

文章编号:1000-8055(2012)08-1688-08

航空煤油替代燃料的着火与燃烧特性

曾 文, 陈潇潇, 刘静忱, 马洪安

(沈阳航空航天大学 动力与能源工程学院, 沈阳 110136)

摘 要: 选用了航空煤油(Jet A-1)的 3 种替代燃料(正癸烷、正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料、正癸烷与甲苯双组分混合燃料),并详细分析了这 3 种替代燃料着火与燃烧的详细化学反应机理(正癸烷单组分燃料为 67 种组分与 344 个基元反应,正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料为 118 种组分与 527 个基元反应,正癸烷与甲苯双组分混合燃料为 84 种组分与 440 个基元反应).对这 3 种替代燃料在激波管中的着火延迟特性及在预混燃烧炉中的预混燃烧过程进行了详细的数值计算,并与实验数据进行了对比分析.同时,比较分析了双组分燃料中两种组分体积分数对着火与燃烧特性的影响.结果表明:在预测 Jet A-1 航空煤油的着火特性与预混燃烧特性上,两种双组分混合燃料要优于正癸烷单组分燃料.同时,两种双组分混合燃料中两种组分的体积分数对燃料的着火与燃烧特性影响显著.

关 键 词: 着火特性; 预混燃烧特性; 详细化学反应机理; 正癸烷; 甲苯; 三甲基苯

中图分类号: V231.2; TK401

文献标志码: A

Ignition and combustion characteristics of surrogate fuels for kerosene

ZENG Wen, CHEN Xiao-xiao, LIU Jing-chen, MA Hong-an

(School of Engine and Energy Engineering,

Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: Three new surrogate fuels (*n*-decane, the mixed fuel of *n*-decane and 1, 2, 4-trimethylbenzene, the mixed fuel of *n*-decane and toluene) for kerosene (Jet A-1) were chosen, and detailed reaction mechanisms (67 species and 344 reactions for *n*-decane, 118 species and 527 reactions for the mixed fuel of *n*-decane and 1, 2, 4-trimethylbenzene, and 84 species and 440 reactions for the mixed fuel of *n*-decane and toluene) for the ignition and combustion of these three surrogate fuels were analyzed. The ignition characteristics and the premixed combustion processes of these three surrogate fuels in the shock tube and the perfectly stirred reactor were simulated especially, and the simulation results were compared with the experimental data. Furthermore, the effect of volume percentage of two species in the mixed fuel on the ignition and premixed combustion characteristics were analyzed. The results show that these two mixed fuels represent the ignition and combustion characteristics of Jet A-1 more accurately than *n*-decane single fuel does. At the same time, the effect of volume percentage of two species in the mixed fuel on the ignition and premixed combustion characteristics are remarkable.

收稿日期: 2011-09-14

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2297.V.20120830.1200.201208.1688_002.html

基金项目: 国家自然科学基金(50906059); 辽宁省教育厅项目(L2010418);

天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室开放课题(K2011-06)

作者简介: 曾文(1977—),男,湖南沅江人,副教授,博士后,主要从事航空发动机燃烧过程与排放物生成的数值研究.

Key words: ignition characteristics; premixed combustion characteristics;
detailed reaction mechanism; *n*-decane; toluene;
1, 2, 4-trimethylbenzene

航空煤油的成分非常复杂,包括烷烃、环烷烃、芳香烃以及多环芳烃等不同种类的多种成分,研究表明它主要由平均碳原子个数为10~16的多种碳氢化合物构成,其详细化学反应机理涉及几百种组分、上千个基元化学反应^[1-2]。到目前为止,还无法对航空煤油中各种主要成分的详细化学反应动力学机理进行描述。一种有效的方法就是发展一种与航空煤油的物理与化学特性相同的替代燃料,并形成该替代燃料的详细化学反应机理^[3-5]。

近年来,国外学者提出了大量的航空煤油替代燃料,这些替代燃料由单组分、双组分及多种组分组成。同时,针对这些替代燃料,提出了大量复杂的化学反应详细机理^[6-8]。单组分替代燃料主要是正癸烷。Cathonnet等^[9]采用正癸烷作为航空煤油 Jet A-1 的替代燃料,提出了一种较为简单的化学反应机理(78种组分、603个反应),对其在喷射搅拌反应器(JSR)中的燃烧过程进行了数值计算。Dagaut等^[10]则提出了一种新的正癸烷化学反应机理,包括90种组分、573个反应,其在JSR中同样得到了较好的验证。在双组分替代燃料中,正癸烷为主要组分。Patterson等^[11]采用摩尔分数分别为89%的正癸烷与11%的甲苯作为 Jet A-1 的替代燃料,采用一种半详细的化学反应机理(84种组分、440个反应)对其在JSR和预混平板火焰(PFF)中的燃烧特性进行了数值模拟,计算得到的大部分组分的体积分数变化趋势与实验结果吻合较好。Riesmeier等^[12]则采用正癸烷与三甲基苯作为 Jet A-1 的替代燃料。多组分替代燃料中,正癸烷的比例进一步降低。Montgomery等^[13]采用摩尔分数分别为32.6%的正癸烷、34.7%的正十二烷、16.7%的甲基环己烷与16%的丁苯作为航空煤油 JP-8 的替代燃料,采用一种非常详细的化学反应机理(164种组分、1162个反应)对其在激波管中的着火特性进行了数值模拟,计算结果与实验结果吻合良好。Cathonnet等^[14]采用摩尔分数分别为78%的正癸烷、9.8%的环己烷、12.2%的甲苯作为航空煤油 JP-8 的替代燃料,对其在JSR系统中的燃烧特性进行了数值计算,与实验数据吻合较好。

本文选择了航空煤油(Jet A-1)的3种替代

燃料(正癸烷、正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料、正癸烷与甲苯双组分混合燃料),并形成了这3种替代燃料的化学反应详细机理。同时,对这3种替代燃料在激波管中的着火延迟特性及在预混燃烧炉中的预混燃烧过程进行了详细的数值计算,并比较分析了双组分燃料中两种组分体积分数对着火与燃烧特性的影响。为对航空发动机燃烧与排放物生成过程的详细动力学数值研究提供了一定的理论依据。

1 化学反应机理

Jet A-1 是在 JP-8 中加入防腐蚀添加剂与防结冰添加剂形成的,由79%烷烃(*n*-alkanes)、10%环烷烃(cycloalkanes)、11%芳香烃(aromatics)组成。在本文中,分别采用正癸烷单组分燃料、正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料(体积分数为0.8/0.2,0.7/0.3,0.6/0.4)、正癸烷与甲苯双组分混合燃料(体积分数为0.8/0.2,0.7/0.3,0.6/0.4)作为 Jet A-1 的替代燃料,分别对其着火与燃烧特性进行详细的数值模拟,并与 Jet A-1 实验数据进行对比分析。

1.1 正癸烷的反应机理

依据 Bikas 等^[15]提出的正癸烷着火与燃烧的化学反应详细机理(包括67种组分,600个反应),并综合考虑 Honnet 等^[16]对之提出的修改,形成了本文所采用的正癸烷着火与燃烧的详细化学反应机理,包括67种组分,344个反应。该反应机理包括 H₂ 的氧化反应、CO 与 CO₂, C₁ (CH, HCO, CH₂, CH₂O, CH₃, CH₃O, CH₂OH, CH₄, CH₃OH), C₂ (C₂H, C₂H₂, C₂H₃, CH₃CO, C₂H₄, C₂H₅, C₂H₆), C₃ (C₃H₃, C₃H₄, C₃H₅, C₃H₆, C₃H₇, C₃H₈, C₃H₆O), C₄ (C₄H₂, C₄H₃, C₄H₄, C₄H₅, C₄H₆, C₄H₇, C₄H₈, C₄H₉), C₅ (C₅H₁₀, C₅H₁₁), C₆ (C₆H₁₂, C₆H₁₃), C₇ (C₇H₁₄, C₇H₁₅) 的生成与氧化反应及 *n*-C₁₀H₂₂ 的热裂解与氧化反应。其中 *n*-C₁₀H₂₂ 的热裂解与氧化反应的主要基元反应步如表1所示。

1.2 正癸烷与三甲基苯的反应机理

在正癸烷的反应机理上添加 C₅H₆, C₆H₆,

C_6H_5OH 与 $C_{10}H_8$ 等组分的生成与氧化反应及三甲基苯($_{1,2,4}-C_9H_{12}$)的热裂解与氧化反应,形成了正癸烷与三甲基苯着火与燃烧的详细化学反应机理,包括 118 种组分、527 个基元反应^[12]. 其中三甲基苯的热裂解与氧化反应的主要基元反应步如表 2 所示.

1.3 正癸烷与甲苯的反应机理

依据 Kyne 等^[17]提出的甲苯热裂解与氧化反应机理,并添加了苯生成的反应机理,形成了正癸烷与甲苯着火与燃烧的详细化学反应机理,包括 84 种组分、440 个基元反应. 其中甲苯的热裂解与氧化反应的主要基元反应步如表 3 所示.

表 1 正癸烷($n-C_{10}H_{22}$)热裂解与氧化的主要反应步
Table 1 Major reactions of n -decane pyrolysis and oxidation

编号	反应步	编号	反应步
1	$n-C_{10}H_{22} \Rightarrow 2_1-C_5H_{11}$	9	$n-C_{10}H_{22} + HO_2 \Rightarrow 2-C_{10}H_{21} + H_2O_2$
2	$n-C_{10}H_{22} \Rightarrow p-C_4H_9 + 1-C_6H_{13}$	10	$n-C_{10}H_{22} + CH_3 \Rightarrow 3-C_{10}H_{21} + CH_4$
3	$n-C_{10}H_{22} \Rightarrow n-C_3H_7 + 1-C_7H_{15}$	11	$n-C_{10}H_{22} + CH_3 \Rightarrow 2-C_{10}H_{21} + CH_4$
4	$n-C_{10}H_{22} + O_2 \Rightarrow 3-C_{10}H_{21} + HO_2$	12	$n-C_{10}H_{22} + H \Rightarrow 3-C_{10}H_{21} + H_2$
5	$n-C_{10}H_{22} + O_2 \Rightarrow 2-C_{10}H_{21} + HO_2$	13	$n-C_{10}H_{22} + H \Rightarrow 2-C_{10}H_{21} + H_2$
6	$n-C_{10}H_{22} + OH \Rightarrow 3-C_{10}H_{21} + H_2O$	14	$n-C_{10}H_{22} + O \Rightarrow 3-C_{10}H_{21} + OH$
7	$n-C_{10}H_{22} + OH \Rightarrow 2-C_{10}H_{21} + H_2O$	15	$n-C_{10}H_{22} + O \Rightarrow 2-C_{10}H_{21} + OH$
8	$n-C_{10}H_{22} + HO_2 \Rightarrow 3-C_{10}H_{21} + H_2O_2$		

表 2 三甲基苯($_{1,2,4}-C_9H_{12}$)热裂解与氧化的主要反应步
Table 2 Major reactions of 1,2,4-trimethylbenzene pyrolysis and oxidation

编号	反应步	编号	反应步
1	$C_9H_{12} + OH \rightleftharpoons C_9H_{11} + H_2O$	7	$C_9H_{12} \rightleftharpoons C_8H_9 + CH_3$
2	$C_9H_{12} + OH \rightleftharpoons C_9H_{11}O + H_2$	8	$C_9H_{12} \rightleftharpoons C_8H_{11} + H$
3	$C_9H_{12} + OH \rightleftharpoons C_9H_{12}O + H$	9	$C_9H_{12} + CH_3 \rightleftharpoons CH_4 + C_9H_{11}$
4	$C_9H_{12} + O_2 \rightleftharpoons C_9H_{11} + HO_2$	10	$C_9H_{12} + O \rightleftharpoons C_9H_{11} + OH$
5	$C_9H_{12} + H \rightleftharpoons C_9H_{11} + H_2$	11	$C_9H_{12} + O \rightleftharpoons C_9H_{11}O + H$
6	$C_9H_{12} + H \rightleftharpoons C_8H_{10} + CH_3$	12	$C_9H_{12} + HO_2 \rightleftharpoons C_9H_{11} + H_2O_2$

表 3 甲苯(C_7H_8)热裂解与氧化的主要反应步
Table 3 Major reactions of toluene pyrolysis and oxidation

编号	反应步	编号	反应步
1	$C_7H_8 + OH \rightleftharpoons C_7H_7 + H_2O$	8	$C_7H_8 \rightleftharpoons C_7H_7 + H$
2	$C_7H_8 + OH \rightleftharpoons C_7H_7O + H_2$	9	$C_7H_8 + C_6H_5 \rightleftharpoons C_6H_6 + C_7H_7$
3	$C_7H_8 + OH \rightleftharpoons C_7H_7OH + H$	10	$C_7H_8 + CH_3 \rightleftharpoons CH_4 + C_7H_7$
4	$C_7H_8 + O_2 \rightleftharpoons C_7H_7 + HO_2$	11	$C_7H_8 + O \rightleftharpoons C_7H_7 + OH$
5	$C_7H_8 + H \rightleftharpoons C_7H_7 + H_2$	12	$C_7H_8 + O \rightleftharpoons C_7H_7O + H$
6	$C_7H_8 + H \rightleftharpoons C_6H_6 + CH_3$	13	$C_7H_8 + HO_2 \rightleftharpoons C_7H_7 + H_2O_2$
7	$C_7H_8 \rightleftharpoons C_6H_5 + CH_3$		

2 3种航空煤油替代燃料的着火特性

在激波管中,对正癸烷单组分燃料、正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料(体积分数分别为0.8/0.2,0.7/0.3,0.6/0.4)、正癸烷与甲苯双组分混合燃料(体积分数分别为0.8/0.2,0.7/0.3,0.6/0.4)在不同初始压力、当量比下的着火延迟时间随初始温度的变化趋势进行详细数值模拟,分别采用3种替代燃料的化学反应详细机理。同时,分析双组分混合燃料中两种组分体积分数对其着火延迟时间的影响,并与Jet A-1航空煤油的实验数据^[15]进行对比,找出最理想的组分体积比。图中横坐标为 $1000/T$ /初始温度。

2.1 正癸烷与三甲基苯的着火特性

图1显示正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料

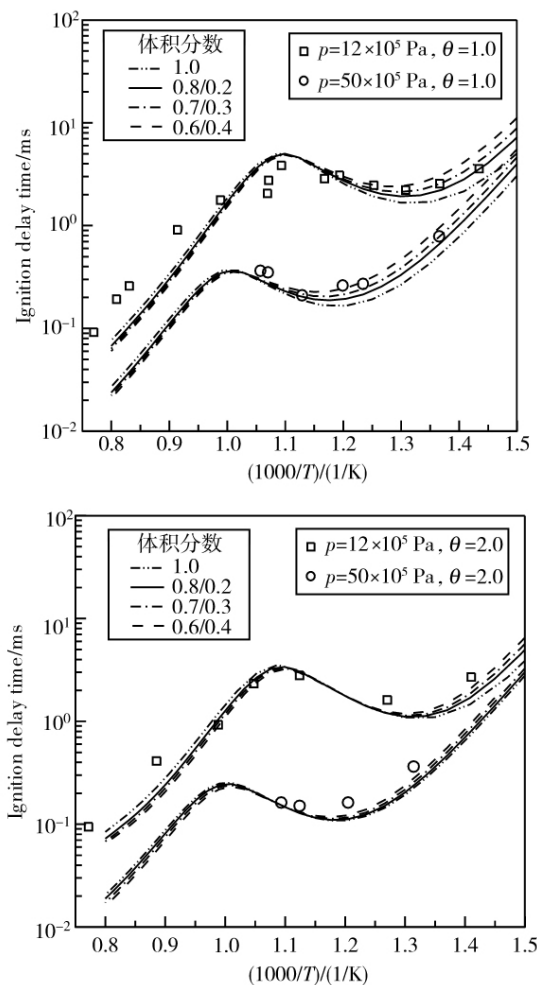


图1 激波管中正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料的着火延迟时间

Fig. 1 Ignition delay time of 1,2,4-trimethylbenzene and *n*-decane mixed fuel in the shock tube

中正癸烷与三甲基苯体积分数分别为0.8/0.2,0.7/0.3,0.6/0.4,初始压力(p)分别为 12×10^5 Pa与 50×10^5 Pa,当量比(θ)分别为1.0与2.0时的着火特性,并与相应条件下正癸烷单组分燃料(图中为1.0的数据线)、实验数据(图中符号)进行了对比分析。

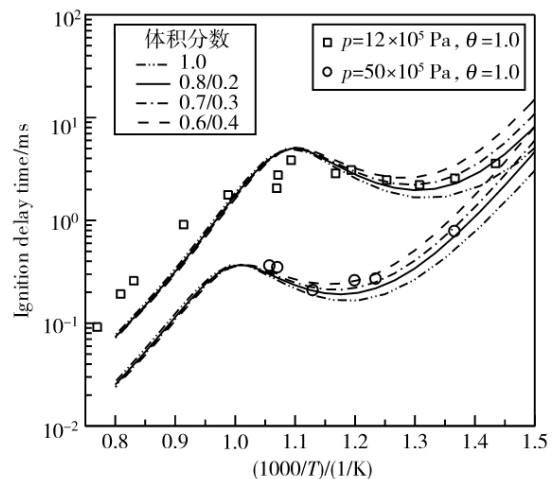
从图1可以看出:采用正癸烷单组分燃料时,4种工况下计算得到的着火延迟时间都要低于实验数据,而且差距较大。当采用正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料时,在当量比为1.0、初始压力分别为 12×10^5 Pa与 50×10^5 Pa的情况下,正癸烷与三甲基苯的体积分数为0.7/0.3时,计算得到的着火延迟时间与实验数据最为吻合。

在当量比为2.0、初始压力分别为 12×10^5 Pa与 50×10^5 Pa的情况下,正癸烷与三甲基苯的体积分数为0.6/0.4时,计算得到的着火延迟时间与实验数据最为接近。同时,随着混合燃料中正癸烷体积分数的增加,4种工况下燃料着火延迟时间逐渐缩短,在各初始温度下,采用正癸烷单组分燃料计算得到的着火延迟时间最短。

2.2 正癸烷与甲苯的着火特性

图2显示了正癸烷与甲苯双组分混合燃料中正癸烷与甲苯体积分数分别为0.8/0.2,0.7/0.3,0.6/0.4,初始压力分别为 12×10^5 Pa与 50×10^5 Pa,当量比分别为1.0与2.0时的着火特性。

从图2可以看出,与采用正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料的着火特性相似,在当量比为1.0、初始压力分别为 12×10^5 Pa与 50×10^5 Pa的情况下,正癸烷与甲苯的体积分数为0.7/0.3时,计算得到的着火延迟时间与实验数据最为吻合。在当量比为2.0、初始压力分别为 12×10^5 Pa与 50×10^5 Pa的情况下,正癸烷与甲苯的体积分



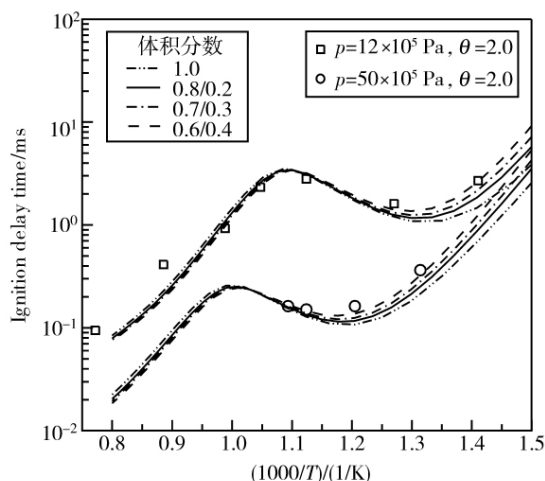


图 2 激波管中正癸烷与甲苯双组分混合燃料的着火延迟时间

Fig. 2 Ignition delay time of *n*-decane and toluene mixed fuel in the shock tube

数为 0.6/0.4 时, 计算得到的着火延迟时间与实验数据最为接近. 同时, 对比图 1 与图 2 可以看出, 采用正癸烷与甲苯双组分混合燃料在各工况下计算得到的 Jet A-1 航空煤油的着火特性要略优于正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料.

3 3 种航空煤油替代燃料的预混燃烧特性

为检验上述 3 种替代燃料的预混燃烧特性, 本文分别对上述 3 种替代燃料在预混燃烧炉中的预混燃烧特性进行数值计算, 并与实验数据进行对比分析.

实验装置及结构可参见文献[18], 航空煤油的流量为 $1.06 \text{ cm}^3/\text{s}$, O_2 的流量为 $10.3 \text{ cm}^3/\text{s}$, N_2 的流量为 $24.6 \text{ cm}^3/\text{s}$, 当量比为 1.7, 初始压力

为 101350 Pa . 采用正癸烷单组分燃料时, 反应物组成为 3.2% $n\text{-C}_{10}\text{H}_{22}$, 28.57% O_2 与 68.23% N_2 (体积分数).

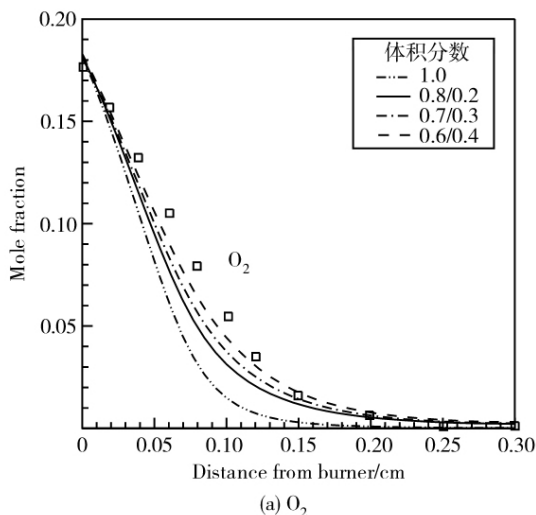
3.1 正癸烷与三甲基苯的预混燃烧特性

在正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料预混燃烧的计算中, 通过改变正癸烷与三甲基苯的体积分数(0.8/0.2, 0.7/0.3, 0.6/0.4)来分析两种组分不同体积分数对该混合燃料的燃烧特性的影响, 从而找出两种组分最理想的体积分数. 同时, 对正癸烷单组分燃料(图中为 1.0 的数据线)的燃烧特性进行计算, 并与实验数据(图中符号)进行对比分析.

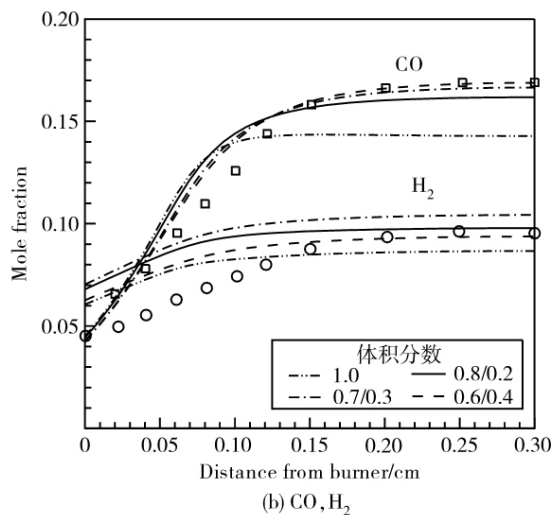
从图 3 可以看出: 当正癸烷与三甲基苯的体积分数为 0.6/0.4 时, 计算得到的反应物(O_2)与部分生成物(CO , H_2 , H_2O , C_2H_2 , C_4H_8 , C_5H_{10})摩尔分数随与炉壁距离的变化趋势与实验值吻合较好; 当体积分数为 0.8/0.2 时, 计算得到的 CO_2 与 C_3H_4 摩尔分数的变化趋势与实验值吻合较好; 而采用正癸烷单组分燃料时, 计算得到的 C_2H_4 摩尔分数随与炉壁距离的变化趋势与实验值吻合较好.

3.2 正癸烷与甲苯的预混燃烧特性

从图 4 可以看出: 采用正癸烷与甲苯的体积分数为 0.6/0.4 时, 计算得到的反应物(O_2)与部分生成物(CO , H_2 , H_2O , C_4H_8)摩尔分数随与炉壁距离的变化趋势与实验值吻合较好; 当体积分数为 0.8/0.2 时, 计算得到的 CO_2 , C_2H_2 , C_3H_4 与 C_5H_{10} 摩尔分数的变化趋势与实验值吻合较好; 而采用正癸烷单组分燃料时, 计算得到的 C_2H_4 摩尔分数随与炉壁距离的变化趋势与实验值吻合较好.



(a) O_2



(b) CO , H_2

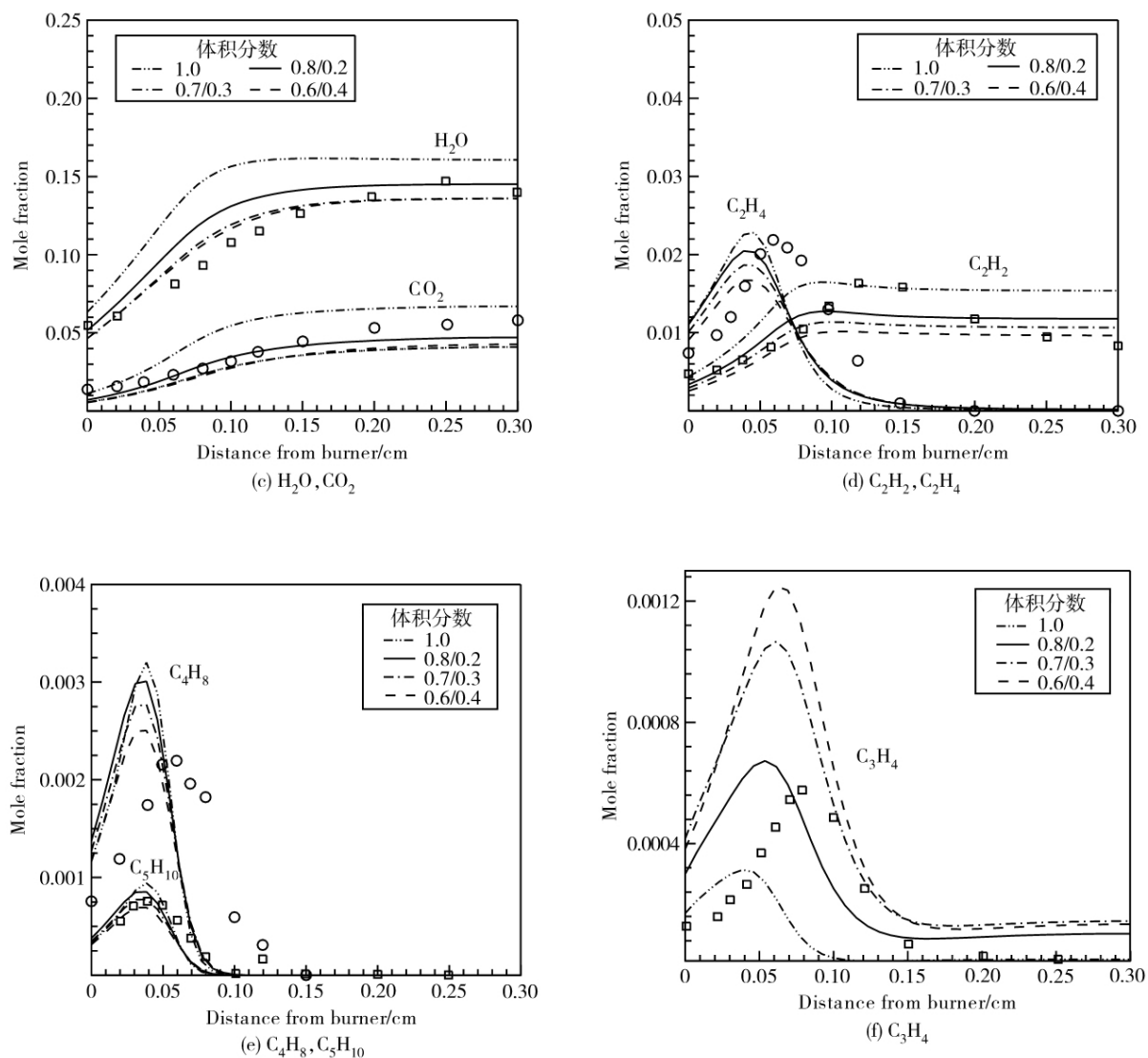
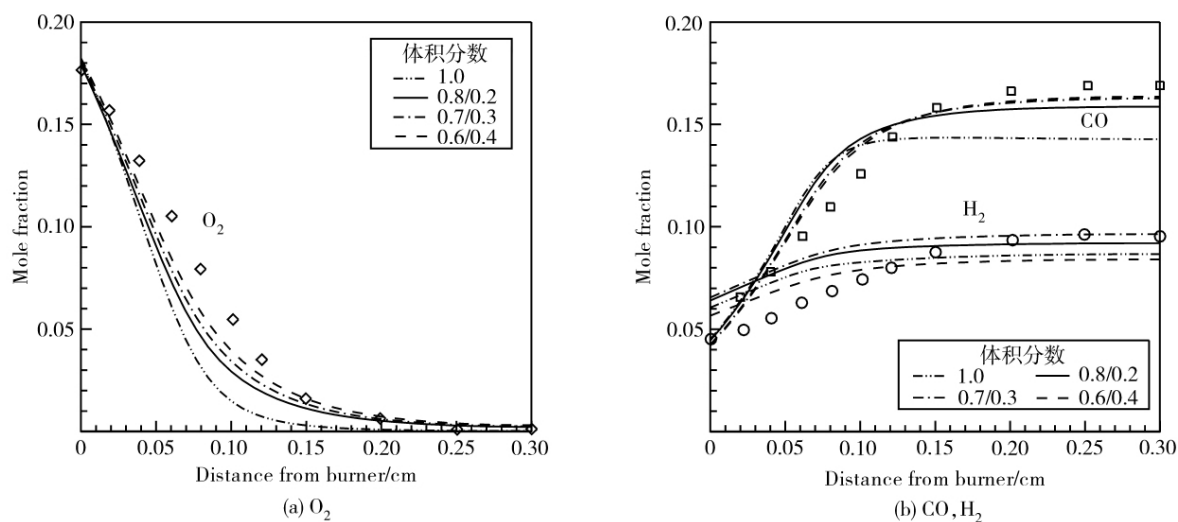


图 3 正癸烷与三甲基苯预混燃烧过程中主要组分的摩尔分数变化趋势

Fig. 3 Mole fractions of species in the mixed fuel premixed combustion process of *n*-decane and 1,2,4-trimethylbenzene



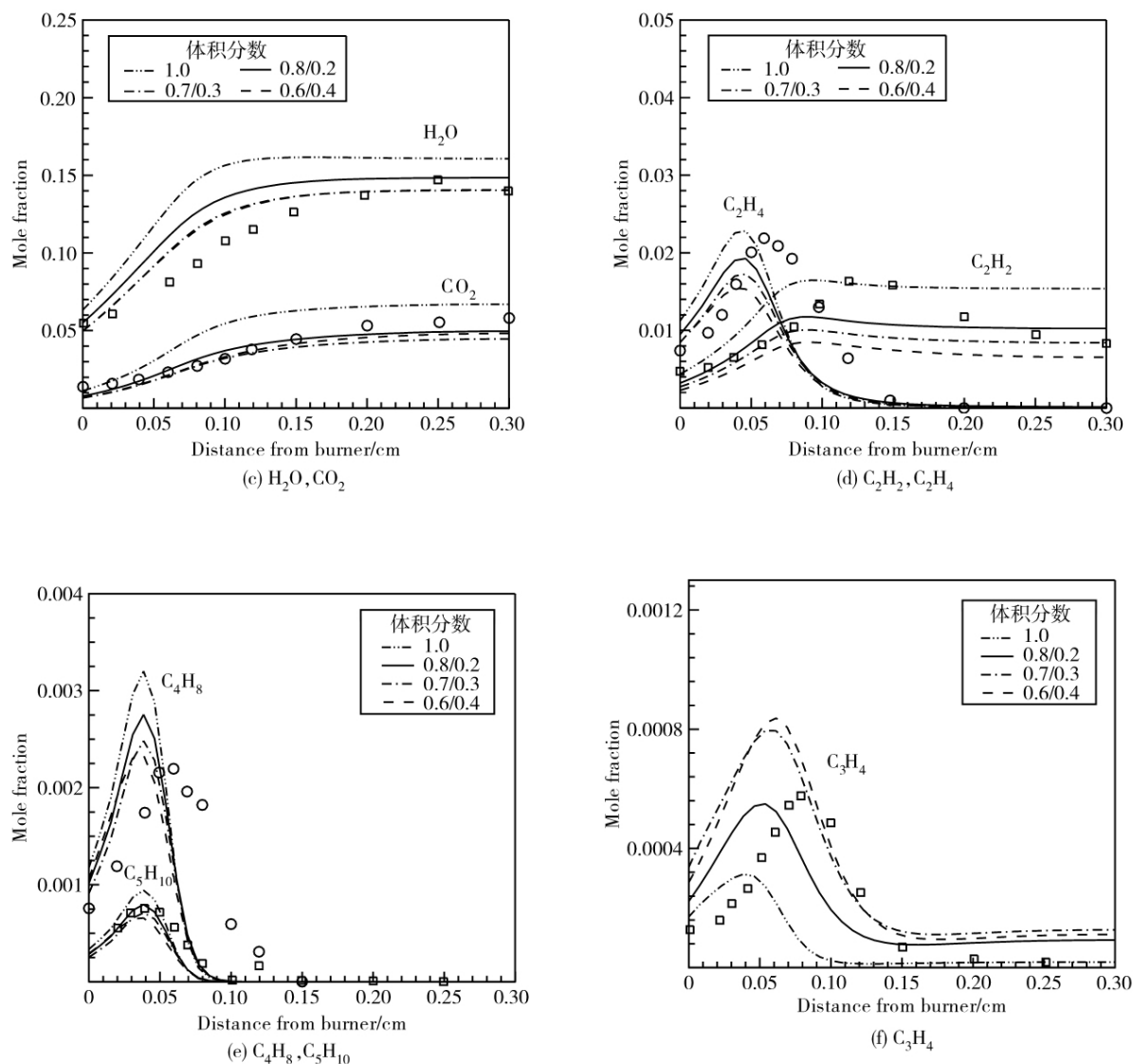


图 4 正癸烷与甲苯预混燃烧过程中主要组分的摩尔分数变化趋势

Fig. 4 Mole fractions of species in the premixed combustion process of *n*-decane and toluene mixed fuel

对比图 3 和图 4 可以发现, 两种混合燃料中两种组分在相同体积分数下, 除了 C_3H_4 , 其他各组分的摩尔分数随与炉壁距离的变化趋势基本相同。同时, 正癸烷与三甲基苯体积分数为 0.7/0.3 与 0.6/0.4 时, 计算得到的 C_3H_4 的摩尔分数要远高于相同比例下的正癸烷与甲苯混合燃料, 与实验数据差距更大, 这说明在 C_3H_4 的预测上, 正癸烷与甲苯混合燃料要优于正癸烷与三甲基苯混合燃料。

4 结 论

本文选择了航空煤油(Jet A-1)的 3 种替代燃料(正癸烷、正癸烷与三甲基苯双组分混合燃料、正癸烷与甲苯双组分混合燃料)。对这 3 种替代燃料在激波管中的着火延迟时间及在预混燃烧

炉中的预混燃烧过程进行了详细的数值计算, 并比较分析了双组分燃料中两种组分体积分数对着火与燃烧特性的影响。同时, 与实验数据进行了对比验证。得到以下结论:

1) 采用正癸烷单组分燃料作为 Jet A-1 的替代燃料时, 在几种计算工况下, 其着火延迟时间都要低于实验数据, 而且差距较大。

2) 在当量比为 1.0、初始压力分别为 12×10^5 Pa 与 5×10^5 Pa 的情况下, 两种混合燃料中两种组分的体积分数为 0.7/0.3 时, 计算得到的着火延迟时间与实验数据最为吻合; 而当当量比升为 2.0 时, 体积分数为 0.6/0.4 时计算结果与实验数据最为接近。因此, 在不同当量比下, 与 Jet A-1 航空煤油着火特性较为接近的两种混合燃料中两种组分的体积分数也不相同, 但初始压力影

响不大。同时,在预测 Jet A-1 航空煤油的着火特性上,上述两种混合燃料要优于正癸烷单组分燃料。

3) 在 Jet A-1 航空煤油预混燃烧特性的预测上,正癸烷与甲苯混合燃料要优于正癸烷与三甲基苯混合燃料。同时,这两种混合燃料也优于正癸烷单组分燃料。

从上述分析可以看出:作为航空煤油(Jet A-1)的替代燃料,双组分的正癸烷与三甲基苯混合燃料、正癸烷与甲苯混合燃料无论在着火特性还是燃烧特性上都要优于单组分的正癸烷燃料。

参考文献:

- [1] Edwards T, Maurice L Q. Surrogate mixtures to represent complex aviation and rocket fuels[J]. Journal of Propulsion and Power, 2001, 17(2): 461-466.
- [2] Violi A, Yan S, Eddings E G, et al. Experimental formulation and kinetic model for JP-8 surrogate mixture[J]. Combustion Science and Technology, 2002, 174(11/12): 399-417.
- [3] Agosta A, Cernansky N P, Miller D L, et al. Reference components of jet fuels; kinetic modeling and experimental results[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2004, 28(7): 701-708.
- [4] Cooke J A, Bellucci M, Smooke M D, et al. Computational and experimental study of JP-8, a surrogate, and its components in counter-flow diffusion flames[J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2005, 30(1): 439-446.
- [5] Dagaut P, Pengloan G, Ristori A. Oxidation, ignition and combustion of toluene; experimental and detailed chemical kinetic modeling[J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2002, 4(3): 1846-1854.
- [6] Lindstedt P, Maurice L Q. Detailed chemical kinetic model for aviation fuels[J]. Journal of Propulsion and Power, 2000, 16(1): 187-195.
- [7] Wen Z, Yun S, Thomson M J, et al. Modeling soot formation in turbulent kerosene/air jet diffusion flames[J]. Combustion and Flame, 2003, 135(3): 323-340.
- [8] Luche J, Reuillon M, Boettner J C, et al. Reduction of large detailed kinetic mechanisms; application to kerosene/air combustion[J]. Combustion Science and Technology, 2004, 176(3): 1935-1963.
- [9] Cathonnet M, Bales G C, Chakir A, et al. On the use of detailed chemical kinetics to model aeronautical combustors performances[C] // Proceedings of the Third European Propulsion Forum. Paris: AAAF, 1992: 313-331.
- [10] Dagaut P, Reuillon M, Boettner J C, et al. Kerosene combustion at pressures up to 40 atm; experimental study and detailed chemical kinetic modeling[J]. Proceedings of the Combustion Institute, 1994, 25(2): 919-926.
- [11] Patterson P M, Kyne A G, Pourkhashanian M, et al. Combustion of kerosene in counter-flow diffusion flames[J]. Journal of Propulsion and Power, 2000, 16(2): 453-460.
- [12] Riesmeir E, Honnet S, Peters N. Flamelet modeling of pollutant formation in a gas turbine combustion chamber using detailed chemistry for a kerosene model fuel[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2004, 126(3): 899-905.
- [13] Montgomery C J, Cannon S M, Mawid M A, et al. Reduced chemical kinetic mechanisms for JP-8 combustion[R]. AIAA 2002-0336, 2002.
- [14] Cathonnet M, Voisin D, Etsouli A, et al. Kerosene combustion modelling using detailed and reduced chemical kinetic mechanisms[C] // Proceeding of Symposium Applied Vehicle Technology Panel on Gas Turbine Engine Combustion. Neuilly-sur-Seine, France: NATO Res. and Tech. Organisation, 1999: 1-9.
- [15] Bikas G, Peters N. Kinetic modelling of *n*-decane combustion and autoignition[J]. Combustion and Flame, 2001, 126(1/2): 1456-1475.
- [16] Honnet S, Seshadri K, Niemann U, et al. A surrogate fuel for kerosene[J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2009, 32(1): 485-492.
- [17] Kyne A G, Patterson P M, Pourkashanian M, et al. Prediction of premixed laminar flame structure and burning velocity of aviation fuel-air mixtures[R]. ASME 2001-GT-0055, 2001.
- [18] Douté C, Delfau J L, Akrich R, et al. Chemical structure of atmospheric pressure premixed *n*-decane and kerosene flames[J]. Combustion Science and Technology, 1995, 106(2): 327-344.