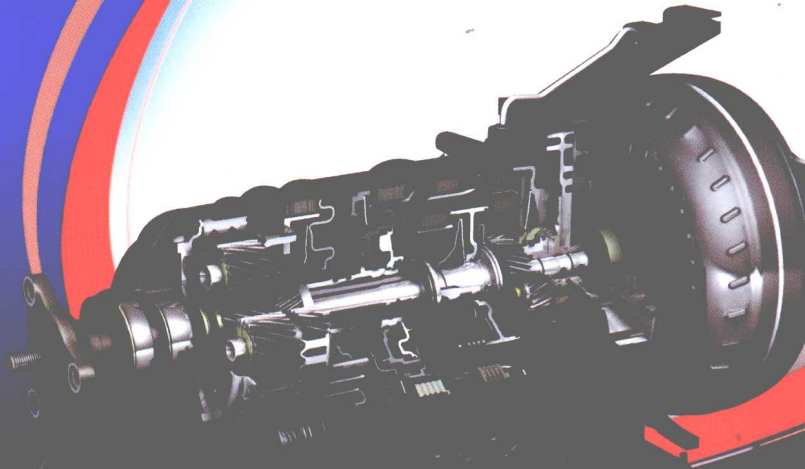


第2版



汽车 自动变速器 结构原理

QICHE ZIDONG BIAN SUQI
JIEGOU YUANLI

过学迅◎编著

自动变速器全类型精细讲解 / 配实例解析日美德系各车型



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书以近年来汽车自动变速技术中常用的自动变速器为例,讲解了汽车自动变速器的结构和工作原理,包括液力自动变速器(AT)、机械自动变速器(AMT)、双离合自动变速器(DCT)、机械无级变速器(CVT)。重点对液力自动变速器的各主要部分——液力变矩器、行星齿轮机构、液压操纵系统、电子控制系统等的结构和工作原理,进行了由浅入深的介绍,对其换档特性、液压油路和电路进行了分析。书中还系统地讲述了日本、美国、德国等国部分品牌汽车目前在用的自动变速器的结构和工作原理,使读者对汽车自动变速技术有较全面的了解,为自动变速器的设计、使用 and 维修打下坚实的基础。

本书可供大专院校车辆工程专业学生学习使用,也可供从事汽车维护和修理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车自动变速器结构原理/过学迅编著. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2012. 2
ISBN 978-7-111-37130-4
I. ①汽… II. ①过… III. ①汽车—变速装置—结构
②汽车—变速装置—理论 IV. ①U463. 212

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第006986号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 连景岩 责任编辑: 连景岩 黄红珍

版式设计: 霍永明 责任校对: 申春香

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

北京富生印刷厂印刷

2012年5月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16印张·396千字

0 001—3 000册

标准书号: ISBN 978-7-111-37130-4

定价: 39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

装备了自动变速器的汽车在行驶时，自动变速器能根据发动机负荷和道路阻力的变化情况，在一定范围内实现自动变速，而不像手动变速器那样，在行驶时需要频繁地操纵变速器进行换挡，从而使汽车驾驶变得更简单、更省力和更安全。此外，自动变速器还具有许多优点：使汽车起步、加速平稳；防止因过载或因离合器及加速踏板配合操作不当导致发动机熄火，因而特别适合非职业驾驶；自动变速器中的液力元件能吸收动力传动系统的振动并减小动载荷，较大幅度地延长发动机和传动系统的使用寿命；提高汽车的加速平稳性、平均车速和乘坐舒适性等。因此自动变速器在汽车尤其是轿车中使用得越来越多。

自动变速器在 1940 年被奥兹莫比尔 (Oldsmobile) 汽车首次采用后，在汽车上的应用已有 70 多年的历史。但早期的自动变速器由于效率低、油耗高、价格贵，只在对行驶性能要求较高的军用车辆、公共汽车和高档轿车上使用。20 世纪 70 年代后，随着汽车工业的进步，计算机和电子技术的应用，自动变速器的性能有了很大的改善，许多中高档轿车都装备了自动变速器。到了 90 年代，自动变速器已经发展成为机电液一体化的高技术产品，在汽车上的装备率也大大提高。据统计，城市使用的公共汽车，在美国，自动变速器装备率已达 100%，欧洲发达国家的装备率在 90% 以上。2002 年北美市场上有 90% 的轿车为自动变速，而在 2012 年，这个比例将提高到 94%。以生产车型紧凑、油耗低、价格便宜的经济型轿车而著称的日本，1993 年生产的轿车中有 75% 装备了自动变速器。另有报告显示，在北美重型载货汽车上，自动变速器的装备比例也在提高。从 1996 年到 2006 年的 10 年里，重型载货汽车中自动变速器的装备比例已经从 5% 上升到了 18%，由此可以看出自动变速器的普及趋势。

20 世纪 60 年代，我国开始在国产红旗轿车上采用自动变速器。90 年代后期，三大合资品牌轿车的“桑塔纳”、“捷达”、“富康”，均有选装液力自动变速器的车型。上海通用汽车公司在所生产的别克“世纪”轿车上装备了 4T65E 型四档电控自动变速驱动桥。而广州本田“雅阁”的液力自动变速器几乎是标准配置。自此，自动变速器开始被大家所认识。

进入 21 世纪，中国汽车市场发展迅猛，汽车总产量从 2001 年的 240 万辆到 2009 年的 1364 万辆，年平均增长率超过 20%。其中轿车总产量从 2001 年的 69 万辆到 2009 年的 749 万辆，年平均增长率超过 30%。随着轿车走入家庭，产生了大批非职业驾驶人，对装备自动变速器汽车的需求猛增。中国汽车工业协会统计数据显示，2008 年销售乘用车 676 万辆，2009 年销售乘用车 1033 万辆，其中装备自动变速器的所占比率均在 28.5% 以上，并且随着市场规模的扩大和消费能力的提高，今后自动变速器的装备比例将呈快速增长态势。在深圳和杭州等地，部分公共汽车上都使用了自动变速器。据估算，2011 年我国自动变速器轿车车型的比例会超过 35%，市场规模达 400 万套左右。国外自动变速器生产厂商和国内机构预测，到 2015 年，我国装备自动变速器的轿车占市场份额将达 47%。

然而，现代自动变速器毕竟是高技术的成果，与手动变速器相比，无论是结构还是工作原理都要复杂得多。这对从事汽车自动变速器修理的技术人员和进行自动变速器生产的专业

人员,都提出了很高的要求。因此,熟悉自动变速器的基本构造和工作原理,了解必要的电子控制方面的知识,是能够完成自动变速器修理以及设计任务的前提。

本书以常用的液力自动变速器为例,讲解了组成液力自动变速器的各主要部分——液力变矩器、行星齿轮机构、液压操纵系统、电子控制系统等的结构和工作原理。从国产红旗轿车 CA770 自动变速器讲起,对常用液力自动变速器的结构和工作原理进行了由浅入深的介绍,对其换挡特性、液压油路进行了工作分析。除此之外,还介绍了电子控制式机械自动变速器(AMT)、双离合器自动变速器(DCT)、机械无级变速器(CVT)的基本结构和工作原理。最后以实例的方式讲解了日本、美国、德国等国主要品牌汽车目前常用的自动变速器,使读者对自动变速器有较系统和深入的了解,为自动变速器的使用、维修甚至今后从事设计工作打下坚实的基础。

本书第1版出版12年来,深受读者欢迎,开机印刷多次以满足要求。但自动变速器发展迅速,因此再版时对内容进行了调整充实,并修改了第1版中的一些错误。在再版编写过程中,得到了部分企业提供的资料,而且参考了汽车界同仁的一些著作,在此致以谢意。武汉理工大学汽车工程学院车辆工程专业2008级、2009级和2010级部分研究生为本书的资料收集和书中的图形绘制提供了帮助,在此一并表示感谢。

自动变速器的结构和原理涉及机械、液压、电子等多个学科,由于编者水平有限,在编写过程中,难免有疏漏之处,敬请各位读者指正。

编者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 自动变速装置的类型和应用.....	1
第二节 自动变速器的优缺点.....	5
第二章 液力自动变速器的结构和工作原理	7
第一节 液力变矩器.....	7
第二节 行星齿轮变速器.....	17
第三节 液压控制系统的结构和工作原理.....	53
第四节 自动换档规律.....	84
第五节 电液式控制系统的结构和工作原理.....	85
第三章 电子控制机械式自动变速器的结构和工作原理	113
第一节 概述.....	113
第二节 离合器的自动控制.....	114
第三节 变速器换档及发动机供油的控制.....	117
第四节 电子控制单元.....	118
第五节 特殊控制装置.....	121
第四章 双离合自动变速器的结构和工作原理	123
第一节 概述.....	123
第二节 双离合自动变速器的基本结构和工作原理.....	124
第三节 大众公司双离合自动变速器的结构和工作原理.....	126
第五章 机械无级变速器的结构和工作原理	140
第一节 概述.....	140
第二节 金属带式 CVT 的结构及工作原理.....	142
第三节 本田飞度 CVT 的结构和工作原理.....	146
第六章 常用轿车液力自动变速器的结构和工作原理	157
第一节 丰田汽车公司 A240L/E 自动变速器.....	157
第二节 丰田汽车公司 A750E 自动变速器.....	175
第三节 日产汽车公司 RE5R05A 自动变速器.....	181
第四节 本田汽车公司雅阁 BAYA&MAYA 自动变速器.....	187
第五节 三菱汽车公司 W6AJA 自动变速器.....	192
第六节 通用汽车公司 4T60E 自动变速器.....	197
第七节 福特汽车公司 5F31J 自动变速器.....	222
第八节 大众汽车公司 09D 自动变速器.....	234

第九节 奔驰汽车公司 722.6 自动变速器	240
第十节 ZF 公司 09L/09E 系列自动变速器	245
参考文献	250

第一章 绪 论

由于发动机输出的转速和转矩与车辆驱动轮所需的转速和转矩之间存在着矛盾，必须通过设立传动系统来解决，即通过传动系统改变传动比，调节发动机的性能，将动力传至车轮，以适应外界负荷与道路条件变化的需要。因此，车辆行驶性能的好坏，不仅取决于发动机，而且在很大程度上还依赖于传动系统以及传动系统与发动机系统的匹配。

传动系统的性能，很重要的两个指标是经济性和方便性。经济性就是传动系统本身的功率损失要小，即效率要高。方便性则是指档位的变换容易实现。在汽车一百多年的发展历史中，传动系统的发展起了很重要的作用，同时也离不开这两个目标。从最初档位固定的减速器，到有多个档位可变换的齿轮变速器，直到现在应用计算机控制实现换挡的自动变速器，都有力地推动了汽车和汽车工业向前发展。汽车传动系统的自动变速技术一直是人们追求的目标，也是目前车辆向前发展的高级阶段。自动变速技术最早仅用于军用车辆和客车上，随着机械制造、电子和计算机技术的发展，使得自动变速装置的制造和控制越来越完善，成本也得到了降低，从而在越来越多的汽车上得到应用。

第一节 自动变速装置的类型和应用

由于车辆自动变速技术的理论和设计已比较成熟，产品品种相当多，使用对象除军用车辆外，还有轿车、客车、重型商用车、工程机械等车辆。车辆自动变速传动装置大致包含以下三类。

一、液体传动

液体传动是以液体作为工作介质的传动机械，其基本原理是利用工作装置实现部件与工作液体之间的相互作用，引起机械能和液体能相互转换，以此传递动力。这其中有液力传动和液压传动。它们都具有传力柔和、吸收振动的特点。

1. 液力传动

液力传动的基本部件有液力偶合器和液力变矩器。它们都是通过液体动量矩的变化来改变转矩的一种传动元件，其利用的是液体的动能。液力偶合器目前在汽车上已不用于传递全功率，而只用于驱动重型汽车发动机风扇以进行调速。液力变矩器具有无级连续变速和改变转矩的能力，对外负载有良好的自动调节和适应性；使车辆起步平稳，加速均匀，其减振作用降低了发动机和传动系统的动载和扭振，延长了发动机和传动系统的使用寿命，提高了乘坐舒适性、行驶安全性、通过性以及车辆的平均速度。

液力变矩器出现于1906年，是船舶工业发展过程中的产物。由于它具有的对地面负载的自动适应性，使它更适合于陆路行驶车辆的要求。20世纪30年代，瑞典的里斯豪姆与英国利兰汽车公司的史密斯合作，创立了三级液力变矩器，应用于公共汽车上，随后又用在其他

他车辆。

然而,液力变矩器存在着效率不够高、变矩范围有限的问题。因此,单个液力变矩器并没有很大的实用价值,而需要串联或并联一个定轴式或者旋转轴式机械变速器,以扩大其变速和变矩范围,同时在效率方面得到一定的提高。

液力变矩器与旋转轴式或定轴式齿轮变速器组合,就可得到动力换挡变速器。这种变速器被较多地用于工程机械和重型运输车辆。若在动力换挡变速器的基础上,再加以自动变速控制系统,则得到液力自动变速器(Automatic Transmission,简称AT)。这种动力换挡或自动变速器中的液力元件除可与旋转轴式变速器串联,传递全部发动机功率外,还可以与旋转轴式变速器以多种并联方式组合,实现内分流、外分流、混合分流等多种自动变速形式。

从20世纪50年代起,装备液力自动变速器的汽车开始增多,但液力自动变速器的总效率低于机械变速器,使得装备这种自动变速器的汽车存在燃油经济性较差的问题,从而限制了它的发展。为解决液力自动变速器效率低的问题,汽车界的工程技术人员进行了大量的工作。60年代的研究重点是采用多元件工作轮,提高液力变矩器的效率;70年代是使用闭锁离合器,提高液力自动变速器在高速时的效率;80年代则采取增加行星齿轮变速器档位的方法来提高发动机高效区的利用率;90年代,通过设计理论的改进,采用CAD/CAM(计算机辅助设计和计算机辅助制造)技术来提高液力变矩器的效率,大量电子技术的应用,使液力自动变速器的性能日趋完善。21世纪以来,多档位、手自一体等人性化技术的发展使液力自动变速器进入了一个新的时期,综合经济性能也得到了进一步提高。表1-1为国外在同一种轿车上安装液力自动变速器和手动机械变速器所进行的油耗比较。

表1-1 国外在同一种轿车上安装液力自动变速器和手动机械变速器所进行的油耗比较

公司、车型	变速器	等速油耗/(L/100km)		城市油耗/(L/100km)
		$v_a = 90\text{km/h}$	$v_a = 120\text{km/h}$	
Renault 30TS	五速手动	8.5	11.6	17.3
(法国)	三速自动	9.1	12.1	16.5
Audi 100GLSE	五速手动	6.4	8.3	13.3
(德国)	三速自动	8.3	10.5	13.2
BMW 728i	五速手动	8.1	10.4	17.8
(德国)	三速自动	9.6	12.1	17.4
Benz 280SE	五速手动	9.1	11.3	17.4
(德国)	四速自动	9.4	11.7	16.8

由表1-1可见,同一汽车装备三档自动变速器时,高速行驶时的百公里油耗大于装备五档手动机械变速器,但城市行驶百公里油耗则小于装备五档手动机械变速器。而汽车装备四档自动变速器时,不仅城市行驶百公里油耗小于同车装备五档手动机械变速器,而且高速行驶时的百公里油耗与同车装备五档手动机械变速器相比,几乎没有差别。

我国第一汽车制造厂也曾对发动机排量相等、整车质量接近的两种轿车进行过类似的对比试验,结果与上述结论相近(表1-2)。

表 1-2 两种安装不同变速器的轿车油耗比较

车 型		BMW 728i(德国) 装机械变速器	Datsun 280C(日本) 装液力自动变速器
公路行驶	平均车速 $v_a/(km/h)$	61.1	65.4
	油耗/(L/100km)	10.9	11.28
城市行驶	平均车速 $v_a/(km/h)$	28.24	29.4
	油耗/(L/100km)	13.7	12.87
整车试验质量/kg		1674	1625

燃油效率能得到提高的主要原因有两个,一是换挡控制和发动机控制配合得当,使发动机尽可能在高效区附近工作;二是在高速时变矩器闭锁,充分利用机械传动来提高传动效率。

目前,液力自动变速器在整个汽车自动变速器市场的装车份额约为 80%,其中在中高级以上轿车、城市客车自动变速器市场上的份额都在 90% 以上。在工程机械、军用车辆自动变速器市场的装车份额则几乎是 100%。

2. 液压传动

液压传动与液力传动的主要区别是:液压传动依靠液体压力能的变化来传递和变换能量,主要是利用工作腔容积的变化来工作。液压传动的的基本元件是液压泵和液压马达。液压泵将发动机动力变为工作油压,经由控制元件输入液压马达,在工作油压 p 的作用下驱动车轮。系统油压 p 的大小取决于负载,车辆的速度取决于系统流量 Q 。液压传动具有在大范围内连续进行正、倒驶工况平稳无级变速的特点,性能接近理想特性;还具有吸振和减小冲击的能力;系统总布置也很方便。因此,在推土机、装载机上得到了应用。但由于液压传动的效率显著低于机械传动,且元件的制造成本高,故常与行星齿轮并联构成液压-机械无级传动系统。液压传动只传递总功率的一部分,使总效率得到较大提高,从而可用在低速重载汽车和军用车辆上。普通量产汽车应用的实例不多。

二、机械传动

1. 有级式机械传动

由液力元件、旋转轴式齿轮变速器、自动变速控制系统所组成的自动变速器,有时也被归于有级式机械传动一类。但这里所说的有级式机械传动是指有级式机械自动变速器,它分为两种:由普通齿轮式机械变速器、自动离合器和电子控制系统组成的机械自动变速器(Automatic Mechanical Transmission,简称 AMT);由双离合器、齿轮式机械变速器和电子控制系统组成的双离合器自动变速器(Dual Clutch Transmission,简称 DCT,或称 Dual Shifting Gearbox,简称 DSG)。

(1) 机械自动变速器 提出 AMT 变速器的设想是由于液力自动变速器存在着效率较低、结构复杂、成本高等缺点,因而希望尝试在效率高、结构简单的固定式手动变速器上实现自动化。这只有在电子技术相当发展的条件下才有可能实现。从 20 世纪 60 年代起,开始出现了传统的离合器和手动机械变速器的半自动操纵,如美国伊顿公司的半自动变速器“SAMT”、德国 ZF 公司的半自动变速器“Semishift”等。但这些变速器仍未能实现控制过程

中最困难的起步过程自动化,即还没有达到全自动变速。其中的关键技术是对离合器的最佳控制。

1983年,日本五十铃公司在世界上率先研制成功电子控制全机械式有级自动变速器“NAVI-5”,并装于ASKA轿车上,在车速为60km/h时,可比液力自动变速器节油10%~30%。日野的蓝带大客车也于同时期安装了这种类型的变速器。伊顿公司在1983年也宣布成功地将重型货车的手动变速器实现了自动化。ZF公司的一种16档的变速器也实现了自动换档,并于1988年将这种称之为“Autoshift”的变速装置装备在Geneva货车上。此后,德国大众公司、意大利菲亚拓公司、法国雷诺公司和日本丰田公司相继开展AMT的研究和开发。现伊顿公司和ZF公司的AMT已广泛用于大型货车、油电混合动力大客车上。国内不少企业和高校也正在合作进行这方面的产品开发,但实现量产的不多。

采用现代电子技术改造传统手动变速器而得到的机械式自动变速器,既有液力自动变速器能自动变速的优点,又有普通齿轮变速器传动效率高、价格低的优点。目前除大型商用车外,在小型轿车市场的应用也在增加。

(2) 双离合自动变速器 双离合自动变速器(DCT、DSG),也有人称Twin Clutch Gearbox。它有两套离合器用于动力换档和起步。每套离合器与变速器的一根输入轴相连,具有两路动力传递,一路用于偶数档齿轮的传动,另一路用于奇数档齿轮的传动。两套装置互相嵌套在一起。变速器一根轴处于工作状态时另一根轴空转。换档时先在无负载的一套装置上预选档位,要实现换档则将原来传递动力的离合器分离,而将另一套离合器接合,从而把动力传递给该套装置。该技术可以保证变速器在换挡时消除汽车动力中断现象,性能优于AMT。

1940年,Darmstadt大学教授Rudolph Franke第一个申请了双离合变速器专利,该变速器曾经在卡车上试验过,但是没有投入批量生产。随后保时捷汽车公司也发明了专用于赛车的双离合器变速器(PDK)。但均未能将DCT/PDK技术投入批量生产。20世纪90年代末期,大众汽车公司和博格华纳公司携手合作生产第一个适用于大批量生产和应用于主流车型的双离合器变速器(采用干式离合器)。采用湿式离合器和控制系统的DualTronic双离合自动变速器已于2003年批量生产,配套于大众奥迪新产品(称为DSG)以及2003年款大众高尔夫R32和奥迪TT上。博格华纳公司的双离合自动变速器因其产品创新和加工精细而赢得了2005年度北美供应商超级大奖。随着DSG产品系列的批量化生产,大众公司不断推广该技术的应用,已被用于多款大众系列轿车上。

2. 无级式机械传动

机械无级传动(Continuously Variable Transmission,简称CVT),即常称的无级变速器,它具有节油、操纵方便、行驶舒适等特点。早期的机械无级变速器是通过两个锥体改变接触半径而实现传动比连续变化,但由于接触部分挤压应力太高,难以进入实用化。后发展成为采用橡胶材料的带传动,但又受传动带寿命的影响。德国的PIV公司从1956年起,开始研究链传动的CVT,德国大众等公司也曾曾在轿车上装用过这种变速器。到80年代,出现了技术上的突破,荷兰VDT公司将橡胶带由许多薄钢片穿成的钢环代替,使其与两个锥轮的槽在不同半径上“咬合”来改变速比。随后以专利权转让方式,向福特、菲亚特和富士重工三家公司卖出了CVT技术。1987年,福特公司首次在市场上推出装用这种钢环的CVT,菲亚特公司也相继开发成功。这三家公司均采用自建CVT工厂,从VDT公司购买钢带,从90年

代初起,在各自的部分量产车型上装备了 CVT。当时有不少业内人士认为 CVT 是性价比最好的自动变速器。

从理论上说, CVT 可以使发动机始终在经济转速区域内运行,从而大幅度改善燃油经济性。但由于 CVT 是摩擦传动,与齿轮传动相比效率并不高,从目前的情况来看,其燃油经济性优于液力自动变速器,与手动变速器相当。此外, CVT 在加速时不需切断动力,因此,装备 CVT 的汽车乘坐舒适,超车加速性能好。近 10 年来生产 CVT 的主要厂商有日本的 Jatco 公司、丰田公司、本田公司,比利时 Punch 公司,德国奔驰公司,美国福特公司。

三、电力传动

电力传动取消了机械传动中的传统机构,以电流传输至电动机(通常为电动轮),从而驱动汽车。电力传动有多种形式,如直流发电机直流驱动,交流发电机直流变频交流驱动等,后者把经过可控硅整流得到的直流电,经逆变装置为频率可变的交流电,使电动机在变频交流电驱动下速度可调,它的结构简单、尺寸小,代表了技术发展方向。

电力传动除具有起动及变速平稳,可无级变速的优点外,还可按汽车行驶功率要求,以最经济的转速运行;能将电动机转换为发电机状态实现制动。

电力传动的主要缺点是价格高,比液力传动还贵,自重也偏大,故目前多用在载重量 850kN 以上的矿用自卸车上。

以动力蓄电池、燃料电池作为能源的电动汽车也部分采用了电力传动系统,这种汽车不使用石油燃料,使用过程中无污染,能量转换效率高,有轿车、客车、小型货车等多种车型,是未来汽车发展的一个方向。

第二节 自动变速器的优缺点

根据上一节的介绍,可对常用的自动变速器的优缺点作一归纳。

一、自动变速器的优点

1. 整车具有更好的驾驶性能

汽车驾驶性能的好坏,除与汽车本身的结构有关外,还取决于正确的控制和操纵。自动变速能通过系统的设计,使整车动力和传动系统自动去完成这些使用要求,以获得最佳的燃料经济性和动力性。使得驾驶性能与驾驶人的技术水平关系不大,因而特别适合于非职业驾驶。

例如,发动机处于非经济转速区域内运转与处于经济转速区域内运转相比较,其油耗率相差近一倍。此外,变速器档位不同,传动效率的高低也有所不同。因此,要让汽车在每一种负载、路况下都能同时兼顾发动机的最低油耗和变速器的最高效率,即使对职业驾驶员而言也不是容易的事。但依靠自动变速技术,按照预先设定的最佳规律变换档位就能实现。

2. 良好的行驶性能

自动变速器的档位变换不但快而且平稳,提高了汽车的乘坐舒适性。通过液体传动和计算机程序控制换档,可以消除或降低动力传动系统中的冲击和动载。这对在地形复杂、路面恶劣条件下作业的工程车辆、军用车辆尤其重要。试验结果表明,在坏路段行驶时,自动变

速的车辆传动轴上,最大动载转矩的峰值只有手动变速器的 20% ~ 40%,原地起步时最大动载转矩的峰值只有手动变速器的 50% ~ 70%。且能大幅度延长发动机和传动系统零部件的使用寿命。

3. 提高行车安全性

在车辆行驶过程中,驾驶人必须根据道路、交通条件的变化,对车辆的行驶方向和速度进行改变和调节。以城市大客车为例,平均每分钟换档 3 ~ 5 次,而每次换档有 4 ~ 6 个手脚协同动作。正是由于这种连续不断的频繁操作,使驾驶人的注意力被分散,而且易产生疲劳,造成交通事故增加;或者是减少换档,以操纵节气门开度代替变速,即以牺牲燃油经济性来减轻疲劳强度。自动变速的车辆,取消了离合器踏板和传统的变速杆,只要控制加速踏板和制动踏板,就能很好地控制车速,从而改善了驾驶人的劳动强度,使行车事故率降低,平均车速提高。

4. 降低废气排放

发动机在怠速和高速运行时,排放的废气中 CO、HC 化合物的浓度较高。而自动变速器的应用,可使发动机经常处于经济转速区域内运转,也就是在较小污染排放的转速范围内工作,从而降低了排气污染。

二、自动变速器的缺点

从目前的情况来看,自动变速器还存在着两方面的缺点:

1. 结构较复杂

与手动变速器相比,自动变速器结构较复杂,零件加工难度大,生产成本较高。由于结构复杂,修理也比较麻烦,从而增加了维修费用。

2. 效率不够高

与手动变速器相比,除 AMT、DCT 和 CVT 自动变速器外,液力自动变速器的效率还不够高,这主要反映在城市工况或综合工况条件下整车油耗偏高。而液力自动变速器目前仍然是自动变速器的主流。当然,通过与发动机的匹配优化、液力变矩器闭锁、增加档位数、智能换档控制等措施,可使液力自动变速器接近手动变速器的油耗水平。

第二章 液力自动变速器的结构和工作原理

汽车液力自动变速器的结构相当复杂，不同型号变速器的局部结构又各有所不同，使得自动变速器的结构多样化。因此，了解基本概念，掌握共性，就显得非常重要了。自动变速器的结构虽然复杂，但无论是哪一种，都由以下三部分组成：

- 1) 液力变矩器。
- 2) 行星齿轮变速器(或定轴齿轮变速器)。
- 3) 液压操纵系统。

下面分别加以介绍。

第一节 液力变矩器

液力变矩器是自动变速器的核心组成部分之一。它的作用是利用液体循环流动过程中动能的变化传递动力。为了便于理解液力变矩器的结构和工作原理，必须首先了解液力偶合器。

一、液力偶合器

液力偶合器安装在汽车发动机和机械变速器之间，即主离合器的位置上。液力偶合器结构示意图如图 2-1 所示。

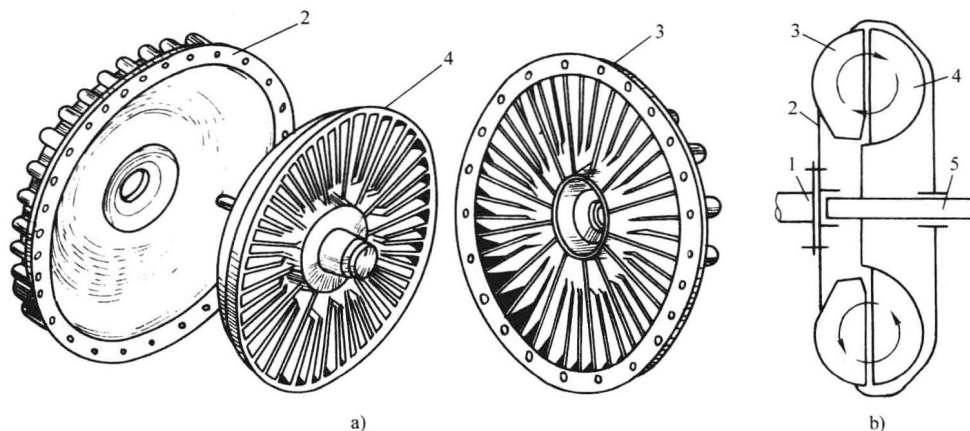


图 2-1 液力偶合器结构示意图

a) 液力偶合器工作轮 b) 液力偶合器循环图

1—发动机曲轴 2—偶合器外壳 3、4—叶轮 5—从动轴

液力偶合器外壳 2，固定在发动机曲轴 1 的凸缘上。叶轮 3 是液力偶合器的主动元件，称为泵轮，它和外壳 2 作刚性连接，与曲轴一起旋转。和从动轴 5 相连的叶轮 4 是液力偶合

器的从动元件,称为涡轮。泵轮和涡轮都称为工作轮。在工作轮的环状壳体中,径向排列着许多叶片。涡轮装在密封的外壳2中,与泵轮叶片端面相对,二者之间留有3~4mm间隙,没有刚性连接。泵轮和涡轮装合后,形成环形空腔,其内充有工作油液。通过轴线纵断面的环形,称为循环圆(图2-1b)。

当工作轮转动时,其中的工作液也被叶片带动一起旋转。在离心力的作用下,工作液从叶片内缘向外缘流动。因此,叶片外缘处压力较高,而内缘处压力较低,其压力差取决于工作轮的半径和转速。

由于泵轮和涡轮的半径相等,故当泵轮的转速大于涡轮的转速时,泵轮叶片外缘的液压力大于涡轮叶片外缘的液压力,于是,工作液不仅随工作轮绕其旋转轴线作圆周运动,而且在上述压力差的作用下,沿循环圆作如图2-2中箭头所示方向的循环流动,其形成的流线如同一个首尾相连的环形螺旋线。

液力偶合器传递动力的过程是:泵轮接受发动机传来的机械能,在液体从泵轮叶片内缘向外缘流动的过程中,将能量传给工作液,使其动能提高;然后再通过高速流动的工作液冲击涡轮叶片,将动能传给涡轮。因此,液力偶合器实现传动的必要条件是工作液在泵轮和涡轮之间有循环流动,而循环流动的产生是由于两个工作轮转速不等,使两轮叶片的外缘处产生液压差所致。故液力偶合器在正常工作时,泵轮转速总是大于涡轮转速。如果二者转速相等,则液力偶合器不起传动作用。

发动机起动后,可将变速器挂上一定档位,此时,发动机驱动泵轮旋转,而与整车相连的涡轮暂时还处于静止状态,工作液立即产生绕工作轮轴线的圆周运动和循环流动。当液流冲到涡轮叶片上时,对涡轮叶片造成冲击力,因而对涡轮作用一个绕涡轮轴线的转矩,力图使涡轮与泵轮同向旋转。对于一定的液力偶合器,发动机转速越大,作用在涡轮的转矩也越大。

加大发动机的供油量,使其转速达到一定值时,作用于涡轮上的转矩足以使汽车克服起步阻力,汽车开始起步。随着发动机转速的继续增高,涡轮连同汽车被不断加速。

由于液体在液力偶合器中作循环流动时,没有受到任何其他附加外力,故发动机作用于泵轮上的转矩与涡轮所接受并传给从动轴的转矩相等。即液力偶合器只起传递转矩的作用,而不改变转矩的大小。

设泵轮转速为 n_B ,涡轮为 n_W , $\frac{n_W}{n_B}$ 为液力偶合器的转速比 i ,则偶合器的传动效率为

$$\eta = \frac{P_W}{P_B} = \frac{M_W n_W}{M_B n_B}$$

式中 η ——传动效率;

P_B ——泵轮输入功率;

P_W ——涡轮输出功率;

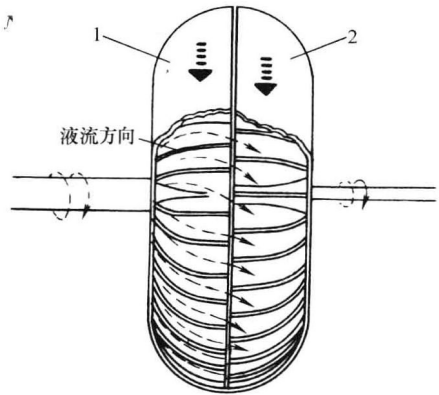


图 2-2 液力偶合器工作示意图

1—泵轮 2—涡轮

M_B ——泵轮输入转矩；

M_W ——涡轮输出转矩。

因作用在液力偶合器上的泵轮和涡轮的转矩相同，即 $M_B = M_W$ ，则

$$\eta = \frac{n_W}{n_B} = i$$

也就是说，液力偶合器的传动效率等于其转速比。涡轮与泵轮的转速差越大，转速比越小，传动效率就越低。反之，转速比越大，传动效率越高。在发动机进入运转并挂上档，而汽车尚未起步时，泵轮虽转动而涡轮转速为 0，此时偶合器的效率为 0。汽车刚起步时，车速较低，涡轮转速也低，传动效率低。随着汽车加速，涡轮转速逐渐提高，涡轮对泵轮的转速比增大，偶合器的传动效率也随之增高。理论上说，当涡轮转速等于泵轮转速时，效率为 100%。实际上，如涡轮转速等于泵轮转速，则涡轮与泵轮叶片外缘处的液压力将相等，从而使得偶合器内的循环流动停止，泵轮与涡轮间不再有能量传递，传动效率为 0。一般而言，液力偶合器的最高传动效率可达 97% 左右。液力偶合器的特性曲线如图 2-3 所示。

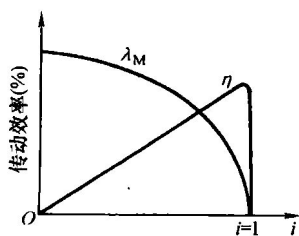


图 2-3 液力偶合器的特性曲线
 η —传动效率 λ_M —偶合器力矩系数

由于液力偶合器是以液体作为传动介质，这使得汽车起步和加速平稳，能够衰减传动系统的扭转振动并防止传动系统过载，还能在暂时停车时不脱开传动系统而维持发动机的怠速运转。但因液力偶合器不能改变所传递的转矩大小，使得相应的变速机构需增加档位。此外，由于液力偶合器不能使发动机与传动系统彻底分离，为解决换档问题，在液力偶合器和机械变速器之间还须装一个换档用离合器。从而使得整个传动系统的重量增大，纵向尺寸增加。

20 世纪 60 年代英国生产的劳斯莱斯轿车，美国生产的奥兹莫比尔轿车，前苏联生产的吉姆轿车所用的自动变速器上，都装用过液力偶合器。但由于其上述缺点，近年来生产的轿车在主传动系统中已不采用液力偶合器，而使用液力变矩器。

二、液力变矩器

1. 液力变矩器的组成

普通液力变矩器由可转动的泵轮和涡轮以及固定不动的导轮这三个基本元件组成。液力变矩器结构示意图如图 2-4 所示。汽车所用液力变矩器的工作轮一般都是由钢板冲压焊接而成的，而工程机械和一些军用车辆所用液力变矩器的工作轮则是用铝合金精密铸造而成的。与液力偶合器不同的是，在液力变矩器的泵轮和涡轮之间安装有导轮，并与泵轮和涡轮保持一定的轴向间隙，导轮通过导轮固定套固定在变速器壳体上。所有工作轮在装配后，形成的环状体的断面称为变矩器循环圆(图 2-4b)。

2. 液力变矩器的工作原理

和液力偶合器一样，液力变矩器在正常工作时，储存于环形腔内的工作液，除有绕变矩器轴线的圆周运动外，还有在循环圆中如图 2-4 中箭头所示的循环流动，故可将转矩从泵轮传至涡轮。

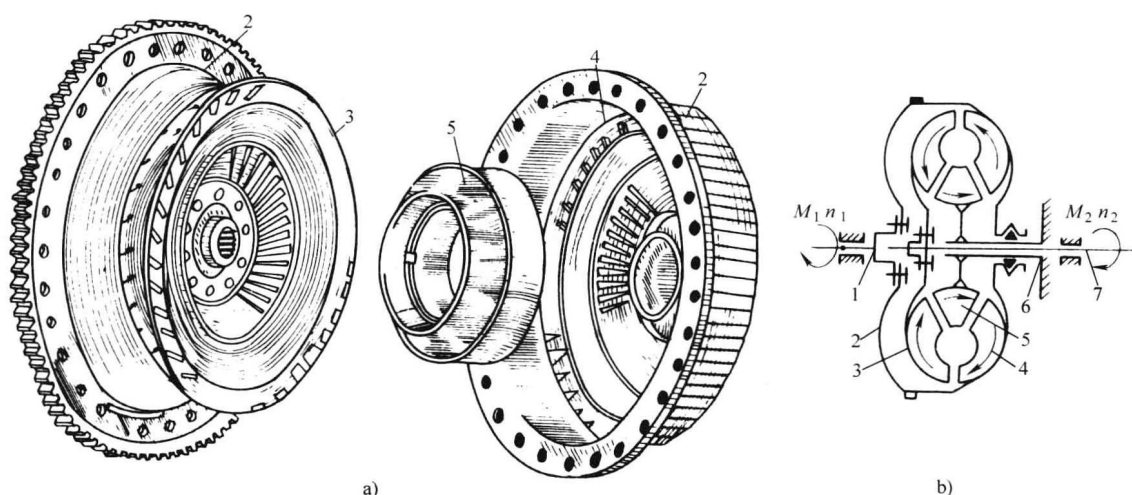


图 2-4 液力变矩器结构示意图

a) 液力变矩器工作轮 b) 液力变矩器循环圆

1—发动机曲轴 2—变矩器壳 3—涡轮 4—泵轮 5—导轮 6—导轮固定套管 7—从动轴

与液力偶合器不同的是，液力变矩器不仅能传递转矩，而且能在泵轮转矩不变的情况下，随着涡轮转速的不同自动地改变涡轮所输出的转矩值，即“变矩”。

液力变矩器之所以能起变矩作用，就是因为结构上比液力偶合器多了一个导轮机构。在液体循环流动的过程中，固定不动的导轮给涡轮一反作用力矩，使涡轮输出的转矩不同于泵轮输入的转矩。

现以液力变矩器工作轮的展开图来说明液力变矩器的工作原理。沿图 2-5 所示的工作轮循环圆中间流线将三个工作轮叶片假想地展开，得到泵轮、涡轮和导轮的环形平面图（图 2-6）。各叶轮叶片的形状和进出口角度也被显示于图中。

为便于说明，假设发动机转速及负荷不变，即液力变矩器泵轮的转速 n_B 及转矩 M_B 为常数。先以汽车起步工况为例进行讨论。

当发动机运转而汽车还未起步时，涡轮转速 n_W 为零，如图 2-6a 所示。工作液在泵轮叶片的带动下，以一定的绝对速度沿图中箭头 1 的方向冲向涡轮叶片，对涡轮有一作用力，产生绕涡轮轴的转矩，此即液力变矩器的输出转矩。因此时涡轮静止不动，液流则沿着叶片流出涡轮并冲向导轮，其方向如图中箭头 2 所示，该液流也对导轮产生作用力矩。然后液流再从固定不动的导轮叶片沿箭头 3 的方向流回到泵轮中。当液流流过叶片时，对叶片作用有冲击力矩，根据作用力与反作用力定律，液流此时也会受到叶片的反作用力矩，其大小与作用力矩相等，方向相反。作用力矩或反作用力矩的方向及大小与液流进出工作轮的方向有关。

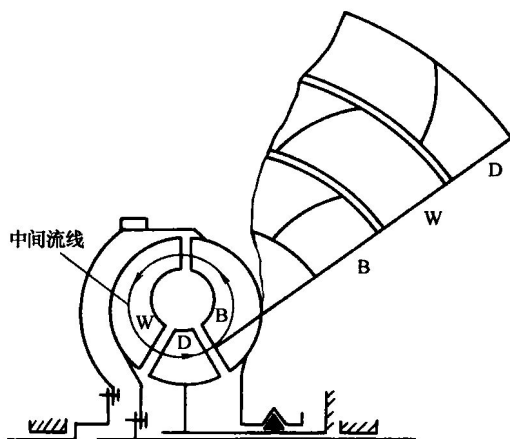


图 2-5 液力变矩器工作轮展开示意图

B—泵轮 W—涡轮 D—导轮

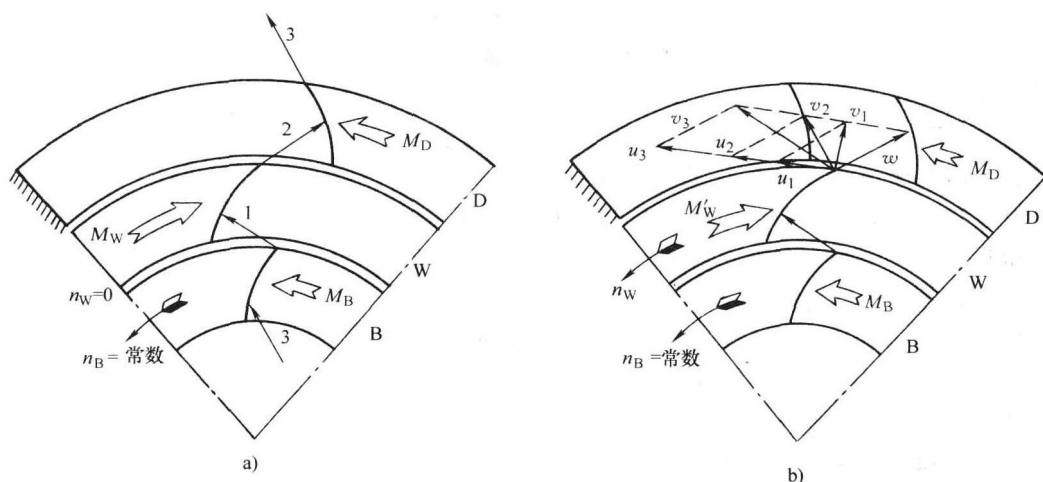


图 2-6 液力变矩器工作原理图

设泵轮、涡轮和导轮对液流的作用力矩分别为 M_B 、 M_W 和 M_D ，方向如图中箭头所示。根据液流受力平衡条件，三者在数值上满足关系式 $M_W = M_B + M_D$ ，即涡轮转矩等于泵轮转矩与导轮转矩之和。显然，此时涡轮转矩 M_W 大于泵轮转矩 M_B ，即液力变矩器起到了增大转矩的作用。也可以这样来理解其增矩作用，当液流冲击进入涡轮时，对涡轮有一作用力矩，此为泵轮给液流的力矩；当液流从涡轮流出冲击导轮时，对导轮也有一作用力矩，因导轮被固定在变速器壳体上，从而导轮给液流的反作用力矩通过液流再次作用在涡轮上，使得涡轮的转矩等于泵轮转矩与导轮转矩之和。

当液力变矩器输出的转矩，经传动系统传到驱动轮上所产生的牵引力足以克服汽车起步阻力时，汽车即起步并开始加速，与之相连的涡轮转速 n_W 也从零起逐渐增加。我们定义液流沿叶片方向流动的速度为相对速度 w ，在叶轮的作用下所具有的沿圆周方向运动的速度为牵连速度 u ，二者的矢量和为绝对速度 v 。涡轮转速 n_W 不为零时，液流在涡轮出口处不仅具有相对速度 w ，而且具有牵连速度 u_1 ，故冲向导轮叶片的液流的绝对速度 v_1 为两者的合成速度，如图 2-6b 所示。因设泵轮转速不变，即液流循环流量基本不变，故涡轮出口处的相对速度 w 不变，变化的只是涡轮转速 n_W ，即牵连速度 u 发生变化。由图可见，冲向导轮叶片的液流的绝对速度 v 将随牵连速度 u 的增加而逐渐向左倾斜，使导轮上所受转矩值逐渐减小。

当涡轮转速增大到一定值时，由涡轮流出的液流 (v_2) 正好沿导轮出口方向冲向导轮，由于液体流经导轮时方向不改变，故导轮转矩 M_D 为零，即涡轮转矩与泵轮转矩相等， $M_W = M_B$ 。

若涡轮转速 n_W 继续增大，液流绝对速度 v 方向继续向左倾，如图 2-6b 中 v_3 所示方向，液流冲击导轮叶片反面，导轮转矩方向与泵轮转矩方向相反，则涡轮转矩为前两者转矩之差 ($M_W = M_B - M_D$)，即变矩器输出转矩反而比输入转矩小。当涡轮转速 n_W 增大到与泵轮转速 n_B 相等时，工作液在循环圆内的循环流动停止，不能传递动力。

当液力变矩器在泵轮转速 n_B 和转矩 M_B 不变的条件下，涡轮转矩 M_W 随其转速 n_W 变化的规律，即为变矩器特性(图 2-7)。