

本书为上海汽车工业教育基金会资助项目

现代轿车自动变速器原理和设计

黄宗益 主编

同济大学出版社

内 容 提 要

本书全面分析和介绍了轿车自动变速器,着重叙述其基本原理和设计方法,提出了一套完整全新的自动变速器机械传动部分的分析和表达方法。在原理上,建立了液压操纵系统科学分析表达方法,具体讲述了电子控制系统的组成、功能和工作原理。深入探讨了自动换挡规律和换挡品质控制,详细介绍了目前轿车上使用的自动变速器。

本书是科研成果的总结,内容创新,资料丰富。可作为汽车行业及有关专业的科研设计人员参考用书和培训教材,也可作为相关专业本科生和研究生教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代轿车自动变速器原理和设计/黄宗益主编. —上海:同济大学出版社,2006.9

ISBN 7-5608-3241-5

I. 现... II. 黄... III. 现代轿车-自动变速装置-理论 IV. U469.110.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 033755 号

现代轿车自动变速器原理和设计

黄宗益 主编

责任编辑 王有文 责任校对 杨江淮 封面设计 潘向葵

出 版 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏句容排印厂印刷

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 25.75

字 数 659 千

印 数 1—2 000

版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-3241-5/U·60

定 价 45.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

世界经济一体化,给我国带来了机遇和挑战,中国汽车工业迅速兴起,正在变成汽车大国。世界各国汽车公司都争先恐后地涌入我国,并带来了大量先进的汽车技术,给我们创造了良好的学习环境和条件,我们不能只注重引进而不重视吸收消化。要从生产制造向自主研发和设计发展,必须掌握关键技术、基础理论和设计方法。

汽车基础零部件是汽车工业的基础,涉及机械、液压、电子控制和信息处理等一系列高新技术。然而,我国汽车基础零部件技术水平很低,技术创新和自主开发设计能力薄弱,核心技术和关键制造依赖进口,理论研究滞后发达国家。目前在我国汽车工业的书籍中,有关维修保养方面的偏多,讲工作原理、搞清概念、提高理论水平的偏少;内容陈旧的偏多,介绍新技术和新产品的偏少;搬抄国外的居多,写自己东西的偏少。因此,编写汽车主要零部件的工作原理与设计理论,提高广大工程技术人员的水平是非常必要的。

自动变速器在汽车中是仅次于发动机的主要关键部件,是机、电、液、信一体化的典型产品,它的核心技术是电液控制和信息处理。本书在探讨变速器的发展过程和发展趋势、介绍轿车最新 AT 产品外,着重从机械、液压、电子控制,控制的要求、思想和理论几个方面来阐述。AT 包含硬件和软件两部分,机械、液压和电子系统是 AT 的硬件部分;而机械、液压的设计理论和计算机辅助设计,变速器控制思想和信息处理理论是软件部分。

本书第 1 章对目前轿车上出现的各种形式的变速器作了全面介绍,具体分析了各种变速器的优缺点及其使用范围,探讨了轿车变速器的发展趋势。第 2 章简要地介绍液力传动基本知识,液力变矩器的工作原理,传动特点及其基本特性,液力变矩器和发动机共同工作特性以及匹配评价。第 3 章讲述了行星机构基本理论和行星机构计算机辅助分析方法,提出了一套完整全面的自动变速器机械传动部分表达和分析方法,将杠杆分析法全面地应用于 AT 行星机构,对 AT 传动方案进行综合,分析摩擦结合元件和自由轮的位置布置,搞清 AT 传动方案的设计原理,阐述了变速器齿轮传动设计和结合元件的设计计算,介绍了当前世界各国最新 AT 传动方案。为便于读者理解 AT 液压操纵系统并对其组成有清楚的了解,第 4 章将复杂的 AT 液压系统按其功能分解为四个基本组成部分:① 供油调压和流量控制油路系统;② 换挡操纵油路系统;③ 换挡品质控制油路系统;④ 变矩器供油和闭锁离合器控制油路系统。并对四个基本组成部分通过两个典型油路系统实例(大众 AG4 和通用 4T65E)进行了全面和详细的讲述。重点是从液压原理和油路设计来说明 AT 液压系统,对系统中的所有阀都用液压符号来表达,并说明其工作原理,对所有油路系统都用油路原理符号图来表达和说明,建立了一套 AT 液压操纵系统完整科学的表达和分析方法。第 5 章阐述了电子控制部分基本组成和主要控制功能,输入传感器、控制器和输出执行机构,详细地介绍了典型的轿车电子控制系统。第 6 章从发动机特性、发动机和变矩器共同工作特性和汽车性能分析出发,说明换挡规律的控制要求,

控制参数的选择和基本换挡规律的确定,介绍人工选择换挡模式,重点讲解智能换挡控制。进行了 AT 换挡过程动力学分析,探讨换挡品质控制方法和换挡品质的评价指标。第 7 章分别介绍世界著名专业自动变速器生产厂家和世界著名汽车公司生产的最新产品。

本书由黄宗益教授主要编著,承担了大部分章节的编写工作;李兴华副教授协助编著,参与各章节的整理和校核等工作。本书第 1 章和第 3 章由黄宗益教授、李兴华副教授撰写;第 2 章由吴光强教授撰写;第 4 章和第 6 章由黄宗益教授撰写;第 5 章由张新荣副教授、黄宗益教授撰写;第 7 章由黄宗益教授、胡宁教授撰写。

本书得到了上海汽车齿轮总厂和上海汽车基金会给予的课题支持,在此表示感谢。本书是在“自动变速器设计理论、CAD 试验研究”课题的基础上,在众多教师、研究生(黄宗益教授负责,由刘钊教授、李兴华副教授、归正副教授、李伟哲工程师、卢新田博士后、张新荣博士后、王康博士、谢代鹏博士、赵世琴博士、李庆研究生等参加)长期科研工作的累积下,经总结归纳编写而成。

本书的编写难度较大,因为我国缺乏设计和制造 AT 的经验,从事 AT 研究的科技人员较少,很难找到有关 AT 方面的国内资料,能见到的是国外报道,但内容很不具体,而且涉及知识产权,给编写收集资料带来很大困难。因此,应该说,本书的编写是大胆的,书中提出的观点、方法和理论是不够成熟的,许多是个人的看法,错误和不足在所难免,希望读者给予谅解和宽容,敬请批评和指正。

编者

2005 年 11 月于同济大学

目 录

第 1 章 绪 论

1 概 述	1
1.1 自动变速器(AT Automatic Transmission)的类型	1
1.2 液力变矩器的发展历史	2
1.3 液力机械式自动变速器基本构造的发展历史	5
1.4 自动变速器(AT)控制技术的发展	9
2 自动变速器(AT)与手动变速器(MT)的分析比较	11
2.1 自动变速器(AT)的优点	12
2.2 AT 车存在的问题和进行的改进	13
3 对 AMT 的分析和评价	14
3.1 AMT 的基本组成和工作原理	14
3.2 AMT 和 HMT 的分析比较	15
3.3 AMT 结构上的新改进	17
4 对 CVT 的分析评价	21
4.1 概 述	21
4.2 V 型金属带 CVT 的工作原理与结构分析	22
4.3 CVT 机械式无级变速自动变速器	23

第 2 章 液力变矩器

1 概 述	25
1.1 液力变矩器工作原理和传动特点	25
1.2 液力变矩器基本类型和结构	26
2 液力传动基本知识	27
2.1 相对运动伯努利方程式	27
2.2 液体在叶轮中的流动	28
2.3 液体流动的水力损失	29
2.4 作用在工作轮上的转矩方程	30

3	液力变矩器的特性	31
3.1	液力变矩器的外特性	31
3.2	轿车液力变矩器的类型和特点	34
3.3	轿车液力变矩器的特性参数和性能评价	34
3.4	液力变矩器和发动机共同工作特性	35

第3章 自动变速器机械传动部分

1	自动变速器机械传动概述	38
1.1	齿轮变速器的两种类型	38
1.2	自动变速器形式	45
2	行星变速器基本理论和基本分析方法	46
2.1	行星排分析	46
2.2	行星机构分析	52
2.3	行星齿轮式自动变速器基本分析方法	61
3	行星齿轮式自动变速器传动方案分析	70
3.1	三自由度双行星排传动方案杠杆分析法	71
3.2	三自由度三行星排传动方案杠杆分析法	74
3.3	自动变速器结合元件和自由轮布置分析	77
3.4	世界各国自动变速器传动方案	83
4	变速器计算机辅助分析模型	95
4.1	变速器的基本组成	96
4.2	变速器分析数学模型	96
4.3	变速器 CAD	103
4.4	变速器换挡过程动力学模型和模拟仿真	107
5	变速器齿轮传动的设计计算	117
5.1	基本参数的设计计算	117
5.2	行星齿轮传动的几何尺寸计算	119
5.3	行星齿轮传动的强度计算	122
6	换挡摩擦结合元件	123
6.1	概 述	123
6.2	多片式离合器和制动器	124
6.3	带式制动器	133
6.4	多片式换挡离合器和制动器设计计算	138

7	摩擦副材料和密封	143
7.1	结合元件摩擦片组	143
7.2	密封	148
8	单向离合器	151
8.1	滚子式自由轮	151
8.2	楔块式自由轮	153
8.3	失效形式	154

第 4 章 自动变速器液压操纵系统

1	供油调压和流量控制系统	158
1.1	油泵	158
1.2	供油调压和流量控制系统	166
2	换挡操纵油路	174
2.1	概述	174
2.2	大众 AG4 AT 换挡操纵液压系统	175
2.3	通用 4T65E AT 换挡操纵液压系统	184
2.4	换挡操纵油路的逻辑表达和分析	197
3	换挡品质控制油路	204
3.1	换挡品质控制原理和方式	204
3.2	大众 AG4 换挡品质控制油路	211
3.3	4T65E 换挡品质控制液压系统	214
4	变矩器供油和闭锁离合器控制液压系统	222
4.1	概述	222
4.2	变矩器闭锁打滑控制	223
4.3	4T65E 闭锁离合器控制油路	225
4.4	三菱自动变速器闭锁离合器控制油路	228
5	自动变速器液压系统图	230
5.1	AG4 液压系统图	230
5.2	4T65E 液压系统图	234
6	怠速中位自动控制	236
6.1	怠速中位控制液压系统	237
6.2	怠速中位自动控制电子系统和工作原理	237

6.3	怠速中位自动控制要注意的几个问题	238
-----	------------------------	-----

第5章 自动变速器的电子控制

1	概 述	240
1.1	电子控制 AT 和液压控制 AT 对比	240
1.2	电子控制系统的基本组成和控制功能	243
2	自动变速器(AT)电子控制系统输入传感器	245
2.1	换挡杆位检测	245
2.2	节气门油门位置传感器	250
2.3	转速传感器	251
2.4	其他输入传感器	252
3	自动变速器电子控制单元	254
3.1	自动变速器控制器基本组成及工作原理	254
3.2	电子控制单元软件设计	258
4	AT 电子控制系统输出执行机构	259
4.1	换挡电磁阀	259
4.2	电子控制调压阀	260
4.3	其他输出执行机构	261
5	轿车电子控制系统介绍	261
5.1	大众 AG4 自动变速器电子控制系统	262
5.2	通用 4T65E 自动变速器电子控制系统	268

第6章 汽车自动变速器换挡控制理论

1	液力机械传动(HMT)汽车性能分析	273
1.1	发动机和变矩器联合工作特性	273
1.2	液力机械传动(HMT)汽车动力性	279
1.3	液力机械传动(HMT)汽车的燃油经济性	285
2	自动变速器换挡规律	288
2.1	换挡规律控制	288
2.2	AT 基本换挡规律	290
2.3	人工选择换挡模式电子控制	293
2.4	AT 智能换挡控制	295

3	换挡品质控制	302
3.1	自动变速器换挡过程等效动力学模型	302
3.2	换挡过程分析	307
3.3	换挡品质控制	313
3.4	换挡品质评价指标和方法	315

第 7 章 世界各国自动变速器介绍

1	专业自动变速器生产厂家产品介绍	317
1.1	德国采埃孚(ZF)公司	317
1.2	日本捷达柯(JATCO)公司	330
1.3	日本艾星(Aisin)公司	346
2	世界汽车公司 AT 产品介绍	351
2.1	通用汽车公司(GM)	351
2.2	克莱斯勒(CHRYSLER)汽车公司	360
2.3	奔驰(MERCEDES BENZ)汽车公司	369
2.4	丰田(TOYOTA)汽车公司	377
2.5	本田(HONDA)汽车公司	388
2.6	三菱(MITSUBISHI)汽车公司	393
	参考文献	401

第1章 绪 论

1 概 述

目前,汽车动力装置主要采用内燃机,内燃机转矩和转速范围较小,不能适应汽车行驶时车速改变和牵引力变化的需要,需要采用变速装置改变发动机和车轮之间速比,使发动机工作在合理的工作范围内,提高汽车的动力性和经济性,减少排放;还要解决发动机不能重载启动的问题,保证汽车平稳起步;发动机只能单向旋转,而汽车需要前进后退双向运动;有时需要切断发动机动力,使发动机处于怠速状态,较长时间停车等问题。因此需要采用变速器来解决这些问题,变速器对汽车来说是不可缺少的很重要的部件。

变速器从传动方式来看,有以下几种:机械式(主要是齿轮)传动;液力机械式(变矩器加齿轮变速器);液压传动式;电传动式。

从操作方式来看,有人工操纵换挡和自动换挡两种。人工操纵换挡变速器又可分为:人工手动直接操纵;人工液压操纵动力换挡(人操纵液压阀,通过液压传动来换挡);人工电操纵换挡(人操纵电开关,通过电开关操纵电磁换挡液压阀,再通过液压传动来换挡)。人工操纵换挡是由人进行观察和判断,由人发出指令来操纵变速器换挡。

自动换挡:由变速器自己检测出工况信号,进行判断,发出换挡指令进行操纵换挡。自动换挡不排斥人工干预,所谓的自动变速器,都具有人工可以干预和操纵的功能。

1.1 自动变速器(AT Automatic Transmission)的类型

1.1.1 结构形式

自动变速器按结构形式来分,有以下几种:

(1) 液力机械式 (HMT Hydrodynamic Mechanical Transmission)它由液力变矩器和电子控制动力换挡变速器组成,广泛应用于轿车、公共汽车、重型车辆和商用车上,它是目前AT的主流。

(2) 机械式 (AMT Automated Mechanical Transmission)它在通常的离合器和机械式变速器的基础上加上微机控制电液伺服操纵换挡机构,目前在部分较低档的轿车和部分卡车上运用。

(3) 无级式 (CVT Continuously Variable Transmission)又有三种:

1) 机械式 有不少形式。目前所谓的CVT是指推块金属V型带式电子控制AT,在轿车上已开始批量试用。

2) 静压式 (HST Hydrostatic Transmission)液压传动在工程车辆和农业机械上已应用,但存在效率、噪声、重量和速度限制等问题,在汽车上尚未应用。

3) 电力式 用于电动汽车(EV Electric Vehicle)。由于内燃机动力有污染,世界各国都在努力开发电动力,因此电力传动今后将获得发展。

1.1.2 控制形式

自动变速器按控制形式来分,有以下几种:

(1) 液压式 将操纵信息(油门开度)和驾驶工况信息(车速)等转化成液压信号来操纵液压阀进行自动换挡。

(2) 电子式 将发动机工况信息和行驶工况信息等通过传感器检出,转换成电信号,输给微机进行处理和分析,作出判断,发出换挡指令,进行换挡控制。利用微机具有的信息处理能力,能实现智能型的换挡操纵,是目前自动变速器主要控制形式。本书主要介绍电子控制液力机械式自动变速器。

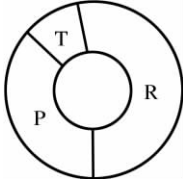
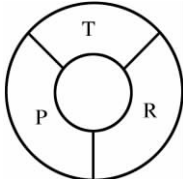
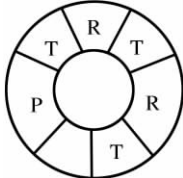
1.2 液力变矩器的发展历史

1.2.1 液力变矩器发展历程

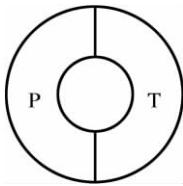
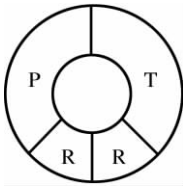
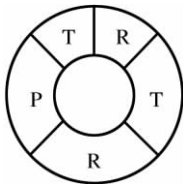
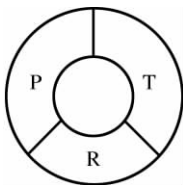
液力变矩器于1905年由德国盖尔曼·费丁格(Dr. Föttinger)创造,作为蒸汽发动机减速器用于船舶上。1928年,英国人Sinclair和Vickers一起成功地创造了液力偶合器并实用化。1930年British Daimler Car Corp公司将由辛普森式行星齿轮和液力偶合器组成的自动变速器在汽车上试用。1940年导轮装在自由轮上的综合式变矩器用于汽车自动变速器并批量生产。

液力变矩器的形式很多,我们没有必要去了解它。这里仅列举一些历史上曾出现过的具有代表性的液力变矩器(包括液力偶合器)。如表1-1所示。

表 1-1 历史上曾出现过的具有代表性的液力变矩器

名 称	类 型	循环圆叶轮布置	失速扭矩比
Föttinger	三元件一级单相		5
Trilok	三元件一级两相		3.7
Lysholm-Smith	六元件三级单相		4.7

续表

名称	类型	循环圆叶轮布置	失速扭矩比
General Motors Hydromatic	液力偶合器		1
General-Motors Torquematic	四元件一级三相		3.6
Buick two-stage Dynaflo	五元件两级多相		3.2(3.5)
1. Z. F. Hydromedia 2. General Motors 3. Chrysler Torque-flite 4. Ford Fordmatic 5. Renault Trans-fluide 6. Broukhouse 7. Borgwamer	对称型 三元件一级两相		2.1~3.6

各种形式的液力变矩器,反映了人们在技术上探索和认识过程。一开始,人们认为变矩器可以自动无级变速,汽车传动系的变矩任务主要应该由变矩器来完成,而机械式变速器只起辅助作用。因此在设计中尽量提高其变矩比,开发了不少结构复杂的多元件(多泵轮、多导轮、多涡轮)多级(涡轮的数目称为级)变矩器,叶轮有各种各样的布置方式。还开发了可调变矩器,其泵轮叶片和导轮叶片的角度可控制调节。失速变矩比 K_0 最高曾达 6~7。但是不久人们发现,液力机械式自动变速器最主要的问题是变矩器效率低、费油,多元件多级变矩器效率尤其低,采用变矩器必须解决效率低的问题。在提高变矩器效率的过程中,发现要提高其效率只能简化结构和降低变矩比,将失速变矩比 K_0 降低到 2 左右,才能使变矩器效率接近 90% 左右。人们开始认识到,变矩器主要是在起步加速和换挡时起作用,汽车传动系的变矩变速任务主要应由机械式变速器来完成。从液力变矩器的发展过程,我们可以清楚地看到,液力变矩器的发展有两大特点:第一,逐步从结构较复杂的多元件多级向结构简单的对称型三元件单级两相形式发展,目前小汽车上已绝大多数采用这种形式;第二,目前液力变矩器失速变矩比 K_0 在 1.6~2.7 之间,一般 K_0 在 2 左右,对于挡位多的自动变速器(五挡) K_0 小于 2,为了通用,变矩器的变形产品的 K_0 可能大于 2。

1.2.2 液力变矩器的优缺点

(1) 液力变矩器的优点

1) 自动变矩(变速特性),转矩随着外界负荷扭矩增加而自动增加,同时其转速自动降低,趋近理想传动装置的特性,行驶时能适应外界阻力的变化。

2) 变矩器传力大小与发动机转速平方成比例,在发动机起步时转速低,传力小是理想的起步装置。发动机启动后,踩油门,发动机转速提高就能起步行走,扭矩和牵引力随油门踏板(发动机转速)变化很容易操纵调节,特别是低速起步,能以很低车速移动;爬坡时,不踩制动器,稍踩油门,就能停在坡上,使得驾驶容易方便。

3) 减少起步和换挡时冲击,降低传动系动载荷,延长传动系寿命。

4) 隔离发动机扭矩不均匀性引起的振动,降低噪音,给人以驾驶平稳的高级轿车感觉,提高乘坐舒适性。

5) 提高车辆的通过性。车辆在软路面(如泥泞地、沙地、雪地等)上起步和加速时,车轮下陷量较机械传动约小 25%,滑转小,附着储备大 2~3 倍,能以稳定牵引力和任意低的车速行驶。

6) 防止发动机因过载而突然熄火。

(2) 液力变矩器的缺点和改进

液力变矩器的主要缺点是传动效率低,增加油耗和废气排放。一般稳定行驶,不需要变矩器时,应将其锁住变为直接机械传动。为此采用闭锁离合器来克服此缺点。1978年,美国克莱斯勒公司首先在 AT 上采用闭锁离合器。最初采用闭锁离合器其闭锁区域仅限于高档、高车速和低油门开度很狭窄的区域,因此,只能在高速公路稳定车速行驶时产生省油效果。在低挡时,由于发动机工作不稳定,变矩器不闭锁,这样的闭锁控制对车辆燃油经济性的提高作用不大。为此,需将变矩器的闭锁范围尽量扩大,使在城市道路平稳加减速等日常行走中也能省油。为实现此要求:闭锁区域向低速领域和全挡位扩展。闭锁离合器闭锁后,变矩器失去作用,成为直接机械传动,作为振源的发动机所发出的振动和噪声就无法隔绝。因此,就存在着燃油经济性和传动平稳性之间的矛盾,近年来,各公司采用闭锁离合器打滑控制,使得变矩器在低挡时采用分流传动,部分动力经液力传动,部分动力经闭锁离合器机械传动。采用闭锁离合器微小打滑方式,使得油耗增加不多,但驾驶平稳性大大提高,使得变矩器闭锁区域扩大至全挡位。

打滑控制是由通过改变闭锁离合器摩擦片上压紧油压来实现的,调节控制闭锁离合器摩擦片的压紧力的大小可以控制闭锁离合器的打滑程度。

为了精确地控制闭锁离合器的结合油压,采用了电子控制。有两种电液控制方式:通过微机发出信号给电液比例阀或给高速电磁阀来控制结合油压,以实现目标打滑率。

打滑控制需要确定合适的闭锁强度——目标打滑率,目标打滑率与行驶工况和驾驶情况(车速、油门开度、挡位和加减速等)有关。目标打滑率通过实际试验和理论分析来确定,将各种情况下的目标打滑率存储在微机内存中,通过传感器检出泵轮和涡轮转速,输给控制器,算出实际打滑率,并与目标打滑率作比较进行控制。

控制方式最初采用 PID 反馈控制。但由于情况复杂,控制过程要求迅速稳定,现采用模糊控制、学习控制和鲁棒控制等。

从 20 世纪 80 年代后期开始,进入 90 年代,世界各著名汽车公司 AT 几乎都采用了闭

锁离合器打滑控制。

新的闭锁离合器控制系统在以下方面也作了改进：

1) 缩短闭锁结合的时间

提高闭锁结合油压的控制精度和压紧活塞的响应。为了既保证结合的平缓,又实现快速结合,控制系统必须快速确定闭锁所需要的油压,并进行精确控制。

2) 确保低速时闭锁的油压

通常在低速时,油泵的流量会下降,闭锁离合器结合的油压也随之下降。为此,在变矩器控制油路中增加了闭锁压力调节阀,使得低速时进入冷却器的流量减少,从而保证闭锁所需要的油压。

3) 噪声控制

发动机作为加振源,其扭矩波动传至传动系引起传动系的扭矩振动,进而发出嗡嗡的噪声;另外,发动机振动的反作用力经车架传至车身,产生嘎吱嘎吱的噪声。新的闭锁离合器控制系统采取了各种措施来消除或减少这些噪声。

近年来,变矩器在以下方面进行了改进和提高：

1) 匹配的优化

改进了发动机与变矩器的匹配,使变矩器在高效区工作。

2) 变矩器特性曲线的改进

为进一步提高变矩器的效率,对变矩器的特性曲线进行改进,如图 1-1 所示,虚线是原来的变矩器的特性曲线,实线是改进后的特性曲线,从图中可以看出,改进后的曲线:力矩系数的设计更合理,低速时力矩系数减小,则输入力矩小,油耗降低;但过小,起步驱动力小,使低速区域操纵性差;因此,低速时力矩系数值要合理选取。在高速比范围力矩系数增加,更好地与车辆的动力性相匹配。尽量提高变矩器最高效率和高效率区域。

3) 设计方法的提高

采用三维叶栅理论,合理确定循环圆的形状,对泵轮、涡轮的叶片角度和导轮叶片形状进行最优化设计,使得结构紧凑,效率高。同时进行计算机模拟仿真,正确预测性能。

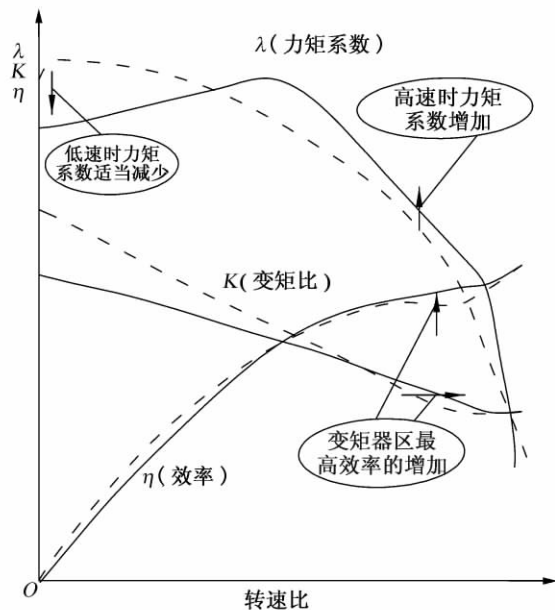


图 1-1 变矩器特性分析

1.3 液力机械式自动变速器基本构造的发展历史

液力机械式自动变速器从 1939 年诞生到现在已经 60 多年了,通过各方面的开发和创
新,产品经历着不断的改良、进化和演变,各项技术从诞生、成长到成熟,从低级向高级发展。

新技术诞生初期往往需要进行各方面的尝试,各厂家提出了各种各样的方案,但最终趋向于技术上最合理的方案。

1.3.1 历史上曾采用过的典型方案(图 1-2)

(1) 偶合器加四挡行星变速机构

图 1-2a)是世界上第一台自动变速器 Hydromatic 的传动简图。该变速器除一挡外,均采用功率分流,仅部分功率通过液力偶合器传递。这种方案的缺点是偶合器无变矩功能,车辆起步时加速性能差,而且换挡冲击大。

(2) 多元件多级多相变矩器加简单行星变速器

图 1-2b)为复杂变矩器加两挡行星变速器方案。此方案的特点是变矩器变矩范围宽广,机械变速部分挡位数少,结构简单,但复杂的变矩器传动效率很低。

(3) 三元件两相变矩器加三挡行星变速器

图 1-2c)为三元件两相变矩器加三挡行星变速器方案。由于液力机械式自动变速器的主要缺点是变矩器效率低,为了提高变矩器效率,大家都采用结构简单、效率高的三元件变矩器,后加行星变速机构。

为了提高汽车的动力性和降低油耗,同时随着汽车高速化,都要求增加速比范围,头挡速比大,起步性能好;最高挡速比小,在高速公路上行驶时油耗低,噪声小。减小速比的间隔,使换挡平稳响应快,同时使发动机的转速在合理的使用范围内,行驶宁静。因此,AT 增加挡位数是技术上的发展趋势。最初 AT 有两挡的,但在 20 世纪 50—60 年代主要是三挡自动变速器,到了 70 年代,发展到四挡 AT。

(4) 在三挡 AT 基础上加一行星排组成四挡行星变速器(图 1-2d))

最初四挡 AT 往往是在原来三挡 AT 基础上加一行星排来实现的,这样,原来结构改动少,零件可通用,从制造工艺角度能利用原设备,比较有利,但结构不紧凑,零件较多。四挡 AT 增加了一个超速挡(OD),速比在 0.7 左右,当不需要高驱动力车辆进行稳速行驶时,采用超速挡可使发动机在较低转速下运行,以减少发动机的摩擦损失,降低油耗和噪声。

(5) 四挡双排行星变速器(图 1-2e))

到了 20 世纪 80 年代初,各主要厂家都开发了专为四挡变速器设计的四挡双排行星变速机构,结构简单,紧凑合理。

(6) 到了 20 世纪 80 年代末,挡位进一步增加到五挡

日产公司于 1989 年开发了世界上首台液力机械式五挡 AT,接着丰田、三菱、宝马以及奔驰公司也相继推出了五挡 AT。

最初五挡 AT 是在四挡 AT 基础上加一个单排行星机构组成,例如日产和三菱等,如图 1-2f)所示。

(7) 1993 年,宝马汽车上用的五挡 AT 是宝马和 ZF 公司合作开发的三行星排并联式五挡变速器,如图 1-2g)所示

(8) 20 世纪末 21 世纪初出现了六挡自动变速器,如图 1-2h)所示

日产公司还专门研究了挡位数对汽车起步加速性能和燃油经济性的影响,其结果如下:

1) 挡位数和速比范围对起步加速性能的影响如图 1-3a)所示。

通常 4 挡变速器最小速比(超速挡时)为 0.7,最大速比的增加可提高汽车的加速性能。从图中可以看出,挡位数大于 6 或 1 挡的速比大于 4 时对加速性能的提高作用已不明显。

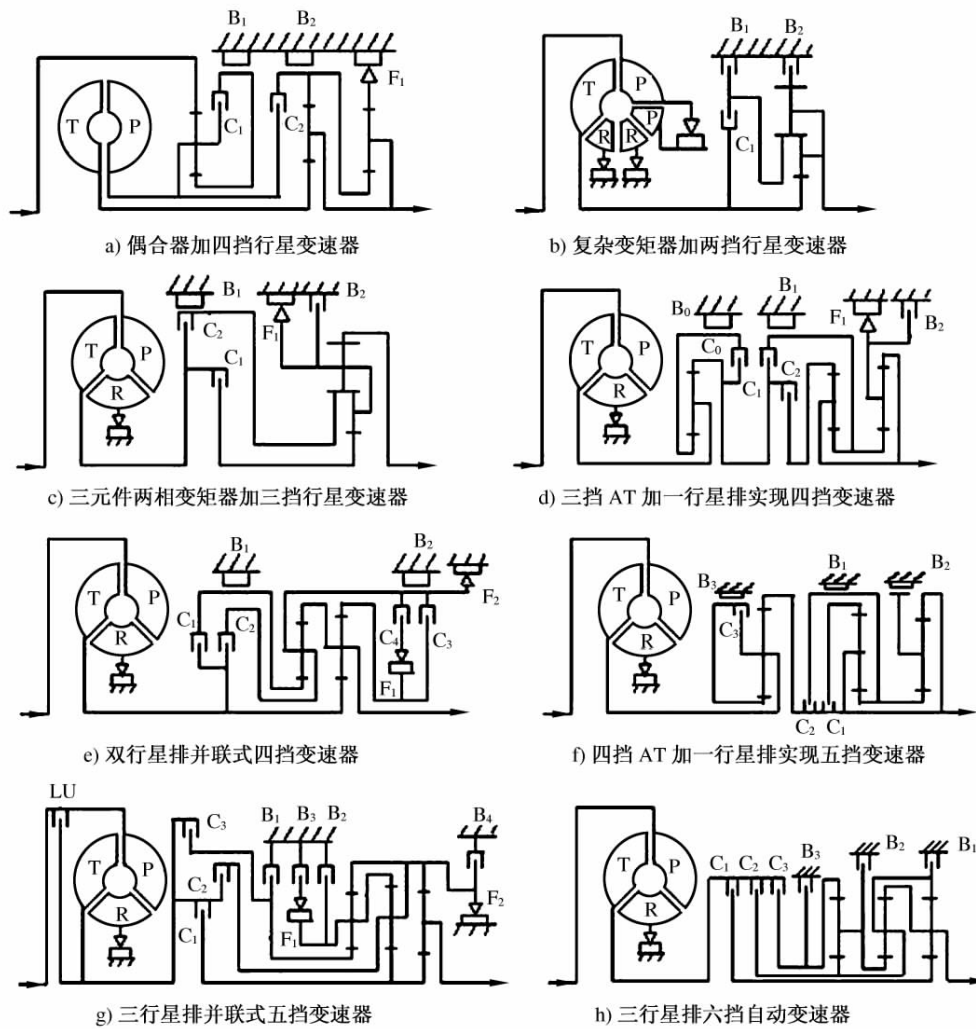


图 1-2 液力机械式自动变速器基本构造的发展历史

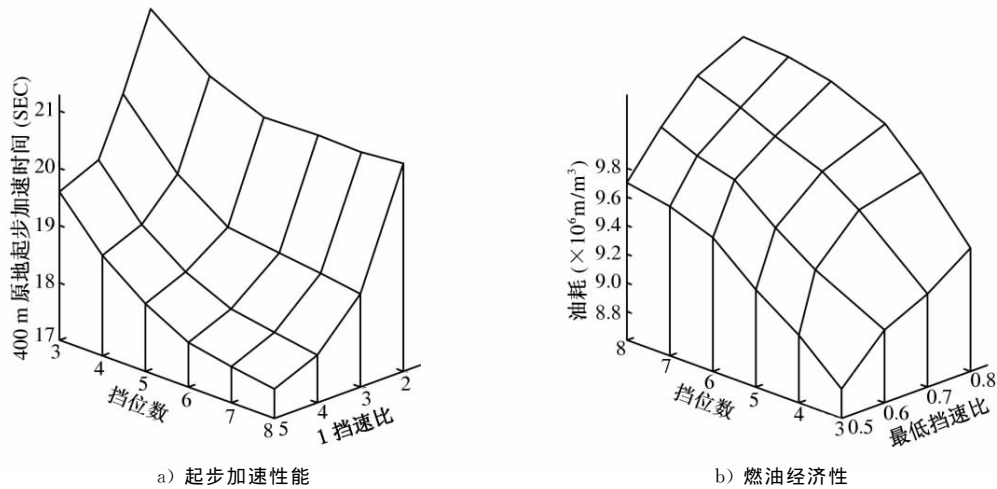


图 1-3 挡位数和速比间隔对汽车性能的影响

2) 挡位数和速比范围对燃油经济性的影响如图 1-3b) 所示。

通常 4 挡变速器的最大速比(1 挡时)取 3.0, 增加速比可提高燃油经济性, 从图中可以看出, 挡位数大于 6 或最小速比低于 0.7, 对燃油经济性提高影响很小。

从上面分析可知, 从轿车的动力性和经济性来看, 轿车的挡位数最多可增加至六挡。

从结构角度来看, 随着挡位的增加, AT 的结构将趋复杂, 从 4 挡增加至 5 挡, 变速器的行星排数必须从双排增至 3 排, 使制造成本增加, 价格提高。从性能上看, 采用 6 挡是有益的, 从结构上来看, 采用三个行星排有可能实现 6 挡, 与 5 挡相比并不会使结构复杂, 由于设计水平的提高, 6 挡变速器甚至比 5 挡变速器结构简单、零件数少。最近 ZF、艾星、通用和克莱斯勒等公司都已开发了 6 挡 AT, 用于轿车上, ZF 公司还开发了 7 挡 AT, 取消液力变矩器, 采用了湿式起步离合器。

1.3.2 手动模式(手动和自动换挡一体化)

装有 AT 的汽车驾驶容易、行驶平稳, 给人以高级舒适的感觉, 已为广大用户接受; 装有 MT 的汽车虽然驾驶困难、动作迟滞、不连续令人感到不舒服, 但是, 司机可以自由地选择挡位, 直接感和运动感好, 油门操作直接产生加减速反应, 能充分体会驾驶的乐趣。为了同时满足用户的这两种要求: 既有 AT 容易驾驶的好处, 又有 MT 自由选择挡位的驾驶乐趣, 在 AT 上设有手动换挡模式, 已成为 20 世纪 90 年代 AT 发展的一个新特点。

为满足客户的要求, 日产公司还提出了以下的指标来衡量变速器的性能:

- (1) 直接感: 踩下油门踏板, 立即产生加速感觉;
- (2) 发动机制动感: 油门放松时, 发动机制动起作用;
- (3) 换挡响应: 换挡操作开始至换挡终止的时间短;
- (4) 换挡的平顺性: 换挡过程中冲击要小;
- (5) 换挡选择性: 按司机的愿望自由地选择挡位的灵活性。

自动换挡和手动换挡一体化的自动变速器, 其操纵结构如图 1-4 所示, 本田 Smatic 其操纵杆杆位除了有 P-R-N-D₄-D₃-2-1, 与通常的自动变速器的杆位相同外, 另一侧还

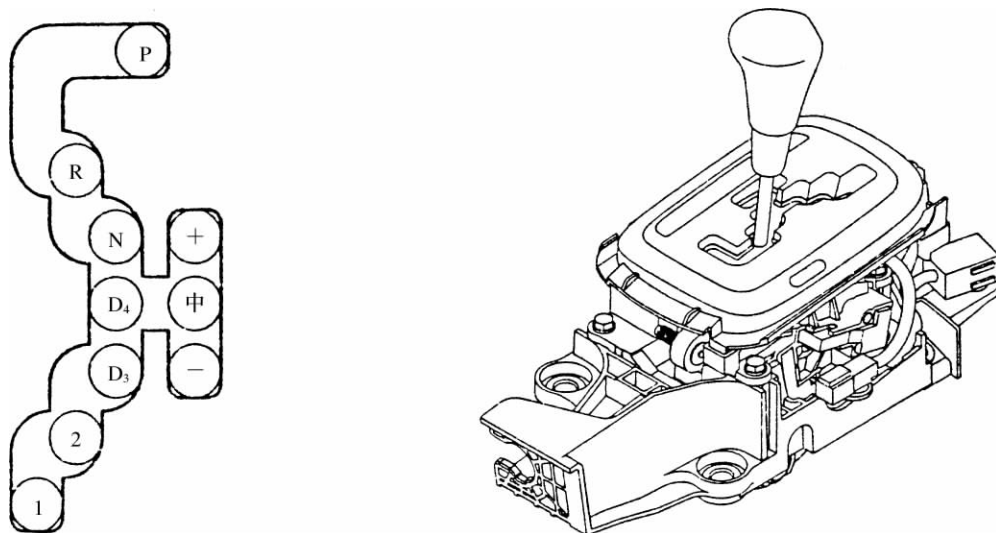


图 1-4 本田 Smatic 带手动模式, AT 换挡操纵杆