

摩托车发动机电子控制系统研究

陈振天¹, 尹丛勃², 张振东²

(1 上海汽车集团股份有限公司 技术中心, 上海 200041; 2 上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要: 为实现摩托车发动机从化油器技术向电控燃油喷射技术转变, 满足日益严格的排放法规, 在某型号摩托车单缸化油器式发动机的基础上, 对原机型进气系统、点火系统以及喷油系统进行了改进, 通过自行设计的摩托车发动机电子控制系统实现了发动机工作过程的电子控制。控制系统采用MC9S12XS128单片机作为主控芯片, 运用模块化软件控制程序实现了传感器信号的采集与处理, 对点火和喷油等执行机构进行精确控制, 并利用该电子控制系统对点火时刻及空燃比参数进行了标定和优化。实验表明, 采用电子控制系统后, 发动机在不同工况下的动力性和经济性得到显著提高。

关键词: 摩托车发动机; 燃油喷射; 电子点火; 控制参数标定

中图分类号: TK 427 **文献标志码:** A

Electronic Control System for Motorcycle Engine

CHEN Zhentian¹, YIN Congbo², ZHANG Zhendong²

(1. Technical Center, SAIC Motor, Shanghai 200041, China; 2. School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The technology transformation from carburetor technology to electronic fuel injection (EFI) is an effective way to meet the increasingly stringent emissions regulations. On a certain type single cylinder carbureted motorcycle engine, the intake system, ignition system and fuel injection systems were improved, and the electronic control of engine operation was achieved through a self-designed motorcycle engine electronic control system. The control system selects MC9S12XS128 microcontroller as a master chip, and the acquisition and processing of sensor signals were realized through modularized software control program. The ignition and fuel injection actuators were precisely controlled. The ignition timing and air-fuel ratio were calibrated and optimized by the use of electronic control system. The experimental results show that using the electronic control system, the engine power and economy are improved significantly.

Key words: motorcycle engine; fuel injection; electronic ignition; control parameters calibration

收稿日期: 2014-05-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51275309)

第一作者: 陈振天(1982-), 男, 工程师。研究方向: 发动机电子控制。E-mail: kingczt6@163.com

通信作者: 张振东(1968-), 男, 教授。研究方向: 发动机燃烧与排放控制。E-mail: usstzdd@126.com

发动机电子控制技术以其良好的经济性和排放性,已经成为满足越来越严格的排放法规的首选技术方案^[1-2]。摩托车作为机动车中一类重要组成部分,具有成本低、体积小、路况适应性强等优点,在我国众多地域有着广泛的应用。随着摩托车保有量的增加及日趋严格的节能减排措施的实施,摩托车发动机的经济性能及排放指标已成为各厂家互相竞争的重要内容^[3-4]。近年来,我国现有电喷摩托车的生产和制造大多依赖国外技术,为打破不利局面,国内摩托车企业和科研院所不断加大对电控燃油喷射技术的研究^[5]。

本文选取某型号 125 mL 排量单缸风冷四冲程化油器式发动机作为研究对象,将原发动机化油器式供油结构改进为电控燃油喷射系统。设计系统软硬件对发动机各种模拟量、数字量进行采集和存储,实现对各驱动电路的控制,详细研究了控制系统的硬件结构、控制电路以及软件编程等问题,并通过实验对所开发的控制系统的控制效果进行了验证。

1 控制系统总体设计

为实现目标发动机的电子控制,首先对原化油器式发动机进行了电喷化改造。在改造过程中针对原机的化油器系统,重新设计加工了发动机进气管,将电子节气门、进气温度传感器、进气压力传感器以及喷油器与进气管集成为一体;增设了电子点火系统,重新选配了点火线圈、火花塞等部件;在系统中布置了曲轴位置传感器、节气门开度传感器、进气温度传感器、进气压力传感器、排气氧含量传感器、发动机温度等传感器;控制系统以 Freescale 16 单片机为核心构建,开发了相应的传感器信号调理电路以及输出信号的驱动电路。发动机控制系统的总体结构如图 1 所示。

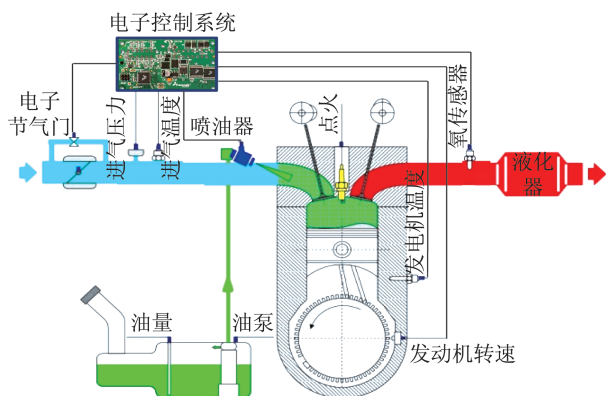


图1 发动机控制系统结构简图

Fig.1 Structural diagram of engine EFI system

2 控制系统硬件电路

控制系统电路由传感器输入信号处理电路、主控芯片、执行器驱动电路以及电源管理、上位机通讯等辅助电路组成。

选择 MC9S12XS128 单片机作为主控芯片,并根据各个传感器和执行器件的不同要求(如 PWM 功能、AD 转换功能以及通讯功能等),对单片机的 I/O 资源进行分配。同时,为提高系统的可靠性,选用了 MC33812 集成芯片对发动机的喷油和点火进行控制,控制电路如图 2 所示。

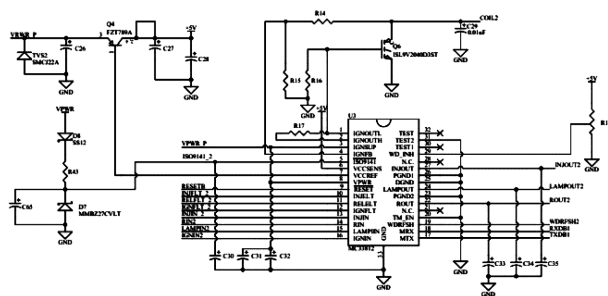


图2 喷油、点火集成控制电路

Fig.2 Integrated circuit for fuel injection and ignition

由于伺服电机具有相应迅速、控制精准、位置自锁等优点,非常适合用于节气门控制。本文选用的伺服电机其内部集成了驱动电路,单片机通过向电机驱动电路发送 PWM 控制信号即可实现节气门开度的控制。伺服电机接口电路如图 3 所示。

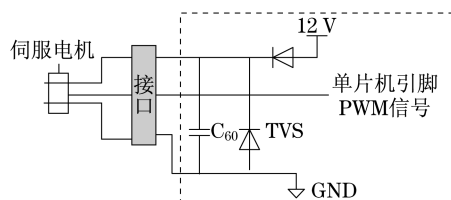


图3 节气门电机接口电路

Fig.3 Interface circuit of the throttle motor

3 控制软件

3.1 控制软件架构

本文基于前后台程序设计方法^[6-8]开发了系统控制软件。后台软件作为应用程序的运行平台,基于时间片管理方法进行设计;前台软件基于中断响应方法进行设计,包括发动机运行所需要的信号采集与处理、执行机构的输出与控制等程序^[9]。

前台应用程序遵循模块化设计思想进行设计,在程序等级上,将软件程序划分为驱动层程序和算法层程序.驱动层包括各个传感器信号的采集与处理,点火、喷油等执行机构的控制.算法层包括传感器信号的调用、执行机构的控制逻辑以及发动机工况的控制

算法与转换等.在控制类型上,将软件程序划分为信号处理层、工况与参数更新层以及发动机驱动层3个主要的子模块.其中信号处理层和执行器控制层子模块作为驱动层次,而工况与参数更新层则作为算法层次,前台应用程序的逻辑关系如图4所示.

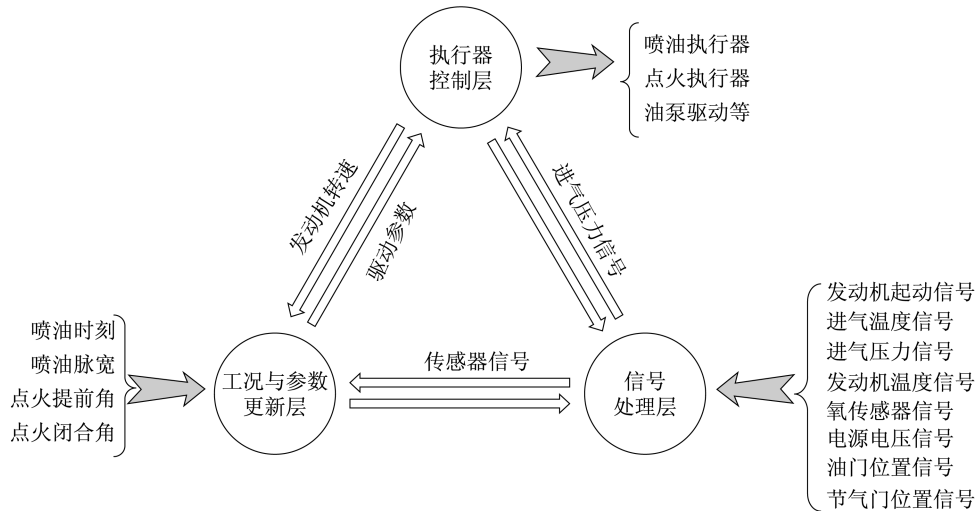


图4 前台应用程序总体框架

Fig.4 Framework of the foreground application program

3.2 时间基准信号处理

对于四冲程摩托车发动机,控制系统通常每循环执行一次喷油、点火操作,但对于某些特殊工况(如起动、进气压力信号故障等情况)则需要执行两次喷油、点火操作,如图5和图6所示.

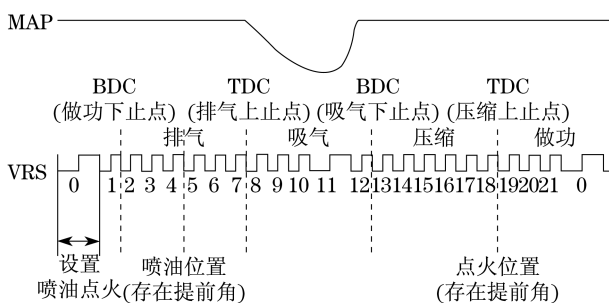


图5 单次喷油、点火时序

Fig.5 Single injection and ignition conditions

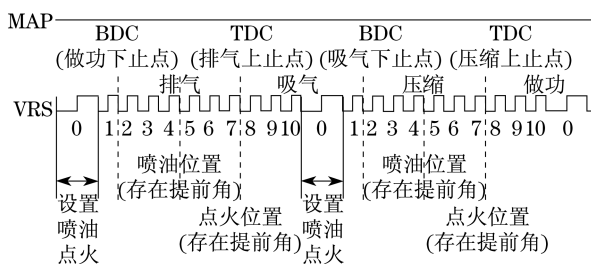


图6 两次喷油、点火情况

Fig.6 Two fuel injections and ignition conditions

本文设定单次喷油、点火情况下做功冲程内的缺齿位置为第0齿,从0~21齿循环计数.两次喷油、点火情况下两次缺齿均为第0齿,齿轮计数由0~10齿进行循环.控制系统硬件设计过程中,为了保证准确判断发动机的工作冲程,安装时将齿盘第7齿下降沿对应发动机活塞的上止点(排气或压缩上止点).

发动机喷油、点火操作是基于曲轴转速信号进行设定,只有曲轴转速信号正确,发动机才能在正确的时间执行喷油、点火指令,驱动发动机的运转.对于发动机转速,需要输出基于时间域的速度信号,而对于喷油、点火控制,则需要输出基于角度域的齿数和基于时间的混合信号.本文采用的是磁电式曲轴转速传感器配12缺1齿信号齿盘的转速测量方案.当发动机起动后,需要根据信号齿盘的运动进行曲轴转速的同步操作,其算法流程如图7所示.通过以上条件判断该轮齿为缺齿,如果不是则按照以上方法继续检测下一齿轮直至缺齿出现,进入到齿轮计数阶段.进入齿轮计数阶段后,具体算法流程如图8所示.由于发动机一个工作循环曲轴旋转两圈,出现两次缺齿位置,因此,需要结合进气压力信号确定发动机工作冲程,以确定发动机是否处于喷油、点火状态.

3.3 喷油、点火控制信号产生方法

曲轴转速信号同步成功后,为发动机喷油及点

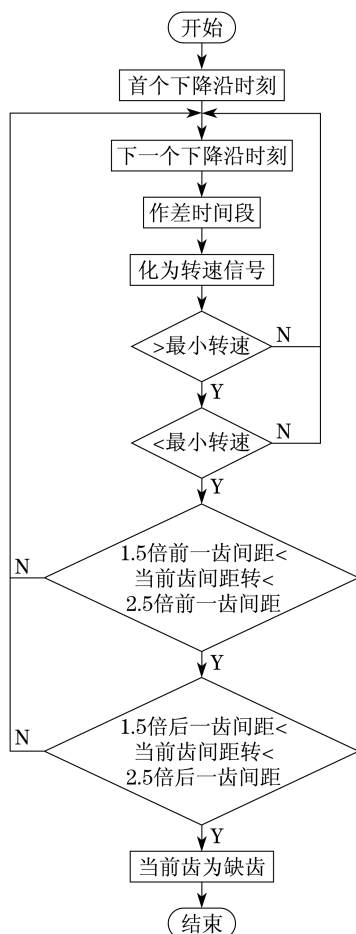


图7 缺齿同步算法流程

Fig.7 Missing teeth synchronous algorithm

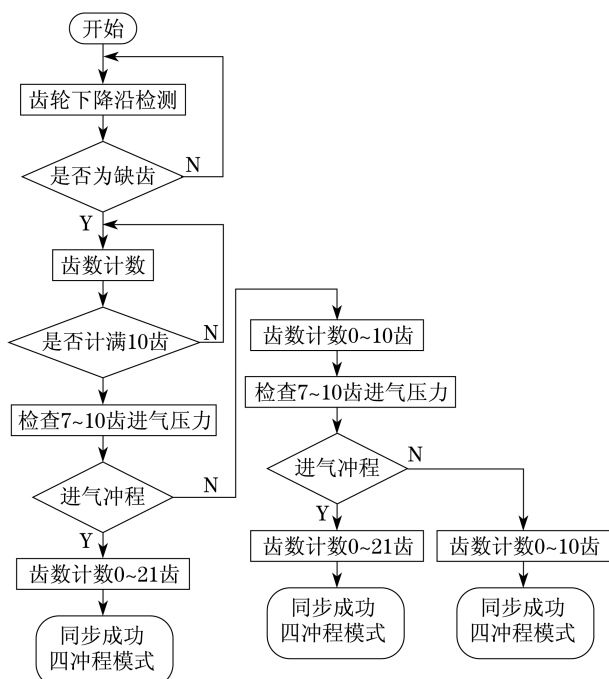


图8 曲轴同步程序流程图

Fig.8 Flow chart of synchronous program of crankshaft

火控制提供了准确的时间基准. 在控制系统中, 喷油、点火的产生均基于中断响应实现. 在软件程序设计初期, 将喷油时刻固定在第4齿位置, 在缺齿的下降沿处设置中断标志, 定时器计时开始后, 当曲轴转角旋转第4齿下降沿时, 触发中断使喷油器开始喷油, 再根据特性图中的喷油脉宽计算喷油终止位置, 当达到喷油停止点时完成喷油操作, 具体过程如图9所示. 点火控制信号与喷油控制信号的产生原理基本相同, 其不同点在于点火控制需要依据已知的点火提前角和点火闭合角计算点火线圈闭合充电时刻, 如图10所示. 同时, 为了达到精确控制的目的, 考虑到发动机运行转速不稳定对喷油点火时刻的影响, 需要每个下降沿均触发中断并及时计算更新喷油时刻等重要参数.

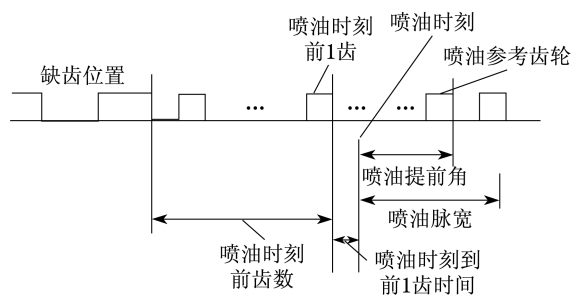


图9 喷油操作控制方法

Fig.9 Injection operation control method

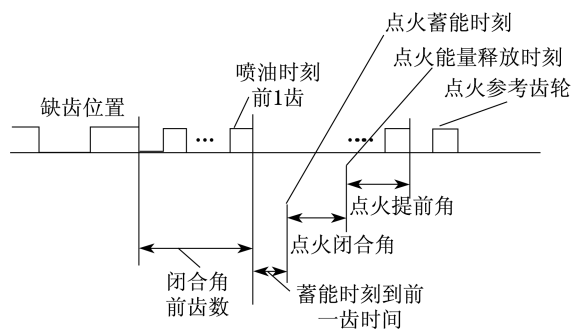


图10 点火操作控制方法

Fig.10 Ignition operation control method

4 控制参数标定

控制系统硬件及控制软件设计完成后, 需要对发动机不同工况下的基本点火提前角、基本喷油脉宽等目标参数进行试验标定^[10-12].

基本喷油质量 Δm_f 可以根据以下公式计算得到, 即

$$\Delta m_f = \mu_n F_n \sqrt{2g d_f (P_f - P_d)} d_t \quad (1)$$

式中, μ_n 为喷油器流量系数; F_n 为喷油嘴面积; g 为重力加速度; d_f 为燃油密度; P_f 为燃油压力; P_d 为进气管压力; d_t 为喷油脉宽。

$$\Delta m_f = \frac{\Delta m_a}{14.7} \quad (2)$$

式中, Δm_a 为理论空燃比状态下的实际进气质量, 由理想气体方程得

$$\Delta m_a = \frac{P_d V_h \eta_v}{RT} \quad (3)$$

式中, R 为理想气体常数; T 为进气温度; V_h 为气缸工作容积; η_v 为充气效率。

基本点火提前角的数据标定时, 控制实际空燃比的值为理论空燃比的 14.7 倍。标定过程中保持发动机输出转速处于 2 000~9 000 r/min 中每个工况节点上, 调节节气门的开度为 0~100%。改变点火提前角的值, 以 2° 曲轴转角慢慢变化。发动机在未爆震的状态下, 输出扭矩开始下降趋势, 那么将扭矩下降点定为该工况点的最大扭矩 (MBT) 点火提前角; 如果在没有达到 MBT 点之前发动机就出现爆震状态, 则将此时的点火提前角向后推迟 3° 曲轴转角, 定为当前工况的点火提前角。重复以上工作, 将点火提前角覆盖整个可以标定的工况点, 完成发动机点火提前角的标定, 标定好的基本点火提前角特性图如图 11 所示^[6]。

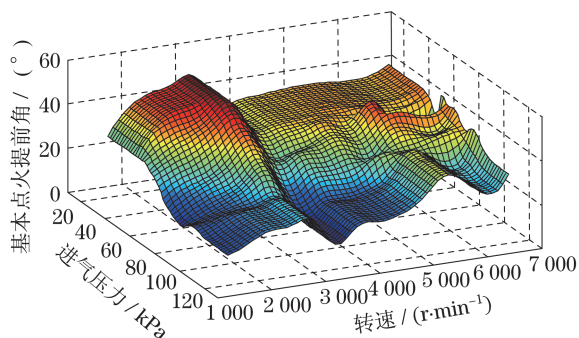


图 11 基本点火提前角特性图

Fig. 11 Basic ignition advanced angle map

根据标定好的基本喷油脉宽计算出喷油量, 进一步得到理论空燃比状态下的实际进气质量, 发动机实际进气质量与理论进气质量之比即为不同工况下的充气系数, 其充气系数特性如图 12 所示。从图中可以看出, 充气效率的值在绝大部分的工况下都处于 0.7~1 之间, 同时数据符合高转速、低负荷时充气效率低, 而高转速、大负荷时充气效率高的特点。

台架试验中, 分别采用洛阳南峰测试系统公司生产的 CW25-2400/10000 电涡流型测功机和上海内燃机研究所生产的 FCD-M 型油耗仪进行了输

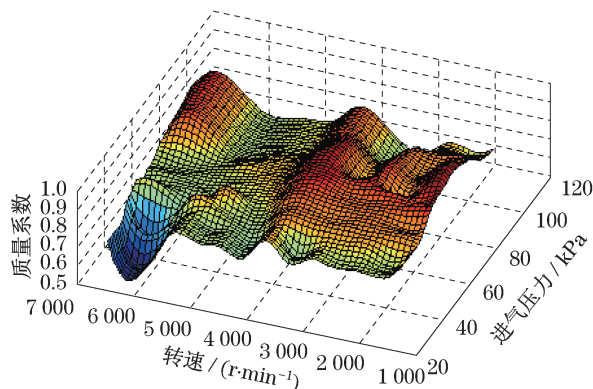
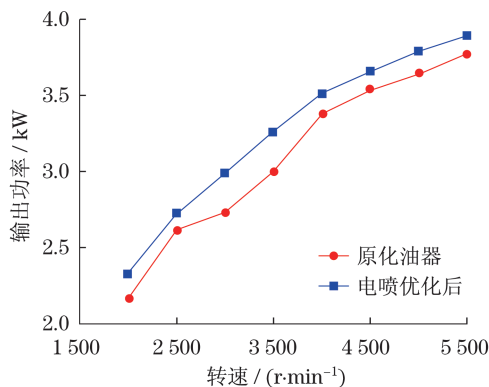


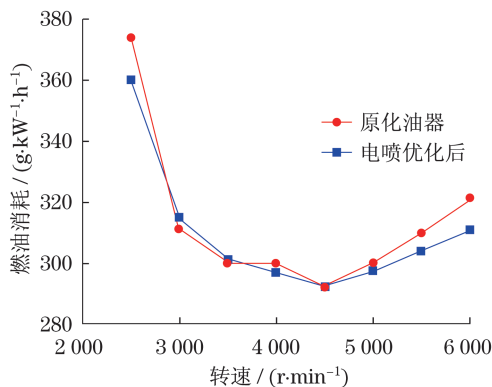
图 12 充气系数特性图

Fig. 12 Charging coefficient map

出功率和燃油消耗率的测试, 图 13 为发动机增加电喷控制系统前后节气门开度为 40% 时, 输出功率和燃油消耗的对比。从图 13(a) 可以看出, 发动机的输出功率有明显上升, 转速为 3 000 r/min 时, 功率从 2.7 kW 上升到 3 kW, 升高比例为 10%; 转速为 5 500 r/min 时, 功率增加 0.2 kW, 升高比例为 5%。主要原因是各工况点都在最大扭矩输出的基本点火提前角工作, 有效地提高了输出功率。



(a) 输出功率对比



(b) 燃油消耗对比

图 13 40% 节气门开度时优化前后功率和油耗对比

Fig. 13 Under 40% opening of throttle valve, comparison of power and fuel consumption rate before and after optimization

图14为优化前后节气门开度为70%时的发动机输出功率和燃油消耗的对比,也可以明显看出,发动机在采用电控系统后输出功率得到了一定的提高,同时燃油消耗明显低于化油器式发动机。从图14(b)可以看到在3000 r/min时燃油消耗从350 g/(kW·h)下降到340 g/(kW·h),下降比例为3%;在4500 r/min时,燃油消耗下降12 g/(kW·h),下降比例约为4%。主要原因是发动机增加电控系统后,喷油量更精确,同时基本点火提前角下输出功率增加,使发动机的燃油消耗率有所下降。

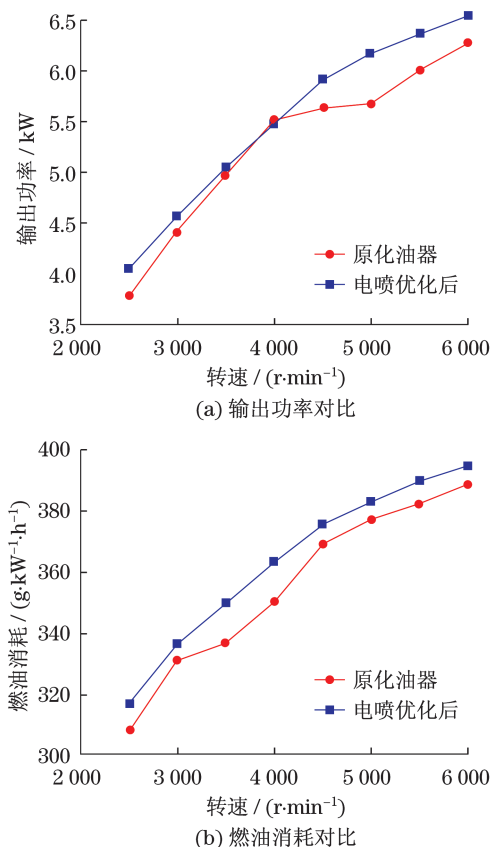


图14 70%节气门开度时优化前后功率和油耗对比

Fig.14 Under 70% opening of throttle valve, comparison of power and fuel consumption rate before and after optimization

5 结束语

以某型125 mL排量单缸风冷四冲程化油器式汽油发动机作为研究对象,对其进气、点火和喷油系统进行改进,匹配相应的传感器、执行器,实现了化

油器式汽油发动机的电喷化改装。

根据传感器和执行器件的不同要求设计发动机电控系统,编制软件控制程序,实现了对发动机传感器信号的采集和喷油、点火的控制。

对发动机不同工况下的基本点火提前角、基本喷油脉宽以及充量系数等目标参数进行试验标定。发动机台架试验表明,发动机改进为电控喷射系统后,输出功率增加,燃油消耗率下降,达到了提高燃油利用率、减小排放的目的。

参考文献:

- [1] 范炳良,许广举,陈庆樟.某型摩托车用汽油机点火提前角的优化研究[J].小型内燃机与摩托车,2013,42(3):19-22.
- [2] 张振东,王玉顺,刘志远,等.基于进气调节的汽油机空燃比控制系统研究[J].上海理工大学学报,2007,29(6):521-524.
- [3] 熊树生,谢莲,郝大光,等.电喷摩托车发动机气缸内壁面温度模型研究[J].内燃机工程,2015,36(2):82-92.
- [4] 李星韵,刘昌文,杨延相,等.电喷摩托车氧传感器温度特性试验研究[J].传感器与微系统,2015,34(5):15-18.
- [5] 张奇,徐国强.小排量汽油机电控燃油喷射系统技术进展[J].小型内燃机与摩托车,2011,40(2):89-92.
- [6] 尹丛勃.电控燃油喷射系统的总体设计[D].上海:上海理工大学,2008.
- [7] 黄益政.单缸四冲程摩托车发动机电喷控制单元开发[D].上海:上海理工大学,2013.
- [8] 陈超.基于8位单片机的摩托车发动机电控单元软硬件的开发[D].北京:清华大学,2004.
- [9] 周萍,张振东,孙跃东.车用汽油发动机稳态控制参数的优化研究[J].上海理工大学学报,2001,23(2):141-145.
- [10] 王祝炜,王伯年.汽油机电控燃油系统空气流量的检测[J].上海理工大学学报,1999,21(4):397-402.
- [11] 王嘉钧,任泽生,张乃力.摩托车发动机台架基础设计的探讨[J].小型内燃机与摩托车,2013,42(3):48-51.
- [12] 叶昌,张振东,刘钰,等.单缸发动机进气特性仿真与实验研究[J].上海理工大学学报,2014,36(6):562-565.

(编辑:丁红艺)