

# 柴油机燃烧乙醇柴油混合燃料的燃油经济性及其排放特性研究

赵小洋, 陈振斌, 张雷, 贺亚楠

(海南大学机电工程学院, 海南, 儋州571737)

**摘要:** 采用正丁醇作为助溶剂, 研究了以柴油、乙醇和正丁醇的体积比为不同比例所配置混合燃料的相溶性, 分析了不同乙醇掺混比混合燃料对发动机经济性及其排放特性的影响。研究结果表明, 由于乙醇和柴油物化特性的差异, 乙醇和柴油的相溶性较差, 添加适量正丁醇可有效促进乙醇和柴油的均匀相溶。随着乙醇掺混比的增大, 在中、低负荷时混合燃料的当量燃油消耗率增大, 在高负荷时当量燃油消耗率减小; CO排放量在低负荷时增大, 而在中、高负荷时减小; 在发动机所有工况下, 混合燃料的HC排放量都比燃烧0号柴油的高, 而NO<sub>x</sub>排放量及碳烟排放量都较0号柴油有所下降。

多年来有

关乙醇混合燃料在汽油

机上的应用研究已经取得了重大进展, 而在柴

油机上的应用研究却很少<sup>[1-2]</sup>

。为减少我国石油能源消耗, 缓和石油的对外依存度, 进一步降低柴油机排放污染, 通过乙醇替代部分柴油来探索乙醇柴油混合燃料的最佳制备方法, 进而了解乙醇柴油混合燃料对柴油机燃油经济性及其排放特性的影响仍意义重大。

国外从20世纪80年代起就开始重视乙醇作为柴油机代用燃料的试验研究工作, 目前处于小范围的试验、试用阶段。日本的洋马公司经多次试验已基本解决了乙醇与柴油混合的分层问题, 正着力进行乙醇柴油混合燃料的发动机使用试验。美国ADM公司已开展了乙醇柴油的研究工作, 含乙醇15%、其它添加剂5%、柴油80%的乙醇柴油混合燃料已经在柴油车上进行了386km的行车试验。

泰国科学技术和环境部、泰国国家石油公司与美国福特汽车公司合作研究开发生物乙醇燃料用于柴油车。国内在柴油机燃烧乙醇柴油混合燃料的试验研究方面虽然从上世纪90年代早期就已经起步, 但其基本途径是对柴油机改进后, 采用乙醇与柴油分别供给的方法进行双燃料试验, 并取得了可行的结论。而乙醇和柴油直接混合后使用的研究目前还不多<sup>[3-4]</sup>。

目前, 国内外在柴油机上燃烧乙醇柴油混合燃料的研究主要集中在以下几个方面: 乙醇柴油混合燃料的理化特性研究; 乙醇柴油混合燃料的制备方法以及最佳掺混比的研究; 在对发动机参数不做任何调整时燃烧乙醇柴油混合燃料的经济性和排放特性<sup>[5]</sup>。

柴油机燃烧乙醇柴油混合燃料主要通过以下几种方式: (1) 熏蒸法, 利用醇燃料表面张力及粘度低的特点通过进气管添加乙醇。(2) 双燃料系统法, 在柴油机上装有两套分开的喷油器系统, 其中一套用来压燃纯乙醇。(3) 柴油醇燃料, 用机械搅拌或添加助溶剂、乳化剂等将乙醇和柴油配置成混合燃料。上述掺烧方式中的前两种, 汽车和发动机的结构变化较大, 不易于在量产车型和正在使用的柴油机上应用。对于第3种掺烧方式, 由于基本不改变发动机结构而最有可能实现商业化<sup>[6]</sup>。

本文研究了以柴油、乙醇和正丁醇的体积比为不同比例直接混合所配置混合燃料的相溶性, 分析了不同乙醇掺混比的混合燃料对发动机经济性及其排放特性的影响<sup>[7-8]</sup>

。(在配置乙醇柴油混合燃料过程中, 使用0号柴油采用体积百分数进行计量, 即E15表示乙醇占该混合燃料的体积分数为15%, E20表示乙醇占该混合燃料的体积分数为20%, 依此类推。)

## 1 混合燃料的制备与物化特性

### 1.1 混合燃料的制备

本文试验采用市售0号柴油和99.5%的乙醇作为原料。大量试验研究表明, 乙醇与柴油混合的相溶性和稳定性较差, 这主要是由于在室温下乙醇和柴油存在一定的密度差, 使密度较柴油小的无水乙醇大部分浮在混合液的上面形成分层现象。

此外, 由于乙醇极易吸水, 在乙醇和柴油掺混后, 混合溶液对水分和温度都特别敏感, 导致混合溶液分层。

在配置乙醇柴油混合燃料时,需在混合燃料中添加适量的正丁醇以得到相溶、均匀、稳定的混合燃料。通过对所配置混合燃料长时间的观察表明,采用正丁醇作为助溶剂可以有效地促进乙醇和柴油均匀混合,采用正丁醇为助溶剂的乙醇柴油混合燃料具有良好的稳定性。

## 1.2 混合燃料的物化特性

柴油和乙醇的物化特性见表1。在乙醇柴油混合燃料中,通过表1对比可知:0号柴油的低热值和十六烷值均高于无水乙醇,但0号柴油的汽化潜热低于无水乙醇。所以所配置乙醇柴油混合燃料的低热值比0号柴油的低,而汽化潜热比0号柴油的高。随着混合燃料中乙醇体积分数的增大,乙醇柴油混合燃料的十六烷值逐渐降低。

表1 乙醇和柴油的主要物化特性比较

	分子式	分子量	密度 $\rho / (\text{g}/\text{cm}^3)$	沸点 / $^{\circ}\text{C}$	凝固点 / $^{\circ}\text{C}$	闪点 / $^{\circ}\text{C}$	粘度量符号 $\nu / (\text{MPa}\cdot\text{s})$	低热值 $q / (\text{MJ}/\text{kg})$	汽化潜热 $r / (\text{kJ}/\text{kg}^{-1})$	十六烷值
柴油	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	180 ~ 330	0.857	180 ~ 370	-1 ~ 3	65 ~ 88	3.35	42.5	301	40 ~ 60
乙醇	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	46.07	0.789	78.3	-117.3	13 ~ 14	1.20	26.8	862	8

## 2 试验设备

本文试验是在一台自然吸气式直喷295A水冷直立四冲程柴油机(球型燃烧室)上进行的,发动机主要技术参数见表2。汽车尾气中 $\text{CO}$ 、 $\text{HC}$ 、 $\text{NO}_x$ 等气体的浓度采用AVLDigas4000发动机尾气分析仪来测量;汽车尾气的不透光度和消光系数 $k$ 采用AVLDisSmoke4000不透光式烟度计来测量;油耗则采用湖南湘仪测试有限公司生产的FC2210智能油耗仪来测量。本试验在不对发动机任何参数进行调整的前提下,检测了发动机在1500r/min转速下的燃油经济性及其排放特性。

表2 柴油机的主要技术参数

发动机型式	自然吸气式直喷 295A 水冷直立四冲程柴油机
缸径 × 行程 /mm	95 × 115
最大扭矩(转速)号 $T_{\text{max}} / (\text{Nm})$	88
额定功率(转速) $P / \text{kW}$	13.8
总排量 $V_l / \text{L}$	1.63
供油提前角(BTDC) / $^{\circ}\text{CA}$	22
压缩比	16.5 : 1

## 3 试验结果与分析

### 3.1 燃油经济性

为了便于对发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的燃油经济性和燃烧0号柴油的燃油经济性作出比较,本文按能量相等原则将混合燃料的热值折算为与0号柴油热值相当的当量燃油消耗率。

当量燃油消耗率随发动机负荷的变化如图1所示。从图中可以看出,同种燃料随着发动机负荷的增加,当量燃油消耗率逐渐降低。在小负荷工况时,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油的高,并且随着混合燃料中乙醇掺混比的增大而增大;在中等负荷工况时,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的当量燃油消耗率与燃烧0号柴油的相差不大;在高负荷工况时,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油的低,并且随着混合燃料中乙醇掺混比的增大而降低。

在发动机负荷为32%时,燃烧E10的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油高1.7%;燃烧E15的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油高2.81%;燃烧E20的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油高2.86%;燃烧E25的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油高8.42%。在发动机负荷为80%时,燃烧E10的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油低1.08%;燃烧E15的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油低1.04%;燃烧E20的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油低0.27%;燃烧E25的当量燃油消耗率比燃烧0号柴油低0.47%。

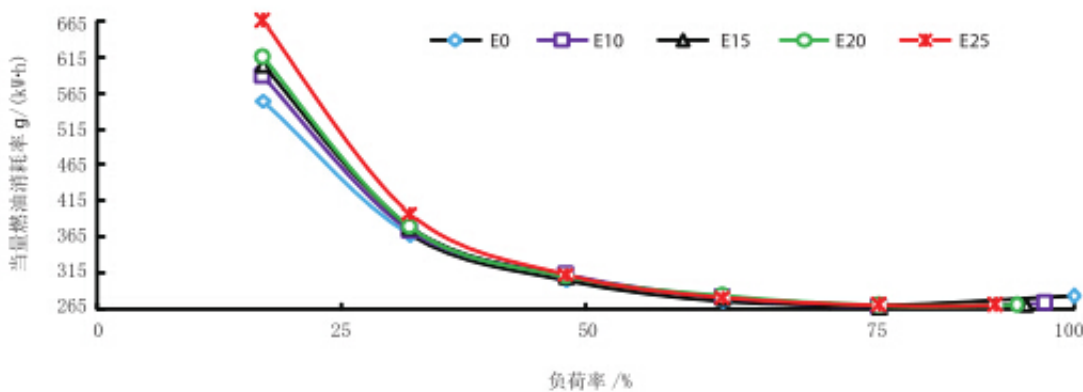


图1 在 $n=1500\text{ r/min}$ 下不同掺混比燃料对当量燃油消耗率的影响

这种变化趋势是因为乙醇柴油混合燃料的汽化潜热比0号柴油大，混合燃料的着火性较差。在小负荷工况范围内，发动机气缸内温度偏低，而乙醇柴油混合燃料的汽化进一步降低了工质的温度，使当量燃油消耗率随着混合燃料中乙醇掺混比的增大而升高；在小负荷工况时，发动机气缸内供油量少，随着燃料中乙醇的掺入，混合气过量空气系数增大，可燃混合气变稀，局部过稀的混合气不能够维持火焰传播，导致燃烧不完全，使当量燃油消耗率升高。

在中等负荷工况时，燃烧乙醇柴油混合燃料的当量燃油消耗率与燃烧0号柴油的当量燃油消耗率相差不大。随着负荷的增加，燃烧过程受汽化潜热的影响逐渐减小。在大负荷工况时，发动机气缸内的供油量加大，随着混合燃料中乙醇掺混比的增大，气缸内混合燃料的含氧量也逐渐增大，氧的助燃作用更加明显，使气缸内混合燃料燃烧更加充分，发动机燃烧过程得到改善，因此乙醇柴油混合燃料的当量燃油消耗率在大负荷工况时有所降低。

### 3.2 排放特性

#### 3.2.1 HC排放特性

汽车尾气中的HC是由于发动机未燃尽的燃料分解而产生的气体。HC排放量随发动机负荷的变化如图2所示。从图中可以看出，发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的HC排放量比燃烧0号柴油的高。在发动机负荷为32%时，燃烧E10的HC排放量比燃烧0号柴油的高76.6%；燃烧E15的HC排放量比燃烧0号柴油的高165%；燃烧E20的HC排放量比燃烧0号柴油的高313%；燃烧E25的HC排放量比燃烧0号柴油的高257%。在发动机负荷为80%时，燃烧E10的HC排放量比燃烧0号柴油的高134.3%；燃烧E15的HC排放量比燃烧0号柴油的高208.9%；燃烧E20的HC排放量比燃烧0号柴油的高291%；燃烧E25的HC排放量比燃烧0号柴油的高338.8%。

这种变化趋势主要是由于在燃烧过程中混合燃料和空气的混合不均匀引起的。发动机燃烧室内的混合气局部过浓或过稀都会引起燃烧不充分而产生HC的排放；可燃混合气在靠近发动机气缸壁面时受到冷激效应的影响，也会导致混合气燃烧不充分而产生HC排放；由于乙醇柴油混合燃料的汽化潜热比0号柴油大，增加了发动机燃烧过程中出现的淬熄层，也会导致HC的排放量增加；由于混合燃料的十六烷值较低，因此混合气的着火延迟期加长，这样就会形成更多的稀混合气，同样会导致混合气燃烧不充分而增加HC的排放量。此外，发动机燃烧室内没有充分燃烧的混合燃料，都将增加发动机的HC排放量。

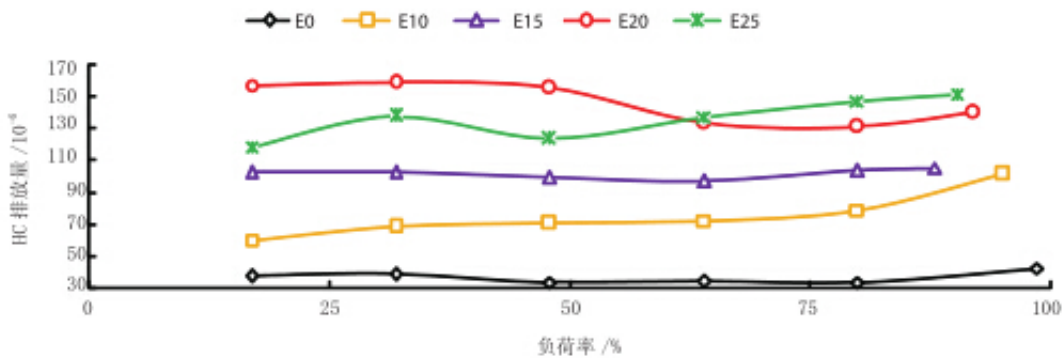


图2 在n=1500 r/min下不同掺混比燃料对HC排放的影响

### 3.2.2 NO<sub>x</sub>排放特性

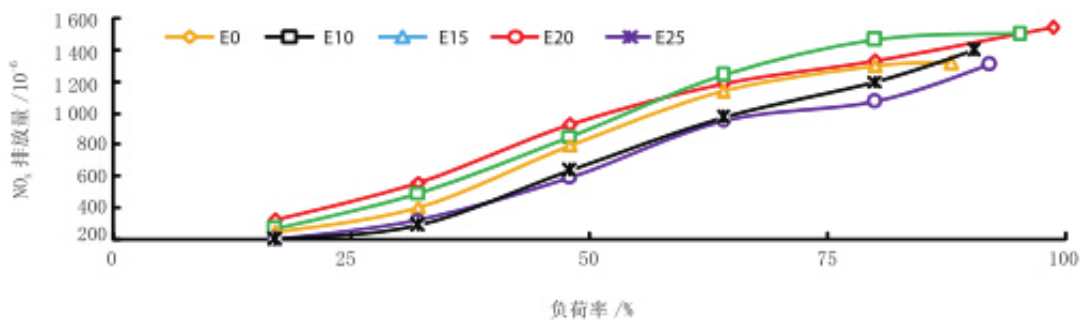


图3 在n=1500 r/min下不同掺混比燃料对NO<sub>x</sub>排放的影响

#### NO<sub>x</sub>

的排放主要是在高温、富氧以及足够的持续时间等这些条件下产生的。NO<sub>x</sub>排放量随发动机负荷的变化如图

3所示。从图中可以看出，发动机燃烧同种燃料的NO<sub>x</sub>

排放量随着发动机负荷的增大而增大。这是因为在转速为n=1500r/min时，随着发动机负荷的逐渐增大，气缸内的平均有效压力逐渐增大，最高燃烧温度逐渐升高，因此发动机的NO<sub>x</sub>

排放量逐渐增大。在低负荷工况时，柴油中掺烧乙醇可以明显降低NO<sub>x</sub>

的排放量，并且随着混合燃料中乙醇掺烧比的增大NO<sub>x</sub>的排放量逐渐降低。在发动机负荷为32%时，燃烧E10的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低12.4%；燃烧E15的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低28.1%；燃烧E20的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低41.7%；燃烧E25的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的

低48.36%。这是因为在低负荷工况时，气缸内的温度较低不利于NO<sub>x</sub>

生成，而且乙醇柴油混合燃料中乙醇掺混比越大，混合燃料蒸发所吸收的热量越多，使发动机气缸内的温度越低。因此混合燃料中乙醇掺混比越大，发动机的NO<sub>x</sub>排放量越低。

在高负荷工况时，发动机燃烧乙醇柴油混合燃料产生的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的略低。在发动机负荷为

80%时，燃烧E10的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低9.78%；燃烧E15的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低2.3%；燃烧E20的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低19.2%；燃烧E25的NO<sub>x</sub>

排放量比燃烧0号柴油的低9.67%。这是因为在高负荷工况时,随着发动机负荷的逐渐增大,发动机气缸内的温度逐渐升高,而且随着混合燃料中乙醇掺烧比的增大,发动机燃烧室内的含氧量也逐渐增多,所以混合燃料中乙醇的掺混比越大,NO<sub>x</sub>排放量就越大。

### 3.2.3 CO排放特性

汽车尾气中的CO主要是混合气不完全燃烧的产物。CO排放量随发动机负荷的变化如图4所示。从图中可以看出,发动机燃烧同种燃料的CO排放量随着发动机负荷的增大而先减少后增加。在中、低负荷工况时,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的CO排放量比燃烧0号柴油的高;在高负荷工况时,燃烧乙醇柴油混合燃料的CO排放量和燃烧0号柴油的相差不大。在发动机负荷为32%时,燃烧E10的CO排放量比燃烧0号柴油的高10%;燃烧E15的CO排放量比燃烧0号柴油的高50%;燃烧E20的CO排放量比燃烧0号柴油的高100%;燃烧E25的CO排放量比燃烧0号柴油的高95%。在发动机负荷为80%时,燃烧E10的CO排放量比燃烧0号柴油的低20.8%;燃烧E15的CO排放量比燃烧0号柴油的高4.2%;燃烧E20的CO排放量比燃烧0号柴油的低8.3%;燃烧E25的CO排放量比燃烧0号柴油的高37.5%。

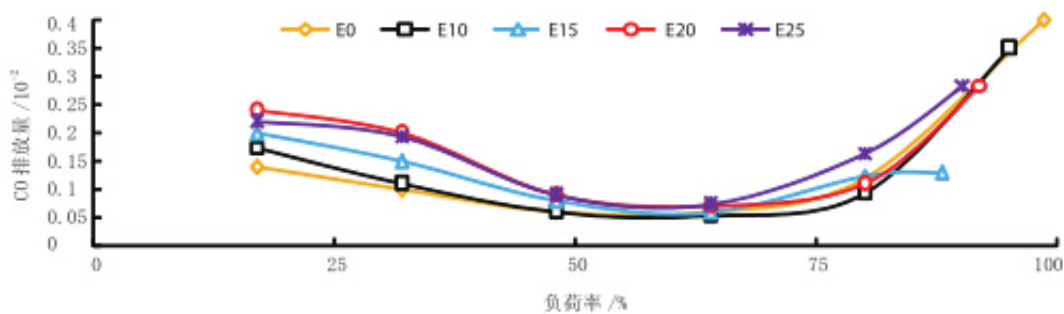


图4 在n=1500 r/min下不同掺混比燃料对CO排放的影响

这种变化趋势主要是由于乙醇柴油混合燃料的汽化潜热比0号柴油的大。在低负荷工况时,由于混合燃料中乙醇的蒸发需要吸收大量的热量,从而引起燃烧过程中淬熄层增多,所以此时发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的CO排放量比燃烧0号柴油的要高一些;在高负荷工况时,由于混合燃料中含有大量的氧,在发动机气缸内氧气不足的情况下可以起到补充氧含量的作用,从而改善了发动机的燃烧状况,使发动机燃烧混合燃料CO排放量比燃烧0号柴油的低。此外,在高负荷工况时,发动机气缸内温度高,由于混合燃料的汽化吸热而导致燃烧室内的淬熄层减少,因此发动机在高负荷工况时的CO排放量有微小的降低。由于中等负荷与高负荷间的过渡,使高负荷工况下发动机燃烧混合燃料与0号柴油的CO排放量相差不大。

### 3.2.4 烟度特性

汽车尾气中的碳烟是由于柴油机燃烧不完全而产生的微小颗粒。消光系数k随发动机的负荷变化如图5所示。从图中可以看出,燃烧乙醇柴油混合燃料的碳烟排放量比燃烧0号柴油的有所降低。在发动机负荷为32%时,燃烧E10的消光系数k比燃烧0号柴油的低57.14%;燃烧E15的消光系数k比燃烧0号柴油的低50%;燃烧E20的消光系数k比燃烧0号柴油的高11.9%;燃烧E25的消光系数k比燃烧0号柴油的低7.14%。在发动机负荷为80%时,燃烧E10的消光系数k比燃烧0号柴油的低37.6%;燃烧E15的消光系数k比燃烧0号柴油的低39.4%;燃烧E20的消光系数k比燃烧0号柴油的高48.23%;燃烧E25的消光系数k比燃烧0号柴油的低24.8%。在发动机负荷为80%时消光系数k的最大降低率可达48.23%。这是因为混合燃料中氧的增加,从而使发动机燃烧更加充分,降低了碳烟排放,同时,由于乙醇柴油混合燃料的汽化潜热大,从而降低了发动机气缸内的最高燃烧温度,进而减少了混合燃料燃烧的热裂反应,抑制了碳烟的形成。此外,由于发动机燃烧室内部过浓区高分子烃(尤其是芳香烃)高温缺氧裂解也会增加碳烟的形成,但是乙醇中不含有芳香烃,并且C/H质量比低,从而减少了碳烟的排放。

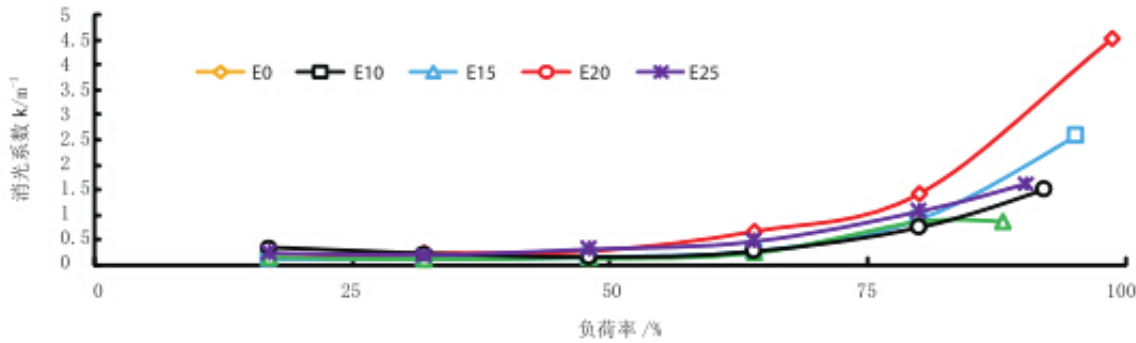


图5 在n=1500r/min下不同掺混比燃料对排气烟度的改善效

#### 4结论

(1) 在配置乙醇柴油混合燃料时,添加适量的正丁醇作为助溶剂可以有效地促进乙醇和柴油的均匀相溶,正丁醇的掺入可以降低发动机排放中的NO<sub>x</sub>含量。

(2) 发动机燃烧乙醇柴油混合燃料与燃烧0号柴油比较,在中低负荷工况时,当量燃油消耗率随着混合燃料中乙醇掺混比的增大而升高;在高负荷工况时,当量燃油消耗率随掺混比的增大而降低。在低负荷工况时,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的CO排放量比燃烧0号柴油的高;在中高负荷工况时,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的CO排放量与燃烧0号柴油的相差不大。在发动机所有工况下,发动机燃烧乙醇柴油混合燃料的HC排放量均比燃烧0号柴油的高;而燃烧乙醇柴油混合燃料的NO<sub>x</sub>排放量及碳烟排放量均比燃烧0号柴油的低。

#### 参考文献:

- [1]王建昕, 闫小光, 程勇, 等.乙醇-柴油混合燃料的燃烧与排放特性[J].内燃机学报, 2002, 20(3): 225-229.
- [2]胡强, 彭美春, 黄华.柴油机掺烧乙醇的排放特性实验研究[J].小型内燃机与摩托车, 2007, 36(1): 55-57.
- [3]李双定.乙醇柴油混合燃料发动机的试验研究[D].南宁: 广西大学, 2008.
- [4]李冠峰, 胡知, 陈亮, 等.柴油-乙醇混合燃料直接在柴油机上使用的试验研究[J].内燃机, 2004, 19(3): 7-10.
- [5]肖明伟, 陈振斌, 何金戈, 等.燃烧乙醇-柴油时发动机的性能与排放特性研究[J].小型内燃机与摩托车, 2010, 39(6): 72-75.
- [6]杜宝国.乙醇-柴油-汽油混合燃料在柴油机上的应用研究[D].大连: 大连理工大学, 2003.
- [7]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].内燃机学报, 2004, 22(4): 289-295.
- [8]于世涛, 郭英男, 卓斌, 等.乙醇-柴油混合燃料的理化特性的研究[J].内燃机工程, 2004, 25(6): 30-33.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/95422.html>