

AMT 关键技术的发展现状与展望

王兴野¹, 李国强¹, 彭志召¹, 黄大山¹, 张东升²

(1. 装甲兵工程学院 装备试用与培训大队, 北京 100072; 2. 吉林陆军预备役步兵第四十七师, 长春 132012)

摘要:介绍了电控制机械式自动变速器(AMT)的概念、基本原理及其优缺点,重点对AMT关键技术的国内外发展现状进行了较为详细的分析和介绍;AMT的关键技术包括执行机构的设计、起步过程中离合器的控制、换挡过程的控制和发动机的控制;近年来,这些技术在国内已取得了较为快速的发展,但在很多方面仍需要改善和提高;未来在我国发展和推广AMT技术具有很好的前景和十分重要的意义。

关键词:电控制机械式自动变速器;关键技术;发展现状与展望

本文引用格式:王兴野,李国强,彭志召,等. AMT 关键技术的发展现状与展望[J]. 四川兵工学报,2014(9):43-47.

中图分类号:U463.212

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2014)09-0043-05

Present Status and Developing Prospect on Automatic Mechanical Transmission's Key Technology

WANG Xing-ye¹, LI Guo-qiang¹, PENG Zhi-zhao¹,
HUANG Da-shan¹, ZHANG Dong-sheng²

(1. Brigade of Equipment Trial and Training, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Jilin Army Reserve 47th Infantry Division, Jilin 132012, China)

Abstract: This paper presents the concept, basic working principle and the merits and demerits of AMT, giving a relatively detailed introduction and analysis on the present developing status of AMT's key technology at home and abroad. The key technology of AMT consists of the design of the actuator, the control of the clutch in the process of start-up, the control of the gearshift and the control of the engine. Though these technologies have achieved quick development in recent years, it still requires improvement and enhancement at many aspects.

Key words: automatic mechanical transmission; key technology; present status and developing prospect

Citation format: WANG Xing-ye, LI Guo-qiang, PENG Zhi-zhao, et al. Present Status and Developing Prospect on Automatic Mechanical Transmission's Key Technology[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(9):43-47.

1 AMT 简介

电控制机械式自动变速器(Automatic Mechanical Transmission)是在车辆总体传动结构不变的情况下,通过加装计算机控制的自动操纵系统来实现换挡自动化的自动变速装置,能够根据油门、车速和驾驶员指令等参数,确定最佳挡位,代替由驾驶员人工完成的对离合器和换挡装置的操纵,最终实现

换挡过程的自动化。AMT的核心技术是控制系统各执行机构的设计、换挡策略的制定和计算机的控制。因此,各执行机构的可靠性、换挡策略的有效性和控制的质量将直接决定换挡的质量和车辆的性能。

2 AMT 的优缺点

目前,市场上的自动变速器除AMT,还有液力机械式自

动变速器 (Automatic Transmission, AT)、机械无级变速器 (Continuously Variable Transmission, CVT) 和双离合式自动变速器 (Dual Clutch Transmission, DCT)。与手动变速和另外两种自动变速器相比, AMT 主要有以下优缺点。

2.1 AMT 的优点

自动变速器取消了驾驶员对离合器和换挡操纵杆的操纵。这不仅简化了操作, 减轻了驾驶员的劳动强度和疲劳程度, 而且提高了驾驶员和乘员乘坐时的安全性与舒适性, 改善了车辆行驶的动力性。尤其是在道路情况比较复杂的环境下, 避免了驾驶员的频繁手动换挡, 作用尤为明显。

由于电控系统可以按照最佳的离合器接合规律和换挡策略对离合器、变速器和发动机进行控制, 减小了零部件之间的磨损, 提高了换挡的品质, 可以提高零部件的使用寿命和燃油的经济性。

AMT 是在原有的变速箱上进行的改造, 建立一条 AMT 的生产线只需 AT 的约 1/25, 改造一台车辆的费用不足 AT 的 1/4, 所需的成本相对较低^[1]。传统机械式变速器技术成熟, 从事相关研究的技术人员较多, 进行 AMT 改造的基础好, 且维修相对简单。驾驶人员可以根据自己的驾驶能力和自身需求在手动变速和自动变速之间进行选择, 满足了不同人员的不同需求。

2.2 AMT 的缺点

与 AT 和 CVT 相比, AMT 换挡时需要通过操纵离合器切断动力, 属于动力中断换挡, 离合器控制质量的好坏将直接影响到换挡的品质, 离合器的控制也成为了困扰 AMT 技术发展的主要难点之一。由于 AMT 换挡过程中不能很好的缓和换挡的振动和冲击, 起步和换挡品质不高, 其平顺性、舒适性相对较差。不过, 近年来随着厂家对 AMT 相关技术的不断改进, 目前配装 AMT 的车型在驾驶和乘坐的舒适性上已经有了一定程度的提升。

3 AMT 关键技术的发展现状

由于 AMT 系统涉及的技术复杂、控制难度大, 其中的关键技术如执行机构的设计、车辆起步的控制、换挡过程的控制和发动机的控制等方面, 还存在较多的问题需要改善和提高。如何使 AMT 系统能够自动适应外界复杂多变的环境和车辆运行过程中各参数的变化, 确保车辆始终处于性能最佳状态, 成为当前 AMT 系统研究的重点和难点, 也成为了 AMT 技术能否更加广泛运用的关键。

3.1 执行机构研究现状

良好的执行机构应满足工作稳定可靠、响应速度快、定位准确、安装布置方便和成本尽量小等要求。目前, AMT 的执行机构主要有 3 种类型: 电控气动式、电控液动式和电控电动式。为了最大限度的降低系统的成本, 执行机构的选择一般要充分利用好车辆原有的气压或液压装置。

执行机构的研究主要有两方面的内容和目的, 一是通过研究执行机构的控制特性, 为控制策略的制定、控制程序的编写和总体方案的设计提供理论依据; 二是通过分析执行机

构对 AMT 车辆性能的影响, 结合台架或实车试验过程中出现的问题, 对当前的执行机构进行优化与改进设计, 从而提高机构的控制性能或可靠性。研究中主要是采用建模仿真与台架或实车试验相结合的方法, 首先建立执行机构的数学模型, 然后将控制过程中的影响因素作为仿真参数, 按设定的目标进行仿真计算, 最后通过试验对仿真结果进行验证。下面对 3 种执行机构目前的研究现状作如下简要介绍与分析。

3.1.1 电控液动式执行机构

韩国汉阳大学研究建立了液压驱动式离合、换挡执行机构的模型, 并以此为基础对换挡的动态特性进行了研究, 通过优化换挡控制提高换挡质量^[2]。重庆大学以某重型汽车为研究对象, 通过对同步器受力的分析, 提出了液压驱动式换挡执行机构的设计要求, 开发设计了液压式换挡执行机构, 并根据换挡力和换挡时间等参数, 对液压缸的负载、速度等主要参数进行了设计计算^[3]。北京理工大学研究了液压式操纵机构在 AMT 车辆上的控制特点, 并基于试验结果, 分析了其对 AMT 车辆性能的影响, 针对试验过程中该机构所出现的故障对其进行了改进设计, 通过仿真分析和台架试验对新设计的液压执行机构进行了可靠性检验^[4-5]。

液压式执行机构具有能容量大、结构尺寸小、操纵简便、空间安装方便、易于实现安全保护等优点。但同时也存在换挡品质不稳定、成本高、结构复杂、维修性差等方面的不足。

3.1.2 电控电动式执行机构

江苏大学研究设计了离合器的电动执行机构, 建立了其数学模型, 运用 Matlab/Simulink 软件对其进行了仿真实验, 并把仿真结果和实车试验结果进行了对比分析, 实验证明设计能够满足操纵要求^[6]。重庆大学以实际换挡需求为依据研究了电控电动式执行机构的设计方法和流程^[7]; 华南理工大学以混合动力汽车为例设计开发了基于 CAN 总线的控制系统, 研究设计出了电机的驱动电路和基于数字 PID 的控制程序, 通过仿真及试验, 系统表现出了良好的稳定性和实用性^[8]。北京理工大学研究了纯电动汽车 AMT 换挡的控制方法, 设计了电机驱动的 AMT 换挡执行机构, 且通过实车试验验证了设计的可行性^[9]。

电机操纵式执行机构具有结构相对简单、响应速度快、动作准确迅速、容易实现精确控制的优点。但是目前成品较少, 主要应用于纯电动车辆和混合动力车辆。

3.1.3 电控气动式执行机构

北京理工大学以某 12 挡机械变速器为研究对象, 运用电控气动技术设计出了可移植的气压驱动集成选-换挡系统, 并测试了包括换挡电磁阀、调压电磁阀和快速响应开关电磁阀在内的气动阀的响应特点和控制特性^[10]; 后续研究中, 又运用气体热力学和动力学对气动执行机构进行了建模, 分析了影响其出力平稳性和出力速度的影响因素, 以冲击度、换挡时间和滑磨功率 3 个评价指标最优为目标, 运用正交优化仿真分析的方法, 优化了执行机构的结构设计^[11]。西北工业大学针对某 9 挡载重汽车手动变速器换挡机构的特点, 提出了执行机构的设计要求, 研究设计了新型的双作

用三位置气压缸选-换挡结构,并通过建模和仿真实验验证了设计的定位准确性和快速性^[12]。东北林业大学将气缸固定在不同位置,研究了气缸位置对压力的影响,然后在气缸运动的条件下研究了压力对阀位移、气缸速度的传递函数,最终建立了描述气压系统的三阶线性模型^[13]。

气动式执行机构具有容量大、污染少、操作简便、元件加工简单、易于实现安全保护和空间布置方便等优点。不足之处就是气动系统长期停放时有漏气现象存在。

3.2 起步时离合器的控制研究现状

起步时离合器的控制,特别是起步时离合器半接合点的确定及其前后的滑磨控制是决定车辆起步性能的关键。在半接合点前后,离合器接合过快,会造成较大的冲击,影响乘坐的舒适性和动力传动系统各部件的寿命,甚至还会造成发动机熄火;接合过慢,长时间的滑磨会造成摩擦片温度快速上升,加大了离合器的磨损,降低了离合器的使用寿命,同时也会对车辆的动力性造成一定影响。

当前,比较先进的离合器起步的控制方法主要有模糊控制法、非线性控制法、最优控制法和综合控制法。模糊控制法是选取影响因素作为控制参数,运用控制库中的控制规则,对控制器的输入进行模糊推理,得出结果后按照相应的控制规则对离合器的接合速度进行控制^[14]。这种控制方法避免了起步冲击,使车辆能够按照驾驶员的意图起步,但是由于模糊规则的确立缺乏系统的方法,主要依靠的是人的经验,因此其精确度不高,模糊规则的制定有时也比较困难。非线性控制算法是建立离合器位置与油门开度的非线性方程后进行控制^[15],这种方法在不增加滑磨功的前提下,有效降低了发动机的抖动与冲击,改善了车辆起步的平稳性与舒适性,是一种比较理想的控制方法,但也存在计算、分析方法相对复杂困难的问题。最优控制法是以离合器接合的两个评价指标:冲击度和滑磨功最优为目标,通过将发动机转矩、载荷转矩或接合压力对时间的导数等参数作为输入,在建立的离合器模型中进行计算,从而得出最优的控制结果^[16]。这种控制方法最为精确,但是由于冲击度和滑磨功是两个相互制约的量,无法同时达到最优,目前也存在权重系数难以合理的确定、接合力的测量比较困难、计算过程相对比较复杂等问题。对此,重庆大学提出了在冲击度满足舒适性要求的情况下使滑磨功尽量小的策略^[17],提供了一种解决确定权重系数问题的途径。综合控制法是把起步过程中离合器的控制与变速器的控制、发动机的控制协调起来,联合进行调节,以油门开度、发动机转速和输入轴转速 3 个变量对离合器进行控制,以改善起步性能^[18-19]。这种方法计算量相对较小,逻辑判断简单,且对环境变化、离合器磨损情况有较强的适应能力。

作为起步时的一种特殊情况,坡道起步在车辆实际行驶的过程中也是经常会遇到的一种情况,坡道起步控制的研究也是起步控制中的一项重要内容,因为如果坡道起步控制不当,车辆很有可能会出现倒溜的现象,甚至会引起很大的冲击或者发动机的熄火。为了保证车辆在坡道上能够顺利起步,国内外的普遍做法是在车上加装一个坡道起步器。对于

AMT 车辆,控制系统需要能够根据不同坡度所产生的阻力来调节发动机输出的转矩和离合器随制动器制动程度变化而进行接合的规律。北京理工大学通过对坡道起步过程中的驻车制动、离合器和油门踏板的协调控制,提出了坡道起步的辅助控制策略,并在实车上进行了试验,取得了较好的效果^[20]。

3.3 换挡控制研究现状

3.3.1 换挡过程中离合器控制研究现状

换挡过程中离合器的控制与起步过程中离合器的控制的不同之处在于,起步前车辆处于静止状态,离合器被动部分转速为零,离合器半接合点位置为车辆克服最大静摩擦力位置;而换挡过程中,车辆处于运动状态,离合器被动部分转速不为零,离合器半接合点位置为车辆克服动摩擦力位置。两种情况下离合器的半接合点位置不同。

目前,换挡过程中离合器的控制普遍采用的方法是先建立离合器的数学模型,然后输入控制变量进行仿真计算,并通过试验进行对比分析验证。如吉林大学通过建立离合器的数学模型,利用反馈理论的方法选取了适当的控制变量,并可通过仿真计算得出换挡过程中的目标转矩^[21];中国北方车辆研究所以控制冲击度和滑磨功为准则,针对越野车辆的 T. C. + AMT 自动变速系统设计了离合器的控制策略,并进行了建模与仿真分析^[22];同济大学等针对双离合(DCT)换挡过程中离合器控制的建模与仿真等^[23-24]。研究结果表明,通过此法建立的模型和控制方法具有较高的准确性。

3.3.2 挡位决策控制研究现状

从换挡控制所用参数角度划分,换挡规律的发展经历了单参数、两参数和动态 3 参数换挡规律的过程,其中单参数换挡规律不能很好的体现出驾驶员的驾驶意图,目前已很少使用;两参数换挡规律克服了单参数换挡规律的缺点,目前应用的最广泛,但是不能很好的反映车辆的动力特性;动态 3 参数换挡规律能够更好的反映车辆的运动状态,可控制车辆处于较好的动力性和经济性状态,提高了换挡的品质,是未来研究的重要方向。以不同控制参数为基础,目前挡位决策的方法主要可以分为两类,一类是以车辆的某种性能指标的最优为目标,选定换挡时的控制参数,计算求解出其挡位决策的规律。包括最佳经济性换挡规律、最佳动力性换挡规律和综合性换挡理论。另一类挡位决策方法就是基于专家系统的智能换挡方法,包括模糊换挡控制、神经网络换挡控制和模糊神经网络换挡控制。

重庆大学以车辆燃油经济性最佳为目标研究了最佳经济性换挡规律^[25];重庆大学、北京理工大学以获得最大的加速度为目标研究了最佳动力性换挡规律^[26-27];吉林大学兼顾动力性和经济性提出了综合性换挡理论^[28]等等。这类换挡方法开始研究的较早,拥有比较完善的理论和比较成熟的技术,在外界环境条件、路面情况和研究时设定的工况相一致时,控制系统能够给出以该指标最优为目标的最优的挡位决策。但是,当实际的车辆行驶环境与设定的工况不一致时,按其所计算出的挡位决策规律进行换挡,车辆性能就很

难达到最优了。

模糊换挡控制主要是基于两参数换挡规律,比如武汉大学利用遗传算法对对车辆 AMT 的模糊换挡控制进行的优化研究^[29],吉林大学对基于仿人智能的模糊换挡决策进行的研究^[30]。神经网络换挡控制的典型研究如重庆大学对 AMT 车辆的 3 参数神经网络换挡策略进行的研究,给出了神经网络换挡控制的控制算法^[31]。模糊控制和神经网络控制主要是利用驾驶员的驾驶经验以及专家的知识来制定挡位决策的规律,相对而言更加符合人的思维习惯,较好的体现了人工智能的优势,但同时也存在不足。主要就是模糊控制需要针对不同的对象制定不同的模糊规则、确定新的隶属度函数;神经网络控制中网络结构的建立经验性比较强等。通过上面的分析我们不难看出,综合运用模糊控制与神经网络控制,使两者的优点进行融合,对换挡决策的方法进行研究,无疑是一个很好的研究方向^[32-33]。

3.4 发动机控制研究现状

发动机输出的转速、转矩及其响应的速度等因素都会直接影响到自动变速器控制系统的挡位决策和离合器的控制,而影响发动机输出转速、转矩的因素又包含油门开度、供油提前角和点火提前角等诸多方面。因此,发动机控制技术也是 AMT 控制系统需要研究的重要技术之一。然而,由于发动机运行的过程是一个包括物理、化学和机械方面的复杂过程,很难建立十分准确的模型,这就给车辆动力传动系统的综合控制带来了十分不利的影响。

目前,对发动机控制的研究主要围绕两个方面:一是对发动机模型的研究;二是以发动机的模型为基础对发动机输出的转矩、燃油经济性等方面的预测估计与控制。比较典型的发动机模型有德黑兰 K·N·图什理工大学^[34]研究的发动机平均值模型,对各缸的工作状态进行平均处理;重庆大学所研究的基于神经网络的发动机模型,以转速和节气门开度为输入,模拟发动机输出转矩^[35];捷克的斯洛伐克技术大学、德国的斯图加特大学所研究的发动机非线性动力学模型,建立了各子系统的动力学模型^[36];天津大学所研究的发动机气动模型,把发动机当作黑箱来处理^[37]。基于发动机的模型,瑞典的林雪平大学研究了发动机的速度控制问题^[38];清华大学研究了基于平均值模型的在线发动机转矩估计^[39];克罗地亚的萨格勒布大学研究了基于卡尔曼滤波或者支持向量机和观测器的发动机转矩估计^[40];吉林大学利用多元线性回归方法建立的常规发动机转矩模型并进行了优化,研究了起步时发动机转速的控制和换挡时车速的动态补偿^[41];印度阿拉巴哈德大学运用神经网络法研究了进气压力、空燃比和燃油经济性等方面的预测控制^[42]。

由于发动机输出的响应存在较大的时间滞后性,为了提高 AMT 控制系统综合控制的效果,必须对发动机进行超前的调节与控制,充分考虑到响应时间滞后性所带来的影响。

4 推广 AMT 的前景展望

目前,国内的重型车辆普遍采用定轴机械式变速器,推

广 AMT 技术的应用不仅符合我国国情,而且市场潜力巨大。随着我国经济的快速增长,人民生活水平的提高,人们对车辆的驾驶舒适性、安全性、便捷性等方面的要求越来越高,自动变速是汽车发展的趋势。AMT 技术保留了车辆绝大部分原总成部件,只是在原有的机械变速器上进行改造,生产继承性好,改造投入的费用少,容易被生产厂家接受。我国幅员辽阔,人口众多,有着庞大的物流用车和大型客车的需求。且经过近三十年的研究,我国 AMT 的理论水平已经与国外水平相当,现在急需推出 AMT 的实际产品,避免国内市场全部被国外的汽车品牌所占领。随着新军事变革的深入,将自动变速技术应用到军用车辆,对于提高我军装备的现代化水平和提高部队的战斗力也将有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 何忠波,白鸿柏. AMT 技术的发展现状与展望[J]. 农业机械学报,2007,38(5):181-186.
- [2] Joo Y O,Young J P,Geun H L,et al. Modeling and Validation of a Hydraulic Systems for an AMT [J]. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING,2012,13(5):701-707.
- [3] 张辉,刘振军,秦大同. 重型汽车 AMT 液压换挡执行机构的分析与设计[J]. 液压与气动,2007(9):7-10.
- [4] 刘海鸥,陈慧岩,金亚英,等. 液压式离合器操纵机构在 AMT 车辆中的控制研究[J]. 液压与气动,2005(10):18-20.
- [5] 孟建民,陈慧岩,席军强,等. 自动机械变速箱液压换挡操纵机构的改进设计[J]. 机械设计,2009,26(1):62-65.
- [6] Yu Y,Wang G,Tian J Y. ANALYSIS OF ELECTRIC ACU-TATOR FOR LIGHT VEHICLE WITH AMT[C]. Ninth International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science, 2010:667-671.
- [7] 孙冬野,余盼霞,陶林,等. AMT 电动换挡执行机构分析与参数化设计[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2011(6):9-14.
- [8] 罗玉涛,赵克刚. 基于 CAN 总线的 AMT 控制器研究[J]. 汽车工程,2007(6):497-501.
- [9] 席军强,王雷,付文清,等. 纯电动客车自动机械变速器换挡过程控制[J]. 北京理工大学学报,2010,30(1):42-45.
- [10] 王阳,陈慧岩,席军强. 气动 AMT 阀控系统设计与特性测试技术研究[J]. 汽车技术,2008(10):50-55.
- [11] 王阳,席军强,赵熙俊,等. 气压驱动式自动换挡执行机构优化设计[J]. 农业机械学报,2010,41(1):23-28.
- [12] 杨小辉,徐颖强,李世杰. 载重汽车 AMT 气压换挡执行机构设计与动态分析[J]. 机床与液压,2010(3):64-66,90.

- [13] 詹长书,尹继辉,吕文超,等. 气压阀控缸系统动态特性的研究[J]. 液压与气动,2008(12):25-28.
- [14] 许男,崔胜民. 基于模糊技术的自动离合器起步控制研究[J]. 机械设计与制造,2010(3):100-102.
- [15] 孙冬野,顾永明,秦大同,等. 非线性控制方法在 AMT 起步控制中的应用[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(10):10-14.
- [16] GAO B. Z, CHEN H, LU X. - H, K. SANADA. IMPROVED OPTIMAL CONTROLLER FOR START-UP OF AMT TRUCKS IN CONSIDERATION OF DRIVER'S INTENTION[J]. International Journal of Automotive Technology, 2013,14(2):213-220.
- [17] 陈清洪,秦大同,叶心. AMT 重型汽车起步离合器最优控制[J]. 中国公路学报,2010,23(1):116-121.
- [18] 李永军,陈树星,崔勇. 机械式自动变速器起步过程综合控制[J]. 汽车工程,2003,25(2):178-181.
- [19] 雷雨龙,阴晓峰,谭晶星. 基于 CAN 总线的 AMT 综合控制策略研究[J]. 公路交通科技,2005,22(3):115-118.
- [20] 王洪亮,赵熙俊,刘海鸥. 重型汽车 AMT 电控气动坡起辅助控制[J]. 山东大学学报,2009(10):79-83.
- [21] 曹桂军,葛安林,郑磊,等. 电控机械式自动变速器换挡过程中离合器的接合控制[J]. 机械工程学报,2005,41(12):234-238.
- [22] 望运虎,杜志岐,李吉元. 越野车辆 T. C. + AMT 换挡过程主离合器控制策略研究[J]. 车辆与动力技术,2010(3):25-28,40.
- [23] 赵治国,仇江海. DCT 车辆起步及换挡过程双离合 H₂ 鲁棒控制[J]. 中国机械工程,2012,23(6):745-751.
- [24] Paul D. W, Zhang N, Richard T. Control of gear shifts in dual clutch transmission powertrains[J]. Mechanical Systems and Signal Processing,2011(25):1923-1936.
- [25] 叶明,秦大同,刘振军. 轻度混合动力 AMT 系统经济性换挡规律优化[J]. 系统仿真学报,2008,20(11):3012-3015.
- [26] 余荣辉,孙冬野,秦大同. 机械自动变速系统动力性换挡控制规律[J]. 农业机械学报,2006,37(4):1-4.
- [27] 李春蒂,陈慧岩,郑广军,等. 液力机械自动变速器动力性换挡点算法研究[J]. 汽车技术,2010(4):42-45.
- [28] 崔功杰. 工程车辆三参数最佳换挡规律及控制方法研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
- [29] 巫世晶,朱恩涌,张品忠,等. 基于遗传算法的车辆模糊换挡控制实验研究[J]. 机械设计与制造,2009(6):34-36.
- [30] 赵克利,马乐,刘亦远. 工程车辆智能换挡规律的仿真[J]. 中国公路学报,2006,19(5):123-126.
- [31] 陈清洪,秦大同. 自动变速汽车神经网络三参数换挡策略[J]. 控制理论与应用,2010,27(11):1580-1584.
- [32] 刘振军,胡建军,李光辉,等. 模糊神经网络的自动变速汽车换挡规律分析[J]. 重庆大学学报,2009,32(8):897-903.
- [33] 陈清洪,秦大同,叶心. AMT 汽车动态模糊神经网络三参数换挡策略研究[J]. 汽车工程,2010,32(6):505-509,476.
- [34] Kamyar N, Alireza N, Amir. H. Shamekhi. Design of an optimal idle speed controller for a turbocharged diesel engine using fuzzy logic method[J]. Journal of Mechanical Science and Technology,2012,26(8):2325-2336.
- [35] 胡建军,秦大同,杨为. 神经网络的 BP 算法在发动机建模中的应用[J]. 重庆大学学报,2004,27(7):18-20.
- [36] Martin H, Tobias R, Rolf F, et al. Nonlinear Model Predictive Control of a Turbocharged Diesel Engine[C]. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications,2006:2766-2771.
- [37] 谢辉,孙艳辉,夏超英. 基于动态递归神经网络的 HCCI 发动机燃烧相位辨识模型[J]. 内燃机学报,2007,25(4):352-357.
- [38] Lars E, Johan W, Markus K. Physical Modeling of Turbocharged Engines and Parameter Identification[J]. Automotive Model Predictive Control, LNCIS 402,2010:53-71.
- [39] 洪木南,欧阳明高. 基于汽油机平均值模型的在线转矩估计[J]. 机械工程学报,2009,45(4):290-294.
- [40] Danijel P, Josko D, Senior, Ilya K. Adaptive Kalman Filter-Based Load Torque Compensator for Improved SI Engine Idle Speed Control[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology,2009:98-110.
- [41] 郭彦颖. 重型卡车 AMT 系统关键技术的研究[D]. 吉林:吉林大学,2010.
- [42] Samir S, Satish C. An Optimization Algorithm for Neural Predictive Control of Air-Fuel Ratio in SI Engines[C]. IC-MIC. 2010:527-532.

(责任编辑 周江川)