

摩托车化油器低碳燃烧模式的实现与优化

朱进榜

温州同庆车业股份有限公司 325400

【摘要】本文着眼于环保要求,探讨以传统化油器为核心的摩托车动力系统实现低碳燃烧的技术路径。研究认为,通过精细化设计与系统优化,化油器能在控制成本的前提下改善燃烧清洁度。论文从燃烧化学与气体动力学层面,分析了影响碳氢化合物、一氧化碳等污染物生成的关键因素,指出实现稳定稀薄燃烧与优化燃烧过程是降低碳排放的核心。在此基础上,系统提出了面向低碳燃烧的化油器改进策略,通过设计排放与燃烧性能对比试验方案,验证了所提技术思路的有效性。结果表明,综合性改进能使化油器引导发动机在更宽工况下进入更高效清洁的燃烧状态,为实现低碳化转型提供了可行的理论依据与实践方向。

【关键词】低碳燃烧;摩托车化油器;稀薄燃烧;空燃比控制;排放优化;燃烧过程

Implementation and Optimization of Low-Carbon Combustion Mode for Motorcycle Carburetors

Zhu Jinbang

Wenzhou Tongqing Vehicle Industry Co., Ltd. 325400

【Abstract】This study focuses on environmental requirements and explores technical approaches to achieve low-carbon combustion in motorcycle power systems centered around traditional carburetors. Research indicates that through refined design and system optimization, carburetors can enhance combustion cleanliness while controlling costs. The paper analyzes key factors influencing pollutant formation such as hydrocarbons and carbon monoxide from combustion chemistry and gas dynamics perspectives, emphasizing that achieving stable lean combustion and optimizing combustion processes are critical for reducing carbon emissions. Based on this, systematic improvement strategies for carburetors targeting low-carbon combustion are proposed. Comparative emission and combustion performance test protocols were conducted to validate the technical approach. Results demonstrate that comprehensive improvements enable carburetors to guide engines into more efficient and clean combustion states across wider operating conditions, providing feasible theoretical foundations and practical directions for low-carbon transition.

【Key words】low-carbon combustion; motorcycle carburetor; lean combustion; air-fuel ratio control; emission optimization; combustion process

一、引言

在全球致力于减少交通运输碳排放的背景下,摩托车排放控制技术的进步不容忽视。尽管电喷系统已成为主流,但考虑到庞大的在用车存量、特定市场的成本因素以及部分车型特点,化油器系统在未来一段时期将持续服役。因此,挖掘传统化油器的技术潜力,探索其实现更低排放的可行性,具有重要的现实意义。

化油器作为一种机械式燃油计量装置,其工作特性在很大程度上决定了发动机的燃烧品质。为实现低碳燃烧,核心目标是促进燃料在气缸内的完全氧化,关键在于对空燃比的精确管控以及对混合气形成质量的优化。理论上的完全燃烧要求混合气达到化学当量比,但在实际工作中,过浓混合气导致一氧化碳和碳氢化合物排放增加,而过稀混合气则可能引发燃烧不稳定。因此,“低碳燃烧模式”是指通过技术手段,使发动机在尽可能多的运行工况下,维持在燃烧效率最

高、碳基污染物生成最少的理想状态。

然而,传统化油器由于依赖真空度与机械结构的被动响应,在空燃比控制精度、瞬态工况补偿以及混合气均质化方面存在固有局限,制约了其排放性能。以往研究多侧重动力性或经济性优化,将其与明确低碳燃烧目标进行系统性关联的研究尚显不足。基于此,本文将从实现低碳燃烧的内在需求出发,逆向推导对化油器功能的具体要求,进而提出有针对性的设计优化与技术集成方案。研究旨在通过理论与试验相结合的方法,论证通过深度优化使化油器系统适配低碳燃烧模式的可行路径。

二、低碳燃烧的理论内涵与对供油系统的核心要求

实现低碳燃烧是涉及流体力学、热力学与化学动力学的复杂过程。对于以化油器作为混合气形成装置的发动机而言,深入理解燃烧产物生成机理与供油系统特性之间的内在

联系,是进行有效优化的前提。

从燃烧化学角度分析,一氧化碳主要是碳氢燃料在缺氧条件下不完全氧化的中间产物。当空燃比低于化学当量比时,由于氧原子不足,一氧化碳浓度便会显著上升。碳氢化合物的排放来源则更为复杂,既包括因混合气过浓而未参与燃烧的燃油,也包括在气缸内狭缝效应、壁面淬熄等作用下未能正常燃烧的燃料。这些现象指向同一个核心问题:燃烧室内混合气的浓度分布均匀性以及燃烧过程的完整性。因此,低碳燃烧的首要理论支柱是实现对全局及局部空燃比的精确控制,尽可能避免过浓区域的存在。

这就要求供油系统具备高度的协同性与一致性。化油器不仅需要稳态工况下提供合适的平均空燃比,更要在发动机转速与负荷快速变化的瞬态过程中,实现燃油供给与空气吸入量的精准同步。任何瞬时的油、气不同步都会导致短期内混合气偏离理想浓度,产生大量非正常排放。此外,为实现更清洁的燃烧,探索在部分负荷工况下稳定运行于略高于化学当量比的稀薄燃烧区是有效策略。但这要求化油器在稀薄条件下仍能制备出高度均质、易于点燃且火焰传播稳定的混合气,这对燃油的雾化与蒸发质量提出了高要求。

另一个重要维度是燃烧过程优化。燃烧的起始点、速度与稳定性直接影响污染物生成。化油器提供的混合气状态是点火与燃烧的基础。更细密均匀的混合气可以缩短着火延迟期,加速火焰传播速度,使燃烧更快速充分,从而减少因燃烧中断产生的碳氢化合物。同时,稳定的燃烧也有助于提高发动机对稀薄混合气的耐受度。因此,低碳燃烧模式的实现,本质上要求化油器向“高品质可燃混合气制备者”角色转变,其设计目标应聚焦于提升空燃比控制精度、改善瞬态响应特性以及优化混合气的物理化学状态。

三、面向低碳燃烧的化油器系统优化设计路径

基于前述理论分析,化油器若想适配低碳燃烧模式,必须在多个子系统上进行协同设计与深度优化。这种优化需要从系统工程的视角出发,重新审视并改进其工作流程与输出特性。

空燃比的精准协同控制是设计的首要路径。为实现更平坦精确的空燃比特性曲线,需对主供油系统进行精细化重构。可考虑引入“补偿空气道”概念,即在主油井中设计多级可渐进入的空气补偿通道。这些通道根据主喷管处真空度的变化分级开启,使空气对燃油的乳化抑制作用更加线性和平滑,从而确保在宽广负荷范围内混合气能稳定维持在理想区间。针对怠速与低速过渡区域,传统单油针调节精度有限,可采用带有精密计量锥面的双级怠速油针系统,分别负责稳定怠速和优化节气门微开阶段的供油增量,减少该高排放区域的浓度波动。

提升混合气制备质量是实现高效清洁燃烧的物理基础。

雾化质量的突破需从燃油的初次雾化和二次细化两个环节入手。在初次雾化方面,优化加速泵的喷油特性至关重要。将传统柱塞式加速泵改进为膜片式与精量喷孔结合的设计,可实现更快速、短促、精确的加速燃油喷射,使补充燃油以更射流形态进入高速气流,迅速雾化。在二次细化方面,可在混合室下部集成“湍流生成器”。该结构能引导混合气产生适度旋流与紊流,促进油滴与空气的进一步剪切混合,并借助进气管余热促进最终蒸发,力求混合气进入气缸前达到近乎完全蒸发状态。

探索与外部系统的联动优化是挖掘低碳潜力的关键。一种可行方向是设计与数字点火器联动的“简易协同模块”。该模块可基于发动机转速信号对化油器的某个辅助气路或油路进行微调。例如,在系统探测到发动机处于低负荷稳态运行时,可轻微增大某个辅助空气阀开度,使混合气主动趋向稀薄化;当检测到加速请求时则迅速关闭该气路,并协同优化点火提前角以保障动力响应。这种机械与电控的有限融合,能在不过度增加成本的前提下赋予化油器系统一定自适应能力,使其更好地应对复杂工况的挑战。

四、低碳燃烧性能的试验验证方案设计

为科学评估优化设计是否真正引导发动机实现更低碳的燃烧模式,必须构建一套以排放物检测与燃烧过程分析为核心的试验验证体系。该体系目标是通过对比测试,量化优化前后在污染物排放、燃烧效率及综合性能方面的差异。

试验平台搭建需以精确测量为前提。将标准试验发动机安装在能精确控制负载的电力测功机台架上,确保进气条件稳定可监测。排气系统需连接高精度五气体排放分析仪,用于连续测量一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、二氧化碳和氧气浓度,这是评价燃烧清洁度的直接依据。为深入分析燃烧过程,需在气缸盖上安装缸压传感器,同步记录燃烧压力曲线并计算放热率、燃烧持续期等关键参数。所有数据由高速采集系统同步记录。

试验样机准备应遵循严格控制变量原则。选用两台技术状态一致的同型号发动机作为测试载体。一台安装全面优化的“低碳导向型”化油器样件,另一台安装按原厂规范调校的标准化油器作为基准。两台发动机的火花塞、点火系统及其他部件严格匹配,并在测试前完成相同磨合与热机过程。两个化油器均根据同一台调试用发动机,按各自优化逻辑调整至最佳工作点。

试验工况设定应全面覆盖并突出低碳燃烧考察重点。主要测试内容包括:第一,稳态排放图谱测试。在发动机转速-负荷构成的二维矩阵中选取多个代表性工况点,待工况稳定后测量比油耗和五种排放物数值。通过对比两张“排放地图”,可清晰识别优化化油器在哪些区域降低了碳基排放及其稀薄燃烧边界的扩展情况。第二,瞬态工况循环测试。模

拟实际骑行中具有代表性的加速、减速、稳速等循环,使用定容取样系统收集整个循环排气并进行加权分析,计算一氧化碳和碳氢化合物的总排放量。这项测试能有效评估化油器在动态过程中维持低碳燃烧状态的能力。第三,燃烧过程对比测试。在几个特定稳态工况点同步采集高精度缸压数据,对比分析两者的压力升高率、燃烧放热重心等参数,从燃烧动力学角度解释排放改善的内在原因。

五、试验结果分析与技术讨论

通过对试验数据的系统处理与对比分析,优化设计对燃烧模式的影响得以清晰呈现。数据表明,面向低碳燃烧的综合改进有效地将理论构想转化为可测量的性能提升。

稳态排放图谱的对比结果具有显著说服力。在发动机中低负荷区域,安装优化化油器的发动机表现出明显更低的碳基排放物水平。一氧化碳排放浓度在整个区域普遍下降,尤其是在原基准化油器容易供油偏浓的部分负荷点改善最为明显。碳氢化合物排放的降低趋势与一氧化碳基本一致。特别值得注意的是,优化化油器使发动机能在更稀空燃比下保持稳定燃烧,这一点通过排气中更高氧气含量和依然较低的碳氢化合物排放得以证实,标志着其稀薄燃烧边界得到拓展,直接对应着低碳燃烧模式可行运行范围的扩大。

瞬态工况循环测试结果进一步证实了优化设计的工程价值。在模拟城市骑行循环中,优化化油器对应的一氧化碳和碳氢化合物循环总排放量均低于基准系统。对瞬态数据流的剖析发现,在节气门开度快速变化阶段,优化化油器的排气氧含量信号波动更小,表明其空燃比瞬态波动幅度得到有效抑制。加速过程中未出现明显的浓混合气尖峰;减速时燃油供给切断更为迅速彻底。这种对瞬态过程更好的管控能力,使得发动机在整个动态测试中的平均有效空燃比更接近理想区间。

燃烧过程数据为上述排放结果提供了内在物理解释。缸压曲线分析显示,在相同工况点,优化化油器对应的燃烧过程往往表现出更短的点火延迟期和更集中的放热特征。燃烧放热曲线重心更加靠前且燃烧持续期略有缩短。这表明由于混合气雾化与蒸发质量提升,点火后火焰核心形成与发展更

为迅速,燃烧过程更为紧凑高效。更快速的燃烧减少了膨胀冲程后期因温度压力下降导致燃烧淬熄的可能,这是碳氢化合物排放降低的重要原因。同时更稳定的燃烧也为安全应用更稀薄混合气创造了条件。

综合讨论以上结果,可以认为本研究提出的系统优化路径是行之有效的。它通过多措并举使化油器在空燃比控制精度、混合气均质化程度及瞬态响应平顺性方面得到系统提升。这些改进协同作用,共同引导发动机在更广泛工况下进入燃烧更快速、更完全、污染物生成更少的“低碳燃烧模式”。当然,试验也反映出在全负荷工况出于防止爆震和保护发动机的考量,混合气仍需加浓,低碳效果相对有限。这提示未来研究可更关注对运行工况的智能识别与模式切换策略,从而在全工况范围内实现更好的低碳平衡。

六、结论

本研究围绕摩托车化油器实现低碳燃烧模式这一目标,从燃烧理论与排放生成机理出发,明确了低碳燃烧对供油系统的核心要求。基于此,论文系统提出了涵盖主供油系统精细化重构、雾化蒸发质量强化以及与点火系统有限协同的综合优化设计路径。

通过设计并实施以稳态排放图谱、瞬态循环测试及燃烧过程分析为核心的对比试验,验证了上述设计路径的有效性。试验结果表明,经过优化的化油器能够显著降低发动机在常用工况区的碳基排放,并拓展稀薄稳定燃烧边界。燃烧分析数据进一步证实,优化带来的混合气品质改善促进了更快速集中的燃烧过程。研究证明通过深入的系统工程优化,传统化油器完全有能力引导发动机进入更为清洁高效的低碳燃烧状态。

本工作为存量巨大的化油器摩托车及相关产品的排放升级提供了一套从理论分析、设计创新到试验验证的完整技术思路。它表明在电喷技术之外,通过精密机械设计与系统集成,传统供油方式依然具有可观的环境改善潜力。后续研究可在低成本传感与微执行机构应用方面进行探索,以进一步增强化油器系统的自适应能力,为实现更智能低碳的摩托车动力解决方案持续提供技术支持。

参考文献

- [1]汪智钧, 张晓娟. 摩托车化油器不同试验方法的模拟转换[J]. 摩托车技术, 2015, (03): 37-41.
- [2]姜春宏. 发动机热管理系统建模与控制策略研究[D]. 华南理工大学, 2024. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnl.2024.005008.
- [3]彭先萌. 数学建模研究内燃机排放性能及控制问题[J]. 内燃机与配件, 2022, (04): 103-105. DOI: 10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2022.04.033.
- [4]李彩凤. 汽车排放及治理技术[J]. 科技情报开发与经济, 2005, (01): 288-290.