

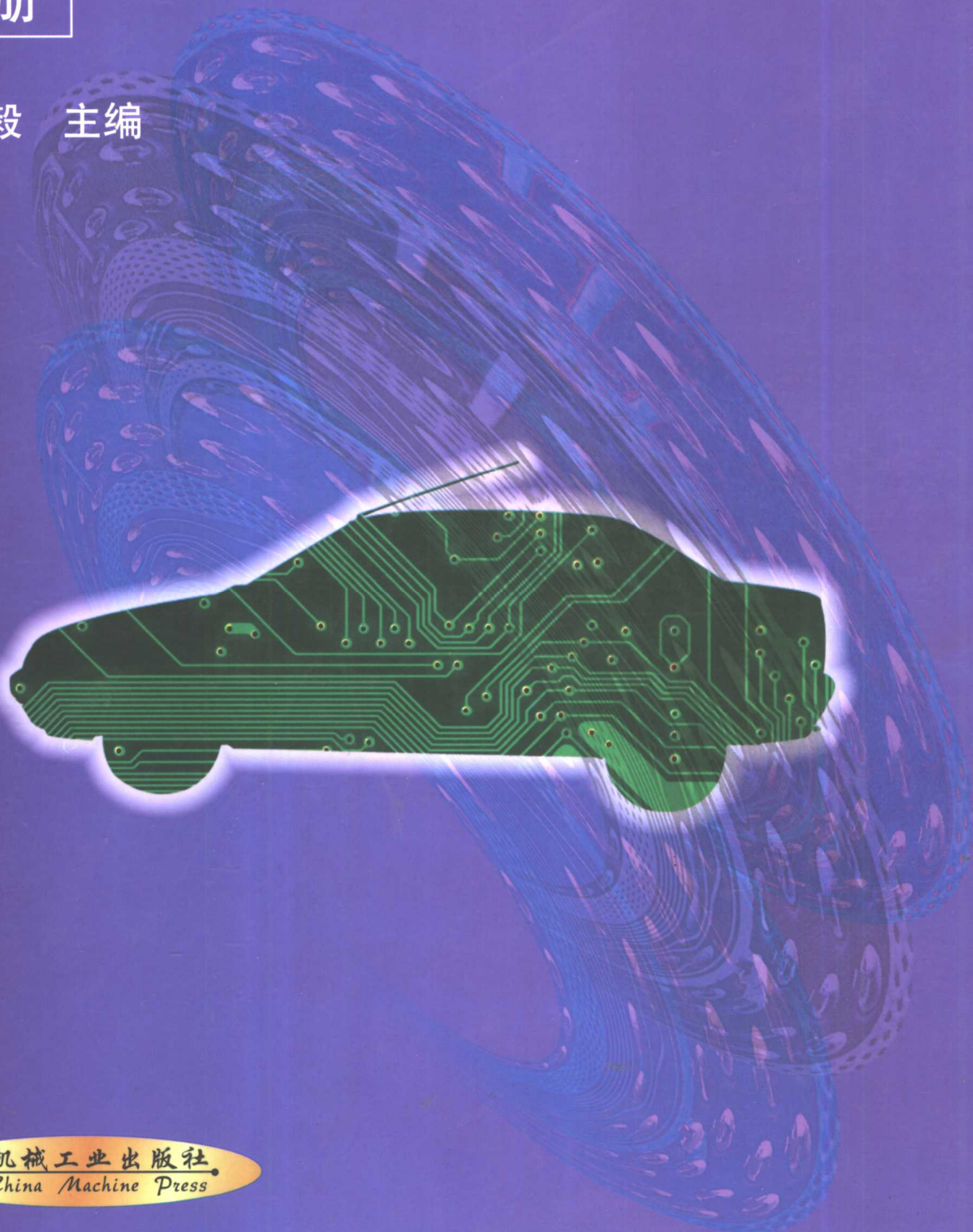
高等院校教材



汽车电子控制技术

上册

冯崇毅 主编



机械工业出版社
China Machine Press

汽车电子控制技术
上册

机械工业出版社

高等院校教材

汽车电子控制技术

上册

冯崇毅 主编



机械工业出版社

本套教材分上、下册。本册共分八章,主要包括:汽油机燃料喷射控制、点火控制、怠速控制、排放控制与排气净化技术、进气与增压控制及安全保险等系统的结构、原理及检测与故障诊断等内容,可作为高等院校汽车运用工程及相关专业的教材,也可供有关汽车检测维修等方面的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制技术:上册/冯崇毅主编.—北京:机械工业出版社,2000.12

高等院校教材

ISBN 7-111-08642-2

I.汽… II.冯… III.汽车-电子控制-技术-高等学校-教材 IV.U463.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第80814号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:蓝伙金 王虹 版式设计:霍永明 责任校对:张佳

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

高等教育出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年3月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·12.25印张·301千字

0 001—4000册

定价:30.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

《汽车电子控制技术》(上册)

编写人员

主 编：冯崇毅（东南大学）

副 主 编：何丹娅（东南大学）

参编人员：（按姓氏笔画排序）

方 铀（上海大学巴士汽车学院）

任成尧（山西省交通学校）

刘 勇（天津市交通局职工大学）

肖峰云（上海大学巴士汽车学院）

汪晓晖（江苏省南通航运学校）

严育忠（青海省交通职工大学）

陈 渊（广西大学机械工程学院）

罗 廉（广西大学机械工程学院）

张立新（辽宁交通高等专科学校）

张 锐（青海省交通职工大学）

南长根（江西农业大学工程技术学院）

彭朝晖（广西交通学校）

主 审：付百学（黑龙江工程学院）

前 言

随着汽车工业和电子技术的发展,汽车电子控制系统的集成化程度越来越高,已成为当今世界汽车工业发展的必然趋势。为了使汽车专业的学生及有关技术人员能更全面地、系统地掌握有关汽车电子控制系统及装置的结构、原理和使用、检测与故障诊断等方面的基础知识,特编写了这套教材。

本套教材分上、下两册。在编写过程中,作者参阅了大量的资料文献与专著,并融入了多年的教学、生产及科学研究实践。本教材全面系统地阐述了发动机集中控制系统、自动变速器、汽车制动防抱死、驱动防滑系统、主动悬架、安全气囊、音响与信号等控制系统的结构、原理及检测与故障诊断等基础知识,可作为高等院校汽车专业的专业教材。为了帮助学员能迅速全面地掌握本教材的重点与难点。特配有一套学习光盘,便于加深对该教材内容的理解。

本教材上册由东南大学冯崇毅主编,何丹娅副主编,下册由黑龙江高等专科学校付百学主编,参加编写的人员还有方铀、任成尧、刘勇、肖峰云、汪晓晖、严育忠、陈渊、罗廉、张立新、张锐、南长根、彭朝晖等。本书由付百学主审。

书中存在的不妥和错误之处,恳请读者提出宝贵意见。

2000年8月

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 汽车电子技术现状与发展	1
第二节 现代汽车电子技术应用概况	2
第三节 汽油发动机集中控制系统的类型及控制内容	4
第二章 发动机集中控制系统概述	6
第一节 燃油喷射的基本概念和发展过程	6
一、燃油喷射的基本概念	6
二、汽油发动机对可燃混合气的要求	6
三、燃油喷射的发展过程	9
第二节 燃油喷射系统的优点	10
第三节 燃油喷射系统的分类	11
第三章 燃油喷射控制系统的结构与原理	17
第一节 空气供给系统	18
第二节 燃油供给系统	18
一、燃油泵的结构与原理	19
二、燃油压力调节器的结构与原理	21
三、电磁喷油器的结构与原理	22
四、燃油压力脉动阻尼器	29
第三节 电子控制系统	30
一、电子控制装置 (ECU)	30
二、传感器的结构与原理	31
三、执行器	50
第四章 燃油喷射的控制	51
第一节 喷油正时的控制	51
一、同时喷射	51
二、分组喷射	52
三、顺序喷射	52
第二节 喷油量的控制	53
一、起动后同步喷射持续时间的确定	53
二、基本喷射时间 (脉宽)	54
三、与发动机温度相关的燃油修正系数	56
四、加减速运转时的燃油修正系数	57
五、急加速时的异步喷射	59
六、理论空燃比的反馈控制	59
七、学习空燃比控制	61
八、大负荷、高转速运转时燃油增量的修正	62
九、无效喷射时间	62
十、燃油停供	63
第三节 起动时喷油量的控制	64
一、通过冷起动喷油器获得喷油增量	64
二、微机控制喷油器直接获得喷油增量	65
第五章 点火系统的控制	67
第一节 对点火系的基本要求	67
一、能产生足以击穿火花塞电极间隙的电压	67
二、电火花应具有足够的能量	68
三、点火时刻应适应发动机的工作情况	68
第二节 微机控制的点火系统的组成与原理	69
第三节 点火提前角控制	71
一、丰田汽车 TCCS 系统点火提前角的控制	71
二、日产公司 ECCS 系统点火提前角的控制	73
第四节 无分电器点火系统	75
第五节 爆燃控制	79
一、爆燃与点火时刻的关系	79
二、爆燃控制系统	79
第六章 辅助控制	81
第一节 怠速控制 (ISC)	81
一、旁通空气式	81
二、节气门直动式	89
第二节 发动机的污染控制	89
一、废气再循环控制	89
二、活性炭罐蒸发污染控制	92
第三节 进气与增压控制	92
一、谐波进气增压控制系统	92
二、可变进气控制系统	93
三、废气涡轮增压系统	94
第四节 电动燃油泵的控制	94

一、油泵继电器的控制·····	94	七、专用测试仪·····	135
二、油泵转速的控制·····	95	八、多功能信号模拟检测仪·····	139
第五节 故障的自诊断系统·····	97	九、第二代车载式微机诊断系统 OBD-Ⅱ·····	140
第六节 安全保险功能和后备系统·····	98	·····	140
一、安全保险功能·····	98	第二节 故障诊断的基本方法和注意事项·····	144
二、后备系统·····	99	·····	144
第七章 发动机集中控制系统实例·····	100	一、故障诊断的基本程序·····	144
第一节 日本丰田系列 TCCS 发动机		二、故障征兆的模拟试验法·····	146
控制系统·····	100	三、故障征兆表诊断法·····	147
一、皇冠 3.0 车 2JZ—GE 型发动机		四、常见故障的判断方法·····	152
控制系统·····	100	五、使用维修注意事项·····	156
二、凌志 LS400 车 1UZ—FE 型发动机		第三节 发动机故障码自诊断法·····	158
控制系统·····	111	一、故障的识别与存储·····	158
第二节 北京切诺基 2.5L、4.0L		二、故障码的读取方法·····	158
发动机控制系统·····	118	三、故障码的显示方法·····	160
一、系统组成·····	118	四、故障码的清除·····	163
二、控制原理·····	122	五、故障码的诊断方法·····	164
第八章 发动机集中控制系统故障诊断与检修·····	130	第四节 主要系统及零部件的故障诊断	
第一节 常用工具与专用检测仪器·····	130	与维修·····	165
一、跨接线·····	130	一、主要部件故障对发动机工作的影响·····	165
二、测试灯·····	130	二、连接器端子名称与检测数据·····	166
三、万用表·····	131	三、发动机电控系统主要部件故障	
四、真空测量仪·····	133	的检修·····	170
五、燃油压力测量仪·····	134	第五节 发动机控制系统故障实例·····	180
六、喷油器清洗器·····	135	附录 名词缩写与注释·····	184
		参考文献·····	189

第一章 绪 论

汽车是当今社会最重要的交通工具之一。随着新兴科学技术领域的不断创新,尤其是计算机、电子控制、人工智能、生物工程、网络通信等高新技术的迅速发展,对汽车工业的发展产生了巨大的影响和渗透。汽车产业的快速发展也使相关的高新技术产业从中得到了最大的收益。

从 90 年代开始,汽车已步入了一个全新的电子时代。各国汽车研究人员普遍认识到,采用电子技术是解决汽车面临诸多技术难题的最佳方案。电子技术已成为未来汽车厂的产品竞争中能否掌握主动权的关键,今后汽车产业的技术竞争实质上就是汽车电子技术的竞争。由此可以断言,汽车产业将成为世界范围内的高新技术产业发展和运作的最好合作伙伴。

目前,电子技术在汽车上的应用主要以微处理机对各种工作过程进行控制为主要特征。微处理机实质上就是一种比较简单、便宜的单片计算机。它把中央处理单元(CPU)、存储器和输入输出接口电路集成在一块芯片上。微处理器工作时,通过各种传感器接受各种输入信号,经过分析、计算后再向执行机构发出指令,控制机械装置动作。由于汽车运行时,发动机和传动机构的工作过程相当复杂,因此,要对其进行适时控制,传统的机械机构已力不从心,而微处理器在这方面却能大显身手。

第一节 汽车电子技术现状与发展

国外汽车运用电子技术从 60 年代开始,而大规模的运用在 90 年代以后。从汽车电子化发展进程来看,可分为三个阶段。第一阶段,从 60 年代中期到 70 年代末期,汽车上运用电子技术主要是对汽车电气产品进行电子技术改造,以改善部分性能。如晶体管电压调节器、交流发电机及晶体管点火装置等。进入本世纪 70 年代,随着汽车工业的快速发展,汽车需求数量呈直线增长,汽车排放公害日益严重、能源危机问题日益突出,以及汽车的安全问题,迫使各国政府出台相应的法规,使各国汽车生产厂家无不感到巨大压力,而传统的常规方法已对此无能为力。所幸的是,从 70 年代末期到 90 年代中期,由于电子工业的长足发展,特别是集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路技术的飞速发展,为人们在汽车上广泛采用电子技术提供了可能,形成汽车电子技术发展的第二阶段。这一阶段的主要特征是:广泛采用机电一体化装置解决机械系统无法解决的复杂过程自动控制问题,强调解决汽车的安全、污染及节能三大问题,从而引发了世界范围内汽车技术革命,给汽车工业带来了划时代的变革。第三个阶段,应从 90 年代中期至今,预计可延续到 2010 年。其特征是强调以人-车-环境为主线的系统工程整体优化,主要体现在智能化上。随着人工智能技术的飞速发展,将人工智能用于汽车系统控制在现实社会中已成为不争的事实。可以相信,随着电子技术、信息技术、能源技术、新材料技术、人体科学及其他新兴科学技术的进一步发展,将会提供满足未来汽车发展需求的各种高新技术,使得汽车不仅在高速公路上行驶,而且将在信息高速公路上奔驰;不仅成为人们可靠的交通工具,还将变成人际间交往的流动办公室和舒适的休闲娱乐室,成为人类社会活动中的重要场所。

此外，可以认为汽车电子化的程度是衡量一个国家汽车生产技术的标准。从每辆车所使用的电子设备价格比来看，1991年平均每辆汽车消耗电子产品的费用占整车价格的10%，1998年接近15%，2003年将提高到20%，某些车型可能会更高。1990年在汽车上使用的CPU的平均数量是14个，而到2000年，在汽车上使用的CPU的平均数量将是35个，且CPU的类型将逐渐从8位机、16位机发展到32位机，将使汽车电子控制系统的控制功能变得更为强大。随着CPU、传感器和执行器数量的增多，汽车电气系统中的电线数量将会达千根以上，传统的连线方式易使汽车线路故障增多而很难诊断故障所在，目前由德国BOSCH公司推出的CAN现场控制总线技术正在被欧洲汽车厂商看好且广泛采用。其次，由于光纤电缆具有抗电磁干扰能力强、信号传输速度快等优点，光纤电缆也将逐渐取代传统的同轴电缆，以提高汽车电子系统的可靠性。

值得注意的是，在1997年计算机分销商展示会上第一次亮相的“网络汽车”，已完全突破了传统意义上汽车的概念，其意义深远，使人们感受到了其强大的冲击力。“网络汽车”集成了现代高科技的硬件和软件技术，包括语音识别、无线电通信、全球定位系统（GPS）、夜视技术，平视显示技术、神经网络技术、网络访问与协作及其国际互联网（Internet）和局域网（Intranet）等技术，将先进科学技术与现代汽车技术完美地融为一体。该汽车可以独立实现卫星电视通信、国际互联网访问、游戏、虚拟导航、远程诊断与监控、车辆控制、移动办公，先进的人机交互界面及语音识别控制及个人数字助理（PDAs）等功能，由此形成的“网络汽车”新概念令世人瞩目。

第二节 现代汽车电子技术应用概况

纵观近20年汽车技术电子化的发展过程，日益激烈的世界商业汽车市场的竞争，以及节油、排放和安全方面的严重挑战成为当代汽车技术革命巨大的推动力。同时，随着计算机技术愈来愈多地应用于汽车，提供了解决各种挑战和紧迫问题的十分有效的手段，各种车用电控系统应运而生，许多新技术、新设备也层出不穷。目前在汽车上已经使用的电子装置品种已发展到了几十种，它们由品种繁多的传感器、电子控制单元（ECU）、微处理器、存储器、I/O接口、执行机构、显示器和设计软件集合而成，完成了极为复杂的多元控制过程，以改进汽车技术性能来满足现行法规的要求。目前，国外汽车上应用较多、较为成熟的电子控制装置大致可分为四个方面，如表1-1所示。

表 1-1 汽车电子控制装置表

系统	已 采 用	将 采 用
仪表通信	①电子钟 ②电子油耗表 ③电子温度计 ④电子车速里程表 ⑤电子转速表 ⑥旅程计算器 ⑦燃料消耗计 ⑧各种报警（灯丝切断，排气温度，水面，液面，未关门，未系安全带） ⑨电子定时 ⑩电子化图示仪表盘 ⑪电话及其通信装置	①大型电子化薄式仪表盘 ②多路信息传输 ③光纤通信传输 ④惯性导航 ⑤卫星导航 ⑥屏幕显示街道图及交通阻塞状况图 ⑦多功能综合屏幕显示

(续)

系统	已 采 用	将 采 用
发 动 机 及 传 动 系	①交流发电机的整流及集成调节器 ②电子点火(全晶体管式,集成式,无触点分电器式,一体化点火线圈式) ③点火正时控制 ④废气再循环控制(氧传感器) ⑤燃油喷射电子控制 ⑥电子控制化油器 ⑦发动机最佳参数电子控制(空燃比,点火,废气再循环,怠速,爆燃控制,喷射控制等) ⑧柴油机最佳参数电子控制(喷射,进气,正时等) ⑨车速自动控制 ⑩柴油机起停控制 ⑪增压器自动控制 ⑫变速器电子控制 ⑬离合器电子控制 ⑭冷却系电子控制 ⑮冷启动控制 ⑯换挡提示器 ⑰发动机停缸控制 ⑱车速感应的动力转向装置	①发动机气缸电子控制 ②发动机和传动系综合控制 ③无级变速和自适应速度控制 ④热电变换 ⑤蓄电池容量余值显示 ⑥自动巡航系统 ⑦电子控制消声器 ⑧电子控制动力转向
安 全 方 面	①电子防抱制动控制 ②驱动防滑控制装置 ③电子主动悬架控制 ④电子控制四轮转向系统 ⑤安全气囊自控装置 ⑥雨刮器自动控制 ⑦速度控制(限速与恒速) ⑧车窗自动控制 ⑨轮胎气压报警 ⑩防盗报警 ⑪防撞车车间距报警 ⑫未系安全带报警,安全带自动锁紧控制 ⑬明暗灯光控制 ⑭冲撞记录仪 ⑮前大灯控制 ⑯后视镜控制 ⑰电子门锁	①路面状态显示 ②防碰撞自动控制 ③死角处障碍物报警 ④安全雷达 ⑤制动管路故障应急制动 ⑥睡眠检测报警 ⑦司机突病时自控 ⑧电子操纵紧急制动 ⑨酒醉检测安全自控 ⑩后视摄像及屏幕显示 ⑪声音合成报警系统 ⑫故障预警提示系统 ⑬倒车测距系统
舒 适 性 方 面	①空调自动控制 ②座椅自动调整 ③自动照明 ④红外线控制车门开关 ⑤车窗,车门自动开关(声控) ⑥高级立体音响 ⑦无线电调谐自动预选 ⑧无钥匙开车 ⑨车用电视机及音响	①全自动空调(温度,湿度,清洁度,含氧量)系统 ②道路交通信息指示表 ③行驶路线最优化选择控制 ④声控驾驶

此外，在不同的车型上，其组合形式和控制项目各有异同。如有的车型将发动机控制系统和自动变速器控制系统共用一个ECU控制，有的车则各自用一个ECU控制；大多数车型点火控制均由发动机ECU控制，但有的车型则单独由点火ECU控制；大多数车型怠速控制由发动机ECU控制，但有的车型则将定速/怠速/加速控制共同由一个ECU控制；其次，在控制项目上不同车型也各有取舍，形成高、中、低三个档次。

第三节 汽油发动机集中控制系统的类型及控制内容

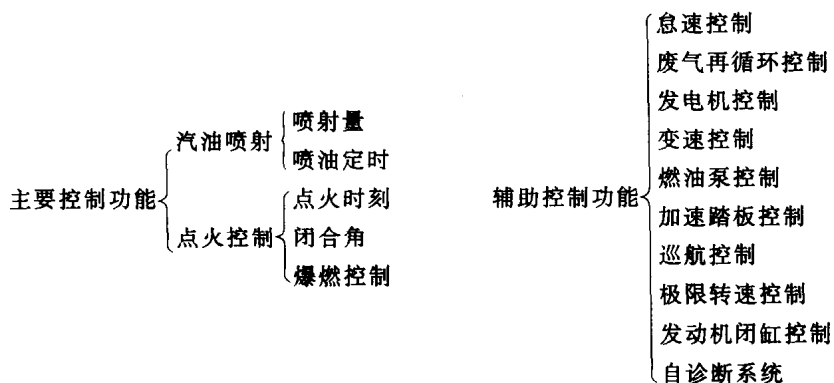
汽油发动机可燃混合气的空燃比和点火时刻是影响发动机动力性、经济性、和排气净化性能的两个主要因素，因此精确地控制发动机的空燃比和点火时刻是发动机控制系统的主要内容。需要特别指出的是，从60年代后期到70年代，由于汽车电控系统多采用模拟电路的ECU，故对汽车的某一系统控制多采用单独控制模式，其缺点是很难实现汽车多系统同步适时控制，且线路复杂、成本高。其次，多个系统，多个ECU，同一种信号几个单独控制系统中的ECU均需要时，必须同时配备几个相同的传感器，势必会造成系统结构复杂、维修困难、控制效果差及可靠性较低等问题。随着电子技术的飞速发展，数字电路及大规模集成电路技术的广泛运用，微处理器的速度不断提高使得将汽车控制集中化成为可能，即将多项目控制集中在一个ECU上完成，不同控制功能所共需的传感器也只设置一个，这种控制方式顾名思义称为集中控制系统，现已在现代汽车上得到广泛应用。

发动机的控制系统亦是从单独控制系统发展到今天的集中控制系统的。1979年是发动机电子控制技术硕果累累的一年，也是汽油机电子控制系统从单独控制系统发展到集中控制系统的一年。表1-2列出了世界主要汽车公司汽油机电子控制系统的应用情况。

表 1-2 世界主要汽车公司汽油机电子控制系统

控制类型	公 司	系统名称	应用年份	主 要 控 制 功 能
单独控制系统	博世	D-Jectronic	1967	燃油多点喷射
	博世	L-Jectronic	1973	燃油多点喷射
	克莱斯勒	ELBS	1976	点火时刻
	通用	MISAR	1977	点火时刻
	福特	EEC	1977	点火时刻、废气再循环
	博世	LH-Jectronic	1981	燃油多点喷射
	博世	KE-Jectronic	1982	燃油多点喷射
集中控制系统	博世	Motronic	1979	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	通用	EFI	1979	燃油多点喷射、点火时刻、怠速
	福特	EEC-III	1979	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	日产	ECCS	1979	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	克莱斯勒	EFI	1980	燃油多点喷射、点火时刻
	丰田	TCCS	1980	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	三菱	ECI	1980	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	通用	DEFI (TBI)	1980	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	五十铃	J-TEC	1981	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	日野	ET	1981	燃油多点喷射
	卢卡斯	EMS	1982	燃油多点喷射、点火时刻、怠速、废气再循环
	博世	Mono-Jetronic	1983	燃油多点喷射

就发动机控制系统而言，无论是单独控制系统还是集中控制系统，其主要控制对象均为燃油喷射和点火控制，再根据不同车型或多或少地增加一些辅助控制功能。以下列举了发动机集中控制系统常见的主要控制功能和辅助控制功能，其基本控制原理将在第四章中详细阐述。本书上册主要介绍汽车发动机集中控制系统。



第二章 发动机集中控制系统概述

第一节 燃油喷射的基本概念和发展过程

一、燃油喷射的基本概念

为了使汽油发动机正常运转，必须为其提供连续可燃的空气汽油混合气。直接或间接测量进入汽油机的空气量，并按规定的空燃比计量汽油的供给量，这一过程就称为燃油配给。汽油机的燃油配给类型，可根据汽油的供给方式分为化油器式和燃油喷射式两种。

如图 2-1 所示，化油器式的燃油配给过程是利用空气流经节气门上方喉管处产生的真空度将燃油从浮子室中连续吸出且进行混合后，再被吸入气缸内燃烧做功使发动机运转。而燃油喷射控制系统则是根据直接或间接测量的空气进气量，确定燃烧所需的汽油量并通过控制喷油器开启时间来进行精确配制，使一定量的汽油以一定压力通过喷油器喷射到发动机的进气道或气缸内与相应空气形成可燃混合气。

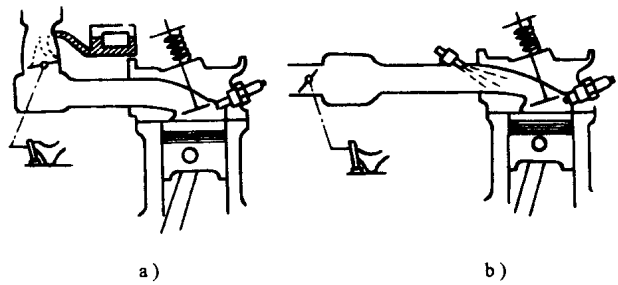


图 2-1 燃油配给两种方式比较

a) 化油器供油 b) 汽油喷射供油

特别强调的是，由于燃油喷射式的燃油配给方式可以精确控制可燃混合气的空燃比，所以可有效提高和改善发动机的动力性、经济性，达到排气净化的目的。

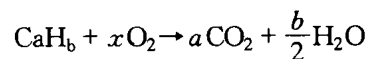
二、汽油发动机对可燃混合气的要求

可燃混合气的成分通常可用空燃比来表示。它对发动机动力性、经济性及排放性均有较大的影响。下面我们着重讨论空燃比与发动机性能的关系。

1. 空燃比对发动机性能的影响

我们通常把进入发动机的空气质量与燃油质量之比称做空燃比，一般用 A/F 表示。

燃油供给装置的作用就是向进气管提供一定比例的燃油，且与进气管内的空气混合后形成可燃混合气。可燃混合气在气缸内燃烧，其过程可按下面的化学反应式进行：



由此分析，汽油完全燃烧并生成 CO_2 和 H_2O 时的空燃比称为理论空燃比，约为 14.7 左右。但在实际的发动机燃烧过程中，燃烧 1kg 燃油所消耗的空气不一定是理论所需求的空气量，它与发动机的结构与使用工况密切相关，所供的实际空气量可能大于或小于理论空气量。此外，通常我们把实际空气量与理论空气量的比值称为过量空气系数。 $\lambda = 1$ 时，即为理论空燃比， $\lambda > 1$ 时，称为稀混合气，反之，则称为浓混合气。

空燃比对发动机性能的影响如图 2-2a 所示。根据分析得知，当空燃比约为 12.5 时，由

于其燃烧速度最快，发动机所产生的转矩最大，故发动机的动力性最好，所以又称其为功率空燃比。当空燃比约为 16 时，由于混合气较稀，有利于汽油完全燃烧，故可降低发动机的油耗。因为此时发动机的经济性最好，故又称其为经济空燃比。

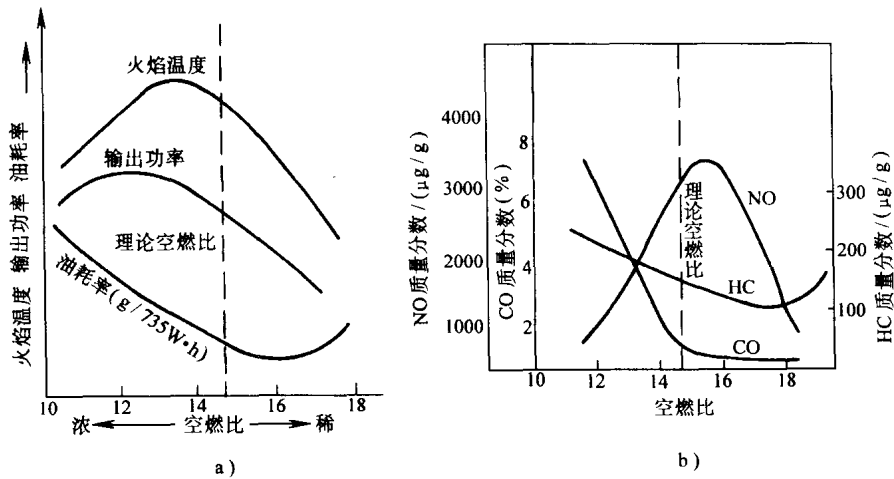


图 2-2 空燃比与发动机转矩、油耗率、有害排放物排放质量分数之间关系

a) 空燃比与温度与输出功率和油耗率的关系 b) 空燃比与有害排放物质量分数的关系

由于燃烧后排出的排气成分除 CO_2 和 H_2O 外，还有空气中没参与燃烧的 N_2 ，剩余的 O_2 ，完全没被燃烧的 HC，燃烧不完全的 CO 及高温富氧条件下燃烧生成的 NO_x 。此外，从图中还可看到 CO、HC 及 NO_x 三种有害成分的质量分数随空燃比的变化趋势。其中 CO 和 HC 以理论空燃比界，随着混合气变浓而逐渐上升，而在空燃比略大于理论空燃比的区域内，CO 及 HC 的质量分数均比较低。但由于 NO_x 是高温富氧的产物，故在此范围内将出现最大值。

由此可见，发动机的性能与空燃比有着密切的关系，但影响的程度和变化规律各不相同。所以，如何精确控制混合气的空燃比是比较复杂而且非常重要的问题。

2. 发动机各种工况对混合气的要求

发动机在实际运行过程中，其工况在工作范围内是不断变化的，且在工况变化时，发动机对可燃混合气空燃比的要求也是不同的。

(1) 稳定工况对混合气的要求 发动机的稳定工况是指发动机已经完全预热，进入正常转动，且在一定时间内转速和负荷没有突然变化的情况。稳定工况又可分为怠速、小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷等几种。

1) 怠速和小负荷工况。怠速工况是指发动机在对外无功率输出且以最低稳定转速运转的情况。此时，混合气燃烧后所做的功，只用于克服发动机内部的阻力，并使发动机保持最低转速稳定运转。汽油机怠速转速一般为 $300 \sim 1000 \text{r/min}$ 。在怠速工况下，节气门处于关闭状态，此时，吸入气缸内的可燃混合气不仅数量极少，而且汽油雾化蒸发也不良，进气管中的真空度很高，当进气门开启时，缸内压力仍高于进气管压力；结果使得气缸内的混合气废气率较大。此时，为保证混合气能正常燃烧，就必须提高其浓度，如图 2-3 中的 A 点。随着负荷的增加和节气门略开大而转入小负荷工况时，吸入混合气的品质逐渐改善，所以在小负荷工况时，发动机对混合气成分的要求如图 2-3 中的 AB 线段所示。也就是说，发动机在

小负荷运行时，供给混合气也应加浓，但加浓的程度随负荷的增加而减小。

2) 中等负荷工况。汽车发动机的大部分工作时间都处于中等负荷状态。此时，节气门已有足够大的开度，上述影响因素已不复存在，因此可供给发动机较稀的混合气，以获得最佳的燃油经济性。这种工况相当于图 2-3 中的 BC 段，空燃比约为 16~17。

3) 大负荷和全负荷工况。在大负荷时，节气门开度已超过 3/4，此时应随着节气门开度的开大而逐渐地加浓混合气以满足发动机功率的要求，如图 2-3 中的 CD 段。但实际上，在节气门尚未全开之前，如果需要获得更大的转矩，只要把节气门进一步开大就能实现，没有必要使用功率空燃比来提高功率，而应当继续使用经济混合气来达到省油的目的。因此，在节气门全开之前所有的部分负荷工况都应按经济混合气配给。只是在全负荷工况时，节气门已经全开，此时为了获得该工况下的最大功率必须供给功率混合气，如图 2-3 中的 D 点。在从大负荷过渡到全负荷工况的过程中，混合气的加浓也是逐渐变化的。

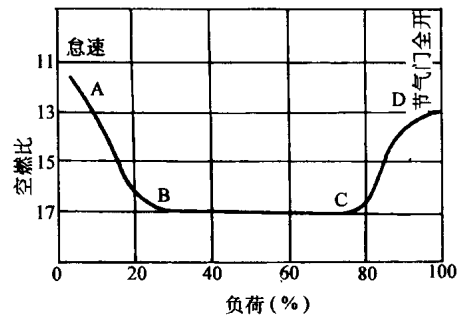


图 2-3 汽油机负荷变化时所需的混合气空燃比

(2) 过渡工况对混合气的要求 汽车在运行中的主要过渡工况可分为冷起动、暖机、加速和减速等三种形式。

1) 冷起动。冷机起动时，发动机要求供给很浓的混合气，以保证混合气中有足够的汽油蒸气，使发动机能够顺利起动。但在冷起动时燃料和空气的温度很低，汽油蒸发率很小，为了保证冷起动顺利，要求混合气的空燃比可浓到 2:1，才能在气缸内形成可燃混合气。

2) 暖机。发动机冷机起动后，各气缸开始依次点火而做功，发动机温度逐渐上升，即暖机。发动机在暖机过程中，由于温度较低燃油雾化较差，因此也需要 A/F 较小的浓混合气，而且随着发动机温度增加而空燃比逐渐增大，直至达到正常工作温度时为止，发动机进入怠速工况。

(3) 加速和减速 发动机的加速是指发动机的转速突然迅速增加的过程。此时，驾驶员猛踩加速踏板，节气门开度突然加大，进气管压力随之增加，由于汽油的流动惯性和进气管压力增大后汽油蒸发量的减少，大量的汽油颗粒被沉积在进气管壁面上，形成厚油膜，而进入缸内的实际混合气则瞬时被稀释，严重时会出现过稀，使发动转速下降。为了避免这一现象发生，在发动机加速时，应向进气管喷入一些附加汽油以弥补加速时的暂时稀释，以获得良好的加速性。

当汽车减速时，驾驶员迅速松开加速踏板，节气门突然关闭，此时由于惯性作用发动机仍保持很高的转速，因此进气管真空度急剧增高，促使附着在进气管壁面上的汽油蒸发气化，并在空气量不足的情况下进入气缸内，造成混合气过浓，严重时甚至熄灭。因此，在发动机减速时，应供给较稀的混合气，以避免这一现象产生。

据以上分析，燃油喷射控制系统最重要的控制目标应该是：精确控制发动机的空燃比，以满足发动机在各种工况和条件下所需最佳空燃比的要求。这也正是化油器式的燃油供给系统所无法完全做到。

三、燃油喷射的发展过程

在排气净化和节油两个主要因素的制约下，汽油发动机的燃油喷射系统经历了近半个世纪的不断完善和发展，才逐步形成当今性能卓越电子控制燃油喷射系统，并广泛应用于现代汽车的发动机上。

纵观汽油发动机燃油喷射系统的发展过程，汽油喷射技术早在 30 年代就已应用于航空发动机上，德国 Wright 兄弟首先在他们制造的早期飞机上采用了向进气管连续喷射汽油的混合气制备方法。

1934 年德国研制成功第一架汽油喷射发动机的军用战斗机。二次大战后期，美国开始采用机械式喷射泵向气缸内直接喷射汽油的方法。二次大战后，汽油喷射技术逐渐应用到汽车发动机上。

1952 年，德国 Daimler-Benz 300L 型赛车装用了 Bosch 公司生产的第一台机械控制式汽油喷射装置，它采用气动式混合调节器控制空燃比，向气缸内直接喷射。

1958 年，德国 Bosch 公司和 Kugelfischer 公司共同研制和生产的带燃油量分配器的进气管汽油喷射装置装备在批量生产的 Mercedes 220S 型轿车上。

60 年代以前，车用汽油喷射装置大多采用机械式柱塞泵，其结构和工作原理与柴油机喷油泵十分相似，控制功能也是借助于机械装置实现的，其结构复杂、价格贵，因此发展缓慢，技术上无重大突破，应用范围仅局限于赛车和为数不多的豪华型轿车。

1967 年，德国 Bosch 公司研制开发了 K-Jetronic 机械式汽油喷射系统，由电动燃油泵提供 0.36MPa 低压燃油，经燃油量分配器输往各缸进气管上的机械式喷油器，向进气口连续喷射，采用浮板式空气流量计操纵燃油量分配器中的计量柱塞来控制空燃比。后来，在 K-Jetronic 系统的基础上，经改进成为机电组合式的 KE-Jetronic 汽油喷射系统。

电控汽油喷射 (EFI) 系统的最初设想是从 1953 年美国 Bendix 公司试制电控汽油喷射装置开始的。1957 年，Bendix 公司公布其对电控汽油喷射装置的研究，但该系统并没有付诸应用。后来，德国 Bosch 公司购买该项专利，从 1962 年起着手研究开发电子控制汽油喷射技术，经过几年的努力，于 1967 年批量生产出用进气管绝对压力控制空燃比的 D 型叶特朗克 (D-Jetronic) 电子控制汽油喷射系统，装备在大众汽车公司生产的 VW-1600 型轿车上，开创了汽油喷射电子控制的新时代。

随着汽车排放法规愈来愈严格，要求进一步提高控制精度，完善控制功能。1973 年，德国 Bosch 公司在 D-Jetronic 系统的基础上，经改进发展成为 L-Jetronic 电控汽油喷射系统，用翼板式空气测量计直接测量进气空气体积流量来控制空燃比，比用进气管绝对压力间接控制的方式精度高、稳定性好。1981 年，L-Jetronic 系统又进一步改进，发展成为 LH-Jetronic 系统，采用热线式空气流量计代替机械式空气流量计，直接测出进气空气的质量流量，无需附加专门装置对大气压力和温度变化进行补偿，且进气阻力小，加速响应快。

1979 年，德国 Bosch 公司开始生产集电子点火和电控汽油喷射系统于一体的 Motronic 数字式发动机综合控制系统。与此同时，美国和日本各大汽车公司也相继研制成功与各自车型配套的数字式电子控制汽油喷射系统。如美国 GM 公司的 DEFi 系统，Ford 公司的 EEC-II 系统；日本日产公司的 ECCS 系统，丰田公司的 TCCS 系统，五十铃的 I-TEC 系统等。这些系统能够对空燃比、点火时刻、怠速转速和废气再循环等方面进行综合控制，控制精度愈来愈高，控制功能更趋完善。

为了将电子控制汽油喷射系统进一步推广到普通轿车上,1980年,美国GM公司首先研制成功一种结构简单、价格便宜的TBI节气门体喷射系统。1983年,德国Bosch公司又研制出燃油压力只有0.1MPa的Mono-Jetronic低压中央喷射系统(单点喷射系统)。

电控汽油喷射系统在各方面显示出来的优越性,使之在70年代末80年代初得到迅速发展。1976年至1984年间,各国生产的轿车中采用电控汽油喷射的数量,德国由8%增长到42%;日本由3%增长到18%,至1987年增长到46%;美国1976年电控汽油喷射系统尚未应用在轿车上,至1984年已增长到39%,1985年迅速增长到60%,1988年高达90%。据统计,1987年电控汽油喷射轿车的年产量,美国及加拿大已达700万辆,日本350万辆,澳大利亚20万辆,韩国和巴西也都达到年产10万辆。1988年,美、日、欧电控汽油喷射的车辆分别占当年轿车产量的90%、45%、25%,到1992年则分别达到95%、80%、51%。德国1988年其比例已达到85%,并于1993年10月停止生产化油器发动机轿车而全部采用电控汽油喷射系统。

随着中国加入世贸组织(WTO)的临近,我国已经颁布了有关汽车排放方面的强制性法规,使得汽车发动机电子控制技术的推广应用迫在眉睫。据市场调查,1999年EFI系统的市场需求量是107万套,而2000年将达到145万套。相比而言,我国对电子控制燃油喷射系统的研制工作,虽在一些大学、科研院所等单位早已展开,但由于种种原因进展不快,且在短时间内还不能自行设计开发,还不能初步形成自行生产EFI系统的生产技术和能力。作为国家民族工业支柱的汽车产业,在向全世界敞开中国汽车市场大门的同时,如何促进我国汽车工业的快速发展,早日成为汽车生产和汽车技术的大国,EFI系统的技术突破和产业化是当前的燃眉之急。

第二节 燃油喷射系统的优点

综上所述,尽管汽车发动机的化油器,可利用空气流经喉管时产生的负压,将汽油连续吸出、雾化、蒸发,与空气混合后形成可燃混合气,同时还可通过一些辅助装置,对不同工况下的混合气浓度进行校正,可基本满足发动机的工作要求。但这种供油方式无法使发动机在燃烧过程中得到最佳空燃比的混合气。特别是在低温、低速状态下,汽油的雾化效果较差,使燃烧室内所获的混合气空燃比有较大的误差,而且不能保证各缸供油均匀,造成发动机冷起动性能较差。此外,由于传统化油器无法根据进气量对燃油进行精确计量和控制,因此无法达到现代汽车的设计标准,严重影响了汽油机性能的进一步提高。

与此不同的是,电子控制燃油喷射系统由于采用了电子控制方式,可根据每循环的进气量对各缸所需的燃油喷射量进行精确计量和控制,并且ECU还可根据执行结果,来改变控制目标,从而实现闭环反馈控制过程。为了进一步提高控制精度,一些燃油喷射控制系统中,在反馈控制基础上,增加了学习控制并自行进行修正。从而极大地改善了发动机的工作性能和控制系统的控制精度、稳定性和可靠性。相比而言,燃油喷射系统应具有以下几方面的优点:

1) 燃油喷射系统可直接或间接地测量发动机的进气量,进而精确计量出发动机燃烧所需的供油量,并同时根据发动机负荷、温度等参数进行适时修正,以此精确控制发动机各种工况下的空燃比,实现发动机的最优控制,有效提高其动力性、经济性和排气净化程度。