



高职高专规划教材

# 汽车发动机 电控技术

主 编 张西振  
主 审 林为群



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高职高专规划教材

# 汽车发动机电控技术

主编 张西振  
主审 林为群



机械工业出版社

本书系统阐述了汽车用汽油机电控系统的结构、原理、故障诊断与检修方法，并对正在推广应用的汽车用柴油机电控技术和有发展前途的燃气发动机电控技术作了介绍。全书共分七章，内容包括：汽车发动机电控技术概述、汽油机电控燃油喷射系统、汽油机电控点火系统、汽油机辅助控制系统、汽油机电控系统常见故障诊断与检修、柴油机电控技术简介、燃气发动机电控技术简介。

本书适合高职高专汽车电子技术与控制专业教学，也可作为交通运输类其他专业同类课程教材，同时也可作为汽车维修、汽车检测等工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目

汽车发动机电控技术 张西振主编 机械工业出版社，2004.1  
高职高专规划教材  
ISBN 7-111-13691-0

I. 汽... I. 张... III. 汽车—发动机—电气控制—高等学校：技术学校—教材 N.U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 120152 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：朱 华 版式设计：冉晓华 责任校对：李秋荣  
封面设计：饶 薇 责任印制：路 琳  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2004 年 2 月第 1 版第 1 次印刷  
787mm×1092mm 1/16·14 印张·346 千字  
定价：20.00 元

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、88379646  
封面无防伪标均为盗版

# 高职高专汽车类专业系列

## 教材编委会

<b>主任:</b> 天津交通职业学院	靳和连
<b>副主任:</b> 天津交通职业学院	林为群
机械工业出版社	王世刚
承德石油高等专科学校	王世震
黑龙江工程学院	孙凤英
长春汽车工业高等专科学校	李春明
江西交通职业技术学院	邹小明
<b>委员:</b> 北京汽车工业学校	么居标
河南机电职业技术学院	娄云
辽宁交通高等专科学校	张西振
辽宁交通高等专科学校	毛峰
承德石油高等专科学校	郝军
河北工业职业技术学院	顾振华
郑州工业高等专科学校	李焕锋

# 前 言

中共中央、国务院在第三次全国教育工作会议，做出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务，以适应社会需要为目标，要体现地区经济、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。机械工业出版社组织全国 11 所职业技术学院有多年高职高专教学经验的老师编写了高职高专汽车电子技术专业、汽车贸易专业两套教材。

两套教材是根据高中毕业 3 年制（总学时 1600~1800）、兼顾 2 年制（总学时 1100~1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。突出针对性和实用性，强化实践教学。

随着汽车电子技术的日趋完善，时至今日，汽车电子化已达到相当高的程度。本教材不仅对应用广泛的车用汽油发动机电控技术进行了系统、详细的阐述，而且对近年来发展迅速、日趋成熟的车用柴油机电控技术也作了详细介绍。此外，为使学生和读者了解未来汽车电子技术的新知识，还对被称为“绿色汽车”动力装置的燃气发动机电控技术作了介绍。本书编写过程中，充分考虑了目前国内高职高专教育的特点，力求从生产一线对该专业人才知识、能力的需要出发，本着理论知识必需、够用的原则，重点对发动机电控系统的基本组成、主要元件结构和工作原理、常见故障诊断方法、检修方法进行介绍，并列举了常见发动机电控系统实例以加强针对性。同时，也介绍了正在推广应用和正在研制但尚未成熟的发动机电控技术，以便使读者了解更多的汽车新技术知识。

全书共七章，由辽宁交通高等专科学校张西振副教授主编，天津交通职业学院林为群副教授主审，其他参编人员有：长春汽车工业高等专科学校焦传君、河南机电高等专科学校娄云、黑龙江工程学院于春鹏、辽宁省交通高等专科学校沈沉、惠有利、王丽梅、田有为、毛峰、项仁峰、李培军等。

由于时间仓促和水平所限，书中不当甚至错误在所难免，恳请使用本教材的师生和读者批评指正，在此对本书参考文献的作者表示诚挚的谢意。

高职高专汽车类专业系列教材编委会

# 目 录

## 前言

<b>第一章 汽车发动机电控技术概述</b> .....	1
第一节 发动机电控技术的发展 .....	1
第二节 应用在发动机上的电子控制系统 .....	2
第三节 发动机电控系统的基本组成 .....	4
<b>第二章 汽油机电控燃油喷射系统</b> .....	7
第一节 电控燃油喷射系统概述 .....	7
第二节 电控燃油喷射系统的功能 .....	11
第三节 电控燃油喷射系统的组成与基本原理 .....	16
第四节 空气供给系统主要元件的构造与检修 .....	18
第五节 燃油供给系统主要元件的构造与检修 .....	20
第六节 控制系统主要元件的构造与检修 .....	28
<b>第三章 汽油机电控点火系统</b> .....	45
第一节 电控点火系统的功能 .....	45
第二节 电控点火系统的组成与工作原理 .....	51
第三节 电控点火系统主要元件的构造与检修 .....	59
<b>第四章 汽油机辅助控制系统</b> .....	64
第一节 怠速控制系统 .....	64
第二节 进气控制系统 .....	72
第三节 增压控制系统 .....	78
第四节 排放控制系统 .....	79
第五节 巡航控制及电控节气门系统 .....	89
第六节 冷却风扇及发电机控制系统 .....	98
第七节 故障自诊断系统 .....	99
第八节 失效保护系统 .....	104
第九节 应急备用系统 .....	105

## 第五章 汽油机电控系统常见故障诊断与检修

第一节 注意事项 .....	107
第二节 故障诊断与检修常用工具 .....	108
第三节 故障诊断与检修常用仪器 .....	111
第四节 故障诊断基本方法 .....	115
第五节 电路及电控元件故障诊断 .....	121
第六节 常见车型故障码调取与清除 .....	128
第七节 电控燃油喷射发动机常见故障诊断程序 .....	144

## 第六章 柴油机电控技术简介

第一节 概述 .....	153
第二节 柴油机电控燃油喷射系统的功能与组成 .....	155
第三节 柴油机供(喷)油量控制 .....	159
第四节 柴油机供(喷)油正时控制 .....	165
第五节 柴油机电控燃油喷射系统实例 .....	167

## 第七章 燃气发动机电控技术简介

第一节 概述 .....	178
第二节 两用燃料发动机混合器供气电控系统 .....	184
第三节 混合燃料发动机混合器供气电控系统 .....	188
第四节 电控燃气喷射系统 .....	189
第五节 电控燃气供给系统主要元件 .....	192

## 附录

### 附录 A 常见汽油发动机集中控制系统简介

一、日本丰田车系 TCCS .....	195
二、日本日产车系 ECCS .....	198
三、日本本田车系 PGM-FI 系统 .....	199
四、日本三菱/韩国现代车系 MFI 系统 .....	203
五、美国克莱斯勒车系 MPI 系统 .....	204
六、美国通用/韩国大宇车系 SFI 系统 .....	205

七、美国福特车系 EEC-IV 系统 .....	207
八、德国大众车系 Motronic 系统 .....	208
九、德国奔驰车系 LH/EZL 系统 .....	210

<b>附录 B 汽车发动机电控系统常用</b>	
<b>英文缩写</b> .....	213
<b>参考文献</b> .....	218



# 第一章 汽车发动机电控技术概述

## 第一节 发动机电控技术的发展

### 一、发动机电控技术的发展

电子技术与汽车技术的结合形成了一门新技术——汽车电子技术，随着汽车技术和电子技术的发展，汽车电子技术也得到了迅速发展。汽车电子技术已成为一个国家汽车工业发展水平的标志。

汽车电子技术的发展始于20世纪60年代，可分为三个阶段：第一阶段，从20世纪60年代中期到70年代中期，主要是为改善部分性能而对汽车电器产品进行的技术改造，如1955年汽车上装用了第一个电子装置——晶体管收音机，1960年美国克莱斯勒公司和日本日产公司在汽车上装用了硅二极管整流的交流发电机，同年美国通用公司将IC（集成电路）调节器应用于汽车上。20世纪70年代末期到90年代中期是汽车电子技术发展的第二阶段。进入20世纪70年代后，随着汽车数量的日益增多，汽车安全问题和排放污染日益严重，能源危机的影响更加突出。在汽车发达国家相继制定了严格的排放法规和汽车燃油经济性法规，为解决汽车安全、污染和节能三大问题，电子技术在汽车上的应用更加广泛和完善，如1967年德国BOSCH公司研制出电控汽油喷射系统，1970年美国福特汽车公司首先在汽车上应用了除发动机以外的电控装置——电子控制防滑（防抱死）制动装置，1973年美国通用公司在汽车上装用了IC点火装置，1976年美国克莱斯勒公司在汽车上首先装用了电控点火系统。20世纪90年代中期以后为汽车电子技术发展的第三阶段，随着社会和汽车相关科学技术的进一步发展，电子技术在汽车上的应用已逐步扩展到车用汽油发动机以外的底盘、车身和车用柴油发动机多个领域，各种车用电控系统日趋完善。时至今日，汽车电子化已达到相当高的程度，国外纯电动轿车已投入使用，我国纯电动轿车2004年也要实现产业化，电子技术在汽车上的应用越来越普遍。

目前汽车发动机上常用的电控系统主要有：电控燃油喷射系统（EFI）、电控点火系统（ESA）、怠速控制系统（ISC）、排放控制系统、进气控制系统、增压控制系统、警告提示系统、自我诊断与报警系统、失效保护系统和应急备用系统等。

早期的各种车用电控系统均是相互独立的，由于电子技术的发展水平有限，一个电子控制系统只能单独对汽车的某一功能进行控制。采用多个控制系统，就要用多个电子控制单元（ECU），而几个控制系统都需要同一个传感器信号时，还需设置几个同样的传感器，所以造成控制系统的结构和线路复杂，成本较高，维修困难。此外，采用独立控制系统，很难实现全面的综合优化控制，控制效果也较差。现代汽车上广泛应用的是集中控制系统，它是将多种控制功能集中到一个控制单元（ECU）上，使汽车上的电控系统结构和线路大大简化，成本也随之降低，为电控技术在汽车上的普及推广提供了有利条件。通过汽车内部网络的信息通讯完成系统之间的各种必要的信息传送与接收，实现高度集中控制及集中故障诊断的“整车控制技术”是汽车电子控制技术发展的必然趋势。



## 二、电控技术对发动机性能的影响

众所周知，汽车发动机的运行工况是多变的，只有电子控制的灵活性和电脑强有力的综合处理功能，才能使发动机在各种运行工况下实现全面优化运行，从而提高发动机的性能。

### 1. 提高发动机的动力性

在汽油发动机上，电控燃油喷射系统取代了传统的化油器式燃料供给系，减小了进气系统中的进气阻力，部分发动机上还采用了进气控制系统等，提高了充气效率，而且电控系统可保证进入发动机气缸的空气得到充分利用，从而提高发动机的动力性。

### 2. 提高发动机的燃油经济性

在各种运行工况和运行环境下，电控系统均能精确控制发动机工作所需的混合气浓度，使燃烧更完全、燃油利用更充分，从而提高发动机的燃油经济性。

### 3. 降低排放污染

电控系统对发动机在各种运行工况和运行环境下优化控制，提高了燃烧质量，同时各种排放控制系统在汽车上的应用，都使发动机的排放污染大大降低。

### 4. 改善发动机的加速和减速性能

在加速或减速运行的过渡工况下，电子控制单元的高速处理功能，使控制系统能够迅速响应，使汽车加速或减速反应更灵敏。

### 5. 改善发动机的起动机性能

在发动机起动和暖机过程中，控制系统能根据发动机温度变化，对进气量和供油量进行精确控制，从而保证发动机顺利起动和平稳经过暖机过程，可明显改善发动机的低温起动机性能和热机运转性能。

此外，电控系统对发动机各种运行工况的优化控制和电控系统的不断完善，使发动机的故障发生率大大降低。自我诊断与报警系统的应用，提高了故障诊断的速度和准确性，缩短汽车因发动机故障而停驶的时间，具有良好的社会效益和经济效益。

## 第二节 应用在发动机上的电子控制系统

目前，汽车上广泛应用的是集中控制系统，应用在发动机上的子控制系统主要包括电控燃油喷射系统、电控点火系统和其他辅助控制系统。

### 一、电控燃油喷射系统

在电控燃油喷射（EFI）系统中，喷油量控制是最基本的也是最重要的控制内容，电子控制单元（ECU）主要根据进气量确定基本的喷油量，再根据其他传感器（如冷却液温度传感器、节气门位置传感器等）信号对喷油量进行修正，使发动机在各种运行工况下均能获得最佳浓度的混合气，从而提高发动机的动力性、经济性和排放性。除喷油量控制外，电控燃油喷射系统还包括喷油正时控制、断油控制和燃油泵控制。

### 二、电控点火系统

电控点火系统（ESA）最基本的功能是点火提前角控制。该系统根据各相关传感器信号，判断发动机的运行工况和运行条件，选择最理想的点火提前角点燃混合气，从而改善发动机的燃烧过程，以实现提高发动机动力性、经济性和降低排放污染的目的。此外，电控点火系统还具有通电时间控制和爆燃控制功能。

### 三、怠速控制系统

怠速控制 (ISC) 系统是发动机辅助控制系统, 其功能是在发动机怠速工况下, 根据发动机冷却液温度、空调压缩机是否工作、变速器是否挂入挡位等, 通过怠速控制阀对发动机的进气量进行控制, 使发动机随时以最佳怠速转速运转。

### 四、排放控制系统

其功能主要是对发动机排放控制装置的工作实行电子控制。排放控制的项目主要包括: 废气再循环 (EGR) 控制, 活性炭罐电磁阀控制, 氧传感器和空燃比闭环控制, 二次空气喷射控制等。

### 五、进气控制系统

进气控制系统的功能是根据发动机转速和负荷的变化, 对发动机的进气进行控制, 以提高发动机的充气效率, 从而改善发动机动力性。

### 六、增压控制系统

增压控制系统的功能是对发动机进气增压装置的工作进行控制。在装有废气涡轮增压装置的汽车上, ECU 根据检测到的进气管压力, 对增压装置进行控制, 从而控制增压装置对进气增压的强度。

### 七、巡航控制系统

驾驶员设定巡航控制模式后, ECU 根据汽车运行工况和运行环境信息, 自动控制发动机工作, 使汽车自动维持一定车速行驶。

### 八、警告提示

由 ECU 控制各种指示和报警装置, 一旦控制系统出现故障, 该系统能及时发出信号以警告提示, 如氧传感器失效、油箱油温过高等。

### 九、自诊断与报警系统

在发动机控制系统中, 电子控制单元 (ECU) 都具设有自诊断系统, 对控制系统各部分的工作情况进行监测。当 ECU 检测到来自传感器或输送给执行元件的故障信号时, 立即点亮仪表盘上的“CHECK ENGINE”灯 (俗称故障指示灯), 以提示驾驶员发动机有故障; 同时, 系统将故障信息以设定的数码 (故障码) 形式储存在存储器中, 以便帮助维修人员确定故障类型和范围。对车辆进行维修时, 维修人员可通过特定的操作程序 (有些需借助专用设备) 调取故障码。故障排除后, 必须通过特定的操作程序清除故障码, 以免与新的故障信息混杂, 给故障诊断带来困难。

### 十、失效保护系统

失效保护系统的功能主要是当传感器或传感器线路发生故障时, 控制系统自动按电脑中预先设定的参考信号值工作, 以便发动机能继续运转。如: 冷却液温度传感器电路有故障时, 可能会向 ECU 输入低于  $-50^{\circ}\text{C}$  或高于  $139^{\circ}\text{C}$  的冷却液温度信号, 失效保护系统将自动按设定的标准冷却液温度信号 ( $80^{\circ}\text{C}$ ) 控制发动机工作, 否则会引起混合气过浓或过稀, 导致发动机不能工作。

此外, 当对发动机工作影响较大的传感器或电路发生故障时, 失效保护系统则会自动停止发动机工作。如: ECU 收不到点火控制器返回的点火确认信号时, 失效保护系统则立即停止燃油喷射, 以防大量燃油进入气缸而不能点火工作。

### 十一、应急备用系统

应急备用系统功能是在当控制系统电脑发生故障时，自动启用备用系统（备用集成电路），按设定的信号控制发动机转入强制运转状态，以防车辆停驶在路途中。应急备用系统只能维持发动机运转的基本功能，但不能保证发动机性能。

除上述控制系统外，应用在发动机上的电控系统还有冷却风扇控制、配气正时控制、发电机控制等。应当说明的是，上述各控制系统在不同的汽车发动机上，只是或多或少地被采用。此外，随着汽车技术和电子技术的发展，发动机控制系统的功能必将日益增加。

### 第三节 发动机电控系统的基本组成

#### 一、电控系统的基本组成及类型

##### 1. 电控系统的基本组成

电子控制系统（简称电控系统）是指采用计算机等电子设备作为控制装置的自动控制系统。任何一种电子控制系统，其主要组成都可分为信号输入装置、电子控制单元（ECU）和执行元件三大部分，如图 1-1 所示。

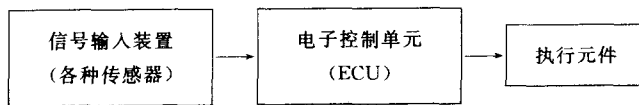


图 1-1 电控系统的基本组成

电子控制系统中的信号输入装置是各种传感器。传感器的功用是采集控制系统所需的信息，并将其转换成电信号通过线路输送给 ECU。

电子控制单元（ECU）是一种综合控制电子装置，其功用是给各传感器提供参考（基准）电压，接受传感器或其他装置输入的电信号，并对所接受的信号进行存储、计算和分析处理，根据计算和分析的结果向执行元件发出指令。

执行元件是受 ECU 控制，具体执行某项控制功能的装置。

##### 2. 电控系统的类型

电子控制系统有两种基本类型：即开环控制系统和闭环控制系统。

开环控制系统的控制方式比较简单，ECU 只根据各传感器信号对执行元件进行控制，而控制的结果是否达到预期目标对其控制过程没有影响。而闭环控制系统除具有开环控制的功能外，还对其控制结果进行检测，并将检测结果（即反馈信号）输入 ECU，ECU 则根据反馈信号对其控制误差进行修正，所以闭环控制系统的控制精度比开环控制系统高。

#### 二、传感器的类型及功用

在控制系统中，传感器是采集并向 ECU 输送信息的装置。目前广泛应用的发动机集中控制系统中，同一传感器的信号，可应用于需要此信号的、不同功能的子控制系统中。不同发动机的控制系统，其控制功能和控制所需的信息不同，使用传感器种类也不完全相同。发动机集中控制系统所用的传感器主要有：

(1) 空气流量计 (MAFS) 在 L 型电控燃油喷射系统中，由空气流量计测量发动机的进气量，并将信号输入 ECU，作为燃油喷射和点火控制的主控制信号。

(2) 进气管绝对压力传感器 (MAPS) 在 D 型电控燃油喷射系统中，由进气管绝对压力传感器测量进气管内气体的绝对压力，并将该信号输入 ECU，作为燃油喷射和点火控制的主

控制信号。

(3) 节气门位置传感器 (TPS) 节气门位置传感器检测节气门的开度及开度变化, 如全关 (怠速)、全开及节气开闭的速率 (单位时间内开闭的角度) 信号, 此信号输入 ECU, 用于燃油喷射控制及其他辅助控制 (如 EGR、开闭环控制等)。

(4) 凸轮轴位置传感器 (CMPS) 凸轮轴位置传感器给 ECU 提供曲轴转角基准位置信号 (G 信号), 作为喷油正时控制和点火正时控制的主控制信号。

(5) 曲轴位置传感器 (CKPS) 曲轴位置位置传感器有时称为转速传感器, 用来检测曲轴转角位移, 给 ECU 提供发动机转速信号和曲轴转角信号, 作为喷油正时控制和点火正时控制的主控制信号。

(6) 进气温度传感器 (IATS) 进气温度传感器的功用是给 ECU 提供进气温度信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。

(7) 发动机冷却液温度传感器 (ECTS) 冷却液温度传感器给 ECU 提供发动机冷却液温度信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。冷却液温度传感器信号也是其他控制系统 (如怠速控制和废气再循环控制等) 的控制信号。

(8) 车速传感器 (VSS) 车速传感器检测汽车的行驶速度, 给 ECU 提供车速信号 (SPD 信号), 用于巡航控制和限速断油控制, 也是自动变速器的主控制信号。

(9) 氧传感器 (O<sub>2</sub>S) 氧传感器用来检测排气中的氧含量, 向 ECU 输送空燃比的反馈信号, 进行喷油量的闭环控制。

(10) 爆燃传感器 (KS) 爆燃传感器用来检测汽油机是否爆燃及爆燃强度, 将此信号输入 ECU, 作为点火正时控制的修正 (反馈) 信号。

(11) 起动开关 (STA) 发动机起动时, 通过起动开关给 ECU 提供一个起动信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。

(12) 空调开关 (A/C) 当空调开关打开, 空调压缩机工作, 发动机负荷加大时, 由空调开关向 ECU 输入信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。

(13) 挡位开关 自动变速器由 P/N 挡位挂入其他挡位时, 发动机负荷将有所增加, 挡位开关向 ECU 输入信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。当挂入 P 或 N 挡位时, 空挡位置开关提供 P/N 挡位位置信号, 防止不在 P/N 挡位时发动机起动。

(14) 制动灯开关 在制动时, 由制动灯开关向 ECU 提供制动信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。

(15) 动力转向开关 采用动力转向装置的汽车, 当转向盘由中间位置向左右转动时, 由于动力转向油泵工作而使发动机负荷加大, 此时动力转向开关向 ECU 输入信号, 作为燃油喷射控制和点火控制的修正信号。

(16) 巡航 (定速) 控制开关 当进入巡航控制状态时, 由巡航控制开关向 ECU 输入巡航控制状态信号, 由 ECU 对车速进行自动控制。

随着控制系统应用的日益广泛和功能的扩展, 传感器的数量也将不断增加。发动机集中控制系统中, 各子控制系统所需的信息有很多都是相同的, 一个传感器信号输入 ECU 可以作为几个子控制系统的控制信号。

### 三、电子控制单元的基本功能

电子控制单元 (ECU) 俗称“电脑”, 是发动机控制系统的核心, 其功用是按照一定的程

序对各种输入信号进行运算、储存、分析处理，然后输出指令，控制执行元件工作，以达到快速、准确、自动控制发动机工作的目的。发动机控制 ECU 的功能随车型而异，但都必须有如下基本功能：

1) 给传感器提供标准 2V、5V、9V 或 12V 电压，接收各种传感器和其他装置输入的信息，并将输入的信息转换成微机所能接受的数字信号。

2) 储存该车型的特征参数和运算中所需的有关数据信息。

3) 确定计算输出指令所需的程序，并根据输入信号和相关程序计算输出指令数值。

4) 将输入信号和输出指令信号与标准值进行比较，确定并储存故障信息。

5) 向执行元件输出指令，或根据指令输出自身已储存的信息（如故障信息等）。

6) 自我修正功能（学习功能）。

在维修中如果怀疑 ECU 有故障，可通过检测 ECU 各端子的工作参数与标准进行比较来确定，最好的方法是用一个已知无故障的 ECU 替代，若故障现象消失，说明原 ECU 有故障。ECU 发生故障一般无法修理，必须更换。

#### 四、执行元件的类型

执行元件是受 ECU 控制并具体执行某项控制功能的装置。在发动机集中控制系统中，执行元件主要有：喷油器、点火器、怠速控制阀、巡航控制电磁阀、节气门控制电动机、EGR 阀、进气控制阀、二次空气喷射阀、活性炭罐排泄电磁阀、油泵继电器、风扇继电器、空调压缩机继电器、自诊断显示与报警装置、仪表显示器等。

随着控制功能的增加，执行元件也将相应增加。

## 第二章 汽油机电控燃油喷射系统

### 第一节 电控燃油喷射系统概述

#### 一、汽油喷射系统的发展

汽油喷射系统在 20 世纪 30 年代始用于军用飞机发动机上，最早装用汽油喷射系统的汽车出现在 1954 年的汽车展览会上，是德国奔驰公司生产的奔驰 300SL 汽车，该车装用的机械式汽油喷射系统与柴油机供给系统基本相同，利用柱塞泵和喷油器直接向气缸内喷油。此后改进为向进气管喷油。

机械式汽油喷射系统采用连续喷射方式，即在发动机工作中，喷油器连续不断地将汽油喷入进气管。机械式汽油喷射系统简称为“K 型”汽油喷射系统，“K”是德语 Kontinuum（连续）的第一个字母。K 型汽油喷射系统是利用机械方式控制汽油喷射量。在 20 世纪 60 年代之前，化油器在汽油机供给系统中占主导地位，仅在国外生产的赛车和豪华型轿车上采用 K 型汽油喷射系统；20 世纪 80 年代末期，我国一汽集团公司引进德国大众技术生产的奥迪 100 五缸和六缸发动机仍选装 K 型汽油喷射系统。

20 世纪 60 年代，随着汽车数量的日益增多，在汽车发达国家相继制定了严格的排放法规，以限制汽车排放污染物的数量；20 世纪 70 年代，受能源危机的影响，迫使各国纷纷制定汽车燃油经济性法规；在这一背景条件下，汽油喷射技术也得到了进一步的完善和发展。

机电组合式汽油喷射系统就是 20 世纪 60 年代末期在机械式汽油喷射系统的基础上发展起来的，简称为“KE 型”汽油喷射系统，其中“E”指电子控制。KE 型汽油喷射系统是在 K 型汽油喷射系统的基础上，增加了一个由电脑控制的电液式压差调节器，电脑根据冷却液温度、节气门位置等传感器的信号，通过调节器来改变供油压差，调节汽油供给量，从而达到对不同工况混合气浓度修正的目的。KE 型汽油喷射系统研制成功后，主要应用在德国奔驰 380SE、500SL 型车上。

20 世纪 60 年代后期，随着电子技术的飞速发展，尤其是电子计算机的问世，电子技术在汽车上的应用成为各国汽车工业的重要发展方向。德国 BOSCH 公司首先成功研制电控燃油喷射系统，电控燃油喷射技术历经晶体管、集成电路到微机处理三大发展进程，直到目前，各种汽车上应用电控燃油喷射系统都是以 BOSCH 公司产品为原形发展而来的。电控燃油喷射系统简称为“EFI”，是由该系统的英文“Electronic Fuel Injection”简化而来的。

在现代汽车上，K 型和 KE 型汽油喷射系统已基本淘汰，EFI 系统因其更优越的性能而成为现代车用汽油机燃料供给系统的主流。

#### 二、电控燃油喷射系统的优点

众所周知，要提高发动机的动力性、燃料经济性和降低排放污染，就必须根据汽车运行工况的变化，精确控制供往气缸的混合气浓度。EFI 系统能实现混合气浓度（即空燃比）的高精度控制，比化油器式汽油机供给系统和 K 型、KE 型汽油喷射系统有明显的优越性。因为电

子控制的灵活性和电脑强有力的综合处理功能,使电控系统能够根据发动机运行工况和运行环境的变化,如起动、暖机。怠速、加速、满负荷、部分负荷、滑行、环境湿度、海拔高度和燃油品质等,实现最佳空燃比控制及最佳点火提前角控制,以优化发动机各种运行工况,从而取得良好的节油和排气净化等效果。如上海桑塔纳 2000 轿车装用电控汽油喷射系统后,发动机排量不变,与原装化油器式发动机相比,排放污染物(一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物)减少了 50%以上,最大扭矩提高 7%,最大功率提高 9%,加速时间缩短 20%,等速百公里油耗也略有下降。

### 三、电控燃油喷射系统的类型

#### 1. 按喷射方式分类

按喷射方式不同,燃油喷射系统可分为连续喷射方式和间歇喷射方式。连续喷射方式是指在发动机运转期间,汽油连续不断地喷射在进气道内,且大部分汽油是在进气门关闭时喷射的,因此大部分汽油在进气道内蒸发。除 K 型机械式、KE 型机电组合式汽油喷射系统外,电控燃油喷射系统一般不采用此种喷射方式。

间歇喷射方式是指在发动机运转期间,将汽油间歇地喷入进气道内。在目前应用广泛采用间歇喷射方式的多点电控燃油喷射系统中,按各缸喷油器的喷射顺序又可分为同时喷射、分组喷射和顺序喷射,如图 2-1 所示。

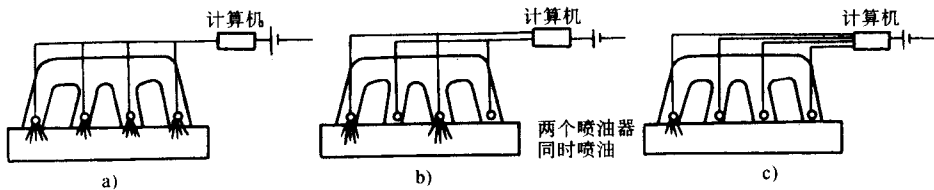


图 2-1 喷油器喷射顺序

a) 同时喷射 b) 分组喷射 c) 顺序喷射

(1) 同时喷射 同时喷射是将各缸的喷油器并联,在发动机运转期间,所有喷油器由电脑的同一个喷油指令控制,同时喷油、同时断油。采用此种喷射方式,对各缸而言,喷油时刻不可能都是最佳的,其性能较差,一般用在部分缸数较少的汽油发动机上,如韩国大宇轿车上装用的四缸发动机电控多点燃油喷射系统等。

采用同时喷射方式的电控燃油喷射系统,一般都是曲轴每转一圈各缸同时喷油一次,对每个气缸来说,每一次燃烧所需的供油量需要喷射两次,即曲轴每转一圈喷射 1/2 的油量。

(2) 分组喷射 分组喷射是指将各缸的喷油器分成几组,它是同时喷射的变形方案,电脑向某组的喷油器发出喷油或断油指令时,同一组的喷油器同时喷油或断油。

(3) 顺序喷射 顺序喷射是指各喷油器由电脑分别控制,按发动机各缸的工作顺序喷油。多缸发动机电控燃油喷射系统采用分组喷射或顺序喷射方式较多。

#### 2. 按对空气量的计量方式分类

电控燃油喷射系统必须对进入气缸的空气量进行精确的计量,才能通过对喷油量的控制,实现混合气浓度的高精度控制。按对进气量的计量方式不同,电控燃油喷射系统可分为 D 型和 L 型。



(1) D型电控燃油喷射系统 “D”是德语 Druck (压力)的第一个字母。D型电控燃油喷射系统利用绝对压力传感器检测进气管内的绝对压力,电脑根据进气管内的绝对压力和发动机转速推算出发动机的进气量,再根据进气量和发动机转速确定基本喷油量。D型电控燃油喷射系统的基本工作原理如图 2-2 所示。

(2) L型电控燃油喷射系统 “L”是德语主 Luft (空气)的第一个字母。L型电控燃油喷射系统利用空气流量计直接测量发动机的进气量,电脑不必进行推算,即可根据空气流量计信号计算与该空气量相应的喷油量。由于消除了推算进气量的误差影响,其测量的准确程度高于D型,故对混合气浓度的控制更精确。L型电控燃油喷射系统的基本工作原理如图 2-3 所示。

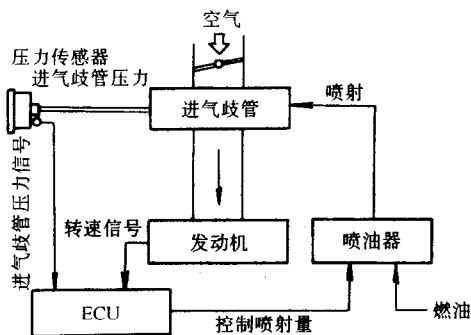


图 2-2 D型电控燃油喷射系统基本工作原理

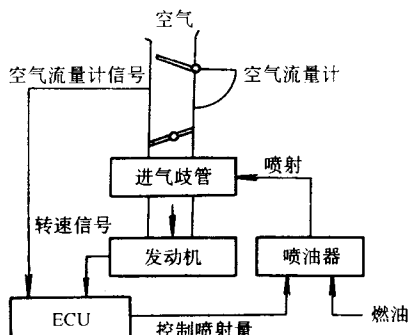


图 2-3 L型电控燃油喷射系统基本工作原理

### 3. 按喷射位置分类

按喷射位置不同,电控燃油喷射系统可分进气管喷射和缸内直接喷射两种类型。

缸内直接喷射技术是近年来研究和开发的发动机新技术,目前还未得到推广应用,它是将喷油器安装在气缸盖上,把燃油直接喷入气缸内,配合缸内组织的气体流动形成可燃混合气,容易实现分层燃烧和稀混合气燃烧,可进一步提高汽油发动机的经济性和排放性。

目前汽车上应用的电控燃油喷射系统一般都是进气管喷射式,按喷油器的数量不同,又可分为单点喷射(SPI)系统和多点喷射(MPI)系统,如图 2-4 所示。

(1) 多点喷射系统 是在每缸进气门处装有 1 只喷油器,由电子控制单元(ECU)控制喷油,因此多点喷射又称为多气门喷射。多点喷射系统的燃油分配均匀性好,进气管可按最大进气量来设计,而且无论发动机处于冷态或热态,其过渡的响应及燃油经济性都是最佳的;但多点电控燃油喷射系统的控制系统比较复杂,成本较高,主要应用于对汽车性能要求较高的中、高级轿车上。

(2) 单点喷射系统 是在节气门上方装一个中央喷射装置,用 1~2 只喷油器集中喷射。汽油喷入进气流中,形成的可燃混合气由进气歧管分配到各气缸中。单点喷射又称为节气门体喷射(TBI)或中央喷射(CFI)。

单点电控燃油喷射系统在每个气缸进气行程开始的时候喷油,采用的是顺序喷射方式,又称独立喷射方式。独立喷射可使燃油在进气管中滞留的时间最短,各缸得到燃油量尽可能一致。单点喷射系统与多点燃油喷射系统的控制原理相似,空气量可采用空气流量计直接计量,

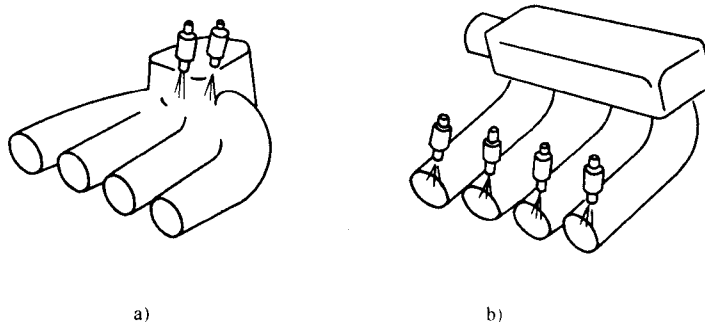


图 2-4 电控燃油喷射系统喷射位置

a) 单点喷射系统 b) 多点喷射系统

也可采用绝对压力传感器间接测量。

单点喷射系统的出现较晚，其性能介于多点喷射系统与化油器式供给系统之间。虽然单点喷射系统的性能比多点喷射系统差一些，但其结构简单、故障少、维修调整方便，且对发动机本身的改动较小，特别是大量生产后，其成本较低，仅略高于传统化油器的成本。目前，国外已广泛应用于普通轿车和货车。

#### 4. 按有无反馈信号分类

电控燃油喷射系统按有无反馈信号可分为开环控制系统和闭环控制系统。

(1) 开环控制系统(无氧传感器) 它是将通过实验确定的发动机各工况的最佳供油参数预先存入电脑，在发动机工作时，电脑根据系统中各传感器的输入信号，判断自身所处的运行工况，并计算出最佳喷油量，通过对喷油器喷射时间的控制，来控制混合气的浓度，使发动机优化运行。

开环控制系统按预先设定在电脑中的控制规律工作，只受发动机运行工况参数变化的控制，简单易行。但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。喷油器及发动机的产品性能存在差异，或由于磨损等引起性能参数变化时，就不能使混合气准确地保持在预定的浓度(空燃比)上。因此，开环控制系统对发动机及控制系统各组成部分的精度要求高，抗干扰能力差，当使用工况超出预定范围时，不能实现最佳控制。

(2) 闭环控制系统(有氧传感器) 在该系统中，发动机排气管上加装了氧传感器，根据排气中含氧量的变化，判断实际进入气缸的混合气空燃比，再通过电脑与设定的目标空燃比值进行比较，并根据误差修正喷油器喷油量，使空燃比保持在设定的目标值附近。

闭环控制系统可达到较高的空燃比控制精度，并可消除因产品差异和磨损等引起的性能变化，工作稳定性好，抗干扰能力强。但是，为了使排气净化达到最佳效果，只能运行在理论空燃比 14.7 附近。对起动、暖机、加速、怠速、满负荷等特殊工况，仍需采用开环控制，使喷油器按预先设定的加浓混合气配比工作，以满足发动机特殊工况的工作要求。所以，目前普遍采用开环和闭环相结合的控制方案。