

混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统设计

李志坚

(贵阳市交通技工学校, 贵阳 550025)

摘要: 发动机是混合动力电动汽车动力设备的核心, 为了保证混合动力电动汽车可以快速稳定地运行, 需要对其转速智能控制系统进行设计; 使用当前控制系统智能控制混合动力电动汽车发动机转速时, 无法快速检测到发动机转速, 难以达到最佳的智能控制结果; 为此, 基于软切换提出 Bang Bang-神经网络 PID 的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统设计方法; 混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统以 Mcs-51 系列 8751 单片机为核心系统, 检测混合动力电动汽车发动机转速的数字信号, 同时控制 D/A 模拟信号的输出, 并在 LED 显示器上显示发动机转速数字信号, 以 PWM 调制器放大混合动力电动汽车启动时发动机产生的 PWM 波, 将放大后的 PWM 波供给电力发动机, 再以分频填充脉冲装置测量混合动力电动汽车发动机转速, 通过 Bang Bang-神经网络 PID 算法计算出混合动力电动汽车发动机转速误差, 达到实时控制混合动力电动汽车发动机转速的效果; 实验仿真证明, 所提设计方法保证了发动机转速的快速性和平稳性。

关键词: 混合动力; 电动汽车; 发动机转速; 智能控制

Design of Intelligent Control System for Hybrid Electric Vehicle Engine Speed

Li Zhijian

(Traffic Vocational School of Guiyang City, Guiyang 550002, China)

Abstract: The engine is the heart of the hybrid electric vehicle power equipment. In order to ensure the fast and stable operation of hybrid electric vehicle, it is necessary to design the intelligent control system. When the current control system is used to control the engine speed of hybrid electric vehicle, the engine speed can not be detected quickly, so it is difficult to achieve the best results. Therefore, the design method of hybrid electric vehicle engine speed intelligent control system of soft switching Bang Bang is proposed based on PID neural network. Hybrid electric vehicle engine speed intelligent control system based on the Mcs 51 series 8751 microcontroller as the core digital signal detection system of hybrid electric vehicle engine speed, and control the output of D/A analog signal, digital signal and display the engine speed in the LED display, the PWM modulator amplifier to generate hybrid electric vehicle engine startup PWM wave, PWM wave power supply engine amplified by frequency pulse filling, measuring device of hybrid electric vehicle engine speed by Bang Bang neural network PID algorithm to calculate the hybrid electric vehicle engine speed error, to achieve the effect of real-time control of hybrid electric vehicle engine speed. The simulation results show that the proposed design method can ensure the engine speed and stability.

Keywords: hybrid power; electric vehicle; engine speed; intelligent control

0 引言

近年来, 随着自动控制理论和计算机水平的发展, 智能算法越来越多地应用到发动机转速控制中, 混合动力电动汽车发动机转速控制系统向智能化的方向发展^[1]。通过对混合动力电动汽车发动机转速进行智能控制, 不仅可以提高混合动力电动汽车的换挡品质, 而且还能改善对离合器的控制^[2]。然而当前使用的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统, 不具有快速响应、鲁棒性好的控制性能, 不能满足混合动力电动汽车稳定运行^[3]。在这种情况下, 如何使混合动力电动汽车可以快速稳定的运行成为当前系统设计的主要问题^[4]。该系统中以 Mcs-51 系列 8751 单片机为核心系统, 控制 D/A 模拟信号的输出以及在 LED 显示器上显示的混合动力电动汽车发动机转速数字信号, 通过 Bang Bang-神经网络 PID 算法技术出发动机转速误差, 达到实时控制混合动力电动汽车发动机转速效果。由于发动机是混合动力电动汽车动力设备的核心, 因此, 如何

优化当前系统, 使混合动力电动汽车可以更快速稳定的行驶, 已成为当前研究的重点, 现阶段已取得了一定的研究结果^[5]。

现有的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统有: 文献 [6] 提出一种基于转速切换/功率跟随增程器的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统设计方法。首先根据混合动力电动汽车发动机的最佳制动电力消耗率曲线设计混合动力电动汽车发动机的功率转速切换表, 为了使混合动力电动汽车发动机沿着最佳制动电力消耗率曲线运行, 将对其转速和 PWM 整流器输出功率进行闭环控制。该方法具有较好的控制效果, 但该系统只是在一定的范围内对发动机转速的控制效果较好。文献 [7] 提出一种基于 PID 神经元的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统设计方法。该系统以 P453 发动机—检测功能机系统作为混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统的硬件平台, 在此基础上对混合动力电动汽车发动机转速智能控制方式进行分析, 同时分析发动机转速 PID 控制器的硬件设计并加以完善, 因为该系统中混合动力电动汽车发动转速机和 P453 发动机—检测功能机扭矩之间存在双输入双输出的耦合问题, 因此, 利用 PID 神经元的神经网络 PID 控制器来对双变量进行解耦。该系统其解耦效果令人满意, 但同时也发现该智能控制系统的控制性能还不够理想。文献 [8] 提出一种基于智能图像分析的 P 混合动力电动汽车发动机转速智能控制

收稿日期: 2017-04-10; 修回日期: 2017-04-26。

作者简介: 李志坚(1971-), 男, 贵州贵阳人, 高级讲师, 主要从事汽车电子控制、汽车自动变速器故障研究、汽车维修专业职业教育人才培养模式方向的研究。

系统设计方法。混合动力电动汽车发动机转速检测方法, 计算其发动机转速瞬间变速图像中速度特征直线的倾斜角, 将倾斜角度代入速度特征直线函数, 计算出倾斜误差, 并对其进行调整, 从而获取其发动机转速的运动曲线, 同时反映出混合动力电动汽车发动机转速特征, 并加以控制。该系统混合动力电动汽车发动机转速检测方面较为突出, 在其智能控制方面还有待优化^[9-10]。

针对上述问题, 提出一种基于软切换的 Bang Bang-神经网络 PID 的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统设计方法。实验仿真证明, 所提设计方法保证了发动机转速的快速性和平稳性。

1 混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统

1.1 发动机转速智能控制系统工作原理及硬件设计

发动机是混合动力电动汽车动力设备的核心, 为了混合动力电动汽车可以快速稳定的运行, 我们对混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统进行设计。发动机一共分为三大类: 汽油发动机、柴油发动机和电力发动机。而混合动力电动汽车发动机是由电力发动机和汽油发动机组合成的, 因此, 混合动力电动汽车的燃油经济性能高, 而且行驶性能优越, 混合动力电动汽车的发动机要使用燃油, 而且在起步、加速时, 由于有电动马达的辅助, 所以可以降低油耗。

混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统的硬件包括: Mcs-51 系列 8751 单片机、电动汽车发动机转换装置、分频填充脉冲、电动机驱动、PWM 调制器、LED 显示器和 D/A 等部分。实现混合动力电动汽车发动机转速智能控制功能。混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统总结构如图 1 所示。



图 1 智能控制系统结构框图

系统中以 Mcs-51 系列 8751 单片机为该系统的核心系统, 主要检测混合动力电动汽车发动机转速的数字信号, 并控制 D/A 模拟信号的输出以及 LED 显示上显示的发动机转速数字信号。PWM 调制器用来放大混合动力电动汽车启动时发动机产生的 PWM 波, 将放大后的 PWM 波供给电动机, 使得混合动力电动汽车发动机达到标准转速。而分频填充脉冲测量发动机转速。软件部分将采用 Bang Bang-神经网络 PID 算法。

基于软切换的控制系统对高精度臭灵丹微量元素含量检测系统的硬件系统不做考量, 主要研究软件。

1.2 发动机转速智能控制系统软件设计

1.2.1 发动机转速智能控制系统软件程序初始化处理

设计混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统软件时, 需要考虑混合动力电动汽车发动机在行驶中的错误操作带来的严重损害, 如发生超速或超限行驶、传感器损坏等问题。

为了以防上述问题的发生, 进行混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统程序初始化处理。考虑到混合动力电动汽车发动机转速数据量和堆栈决定 RAM 的容量, 因此, 一般不在

RAM 区保存普通的发动机转速数据。在系统中为了实现两级中断嵌套, 采用了定时器及计数器 T0 和外部中断 INT0。

1.2.2 Bang Bang-神经网络 PID 算法

Bang Bang-神经网络 PID 算法是在传统 PID 算法上进行优化得到的发动机转速智能控制计算方法。传统的 PID 算法在正常情况下混合动力电动汽车发动机转速智能控制效果是较为稳定的, 但在非正常情况下混合动力其效果并不理想。为了使混合动力电动汽车在非正常的情况下, 也可以稳定的行驶, 而且具有较高的控制能力与可靠性, 因此, 将结合 Bang Bang-神经网络对当前的 PID 算法进行优化。Bang Bang-神经网络充分利用了神经元的自动学习功能, 使得混合动力电动汽车系统自动控制发动机转速。Bang Bang-神经网络 PID 算法在系统中有一定的值域, 该值域为 $r(k)$, 又为混合动力电动汽车的标准转速; $y(k)$ 为混合动力电动汽车输出的转速。当混合动力电动汽车发动机状态发生改变时状态量之间的关系式为:

$$x_1(k) = r(k) - y(k) = e(k) \quad (1)$$

$$x_2(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

$$x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \quad (3)$$

式中, $x_1(k)$ 、 $x_2(k)$ 、 $x_3(k)$ 表示混合动力电动汽车发动机状态变换的时候需要的状态量。

Bang Bang-神经网络神经元输出混合动力电动汽车发动机转速数据为:

$$u(k) = \Delta u(k) - u(k-1) = k \sum_{i=1}^3 \omega_i(k) x_i(k) + u(k-1) =$$

$$u(k-1) + k[\omega_1(k)x_1(k) + \omega_2(k)x_2(k) + \omega_3(k)x_3(k)] \quad (4)$$

式中, $u(k)$ 为 Bang Bang-神经网络神经元输出混合动力电动汽车发动机转速数据; k 为混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元的比例系数, $k > 0$; $\omega_1(k)$ 、 $\omega_2(k)$ 、 $\omega_3(k)$ 为混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统中 Bang Bang-神经网络中神经元对。

在 Bang Bang-神经网络 PID 混合动力电动汽车发动机转速智能控制的算法中, 为了控制 Bang Bang-神经网络神经元输出的误差, 将利用混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元的线性函数中二次型性能指标, 因此得到混合动力电动汽车发动机转速智能控制输出误差的线性目标函数:

$$J(k) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 [r(i) - y(i)]^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 e^2(i) \quad (5)$$

式中, r 为混合动力电动汽车智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元的线性目标函数中的目标值; y 为实际中混合动力电动汽车智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元反馈值; $J(k)$ 为混合动力电动汽车智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元的输出误差函数。为保证混合动力电动汽车智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元的输出的误差变小, 目标函数 $J(k)$ 将沿着 $\omega_i(k)$ 的负梯度方向进行运算, 以此有:

$$\omega_i(k+1) = \omega_i(k) + \Delta \omega_i(k) = \omega_i(k) - \eta_i \frac{\partial J(k)}{\partial \omega_i(k)} \quad (6)$$

式中, η_i 为混合动力电动汽车智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元自动学习速率, $\eta_i > 0$; 联立公式 (4) 和公式 (5) 可以得到公式 (7):

$$\frac{\partial J(k)}{\partial \omega_i(k)} = \frac{\partial J(k)}{\partial e(k)} \frac{\partial e(k)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial \omega_i(k)} \quad (7)$$

式中, $\partial J(k) / \partial e(k) = e(k)$ 、 $\partial u(k) / \partial \omega_i(k) = kx_i(k)$ 为混合动力电动汽车智能控制 Bang Bang-神经网络 PID 算法中已知条件, $\partial e(k) / \partial u(k)$ 为混合动力电动汽车智能控制 Bang Bang-神经网络 PID 算法中未知条件, $\partial e(k) / \partial u(k)$ 可以用差分近似处理, 得到公式:

$$\frac{\partial e(k)}{\partial u(k)} = -\frac{J(k) - J(k-1)}{u(k) - u(k-1)} \quad (8)$$

若令:

$$\lambda(k) = \frac{J(k) - J(k-1)}{u(k) - u(k-1)} \quad (9)$$

则可以得到下列关系式:

$$\begin{cases} \omega_1(k+1) = \omega_1(k) + \eta_1 ke(k)x_1(k)\lambda(k) \\ \omega_2(k+1) = \omega_2(k) + \eta_2 ke(k)x_2(k)\lambda(k) \\ \omega_3(k+1) = \omega_3(k) + \eta_3 ke(k)x_3(k)\lambda(k) \end{cases} \quad (10)$$

公式 (10) 是实现混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统中 Bang Bang-神经网络神经元的自学习。在传统的 PID 控制器中 $e(k)$ 为混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统 PID 控制器的发动机转速输入数据, $u(k)$ 为发动机转速智能控制系统 PID 控制器的发动机转速输出数据, 因此, 可以得到公式 (11):

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p \{e(k) + \frac{T}{T_I} [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_D} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\} \quad (11)$$

式中, K_p 为混合动力电动汽车发动机转速智能 PID 控制系统的比例系数; T_I 、 T_D 为混合动力电动汽车发动机转速智能 PID 控制系统的积分时间常数和微分时间常数; T 为混合动力电动汽车发动机转速智能 PID 控制系统采样的时间。

对于混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统中 Bang Bang-神经网络 PID 算法中神经元可用公式 (12) 表示:

$$\Delta u(k) = k \sum_{i=1}^3 \omega_i(k)x_i(k) \quad (12)$$

将公式 (11) 与公式 (12) 联立可得:

$$K_p = k\omega_1(k) \quad (13)$$

$$K_p \frac{T}{T_I} = k\omega_2(k) \quad (14)$$

$$K_p \frac{T_D}{T} = k\omega_3(k) \quad (15)$$

2 实验与分析

对基于软切换设计的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统进行实验分析。本实验中将采用微型马达公司出产的 RS380-ST-3545 型发动机, 该发动机的参数为: 额定电压为 7.2 V, 电势常数为 $4.668 \times 10^{-4} \text{ V} / (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$, 电磁时间常数为 0.005 S, 机电常数为 0.014 S。该系统控制混合动力电动汽车发动机转速的特性可以用二阶函数来表示:

$$\omega(s) = \frac{X_C}{X_F} = \frac{1/c_c}{T_d T_m S^2 + T_m S + 1} \quad (16)$$

将各个参数代入公式 (16) 可得:

$$\omega(s) = \frac{2000}{0.0007S^2 + 0.015S + 1} \quad (17)$$

在此基础上建立 Matlab/Simulink 模型, 来验证混合动力

电动汽车发动机转速控制系统的优越性。并将 Bang Bang-神经网络 PID 控制器与传统的 PID 控制器进行比较。利用 Matlab/Simulink 仿真模型对混合动力电动汽车启动行驶过程中不同油门开度进行实验。实验参数为: 混合动力电动汽车发动机的减数比 $i_0 = 4.8$, 混合动力电动汽车发动机一、二挡传动比 $i_1 = 4.125$ 、 $i_2 = 2.546$, 混合动力电动汽车发动机的传动效率 $\eta = 0.8$, 混合动力电动汽车发动机旋转质量换算系数 $\delta = 1.4$, 整个混合动力电动汽车的质量为 $m = 1600 \text{ kg}$, 混合动力电动汽车的车轮半径为 $r = 0.4 \text{ m}$, 混合动力电动汽车在运行中受到的阻力为 $C_d = 0.421$, 混合动力电动汽车受到空气阻力面积 $A = 3 \text{ m}^2$, 道路与混合动力电动汽车之间的摩擦力, 即道路的阻力系数 $\phi = 0.02$ 。

使用上述发动机以 10%、35%、60% 油门开度展开实验。当标准为 1000 r/min, 混合动力电动汽车在运行中由一档变二档时混合动力电动汽车发动机的转速变快, 从图 2 和图 3 可以看出在 0.5 秒左右, 混合动力电动汽车发动机的转速开始变快, 在 1.3 秒时混合动力电动汽车发动机转速达到稳定值。假设 0.5 秒时混合动力电动汽车对应的速度为 V_1 , 1.3 秒时混合动力电动汽车对应的速度为 V_2 , 则有 $V_2 > V_1$ 。在混合动力电动汽车发动机转速未达到标准转速时 V_1 、 V_2 均为负值, 当混合动力电动汽车发动机转速接近标准转速时, V_1 、 V_2 将保持在零附近, 因为 V 出现负值, 影响混合动力电动汽车的行驶, 也是不符合常理的, 故油门开度在 10% 时混合动力电动汽车处在待行驶的状态中, 并限制 $V \geq 0$ 。

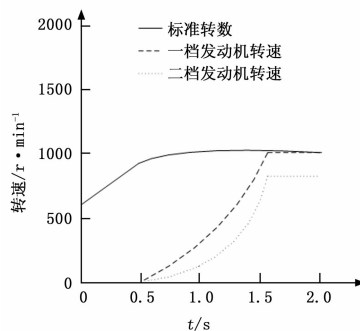


图 2 油门开度为 10% 时一档二档发动机转速

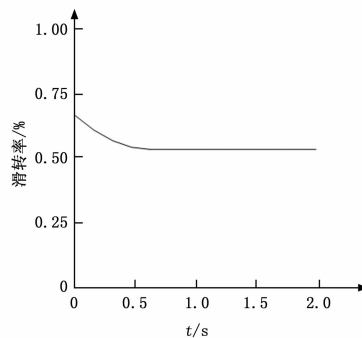


图 3 油门开度为 10% 时一档二档的滑转率

当混合动力电动汽车需要 1.7 秒才能使发动机转速达到标准转速, 才能使混合动力电动汽车行驶, 混合动力电动汽车发动机转速达到标准转速的速度大小为 20 m/s, 挂一档时混合动力电动汽车发动机的滑动摩擦力为 4.8 KJ, 二档混合动力

力电动汽车发动机滑动摩擦力为 2.4 KJ。图 4 和图 5 显示出混合动力电动汽车油门开度为 35% 时汽车驾驶结果，从图上可以看出行驶时混合动力电动汽车发动机转速达到 2 200 r/min 左右，此时驾驶者选择更换到二档驾驶混合动力电动汽车，当混合动力电动汽车脱离一档时，到二档时混合动力电动汽车发动机的滑转速为 0.38，混合动力电动汽车发动机中的滑摩功 20 KJ，此时的行驶速度为 40 m/s。

在 1.5 秒之前混合动力电动汽车发动机转速未达到标准转速，因此速度 V 为负值；当油门达到 45% 开度时，混合动力电动汽车将正常行驶。 V_1 为 5 m/s，由于混合动力电动汽车发动机的滑转速变大，混合动力电动汽车发动机的转速相应的减小，此时 V_2 的值为 3 m/s，想要混合动力电动汽车行驶速度 $V \geq 0$ ，混合动力电动汽车发动机在 1.5 秒后达到标准转速时， V 越接近于零，二档的混合动力电动汽车发动机滑转速减小，速度 V_2 增大，混合动力电动汽车发动机转速的增加，速度 V 的值变大，达到混合动力电动汽车稳定行驶要求。

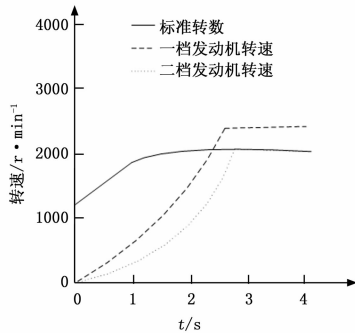


图 4 油门开度为 35% 时一档二档发动机转速

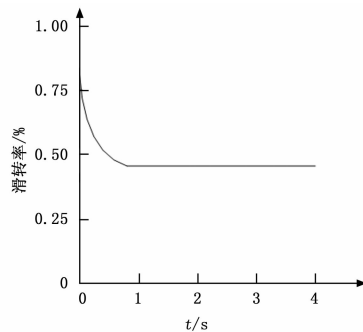


图 5 油门开度为 35% 时一档二档的滑转速

而图 6~7 为混合动力电动汽车油门开度为 60% 时汽车驾驶结果。混合动力电动汽车发现发动机转速达到 2 600 r/min，因为驾驶速度过快对动力的要求较高，因此，混合动力电动汽车，将自动调节到汽油发动机的模式上，汽油发动机的滑转速为 0.24 时，表示汽车由一档换到二档。在 $t = 1.2$ s 时达到标准转速，启动混合动力电动汽车，混合动力电动汽车发动机转速开始变快时汽车的速度 V_1 为 10 m/s。在混合动力电动汽车发动机达到标准转速时，二档混合动力电动汽车发动机滑转速减小，速度 V_2 增大，混合动力电动汽车发动机转速的增加，速度 V 的值变大，达到混合动力电动汽车稳定行驶要求。通过实际转速与目标转速之差对混合动力电动汽车的影响，检测该系统对混合动力电动汽车发动机转速的控制程度。

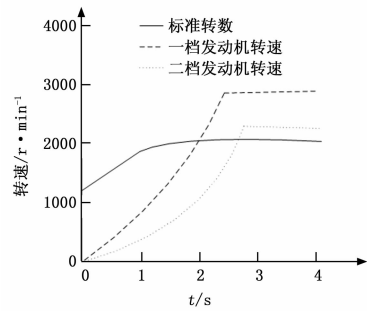


图 6 油门开度为 60% 时一档二档发动机转速

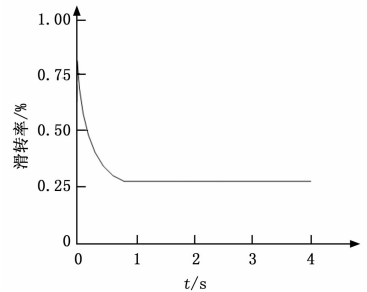


图 7 油门开度为 60% 时一档二档的滑转速

3 结论

针对当前控制系统智能控制混合动力电动汽车发动机转速时，无法快速检测到发动机转速，难以达到最佳的智能控制结果。提出一种基于软切换的 Bang Bang-神经网络 PID 的混合动力电动汽车发动机转速智能控制系统设计方法。仿真实验结果表明，所提设计方法保证了发动机转速的快速性和平稳性。

参考文献：

- [1] 范伟成, 彭小方, 潘雪, 等. 斯特林发动机智能监控系统设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (18): 85-88.
- [2] 孔慧芳, 罗欢, 鲍伟. 混动汽车纯电动到发动机驱动切换控制策略 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (11): 179-182.
- [3] 申永鹏, 王耀南, 孟步敏, 等. 增程式电动汽车功率流优化策略 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (16): 4035-4042.
- [4] 赵越, 祖炳锋, 徐玉梁, 等. 增程式电动车用 Atkinson 循环发动机的仿真开发 [J]. 内燃机工程, 2016, 37 (5): 234-239.
- [5] 贺俊杰, 王耀南, 申永鹏. 电动汽车增程器能量管理策略研究 [J]. 控制工程, 2015, 22 (4): 632-638.
- [6] 申永鹏, 王耀南, 孟步敏, 等. 增程式电动汽车增程器转速切换/功率跟随协调控制 [J]. 中国机械工程, 2015, 26 (12): 1690-1696.
- [7] 王全刚, 程良伦, 刘斯亮. 油压机智能转速感应控制系统研究 [J]. 锻压技术, 2015, 40 (1): 76-80.
- [8] 杨新锋, 田广强, 路新华. 基于智能视觉分析无人机发动机转速测量方法 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (9): 72-74.
- [9] 游震洲, 张鹏, 牛礼民. 并联式混合动力汽车动力总成发动机的模糊控制仿真分析 [J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22 (11): 2573-2579.
- [10] 姬芬竹, 杜发荣, 朱文博. 基于制动意图识别的电动汽车能量经济性 [J]. 北京航空航天大学学报, 2016, 42 (1): 21-27.