性能与排放

基于 HCCI 模型的过氧化氢对柴油机燃烧性能的影响分析

邢一帆，乔治义

（蚌埠坦克学院，安徽蚌埠 233050）

摘　要：根据柴油机的燃烧性质建立均质压燃混合模型—HCCI 仿真模型，使正庚烷、空气及过氧化氢均匀混合喷入气缸中燃烧，并通过改变过氧化氢的浓度和在混合气体中的体积分数，分析燃烧过程中不同时刻气体温度和压力的变化。研究表明：过氧化氢的添加确实在某种程度上改善了柴油机的燃烧特性，提高了柴油机的经济效益；但不同的添加比例对柴油机的燃烧特性产生不同的影响；同时柴油机的动力性有所降低。

关键词：过氧化氢；均质充量压缩燃烧；温度；压力

中图分类号：TK421.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-4357(2011)01-0005-04

The Effect of H_2O_2 Additive on Diesel Engine's Combustion Characteristics Based on HCCI Model

Xing Yifan, Qiao Zhiyi

(Bengbu Tank Institute, Bengbu 233050)

Abstract: A homogeneous charge compression ignition model - HCCI model was set up according to the combustion characteristics of diesel engine. N-heptane, air and H_2O_2 mixture was injected into cylinders, and through the change of H_2O_2's concentration and its volume percentage, the variation of temperature and pressure during combustion was analyzed. The research shows that H_2O_2 additive definitely improve the combustion characteristics to some degree, and made the diesel engine more economic. However, different percentage of additive may result in different effect, and reduce the dynamic performance of diesel engine may be reduced.

Keywords: H_2O_2; homogeneous charge compression combustion; temperature; pressure

0　引　言

柴油机以其功率大、油耗低、耐久和可靠性好等特点而得到广泛地应用，柴油机燃烧过程的改善一直是柴油机领域专家研究的主要课题。本文以某型柴油机为研究对象，用正庚烷为燃料代替柴油进行模拟试验，对添加不同浓度的过氧化氢组液对柴油机燃烧过程中不同时刻的气体温度和气体压力变化的影响进行分析。

1　模型建立

整个化学反应过程的处理和计算是独立于燃烧模型本身的。首先用 CHEMKIN 软件建立研究燃烧问题的 HCCI 模型；其次，建立能反映该燃烧过程的化学反应机理并执行燃烧的各项计算。

由于是要模拟柴油机燃烧时不同浓度的过氧化氢的添加对其燃烧的影响，所以喷油量(正庚烷和过氧化氢混合液的量)是一个定值，只不过在喷油

收稿日期：2010-05-25；修回日期：2010-10-09

作者简介：邢一帆（1984－），男，硕士，主要研究方向为柴油机燃料与燃烧分析，E-mail：ivan36338@163.com。

万方数据

量中，正庚烷所占的百分比不同，从而体现过氧化氢的百分比和浓度不同，进而分析温度的变化以及排放的影响。

十六烷值是评价燃料特性的一个重要参数，故本文选择与柴油的十六烷值相近的正庚烷为燃料。根据柴油机的燃烧性质建立均质压燃混合模型，使正庚烷和空气及过氧化氢均匀混合喷入气缸中燃烧。通过对正庚烷与空气混合物在HCCI模型中的一系列反应的研究得到柴油机缸内燃烧的一些特性。

柴油机燃烧时伴随着缸内气体的散热，气缸内的炽热气体通过气缸周壁进行热量传递，传热方式为：

$$\text{燃气}\xrightarrow{\text{辐射换热和对流换热}}\text{内壁}\xrightarrow{\text{导热}}\text{外壁}\xrightarrow{\text{对流换热}}\text{冷却介质}$$

由于柴油机工作过程具有间歇、不稳定的特点，燃气侧的换热系数和内壁温度不仅随时间变化，而且也随传热面位置变化而变化。在实际计算中，从工程实用的角度出发，将这两个参数作简化处理。

计算瞬时传热量的关键是计算瞬时换热系数α，HCCI模型在计算气缸热损失时采用了迪图斯－贝尔特公式与Woschni公式。如下：

$$N_{uf}=0.023R_{ef}^{0.8}P_{rf}^{0.4}$$ ——迪图斯－贝尔特公式

$$\alpha=130T^{-0.53}P^{0.8}D^{-0.2}\left[C_1C_m+C_2\frac{V_hT_1}{P_1V_1}(P-P_0)\right]^{0.8}$$

——Woschni模型计算传热系数公式

柴油机空气为自然进气，惰性气体与二氧化碳不参与反应，水分及其它杂质含量极少，忽略不计。空气成分只考虑氮气和氧气，则燃气只有三种成分：正庚烷、氮气、氧气。

其摩尔数分别为：

$$nN_2=V_h\times0.780\ 8/22.4$$
$$=3.180\ 863\times0.780\ 8/22.4=0.110\ 9\text{mol}$$
$$nO_2=V_h\times0.209\ 5/22.4$$
$$=3.180\ 863\times0.209\ 5/22.4=0.029\ 7\text{mol}$$

每循环气缸内实际喷油量为201.25 mm^3，正庚烷的密度为0.685 g/cm^3，其摩尔数为：

$$nC_7H_{16}=201.25\times10^{-3}\times0.685/100=0.001\ 4\text{mol}$$

故气体摩尔比为：

$$C_7H_{16}\%=0.001\ 4/(0.110\ 9+0.029\ 7+0.001\ 4)=0.009\ 7$$
$$N_2\%=0.110\ 9/(0.110\ 9+0.029\ 7+0.001\ 4)=0.780\ 7$$
$$O_2\%=0.029\ 7/(0.110\ 9+0.029\ 7+0.001\ 4)=0.209\ 6$$

因此，H_2O_2在不同体积分数和浓度条件下，混合气体中各成分的摩尔数如表1所示。

表1 H_2O_2在不同体积分数和浓度条件下，混合气体中各成分的摩尔数

单位：mol

气体成份	nH_2O_2	nH_2O	nN_2	nO_2	nC_7H_{16}
H_2O_2(10，10)	0.000 059 48	0.001 011	0.110 9	0.029 7	0.001 24
H_2O_2(10，30)	0.000 183	0.000 806 6	0.110 9	0.029 7	0.001 24
H_2O_2(10，50)	0.000 322 8	0.000 609 8	0.110 9	0.029 7	0.001 24
H_2O_2(20，50)	0.006 48	0.012 25	0.110 9	0.029 7	0.001 107
H_2O_2(50，100)	0.002 51	0.000 0	0.110 9	0.029 7	0.000 825

注：H_2O_2(10，30)表示H_2O_2体积分数10%，浓度30%(表2、表3同)。

2 燃烧过程温度和压力分析

由图1、图2可以发现，不加H_2O_2燃烧时的开始时间都在曲轴转角为0°以前，在明显燃烧时反应都比较激烈，速度非常快，着火延迟期比较短。

本模型中缸内气体温度由着火点到达最高温度点的间隔约为12°，而实际此型号柴油机着火点曲轴转角为－6°，最高气体温度点在＋12°，间隔为18°。二者存在差异也是由燃料性质的差别造成。实际问题中柴油不能与空气均匀混合，在达到着火点温度后，化学反应仍然进行，同时伴随着部分柴油与空气的混合。这样就使整个反应时间延长，能量释放速率延缓，到达最高点温度的间隔就越久。本模型燃料在反应始点就已经均匀混合，从达到着火点至最高温度点的时间间隔只是受反应速率的影响，其结果便表现为缸内平均气体温度由着火点到最高温度点之间曲轴转角的减小。

万方数据

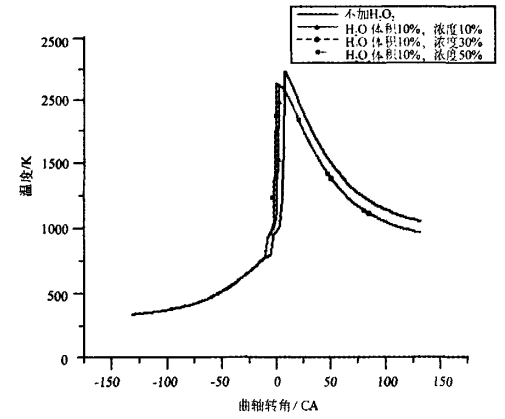


图 1　H_2O_2 在相同体积分数、不同浓度条件下，燃烧过程中气体温度的变化

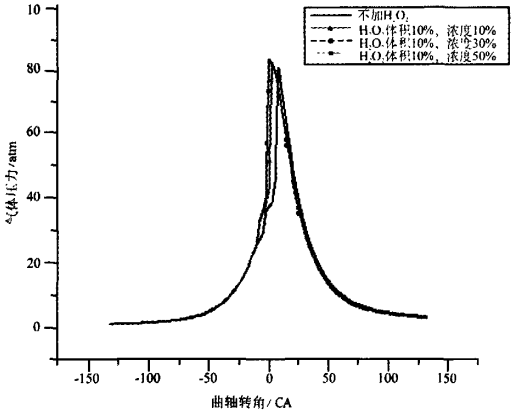


图 2　H_2O_2 在相同体积分数、不同浓度条件下，燃烧过程中气体压力的变化

需要注意的是，本文在考虑进气温度对缸内燃烧过程的影响时，以进气温度为独立变量，没有考虑其它因素的变化。在实际反应过程中，进气温度的变化必将引起其它一些参数的变化。当大气温度过高时，将使得充气系数下降，气缸进气量不足，导致过量空气系数下降。在此影响下，缸内燃烧效率下降，燃烧不完全，缸内最高温度及压力随之下降，发动机表现为无力、排黑烟。对于完善发动机的性能来说，进气温度必须避免过高或过低，要保持在一定范围之内。

从表 2 可以看出添加过氧化氢在最高温度上比没有添加要小，同时反应的激烈程度也要小得多，从图 1、图 2 可以看出没有添加过氧化氢时反应十分激烈且速度非常快，这主要是由于加入过氧化氢后对柴油在高温情况下的燃烧反应有催化作用，使柴油较早的燃烧，并且燃烧过程中由于过氧化氢的氧化性而使反应变慢，燃烧过程进行的相对比较平稳，这有利于柴油机的保护，但对于柴油机的加速性而言就相对较差。由于燃烧过程时间长，燃烧比较充分、平稳，所以有利于提高燃烧效率。

从过氧化氢同一单位体积不同浓度来看，开始反应时的曲轴转角不一样，从表 2 中可以看出：浓度为 30% 时最先开始燃烧，这主要是由于在同一浓度下如果加入过氧化氢太多即浓度太大，就会生成大量 - OH 根，从而阻止柴油的燃烧，使燃烧速度下降，燃烧放缓。但如果加入较小的浓度，生成的氧原子不能满足燃烧时所需要的大量氧原子，也会影响燃烧的速度。在表 3 中还可以看出最高温度的差异，可以清楚地发现浓度越大最高温度越高，因为产生的氧原子越多使反应进行得越彻底，燃烧放出的热量也就越多，自然压力也就越高，燃烧的效率也同时提高。

表 2　H_2O_2 在相同体积分数、不同浓度条件下，柴油机各时刻对应的气体温度和压力情况

燃烧时刻		最高温度时	开始燃烧时	最高燃烧压力	排气门开启时
气体温度/K	不加 H_2O_2	2 179.3	864.6	2 122.6	1 129.9
	H_2O_2(10,10)	2 081	782	2 073	1 070
	H_2O_2(10,30)	2 110.3	770.2	2 076.6	1 020.1
	H_2O_2(10,50)	2 120.6	650.3	2 070.2	980.4
气体压力/atm	不加 H_2O_2	72.8	31.8	77.6	3.422
	H_2O_2(10,10)	76.3	23.6	81.2	2.8
	H_2O_2(10,30)	80.3	27.3	82.8	2.6
	H_2O_2(10,50)	81.3	29.6	83.1	2.3

表 3 为不同体积和不同浓度的过氧化氢对柴油机各项指标的影响，可以看出影响都较大。在加入体积比为 1∶2 时，发现燃烧的最高温度只有 1900 K，比正常情况下要低300 K左右，这主要是由于加入了大量的过氧化氢不利于燃烧的进行。在同样的一次喷油过程中，由于燃油数量大大减少，

万方数据

燃烧时放出的热量必然减少，进而影响整个燃烧的温度。从图3、图4可以分析出由于加入的量不同，开始燃烧的时间也不相同。过氧化氢加入的量大，产生的氧原子必然多，这样可以促进燃烧，故而燃烧开始提前。此外，在加入体积为20%的过氧化氢时，反应比较激烈，这主要是由于此时过氧化氢在高温下分解为氢氧离子和氧离子正好与柴油燃烧需求的量相当，所以燃烧进行的很充分。

表3　H_2O_2在不同体积分数、不同浓度条件下，柴油机各时刻对应的气体温度和压力情况

燃烧时刻		最高温度时	开始燃烧时	最高燃烧压力时	排气门开启时
气体温度/K	H_2O_2(20,50)	2 110.3	730.6	2 060	1 000
	H_2O_2(50,100)	1 900.6	780.6	800.3	750.7
气体压力/atm	H_2O_2(20,50)	33.3	34.2	65.8	2.26
	H_2O_2(50,100)	62.3	25.1	64.6	2.3

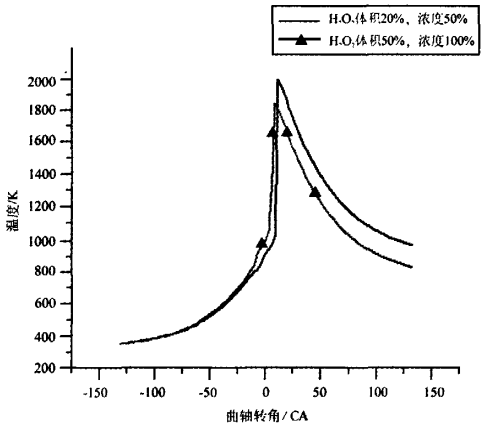


图3　H_2O_2在不同体积分数、不同浓度条件下，燃烧过程中气体温度的变化

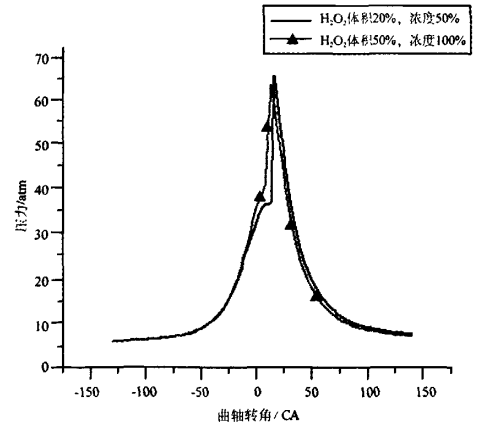


图4　H_2O_2在不同体积分数、不同浓度条件下，燃烧过程中气体压力的变化情况

3　结　论

通过添加过氧化氢对柴油机燃烧的影响可以看出，过氧化氢的添加确实在某种程度上改善了柴油机的燃烧特性，提高了燃料与空气的比例，氧元素在燃料燃烧过程中起到了助燃作用。特别是在燃料浓度高的区域，减弱了燃料缺氧燃烧的几率，气缸内的压力曲线明显提前，燃烧过程的滞燃期和燃烧持续期缩短，预混合的燃料量减少，放热峰值下降，扩散燃烧的速度加快，燃料的能量利用率得到了提高，从而提高了柴油机的经济效益。此外，不同的添加比例对柴油机的燃烧特性也会产生不同的影响，这主要根据柴油机的种类和用途而定。但经济性改善的同时降低了柴油机的动力性，虽然在低速工况下，发动机的扭矩下降不大，但是发动机的功率和外特性有较大程度的下降，动力性变差。

参考文献

[1] 吕兴才，杨剑光，张武高，等. 乙醇－柴油混合燃料的理化特性研究[J]. 柴油机学报，2004，22(4)：289－295

[2] 贾明，解茂昭. 均质压燃发动机燃烧特性的详细反应动力学研究[J]. 内燃机学报，2004(2).

[3] 何学良等，柴油机燃料[M]. 北京：中国石化出版社，1999.

[4] Vaitilingom G，Berge J Ch. Interest of combining an additive with diesel—ethanol blends for use in diesel engines[J]. Fuel，2001，80(4)：565－574.

[5] Song J，Cheenkachorn K，Wang J，et al. Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine[J]. Energy & Fuels，2002，16：294－301.

万方数据