

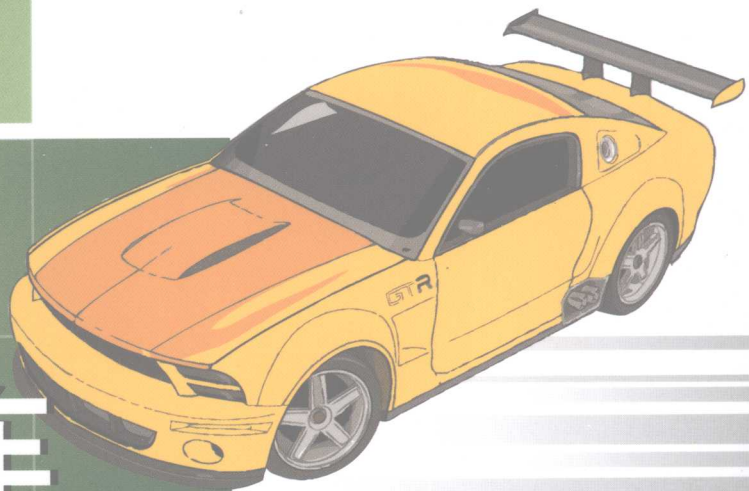


21st CENTURY  
实用规划教材

21世纪全国高等院校

大机械系列 实用规划教材

汽车系列



# 现代汽车

# 系统控制技术

崔胜民 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

# 21 世纪全国高等院校大机械系列实用规划教材·汽车系列

## 现代汽车系统控制技术

崔胜民 编著

图书在版编目(CIP)数据

现代汽车系统控制技术 / 崔胜民编著. —北京: 北京大学出版社, 2008.1

(21 世纪全国高等院校大机械系列实用规划教材·汽车系列)

ISBN 978-7-301-13363-8

I. ①现… II. 崔… III. 汽车—电子系统—控制系统—高等学校—教材 IV. U469.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 027152 号

书名: 现代汽车系统控制技术

著者: 崔胜民

责任编辑: 董书娟

标准书号: ISBN 978-7-301-13363-8/TH·0034

出版: 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> <http://www.pup9.com>

电话: 编辑部 62752012 发行部 62752015 编辑部 62752092 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印刷: 北京大孚印刷厂

发行: 北京大学出版社

经销: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.72 印张 200 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷



北京大学出版社

PEKING UNIVERSITY PRESS

定价: 36.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书全部或部分内容。

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [ip@pup.pku.edu.cn](mailto:ip@pup.pku.edu.cn)

## 内容简介

本书全面系统地论述了系统控制技术在现代汽车上的应用。重点阐述和讲授汽车自动变速器、悬架系统、转向系统、防抱死制动系统、防滑控制系统、稳定性控制系统、巡航控制系统、自动空调、车载网络系统控制、电动汽车、混合动力汽车等结构、原理及控制方法等。书中内容既有在现代汽车上已经广泛、成熟应用的技术，也有最近发展的一些高新技术。

本书内容丰富，理论性和实用性强，可作为高等学校汽车类专业教材，也可以作为车辆工程专业研究生教材，同时也可供从事汽车研究、设计等工作的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代汽车系统控制技术/崔胜民编著. —北京: 北京大学出版社, 2008.1

(21世纪全国高等院校大机械系列实用规划教材·汽车系列)

ISBN 978-7-301-12363-8

I. 现… II. 崔… III. 汽车—电子系统: 控制系统—高等学校—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第083152号

书 名: 现代汽车系统控制技术

著作责任者: 崔胜民 编著

责任编辑: 童君鑫

标准书号: ISBN 978-7-301-12363-8/TH·0024

出版者: 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> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印刷者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 21.75印张 500千字

2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

定 价: 36.00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

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

21世纪全国高等院校大机械系列实用规划教材·汽车系列

专家编审委员会

主任委员 崔胜民

副主任委员 (按拼音排序)

江浩斌 王丰元 杨建国 赵桂范

委 员 (按拼音排序)

韩同群 姜立标 林 波 凌永成

刘瑞军 刘 涛 刘占峰 鲁统利

罗念宁 肖生发 谢在玉 于秋红

张京明 张黎骅 赵立军 赵又群

# 前 言

近年来,中国汽车产业一直保持快速稳定的发展,2006年中国汽车产销量双超720万辆,产量跃居世界第三位,销量达到世界第二位。汽车已经不再是奢侈品或地位的象征,而仅仅是一个满足生活和工作需要的工具。

但随着汽车行业的迅猛发展,人们对汽车行驶的安全性、节能性、环保性、舒适性、操控性等的要求不断提高,各种控制系统在汽车上的应用也越来越多。如自动变速器、动力转向系统、防抱死制动系统等已成为轿车的标准配置。在一些高档轿车上,配置了驱动防滑控制系统、稳定性控制系统、多温区自动空调、自动巡航控制系统等,使汽车的性能不断提高。另外,还有一些先进的控制系统正在研发之中,如线控转向系统、线控制动系统等,这些系统如果在汽车上得到应用,将改变汽车的操纵方式。目前国内出版的汽车电子类图书较多,这些图书主要讲授汽车电子控制系统的结构、原理及使用维护等基础知识。而本书主要以控制技术为主,全面系统地论述系统控制技术在现代汽车上的应用。

随着汽车技术的发展,系统控制技术正从古典控制技术向现代控制技术、智能控制技术发展。古典控制技术只能用于线性或定常系统。现代控制技术既适用于线性的、定常的简单系统,也适用于非线性的、时变的非线性系统。智能控制技术是把人工智能和自动控制相结合,它不依赖系统的精确数学模型,算法非常简捷,在实际应用中显示出巨大的优越性。控制技术在汽车上的应用,极大地提高了汽车性能,减轻了驾驶员的劳动强度。本书主要介绍了PID控制、滑模控制、最优控制、自适应控制、模糊控制、神经网络控制等在汽车系统研究中的应用。

本书共分12章,重点阐述和讲授汽车自动变速器、悬架系统、转向系统、防抱死制动系统、驱动防滑控制系统、稳定性控制系统、巡航控制系统、自动空调、车载网络系统控制、电动汽车、混合动力汽车等结构、原理及控制方法等。书中内容既有在现代汽车上已经广泛、成熟应用的技术,也有最近发展的一些高新技术。

本书是作者及其研究生根据近几年对汽车系统控制技术的研究成果,结合收集到的国内、外有关文献资料,写成此书。书中许多成果反映了现代汽车先进的控制技术。书中的研究成果可以用于指导汽车控制系统的开发。

在本书编写过程中,感谢我的研究生王大方、李贤彬、谢东、程浩浩、朱思斌、林清芝、薛瑞臻、刘玉萍、梁雄军、汪毫、崔智全、周遐余等提供的文献资料。同时,书中引用了参考文献中的部分内容,特向其作者表示深切的谢意。

书中一些图由张冠哲、王开锐、刘杰军、熊杰等绘制,谨此致谢。

由于作者学识有限,书中错误和不当之处在所难免,恳盼读者给予指正。

作 者

2007年9月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	3.1.2 悬架分类及特点.....	34
1.1 现代汽车控制系统分类.....	1	3.1.3 悬架的评价指标.....	36
1.2 现代汽车控制系统发展方向.....	2	<b>3.2 汽车被动悬架</b> .....	36
1.3 系统常用控制技术.....	3	3.2.1 汽车被动悬架系统模型.....	36
<b>第 2 章 汽车自动变速器</b> .....	6	3.2.2 在随机路面输入下的悬架 评价参数.....	38
2.1 概述.....	6	3.2.3 被动悬架的频域特性.....	40
2.1.1 自动变速器的类型.....	6	<b>3.3 汽车主动悬架控制技术</b> .....	41
2.1.2 自动变速器的特点.....	7	<b>3.4 汽车主动悬架系统的控制功能</b> .....	44
2.1.3 自动变速器的发展趋势.....	8	<b>3.5 汽车全主动悬架</b> .....	47
2.2 自动变速器控制技术.....	10	3.5.1 汽车全主动悬架模型.....	47
2.3 电控机械自动变速器结构与控制.....	11	3.5.2 汽车全主动悬架最优控制.....	48
2.3.1 电控机械自动变速器结构 与原理.....	11	3.5.3 汽车全主动悬架的模糊控制.....	50
2.3.2 电控机械自动变速器的控制.....	13	<b>3.6 汽车半主动悬架</b> .....	54
2.3.3 电控机械自动变速器控制 系统存在的问题.....	16	3.6.1 汽车半主动悬架系统的控制 原理.....	54
2.4 离合器起步专家模糊控制.....	18	3.6.2 汽车半主动悬架系统模型.....	54
2.4.1 汽车起步时离合器工作状 态分析.....	18	3.6.3 汽车半主动悬架阻尼自适应 控制.....	55
2.4.2 汽车起步模糊控制规则.....	20	3.6.4 汽车半主动悬架的共性 问题.....	59
2.5 电控机械自动变速器汽车模糊换挡 及其控制.....	24	<b>3.7 汽车空气悬架</b> .....	59
2.5.1 汽车模糊识别所需信息.....	24	3.7.1 空气悬架组成及特点.....	60
2.5.2 驾驶员驾驶换挡规律.....	26	3.7.2 汽车空气弹簧特性.....	62
2.5.3 电控机械自动变速器模糊 换挡策略.....	27	3.7.3 ADAMS/Car 中空气悬架 模型.....	64
2.5.4 电控机械自动变速器模糊 换挡仿真.....	31	3.7.4 空气悬架控制策略.....	70
思考题.....	32	思考题.....	77
<b>第 3 章 汽车悬架系统</b> .....	33	<b>第 4 章 汽车转向系统</b> .....	78
3.1 概述.....	33	4.1 概述.....	78
3.1.1 悬架系统的作用.....	33	4.1.1 转向系统控制目标.....	78
		4.1.2 转向控制系统类型.....	78
		4.2 汽车四轮转向.....	80
		4.2.1 汽车四轮转向系统的类型.....	81

4.2.2	汽车后轮转向控制类型.....	81	5.2	汽车 ABS 的工作原理和动力学模型.....	131
4.2.3	汽车四轮转向优点.....	82	5.2.1	汽车 ABS 的基本工作原理... ..	131
4.2.4	四轮转向汽车模型.....	82	5.2.2	汽车 ABS 动力学模型.....	133
4.2.5	四轮转向汽车动态特性.....	84	5.3	汽车 ABS 的控制技术.....	134
4.2.6	汽车四轮转向系统控制方法.....	85	5.4	汽车 ABS 控制.....	138
4.2.7	汽车四轮转向的神经网络控制.....	91	5.4.1	汽车 ABS 的逻辑门限值控制.....	138
4.2.8	汽车四轮转向系统的发展方向.....	95	5.4.2	汽车 ABS 的滑模控制.....	142
4.3	汽车电动助力转向系统.....	95	5.4.3	汽车 ABS 的最优控制.....	144
4.3.1	电动助力转向系统的结构及工作原理.....	95	5.4.4	汽车 ABS 的模糊控制.....	146
4.3.2	电动助力转向系统的类型.....	97	思考题.....		152
4.3.3	电动助力转向系统的特点.....	98	<b>第 6 章 汽车防滑控制系统</b> .....		153
4.3.4	电动助力转向系统动力学模型.....	98	6.1	概述.....	153
4.3.5	电动助力转向系统性能.....	102	6.1.1	汽车 ASR 系统的作用.....	153
4.3.6	电动助力转向系统助力特性.....	108	6.1.2	汽车 ASR 系统的分类.....	154
4.4	汽车线控转向系统.....	114	6.1.3	汽车 ASR 系统的研究重点... ..	154
4.4.1	汽车线控转向系统的结构.....	115	6.2	汽车 ASR 控制系统的工作原理及基本结构.....	156
4.4.2	汽车线控转向系统的工作原理.....	116	6.2.1	汽车 ASR 控制系统的工作原	156
4.4.3	汽车线控转向系统的特点.....	116	6.2.2	汽车 ASR 控制系统的基本结构.....	157
4.4.4	汽车线控转向系统的硬件要求和模块.....	117	6.3	汽车 ASR 系统的控制模式和原则... ..	158
4.4.5	汽车线控转向系统硬件选择要求和标准.....	119	6.3.1	汽车 ASR 系统的控制模式... ..	158
4.4.6	汽车线控转向系统控制策略.....	123	6.3.2	汽车 ASR 系统的控制原则... ..	161
思考题.....		127	6.4	汽车 ASR 系统的响应特性和控制参数.....	162
<b>第 5 章 汽车防抱死制动系统</b> .....		128	6.4.1	汽车 ASR 系统的响应特性... ..	162
5.1	概述.....	128	6.4.2	汽车 ASR 系统的控制参数... ..	163
5.1.1	汽车 ABS 的功用.....	128	6.5	汽车驱动系统数学模型.....	164
5.1.2	汽车 ABS 的组成.....	128	6.5.1	不装有液力变矩器汽车驱动系统数学模型.....	164
5.1.3	汽车 ABS 的分类.....	129	6.5.2	装有液力变矩器汽车驱动系统数学模型.....	165
5.1.4	汽车 ABS 的发展.....	131	6.6	汽车 ASR 系统的控制方法.....	167
			6.6.1	汽车 ASR 系统的逻辑门限值控制.....	167

6.6.2 汽车 ASR 系统滑模变结构控制 .....	171	8.3 汽车巡航系统控制技术 .....	213
6.6.3 两种控制方法的比较 .....	173	8.4 汽车纵向动力学模型 .....	215
思考题 .....	174	8.4.1 汽车的驱动力 .....	216
<b>第 7 章 汽车稳定性控制系统</b> .....	<b>175</b>	8.4.2 汽车的行驶阻力 .....	216
7.1 概述 .....	175	8.4.3 汽车纵向动力学模型的建立 .....	217
7.2 汽车稳定性主动控制系统的结构与原理 .....	176	8.5 汽车巡航系统的自适应 PID 控制 .....	220
7.2.1 汽车稳定性主动控制系统的结构 .....	176	8.5.1 控制器总体框架 .....	220
7.2.2 汽车稳定性主动控制系统的原理 .....	176	8.5.2 PID 控制器的基本原理 .....	221
7.2.3 汽车稳定性主动控制系统的工作过程 .....	178	8.5.3 自适应机构的设计 .....	224
7.3 汽车模糊控制器设计 .....	179	8.5.4 汽车巡航控制系统的仿真 .....	227
7.3.1 模糊控制器的组成 .....	179	思考题 .....	232
7.3.2 模糊集与隶属度函数 .....	180	<b>第 9 章 汽车自动空调</b> .....	<b>233</b>
7.3.3 模糊控制规则的设计 .....	183	9.1 汽车自动空调控制系统组成及原理 .....	233
7.3.4 模糊自寻优控制 .....	184	9.1.1 汽车自动空调控制系统组成 .....	233
7.4 基于 MATLAB/Simulink 的 ESP 仿真 .....	185	9.1.2 汽车空调控制原理 .....	235
7.4.1 汽车基本参数 .....	185	9.2 汽车空调模糊控制的实现 .....	236
7.4.2 汽车主动控制子系统模型 .....	189	9.2.1 空调鼓风机输出风速模糊控制的实现 .....	236
7.4.3 仿真结果及其分析 .....	198	9.2.2 混合风门模糊控制的实现 .....	241
思考题 .....	204	9.2.3 压缩机启停模糊控制的实现 .....	242
<b>第 8 章 汽车巡航控制系统</b> .....	<b>205</b>	9.2.4 热水阀开关模糊控制的实现 .....	244
8.1 概述 .....	205	9.3 汽车空调模糊控制仿真 .....	245
8.1.1 汽车巡航控制系统的功用 .....	206	9.3.1 汽车空调执行机构仿真模块 .....	245
8.1.2 汽车巡航控制系统的组成及原理 .....	207	9.3.2 汽车空调模糊控制机构仿真模块 .....	247
8.2 汽车巡航控制系统的类型 .....	208	9.3.3 汽车空调模糊控制仿真 .....	248
8.2.1 汽车自适应巡航控制系统 .....	209	9.4 汽车空调参数自调整模糊控制 .....	250
8.2.2 纵向行驶汽车走—停巡航控制系统 .....	211	9.4.1 参数自调整原则 .....	250
8.2.3 具有最优燃油经济性的纵向行驶汽车自适应巡航控制系统 .....	212	9.4.2 参数自调整模糊控制器的设计 .....	251
		9.4.3 汽车空调参数自调整模糊控制仿真 .....	253
		9.5 汽车空调多温区控制 .....	254



9.5.1 车厢温度舒适性与车厢  
内外温度参数 .....254

9.5.2 车厢多温区控制的实现及  
仿真模型 .....255

9.5.3 多温区控制器的建立与  
仿真 .....260

思考题 .....264

**第 10 章 车载网络系统控制**.....265

10.1 车载网络技术概述.....265

10.1.1 车用多路传输技术 .....265

10.1.2 车载网络基本概念 .....268

10.2 CAN 总线技术规范 .....271

10.2.1 CAN 总线物理层 .....272

10.2.2 CAN 总线数据链路层.....274

10.3 车载网络系统结构与控制.....277

10.3.1 动力总成系统网络 .....278

10.3.2 车身系统网络 .....280

10.3.3 舒适系统网络 .....282

10.4 车载网络系统设计 .....285

10.4.1 系统硬件设计 .....285

10.4.2 应用层协议设计 .....287

思考题 .....289

**第 11 章 电动汽车**.....290

11.1 概述 .....290

11.1.1 电动汽车结构与原理 .....290

11.1.2 电动汽车传动系统布置  
方式 .....292

11.2 电动汽车动力电池.....292

11.2.1 动力电池概述 .....292

11.2.2 铅酸电池的基本工作  
原理 .....294

11.2.3 铅酸电池的基本电特性 .....295

11.2.4 铅酸蓄电池数学模型 .....298

11.3 电动汽车驱动系统.....300

11.3.1 电动汽车驱动系统类型 .....300

11.3.2 交流异步电动机 .....302

11.4 电动汽车动力驱动系统建模与  
仿真.....305

11.4.1 电动汽车牵引电动机  
建模 .....305

11.4.2 电动汽车铅酸蓄电池模块  
的建立 .....307

11.4.3 电动汽车整车建模 .....310

11.4.4 纯电动汽车仿真 .....313

思考题 .....314

**第 12 章 混合动力汽车**.....315

12.1 概述.....315

12.1.1 混合动力汽车的类型 .....315

12.1.2 混合动力汽车驱动方式的  
比较 .....318

12.1.3 混合动力汽车的特点 .....319

12.2 混合动力汽车动力系统设计 .....319

12.2.1 发动机 .....320

12.2.2 电动机 .....321

12.2.3 储能装置 .....325

12.3 动力分配装置 .....328

12.4 控制策略 .....329

思考题 .....330

**参考文献**.....331

# 第1章 绪论

**教学提示：**随着汽车行业的迅猛发展，人们对汽车行驶的安全性、节能性、环保性、舒适性、操控性等要求不断提高，各种控制系统在汽车上的应用也越来越多。

本章介绍现代汽车控制系统的分类、发展方向和系统常用控制技术。

## 1.1 现代汽车控制系统分类

汽车电子化发展迅速，电子控制装置日新月异，层出不穷。现代汽车控制系统主要围绕改善汽车的动力性、经济性、安全性、舒适性等方面开展工作。现代汽车控制系统可以分为两大类，一类是汽车电子控制系统，包括发动机控制系统、底盘控制系统、车身控制系统；另一类是车载汽车电子设备，包括汽车信息系统、导航系统和娱乐系统。

### 1. 发动机控制系统

发动机控制系统主要包括汽油机控制和柴油机控制。

汽油机控制主要有燃油喷射控制、点火控制、怠速控制、排放控制、进气及增压控制、稀薄燃烧及缸内直喷控制等。

柴油机控制主要有各种泵油喷射系统控制、怠速控制、进气控制、增压控制、排放控制、启动控制等。

发动机控制系统的主要功能与作用是改善汽车的动力性和经济性。

### 2. 底盘控制系统

随着汽车技术的发展，底盘控制系统的内容正在增多，目前主要有：自动变速器控制、悬架系统控制、动力转向系统控制、四轮转向系统控制、制动防抱死系统控制、驱动防滑系统控制、稳定性系统控制、巡航系统控制等。

底盘控制系统的主要功能与作用是提高汽车行驶的舒适性、安全性和动力性。

### 3. 车身控制系统

车身控制系统主要包括自动空调控制、安全气囊控制、安全带控制、防撞系统控制、灯光控制、门锁控制、雨刷控制、防盗系统控制、自动座椅控制、音响及音像系统控制等。

车身控制系统的主要功能与作用是改善司乘人员的安全性、舒适性和方便性。

### 4. 汽车信息系统

汽车信息系统主要包括汽车行驶自身显示系统、车载通信系统、上网设备、语言信息等。

汽车信息系统的主要功能与作用是让司乘人员更多更快地获取有关汽车各方面的信

息,同时通过与车外通信实现社会连接,以获取各种信息资料。

### 5. 导航系统

导航系统主要包括电子导航系统、GPS 定位系统等。其主要功能与作用是对汽车进行定位,确定最优行驶路线,为出行者提供静态的或实时的最优出行路线信息,并在出行过程中对驾驶员适时地作出路线指引。

### 6. 娱乐系统

娱乐系统主要包括数字视频系统、数字音响等。其主要目的是为司乘人员提供视觉或听觉上的享受,以减少行车中的寂寞,增进行车安全。

综上所述,汽车电子控制系统分类与控制项目见表 1-1。

表 1-1 汽车电子控制系统分类与控制项目

分 类	控制项目	
汽车电子控制装置	发动机控制系统	点火控制、燃油喷射控制、怠速控制、进气控制、排放控制、故障自诊断等
	底盘控制系统	电控自动变速箱、电控悬架、驱动防滑/牵引力控制、巡航控制、自动防抱死、四轮转向控制等
	车身控制系统	自动空调控制、安全气囊、安全带控制、灯光控制、电子仪表、电动座椅、电动车窗、中控门锁等
车载汽车电子设备	汽车信息系统	车辆行驶自身系统显示、车载通信系统、上网设备、语音信息等
	导航系统	电子导航系统、GPS 定位系统等
	娱乐系统	数字视频系统、数字音响等

## 1.2 现代汽车控制系统发展方向

汽车控制系统与汽车电子密不可分。随着全球汽车市场近年来发展迅猛,汽车电子产品价值含量也迅速提高。据统计,国外每台汽车采用汽车电子产品的平均费用 1990 年为 672 美元,2000 年其平均费用达到 2000 美元。专家预测,汽车电子在整车中占据的平均比例呈持续上升趋势,至 2010 年,这个比例将增加到 35%,其中 22%是硬件,13%是软件。汽车电子市场的迅猛发展将带动全球汽车电子产业的发展。

从 2002 年到 2003 年的销售额可以看出,以汽车电子系列产品为主业的跨国公司,销售额大幅度增加。例如,德尔福公司由 255 亿美元上升到 274 亿美元。博世公司由 191 亿美元猛增到 330 亿美元。电装公司由 153 亿美元增至 191 亿美元。这些跨国公司都是世界 500 强企业集团。

从国际汽车电子市场来看,1980 年全球汽车电子市场的销售额只有 40 亿美元,1990 年为 200 亿美元,2000 年为 600 亿美元,2003 年为 703 亿美元。2002—2008 年全球销售额的复合年增长率预计为 8.3%,到 2008 年汽车电子销售额将达到 1134 亿美元。

经过几十年的发展,我国已经积累了一定的技术,并形成了初步的汽车电子产业,但

尚未形成规模化大生产。从汽车电子产品应用角度看,我国的轿车,尤其是高档轿车的电子产品已经部分接近国际水平,但从汽车电子产品的技术开发角度看,大部分高新技术源自国外。

我国汽车电子的技术水平与国际先进水平相比,要落后十年左右,主要差距是在电子控制单元的软硬件、传感器、执行器、系统的可靠性和控制精度方面。

未来的汽车电子产品中,围绕安全、节能、环保、舒适和娱乐等方面的元器件及其周边产品将发展最快。

汽车电子的发展主要集中在动力总成、底盘控制、车身控制、主被动安全、汽车网络、通信系统、安全与防盗等方面,并呈现出功能多样化、技术一体化、系统集成化、通信网络化的特点。

汽车电子产品的开发仍将围绕安全、节能、环保这个主旋律,围绕舒适和娱乐这个辅助旋律而开发的车载电子产品比例将大大提高。

全世界死于交通事故的人数每年为 50 万~60 万人,中国汽车保有量占世界总量的 1.9%,交通事故死亡人数却占到 17%以上;中国的机动车保有量是美国的 1/16,而交通事故死亡人数是美国的 35 倍;与日本相比,我国汽车保有量是日本汽车保有量的 1/9,而交通事故死亡人数是日本的 22 倍。围绕安全的汽车电子产品主要有:自适应巡航系统(ACC),道路警示系统(LGS),电子稳定性控制(ESP),电子制动系统(EBS),轮胎压力检测系统(TPMS)等。

中国汽车产品与国外同类车相比,油耗高 10%~30%;中国对外石油依存度 2002 年达到 33%,到 2020 年将达到 50%~60%。其中 2020 年公路部门的石油需求占全国总量的 57%,如果中国能够采用与国际同步的汽车节能技术,到 2030 年可以累计节约石油 8 亿吨,仅 2030 年一年就可以节油 8500 万吨,相当于目前中国石油的进口总量。围绕节能主要集中在发动机控制方面。另外,要大力发展新能源汽车。

我国汽车排放水平与国外同类车有较大差距。围绕环保主要发展车载自动诊断系统(OBD)。

我国应重点突破的技术领域主要有:线控制技术、电磁兼容技术、系统远程诊断技术、制动防抱死控制技术、驱动防滑控制技术、牵引力控制技术、自适应悬架系统控制技术、车辆稳定性控制技术、电控动力转向技术、车载防撞雷达、电子驻车制动系统、巡航控制技术、车辆导航技术、车载通信技术、智能照明系统技术等。

我国应重点发展的电子零部件产品主要有:制动防抱死控制系统、正面/侧面安全气囊、驱动防滑控制系统、悬架控制系统、车辆稳定性控制系统、自动变速器、动力转向系统、车辆灯光智能控制系统、电子仪表显示系统、车辆行驶状况显示系统、导航系统接收装置、导航软件及其他与智能交通系统相关的辅助设备。

### 1.3 系统常用控制技术

随着汽车技术的发展,汽车控制技术正从古典控制技术向现代、智能控制技术发展。

古典控制技术使用的方法与工具主要有:微分方程,傅里叶变换,拉普拉斯变换,传递函数及频域分析等。它只能用于线性或定常系统。

现代控制技术使用的数学工具是概率论, 随机过程, 矩阵方法和变分法等。它适用于复杂的系统。系统的动态可能是线性的, 也可能是非线性的; 可能是定常的, 也可能是时变的; 本质上是“时域”的方法。

智能控制是把人工智能和自动控制相结合, 它不依赖系统的精确数学模型, 算法非常简捷, 在实际应用中已显示出它的巨大优越性。

自动控制技术在汽车上的应用, 使汽车操纵实现了自动化, 极大地提高了汽车性能, 减轻了驾驶员的劳动强度, 大大地提高了汽车产品的质量。目前, 在汽车系统中应用较多的控制技术有: PID 控制, 最优控制, 自适应控制, 滑模控制, 模糊控制, 神经网络控制和它们之间的联合控制等。

### 1. PID 控制

PID(比例, 积分, 微分)控制是以经典控制理论为基础的控制。PID 控制是连续系统中技术成熟、应用最广泛的一种控制方式。它最大的优点是不需要了解被控对象的数学模型, 只要根据经验进行调节器参数在线整定, 即可取得满意的结果。它的不足之处是对被控对象参数变化比较敏感。PID 控制可用微型计算机实现, 称为数字 PID 调节器。由于用软件编程方法实现 PID 控制, 参数变动十分灵活, 因而获得广泛应用。

### 2. 最优控制

经典控制理论不适用于多变量系统、时变系统和非线性系统, 而这些系统在汽车工程中是大量遇到的, 这就必须采用现代控制理论所提出的状态空间设计法。这种方法既适用于单变量、定常系统和线性系统, 也适用于多变量系统、时变系统和非线性系统。它是利用状态空间表达式, 确定系统的控制规律, 使控制系统达到要求的性能指标。一般采用二次型指标最优来确定控制率的最优控制法。

### 3. 自适应控制

当被控对象参数是已经定常或变化较小以致可以忽略时, 一般采用常规反馈控制、模型匹配控制或最优控制等方法, 便可以得到较为满意的控制效果。但是, 当被控对象参数未知, 或者由于环境条件影响, 参数发生较大变化时, 上述控制方式就不适用了。因为对象参数的变化会使本来处于某种最优指标状态工作的系统, 不再是最优的甚至会变成不稳定的系统。为了解决上述问题, 使系统维持在最优或接近最优状态工作, 最有效的方法是采用自适应控制。自适应控制系统是一个具有一定适应能力的系统, 它能够认识环境条件的变化(如负荷变化, 风、雨等气候条件的变化等)并自动校正控制动作, 使系统达到最优或接近最优的控制效果。

### 4. 滑模控制

滑模控制属于一类特殊的非线性控制系统。它根据系统当时的状态、偏差及其导数值, 在不同的控制区域, 以理想开关的方式切换控制量的大小和符号, 使系统状态在切换线邻近区域来回运动, 一直到系统状态的运动成了沿切换线的滑动。

### 5. 模糊控制

模糊控制是一种新型的智能控制。它模仿人工控制活动中人脑的模糊概念和成功的控

制策略，运用模糊数学，把人工控制策略用计算机实现。模糊控制不依赖系统的精确数学模型，因而对系统参数变化不敏感，具有很强的鲁棒性。另外，它的控制算法是基于若干条控制规则，算法非常简捷，特别适合于像汽车这一类快动态系统。

### 6. 神经网络控制

利用神经网络的控制系统是模仿人的神经网络，实现人工智能的一种途径。它具有记忆过去的经验和识别环境变化的能力，并为了更好地适应环境，能够按照一定的规律改变自己的结构或工作程序。

神经网络系统是一个高度复杂的非线性动力学系统。它由大量的神经元节点组成，尽管每个神经元的结构相对简单和功能有限，但由大量神经元按一定的方式连接成的网络集体工作，并按一定的规则来调整神经元间连接强度，却能使系统具有十分强大的功能。其处理单元分为三类：输入单元、隐单元和输出单元。神经网络发生的动力学过程有两类：第一类为学习过程，第二类为运行过程。学习过程是通过一定的规则来改变连接权值，运行过程是使输入通过网络的处理，得出一个期望的输出。

## 附录 1.5

附录 1.5 的内容涉及一些专业术语和概念，包括对某些特定领域的描述。由于原文较为模糊，这里仅概括其大致主题。

### 附录 1.5.1

附录 1.5.1 主要讨论了关于某些系统或设备的特性，可能涉及一些具体的技术细节。

### 附录 1.5.2

附录 1.5.2 进一步探讨了相关主题，可能涉及一些更深入的分析或应用。

附录 1.5.2 的后续部分继续阐述了相关概念，可能涉及一些具体的案例或实验结果。

附录 1.5.2 的最后部分总结了相关主题，可能涉及一些结论性的陈述或未来展望。

## 第2章 汽车自动变速器

**教学提示：**变速器是汽车传动系统的重要部件之一。变速器分为两类：一类是手动机械变速器，另一类是自动变速器。目前，手动机械变速器仍是市场主流变速器，它维护方便、造价低、传动效率高。但随着汽车技术的不断发展，人们对汽车的使用性能也不断提出更高、更新的要求。随着驾驶员尤其是非职业驾驶员数量越来越多，传统的手动机械变速器存在着操作复杂、难于掌握、安全性差等缺点，人们希望能生产一种既安全、又容易自动控制的换挡操作系统。而汽车自动变速器因其具有良好的驾驶性能、行驶性能、安全性和乘坐舒适性能而受到人们的欢迎，其装车率不断提高。

**教学要求：**本章要求学生掌握自动变速器的类型、特点、发展趋势及控制技术，能够分析电控机械自动变速器的结构与原理；了解其控制特点和规律；利用模糊控制技术研究汽车起步时电控机械自动变速器离合器的控制和电控机械自动变速器汽车换挡规律。

### 2.1 概 述

汽车自动变速器的研究已有 70 余年的历史。近年来，由于微电子技术、现代控制理论技术的飞速发展，为自动变速器的智能控制奠定了基础。自动变速器技术日趋成熟，已经被广泛用于轿车、客车、大型公共汽车、越野车及重型牵引车上，特别是轿车上。

#### 2.1.1 自动变速器的类型

汽车自动变速器按照实现自动变速原理的不同可分为液力自动变速器(AT)、电控机械自动变速器(AMT)和机械无级自动变速器(CVT)三类。

##### 1. 液力自动变速器

液力自动变速器的基本结构是由液力变矩器、辅助变速器和自动换挡控制系统三个部分组成。

按照辅助变速器的结构，可以分为行星齿轮式和平行轴式两种形式。行星齿轮式自动变速器采用行星齿轮传动，通过换挡执行元件实现挡位的变换。它具有结构紧凑、体积小、重量轻的特点，是目前绝大多数汽车采用的自动变速器。平行轴式自动变速器采用普通齿轮啮合传动，通过换挡离合器改变不同齿轮的搭配，实现挡位的变换。它的体积较大，使用的车型少。

液力自动变速器是能实现局部无级变速的有级变速器，是目前使用最多的自动变速器。采用此种类型的自动变速器，优点是免除了手动变速器繁杂的操作，使汽车具有良好的乘坐舒适性和安全性，优越的动力性和方便的操纵性。缺点是效率低，结构复杂，成本高。

## 2. 电控机械自动变速器

电控机械自动变速器是一种由普通齿轮式机械变速器组成的有级式机械变速器,它由自动离合器、齿轮式机械变速器和电子控制系统组成。它基本保留了原离合器和手动变速器的结构,只是将换挡改为液压(气压或电)执行机构。电子控制系统根据传感器传来的汽车当前的车速、加速度、节气门开度等参数决定换挡点的选择,通过指令控制离合器分合与发动机供油或断油,对变速器发出换挡指令并实现换挡。电子控制系统可存储多种规律提供驾驶员选用,不仅有经济性规律、动力性规律,而且还有防污染规律以及适应驾驶员爱好的规律等。

这类变速器既有液力自动变速器能自动变速的优点,又有普通变速器传动效率高、价格低、结构简单的优点,正好弥补了液力自动变速器的弱点,更加顺应了追求功能完善与价格低廉的产品发展趋势,已越来越多地受到国内外学者和企业的重视。近年来由于微电子技术、现代控制理论技术的飞速发展,为电控机械自动变速器的智能控制奠定了基础,特别是微处理器的高速发展使电控机械自动变速器的智能化、人性化控制得以实现。

## 3. 机械无级自动变速器

机械无级自动变速器主要部件是带有V形槽的主动锥轮、从动锥轮和传动带,传动带安装在主动锥轮和从动锥轮的V形槽中,主动轮旋转时通过传动带将主动轮的转矩传递给从动轮。传动带有金属带、金属链和橡胶带三种,应用比较成熟的是V形金属带。

机械无级自动变速器传动比连续、质量轻、体积小、零部件少,与液力自动变速器相比,具有运行效率高、油耗低的优点。缺点是技术含量高、国内研究基础薄弱、制造复杂、投资规模大、传动带不能承受较大的载荷且寿命短易损坏、关键零部件必须完全依赖进口。

结构特点是金属带传动,带轮为锥轮,金属带在带轮的不同位置由于其直径的不同因而传动比不同,带轮直径是连续变化的,因此传动比是无级的。它的造价比液力自动变速器低,传动效率高,动力匹配性能好,但所需材料和对控制要求较高。

### 2.1.2 自动变速器的特点

自动变速器与机械有级变速器相比,具有以下优点:

(1) 操纵简化,减轻驾驶员劳动强度,提高行车安全性。在实施换挡过程中,传统的手动换挡不仅需要驾驶员根据路面状况、交通状况、汽车实际运行状态选择合适的挡位和换挡时机,同时还需要驾驶员手、脚、眼并用,既要观察道路、汽车、行人状况,又要一手把握转向盘一手操纵变速杆,左脚操纵离合器,右脚操纵加速踏板,这些操作的同步进行对驾驶员的驾驶水平提出了较高的要求。据不完全统计,在交通负荷大的市区中,如果使用传统的机械式手动变速器,汽车每行驶100km,驾驶员需换挡400~600次,踏离合器600~700次,平均每分钟要连续完成15~20次手脚协调动作。繁重的操作,不仅分散驾驶员对行驶环境的注意力,而且是老年人、残疾人等驾驶员的障碍。据交通部门统计分析,1/4~1/3的城市交通事故由此引起。

(2) 驾驶平顺、舒适,在汽车起步和速比变化过程中不会产生纵向冲击或抖动。

(3) 可使汽车在行驶过程中经常处于良好的性能状态。汽车使用性能除与结构设计因素有关外,还取决于驾驶员操纵的正确性。对于机械有级变速器,其速比的变化常依赖于



驾驶员的经验和技术。因此,汽车行驶性能与驾驶技术有密切关系。而对于自动变速器,其速比能根据行驶条件按照汽车最佳性能自动地改变,消除了人为换挡技术的影响。

(4) 可改善汽车排放。汽车行驶时所排出的有害物质含量常与发动机工作状态有关,当发动机在非稳态工况时,它所排出废气中的有害物质含量高。对于机械有级变速器,速比变化由人工操作完成,导致发动机转速变化较大,使发动机处于非稳态工况,所以汽车排放废气中的有害物质含量高,污染环境严重;对于自动变速器,则可以控制发动机在排放污染较小的工况下工作。

自动变速器的主要缺点是结构复杂、成本高,传动效率相对偏低,导致油耗要高于手动变速器。但是,现代汽车普遍采用的电子控制自动变速器,可按照最佳油耗规律控制自动换挡,加之采用了超速挡和变矩器闭锁控制等,从而使自动变速器的油耗有了明显的下降。

随着电子技术和控制技术在汽车自动变速器上的不断应用,自动变速器的优势将越来越明显,特别是轿车,采用自动变速器已成为趋势。

### 2.1.3 自动变速器的发展趋势

随着汽车技术的进步,国外自动变速器得到快速发展,出现了各种新型自动变速器,主要表现有以下几方面。

(1) 向多挡位方向发展,5挡或6挡自动变速器将逐步取代4挡自动变速器的主导地位。挡位多使变速器具有更大的变速比范围和更细密的挡位之间的变速比分配,从而改善汽车的动力性、燃油经济性和换挡平顺性。如德国 ZF 公司生产的 6 挡自动变速器(ZF6H26),齿数比分别为 1 挡 4.7、2 挡 2.34、3 挡 1.52、4 挡 1.14、5 挡 0.87、6 挡 0.69,其 4 挡自动变速器齿数比分别为 1 挡 2.78、2 挡 1.54、3 挡 1.00、4 挡 0.69。两者对比,显然 ZF 公司生产的 6 挡自动变速器具有更大的速比和更小的速比之差,因此变速时也就更加平顺。

(2) 无级/手动一体式自动变速器。在奥迪的变速器上安装了一种称为多片式链带的传动组件,这种组件能够传递和控制峰值高达 280N·m 的转矩,由于这种组件的应用,大大拓展了无级变速器的使用范围,这种新的无级变速器的传动比远远超过了以前各种自动变速器的传动比的极限值。另外,这种变速器还采用了湿式多片式离合器,取代了以前无级变速器和普通液力自动变速器车上的液压变矩。从汽车的整体性能来看,装有无级/手动一体式自动变速器的奥迪 A6 2.8 轿车的 0~100km/h 加速时间比装普通自动变速器的同级车快了 1.3s,甚至比装有最佳的 5 速手动变速器的相同车型也快 0.1s。同时,按照欧洲的燃料消耗标准,它比装常规自动变速器汽车每百千米少消耗 0.9L 汽油,而且比装手动变速器汽车每百千米少消耗 0.2L 汽油。

(3) 采用多电磁阀方式控制换挡,明显改善换挡品质。以前的自动变速器的执行器只有一两个电磁阀,现在许多自动变速器已有多个电磁阀。尤其是换挡电磁阀数量的增加使得换挡电磁阀完全取代了节气门—油压和速度—油压对 D 挡位升降挡的控制。在 ZF 公司生产的 6 挡自动变速器中,为了控制系统压力实现换挡,设置了 6 个具有高流量特点的脉冲调制电磁阀和一个可变量(VFS)电磁阀。中央计算机中还附加了一个名为 Adaptive Shift Strategy(自适应换挡)系统,这个系统持续不断地收集行车数据,例如挡位、行驶状态、驾驶员的驾驶习惯等,通过变速器计算机学习模拟并建立起相关的行车程序,以最佳效果满