



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校汽车专业“互联网+”创新规划教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材

车辆自动变速器 构造原理与设计方法

(第2版)

田晋跃 主编



扫一扫联系客服



电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校汽车专业“互联网+”创新规划教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材（编号：2018-2-037）

车辆自动变速器 构造原理与设计方法

（第2版）

主 编 田晋跃
副主编 于 英 桑 楠



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书对目前汽车上出现的各种形式的自动变速器的结构及工作原理进行了全面介绍,并给出自动变速器主要部件的设计方法。

本书主要内容包括液力变矩器的组成、工作原理、结构特点及设计方法;齿轮变速器的结构、工作原理及设计方法;无级自动变速器、电控机械式自动变速器和双离合器自动变速器的结构、工作原理及控制系统;以及自动变速器的使用和维修注意事项等。

本书采用二维码技术,将汽车自动变速器的结构和工作原理通过视频展现给读者,为读者掌握课本的内容提供了一种全新的学习和阅读形式。

本书内容深入浅出,图文并茂,结合实际,并注意引导读者进行深入学习。书中附有多个实例,可供读者在学习和实践中参考。

本书可供高等院校车辆工程专业的本科生及研究生学习使用,也可供汽车自动变速器维修和运用人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆自动变速器构造原理与设计方法/田晋跃主编. —2版. —北京:北京大学出版社, 2019. 1

高等院校汽车专业“互联网+”创新规划教材

ISBN 978-7-301-29649-3

I. ①车… II. ①田… III. ①汽车—自动变速装置—理论—高等学校—教材 ②汽车—自动变速装置—设计—高等学校—教材 IV. ①U463.212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 130395 号

- 书 名** 车辆自动变速器构造原理与设计方法(第2版)
CHELIANG ZIDONG BIAN SUO QI GOU ZAO YUAN LI YU SHE JI FANG FA (DI - ER BAN)
- 著作责任者** 田晋跃 主编
- 策划编辑** 童君鑫
- 责任编辑** 黄红珍
- 数字编辑** 刘 蓉
- 标准书号** ISBN 978-7-301-29649-3
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱** pup_6@163.com
- 电 话** 邮购部 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62750667
- 印 刷 者** 三河市博文印刷有限公司
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 408 千字
2009 年 8 月第 1 版
2019 年 1 月第 2 版 2019 年 1 月第 1 次印刷
- 定 价** 49.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话: 010-62756370

第2版前言

本书是为满足我国高等院校车辆工程、汽车运用工程等专业本科生和研究生专业学习及从事汽车维修、设计等行业人员的需求而编写出版的。

自动变速器在汽车中是仅次于发动机的主要关键部件，是机电液一体化的典型产品。而各高校的学生在学习汽车构造和汽车设计课程时，偏重机械变速器的学习，包括机械变速器的作用、组成和工作原理，课程实习课以演示参考为主，不能将自动变速器与机械设计中的机电液控制技术有机联系起来。

随着汽车自动变速器的普遍应用，有关自动变速器技术的图书如雨后春笋般呈现在广大读者面前，为读者提供了广泛的选择余地。本书力求不雷同于诸多同类图书，结合理论教学，从实际运用这一角度出发，加入了大量的工程实例，结合编者多年来在自动变速器实践和教学的经验和体会，以期能帮助读者掌握和运用自动变速器的基本理论和方法。

本书在2009年8月出版的第1版的基础上进行修订，在修改和补充新内容的基础上，保留了原章节的结构框架，新增了一章“双离合自动变速器”的内容。

本书的编写特点如下。

(1) 为体现本课程实践性和应用性较强的特点，书中提供多个案例供学习者分析、研读，同时给出教学目标、教学要求、关键术语等相关内容，并提供形式多样的练习题，以便学习者巩固、运用自动变速器的相关知识。因此，本书内容体系不同于以往的同类教材。

(2) 紧密结合本课程教学基本要求，全书内容完整系统、重点突出，所用资料力求更新，能更准确地解读问题。本书注重自动变速器理论知识，同时将实例内容结合在一起，强调知识的应用性，具有较强的针对性。

(3) 本书引入二维码技术，通过扫描二维码可将汽车自动变速器的结构和工作原理以视频形式展现给读者，为读者掌握课本的内容提供了一种全新的学习和阅读形式。

编者近年来一直从事汽车自动变速器实用技术的研究，书中部分内容是国内已有出版物中未涉及的。希望本书的出版能推动汽车自动变速器的发展，并对广大读者有所帮助。

在本书的修订过程中，研究生盛家伟同学收集了各章相关资料并进行了视频整理，编者在此表示谢意。

在本书的修订过程中，编者参考了国内外相关文献资料，在此，谨向这些文献的作者表示深深的谢意。

书中提出的观点、方法有的是编者个人的看法，不足之处在所难免，希望读者给予谅解和宽容，敬请批评指正。



【资源索引】

编者
2018年9月

第 1 版前言

本书是为满足我国高等院校车辆工程、汽车运用工程等专业本科生和研究生专业学习及从事汽车维修、设计等行业从业人员的需求而编写出版的。

自动变速器在汽车中是仅次于发动机的主要关键部件，是机电液一体化的典型产品。而各高校的学生在学习汽车构造和汽车设计课程时，偏重机械变速器的学习，包括机械变速器的作用、组成和工作原理，课程实习课也以演示参考为主，不能将自动变速器与机械设计中的机电液控制技术有机联系起来。

随着汽车自动变速器的普遍应用，有关自动变速器技术的图书如雨后春笋般呈现在广大读者面前，为读者提供了广泛的选择余地。本书力求不雷同于诸多同类图书，结合理论教学，并从实际运用这一角度出发，加入了大量的工程实例，结合编者多年来在自动变速器实践和教学的经验和体会，以期能帮助读者掌握和运用自动变速器的基本理论和方法。

全书共分 12 章。第 1 章对目前轿车上出现的各种形式的变速器进行了全面介绍，探讨了轿车变速器的发展趋势。第 2 章介绍了各种自动变速器的优缺点及使用范围。第 3 章讲述了液力变矩器的结构、工作原理及与发动机的匹配。第 4 章介绍了液力变矩器的设计方法。第 5 章介绍了自动变速器的行星齿轮机构，重点讲述了辛普森式、拉维奈尔赫式和平行轴式自动变速器。第 6 章介绍了自动变速器执行机构的基本作用、组成及单向超越离合器的结构设计。第 7 章介绍了自动变速器的电子控制装置及液压控制阀的相关结构与工作原理。第 8 章介绍了无级自动变速器的组成、工作原理及控制方法等。第 9 章介绍了电控机械式自动变速器的组成、工作原理及控制方法等。第 10 章介绍了液力传动油的相关特性、分类、典型规格及选用。第 11 章介绍了自动变速器的使用及注意事项。第 12 章介绍了自动变速器常见故障及维修。

本书的编写特点如下。

(1) 为体现本课程实践性和应用性较强的特点，书中提供多个案例供学习者分析、研读，同时给出教学目标、教学要求、关键术语等相关内容，并提供形式多样的练习题，以便学习者巩固、运用自动变速器的相关知识。因此，本书内容体系不同于以往的同类教材。

(2) 紧密结合本课程教学基本要求，全书内容完整系统、重点突出，所用资料力求更新，能更准确地解读问题。本书注重自动变速器理论知识，同时将实例内容结合在一起，强调知识的应用性，具有较强的针对性。

编者近年来一直从事汽车自动变速器实用技术的研究，书中部分内容是国内已有出版物中所未涉及的。希望本书的出版能推动汽车自动变速器的发展，并对广大读者有所帮助。

本书由田晋跃负责全书结构的设计、草拟写作提纲、组织编写工作和最后统稿定稿。各章具体编写分工如下：第 1~8 章由田晋跃编写，第 9~12 章由于英编写。

在本书的编写过程中，研究生金重亮、杨艳庆、常凌燕、王伟伟、彭学磊、龚晨俊、



王先锋、李跃、王刚、赵琨等为本书绘制插图，组织编写习题及案例等，编者在此表示谢意。

在本书的编写过程中，编者参考了部分文献资料，在此，谨向这些文献的作者表示深深的谢意。

书中提出的观点、方法有的是编者个人的看法，不足之处在所难免，希望读者给予谅解和宽容，敬请批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.5.2 液力变矩器与发动机 匹配	53
1.1 汽车的传动方式	2	本章小结	56
1.2 汽车变速器	5	综合练习	56
1.2.1 按传动比变化方式分类	5	第 4 章 液力变矩器设计	58
1.2.2 按操纵方式分类	6	4.1 液力传动基本知识	61
1.3 汽车自动变速器控制技术	7	4.2 液力变矩器设计方法	66
1.4 车辆自动变速器的发展趋势	10	4.2.1 相似设计法	67
本章小结	11	4.2.2 传统设计法	67
综合练习	11	4.2.3 理论设计法	68
第 2 章 自动变速器	12	4.3 液力变矩器的优化设计	69
2.1 自动变速器的特点	14	4.3.1 目标函数与设计变量	69
2.2 自动变速器的类型	17	4.3.2 约束条件	71
2.3 常用的自动变速器	23	4.4 液力变矩器参数对性能的影响	72
2.4 液力自动变速器的组成	26	4.4.1 内部参数 q^* 对性能的 影响	72
本章小结	28	4.4.2 几何参数对性能的影响	73
综合练习	29	4.4.3 叶片角对性能的影响	73
第 3 章 液力变矩器	30	4.5 循环圆设计	75
3.1 液力耦合器	32	4.5.1 液力变矩器循环圆定义	75
3.2 液力变矩器的构造与工作原理	34	4.5.2 循环圆形状设计	75
3.2.1 液力变矩器的构造	34	4.5.3 工作轮在循环圆中的 排列位置	77
3.2.2 液力变矩器的工作原理	35	4.5.4 循环圆尺寸的确定	77
3.2.3 综合式液力变矩器	37	4.6 叶片设计	79
3.2.4 带锁止离合器综合式液力 变矩器	40	本章小结	83
3.3 液力变矩器的补偿及冷却系统	42	综合练习	84
3.4 液力变矩器的特性	46	第 5 章 自动变速器齿轮机构	85
3.4.1 特性参数	46	5.1 行星齿轮机构的结构与 工作原理	87
3.4.2 特性曲线	48	5.2 行星传动的运动学	89
3.5 液力变矩器与整车的匹配	49	5.3 行星传动的动力学	92
3.5.1 液力变矩器与发动机的共同 工作和动力性能计算	49		



5.4	行星齿轮机构	93	7.4.2	换挡特性	155
5.5	行星齿轮机构的设计与计算	104	7.4.3	换挡规律的计算	160
5.6	固定轴式自动变速器	110		本章小结	162
	本章小结	112		综合练习	163
	综合练习	112			
第6章	自动变速器换挡执行机构设计	114	第8章	无级自动变速器	165
6.1	离合器的结构与工作原理	116	8.1	无级变速器的类型与特点	168
6.2	制动器的结构与工作原理	120	8.2	无级变速器的结构与原理	172
6.3	湿式多片离合器(制动器)的设计计算	123	8.3	无级变速器的控制原理	178
6.3.1	离合器的接合过程与滑摩功	123	8.4	几种无级变速器的典型应用	180
6.3.2	湿式多片离合器转矩容量计算	124		本章小结	188
6.3.3	离合器的热容量计算	126		综合练习	189
6.3.4	离合器的寿命计算	127	第9章	电控机械式自动变速器	190
6.4	单向超越离合器结构设计	128	9.1	电控机械式自动变速器的组成及分类	193
6.4.1	单向超越离合器结构与工作原理	128	9.2	电控机械式自动变速器的工作原理	196
6.4.2	单向超越离合器的结构设计	129	9.2.1	离合器的自动控制	196
	本章小结	132	9.2.2	变速器换挡的自动控制	199
	综合练习	132	9.2.3	发动机节气门开度的自动控制	200
第7章	自动变速器换挡控制系统	134	9.3	电控机械式自动变速器的控制方法介绍	201
7.1	自动变速器控制系统的组成	136		本章小结	203
7.2	电子控制装置的组成与工作原理	138		综合练习	203
7.2.1	各种传感器的结构与工作原理	138	第10章	双离合自动变速器	204
7.2.2	各种开关的结构与工作原理	140	10.1	双离合自动变速器的结构和原理	208
7.2.3	各种执行器的结构与工作原理	141	10.2	双质量飞轮扭转减振器设计计算	218
7.2.4	组件及控制电路的结构与工作原理	143	10.3	双离合自动变速器的发展前景	219
7.3	液压控制阀结构与工作原理	148		本章小结	219
7.4	换挡规律与换挡特性	152		综合练习	220
7.4.1	换挡规律	154	第11章	自动变速器的工作油	221
			11.1	汽车液力传动油的特性	223
			11.2	汽车液力传动油的分类和典型规格	226

11.3 汽车液力传动油的选用	230	13.2 自动变速器维修的一般程序	248
本章小结	232	13.3 电控机械式自动变速器的	
综合练习	233	检验	251
第 12 章 自动变速器的使用及		13.3.1 基础检查	251
注意事项	234	13.3.2 手动换挡试验	257
12.1 自动变速器操纵手柄的使用	235	13.3.3 失速试验	257
12.2 自动变速器控制开关的使用	237	13.3.4 时滞试验	258
12.3 不同工作状况下自动变速器的		13.3.5 油压试验	259
使用	239	13.3.6 道路试验	260
12.4 自动变速器使用注意事项	241	13.4 电控机械式自动变速器常见	
本章小结	244	故障的诊断与排除	262
综合练习	245	13.4.1 故障自诊断	262
第 13 章 自动变速器维修概述	246	13.4.2 常见故障及排除	264
13.1 自动变速器维修须知	247	本章小结	269
		综合练习	269
		参考文献	271



第 1 章

绪 论



教学目标

通过本章的学习,要求读者掌握汽车变速器的基础知识,了解车辆自动变速器的发展、控制技术及车辆自动变速器的发展趋势。



教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
汽车的传动方式	了解汽车的传动方式	机械式、液力机械式、静压式、电力式传动
汽车变速器控制技术	了解各种汽车变速器控制技术	经典控制理论、现代控制理论、鲁棒控制理论



导入案例

汽车为什么需要变速器?

汽车之所以需要变速器,是因为发动机的工作特性,或者说是由发动机的缺点决定的。

汽车加速时,是最需要扭力的时刻,尤其是静止情况下的加速。但是发动机在怠速时又偏偏最缺乏扭力,如果没有变速器,别说加速,汽车就算正常行驶恐怕也十分困难。

图 1.1 为早期车辆变速方式的结构示意图。

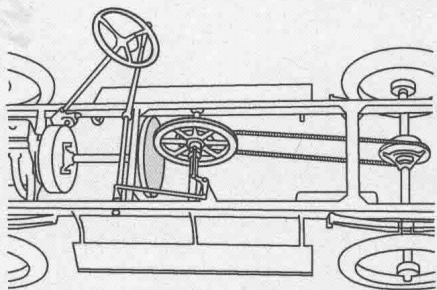


图 1.1 早期车辆变速方式的结构示意图

问题:

试分析图 1.1 中车辆的变速方式。

近几十年来,随着科学技术的不断进步,特别是计算机技术、通信技术、电子技术和智能控制技术等的发展,汽车电子控制技术日臻完善,驾驶与操作环境等也更加符合人体工学原理,具有良好的平顺性,人们可以在舒适的环境中完成工作或旅途行程;新技术、新材料、新能源的应用,大大地提高了汽车的动力性、燃油经济性、操纵稳定性和制动性等综合性能,推动汽车工业迅速发展。

1.1 汽车的传动方式



【汽车传动工作原理】

汽车的传动是指将发动机发出的动力传递给轮胎而驱动车辆行走,并确保车辆在行进或作业过程中具有良好的动力性、经济性和舒适性。目前汽车的动力装置多采用活塞式内燃发动机,虽然能源转换方便、结构尺寸较小,而且具有转速高、转矩小及转矩和转速变化范围小等特性,但汽车的使用是要求牵引力和车速能有相当大的变化范围。为解决这一矛盾,在传动系统中设置了变速器。它的功用:①改变传动比,扩大驱动轮转矩、转速的变化范围,使发动机在有利的工况下工作;②在发动机旋转方向不变的前提下,使汽车能实现前进、倒退行驶;③利用空挡,中断动力传递。

汽车的传动方式按结构和传动介质分,有机械传动、液力机械传动、静压传动、电力传动等。

1. 机械传动

图 1.2 所示为机械传动中的一种形式。机械传动使用的历史最长，早期车辆普遍采用此种方式传动。

机械传动的主要优点是结构简单、制造容易、工作可靠、成本低、质量轻和维修容易等。

机械传动的主要缺点如下。

① 采用人力换挡，换挡时动力传输要中断。当行驶于交通复杂的情况下换挡频繁，容易引起驾驶人紧张、劳累。

② 传动系统受到附加冲击力、动态负荷大，使得发动机及传动系统零件的使用寿命缩短。

③ 行驶阻力的变化直接改变发动机的状况，为了充分利用发动机的功率，使变速器结构复杂。

④ 每次换挡要使主离合器分离、接合一次，在接合过程中主离合器片要经历一个滑磨过程。对于换挡频繁的车辆，缩短了主离合器片的使用寿命和更换周期，增加了维修时间，从而降低了使用效率。

2. 液力机械传动

图 1.3 所示为液力机械传动的一种形式。液力机械传动是液力传动和机械传动的组合。液力传动装置有液力耦合器(fluid couplings)和液力变矩器(torque converters)两种。液力耦合器只能传递力矩，不能改变力矩的大小，在汽车传动中没有应用；液力变矩器除了具有液力耦合器的全部功能外，还能实现无级变速。但是，液力变矩器的输出力矩与输入力矩的比值变化范围还不足以满足使用需求，通常需要与机械变速器组合成液力机械传动装置(变速器)应用于汽车传动。

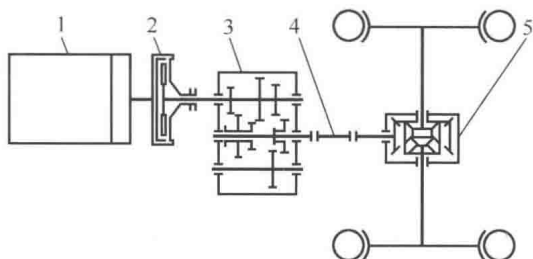


图 1.2 机械式传动系统

1—发动机；2—主离合器；3—变速器；
4—传动轴；5—驱动桥

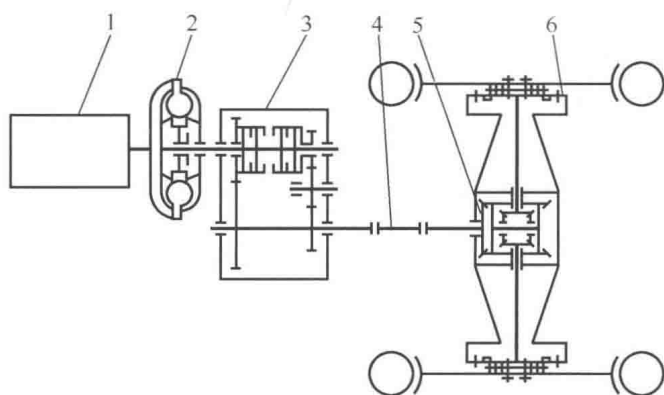


图 1.3 液力机械式传动系统

1—发动机；2—液力变矩器；3—机械变速器；
4—传动轴；5—驱动桥；6—轮辋



(1) 液力机械传动的主要优点如下。

① 能在一定范围内根据行驶阻力的变化自动进行无级变速, 因此能防止发动机过载熄火, 提高了发动机的能量利用率, 减少了换挡频率。

② 液力变矩器利用液体作为传递动力的介质, 输出轴和输入轴之间没有刚性的机械连接, 大大降低了发动机及传动系统零件的冲击负荷, 提高了零件的使用寿命。

③ 液力变矩器具有一定的变速能力, 因此对于相同的变速范围, 可以减少变速器的挡位数, 简化变速器结构。

④ 液力变矩器具有自动无级变速的能力。车辆起步平稳, 并可得到较低的行驶速度, 增加了车辆行驶能力。

⑤ 液力变矩器采用液体介质传递动力, 而且其冷却系统中的油泵、滤油器、冷却器等液压组件同时兼具换挡机械变速器液压操纵系统的特点, 为自动换挡或动力换挡提供了条件, 故其变速器大多采用动力换挡或自动控制换挡。

(2) 与机械传动方式相比, 液力机械传动的主要缺点为成本高、传动效率低、零件制造的技术要求也比较高。

液力机械传动通常由液力变矩器与机械变速器等组成。其结构形式有串联式和并联式。并联式常见为将液力变矩器与二自由度行星齿轮机构并联, 然后与机械变速器串联。在并联部分, 发动机功率的一部分经液力变矩器传递, 其余部分经行星齿轮机构传递, 因而兼有两种传动的优点, 这种以并联方式组成的液力机械传动即为液力机械分流传动。

汽车上采用的液力机械分流传动, 可以分为外分流式、内分流式和复合分流式。

3. 静压传动

图 1.4 所示为静压传动中的一种形式。所谓静压传动, 是通过液体传动介质的静压力能来传动的, 即用液压泵和液压马达连接的回路。此种传动方式早在 20 世纪初期就被提出, 但一直没有被广泛应用, 主要是成本、可靠性和性能方面的问题。随着液压技术不断进步, 对于静压传动又开始重新探讨, 特别是在欧洲, 在一些工程车辆上, 静压传动已逐步取代液力机械传动, 原因是与液力机械式传动相比可以减少变速器的挡位数, 且在液压制动时有动力回收的效果, 使发动机具有较好的燃油经济性。静压传动与液力传动一样,

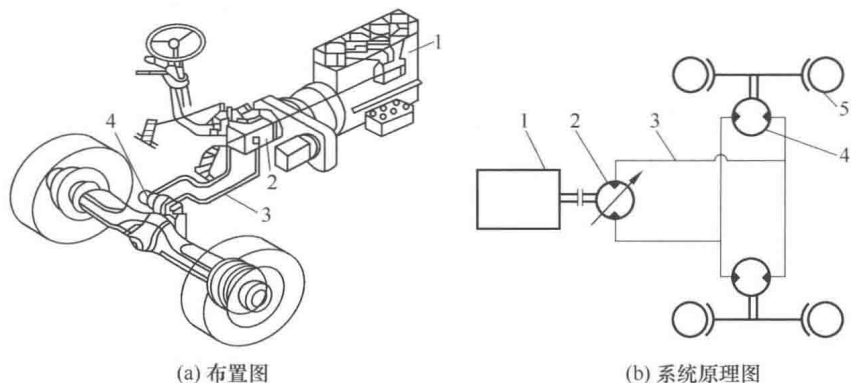


图 1.4 静压式传动系统

1—发动机; 2—液压泵; 3—液压管路; 4—液压马达; 5—车轮

为了提高整个传动系统的效率,近年来,发展了静压传动与机械传动相结合的静压-机械分流传动。这种传动既保留了液压传动无级变速的优点,又具有接近机械传动高效率的特点,其中的液压组件只传输部分功率,另一部分功率由机械部分传输,从而减少了液压损失。

与液力机械传动相比,静压传动系统的主要缺点是增加了结构和控制调节方面的复杂性,成本高。目前静压传动方式已应用于专用车辆、施工作业机械。

4. 电力传动

图 1.5 所示为电力传动中的一种形式。电力传动在组成上与静压传动有些类似,即由发动机驱动发电机,由电动机驱动车轮。可以只用一个电动机与传动轴或驱动轴相连,也可以在每个驱动轴上各装一个电动机。由于电动机转速一般较高,转矩较小,因此需要安装轮边减速器。

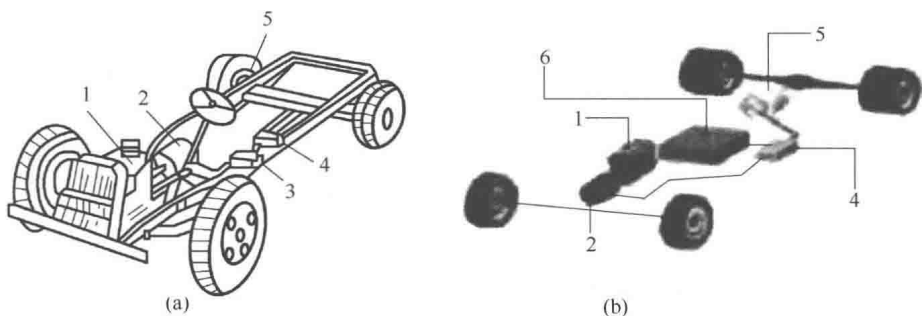


图 1.5 电力式传动系统

1—发动机; 2—发电机; 3—整流器; 4—逆变器; 5—电动机; 6—电池

(1) 电力传动的优点是动力装置和车轮易布置与维修;可实现无级变速,操纵方便,在整个速度变化范围内都可充分利用发动机功率;不用变速器,易实现自动化;与静压传动相比,传动效率高。

(2) 电力传动的缺点是价格高、容量小(动力装置输出的功率与装置自身重量的比值称为能容量)。

1.2 汽车变速器

1.2.1 按传动比变化方式分类

按传动比变化方式,汽车变速器可分为有级式、无级式和综合式三种。

1. 有级式变速器

有级式变速器应用最广泛。它采用齿轮传动,具有若干个定值传动比。按所用轮系形式不同,有轴线固定式变速器(普通变速器)和轴线旋转式变速器(行星齿轮变速器)两种。在汽车变速器中最初普遍采用且使用历史最长的是有级式机械变速器。有级式机械变速器具有效率高、结构简单、制造容易、工作可靠、维修容易和成本低等



优点,但存在以下缺点。

1) 为适应汽车行驶中多变的状况,必须经常换挡

在行驶中频频换挡,既要踩离合器踏板还要扳动换挡手柄,驾驶人操作频繁、劳动强度大、易疲劳,而且容易分散驾驶人的注意力,影响行驶安全。

2) 车辆的动力性和经济性差

由于换挡时刻掌握不好使发动机不能经常在最佳状况下工作,并且换挡时切断发动机动力会产生换挡冲击,而有级式机械变速器挡位有限,不能满足多变的工作状况,因此发动机的功率不能充分利用。

3) 车辆的行驶性能差

当在泥沼、沙地或转弯上坡等路面行车时,若驾驶人技术不够熟练或操作不慎,常会因换挡动作不当或时间不对造成车轮打滑或发动机熄火而无法行驶或重新起动发动机。

4) 车辆的行驶平顺性和机件寿命低

换挡时,由于进入啮合齿轮轴的线速度不一致,在强制啮合中,齿轮会受到冲击,在车辆起步或换挡时,往往会出现不同程度的冲击或颠簸,一方面使乘坐者感到不适,影响了车辆的行驶平顺性,另一方面,使发动机及传动系统零件的寿命缩短。

2. 无级式变速器

无级式变速器(Continuously Variable Transmission, CVT)的传动比在一定数值范围内可有无限多级变化,常见的有电力式、液力式和机械式三种。电力式无级变速器的变速传动组件为直流串励电动机,除在无轨电车上应用外,在超重型自卸车传动系统中也有广泛应用的趋势。液力式无级变速器的传动组件是液力变矩器,由于其变速范围有限而无法独立应用。机械式无级变速器是利用直径可变的传动轮来实现无级变速的。

3. 综合式变速器

综合式变速器是指由液力变矩器和齿轮式有级变速器组成的液力机械式变速器,其传动比可在最大值与最小值之间的几个间断的范围内做无级变化,目前应用较多。

1.2.2 按操纵方式分类

按操纵方式不同,汽车变速器可分为手动变速器(Manual Transmission, MT)和自动变速器两种。

1. 手动变速器

手动变速器靠驾驶人直接操纵换挡手柄换挡,为汽车最初普遍采用。

2. 自动变速器

自动变速器的传动比选择和换挡是自动进行的。所谓“自动”,是指变速器每个挡位的变换,是根据汽车换挡控制参数来控制换挡系统的执行元件自行完成的,驾驶人只需操纵加速踏板以控制车速。



阅读材料1-1

液力自动变速器技术

液力传动装置自20世纪初问世至今已近百年,最初用于船舶,后来人们认识到液力传动装置的优点,在车辆上开始应用。最初研制的液力传动车辆是第一次世界大战之后到20世纪30年代,英国、美国将液力传动应用于公共汽车。第二次世界大战期间,许多军用车辆和专用汽车也开始采用液力传动装置。目前,液力机械传动装置已广泛应用于各种类型的汽车,如轿车、小型客车、公共汽车、军用车辆、重型矿山车辆和工程机械等。

在20世纪40年代初,美国成功地研制出两挡的液力机械变速器。1948年,美国通用汽车公司率先将命名为Dynaflow的自动变速器应用于别克轿车上并大量生产。20世纪40年代末至70年代初,开始出现根据车速及加速踏板位置进行自动换挡的液力自动变速器(Automatic Transmission, AT),使汽车液力机械传动装置进入了一个新的发展阶段。

随着Dynaflow变速器的发展,美国的汽车工业进入普遍采用自动变速器的阶段,与此同时,德国及欧洲其他国家生产的汽车也相继采用自动变速器。由于液力自动变速器具有一系列优越性,在轮式及履带式车辆上得到广泛的应用,自动变速器生产也飞速地发展。20世纪60年代后期至70年代初期,在美国生产的小轿车上,自动变速器逐渐取代了手动变速器。20世纪50年代末,日本从西方引进并研制自动变速器,很快投入生产,其发展之势更趋迅猛。目前,美国、英国、法国、意大利、德国、日本等国家,已形成一批自动变速器的专业化生产公司或专业厂,如美国的Allison、英国的Borg-Warner、德国的ZF、意大利的FIAT和日本的丰田等。

液力自动变速器的使用率逐年增加,20世纪70年代,西欧及美国的全部商用汽车中已有80%以上使用液力自动变速器。20世纪80年代,美国已将液力自动变速器作为轿车的标准配备。1983年美国通用汽车公司生产的汽车装配液力自动变速器的已达94%。日本生产的小型客、轿车中,1976年有11%装配液力自动变速器,而且不断地增长,1985年上升至49%。大客车装配液力自动变速器,在美国基本上是100%,西欧为95%。工程机械车辆,在美国是70%,西欧为30%左右。

随着电子技术和计算机技术的迅速发展,计算机控制的液力自动变速器已普遍推广。这使液力自动变速器按照最低油耗、最佳换挡理论进行自动换挡,使汽车液力自动变速器性能达到综合优良化。

1.3 汽车自动变速器控制技术

自动变速器之所以得以迅速发展和应用,与自动控制技术的发展是密不可分的,而自动变速器控制技术主要是反馈控制理论的应用。



反馈控制理论的研究与发展可分为经典控制理论、现代控制理论和鲁棒控制理论三个发展阶段。

1. 经典控制理论

在20世纪50年代末形成体系的经典控制理论是基于频率概念来进行控制系统的分析和设计的,主要有零极点分析法、奈魁斯特(Nyquist)稳定性判据及劳斯(Routh)和赫尔维茨(Hurwitz)稳定性判据、频率响应法、根轨迹法、超前-滞后补偿法等,特别是PID(Proportion Integration Differentiation)控制原理被广泛地应用到工业控制领域。早期的自动变速器控制技术主要采用PID控制。

在经典控制理论的发展阶段,尽管经典控制理论和技术被广泛地应用于解决更复杂的控制问题,但仍存在很大的局限性,经典控制理论主要用于线性时不变的单输入单输出反馈控制系统,只采用外部描述方法来讨论控制系统的输入与输出关系,控制系统的设计方法基本上是一种试凑法,不能提供最优控制的方法与手段。

2. 现代控制理论

20世纪60—80年代是现代控制理论的发展阶段。此阶段是基于时域概念在经典控制理论的基础上发展起来的,以状态空间方法为主,研究控制系统状态的运动规律,并实现最优化控制,主要有状态空间模型及能控性和能观测性分析方法、自适应控制方法、LQR(Linear Quadratic Regulator)和LQG(Linear Quadratic Gaussian)最优控制方法、卡尔曼(Kalman)滤波器方法、极点配置方法和基于状态观测器的反馈控制方法等,其中最具有代表性的控制方法是自适应控制方法和LQG最优控制方法。

现代控制理论克服了经典控制理论的很多局限性,解决了某些非线性和时变系统的控制问题,适用于多输入多输出反馈控制系统,可以实现最优控制规律,在处理不确定性的研究进展主要有以下两方面。

(1) LQG最优控制方法在外界扰动可以表示为白噪声或经过滤波后的噪声模型时,能够获得非常理想的设计结果,在很多实际控制工程中得到了相当成功的应用。

(2) 把经典控制理论中的频率响应法应用于多输入多输出控制系统的设计中,形成了多输入多输出控制系统的频率设计法。

然而,上述的控制系统设计方法还不能很好地处理模型不确定性和扰动不确定性问题。因为在建立自动变速器控制系统模型时,就有很多不确定性问题,如结构不确定性,即模型的结构是已知的,但模型参数的值是不确定的,如测量误差、元器件老化或动作点变化和线性近似等。就LQG最优控制方法而言,由于实际扰动信号并不都是能用白噪声或经过滤波后的噪声模型来表示,而且考虑的是控制对象的精确模型,采用的线性二次型性能指标实际上是一个二次型范数,所以不利于研究不确定性。因此尽管在反馈控制系统设计中能很好地把握快速性与低成本之间的折中处理,但是这种折中处理是很有限的,并且对模型不确定性的鲁棒性很差。所以这对于要求控制精度非常高的液力变矩器闭锁与滑差控制是不合适的。

3. 鲁棒控制理论

20世纪80年代以来,经典控制理论的频率方法与现代控制理论状态空间法相结合,导致了反馈控制理论的飞跃发展,进入鲁棒控制理论的发展阶段。鲁棒控制理论基于使用状态空间模型的频率设计方法,提出了从根本上解决控制对象模型不确定性和外界扰动不确定性问题的