

汽车无级变速器技术和应用的发展综述

吴光强, 孙贤安

(同济大学 汽车学院, 上海 201804)

摘要: 简述了无级变速器的发展历程与研究现状. 从技术角度介绍了金属带式无级变速器的基本结构, 比较了金属带与链条的结构和性能差异; 给出机液控制系统和电液控制系统的原理及优缺点, 以及新近开发出的滑移控制策略. 总结了无级变速器的优势. 从应用角度列举了核心厂商, 调研了国内市场的主要无级变速器车型, 给出国内外无级变速器汽车市场的发展预测; 最后阐述了今后的发展趋势.

关键词: 汽车; 无级变速器; 控制系统; 滑移控制

中图分类号: U 463.212

文献标识码: A

Development Survey of Automobile Continuously Variable Transmission Technique and Application Aspects

WU Guangqiang, SUN Xian'an

(School of Automotive Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Development history and research status of continuously variable transmission (CVT) is explicated. From technique aspect, the basic structure of metal v-belt CVT is introduced, then the structure and principle of the metal belt and chain is compared. The paper presents the principle and performance of the mechanical-hydraulic control system and electro-hydraulic control system, especially the slip control strategy developed recently. CVT advantages are presented. From application aspect, CVT key manufacturers are enumerated, and CVT automobiles in China market are summarized. Future CVT market potential and its development trend are predicted.

Key words: automobile; continuously variable transmission; control system; slip control

节能减排已经成为制约汽车发展壮大的关键问题之一. 由此, 各种自动变速器不断冲击着传统的手动变速器(manual transmission, MT), 变速器行业的更新换代悄然而至. CVT (continuously variable transmission), 真正实现了无级变速, 使汽车具有理想的性能.

2004 年, 中国汽车工业协会和中国齿轮协会就国内自动变速箱的研发方向达成了共识: 优先发展电控机械式自动变速器(automatic mechanical transmission, AMT)和无级变速器, 适时发展双离合器自动变速器(dual clutch transmission, DCT), 适当生产液力机械自动变速器(automatic transmission, AT). 因此, CVT 在中国市场将会扮演更为重要的角色.

本文在充分了解 CVT 历史发展脉络的前提下, 总结前人 CVT 综述论文的研究成果与发展现状. 先是从技术角度出发, 给出了 CVT 的基本机构, 以及带式 CVT 和链式 CVT 的对比情况; 接着介绍了控制技术的发展进程, 尤其是对两代控制系统的原理和特点以及滑移控制策略作了总体介绍; 详细分析论述了 CVT 的优势. 再从应用角度出发, 调研国内市场 CVT 车型的应用情况, 预测今后国内外 CVT 市场的发展情况; 最后提出 CVT 的发展趋势, 并对国内的 CVT 发展给出了建议.

1 无级变速器概述

1.1 无级变速器发展历程

早在 1490 年, 达芬奇就草绘了无级变速器原型图. 19 世纪 70 年代, 出现了机械式无级变速器, 但是由于当时受材质与工艺方面的条件限制, 发展缓慢. 直到 20 世纪 70 年代以后, 机械式无级变速器获得迅速和广泛的发展, 产品有摩擦式、链式、带式及脉

21 世纪能源日益趋紧, 油价在高位上节节攀升,

收稿日期: 2008-09-22

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

动式4大类,约30多种结构形式.20世纪80年代以后,主要发展趋向是美、日等国进行高速、高效、大转矩机械无级变速器的研制开发.进入21世纪后,CVT发展更为迅猛.

1.2 国内外研究现状

国内外综述文章很多.在国外,文献[1]对CVT与AT和DCT进行全方位对比,预测了今后CVT的发展.在国内,文献[2-4]阐述了CVT发展历程与研究现状,分析了其发展趋势;通过一系列试验结果,详述了CVT与其他类型变速器之间的优缺点.

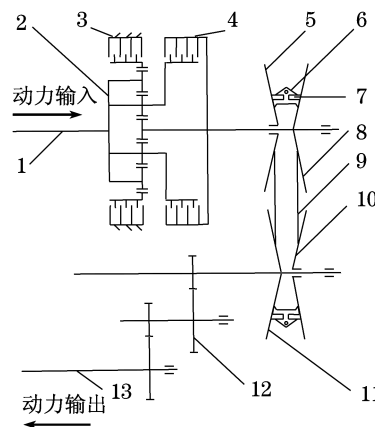
不同类型CVT中,带式CVT开发最早,应用最广^[5-6].1955年,荷兰VDT公司的橡胶带式CVT样车试验,由于该传动机构体积过大,传动比太小,橡胶带寿命短,最终未能普及.1956年,德国P.I.V.公司开始研究链式CVT.20世纪80年代,橡胶带式CVT被推力带式CVT代替,投入市场使用.1989年,德国Luk公司开始研发300 N·m级的轿车CVT,并选择P.I.V.链条.1999年,Luk公司CVT链条的第一代产品在奥迪Multitronic上诞生;2004年,应用于美国市场福特CFT30.2007年5月,生产120万条Luk链条.

CVT控制系统,包括离合器控制、速比控制及夹紧力控制.国外对此展开了深入而广泛的研究;国内起步较晚,但是也有不少研究成果.在国外,文献[7]结合鲁棒模型匹配方法,建立了CVT伺服速比系统,增强其抗干扰性能.文献[8]设计了模糊增益调度系统,应用于CVT液压伺服系统的PI(比例积分)控制器中,并设计了一个非线性补偿系统.文献[9]提出了瞬态情况下燃油最优化控制问题的解决方案;基于此,提出了一个简化控制策略.在国内,文献[10]设计了带有前馈抗回绕的PI控制器,用于CVT夹紧力控制,进行了仿真和装车试验.文献[11]验证了PID(比例积分微分)控制方法可以实现CVT速比的合理变化控制.文献[12-13]建立了汽车传动系统模型,设计了模糊控制器和PID控制器,通过仿真对2种方法进行对比;开发的CVT汽车自适应模糊控制系统具有良好的鲁棒性.采取各种控制理论的目的在于使CVT系统各方面性能最优化.从装车效果来看,将这些控制理论应用于CVT控制系统中,获得了良好的效果.

2 无级变速器基本结构

目前实际应用的CVT主要有:带式CVT、链式

CVT及锥盘滚轮式CVT等.以金属带式CVT为例,分析CVT的基本结构.金属带式CVT主要是由行星齿轮机构、起步装置、V形带轮与金属带、减速机构构成.图1是CVT的基本结构原理图.



1—输入轴;2—行星齿轮机构;3—倒挡离合器;4—前进离合器;
5—主动带轮可动锥盘;6—金属片;7—金属环;8—主动带轮不动锥盘;9—金属带;10—从动带轮可动锥盘;11—从动带轮不动锥盘;12—中间减速机构;13—输出轴

图1 CVT基本结构原理图

Fig.1 CVT basic structure schematic

行星齿轮机构与倒挡离合器配合,实现CVT的倒挡行驶.起步装置主要有3种:多片湿式离合器,电磁离合器,液力变矩器.其中,多片湿式离合器结构尺寸小,响应快,能量损失小,目前应用较为广泛;电磁离合器重量及尺寸大,热负荷能力低,仅用于微型车辆上;液力变矩器,起步扭矩大,坡道起步性能好,驾驶容易方便,微动性能好,能阻隔发动机引起的部分振动和冲击,但是价格昂贵.图1采用多片湿式离合器作为起步装置.V型带轮由主动带轮和从动带轮组成,每个带轮均由可动和不动锥盘组成.由于CVT可提供的速比变化范围一般为0.5~2.5,范围过窄,不能完全满足整车传动比变化范围的要求,因此设有减速机构,拓宽其速比范围.由行星齿轮机构传递的扭矩直接传递到主动带轮,金属带将动力从主动带轮传递到从动带轮上,再由从动带轮将动力经过减速机构传出.通过主、从动带轮可动锥盘的轴向运动,改变了金属带的传动半径,从而实现速比变化.

链式CVT与带式CVT结构原理基本相同,仅仅是用链条来代替带.带式CVT依靠金属片之间推力传递扭矩,而链式CVT依靠拉力传递扭矩.在众多结构形式CVT中,带式CVT产销量遥遥领先,发展最为迅速.链式CVT由于其进入市场较晚,因此,

应用范围远不如带式 CVT 广泛. 2006 年, 带式 CVT 产量与链式 CVT 产量比值是 9 : 1, 同年, 带式 CVT 年产量超过 240 万套. 图 2 给出了金属带和链条的实物图. 其中, Bosch 金属带来源于荷兰 VDT 公司专利, Luk 链条来源于德国 P. I. V. 公司专利.

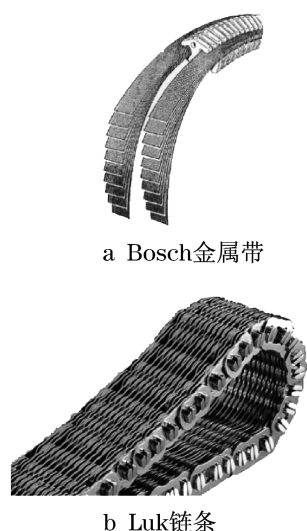


图 2 Bosch 金属带和 Luk 链条的实物图
Fig. 2 Bosch Metal V-belt and Luk chain

客观来说, 带式 CVT 结构上由于金属带层层叠加, 造成各层金属带半径会有微弱差别, 从而引起金属带之间的蠕动现象; 而链式 CVT 在其自身结构上, 就解决了这一问题. 此外, 传统带式 CVT 夹紧力控制策略方面, 部分工况下夹紧力明显过剩.

3 无级变速器控制系统

CVT 控制系统, 实现 CVT 系统传动比的自动无级变化. 它主要由油泵系统、各种电磁阀和控制阀、皮托管、油温传感器等组成^[14].

CVT 控制系统已经经历了两代控制系统. 早期 CVT 产品多采用第一代控制系统——机液控制系统, 近期开发的产品一般采用第二代控制系统——电液控制系统. 而目前国际先进的 CVT 生产厂商正在开发一种应用于电液控制系统的新型控制策略——滑移控制策略, 用来提高 CVT 的自身效率, 并已经成功制造出样机.

机液控制系统, 采用机械装置对作动器进行控制, 譬如利用节气门控制凸轮控制速比控制阀等. 其缺点如下: 系统响应速度慢且不精确; 不能对主从动缸的压力进行独立控制; 皮托管不能准确监测发动机转速变化; 金属带停留的位置不确定, 影响下次起

动的平稳性; 不能适用其他车型. 因此, 这种 CVT 效率低, 难以体现出其节油的优越性, 已经逐渐被淘汰, 市场上极为少见.

电液控制系统, 采用步进电机、夹紧力电磁阀与离合器电磁阀对其液压系统进行控制, 能够更加迅速准确地控制各液压元件^[15]. 这种方式能够提高传动系统的响应速度与精确度, 能够比较准确地让发动机工作在预定的工作区域, 基本解决了机液控制系统中的固有缺陷, 如主、从动缸的压力可以独立控制, 因而可以使传动装置按驾驶员的操作意图达到最佳匹配等. 但是由于其采用夹紧力控制系统, CVT 自身效率低, 抵消了发动机上节省的燃油, 还是没有很好体现出 CVT 的燃油经济性. 目前市场上基本都是电液控制系统型 CVT.

最近, 一些主要 CVT 生产厂商正在开发 CVT 滑移控制策略. 研究证明压力钢带能够在一个较长时间内承受较大滑移量, 且没有较明显的磨损. 因此, 该策略以钢带及带轮之间的滑移量作为控制参数, 而滑移量是通过将几何比与变速机构的速度比进行比较而确定的. 几何比通过测得的变速机构的几何特性推算. 此滑移量通过一个单输入-单输出控制器控制, 该控制器可以根据滑动误差调节从动柱塞的压力. 新型控制策略可以降低 5.0%~5.5% 的油耗^[16].

在此基础上, 改进变速机构内部, 采用更专用的液压回路等, 可以将油耗减低到 10% 以上. 滑移控制策略有效降低了液压系统的压力, 提高了 CVT 自身的效率, 采用滑移控制策略的新型电液控制系统开发后, 将大大提高 CVT 的市场竞争能力, 势必会引发 CVT 控制系统发展的又一次革命.

4 CVT 优势

CVT, 是人们长期梦寐以求的变速机构, 它的应用具有十分重要的意义, 已成为当今汽车界最热门的课题之一. CVT 的发展势必对我国汽车工业的发展乃至整个国民经济的迅速腾飞有着举足轻重的意义^[17].

4.1 提高汽车性能

(1) 安全性. CVT 汽车驾驶员只要控制油门踏板和制动踏板, 这不仅改善了驾驶员工作条件, 减轻驾驶员劳动强度, 而且简化操作, 使汽车易于驾驶, 大大提高了汽车安全性.

(2) 舒适性. CVT 汽车起步和速比变化过程中

不致于产生纵向冲击或抖动,消除了换挡过程中的顿挫感,即不存在 MT 和 AMT 汽车的换挡品质问题,提高了驾驶的平顺性,改善了驾驶员和乘员的双重舒适性。

(3) 行驶性能. 在传统的 MT 汽车中,汽车的行驶性能与驾驶员的驾驶技术有密切关系. CVT 汽车可以消除人为换挡,可使汽车行驶过程中经常处于良好的性能状态,提高汽车的行驶性能。

(4) 成本问题. CVT 体积小,易于安装;结构简单,部件少;生产成本比 6 速 AT 与 DCT 低。

4.2 与汽车其他先进技术的完美结合

CVT 与混合动力技术结合,让发动机工作在最佳工况,达到低能耗、低污染和高度自动化. 研究表明,采用 CVT 传动系统的混合动力汽车的油耗有减少 30% 的潜能,排放有降低 50% 的潜能。

CVT 与行星齿轮机构连接,形成无限变速器 (infinitely variable transmission, IVT). 相对于 CVT 而言,IVT 进一步扩展了速比的范围,在无需离合器的情况下实现倒挡运动。

4.3 普及轿车使用

随着社会的不断发展,驾驶经验不丰富的人也将成为驾车的主流. CVT 汽车不需要换挡,操作简单轻便,非常适合这部分群体驾驶. 这有利于轿车作为代步的工具,在中国乃至全球得到进一步普及。

4.4 节约能源

不同变速箱在降低油耗方面的潜能是不同的,6 速 AT 在现有基础上可以有 3% 左右的油耗下降, DCT 在现有基础上可以有 2%~4% 的油耗下降,而 CVT 油耗下降的潜能最大,可以有 5%~8%. CVT 控制发动机在排放污染较小的工况下工作,排放废气中有害物质含量低,减轻环境污染。

在近 30 年来,随着国际油价居高不下以及原油资源的耗竭,石油危机对油价的助推作用无时无刻不在影响着汽车消费者们的购车倾向,越来越多的汽车消费者将会选择经济型轿车. 预计在 2035 年,世界石油资源将达到开采最高峰,届时开采量将逐年递减;此外,各国对环境保护的条例越来越严格,小排量、燃油经济性好的车辆将是未来家用的主流车型,而这类车型非常适合装配 CVT,让发动机的效率达到最优. CVT 汽车减少了汽车的有害尾气排放,对人类健康的维护,城市环境的保护,以及人与自然的可持续性发展,有着极为深远的意义。

4.5 提升中国汽车行业的国际竞争力

建立 CVT 自主开发平台及其产业链,可以提高

我国变速器科研水平以及国际竞争力. 同时,汽车工业是我国的支柱产业,要快速发展我国的国民经济,就必须重视汽车工业正常而有序的发展. 成功地开发出 CVT,建立 CVT 产业链,可以使整个国家汽车变速器行业得到一个质的飞跃,促进汽车电子行业及汽车相关零部件行业的发展,提高汽车工业的整体技术含量,将有助于国内汽车工业迎头赶上,进而超越国外发达国家的汽车工业. 此外,汽车行业的迅猛发展,势必会给社会带来更多的就业机会,减轻政府提供就业岗位的压力;还可以给国家带来更多的出口额,创造更为可观的税收收益,从而带动整个国家国民经济的飞速发展。

5 CVT 厂商及应用

CVT 的核心厂商有 Bosch, Luk 和 ZF 3 家. 德国 Bosch-VDT 公司是 CVT 钢带独特技术的原创公司和全球 CVT 钢带制造的独家垄断性公司. 德国 Luk 公司是 Audi 公司 A4, A6, A8 轿车 Multitronic CVT 核心部件的主要供应商,其生产的钢链式 CVT 关键部件还向美国 Ford 汽车公司供货. 德国 ZF 公司的 CVT 产品有 3 个系列: VT1, CFT23, CFT30. 其中 VT1 系列、CFT23 系列是带式传动的, CFT30 系列是链式传动的。

国际上,知名汽车公司纷纷大力发展装备 CVT 的汽车. 欧洲的 VW, Mercedes-Benz, BMW, Fiat 汽车公司,美国的 Ford, Chrysler 汽车公司以及亚洲的 Toyota, Honda, Nissan, Subaru, Hyundai 等主要汽车公司都拥有装备 CVT 的汽车. 目前,全球市场有超过 700 万辆带式 CVT 汽车,超过 60 多款车型采用 CVT。

国内已有不少车型装载了 CVT. 表 1 给出了国内市场 CVT 车型及主要技术参数. 这些车型在传动方式和起步装置上存在差异. 国内市场以 ZF 公司的 VT1F 型变速器为主,采用带式传动方式,起步装置多为多片湿式离合器,应用车型主要是排量在 2.0 L 或 2.0 L 以下的汽车. 从理论数据来看,国内几款 CVT 汽车在燃油经济性上有着不俗表现。

可以预见,在未来的一段时间内, CVT 在国内市场乃至全球市场的装车率会有更大的提高. 图 3 是全球 CVT 市场的预测,主要分为北美地区、日本、亚洲其他地区和欧洲市场 (图中数据来源于 BP06, PwC, CSM, Aroq Just-Auto 等公司数据库). 其中, CVT 在日本应用率最高;自 2010—2015 年, CVT 在

其他 3 个市场都有较大幅度的增长。

图 4 是中国 CVT 市场的预测(图中数据来源于 BP06,PwC,CSM,Aroq Just-Auto 等公司数据库)。自 2005—2015 年,年产量都以很大幅度保持增长。到 2015 年,经过预测,年产量更是达到了惊人的 150 万台。因此,CVT 市场前景喜人。

表 1 国内市场 CVT 车型主要技术参数

Tab.1 Main parameters of CVT automobiles in China market

国内市场 车型代号	变速器	CVT 类型	起步装置	发动机 排量/L	每公里油耗/ (L·km ⁻¹)	最大功率/ (kW·(r· min ⁻¹) ⁻¹)	最大扭矩/ (N·m·(r· min ⁻¹) ⁻¹)	厂家指导 价/万元
1	ZF VT1F	带式	多片湿式离合器	1 598	0.054	85/6 000	149/4 500	7.98
2	ZF VT1F	带式	多片湿式离合器	1 796	0.061	88/5 500	160/4 000	9.58
3	ZF VT1F	带式	多片湿式离合器	1 598	0.055	85/6 000	149/4 500	11.18
4	Multi Matic	带式	多片湿式离合器	1 497	0.051	79/5 800	143/4 800	11.68
5	富士重工 Speedgear	带式	电磁离合器	1 242	0.050	59/5 000	114/4 000	12.68
6	日产 XTRONIC	带式	液力变矩器	1 997	0.061	100/5 200	189/4 400	15.98
7	Luk Multitronic	链式	多片湿式离合器	1 781	0.063	120/5 700	225/4 700	30.34

表中国内市场车型代号含义:1—奇瑞 2007 款旗云 1.6 L 舒适型;2—南京名爵 2008 款 3SW 1.8 L 舒适版;3—海马 2006 款福美来 SDX 1.6 自动豪华版;4—广州本田 2006 款飞度型动派 1.5 L 舒适版;5—菲亚特 2004 款派力奥 Speedgear 1.3 HLX;6—东风日产 2008 款轩逸 2.0 XE 舒适版;7—奥迪 2007 款奥迪 A4 1.8 T 自动舒适型。

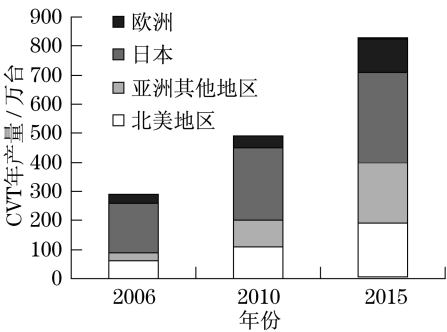


图 3 全球 CVT 市场的发展预测

Fig.3 Global CVT market potential prediction

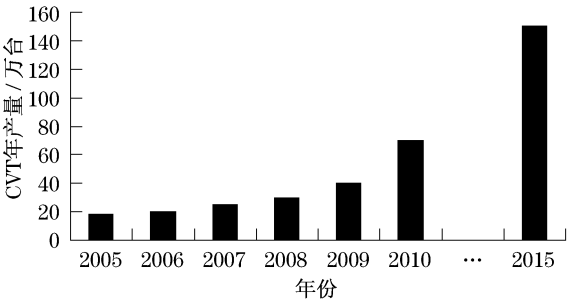


图 4 中国 CVT 市场的发展预测

Fig.4 China CVT market potential prediction

6 CVT 发展趋势

近年来,随着汽车电子技术、新材料及加工技术的不断进步,CVT 正朝着以下几个方面发展^[18-19]:

- (1) 结构方面.改进其液压系统,CVT 结构更加小巧和紧凑,降低成本,提高汽车的总体性能,使其性价比进一步提高.
- (2) 性能方面.通过 CVT 的总体控制,进一步降低其油耗,减少有害气体排放,提高其动力性及舒适性.
- (3) 控制系统.通过不断改进,向滑移控制策略发展,实现更优良的性能;在控制方法方面,将先进的控制方法(例如 PID 控制、模糊控制、神经网络控制、自适应控制等理论)应用于 CVT 离合器控制、速比控制和夹紧力控制中,进一步优化控制策略,实现更为精确的控制.
- (4) 应用领域.将 CVT 应用于混合动力汽车上;将 CVT 拓展为 IVT;前轮驱动 CVT 逐步向后轮驱动 CVT 发展;CVT 最大可传递扭矩在不断提高,因此 CVT 在大排量汽车上应用会更为广泛.

自 CVT 被列为国家科技攻关课题以来,已过去了 12 年,但还是没能实现产业化的目标.随着国内需求的不断增多,CVT 国产化势在必行,意义重大.国内洛阳三明及湖南容大 2 家民企在 CVT 上花费了大量的人力、物力,计划于近期小批量投产 CVT.国内从事 CVT 研究的单位,不论目标是量产 CVT 的企业,还是从事相关理论研究的科研院所,都应该紧跟国际 CVT 的发展步伐,在引进吸收先进技术的同时,不断地开展创新工作,这样才能真正将 CVT 国产化、产业化.

参考文献:

- [1] Robert Bosch GmbH. Continuously variable transmission: benchmark, status & potentials [R]. Stuttgart: Bosch GmbH, 2007.
- [2] 冯樱, 罗永革, 何晓春, 等. CVT—无级变速器的发展综述[J]. 湖北汽车工业学院学报, 1999, 133(4): 15.
FENG Ying, LUO Yongge, HE Xiaochun, et al. Development survey of continuously variable transmission[J]. Journal of Hubei Automotive Industries Institute, 1999, 133(4): 15.
- [3] 程乃士, 张德臻, 刘温, 等. 金属带式车用无级变速器[J]. 中国机械工程, 2000, 11(12): 1421.
CHENG Naishi, ZHANG Dezhen, LIU Wen, et al. Stepless automobile transmission with the metal v-belt [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11(12): 1421.
- [4] 吴光强, 贺林, 范大鹏, 等. 车用无级变速器性能研究[J]. 传动技术, 2007, 21(2): 16.
WU Guangqiang, HE Lin, FAN Dapeng, et al. Research of continuously variable transmission automotive performance [J]. Drive System Technique, 2007, 21(2): 16.
- [5] 周云山, 于秀敏. 汽车电控系统理论与设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999: 245 - 248.
ZHOU Yunshan, YU Xiumin. Automotive electro-control system theory and design[M]. Beijing: Institute of Technology Press, 1999: 245 - 248.
- [6] Fujii T, Kurokawa T, Kanehara S. A study on a metal pushing v-belt type CVT——part 1: relation between transmitted torque and pulley thrust[C]// International Congress and Exposition. Detroit: SAE, 1993: 1 - 11.
- [7] Kazutaka A, Tatsuo W, Shigeki S, et al. Robust control system for continuously variable belt transmission[J]. JSAE Review, 1999, 20(1): 49.
- [8] Jairo J E, Paul V, Joos V. Fuzzy control for a continuously variable transmission [EB/OL]. [2008 - 07 - 22]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.45.6182&rep=rep1&type=pdf>.
- [9] Pfiffner R, Guzzella L, Onder C H. Fuel-optimal control of CVT powertrains[J]. Control Engineering Practice, 2003(11): 329.
- [10] 付铁军, 王建华, 周云山, 等. 金属带式无级变速器夹紧力控制的研究[J]. 汽车技术, 2006(2): 17.
FU Tiejun, WANG Jianhua, ZHOU Yunshan, et al. Study on control of clamping force of the metal v-belt type continuous variable transmission [J]. Automobile Technology, 2006(2): 17.
- [11] 马士泽, 雷雨成. 金属带式无级变速器速比控制研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2003, 31(2): 209.
MA Shize, LEI Yucheng. Research of ratio control of metal pushing v-belt CVT[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2003, 31(2): 209.
- [12] 王红岩, 秦大同, 周云山, 等. 汽车无级变速器传动系统综合控制的研究[J]. 机械工程学报, 2000, 36(2): 38.
WANG Hongyan, QIN Datong, ZHOU Yunshan, et al. Study of synthesized control method of continuously variable transmission system of car[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2000, 36(2): 38.
- [13] 王红岩, 王立公, 孙冬野. 无级变速汽车的自适应模糊控制研究[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(1): 70.
WANG Hongyan, WANG Ligong, SUN Dongye. Study on the adaptive fuzzy control for CVT vehicle[J]. Control Theory & Applications, 2004, 21(1): 70.
- [14] Davy G. Description of automatic gearbox VT1F[EB/OL]. [2008 - 08 - 01]. <http://www.lib.ucdavis.edu/dept/pse/resources/cvt04/papers/ZF%20Description%20VT1F%20040323.pdf>.
- [15] 孙贤安, 吴光强, 贺林. 汽车无级变速器底层驱动系统设计与开发[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 1232.
SUN Xianan, WU Guangqiang, HE Lin. Design and development on low-level drive system of automotive continuously variable transmission[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(9): 1232.
- [16] Robert Bosch GmbH. Fuel consumption potential of the pushbelt CVT[C]// 2006 China Auto-Transmission Development Seminar. Beijing: Bosch GmbH, 2006: 1.
- [17] 李华英, 秦大同. 牵引式锥盘滚轮 CVT 的研究现状及发展趋势[J]. 重庆大学学报, 2003, 26(4): 15.
LI Huaying, QIN Datong. Current situation and trend of the traction CVT [J]. Journal of Chongqing University, 2003, 26(4): 15.
- [18] Lang K. Continuously variable transmissions-an overview of CVT research past, present, and future [EB/OL]. <http://www.lasercannon.com/Murano/Files/cvt.pdf>.
- [19] Helmut B. 500 Nm CVT - LuK component in power split[R]. Buhl: LuK GmbH & Co, 2002.