



普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

# 汽车电子控制技术

Automotive Electronics and Control Technology

陈刚 王良模 王冬良 蒋仁卿 © 编著



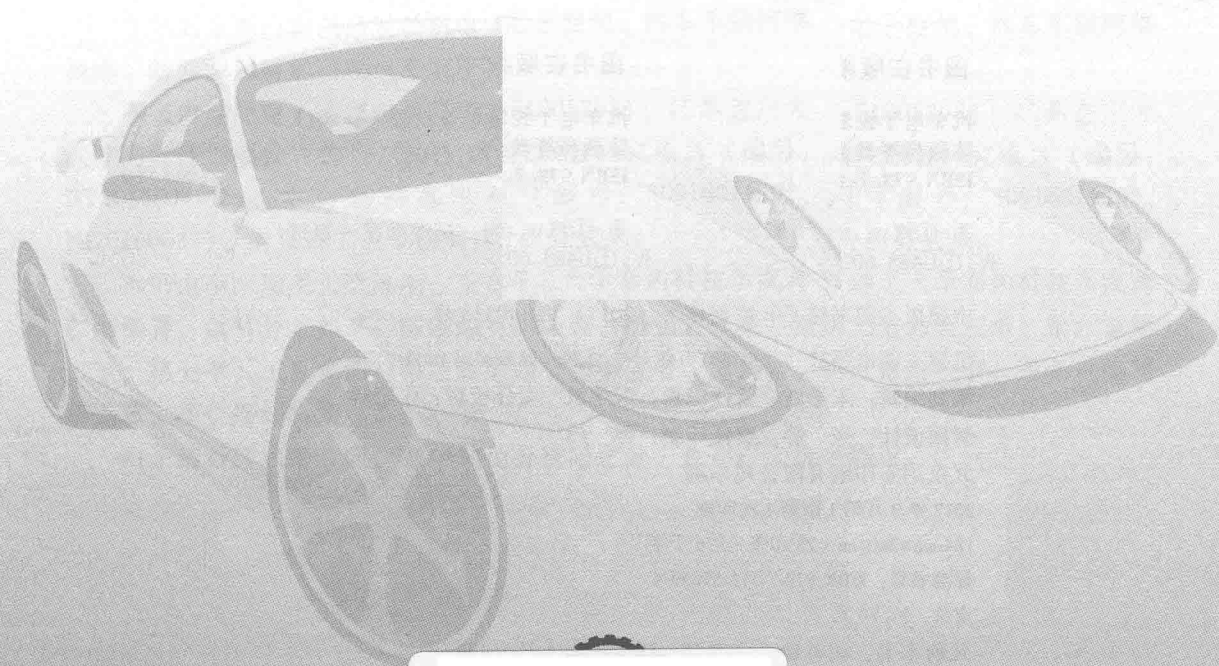
机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

非外销

普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

# 汽车电子控制技术

陈刚 王良模 王冬良 蒋仁卿 编著



机械工业出版社

本书较为全面系统地介绍了近些年出现的汽车电子控制技术,融入了作者近十年来的研究成果。全书共7章,内容包括发动机电子控制(汽油机电子控制、柴油机高压共轨系统电子控制、汽车发动机控制新技术)、底盘电子控制(电控液力自动变速器、防抱死制动系统、防滑转电子控制系统、稳定性控制系统、汽车底盘控制技术)、车身电子控制(中央门锁与防盗系统、乘员辅助约束系统、转向辅助照明系统、车道偏离预警系统)、汽车车载网络技术(CAN总线网络、LIN总线网络、VAN总线网络、FlexRay总线网络、MOST总线网络)、新能源和智能网联汽车电子控制(新能源汽车电子控制、智能网联汽车电子控制),汽车电子故障诊断技术(电喷发动机检测与诊断、自动变速器检测与诊断、ABS检测与诊断、安全气囊检测与诊断)。

本书可作为车辆工程、汽车服务工程和交通工程等专业的本科生或研究生教材,也可作为从事相关专业的工程技术人员的参考书。

本书配有PPT课件,可免费赠送给采用本书作为教材的教师,可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册下载,或联系编辑(tian.lee9913@163.com)索取。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制技术/陈刚等编著. —北京:机械工业出版社, 2017.7  
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材  
ISBN 978-7-111-57659-4

I. ①汽… II. ①陈… III. ①汽车—电子控制—高等学校—教材  
IV. ①U463.602.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第190533号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:宋学敏 责任编辑:宋学敏 责任校对:张晓蓉  
封面设计:张静 责任印制:孙炜

北京玥实印刷有限公司印刷

2017年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23印张·536千字

标准书号:ISBN 978-7-111-57659-4

定价:53.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线:010-88379649

机工官博:[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网:[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网:[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前言

高端汽车装备制造业是国家战略性新兴产业的重要内容，当今世界汽车装备制造业正处于技术大变革、产业大调整时代，而贯穿这一时代的主线是汽车电子化、电动化、信息化和智能化。汽车电子控制技术既是燃油汽车和燃气汽车的关键共性技术，也是新能源汽车和智能汽车的关键共性技术。

本书反映了近年来出现的一些汽车行业的新知识、新技术、新成果，如起停控制系统、无级变速器、电控双离合器自动变速器、线控制动系统、自动驻车系统、主动转向系统、电子差速系统、转向辅助照明系统、汽车多媒体总线、多模式混合动力汽车、智能汽车、车联网、自动泊车系统、无人驾驶机器人等，内容涉及节能环保、智能安全、新一代信息技术等多个方面。随着《中国制造 2025》规划的出台，节能与新能源汽车、智能网联汽车、车联网、机器人、汽车电子智能化等成为汽车工业发展的重要方向，而本书正是顺应这一形势发展而出版的。

本书的主要内容包括发动机电子控制、底盘电子控制、车身电子控制、汽车车载网络技术、新能源和智能网联汽车电子控制及汽车电子故障诊断技术。

本书内容涵盖了国家自然科学基金项目（编号：51675281、51205208）、江苏省六大人才高峰计划项目（编号：2015-JXQC-003）、江苏省产学研前瞻性联合研究项目（编号：BY2015004-02）、中央高校基本科研业务费专项资金项目（编号：30916011302、NJ20160037）、南京理工大学研究生教育优秀工程建设项目的一部分研究成果。

本书由南京理工大学陈刚、王良模，三江学院王冬良，南京理工大学泰州科技学院蒋仁卿编著。编写分工如下：陈刚编写第一章、第二章、第三章第二节和第三节、第六章第二节、第七章，王良模编写第三章第四节和第五节、第四章、第六章第一节，王冬良编写第五章，蒋仁卿编写第三章第一节。

由于编者的水平有限，书中难免有疏漏之处，欢迎广大读者指正。

# 目 录

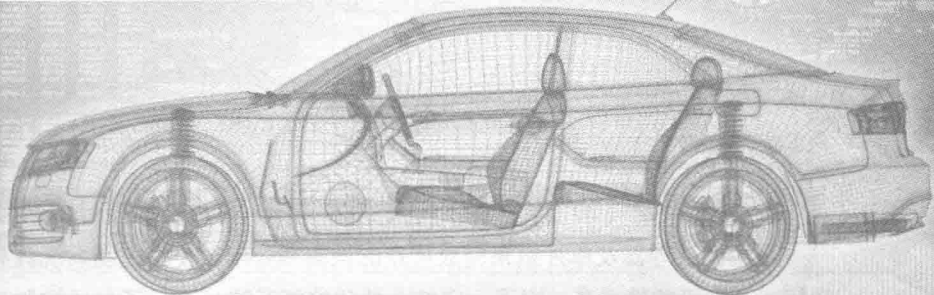
## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1	<b>第五章 汽车车载网络技术</b> .....	187
本章小结 .....	5	第一节 概述 .....	187
习题 .....	5	第二节 CAN 总线网络 .....	195
<b>第二章 发动机电子控制</b> .....	6	第三节 LIN 总线网络 .....	218
第一节 汽油机电子控制 .....	6	第四节 VAN 总线网络 .....	222
第二节 柴油机高压共轨系统电子控制 .....	35	第五节 FlexRay 总线网络 .....	226
第三节 汽车发动机控制新技术 .....	47	第六节 MOST 总线网络 .....	233
本章小结 .....	62	本章小结 .....	239
习题 .....	62	习题 .....	240
<b>第三章 底盘电子控制</b> .....	64	<b>第六章 新能源和智能网联汽车电子控制</b> .....	241
第一节 电控液力自动变速器 .....	64	第一节 新能源汽车电子控制 .....	241
第二节 防抱死制动系统 .....	101	第二节 智能网联汽车电子控制 .....	268
第三节 防滑转电子控制系统 .....	112	本章小结 .....	326
第四节 稳定性控制系统 .....	119	习题 .....	326
第五节 汽车底盘控制技术 .....	124	<b>第七章 汽车电子故障诊断技术</b> .....	327
本章小结 .....	162	第一节 概述 .....	327
习题 .....	163	第二节 电喷发动机检测与诊断 .....	335
<b>第四章 车身电子控制</b> .....	165	第三节 自动变速器检测与诊断 .....	346
第一节 中央门锁与防盗系统 .....	165	第四节 ABS 检测与诊断 .....	353
第二节 乘员辅助约束系统 .....	170	第五节 安全气囊检测与诊断 .....	357
第三节 转向辅助照明系统 .....	179	本章小结 .....	360
第四节 车道偏离预警系统 .....	183	习题 .....	360
本章小结 .....	186	<b>参考文献</b> .....	361
习题 .....	186		



# 第一章

## 绪论



### 一、概述

当今世界汽车业正处于技术大变革、产业大调整时代，而贯穿这一时代的主线是汽车的电子化、电气化、信息化和智能化。汽车电子控制技术是现代汽车技术发展的主要驱动力。无论是燃油汽车、燃气汽车，还是电动汽车、智能汽车，汽车电子控制技术都是它们的共性关键技术。汽车电子化是汽车技术发展进程中的一次革命。

汽车电子控制技术与系统的综合性能，直接影响整车的动力性、燃油经济性、制动性、舒适性、通过性、平顺性、转向性、操纵稳定性以及排放性能，是现代汽车的灵魂。能源危机、排放尾气大气污染、交通事故、交通拥挤等问题，促进了汽车电子控制技术的发展。目前，在工业发达国家生产的汽车上，电子装置的平均成本已占整车成本的40%~45%；在一些豪华轿车上，电子产品的成本已占整车成本的50%以上。汽车电子控制技术的发展有力促进了电子信息等相关产业的发展。

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，性价比高，而且更有利于环境保护。汽车由单纯的机械产品向高级的机电一体化产品方向发展，成为所谓的“电控汽车”。未来汽车技术的发展和性能的改善，主要依靠汽车电子控制技术的发展。

### 二、汽车电子控制技术的发展史

汽车电子控制技术是汽车技术与电子技术结合的产物。电子技术的飞速发展和汽车相关法规的建立是汽车电子控制技术形成与发展的两大主要因素。汽车电子控制技术的形成和发展过程可分为以下三个阶段。

#### 1. 第一阶段（20世纪50年代初到70年代末）：萌芽及初级阶段

分立式半导体元件开始用于汽车交流发电机整流器、起动电机、转速表等。主要集中在个别部件的开发，改善了汽车单个零件的性能。1953年苏联率先在汽车上采用了二极管整流的交流发电机，揭开了汽车电子发展的序幕。该阶段的特点是用分立电子元件或集成电路组成电子控制器进行控制。主要电子产品有电子电压调节器、电子式点火控制器、电子闪光器、电子式间歇刮水控制器、晶体管收音机、数字时钟等。共同问题是价格昂贵，可靠性差，复杂的电路使得维修费用很高，没有得到推广应用。

## 2. 第二阶段（20 世纪 70 年代末到 90 年代中期）：微型计算机控制阶段

采用微处理器及单片机来完成信息的检测和处理，使得控制系统具有了数字化和智能化的特征。该阶段的特点是，有了一定综合性的控制系统，引入了自动控制理论，微处理器的应用使得电子装置体积显著缩小，可靠性显著提高。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。20 世纪 70 年代出现了能源危机，推动了汽车电子技术的发展。1977 年美国通用采用了中央处理器控制的数字点火系统，它是真正的计算机控制系统。精确控制点火时刻，提高发动机的燃烧效率和输出功率，降低排放。之后汽车电子技术基本成熟，并逐渐向汽车的其他部分扩展。该阶段代表性技术包括发动机电子控制系统、自动变速器、防抱死制动系统（ABS）、电控悬架、电控转向、空调控制系统、电子仪表和娱乐设备等。

## 3. 第三阶段（20 世纪 90 年代中期至今）：集成网络化层次阶段

采用先进的微电子技术、车载网络技术、集成智能功率器件、智能传感器、大容量电可擦可编程只读存储器（EEPROM）或快速擦写只读编程器（FLASHROM），专用集成电路等，形成了车上的分布式、网络化的电子控制系统。整个车被联成一个多 ECU、多节点的有机整体，控制系统的功能进一步加强，使得其性能也更加完善。由于汽车上的电子电器装置数量的急剧增多，为了减少连接导线的数量和重量，网络、总线技术在此期间有了很大的发展。通信线将各种汽车电子装置连接成为一个网络，通过数据总线进行发送和接收信息。电子装置除了独立完成各自的控制功能外，还可以为其他控制装置提供数据服务。由于使用了网络化的设计，简化了布线，减少了电气节点的数量和导线的用量，使装配工作更为简化，同时也增加了信息传送的可靠性。通过数据总线可以访问任何一个电子控制装置，读取故障码并对其进行故障诊断，使整车维修工作变得更为简单。该阶段的特点是大规模集成电路和控制器局域网 CAN 对汽车电器和电子控制系统进行综合控制。

## 三、汽车电子控制系统的组成

汽车电子控制技术是以电器技术、微电子技术、新材料和新工艺技术为基础，以解决汽车能源不足、环境保护和交通安全等为目的，旨在提高汽车整车性能的新技术。汽车电子控制系统是指由传感器、执行器、电子控制器和电器开关等组成（见图 1-1），并具有

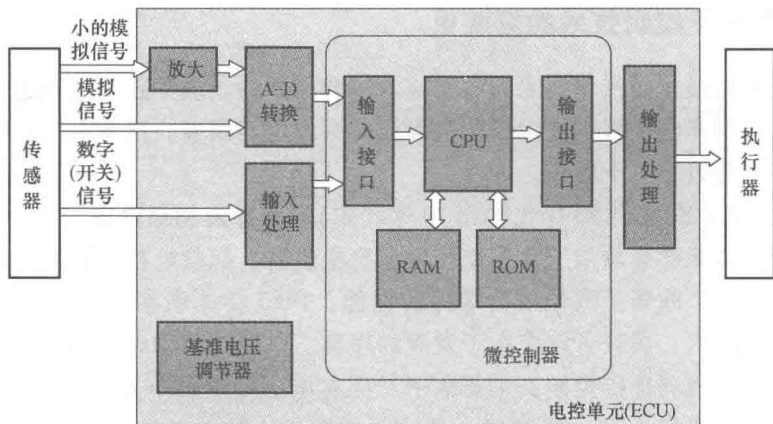


图 1-1 汽车电子控制系统组成框图

提高汽车性能的有机整体，如发动机电子控制系统、底盘电子控制系统、车身电子控制系统。汽车电子控制系统具有高实时性、高控制精度、高可靠性、低成本、高产量等要求。

### 1. 传感器

传感器是将某种变化的物理量（绝大部分是非电量）转化成对应电信号的器件或装置，它能感受系统运行过程中温度、压力、转速、位置、空气流量、气体浓度等物理量的状态及变化情况。汽车常用传感器如图 1-2 所示。

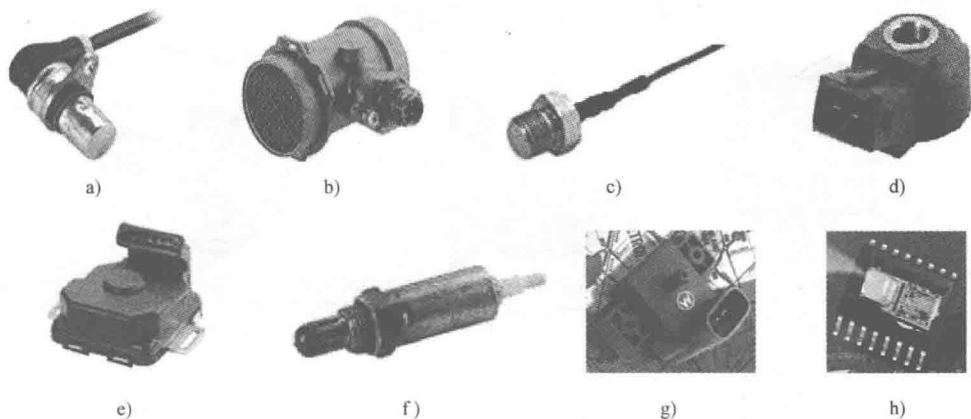


图 1-2 汽车常用传感器

- a) 转速传感器 b) 空气流量计 c) 温度传感器 d) 爆燃传感器  
e) 节气门位置传感器 f) 氧传感器 g) 压力传感器 h) 加速度传感器

### 2. 电控单元

电控单元 (Electronic Control Unit, ECU), 俗称“行车电脑”“车载电脑”等。从用途上讲则是汽车专用微机控制器，也称汽车专用单片机。它和普通的单片机一样，由微处理器 (CPU)、存储器 (只读存储器 ROM、随机存取存储器 RAM)、输入/输出接口 (I/O)、模-数转换器 (A-D) 以及整形、驱动等大规模集成电路组成。汽车常用 ECU 如图 1-3 所示。

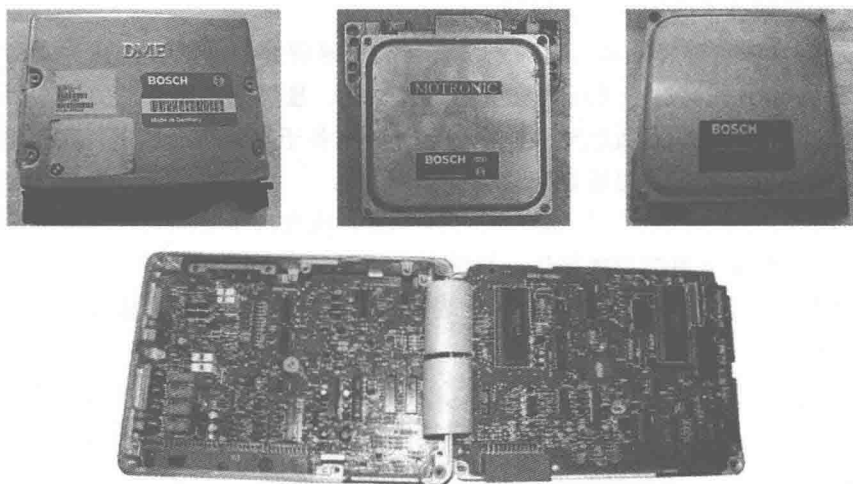


图 1-3 汽车常用 ECU



ECU 由输入接口电路、微控制器、输出接口电路组成。其中，输入接口电路由信号整形电路、电平转换电路、A-D 转换电路等组成；微控制器是 ECU 的“心脏”，也称为 MCU（微控制器单元），用来对输入信号进行分析运算处理，并向执行器发出操作命令；输出接口电路由驱动电路、隔离电路、D-A 转换电路等组成。

### 3. 执行器

执行器是 ECU 动作命令的执行者。汽车常用执行器（见图 1-4）包括继电器、冷起动阀、辅助空气阀、炭罐电磁阀、燃油泵和喷油器等。

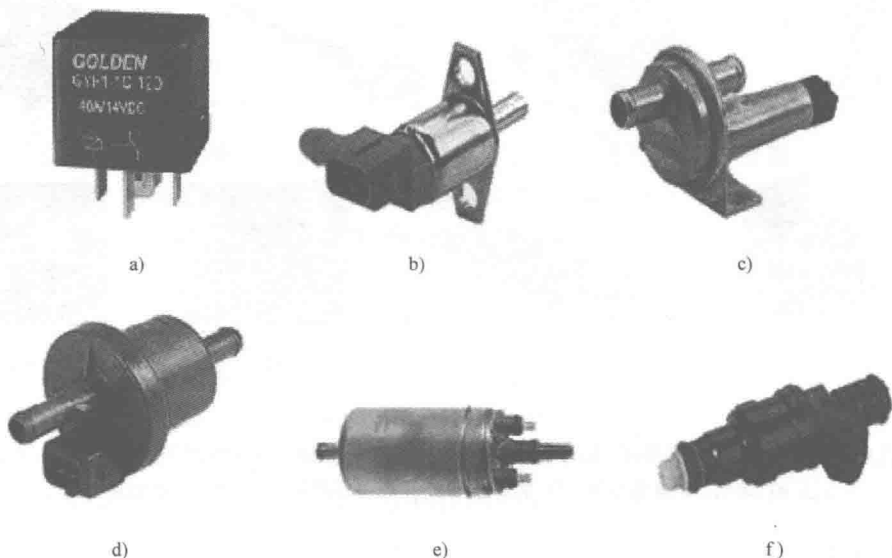


图 1-4 汽车常用执行器

a) 继电器 b) 冷起动阀 c) 辅助空气阀 d) 炭罐电磁阀 e) 燃油泵 f) 喷油器

## 四、汽车电子控制技术的发展趋势

汽车电子控制技术的发展趋势如下。

1) 集中综合控制。将发动机管理系统和自动变速器控制系统，集成为动力传动系统的综合控制（PCM）；通过中央底盘控制器，将制动、悬架、转向、动力传动等控制系统通过总线进行连接。控制器通过复杂的控制运算，对各子系统进行协调，将车辆行驶性能控制到最佳水平，形成一体化底盘控制系统（UCC）。

2) 汽车 12V 供电系统向 42V 转化。其目的是在现有汽车空间条件下提高车载电源的供电能力，降低车载电源的功率损耗。其优点如下：

① 通过电压提升减少电流载量，减小线束线径；促进现有电器装置微型化，缩小体积，减轻重量。

② 可以将发动机驱动附件（如冷却风扇、水泵、空调压缩机等）从发动机中分离出来，直接由电动机驱动，进一步减少发动机零件和质量，降低发动机的负荷。

③ 可以将发动机内部一部分机构由机械驱动改为电驱动，如气门开启关闭直接由电动机和计算机联合控制，省略了凸轮轴配气机构。



④ 为实现汽车全面电控化了提供条件。

3) FlexRay、MOST、Bluetooth 等高速、容错能力强的总线网络通信协议代替 CAN 总线。

4) 应用清洁燃料、气体燃料（包括液化气和天然气等）、氢燃料、生物燃料（包括甲醇、乙醇、二甲醚、生物质能等）、电动力驱动等新动力源的新型能源动力汽车技术。

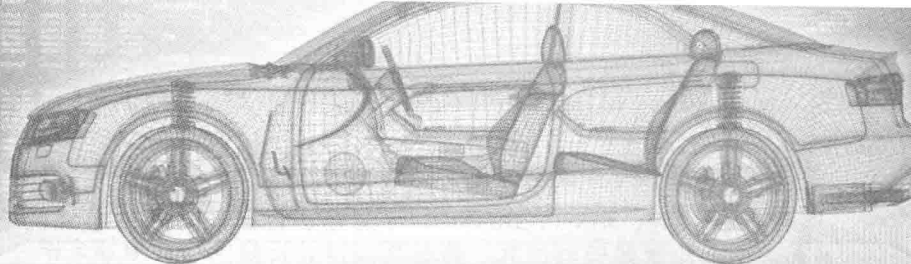
5) 智能汽车。智能化车辆交通系统利用现代信息、控制技术将车辆、道路、使用者紧密结合，以解决汽车交通事故、交通拥堵、大气污染及能源消耗等问题。智能化汽车包括车与人的互动、车与环境的互动、车与手机的互动等，能够判断驾车者是否处于最佳状态、车辆和人是否会发生危险。

### 本章小结

本章首先介绍了汽车电子控制技术的发展史，然后介绍了汽车电子控制系统的组成，最后介绍了汽车电子控制技术的发展趋势。

### 习 题

1. 汽车电子控制技术发展的推动力有哪些？
2. 汽车电子控制技术的发展经历了哪三个阶段？
3. 汽车电子控制系统的基本组成及各部分的作用是什么？
4. 汽车电子控制技术的发展趋势是什么？



## 第一节 汽油机电子控制

### 一、概述

随着汽车数量的日益增多，汽车尾气排放量与燃油消耗量的不断上升困扰着人们，迫使人们去寻找一种能使汽车排气净化、节约燃料的新技术装置以取代化油器，汽油喷射技术的发明和应用，使人们的这一理想得以实现。

德国博世公司成功研制了D型电子控制汽油喷射装置，用在大众轿车上。D型电子控制汽油喷射装置以进气管里面的压力作参数，但是它与化油器相比，仍然存在结构复杂、成本高、不稳定的缺点。针对这些缺点，博世公司又开发了L型电子控制汽油喷射装置，它以进气管内的空气流量作参数，可以直接按照进气流量与发动机转速的关系确定进气量，据此喷射出相应量的汽油。这种装置由于设计合理，工作可靠，广泛为欧洲和日本等的汽车制造公司所采用，是今天电子控制燃油喷射装置的雏形。美国的通用、福特，日本的丰田、三菱、日产等汽车公司都推出了各自的电子控制汽油喷射装置，尤其是多气门发动机的推广，使电子控制喷射技术得到迅速普及和应用。

传统化油器发动机面临的主要困难包括：①化油器不能实时提供最佳空燃比，无法很好地满足发动机的统一性能指标；②化油器不能实现各缸汽油的均匀喷射；③化油器加速性能不良，特别是在夏天气温较高时容易发生气阻现象；④化油器起动、暖机性能不良，充气效率低；⑤化油器在减速、减油时易发生断油现象。

电喷汽油机的特点包括：①各气缸混合气分配均匀；②在任何情况下都能得到精确的空燃比、点火提前角、怠速和排放的位置控制；③加速性能好；④起动性能和减速减油或断油性能优良；⑤发动机充气效率高。

汽油机电子控制系统主要通过对空燃比、点火时刻、废气排放等实施精确控制，来实现对发动机动力性、经济性、排放净化等方面的最佳要求。汽车排放的尾气组成包括 $\text{NO}_x$ 、CO、HC、微粒等。汽油机采取机内净化和机外净化措施。机内净化措施包括改进燃油供应系统和点火系统、改进燃油室结构、改进气缸体设计、采用电控燃油喷射、电控

电子点火等技术。机外净化措施包括采用燃油蒸发排放控制装置、曲轴箱强制通风装置、废气再循环装置等。另外，还可使有害气体在排放过程中被氧化、还原，将其变成有害气体后再排出车外。

## 二、汽油发动机与可燃混合气

### 1. 可燃混合气

可燃混合气是指空气与燃料的混合物，其成分对发动机的动力性与经济性有很大影响。可燃混合气成分表示方法如下。

(1) 空燃比 可燃混合气中空气 ( $A$ ) 和燃料 ( $F$ ) 的质量比。

(2) 过量空气系数

$$\alpha = \frac{\text{燃烧1kg汽油实际消耗的空气质量}}{\text{完全燃烧1kg汽油理论上消耗的空气质量}} \quad (2-1)$$

理论上 1kg 汽油完全燃烧需要空气 14.7kg。

1) 空燃比 = 14.7,  $\alpha = 1$ , 为标准混合气;

2) 空燃比 < 14.7,  $\alpha < 1$ , 为浓混合气;

3) 空燃比 > 14.7,  $\alpha > 1$ , 为稀混合气。

### 2. 可燃混合气浓度对发动机性能的影响

发动机的功率和燃油消耗率都是随着过量空气系数  $\alpha$  变化而变化的。

理论上，对于  $\alpha = 1$  的标准混合气而言，所含空气中的氧正好足以使汽油完全燃烧，但实际上，由于时间和空间条件的限制，汽油细粒和蒸气不可能及时地与空气绝对均匀地混合，因此，即使  $\alpha = 1$ ，汽油也不可能完全燃烧，混合气  $\alpha > 1$  才有可能完全燃烧。

因为  $\alpha > 1$  时，混合气中有适量较多的空气，正好满足完全燃烧的条件，此混合气称为经济混合气，对于不同的汽油机经济混合气成分不同，一般在  $\alpha = 1.05 \sim 1.15$  范围内。当  $\alpha$  不在 1.05~1.15 范围内时，经济性变坏。

当  $\alpha = 0.88$  时，发动机功率  $P_e$  最大，因为这种混合气中汽油含量较多，汽油分子密集，致使燃烧速度最高，热量损失最小，因而使得缸内平均压力最高，功率最大，此混合气称为功率混合气。对不同的汽油机来说，功率混合气一般在  $\alpha = 0.85 \sim 0.95$  范围内。

$\alpha > 1.11$  的混合气称为过稀混合气， $\alpha < 0.88$  的混合气称为过浓混合气。混合气无论过稀过浓都会使发动机功率  $P_e$  降低，燃油消耗率  $g_e$  增加。

混合气过稀时，由于燃烧速度太低，损失热量很多，往往造成发动机温度过高，严重过稀时，燃烧可延续到进气行程的开始，进气门已经开启时还在进行，火焰将传到进气管。当混合气稀到  $\alpha = 1.4$  以上时，混合气虽然能着火，但火焰无法传播，导致发动机熄火，所以  $\alpha = 1.4$  称为火焰传播下限。

混合气过浓时，由于燃烧很不完全，产生大量的 CO，造成气缸盖、活塞顶和火花塞积炭，排气管冒黑烟，甚至废气中的 CO 可能在排气管中被高温废气引燃，产生排气管“放炮”现象。混合气浓度达到  $\alpha = 0.4$  以下时，可燃混合气虽然能着火，但火焰无法传播，发动机熄火，所以  $\alpha = 0.4$  称为火焰传播上限。

从以上分析可知，发动机正常工作时，所用的可燃混合气  $\alpha$  值，应该在获得最大功率和获得最低燃油消耗率之间，在节气门全开时， $\alpha$  值的最佳范围为 0.85~1.15。一般在节气门全开条件下， $\alpha=0.85\sim 0.95$  时，发动机可得到较大的功率；当  $\alpha=1.05\sim 1.15$  时，发动机可得到较好的燃料经济性。所以，当  $\alpha$  在 0.85~1.15 范围内时，动力性和经济性都比较好，即发动机功率  $P_e$  较大，燃油消耗率  $g_e$  较小。发动机功率  $P_e$ 、燃油消耗率  $g_e$  与过量空气系数  $\alpha$  的关系曲线如图 2-1 所示。

### 3. 不同工况下发动机对可燃混合气的要求

作为车用汽油机，其工况（负荷和转速）是复杂的。例如，超车、制动、高速行驶、汽车在红灯信号下起步或怠速运转、汽车满载爬坡等，工况变化范围很大，负荷可以从 0 变化至 100%，转速可以从最低变化至最高。不同工况对可燃混合气成分的要求见表 2-1。发动机的运转情况是复杂的，各种运转情况对可燃混合气的成分要求不同。起动、怠速、全负荷、加速运转时，要求供给浓混合气（ $\alpha < 1$ ）。中负荷运转时，随着节气门开度由小变大，要求供给由浓逐渐变稀的混合气（ $\alpha=0.9\sim 1.1$ ）。

要求供给浓混合气（ $\alpha < 1$ ）。中负荷运转时，随着节气门开度由小变大，要求供给由浓逐渐变稀的混合气（ $\alpha=0.9\sim 1.1$ ）。

表 2-1 不同工况对可燃混合气成分的要求

工况	节气门开度	混合气 $\alpha$	气缸内性能
怠速	接近于关闭	0.6~0.8	废气含量大
小负荷	逐渐开启	0.7~0.9	废气作用减弱
中等负荷	足够的开度	0.9~1.1	追求经济性
大负荷和全负荷	最大开度	0.85~0.95	要求供给最大功率

(1) **怠速和小负荷** 怠速时节气门处于关闭状态，混合气燃烧后做的功只用于克服发动机内部阻力，使发动机保持最低转速稳定运转。由于吸人气缸内的混合气数量少，且汽油雾化不良，缸内压力高于进气管压力，为保证混合气能正常燃烧，就必须提高其浓度。在小负荷时，也要提供浓混合气，但加浓程度随负荷增加而减小。

(2) **中等负荷** 此时，节气门开度已足够大，可提供较稀的混合气，以获得最佳燃油经济性。发动机大部分工作时间都处于中等负荷状态。

(3) **大负荷和全负荷** 大负荷时，节气门开度已超过 75%，此时应随着节气门开度的加大逐渐加浓混合气，满足发动机的功率要求。实际上，在节气门未全开前如需更大的转矩，只要把节气门进一步开大就能实现，不需使用功率空燃比来提高功率，应继续使用经济空燃比来达到省油的目的。因此，在节气门全开之前，所有的部分负荷工况都应按经

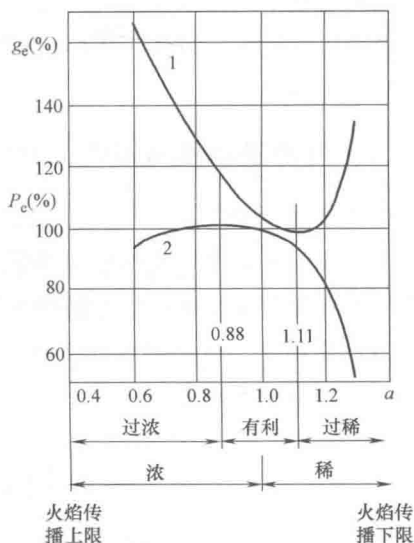


图 2-1 发动机功率、燃油消耗率与过量空气系数的关系曲线  
1— $P_e$  与  $\alpha$  的关系曲线 2— $g_e$  与  $\alpha$  的关系曲线



济混合气配制。只有在全负荷时，节气门已全开，才需提供功率混合气以获得最大功率。

### 三、电喷汽油机可燃混合气的形成

#### 1. D 型 EFI 系统 (Speed Density Control Type, 速度密度控制型) 可燃混合气的形成

最早的电控燃油喷射系统，即传统 D 型系统，它的空燃比和点火提前角采用开环控制，现在已改进为开环与闭环联合控制。

D 型 EFI 系统组成框图如图 2-2 所示。通过进入气缸空气的压强  $p_0$ 、进气温度  $T_0$ 、发动机转速  $n$  计算得到进气流量为

$$Q_m = k \frac{np_0}{T_0} \tau(n) \quad (2-2)$$

$$(A/F)_{\text{目标}} = \frac{Q_m}{F_0} \quad (2-3)$$

式中， $Q_m$  为发动机进气流量；发动机的充气效率  $0 \leq \tau(n) \leq 1$ ； $F_0$  为实际喷油量；

$k = \frac{\mu x V_0}{2R}$ ，其中， $x$  为发动机气缸数，

$V_0$  为每缸燃烧室容积， $\mu$  为摩尔质量， $R$  为摩尔气体常数。

#### 2. L 型 EFI 系统 (Mass-flow Control Type, 质量流量控制型) 可燃混合气的形成

利用空气流量计直接测量发动机的进气量，ECU 不必进行推算，可根据空气流量计信号计算与该空气量相应的喷油量。L 型 EFI 系统组成框图如图 2-3 所示。空气流量计的功用是测量进入发动机的空气流量，并将测量的结果转换为电信号传输给 ECU。空气流量计有多种形式，包括翼片式、热线式、热膜式和涡流式等。不同形式的空气流量计的性能对比见表 2-2。D 型和 L 型 EFI 系统的性能对比见表 2-3。

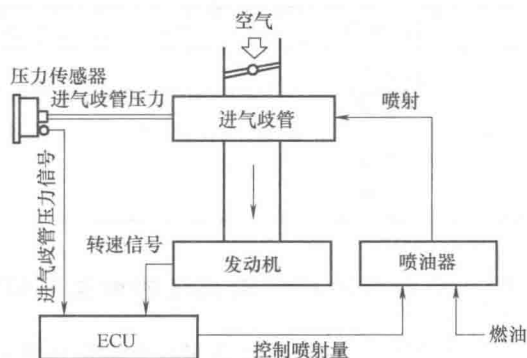


图 2-2 D 型 EFI 系统组成框图

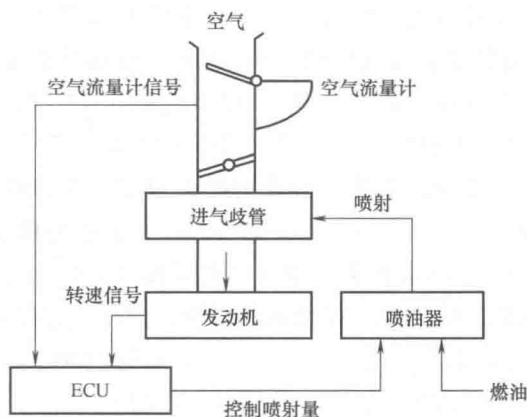


图 2-3 L 型 EFI 系统组成框图

表 2-2 不同形式的空气流量计的性能对比

种类特性	热膜式	热线式	翼片式	涡流式
响应特性	良	良	差	良
怠速稳定性	良	良	良	良
废气再循环适用性	良	良	良	良
发动机性能随时间的变化	优	优	优	优
海拔修正	无	无	有	有
进气温度修正	无	无	有	有

(续)

种类特性	热膜式	热线式	翼片式	涡流式
安装性	良	良	良	良
成本	低	较高	较高	较高

表 2-3 D 型和 L 型 EFI 系统的性能对比

种类特性	D 型	L 型
空气流量获取方式	间接	直接
精度	差	优
动态响应	慢	快
价格	便宜	贵

#### 四、电喷汽油机控制系统的种类与控制内容

电控汽油喷射系统概括起来可分为两大类和六小类。两大类即 D 型和 L 型 EFI 系统。六小类具体如下。

##### 1. 按喷油器的喷射位置分类

(1) 缸内喷射 缸内喷射是将喷油器安装在气缸盖上直接向气缸内喷油。

(2) 进气管喷射 进气管喷射是将喷油器安装在进气总管或进气歧管上，汽油由喷油器喷入进气总管（或进气歧管的进气门前）。它按照喷油器的安装部位又可分为单点喷射（SPI）和多点喷射（MPI）。

1) 单点喷射。在节气门体上只装 1~2 个喷油器，向进气总管内喷油，形成可燃混合气。单点喷射系统如图 2-4 所示。在节气门上方装一个中央喷射装置，由 1~2 个喷油器集中喷油。其采用单点喷射方式，结构简单、故障少、维修调整方便，广泛应用于普通轿车和货车。

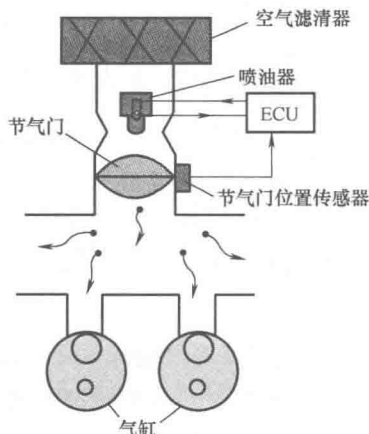


图 2-4 单点喷射系统

2) 多点喷射。又可分为单节气门和多节气门两种。在每一气缸的进气门前均安装一个喷油器，汽油直接喷射到各缸的进气门附近并与空气混合形成混合气。多点喷射系统如图 2-5 所示。每缸进气门处装有一个喷射装置，由 ECU 控制喷射。其燃油分配均匀性好，但控制系统复杂、成本高，主要用于中、高级轿车。

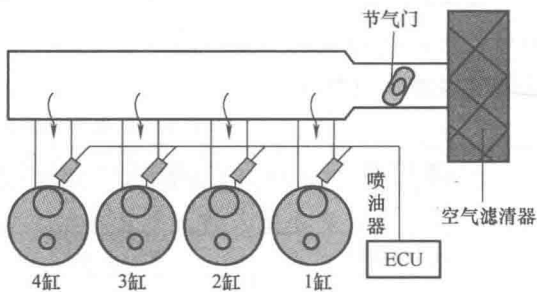


图 2-5 单节气门多点喷射系统

##### 2. 按控制方式分类

(1) 机械式汽油喷射系统 机械式汽油喷射系统将空气流量计与燃油计量分配器组合在一起，空气流量计检测空气流量的大小

后,靠连接杆(杠杆)传动操纵燃油计量分配器的柱塞动作,以燃油计量槽孔开度的大小控制喷油量,从而达到控制混合气空燃比的目的,如博世公司的 K-Jetronic 系统即为这类汽油喷射系统。

(2) 机电混合式汽油喷射系统 机电混合式汽油喷射系统是在机械式汽油喷射系统的基础上加以改进而形成的,它与机械式汽油喷射系统的主要区别在于:在燃油计量分配器上安装了一个由 ECU 控制的电液式压差调节器,ECU 根据冷却液温度、节气门开度等传感器的输入信号控制电液式压差调节器的动作。

(3) 电子控制式汽油喷射系统 电子控制式汽油喷射系统根据各种传感器送至 ECU 的发动机运行状况的信号,经运算后,发出控制喷油量和点火时刻等多种执行指令,从而实现多种功能的控制,如博世公司的 Motronic 系统(也称为 L 型系统)即为这类汽油喷射系统。

### 3. 按喷射方式分类

(1) 间歇喷射(脉冲喷射) 汽油的喷射以脉冲方式在某一时间段内喷入进气管。

(2) 连续喷射(稳定喷射) 其特点是在发动机运转期间汽油连续不断地喷射到进气歧管内,与发动机的工作顺序没有关系,大多应用于机械式或机电混合式汽油喷射系统中,如博世公司的机械式(K型)和机电式(KE型)喷射系统。

### 4. 按空气流量测量方式分类

(1) 质量流量方式 利用空气流量计直接测出吸入的空气量(L型)。

(2) 速度密度方式 根据进气管压力、温度和发动机转速,推算吸入的空气量,并计算燃油流量(D型)。

(3) 节流速度方式 根据节气门开度和发动机转速,推算吸入的空气量并计算燃油流量。

### 5. 按控制系统有无反馈信号分类

(1) 开环控制 开环控制系统如图 2-6 所示。通过试验确定的发动机各工况最佳供油参数预先存入 ECU,在发动机运行时,ECU 根据系统中各传感器的输入信号,判断发动机自身所处的运行工况,从内部存储器中查出相应的控制参数,并计算出最佳喷油量,输出信号对执行机构进行控制。其精度直接依赖于所设定的基准数据和喷油器调整标定的精度。当使用工况超出预定范围时,不能实现最佳控制。



图 2-6 开环控制系统

(2) 闭环控制 闭环控制是指 ECU 以事先设定的控制参数控制发动机工作,同时还不断地检测发动机相关工作参数,根据检测到的信号对控制参数进行修正。闭环控制系统如图 2-7 所示。在系统中,发动机排气管上加装了氧传感器,根据

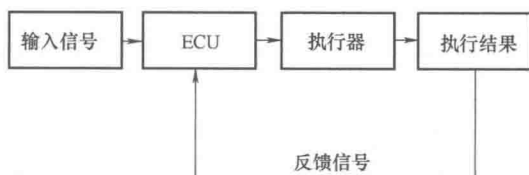


图 2-7 闭环控制系统

排气中含氧量的变化，判断实际进入气缸的混合气空燃比，通过 ECU 与设定的目标空燃比进行比较，并根据误差修正喷油量，空燃比控制精度较高。

### 6. 按喷油正时不同分类

(1) 同时喷射 电控汽油喷射系统的同时喷射如图 2-8 所示。将各气缸的喷油器并联，所有喷油器由 ECU 的同一个指令控制，同时喷油，同时断油。其缺点是，由于各缸对应的喷射时间不可能最佳，有可能造成各缸混合气组成不一样。但这种喷射方式，不需要气缸判别信号，而且喷射驱动回路通用性好，其电路结构与软件都较简单。

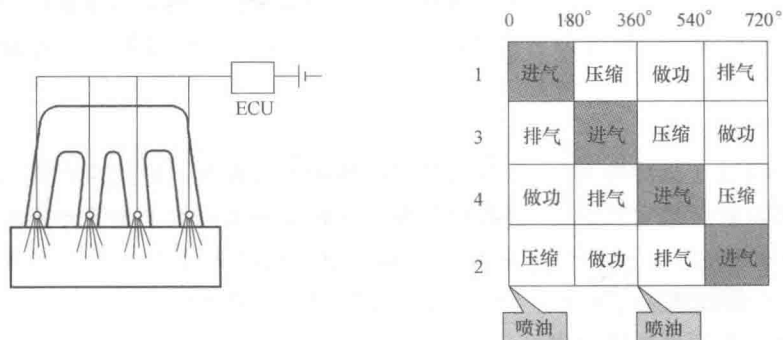


图 2-8 同时喷射

(2) 分组喷射 电控汽油喷射系统的分组喷射如图 2-9 所示。将喷油器分成 2 组（或 3 组）交替喷射，ECU 发出两路喷油指令，每路指令控制一组喷油器，这种结构较同时喷射系统更精细、更先进一些。

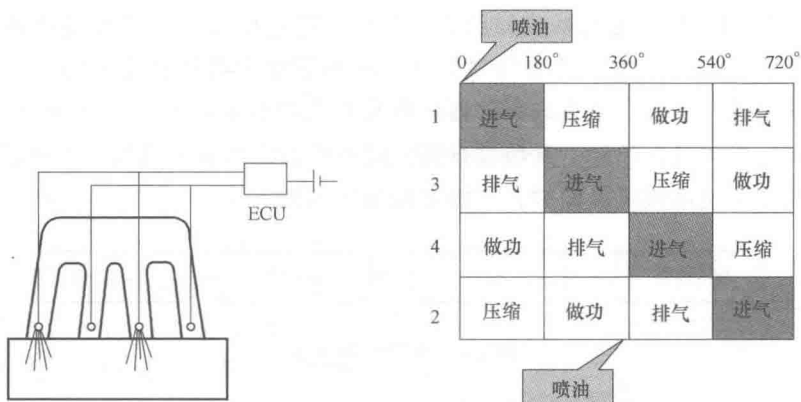


图 2-9 分组喷射

(3) 顺序喷射 电控汽油喷射系统的顺序喷射如图 2-10 所示。喷油器由 ECU 分别控制，按发动机各气缸的工作顺序喷油。顺序喷射也称独立喷射，其喷油器按发动机各缸进气行程的顺序轮流喷射，由 ECU 根据曲轴位置传感器提供的信号判别各缸的进气行程，