

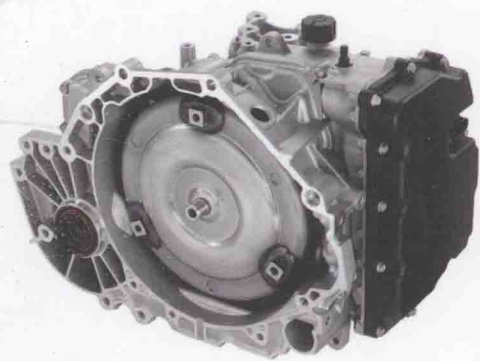


普通高等教育汽车服务工程专业“十二五”规划教材

# 自动变速器技术

ZIDONG BIAN SUQI JISHU

徐向阳 主 编  
刘艳芳 姬芬竹 王书翰 副主编  
万耀青 主 审



QICHE FUWU GONGCHENG



人民交通出版社  
China Communications Press

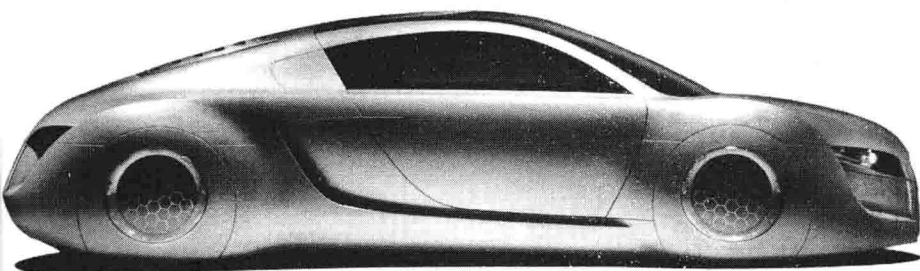
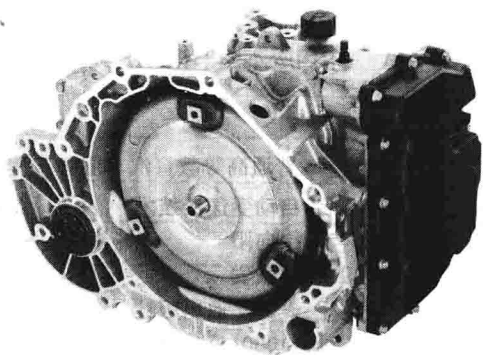
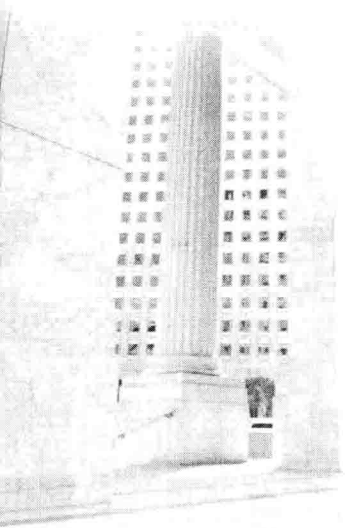
普通高等教育汽车服务工程专业“十二五”规划教材

# 自动变速器技术

徐向阳 主 编

刘艳芳 姬芬竹 王书翰 副主编

万耀青 主 审



人民交通出版社  
China Communications Press

## 内 容 提 要

本书借鉴国内外自动变速器技术的最新研究成果,结合作者多年来在自动变速器领域的教学和科研成果,系统地阐述了汽车自动变速器的发展历史、分类、基本结构、工作原理以及产品设计和开发中涉及的关键技术。

本书共分六章,第一章系统介绍了自动变速器的类型和特点、基本组成和技术发展趋势。第二章介绍了普通行星齿轮传动、辛普森行星齿轮传动和拉维娜行星齿轮传动原理,换挡元件的分类和作用,以及自动变速器换挡规律和控制策略。第三章介绍了自动变速器液压控制系统,包括系统的组成和工作原理、液力变矩器、ATF、液压系统分析等。第四章介绍了自动变速器的电子控制系统的组成和控制功能,控制算法与理论,控制软件的开发流程等。第五章介绍了 AMT、CVT、DCT 和混合动力传动等最近几年最新发展的自动变速器技术。第六章介绍了自动变速器设计开发中的建模与仿真技术。

本书为高等院校车辆工程专业和汽车服务工程专业的专业教材。书中大量内容是作者的最新科研工作的总结,因此,也可以作为研究生教材使用,对汽车自动变速器行业的工程技术人员也具有很高的参考价值。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

自动变速器技术 / 徐向阳主编. — 北京: 人民交通出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-114-09003-5

I. ①自… II. ①徐… III. ①汽车—自动变速装置  
IV. ①U463. 212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 057812 号

普通高等教育汽车服务工程专业“十二五”规划教材

书 名:自动变速器技术

著 者:徐向阳

责任编辑:智景安

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969, 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:10.25

字 数:262 千

版 次:2011 年 7 月 第 1 版

印 次:2011 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09003-5

印 数:0001~3000 册

定 价:19.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 前 言

## Qianyan

进入 21 世纪以来,伴随国家汽车产业发展政策的调整,我国汽车产业进入健康、持续、快速发展的轨道。在汽车工业大发展的同时,汽车消费主体日益多元化,广大消费者对高质量汽车服务的渴求日益凸现,汽车厂商围绕提升服务质量的竞争业已展开,市场竞争从产品、广告层面提升到服务层面,这些发展和变化直接催生并推进了一个新兴产业——汽车服务业的发展与壮大。

当前,我国的汽车服务业正呈现出“发展快、空间大、变化深”的特点。“发展快”是与汽车工业本身的发展和社会汽车保有量的快速增长相伴而来的。“空间大”是因为我国的汽车普及率尚不够高,每千人拥有的汽车数量还不及世界平均水平的 1/3,汽车服务市场尚有很大的发展潜力,汽车服务业将是一个比汽车工业本身更庞大的产业。“变化深”一方面是因为汽车后市场空前繁荣,蓬勃发展,大大拉长和拓宽了汽车产业链。汽车技术服务、金融服务、销售服务、物流服务、文化服务等新兴的业务领域和服务项目层出不穷;另一方面是因为汽车服务的新兴经营理念不断涌现,汽车服务的方式正在改变传统的业务分离、各自独立、效率低下的模式;向服务主体多元化、经营连锁化、运作规范化、业务集成化、品牌专业化、技术先进化、手段信息化、竞争国际化的方向发展。特别是我国加入世贸组织后,汽车产业相关的保护政策均已到期,汽车服务业实现全面开放,国际汽车服务商快速进入,以上变化必将进一步促进汽车服务业向纵深发展。

汽车工业和汽车服务业的发展,使得汽车厂商和服务商对高素质的汽车服务人才的需求比以往任何时候都更为迫切,汽车服务业将人才竞争视作企业竞争制胜的关键要素。在这种背景下,全国高校汽车服务工程专业教学指导委员会(筹)顺应时代的呼唤,组织全国高校汽车服务工程专业的知名教授,编写了汽车服务工程专业规划教材。

本套教材总结了全国高校汽车服务工程专业的教学经验,注重以本科学生就业为导向,以培养综合能力为本位。教材内容符合汽车服务工程专业教学改革精神,适应我国汽车服务行业对高素质综合人才的需求,具有以下特点:

(1)本套教材是根据全国高校汽车服务工程专业教学指导委员会审定的教材编写大纲而编写,全面介绍了各门课程的相关理论、技术及管理知识,符合各



门课程在教学计划中的地位和作用。教材取材合适,要求恰当,深度适宜,篇幅符合各类院校的要求。

(2)教材内容努力做到由浅入深,循序渐进,并处理好了重点与一般的关系;符合认知规律,便于学习;条理清晰,文字规范,语言流畅,文图配合适当。

(3)教材努力贯彻理论联系实际的原则。教材在系统介绍汽车服务工程专业的科学理论与管理应用经验的同时,引用了大量国内外的最新科研成果和具有代表性的典型例证,分析了发展过程中存在的问题,教材内容具有与本学科发展相适应的科学水平。

(4)教材的知识体系完整,应用管理经验先进,逻辑推理严谨,完全可以满足汽车服务行业对综合性应用人才的培养要求。

《自动变速器技术》是汽车服务工程专业规划教材之一,本教材借鉴国内外自动变速器技术的最新研究成果,结合作者多年来在自动变速器领域的教学和科研成果,系统地阐述了汽车自动变速器的发展历史、分类、基本结构、工作原理以及产品设计和开发中涉及的关键技术。

《自动变速器技术》教材由北京航空航天大学徐向阳教授担任主编,北京理工大学万耀青教授担任主审。参加本教材编写工作的有:北京航空航天大学姬芬竹副教授、王书翰博士(第五章部分内容、第三章),北京航空航天大学刘艳芳博士(第一章、第二章部分内容、第六章),湖南大学薛殿伦副教授(第二章、第五章部分内容),北京航空航天大学博士研究生戴振坤、鲁曦等(第四章)。徐向阳教授对全书进行了统稿。

本书作为普通高等学校汽车服务工程专业的规划教材,将对汽车服务工程专业和相关专业的教学起到促进作用。此外,本书也可以作为国内汽车服务业就业群体学习提高和职工培训的教材或参考读物。

由于时间仓促,本套教材定有许多不足之处,敬请广大读者和同仁使用后批评指正,以便教材再版时修正。

全国高校汽车服务工程专业教学指导委员会(筹)

2010年10月

# 目 录

Mulu

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....                 | 1  |
| <b>第一节 汽车变速器的发展</b> .....           | 1  |
| 一、手动变速器(MT).....                    | 1  |
| 二、自动变速器的发展历史.....                   | 3  |
| 三、自动变速器的分类及其特点.....                 | 5  |
| 四、新型自动变速器.....                      | 11 |
| <b>第二节 汽车自动变速系统的组成</b> .....        | 12 |
| 一、机械变速系统.....                       | 12 |
| 二、换挡执行机构.....                       | 13 |
| 三、液压控制系统.....                       | 13 |
| 四、电子控制系统.....                       | 14 |
| <b>第三节 汽车自动变速器的发展趋势</b> .....       | 16 |
| <b>第四节 汽车自动变速器的仿真技术</b> .....       | 17 |
| <b>第二章 行星齿轮变速系统</b> .....           | 20 |
| <b>第一节 行星齿轮传动原理</b> .....           | 20 |
| 一、行星排组成及其固有特性.....                  | 20 |
| 二、单个行星排的运动分析和力矩分析.....              | 22 |
| 三、单个行星排的传动方案.....                   | 23 |
| <b>第二节 辛普森行星齿轮传动原理</b> .....        | 24 |
| 一、辛普森行星齿轮机构.....                    | 24 |
| 二、辛普森四挡行星齿轮变速器.....                 | 25 |
| <b>第三节 拉维娜行星齿轮传动原理</b> .....        | 29 |
| 一、拉维娜行星齿轮机构.....                    | 29 |
| 二、大众 01M 拉维娜四挡行星齿轮变速器.....          | 30 |
| <b>第四节 行星齿轮机构的综合传动方案与运动分析</b> ..... | 33 |
| 一、行星齿轮机构传动方案综合理论.....               | 33 |
| 二、行星齿轮变速系统的运动分析和力矩分析.....           | 35 |
| <b>第五节 换挡元件的分类和作用</b> .....         | 39 |
| 一、离合器的作用.....                       | 39 |



|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 二、制动器的作用·····               | 39 |
| 三、单向离合器的作用·····             | 40 |
| 第六节 自动变速器的换挡规律与控制策略·····    | 40 |
| 一、经济性和动力性换挡规律·····          | 40 |
| 二、弯路及坡路换挡规律·····            | 41 |
| 三、液力变矩器闭锁换挡规律·····          | 42 |
| 四、效率换挡规律·····               | 42 |
| 第三章 液压控制系统·····             | 43 |
| 第一节 液压控制系统基本组成与工作原理·····    | 43 |
| 一、液压控制系统的基本组成·····          | 43 |
| 二、液压控制系统的工作原理·····          | 43 |
| 第二节 液力变矩器·····              | 44 |
| 一、液力变矩器的基本结构·····           | 45 |
| 二、液力变矩器的工作原理·····           | 47 |
| 三、液力变矩器特性·····              | 48 |
| 四、液力变矩器的特点·····             | 51 |
| 五、带锁止离合器的液力变矩器·····         | 51 |
| 第三节 液压控制系统元件结构和工作原理·····    | 53 |
| 第四节 自动变速器液压油(ATF)·····      | 65 |
| 第五节 液压控制系统分析·····           | 67 |
| 一、换挡操控系统油路分析方法·····         | 67 |
| 二、ZF6HP 液压控制系统基本结构和原理图····· | 67 |
| 三、ZF6HP 液压控制系统元件功能·····     | 69 |
| 四、ZF6HP 液压控制系统油路分析·····     | 72 |
| 第四章 电子控制系统·····             | 78 |
| 第一节 电子控制系统的基本组成和控制功能·····   | 78 |
| 一、电子控制系统硬件组成·····           | 78 |
| 二、电子控制单元·····               | 78 |
| 三、传感器和控制开关·····             | 82 |
| 四、执行器·····                  | 86 |
| 五、线束和连接器·····               | 87 |
| 第二节 电子控制系统控制软件的组成和控制功能····· | 87 |
| 一、控制软件组成·····               | 87 |
| 二、输入输出信号管理·····             | 88 |
| 三、自动变速器中央控制模块·····          | 88 |
| 四、发动机控制·····                | 94 |
| 五、离合器状态控制·····              | 95 |
| 六、液力变矩器闭锁控制·····            | 96 |

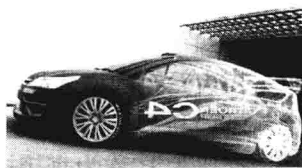


|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 七、系统主油压控制·····             | 98         |
| 八、故障检测与失效管理·····           | 99         |
| 第三节 控制算法及理论·····           | 100        |
| 一、PID 控制·····              | 100        |
| 二、自适应控制·····               | 101        |
| 三、模糊控制·····                | 101        |
| 第四节 控制软件开发流程与发展趋势·····     | 101        |
| 一、功能设计及离线仿真·····           | 102        |
| 二、快速控制原型·····              | 102        |
| 三、目标代码生成·····              | 103        |
| 四、TCU 测试·····              | 103        |
| 五、整车标定·····                | 104        |
| 六、控制软件的发展趋势·····           | 104        |
| <b>第五章 其他类型自动变速器·····</b>  | <b>106</b> |
| 第一节 电控机械自动变速器 AMT·····     | 106        |
| 一、电控机械自动变速器的分类·····        | 107        |
| 二、电控机械自动变速器的基本结构和工作原理····· | 108        |
| 三、电控机械自动变速器的关键技术·····      | 112        |
| 四、电控机械式自动变速器的特点·····       | 119        |
| 第二节 金属带式无级变速器 CVT·····     | 120        |
| 一、无级变速器的分类·····            | 120        |
| 二、金属带式 CVT 的基本结构和工作原理····· | 121        |
| 三、CVT 的关键技术·····           | 127        |
| 四、金属带式无级变速器的特点·····        | 128        |
| 第三节 双离合变速器 DCT·····        | 131        |
| 一、双离合变速器 DCT 的分类·····      | 132        |
| 二、双离合变速器的基本结构和工作原理·····    | 133        |
| 三、DCT 的关键技术·····           | 135        |
| 四、DCT 的特点·····             | 136        |
| 第四节 混合动力传动系统·····          | 137        |
| 一、液压蓄能式混合动力传动系统·····       | 138        |
| 二、电力蓄能式混合动力传动系统·····       | 139        |
| 三、混合动力系统的变速器·····          | 142        |
| <b>第六章 自动变速器建模与仿真·····</b> | <b>144</b> |
| 第一节 3 种建模方式·····           | 144        |
| 一、信号方块图式建模·····            | 144        |
| 二、基本元素和元件式建模·····          | 144        |
| 三、数学方程式建模·····             | 146        |





|   |     |
|---|-----|
| 第二节 仿真软件简介.....                             | 146 |
| 一、仿真软件 MATLAB 工具箱 Simulink 简介 .....         | 146 |
| 二、多学科领域系统动力学仿真软件 AMESim 和 SimulationX ..... | 146 |
| 第三节 SimulationX 在液力自动变速器的应用举例 .....         | 147 |
| 一、行星变速系统的建模与仿真 .....                        | 147 |
| 二、液压系统的建模与仿真 .....                          | 150 |
| 三、换挡控制过程的建模与仿真 .....                        | 152 |
| 参考文献.....                                   | 156 |



# 第一章 绪 论

## 第一节 汽车变速器的发展

从汽车诞生之日起,汽车变速器就在汽车传动系中扮演着至关重要的角色。现代汽车广泛采用活塞式内燃机,活塞式内燃机提供的转矩和转速变化范围较小,无法满足汽车各种复杂的使用条件。例如空车在平直公路上行驶时,行驶阻力相对很小;但当满载上坡时,行驶阻力相对很大;在顺畅的高速公路上行驶应该达到 100km/h 或者更高的车速,而在拥堵的市区内,车速常常在 30km/h 左右。为了解决这些矛盾,需要在传动系中设置变速器。变速器的作用主要有 3 个方面:

(1) 改变汽车传动系的传动比,扩大驱动车轮转矩和转速的范围,使车辆适应各种行驶工况的同时,保证发动机在理想的工况(动力性较高、经济性较好)下工作。

(2) 在发动机转矩方向不变的情况下,实现汽车的倒退行驶。

(3) 中断发动机传递给车轮的动力,实现空挡,以便发动机能够启动和怠速运转。

按照变速操纵方式的不同,汽车变速器可以分为手动变速器和自动变速器。由于手动变速器具有汽车起步不平稳、转速变化突然、发动机工作处于非稳定工况、对传动系统会造成一定动载荷和冲击、驾驶员操纵频繁等一系列缺点,其市场份额正在逐步被自动变速器所取代。从市场地域来看,目前,自动变速器在美国汽车市场已经占据主导地位,超过 90% 的车辆装配自动变速器,日本新车则占 80% 左右,欧洲市场也超过了 40%,中国则在 35% 左右,自动变速器已经成为北美和日本新产乘用车和轻型商务车的首选。从车型来看,目前,国际上自动变速器在高档乘用车上的装配率已超过 90%,中档和低档乘用车分别接近 60% 和 40%。另有报告显示,在重型货车等商用车上,自动变速器的比例也在不断增加。1996 年重型货车中自动变速器的比例只有 5%,而 2006 年已上升到 18%。欧洲汽车制造商和经销商协会 2008 年最新统计的数据显示,英国配备自动变速器的汽车占汽车总量的 15%,而 5 年前是 13.5%。据美国汽车咨询公司 CSM 统计,2007 年,中国乘用车市场(包括轿车、SUV、MPV),自动变速器的市场份额为 36%;据其预测,到 2013 年,将上升到 45% 左右。据德国 ZF 公司预测,到 2010 年,全球自动变速器将占到 55% 的市场份额。到 2012 年,北美市场 94% 以上销售的乘用车将装有自动变速器,在南美及加拿大市场这个比例将达 90%。到 2013 年,欧洲市场配备自动变速器的汽车将达到 48%。因此,自动变速器占据市场绝对主导地位将是大势所趋。

### 一、手动变速器(MT)

手动变速器(Manual Transmission,简称 MT)主要采用齿轮传动的变速原理,变速器内有



多组传动比不同的齿轮副,汽车行驶时的换挡就是通过操纵机构使变速器内不同的齿轮副工作。如在低速时,让传动比大的齿轮副工作;而在高速时,让传动比小的齿轮副工作。由于每挡齿轮组的齿数是固定的,所以各挡的变速比是定值。乘用车手动变速器一般有4~6个前进挡和1个倒挡,每个挡位有一定的传动比,多数挡位传动比大于1,最高挡或者次高挡传动比为1,称为直接挡,而传动比小于1的挡称为超速挡。空挡时输出轴的齿轮处于非啮合位置,无法传输动力。

常见的手动变速器由变速器壳体、轴、轴承、齿轮、同步器和换挡机构组成。根据轴的个数不同,可以分为三轴式和二轴式变速器。轴构成了变速器的主体,还有1根倒挡惰轮轴,通过不同的齿轮啮合实现变速变矩的目的。图1-1为传统的三轴式五挡手动变速器,其结构即为“两轴一中轴”,它的工作原理为:输入轴也称第一轴,它的前端花键直接与离合器从动盘的花键套配合,从而传递由发动机输出的转矩。第一轴上的齿轮与中间轴齿轮常啮合,只要输入轴一转,中间轴及其上的齿轮也随之转动。中间轴也称副轴,轴上固连多个大小不等的齿轮。输出轴又称第二轴,轴上套有各前进挡齿轮,可随时在操纵装置的作用下与中间轴的对应齿轮啮合,从而改变本身的转速及转矩。输出轴的尾端有花键与传动轴相连,通过传动轴将转矩传送到驱动桥减速器。图1-2为典型的二轴式五挡变速器,其结构为“两轴”,由于省去了中间轴,所以一般挡位传动效率要高一些;但是任何一挡的传动效率又都不如三轴变速器直接挡的传动效率高。它的工作原理为:一轴为输入轴,它的前端花键直接与离合器从动盘的花键套配合,从而传递由发动机输出的转矩。第一轴上的齿轮与第二轴齿轮常啮合,只要输入轴一转,二轴(输出轴)及其上的齿轮也随之转动。二轴为输出轴,轴上套有各前进挡齿轮,可随时在操纵装置的作用下与一轴的对应齿轮啮合,从而改变输出的转速及转矩。输出轴通过主减速器主、被动齿轮12和6与主减速器相连,将转矩传送到驱动桥主减速器。

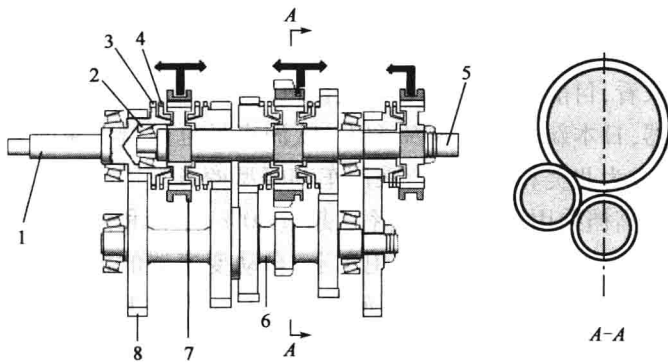


图 1-1 三轴式五挡变速器

1-输入轴;2-轴承;3-接合齿圈;4-同步环;5-输出轴;6-中间轴;7-接合套;8-中间轴常啮合齿轮

由于手动变速器输入轴与输出轴以各自的速度旋转,变换挡位时存在一个“同步”问题。两个旋转速度不一样的齿轮强行啮合必然会发生冲击碰撞,损坏齿轮。因此,旧式手动变速器的换挡要采用“两脚离合”的方式,升挡要在空挡位置停留片刻,减挡要在空挡位置给发动机加速,以减少不同啮合齿轮的转速差。但这个操作比较复杂,难以掌握精确。因此设计师创造出“同步器”,将要啮合的齿轮通过同步器来实现一致的转速,从而顺利啮合。

手动变速器具有如下特点:

(1)结构简单。传动机件均使用齿轮、花键毂、接合套等机械性零部件组装而成,传动

可靠、结构简单是传动系统中最传统的设计思想,并得到了广泛的应用。

(2) 体积较小。由于结构简单,制造起来可以使其变速器体积设计较小,所以汽车传动系统结构紧凑,有利于减小汽车整体的外形尺寸。

(3) 制造成本低。由于结构简单,机械零件设计与制造精度要求不高,装配精度也较低,所以工人装配与修理均比较容易。

(4) 传动效率高。由于是机械传动,动力传递损失可以控制在很小范围内,基本上只有齿轮的摩擦损失和搅油损失,所以功率浪费较少。

(5) 操作复杂。乘用车机械式变速器,一般设计有4~6前进挡。汽车在行驶中,驾驶员需要根据车辆运行工况和行驶条件,不断选择不同挡位进行更换。这使驾驶员操作复杂,易疲劳,并容易发生交通事故。同时,在频繁地换挡与离合过程中,机件会造成频繁的磨损,从而影响换挡的精确性与平顺性。在当今的大城市中,“堵车”现象愈来愈多,驾驶员需要频繁踩离合器换挡,体力消耗大,发动机很难工作在最佳的状态,动力性难以完全发挥,也影响其经济性。

(6) 传动负荷率低下。尽管有级变速器能够基本满足汽车行驶需要,但是由于挡位设计有限,驾驶员操作强度有限,所以功率浪费是可观的。这样造成使用负荷率下降,油耗增加,工作效率下降等。

由于MT具有结构简单、成本较低等优点,而且如果驾驶者技术好,装手动变速器的汽车在加速、超车时比装自动变速器的汽车快,也省油。因此,在自动变速器没有较大的优越性的前提下,手动变速器仍然会得到广泛的应用。

## 二、自动变速器的发展历史

汽车自动变速器是指不依靠人的换挡操作,而能自动实现换挡功能的装置。汽车自动变速器是随着车辆技术及其相关技术的发展而产生的。纵观汽车自动变速器的发展历史,大体上可以分为5个阶段:自动变速前期、液力自动变速阶段、电控自动变速阶段、智能变速阶段和多元化发展阶段。各阶段的技术应用情况见图1-3。

### 1. 自动变速前期

最早在1904年出现了离合器和制动器等摩擦元件操纵变速的行星齿轮机构,该机构首先用于英国Wilson Picher汽车上。1907年福特车上大量使用行星齿轮变速器,它的出现实现了不切断动力进行的“动力换挡”,并避免了固定轴式变速器中的“同步问题”。而液力耦合器的出现为自动操纵换挡的实现提供了可能,1938年至1941年美国通用汽车公司(General Motors)和克莱斯勒汽车公司(Chrysler)采用液力耦合器代替离合器,省去了驾驶时的离合器踏板操作。随后出现了液力自动变速器的前身,开始了利用车速和加速两个参数信号,用液压逻辑油路控制的液力自动变速时代。

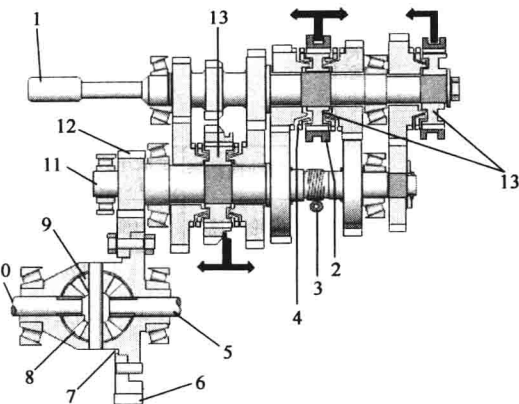


图 1-2 二轴式五挡变速器

- 1-输入轴;2-接合套;3-里程表齿轮;4-同步环;5-半轴;  
6-主减速器被动齿轮;7-差速器壳;8-半轴齿轮;  
9-行星齿轮;10、11-输出轴;12-主减速器主动齿轮;  
13-花键毂

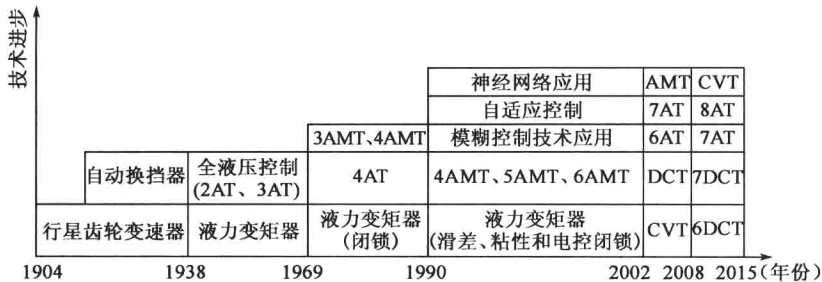


图 1-3 自动变速器的发展历程及采用的新技术

## 2. 液力自动变速阶段

自动变速器最重要的改进是在第二次世界大战期间,别克汽车公司开发了液力变矩器。该阶段始于 1938 年通用生产的 Oldsmobile 车上的 Hydromatic 液力自动变速器,以液力自动变速器的普遍应用和迅速推广为特征。这个阶段的液力自动变速器由液力变矩器和行星齿轮变速器组成,控制系统是通过液压系统来实现的,控制信号的产生,主要是通过反应节气门开度大小的节气门阀和反应车速高低的速控阀实现,其控制系统是由若干个复杂的液压阀和油路构成的逻辑控制系统,按照设定的换挡规律,控制换挡执行机构的动作,从而实现自动换挡。代表性的产品有:丰田的 A40 系列自动变速器、通用的 4T60E、EF、CHPE9 等系列产品。但液压系统的控制精度较低,难以适应车辆行驶状况的变化,无法按使用者愿望实现精确的换挡品质控制。

## 3. 电控自动变速阶段

1968 年法国雷诺公司第一次在自动变速器上使用了电器元件,向自动变速器电气化迈出了第一步。电控自动变速器与全液压的区别在于自动换挡的控制系统是由电脑来实现的,但当时电子技术不成熟,应用范围较窄。到 20 世纪 80 年代末,电子控制逐步实用化,越来越多的自动变速器采用了电子控制。1977 年,美国克莱斯勒公司第一次开发了带锁止离合器的液力变矩器。1982 年,丰田公司生产了第一台由微机控制的电控自动变速器,它是装配在佳美四缸机上的 A-140E 自动变速器。1983 年,德国成功研制了电控发动机和电控自动变速器共用的电控单元。1984 年美国奥兹莫比尔汽车装上了 THM440-T4 型自动变速器,这也是美国汽车史上的第一台电控自动变速器。自动变速器的控制系统包括电控和液控两部分,电控系统由电控单元 TCU(Transmission Control Unit)、各种传感器、电磁阀及控制电路等组成,它将控制换挡的参数(例如车速和节气门开度等)通过传感器转换为电信号输送给 TCU,TCU 通过处理将换挡信号作用于换挡电磁阀从而利用液压换挡执行机构实现自动换挡。由于 TCU 能存储和处理多种换挡规律,在改善换挡品质控制方面,有明显的优越性,并且与整车的其他控制系统兼容性好,最终可以实现车辆电子控制系统一体化。

## 4. 智能自动变速阶段和多元化发展阶段

随着车辆技术和自动变速技术的发展,人们不再满足于简单的功能实现,车辆自动变速技术即将进入智能化阶段,控制策略的不断改进成为车辆自动变速技术的特点。德国宝马公司从 1992 年起,陆续推出用于四挡和五挡自动变速器的自适应控制系统,能够自动识别驾驶员的操作方式、环境条件和行驶状况,并对换挡规律作出适当调整。日本尼桑的 E4N71B 自动变速器,采用模糊推理对高速公路坡道进行识别,采取禁止升挡的措施消除循

环换挡,三菱新型四挡自动变速器,将各种输入信息和驾驶员的换挡规律通过神经网络建立联系,利用神经网络的学习功能,使得车辆能够按照驾驶员意图自动换挡。

在自动变速器领域主要有 AT、DCT、CVT、AMT 4 种类型的自动变速器,世界上的各大研究机构和制造厂商在同步进行着不同类型自动变速器的研发和生产,例如,采埃孚(ZF)、爱信公司(ASIN)的 8AT;大众公司的 7DCT;杰特科公司的 CVT 等,这些不同类型的自动变速器都得到了广泛的应用,如今的自动变速器领域可谓各有所长,百家争鸣。

汽车自动变速器克服了手动变速器的不足,具有以下优点:

(1)提高了驾驶性能。自动变速器通过合理的设计与控制,能够完成自动变速动作,获得最佳的燃油经济性和动力性,使驾驶性能得到提高。

(2)提高了行驶性能。自动变速器的挡位变换迅速而且平稳,提高了汽车乘坐的舒适性和操作方便性;通过液压传动和微电脑控制换挡,降低甚至消除了动力传递系统中的冲击和动载,这对在地形复杂、路面条件恶劣情况下作业的工程车辆、军用车辆尤为重要。

(3)延长了发动机和传动系的使用寿命。自动变速器采用液力变矩器实现和发动机的“柔性”连接,外界的冲击负荷可以通过耦合器缓冲,有过载保护的作用,所以在汽车起步、换挡、制动时能吸收振动,相应减小发动机和传动系的动载荷。

(4)操作简单。自动变速器可以根据需要进行自动加挡、减挡,省去了起步和换挡时脚踏离合器、更换变速杆位置和松抬加速踏板位置等复杂的操作规程,减轻了驾驶员的疲劳程度,提高了行车安全性。

(5)提高了汽车的平稳性。液力变矩器的采用,使汽车在起步时,车轮上的牵引力逐步增加,起步平稳;汽车在行驶中的稳定车速也可以降到最低,甚至为零;行驶阻力增大时,发动机也不会出现熄火。

当然,由于自动变速器的类型不同,不同类型的自动变速器所表现出来的优缺点也不尽相同,相关内容将在后面详细介绍。

### 三、自动变速器的分类及其特点

目前已经产业化批量生产的乘用车自动变速器主要有 4 种类型:液力自动变速器(Automatic Transmission,简称 AT)、无级变速器(Continuously Variable Transmission,简称 CVT)、机械式自动变速器(Automated Mechanical Transmission,简称 AMT)和双离合自动变速器(Dual Clutch Transmission 或 Double Clutch Transmission,简称 DCT)。

#### 1. 液力自动变速器(AT)

液力自动变速器的基本形式是以液力变矩器和行星齿轮变速器串联为特征,以图 1-4、图 1-5 以及表 1-1 所示的德国 ZF 公司开发的八挡自动变速器 8HP42 为例说明其结构原理。图 1-4 为 8HP42 的基本结构和传动简图,表 1-1 为 8HP42 的换挡逻辑,图 1-5 为 8HP42 的直接升降挡逻辑图。就目前应用状况而言,液力自动变速器的主流产品由三部分构成的:液力变矩器、行星齿轮变速机构和电液式自动控制系统。液力变矩器从根本上简化了操纵,它既具有离合器的功能,又使发动机与传动系之间实现“柔性”连接,可以在一定的范围内实现无级变速,对外负载有良好的自动调节和适应性,与行星齿轮变速器串联或者并联可以扩大其传动比和高效率工作范围,从而满足车辆改变速度和变化输出转矩的需求。齿轮变速器主要由套在轴上的若干个行星排和换挡元件组合而成,通过不同换挡元件的分离或者接合,

可以实现多个传动比,从而达到变速的目的。

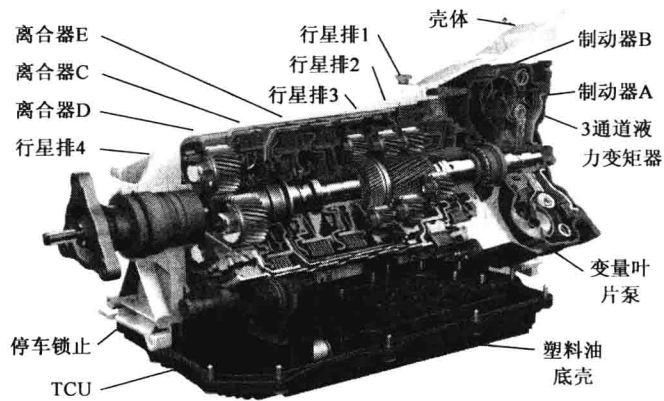
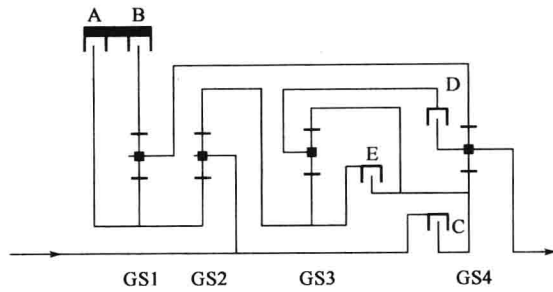


图 1-4 ZF8HP42 八挡自动变速器

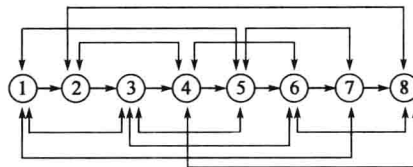


图 1-5 ZF 8HP42 直接升降挡逻辑

ZF 8HP42 换挡逻辑

表 1-1

| 跛行回家挡 | 挡位 | 换挡元件 |   |   |   |   | 挡位传动比 | 挡位间比 |
|-------|----|------|---|---|---|---|-------|------|
|       |    | A    | B | C | D | E |       |      |
|       | R  | ●    | ● |   |   | ● | -3.3  |      |
|       | N  |      |   | ● |   |   |       |      |
|       | 1  | ●    | ● | ● |   |   | 4.7   | 1.5  |
|       | 2  | ●    | ● |   |   | ● | 3.13  | 1.49 |
|       | 3  |      | ● | ● |   | ● | 2.1   | 1.26 |
|       | 4  |      | ● |   | ● | ● | 1.67  | 1.30 |
|       | 5  |      | ● | ● | ● |   | 1.29  | 1.29 |
| D     | 6  |      |   | ● | ● | ● | 1     | 1.19 |
|       | 7  | ●    |   | ● | ● |   | 0.84  | 1.25 |
|       | 8  | ●    |   |   | ● | ● | 0.67  |      |
|       |    |      |   |   |   |   | 总传动比  | 7.05 |

注: ●表示该换挡元件接合,空白表示该换挡元件分离。



液力自动变速器的电液式控制系统用于实现对液力变矩器的闭锁和打滑控制及对齿轮变速器的换挡操纵和换挡品质控制等,基本控制过程如图 1-6 所示。首先,通过各种传感器检测出汽车运行状态、行驶工况和驾驶员驾驶愿望、要求等参数输入到电子控制系统;然后,经过分析处理选择合适的控制规律,并输出控制指令经电液转换执行机构至液压控制系统;最后,通过液压操纵换挡元件的分离或接合来实现换挡。

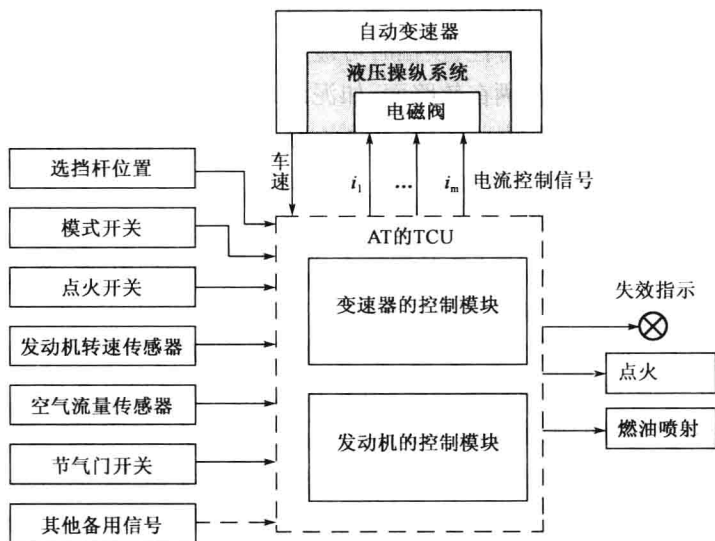


图 1-6 常见的电液式控制系统

1926 年在别克乘用车上开始使用液力机械传动的变速器。1938 年美国克莱斯勒汽车公司采用了液力耦合技术,并在 1939 年首先成功地研制了由液力耦合器和行星齿轮变速器组成的 4 挡液力变速器,装备于该公司生产的 Oldsmobile 乘用车上。该变速器被认为是自动变速器的代表,是当今自动变速器的原始形式,标志着自动变速器的诞生。1939 ~ 1950 年的 11 年间是液力自动变速器的成长期。这一时期的特点是液力传动部分采用液力耦合器,机械变速部分采用行星齿轮。1950 年美国福特汽车公司成功研制了装用液力变矩器的 3 挡液力自动变速器,从此乘用车用液力自动变速器技术进入了成熟期。1969 年,法国雷诺汽车采用了电控液力自动变速器,其控制方式是由计算机依据检测到的车辆速度和节气门开度的电信号来判断变速的时机,并确定变速程序。1977 年后,日本丰田汽车公司成功研制了具有超速挡的液力自动变速器。机械式锁止方式最早在 1939 年美国通用汽车公司生产的 Hydrometric 上使用过。1977 年,美国克莱斯勒汽车公司在变矩器上装用由液力控制的带减振器的离合器,使锁止装置进入了成熟期。1991 年,美国通用汽车公司在前轮驱动的乘用车上装备 4T60E 型电控液力自动变速器。同年,福特汽车公司也在 2 种前轮驱动的轿车上装用了 AXODE 型 4 挡电控液力自动变速器。在我国,液力传动装置的应用始于 20 世纪 50 年代,当时成功地研制了“红旗”高级轿车使用的液力自动变速器。在 20 世纪 70 年代,我国已将液力传动应用于一系列的重型矿用汽车上,如 SH380 型 32t 矿用自卸车、CA390 型 60t 矿用自卸车等。目前我国生产的部分型号的汽车上已装备了液力自动变速器。自 20 世纪 90 年代以来,大量电子技术的应用,使液力自动变速器电控系统的结构和控制方法日臻完善,控制精度越来越高,控制范围日益扩大,正朝着综合控制和智能控制的方

向发展。

液力自动变速器的主要特点为：

- (1) 自动变矩,适应外界阻力的变化。
- (2) 降低传动系动载荷,使汽车平稳起步,吸收和衰减振动和冲击,延长传动系寿命。
- (3) 防止发动机因过载而突然熄火。
- (4) 换挡平顺,提高乘坐舒适性。
- (5) 利用变矩器能够打滑的特性,换挡时可缓和因速比差而引起的冲击。
- (6) 提高车辆的通过性。车辆在软路面,如泥泞地、沙地、雪地等路面上起步和加速时,车轮下陷量较机械传动略小,滑转小,附着力储备大 1 倍,能以稳定牵引力和任意低的车速行驶。

## 2. 机械式自动变速器 (AMT)

机械式自动变速器 (简称 AMT) 是对传统干式离合器和手动齿轮变速器进行电子控制,实现自动换挡的有级式机械自动变速器。AMT 结构简单,保留了干式离合器与手动变速器的绝大部分总成部件,只将其中的离合器和手动操作系统的换挡杆部分改为自动控制机构。因此 AMT 主要由三部分构成:自动离合器、齿轮式机械变速器和自动变速控制系统。其控制过程基本是模拟驾驶员的操作,控制原理如图 1-7 所示。在 AMT 的电控系统 (TCU) 的控制下,模拟驾驶员的操纵动作,通过控制离合器、换挡和加速执行机构,自动完成离合器的分离与接合、选挡、换挡操作以及发动机加速的调节,以实现起步和换挡过程的自动操纵。图 1-7 显示的 AMT 换挡控制是通过液压系统实现的,在实际车辆应用中 (特别是小排量乘用车),也可以采用电机实现离合器操作和换挡操作的自动化,实现电机控制的自动换挡。在商用车应用,由于商用车自身具有气源,也可以采用气压实现离合器操作和换挡操作的自动化。

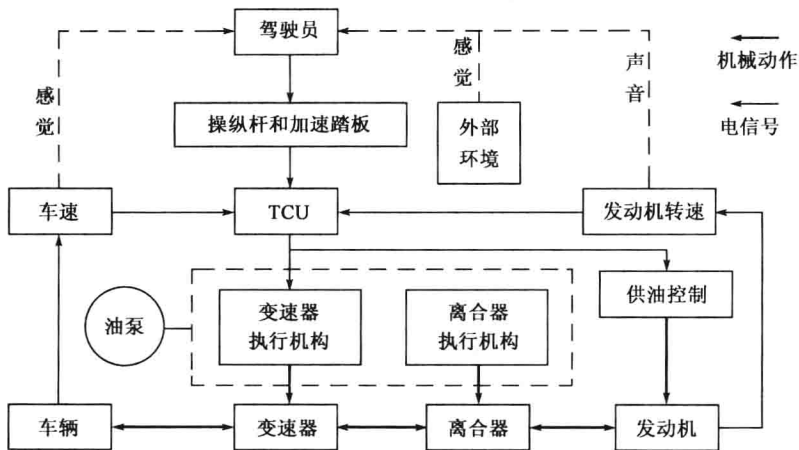


图 1-7 AMT 的控制原理

机械式变速器的自动控制研究始于 20 世纪 70 年代,像早期瑞典 Scania 的 CAG 系统、美国 Eaton 的 SAMT 系统均采用了机械变速器的半自动操纵方式,其实质是辅助换挡系统,即由电子控制系统实现换挡,而换挡时刻由驾驶员踩离合器踏板来确定,电子显示器可提示驾驶员何时为最佳的换挡时刻,但它们仍然不能取消离合器踏板,实现传动系的全自动操作。1984 年日本 ISUZU 公司将名为 NAVI-5 的电控机械自动变速器投放市场,这是世界上