

基于新能源燃料特性的辅助发电动力设备设计研究

姜敏慧, 孟凯宁, 舒昀激
(西华大学, 成都 610039)

摘要: **目的** 为缓解能源短缺与环境污染双重危机, 设计一款基于植物油基微乳化燃料、适合多场景应用的辅助发电动力设备。**方法** 通过热力学燃烧定律与能量转换定律分析植物油基微乳化燃料的发动机台架试验数据, 并总结其燃烧特性与潜在问题; 针对上述特性与问题设计一款可有效将该燃料化学能转化为机械能的辅助发电动力设备。**结果** 植物油基微乳化燃料的“微爆效应”与燃烧过程中分解自身氧的特性都对燃烧过程具有促进效果, 作为替代燃料可行性较强, 针对其冷启动困难、易积碳等问题, 可通过设置提前预热结构优化其喷雾质量, 达到从结构上解决上述问题并能有效提供动力的目的, 将其与发电机结合形成的生态发电系统能够解决野外露营、工厂停电等特殊情况下的短期供电问题。**结论** 在保证动力输出与生态性的前提下提出的动力设备设计方法, 有针对性地解决了植物油基微乳化燃料在应用过程中所出现的问题, 也为特殊情况下解决短期供电问题提供了有效参考。

关键词: 新能源燃料特性; 燃料燃烧实验测试; 生态设计; 动力设备; 工业设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)04-0413-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.04.052

Design and Research of Auxiliary Power Generation Equipment Based on New Energy Fuel Characteristics

JIANG Min-hui, MENG Kai-ning, SHU Yun-wei
(Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT: The work aims to design a kind of auxiliary power generation equipment based on plant oil-based microemulsified fuel and multi-scene application, in order to alleviate the double crisis of energy shortage and environmental pollution. The engine bench test data of plant oil-based microemulsified fuel were analyzed by thermodynamic combustion law and energy conversion law, and the combustion characteristics and potential problems were summarized. According to the above characteristics and problems, the auxiliary power generation equipment which could effectively transform the chemical energy of the fuel to mechanical energy was designed. The "microburst effect" of plant oil-based microemulsified fuel and the characteristics of oxygen decomposition during combustion both promoted the combustion process, so the feasibility of it as an alternative fuel was stronger. For the problems such as cold start difficulty and carbon deposition, the preheating structure was set to optimize the spray quality to achieve the purpose of relieving the above problems from the structure and effectively providing power. The ecological power generation system formed by combining it with the generator could solve the problem of short-term power supply in special situations such as camping in the wild and power failure in the factory. On the premise of ensuring power output and ecology, the design method of power equipment can alleviate the problems in the application process of plant oil-based microemulsified fuel, and also provide an effective reference for solving the short-term power supply problem in special situations.

KEY WORDS: new energy fuel characteristics; fuel combustion test; ecological design; power equipment; industrial design

收稿日期: 2022-10-26

基金项目: 四川省教育厅人文社会科学重点研究基地 (ZDQ2022-16); 四川省哲学社会科学重点研究基地 (SR22A07); 四川省社会科学重点研究基地 (LY22-36); 四川省社会科学重点研究基地 (YZWH2203); 四川省社会科学重点研究基地 (XJLL2022012); 四川省哲学社会科学重点研究基地 (2022QXYB003)

作者简介: 姜敏慧 (1996—), 女, 硕士生, 主攻工业设计。

通信作者: 孟凯宁 (1977—), 男, 教授, 主要研究方向为工业设计、生态设计、产品设计创新方法与应用等。

世界经济的现代化发展与人类广泛地应用化石能源有密不可分的联系,而工业高度发展所带来的负面影响也是显而易见的——资源短缺、环境污染、生态破坏,这些都会直接且显著地影响生态系统和人类正常的生产生活。国务院早在2014年就发布了《能源发展战略行动计划(2014-2020年)》,包括坚持立足国内、将国内供应作为保障能源安全的主渠道且着力优化能源结构、将发展清洁低碳能源作为调整能源结构的主攻方向。党的十八大以来,我国在国家治理方面愈加重视出台应对气候变化的政策或措施,对碳排放强度的削减幅度也在不断提高,致力于从多方面推动经济社会发展全面绿色转型^[1]。因此,以生态设计理念为基础研究基于新能源燃料特性的多场景应用辅助发电动力设备既能助力碳达峰碳中和目标的实现,也符合我国向节能型社会转化的基本国情,更体现了深远的社会意义和战略意义。

1 研究背景

在当代工业文明社会,化石能源仍是经济发展和进步的最大动力。国家统计局统计数据显示,2019年化石能源仍处于我国能源消费结构的主导地位,占全国能源消费总量的比重为84.7%^[2]。同时,我国作为世界上最大的制造业国家,也是世界上最大的石油进口国,近年来对外的石油依存度都保持在70%左右。工业消耗能源所带来的问题除了枯竭隐患之外,污染问题也逐渐显现,其排放出的有害物加重了对环境和人体健康的危害,其中最主要的就是废水污染、废气污染与废渣污染。在能源危机与生态污染的双重威胁下,越来越多的设计学者和科研人员立足设计领域直面全球工业化进程中出现的物质资源浪费与环境生态破坏问题,致力于探索与开发新的替代能源^[3]。研究人员一方面开发节能环保且可再生的清洁能源,如风能、生物能、潮汐能等^[4],另一方面通过改变机械结构实现对上述能量的应用,以达到节约资源与降低污染的目的^[5]。在寻找清洁能源的过程中,有研究发现植物油不仅可再生、来源广泛^[6],而且其成分特性可使燃烧后排出的有害污染物大大减少,是天然的环境友好型燃料。在石油危机严重、农业发达的国家,将植物油作为替代燃料能够在很大程度上缓解经济发展所带来的能源危机,因此它被认为是具有潜力替代化石能源的代用燃料之一。

2 植物油基微乳化燃料与生态发电装置

2.1 植物油基微乳化燃料

植物油被认为是可替代化石燃料的潜在能源,不仅是因为它具有与柴油相当的特性,也因为它具有较高的十六烷值和闪点、更优良的抗爆性能、运输与储藏安全且便捷,而且它几乎不含硫和易造成环境污染

的芳香族环烃^[7]。早在二战时期,日本等其他国家就已经将桐油等一些植物油偶尔应用在内燃机上。虽然它是一种可再生绿色能源,但其黏度高、挥发性差等特性,在柴油机中燃烧时会显现燃烧室积碳、燃烧不完全等问题,这也导致它难以被直接用作柴油机的替代燃料^[8]。为解决此类问题,研究人员通常采用物理方法或化学方法改善其理化特性,使其能够满足柴油机的应用条件。在众多降低植物油黏度的技术中微乳化是一种经济且有效的方法,因为它易操作、成本低,能够以较低的经济投入达到有效降低植物油的黏度、改善其雾化质量与燃烧状况的目的^[9]。微乳化的核心是在微乳化剂的作用下将乙醇与植物油混合配制成微乳化液,此法能有效降低植物油的黏度。在此类油包水型(W/O)乳化液中,水的沸点低于油,随着环境温度的升高,水先沸腾,体积瞬间增大会形成一次极小的爆炸^[10]。当燃烧持续进行,水蒸气的压力继续增加会将油滴分子分成更细小的液滴,即产生“二次雾化”,更加增大了燃料与空气的接触面积,原理如图1所示,这种微爆可以提高燃烧效率并且减少废气排放。

植物油基微乳化燃料的应用价值如表1所示,首先,它的应用丰富了能源结构,为缓解化石燃料能源危机发挥了一定的作用,且我国植被物种丰富,植物

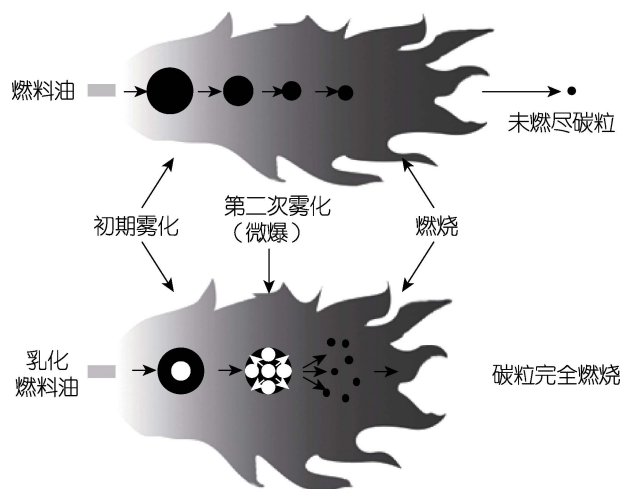


图1 微爆原理图

Fig.1 Schematic diagram of microburst

表1 植物油基微乳化燃料应用价值
Tab.1 Application value of plant oil-based microemulsified fuel

价值	详述
节约能源	丰富能源结构,属清洁能源且能缓解化石燃料能源危机
保护环境	有利于燃烧完全,降低尾气中碳氢化合物、一氧化碳及颗粒物的含量
调整产业结构	增加油料作物种植面积,以提供原材料、减少水土流失、缓解荒漠化

油种类多样, 为微乳化燃料的发展提供了坚实、有力的物质保障。其次, 植物油中不含硫与芳香烃, 排放物中无致癌物质, 也降低了诱发酸雨的可能性, 且它自身含氧, 可使燃烧更加充分, 进而降低了排放物中碳氢化合物、一氧化碳及颗粒物的含量, 对环境友好。最后, 它的应用可增加油料作物的种植面积, 有利于缓解土地荒漠化、减少水土流失、调整产业结构。

2.2 生态发电装置

电能是现代工农业生产、科学研究和人民生活等领域中广泛应用的主要能源之一, 其具有便于传输、利用率高、转换方式多样, 在通信、雷达、计算机等领域不可或缺等优势。目前占比最大的火力发电方式所产生的粉尘、二氧化硫、氮氧化物、粉煤灰等物质对环境的污染最大^[11]。因此, 探索生态发电方式也成为了时代课题, 除了可以应用水力、风力、核能、太阳能、生物能等清洁能源之外, 也可采用复合发电装置^[12], 如柴油机+光伏混合动力发电系统, 可利用太阳能辅助发电; 高温燃料电池-发动机混合发电, 将二者耦合组成联合发电设备, 可达到能量梯级利用的目的; 燃煤耦合垃圾发电, 有助于节约化石能源, 同时提高垃圾能源化利用效率^[13]。以上几类都是大型发电装置, 适用于城市区域性供电, 对于小范围短时供电的情况, 有研究表明可将自行车动力作为动力源^[14], 通过链条与齿轮间的摩擦、车轮转动时轮胎的摩擦或是利用骑行时后轮的转动带动发电花鼓产生电能。但这几种方式的缺点也比较明显, 如摩擦力带来的阻力对零件损耗较大、接触面遇水、油、泥时打滑会影响发电稳定性、发电方式的转化效率等。因此, 希望设计出燃烧植物油基微乳化燃料的辅助发电动力设备并将其与发电机结合组成生态发电系统, 以达到提供稳定动力输出、提高发电效率、拓宽应用范围的目的。

3 植物油基微乳化燃料的燃烧特性研究

首先介绍了实验所用植物油基微乳化燃料的制备方式, 并测定、分析了各原料及微乳化燃料的主要理化性质, 其次介绍了实验条件、设备参数与设备连接方式以及喷射策略, 最后, 通过实验中的动态测试系统所测数据与应用热力学燃烧定律、能量转换定律所得计算公式, 得出不同种类燃料在不同发动机转速和不同负荷下的滞燃期、燃烧压力以及瞬时放热率变化图像, 对比得到植物油基微乳化燃料的燃烧特性。

3.1 植物油基微乳化燃料的制备

以柴油与棕榈油的混合液为基础油, 在乳化剂(油酸与正丁醇体积比按 8:2 配置)的作用下将基础油与乙醇混合制备油包水型微乳化燃料^[15]。试验所用试剂包括无水乙醇、油酸、正丁醇, 试验中所用实

验仪器包括试管、滴管、烧杯及量筒等。

在 20℃ 室温下, 将棕榈油与柴油混合制成两种体积比的基础油, 分别是 3:7 与 5:5, 简称 PD30 和 PD50。将 PD30 与 PD50 分别与乙醇按体积比 9:1、7:3 制备两组混合燃料。在配置时, 向油桶中逐渐加入微乳化剂, 并振荡油桶, 直至溶液由浑浊逐渐变为澄清透明, 最后, 将配置好的燃料静置一周, 若不发生分层现象即可用作实验使用。各原料及不同配比燃料的理化特性如表 2 所示, 其中乳化剂用量为配置 45 ml 混合燃料的用量。

表 2 各原料及微乳化燃料的主要理化性质
Tab.2 Main physicochemical properties of each raw material and microemulsified fuel

项目	密度 /(g/mL)	低热值 /(kJ/g)	运动黏度 /(mm ² /s)	理论 空燃比	乳化剂 用量 /mL
柴油	0.83	43.12	4.163 8	14.45	—
棕榈油	0.931	38.29	98.556	12.35	—
乙醇	0.789	27.01	1.1	9.07	—
油酸	0.891	38.01	33.6	12.58	—
正丁醇	0.809	33.15	3.6	11.28	—
PD30	0.850	40.394	10.276	13.930 15	0
PD30E10	0.843	38.42	8.213	13.494 6	2.2
PD30E30	0.83	36.91	7.258	12.576 19	5.6
PD50E10	0.867	38.71	13.752	13.018 15	0
PD50E30	0.849	36.07	9.970 2	12.213 01	5.2

3.2 实验条件与设备

植物油基微乳化燃料的燃烧测试在一台直列、六缸 CRDI 柴油机上进行, 配套的是电磁阀控制、喷射压力高达 160 MPa 的喷油器, 其具体参数如表 3 所示。该柴油机在不同负荷下的喷射策略为: 中、小负荷下采用预喷射与主喷射相结合的两阶段喷射策略, 大负荷下仅采用主喷射的单一喷射策略(如图 2 所示)。实验采用动态测试系统, 在六缸发动机的第一个气缸上安装压电式压力传感器, 缸内的压力经过电荷放大器传输到数据采集系统中的 KiBox 燃烧分析仪, 尾气采用 AVL DISMOKE 4000 不透光烟度计和 AVL DIGAS 4000 尾气分析仪进行收集, 可测出尾气中的烟度、一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物含量, 表 4 为主要的实验设备信息, 实验设备连接图如图 3 所示。

3.3 实验数据处理

本次实验的目的是研究植物油基微乳化燃料的燃烧特性, 因此需要采集的数据主要有滞燃期、缸内压力和瞬时放热率。滞燃期是指主喷时刻喷油始点与燃烧始点之间的曲轴转角, 是评价燃烧过程好坏的重要指标, 其数据信息由曲轴转角适配器传递给数据采

表3 发动机参数
Tab.3 Parameters of engine

项目	内容
型号	YC6G270-30
形式	直列、水冷、四冲程、共轨、直喷
缸数-缸径×冲程	6~112 mm×132 mm
压缩比	17.5 : 1
排量	7.8 L
吸气方式	增压中冷
额定功率	199 kW
额定转速	2 200 r/min
最大扭矩	1 080 N·m
最大扭矩转速	1 400~1 600 r/min
喷油泵	G6000-1111100
喷油器	LRB T203 11B
增压器	GT37
进气提前角	13.5 °CA
进气迟闭角	38.5 °CA
排气提前角	56.5 °CA
排气迟闭角	11.5 °CA

集系统进行分析。缸内压力变化能够反映燃料雾化质量和燃烧状况，缸压信号由压电式压力传感器采集并输送给电荷放大器，然后由 12 位的数模转换器把信号转换成微数字信号，燃烧分析仪会对微数字信号进行接收、分析和计算。瞬时放热率是发动机工作过程中单位曲轴转角内燃料燃烧所释放的能量，其图形能够更直观地反映不同燃油在缸内燃烧的特征，因此不同微乳化燃料在柴油机中的放热规律计算为研究其

工作过程、性能特征提供了一种有效的研究方法。其计算方法推导过程如下：

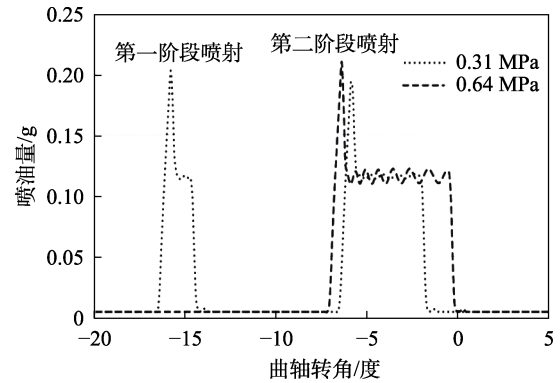


图2 发动机喷射策略图
Fig.2 Diagram of engine injection strategy

表4 实验设备
Tab.4 Experimental equipment

测量项目	仪器名称	型号	生产厂家
扭矩	电涡流测功机	CW260	洛阳南峰
上止点	曲轴转角适配器	2619	Kistler
信号	压电式压力传感器	6052A	Kistler
压力信号	电荷放大器	5019B	Kistler
	燃烧分析仪	KiBox	Kistler
烟度	不透光烟度计	AVL DISMOKE 4000	奥地利 AVL 公司
CO、HC、NOx	尾气分析仪	AVL DIGAS 4000	奥地利 AVL 公司
油耗	电子秤	—	—

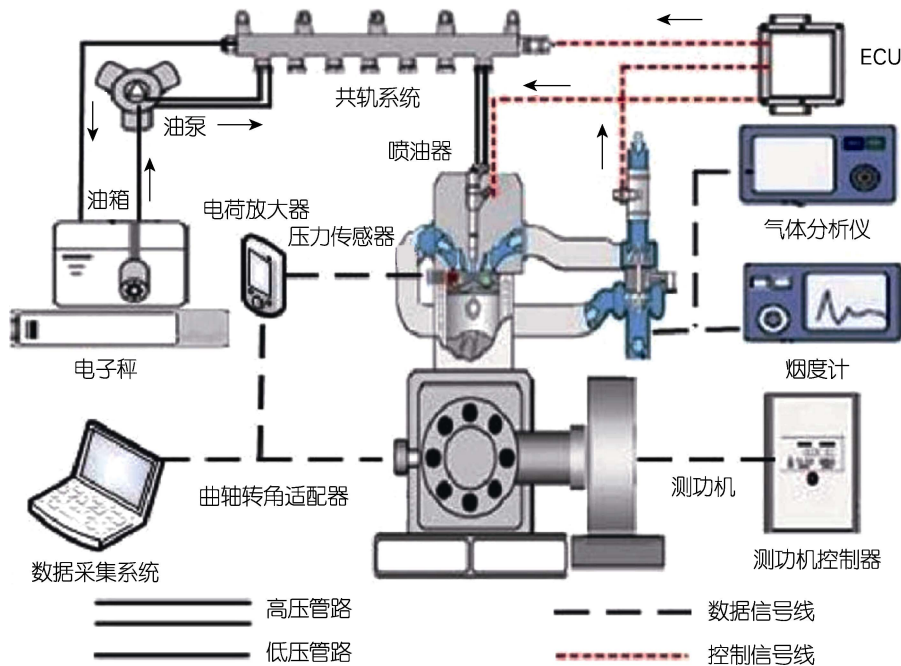


图3 实验设备连接图
Fig.3 Experimental equipment connection diagram

由实际的示功图出发, 根据热力学第一定律与能量转换定律计算得出放热规律。基本假设如下:

1) 将燃烧室内视为温度均匀分布且周围零件的温度是均匀常温的。

2) 将缸内的散热过程视为稳定状态的对流换热过程, 并用对流换热公式进行计算, 燃烧室内的辐射传热和燃油的蒸发吸热等热交换过程都放在传热系数中统一进行考虑。

3) 将工质视为理想气体, 其变化服从状态方程式。

4) 忽略燃料本身的焓值。

5) 将缸内压缩与燃烧过程视为无工质泄漏即完全封闭的状态。

6) 燃料完全燃烧, 仅排放完全燃烧产物和剩余的 O_2 与 N_2 , 不考虑燃油高温裂解反应。

根据热力学第一定律能量守恒方程:

$$\frac{dQ_B}{d\phi} = \frac{dW}{d\phi} + \frac{dQ_\omega}{d\phi} + \frac{dU}{d\phi} \quad (1)$$

式中: Q_B 是瞬时代热量; W 是工质对外做功量; Q_ω 是气缸周壁的瞬时传热量; U 是气缸内瞬时内能。

根据燃料化学能转变为热能的观点:

$$\frac{dQ_B}{d\phi} = H_u m_{B0} \eta_u \frac{dX}{d\phi} \quad (2)$$

式中: H_u 是燃料的低热值; m_{B0} 是发动机每循环供油量; η_u 是燃烧效率, 一般取 1; X 是燃料燃烧的累积放热百分比。

发动机内工质做的功:

$$\frac{dW}{d\phi} = p \frac{dV}{d\phi} \quad (3)$$

气缸瞬时容积及其随曲轴转角的变化率:

$$V = \frac{V_h}{2} \left[\frac{2}{\varepsilon - 1} + 1 - \cos \phi + \frac{1}{\lambda_s} \left(1 - \sqrt{1 - \lambda_s^2 \sin^2 \phi} \right) \right] \quad (4)$$

$$\frac{dV}{d\phi} = \frac{V_h}{2} \left[\sin \phi + \lambda_s \frac{\sin \phi \cos \phi}{\sqrt{1 - \lambda_s^2 \sin^2 \phi}} \right] \quad (5)$$

式中: V_h 是气缸工作容积; ε 是发动机压缩比; λ_s 是曲柄连杆比。

气缸周壁的瞬时传热量:

$$\frac{dQ_\omega}{d\phi} = \frac{1}{6n} \sum_{i=1}^3 a A_i (T - T_{wi}) \quad (6)$$

$$a = 820 d^{-0.2} p^{0.8} T^{-0.53} \left[C_1 C_m + C_2 \frac{V_h T_a}{p_a V_a} (p - p_0) \right]^{0.8} \quad (7)$$

式中: a 是瞬时平均换热系数; A_i 是换热面积; T 是气缸内工质瞬时温度; T_{wi} 是壁面平均温度; n 是发动机转速。

气缸内工质的内能为:

$$\frac{dU}{d\phi} = m \frac{du}{d\phi} + u \frac{dm}{d\phi} \quad (8)$$

$$\frac{dm}{d\phi} = \frac{1}{H_u} \frac{dQ_B}{d\phi} \quad (9)$$

$$\frac{du}{d\phi} = \frac{\partial u}{\partial T} \frac{dT}{d\phi} + \frac{\partial u}{\partial a_\phi} \frac{da_\phi}{d\phi} \quad (10)$$

式中: U 是工质总内能; u 是单位质量工质的内能; m 是工质的质量; a_ϕ 是广义过量空气系数。

若忽略 a_ϕ 对 u 的影响, $\frac{\partial u}{\partial T} = C_v$, 则

$$\frac{du}{d\phi} = C_v \frac{dT}{d\phi} \quad (11)$$

$$u = 0.1445 \left[- \left(0.0975 + \frac{0.0485}{a_\phi^{0.75}} \right) (T - 273)^3 \times 10^{-6} + \left(7.768 + \frac{3.36}{a_\phi^{0.8}} \right) (T - 273)^2 + \left(489.6 + \frac{46.4}{a_\phi^{0.93}} \right) (T - 273) \times 10^{-2} + \frac{46.9}{a_\phi} + 1356.8 \right] \quad (12)$$

$$C_v = 0.1445 \left[-3 \times \left(0.0975 + \frac{0.0485}{a_\phi^{0.75}} \right) (T - 273)^2 \times 10^{-6} + 2 \times \left(7.768 + \frac{3.36}{a_\phi^{0.8}} \right) (T - 273) \times 10^{-4} + \left(489.6 + \frac{46.4}{a_\phi^{0.93}} \right) \times 10^{-2} \right] \quad (13)$$

$$\frac{dT}{d\phi} = \frac{d \left(\frac{pV}{mR} \right)}{d\phi} = \frac{1}{mR} \left(p \frac{dV}{d\phi} + V \frac{dp}{d\phi} \right) - \frac{T}{m} \frac{dm}{d\phi} \quad (14)$$

则放热率为:

$$\frac{dQ_B}{d\phi} = \frac{p \frac{dV}{d\phi} + \frac{dQ_\omega}{d\phi} + \frac{1}{R} C_v \left(p \frac{dV}{d\phi} + V \frac{dp}{d\phi} \right)}{1 - \frac{1}{H_u} (u - C_v T)} \quad (15)$$

3.4 燃烧特性总结

本实验在两阶段喷射控制策略下, 研究了各燃油在不同转速负荷下的燃烧特性, 对滞燃期、燃烧压力以及瞬时代热率进行对比分析。综上, 将实验所得数据绘制成如图 4—8 所示的柱状图与带平滑线的散点图。

3.4.1 滞燃期

如图 4 所示, 微乳化燃料十六烷值低于柴油, 使其相较于柴油具有更长的滞燃期。在相同负荷下转速升高导致滞燃期延长, 因为微乳化燃料存在密度大、黏度大的问题, 且乙醇具有的冷效应会降低缸内温度, 虽然转速增加会改善缸内热力状况, 但也会增加缸内喷油量, 所以整体呈现滞燃期延长的结果。相同转速下负荷增大导致缸内循环供油量增加, 改善了缸

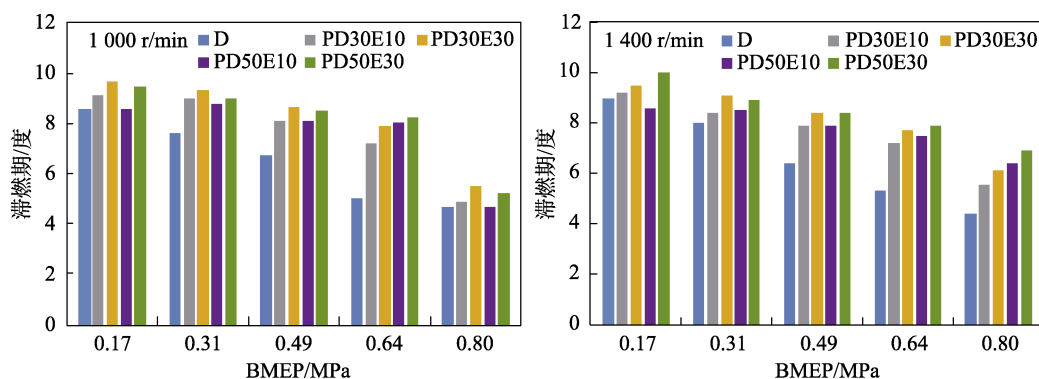


图4 转速为1000 r/min和1400 r/min时的滞燃期

Fig.4 Ignition retardation period at the speed of 1000 r/min and 1400 r/min

内热力状况,优化了燃料的雾化质量,因此呈现滞燃期缩短的结果。

3.4.2 缸内压力

如图5—6所示,中、小负荷下的缸内压力总体低于大负荷下的缸内压力,采用的主喷射和预喷射相结合的喷射策略使缸内压力曲线在上止点前出现凸起,因为在负荷较小时发动机的缸内温度较低、热力状况差,微乳化燃料黏度大且乙醇具有冷效应,造成燃料在缸内雾化质量和燃烧状况都较差,这也导致随着棕榈油和乙醇占比的增加,凸起逐渐减小。PD50组实验燃料呈现出的缸内压力峰值这一指标基本高于PD30组实验燃料,这是因为随着棕榈油与乙醇在

微乳化燃料中含量的增加,提高了燃油总的含氧量,加剧了“微爆效应”的发生,对燃烧过程起到促进作用。大负荷下缸内压力更高主要是因为此阶段只有主喷射,加强了燃料的湍流强度,优化了雾化质量,进而改善了缸内热力状态。

3.4.3 瞬时放热率

如图7—8所示,瞬时放热率曲线出现两个波峰是由于采用了主喷射与预喷射相结合的二次喷射策略。预喷射阶段柴油的瞬时放热率峰值均高于微乳化燃料的峰值,是因为小负荷时缸内温度较低,且柴油黏度更小,因此雾化质量与燃烧状况均优于微乳化燃料。主喷射阶段微乳化燃料的瞬时放热率峰值均高于

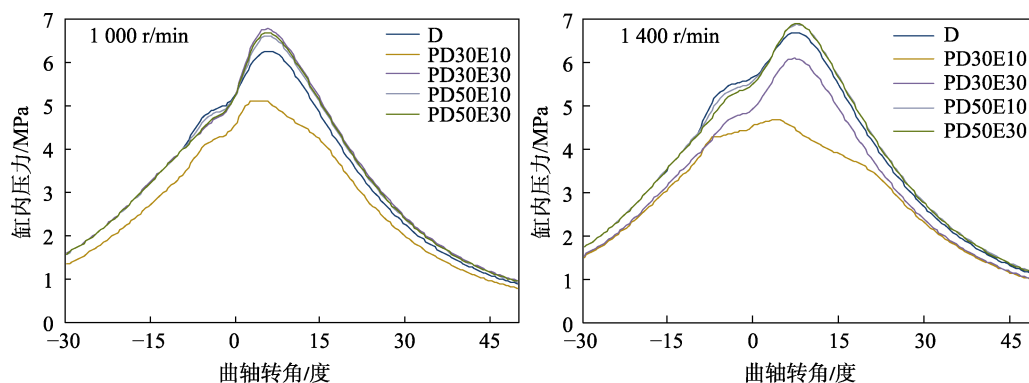


图5 中、小负荷下的缸内压力曲线

Fig.5 Cylinder pressure curves under medium and small loads

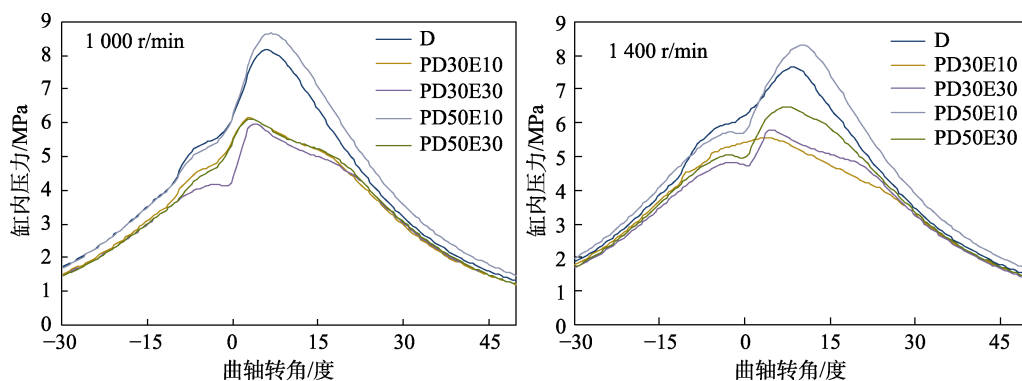


图6 大负荷下的缸内压力曲线

Fig.6 Cylinder pressure curve under heavy load

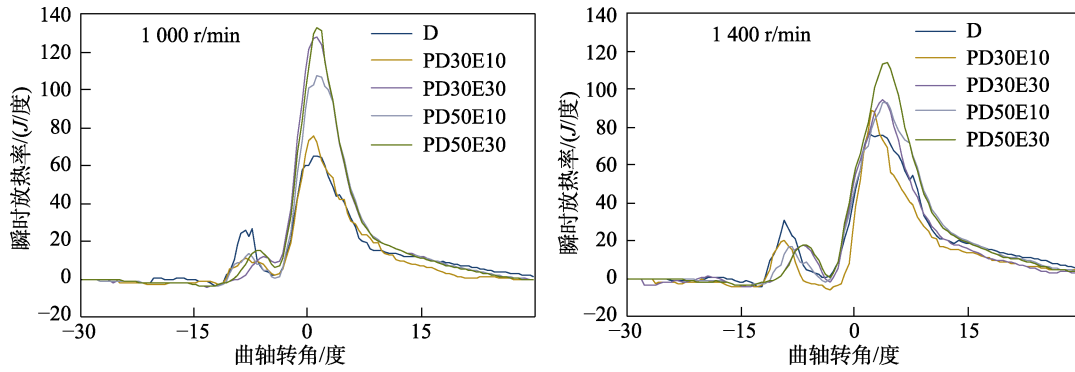


图 7 中、小负荷下的瞬时放热率

Fig.7 Instantaneous heat release rate under medium and small loads

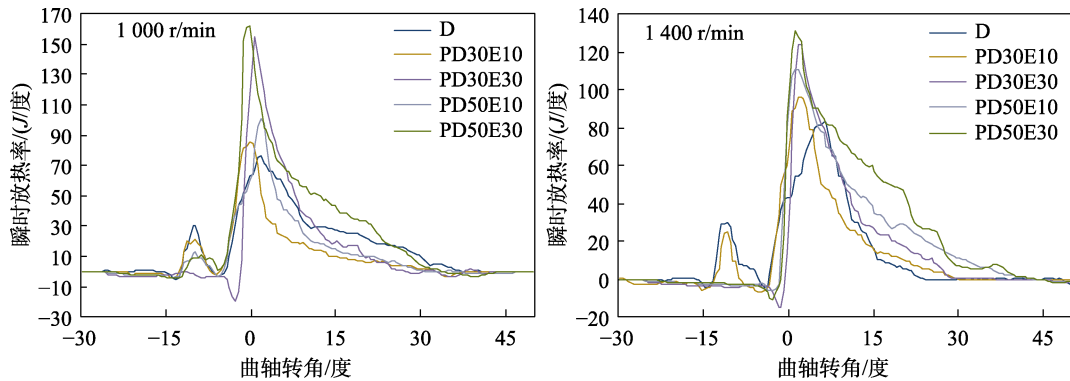


图 8 大负荷下的瞬时放热率

Fig.8 Instantaneous heat release rate under heavy load

柴油的峰值, 且随着棕榈油和乙醇含量的增加而变大, 因为乙醇和棕榈油自身含氧, 且二者结合形成的微爆效应可进一步改善燃料的雾化效果, 虽增长了滞燃期, 但其更好的挥发性形成了更均匀的混合气。

综上所述, 将植物油基微乳化燃料用作柴油的替代燃料可行性较强, 但由于其本身存在冷效应强、黏度大的特性会导致雾化质量与初始热力状况差、冷启动困难的问题, 因此可在喷油系统中设置提前预热结构或增加保温措施, 利用适当提高的温度降低其黏度, 进而优化喷雾质量, 达到改善初始热力状况的目的。在设计基于植物油基微乳化燃料的辅助发电动力设备时, 可借鉴内燃机的工作方式, 其主要工作原理就是接收较低速的启动旋转力带动活塞运动, 直至将燃烧室内可燃混合气压缩至燃烧温度, 即可正常工作并输出高速的旋转运动, 从而带动发电机实现更效率的电转化, 使其不仅可以成为健身房、露天影院等地的小范围环保供电装置, 也可以为工厂等地提供短时供电保障。

三类^[16], 各类特征如表 5 所示。其中实用性最强的车轮带动发电机的发电系统结构组成按功能原理可分为三个部分: 发电模块、充电模块与逆变器。如图 9 所示, 发电模块由自行车、橡胶传送带、发电机组成, 充电模块由对应的控制电路与充电电池组成, 逆变器是指将电池输出的直流电转变为交流电, 以满足供电需求^[17]。系统在工作过程中, 人体内的化学能通过机械做功, 由橡胶传送带将车轮产生的旋转力传递给发

表 5 自行车发电系统分类

Tab.5 Classification of bicycle power generation systems

动力类型	动力来源	特征
摩擦力	链条与齿轮间摩擦	长时间骑行时齿轮摩擦产生的阻力会磨损链条
	轮胎与地面间摩擦	轮胎损耗大, 接触面遇水、油、泥会打滑, 影响发电稳定性
旋转力	车轮带动发电机	实用性强, 但固定式导致应用环境具有局限性

4 基于新能源燃料特性的辅助发电动力设备设计

4.1 辅助发电动力设备设计策略

现有自行车环保发电系统按动力来源主要分为

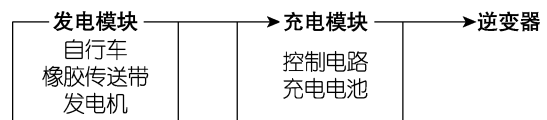


图 9 车轮发电系统模块组成

Fig.9 Wheel power generation system module

电机带动其发电,产生的电能最终储存于充电电池中,由逆变器将电池输出的直流电转换为交流电传递给用电设备,即可实现生态供电的目标。

在设计基于植物油基微乳化燃料的生态发电系统时,可借鉴车轮发电系统的基础结构,但发电模块部分以植物油基微乳化燃料为动力来源,利用辅助发电动力设备带动发电机工作产生电能,如图10所示。其中燃烧植物油基微乳化燃料的辅助发电动力设备的动力输出方式与车轮相似,即通过旋转力带动发电机工作实现发电,其工作原理如图11所示。

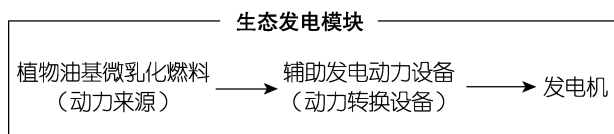


图10 植物油基微乳化燃料的生态发电模块组成

Fig.10 Ecological power generation module of plant oil-based microemulsified fuel

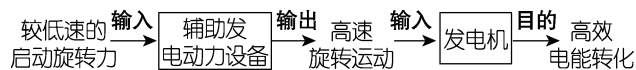


图11 辅助发电动力设备工作原理

Fig.11 Working principle of auxiliary power generation power equipment

在设计燃烧植物油基微乳化燃料的辅助发电动力设备时,综合植物油基微乳化燃料的燃烧特性和设备应用场景需求可得出以下四个设计要点:

1) 喷油预热结构。通过实验可知植物油基微乳化燃料作为动力来源能保证动力输出并且具有极大的生态性,但其冷效应强、黏度大等特性导致其被喷射入燃烧室时雾化质量差。但升高初始温度能够降低其黏度,进而优化喷雾质量、改善初始热力状况。因此,在输油管周围可设置四根加热管并用矩形外壳将其隔离为封闭空间,在打开油路开关时开始升温,最高升至 50°C ,外壳营造的封闭空间有助于其在停止工作之后为输油管保温。

2) 简化启动方式。该设备的启动条件为短时间内输入持续性的旋转动力,可使用手摇式启动方式。在启动时将外接摇把与启动轴端部的槽口结合,用力摇动摇把带动曲轴旋转,曲轴旋转带动活塞在燃烧室内进行往复运动压缩升温,直至燃料与空气组成的可燃混合气开始燃烧,启动完成。在这一过程中,采用手摇式启动方式既可以减小设备体积和重量,使其便于运输与携带,也可以简化结构和操作方式。

3) 工作状态高效稳定。基于植物油基微乳化燃料的辅助发电动力设备在使用时仅需将其放置于通风良好处,开启与关闭方式便捷,启动后通过持续添加新能源燃料即可维持正常工作状态。作为原理类似的生态发电装置系统,该辅助发电动力设备与传统自行车相比具有更小的体积、更少的体能要求,并且壳体与内部结构的连接支架处设有减震装置,能够在工

作时提供更高且更稳定的转速。

4) 设备机身轻量。为便于运输和搬运,选取铝合金作为辅助发电动力设备的主要材料,因其具有重量轻、散热好的特点,虽然与传统内燃机常用的铸铁材质相比吸收震动能力较弱,但外壳与主要功能组件之间设置有缓冲减震结构,因此可以很好地弥补这一缺陷。内部其余小部件采用铸铁、碳钢、橡胶等材料。

4.2 外观结构展示及系统功能模块

该产品外观造型如图12所示,考虑到运输及应用场景等因素,其设计尺寸拟定为 $800\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 450\text{ mm}$ 。其结构展示如图13所示,为更清楚地展示设备结构,除外壳之外的内部主要功能组件结构如图14所示。设备在启动时将外接摇把插入启动端槽口中,当摇把开始转动并带动活塞运动时,储存于油箱内的植物油基微乳化燃料经输油管通过预热装置略升温后由喷油泵喷入燃烧室内,与经过空气滤清器过滤的洁净空气混合为可燃混合气,当燃烧室内的活塞不断进行往复运动直至将可燃混合气压缩至燃烧温度时设备即开始工作,活塞的往复直线运动经内部曲柄连杆机构转换为飞轮的旋转运动,结束设备工作时只需将油门开关关闭(断油),设备即可停止工作。



图12 辅助发电动力设备外观造型图

Fig.12 Appearance molding design of auxiliary power generation equipment

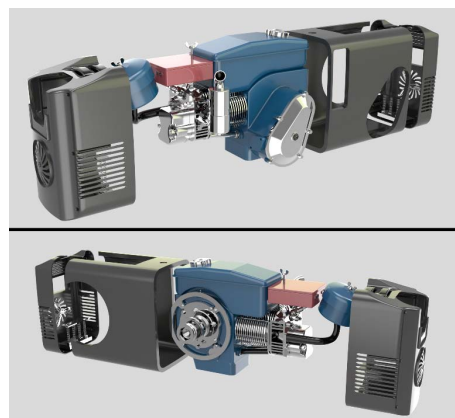
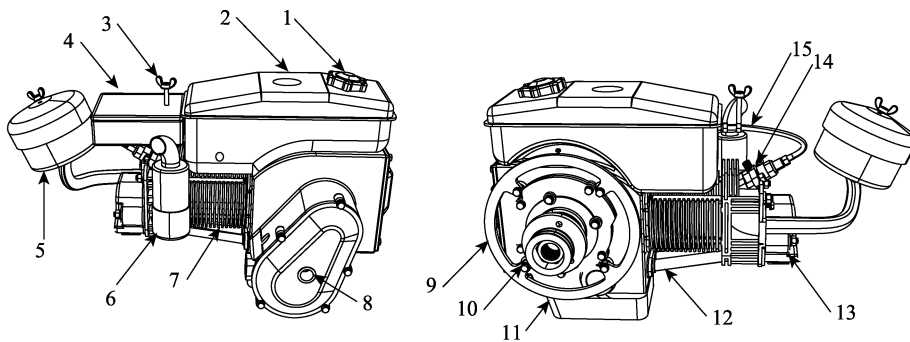


图13 辅助发电动力设备结构展示图

Fig.13 Structure display of auxiliary power generation equipment

以该动力设备为动力来源的生态发电系统总体布置方式如图 15 所示。该系统功能模块如图 16 所示, 主要分为动力输入模块、充电模块和放电模块三部分。当辅助发电动力设备开始工作时, 飞轮的旋转运

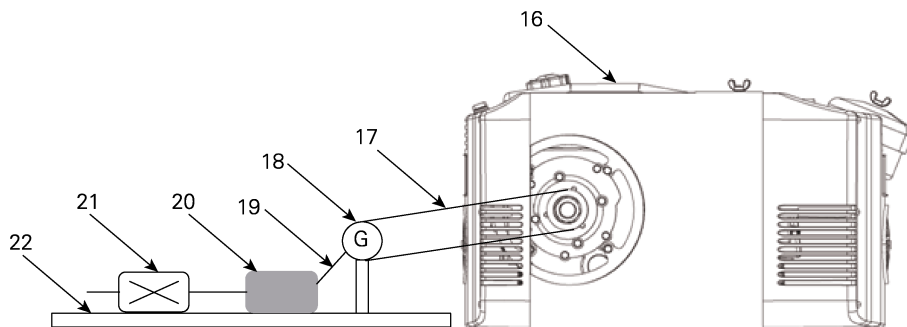
动会通过传送带传递给发电机, 发电机接收旋转力开始运动可实现能量转化, 进而开始发电, 其产生的电能通过充电电路储存于电池中, 电池的直流电通过逆变器转化为交流电提供给用电设备。



1-油箱盖; 2-油箱; 3-油门开关; 4-预热装置; 5-空气滤清器; 6-排气管; 7-燃烧室; 8-启动端槽口; 9-飞轮; 10-传送带连接件; 11-油底壳; 12-气门顶杆; 13-进排气门; 14-喷油泵; 15-输油管。

图 14 辅助发电动力设备结构示意图

Fig.14 Schematic diagram of auxiliary power equipment structure



16-辅助发电动力设备; 17-传送带; 18-发电机; 19-充电电路; 20-电池; 21-逆变器; 22-固定装置

图 15 系统总体连接布置方式结构图

Fig.15 Structural diagram for overall connection layout of system

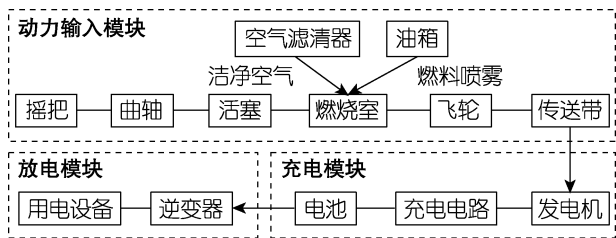


图 16 系统功能模块组成
Fig.16 System function modules

4.3 基于新能源燃料特性的生态发电系统的应用

4.3.1 健身房、露天影院等场合

这类场合的特点是可多系统联合使用、用电需求小, 例如健身房本身的特点决定它可以将健身设备与自行车发电系统相结合, 露天影院的主要用电设备是投影仪, 用电需求较小。因此在这类场合下, 可以选择性地应用原有自行车发电系统或是增加辅助发电动力设备的发电系统, 均可满足使用要求。

4.3.2 野营、户外活动等场合

这类场合的特点是具有稳定且持续的用电需求,

若使用原有自行车发电系统, 对体能消耗与电池容量有一定要求, 因此可以选择采用辅助发电动力设备, 提供稳定的电能输出, 满足野外生存、生活需要。

4.3.3 工厂、教学楼等场合

这类场合的特点是用电设备较多、范围较大, 若出现停电状况, 原有自行车发电系统无法满足其需求, 只有采用辅助发电动力设备才可能提供稳定持久的电能输出。还应根据具体情况进行适当改进, 例如更换效率更高的发电机、容量更大的电池(扩大电能的储存量), 或将多个系统并联同时供电(提高发电量)等。

5 结语

能源枯竭与环境污染问题的出现, 使人们开始思考改变现有的能源利用方式, 以更加生态的方式进行能源转化与生产生活。本文从新能源燃料特性入手, 基于生态设计理念, 结合热力学定律提出辅助发电动力设备设计方法, 并将其与自行车生态发电装置相结合。设计实践结果表明, 该系统能在多种生产生活场

景下有效提供电能保障,有针对性地解决了植物油基微乳化燃料在应用过程中所出现的问题,也为特殊情况下解决短期供电问题提供了有效参考。

参考文献:

- [1] 尚楠, 陈政, 卢治霖, 等. 电力市场、碳市场及绿证市场互动机理及协调机制[J/OL]. 电网技术: 1-13[2022-10-16].
SHANG Nan, CHEN Zheng, LU Zhi-lin, et al. Interaction Mechanism and Coordination Mechanism of Electricity Market, Carbon Market and Green Card Market [J/OL]. Power System Technology: 1-13[2022-10-16].
- [2] 朱婧涵, 杨彬, 韦金萍, 等. 中国化石能源消费的区域差异及影响因素[J]. 中国市场, 2022(23): 1-5.
ZHU Jing-han, YANG Bin, WEI Jin-ping, et al. Regional Differences and Influencing Factors of Fossil Energy Consumption in China[J]. China Market, 2022(23): 1-5.
- [3] 王雪皎. 导视系统设计中的绿色设计理念与方法探究[J]. 包装工程, 2018, 39(14): 44-48.
WANG Xue-jiao. Green Design Concept and Method in the Wayfinding Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(14): 44-48.
- [4] BAI Yun-long, ZHU Qiang, ZHANG Jing-ming, et al. Research on Key Technologies of New Energy Fuel Cell Electric Vehicle[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 804(4): 042030.
- [5] 薛青. 基于低碳设计理念的产品再设计[J]. 包装工程, 2012, 33(16): 81-84.
XUE Qing. The Product re-Design Based on Low-Carbon Design Idea[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(16): 81-84.
- [6] 张丹. 电控高压共轨直喷柴油机燃用桐油—柴油—乙醇微乳化燃料的性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
ZHANG Dan. Performance Study of Electronic Controlled High Pressure CRDI Diesel Engine Fuelled with Tung Oil-diesel-ethanol micro-emulsion[D]. Xi'an: Changan University, 2017.
- [7] 张辉亚. 二甲醚喷雾特性与燃烧过程的实验和数值模拟研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
ZHANG Hui-ya. Experimental and Numerical Study on Spray Characteristics and Combustion Process of Dimethyl Ether[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [8] 高岩飞. 点燃式煤油发动机燃油雾化技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
GAO Yan-fei. Research on Atomization Technology of Kerosene in Spark Ignition Engine[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.
- [9] Huseyin, Sanli. Using Low Viscosity Micro-Emulsification Fuels Composed of Waste Frying Oil-Diesel Fuel-Higher Bio-Alcohols in a Turbocharged-CRDI Diesel Engine[J]. Fuel, 2022, 308: 121966.
- [10] MEHTA R N, BARAD J M, CHAKRABORTY M, et al. A Stability and Performance Study of Ethanol-Diesel Microemulsion Fuel[J]. Petroleum Science and Technology, 2012, 30(2): 159-169.
- [11] RAKOPOULOS C D, KAKARAS E C, KYRITSIS D C, et al. Advanced Combustion and Fuel Technologies for Economical and Environmentally Friendly Power Generation in Engines and Power Plants: Issues and Challenges[J]. Journal of Energy Engineering, 2016, 142(2): 1.
- [12] 闫国华, 闫红丽. 高温燃料电池-发动机混合发电/动力系统研究进展[J]. 山东化工, 2021, 50(13): 52-53.
YAN Guo-hua, YAN Hong-li. Advance on High-Temperature Fuel Cell and Engine Combined System for Power Generation[J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(13): 52-53.
- [13] Yi, Ding. Promoting Energy-Saving and Environmentally Friendly Generation Dispatching Model in China: Phase Development and Case Studies[J]. Energy Policy, 2013, 57: 109-118.
- [14] FLÓREZ J, NÚÑES C, OSMA G, et al. Design of Energy Generation System by Using Spinning Bikes[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2014, 59: 012006.
- [15] 赵汶彬. 柴油机燃用棕榈油—柴油—乙醇微乳化燃料的性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2019.
ZHAO Wen-bin. Performance of Palm Oil-diesel-ethanol Microemulsion Fuel in Diesel Engine[D]. Xi'an: Changan University, 2019.
- [16] 戴娉娉, 陈琦, 杨彦青. 一种易装卸的自行车发电装置的设计[J]. 电子技术与软件工程, 2017(14): 246.
DAI Ping-ping, CHEN Qi, YANG Yan-qing. Design of an Easy-to-Assemble and Disassemble Bicycle Power Generation Device[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2017(14): 246.
- [17] 槐青, 丁画, 吕涵清, 等. 自行车动力发电系统分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2017, 50(1): 81-89.
HUAI Qing, DING Hua, LYU Han-qing, et al. Analysis of Bicycle Powered System[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2017, 50(1): 81-89.

责任编辑: 马梦通