

# 项目一

## 发动机电控系统概述

### 项目导读

随着汽车保有量越来越多，安全、节能和排放问题日益突出。传统的机械控制技术已经无法解决上述问题，汽车电子化正逐渐成为现代汽车(特别是轿车)的基本特征。发动机电控作为汽车电控中的重要一环，为适应日趋严格的排放、安全法规，已受到国内外汽车厂商的高度重视，并得到了空前发展。发动机电子控制目前应用极为广泛，可以有效降低整车的油耗、污染，并减小汽车动力传递系统的冲击，减轻驾驶员疲劳，提高汽车的动力性和舒适性。

现代汽车发动机的运行分别受到驾驶员的操作意志、发动机的实时工况和环境变化等因素的制约。发动机实际工况时，驾驶员操作指令和环境状况及其变化等因素由多种传感器将有关信息传输至 ECU 为其识别，利用强大的中央处理系统通过数据处理得出最佳控制指令，并将其传输给诸如燃料供给装置、点火装置等执行机构，使发动机内的燃料得以正常燃烧。而这一功能的实现最终都是通过发动机的电控系统来完成。

### 项目要点

1. 汽车电子技术的发展史；
2. 汽油机电控技术的发展；
3. 柴油机电控技术的发展；
4. 发动机电控系统的基本组成及功用；
5. 汽车电控发动机的优点。

## 任务 发动机电控系统概述

### 任务引入

发动机电控系统各元件在发动机电控系统中起着非常重要的作用，其功用是监测发动机运行情况，并执行新的指令。当发动机电控系统出现故障时，经常会出现发动机不能启动、油耗过高、怠速不稳等现象，因此有必要了解和掌握发动机电控系统的各部分组成、结构及功用。

### 任务分析

本任务的主要学习内容是发动机电控系统的发展、电控系统的组成、各组成部件的功用及电控发动机的优点；学习本任务后应能够了解发动机电控系统各组成部件的工作原理及功能并能初步判断发动机电控系统的故障问题。

### 知识准备

#### 一、汽车发动机电控技术的发展

发动机电控技术是汽车技术与电子技术相结合的产物。随着汽车工业与电子工业的不断发展，电子技术在现代汽车上的应用越来越广泛，汽车电子化程度也越来越高。

##### （一）汽车电子技术的发展史

电子技术、控制技术，包括现在的汽车电子控制技术等的发展，都离不开电的发明。正是因为人类在伟大的社会实践活动中，逐渐发现自然界中存在的电和磁现象，并在此基础上发明了电磁效应。基于这样的实践基础，电磁学逐渐发展起来，带动了相关的技术，为现代科学技术的发展及社会的发展，奠定了牢固的技术基础。

汽车电子技术起源于 1861 年爱蒂恩斯·雷诺利用伦科夫在 1851 年发明的电磁感应线圈发明了一种电子线圈点火装置，并将之用于煤气机上。后来的 1866 年卡尔·奔驰发明了一种带传动的永磁发电机，20 年后的 1886 年他又利用电池和线圈点火方法，开发汽车点火装置，并第一次用于卡尔奔驰车上。

19 世纪末到 20 世纪初，对于汽车电子技术来说，主要是开发和完善汽油机的点火系统和发电机及蓄电池充电系统的时期。如 1887 年博世发明的低电压永磁发电机被应用于固定式汽油机上；1889 年乔治·伯顿发明线圈点火系统用断电器，第一次调整汽油机的点火装置；1895 年埃米尔·摩尔斯利用皮带驱动直流发电机第一个成功地实现蓄电池的充电系统；1897 年博世和西门子发明由“H”形电枢制成的用于汽车点火系统上的低压永磁发电机；1901 年兰彻斯特制造出第一台飞轮式永磁发电机；1902 年博世制造高电压永磁发电机；1905 年汉斯·雷特和卢卡斯发明三刷直流发电机；1908 年 C. A. 万德弗发明了电子点火装置；1912 年美国人查尔斯·富兰克林·凯特灵改进他

曾在开发研制现金出纳机时开发过的小电机，发明了启动装置，并第一次应用于由亨利·利兰设计制造的凯迪拉克汽车上；1920年美国开发研制出蓄电池一线圈式点火装置；1939年在点火分电器上安装点火自动提前装置。由此完成经典的汽油机点火系统、电启动装置和发电充电系统。

1948年晶体管的发明和1958年集成(IC)电路的发明，使汽车电子技术有了新的飞跃性的发展。1951年德国的博世公司率先开发汽油喷射技术，并于1954年在轿车上采用了燃油喷射技术。1960年半导体元件开始应用于汽车上，最初是在交流发电机整流器上采用硅二极管，之后在调压器、晶体管点火系统等部件上得到广泛应用。同年交流发电机开始替代直流发电机。并于1965年发明电控防抱死制动系统(ABS)。

1966年美国加利福尼亚州制定了首例关于汽车尾气排放的法规，进一步有力地推动了汽车电子技术及控制技术的发展。1967年博世发明的 Jetronic 质量流量式燃油喷射系统投入生产，而且1967年后IC技术广泛应用于汽车上。如IC化电压调节器，IC化点火模块等。在这一阶段，已开发出模拟电路式汽油喷射装置、车速控制装置、变速器控制装置等。但当时由于成本高的原因而未能普及，仅作为技术储备。

1970年后，基于美国发布的关于安全、排放、油耗的三大法规，以及1971年微机的问世，车用电子技术得到迅速的发展。针对安全法规，要求开发若不系安全带就不能启动的系统。因此即使关闭点火开关，安全带控制系统仍然用电，为此开发耗电量少的IC，以尽可能降低蓄电池的放电量。1974年在汽车上首次开始应用无触点式电子点火装置。

微机问世5年后的1976年，通用汽车公司(GM)将微机控制技术首先应用于汽车点火控制系统。这标志着汽车电子控制技术已进入新的数字化的控制阶段。70年代末80年代初，排放法规和油耗法规进一步强化。为了适应这种不断强化的法规，要求在有效降低汽车排放的同时，改善发动机的动力性和经济性。为此，所采取的技术措施主要包括：改进发动机的结构，点火时期的最佳控制，进一步提高空燃比的控制精度，以及怠速转速的低速化控制等，使控制技术向集中控制化方面发展。

电子技术的发展也促进了传感器技术和控制技术的发展，这使汽车电控技术更加成熟和完善。1977年日本日产和丰田汽车公司实现了氧传感器反馈控制的汽油喷射系统。1980年三菱电机公司推出卡门旋涡式空气流量计。1981年，波许、日立制作所推出了热线式空气流量计。

1980年以后，尖端技术的发展，用户要求的多样化，以及微机的普及和数字化控制的发展，使电子技术应用于整车控制上，使整车综合控制技术得到全面发展。

可以说，20世纪60年代是基于半导体技术的发明与发展和汽车电子控制技术的开发研制阶段；而70年代是基于集成电路及传感器技术的发展，汽车电子控制技术不断成熟的阶段；80年代到90年代是基于微机技术的发展与应用，汽车电子控制全面进入数字化控制和集中控制阶段。

进入21世纪，半导体技术大规模集成化LSI，传感器智能化发展，微机技术不断完善，同时引入模糊控制、神经网络、自适应控制、最优控制等新的现代控制理论，

以及利用全球定位系统(GPS)的导航系统,使汽车动力传递控制及车辆驾驶安全等综合控制达到进一步完善。

### (二)汽油机的电控技术

#### 1. 汽油喷射

化油器和汽油喷射是汽油机混合气形成的两种主要方式。1883年戴姆勒发明化油器,使液体燃料在气缸内燃烧的汽油机得以实现。但是由于化油器式混合气形成方式,是通过气体流动中在化油器喉管部节流所形成的压差进行喷油,并经过流经喉管部的高速气流将喷出的燃料冲散雾化蒸发而形成可燃混合气的,所以进气流动损失增加,同时在喉管部因压力下降而易结冰。这对于航空用发动机来说是一个致命的缺点。

1930年,针对化油器结冰等缺点,为航空用发动机首先开发研究汽油喷射装置。第二次世界大战后期,根据战争的需要汽油喷射装置开始应用于军车上,以克服化油器的上述缺点。

从1950年到1953年,Goliath, Gutbrod两公司在二冲程2缸汽油机上采用了机械式喷射装置。1957年,奔驰(Benz)汽车公司在四冲程发动机上也采用了机械式喷射系统。当时机械式汽油喷射系统所采用的柱塞式喷油泵(模仿柴油机的喷油泵),均由波许公司提供。但是,汽油机燃料系统改为机械式喷射系统会导致成本变高,安装不方便,所以到50年代末为止,仅用于赛车。

#### 2. 电控汽油喷射

汽油喷射作为汽油机的燃料供给系统,是在与化油器相互竞争过程中发展起来的。它经历了从机械式喷射到电子控制喷射的发展过程。

早在1953年Bendix公司已开始着手研究电控汽油喷射器。但当时电子技术尚落后。虽晶体管早已发明,但均为锗晶体管,价格高,可靠性差。因此,开发时都普遍采用真空管。直到1957年研究成功,晶体管才勉强实用化。因此,当时在汽车上采用电控技术未免过早。

但是,汽油喷射系统与化油器相比较,其优点是明显的,主要归纳出以下几点:①采用汽油喷射系统后,进气阻力小,充气效率高;②各缸分配均匀性高;③无结冰、汽阻现象;④加减速响应性好;⑤启动性好。主要缺点是:①安装性差,为安装必须改变机体;②成本高。

所以,当时开发电控汽油喷射技术的主要目标,受当时技术水平的限制,只是考虑其安装性,而对进气流量及混合气浓度的控制精度高等优点未能做出评价。

当时开发电控汽油喷射的主要目标就是在发动机结构改动量最小的前提下,安装喷射系统。

20世纪50年代中期,由于汽车排放对大气的污染日趋严重,因此已引起一些国家对排放污染问题的重视。1957年到1960年上半年,美国联邦和加利福尼亚州政府发布了污染调查报告书,并强烈要求汽车厂家采取排放控制措施;1960年,加利福尼亚州制定了排放法规,并于1965年7月开始实施,由此开始重视汽车排放控制技术。排放



控制技术之一，就是提高空燃比的控制精度。而当时电子技术已得到了相应的发展，锗晶体管已被硅管取代，不仅成本降低，而且提高了可靠性，已达到可作为车用部件的程度。半导体技术的发展，有力地推动了电控汽油喷射技术的发展，由此汽油喷射的优点才真正体现出来。

1962年波许公司着手开发电控汽油喷射系统，并于1967年研制出D-Jetronic(速度-密度)式第一代电控汽油喷射系统，如图1-1所示。

1972年波许公司又开发了质量流量式(板式空气流量计)电控间歇喷射的L-Jetronic系统，取代了D-Jetronic系统，以适应排放法规的要求，系统如图1-2所示。同时也开发了质量流量式连续喷射的机械式K-Jetronic系统(见图1-3)，并以欧洲为中心广泛应用。

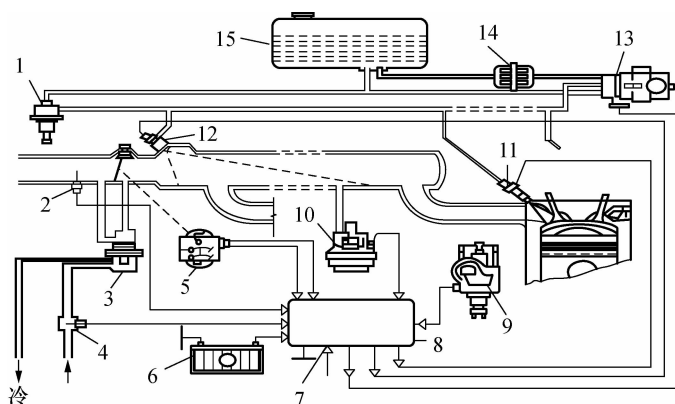


图 1-1 D-Jetronic 型电控汽油喷射系统

- 1—调压器；2—进气温度传感器；3—空气阀；4—水温传感器；5—节气门位置传感器；  
6—蓄电池；7—启动开关；8—ECU；9—分电器；10—进气压力传感器；  
11—喷油器；12—启动喷油器；13—燃油泵；14—滤清器；15—油箱

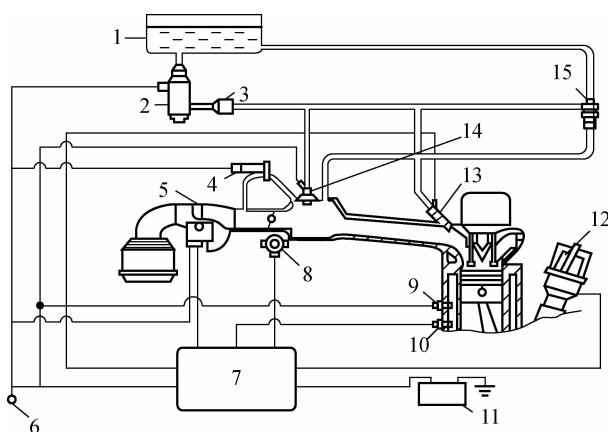


图 1-2 L-Jetronic 型电控汽油喷射系统

- 1—油箱；2—燃油泵；3—滤清器；4—空气阀；5—空气流量计；6—(接)启动开关；  
7—ECU；8—节气门开关；9—冷启动喷射定时开关；10—冷却水温传感器；  
11—蓄电池；12—分电器；13—喷油器；14—冷启动喷油器；15—调压器

chapter 01
chapter 02
chapter 03
chapter 04
chapter 05
chapter 06



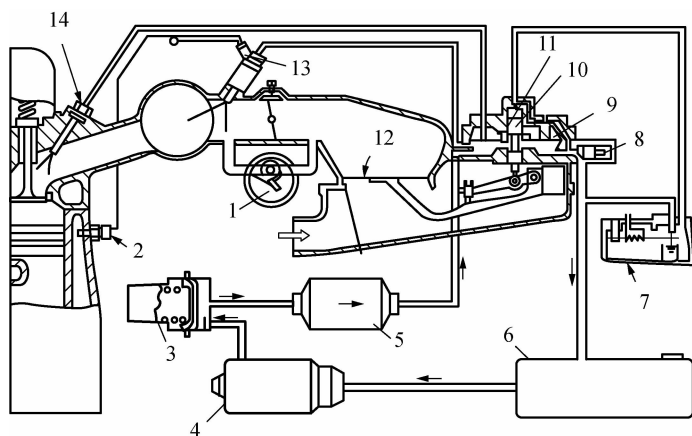


图 1-3 K-Jetronic 型机械式汽油喷射系统

- 1—空气阀；2—冷启动喷射定时开关；3—蓄压器；4—燃油泵；5—滤清器；  
6—油箱；7—缓冲控制装置；8—压力调节器；9—定压差阀；10—柱塞；  
11—燃料计量孔；12—空气计量板；13—冷启动喷油器；14—喷油器

1976年，通用(GM)公司将微机应用于点火时期的控制(MISAR)上，表明已开始进入(微机)数字化的控制阶段。此时，晶体管已IC化，模拟控制向数字控制方向发展。进入数字化控制后，电控汽油喷射技术在以下4个方面得到了显著的发展。

(1)控制集中化。所谓集中控制就是针对发动机的同一工况的信息，同时控制各子控制系统，使发动机达到最佳状态。通过集中控制可改善发动机的动力性、经济性、排放性以及行驶性。

(2)通过反馈控制和学习控制技术的应用，进一步提高控制精度。1981年丰田实现了氧传感器的反馈控制和学习控制。由此消除了因不同发动机以及汽油喷射系统零部件的差别和使用时间的变化而引起的空燃比的偏差。

(3)速度—密度控制方式的开发。微机的应用实现了复杂的控制和控制自由特性。所以，根据发动机转速 $n$ 和进气压力，可细致地调节喷射量，使速度—密度方式的空燃比控制精度达到与质量流量方式同等的水平。

(4)可实现独立喷射。1984年丰田开发了独立喷射方式的稀薄燃烧系统，进一步改善了经济性和排放特性。

随着油耗、排放法规的不断强化，化油器式汽油机逐渐被电控多点汽油喷射式汽油机所替代。尽管单点喷射作为从化油器过渡到多点喷射的过渡产品而投入市场，但在市场上以多点喷射占主流。汽油机通过应用电控汽油喷射技术和三效催化转化技术，已将排放控制在很低的水平。如图1-4所示的是现有汽油喷射方式的种类。

另一方面，为了进一步节能，减小会引起地球温室效应的 $\text{CO}_2$ 的排放量，目前已开发研制缸内直接喷射式电控汽油喷射系统(GDI)，并逐渐投放市场。缸内直接喷射方式，一方面通过缸内喷射雾化吸热，降低缸内进气温度，提高充气效率，由此改善动力性；另一方面利用稀薄燃烧技术，改善油耗的同时，有效降低 $\text{CO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 的排放量。

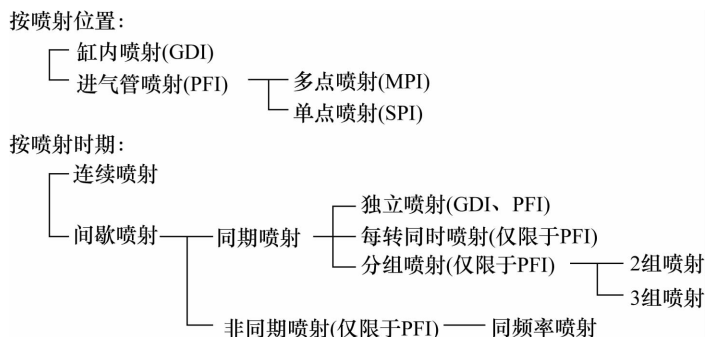


图 1-4 汽油喷射方式的分类

## 知识链接

### 缸内稀薄燃烧技术与典型缸内喷射发动机

目前,世界各大汽车公司都拥有自己的缸内喷射稀薄燃烧式发动机及稀薄燃烧技术。稀薄燃烧发动机的共同点是:利用缸内涡流运动,使聚集在火花塞附近的最浓混合气先被点燃,之后迅速向外层推进燃烧,并有较高的压缩比。

#### 1. 汽油机稀薄燃烧技术的特点

(1)压缩比高。采用紧凑型燃烧室,通过进气口位置的改进,使缸内形成较强的空气运动涡流,以提高气流速度;将火花塞置于燃烧室中央,缩短点火距离;提高压缩比至 13:1 左右,促使燃烧速度加快。

(2)分层燃烧。常规发动机,空燃比达到 25:1 时,混合气是无法点燃的。但通过由浓到稀的分层燃烧方式,通过缸内空气的特殊运动,在火花塞周围形成易于点火的浓混合气,空燃比达到 12:1 左右,外层逐渐稀薄。浓混合气点燃后,燃烧迅速波及外层。为了提高燃烧的稳定性,降低氮氧化物( $\text{NO}_x$ ),采用燃油喷射定时与分段喷射技术,即将喷油分成两个阶段。初期喷油,燃油首先进入缸内下部,随后在缸内均匀分布;后期喷油,浓混合气喷在火花塞四周,被点燃后实现分层燃烧。采用稀薄燃烧技术后,空燃比能够达到 25:1。

(3)高能点火。高能点火和宽间隙火花塞有利于火核的形成,火焰传播距离缩短,燃烧速度增快,稀薄燃烧极限大。有些稀薄燃烧发动机采用双火花塞或者多极火花塞装置来达到上述目的。

#### 2. 典型缸内喷射式发动机

三菱缸内直喷汽油机(GDI),可令空燃比达到 40:1。它采用立式吸气口,从气缸盖上方吸气,产生强大的下沉气流。这种下沉气流在气缸内形成纵向涡旋气流。在高压旋转喷射器的作用下,压缩过程后期被直接喷射进气缸内的燃油形成浓密的喷雾,喷雾在活塞的顶面空间中不是扩散而是汽化。这种混合气被纵向涡旋流带到火花塞附近,在火花塞四周形成较浓的层状混合状态。虽从燃烧室整



★ 微视频

燃烧控制

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05chapter  
06

体来看这种混合状态十分稀薄，但由于呈现从浓厚到稀薄的层状分布，因此能保证点火并实现稳定燃烧。

大众缸内直喷汽油机(FSI)。采用一个高压泵，汽油通过一个分流轨道(共轨)到达喷油器。它的特点是在进气道中已经产生可变涡流，使进气流形成最佳的涡流形态进入燃烧室内，以分层填充的方式推动，使混合气体集中在位于燃烧室中央的火花塞周围。

本田缸内直喷汽油机。将 VTEC 技术与稀燃技术相结合。当低转速时令其中一组进气门关闭，在燃烧室内形成一道稀薄的混合气体涡流，层状分布集结在火花塞周围，点燃引爆，从而起到稀薄燃烧作用。

### (三)柴油机的电控技术

柴油机的电控技术是在汽油机电控技术成功之后的 80 年代中期开始发展的。由于柴油机使用功率覆盖面大，而且热效率高，CO<sub>2</sub>排放量少，被广泛应用于轻型、中型以及重型车上。因此柴油机的电控技术按不同类型得到发展。如以 VE 型分配泵为主的柴油机电控技术广泛应用于轻型车用柴油机上。而中、重型柴油机用直列泵柴油机的电控技术主要以 TICS 泵为代表。这两种类型的电控系统，是在保留原机械式喷射系统结构特点的基础上，进行适当改进而成的。

位置式电控分配泵是在原机械式 VE 型分配泵的基础上，将油量控制滑套的控制方式，由机械式调速器改为线性比例电磁阀的控制方式。所以，其供油和泵油原理以及结构特点基本上与机械式 VE 型泵相同。只是在油量控制机构和喷油时刻的控制机构上稍做改动，消除了原机械式调速机构，增设了转速传感器、控制油量控制滑套位置的比例电磁阀、油量控制滑套位置传感器、控制喷射时期的电磁阀以及喷射定时器位置传感器等，其最高喷射压力可达到 70 MPa(1997 年)。而时间控制方式电控 VE 型分配泵是在其泄油通路上设置高速电磁阀，由此直接控制喷油。所以取消了 VE 型分配泵原有的溢油环。电磁阀的关闭时刻决定喷射始点，电磁阀关闭持续时间决定喷射量。为了提高电磁阀的响应特性，一般采用多圈线圈和大面积的电枢。电磁阀的响应速度受电源电压的波动、环境温度和机械部件磨损等因素的影响，因此必须进行相应的修正。与位置控制方式相比，时间控制方式泵体结构紧凑，控制电路更简单。

以 TICS(Timing and Injection rate Control System)泵为代表的电控式直列泵，是在原 P 型直列泵的基础上进行改进的。即用电子控制式步进电机替代原机械式调速器来控制喷射量，同时将原固定式柱塞套改为相对柱塞可滑动的滑阀并用旋转式步进电机来控制滑阀机构，以任意控制滑阀相对柱塞的位置，即通过控制柱塞开始供油和回油时刻来控制供油定时。

直到 20 世纪末，在中重型柴油车上广泛采用 TICS 泵，这种直列式电控系统也经历了三代。第一代产品是 1987 年投入市场的。当时的 TICS 泵的喷射压力仅为 70 MPa，出油阀采用回吸式；第二代产品是在第一代产品的基础上，通过采用等压阀、出油阀和小喷孔直径相组合，提高 TICS 泵的泵油控制能力，使 TICS 泵的喷射压力提



高到 120 MPa；第三代产品是通过特制的凸轮形线、柱塞长圆回油孔等手段控制喷射率，实现先导喷射控制，并使喷射压力达到 140 MPa。

TICS 泵的主要缺点是由于受该系统结构的限制，在通过滑阀机构控制喷射时，期间直接影响喷油规律(供油规律)的变化。

上述 VE 型电控分配泵和 TICS 型电控直列泵，虽然有效地改善了原机械式喷油泵无法实现的供油规律、供油定时的自由控制，但结构上仍然采用原机械泵系统，因此控制功能及自由度受限制，无法实现灵活、柔性控制。

随着社会环境及能源问题的日趋严峻，对柴油车的低公害、高输出、低油耗、低噪声的要求也不断提高，所以，对柴油机喷射系统提出了以下要求：

- (1) 喷射量、喷射时期的自由控制。
- (2) 喷射压力高压化。
- (3) 喷射率的最佳控制。

从 20 世纪 90 年代中后期开始，特别是进入 21 世纪以后，对汽车排放开始实施欧 III 法规，并逐步实施欧 IV、欧 V 等更严格的法规，同时一些先进国家从 2005 年开始实施有关控制油耗的节能法规。针对这种更严格的法规，上述两种以原机械式喷油泵为基础改进的电控喷射系统已是力不从心了。

所以，为了适应这种日趋严格的控制法规要求，在车用柴油机上已开始开发应用新型的喷射系统，如单体泵、高压共轨及泵喷嘴等高压喷射系统。这种高压喷射向喷雾内道注入空气，使喷雾内的混合气浓度变稀；而且高压喷射促进燃料喷注的微粒化，使油滴平均粒径减小，因此有利于燃料的蒸发和燃烧；此外高压喷雾自身具有很大的运动能量，这一能量随喷雾转移到空气中时产生很强的空气紊流，以促进燃烧过程。同时，车用柴油机喷射系统采用这种新型电控系统以后的主要特征还表现在以下几个方面：

- (1) 控制自由度变宽。
- (2) 控制精度高，直接检测控制对象量进行反馈控制。
- (3) 增设自诊断系统和故障应急机能，以提高维修性和安全性。
- (4) 增设数据通信技能，提高总体系统的功能。
- (5) 通过只改变 ECU 的程序，易开发各种控制机能。

高压共轨式喷射系统由高压供给泵、共轨及喷射装置以及各种传感器等构成。共轨式喷射系统的特点是供油泵和喷油器功能相互独立，互不影响，所以控制自由度高而灵活，而且其喷射压力与发动机转速无关，在整个运转领域范围内保持一定的喷射压力。这与转速降低时喷射压力随之减小的列型泵相比是最大的优点。而且在同样的喷射压力下共轨式的驱动扭矩也小，这有利于改善油耗。高压共轨式喷射系统由于具有高喷射压力化的能力和高精度的控制自由度而很受重视，并逐渐得到广泛应用。高压共轨系统的喷射压力经过三代，从第一代的 120 MPa 依次升高到第二代的 160 MPa 和第三代的 180 MPa。但这种高压共轨系统存在的主要缺点就是结构上仍然采用泵—管—管—嘴的形式，即供油泵和喷油器之间设有高压油管 and 共轨(蓄压室)，因此给管路的

高压密封带来更高的要求。

泵喷嘴高压喷射系统则针对高压共轨系统的缺点，在泵和喷油器之间取消了高压油管等，直接将高压供油泵和喷油器一体化。因此结构相对比较简单，控制灵活，易实现高压，目前最高喷射压力已达到 200 MPa。

单体泵又称为 PLD 系统，是一种通过发动机凸轮轴驱动设置在发动机内部的喷油泵柱塞部，经短喷射管向喷射器供油的喷射系统。单体泵也要求高压化，现已改良成喷射压力可达到 160 MPa 的水平。为控制喷射量、喷射时期，对电子化的要求很高。这种电控式单体泵适用于小缸径 4 个阀喷射器中央布置的发动机。

## 知识链接

### 汽车发动机电控技术的发展方向

从汽油机和柴油机电控技术的发展历程来看，汽车发动机电控技术快速发展的根本动力是具有法规效力的强制性排放标准的颁布。因此，随着汽车保有量的快速增加，汽车污染问题日益严重，汽车污染物排放法规会越来越严格，未来汽车发动机电子控制技术仍将把按规定时间达到的排放标准作为主要发展方向。同时，能源越来越紧张，降低汽油机的能耗也已经成为汽车界当前必须解决的问题。

发动机集中管理系统仍然是发动机电子控制技术首选的控制模式，但是随着 32 位微机甚至 64 位微机在发动机管理系统中的应用和数据通信方式的改变，发动机集中管理系统的控制功能将进一步拓展整个动力总成系统的控制和管理，控制方式将从现在的被动控制向主动控制转变，控制功能和内容将得到增加，过去无法实现的控制功能(如发动机燃烧过程的控制等)将成为现实。

为了满足更严格的排放法规及减少  $\text{CO}_2$  排放的要求，汽油机缸内直喷技术、分层稀薄燃烧控制技术将是汽油机技术发展的重要方向。为了实现分层稀薄燃烧，除了需要对汽油机本身结构进行重大改进外，还需要对电控系统的控制功能进一步完善。为了实现汽油机的缸内直喷分层稀薄燃烧，电控系统需要新增的主要控制功能有：

(1) 喷油规律的控制，包括喷油定时、喷油量和喷射方式(是一次喷入，还是分若干次喷入)控制。

(2) 可燃混合气浓度分布控制，即通过配气正时，纵向进气涡流强度的控制，结合喷油规律达到以往不可能实现的理想混合状态，以实现可控分段燃烧。

(3) 输出转矩控制，与柴油机类似，通过控制喷油量来改变发动机的输出转矩，实现从发动机开始就能对变速器和整车行驶进行控制。

(4) 可变 EGR 控制，即根据汽油机的运行工况和可燃混合气分层情况，对 EGR 量实现可变控制等。对柴油机而言，为了满足  $\text{NO}_x$  和 PM 排放标准的要求，开发采用单端预混燃烧(MK)或在使用率高的部分负荷区域采用“低温预混燃烧”(M-Fire 燃烧)的新型柴油机。

四元催化净化装置的研究和开发将是柴油机技术的重要发展方向之一。为了

实现单段预混燃烧，除了需要对柴油机本身结构和喷射系统进行重大改进外，电控系统还需增加以下控制功能：喷油规律控制(喷油定时、喷油量和喷射速率控制等)、燃烧过程反馈控制、进气涡流控制、配气正时控制等。

## 二、汽车发动机电控系统的组成和类型

汽车发动机电控系统的主要功能是提高汽车动力性、经济性和排放性能。发动机电控系统型号不同，控制系统的功能、控制参数和控制精度也有所不同。

### (一) 电控系统的基本组成

就总体结构而言，发动机电控系统都是由传感器、电子控制单元(ECU)和执行器三部分组成，如图 1-5 所示。



图 1-5 电控系统的基本组成

#### 1. 传感器

传感器是将各种非电量(物理量、化学量、生物量等)按一定规律转换成便于传输和处理的另一种物理量(一般为电量)的装置。在发动机电控系统中，传感器的功能是将发动机各部件运行的状态参数(各种非电量信号)转换成电量信号并输送到电控单元(ECU)。每个传感器都是一个完整的测量装置，它们传输的信息是电控系统做出各种控制决策的依据。发动机型号不同，装备的传感器数量也不同。一般控制功能越多，控制的精度要求越多，所需的传感器就越多。

#### 2. 电子控制单元(ECU)

电子控制单元(ECU)是以单片微型计算机(单片机)为核心所组成的电子控制装置，具有强大的数学运算、逻辑判断、数据处理与数据管理等功能。电子控制单元的主要任务是：向各种传感器提供它们所需的基准电压；接收传感器或其他装置输入信号，并将它们转换为微机能够处理的数字脉冲信号；储存输入的信息，运用内部已有的程序对输入信息进行运算分析，输出执行命令；根据发动机性能的变化，自动修正预置的标准值；将输入信息与设定的标准值进行比较，如发现数据异常，则确定故障位置，并把故障信息储存在存储器中。

#### 3. 执行器

执行器又称为执行元件，是电控系统的执行机构。执行器的功能是接受电子控制单元(ECU)发出的指令，从而完成具体的执行动作。执行器一般是由 ECU 控制执行器电磁线圈的搭铁回路，也有的是由 ECU 控制的某些电子控制电路，如电子点火控制器等。

### (二) 电控系统的类型

电控系统有两种基本类型：开环控制系统和闭环控制系统。

#### 1. 开环控制系统

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

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05chapter  
06

作用没有影响，该系统称为开环控制系统。

开环控制系统的控制方式很简单，但系统出现扰动时，控制精度会降低。ECU 只根据各传感器信号对执行元件进行控制，控制的结果是否达到预期目标对其控制过程没有影响。开环控制系统工作原理如图 1-6 所示。

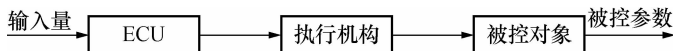


图 1-6 开环控制系统工作原理

## 2. 闭环控制系统

在控制系统中，如果输出端与输入端之间存在反馈回路，输出量对系统的控制作用有直接影响的系统，称为闭环控制系统。闭环控制系统除了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进行修正，所以闭环控制系统的精度比开环控制系统高。闭环控制系统的工作原理如图 1-7 所示。

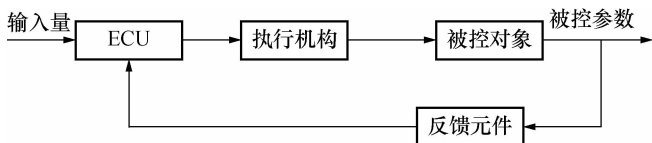


图 1-7 闭环控制系统工作原理

### (三) 传感器

在控制系统中，传感器是采集并向 ECU 输送信息的装置。目前广泛应用在汽车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。不同发动机的电控系统，其控制功能和控制所需的信息不同，所使用的传感器种类也不完全相同。汽车发动机集中控制系统所用的传感器主要有以下情况：

#### 1. 空气流量计 (AFS)

在电控燃油喷射系统中，空气流量计的作用是对进入气缸内的空气量进行计量，并把空气流量信号输送到发动机 ECU，ECU 据此决定基本喷油量和点火时间。即空气流量计是电控发动机喷油量和点火正时的主控信号。

#### 2. 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)以及节气门开闭的速率(单位时间内开闭的角度)信号，将此信号输入 ECU，用于燃油喷射控制及其他辅助控制(如 EGR、开闭环控制等)。

#### 3. 凸轮轴位置传感器 (CMP)

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)，作为供油正时控制和点火正时控制的主控制信号。

#### 4. 曲轴位置传感器 (CKPS)

曲轴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，作为供油正时控制和点火正时控制的主控制信号。

★ 微视频



闭环反馈控制

★ 微视频



空气流量计

★ 微视频



节气门位置传感器

### 5. 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。

### 6. 发动机冷却液温度传感器(ECTS)

发动机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发动机的修正信号。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。

### 7. 车速传感器(VSS)

车速传感器检测汽车行驶速度, 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。

### 8. 氧传感器(O<sub>2</sub>S)

氧传感器用来检测汽车排气中的氧含量, 向 ECU 输送空燃比的反馈信号, 进行喷油量的闭环控制。

### 9. 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, 可作为点火正时控制的修正(反馈)信号。

### 10. 进气歧管压力传感器(MAPS)

进气歧管压力传感器是测量进气管内气体的绝对压力, 并将该信号输入 ECU, 作为燃油和点火控制的主控制信号。

### 11. 启动开关(STA)

启动信号用来判断发动机是否处于启动状态, 在启动时, 进气管内混合气的流动速度慢, 温度低, 燃油的雾化较差。为了改善启动性能, 在启动发动机时必须使混合气加浓。当启动信号被 ECU 检测到以后, 确认发动机处于启动状态时, ECU 便自动增加喷油量, 因此, 发动机启动时, 通过启动开关给 ECU 提供一个启动信号, 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)

空调开关又称为空调信号。空调信号主要用来检测空调压缩机是否工作。空调信号与空调压缩机电磁离合器的电源在一起, ECU 根据 A/C 信号控制发动机怠速时的点火提前角、总转速和断油转速等。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(停车或空挡)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 挡位或 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 挡位时发动机启动。

### 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。



排气氧传感器

chapter	01
chapter	02
chapter	03
chapter	04
chapter	05
chapter	06



### 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跳动时，由于动力转向油泵工作而使发动机的负荷加大，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及其功能的扩展，传感器的数量也将不断增加，以满足人们更高的要求。

#### (四)电子控制单元(ECU)

电子控制单元(ECU)俗称“大脑”，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，但基本上必须具备以下功能：

(1)给传感器提供标准 2 V, 5 V, 9 V 或 12 V 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，确定并存储故障信息。

(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 各端子的工作参数并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。如果 ECU 发生故障，一般情况下无法修理，则必须更换。

#### (五)执行元件

执行元件是受 ECU 控制并具体执行某项控制功能的装置。在发动机控制系统中，执行器主要有下列各种形式：①电磁式喷油器；②点火控制器(点火模块)；③怠速控制阀、怠速电动机；④EGR 阀；⑤进气控制阀；⑥二次空气喷射阀；⑦活性炭罐排泄电磁阀；⑧车速控制电磁阀；⑨燃油泵继电器；⑩冷却风扇继电器；⑪空调压缩机继电器；⑫自动变速器挡位电磁阀；⑬增压器释压电磁阀；⑭自诊断显示与报警装置；⑮故障备用程序启动装置；⑯仪表显示器。随着控制功能的增加，执行器也将相应增加。

### 三、汽车电控发动机的优点

虽说目前市场上绝大多数汽油机都采用电控发动机，但部分柴油机仍然采用机械式，因此有必要了解下电控发动机的优点。所谓电控发动机，属于采用电子控制单元(ECU)控制燃油喷射的发动机，它在节油与环保方面具有明显的优势，与机械式发动

机相比较，电控燃油喷射发动机优点如下：

(1)在各种运行工况下都能提供最适合发动机的混合气浓度，使发动机在各种工况下都能保持最佳的动力性、经济性、加速性和排放性能。

(2)由于增大燃油的喷射压力，所以雾化比较好；各缸的燃油分配比较均匀，有利于提高发动机运转的稳定性。

(3)当汽车在不同地区行驶时，针对大气压力或外界环境温度变化引起的空气密度的变化，ECU 能够及时准确地做出补偿和调整。

(4)在汽车加减速行驶的过渡运转阶段，燃油控制系统能够迅速做出反应，使汽车加减速运行性能更加良好。

(5)具有减速断油功能，既可以降低排放，也能节省燃油。

(6)在发动机启动时，可以用 ECU 计算出启动时所需的供油量，并且能使发动机顺利实现暖机运转，使发动机启动容易，且暖机性能也能得到提高。



### 任务实施

一辆一汽-大众生产的捷达手动 1.6 L 车行驶 253 250 km 后，忽然出现不着车现象，车主首先在非一汽-大众特许经销商处维修其车辆，维修后的当天下午，该车又无法启动，在社会修理厂维修后还是没有解决问题，于是将车拖到服务站 A 维修，经销商经过两天维修，未能解决故障。通过检查车辆，该车出现的不正常现象有：①发动机没有高压电，喷油嘴也不喷油，点火和喷油嘴供电正常；②启动车辆的同时，油泵继电器频繁地吸合、断开，车辆无一点着车迹象；③启动时仪表上的发动机转速表有波动，同时车速表也偶尔指到 40、60 等；④该车拔掉霍尔传感器 G40 后，启动车辆无故障码产生。车主曾做过的维修如下：①更换了发动机控制单元、防盗器控制单元、发动机转速传感器(G28)和霍尔传感器(G40)；②更换过点火开关底座、主继电器、油泵继电器；③拆下油底壳检查过 G28 脉冲信号发生转子，检查过 G28 与脉冲信号发生转子间隙，测量 G28 波形也正常；④检查处理各接地点，并打磨重新安装。

(1)任务解析：

用 VAS5051B 读取发动机和防盗器控制单元的故障码，在 01—发动机控制单元内显示：发动控制单元锁死。在 25—防盗器控制单元内显示：防盗钥匙超过上限，于是重新检查并匹配点火钥匙，匹配过程中发现在防盗器控制单元内被设置成匹配 10 把点火钥匙(我们车辆最多 8 把)，匹配成功后，在 01—发动机控制单元和 25—防盗器控制单元内的故障码不再出现，但是仍然无法启动车辆，根据以上故障现象确定了维修方向为：发动机电脑程序没有进行正常工作。据此分析该车辆故障可能产生的原因：

①防盗器系统未正确授权导致(已经通过 VAS5051B 匹配排除)。

②发动机控制单元本身出现故障(已经更换过，确定控制单元本身正常)。

③其他原因导致电脑程序未工作(供电及线路都已排除，考虑到可能存在的电磁干

chapter  
01

chapter  
02

chapter  
03

chapter  
04

chapter  
05

chapter  
06

扰，断开发电机插头并更换新高压线一套，因 A 经销商技术经理说用牵引的方法也无法启动车辆，故当时没有更换启动机)。第二天，该车转到 B 经销商维修，客户告诉维修技师该车是因为在非 4S 店保养启动机几个小时后出现的故障，于是技师马上考虑更换启动机，更换后故障得以排除。

### (2)故障原因分析

技师首先确定该车为电磁干扰造成的发动机控制单元故障，为了探究保养完启动机后究竟是哪里出现了问题，故拆解了故障启动机，发现问题如图 1-8 所示。



图 1-8 启动机内部的转子和行星齿轮的挡油盘之间严重磨损

启动机转子线圈的端面(左边圈住部分)已经严重磨损，并已经将线圈的绝缘漆损坏，当启动机转子旋转时，线圈被挡油盘(金属件)断路，产生强电磁干扰导致发动机控制单元的程序无法正常工作，所以车辆无法启动。因此将启动机更换，故障得以排除。该车不着火的主要原因是电磁干扰了发动机控制单元，而发动机电控单元作为电控系统的核心部件起着决定性作用，因此我们应了解和掌握发动机电控单元的功能。同样，对于发动机电控系统的其他组成部件原理和功能等也须熟悉和掌握，这样发动机出现故障时我们可以多个角度排除故障直至最终解决问题。

## 知识拓展

### 发动机 ECU 技术原理详解

日前，神龙汽车有限公司召回 2010 年 1 月 18 日至 2011 年 8 月 17 日生产的部分东风标致 408/2.0 L 自动挡轿车，涉及数量 25 792 辆。本次召回范围内的车辆，是由于发动机软件低速适配稳定性不良，车辆在起步或低速行驶时会偶尔出现熄火现象。神龙汽车有限公司将为召回范围内车辆免费升级发动机软件，以消除故障隐患。本文将对发动机软件(以下简称 ECU)的设计问题进行技术解读。

ECU 如此关键，那它的主要功效是什么呢？

ECU(Electronic Control Unit)电子控制单元，又称“行车电脑”“车载电脑”等。从用途上讲是汽车专用微机控制器，也叫汽车专用单片机。它和普通的单片机一样，由微处理器(CPU)、存储器(ROM、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。电控单元的功用是根据其内

存的程序和数据对空气流量计及各种传感器输入的信息进行运算、处理、判断，然后输出指令，向喷油器提供一定宽度的电脉冲信号以控制喷油量。电控单元由微型计算机、输入、输出及控制电路等组成。

在 ECU 中 CPU 是核心部分，它具有运算与控制的功能，发动机在运行时，它采集各传感器的信号进行运算，并将运算的结果转变为控制信号，控制被控对象的工作。它还实行对存储器 (ROM、RAM)、输入/输出接口 (I/O) 和其他外部电路的控制；存储器 ROM 中存放的程序是以经过精确计算和大量实验取得的数据为基础，这个固有程序在发动机工作时，不断地与采集来的各传感器的信号进行比较和计算。把比较和计算的结果用作对控制发动机的点火、空燃比、怠速、废气再循环等多项参数的控制。它还有故障自诊断和保护功能，当系统产生故障时，它还能在 RAM 中自动记录故障代码并采用保护措施，从上述的固有程序中读取替代程序来维持发动机的运转，使汽车能开到修理厂。

正常情况下，RAM 也会不停地记录行驶中的数据，成为 ECU 的学习程序，为适应你的驾驶习惯提供最佳的控制状态，这个程序也叫自适应程序。但由于是存储于 RAM 中，就像错误码一样，一旦去掉电瓶失去供电，所有的数据就会丢失。

目前在一些中高级轿车上，不但在发动机上应用 ECU，在其他许多地方都可发现 ECU 的踪影。例如防抱死制动系统、四轮驱动系统、电控自动变速器、主动悬架系统、安全气囊系统、多向可调电控座椅等都配置有各自的 ECU。随着轿车电子化、自动化的提高，ECU 将会日益增多，线路会日益复杂。为了简化电路和降低成本，汽车上多个 ECU 之间的信息传递就要采用一种称为多路复用通信网络的技术，将整车的 ECU 形成一个网络系统，也就是 CAN 数据总线。

#### 附：发动机控制模块——发动机的灵魂的工作原理

如图 1-9 所示为 Delphi 新一代发动机控制模块 ECM。ECM (Engine Control Module 发动机控制模块) 就像发动机的灵魂一样，控制整个发动机的运转。要控制发动机，就必须有许多感应器 (Sensor) 来接收并传递发动机运转信息，一个发动机通常会有进气温度感知器 (IAT Sensor)、油门开度感知器 (TPS Sensor)、歧管压力感知器 (MAP Sensor)、水温感知器 (ECT Sensor)、曲轴角度感知器 (Crank Sensor)、爆震感知器 (Knock Sensor)、含氧感知器 ( $O_2$  Sensor) 等，这些感应器将发动机各种状态信息送至 ECU (Engine Control Unit) 做运算，这些发动机运转信息经过运算后，会由 ECU 对各个制动器 (Reactor) 发出控制讯号来控制制动器的制动，发动机上常见的制动器有怠速控制阀 (IAC)、喷油模块、点火模块、EGR 阀、VVT 控制器、活性炭罐 (EEC) 脱气阀等。这么多的感知器及制动器，最主要的功能就是计算并控制发动机的最佳喷油量及点火时机，当然还有一些控制是为了符合环保法规，如活性炭罐脱气阀。

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05chapter  
06



图 1-9 Delphi 新一代发动机控制模块

在“控制学”中，所谓“开回路控制”是指控制器按已写入的控制模式，单向地下指令给制动器制动；而“闭回路控制”则是在控制回路中加入回馈信号，以修正制动器的作动量。在喷油控制系统中，是由 ECU 依据当时发动机运转状况，将该条件下所设定之喷油量指令传送至喷油嘴。在开回路控制下，ECU 送给喷油嘴的喷油指令不会受回馈信号的修正。在闭回路控制下，其喷油指令将受回馈信号的修正，而回馈信号的来源是含氧感知器。含氧感知器会侦测废气中的含氧量，并把含氧量信号送至 ECU，ECU 会依据含氧量及喷油量计算出实际空燃比，若是侦测出混合气太稀（空燃比大），ECU 会朝浓油方向修正；若是侦测出混合气太浓（空燃比小），ECU 会朝稀油方向修正，让发动机在最佳空燃比下运转，这时发动机的燃油消耗会最小。

发动机何时会处于闭回路控制，又何时会处于开回路控制呢？在一般的运转状况下，发动机都是采用闭回路控制，而当油门开度过大、急加速及冷车状态时，发动机就会进入开回路状态。尤其在大脚踩油门时，发动机不但处于开回路状态，甚至还会进入喷油增浓模式，所以一定比较耗油。目前油价节节攀升，省油最好的方法，就是好好克制自己的右脚！

## 拓展实训：发动机电控系统总体结构认知

### 实训目的

- (1) 了解发动机电控系统总体组成。
- (2) 区分与识别发动机电控系统上的主要传感器和执行器。
- (3) 了解发动机电控系统的工作原理。



## 实训内容

### 实训工具及设备

- (1) 常用工具 1 套；
- (2) 发动机试验台架若干台，动态或静态解剖发动机台架一台。

### 实训步骤

#### 1. 讲解内容

(1) 汽车电喷发动机的控制是由发动机电子控制系统来完成的，其主要功能是控制空燃比、喷射时刻和点火时刻等。除此之外，还控制发动机的冷热车启动、怠速转速、最大转速、废气再循环(EGR)、二次空气喷射、爆燃、电动燃油泵、故障自诊断以及给电控系统发送状态信号等功能。其工作性质是采集发动机各部位工况信号，根据采集到的信号计算确定最佳喷油量、最佳喷油时刻和最佳点火时刻。

(2) 由实验室教师按照实训发动机实物讲解电子控制系统的组成，包括传感器、电控单元、燃油系统、爆燃和反馈控制等。

#### 2. 现场演示

由实验室教师启动试验台的发动机工作，结合实物让学生们现场观察电控系统的各个传感器及执行器的工作情况。

#### 3. 实训教学延伸

实验室指导教师结合现有其他型号发动机试验台，介绍其他典型的发动机电控系统的类型与特点。

## 实训报告

发动机电控系统 总体结构认识	姓名		学号	
	班级		日期	

### 一、实训目标

1. 了解发动机电控系统的基本组成及功能。
2. 掌握识别各主要传感器、执行器的方法，熟悉各部件的安装位置。

### 二、基本知识准备

1. 填写发动机电控系统的基本组成简图。



2. 填写出图 1-10 中 1~17 号元件的名称(桑塔纳 3000 发动机实物图)。

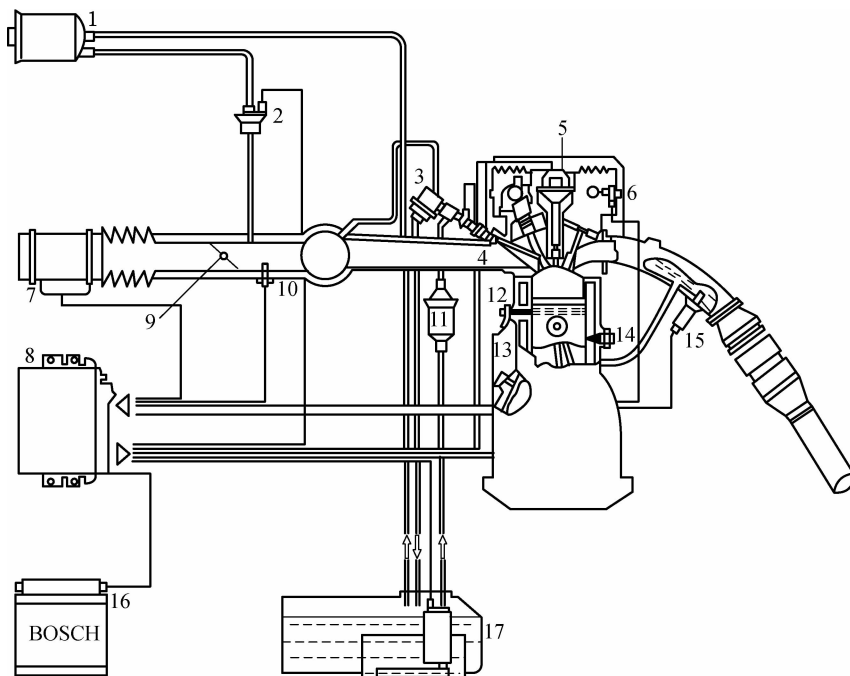


图 1-10 桑塔纳 3000 发动机实物图

3. 简述发动机控制系统中空气流量计、曲轴转速传感器、凸轮轴传感器、爆震传感器、氧传感器的作用。

三、实训考核

1. 在发动机台架上找出各传感器和执行器的位置。
2. 总结实训过程，写好实训总结。

四、遵守安全操作规程

教师评语	本次实训成绩		
	良好	合格	不合格

## 教师评分

发动机电控系统 总体结构认识	姓名		学号	
	班级		日期	

## 一、基础知识准备(每题 10 分,共 30 分)

1. 填写发动机电控系统的基本组成简图。
2. 填写出 1-10 图中 1~17 号元件的名称(桑塔纳 3000 发动机实物图)。
3. 简述发动机控制系统中空气流量计、曲轴转速传感器、凸轮轴传感器、爆震传感器、氧传感器的作用。

## 二、实训考核(每题 15 分,共 30 分)

1. 在发动机台架上找出各传感器和执行器的位置。
2. 总结实训过程,写好实训总结。

## 三、遵守安全操作规程

1. 学生工具及量具选用、使用错误,扣 5 分;
2. 学生工具、零部件摆放不整齐,无序,扣 5 分;
3. 学生实训过程中出现掉落工具、零件情况,扣 5 分;
4. 学生在操作过程中出现重大违规及危及人身安全情况,扣 20 分。

## 四、实训评估

采用自评、小组评和教师评的方式对实训情况进行评分,每项分值为 10 分。

评价人	基本知识掌握程度	工作态度	团队合作能力	任务完成情况
自评				
小组评				
教师评				
平均分				

注明:总分 $\geq 80$ 分为优良;  $60 \leq$ 总分 $< 80$ 分为及格;总分 $< 60$ 为不及格。

## 学习检测



## 填空题

1. \_\_\_\_\_是发动机控制系统核心。
2. 动力转向开关信号表示\_\_\_\_\_的信息。
3. 爆燃传感器是作为\_\_\_\_\_控制的修正信号。
4. 电控系统由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三大部分组成。
5. 电控系统有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_两种基本类型。
6. \_\_\_\_\_是采集并向 ECU 输送信息的装置。

chapter	01
chapter	02
chapter	03
chapter	04
chapter	05
chapter	06



## 问答题

1. 电控技术对发动机性能有何影响？
2. 传感器的功用是什么？
3. 什么叫开环控制系统？什么叫闭环控制系统？
4. 电子控制单元的功能是什么？

