

## 第 5 章 电控汽油喷射系统

**教学提示：**采用电控汽油喷射系统有效地提高了发动机的动力性和经济性并改善了排放性能。其组成包括燃油供给系统、空气供给系统和电子控制系统。

**教学目标：**要求学生了解电控汽油喷射系统的分类及工作原理，重点掌握 L 型汽油喷射系统的组成及工作原理，掌握电控汽油喷射系统中主要部件的结构和工作原理。

### 5.1 概 述

电控汽油喷射系统 EFI(Electronic Fuel Injection)是利用电子控制技术控制喷油器，将一定数量和压力的汽油直接喷射到进气管道或汽缸中，与进入的空气混合而形成可燃混合气的汽油机燃油供给装置。

化油器不能满足对现代汽车提出的降低排放、提高动力性和经济性的迫切要求。自 20 世纪 90 年代以来，电子控制的汽油喷射系统在一些发达国家生产的汽车上已取代了传统的化油器。我国政府也规定，自 2001 年起，新生产的轿车全部取消化油器。

化油器燃油供给系统与电控燃油喷射系统的比较如图 5.1 所示。化油器燃油供给系统的可燃混合气的形成和控制是通过化油器实现的，这已在第 4 章作了详细介绍。进入燃烧室的混合气量与发动机负荷成一定的比例关系，混合气浓度可以根据发动机工况调节，但控制精度不高。电控燃油喷射系统通过空气流量计预先测定空气量，然后电控单元根据进气量的多少控制喷油器喷射燃油。吸入的空气与喷油器喷出的雾状汽油混合形成可燃混合气。

与传统化油器式发动机相比，装有电控汽油喷射系统的发动机具有下列优点：

- 1) 由于进气管道中没有喉管，提高了发动机的充气效率，增加了发动机的功率和转矩。
- 2) 对可燃混合气成分进行精确的控制，使发动机在任何工况下都处于最佳的工作状态。
- 3) 发动机各缸可燃混合气量的分配更加均匀，节省燃油并减少废气排放中的有害成分。

采用汽油喷射系统的发动机与传统的化油器式发动机相比，发动机的功率可提高 5%~10%，油耗降低 5%~10%，废气中有害排放含量减少 15%~20%，能满足目前严格的排放及燃料经济性法规的要求。

#### 5.1.1 分类

车用汽油喷射系统有多种类型，可按不同方法进行分类。

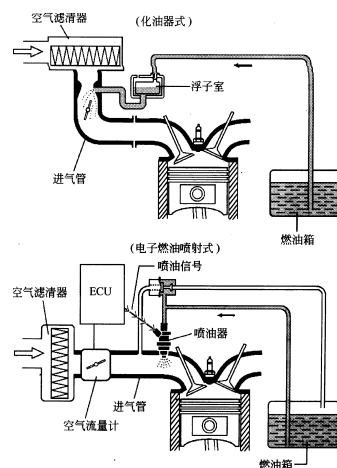


图 5.1 化油器燃油供给系统与电控燃油喷射系统的比较

### 1. 按喷射控制装置的形式分类

按喷射控制装置的形式不同可分为：机械控制式、机电混合控制式及电子控制式。其中机械式汽油喷射系统，汽油的计量是通过机械与液力传动实现的。在电子控制汽油喷射系统(EFI)中汽油、空气的计量和喷射是由电控单元及电磁喷油器实现的。而电控系统根据其控制过程又可分为开环控制方式及闭环控制方式。近年来电子控制汽油喷射系统得到了迅速的发展，并得到广泛的应用。

### 2. 按喷油器喷射部位的不同分类

按喷射部位的不同可分为缸内喷射和缸外喷射两种。缸外喷射系统分为进气管和进气道喷射，是将喷油器安装在进气管或进气道上，以  $0.1\sim 0.35\text{MPa}$  的喷射压力将汽油喷入进气管或进气道内。缸内喷射也称直接喷射，是通过安装在汽缸盖上的喷油器，将汽油直接喷入汽缸内。这种喷射系统需要较高的喷射压力，约  $3\sim 5\text{MPa}$ 。

进气管喷射系统的喷油器安装在节气门体上(图 5.2)，节气门体安装在进气支管的上部，相当于化油器式发动机安装化油器的位置。因此，进气管喷射又称节气门体喷射 TBI(= Throttle Body Injection)。由于一台发动机只装有 1 或 2 个喷油器在节气门体上，汽油喷入进气道后与进气气流混合，形成的可燃混合气由进气支管分配到各个汽缸，所以又称这种喷射方式为单点喷射 SPI(Single Point Injection)。

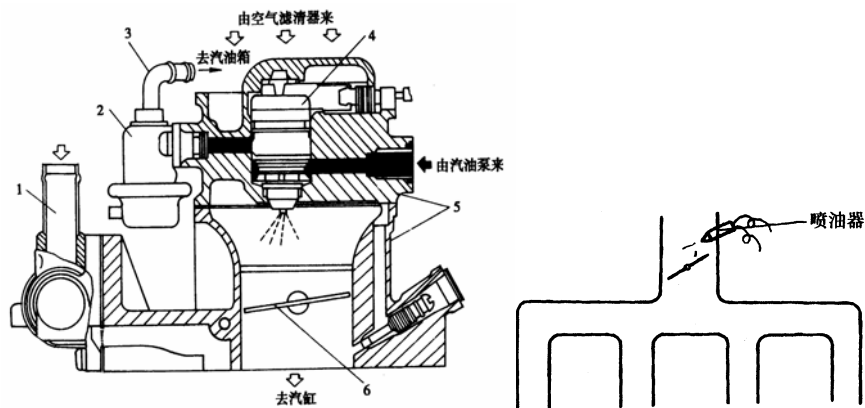


图 5.2 进气管喷射(节气门体喷射, 单点喷射)

1—空气阀 2—油压调节器 3—回油管 4—喷油器 5—节气门体 6—节气门

进气道喷射系统是每个汽缸设置一个喷油器，各个喷油器分别向各缸进气道(进气门前方)喷油(图 5.3)。这种喷射方式又称多点喷射 MPI(Multi Point Injection)。

### 3. 按进气量的检测方式分类

按进气量的检测方式不同可分为：流量型系统和压力型系统两种。流量型系统以质量流量方式检测进气量，即用空气流量计直接检测出进气管的空气流量，用测得的空气流量除以发动机的转速而得每一循环的空气量，由此算出每一循环的汽油喷射量。此方法检测精度高，目前使用较为广泛。压力型系统以速度—密度方式检测进气量，即通过压力传感器测出进气管的压力，再根据发动机的转速间接地推算出进气流量，从而确

定汽油喷射量。因进气管压力与吸入的空气量间不是简单的线性关系，故此法的检测精度不高。

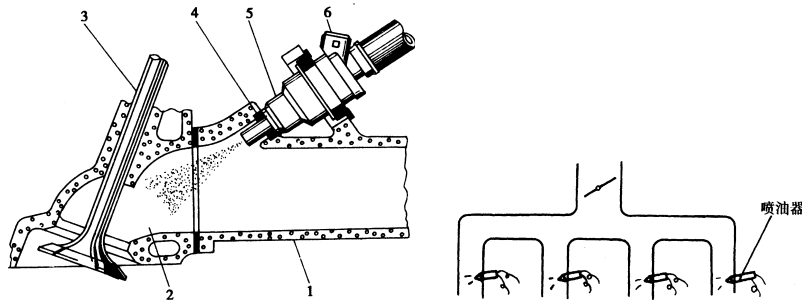


图 5.3 进气道喷射(多点喷射)

1—进气支管 2—进气道 3—进气门 4—密封圈 5—喷油器 6—接线柱

#### 4. 按喷射的控制方式

按喷射的连续性将汽油喷射系统分为连续喷射式和间歇喷射式。连续喷射是指在发动机工作期间，喷油器连续不断地向进气道内喷油，且大部分汽油是在进气门关闭时喷射的。这种喷射方式大多用于机械控制式或机电混合控制式汽油喷射系统。间歇式喷射是指在发动机工作期间，汽油被间歇地按一定规律喷入进气道内。电子控制汽油喷射系统都采用间歇喷射方式。

间歇喷射还可按各缸喷射时间分为同时喷射、分组喷射和顺序喷射等三种形式。同时喷射是电控单元发出同一个指令控制各缸喷油器同时喷油(图5.4)。分组喷射是指各缸喷油器分成两组，每一组喷油器共用一根导线与电控单元连接，电控单元在不同时刻先后发出两个喷油指令，分别控制两组的喷油器交替喷射(图5.5)。顺序喷射则是指喷油器按发动机各缸的工作顺序进行喷射。电控单元根据曲轴位置传感器信号，辨别各缸的进气行程，适时发出各缸喷油指令以实现顺序喷射(图5.6)。

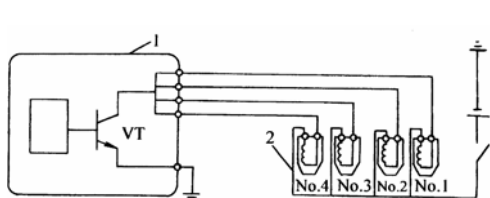


图 5.4 同时喷射控制方式电路

1—ECU 2—喷油器

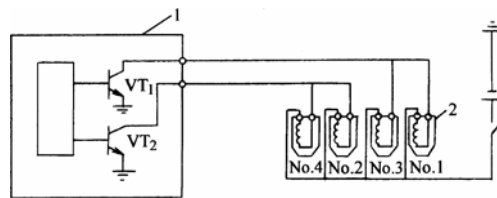
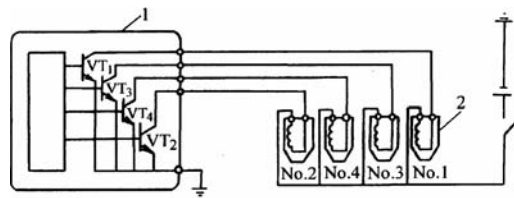


图 5.5 分组喷射控制方式电路

1—ECU 2—喷油器



1—ECU 2—喷油器

图 5.6 顺序喷射方式控制电路

本章主要介绍电子控制汽油喷射系统。

### 5.1.2 系统组成和工作原理

#### 1. 系统组成

电子控制汽油喷射系统的类型较多,但其组成基本相同,即由燃油供给系统、空气供给系统、电子控制系统组成。

##### 1) 燃油供给系统

燃油供给系统是向汽缸内供给燃烧时所需一定量的燃油。燃油供给系统的组成如图 5.7 所示,主要由燃油箱、燃油泵、燃油滤清器、燃油压力调节器及喷油器等组成。燃油泵将燃油从燃油箱吸出后经过燃油滤清器,除去杂质和水分。燃油压力调节器控制供油总管的油压(一般  $0.25\sim 0.3\text{MPa}$ )后,送至各缸喷油器或低温启动喷油器。喷油器根据电控单元的喷油指令,把适量的燃油喷射到进气门前,在进气行程时,燃油与空气形成的可燃混合气被吸入汽缸内。

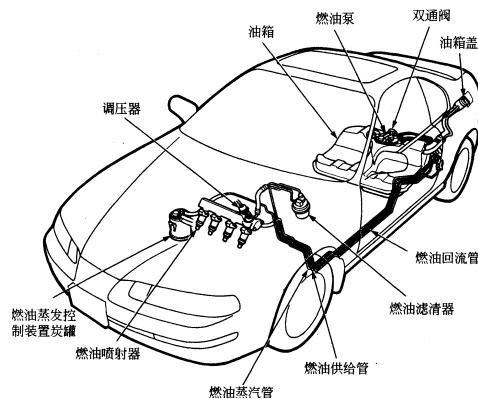


图 5.7 电控发动机燃油供给系统

##### 2) 空气供给系统

它是为发动机可燃混合气的形成提供必要的空气,并测量和控制空气量。其组成如图 5.8 所示,主要由空气滤清器 1、空气流量传感器 2、进气总管 5 及进气歧管 6 等组成。

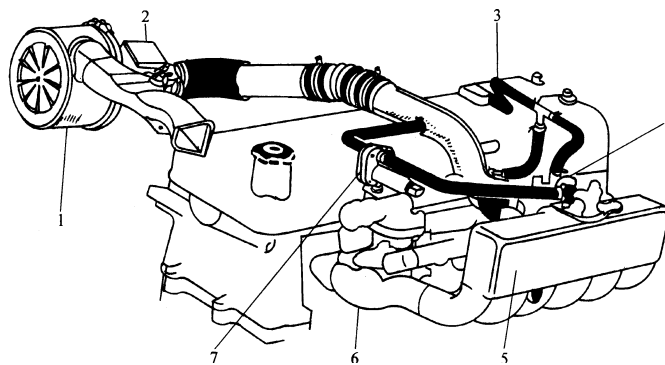


图 5.8 空气供给系统

1—空气滤清器 2—空气流量传感器 3—PCV 管 4—怠速开关控制传感器 5—进气总管 6—进气歧管 7—空气阀

发动机在进气行程时,空气经空气滤清器、空气流量传感器和节气门进入各缸进气支管。驾驶员通过操纵节气门的开度来控制每个工作循环的进气量。发动机怠速时,节气门关闭,空气量由怠速旁通阀来控制,保证冷暖车时加大空气量,正常怠速时恢复怠速空气量。空气阀控制快怠速转速,也可由电控单元指令怠速控制阀控制怠速转速和快怠速转速。

### 3) 电子控制系统

它主要由电控单元 ECU(Electronic Control Unit)、各种传感器及执行器三部分组成,如图 5.9 所示。电控单元是电子控制系统的核心,它的主要功用是控制和检测。电控单元一方面接受来自各个传感器传来的信号,另一方面又完成对这些信息的处理,并发出相应的指令控制执行器的动作。传感器负责把各种反映发动机工况和汽车运行状况的参数转变成电信号(电压或电流)提供给电控单元,使电控单元正确的控制发动机运转或汽车运行。执行器用来完成电控单元发出的各种指令,是电控单元指令的执行者。

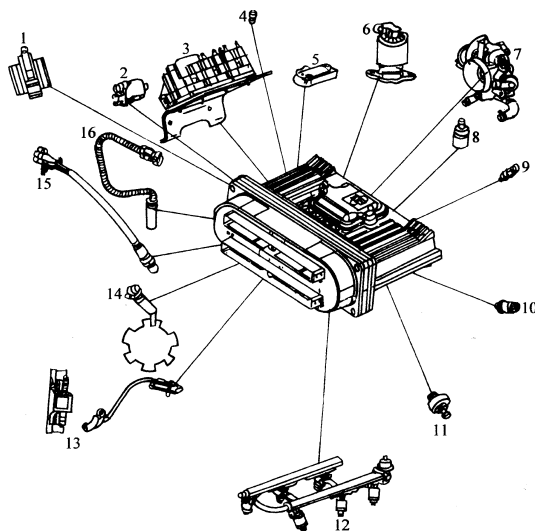


图 5.9 电子控制系统

- 1—空气流量传感器 2—碳罐电磁阀 3—点火模块和点火线圈 4—进气温度传感器 5—进气歧管压力传感器  
6—废气再循环阀 7—节气门体 8—曲轴箱强制通风阀 9—冷却水温传感器 10—机油压力传感器 11—爆震传感器  
12—喷油器组件 13—曲轴转速传感器 14—曲轴位置传感器 15—氧传感器 16—凸轮轴位置传感器

## 2. 工作原理

电子控制汽油喷射系统 EFI 是以一个电控单元 ECU 为控制中心,利用安装在发动机上不同部位的传感器,测出发动机的各种运行参数,精确的计算进入汽缸的空气量,再按照电控单元中预存的控制程序精确地控制喷油,使发动机在各种工况下都能获得最佳浓度的混合气,以求得最佳的动力性、经济性及排放性。其基本结构和工作原理如图 5.10 所示。

### 1) L 型汽油喷射系统

它是多点、间歇式汽油喷射系统。它以发动机的进气量和发动机转速作为基本控制参数,从而提高了喷油量的控制精度。L 型汽油喷射系统的组成如图 5.11 所示。

汽油箱 1 内的汽油被电动汽油泵 2 吸出并加压至一定压力(0.25~0.35MPa),经汽油滤清器 3 滤除杂质后被送至燃油分配管。燃油分配管与安装在各缸进气支管上的喷油器 7 相

通。在燃油分配管的末端装有油压调节器 5，用来调节油压使其保持稳定。发动机的进气量由汽车驾驶员通过加速踏板操纵节气门来控制。节气门开度越大，进气量就越多，安装在进气管上的空气流量传感器 12 将空气流量转变为电信号传输给电控单元 6。

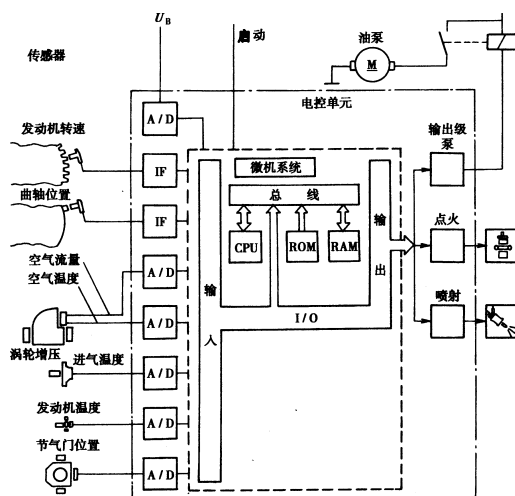


图 5.10 发动机电子控制系统工作原理图

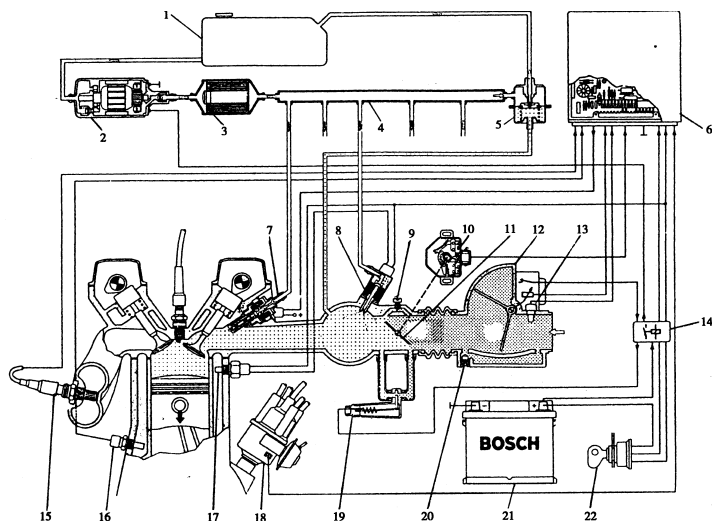


图 5.11 L 型汽油喷射系统

- 1—汽油箱 2—电动汽油泵 3—燃油滤清器 4—燃油分配管 5—油压调节器 6—电控单元  
7—喷油器 8—冷启动喷嘴 9—怠速调节螺钉 10—节气门位置传感器 11—节气门 12—空气流量计  
13—进气温度传感器 14—继电器组 15—氧传感器 16—发动机温度传感器 17—热时间开关  
18—分电器 19—补充空气阀 20—怠速混合气调节螺钉 21—蓄电池 22—点火开关

喷油器的喷油量和喷油时刻由电控单元控制。电控单元首先根据角传感器确定发动机转速，再根据转速和进气管压力计算出相应的喷油量，并通过控制喷油持续时间来控制喷油量。电控单元根据曲轴转角传感器发出的第一缸上止点信号，控制各缸喷油器在进气行程开始之前进行喷油。电控单元根据空气流量计和发动机转速计算出的喷油量是基本喷油量，尚须根

据发动机的运行状况加以修正,以满足发动机各种运行工况对混合气成分的要求。

当发动机在怠速工作时,节气门接近关闭,节气门位置传感器 10 中的怠速触点闭合,这时电控单元指令喷油器增加喷油量,供给发动机较浓的混合气,以维持怠速运转的稳定性,并将怠速的有害排放控制在最低水平。

发动机在中小负荷下运转时,电控单元根据发动机温度传感器 16 和进气温度传感器 13 传输来的发动机温度和进气温度信号,对基本喷油量进行修正,修正后的喷油量满足向发动机供给经济混合气的要求。

发动机在全负荷下工作时,节气门全开,节气门位置传感器中的全负荷触点闭合。电控单元按照供给发动机功率混合气的要求增加喷油量,实现全负荷加浓,以使发动机发出最大功率。

LH 型汽油喷射系统与 L 型汽油喷射系统的结构和工作原理基本相同,不同之处是 LH 型采用热线式空气流量计,而 L 型采用翼片式空气流量计。热线式空气流量计无运动部件,进气阻力小,信号反应快,测量精度高。另外,LH 型汽油喷射系统的电控装置采用大规模数字集成电路,运算速度快,控制范围广,功能更加完善。

LH 型汽油喷射系统的组成如图 5.12 所示。

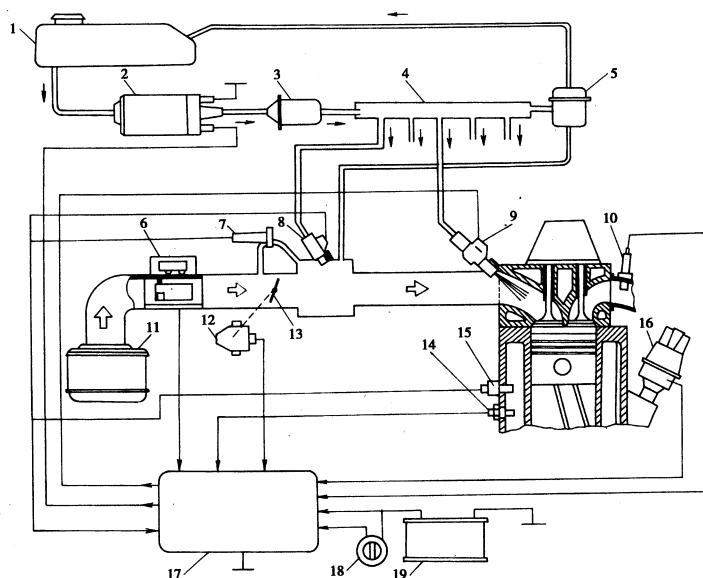


图 5.12 LH 型汽油喷射系统

- 1—汽油箱 2—电动汽油泵 3—汽油滤清器 4—燃油分配管 5—油压调节器 6—热线式空气流量计 7—补充空气阀  
8—冷启动喷嘴 9—喷油器 10—氧传感器 11—空气滤清器 12—节气门位置传感器 13—节气门  
14—发动机温度传感器 15—热时间开关 16—分电器 17—电控单元 18—点火开关 19—蓄电池

LH 型汽油喷射系统中的节气门位置传感器 12 能向电控单元 17 提供节气门由全闭到全开整个范围内连续变化的开度信号,使电控单元可以根据节气门位置及其变化的速率适时地进行启动加浓、怠速加浓、全负荷加浓和加速加浓。此外,在汽车急减速时,还能实现急减速断油。当发动机转速下降至设定转速时,能够及时恢复喷油。

LH 型汽油喷射系统的控制方式与 L 型汽油喷射系统一样均为闭环控制或反馈控制。

即通过安装在发动机排气管上的氧传感器测量排气中剩余氧气的含量, 可以确定上一循环的喷油量是否适当。电控单元根据氧传感器的输入信号, 不断对喷油量进行调整, 使混合气空燃比保持在理想的范围内。

## 2) D 型汽油喷射系统

它是最早应用在汽车发动机上的电子控制多点间歇式汽油喷射系统, 其基本特点是以进气管压力和发动机转速作为基本控制参数, 用来控制喷油器的基本喷油量。D 型汽油喷射系统的组成如图 5.13 所示。

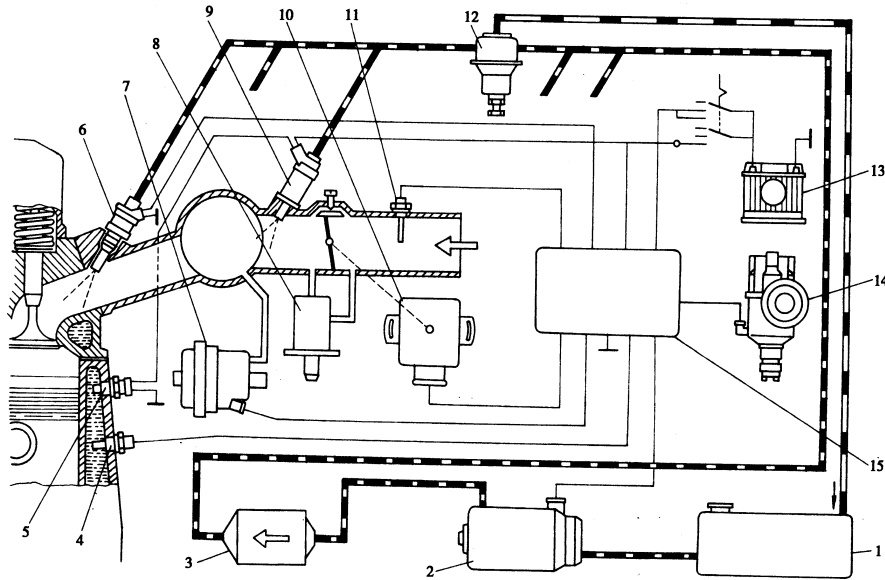


图 5.13 D 型汽油喷射系统

- 1—汽油箱 2—电动汽油泵 3—汽油滤清器 4—发动机温度传感器 5—热时间开关 6—喷油器  
7—进气管压力传感器 8—补充空气阀 9—冷启动喷嘴 10—节气门位置传感器 11—进气温度传感器  
12—油压调节器 13—蓄电池 14—分电器 15—电控单元

D 型汽油喷射系统的工作原理与 L 型汽油喷射系统类似。汽油箱 1 内的汽油被电动汽油泵 2 吸出并加压至 0.25MPa 左右, 经汽油滤清器 3 滤除杂质后被送至燃油分配管。燃油分配管与安装在各缸进气支管上的喷油器 6 相通。在燃油分配管的末端装有油压调节器 12, 用来调节油压使其保持稳定。发动机的进气量由汽车驾驶员通过加速踏板操纵节气门来控制。节气门开度越大, 进气量就越多, 进气管压力也越大, 反之亦然。安装在进气管上的进气管压力传感器 7 将进气管压力转变为电信号传输给电控单元 15。

D 型汽油喷油系统结构简单, 工作可靠。但控制精度稍差, 当大气状态有较大变化时, 汽车加速反应不良。现代汽车发动机上所使用的 D 型汽油喷射系统都是经过改进的, 如采用运算速度快、内存容量大的微机, 完善控制功能等。

## 3) 节气门体汽油喷射系统

它是单点喷射系统。与上述多点喷射系统不同, 单点喷射系统只用一个或两个安装在节气门体上的喷油器, 将汽油喷入节气门前方的进气管内, 并与吸入的空气混合形成混合气, 再通过进气支管分配至各汽缸。



单点喷射系统的工作原理与多点喷射系统相似。电控单元根据发动机的进气量或进气管压力以及曲轴位置传感器、节气门位置传感器、发动机温度传感器及进气温度传感器等测得的发动机运行参数,计算出喷油量,在各缸进气行程开始之前进行喷油,并通过喷油持续时间的长短控制喷油量。

单点喷射系统由于喷射压力低(约 0.1MPa),所以降低了对燃油系统零部件的技术要求,从而降低了成本。在性能上优于电控化油器,而不及多点喷射系统。但是单点喷射系统结构简单,工作可靠,维修调整方便。节气门体汽油喷射系统的组成如图 5.14 所示。

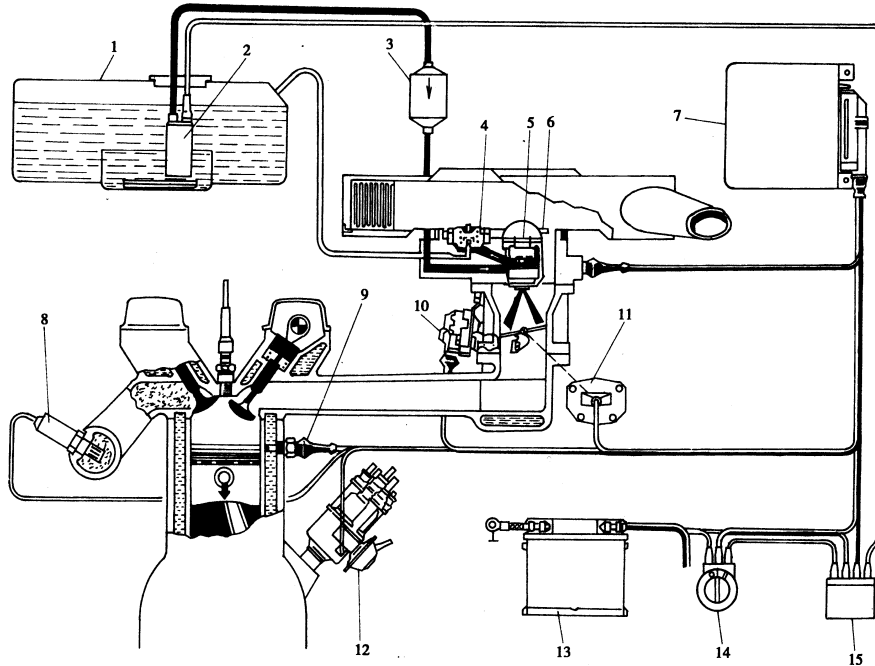


图 5.14 节气门体汽油喷射系统

- 1—汽油箱 2—电动汽油泵 3—汽油滤清器 4—油压调节器 5—喷油器 6—进气温度传感器 7—电控单元  
8—氧传感器 9—发动机温度传感器 10—怠速控制阀 11—节气门及节气门位置传感器  
12—分电器及曲轴位置传感器 13—蓄电池 14—点火开关 15—继电器

## 5.2 电控汽油喷射系统主要部件的构造和工作原理

电子控制汽油喷射系统多种多样,但其组成和工作原理却大同小异。主要的区别是电控单元的控制方式、控制范围和控制程序不尽相同,所用传感器和执行元件的构造也有所差别。各类电子控制汽油喷射系统均可视为由燃油供给系统、进气系统和控制系统三部分组成,以下分别介绍这三部分中各组件的构造和工作原理。

### 5.2.1 燃油供给系统

电子控制汽油喷射系统的燃油供给系统由汽油箱、电动汽油泵、汽油滤清器、燃油分配管、油压调节器、喷油器、冷启动喷嘴和输油管等组成,有的还设有油压脉动缓冲器(图 5.15)。

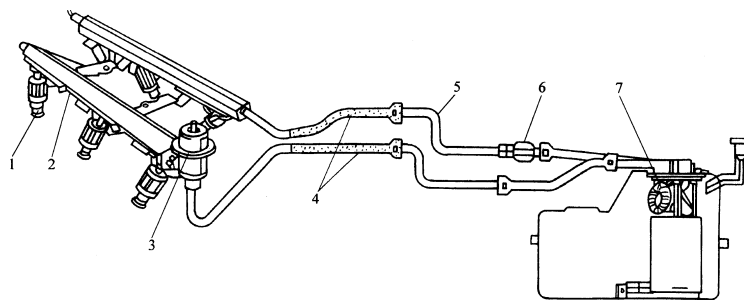


图 5.15 燃油供给系统组成图

1—喷油器 2—油道 3—燃油压力调节器 4—软管 5—进油管 6—燃油滤清器 7—燃油泵

### 1. 电动汽油泵(electric fuel pump)

电动汽油泵的功用是供给各喷油器及冷启动喷油器所需要的燃油。在电子控制汽油喷射系统中应用的电动汽油泵通常有两种类型，即滚柱式电动汽油泵和叶片式电动汽油泵。

滚柱式电动汽油泵如图 5.16 所示。泵壳的一端是进油口 1，另一端是出油口 6。进油口一侧的滚柱泵由泵壳中间的驱动电动机高速驱动。转子 9 偏心地安装在泵体 7 内，滚柱 8 装在转子的凹槽中。当油泵旋转时，由于离心力的作用，转子槽内的滚子向外移动，紧靠在偏心设计的泵体壁面上。同时在惯性力的作用下，滚柱总是与转子凹槽的一个侧面贴紧，从而形成若干个工作腔。工作过程中，进油口一侧的工作腔容积增大，成为低压吸油腔，汽油经进油口被吸入工作腔内。在出油口一侧的工作腔容积减小，成为高压油腔，高压汽油从压油腔经出油口流出。油泵出油口处有一单向阀，在油泵不工作时阻止燃油倒流回燃油箱，以保持发动机停机后的燃油压力，便于再次启动。出油口处的缓冲器是用来减小出油口处的油压脉动和运转噪声。这种油泵的最大泵油压力可达 0.45MPa 以上。若因汽油滤清器堵塞等原因使油泵出油口一侧油压过高，与油泵一体的限压阀即被顶开，使部分燃油回到进油口一侧，以保护电动汽油泵。

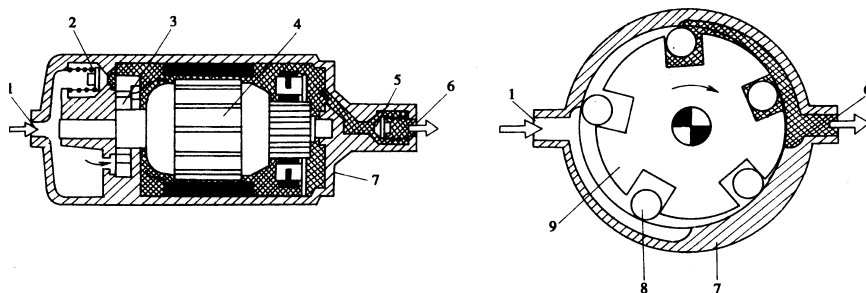


图 5.16 滚柱式电动汽油泵

1—进油口 2—限压阀 3—汽油泵 4—电动机 5—单向止回阀 6—出油口 7—泵体 8—滚柱 9—转子

叶片式电动汽油泵结构如图 5.17 所示。叶轮 3 是一个圆形平板，在平板的圆周上加工有小槽，形成泵油叶片。叶轮旋转时，小槽内的汽油随同叶轮一同高速旋转。由于离心力的作用，使出口处油压增高，而在进口处产生真空，从而使汽油从进口吸入，从出口排出。叶片式电动汽油泵运转噪声小，油压脉动小，泵油压力高，叶片磨损小，使用寿命长。

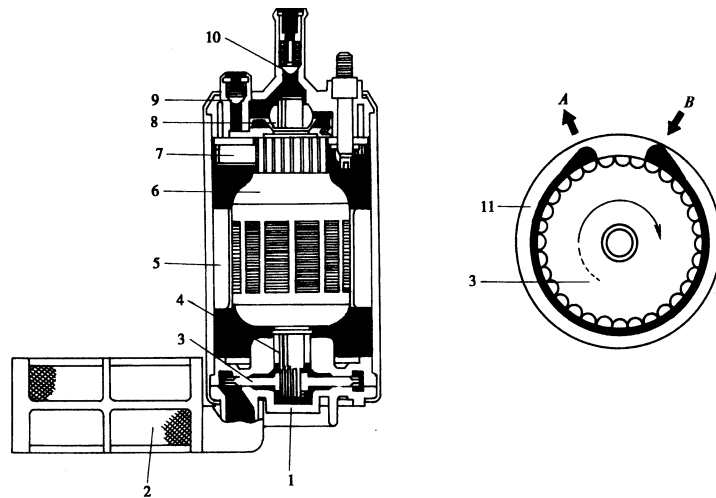


图 5.17 叶片式电动汽油泵

1—橡胶缓冲垫 2—滤网 3—叶轮及叶片 4、8—轴承 5—永久磁铁  
6—电枢 7—炭刷 9—限压阀 10—单向止回阀 11—泵体

### 2. 燃油分配管(fuel distribution tube)

燃油分配管(图 5.18)的功用是将汽油均匀、等压地输送给各缸喷油器；还有贮油蓄压、减缓油压脉动的作用。燃油分配管的截面一般都比较宽，这样可防止燃油压力波动，保证各缸喷油器的喷油量尽可能相等。燃油分配管总成用螺栓安装在进气支管下部的固定座上，与喷油器相连，并向喷油器分配燃油。燃油由燃油泵泵出，经脉冲缓冲器，流入燃油分配管。燃油压力调节器保持正常的系统压力，多余的燃油从燃油压力调节器出油口流回油管返回燃油箱。

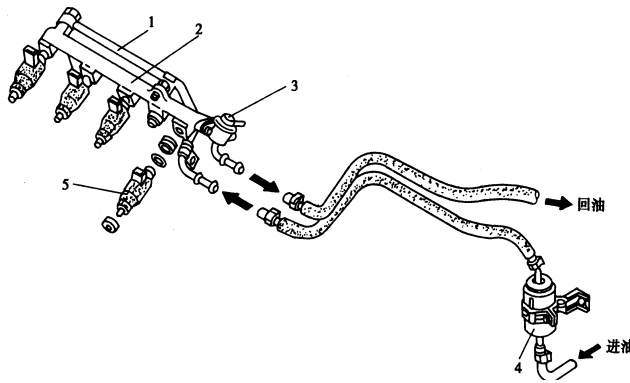


图 5.18 燃油分配管

1—进油管 2—燃油分配管 3—油压调节器 4—汽油滤清器 5—喷油器

### 3. 燃油压力调节器(fuel pressure regulator)

燃油压力调节器的功用是调节至喷油器的燃油压力，使油路中的燃油压力与进气管压力之差保持常数，这样从喷油器喷出的燃油量便唯一地取决于喷油器的开启时间，使电控

单元能够通过控制电脉冲宽度来精确控制喷油量。

油压调节器的构造如图 5.19 所示。膜片 4 将油压调节器分隔成上下两个腔。上腔有进油口 1 连接燃油分配管，回油口 2 与汽油箱连通。下腔通过真空接管 6 与节气门后的进气管相连。当燃油压力与进气管压力之差超过预调的压力值时，膜片上方的燃油就推动膜片向下压缩弹簧，打开回油阀，超压的燃油流回燃油箱，以保持一定的燃油压力。燃油供给系统的压力与进气管压力之差由油压调节器中的弹簧 5 的弹力限定，调节弹簧预紧力即可改变两者的压力差，也就是改变喷油压力。燃油压力调节器装在燃油分配管的一端，可使燃油压力调节在正常范围内(图 5.20)。

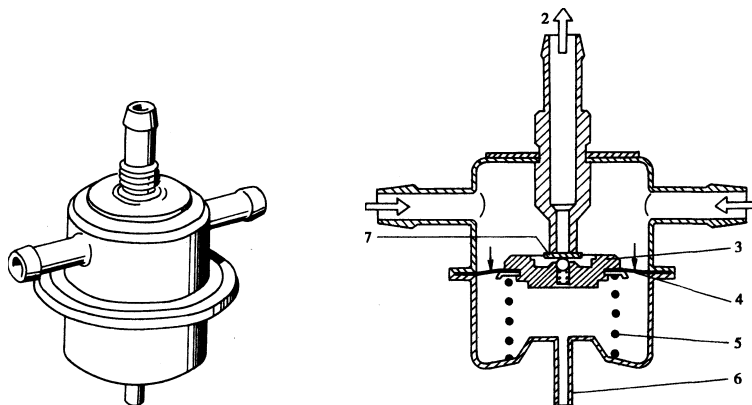


图 5.19 油压调节器

1—进油口 2—回油口 3—阀座 4—膜片 5—弹簧 6—真空接管(接进气管) 7—平面阀

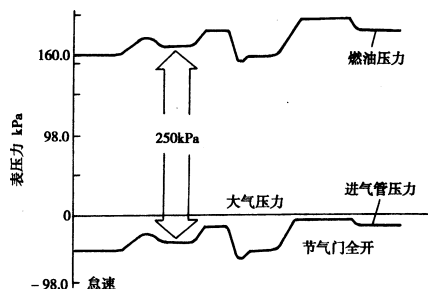


图 5.20 油压调节器工作原理图

#### 4. 喷油器(injector)

喷油器是电子控制燃油喷射系统中的最重要零件。在多点燃油喷射系统中，每个汽缸都装有一个喷油器。喷油器的功用是按照电控单元的指令将一定数量的汽油适时地喷入进气道或进气管内，并与其中的空气混合形成可燃混合气。

轴针式喷油器的结构如图 5.21 所示，喷油器体内有一个电磁线圈 3，喷油器头部的针阀 6 与衔铁 5 结合成一体。电控单元以电脉冲的形式向喷油器输出控制电流(图 5.22)。当电控单元送来电流信号时，电磁线圈通电，产生电磁力，吸起铁芯与针阀，将燃油通过精确设计的轴针头部环形间隙喷出，在喷油器头部前端将燃油粉碎雾化，与空气混合，在发动机进气行程中被吸入汽缸。

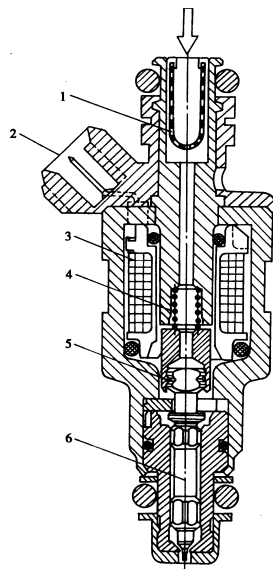


图 5.21 喷油器构造

1—滤网 2—电接头 3—电磁线圈  
4—复位弹簧 5—衔铁 6—针阀

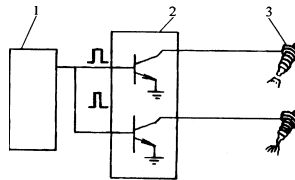


图 5.22 控制喷油器的输出回路

1—微机 2—输出回路 3—喷油器

电控单元利用电脉冲的宽度来控制喷油器每次打开喷油的时间，从而控制喷油量(图 5.23a)。电脉冲从升起到回落所持续的时间称为脉冲宽度。若电控单元输出的脉冲宽度短，则喷油持续时间短，喷油量少(图 5.23b)；若电控单元输出的脉冲宽度长，则喷油持续时间长，喷油量多(图 5.23c)。一般喷油器针阀升程约为 0.1mm，而喷油持续时间在 2~10ms 范围内。

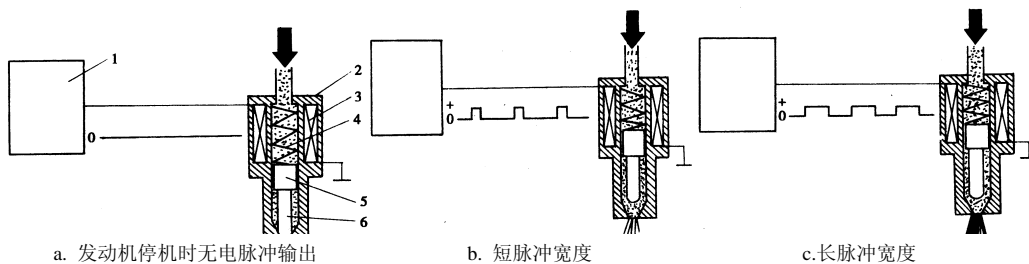


图 5.23 喷油器工作原理示意图

1—电控单元 2—喷油器体 3—电磁线圈 4—复位弹簧 5—衔铁 6—针阀

### 5.2.2 空气供给系统

电子控制汽油喷射系统的空气系统主要包括空气流量传感器、怠速控制阀、节气门及空气滤清器等。

#### 1. 空气流量传感器(air flow meter)

空气流量传感器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电控单元。在电控燃油喷射系统中，空燃比的调节采用调整喷油量的方式来进行。

因此测定空气流量是控制空燃比的基础。

空气流量传感器可分为两种：一种是直接测量空气体积流量的传感器，如叶片式空气流量传感器、卡门涡流式空气流量传感器；另一种是直接测量空气质量流量的传感器，如热线式空气流量传感器、热膜式空气流量传感器。若采用体积流量传感器测定的空气容积流量，还必须进行修正，往往与进气温度和绝对压力传感器一起使用。

#### 1) 叶片式空气流量传感器

其结构原理如图 5.24 所示。在空气流量计壳体内存有空气主流道和旁通空气道。在主流道内装有流量板(叶片)和缓冲板。在没有空气流过的情况下，卷簧总是使叶片处于关闭主流道的位置。进气量越大，气流对叶片的推力愈大，叶片的开启角度也就越大，叶片上装有电位器，它把叶片开启角度的变化(即进气量的改变)转变成电阻值大小的变化。电位器与电控单元相连，电控单元根据电位器电阻的变化或作用在电位器上电压的变化，测出发动机进气管空气量的多少。

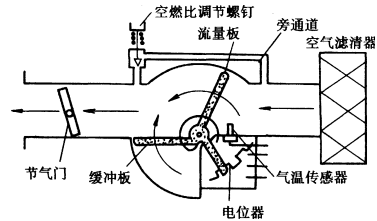


图 5.24 叶片式空气流量传感器

空气流量传感器进气通道旁还设有一个旁通空气道。经此气道进入发动机的气流不对叶片产生推力，即不经过叶片的计量就进入发动机。发动机怠速运转时，叶片处于接近关闭状态，此时经旁通空气道进入发动机的气流占很大比例。在空气流量传感器空气道上还设置一个怠速调节螺钉，该螺钉可以调整怠速时旁通空气道的空气量的大小，旋出该螺钉时，空气流量增加；反之，空气流量减少。实现对怠速工况时的可燃混合气浓度的调整。

叶片式空气流量传感器装用在早期生产的 L 型电子控制燃油喷射系统中。叶片式空气流量传感器结构简单，且在发动机全部工况范围内均可使空气流量的测量保持正常，但在发动机急加速时响应时间较长，进气阻力较大，大气压力和温度变化时需修正。

#### 2) 热线式空气流量传感器

它是一种测量空气质量型传感器，它不需要校正大气温度、压力对测量精度的影响。如图 5.25 所示，在进气道内套有一个测试管 2，小管架有一根极细的铂金属丝 3，在工作中铂金属丝被电流加热至 100℃ 以上，故称之为铂热线。在支承环前端装有铂薄膜温度补偿电阻 4，支承环后端粘结有精密电阻，而在控制电路板上则装有高阻值电阻。铂热线、温度补偿电阻、精密电阻和高阻值电阻构成惠斯通电桥电路中的 4 个臂(图 5.26)。电路调节供给 4 个臂的电流使电桥保持平衡。

空气流过时热线受到一定冷却，其电阻值随之减少，同时使电桥电路的电压也发生变化，这一信号输入电控单元，用来指示通过空气流量传感器的空气量。这时电路将自动增加供给铂热线的电流，以使其恢复原来的温度，直至电桥恢复平衡。流过铂热线的空气流量越大，混合电路供给铂热线的加热电流也越大。加热电流通过精密电阻产生的电压降作为电压输出信号传输给电控单元，电压降的大小即是对空气流量的度量。由于热线的冷却效果随着进入空气温度变化而不同，因此需要进行温度补偿，图 5.26 中的  $R_C$ ，就是作温度补偿用的电阻(也称为冷线)，一般将铂热线通电加热到高于温度补偿电阻温度 100℃。其阻值随进气温度发生变化，起到一个参照的作用，使进气温度的变化不影响测量精度。

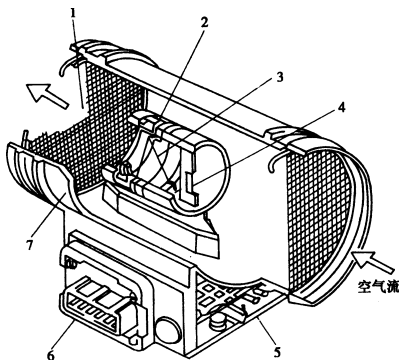


图 5.25 热线式空气流量传感器

1—金属防护网 2—测试管 3—热线  
4—温度补偿电阻 5—控制电路板 6—电源插座 7—壳体

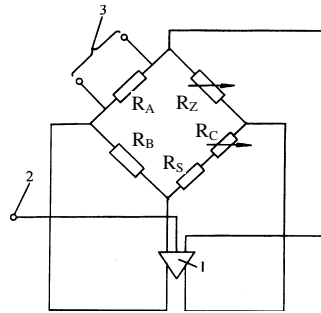
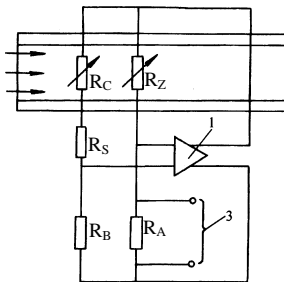


图 5.26 热线式空气流量传感器电路

1—放大器 2—电源 3—输出信号

热线式空气流量传感器测量精度高，响应特性较好，没有运动件无磨损，进气阻力小；缺点是：热线表面沾污的尘埃影响测量精度。为克服上述缺点，可在电控单元中设计自洁电路，在发动机熄火后 4s 内，控制电路发出电流，使热线通电，约 1s 内迅速升温高达 1000℃ 左右，烧掉粘附在热线上的污物。

### 3) 热膜式空气流量传感器

它与热线式空气流量传感器的结构和工作原理基本相同(图 5.27)。它将热线、温度补偿电阻及精密电阻用厚膜工艺镀在一块陶瓷基片上(称为热膜电阻)装在测量管内。用热膜代替热线提高了空气流量计的可靠性和耐用性，并且热膜不会被空气中的灰尘黏附。热膜式空气流量传感器可满足精度要求，且结构简单，抗玷污能力比热线式空气流量传感器强。

### 4) 进气管压力传感器 MAP(Manifold Absolute Pressure)

D 型汽油喷射系统利用进气管压力传感器测量节气门后进气管内的绝对压力，它接受节气门变化时进气管中压力高低的变化信号，以电压信号方式传给 ECU 并以此作为电控单元计算喷油量的主要参数。ECU 再发出指令，使喷油器喷出适量的汽油。在发动机工作时，节气门开大，进气量增多，进气管压力的大小反映了进气量的多少。

一种压力传感器是将进气管真空度变化转化为膜片的位移，膜片位移又使传感器内可变电阻器阻值发生变化，从而使输出电压发生变化，如图 5.28a 所示。

另一种进气压力传感器由抽空的弹性波纹筒、铁心、感应线圈、定位弹簧和稳压孔组成，如图 5.28b 所示。波纹筒长度变化使铁心位置发生变化，输出信号给 ECU。不同的铁心位置，感应出线圈中不同的电动势，对应不同的喷油量。当转速一定时，节气门开度增大，压力增大，波纹筒缩短，喷油量应加大；节气门开度减小，压力减小，波纹筒变长，喷油量会减小。当节气门开度一定时，转速升高，压力减小，波纹筒变长，喷油量减小；转速降低时，喷油量增多。

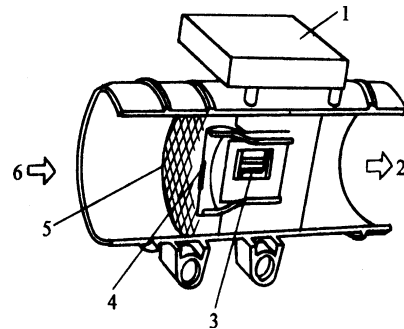


图 5.27 热膜式空气流量传感器

1—控制电路 2—通至发动机 3—热膜  
4—温度传感器 5—金属网 6—来自空气滤清器

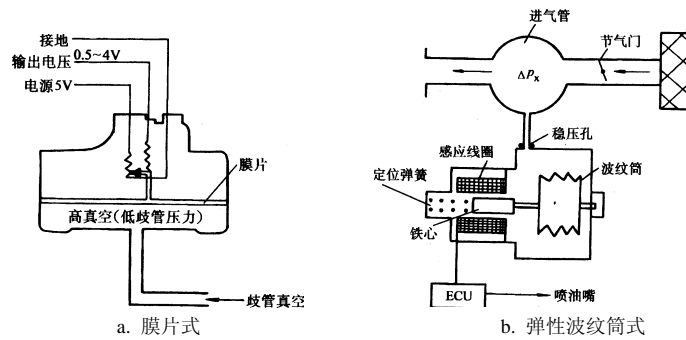


图 5.28 进气压力传感器

压力型传感器的优点是结构简单,无摩擦件影响,寿命较长,可靠性较高。其缺点是:空气流量因地理条件和气候条件的影响与压力不成比例变化,计量精度稍差;由于发动机工况突变时,如急加速、急减速、急制动时,进气管内压力波动较大,有失控反应。为此,近年来采用了压敏电阻传感器,利用膜片通过硅胶液体传递压力的变化,使用性能明显提高。

## 2. 怠速控制阀(idle control valve)

在节气门体汽油喷射系统的节气门体上装有怠速控制阀(图 5.29),其功用是自动调节发动机的怠速转速,使发动机在设定的怠速转速下稳定运转。步进电机式怠速控制阀由步进电机、螺旋机构和锥面控制阀等组成。螺旋机构中的螺母和步进电机的转子制成一体,而螺杆和锥面控制阀制成一体。步进电机中有几组励磁线圈,改变励磁线圈的通电顺序,可以改变电机的旋转方向。步进电机由电控单元控制。电控单元从发动机转速传感器获得发动机实际转速的信息,并将实际转速与预编程序中设定的转速相比较,根据两者偏差的大小向励磁线圈输出不同的控制脉冲电流。这时步进电机或正转或反转一定的角度,并驱动螺杆和锥面控制阀或向前或向后移动一定的距离,使旁通空气道的通过断面或减小或增大,从而改变了进气量,达到控制怠速转速的目的。

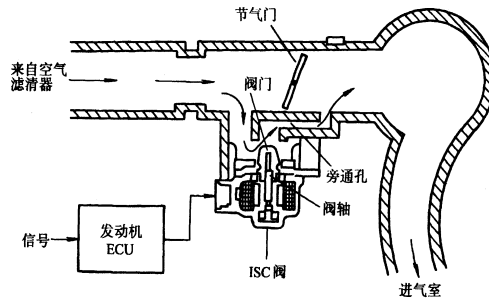


图 5.29 步进电机式怠速控制阀原理图

## 5.2.3 电子控制系统

电子控制汽油喷射系统中的控制系统由电控单元、各种传感器、执行器,以及连接它们的控制电路所组成。



### 1. 电控单元 (ECU)

电控单元是电子控制单元的简称,常用 ECU(Electronic Control Unit)表示。电控单元的功用是根据其内存的程序和数据对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。电控单元一般由中央处理器(CPU)、只读存储器(ROM)、可编程的只读存储器(PROM)、运行数据存储器(RAM)和输入/输出(I/O)接口等组成,如图 5.10 所示。

CPU 是微机中运算器与控制器的总称,其特性基本反映了微机的性能。ROM,用来存储固定数据信息,即存放各种永久性程序和数据。如电子控制燃油喷射系统中控制程序软件、燃油基本喷射时间脉谱图、点火控制特性脉谱图以及其他重要特性数据等,它们都是通过大量试验获得的。PROM 在 ROM 的基础上增加编程和改写功能便生产出了 PROM。汽车上的微机使用 PROM 来存储一些只适用于少数汽车类型的信息,如特定地分电器点火调整、整车或发动机的调整数据等。有了这些存储器可使同一台微机适用不同车型的发动机成为可能。RAM 在微机中起暂时存储信息的作用。切断电源时,在 RAM 存入的全部数据完全消失。因此,为防止发动机运行时,有些需较长时间保存以备后用的信息(如发动机故障代码)不致丢失,一些 RAM 都通过专用的电源后备电路与蓄电池直接连接,使其不受点火开关的控制。

当电控单元进入工作状态时,某些程序和步骤从 ROM 中取出,进入 CPU 中央处理器,这些程序可包括燃油喷射控制、点火时刻控制或怠速控制等。在执行程序过程中,所需要的信息来自各传感器。从各个传感器输出的信号,首先经过输入回路,对其进行处理。传感器输送给输入回路的信号,若是模拟信号需经模/数(A/D)转换器转换成数字信号后,经 I/O 接口进入电控单元;若是数字信号,经 I/O 接口直接进入微机。大多数信息,暂时存储在 RAM 内,根据指令再从 RAM 送到 CPU。将存入 ROM(或 PROM)的参数引入 CPU 后,使传感器输入的信息与之进行比较,对每一个信号依次取样,并与参考数据进行比较。CPU 对这些数据比较运算后,作出决定并发出输出指令信号,经 I/O 接口和输出回路去控制执行器动作。

### 2. 传感器(sensor)

#### 1) 节气门位置传感器

节气门位置传感器的作用是把节气门的位置或开度转换成电压的信号,传输给电控单元,作为电控单元判定发动机运行工况的依据,实现不同节气门开度下的喷油量控制。节气门位置传感器有线性、开关型及综合型(既有开关又有线性可变电阻)三种。节气门位置传感器装在节气门体上,与节气门联动,如图 5.30 所示。

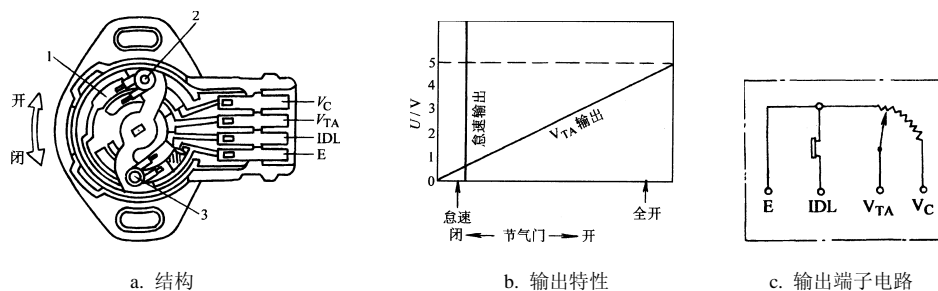


图 5.30 综合型节气门位置传感器

1—电阻膜 2—节气门开度输出动触点 3—怠速输出触点

节气门位置传感器内部是一种滑动电位计,由节气门轴带动电位计的滑动触点,结构如图 5.31 所示。不同的节气门开度,电位计的电阻值不同,从而将节气门的开度转变为电阻或电压信号输送给微机。微机通过节气门位置传感器可获得表示节气门由全闭到全开的所有开启角度的连续变化的模拟信号,以及节气门开度的变化速率,从而更精确地判定发动机的运行工况,提高控制精度和效果。为了准确检测怠速工况(节气门全关状态)的信号,综合型节气门位置传感器有一个怠速触点。节气门全闭时,怠速输出触点接通,传感器输出怠速信号,这时电控单元将指令喷油器增加喷油量以加浓混合气。

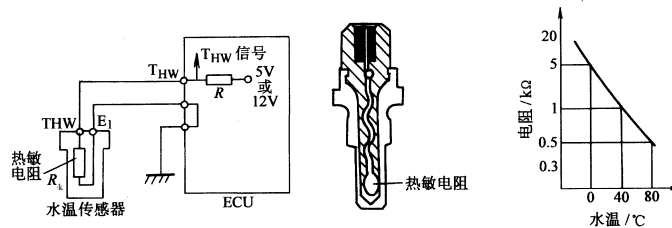


图 5.31 发动机冷却液温度传感器

## 2) 冷却液温度传感器

冷却液温度传感器安装在发动机机体或汽缸盖上,与冷却液接触,用来检测发动机循环冷却液的温度,并将检测结果传输给电控单元以便修正喷油量和点火正时。水温传感器常采用对温度变化非常敏感的热敏电阻制成,其结构及与电控单元的连接如图 5.31 所示。传感器的两根导线都和电控单元连接,其中一根为搭铁线。热敏电阻经常采用负温度系数电阻,水温越低,热敏电阻阻值越大,电控单元根据这一信号,增加喷油量,使可燃混合气浓度增加;反之减少喷油量。

## 3) 进气温度传感器

进气温度传感器通常安装在空气流量计上,用来测量进气温度。进气温度传感器与空气流量传感器相配合,测量空气温度的变化,以确定空气密度的变化,进而获得较精确的空气质量流量及空燃比。并将温度变化的信息传输给电控单元作为修正喷油量的依据之一。进气温度传感器内部也是一个热敏电阻,其电阻温度特性、构造、工作原理以及与电控单元的连接方式均与发动机温度传感器相同(图 5.32)。

## 4) 曲轴位置和转角传感器

曲轴位置和转角传感器用来检测第一缸和各缸压缩上止点位置信号、曲轴转角以及发动机转速,作为控制点火和喷射的信号源。曲轴位置和转角传感器安装位置因车而异,通常安装在分电器内,有时安装在曲轴前端或曲轴后端。曲轴位置传感器有电磁感应式、光电式和霍尔效应式三种。

电磁感应式传感器:如图 5.33 所示的曲轴位置(转角)传感器是电磁感应式传感器,安装在分电器内。其功用是辨别发动机汽缸顺序,检测曲轴转角,确定曲轴的原始位置,检测发动机转速。它由上、下两个传感器组成。

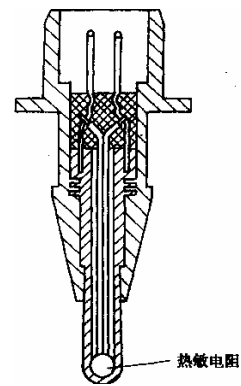


图 5.32 进气温度传感器

安装在分电器下部的传感器产生曲轴转角及发动机转速信号 Ne 信号。Ne 信号装置主要由信号转子与感应线圈组成,信号转子上有 24 个轮齿,固定在分电器轴上,感应线圈固定在外壳内,其工作原理与普通电子点火系中的磁感应信号发生器基本相同。分电器转一圈(曲轴转过  $720^{\circ}$ )产生 24 个脉冲,每  $30^{\circ}$  曲轴转角产生一个脉冲,送入发动机 ECU(图 5.34)。ECU 通过内部特设的转角脉冲发生器,将  $30^{\circ}$  转角等分成 30 份或更精细些,以满足使用精度的需要。同理,发动机的转速依据 Ne 信号直接计算脉冲数获得。曲轴位置传感器安装在分电器的上部,产生 G 信号,它是检测曲轴基准位置信号,用来判别基准汽缸及检测基准汽缸活塞上止点的位置。ECU 可以根据两信号的关系计算出某时刻发动机活塞的位置及当时的转速,再从储存的数据表中查出最佳喷油时刻和最佳点火提前角,向喷油器和点火执行元件发出指令。

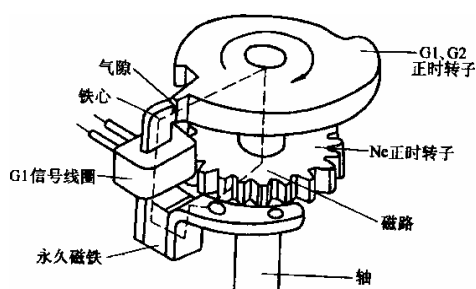


图 5.33 磁感应式曲轴位置传感器

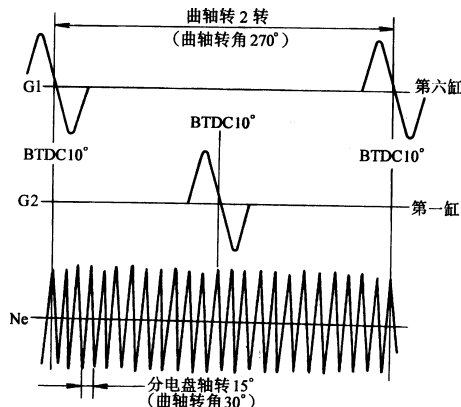


图 5.34 G 信号与 Ne 信号的关系

电磁感应式曲轴位置传感器也可以与曲轴直接相连,它可以安装在曲轴飞轮齿圈附近,也可以安装在曲轴带轮附近,利用飞轮轮齿上的参考记号(如安装一个销钉或一个凹槽)来产生脉冲信号。

光电式曲轴位置传感器:图 5.35 所示为光电式曲轴位置传感器,它由发光二极管、光敏三极管、转盘等组成,并安装在分电器底板上。在分电器底板上固定着由两对发光二极管和光敏三极管组成的信号发生器,分电器轴上装有遮光盘,盘上开有弧形槽。当遮光盘随分电器轴旋转时,弧形槽便交替的通、断从发光二极管射向光敏三极管的光线,使光敏三极管导通或截止,由此产生脉冲信号,经脉冲计数后即可得到曲轴的转速。脉冲信号取决于盘上的弧形槽数。遮光盘外圈的弧形槽个数一般与汽缸数相同,与其对应的一对发光二极管和光敏三极管产生各缸活塞到达上止点的基准参考信号和转速信号。在遮光盘的内圈上另设一个弧形槽,与其对应的另一对发光二极管和光敏三极管就产生第一缸活塞到达上止点时的基准信号。在转盘的边缘均匀地开有 360 个小细缝和 6 个大细缝。当分电器轴转动时,发光二极管通过细缝射向光敏三极管的光线使光敏三极管导通,光线被挡住时,光敏三极管截止,由此产生脉冲信号。分电器每转一转,输出 360 个相间的脉冲(相当于  $2^{\circ}$  曲轴转角)和 6 个相间的脉冲信号,相当于第一缸活塞位于上止点的信号。

光电式曲轴位置传感器输出矩形脉冲信号,适合与电控单元的数字系统配用。缺点是必须保持发光二极管与光敏三极管表面的清洁度。否则受灰尘油污沾污后,影响其测量精度。

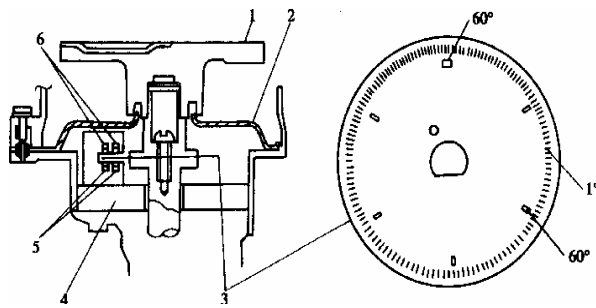


图 5.35 光电式曲轴位置传感器

1—火花头 2—防尘罩 3—转盘 4—分电器底板 5—光敏三极管 6—发光二极管

### 5) 氧传感器

氧传感器是电子控制汽油喷射系统进行反馈控制的传感器，安装在排气管上。反馈控制也称闭环控制。在这种控制方式中，利用氧传感器检测排气中氧分子的浓度，检测实际可燃混合气的空燃比较理论空燃比偏离的程度，并将其转换成电压信号输入电控单元，控制喷油脉冲宽度，满足最佳排气净化要求(见第 8 章)。

排气中氧分子的浓度与进入发动机的混合气成分有关。当混合气太稀时，排气中氧分子的浓度较高，氧传感器便产生一个低电压信号；当混合气太浓时，排气中氧分子的浓度低，氧传感器将产生一个高电压信号。电控单元根据氧传感器的反馈信号，不断地修正喷油量，使混合气成分始终保持在最佳范围内。通常氧传感器和三效催化转化器同时使用，由于后者只有在混合气的空燃比接近理论空燃比的狭小范围内净化效果才最好，因此，在这种情况下，电控单元必须根据氧传感器的反馈信号，控制混合气的空燃比更接近于理论空燃比。

目前使用的氧传感器有二氧化锆( $ZrO_2$ )型氧传感器和二氧化钛( $TiO_2$ )型氧传感器两种。目前应用最多的是氧化锆氧传感器(图 5.36)。氧化锆是具有传导氧离子能力的固体电解质，它能在氧分子浓度差的作用下产生电动势。在传感器壳体内有一个由氧化锆陶瓷体制成的一端封闭的锆管 2，锆管的内外表面均覆盖一层多孔性薄铂导电层作为电极。锆管的内电极 4 与大气相通，外电极与排气接触。

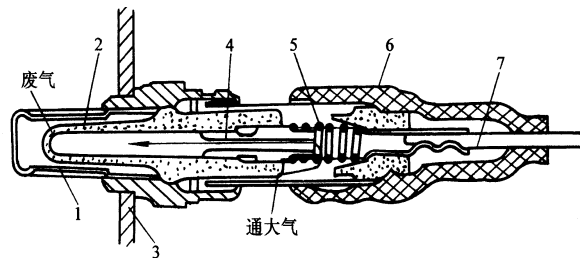


图 5.36 二氧化锆氧传感器

1—气孔 2—锆管 3—排气管 4—铂电极 5—弹簧 6—铂电极座 7—导线

发动机工作时，排气从氧传感器锆管的外表面流过。在高温下氧分子发生电离，而且总是从氧离子浓度大的锆管内表面向浓度小的锆管外表面移动，从而在锆管的内外电极之间产生微小的电压。当发动机燃用浓混合气时，排气中无氧，锆管中氧离子移动强烈，产生 0.9V 的电压；当发动机燃用稀混合气时，排气中氧分子较多，锆管中氧离子移动能力减

弱,只产生约 0.1V 的电压。因此,氧传感器输出的电压信号随混合气成分的不同而变化,并以理论空燃比为界发生突变(图 5.37)。

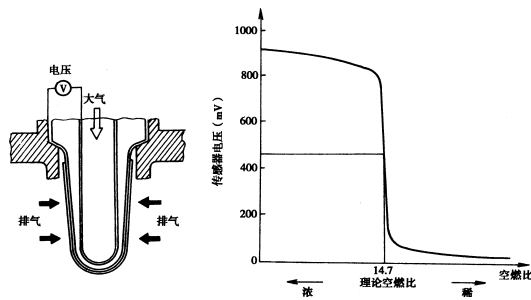


图 5.37 氧传感器输出特性

二氧化锆传感器只有温度超过 300℃才可进入正常工作。因此,目前大部分汽车上使用的是一种加热型的二氧化锆氧传感器,即在传感器内设置一个加热器,在发动机启动后 20~30s 内迅速将氧传感器加热到工作温度,减少了排气温度对传感器性能的影响。

上海桑塔纳 2000 型轿车发动机电子控制汽油喷射系统的结构如图 5.38 所示。

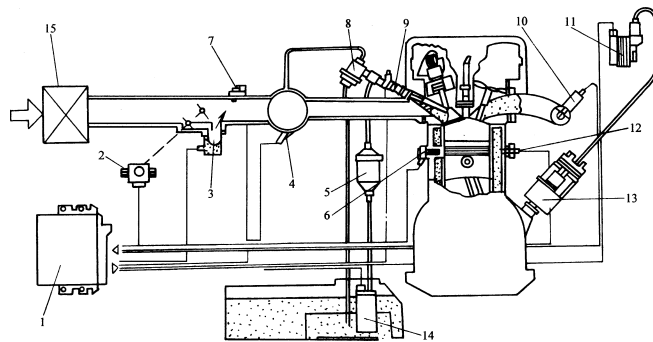


图 5.38 上海桑塔纳 2000 轿车发动机电子控制汽油喷射系统

1—微机 2—节气门位置传感器 3—怠速旁通阀 4—空气压力传感器 5—燃油滤清器 6—爆震传感器 7—空气温度传感器 8—燃油压力调节器 9—喷油器 10—氧传感器 11—点火线圈 12—水温传感器 13—分电器 14—电动燃油泵 15—空气滤清器

## 5.3 汽油直喷装置

### 5.3.1 概述

为了进一步提高汽油机的经济性,降低有害气体排放,各汽车公司大力开发缸内直喷燃烧系统 GDI(Gasoline Direct Injection),如图 5.39 所示。GDI 发动机,将汽油直接喷入汽缸中,且喷射正时精确;而传统的汽油喷射发动机,汽油在汽缸外喷射,汽油与空气无法呈层状混合,且汽油会附着在进气管壁及进气门上,同时喷射正时较不理想。

这种缸内直喷燃烧系统 GDI 的主要特点如下:

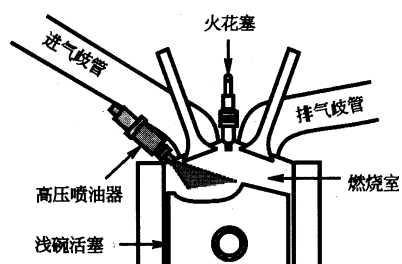


图 5.39 缸内直喷燃烧系统

(1) 由于汽油直接喷射，使缸内充量得到冷却，可以使用较大的压缩比，怠速及部分负荷燃油消耗率可以降低。

(2) 与缸外喷射系统汽油机相比，由于提高了燃油雾化质量和降低了泵吸损失，功率可以增加。

(3) 缸内汽油直接喷射发动机可大幅降低  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{HC}$  及  $\text{NO}_x$  的排放。

缸内直接喷射发动机比一般喷射发动机能够更省油及输出功率高的原因如下：

(1) 低负荷时，利用层状气体分布，压缩行程末期喷射的燃料被进气涡流及活塞顶部的球形曲面保持在火花塞附近，为易于点燃的最佳混合气，而周围则为空气层，整个燃烧室内成为 40:1 的超稀薄空燃比仍能稳定燃烧，达到省油效果。

(2) 低负荷时，由于空燃比超稀薄化，故进排气的泵损失少，即气体交换损失少；且因燃料吸温冷却效果，冷却损失少。

(3) 怠速转速可设定在较低值，例如，三菱汽车的 GDI 发动机怠速为 600r/min。

(4) 进气行程就开始喷油，燃料汽化的吸温冷却效果，使空气密度增加，可提高容积效率，故比一般喷射发动机的输出功率高。

(5) 直接喷入汽缸中燃油的汽化作用，降低空气温度，发动机不易爆震，故压缩比可提高，如 GDI 发动机压缩比可达 12:1。

### 5.3.2 缸内汽油直接喷射发动机的特殊结构

缸内汽油直接喷射发动机为达到省油及高输出，相比一般喷射发动机采取了特殊结构。

(1) 高压涡流喷油器：装在汽缸盖上，配合高压燃油泵，将汽油直接喷入汽缸中，喷油压力达 0.5~1.20MPa 之间。

(2) 进气涡流产生装置：三菱汽车公司采用两条垂直进气道，进气道中不装控制阀，如图 5.40 所示。丰田汽车公司两条进气道中，一为直线孔道，一为螺旋孔道，直线孔道中设涡流控制阀，低负荷时关闭，空气经螺旋孔道进入汽缸，可形成强烈涡流，如图 5.41 所示。日产汽车公司采用两条进气道，其中一条进气道装设涡流控制阀，如图 5.42 所示。

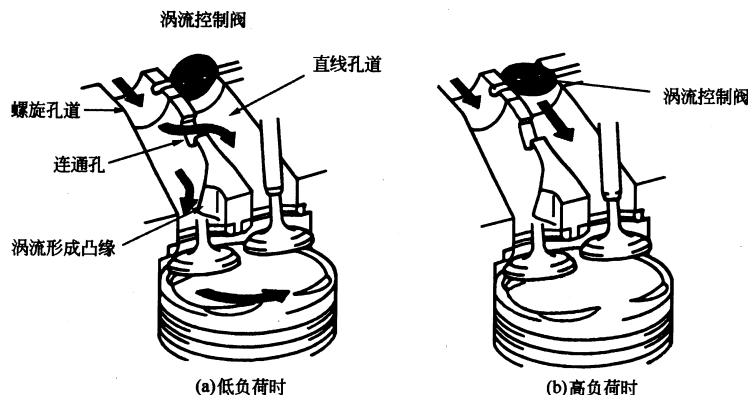


图 5.40 三菱汽车公司采用的进气涡流产生装置

(3) 特殊活塞：活塞顶部凹陷为浅碗或深碗形，并削成不规则形状，如图 5.43a 与图 5.43b 所示分别为三菱 GDI 发动机及日产发动机所采用的活塞构造。

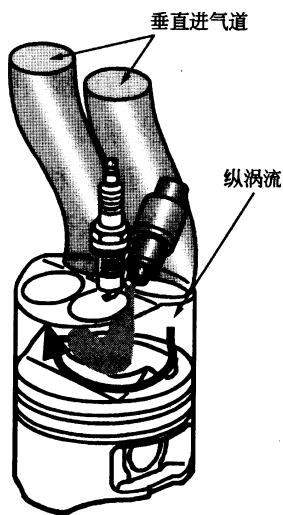


图 5.41 丰田汽车采用的进气涡流产生装置

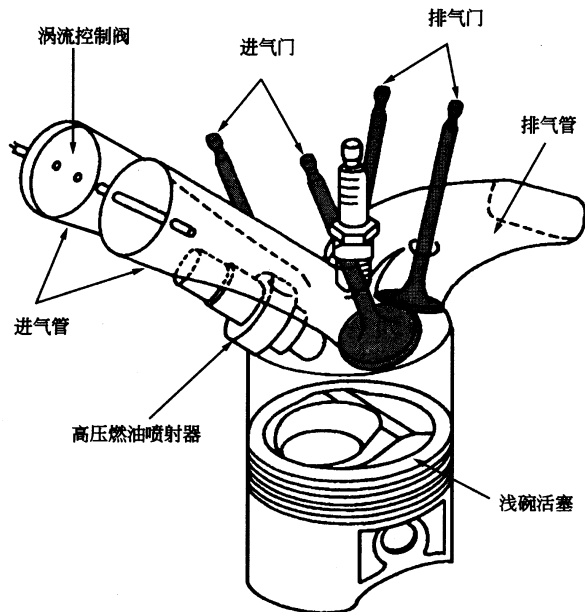


图 5.42 日产汽车采用的进气涡流产生装置

日本三菱公司缸内直喷分层充量燃烧系统(图 5.44)是采用纵向直送气口形成缸内强烈的紊流,其紊流旋转方向为顺时针,这与通常的横向过气口产生的缸内紊流方向正好相反,故称之为反向紊流。燃烧室为半球屋顶形,借助于紊流运动形成火花塞周围的浓混合气,火花塞至燃烧室空间形成由浓变稀的混合气分层现象,采用电磁式低压旋流喷油器,喷射压力 5MPa。以实现合理的燃油雾化、贯穿以及油束扩散。此燃烧系统在部分负荷时燃用分层混合气,全负荷时燃用均质混合气。

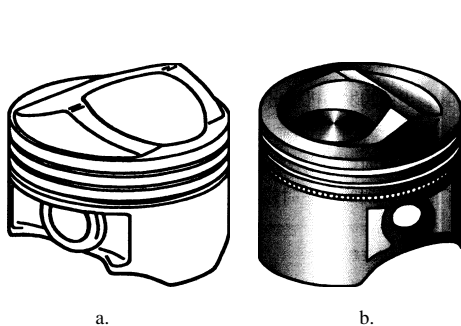


图 5.43 特殊活塞的构造

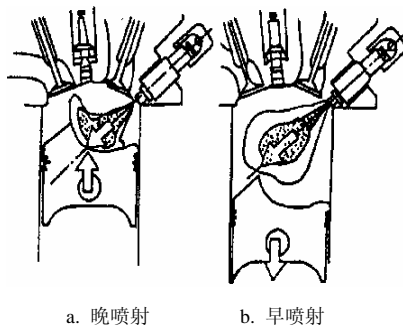


图 5.44 三菱直喷燃烧系统

在部分负荷时,燃油在进气行程后期喷向半球形的活塞凹坑,喷到凹坑的燃油向火花塞方向运动,在缸内紊流的帮助下在火花塞附近形成浓混合气,燃烧室空间为整体较稀的分层混合气,稳定运转的空燃比可达 40:1,燃油消耗率大幅度降低。

在高负荷时,燃油在进气行程的早期喷入汽缸形成化学计量比或稍浓的均质混合气,油束不接触活塞顶面,燃油的蒸发将使缸内充量温度下降,充量系数提高,所需辛烷值下降,压缩比可达 12,发动机的整体性能明显提高,同时采用 EGR 降低  $\text{NO}_x$  排放。

## 思 考 题

1. 电控燃油喷射式发动机有何优点?是如何分类的?
2. 试比较多点与单点喷射系统的优缺点。
3. L 型电控汽油喷射系统有何特点?画出其控制原理图和结构组成图。试述 L 型电控汽油喷射系统的工作过程。
4. 空气流量传感器有哪几种?它们的结构和工作原理是什么?
5. 在电子控制汽油喷射系统中,喷油器的实际喷油量是如何确定的?试述其过程。
6. 油压调节器有何作用?它的结构和工作原理是什么?
7. 冷启动喷油器有何作用?它的结构和工作原理是什么?
8. 怠速控制的原理是什么?各种工况下步进电机如何实现怠速控制?
9. 如何将空燃比控制在 14.7:1 附近?是否发动机所有工况都控制?氧传感器的结构和工作原理是什么?
10. 节气门位置传感器的结构和工作原理是什么?
11. 水温传感器和进气温度传感器的结构和工作原理是什么?
12. 曲轴转角和位置传感器的作用是什么?有几种形式?结构和工作原理是什么?