

第 1 章

发动机电控系统概述

【知识目标】

了解发动机电子控制技术的发展及趋势；了解发动机电控技术及其应用；熟悉发动机电子控制系统的组成；掌握发动机电控系统主要传感器的结构及工作原理；了解电子控制单元及执行器。

【技能目标】

能够对发动机电控系统主要传感器进行检测。



1.1 汽车电子技术的发展

汽车电子技术的发展是从 20 世纪 50 年代末开始的,大致经历了四个发展阶段。

第一阶段,从 20 世纪 50 年代末到 70 年代中期,这一阶段的基本特点是电子产品和电子装置、模拟电路控制的发动机汽油喷射控制系统及其他控制系统开始在汽车上得到应用。

1960 年,美国通用汽车公司(GM)开始采用 IC 电子调节器,并于 1967 年以后将其应用到所有车中。1973 年,美国通用汽车公司开始采用电子点火装置,此后被逐渐普及。1974 年起,通用公司开始装备加大火花塞电极间隙、增强点火能量的高能点火系统,并力图将分电器、点火线圈和电子控制电路融为一体。真正的电子控制点火系统是由美国克莱斯勒汽车公司于 1976 年首创的,称为电子式稀混合燃烧系统(ELBS),它根据进气温度、冷却水温、转速、负荷等,由控制器(微型计算机)计算出最佳点火时刻,并指令点火。

第二阶段,从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,这一阶段的基本特点是集成电路和 16 位以下的微处理器在汽车上得到了广泛应用,仅具有某种单一控制功能的电控系统在汽车各系统和汽油机的电子控制系统中得以应用。

随着单片机技术的发展,出现了 16 位单片机,使得单一功能的控制技术被整机集中控制取代,同时实现了优化的点火正时和精确的空燃比控制。如日产汽车公司开发了能综合控制喷油、点火时刻、废气再循环、空燃比和怠速,并具有自我诊断功能的综合控制系统。

第三阶段为 1982—1995 年,这一阶段的基本特点是以微型计算机作为控制核心,能够实现多种控制功能的计算机集中管理系统逐步取代以前各自独立的电子控制系统,汽车电控系统的功能得到进一步拓展。

20 世纪 80 年代后期,高性能的 16 位单片机出现(如 MCS-96),适用于更加复杂的实时处理系统。高性能 16 位单片机丰富的软硬件资源和强大的性能可以使发动机的控制策略更加丰富和完善,特别是增强了系统的自学习、故障诊断及失效保护等方面的功能。

20 世纪 90 年代,23 位单片机开始逐步得到应用,硬件上还采用了可编程逻辑阵列、数字信号处理(DSP)技术、微处理器外围芯片大规模集成化等电子技术。硬件功能的增强使得控制系统向整车方向发展,如别克轿车采用了多种电子控制系统:动力总成(含发动机和变速箱)控制系统(PCM)、防抱死制动与牵引力控制系统(EBC/EBTCM)、安全气囊系统(SRS)、车身控制系统(BCM)等,其中 PCM 采用无分电器点火系统(DSI)和进气道多点顺序喷射系统。发动机控制包括空燃比、燃油蒸发净化(EVAP)、怠速、废气再循环(EGR)、冷却风扇、空调离合器、点火提前角和点火闭合期。变速控制包括自动换挡等。

第四阶段为 1995 年以后,这一阶段的基本特点是 CAN 总线技术和高速车用微型计算机在汽车上的广泛应用,汽车电控系统对高复杂程度使用要求控制能力的提高,为汽车电子控制从电子控制向智能化电子控制系统发展创造了条件。

由于汽车上的电子电器装置数量的急剧增多,为了减少连接导线的数量和重量,网络、总线技术在此期间有了很大发展。总线技术是将各种汽车电子装置连接成为一个网络,通过数据总线发送和接收信息。电子装置除了独立完成各自的控制功能外,还可以为其他控制装置提供数据服务。由于使用了网络化的设计,简化了布线,减少了电气节点的



数量和导线的用量,使装配工作更为简化,同时也增加了信息传送的可靠性。通过数据总线可以访问任何一个电子控制装置,读取故障码对其进行故障诊断,使整车维修工作变得更为简单。

从2005年开始,微波系统、多路传输系统、ASKS-32位微处理器、数字信号处理方式的应用,使通讯与导航协调系统、自动防撞系统、动力最优化系统、自动驾驶与电子地图技术得到发展。汽车电子技术的应用使汽车更加智能化。智能汽车装备有多种传感器,能够充分感知驾车者和乘客的状况,交通设施和周边环境的信息,判断乘员是否处于最佳状态,车辆和人是否会发生危险,并及时采取对应措施。

2008年,汽车电子技术发展的方向向集中综合控制发展:将发动机管理系统和自动变速器控制系统,集成为动力传动系统的综合控制(PCM);将制动防抱死控制系统(ABS)、牵引力控制系统(TCS)和驱动防滑控制系统(ASR)综合在一起进行制动控制;通过中央底盘控制器,将制动、悬架、转向、动力传动等控制系统通过总线进行连接。控制器通过复杂的控制运算,对各子系统进行协调,将车辆行驶性能控制到最佳水平,形成一体化底盘控制系统(UCC)。

在发动机的控制理论方面,发动机的控制从传统的查表法和PID控制法向最优控制、自适应控制以及神经网络控制、模糊控制等现代控制理论方向发展,使智能控制在发动机控制中的应用成为一个研究热点。

1.2 汽车发动机电子控制技术的发展

汽车电子化进程早在20世纪60年代就已经开始,但汽车电子化是以汽油机电控技术的应用为标志的,发动机是汽车中最早实现电子控制的总成部件,电子控制技术在发动机上的应用带动和促进了汽车电子控制技术的发展。发动机集中管理系统的成功开发,使汽车电子技术迈向集中控制技术的新高点。

1.2.1 汽油机电控技术的发展

汽油机电控技术的发展起因是人们对汽油机性能的要求。人们对发动机动力性的期望,促使汽车工程师把飞机发动机燃油喷射技术移植到车用汽油机上。人们对降低发动机燃油消耗和有害物排放量的要求,促成汽油机走上了电子控制的发展道路。从机械控制汽油喷射到发动机集中管理系统,汽油机控制技术在近50年的时间里,经历了三个技术发展阶段。

第一阶段为1952—1958年,这一阶段的主要特征是以提高发动机动力性为主要目的,把飞机发动机燃油喷射技术移植到汽车发动机上,汽油机走上了汽油喷射的发展道路。1952年,博世(Bosch)公司研制成功第一台机械控制缸内喷射汽油机,并成功地安装在戴姆勒-奔驰(Daimler-Benz)300L型赛车上。1958年,Bosch公司研制成功了机械控制进气管喷射汽油机,并成功地安装在梅赛德斯-奔驰(Mercedes-Benz)220S型轿车上。机械控制汽油喷射技术的研制成功,不仅提高了汽车的动力性,而且为以后电子控制汽油喷射技术的开发提供了宝贵经验。



第二阶段为 1958—1979 年,这一阶段的主要特征是以减少有害物排放及降低能耗为主要目的,以空燃比精确控制为基本措施的各种电子控制汽油喷射系统相继开发成功,汽油机运行控制进入电子控制的新阶段。在这一阶段,汽油喷射控制实现了从机械控制到数字电路控制的发展,为汽油机电控的开发奠定了基础。

1957 年,美国奔德士(Bendix)公司成功研制了由真空管电子控制系统控制的汽油喷射装置,德国 Bosch 公司在此基础上进行改进,开发出了 D-Jetronic 电控汽油喷射系统,并于 1967 年开始批量生产安装 D-Jetronic 电控汽油喷射系统的 VW1600 型轿车,大大降低了有害物排放量。为解决 D 型喷射装置存在的系统精度较低、排放难以控制的问题,1972 年, Bosch 公司推出了 L-Jetronic 燃油喷射装置,可直接测量进气量以控制燃油喷射。

1977 年,美国通用公司推出最早的数字控制点火系统,称为迈塞(MISA)R 微机点火和自动调节系统。福特公司则首先开发了同时控制点火时刻、废气再循环和二次空气的发动机电控系统。1978 年美国通用公司研制成功了同时具有点火时刻控制、空燃比反馈控制、废气再循环控制、怠速转速控制、故障自诊断和带故障运行控制功能的电子控制系统。

第三阶段为 1979 年以后,这一阶段的主要特征是以微机为控制核心的发动机集中管理系统在汽油机中得到广泛应用,发动机集中管理的控制功能不断拓展,使汽油机的综合性能得到了全面的提高。

1979 年,德国 Bosch 公司在 L-Jetronic 系统的基础上,将电控点火系统和电控燃油喷射系统组合在一起,开发出了 M-Motronic 系统,即发动机集中管理系统。发动机集中管理系统将所有发动机运行控制和管理功能集中到一个微机上,消除了以前的单一控制系统按控制功能设置控制单元和传感器的弊病,对于不同控制功能共同需要的传感器,只要设置一个共用传感器就能满足控制要求,不仅简化了控制系统,降低了制造成本,而且提高了控制系统的工作可靠性。1981 年, Bosch 公司在 L-Jetronic 系统的基础上开发出了 LH-Jetronic 系统。该系统采用热线式空气流量计,能直接测出进入发动机空气的质量流量。1987—1989 年, Bosch 公司又相继开发出了用于中小型乘用车的电控单点汽油喷射系统,即 Mono-Jetronic 系统和 Mono-Motronic 系统。

20 世纪 90 年代,为了满足更加严格的排放指标和根据《京都议定书》确定的分阶段降低汽车 CO 排放量的要求,世界各国主要汽车公司逐步增加发动机集中管理系统的控制功能,这样既满足了当时排放法规的要求,还加大了能满足未来排放法规要求的开发力度。1995 年,日本三菱公司(MIT-SUBISHU)汽车公司开发了电控缸内直喷汽油机,即 GDI 系统。它采用汽油缸内直喷技术,可以实现汽油机的分层稀薄燃烧,有利于大幅度降低汽油机的燃油消耗和有害物排放,是 21 世纪汽油机发展的主要方向。在此期间, Bosch 公司也开发成功了具有节气门控制功能的 Me-Motronic 系统和采用缸内直喷技术的 MED-Motronic 系统。

我国在汽油机电控技术应用方面起步较晚,从 1994 年上海大众推出采用 D-Jetronic 电控汽油喷射系统的桑塔纳型轿车算起,到 2002 年年底,国产轿车汽油机已全部采用电子控制系统,其发展速度是超常规的。北京和上海已分别在 2002 年和 2003 年开始执行欧 II 标准。2018 年 1 月 1 日起,在全国开始实施第五阶段国家机动车排放标准。汽油机电控技术的普遍应用和排放标准的逐步严格,促进了我国汽油机电控技术的发展,缩短了我国与发达国家在汽车电子化进程上的技术差距。



1.2.2 柴油机电子控制技术的发展

在 20 世纪 70 年代,世界上许多发达国家就已经开发出功能各异的柴油机电子控制系统。进入 80 年代后,在汽油机电控技术的促进和推动下,借鉴汽油机电控技术成功的经验和总体设计思想,结合柴油机自身特点和排放法规对柴油机的要求,柴油机电子控制技术开始了向电子控制系统全面转变的发展阶段。回顾柴油机电子控制技术的发展过程和技术特点,可以分为以下两个阶段。

第一阶段为 20 世纪 70 年代至 80 年代中期,这一阶段的基本特点是用电子控制的电液式或电磁式线位移或角位移驱动机构(也称位置控制方式),取代原来的机械式调速机构和喷油提前调整装置,实现对循环喷油量和喷油定时的电子控制。这一阶段的典型产品是德国 Bosch 公司开发的采用电液式喷油定时和电子调速器的直列柱塞式电控喷油泵和电控 VE 分配泵,具有喷油量和喷油定时基本控制功能和怠速控制、喷油定时反馈控制及故障自诊断等扩展功能的电控系统。

第二阶段为 20 世纪 80 年代中期以后,这一阶段的基本特点是类似于汽油机的微机控制集中管理系统,开始全面应用于柴油机的运行控制和管理;经过改进和完善,喷油泵和喷油系统的控制方式从位置控制方式向时间控制方式转变取得成功。这一阶段的典型产品有第二代电控 VE 分配泵的 ECD-II;德国 Bosch 公司改进的 H 系列可变预行程直列柱塞式电控喷油泵;日本电装公司开发的 ECD-U2 电控高压共轨式喷油系统;美国 DDC 公司开发的 DDRC 电控泵喷嘴喷油系统。

电控技术在柴油机中的应用,为柴油机实现低污染和低油耗,提高动力性,改善运转平稳性,创造了条件。此时柴油机电控技术在我国也进入了实际应用阶段。

1.2.3 汽车发动机电控技术的发展趋势

如何将汽油机和柴油机两者的优点结合起来,开发出兼有两者优点的汽油机和柴油机一直是发动机工程师努力追求的目标。随着电控技术在发动机中的应用,在 20 世纪 90 年代,汽油机“柴油化”和柴油机“汽油化”开发工作取得了实质性进展。

汽车发动机技术的发展仍将紧紧围绕环保和节能这一主题展开,直喷式分层稀薄燃烧汽油机的开发将是汽油机发展的主要方向,直喷式单段预混燃烧柴油机将是柴油机发展的主要方向。

1.3 发动机电控技术及其应用

目前在汽车发动机上常用的电控系统主要有电控汽油喷射系统、电控点火系统、怠速控制系统、进气控制系统、排放控制系统、增压控制系统、巡航控制系统、警告提示系统、故障自诊断与报警系统、应急备用系统及失效保护系统等。

1) 电控汽油喷射系统(EFI)

电控汽油喷射系统根据进气量确定基本喷油量,再根据其他传感器(如冷却液温度传感器、节气门位置传感器)信号等对喷油量进行修正,使发动机在各种运行工况下均能获得最



佳浓度的混合气，从而提高发动机的动力性、经济性和排放性。

2) 电控点火系统(ESA)

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

3) 怠速控制系统(ISC)

怠速性能的好坏是评价发动机性能优越与否的重要指标，怠速性能差将导致油耗增加，排污严重，因此，需进行必要的控制。现代轿车中一般都设有怠速控制系统，由 ECU 控制并维持发动机怠速在某一稳定转速范围内。因此，怠速控制通常是指怠速转速控制，其实质就是对怠速工况时的进气量进行调节(同时配合喷油量及点火提前角的控制)。怠速控制的基本原理是 ECU 根据冷却水温、空调负荷、空挡信号等计算目标转速，并与实际转速相比较，同时检测节气门全关信号及车速信号，判断是否处于怠速状态，确认后则按照目标转速与实际转速之间的差值来驱动执行器调整控制进气量。

目前，除了稳定性控制之外，怠速控制还可以实现起动控制、暖机控制以及负荷变化控制等功能，这一多种功能的集中，不仅简化了机构，而且也提高了怠速控制的精确性。

4) 进气控制系统

进气控制系统是根据发动机转速和负荷的变化，对发动机的进气进行控制，以提高发动机的充气效率，从而改善发动机的动力性。进气控制包括谐波进气增压控制、可变配气相位控制等。

5) 排放控制系统

排放控制系统主要是对发动机排放控制装置的工作实行电子控制。排放控制的项目主要包括：废气再循环(EGR)控制、燃油蒸发排放控制、氧传感器和空燃比闭环控制、三元催化转换器控制、二次空气喷射控制、曲轴箱强制通风控制等。

6) 增压控制系统

增压控制系统是对发动机进气增压装置的工作进行控制。目前，应用较普遍的是电控废气涡轮增压系统。电子控制单元(ECU)根据检测到的发动机进气压力的大小，控制增压装置的工作，以达到控制进气压力、提高发动机动力性和经济性的目的。

7) 巡航控制系统

巡航控制系统的功用是驾驶员设定巡航控制模式后，ECU 根据汽车运行工况和运行环境信息，自动调整节气门开度，使汽车行驶自动维持在设定的车速上，从而提高了驾驶的舒适性。

8) 警告提示系统

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

9) 故障自诊断与报警系统

在现代轿车发动机的电控系统中，ECU 一般都带有故障自诊断系统，自行监测、诊断发动机控制系统各部分的故障。对于传感器，可通过检测其信号是否超出规定范围来直接进行判断；对于执行器，则在其初始电路中增设专门回路来实现监测，对于 ECU 本身，



也有专用程序进行诊断。

故障自诊断系统时刻监测各控制系统的工作情况,当出现故障时,一般轿车仪表板上的故障指示灯可闪烁报警,同时将故障信息以代码的形式保存在微机的存储器中,维修时不仅可以通过故障指示灯间断闪烁来显示,也可以通过专用的检测仪器以数字的形式显示故障代码,以便进一步通过手册查出故障原因。自诊断系统很好地解决了复杂电控系统难以判断故障的问题。

10) 应急备用系统及失效保护系统

当自诊断系统检测出传感器及其电路故障后,ECU 中的应急备用系统随之自动启用。应急备用系统会根据程序设定的数据取代故障部分输入的非正常信号,进行直接控制。故障保险系统一般通过软件编程来实现。

而当微机或主要传感器(如空气流量传感器)出现故障时,ECU 立即将主控权由微机切换至故障备用系统中,由其代替微机工作。故障备用系统作为 ECU 的一个集成电路模块,根据起动信号和怠速触点状态信号,一般只能确定维持汽车运行最简单的控制方案,保证轿车“缓慢回家”以便修理,而不能达到微机控制时的最佳性能。

1.4 发动机电子控制系统的组成

任何一种电子控制系统的组成都可分为传感器、电子控制单元(ECU)和执行器三部分。发动机电子控制系统的基本组成如图 1-1 所示。

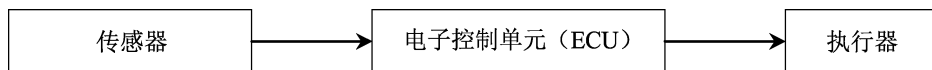


图 1-1 发动机电子控制系统的基本组成

传感器: 传感器是一种信号转换装置,安装在发动机的各个部位,用来检测发动机运行状态的各种电量参数、物理量参数等,并将这些参数转换成计算机能够识别的电量信号输入电子控制单元(ECU)。

电子控制单元: 电子控制单元又称电控单元或 ECU。其功能是:给各传感器提供参考电压,接收传感器或其他装置输入的信息,将其转变为微型计算机所能接收的信号;存储分析计算所用的程序、车型的特性参数、运算中的数据及故障信息;运算分析处理后给执行器发出指令;将输出的信息与标准值对比,查出故障并输出故障信息,并进行自我修正(自适应功能)。

执行器: 执行器是发动机电子控制系统的输出装置,其功能是接受电子控制单元的控制指令来完成具体的操作动作,是具体执行某项控制功能的装置。在发动机电子控制系统中,执行器把从 ECU 传来的电信号转换为机械运动。它通过电能、发动机真空、气压或三者之间的组合作用推动发动机或汽车的某个装置运动,以完成相应的控制任务。在发动机电子控制系统中,主要的执行器有电动燃油泵、喷油器电磁阀、点火控制器、怠速控制阀、活性炭罐及其电磁阀。其他的执行器还有进气控制阀、EGR 阀、二次空气喷射阀、燃油泵继电器、故障灯等。随着控制功能的增强,执行器也将相应增加。



1.5 发动机电控系统主要传感器

1.5.1 空气流量传感器

空气流量传感器又称为空气流量计(Air Flow Meter, AFM),其作用是检测发动机的进气量,并将进气量转换成电信号输入发动机 ECU 中,作为燃油喷射和点火控制的主控制信号。

根据空气计量方式不同,空气流量传感器分为 D 型(压力型)和 L 型(空气流量型)两种。

D 来源于德语“Druck(压力)”的第一个字母,是利用压力传感器检测进气歧管内的绝对压力,ECU 再根据发动机转速和进气温度等信号计算进入气缸的空气量。测量方法属于间接测量,其测量精度不高,但成本较低。

L 来源于德语“Luftmengen(空气流量)”的第一个字母,是利用流量传感器直接测量进入进气管的空气流量。因为采用直接测量方式,所以其测量精度较高。L 型空气流量传感器又分为体积流量型(如叶片式、卡门旋涡式)传感器和质量流量型(如热丝式和热膜式)传感器。

1. 叶片式空气流量计

1) 叶片式空气流量计的结构组成

叶片式空气流量计的结构如图 1-2 所示。叶片式空气流量计主要由测量叶片、缓冲叶片、回位弹簧、电位计、旁通气道等组成,此外还包括怠速调整螺钉、油泵开关及进气温度传感器等。在流量计内设有缓冲室和缓冲叶片,利用缓冲室内的空气对缓冲叶片的阻尼作用,可减小因发动机进气量急剧变化而引起的测量叶片脉动。这种传感器的结构简单,可靠性高;但进气阻力大,响应较慢且体积较大。在 20 世纪 70 年代至 80 年代的日本轿车上应用较多。

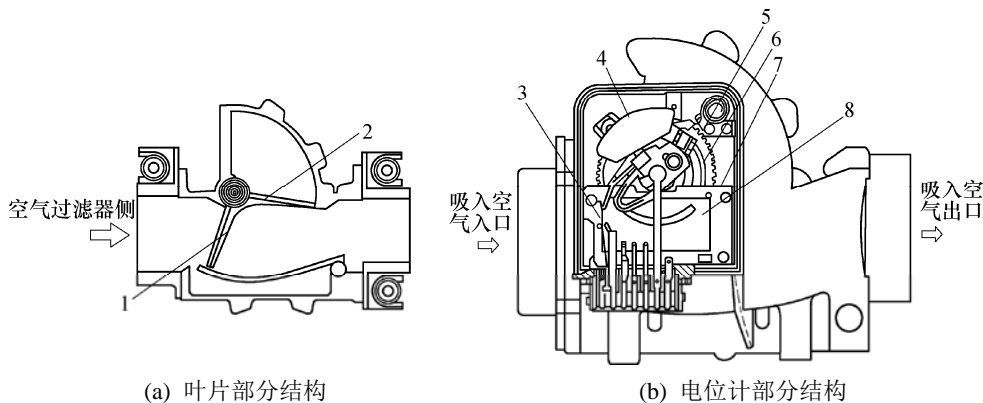


图 1-2 叶片式空气流量计结构

- 1—测量叶片; 2—缓冲叶片; 3—汽油泵节点; 4—平衡配重; 5—调整齿圈;
6—回位弹簧; 7—电位计部分; 8—印制电路板

2) 叶片式空气流量计的工作原理

叶片式空气流量计是一种利用力矩平衡原理和电位器原理而开发研制的流量传感器。



叶片式空气流量计的工作原理如图 1-3 所示。当吸入发动机的空气通过空气流量计主通道时，叶片将受到吸入空气气流的压力及复位弹簧的弹力控制，空气流量增大，则气流压力增大，使叶片偏转，叶片转角增大，复位弹簧弹力增加，直到两力平衡为止。与此同时，电位计中的滑动臂与叶片转轴同轴偏转，使接线插头 V_C 与 V_S 间的电阻减小， U_S 电压值降低，电子控制单元根据空气流量计送入 U_S/U_B 信号，感知空气流量的大小。 U_S/U_B 的电压比值与空气流量成反比，且线性下降。当吸入空气的空气流量减小时，叶片转角减小，接线插头 V_C 与 V_S 间的电阻值增大， U_S 电压值上升，则 U_S/U_B 的电压比值随之增大。

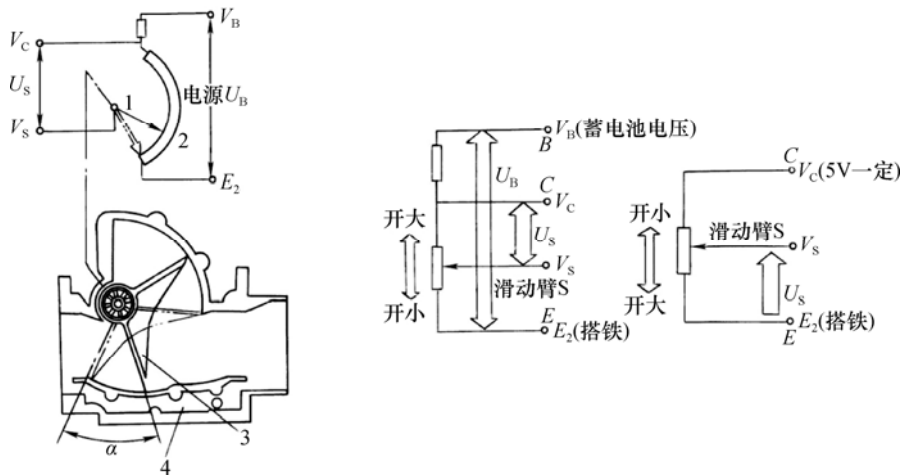


图 1—3 叶片式空气流量计工作原理

1—电位计滑动臂；2—电位计镀膜电阻；3—叶片；4—旁通气道

3) 叶片式空气流量计的工作电路

叶片式空气流量计只能检测进气的体积流量，所以 ECU 须根据进气温度信号对喷油量进行修正。有些车型还把油泵控制开关装在叶片式空气流量计中，当发动机不工作(无进气)时，油泵开关断开，使燃油泵能在发动机熄火时立即停止工作。其工作电路原理如图 1-4 所示。

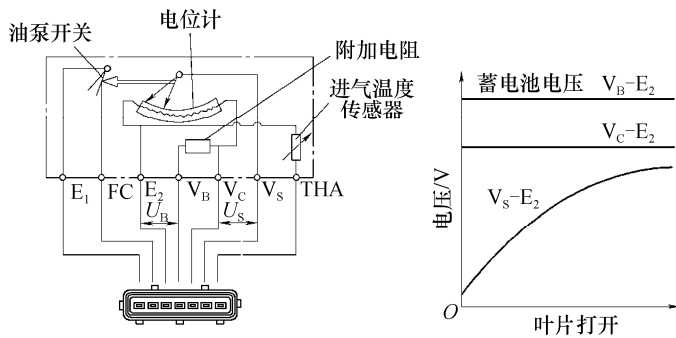


图 1-4 叶片式空气流量计工作电路原理图

2. 卡门旋涡式空气流量计

1) 卡门旋涡原理

卡门旋涡式空气流量计在进气通道中设置一锥形涡流发生器，当空气流过时在涡流发



生器后面产生两列规律交错的旋涡(称之为卡门旋涡),如图 1-5 所示。当满足 $h/t=0.281$ 时,两列旋涡才是稳定的。设卡门旋涡的频率为 f ,则有

$$f = S_t \frac{v}{\beta d} \tag{1-1}$$

式中 S_t ——斯特罗巴尔数;

v ——空气流速(m/s);

β ——直径比, $\beta = d/D$, D 为管道直径;

d ——锥体直径(mm)。

若管道的截面积为 A ,由式(1-1)可知,空气的体积流量 q_v 为

$$q_v = A \frac{\beta d f}{S_t} = k f \tag{1-2}$$

式中 k ——比例常数。

由式(1-2)可知,体积流量与卡门旋涡式空气流量计的输出频率成正比。利用这一原理,只要检测出卡门旋涡的频率便可求出空气的体积流量。

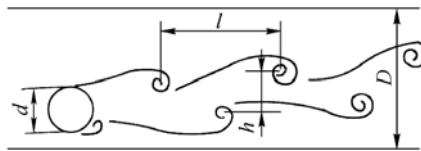


图 1-5 卡门旋涡产生的原理

根据旋涡频率的检测方式不同,可以分为光学检测方式和超声波检测方式两种类型。

2) 光学检测式卡门旋涡空气流量计

光学检测式卡门旋涡空气流量计的工作原理如图 1-6 所示。光学检测方式是利用涡流发生器产生旋涡时,其两侧压力会发生变化的特点来检测涡流频率。

空气流经过涡流发生器时,产生的旋涡会使涡流发生器后面两侧的压力发生波动,这个波动经压力导向孔作用在反光镜上,使反光镜发生振动,反光镜将发光二极管投射的光反射给光敏晶体管,光敏晶体管便产生与涡流频率相对应的脉冲电压信号。频率高对应于进气量大。

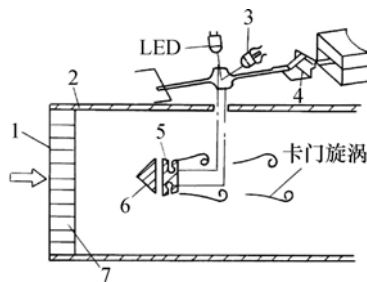


图 1-6 光学检测式卡门旋涡空气流量计工作原理

1—空气进口; 2—管路; 3—光敏晶体管; 4—板弹簧; 5—导孔; 6—旋涡发生器; 7—卡门旋涡

3) 超声波检测式卡门旋涡空气流量计

超声波检测式卡门旋涡空气流量计的工作原理如图 1-7 所示。超声波检测方式是利用旋涡会引起空气疏密变化的特点来检测旋涡频率的。



超声波信号发生器发出超声波，并经超声波发射探头向涡流的垂直方向发射超声波，另一侧的超声波接收探头接收到随空气疏密变化而变化的超声波，经接收回路放大处理后形成与涡流频率相对应的矩形脉冲波。频率高对应于进气量大。

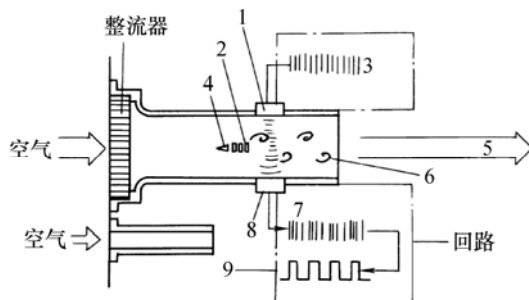


图 1-7 超声波检测式卡门旋涡空气流量计工作原理

- 1—超声波发射探头；2—涡流稳定板；3—超声波信号发生器；4—涡流发生器；5—通往发动机；
6—卡门旋涡；7—与涡流数对应的脉冲信号；8—超声波接收探头；9—接 ECU

3. 热丝式与热膜式空气流量计

热丝式与热膜式空气流量计是用于检测吸入发动机空气的质量流量的传感器。热丝式空气流量计的发热元件是铂金属丝，热膜式空气流量计的发热元件是铂金属膜。铂金属发热元件的响应速度快，检测精度不受进气气流脉动的影响（气流脉动在发动机大负荷、低转速运转时最为明显）。此外，热式空气流量计还具有进气阻力小、无磨损部件等优点，因此目前大多数中高档轿车都采用这一传感器。

在进气气流的冷却作用下，铂金属发热元件在单位时间内的散热量 H 和发热元件的温度 T_H 与进气气流温度 T_G 之差成正比，其散热量 H 与进气气流质量流量 Q_M 之间的函数关系如下

$$H = K \lambda^{1-m} \mu^{m-n} C_p^m (T_H - T_G) Q_M^n \quad (1-3)$$

式中： K 为常数； λ 为空气热导率； μ 为空气黏性系数； C_p 为空气比热容； m 和 n 的值与流体的性质及雷诺数有关，对于热丝式发热元件， $m=0.3$ ， $n=0.38\sim 0.50$ 。

设发热元件的加热电流为 I 、电阻值为 R_H ，在热平衡状态下，散热量等于发热量，即

$$H = I^2 R_H \quad (1-4)$$

由式(1-3)和式(1-4)可得气流的质量流量 Q_M 与加热电流 I 之间的函数关系式如下

$$Q_M = \sqrt[n]{\left(\frac{R_H \cdot K_T}{T_H - T_C}\right) \times I^2} \quad (1-5)$$

式中： $K_T = K^{-1} \lambda^{m-1} \mu^{n-m} C_p^{-m}$ ，温度系数 K_T 值与进气温度 T_G 有关， $K_T = (0.15 \sim 0.18\%) / ^\circ\text{C}$ ；发热元件的电阻值 R_H 与自身温度 T_H 有关，温度升高，阻值增大。

由式(1-5)可知，通过控制发热元件的温度 T_H 与进气气流温度 T_G 之差为一恒定值，就可以根据发热元件的加热电流 I 求得进气气流的质量流量 Q_M 。在热丝式与热膜式流量传感器中，采用了恒温差控制电路来实现流量检测。



1) 热丝式空气流量计

热丝式空气流量计的结构如图1-8所示，它主要由铂金热丝、温度补偿电阻和控制线路等部分组成。铂金热丝和温度补偿电阻安装在取样管内，铂金热丝的作用是感知空气流量，温度补偿电阻能对进气温度进行补偿修正，控制线路控制铂金热丝与温度补偿电阻的温差保持不变，并将空气流量转化为电压信号。由于取样管置于主空气通道中央，因此这种检测方式称为主流检测方式。

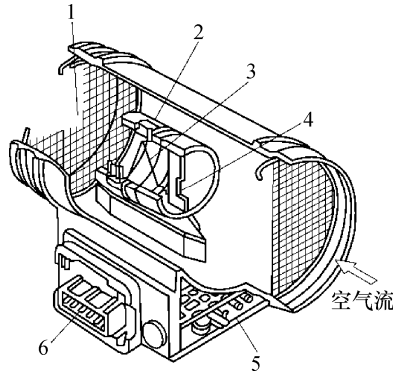


图 1-8 热丝式空气流量计结构

1—金属网；2—取样管；3—热丝；4—温度补偿电阻；5—控制电路；6—接线端子

热丝式空气流量计的工作原理如图 1-9 所示。在空气通道中放置热丝 R_H ，其热量被空气吸收。热丝周围通过的空气质量流量越大，被带走的热量越多。将铂金热丝 R_H 和温度补偿电阻 R_T 分别置于惠斯顿电桥电路的两个桥臂上，控制电路控制铂金热丝与吸入空气的温度差保持不变(一般为 100°C)，从而消除了进气温度对测量值的影响。当空气质量流量增大时，由于空气带走的热量增多，为保持热丝温度，控制电路使热丝 R_H 通过的电流增大，反之，则减小。精密电阻 R_S 也是惠斯顿电桥电路的一个桥臂，将通过铂金热丝 R_H 的电流信号转化为空气流量计的输出电压信号。

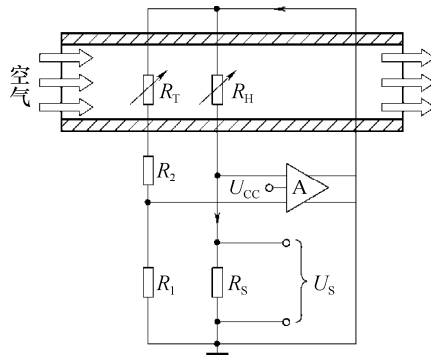


图 1-9 热丝式空气流量计的工作原理

R_H —热丝电阻； R_T —温度补偿电阻； R_S —信号取样电阻； R_1 —电桥电阻； R_2 —精密电阻；
 U_S —输出信号电压； U_{CC} —电源电压；A—混合集成电路

当热丝沾污后，其热辐射降低，会影响测量精度。为保证测量精度，热丝式空气流量



计一般都有自洁功能。发动机转速超过 1500r/min，关闭点火开关使发动机熄火后，控制系统自动将热线电阻器加热到 1000℃ 以上并保持 1s，以便将附在热丝上的粉尘烧掉。

2) 热膜式空气流量计

热膜式空气流量计的结构如图 1-10 所示，其工作原理与热丝式空气流量计基本相同。其采用热膜取代铂金热丝，热膜是由发热金属铂固定在树脂薄片上制成的。热膜式空气流量计具有结构简单、工作可靠等特点，而且不需要额外加热以消除热膜上的污染物，将传感元件的热传导部件安装在传感器后方(沿空气流动方向)，可以防止沉积物对传感元件产生影响。这种流量计的主要缺点是空气流速不均匀，易影响测量精度。采用这种空气流量计的车型有上海大众的桑塔纳 2000 型时代超人、马自达 626 等。

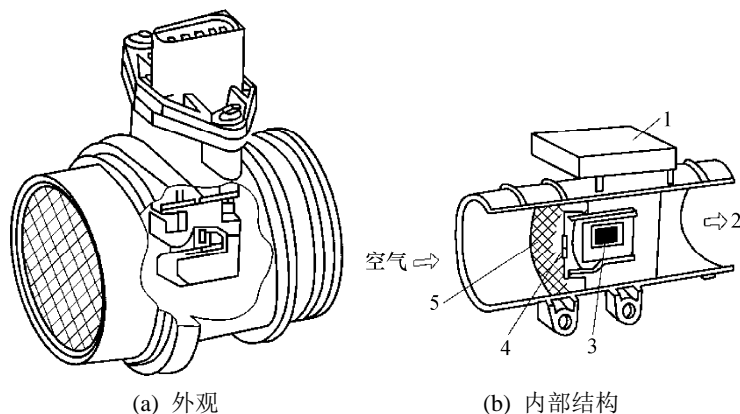


图 1-10 热膜式空气流量计结构

1—控制电路；2—进气；3—热膜；4—温度补偿电阻；5—金属网

大众车系热膜式空气流量计的接线如图 1-11 所示。空气流量计上端子 4 为电子控制单元(ECU)供电线(+5V)，端子 3 为信号线负极，端子 5 为信号线正极，端子 2 来自燃油泵继电器电源(12V)。

控制单元利用空气流量计的信号，确定喷油量和点火提前角。如果没有收到空气流量计的信号，控制单元用发动机转速传感器、节气门电位计或进气温度传感器的信号来代替。

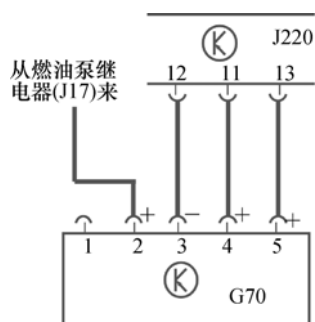


图 1-11 大众车系热膜式空气流量计接线电路



1.5.2 进气压力传感器

进气压力传感器是进气歧管绝对压力传感器(Manifold Absolute Pressure Sensor)的简称,其功能是通过检测进气歧管内绝对压力(真空度)的变化来反映发动机的负荷状况,并将发动机的负荷状况转换成电压信号输送到发动机电子控制单元(ECU)中,与转速信号一起作为确定喷油器基本喷油量(喷油脉宽)的依据。进气压力传感器是一种间接测量发动机进气量的传感器,它主要用在 D 型电子燃油喷射系统中。

进气压力传感器按其信号产生原理可分为压敏电阻式、电容式等。由于压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。

压敏电阻式进气压力传感器主要由压力转换原件和把输出信号进行放大的混合集成电路等构成。其结构及工作原理如图 1-12 所示。

应变电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 构成惠斯顿电桥并与硅膜片连接在一起,硅膜片封装在真空室内。当发动机工作时,由于一侧受进气压力的作用,另一侧是真空,所以在进气歧管压力发生变化时,硅膜片产生应力变形,使扩散在硅膜片上的电阻的阻值改变,导致惠斯顿电桥上电阻值的平衡被打破,当电桥的输入端输入一定的电压时,在电桥的输出端就可得到变化的信号电压。歧管内的绝对压力越高,硅膜片的变形越大,因此电阻 R 的阻值发生的变化就会越大。即把硅膜片机械式的变化转变成了电信号,再由集成电路放大后输出至 ECU。

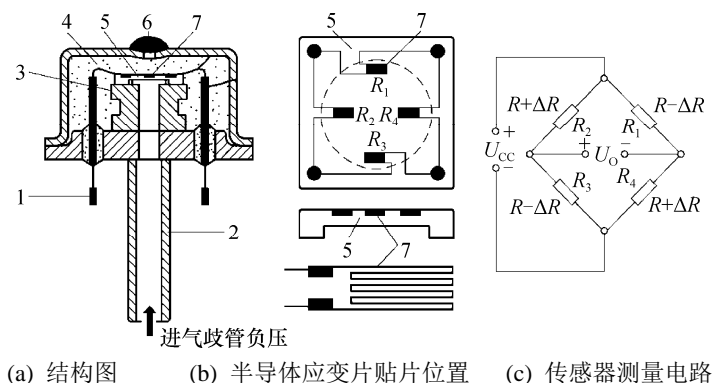


图 1-12 压敏电阻式进气压力传感器结构及工作原理

1—引线端子; 2—真空管; 3—硅杯; 4—真空室; 5—硅膜片; 6—锡焊封口; 7—应变电阻

进气压力传感器与 ECU 的连接电路如图 1-13 所示。

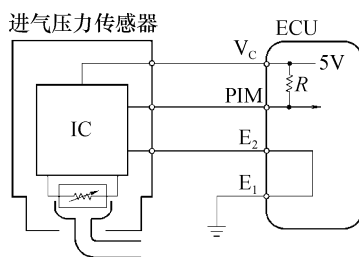


图 1-13 进气压力传感器与 ECU 的连接电路



1.5.3 节气门位置传感器

1. 节气门位置传感器的作用与类型

节气门位置传感器的作用是将节气门开度转换成电信号输入 ECU, 以便 ECU 判别发动机的工况(如怠速工况、部分负荷工况、大负荷工况等), 并根据发动机不同工况对混合气浓度的需求来控制喷油时间。

节气门位置传感器一般安装在节气门体上节气门轴的一端。节气门位置传感器有开关(触点)式、线性可变电阻式、触点与可变电阻组合式(综合式)三种。

2. 开关(触点)式节气门位置传感器

开关(触点)式节气门位置传感器的内部结构如图 1-14(a)所示, 其主要由与节气门轴联动的凸轮、节气门轴、活动触点、怠速触点(IDL)、全负荷触点(PSW)(又称为功率触点)等组成。怠速触点(IDL)和全负荷触点(PSW)用来检测发动机运行工况。ECU 通过活动触点端子(TL)给传感器提供电源, 两个固定触点端子(IDL、PSW)给 ECU 输送节气门位置信号, 从而判定发动机所处的工作状态。

开关(触点)式节气门位置传感器的输出特性如图 1-14(b)所示。当节气门关闭时, 怠速触点(IDL)输出端子信号为低电平 0, 全负荷触点(PSW)输出端子信号为高电平 1。ECU 接收到节气门位置传感器输出的这两个信号时, 如果车速为零, 那么 ECU 判定发动机处于怠速状态, 并控制喷油器喷油, 使发动机维持怠速稳定运转; 如果车速不为零, 那么 ECU 判定发动机处于减速状态, 并控制喷油器停喷。

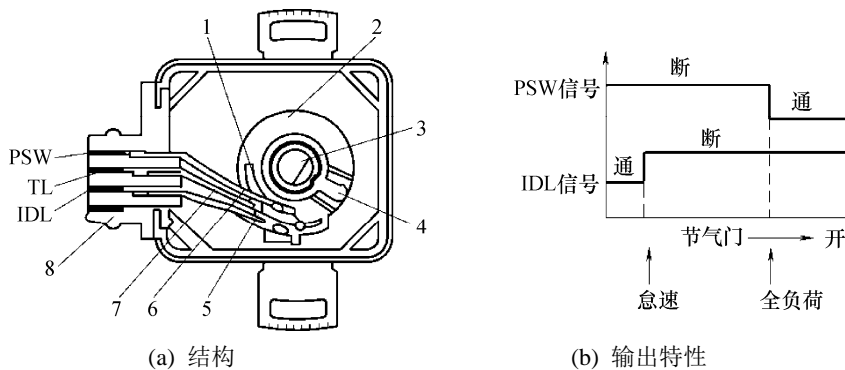


图 1-14 开关(触点)式节气门位置传感器结构与电压输出信号

1—导向槽; 2—凸轮; 3—节气门轴; 4—控制臂; 5—怠速触点; 6—全负荷触点;
7—活动触点; 8—连接器

当节气门开度增大时, 凸轮将怠速触点(IDL)顶开, 全负荷触点(PSW)保持断开状态, 怠速触点(IDL)端子输出高电平 1, 全负荷触点(PSW)端子输出也为高电平 1。ECU 判定发动机处于部分负荷状态, 此时 ECU 根据空气流量传感器信号和发动机转速信号计算确定喷油量。

当节气门接近全部开启(80%以上负荷)时, 凸轮转动使全负荷触点(PSW)闭合, 全负荷



触点(PSW)端子输出低电平 0, 怠速触点(IDL)端子输出高电平 1。ECU 接收到这两个信号时, 便可判定发动机处于部分负荷状态, 控制喷油器增加喷油量。

3. 线性可变电阻式节气门位置传感器

线性可变电阻式节气门位置传感器采用线性电位计, 由节气门轴带动电位计的滑动触点动作, 其结构及电路原理如图 1-15 所示。ECU 通过节气门位置传感器可以获得节气门从全闭到全开的所有开启角度的、连续变化的电压信号, 以及节气门开度的变化速率, 从而更精确地判定发动机的运行工况。

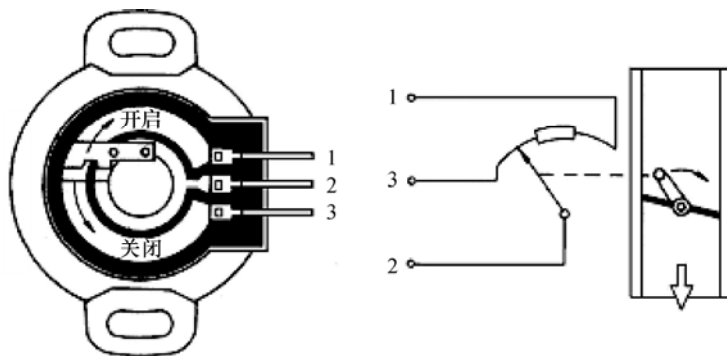


图 1-15 线性可变电阻式节气门位置传感器结构及电路原理

4. 触点与可变电阻组合式(综合式)节气门位置传感器

触点与可变电阻组合式节气门位置传感器是在线性可变电阻式节气门位置传感器的基础上加装了一个怠速开关, 其结构如图 1-16(a)所示, 传感器与 ECU 的连接电路如图 1-16(b)所示。ECU 通过 V_c 端子给传感器提供 5V 标准电压, 节气门位置信号通过 VTA 端子输送给 ECU, E_2 端子搭铁。

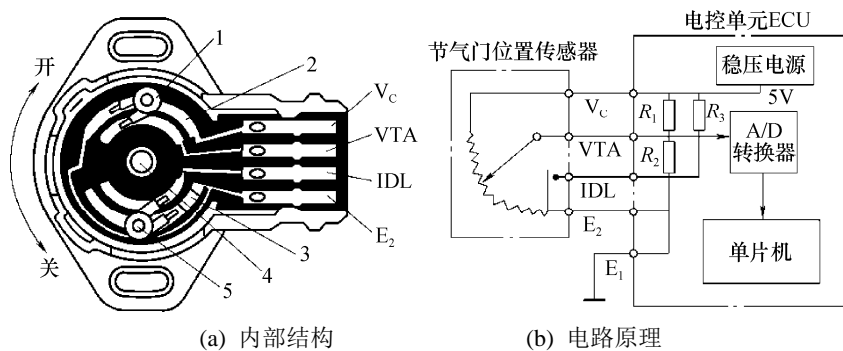


图 1-16 丰田轿车组合式节气门位置传感器结构及电路原理

1—可变电阻滑动触点; 2—镀膜电阻; 3—绝缘部件; 4—节气门轴; 5—怠速触点

5. 节气门控制部件 J338

国产大众桑塔纳时代超人、捷达车系、帕萨特车系均采用了节气门控制部件, 其结构



如图 1-17 所示。它将节气门电位计、节气门控制器电位计、节气门控制器及怠速开关合为一体。节气门控制部件由发动机电子控制单元控制，电子控制单元收到怠速开关、节气门电位计和节气门控制器电位计有关目前节气门位置的信号后，控制节气门控制器动作，使发动机转速稳定在规定的怠速转速范围内。注意：节气门壳体不能打开，电位计和怠速开关不能人工调节。

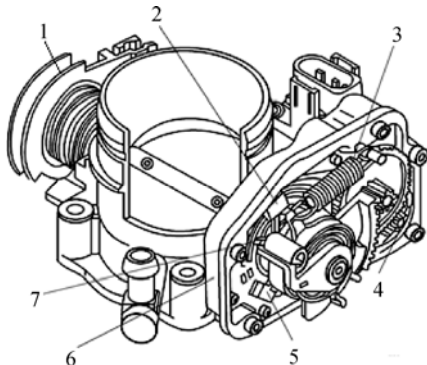


图 1-17 节气门体单元结构

1—节气门拉索；2—节气门控制器电位计；3—紧急运行弹簧；4—节气门控制器(怠速电动机)；
5—节气门电位计；6—整体式怠速稳定装置；7—怠速开关

大众车系节气门控制部件的接线如图 1-18 所示。其中节气门控制部件上端子 1 为节气门控制器的供电线正极，端子 2 为节气门控制器的供电线负极，端子 3 为怠速开关信号线，端子 4 为电子控制单元(ECU)供电线(+5V)，端子 5 为节气门电位计信号线，端子 7 为供电线负极，端子 8 为节气门控制器电位计信号线。

如果电子控制单元对节气门控制器的控制出现故障或者电机损坏，节气门控制部件中的紧急运行弹簧将发生作用，使节气门处于紧急运行位置。

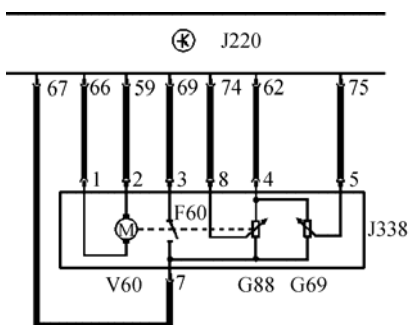


图 1-18 大众车系节气门控制部件的接线

V60—节气门控制器；F60—怠速开关；G88—节气门控制器电位计；G69—节气门电位计；
J338—节气门控制部件；J220—电子控制单元



1.5.4 温度传感器

1. 温度传感器的作用与类型

温度传感器主要用于检测被测对象的温度，并转换为相应的电信号输送给电子控制单元，以使电子控制单元进行与温度相关的修正控制。温度传感器按其结构与工作原理可分为热敏电阻式、双金属片式、热电偶式、半导体晶体管式。汽车电子控制系统中应用较多的是热敏电阻式温度传感器。在电控燃油喷射发动机上主要有两种温度传感器：一种是冷却液温度传感器，另一种是进气温度传感器。

2. 冷却液温度传感器

热敏电阻式冷却液温度传感器安装在发动机缸体或缸盖的水套上，与冷却液接触，用来检测发动机冷却液的温度，并转换成电压信号输送给 ECU，ECU 根据发动机的温度信号修正喷油时间和点火时刻，从而使发动机工况处于最佳状态。

冷却液温度传感器的内部是一个负温度系数的热敏电阻，其结构及电路原理如图 1-19 所示。当冷却液温度升高时，传感器的电阻值将降低；反之，当冷却液温度降低时，传感器的电阻值将升高。冷却液温度传感器的输出特性如图 1-20 所示。

如果冷却液温度传感器没有输出信号，将导致发动机冷车或热车起动困难，油耗增加，废气排放量增加。

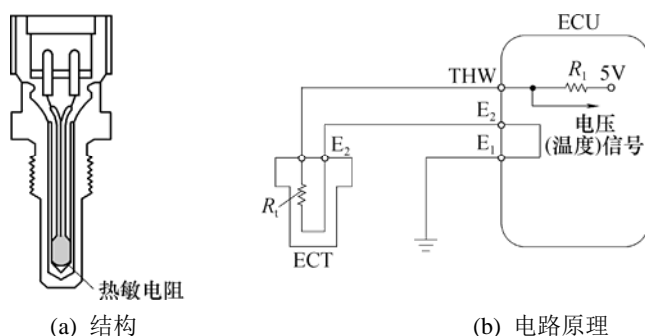


图 1-19 冷却液温度传感器结构及电路原理

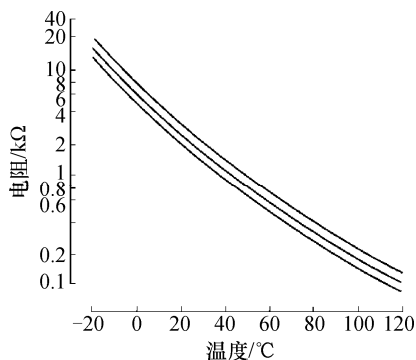


图 1-20 冷却液温度传感器的输出特性



3. 进气温度传感器

进气温度传感器(IATS)用来检测进气温度,并转换成电压信号输送给 ECU,以便根据进气温度的变化修正喷油量。进气温度传感器的结构及工作原理如图 1-21 所示,其结构及电路原理与冷却液温度传感器相同,只是由于它们的使用场合和测试环境有差异,所以它们的安装位置、外形和工作温度不同。

如果进气温度传感器没有输出信号,将导致发动机热车起动困难,废气排放量增加。

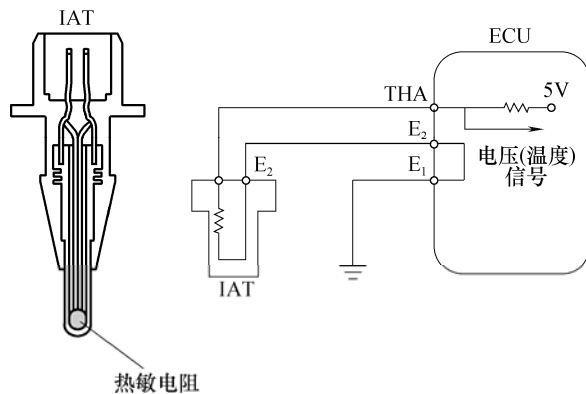


图 1-21 进气温度传感器结构及工作原理

1.5.5 发动机转速与曲轴位置传感器

发动机转速传感器用来测量发动机转速,并变成电信号输送给电子控制单元,用以确定基本喷油量和基本点火提前角;曲轴位置传感器向电子控制单元提供曲轴转角电信号,用以确定点火正时和喷油正时。在无分电器电控点火系统和按各缸工作顺序喷油的燃油喷射系统中,曲轴位置传感器还用于判缸。目前,发动机转速与曲轴位置传感器有磁感应式、光电式、霍尔效应式三种类型。

1. 磁感应式发动机转速与曲轴位置传感器

磁感应式发动机转速与曲轴位置传感器的基本原理与磁感应式点火信号发生器一样,但其结构与安装形式有多种。

1) 安装于分电器内

在分电器的发动机电子控制系统中,发动机转速与曲轴位置传感器安装于分电器内,其结构形式如图 1-22 所示。用于触发产生曲轴位置信号的导磁转子 G 和触发产生转速信号的导磁转子 Ne 上下布置,均由分电器轴驱动,分别触发 G_1 及 G_2 、Ne 感应线圈,产生交变的感应电压信号。电子控制单元根据 G_1 和 G_2 信号确定发动机曲轴位置;根据 Ne 信号确定发动机转速,并控制点火和喷油。