扩开, 并充满整个燃烧室截面。扩焰装置 4 如图所示, 为横截面是 V 型开口的环形结构, V 型开口朝向与气流方向相同, V 型开口的夹角  $\beta$  的取值范围为  $30^\circ \sim 40^\circ$ , 扩焰装置阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0048] 5、强化燃烧装置

[0049] 本发明采用 A 型和 B 型两种片状强化燃烧装置 (如图 7、8 所示), 出于一体多能的设计考虑, 本发明的强化燃烧装置, 既可以在混气充填过程中起到掺混的作用, 又能够在燃烧过程中起到强化燃烧的作用。强化燃烧装置 A5 安装在前, 由两片 A 型强化燃烧装置组成, 强化燃烧装置 B 安装在后, 由两片 B 型强化燃烧装置组成, 目的是在起到强化燃烧的同时, 不会对强激波的形成产生破坏作用。

[0050] 强化燃烧装置的安装位置:

[0051] 扩焰装置 4 的后端与第一片 A 型强化燃烧装置的前端面的距离  $L4=(1.5 \sim 1.7D)$ , 两片 A 型强化燃烧装置之间的距离  $L5=(1.0 \sim 1.2D)$ , 两片 B 型强化燃烧装置之间的距离  $L7=(1.0 \sim 1.2D)$ , 第二片 A 型强化燃烧装置和第一片 B 型强化燃烧装置之间的距离  $L6=(1.0 \sim 1.2D)$ ; 单片 A 型和 B 型强化燃烧装置的阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。

[0052] 6、激波反射装置

[0053] 为了加速强激波向爆震波的转变, 在爆震管最后一片强化燃烧绕流片 B 的下游的位置设置激波反射装置 7, 采用抛物面形成的腔体对激波进行聚焦触发爆震波的形成。

[0054] 激波反射装置如图 1 所示, 为抛物面形成的腔体结构, 腔体结构开口朝向与气流方向相反, 激波反射装置阻塞比为  $0.3 \sim 0.4$ 。第二片 B 型强化燃烧装置的后端面与激波反射装置 7 的前端距离  $L8=(1.0 \sim 1.2D)$ 。

[0055] 7,燃油加温装置

[0056] 燃油的加温有利于雾化、蒸发,为了使系统简单化,在燃油进入喷嘴前,首先经过爆震管 10 尾部外壁缠绕的加温燃油铜管 8,然后再接入供油喷嘴。在试验过程中,调节加温燃油铜管 8 的缠绕圈数,可以获得不同温度的燃油,这是一种无需附带加热系统的最简单的燃油加温方法,且便于温度调节。试验中,在保证燃油不发生气化的条件下,尽可能提高喷入爆震室的燃油温度,至喷嘴前燃油温度在 350K 左右。

[0057] 本发明工作流程:

[0058] 气流、燃油经气动阀 1 后形成油气混合物后,经过油气分配及掺混装置 2 后,形成均匀的可爆混气,充填整个爆震管 10。按照预定的点火时序,利用装在点火凹槽 3 的火花塞 9 点火形成初始火焰,在气流作用下向下游传播,经过扩焰装置 4 后,形成充满整个截面的火焰,火焰波向下游传播过程中,由于高温燃烧产物膨胀产生压缩波,压缩波不断叠加生成激波,激波、燃烧波在强化燃烧装置和激波反射装置 7 之间强烈的相互作用下,产生爆震波,爆震波向下游传出爆震管 10。

[0059] 利用本发明设计了含长度 800mm、内径 58mm(L/D=13.8) 预爆管的 PDE,以液态汽油为燃料,空气为氧化剂,在地面冲压进气条件下,预爆管内成功实现爆震燃烧的高频触发,试验获得最大工作频率 84Hz 的连续稳定爆震燃烧,附图 9 是在爆震管尾端测得的压力时序图,在各个爆震循环内,均能获得压力大于 1.5MPa 的爆震波。

[0060] 本发明未详细说明部分为本领域技术人员公知技术。

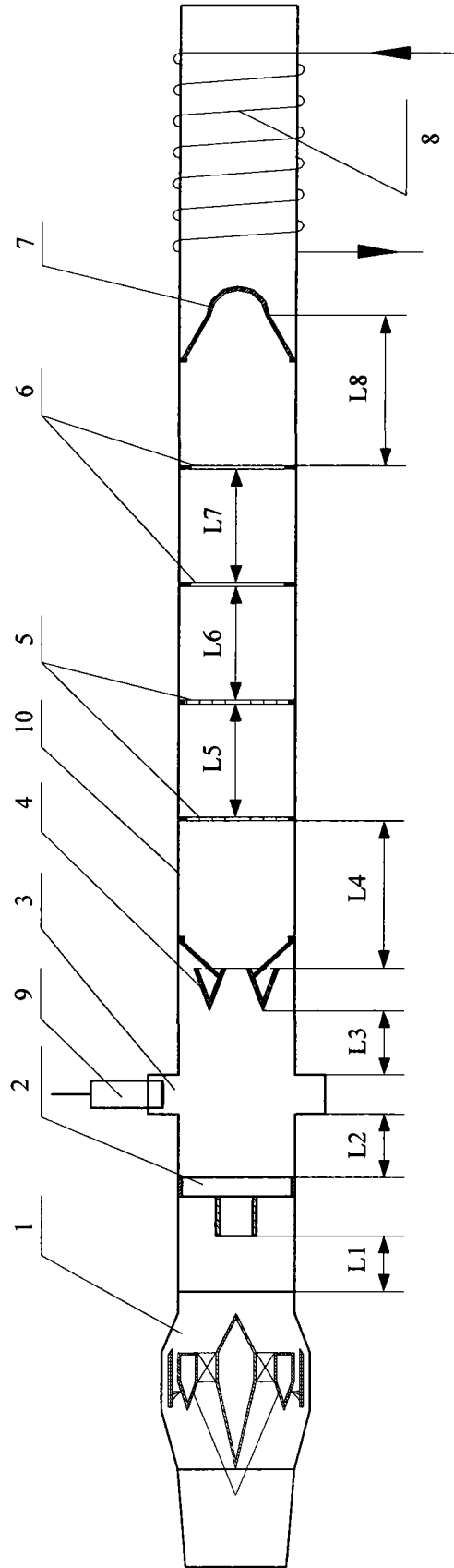


图 1



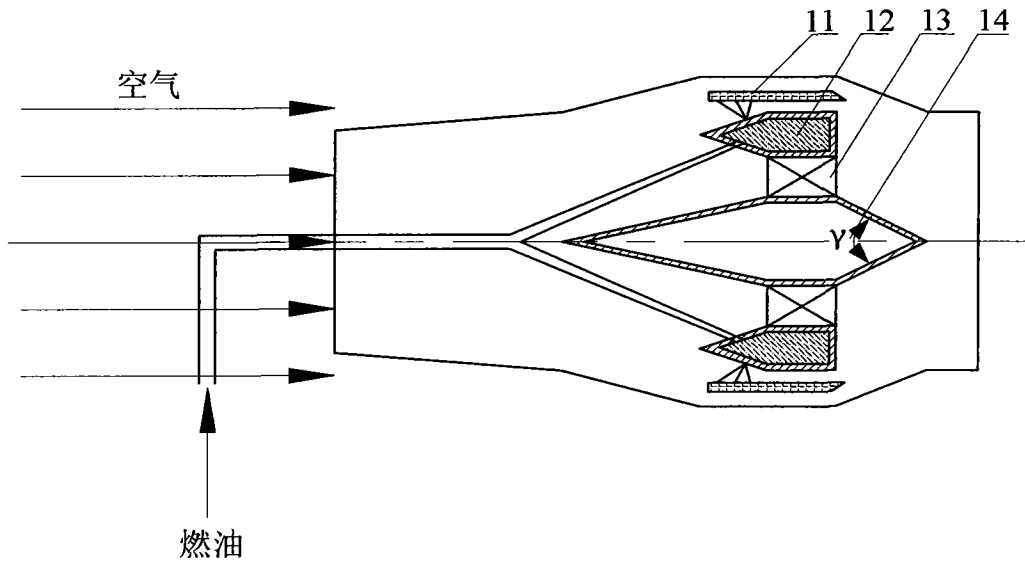


图 2

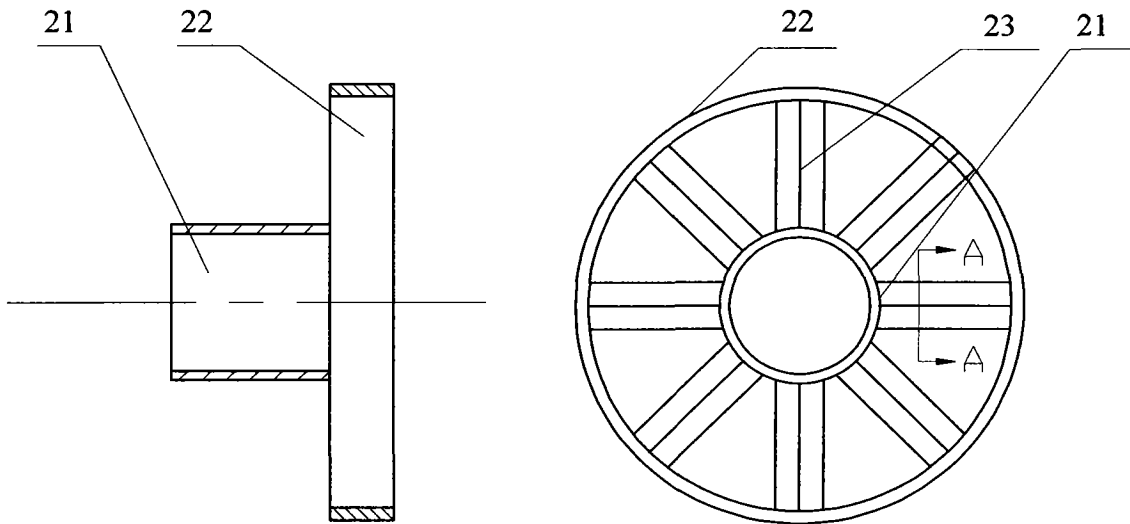


图 3

图 4

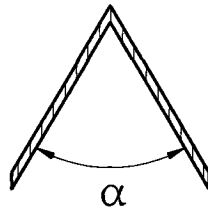


图 5

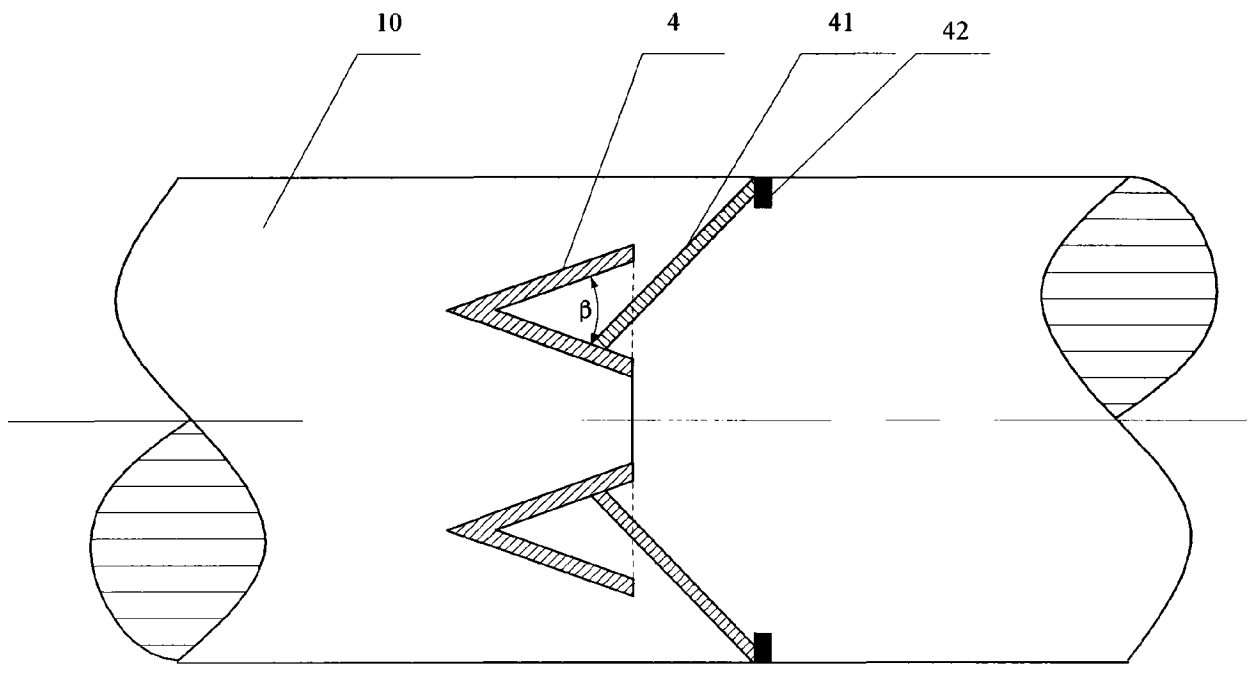


图 6

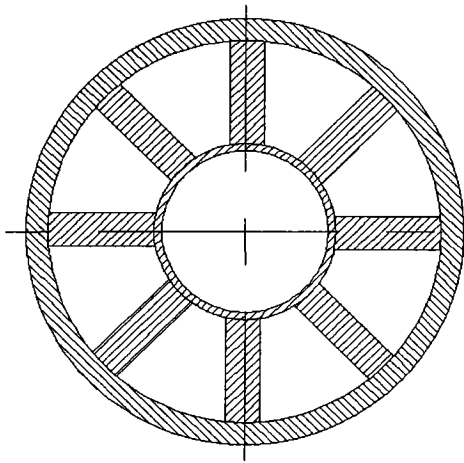


图 7

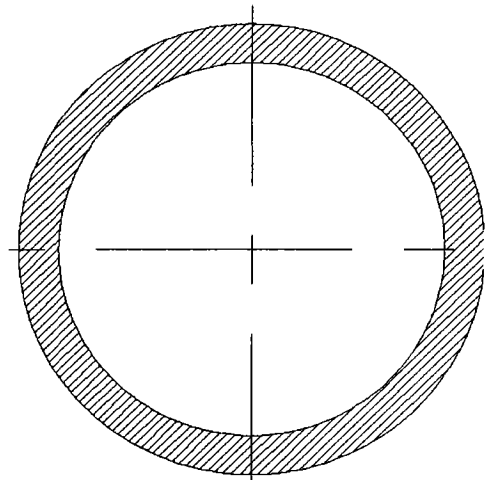


图 8

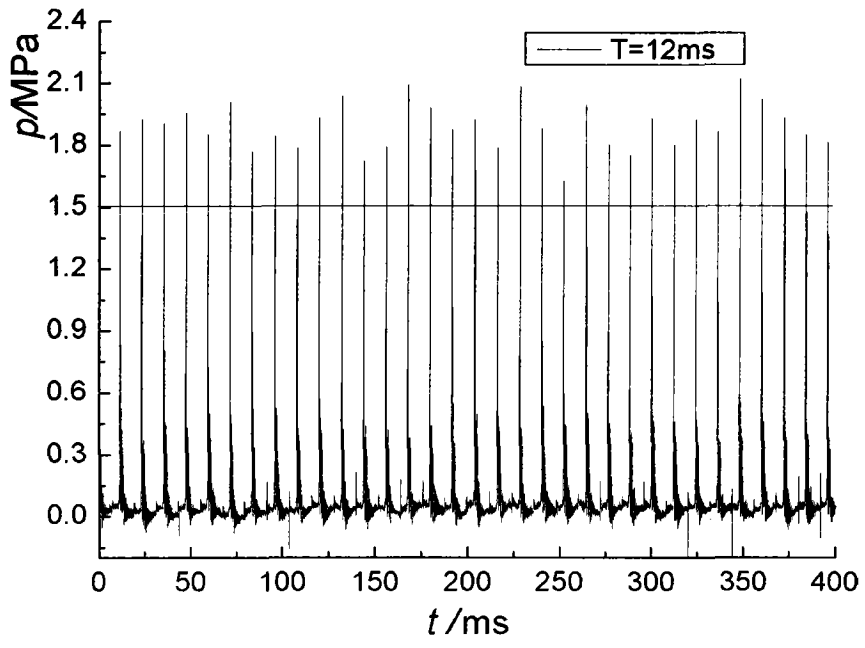


图 9