



# 汽车发动机电控系统结构与原理

## 篇首语

在由缸筒、活塞、曲轴、连杆、气门、凸轮轴构成的身躯上安装了电控系统，发动机的动力性、经济型的配合将更趋向完美，其性能的发挥也更趋向极致。



# 目录

第一章 概述	1
第一节 发动机动力的控制	2
第二节 电控发动机的控制	7
第二章 燃油系统	10
第一节 缸外喷射汽油机供油系统	11
第二节 汽油缸内直喷发动机	24
第三节 传感器	31
第四节 空燃比反馈控制	49
第五节 发动机断油控制	51
第三章 进气系统	53
第一节 进气系统控制内容	54
第二节 怠速控制阀	58
第三节 电子节气门	61
第四节 谐波增压	69
第五节 缸内直喷发动机的进气系统	71
第六节 涡轮增压	73
第七节 可变配气	82

# 目 录

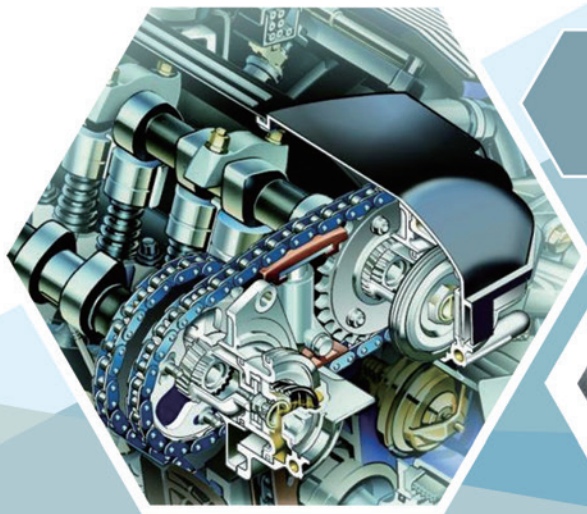
第四章 点火系统	98
第一节 点火提前角的控制	99
第二节 点火导通角控制	103
第三节 点火爆震控制	104
第四节 缸内直喷发动机燃烧系统	106
第五章 电控冷却系统	113
第一节 电控冷却风扇控制技术	114
第二节 电控节温器	118
第三节 发动机双冷却控制系统	124
第六章 电源管理系统	127
第一节 微机式电源管理结构	128
第二节 丰田卡罗拉电源管理系统	131
第三节 威朗电源管理系统	134
第七章 汽车排放控制	141
第一节 概述	142
第二节 三元催化器	144
第三节 废气再循环 (EGR) 控制系统	146

# 目录

第四节	燃油蒸发控制	149
第五节	曲轴箱强制通风（PCV）系统	150
第六节	缸内直喷排气后处理系统	151
第八章	柴油发动机	155
第一节	进气系统	156
第二节	电控柴油共轨系统	157
第三节	柴油机排放控制	169
第九章	典型发动机分析	177
第一节	丰田 1ZR-FE 发动机	178
第二节	威朗缸内喷射发动机电控系统	197

# 第 1 章

## 概 述



1. 理解影响发动机充气效率的因素
2. 理解分层燃烧与均质燃烧特征
3. 理解电控发动机控制的内容



## 第一节 发动机动力的控制

发动机的动力来自于气缸内气体的燃烧，缸内燃烧的气体由空气和燃油组成。内燃机动力的控制核心就是进入缸内空气的量和燃油的量。

### 一、充气效率

#### 1. 概念

充气效率是指每一个进气行程所实际吸入的空气质量与标准状态下（1个大气压、20℃、密度为 $1.187\text{kg/m}^3$ ）占有气缸活塞行程容积的干燥空气质量的比值。

#### 2. 影响因素

发动机充气效率实际上反应了实际进入气缸内部气体的数量。在发动机运转中，由于气体来不及充满气缸（增压发动机除外）即将进气门关闭，因此充气效率是小于1的。

充气效率与下列因素有关：

##### （1）空气质量

大气压力、大气温度影响着空气的密度，密度高时，发动机的充气效率也将随之提高。

##### （2）发动机机械结构

发动机进气道的设计、进排气相位角、气门数量、发动机的压缩比等都影响着充气效率。

##### （3）发动机增压系统

具有增压系统的发动机（如图1-1-1所示），由于在进气时对空气进行了压缩，因此进气效率要高，甚至超过1。



图 1-1-1 增压发动机

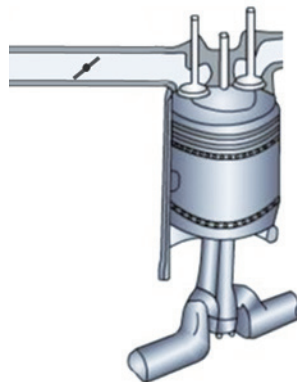


图 1-1-2 节气门

##### （4）发动机运行状态中的充气效率

当空气质量和机械构造一定的情况下，在发动机运转过程中，充气效率与进气通道的横截面积及

发动机转速有关。

在进气通道上安装有节气门如图 1-1-2 所示，节气门的开度就决定着进气通道的横截面积。

当节气门开度不变时，发动机的转速越高，充气效率也就越低；当发动机的转速不变时，当节气门开度越大，充气效率也就越高。

### 3. 气缸内充气量的计算

在发动机控制中，进入气缸内的气体的数量是一个非常重要的参数，必须计算准确。在发动机工作过程中，随着发动机工况及负荷的变化，充气效率也在变化，因此，控制系统需要时时计算进入气缸内气体的数量。

若要计算出进入气缸内气体的数量，需要两个数据，一个是在单位时间内流过进气管道气体的数量，另一个是发动机的转速。有了这两个数据，结合发动机的气缸数，控制系统就可以进行精准的计算。

## 二、内燃机动力控制的形式

### 1. 富氧式燃烧

燃油燃烧需要空气中的氧气，所谓富氧式燃烧是指气缸内空气的数量多于所提供的燃油燃烧消耗空气的数量。

如果将燃油均匀的和空气混合，并且燃油不足，这时就很难产生强大的爆发力。因此，富氧式燃烧不可以将燃油与空气均匀的混合，只能将燃油在局部和空气进行混合（如图 1-1-3 所示），从而进行燃烧，这种燃烧方式是局部燃烧。在压缩行程终了时，将燃油喷入气缸进行燃烧，此时燃烧的区域以喷油孔为中心向外扩散。因此在气缸壁的附近，几乎没有燃油燃烧。这样一来，一方面在气缸壁附近减少了积碳的形成，另一方面气缸壁附近的为完全参与燃烧的空气对热量的传导起到一定的阻碍作用，减少了热量的损失，提高了热效率。



图 1-1-3 混合气局部混合

在富氧燃烧模式中，节气门基本处于全开状态，从而保证了进入汽缸内空气数量的中最大化。此时，发动机的动力强弱由喷油量决定。

### 2. 均质燃烧

对于一些易于挥发的燃油来说，不易在高速运行的空气中形成区域性分布，不适合采用富氧燃烧模式，由此其采用了均匀混合的模式。为了产生较大的爆发力，这种均匀的混合气采用标准的空燃比进行混合。若要控制发动机的动力，则需要控制进入气缸混合气的数量，这个控制是通过节气门的开度变化来实现的。

由于缸内的混合气是均匀的，因此，缸内的火焰是普遍的（如图 1-1-4 所示），在气缸壁周围的汽油燃烧并不一定充分，有可能在缸壁上形成积碳。另外由于火焰延展到气缸壁，会导致热量通过气缸壁传导丢失，使热效率降低。

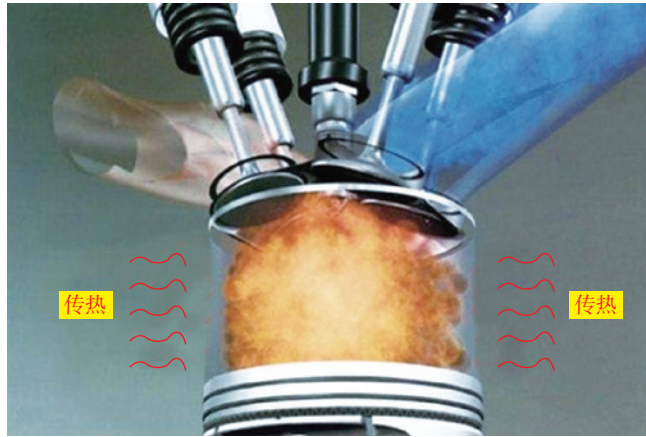


图 1-1-4 均匀混合气的燃烧

### 3. 富油燃烧

在发动机运行的某些工况(比如加速工况),需要强劲的动力,由此采用了燃油加浓技术,即燃烧时,燃油相对于空气中的氧气是富余的。

## 三、内燃机燃烧的特点

内燃机按照燃料的不同主要分为汽油机和柴油机,两种发动机根据燃料的不同采用不同的燃烧方式。

### 1. 柴油机

柴油的特点是不易挥发,但燃点低,因此其采用压燃式,也就是说在压缩行程把空气压缩到一定的温度时,喷入柴油,依靠压缩空气的产生的高温将柴油点燃,形成爆发。

由于柴油机压燃的特性,需要将柴油喷入气缸内部,称为缸内喷射。缸内喷射需要较大燃油压力,由于喷嘴的直接深入到汽缸内部,因此需要承受较高的温度和压力,因此对缸内喷射燃油供给系统而言,在供油系统的结构上较为复杂,如图 1-1-5 所示,在材料的要求也较高。

在柴油机机上,并不对气缸的进气量进行控制,柴油的动力的强弱则由柴油的喷射量来决定。

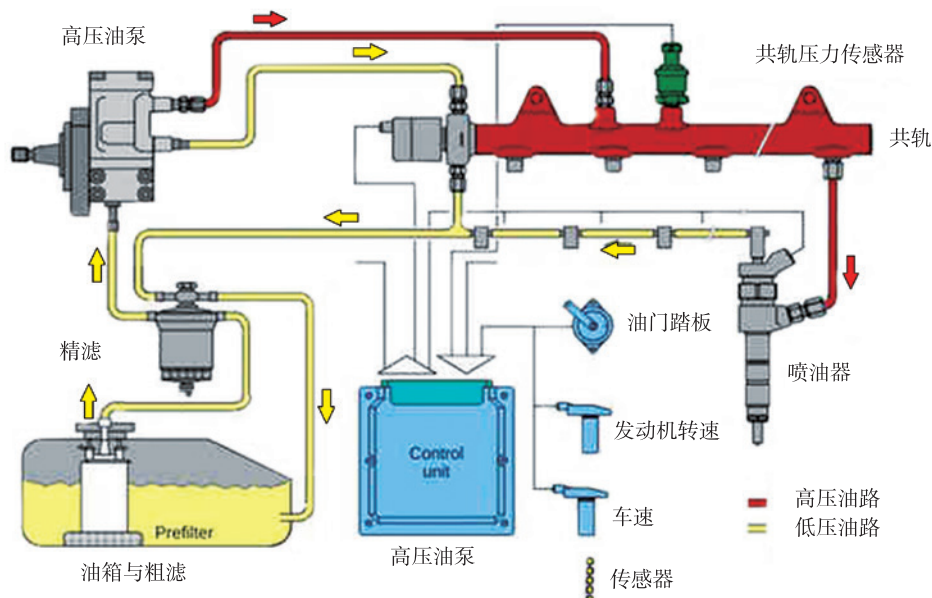


图 1-1-5 电控高压柴油共轨喷射系统

## 2. 汽油机

汽油的特点是易挥发，且燃点高，因此汽油机为点燃式，其先将汽油和空气形成混合气，再由火花塞点燃。

混合气形成的位置有三种，第一种在节气门的前方，早期的化油器采用这种形式，如图 1-1-6 所示；第二种在节气门后方的进气道内，这种方式是在进气道上安装喷油器，将燃油按照空气的数量喷入进气道，形成混合气，如图 1-1-7 所示，进入气缸燃烧；第三种是在气缸内形成，即把喷油器喷嘴伸入气缸，称为缸内直喷，如图 1-1-8 所示，越来越多的发动机采用这种喷射方式。

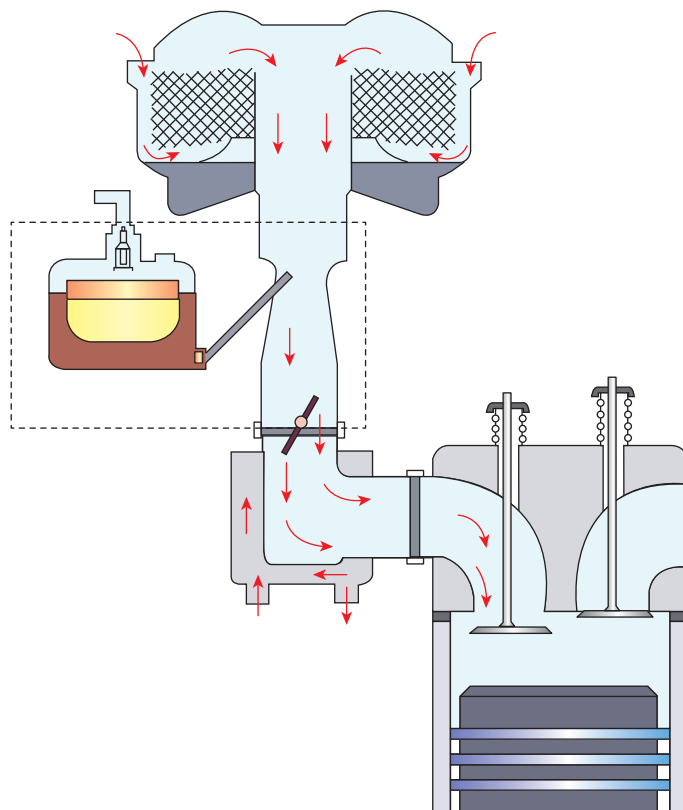


图 1-1-6 化油器发动机

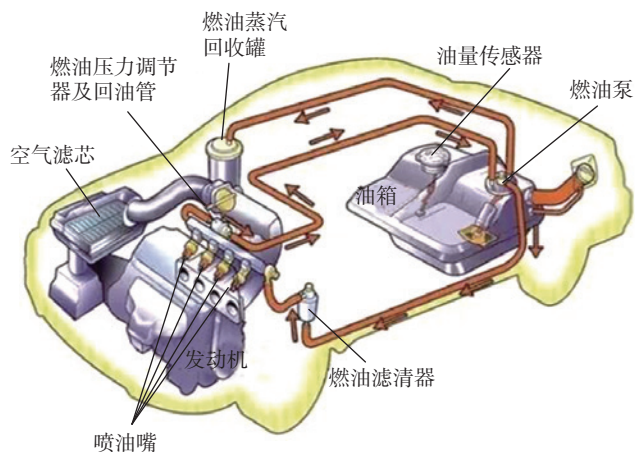


图 1-1-7 缸外喷射汽油发动机

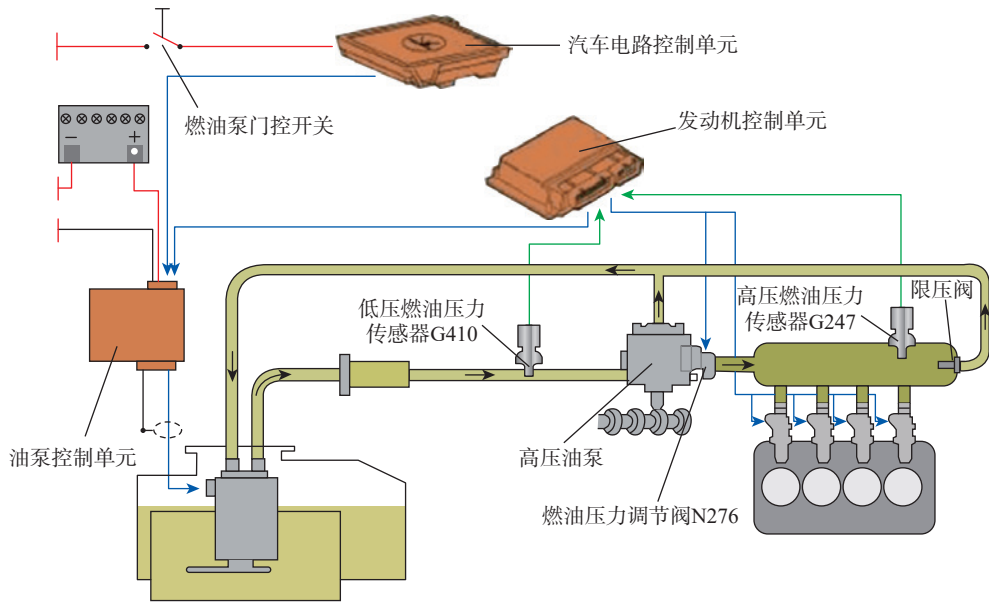


图 1-1-8 缸内直喷汽油发动机

缸外喷射采用均质燃烧，发动机动力的强弱由进入气缸混合气的数量决定，在发动机转速一定的情况下，发动机的功率和扭矩由节气门的开度控制。在缸外喷射有利于汽油和空气的充分混合，缸外喷射不需要太高的燃油压力，喷油嘴的工作环境也并不太恶劣，因此在供油系统的结构上较为简单。

对于缸内喷射的汽油机来说，在中、小负荷对进气形式进行控制，使其在气缸内形成涡流，再精确的控制喷油和点火的时刻，可以实现混合气区域性分布，以此可以实现富氧燃烧，从而提升热效率，更加节约燃油。缸内喷射可以实现混合气区域性的差异，即在喷油嘴附近混合气浓度较高，离喷油嘴越远，混合气浓度较低，这种方式称为分层燃烧。需要说明的是，在这里虽然对进气的有所控制，其目的是为了形成涡流，并不是控制发动机的动力，发动机的动力由喷油量进行控制。

在大负荷和全负荷时，分层燃烧不易形成，因此采用均质燃烧形式，此时，控制喷油与点火的时机，其目的是形成均质的混合气。因此，此时发动机的动力由缸内气体的数量决定，而对缸内气体的量起控制作用的是节气门开度。这时的控制方式相当于缸外喷射的汽油机。

对于汽油机缸内直喷而言，具有混合气实现分层的优势，但实现均质的优势明显不如缸外喷射，由此在一些汽油机上装有缸内喷射和缸外喷射两套系统，称为双喷射系统，如图 1-1-9 所示。

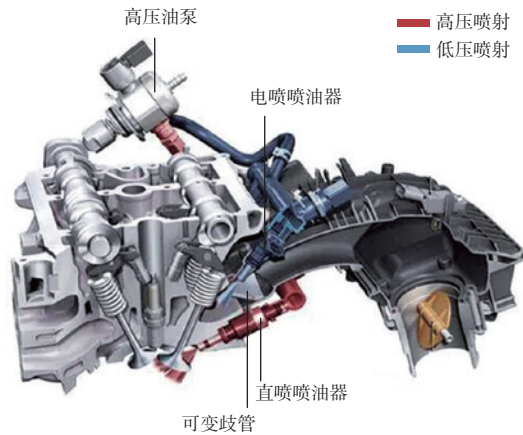


图 1-1-9 双喷射系统

从结构上来说，缸外喷射发动机结构比较简单，柴油机的燃油共轨喷射技术和汽油的缸内直喷技术结构相似。在控制逻辑上，缸外喷射汽油机和柴油机的柴油共轨喷射有着本质的区别，汽油的缸内直喷发动机则兼具柴油共轨发动机的燃烧特性和缸外喷射发动机均质燃烧特性。

# 2 第二节 电控发动机的控制

## 一、电控发动机系统的组成

电控系统主要由传感器、执行器、控制单元三部分组成，如图 1-2-1 所示为缸外喷射发动机控制系统。其中传感器收集车辆运行及外界环境信息，并将这些信息提供给电控单元，电控单元根据传感器采集的信息，对执行器发出控制指令，执行器接收控制单元的指令并执行完成动作。

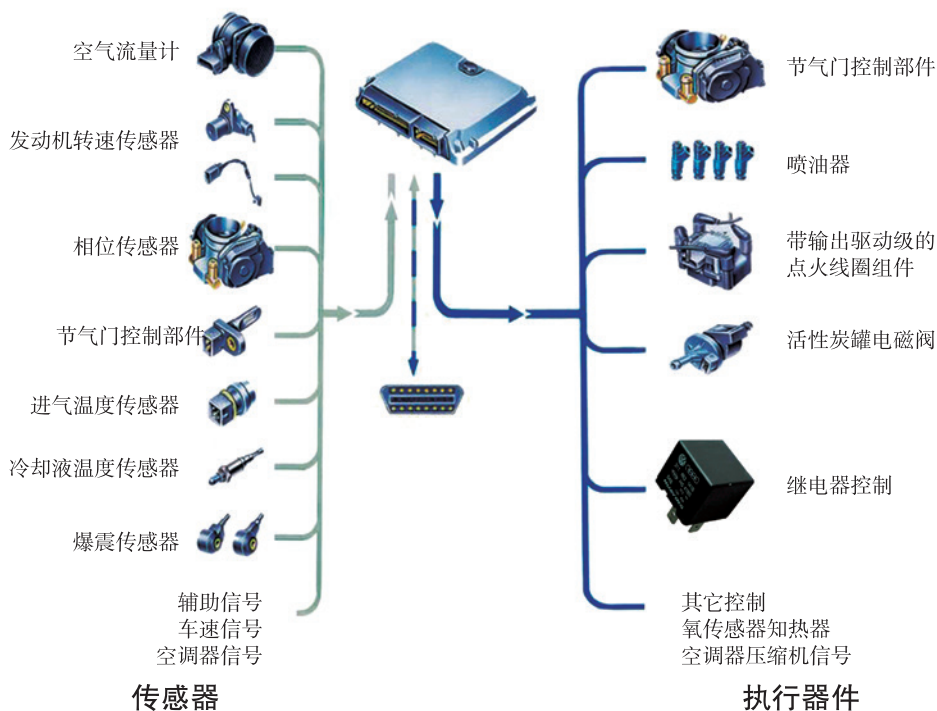


图 1-2-1 缸外喷射发动机控制系统

## 二、发动机电控系统控制内容

### 1. 燃油控制

内燃机燃油控制是发动机的核心控制，其主要目的是控制喷油器的喷油量，对于柴油机来说，其通过控制喷油量来控制发动机的功率，对于缸外喷射的汽油机来说，是通过控制喷油器的喷油量来使混合气的空燃比符合要求，对于缸内喷射发动机而言，喷油器的喷油量控制的目的随着燃烧形式进行变化。

## 2. 进气控制

在电控柴油机和汽油机上均装有节气门（如图 1-2-2 所示），但其的作用是不相同的。对于柴油机来讲，其作用是改善气流的状态，以保证充足的进气量，因此在柴油机上，这个装置称为风门。对于缸外喷射汽油机而言，其作用是控制进入气缸的空气量，以此来控制发动机的功率变化。对于缸内喷射发动机而言，节气门的控制目的随着燃烧形式进行变化。



图 1-2-2 节气门

## 3. 点火系统

点火系统只安装在汽油机上，如图 1-2-3 所示。其作用是根据汽油机工况及燃烧的形式，控制点火的时刻，并保证足够的点火能量。

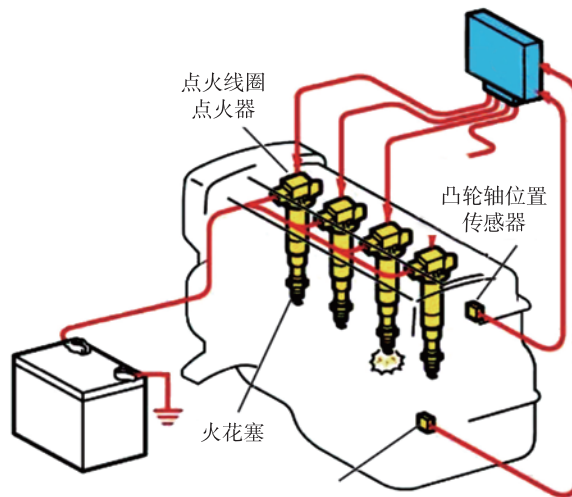


图 1-2-3 点火系统

## 4. 冷却系统

在一些发动机上，将冷却系统纳入发动机控制。一些发动机通过电子节温器精确的控制冷却线路的转换（如图 1-2-4 所示）；一些发动机通过电子水泵控制冷却液的流速（如图 1-2-5 所示），有力减少热量的流失；还有一些车型对冷却风扇进行控制。

## 5. 电源管理系统

越来越多的车型的发动机控制系统参与了对电源系统进行了管理，将电源管理系统纳入微机管理后形成以下优势：微机可根据电源的 SOC 值控制发电机的工作状态，减轻了发动机动力消耗的同时，也提升了蓄电池的寿命；微机可根据车辆对发动机工况的需求控制发电机的工作，例如加速时不发电，

减速时发电，以此调配发动机动力的应用，有效节约能量的浪费；由于采用了微机管理，电源系统也具备了自诊断功能。



图 1-2-4 电子节温器



图 1-2-5 电子水泵

## 6. 排放控制

如今我国对排放的要求越来越高，对汽车的排放系统也提出更高要求。电控系统根据发动机不同工况调整排放控制的方法，通过三元催化器、废气再循环、燃油蒸发管理系统、二次空气喷射等对尾气中的碳氢化合物（HC）、一氧化碳（CO）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）的排放量进行控制，如图 1-2-6 所示。

## 7. 自诊断与报警信号控制

当发动机电控系统出现故障时，控制单元会点亮仪表上的故障指示灯（CHECK ENGINE 或 SERVICE ENGINE SOON），以提醒驾驶员，并将故障代码和相关信息储存到电控单元的故障存储器中。通过特定的程序，可将故障代码及相关信息调出供维修参考。如图 1-2-7 所示。

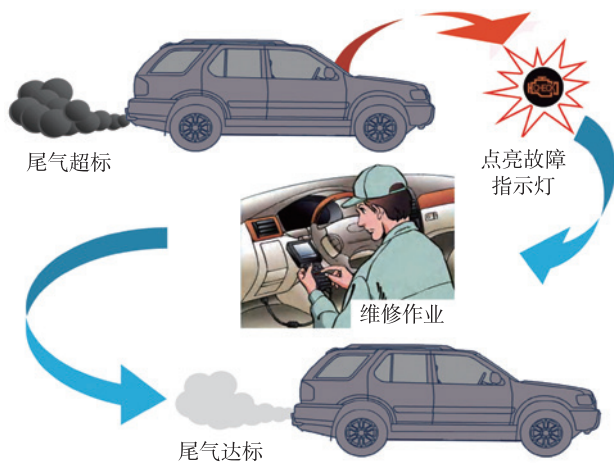


图 1-2-6 排放控制

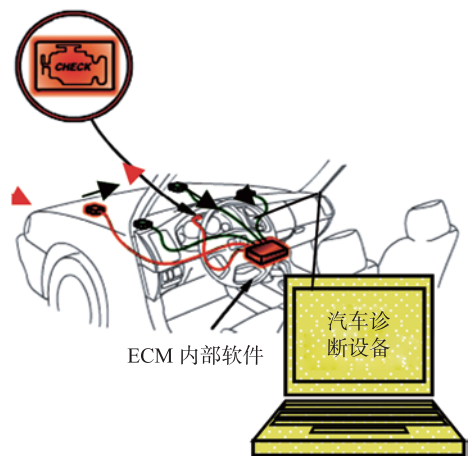


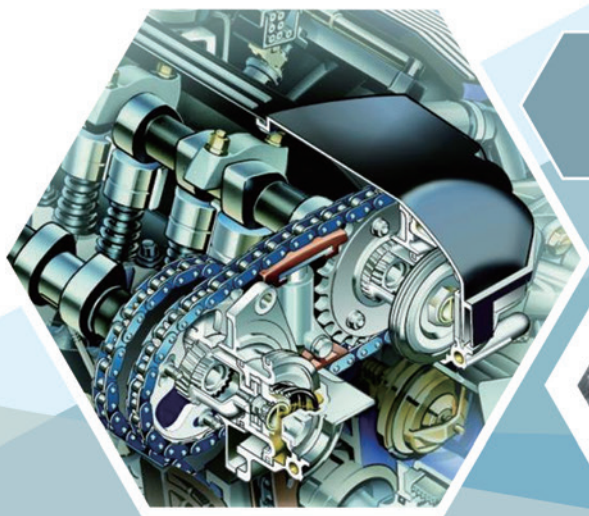
图 1-2-7 自诊断与报警信号控制

## 8. 失效保护控制（故障管理模式）

存储器 ROM（只读存储器）中存放的程序是经过精确计算和大量实验取证的数据为基础，这个固有程序在发动机工作时，不断的与采集来的各传感器的信号进行比较和计算。

# 第2章

## 燃油系统



1. 掌握缸外喷射汽油机燃油系统结构原理
2. 掌握油泵结构原理及油泵电路的原理及检测
3. 掌握喷油器的结构原理及检测方法
4. 掌握喷油时刻的确定方法
5. 掌握启动喷油量的计算方法
6. 掌握基本喷油量、修正喷油量的、喷油增量的计算方法
7. 掌握凸轮轴位置传感器、曲轴位置传感器、空气流量传感器、进气歧管压力传感器、冷却液温度传感器、节气门位置传感器、氧传感器的原理、检测以及其在燃油控制中的作用
8. 掌握缸内直喷发动机控制组成及原理
9. 掌握燃油供给系统油路的组成及检测
10. 掌握发动机空燃比及断油反馈控制机理



## 第一节 缸外喷射汽油机供油系统

### 一、组成

缸外喷射汽油机发动机燃油供给系统是将燃油按时定量的喷射到进气门的前方，喷射方式分为单点喷射和多点喷射，单点喷射目前已不再使用。多点喷射又分为为同时喷射、分组喷射、顺序喷射。分别如下：

同时喷射：将各气缸的喷油器并联，所有喷油器由电脑的同一个指令控制，同时喷油，同时断油。

分组喷射：将各缸的喷油器分成几组，同一组喷油器同时喷油或断油。

顺序喷射：喷油器由电脑分别控制，按发动机各缸的工作顺序喷油。

目前发动机基本都使用顺序喷射控制，但在一些工况下，比如启动工况，依然采用同时喷射。

目前，燃油供给系统基本采用机械无回油系统，这种系统采用定油压控制（一般为 0.3mpa），使控制方式和结构更为简单化，维修更方便，如图 2-1-1 所示，其主要由汽油箱、电动汽油泵、汽油滤清器、燃油分配管、喷油器、和输油管等组成。

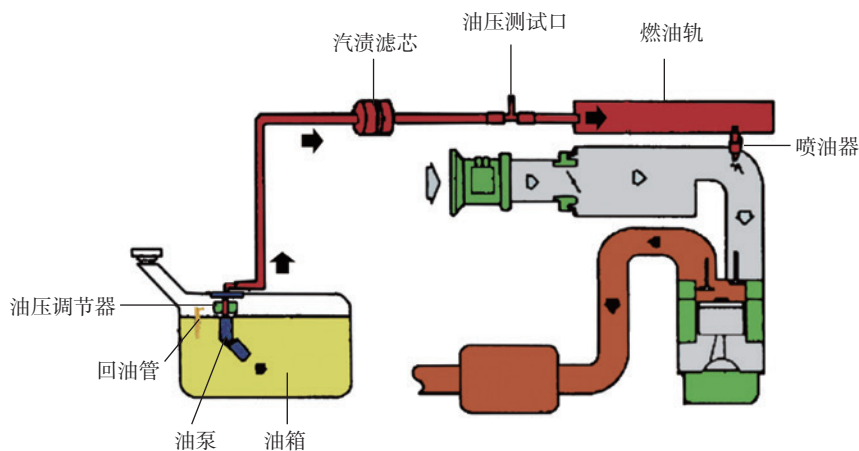


图 2-1-1 机械无回油系统

### 二、油泵

#### 1. 作用

电动燃油泵的作用是供给各喷油器所需的燃油，并提供一定的燃油压力如图 2-1-2 所示。

#### 2. 电动燃油泵分类

(1) 电动燃油泵按安装位置不同可分为内置式与外置式两种。

内置式安装在油箱中，噪声小、不易产生气阻、不易泄漏、管路安装简单。



图 2-1-2

外置式串联在油箱外部的输油管路中，易布置、安装自由度大，但噪音大，易产生气阻。目前多数 EFI（电控系统）系统采用内置式电动燃油泵。

(2) 按电动燃油泵的结构不同有滚柱泵、涡轮泵、转子泵和侧槽泵等几种。

其中涡轮式电动燃油泵比较常用，以下介绍其结构与工作原理。涡轮汽油泵由电动机、涡轮泵、单向阀、限压阀及滤网等组成，燃油经滤网过滤后由叶轮驱动经单向阀送入供油管路中。涡轮泵是利用物体旋转时离心力原理，将汽油驱动并输送至供油管路中的。单向阀使系统在发动熄火后保持一定油压，便于发动机下次起动。安全阀防止系统压力过高造成管路泄漏现象，在油压高于 400KPa 时泄压，从而保护供油管路。

### 3. 原理

电动燃油泵由泵体、直流电机和壳体三部分组成。如图 2-1-3 所示它的基本工作原理是直流电机通电后带动泵壳体内的转子进行高速旋转，转子轴下端的切面与叶轮的内孔切面相结合，使得当转子旋转的时候通过转子轴带动叶轮一起同向旋转，叶轮高速旋转过程中在进油口部分造成真空低压，进而将经过过滤处理的燃油从泵盖的进油口吸入，吸入的燃油经燃油泵叶轮加压后进入泵壳内部再通过出油口压出，为燃油系统提供具备一定压力的燃油。直流电机的结构包括固定在泵壳壳体内壁上的永磁铁、通电后能够产生磁力矩的转子和安装在泵壳上端的石墨碳刷组件。碳刷与电枢转子上的换向器处于弹性接触状态，其引线连接在外壳的插电接线电极，电动燃油泵泵壳外部的两端采用卷边铆紧，成为一个不可拆卸的总成。

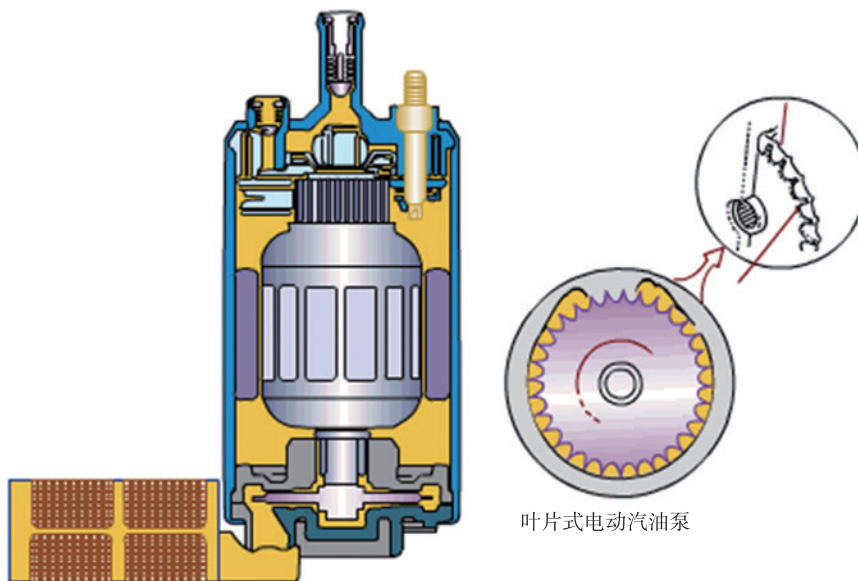


图 2-1-3 叶片式电动燃油泵结构图

#### 4. 损坏后对系统的影响

电动燃油泵经常出现的故障为供油不足或不泵油，从而导致车辆启动困难、发动机抖动、加速不良或发动机无法启动等现象。

##### (1) 供油不足分析

其故障现象为接通电源后，能听到油泵内有轻微的“嗡、嗡”响声，用手触摸油泵外壳也能感觉到轻微的振动，但是油压不足。出现这种现象说明油泵的电路部分正常，故障出在机械泵油部分。泵油不足的故障原因有：出油阀、进油阀或回油阀与其阀座之间有异物，导致其密封不严；油路堵塞，回油弹簧弹力不足；柱塞磨损过甚，导致与泵体壁间隙过大。

##### (2) 不泵油分析

其故障现象为接通电源后，油泵根本不泵油。在行车过程中遇到这种现象时，应首先判断故障是在电路部分还是在机械部分。可用万用表测量油泵的火线电压（不要采用刮火法，以防引起火灾），如果无电压，说明故障在电源部分，应检查电源线路是否良好；如果有电压，应进一步判定故障是在油泵的机械部分还是在电路控制部分。

#### 5. 油泵的控制策略

##### (1) 钥匙启动型

钥匙启动型控制框架如图 2-1-4 所示。其工作过程为：KYE-ON 时，发动机电脑控制油泵运转 3-5S，为发动机启动储备油压；当发动机电脑收到发动机转速信号后，控制油泵运转，持续为燃油系统提供燃油；当无转速信号时，发动机电脑控制油泵停止运转；当汽车碰撞后，发动机电脑控制油泵停止运转；当关闭点火开关后，发动机电脑控制油泵持续运转 3-5S，为发动机下次启动储备油压；一些车型设置在打开或主司机车门时，发动机电脑控制油泵运转 3-5S，为发动机启动储备油压。

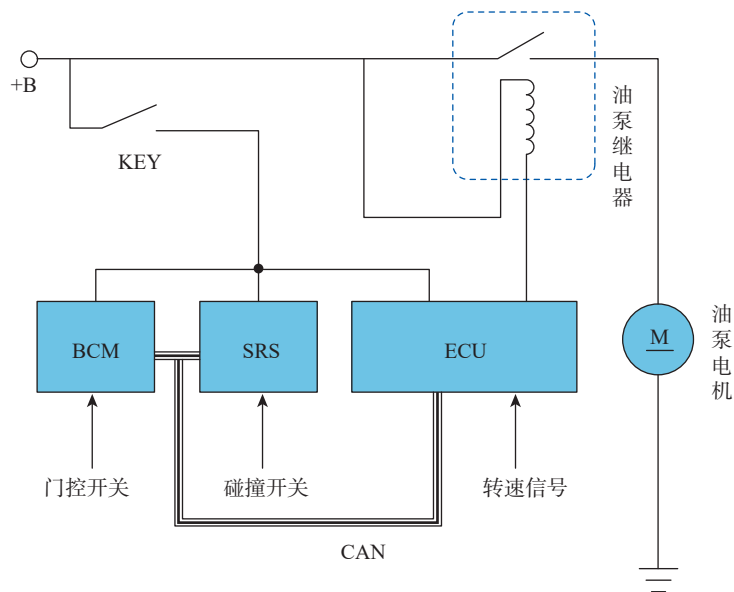


图 2-1-4 钥匙启动型控制

##### (2) 一键启动型

钥匙启动型控制框架如图 2-1-5 所示。其与钥匙启动型控制不同之处在于启动时，没有 KYE-ON 档的过程，当发动机电脑收到发动机转速信号后，即控制油泵运转。

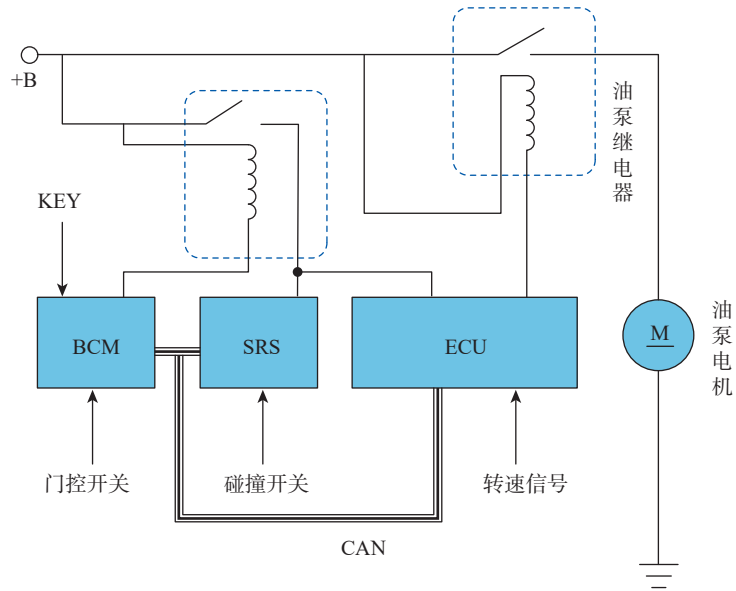


图 2-1-5 一键启动型控制

### (3) 油泵电脑控制型

油泵电脑控制型框架如图 2-1-6 所示。油泵的运转由油泵电脑控制，一些车型将油泵和油泵电脑集成在一起，发动机电脑根据上述信号向油泵电脑发送信息控制电机运转，并且可以根据发动机的运转工况控制油泵的转速，一旦油泵出现故障，将会出现对应的故障码。

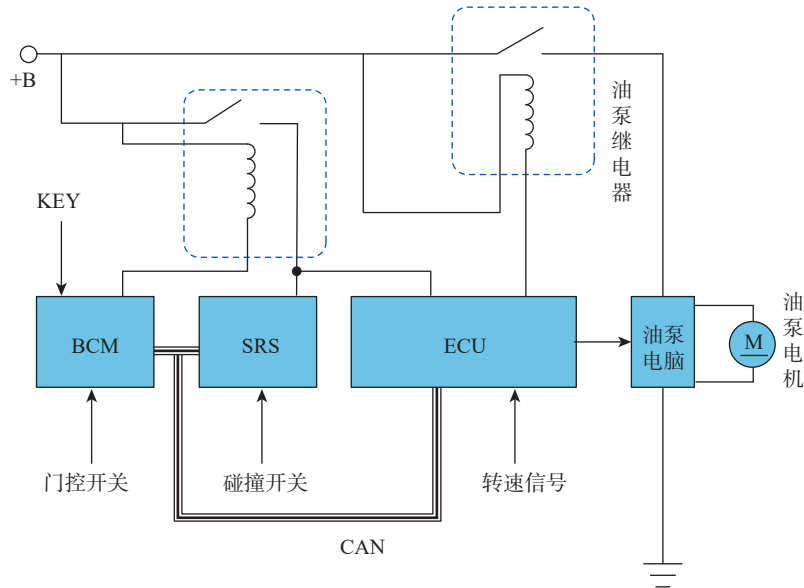


图 2-1-6 油泵电脑控制型

## 三、喷油器

### 1. 作用

喷油器进气歧管上，喷油器上方连接燃油管路，下方连接进气歧管，如图 2-1-7 所示，其作用是按照发动机 ECU 计算出的喷射正时和脉宽（喷油量），向进气歧管喷射燃油。

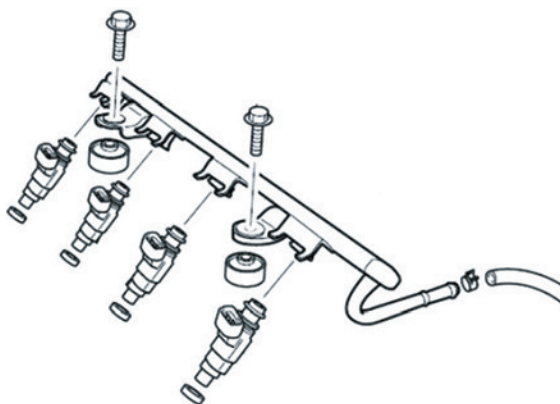


图 2-1-7 喷油器

## 2. 结构

喷油器主要由滤网、线束连接器、电磁线圈、回位弹簧、衔铁和针阀等组成，针阀与衔铁制成一体如图 2-1-8 所示。

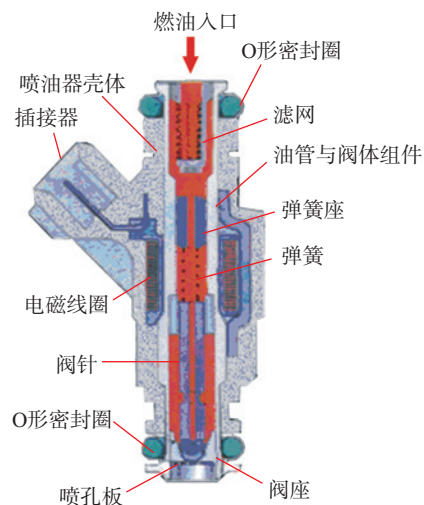


图 2-1-8 喷油器结构

喷油器按喷油阀口不同可分为针阀、球阀和片阀三种，按喷油器线圈阻值不同可分为高阻值和低阻值两种，其中高阻值约 12-17 $\Omega$ ，低阻值约 2-5 $\Omega$ 。

## 3. 工作原理

分配油管的压力汽油经过滤网后进入喷油器，在复位弹簧的作用力下，针阀处于关闭状态，喷油器不能喷油；当油器的电磁线圈通电后，电磁线圈产生的磁场带动衔铁、针阀上移，针阀打开，喷油器喷油。一般喷油器针阀升程约为 0.1mm。

喷油器电磁线圈引出两根线，一个是电源，在打开点火钥匙后供给 12V 电压，另一个由电子控制单元控制，如图 2-1-9 所示。当喷油器需要打开喷油时，电子控制单元 ECU 控制此线搭铁，电磁线圈内有电流通过，喷油器打开喷油。

每次 ECU 控制喷油器电磁线圈通电的时间被称为喷油脉宽，为 2 ~ 10ms 范围内。

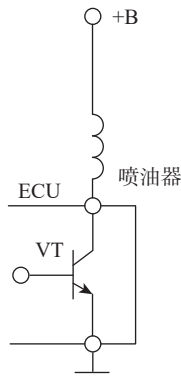


图 2-1-9

#### 4. 喷油时刻及喷油量的确定

发动机电控系统是通过喷油器按时定量的将燃油喷射到进气门的前方，因此，电控发动机首先要解决的是什么时候喷油和喷多少燃油的问题，即喷油时刻和喷油量的问题。本节将重点阐述这两个问题。

目前汽车发动机一般采用多点顺序喷射，即将喷油器设在进气门处，由电脑分别控制，按发动机各缸的工作顺序喷油。燃油在热的进气门上进一步蒸发与空气充分混合后立即通过进气门进入燃烧室，不受到进气歧管结构的影响，可以保证均匀一致的混合气分配。如图 2-1-10 所示。

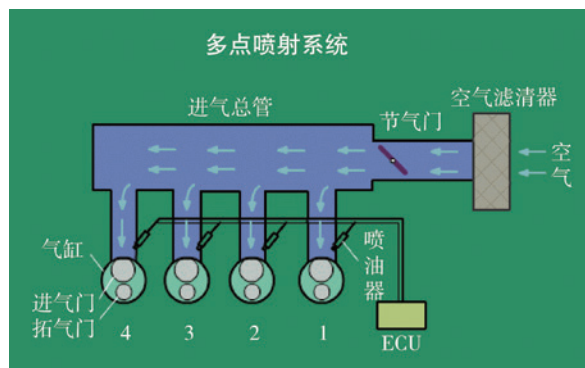


图 2-1-10 多点顺序喷射

喷油顺序和点火顺序同步，不同的是点火时刻在压缩上止点前开始，喷油则在排气上止点前开始。如此，当进气门打开后，吸入的是汽油和空气混合而成的混合气。

喷油量的控制决定着发动机的经济型和动力性。电脑是通过控制喷油器的喷油时间来控制喷油量的。喷油时间也长，喷油量越多，反之越少。

确定喷油量的依据主要是空燃比，标准空燃比 (A/F) 为 14.7:1。发动机大多数时间是按照标准空燃比控制喷油量的，但在一些特殊工况需要的空燃比也不同。表 2-1-1 为福特轿车各种工况下的空燃比范围。

表 2-1-1 电控发动机不同工况的空燃比 A/F 范围

发动机工况	空燃比 A/F	发动机状态
启动	2:1-12:1	由冷变凉
暖机	2:1-15:1	逐渐变热
开环控制	2:1-15:1	冷或热
闭环控制	14.7:1	热
急加速	取决于驾驶员操作	热
减速	稀混合气	热
怠速	取决于怠速控制系统校正情况	热

电脑对喷油量的控制分为两个阶段，一个是启动阶段，一个是启动后阶段。启动后的总喷油量又由基本喷油量、喷油修正量、喷油增量合成（如图 2-1-11 所示）下面将分别阐述。

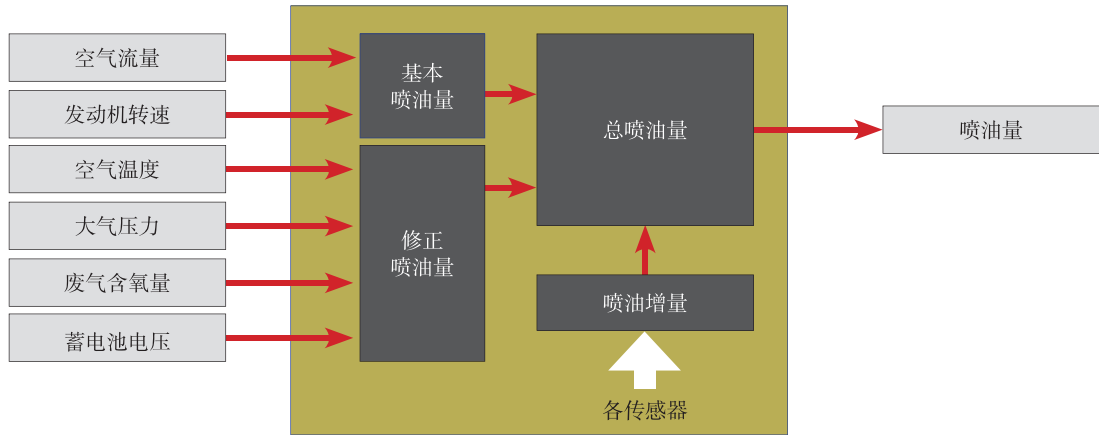


图 2-1-11 喷油量的确定

(1) 启动喷油量

在发动机启动时，发动机转速很低，导致反应进气量的传感器信号误差较大，因此，电脑按照存储器中预先编制好的启动程序和预订的空燃比控制喷油，控制过程如图 2-1-12 所示。电脑首先通过检测点火开关位置、发动机转速、节气门位置来判定发动机是否处于怠速状态，以便决定是否按启动程序控制喷油，然后根据冷却液温度确定基本喷油量。

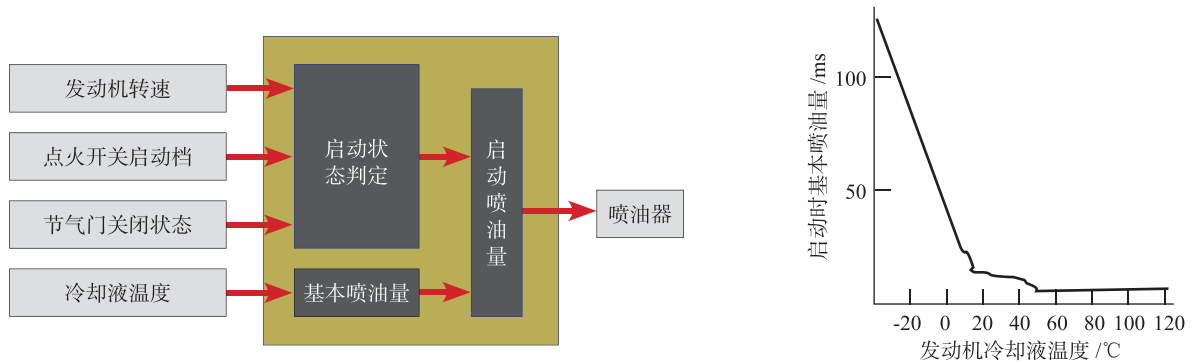


图 2-1-12 启动喷油量

(2) 基本喷油量

基本喷油量是根据发动机每个气缸每个工作循环的进气量和设定的空燃比来确定的。要计算出每个气缸每个工作循环的进气量，需要测出一定时间的总进气量，再根据发动机的转速来计算。

发动机首先来讲其气缸的个数是不变的，要计算基本喷油量，就需要测出总进气量和转速。在汽车上，计算基本喷油量有三种方法。

第一种，是节气门测量法。发动机的总进气量是由节气门的开度控制的，所以，一旦检测到节气门的开度，就可以计算出发动机的总进气量，这样结合转速就可以计算出基本喷油量。

但是，由于节气门是圆形，这样就导致节气门的开度和进气量不成比例关系，也就是说，节气门的开度很难正确的反映出真正的进气量。再者，即便是相同的节气门开度下，由于空气的流速不同，进气的总量也不相同。因此这种测量方式已不再使用，只是在测量进气总量的装置出现故障后，起作用，也就是所谓的“自回家功能”——坡脚模式。

第二种，是空气流量直测法。由于节气门开度不能反映出进气的流量，因此，在节气门的前方安装一个空气流量计，使进入气缸的所有空气都流经于此，从而起到精确测量的效果。测量到进气总量再结合转速就可以计算出基本喷油量，如图 2-1-13 所示。

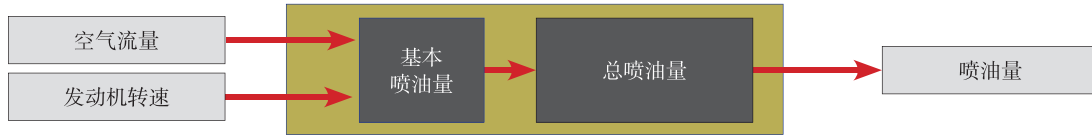


图 2-1-13 喷油量的确定 (空气流量型)

再有一种就是歧管压力测量法，也是间接测量法。这种方法是在节气门后方安装一个进气歧管压力传感器来检测节气门后方的真空度。节气门的后方的真空度和空气流速有关。节气门流通横截面积不变时，转速和空气流速有着一定的比例关系；转速不变时，节气门流通横截面积和空气流速有着一定的比例关系。因此只要确定了空气流速（节气门的后方的真空度）和转速就可以得到节气门流通横截面积，而这个横截面积与空气流速的乘积再乘以一个单位时间就是这段时间的进气总量，得到了进气总量再结合转速就可以计算出基本喷油量，如图 2-1-14 所示。

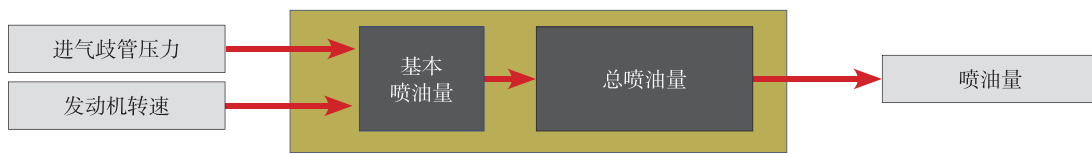


图 2-1-14 喷油量的确定 (歧管压力型)

### (3) 修正喷油量

#### 1) 进气温度与大气压力修正系数

基本喷油量是在标准大气状态（温度为 20℃，压力为 101kPa）下确定的，但实际的大气状态一般不是标准的大气状态。当空气温度和大气压力变化时，空气密度就会发生变化，这样实际检测的进气量就会与实际不符，因此，需要对喷油量进行修正。

当空气温度升高时，空气密度减少，此时相等的体积空气的质量降低，对于依靠检测进气压力和进气体积来检测进气量的发动机来讲，同样的信号数据但进气的质量已经降低，此时需要降低喷油量。此时要对喷油量进行修正，修正系数如图 2-1-15 所示。需要说明的是，对于一些依靠检测进气质量来检测进气量的发动机来讲，不需要修正。当汽车行驶到高原地区时，海拔的升高使大气压力下降，空气密度减少，同样，相等的体积空气的质量降低，对于依靠检测进气体积来检测进气量的发动机来讲，同样的信号数据但进气的质量已经降低，此时需要降低喷油量。此时要对喷油量进行修正，修正系数如图 2-1-16 所示。对于一些依靠检测进气质量来检测进气量的发动机来讲，依然不需要修正。

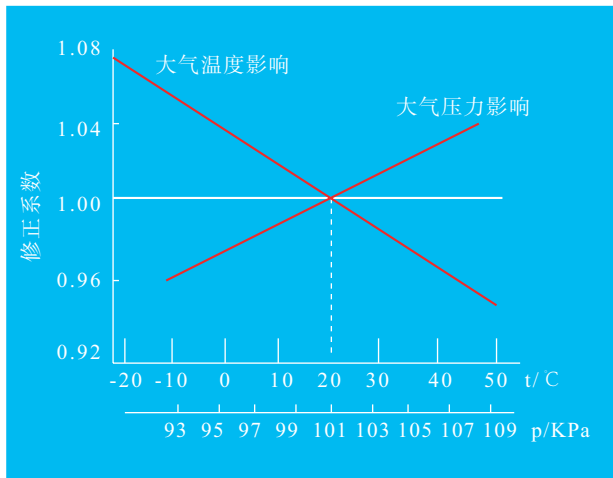


图 2-1-15 进气温度和大气压力修正系数

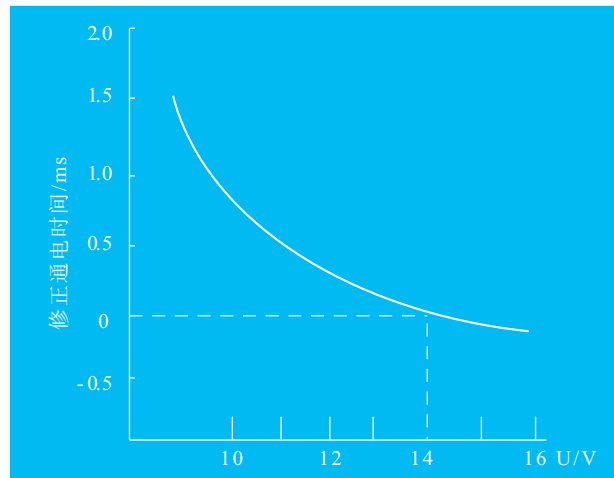


图 2-1-16 蓄电池电压对喷油量的修正

#### 2) 蓄电池电压修正系数

喷油器的电磁线圈为电感性负载，其电流按指数规律变化，因此当喷油脉冲到来时，喷油器阀门

的开启和关闭都将滞后一定时间。蓄电池电压的高低对喷油器开启滞后的时间影响很大，电压越低，开启滞后时间越长，在控制脉宽相同的情况下，实际喷油量就会减少，为此必须进行修正。

修正喷油器时间时，电脑以 14V 为基准，当蓄电池电压低于 14V 时，电脑将增加喷油脉宽，即增加喷油系数，使喷油时间延长。反之，当蓄电池电压升高时，电脑将减少喷油脉宽，即降低喷油系数，使喷油时间缩短。

### 3) 进气歧管压力修正

喷油器针阀打开后，喷油的速度和喷油器两端的压力差有关，当压力差大时，燃油流速快，反之则慢，在无回油的燃油供给系统中，供油轨道内的燃油压力是一定的，但进气歧管内的气体压力随着发动机的工况进行变化，因此，喷油脉宽会随着进气歧管的压力进行变化，当进气歧管的压力高时（真空度低），会使喷油脉宽增加，反之减少，以此保证喷油量的稳定。

### 4) 反馈修正

在闭环控制状态下，电脑通过检测废气中氧的含量对每一瞬间进入发动机的混合气成分进行检测，不断修正喷油量，使混合气浓度始终保持在理想范围内。这种控制方式可以进一步提高喷油量的控制精度，并可避免由于制造加工误差和使用老化带来的影响。

## (4) 喷油增量

### 1) 启动后喷油增量

冷车启动后，由于低温混合气雾化不良，燃油会在进气管上沉积导致混合气变稀，发动机运转不稳甚至熄火。为此在启动后短时间内，必须增加喷油量，保证发动机运转稳定而不至于熄火。发动机启动后喷油增量比例的大小取决于启动时发动机的温度，并随着启动后时间的增长而逐渐减少，如图 2-1-17 所示。

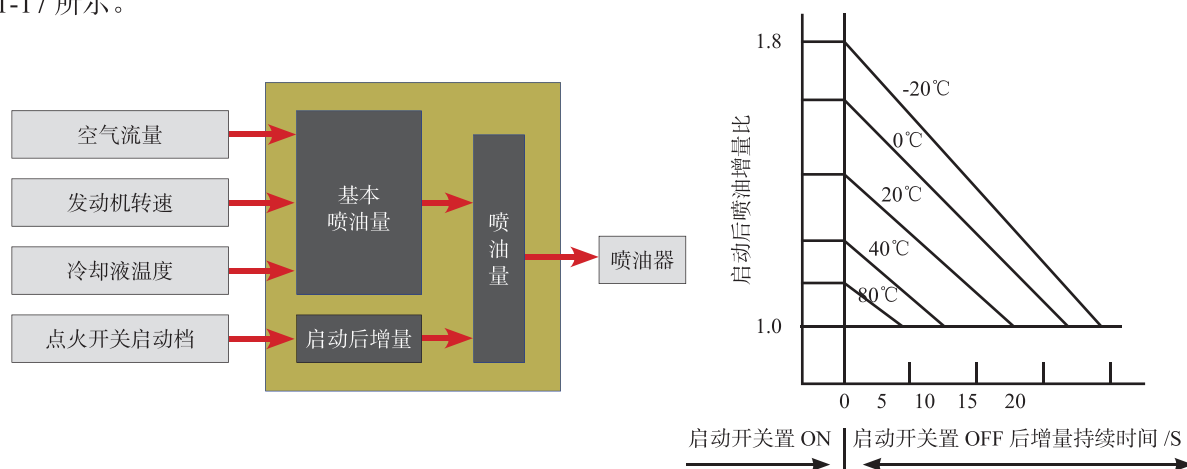


图 2-1-17 启动后喷油增量

### 2) 暖机增量

在冷车启动结束后的暖机过程中，发动机温度较低，燃油雾化较差，部分燃油凝结在进气管和气缸壁上，从而使混合气变稀、燃烧不稳定。因此在暖机过程中，必须增加喷油量，其喷油量增加的比例取决于冷却液的温度，并随着温度的升高而逐渐减少，直到 60℃ 时才停止加浓，如图 2-1-18 所示。

### 3) 加速增量

当汽车加速时，为了保证发动机能够输出足够的转矩，改善加速性能，必须增大喷油量。电脑根据节气门的变化速率判定发动机是否处于加速状态的，据此对混合气加浓。燃油增量的比例与加浓时间取决于加速时发动机冷却液的温度，如图 2-1-19 所示，冷却液温度越低，燃油增量比例越大，加浓时间越长。

发动机要完成各种信息的采集需要不同的传感器：对喷油时刻的确定需要凸轮轴位置传感器和曲轴位置传感器；汽车启动时需要点火开关启动挡的信号（现代车型一般依靠发动机转速传感器变化的速率计算启动状态）、节气门位置传感器信号和冷却液温度传感器的信号；确定标准喷油量时需要空气流量传感器或进气压力传感器和发动机转速传感器，发动机转速传感器其实也是曲轴位置传感器，曲轴位置传感器信号有多个用途；对喷油量的修正需要大气压力传感器、进气温度传感器、氧传感器，

还需要蓄电池电压信号；启动后还需根据点火开关启动挡关闭信号（现代车型一般依靠发动机转速传感器变化的速率计算启动关闭状态）和冷却液温度信号进行增量控制；暖机喷油增量需要冷却液温度传感器；加速喷油增量需要节气门位置传感器（对于装有进气压力传感器的车型电脑依靠进气压力传感器的信号突然变化判定加速状态）和冷却液温度传感器。

发动机上的传感器众多，有一些传感器作用很多，例如冷却液温度传感器、曲轴位置传感器。还有一些传感器包含不同机构，这些机构又具备不同的功能，比如节气门位置传感器由怠速触点和电位计两部分组成，怠速触点的作用是确定节气门在关闭状态，电脑则根据电位计电压信号变化的速率确定加速状态。

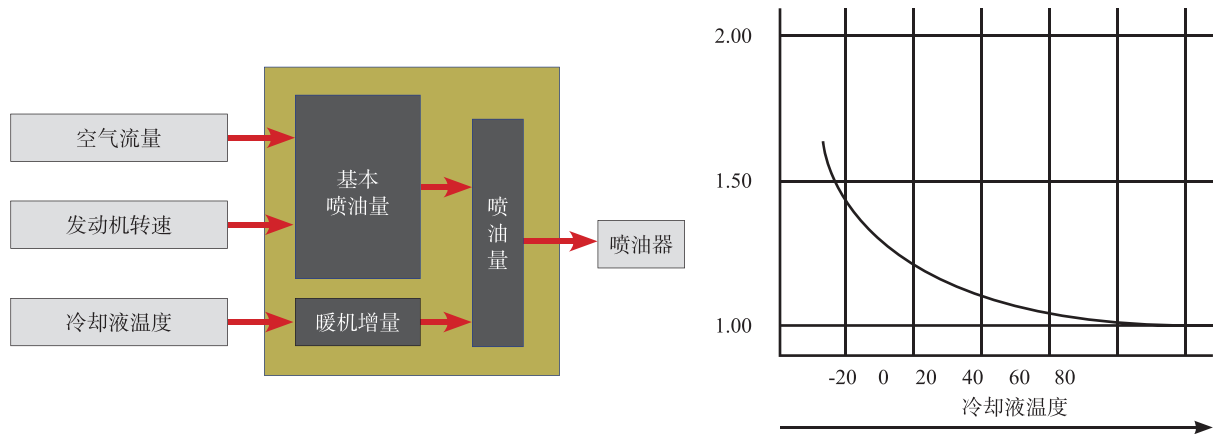


图 2-1-18 暖机喷油增量

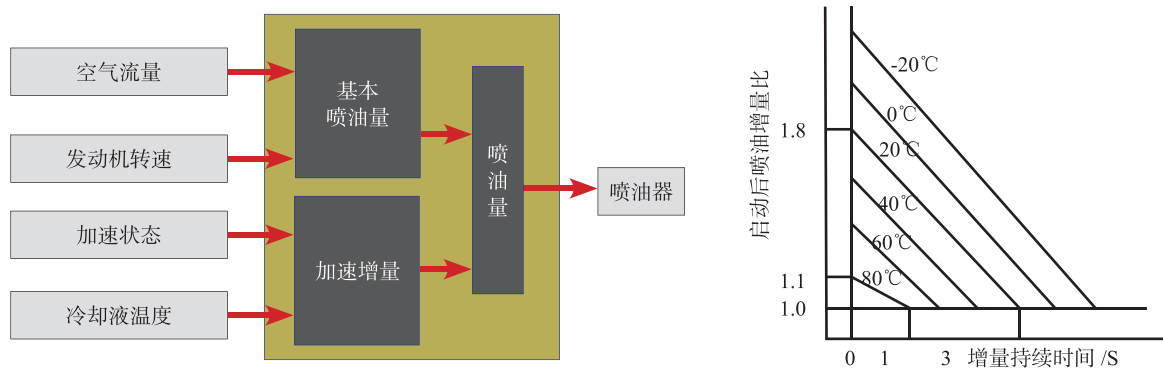


图 2-1-19 加速喷油增量

## 5. 损坏后对系统的影响

喷油器的主要故障有不喷油、喷油雾化不良、漏油等。喷油器最常见的故障是喷油量失常和雾化不良，其原因是受发动机运转时高温的影响，以及汽油中所含的树脂、树胶烯烴等物质会逐渐附着在喷油器末端细小的喷孔上造成喷油器堵塞，影响了汽油的正常通过和雾化。另外，劣质汽油中所含的水分也极易使喷油器针阀锈蚀，导致卡滞，造成喷油器漏油或不喷油。喷油器电磁线圈老化或短路、断路，喷油器控制电路接触不良、断路及电脑内部故障均会造成喷油器不喷油。喷油器的故障会造成发动机不能起动或起动困难，动力下降，加速迟缓，怠速不稳，容易熄火及排气冒黑烟等。

## 6. 喷油器的检测

### (1) 机械检测

喷油器机械性能包括两个方面，一个是关闭状态不漏油，另一个



图 2-1-20 喷油器清洗机

是开启时雾化状态良好。喷油器清洗机(如图 2-1-20 所示)可以模拟实车燃油压力,并能驱动喷油器工作,是喷油器检测和清洗的专用设备。

#### (2) 读取故障码

当喷油器短路或开路时,电脑将记录其故障码,可以使用仪器进行读取。

#### (3) 听诊

在喷油器工作时,由于衔铁和针阀的运动,用听诊器或金属蹦抵住喷油器的部位,可以听到一种“嗒嗒”声音,若无此种声响,说明喷油器存在故障。

#### (4) 测阻值

拔下喷油器的插头,测量喷油器的端子,其阻值应符合厂家要求。

#### (5) 测电压

打开点火开关后,喷油器的电源端应为电源电压,否则需要检测电源电路;在连接电脑的一端,应有一定的检测电压一般为 5V,若此电压与厂家要求不符,则需检测线路或电脑。

#### (7) 试灯检测

拔下喷油器插头,将试灯连接导线的两个端子(LED 试灯要注意正负极),启动起动机,试灯应闪亮,否者为电路故障。

### 7. 喷油器的清洗

#### (1) 清洗机清洗

喷油器清洗机是喷油器检测和清洗的专用设备,一些清洗机兼具有超声波清洗功能。

#### (2) 人工清洗

人工清洗是一个简单的清洗方式,其方法是将清洗剂注入喷油器的进油端,间断为其供电的方式,使清洗剂从喷油器喷出,依次达到清洗的效果,如图 2-1-21 所示。这种方法清洗成本较低,但有一定的污染性,已不提倡使用。



图 2-1-21 人工清洗喷油器



图 2-1-22 吊瓶清洗喷油器

#### (3) 吊瓶清洗

吊瓶清洗喷油器如图 2-1-22 所示,“吊瓶”的工作原理,简单来说,就是用燃油清洗剂代替燃油,也就是用燃油清洗剂供发动机运行,在运行中将喷油嘴的积碳进行清洁并通过排气管将积碳与杂物排出,达到清洗效果。

其操作步骤一般如下:

1) 首先断开燃油泵电源,有些车型可以拔下燃油泵继电器,启动车辆使燃油管道里汽油燃烧掉,防止拆卸油管时有汽油从接口处喷出,伤到眼睛或引起火灾。

2) 拆燃油管路前戴上护目镜,找些擦油布把接口处上下盖住,再进行拆卸施工,找到合适的专用接头与燃油轨道进油管连接好,有回油管的车系堵住回油管或原车回油管与进油管连接成一个回路。

3) 把喷油嘴专用清洗剂加入吊瓶里拧上瓶盖,吊瓶上的加油管连接到燃油轨道接头上。

- 4) 吊瓶接上压缩空气管路，清洗瓶压力调整为 2-3Kgm，打开吊瓶上管路开关。
- 5) 检查加油管与回油管各连接部位有无渗漏，有渗漏要及时排除。
- 6) 启动发动机，转速控制在怠速至 1800 转之间，直到产品使用完毕，此时发动机会自动停机。
- 7) 发动机熄火后，关机，拆下工具和接头，使用已有的或新的密封垫，重新接好所有汽车上的管路。
- 8) 把点火开关拨到 ON 位置，给燃油泵通电。检查油管各个接头有无泄漏。
- 9) 清洗完毕，检查工具是否齐全，并妥善保管。

### 四、其他部件

#### 1. 滤清器

如图 2-1-23 所示燃油滤清器的作用是过滤燃油中的杂质，防止污物堵塞喷油器等精密零件。

汽油滤清器，多采用纸质滤芯，外壳用硬塑料或金属封闭，为易耗品，内部结构基本相同，其内部结构如图 2-1-24 所示。

滤清器堵塞后，将使供油管的阻力增加，供油量不足，发动机功率下降。其更换周期应参照生产商所提供时间表并根据当地油品，调整其更换周期但不可高于生产商的标准，长期不更换可造成车辆加速无力或无高速等故障现象。



图 2-1-23 汽油滤清器

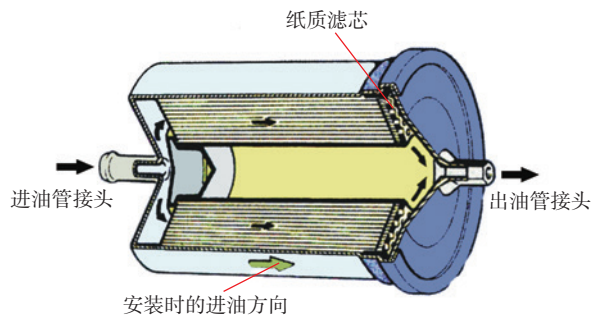


图 2-1-24 燃油滤清器内部结构

#### 2. 燃油分配管

燃油分配管的功用是将燃油均匀、等压地分配给各个喷油器；另外，还有储压蓄压的作用，防止燃油压力波动，保证各缸喷油器的喷油量尽可能相等。

### 五、油压测量

#### 1. 准备工具

油压表如图 2-1-25 所示、抹布等工具。



图 2-1-25 燃油压力检测设备

## 2. 泄压

- (1) 拔继电器
- (2) 拔保险
- (3) 打着车并拔下油泵插头，系统的残余油压能够保持几秒的着车状态，然后自动熄火，待再次起动车时完成泄压操作。

注意：油泵继电器一般为米白色 / 蓝色。

## 3. 连接油压表

一般的在供油管路上有诊断接口，对于没有接口的，我们采取在中间连接一个三通阀的形式连接在进油管上。

- (1) 转动点火开关至 ON 档后几秒，油压为 294Kpa 左右
- (2) 怠速油压为 245Kpa 左右
- (3) 使用真空泵将油调节器真空腔抽取真空，油应随真空变化而变化。
- (4) 关闭点火开关，在 30min 油压下降不应超过 50Kpa。



## 第二节 汽油缸内直喷发动机

缸内直喷发动机是将燃油直接喷入气缸内部，在中、小负荷对进气形式进行控制，使其在气缸内形成涡流，再精确的控制喷油和点火的时刻，可以实现混合气局域性分布，以此可以实现富氧燃烧，从而提升热效率，更加节约燃油。在大负荷和全负荷时，分层燃烧不易形成，因此采用均质燃烧形式，此时，控制喷油与点火的时机，其目的是形成均质的混合气。

所以要求燃油喷射时间、点火时间与缸内空气的流动配合相当紧密。现代缸内直喷式汽油机对喷油系统提出的主要要求是：必须将燃油的压力产生过程与计量喷射过程完全脱离，使其能够自由选择喷油时刻和可变的喷油压力。

如上所述，蓄压共轨式喷油系统具有很大的控制自由度，可以最好地满足这些要求，能够在任意一个时刻，通过电控喷油器将存储在共轨中达到运行工况所要求压力的燃油，精确计量直接喷入燃烧室。

### 一、组成

缸内直喷供油系统的主要部件有高压油泵、共轨油管、燃油压力传感器、压力控制阀、高压喷油嘴和 ECU 等。

其通过电动低压输油泵将燃油从油箱输送到高压油泵，再通过发动机凸轮轴驱动，将低压油泵送来的压力约为 3.5~6.0bar 的燃油增压到 100-200bar，并送往共轨油管，再充满各个喷油器的油腔。当 ECU 令喷油器的电磁阀通电后，喷油器的针阀开启，此时，汽油就通过喷油嘴进入缸内，使油气混合。

在发动机低速时，燃油容易聚集，其可通过采取应用较低的喷油压力，延长喷油时间，防止燃油的聚集；在高速时，燃油会容易过度分散，此时，可通过控制系统提高喷油压力，缩短喷油时间，抑制燃油的过度分散。这样也大大降低了燃油的不必要的损失，即大大提高了燃油经济性。

### 二、低压输油泵

现代缸内直喷式汽油机的低压输油泵通常采用与进气道喷射汽油机一样的电动燃油泵，电动燃油泵将使燃油产生 3.5bar ~ 6bar 的初级输油压力。

### 三、高压输油泵与压力调节器

直喷式汽油机高压燃油泵的任务是将由电动燃油泵输送过来 3.5bar~6.0bar 的预供燃油压力提高到 100bar 到 200bar。并要求泵油流量变化小，以减小共轨中的压力波动，并应避免燃油与机油混合。

直喷式汽油机高压燃油泵使用单活塞高压泵，单活塞高压泵由凸轮轴的驱动凸轮以机械方式来驱动，如图 2-2-1 所示，凸轮的数量与一般与气缸的数量相对应。压力调节器（也称燃油计量阀）与高压燃油泵集成在一起，压力调节器的电磁阀发动机电脑的控制，电脑根据燃油共轨压力传感器的信息控制压力调节器的电磁阀，以调整燃油共轨的压力。

单活塞高压泵与压力调节器协同工作，在泵油的过程中调节燃油的压力，其工作过程分为进油、回油、泵油三个过程，如图 2-2-2 所示。

进油过程：

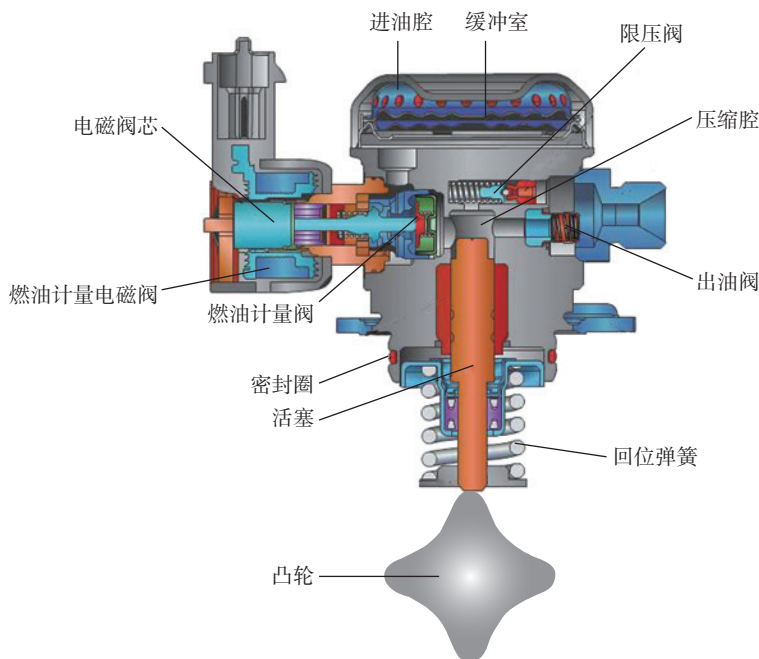


图 2-2-1 高压燃油泵

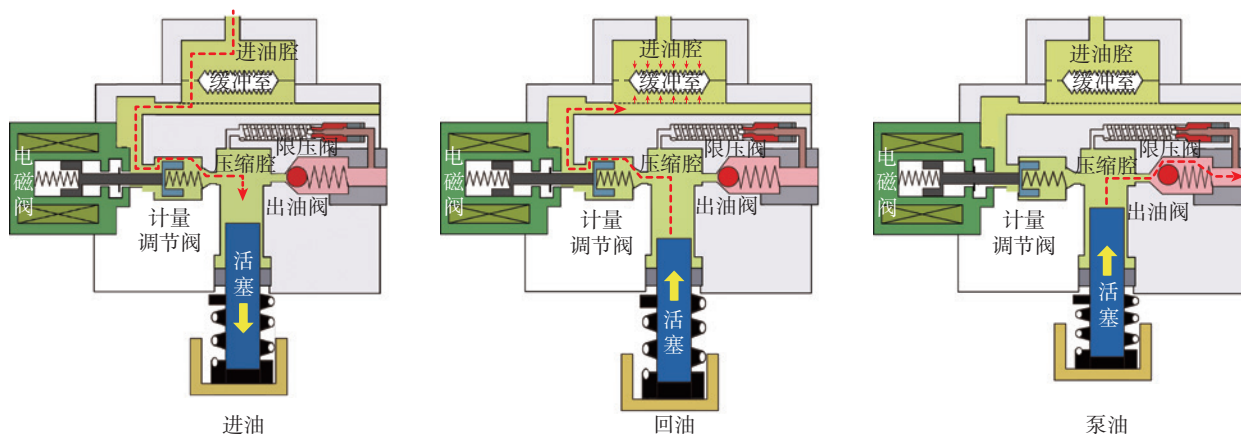


图 2-2-2 高压燃油泵工作过程

进油时，活塞在弹簧的作用下向下运动，3.5bar~6.0bar 的低压燃油经过燃油计量阀进入压缩腔。

回油过程：

活塞在凸轮的作用下向上运动，压缩腔中的燃油受到压缩，经过燃油计量阀流回进油室，导致进油室压力升高，进油室中的缓冲室受到压缩，以吸收来自压缩腔中的燃油压力。

进油过程：

在活塞向上运行过程中，电脑控制燃油计量电磁阀通电，电磁阀阀芯左移，燃油计量阀阀片在弹簧的作用下左移，关闭阀口，压缩腔中的燃油不能流回进油腔，使压缩腔中燃油压力提升形成高压燃油，高压燃油通过出油阀口进入高压油管。

在活塞向上运行过程中，燃油计量电磁阀通电的时刻决定了回油行程和泵油行程的长短。当燃油计量电磁阀通电的时刻早时，回油行程短，泵油行程长，高压系统的压力会升高；当燃油计量电磁阀通电的时刻晚时，回油行程长，泵油行程短，高压系统的压力会降低。

当燃油计量电磁阀出现故障后，燃油计量阀处于打开位置，高压燃油处于最小压力状态。

当燃油计量电磁阀阀芯出现卡滞在最左端时，高压燃油的压力会很高。此时，在活塞下移的过程中，高压管道的燃油会经过限压阀流回压缩腔，从而降低了燃油管道的压力。

#### 四、高压燃油分配管

高压燃油分配管是一种管状铸铝件如图 2-2-3 所示，它具有与高压燃油泵、喷油器、燃油压力调节阀和燃油压力传感器相互连接的接头。考虑到燃油的可压缩性和填充共轨容积所需要的时间，其蓄压容积的设计应遵循这样的准则：一方面要求具有较大的蓄压容积，以便能抑制向喷油器周期性供油而引起的压力波动以及高压泵供油的波动性，尽量保持共轨燃油压力的平稳；另一方面又要求具有尽量小的蓄压容积，以便共轨压力能够足够迅速地建立起发动机运转所需要的燃油压力。一般来讲，就排量为 2.2L 的直喷式汽油机而言，共轨蓄压容积为  $45\text{cm}^3$  较为合适。

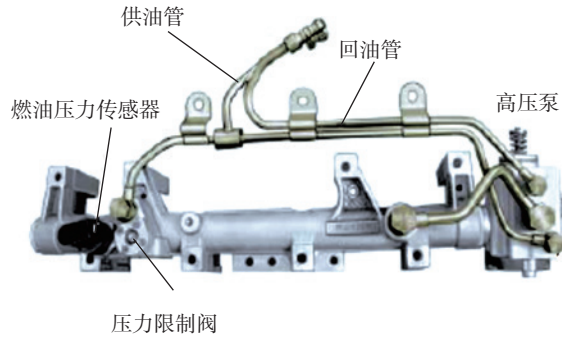


图 2-2-3

#### 五、共轨压力传感器

共轨压力传感器装在燃油共轨的侧面，用于测量共轨中的燃油压力，其中焊有一片贵金属薄膜作为传感元件，在它上面应用薄膜技术制有测量电阻，通过传感器壳体中的专用集成电路上集成的平衡电路、补偿电路和计值电路，即可输出与共轨燃油压力相对应的电信号。这与直喷式柴油机共轨喷油系统用的共轨压力传感器相似，只是工作压力范围不同，如图 2-2-4 所示。

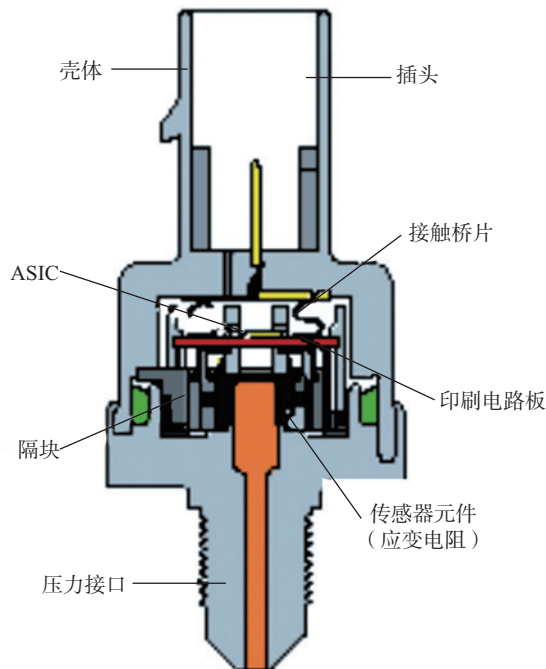


图 2-2-4

## 六、电控喷油器

### 1. 结构

电控喷油器是现代缸内直喷式汽油机喷油系统中的关键的核心部件，如图 2-2-5 所示。一方面必须满足喷油器在结构紧凑的气缸盖上的装配条件，另一方面喷油器必须满足对较短的喷油持续时间和较大的喷油量线性动态流量范围等方面特别高的要求，同时燃油喷束特性对于调节分层混合气燃烧过程又具有特别重要的作用。



图 2-2-5 电控喷油器

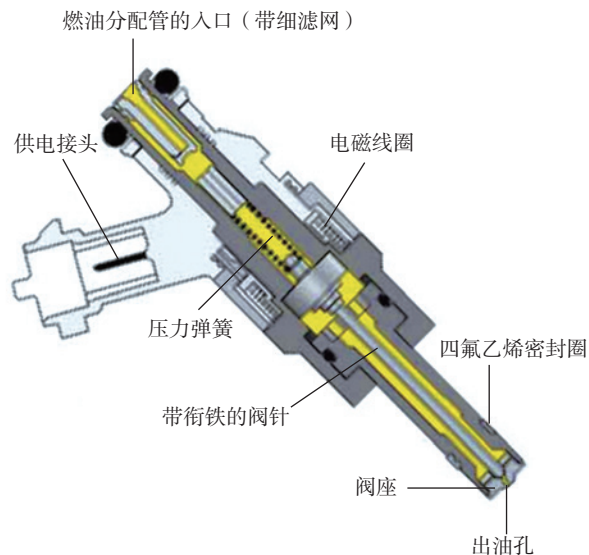


图 2-2-6 电控喷油器结构

电控喷油器结构如图 2-2-6 所示，由燃油分配管的入口(带细滤网)、电磁线圈、供电接头、压力弹簧、带衔铁的阀针、阀座、四氟乙烯密封圈等组成。大众汽车为单孔喷嘴，燃油喷束角为  $70^\circ$ ，喷束倾角为  $20^\circ$ ，如图 2-2-7 所示。可在短时间内喷出很多燃油。

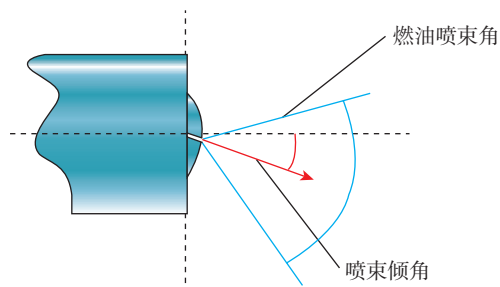


图 2-2-7 大众汽车燃油喷束角

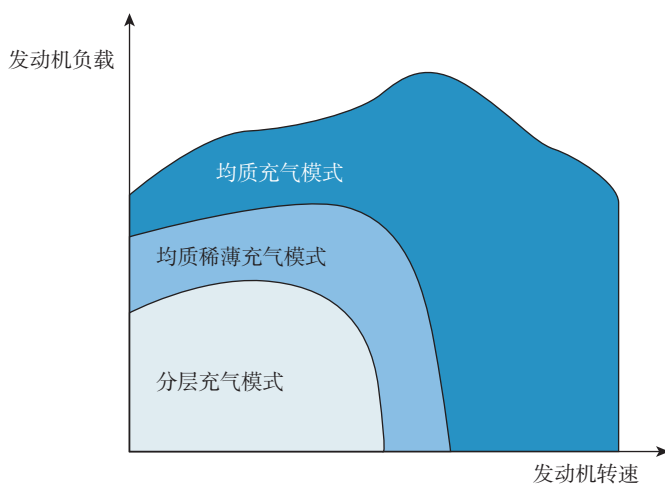


图 2-2-8 三种工作模式的工作区域

### 2. 缸内直喷燃烧方式

通常缸内直喷发动机工作于三种工作模式：分层充气模式、均质充气模式、均质稀薄充气模式。三者的工作区域如图 2-2-8。

#### (1) 分层燃烧

分层燃烧直喷汽油机是汽油机在中、小负荷时采用分层燃烧模式。分层燃烧是指在当压缩过程接

近尾声时，少量的燃油由喷射器喷出，使火花塞周围分布着适于着火的浓混合气，而在燃烧室的其他部分则是较稀的混合气，形成浓、稀区域之间混合气自然分层，从而实现稀薄燃烧。

分层燃烧使燃烧在整体空燃比达到(30-40):1的超稀薄混合气下进行，此时还有足够的过量空气可供在短时间内燃尽避免生成的黑烟，过量的空气还会吸收气缸壁上的热量，降低了热损失，从而大幅度改善燃油消耗。

其通过电子控制系统，精确调节循环供油量，实现变质调节功率输出；再结合相应的混合气控制技术，实现良好的燃油经济性和排放性能。

### (2) 均质燃烧

在高负荷时，发动机会被要求输出大扭矩和高功率，此时将采取理论当量的混合气或浓混合气。即发动机将选择在进气冲程时喷油，此时也就要通过均质燃烧的控制模式才能满足大扭矩、高功率的要求。即在进气冲程早期向气缸内喷射燃油，使其在整个燃烧室内均匀扩散，在点火时刻形成预混燃烧的均质混合气。此时由于燃油汽化吸收了汽化潜热，使得缸内充量得到了冷却，增大了空气密度，在提高体积效率(即增大进气量)的同时还减少了爆震的倾向，使发动机压缩比的上升，提高了热效率，发动机以接近理论空燃比14.7:1或稍浓的空燃比混合气进行均质燃烧，达到实现高功率输出和燃油低消耗的要求。

### (3) 均质稀薄燃烧

这种模式是在分层充气模式和均质充气模式之间的过渡区域。在这种模式中，短期的扭矩需求是通过点火角来实现的，长期需求则通过空气质量实现的。这些稀薄的混合物被均质地(均匀地)分布在燃烧室中。空气/燃油混合比约为1.55左右。在进气冲程中，燃油被直接喷入气缸。由于喷油点提前，就给预点火混合物的形成留出了更多的时间，从而导致燃烧室中均质混合物的分布。

## 3. 分层燃烧喷射类型

缸内直喷发动机燃烧系统通常按照将燃油送往火花塞以实现分层燃烧的方式分成三类，分别是油束引导型、壁面引导型和气流引导型，如图2-2-9所示。

三种燃烧系统喷油器的安装位置、喷油压力、喷油方向、油束形状、油束穿透深度和喷油器涡流程度都不同，且要求不同的进气道活塞顶部凹坑气流运动和火花塞位置与之配合在一个实际的燃烧系统中，这三种方式不能截然区分，而是组合在一起的，不过其中必以某一种方式为主。

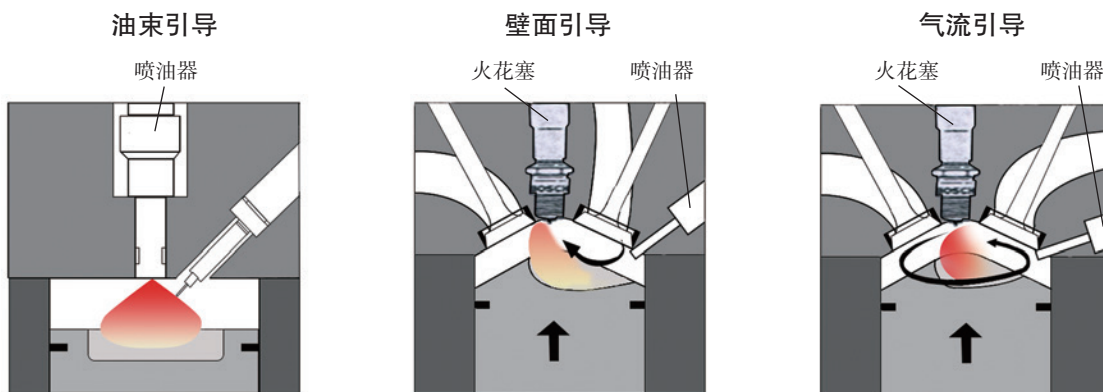


图 2-2-9 分层燃烧喷射类型

### (1) 油束引导型燃烧系统

油束引导型燃烧系统最大的特点是，喷油器竖直布置在气缸中央火花塞紧挨着喷油器(见图2-2-9左)。

这种燃烧系统由于油束周围可燃混合气的范围不大，所以必须严格按照油束特性精确地控制喷油器与火花塞的安装尺寸由此可形成一种混合气分层的格局，在这种格局下，燃油在一个狭窄的空间内产生浓混合气，因而可以不受限制地将负荷降低到怠速时的零负荷而保持过量空气系数的稀薄燃烧，这使其可采用稀薄燃烧的工况区域扩大了。油束的空气利用率依靠油束的穿透深度保证，油束和火花塞相距如此之近，以致在油束抵达火花塞之前可供用于混合气生成的时间太短，所以注定需要高得

多的喷油压力；又由于直接往火花塞喷油，使得火花塞间隙处的燃油浓度提高，增加了火花塞的热负荷，会缩短火花塞寿命，可能生成较高的NO<sub>x</sub>原始排放；再者，液态燃油可能润湿火花塞，造成火花塞积炭，带来较高的HC原始排放。

经过不懈的努力，这些问题逐步得到了解决油束引导型GDI可扩展分层燃烧区域，而且克服了曾经有过的GDI节油不如预期尾气后处理设备昂贵以致性价比相对较差的缺点，近年在除了大众以外的德系GDI发动机如宝马、奔驰等公司中已成为主流的燃烧系统，一般称为第二代GDI燃烧系统。

### (2) 壁面引导型燃烧系统

在壁面引导型燃烧系统中，火花塞布置在气缸的中心地带，有利于改进燃烧过程喷油器布置在气缸的一侧，与火花塞相隔较远为了避免过高的温度，喷油器不应布置在排气侧而应在进气侧，活塞顶部凹坑的开口也跟着指向进气侧火花塞喷油器和活塞顶部凹坑这三者的相对位置使得气流进入气缸后从喷油器附近向活塞顶部凹坑推进，并由其壁面折返向上所以要采用竖直进气道，形成所谓的逆向滚流（见图2-2-9中）喷油器将油束喷到活塞顶部凹坑中，然后被从凹坑壁面折返的气流将燃油送往火花塞。

活塞顶部凹坑的存在影响了压缩比的提高，增加了散热损失，且凹坑边缘易引发爆震，进而影响节能效果。这种系统中，可用于生成混合气的时间较长，形成可燃混合气的区域较大，这使得此类燃烧系统对于尺寸偏差不太敏感。

### (3) 气流引导型燃烧系统

在气流引导型燃烧系统中，喷油器与火花塞之间的位置关系与壁面引导型有点相似，火花塞也是布置在气缸的中心地带，喷油器也是布置在气缸的进气侧，与火花塞相隔较远。但喷油器的喷油角度与壁面引导型不同，它不是将油束喷往活塞顶部凹坑而是喷往火花塞；进气道从壁面引导型燃烧系统的竖直布置变成其末端略带倾斜的布置型式，缸内气流从壁面引导型燃烧系统的逆向滚流变成顺向滚流或涡流；活塞顶部凹坑的开口朝向也有所不同（见图2-2-9右）其进气系统带有控制气流运动的装置，该装置有节气作用，故会增加泵气损失此类系统利用组织好的缸内气流运动将已经在燃烧室空间内利用油束制备好的气态燃油送往火花塞，同样必须确保通过油束和充量运动的相互作用而在一个宽阔的发动机工况区域内实现充分的充量分层或均质化。

由德国大众集团奥迪公司开发我国引进技术并在大众一汽发动机有限公司生产的FSI系列汽油直喷发动机就是采用滚流的气流引导型燃烧系统的实例（也有人称之为气流引导/壁面引导的燃烧系统），其优点除了突出的燃油经济性高的全负荷平均压力和低的NO<sub>x</sub>排放以外，还在于其燃烧的稳定性，以及批产中对于加工尺寸偏差的不敏感性。

## 七、混合喷射发动机

双喷射就是进气歧管喷射（电喷）和缸内直喷。

双喷射就是进气歧管喷射（电喷）和缸内直喷相结合的产物，如图2-2-10所示。

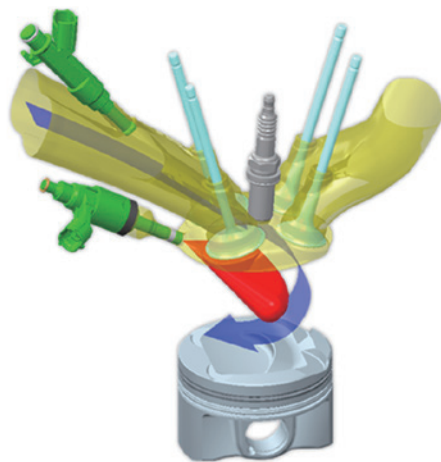


图2-2-10 双喷系统

燃油歧管喷射，喷油系统通过向进气歧管内喷油形成混合雾化气体，技术成熟成本低，系统具备一定自净能力，而因为低转速下歧管内负压较低，在低速动力输出方面有所欠缺。

直喷技术直接将燃油喷入气缸，优点就是提升了低速动力响应和性能，缺点是系统复杂，对油品要求较高。另外由于油气混合时间短，边混合边燃烧，燃烧不充分，容易产生污染（霾）和积碳。

为了均衡两种喷射方式，新型发动机采用了混合喷射：发动机冷启动时，采用进气歧管喷射；低中负荷时，采用混合喷射，提升扭矩，降低油耗；高负荷时，采用缸内直喷，提升功率。如图 2-2-11 所示这样，全新发动机既解决了缸内喷射发动机低转速、低负荷下容易积碳的问题，又提高了发动机在高负荷下燃烧效果更为充分，动力输出效率更高，油耗表现更好，这也成为直喷技术新的发展方向。

针对直喷发动机的进气门背部很容易产生积碳的情况，歧管喷射发动机在进气过程中，汽油能够对进气门背部起到清洗的作用，汽油也是很好的积碳清洗剂。

同时两种喷射方式互相切换，能提升动力降低油耗，并提高了可靠性。可靠性更好的混合喷射就比直喷发动机适应性好得多。

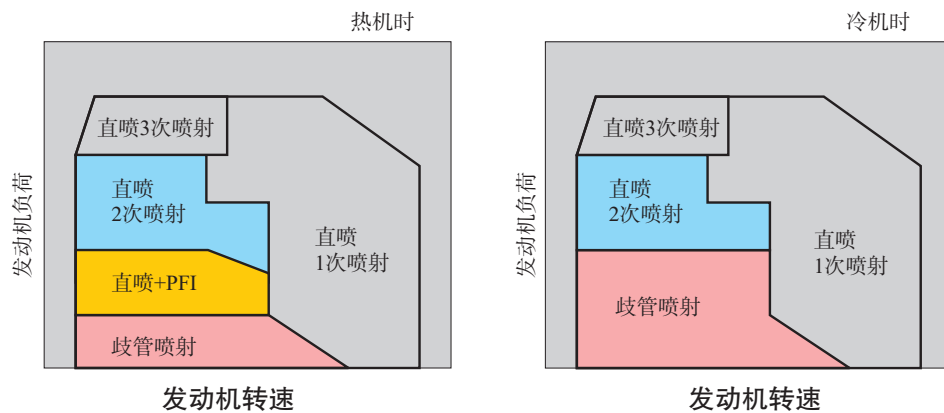


图 2-2-11 不同状态下的喷射图



## 第三节 传感器

### 一、传感器的类型

电脑对喷油器进行控制，必须测值发动机各项物理特性，这些物理特性不能被电脑直接识别，必须转化成电信号，将这些物理特性转化成电信号的部件称为传感器，发动机燃油系统使用的传感器类型包括位置传感器、速度传感器、温度传感器、流量传感器、压力传感器、气体检测传感器等。

#### 1. 位置传感器

##### (1) 作用

发动机的喷油是在气缸的排气行程，点火在压缩上止点之前，若要对点火和燃油供油时间精确的控制，就要知道活塞和气门的运转状态，电脑可以通过检测曲轴和凸轮轴的位置对活塞和气门的位置进行判定。因此在汽车上安装有凸轮轴位置传感器（CMP）和曲轴位置传感器（CKP），分别把凸轮轴和曲轴位置及运动状态转化成电信号传输给电脑。

ECU 通过凸轮轴位置传感器（Camshaft Position Sensor, CPS）识别气缸 1 压缩上止点，从而进行顺序喷油控制、点火时刻控制和爆燃控制、可变配气控制。因为凸轮轴位置传感器能够识别哪一个气缸活塞即将到达上止点，又称为气缸识别传感器（Cylinder Identification Sensor, CIS）或相位传感器，为了区别于曲轴位置传感器（CPS），凸轮轴位置传感器一般都用 CIS 表示。

凸轮轴位置传感器用来识别气缸，因此，其提供的信号较少，只与气缸上止点有关如图 2-3-1 所示，曲轴位置传感器可以产生更多的信号如图 2-3-2 所示，这样可以更加精确的检测曲轴转动的角度，凸轮轴位置传感器和曲轴位置传感器进行配合，可以精准的确定气门与活塞转动的位置。



图 2-3-1 凸轮轴位置传感器信号齿



图 2-3-2 曲轴位置传感器信号齿

曲轴位置传感器直接反应曲轴的运转情况，ECU 根据此传感器检测发动机的转速，因此，又称为转速传感器。

##### (2) 位置

曲轴位置传感器可以安装在曲轴上，也可以安装在凸轮轴上，凸轮轴位置传感器必须安装在凸轮轴上。

### (3) 种类

根据检测的原理的不同分为光电式、磁脉冲式、霍尔式和磁阻式。光电式虽然精密，但价格较高，使用条件要求高，随着 ECU 计算能力的提升，已不再使用。

### (4) 损坏后对系统的影响

当凸轮轴位置传感器出现故障后会导致信号中断时，发动机会继续运转，也能再次启动。但是，喷油不是在进气门打开时完成，而是在进气门关闭之前完成（即喷油时间增长），由此对混合气品质产生的影响极小，不会影响发动机的总体性能。与此同时，由于控制单元不能判别即将到达压缩上止点的是哪一个汽缸，因此爆震调节将停止。为了防止发动机产生爆震，控制单元将自动减小点火提前角。

当曲轴位置传感器出现故障后发动机可以依靠凸轮轴位置传感器继续工作，但是起动时间可能会比较长，而且巡航和排气制动系统不能正常工作。还会出现发动机抖动、冒白烟，但是动力性能没有明显变化，油门反应正常。

## 2. 温度传感器

发动机上温度传感器主要有大气温度传感器和冷却液温度传感器。

大气温度传感器检测大气的温度，因为大气温度影响着大气的密度，ECU 据此修正喷油量。

冷却液温度传感器检测冷却液温度即发动机的温度，冷却液温度影响着启动喷油量、启动后喷油增量、暖机喷油增量即暖机时间、加速增量。

## 3. 压力传感器

发动机上压力传感器包括大气压力传感器、进气歧管压力传感器及燃油压力传感器，增压压力传感器。

大气压力传感器检测大气的温度，因为大气压力影响着大气的密度，ECU 据此修正喷油量。同理，在装有涡轮增压的发动机上的增压压力传感器也在间接检测进气的密度。

进气歧管压力传感器反映出进气歧管的真空度，进气歧管压力真空度和气体的流速有关系，电脑据此计算发动机的进气量。燃油喷射时，进气歧管压力的不同会导致喷油器两端压力差的不同，电脑据此修正喷油量。

燃油压力传感器用在柴油共轨喷射和缸内直喷发动机上，电脑据此精确控制燃油喷射量。

## 4. 流量传感器

进气管道中空气的流量是非常重要的依据，其和发动机转速数据进行配合，可以计算出进入气缸气体的数量。

## 5. 气体检测传感器

发动机上需要对废气中氧气的含量进行检测，结合进气量和燃油喷射量，可以判断出气缸内燃油燃烧的情况。

# 二、磁脉冲传感器

## 1. 电磁感应现象

在一个线圈中，如果有磁场的变化则这个线圈就会产生磁场。

使线圈内部产生磁场变化方式有两种，一种是线圈缠绕在一铁芯上，当磁铁靠近和离开他们时，线圈就会产生交变电压，如图 2-3-3 所示。另一种则是将线圈缠绕在一磁铁芯上，当铁块靠近和离开他们时，线圈就也会产生交变电压，如图 2-3-4 所示。

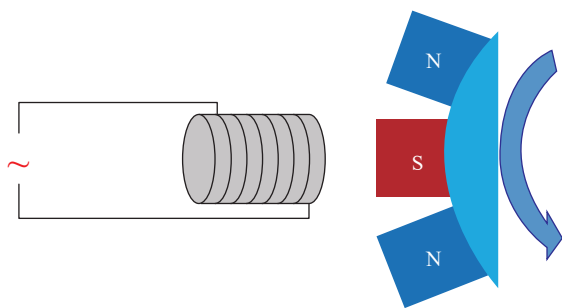


图 2-3-3 铁芯式

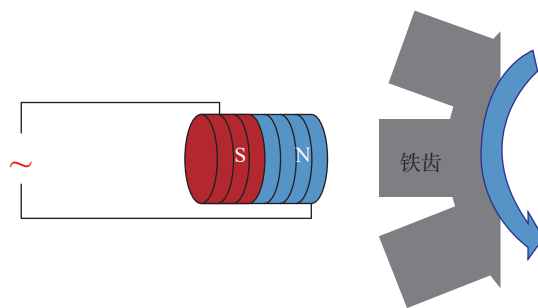
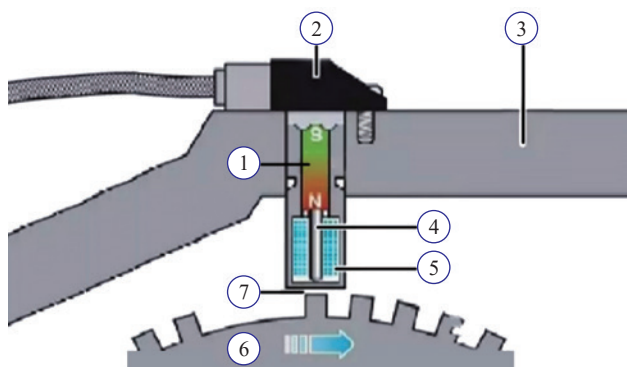


图 2-3-4 磁芯式

## 2. 磁脉冲传感器的结构原理

磁脉冲传感器根据电磁感应原理工作的，它由一个永久磁体和个带有软铁芯的感应线圈构成，齿圈作为脉冲传感器可以随被测件（曲轴或凸轮轴）转动，在电磁感应式传感器与齿圈之间只有一个很小的间隙，如图 2-3-5 所示。



1-永久磁铁 2-曲轴传感器壳体 3-发动机壳体  
4-软铁芯 5-线圈 6-齿隙（基准标记） 7-气隙

图 2-3-5 磁脉冲传感器的构造

经过线圈的磁流情况取决于传感器对面是间隙还是轮齿。轮齿将散乱的磁流集中起来，而间隙则会削弱磁流。飞轮及齿圈转动时，就会通过各个轮齿使磁场产生变化。磁场变化时在线圈内产生感应电压。

## 3. 磁脉冲传感器的应用

磁脉冲传感器通过电磁感应原理能够以非接触的方式测量信号齿的角度、位移速度等，传感器所产生的信号取决于信号齿的结构与转动状态，用于凸轮轮轴和曲轴位置传感器中，其对应信号齿如图 2-3-6 和 2-3-7 所示。



图 2-3-6 凸轮轴位置信号盘



图 2-3-7 曲轴位置信号盘

如图 2-3-6 所示为某六缸发动机的凸轮轴位置信号盘，上面有 7 个齿，其中靠的较近的两个齿为 1 缸压缩上止点信号齿，其余 5 为其他 5 个缸压缩上止点信号齿。图 2-3-7 为曲轴位置信号盘，信号齿将  $360^\circ$  分成均匀的份数，电脑据此信号精确计算曲轴的转动角度。由于这种曲轴位置传感器不能判定活塞的具体位置，因此其需要与凸轮轴位置传感器配合方可起到测量的作用。

由于磁脉冲传感器信号的强弱与信号齿的转动速度有直接的关系，因此多在信号齿较多的信号盘中上使用，目前磁脉冲传感器多用于曲轴位置传感器，常见的信号盘为 60-2 齿，如图 2-3-8 所示，其缺 2 尺的位置代表 1 缸和 4 缸的上止点（针对于 4 缸机），这种传感器产生的波形如图 2-3-9 所示。



图 2-3-8 60-2 齿曲轴位置传感器信号盘



图 2-3-9 60-2 齿曲轴位置传感器波形

此磁脉冲传感器使用中，转子凸齿与磁头间的气隙不能随意变动。气隙如有变化，必须按规定进行调整，气隙一般设计在  $0.2 \sim 0.4\text{mm}$  范围内。

#### 4. 磁脉冲传感器的检测

磁脉冲传感器检测分两步进行，首先测量磁脉冲传感器线圈阻值是否符合厂家的固定要求，然后使信号齿转动起来后测量其波形是否完整。

### 三、霍尔传感器

#### 1. 霍尔效应

如图 2-3-10 所示，把美国科学家霍尔发明的一种半导体基片（叫霍尔元件）放在磁场中，并从侧面给基片通电，当电流方向和磁场方向垂直时，在垂直于电流和磁场的霍尔基片的横向侧面上产生一个毫伏级的电压，这个电压称为霍尔电压。霍尔传感器就是利用这一原理制的。

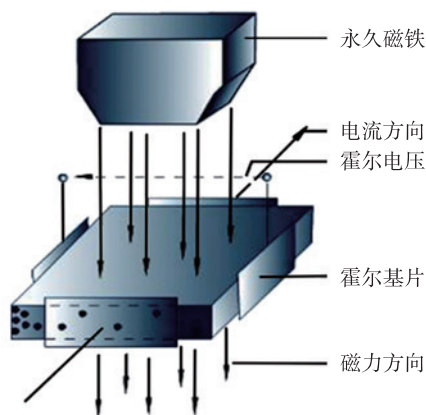


图 2-3-10 霍尔效应

#### 2. 霍尔传感器结构原理

##### (1) 叶片式

叶片式霍尔传感器结构如图 2-3-11 所示。主要触发叶轮、永久磁铁、霍尔元件等组成。

如图 2-3-11 所示，发动机起动后触发叶轮随凸轮轴转动，当叶片进入永久磁铁与霍尔元件之间的

空气隙时，磁场即被触发叶轮的叶片旁路（或称隔磁），这时霍尔元件不产生霍尔电压，集成电路输出极的三极管处于截止状态，信号发生器输出高电位。当触发叶轮的叶片离开空气隙时永久磁铁的磁通便通过霍尔元件构成回路，这时霍尔元件产生霍尔电压，集成电路输出极的三极管处于导通状态，信号发生器输出低电位。

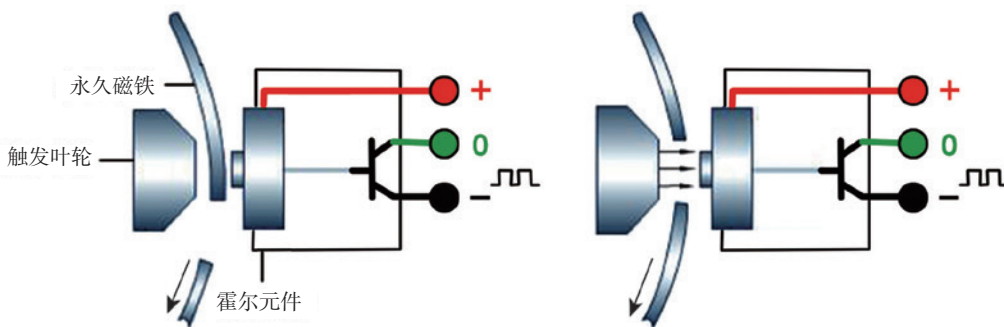


图 2-3-11 信号发生器工作原理

### (2) 磁齿式

磁齿式霍尔传感器结构如图 2-3-12 所示。主要信号轮、霍尔元件、电子电路等组成。

如图 2-3-12 所示，在信号轮上安装有磁铁，信号轮转动起来磁铁正对霍尔元件时，霍尔元件产生霍尔电压，集成电路输出极的三极管处于导通状态，信号发生器输出低电位。当磁铁未正对霍尔元件时，霍尔元件不产生霍尔电压，集成电路输出极的三极管处于截止状态，信号发生器输出低电位。

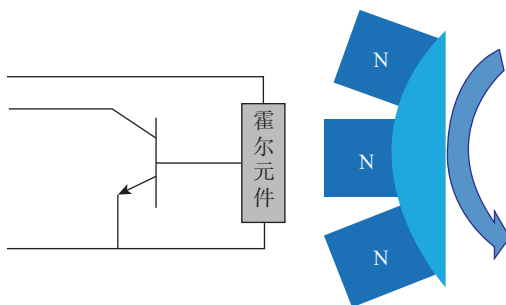


图 2-3-12 磁齿式霍尔传感器

### (3) 铁齿式

铁齿式霍尔传感器结构如图 2-3-13 所示。主要信号轮、永久磁铁、霍尔元件、电子电路等组成。

如图 2-3-13 所示，永久磁铁和霍尔元件安装在一起，信号轮转动起来后，信号齿的铁齿会影响永久磁铁对霍尔元件的磁场作用，从而使集成电路输出极的三极管导通、截止交互变化，借此确定信号转子的位置和转速。

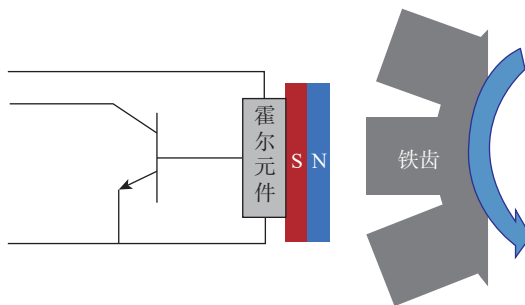


图 2-3-13

## 3. 霍尔传感器的应用

霍尔传感器多用于凸轮轴位置传感器，如图 2-3-14 所示。霍尔传感器与控制单元之间有三条连接

线，第一个是电源线，多数为蓄电池电压，用于给霍尔元件及内部电路提供工作电流；第二个是信号线，在电子控制单元内提供一个电压，多数是 5V，并且内置上拉电阻，霍尔传感器控制信号线搭铁后，在信号线上产生低电平信号。叶片旋转时，霍尔元件间断的产生霍尔电压，控制内部的三极管导通和截止，当三极管导通时，信号线与搭铁线导通，信号线变为低电平信号；当三极管截止时，信号线与搭铁之间断开，信号线变为高电平信号。

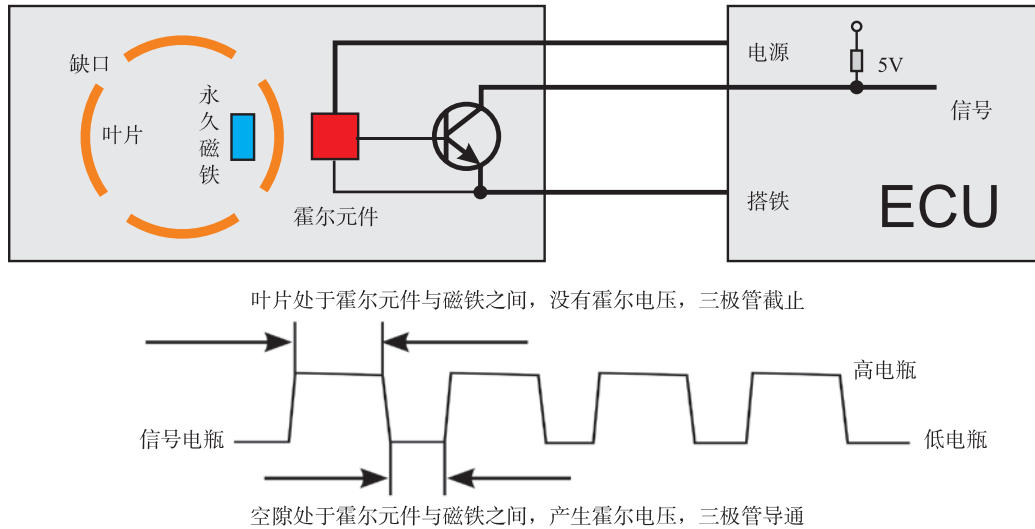


图 2-3-14 霍尔传感器信号的产生

#### 4. 霍尔传感器的检测

霍尔传感器检测分两步进行，首先测量传感器电压的是否符合要求，，然后使信号齿转动起来后测量信号线波形是否完整。

### 四、磁阻式传感器

#### 1. 磁阻效应

磁阻效应是指半导体材料的电阻值随着具有一定方向外界磁场强弱而变化的现象，利用磁阻效应制成的磁敏电阻元器件叫作磁阻元件（MRE）。如图 2-3-15 所示，当外界磁场强度变化式，磁阻元件（MRE）阻值发生变化，从而使信号端输出不同的电压信号。

#### 2. 磁阻式凸轮轴位置传感器

MRE 凸轮轴位置传感器由正时转子、磁铁和用树脂封装的信号处理电路的集成电路模块组成，如图 2-3-16（a）所示。

当传感器的磁头正对转子凹槽时，磁力线向两侧的叶片分布构成闭合磁路，此时磁阻元件电阻较小，通过磁阻元件的磁力线较少，磁场强度较弱，且磁力线与磁阻元件成一定角度，如图 2-3-16（b）所示，此时磁阻元件输出 5V 高电平信号；

当磁阻传感器的磁头正对转子叶片时，磁力线通过正对的叶片构成闭合磁路，此时磁阻元件电阻较大，通过磁阻元件的磁力线较多，磁场强度较强，且磁力线与磁阻元件垂直，如图 2-3-16（c）所示，此时磁阻元件输出 0V 低电平信号。

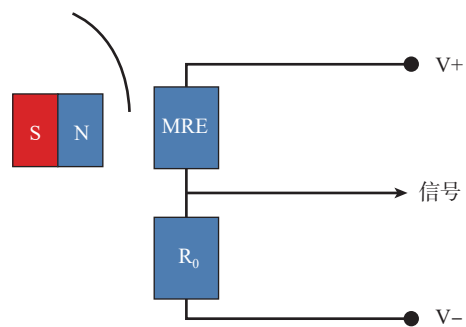


图 2-3-15 磁阻效应原理

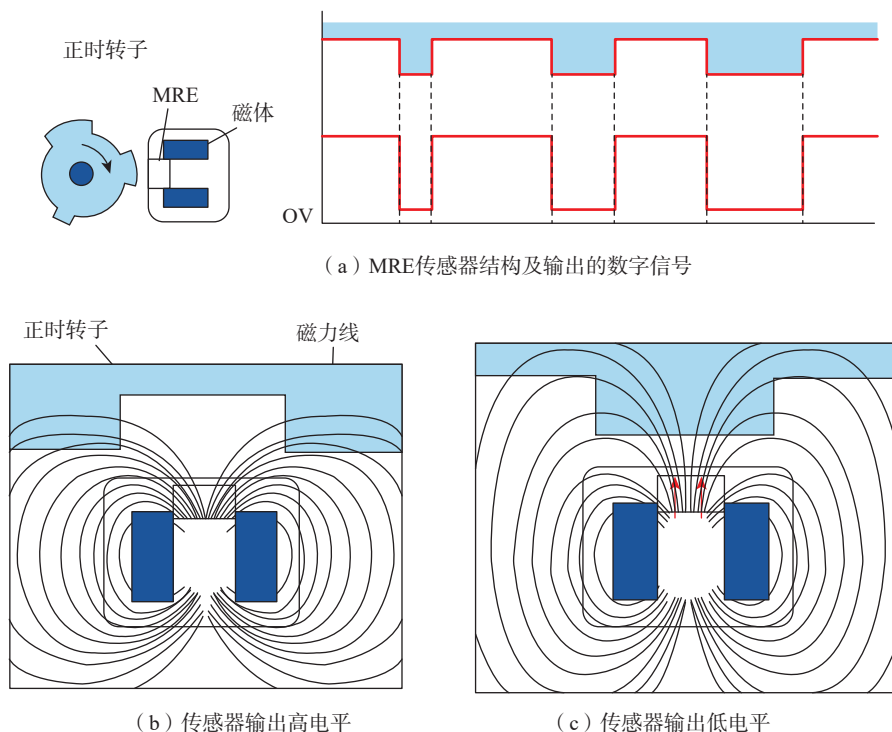


图 2-3-16 MRE 凸轮轴位置传感器结构原理

因此，随着转子的旋转，叶片的凸起与凹槽交替变化，引起通过磁阻元件的磁力线的强弱和角度发生改变，由于磁阻效应的作用，磁阻元件的电阻也发生变化，通过 MRE 装置的电流也随之改变，这种电流的变化由信号放大电路、滤波电路和整形电路转换成二进制数字信号，并输送给发动机 ECU。发动机 ECU 根据此信号判别进、排气凸轮轴位置。其电路如图 2-3-17 所示。

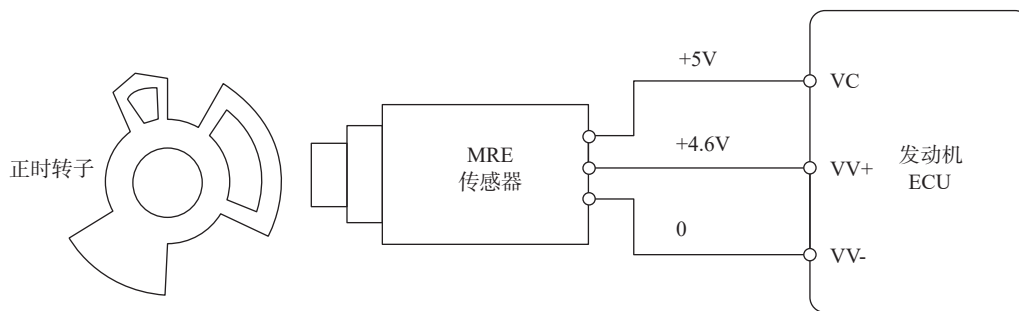


图 2-3-17 MRE 凸轮轴位置传感器电路

### 3. 电路检测

- 工作电压的检测：关闭点火开关，断开凸轮轴位置传感器，打开点火开关至“ON”位置，用万用表检查 VC 端子与 VV- 之间的电压，应为 5V，如果没有 5V 电压，应分别检查与 ECU 间线路的连接情况，如果线路正常，则发动机 ECU 有故障。

- 参考电压的检测：关闭点火开关，断开凸轮轴位置传感器，打开点火开关至“ON”位置，用万用表检查 VV+ 端子与 VV- 之间的电压，应为 4.6V，如果没有 4.6V 电压，应检查 VV+ 与 ECU 间线路的连接情况，如果线路正常，则发动机 ECU 有故障。

- 波形检测：在线路正常连接的情况下，使发动机运转，用示波器检测输出信号，应有与正时转子形状相对应方波信号输出，例如图 2-3-18。

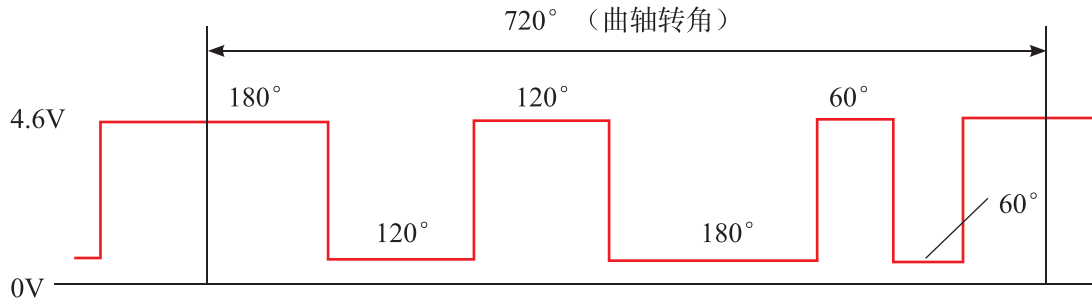


图 2-3-18 某种 MRE 凸轮轴位置传感器信号波形

#### 4. 磁阻式传感器的检测

磁阻式传感器检测分两步进行，首先测量传感器电压的是否符合要求，然后使信号齿转动起来后测量信号线波形是否完整。

### 五、空气流量传感器

#### 1. 作用及类型

空气流量传感器(MAF)用以测量单位时间进入发动机内空气的数量，其与发动机的转速信号配合，结合发动机气缸的数量，就可以计算出每一次进入每个气缸的空气量，缸外喷射的发动机据此计算基本喷油量，柴油机则据此限定最大喷油量。

空气流量传感器分为体积测量型和质量测量型。

体积型空气传感器是通过检测空气流量的体积来检测进气量的，如图 2-3-19 所示为翼片式空气流量计。由于空气的体积受到大气的密度和温度影响，因此，电脑据此计算喷油量时要进行修正。

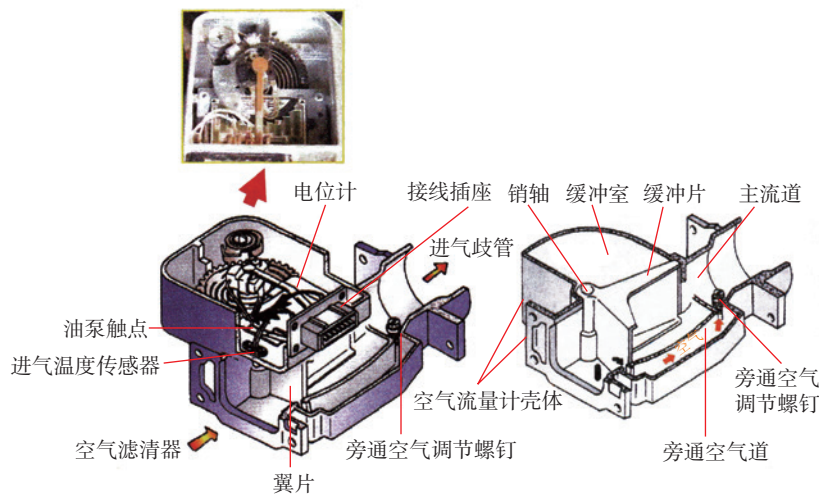


图 2-3-19 翼片式空气流量计

质量型空气传感器是通过检测空气流量的质量来检测进气量的，由于空气的质量不会受到大气的密度和温度影响，因此，电脑据此计算喷油量时不需根据大气压力和进气温度进行修正。以下重点讲解质量型空气流量计，其分为热线式和热膜式。

#### 2. 热线式

##### (1) 组成

热线式空气流量计由感知空气流量的铂热线、温度补偿电阻（冷线）、控制电路及壳体等组成，如图 2-3-20 所示。根据铂热线在壳体内安装的位置不同，可分为主流测量方式和旁通测量方式。

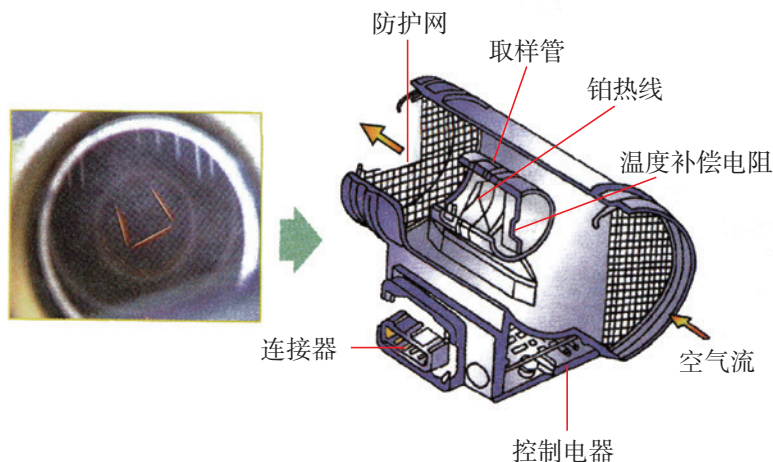


图 2-3-20 热线式空气流量

### (2) 原理

理论和实践证明：在气流通过发热元件时将带走发热元件上一定数量的热量，带走热量的多少将流过发热元件的空气数量有关，同时也与发热元件与空气的温度有关。为此在热线式流量传感器中，采用了如图 2-3-21 所示的恒温差控制电路来实现流量检测。

如图 2-3-21 所示，打开点火开关后，控制模块给加热丝供电，加热丝产生热量，当空气流过加热丝时，将其上面的热量带走（且带走的热量和流经加热丝的空气数量成正比），如此将导致控制模块供给加热丝的电流产生变化，控制模块据此电流的变化，可测得流经加热丝的空气数量。

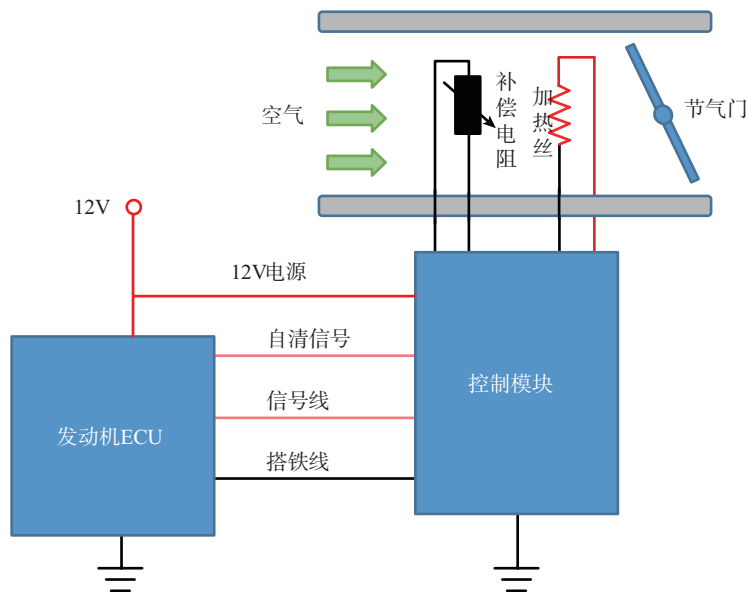


图 2-3-21

流经加热丝的空气带走热量的多少与空气本身的温度有关，因此在传感器上装有一个温度补偿电阻，用以测量实际的空气温度，对数据进行补偿。

热线式空气流量传感器在使用一段时间后，由于热线表面受空气尘埃玷污，其热辐射能力降低会影响传感器的测量精度，因此控制电路中设计有自洁电路来实现自洁功能。每当 ECU 接收到发动机熄火信号时，ECU 将控制自洁电路接通，将热线加热到一千摄氏度并持续一秒左右，使沾附在热线上的尘埃烧掉。另一种防止热线玷污的方法是提高热线的保持温度，一般将保持温度设定在 200 摄氏度以上，以便烧掉粘附的污物。

### 3. 热膜式

热膜式空气流量计的工作原理与热线式空气流量计基本相同，都是用惠斯顿电桥工作的。所不同的是热膜式空气流量计的发热元件电阻  $R_h$  是由铂金属片固定在树脂薄膜上制成的，如图 2-3-22 所示，其工作可靠性和使用寿命比热线式空气流量计更高。热膜式传感器铂金属膜的面积比热线的表面积大的多，且覆盖有一层绝缘保护膜，因此不会因玷污物而影响测量精度。

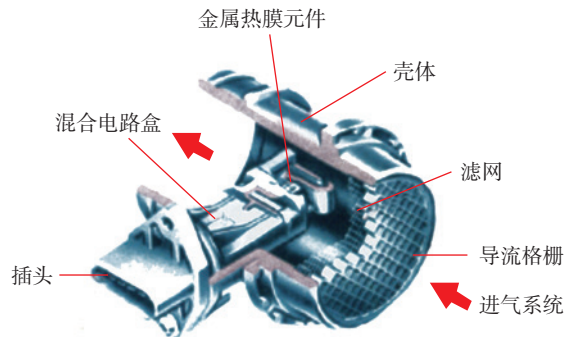


图 2-3-22 热膜式空气流量计

#### 4. 检测

对于热线式、热膜式空气流量计来说，根据车型不同其向外输送的信息是经过控制器处理的，一些车型直接输出数字信息，因此在检测时，应按厂家资料进行端子和线束的测量，如要检测其数据准确性则使用读取数据流的方式，一般在怠速时读取，比如大众 AJR 型发动机怠速进气量为  $2.0\text{g/s} \sim 4.0\text{g/s}$ ，若小  $2.0\text{g/s}$ ，要考虑是否进气系统有泄漏，若大于  $4.0\text{g/s}$ ，要考虑是否引擎负荷过大，否则为空气流量计或电脑故障。

#### 5. 损坏后对系统的影响

空气流量计出现故障后，会导致测量数据不准确，从而导致混合气稀或浓，从而影响发动机的动力性能，如怠速不稳、加速不良、进气管“回火”以及排气管冒黑烟等，同时尾气排放超标。

当电脑判断空气流量计完全失去作用时，则采用节气门位置信号进行估算，使发动机跛行运转。

### 六、进气压力传感器

#### 1. 作用

电控发动机中采用进气压力传感器来检测进气量的称为 D 型喷射系统（速度密度型），其在节气门的后方安装有一个进气压力传感器（MAP）（如图 2-3-23 所示）。进气压力传感器检测进气量不是像进气流量传感器那样直接检测，而是采用间接检测。

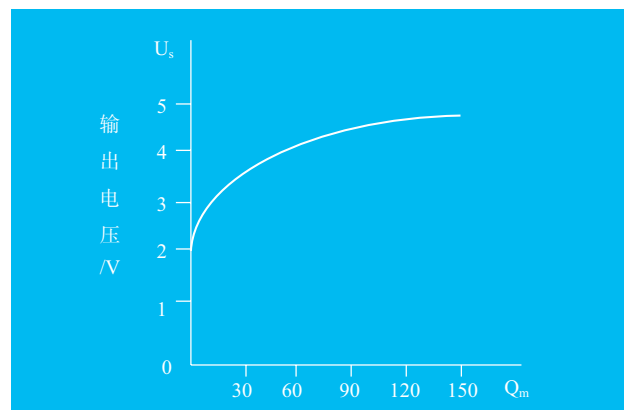


图 2-3-23 进气压力传感器

进气压力传感器对进气的压力（真空度）进行测量，节气门的后方的压力与空气的流速有着一定的关系，测得进气的压力（真空度）就可以测得进气的流速，然后又由于进气的流速同不同气缸数发动机转速、进气通道（节气门通道）的横截面积（节气门位置传感器不易准确的反应节气门通道横截面积）三者之间有着一定的关系，因此通过进气的压力以及转速信息就可以确定单位时间内的进气量。

利用进气压力检测的进气量为体积型，因此，在控制喷油量时需要进气温度和进气压力的修正，注意，进气压力传感器本身就传递进气压力信号。

## 2. 类型

进气力传感器种类较多，有压敏电阻式、电容式等。由于力敏电阻式具有响应时间快、检测精度高、尺寸小且安装灵活等优点，因而被广泛用于 D 型喷射系统中。

## 3. 结构原理

力敏电阻式进气压力传感器结构如图 2-3-24 所示。应变电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ ，它们与硅膜片粘接在一起，如图 2-3-25 所示。硅膜片在歧管内的绝对压力作用下可以变形，从而引起应变电阻  $R$  阻值的变化，歧管内的绝对压力越高，硅膜片的变形越大，从而电阻  $R$  的阻值变化也越大。即把硅膜片机械式的变化转变成了电信号，再由集成电路运算整形后输出至 ECU。

## 4. 信号输出特征

进气压力传感器上有 3 根线，一根为由电脑板提供的 5V 供电电源线，一根搭铁线，一根信号线，如图 2-3-26 所示。根据车型不同，传感器信号电压有数字信号和模拟信号两种类型。

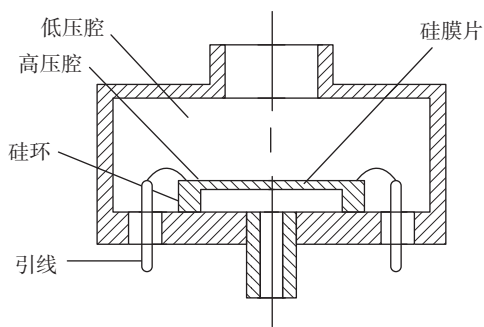


图 2-3-24 力敏电阻式进气压力传感器结构

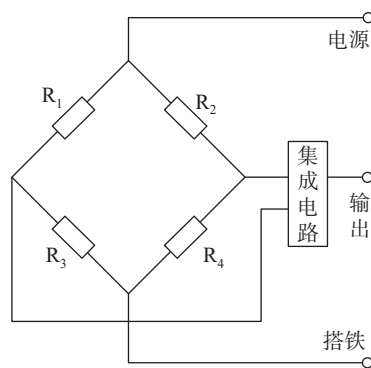


图 2-3-25 力敏电阻式进气压力传感器原理图

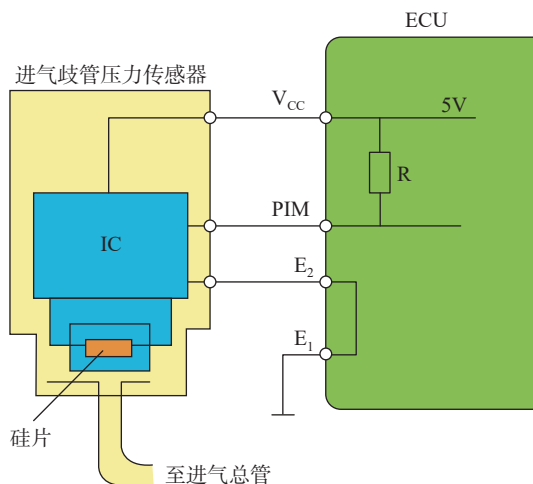


图 2-3-26 进气压力传感器电路

对于模拟信号的车型，传感器信号电压在真空管没有真空度静止状态时，一般为 3.8-4.8V，发动机启动着火后，在真空吸力的作用下，传感器信号电压下降，随着发动机工况变化，信号电压在 1.5-4.8V

之间变化。

进气压力传感器检测节气门后方的压力，其输出信号随着压力的变化而变化的，节气门后方的压力变化如图 2-3-27 所示。

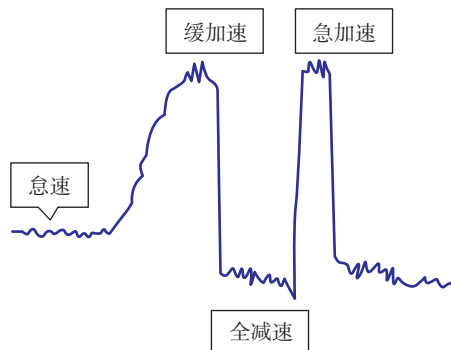


图 2-3-27 节气门后方的压力变化

### 5. 损坏后对系统的影响

损坏后会使得发动机电脑的燃油喷射功能失常，出现混合气太浓或太稀、发动机怠速运转不正常或加速不良、发动机运转中进气管回火或排气管冒黑烟等现象。

## 七、冷却液温度传感器

### 1. 作用

发动机 ECU 接受冷却液温度传感器信号负责喷油脉宽、暖机、点火提前角、自动变速器变矩器锁止和超速挡的控制以及空调的控制，同时也用于控制冷却液风扇、空调等，其作用不容小视（如图 2-3-28 所示）。主要作用有：

- (1) 负责控制混合汽浓度，温度越低，混合汽越浓；温度越高，混合汽越稀。
- (2) 负责控制暖机时发动机转速，40℃以下转速为 1500r/min，40 ~ 70℃转速为 1100r/min。
- (3) 负责控制散热器风扇，85℃以上开始低速旋转，105℃开始高速旋转。
- (4) 负责控制自动变速器 56℃以上变矩器进入锁止工况，70℃变速器允许进入超速挡。
- (5) 负责控制空调，120℃空调退出控制。



图 2-3-28 冷却液温度传感器

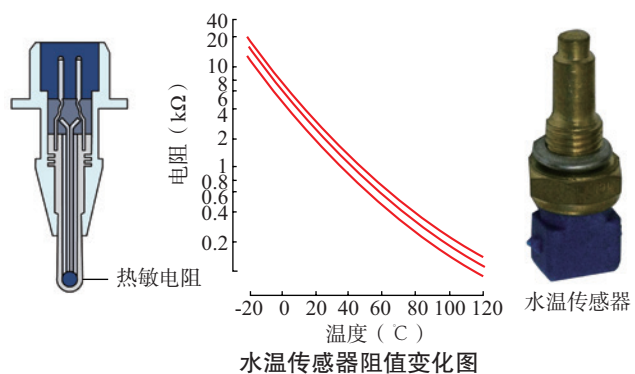


图 2-3-29 水温传感器阻值变化图

### 2. 结构原理

冷却液温度传感器安装在发动机缸体或缸盖的水套上，与冷却液直接接触，其阻值与温度的曲线，如图 2-3-29，水温传感器阻值表如表 2-3-1 所示。

表 2-3-1 水温传感器阻值表

冷却液温度 (°C)	电阻值 (KΩ)	冷却液温度 (°C)	电阻值 (kΩ)
20	-10 ~ 20	40	0.9 ~ 1.3
0	4 ~ 7	60	0.4 ~ 0.7
20	2 ~ 3	80	0.2 ~ 0.4

### 3. 损坏后对系统的影响

在冷机条件下，发动机起动困难，怠速运转不稳定，且加速时动力不足。

在热机条件下，发动机起动、怠速运转和加速时动力都正常；发动机故障指示灯常亮。

原因是：当发动机 ECU 检测不到冷却液温度传感器的正常信号时，为维持发动机运转，发动机 ECU 便执行安全保险功能。这时，发动机 ECU 取其存储器中储存的冷却液温度代用值（80°C ~ 90°C）作为冷却液温度值。因此，在发动机为冷机时，发动机 ECU 控制的喷油量中缺少了与发动机温度低相关的增加量，以致混合气较稀，发动机便产生起动困难等故障现象。

## 八、节气门位置传感器

### 1. 节气门位置传感器作用

节气位置传感器是汽车上重要的传感器，其主要起到以下作用：

(1) 将节气门的怠速信息传给发动机电脑，电脑据此实施怠速控制。这个作用将在本书《汽油发动机进气系统》中《怠速控制》章节讲述。

(2) 将节气门变化速率信息传给电脑，电脑据此进行加速增量（急加速时）及减速断油（急减速时）控制。

(3) 在自动变速器控制中利用节气门的位置传感器检测节气门开度信号，作为档位变换的依据。

(4) 在电子节气门控制中，为电脑反馈节气门开度信息，使电脑对节气开度控制更为精确。

(5) 为其他电控系统提供节气门信息，如巡航控制系统等。

由上述可以看出，节气门位置传感器与燃油喷射量直接相关的只有第二条。

### 2. 节气门位置传感器类型

节气门位置传感器类型有开关式、线性电位计式、组合式、霍尔式、电磁式等，其中霍尔式、电磁式多用在电子节气门车型上。

#### (1) 开关式

开关式节气门位置传感器也称开关量输出型节气门位置传感器，主要由一个可动触点和两个固定触点——功率触点及怠速触点构成，如图 2-3-30 所示。可动触点可沿导向凸轮沟槽移动，导向凸轮由固定在节气门轴上的控制杆驱动。

当节气门全关闭时，可动触点的怠速触点接触，可检测节气门的全关闭状态，当节气门开度较大时，可动触点与功率触点接触，可检测节气门的大开度状态。在中间开度时可动触点同任一触点都不接触。

由此可见，开关式节气门位置传感器只能指示发动机怠速状态和大功率状态。其中，怠速位置信息与喷油量的控制没有直接关系，功率触点接触后用于发动机的大负荷加浓，以提高发动机功率。

这种节气门传感器适配叶片式空气流量传感器。由于其不能检测到发动机急加速或急减速的工况，因此，这种工况的检测由叶片式空气流量传感器检测，其原理是当突然加大油门或减小油门时，叶片式空气流量传感器会有一个突变信息，电脑根据这个突变信息，得知节气门的突变状态。

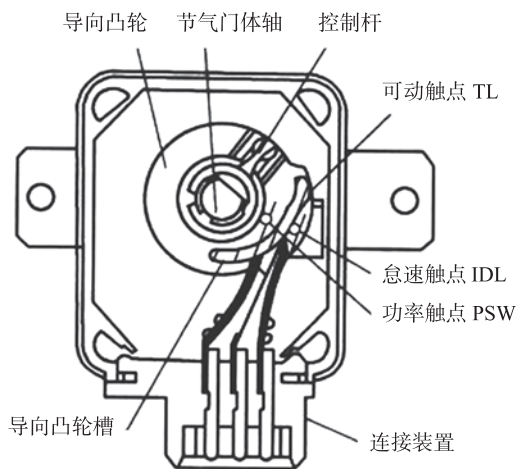


图 2-3-30 开关式节气门位置传感器结构

由于在发动机燃油控制中，电脑不需要节气门具体的位置信息（只需要节气门变化信息），因此，这种节气门的设计结构还是比较经济的。

(2) 线性电位计式

线性电位计式节气门位置传感器结构与电路原理如图 2-3-31 所示，其原理也比较简单，其活动触点随着节气门的开度变化而活动，从而使其电压值反映出节气门的运行状态。

(3) 组合式

组合式节气门位置传感器是在线性电位计式节气门位置传感器的基础上加上一个怠速触点，如图 2-3-32 所示。

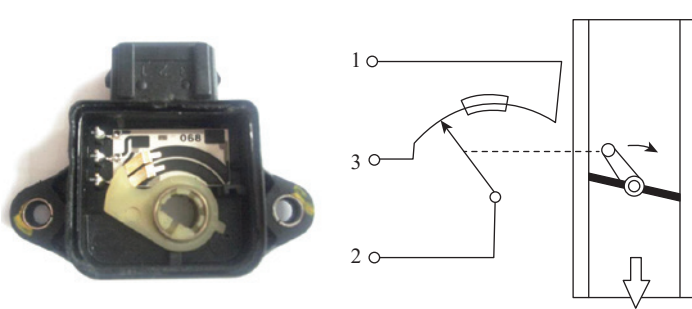


图 2-3-31 线性电位计式节气门位置传感器结构与电路原理

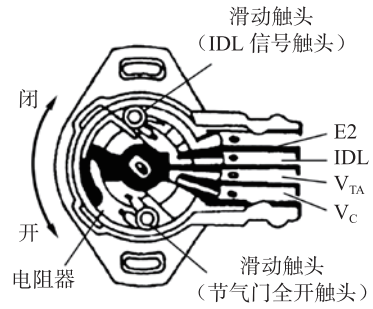


图 2-3-32 组合式节气门位置

## 九、氧传感器

### 1. 作用

氧传感器是排气氧传感器的简称，其功用是通过监测排气中氧离子的含量来获得混合气的空燃比信号，并将该信号转变为电信号输入 ECU。ECU 根据氧传感器信号，对喷油时间进行修正，实现空燃比反馈控制（闭环控制），从而将过量空气系数 ( $\lambda$ ) 控制在 0.98~1.02 之间（空燃比 A/F 约为 14.7），使发动机得到最佳浓度的混合气，从而达到降低有害气体的排放量和节约燃油之目的。

现今车辆安有两个氧传感器，分别放在三元催化器前方和后方。前方的作用是检测发动机不同工况的空燃比，同时电脑根据该信号调整喷油量和计算点火时间。后方的主要是检测三元催化器的工作性能，即催化器的转化率，其通过与前氧传感器的数据比较来检测三元催化器是否工作正常。

### 2. 二氧化锆特性

制作氧传感器的材料有二氧化锆 ( $ZrO_2$ ) 和二氧化钛 ( $TiO_2$ ) 两种类型，目前的氧传感器基本采用二氧化锆，二氧化锆陶瓷为固体电解质，其有两个特征。

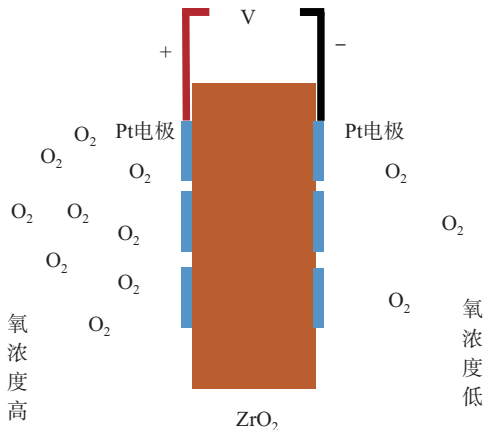


图 2-3-33 二氧化锆浓差电池效应

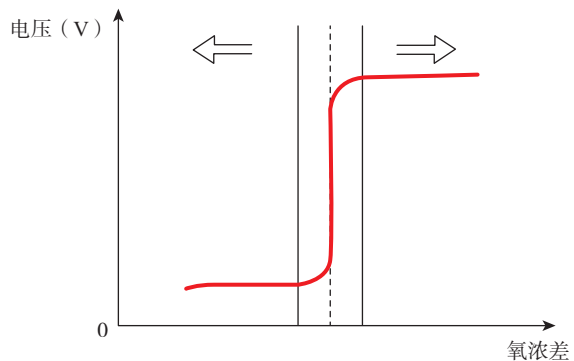


图 2-3-34 二氧化锆浓差电池电压与二氧化锆瓷片两侧氧浓度差值关系

第一个特征是，在高温和铂催化条件下，当二氧化锆瓷片两侧氧气含量不同时，其两侧形成电位差，产生电压，如图 2-3-33 所示，这个特性可称为浓差电池效应，不过，这种效应会在氧浓差在某个差值时，导致电压突变，如图 2-3-34 所示，因此电压不能真实反映出二氧化锆瓷片两侧实际氧浓度差值。

第二个特征是，在高温和铂催化条件下，当给二氧化锆瓷片两侧施加电压后，可以将氧从一侧泵入另一侧（将氧气分子电离成氧离子，通过二氧化锆瓷片后，在重新结合成氧气分子），如图 2-3-35 所示，这个特性可称为泵氧效应。通过二氧化锆瓷片的电流的强弱和通过二氧化锆瓷片氧离子的数量相关，这个数量是由氧气输出侧的氧分子数量决定的。

### 3. 浓差电池型氧传感器

浓差电池型氧传感器也称为二氧化锆氧传感器，或者直称氧传感器。

该氧传感器是利用二氧化锆浓差电池效应制成的，其基本元件是氧化锆 (ZrO<sub>2</sub>) 陶瓷管（亦称锆管）如图 2-3-36 所示。

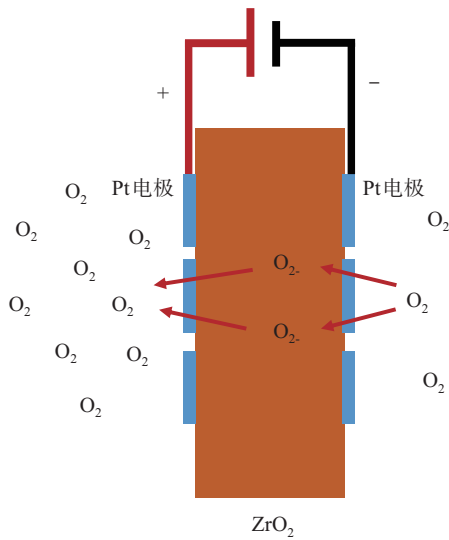


图 2-3-35 二氧化锆泵氧效应

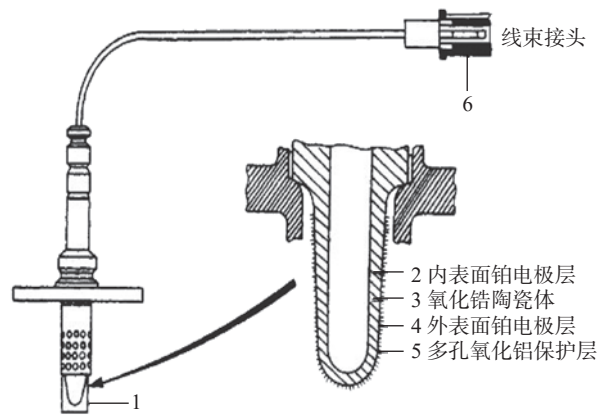


图 2-3-36 浓差电池型氧传感器

锆管固定在固定套中，其内外表面均覆盖着一层多孔性的铂膜。氧传感器的接线端有一个金属护套，其上开有一个用于锆管内腔与大气相通的孔，使其内表面与大气接触，外表面与废气接触。

在温度较高时，由于锆管内、外侧氧含量不一致，存在浓差使锆管成为一个微电池，在两铂极间产生电压，使如图 2-3-37 所示。

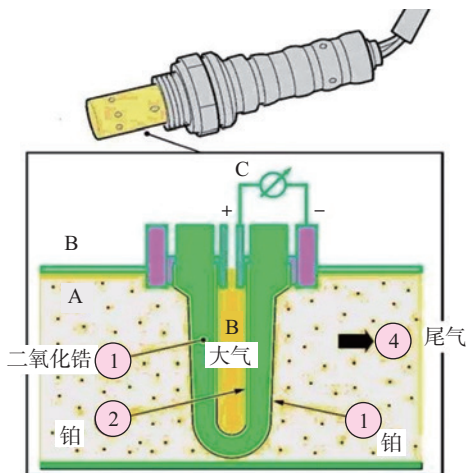


图 2-3-37 浓差电池型氧传感器原理

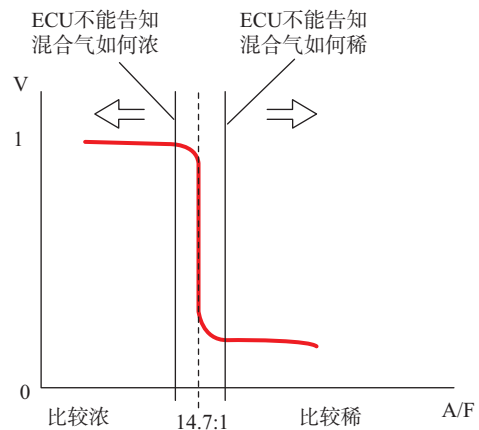


图 2-3-38 浓差电池型氧传感器电压曲线

设计制造工艺，使两铂极间产生电压在当空燃比 (A/F) 接近与理论空燃比 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  接近于 1 时进行突变。当供给发动机的可燃混合气较浓 (即空燃比 A/F 小于 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  小于 1) 时，排气中氧含量较少，铂管内、外表面之间的氧浓度差较大，两个铂电极之间的电位差较高，约为 0.9V。当供给发动机的可燃混合气较稀 (即空燃比 A/F 大于 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  大于 1) 时，排气中氧含量较多，铂管内、外表面之间的氧浓度差较小，两个铂电极之间的电位差较低，约为 0.1V。当空燃比 (A/F) 接近与理论空燃比 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  接近于 1 时，排气中的氧在催化剂铂的作用下，使传感器输出电压从 0.9V 急剧变化到 0.1V 或从 0.1V 急剧变化到 0.9V。

浓差电池型氧传感器电压曲线如图 2-3-38 所示，浓差电池型氧传感器只能监测混合气是否浓、是否稀，但不能监测浓稀的具体值，因此其属于窄域型氧传感器。

氧化锆式氧传感器必须自身温度高于  $300^{\circ}\text{C}$  才能正常工作，因此将其安装在温度较高的排气管上。同时为了使氧传感器迅速达到工作温度采用加热器对铂管进行加热。为使传感器在低温条件下就投入工作，加热器的加热温度一般设定为  $300^{\circ}\text{C}$ 。带加热功能的氧传感器电路如图 2-3-39 所示。

#### 4. 极限电流型氧传感器

极限电流型氧传感器是根据二氧化锆泵氧效应制成，由于其可以监测氧的具体含量，因此其属于宽域型氧传感器，为了区别浓差电池型氧传感器，一般我们把极限电流型氧传感器称为空燃比传感器。

极限电流型氧传感器结构如图 2-3-40 所示，在片状二氧化锆电解质的两侧涂以 Pt 电极，在一侧电极上用开有扩散小孔的“帽子”加以覆盖形成排气监测室，当在工作温度下给电解质施加电压时，废气中的氧将通过扩散小孔从电解质的一侧泵向另一侧。

在工作过程中，给电解质提供电流是逐渐增加的，由于排气监测室扩散小孔的限制，这个电流会最终饱和，形成极限电流，这个极限电流与排气监测室内氧的数量有关。由于扩散小孔的孔径是固定的，所以，氧的数量就与废气中的氧含量相关，通过监测这个极限电流的大小，就可以监测出废气中氧的含量，从而监测空燃比。

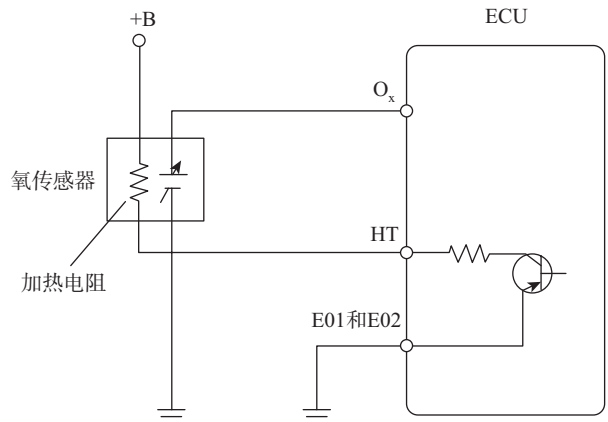


图 2-3-39 氧传感器电路

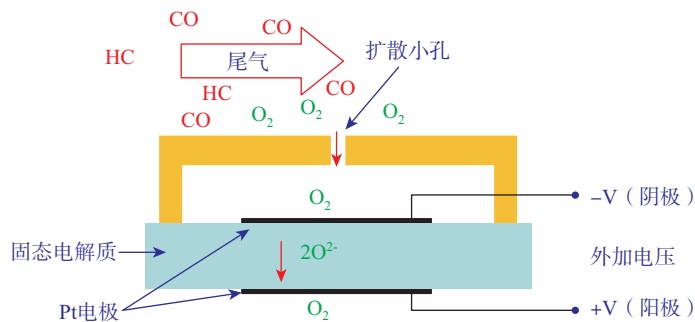


图 2-3-40 极限电流型氧传感器结构

实际中对传感器极限电流的大小是通过电压进行检测的，其检测电路如图 2-3-41 所示，在传感器两端分别施加一定电压，此电压根据车型而异，现以图中电压为例说明。图中所示传感器两端电压为 3.3V 和 3.0V，其中 3.0V 为基准电压，3.3V 为理论空燃比 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  接近于 1 时的信号电压。

如此，则：

可燃混合气较浓 (即空燃比 A/F 小于 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  小于 1) 时，废气氧的含量较少，信号电压低于 3.3V；

可燃混合气较稀 (即空燃比 A/F 大于 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  大于 1) 时，废气氧的含量较多，信

号电压高于 3.3V;

可燃混合气为理论空燃比 14.7 或过量空气系数  $\lambda$  接近于 1 时, 信号电压等于 3.3V。

极限电流型氧传感器电压曲线如图 2-3-42 所示。

极限电流型氧传感器的工作温度接近 650℃, 为了使氧传感器迅速达到工作温度也采用加热器对瓷管进行加热。

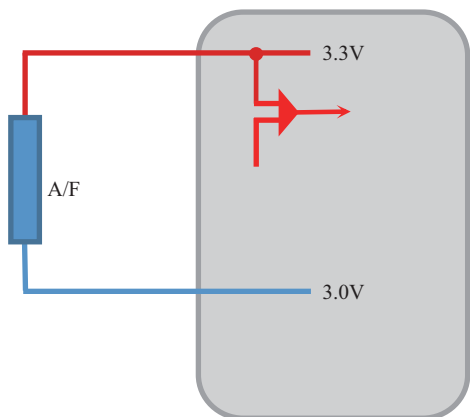


图 2-3-41 极限电流型氧传感器检测电路

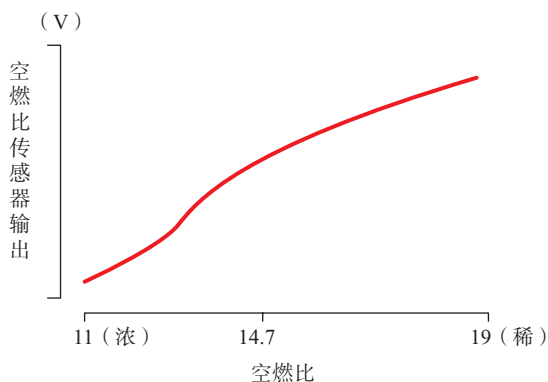


图 2-3-42 极限电流型氧传感器电压曲线

## 5. OBDII 系统对氧传感器的监测

### (1) 前氧传感器开始工作所需时间

OBDII 系统通过记录氧传感器加热至开始活跃工作所经历的时间, 来判断氧传感器活跃工作的快慢。如果氧传感器加热功能有问题, 那么氧传感器活跃工作变慢甚至无法监测。这项监测只能在冷车启动时才能监测。

### (2) 前氧传感器响应时间的测试

监测混和气从稀到浓和从浓到稀跳变所经历的时间。

### (3) 氧传感器信号电压的测试

前氧传感器和后氧传感器都要检测信号电压, 以判断传感器信号电压是否停置在某一值不变(混合气或浓或稀)、传感器信号电压是否超出范围、传感器是否短路、传感器是否搭铁。

## 6. 损坏后对系统的影响

氧传感器一旦出现故障, 将使电子燃油喷射系统的电脑不能得到排气管中氧浓度的信息, 因而不能对空燃比进行反馈控制, 会使发动机油耗和排气污染增加, 发动机出现怠速不稳、缺火、喘振等故障现象。因此, 必须及时地排除故障或更换。

氧传感器的常见故障:

- (1) 氧传感器中毒
- (2) 积碳
- (3) 氧传感器陶瓷碎裂
- (4) 加热器电阻丝烧断
- (5) 氧传感器内部线路断脱
- (6) 氧传感器外观颜色的检查

注: 通过观察氧传感器顶尖部位的颜色也可以判断故障:

- ① 淡灰色顶尖: 这是氧传感器的正常颜色如图 3-3-43 所示;
- ② 白色顶尖: 由硅污染造成的, 此时必须更换氧传感器如图 3-3-44 所示;
- ③ 棕色顶尖: 由铅污染造成的, 如果严重, 也必须更换氧传感器如图 3-3-45 所示;
- ④ 黑色顶尖: 由积碳造成的, 在排除发动机积碳故障后, 一般可以自动清除氧传感器上的积碳如图 3-3-46 所示。



图 3-3-43 正常氧传感器颜色



图 3-3-44 氧传感器硅污染



图 3-3-45 氧传感器铅污染



图 3-3-46 氧传感器铅污染

## 7. 氧传感器检测

### (1) 检测氧传感器加热器的电阻：

用欧姆表测量氧传感器插座端子（加热电阻）之间的电阻，加热电阻引出来的相邻两根线的颜色相同，很好区别。冷态电阻约 4-40  $\Omega$ 。如果检测为断路或电阻不在正常的范围之内，则需更换氧传感器；

### (2) 检测氧传感器加热器电源电压：

接通点火开关，测量加热电阻端对应的氧传感器插头（线束侧）端子之间的电压，应为蓄电池电压。如果电压低或无，则检修氧传感器插头至喷射继电器、搭铁的线路。

### (3) 检测氧传感器电阻加热器对地绝缘性

用欧姆表测量氧传感器电阻加热器与外壳之间的电阻，应为  $\infty$ 。如果通路，更换氧传感器。

### (4) 检查氧传感器的信号电压：

#### 1) 浓差电池型氧传感器

万用表置于直流电压“DC”量程，在发动机运转期间，用万用表测试氧传感器的信号电压，读取最小—最大值。好的氧传感器应该能被检测到小于 0.3V、高于 0.8V 的信号电压。在正常情况下，随着反馈控制的进行，氧传感器的反馈电压将在 0.45V 上下不断变化，1s 内反馈电压的变化次数应不少于 8 次。

如果是指针表头，由于惯性和阻尼因素，这个电压一般般只能读到 0.8V。（考虑到数字表的响应时间，不建议用数字表测量，否则误差很大。最好使用示波器）。

如果氧传感器的无电压输出、电压值不变、电压上升或下降很小、电压变化很缓慢，则说明氧传感器的传感元件有问题。

#### 2) 极限电流型氧传感器

空燃比氧传感器产生的是电流信号，并且电流方向和大小是变化的。由于空燃比传感器内部有集成电路，不应直接用万用表或示波器检测该传感器的信号。检测空燃比传感器的办法是使用专用的诊断仪通过随车诊断系统进行检测。



## 第四节 空燃比反馈控制

### 一、反馈修正的意义

发动机实际空燃比在理论空燃比（14.7）时，在理论上燃油和空气中的氧气都能消耗殆尽。另外，根据实践证明，三元催化转化器在实际空燃比为（14.7）附近时，其排气净化率最高，如图 2-4-1 所示。因此把发动机空燃比控制在理论空燃比附近，是降低排放污染的重要方法。

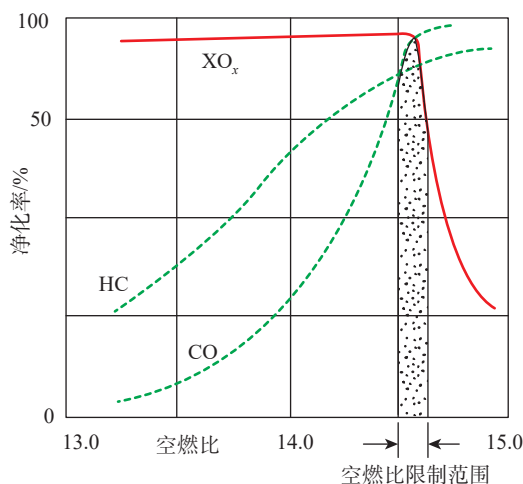


图 2-4-1 三元催化转化器的排气净化率曲线

在理论上是利用空气流量传感器和发动机转速传感器计算求得每个气缸充气量，进而控制空燃比。但在实际运行中，很难将空燃比控制在理论空燃比附近。为了达到净化排气和满足排放法规要求的目的，燃油喷射式发动机的空燃比普遍使用反馈方式进行控制。

### 二、空燃比反馈控制过程

发动机空燃比反馈控制是 ECU 根据氧传感器输入的电压信号判断可燃混合气是偏浓还是偏稀，再发出控制指令对喷油量进行修正。氧传感器是实现发动机空燃比反馈控制的关键部件。

在发动机运转过程中，电脑会计算氧传感器输出电压的平均值，把它定位限制电平。限制电平代表着理论空燃比时氧传感器的电压值，是电脑在发动机运转过程中通过自适应学习得出的值。

当电脑接收到氧传感器的信号高于限制电平 0.5V 时，表明混合气偏浓，空燃比偏小，电脑首先发出控制指令使空燃比反馈修正系数聚降一个值，使喷油时间缩短，喷油量减少，若依然氧传感器的信号高于限制电平 0.5V，电脑再次发出控制指令使空燃比反馈修正系数聚降一个值，以此逐渐减少修正系数，使混合气逐渐变稀，空燃比逐渐增大。

当电脑接收到氧传感器的信号低于限制电平 0.5V 时，表明混合气偏稀，空燃比偏大，电脑首先发

出控制指令使空燃比反馈修正系数聚升一个值，使喷油时间增长，喷油量增加，若依然氧传感器的信号低于限制电平 0.5V，电脑再次发出控制指令使空燃比反馈修正系数聚升一个值，以此逐渐增大修正系数，使混合气逐渐变浓，空燃比逐渐减小。

在反馈控制过程中，从喷油器开始调整喷油量到氧传感器接收到由此引起的氧离子浓度变化要经历进气、压缩、做功、和排气等过程。在这个过程中，氧传感器检测的信号并不是喷油系数调整后空燃比的信号。例如，当氧传感器检测到混合气偏浓时，电脑会减少喷油量，但氧传感器并不能立刻检测到喷油量减少的结果，此时，他所测的信号依然是混合气浓的信号，此时电脑会在下一次喷油中继续减少喷油量，经过几个工作循环，会导致实际的喷油量低于理论空燃比的值，成为偏稀的混合气；随后氧传感器检测到混合气偏稀，电脑会增加喷油量，但氧传感器并不能立刻检测到喷油量增加的结果，此时，他所测的信号依然是混合气稀的信号，此时电脑会在下一次喷油中继续增加喷油量，经过几个工作循环，会导致实际的喷油量又高于理论空燃比的值，成为偏浓的混合气。因此，要使混合气空燃比准确的保持在理论空燃比值是不可能的。实际的空燃比控制只能将空燃比控制在理论空燃比附近的一个狭小范围内波动。正因为如此，氧传感器输入电脑的电压在低电平（0.1 ~ 0.3V）与高电平（0.7 ~ 0.9V）之间变化，频率为 10 次 /min 以上。如果氧传感器信号电压变化低于 10 次 /min 或信号不变，说明氧传感器出现故障。

在使用过程中，当氧传感器失效时，ECU 将自动切断氧传感器信号，对空燃比进入开环控制。由于不能对发动机空燃比反馈控制，发动机燃油消耗量和有害气体排放量都将大大的增加。

### 三、空燃比反馈控制条件

为了保证发动机具有良好的工作性能，混合气的空燃比并不是在任何工况下都进行反馈（闭环）控制。电脑对空燃比闭环控制的条件是：

1. 发动机冷却液温度达到 80℃ 以上；
2. 发动机运行在怠速或部分负荷工况；
3. 氧传感器达到正常工作温度；
4. 氧传感器输入电脑的电压变化，频率不得低于 10 次 /min。

### 四、空燃比开环控制条件

在下述情况下，发动机电脑空燃比实施开环控制：

1. 发动机启动工况，此时需要加浓混合气，以利于启动发动机；
2. 启动后暖机工况；
3. 发动机大负荷（节气门全开）工况，此时需要加浓混合气，使发动机输出最大功率；
4. 加速工况，此时需要发动机输出最大转矩，以便提高汽车速度；
5. 减速工况，此时需要停止喷油，使发动机转速迅速降低；
6. 氧传感器低于正常温度；
7. 氧传感器输入电脑的电压变化，频率低于 10 次 /min。



## 第五节 发动机断油控制

断油控制是指在某些特殊工况下，燃油喷射系统暂时中断暂时中断喷油器的喷油，以满足发动机运行的特殊要求。

### 一、超速断油控制

超速断油控制是指当发动机转速超过允许的极限转速时，电脑立刻控制喷油器中断燃油喷射，燃油喷射式发动机采用超速断油控制的目的是防止发动机超速运转而且损坏机件。

发动机工作时，转速越高，曲柄连杆机构的离心力就越大。当离心力过大时，发动机就有“飞车”而损坏的危险。因此，每台发动机都有一个极限转速值，一般为 6000 ~ 7000r/min。

在发动机运转过程中，电脑随时都将曲轴位置传感器测得的发动机实际转速与存储器中存储的极限转速相比较。当实际转速超过极限转速 80r/min 时，电脑就会发出停止喷油的指令，控制喷油器停止喷油。当喷油器停止喷油后，发动机转速将降低。当发动机转速低于极限转速 80r/min 时，电脑将控制喷油器恢复喷油。

### 二、减速断油控制

减速断油控制是指当发动机在高速运转过程中突然减速，电脑自动控制喷油器中断燃油喷射。

当高速行驶的汽车突然松开油门踏板减速时，发动机将在汽车惯性力的作用下高速运转，由于此时节气门已经关闭，进入气缸的空气很少，因此，如不停止喷油，混合气将会很浓而导致燃烧不完全，有害气体的排放量将急剧增加。减速断油的目的就是节约燃油，并减少有害气体的排放量。

减速断油控制过程：根据节气门位置传感器、发动机转速和冷却液温度等传感器信号，判断是否满足以下三个条件：

1. 节气门处于关闭状态（怠速触点闭合）；
2. 发动机温度达到正常工作温度 80℃；
3. 发动机转速高于燃油停供转速。

当三个条件全部满足时，ECU 立刻发出喷油指令，控制喷油器停止喷油。当喷油器停止后，发动机转速降低到燃油复供转速或节气门开启（怠速触点断开）时，电脑再发出指令控制喷油器恢复喷油。

燃油停供转速和复供转速与冷却液温度和发动机负荷有关，由电脑根据冷却液温度和发动机负荷确定。冷却液温度越低，发动机负荷越大（如开启空调），燃油停供转速和复供转速就越高。

### 三、清除溢流控制

启动发动机时，燃油喷射系统将向发动机供给较浓的混合气，以便顺利启动。如果多次启动未能成功，那么淤积在气缸内的浓混合气就会浸湿火花塞，使其不能跳火。火花塞被混合气浸湿的现象称为“溢流”或“淹缸”。

清除溢流是指当加速踏板踩到底，同时又接通点火开关启动发动机时，电脑自动控制喷油器中断

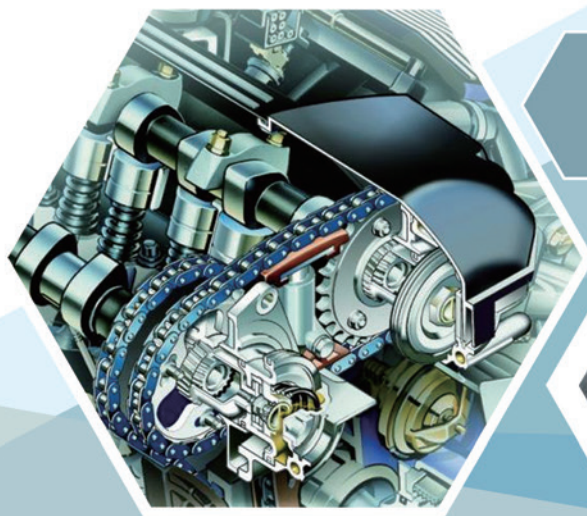
喷油，如此排出气缸内的燃油蒸气，使火花塞干燥而能跳火。发动机清除溢流控制的条件如下：

1. 点火开关处于启动位置；
2. 节气门全开；
3. 发动机转速低于 300r/min。

只有在三个条件同时满足时，发动机才能进入清除溢流控制。由此可见，启动发动机时，不必踏下加速踏板，直接接通点火开关即可。否则，发动机可能进入清除溢流控制状态而使发动机不能着车。

当接通启动开关起动机运转而发动机不能着车时，可利用清除溢流先将溢流清除，然后再进行启动。

## 进气系统



1. 理解进气系统控制内容
2. 理解怠速控制逻辑
3. 理解占空比控制执行器的工作特点
4. 理解步进电机结构及控制原理
5. 掌握电子节气门组成及控制逻辑
6. 掌握霍尔及电磁式踏板位置传感器及节气门位置传感器结构原理与检测
7. 掌握谐波增压的作用及控制
8. 掌握涡轮增压的作用及控制
9. 掌握可变配气正时的作用及控制方法
10. 掌握缸内直喷发动机进气系统结构及工作过程





## 第一节 进气系统控制内容

### 一、汽油机的进气系统

汽油机分为缸外喷射和缸内喷射。对于缸内喷射发动机来说，其又分为富氧燃烧和均质燃烧两种运行模式，在富氧燃烧模式时，对进气的流动方式进行控制，以便空气在发动机内部形成涡流，以利于实现分层燃烧；在均质燃烧模式时，其进气控制和缸外喷射一致。

### 二、缸外喷射汽油机进气量控制

缸外喷射汽油机依靠控制进气量来控制发动机的功率，其控制分为两个阶段，一个为怠速控制，一个为功率控制。

#### 1. 怠速控制

##### (1) 稳定怠速调控

怠速控制就是怠速转速控制。如图 3-1-1 所示，发动机怠速时，发动机电脑 ECU 根据车速传感器、节气门位置传感器、冷却液温度传感器、空调器开关、自动变速器档位开关和动力转向开关等信号所确定的目标转速与发动机的实际怠速转速进行比较，并通过执行器来调节空气通道的横截面积，改变其空气流量，以使发动机的怠速保持在目标转速上。

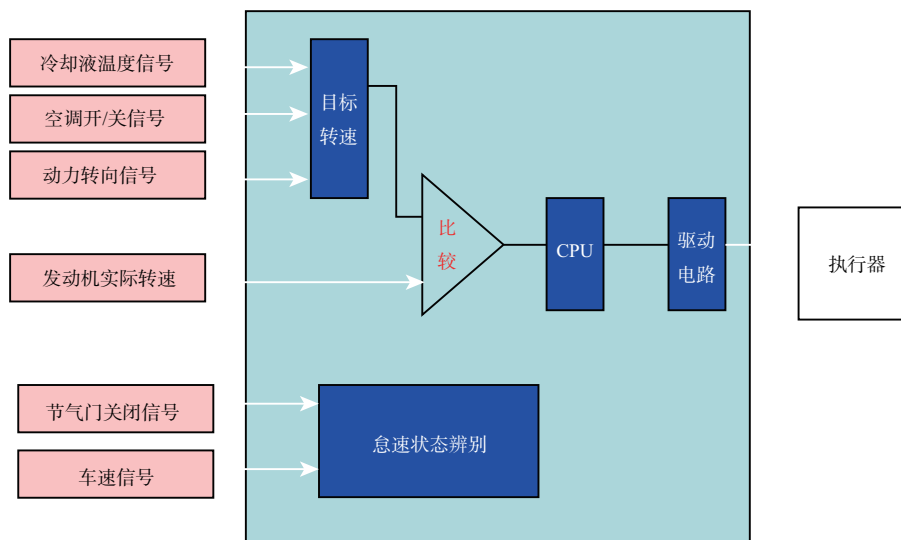


图 3-1-1 怠速控制系统原理图

车速传感器提供车速信号，节气门位置传感器提供怠速触点关闭信号，这两个信号用来判定发动机是否处于怠速状态。发动机怠速时节气门关闭，节气门位置传感器的怠速触点闭合，此时如果车速为零就说明发动机处于怠速状态，如车速不为零则说明发动机处于减速状态。

#### (2) 起动初始位置

发动机起动前，ECU 控制执行器将怠速空气通道开启到一个较大位置，以利于启动。

#### (3) 启动控制

在发动机控制模块会根据发动机的运行状况（转速）和发动机冷却液温度传感器的信号，从存储器中取出预存的数据，控制怠速空气通道的开度（开度小于起动初始位置）。

#### (4) 暖机控制

冷却液温度信号用于修正怠速，在电脑内部存储有不同水温对应的最佳怠速转速。在冷车启动后暖机过程中，电脑根据发动机温度信号，通过控制怠速进气量，来控制相应的快怠速转速。当冷却液温度达到正常温度时，怠速转速恢复正常怠速转速。

#### (5) 发动机负荷变化的预控制

发动机在怠速运转时，如果起动空调系统、转动方向盘或挂档，都将使发动机的负荷立刻发生变化。为了避免发动机怠速转速因为负荷的变化而产生波动甚至造成熄火，在发动机转速出现变化前，发动机控制模块增加怠速时空气通道开度，增大进气量，提高发动机的怠速转速，保持发动机怠速运转的稳定性；而当这些载荷去除以后，发动机控制模块又会减小怠速时空气通道的开度，使发动机恢复加载前的转速。

#### (6) 电气负载增多时的怠速控制

在怠速运转时，如使用的电气负载增大（比如打开大灯），蓄电池电压就会降低。为了保证发动机控制模块 +B 端子和点火开关（IGSW）端子具有正常的供电电压，需要控制怠速时空气通道开度，提高发动机怠速转速，提高发电机的输出功率，以维持蓄电池电压的稳定性。

#### (7) 反馈控制

发动机控制模块内有一个预编程的目标怠速值，它根据空调开关、空档起动开关等信号而变化。怠速控制的过程就是将目标转速和实际转速进行比较并使实际怠速转速接近于目标转速的过程。在发动机怠速运转时，如果发动机的实际转速与发动机控制模块存储器存储的目标转速相差超过一定值（如 20r/min），发动机控制模块将通过调节怠速时空气通道开度，增减空气流速，使发动机的实际转速与目标转速尽可能相同。

#### (8) 学习控制过程

由于发动机在整个使用期间，执行器性能会发生变化，所以执行器控制阀门的位置未变，但怠速转速和初设的数值也有可能不同。

此时发动机控制模块可在反馈控制的基础上进行学习控制，使发动机转速达到目标值。与此同时，发动机控制模块将执行器实际开度即怠速自适应值存储在存储器中，以便在下一个怠速控制中使用。

清洗完执行器后控制模块仍然以清洗前的自适应值控制执行器开度开启，此时，应按照维修手册的步骤进行重新设定。

为避免这种现象发生，应定期清洗执行器阀，而不是控制阀太脏甚至已经发生堵塞时再去清洗它。

## 2. 发动机功率控制

对缸外喷射汽油发动机的功率控制是依靠控制进气量来实现的。

当司机松开油门踏板时（非巡航车型）发动机电脑进行怠速控制，怠速的进气量由电脑根据各种传感器来计算的。

当司机踏下油门踏板后，节气门开度随着油门踏板变化，此时进气量的多少和节气门的开度有关，汽车巡航也是通过控制节气门的开度实现的。

## 三、缸外喷射汽油机进气量控制形式

### 1. 拉线式节气门

#### (1) 结构

拉线式节气门油门踏板末端连着一根钢索，通向节气门，踩油门的动作直接通过钢索控制节气门，

如图 3-1-2 所示。在节气门体上有油门拉线和回位弹簧，如图 3-1-3 所示。除此之外拉线式节气门上还有怠速电机、节气门位置传感器以及怠速开关的信号线，节气门位置传感器反映节气门的工作状态，怠速开关则反映出节气门关闭的状态。



图 3-1-2 油门踏板

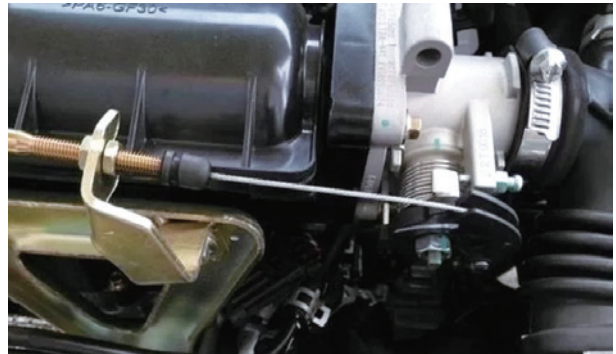


图 3-1-3 拉线式节气门

拉线式节气门最大的特点就是直接、快速，完全受控于驾驶员。你可以很轻松地用油门控制发动机。你踩多少油门节气门就开多少，踩完油门立马发动机就有响应，哪怕动力不足发动机也立刻跟着抖两下。

#### (2) 怠速控制阀

##### 1) 作用

在装有拉线式节气门的车上，在怠速时，节气门是关闭的，此时，空气从一旁的怠速气道通过。怠速控制阀安装在怠速气道上，通过控制通道导通的大小控制了怠速时空气的流速，从而控制怠速转速，如图 3-1-4 所示。

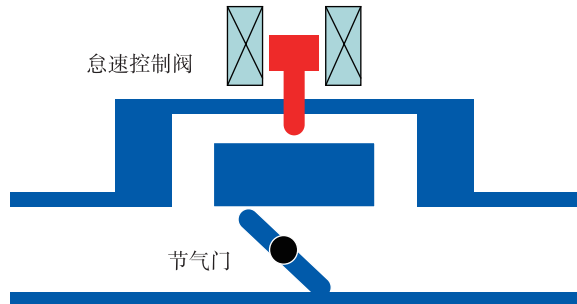


图 3-1-4 怠速控制阀示意图

##### 2) 控制原理

在启动前，怠速控制阀处于全开状态，启动汽车时，怠速控制阀根据冷却液温度传感器的信号，从存储器中取出预存的数据，控制怠速气道的开度。着车以后，依然根据冷却液温度传感器的信号控制发动机快怠速运转，直至发动机到达正常温度。在发动机怠速运转过程中，根据发动机负荷和电力负载的变化增加怠速气道的开度。在急减速时，为避免节气关闭过快导致发动机运转不良，怠速控制阀会将怠速气道完全打开在逐渐关闭至正确位置。熄火后，怠速控制阀再次处于全开状态，为下次启动做好准备。

怠速控制阀的调节工作根据转速信号进行调整，在怠速阀工作过程中，不断进行学习以适应怠速阀性能的变化，在更换怠速控制阀或清洗对其清洗时，需要进行匹配调整。

## 2. 电子节气门

目前，大多数发动机采用电子节气门，如图 3-1-5 所示。电子节气门是受 ECU 控制的，踩油门的信号先传给 ECU，ECU 根据踩油门的速度和深度来猜测你的意图，从而控制节气门开度。

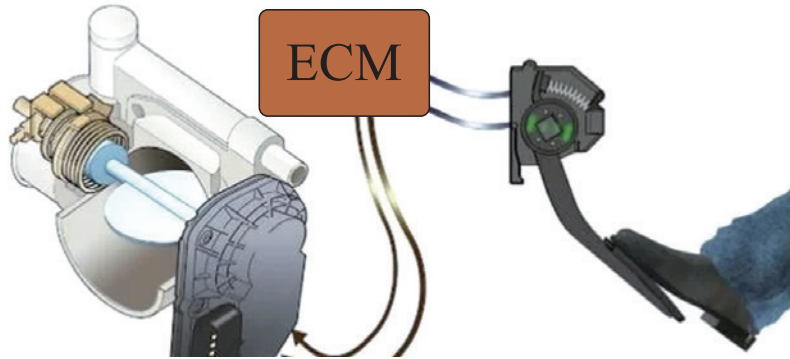


图 3-1-5 电子节气门

由于电子节气门是直接受 ECU 控制的，因此，节气门的开度并不是一直随着油门踏板的动作进行运转。在怠速时，油门踏板处于最顶端位置，此时，节气门并没有关闭，而是根据各种信号调整开度进行怠速控制。在急减速时，虽然油门踏板信息急速下降，但电子节气门则缓缓降低开度，以便使发动机平稳过度。在巡航控制时，虽然司机的脚从油门踏板上挪开，不对油门踏板进行控制，但节气门依然在调整开度，以保证汽车按设定的车速行驶。

电子节气门也有自我学习功能，在更换或清洗后需要进行匹配调整。

## 四、进气系统其它控制

### 1. 谐波增压

谐波增压是通过改变进气歧管的形状来利用进气歧管内的“谐波”进行增压的一种装置，一般是根据发动机转速调整进气歧管的长度来实现的。

### 2. 可变配气

对于传统发动机，发动机的配气相位是固定不变的。但事实上，发动机在不同的转速和负荷对配气相位是不同的。因此，现在发动机上多安装有可变配气系统，以根据转速及负荷对配气相位，以此提升发动机性能。

### 3. 增压系统

增压系统是通过给进气机械打压的方式提升充气量，因此，在发动机排量不变的情况下，提升了缸内空气的密度，从而提升了发动机的动力。

增压系统分为机械增压和涡轮增压。



## 第二节 怠速控制阀

在拉线式节气门安装有怠速控制阀，在怠速时控制怠速气道通路的大小，怠速控制阀有三种，分别是旋转滑阀式、占空比电磁阀式、步进电机式。

### 一、旋转滑阀式

#### 1、旋转滑阀式怠速阀

旋转滑阀式怠速控制系统，分为新式和旧式两种，如图 3-2-1 所示。

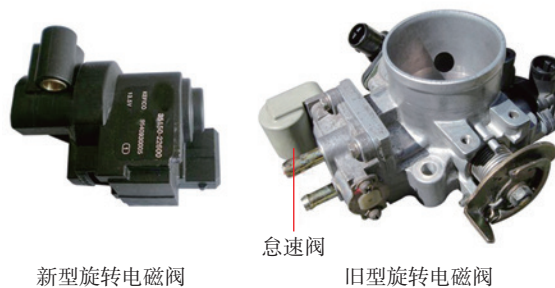


图 3-2-1 旋转滑阀时怠速阀

#### (1) 结构

旋转滑阀式怠速控制系统主要由永久磁铁、空气旁通道、旋转滑阀和复位弹簧等组成。

其中旋转滑阀固装在电枢轴上，与电枢轴一起转动，用以控制通过旁通空气道的空气量；永久磁铁固定在外壳上，形成永久磁场；复位弹簧的作用是在发动机熄火后使怠速阀旁通道完全打开，如图 3-2-2 所示。

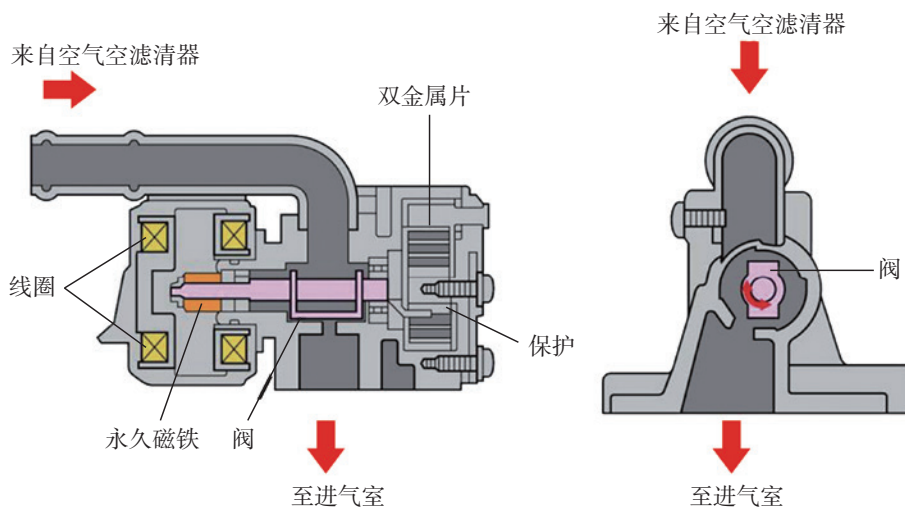


图 3-2-2

## (2) 原理

电枢铁心上绕有两组绕向相反的电磁线圈 A 和 B，当给线圈通电时，就会产生磁场从而使电枢轴带动旋转滑阀转动，控制通过旁通空气道的空气。

电磁线圈 A 和 B 由发动机控制模块 RSO（控制线端子）和 RSC（控制线端子）由同一信号进行反向控制，如图 3-2-3 所示：

1) 当占空比为 50% 时，A 和 B 平均通电时间相等，电枢停止转动；

2) 当占空比大于 50% 时，线圈 A 的平均通电时间长，电枢带动旋转滑阀顺时针旋转，空气旁通道截面增大，怠速升高；

3) 当占空比小于 50% 时，线圈 B 的平均通电时间长，电枢带动旋转滑阀逆时针旋转，空气旁通道截面减小，怠速降低。

4) 旋转滑阀根据控制脉冲信号的大小进行旋转，占空比的范围约 18% 至 82% 之间。滑阀的偏转角度限定在  $90^\circ$  内。

新型的旋转滑阀式怠速阀与旧型号在外型上基本相同，但控制方面却是完全不同的。新型旋转滑阀式怠速阀是接收电控单元的信号自身进行调节控制的，如图 3-2-4 所示。

新型旋转滑阀只有一组线圈，通过回位弹簧进行回位控制。它取消了双金属片的加热控制，其控制范围增大并更精确。

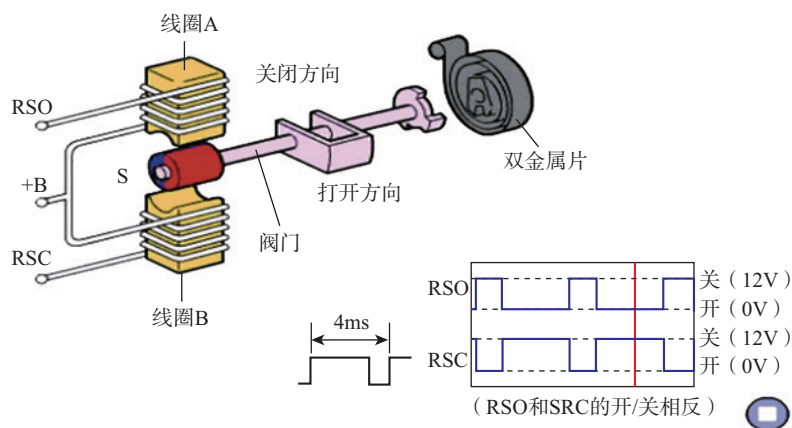


图 3-2-3

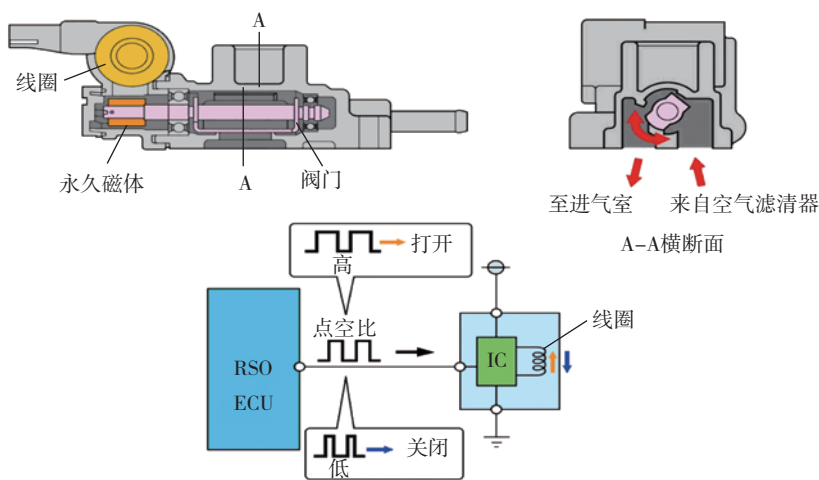


图 3-2-4 新型旋转滑阀式怠速阀

## 二、占空比电磁阀式

占空比怠速控制阀安装在进气歧管上，利用来自发动机控制模块的占空比信号控制经过节气门旁通空气道的进气量。

当发动机怠速运行时，发动机控制模块根据各种传感器的信号，向电磁线圈通以占空比可调的脉冲信号。控制信号的占空比决定了线圈中平均电流的大小，而平均电流的大小又决定了电磁阀的开度和发动机怠速的高低。占空比越大，线圈中的平均电流越大，线圈吸力越强，阀门升程高，开度大，旁通空气量大，怠速高；反之，怠速低，如图 3-2-5 所示。

控制过程同步进电机式和旋转滑阀式怠速控制系统基本一致，只是怠速阀的动作都是由发动机控

制模块的占空比信号控制。这种怠速控制阀在日产车和福特车上都被使用。占空比怠速控制阀的控制电路如图 3-2-6 所示。

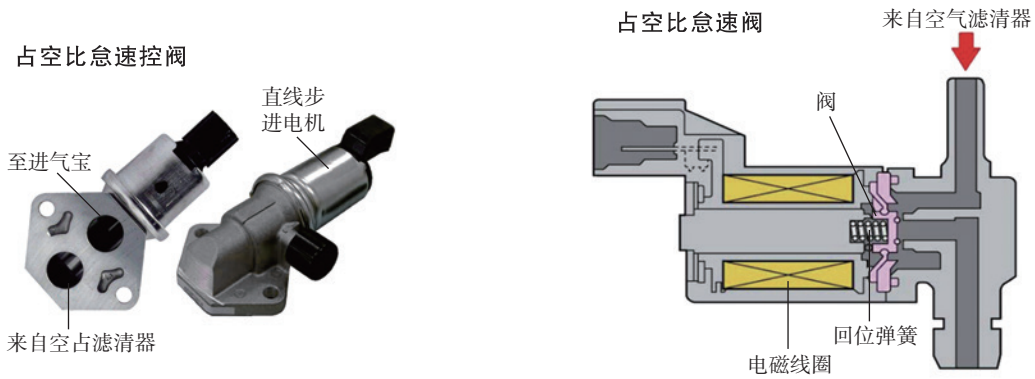


图 3-2-5 占空比怠速阀

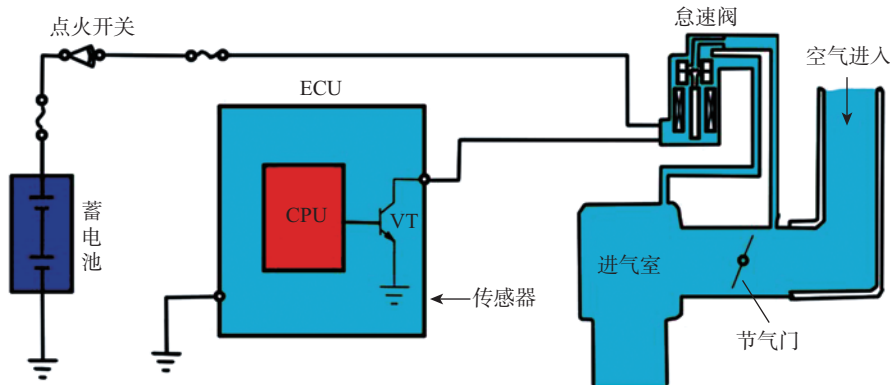


图 3-2-6 占空比怠速控制阀的控制电路

### 三、步进电机式

目前四线步进电机式怠速控制阀（如图 3-2-7 所示）的应用非常广泛。

步进顺序表如表 3-2-1 所示。通过测量步进电机的阻值不能彻底的判断其性能的，需要使用专门的步进电机驱动器检测。



图 3-2-7 四线步进电机怠速控制阀

表 3-2-1 步进电机步进顺序表

	A	B	C	D
第一步	—	+	—	+
第二步	+	—	—	+
第三步	+	—	+	—
第四步	—	+	+	—
第五步	—	+	—	+

# 3 第三节 电子节气门

电子节气门系统（如图 3-3-1）取消油门踏板与节气门体之间的拉线，在油门踏板上加装踏板位置传感器。

节流阀的开启和关闭由控制单元进行控制，使节气门开度得到精确控制，优化了发动机的输出扭矩，提高汽车的经济、环保、动力及操控性能；另一方面，可实现怠速控制、巡航控制和车辆稳定控制等的集成，简化了控制系统结构。



图 3-3-1 电子节气门

## 一、结构组成

电子节气门控制系统由：加速踏板传感器、发动机控制单元、节气门体、故障指示灯等组成，如图 3-3-2 所示。

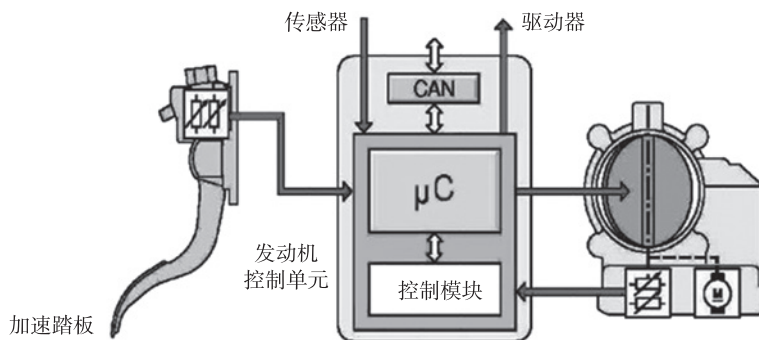


图 3-3-2 电子节气门控制系统结构图

### 1. 加速踏板位置传感器

#### (1) 作用

加速踏板（如图 3-3-3 所示）的主要作用是控制节气门的开度，从而控制发动机的动力输出。

在加速踏板上安装有位移传感器，当驾驶员踩踏加速踏板时，ECU 会采集踏板上位移传感器的开度变化以及加速度，根据内置的算法来判断驾驶员的驾驶意图，然后向发动机节气门的控制电机发送相应的控制信号，从而控制发动机的动力输出。



图 3-3-3 加速踏板位置传感器

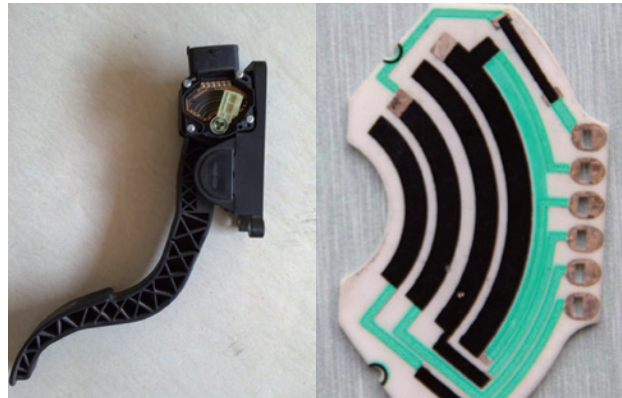


图 3-3-4 电位计式加速踏板位置传感器

#### (2) 分类

常见的加速踏板位置传感器类型有：电位计式、霍尔式和电磁式三种。

#### (3) 电位计式加速踏板位置传感器

##### 1) 结构

电位计式加速踏板位置传感器（如图 3-3-4 所示）以分压电路原理工作，ECU 供给传感器电路 5V 电压，加速踏板通过转轴与传感器内部的滑动变阻器电刷相连，其电路如图 3-3-5 所示。加速踏板位置传感器的位置改变时，电刷与接地端的电压发生改变，ECU 将该电压转变成加速踏板的位置信号。加速踏板位置传感器同时输出两组信号给 ECU，保证输出信号的可靠性。

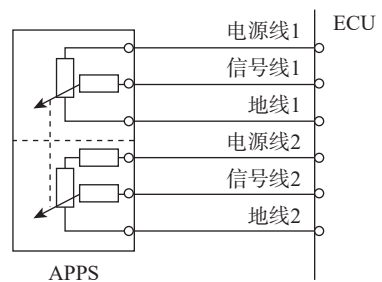


图 3-3-5 电位计式加速踏板位置传感器电路

#### 2) 检测

##### ① 外观检查

首先应检查是否因车内驾驶座椅下方地毯过厚或位置不当将踏板顶住而无法踩到 100% 位置。随后检查应检查线路插头是否虚接，针脚、插头是否存在腐蚀、氧化现象。

##### ② 单件检查

拆下传感器，测量电源线 1 和地线 1 针脚之间、电源线 2 和地线 2 针脚之间电阻应为规定值，压动踏板过程中信号线 1 和地线 1 针脚之间、信号线 2 和地线 2 针脚之间电阻值应连续变化。有的车型是一个逐渐增大，一个逐渐减小；也有的车型一个是同时增强或减弱。

##### ③ 线路检查

拆下传感器插头，电源线 1、信号线 1 和地线 1 之间电压应为 5V，电源线 2、信号线 2 和地线 2 之间电压也应为 5V。

##### ④ 数据流检查

接入解码器，选取读取数据流一项，通电状态下，不踩动踏板。“加速踏板 1 原始电压值”、“加速踏板 2 原始电压值”应为规定值，踩下踏板后，观察随着踏板开度的增大两组信号线的输出电压也随之变化。有的车型是一个逐渐增大，一个逐渐减小；也有的车型一个是同时增强或减弱。

(4) 霍尔式加速踏板位置传感器

霍尔式加速踏板位置传感器的内部由两套霍尔元件和磁铁组成（如图 3-3-6 所示），当踏下加速踏板时，磁铁可随之转动，改变了与霍尔元件之间的位置，从而造成了霍尔元件中磁通量的变化，根据霍尔原理，输出的信号电压也发生了变化。

霍尔式加速踏板位置传感器不仅能够精确地检测出加速踏板的位置，还采用了无接触式，并简化了结构，所以不易发生故障。为了确保工作的可靠性，一般会输出两套信号，即 VPA1 和 VPA2，其中 VPA1 用于检测加速踏板的位置，VPA2 用于检测 VPA1 的故障（如图 3-3-6 所示）。

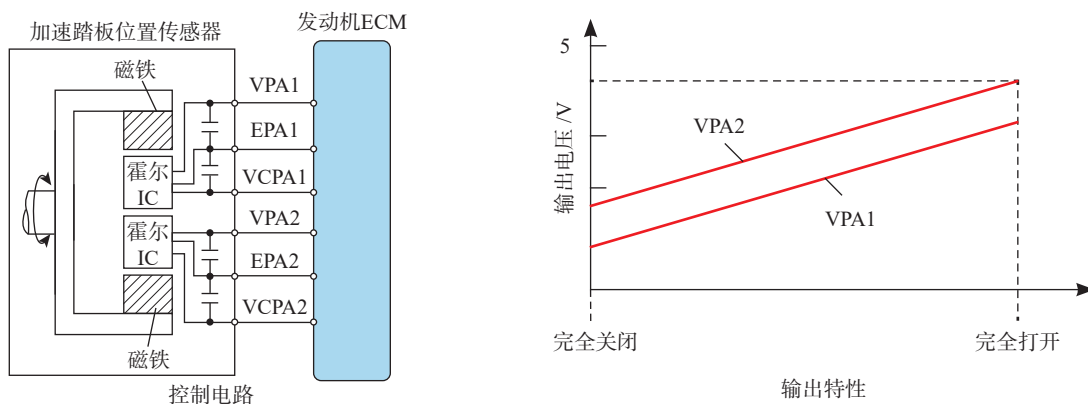


图 3-3-6 霍尔式加速踏板位置传感器的控制电路及输出特性

(5) 电磁式加速踏板位置传感器

在大众的某些车型（如速腾轿车）上使用的是电磁式加速踏板位置传感器（如图 3-3-7 所示）。它是采用电磁感应原理制成的，主要由金属片（由转移方向的机械部件带动）和感应装置组成（安装在印制电路板上）。

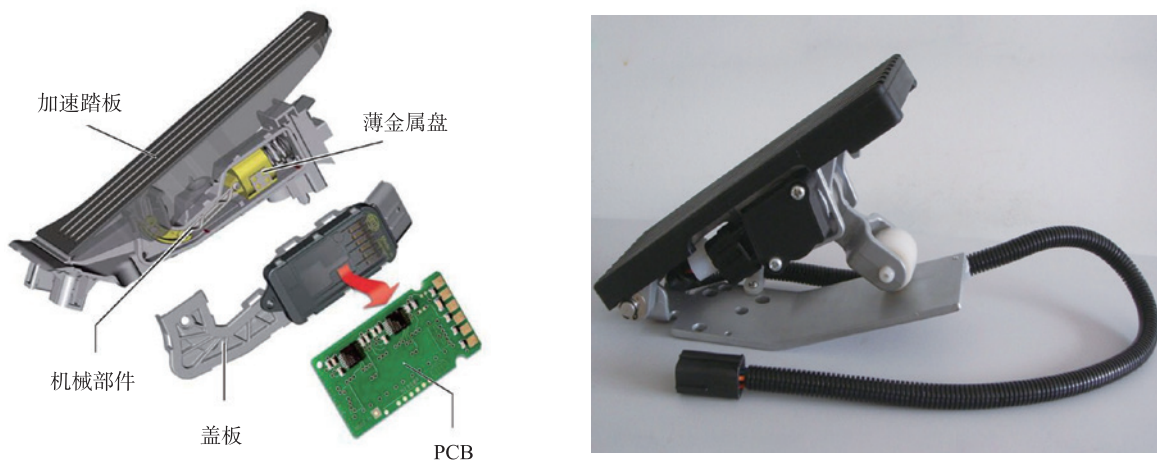


图 3-3-7 电磁式加速踏板位置传感器的组成

机械部件将加速踏板的杠杆运动转换为金属片直线移动。当驾驶员踩下油门踏板时，金属片会沿直线移动（靠近印制电路板）如图 3-3-8、图 3-3-9 所示。

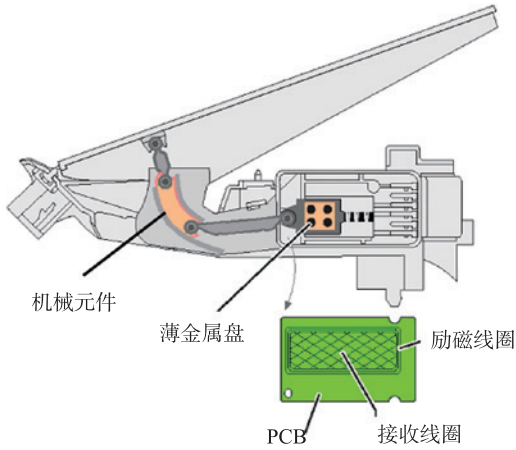


图 3-3-8 加速踏板未踩下

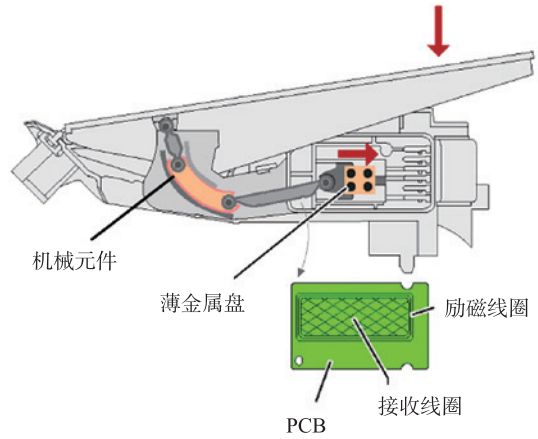


图 3-3-9 加速踏板已踩下

感应装置主要由一个励磁线圈、三个菱形的感应线圈（如图 3-3-10）以及一个控制电子装置和一个分析电子装置组成。3 个感应线圈呈 120° 分布排列，当金属片沿直线移动，会引起感应三个感应线圈内部的磁场发生变化，从而感应出不同的电压信号，如此使电控单元精确得知加速踏板的位置，其原理如下：

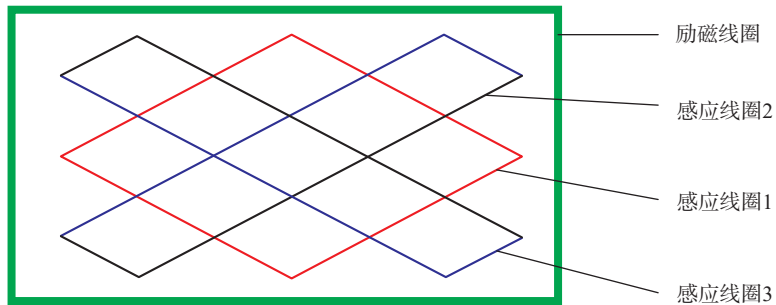


图 3-3-10 励磁线圈及感应线圈

发动机控制单元提供 5V 的电压给踏板电子装置产生高频的交流电压，以便励磁线圈上形成交变电磁场，如图 3-3-11、图 3-3-12、图 3-3-13 所示，这个交变电磁场作用在移动的金属片上。此时围绕该金属片形成另一个交变电磁场。这个取决于位置的交变电磁场作用在接收线圈上，并在此以感应方式形成相应的交流信号。交流感应电压的高低主要取决于金属片的位置，电控单元根据这个交流电压的大小来控制油门的开度。

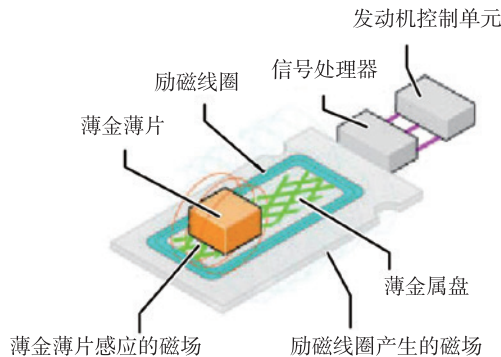


图 3-3-11 传感器内电子元件的工作原理

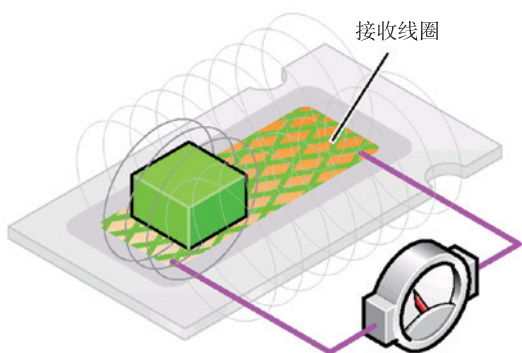


图 3-3-12 加速踏板未踩下

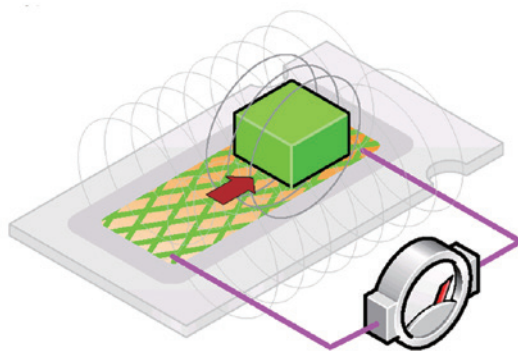


图 3-3-13 加速踏板已踩下

踏板内部依然采用 2 个传感器使信号呈冗余信号输出。由于使用了 2 个传感器，所以它使用了双供电原则。其中，1 号脚和 2 号脚为电源正电 5V 供给，3 号脚和 5 号脚为传感器的负极供电，4 号脚为传感器信号电压输出，输出电压为 1~4.5V，6 号脚也是传感器信号输出，但输出电压为 0.45~2.5V。加速踏板开度与电压关系如图 3-3-14 所示。

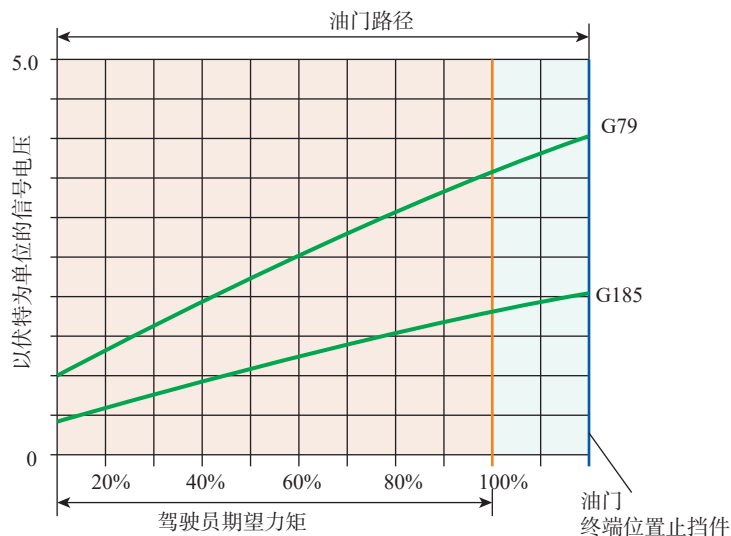


图 3-3-14 加速踏板开度与电压关系

### (6) 控制策略

加速踏板模块一般由加速踏板位置传感器 1、踏板位传感器 2 组成，使用两个传感器是为了最大程度地保证安全性。这种系统配置也被称为“冗余系统”，冗余在字面上的意义是“多余的”。在技术上，如果某种信息提供高于系统工作所要求时，则发生冗余。

发动机控制单元能够根据两个加速踏板位置传感器所提供的信号识别出加速踏板当前的位置。

·如果一个传感器发生故障，则发生以下情况：

—存储故障代码，并点亮 EPC 故障指示灯。

—系统开始启动怠速运行模式，如果在定义的测试时间内第二个传感器在怠速位置内，则车辆继续运行。

—如果需要进入节气门全开状态，则发动机转速缓慢提高。

—此外，也通过制动灯开关 F 或制动踏板开关 F47 识别怠速。

—舒适系统功能，如巡航控制或发动机制动调节功能被关闭。

·如果两个传感器都发生故障时，则发生以下情况：

—存储故障代码，并点亮 EPC 故障指示灯。

—发动机保持高怠速（最高 1500r/min）下运行，并不再对加速踏板的动作作出响应。

由于发动机管理系统的不同，两个传感器同时发生故障时可能不会被正确的识别出来，故障指示灯没有点亮。发动机在高怠速下运行，并不再对加速踏板的动作作出响应。

## 2. 电子节气门体

电子节气门体位于进气管上，它由节气门体、节气门、节气门驱动装置、节气门驱动装置角度传感器 1、节气门驱动装置角度传感器 2 等组成，如图 3-3-15 所示。电子节气门体的功能是开启或关闭节气门，同时将节气门开启的角度传递给发动机控制单元。

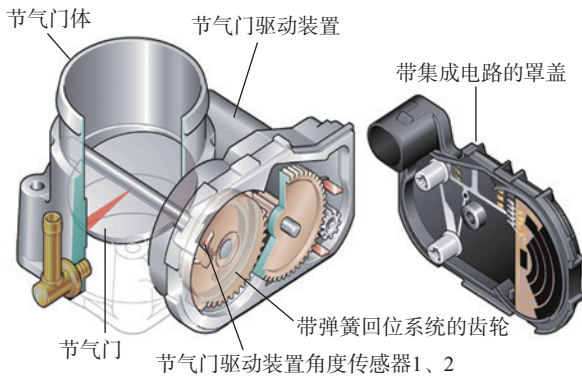


图 3-3-15 电子节气门体内部结构

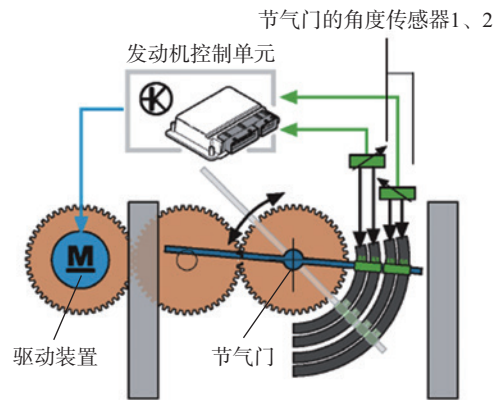


图 3-3-16 电子节气门驱动图

发动机控制单元通过激活节气门驱动装置的电机来完成，如图 3-2-16 所示。节气门开启的角度由节气门驱动角度传感器传给发动机控制单元。

节气门驱动角度传感器（也是节气位置传感器）将节气门体的开度信息反馈给发动机控制单元，发动机控制单元根据此反馈信息与计算出的目标值进行对比，以确保节气门开度的精确控制。

出于安全性的考虑，一般使用两个传感器节气门驱动角度传感器，采用“冗余系统”，节气门驱动角度传感器的类型一般为电位计式和霍尔式，其原理和加速踏板位置传感器相同。

节气门驱动角度传感器信息也用于燃油及点火系统的相关控制，节气门的开度在测量数据块中以百分比来显示的，因此 0% 表示关闭，100% 表示全开。

## 3. 故障指示灯

接通点火开关后，EPC 点亮 3s，如果系统没有故障码，或者在这期间没有检测到故障，则指示灯熄灭；如果系统中存有故障码，发动机控制单元激活故障指示灯。故障指示灯直接由发动机控制单元控制接地线，如图 3-3-17 所示。故障指示灯发生故障时对节气门的功能没有影响，但是会在故障存储器中存储一个故障码。指示灯没有闪码功能。

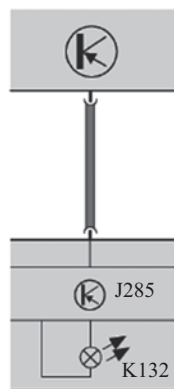


图 3-3-17 故障指示灯电路图

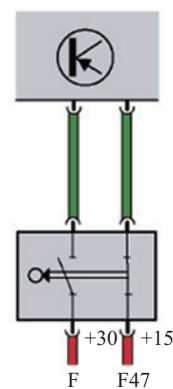


图 3-3-18 制动灯开关电路

#### 4. 制动踏板位置开关

##### (1) 信号的作用

两个传感器都集成在位于制动踏板的部件中，“制动踏板踩下”的信号在电子节气门控制系统中的两个作用：

- 关闭巡航系统。
- 加速踏板位置传感器发生故障时，被用作缺省的怠速信号。

图 3-3-18 为制动踏板开关电路，F47 被作为发动机控制单元的一个后备信息传感器。

##### (2) 信号故障的影响

如果一个传感器发生故障，或者发现输入信号不正常，发动机控制单元开始执行以下功能：

- 舒适系统功能，例如：巡航控制系统被关闭。
- 如果一个加速踏板位置传感器也发生故障时，发动机转速限制在高怠速。

#### 5. 离合器踏板位置开关

##### (1) 信号的作用

通过来自离合器踏板开关的信号，发动机控制单元可以识别离合器踏板的状态。关闭负载变化功能，实现过渡工况控制。

##### (2) 信号故障后的影响

自诊断功能不能对离合器踏板开关进行检查。它没有替代功能，可能会发生换挡加速时喘振现象。

(3) 电路离合器开关如图 3-3-19 在正常位置时，该开关是闭合的，它从 15 号接线柱得到电源。

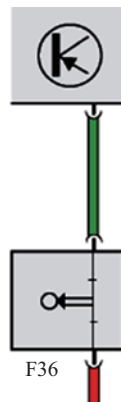


图 3-3-19 离合器踏板开关

## 二、控制原理

驾驶员操纵加速踏板，加速踏板位置传感器产生相应的电压信号输入节气门控制单元，控制单元首先对输入的信号进行滤波，以消除环境噪声的影响，然后根据当前的工作模式、踏板移动量和变化率解析驾驶员意图，计算出对发动机扭矩的基本需求，得到相应的节气门转角的基本期望值。

然后再汽车其他工况信息以及各种传感器信号如发动机转速、档位、节气门位置、空调能耗等等，由此计算出整车所需求的全部扭矩，通过对节气门转角期望值进行补偿，得到节气门的最佳开度，并把相应的电压信号发送到驱动电路模块，驱动控制电机使节气门达到最佳的开度位置。节气门位置传感器则把节气门的开度信号反馈给节气门控制单元，形成闭环的位置控制。

## 三、控制策略

### 1. 基于发动机扭矩需求的节气门控制

传统油门的节气门开度完全取决于驾驶员的操作意图。电子节气门系统的节气门开度并不完全由加速踏板位置决定，而是控制单元根据当前行驶状况下整车对发动机的全部扭矩需求，计算出节气门的最佳开度，从而控制电机驱动节气门到达相应的开度。因此，节气门的实际开度并不完全与驾驶员的操作意图一致。控制单元根据整车扭矩需求获得所需的理论扭矩，而实际扭矩通过发动机转速、点火提前角和发动机负荷信号求得。在发动机扭矩调节过程中，控制单元首先将实际扭矩与理论扭矩进行对比，如果两者有偏差，发动机电控系统将通过适当的调节作用使实际扭矩值和理论扭矩值一致。

### 2. 可选的工作模式

驾驶员可根据不同的行车需要，通过模式开关选择不同的工作模式，一般有正常模式、动力模式和雪地模式三种，区别在于节气门对加速踏板的响应速度不同。在正常模式下，节气门对加速踏板的响应速度适合于大多数行驶工况。在动力模式下，节气门加快对加速踏板的响应速度，发动机能提供额外的动力。在附着较差的工况下（比如：雪地，雨天）驾驶员可选择雪地模式驾驶车辆，此时节气门对加速踏板的响应降低，发动机输出的功率比正常情况下小，使车轮不易打滑，保持车辆稳定行驶。

### 3. 海拔高度补偿

在海拔较高的地区，大气压下降，空气稀薄，氧气含量下降，会导致发动机输出功率下降。此时电子节气门系统可按照大气压强和海拔高度的函数关系对节气门开度进行补偿，保证发动机输出功率和加速踏板位置的关系保持稳定。

### 4. 控制功能扩展及其原理

早期的电子节气门功能比较简单，在形式上采用一个机械式的主节气门串联一个电控的辅助节气门，往往只能实现某一单一的功能。现代电子节气门则独立成一个系统，可实现多种控制功能，既提高行驶可靠性，又使结构简化，成本降低。主要有如下控制功能：

#### (1) 牵引力控制 (ASR)

牵引力控制系统又称驱动防滑系统。它的作用是当汽车加速时将滑移率控制在一定的范围内，从而防止驱动轮快速滑动。它的功能一是提高牵引力；二是保持汽车的行驶稳定。它通过减少节气门开度来降低发动机功率从而达到控制目的。原理如下：控制单元采集加速踏板的位置、车轮速度和方向盘转向角度等信号，通过计算求得滑移率，并产生相应的控制电压信号，通过数据总线把信号传送到控制单元，依据此信号，控制单元将减少节气门开度来调整混合气流量，以降低发动机功率。此时控制单元对节气门发出的控制信号将不受驾驶员驾驶意图的影响，这样就可以避免驾车者的误操作。

#### (2) 巡航控制 (CCS)

巡航控制系统又称为速度控制系统，它是一种减轻驾车者疲劳的装置。当驾驶员开启该系统时，车速将被固定下来，驾驶员不必长时间踩踏加速踏板。原理如下：车速传感器将车速信号输入控制单元，控制单元根据行驶阻力的变化输出信号自动调节节气门开度，当汽车阻力增大（上坡）和车速降低时，控制节气门开度增大，反之减小，使行驶车速保持稳定。

#### (3) 怠速控制 (ISC)

电子节气门系统取消了怠速调节阀，而是直接由控制单元调节节气门开度来实现车辆的怠速控制。

#### (4) 减少换挡冲击控制

根据当前车速、节气门开度以及发动机转速等信号，控制单元选择合适的传动比，实现自动换挡。

### 5. 缸内喷射时的节气门控制策略

对于缸内直喷发动机来说，在分层燃烧和稀薄均质燃烧时，发动机的功率及扭矩控制取决于喷油量，因此，无论油门踏板位置在哪里，电子节气门均处在打开状态；在均质燃烧时，发动机的功率及扭矩控制取决于电子节气门的开度，此时，电子节气门按照以上四条控制。

## 四、电子节气门检测维修

### 1. 基本设定

更换发动机控制单元、节气门控制单元或发动机后，必须执行基本设定。在执行设定的同时，记录节气门的最大和最小位置。对于装备了自动变速箱的部分车辆，更换了加速踏板或发动机控制单元后由于加速踏板的行程变短，必须执行基本设定。在进行基本设定的同时，加速踏板位置传感器的kick-down位置被学习并储存在发动机的控制单元中。

### 2. 读取数据流

通过数据流可读取加速踏板位置传感器、节气门驱动转角传感器、制动开关、离合器开关等数据信息。

# 4 第四节 谐波增压

进气惯性增压控制系统（ACIS）也称进气谐波增压控制系统，它利用进气气流惯性产生的压力波来提高进气效率。

一般而言，如果采用较长的进气管，产生的压力波波长较长，可以使发动机中低转速区功率增大；如果采用较短的进气管，产生的压力波波长较短，可以使发动机高速区功率增大。

如果在发动机运行过程中，根据发动机的运行工况使进气管长度改变，则可兼顾增大中低转速时的扭矩和提高高速时的输出功率，如图 3-4-1 所示。

谐波增压系统由安装在进气歧管上的真空控制电磁阀、真空马达及涡流控制阀等组成，如图 3-4-2 所示。

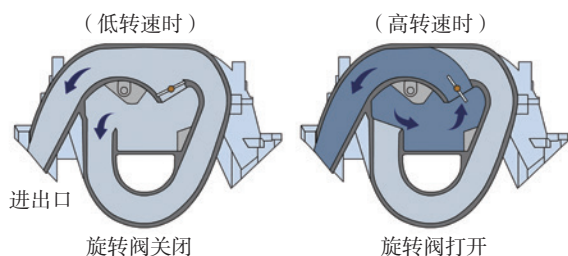


图 3-4-1 可变进气管长度

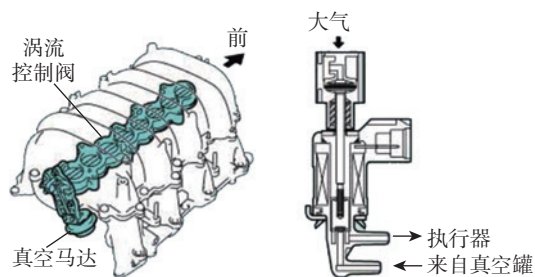


图 3-4-2 谐波增压驱动系统

涡流控制阀用来控制改变进气道的长短，它有两个位置：即全关与全开位置由真空马达驱动。当控制单元接通真空电磁阀后，来自真空罐的真空经过电磁阀旋加在真空马达上，真空马达将涡流控制阀打开，如图 3-4-3 所示。

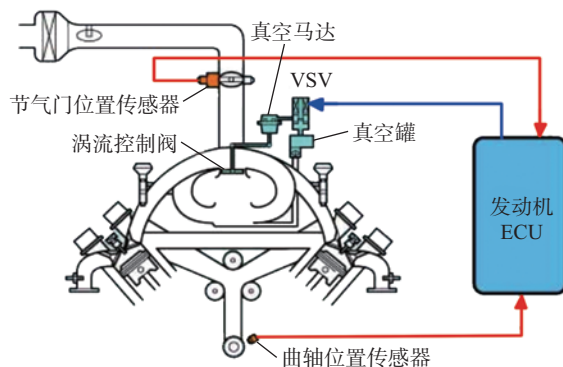


图 3-4-3 谐波增压驱动电路原理

涡流控制阀在发动机停机情况下是打开的，如图 3-4-4 所示，这样设计是因为发动机在起动期间进气流速慢，需要短程进气管。起动后电控单元将其关闭，在发动转速超过 2500rpm 左右时控制单元将其打开提高进气。

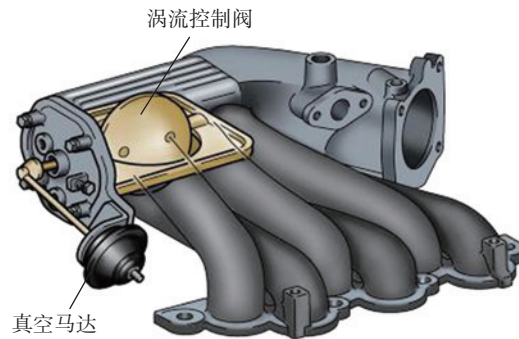


图 3-4-4 谐波增压系统静态图

谐波增压出现故障多因积碳造成的机械卡滞或真空管脱落等故障现象。

- 真空管脱落在高速会造成发动瞬间的喘震，低速时真空电磁阀关闭不会产生太大影响。
- 涡流控制阀在关闭位卡滞时，发动机高速提速无力。



## 第五节 缸内直喷发动机的进气系统

缸内直喷发动机进气系统由进气歧管切换阀、进气歧管、废气再循环阀（带有电位计）、进气温度传感器、节气门控制单元、活性炭罐电磁阀、活性炭罐、进气歧管翻板等组成。如图 3-5-1 所示。

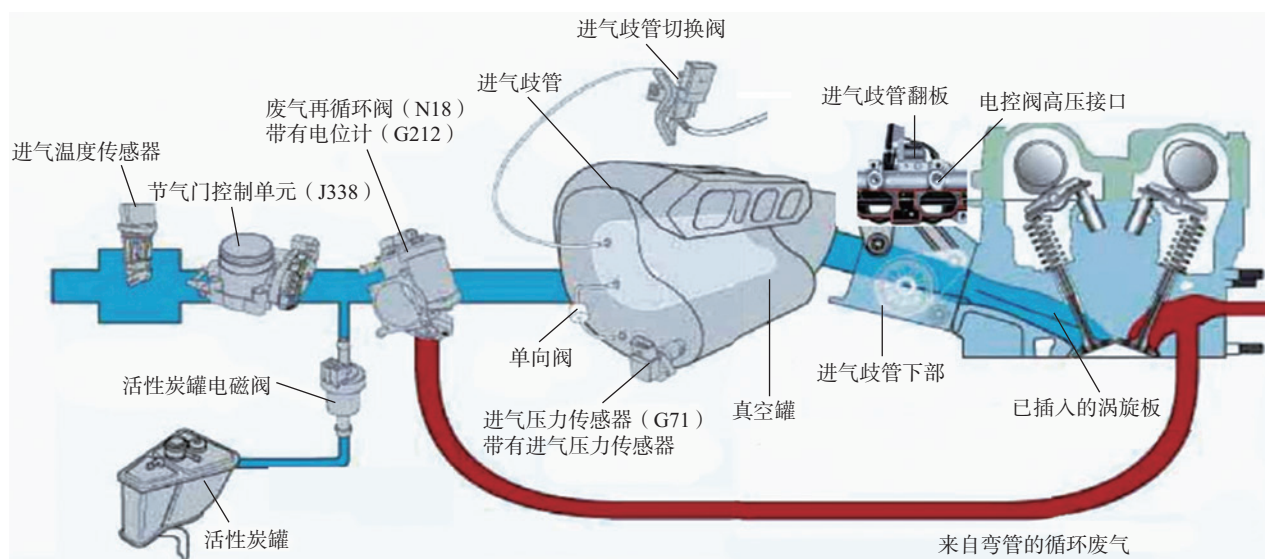


图 3-5-1 缸内直喷发动机进气系统

在分层充气模式和均质稀混合气模式下，节气门是打开的，并不受油门踏板的控制，如图 3-5-2 所示。在均质混合气模式下，节气门则按照油门踏板的位置来打开，如图 3-5-3 所示。

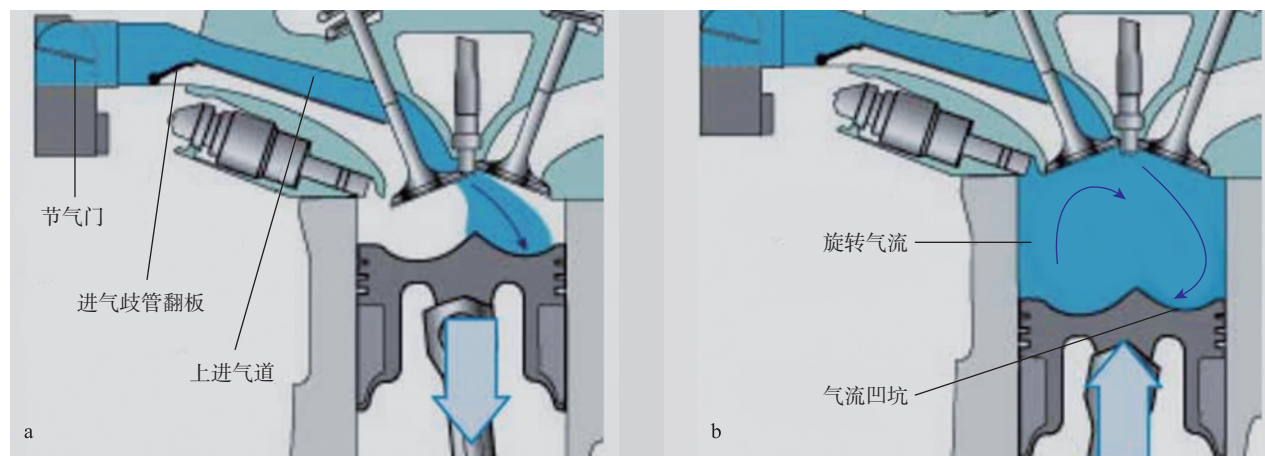


图 3-5-2 分层充气模式和均质稀混合气模式下的进气系统

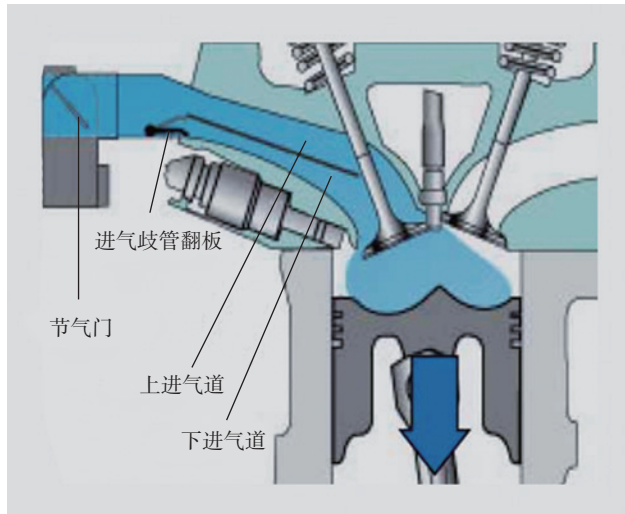


图 3-5-3 均质混合气模式下的进气系统

另外，在缸内直喷发动机上加装了进气歧管翻板，进气歧管翻板可通过真空调节元件（如图 3-5-4）或进气歧管翻转电机（如图 3-5-5）来控制。

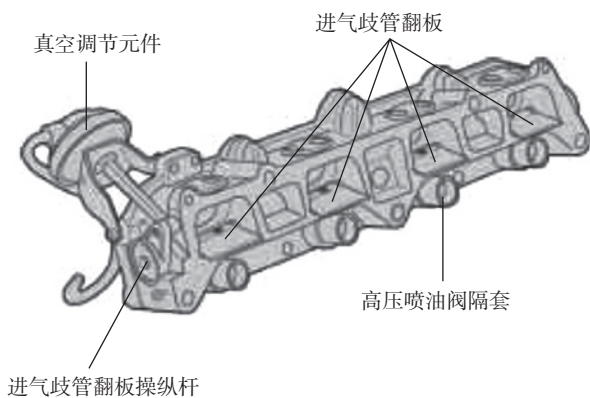


图 3-5-4 真空调节元件控制



图 3-5-5 进气歧管翻转电机控制

在发动机分层燃烧及稀混合燃烧时，进气歧管翻板封住下进气道，如图 3-5-2 所示，这样做的目的是形成气流旋涡，有助于分层燃烧及稀混合燃烧。

在均质混合气模式下时，进气歧管翻板起到谐波增压的作用，如图 3-5-3 所示，其根据工作点来打开或关闭，在中等负荷和转速范围时是关闭的，在其他负荷和转速时进气道是打开。



## 第六节 涡轮增压

涡轮增压器由涡轮机和压气机构成。

将发动机排出的废气引入涡轮机，利用废气所包含的能量推动涡轮机叶轮旋转，并带动与其同轴安装的压气机叶轮工作，新鲜空气在压气机内增压后进入气缸，如图 3-6-1 所示。

涡轮增压也称排气涡轮增压，涡轮增压器与发动机没有机械的联系。涡轮增压的经济性比机械增压和非增压发动机都好，并可大幅度地降低有害气体的排放和噪声水平。但是涡轮增压在低速时转矩增加不多，而且在发动机工况发生变化时，瞬态响应差，致使汽车加速性，特别是低速加速性较差。涡轮增压系统分为单涡轮增压系统和双涡轮增压系统。只有一个涡轮增压器的增压系统为单涡轮增压系统。涡轮增压系统除涡轮增压器之外，还包括排气旁通阀、中冷器、增压压力传感器等。

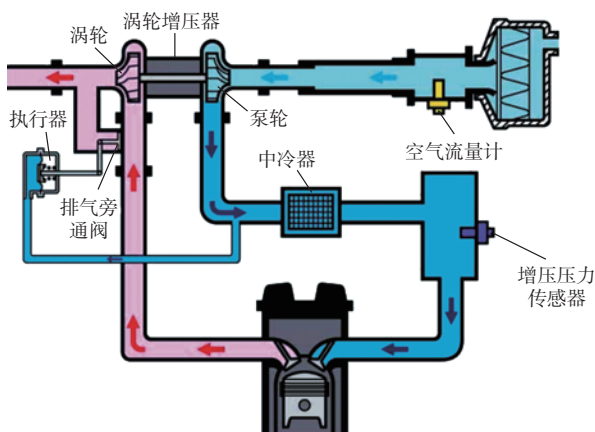


图 3-6-1 涡轮增压系统原理图

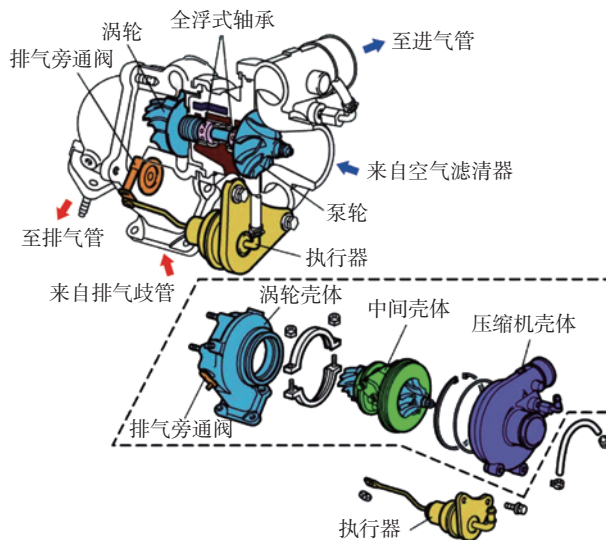


图 3-6-2 涡轮增压系统内部结构图

### 一、涡轮增压

#### 1. 涡轮增压器的结构及工作原理

车用涡轮增压器由离心式压气机和径流式涡轮机及中间体三部分组成。增压器轴通过两个浮动轴承支承在中间体内。中间体内有润滑和冷却轴承的油道，还有防止机油漏入压气机或涡轮机中的密封装置等，如图 3-6-2 所示。

##### (1) 转子（如图 3-6-3）

涡轮机叶轮、压气机叶轮和密封套等零件安装在增压器轴上，构成涡轮增压器转子。转子以超过 100000r/min，最高可达 200000r/min 的转速旋转，因此，转子的平衡是非常重要的。增压器轴在工作

中承受弯曲和扭转交变应力，一般用韧性好、强度高的合金钢制造。

(2) 增压器轴承 (如图 3-6-4)

增压器轴承的结构是车用涡轮增压器可靠性的关键之一。现代车用涡轮增压器都采用浮动轴承。浮动轴承实际上是套在轴上的圆环。圆环与轴以及圆环与轴承座之间都有间隙，形成双层油膜。圆环浮在轴与轴承座之间，一般内层间隙为 0.05mm 左右，外层间隙大约为 0.1mm。轴承壁厚约 3mm ~ 4.5mm，用锡铅青铜合金制造，轴承表面镀一层厚度约为 0.005mm ~ 0.008mm 的铅锡合金或金属钢。在增压器工作时，轴承在轴与轴承座中间转动。增压器工作时产生轴向推力，由设置在压气机一侧的推力轴承承受。为了减少摩擦，在整体式推力轴承两端的止推面上各加工有四个布油槽；在轴承上还加工有进油孔，以保证止推面的润滑和冷却。

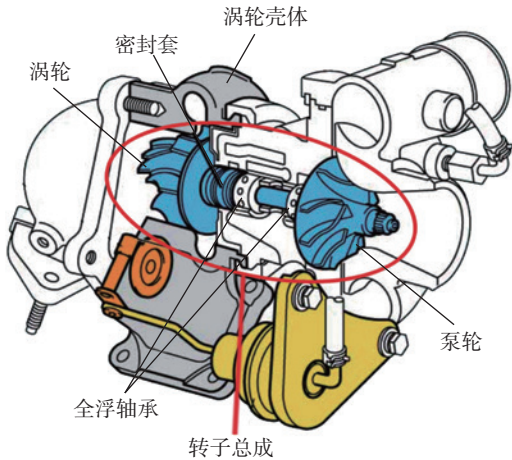


图 3-6-3 转子总成

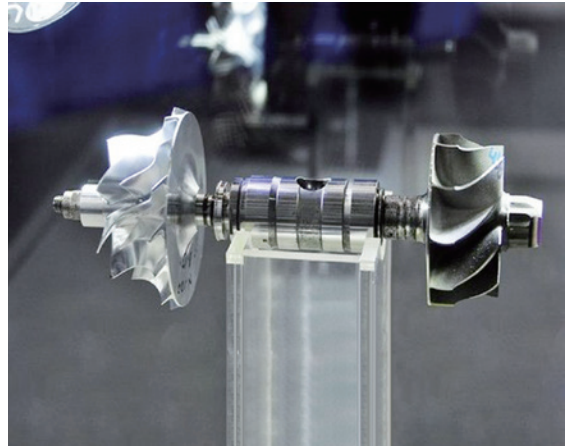


图 3-6-4 增压器轴承

(3) 涡轮增压器的润滑及冷却 (如图 3-6-5)

来自发动机润滑系统主油道的机油，经增压器中间体上的机油进口进入增压器，润滑和冷却增压器轴和轴承。然后，机油经中间体上的机油出口返回发动机油底壳，在增压器轴上装有油封，用来防止机油窜入压气机或涡轮机蜗壳内。如果油封损坏，将导致机油消耗量增加和排气冒蓝烟。

由于汽油机增压器的热负荷大，因此在增压器中间体的涡轮侧设置冷却水套，并用软管与发动机的冷却系统相通。冷却液自中间体上的冷却液进口流入中间体内的冷却水套，从冷却液出口流回发动机冷却系统。冷却液在中间体的冷却水套中不断循环，使增压器轴和轴承得到冷却。有些涡轮增压器在中间体内不设置冷却水套，只靠机油及空气对其进行冷却。当发动机在大负荷或高转速工作之后，如果立即停机，机油可能由于轴承温度太高而在轴承内燃烧。因此，这类涡轮增压发动机应该在停机之前，至少在怠速下运转 1min。

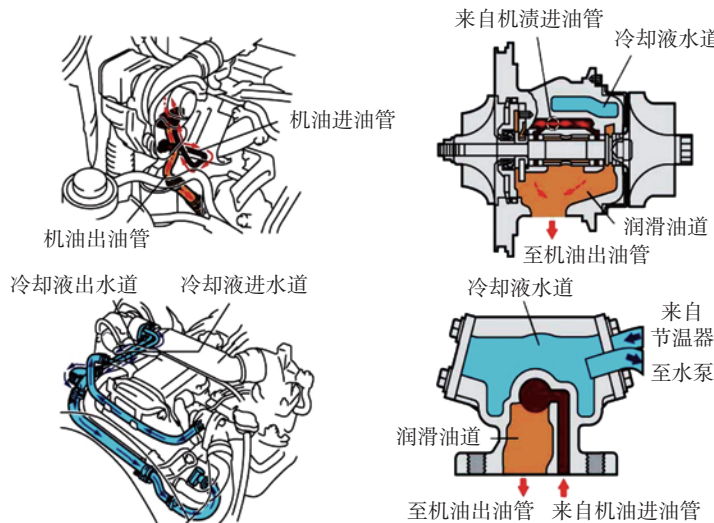


图 3-6-5 涡轮增压器的润滑及冷却

## 2. 增压压力的调节

在汽车涡轮增压系统中设置进、排气旁通阀，是调节增压压力最简单、成本最低而又十分有效的方法。排气旁通阀的工作原理。控制膜盒中的膜片将膜盒分为上、下两个室，上室为空气室经连通管与压气机出口相通，下室为膜片弹簧室，膜片弹簧作用在膜片上，膜片通过连动杆与排气旁通阀连接。当压气机出口压力，也就是增压压力低于限定值时，膜片在膜片弹簧的作用下上移，并带动连动杆将排气旁通阀关闭；当增压压力超过限定值时，增压压力克服膜片弹簧力，推动膜片下移，并带动连动杆将排气旁通阀打开，使部分排气不经过涡轮增压器直接排放到大气中，从而达到控制增压压力及涡轮增压器转速的目的，如图 3-6-6 所示。

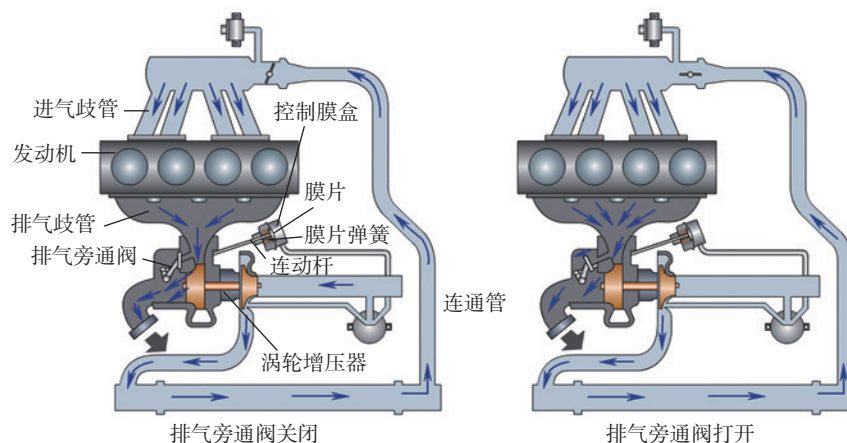


图 3-6-6 排气旁通阀工作原理示意图

在有些发动机上，排气旁通阀的开闭由电控单元控制的电磁阀操纵。电控单元根据发动机的工况，由预存的增压压力脉谱图确定目标增压压力，并与增压压力传感器检测到的实际增压压力进行比较，然后根据其差值来改变控制电磁阀开闭的脉冲信号占空比，以此改变电磁阀的开启时间，进而改变排气旁通阀的开度，控制排气旁通量。但是排气旁通阀开启之后，排气能量的利用率下降，致使在高速大负荷时发动机的燃油经济性变差，如图 3-6-7 所示。

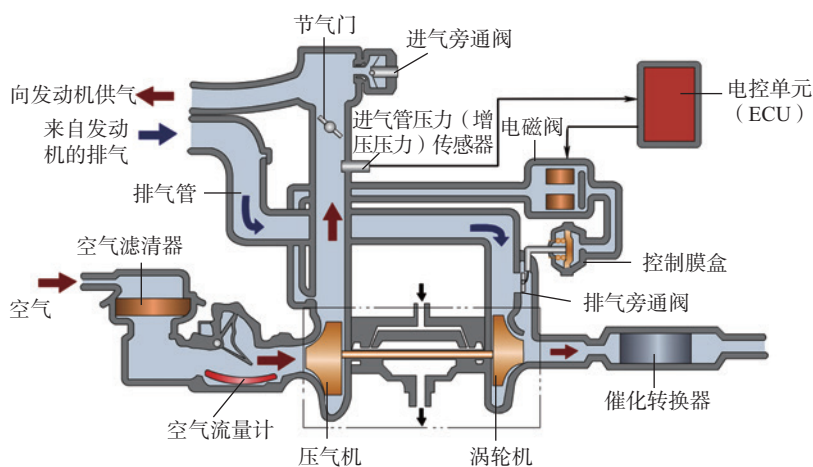


图 3-6-7 电控排气旁通阀的涡轮增压系统

在大排量重型车用涡轮增压发动机上多采用涡轮机喷管出口截面可变的涡轮增压器，简称变截面涡轮增压器。在这种涡轮增压器中，通过改变喷管出口截面积来调节增压压力。当发动机低速运行时，缩小喷管出口截面积，使喷管出口的排气流速增大，涡轮机转速随之升高，增压压力和供气量都相应增加；当发动机高速工作时，增大喷管出口截面积，使喷管出口的排气流速减小，涡轮机的转速相对降低，这样增压器将不会超速，增压压力也不致于过高。

在有叶径流式涡轮机中，可以采用转动喷管叶片的方法来改变喷管出口截面积。喷管叶片与齿轮

相连，齿轮与齿圈啮合，当执行机构往复移动时，齿圈或向左或向右转动，带动与其啮合的齿轮转动，并使喷管叶片随其转动，从而使喷管出口截面积发生改变，如图 3-6-8 所示。

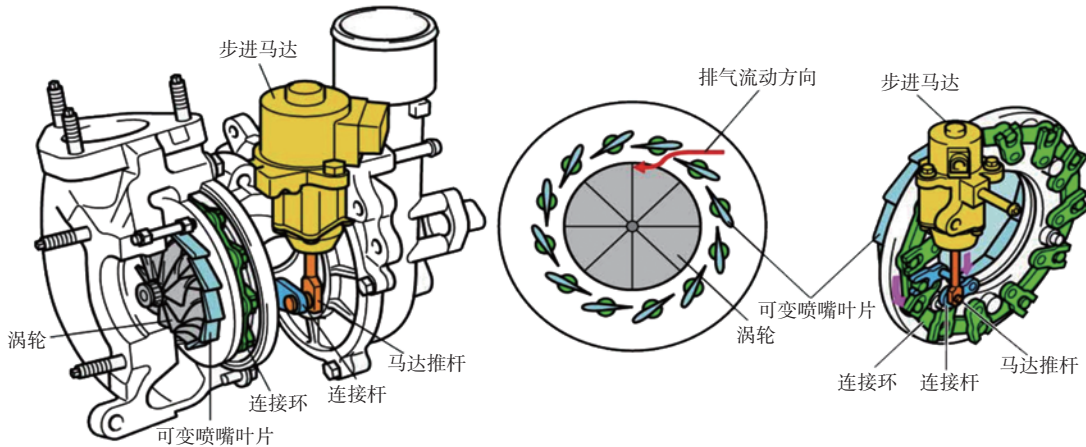


图 3-6-8 变截面涡轮增压器

### 3. 增压后的空气冷却

中冷器是增压系统的一部分。当空气被高比例压缩后会产生很高的热量，从而使空气膨胀密度降低，而同时也会使发动机温度过高造成损坏。为了得到更高的容积效率，需要在注入汽缸之前对高温空气进行冷却。这就需要加装一个散热器，原理类似于水箱散热器，将高温高压空气分散到许多细小的管道里，而管道外有常温高速流过空气或冷却水，从而达到降温目的。由于这个散热器位于发动机和涡轮增压器之间，所以又称作中央冷却器，简称中冷器，如图 3-6-9 所示。

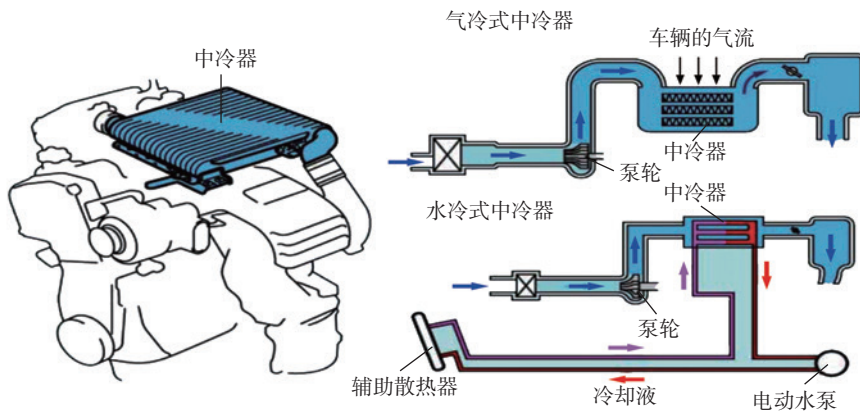


图 3-6-9 中冷器

### 4. 超速切断控制

超速切断控制如图 3-6-10 所示，在汽车高速行驶时，如遇减速时节气门关闭时，如果继续增压，就会在泵轮产生很大的背压，迫使泵轮快速减速。当节气门再次打开时，涡轮增压器转速必须重新增加。此进气循环控制系统防止增压延迟。

空气循环阀是机械作动，气动控制弹簧膜片阀。它由增压空气循环阀 N249 控制。N249 控制与真空罐相连，它不受进气歧管压力影响，当 N249 控制有故障，由节气门后方的发动机真空控制。

当节气门关闭时，空气循环阀完全短路了增压气路。真空反作用在阀的弹簧上。阀打开，泵轮泵气就形成一个回路。泵轮不会减速。

当节气门重新打开时，进气歧管真空度下降。弹簧力将循环阀关闭。此时增压回路不再短路。立即可能全增压过程。

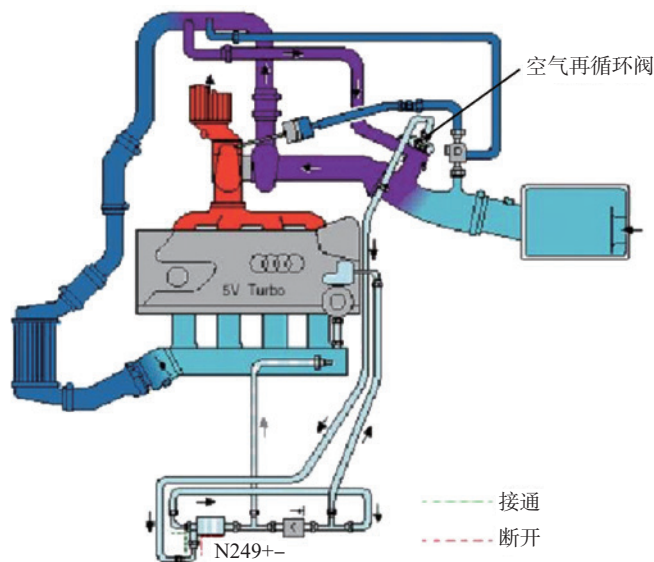


图 3-6-10 超速切断控制

## 二、涡轮增压检测（大众 1.8T）

大众公司的 1.8T 发动机用在帕萨特、奥迪 A6 A4、宝莱、速腾等车型广泛使用，下面以帕萨特 B5 AEB 1.8T 发动机涡轮增压器为例。

### 1. 涡轮增压器及进气压力调节阀的检查

若在路试时须用检测设备进行检测，须注意检测设备必须固定在后排座椅上，并由另一位技工操作。若检测设备置于前排乘员座椅，如发生事故时，安全气囊很可能伤及乘员。检查涡轮增压器及进气压力调节阀时应先查询故障代码，进行执行元件诊断。发动机机油温度至少达到 60℃，并所有真空接头不漏气。

涡轮增压器及进气压力调节阀的检查方法和步骤如下：

(1) 将 T 形管接头及涡轮增压器检测仪 V.A.G1397A 的测量软管连接到进气歧管上（前端）。通过右门窗，将测量软管沿发动机舱盖后边缘接到乘员舱内，如图 3-6-11 所示。

(2) 打开检测仪，将量程开关调到位置 I（绝对压力），将测量软管连接到接头 I 上，如图 3-6-12 所示。

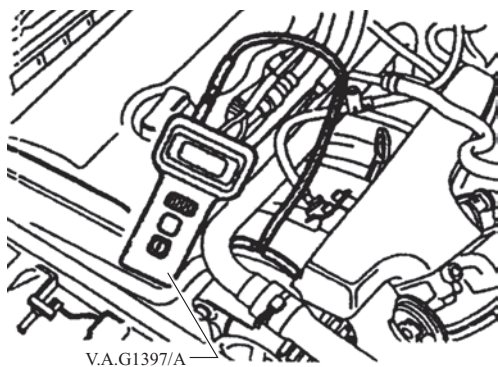


图 3-6-11

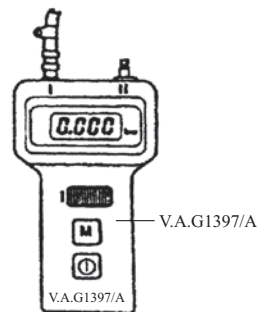


图 3-6-12

软管接头不得漏气，否则测量将不准，切勿挤压发动机舱盖或侧窗处的测量软管。按下检测仪的储存键 M，存储最后测得的数值，直至再次按 M 键，或关闭检测仪。显示屏上的小数点闪亮表明数值正在被存储。检测仪电池电压降至最低限以下，显示屏左侧将显示一箭头。检测前，驾车快速行驶

3km。行驶时，需由另一位技工观察检测仪读数。注意遵守安全事项。

(3) 对于手动变速器车型，以 3 档、节气门全开，发动机转速为 2000r/min 时开始加速，注意观察转速表。在 3000r/min 时按下存储键 M，其规定值为  $1.370 \times 10^2 \sim 1.470 \times 10^2$  Kpa。

(4) 对于自动变速器车型，换档杆置于位置 2，发动机转速提高到 3000r/min，直至变速器切入 2 档。

踩下油门踏板至低速档位（在该转速 / 车速时，变速器不再切入低档），在 4500r/min 时按下 M 键，其规定值为  $1.300 \times 10^2 \sim 1.400 \times 10^2$  Kpa。对于装备自动变速器的车型，仅通过检查进气压力来检测进气压力控制功能不一定总是可靠的，因此压力值接近公差下限时，应通过负荷信号来检查进气压力控制。

(5) 若压力低于或高于规定值，应检查进气压力系统（见多点喷射与点火系统）；若进气压力未达到规定值，则在发动机舱内可听到振颤噪音，原因是空气再循环阀失效或通向空气再循环的真空管路泄漏或断路。

## 2. 通过负荷信号检测进气压力控制功能检测步骤方法

(1) 松开诊断插座盖板。用电缆连接诊断检测仪 V.A.G1551 或 V.A.G1552。显示屏显示，见表 3-6-1 到 3-6-10 所示：

表 3-6-1

V.A.G-SELF DIAGNOSIS HELP
1-Papid data transfer (交替显示)
2-Flash code output (交替显示)
V.A.G- 自诊断 帮助
1- 快速数据传递 (交替显示)
2- 闪光码输出 (交替显示)

(2) 按下键 1，选择“快速数据传递”方式。起动发动机，显示屏显示：

表 3-6-2

Rapid data transfer HELP
Enter address word xx
快速数据传递 帮助
输入地址码 xx

(3) 按下键 0 和 1 (01- 地址码) 选择“发动机电子控制”，并按下 Q 键确认输入。

表 3-6-3

Rapid data transfer Q
01-Enter electronic
快速数据传递 Q
01- 发动机电子控制

(4) V.A.G1551 的显示屏上将显示控制单元识别代码。

表 3-6-4

06A906018 .. 1.8LR4/ 5T MOTR HS O .. →
Coding 04000 WSC12345

(5) 按下键→。显示屏显示:

表 3-6-5

Rapid data transfer HELP
Select function xx
快速数据传递 帮助
选择功能 xx

(6) 按下键 0 和 8, 选择“读取测量数据块”功能, 按下 Q 键确认输入。显示屏显示:

表 3-6-6

Rapid measured value block HELP
Enter display group number xxx
读取测量数据块 帮助
输入显示组号 xxx

(7) 输入显示组号 025, 按 Q 键确认输入。测量数据块下将出现 4 个显示区。

表 3-6-7

Read measured value block 25 →
1 2 3 4
读取测量数据块 →
1 2 3 4

(8) 显示区读数的说明; 显示屏显示:

表 3-6-8

Read measured value block 25 →
1 2 3 4
读取测量数据块 →
1 2 3 4

其中各显示区域内所代表的含义如下:

表 3-6-9

显示区	含义
1	无关读数
2	发动机规定负荷(修正后)
3	发动机实际负荷
4	工作循环(进气压力控制电磁阀 -M75 启动)

车辆以等加速行驶时, 注意观察显示区 2 与 3 的读数。显示区 2 与 3 的读数差规定值不得超过 0.3ms。若控制单元自诊断中查出进气压力控制功能存在故障, 则占空比(显示区 4)将被设定为恒定的 5%。进气压力控制功能的故障形式及原因见表 3-6-10 所示。

表 3-6-10

故障	V.A.G1397A 的显示值	V.A.G1551A 的显示值	故障原因
进气压力过低	①读数小于 $1.370 \times 10^2 \text{Kpa}$ (手动变速器车型) ②读数小于 $1.300 \times 10^2 \text{Kpa}$ (自动变速器车型)	①发动机实际负荷 (显示区 3) 小于规定负荷 (显示区 2) ②占空比 (显示区 4) 趋向 99%	- 进气控制电磁阀 -N75 失效 - 进气压力控制电磁阀连接线路有故障 - 进气压力调节阀在开启位置处堵塞 - 涡轮增压器与进气歧管位置之间有渗漏 - 涡轮增压器有故障
进气压力过高	①读数大于 $1.470 \times 10^2 \text{Kpa}$ (手动变速器车型) ②读数大于 $1.400 \times 10^2 \text{Kpa}$ (自动变速器车型)	①发动机实际负荷 (显示区 3) 大于规定负荷 (显示区 2) ②占空比 (显示区 4) 趋向 0%	- 进气压力调节阀的压力单元失效 - 通向进气压力调节阀 (经 -N75) 压力 - 单元的软管泄漏 - 进气压力调节阀在关闭位置处堵塞

### 3. 清洁度规定

对废气涡轮增压器进行维修操作时，应注意下列规定：

- (1) 无绝对必要，切勿移动车辆。
- (2) 拆卸管路时，须彻底清洗所有管路接头及其周围区域。将拆下的零件置于干净表面，并盖上，切勿使用起毛织物。若不能立即修理，务必盖好拆卸的部件。
- (3) 安装干净部件，部件在安装前方可打开备件外包装，切勿使用零散存放的零件（如放在工具箱的零件）。
- (4) 系统拆卸后，操作时应不使用压缩空气。

### 4. 涡轮增压器安装注意事项

注意：错误安装或改变涡轮增压器装置会导致机器损坏，因此请阅读并遵守发动机制造厂商的修理说明及以下安装说明。

- (1) 不同型号的发动机配特定涡轮增压器，请校对型号是否与涡轮增压器上品牌型号一致。
- (2) 安装前请更换新的发动机的空气滤网和机油滤网，更换汽滤和机油（严格检查机油泵吸力）。
- (3) 检查发动机进气和排气管，管中若有异物会造成机器损坏。
- (4) 同样检查进油及油管是否畅通。
- (5) 在发动机启动前，给涡轮增压器从进油孔注满机油，以便机器运转时保持润滑，否则瞬间可造成油封损坏。
- (6) 安装时必须使用新的密封圈，固定增压器外壳时，必须使用专用螺丝，并按标准力矩拧紧。
- (7) 安装后空载运行 30 秒后才可进行道路测试。
- (8) 检查所有空气，燃料的机油管路的密封状态。

## 三、机械增压器

### 1. 作用

机械增压器压缩机的驱动力来自发动机曲轴，一般都是利用皮带连接曲轴皮带轮，间接将曲轴运转的扭力带动增压器，达到增压目的。

### 2. 类型

依构造不同叶片式（Vane）、罗兹（Roots）、温克尔（Wankle）等型式，

而活塞运动最早也被认为是一种机械增压，现在，则以罗兹增压器最被广泛使用如图 3-6-13 所示。

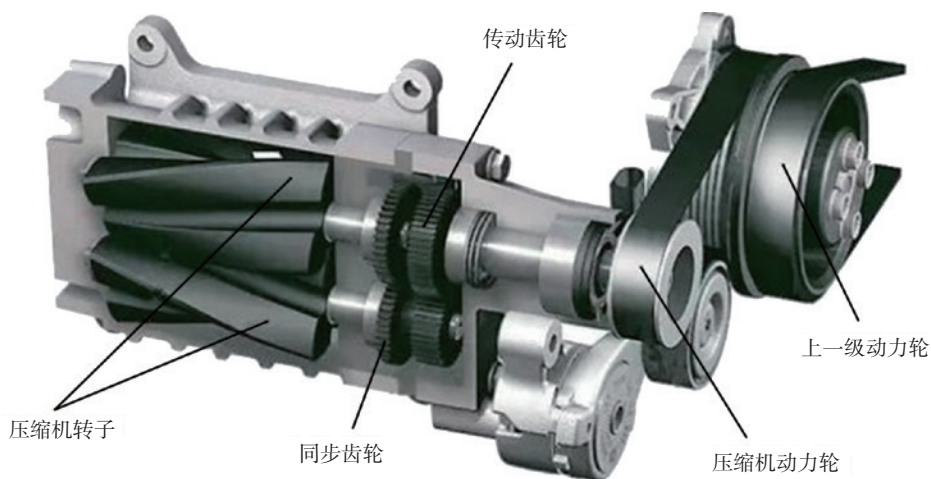


图 3-6-13 罗兹增压器

### 3. 原理

罗兹增压器有双叶与三叶转子两种型式，目前以双叶转子较普遍，其构造是在椭圆形的壳体中装两个茧形的转子，转子之间保有极小的间隙而不直接相连，藉由螺旋齿轮连动，其中一个转子的转轴与驱动皮带轮连结，转子转轴的皮带轮上装有电磁离合器，在不需增压时即放开离合器以停止增压，离合器则由计算机控制以达到省油的目的。

### 4. 优缺点

优点：在低转速便可获得增压外，增压的动力输出也与曲轴转速成一定的比例，即机械增压发动机的油门反应随着转速的提高，动力输出随之增强，因此机械增压发动机的操作感觉与自然吸气极为相似，却能拥有较大的马力与扭力。

缺点：在于始终是损耗了发动机本身的动力，在高转时效率没有 turbo 高等。



## 第七节 可变配气

发动机在低速运转时气流惯性小，需要相对较大的气门重叠角；发动机在高速运转时气流惯性大，需要相对较小气门重叠角。这样则会增加进气量和减少残余废气量，使发动机的换气过程臻于完善。同时，四冲程发动机的进气迟后角也应随发动机转速的升高而加大。如果气门升程也能随发动机转速的升高而加大，则将更有利于获得良好的发动机高速性能。现代轿车中所使用的可变配气正时有两种，分别为可变配气相位、可变气门升程。

### 一、丰田可变正时系统

#### 1. 可变配气相位 (VVT-i)

##### (1) 原理

VVT-i 系统利用油压来调整进气凸轮轴转角气门正时进行优化，从而提高功率输出、改善燃料消耗率和减少废气排放，如图 3-7-1 所示。

VVT-i 系统设计用于在曲轴角大约 40 度范围内对进气凸轮轴进行变动，从而对气门正时进行控制，根据来自各传感器的信号以获得最适合发动机状态的气门正时，如图 3-7-2 所示。

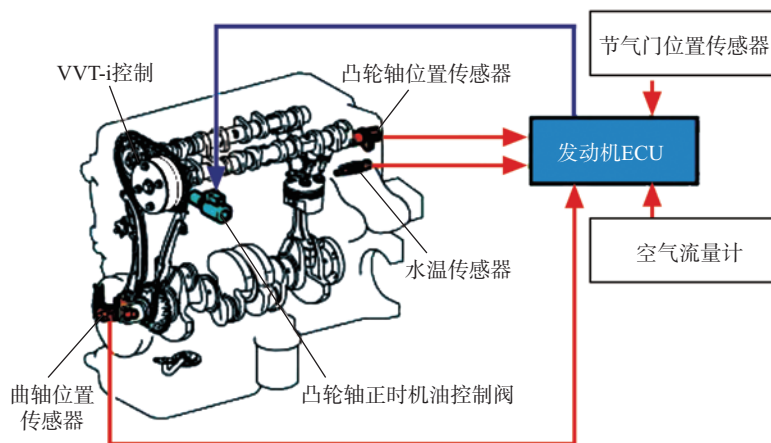


图 3-7-1 可变配气相位 (VVT-i)

##### (2) 发动机对配气正时的需求 (如图 3-7-3)

- 在低温、低负荷低速时和高负荷高速时延迟气门正时可减少气门重叠，以减少排出的废气逆吹入进气侧，从而达到稳定怠速、提高燃料消耗率和启动性能。

- 在中等负荷，或者在高负荷中低速时提前气门正时可增加气门重叠，以增加 EGR 使用和降低填充损失，从而改善了排放控制和燃料消耗率。同时提前进气门的关闭可减少进气被逆吹回进气侧，改善了容积效率。

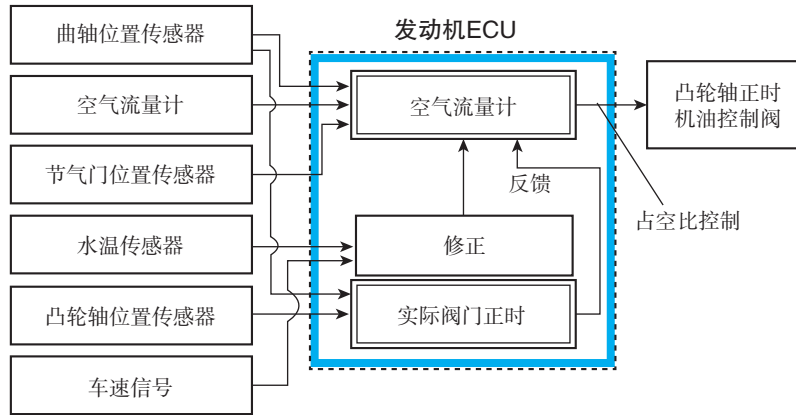


图 3-7-2 VVT-i 控制原理

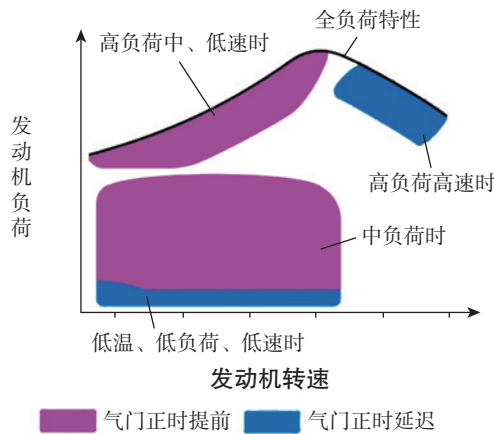


图 3-7-3 发动机对配气正时的需求

此外，使用凸轮轴位置传感器的反馈控制被用于将实际进气的气门正时维持在目标气门正时内。

(3) VVT-i 系统构造

VVT-i 系统的构造部件包含着可通过调整进气凸轮轴转角气门正时的 VVT-i 控制器，和一个控制油压的凸轮轴正时机油控制阀，凸轮轴正时机油控制阀是控制油压的。

1) VVT-i 控制器 (如图 3-7-4)

控制器由一个正时链条驱动的外壳及固定在凸轮轴上的叶片组成。控制油压通过凸轮轴送至 VVT-i 控制器的叶片沿圆周方向旋转，从而达到配气正时连续变化的目的。当发动机停机时，进气凸轮轴被调整到最大延迟状态以维持启动性能。在发动机启动后，油压并未立即传到 VVT-i 控制器时，锁销使 VVT-i 控制的动作机械部件锁定，防止撞击产生噪声。

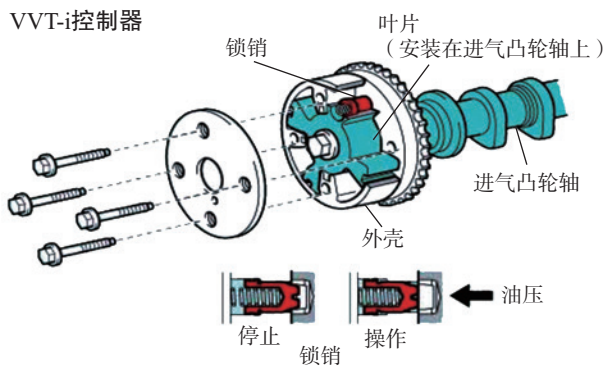


图 3-7-4 VVT-i 控制器

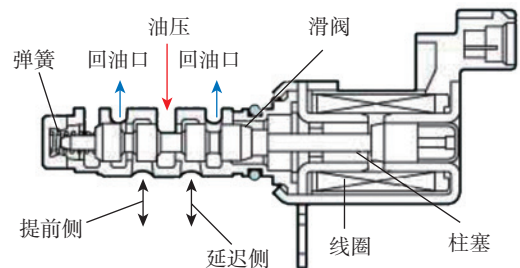


图 3-7-5 凸轮轴正时控制阀

2) 凸轮轴正时控制阀 (如图 3-7-5)

发动机 ECU 利用占空比控制凸轮轴正时控制阀, 控制用于分配 VVT-i 系统的油压的流动方向。

(4) VVT-i 控制原理

凸轮轴正时控制阀是根据发动机 ECU 输出的占空比, 来选择流向 VVT-i 控制器的通道。VVT-i 控制器控制油压使进气凸轮轴旋转提前, 延迟或保持气门正时当前所在位置。发动机 ECU 电脑根据发动机转速、进气量、节气门位置和冷却液温度来计算出各种运行条件下的最佳配气正时, 以便控制凸轮轴正时控制阀。此外, 发动机 ECU 使用凸轮轴位置传感器和曲轴位置传感器传出的信号用来计算实际气门正时, 并进行反馈控制以达到阈值的目标配气正时。

1) 提前

由发动机 ECU (发动机电脑) 所控制的凸轮轴正时控制阀的位置, 油压作用于气门正时提前侧的叶片室, 使进气凸轮轴向气门正时的提前方向旋转, 说明工作状态如图 3-7-6 所示。

2) 延迟

由发动机 ECU 所控制的凸轮轴正时控制阀的位置, 油压作用于气门正时延迟侧的叶片室, 使进气凸轮轴向气门正时的延迟方向旋转, 工作状态的说明如图 3-7-7 所示。

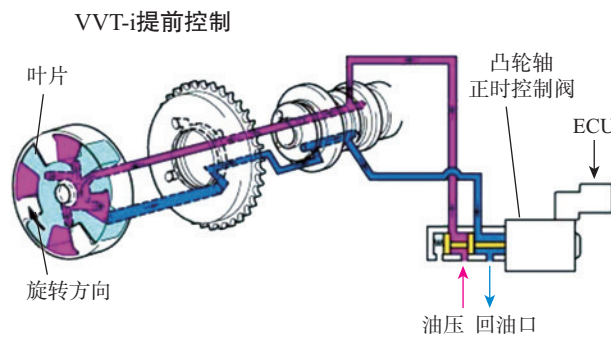


图 3-7-6

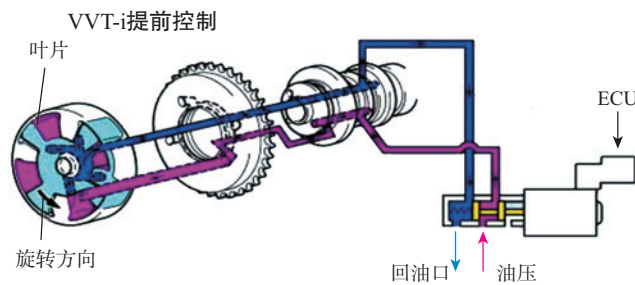


图 3-7-7

3) 保持

发动机 ECU 根据具体的运作参数进行处理, 并计算出目标配气正时角度, 当达到目标配气正时以后, 凸轮轴正时控制阀通过关闭油道来保持油压, 即保持现在气门正时的状态, 状态说明如图 3-7-8 所示。

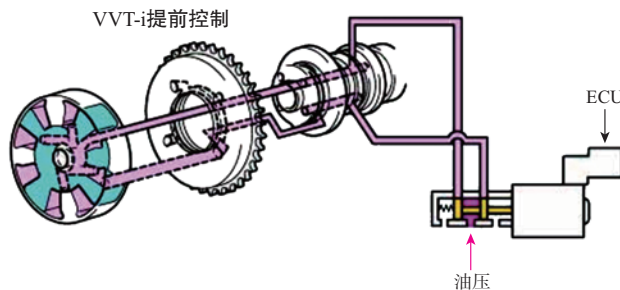


图 3-7-8

- (5) 丰田凯美瑞发动机 VVT-i 检测 (1AZ-FE/2AZ-FE)
- 1) 检查凸轮轴正时机油控制阀总成。
  - 2) 将智能测试仪连接到 DLC3 上。
  - 3) 将点火开关转到 ON (IG)。
  - 4) 起动发动机并暖机。
  - 5) 选择以下菜单项目: Powertrain (传动系) / Engine and ECT (发动机和 ECT) / Active Test (主动测试) / Control the VVT Linear (Bank 1) or Control the exhaust VVT Linear (Bank 1) [控制 VVT 线性 (1 列) 或控制 VVT 线性 (1 列)]。
  - 6) 用智能测试仪运行 OCV 时, 检查发动机转速, 见表 3-7-1 所示。

表 3-7-1

条件	规定条件
OCV OFF (-128%)	正常发动机转速
OCV ON (127%)	怠速不稳或发动机失速

## 7) 凸轮轴正时机油控制阀总成检查

## ① 电阻检查

用欧姆表测量端子之间的电阻, 标准电阻: 20°C (68 °F) 时为 6.9 Ω ~ 7.9 Ω, 如有必要, 应更换凸轮轴正时机油控制阀总成。

## ② 检查控制阀的运行

将蓄电池正极 (+) 导线接至端子 1, 负极 (-) 导线接至端子 2, 并检查控制阀的运行情况。确定电磁阀可顺畅移动, 没有粘涩。如有必要, 应更换凸轮轴正时机油控制阀总成。

## 2. 智能可变配气相位 (VVTL-i)

VVTL-i 系统以 VVT-i 系统为基础并应用了凸轮转换机构来改变进气和排气气门的升程, 这样可以在不影响燃油经济性和排放性能的前提下, 而实现动力性能提高, 如图 3-7-9 所示。

VVTL-i 装置的基本构造及运作与 VVT-i 系统相同。但采用了能转换两个不同升程量的凸轮装置, 用于改变气门的升程量, 如图 3-7-10 所示。发动机 ECU 依据水温传感器和曲轴位置传感器的传来信号参数进行处理, 并利用 VVTL-i 机油控制阀在两个凸轮之间进行转换控制。

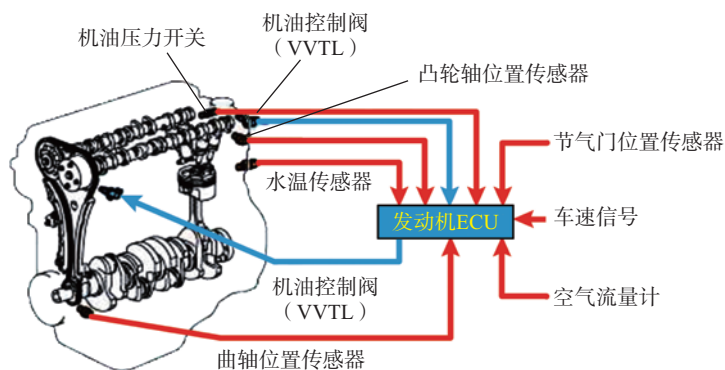


图 3-7-9 智能可变配气相位 (VVTL-i)

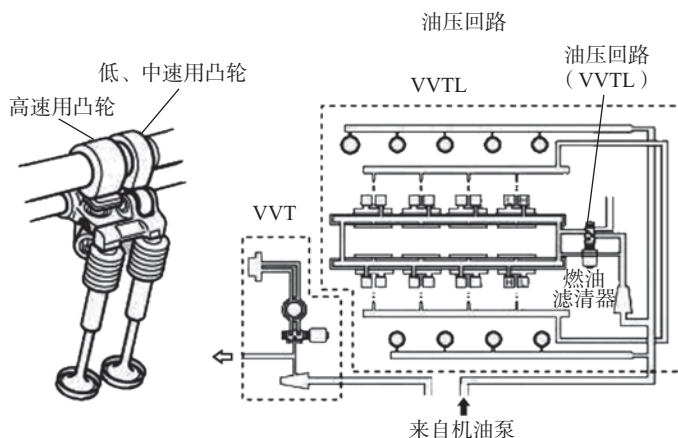


图 3-7-10

(1) 结构 (如图 3-7-11)

VVTL-i 系统的构造部件与 VVT-i 系统的接近相同。VVTL-i 系统的主要部件有 VVTL 机油控制阀、凸轮轴和摇臂。

1) VVTL-i 机油控制阀

VVTL-i 机油控制阀在发动机 ECU 控制下, 利用对滑阀位置控制, 来实施对凸轮转换机构的高速凸轮侧的油压进行控制操作的。

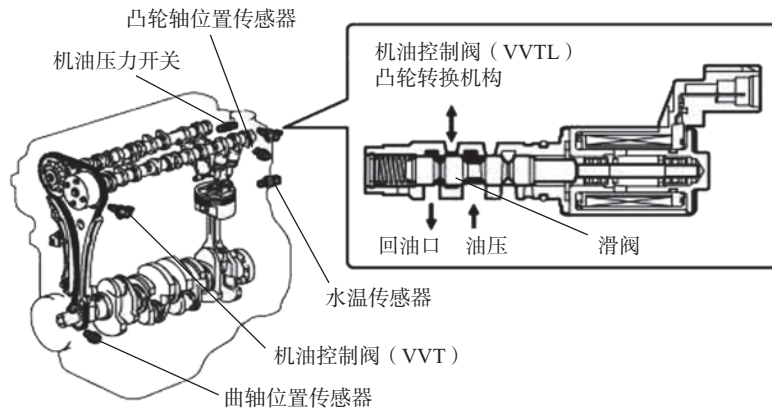


图 3-7-11 VVTL-i 结构图

2) 凸轮轴和摇臂

为改变气门的升程量, 凸轮轴上有两种类型的凸轮: 每个气缸都有低、中速用凸轮和高速用凸轮。凸轮转换机构是由气门和凸轮之间的摇臂所构成。VVT 机油控制阀的油压传送到摇臂油孔并使锁销推到垫块的下方, 这样垫块被固定并和高速凸轮衔接。当失去油压作用时, 锁销被弹簧力而送回, 使垫块处于自由状态, 这使得垫块能在垂直方向自由移动, 从而使高速用凸轮失效, 如图 3-7-12 所示。

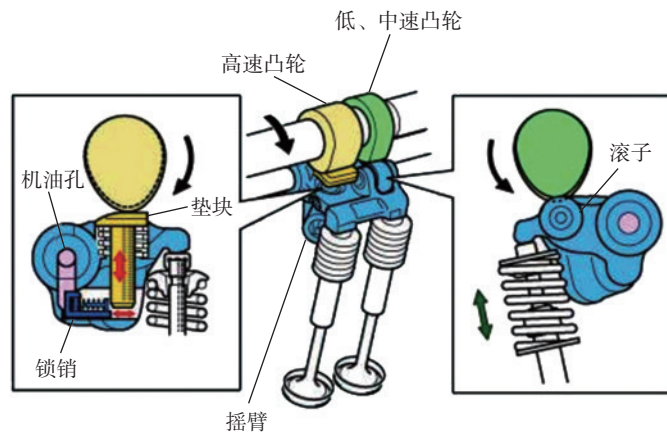


图 3-7-12 低、中速凸轮和高速凸轮

(2) 控制原理

进气和排气凸轮轴所对应的每个气缸都有两个不同的升程量的凸轮, 并且发动机 ECU 通过油压来控制这些凸轮以使之运作。

1) 低、中速

低、中速时机油控制阀打开回油口, 所以油压不能作用在凸轮的转换机构上。油压没有作用在锁销上, 因此弹簧将锁销推到未锁定方向。在这种情况下, 垫块丧失互顶作用, 这时由低、中速用凸轮提升气门, 如图 3-7-13 所示。

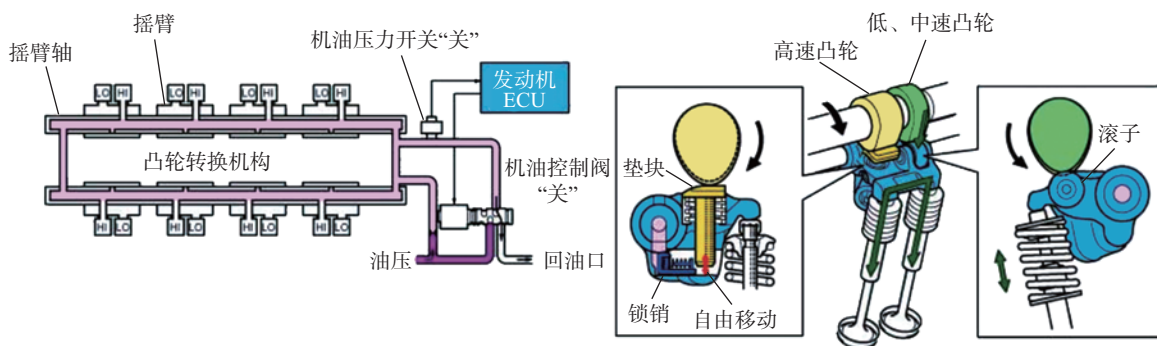


图 3-7-13 低、中速油路

## 2) 高速时

发动机高速冷却液温度高于  $60^{\circ}\text{C}$ ，机油控制阀关闭回油口，以使油压作用于凸轮转换机构的高速用凸轮上。在摇臂内部，油压将锁销推到垫块的下方，以使垫块作用于摇臂。在低、中速用凸轮推下滚子之前，高速用凸轮已先推下摇臂，这时由高速用凸轮推动气门。发动机 ECU 同时根据机油压力开关转送的信号探测到所使用的凸轮已转换为高速用凸轮，如图 3-7-14 所示。

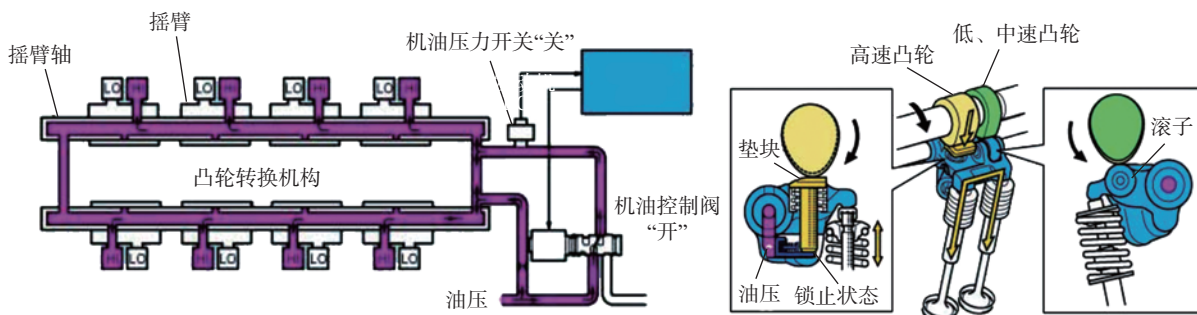


图 3-7-14 高速油路

## 二、本田气门可变正时升程

本田 VTEC 是 Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System 的缩写，中文意思为可变气门正时及升程电子控制系统。

### 1. 本田 VTEC 组成

VTEC 控制系统由控制部分、执行部分和传感器组成如图 3-7-15 所示。其中控制部分包括发动机控制单元 ECU 和 VTEC 电磁阀；执行部分包括凸轮、摇臂和各个活塞等；传感器包括发动机转速传感器、车速传感器和冷却液温度传感器。发动机运转时，控制单元 ECU 根据各传感器的信号，判断是否需要改变配气相位和气门升程。

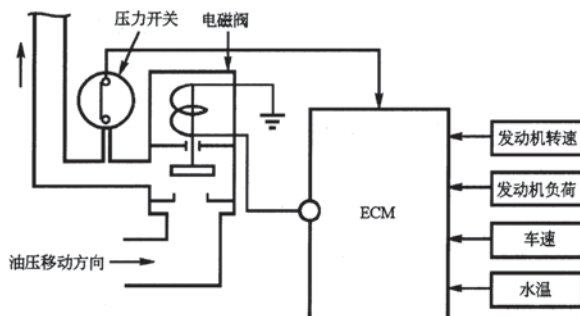


图 3-7-15 系统组成图

## 2. 本田 VTEC 的构造

本田 VTEC 的构造如图 3-7-16 所示。

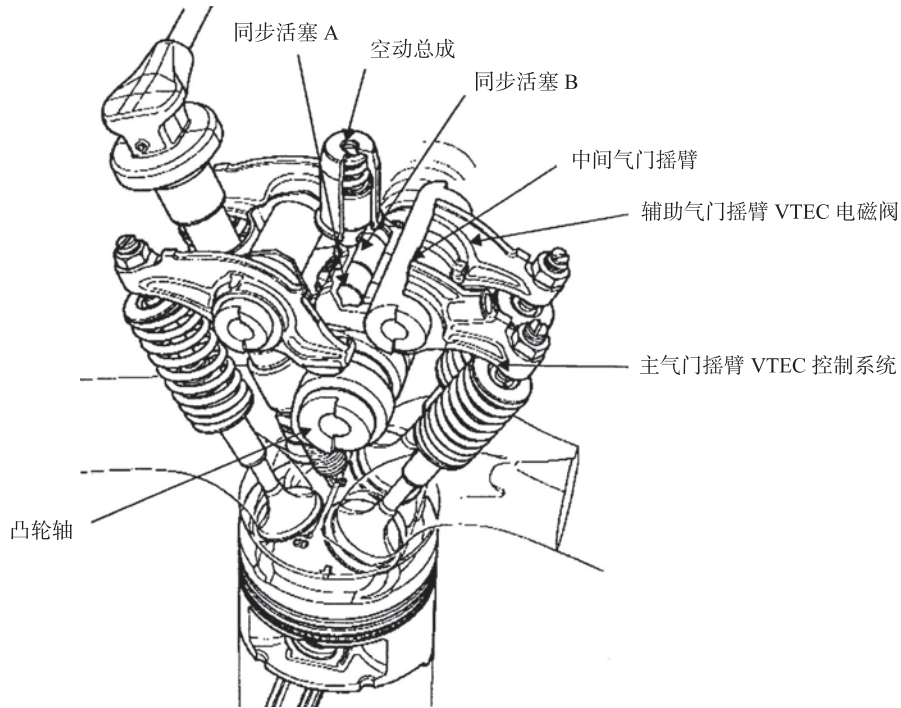


图 3-7-16 本田 VTEC 的构造

## 3. 部件分析

### (1) VTEC 空动总成

低转速和中转速时，空动总成抑制中间气门摇臂的振动。高转速时，空动总成起到辅助弹簧的作用，确保气门的平稳操作如图 3-7-17 所示。

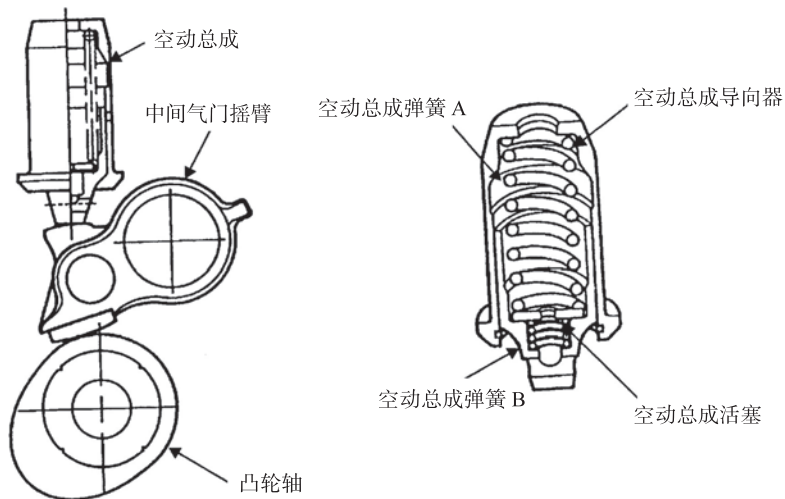


图 3-7-17 空动总成

### (2) 凸轮轴

可变气门正时及举升机构，在凸轮轴上，每缸进气门设有一低一高两个低转速用凸轮，及一个高转速用凸轮，如图示 3-7-18 所示。在一般回转域时，低转速用凸轮驱动，主进气门开度比副进气门大；而在高回转域时，高转速用凸轮驱动，主副进气门以相同开度打开，举升比低速时大。

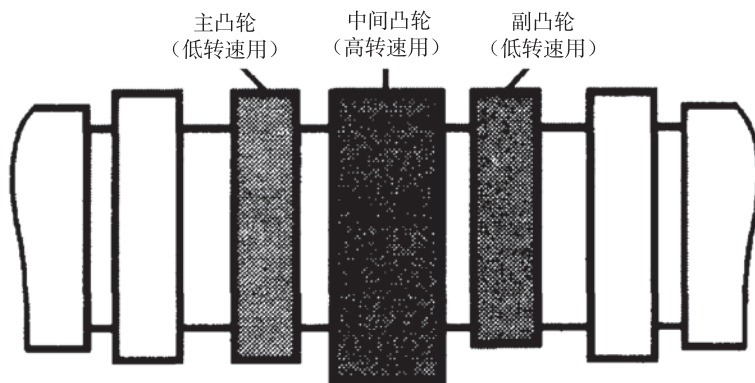


图 3-7-18 凸轮轴

### (3) 摇臂

中间摇臂的两端分别是主摇臂与副摇臂如图 3-7-19 所示，中间摇臂为高转速用，主摇臂与副摇臂为低转速用。主摇臂内有正时活塞与同步活塞 A，中间摇臂内有同步活塞 B，副摇臂内有止档活塞。每缸的凸轮轴上有三种不同举升的凸轮，中间凸轮为高回转用，举升最大，左右凸轮为低回转用，主凸轮举升次之，副凸轮举升最小。中间摇臂内有运动弹簧总成，为辅助定位。

### (4) 正时片

正时片安装在主摇臂上，它与摇臂一起运动如图 3-7-20 所示。但这种运动的幅度由安装在凸轮轴支架上的限位器予以限制。因此，每当摇臂提起时，正时片将滑出正时活塞的开槽，以解除活塞的锁止状态。如果此时有切换压力作用于正时活塞上，则它会出现少量的横向滑动。

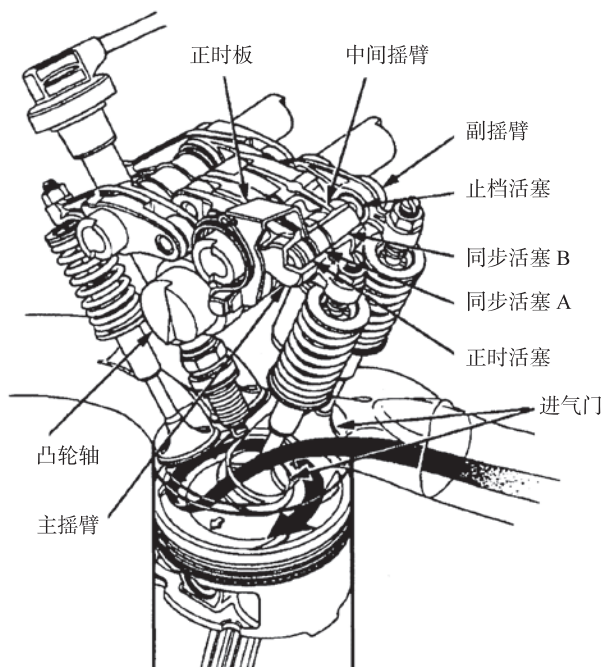


图 3-7-19 摇臂

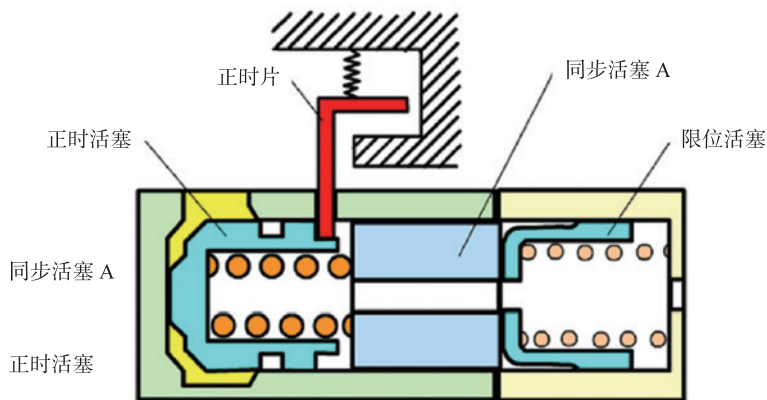


图 3-7-20 正时片

## 4. 本田 VTEC 工作过程

VTEC 发动机上的两个进气门配备三个气门摇臂如图 3-7-21 所示，分别被称为主气门摇臂、中间

摇臂和辅助气门摇臂。主气门摇臂和辅助气门摇臂与气门实际接触。气门摇臂总成将同步活塞、一个止动活塞和一根弹簧组合在一起，所以在发动机运转期间气门摇臂可以被连接和被分开。

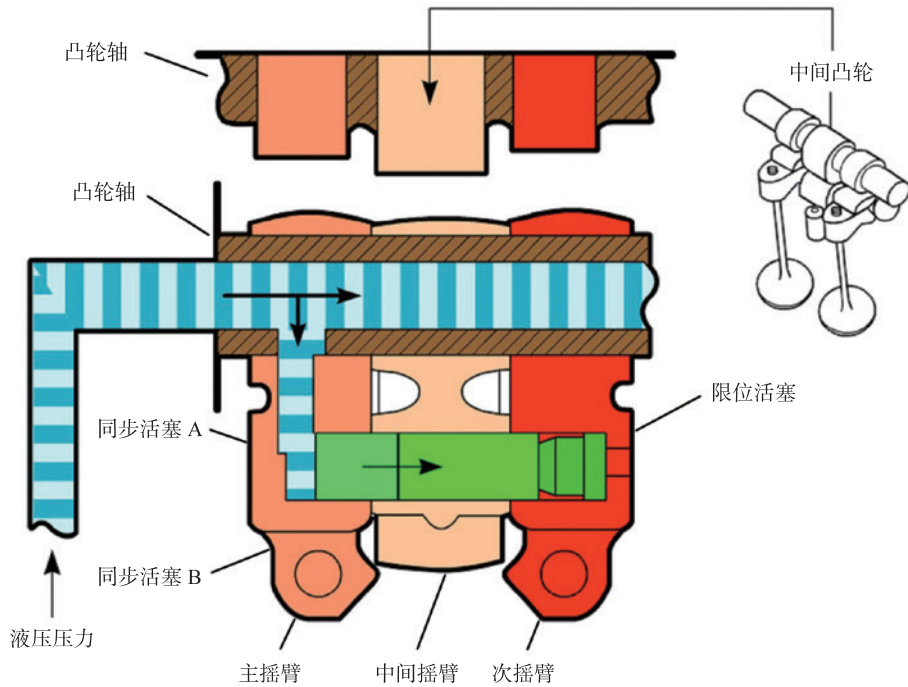


图 3-7-21 摇臂结构

(1) 低转速时

中低转速无液压施加在同步活塞上，三个气门摇臂单独操作如图 3-7-22 所示。主和辅助气门摇臂将主和辅助凸轮的运动分别传递给主和辅助气门。中间气门摇臂由中间凸轮操纵，但是该凸轮自由运动，不影响气门。另外，空动总成抑制摇臂的振动。

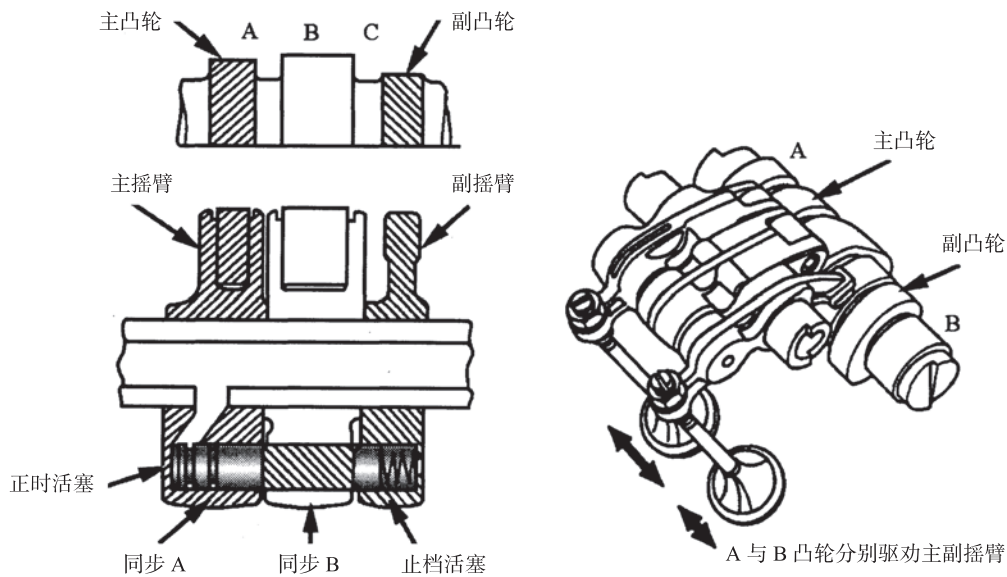


图 3-7-22 低速状态

(2) 高转速时

因油压进入，正时活塞向右移，主、副与中间摇臂被同步活塞 A 与 B 连接成一体动作，故 3 个摇臂均由中间凸轮 C 以高举升驱动如图 3-7-23 所示。

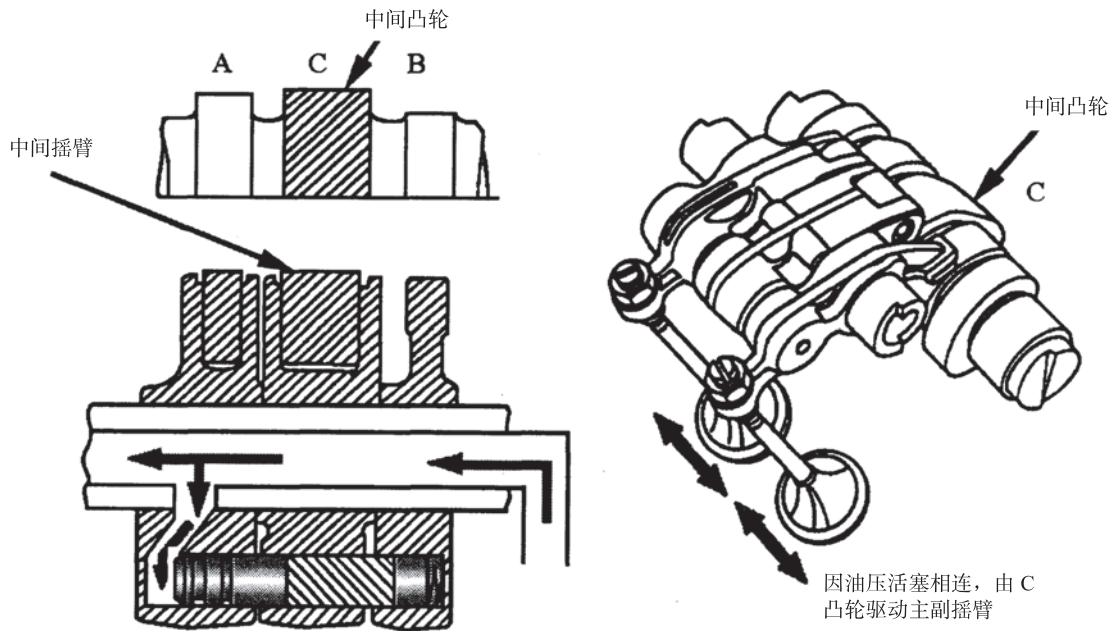


图 3-7-23 所示高速状态

### 5. 本田 VTEC 工作条件

- (1) 发动机转速 2800 ~ 3200rpm 以上。
- (2) 车速手动变速箱 20 km/h 以上自动变速箱 5 km/h 以上。
- (3) 冷却液温度：60 摄氏度以上。
- (4) 发动机负荷：由进气歧管真空决定。

### 6. 本田 i-VTEC 系统

i-VTEC 系统是在 VTEC 系统的基础上，增加了一个称为 VTC (Variable timing control “可变正时控制”) 的装置—组进气门凸轮轴正时可变控制机构如图 3-7-24 所示，即  $i\text{-VTEC} = \text{VTEC} + \text{VTC}$ 。此时，进气阀门的正时与开启的重叠时间是可变的，由 VTC 控制，VTC 机构的导入使发动机在大范围转速内都能有合适的配气相位，这在很大程度上提高了发动机的性能。

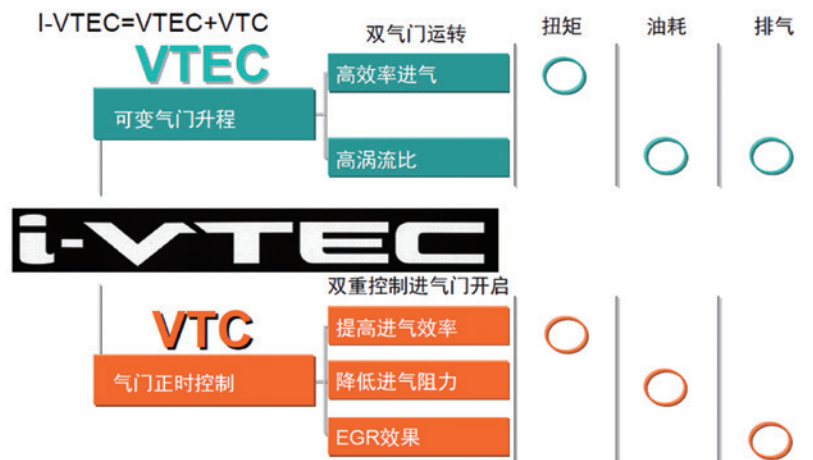


图 3-7-24 VTEC 与 i-VTEC 比较图

#### (1) 作用

VTC (可变气门正时连续调整控制装置)：通过油压使与进气侧凸轮轴同轴安装的 VTC 作动器旋转，可以根据发动机转速对气门正时进行连续调整，从而实现根据要求的特性对气门重叠 (进气门和

排气门同时打开的状态) 进行控制。

(2) 组成与结构

VTC 作动器由依靠油压工作的叶片和与正时齿轮合为一体的壳体构成，安装在进气凸轮轴上。VTC 系统由 VTC 作动器，VTC 机油压力阀，各种传感器及 ECU 构成如图 3-7-25 所示。为获得最合适运转状况的气门正时，ECU 对 VTC 机油压力阀进行负荷控制，向 VTC 作动器内的点火提前角油压室或点火延迟角油压室供给油压，VTC 作动器根据供给的油压改变凸轮轴的相位，使进气门正时连续变化。

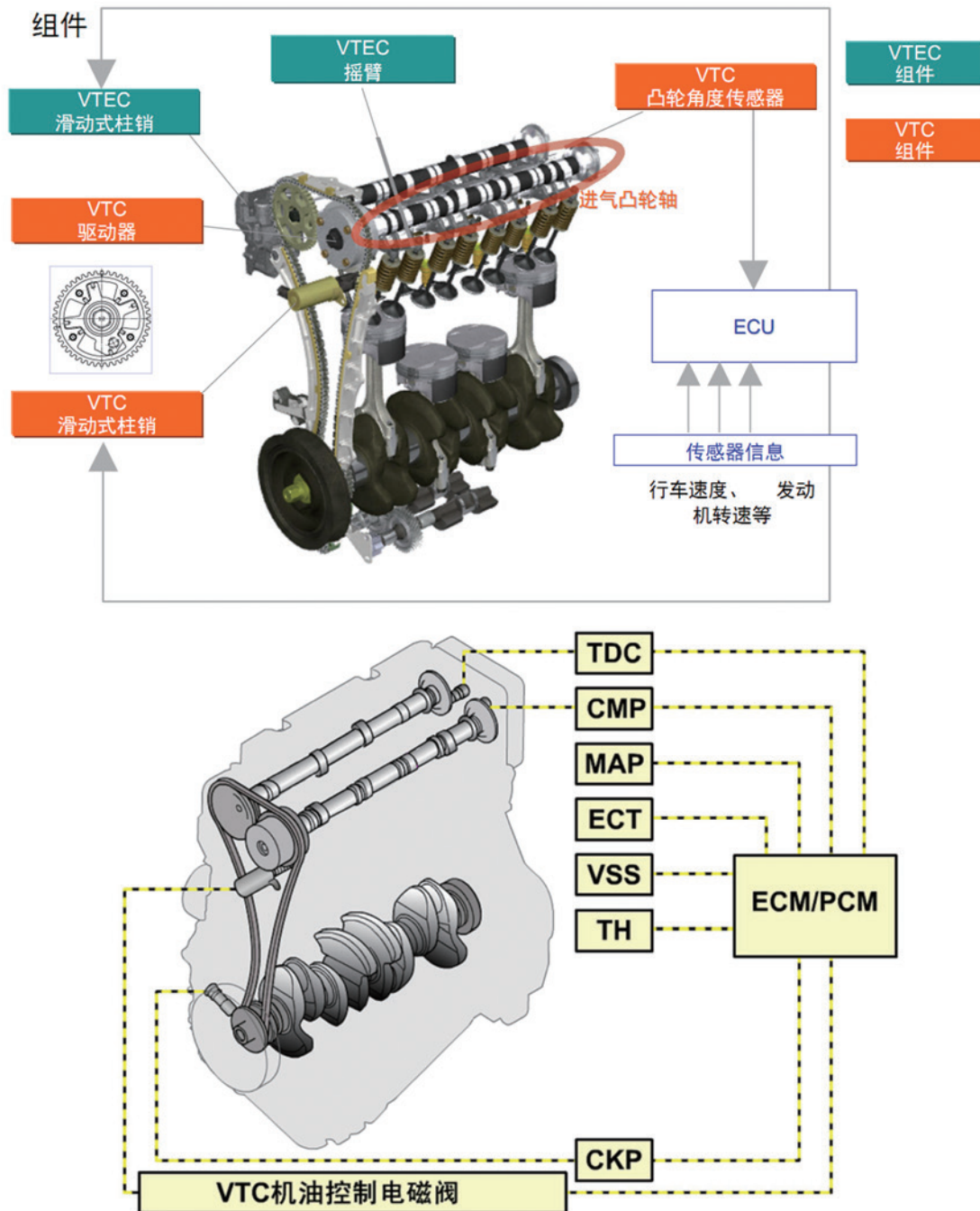


图 3-7-25 VTC 的构成

(3) 工作过程

a. 发动机停止时通过锁销固定在点火延迟角（最慢）位置以备下次起动，冷机及怠速时也固定在

进气延迟角（最慢）位置以保证运转性能如图 3-7-26 所示，此外，VTEC 发生异常时，也会停止 VTC 的控制，并固定在进气延迟角（最慢）的位置。

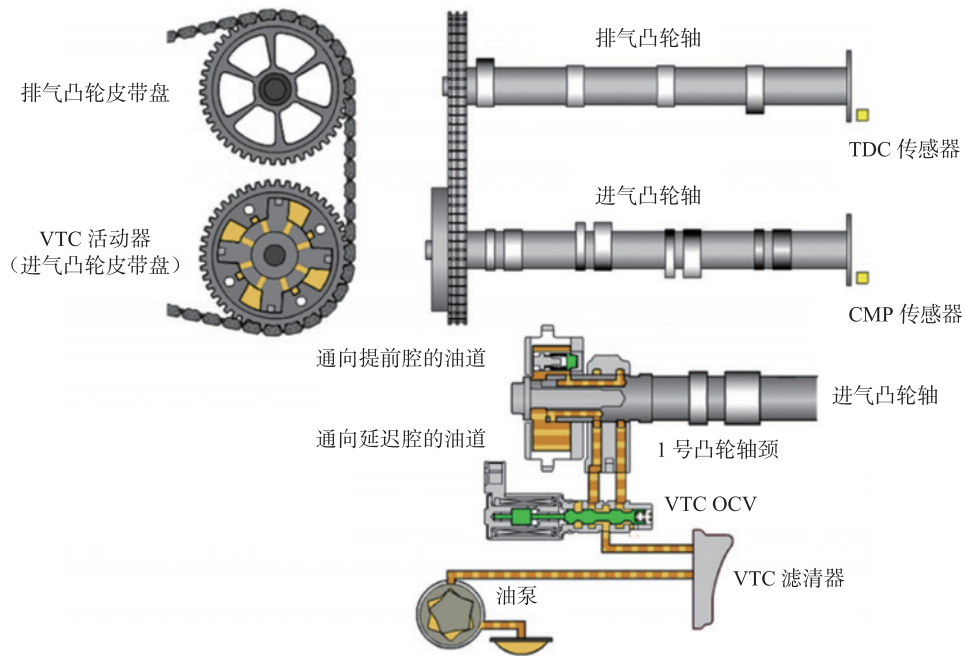


图 3-7-26 启动状态

b. 点火提前角时的动作

VTC 机油压力阀的滑柱移动向 VTC 执行器的进气提前角油压室施加油压，使进气凸轮轴朝提前角方向运动如图 3-7-27 所示。

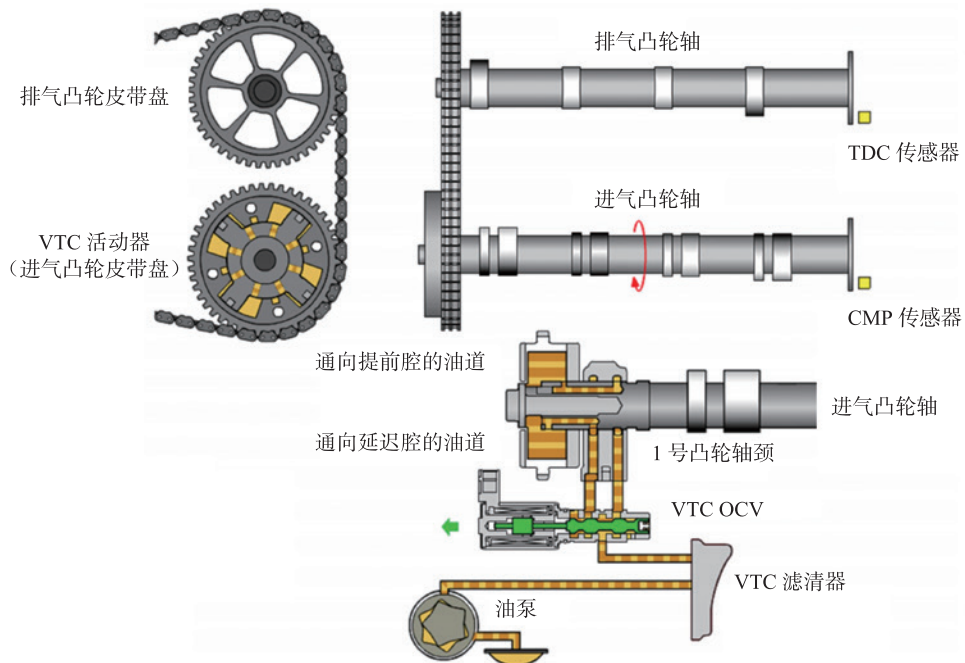


图 3-7-27 提前状态

c. 点火延迟角时的动作

VTC 机油压力阀的滑阀移动，向 VTC 执行器的进气延迟角油压室施加油压，使进气凸轮轴朝延迟角方向动作如图 3-7-28 所示。由于 i-VTEC 系统中 VTC 机构的导入，使得发动机的配气相位能够柔性地与发动机的负荷相匹配，在发动机的任何工况下，都能找到最佳的配气相位，以最佳的气门重叠角，实现中、低速时低油耗、低排放，高速时高功率、大扭矩，这就象按照人类大脑的要求那样进行控制，因此被形象地称之为“智能化”VTEC。

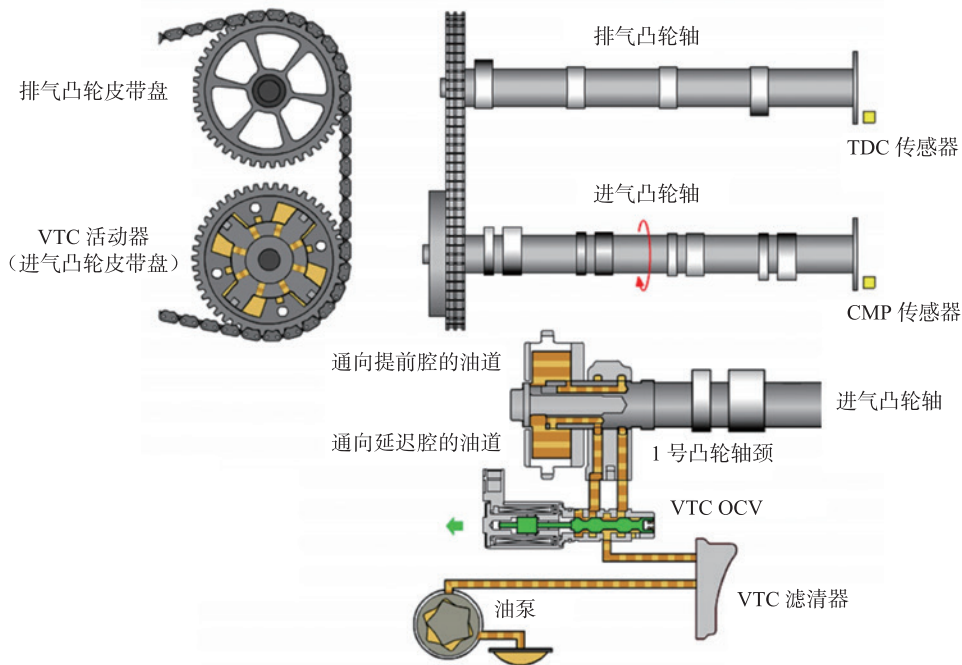


图 3-7-28 延迟状态

### 三、大众 AVS 系统

大众从 2012 年的第三代 EA888 发动机开始采用 AVS 系统，通过排气凸轮轴上的电子气门升程切换以及进气和排气凸轮轴上的可变气门正时，实现了对每个气缸气体交换的优化控制。较小的凸轮轮廓仅用于低转速。何时使用凸轮轮廓以及使用哪个凸轮轮廓，均存储在图谱中。此功能有以下好处：

- 优化气体交换。
- 防止废气回流到之前的 180° 排气缸。
- 入口打开时间更早，填充程度更佳。
- 通过燃烧室内的正压差减少余气。
- 提升涡轮增压器的响应性。
- 在较低转速获得较高的扭矩，获得较高的增压压力。

#### 1. 组成与结构

大众第三代 EA888 发动机 AVS 系统由电磁阀驱动器、凸轮轴、ECU、气门、摇臂等组成如图 3-7-29 所示。

##### (1) 凸轮轴

排气凸轮轴采用的是分离式结构如图 3-7-30 所示，凸轮轴上的 4 组凸轮内部设计有内花键齿，通过花键齿与凸轮轴轴心相连，并可以做轴向移

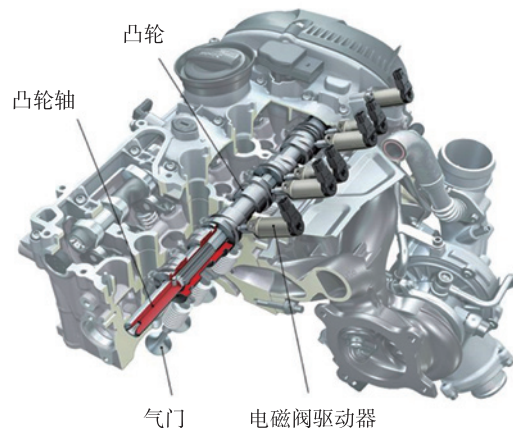


图 3-7-29 AVS 结构图

动。在凸轮轴轴与凸轮之间还设计有定位装置。在凸轮表面设计有螺旋形沟槽，ECU 可以通过电磁阀驱动器改变凸轮的轴向移动方向。

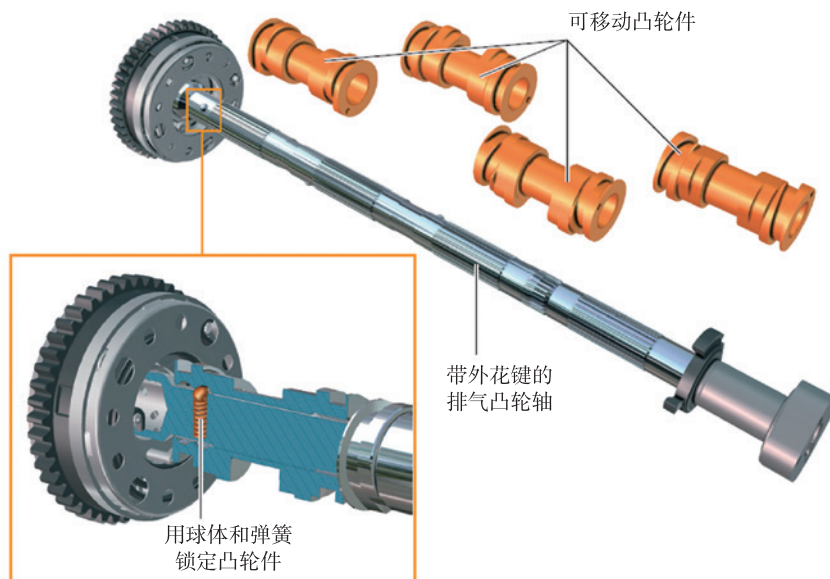


图 3-7-30 凸轮轴结构

### (2) 用于气门升程切换的执行器

在两个电子执行器（气缸 1-4 的排气凸轮执行器 A/B）的辅助下如图 3-7-31 所示，每个凸轮件在排气凸轮轴上在两个切换位置之间被来回推动。每个气缸的一个执行器切换到更大的气门升程，另一个执行器切换到更小的气门升程。

每个执行器（气缸 1-4 的排气凸轮执行器 A/B）都包含一个电磁线圈。金属销通过导管被向下移。在收缩位置和伸展位置，金属销通过一个永磁铁被固定在执行器壳体中的相应位置。

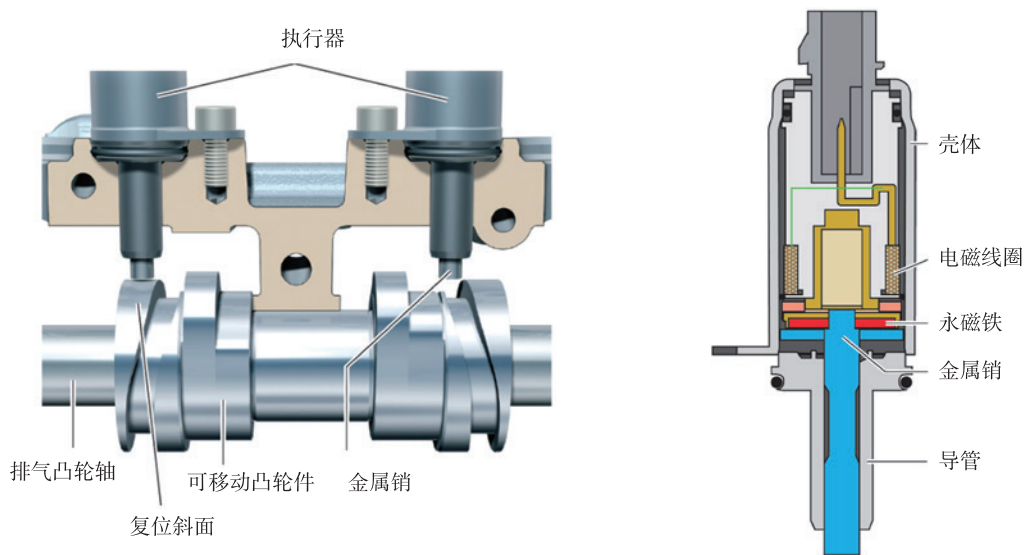


图 3-7-31 电子执行器

### 功能：

当电流通过执行器电磁线圈时，金属销在 18-22 毫秒中被移动。伸展的金属销接合到排气凸轮轴上凸轮件的相关滑动槽中如图 3-7-32 所示，并通过凸轮轴旋转推动滑动槽到相应的切换位置。销通过机械方式在滑动槽（相当于一个复位斜面）的作用下缩进去。凸轮件的两个执行器被启动时，总是只有一个执行器上的金属销移动。

发动机控制单元根据重置信号得知金属销的当前位置。当复位斜面推动执行器的金属销回到元件的导管中时，生成一个重置信号如图 3-7-33 所示。发动机管理系统可根据哪个执行器发出重置信号来确定相关滑动装置的当前位置。

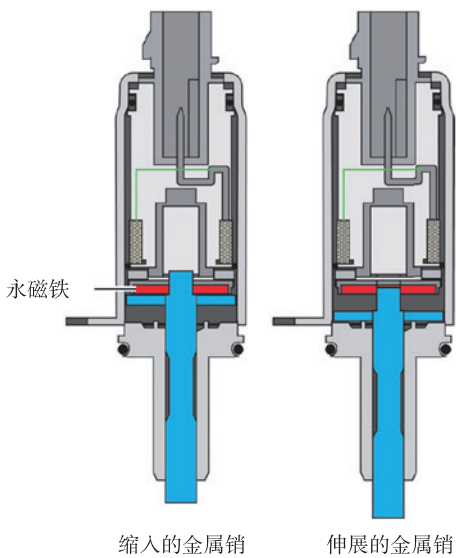


图 3-7-32 电子执行器工作状态

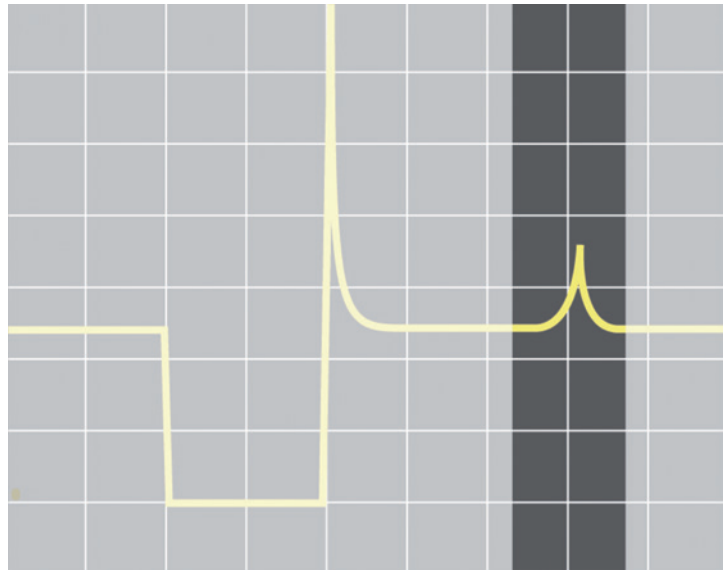


图 3-7-33 重置信号

## 2. 工作过程

### (1) 发动机在较低转速范围下

为了使这个负载范围内的气体交换性能更佳，发动机管理系统通过凸轮轴调节器将进气凸轮轴提前、将排气凸轮轴延迟。气门升程切换至更小的排气凸轮轮廓，而且右侧执行器金属销伸出。它接合滑动槽，并将凸轮件向左移至小凸轮轮廓如图 3-7-34 所示。

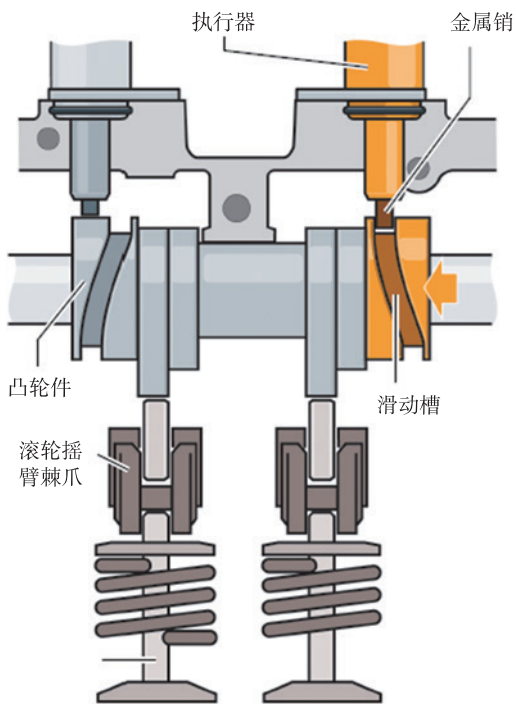


图 3-7-34 凸轮件向左移

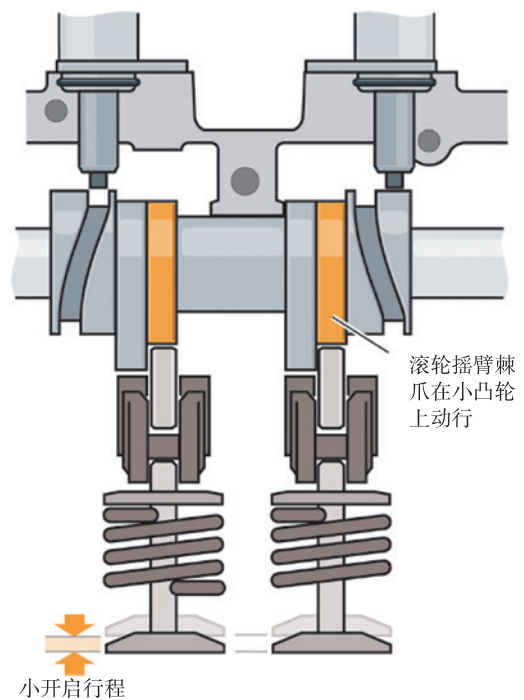


图 3-7-35 小开启行程

气门现在沿着较小的气门轮廓上下移动。两个小凸轮的位置在某种程度上是交错的，确保气缸两个排气门的开启时间是错开的。这两项措施会导致在废气被从活塞中排到涡轮增压器中时，废气气流的脉动减小，从而可在低转速范围达到较高的增压压力如图 3-7-35 所示。

### (2) 部分负载和全负载下时

驾驶员加速并从部分负载改变为全负载。气缸内的气体交换必须适应更高的性能需求。发动机管理系统通过凸轮轴调节器将进气凸轮轴提前、将排气凸轮轴延迟。为达到最佳的气缸填充性能，排气门需要最大的气门升程。为了实现此目的，左执行器被启动，凸轮件被向右移动，切换至大凸轮轮廓如图 3-7-36 所示。

金属销通过滑动槽将凸轮件移向大凸轮。排气门现在以最大的升程打开和关闭。凸轮件也通过凸轮轴中的弹簧加载式球体被固定在此位置如图 3-7-37 所示。

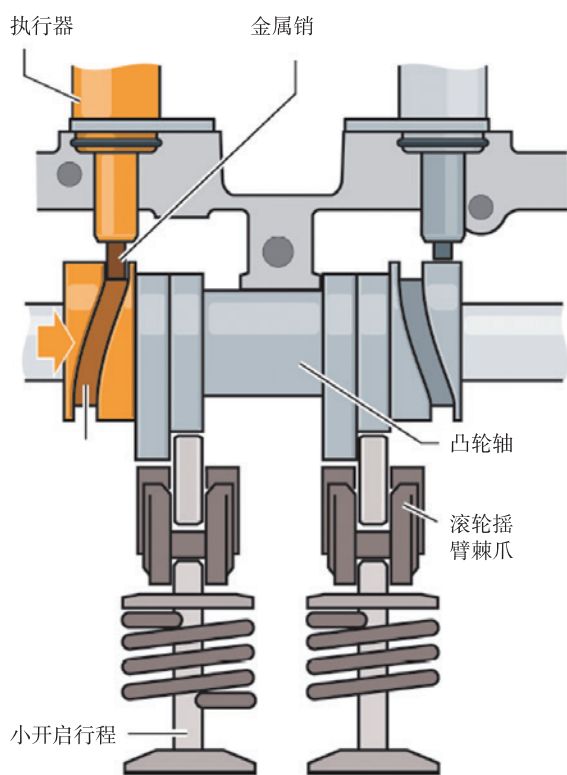


图 3-7-36 凸轮件被向右移动

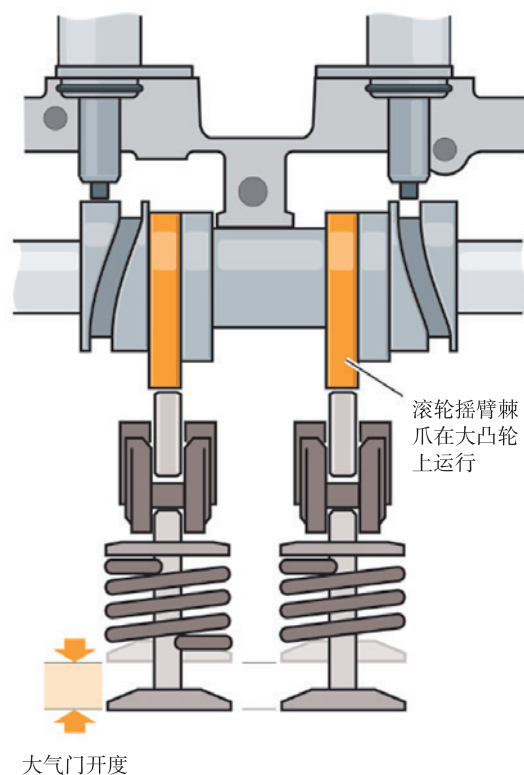


图 3-7-37 大气门开度

### 3. 电子气门升程 失效影响

如果一个执行器发生故障，则无法再执行气门升程切换功能。在这种情况下，发动机管理系统会尝试将所有气缸切换为最近成功的一次气门升程切换。

如果所有气缸可切换至小的气门升程位置：

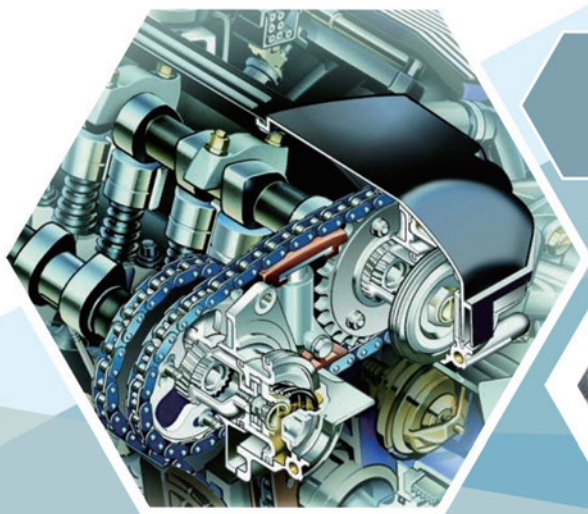
- (1) 发动机转速限制在 4,000rpm，故障存储器中记录下故障。
- (2) EPC 警告灯亮起。

如果所有气缸可切换到的大的气门升程位置：

- 1) 故障存储器中也会存储故障。
- 2) 在这种情况下，不限制发动机转速，且 EPC 灯不亮起。

# 第4章

## 点火系统



1. 掌握点火提前角及导通角的控制机理
2. 掌握发动机爆震控制机理
3. 掌握点火系统的组成及其部件检测
4. 掌握缸内直喷发动机燃烧方式及其控制

汽油发动机采用微机控制点火系统可以点火提前角控制在最佳值，使可燃混合气燃烧后产生的温度和压力达到最大值，从而提升发动机的动力性，同时还能提高燃油经济型和减少有效气体的伤害。

发动机点火能量的高低取决于点火线圈通电时间的长短即点火导通角，点火导通角的大小与蓄电池的电压和转速有着直接的关系，在电控发动机上可以实现对点火导通角有效的控制。

点火提前角过小会导致发动机做工迟后，会降低发动机动力性能。但是点火提前角过大又会引起发动机爆震，发动机爆震一方面会导致发动机输出功率降低，另一方面会导致发动机使用寿命缩短甚至损坏。为使点火提前角处于最佳状态，在电控发动机上采用爆震控制。



## 第一节 点火提前角的控制

### 一、点火提前角的确定

汽油发动机的点燃混合气要比压缩上止点适当的提前一些。通常把发动机发出最大功率和油耗最小的点火提前角称为最佳点火提前角。点火提前角大小直接影响发动机的输出功率、油耗、排放等。发动机工况不同需要的最佳点火提前角也不相同，怠速时最佳点火提前角是为了使怠速运转平稳，降低有效气体的排放量和减少燃油消耗量；部分负荷时最佳点火提前角是为了减少燃油消耗量和有害气体的排放量，提高经济性和排放性能；大负荷时最佳点火提前角是为了增大输出转矩，提高动力性能。

微机控制的点火提前角  $\theta$  由初始点火提前角  $\theta_i$ 、基本点火提前角  $\theta_b$  和修正点火提前角  $\theta_c$  三部分组成，即：

$$\theta = \theta_i + \theta_b + \theta_c$$

#### 1. 初始点火提前角

初始点火提前角又称为固定点火提前角，其值大小取决于发动机的结构形式，一般为上止点 BTDC $6^\circ$  - BTDC $12^\circ$ 。

在下列情况时，由于发动机转速变化大，空气流量不稳定，点火提前角不能准确控制，因此采用固定点火提前角进行控制，其实际点火提前角等于初始点火提前角。

- (1) 发动机启动时；
- (2) 发动机转速低于 400r/min 时；
- (3) 检查初始点火提前角时。

#### 2. 基本点火提前角

基本点火提前角是发动机最主要的点火提前角，是设计微机时确定的点火提前角。在编订微机程序时，综合考虑发动机油耗、转速、排放和爆震等因素，对发动机的各项试验结果进行优化处理后，即可获得如图 4-1-1 所示的与转速、负荷为变量的三维点火特征脉谱图。将三维点火特征脉谱图以数据的行驶存储在电脑存储器里。汽车行驶时，微机根据发动机转速信号和发动机负荷（由空气流量和转速确定）信号，即可从电脑存储器中查询出相应的基本点火提前角来控制点火。

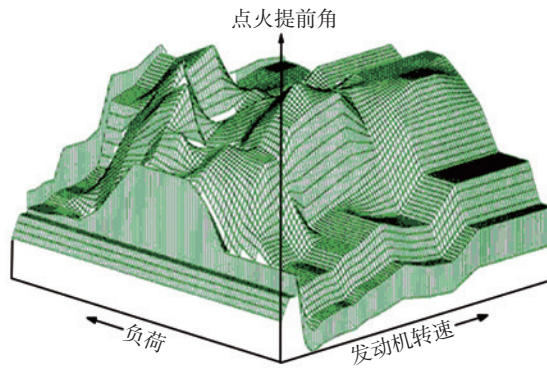


图 4-1-1 三维点火特征脉谱图

### 3. 修正点火提前角

为使实际点火提前角适应发动机的运转状况，以便得到良好的动力性、经济型和排放性能，必须根据相关因素（冷却液温度、进气温度、开关信号等）适当增大或减少点火提前角，即对提前角进行必要的修正。修正点火提前角的项目根据车型有多有少，主要有暖机修正和怠速修正。

#### (1) 暖机修正

暖机修正是指节气门位置传感器的怠速触点闭合、发动机冷却水温度变化时，对点火提前角进行的修正。当冷却液水温低时，增大点火提前角，促使发动机尽快暖机，当冷却水温升高后，点火提前角应相应减小。

#### (2) 怠速修正

怠速修正是为了保证怠速运转而对点火提前角进行的修正。发动机怠速运转时的，由于负荷变化电脑会将怠速转速调整到设置的目标转速，发动机的实际转速低于规定的目标转速时，电脑将根据转速之差相应的减少点火提前角，使怠速运转平稳，防止发动机怠速熄火。

## 二、点火提前角的控制

电脑根据转速、负荷、水温、进气温度、开关信号等确定好点火提前角后，若要精确的控制点火器在正确的时刻点火，就需要知道发动机活塞、气门每一个时刻所在的位置。这个位置信息是由凸轮轴位置传感器和曲轴位置传感器结合提供的，以下以桑塔纳 3000 为例说明。桑塔纳 3000 在转速 2000r/min 时，最佳点火提前角为上止点前 BTDC30°，这个位置是由电脑根据凸轮轴位置传感器和曲轴位置传感器结合计算出来的。

### 1. 凸轮轴位置传感器

桑塔纳 3000 凸轮轴位置传感器装在凸轮轴正时皮带轮的内侧如图 4-1-2 所示，为霍尔式，所以又称为霍尔传感器。信号齿在凸轮轴正时皮带轮上，为环形有一个缺口，此缺口对应一缸压缩上止点前 88°。发动机转动后，霍尔传感器感应缺口信号，此信号经电脑内部整形后如图 4-1-2 中的凸轮轴信号所示，此信号电压下降沿为一缸压缩上止点前 88°。



图 4-1-2 桑塔纳 3000 霍尔传感器

## 2. 曲轴位置传感器

桑塔纳 3000 曲轴位置传感器装为磁脉冲式，安装在缸体上。发动机的曲轴上装有 1 个 60-2 齿的信号触发轮如图 4-1-3 所示。60 个齿对应曲轴转角的  $360^\circ$ ，因此，每 1 个齿对应曲轴转角的  $3^\circ$ ，每 1 个齿缺也对应曲轴转角的  $3^\circ$ 。为了使点火提前角更为精准，一般精确到  $1^\circ$ 。由此，电脑内部将从曲轴位置传感器得到的  $3^\circ$  信号转化成  $1^\circ$  信号，如图 4-1-3 中  $1^\circ$  信号所示。

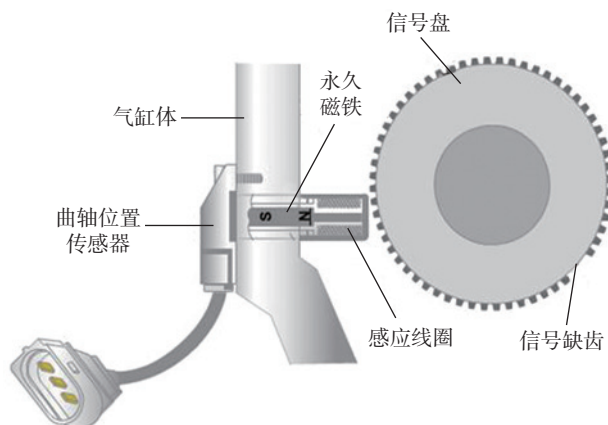


图 4-1-3 桑塔纳 3000 曲轴位置传感器

## 3. 点火器及点火线圈

桑塔纳 3000 发动机点火系统采用无分电器双火花直接点火系统，点火顺序为 1-3-4-2。发动机点火系统使用的点火器与点火线圈为一整体，如图 4-1-4 所示，其内部包含了两个点火线圈、一个点火器，如图 4-1-5 所示。

在跳火时高压电流分别通过两个相对应气缸火花塞，在压缩行程上止点的气缸，因混合气被压缩，电阻升高需要较强的火花能量才能击穿火花塞的空气隙，所以该气缸火花放电比较强烈。

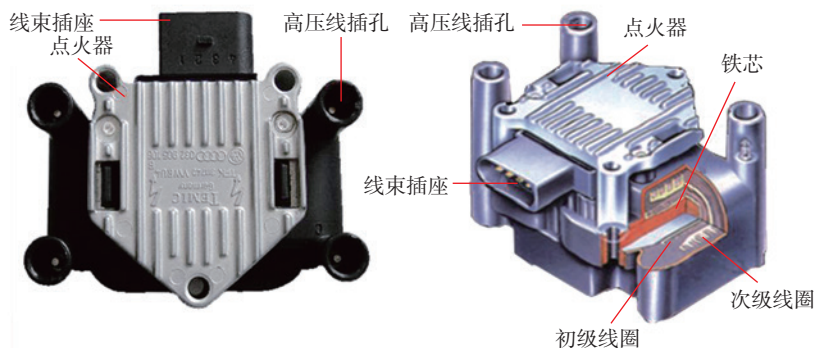


图 4-1-4 桑塔纳 3000 点火线圈

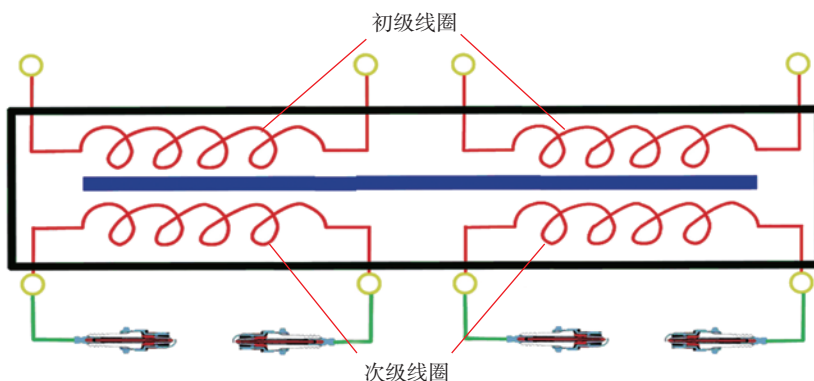


图 4-1-5 桑塔纳 3000 点火线圈内部原理图

## 4. 点火时刻的确定

曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器同步工作，由于曲轴位置传感器缺 2 齿的因素，当电脑收到电压下降信号（此时为一缸压缩上止点  $88^\circ$ ）后，再运转  $7^\circ$  开始收到曲轴位置信号，此时据一缸压缩上止点  $81^\circ$ ，此时电脑以此为标准记为基准信号，此信号在电脑内部产生，电脑此后根据  $1^\circ$  信号每隔  $180^\circ$  记为 1 个基准信号。每一个基准信号对应相应气缸压缩上止点  $81^\circ$ ，如图 4-1-6 所示。

电脑根据基准信号开始计数，电脑根据  $1^\circ$  信号检测到曲轴转过  $51^\circ$  时，控制点火器点火电路图如图 4-1-6 所示，此时点火提前角为  $30^\circ$ ，如图 4-1-7 所示。

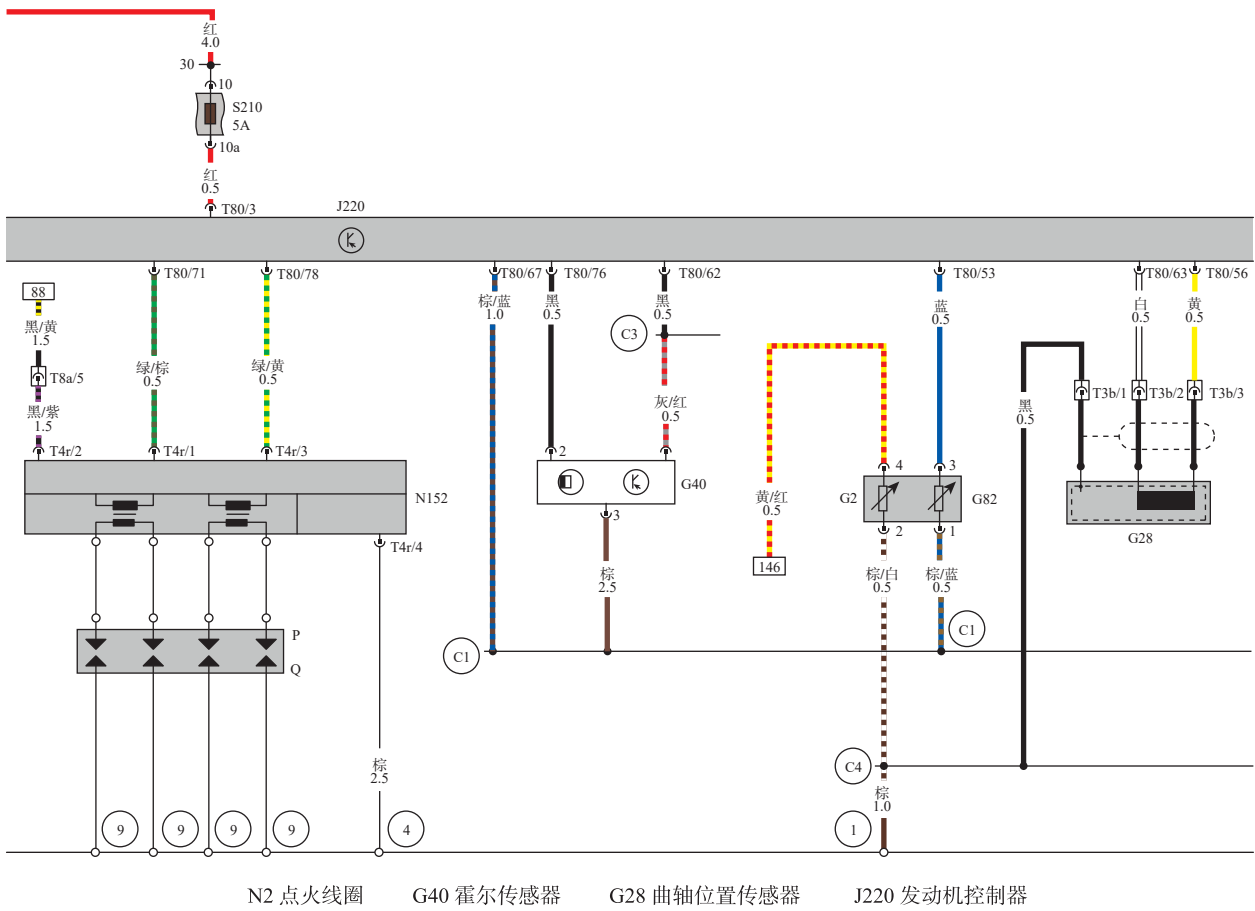


图 4-1-6 桑塔纳 3000 点火电路图

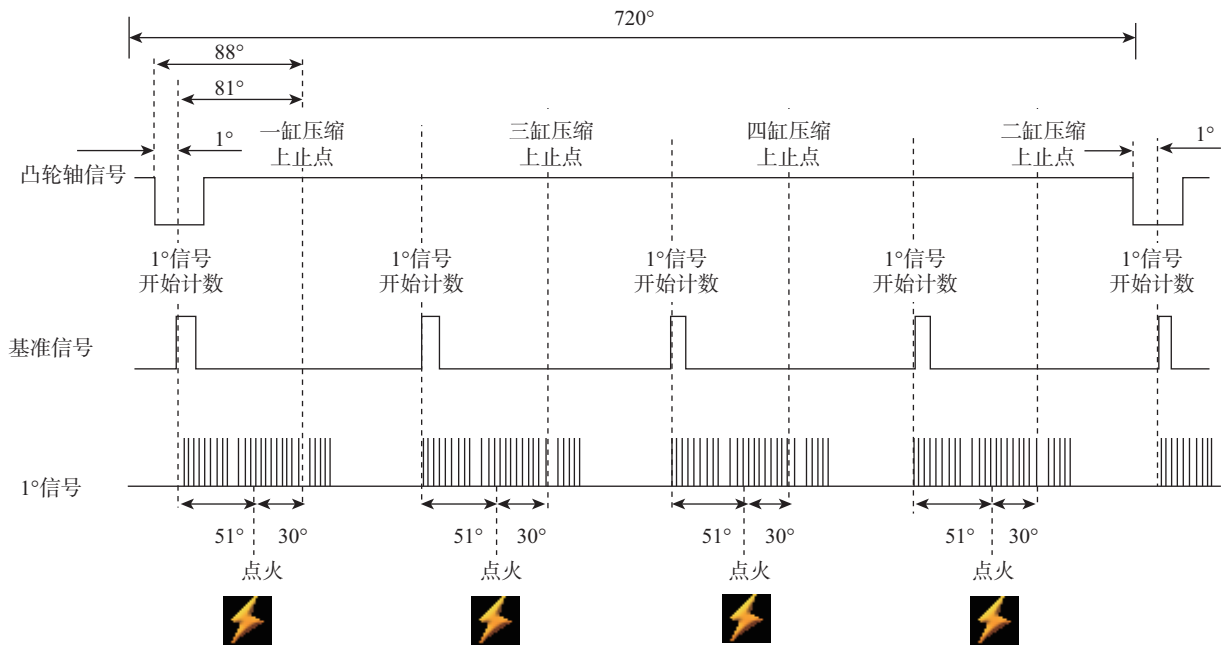


图 4-1-7 点火提前角控制



## 第二节 点火导通角控制

点火线圈的次级电压是和初级电路断开的瞬间初级电流成正比。通电时间短时，初级电流小，会使感应的次级电压偏低，容易造成失火；通电时间短时，初级电流大，对点火有利。但通电时间过长，会使点火线圈发热，甚至烧坏，还会使能耗增大，因此要控制一个最佳通电时间。蓄电池电压下降时，在相同的通电时间里初级电流能达到的值会变小，因此必须对通电时间修正。

点火导通角是指点火线圈初级电路的功率三极管导通期间，发动机曲轴转动的角度。导通角控制的方法是：电脑首先根据电源电压高低，从预先实验并存储在存储器中的导通时间脉谱图中查询导通时间，然后根据发动机的转速确定导通角的大小。

设电源电压为 14V 时，导通时间为 7.5ms。当发动机转速为 2000r/min 时，7.5ms 相当于曲轴转角为：  
 $(360^\circ \times 2000/60 \ 000\text{ms}) \times 7.5\text{ms} = 90^\circ$

点火导通角与电压成反比，与转速成正比，点火导通角的脉谱图如图 4-2-1 所示。

确定好点火导通角后，比如  $90^\circ$ ，若此时点火提前角为  $30^\circ$ ，电脑则会在气缸压缩上止点前  $120^\circ$  使功率三极管导通，在气缸压缩上止点前  $30^\circ$  使功率三极管截止，此时点火线圈产生高压电，使火花塞产生高压火花，点燃缸内混合气。

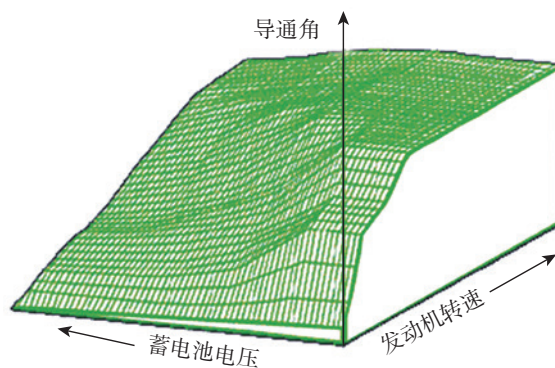


图 4-2-1 点火导通角控制



## 第三节 点火爆震控制

理论与实践证明，剧烈的震动会使发动机的动力性和经济性严重恶化。而当发动机工作在保证的临界点或者有轻微爆震时，发动机的热效率最高，动力和经济性最好。因此，利用点火提前角闭环控制系统能够有效地控制点火提前角，从而使发动机工作在爆震的临界状态。发动机爆震信息由爆震传感器提供。

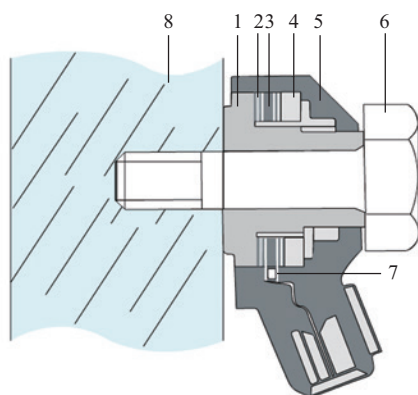
### 一、爆震传感器

爆震传感器安装在发动机缸体上，如图 4-3-1 所示。目前，国内外大多数汽车都采用了分共振型压电式爆震传感器。结构如图 4-3-2 所示。



直列气缸爆震传感器安装位置

图 4-3-1



爆震传感器剖面图

- 1、套通底座
- 2、绝缘垫圈
- 3、压电元件
- 4、惯性配重
- 5、塑料壳体
- 6、固定螺母
- 7、信号线
- 8、气缸体

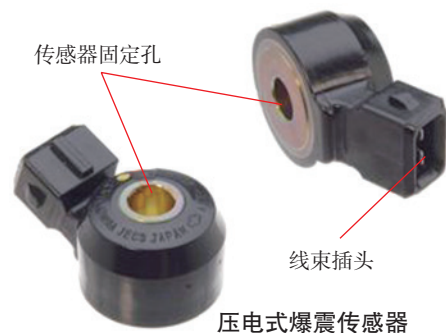


图 4-3-2 压电式爆震传感器

压电式爆震传感器利用压电效应制成。压电效应是指：有些晶体的薄片儿受到压力和机械振动之后产生电荷现象。当晶体受到外力作用时，在晶体的两个表面会产生电荷，当外力去掉后晶体又恢复到不带电状态，晶体所以产生的电荷量与外力的大小成正比。当发动机缸体产生振动时，传感器套底座及惯性配重随之震动，精这种振动作用在压电元件上，由压电效应可知，压电元件的信号输出端就会输出与振动频率和振动强度有关的交变电压信号。如图 4-3-3 所示。



图 4-3-3 爆震传感器信号

## 二、爆震的控制过程

爆震传感器每台发动机一般装 1-2 只。

发动机工作时，缸体振动频繁剧烈，为使检测得到的爆震信号准确无误，在检测爆震过程中，并非随时都在进行，而是在发出点火信号后的一定范围内进行，这是因为发动机产生振动的最大可能性是在点火后的一段时间。爆震控制系统是一个闭环控制系统，发动机工作时，ECU 根据各传感器信号，从存储器中查询出相应的点火提前角控制点火时刻，控制的结果由爆震传感器反馈到电脑，电脑再对点火提前角进行逐步修正，直至爆震消失。



## 第四节 缸内直喷发动机燃烧系统

缸内直喷就是将燃油喷嘴安装于气缸内，直接将燃油喷入气缸内与进气混合。喷射压力也进一步提高，使燃油雾化更加细致，真正实现了精准地按比例控制喷油并与进气混合，并且消除了缸外喷射的缺点。同时，喷嘴位置、喷雾形状、进气气流控制，以及活塞顶形状等特别的设计，使油气能够在整个气缸内充分、均匀的混合，从而使燃油充分燃烧，能量转化效率更高。

传统的汽油发动机是通过电脑采集凸轮位置和曲轴位置以及发动机各相关工况从而控制喷油嘴将汽油喷入进气歧管。汽油在歧管内开始混合，然后再进入到汽缸中燃烧。

空气跟汽油的最佳混合比是 14.7/1（也叫理论空燃比），传统发动机由于汽油跟空气是在进气歧管内混合，那么他们只能均匀的混合在一起，所以必须达到理论空燃比才能获得较好的动力性和经济性，但由于喷嘴离燃烧室有一定的距离，汽油同空气的混合情况受进气气流和气门开关的影响较大，并且微小的油颗粒会吸附在管道壁上，这就使理论空燃比很难达到，这是传统发动机无法解决的一个问题。

要想解决这一难题，就必须把燃油直接喷射到汽缸中去，这就是 FSI 燃油直喷发动机可以做到的。直喷式汽油发动机采用类似于柴油发动机的供油技术，通过一个活塞泵提供所需的 100bar 以上的压力，将汽油提供给位于汽缸内的电磁喷射器，然后通过电脑控制喷射器将燃料在最恰当的时间直接注入燃烧室，通过对燃烧室内部形状的设计，让混合气能产生较强的涡流使空气和汽油充分混合。

然后使火花塞周围区域能有较浓的混合气，其他周边区域有较稀的混合气，保证了在顺利点火的情况下尽可能的实现稀薄燃烧。

在发动机低速或中速运转时采用分层注油模式，分层注油方式可充分提高发动机的经济性，因为在转速较低、负荷较小时除了火花塞周围需要形成浓度较高的油气混合物外，燃烧室的其它地方只需空气含量较高的混合气即可。

发动机高速运转时，大量空气高速进入汽缸形成较强涡流并与汽油均匀混合。从而促进燃油充分燃烧，提高发动机的动力输出。

电脑不断的根据发动机的工作状况改变注油模式，始终保持最适宜的供油方式。燃油的充分利用不仅提高了燃油的利用效率和发动机的输出而且改善了排放。

大众 / 奥迪采用的 FSI 燃油直喷技术在同等排量下实现了发动机动力性和燃油经济性的完美结合，是当今汽车工业发动机技术中最为成熟、最先进的燃油直喷技术，并引领了燃油发动机的发展趋势。

下面以大众 / 奥迪为例，介绍缸内直喷发动机的燃烧模式。大众 / 奥迪 FSI 发动机节气门采用电子式，节气门开度可根据发动机实际工作需要打开合适的开度；在每一个汽缸有上下两个进气道，下进气道由进气歧管翻板控制；大众 / 奥迪 FSI 发动机活塞顶部呈“ $\omega$ ”型，以改变气流的方向。如图：

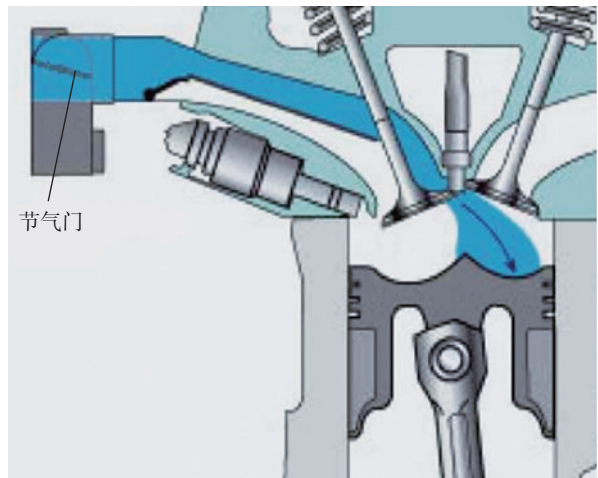


图 4-4-1

4-4-1 所示。大众 / 奥迪 FSI 发动机由三种工作模式：分层充气模式、均质稀混合气模式、均质混合气模式。

## 一、分层充气模式

### 1. 进气

在分层充气模式下进气时，节气门处于打开状态，使节流损失小。进气歧管翻板封住下进气道，于是空气运动就加速了，此时吸入的空气呈旋转状进入气缸。如图 4-4-2 图所示。

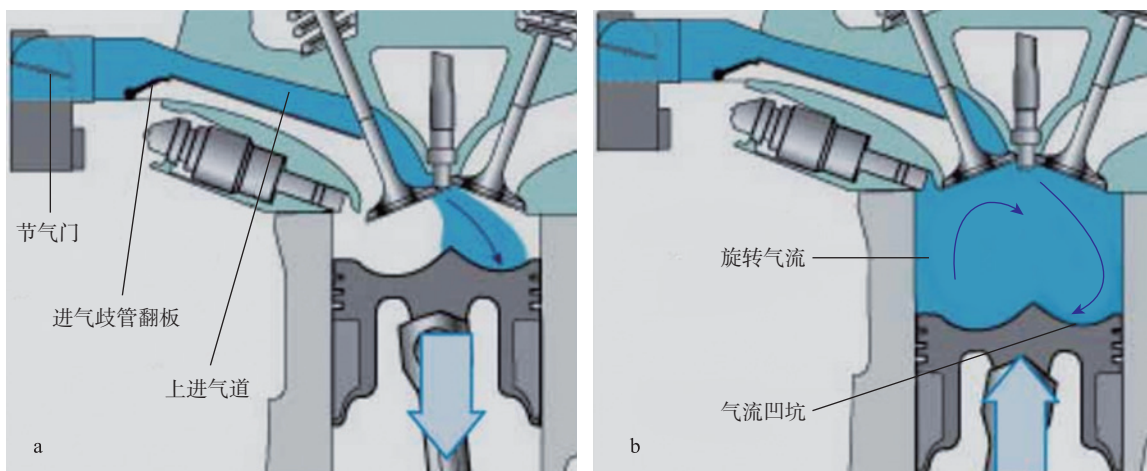


图 4-4-2

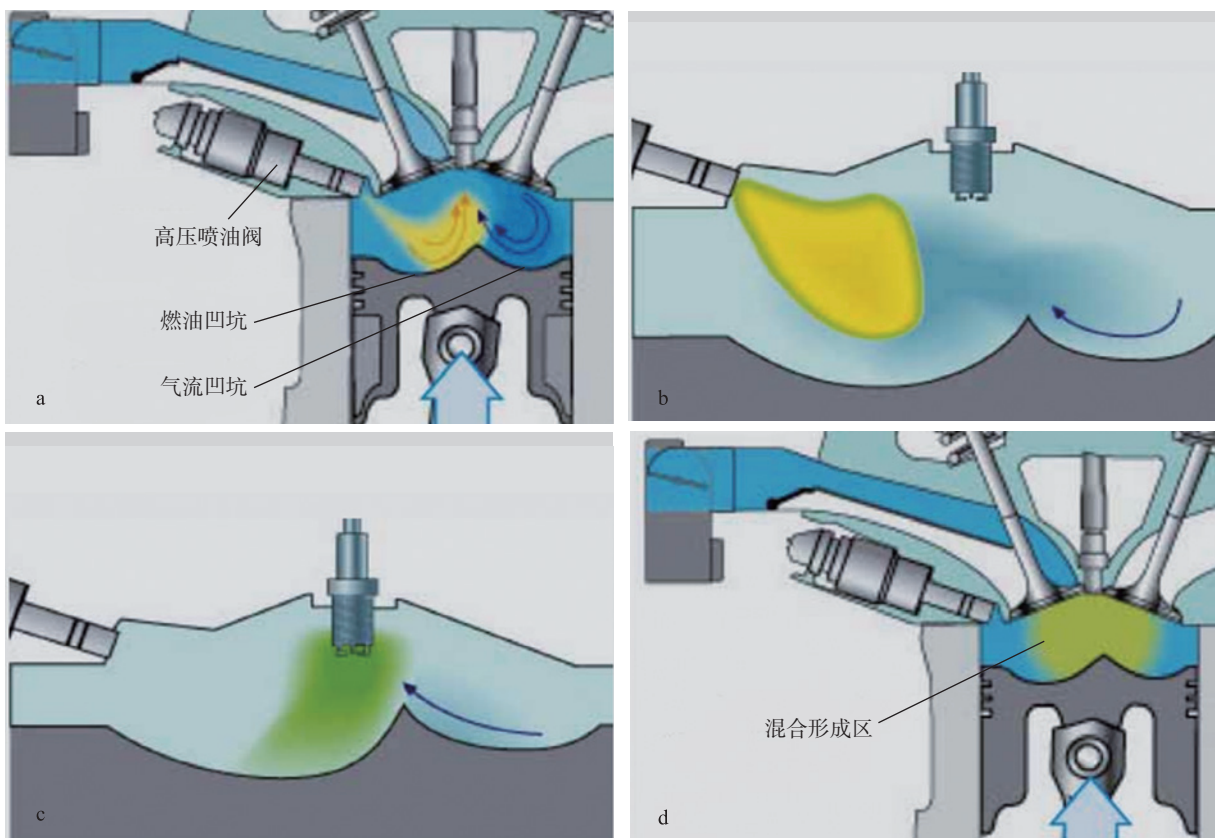


图 4-4-3

### 2. 形成混合气

喷油开始于约上止点前  $60^\circ$ ，结束于约上止点前  $45^\circ$ ，此时燃油被喷射到燃油凹坑内。喷油时刻对混合气的形成有很大影响，喷油时刻过早会使燃油与空气均匀混合，过晚则是燃油雾化不良，不利于燃烧。如图 4-4-3 图所示。

### 3. 燃烧

火花塞跳火，此时只有混合好的气雾被点火燃烧，混合好的气雾周围的气体形成绝热层起隔离作用，这样，缸壁热损耗小，热效率也就提高了。如图 4-4-4 所示。

由于允许点火的范围较窄，因此要考虑混合气形成的可用时间。如果喷油和点火间隔过短造成混合气不充分（如图 4-4-5 所示），如果喷油和点火间隔过长就会变成均质混合气（如图 4-4-6 所示）。

在分层充气模式节气门不能完全打开，因为总是得保持一定的真空用于活性炭罐装置和废气再循环装置；发动机所产生的扭矩大小只取决于喷油量，在这里吸入的空气量和点火角并没有多大意义，这种模式和柴油发动机类似。

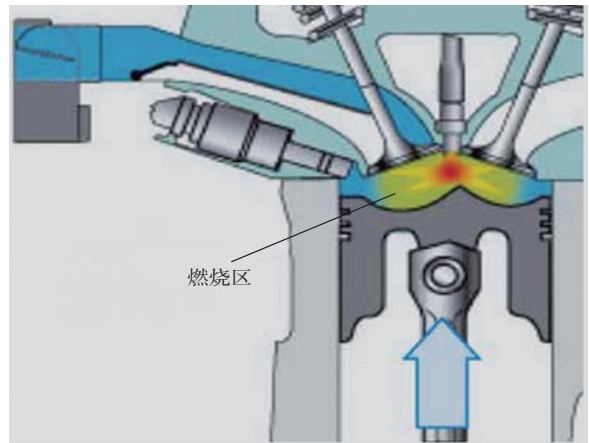


图 4-4-4

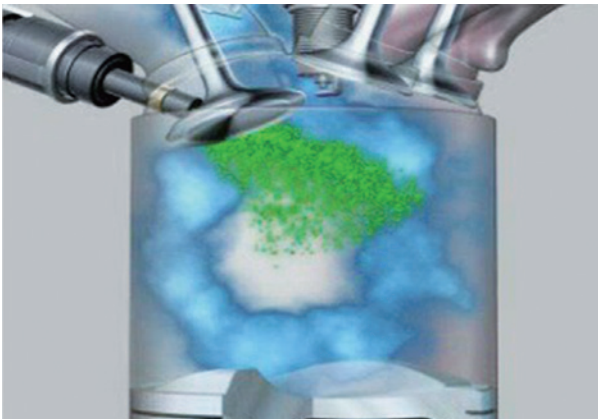


图 4-4-5

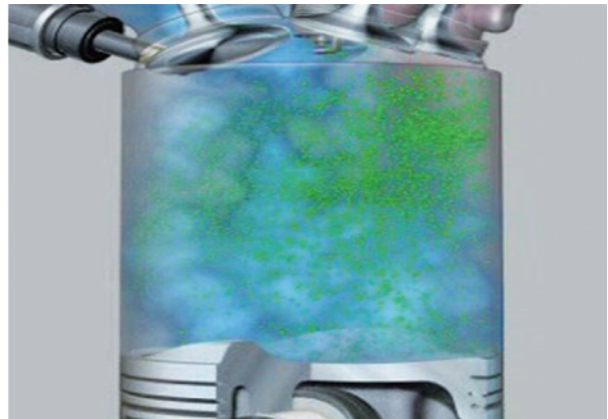


图 4-4-6

## 二、均质稀混合气模式

### 1. 进气

在均质稀混合气模式下进气时与分层充气相同，此时节气门处于打开状态，使节流损失小，进气歧管翻板封住下进气道，如图 4-4-7 所示。

### 2. 形成混合气

喷油约在点火上止点前  $300^\circ$  时喷入此时位于吸气行程，混合气形成可用时间较长，以利于混合气的充分混合，如图 4-4-8 所示。均质混合气空气-燃油比约  $\lambda = 1.55$ 。

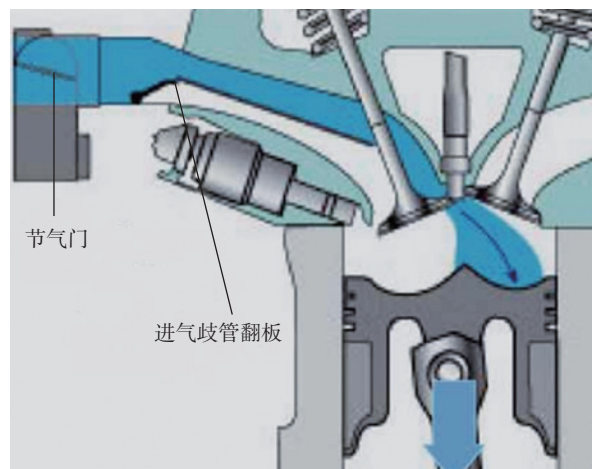


图 4-4-7

### 3. 燃烧

混合气燃烧发生在整个燃烧室内，此时点火时刻可自由选择。

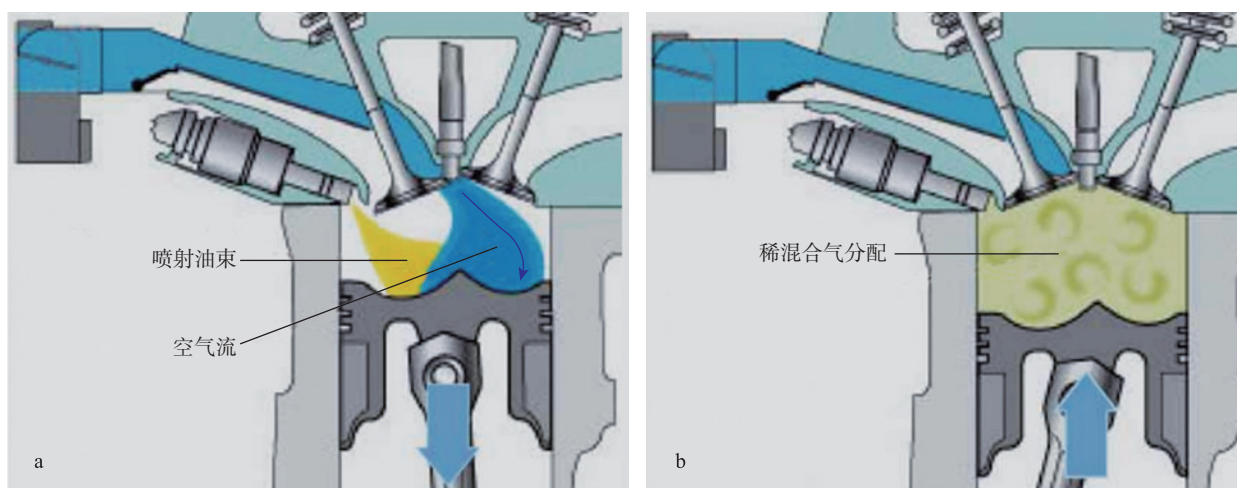


图 4-4-8

## 三、均质混合气模式

### 1. 进气

在均质混合气模式下进气时，节气门按照油门踏板的位置来打开；进气歧管翻板根据工作点来打开或关闭，在中等负荷和转速范围时是关闭的，在其他负荷和转速时进气道是打开。如图 4-4-9 所示。

### 2. 形成混合气和燃烧

混合气的形成和燃烧方式和在均质稀混合气模式相同。均质混合气空气 - 燃油比  $\lambda = 1$ 。

在均质混合气模式下发动机喷油量及点火提前角的计算方式和传统电控汽油机一样，是根据转速、负荷等传感器计算的。

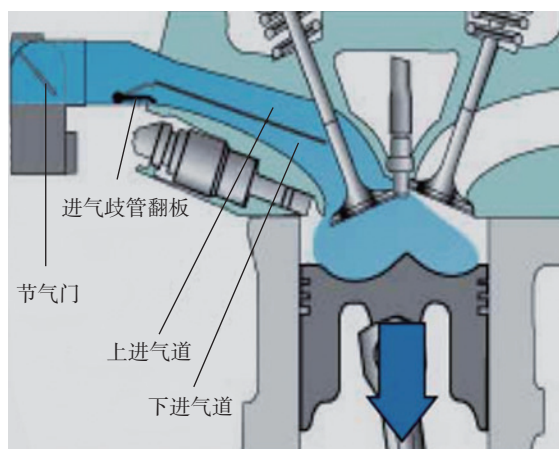


图 4-4-9

## 四、缸内直喷点火系统

### 1. 缸内直喷式汽油机对火花塞的要求

现代缸内直喷式汽油机的点火系统普遍采用分缸独立高能点火系统，各缸的高能点火线圈直接与

火花塞相连。与现代先进的进气道喷射汽油机无异，但是对火花塞提出了比进气道喷射汽油机更高的要求：

(1) 高的耐热性能

为了实现分层燃烧，混合汽应有足够的时间暴露在火花塞触点周围，点火应尽量深入到易于点燃的足够浓的混合气区域，并且为了保证稳定可靠的点燃，火花塞电极周围处于着火界限内的混合气区域应足够大，因此缸内直喷式汽油机的火花塞要位于燃烧室较深的部位，其端部的温度也要比进气道喷射汽油机更高，必须具有更高的耐热性能。

为了使火花塞能够更好地散热，采用以下措施：

- 1) 采用突出的金属壳来降低接地电极的温度；
- 2) 采用铜芯接地电极来传热。

(2) 高的抗积碳性能

分层燃烧时，较浓的混合气集中在火花塞周围，特别是油束引导的分层燃烧过程喷射的油束会直接碰撞到火花塞，导致火花塞更容易积碳，这将会降低火花塞的绝缘性能而引起漏电，导致火花塞不点火，因此缸内直喷式汽油机用的火花塞应具有自洁能力和高的抗积碳性能。

为此，采用以下措施来提高火花塞的抗积碳性能：

- 1) 采用直径较小的直形绝缘体末端改善自洁能力；
- 2) 减小火花塞间隙防止积碳；
- 3) 采用两段直径中心电极来改善自洁能力；
- 4) 采用半表面放电型设计来改善自洁能力。

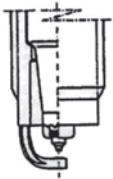
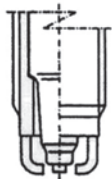
(3) 高的点火性能和耐久性

为了实现分层稀燃，必须确保在稀混合气中稳定可靠地点火，因此要求火花塞具有高的点火能量和较长的火花持续时间，并用铱合金的触点来提高火花塞的耐久性。

2. 缸内直喷式汽油机火花塞技术的现状

表 4-4-1 示出了目前缸内直喷式汽油机使用的两种火花塞：铱合金电极的标准型火花塞和半表面放电型火花塞。它们与进气道喷射汽油机使用的火花塞是有区别的，在维修保养时绝不能任意换用。

表 4-4-1 目前用于缸内直喷式汽油机的火花塞

	标准耐久型	半表面放电型
类型		
特征	- 突出的跳火间隙 - 两段直径中心电极 - 细长的直形绝缘栓端部 - 铜芯接地电极 - 铱合金电极 - 伸长的金属壳	- 突出的跳火间隙 - 半表面放电 - 2 个接地电极 - 伸长的金属壳
优点	耐久性好	抗积碳好
缺点	抗积碳差	沟槽影响耐久性

(1) 标准型火花塞

这种伸长型火花塞的接地电极伸入燃烧室较深，故将铜芯嵌入电极以提高其散热性，并通过增大金属端部的截面缩短电极本身的长度。另一方面当部分负荷充量温度较低并进行分层燃烧时，需防止积碳，为此采用带有较长直形绝缘体和较小顶端直径的电极，以提高其局部温度。为了防止积碳，采用两段直径的电极并减小火花间隙。采用上述措施后，即使在容易产生积碳的分层燃烧时也能获得良好的点火性能和耐久性。但是采用的细长电极的耐久性较差，故采用贵金属替代原有材料，考虑到缸内直喷式汽油机都使用高能点火线圈，采用抗烧蚀性好的铱合金电极来提高耐久性，然而这种标准型火花塞对连续积碳的自洁能力仍然不足，必须采用进一步的改进措施。

(2) 半表面放电型火花塞

和标准型火花塞一样，它也是伸长型的。火花塞的过热问题依然存在，为防止接地电极过热也采用伸长的金属壳，不过其接地电极比标准型火花塞短，因此不再需要如前所述的带铜芯电极。但是火花发生在紧靠绝缘体顶端表面的周边，因此即使发动机在可能形成积碳的工况下运行，也具有优异的自洁效果。

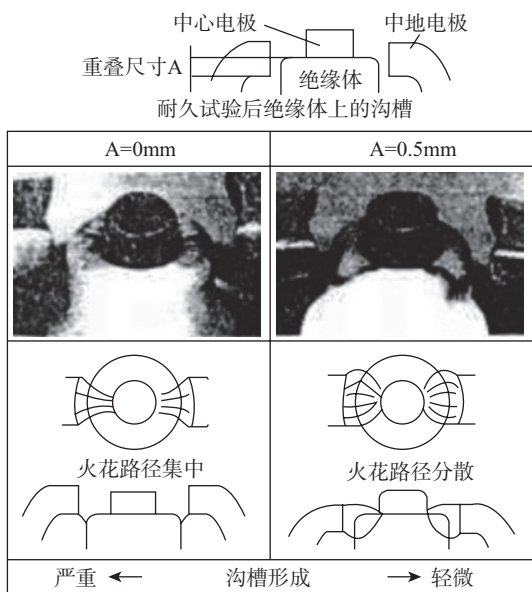
与标准型火花塞相比，这种火花塞在减少阻抗的下降和抗积碳性能方面更优越，在直喷式汽油机上表现出良好的使用性能，尤其是在发动机怠速和分层燃烧运行状态。

这种半表面放电型火花塞优异的自洁效果是以电极之间放电时在绝缘体顶端表面形成沟槽为代价的，从而成为其潜在的弱点。缸内直喷式汽油机比进气道喷射汽油机的压缩比高，更容易出现沟槽。目前电极烧蚀是缩短火花塞使用寿命的主要原因，过多的沟槽将导致抗高温能力下降，加速火花塞的损坏，这是在缸内直喷式汽油机维修保养中经常会遇到的毛病。

3. 缸内直喷式汽油机火花塞技术的改进

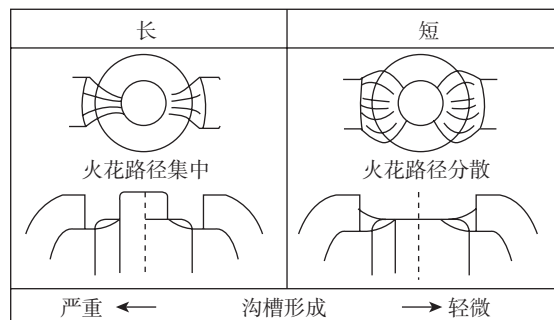
目前缸内直喷式汽油机广泛应用的半表面放电型火花塞在绝缘体顶端表面形成沟槽，已成为影响火花塞耐久性的重要因素，必须予以关注和改进。

半表面放电型火花塞的沟槽是由于在中心电极与接地电极之间产生的电容放电，使端面的绝缘材料剥落而形成的。电容放电的电压和次数、火花强度与持续时间是形成沟槽的主要因素，而燃烧室中的压力、气体流动和温度是其外在因素。增大火花塞的固有电阻、接地电极与中心电极绝缘体的重叠尺寸，如图 4-4-10 所示，和接地电极的数量以及缩短中心电极的突出长度，如图 4-4-11 所示，或采用空气放电电极火花塞与半表面放电型火花塞相结合的混合型火花塞都能减少沟槽的形成。用金属氧化物半导体材料镀覆放电表面，能够降低火花塞的跳火电压减少沟槽的形成，但是当火花放电时这种镀层会快速消失。为了防止镀层脱落，利用 NTC（负温度系数）热敏电阻具有电阻随温度升高而降低的特性，采用含有这种热敏电阻材料的金属制成中心电极。在跳火过程中来自中心电极的分散粉末飞溅到绝缘体表面形成氧化物薄膜，从而降低跳火电压（降低 4.0kv）来减少沟槽的形成。



增大接地电极与中心电极绝缘体的重叠尺寸可减少沟槽的形成

图 4-4-10



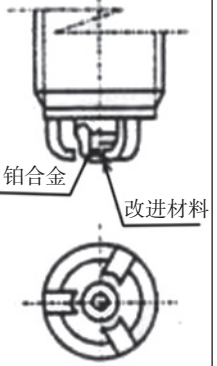
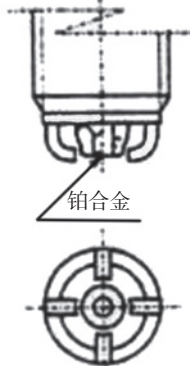
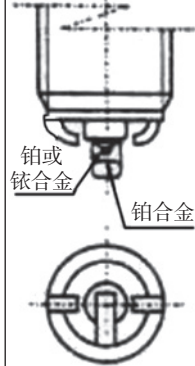
缩短中心电极的突出长度可减少沟槽的形成

图 4-4-11

采用改善沟槽形成的方法，开发出了三种新型长寿命的半表面放电型火花塞，如图 4-4-12 所示。

- (1) 3 个接地电极的半表面放电型火花塞；
- (2) 4 个接地电极的半表面放电型火花塞；
- (3) 3 个接地电极的混合型火花塞。

在实际运行中，它们都显示出了优良的自洁能力，具有高的抗积碳能力和耐久性，能确保分层燃烧过程的稳定性，特别是带有 3 个接地电极的混合型火花塞，能满足现代缸内直喷式汽油机分层燃烧等更为严酷的运行条件。

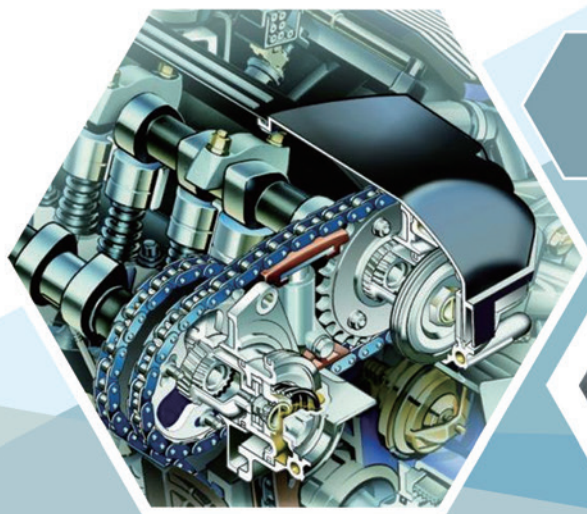
3个把接地电极半表面放电型火花塞 (3-SSD)	4个把接地电极半表面放电型火花塞 (4-SSD)	3个接地电极混合型火花塞
 <p data-bbox="486 1002 703 1062">中心电极直径<math>\phi 2.2</math> 空气间隙0.6</p>	 <p data-bbox="703 1002 895 1062">中心电极直径<math>\phi 2.0</math> 空气间隙0.6</p>	 <p data-bbox="895 1002 1090 1062">中心电极直径<math>\phi 2.2</math> 主间隙0.9子间隙0.5</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>·半表面放电</li> <li>·3个接地电极</li> <li>·改进后的中心电极材料</li> <li>·铂合金 (镀层)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·半表面放电</li> <li>·4个接地电极</li> <li>·铂合金 (阀片)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·半表面放电和空气放电 (混合型)</li> <li>·铂合金或钛合金</li> </ul>

三种长寿命半表面放电型火花塞

图 4-4-12

# 第5章

## 电控冷却系统



1. 掌握冷却风扇的控制方式
2. 掌握电子节温器结构原理及其控制逻辑
3. 掌握发动机双循环冷却控制原理



## 第一节 电控冷却风扇控制技术

### 一、电控冷却风扇控制技术类型

从冷却风扇工作形式来看，电控冷却风扇的控制方式有 2 种：一是与发动机 ECU 无关、环境参数独自监控的自控电动控制方式；二是综合发动机、空调、压缩机、车速等多种参数信息的综合型智能控制方式。

从冷却风扇驱动控制模块来看，冷却风扇的控制技术可分为两大类，一是集中于发动机动力系统控制模块控制的集中式控制；二是独立于发动机外或与发动机有通讯联系的分体式控制。集中式控制，即指冷却风扇的控制由兼有发动机的喷油、点火、排放、空调、冷却风扇等多种控制功能的发动机动力总成控制模块执行。由它统一协调调度，来保障发动机良好的动力性、经济性、排放性。分体式控制，即指脱离了发动机，由外部的电子控制模块来完成驱动风扇，以达到冷却系统使发动机适度冷却的目的。这个外部的电子控制模块就是我们所谓发动机冷却风扇控制器。

### 二、单纯继电器控制电路

如图 5-1-1 所示为早期汽车通用的冷却风扇控制器，帕萨特 B5、2000、桑塔纳、奇瑞以及一些国产低端车型有使用。

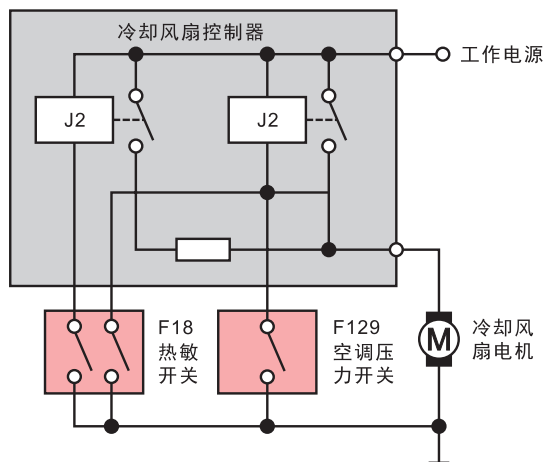


图 5-1-1 早期汽车通用的冷却风扇控制器

工作原理：当冷却液温度或打开空调后空调压力超过规定的限值时，温度开关或空调压力开关接通，控制 J1、J2 继电器工作，驱动风扇电机使冷却风扇工作。只能控制两个固定风速。对风扇电机没有保护功能。

### 三、逻辑电路加继电器集成式控制器

逻辑电路加继电器集成式控制器如图 5-1-2 所示特点：自控电动控制方式，直接安装于风扇附近，

散热好；线路简单、线束少，易维修。只能控制两级个固定风速；用于密封强制循环式发动机冷却系统。对产品的工作温度要求较高，从 70℃ 提高到 110℃，另外对水密封性和防尘都有更高的要求，综合成本较高。电路对风扇电机没有保护功能。

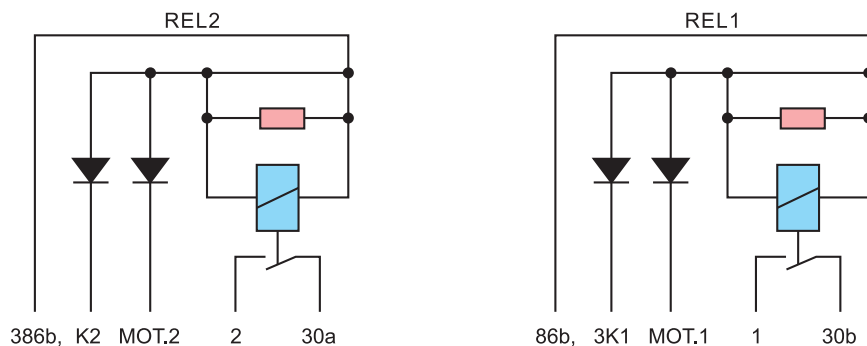


图 5-1-2 波罗冷却风扇控制器电源理图

逻辑电路加继电器集成式控制器特点：自控电动控制方式，直接安装于风扇附近，散热好；线路简单、线束少，易维修。只能控制两级个固定风速；用于密封强制循环式发动机冷却系统。对产品的工作温度要求较高，从 70℃ 提高到 110℃，另外对水密封性和防尘都有更高的要求，综合成本较高。电路对风扇电机没有保护功能

#### 四、智能芯片与继电器分离式控制电路

使用车型：金杯海狮、金龙海狮柴油车和北汽福田蒙派克车。

工作原理如图 5-1-3 所示，控制器采样水温传感器信号，当温度  $80 \pm 30^\circ\text{C}$  时，控制继电器 J1 动作，动风扇低速运行；当温度  $85-95^\circ\text{C}$  时，控制继电器 J2 动作，驱动风扇高速运行。当冷却液温度于相应温度时，依次由高速降到低速至停止。

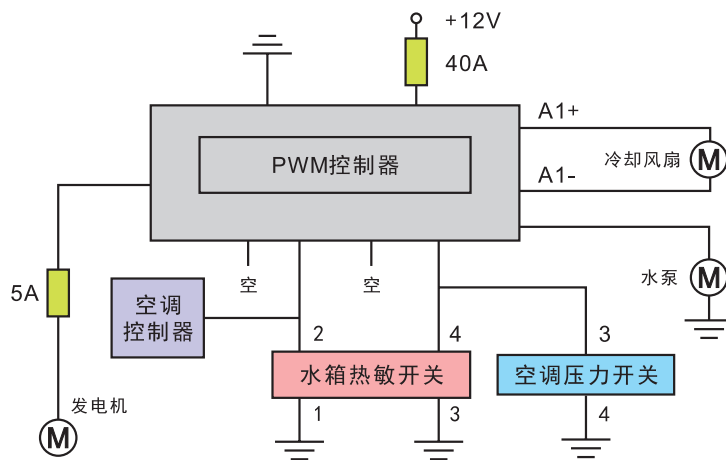


图 5-1-3 智能芯片与继电器分离式控制电路图原理

#### 五、智能芯片加继电器集成式控制电路

使用车型：Brora、2000、3000、捷达、高尔夫。风扇控制电路见图 5-1-4。

工作原理：输入信号有空调压缩机的压力传感器（PWM 信号）、外界温度传感器（NTC）、水温信号、机温度开关、空调开关等，这些都是发动机系统必不可少的控制信号，经单片机处理，分别根据不同的压力条件、温度条件，使主风扇、辅风扇、空调电磁离合器和冷却水泵进行有序的工作，单片机还具有与发动机 ECU 有单线双向通讯端口（BIDI），负责向发动机通知空调离合器的工作状况及判断风扇控制器是否应该启动电磁离合器。

这种冷却风扇控制器是双风扇固定转速控制技术的最高形式。

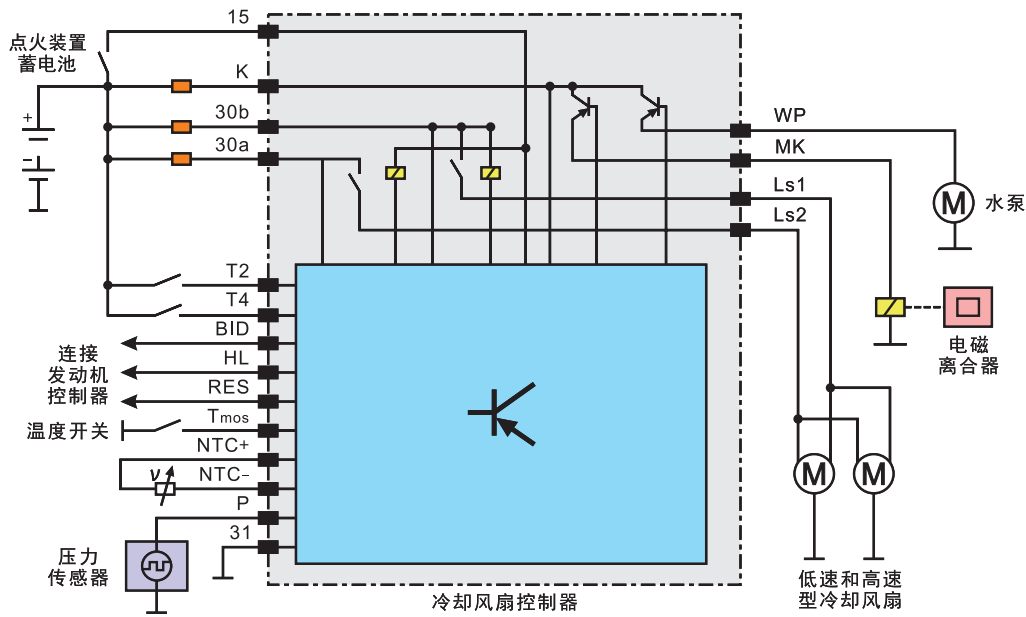


图 5-1-4 Brora A4 的冷却风扇控制外围电路

## 六、PWM 脉宽调制输出方式的控制电路

使用车型：奥迪，三菱，马自达，丰田等。

图 5-1-5 是一汽大众奥迪轿车的冷却风扇控制外部电路示意图。

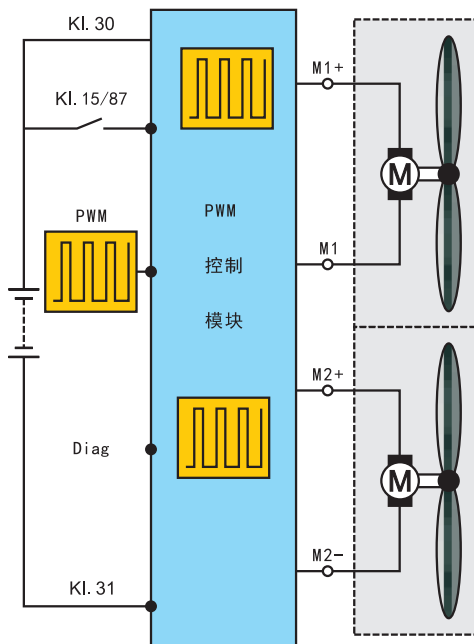


图 5-1-5 改进后的 PWM 控制器外部电路示意图

安装在发动机舱的冷却风扇上，PWM 控制器与发动机 ECU 紧密相关，发动机 ECU 在采样分析冷却系统的温度、压力等综合信号后处理成 PWM 信号给冷却风扇控制器，冷却风扇控制器再输出相应占空比的 PWM 脉冲信号驱动风扇，使风扇在一定范围内可以无级调速。

PWM 控制器控制两个风扇输出情况不同，在输入信号占空比  $< 5\%$  时，两者均为  $100\%$  输出，风

扇全速运行。

此后，在 5%—12% 输入时，风扇 M1 输出为零，在 12%—88% 输入时为线性输出，即以占空比为 22%—90% 输出无级调速。风扇 M2 则在在输入信号占空比为 5%~82% 时，输出为零。其它情况下均为 100% 输出。

## 七、新一代 PWM 脉宽调制输出方式的控制电路

新一代 PWM 脉宽调制输出方式的控制电路是在改进版基础上演变而来的，只是双风扇输出特性相同，实现了双风扇输出的无级调速。

典型产品是用于德国大众 CADDY、TOURASKODA 等冷却风扇控制器，安装在发动机舱的冷却风扇上。法国标致 308、雪铁龙 C4、C6 也采用了这一技术。

此系统为综合型智能控制方式，兼有集中式控制和 PWM 技术的优点，控制电路对发动机及其周围环境参数考虑的已极为全面。有紧急运行模式、堵转、短路、过压、欠压、温度过高保护等等功能。真正体现了智能化控制。同时与以往的控制方式相比，能效更高，达到了节能降耗的目的，如图 5-1-6 所示。

通过对汽车发动机冷却风扇控制技术分类特点评析，可以看出，冷却风扇控制技术从集中式，到分体式控制方式的大量采用，使冷却风扇控制的实时性大大提高，即保证在发动机管理系统处理其它工作程序的同时，冷却系统还能实时工作。PWM 控制技术的采用，克服了固定风速、有级风速造成能量损失的缺陷，而无级调速更是发挥了这一控制技术的优点。同时，从可靠性角度看，PWM 控制技术的采用，提高了控制系统的抗干扰能力，而随之带来的电磁骚扰问题也须十分注意。环保、节能降耗、高性能、智能化必然是冷却风扇控制技术今后的研究方向。

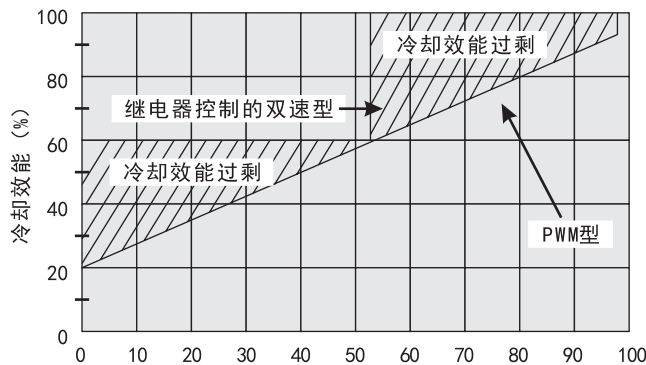


图 5-1-6 冷却效能量对比图



## 第二节 电控节温器

### 一、电子调节式的冷却系统

电子调节式的冷却系统的开发目的,就是要能按负荷状态将发动机的工作温度调节到某个规定值。根据存储在发动机控制单元内的特性曲线,电加热的节温器和散热器风扇不同工作级就能设定出最佳的工作温度。

因此在发动机的各个功率和负荷状态,冷却状态均能符合实际需要。冷却液温度与实时的发动机工作温度相匹配,其好处是:

1. 在部分负荷工况降低燃油消耗
2. 减少未处理的 CO 和 HC 排放

与传统冷却循环相比的改动之处:

1. 通过极小的结构改动就可容入到冷却环路中
2. 冷却液分配器壳体和节温器合成一体
3. 发动机缸体上的冷却液调节器(节温器)省去了
4. 发动机控制单元内还包含有电子调节冷却系统用的特性曲线

### 二、冷却液分配器壳体

冷却液分配器壳体(取代了连接管)直接安装在缸盖上如图 5-2-1 所示。各个部件都是从上平面获得冷却液供应的,但给水泵供水是个例外。冷却液分配器壳体下平面连接的是各个部件的冷却液回流管。上平面和下平面之间是通过一个真立的通道相连的。

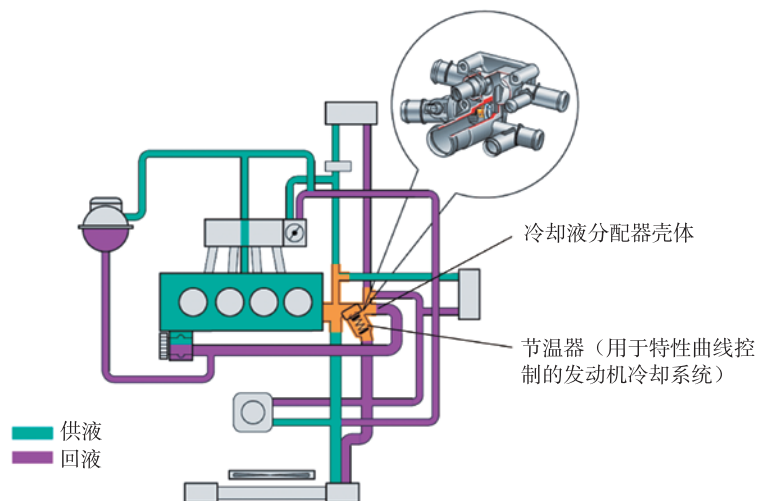


图 5-2-1 冷却液循环电子调节示意图(a)

节稳器通过一个小阀盘来打开或关闭这个垂直通道。冷却液分配器壳体实际就是冷却液大循环和小循环分配站。

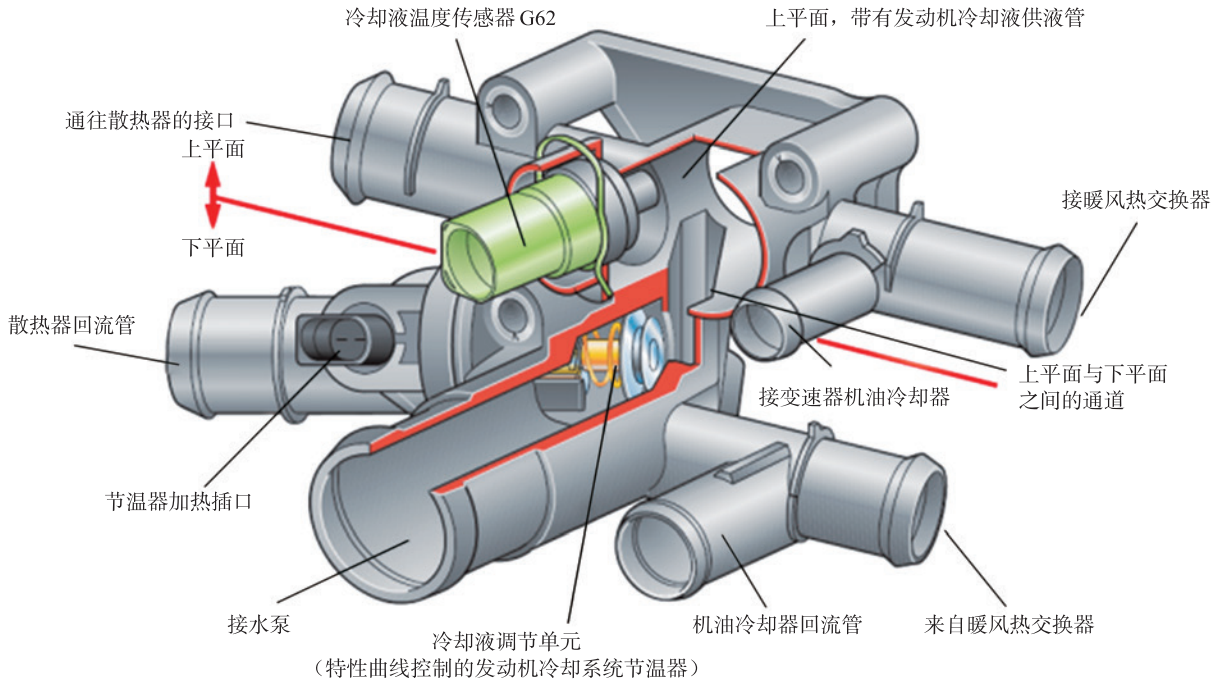


图 5-2-1 冷却液分配器 (b)

### 三、冷却液调节元件

功能部件：由膨胀式节温器（充蜡）、充蜡元件内的电阻加热器、压缩弹簧（用于机械封闭冷却液通道）、一个大阀盘和一个小阀盘等组成如图 5-2-2 所示。

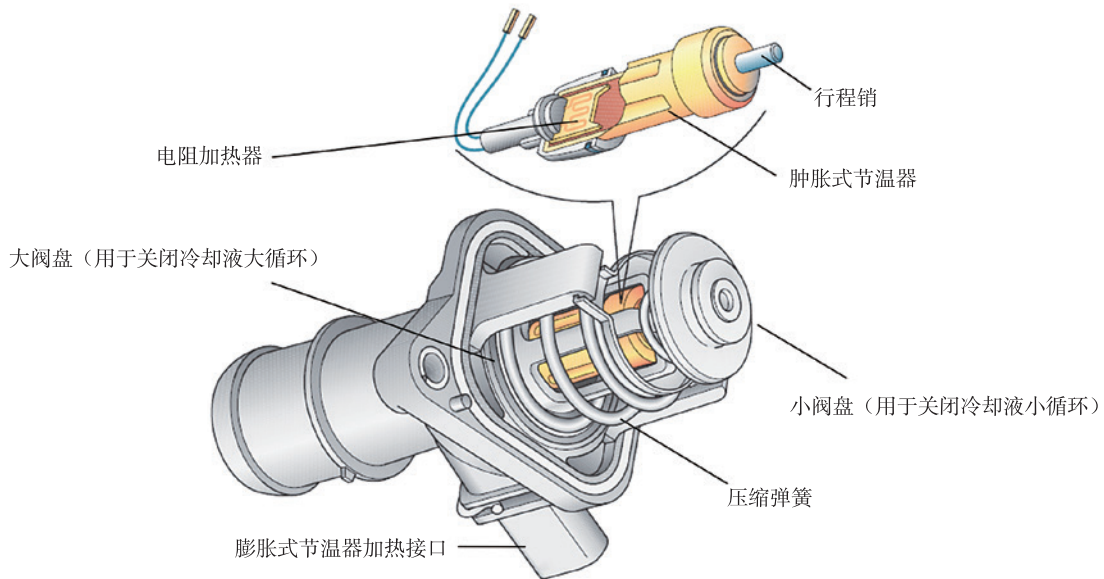


图 5-2-2 电子节温器

功能：冷却液分配器壳体的膨胀式节温器始终是处于冷却液的包围中。充蜡元件在不加热情况下来调节温度（这与以前一样），但是它是按另一种温度设计的由于冷却液温度的作用，蜡溶化成液体并膨胀。这个膨胀作用使得行程销产生一个行程。在不通电流的正常情况下，这个膨胀过程按照发动

机出口处 110°C 冷却液温度的新温度曲线来进行。

充蜡元件内嵌入了一个加热电阻。如果这个加热电阻被通上了电的话，它就会对充蜡元件加热，于是行程（也就是调整情况）就不只是取决于冷却液温度了，而是按照发动机控制单元内存储的特性曲线来进行了。

### 1. 冷却液小循环

- 发动机 - 冷起动和部分负荷

冷却液小循环用于快速预热发动机如图 5-2-3 所示。特性曲线控制的发动机冷却过程并未工作。冷却液分配器壳体内部的节温器阻止了来自散热器的回流冷却液。通向水泵的较短的通路被打开了。散热器不参与此时的冷却液循环。在小循环中，用于部分负荷下限和上限的冷却液温度范围为 95°C - 110°C。

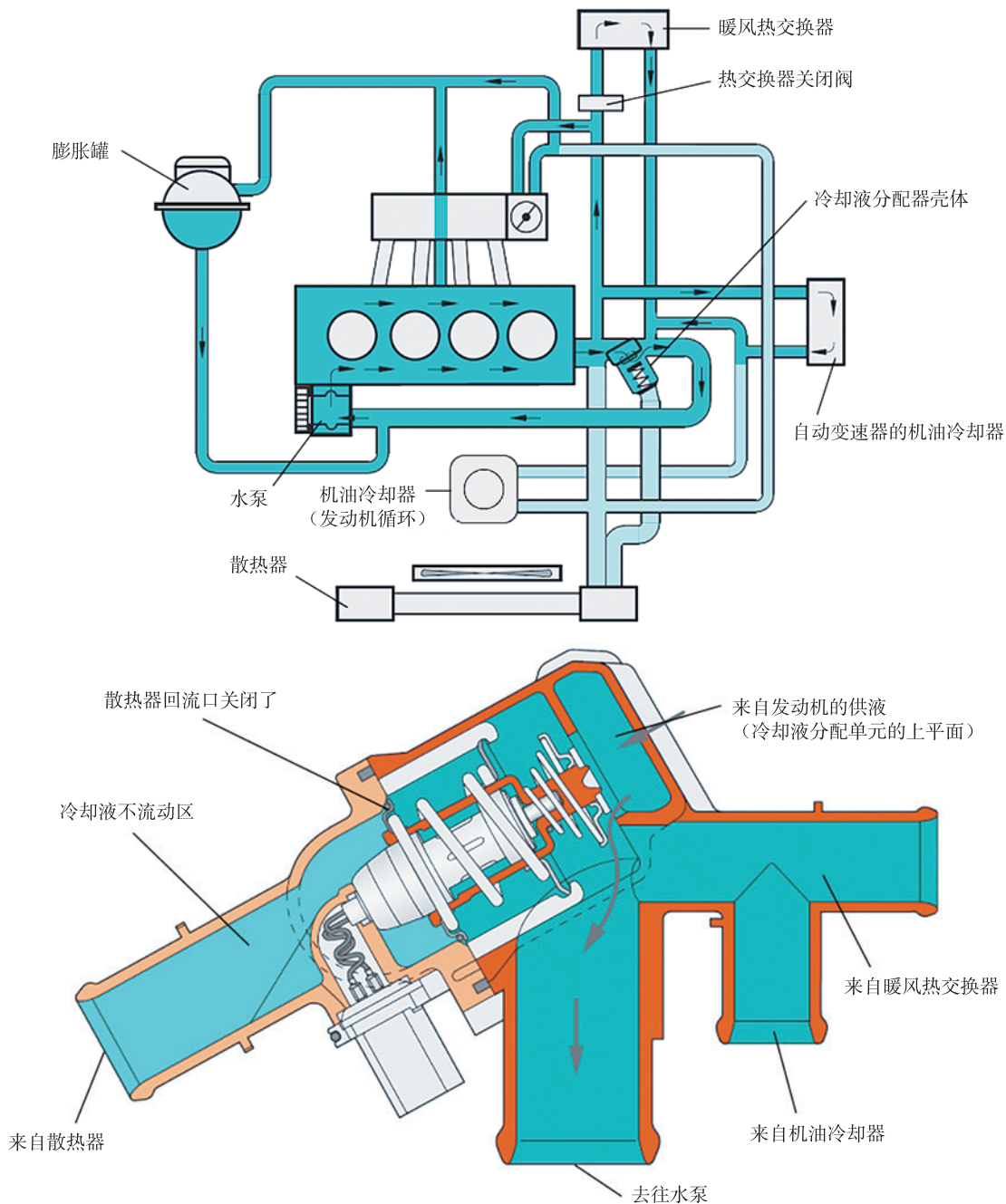


图 5-2-3 冷却液小循环

### - 小循环的功能位置

起始位置：发动机起动并运行水泵使冷却液开始循环起来如图 5-2-3 所示。冷却液从缸盖（在分配壳体的上平面中）经一条通道流入下平面中。节温器的位置只允许直接通往水泵的路径是开通的。

冷却液很快就能热起来了，所以小循环就是快热用的。暖风热交换器和机油冷却器是连接在小循管路上的。如果暖风调节钮处于“关闭”位置的话，热交换器关闭阀就会切断通向热交换器的供液。于是就不会对车内进行加热了。

## 2. 冷却液大循环

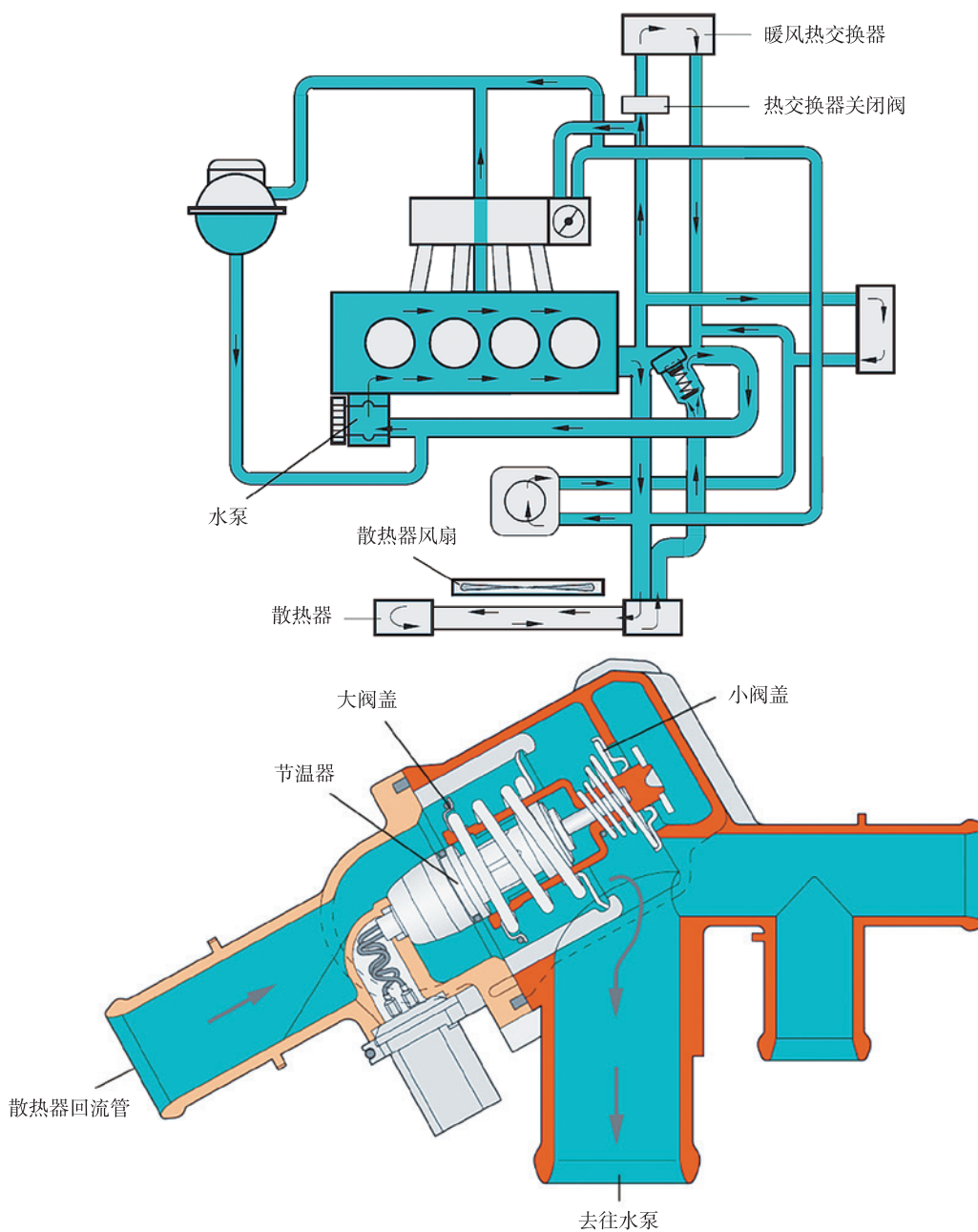


图 5-2-4 冷却液大循环

### - 大循环的功能位置

冷却液大循环或者是冷却液达到  $110^{\circ}\text{C}$  时由节温器打开如图 5-2-4 所示，或者是根据负荷情况由特性曲线打开。散热器现在就参与此时的冷却液循环了。全负荷时，大循环中冷却液温度为  $85^{\circ}\text{C} - 95^{\circ}\text{C}$ 。为了增强行车风或者怠速时的冷却效果，电动风扇会根据需要接通。

- 发动机 – 全负荷

发动机在全负荷工作时需要很大的冷却能力来配合，于是冷却液分配器壳体内部的节温器就通上了电，于是散热器的回流管就被打开了。

与此同时，通向水泵的小循环管路就被小阀盖关闭了，因为这是机械相联的。水泵将从缸盖流出的冷却液直接经上平面输送到散热器了。从散热器出来的已冷却下来的冷却液流回到下平面，再由水泵来抽取。也可能出现中间情况。这时一部分冷却液走大循环，一部分冷却液走小循环。

#### 四、系统图

系统图如图 5-2-5 所示。

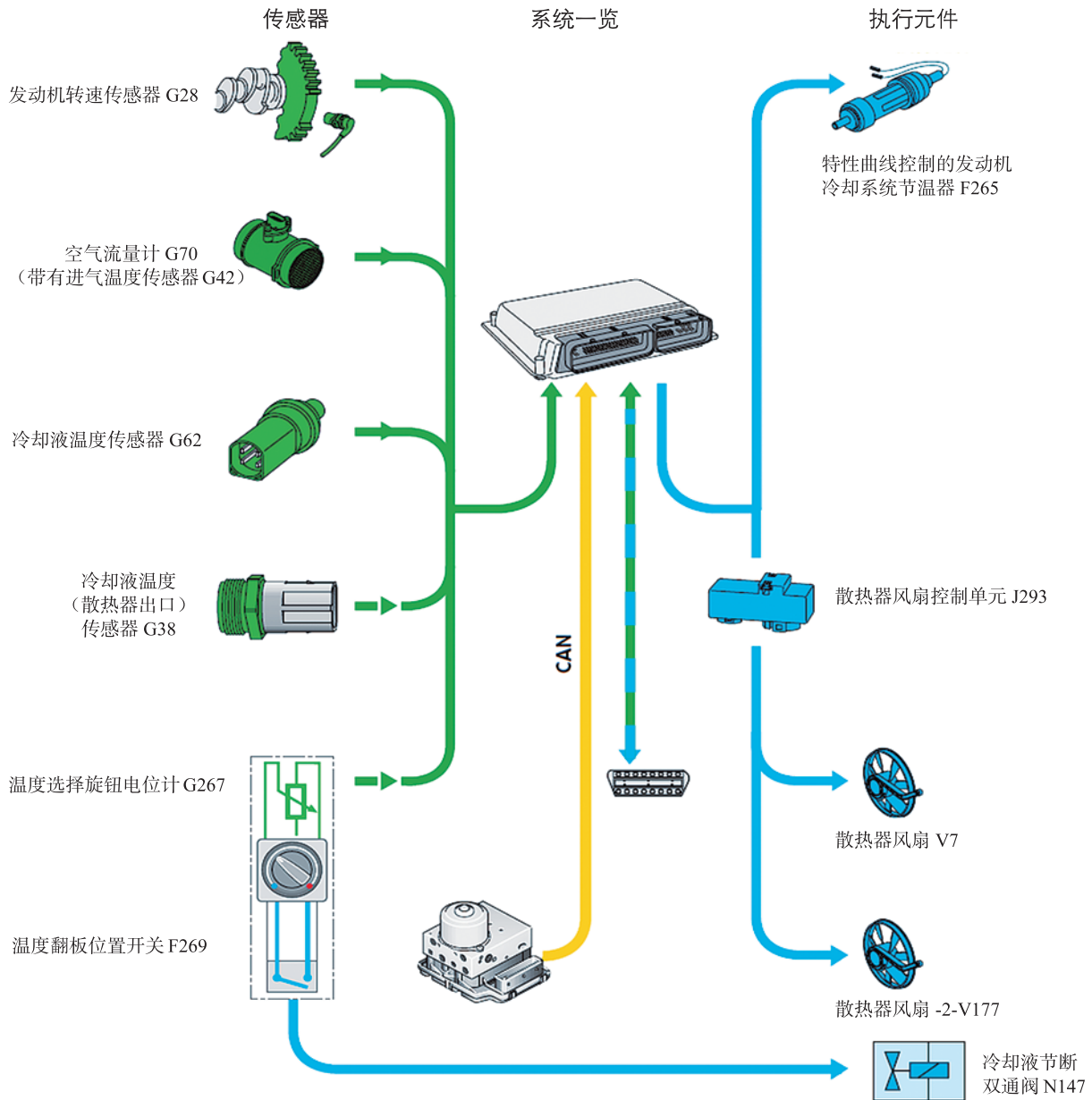


图 5-2-5 系统图

#### 五、节温器 F265

膨胀式节温器的蜡质元件中嵌入了一个加热电阻如图 5-2-6 所示。这个加热电阻会加热蜡，蜡就

开始膨胀，行程销就按特性曲线产生一个行程“x”。这个行程 x 就对节温器进行了机械调整。这个加热过程由发动机控制单元通过脉冲宽度调制信号（PWM-信号）按特性曲线来激活。

不同的加热程度取决于脉冲宽度和时间。

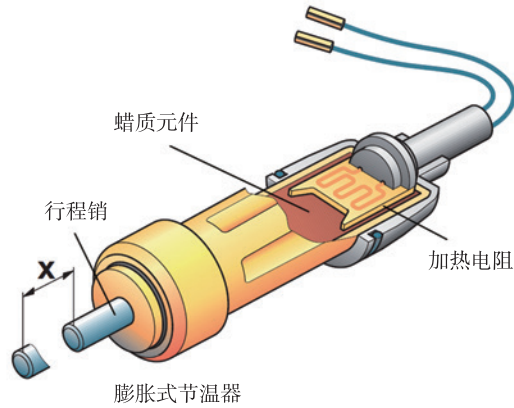


图 5-2-6 加热元件结构图

## 六、电路图（如图 5-2-7）

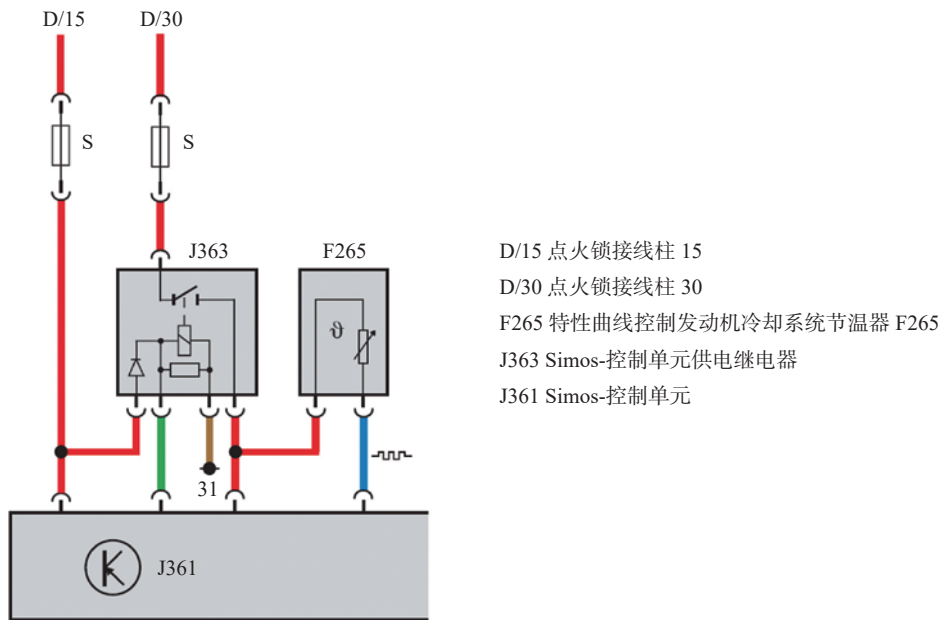


图 5-2-7 电子节温器电路



## 第三节 发动机双冷却控制系统

### 一、双冷却系统

双冷却系统由主冷却系统和增压冷却两部分组成。双循环冷却系统是由两个相互独立的冷却循环所组成所以叫双循环系统，这两个循环分别是“增压空气冷却循环”和“发动机主冷却循环”如图 5-3-1 所示。

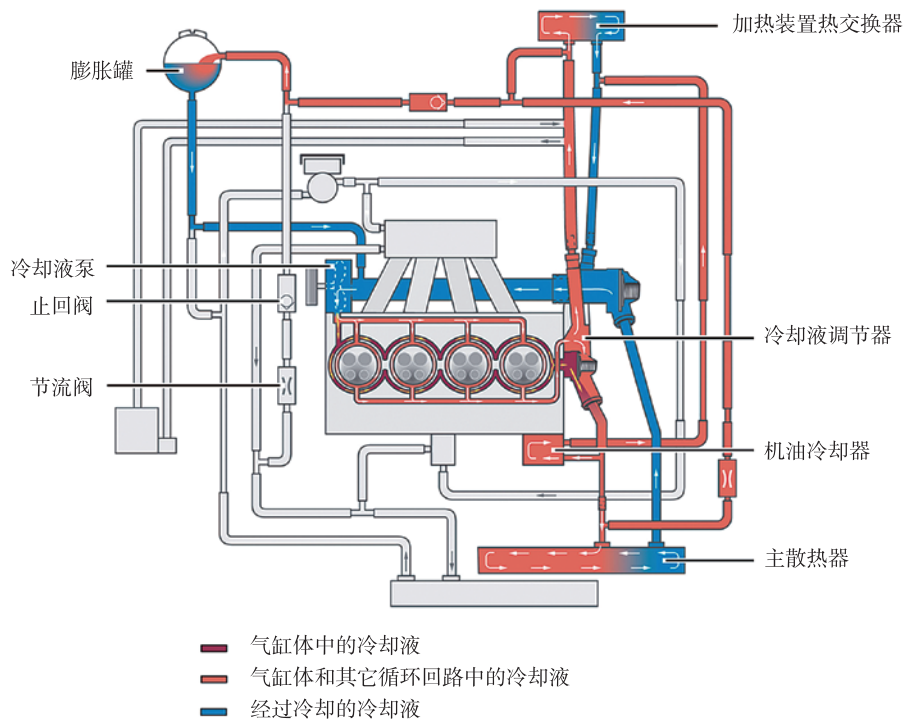


图 5-3-1 双循环冷却控制

### 二、主冷却系统

主冷却系统由膨胀水箱、冷却水泵、缸体、缸盖、节温器 1、节温器 2、主散热器、加热装置热交换器组成。

传统发动机只用一个节温器，汽缸体和汽缸盖中的冷却液也只有一个回路，两处冷却液温度相同。而双回路冷却方式采用二个节温器，分别用于冷却汽缸体的液流回路和汽缸盖的液流回路中，两条回路中的冷却液温度不相同。

因为汽缸盖上有燃烧室和排气门座而受热严重，为加强散热，就采用更低的冷却温度（83～98℃）。这样，因汽缸盖温度较低就有利于更充分的充气、减少爆燃和提高排气门座寿命。而汽缸体处受热强度要小些，冷却液温度保持在 87～102℃（比汽缸盖处高 4℃），既有利于燃气膨胀又减少了摩擦和气体传热损失。双回路冷却方式能使两处各自保持最佳的温度。

双回路冷却系统和传统的单回路冷却系统在结构上基本相同。其主要不同是：汽缸体和汽缸盖中各有一条冷却回路，装在冷却液分配壳体中的两个节温器各自控制一个回路的冷却液流量。但两个回路的冷却液在汽缸盖中也交叉流动。

### 三、增压空气冷却

#### 1. 增压空气冷却系统

增压空气冷却系统由冷却液冷却循环泵、进气管增压空气冷却器、涡轮增压器、增压空气辅助冷却器、止回阀、节流阀等组成如图 5-3-2 所示。

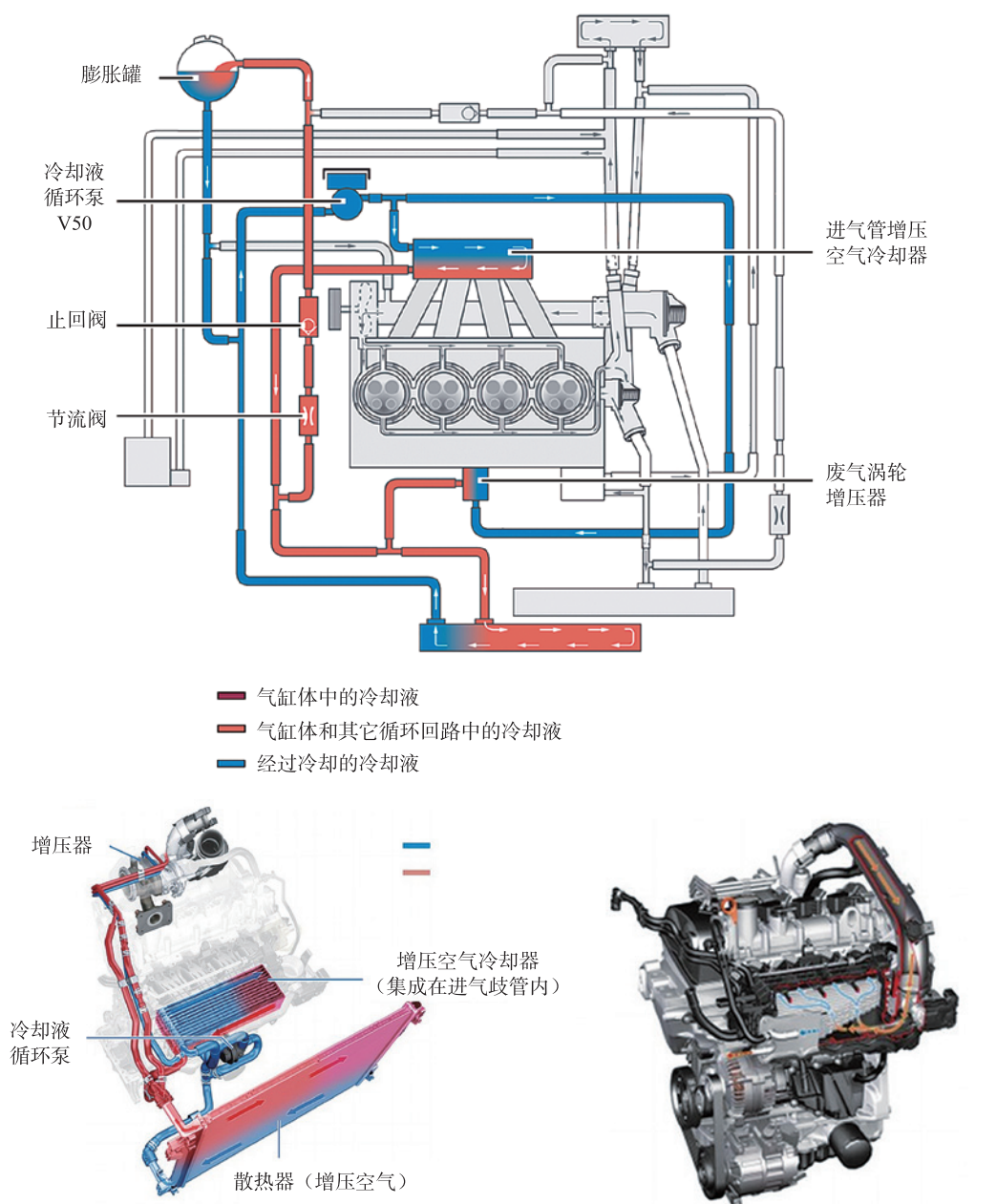


图 5-3-2 增压空气冷却

## 2. 增压空气冷却特点

- 1) 减小进气道容量
- 2) 大负荷时与外界温差在 20-25℃之间
- 3) 与发动机冷却系统的温差大
- 4) 根据发动机负荷控制冷却液循环量

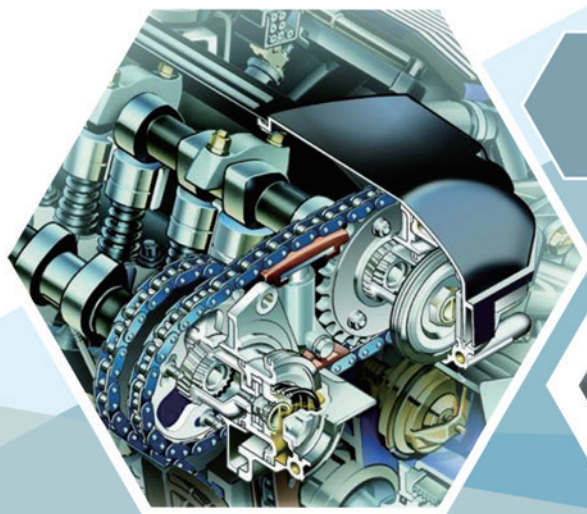
## 3. 冷却液循环泵 V50 的启动条件

- 1) 在每次发动机起动后不久
- 2) 在发动机扭矩超过大约 100Nm 时
- 3) 在进气管中的增压空气温度超过 50℃时
- 4) 在增压空气冷却器前后的温差低于 8℃时
- 5) 在发动机运行时，每 120 秒运行 10 秒，以避免废气涡轮增压器出现热量积蓄现象

6) 根据特性曲线不同，在关闭发动机后运行 0-480 秒，以避免废气涡轮增压器过热形成蒸汽。装备此系统后，增压发动机在高速运行以后，可以直接熄火不用再使发动机怠速运行 1min 在熄火，节省了驾驶者的时间，和避免了发动机的损坏。

# 第 章

## 电源管理系统



1. 了解 SOC 含义及估算方式
2. 了解传统充电系统缺陷
3. 掌握微机式电源管理策略



## 第一节 微机式电源管理结构

随着总线技术的广泛应用，汽车电气系统总的发展趋势是分布式控制系统代替集中式控制系统，且智能化器件越来越多。在这样的系统中，可以使电力线束与信号（通信、控制）线束互相独立，从而为汽车的电源网络作为一个相对独立的系统创造了条件。

微机式电源管理系统是基于荷电状态（state of charge, SOC）来控制管理的。SOC 用来反映电池的剩余容量，在 SOC 监控上，用蓄电池的电压、放电电流、蓄电池温度来估算的。

### 一、传统充电系统缺陷

在传统的内燃机车辆供电系统中，长期存在着以下的问题：

#### 1. 缺乏对蓄电池电荷状态（state of charge, SOC）的监控功能

整车电源系统对蓄电池充电侧和放电侧无法进行实时控制，导致电能量产生与电负荷消耗不平衡，造成了蓄电池电量不足或者过充电。

#### 2. 缺乏对重要电负载的保护

对不同的电气系统来说，没有优先级区分，即便是重要负载在低电量时也会被关闭。

#### 3. 燃油经济性差

发电机与发动机同步运转，其输出电压为常值，即便发动机运行在低效率区，发电机也照常发电，致使燃油经济性变差。

### 二、微机式电源管理控制策略

#### 1. SOC 控制

近几年来，新型车辆将蓄电池充电控制融入到了车载电气能量管理系统中，ECU 根据蓄电池的传感器检测蓄电池的电压、电流和温度信号，计算出蓄电池 SOC 值，通过 LIN 总线控制 IC 调节器的目标电压，维持电负载供电和蓄电池充电的稳定功能。如图 6-1-1 所示。

当蓄电池放电低于 SOC 阈值时，ECU 会控制 IC 调节器调整目标电压，提高发电机输出电压，加快蓄电池充电至规定的 SOC 值。

#### 2. 燃油经济性

ECU 可以根据车辆行驶中发动机负载设定 IC 调节器的目标电压范围。这也就意味着，蓄电池 SOC 处于正常的范围时，充电系统可以以提高车辆的燃油经济性为目的而不断动态调节。

在加速过程中，降低充电电压，时发电机消耗的扭矩减少，让更多的发动机输出功率传递给驱动轮，保证车辆的加速性。在车辆减速过程当中，提高发电机的输出电压，使发电机消耗发动机扭矩，实现制动能量回收，提高燃油经济性。ECU 动态调节充电电压如图 6-1-2 所示。

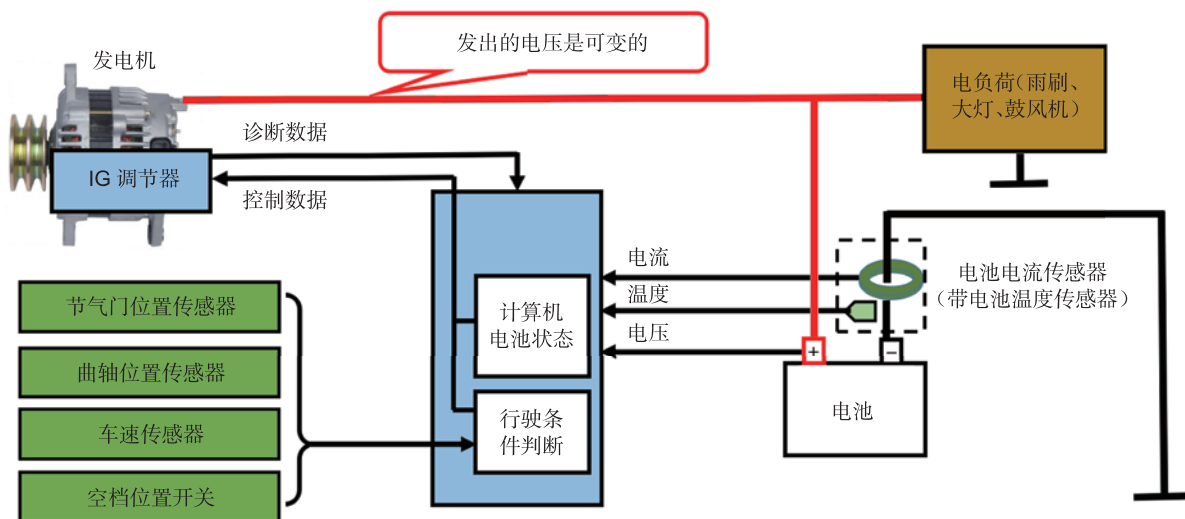


图 6-1-1 微机式电源管理控制策略图

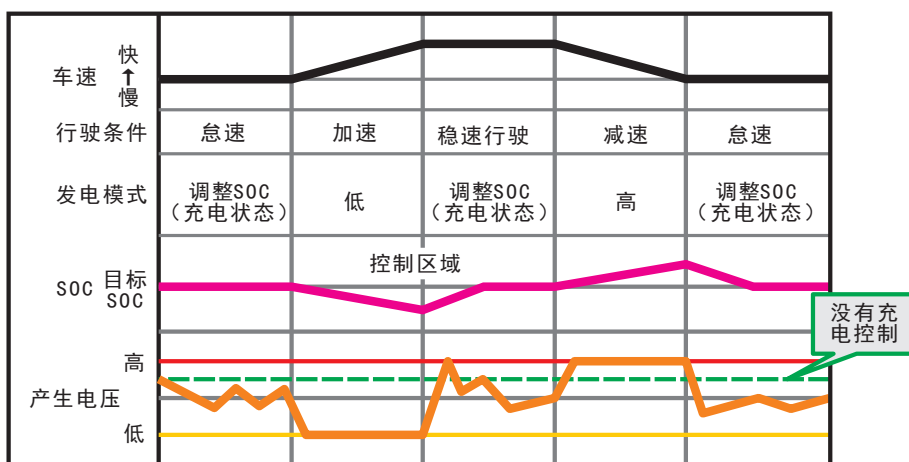


图 6-1-2 ECU 动态调节充电电压脉谱图

### 3. 发电机限制条件检查

在蓄电池 SOC 处于正常的范围的前提下，开启重要的负载时，如开大灯、雨刷、鼓风机等，ECU 会控制 IC 调节器提升发电机的输出电压。

## 三、蓄电池传感器

蓄电池传感器由霍尔式电流传感器和负热敏电阻蓄电池温度传感器组成，安装在蓄电池负极端子或附近的电缆上，如图 6-1-3 所示。

### 1. 霍尔电流传感器

#### (1) 霍尔效应

如图 6-1-4 所示，把一种半导体基片（霍尔元件）放到磁场中，并从侧面给基片通电，在另外两个侧面会产生一个毫伏级电压，这个电压的大小和通电电流的强弱、磁场的大小有关，电压的方向和通电电流的方向、磁场的方向有关。霍尔电流传感器就是根据霍尔效应制作的。



图 6-1-3 蓄电池传感器

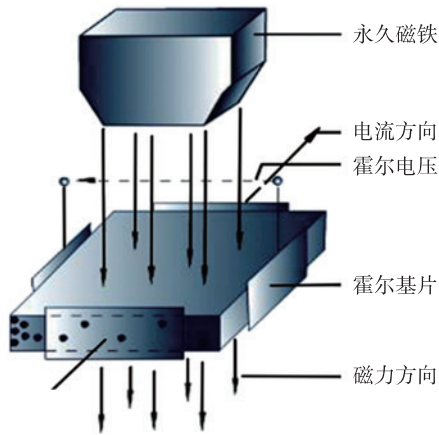


图 6-1-4 霍尔效应

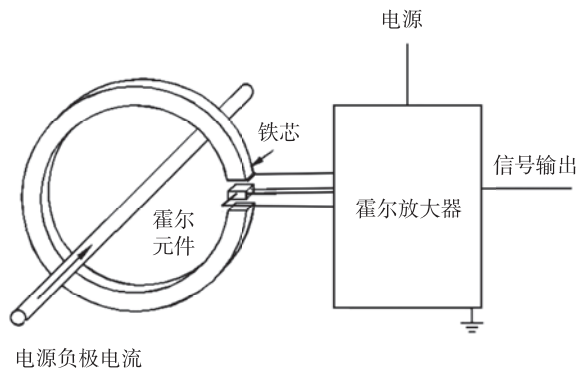


图 6-1-5 霍尔电流传感器结构示意图

### (2) 霍尔电流传感器结构

霍尔电流传感器结构如图 6-1-5 所示，由磁芯、霍尔元件、放大电路组成。

磁芯的作用是将收聚原边电流的磁场，霍尔元件的作用是将磁场信号转变为电信号，放大电路的作用一是给霍尔元件提供工作电流，二是采集霍尔元件产生电信号并将其转化成占空比信号传给 ECU。

### (3) 霍尔电流传感器原理

当霍尔电流传感器检测到没有电流时，放大器给 ECU 传递 50% 的占空比信号。

当发电机向蓄电池充电时，电流从蓄电池负极通过霍尔电流传感器到车身外壳，此时，电流通过磁芯时，磁芯收聚电流产生的磁场使其穿过霍尔元件，霍尔元件产生电压信号传给放大电路放大电路给电脑大于 50% 的占空比，充电电流越大，占空比越高。电脑以此检测充电电流。

当蓄电池放电时，电流从车身外壳通过霍尔电流传感器到蓄电池负极，此时，霍尔元件传给放大电路电压信号与充电时相反，放大电路给电脑小于 50% 的占空比，放电电流越大，占空比越低。电脑以此检测放电电流。

## 2. 蓄电池温度传感器

蓄电池温度传感器由负温度系数热敏电阻做成，其阻值随着温度的升高而下降，电脑通过其阻值检测蓄电池温度的变化。



## 第二节 丰田卡罗拉电源管理系统

### 一、丰田卡罗拉电源管理系统电路图

丰田卡罗拉电源管理系统电路如图 6-2-1 所示。

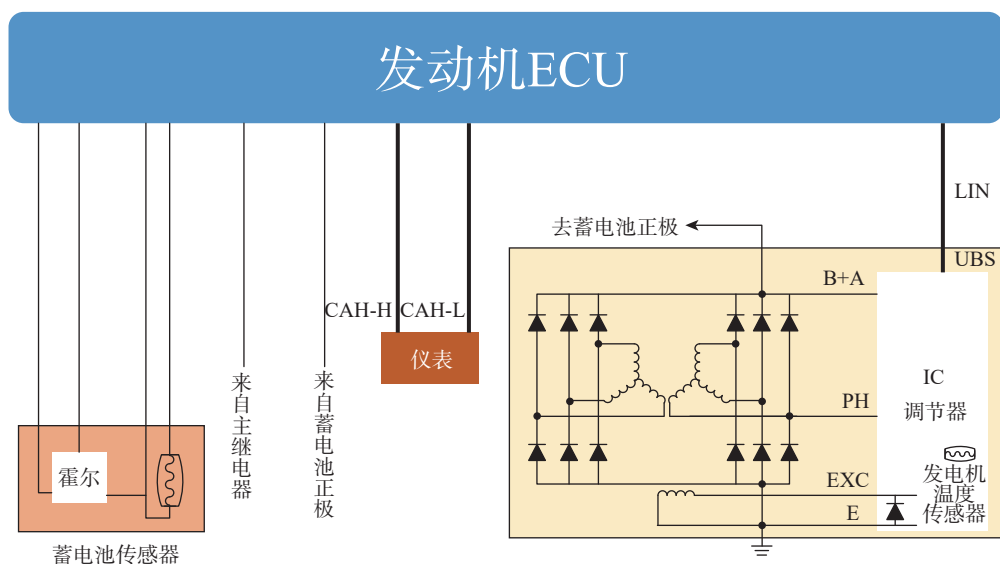


图 6-2-1 丰田卡罗拉电源管理系统电路图

### 二、丰田卡罗拉调节器的端子分析

**B+A 端子：**为 IC 调节器提供控制电路的反馈电压；

**PH 端子：**IC 调节器采集发电机的相电压，IC 调节器还可以获得相频率信息，即发电机频率。

**EXC 端子：**IC 调节器通过此端子给发电机励磁线圈提供电流。

IC 调节器是通过控制 EXC 端子占空比来控制发电机励磁线圈，其内部续流二极管能防止励磁电流断开时电压过高。

**LIN 协议接口端子：**通过 LIN 线使发动机 ECU 和 IC 调节器可以进行信息的沟通。

调节器提供给发动机 ECU 主要有以下信息：

- 发电机频率
- EXC 端子占空比
- 发电机温度
- 发电机故障

发动机 ECU 通过 LIN 协议接口端子可以实现以下功能：

- 目标电压控制
- 预励磁
- LRC（负载响应控制）控制时间
- LRC 禁止频率
- 励磁限流

### 三、工作原理

#### 1. 预励磁控制

当点火开关处于“ON”位置时，发动机 ECU 通过 LIN 总线发送控制信号，唤醒 IC 调节器进入 LIN 模式。此时发动机 ECU 根据各种传感器计算出目标电压并向 IC 调节器发送目标电压的命令，当目标电压  $\neq 10.6V$  且系统无错误信息时命令为有效命令。IC 调节器检测到发动机 ECU 命令有效时，进入预励磁状态。

此时若 B+A 的电压低于目标电压，IC 调节器通过 EXC 端子输出一定占空比的励磁电流给转子线圈，此占空比为预励磁占空比，预励磁占空比由发动机制造商根据发电机参数设定，如新一代卡罗拉为 16.4%。

预励磁的目的一方面是在发电机开始励磁时减少蓄电池的能组消耗，满足发动机能够平顺、轻松地启动，同时又能保证使发电机在发动机启动后迅速发电所需的最小励磁能量。

#### 2. PH 端子电压检测功能

发动机启动后，如果 IC 调节器通过 PH 端子采集到相电压低于 8V，则将 EXC 端子的输出占空比调节到 100%，如相电压依然不能达到 8V，IC 调节器会认为系统出现故障，励磁电流回到预励磁时占空比，减小发电机负荷，同时通过 LIN 总线把故障诊断信息传输给发动机 ECU，点亮充电指示灯。

#### 3. 目标电压控制

发动机正常运转后，IC 调节器调整 EXC 端子的输出占空比，使 B+A 的电压达到目标电压。

#### 4. LRC 控制

当发动机处于低转速范围时，车辆突发电气负荷增加，传统的发电机调节器会迅速增加发电机励磁电流而导致发动机突发扭矩变化，引起发动机速率振荡和振动。

智能 IC 调节器具有 LRC 功能，其作用就是在一定的时间内（这个时间为 LRC 启动时间，一般为  $5 \pm 3S$ ，此时间与电池状态及负载使用量有关），逐步增加发电机励磁电流占空比，在这段时间内，电负荷电流由发电机和蓄电池共同提供，如此减轻发动机的扭矩，节省燃油消耗。

当占空比达到最高后，若 B+A 的电压低于目标电压则 ECU 控制发动机转速上升。即发电机的频率上升。

随着发动机的转速提升，发电机转速进入切入频率。切入频率由发电机制造商根据车载电负荷功率和发电机电极对数而确定的，并写进调节器数字核心内。

切入频率是发电机在 800-2500r/min 之间的频率，一般设定在 1500r/min 左右。如果设定转速为 1550r/min，6 对电极发电机，对应发电机的频率就是 155HZ，此频率即为切入频率。发电机切入频率时，允许 IC 调节器 EXC 端子的输出占空比从 0% 增加到 100%，有 3-12.4S 不等的逐步加载过程，这个时间由发电机制造商给定，并写进调节器写入数字核心内。

切入频率 2 倍是 LRC 禁用频率。如果发电机转速超过切入频率 2 倍时突发电气负荷增加 IC 调节器不采用 LRC 控制，励磁电流占空比马上增加，没有有延迟，发电机输出稳定的目标电压。

如果发电机转速再次进入切入频率，IC 调节器会重新回到 LRC 控制。如果发电机转速低于 500r/min，则进入预励磁状态。

#### 5. 发电机负载反馈

通过发电机励磁电流占空比的变化，发动机 ECU 能够诊断到发电机的负载状态。发电机负载反馈的作用是在重负载情况下，发动机 ECU 决定不让电负荷大的用电器打开，避免发电机过载，同时加大

节气门开度，增加扭矩去适应负载变化。

## 6. 故障检测反馈

以下错误状态超过 300ms 时，IC 调节器将故障信息传输给发动机 ECU，点亮充电指示灯。

### (1) 过电压

如果在最小励磁占空比之外出现高电压，充电指示灯点亮，导致电压高的原因一般是励磁电路短路所致，即励磁电路未通过调节器。最小励磁占空比一般为 5%。如果负载突然消失发电机很可能会输出一个高电压，这种情况下，励磁不会一下子关断，它会保持一个最小的占空比。此时，充电指示灯不会点亮。

另外，如果 B+A 电压超过 1.07 倍的最大目标电压，且励磁电压大于 2V，即使是在最小占空比控制情况下，充电指示灯也点亮。

### (2) 低电压

如果 B+A 电压低于 0.8 倍的最小目标电压，且低电压不是出现在 LRC 功能控制状态下，充电指示灯点亮。

低电压有可能发电机故障引起，比如整流器出现问题等。太多的电负荷一起加载，发电机输出的电流不能立即满足需要，重负载出现在 LBC 功能控制模式下会导致低电压，此时，充电指示灯点不亮。

### (3) 缺相

IC 调节器收不到相信号，在缺相情况下 IC 调节器首先会增加励磁电流占空比到 100%，但如果还是检测不到相信号，则 IC 调节器强迫进入预励磁状态，并且点亮充电指示灯。发电机停止了运转（皮带断裂）、励磁消失（碳刷断开）都会导致相信号输入丢失。

### (4) B+A 与蓄电池

如果发电机开始运转、B+A 连接蓄电池的导线断开，就没有励磁电流，充电指示灯点亮。如果 B+A 到蓄电池断线发生在发电机正常运转中，只有在下一次启动的时候，充电指示灯才会点亮。



## 第三节 威朗电源管理系统

### 一、电源管理概述

电源管理系统用于监测和控制充电系统，并发出诊断信息，提醒驾驶员注意蓄电池和发电机可能存在故障。

本电源管理系统主要利用已有的车载电脑功能，使发电机效率最大化，管理负载，改善蓄电池充电状态和寿命，使系统对燃油经济性的影响降到最小程度。电源管理系统执行3个功能：

- 监测蓄电池电压并估测蓄电池的状态
- 通过提高怠速转速和调节电压进行校正
- 进行诊断并提醒驾驶员

在点火开关置于“ON（打开）”位置/车辆点火或“OFF（关闭）”位置/车辆熄火期间，估计蓄电池状态。在点火开关置于“OFF（关闭）”位置/车辆熄火期间，测量开路电路的电压以确定蓄电池的充电状态。充电状态是蓄电池的酸液浓度和内阻的函数。蓄电池停止工作数小时后，通过读取蓄电池开路电压估计充电状态。

任何时候，点火开关置于“ON（打开）”位置/车辆点火时，车辆算法根据调整的净 Ah 数、蓄电池容量、初始充电状态和计算的温度，持续估算蓄电池充电状态。

发动机运行时，蓄电池放电程度主要由集成式蓄电池电流传感器确定，可获取净 Ah 数。

此外，电源管理功能用于执行调节电压控制，以改善蓄电池充电状态、蓄电池寿命和燃油经济性。这是通过对蓄电池充电状态和温度的了解，将充电电压设置为不损害蓄电池寿命的最佳充电电压来完成的。

### 二、充电系统部件

威朗充电系统框架如图 6-3-1 所示，充电系统电路如图 6-3-2 所示。

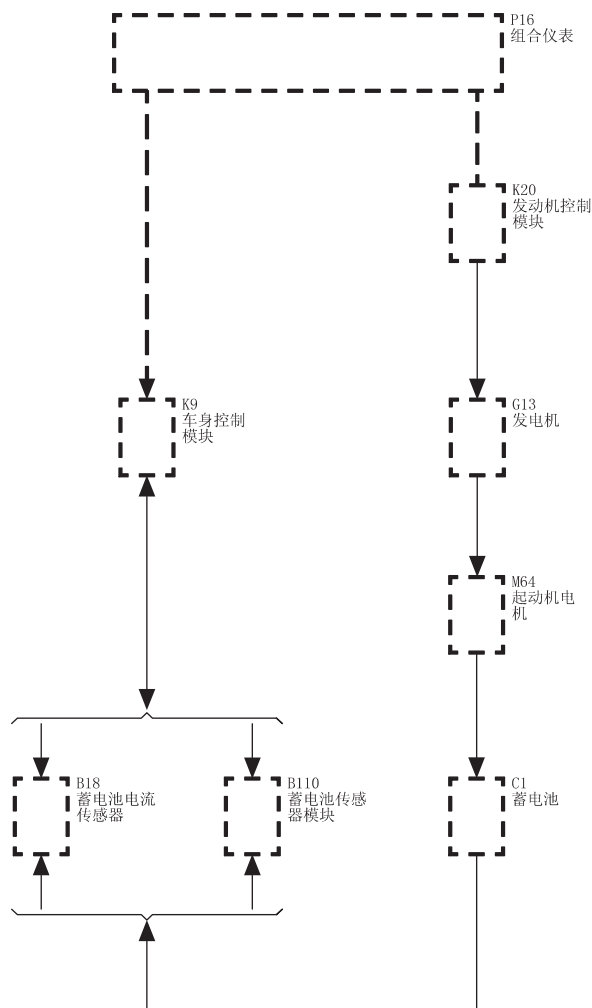


图 6-3-1 充电系统框架图

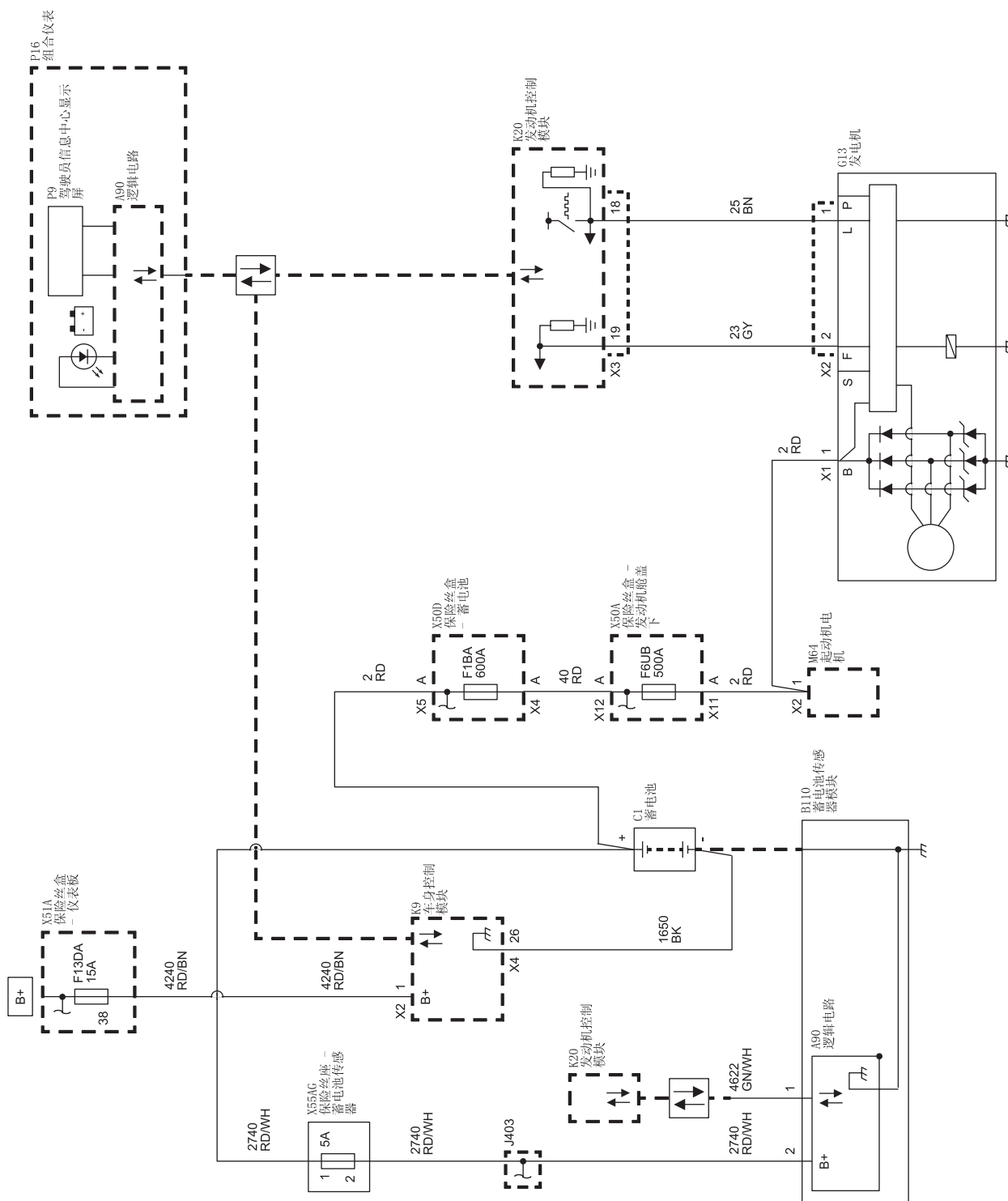


图 6-3-2 充电系统电路图

### 1. 发电机

发动机传动皮带驱动发电机。当转子旋转时，它将使定子线圈产生交流电（AC）。然后，交流电压通过一系列二极管整流。整流电压转换成供车辆电气系统使用的直流电（DC），以保持电气负载和蓄电池充电。电压调节器与发电机控制装置集成一体，控制着发电机的输出；其不可维修。电压调节器控制供给转子的电流。如果发电机磁场控制电路出现故障，则发电机默认输出电压为 13.8V。

发电机作为一个总成维修。如果诊断出发电机故障，则必须将它作为一个总成更换。

### 2. 蓄电池

作为主要能源，蓄电池有 3 项功能：

- 发动机起动
- 稳压器
- 在发电机过载时作为替代能源

车身控制模块（BCM）监测蓄电池正极电压，以确定蓄电池充电状态。如果一个或多个车身控制模块蓄电池正极电压端子的测量结果相比车身控制模块搭铁电路要低 11.6 V 左右，则将显示该信息并响起四声蜂鸣声。立即起动车辆。如果车辆未起动并且蓄电池继续放电，则温度控制、加热型座椅和音响系统将关闭，且车辆可能需要跨接起动。当车辆起动后，这些系统将重新工作。

蓄电池有 2 个额定值：

- 冷起动电流
- Ah

Ah 额定值是均匀放电 20 多小时时，可使用的电流安培数。Ah 额定值是累计的，因此为了获知蓄电池 20h 输出的恒定电流是多少安培，需要将 Ah 额定值除以 20。例如：例如：如果蓄电池的 Ah 额定值为 74，除以 20= 3.75。该蓄电池可以提供 3.75A 电流 20h，直到电压下降至 10.5V。（10.5V 是完全放电水平，此时需对蓄电池充电。）Ah 额定值为 55 的蓄电池将会提供 2.75A 电流 20h，直到电压下降至 10.5V。

冷起动电流是蓄电池在低温下起动发动机能力的指标。冷起动电流额定值是蓄电池在 -18C（0F）下以至少 7.2V 电压保持 30s 的最小电流值。有关本蓄电池的冷起动电流额定值，参见蓄电池标签。

### 3. 车身控制模块（BCM）

车身控制模块与发动机控制模块（ECM）和组合仪表通信以进行电源管理操作。车身控制模块确定发电机输出，并发送信息到发动机控制模块，以控制发电机接通信号电路。它监测来自发动机控制模块的发电机磁场占空比信号电路信息，以控制发电机。它监测蓄电池电流传感器、蓄电池正极电压电路，并估计蓄电池温度以确定蓄电池充电状态。车身控制模块还执行怠速提高。

### 4. 蓄电池电流传感器（如适用）

蓄电池电流传感器是一个可维修的部件，它与蓄电池的蓄电池负极电缆连接。蓄电池电流传感器是一个 3 线式霍尔效应电流传感器。蓄电池电流传感器监测蓄电池电流。它直接输入到车身控制模块中。它产生一个 128 Hz、占空比为 0–100% 的 5 V 脉宽调制（PWM）信号。正常的占空比在 5–95% 之间。诊断使用 0–5% 和 95–100% 之间的占空比。

### 5. 蓄电池传感器模块（如适用）

车身控制模块通过串行数据监测蓄电池传感器模块，以确定蓄电池的电流状态、寿命状态和蓄电池充电情况。如果判定蓄电池处于不良的寿命状态或充电状态低，车身控制模块将不允许发动机控制模块进行自动停止。

### 6. 发动机控制模块（ECM）

发动机运行时，发动机控制模块将发电机接通信号发送至发电机以打开调节器。发电机电压调节器通过控制转子的电流从而控制输出电压。转子电流与调节器供给的电子脉冲宽度成正比。发动机启动后，调节器通过内部导线检测定子上的交流电压从而感应发电机的转动。一旦发动机运行，调节器通过控制脉冲宽度来改变励磁电流。这就能调节发电机输出电压，使蓄电池正常充电，电气系统正常运行。发电机磁场占空比端子向内连接至电压调节器，并对外连接至发动机控制模块。当电压调节器检测到充电系统故障时，它将电路连接至搭铁，从而向发动机控制模块发送信号，提示存在故障。发动机控制模块监测发电机磁场占空比信号电路，并接收基于车身控制模块信息而作出的控制指令。

### 7. 组合仪表

某些车辆可能在组合仪表中配备了电压表和 / 或在驾驶员信息中心内配备了系统电压显示屏，以显示充电系统的工作情况。这些设备可显示当前车辆系统电压。

如果充电系统出现问题，组合仪表还可通知客户。有两种通知方式：组合仪表上的充电指示灯和 /

或驾驶员信息中心上显示“维修蓄电池充电系统”信息（如装备）。

### 三、发电机的控制

发动机控制模块（ECM）通过发电机接通信号电路（又称为发电机 L 型端子）控制发电机。发动机控制模块通过发电机磁场占空比信号电路（又称为发电机 F 型端子）监测发电机性能。

发电机接通信号（发电机 L 型端子）是一个 128Hz、占空比为 0-100% 的脉宽调制（PWM）信号。正常的占空比在 5-95% 之间。诊断使用 0-5% 和 95-100% 之间的占空比，0-5% 用于监测是否存在电路开路故障，95-100% 用于监测在固定 13.8V 时是否对搭铁短路。发电机指令的占空比和输出电压如表 6-1-1 所示。

表 6-1-1 发电机指令的占空比和输出电压对应关系

指令的占空比	发电机输出电压 (+/-25V)
0-5%	13.8V
10%	11V
20%	11.56V
30%	12.13V
40%	12.69V
50%	13.25V
60%	13.81V
70%	14.38V
80%	14.94V
90%	15.5V
95-100%	13.8V

发电机通过发电机磁场占空比信号电路将发电机电压输出的脉宽调制反馈信号提供至发动机控制模块。然后此信息被发送至车身控制模块（BCM）。发电机磁场占空比信号（发电机 F 型端子）是一个 60-460Hz、占空比为 0-100% 的脉宽调制信号。正常的占空比在 5-100% 之间。0-5% 保留用于诊断目的。

因为充电系统工作时需保持蓄电池充电并管理车辆电气负载，组合仪表上的电压表或驾驶员信息中心内的系统电压显示屏出现波动或变化是正常现象。这不代表故障。根据蓄电池充电状态和车辆电气负载，这些值可能在 12.5V 至 15.5V 之间变化。

### 四、组合仪表显示

#### 1. 充电指示灯

以下一种或多种情况发生时，组合仪表点亮充电指示灯，并在驾驶员信息中心（如装备）显示警告信息：

- 发动机控制模块（ECM）检测到发电机输出低于 11V 或高于 16V。组合仪表接收到来自发动机控制模块请求点亮指示灯的串行数据信息。
- 组合仪表确定系统电压连续 30s 以上低于 11V 或高于 16V。组合仪表接收到一条来自车身控制模块（BCM）的串行数据信息，指示系统电压范围存在问题。
- 组合仪表在每个点火循环开始时执行显示测试。指示灯点亮约 3s。

#### 2. 驾驶员信息中心信息

车身控制模块和发动机控制模块将一条串行数据消息发送到驾驶员信息中心，以显示“BATTERY NOT CHARGING SERVICE CHARGING SYSTEM（蓄电池不充电，维修充电系统）”或“SERVICE BATTERY CHARGING SYSTEM（维修蓄电池充电系统）”消息。在充电系统 DTC 为当前 DTC 时显示该信息当清除 DTC 的条件满足后，此信息消失。

## 五、充电系统工作模式

### 1. 蓄电池硫化模式

当转换的发电机输出电压低于 13.2V 并持续 45 分钟时，车身控制模块将进入此模式。当此情况出现时，车身控制模块（BCM）将进入充电模式 2-3 分钟。然后根据电压需求，车身控制模块将确定进入哪一个模式。

### 2. 充电模式

满足以下任一条件时，车身控制模块将进入“充电模式”：

- 挡风玻璃刮水器开启并持续超过 3s。
- HVAC 控制模块通过串行数据感应到温度控制电压提高模式请求属实。高速冷却风扇、后窗除雾器和 HVAC 高速鼓风机操作会导致车身控制模块至进入充电模式。
- 估测的蓄电池温度低于 0°C（32°F）。
- 蓄电池充电状态低于 80%。
- 车速高于 145km/h（90MPH）。
- 存在电流传感器故障
- 确定系统电压低于 12.56V

满足上述任一条件后，根据蓄电池充电状态和估计的蓄电池温度，系统将发电机目标输出电压设置为 13.9-15.5V 之间的充电电压。

### 3. 燃油经济模式

当估计的蓄电池温度高于 0°C（32°F）但低于或等于 80°C（176°F），计算的蓄电池电流低于 15A 但大于 -8A，且蓄电池充电状态大于或等于 80% 时，车身控制模块（BCM）将进入燃油经济模式。它的目标发电机输出电压为蓄电池开路电压，可以在 12.5-13.1V 之间。当燃油经济模式启用时，发电机不充电，仅保持开路蓄电池电压。出现以上所述任一条件时，车身控制模块将退出此模式并进入“充电模式”。

### 4. 前大灯模式

当前大灯（远光或近光）打开时，车身控制模块将进入“前大灯模式”。在 13.9-14.5V 之间调节电压。

### 5. 启动模式

当发动机启动时，车身控制模块设置发电机的目标输出电压为 14.5V 并持续 30s。

### 6. 牵引 / 拖运模式（如适用）

按下中控面板上的牵引 / 拖运模式按钮，车辆系统电压将升高，且远端（非车载）蓄电池开始充电。将前大灯打开会提高系统电压，如果按下了牵引 / 拖运模式按钮，不会起任何作用。电压在 13.9-14.5V 之间调节。

## 六、电源能量管理

电源管理用于监测和控制充电系统，并提醒驾驶员充电系统中可能存在故障。电源管理系统使发电机输出的使用效率最高、改善蓄电池充电状态、延长蓄电池寿命和管理系统电气负荷。

电压过低或蓄电池充电状态过低时，减载操作是减少电气负载的一种方法。

在电压过低或蓄电池充电状态过低时，怠速提高操作是改善发电机能的一种方法。

每一种电源管理功能，不管是怠速提高还是减载，都需要逐级激活。例如，必须先激活怠速提高 1 才能激活怠速提高 2。车身控制模块（BCM）调节电源管理系统的准则如表 6-3-2、6-3-3 所示。

表 6-3-2 带电流传感器的怠速提高和减载

功能	蓄电池温度计算值	蓄电池电压计算值	Ah 数计算值	采取的措施
怠速提高 1 启动	低于 -15° C(5° F)	低于 13V	—	请求第 1 级怠速提高
怠速提高 1 启动	—	—	蓄电池容量净损失大于 0.6Ah	请求第 1 级怠速提高
怠速提高 1 启动	—	低于 11V	—	请求第 1 级怠速提高
怠速提高 1 终止	高于 -10° C (14° F)	高于 12V	蓄电池容量净损失小于 0.2Ah	解除第 1 级怠速提高请求
怠速提高 2 启动	—	—	蓄电池容量净损失大于 1.6Ah	请求第 2 级怠速提高
怠速提高 2 启动	—	低于 11V	—	请求第 2 级怠速提高
怠速提高 2 终止	—	高于 12V	蓄电池容量净损失小于 0.8Ah	解除第 2 级怠速提高请求
减负荷 1 启动	—	—	蓄电池容量净损失为 4Ah	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 20% 循环关闭
减负荷 1 启动	—	低于 11V	—	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 20% 循环关闭
减负荷 1 终止	—	高于 12V	蓄电池容量净损失小于 2Ah	清除减负荷 1
怠速提高 3 启动	—	—	蓄电池容量净损失为 10Ah	请求第 3 级怠速提高
怠速提高 3 启动	—	低于 11V	—	请求第 3 级怠速提高
怠速提高 3 终止	—	高于 12V	蓄电池容量净损失小于 6.0Ah	解除第 3 级怠速提高请求
减负荷 2 启动	—	—	蓄电池容量净损失大于 12Ah	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 50% 循环关闭。驾驶员信息中心将显示“BATTERY SAVER ACTIVE (蓄电池节电器启用)”信息
减负荷 2 启动	—	低于 11V	—	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 50% 循环关闭。驾驶员信息中心将显示“BATTERY SAVER ACTIVE (蓄电池节电器启用)”信息
减负荷 2 终止	—	高于 12V	蓄电池容量净损失小于 8Ah	清除减负荷 2
减负荷 3 启动	—	低于 11.9V	蓄电池容量净损失大于 20Ah	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 100% 循环关闭。驾驶员信息中心将显示“BATTERY SAVER ACTIVE (蓄电池节电器启用)”信息

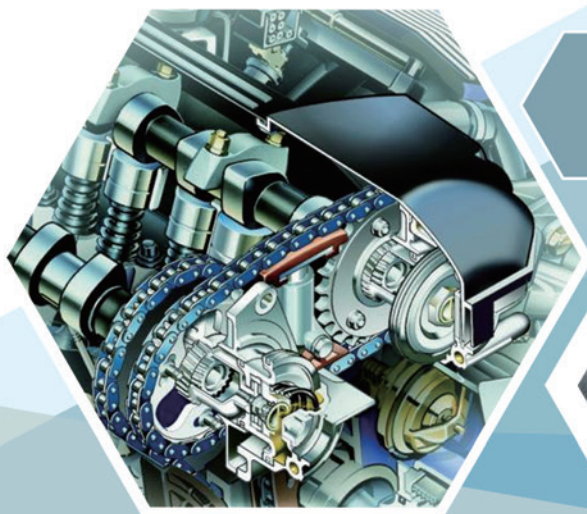
功能	蓄电池温度计算值	蓄电池电压计算值	Ah 数计算值	采取的措施
减负荷 3 起动	—	低于 11V	—	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 100% 循环关闭。驾驶员信息中心将显示“BATTERY SAVER ACTIVE (蓄电池节电器启用)”信息
减负荷 3 终止	—	高于 12.6V	蓄电池容量净损失小于 13Ah	清除减负荷 3

表 6-3-3 不带电流传感器的怠速提高和减载 (根据蓄电池电压)

功能	蓄电池温度计算值	蓄电池电压计算值	采取的措施
怠速提高 1 起动	低于 -15° C (5° F)	低于 13V	请求第 1 级怠速提高
怠速提高 1 起动	—	低于 12.6V	请求第 1 级怠速提高
怠速提高 1 终止	高于 -15° C (5° F)	—	解除第 1 级怠速提高请求
怠速提高 1 终止	—	高于 13V	解除第 1 级怠速提高请求
怠速提高 2 起动	—	低于 12.4V	请求第 2 级怠速提高
怠速提高 2 终止	—	高于 12.5V	解除第 2 级怠速提高请求
减负荷 1 起动	—	低于 12.3V	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 20% 循环关闭
减负荷 1 终止	—	高于 12.4V	清除减负荷 1
怠速提高 3 起动	—	低于 10V	请求第 3 级怠速提高
怠速提高 3 终止	—	高于 12.3V	解除第 3 级怠速提高请求
减负荷 2 起动	—	低于 12.1V	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 50% 循环关闭。驾驶员信息中心将显示“BATTERY SAVER ACTIVE (蓄电池节电器启用)”信息
减负荷 2 终止	—	高于 12.2V	清除减负荷 2
减负荷 3 起动	—	低于 11.9V	后窗除霜器、加热型后视镜、加热型座椅、HVAC 按其周期的 100% 循环关闭。驾驶员信息中心将显示“BATTERY SAVER ACTIVE (蓄电池节电器启用)”信息
减负荷 3 终止	—	高于 12.0V	清除减负荷 3

# 第7章

## 汽车排放控制



1. 理解排气中有害排放物生成的原因
2. 掌握三元催化器的结构及作用
3. 掌握废气再循环的作用及可变配气对废气再循环的实现方法
4. 掌握活性炭罐的功能及故障检测



## 第一节 概 述

随着汽车保有量的与日俱增，汽车排气对人类健康的危害及对环境的污染也日甚一日。对此，世界各国都制定了相应的法规和标准，把汽车有害排放物控制在较低的水平。为了满足排放标准，必须对发动机排气进行净化。近几年来，汽车界开发和创制出许多净化排气的新技术和新装置，对汽车排放污染物的控制也越来越严格。

目前汽车排放污染物控制系统，根据污染物来自排气管、曲轴箱和燃油系统的不同，一般分为排气污染物控制系统和非排气污染物控制系统。

### 一、排气污染物的主要成份及其生成机理

发动机的有害排放物主要有一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和微粒，如图 7-1-1 所示。CO 是燃油的不完全燃烧产物，主要是燃油混合气过浓，燃烧时氧气不足造成的，是一种无色、无味的有毒气体。

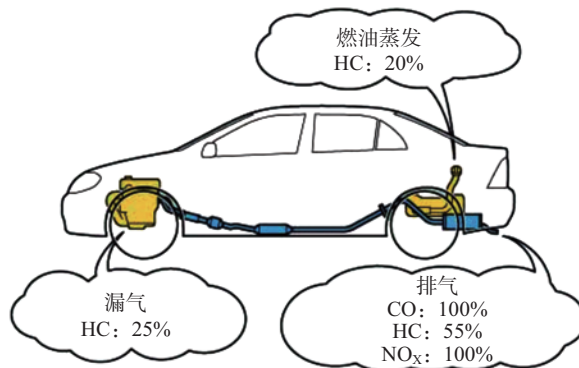


图 7-1-1 汽车有害物质的主要成分

它与血液中血红素的亲和力是氧气的 300 倍，因此当人吸入 CO 后，血液吸收和运送氧的能力降低，从而使心脏、头脑等重要器官严重缺氧，引起头晕、头痛、恶心等中毒症状，轻则使中枢神经系统受损，重则会使心血管工作困难，直至死亡（当吸入含容积浓度为 0.3% 的 CO 气体时，可致人于死亡）。汽车尾气中 CO 的产生是燃烧不充分所致，是氧气不足而生成的中间产物。燃气中的氧气量充足时，理论上燃料燃烧后不会存在 CO。但当氧气量不足时，就会有部分燃料不能完全燃烧，而生成 CO。

HC 包括未燃烧和未完全燃烧的燃油、润滑油及其裂解产物和部分氧化物，其中有些成分会对眼睛和皮肤有强刺激作用，且浓度高时会引起头晕、恶心、贫血甚至急性中毒。车用发动机的碳氢排放物中有完全未燃烧的燃料，但更多的是燃料的不完全燃烧产物，还有小部分由润滑油不完全燃烧而生成。排气中未燃碳氢物的成份十分复杂，其中有些是原来燃料中不含有的成份，这是部分氧化反应所致。

车用发动机在正常运转情况下，HC 的生成区主要位于气缸壁的四周边缘处，故对整个气缸容积来说是不均匀的，而且对排气过程而言 HC 的分布也是不均匀的。在发动机一个工作循环内，排气中 HC

的浓度出现两个峰值，一个出现在排气门刚打开时的先期排气阶段，另一个峰值出现在排气行程结束时。HC 的生成主要由火焰在壁面淬冷、狭隙效应、润滑油膜的吸附和解吸、燃烧室内沉积物的影响、体积淬熄及碳氢化合物的后期氧化所致。

NO<sub>x</sub> 主要是指 NO 和 NO<sub>2</sub>，产生于燃烧室内高温富氧的环境中。空气中 NO<sub>x</sub> 浓度在 10ppm ~ 20ppm 时可刺激口腔及鼻粘膜、眼角膜等。当 NO<sub>x</sub> 超过 500ppm 时，几分钟可使人出现肺气肿而死亡。发动机排气中的氮氧化物 NO<sub>x</sub> 包含 NO 和 NO<sub>2</sub>，其中大部分是 NO，它们是 N<sub>2</sub> 在燃烧高温下的产物。

## 二、排气污染物控制系统分类

1. 三元催化系统；
2. 废气再循环控制（EGR）系统；
3. 二次空气喷射（AIR）系统。

## 三、非排气污染物控制系统

### 1. 非排气污染物的含义

指由排气管以外的其它途径排放到大气中的有害污染物，如图 7-1-2 所示。

### 2. 分类

- (1) 曲轴箱强制通风（PCV）系统；
- (2) 燃油蒸发控制（EVAP）系统。

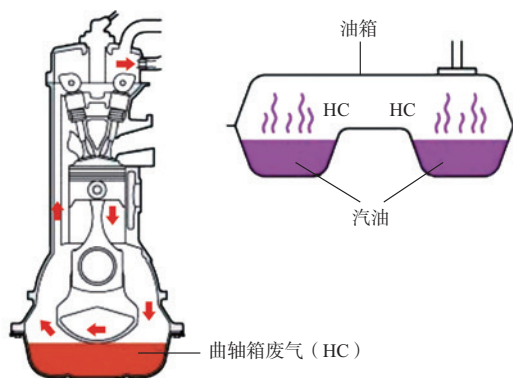


图 7-1-2 曲轴箱窜气；燃油蒸发



## 第二节 三元催化器

三元催化器，是安装在汽车排气系统中最重要机外净化装置，它可将汽车尾气排出的 CO、HC 和 NO<sub>x</sub> 等有害气体通过氧化和还原作用转变为无害的二氧化碳、水和氮气。由于这种催化器可同时将废气中的各种主要有害物质转化为无害物质，随着环境保护要求的日益苛刻，越来越多的汽车安装了废气催化转化器以及氧传感器装置。它安装在发动机排气管中，通过氧化还原反应，生成二氧化碳、水和氮气，故又称之为三元（效）催化转化器，如图 7-2-1 所示。

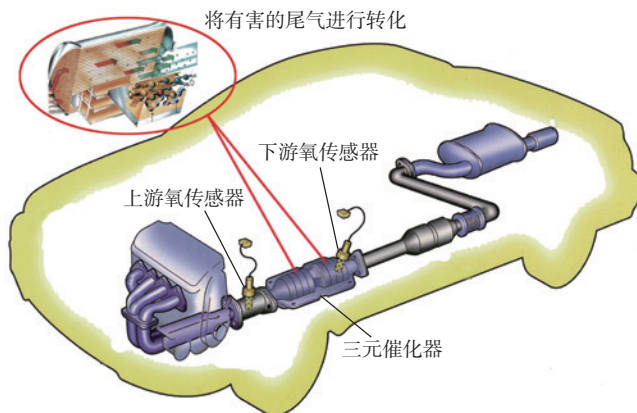


图 7-2-1 三元催化器

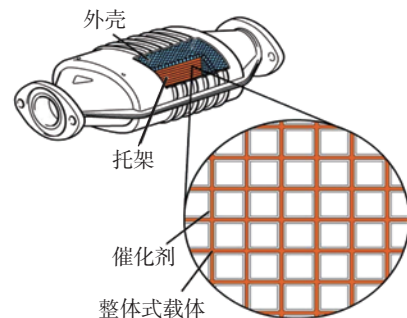


图 7-2-2 三元催化器的内部结构

### 一、三元催化器的工作原理

当高温的汽车尾气通过净化装置时，三元催化器中的净化剂将增强 CO、HC 和 NO<sub>x</sub> 三种气体的活性，促使其进行一定的氧化-还原化学反应。其中 CO 在高温下氧化成为无色、无毒的二氧化碳气体；HC 化合物在高温下氧化成水 (H<sub>2</sub>O) 和二氧化碳；NO<sub>x</sub> 还原成氮气和氧气。三种有害气体变成无害气体，使汽车尾气得以净化。三元催化由外壳、催化剂、托架、整体式载体等组成，催化剂涂在整体格栅式载体上当尾气通过多孔载体时被转化。三元催化器的结构如图 7-2-2 所示。

### 二、三元催化器的作用

三元催化转换器中主要起作用的是三元催化剂，它是铂（或钯）和铑的混合物，促使有害气体 HC、CO 和 NO<sub>x</sub> 发生反应，生成无害的 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O。但是只有当混合气的空燃比保持稳定时，三元催化转换器的转换效率才能得到精确控制。三元催化转换器的转换效率与混合气空燃比的关系曲线如图 7-2-3 所示。

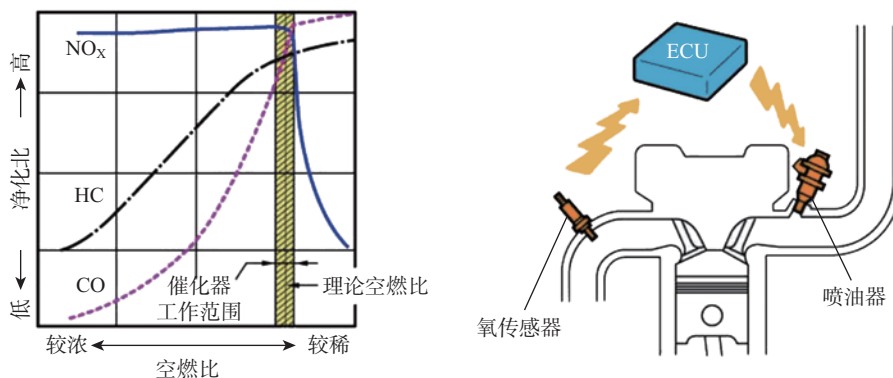


图 7-2-3 转换效率与空燃比的关系曲线

### 三、三元催化器的检测

1. 将真空表接到进气歧管，启动发动机，使其从怠速逐渐升至 2500r/min，观察真空表的变化，如果这时真空度下降，则保持发动机转速 2500r/min 不变，且此后真空度读数明显下降，则说明催化转化器有阻塞。

2. 启动发动机，预热至正常工作温度，将发动机转速维持在 2500r/min 左右，将车辆举升，用数字式温度计（接触式或非接触式红外线激光温度计）测量催化转化器进口和出口的温度，须尽量靠近催化转化器（50mm 内）。催化转化器出口的温度应至少高于进口温度 10% ~ 15%，大多数正常工作的催化转化器，其催化转化器出口的温度高于进口温度 20% ~ 25%。如果车辆在主催化转化器之前还安装了副催化转化器，主催化转化器出口温度应高于进口温度 15% ~ 20%，如果出口温度值低于以上的范围，则催化转化器工作不正常，需更换；如果出口温度值超过以上范围，则说明废气中含有异常高浓度的 CO 和 HC，需对发动机本身做进一步的检查。



## 第三节 废气再循环 (EGR) 控制系统

废气再循环 (Exhaust Gas Recirculation, 即 EGR) 系统的作用是把一部分排气引入进气系统中使其和新鲜混合气一起进入气缸中参与燃烧, 其主要目的是减少氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 的排放, 如图 7-3-1 所示为 EGR 阀实物图。

氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 是混合气在高温和富氧条件下燃烧时, 含在混合气中的  $\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  发生化学反应产生的。燃烧温度越高,  $\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  越容易反应, 排出的  $\text{NO}_x$  越多。所以减少  $\text{NO}_x$  的最好方法就是降低燃烧室的温度。如图 7-3-2 所示, 废气再循环控制系统部件主要有 EGR 阀、EGR 枢轴位置传感器和 EGR 真空调节器等, 其中 EGR 阀是最关键的部件。

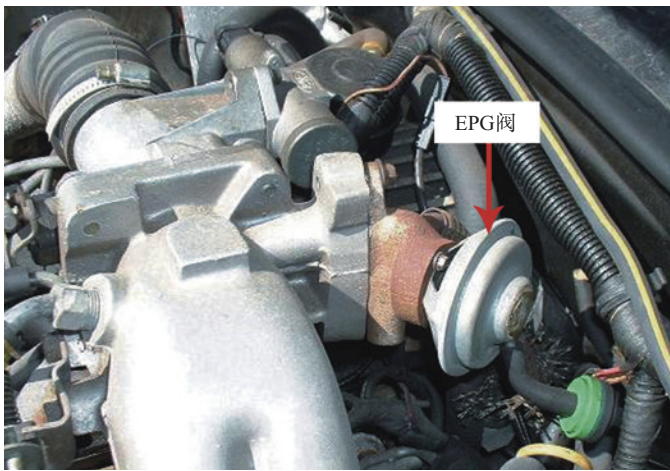


图 7-3-1 EGR 阀实物图

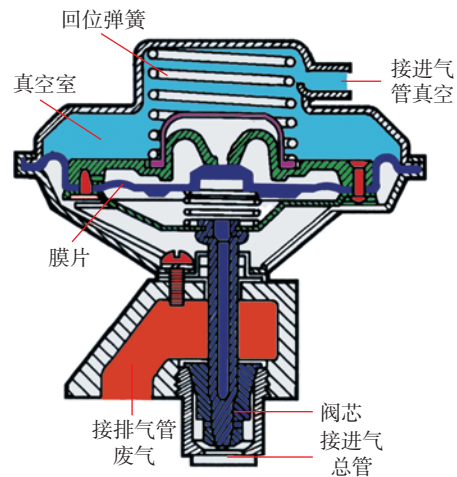


图 7-3-2 EGR 阀内部结构原理

### 一、基本工作原理

在高温燃烧的状态下, 气缸中的氮气与氧气结合生成氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )。可以通过以下措施减少  $\text{NO}_x$  的生成。

1. 加浓混合气, 降低燃烧温度。但这会增加 HC 与 CO 的排放量。
2. 降低压缩比, 但这样会降低效率与燃油经济性。
3. 将排气管内废气引入气缸, 降低气缸内的燃烧温度 (废气再循环)。

排气中的废气已经燃烧过就不会再燃烧, 这些气体可以顶替部分的正常进气。因而废气再循环可以放慢燃烧过程, 使燃烧温度下降以减少  $\text{NO}_x$  的生成量。轻负荷与中等发动机转速是 EGR 的最佳条件, 因为此时对发动机功率没太大的需求。

如果负荷增加, 则减少 EGR (或在节气门大开时取消 EGR) 来给司机提供尽可能多的扭矩。此外在高负荷时没有足够的发动机真空来开启 EGR 阀, 如图 7-3-3 所示。

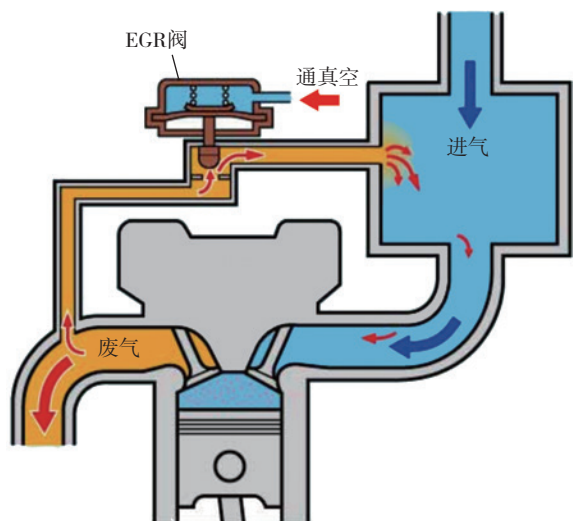


图 7-3-3 真空驱动式 EGR 阀系统

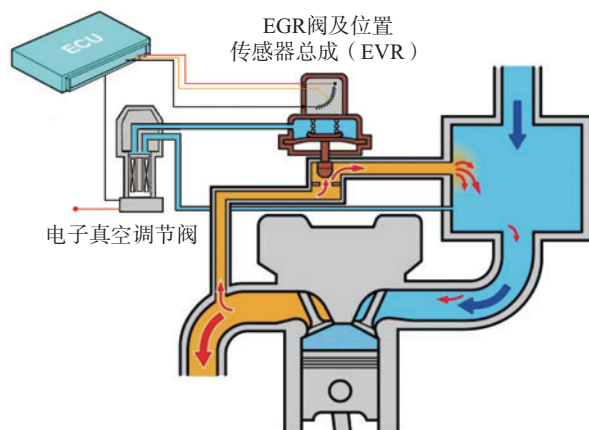


图 7-3-4 电子式 EGR 系统

4. 怠速时禁用 EGR。
5. 基本上要求 EGR 要随发动机冷却液温度及进气温度减少或推迟，因为排气中有水可能造成节流板结冰，发动机在升温前燃烧也不稳定。
6. 随着大气压力降低，最终停止 EGR，因为开启 EGR 阀的发动机真空是随海拔高度的增加而减少的。
7. 随着 EGR 量的增加，点火角度提前。现代发动机控制系统，点火提前角基于的是 DPFE 传感器计算的实际的废气再循环率，而不是所要求的废气再循环率。这样不管系统怎样工作，点火提前角都是正确的。

## 二、电子式 EGR 系统

EVR Sonic EGR 系统是闭环系统采用真空操纵的 EGR 阀，用 EGR 阀位置 (EVP) 传感器提供反馈。EGR 阀通过一个占空比控制的 EGR 调节器电磁阀 (EVR) 加以调节。EVR 用来控制 EGR 阀位置以提供所要求的 EGR 流量，如图 7-3-4 所示。

随着 EGR 阀开启，EVP 信号电压增加。这种系统只探测 EGR 阀的阀针位置，流量只是由开启的 EGR 阀位置推断的，不能探测实际流量或阻塞。

## 三、电控 EGR 系统 (EEGR)

### 1. 电控系统的重点

电控 EGR 系统采用步进电机直接操纵 EGR 阀，而不是利用发动机真空和膜片操纵。真空控制的 EGR 阀、DPFE 传感器、EVR 电磁阀、孔管全部取消。通过 0 至 52 个步进进行控制，使 EGR 阀从全闭步进到全开位置，EGR 阀的位置决定 EGR 的流量。由于无 EGR 阀位置反馈，需要用 MAP 传感器监测 EGR 流量的正确性。发动机冷却液流经此总成，使系统的工作温度下降增加了电机的寿命，如图 7-3-5 所示。

### 2. 电控 EGR 系统的工作原理

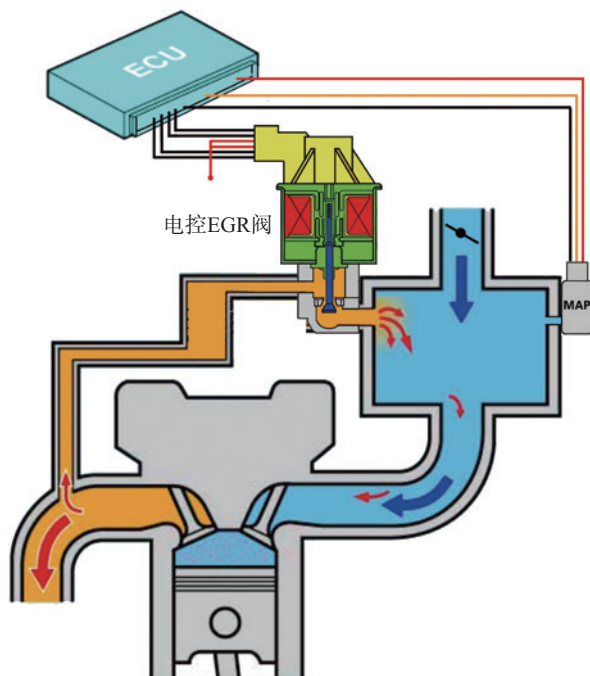


图 7-3-5 电控 EGR 系统 (EEGR)

以集成在一起的电子器件和软件算法控制带有位置反馈信号的转动磁体，这一整体就是废气再循环电磁阀和节流阀门板的电子控制装置。这一装置可快速调节废气再循环率或进气率，同时完成故障诊断功能。EEGR 系统利用废气再循环控制氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 排放，原理与真空控制式 EGR 系统一样。唯一的区别是控制排气的方式。EEGR 系统由电机 /EGR 阀总成、PCM (发动机电脑) 和连接线束组成。此外还需要一个 MAP 传感器，系统的工作原理如图 7-3-6 所示。

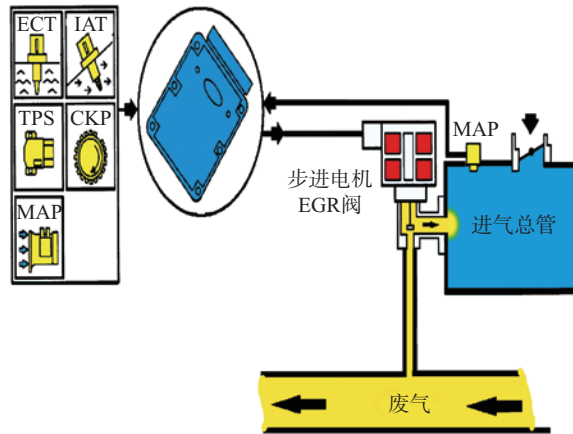


图 7-3-6 EEGR 工作原理

(1) EEGR 系统 ECT (水温传感器)、CHT (气缸盖温度传感器)、TP (节气门位置传感器)、MAF (空气流量传感器)、CKP (曲轴位置传感器)、MAP (进气压力传感器) 动力控制模块 PCM 需要这些信号的输入提供发动机的工况信息。要使 EEGR 系统工作，发动机须暖机并以中负荷且转速稳定。在怠速、长时间节气门大开、EEGR 部件或 EGR 所需输入信号故障时，PCM 将关闭 EEGR 系统。

(2) PCM 要根据给定的发动机工况计算所需的 EGR 流量。

(3) PCM 向 EEGR 电机发出指令，使其移动一定步数。步进电机直接操纵 EEGR 阀，与发动机真空无关。通过 0 至 52 个步数的控制，使 EEGR 阀的位置从全关到全开的状态。EGR 阀的位置决定 EGR 的流量。

(4) EGR 引入进气歧管时，利用 TMAP 传感器测量歧管压力变化。所用的 EGR 变化将与 TMAP 信号相关联 (EGR 流量增加了歧管内的压力)。

#### 四、气门可变正时系统的 EGR 系统

通过调节进气和排气凸轮轴的气门重叠角，可是实现内部废气再循环如图 7-3-7。在此过程中，当气门交错 (进气门和排气门都打开) 时废气就从废气口流入进气口。交错的程度决定了再循环的废气量。进气凸轮轴被设置成在上止点之前完全打开并且排气凸轮轴在上止点之前才关闭。

结果，两个气门都打开并且废气被再循环。与外部废气再循环相比较，内部废气再循环的优点是系统的反应更快并且再循环的废气分布更加均匀。

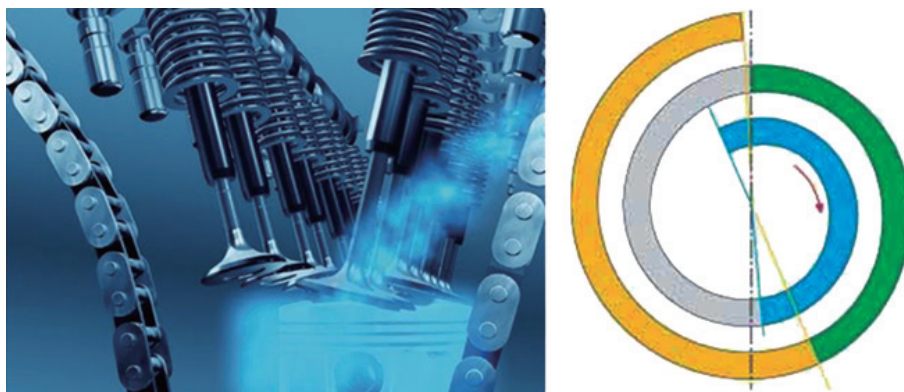


图 7-3-7 汽车可变正时机构与配气正时图



## 第四节 燃油蒸发控制

汽车产生的排放物中大约有 20% 来自燃油蒸发。燃油蒸发控制 (Evaporative Emission Control, 即 EVAP) 系统, 能够存储燃油系统产生的燃油蒸气 (HC), 阻止燃油蒸气泄漏到大气中, 减少环境污染, 同时将收集的燃油蒸气适时地送入进气歧管, 与正常混合气混合后进入发动机燃烧, 使汽油得到充分利用。燃油蒸发控制系统的组成和构造, 随汽车制造厂和生产年代的不同而不同。早期的燃油蒸发控制 (EVAP) 系统多是利用真空进行控制, 而现在基本上都采用发动机控制模块进行控制。目前常见的比较简单的燃油蒸发控制系统主要由燃油箱、活性炭罐、炭罐控制电磁阀和发动机控制模块等组成, 能够提供比较精确的蒸发流量的控制, 如图 7-4-1 所示。

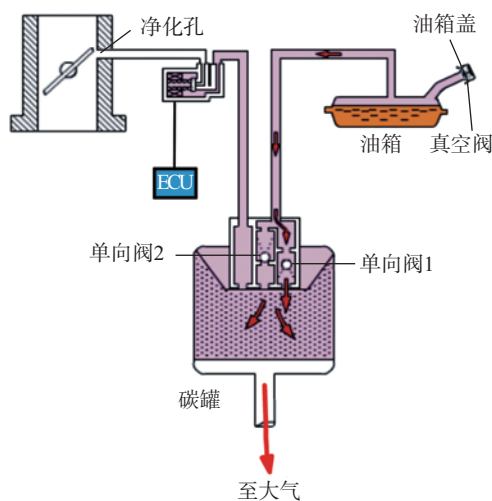


图 7-4-1 燃油蒸发控制组件

活性炭罐是燃油蒸发系统中贮存蒸气的部件, 活性炭罐的下部与大气相通, 上部有接头与油箱和进气歧管相连, 用于收集和清除燃油蒸气。中间是活性炭颗粒, 具有极强的吸附燃油分子的作用。燃油箱内的燃油蒸气 (HC), 经油箱管道进入活性炭罐后, 蒸气中的燃油分子被吸附在活性炭颗粒表面。活性炭罐有一个出口, 经软管与发动机进气歧管相通。软管的中部设一个活性炭罐电磁阀 (常闭), 以控制管路的通断。

当发动机运转时, 如果发动机控制模块控制活性炭罐电磁阀开启, 则在进气歧管真空吸力的作用下, 空气从活性炭罐底部进入, 经过活性炭至上方出口, 再经软管进入发动机进气管, 吸附在活性炭表面的燃油分子又重新脱附, 随新鲜空气一起被吸入发动机气缸燃烧。

这一过程一方面使燃油得到充分利用, 另一方面也使活性炭罐内的活性炭保持良好的吸附燃油分子的能力, 而不会因使用太久而失效。当活性炭罐电磁阀关闭时, 燃油蒸气贮存在活性炭罐中。



## 第五节 曲轴箱强制通风（PCV）系统

发动机燃烧室内的混合气和燃烧后的废气顺着活塞和气缸体的内壁漏入曲轴箱内，将稀释和污染机油，造成机油的润滑性能下降，因此必须将这些污染物从曲轴箱内排出。曲轴箱内的压力随发动机转速升高而增加，如果不通风，会将机油从油封或气缸垫压出。由于环保的原因，不能将这些混合气直接排入大气，为解决此问题，现代汽车一般都采用曲轴箱强制通风（Positive Crankcase Ventilation，即 PCV）系统，将这些进入曲轴箱的气体导入进气歧管，使其重新燃烧，其工作原理如图 7-5-1 所示。

PCV 阀是曲轴箱强制通风（PCV）系统中最重要的部件，PCV 阀内有一个锥形阀，由它控制曲轴箱蒸气流入进气管，同时防止气体或火焰反向流动。当发动机工作时，进气管真空度作用在 PCV 阀上，此真空吸引新鲜空气经空气滤芯、空气软管进入气门室盖，再经过气缸盖孔进入曲轴箱，并在曲轴箱中与从燃烧室泄漏的气体混合。这些空气与泄漏气体的混合气由于有进气歧管真空的吸引，所以向上经气缸盖孔流经气门室盖及 PCV 阀，进入进气歧管，然后再经进气门进入燃烧室燃烧。发动机运转工况不同，PCV 阀的开度也不相同，图 7-5-2 是在发动机各种工况下 PCV 阀打开的情况。

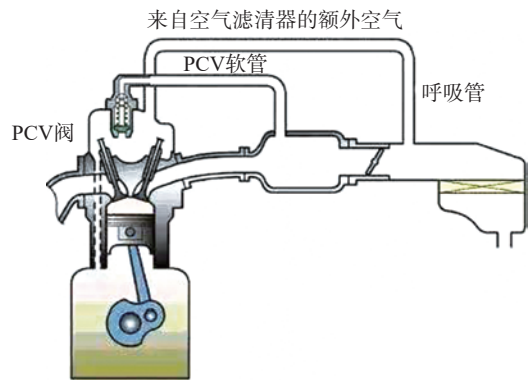


图 7-5-1

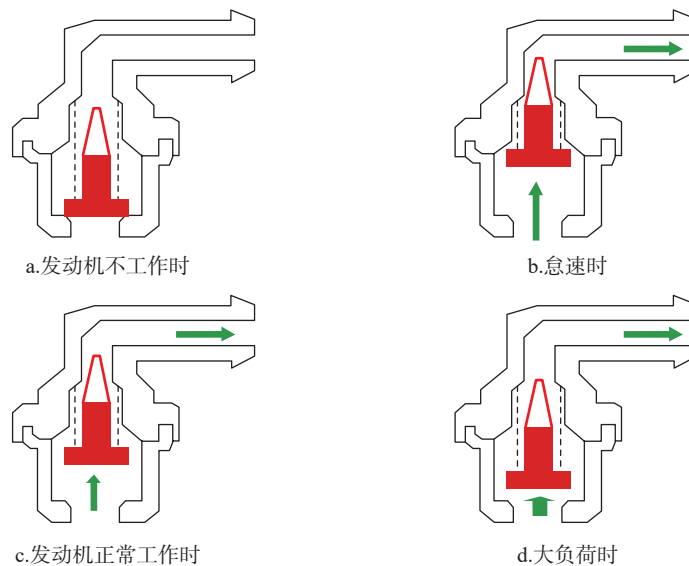


图 7-5-2 发动机各工况 PCV 工作状态



## 第六节 缸内直喷排气后处理系统

缸内直喷式汽油机分层燃烧运行时具有很大的节油潜力，是降低燃油耗最有效的措施，还具有良好的瞬态特性和全负荷性能，但是要充分挖掘其节油潜力，在很大程度上受到废气排放的制约。

汽油机的颗粒排放与柴油机相比可忽略不计，但是随着汽油直接喷射的应用，这一情况要重新加以认识。原则上直喷式汽油机特别是在分层燃烧时，在极其不均匀的混合气中会有局部过浓的区域，可能生成颗粒。现代批量生产的汽车在转鼓试验台上进行的颗粒排放测量结果表明，直喷式汽油机的颗粒质量排放虽然明显高于进气道喷射汽油机，但还是远远低于现代柴油机的限值。就颗粒质量排放而言，现代批量生产的直喷式汽油机已经能够满足未来更为严格的排放标准限值，如美国超低排放汽车（ULEV）标准的限值（0.01g/mile）。

缸内直喷式汽油机由于混合气形成时间较短，特别是采用壁面引导时燃油会碰壁，从而使 HC 排放显著增加。在分层稀燃运行时氧过剩的情况下，为 HC 和 CO 的氧化净化创造了有利的条件，与柴油机的排放相似。富氧废气后处理的最大挑战在于 NO<sub>x</sub> 的还原净化反应因缺乏还原剂（CO、HC 或 H<sub>2</sub>）而无法进行，因此分层稀燃直喷式汽油机的排气净化问题最重要的关键是减少 NO<sub>x</sub> 排放量。

图 7-6-1 表示缸内分层稀燃直喷式汽油机达到欧 4 排放标准所要求的 NO<sub>x</sub> 转化净化率必须大于 95%，才能达到与进气道喷射汽油机那样的 NO<sub>x</sub> 排放水平。其 NO<sub>x</sub> 的净化任务可分别由机内净化降低 NO<sub>x</sub> 的原始排放和机外排气后处理来分担。由于直喷式汽油机在分层稀燃时空气富余，为采用高 EGR 率降低 NO<sub>x</sub> 原始排放创造了有利条件，因而就可使原始排气中的 NO<sub>x</sub> 含量降低约 50%~70%。但为了达到废气排放标准还必须附加一个 NO<sub>x</sub> 后处理装置。分层稀燃直喷式汽油机可选用的 NO<sub>x</sub> 后处理装置有两种：即 NO<sub>x</sub> 连续催化转化器（如三菱公司）和 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器。但是只有最新型的 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器才能达到上述所要求的 NO<sub>x</sub> 转化净化率水平。

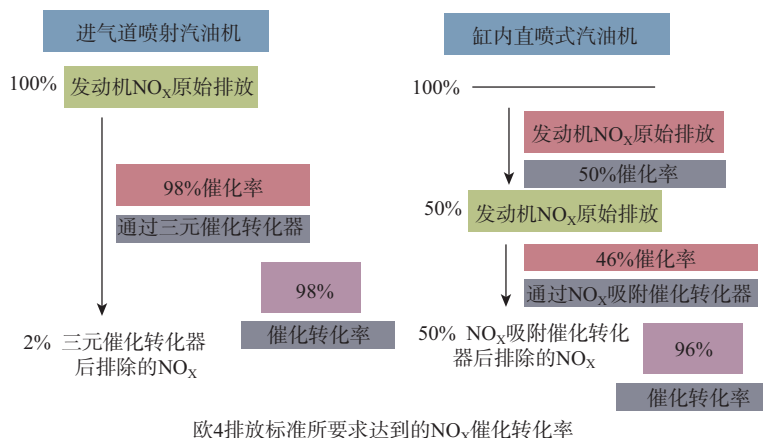


图 7-6-1

图 7-6-2 示出了 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器的基本工作原理。其载体用碱土金属（例如钡、钾等）作为活性吸附存储材料，而用贵金属铂（Pt）和铑（Rh）作为活性催化剂。在稀混合气状态下，废气中的

NO（一氧化氮）在贵金属铂（Pt）的催化作用下被氧化成NO<sub>2</sub>（二氧化氮），这样所有的NO<sub>x</sub>（氮氧化物）都以NO<sub>2</sub>的形式出现，并与碱土金属化合物成硝酸盐的形式被可逆性地吸附到NO<sub>x</sub>存储材料上，而排气中的HC（碳氢化合物）和CO（一氧化碳）被直接氧化净化成H<sub>2</sub>O（水）和CO<sub>2</sub>（二氧化碳）排出。

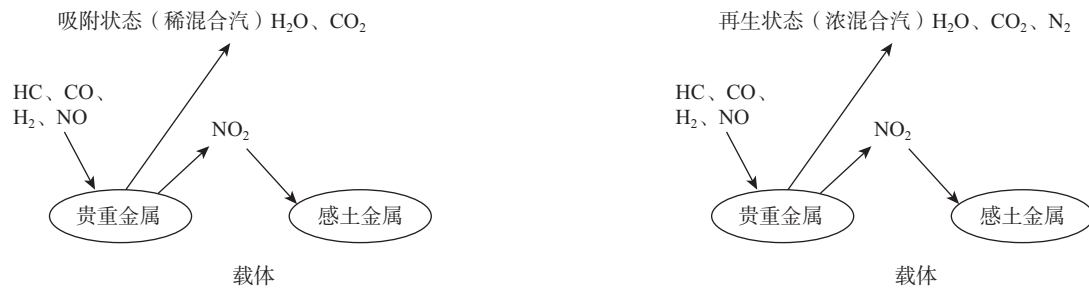


图 7-6-2

在存储材料吸附的NO<sub>x</sub>达到极限量以前，应采取一定的方式将吸附器中吸附的NO<sub>x</sub>还原，以空出吸附器中的吸附容积，供下一个吸附周期之用。此时电控系统会使汽油机短暂地进入浓混合气状态运转，使排气中产生足够的还原剂（HC、CO和H<sub>2</sub>等），并在贵金属铑（Rh）的催化作用下与从硝酸盐中析出的NO<sub>2</sub>反应还原成N<sub>2</sub>（氮气），这个过程称之为NO<sub>x</sub>吸附催化转化器的再生过程。

通常分层稀燃直喷式汽油机NO<sub>x</sub>吸附催化转化器的再生过程的时间间隔约为每运转1min需要再生2s。这种不连续的周期性运行模式对发动机电控，系统提出了更高的要求。图7-6-3为分层稀燃直喷式汽油机电控系统控制NO<sub>x</sub>吸附催化转化器再生过程的实例。

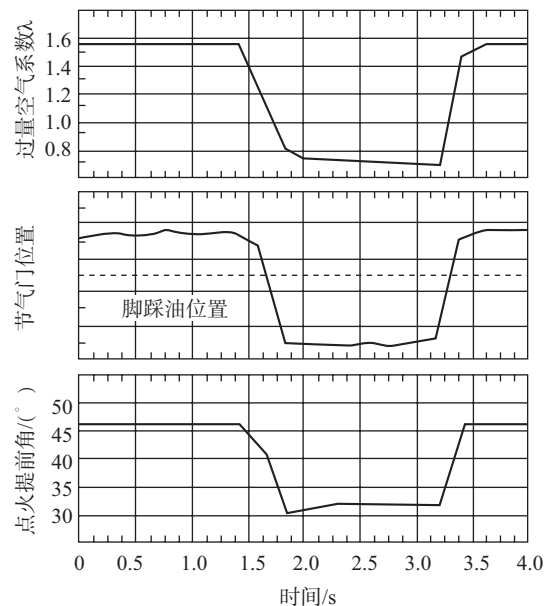


图 7-6-3

从图中可以看出，在整个再生过程中，司机踩油门的位置并没有变化，发动机的负荷状态也没有变化，但是受电控系统控制的电子节气门，在进入再生过程时加大了关闭程度。

使过量空气系数从1.6降低到0.7左右，点火时刻也相应地从上止点前45°减小到30°，而这一切都是在司机毫无察觉的情况下非常平顺地完成的，由此可见一般对分层稀燃直喷式汽油机电控系统的匹配要求之高。

图7-6-4示出了分层稀燃直喷式汽油机废气后处理系统布置的示意图。通常为了改善冷启动期间HC的转化净化，在NO<sub>x</sub>吸附催化转化器之前应用一个氧化催化转化器，称之为前置催化转化器。为改善其起燃性能，与发动机排气管直接紧密耦联，这样NO<sub>x</sub>吸附催化转化器就能布置在汽车地板上，避免过热，从而能提高其承担NO<sub>x</sub>吸附存储和催化还原的活性材料的耐久性。

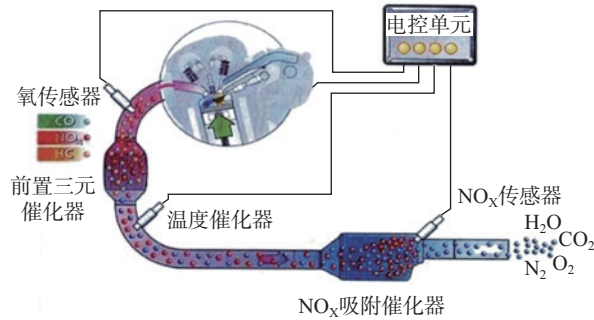


图 7-6-4

位于前置催化器后面的温度传感器用于测量废气和催化器的温度，而位于在 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器之后的 NO<sub>x</sub> 传感器用于监控催化器和调节废气净化。借助于 NO<sub>x</sub> 传感器就能够直接监测 NO<sub>x</sub> 的吸附存储过程，当 NO<sub>x</sub> 的吸附存储量达到饱和状态时才按需要开始进行 NO<sub>x</sub> 的再生，使得在每个稀薄加浓循环中，NO<sub>x</sub> 的再生总是与原始排放的波动和催化器的吸附程度相匹配，既提高了 NO<sub>x</sub> 的催化转化效率，又能减少再生频率降低燃油消耗。

图 7-6-5 示出了某种分层稀燃直喷式汽油机采用的对 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器最有利的排气系统布置方案。发动机排气管按汽缸点火相位均匀地分成两组做成 Y 形，发动机的排气分成两支流入前置催化转化器，然后再合并成一支。

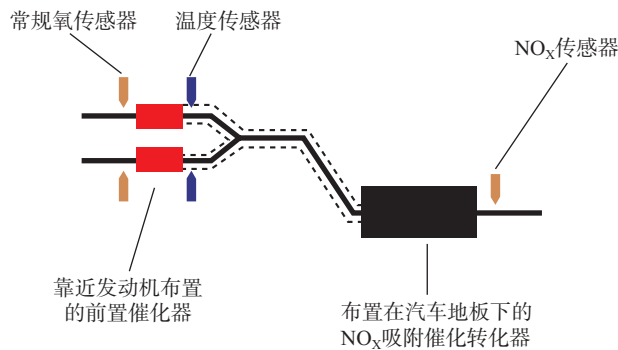


图 7-6-5

前置催化转化器靠近发动机布置，而 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器则布置在汽车地板下面。前置催化转化器前有一个常规的氧传感器，其后为温度传感器。靠近发动机布置的前置催化转化器在发动机冷启动后通过两次喷油能很快起燃，然后发动机在化学计量比混合气下运行。

只有在 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器起燃后才开始以稀混合气运行。前置催化转化器的尺寸要足以确保发动机以化学计量比混合气运行，直到中高负荷都能充分净化发动机的排放物。这种 Y 形布置的排气系统除了具有良好的全负荷性能外，对于 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器还有可能实现有利的加热对策。

当发动机用化学计量比混合气运行时，可把两组气缸轮流地分别微调至略稀和略浓的混合气，而总管仍保持为化学计量比。用这种方法可以在 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器中产生较多的热量，以便更快速有效地将其加热。

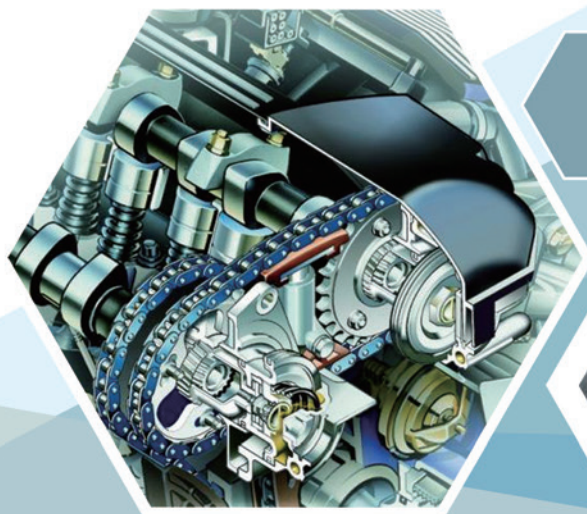
与常规的加热方法相反，它不加热 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器前的整个排气系统，而是对需要热量的 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器直接加热。同时半数气缸轮流微调空燃比的方法，在脱硫时可以产生必要的高温，而且在特定的运行状态下可用来防止 NO<sub>x</sub> 吸附催化转化器的冷却。

排放标准 (国标、欧标)

国家 / 地区	排放时间、标准与限值											
	北京	全国	北京	全国	北京	全国	北京	全国	北京	全国		
中国	国 I		国 II		国 III		国 IV		国 V		国 VI	
	1999 年	2001 年	2004 年		2005	2007	2008 年	2010 年	2013 年	2018 年	预计 2020 年	
	CO	2.72/3.16	CO	2.20	CO	2.30	CO	1.00	CO	1.00	CO	1.00
	HC	0.97/1.13	HC	0.50	HC	0.20	HC	0.10	HC	0.07	HC	0.01
	NOX		NOX	0.50	NOX	0.15	NOX	0.08	NOX	0.06	NOX	0.06
	欧 I			欧 II			欧 III			欧 IV		
	1992 年		1996 年		2000		2005 年		2008 年		2013 年	
	CO	2.72/3.16	CO	2.20	CO	2.30	CO	1.00	CO	1.00	CO	1.00
	HC	0.97/1.13	HC	0.50	HC	0.20	HC	0.10	HC	0.07	HC	0.01
	NOX		NOX	0.50	NOX	0.15	NOX	0.08	NOX	0.06	NOX	0.06
	欧洲											

# 第8章

## 柴油发动机



1. 掌握柴油发动机进气控制特点
2. 掌握电控柴油共轨系统各部件结构原理
3. 掌握电控柴油共轨喷油量及供油压力调节控制逻辑
4. 掌握柴油后处理系统组成及原理



## 第一节 进气系统

为增加柴油机进气效率，目前大多柴油机安装了涡轮增压系统，其进气系统如图 8-1-1 所示，由进气管、空气滤清器总成、增压器、中冷器、进气歧管等组成。

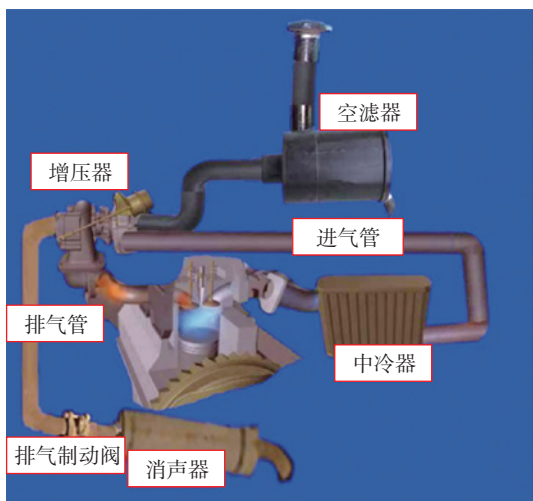


图 8-1-1 柴油机进排气系统



图 8-1-2 节流阀

在柴油车上不对进气量进行限制，因此，早期柴油机没有加装节气门，如图 8-1-2 所示。在发动机低负荷时，进气管道负压较低，不足以驱动车载真空执行器及废气循环（EGR），在汽车上加装了节气门体也称为节流阀，其在低负荷时关闭一定角度，以增加进气道的真空度。

在关闭发动机时，节流阀迅速关闭，有助于快速熄火。

在高寒地区，由于气温低，起动时进入缸内的新鲜空气温度也低，需适当关闭节流阀门，使其进入少量低温气体，用以提高柴油机冷起动性能。

柴油机节气门直接受发动机电脑控制，其开度与油门踏板位置无直接关系。

# 2 第二节 电控柴油共轨系统

## 一、组成

电控柴油共轨系统由低压系统、高压系统、电子控制系统组成，如图 8-2-1 所示。

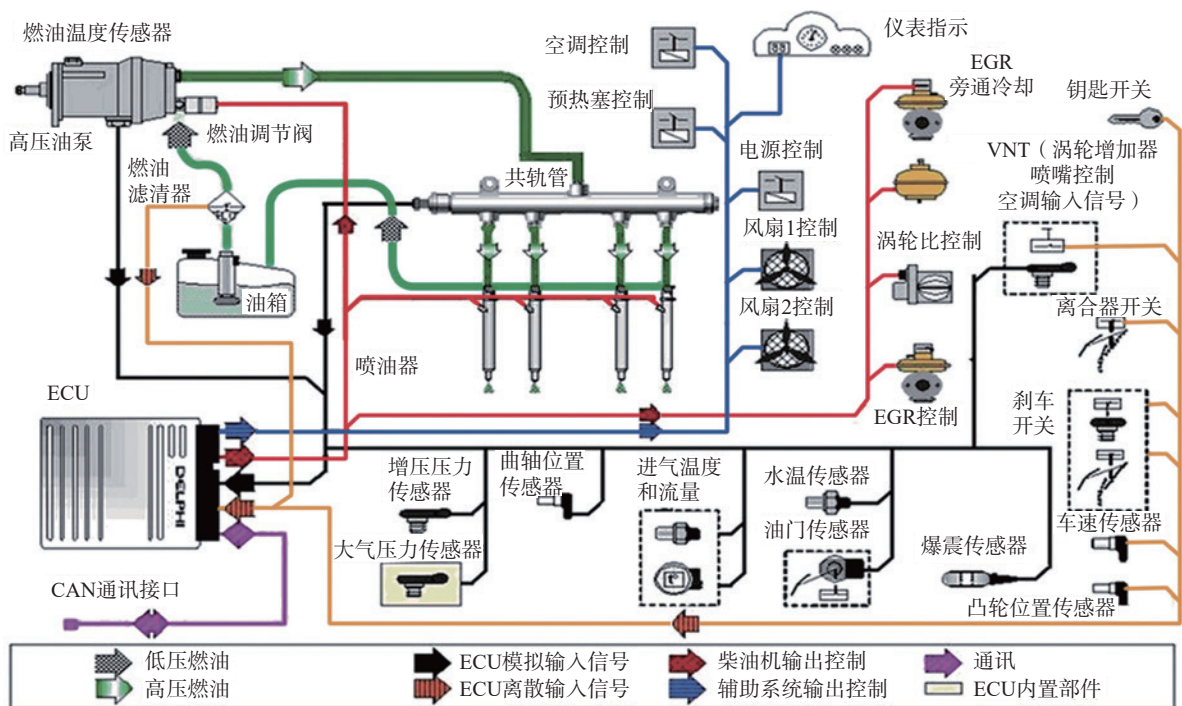


图 8-2-1 电控柴油共轨系统

### 1. 高压系统

高压系统由高压油泵、高压蓄压器(高压油轨)、燃油计量阀、高压喷嘴和高压油管等组成，如图 8-2-2 所示。

高压油泵将高压燃油输送到公共供油管(高压油轨)，并对公共供油管内的油压实现精确控制，使高压油管压力大小与发动机的转速无关，可以大幅度减小柴油机供油压力随发动机转速变化的程度。

高压共轨系统最重要的部件是喷油器，通过高速电磁阀控制喷油器的开启和关闭，从而实现了对每个汽缸的单独喷射控制。

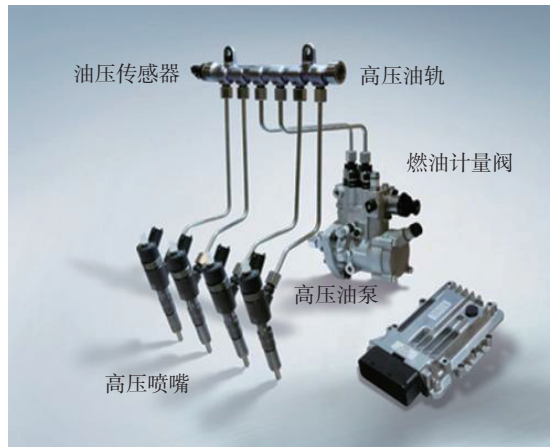


图 8-2-2 高压系统

## 2. 低压系统

低压系统由燃料供给系统组成，其功能是将燃油输送给高压油泵，根据控制供给方式不同，有机械低压输油泵和电动低压输油泵两种形式。

机械低压输油泵式低压系统如图 8-2-3 所示，其由燃油箱、燃油粗滤器、油水分离器、燃油齿轮泵等组成。

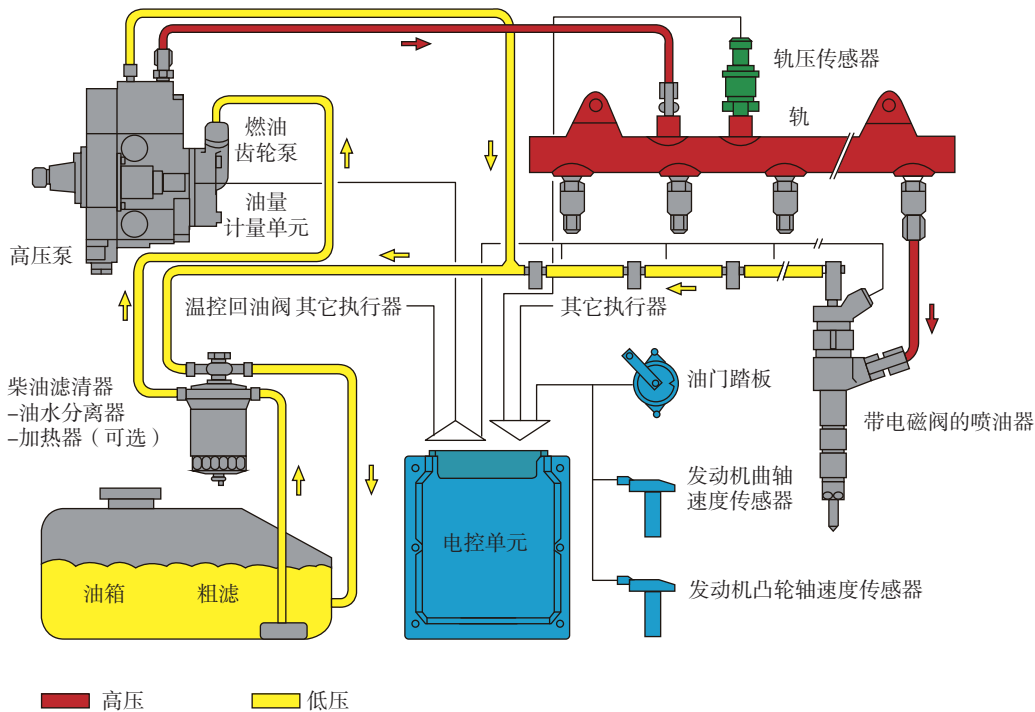


图 8-2-3 机械低压输油泵式柴油共轨系统

机械低压输油泵式是低压输油的动力元件，其和高压油泵装在一起，由发动机动力驱动，这种输油系统需要配备手动输油泵，当对低压输油系统维修后或者低压断油后，使用手动输油泵为低压系统排气。

电动低压输油泵式供油系统如图 8-2-1 中所示，将电动输油泵放在燃油箱内，其工作形式与缸外喷射汽油发动机类似。电动低压输油泵式供油系统不需要手动输油泵为低压系统排气。

### 3. 电子控制系统

由传感器、控制单元和执行器等组成，其功能是对高压共轨压力及喷油量、喷油时刻进行控制。

## 二、电动低压输油泵

电动低压输油泵安装在燃油箱内，其结构与缸外喷射汽油发动机输油泵类似，如图 8-2-4 所示，其控制电路及原理基本相同。

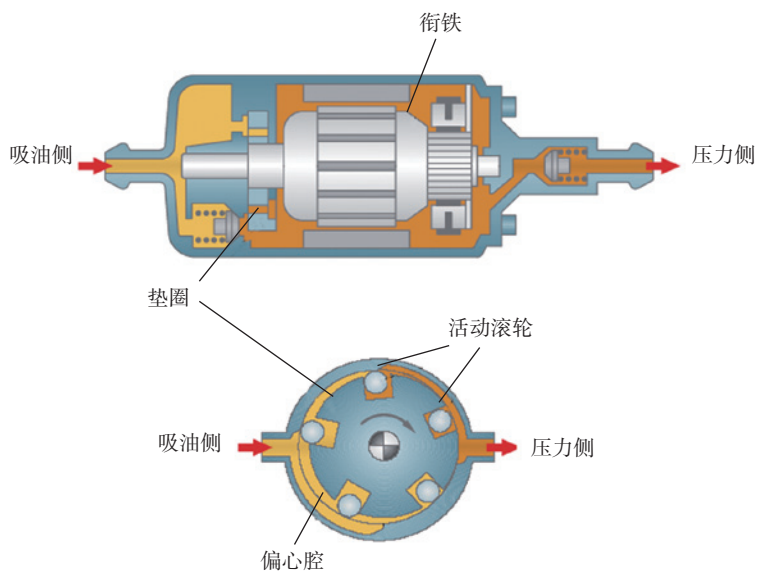


图 8-2-4 电动低压输油泵

## 三、机械低压输油泵

机械低压输油泵如图 8-2-5 所示，其集成在高压供油泵中共用一个驱动装置（如图 8-2-6 所示），也有的固定在发动机上采用单独的驱动装置，供油量基本上与发动机转数成正比，可以通过手动泵排气。

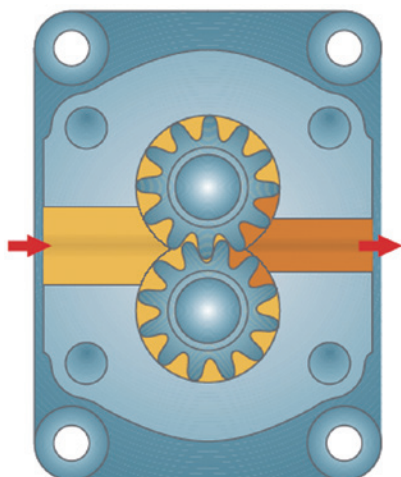


图 8-2-5 机械低压输油泵

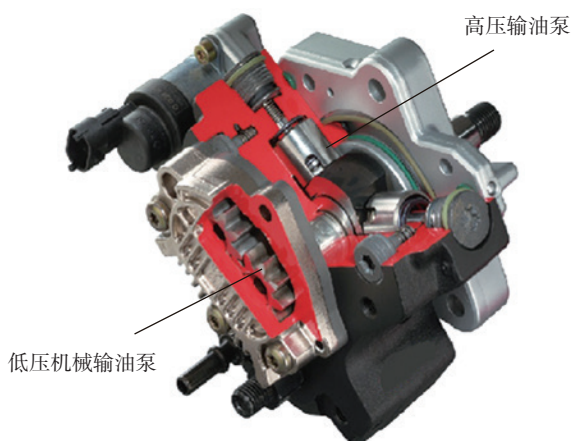


图 8-2-6 集成在高压供油泵的机械低压输油泵

## 四、油水分离器

在一些柴油机上，燃油箱和输油泵之间装设油水分离器，如图 8-2-7 所示。油水分离器的功用是滤掉柴油中部分杂质，除去柴油中的水分。



图 8-2-7 油水分离器

柴油经进油口进入分离器，并经出油口流出。柴油中的水分在分离器内从柴油中分离出来并沉积在壳体的底部，浮子随着积水的增多而上浮。当浮子达到规定的放水水位时，液面传感器将电路接通，仪表板上的警告灯发出放水信号，这时驾驶人应及时旋松放水塞放水。手压膜片泵供放水和排气时使用。

## 五、高压输油泵

### 1. 高压油泵

高压油泵部分：由星形三柱塞式高压泵（如图 8-2-8）、油压控制阀及关断电磁阀等组成。

（1）高压泵工作原理：（图 8-2-9）

油泵由一个带有三个凸形体的偏心轴，以及相隔 120 度的三组柱塞组成。

偏心轴转到低位置时，柴油经一级输油泵和滤清器到进油口（关断电磁阀杆，在不通电时可自由升降），经关断阀杆两侧的进油道，进入到泵腔和偏心轴转到凸峰时，柱塞上行，泵腔内的油向上推动，关断阀杆，把泵腔内的油与进油道隔开，燃油经出油阀进入到共轨系统。凸轮轴每旋转一圈，三个柱塞同时供油一次。

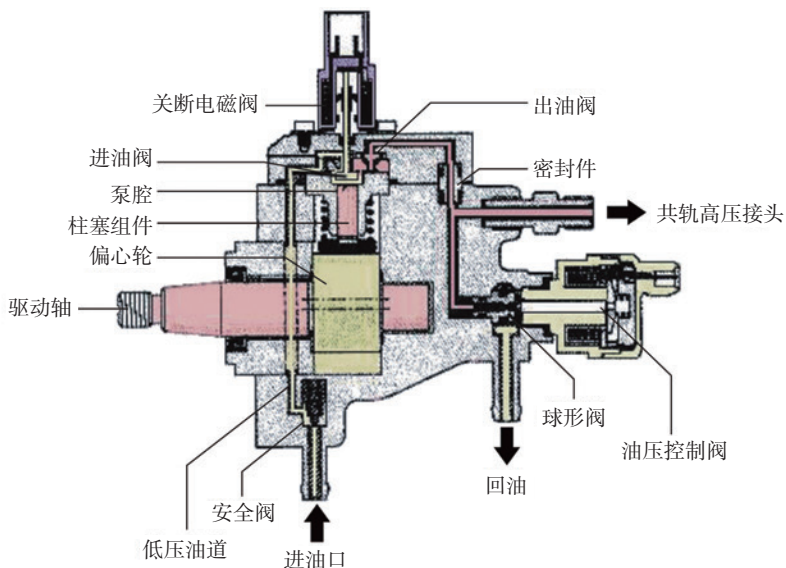


图 8-2-8 三柱塞高压泵

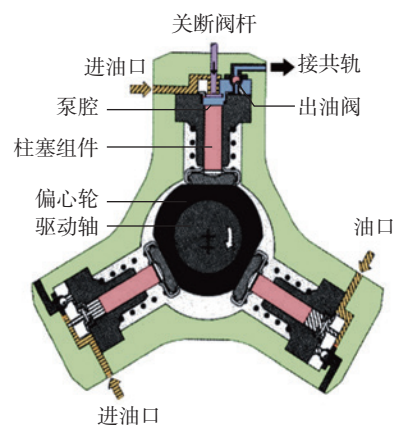


图 8-2-9 高压油泵

(2) 配备计量比例电磁阀高压泵 CP3:

进油计量比例电磁阀的工作原理（如 8-2-10 图）。

与内部构造图（图 8-2-11）进油计量比例电磁阀受 ECU 占空比信号的控制，用于调整燃油供给量和共轨压力。

在进油计量比例电磁阀通电时，阀门开启，接通常通往高压泵柱塞腔的油路，可以向高压泵提供最大流量的低压燃油，提高共轨压力；断电时，进油计量比例电磁阀在复位弹簧的作用下关闭，切断通往高压泵柱塞腔的油路，起到断油和降低共轨压力的作用，并可在关闭与全开之间任何一个开度下运行，以调整高压泵的进油量。

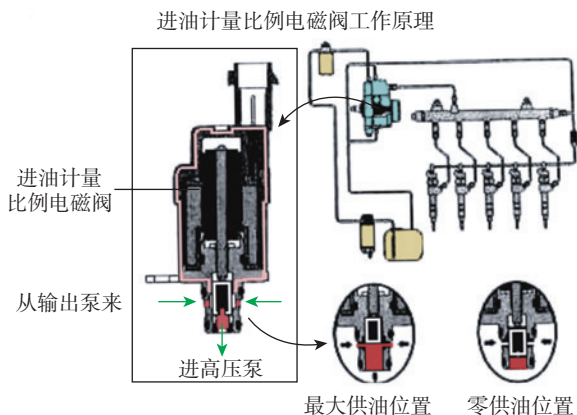


图 8-2-10 CP3 高压泵比例阀

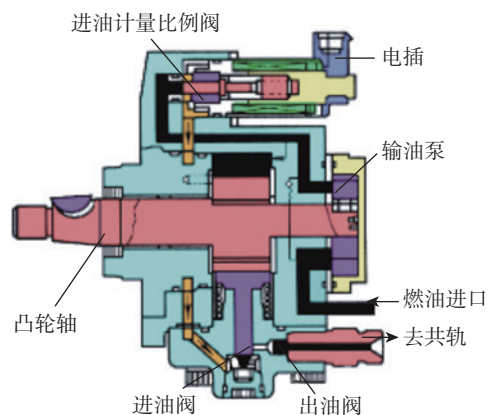


图 8-2-11 CP3 高压泵结构图

(3) 油压控制阀工作原理:

如图 8-2-12 油压控制阀由线圈、铁芯、球形阀、阀针及弹簧组成。阀针与铁芯连动，在线圈不通电时，线圈无电流通过，因此无磁场力带动铁芯，此时铁芯只受弹簧力的作用。铁芯将弹簧力传递给阀针，通过阀针将球形阀压在阀座上，弹簧的弹力大约为 10Mpa，可见如果电磁阀不通电，弹簧只能以 10Mpa 的压力压紧球形阀。

综上所述，球形阀的一侧受高压共轨的油压作用，另一侧受弹簧弹力的作用。如果需要调压，电磁阀产生磁场力，当弹簧力与电磁阀的磁场力叠加后可使油压在 100Mpa ~ 200Mpa 间调压，即当电磁阀通电时，磁场线圈通电吸动铁芯，使针阀下压球阀，此时的油压则是弹簧力与磁场力的合力。由此可见，只要调整送入电磁线圈的通电占空比，便是调整共轨压力。

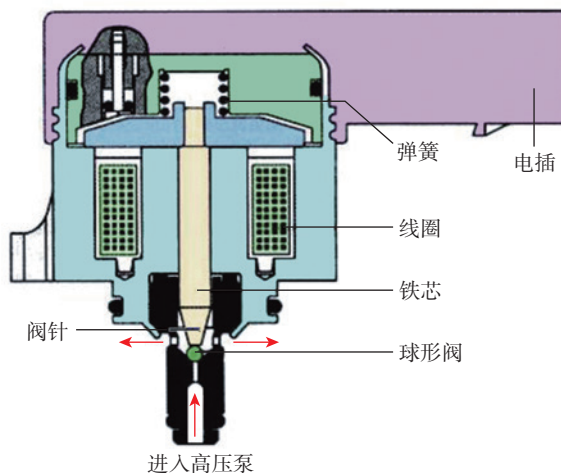


图 8-2-12 油压控制阀工作原理

2. 高压共轨部分

由共用油轨及安装在油轨上的压力传感器，流量限制阀和压力限制阀组成（如图 8-2-13）。

(1) 共轨构造与工作原理

共用油轨一般用无缝钢管或锻钢制成。直径与长短和发动机的功率有关，一般直径约 3cm ~ 5cm，长约 30cm ~ 50cm。进油口用油管与高压泵相连，压力限制阀的回油回到低压油路，流量限制阀经高压油管与喷油器连接，压力传感器把共轨的压力数据传到 ECU，供电脑调整共轨压力与向解码器提供数据流的使用。

(2) 压电式共轨压力传感器工作原理

压电式压力传感器是利用压电晶体压电效应制成的传感器，它由电气石、石英或酒石酸钾钠构成。当离子构成的晶体发生变形时，便会产生一个电动势，并作为信号送给控制单元。为提高信号的灵敏度，均采用多片压电晶层组成并联或串联的形式。而且压电效应也可以反过来用，也就是在压电晶体上加一正向电压给压电晶体，压电晶体便会被拉长，反之则缩短。这种应用方式主要应用在执行器上，例如应用在压电晶体共轨的喷油器的驱动或基本机械元件，如图 8-2-14 所示。

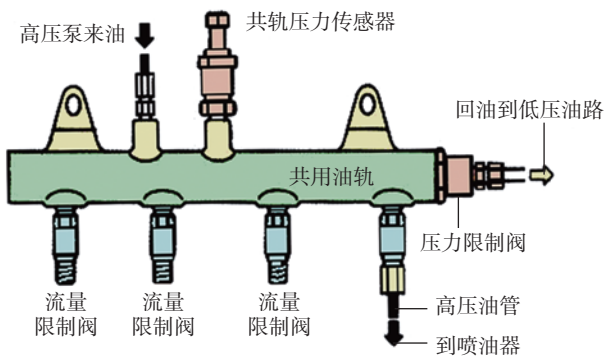


图 8-2-13 共用油轨

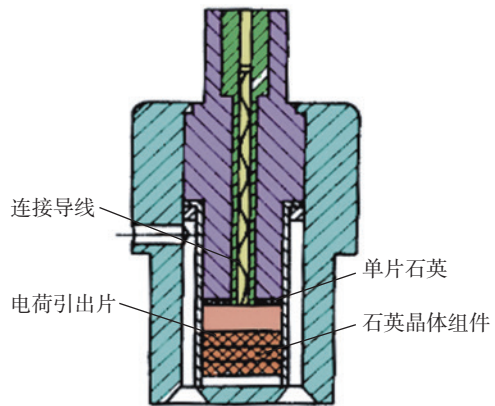


图 8-2-14 共轨压力传感器

(3) 共轨压力限制阀的工作原理

共轨压力限制阀也称安全阀或溢流阀，它安装在共轨上，并通过回油管与油箱相通。该阀由阀座与活塞组成，阀体一端通过高压接头与油轨相连。共轨中的油压通过进油口→节流孔→作用在活塞前部的阀上，中空的活塞有通孔，通孔与回油孔相连→活塞内有一个压力弹簧→当共轨中的燃油压力大于限定值时→压力燃油便会通过阀→阀压缩压力弹簧→打开阀通道→使多余的燃油从进油口、节流孔、阀通道、通孔和回油孔→回到油箱，使燃油压力保持在规定的范围内如图 8-2-15。

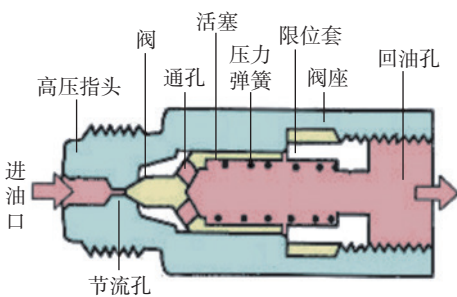


图 8-2-15 共轨压力限制阀

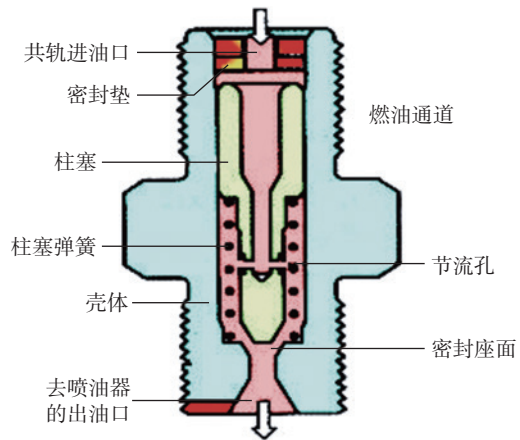


图 8-2-16 共轨流量限制阀

(4) 共轨流量限制阀的工作原理

图 8-2-16 共轨流量限制阀安装在共轨上，通向每个喷油器的位置上装一个，目的是限制喷油器的喷油量过大和防止高压油管或喷油器断裂时，共轨中的燃油大量外泄。它由流量限制阀的壳体和装在

壳体中的柱塞及柱塞弹簧等组成。中空的柱塞在径向钻有节流孔，当 ECU 通电使喷油器针阀开启。喷油器喷油时，如果柱塞上的节流孔的流量大于喷油量时，喷油器腔内的油压仍是共轨压力。如果喷油量大于节流孔的流量，则喷油器腔的油压就会下降。

此时柱塞在油轨压力的作用下下移，填补了喷出去的燃油让出的容积。由此可知，喷出去的燃油让出的容积，是靠柱塞下移和节流口供油共同作用填补的，以确保喷油器腔内的油压只略低于共轨油压。如果喷油器高压油管断裂，共轨压力会立即推动柱塞下移，关闭此供油油路。

## 六、电磁阀式喷油器

### 1. 电磁阀式共轨喷油器的工作原理：

电磁式共轨喷油器是将控制针阀开闭的电磁阀集成在喷油器总成内（图 8-2-17）。

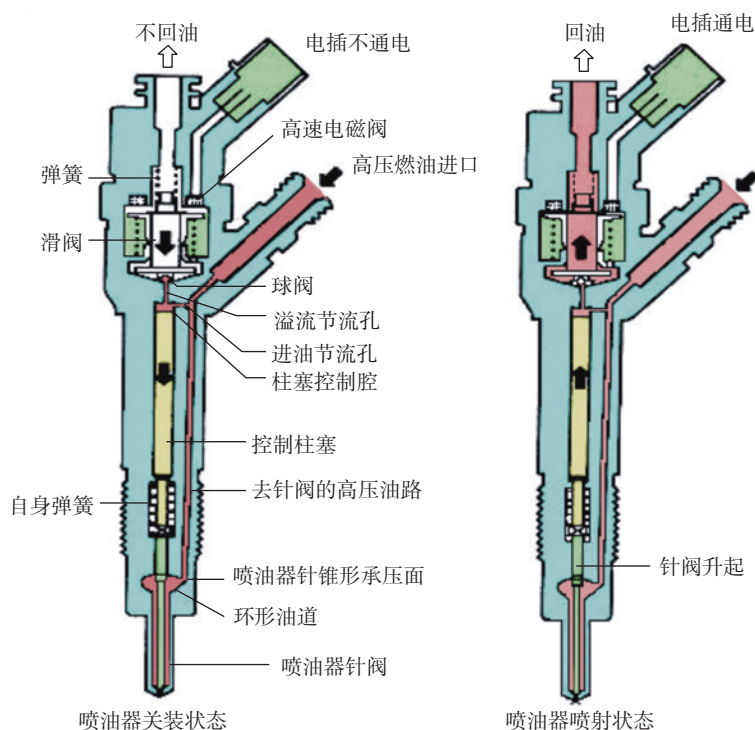


图 8-2-17 高压共轨喷油器工作原理

当电磁阀不通电时，电磁阀内部的滑阀受弹簧力的作用，压在球阀上，此时球阀受到两个力的作用，向下的力是滑阀弹簧的弹力，向上的力是共轨油压通过溢油节流孔作用在球阀上的力。因溢油节流孔直径很小，所以球阀受到的共轨油压的向上的推力小于滑阀弹簧向下的弹力，使球阀紧压在阀座上，控制柱塞上腔停止回油。

共轨油从喷油器进油口进入喷油器后，一股流入喷油器的针阀环形油道内，通过针阀锥形承压面向上推针阀，力图使针阀升起；另一股共轨油则通过进油节流孔进入控制柱塞的上腔，使腔内的油压与共轨油压相等。

### 2. 工作过程

在电控单元不向电磁阀通电时，喷油器的针阀除受自身弹簧力的作用下压在针阀座上，还有一个控制柱塞上腔的共轨压力，此压力通过控制柱塞也作用在针阀上。针阀在两力的合力的作用下紧压在针阀座上，使针阀环形油道内的共轨油压无力升起，针阀使喷油器停止喷油。当控制单元向喷油器的电磁阀通电时（图 8-2-17），滑阀在电磁力的作用下升起，控制柱塞上腔的共轨油压使顶开回油球阀，使柱塞的控制腔回油。由于喷油器的进油节流孔小于回油节流孔，所以柱塞控制腔油压降低，使喷油器针阀向下的压力迅速降低，针阀承压锥面在环形油道力的作用下升起，将共轨送入的燃油从下面的

喷油嘴喷出。

可见，当电磁阀通电，回油球阀升起回油，喷油器针阀升起，开始喷油；电磁阀断电，球阀关闭，针阀落座，停止喷油。电磁阀通电时刻就是喷油开始的时刻，电磁阀断电的时刻就是喷油器停止喷油的时刻，电磁阀的通电时间长短就是喷油脉宽，即喷油量的大小。因此只要电控单元控制电磁阀的通断电时间，即可控制喷油提前角和喷油量。此外因为进油节流孔很小，所以柱塞上腔油压的变化，不会影响到共轨内的燃油压力脉动。

## 七、压电晶体喷油器

### 1. 压电效应

(1) 正压电效应（如图 8-2-18）

压电材料（如石英晶体等）在外力的作用下变形，压电晶体上会产生与应变变量成正比的电荷，进而在电极之间产生电压。电荷的多少和极性与所加的机械力的大小和性质（拉力或压力）有关。当外力去除后，压电晶体又重新回到不带电状态。这种现象称为正压电效应。

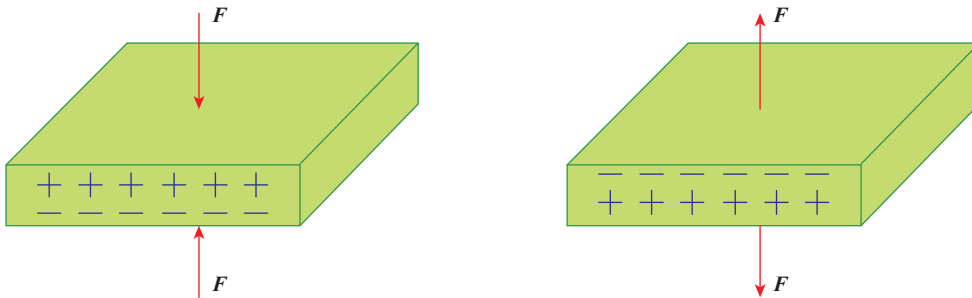


图 8-2-18 正压电效应

(2) 逆压电效应

如对压电晶体施加一个电压，在外电场作用于压电晶体的晶格上时，电流流过，会使晶格伸长，当断电后压电晶体又恢复到起始状态，这种现象称为逆压电效应，如图 8-2-19 所示。

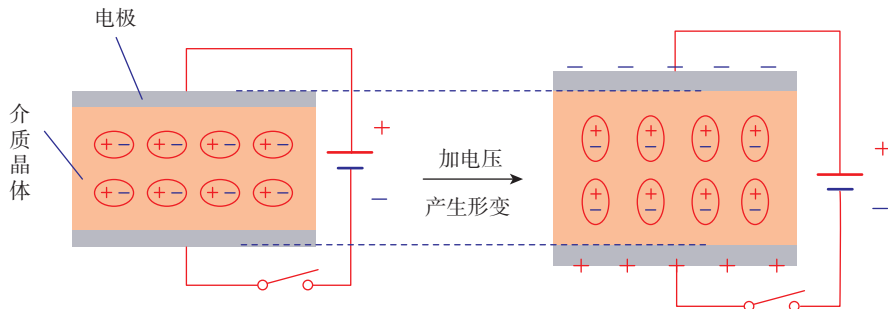


图 8-2-19 逆压电效应

### 2. 压电晶体喷油器

压电晶体喷油器利用逆压电效应制成，其主要由压电发生器、液力放大器、控制阀、油嘴阀针、控制膜片等组成，如图 8-2-20 所示。

压电发生器由晶体、壳体、粗活塞组成，其晶体由几百片压电晶体跌成如图 8-2-21 所示；液力放大器由粗活塞、细活塞、和压力腔组成，如图 8-2-22 所示；控制阀由控制阀、旁通阀、控制腔、针阀、针阀腔组成，如图 8-2-23 所示。

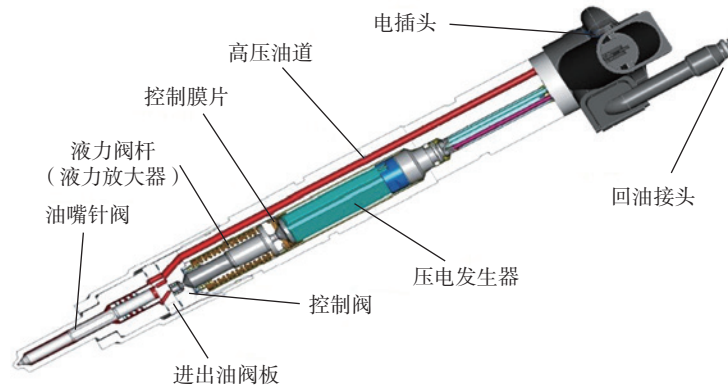


图 8-2-20 压电式喷油器的结构



图 8-2-21 压电发生器

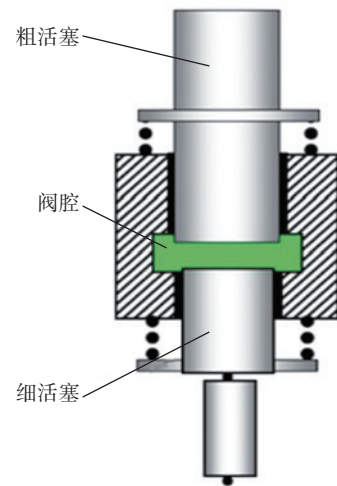


图 8-2-22 液力放大器

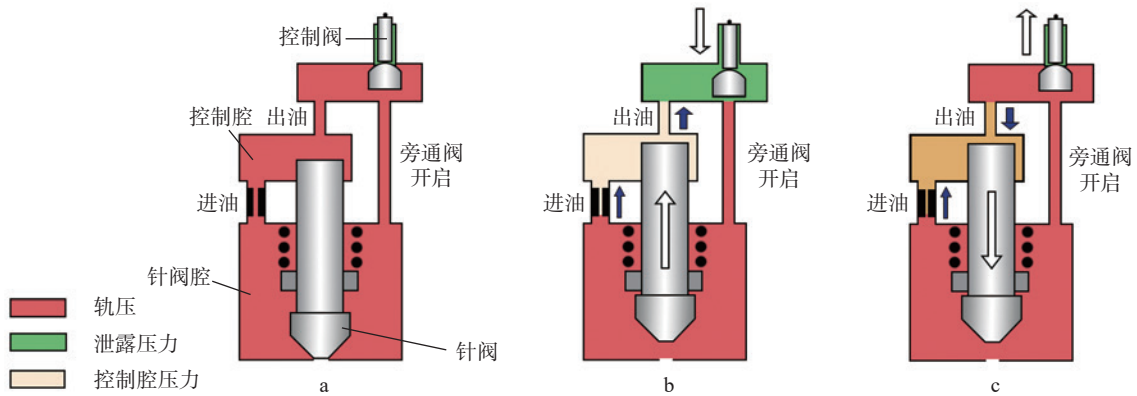


图 8-2-23 控制阀

在未给压电发生器供电时，控制阀的控制阀体关闭泄漏通道，控制腔和针阀腔内燃油压力和为轨道压力，针阀在弹簧作用下堵住阀口，如图 8-2-23 中 a 所示。

给晶体通电后，晶体发生形变伸长，推动粗活塞压向液力放大器的阀腔，由于阀腔内液压油的体积一定，粗活塞的向下移动会导致细活塞不得不下移，且移动的位移远大于粗活塞的移动位移，从而实现位移量的放大，如图 8-2-23 所示。小活塞推动控制阀的控制阀体下移，打通泄漏通道并关闭旁通阀使控制器腔内燃油泄漏，从而导致制器腔内燃油压力低于针阀腔压力，针阀在两腔压力差的作用下向上移动，打开针阀口，燃油从针阀孔处喷入气缸，如图 8-2-23 中 b 所示。

给晶体断电后，晶体复位，粗细活塞复位，控制阀的控制阀体关闭泄漏通道，打开旁通阀，针阀腔燃油经过进油口和旁通阀进入控制腔，两腔压力趋于相等，针阀针阀在弹簧作用下堵住阀口，喷油结束，如图 8-2-23 中 c 所示。

### 3. 压电晶体的驱动

对于制作位移器压电陶瓷材料来说，其施加 1V 电压的伸长为 500~ 600nm，若要产生 20um 的位移量，则需要 4 万伏左右的驱动电压。

在实际应用中，若采用 300 片压电晶体跌成的压电晶体，驱动电压也还需要 130 伏以上。因此，压电晶体执行器的驱动电路中有一个 DC-DC 电路实现驱动电压，其控制线路如图 8-2-24 所示。

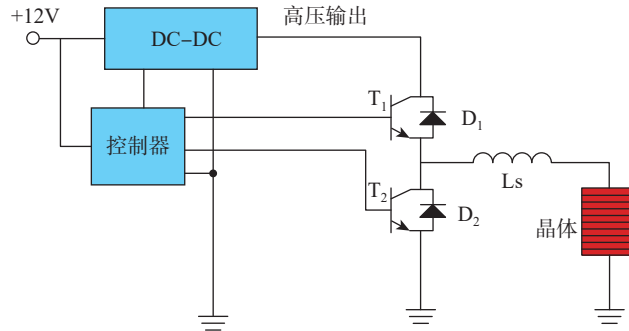


图 8-2-24 压电晶体的驱动电路

在充电过程中，晶体管  $T_1$  和二极管  $D_2$  工作： $T_1$  打开时，驱动电源通过晶体管  $T_1$  和电感向执行器充电，回路中的电流逐渐增大，电感中储存的能量也越来越大，如图 8-2-25 中 a 所示。直到控制量达到设定上限值时， $T_1$  关闭，由于电感的续流作用，电流通过二极管  $D_2$  和电感继续向压电晶体充电，如图 8-2-25 中 b 所示，此时回路中的电流逐渐减小，电感中储存的能量转移到压电执行器中。当控制量跌到设定下限值时， $T_1$  再次打开，则回路中的电流再次增加如此反复，直到充电完成，喷油器完全打开。

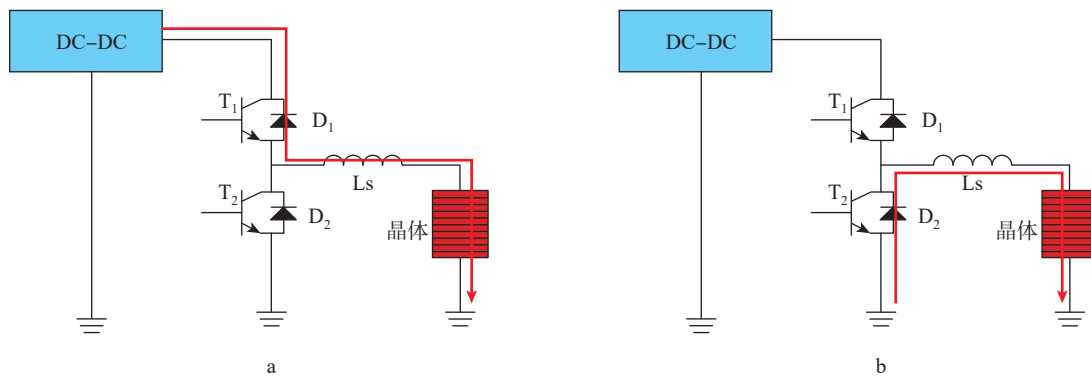


图 8-2-25 压电晶体的充电

在放电过程中，晶体管  $T_2$  和二极管  $D_1$  工作：ECU 发出喷油结束命令后，晶体管  $T_2$  打开，压电执行器通过电感  $L_s$  和晶体管  $T_2$  组成的回路放电，回路中的电流逐渐增大，电感中储存的能量也越来越大，如图 8-2-26 中 a 所示。当控制量达到设定上限值时，晶体管关闭，在电感的续流作用下，电感中的能量通过二极管  $D_1$  转移到驱动电源中，实现了能量的回收，如图 8-2-26 中 b 所示，此时回路中的电流逐渐减小。当控制量跌到设定的下限值时，晶体管  $T_2$  再次打开如此反复，直到放电完成，针阀落座，喷油结束。

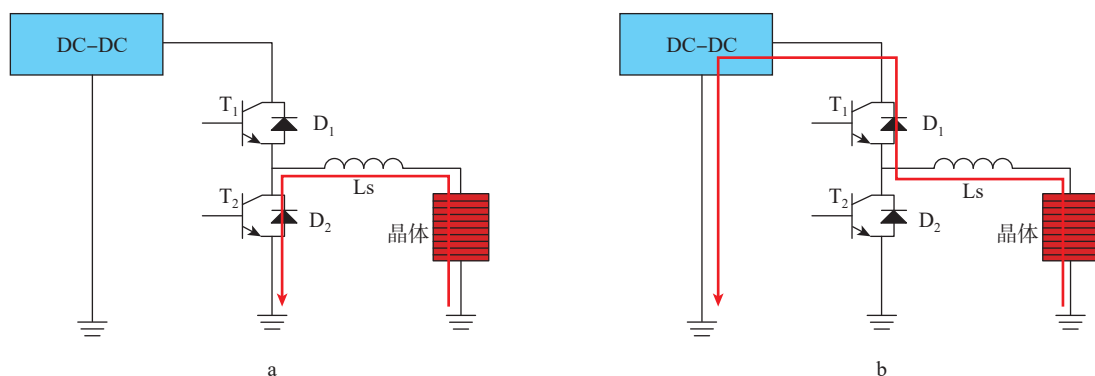


图 8-2-26 压电晶体的放电

## 八、柴油共轨的控制

### 1. 喷油量的控制

喷油量的计算如示意图 8-2-27 所示。喷油量是基于需求指示扭矩控制来计算的，油门踏板位置和转速油门踏板位置和转速是喷油量的主控信号，其决定着基本喷油量，并根据冷却液温度进行修正。

在计算基本喷油量和喷油量时未考虑进入气缸内的气体的数量，因此有可能会计算出喷油量超过气缸内的需求，因此需要对喷油量进行限制，这个限制喷油量的值称为最大喷油量，其是根据空气流量和转速计算的。

油门踏板的位置一定程度反应出驾驶员对发动机转速的需求，由于汽车变速器的档位不同，因此，这种需求是模糊的，为了使柴油机的运转更能贴近驾驶员的需求，微机根据油门踏板的位置使用模糊逻辑计算出驾驶员对转速的需求，定义为理论转速，在与实际转速进行比较，以此对喷油量进行最终调整。

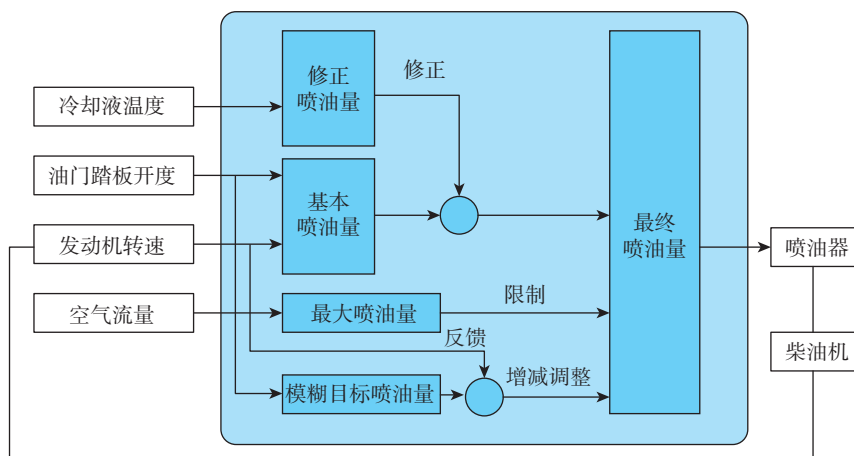


图 8-2-27 喷油量的计算示意图

### 2. 启动喷油量

发动机启动时，其喷油量由启动时的冷却液温度和转速计算，如图 8-2-28 所示。

### 3. 供油压力调节

高压供油压力是由安装在高压泵上的计量比例电磁阀控制的，供油压力的强弱决定实际喷油量的多少，其压力基本值由发动机转速和当前实际喷油量决定，然后再由大气温度、大气压力、冷却液温度等环境系数及燃油温度进行修正，以此得出理论压力值，再根据轨道压力传感器的时机压力值反馈调整。供油压力调节计算如示意图 8-2-29 所示。

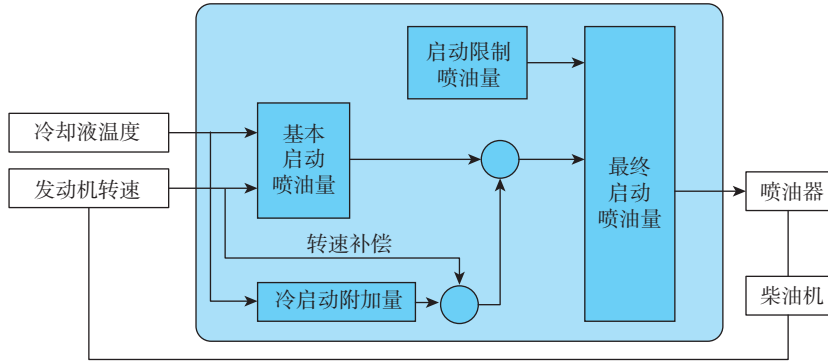


图 8-2-28 启动喷油量的计算示意图

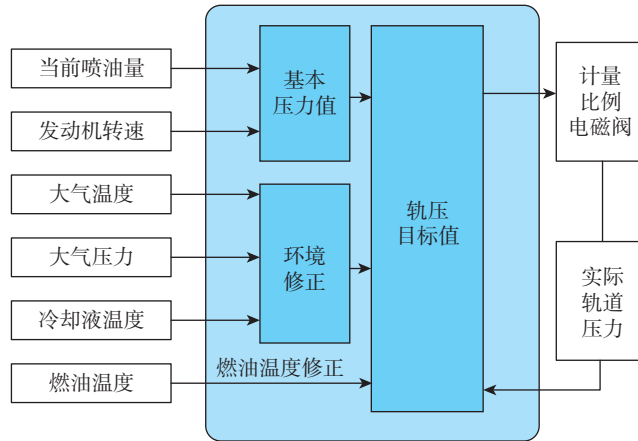


图 8-2-29 供油压力调节计算示意图

#### 4. 喷射正时

最终喷油量和转速决定基本喷油提前角，并由进气压力值进行修正，从而形成实际喷油提前角。在启动时，根据转速和冷却液温度设定了最大喷油提前角，用于在启动时对喷油提前角进行限制，如示意图 8-2-30 所示。

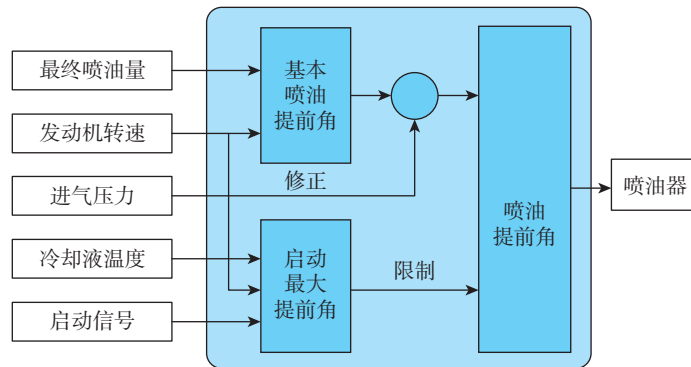


图 8-2-30 喷射正时计算示意图

# 3 第三节 柴油机排放控制

由于柴油机的工作特点，相比于汽油机，其排放污染物有所不同，主要有  $\text{NO}_x$ 、HC、CO、PM、PN、 $\text{NH}_3$  等。

2021年7月1日，重型柴油车国六排放标准开始实施，标志着我国汽车标准全面进入国六时代。

## 一、重型柴油车后处理系统结构

重型柴油车后处理系统由包括 DOC（氧化催化转化器）、DPF（柴油颗粒过滤器）、SCR（尿素催化还原）、ASC（氨过滤器）等组成，如图 8-3-1 所示。这些系统集成在为后处理器，如图 8-3-2 所示。

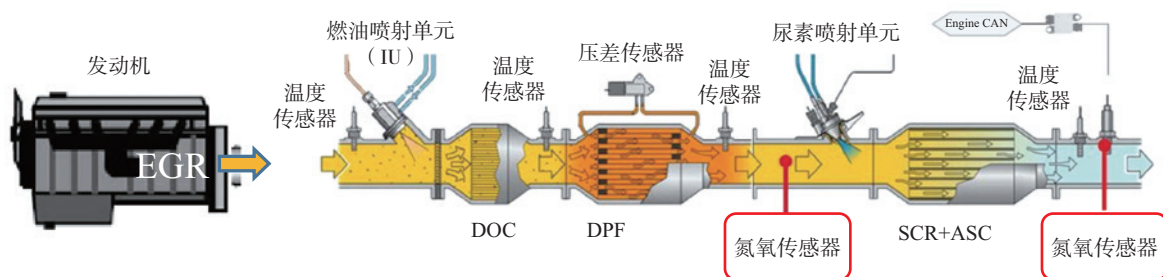


图 8-3-1 重型柴油车后处理系统

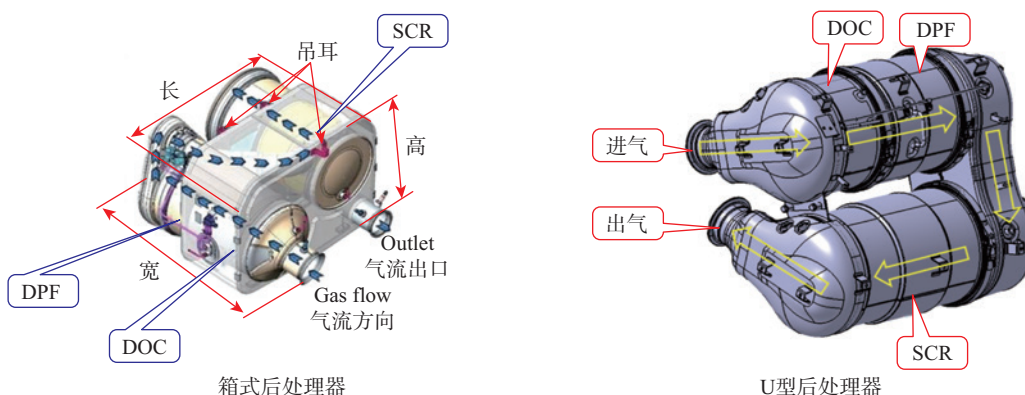


图 8-3-2 后处理器

## 二、DOC 系统

DOC（氧化催化器，Diesel Oxidation Catalyst）用于催化氧化发动机尾气中的 HC、CO、NO 等气态排放物，生成  $\text{NO}_2$  和  $\text{CO}_2$ 。

HC 氧化放热用于 DPF 主动再生；生成的  $\text{NO}_2$  用于 DPF 的被动再生。

DOC 涂层中含有贵金属为 Pt、Pd。Pt 主要用于 NO 氧化；Pd 主要作用为热稳定性。不同的 DPF 再生方式，与之匹配的 DOC 涂层中 Pt、Pd 含量与比例不相同。

### 三、DPF 系统

#### 1. DPF 再生

DPF 再生分被动再生和主动再生。

##### (1) 被动再生

将 NO 在 DOC 中氧化为  $\text{NO}_2$ ， $\text{NO}_2$  比  $\text{O}_2$  活跃，在 250-450℃ 时氧化碳颗粒，如图 8-3-3 所示。

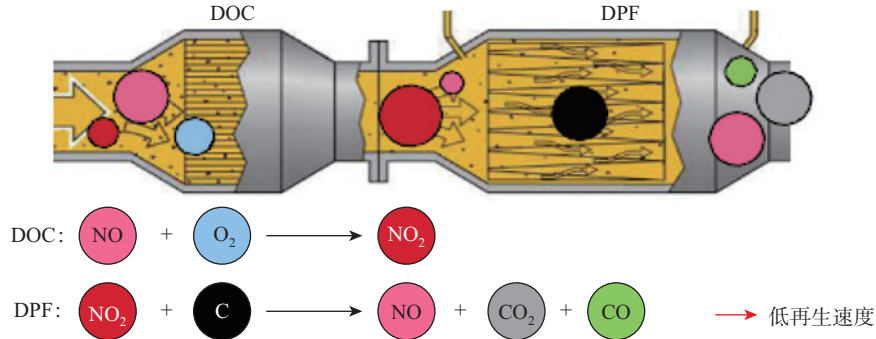


图 8-3-3 被动再生

##### (2) 主动再生

实际运行工况时，排气温度达不到被动再生条件（排气温度 250-450℃），需通过喷油在 DOC 中发生氧化反应，将排气温度提高到 550℃ 以上，使碳燃烧氧化反应生成二氧化碳，如图 8-3-4 所示。

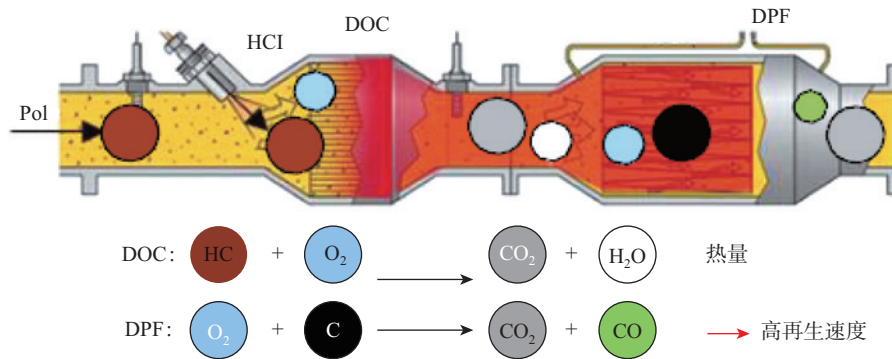


图 8-3-4 主动再生

在 DOC 前排气温度传感器用于测量 DOC 前的排气温度，作为可进行主动再生的判定条件。在 DPF 前排气温度传感器用于监控 DPF 再生时的温度，判定再生是否正常，如图 8-3-5 所示。

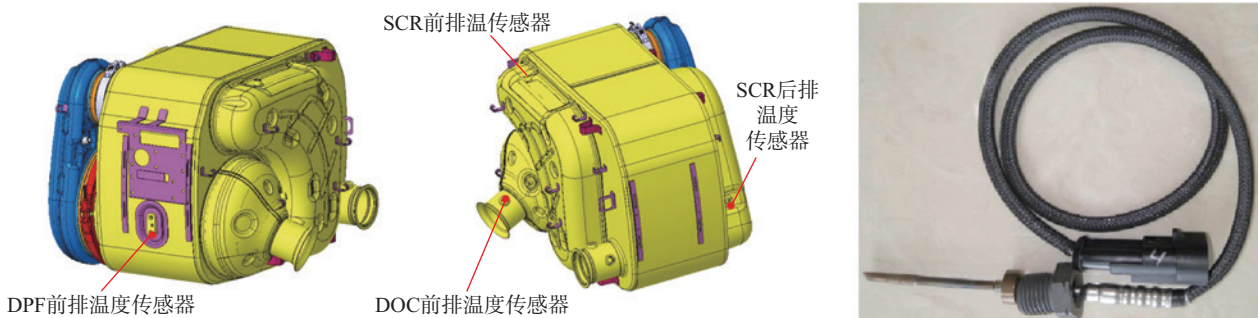


图 8-3-5 温度传感器

## 2. 碳颗粒捕获

DPF（柴油颗粒过滤器，Diesel Particulate Filter）用于捕集排气中的碳颗粒，属于壁流式结构，如图 8-3-6 所示。

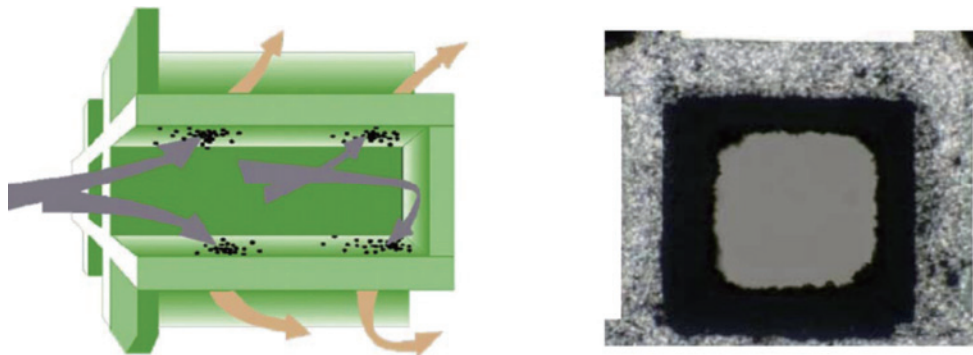


图 8-3-6 DPF

DPF 载体有对称结构和非对称结构两种。其中非对称孔设计方案为大孔进小孔出，比对称孔设计方案过滤表面积大，储碳储灰容积大。

在 DPF 前和 DPF 后取气口装有一个压差传感器，用于监测 DPF 前后压差，判断 DPF 是否堵塞或者被移除，如图 8-3-7 所示。

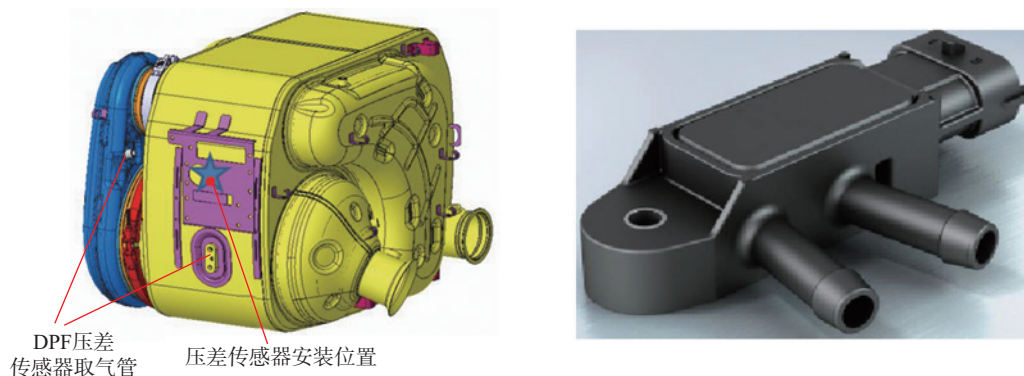


图 8-3-7 压差传感器

在 SCR 后装有一个 PM 传感器用于测量尾气中的 PM 颗粒物的含量，检测 DPF 的过滤效率，如图 8-3-8 所示。



图 8-3-8 PM 传感器

## 3.DPF 保养

### (1) DPF 灰尘处理方法

DPF 除了收集碳烟外，还会收集机油、添加剂以及柴油燃烧产生的物质（多为硫酸盐，我们称之

为灰分。

炭烟可以通过被动再生或主动再生方式消耗掉，从而使得 DPF 整个生命周期内都能保持较高的捕集效率。

但是灰分是无法通过再生方式消除掉的，其集聚在 DPF 的内壁，一方面减小了 DPF 的有效过滤面积，从而影响 DPF 的捕集效率，另一方面增大了排气背压。

DPF 的保养主要是清灰过程；控制系统及 HCl 喷射系统各零件原则上在生命周期内是免维护，但定期的检查和隐患排查也是十分必要的。另外，若出现 DPF 系统故障或 DPF 主动再生功能失效时，应按照清灰过程处理 DPF 中的积碳。

(2) 清灰里程或时间

在使用满足国六法规的柴油和机油前提下，每行驶 30 万公里或两年进行清灰。清灰里程及时间受多方面因素影响，包括发动机运行情况，使用机油及燃油品质等等。

(3) DPF 清灰

1) 清灰方法

DPF 颗粒捕集器总成通过加热和吹扫方式清灰

- ① 将 DPF 拆除，质量称重。
- ② 将 DPF 颗粒捕集器总成加热，加热温度为  $600 \pm 50^{\circ}\text{C}$ ，加热时间为 20min；
- ③ DPF 颗粒捕集器总成加热完成后，采用压缩空气对 DPF 颗粒捕集器总成进行反吹，吹灰压力为 13bar，吹灰时间为 20min，DPF 颗粒捕集器总成堵塞严重时，可以加长吹灰时间；
- ④ DPF 加热和吹扫结束后，取出 DPF，称重。

2) DPF 保养清灰注意事项

- ① 不要通过敲击或拍打清除 DPF 上的灰分。
- ② 为保证后处理器的密封性，每次拆装 DPF，都需要更换卡箍和密封垫。
- ③ 完成清灰后要确保 DPF 正确安装。

## 四、HCl 系统

国六后处理系统增加了颗粒捕集器（DPF），DPF 再生策略是被动再生为主，主动再生为辅。主动再生不是持续发生，只有颗粒数捕集过多时，尾气中喷入一定的燃油，在 DOC（氧化催化器）作用下氧化产生高温，从而再生烧掉 DPF 上积聚的碳颗粒。

HCl 系统主要由 DPM 喷射系统、DOC 总成、DPF 总成组成，如图 8-3-9 所示。通过温度传感器测到的温度信息，实时监控 DPF 系统，并将信号传输至 ECU，ECU 计算碳载量，决定是否需要主动再生以及主动再生的喷油量。

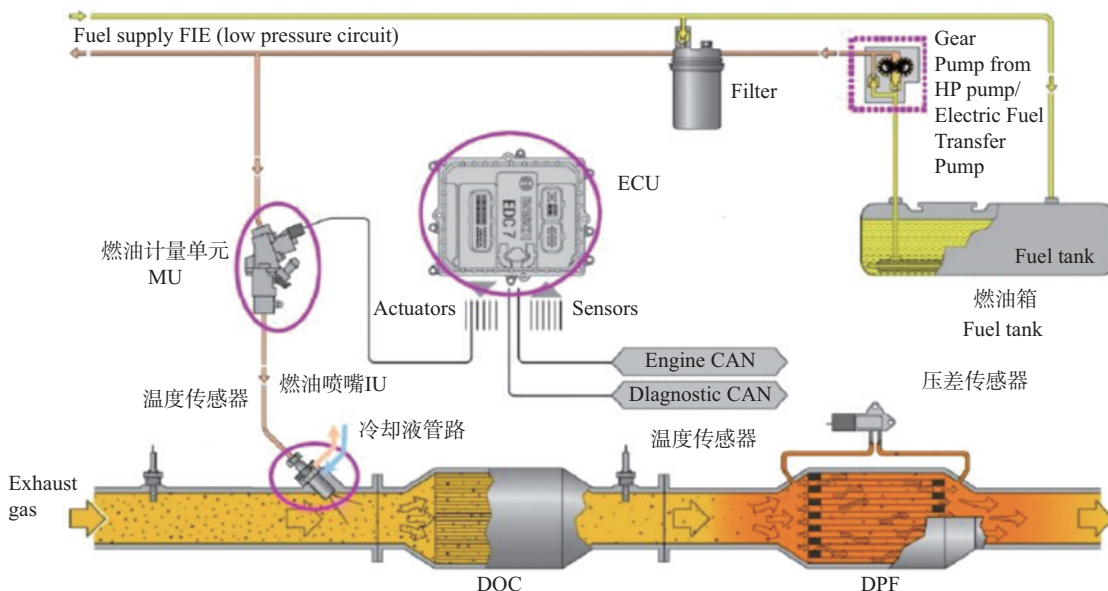


图 8-3-9 HCl 系统

DPM 喷射系统的作用是控制 DOC 前燃油喷射的喷射精度，如图 8-3-10 所示。DPM 喷射系统主要有 Metering Unit (MU) 和 Injection Unit (IU) 两个元件。MU 是后处理系统中 DOC 前燃油喷射计量单元，MU 从发动机低压油路吸取燃油，无额外的燃油泵，如图 8-3-11 所示。IU 是后处理系统中 DOC 前燃油喷射单元，布置在排气蝶阀后排气管上，因为与排气直接接触，需要冷却水进行冷却，如图 8-3-12 所示。

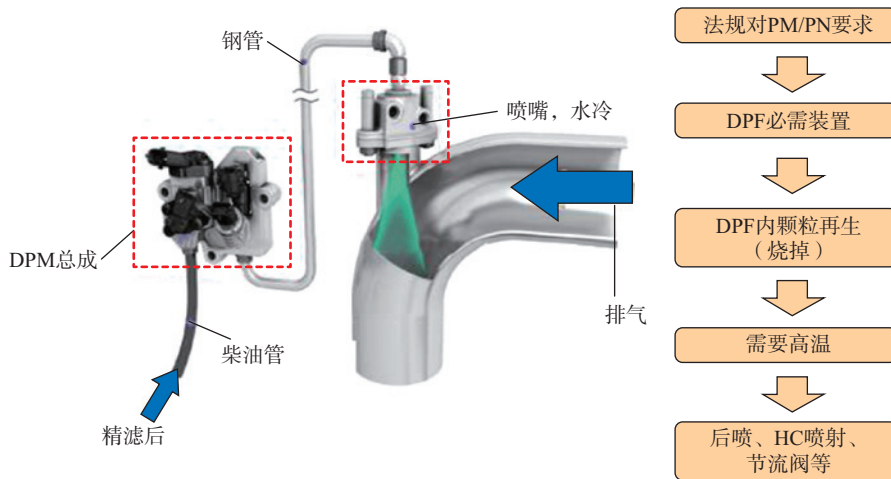


图 8-3-10 DPM 喷射系统

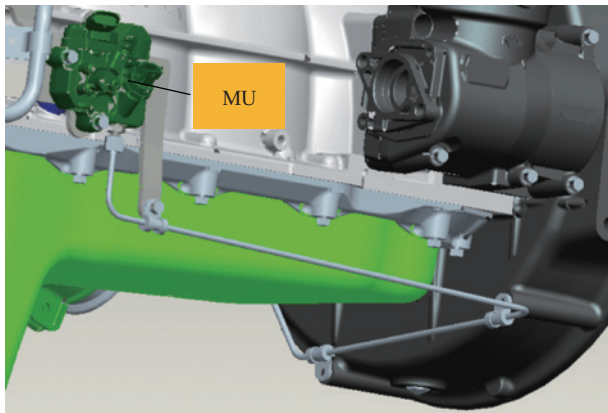


图 8-3-11 MU

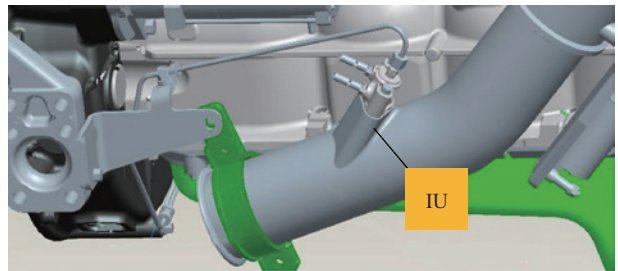


图 8-3-12 IU

## 五、SCR 系统

SCR (选择性催化还原, Selective Catalytic Reduction) 系统采用的还原剂是尿素。尿素  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$  加  $\text{H}_2\text{O}$  后在高温下分解成  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$ ，其工作原理是将还原剂喷入排气管，排气中的氮氧化物与  $\text{NH}_3$  反应被还原成氮气和水。SCR 涂层主要有三种：V (钒) 基、Cu 基、Fe 基，V 基 SCR 在  $600^\circ\text{C}$  时会微量挥发出  $\text{V}_2\text{O}_5$ ，剧毒，对人体有害。

SCR 系统由尿素供给单元 (SM)、尿素喷射单元 (DM)、尿素液位温度质量传感器、尿素箱、后处理控制单元 (ECU) 及相应管路和线束构成，如图 8-3-13 所示。

### (1) 尿素供给单元 (SM)

尿素供给单元将尿素水溶液从尿素箱中供给尿素喷射模块，由压力传感器、隔膜泵、尿素滤芯和反向阀等组成，如图 8-3-14 所示，温度低时可以加热。

进液管接头从尿素箱到尿素供给单元，回液管接头从尿素供给单元到尿素箱，压力管接头从尿素供给单元到尿素喷射单元。

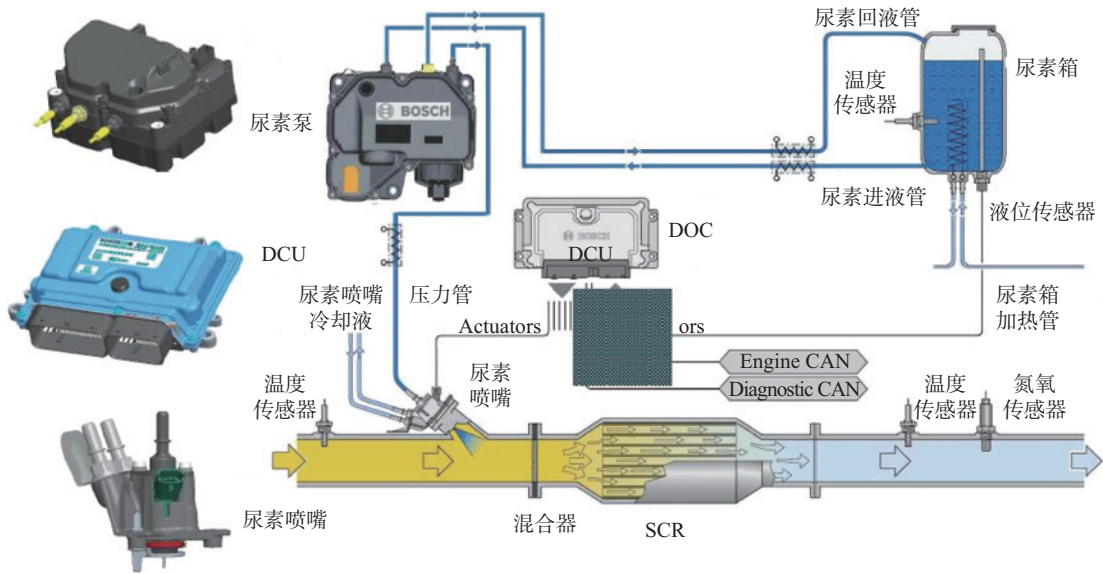


图 8-3-13 SCR 系统

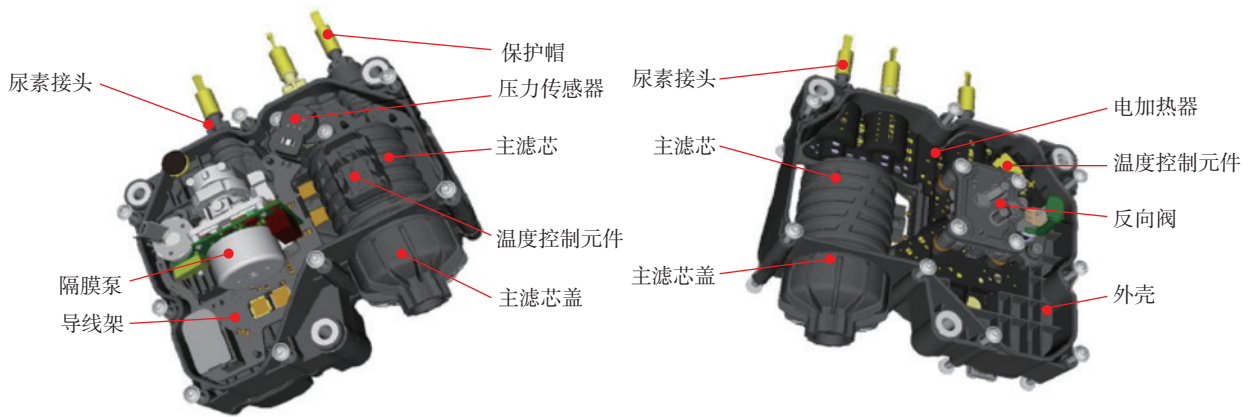


图 8-3-14 尿素供给单元

(2) 尿素喷射单元 (DM)

尿素喷射单元是将尿素水溶液喷入国六后处理器中，采用发动机冷却水冷却，如图 8-3-15 所示。

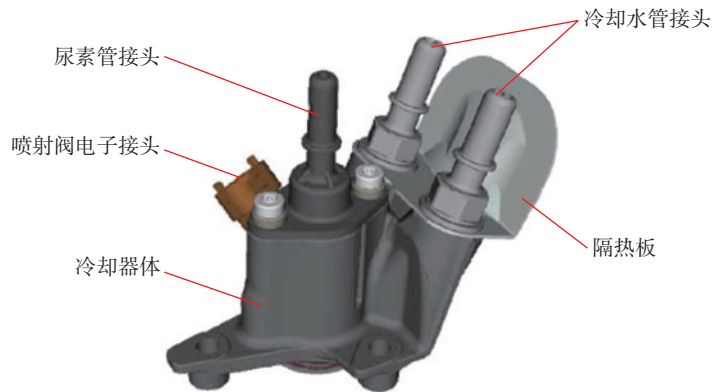


图 8-3-15 尿素喷射单元

(3) 尿素液位温度和质量传感器

尿素液位温度和质量传感器如图 8-3-16 所示。

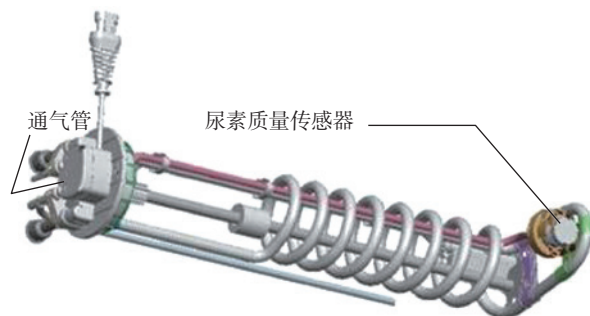


图 8-3-16 尿素液位温度和质量传感器

液位传感器可将实际尿素液位直观的显示到仪表上。当尿素液位不高于 10% 时，仪表盘上指示灯会长亮，提示用户及时添加尿素溶液。

温度传感器是一个负温度系数电阻传感器，不同的温度反馈出不同的电阻，加电后向控制单元传输不同的电流信号，控制单元依此判断实际尿素温度。

国六新增尿素质量传感器集成在尿素液位温度传感器上，可实时监控尿素溶液的浓度与质量，判断尿素溶液浓度与基准浓度 32.5% 的偏差是否超过限值。当由于尿素质量导致氮氧排放量超标，激活故障指示灯。

尿素液位温度质量传感器顶部设有一个通气管，用于平衡尿素箱内外的气体压力。首保时应检查并清洁通气管，以后每 5000km 需要清洁通气管。

(4) 电加热尿素管

国六后处理系统标配加热功能，尿素箱采用发动机冷却液加热，尿素管采用电加热。

(5) 传感器

1) 温度传感器

SCR 前排气温度传感器用于测量 SCR 前的排气温度，控制尿素喷射特性，SCR 后排气温度传感器用于测量 SCR 后的排气温度，更加准确的反应 SCR 的反应温度，如图 8-3-5 所示。

2) NO<sub>x</sub> 传感器

2 个 NO<sub>x</sub> 传感器，分别位于 DOC 前和 SCR 后，如图 8-3-17 所示。SCR 前氮氧传感器用于测量发动机原排的氮氧含量，SCR 后氮氧传感器用于测量发动机尾气的氮氧含量。

国六后处理 SCR 系统采用闭环控制，通过各传感器测量数据可精确的控制尿素特性。防止尿素多喷或者少喷。



图 8-3-17 NO<sub>x</sub> 传感器

(6) SCR 系统保养

1) 定期检查并添加尿素水溶液

① 尿素水溶液要符合 GB 29518-2013 柴油发动机氮氧化物还原剂 尿素水溶液 AUS32 标准要求，向授权零售商或专业厂家购买。

② 加注时，建议采用专业加注设备加注，防止尿素水溶液溅洒。

③ 尿素加注时，不能超过最高液位线，箱体顶部要预留一定的膨胀容积，防止低温下尿素结冰体积增大导致箱体胀裂。

### 2) 定期检查并更换 SCR 系统滤芯、清洗零部件

① 第一次保养周期为 5 万公里，需要去重汽指定服务站进行保养，保养内容为：更换尿素液位传感器主滤芯、尿素泵主滤芯及疏通清洗尿素泵、清洗尿素喷嘴、清洗尿素箱及系统管路。

② 第二次保养根据车辆运行工况，极差工况的尿素液位传感器主滤芯更换周期可缩短至 3 万公里，尿素泵主滤芯不变仍为 5 万公里，更换滤芯同时需要疏通清洗尿素泵、清洗尿素喷嘴，清洗尿素箱及系统管路。尿素喷射单元底部的密封垫是一次性部件，每次拆卸后均需要更换。

### 3) 其它

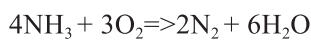
① 检查系统表面清洁度，尤其线束接头防水防尘情况，若外表面或保护罩上积蓄着碎石块泥土等杂物，需及时清除；

② 检查尿素管路、冷却水管路和电力线是否完整、固定，液力管线不应有松动或弯折；

③ 检查尿素喷射单元安装法兰及国六后处理器中是否有尿素结晶附着（拆卸尿素喷射单元或服务站点配备有内窥镜时）。

## 六、ASC 氨催化器

为防止氨气的泄漏，SCR 催化器后有氨催化器 ASC，在这个催化器中  $\text{NH}_3$  与  $\text{O}_2$  反应生成氮气和水：



## 七、国六后处理整车布置

国六后处理整车布置如图 8-3-18 所示。

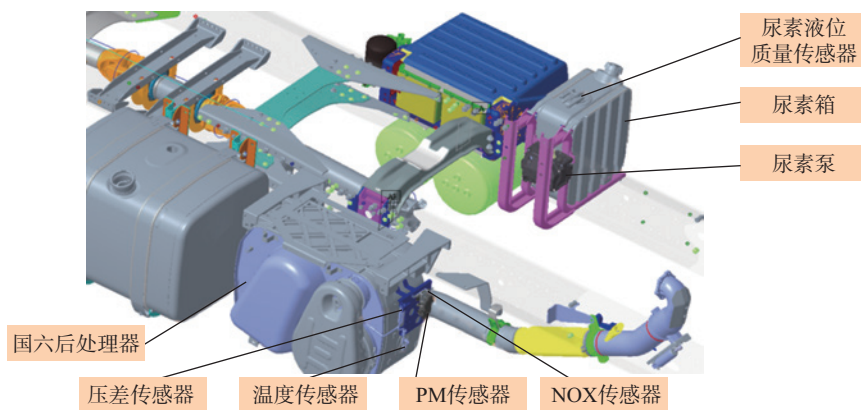
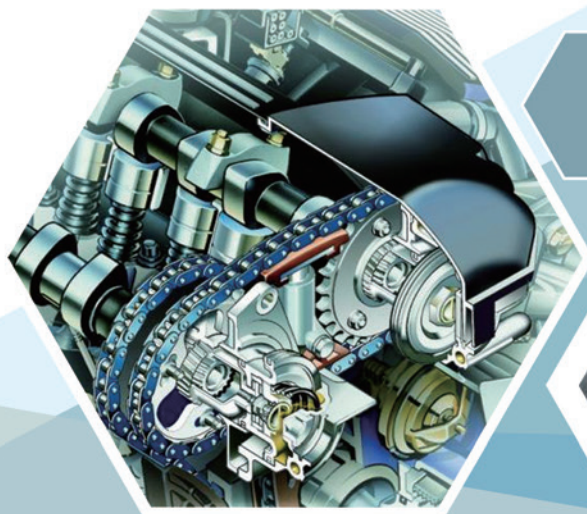


图 8-3-18 国六后处理整车布置图

# 第9章

## 典型发动机分析



1. 以丰田 1ZR-FE 发动机为例掌握缸外喷射汽油机电控系统的部件检测及故障诊断方法
2. 以威朗发动机为例掌握缸内直喷射汽油机电控系统的部件检测及故障诊断方法



## 第一节 丰田 1ZR-FE 发动机

1ZR-FE 发动机的发动机控制系统包括燃油泵控制、顺序多点燃油喷射(SFI)、电子点火提前(ESA)、智能电子节气门控制系统(ETCS-i)、双智能可变气门正时(双VVT-i)、冷却风扇控制、空燃比传感器和加热型氧传感器加热器控制、空调切断控制、失效保护等系统。控制系统如图 9-1-1、9-1-2、9-1-3 所示。

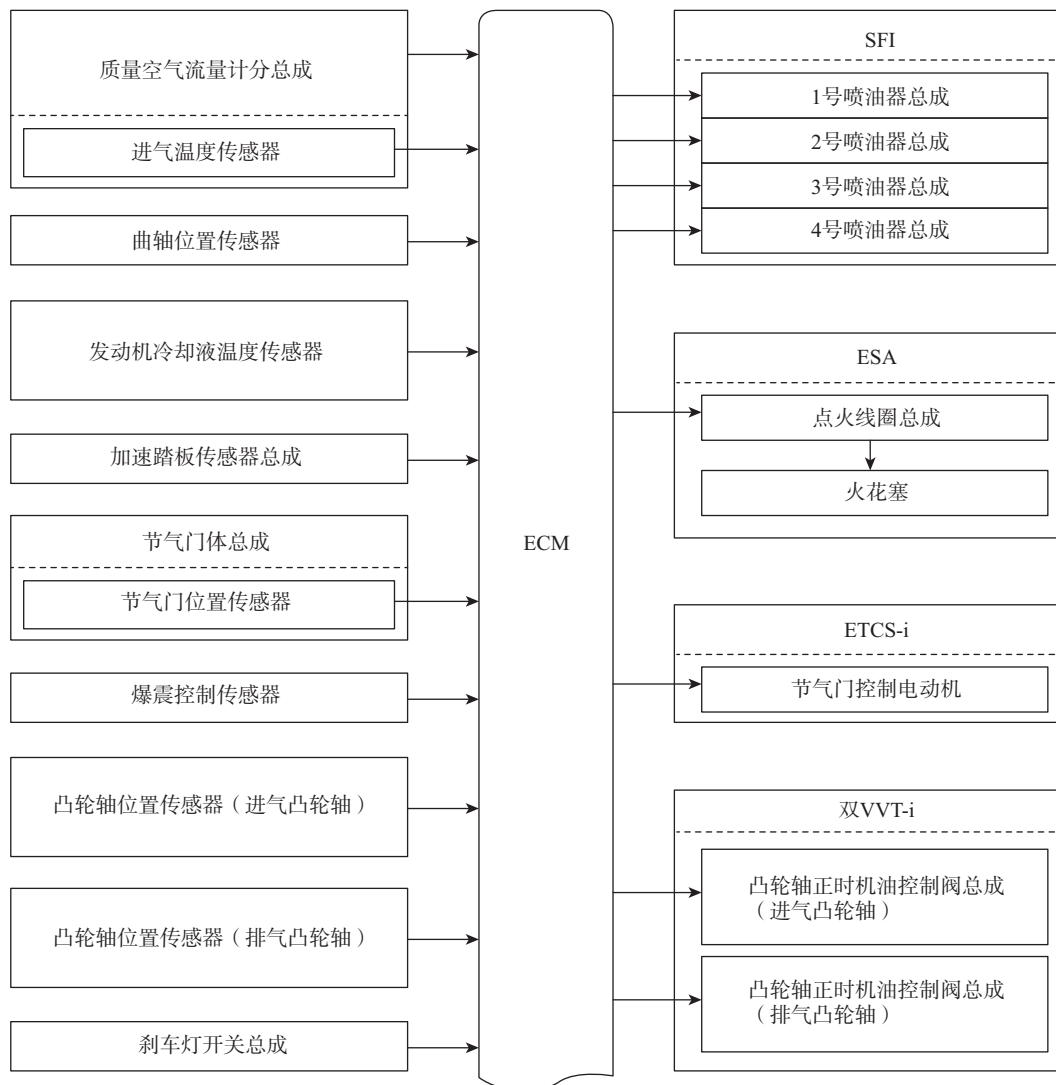


图 9-1-1 1ZR-FE 发动机的发动机控制系统 (1)

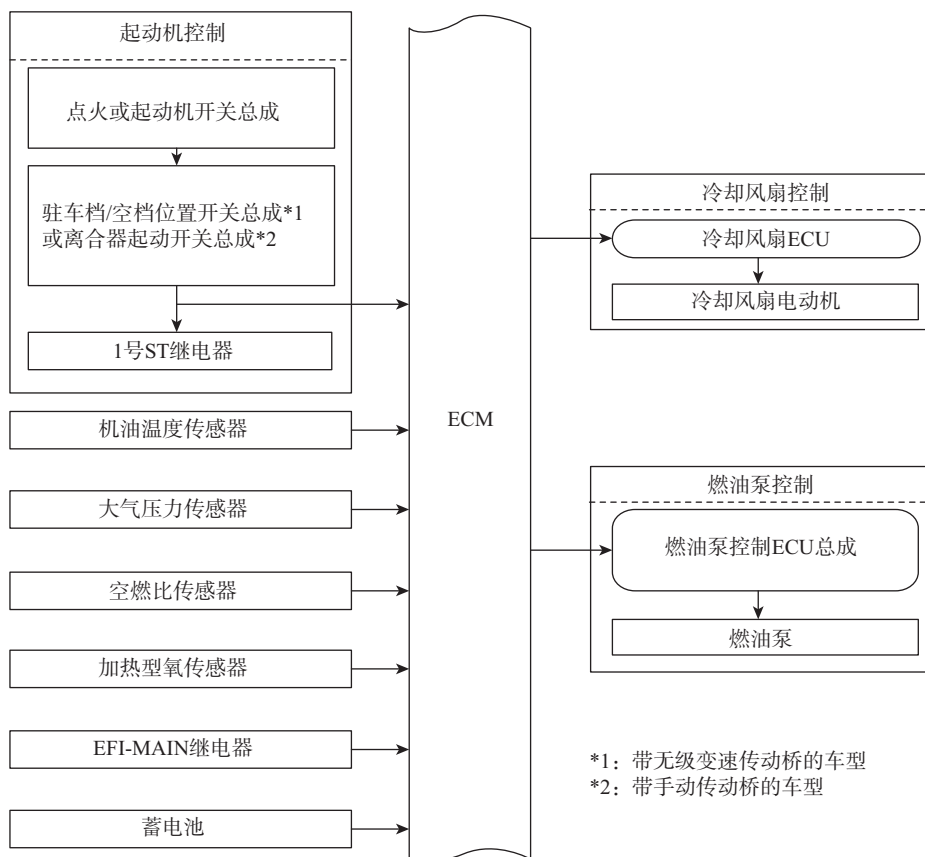
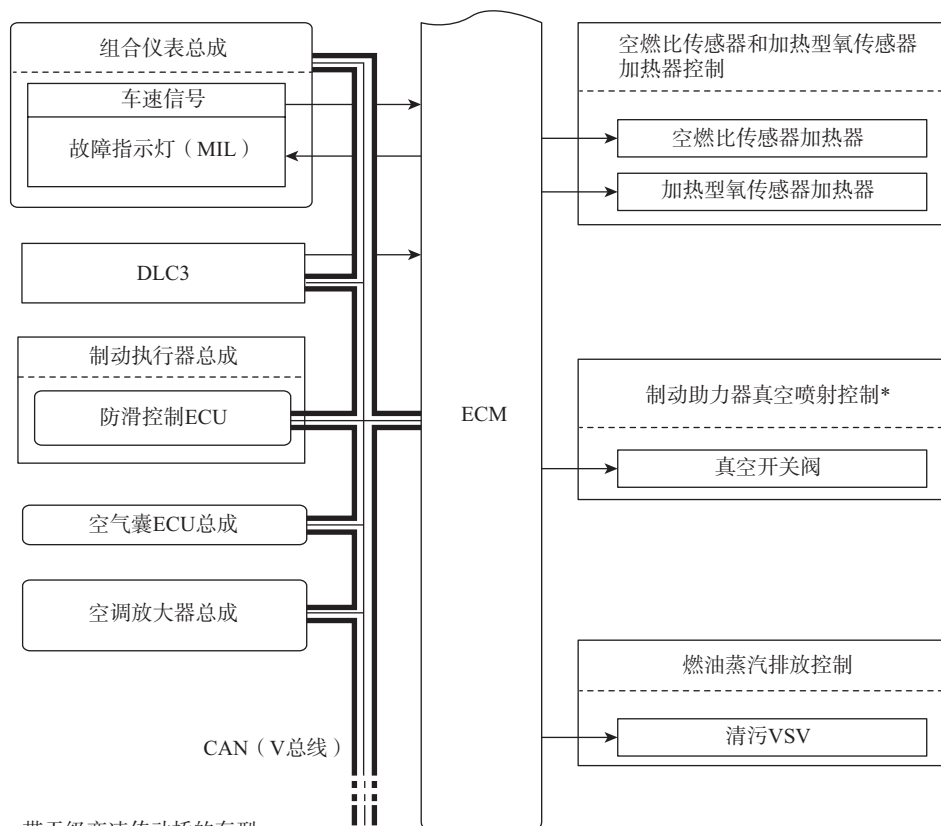


图 9-1-2 1ZR-FE 发动机的发动机控制系统 (2)



\*: 带无级变速传动桥的车型

图 9-1-3 1ZR-FE 发动机的发动机控制系统 (3)

## 一、各系统介绍

### 1. 燃油系统

1ZR-FE 发动机采用无回流燃油控制系统以降低燃油蒸汽排放。如图 9-1-4 所示，通过将燃油表传感器总成、炭罐、燃油压力调节器总成、吸油滤清器、燃油滤清器、燃油泵和带泵和仪表的燃油吸油管总成集成于一体，可中断燃油从发动机部位回流，从而防止燃油箱总成内的温度升高。

采用长喷嘴型喷油器总成。该喷油器有 12 个燃油喷油孔。

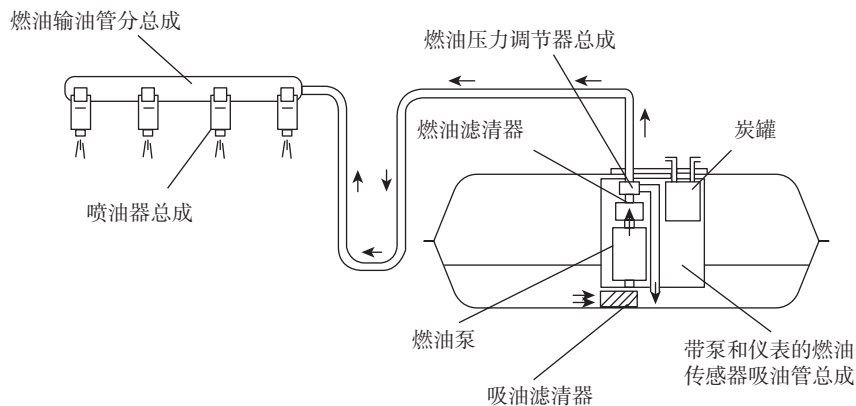


图 9-1-4 1ZR-FE 发动机采用无回流燃油控制系统

### 2. 进气 / 排气系统

1ZR-FE 发动机进气歧管采用塑料材质以减轻重量和减少气缸盖分总成传递的热量。因此，降低了进气温度并改善了进气容积效率。

采用了无连杆式节气门体总成及智能电子节气门控制系统（ETCS-i）以实现出色的节气门控制。

1ZR-FE 发动机排气歧管及排气管采用不锈钢材质以减轻重量并提高防锈性能。排气歧管隔热罩上设有冷却孔以降低排气歧管表面温度，从而提高耐用性。排气管采用了球节连接排气歧管和前排气管总成，并连接前排气管总成和中央排气管总成。从而，实现了简洁的构造和较高的可靠性。

### 3. 排放系统

1ZR-FE 发动机采用了以下措施改善排放：

- (1) 采用三元催化转化器（TWC）以减少废气排放。
- (2) ECM 根据来自空燃比传感器和加热型氧传感器的信号执行空燃比反馈控制，并控制燃油喷射量，以使空燃比接近 CO、HC 和 NO<sub>x</sub> 净化效率最高时的理论空燃比。
- (3) 采用了窜气通风系统，可对曲轴箱内含 HC 的窜气进行有效通风。
- (4) 采用了燃油蒸汽排放控制，其将根据发动机状态调节炭罐内燃油蒸汽排放（HC）清污气流。
- (5) 采用空燃比传感器和加热型氧传感器加热器控制，将各传感器的温度保持在适当水平，以提高废气中氧浓度的检测精确度。

### 4. 点火系统

采用了直接点火系统（DIS）。各点火线圈总成配备有内置点火器，且每个气缸都有一个点火线圈总成。

### 5. 冷却系统

冷却系统为增压强制循环型，如图 8-1-5 所示。带旁通阀的节温器位于进水口壳内，其开启温度为 86-90℃，保持了冷却系统内的适宜温度。冷却液在气缸体分总成内作 U 形转弯以确保平稳流动。此外，旁通管道封装在气缸盖分总成和气缸体分总成内。气缸盖分总成中的温冷却液流向节气门体总成以防节气门体总成结冰（积冰）。

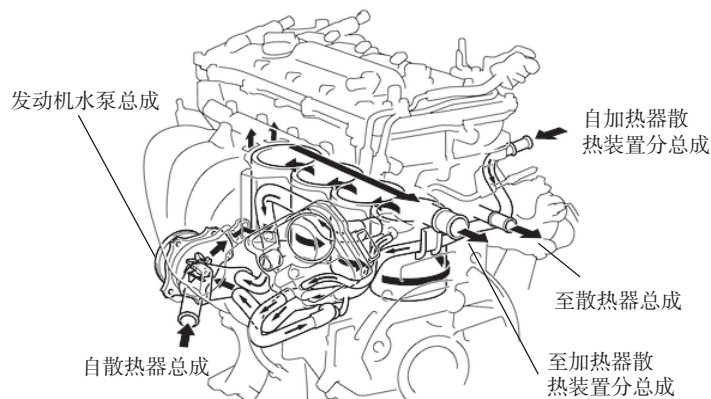


图 9-1-5 冷却系统

## 二、发动机控制电路

发动机控制电路如图 9-1-6、9-1-7、9-1-8、9-1-9 所示。

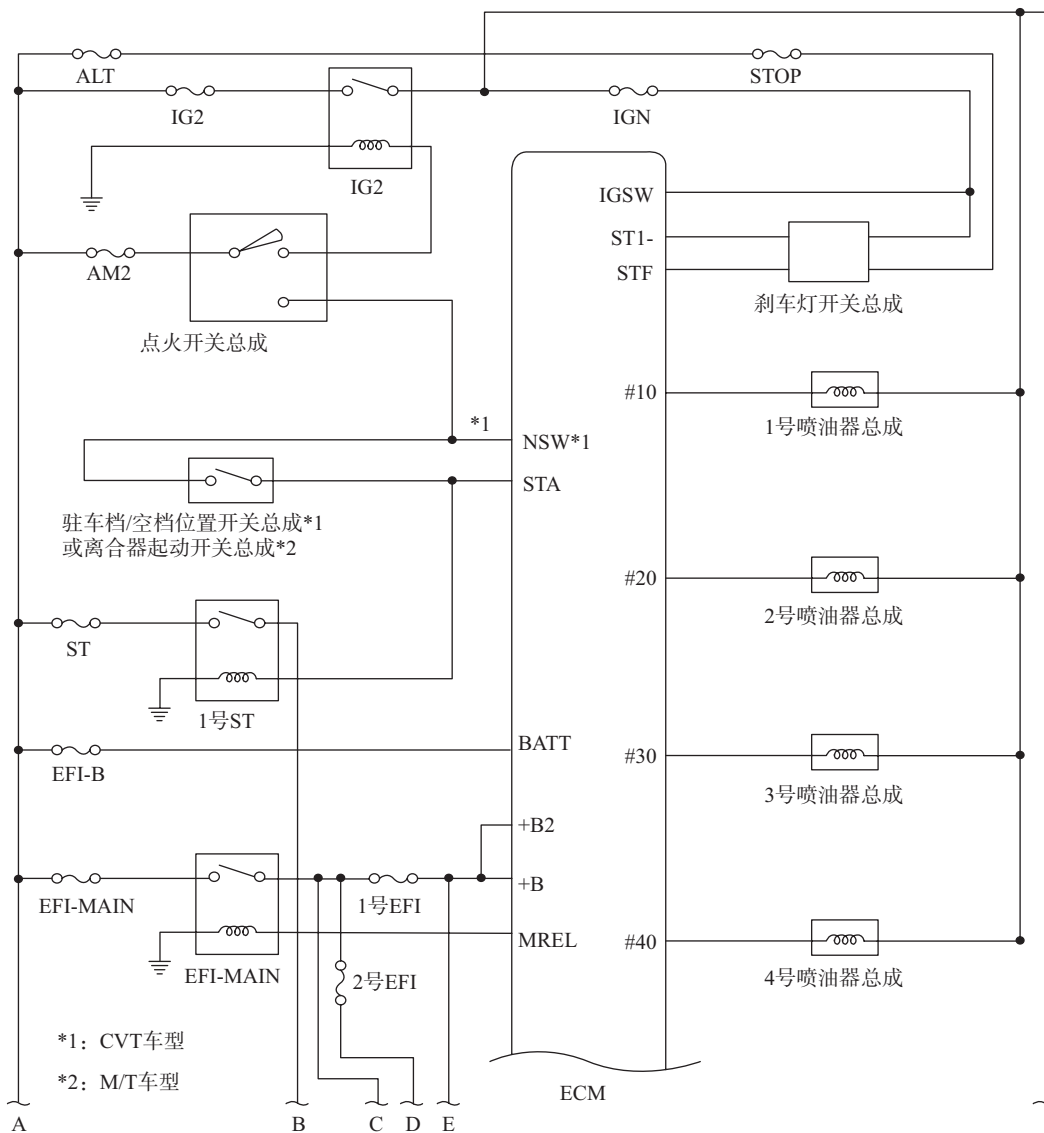


图 9-1-6 发动机控制电路图 (1)

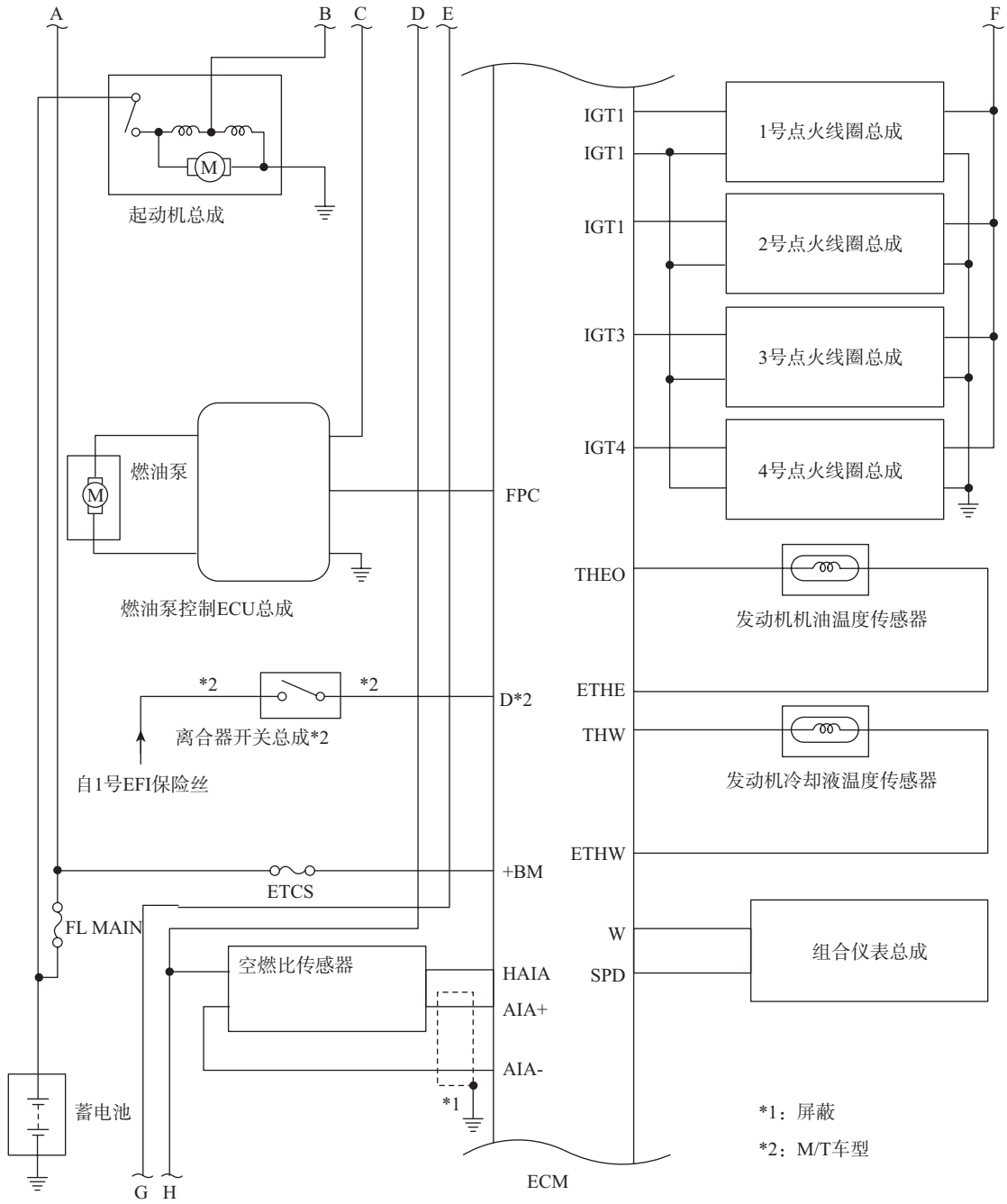


图 9-1-7 发动机控制电路图 (2)

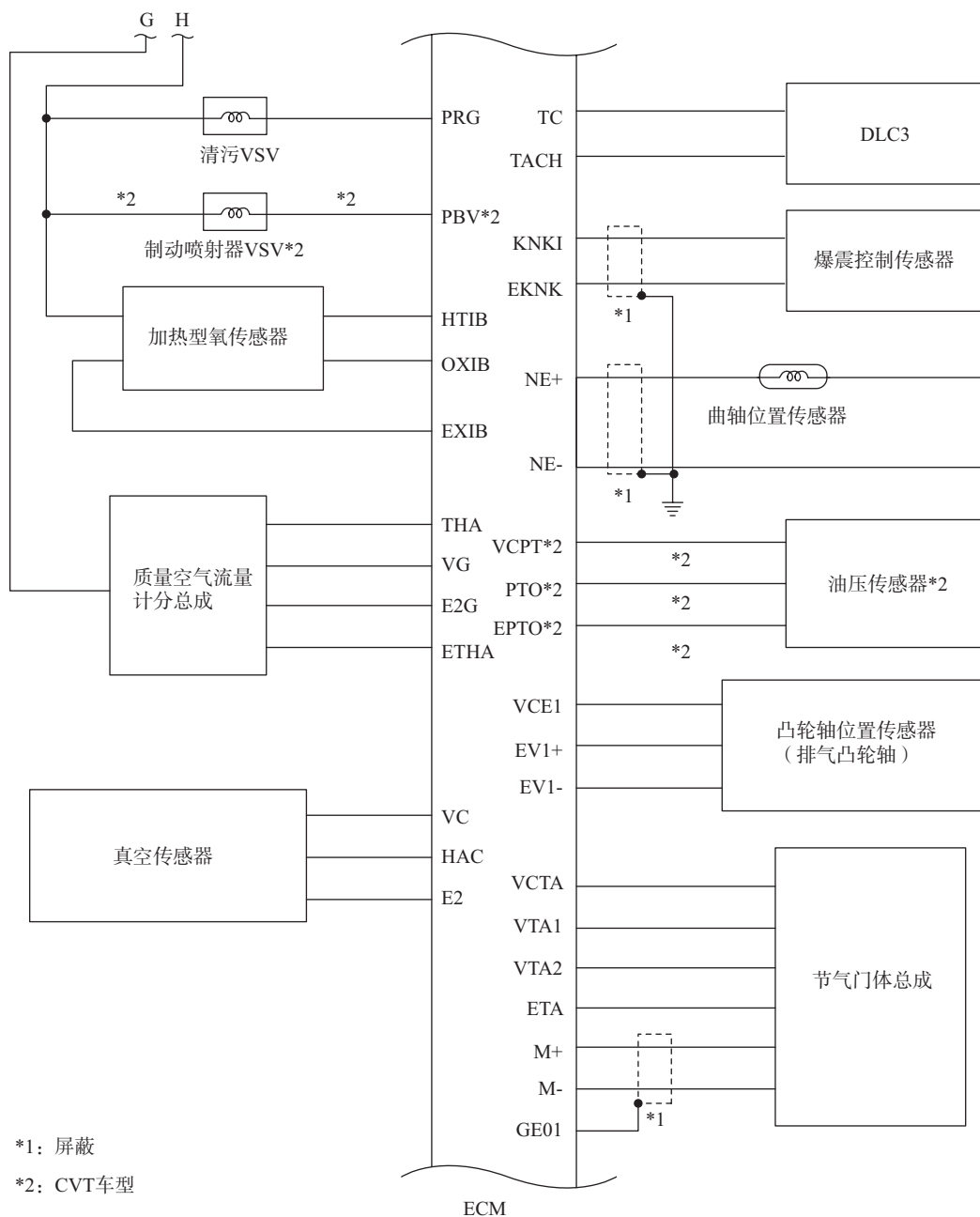


图 9-1-8 发动机控制电路图 (3)

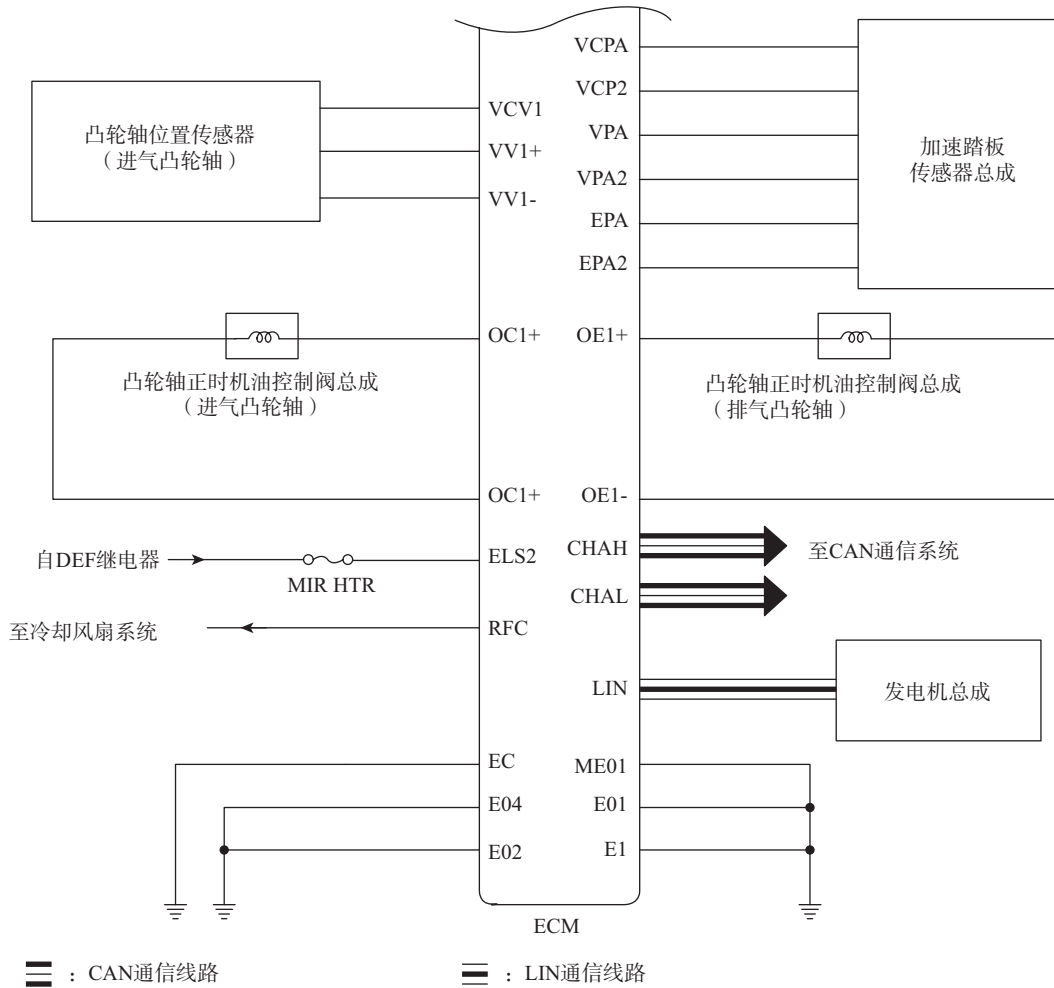


图 9-1-9 发动机控制电路图 (4)

### 三、各部件分析

#### 1. 曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器

曲轴位置传感器采用拾波线圈型（磁脉冲性）曲轴位置传感器，如图 9-1-10 所示。曲轴的 1 号曲轴位置信号盘由 34 个齿组成，其中带 2 个缺齿。曲轴每旋转 10%，曲轴位置传感器输出曲轴旋转信号，缺齿造成的信号变化可用于确定上止点。

1ZR-FE 发动机有进排两个凸轮轴位置传感器。凸轮轴位置传感器采用磁阻元件（MRE）型凸轮轴位置传感器（进气和排气），如图 9-1-10 所示。MRE 型凸轮轴位置传感器由内置 MRE、磁铁的传感器和正时转子组成。磁场方向根据经过传感器的正时转子的不同形状（凸出和非凸出部分）而改变。磁场的改变导致 MRE 电阻改变，因此至 ECM 的输出电压也会随之升高或降低。

两个凸轮轴位置传感器的正时转子分别装在进气凸轮轴和排气凸轮轴上，上面有三个不同角度跨度的突出部分，曲轴每旋转 2 周，进气凸轮轴和排气凸轮轴上的各传感器就会产生 3 个脉冲（3 个高输出、3 个低输出）以检测凸轮轴位置。ECM 根据此输出电压检测凸轮轴位置。

曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器输出波形如图 9-1-11 所示。

曲轴位置传感器阻值在 10—50℃时应为 1630—2740 Ω，在 50—100℃时应为 2065—3225 Ω。

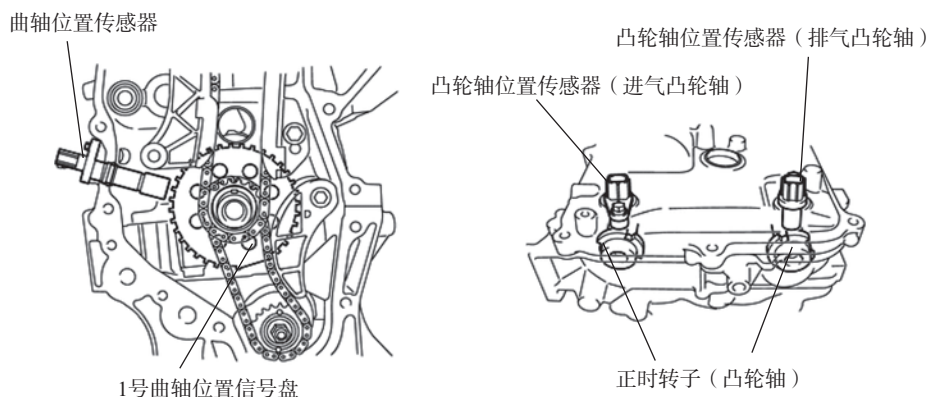


图 9-1-10 曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器

传感器输出波形:

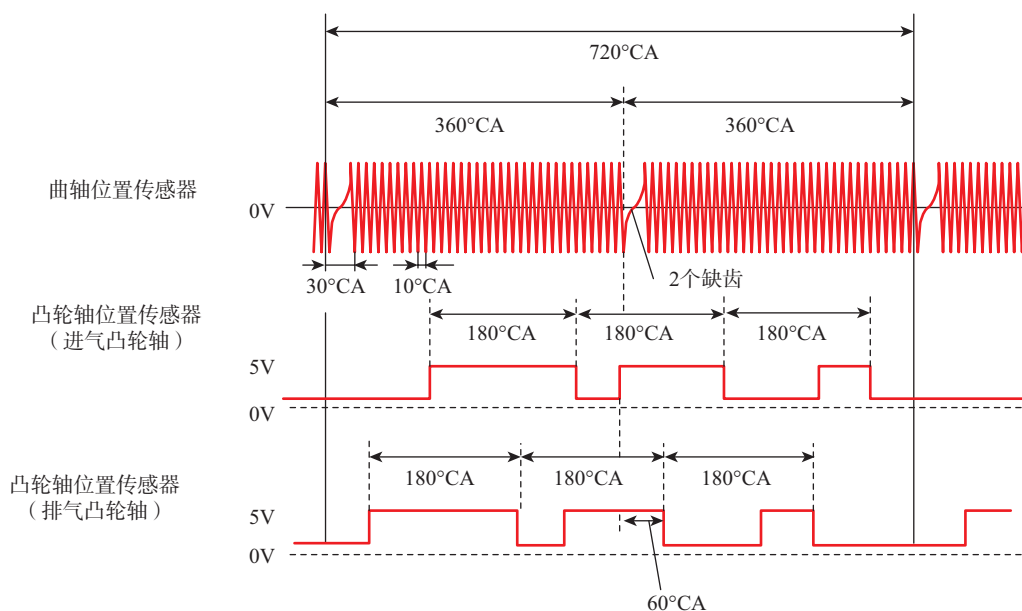


图 9-1-11 曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器输出波形

## 2. 进气质量空气流量计 (含进气温度传感器)

1ZR-FE 发动机质量空流量计为热线式, 如图 9-1-12 所示。该质量空流量计分总成呈插槽式, 可以使部分进气流经检测区域。通过直接测量进气量和流率, 可提高检测精度并减小进气阻力。

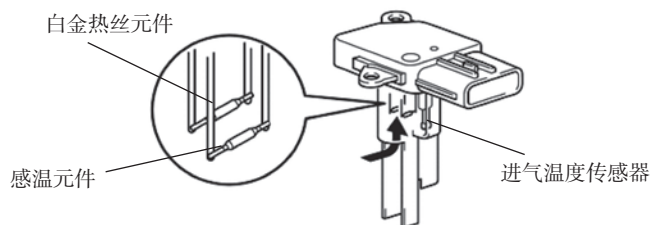


图 9-1-12 质量空流量计

该质量空气流量计分总成具有内置进气温度传感器, 进气温度传感器的在各温度条件下的阻值如下:

-20℃	13.6—18.4k Ω
20℃	2.21—2.69k Ω

60°C      0.49—0.67kΩ

### 3. 加速踏板传感器

1ZR-FE 发动机加速踏板传感器（如图 9-1-13 所示）为非接触型加速踏板传感器总成采用霍尔集成电路。

安装在加速踏板臂上的磁轭根据加速踏板踩下程度围绕霍尔集成电路旋转。霍尔集成电路将当时出现的磁通量变化转换为电信号，并将其作为加速踏板输入信号输出至 ECM。

该加速踏板传感器总成包含霍尔集成电路、主信号电路和副信号电路。它将加速踏板开度转换为具有 2 种不同特性的电压信号，并将其输出至 ECM。

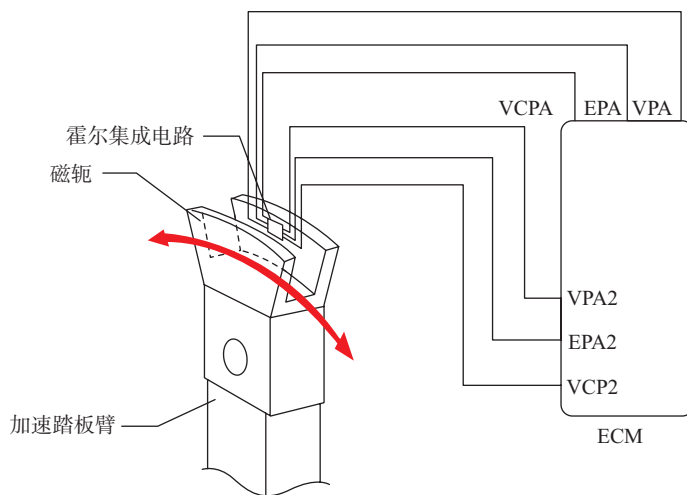
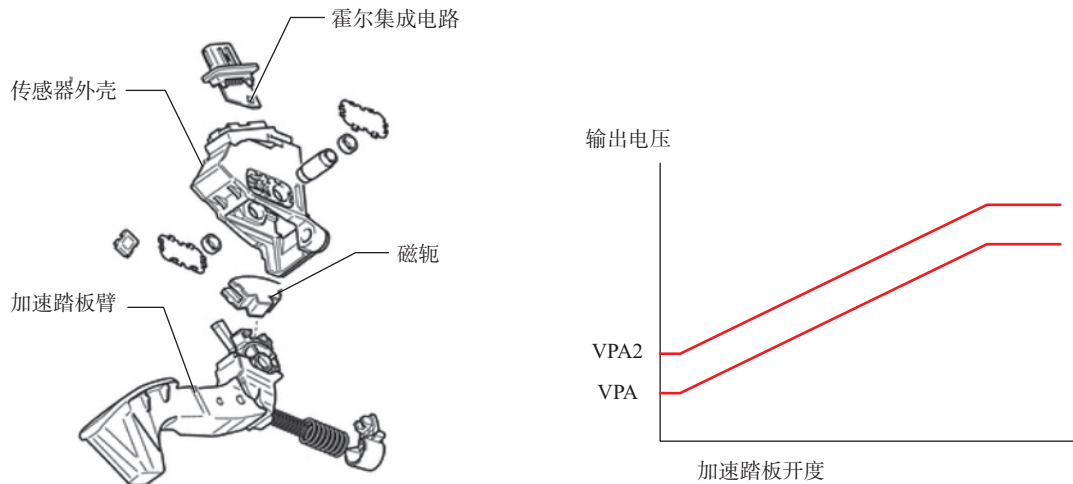


图 9-1-13 加速踏板传感器

通过数据流或万用表对两个信号检测应如表 9-1-1 所示。

表 9-1-1 加速踏板两个信号变化表

信号端子	条件	规定状态
VPA	完全松开加速踏板	0.5 至 1.1V
	完全踩下加速踏板	2.6 至 4.5 V
VPA2	完全松开加速踏板	1.2 至 2.0V
	完全踩下加速踏板	3.4 至 4.75 V

#### 4. 节气门体

节气门体包括节气门位置传感器和节气门控制电机。

##### (1) 节气门位置传感器

节气门位置传感器为非接触型节气门位置传感器。此传感器采用了安装在节气门体总成上的霍尔集成电路，如图 9-1-14 所示。霍尔集成电路由磁轭环绕。霍尔集成电路将磁通量变化转换为电压信号，并将其作为节气门作用力输出至 ECM。霍尔集成电路包含两个电路，一个用于主信号，另一个用于副信号。它将节气门开度转化为具有两种不同特性的电信号（如图 9-1-15 所示），并将其输出至 ECM。

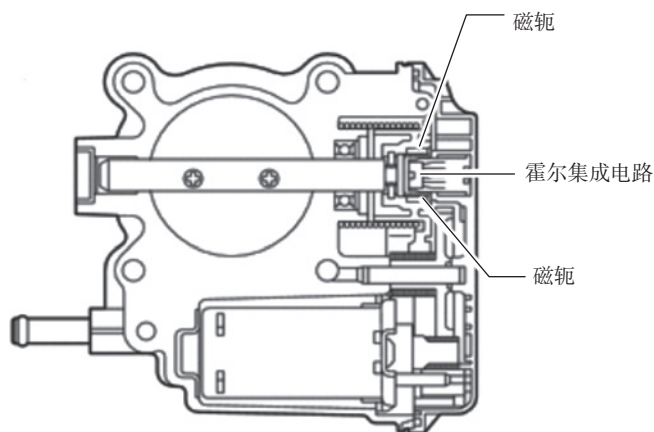


图 9-1-14 节气门位置传感器

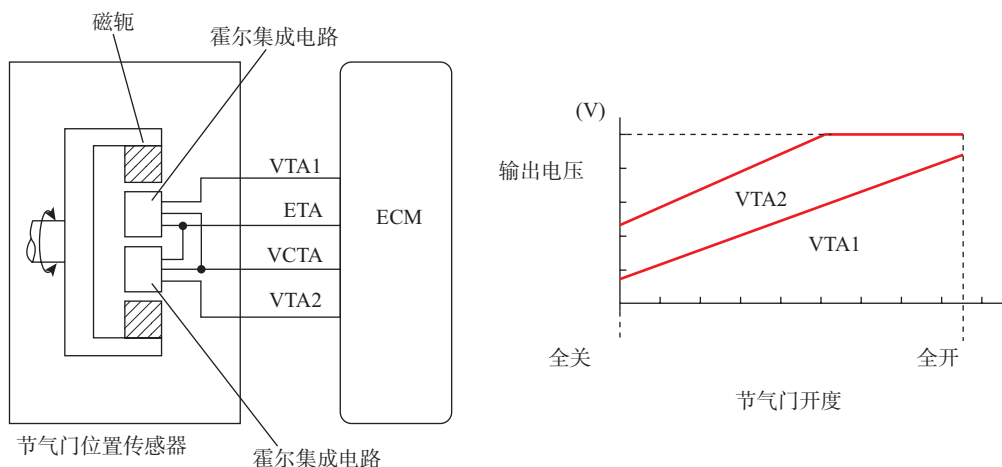


图 9-1-15 节气门位置传感器信号

##### (2) 节气门控制电机

节气门控制电动机采用具有出色响应性能和最低功耗的直流电动机。ECM 对流经节气门控制电动机的电流方向和电流值进行占空比控制，以调节节气开度。

#### 5. 大气压力传感器

大气压力传感器如图 9-1-16 所示，其由利用了硅片特性（硅片在受压时会改变其电阻）的半导体组成。此传感器将大气压力转换为电信号，并将其以放大的形式发送至 ECM。

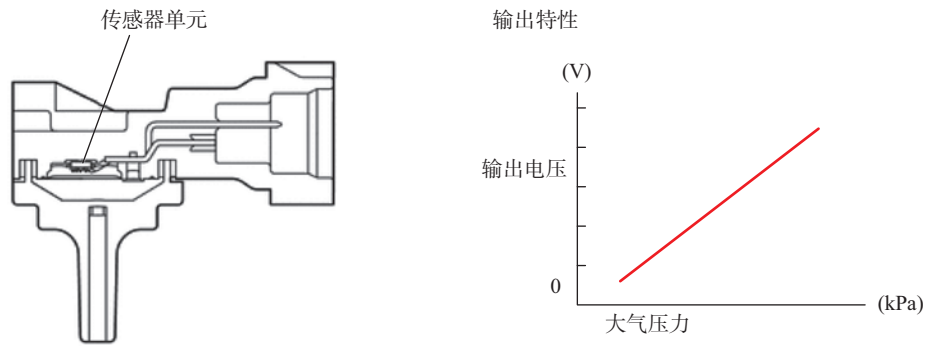


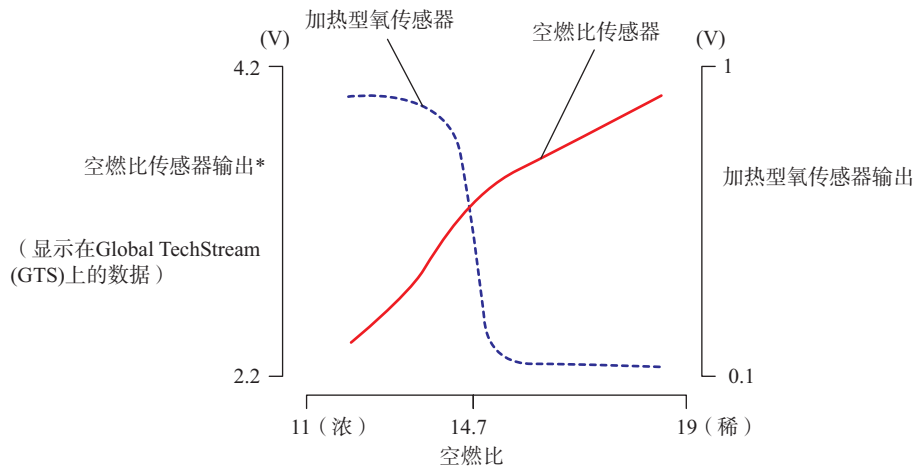
图 9-1-16 大气压力传感器

## 6. 空燃比传感器

1ZR-FE 发动机采用了平面型空燃比传感器。

平面型空燃比传感器采用导热性能和绝缘性能良好的氧化铝，使传感器元件与加热器集成为一体，从而提高了传感器的预热性能。

如图 9-1-17 所示，常规加热型氧传感器的特点是其输出电压会在理论空燃比（14.7:1）阈值处发生骤变。相反，空燃比传感器数据则与当前空燃比大致成比例。从而提高了空燃比的检测精度。



\*: 该值在ECM内部计处工，并非ECM端子电压。

图 9-1-17 加热型氧传感器与空燃比传感器数据比较

## 7. 加热型氧传感器

加热型氧传感器位于三元催化转化器（TWC）后面。加热型氧传感器的输出电压随废气中氧浓度的变化而变化。ECM 利用该输出电压确定三元催化转化器的转换效率。

## 8. 燃油泵

燃油泵与燃油表传感器总成、炭罐、燃油压力调节器总成、吸油滤清器、燃油滤清器等集成于一体，由电机驱动向燃油系统提供燃油。其由油泵 ECU 驱动，其阻值在 20℃时应为 0.2-0.3 Ω。

## 9. 喷油器

1ZR-FE 发动机采用长喷嘴型喷油器总成。该喷油器有 12 个燃油喷油孔。其阻值在 20℃时应为 11.6-12.4 Ω。

## 10. 爆震传感器

1ZR-FE 发动机采用平面型爆震控制传感器（非谐振型），平面型爆震控制传感器在内部的上部有一个钢制配重，如图 9-1-18。绝缘垫位于配重和压电元件之间。爆震产生的振动传送到钢制配重。钢

制配重的振动惯性力将压力施加到压电元件上。该作用会产生电动势。

平面型爆震控制传感器能够检测到较宽波段（从约 5kHz 至 15kHz）内的振动。发动机爆震频率会随发动机转速而产生轻微变化。即使发动机爆震频率改变，平面型爆震控制传感器依然能够检测出振动。与常规型爆震控制传感器相比，采用平面型爆震控制传感器提高了振动检测能力，并可更加精确地控制点火正时。

平面型爆震控制传感器阻值在 25℃ 时应为 120-280KΩ。

### 11. 点火线圈与火花塞

直接点火系统（DIS）共有 4 个点火线圈总成，每个气缸各 1 个。与火花塞接触的火花塞帽与点火线圈总成集成于一体。并且内含有点火器，从而简化了系统。

点火系统采用细长电极型铱尖火花塞。该类型的火花塞可以将安装火花塞的气缸盖分总成做得比较厚。这样就可以将气缸盖水套延伸到燃烧室附近，从而提高了冷却性能。

### 12. 凸轮轴正时机油控制阀

凸轮轴正时机油控制阀总成利用 ECM 的占空比控制滑阀。这样可以将液压施加到 VVT-i 控制器提前或延迟侧。发动机停止时，进气凸轮轴正时机油控制阀总成将移至延迟位置，如图 9-1-19 所示，排气凸轮轴正时机油控制阀总成将移至提前位置，如图 9-1-20 所示。

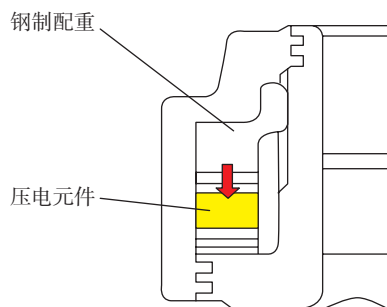


图 9-1-18 平面型爆震控制传感器

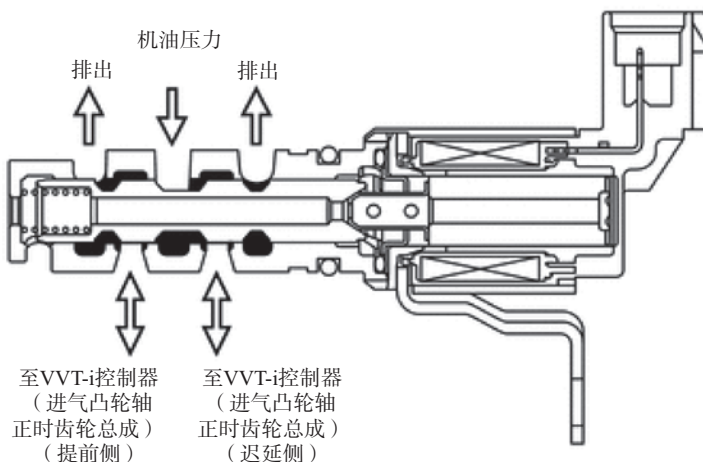


图 9-1-19 进气凸轮轴正时机油控制阀

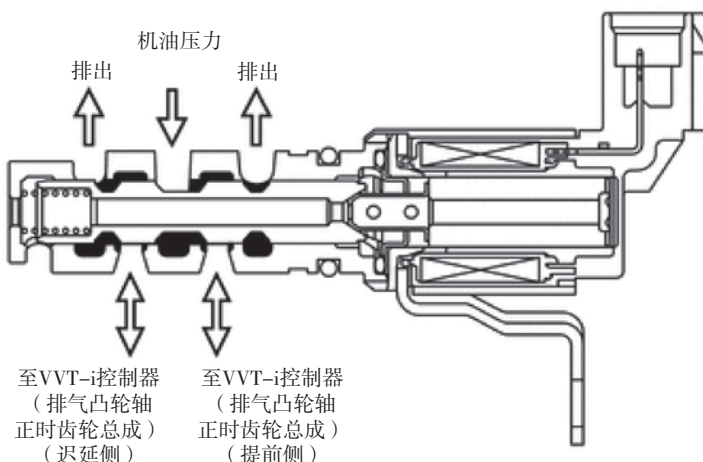


图 9-1-20 排气凸轮轴正时机油控制阀

## 四、发动机的控制

### 1. 燃油泵控制

ECM 通过燃油泵控制 ECU 总成控制燃油泵，如图 9-1-21 所示。

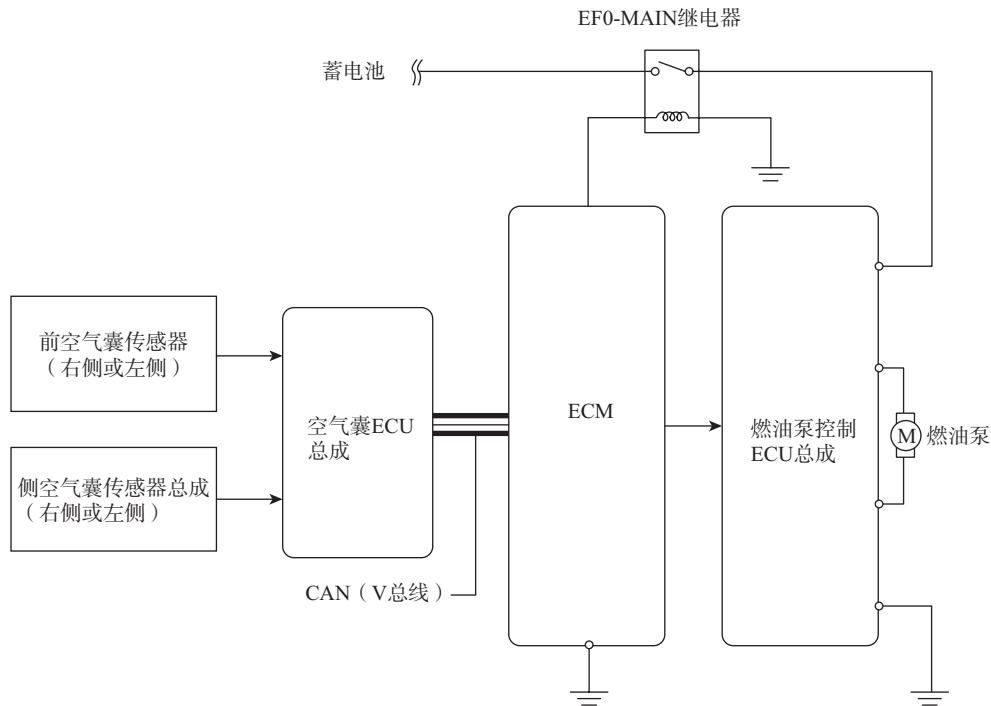


图 9-1-21 燃油泵控制

根据从 ECM 接收到的信号，燃油泵控制 ECU 总成分 2 个级别（低级和高级）对燃油泵电源进行控制。对于高级这一级别，蓄电池电压直接施加至燃油泵。而低级则是指采用脉宽调制（PWM）控制来控制电源。与通过接通和断开电阻器而进行操作的常规控制相比，其减少了电流消耗量，从而提高了燃油经济性。燃油泵控制系统具有燃油切断控制功能。任一 SRS 空气囊展开后，燃油切断控制会停止燃油泵的运行。

ECM 检测到来自空气囊 ECU 总成的空气囊展开信号时，ECM 将会断 EFI-MAIN 继电器。燃油切断控制激活后，将点火开关从 OFF 位置切换至 ON 位置即可取消燃油切断控制，且可重新启动发动机。

### 2. 顺序多点燃油喷射 (SFI)

SFI 系统使用热丝型质量空气流量计总成检测空气量。燃油喷射系统为顺序多点燃油喷射系统。电脑根据各种传感器信息计算出气缸内燃烧所需的喷油量，通过控制喷油器的喷油时刻和喷油脉宽对每个气缸的燃油进行精确控制。

### 3. 电子点火提前 (ESA)

ECM 总成根据各种传感器发送的信号计算最佳点火正时以及电流施加到点火线圈初级绕组的时间。然后，ECM 总成将点火指令信号发送至点火线圈总成的点火器。

利用下列公式计算点火正时：

$$\text{点火正时} = A \text{ 或 } B + C$$

在此：A：基本点火正时，B：基本提前，C：补偿提前

A. 固定提前特性

基本点火正时为 100BTDC。发动机正在起动时，其固定在 5° BTDC。

B. 基本提前特性

根据来自各种传感器的信号，从时序图中选择最佳点火正时。

### C. 补偿提前特性

点火正时根据来自各种传感器的信号提前或延迟。

#### C-1. 发动机暖机提前特性

发动机冷却液温度低时，点火正时根据驾驶条件提前以提高操纵性能。

#### C-2. 怠速稳定提前特性

如果怠速转速降低，则点火正时提前以稳定怠速转速。如果怠速转速提高，则点火正时延迟。

#### C-3. 转换补偿延迟

为防止爆震，如果冷却液温度为 60° C (1400F) 或更高时突然加速，则点火正时延迟。

#### C-4. 加速时延迟

加速过程中点火正时暂时延迟，以提高操纵性能。

#### C-5. 爆震补偿延迟

如果发生爆震，则根据来自爆震传感器的信号校正点火正时。

## 4. 智能电子节气门控制系统 (ETCS-i)

1ZR-FE 发动机采用了 ETCS-i 电子节气门控制系统，如图 9-1-22 所示，以便在所有工作范围内提供出色的节气门控制。不再使用加速踏板拉索，且加速踏板传感器总成上配备有加速踏板位置传感器。

在常规节气门体总成上，节气门开度由加速踏板作用力确定。相反，ETCS-i 利用 ECM 计算出适合各种驾驶条件的最佳节气门开度，并利用节气门控制电动机控制开度。

发动机怠速控制 (ISC) 由 ETCS-i 控制怠速控制 (ISC) 系统来完成。

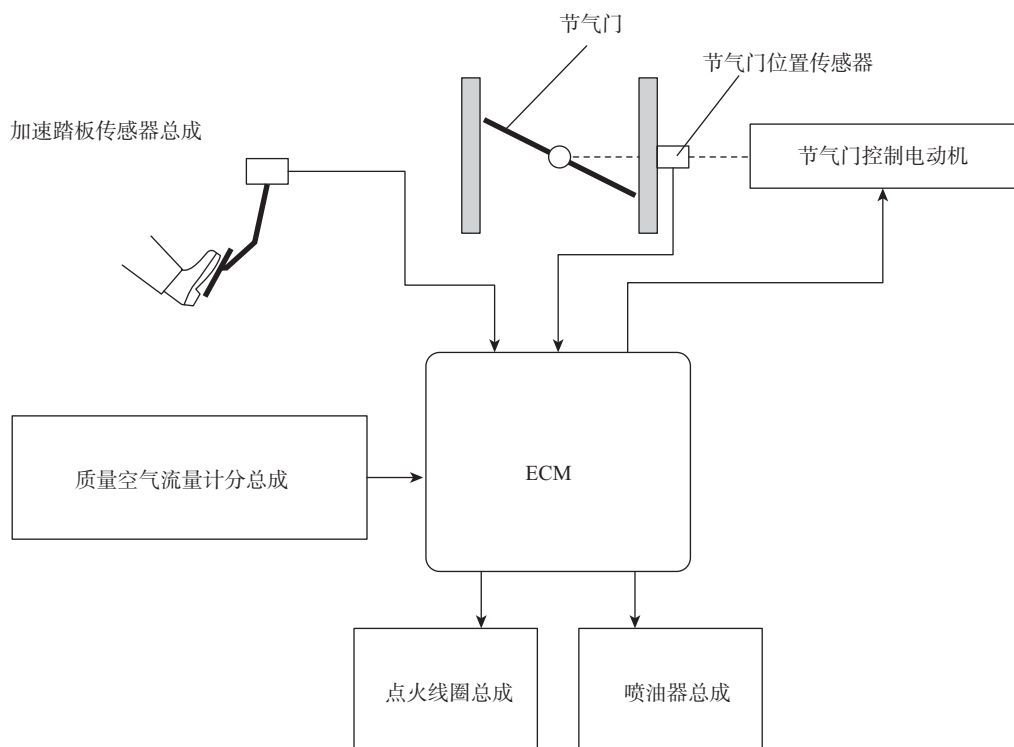


图 9-1-22 ETCS-i 电子节气门控制系统

## 5. 双智能可变气门正时 (双 VVT-i)

双智能可变气门正时 (VVT-i) 系统用于将进气凸轮轴和排气凸轮轴分别控制在 430 和 50° (曲轴转角) 的范围内，以提供最适合发动机工作状态的气门正时。这提高了所有转速范围内的转矩，改善了燃油经济性，并减少了废气排放。

双 VVT-i 系统在不同的车辆工作状态下均能体现出其卓越优势，如表 9-1-2 所示。

表 9-1-2 双 VVT-i 工作状态

工作状态	目标	效果
怠速运转时	消除重叠，以减少进气侧回火	稳定怠速转速 提高燃油经济性
启动和停止发动机时	消除重叠，以最大程度地减少进气侧回火	改善起动性
轻载时	消除重叠，以减少进气侧回火	确保发动机稳定性
中等负载时	增加重叠以增强内部废气再循环，从而减少泵送损失	提高燃油经济性 改善排放控制
重载时的中低转速范围	提前进气门关闭正时，以改善容积效率	改善中低转速范围内的转矩
重载时的高转速范围	延迟进气门关闭正时，以改善容积效率	提高输出功率
低温时	消除重叠，以减少进气侧回火	稳定怠速转速 提高燃油经济性

### 6. 空燃比传感器和加热型氧传感器加热器控制

在空燃比传感器和加热型氧传感器装有加热器，从而使空燃比传感器和加热型氧传感器的温度保持在适当水平，以增强各传感器准确检测废气中氧浓度的能力。

### 7. 燃油蒸发控制

ECM 根据来自各种传感器的信号，打开和关闭清污 VSV，进行控制炭罐内燃油蒸汽排放（HC）清污气流，如图 9-1-23 所示。

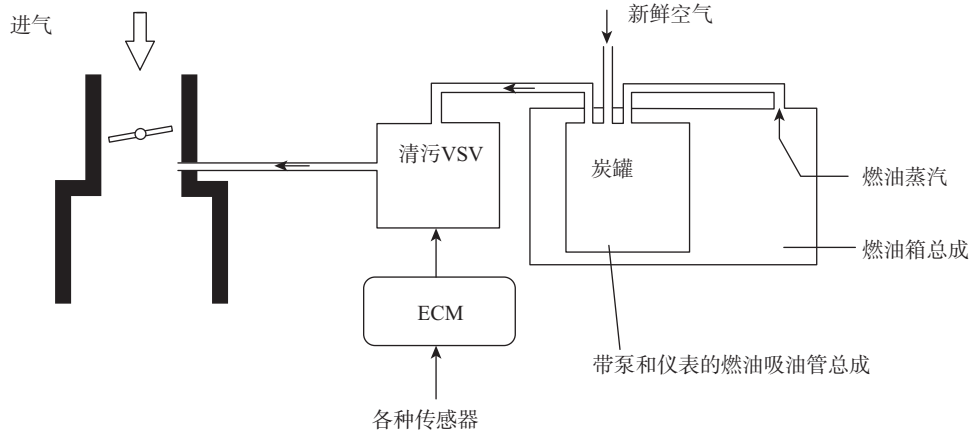


图 9-1-23 燃油蒸发控制

### 8. 窜气通风控制

窜气通风系统（如图 9-1-24 所示）通过引入含大量 HC 的窜气至进气侧并再次燃烧，尝试提高排放性能。根据发动机工作状态将回收的窜气调至合适量，以减小消耗的发动机机油量和对发动机车速转速的影响。

通风阀分总成通道根据进气歧管真空将窜气送回至节气门后方区域。发动机负载低时，气缸盖罩分总成至节气门前方区域的通道通过引入新鲜空气提高曲轴箱内的空气净化性能；发动机负载高时，由于进气歧管真空，该通道同通风阀分总成侧通道一起循环窜气。

机油分离器位于气缸体分总成内。这样有助于发动机整体的紧凑性。

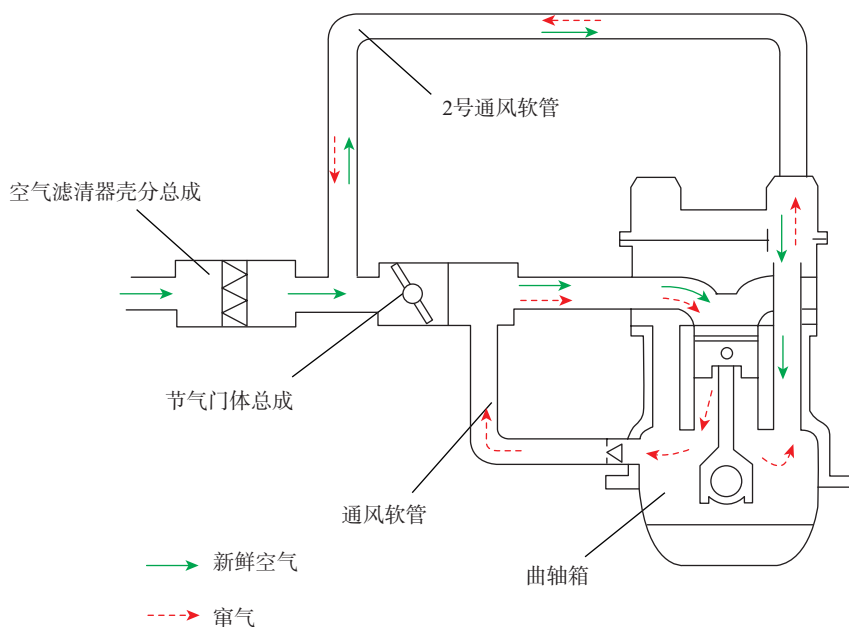


图 9-1-24 窜气通风系统

## 9. 其他控制

### (1) 空调切断控制

根据发动机工作状况打开或关闭带皮带轮的压缩机总成，以保证车辆的操纵性能。

### (2) 冷却风扇控制

冷却风扇控制系统根据发动机冷却液温度、车速、发动机转速和空调的工作情况使风扇以最佳的转速运行。

### (3) 制动助力器真空喷射控制

发动机冷机时，ECM 控制真空开关阀以补偿负压的下降。

### (4) 制动优先系统

同时踩下加速踏板和制动踏板时，驱动转矩受到限制。

## 五、注册

更换 ECM 时，必须使用仪器将车辆识别号（VIN）输入至更换的 ECM。车辆识别号（VIN）可以使用仪器进行读取。

## 六、初始化

更换或维修与发动机操作相关的零件后，进行学习值重置和怠速学习。星号和编号表示所需的步骤详情，并在表 9-1-3 中进行详细说明。

表 9-1-3 初始化说明表

更换的零件	发动机操作	重置学习值 *1	怠速学习 *2
·节气门体总成 *3 ·清洁节气门体总成 *3 上的沉积物	—	○	○
发动机总成	—	○	○

更换的零件	发动机操作	重置学习值 *1	怠速学习 *2
·气缸盖分总成 ·凸轮轴（进气或排气凸轮轴） ·凸轮轴正时齿轮总成 ·排气凸轮轴正时齿轮总成 ·活塞或活塞环 ·质量空气流量计分总成 ·喷油器总成 ·燃油泵 ·空燃比传感器 ·发动机冷却液温度传感器 ·火花塞 ·点火线圈总成 ·进气系统漏气 ·排气系统漏气	确认下列情况： 满足下列一个或多个条件时，进行学习值重置和怠速学习 1. 更换零部件前输出 DTC 2. 更换零部件前，数据表中显示的空燃比学习值（A/F Learn Value Idle #1、A/F Learn Value Low #1、A/F Learn Value Mid1#1、A/F Learn Value Mid2 #1 或 A/F Learn Value High #1 中的某一个）高于 +/- 15% 3. 更换零部件后的起动故障、怠速不稳或发动机熄火	○	○
	未使用以上所列的项目	—	—
爆震控制传感器 *4	—	—	—

○：必要。

—：不必要。

注意：

断开电地负板（—）端子或拆下 EFI 和 ETCS 保险丝不能重置发动机学习值。

\*1: 学习值重置

1. 将 GTS 连接到 DLC3。

2. 将点火开关置于 ON 位置。

3. 打开 GTS。

4. 进入以下菜单：Powertrain / Engine and ECT / Utility / Learning Value Reset.

5. 按照画面指示确认以下情况。

—点火开关置于 ON 位置

—发动机停止

—蓄电池电压高于 9V

6. 确认后，选择“Next”以初始化学习值。

提示：

如果画面上显示指示学习值初始化故障的信息，则确认执行条件，并再次进行学习值重置。

7. 完成学习值初始化后，确认数据表中的空燃比学习值（A/F Learn Value Idle #1、A/F Learn Value Low #1、A/F Learn Value Mid1 #1、A/F Learn Value Mid2 #1 和 A/F Learn Value High #1）。

结果：

如果所有空燃比学习值显示均为 0，则初始化已正确完成。

如果任一空燃比学习值显示为 0 以外的值，则再次进行初始化。初始化后，确认空燃比学习值。

如果显示 0 以外的值，则更换 ECM。

\*2: 怠速学习

1. 将点火开关置于 OFF 位置并等待至少 30 秒。

2. 起动发动机并暖机，直至发动机冷却液温度为 80° C（176° F）或更高。

提示：

发动机冷却液温度为 80° C（176° F）或更高时，开始学习。

3. 发动机暖机后，在空调和所有附件关闭的情况下使发动机怠速运转 5 分钟。

4. 确认怠速转速在规定范围内。

提示：

确保在所有附件关闭的情况下执行该步骤。

确保将换挡杆置于 P 或空档。

\*3: 更换节气门体总成或清洁节气门体总成中的沉积物后, 进行存储器复位和怠速学习。此后, 检查怠速转速。如果值不在规定范围内, 则执行以下程序 (程序示意如图 9-1-25 所示)。

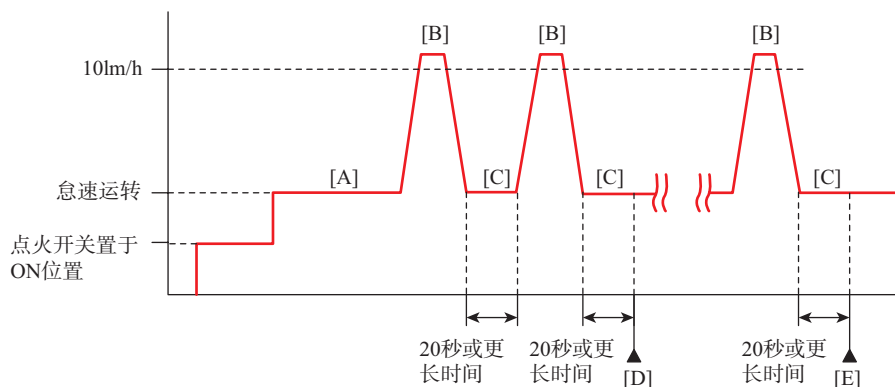


图 9-1-25 怠速学习程序

[A] 使发动机暖机 (发动机冷却液温度为  $80^{\circ}\text{C}$  ( $176^{\circ}\text{F}$ ) 或更高。

[B] 以  $10\text{km/h}$  ( $6\text{mph}$ ) 或更高速度驾驶车辆。

[C] 使发动机怠速运转 20 秒或更长时间。

[D] 重复步骤 [B] 和 [C], 且检查并确认怠速转速在规定范围内。

提示：

·确保在所有附件关闭的情况下执行该步骤。

·确保将换挡杆置于 P 或空档。

·如果怠速转速仍不在规定范围内, 则重复步骤 [B] 和 [C] 直至怠速转速在规定范围内 [E]。

\*4: 更换爆震控制传感器后驾驶车辆 - - 小段时间, 并检查是否出现爆震。如果出现爆震, 则驾驶车辆直至爆震停止。

## 七、失效保护

如果存储表 9-1-4 中任一 DTC, 则 ECM 将进入失效保护模式, 以便能够暂时驾驶车辆或停止燃油喷射。

表 9-1-4 失效保护表

DTC 代码	零部件	失效保护操作	失效保护解除条件
P0011 P0015	VVT 系统	怠速提升 (燃烧恶化控制) 停止燃油切断控制	检测到通过条件
P0031 P0032 P101D	空燃比传感器加热器	ECM 关闭空燃比传感器加热器	点火开关置于 OFF 位置
P0037 P0038 P102D	加热型氧传感器加热器	ECM 关闭加热型氧传感器加热器	点火开关置于 OFF 位置
P0102 P0103	质量空气流量计分总成	ECM 根据发动机转速和节气门位置计算点火正时	检测到通过条件
P0112 P0113	进气温度传感器	ECM 估算进气温度为 $20^{\circ}\text{C}$ ( $68^{\circ}\text{F}$ )	检测到通过条件

DTC 代码	零部件	失效保护操作	失效保护解除条件
P0115 P0117 P0118	发动机冷却液温度传感器	ECM 估算发动机冷却液温度为 80°C (176°F)	检测到通过条件
P0120 P0121 P0122 P0123 P0220 P0222 P0223 P0604 P0606 P060A P060B P060D P060E P0657 P2102 P2103 P2111 P2112 P2118 P2119 P2135	电子节气门控制系统	ECM 切断节气门执行器电流，且节气门在回位弹簧的作用下返回到 5.5° 节气门位置 然后 ECM 根据加速踏板开度来控制燃油喷射（间歇燃油切断）和点火正时，从而调节发动机输出功率，使车辆保持在最低行驶速度（平稳而缓慢地踩下加速踏板时，车辆可缓慢行驶。如果快速踩下加速踏板，则车辆可能会无规律地加速和减速。	检测到通过条件，然后将点火开关置于 OFF 位置
P0197 P0198	发动机机油温度传感器	ECM 估算发动机机油温度为 -40°C (-40°F)。	检测到通过条件
P0327 P0328	爆震控制传感器	ECM 将点火正时设为最大延迟	点火开关置于 OFF 位置
P0351 P0352 P0353 P0354	点火线圈总成	ECM 切断燃油喷射	检测到通过条件
P2120 P2121 P2122 P2123 P2125 P2127 P2128 P2138	加速踏板位置传感器	加速踏板位置传感器有 2 个传感器电路：主电路和副电路 如果任一电路出现故障，则 ECM 限制发动机输出功率 如果两个电路都出现故障，则 ECM 认为加速踏板处于松开状态。结果，节气门关闭且发动机怠速运转	检测到通过条件，然后将点火开关置于 OFF 位置
P2237 P2238 P2239 P2252 P2253	空燃比传感器	·停止空燃比反馈控制 ·切断流向空燃比传感器加热器的电流	检测到通过条件，然后将点火开关置于 OFF 位置

## 第二节 威朗缸内喷射 发动机电控系统

威朗缸内喷射采用燃油系统采用电子无回路请求式设计。燃油泵通过燃油滤清器和燃油供油管路向高压燃油泵供油。高压燃油泵向可变压力燃油导轨提供燃油。燃油通过精密的多孔喷油器进入燃烧室。发动机控制模块（ECM）控制高压燃油泵、燃油导轨压力、燃油喷射器正时和喷射持续时间。

点火系统为每个气缸使用单独的线圈。发动机控制模块使用发动机转速、质量空气流量（MAF）传感器信号以及来自曲轴位置和凸轮轴位置传感器的位置信息，以控制火花的点火顺序、闭合角和正时。

发动机配备了涡轮增压系统，用于增加内燃机的功率输出。在进气歧管装有进气歧管调节阀，用以控制进气歧管中进气通路的长度，以适应各转速条件下进气的需求。在进排凸轮轴上均装有可变配气机构，保证了发动机进气与排气在各个工况下均得到最佳的优化。

威朗缸内直喷发动机控制框架如图 9-2-1 所示。

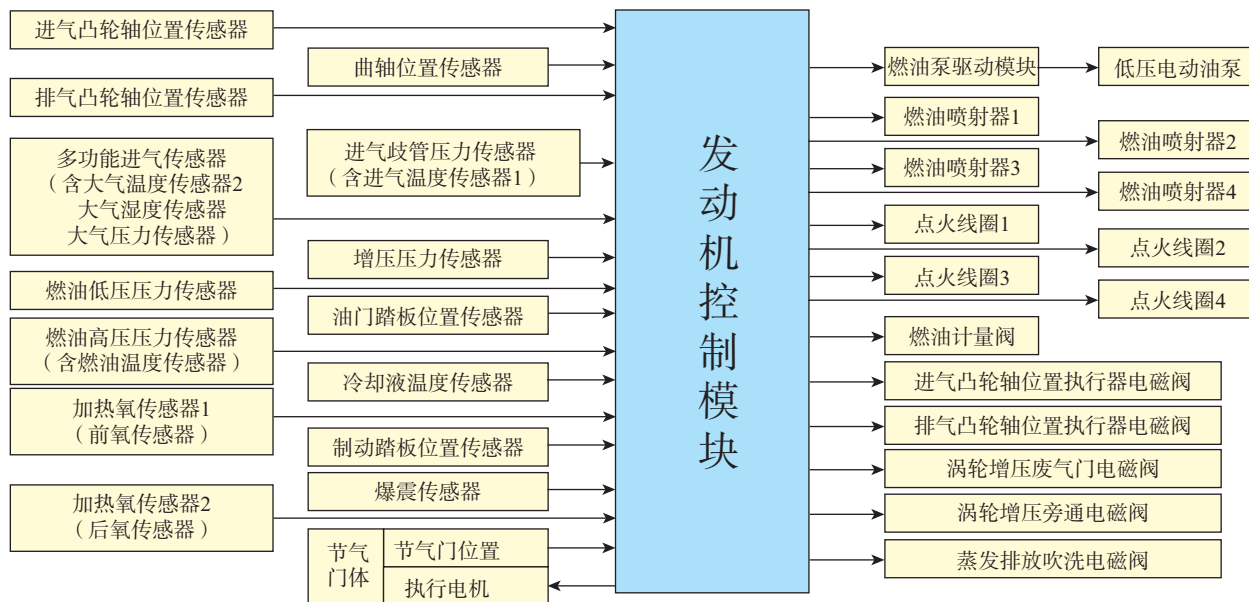


图 9-2-1 威朗缸内直喷发动机控制框架图

### 一、发动机电路图

威朗缸内直喷发动机电路如图 9-2-2 到图 9-2-13 所示。

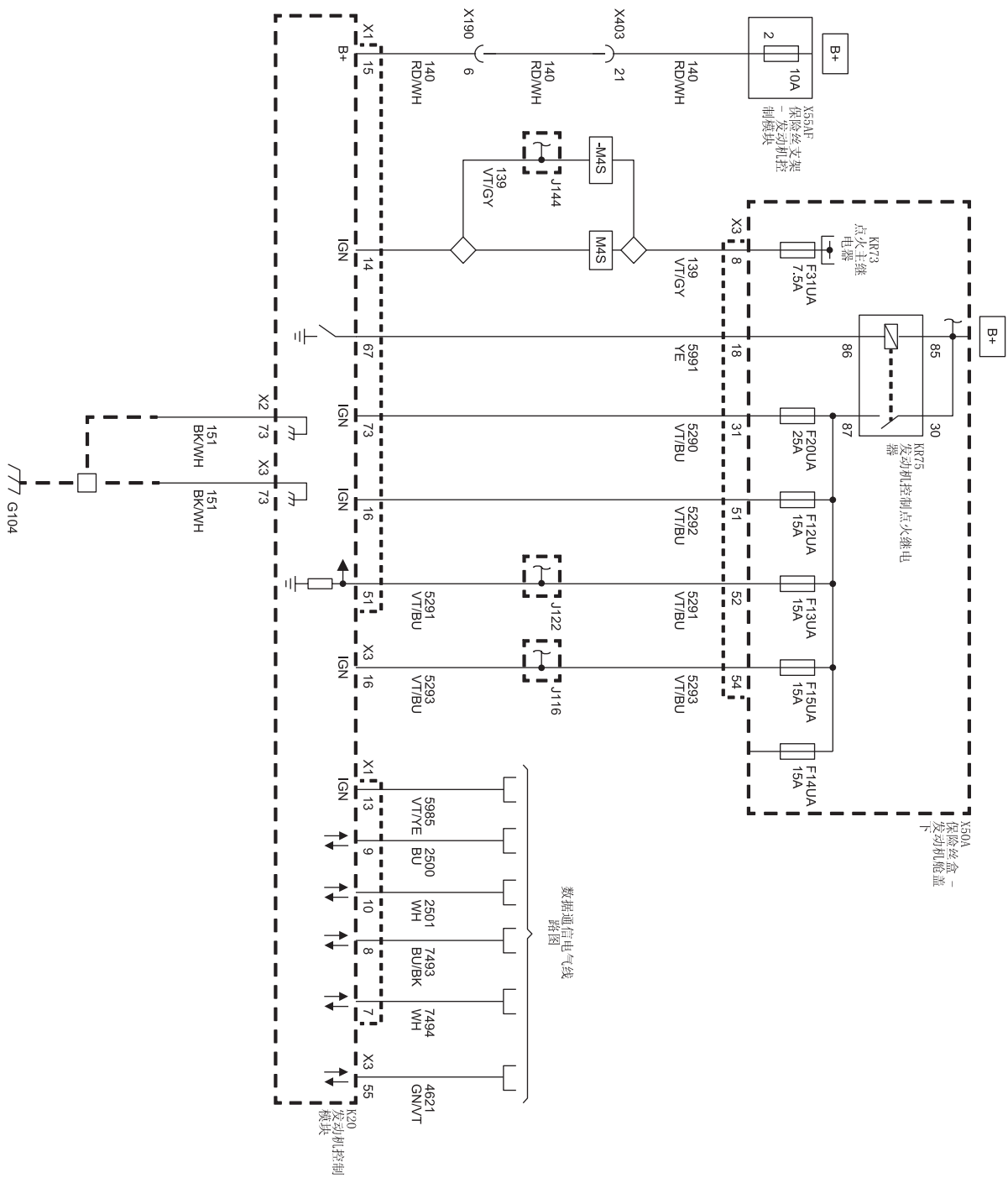


图 9-2-2 电源、搭铁、串行数据和故障指示灯 (L3G 或 LFV)









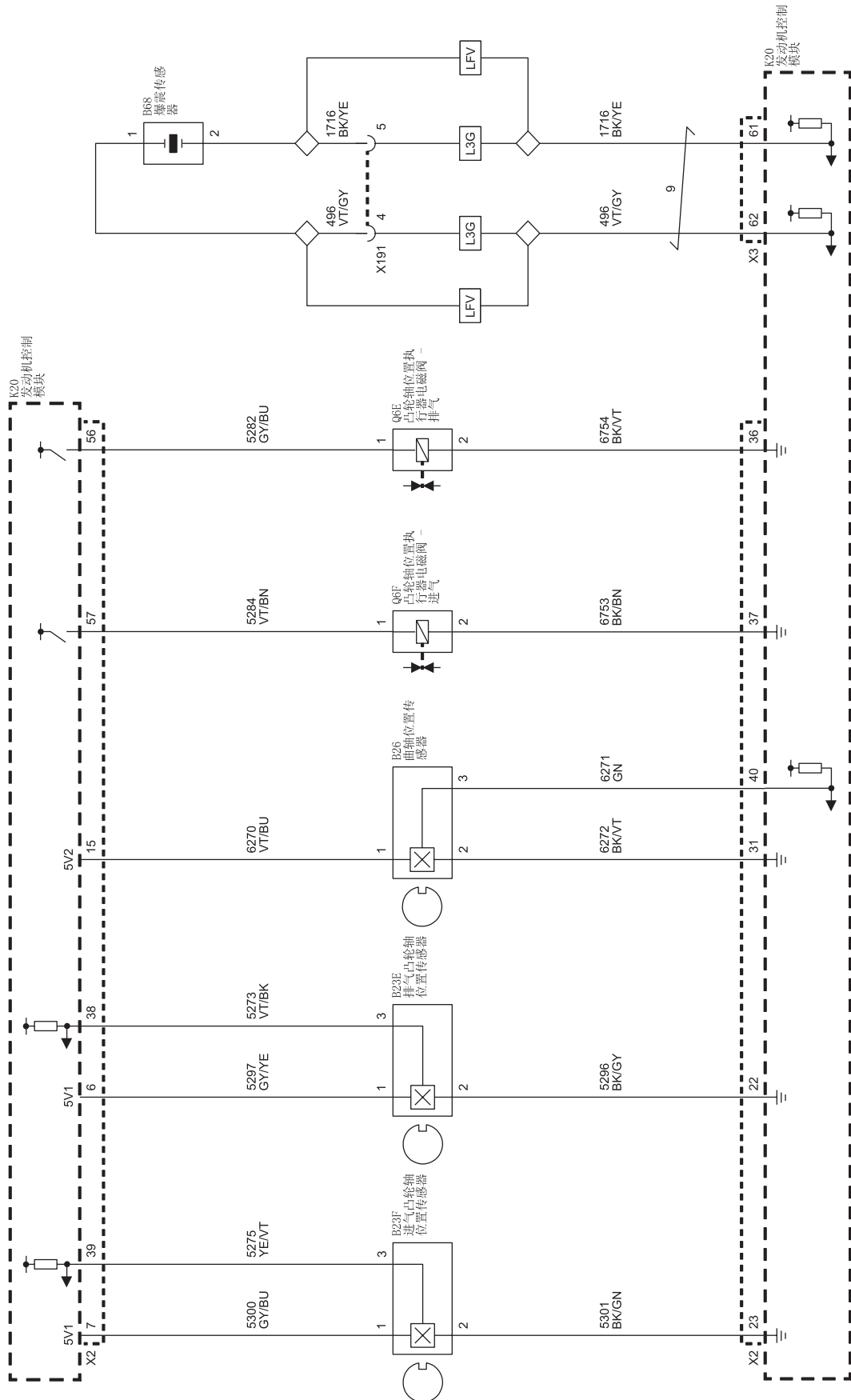


图 9-2-7 发动机数据传感器 - 凸轮轴、曲轴和爆震传感器以及凸轮轴执行器 (L3G 或 L3V)



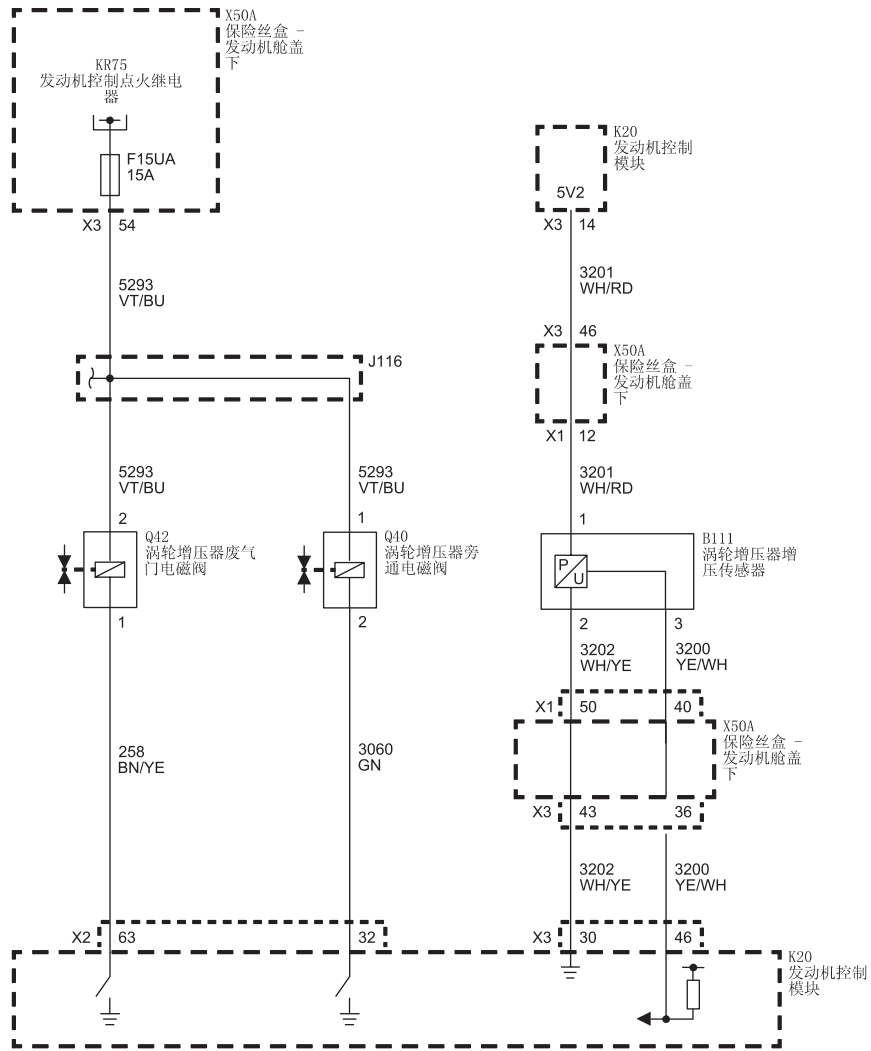


图 9-2-9 涡轮增压器排气泄压阀、旁通电磁阀和涡轮增压器增压传感器 (LFV)

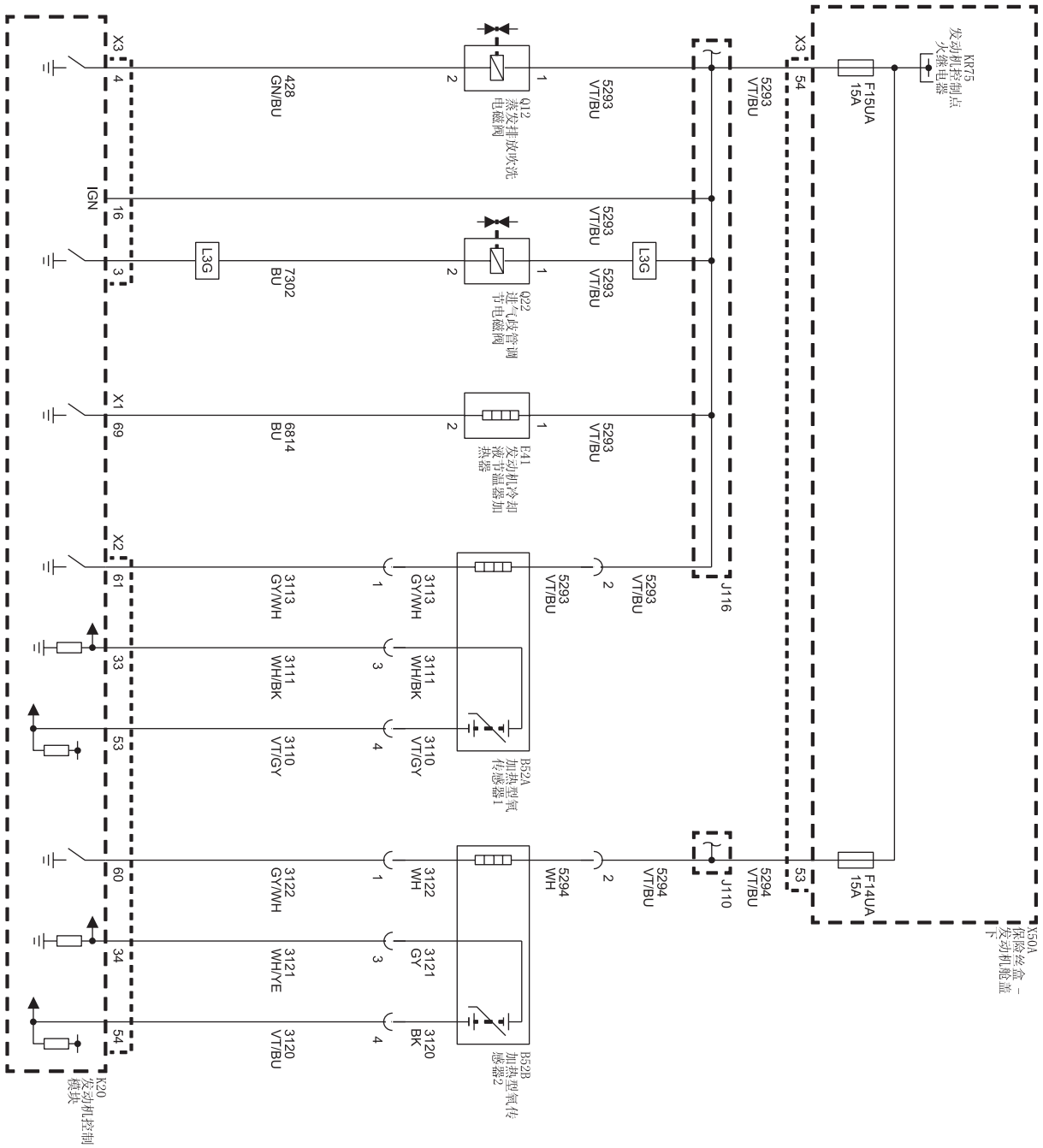


图 9-2-10 氧传感器和蒸发控制装置 (L3G 或 LfV)

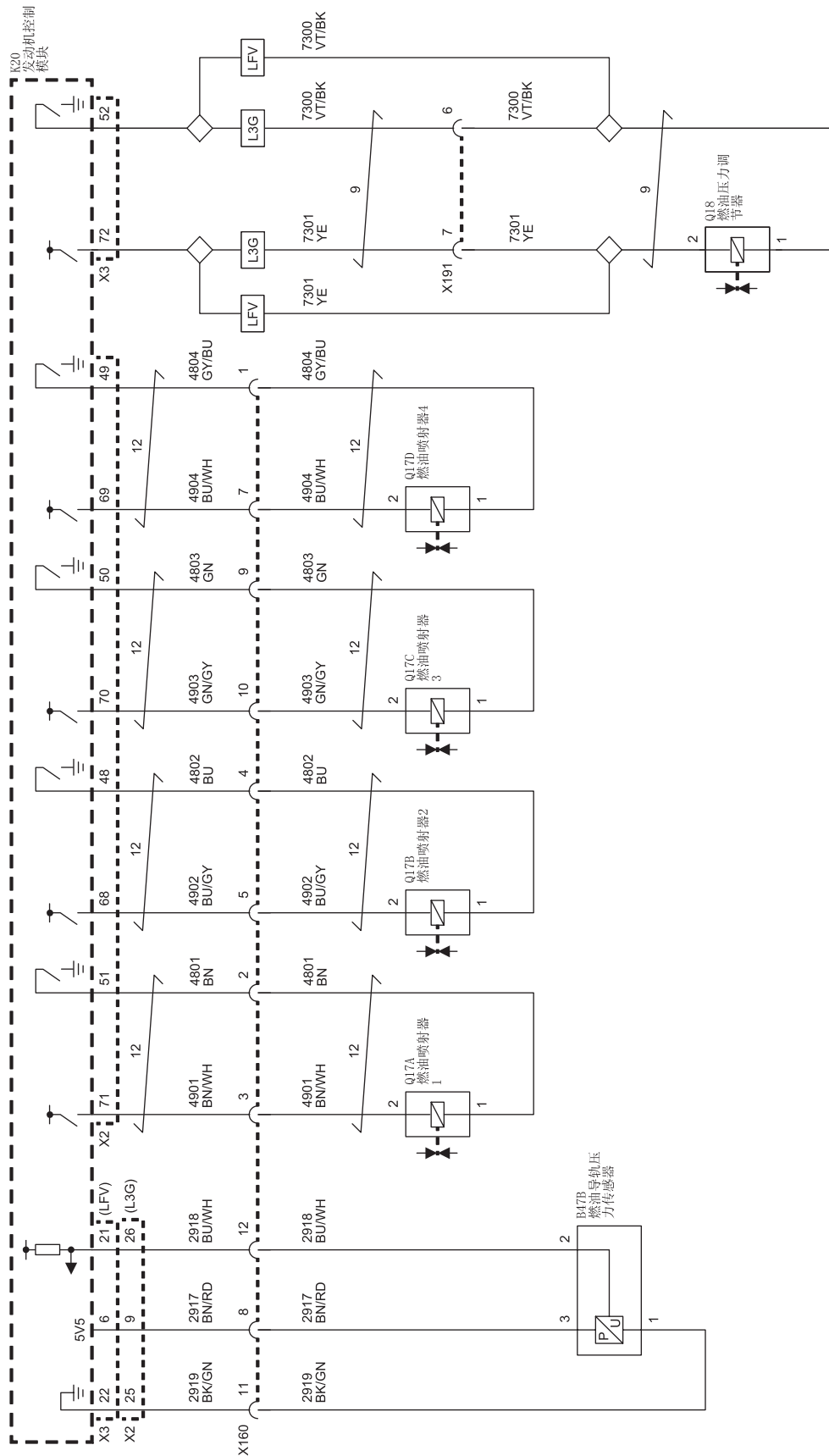


图 9-2-11 燃油控制系统 - 喷油器和高压控制 (L3G 或 LFV)

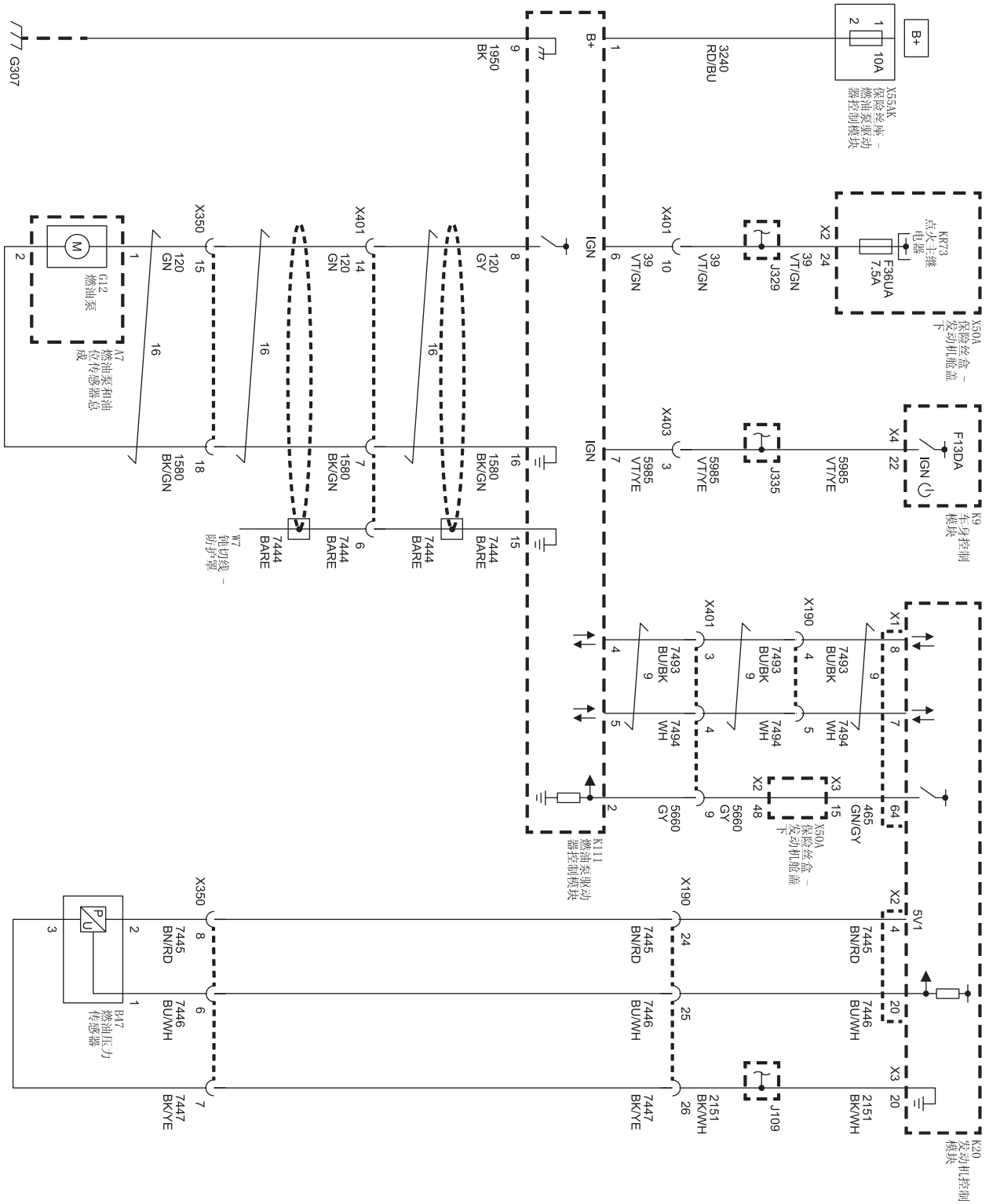


图 9-2-12 燃油控制系统 - 燃油泵控制 (L3G 或 LFV)

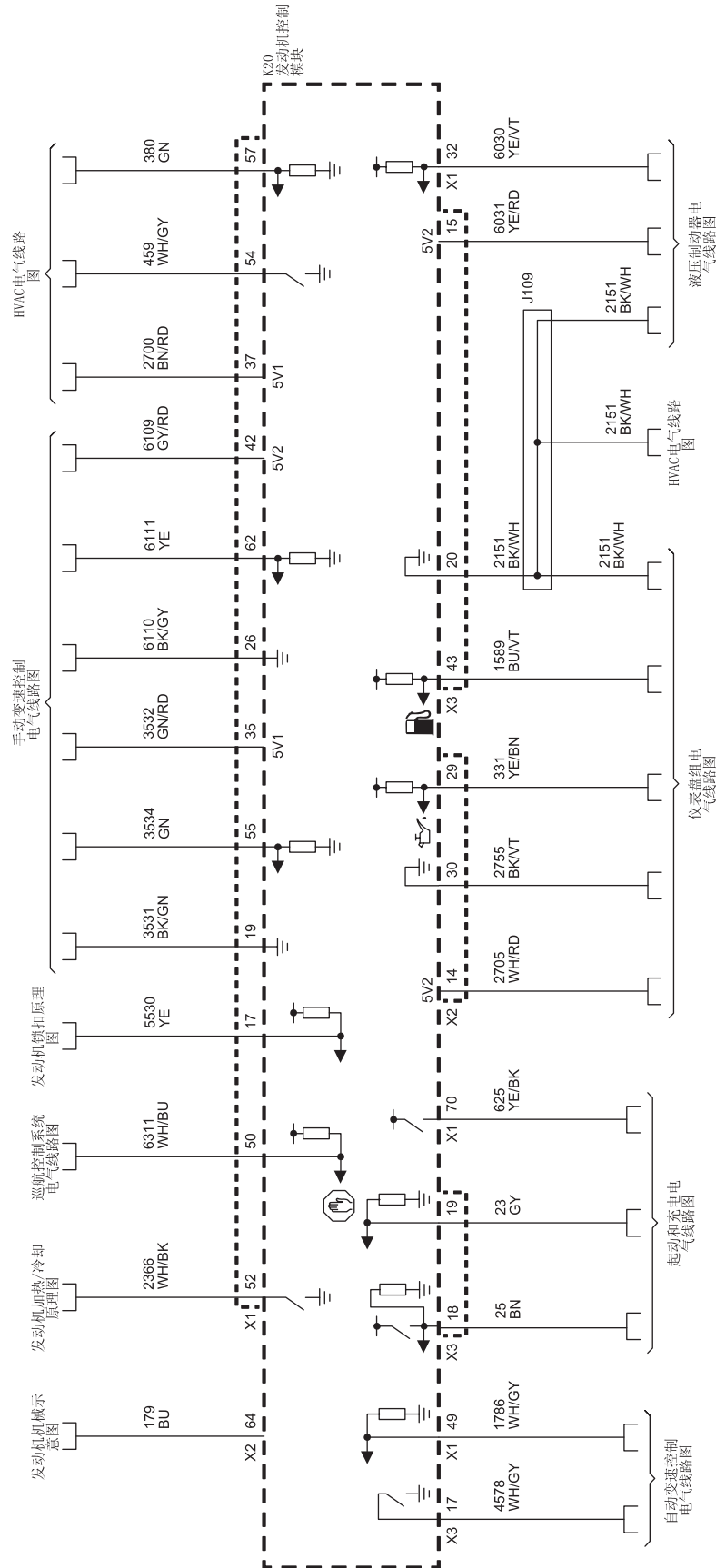


图 9-2-13 受控 / 受监测子系统参考 (L3G 或 LFV)

## 二、传感器

### 1. 曲轴与凸轮轴位置传感器

#### (1) 功能与原理

曲轴位置传感器是一种磁性偏差数字输出集成电路传感装置，其电路由一个发动机控制模块（ECM）提供的 5V 参考电压电路、低电平参考电压电路和一个输出信号电路组成，如图 9-2-7 所示。

曲轴位置传感器与曲轴上的磁阻轮一起工作。磁阻环的每个磁段相互隔开，共有 60 个磁段，以 2 个缺少的间隔作为参考间隙。曲轴位置传感器产生一个变频的开 / 关直流电压，曲轴每转动一圈输出 58 个脉冲。曲轴位置传感器输出信号的频率取决于曲轴的转速。当磁阻环的每个磁段转过曲轴位置传感器时，曲轴位置传感器向发动机控制模块发送一个数字信号，此信号代表曲轴位置磁阻环的一个影像。

发动机控制模块使用每个曲轴位置信号脉冲以确定曲轴转速，并对曲轴位置磁阻环参考间隙进行解码，以识别曲轴位置。仅根据曲轴位置信号，发动机控制模块就可以确定哪一对气缸正在接近上止点。使用凸轮轴位置传感器信号，确定这 2 个气缸中的哪个处于点火行程，哪个处于排气行程，此信息被用来确定发动机的最佳点火和喷油时刻，发动机控制模块以此使点火系统、喷油器和爆震控制正确地同步。此传感器也用来检测缺火。

本发动机为每个凸轮轴使用两个凸轮轴位置传感器。每个凸轮轴位置传感器有 3 条电路，由一个发动机控制模块（ECM）提供电压的 5V 参考电压电路、一个低电平参考电压电路以及一个输出信号电路组成，如图 9-2-7 所示。

凸轮轴位置传感器是一种内部磁性偏差数字输出集成电路传感装置。该传感器检测凸轮轴上 4 齿磁阻轮的齿槽磁通量变化。当磁阻轮的各个齿转过凸轮轴位置传感器时，传感器电子装置会利用引起的磁场变化产生一个数字输出脉冲。传感器返回一个频率变化的数字开 / 关直流电压脉冲，凸轮轴每转一圈就有 4 个不同宽度输出脉冲，表示凸轮轴磁阻轮的图像。凸轮轴位置传感器输出信号的频率取决于凸轮轴的转速。发动机控制模块对窄齿和宽齿模式进行解码，以识别凸轮轴位置。

发动机控制模块（ECM）使用气缸 1 排气凸轮轴位置传感器确认喷射器和点火系统同步。进气和排气凸轮轴位置传感器也用于确定凸轮轴与曲轴的关系，也就是定凸轮轴相对于曲轴的位置，以控制凸轮轴相位和在应急操纵模式下运行。

发动机控制模块通过总线将曲轴位置和凸轮轴位置传感器信号输出，用作其他模块的输入信号，用以监测发动机转速。

#### (2) 线路检测

1) 关闭点火开关，拔下传感器插头，与发动机电脑插头，测量传感器电源线、搭铁线及信号线端对端电阻不应低于  $2\Omega$ ，且 3 线之间阻值应为无穷大，否则为线路开路或短路。

2) 接上发动机插头，分别测量传感器电源线与搭铁线之间、信号线电压与搭铁线之间均应为 4.8 ~ 5.2V，如果低于 4.8V，为电脑故障，应检查电脑电源与接地是否正常，若正常，则需更换电脑。

3) 关闭点火开关，插上传感器插头，并将信号端子用细导线引出（此操作为非常规操作，注意要将破坏力降到最低，例如使用导线中的一根铜丝即可），打开点火开关，转动发动机（可以启动起动机），通过引出线测量传感器波形，若是否正常，若不正常，更换传感器或检查传感器的信号齿，若正常，说明电脑故障。

#### (3) 相关故障码

DTC P0335: 曲轴位置传感器回路

DTC P0336: 曲轴位置传感器性能

DTC P0340: 进气凸轮轴位置传感器电路

DTC P0341: 进气凸轮轴位置传感器性能

DTC P0365: 排气凸轮轴位置传感器电路

DTC P0366: 排气凸轮轴位置传感器性能

DTC P034A: 曲轴位置传感器—发动机起动位置不正确

DTC P034B: 曲轴位置传感器—曲轴方向不正确

### 2. 空气流量传感器

#### (1) 功能与原理

质量空气流量 (MAF) 传感器与进气温度 (IAT) 传感器 1、进气温度 (IAT) 传感器 2、空气湿度传感器、大气压力 (BARO) 传感器集成在质量空气流量/多功能进气传感器内, 电路如图 9-2-5 所示。

质量空气流量传感器是一个空气流量计, 用于测量传感器孔内的空气流量。发动机控制模块 (ECM) 利用质量空气流量传感器信号提供所有发动机转速和负载需要的正确燃油输送量。进入发动机的空气量小, 表示减速或怠速状态。进入发动机的空气量大, 表示加速或高负荷状态。

质量空气流量传感器通过动力系统继电器和一个保险丝获得电源。发动机控制模块仅在发动机运行模式过程中通过一个被称为驱动器的固态设备将质量空气流量控制电路搭铁, 以启用质量空气流量传感器。驱动器中配备了上拉至某电压的一个反馈电路。发动机控制模块监测该驱动器的状态。如果发动机控制模块检测到驱动器指令状态的电压不正确, 那么质量空气流量传感器电源电压低电平侧驱动器控制电路 DTC P121A 将被设置。

发动机控制模块向质量空气流量传感器信号电路提供 5V 电压。传感器根据流过传感器孔的进气流量, 产生可变频率信号, 发动机在各种运行条件下运行参数正常范围是 2, 000-10, 000Hz。信号随发动机负荷的变化而变化, 并在故障诊断仪上以 Hz 和 g/s 为单位显示。

### (2) 进气流量合理性检测

进气流量合理性诊断对质量空气流量 (MAF)、歧管绝对压力 (MAP) 和节气门位置传感器提供特定范围内的合理性检查。这是一种明确基于模型的诊断, 包含用于进气系统的 4 个独立模型。

从该模型系统得到的质量空气流量和歧管绝对压力的估计值和计算值, 与质量空气流量传感器、歧管绝对压力传感器和节气门位置传感器的实际测量值进行比较, 并在彼此间进行比较, 当发动机控制模块 (ECM) 检测到质量空气流量 (MAF) 传感器、歧管绝对压力 (MAP) 传感器和节气门位置传感器实际测量的空气流量不在模型系统计算的空气流量范围内, 并持续 2s 以上, 设定故障码 DTC P0101。

### (3) 进气流量性能检测

发动机控制模块 (ECM) 将根据节气门位置的实际空气流量与根据歧管绝对压力 (MAP) 传感器和质量空气流量 (MAF) 计算的空气流量作比较, 当发动机控制模块检测到实际空气流量大于计算空气流量, 设定故障码 DTC P0068、DTC P1101。

### (4) 数据流读取

在发动机怠速运转时, 通过故障诊断仪的观察 “MAF Sensor (质量空气流量传感器)” 参数, 读数应在 2.5-5.5g/s 之间。

缓慢地将发动机转速提高到 3000 RPM, 然后回到怠速。“MAF Sensor (质量空气流量传感器)” 参数应随着发动机转速的增加和减少而平稳逐渐变化。

如果不正常, 则应进行线路测量。

### (5) 线路检测

1) 将点火开关置于 “OFF (关闭)” 位置, 断开 B75C 多功能进气传感器线束和 K20 发动机控制模块线束, 测量 B75C 多功能进气传感器线束 1、3、4 号端子与 K20 发动机控制模块端子端对端电阻不应低于  $2\Omega$ , 且其之间阻值应为无穷大, 其对地电压也应无穷大, 否则为线路开路或短路或接地。

2) 接上和 K20 发动机控制模块线束, 用试灯连接 B75C 多功能进气传感器线束 5 号端子与接地, 点火开关置于 “ON (关闭)” 位置, 试灯应点亮, 否则检查 5 号端子线路及供电保险。

3) 将点火开关置于 “OFF (关闭)” 位置试灯连接 B75C 多功能进气传感器线束 5 号端子与 4 号端子。

将点火开关置于 “ON (打开)” 位置, 测试灯应熄灭。运行发动机, 测试灯应点亮。或者将用故障诊断仪指令质量空气流量传感器电源电压低电平侧驱动器接通或断开。在指令状态之间切换时, 测试灯应相应地点亮和熄灭。

如果一直亮, 测量 B75C 多功能进气传感器说明 K20 发动机控制模块内部击穿, 如果一直不亮, 说明 K20 发动机控制模块内部击穿开路, 均需要进行更换。

5) 将点火开关置于 “ON (打开)” 位置, 测试信号电路端子 3 和搭铁之间的电压是否为 4.8-5.2 V, 如果小于 4.8 V, 说明 K20 发动机控制模块故障。

若正常, 则更换 B75C 多功能进气传感器实验, 读取故障码或数据流, 若不正常, 说明 K20 发动机控制模块故障。

### (6) 相关故障码

DTC P0101: 质量空气流量 (MAF) 传感器性能

DTC P0102: 质量空气流量 (MAF) 传感器电路频率过低  
DTC P0103: 质量空气流量 (MAF) 传感器电路频率过高  
DTC P121A: 质量空气流量 (MAF) 传感器电源电压控制电路  
DTC P121B: 质量空气流量 (MAF) 传感器电源电压控制电路电压过低  
DTC P121C: 质量空气流量 (MAF) 传感器电源电压控制电路电压过高  
DTC P0068: 节气门体空气流量性能  
DTC P1101: 进气流量系统性能

### 3. 进气压力传感器

#### (1) 功能与原理

管绝对压力 (MAP) 传感器测量进气歧管内部的压力。进气歧管压力受发动机转速、节气门开度、空气温度、大气压力 (BARO) 和涡轮增压器输出等因素影响。歧管绝对压力 (MAP) 传感器内的硅片因压力变化而移动, 压力变化是由发动机负荷和工作条件的变化引起的。传感器将该操作解释为电阻。该传感器中也集成有进气温度 (IAT) 传感器。

歧管绝对压力传感器接线包括 3 个电路, 如图 9-2-5 所示。动机控制模块 (ECM) 向 5V 参考电压电路上的传感器提供 5V 稳压。发动机控制模块向低电平参考电压电路提供搭铁。歧管绝对压力传感器通过歧管绝对压力传感器信号电路, 向发动机控制模块提供与压力变化相关的信号电压。发动机控制模块将信号电压输入转换为压力值。

歧管绝对压力 (MAP) 传感器中也集成有用于进气温度 (IAT) 传感器的第 4 个电路。为发动机控制模块提供与进气温度相关的信号电压。低电平参考电压与歧管绝对压力传感器低电平参考电压共用。可以通过进气温度 (IAT) 传感器自身的 DTC 对其进行诊断。发动机控制模块检测到进气系统中的压力传感器之间不一致 (压差大于 10kPa), 并且无法将某一特定传感器确定为故障传感器, 设定故障码 DTC P00C7。

在正常操作条件下, 当点火开关置于“ON (打开)”位置且发动机关闭时, 进气歧管压力最大, 等于大气压力 (BARO)。如装备了涡轮增压器, 当在节气门全开 (WOT) 条件下操作车辆时, 涡轮增压器可将歧管压力增加到大致压力 (BARO) 以上水平。当车辆怠速或减速时, 歧管压力最低。

#### (2) 数据流读取

在发动机怠速运转时, 用诊断仪读取“MAP Sensor (歧管绝对压力传感器)”压力参数应在 24-52kPa (3.4-7.5PSI) 之间, 并随着加速踏板的输入而变化。

#### (3) 线路检测

1) 首先检测传感器通气口是否阻塞、进气管道是否破损漏气。

2) 将点火开关置于“OFF (关闭)”位置, 断开 B65 进气歧管压力和空气温度传感器处的线束和 K20 发动机控制模块线束, 测量导线是否开路或短路或接地。

3) 接上和 K20 发动机控制模块线束, 点火开关置于“ON (关闭)”位置, 测量传感器参考 5V 电压线应为 4.8-5.2V 之间, 如果未在 4.8-5.2V 检查发动机控制模块。

4) 此时读取诊断仪读取“MAP Sensor (歧管绝对压力传感器)”参数, 电压应在 4.7v 以上, 否则发动机控制模块内部短路。

5) 用带 3A 保险丝的跨接线短接信号线与接地线之间, 此时读取诊断仪读取“MAP Sensor (歧管绝对压力传感器)”参数应低于 0.2V, 否则为电脑故障。

6) 以上均正常, 则更换 B65 进气歧管压力和空气温度传感器做实验。

#### (4) 相关故障码

DTC P00C7: 进气压力测量系统一多功能传感器不合理

DTC P0106: 歧管绝对压力 (MAP) 传感器性能

DTC P0107: 歧管绝对压力 (MAP) 传感器电路电压过低

DTC P0108: 歧管绝对压力 (MAP) 传感器电路电压过高

### 4. 加速踏板

#### (1) 功能与原理

加速踏板总成包括 2 个加速踏板位置 (APP) 传感器。加速踏板位置传感器安装在加速踏板总成上,

且不可维修。加速踏板位置传感器所提供的信号电压随踏板位置而变化。发动机控制模块（ECM）向每个加速踏板位置传感器提供一个 5V 参考电压电路、一个低电平参考电压电路和一个信号电路，如图 9-2-6 所示。

### （2）数据流读取

1) 用仪器读取数据流“APP Sensor 1 Circuit Status（加速踏板位置传感器 1 电路状态）”和“APP Sensor 2 Circuit Status（加速踏板位置传感器 2 电路状态）”参数应显示“OK（正常）”。否则检修电路。

2) 将加速踏板从静止位置快速踩到节气门全开（WOT）位置，然后松开踏板，重复此程序数次。然后缓慢地踩下加速踏板到节气门全开位置，然后使踏板缓慢地回到节气门关闭位置，重复此程序数次。用仪器读取数据流“APP Sensor 1 and 2（加速踏板位置传感器 1 和 2）”参数应显示“Agree（一致）”，否则检查电路。

### （3）相关故障码

DTCP2122：加速踏板位置（APP）传感器 1 电路电压过低

DTCP2123：加速踏板位置（APP）传感器 1 电路电压过高

DTCP2127：加速踏板位置（APP）传感器 2 电路电压过低

DTCP2128：加速踏板位置（APP）传感器 2 电路电压过高

DTCP2138：加速踏板位置（APP）传感器 1-2 不合理

## 5. 节气门位置传感器

### （1）功能与原理

节气门体总成包含一个非接触感应式节气门位置传感元件，电路如图 8-2-6 所示，该元件由一个定制集成电路管理。节气门位置传感器安装在节气门体总成上，且不可维修。发动机控制模块（ECM）向节气门体提供一个 5V 参考电压电路、一个低电平参考电压电路、一个 H 桥电机方向控制电路和一个异步信号 / 串行数据电路。异步信号意味着只从节气门体向发动机控制模块进行通信。节气门体不能通过信号 / 串行数据电路接收来自发动机控制模块的数据。节气门位置传感器提供随节气门叶片角度变化的信号电压。定制集成电路使用美国汽车工程师协会（SAE）J2716 单缘半字节传输（SENT）协议，将基于位置信息的电压转化为串行数据。节气门位置传感器信息通过信号 / 串行数据电路在节气门体和发动机控制模块之间传送。发动机控制模块将串行数据解码为节气门体正在发生的电压信号表现形式。然后该信息作为从节气门位置传感器 1 和 2 获得的电压输入信号在故障诊断仪上显示。

### （2）数据流读取

1) 用仪器读取数据流 Throttle Body Idle Air Flow Compensation（节气门体怠速空气流量补偿）”参数应低于 90%。否则检修电路。

2) 故障诊断仪执行节气门扫描测试时，确认“Throttle Position Sensors1 and2（节气门位置传感器 1 和 2）”参数应显示“Agree（一致）”否则更换节气门体总成。

### （3）相关故障码

DTCP0121：节气门位置传感器 1 性能

DTCP0122：节气门位置传感器 1 电路电压过低

DTCP0123：节气门位置传感器 1 电路电压过高

DTCP0222：节气门位置传感器 2 电路电压过低

DTCP0223：节气门位置传感器 2 电路电压过高

DTCP16A0：传感器通信电路电压过低

DTCP16A1：传感器通信电路电压过高

DTCP16A2：传感器通信电路性能

DTCP2135：节气门位置传感器 1-2 不合理

## 6. 燃油压力 / 温度传感器

### （1）功能与原理

燃油压力 / 温度传感器使用美国汽车工程师协会（SAE）J2716 单缘半字节传输（SENT）协议，将燃油压力和温度信息通过串行数据进行传输。燃油导轨压力传感器内部微处理器可以实现从一个 3 线传感器进行 4 个独立传感器输出。发动机控制模块（ECM）为燃油导轨压力传感器提供一个 5V 参

考电压电路、一个低电平参考电压电路和一个异步信号 / 串行数据电路，如图 9-2-11 所示。异步信号意味着只从燃油导轨压力 / 温度传感器向发动机控制模块（ECM）进行通信，同时传递燃油导轨压力与温度信息。

### （2）线路检测

1) 将点火开关置于“OFF（关闭）”位置，断开燃油压力处的线束线和 K20 发动机控制模块线束，测量导线是否开路或短路或接地。

2) 接上 K20 发动机控制模块线束，点火开关置于“ON（打开）”位置，测量 B310 燃油压力 / 温度传感器处搭铁端子与搭铁之间阻值应小于  $5\ \Omega$ ，否则为检查 K20 发动机控制模块。

3) 测试 5V 参考电压电路端子 2 和搭铁之间的电压是否为 4.8–5.2V，如果小于 4.8V，检查 K20 发动机控制模块。

4) 测试信号电路端子 3 和搭铁之间的电压是否为 4.8–5.2V，如果小于 4.8V，检查 K20 发动机控制模块。

5) 更换燃油压力传感器做实验，若依然存在问题，检查 K20 发动机控制模块。

### （3）相关故障码

DTC P0191: 燃油导轨压力传感器 1 性能

DTC P127C: 燃油导轨压力传感器 2 电路电压过低

DTC P128A: 燃油导轨压力传感器 1 内部性能

DTC P128B: 燃油导轨压力传感器 2 内部性能

DTC P16E4: 传感器通信电路 3 电压过低

DTC P16E5: 传感器通信电路 3 电压过高

DTC P0182: 燃油温度传感器电路电压过低

DTC P0183: 燃油温度传感器电路电压过高

DTC P0187: 燃油温度传感器 2 电路电压过低

DTC P0188: 燃油温度传感器 2 电路电压过高

DTC P111F: 燃油温度传感器 1 – 燃油温度传感器 2 不合理

DTC P126E: 燃油导轨温度传感器 1 性能

DTC P126F: 燃油导轨温度传感器 2 性能

## 7. 冷却液温度传感器

### （1）功能与原理

发动机冷却液温度（ECT）传感器是一个测量发动机冷却液温度的可变电阻。发动机控制模块（ECM）向发动机冷却液温度传感器信号电路提供 5V 电压，向低电平参考电压电路提供搭铁，电路如图 9-2-5 所示。此诊断检查发动机控制模块和发动机冷却液温度传感器之间的开路、对搭铁短路或间歇性电路故障。

### （2）节温器性能检测

使用发动机冷却液温度传感器确定发动机冷却液温度是否以正确的速率提高，在不同的工作条件下是否满足标定的目标温度。发动机控制模块使用启动时发动机冷却液温度和启动时进气温度（IAT）开始诊断计算。在确定发动机冷却液温度是否正常提高并达到标定的目标温度时，进入发动机的累计空气流量、车速、行程和发动机运转时间也是影响因素。

发动机控制模块（ECM）确定在启动环境温度在  $10$  和  $52^\circ\text{C}$ （ $50$  和  $126^\circ\text{F}$ ）之间时发动机冷却液温度（ECT）未达到其  $60^\circ\text{C}$ （ $140^\circ\text{F}$ ）的标定目标值，并持续 1 秒以上，或者发动机控制模块（ECM）确定在启动环境温度在  $-7$  和  $10^\circ\text{C}$ （ $19$  和  $50^\circ\text{F}$ ）之间时发动机冷却液温度（ECT）未达到其  $5^\circ\text{C}$ （ $41^\circ\text{F}$ ）的标定目标值，并持续 1 秒以上，设定故障码 DTC P0128。

### （3）数据流读取

用诊断仪读取“ECT Sensor（发动机冷却液温度传感器）”参数应为高于  $-40^\circ\text{C}$  并低于  $150^\circ\text{C}$ ，且随发动机运行时间而变化。

### （4）电路检测

1) 将点火开关置于“OFF（关闭）”位置，断开 B34 发动机冷却液温度传感器处的线束线和 K20 发动机控制模块线束，测量导线是否开路或短路或接地。

2) 接上 K20 发动机控制模块线束, 点火开关置于“ON(打开)”位置, 用诊断仪读取“ECT Sensor(发动机冷却液温度传感器)”参数应为低于  $-39^{\circ}\text{C}$ , 否则为 K20 发动机控制模块故障。

3) 用带 3A 保险丝的跨接线短接 B34 发动机冷却液温度传感器两个端子, 用诊断仪读取“ECT Sensor(发动机冷却液温度传感器)”参数应为高于  $149^{\circ}\text{C}$ , 否则为 K20 发动机控制模块故障。

4) 更换 B34 发动机冷却液温度并进行检查。

(5) 相关故障码

DTC P0117: 发动机冷却液温度 (ECT) 传感器电路电压过低

DTC P0118: 发动机冷却液温度 (ECT) 传感器电路电压过高

DTC P0119: 发动机冷却液温度 (ECT) 传感器电路间歇性故障

DTC P0128: 发动机冷却液温度 (ECT) 低于节温器调节温度

## 8. 大气压力传感器

质量空气流量 (MAF) 传感器与进气温度 (IAT) 传感器 1、进气温度 (IAT) 传感器 2、空气湿度传感器、大气压力 (BARO) 传感器集成在质量空气流量/多功能进气传感器内, 电路如图 9-2-5 所示。

## 9. 大气温度与大气湿度传感器

(1) 性能特征

进气温度 (IAT) 传感器 1 是一个可变电阻器, 能够改变发动机控制模块 (ECM) 提供的 5 V 信号电路上的电压。该信号随传感器孔内的进气温度而改变, 并在故障诊断仪上显示为  $^{\circ}\text{C}$  ( $^{\circ}\text{F}$ )。

进气温度传感器 2 和湿度传感器共用相同的电路。进气湿度传感器调节信号的脉宽。进气温度传感器 2 调节信号的频率。这就意味着该信号既是脉宽调制信号又是频率调制信号。

进气温度传感器 2 信号在故障诊断仪上显示为赫兹 (Hz) 和  $^{\circ}\text{C}$  ( $^{\circ}\text{F}$ )。

进气湿度传感器使用与进气温度传感器 2 相同的信号电路。

电路如图 9-2-5 所示。

(2) 相关故障码

DTC P0112: 进气温度 (IAT) 传感器 1 电路电压过低

DTC P0113: 进气温度 (IAT) 传感器 1 电路电压过高

DTC P0114: 进气温度 (IAT) 传感器 1 电路间歇性故障

DTC P0096: 进气温度 (IAT) 传感器 2 性能

DTC P0111: 进气温度 (IAT) 传感器 1 性能

DTC P0097: 进气温度 (IAT) 传感器 2 电路电压过低

DTC P0098: 进气温度 (IAT) 传感器 2 电路电压过高

DTC P0099: 进气温度 (IAT) 传感器 2 电路间歇性故障

DTC P00F4: 进气湿度传感器电路电压过低

DTC P00F5: 进气湿度传感器电路电压过高

DTC P00F6: 进气湿度传感器电路异常

## 10. 氧传感器

(1) 功能与原理

加热型氧传感器 ( $\text{HO}_2\text{S}$ ) 用于燃油控制和催化剂监测。每个加热型氧传感器均将周围空气的氧含量与排气流中的氧含量进行比较。起动发动机后, 控制模块在开环模式下运行, 计算空燃比时忽略加热型氧传感器信号电压。当发动机运行时, 加热型氧传感器 ( $\text{HO}_2\text{S}$ ) 升温且开始产生介于  $0\text{-}1275\text{mV}$  之间的电压。电路如图 9-2-10 所示。一旦控制模块监测到  $\text{HO}_2\text{S}$  电压浮动达到一定的程度, 则进入闭环模式。该控制模块利用  $\text{HO}_2\text{S}$  电压确定空燃比。加热型氧传感器 ( $\text{HO}_2\text{S}$ ) 电压朝  $1000\text{mV}$  方向升高, 表示燃油混合气偏浓。加热型氧传感器 ( $\text{HO}_2\text{S}$ ) 电压朝  $0\text{mV}$  方向减少, 表示燃油混合气偏稀。

每只加热型氧传感器内的加热元件对传感器进行加热, 使其迅速预热至工作温度。这就使得系统能更早地进入“闭环”模式, 并使控制模块更快地计算空燃比。

(2) 数据流读取

使发动机达到工作温度, 并保持发动机运行中, 使用故障诊断仪上读取“ $\text{HO}_2\text{S}$  Sensor 1 or 2 (加

热型氧传感器 1 或 2) ”参数应介于 50-1050mV 之间。

### (3) 电路测量

1) 检查 B52 加热型氧传感器的线束是否开路、相互短路、是否接地。

2) 点火开关置于“OFF(关闭)”位置,断开相应的 B52 加热型氧传感器的线束连接器。将点火开关置于“ON(打开)”位置,测试信号电路端子 4 和搭铁之间的电压是否为 1.7-3.0V。如果小于 1.7V 或大于 3.0V,为 K20 发动机控制模块故障。

3) 更换氧传感器实验。

### (4) 相关故障码

DTC P0131: 加热型氧传感器电路电压过低—传感器 1

DTC P0132: 加热型氧传感器电路电压过高—传感器 1

DTC P0137: 加热型氧传感器电路电压过低—传感器 2

DTC P0138: 加热型氧传感器电路电压过高—传感器 2

DTC P0133: 加热型氧传感器 (HO<sub>2</sub>S) 响应过慢—传感器 1

DTC P1133: 加热型氧传感器 (HO<sub>2</sub>S) 转换不足—传感器 1

DTC P2270: 加热型氧传感器 (HO<sub>2</sub>S) 信号持续偏稀—传感器 2

DTC P2271: 加热型氧传感器 (HO<sub>2</sub>S) 信号持续偏浓—传感器 2

DTC P0030: 加热型氧传感器加热器控制电路 - 传感器 1

DTC P0031: 加热型氧传感器加热器控制电路电压过低 - 传感器 1

DTC P0032: 加热型氧传感器加热器控制电路电压过高 - 传感器 1

DTC P0036: 加热型氧传感器加热器控制电路 - 传感器 2

DTC P0037: 加热型氧传感器加热器控制电路电压过低 - 传感器 2

DTC P0038: 加热型氧传感器加热器控制电路电压过高 - 传感器 2

DTC P0053: 加热型氧传感器加热器电阻 - 传感器 1

DTC P0054: 加热型氧传感器加热器电阻 - 传感器 2

DTC P0135: 加热型氧传感器加热器性能 - 传感器 1

DTC P0141: 加热型氧传感器加热器性能 - 传感器 2

DTC P103B: 加热型氧传感器 (HO<sub>2</sub>S) 加热器电源电压传感电路性能

DTC P103C: 加热型氧传感器 (HO<sub>2</sub>S) 加热器电源电压传感电路电压过低

## 11. 爆震传感器

### (1) 功能与原理

爆震传感器可使发动机控制模块 (ECM) 控制火花正时以尽可能获得最佳性能,同时保护发动机免受潜在的爆震损害。爆震传感器产生的交流 (AC) 电压信号随发动机运转时的振动程度而变化,电路如图 9-2-7 所示。发动机控制模块根据爆震传感器信号的振幅和频率调节点火正时。发动机控制模块读入一个针对所有发动机转速范围的最低爆震传感器噪声级,并监测正常的爆震传感器信号。发动机控制模块监测用于执行开路诊断的内部爆震传感器处理器测试电路。

怠速时,发动机控制模块 (ECM) 从爆震传感器读入最小噪声级或背景噪声,并在其余的发动机转速范围内使用校准值。发动机控制模块 (ECM) 利用最小噪声级来计算噪声信道。正常的爆震传感器信号将在噪声信道中传送。随着发动机转速和载荷的变化,噪声信道的上下参数将会改变以适应正常的爆震传感器信号,使信号保持在信道中。为确定爆震气缸,当每个气缸接近点火冲程的上止点 (TDC) 时,发动机控制模块 (ECM) 仅使用爆震传感器信号信息。如果存在爆震,信号将在噪声信道外。

如果发动机控制模块 (ECM) 确定爆震存在,它将延迟点火正时以尝试消除爆震。发动机控制模块将努力返回至零补偿水平或无火花延迟。异常的爆震传感器信号将在噪声信道外或不存在。爆震传感器诊断校准程序可用于检测发动机控制模块内部的爆震传感器电路、爆震传感器线路或爆震传感器电压输出是否有故障。有些诊断校准可以检测由外部影响产生的持续性噪声,如松动/损坏的部件或过大的发动机机械噪声。

### (2) 相关故障码

DTC P0324: 爆震传感器系统性能

DTC P0326: 爆震传感器性能

DTC P06B6: 控制模块爆震传感器处理器性能

DTC P0325: 爆震传感器电路

DTC P0327: 爆震传感器电路电压过低

DTC P0328: 爆震传感器电路电压过高

## 12. 燃油压力传感器

燃油压力传感器位于底盘燃油管上。燃油压力传感器检测燃油管中的燃油压力。发动机控制模块（ECM）监测来自燃油压力传感器的电压信号。传感器向发动机控制模块提供一个燃油压力信号，用于提供“闭环”燃油压力控制。油压传感器是一个可维修的 5V3 针脚的装置，通过车辆线束从发动机控制模块接收电源和搭铁。其电路如图 9-2-12 所示。

## 13. 增压压力传感器

增压传感器测量涡轮增压器和节气门体之间的压力范围。此发动机使用的传感器是一个三级大气传感器。该部分进气系统的压力受发动机转速、节气门开度、涡轮增压器增压压力、进气温度（IAT）、大气压力（BARO）和增压空气冷却器效率影响。

传感器向发动机控制模块（ECM）提供一个与压力变化相关的信号电压，其电路如图 9-2-9 所示。在正常操作条件下，点火开关处于“ON（打开）”位置且发动机关闭时，该部分进气系统的最大压力等于大气压力（BARO）。当发动机在节气门全开（WOT）的情况下操作时，涡轮增压器可将此压力增加到约 240kPa（34.8psi）。发动机怠速运转或减速时，此压力等于大气压力。

## 14. 制动开关

### （1）功能与原理

制动踏板位置（BPP）传感器是发动机制动踏板超控功能的一部分。发动机控制模块（ECM）持续监测车速和制动踏板位置。这两个主输入信号与其他发动机控制模块输入信号用于确定车辆是否在正常车速下减速以及踩下制动踏板的位置比例。当发动机制动踏板超控系统启用时，发动机控制模块降低发动机扭矩，有助于降低车速。

制动踏板位置传感器是一个六线传感器，是双制动位置传感器的一部分，电路如图 9-2-6 所示。一个制动踏板位置传感器用于制动灯，另一个制动踏板位置传感器用于发动机制动踏板超控功能。用于发动机制动踏板超控的制动踏板位置传感器与发动机控制模块进行通信。发动机控制模块（ECM）向制动踏板位置（BPP）传感器提供 5V 参考电压电路、低电平参考电压电路和信号电路。制动踏板位置传感器向信号电路上的发动机控制模块发送电压信号。信号电路上的电压将从松开制动踏板时高于 0.25 V 变为完全踩下制动踏板时低于 4.75V。

### （2）相关故障码

DTC P057B: 制动踏板位置传感器性能

DTC P057C: 制动踏板位置传感器电路电压过低

DTC P057D: 制动踏板位置传感器电路电压过高

DTC P057E: 制动踏板位置传感器电路不稳定

## 三、发动机控制模块

### 1. 发动机控制模块的说明

发动机控制模块（ECM）与各种排放部件和系统相互作用，并监测排放部件和系统的退化信息。如果系统性能下降，OBD II 诊断将监测系统性能和 DTC（DTC）组合。发动机控制模块是网络的一部分，并与各种其他的车辆控制模块通信。

故障指示灯（MIL）的工作和 DTC 的存储取决于 DTC 的类型。如果 DTC 与排放相关，则 DTC 被分成 A 类或 B 类。C 类是与排放无关的 DTC。

发动机控制模块是发动机控制系统的控制中心。查阅部件和接线图以确定受发动机控制模块控制的系统。

它不断监测来自各个传感器和其他输入的信息，并控制会影响发动机性能和排放的系统。发动机

控制模块也对系统的各个部分执行诊断测试，并能在识别影响排放的运行问题时打开故障指示灯。当发动机控制模块检测到故障时，它会储存一个 DTC。通过设定的特殊 DTC 可识别状况区。这有助于技术人员进行维修。

### 2. 发动机控制模块的功能

发动机控制模块向传感器或开关提供 5V 或 12V 电压。这通过上拉电阻以稳定发动机控制模块的电源来实现。在某些情况下，由于输入电阻太小，即使是普通的商店电压计，也无法提供精确的读数。因此，必须使用输入电阻为  $10\ \Omega$  的数字式万用表（DMM）才能获得精确的电压读数。

发动机控制模块通过控制搭铁来控制输出电路，或者通过晶体管或被称为输出驱动器模块的设备来控制电源电路。

### 3. 电可擦可编程只读存储器（EEPROM）

电可擦可编程只读存储器（EEPROM）是发动机控制模块的主要部分。电可擦可编程只读存储器含有发动机控制模块为控制发动机操作所需的编程和校准信息。

为了对发动机控制模块重新编程，需要专用设备和车辆的正确程序和校准信息。

### 4. 数据链路连接器（DLC）

数据链路连接器（DLC）为发动机控制模块的诊断提供串行数据。此连接器允许技术人员使用故障诊断仪，以监测各种串行数据参数，并显示 DTC 信息。数据链路连接器位于驾驶室内、仪表板下面。

### 5. 故障指示灯（MIL）

故障指示灯（MIL）位于仪表板组合仪表（IPC）内部。故障指示灯由发动机控制模块控制，并在发动机控制模块检测到影响车辆排放的故障时点亮。

### 6. 发动机控制模块维修注意事项

设计的发动机控制模块能够承受车辆运行产生的正常电流。但是，必须小心，避免任何电路过载。在测试开路或短路时，切勿在发动机控制模块任何电路上搭铁或施加电压，除非诊断程序指明这样做。此类电路应只使用数字式万用表进行测试，除非诊断程序另有说明。

用于状态检查 / 保养程序的排放诊断

本车装备有 OBD II（第二代车载诊断系统），其设计能够诊断任何可能导致以下排放过量的故障：

- 碳氢化合物（HC）
- 一氧化碳（CO）
- 氮氧化物（NO<sub>x</sub>）
- 蒸发排放（EVAP）系统损耗

车载诊断系统检测到可能导致排放过量的故障，发动机控制模块点亮故障指示灯，并存储与故障相关的 DTC。

### 7. 相关故障码

- DTC P0601：控制模块只读存储器性能
- DTC P0602：控制模块未编程
- DTC P0603：控制模块长期存储器重置
- DTC P0604：控制模块随机存储器性能
- DTC P0606：控制模块处理器性能
- DTC P062B：控制模块喷油器控制性能
- DTC P062F：控制模块长期存储器性能
- DTC P0630：车辆识别号未编程或不匹配 - 发动机控制模块（ECM）
- DTC P16F3：控制模块冗余存储器性能
- DTC P262B：控制模块断电计时器性能

## 四、执行器

### 1. 燃油泵

#### (1) 功能与原理

威朗缸内喷射采用燃油系统采用电子无回路请求式设计。无回路燃油系统不使热燃油从发动机返回至油箱，以降低油箱的内部温度。燃油箱内部温度的降低导致较低的蒸发排放。

涡轮式电动燃油泵连接于燃油箱内的燃油箱燃油泵模块，通过燃油供油管向高压燃油泵供应燃油，其电路如图 9-2-12 所示。燃油箱燃油泵模块包括一个逆流单向阀。单向阀保持燃油供油管中的燃油压力，以防止启动时间过长。

燃油箱燃油泵模块包括以下主要部件：燃油油位传感器、燃油泵和储液罐总成、燃油滤网、限压调节阀、喷射泵。

限压调节阀取代了机械无回路燃油系统上使用的典型燃油压力调节器。在车辆正常运行时限压调节阀关闭。限压调节阀用于在高温时排出压力，也用于在燃油泵驱动器控制模块默认燃油泵 100% 脉冲宽度调制 (PWM) 时，起到燃油压力调节器的作用。由于燃油系统压力的偏差，限压调节阀的开启压力设置高于机械无回路燃油系统压力调节器的压力。

燃油泵由燃油驱动模块来驱动，其电路如图 9-2-12 所示。燃油泵驱动器控制模块是一个可维修的 GMLAN 模块。

当发动机控制模块检测到点火开关打开时，发动机控制模块 (ECM) 向燃油泵驱动器控制模块提供电压。除非发动机在启动或运行，否则发动机控制模块 (ECM) 向燃油泵驱动器控制模块提供电压 2s。

只要发动机启动或运行，发动机控制模块 (ECM) 就向燃油泵驱动器控制模块提供点火电压。只要发动机正在启动或运行且接收到点火系统参考脉冲，控制模块就会启用燃油泵驱动器控制模块。收到该启动电压时，燃油泵驱动器控制模块向内置式燃油泵模块发出一个可变电压，以保持所需的燃油管路压力。

燃油泵驱动器控制模块通过总线从发动机控制模块 (ECM) 处接收期望的燃油压力信息，用于控制位于油箱内的燃油泵，以达到期望的燃油压力，燃油实际压力由发动机控制模块 (ECM) 根据位于燃油供油管上的燃油压力传感器信息判定。燃油泵驱动器控制模块向燃油泵输送一个 25 千赫的脉宽调制信号，同时泵速根据该信号变化的占空比而改变。燃油泵最大供应电流为 15A，燃油泵驱动器控制模块监测燃油泵电压，以确定燃油泵是否按照指令正常运行。

#### (3) 故障诊断

1) 点火开关置于“OFF (关闭)”位置，断开燃油泵控制模块线束连接器。测量 1 号端子应有电源电压；开启车门，测量 7 号端子应有电源电压；将点火开关置于“ON (打开)”位置，测量 6 号端子应有电源电压；启动车，测量 7 号端子应有电源电压；否则，检查各线路是否开路及电源来源部件。

2) 检查 4、5 号线总线与发动机电脑的连通性。

3) 检查 9 号线的接地性能。

4) 给 8 号、16 号端子上电，检查电机运转性能。

5) 若以上均正常，则更换燃油泵控制模块，或更换发动机控制模块。

#### (3) 相关故障码

DTC P129D: 燃油泵驱动器控制模块点火打开 / 起动开关电路电压过低

DTC P12A6: 燃油泵驱动器控制模块启用电路性能

DTC P2635: 燃油泵流量性能

DTC P0627: 燃油泵启用电路

DTC P0628: 燃油泵启用电路电压过低

DTC P0629: 燃油泵启用电路电压过高

DTC P0231: 燃油泵控制电路电压过低

DTC P0232: 燃油泵控制电路电压过高

DTC P023F: 燃油泵控制电路

## 2. 高压油泵与油压调节阀

### (1) 功能与原理

直接喷射系统所需的高燃油压力由高压燃油泵提供。高压燃油泵安装在发动机后部，由凸轮轴上的一个四凸角凸轮驱动。此高压燃油泵还将执行器用作内部电磁阀（燃油压力调节器）来调节燃油压力，电路如图 9-2-11 所示。为保持发动机在任何工作条件下都可以高效运行，发动机控制模块（ECM）根据发动机转速和负载的不同，请求 2 到 20MPa（290 到 2,900PSI）的压力。发动机控制模块的输出驱动器为高压燃油泵控制电路提供一个 12V 脉宽调制（PWM）信号，该信号通过在泵行程期间的特定时段打开和关闭控制阀来调节燃油压力如图 9-2-14 所示。这可有效调节泵的每一次行程中传送到燃油导轨的燃油部分。

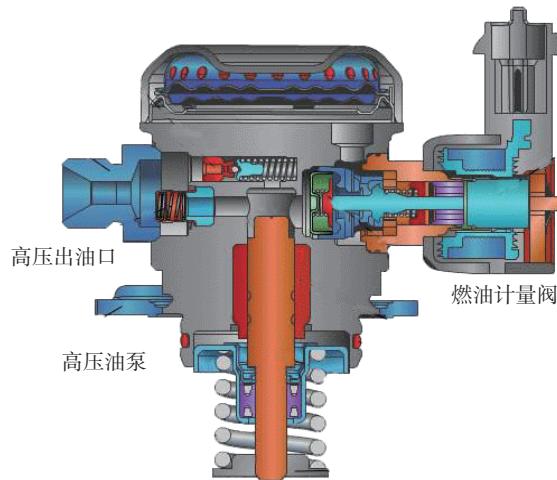


图 9-2-14 高压燃油泵

高压燃油泵为常闭泵，在控制电磁阀未通电的情况下泵将以最小流量工作。当出现泵控制故障时，泵内的泄压阀将保护高压系统，防止压力超过 24mPa（3, 481psi）。

发动机控制模块监测燃油导轨压力传感器以确定在发动机启动期间以及发动机运行的任何时段内，指令的压力和实际的压力是否在预定范围内。发动机控制模块同时监测高压燃油泵电磁阀，确保其在期望的限值内工作。

### (2) 相关故障码

- DTC P0089: 燃油压力调节器性能
- DTC P00C6: 发动机启动时，燃油导轨压力过低
- DTC P228C: 燃油压力调节器控制性能—压力过低
- DTC P228D: 燃油压力调节器控制性能—压力过高
- DTC P0090: 燃油压力调节器控制电路
- DTC P0091: 燃油压力调节器控制电路电压过低
- DTC P0092: 燃油压力调节器控制电路电压过高
- DTC P00C8: 燃油压力调节器高电平控制电路
- DTC P00C9: 燃油压力调节器高电平控制电路电压过低
- DTC P00CA: 燃油压力调节器高电平控制电路电压过高
- DTC P163A: 控制模块燃油压力调节器 1 控制系统电路性能

## 3. 高压喷油器

### (1) 功能与原理

燃油喷射系统采用高压、直接燃油喷射、无回路请求式设计。喷油器安装在气缸盖的吸气和进气口，且直接把燃油喷洒进燃烧室。由于喷油器位于燃烧室中，直接燃油喷射需要高的燃油压力。燃油压力必须高于压缩压力，需要一个高压燃油泵。由于高的燃油压力，喷油器还需要更多电源。发动机控制模块向每一个喷油器提供高电压电源电路和高电压控制电路。燃油喷射器高电压电源电路和高电压控

制电路都由发动机控制模块来控制，如图 9-2-10 所示。发动机控制模块通过为控制电路提供搭铁，使每一个喷油器通电。发动机控制模块使用 65V 电压来控制各喷油器。该电压由发动机控制模块中的升压电容来控制。在 65V 升压阶段中，此电容通过一个燃油喷射器放电，从而使燃油喷射器实现初始开启。之后燃油喷射器在 12V 下保持开启。

喷油器总成是一个内开电磁喷油器。燃油喷射器钻有六个精密的孔，形成一个锥体形状的椭圆锥形。喷油器有一个长细端头以便让气缸盖中有足够的冷却套管。

发动机控制模块监测来自多个传感器的电压信号，以确定提供给发动机的燃油量。发动机控制模块通过改变喷油器脉宽以控制输送至发动机的燃油量。高压燃油导轨内燃油压力将对喷油器的脉宽起到重要的作用，发动机控制模块通过燃油压力传感器感知燃油压力信息。

#### (2) 相关故障码

DTC P0201: 气缸 1 喷射器控制电路  
DTC P0201: 气缸 2 喷射器控制电路  
DTC P0201: 气缸 3 喷射器控制电路  
DTCP0204: 气缸 4 喷射器控制电路  
DTCP0261: 气缸 1 喷射器控制电路电压过低  
DTCP0262: 气缸 1 喷射器控制电路电压过高  
DTCP0264: 气缸 2 喷射器控制电路电压过低  
DTCP0265: 气缸 2 喷射器控制电路电压过高  
DTCP0267: 气缸 3 喷射器控制电路电压过低  
DTCP0268: 气缸 3 喷射器控制电路电压过高  
DTCP0270: 气缸 4 喷射器控制电路电压过低  
DTCP0271: 气缸 4 喷射器控制电路电压过高  
DTP1248C: 气缸 1 喷油器高电平控制电路对控制电路短路  
DTCP1249: 气缸 2 喷油器高电平控制电路对控制电路短路  
DTCP124A: 气缸 3 喷油器高电平控制电路对控制电路短路  
DTCP124B: 气缸 4 喷油器高电平控制电路对控制电路短路  
DTCP2147: 气缸 1 喷射器高电平控制电路电压过低  
DTCP2148: 气缸 1 喷射器高电平控制电路电压过高  
DTCP2150: 气缸 2 喷射器高电平控制电路电压过低  
DTCP2151: 气缸 2 喷射器高电平控制电路电压过高  
DTCP2153: 气缸 3 喷射器高电平控制电路电压过低  
DTCP2154: 气缸 3 喷射器高电平控制电路电压过高  
DTCP2156: 气缸 4 喷射器高电平控制电路电压过低  
DTCP2157: 气缸 4 喷射器高电平控制电路电压过高

## 4. 点火线圈

### (1) 功能与原理

电子点火系统产生并控制高能量的次级火花。在精确的时刻，此火花可点燃压缩的空气 / 燃油混合气。提供最佳的性能、燃油经济性和废气排放控制。

该发动机上的点火系统的每个气缸使用单独的线圈。点火线圈电路如图 9-2-8 所示。每个点火线圈有一个点火电压和一个搭铁电路。发动机控制模块 (ECM) 提供一个低电平参考电压和一个点火控制 (IC) 电路。每个点火线圈包含一个固态的驱动器模块。发动机控制模块指令点火控制 (IC) 电路接通，使电流流入初级线圈绕组。发动机控制模块指令点火控制 (IC) 电路断电时，将会中断流过初级线圈绕组的电流。由初级绕组形成的磁场将与次级线圈绕组的磁力线交叉，产生一个穿过火花塞电极的高压。

发动机控制模块使用来自曲轴位置传感器、凸轮轴位置传感器的信息，来控制点火事件的顺序及正时。发动机控制模块监测每个点火控制电路上的异常电平。

### (2) 相关故障码

DTC P0351: 点火线圈 1 控制电路

DTC P0352: 点火线圈2 控制电路  
DTC P0353: 点火线圈3 控制电路  
DTC P0354: 点火线圈4 控制电路  
DTC P2300: 点火线圈1 控制电路电压过低  
DTC P2301: 点火线圈1 控制电路电压过高  
DTC P2303: 点火线圈2 控制电路电压过低  
DTC P2304: 点火线圈2 控制电路电压过高  
DTC P2306: 点火线圈3 控制电路电压过低  
DTC P2307: 点火线圈3 控制电路电压过高  
DTC P2309: 点火线圈4 控制电路电压过低  
DTC P2310: 点火线圈4 控制电路电压过高

### 5. 电子油门

#### (1) 功能与原理

发动机控制模块(ECM)是节气门执行器控制(TAC)系统的控制中心。发动机控制模块根据加速踏板位置传感器的输入确定驾驶员的意图,然后根据节气门位置传感器计算相应的节气门响应量。发动机控制模块通过向节气门执行器电机提供脉宽调制电压,实现节气门定位。节气门在两个方向都受弹簧负载,默认位置为微开。电路如图9-2-6所示。

#### (2) 相关故障码

DTC P1516: 节气门执行器控制(TAC)模块节气门执行器位置性能  
DTC P2101: 节气门执行器位置性能  
DTC P2119: 节气门关闭位置性能  
DTC P2176: 最小节气门位置未读入

### 6. 涡轮增压器与涡轮旁通阀

#### (1) 功能与原理

涡轮增压器属于强制进气设备,用于增加内燃机的功率输出。通过使用废气作用力压缩进气,与具有相同排量的自然吸气发动机相比,涡轮增压发动机能够产生更高的功率和效率。双涡旋式涡轮增压器安装在排气歧管上,轻质涡轮由废气流产生的废气能量驱动。涡轮通过一条轴连接至压缩机,压缩机安装在发动机的进气系统中。压缩机叶片将进气压缩至大气压力以上,从而大大增加了进入发动机的空气密度,涡轮增压的压力由增压压力传感器检测。

涡轮增压器带有一个由发动机控制模块(ECM)通过脉宽调制(PWM)电磁阀控制的排气泄压阀(电路如图9-2-9所示),用于调节压缩机的压力比。

由发动机控制模块通过远程安装的电磁阀控制的集成涡轮增压器旁通阀,用于防止节气门从打开到突然关闭时,冲击和损坏压缩机。旁通阀在节气门关闭的减速情况下打开,使空气在涡轮增压器中进行再循环并维持压缩机转速。在节气门全开指令期间,旁通阀关闭以优化涡轮增压响应。

涡轮增压器通过供油管和排油管连接至发动机供油系统,合成油为出厂安装油。采用合成油是因为其具有低摩擦和高温性能。涡轮增压器中有一个冷却系统电路,利用发动机冷却液进一步降低工作温度。

#### 1) 涡轮增压器排气泄压电磁阀

排气泄压阀打开和关闭涡轮盘侧的旁通通道。发动机控制模块通过改变脉宽调制信号来改变排气泄压阀的开度,从而调节涡轮转速。

在怠速时和低负载时,排气泄压阀关闭。然后,所有废气通过涡轮。

正常工作期间,如果在发动机低速运转时要求节气门全开,则发动机控制模块(ECM)以100%的占空比指令排气泄压电磁阀最大程度地减轻涡轮迟滞。发动机以中速及高速负荷运行期间,发动机控制模块(ECM)以约65%的占空比指令电磁阀工作。

在高负载时,废气量更大,使涡轮盘旋转更快。这就向发动机提供了更大的空气位移。当空气位移变得如此之大,而无法只使用节气门控制每次燃烧的当前空气质量时,必须调节涡轮。这可通过打开排气泄压阀使一些废气通过排气泄压阀来实现。因此,该气体不会驱动涡轮,涡轮速度将被调节从

而使涡轮空气位移正确。

当设置了某些 DTC 时，发动机控制模块将限制增压程度。发动机控制模块通过控制排气泄压阀执行器电磁阀并将占空比维持在 0% 来限制增压。这意味着在更大的发动机负荷期间，发动机控制模块不会主动打开排气泄压阀。此时系统限制为机械增压。机械增压意味着排气泄压阀仍会移动，但运动量由隔膜阀内的复位弹簧机的机械特性、执行器的气动特性以及排气系统中废气流的物理特性所限制。涡轮增压器排气泄压阀隔膜阀总成配有将阀门膜片连接至排气泄压阀的螺杆和螺母。该螺杆已调整至出厂规格，且不可调节。

### 2) 涡轮增压器旁通电磁阀

涡轮增压器旁通阀（电路如图 9-2-9 所示）避免涡轮在低流量和高压时超出泵限制。这种情况会在发动机带负载运行，同时节气门突然关闭时发生。在这种情况下，流量几乎为零，同时压力非常高。这不仅会损坏涡轮增压器，而且还会产生噪声并减慢涡轮速度。发动机控制模块向电磁阀输出驱动器提供电压信号来调节打开或关闭阀门的位置。

#### ①加速踏板压下

旁通阀闭合。安装在阀门中的回位弹簧力挤压阀锥，将阀座压入涡轮壳体中。阀门关闭。

#### ②加速踏板释放

为了避免进气歧管中的压力峰值并使涡轮卸荷或超限，发动机控制模块将发送电压信号给旁通阀，然后该阀门将打开。涡轮压力侧的压缩空气通过打开的阀门进入进气管。当压力下降时，涡轮速度可以保持相对较高，同时防止涡轮增压器超出泵限制。

### 3) 增压空气冷却器

涡轮增压器由空气增压空气冷却器系统提供支持，该系统利用通过热量交换器吸入的新鲜空气降低强制通过进气系统的温度较高的压缩空气温度。进气温度可以降低达 100°C，从而提高性能，改善了燃烧状况。

增压空气冷却器由需要使用专用高扭矩固定卡箍的柔性管件连接至涡轮增压器和节气门体上。在进行管道维修作业时，为了防止任何类型的空气泄漏，必须严格遵守紧固规格和正确的卡箍位置，这至关重要。

#### (2) 相关故障码

- DTC P0033: 涡轮增压器旁通电磁阀控制电路
- DTC P0034: 涡轮增压器旁通电磁阀控制电路电压过低
- DTC P0035: 涡轮增压器旁通电磁阀控制电路电压过高
- DTC P0234: 发动机增压过高
- DTC P0299: 发动机增压不足
- DTC P0236: 涡轮增压器增压传感器性能
- DTC P0243: 涡轮增压器排气泄压电磁阀控制电路
- DTC P0245: 涡轮增压器排气泄压电磁阀控制电路电压过低
- DTC P0246: 涡轮增压器排气泄压电磁阀控制电路电压过高
- DTC P2261: 涡轮增压器旁通阀卡滞

## 7. 进气歧管调节阀

### (1) 功能原理

进气歧管调节阀（电路如图 9-2-10 所示）控制进气歧管中进气通路的长度。进气歧管包含长、短两条通路。调节阀进控制短通路。当调节阀闭合时，短通路封闭，迫使空气通过长通路。由此而形成的调节效果增加了发动机在低转速时的输出扭矩。当调节阀打开时，长、短通路均开启，但是大部分空气将流经短通路，因为空气会很自然地流向通往气缸的最短路径。这样，空气流经短通路，增加了发动机转速较高时的扭矩。

直接向进气歧管调节电磁阀提供点火电压。发动机控制模块（ECM）通过被称为驱动器的固态装置使控制电路搭铁，以控制电磁阀。驱动器中配备了连接到电压的一个反馈电路。发动机控制模块监测反馈电压信号，以确定控制电路是否开路、对搭铁短路或对电压短路。

### (2) 相关故障码

- DTC P0660: 进气歧管调节控制阀控制电路

DTC P0661: 进气歧管调节控制阀控制电路电压过低

DTC P0662: 进气歧管调节控制阀控制电路电压过高

## 8. 凸轮轴位置电磁阀

### (1) 功能原理

#### 1) 系统说明

发动机正在运行时，“凸轮轴位置执行器电磁阀—进气”和“凸轮轴位置执行器电磁阀—排气”系统（电路如图 9-2-7 所示）启用发动机控制模块（ECM）以改变凸轮轴的正时。凸轮轴位置执行器总成根据机油压力方向的变化改变凸轮轴位置。“凸轮轴位置执行器电磁阀—进气”和“凸轮轴位置执行器电磁阀—排气”控制着使凸轮轴提前或延迟的机油压力。改变发动机指令修正凸轮轴正时，可在以下有关性能之间提供更好的平衡：

- 发动机功率输出
- 燃油经济性
- 降低废气排放

发动机控制模块根据以下传感器的信息计算期望的凸轮轴位置：

- 发动机冷却液温度（ECT）传感器
- 质量空气质量流量（MAF）传感器
- 节气门位置传感器
- 车速传感器（VSS）

#### 2) 凸轮轴位置执行器系统的操作

发动机控制模块（ECM）通过电磁线圈的脉宽调制（PWM），来操作“凸轮轴位置执行器电磁阀—进气”和“凸轮轴位置执行器电磁阀—排气”。脉宽调制占空比越高，凸轮轴正时的改变越大。

施加于固定叶片提前侧的机油压力，将使凸轮轴顺时针方向旋转。凸轮轴的顺时针运动将使正时提前到最大值 21°。当机油压力施加到叶片的返回侧时，凸轮轴将逆时针旋转直到返回到 0°。发动机控制模块（ECM）也能指令“凸轮轴位置执行器电磁阀—进气”和“凸轮轴位置执行器电磁阀—排气”停止来自两个通道的机油流动，从而保持当前的凸轮轴位置。

发动机控制模块（ECM）持续对“凸轮轴位置传感器—进气”和“凸轮轴位置传感器—排气”的输入与“凸轮轴位置执行器电磁阀—进气”和“凸轮轴位置执行器电磁阀—排气”的输入进行比较，以此来监测凸轮轴位置并检测系统故障。表 9-2-1 提供了常规行驶条件下的凸轮轴相位指令。

表 9-2-1 常规行驶条件下的凸轮轴相位指令

行驶条件	凸轮轴位置的改变	目标	结果
待用	不做更改	将气门重叠角降至最小	怠速转速稳定
发动机轻载	延迟气门正时	减少气门重叠角	发动机输出稳定
发动机中等负载	提前气门正时	增加气门重叠角	燃油经济性提高、排放降低
重载时，高转速	延迟气门正时	延迟进气门关闭	发动机输出提高

### (2) 相关故障码

DTC P0010: 进气凸轮轴位置执行器电磁阀控制电路

DTC P0013: 排气凸轮轴位置执行器电磁阀控制电路

DTC P2088: 进气凸轮轴位置执行器电磁阀控制电路电压过低

DTC P2089: 进气凸轮轴位置执行器电磁阀控制电路电压过高

DTC P2090: 排气凸轮轴位置执行器电磁阀控制电路电压过低

DTC P2091: 排气凸轮轴位置执行器电磁阀控制电路电压过高

DTC P0011: 进气凸轮轴位置系统性能

DTC P0014: 排气凸轮轴位置系统性能

DTC P0016: 曲轴位置—进气凸轮轴位置不合理

DTC P0017: 曲轴位置—排气凸轮轴位置不合理

## 9. 活性炭罐电磁阀

### (1) 功能原理

蒸发排放 (EVAP) 控制系统限制燃油蒸气逸出到大气中。由于燃油箱内的压力, 燃油箱蒸气可从燃油箱经过燃油蒸气管流入蒸发排放炭罐。炭罐中的炭吸附并存储燃油蒸气。多余的压力从通风管和蒸发排放进气口排入大气环境中。蒸发排放 (EVAP) 炭罐储存燃油蒸气直至发动机能够使用这些蒸气。在适当的时间, 发动机控制模块 (ECM) 将指令蒸发排放吹洗电磁阀打开, 使发动机真空施加到蒸发排放 (EVAP) 炭罐中。新鲜空气从蒸发排放进气口和通风管吸进蒸发排放炭罐。吸入的新鲜空气从蒸发排放炭罐流过, 带走炭中的燃油蒸气。空气 / 燃油蒸气混合物继续从蒸发排放吹洗管和蒸发排放吹洗电磁阀流入进气歧管, 以在正常燃烧期间消耗掉。

蒸发排放吹洗电磁阀 (电路如图 9-2-10 所示) 控制蒸气从蒸发排放系统到进气歧管的流动。该常闭电磁阀由发动机控制模块进行脉冲宽度调制 (PWM), 以精确控制流入发动机的燃油蒸气流量。

### (2) 相关故障码

DTC P0443: 蒸发排放吹洗电磁阀控制电路

DTC P0458: 蒸发排放 (EVAP) 吹洗电磁阀控制电路电压过低

DTC P0459: 蒸发排放 (EVAP) 吹洗电磁阀控制电路电压过高

## 10. 点火继电器

### (1) 功能说明

有 3 个点火电压电路提供给发动机控制模块 (ECM), 如图 9-2-2 所示。两个由发动机控制点火继电器供电, 另一个由点火主继电器供电。发动机控制模块监控和比较这 2 个继电器提供的点火电压。

### (2) 相关故障码

DTC P16A7: 发动机控制点火继电器反馈电路 2

DTC P16AF: 发动机控制点火继电器反馈电路 2 电压过低

DTC P16B3: 发动机控制点火继电器反馈电路 2 电压过高

DTC P0685: 发动机控制点火继电器控制电路

DTC P0686: 发动机控制点火继电器控制电路电压过低

DTC P0687: 发动机控制点火继电器控制电路电压过高

DTC P0689: 发动机控制点火继电器反馈电路电压过低

DTC P0690: 发动机控制点火继电器反馈电路电压过高

DTC P1682: 点火 1 开关电路 2

## 五、其他控制逻辑

### 1. 缺火检测

#### (1) 功能原理

发动机控制模块 (ECM) 利用来自曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器的信息来确定何时发生发动机气缸缺火。发动机控制模块通过监测各气缸曲轴转速的变化, 可以检测各个气缸缺火事件。

气缸极度缺火事件可能造成催化转化器损坏。当催化转化器损坏时, 故障指示灯 (MIL) 将闪烁。DTC P0301 到 P0304 对应于气缸 1 到 4。当发动机控制模块检测到一个或多个特定气缸缺火时, 将设置各缺火气缸的 DTC, 并禁用 2 个 (最多) 对应的喷油器至少 30s。然后, 发动机控制模块将重新启用喷油器, 并在发动机运转 200 转左右后, 确定是否依然存在缺火。如果仍然缺火, 则发动机控制模块将再次停用喷油器, 并重复该程序。如果缺火不存在, 则发动机控制模块将使喷油器保持为启用状态。在火花点火直接喷射 (SIDI) 系统应用场合下, 如果在缺火事件中设置了喷油器 DTC, 则发动机控制模块将不再重新启用喷油器。

发动机控制模块 (ECM) 通过检测点火行程之间曲轴减速度的变化, 识别发动机缺火情况。为准确检测发动机缺火, 发动机控制模块必须区别由实际缺火引起的曲轴减速和由路面不平引起的曲轴减速。防抱死制动系统 (ABS) 根据每个车轮转速传感器提供的车轮加速度 / 减速度数据, 可以检测出

车辆行驶的路面是否不平。如果电子制动控制模块（EBCM）检测到路面不平的程度超过预定阈值，它会将该信息发送至发动机控制模块（ECM）。发动机控制模块在计算发动机缺火时将利用该信息。如果防抱死制动系统（ABS）发生故障且无法检测不平路面，则缺火诊断也将继续运行；但是，如果设置了某个发动机缺火 DTC，则该 DTC 的设置也表示不平路面数据不可用或在缺火计算时因防抱死制动系统（ABS）故障而无法与电子制动控制模块（EBCM）通信。

### （2）相关故障码

DTC P0300：检测到发动机缺火

DTC P0301：检测到气缸 1 缺火

DTC P0302：检测到气缸 2 缺火

DTC P0303：检测到气缸 3 缺火

DTC P0304：检测到气缸 4 缺火

DTC P1380：检测到缺火和无路面不平数据

DTC P1381：检测到缺火和与制动控制模块失去通信

## 2. 三效催化转化器性能检测

三效催化转化器控制碳氢化合物（HC）、一氧化碳（CO）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>）的排放。转换器内的催化剂能加快化学反应，氧化排气中的碳氢化合物和一氧化碳。该过程将碳氢化合物和一氧化碳转换为水蒸汽和二氧化碳（CO<sub>2</sub>），并且将氮氧化物转换为氮，从而降低氮氧化物的含量。催化转化器同时也储存氧。发动机控制模块（ECM）用加热型氧传感器（HO<sub>2</sub>S）监测该过程。加热型氧传感器位于三效催化转化器前后的废气气流中。发动机控制模块利用加热型氧传感器产生的输出信号计算催化转化器的氧存储量。这可以用来指示催化剂有效转换排气的能力。发动机控制模块通过在非怠速的减速燃油切断事件过程中监测加热型氧传感器来监测催化剂的效率。当催化剂正常工作时，与催化剂之前的加热型氧传感器相比，催化剂之后的加热型氧传感器在减速燃油切断事件过程中对燃油状态的响应要慢一些。当后加热型氧传感器的反应接近前加热型氧传感器时，储氧能力和催化剂效率可能会降低到可接受的阈值以下。

相关故障码：

DTC P0420：催化剂系统效率过低

## 3. 车速限制说明

当车辆最高速度被限制为指示的速度时，将显示信息。当车速降至指示限制车速的 5kph 以下时，该信息将不再显示。限制车速可保护各种推进和车辆系统，例如润滑、热系统、悬架、年轻驾驶员或轮胎。

### （1）限制车速的功能

发动机控制模块（ECM）取下列最低值来确定最终的限制车速。当车辆置于驻车档或空档时，车速不受限制。

- 轮胎等级
- 传动轴 / 分动箱转速
- 润滑不足保护
- 电动电机转速
- 动力总成热保护
- 柴油排放处理液法定限制
- 代客或年轻驾驶员模式
- 安吉星系统被盗车辆功能
- 市售卡车 / 租赁车限速
- 动力总成控制系统故障
- 制动系统故障
- 减振系统故障
- 高度调节系统故障

### （2）系统部件

#### 1) 发动机控制模块（ECM）

发动机控制模块监测串行数据上来自各模块的输入，选择最低的最高速度限制请求，以确定最终的限制最高速度值。

2) 车身控制模块 (BCM)

车身控制模块监测来自串行数据通信模块 (下列) 的最高速度限制请求以及内部设置值 (轮胎、传动轴、代客模式、年轻驾驶员限制) 来确定最小的最高速度限制，并将该值发动给发动机控制模块，以确定最终的最高速度限制。

3) 电子制动控制模块 (EBCM)

电子制动控制模块 (EBCM) 监测制动系统，以确定是否应将速度限制信号发送至车身控制模块 (BCM)。

4) 悬架和减振系统

悬架和减振系统监测主动式悬架，以确定是否应将速度限制信号发动至车身控制模 (BCM)。

5) 安吉星增强服务

安吉星模块与安吉星通信，以确定是否应将速度限制信号发送至 ECM。

6) 高度自动调节控制装置

高度自动调节控制装置监测高度调节系统，以确定是否应将速度限制信号发送至车身控制模块 (BCM)。

7) 集成式底盘控制模块

集成式底盘控制模块监测底盘控制装置，以确定是否应将速度限制信号发送至车身控制模块 (BCM)。

8) 后传动系控制模块 / 分动箱控制模块

后传动系控制模块 / 分动箱控制模块 (EBCM) 监测后传动系或分动箱，以确定是否应将速度限制信号发送至车身控制模块 (BCM)。

9) 变速器控制模块

变速器控制模块监测变速器，以确定是否应将速度限制信号发送至发动机控制模块 (ECM)。

10) 驾驶员信息中心

当车辆最高速度受限时，驾驶员信息中心将提示驾驶员。

## 版权说明

- 北方国际汽车教育对本教材或课件（包括但不限于相关的产品、服务、信息、材料）拥有版权等知识产权，受法律保护。
- 未经北方国际汽车教育书面许可，任何单位及个人不得以任何方式或理由对上述教材或课件（包括但不限于产品、服务、信息、材料）的任何部分进行使用、复制、修改、抄录、传播或与其它产品捆绑使用、销售。
- 凡侵犯北方国际汽车教育版权等知识产权的，公司必依法追究其法律责任。

中职北方智扬（北京）教育科技有限公司

## Copyright Notice

All reserved by Beifang International Automobile Education. Any reproduction, dissemination, transmission, forwarding, publishing, and using or selling the bundled with other products is strictly prohibited without the express written permission of Beifang International Automobile Education.

Chian Vocational Training beifang Zhiyang (Beijing) Education Technology Co., Ltd.