

汽车自动变速器发展综述

吴光强^{1,2}, 孙贤安¹

(1. 同济大学 汽车学院, 上海 201804; 2. 东京大学 生产技术研究所, 东京 153-8505)

摘要: 对目前国际上 5 种自动变速器进行了全面系统地介绍, 阐述了各种自动变速器的传动机理, 给出其发展历史及国内外研究现状. 从数字仿真技术、起步控制、换挡规律制定、换挡品质优化、执行机构设计以及制造工艺等角度提出了自动变速器的共性关键技术. 总结了各种自动变速器的主要生产厂商以及在国内汽车市场应用情况. 最后对比了其优缺点, 并提出发展趋势.

关键词: 自动变速器; 起步控制; 换挡规律; 换挡品质
中图分类号: U 463.212 **文献标识码:** A

Development Survey of Automobile Automated Transmission

WU Guangqiang^{1,2}, SUN Xian'an¹

(1. College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, Tokyo 153-8505, Japan)

Abstract: Five automated transmissions popular in international automobile market are introduced systematically. Transmission principle of five transmissions is expatiated, and development history and state-of-art of the automated transmissions are advanced. From the perspective of simulation skill, launch control, shifting schedule establishment, shifting quality optimized, actuator design, and product manufacture, the same key techniques of automated transmissions are proposed. Representative manufacturers and the application status in China market are listed. Advantages and disadvantages of automated transmissions are compared, and development perspective is presented.

Key words: automated transmission; launch control; shifting schedule; shifting quality

变速器是传统汽车和混合动力电动汽车动力传动系统的重要部件. 变速器的性能对整车的动力性、

经济性、舒适性等有着重要的影响. 近年来, 随着汽车保有量的大幅上升, 驾驶经验欠缺的司机数量的急剧增加以及石油价格的不断上涨, 能源危机似乎一触即发, 人们迫切需要一种操纵简便、节能环保的汽车. 装载自动变速器的车辆, 使驾驶员不再像驾驶手动变速器(manual transmission, MT)汽车那样频繁地使用离合器踏板, 且具有操纵方便、起步平稳、乘坐舒适性好等诸多优点, 因此, 其市场占有率在逐步提高.

目前, 国际上自动变速器主要有以下 5 种: 液力机械式自动变速器(automatic rransmission, AT)、电控机械式自动变速器(automated mechanical transmission, AMT)、机械无级式自动变速器(continuously variable transmission, CVT)、无限变速机械式自动变速器(ininitely variable transmission, IVT)、双离合器式自动变速器(dual clutch transmission, DCT).

国内外相关论文很多, 但是都没有能够对这 5 种自动变速器进行系统地介绍, 也未对其各方面性能进行详细对比. 本文在综合前人研究的基础上, 分析了 5 种自动变速器的传动机理、发展历史、研究现状、生产与应用情况和优缺点, 总结其共性关键技术, 提出发展趋势, 以达到对自动变速器的全面认识.

1 自动变速器传动机理

1.1 液力机械式自动变速器

AT 由液力变矩器、定轴式/动轴式变速器组成, 通过液力传递和齿轮组合的方式实现变速变矩. 由于液力变矩器速比在一定范围内可以连续变化, 所以 AT 是分段无级变速, 且属于动力性换挡, 即换挡过程中动力不间断. 根据挡位数目不同, 可以分为 4 速、5 速、6 速以及 7 速 AT 等类型.

收稿日期: 2009-06-22
基金项目: 上海市科委资助项目(06dz11002, 08dz1150401)
作者简介: 吴光强(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为汽车设计及理论. E-mail: wuguangqiang@tongji.edu.cn

1.2 电控机械式自动变速器

AMT 是在 MT 和离合器基础上配备一套电控执行机构通过自动切换挡位以达到更好传递动力目的的部件.换挡过程中 AMT 存在动力中断,是非动力性换挡.根据执行机构作动方式的不同,AMT 可以分为电控电动、电控液动和电控气动 3 种类型.

1.3 机械无级式自动变速器

CVT 在其速比变化范围内消除了有级式自动变速器的挡位概念,实现了真正意义上的无级变速,变速过程更加平稳、迅速,可使汽车获得更好的动力性、燃油经济性以及低排放性能. CVT 种类很多,目前应用的主要有带式 and 链式 2 种.带式 CVT 应用最为广泛,通过主、从动带轮的可动锥盘轴向运动改变传动半径,从而实现速比无级变化.

1.4 无限变速机械式自动变速器

IVT 是一种无限变速传动机构,由速变器与行星排结合而形成的.它可在不需倒挡齿轮的情况下实现倒挡,进一步扩展了速比范围;也可以在没有诸如液力变矩器或起步离合器等装置的情况下实现汽车起步.根据速变器类型不同,可以分为带式、半环形和全环形等形式.

对于带式速变器的 IVT,其传动机理与带式 CVT 类似,但是它能够实现正反向的无级变速.图 1 为 IVT 典型结构,速变器输入轴与行星排太阳轮连接,作为 IVT 输入轴,速变器输出轴与行星齿轮架连接,则齿圈作为 IVT 输出轴,输出动力.图中, ω_{in} ,

ω_{out} 为 IVT 输入、输出转速; τ_{PG} , τ_V , τ_{FR} 分别为行星排、速变器、常啮合齿轮副的传动比.

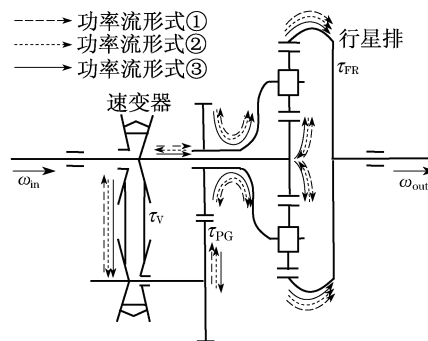


图 1 无限变速机械式自动变速器典型结构
Fig.1 Typical structure of infinitely variable transmission

这种 IVT 有 3 种可能的功率流形式(如图 1).其中一种是没有功率回流(图 1 中③代表该形式下的功率流流向),但是这种情况下 IVT 速比范围小于速变器速比范围^[1],实用价值不大;另外 2 种功率流形式(图 1 中①和②所示)会有一定的功率回流,尽管影响传动效率,但是可以实现正向、反向以及空挡行驶.

根据各组件的转速、转速和功率关系,得到功率流形式①和②情况下 IVT 各关系如表 1 所示.表中, τ_{IVT} 为 IVT 传动比; P_{circu} 为 IVT 寄生功率值; η_{PG} , η_{FR} , η_V 分别为行星排、常啮合齿轮副、速变器的传递效率; η_{IVT} 为 IVT 效率; $P_{IVT,inp}$ 为 IVT 输入功率.

表 1 2 种功率流形式下的 IVT 性能对比

Tab.1 Performance comparison between the two power flows

物理量	功率流形式①	功率流形式②
τ_{IVT}	$\tau_{IVT} = \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} = \tau_{PG} + (1 - \tau_{PG}) \tau_V \tau_{FR}$	$\tau_{IVT} = \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} = \tau_{PG} + (1 - \tau_{PG}) \tau_V \tau_{FR}$
P_{circu}	$P_{circu} = \frac{\eta_{PG} - \eta_{IVT}}{(1 - \eta_{FR} \eta_{PG} \eta_V)} P_{IVT,inp}$	$P_{circu} = \frac{\eta_{FR} \eta_{PG} \eta_V - \eta_{IVT}}{1 - \eta_{FR} \eta_{PG} \eta_V} P_{IVT,inp}$

在正向行驶过渡到反向行驶的过程中,不需要特别的反向机构;此外,还存在效率为零的现象,出现短暂的功率中断,即空挡行驶状态.

1.5 双离合式自动变速器

DCT 是基于平行轴式 MT 发展而来的.它将变速器挡位按奇、偶数分别布置在与 2 个离合器所联接的 2 个输入轴上,通过离合器的交替切换等完成换挡过程,实现了动力换挡,具有良好的换挡品质.根据双离合类型不同,可以将 DCT 分为干式和湿式 2 种.根据中间轴数目不同,也可以将其分为单中间轴式和双中间轴式 2 种.

结合各种自动变速器的传动机理,得到其速比范围的特性对比,如图 2.其中,R 代表倒挡,N 代表空挡.

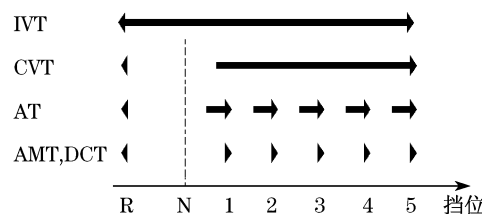


图 2 自动变速器速比范围对比图
Fig.2 Ratio range comparison among automated transmissions

2 自动变速器发展历史及研究现状

2.1 液力机械式自动变速器

从整车的经济性角度考虑,AT研究工作主要围绕提高效率来展开.20世纪30年代后期到50年代是AT的成长期,多采用液力偶合器和行星齿轮变速器;60年代采用多元件工作轮;70年代使用闭锁离合器;80年代采取增加挡位和使用电子控制的技术;近几年,则通过采用CAD/CAM技术来提高生产效率.

从提高效率考虑,AT今后逐渐朝着多挡位如6挡、7挡甚至8挡方向发展.国内很多院校对AT进行了机械系统、液压系统、电控系统等方面的研究^[2].

2.2 电控机械式自动变速器

1985年,日本五十铃公司率先研制成功NAVI-5型全自动机械式变速器并装车.1986年,AMT技术第1次应用在F1法拉利赛车上.1995年,本田的部分Civic轿车装载了AMT.1996年,宝马M3轿车M序列式变速器采用了全新电液控制系统,有自动和手动2种模式.ZF公司也推出了新产品AS Tronic系列,可以灵活选择各种驾驶模式(动力型或经济型),并将变速器所有功能集成在一个单元里,提高其可靠性,是世界上第一台完全一体化的AMT.2006年,马瑞利公司推出了第3代AMT产品,换挡时间大幅缩短,控制在300 ms以内^[3].

AMT的研究工作主要围绕发动机、离合器和变速器等对象的控制展开的,进而实现起步和换挡时的自动化.国内AMT技术的研究开展得比较晚.文献[4-5]对不同作动方式AMT的结构和工作原理、国外主要产品及其性能等进行了分析对比,提出应在国产商用车上推广该项技术,从而提高该领域的档次和市场竞争能力.

2.3 机械无级式自动变速器

19世纪70年代,出现了机械式CVT,但发展缓慢.20世纪70年代以后,随着先进制造加工技术的出现及完善,其获得了迅速和广泛的发展.20世纪80年代以后,美国、日本等国研究重点是高效率大转矩CVT开发.21世纪以来,其发展更为迅猛,全球超过700万辆带式CVT汽车,应用车型超过60多款.

国外各大公司及学者^[6-7]介绍了不同类型CVT的基本结构及其机电液系统的构成,并与AT和

DCT进行全方位对比,得出其发展趋势.国内^[8]对比了CVT金属带和金属链的结构和优缺点,分析了机液控制系统和电液控制系统,并提出其发展趋势.

2.4 无限变速机械式自动变速器

1905年,IVT就已经诞生,它主要使用圆盘和滚轮构成的速变器,结构简单,但由于摩擦本身带来的能量损耗大、发热量高、传递转矩小和材料不耐用等缺点,没有进行批量生产.后来英国Torotrak公司研发出IVT并注册专利,业界一直将它视为CVT.2002年,美国Torvec公司开发出另一种类型IVT.2003年3月,在美国底特律举行的汽车工程师学会年会上将其单独分类.

Torotrak公司^[9]采用全环形IVT技术,使用了2套离合器,该结构明显改善了汽车燃油经济性,并将其应用于混合动力汽车进行研究.Torvec公司^[10]结合了其液压泵专利技术和传动装置,开发出IVT,在通用汽车公司一款运动型多功能车上安装;并将其与装载4速AT的汽车进行对比试验,部分典型工况下节油效果超过20%.国内少数学者对IVT进行研究,但是目前还没有开发出相应样车.

2.5 双离合式自动变速器

20世纪30年代末,Rudolf Franke首先提出DCT的想法.1985年,保时捷将双离合器(porsche doppel kupplungen, PDK)技术应用在跑车上.1999年,大众公司和美国BorgWarner公司合作,制造出直接换挡变速箱(odirect shift gearbox, DSG)即DCT,于2003年初率先装车使用.实车结果表明DCT车辆换挡平顺性与AT相当,百公里油耗及加速性能都优于MT.截至2007年底,全球DCT轿车已经超过100万辆.2008年初大众在高尔车上装载采用干式双离合器技术的第二代DCT.专家预测,未来几年中,DCT为增长速度最快的自动变速器,预计到2010年,市场占有率将达到18%^[11].

近年来,国内也掀起了DCT的研究热潮.文献[12-13]分析了DCT机械系统和控制系统的关键技术,提出发展DCT可以保护现有MT的生产设备,生产继承性好,非常适合我国国情.

3 自动变速器共性关键技术

尽管结构原理有很大差别,但是,开发过程中自动变速器有一些共性的关键技术,譬如数字仿真技术、起步控制、换挡规律制定、换挡品质优化、执行机构设计以及制造工艺等.

3.1 纯数字仿真与硬件在环仿真开发技术

自动变速器开发过程中,有 2 种仿真方式:纯数字仿真与硬件在环仿真(hardware-in-the-loop simulation, HILS)。

文献[14]建立了车辆系统动力学模型,通过纯数字仿真对开发的控制策略进行验证。此外,很多软件公司也在不断开发适应于不同领域的高集成度模块,方便用户开展建模和仿真工作。

与纯数字仿真开发模式相比,HILS 开发模式可以实时观测系统中硬件的动作情况,更贴近于实车环境。目前,应用较为广泛的有基于 xPC 和 dSPACE 平台等开发模式。文献[15]利用 dSPACE 平台,开发了 AMT 的 HILS 试验台,验证了控制系统的有效性。HILS 开发模式已经成为汽车自动变速器开发过程中不可或缺的一个环节。

3.2 起步控制

对于使用离合器进行发动机动力传递的车辆而言,起步过程中离合器接合速度和位移控制是研究重点。

文献[16]通过对液压缸的微小位移控制,实现离合器的接合或分离,试验证明该方法有很强的容错能力。文献[17]将模糊 PID(proportion integral derivative)控制方法应用到离合器接合控制中,具有较强的自适应性。

将各种先进控制理论应用到起步控制中,使系统具有良好的鲁棒性能;结合驾驶员的操作习惯及不同的路况不断修改起步规则,使其具有自学习和自适应功能,从而达到最优效果。

3.3 换挡规律制定

对于有级式自动变速器而言,换挡规律制定是极为重要的。传统的换挡规律主要是单参数、二参数、三参数换挡规律,现在,换挡规律制定过程中已经集成了各种诸如模糊控制、神经网络等先进控制理论,并且是动态变化的。

文献[18]制定了 AT 新型换挡规律,与基于其他智能控制思想的换挡规律相比,其软件易编写,硬件易实现,可进一步降低成本。文献[19]提出了动态三参数换挡规律,通过实车试验,验证了其与传统二参数换挡规律相比具有更好的动力性和经济性。

今后,需要完善优秀驾驶员的驾驶经验数据库,制定不同复杂工况下的换挡规律;此外,可以根据驾驶员驾驶习惯随意选择工作模式,更加智能化。

3.4 换挡品质优化

目前大多数研究成果主要针对 AMT 换挡品质

来开展的,当然,AT 和 DCT 的研究工作也可以借鉴 AMT 的部分研究成果。

换挡品质主观评价是指换挡过程中产生的换挡冲击对人的生理和心理上的感觉的直接影响,这点可以用人的不舒适程度来反映。这一指标因人而异,根据人的年龄、性别、心情和驾驶经验等,会有不同的主观感觉,具有较大主观性。

换挡品质客观评价指标主要有换挡时间、冲击度和滑摩功。文献[20]结合换挡时间和冲击度等性能指标开发了换挡品质客观评价系统,建立了主、客观评价指标之间的非线性关系。

国际上很多学者针对换挡品质的部分领域已经进行了很多研究,但是,尚未确定完善的、更加科学合理的关于换挡品质评价的指标与标准。这一标准需考虑包括动力性、燃油经济性、传动系统耐久性、舒适性等方面的因素。

3.5 执行机构设计

在自动变速器工作过程中,离合器和变速器执行机构响应的速度及精度控制尤为重要,是关键技术之一。总体说来,执行机构有 3 种作动方式:液压作动、气压作动以及电作动。

以 DCT 为例,电作动方式在降低油耗方面有着更大潜力,也有文献[21]对湿式和干式 DCT 进行对比。

执行机构要求有较高的响应速度和执行精度,通过完善自身的结构设计和采用智能控制方法是未来的发展趋势。

3.6 制造工艺

AT 发展到现阶段,机械系统发展相对渐趋缓慢,而控制系统仍需要开展大量研究工作。AMT 的控制系统较难开发。带式 CVT 开发过程中与带式 IVT 一样,都面临着金属带不易生产制造及寿命较短这一问题。DCT 开发过程中双离合器模块和扭振减震器模块难于制造,并且控制系统较为复杂。

4 自动变速器生产与应用

4.1 自动变速器生产厂商

全球 90% 以上的 AT 市场被 3 家公司垄断。AMT 国际上不少公司都拥有量产能力。CVT 核心厂商集中在德国和日本。IVT 领域里,英国 Torotrak 公司,拥有专利多项。DCT 领域核心厂商有 3 家。

表 2 给出了国际上各种自动变速器的主要厂商及产品类型。

4.2 自动变速器国内外应用

在国际上,这几种自动变速器大多已经得到了

表 2 各种自动变速器主要厂商及产品类型

Tab.2 Automated transmission manufacturers and product types

类型	生产厂商	产品类型
AT	德国 ZF 公司	
	日本 Aisin 公司	
	日本 Jatco 公司	
AMT	德国 ZF 公司	电控液动式
	美国 Eaton 公司	电控液动式
	意大利 Marelli 公司	电控液动式
	德国 Benz 公司	电控液动式
CVT	德国 Bosch 公司	带式
	德国 Luk 公司	链式
	德国 ZF 公司	带式和链式
	日本 Fuji 公司	带式
IVT	英国 Torotrak 公司	全环形
	美国 Torvec 公司	带式
DCT	美国 BorgWarner 公司	湿式
	德国 Luk 公司	湿式 干式
	德国 Getrag 公司	湿式

广泛的应用.每种自动变速器都有自己的主要市场:AT 在美国汽车市场占有绝对优势,AMT 在商用车

上应用比例较高,CVT 以日本汽车市场为主,IVT 暂时没有得到广泛的应用,而 DCT 主要在德国等欧洲汽车市场获得了相对较广泛的应用.

在国内,目前还是以 MT 为主,自动变速器中以 AT 占有量最大,国内市场自动变速器的乘用车应用情况见表 3.

表 3 国内市场自动变速器乘用车应用情况

Tab.3 Application of automated transmission in China market

类型	国内市场的应用车型
AT	绝大部分
AMT	奇瑞 QQ、华晨中华路宝、东南三菱蓝瑟、哈飞路宝、双环红星小贵族等车型
CVT	上汽名爵、一汽奥迪 A4、东风日产轩逸、广汽本田飞度、奇瑞旗云、海马福美来等车型
DCT	上海大众朗逸、一汽大众迈腾、高尔夫等车型

5 自动变速器优缺点及发展趋势

5.1 自动变速器优缺点

每种自动变速器都有其自身的优缺点,具体表现在机械系统和控制系统中.表 4 给出了 5 种自动变速器的优缺点对比.

表 4 自动变速器优缺点对比

Tab.4 Advantages and disadvantages of automated transmissions

自动变速器类型	优点	缺点
AT	实现车辆平稳起步和迅速加速;利用液力传动本身特有的减振性能降低振动,提高乘坐舒适性.	液力传动工况下效率相对较低;结构复杂.
AMT	效率高、成本低、机构简单;生产继承性好、维护保养方便.	换挡过程动力传递中断;舒适性较差.
CVT	重量轻、体积小、零件少、燃油经济性与动力性提高的潜能较大.	金属带制造困难,可传递转矩相对较小
IVT	重量轻、零件少、结构紧凑、可实现速比过零点.	对过零点的速比控制比较困难.
DCT	传动效率高、生产继承性好、可传递转矩较大.	双离合模块难于生产制造,且控制策略复杂.

5.2 自动变速器发展趋势

- 自动变速器发展趋势,可以归纳为以下几方面:
- (1) 机械部件电子化.随着汽车电子技术的不断发展,部分机械部件被逐渐取代,譬如 shift-by-wire 技术的应用,取消了换挡手柄和变速器之间的机械连接,直接通过开关控制完成换挡控制.
- (2) 控制系统软硬件.今后需要更多地考虑程序的标准化和模块化设计以及软硬件的可靠性等问题.
- (3) 控制策略.作为人-车-路闭环环境的一个环节,装载自动变速器的汽车可以灵活选择最合适的

工作模式,实现智能化驾驶,以达到节能减排和安全的目标.模糊控制、最优控制、鲁棒控制以及神经网络控制等先进理论越来越多应用于自动变速器,使控制更加精确.

- (4) 与其他汽车先进技术的完美融合.每种自动变速器可以和其他系统的控制相结合,以实现汽车的全局最优控制,此外,也可以用于各种新能源汽车中.

6 结语

- (1) 从各种自动变速器的传动机理出发,给出

了其发展历史和研究现状,详细分析了当前自动变速器的共性关键技术;总结了其生产厂商及在国内、外汽车市场的应用,综合对比了各种自动变速器的优缺点,最后提出今后自动变速器的发展趋势。

(2) 我国自动变速器领域的某些理论研究不输国外;同时,2009年我国汽车产销量超过1 300万辆,自动变速器需求量极为可观,而每年我国进口自动变速器耗资巨大,因此,国内变速器与整车企业需要加大自我创新力度,尽快研究开发出拥有自主知识产权的自动变速器产品,早日实现其产业化,这样,才能在自动变速器领域尽快赶超国际先进水平。

参考文献:

- [1] Giacomo Mantriota. Performances of a series infinitely variable transmission with type I power flow [J]. Mechanism and Machine Theory, 2002, 37: 579.
- [2] 葛安林. 自动变速器(一)——自动变速器综述[J]. 汽车技术, 2001(5): 1.
GE Anlin. Automatic transmission(one): automatic transmission summary[J]. Automobile Technology, 2001(5): 1.
- [3] 马瑞利公司. 马瑞利 AMT 变速器的应用[J]. 汽车与配件, 2008(Z1): 30.
Marelli Company. Application of Marelli AMT transouissions [J]. Automobile & Parts, 2008(Z1): 30.
- [4] 卢新田, 侯国政. AMT 控制系统结构及国外主要 AMT 产品介绍[J]. 汽车技术, 2004(5): 19.
LU Xintian, HOU Guozheng. Introduction of the AMT control system structure and main foreign AMT products [J]. Automobile Technology, 2004(5): 19.
- [5] 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.
HE Zhongbo, BAI Hongbai. Automatic mechanical transmission technique development actuality and expectation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(5): 181.
- [6] Lang K. Continuously variable transmissions—an overview of CVT research past, present, and future[EB/OL]. [2009-03-01]. <http://www.lasercannon.com/Murano/Files/cvt.pdf>.
- [7] Robert Bosch GmbH. Continuously variable transmission: benchmark, status & potentials [R]. Stuttgart: Bosch GmbH, 2007.
- [8] 吴光强, 孙贤安. 汽车无级变速器技术和应用的发展综述[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(12): 1642.
WU Guangqiang, SUN Xian'an. Development survey of automobile continuously variable transmission technique and application aspects[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(12): 1642.
- [9] Torotrak Ltd. One technology, many applications [EB/OL]. [2009-02-07]. http://www.torotrak.com/pdfs/tech_papers/2005/TorotrakIVT_CTI_dec05_paper.pdf.
- [10] Torvec Inc. Torvec IVT[EB/OL]. [2009-04-03]. http://www.torvec.com/products_ivt.html.
- [11] Audi A G. Audi TT 3.2 quattro with shift gearbox (DSG)[J]. Audi World, 2003(2): 20.
- [12] 吴光强, 杨伟斌, 秦大同. 双离合式自动变速器控制系统的关键技术[J]. 机械工程学报, 2007, 43(2): 13.
WU Guangqiang, YANG Weibin, QIN Datong. Key technique of dual clutch transmission control system[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(2): 13.
- [13] 荆崇波, 苑士华, 郭晓林. 双离合自动变速器及其应用前景分析[J]. 机械传动, 2005(3): 56.
JING Chongbo, YUAN Shihua, GUO Xiaolin. Dual clutch automatic transmission and its application [J]. Journal of Mechanical Transmissions, 2005(3): 56.
- [14] Manish K, Taehyun S, Yi Z. Shift dynamics and control of dual-clutch transmissions [J]. Mechanism and Machine Theory, 2007, 42(2): 168.
- [15] Gianluca L, Marcello M, Carlo R. Modeling of an automated manual transmission system[J]. Mechatronics, 2007(17): 73.
- [16] 高炳钊, 葛安林, 雷雨龙, 等. AMT 离合器微小位移的精确调整[J]. 机械工程学报, 2002, 38(10): 86.
GAO Bingzhao, GE Anlin, LEI Yulong, et al. New control method of adjusting amt clutch's displacement minutely[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(10): 86.
- [17] 程秀生, 冯巍, 陆中华, 等. 湿式双离合自动变速器起步控制[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 19.
CHENG Xiusheng, FENG Wei, LU Zhonghua, et al. Starting control based on wet dual clutch transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 19.
- [18] GONG Jie, ZHAO Dingxuan. Study on shift schedule and simulation of automatic transmission [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, 14(3): 250.
- [19] 阴晓峰, 谭晶星, 雷雨龙, 等. 基于神经网络发动机模型的动态三参数换挡规律[J]. 机械工程学报, 2005, 41(11): 174.
YIN Xiaofeng, TAN Jingxing, LEI Yulong, et al. Dynamic shift schedule with 3-parameter based on neural network model of engine[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(11): 174.
- [20] ZHANG Jianguo, LEI Yulong, HUA Xin, et al. Proposed shift quality metrics and experimentation on AMT shift quality evaluation[C]// Third International Conference on Natural Computation. Haikou: IEEE, 2007: 494-498.
- [21] Schaeffler Group. 舍弗勒科技日 [M]. Herzogenaurach: Schaeffler Group Automotive, 2007.
Schaeffler Group. Schaeffle technical day[M]. Herzogenaurach: Schaeffler Group Automotive, 2007.