

文章编号: 1006-9941(2015)10-0971-06

甲苯、正癸烷点火延迟的激波管实验研究

陈其盛, 窦志国, 李 兰

(装备学院激光推进及其应用国家重点实验室, 北京 101416)

摘要: 利用反射型激波管、压力传感器、光电倍增管、示波器等组成的测试系统, 通过测量激波压力信号和 OH 自由基光强信号, 在 1175 ~ 2023 K, 压力为 0.1 MPa, 当量比为 0.5、1.0、2.0 的条件下, 获得了甲苯/氧气/氮气、正癸烷/氧气/氮气的点火延迟时间。在实验中利用超声速气流雾化液态燃料, 制备了均匀的燃料气溶胶。通过控制反射激波缝合接触面的运行状态, 使实验运行时间延长至 15 ms 以上。实验结果表明, 在相同的点火压力和点火温度下, 甲苯的点火延迟时间比正癸烷的长。随着反应初始温度升高, 甲苯和正癸烷的点火延迟时间缩短, 点火延时的对数与温度倒数成正比。点火过程中的 OH 自由基荧光强度在不同温度下呈现出不同的变化规律。

关键词: 甲苯; 正癸烷; 点火延迟; 激波管; 自由基浓度

中图分类号: TJ55; O64

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.10.010

1 引言

燃料的点火是燃烧学领域的基础性问题, 相关的研究对于提高燃烧效率, 减少污染物排放等有极大的促进作用。同时点火又属于典型的非定常现象, 是多种化学、物理过程相互耦合的复杂问题。其中, 燃料的点火延迟特性是点火的重要问题之一。在燃烧初始阶段, 反应物的化学键打开, 形成自由基等需要经过一段迟滞时间, 这种迟滞现象称为燃料点火延迟。点火延迟时间是反映燃料燃烧特性的一项重要指标, 准确的燃料点火延迟时间还是验证燃烧反应简化机理和化学动力学建模的主要依据^[1]。因此, 燃料的点火延迟特性一直是国内外研究的热点, 尤其对于现在迅速发展的高超声速飞行器而言, 其发动机燃烧室内燃料燃烧机理的研究是整个研究工作的关键点。由于高超声速飞行器速度快, 燃料在燃烧室中混合、燃烧的过程十分短暂。这种情况下在燃烧室中实现燃料的自点火与稳定高效燃烧将十分困难, 这也使得碳氢燃料的点火性能对于超燃发动机的设计具有重要意义^[2]。

由于真实燃料是由复杂的有机化合物组成的, 其成分和组分浓度不确定, 且与产地、炼制工艺等有

关^[3]。所以研究一种或多种组分的碳氢化合物作为替代模型是进一步研究真实燃料的重要基础。

甲苯和正癸烷是煤油中的组成成分, 同时也是构建模型燃料的常用组分^[4]。对于甲苯和正癸烷点火特性的研究, 国内外已有较多报道, 主要是研究温度、压力、当量比 (equivalent ratio, 即燃料的实际量与理论完全反应量的比值, 表示燃料与氧气的配比关系) 等因素对气相燃料点火延迟时间的影响。Pfahl 等^[5]在 1996 年使用高压激波管研究了在点火压力分别为 1.3 ~ 5 MPa, 点火温度为 700 ~ 1300 K, 当量比为 0.5、1.0、2.0 时正癸烷/空气混合物的点火延迟。Olchanski 和 Burcat^[6]于 2006 年测量了点火温度为 1239 ~ 1616 K, 压力为 0.182 ~ 1.0 MPa 下的正癸烷点火延迟数据, 并得出了点火延迟时间拟合关系式, 据此对原有反应动力学模型进行了修正。随后莫斯科科技大学的 Zhukov 等^[7]又将癸烷的点火压力推向高压区, 他们同样利用预先加热激波管的方法, 在点火温度为 800 ~ 1300 K, 点火压力最高达 8 MPa 的条件下, 测量了油气当量比 ϕ 为 0.5 和 1.0 时正癸烷在空气中的点火延迟时间。

1986 年, Burcat^[8]等利用激波管测量了甲苯/氧气/氮气的点火延迟时间, 温度范围为 1212 ~ 1748 K, 压力为 0.17 ~ 0.789 MPa。2002 年, Dagaut^[9]利用射流反应器研究了大气压条件下, 温度为 1000 ~ 1375 K 时的甲苯点火延迟, 并采用一种包含 120 种组分、920

收稿日期: 2014-11-17; 修回日期: 2015-03-24

基金项目: 国家自然科学基金(11372356)

作者简介: 陈其盛(1990-), 男, 研究生, 主要从事燃烧机理与光学诊断研究。e-mail: chensheng_atp@126.com

步基元反应的详细反应机理进行了模拟。2004年, Vasudevan等^[10]在温度为1458~1847 K, 压力为177~450 kPa条件下测量了甲烷点火延迟时间, 并分析了OH自由基的浓度变化规律。随后在2010年, Vasu等^[11]使用激波管和快压反应器研究了甲苯在低温高压(900~1200 K, 5 MPa)条件下的点火延迟特性。2012年, 四川大学的张昌华等^[12]在温度范围为1312~1713 K, 压力为0.1~0.3 MPa条件下, 利用激波管测量了甲苯/氧气/氩气的点火延迟时间, 并且分析了自由基的瞬态发射光谱。

虽然研究人员对甲苯和正癸烷的点火特性进行了大量研究工作, 但是到目前为止还无法找到一个反应动力学模型以及拟合关系式, 可以与所有的实验结果很好吻合。因此, 关于甲苯和正癸烷点火延迟特性的研究还需要进一步的研究, 尤其是需要获取更大温度范围和变化学油气当量比条件下的实验数据。

此外, 由于在室温下液态碳氢燃料的饱和蒸汽压普遍较低(例如甲苯在290 K温度下的饱和蒸汽压仅为130 Pa), 燃料蒸汽很容易在管壁凝结。所以制备稳定的气相混合物是激波管实验中的一项技术难题。此前关于甲苯和正癸烷的实验研究中, 反应气体是通过液体燃料加热蒸发制成的。这种方法十分复杂。同时加热还有可能造成燃料热裂解, 使得反应物组分发生改变。

为此, 本实验采取一种全新的超声速气流雾化的方式来制备燃料和氧气/氮气的气溶胶混合物, 避免加热带来的问题。得到了微米量级雾化液滴, 在入射激波后迅速蒸发气化, 可在反应区域中形成均匀的气相燃油混合物。利用雾化两相化学激波管, 实验测量了甲苯和正癸烷的点火延时数据, 并研究了甲苯、正癸烷自点火过程中OH自由基的自发光强度变化。

2 实验部分

2.1 试剂及设备

激波管是进行燃料自点火特性研究的重要工具之一。它可以提供特定的压力和温度条件, 方便在各种条件下对燃料的点火延时进行测量。相对于快压机和发动机台架实验, 激波管可以在更大的温度和压力范围下进行实验^[13]。

本实验使用的试剂为分析纯级别的甲苯(北京化工厂, 纯度 $\geq 99.5\%$)和正癸烷(北京兴津化工厂, 纯度 $\geq 99.8\%$)。

2.2 实验方法

在本实验中, 采用超声速气动喷嘴实现燃油雾化, 雾化器结构为拉瓦尔喷管, 喷管喉部的气流可调节至声速。液体燃料随着气流从喉部的小孔注入, 在高速气流的作用下迅速破碎雾化, 并与气体混合形成气溶胶。气溶胶的粒径尺寸经过马尔文米氏激光散射粒度仪测量。结果显示, 平均粒径尺寸在3~5 μm ^[14]。生成的燃料气溶胶由喷管喷出进入体积为0.3 m^3 的预混罐, 之后将罐体静置10 min可使罐体内部预混气体到达近似均衡。

实验的反应装置为一段内径100 mm的单脉冲反射型激波管。装置示意图如图1所示。管体全长9 m, 其中驱动段为4 m, 被驱动段为5 m, 中间由聚酯纤维膜片隔开。实验前, 将被驱动段端部的三通活塞打开, 让预混罐中的燃料/氧气/氮气混合物由涡轮泵抽入激波管。在完成被驱动段气体的配置之后, 将活塞关闭, 使激波管反射端面保持平整。再根据一维激波管模型缝合接触面条件的计算结果, 在驱动段内充入一定高压的氮气/氦气混合驱动气体, 完成激波管驱动气体压力配置。通过控制激波管“缝合接触面条件”^[15], 实现了长达15 ms的实验运行时间, 满足了点火延迟实验需求。

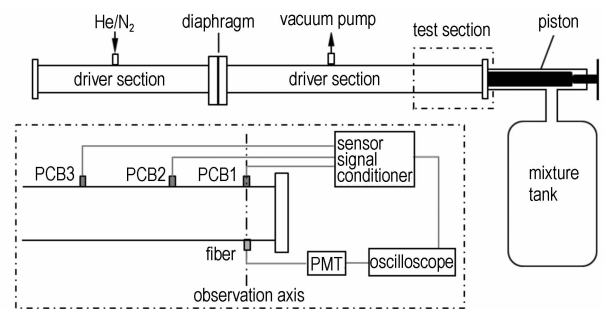


图1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental setup

当热电破膜机构将中间的聚酯纤维膜片烧穿后, 由于驱动段和被驱动段之间巨大的压差, 气流的强烈扰动将会产生一道向被驱动段传播的运动激波。这道激波将沿着被驱动段传播, 并在激波管尾部的端面上反射。经过入射激波和反射激波的作用, 驱动段内燃料/氧气/氮气混合物的温度和压强将急剧地升高。这个物理状态跃升的过程不到1 ns, 反应物能够迅速达到所需的反应条件, 所以过程中的热传导效应可以忽略不计。

虚线框中显示的是被驱动段端部测试区域的测量装置布置情况。在激波管侧壁上安装有三个快速响应压电传感器(PCB 113B21, 响应时间小于1 μs), 各传

感器之间的间隔均为 320 mm。最外侧的传感器 PCB1 距离激波管端面 20 mm。沿着观测轴线,在 PCB1 相对的壁面上安置了一个测量光强信号的光电倍增管(最高放大电压 1050 V)。在光电倍增管前面还加装了一个透过 306 nm 波长带宽 10 nm 的滤镜,用来观测 OH 的化学自发光。所有的压力和光强信号都是使用数字示波器(Tek DPO7104C)以 10 MHz 的频率进行采集,并以 PCB3 的压力跃升作为采样触发信号。

2.3 实验过程

点火延迟时间的定义和测量标准有很多。本实验中,点火延迟时间定义为反射激波到达的时刻与点火反应的开始时刻之间的差值。激波到达观测轴线的时刻可以由压电传感器 PCB1 测得的压力跃升信号来表示,点火反应的开始则可以由光电倍增管测得光强跃升的速率(亦即曲线的斜率)最大点来表示。上升速率值在不同温度下是不同的,例如在 1500 K 左右,油气当量比等于 1 的条件下,甲苯在点火过程中光电信号幅值跃升速率最大值为 $60 \text{ mV} \cdot \mu\text{s}^{-1}$ 左右。

图 2 显示了典型的点火延迟时间测量结果。在反射激波到达之后,激波管反应区域内的压力值出现跃升,表明达到了所需的高温高压反应条件。由于采用了缝合接触面状态运行,消除了反射非定长波系的干扰,反应区域可以持续稳定的高温高压状态。在这段时间里,反应物的化学键打开,释放出大量的活化分子,如 OH 自由基等。经过约 1.3 ms,光电倍增管(PMT)探测到强烈的自发光信号,表明此时 OH 已大量生成,并标志着该区域已完成点火,开始燃烧。与此同时,氧化反应中会生成气态反应产物并且释放出大量热量,使反应区内气体体积膨胀、压强升高。所以图 2 中的压力信号和自由基光强信号几乎同时跃升达到峰值。在这之后自由基自发光光强迅速减弱,并且

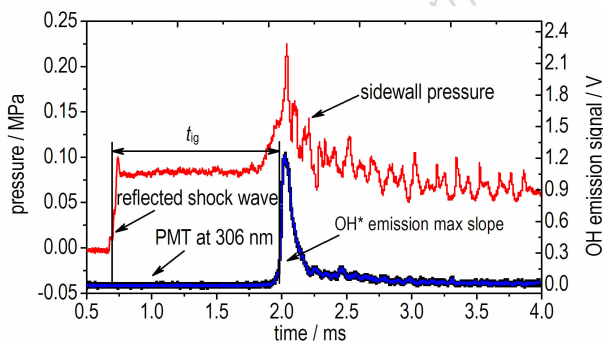


图 2 典型点火延迟时间测量结果

Fig. 2 Measurement results of typical ignition delay time

传感器记录的压力信号出现波动,表明在燃烧开始之后激波管反应区内产生了压力脉动。

实验测量了甲苯/氧气/氮气、正癸烷/氧气/氮气的气溶胶混合物的点火延迟时间,实验压力控制在近似一个大气压下,实验温度范围为 1295 ~ 2487 K。按照化学油气当量比为 0.5、1.0 和 2.0 配制了不同燃油浓度的预混气。

3 结果与讨论

3.1 不同温度、油气当量比下点火延迟时间

图 3 显示了不同温度、不同油气当量比条件下甲苯的点火延迟时间实验结果,实验结果按照压力条件为 101 kPa,氧气摩尔浓度为 20% 进行了标准化。散点显示的是经过标准化后的数据,曲线为经过拟合后的结果。图 3 中的曲线清晰地显示出甲苯和正癸烷的点火延迟时间随着温度的减小而增大,并且点火延迟时间的对数与温度倒数成正比,符合 Arrhenius 关系^[16]。随着化学油气当量比的增加,点火延迟时间变长。

图 4 显示了不同温度不同油气当量比条件下正癸烷的点火延迟时间实验结果,点火延迟时间与温度同

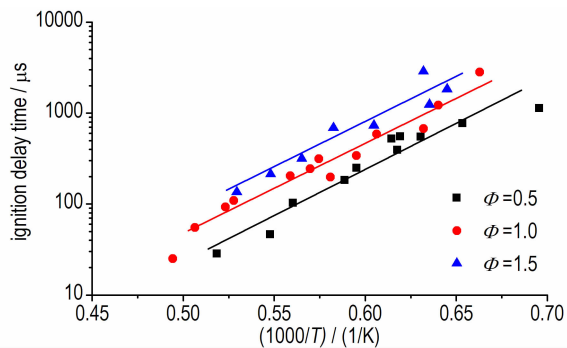


图 3 甲苯在不同油气当量比下的点火延迟时间

Fig. 3 Ignition delay time of toluene at different equivalent ratio (ϕ)

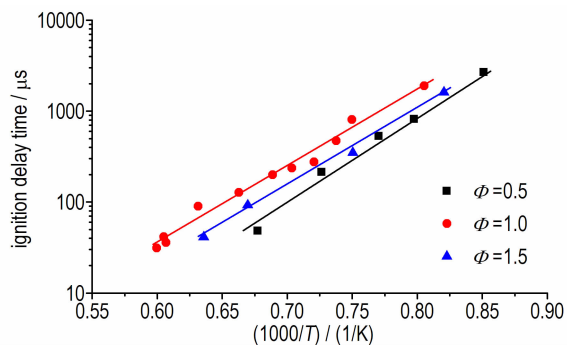


图 4 正癸烷在不同油气当量比下的点火延迟时间

Fig. 4 Ignition delay time of *n*-decane at different equivalent ratio (ϕ)

样满足 Arrhenius 关系。油气当量比为 1 时点火延迟时间最长, 油气当量比为 0.5 时则最短。

在实验中, 激波后反应区域的物理参数无法直接测量, 需要根据入射激波速度, 代入激波公式^[13]求得。由于存在激波衰减, 真实气体效应、边界层效应、振荡弛豫等因素, 将导致激波管的非理想运行, 造成求解的结果出现偏差。同时由于示波器采样频率有限, 采样点之间有 10 μs 的时间间隔, 在时间判读时也存在误差。最终得到的反应区温度 T_5 存在 $\pm 5\% \sim 10\%$ 左右的误差。所以得到的实验结果也处于这个误差范围。

图 5 显示了相同油气当量比条件下甲苯和正癸烷的点火延迟时间实验结果, 碳数较低的甲苯 (C_7H_8) 的点火延迟时间比碳数较高正癸烷 ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$) 要长得多。这主要是因为苯环的化学键能较大, 在链式反应中, 打开化学键生成自由基所需要的时间较长。

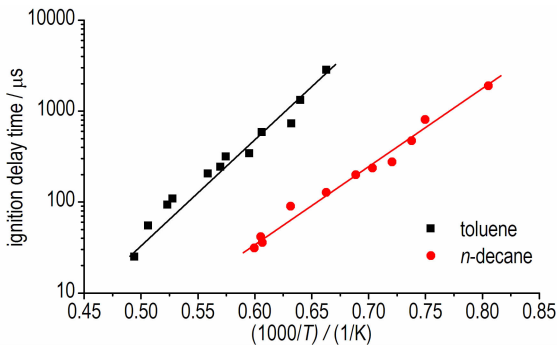


图 5 油气当量比 1.0 下甲苯、正癸烷点火延迟时间
Fig. 5 Ignition delay time of toluene and *n*-decane ($\phi = 1.0$)

在图 6 中实方点为甲苯的实验结果, 空心圆点表示相同条件下 Davidson^[17] 等得到的实验结果。二者在高温条件下吻合较好, 在低温区域偏差稍大。在实验基础上, 还通过 Chemkin 程序对甲苯进行了点火延迟模拟, 图中蓝色虚线为 Andrae^[18] 等提出的 137 组 633 步甲苯反应机理的模拟结果, 红色点划线为 Zoran^[19] 研究小组等提出的 93 组分 736 步甲苯反应机理的模拟结果。对比发现, 实验结果与机理的模拟结果趋势上相同, 模拟结果在中低温区域偏低, 在高温条件下吻合得较好。

图 7 中实方点为正癸烷的实验结果, 空心圆点为根据 Olchanski^[6] 的实验数据。可以看出两种结果均具有较好的线性, 整体上本实验的结果偏高一些。在对正癸烷的点火模拟中也采用了两种反应机理: 蓝色虚线表示的是利用美国 LLNL 实验室提出的直链烷烃

机理^[20], 该机理可以模拟从辛烷 (C_8H_{18}) 到十六烷 ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) 的直链烷烃的燃烧反应; 红色点划线表示的是德国亚琛大学提出的煤油组分替代燃料机理^[21], 其中包含有 122 种组分 900 步基元反应。将实验结果与模拟结果对比, 机理模拟结果与两种实验结果整体趋势相同, 比本实验的结果要低, 而比 Olchanski^[6] 的实验数据高。

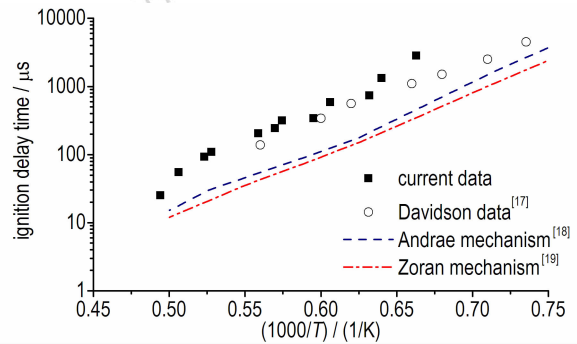


图 6 甲苯点火延迟实验数据与文献结果、相关机理预测结果的对比

Fig. 6 Comparison of the experimental data with literature ones and ones predicted by related mechanism for ignition delay times of toluene

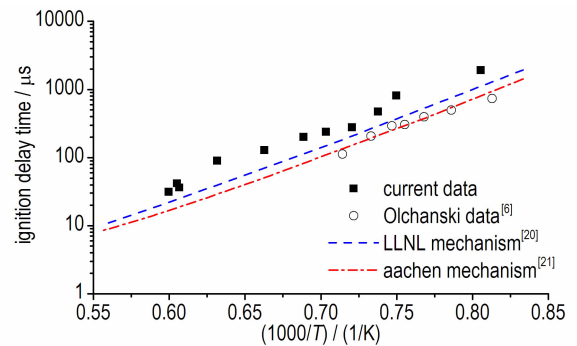


图 7 正癸烷点火延迟实验数据与文献结果、相关机理预测结果对比

Fig. 7 Comparison of the experimental data with literature ones and ones predicted by related mechanism for ignition delay times of *n*-decane

本实验的结果和与采用加热气化所测得的结果存在一定差异。主要是由于实验条件有以下几点不同:

- (1) 初始条件不同, 加热蒸发的初始反应温度较高, 常见的是恒温保持在 300 K 以上。
- (2) 由于饱和蒸汽压的限制, 在相同油气当量比下, 加热蒸发制备的预混气体中燃料的摩尔浓度较低。
- (3) 之前的研究中多采用氩气作为稀释气体 (bath gas), 本实验采用的是模拟空气的氮气/氧气混合气。氮气的反应和双原子分子的振荡弛豫对点火过

程也会有一定的影响。

3.2 点火过程自由基光强信号

图 8 是正癸烷在不同温度下点火过程中 OH 自由基自发光光强的变化规律,图 8 中纵轴为 PMT 感光后输出的负电压信号。由于自发光强度可以表征自由基的浓度,所以由此可以研究点火过程中的自由基生成消耗等微观反应规律。

由图 8 中可以看出,在较低温度下,自由基浓度的

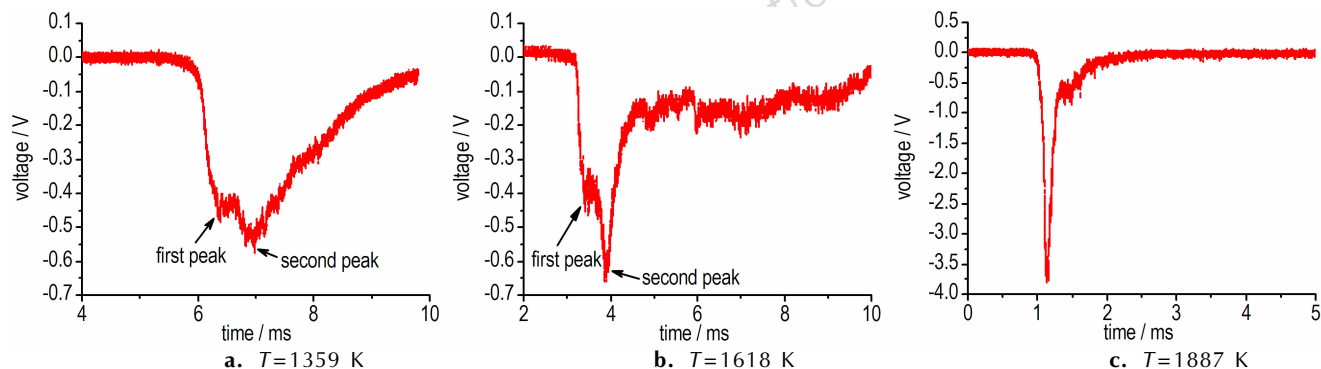


图 8 不同温度点火过程中正癸烷自由基荧光信号

Fig. 8 Fluorescence signal of OH radical in ignition process of *n*-decane at different temperatures

图 9 为甲苯在不同温度下点火过程中 OH 自由基自发光光强的变化规律。图 9 中将不同温度下的光强信号经过归一化处理,使各信号的峰值相同,并以反射激波的到达时刻作为共同的信号起始时刻。从图 9 中可以发现,与正癸烷的变化规律相似,在低温条件下甲苯点火过程中自由基的生成明显滞后。在较高温度 (1740 K) 下,自由基浓度在达到峰值后迅速回落,但在回落到较低浓度后便不再降低,而是继续保持了近 1 ms,之后再继续减弱。而在较低的温度条件 (1562 K) 下,自由基达到峰值浓度后开始较快下降,并在很短的时间内完全消失。整个下降过程较为平滑,只是在下降的过程中出现了第二道小尖峰。

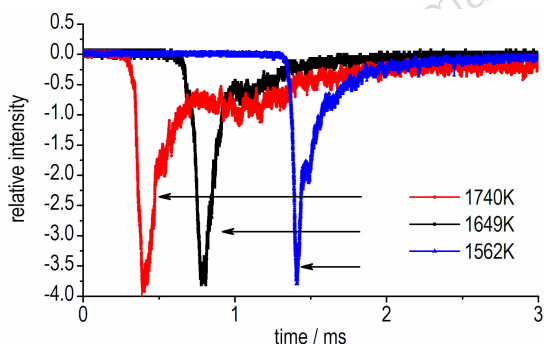


图 9 不同温度点火过程中甲苯自由基荧光信号

Fig. 9 Fluorescence signal of OH radical in ignition process of toluene at different temperatures

峰值较小,同时反应中自由基从生成到消失的过程持续了较长时间。而在高温条件下,自由基浓度则是迅速达到一个较高的峰值。

此外,不同的温度对于自由基浓度曲线的形状也有影响。在较低温度下,自由基的浓度曲线上存在两个峰。随着温度的升高,两个峰的距离变大,前一个较小的峰逐渐变弱。而在高温条件下,整个过程中则只剩下一个峰。

4 结 论

采用新的超声速气流雾化方法制备了含有甲苯和正癸烷的预混燃料,燃料以微小液滴的形式与氧气和氮气混合形成气溶胶混合物,这使得反应条件更加接近真实发动机环境。在近似一个大气压条件下测量了甲苯和正癸烷的点火延迟时间,为甲苯和正癸烷在低压状态下的反应机理模型提供了新的验证依据,并可以得到以下结论:

- (1) 在相同的点火压力和点火温度 (0.1 MPa, 1428 ~ 1668 K) 下,甲苯的点火延迟时间比正癸烷的长。
- (2) 两种燃料的点火延迟时间的对数与温度倒数成正比关系,符合 Arrhenius 关系。与现有的几种反应机理在相同工况下进行对比,结果显示实验结果与模拟结果趋势一致,模拟得到的点火延迟时间整体偏低一些。
- (3) 通过对点火过程中 OH 自由基自发光光强的分析,发现不同温度下点火过程中自由基浓度的变化过程具有不同特点。在高温条件下 OH 自发光的峰值更高但衰减很快,低温下 OH 自发光不太剧烈但持续时间更长。这反映出正癸烷和甲苯在高低温条件下存在不同的反应动力学机理。

参考文献:

- [1] Dagaut P. On the kinetics of hydrocarbons oxidation from natural gas to kerosene and diesel fuel[J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2002, 4(11): 2079–2094.
- [2] Vasu S S, Davidson D F, Hanson R K. Jet fuel ignition delay times: Shock tube experiments over wide conditions and surrogate model predictions[J]. *Combustion and Flame*, 2008, 152(1): 125–143.
- [3] 范学军, 俞刚. 大庆 RP-3 航空煤油热物性分析[J]. 推进技术, 2006, 27(2): 187–192.
FAN Xue-jun, YU Gang. Analysis of thermophysical properties of Daqing RP-3 aviation kerosene[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2006, 27(2): 187–192.
- [4] 王慧汝, 金捷, 王静波, 等. 正癸烷燃烧机理及航空煤油点火延迟动力学模拟[J]. 高等学校化学学报, 2012, 33(2): 341–345.
WANG Hui-ru, JIN Jie, WANG Jing-bo, et al. Combustion mechanism of *n*-decane at high temperature and kinetic modeling of ignition delay for aviation kerosene[J]. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 2012, 33(2): 341–345.
- [5] Pfahl U, Fieweger K, Adomeit G. Self-ignition of diesel-relevant hydrocarbon-air mixtures under engine conditions[C]//Twenty-sixth Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, 1996: 781–789.
- [6] Olchanski E, Burcat A. Decane oxidation in a shock tube[J]. *International Journal of Chemical Kinetics*, 2006, 38(12): 703–713.
- [7] Zhukov V P, Sechenov V A, Starikovskii A Y. Autoignition of *n*-decane at high pressure[J]. *Combustion and Flame*, 2008, 153(2): 130–136.
- [8] Burcat A, Snyder C, Brabbs T. Ignition delay times of benzene and toluene with oxygen[R]. NASA Technical Memorandum 87312.
- [9] Dagaut P, Pengloana G, Ristoria A. Oxidation, ignition and combustion of toluene: Experimental and detailed chemical kinetic modeling[J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2002, 4(10): 1846–1854.
- [10] Vasude van V, Davidson D F, Hanson R K. Shock tube measurements of toluene Ignition times and OH concentration time histories[C]//Proceedings of the Combustion Institute, Chicago, US, 2004.
- [11] Vasu S S, Davidson D F, Hanson R K. Shock-tube experiments and kinetic modeling of toluene ignition[J]. *Journal of Propulsion and Power*, 2010, 26(4): 776–783.
- [12] ZHANG Chang-hua, LI Ping, GUO Jun-jiang, et al. Shock-tube measurements of toluene ignition times and radical chemiluminescent spectra at low pressures[J]. *Energy Fuels*, 2012, 26(2): 1107–1113.
- [13] 廖钦. 煤油及其裂解产物自点火现象的初步试验研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
- [14] 廖钦, 徐胜利. 雾化激波管的研制和煤油点火延时测量[J]. 实验流体力学, 2009, 23(3): 70–74.
LIAO Qin, XU Sheng-li. The ignition delay measurement of atomized kerosene air mixture in an aerosol shock tube[J]. *Journal of Experiments in Fluid Mechanics*, 2009, 23(3): 70–74.
- [15] Kahandawala M S P, Corera S A, Williams S, et al. Investigation of kinetics of iso-octane ignition under scramjet conditions[J]. *International Journal of Chemical Kinetics*, 2006, 38(3): 194–201.
- [16] Colket M B, Spadaccini L J. Scramjet fuels autoignition study[J]. *Journal of Propulsion and Power*, 2001, 17(2): 315–323.
- [17] Davidson D F, Gauthier B M, Hanson R K. Shock tube ignition measurements of iso-octane/air and toluene/air at high pressures[J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2005, 30(1): 1175–1182.
- [18] Andrae J C G, Bjornbom P, Cracknell R F, et al. Autoignition of toluene reference fuels at high pressures modeled with detailed chemical kinetics[J]. *Combustion and Flame*, 2007, 149(2): 2–24.
- [19] Wang Hai, Zoran D M. Detailed kinetic modeling of benzene and toluene combustion[J]. *Chem Phys Processes Combust*, 1999: 137–140.
- [20] Westbrook C K, Pitz W J, Herbinet O. A comprehensive detailed chemical kinetic reaction mechanism for combustion of *n*-alkane hydrocarbons from *n*-octane to *n*-hexadecane[J]. *Combustion and Flame*, 2009, 156(1): 181–199.
- [21] Honneta S, Seshadri K, Niemann U, et al. A surrogate fuel for kerosene[J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2009, 32(1): 485–492.

Experimental Study of Measuring the Ignition Delay Time of Toluene and *n*-Decane by a Shock Tube

CHEN Qi-sheng, DOU Zhi-guo, LI Lan

(State Key Laboratory of Laser Propulsion and Application, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract: The ignition delay times of toluene/ O_2/N_2 and *n*-decane/ O_2/N_2 were obtained in a reflection type shock tube, via measuring the shock pressure signal and the OH radical emission intensity signal using a measurement system consisting of pressure sensors, photomultiplier tubes and an oscilloscope. The experiment conditions are over the temperature range from 1175 K to 2023 K, pressure at 0.1 MPa and equivalence ratio of 0.5, 1.0 and 2.0. In the experiment, liquid fuel was atomized into fuel aerosol by the supersonic atomizer. Long shock tube dwell time (about 15 ms) was achieved by tailored contact surface operation under such conditions. Results show that the ignition delay times of toluene is longer than that of *n*-decane at the same ignition pressure and ignition temperature. With the increase in initial reaction temperature, the ignition delay times of toluene and *n*-decane shorten. The logarithm of ignition delay times is directly proportional to the reciprocal of temperature. The fluorescence intensity of OH radical in ignition process reveals different change rule at different temperature.

Key words: toluene; *n*-decane; ignition delay; shock tube, radical concentration

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.10.010