DMF/柴油混合燃料在柴油机上燃烧及排放特性

肖合林^{1,2*}, 侯贝贝^{1,2}, 曾鹏飞^{1,2}, 江奥^{1,2}

1. 武汉理工大学现代汽车零部件技术湖北省重点实验室, 武汉 430070;

2. 武汉理工大学汽车零部件技术湖北省协同创新中心, 武汉 430070

* 联系人, E-mail: hlxiao_qcxy@whut.edu.cn

2017-01-06 收稿, 2017-04-10 修回, 2017-04-11 接受, 2017-08-22 网络版发表

国家自然科学基金(21377101)资助

摘要 在1台改装过的4缸4冲程水冷增压直喷高压共轨柴油机上, 以柴油与2,5-二甲基呋喃(DMF)的混合物为燃料进行试验, 研究了柴油机的燃烧和排放性能. 结果表明, 当平均有效压力为0.13 MPa时, 随着混合燃料中DMF质量分数的增加, 缸内压力峰值显著降低, 缸内放热率峰值却增加. 然而, 当平均有效压力为0.88 MPa时, 随着混合燃料中DMF质量分数的增加, 缸内压力峰值和放热率峰值都增加. 随着发动机负荷的增加, 1,3-丁二烯、乙醛和苯的排放减少, NO_x 的排放增加. 此外, 柴油中加入DMF可以增加乙醛的排放, 但1,3-丁二烯和苯的排放却减少. 当平均有效压力为0.13 MPa时, D30的 NO_x 排放是最低的. 对于每一种被测试的燃料, 核模态粒子在颗粒物的尺寸分布中占主导地位. 当平均有效压力为0.38 MPa时, 混合燃料在每一种模态下的数密度都比纯柴油的小. 然而, 当平均有效压力为1.13 MPa的较高负荷时, 柴油的颗粒物数密度在整个粒子半径范围内都是最低的.

关键词 2,5-二甲基呋喃(DMF), 混合燃料, 颗粒物数密度

随着我国经济的迅速发展, 能源消耗急剧增加, 寻找清洁可再生的能源已成为当今世界的焦点. 生物质燃料作为一种可再生的清洁燃料已经引起人们的兴趣^[1~3]. 目前, 有学者提出一种新的液态生物质燃料—2,5-二甲基呋喃(*N,N*-dimethylformamide, DMF)^[4]. DMF的理化性质与汽油接近, 而且在其制备新技术上取得了重大突破^[5~7], 大幅提高了DMF的制备效率且降低了生产成本. 这些都使得DMF成为一种具有光明的应用前景的生物燃料.

目前国内外学者已对DMF的燃烧排放性能进行了研究. 文献[8]在一台4缸4冲程增压柴油机上研究了预喷射对DMF/柴油混合燃料燃烧及排放特性的影响; 天津大学的张全长等人^[9]在一台压燃发动机上研究了DMF-柴油混合燃料(D40)在不同废气再循环(exhaust gas recirculation, EGR)率下的燃烧和排放特

性, 并与汽油-柴油混合燃料(G40)进行了对比; 文献[10]在一台直喷汽油机上分析了负荷和点火正时对DMF/汽油混合燃料燃烧及排放特性的影响; 浙江大学的马志炎等人^[11]也在一台单缸四行程汽油机上对DMF、汽油以及乙醇的燃烧和排放性能进行了研究; 天津大学的陈贵升等人^[12]在一台共轨柴油机上, 通过向柴油分别掺混30%体积比的2,5-二甲基呋喃和汽油, 研究了含氧燃料和低十六烷值燃料对柴油机燃烧过程和排放特性的影响机理. 文献[13]通过对纯柴油、B40 (40%正丁醇和60%柴油)和D40 (40% DMF和60%柴油)3种燃料燃烧和排放特性对比, 研究了燃料特性对柴油机燃烧性能和排放的影响. 文献[14]在一台改造的单缸柴油机上以柴油、DMF/柴油混合物为燃料, 研究了燃料特性和EGR对燃烧性能和排放的影响. 研究表明, 当混合燃料中DMF质量分数为

引用格式: 肖合林, 侯贝贝, 曾鹏飞, 等. DMF/柴油混合燃料在柴油机上燃烧及排放特性. 科学通报, 2017, 62: 3506–3513

Xiao H L, Hou B B, Zeng P F, et al. Combustion and emissions characteristics of a diesel engine fueled with blends of diesel and DMF (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 3506–3513, doi: 10.1360/N972017-00020

40%时,配合较大的EGR可以同时降低碳烟和NO_x的排放.本研究在YC4FA115-40水冷增压直喷柴油机上,以柴油、柴油与DMF的混合物为燃料进行试验,研究了柴油机的燃烧和排放性能.

1 实验设备、燃料及方案

(i) 实验设备. 实验是在1台改装过的4缸4冲程水冷增压直喷柴油机上进行的,试验机的主要规格参数见表1. 发动机与电涡流测功机通过联轴器相连接,调整发动机的扭矩输出. 发动机的工况由电子控制单元(electronic control unit, ECU)控制,缸内压力使用Kistler 6025C压力传感器(奇石仪器有限公司,瑞士)测量,压力传感器安装在汽缸盖上. 缸压信号由电荷放大器放大后被CB-466燃烧分析仪(小野测量仪器有限公司,日本)接收. 压力数据每隔0.25°曲轴转角取样,取100个连续循环的平均值. 进气压力和进气温度使用压缩机和空调系统控制. 进气温度稳定在25℃ (±0.5℃),发动机的冷却液温度通过温度控制器被精确地控制在85℃ (±1℃),机油温度稳定在87℃ (±2℃).

NO_x使用AVL气体分析仪(厦门海腾发动机测试设备有限公司,中国)测量,测量精度为1 ppm,颗粒物粒径使用DMS500 MK II快速颗粒频谱仪(Cambustion有限公司,英国)测量,非常规排放物使用气相色谱仪测量,其精度为0.01 ppm. 尾气使用采样袋收集,通过进样器注射进样并采用外标法测量. 一种样品连续进行注射进样3次,其峰面积偏差不超过5%,则认为测量值在误差范围内. 3次测量取其平均值为最终实验值. 发动机及仪表安装如图1所示.

(ii) 测试燃料. 柴油作为实验的基准燃料,由中国石油化工集团公司提供. DMF由滕州宏立生物

科技有限公司提供,纯度达99%. 柴油和DMF的理化性质见表2.

(iii) 实验方案. 试验时,以纯柴油作为基准燃料与DMF掺混,配制了DMF质量分数为10%, 30%的DMF/柴油混合燃料,记为D10, D30. 分别以柴油、D10和D30为燃料进行测试. 测试时保持发动机的转速不变,使其转速稳定在1800 r min⁻¹,分别调整发动机的负荷为10%, 30%, 50%, 70%和90%,其相对应的平均有效压力(brake mean effective pressure, BMEP)分别为0.13, 0.38, 0.63, 0.88和1.13 MPa,依次对以上5个工况点进行测试. 为了降低实验的测量误差,每个工况点下的数据最少进行3次测量.

2 试验结果及分析

2.1 缸内压力及放热率

在平均有效压力为0.13 MPa的条件下,燃用不同燃料时的缸内压力和放热率的曲线如图2所示,图中 P 为缸内压力, ε 为放热率, ψ 为曲轴转角. 由图2可知,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,缸内峰值压力降低,这和Zhu等人^[15]所研究的在柴油中加醇时得到的结果相似. 这是由于DMF的热值比柴油低,其蒸发潜热却比柴油高,加之在较低负荷时缸内温度较低,使得缸内温度及缸内压力更低. 此外,随着DMF在混合燃料中比例的增加,燃烧相位有所滞后. 这是由于DMF的十六烷值较低,其自燃性能较差,从而使得滞燃期变长,推迟了燃烧始点相位.

然而,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,缸内放热率峰值增加,原因是DMF是含氧燃料,DMF分子中所含有的氧元素有利于加快火焰扩散燃烧的速度.

在平均有效压力为0.88 MPa的条件下,燃用不同燃料时的缸内压力和放热率的曲线如图3所示. 由图3可知,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,缸内压力和放热率曲线的峰值都增加. DMF的十六烷值比柴油低,其滞燃期较长,在滞燃期内形成的可燃混合气的数量较多,从而使得缸内压力和缸内温度进一步提高,其放热率峰值也随着增加. 与平均有效压力为0.13 MPa时不同,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,其燃烧相位没有明显的差异,表明了在这种工况下,燃料属性对燃烧相位的影响较小. 这是由于在高负荷下缸内温度较高,虽然DMF的蒸发潜热较大,缸内温度依然保持较高,各种混合燃料在此种

表1 试验机的主要规格参数

Table 1 Engine specification

参数名称	参数值
型号	YC4FA-40
气缸数	4
标定功率(kW)	95
气缸直径(mm)	96
活塞行程(mm)	103
压缩比	17.5:1
排量(L)	2.982
最大扭矩(N·M)	340

图 1 (网络版彩色)发动机及仪表安装
Figure 1 (Color online) Schematic of engine and instrumentation setup

表 2 柴油和DMF的理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of diesel and DMF

	柴油	DMF
分子式	$C_{12}\sim C_{25}$	C_6H_8O
十六烷值	52.1	—
H/C比	1.92	1.33
O/C比	—	0.17
氧含量(%)	—	16.67
当量空燃比	14.3	10.72
密度(20℃) ($g\ cm^{-3}$)	0.826	0.89
低热值($MJ\ kg^{-1}$)	42.5	33.7
自燃温度(℃)	180~220	286
蒸发潜热($kJ\ kg^{-1}$)	270	333
动力黏度($mPa\ s$)	≥ 2.487	0.65

条件下都极易着火,较高的温度削弱了滞燃期带来的影响,使得燃烧相位差没有明显的差异。

2.2 NO_x 的排放量

在不同负荷下各种测试燃料的 NO_x 排放量如图4所示.图中 χ_{NO_x} 表示 NO_x 的排放量, p_1 表示发动机的负

图 2 (网络版彩色)平均有效压力为 0.13 MPa 时,燃用不同燃料的缸内压力和放热率

Figure 2 (Color online) Cylinder pressure and heat release rate of different fuels at 0.13 MPa BMEP

荷. NO_x 的形成条件是高温、富氧以及足够的时间.由图4可知,随着负荷的增加, NO_x 的排放量增加.这是由于在较高的负荷下缸内燃烧温度较高, NO_x 是高温燃烧的产物,较高的燃烧温度有利于 NO_x 的生成.

对于不同的燃料,在平均有效压力大于0.38 MPa

图3 (网络版彩色)平均有效压力为0.88 MPa时, 燃用不同燃料的缸内压力和放热率
Figure 3 (Color online) Cylinder pressure and heat release rate of different fuels at 0.88 MPa BMEP

图4 (网络版彩色)不同负荷下各种测试燃料的NO_x排放
Figure 4 (Color online) NO_x emissions at various engine loads for each tested fuels

的大部分负荷下, 随着混合燃料中DMF质量分数的增加, NO_x的排放量增加. 然而, 在平均有效压力为0.13 MPa的小负荷条件下, D30具有最低的NO_x的排放量, D10具有最高的NO_x的排放量, 纯柴油的NO_x的排放量居中. 一方面, DMF是含氧燃料, 分子中所含有的氧元素有利于提高燃烧反应区域的氧浓度, 可以促进NO_x的生成. 另一方面, DMF的热值比柴油低而蒸发潜热比柴油高, 从而使得缸内温度降低, 不利于NO_x的形成. 在平均有效压力为0.38 MPa的小负荷时, 此时缸内温度相对较低, D30中DMF含量较多, 使得燃烧温度较低, 不利于NO_x的形成. 因此, 在这种工况下, D30的NO_x排放量最低. 然而, 随着负荷增加到平均有效压力大于0.38 MPa时, 此时缸内温度升高, 削弱了DMF高蒸发潜热, 降低缸内温度的影

响, DMF中所含有的氧元素成为主导NO_x的形成因素, 因此, 随着混合燃料中DMF质量分数的增加, NO_x的排放量增加.

2.3 1,3-丁二烯的排放

1,3-丁二烯属于内燃机的非常规排放范畴, 这类排放物因在排气中含量较少又被称为微量排放, 对大气具有严重的危害作用. 1,3-丁二烯是不完全燃烧的产物, 形成原因也较为复杂. 不同负荷下各种测试燃料的1,3-丁二烯的排放量如图5所示. 图中 χ_1 表示1,3-丁二烯排放量, p_1 表示发动机的负荷. 由图5可见, 随着负荷的增加, 1,3-丁二烯的排放减少. 在较低负荷下缸壁温度较低, 部分稀的混合气靠近冷壁或者扩散入燃烧室的狭缝中, 导致燃烧不完全, 从而使得1,3-丁二烯排放较高. 随着负荷的增加, 缸内燃烧温度升高, 较高的燃烧温度有利于燃料的完全燃烧以及1,3-丁二烯在膨胀冲程中的后期氧化.

随着混合燃料中DMF质量分数的增加, 1,3-丁二烯的排放减少. 柴油中含有大量的不饱和烯烃, 随着DMF质量分数的增加, 混合燃料中所含有的不饱和烯烃的数量也减少, 有利于降低1,3-丁二烯的排放. 此外, DMF是含氧燃料, 其中所含的氧元素有利于增大空燃比, 改善局部混合气过浓的情况, 有利于燃料的完全燃烧.

2.4 乙醛的排放

乙醛也是内燃机的一种主要非常规排放物之一,

图5 (网络版彩色)不同负荷下各种测试燃料的1,3-丁二烯排放
Figure 5 (Color online) 1,3-butadiene emissions at various engine loads for each tested fuels

长期吸入具有致癌的作用,对人类和动物危害极大.不同负荷下各种测试燃料的乙醛的排放量如图6所示.图中 χ_2 表示乙醛排放量, p_1 表示发动机的负荷.由图6可以看出,乙醛的排放和1,3-丁二烯的排放相似,随着负荷的增加而减少.在较低负荷下缸壁温度较低,可燃混合气形成的淬熄层较厚,而淬熄层里含有大量的醛类气体^[16].随着负荷的增加,缸内温度升高,可燃混合气形成的淬熄层的几率降低,使得乙醛的排放随着负荷的增加而减少.与1,3-丁二烯不同的是,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,乙醛的排放量增加.这可能是由于DMF中所含有的氧促进了乙醛的生成.

2.5 苯的排放

苯作为内燃机重要的非常规排放物之一,是燃料不完全燃烧的产物.不同负荷下各种测试燃料的苯的排放量如图7所示.图中 χ_3 表示苯的排放量, p_1 表示发动机的负荷.由图7可以看出,苯的排放规律跟1,3-丁二烯类似,随着负荷的增加,苯的排放量降低,这与Takada等人^[17]的研究结论一致.此外,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,1,3-丁二烯的排放减少.具体原因与1,3-丁二烯类似,这里不做赘述.

2.6 颗粒物的尺寸分布

一般地,颗粒物的尺寸分布由2种模态构成:核模态粒子(直径<50 nm)和聚集态粒子(直径>50 nm)^[18].在平均有效压力为0.38 MPa的条件下,燃用不同燃

图6 (网络版彩色)不同负荷下各种测试燃料的乙醛排放
Figure 6 (Color online) Acetaldehyde emissions at various engine loads for each tested fuels

图7 (网络版彩色)不同负荷下各种测试燃料的苯的排放
Figure 7 (Color online) Benzene emissions at various engine loads for each tested fuels

料时的颗粒物尺寸分布曲线如图8(a)所示,图中 L 为颗粒粒径; N 为粒子数密度.由图8(a)可见,核模态粒子在颗粒物数量分布中占主导地位,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,核模态和聚集模态粒子的数量浓度均有所减小.这是由于DMF是含氧燃料,其所含有的氧有助于燃料燃烧更充分,增加了局部空燃比,从而减少了颗粒物的生成.此外,DMF的黏度和表面张力比柴油小,能够更好地促进燃料的蒸发和雾化,容易形成较为均匀的可燃混合气,这也有利于提高燃烧的完全程度,从而降低颗粒物的排放.

在平均有效压力为0.88 MPa的条件下,燃用不同燃料时的颗粒物尺寸分布曲线如图8(b)所示,由图8(b)可以看出,任何一种被测试燃料都是核模态粒子在尺寸分布中占主导地位.混合燃料在核模态和聚集模态下的粒子数量浓度与纯柴油相比都有所减小.对于混合燃料而言,随着DMF质量分数的增加,其颗粒物尺寸分布表现出核模态粒子数量增加聚集态粒子数量减少的趋势.

在平均有效压力为1.13 MPa的条件下,燃用不同燃料时的颗粒物尺寸分布曲线如图8(c)所示,由图8(c)可以看出,核模态粒子在颗粒物数量中同样占主导地位.然而,与平均有效压力为0.38 MPa时不同,在柴油中加入DMF后其颗粒物数量无论是在核模态还是聚集态上都有所增加.对于混合燃料而言,随着DMF质量分数的增加,其颗粒物尺寸分布同样表现出核模态粒子数量增加、聚集态粒子数量减少的趋势.这是由于此种负荷下缸内温度较高,DMF中含有

图8 (网络版彩色)平均有效压力为0.38 (a), 0.88 (b)和1.13 MPa (c)时燃用不同燃料的颗粒物尺寸分布

Figure 8 (Color online) Particle size distribution of different fuels at 0.38 MPa BMEP (a) and 0.88 MPa BMEP (b) and 1.13 MPa BMEP (c)

的氧元素在较高温度作用下容易把较大的颗粒物氧化为更小的颗粒物,从而使大颗粒数目降低小颗粒数目增多.这是燃料中的氧和高温共同作用的结果,然而这种现象在低负荷下很难发生.

平均有效压力为0.88 MPa时, D0和D30的颗粒排放总结见表3. $L(\text{nm})$ 为颗粒平均粒径; $N(\text{个 cm}^{-3})$ 为总粒子数密度, $M(\text{g cm}^{-3})$ 为粒子总质量浓度. D30的核模态粒子平均直径比D0小,然而聚集态粒子在直径上却没有明显的差异.这表明在这种工况下,在柴油中加入DMF可以有效减小颗粒物平均粒径. D30的核模态和聚集态粒子的数密度比D0分别减少了60.5%和232.2%. D30的核模态粒子在总的粒子数量和质量中分别占93.3%和7.4%.然而, D0的核模态粒子在总的粒子数量和质量中分别占92.2%和5.5%.

3 结论

在1台改装过的4缸4冲程水冷增压直喷柴油机上进行试验,研究分析了柴油机燃用DMF/柴油混合燃料时的燃烧及排放特性.基于本次试验研究,主要得出以下结论: (1) 当柴油机在较小负荷下运行时,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,缸内压力峰值降低,缸内放热率峰值却升高,燃烧相位有所滞后;

表3 平均有效压力为0.88 MPa时D0和D30的颗粒总结

Table 3 Summary of particulate matter (PM) emissions for D0 and D30 at 0.88 MPa BMEP

	核模态		聚集态	
	D0	D30	D0	D30
L	11.1	10.6	65.1	50.9
N	4.06×10^7	2.57×10^7	2.91×10^6	1.48×10^6
M	6.09×10^{-7}	2.49×10^{-7}	1.04×10^{-3}	3.13×10^{-4}

当柴油机在较大负荷下运行时,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,缸内压力峰值和放热率峰值都有所升高,然而燃烧相位却没有明显差异; (2) 随着负荷的增加, NO_x 的排放量增加, 1,3-丁二烯、乙醛和苯的排放减少;在柴油中加入DMF,可以降低1,3-丁二烯、苯的排放,然而乙醛的排放却增加.当柴油机在较小负荷下运行时, D30具有最低的 NO_x 的排放量; (3) 当柴油机在较小负荷下运行时,随着混合燃料中DMF质量分数的增加,核模态和聚集模态粒子的数量均有所减小;当柴油机在较大负荷下运行时,混合燃料在每一种模态上的粒子数量都比纯柴油高.随着DMF质量分数的增加,其颗粒物尺寸分布表现出核模态粒子数量增加聚集态粒子数量减少的趋势.

参考文献

- 1 Lou D M, Wu Y, Hu Z Y, et al. Influence of pilot-injection on combustion and emission characteristics of biodiesel engine (in Chinese). Veh Eng, 2014, 5: 41–45 [楼狄明, 吴阳, 胡志远, 等. 预喷射对生物柴油发动机燃烧及排放特性影响研究. 车用发动机, 2014, 5: 41–45]
- 2 Mei D Q, Sun P, Yuan Y N, et al. Investigation on exhaust emission characteristics of compression ignition engine fueled with biodiesel (in Chinese). Trans Csice, 2006, 24: 331–335 [梅德清, 孙平, 袁银南, 等. 柴油机燃用生物柴油的排放特性研究. 内燃机学报, 2006, 24: 331–335]

- 3 Syed A B, Raja G K. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. *Renew Sustain Energy Rev*, 2009, 13: 1628–1634
- 4 Zhong S H, Daniel R, Xu H M, et al. Combustion and emissions of 2,5-dimethylfuran in a direct-injection spark-ignition engine. *Energy Fuels*, 2010, 24: 2891–2899
- 5 RomanLeshkov R, Barrrt C J, Liu Z Y, et al. Production of dimethylfuran for liquid fuels from biomass-derived carbohydrates. *Nature*, 2007, 447: 982–985
- 6 Zhao H, Hollady J E, Brow H, et al. Metal chlorides in ionic liquid solvents convert sugars to 5-hydroxy-methylfural. *Science*, 2007, 316: 1597–1600
- 7 Mascal M, Nikitin E B. Direct high-yield conversion of cellulose into biofuel. *Angew Chem Int Ed*, 2008, 47: 7924–7926
- 8 Xiao H L, Hou B B, Zhang G D, et al. Effects of pilot injection on combustion and emissions characteristics of blends of diesel and DMF (in Chinese). *J Huazhong Univ Sci Tech (Nat Sci Ed)*, 2016, 44: 77–82 [肖合林, 侯贝贝, 张高灯, 等. 预喷射对 DMF/柴油混合燃料燃烧及排放的影响. 华中科技大学学报(自然科学版), 2016, 44: 77–82]
- 9 Zhang Q C, Yao M F, Zheng Z Q, et al. Experiments on combustion and emissions fuelled with DMF-diesel blends (in Chinese). *Trans Csice*, 2012, 30: 481–485 [张全长, 尧命发, 郑尊清, 等. DMF-柴油发动机燃烧和排放特性的试验. 内燃机学报, 2012, 30: 481–485]
- 10 Daniel R, Tian G H, Xu H M. Effect of spark timing and load on a DISI engine fuelled with 2,5-dimethylfuran. *Fuel*, 2011, 90: 449–458
- 11 Ma Z Y, Li X L, Wei J Q, et al. Experimental research on gasoline engine fueled with DMF (in Chinese). *Veh Eng*, 2012, 1: 46–51 [马志炎, 李孝禄, 魏建勤, 等. 汽油机燃用 2,5-二甲基呋喃的实验研究. 车用发动机, 2012, 1: 46–51]
- 12 Chen G S, Li W D, Shen Y G, et al. Effects of DMF/diesel and gasoline/diesel blends on diesel engine combustion and emission characteristics (in Chinese). *Chin Int Combust Eng Eng*, 2014, 35: 6–13 [陈贵升, 李伟东, 沈颖刚, 等. DMF/柴油和汽油/柴油混合燃料对柴油机燃烧和排放特性的影响. 内燃机工程, 2014, 35: 6–13]
- 13 Zhang Q C, Yao M F, Zheng Z Q, et al. Study on combustion and emission characteristics fueled with diesel, diesel-butanol and diesel-DMF blends (in Chinese). *Chin Int Combust Eng Eng*, 2014, 35: 45–50 [张全长, 尧命发, 郑尊清, 等. 柴油、柴油-正丁醇和柴油-DMF 燃烧及排放特性试验研究. 内燃机工程, 2014, 35: 45–50]
- 14 Zhang Q C, Wu H, Zheng Z Q, et al. Effect of 2,5-dimethylfuran on DI diesel engine low temperature combustion and emissions (in Chinese). *Chin Int Combust Eng Eng*, 2014, 35: 13–19 [张全长, 吴晗, 郑尊清, 等. 2,5-二甲基呋喃对柴油机低温燃烧与排放的影响. 内燃机工程, 2014, 35: 13–19]
- 15 Zhu L, Cheng C S, Zhang W G, et al. Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel fueled with ethanol-biodiesel blends. *Fuel*, 2011, 90: 1743–1750
- 16 Yao C D, Peng H M, Liu Y T, et al. Formaldehyde emission characteristic from diesel/methanol compound combustion engine (in Chinese). *Trans Csice*, 2008, 26: 233–237 [姚春德, 彭红梅, 刘义亭, 等. 柴油/甲醇组合燃烧尾气中甲醛排放特性研究. 内燃机学报, 2008, 26: 233–237]
- 17 Takada K, Yoshimura F, Ohga Y, et al. Experimental study on unregulated emission characteristics of turbocharged DI diesel engine with common rail fuel injection system. *SAE Tech Pap*, 2003, 112: 2288–2295
- 18 Wang C, Xu H, Daniel R, et al. Combustion characteristics and emissions of 2-methylfuran compared to 2,5-dimethylfuran, gasoline and ethanol in a DISI engine. *Fuel*, 2013, 103: 200–211

Summary for “DMF/柴油混合燃料在柴油机上燃烧及排放特性”

Combustion and emissions characteristics of a diesel engine fueled with blends of diesel and DMF

XIAO HeLin^{1,2*}, HOU BeiBei^{1,2}, ZENG PengFei^{1,2} & JIANG Ao^{1,2}

¹ Hubei Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Components, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

² Hubei Collaborative Innovation Center for Automotive Components Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

* Corresponding author, E-mail: hlxiao_qcxy@whut.edu.cn

With the petroleum storage reduction and global warming, there is an increasing need to revolutionize the energy supply chain, especially in the transportation industry. Researches on the production of fuels derived from biological renewable feedstocks have been greatly intensified over the past decade. Sustained researches have been performed with biofuels, such as bioethanol which is the most commonly used in SI engines due to its renewable nature and high octane number. Apart from SI engines, bioethanol is also used in diesel engines. Our country population resources are numerous, it is impossible to popularize the bioethanol in large scale due to the limitation of the area of cultivated land. With the development of fuel production technology, more and more alternative fuel for diesel have been found, such as 2,5-dimethylfuran (DMF). In the past, DMF did not draw extensive attention due to the limitation of production technology. Recently, some significant breakthroughs have been made in production methods for DMF, which makes it is possible to be widely applied as a major alternative fuel for diesel in compression ignition engine. Although DMF is a promising biofuel, little is known on its combustion and emission characteristics. The experiments were carried out on a modified four-cylinder, 4-stroke, water-cooled, DIC engine coupled with a common rail fuel injection system using blends of diesel and DMF. Conventional diesel fuel was used as the base fuel. Mixtures of 10% and 30% by mass fraction of DMF with the base diesel fuel were tested in the research, referred to as D10 and D30, respectively. Traditional pure diesel referred to as D0. The experimental conditions were constant engine speed of 1800 r min⁻¹ and loads from 10% to 90% at an interval of 20%, corresponding to 0.13, 0.38, 0.63, 0.88 and 1.13 MPa BMEP, respectively. Unregulated emissions would severely harm the health of humans and other living beings. Some of the unregulated emissions, even in minor quantities into the air, can induce major health problems in large sections of the affected population. There is much research on the regulated emissions of DMF, but rarely on the unregulated emissions of formaldehyde, acetaldehyde or benzene. Airborne particulate matter (PM) is also associated with several severe health hazards. Thus, we studied the combustion and unregulated emission characteristics as well as PM emission from diesel engine on different DMF and diesel blends compared with baseline diesel. The results show that at 0.13 MPa BMEP, with the increase of DMF mass fraction in the mixtures, the peak cylinder pressure decreases significantly and the peak heat release rate (HRR) significantly increases. However, at 0.88 MPa BMEP, peak cylinder pressure and HRR are increased with the increase of DMF mass fraction. 1,3-butadiene, acetaldehyde and benzene emissions are decreased with the increase of engine load. The NO_x emissions increases with the increase of engine load. In addition, DMF blending with diesel increased acetaldehyde emissions, whilst reduced 1,3-butadiene and benzene emissions. At 0.13 MPa BMEP, D30 has the lowest NO_x emissions. For each tested fuels, the nucleation mode greatly dominates the particle size distribution. At 0.38 MPa BMEP, compared with diesel, the particle number concentration of blend fuels are lower in each test mode. However, at high load of 1.13 MPa BMEP, the particle number concentration of diesel is consistently the lowest within the entire range of diameters. At 0.88 MPa BMEP, D30 has 60.5% smaller nucleation-mode number and 232.2% smaller accumulation-mode mass than diesel. D30 has much smaller mean accumulation-mode diameter than diesel (50.9 vs. 60.1 nm).

2,5-dimethylfuran (DMF), blend fuels, particle number concentration

doi: 10.1360/N972017-00020