

# 以天然气为燃料的无阀自激脉动燃烧器运行特性研究

刘嵩勃, 徐艳英

(沈阳航空航天大学安全工程学院, 辽宁 沈阳 110136)

**摘要:**设计了一种无阀自激脉动燃烧器,取消传统的机械阀门,尾管采用蛇形结构,以天然气为燃料,通过连续供空气和天然气的方式,实现自主激励脉动燃烧。采用实验方法研究了脉动燃烧器的运行特性,分析了热负荷和过量空气系数对压力振荡和运行频率的影响。结果表明:过量空气系数在0.9~1.4范围内,燃烧器能产生稳定的脉动燃烧,压力幅值和运行频率均随热负荷的增大而增大,压力幅值随过量空气系数的增大而增大,运行频率随着过量空气系数的增大而降低,燃烧器在稳定运行时降低热负荷出现了频率跳变现象。

**关键词:**脉动燃烧;运行特性;天然气;尾管;压力振幅

中图分类号:TK221 文献标识码:A DOI:10.16146/j.cnki.rndlge.2024.07.009

[引用本文格式]刘嵩勃,徐艳英.以天然气为燃料的无阀自激脉动燃烧器运行特性研究[J].热能动力工程,2024,39(7):72-79.  
LIU Songbo, XU Yanying. Study on operating characteristics of a valveless self-excited pulsating burner fuelled by natural gas[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2024, 39(7): 72-79.

## Study on Operating Characteristics of a Valveless Self-excited Pulsating Burner Fuelled by Natural Gas

LIU Songbo, XU Yanying

(School of Safety Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang, China, Post Code: 110136)

**Abstract:** The design of a valveless self-excited pulsating combustor that eliminates the need for a conventional mechanical valve was presented in this paper. The tail pipe was designed in a serpentine structure, and using natural gas as the fuel, the autonomously excited pulsating combustion was achieved by continuously supplying air and natural gas. An experimental investigation was conducted to examine the operational properties of the pulsating combustor. The impact of heat load and excess air factor on pressure oscillation and operating frequency was analyzed. The findings indicate that the burner is capable of generating consistent pulsating combustion within a specific range of excess air factor from 0.9 to 1.4. The pressure amplitude and operating frequency both rise as the thermal load increases. Additionally, the pressure amplitude increases, while the operating frequency decreases as the excess air factor increases. Moreover, the burner exhibits a frequency jump phenomenon when the thermal load is reduced during stable operation.

**Key words:** pulsating combustion, operating characteristic, natural gas, tailpipe, pressure amplitude

### 引言

近些年来,脉动燃烧技术受到了研究人员的广

泛关注<sup>[1]</sup>。脉动燃烧是一种特殊类型的燃烧,不同于常规的稳定燃烧过程,它是指在一定的声学条件下,燃烧区内表征燃烧过程的状态参数,如温度、压力、气流速度及热释放率等变量均随时间周期性波

动的一种特殊燃烧过程<sup>[2-5]</sup>。现有的燃气预混燃烧、扩散燃烧属于稳态燃烧类型,与传统燃烧方式相比,脉动燃烧传热率高出约2~5倍、燃烧强度更高,氮氧化物排放量更低<sup>[6-9]</sup>。

Kudra 等人<sup>[10]</sup>将脉动燃烧器分为有机械阀和无阀两种。机械阀脉动燃烧器在使用过程中会出现疲劳失效问题,而无阀脉动燃烧器利用了单向气体二极管的特性,本身没有运动部件,通常利用流体力学效应作为燃烧产物从燃烧室回流到进口段的物理屏障<sup>[11]</sup>。Xu 等人<sup>[12-13]</sup>认为,脉动燃烧器使用机械阀将影响脉动燃烧的稳定性,并导致燃烧器功率调节范围变窄。无阀脉动燃烧器利用燃烧器声学结构和燃料燃烧放热耦合实现脉动燃烧,大大提高了燃烧器的运行可靠性。

脉动燃烧器的压力脉动与燃烧放热之间的相位关系将影响脉动燃烧器的稳定运行。徐艳英等人<sup>[14]</sup>对使用丙烷为燃料的尾管弯曲角度 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 和 $135^\circ$ 的脉动燃烧器的运行特性进行研究,结果表明,燃烧室内的压力振幅随尾管弯曲角度的增大而减小。Larionov 等人<sup>[15]</sup>采用木材颗粒作为燃料进行脉动燃烧,实验测定了振荡频率和振幅与燃烧器结构的关系。Gieras 等人<sup>[16]</sup>设计一种流线型脉动喷气发动机,通过改变燃料供给参数来研究燃烧室内的压力幅度、推力幅度和燃烧室工作频率的变化规律。Frolov 等人<sup>[17-18]</sup>通过建立数学模型来模拟一端封闭的管道中丙烷和空气的混气脉动燃烧和爆燃过程,并将模型应用在船体中进行验证。

根据文献可知,脉动燃烧器的燃料很少采用清洁能源天然气,且尾管结构多为直尾管,弯尾管的角度也较为固定;为增加换热面积,节省设备空间,尾管形式可采用蛇形尾管。使用天然气为燃料可使脉动燃烧器作为民用换热设备成为可能,故以天然气为燃料,蛇形尾管脉动燃烧器的运行特性亟待研究。

本文设计了一种无阀自激脉动燃烧器,取消传统的机械阀门,尾管采用更复杂的蛇形结构,可研究更复杂的脉动流变化;燃烧器以天然气为燃料,通过连续供空气和天然气的方式,实现自主激励的脉动

燃烧,可以自主调节热负荷与过量空气系数来研究压力脉动及由压力脉动产生的频率变化,并对燃烧器的运行特性进行实验探究。

## 1 实验内容

### 1.1 实验系统

脉动燃烧器实验装置如图1所示,由燃烧器、供气系统和压力测量系统组成。供气系统的作用是为燃烧器提供指定流量的空气和天然气,由空气压缩机、稳压阀、调压阀、转子流量计和家用天然气供气源组成。转子流量计测量天然气和空气的流量,量程分别为 $0 \sim 6 \text{ L/min}$ 和 $0 \sim 45 \text{ L/min}$ ,精度分别为 $\pm 2.5\%$ 和 $\pm 1.5\%$ 。稳压阀和调压阀用来控制和调节空气和天然气的压力。压力测量系统由压力传感器、数据采集卡和电脑组成。扩散硅压力传感器(PCM300系列)量程为 $-100 \sim 100 \text{ kPa}$ ,输出电压为 $0 \sim 10 \text{ V}$ ,精度为 $\pm 0.5\%$ 。由于压力传感器对温度十分敏感,高温气体极易对其造成破坏。因此,金晶等人<sup>[19]</sup>采用半无限管的方式,将一定长度的金属管焊接到燃烧室上,另一端连接压力传感器。

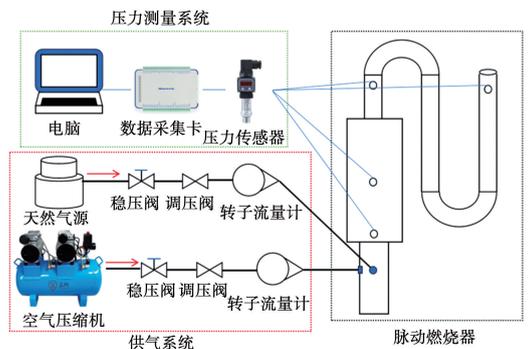


图1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

图2给出了脉动燃烧器压力测点的布置。在每个测点处先焊接一根长30 mm的空心不锈钢管,再连接长10 mm的塑料软管,在塑料软管远离燃烧器的一端设置传感器,以免受高温气体的破坏,并保证了测量数据的可靠性;压力传感器输出的电压信号由数据采集卡(USB-1252A系列)实时采集。对压力信号进行快速傅里叶变换(FFT)后再进行归一化,得到燃烧器频率谱图像。

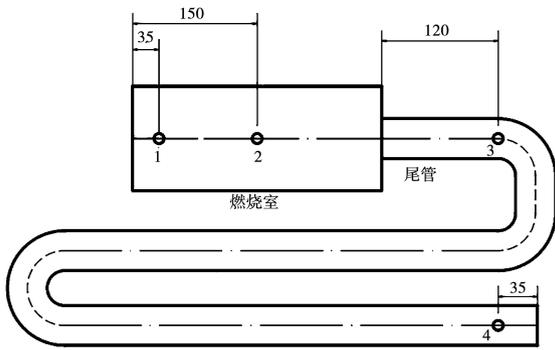


图2 脉动燃烧器压力测点布置 (mm)

Fig. 2 Pressure measuring point arrangement of pulsating burner (mm)

### 1.2 脉动燃烧器结构及原理

脉动燃烧器由混合室、燃烧室和尾管组成。燃烧室与尾管由法兰连接。所有部件均采用耐高温的不锈钢310 s制成。混合室一端封闭,另一端与燃烧室相连通,点火器设置在混合室尾部。采用无阀连续供气方式将天然气与空气通入混合室,入口喷射角为 $90^\circ$ ,反应物在混合室内充分混合。图3为燃烧器结构示意图。

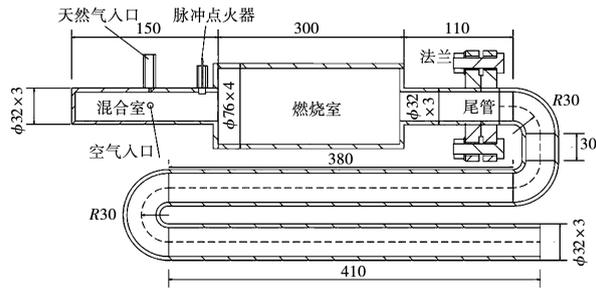


图3 脉动燃烧器结构 (mm)

Fig. 3 Pulsating burner structure (mm)

天然气与空气通过两个垂直进气口对冲通入混合室,在混合室内充分混合。在混合室尾部点燃混合气,燃烧室内的压力迅速上升,燃烧后的气体产物膨胀并通过蛇形尾管排出。使得燃烧室的压力开始逐渐下降。当燃烧室内的压力下降到环境压力以下时,由于高速气流的惯性作用烟气不断排放,直到排出的速度降到零。之后,热烟气会沿着尾管反流进入燃烧室,同时天然气和空气的混合气体由混合室流入燃烧室,导致燃烧室内的压力再次增高,并且回流的热烟气会引燃混合气体,开始新的循环过程。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 未点燃混合气体时燃烧器运行特性

图4和图5给出了未点燃混合气时燃烧室内压力振荡曲线与频谱图。频谱图根据快速傅里叶变换得到。由图可知,未点燃情况下燃烧室内压力不超过500 Pa,脉动频率为0 Hz,此时燃烧器内只有天然气与空气的混合气体在管中稳定流动,压力变化只受燃烧器内气体流动的影响,没有产生脉动现象。

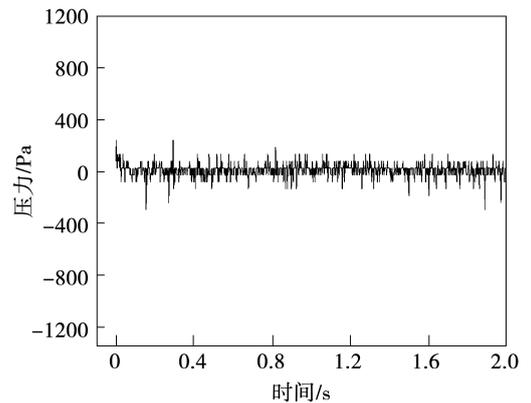


图4 未点燃时燃烧室内压力振荡

Fig. 4 Pressure oscillation in combustion chamber without ignition

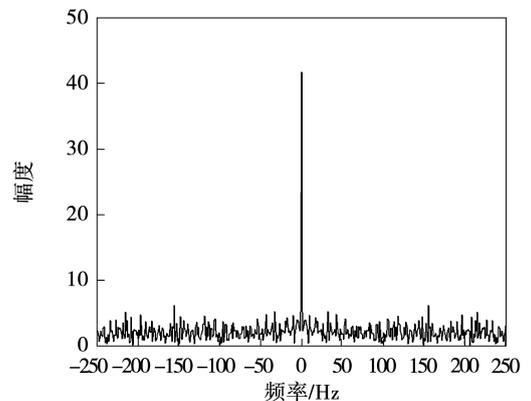


图5 未点燃时燃烧室内频率谱

Fig. 5 Frequency spectrum in combustion chamber without ignition

### 2.2 点火过程

Zhai 等人<sup>[20]</sup>对脉动燃烧器的点火过程进行了研究,将点火到稳定脉冲燃烧的过程分为预燃过渡、成长和极限循环振荡3个阶段。智同生等人<sup>[21]</sup>模拟了脉动燃烧器的点火过程,分析得到爆燃能量集

聚和烟气回流是脉动燃烧器成功点火的重要原因。图6是本文设计的脉动燃烧器成功点火过程的压力振荡曲线。由图6可知,点火过程分为爆燃区、过渡区和稳燃区3个区域。电火花点燃混合气,发生爆燃,爆燃区压力先急剧升高后急剧降低,形成了最大幅值约11 kPa的1次压力振荡。过渡区压力振荡逐渐趋于稳定,随后形成了周期性振荡,在稳燃区内压力周期性循环振荡,实现脉动燃烧。

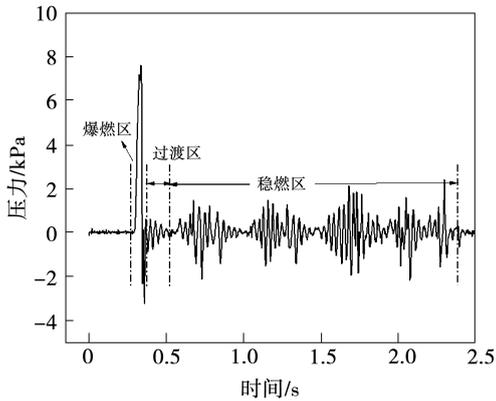


图6 脉动燃烧器点火过程压力振荡

Fig. 6 Pressure oscillation during ignition of pulsating burner

### 2.3 热负荷对运行特性的影响

不改变燃烧器结构参数,系统地调节热负荷,研究压力振幅的变化。经过实验测试,在过量空气系数为0.9~1.4,热负荷大于5.63 kW时,燃烧器能产生稳定的脉动燃烧。图7给出了热负荷为5.63 kW时的压力振荡图像。在此工况下,燃烧器压力振荡振幅较小。

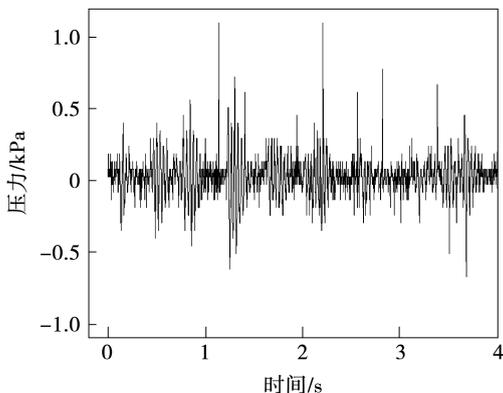


图7 热负荷为5.63 kW时燃烧室入口处压力振荡  
Fig. 7 Pressure oscillation at the inlet of combustion chamber at heat load of 5.63 kW

图8~图9是过量空气系数为1.36时燃烧室入口压力振幅、压力均值及频率随热负荷的变化曲线。由图可知,压力振幅、均值和频率均随热负荷的增大而增大,热负荷达到18.8 kW后,增长趋于平缓。这是由于热负荷超过18.8 kW后,受燃烧器结构的限制,参与燃烧反应的气体体积达到最大,通入更多的混合气将不参与燃烧,直接排除燃烧器,所以脉动燃烧的压力振荡数值和频率无明显变化。

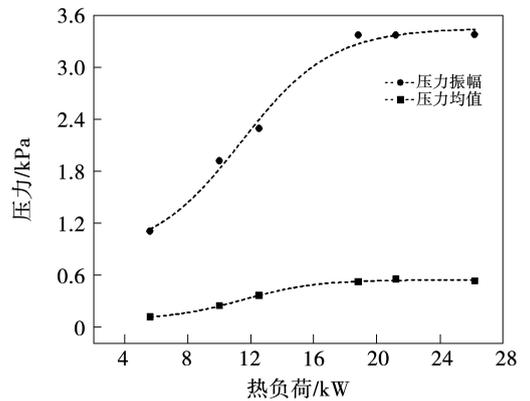


图8 过量空气系数为1.36时燃烧室入口压力随热负荷变化

Fig. 8 Variation of pressure at the inlet of combustion chamber with heat load at excess air factor of 1.36

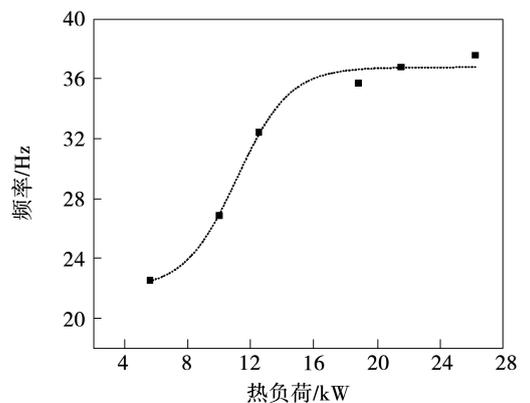


图9 过量空气系数为1.36时燃烧室入口频率随热负荷变化

Fig. 9 Variation of frequency at the inlet of combustion chamber with heat load at excess air factor of 1.36

图10~图11为过量空气系数1.36、热负荷18.8 kW工况下燃烧室入口处的压力振荡图像和

频谱图, 压力振荡最大幅值约 5 kPa, 频率为 35.72 Hz。

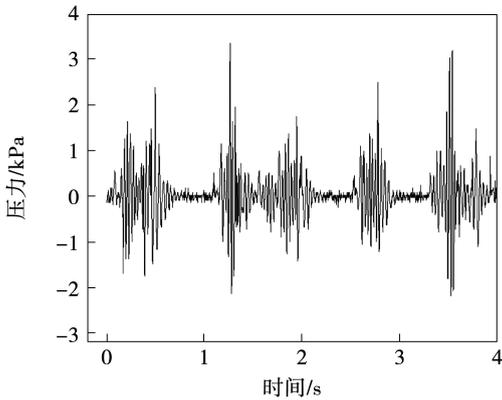


图 10 过量空气系数 1.36、热负荷 18.8 kW 时燃烧室入口处压力振荡

Fig. 10 Pressure oscillation at the inlet of combustion chamber at excess air factor of 1.36 and heat load of 18.8 kW

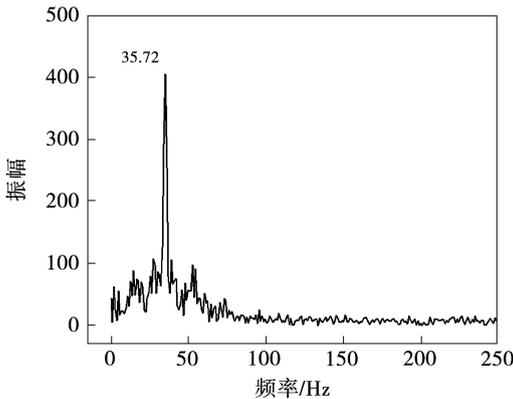


图 11 过量空气系数 1.36 热负荷 18.8 kW 时燃烧室入口处频率谱

Fig. 11 Frequency spectrum at the inlet of combustion chamber at excess air factor of 1.36 and heat load of 18.8 kW

表 1 给出了热负荷为 18.8 kW、过量空气系数为 1.36 时燃烧器不同位置压力振幅均方根值。由表 1 可知, 混合气被点燃后, 在燃烧室中心处压力振荡最剧烈, 在尾管出口处压力振荡最微弱。这是由于, 烟气在沿燃烧室和尾管排出燃烧器的过程中, 烟气温度和流动速度越来越小, 热烟气排放和冷空气回流的阻力增大, 导致压力振幅降低。

表 1 燃烧器不同位置压力振幅均方根值

Tab. 1 Root mean square value of pressure amplitude at different positions of the burner

位 置	压力均方根值/Pa
燃烧室入口	388
燃烧室中心	397
尾管入口	313
尾管出口	96

### 2.4 过量空气系数对运行特性的影响

燃烧器能产生稳定压力振荡时过量空气系数的范围为 0.9 ~ 1.4。当过量空气系数小于 0.9 时, 压力振荡图像和图 4 相似, 表明气体未被点燃; 当过量空气系数大于 1.4 时, 脉动燃烧发生爆轰引起熄灭。图 12 为过量空气系数为 1.4 时压力振荡变化曲线。在实际的使用过程中, 过量空气系数不应超过 1.4。

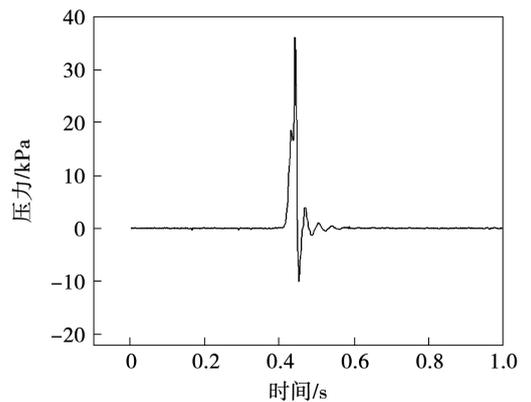


图 12 过量空气系数为 1.4 时燃烧室内入口处压力振荡

Fig. 12 Pressure oscillation at the inlet of combustion chamber at excess air factor of 1.4

图 13 为在燃烧室入口处热负荷为 18.8 kW 时压力振幅和均值随过量空气系数的变化曲线。由图 13 可知, 压力振幅随过量空气系数的增大而增大, 但压力均值变化不大。

图 14 为燃烧室入口处在热负荷为 18.8 kW 时频率随过量空气系数变化曲线。由图 14 可知, 过量空气系数的提升会导致脉动燃烧器运行频率的下降。这是由于在相同热负荷下, 过量空气系数增大时, 燃气的质量流率保持不变, 空气的质量流率升高, 使得燃烧室内的整体温度降低, 进一步导致燃烧器的声速降低, 因而频率相应降低。

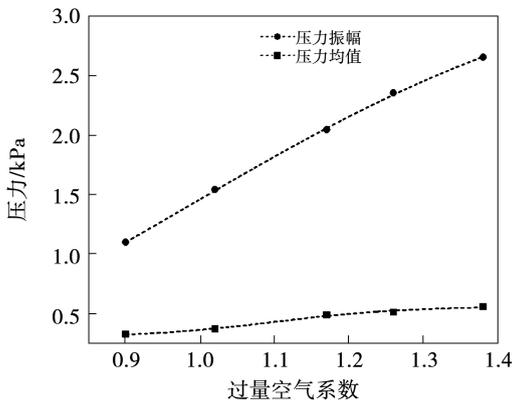


图 13 热负荷为 18.8 kW 时压力随过量空气系数的变化

Fig. 13 Variation of pressure with excess air factor at heat load of 18.8 kW

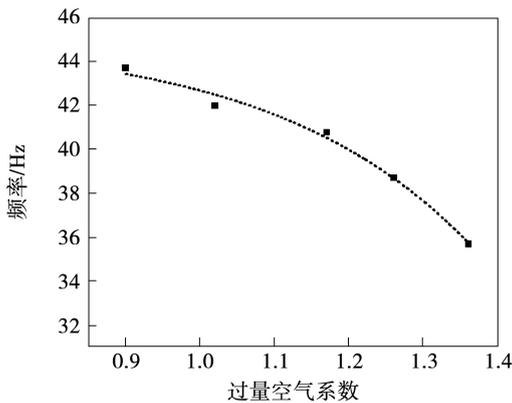


图 14 热负荷为 18.8 kW 时频率随过量空气系数的变化

Fig. 14 Variation of frequency with excess air factor at heat load of 18.8 kW

### 2.5 频率跳变现象

脉动燃烧器在稳定运行后,降低热负荷均出现了频率跳变现象。图 15 ~ 图 18 为燃烧器在过量空气系数为 1.36, 1.12, 0.95 和 0.9 时降低热负荷时的频率变化。可以看出,当过量空气系数一定时,燃烧器在基波振型的脉动频率值下稳定运行,脉动频率随热负荷的降低而降低;当热负荷降低到一定数值时,其脉动频率上跳到高一阶次谐波振型的频率值,若热负荷继续降低则频率将在这一谐波振型上继续下降。这是由于降低热负荷时,热释放过程与高一阶次谐波振型的压力脉动同相位,特征燃烧时间约等于高一阶次谐波周期的二分之一。这种情况出现时,这一谐波振型的压力脉动被激励,但是由于热量的释放,原有的基本振荡频率将无法得到有效地保持,导致频率跳变。由图还可以看出,当过量空气系数接近 1 时,频率跳变的基频和高一阶次谐频

均较高。这是由于在一定的燃烧器结构下,燃烧强度越大,热释放就越多,脉动周期将缩短,导致频率较高。

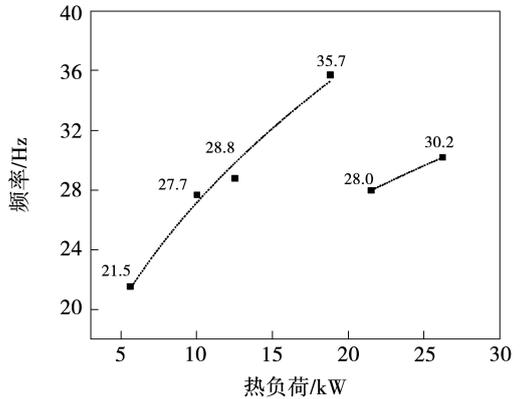


图 15 过量空气系数为 1.36 时频率随热负荷的变化

Fig. 15 Variation of frequency with heat load at excess air factor of 1.36

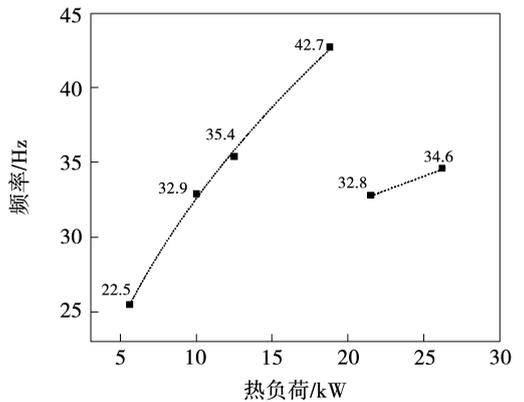


图 16 过量空气系数为 1.12 时频率随热负荷的变化

Fig. 16 Variation of frequency with heat load at excess air factor of 1.12

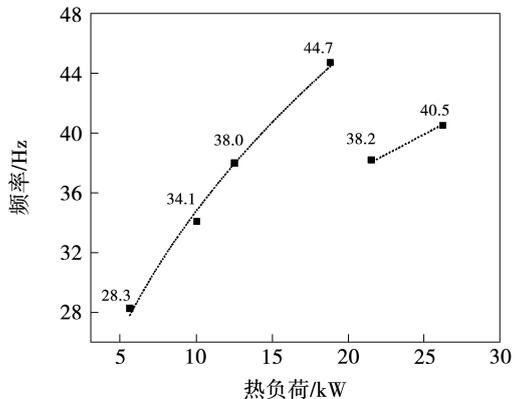


图 17 过量空气系数为 0.95 时频率随热负荷的变化

Fig. 17 Variation of frequency with heat load at excess air factor of 0.95

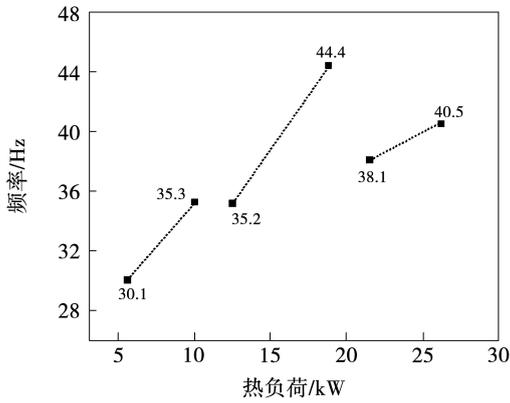


图 18 过量空气系数为 0.9 时频率随热负荷的变化

Fig. 18 Variation of frequency with heat load at excess air factor of 0.9

### 3 结论

设计了一种无阀自激脉动燃烧器,以天然气为燃料,通过连续供空气和天然气的方式实现自主激励的脉动燃烧,对其运行特性进行了实验研究,得到以下结论:

(1) 过量空气系数在 0.9 ~ 1.4 范围内,燃烧器产生稳定的脉动燃烧,最小热负荷为 5.63 kW;从点火到稳定脉动燃烧的过程分为 3 个区域:爆燃区、过渡区和稳燃区。

(2) 在不改变燃烧器结构的条件下,脉动燃烧器燃烧室内的压力幅值、均值和运行频率均随热负荷的增大而增大,当热负荷达到一定值后增长趋于平缓;燃烧器的压力幅值随过量空气系数的增大而增大,运行频率随着过量空气系数的增大而降低;混合气被点燃后,燃烧室中心处压力振荡最为剧烈,沿尾管压力逐渐降低,尾管出口处最低。

(3) 在不改变脉动燃烧器结构的条件下,燃烧器在稳定运行后降低热负荷时均出现了频率跳变现象。过量空气系数接近 1 时,频率跳变的基频和高一阶次谐频均较高。

### 参考文献:

[1] MALAHOV A O, LARIONOV V M, LOVLEVA OV, et al. Pulsating combustion of propane-butane fuel mixture with air in a vortex combustion chamber [J]. Journal of Physics Conference Series, 2020, 1588: 012026.

[2] MOECK J P, OEVERMANN M, KLEIN R, et al. A two-way coupling for modeling thermoacoustic instabilities in a flat flame Rijke

tube [J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2009, 32 (1): 1199 - 1207.

- [3] 邓凯, 钟英杰, 李华, 等. 甲烷自激励脉动燃烧  $\text{NO}_x$  排放特性的试验研究 [J]. 动力工程学报, 2010, 30 (7): 528 - 535.
- DENG Kai, ZHONG Yingjie, LI Hua, et al. Experimental study of  $\text{NO}_x$  emission from methane self-excited pulsating combustion [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2010, 30 (7): 528 - 535.
- [4] DU M L, YANG L J, YIN Z R. Experimental and modeling studies of a multi-tailpipe on a pulse combustor system [J]. International Journal of Energy Research, 2017, 41 (7): 1029 - 1048.
- [5] 邵东伟, 王俊发, 刘远军, 等. 脉动燃烧技术的研究及应用现状 [J]. 现代化农业, 2009 (7): 38 - 40.
- SHAO Dongwei, WANG Junfa, LIU Yuanjun, et al. Study and application status of pulsate combustion technology [J]. Modernizing Agriculture, 2009 (7): 38 - 40.
- [6] 汪东, 刘键, 陈青, 等. 脉动燃烧技术及其在林业中的应用 [J]. 世界林业研究, 2020, 33 (5): 47 - 52.
- WANG Dong, LIU Jian, CHEN Qing, et al. Pulsating combustion technology and its application in forestry [J]. World Forestry Research, 2020, 33 (5): 47 - 52.
- [7] 蒋雪松, 杨冬冬, 潘四普, 等. 土壤消毒机蒸汽输送装置的设计与数值模拟 [J]. 农机化研究, 2019, 41 (5): 111 - 115, 120.
- JIANG Xuesong, YANG Dongdong, PAN Sipu, et al. Design and numerical simulation of steam transfer device for soil disinfectant [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41 (5): 111 - 115, 120.
- [8] 潘四普, 周宏平, 蒋雪松, 等. 油门开度对 Helmholtz 型脉动燃烧器温升特性影响的模拟与验证 [J]. 农业工程学报, 2018, 34 (8): 70 - 77.
- PAN Sipu, ZHOU Hongping, JIANG Xuesong, et al. Simulation and verification of effect of throttle opening on temperature rise characteristics of Helmholtz pulsating burner [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34 (8): 70 - 77.
- [9] XU Yanying, DONG Peng, ZHAI Ming, et al. Frequency characteristics of the Helmholtz-type valveless self-excited pulse combustor [J]. Proceeding of the CSEE, 2010, 30 (35): 26 - 31.
- [10] KUDRA T. Pulse combustion drying: Status and potentials [J]. Drying Technology, 2008, 26 (12): 1409 - 1420.
- [11] MENG X M, DE-JONG W, KUDRA T. A state-of-the-art review of pulse combustion: Principles, modeling, applications and R&D issues [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 55: 73 - 114.
- [12] XU Yanying, ZHAI Ming, DONG Peng, et al. Modeling of a self-excited pulse combustor and stability analysis [J]. Combustion Theory & Modelling, 2011, 15 (5): 623 - 643.

- [13] XU Y,ZHAI M, GUO L, et al. Characteristics of the pulsating flow and heat transfer in an elbow tailpipe of a self-excited Helmholtz pulse combustor [J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 108: 567 - 580.
- [14] 徐艳英, 翟明, 董芑, 等. 弯尾管 Helmholtz 型无阀自激脉动燃烧器压力特性 [J]. 动力工程学报, 2014, 34 (11): 856 - 861.
- XU Yanying, ZHAI Ming, DONG Peng, et al. Pressure characteristics of Helmholtz-type valveless self-excited pulse combustor with bend tail tube [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2014, 34 (11): 856 - 861.
- [15] LARIONOV V M, LOVLEVA O V, ZAGIDULLINA D I, et al. Pulsating combustion of solid particles in Helmholtz resonator type device [J]. Journal of Physics Conference Series, 2019, 1328 (1): 012046.
- [16] GIERAS M, TRZECIAK A. A new approach to the phenomenon of pulsed combustion [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2023, 144: 110845.
- [17] FROLOV S M, PLATONOV S V, AVDEEV K A, et al. Pulsed combustion of fuel-air mixture in a cavity under the boat bottom: Modeling and experiments [J]. Shock Waves, 2022, 32 (1): 11 - 24.
- [18] FROLOV S M, PLATONOV S V, AVDEEV K A, et al. Pulsed combustion of fuel-air mixture in a cavity above water surface: Modeling and experiments [J]. Shock Waves, 2022, 32 (1): 1 - 10.
- [19] 金晶, 许林云, 张爱琪, 等. 不同尾管数量的全浸入式脉动燃烧器传热特性试验 [J]. 林业工程学报, 2023, 8 (1): 157 - 164.
- JIN Jing, XU Linyun, ZHANG Aiqi, et al. Experimental study on heat transfer characteristics of fully immersed pulsation combustors with different numbers of tailpipes [J]. Journal of Forestry Engineering, 2023, 8 (1): 157 - 164.
- [20] ZHAI M, WANG X, GE T, et al. Heat transfer in valveless Helmholtz pulse combustor straight and elbow tailpipes [J]. International Journal of Heat & Mass Transfer, 2015, 91: 1018 - 1025.
- [21] 智同生, 王顺, 郭利. Helmholtz 型无阀自激脉动燃烧器点火过程数值模拟研究 [J]. 节能技术, 2018, 36 (6): 499 - 504.
- ZHI Tongsheng, WANG Shun, GUO Li. Numerical simulation of the ignition process of Helmholtz type valveless self-excited pulsating combustor [J]. Energy Conservation Technology, 2018, 36 (6): 499 - 504.

(丛敏编辑)



## 罗尔斯·罗伊斯公司为位于科罗拉多州的托管数据中心 提供应急备用电源

据官方报道,罗尔斯·罗伊斯公司从其经销商史密斯动力产品公司获得了一份订单,为 NOVVA 数据中心提供两台 1 500 kW 的 MTU 动力电池组(KPPs)。NOVVA 数据中心是美国西部可持续、安全托管的先锋。这两台 KPPs 将为该公司科罗拉多斯普林斯数据中心的扩建提供应急备用电源。罗尔斯·罗伊斯公司的电力系统部门已经通过史密斯电业制造公司为 NOVVA 的各个地点交付了超过 50 MW 的 MTU 应急柴油发电机组。

(孙嘉忆摘译自 [https://https://www.rolls-royce.com](https://www.rolls-royce.com))