



北京市高等教育精品教材立项项目

# 汽车电子学

王绍铖 夏群生 李建秋 等编著

## Automobile Electronics

Wang Shaoguang Xia Qunsheng Li Jianqiu

清华大学出版社

# 汽车电子学

## Automobile Electronics

---

王绍铤 夏群生 李建秋 等编著

Wang Shaoguang Xia Qunsheng Li Jianqiu

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了汽车各个电子控制系统的组成、其主要部件的结构和工作原理、控制策略和发展趋势等问题。全书分3篇,分别介绍了动力传动控制系统、底盘和车身电子控制系统、汽车电子控制系统的可靠性和故障诊断,附录是汽车电子学实验指导书的试用版。

本书可作为汽车工程专业和动力机械与工程专业内燃机方向的本科生、硕士研究生的教材或参考书,也可作为从事汽车和发动机电子控制系统产品开发和性能研究的工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车电子学/王绍铨,夏群生,李建秋等编著. —北京:清华大学出版社,2005.8  
ISBN 7-302-11044-1

I. 汽… II. ①王… ②夏… ③李… III. 汽车电子技术—高等学校—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第050107号

出版者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:张秋玲

印刷者:清华大学印刷厂

装订者:三河市李旗庄少明装订厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:31.25 彩插:2 插页:1 字数:669千字

版 次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11044-1/U·16

印 数:1~3000

定 价:49.00元

# 前言

法规和市场一直是汽车工业向前发展的两个推进器。随着世界上汽车保有量的增加,能源、排放、安全法规不断加严,加之人们对舒适、便利、豪华的追求,对汽车的性能提出了更高的要求。使用传统的机械方法已不能使汽车的性能进一步得到明显的改善和提高。近年来,微电子技术的飞速发展,特别是微型计算机技术的巨大进步,使上述问题的解决成为可能。汽车电子技术使汽车工业进入一个全新的时代。

目前,汽车电子技术已广泛应用于汽车的发动机控制、底盘控制、车身控制、故障诊断以及音响、通信、导航等各个方面。汽车电子化的程度逐年增加,被认为是汽车技术发展进程中的一次革命。当今世界,汽车电子化的程度已被看作是衡量一个国家汽车工业水平的重要标志。

在国外,平均每辆汽车上的电子装置在整车成本中占 20%~25%,一些豪华轿车上装有 40 多个微处理器,有的汽车电子产品甚至占整车成本的 50%以上。汽车电子工业正处在前所未有的发展时期,美国汽车工业估计 2003 年全球汽车电子信息产品的总销售额达 800 亿美元,到 2005 年将达到 1000 亿美元。根据市场研究公司 In-Stat/MDR 发布的信息,2007 年全球非娱乐性汽车电子市场将发展到 354 亿美元。汽车制造商认为,增加汽车电子装备的数量,促进汽车电子化是夺取未来汽车市场的有效手段。

汽车设计人员普遍认为,电子技术在汽车上的应用,已成为汽车设计研究部门考虑汽车结构革新的重要手段,且已取得了显著效果。比如,汽油发动机采用电控汽油喷射系统精确地控制空燃比,实现了闭环控制并采用三元催化转化器取代了传统的化油器,因而使汽油机的有害排放物降低 95%以上,燃油效率较 20 年前提高近两倍。又比如,由于安装了制动防抱死系统(ABS),使汽车在湿滑冰雪路面上伤亡事故的发生率降低了 24%~28%。与一般人的观点恰好相反,大多数情况下,汽车电子控制系统比它们所代替的机械系统价格要便宜、可靠、有效,性能价格比高,且更有利于环境保护。

现代汽车的电子化、多媒体化和智能化,使汽车已不仅仅是一个代步工具,还同时具

## II 汽车电子学

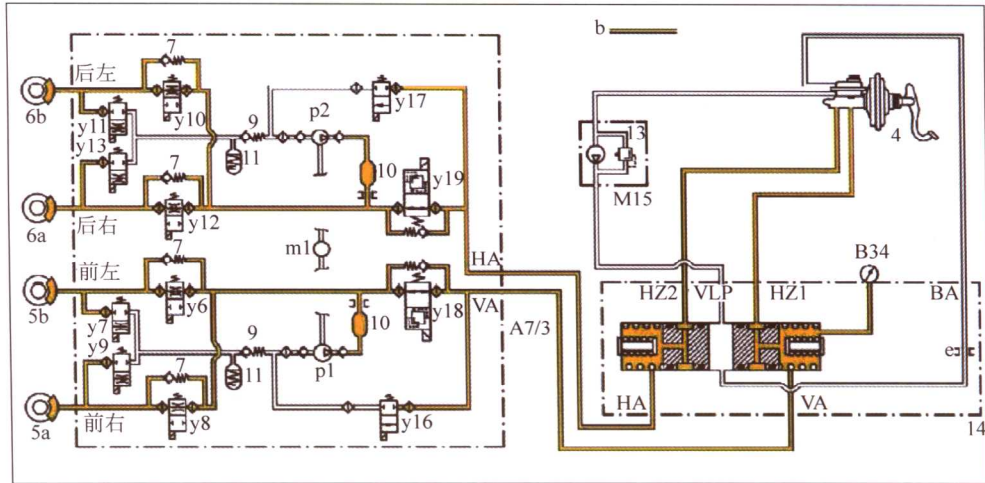
有交通、娱乐、办公和通信的多种功能。

为了适应汽车工业迅猛发展的要求,清华大学开设了“汽车电子学”课程。我们总结了近 20 年教学和科研的经验,并利用清华大学与国内外各院校和各大汽车公司有长期、广泛交流的优势,收集了大量新成果和技术资料,并在此基础上编写了本教材。由于涉及的内容广泛,很难由少数人完成,因此本书大部分是由各课题组的主要科研人员编写的。绪论由袁大宏教授编写。第 1 篇中第 1 章由王绍铤教授和张云龙高级工程师编写;第 2 章由李建秋副教授编写;第 3 章由赵六奇教授编写。第 2 篇中第 4 章 4.1 节、4.2 节由夏群生教授编写;4.3 节由赵六奇教授编写;第 5 章 5.1 节由姚阳硕士生和张金换研究员编写,5.2~5.6 节由韩晓东高级工程师编写。第 3 篇由王绍铤教授编写。附录由李建秋副教授编写。并得到各个课题组的大力支持,谨在此向他们致以深切的谢意。

由于编写的时间较短、资料不足和水平有限,想必有许多不足之处,恳切地希望同行和读者不吝指正。

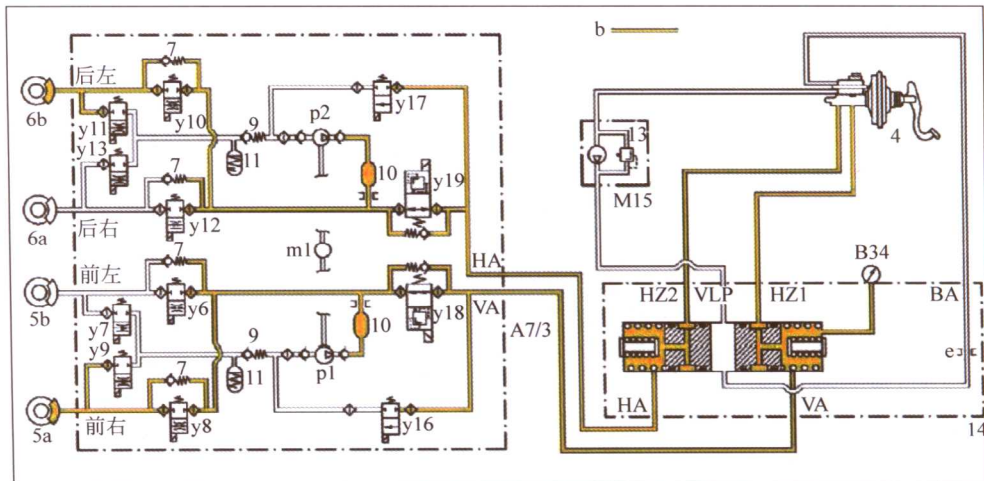
来信请寄 100084 北京 清华大学汽车工程系

作 者



b 制动压力

图 4.1.69 常规制动 ABS 模式: 加压



b 制动压力

图 4.1.70 ABS 模式: 保持压力

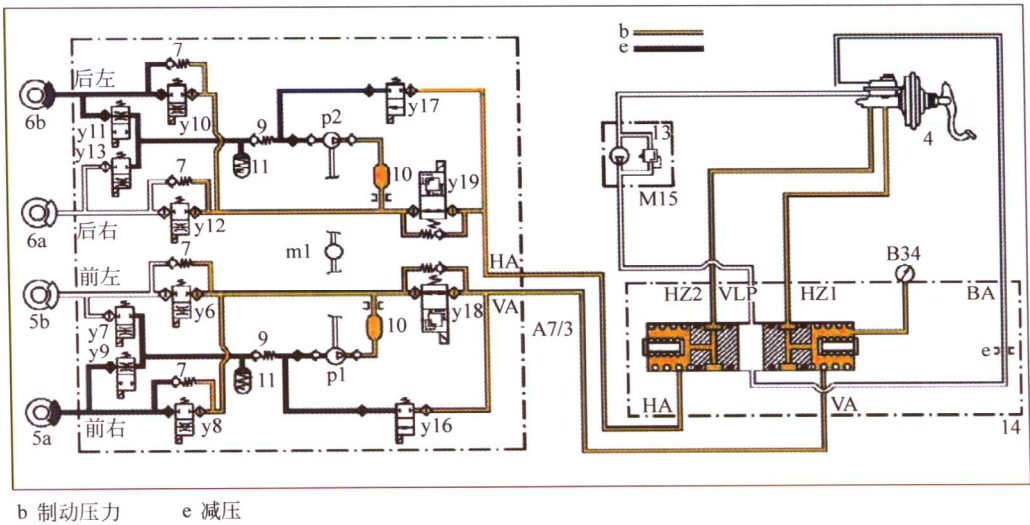


图 4.1.71 ABS 模式: 减压

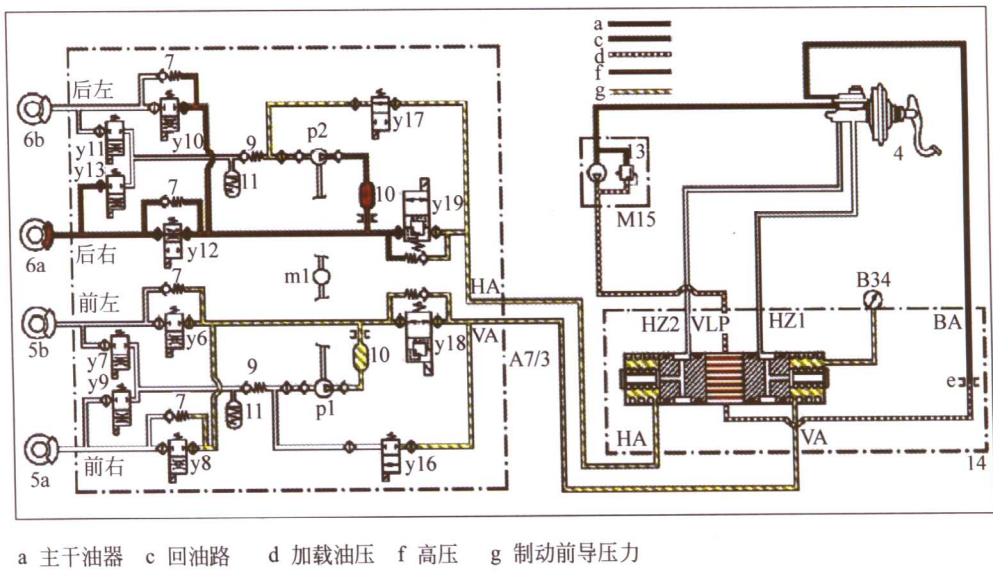
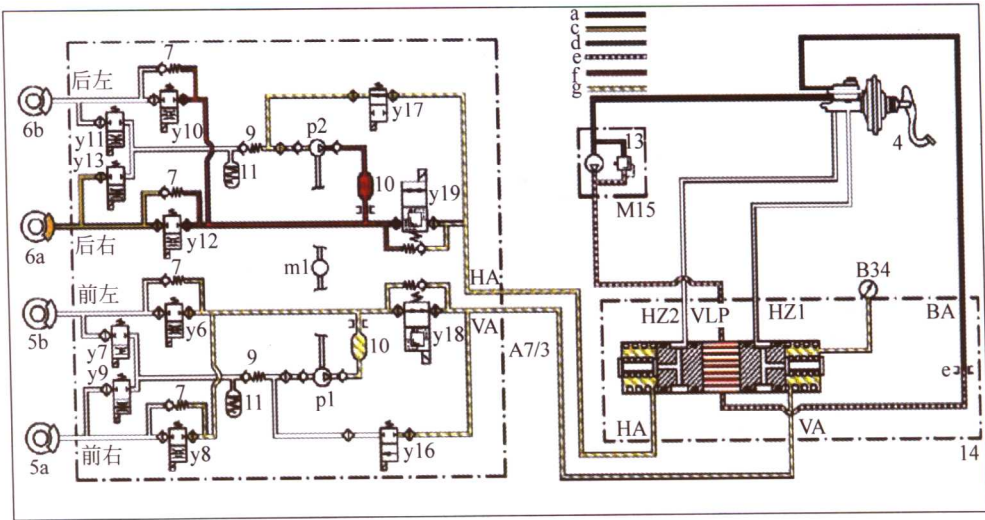
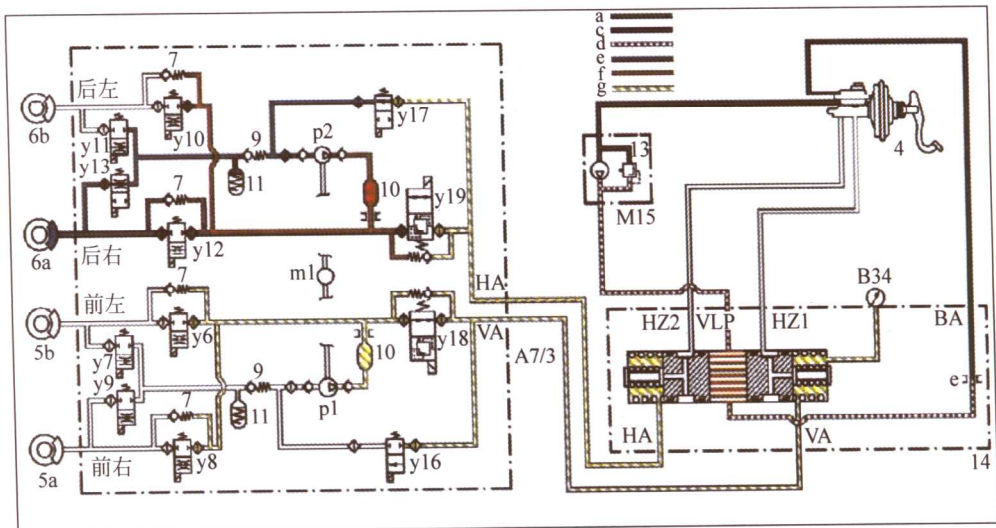


图 4.1.72 ASR 模式: 加压



a 主干油器 c 回油路 d 加载油压 e 减压 f 高压 g 制动前导压力

图 4.1.73 ASR 模式: 保压



a 主干油器 c 回油路 d 加载油压 e 减压 f 高压 g 制动前导压力

图 4.1.74 ASR 模式: 减压



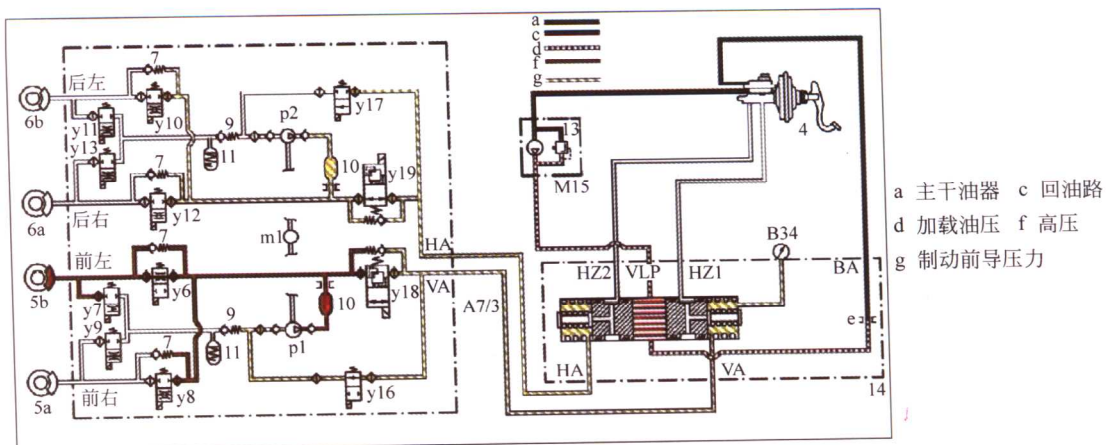


图 4.1.75 VSC 模式: 加压

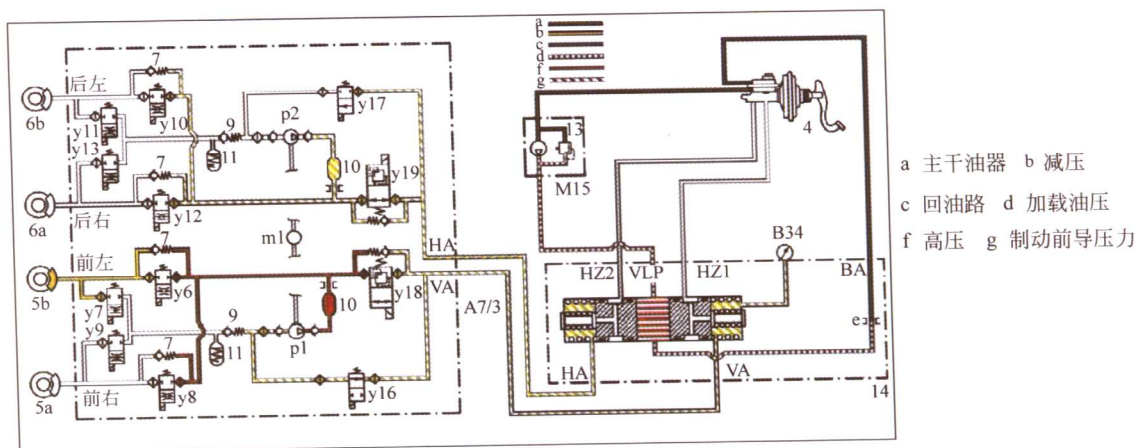


图 4.1.76 VSC 模式: 保压

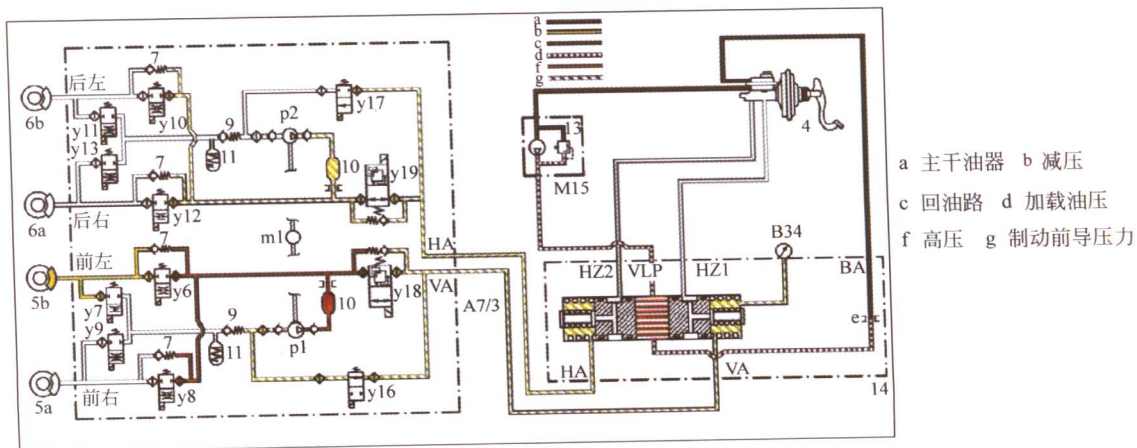


图 4.1.77 VSC 模式: 减压

# 目录

绪论 .....	1
----------	---

## 第 1 篇 动力传动控制系统

<b>1 汽油发动机管理系统 .....</b>	<b>9</b>
1.1 概述 .....	9
1.1.1 火花点火发动机的燃烧过程 .....	9
1.1.2 排放控制策略 .....	14
1.1.3 发动机管理系统 .....	19
1.2 电控汽油喷射系统 .....	19
1.2.1 概述 .....	19
1.2.2 电控汽油喷射系统的特点 .....	20
1.2.3 EFI 系统的分类 .....	21
1.2.4 EFI 系统的组成 .....	23
1.2.5 空燃比控制策略和控制方法 .....	54
1.3 电子点火控制 .....	71
1.3.1 汽车点火系统的要求 .....	71
1.3.2 点火控制系统的组成 .....	71
1.3.3 点火控制 .....	73
1.4 怠速控制 .....	86
1.4.1 概述 .....	86
1.4.2 怠速质量的评价标准 .....	87
1.4.3 怠速控制装置(步进马达型) .....	88

## IV 汽车电子学

1.4.4 怠速控制策略 .....	90
1.5 排气再循环 .....	93
1.5.1 工作原理 .....	93
1.5.2 EGR 阀 .....	95
1.5.3 EGR 的控制策略 .....	97
1.5.4 内部 EGR .....	98
1.6 燃油蒸发排放物控制系统 .....	99
1.7 发动机管理系统新发展的技术 .....	100
1.7.1 可变进气流量控制 .....	100
1.7.2 可变配气相位 .....	100
1.7.3 稀燃发动机控制 .....	105
1.7.4 宽范围氧传感器 .....	106
1.7.5 丰田稀燃发动机 .....	106
1.7.6 缸内直喷汽油发动机 .....	108
参考文献 .....	114

## 2 柴油机电子控制系统 .....

2.1 第一代电控柴油喷射系统(位置控制式) .....	116
2.1.1 在分配泵上实施的位置式电控系统 .....	116
2.1.2 在直列泵上实施的位置式电控系统 .....	119
2.1.3 第一代电控燃油喷射系统的控制特点 .....	123
2.2 第二代电控燃油喷射系统(时间控制式) .....	124
2.2.1 在分配泵上实施的时间控制式 .....	124
2.2.2 在直列泵上实施的时间控制式 .....	129
2.2.3 电控单体泵和电控泵喷嘴系统 .....	132
2.2.4 第二代时间控制式的特点 .....	136
2.3 第三代电控燃油喷射系统(高压共轨系统) .....	137
2.3.1 液力活塞增压式共轨系统 .....	137
2.3.2 高压共轨系统 .....	140
2.3.3 高压共轨系统的特点 .....	146
2.4 柴油机空气系统的电子控制 .....	147
2.4.1 增压压力控制系统 .....	147
2.4.2 排气再循环控制系统 .....	149
2.4.3 排放后处理系统 .....	152

2.4.4	柴油机空气系统电子控制的特点	153
2.5	柴油发动机整机管理	155
2.5.1	发动机管理系统的基本框架	157
2.5.2	柴油发动机管理系统的匹配标定	161
2.5.3	柴油发动机管理系统的故障诊断	163
2.6	小结	165
	参考文献	165
<b>3</b>	<b>自动变速器的电子控制</b>	<b>168</b>
3.1	概述	168
3.2	自动变速器的主要控制目标	169
3.3	电控机械式自动变速器	170
3.3.1	电控半自动变速器	170
3.3.2	AP Borg 和 Beck ACTS 半自动变速器	171
3.3.3	Valeo 的电控离合器变速器——Valeo TEE 2000	173
3.3.4	LUK 公司的 Easytronic 全自动变速器	173
3.4	电控液力自动变速器	176
3.4.1	基本结构与工作原理	177
3.4.2	GF4A-EL 液力自动变速器电控系统	181
3.4.3	GM 液力自动变速器的电子控制	188
3.5	电控无级变速器	195
3.5.1	Subaru ECVT	196
3.5.2	ZF 电控 ECVT	199
3.5.3	ECVT-Multitronic	200
	参考文献	203

## 第 2 篇 底盘和车身电子控制系统

<b>4</b>	<b>底盘电子控制系统</b>	<b>207</b>
4.1	汽车防滑控制系统	207
4.1.1	ABS 与 TCS 的发展历史	207
4.1.2	汽车防滑控制系统的基本原理	209
4.1.3	ABS 的构成	210
4.1.4	驱动防滑系统	242
4.1.5	汽车稳定性控制系统	254

4.2	汽车转向电子控制系统 .....	263
4.2.1	电子可变量孔助力转向系统 .....	263
4.2.2	旁通式助力转向系统 .....	264
4.2.3	反力式助力转向系统 .....	266
4.2.4	电磁式助力转向系统 .....	271
4.2.5	电动液压助力转向系统 .....	272
4.2.6	电动助力转向系统 .....	278
4.3	悬架电子控制系统 .....	290
4.3.1	概述 .....	290
4.3.2	丰田 EMAS 弹簧刚度和减振器阻尼力综合控制的空气悬架 .....	290
4.3.3	GM 连续可调路面感应悬架 .....	297
4.3.4	三菱电控悬架 .....	298
4.3.5	雪铁龙油气悬架 .....	303
4.3.6	侧倾控制系统 .....	306
	参考文献 .....	309
<b>5</b>	<b>车身电子控制系统 .....</b>	<b>311</b>
5.1	安全气囊和安全带 .....	311
5.1.1	概述 .....	311
5.1.2	安全气囊 .....	313
5.1.3	安全带 .....	325
5.1.4	安全系统展望 .....	328
5.2	汽车仪表 .....	329
5.2.1	概述 .....	329
5.2.2	驾驶员抬头显示技术 .....	337
5.3	汽车空调系统 .....	339
5.3.1	概述 .....	339
5.3.2	暖风及空调系统 .....	339
5.4	座椅系统 .....	347
5.4.1	电动座椅结构 .....	347
5.4.2	座椅加热系统 .....	348
5.4.3	座椅控制系统 .....	348
5.5	车灯控制系统 .....	350
5.5.1	引言 .....	350

5.5.2	照明系统术语及定义	350
5.5.3	聚光镜和光束类型	351
5.5.4	前灯的角度调整和光束定位	355
5.5.5	其他外部车灯设备	357
5.5.6	灯泡	359
5.5.7	放电弧光灯和单光源车灯系统	361
5.5.8	LED 照明系统	365
5.5.9	照明控制电路	368
5.6	车门控制单元	377
5.6.1	车门控制单元的结构	378
5.6.2	挡风玻璃刮水器和清洗器	389
5.6.3	刮水器的电子控制系统	393
	参考文献	397

### 第 3 篇 汽车电子系统的可靠性和故障诊断

<b>6</b>	<b>汽车电子系统的可靠性</b>	401
6.1	概述	401
6.2	汽车电子系统的可靠性	401
6.3	ECU 的电测试	403
6.4	电磁兼容性	405
6.5	电磁兼容性的测试	411
	参考文献	412
<b>7</b>	<b>汽车电子系统故障诊断</b>	413
7.1	各种故障诊断技术	413
7.2	车载故障诊断系统 OBD II	420
7.3	SAE 标准 J1930 的术语	428
	参考文献	430

### 附录 A 汽车电子学实验指导书(试用)

实验 1	基于单片机的模拟量采集实验	433
实验 2	基于单片机的转速信号测量与处理实验	440
实验 3	汽油机喷油器驱动电路实验	446

## VIII 汽车电子学

实验 4 步进电机驱动电路设计和驱动实验 .....	452
实验 5 汽车电子系统的 SCI 通信实验 .....	457
实验 6 控制器 PID 算法调试实验 .....	464
实验 7 xPC Target 硬件在环仿真实验 .....	470
实验 8 Real Time Windows Target 硬件在环仿真实验 .....	475
实验报告模板 .....	480
缩略语 .....	482

# 绪 论

## 1. 汽车电子的发展简史

1948年发明了晶体管收音机,到了1955年,安装在汽车上使用的晶体管收音机数量迅速增加。1959年,集成电路制作的收音机开始在汽车上推广应用。收音机成为在汽车上最早应用的汽车电子装置。

20世纪60年代初期,由于硅二极管整流器的出现,交流发电机采用了硅二极管整流,开始替代原来车上使用的直流发电机。随后车用发电机的交流化迅速在世界范围内得到了推广。60年代中期,晶体管电压调节器在车用交流发电机上开始普及。从60年代起,汽车制造商已经开始试图用电子技术来改善发动机和汽车的性能。最早开发的是晶体管点火装置,用来提高点火能量,改善发动机的经济性。1967年开发成功了各种简单的电子燃油喷射控制系统。此外,在汽车底盘方面还有巡航控制系统和制动防抱死系统(anti-brake control system, ABS)。当时这些新技术的应用,存在的共同问题是价格昂贵、可靠性差,复杂的电路使它们的维修费用也很高,因而没有得到推广应用。

1966年,美国加利福尼亚州首先颁布了世界上第一个汽车排放法规。1971年美国清洁空气法规要求必需大幅度降低汽车废气中有害污染物的限值。当时在世界范围内又出现了能源危机,从而推动了汽车电子技术的快速发展。

进入20世纪70年代,电子工业的长足进步,特别是大规模集成电路和超大规模集成电路技术的快速发展,使微处理器得到广泛应用,被称为“第三次工业革命”。微处理器在汽车上的应用,使汽车的性能发生了重大的改变。第一个在汽车上应用的微处理器是点火定时控制系统,它能够精确地控制发动机的点火时刻,用来提高发动机的燃烧效率和输出功率,同时还可以大幅度地降低排气中的有害成分。随后在这种电子点火控制技术的基础上,又增加了废气再循环和二次空气喷射的控制功能。为了进一步改善汽车的排放性能,有的汽车公司又将这个系统发展成为电子控制化油器空燃比控制系统。由于电子控制燃油喷射系统的出现,电子控制化油器只存在了一段很短的时间。



燃料喷射系统大批量投放市场是从 1979 年开始的。汽油发动机燃油喷射系统具有空燃比控制功能,空燃比闭环控制和三元催化转换器一起使用,和传统的化油器发动机相比,可以使发动机排气中有害生成物 CO,HC,NO<sub>x</sub> 的排放量减少 95% 以上,是解决汽油发动机降低排放最有效的技术措施。

出于对汽车动力性、经济性和排放性能的综合要求,1970 年以后,美国联邦政府和加州政府,实施了强制安装发动机电控燃油喷射系统的规定。

在废气排放立法方面,欧洲一般落后于美国和日本,直到 1993 年 1 月才要求美国销往欧共体(EEC)国家的汽车,全部强制安装排气污染控制系统。这意味着大约每年有 4000 万辆汽车都配有电控发动机燃油喷射系统。北京从 1999 年开始实施排放法规。

20 世纪 80 年代,微处理器的应用已经深入到我们生活中的各个领域,从家用电器、各种工业控制装置一直到航空航天。汽车制造商们也把微处理器控制汽车的各种系统作为提高和改善汽车性能最有效的技术手段。

自动变速箱的微型计算机控制系统,改善了换挡时的平稳性,使汽车的使用油耗大幅度降低。牵引力控制系统(traction control system, TCS)能够帮助车辆在光滑的道路表面上加速;在恶劣的驾驶条件下 ABS 可以保证汽车良好的制动性能;装有电子四轮转向系统(electronic 4 wheels steering, E4WS)的车辆,在车辆陷入一个狭窄的空间或拐角里时,控制系统可以准确地操纵前后轮,使车辆摆脱困境;电子控制悬架系统可以改善车辆的舒适性和操纵性。

在车内,电子装置已经用来大幅度改善乘员的舒适性和方便性。车上都已经普遍安装了立体声收音机;许多汽车都配置了电操纵的座椅、后视镜、遮阳顶棚和车窗等。在一些高档轿车上都安装了电子控制的空调系统,这种系统正在逐渐进入中档轿车中。

安全气囊的使用,已被证明是保证驾驶员和乘员生命安全非常重要的安全设备,在美国已被规定为汽车上强制性安装的设备,在许多欧洲生产的车型上也是标准的配置。由于传感器技术的最新发展,侧面碰撞的安全气囊也已经被一些汽车制造商所采用。

汽车的安全在国外也是一个特别受到重视的问题。为了防止汽车失窃,现在市场上出售的汽车,很多都安装了由工厂配置的防盗警报器和发动机阻行器,目的是减少新车的保险费。

进入 20 世纪 90 年代,汽车保有量的不断增多,导致石油能源消耗的急剧增加,汽车排出的废气造成的大气污染日趋严重,交通拥堵,交通事故增多。加之人们对汽车安全、舒适、便捷、豪华的追求,对汽车的性能提出了更高的要求。使用传统的机械办法已不能使汽车的性能进一步得到明显的改善和提高。由于微电子技术的飞速发展,特别是微型计算机技术的巨大进步,电子技术和传统的机械机构相结合,使得人们对环保、节能、安全、舒适与便捷等问题的需求得到了进一步满足。

在此期间,各种控制系统的功能进一步增强,性能更加完善。例如,在动力控制方面,