

汽车专业技能型教育“十二五”创新规划教材

汽车电控发动机 原理与维修图解教程

东莞市凌凯教学设备有限公司 组编
谭本忠 主编

QICHE DIANKONG FADONGJI
YUANLI YU WEIXIU TUJIE JIAOCHENG



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车专业技能型教育“十二五”创新规划教材

汽车电控发动机原理 与维修图解教程

组 编 东莞市凌凯教学设备有限公司

主 编 谭本忠

参 编 胡波勇 谭敦才 于海东 陈 波

李土军 陈海波 王世根 皮 军

邓冬梅 蔡晓兵 胡 波 曾 伟

张 青 张国林 谭玉芳



机械工业出版社

本书对汽车电控发动机原理与维修进行了系统的阐述,主要包括汽油机电控燃油喷射系统、空气供给系统、燃油供给系统、电喷系统、电控点火系统,以及柴油机电控燃油供给系统等内容。该书在系统介绍汽车电控发动机理论知识的同时,结合了大量图表和典型案例,使读者易学习、易理解、易掌握、易应用。

本书可为中等职业院校和技工学校汽车修理等相关专业的教材,也可供汽车维修行业的人士和汽车工程技术人员参考阅读。

为方便教学,本套教材专门配备了 PowerPoint(PPT)形式的配套教学课件,可供广大教师选用。在 <http://www.cmpbook.com> 网站上,注册后即可下载教材课件;或与机械工业出版社联系,编辑热线:010-88379368、010-88379735。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电控发动机原理与维修图解教程/谭本忠主编.
—北京:机械工业出版社,2012.6
汽车专业技能型教育“十二五”创新规划教材
ISBN 978-7-111-37782-5

I. ①汽… II. ①谭… III. ①汽车—电子控制—发动机—理论—技术培训—教材②汽车—电子控制—发动机—车辆修理—技术培训—教材 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 049157 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:徐 巍 责任编辑:赵 鹏

版式设计:石 冉 责任校对:姜 婷

封面设计:马精明 责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 10.5 印张·253 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37782-5

定价:28.00 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

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

丛 书 序

当今正值国家大力推广职业教育之际，各地教育机构紧抓机遇，大胆革新，积极推行新的职业教育方法与思路。

本套创新规划教材根据职业需求和岗位要求而设置教学项目，同时将知识系统和技能系统化整为零，合而为一，使学员能做到学一样精一样，同时在细化深入的前提下掌握解决问题的途径和思路。

本套教材强化职业实践的实用性教学，对理论教学的要求是将抽象深奥的知识简单化、形象化和感性化，使学员能够轻松掌握，并联系实际，融入实践，同时在实践教学中结合理论认识能将实践认知与经验总结为理论。这样，在学中做，在做中学，巩固知识，强化技能。

综合上述特点和要求，创新规划教材应该具有系统分块，知识点与技能点结合，理论描述简明，实践叙述符合职业规范，能直接感知并参照操作的特点。

很多汽车相关职业院校与职训中心在进行教学改革的同时也在进行教材更新，但大多数是在传统教学教材的基础上改编而来的，无法摆脱原有的形式和限制，编写出来的教材往往难以普及并发挥其实效。

我们综合汽车运用与维修、汽车检测与维护技术等专业课程设置的要求，同时考虑到职业需求和岗位的设置，将本套创新教材分为汽车机修技术，汽车电子技术，汽车故障诊断技术，汽车车身修复技术，汽车美容与装饰技术，汽车保养与维护技术六大块，为保证专业课程有理论和技术基础，同时设置了汽车机械基础、汽车电学基础、汽车维修专业英语以及汽车文化等四门基础课。各个专业分类下是核心与主干课程，如机修之下包括汽车发动机与汽车底盘，电子之下包括汽车电器、汽车空调、汽车发动机电控系统、汽车自动变速器、汽车安全舒适系统等。

这套教材作为学生课本，主要突出实图、实例及原理、检测、维修与案例四结合。配套开发的还有教学课件，我们力图通过这种方式使此套创新规划教材成为一种立体化的、学员易学、教师易教、效果独到的专门化教材。

编 者

目 录 Contents

丛书序

第一章 概述	1
第一节 发动机电控系统的功能及分类	1
第二节 发动机电控系统的组成	3
第二章 汽油机电控燃油喷射系统	5
第一节 系统组成	5
第二节 电控燃油喷射系统的分类	7
第三章 汽油机空气供给系统	15
第一节 空气流量计	15
第二节 进气歧管绝对压力传感器	27
第三节 节气门体	30
第四节 节气门位置传感器	32
第四章 汽油机燃油供给系统	37
第一节 燃油供给系统的组成与原理	37
第二节 燃油供给系统的主要部件	39
第五章 汽油机电喷系统的控制过程	65
第一节 燃油喷射控制系统的组成	65
第二节 燃油喷射控制系统的控制内容	73
第六章 柴油机电控燃油供给系统	80
第一节 柴油机电控喷射系统概述	80
第二节 电控直列泵喷射系统	86
第三节 电控分配泵喷射系统	89
第四节 电控共轨式燃油喷射系统	95
第五节 柴油机燃油供给系统的检修	103
第七章 汽油机电控点火系统	106
第一节 电控点火系统的组成和类型	106
第二节 电控点火系统的控制内容	111



第八章 辅助控制系统.....	118
第一节 怠速控制系统.....	118
第二节 进气控制系统.....	130
第三节 排放控制系统.....	136
第九章 电控发动机故障诊断、分析.....	146
第一节 故障自诊断系统.....	146
第二节 失效保护和应急备用系统.....	153
第三节 电控发动机综合诊断流程.....	155

第一章

概述

第一节 发动机电控系统的功能及分类

一、按控制功能分类

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，其功能如图 1-1 所示。

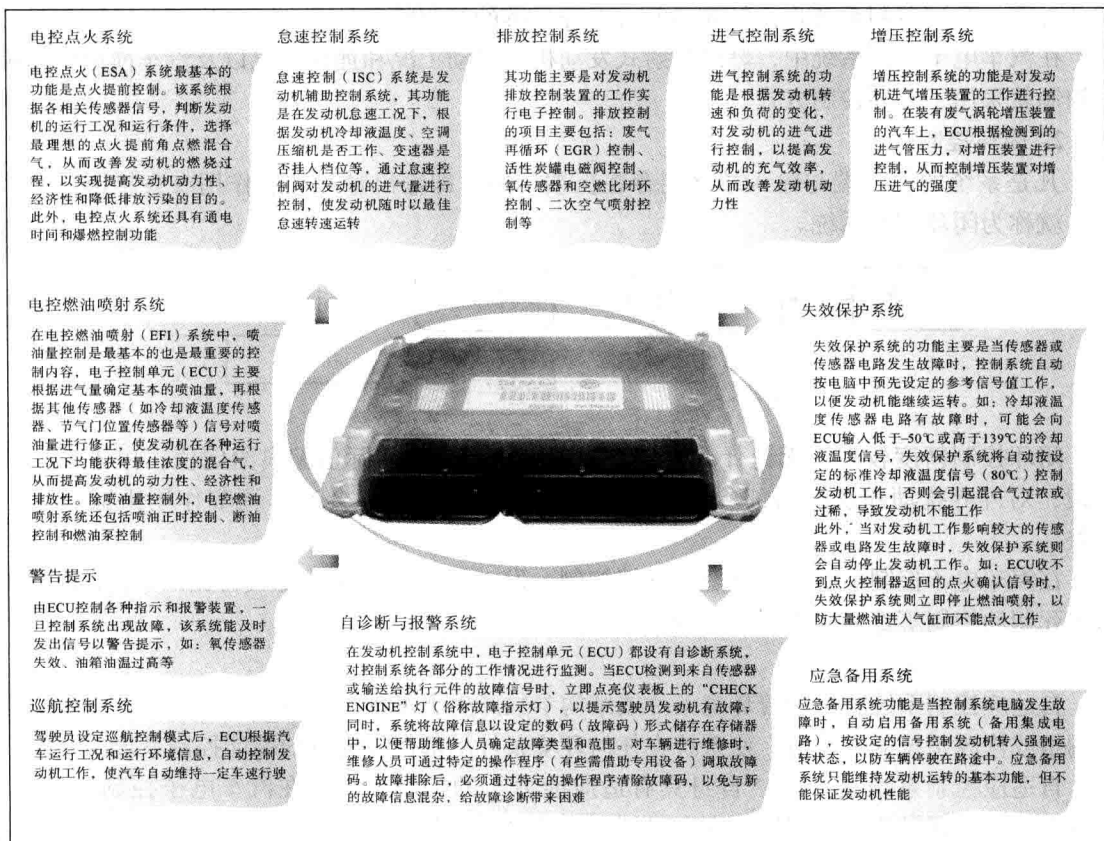


图 1-1 电控单元的分类

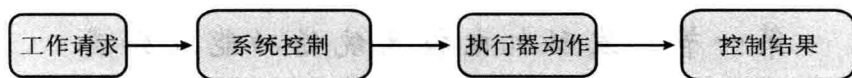


除上述控制系统外,应用在发动机上的电控系统还有冷却风扇控制、配气正时控制、发电机控制等。应当说明的是,上述各控制系统在不同的汽车发动机上,只是或多或少地被采用。此外,随着汽车技术和电子技术的发展,发动机控制系统的功能必将日益增加。

二、按控制方式分类

1. 开环控制

在控制系统中,如果输出端与输入端之间不存在反馈回路,输出量对系统的控制作用没有影响,该系统就称为开环控制系统。

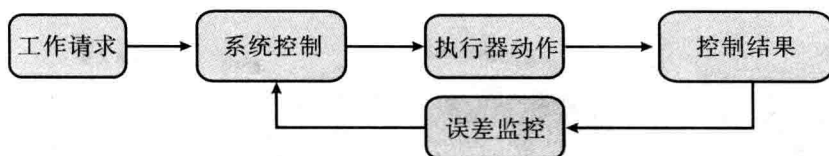


在任何开环控制系统中,既不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。对应于每一个输入量,相应的就有一种工作状态与之对应。因此,开环控制系统的精度主要取决于系统的校准精度、工作过程中保持校准值的程度以及系统组成元件性能参数的稳定程度。在系统不存在内部扰动和外界扰动、元件性能参数又比较稳定的条件下,开环控制系统是比较简单并可保证足够的控制精度的。

在汽车电子控制系统中,燃油喷射式发动机的起动工况和加速工况以及汽车前照灯光束的控制就采用了开环控制方式。

2. 闭环控制

凡是系统的输出端与输入端之间存在反馈回路,即输出量对控制作用有直接影响的系统,就称为闭环控制系统。



闭环控制精度较高。无论什么干扰,只要被控制量的实际值偏离给定值,由于采用了反馈,对外界扰动和系统内部参数变化引起的偏差,系统都会产生调节作用来减少这一偏差。

在汽车电子控制系统中,空燃比反馈控制、发动机爆燃控制、排气再循环(EGR)控制、防抱死制动控制等都采用了闭环控制方式。

3. 自适应控制

自适应控制系统就是随着环境条件或结构参数产生不可预计的变化时,系统本身能够自行调整或修改系统的参数值,使系统在任何环境条件下都保持满意的性能控制系统。换句话说,自适应控制系统是一种“自身具有适应能力”的控制系统。在汽车电子控制系统中,自适应控制得到了广泛的应用,点火时刻、喷油时间以及空燃比等的控制都采用了自适应控制方式。



第二节 发动机电控系统的组成

一、组成示意图

捷达 ATK 发动机电控系统组成如图 1-2 所示。

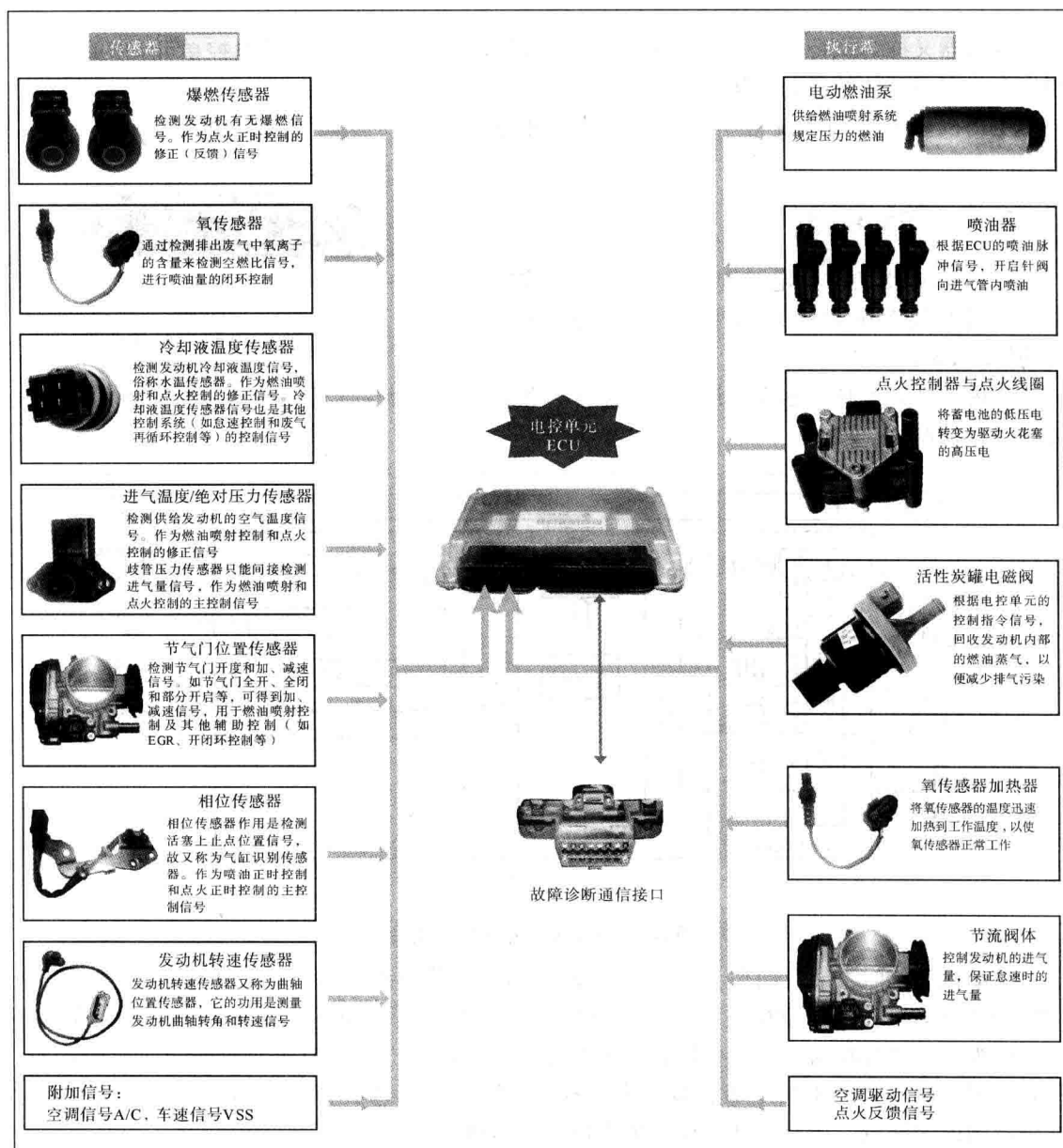


图 1-2 捷达 ATK 发动机电控系统组成



二、传感器

传感器是一种信号转换装置,安装在发动机的各个部位,其作用是检测发动机运行状态的各种电量参数、物理量和化学量等,并将这些参量转换成计算机能够识别的电量信号输入电控单元(ECU)。发动机电子控制系统常用的传感器与开关信号如图 1-2 所示。

三、执行器

执行器又称为执行元件,是控制系统的执行机构,其功用是接受电控单元(ECU)的控制指令,完成具体的控制动作。

发动机电子控制系统常用的执行器功能如图 1-2 所示。

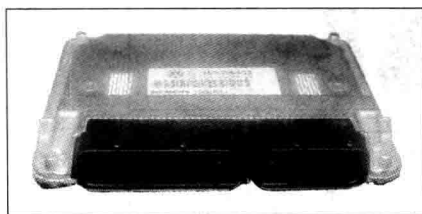


图 1-3 电控单元 ECU 外观图

四、电子控制器

电子控制器又称为电控单元(ECU),俗称电脑,是发动机控制系统的核心部件。外观如图 1-3 所示,结构框图如图 1-4 所示。

作用: 根据各种传感器和控制开关输入的信号参数,对喷油量、喷油时刻和点火时刻等进行实时控制。

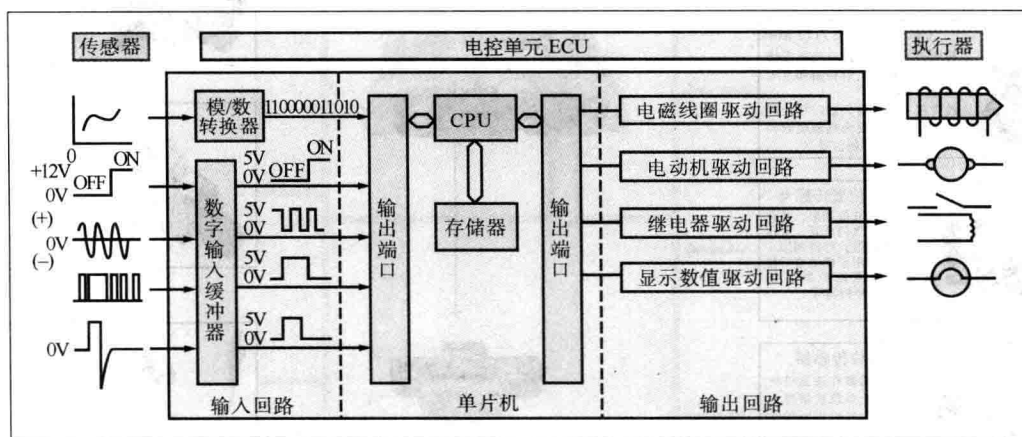


图 1-4 电子控制器内部结构图

发动机工作时,节气门位置传感器 TPS 检测驾驶员操作的节气门开度信号,空气流量传感器 AFS 检测进入气缸的空气量,曲轴位置传感器 CPS 检测发动机的转速信号。这三个信号作为确定汽油喷射量的主要信息输入电控单元(ECU),再由 ECU 计算确定基本喷油量。与此同时,ECU 还要根据冷却液温度传感器、进气温度传感器和氧传感器等输入的信息计算确定辅助喷油量,用以对基本喷油量进行必要的修正,最终确定实际喷油量。当实际喷油量确定后,ECU 再根据曲轴位置传感器输入的曲轴转速与转角信号、凸轮轴位置传感器输入的第一缸活塞上止点位置信号,确定最佳喷油时刻和最佳点火时刻,并向各执行器发出指令信号,控制喷油器、点火线圈、怠速控制阀等动作。

第二章

汽油机电控燃油喷射系统

第一节 系统组成

汽油机电控燃油喷射系统可分为空气供给系统和燃油供给系统两个主要部分。空气供给系统向发动机提供清洁的空气并根据发动机工况控制进气量，燃油供给系统供给发动机经过计量后的燃油。

一、空气供给系统

空气供给系统的功用是，为发动机提供清洁的空气并控制发动机正常工作时的进气量，如图 2-1 所示。

工作原理：发动机工作时，空气经空气滤清器过滤后，通过空气流量计(L 型)、节气门体进入进气总管，再通过进气歧管分配给各缸。节气门体中设有节气门，用以控制进入发动机的空气量，从而控制发动机的输出功率(负荷)。在节气门体的外部或内部设有与主进气道并联的旁通怠速进气通道，并由怠速控制阀控制怠速时的进气量。

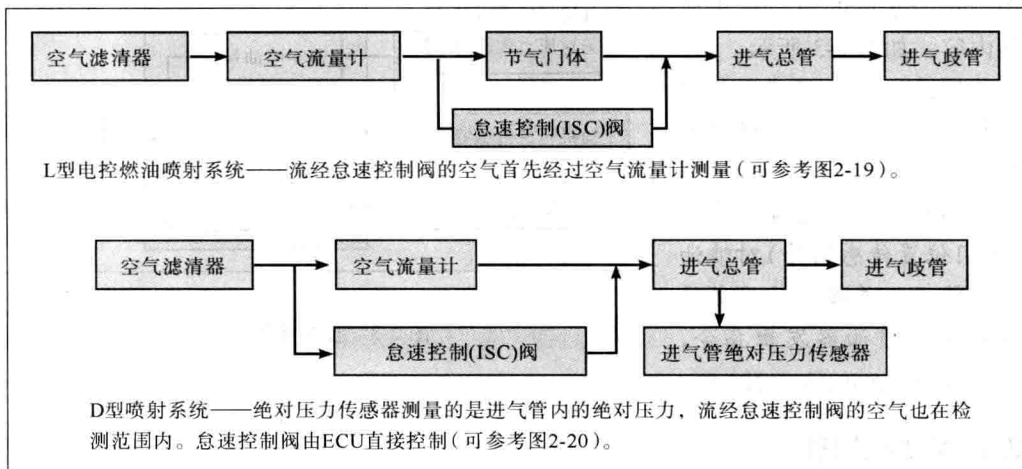


图 2-1 空气供给系统



二、燃油供给系统

燃油供给系统的功用是,供给喷油器一定压力的燃油,喷油器则根据电控单元指令喷油。

工作原理:电动燃油泵将汽油从燃油箱内吸出,经滤清器过滤后,由压力调节器调压,通过油管输送给喷油器,喷油器根据电控单元指令向进气管喷油。燃油泵供给的多余汽油经回油管流回燃油箱。燃油泵一般装在燃油箱内。喷油器由电控单元控制,有些发动机上还装有冷起动喷油器。冷起动喷油器安装在进气总管,仅在发动机低温起动时喷油,以改善发动机的低温起动性能。燃油供给系统的工作原理如图 2-2 所示。

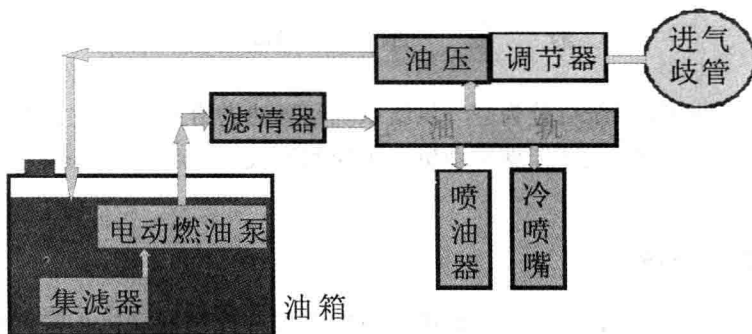


图 2-2 燃油供给系统工作原理示意图

三、控制系统

在电控燃油喷射系统中,喷油量控制是最基本的也是最重要的控制内容,如图 2-3 所示。

工作原理:ECU 根据空气流量信号和发动机转速信号确定基本的喷油时间(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)对喷油时间进行修正,并按最后确定的总喷油时间向喷油器发出指令,使喷油器喷油(通电)或断油(断电)。

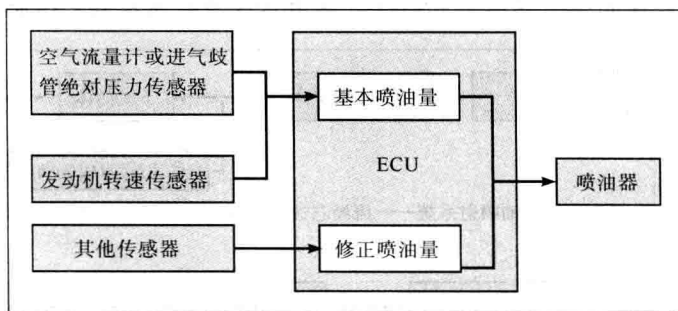


图 2-3 控制系统框图

四、喷油控制软件

电子控制燃油喷射式发动机喷油控制采用实时控制,其控制精度高、运算速度快,因此一般都采用汇编语言编程。为了便于程序编制与调试,一般采用模块化结构,将程序分成若干个子程序进行编制与调试。喷油控制软件的流程主要由主程序、自检程序、故障报警子程序、启动子程序和怠速子程序等组成,如图 2-4 所示。



主程序的主要作用：监测并判定发动机工作状态，计算或从喷油脉谱图中查询确定空燃比 A/F 、喷油时间、喷油提前时间（喷油提前角），并发出喷油指令、控制喷油器开始喷油和结束喷油。

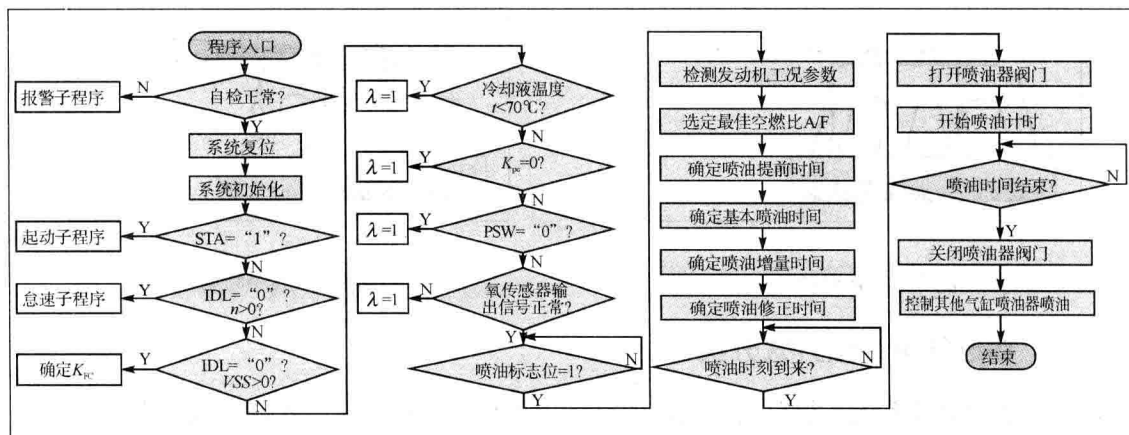


图 2-4 喷油控制软件流程图

第二节 电控燃油喷射系统的分类

一、按喷射方式

1. 连续喷射方式

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。

2. 间歇喷射方式

指在发动机运转期间，将汽油间歇地喷入进气道内。在目前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。

(1) 同时喷射 将各缸的喷油器并联，在发动机运转期间，所有喷油器由电控单元的同一个喷油指令控制，同时喷油、同时断油。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，如图 2-5 所示。

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，如韩国大宇轿车上使用的四缸发动机电控多点燃油喷射系统等。

(2) 分组喷射 指将各缸的喷油器分成几组，同

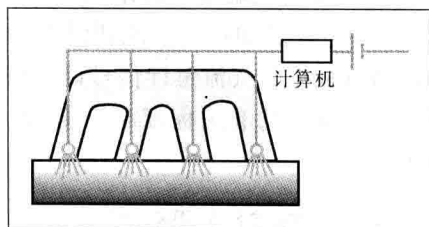


图 2-5 同时喷射



一组的喷油器同时喷油或断油，如图 2-6 所示。

(3) 顺序喷射 指各喷油器由电控单元分别控制，按发动机各缸的工作顺序喷油，如图 2-7 所示。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。

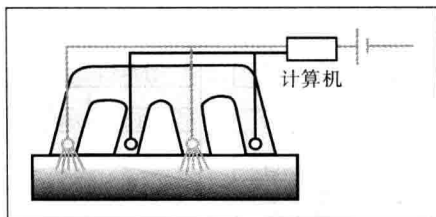


图 2-6 分组喷射

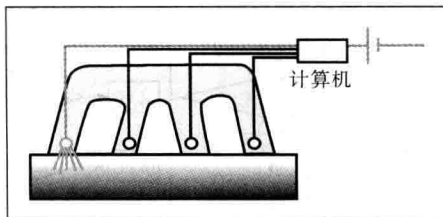


图 2-7 顺序喷射

二、按进气量计量方式分类

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。按进气量计量方式不同，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

其工作原理如图 2-8 所示。“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，电控单元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。

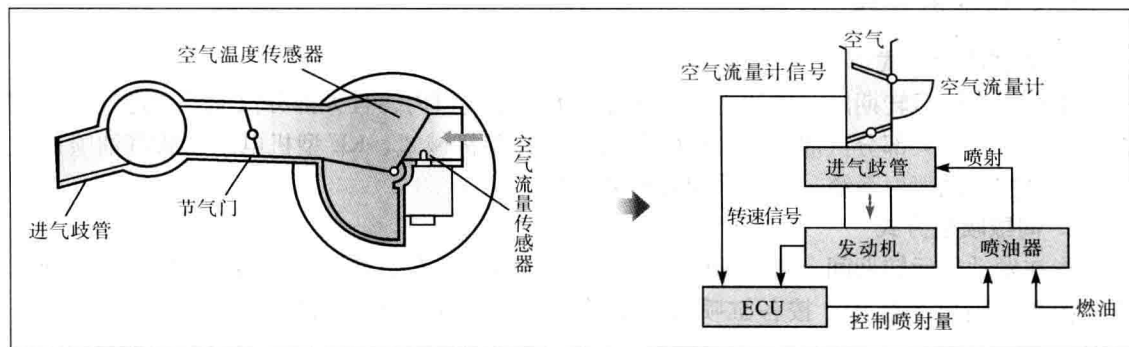


图 2-8 D 型(检测进气绝对压力)电控燃油喷射系统原理

2. L 型电控燃油喷射系统

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，电控单元不必进行推算，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。其工作原理如图 2-9 所示。

三、按喷射位置分类

1. 缸内直接喷射

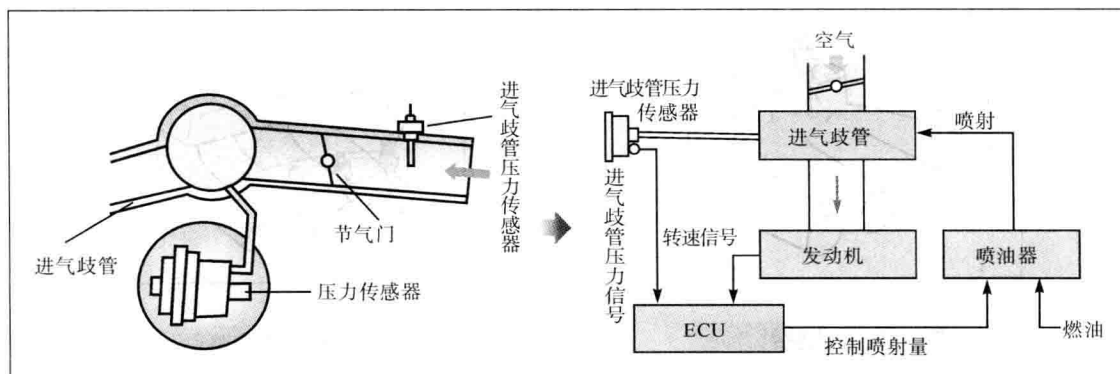


图 2-9 L 型(检测进气量)电控燃油喷射系统原理

缸内直接喷射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,如图 2-10 所示。

2. 进气管喷射

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 2-11 所示。

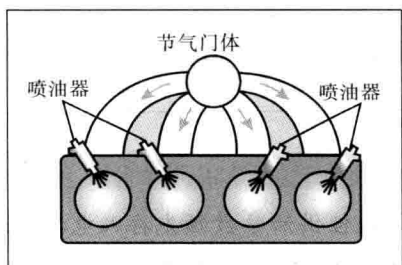


图 2-10 缸内直接喷射

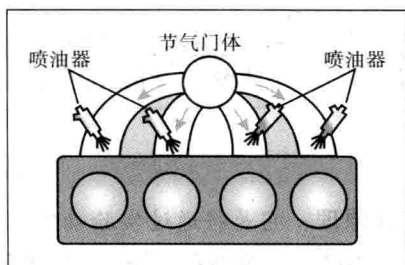


图 2-11 进气管喷射

(1) 单点喷射 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,如图 2-12 所示。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,也可采用绝对压力传感器间接测量。

(2) 多点喷射 在每缸进气门处装有 1 只喷油器,由电控单元(ECU)控制喷油,因此多点喷射又称为多气门喷射,如图 2-13 所示。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。

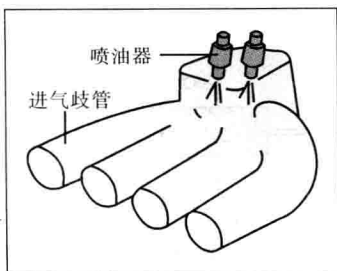


图 2-12 单点喷射

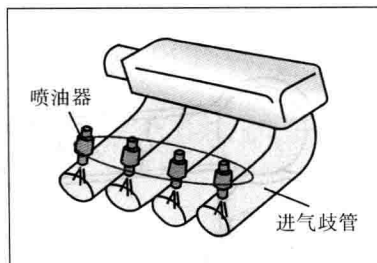


图 2-13 多点喷射

四、按有无反馈信号分类

1. 开环控制系统

开环控制系统按预先设定在电控单元中的控制规律工作，只受发动机运行工况参数变化的控制，简单易行，如图 2-14 所示。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。

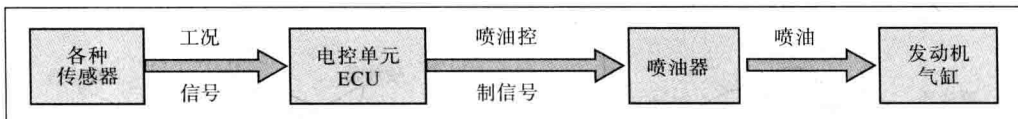


图 2-14 开环控制示意图

工作原理：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控单元，在发动机工作时，电控单元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。

2. 闭环控制系统

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，如图 2-15 所示。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。

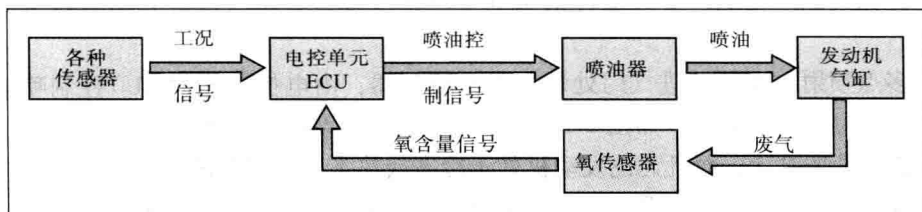


图 2-15 闭环控制示意图



工作原理：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，再通过电控单元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。

五、按功能分类

1. K-Jetronic 燃油喷射系统

1976 年德国博世公司成功研制出 K-Jetronic 燃油喷射系统，1984 年德国大众公司捷达轿车采用 K-Jetronic 系统。此外，早期奔驰 190E、300E、560SEC 等也用这种喷射系统。

该系统用一个圆形的挡板作为空气流量传感器，在检测进气量大小的同时带动燃油分配器中的柱塞上下运动，进而改变计量槽孔的导通面积来控制燃油的喷射量。对混合气浓度的调整则是通过控制柱塞上方的燃油压力来实现的，其结构如图 2-16 所示。该系统发动机控制模块主要用于控制怠速，而不能控制燃油喷射。

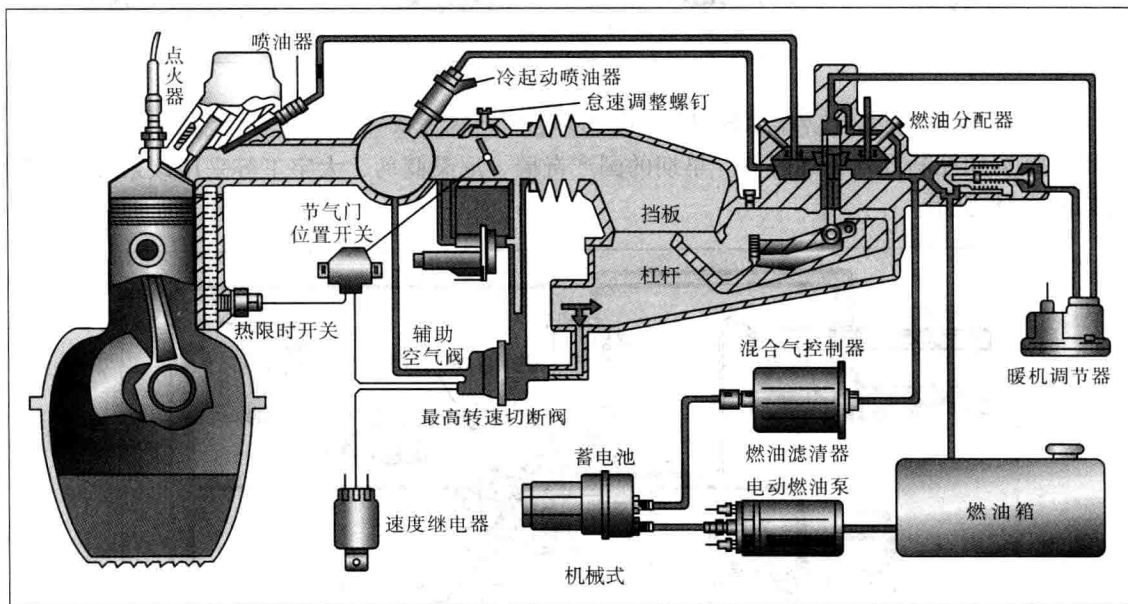


图 2-16 K-Jetronic 燃油喷射系统

2. KE-Jetronic 燃油喷射系统

该系统在 K 型基础上增加了电液式压差调节器(EHA)、节气门位置传感器(TPS)、冷却液温度传感器(THW)、氧传感器等元件。这种燃油喷射系统主要由空气流量感知板的移动带动控制柱塞上下移动，通过改变计量槽孔的导通面积来改变燃油的喷射量，而对混合气浓度的修正，是由电控单元(ECU)根据这个传感器的信号去控制电液式压差调节器(EHA)的电流大小和流向，进而改变燃油分配器上下室的压差，根据各孔调节混合气的浓度。其结构如图 2-17 所示。

3. 单点燃油喷射系统

该系统在进气歧管原来安装化油器的部位安装了一个大功率电磁喷油器，集中进行燃油喷射。与多点燃油喷射相比，节气门体喷射系统用节气门的开启角度和发动机转速来控制空