

# 超声波雾化乙醇替代柴油 对涡流室式柴油机性能的影响

罗阔<sup>1</sup> 罗霞<sup>1</sup> 吴伟斌<sup>1</sup> 陈红<sup>2</sup> 支磊<sup>1</sup>

1. 华南农业大学工程学院/南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 广州现代信息工程职业技术学院, 广州 510633

**摘要** 利用超声波雾化原理,设计了超声波雾化系统,并在涡流室式柴油机上进行进气道供雾化乙醇的试验。试验乙醇供给量为标定供油量的20%,改变柴油供给量进行负荷调整,并测试标定转速下不同负荷的发动机燃油消耗量和排放性能。测试结果表明:设计的超声波乙醇雾化系统,能够满足进气道供乙醇的性能要求,使柴油机燃用乙醇/柴油双燃料过程中表现出稳定的工作性能;氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、一氧化碳(CO)和碳烟排放比原机低,尤其满负荷时碳烟降幅可达60%;能量消耗量率与原机基本相当,碳氢化合物(HC)排放比原机高。

**关键词** 超声波雾化;乙醇;涡流室;柴油机;性能

**中图分类号** S 219.031; TK 421 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)04-0137-04

燃料乙醇作为汽车燃料的大规模使用已有20多年,且主要是用在汽油机上。在实际应用中乙醇作为石化燃料的替代品已取得良好社会和经济效益,但乙醇在柴油机上的应用仍处在研究阶段。燃油经济性好是柴油机的优势,但排放污染问题制约了其发展<sup>[1]</sup>。醇类是含氧燃料,使用时不但可替代化石燃料、缓解石油危机,还可以降低碳烟(PM)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放,对环境保护有重要意义<sup>[2-3]</sup>。乙醇分子中含有氧原子,在与柴油混合燃烧时可增加混合气中氧的浓度,从而降低发动机碳烟的排放。同时,乙醇燃料是太阳能的一种表现形式,在自然界大系统中乙醇的生产和消费过程可形成无污染的闭路循环,排放的CO<sub>2</sub>又重新被乙醇生产原料吸收,可明显减缓全球变暖趋势,是一种用之不竭的环保可再生资源。中国已在“十五”期间推广使用乙醇燃料,这既能发展替代能源,又能有效地解决陈化粮的转化问题,促进农业生产的良性循环<sup>[4]</sup>。刘朋等<sup>[5]</sup>的研究结果表明,柴油机的能耗在乙醇含量为15%(体积分数)时最低,其功率虽有所下降,但由于乙醇添加量较小,故对发动机性能影响不大;在排放性能方面,NO<sub>x</sub>的比排放量基本随乙醇的含量增加而减少,烟度有显著下降。吕兴才等<sup>[6]</sup>的研究结果表明,在柴油中加入一定比例的乙醇,发动机的比油耗

增加,但有效热效率可提高1%~2%,烟度在各种工况下都显著降低。

由于超声波雾化乙醇粒子细小、容易形成均匀的乙醇空气混合气,并且没有化醇器方式对进气的节流作用,因此,笔者利用超声波雾化原理,设计了超声波乙醇雾化装置,并在涡流室式柴油机上进行进气道供雾化乙醇的试验。

## 1 材料与方法

### 1.1 装置和设备

超声波乙醇雾化系统主要由储液槽、超声波发生器、液面控制阀、浮子、乙醇控制阀及盖板等组成(图1)。乙醇控制阀装于雾化装置和发动机进气道之间的管路上,根据乙醇替代的比例调节阀门的开度进行乙醇供给量的调节;控制阀关闭后,发动机可按原方式燃用柴油工作,便于进行对比试验。

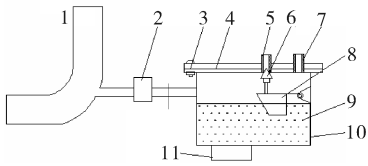
液面控制阀是乙醇液体表面高度的调节和控制装置。为了使超声波发生器发出的超声波在液面处的作用力最强,达到较好的雾化效果,需要控制液面的高度。液面距超声波发生器表面的最佳高度范围为30~50 mm。在工作过程中,当液面由于雾化而下降,浮子受到的浮力减小,使液面控制阀下降,阀门自动打开让乙醇流入,使液面恢复到设定的高度。

收稿日期: 2013-07-12

基金项目: 国家星火计划项目(2011GA780037)、广东省科技计划项目(2010A020507001-144)和广州市科技计划项目(2012J2200069)

罗阔, 博士, 讲师. 研究方向: 代用燃料在柴油机上的应用. E-mail: luokuo@scau.edu.cn

通信作者: 吴伟斌, 博士, 副教授. 研究方向: 信息技术与光机电一体化应用. E-mail: wuweibin@scau.edu.cn



1. 进气道 Air inlet; 2. 控制阀 Control valve; 3. 密封垫 Gasket; 4. 盖板 Cover plate; 5. 乙醇导管接口 Ethanol catheter interfaces; 6. 液面控制阀 Liquid level control valve; 7. 通气孔 Venthole; 8. 浮子 Floater; 9. 乙醇 Ethanol; 10. 储液槽 Reservoir; 11. 超声波发生器 Ultrasonic generator.

图 1 超声波雾化系统

Fig.1 System of ultrasonic atomization

柴油机选用 R170A 型涡流室式柴油机, 喷油器为单孔轴针式, 喷油压力为  $(12.3 \pm 0.5)$  MPa, 供油提前角为  $(22 \pm 2)^\circ$ , 标定转速为 2 600 r/min。主要试验设备: ZF200 型磁粉测功机, 测功范围 20.0~200.0 Nm; FGA4100 型五组份废气分析仪, 对一氧化碳(CO)浓度的测量范围是 0~10(%), 对氮氧化物(NO<sub>x</sub>)浓度的测量范围是 0~5 000( $\times 10^{-6}$ ), 对碳氢化合物(HC)的测量范围是 0~10( $\times 10^{-6}$ ); FBY-1 型烟度计, 对烟度测量范围为 0~10 Rb; SYZZ-1 型转速油耗自动测量仪, 测量范围为 0~9 999 r/min。

## 1.2 工作原理

由于乙醇与柴油的互溶性极差, 甚至乳化也很困难<sup>[7]</sup>, 故进气道供醇成为柴油机使用乙醇燃料的一个重要研究方向<sup>[8-14]</sup>。本试验采用超声波技术雾化乙醇, 通过进气道在进气行程中与空气混合后吸入气缸, 形成均质乙醇空气混合气, 柴油喷入进行燃烧。超声波乙醇雾化系统如图 1 所示, 位于储液槽底部的超声波发生器向液面发射超声波, 且在有一定的强度时, 液体表面隆起产生细微的乙醇雾气。超声波发生器的工作原理是利用电子线路产生高频电能, 通过变换器将高频电能变成机械振荡。在液体中振动时, 当振动速度加大后, 液体就不能追随振动面, 使液体中局部地方形成负压(真空状态); 当处于正的压力时, 液体就会产生高压。如此循环, 液体中含有的气泡在真空作用下膨胀, 在高压下又激烈碰撞, 结果在液体中就会发生空穴作用。如果在液面引起空穴作用时, 乙醇将按一定方向飞散, 使乙醇液体雾化成 1~3  $\mu\text{m}$  的微小颗粒状的雾气<sup>[15]</sup>, 即将液态分子结构打散从而产生自然飘逸的雾气, 不需加热或添加任何化学试剂<sup>[16]</sup>。超声波雾化出来的颗粒度规则匀称, 雾化所需能量与液体表

面张力、粘性、分子质量及密度等各种因素有关<sup>[17]</sup>。

该供乙醇方式的优点是雾化效果好、粒子细、噪声小且控制方便, 可避免乙醇较大液滴进入燃烧室。同时, 在乙醇供给过程中, 没有化醇器方式对进气的节流作用, 从而使充量系数达到甚至超过一般柴油机的水平, 并且不需要喷射方式所用的高压, 整个系统结构简单, 制造成本低。

本试验用的发动机是由一台涡流室式柴油机在进气道加装乙醇雾化装置改装的。在试验过程中, 选用 0 号轻柴油和无水乙醇作燃料, 乙醇供给量为标定供油量的 20%, 改变柴油供给量进行负荷调整, 测试标定转速下不同负荷的发动机燃油消耗量和排放性能, 并与原机进行对比试验和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 能量消耗率的对比

由于乙醇的热值低于柴油, 以燃油消耗率评价燃油经济性有一定的局限性。为客观的评价燃油经济性, 对双燃料发动机和原机的能量消耗率进行了对比(图 2)。

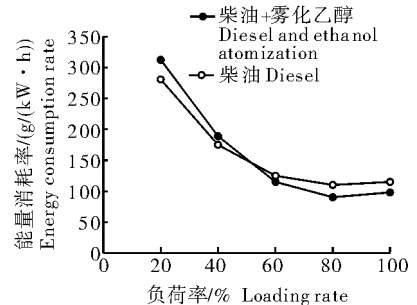


图 2 柴油和柴油+雾化乙醇的能量消耗率对比

Fig.2 Comparison on energy consumption rate of diesel and diesel+ethanol atomization

从图 2 可知, 在测试负荷范围内双燃料发动机和原机的能量消耗率基本相当, 并且随着负荷增加, 能量消耗率表现出逐步降低的趋势, 这是因为在发动机转速一定的情况下, 发动机的机械损耗不随负荷的变化而变化, 所以高负荷具有高的机械效率, 其能量消耗率低。

### 2.2 NO<sub>x</sub> 排放的对比

NO<sub>x</sub> 的生成量主要受燃烧温度、氧浓度和高温停留时间三个因素影响。从图 3 可知, 随着负荷的增加, NO<sub>x</sub> 排放呈现增加趋势, 但是双燃料发动机 NO<sub>x</sub> 排放低于原机。这是因为乙醇汽化潜热较大, 降低了缸内温度, 有利于抑制 NO<sub>x</sub> 的生成, 故 NO<sub>x</sub> 排放比原机低。

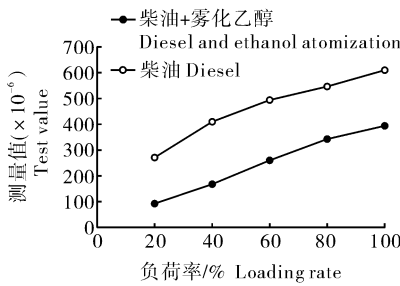


图 3 柴油和柴油+雾化乙醇的 NOx 排放对比  
Fig. 3 Comparison on NOx exhaust emission of diesel and diesel+ethanol atomization

### 2.3 碳烟排放的对比

从图 4 可知,随着发动机负荷的增加,碳烟的排放增加。碳烟生成的重要条件是高温下燃料严重缺氧。在低负荷时,缸内整体过量空气系数较大,缸内温度较低,不易生成碳烟;随着负荷增加,柴油增加,混合气相对变浓,缸内温度升高,柴油所包围的区域可能出现局部缺氧,从而导致碳烟排放有所增加。双燃料发动机碳烟排放比原机低,满负荷时碳烟降幅接近 60%。这是因为乙醇均质状态进入气缸,故可减少扩散燃烧的比例,并且乙醇在燃烧过程中的供氧作用缓解了缺氧状态,尤其在大负荷工况下,降低碳烟排放的效果更好。

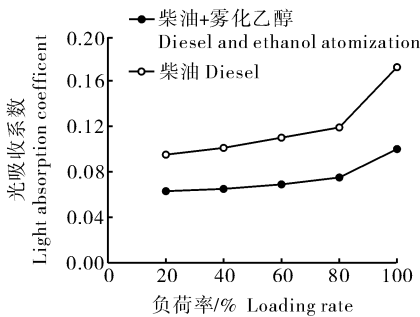


图 4 柴油和柴油+雾化乙醇的碳烟排放对比  
Fig. 4 Comparison on PM exhaust emission of diesel and diesel+ethanol atomization

### 2.4 CO 排放的对比

从图 5 可知,随着负荷增加,CO 排放呈现先下降后上升的趋势。CO 是碳氢化合物燃料在燃烧过程中生成的主要中间产物,其生成量取决于氧的浓度、反应温度和反应时间。在小负荷工况下,燃料与空气混合不均匀,燃烧空间中总有局部缺氧的地方,在温度低的地方,以及反应物在燃烧区停留时间不足以彻底完成燃烧过程产生最终产物,造成 CO 排放较高。在大负荷工况下,供油量增加,氧气浓度下降,混合不均匀性增加,也造成 CO 排放较高。双燃

料发动机中乙醇均质状态进入气缸,减少了混合气的不均匀性,并且在燃烧过程中自供氧,缓解了缺氧状态,故 CO 排放较原机低。

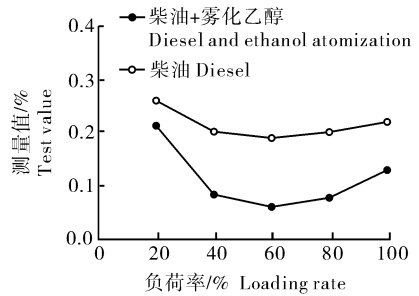


图 5 柴油和柴油+雾化乙醇的 CO 排放对比  
Fig. 5 Comparison on CO exhaust emission of diesel and diesel+ethanol atomization

### 2.5 HC 排放的对比

从图 6 可知,双燃料发动机 HC 排放远高于原柴油机。这是因为乙醇在进气管中雾化后与空气混合进入气缸,在压缩和燃烧过程中,有部分乙醇空气混合气进入缸盖间隙、喷油器间隙,以及缸壁对火焰的冷激效应,故造成 HC 排放较高。

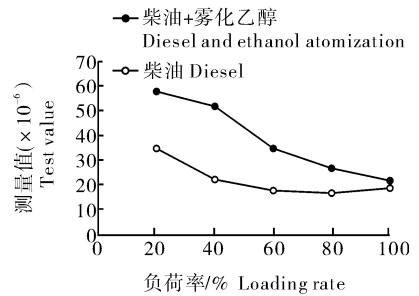


图 6 燃用柴油和柴油+雾化乙醇的 HC 排放对比  
Fig. 6 Comparison on HC exhaust emission of diesel and diesel+ethanol atomization

## 3 讨论

本试验设计的乙醇超声波雾化系统的雾化乙醇粒子细小,容易形成均匀的乙醇空气混合气,并没有化醇器方式对进气的节流作用,因此能够满足进气道供乙醇的性能要求,使柴油机燃用乙醇/柴油过程中,表现出稳定的工作性能,额定转速下可连续工作 6 h 以上。试验结果表明,柴油机燃用乙醇/柴油产生的 NOx、CO<sub>2</sub> 和碳烟排放比原机低,尤其满负荷时碳烟降幅达 60%,主要原因是乙醇为含氧燃料,在燃烧过程中会释放氧原子与碳原子结合生成 CO<sub>2</sub>,降低了碳烟的生成量;乙醇采用预混合方式燃烧,HC 排放比原机高,能量消耗率基本相当。本

试验只是在乙醇雾化装置标定供油量为 E20(20%) 的情况下,对柴油机工作性能进行了观察与分析,今后还应该在 E5、E10、E15、E25 等不同比例条件下进行试验,以便系统研究试验装置雾化乙醇的方式与效果,并观察其对柴油机性能的影响。

### 参 考 文 献

- [1] 蒋德明. 内燃机燃烧与排放学[M]. 西安:西安交通大学出版社,2001.
- [2] 刘铁男. 燃料乙醇与中国[M]. 北京:经济科学出版社,2004.
- [3] 曹湘洪. 我国发展燃料乙醇和乙醇汽油应注意的若干问题[J]. 石油炼制与化工,2001,32(6):7-10.
- [4] 陈红,罗阔,赵新. 燃料乙醇在柴油机上应用研究的进展[J]. 内燃机与配件,2010(5):17-19.
- [5] 刘朋,王守元. 乙醇柴油混合燃料对柴油机性能及排放的影响[J]. 燃烧科学与技术,2003,9(4):300-305.
- [6] 吕兴才,黄震,张武高. 柴油机燃用柴油乙醇的性能与排放特性的试验研究[J]. 内燃机学报,2003,21(4):193-198.
- [7] 方显忠,刘巽俊,李国良,等. 压燃式发动机燃用柴油/乙醇的研

- 究[J]. 农业机械学报,2005,36(3):31-33.
- [8] 罗阔. 涡流室式柴油机燃用乙醇/柴油的燃烧排放模型及试验研究[D]. 广州:华南农业大学图书馆,2012.
- [9] 陈振斌,倪计民,张惜辉,等. 乙醇/丁醇/柴油混合燃料的车辆排放性和经济性[J]. 农业工程学报,2012,28(7):62-66.
- [10] 罗阔,罗霞,李志伟. 乙醇供给方式对高速柴油机排放的影响试验[J]. 农业工程学报,2012,28(11):50-53.
- [11] 邢元,尧命发,张福根,等. 乙醇与柴油混合燃料燃烧特性及排放特性的试验研究[J]. 内燃机学报,2007,25(1):24-29.
- [12] 任毅,黄佐华,李蔚,等. 柴油机燃用柴油/乙醇混合燃料的性能与排放研究[J]. 西安交通大学学报,2007,41(3):285-290.
- [13] 张伟,宋崇林,李方成,等. 乙醇/柴油混合燃料醛、酮类污染物排放特性的研究[J]. 内燃机学报,2008,26(3):238-242.
- [14] 方显忠,刘巽俊,金文华,等. 乙醇喷射定时对乙醇柴油双燃料发动机性能的影响[J]. 农业机械学报,2007,38(11):22-25.
- [15] 黄晖,姚熹,汪敏强,等. 超声雾化系统的雾化性能测试[J]. 压电与声光,2004,26(1):62-64.
- [16] 胡富强,赵寒涛,牛晓明. 喷射式超声波发生器及应用[J]. 机械工程师,2000,45(2):44-46.
- [17] 葛飞. 超声波技术的应用现状及发展前景[J]. 郑州牧业工程高等专科学校学报,1999,19(1):58-59.

## Effect of ultrasonic atomization of ethanol as a substitute of diesel in swirl chamber diesel engine

LUO Kuo<sup>1</sup> LUO Xia<sup>1</sup> WU Wei-bin<sup>1</sup> CHEN Hong<sup>2</sup> ZHI Lei<sup>1</sup>

1. College of Engineering, South China Agricultural University/  
Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machine and Equipment,  
Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;

2. Guangzhou Modern Information Engineering Vocational and Technical College,  
Guangzhou 510633, China

**Abstract** An ultrasonic atomization system was designed by using the ultrasonic atomization principle to study atomized ethanol and it was tested through the inlet in a small swirl chamber diesel engine to find the effect of ultrasonic atomization ethanol in substituting for diesel fuel in diesel engine. During the test, the ethanol supply was calibrated to be 20% of the oil, the amount of diesel fuel supply was changed for load adjustment, and the fuel consumption and emissions performance of the engine were tested under different load with standard rotation speed. The results show that the diesel engine fueled with ethanol/diesel dual-fuel shows stable performance in the work. NO<sub>x</sub>, CO and soot emissions are lower than the original engine supplied with diesel fuel alone, especially at full capacity with a reduction up to 60% of soot. The energy consumption rate is roughly equal to the original engine, while HC emissions are higher than those of the original engine.

**Key words** ultrasonic atomization; ethanol; swirl chamber; diesel engine; performance