

燃气轮机燃烧室中藻类替代燃料混合物的 污染物排放和性能

刘磊, 黄勇

(先进航空发动机协同创新中心, 国家航空科学技术重点实验室,
北京航空航天大学 能源与动力学院, 北京 100191)

摘要:在一个单头部燃气轮机燃烧室中, 针对与传统航空煤油(RP-3)混合的藻类替代燃料, 本文进行了实验研究。实验中使用的基于藻类的替代燃料由几种烷烃混合而成, 用以模拟微型藻类的碳分布。本实验研究了各种混合物的排放性能、贫油熄火极限和喷雾特性。在实验中测试了六种燃料, 包括纯航空煤油和五种替代燃料混合物。在慢车状态下进行实验, 进口空气压力为460 kPa, 温度为511 K, 流量为0.498 kg/s。实验结果表明, 各种混合物的喷雾角度随替代燃料比例的增大而略有下降。当替代燃料的质量分数达到10%时, 观察到燃烧性能的显著变化, 这些性能包括燃烧效率、贫油熄火极限和污染物排放。

关键词:替代燃料; 污染排放; 性能; 燃烧; 燃气轮机

中图分类号: V235.11+3

文献标志码: A

文章编号: 1009-2889(2018)02-0001-06

由于石油燃料资源是有限的, 世界面临着能源危机; 石油燃料的另一个问题是世界范围内分布不均匀, 例如中东地区石油储量占全球石油储量的63%^[1]; 因此, 源自非石油资源的航空燃料的重要性在持续提高。微型藻类植物是世界上生长最快的植物, 而且约50%的质量组分是类石油组分^[2]。据Chen^[3]的研究, 微型藻类植物的石油生产能力几乎比其他能源作物高出一至二倍。Jacob^[4]提出的观点表明, 微型藻类植物可以用来生产生物燃料, 该燃料的能量含量能达到煤的35%。因此, 藻类油作为航空燃气涡轮发动机的替代燃料是有希望和竞争力的。

根据现有技术, 可以通过收获、抽油、热解、脱氧和除去杂质(氮和硫等)、加氢处理等方法来生产藻类生物燃料^[5]。然而, 仍然存在一些技术障碍使得藻类生物燃料在经济性上不合适^[6], 需要发展和优化生物油提取和转化技术。已经有许多工作来研究生物油提取(催化裂解, 酯交换^[7]等)的方法, 在一些微型藻类和真菌物种中研究了干生物质的直接酯

交换^[8]。目前, 藻类的生物燃料生产仍处于非常早期的阶段, 对于商业化生产而言仍然成本高昂^[9]。因此, 需要更多地研究和发展以提高藻类生物燃料的经济性。

尽管与石油燃料相比价格昂贵, 但利用藻类生产液体燃料已经在技术上是可行的^[10]。然而, 对于微型藻类生物燃料的商业化生产, 会出现三个问题: 首先, 微型藻类生物的最终产品取决于加工条件, 因此需要对微型藻类的最终产品进行规范。其次, 对于航空用燃料, 有许多明确的性能要求。因此, 在航空发动机使用之前, 需要对藻类燃料的喷雾特性和燃烧性能进行验证。最后, 在传统航空燃料中添加藻类燃料对燃气轮机燃烧室燃烧性能的影响尚未完全了解。

柴油发动机和航空燃气轮机中的藻类燃料的燃烧性能已经有几篇文献进行了报道^[11-12]。维珍大西洋航空公司是第一个展开替代生物质燃料商业可行性验证的公司。2008年该航空公司对Jet A-1和棕榈树油的混合燃料进行排放测试^[13]。新西兰

收稿日期: 2018-01-26 改稿日期: 2018-03-12

基金项目: 航空煤油替代燃料项目(NO: 2012AA052102); 国家高科技研究发展项目(863)。

作者简介: 刘磊(1987—), 男, 山东泰安人, 博士, 主要从事燃气轮机燃烧室研究, E-mail: liulei121306@163.com。

航空公司也于 2008 年对麻风果树油与 Jet A-1 混合油进行测试,结果表明新的混合燃料相比传统航空煤油要节约 1.2%^[14]。Greg^[15] 研究了不同的生物质燃料的污染物排放性能,结果表明脂肪酸甲脂 (FAME) 燃料的未燃碳氢排放量以及出口温度分布与传统航空煤油几乎相同,但是 FAME 燃料的 SMD 要大于传统航空煤油。包括 GE、CFM 国际、普惠等著名的航空发动机公司在内的研究团队对于生物燃料衍生的合成烷烃煤油 (SPK) 的燃烧性能进行了大量实验研究^[16]。SPK 燃料的植物原料由藻类、麻风树和骆驼藻组成。实验结果表明,在 Jet A-1 中添加 SPK 燃料后形成的混合物,其排放性能发生了显著的变化。Blust^[17] 在均匀搅拌器模型中采用不同的燃料对排放性能和贫油熄火性能进行研究,研究表明燃料的碳氢比 (C/H) 以及分子碳数对燃烧效率、污染物排放以及停留时间有着重要的影响。Lee^[18] 和 Capehart^[19] 认为燃料的化学属性发生改变,可能导致燃烧过程中产生更多的氧原子,这些氧原子与氮气分子结合可以生成 NO_x 。另外,当燃油的雾化效果变差,导致油气混合不均匀从而产生局部热点,进而导致 NO_x 排放增加。然而,这些实验没有对在常规燃料中单独添加藻类燃料造成的影响

进行研究。因此,本文进行了实验研究,旨在了解现代燃气轮机中藻类替代燃料的燃烧特性。

藻类燃料具有高粘度、低挥发性、高十六烷值和十八烷值^[20] 等特点,这导致了低功率状态下的燃油雾化不良。因此,需要对藻类燃料的影响进行研究。在本研究中使用的替代藻类 (AAB) 燃料是用链烷烃合成的,以获得与藻类燃料相似的碳分布。为了验证燃气轮机中使用 AAB 燃料的灵活性,本研究采用 RP-3 燃料作为基准,将 AAB 燃料以 2.5%、5%、7.5%、10%、12.5% 的质量分数与 RP-3 燃料混合,在此基础上研究了混合 AAB 燃料对喷雾和燃烧特性的影响。本研究对于所有混合燃料的 UHC、 NO_x 、CO 和 CO_2 排放进行了采样和测量。同时测量了喷雾角度以研究混合藻类燃料对燃料液滴分布的影响。由于贫油熄火极限的重要性,本实验也对其进行了测量。

1 实验方法

1.1 测试设备和相关仪器

图 1 显示了测试设备和相关仪器的示意图。测试设施主要包括供气系统、燃油控制系统、冷却水输送系统和数据采集设备四大部分。在进入燃烧室之

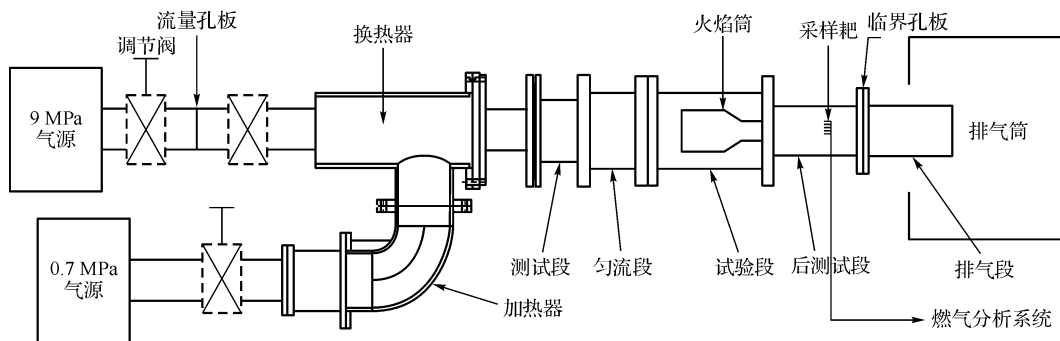


图 1 测试设备和相关仪器示意图

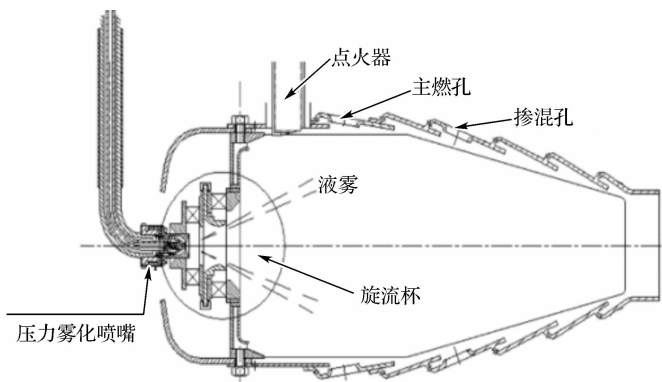


图 2 单头部燃烧室和喷嘴示意图

前将空气加热至 511 K,并通过孔板流量计测量空气质量流量。燃料从燃料箱中输送,燃料质量流量由 Coriolis 质量流量计测量。在燃烧室出口下游约 1 m 处的排气管道中进行排气取样。图 2 显示了由环形燃烧室^[21]的 1/18 衍生出的单头部燃烧室,同时在图 2 中也显示了压力雾化喷嘴和旋流器的图片。在本研究中应用温敏漆来研究燃烧室中高温区的分布。

1.2 测量和误差分析

使用 K 型热电偶和压力传感器来测量预热空气的温度和压力,以达到实验工况所需要的温度和压力。空气和燃料的质量流量通过孔板流量计和 Coriolis 质量流量计测量,精度分别为 $\pm 0.5\%$ 和 $\pm 2\%$ 。根据排放数据可以计算得出燃料/空气比值,并将此计算值与质量流量计的测量值进行比较。在计算值和测量值之间的误差在 $\pm 5\%$ 以内的情况下,可以将燃料/空气比的测量值视为有效的实验数据。

在本研究中,通过位于测试段下游的水冷采样探针进行了气体采样。采样探头和气体分析系统采用管道连接。采样管的温度通过电加热带恒定在 160 ℃,以确保管道中的所有样品组分都是气体。随后,样品气体进入五个平行的气体采样分析仪,包括 O₂ 分析仪 (SIEMENS ULTRAMAT6)、CO₂ 分析仪 (SIEMENS ULTRAMAT6)、NDIR CO 分析仪 (SIEMENS ULTRAMAT6)、NO_x 分析仪 (CAI 600 型) 和 UHC 分析仪 (Baseline MOCON 系列 9000)。这些分析仪的测量范围分别为 0 ~ 25%, 0 ~ 20%, 0 ~ 50 000 × 10⁻⁶ (体积分数), 0 ~ 1 000 × 10⁻⁶ (体积分数) 和 0 ~ 2 000 × 10⁻⁶ (体积分数)。三台 SIEMENS ULTRAMAT6 分析仪的仪器精度为 $\pm 2\%$, 而 NO_x 分析仪和 UHC 分析仪的仪器精度为 $\pm 1\%$ 。废气排放的所有测量装置在运行之前和之间进行校准。采用气体分析法计算燃烧效率 η_c , 如式 (1) 所示:

$$\eta_c = 1 - \frac{E_{CO}H_{CO} + E_{UHC}H_{UHC}}{1\,000\,H_f} \tag{1}$$

其中 H_f 是低位热值, E_{CO} 和 E_{UHC} 是 CO 和 UHC 排放值。对每种混合燃料进行了三次重复实验。而 RP-3, B7.5 和 B10 三种燃料的喷雾角度由高速摄像机在开放空间中拍摄得到。

1.3 测量工况

单头部燃烧室的进口流量为 0.489 kg / s, 进口

温度为 511 K, 进口压力为 460 kPa。该工况根据民用航空器的起飞着陆循环 (LTO)^[22] 中慢车状态下的燃烧室工况得到。由于燃烧不充分, 慢车状态条件下的 CO 和 UHC 排放在 LTO 循环中排放占有较大比例。同时, 由于慢车状态在 LTO 循环中时间最长, 慢车状态下的氮氧化物排放也不可忽略。因此, 实验在慢车状态下进行, 并且对慢车状态下的燃烧机理进行了分析。缓慢调节燃油流量, 使其达到 0.007 3 kg / s。单头部燃烧室的总体当量比约为 0.22。本研究中通过燃烧室头部的气量分配比例为 20%, 头部当量比约为 1.09。

1.4 燃油混合比例

实验中的 AAB 燃料采用几种烷烃混合而成, 以模拟藻类燃料的碳分布。藻类燃料碳分布的细节参见文献[23]。微型藻类脂肪酸的长度为 12 至 22 个碳原子, 可以是饱和或不饱和的。尽管微型藻类之间脂肪酸分布不同, 如 Tetraselmis^[24] 和 Phaeodactylum^[25] 所示, 通常以 C16:0, C18:1 和 C18:2 为主要脂肪酸。AAB 燃料由十五烷、十六烷、十七烷和十八烷混合而成, 每种组分的比例基于微型藻类的脂肪酸分布来确定。其中十五烷的质量分数为 5.743%, 十六烷的质量分数为 11.649 9%, 十七烷的质量分数为 41.989 9%, 十八烷的质量分数为 40.617 1%。

实验中使用了六种燃料, 包括纯 RP-3 和五种混合燃料。表 1 列出了所测试燃料的一些关键性能。由于十八烷和十七烷的高粘度, 混合燃料的粘度将随着添加 AAB 燃料比例的增加而增加。粘度用石油制品粘度计 (SYD-265H, China) 测定。表面张力和密度分别由表面张力计 (SFT-A1, China) 和密度计 (SYA-1884A, China) 测量。

表 1 测试燃料性能

燃料	AAB 燃料 质量分数	20 ℃ 下粘度/ (m ² · s ⁻¹)	20 ℃ 下密度/ (kg · m ⁻³)	20 ℃ 下表面张 力/(N · m ⁻¹)
Jet A	0	1.48 × 10 ⁻⁶	809	0.025 2
B2.5	2.5%	1.52 × 10 ⁻⁶	809	0.025 3
B5	5.0%	1.57 × 10 ⁻⁶	808	0.025 1
B7.5	7.5%	1.61 × 10 ⁻⁶	808	0.024 8
B10	10.0%	1.68 × 10 ⁻⁶	807	0.024 8
B12.5	12.5%	1.71 × 10 ⁻⁶	806	0.024 7

2 结果与分析

2.1 喷雾张角

图 3 显示了不同燃油喷射压力下 AAB 燃料质

量分数对压力旋流雾化喷嘴的喷雾张角的影响。如图 3 所示,喷雾张角随燃油喷射压力的增大而增大,RP-3 中加入 AAB 燃料可以观察到喷雾张角的减小。通过在 RP-3 中添加 AAB 燃料,燃料 B7.5 和 B10 的喷雾张角分别减小 2% 和 5%。如表 1 所示,随着 AAB 燃料质量分数的增大,粘度的变化是显著的,而表面张力和密度的变化可以忽略不计。加入 AAB 燃料导致的粘度增加会加快喷雾切向速度的衰减,从而导致喷雾张角的收缩。因此,喷雾角度对粘度变化敏感。燃料液滴分布在很大程度上是由喷雾张角决定。对于具有大喷雾张角的燃料,液滴将以大的切向速度运动并且在径向上分布较广。因此,燃料液滴的蒸发和燃烧将被限制在很短的空间内,从而导致火焰长度会很短。对于喷雾角小的燃料,液滴将以较小的切向速度运动,在流向上几乎铺展在整个燃烧器上。因此,燃料液滴的蒸发和燃烧将发生在燃烧室的主燃区和掺混区。

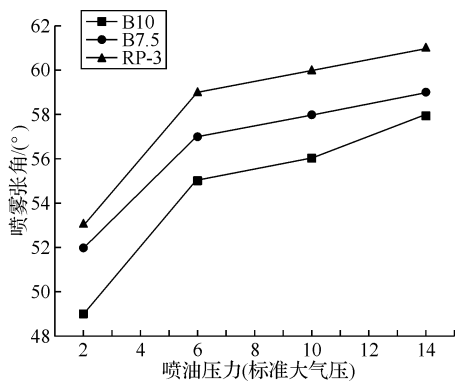


图 3 不同喷雾压力下 RP-3、B7.5 和 B10 燃料的喷雾张角

2.2 燃烧效率

图 4 显示了混合燃料中 AAB 燃料的质量分数对燃烧效率的影响。如图 4 所示,燃烧效率首先随 AAB 燃料的质量分数的增加而降低,而随着 AAB

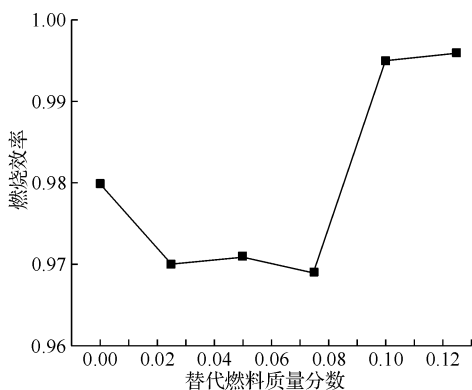


图 4 替代燃料质量分数对燃烧效率的影响

燃料的质量分数的继续增加,B2.5、B5 和 B7.5 燃料的燃烧效率几乎保持不变。然而,当 AAB 燃料的质量分数达到 10% 时,可以观察到燃烧效率的大幅度提高。

2.3 污染物排放

在燃烧中常常考虑三种主要污染物:未燃碳氢(UHC),一氧化碳(CO)和氮氧化物(NO_x)。由于燃烧不充分,UHC 和 CO 都将产生^[26]。这两种污染物会在足够的时间和高温下进一步氧化成二氧化碳和水。 NO_x 污染物是由空气中的氮氧化产生的。扩散火焰引起的高温会导致空气中的氮氧化,从而产生 NO_x 污染物。根据现有参考文献,有 NO_x 产生主要有三种化学机理^[27]。热机理在 1 800 K 以上时占主要地位,而燃料机理和瞬时机理在低温下对 NO_x 的生成具有重要的意义^[28]。

图 5 显示了混合燃料中 AAB 燃料的质量分数对 NO_x 排放的影响。如图 5 所示,随着 AAB 燃料的质量分数的增加, NO_x 排放量减少。然而,当替代燃料质量分数达到 10% 时,观察到 NO_x 排放的直线增加。

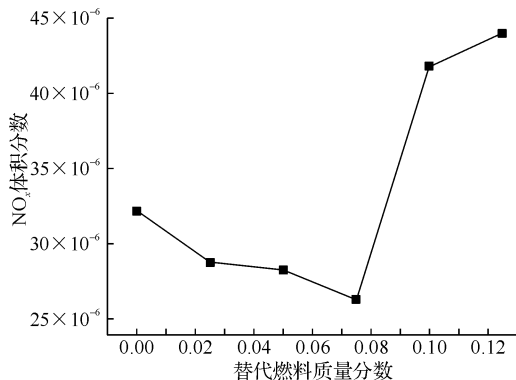


图 5 替代燃料质量分数对 NO_x 排放的影响

图 6 显示了混合燃料中 AAB 燃料的质量分数对 CO 排放的影响。如图 6 所示,CO 排放量开始随替代燃料质量分数的增大而增加,当替代燃料质量分数达到 10% 时,CO 排放直线下降。在图 7 中可以观察到类似的 UHC 排放规律。CO 排放和 UHC 排放都是不充分燃烧的结果。在足够的时间和高温下,这两种污染物将被进一步氧化成二氧化碳和水。

2.4 贫油熄火极限和壁面温度

图 8 显示了 RP-3 和 B10 条件下燃烧室壁面刷涂温敏涂料后的变化。温敏涂料的颜色会随温度变化而变化。如图 8 所示,温敏涂料在 RP-3 条件下的主燃孔附近变为深色,而燃料 B10 条件下的主

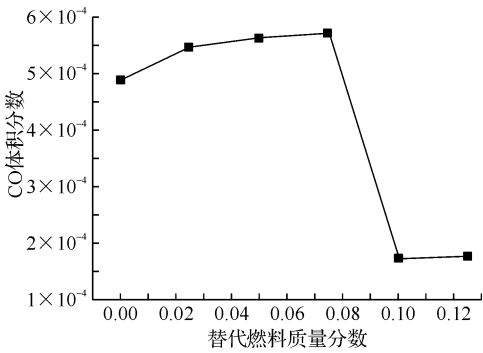


图 6 替代燃料质量分数对 CO 排放的影响

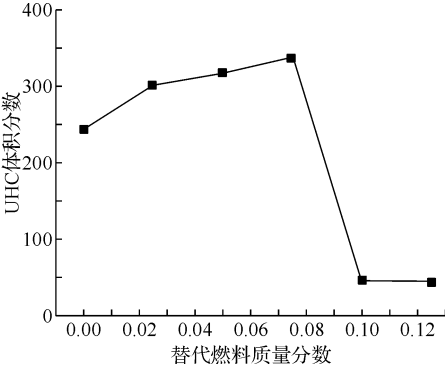


图 7 替代燃料质量分数对 UHC 排放的影响

燃孔附近则观察到较小的颜色变化。然而,温敏涂料在燃料 B10 条件下的掺混孔下方颜色稍微改变,而 RP-3 条件下没有观察到类似的温度变化。温敏涂料的颜色变化表示高温区的位置。因此,这暗示这在 RP-3 条件下的主燃区中获得充分燃烧,而在 B10 燃料条件下的主燃区燃烧不充分。如第 2.1 节所述,由于加入 AAB 燃料引起的喷雾张角的减小将导致火焰长度的增加,因此主燃区中燃烧应当不充分。

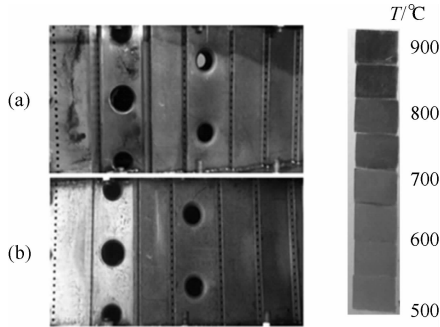


图 8 燃烧室壁面刷涂温敏涂料后的变化

图 9 显示了替代燃料质量分数对贫油熄火极限的影响。随着 AAB 燃料质量分数的增大,考虑到测量精度,贫油熄火极限变化不大。然而,当替代燃料质量分数达到 10% 时,贫油熄火油气比上升了 20%。

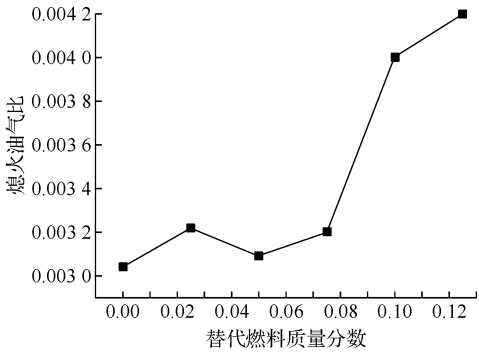


图 9 替代燃料质量分数对于贫油熄火极限的影响

3 结论

本文进行了一项实验研究,以研究慢车状态下 AAB 替代燃料添加在 RP-3 中对燃烧特性的影响。实验结果表明,当 AAB 燃料的质量分数达到 10% 时,污染物排放和贫油熄火极限的变化较为明显。本研究揭示了燃料组分与燃烧性能之间的关系。在本研究中的实验结果将有助于了解实际燃气轮机中替代藻类燃料的燃烧性能。然而,燃料的反应和蒸发是复杂的,特别是许多因素会影响 NO_x 排放和火焰稳定性。因此,发展替代藻类燃料燃烧性能的经验模型至关重要。

总的来说,本文可以得出如下结论:

- 1) 喷雾张角随着 AAB 燃料的质量分数的增加而略有减小。喷雾张角在燃料液滴分布和燃料蒸发中起重要作用,因此,火焰长度受燃料喷雾张角的影响。较小的喷雾张角,会有较大的火焰长度。
- 2) 在慢车状态下,随着 AAB 燃料质量分数的增加,燃烧效率在开始时降低,而当 AAB 燃料的质量分数达到 10% 时,燃烧效率随后提高。
- 3) 随着 AAB 燃料质量分数的增加,NO_x 排放量先减少后增加。随着 AAB 燃料质量分数的增加,CO 和 UHC 排放量先增加后减少,CO 和 UHC 都是燃烧不充分的结果。
- 4) 在慢车状态下,当 AAB 燃料的质量分数小于 10% 时,AAB 燃料质量分数的增加对于贫油熄火极限的影响不大。然而,随着 AAB 燃料质量分数的增加,贫油熄火油气比比 RP-3 的贫油熄火油气比高了 20%。

参考文献:

[1] HACISALIHOGU B, KIRTAY E, DEMIRBAS A. Historical role of turkey in petroleum between caspian sea basin and the middle east [J]. Soc Polit Econ Cultural Res, 2009, 1: 1-25.

- [2] DEMIRBAS A, DEMIRBAS M F. Importance of algae oil as a source of biodiesel. [J]. *Energy Conversion & Management*, 2011, 52(1): 163-170.
- [3] CHEN C Y, YE H K L, AISYAH R, et al. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review [J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(1): 71-81
- [4] JACOB A, XIA A, MURPHY J D. A perspective on gaseous biofuel production from micro-algae generated from CO₂ from a coal-fired power plant [J]. *Applied Energy*, 2015, 148: 396-402.
- [5] BLAKEY S, RYE L, WILSON C W. Aviation gas turbine alternative fuels: A review [J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2011, 33(2): 2863-2885.
- [6] SUBRAMANIAN K A, SINGAL S K, SAXENA M, et al. Utilization of liquid biofuels in automotive diesel engines: An Indian perspective [J]. *Biomass & Bioenergy*, 2005, 29(1): 65-72.
- [7] KROMER M A, BANDIVADEKAR A, EVANS C. Long-term greenhouse gas emission and petroleum reduction goals: Evolutionary pathways for the light-duty vehicle sector [J]. *Energy*, 2010, 35(1): 387-397.
- [8] MACEIRAS R, RODRI M, CANCELA A, et al. Macroalgae: Raw material for biodiesel production [J]. *Applied Energy*, 2011, 88(10): 3318-3323.
- [9] PRAGYA N, PANDEY K K, SAHOO P K. A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 24: 159-171.
- [10] CHISTI Y, YAN J. Energy from algae: Current status and future trends : Algal biofuels -A status report [J]. *Applied Energy*, 2011, 88(10): 3277-3279.
- [11] HAIK Y, SELIM M Y E, ABDULREHMAN T. Combustion of algae oil methyl ester in an indirect injection diesel engine [J]. *Energy*, 2011, 36(3): 1827-1835.
- [12] LEŠNIK L, VAJDA B, ŽUNIČ Z, et al. The influence of biodiesel fuel on injection characteristics, diesel engine performance, and emission formation [J]. *Applied Energy*, 2013, 111: 558-570.
- [13] S. RAMSAY. Doubts surround virgin's breakthrough biofuel flight [Z]. *ABC News*, 2008.
- [14] W M ACHTEN, L VERCHOT, Y J FRANKEN, et al. Jatropha bio-diesel production and use [J]. *Biomass Bioenergy*, 2008, 32(12): 1063-1084.
- [15] PUCHER G, ALLAN W, LAVIOLETTE M, et al. Emissions from a gas turbine sector rig operated with synthetic aviation and biodiesel fuel [J]. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 2011, 133(11): 111502.
- [16] RAHMES T F, KINDER J D, HENRY T M, et al. Sustainable bio-derived synthetic paraffinic kerosene (Bio-SPK) jet fuel flights and engine tests program results [J]. Report No. AIAA, 2009, 7002.
- [17] BLUST J W, BALLAL D R, STURGESS G J. Fuel effects on lean blowout and emissions from a well-stirred reactor [J]. *Journal of Propulsion and Power*, 1999, 15(2): 216-223.
- [18] LEE J C Y, MALTE P C, NICOL D G. NO_x as a function of fuel type: C1 to C16 hydrocarbons and methanol [J]. ASME paper 99-GT-270, 1999.
- [19] CAPEHART S A, LEE J C Y, WILLIAMS J T, et al. Effect of fuel composition on NO_x formation in lean premixed prevaporized combustion [J]. ASME paper 97-GT-336, 1997.
- [20] HALIM R, DANQUAH M K, WEBLEY P A. Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: a review [J]. *Biotechnology Advances*, 2012, 30(3): 709-732.
- [21] XIE F, HUANG Y, HU B, et al. Improved semiempirical correlation to predict lean blowout limits for gas turbine combustors [J]. *Journal of Propulsion and Power*, 2012, 28(1): 197-203.
- [22] ICAO Annex 16 International standards and recommended practices, environmental protection [Z]. Volume II "Aircraft engine emissions" plus amendments, Amendment 3, 20 March 1997; Amendment 4, 4 November 1999; Amendment 5, 24 November 2005.
- [23] YANG X, GUO F, XUE S, et al. Carbon distribution of algae-based alternative aviation fuel obtained by different pathways [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 54: 1129-1147.
- [24] VOLKMAN J K, JEFFREY S W, NICHOLS P D, et al. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1989, 128(3): 219-240.
- [25] FAJARDO A R, CERDAN L E, MEDINA A R, et al. Lipid extraction from the microalga *Phaeodactylum tricornutum* [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2007, 109(2): 120-126.
- [26] RICHARDS G A, MCMILLIAN M M, GEMMEN R S, et al. Issues for low-emission, fuel-flexible power systems [J]. *Progress in Energy & Combustion Science*, 2001, 27(2): 141-169.
- [27] BOWMAN C T. Control of combustion-generated nitrogen oxide emissions: technology driven by regulation [C] // Symposium (International) on Combustion. Elsevier, 1992, 24(1): 859-878.
- [28] CORREA S M. A review of NO_x formation under gas-turbine combustion conditions [J]. *Combustion Science and Technology*, 1993, 87(1-6): 329-362.

轮机技术,1999,12(3):46-48.

[41] 郑建涛. 燃气轮机压气机喘振及其控制算法[J]. 燃气轮机技术,2009,22(3):23-25.

[40] 宋光雄,张亚飞,宋君辉. 燃气轮机喘振故障研究与分析[J]. 燃气轮机技术. 2012,25(4),20-23.

Summarization of Typical Faults in Gas Turbine Start-up Process

WEI Changmiao, ZHAO Jun, LIU Chaoyang

(Wuxi Division of No. 703 Research Institute of CSIC,Jiangsu Wuxi 214151, China)

Abstract: Gas turbine start process was complex, which was the most prone to failure of a link. In this paper, the typical failure of gas turbine starting failure were analyzed from the aspects of starting equipment failure, ignition failure, starting suspension, surge and so on. Combined with the failure mechanism and the actual operation of the process of failure cases, the direction of troubleshooting and troubleshooting measures were given, which provided a technical reference and reference for the safe and stable operation of gas turbine.

Key words: gas turbine; the typical failure; disposal measures

(上接第 6 页)

Pollutant Emissions and Performance of Algae – based alternative fuel blends in a Gas Turbine Combustor

LIU Lei, HUANG Yong

(Collaborative Innovation Center of Advanced Aero-Engine, National Key Laboratory of Science and Technology on Aero-engines, School of energy and power engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: An experimental study has been conducted to use algae-based alternative fuel blended with conventional commercial jet fuel (RP-3) in a single dome aircraft engine combustor. The algae-based alternative fuel employed in the experiment is synthesized with paraffins, to simulate the carbon distribution of microalgae lipids. The exhaust emissions, lean blowout limits and spray characteristics for various blends were investigated. Six fuels including neat RP-3 and five alternative fuel blends were tested in the experiment. Experiments were carried out under the idle condition with 460 kPa, 511 K and 0.498 kg/s for inlet air flow. The experimental results showed that the spray angle of various blends decreased slightly with the algae oil proportion. Remarkable changes in the combustion performances including combustion efficiency, lean blowout limits and pollutant emissions were observed when the mass fraction of alternative fuel reached up to 10%.

Key words: algae-based fuel; emissions; performance; combustion; gas turbine