

Combustion and emission characteristics of engines burning biodiesel

Yueqiu Zhang¹ Ting Wang^{1*} Yue Chu¹ Yong Chen²

1. Beijing Motor Vehicle Emission Management Affairs Center, Beijing, 100027, China

2. Beijing Institute of Metrology and Testing Science, Beijing, 100029, China

Abstract

This article focuses on the combustion and emission characteristics of engines using biodiesel, along with optimization strategies. It explains the principles of engine combustion and analyzes the unique properties of biodiesel, such as its high oxygen content and excellent cetane number, which influence the combustion process. The study examines the emission characteristics, noting that nitrogen oxides emissions are influenced by high temperatures and the composition of biodiesel, leading to complex emission patterns; particulate matter, due to more complete combustion but with unique components, exhibits distinct emission patterns; hydrocarbons are affected by the formation of the air-fuel mixture and combustion conditions; carbon monoxide emissions differ from those of traditional fuels during cold starts and other operating conditions. The article proposes optimization strategies, including improving fuel injection to enhance atomization, enhancing intake and boosting to improve intake, optimizing the shape of the combustion chamber and airflow organization to promote better mixing, and optimizing control strategies and parameter matching to ensure optimal combustion. These strategies aim to enhance engine performance and reduce emissions, providing theoretical and practical support for the application of biodiesel.

Keywords

biodiesel; engine combustion; emission characteristics; optimization strategy

燃用生物柴油的发动机燃烧与排放特征

张岳秋¹ 王挺^{1*} 褚玥¹ 陈勇²

1. 北京市机动车排放管理事务中心, 中国·北京 100027

2. 北京市计量检测科学研究院, 中国·北京 100029

摘 要

文章聚焦燃用生物柴油的发动机燃烧与排放特征及优化策略。阐述发动机燃烧原理, 剖析生物柴油燃烧特性, 其含氧量高、十六烷值优等特点影响燃烧过程。研究排放特征, 包括氮氧化物受高温和生物柴油成分影响排放变化复杂; 颗粒物因含氧燃烧较充分但成分特殊; 碳氢化合物受混合气形成和燃烧状况影响; 一氧化碳在冷启动等工况下排放有别传统燃料。提出优化策略, 如优化燃油喷射系统改善雾化、改进进气与增压提升进气、优化燃烧室形状与气流组织促进混合、优化控制策略与参数匹配保障燃烧最优, 旨在提升发动机性能并减少排放, 为生物柴油应用提供理论与实践支撑。

关键词

生物柴油; 发动机燃烧; 排放特征; 优化策略

1 引言

面对当前世界范围内能源危机、环境污染问题愈发突出的情况, 寻求清洁环保的替代燃料是内燃机行业发展面临

的重要问题。生物柴油作为由动植物油脂、废油等油脂转化的可再生清洁能源燃料, 具有含氧量高、十六烷值优、可生物降解等特点, 对于发动机缸内燃烧与排放特性具有一定的改善作用。开展生物柴油燃料发动机燃烧过程机理的研究工作, 不仅可以揭示燃用生物柴油的发动机燃烧过程中缸内混合气形成、点火延迟、燃烧速率规律上与汽油有所不同, 而且还可以通过燃烧过程的深入分析其氮氧化物、颗粒物、碳氢化合物和一氧化碳等污染物的排放变化规律。这对于优化完善发动机燃烧理论体系, 指导发动机结构、控制策略等的设计, 最终实现内燃机高效清洁燃烧, 奠定了坚实的理论基础和技术保障。

【作者简介】张岳秋(1981-), 男, 中国北京人, 硕士, 高级工程师, 从事机动车污染物排放及油品质量领域检测研究。

【通讯作者】王挺(1983-), 男, 中国浙江绍兴人, 本科, 中级, 从事整车蒸发VOC排放研究及车辆实际道路行驶排放研究RDE等研究。

2 发动机燃烧原理与生物柴油燃烧特性

2.1 发动机燃烧原理

发动机燃烧是一个十分复杂的物理—化学变化过程。在发动机的工作循环中,当活塞接近压缩上止点附近时,由于燃油—空气混合气被压缩成高温高压状态,燃油分子获得足够的能量以破坏化学键的束缚而被激活,在电火花塞点,火或者压缩自燃产生的点火源作用下局部混合气瞬间着火,并以火焰核心的形式向四周扩散。与此同时,压力急剧升高,推动活塞下行做功,同时燃烧释放出大量的热量转化为机械能^[1]。在此过程中受燃油喷射方式、进气涡流强度、压缩比及缸内温度场分布等因素的影响。因此各种因素间的耦合作用,会影响燃烧的起始时刻、燃烧速率及燃烧充分程度,从而影响发动机的动力输出、排放。

2.2 生物柴油燃烧特性

高含氧量促成独特燃烧起始。生物柴油在发动机工作时,具有不同于传统化石燃料的燃烧起始方式,主要是由于生物柴油本身所具有的较高含氧量,这要比同种质量比下相同分子组成的烃类物质高出近一倍的含氧量,使得生物柴油在压缩过程中较容易到达着火条件,在发动机的压缩行程到达终了时,缸内的温度、压力都非常高,在这样的条件下,生物柴油内部的氧很容易降低混合气的活化能,使得生物柴油分子更易被点燃而发生化学反应。因此造成生物柴油的点火滞后时间短、火焰传播速度快等燃烧特点。

十六烷值优势影响燃烧稳定性。生物柴油的十六烷值较高,对燃烧稳定性影响很大,由于十六烷值较大,在发动机的燃烧室内有好的自燃趋势,燃油喷射到高温高压的燃烧室内之后,能够和空气迅速混合成为可燃混合气,并且可以顺利着火燃烧^[2]。实际运转过程中也就不会出现因为自燃性能好而导致的点火困难,或者燃烧不稳定而造成的发动机抖动、功率低等问题。

3 燃用生物柴油的发动机排放特征研究

3.1 生物柴油燃烧下氮氧化物排放特性

发动机燃用生物柴油时的氮氧化物排放,具有不同于传统燃油排放的独特特征。生物柴油中含有大量的氧,在生物柴油燃烧过程中存在较大的氧气过剩,导致生物柴油燃烧较为剧烈。在高温高压燃烧情况下,生物柴油容易将空气中游离的氮气与氧气发生反应生成氮氧化物。一方面,生物柴油燃烧速度快,局部高温时间长,有利于氮氧化物的生成。另一方面,生物柴油燃烧过程产生的中间产物及自由基也会起到抑制氮氧化物生成链式反应的作用,例如,当工况为发动机高负荷运转时,燃烧室内温度过高,生物柴油燃烧产生的活性自由基与氮气之间的碰撞强度加大,易使氮氧化物排放在一定程度上有所升高,但部分工况下,如部分中、低负荷工况,其氮氧化物排放增加趋势与传统燃料不一定相同。决定上述问题的原因在于不同工况下所形成的混合气,其密

度大小以及发动机的燃烧组织不同。

3.2 生物柴油燃烧中颗粒物排放特征分析

发动机燃用生物柴油的排放颗粒物具有明显的特性。生物柴油主要是碳、氢、氧元素组成,燃烧后基本上是完全燃烧,而且一般的燃爆过程中在正常情况下生物柴油产生颗粒物的数量是比较少的。因为生物柴油含有氧,燃烧后的碳颗粒、一级颗粒物就少。但是在现实工作中,使用生物柴油燃烧所产生的颗粒物成分和粒径分布有它们特殊的属性。其可溶性有机物的含量要大,因为生物柴油分子结构经燃烧后的部分分解及重排所形成的产物,而粒径大小分布不受喷油时刻、喷油压力、发动机转速和负荷变化影响,所以颗粒物排放情况不一样。当低转速小负荷工作时,即在低温启动或小负荷工作条件下,燃烧室温度不高,故生物柴油不易达到着火温度,易发生缺氧燃烧或雾化不良而导致局部燃烧不充分现象,从而会使排放的颗粒物增多。但其颗粒物成分和形成机理均不同于常规燃油燃爆后产生颗粒物,这也是对发动机后处理技术改进提供新的切入点。

3.3 生物柴油对碳氢化合物排放影响的特征分析

发动机使用生物柴油时,碳氢化合物的排放表现为一种与众不同的形式。生物柴油自身的理化性质,决定了其在燃烧过程中相对于传统燃料有着不同的挥发性、扩散性。因而,会在发动机的进气冲程及压缩冲程内,喷雾状态及与空气混合的均匀性导致碳氢化合物的排放不充分,造成未燃碳氢化合物的排放量加大。同时,由于生物柴油本身的黏度较大,燃烧后其形成的喷雾粒子尺寸较大,分布较宽,在接近壁面等位置易形成较浓的混合气团,使这部分区域容易出现燃烧不完全的情况,最终产生较多的碳氢化合物的排放^[3]。

而在燃烧过程中,生物柴油分子内的碳碳双键以及类似的化学结构均会在热解、氧化的过程中生成相应的中间产物,而中间产物自身的稳定性、反应活性等对碳氢化合物的最终排放量也具有一定影响。在发动机怠速、急减速等工作状态下,燃烧室内气流运动较弱,在此种条件下燃烧完后的剩余物和燃烧未反应的中间产物,可以被彻底氧化,进而导致了碳氢化合物的大量排放。但相对于一些传统高碳燃料而言,在合理的燃烧情况下,使用生物柴油对于碳氢化合物的排放量仍然有一定的优势,并且能通过使用先进的燃烧控制技术,实现碳氢化合物排放的降低,从而减少对环境的污染。

3.4 生物柴油对一氧化碳排放影响的特征分析

发动机燃用生物柴油时,一氧化碳排放具有自身的特性。一方面由于生物柴油具有含氧的特点,在燃烧时供给了充足的氧气,可促进燃料完全燃烧,减少一氧化碳的生成。另一方面,如正常燃烧,则有足够的氧气将碳氢化合物完全氧化成二氧化碳和水,而不是生成一氧化碳。而在实际工作中的各种原因导致的缺氧,将导致发动机一氧化碳排放的产生,在发动机冷启动工况下,低温造成生物柴油雾化不良,燃烧速率慢,存在一定的缺氧区,一些燃料未充分燃烧即被

排出,因而也有一氧化碳的排放。同时当发动机加载瞬变以及燃烧室混合气形成不良等情况时,生物柴油也无法完全燃烧,依然会有一氧化碳的排放。但从总体来讲,与化石燃料相比,在大多数工况下,生物柴油的一氧化碳排放量更低,而且它的含氧优势有助于提高燃烧的完善程度,可以起到降低发动机一氧化碳的排放,这对减少汽车尾气中有害气体、改善空气质量有十分重要的意义。

4 优化混合式学习模式在高校英语口语教学中应用的策略

4.1 优化燃油喷射系统

为了提高燃用生物柴油发动机的工作性能,在对燃油喷射系统实施改进是有效方法之一。由于燃油的物理特性与传统化石燃料的差异较大,决定了燃油喷射系统中喷油压力、喷油时刻、喷油持续时间的设置均与前者有所不同。例如,利用燃油的黏度较高这一特点,增加喷油压力,使燃油雾化更加均匀细密,充分混入空气,进而促进燃油的燃烧效率。利用精度的控制喷油时刻,使其与发动机活塞的运动以及燃烧室的气流运动较好地结合,可使得燃料和空气的最佳配比时刻,出现在燃油供给过程中,较好地形成最佳的混合气浓度分布,避免出现局部过浓或者过稀的问题,可降低不完全燃烧的可能性,提高了动力性和经济性。进而减少了有害物的排放量,从而达到综合性能最好的状态。

4.2 改进进气系统与增压技术应用

优化进气系统及正确运用增压技术对燃用生物柴油发动机的性能改善至关重要。要使生物柴油在发动机内充分燃烧,必须有足够的氧气供应,在此基础上可通过优化进气通道形状、大小等方法来减小进气阻力、增加进气量和进气流速,使得更多的空气被引入燃烧室内,参与燃烧反应。利用增压技术,即使用涡轮增压或机械增压均可,是增强生物柴油燃烧的一个较好办法,对于高负荷工况下的燃烧尤为显著,因为它可以使燃烧室内的空气密度得到较大提升,进而使生物柴油与空气之间的混合比进一步提高,更加有利于燃料完全燃烧,从而提高了发动机的功率输出,减少缺氧燃烧产生的不完全燃烧产物。对于发动机热效率和排放性能都具有良好的作用,增强了发动机在各种工况下的适应性和稳定性。

4.3 燃烧室形状与气流组织优化

燃烧室形状及气流组织优化能够有效提高燃用生物柴油发动机的性能,合理的燃烧室结构可以使气流在燃烧室内

形成较好的涡流、湍流运动,来促进生物柴油喷雾与空气的均匀混合。如,使用特殊形状的半球形、楔形等燃烧室壁面,结合合适的进气涡流,则可以在压缩行程时让空气按照一定规律进行旋转,在燃油喷入之后,马上就把燃油包裹起来分散开,加快混合气的生成以及燃烧速度。燃烧室内气流通道和排气口的位置,都要经过优化设计,使燃烧后的废气能顺利被排出,不能出现积余在燃烧室内影响燃烧的情况发生,保证燃烧效果,降低排放污染,以达到改善发动机动力性与环保性的目的。

4.4 发动机控制策略与参数匹配优化

优化发动机控制策略和匹配相关参数可以更好地发挥燃用生物柴油发动机的优点,改进控制算法及配套参数匹配是必要的。按照燃烧特性,针对发动机启动、怠速、加速、巡航、减速等不同类型的工作状况,分别调整燃油喷射量、喷油时刻、进气量、点火提前角等参数,然后利用传感器持续采集发动机转速、负荷、冷却液温度、进气温度等,将其反馈给控制器,根据采集到的数据不断修正发动机工作参数,使得生物柴油的燃烧始终在最佳状态下进行。并使发动机各部件之间匹配合理,燃油系统与进气系统相互配合、点火系统与燃烧过程相协调,最终达到生物柴油利用率的最大化,满足各种环境下的动力需要与排放要求的目的

5 结语

本文深入探究燃用生物柴油的发动机燃烧与排放特征,明确其燃烧特性受含氧、十六烷值等因素影响,排放方面氮氧化物、颗粒物、碳氢化合物及一氧化碳各有独特变化规律。所提优化策略从燃油喷射、进气增压、燃烧室设计到控制策略参数匹配多维度提升发动机性能并降低排放。展望未来,可进一步研究生物柴油与其他燃料的混合燃烧特性及优化,探索更精准的排放控制技术,结合新型材料改进发动机部件以适应生物柴油。生物柴油这一可能的替代燃料收到了各界的广泛关注,中国相关行业也历经了一段辉煌的发展,对于生物柴油制造生产、市场应用、环保排放等各方面都有待深入研究。

参考文献

- [1] 杨通云,刘学渊.柴油机燃用生物柴油排放颗粒物的微观特征研究现状及展望[J].经济技术协作信息, 2024(1):0268-0270.
- [2] 刘庆.乙醇/加氢催化生物柴油喷雾燃烧及碳烟生成研究[D].江苏大学,2023.
- [3] 崔敏,刘劲毅,侯筱筱,等.生物柴油机械碳基化合物排放特征及环境效应研究[J].实验技术与管理, 2024, 41(11):52-57.