

国内汽车机械式自动变速器技术研究综述

袁一卿

(同济大学新能源汽车工程中心 上海 201804)

摘要 文章简要回顾了近年来国内汽车机械式自动变速器技术研究状况, 总结了一些关键技术的研究进展, 特别是在换挡控制、起步控制、换挡规律等方面的研究成果。对于无离合器换挡、不分离离合器换挡技术的发展也进行了评述。

关键词 机械式自动变速器; 换挡控制; 起步控制; 换挡规律
中图分类号 TG 156 **文献标志码** A

A Review of Studies on Automated Mechanical Transmission Technologies for Automobile Applications in China

YUAN Yiqing

(Clean Energy Automotive Engineering Center, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract The state of the researches on automated mechanical transmission (AMT) technologies conducted in China in recent years were briefly reviewed in this article. The progress made on some of the key technologies, especially in such areas as shift control, launch control, and shift schedule was summarized. The development of technologies in clutchless shifting and shifting without disengaging the clutch was also elaborated.

Keywords automated mechanical transmission(AMT); shift control; launch control; shift schedule

1 引言

近年来, 随着汽车工业的高速发展, 国内外汽车自动变速器技术的研究在深度和广度上比前些年都有了显著变化, 集中体现在以下几个方面: (1) 研究的变速器种类不仅涉及各种主流变速器, 例如自动变速箱 (Automatic Transmission, AT)、机械式自动变速器 (Automated Mechanical Transmission, AMT)、双离合自动变速器 (Dual Clutch Transmission, DCT) 和无级变速器

(Continuous Variable Transmission, CVT), 而且还涉及一些新型的变速器结构; (2) 研究的课题涉及面很广, 涵盖诸如变速器的动力匹配、构型、控制策略等系统层面的课题以及离合器、齿轮、传动轴、箱体、密封、润滑等具体结构方面的问题, 研究的重点聚焦于动力性、经济性、换挡平顺性、换挡品质以及起步时的平顺性和减少滑摩等核心技术难题; (3) 研究方法亦不尽相同, 有的采用理论推导, 但更多的采用模拟仿真, 且大多数以台架或整车试验数据佐证。

毫无疑问, AMT 是近年来国内汽车自动变

变速器技术研究的热点。这不仅是因为相对于其他几种自动变速器而言它在结构上比较简单,与手动变速器的技术衔接性好,而且在用于混合动力和纯电动汽车时其动力中断的缺点可以通过技术手段部分或完全克服,因而成为最具性价比的自动换挡技术。

相比之下,国外的汽车自动变速器技术的研究除了 AMT 以外,还较为均衡地涉及 AT、DCT、CVT 等各种变速器,并非以 AMT 为主要研究方向。国外 AMT 已实现产业化,AMT 不再是学术研究的课题,更多的是在从事变速器开发和生产的公司进行的工程研究。国外的研究除了国内普遍关注的换挡控制、起步控制、换挡规律等控制方法相关的问题之外,还较多涉及系统层面的问题。例如,通过结构创新完全消除换挡时的动力中断的 Zeroshift AMT,通过辅助离合器来避免动力中断的动力换挡 AMT 等。在换挡执行机构方面,正在研究线性作动器等新技术。另外,除了在控制方面更加重视载荷、路面条件和交通状况等各种复杂工况对挡位决策的影响之外,国外的研究还较多涉及其他重要的工程问题,例如液压、润滑、噪声振动、加工制造、新材料等,因此更加系统全面。从技术的发展趋势看,国外在 AMT 控制的智能化和自适应性及其在混合动力汽车上的应用研究等方面领先于国内。由于篇幅所限,本文根据近年来国内期刊上发表的相关文献,仅对国内 AMT 方面的研究做一个综述。国内 AMT 技术的研究主要集中于动力匹配、换挡执行机构、起步控制、换挡控制等几个方面,其中以换挡控制方面的研究居多。由于从广义上讲 DCT 也属于 AMT 的范畴,因此本文中也包含了国内 DCT 方面的一些研究进展。

2 AMT 换挡技术的研究现状

AMT 换挡技术的研究以提高换挡平顺性和

换挡品质、减少冲击度和滑摩、缩短换挡时间为主要目标。

2.1 常规 AMT 换挡技术

常规 AMT 是指采用单个离合器的机械式自动变速器。根据其在传统燃油汽车、混合动力汽车和纯电动汽车上的不同应用,其换挡控制既有共同点又有不同点。

常规 AMT 在传统燃油汽车上的换挡控制技术正随着电子控制单元(Electronic Control Unit, ECU)中基于控制器局域网(Controller Area Network, CAN)总线的扭矩控制协议和功能的不断开放而迅速发展。以前,由于 ECU 中基于 CAN 总线的扭矩控制功能不开放,发动机的扭矩协调控制只能通过调节发动机节气门或外部强制断油来实现,自动变速箱控制单元(Transmission Control Unit, TCU)无法对发动机喷油量和点火提前角等进行主动调节,因而无法实现对发动机扭矩的快速、精确控制。另外,TCU 无法得到发动机精确扭矩信息,不能基于发动机扭矩对离合器进行精确控制^[1]。对 AMT 换挡过程发动机的控制主要开展了开环断油控制^[2,3]、模糊控制^[4,5]等控制方法。

随着 ECU 中 CAN 扭矩控制协议和功能的逐渐开放,基于发动机扭矩请求的 AMT 换挡控制成为趋势,一些研究开始从 CAN 总线的发动机扭矩控制角度出发,提出了发动机扭矩-离合器协调控制的换挡控制策略。例如,谢先平等^[1]提出了基于 CAN 总线的发动机联合控制策略,即 TCU 通过 CAN 及 ECU 扭矩控制功能对发动机扭矩进行精确控制,同时基于发动机瞬态扭矩对离合器实现精确分离和接合控制。针对不同换挡工况给出了离合器分离、接合与发动机降扭、扭矩恢复协调控制策略,同时提出了选换挡过程动态调整转速控制策略,以试验证明了其策略对增强 AMT 换挡过程的平顺性和动力性、减小离合器滑摩、提高换挡品质的效果。黄英等^[6]根

据 AMT 车辆换挡过程发动机负载变化的特点，将换挡过程划分为 3 个阶段。通过对 3 个阶段理想的发动机速度和转矩特性曲线的分析，将换挡过程发动机控制分为转速控制模式和转矩控制模式，制定了换挡过程发动机控制策略，并通过试验验证了该控制策略能够缩短换挡时间，减小车速损失，提高换挡品质。

离合器的控制直接影响换挡品质。这方面的研究主要聚焦于离合器位移的控制精度、响应速度、控制的鲁棒性以及方法的可实现性等方面。郭彦颖等^[7]建立了某重型载货汽车的离合器气动执行机构数学模型，通过仿真和试验发现，当目标位置设置较小时，单独控制相应电磁阀，活塞基本可以停在预定位置；当目标位置设置较大时，单独控制相应电磁阀，系统超调量较大，增加了离合器控制的难度。因此提出了分段动态控制器控制离合器的方法，能够使分离轴承实际位移很好地跟随理想位移变化。姜德艳等^[8]采用理论分析方法研究了带支撑环和不带支撑环情况下膜片弹簧分别在自由状态、空行程状态、压紧状态下的载荷-变形情况，发现带支撑环可以减少离合器打开时间、对离合器油缸压力控制响应速度和换挡品质有较大提升。华志建等^[9]针对 AMT 离合器的非线性、易受外部干扰和参数不确定性等特点，采用基于新型指数趋近规律的变结构控制，建立了离合器执行机构的动力学模型，仿真结果表明这种新型指数趋近规律的变结构控制比常规比例积分微分 (Proportional Integral Differential, PID) 控制有更好的鲁棒性。申业等^[10]对 AMT 换挡机构与电机进行了分析与建模，构造了换挡机构电机的非线性系统滑模控制器，使被控电机具有高精度的跟踪品质和较强的抗干扰能力。通过对 2 挡升 3 挡理想运动曲线跟踪控制仿真表明，滑模控制比传统 PID 控制跟踪精度高、响应速度快、抗干扰能力强，其不仅提高了挂挡过程换挡品质，而且又能保证同步器寿命。

梁琼等^[11]针对离合器后置式 AMT，提出了在转矩相对电机和离合器进行线性前馈控制、在惯性相应用 PID 控制器使离合器主从动盘的角速度差跟随期望的时间历程曲线的控制方法，仿真结果显示该控制策略能保持变速器输出转矩平顺变化，没有大的波动和动力中断。张建国等^[12]建立了电动干式 DCT 轿车离合器操纵系统的仿真模型，并采用积分分离的 PID 控制算法对无刷直流驱动电机进行 PID 控制，仿真结果与试验结果验证了控制算法满足系统控制要求，保证了 DCT 样车的平稳起步和换挡的平顺性。张松等^[13]针对单一优化算法易于局部收敛和早熟的缺陷，将元胞自动机和粒子群算法相结合，开发了元胞粒子群混合优化算法，并将其应用于干式 DCT 换挡品质优化，仿真结果表明通过优化离合器的压紧力能获得较好的换挡品质。陈强等^[14]建立了一种 7 速干式 DCT 传动系统模型，研究了其换挡过程中两个离合器工作时域重叠程度对其换挡品质的影响，结果表明重叠时间过长会加剧传动系统的振动，增加换挡冲击度，而重叠时间过短，则会影响车辆换挡的动力性，不能体现 DCT 动力换挡的优点。

AMT 在混合动力汽车上应用时，其换挡控制有着一些与燃油汽车不同的特点。例如，可以通过启动/发电一体化电机 (Integrated Starter and Generator, ISG) 电机配合电子节气门协调控制输入轴转速，以减小换挡冲击，缩短换挡时间。叶心等^[15]通过对 ISG 型中度混合动力汽车系统效率进行优化，确定了混合动力系统各驱动模式的工作区间和模式切换控制策略。以各驱动模式下系统效率最优的点作为换挡点，建立各驱动模式下的换挡规律，以提高混合动力系统的燃油经济性。在此基础上，采用 ISG 电机和发动机电子节气门协调控制的方法控制 AMT 换挡过程，以达到降低换挡冲击，提高换挡平顺性的目的。秦大同等^[16]针对某型混合动力 AMT 汽车的两种

典型工作模式提出了相应的换挡控制策略。在发动机驱动模式下,采用电动机和发动机电子节气门联合调速的换挡控制策略。而在发动机和电动机混合驱动模式下,采用不分离离合器的电动机主动调速的换挡控制策略。仿真和台架试验结果表明,所采用的换挡控制策略能有效减小换挡冲击,缩短动力中断时间,提高换挡品质。

离合器的磨损会导致其接合和分离特性发生改变,影响换挡性能,通过自适应控制和自调节对其进行补偿是一些研究的关注点。刘培等^[17]建立了干式双离合器膜片弹簧的实体模型,通过有限元分析得到自由状态膜片弹簧小端载荷位移曲线,并通过台架试验证明了曲线趋势的合理性,详细阐述了干式双离合器的自调节原理。

AMT 的选换挡是由执行机构完成的,为使选换挡在最短时间内完成,缩短动力中断时间,选换挡执行机构的最优控制也是研究重点之一。高智等^[18]基于线性二次型最优控制和滑模控制的理论,提出了一种选换挡电机的位置最优控制方法,将其应用于电动 AMT 汽车选换挡电机执行机构的控制上,并以仿真与实车试验结果表明该方法能有效减少电动 AMT 的换挡时间和动力中断,增强稳定性和鲁棒性,提高换挡品质,最终改善汽车的动力性和舒适性。徐秀华等^[19]在对全电式 AMT 的同步器自学习控制、退选换挡的时序控制、选换挡执行机构的精确控制及其故障诊断策略等进行分析的基础上,设计了同步器控制策略,通过 Matlab 控制模型的离线仿真以及通过 dSPACE 的实时仿真都验证了控制策略的正确性。徐秀华等^[20]还设计了一种可应用于车辆静态和动态 2 种工况下的全电式 AMT 选换挡位置自识别方法,并基于自识别的位置范围和控制目标制定了影响换挡品质的换挡控制策略,样机试验表明该选换挡位置自识别方法和换挡控制策略满足换挡时间的要求。

换挡控制研究的另一个主要目标是提高选换

挡系统控制的鲁棒性。李勇等^[21]提出了选换挡机构自学习控制策略,分别由控制软件实现变速器装配完成后的(离线)位置初始化和变速器使用过程中的(在线)位置修正,并通过试验验证了选换挡机构自学习控制策略的效果。

同步器是手动变速器和机械自动变速器中的一个重要部件,对实现迅速和舒适的换挡至关重要,因此同步过程的仿真是研究热点之一。陈震等^[22]建立了同步器的多刚体运动学模型,以模拟同步器同步环的锁止和同步过程,并将仿真得到的同步时间与理论值进行对比,结果只有小于 3% 的差异,作者还研究了换挡力和输入轴转动惯量等参数对同步器同步过程的影响。

2.2 无离合 AMT 换挡技术

无离合器换挡是混合动力汽车和纯电动汽车 AMT 技术的重要方向。由于系统中不采用离合器,同步器在换挡过程中的作用就显得更加重要。许多研究都对同步过程进行了详细的分析,提出了减小冲击、提高换挡平顺性的控制方法。程潇骁等^[23]通过对电机-变速器耦合系统进行动力学建模和仿真分析,探讨换挡力对其换挡冲击的影响,通过引入 Poisson 碰撞建立了换挡冲击模型,结果得到了换挡力对换挡冲击影响曲线,并揭示不同啮合情形的产生机理。对非同步打齿现象进行了讨论,推导出避免非同步打齿的临界换挡力。董翔宇等^[24]对单轴并联混合动力系统 AMT 的无离合器换挡策略中同步器同步过程控制进行了研究,制定了基于模糊推理的同步器同步过程控制策略,仿真结果表明该控制策略能有效减小同步器接合冲击度和滑摩功率。陈泳丹等^[25]对某电动客车存在的换低挡困难问题,通过建立换挡过程的数学模型和仿真,分析了换挡控制参数对换挡过程的影响,提出了根据目标挡位选取适当的目标调速值以改善换挡质量的控制策略,提出了目标调速值的设定原则,通过实车试验验证了该策略可缩短换挡时间,提高换挡的平

顺性。余致廷等^[26]针对电动汽车低速大转矩的要求，就无离合器两挡变速电动汽车驱动控制方案提出了一种基于转速模糊比例积分(Proportional Integral, PI)参数自整定的驱动电机矢量控制系统，仿真与实验结果表明，该系统克服了传统转速 PI 控制中存在的超调量大、响应速度慢等缺点，通过转速跟踪实现了电动汽车无离合器的换挡，提高了电动汽车在各种路况下的实用性。

2.3 不分离离合器 AMT 换挡技术

不分离离合器的 AMT 换挡技术也是当前的一个研究热点，它在本质上类似于无离合器 AMT 的换挡技术(假设换挡过程中离合器无打滑)，实际上是通过发动机扭矩和转速的精确控制使接合齿轮副达到无动力传递状态时进行换挡。王松等^[27]分析了载货汽车 AMT 不分离离合器摘挡、挂挡过程及换挡前后的动力中断与恢复过程，并将该技术应用于某重型载货汽车 AMT 中，试验表明该技术既能保证换挡的舒适性及缩短 AMT 换挡过程中动力中断时间，又能提高离合器使用寿命。王云成等^[28]对载货汽车装备电控机械式自动变速器的技术需求，提出了不分离离合器 AMT 技术，并对其系统组成、工作原理以及电动换挡和发动机调控等关键技术进行了分析，仿真和试验结果表明重型载货汽车采用不分离离合器 AMT 技术可以在保证换挡平顺性的基础上有效地缩短换挡时间。

2.4 换挡规律的研究

换挡规律是根据驾驶员意图、汽车的运行状态和道路状况等因素，按照汽车某些性能参数最优的原则，确定的汽车最佳挡位。它的制订是 AMT 控制的关键技术之一。目前较普遍采用的是两参数换挡规律，即根据油门开度和车速制订的换挡规律，但它无法反映路面条件和车辆载荷等外部条件的变化对换挡的影响。因此，不少研究者提出了一些新的换挡规律。陈清洪等^[29]提出了动态模糊神经网络三参数换挡控制原理及其

控制器训练算法，仿真与试验结果表明，采用动态模糊神经网络三参数换挡比两参数换挡档位切换曲面变化平滑，比传统算法求解换挡规律更简便，易于实现，鲁棒性更强，并能提高换挡性能、满足乘坐舒适性和车辆的燃油经济性。杨易等^[30]根据电池最大放电功率随电池荷电状态减小而减小的特性，制定出当电池最大放电功率大于或小于电机最大输入功率时的动态三参数换挡规律和动态四参数换挡规律。仿真结果表明，所制定的换挡规律可使车辆获得比传统的两参数换挡规律更好的动力性。

3 AMT 起步技术的研究现状

起步控制策略的优化研究的是在尽量降低滑摩功和冲击度的条件下保证整车起步的平顺性提高，以减少了起步过程中的滑摩功，提高离合器的使用寿命。唐娜娜等^[31]采用线性二次型调节器控制算法，对 6 速 AMT 微型乘用车的起步过程进行了优化，指出了状态变量和控制量的加权矩阵的最佳值(但没有指出推导过程)。张建国等^[32]以起步品质评价等级最高为目标构建适应度评价函数，对基于模糊控制的起步控制策略进行优化，得到了影响起步品质的离合器接合速度和发动机节气门开度的模糊控制规则最优解集，对优化前后的起步品质进行仿真对比，并通过整车试验验证了这一优化方法的可行性。孔慧芳等^[33]提出了离合器接合过程中发动机恒转速控制策略的多模态控制算法。从仿真结果可知，多模态算法控制效果在曲线变化上比较平缓、没有离合器振动情况出现，且多模态控制具有一定的自适应性。黄智明等^[34]将动态矩阵串级预测控制算法应用于离合器接合位置控制，实验结果表明，采用该算法时离合器接合位置跟踪过程中的波动、超调、上升时间和过渡时间等动态指标，均优于常规 PID 控制算法和单一动态矩阵控制(Dynamic

Matrix Control)算法,大大提高了起步控制品质。王洪亮等^[35]讨论了传统气助力式离合器操纵机构的基于流量电磁阀的电控液动自动化改装,通过理论分析和台架试验研究了基于流量电磁阀的气助力离合器自动操纵结构的工作特性,制定了车辆起步过程的离合器自动控制策略,并在试验车辆上验证了其实用性。

赵振和等^[36]对某款 AMT 半挂牵引车坡道起步辅助系统的控制策略进行了试验研究,对这一功能的开启和关闭控制策略进行了测试,并采用 AVL-DRIVE 汽车驾驶性能客观评价系统对 AMT 坡道起步品质进行了评价,发现其结果优于驾驶员采取驻车制动、离合器踏板和油门踏板三者的精确配合操作实现坡道起步时的品质。

4 结 论

综上所述,近年来国内的 AMT 技术研究几乎涉及 AMT 技术的全部重要领域,在深度和广度上都呈现迅速进展的态势。研究的重点聚焦于换挡控制、起步控制、换挡规律等几个核心技术领域。随着新能源汽车的发展,用于混合动力汽车和纯电动汽车的 AMT 的研究也取得了长足的进展。

AMT 换挡技术的发展趋势是不断提高控制的精细化水平和鲁棒性,以期最大程度地弥补 AMT 换挡动力中断这一最大弱点。着重表现在针对换挡过程划分不同阶段,并根据各个阶段的系统特点进行更加精准的转矩和转速调节以及离合器和换挡执行机构位移控制,除传统的 PID 方法之外还提出了其他一些新的控制方法,并且研究多种因素对换挡过程的影响,相关的仿真研究也不断深化,以更准确地理解换挡的动态过程。换挡控制精度的提高使得无离合器 AMT 换挡以及不分离离合器换挡变为可能,这代表了 AMT 技术的另一

重要趋势,即结构和控制的简单化,这有助于间接系统可靠性的提高和成本的降低。换挡规律已从两参数向三参数、四参数换挡过渡,以便更好地反映驾驶意图和路面、载荷的变化,四参数换挡规律已在量产车上得到实际应用。

AMT 起步技术的发展趋势是通过建立起步品质客观评价标准来明确起步控制目标,并采用一些新的控制策略和算法来代替传统的 PID 控制算法,以减小滑摩,提高起步的平顺性。仿真模型的持续改进也为这一物理过程的分析提供有力的支持。

随着研究的不断深入,上述的 AMT 控制技术将可望得到进一步改进和完善,从而推动这些技术在车辆中的实际应用。

参 考 文 献

- [1] 谢先平,梅近仁,李君,等. 基于发动机联合控制的 AMT 换挡控制策略 [J]. 汽车技术, 2012, 6: 28-32, 39.
- [2] 何忠波. 重型车辆 AMT 换挡品质控制与换挡策略研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2003.
- [3] 何忠波,白鸿柏,李东伟,等. 发动机断油控制改善 AMT 换挡品质试验研究 [J]. 农业机械学报, 2005, 36(10): 16-19, 49.
- [4] 马景龙,刘振军,秦大同,等. 重型 AMT 汽车发动机转速控制 [J]. 内燃机, 2007, 4: 21-23, 37.
- [5] 王云成,施国标,唐志东,等. 模糊控制在 AMT 系统发动机转速控制中的应用 [J]. 内燃机工程, 2000, 21(2): 11-16.
- [6] 黄英,万国强,崔涛,等. AMT 换挡过程发动机控制策略研究 [J]. 汽车工程, 2012, 34(3): 245-248.
- [7] 郭彦颖,卢新田,孙中辉,等. 重型载货汽车 AMT 离合器气动执行机构的建模与控制 [J]. 汽车技术, 2012, 4: 24-28.
- [8] 姜德艳,葛海龙,刘敏. 常开式离合器膜片弹簧支撑环对接合点的影响 [J]. 汽车技术, 2013, 5: 38-41.
- [9] 华志建,夏长高. 自动离合器的变结构控制 [J]. 汽车工程, 2013, 35(8): 731-734.

- [10] 申业, 吴光强, 罗先银. AMT 换挡电机精确跟踪控制 [J]. 汽车技术, 2014, 1: 24-28.
- [11] 梁琼, 任丽娜, 赵海艳, 等. 带 2 挡 I-AMT 纯电动汽车的换挡控制 [J]. 汽车工程, 2013, 35(11): 1000-1003, 1010.
- [12] 张建国, 雷雨龙, 宗长富, 等. 干式 DCT 轿车离合器操纵系统仿真与试验 [J]. 汽车技术, 2010, 3: 51-55.
- [13] 张松, 吴光强, 郑松林. 基于元胞粒子群算法的干式 DCT 换挡品质优化 [J]. 汽车工程, 2011, 33(9): 809-813.
- [14] 陈强, 李聪聪, 喻凡, 等. 基于 AMESim 的双离合器变速器建模及其在 Simulink 中的仿真 [J]. 汽车技术, 2011, 10: 34-37, 41.
- [15] 叶心, 秦大同, 胡明辉, 等. ISG 型中度混合动力 AMT 汽车换挡综合控制 [J]. 汽车工程, 2011, 33(9): 799-804.
- [16] 秦大同, 杜波, 段志辉, 等. 某型混合动力汽车 AMT 换挡控制策略的研究 [J]. 汽车工程, 2013, 35(11): 1004-1010.
- [17] 刘培, 陈慧岩, 李垚, 等. 基于某变速器的干式双离合变速器自调节原理分析 [J]. 汽车技术, 2014, 3: 17-20.
- [18] 高智, 钟再敏, 孙泽昌. 电动 AMT 选换挡电机执行机构位置最优控制 [J]. 汽车工程, 2011, 33(2): 133-137.
- [19] 徐秀华, 陈勇, 罗大国, 等. 全电式 AMT 同步器控制分析及其验证 [J]. 汽车技术, 2013, 5: 41-45.
- [20] 徐秀华, 陈勇, 罗大国, 等. 全电式 AMT 选换挡位置自识别方法和换挡策略研究 [J]. 汽车技术, 2013, 10: 22-25, 46.
- [21] 李勇, 常思勤, 魏英俊. AMT 选换挡机构自学习控制策略研究 [J]. 汽车工程, 2010, 32(10): 878-882.
- [22] 陈震, 钟再敏, 章桐. 基于 ADAMS 的同步器同步过程仿真分析 [J]. 汽车工程, 2011, 33(4): 340-344.
- [23] 程潇骁, 陈红旭, 田光宇, 等. 换挡力对电机-变速器耦合系统换挡冲击的影响 [J]. 汽车技术, 2014, 4: 1-5.
- [24] 董翔宇, 席军强, 陈慧岩. 并联混合动力汽车 AMT 无离合器换挡同步过程控制 [J]. 汽车工程, 2011, 33(12): 1047-1050.
- [25] 陈泳丹, 梁万武, 席军强, 等. 电动客车 AMT 换挡过程控制策略的研究 [J]. 汽车工程, 2011, 33(5): 405-410.
- [26] 余致廷, 袁俊波, 李英, 等. 基于模糊 PI 控制策略的电动汽车无离合器两挡变速控制 [J]. 汽车工程, 2012, 34(11): 976-980.
- [27] 王松, 张志欧, 董瑞先, 等. 载货汽车 AMT 不分离离合器换挡技术的研究与应用 [J]. 汽车技术, 2014, 2: 13-15, 52.
- [28] 王云成, 王庆年, 谢飞, 等. 重型载货汽车不分离离合器 AMT 技术 [J]. 汽车技术, 2010, 5: 14-18.
- [29] 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.
- [30] 杨易, 江清华, 周兵, 等. 纯电动汽车最佳动力性换挡规律研究 [J]. 汽车技术, 2011, 3: 1-5.
- [31] 唐娜娜, 陈勇, 高阳, 等. 6-AMT 微型乘用车起步优化控制 [J]. 汽车技术, 2014, 4: 21-24.
- [32] 张建国, 雷雨龙, 王加雪, 等. 基于客观评价模型的 AMT 汽车起步品质优化方法 [J]. 汽车工程, 2014, 36(4): 459-463, 508.
- [33] 孔慧芳, 罗文俊, 鲍伟. 发动机恒速运转下离合器接合过程的多模态控制 [J]. 汽车工程, 2010, 32(10): 888-891.
- [34] 黄智明, 张建武, 鲁统利, 等. 基于 DMC-PID 串级控制算法的 AMT 离合器接合位置控制 [J]. 汽车工程, 2010, 32(2): 133-136, 115.
- [35] 王洪亮, 刘海鸥, 赵熙俊, 等. 基于流量阀的自动操纵机构的 AMT 离合器改装研究 [J]. 汽车工程, 2011, 33(1): 47-51.
- [36] 赵振和, 邢红岩, 张红星. AMT 半挂牵引车坡道起步辅助系统的试验研究 [J]. 汽车技术, 2014, 2: 31-35.