

汽车检测与维修专业高职高专系列教材

汽车发动机燃油

喷射技术

李春明 主 编
焦传君 副主编



136

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

汽车检测与维修专业高职高专系列教材

汽车发动机燃油喷射技术

李春明 主 编

焦传君 副主编

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机燃油喷射技术/李春明主编. —北京:北京理工大学出版社,2002.9

高职高专系列教材 汽车检测与维修专业

ISBN 7-5640-0032-5

I. 汽… II. 李… III. 汽车-电子控制-喷油器-高等学校:技术学校-教材 IV. U464.136

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 064397 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京房山先锋印刷厂

装 订 / 天津市武清区高村印装厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 401 千字

版 次 / 2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 26.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

在 21 世纪,作为支柱产业的汽车工业必将推动我国在加入 WTO 后巨大的潜在市场需求,作为培养汽车专业人才的长春汽车工业高等专科学校,依托中国第一汽车集团公司先进的资源优势,遵循“服务汽车行业,主动适应社会,加快教学改革,努力办出特色”的办学宗旨,不断优化学科结构,实时跟踪汽车工业发展的新技术,专业教学改革硕果累累,其中“汽车检测与维修专业”早在 1993 年就成为国家普通高等工程专科专业教学改革试点专业之一,现已通过国家教育部评估验收,成为“国家教改示范专业”。近几年,随着我国汽车工业的飞速发展,我们不断调整专业教学内容,1999 年开设了三门全新的专业课:《汽车发动机燃油喷射技术》、《现代汽车底盘技术》、《车身电子技术》。为了满足教学需要,保证教学效果,我们组织力量,编写了这套具有鲜明特色的高职高专教材。

本册《汽车发动机燃油喷射技术》共有六章,系统地介绍了汽车发动机电子控制燃油喷射系统的结构、原理、故障诊断与维修,介绍了典型车辆的电控燃油喷射系统,并增加了电控柴油发动机的燃油喷射系统的内容。

我们根据汽车工业的最新发展,参阅了大量的资料文献,把多年的教学、生产、培训及教学改革的成果融入本书,注重突出针对性与实用性。书中主要阐述了我国现阶段主要车型的发动机燃油喷射技术,包括一汽大众的捷达和奥迪 A6、上汽公司的奇瑞、二汽神龙的富康、上海通用的别克、广州本田的雅阁等车型,同时也对一些进口车型进行了简要介绍。本书内容翔实,图文并茂。

编写分工:焦传君(第一章、第二章);夏英慧(第三章、第六章);刘凤珠(第四章的第一节);刘艳莉(第四章的第二、四、五、六、七节和第五章);李春明(第四章的第三、八节)。本书由李春明主编、焦传君副主编。此外,参加本书编写工作的还有丁卓、赵宇、张云峰、张军、赵晓宛、韩东、丛彦波、滕洪波等同志。

由于编者水平所限,时间仓促,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

目录

第一章 绪论	(1)
第一节 燃油喷射技术的应用	(1)
第二节 燃油喷射系统的分类	(6)
第三节 燃油喷射系统的优点	(12)
第二章 电控汽油喷射系统结构与工作原理	(15)
第一节 空气供给系统	(15)
第二节 燃油供给系统	(16)
第三节 点火系统	(34)
第四节 电子控制系统	(39)
第三章 电控汽油喷射系统的控制	(68)
第一节 燃油喷射的控制	(68)
第二节 点火系统的控制	(76)
第三节 辅助控制	(84)
第四章 典型轿车电控燃油喷射系统	(105)
第一节 奇瑞轿车汽油喷射系统	(105)
第二节 捷达轿车汽油喷射系统	(113)
第三节 奥迪 A6 轿车电控汽油喷射系统	(123)
第四节 富康轿车汽油喷射系统	(129)
第五节 广州本田雅阁轿车汽油喷射系统	(138)
第六节 丰田轿车汽油喷射系统	(143)
第七节 尼桑轿车汽油喷射系统	(151)
第八节 别克轿车电控汽油喷射系统	(156)
第五章 电控汽油喷射系统的故障诊断与检修	(169)
第一节 故障诊断的基本方法	(169)
第二节 典型电控汽油喷射系统的故障诊断与检修	(192)
第三节 典型故障实例	(205)
第六章 柴油机电子控制燃油喷射系统	(210)
第一节 概述	(210)
第二节 柴油喷射系统的控制	(213)
第三节 电控柴油喷射系统的故障诊断与分析	(236)
参考文献	(255)

第一节 燃油喷射技术的应用

一、燃油喷射的基本概念

为使发动机能够正常运转,必须为其提供连续的可燃混合气。通过直接或间接测量进入发动机的空气量,并按规定的空燃比计量燃油的供给量,这一过程称为燃油配制。汽油机的燃油配制类型,可根据汽油的供给方式分为化油器式和燃油喷射式两种。这两种装置均是依据节气门开度和发动机转速计量进气量,然后根据进气量供给适当空燃比的混合气进入气缸。

图 1-1 所示为燃油配制两种方式。化油器式发动机的燃油配制过程是利用空气流经节气门上方喉管处产生的真空度将燃油从浮子室中连续吸出且进行混合后,再被吸入气缸内燃烧作功使发动机运转。而燃油喷射控制系统则是根据直接或间接测量的空气进气量,确定燃烧所需的汽油量,并通过控制喷油器开启时间来进行精确配制,使一定量的汽油以一定压力通过喷油器喷射到发动机的进气道或气缸内与相应空气形成可燃混合气。

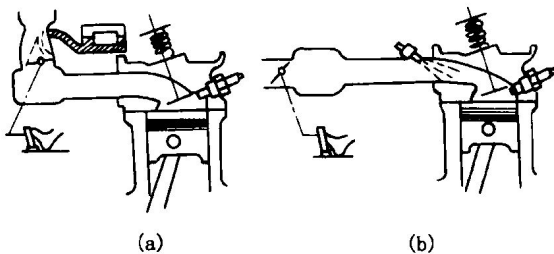


图 1-1 燃油配制两种方式

(a) 化油器供油; (b) 燃油喷射供油

由于化油器的结构比较简单,一直用于汽油发动机。近年来,由于 EGR(废气再循环)装置的采用,为了满足燃料动力性、经济性、排放性不断提高的要求,采用了各种化油器辅助补偿装置,已使化油器成为一个很复杂的系统。

为了替代化油器,开发了 EFI(即 Electronic Fuel Injection,电子燃油喷射)系统。它利用多种传感器检测发动机状态,经过计算机的判断计算,使发动机在各种工况下均能获得合适的空燃比,所以可有效地提高和改善发动机的动力性、经济性,达到排气净化的目的。

二、汽油发动机对可燃混合气的要求

可燃混合气的成分通常用空燃比来表示。它对发动机动力性、经济性及排放性均有较大的影响。下面我们着重讨论空燃比与发动机性能的关系。

1. 空燃比对发动机性能的影响

通常把进入发动机的空气质量与燃油质量之比称做空燃比,一般用 A/F 表示。燃油供给装置的作用就是向进气管提供一定比例的燃油,且与进气管内的空气混合后形成可燃混合气,

使其在气缸内燃烧。1 kg 汽油完全燃烧所需要的空气量约为 14.7 kg, 因此, 当 $A/F = 14.7$ 时, 称为理论空燃比。但在发动机实际工作过程中, 燃烧 1 kg 燃油所消耗的空气不一定是理论所需求的空气量, 它与发动机的结构与使用工况密切相关, 所供的实际空气量可能大于或小于理论空气量。此外, 通常把实际空气量与理论空气量的比值称为过量空气系数 λ 。 $\lambda = 1$ 时, 即为理论混合气; $\lambda > 1$ 时, 称为稀混合气; $\lambda < 1$ 时, 则称为浓混合气。

空燃比对发动机性能的影响见图 1-2(a)。当空燃比约为 12.5 时, 由于其燃烧速度最快, 发动机所产生的转矩最大, 故发动机的动力性最好, 所以又称其为功率空燃比。当空燃比为 16 时, 由于混合气较稀, 有利于汽油完全燃烧, 故可降低发动机的油耗。因为此时发动机的经济性最好, 故又称其为经济空燃比。

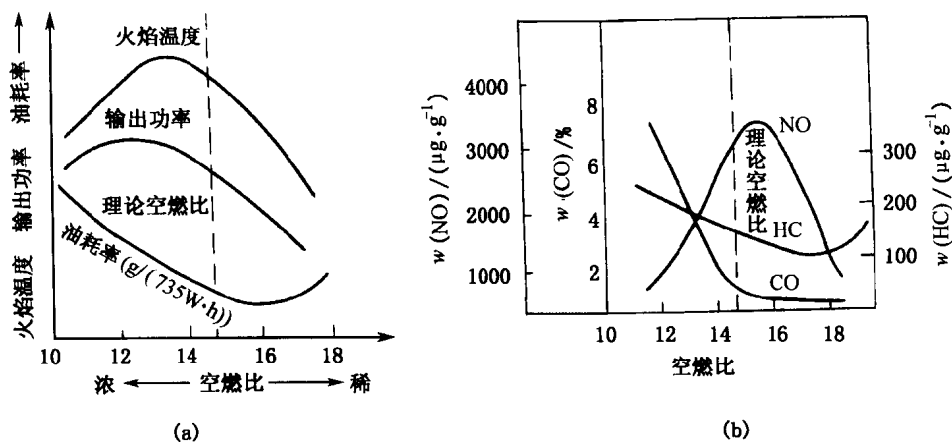


图 1-2 空燃比与发动机转矩、油耗率、有害排放物质量分数的关系
(a)空燃比与温度与输出功率和油耗率的关系;(b)空燃比与有害排放物质量分数的关系

由于燃烧后排出的排气成分除 CO_2 和 H_2O 外, 还有空气中没有参与燃烧的 N_2 、剩余的 O_2 、完全没被燃烧的 HC、燃烧不完全的 CO 及高温富氧条件下燃烧生成的 NO_x 。此外, 从图中还可看到 CO、HC 及 NO_x 三种有害成分的质量分数随空燃比的变化趋势。其中 CO 和 HC 以理论空燃比界, 随着混合气变浓而逐渐上升, 而在空燃比略大于理论空燃比的区域内, CO 及 HC 的质量分数均比较低。但由于 NO_x 是高温富氧的产物, 故在此范围内将出现最大值。

由此可见, 发动机的性能与空燃比有着密切的关系, 但影响的程度和变化规律各不相同。所以, 如何精确控制混合气的空燃比是比较复杂而且非常重要的问题。

2. 发动机各种工况对混合气的要求

发动机在实际运行过程中, 其工况在工作范围内是不断变化的, 且在工况变化时, 发动机对可燃混合气空燃比的要求也是不同的。

(1) 稳定工况对混合气的要求 发动机的稳定工况是指发动机已经完全预热, 进入正常运转, 且在一定时间内转速和负荷没有突然变化的情况。稳定工况又可分为怠速、小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷等几种。

① 怠速和小负荷工况。怠速工况是指发动机对外无功率输出且以最低稳定转速运转的情况。此时, 混合气燃烧后所做的功, 只用于克服发动机内部的阻力, 并使发动机保持最低转

速稳定运转。汽油机怠速转速一般为 $300 \sim 1\,000 \text{ r/min}$ 。在怠速工况下,节气门处于关闭状态。此时,吸入气缸内的可燃混合气不仅数量极少,而且汽油雾化蒸发也不良,进气管中的真空度很高,当进气门开启时,缸内压力仍高于进气管压力,结果使得气缸内的混合气废气率较大。此时,为保证混合气能正常燃烧,就必须提高其浓度,如图 1-3 中的 A 点。随着负荷的增加和节气门稍微开大而转入小负荷工况时,吸入混合气的品质逐渐改善,所以在小负荷工况时,发动机对混合气成分的要求如图 1-3 中的 AB 段所示。也就是说,发动机在小负荷运行时,供给混合气也应加浓,但加浓的程度随负荷的增加而减小。

② 中等负荷工况。汽车发动机的大部分工作时间都处于中等负荷状态。此时,节气门已有足够大的开度,上述影响因素已不复存在,因此可供给发动机较稀的混合气,以获得最佳的燃油经济性。这种工况相当于图 1-3 中的 BC 段,空燃比约为 16~17。

③ 大负荷和全负荷工况。在大负荷时,节气门开度已超过 75%,此时应随着节气门开度的开大而逐渐地加浓混合气以满足发动机功率的要求,如图 1-3 中的 CD 段。但实际上,在节气门尚未全开之前,如果需要获得更大的转矩,只要把节气门进一步开大就能实现,没有必要使用功率空燃比来提高功率,而应当继续使用经济混合气来达到省油的目的。因此,在节气门全开之前所有的部分负荷工况都应按经济混合气配制。只是在全负荷工况时,节气门已经全开,此时为了获得该工况下的最大功率必须供给功率混合气,如图 1-3 中的 D 点。在从大负荷过渡到全负荷工况的过程中,混合气的加浓也应该是逐渐变化的。

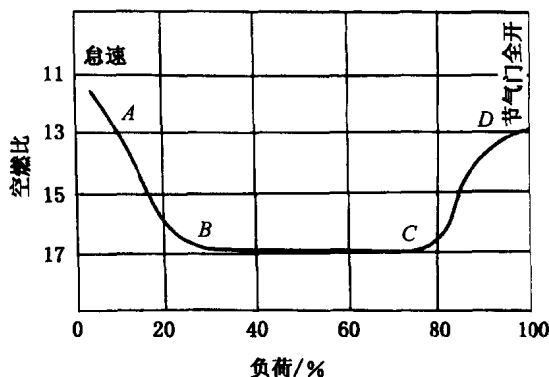


图 1-3 发动机混合气空燃比与负荷的关系

(2) 过渡工况对混合气的要求 汽车在运行中的主要过渡工况可分为冷启动、暖机、加速和减速等三种形式。

① 冷启动。冷机启动时,发动机要求供给很浓的混合气,以保证混合气中有足够的汽油蒸气,使发动机能够顺利启动。但在冷启动时燃料和空气的温度很低,汽油蒸发率很小,为了保证冷启动顺利,要求混合气的空燃比可浓到 2:1,才能在气缸内形成可燃混合气。

② 暖机。发动机冷机启动后,各气缸开始依次点火而做功,发动机温度逐渐上升,即暖机。发动机在暖机过程中,由于温度较低燃油雾化较差,因此也需要空燃比较小的浓混合气,而且随着发动机温度升高而空燃比逐渐增大,直至达到正常工作温度时为止,发动机进入怠速工况。

③ 加速和减速。发动机的加速是指发动机的转速突然迅速增加的过程。此时,驾驶员猛踩加速踏板,节气门开度突然加大,进气管压力随之增加,由于汽油的流动惯性和进气管压力增大后汽油蒸发量的减少,大量的汽油颗粒被沉积在进气管壁面上,形成较厚油膜,而进入气缸内的实际混合气则瞬时被稀释,严重时会出现过稀,使发动转速下降。为了避免这一现象发生,在发动机加速时,应向进气管喷入一些附加汽油以弥补加速时的暂时稀释,从而获得良好的加速性能。

当汽车减速时,驾驶员迅速松开加速踏板,节气门突然关闭,此时由于惯性作用发动机仍

保持很高的转速,因此进气管真空度急剧增高,促使附着在进气管壁面上的汽油蒸发汽化,并在空气量不足的情况下进入气缸内,造成混合气过浓,严重时甚至熄灭。因此,在发动机减速时,应供给较稀的混合气,以避免这一现象发生。

据以上分析,燃油喷射控制系统最重要的控制目标应该是:精确控制发动机的空燃比,以满足发动机在各种工况和条件下所需最佳空燃比的要求。这也正是化油器式的燃油供给系统所无法完全做到的。

三、燃油喷射的发展

在排气净化和节油两个主要因素的制约下,汽油发动机的燃油喷射系统经历了近半个世纪的不断完善和发展,才逐步形成当今性能卓越电子控制燃油喷射系统,并广泛应用于现代汽车的发动机上。

纵观汽油发动机燃油喷射系统的发展过程,汽油喷射技术早在 20 世纪 30 年代就已应用于航空发动机上。德国 Wright 兄弟首先在他们制造的早期飞机上采用了向进气管连续喷射汽油的混合气配制方式。

1934 年德国研制成功第一架装用汽油喷射发动机的军用战斗机。第二次世界大战后期,美国开始采用机械式喷射泵向气缸内直接喷射汽油的供油方式。军用飞机上采用汽油喷射技术,与其说是出于降低燃料消耗的需要,不如说是战争保障的需要,即为了避免浮子室式化油器的临界限制,或者说为了避免化油器产生结冰故障。

当时,对车用发动机来说,汽油喷射的好处尽管相当明确,但是由于将其优点和成本兼顾比较困难,因而没有轻易采用。但是竞赛汽车要求提高输出功率和过渡响应性能好,所以最先采用了。在 20 世纪 50 年代后期,大多数赛车都安装了汽油喷射系统。

1952 年,德国 Daimler-Benz 300L 型赛车装用了 Bosch 公司生产的第一台机械控制式汽油喷射装置,它采用气动式混合气调节器控制空燃比,向气缸内直接喷射。

1958 年,德国成批生产的 Mercedes 200S 型轿车上,装备了 Bosch 公司和 Kugelfischer 公司共同研制和生产的带油量分配器的进气管汽油喷射装置。它采用双柱塞喷油泵经两个油量分配器将燃油均匀地分配到 6 个喷油器,喷向进气口,双联凸轮使喷油泵在发动机每转中向各缸喷射一次,而空燃比的控制则是通过节气门踏板与离心式混合气调节器及进气管节气门调节器之间具有一定传动比的联动机构实现的,并且利用进气温度调节器、空气压力修正传感器及带附加空气控制滑阀的冷却水温度调节器,对喷油量进行修正,用电磁铁直接作用于喷油泵调节齿杆的方法实现启动加浓。

20 世纪 60 年代以前,车用汽油喷射装置大多数采用机械式柱塞喷射泵,其结构和工作原理与柴油机喷油泵十分相似,控制功能也是借助于机械装置实现的,结构复杂,价格昂贵。因此发展缓慢,技术上无重大突破,应用范围也仅仅局限于赛车和为数不多的追求高速和大功率的豪华型轿车上。在车用汽油发动机领域内,化油器仍占有绝对优势。

20 世纪 60 年代中,在一些发达国家,随着汽车数量的增加,汽车排气对大气的污染日趋严重,欧、美、日各国相继制订了严格的汽车排放法规,限制排气中的 CO 、 HC 和 NO_x 等有害物质的排放。20 世纪 70 年代初,受能源危机的影响,各国又制订了汽车燃油经济性法规。两种法规的要求逐年提高,愈来愈严格,已达到传统的机械化油器和分电器点火难以胜任的地步,迫使汽车工业寻求各种技术途径,实现汽车节能和减少排放污染。

于是,人们继续探索较柱塞式喷射泵结构更简单、控制更方便,并且无需驱动的机械式低压燃油控制系统。1967年,德国 Bosch 公司研制成功 K-Jetronic 机械式汽油喷射系统,由电动泵提供 0.36 MPa 低压燃油,经燃油分配器输往各缸进气管上的机械式喷油器,向进气口连续喷射,采用浮板式空气流量计操纵油量分配器中的计量槽来控制空燃比。后来,经改进发展成为机电结合式的 KE-Jetronic 汽油喷射系统。它是在 K-Jetronic 系统的油量分配器上增设一只电液式压差调节器,用以控制计量槽前后的压差,从而能快速地、大幅度地调节燃油量,提高了操纵灵活性,并增加控制功能。由于该系统的主要功能仍由机械装置完成,因此具备良好的应急功能。

另一方面,随着电子技术的飞速发展,汽车电子化成为各国汽车工业的重要发展方向。从 20 世纪 60 年代后半期开始,电控汽油喷射经历了从晶体管、集成电路到微处理机控制,从模拟计算机到数字计算机控制的发展过程。

1962 年,德国 Bosch 公司着手研究电子控制汽油喷射技术,1967 年开发出了 D-Jetronic 系统,它是利用进气歧管绝对压力传感器检测进气空气量。当时被各个公司所采用,使电子控制汽油喷射技术得到了发展。大众公司生产的 VW-1600 型轿车上装有 D-Jetronic 电子控制汽油喷射系统,率先达到当时美国加州排放法规的要求,开创了汽油喷射系统电子控制的新时代。

随着排放法规愈来愈严格,要求进一步提高控制精度,完善控制功能。1972 年,在 D-Jetronic 系统基础上,经改进发展成为 L-Jetronic 电控汽油喷射系统,用叶片式空气流量计直接测量进气空气体积流量来控制空燃比,比用进气歧管绝对压力间接控制的方式精度高,稳定性好。

在 Bosch 公司开发的 L-jetronic 系统中采用的是翼片式空气流量计。此后利用其他原理制作的空气流量计也实用化了。1980 年,三菱电机公司开发出卡门旋涡式空气流量计。1981 年,日立制作所和德国 Bosch 公司相继研制出热线式空气流量计,可直接测出进气空气的质量流量,无需附加专门装置来补偿大气压力和温度变化的影响,并且进气阻力小,加速响应快。

为了在满足排放法规的前提下实现最佳的燃油经济性指标,采用单项电子控制装置已远不能满足要求。德国 Bosch 公司开始生产集电子点火和电控汽油喷射于一体的 Motronic 数字式发动机集中控制系统。与此同时,美国和日本各大汽车公司也相继研制成功与各自车型配套的数字式发动机集中控制系统。例如:美国 GM 公司 DEFI 系统, Ford 公司 EEC-III 系统,以及日本日产公司 ECCS 系统、丰田公司 TCCS 系统等,这些系统能够对空燃比、点火时刻、怠速转速和废气再循环等多方面进行综合控制,控制精度愈来愈高,控制功能也更趋完善。

为了将电控汽油喷射系统进一步推广到普通轿车上,1980 年美国 GM 公司首先研制成功一种结构简单、价格低廉的节气门体喷射系统(TBI)。1983 年德国 Bosch 公司又推出了燃油压力只有 0.1 MPa 的 Mono-Jetronic 低压中央喷射系统。与化油器相比,这些中央喷射(又称单点喷射)系统在进气歧管原先安装化油器的部位,仅用一只电磁喷油器集中喷射,能迅速输送燃油通过节气门,在节气门上方没有或极少发生燃油附着管壁的现象,因而消除了由此而引起的混合气燃烧的延迟,缩短了供油和空燃比信息反馈之间的时间间隔,提高了控制精度,排放效果得以改善。同时,采用节气门转角和发动机转速来控制空燃比的所谓 $2/n$ 控制方式,省去了空气流量计,结构和控制方式均较简单,兼顾发动机性能和成本,对发动机结构的影响又较小。因此,随着排放法规日益严格,这种单点喷射系统在排量小于 2 L 的普通轿车上得到迅

速的推广应用。

在借助于电子技术实现空燃比高精度控制方面,汽油喷射装置要比化油器优越,因为在电子设备与化油器之间安装执行元件将使化油器较复杂,价格昂贵与维修困难。相比之下,随着电控汽油喷射技术的愈加成熟,大规模地生产和应用,使电控汽油喷射系统的成本大幅度下降。特别是结构简单的单点喷射系统,虽然在性能上略逊色于多点喷射系统,但其生产成本仅略高于化油器,而性能却远远优于化油器。这就使得汽油发动机混合气配制方式由汽油喷射系统取代化油器成为必然趋势。事实上,在 20 世纪 70 年代末 80 年代初,电控汽油喷射系统的应用得到迅猛的发展。在 1976 年至 1984 年的 9 年间,各国生产的轿车中采用电控汽油喷射系统的比重不断增长:德国由 8% 增长到 42%;日本由 3% 增长到 18%,至 1987 年增长到 46%;而美国的发展速度则更快,1976 年电控汽油喷射系统尚未应用在轿车上,1980 年即增长到 39%,1984 年继续增长到 60%,1987 年已高达 87%。进入 20 世纪 90 年代,美国三大汽车公司生产的轿车上几乎 100% 应用电控汽油喷射系统。表 1-1 列出了美国三大汽车公司 1990 年轿车上使用电控汽油喷射系统的统计情况。

表 1-1 1990 年美国三大汽车公司轿车使用电控汽油喷射系统情况

公 司		单点喷射	多点喷射	化油器	总产量
通用	数量/辆	1 691 739	1 548 820	58 543	3 299 102
	比例/%	51.3	46.9	1.8	
福特	数量/辆	1 177 240	688 365	—	1 865 605
	比例/%	63.1	36.9	—	
克莱斯勒	数量/辆	365 503	444 202	—	749 705
	比例/%	40.7	59.3	—	

据统计,1987 年电控汽油喷射轿车的年产量,美国及加拿大已达 700 万辆,日本 350 万辆,澳大利亚 20 万辆,韩国和巴西也都达到年产 10 万辆。1988 年,美、日、欧电控汽油喷射的车辆分别占当年轿车产量的 90%、45% 和 25%,到 1992 年则分别达到 95%、80% 和 51%。德国 1988 年其比例已达到 85%,并于 1993 年 10 月停止生产化油器发动机的轿车而全部采用电控汽油喷射系统。

随着中国加入世贸组织(WTO),我国已经颁布了有关汽车排放方面的强制性法规,使得汽车发动机电子控制技术的推广应用迫在眉睫。据市场调查,1999 年 EFI 系统的市场需求量是 107 万套,而 2000 年达到 145 万套。相比而言,我国对电子控制燃油喷射系统的研制工作,虽在一些大学、科研院所等单位早已展开,但由于种种原因进展不快,且在短时间内还不能自行设计开发,还不能初步形成自行生产 EFI 系统的生产技术和能力。作为国家民族工业支柱的汽车产业,在向全世界敞开中国汽车市场大门的同时,如何促进我国汽车工业的快速发展,早日成为汽车生产和汽车技术的大国,EFI 系统的技术突破和产业化是当前的燃眉之急。

第二节 燃油喷射系统的分类

燃油喷射系统发展至今,已有多种类型。燃油喷射系统根据其结构特点分为以下几种类

型:

1. 按发动机使用的燃料分类

在发动机燃油喷射系统中,按使用的燃料分类,可分为汽油喷射系统和柴油喷射系统。汽油喷射系统发展较早,目前已有多种类型,广泛应用于轿车发动机上。柴油发动机电控燃油喷射系统有很大的发展潜能,预计在不久的将来,会得到推广和应用。

2. 按空气量的检测方式分类

进入发动机的空气量根据节气门的开度、进气管的压力、发动机转速进行基本值测定。吸入空气量的检测方式,可分为直接与间接两大类。

直接检测方式称之为质量—流量检测方式。间接检测方式又分为两种,一种是利用进气管压力和发动机转速,测定吸入空气量,计算燃油量的方式,称之为速度—密度方式;另一种是以节气门开度和发动机转速测定吸入空气量,并计算燃油量,称之为节流—速度方式。

图 1-4 所示为排量 2 L 的发动机的吸入空气量,随发动机转速与进气管压力、发动机转速与节气门开度变化而变化的两组曲线。上述三种方式的空燃比控制系统见图 1-5。

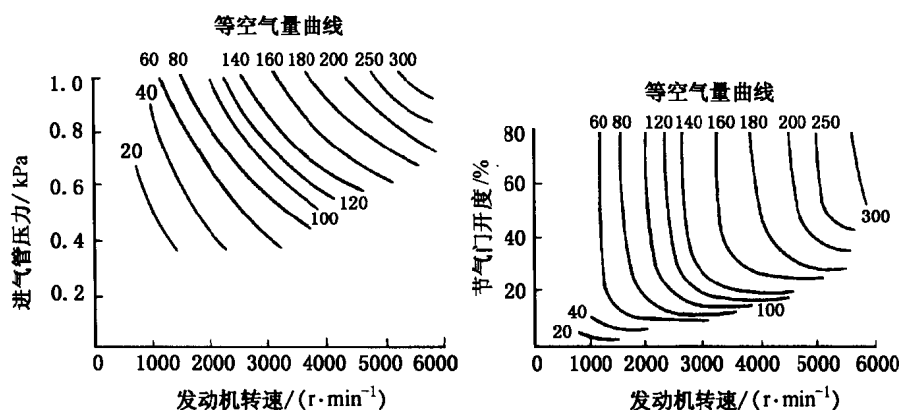


图 1-4 发动机的等空气量曲线图

(1) 质量—流量方式 质量—流量方式是利用空气流量计直接计测吸入的空气流量。目前占有主流地位的非连续喷射方式所必需的信号是每一工作循环的吸入空气量,也就是每一计测单位时间吸入空气量与循环周期数之比。即使用计测流量与发动机转速之比作为使用值,以这一数值为基础计算燃油喷射量。

(2) 速度—密度方式 速度—密度方式是利用发动机转速与进气管压力,测定每一循环中吸入发动机的空气量。再以这一空气量为基础,测定燃油喷射量。

如果以燃油调节量来讲,因为发动机的燃油流量的变化范围约 80 倍,转速变化范围约 10 倍,所以燃油调节范围约 8 倍,因此具有燃油调节量精度高这一优点。但是,其缺点是进气管压力与吸入空气量并不是简单的函数关系(参照图 1-4),需要修正检测过渡状态的吸入空气流量。其次,在降低排放的废气再循环(EGR)时,由于进气管压力的变化,也不易测定吸入空气量。

(3) 节流—速度方式 节流—速度方式是按照节气门开度与发动机转速测定每一循环吸入发动机的空气量,以这一空气量为基础,测定燃油喷射量。由于直接检测节气门的开度,因

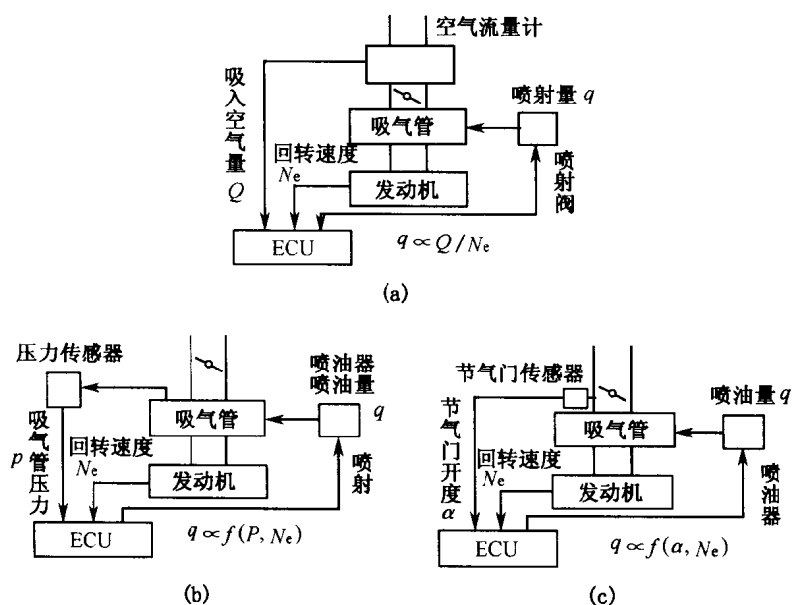


图 1-5 空燃比控制系统

(a) 质量—流量方式; (b) 速度—密度方式; (c) 节流—速度方式

此过渡响应性能良好, 广泛应用于赛车上。但是, 如图 1-4 所示, 由于空气量与发动机转速、节气门开度具有极其复杂的函数关系, 因此不易测出空气量。目前这一空燃比控制方式已基本淘汰。

3. 按燃油喷射位置分类

按燃油喷射位置不同, 燃油喷射系统可分为缸内喷射和缸外喷射。

(1) 缸内喷射 缸内喷射是指喷油器将燃油直接喷射到气缸燃烧室内, 因此需要较高的喷油压力(3.0~4.0 MPa)。由于喷油压力较高, 故对供油系统的要求较高, 成本也相应较高。同时, 由于要求喷出的燃油能分布到整个燃烧室, 故缸内喷油器的布置及气流组织方向比较复杂, 并且由于受发动机结构设计的限制, 目前这种方式几乎不采用。

(2) 缸外喷射 缸外喷射是指在进气歧管内喷射或进气门前喷射。该方式中喷油器被安装于进气歧管内或进气门附近, 故在进气过程中燃油被喷射后与空气混合, 形成可燃混合气再进入气缸内。

理论上, 喷射时刻设计在各缸排气行程上止点前 70°左右为佳。喷射方式可以是连续喷射或间歇喷射。

相比而言, 由于缸外喷射方式汽油的喷油压力不高(0.1~0.5 MPa), 且结构简单, 成本较低, 故目前应用较为广泛。

4. 按燃油喷射方式分类

根据燃油喷射方式不同, 燃油喷射系统可分为连续喷射和间歇喷射。

(1) 连续喷射 又称为稳定喷射, 在发动机整个工作过程中连续喷射燃油。连续喷射都是喷到进气管内, 而且大部分的燃油是在进气门关闭时喷射的, 因此大部分的燃油是在进气管内蒸发的。由于连续喷射系统无需考虑发动机的工作顺序和喷油时机, 故控制系统结构较为

简单,多应用于机械式或机电结合式燃油喷射系统中。

(2) 间歇喷射 又可称为脉冲喷射或同步喷射。喷射是以脉动的方式在某一段时间内进行的,因此喷射都有一定的喷油持续期。其特点是喷油频率与发动机转速同步,且喷油量只取决于喷油器的开启时间(喷油脉冲宽度)。故 ECU 可根据各种传感器所获得的发动机运行参数动态变化的情况,精确计量发动机所需喷油量,再通过控制喷油脉冲宽度来控制发动机各种工况下的可燃混合气的空燃比。由于间歇喷射方式的控制精度较高,故被现代发动机集中控制系统广泛采用。

间歇喷射按喷油时序又可细分为同时喷射、分组喷射和顺序喷射三种形式,见图 1-6。

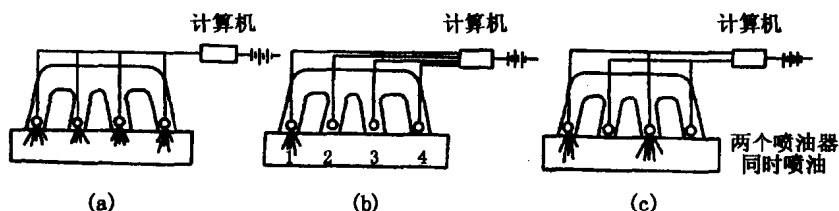


图 1-6 喷油时序

(a) 同时喷射; (b) 顺序喷射; (c) 分组喷射

同时喷射是指发动机在运行期间,各缸喷油器同时开启且同时关闭,由电脑的统一喷油指令控制所有喷油器同时动作;分组喷射是将喷油器按发动机每工作循环分成若干组交替进行喷射;顺序喷射则是指喷油器按发动机的工作顺序依次进行喷射,它具有喷油正时,由电脑根据曲轴位置传感器提供的信号,判断各缸的进气行程适时发出各缸的喷油脉冲信号,以实现顺序喷射的功能。

相比而言,由于顺序喷射方式可在最佳喷油定时向各缸喷射所需的喷油量,故有利于改善发动机的燃油经济性。但要求系统能对待喷油的气缸进行识别,同时要求喷油器驱动回路与气缸的数目相同,故电路较为复杂。

5. 按喷油器的数目分类

在发动机电子控制系统中,按喷油器数目进行分类,可分为单点喷射(Single Point Injection, SPI)和多点喷射(Multi Point Injection, MPI)两种形式,见图 1-7。

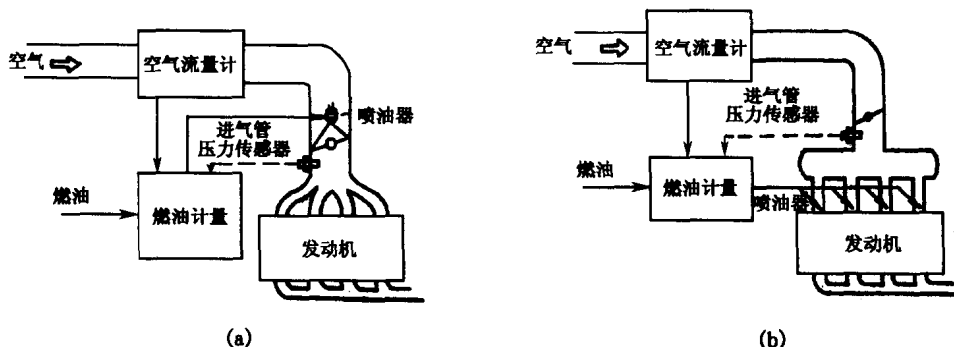


图 1-7 单点喷射与多点喷射系统

(a) 单点喷射系统; (b) 多点喷射系统

(1) 单点喷射系统 单点喷射系统是在进气管的节气门体上或稳压箱内安装一个中央喷射装置,用一只或两只喷油器集中向进气歧管喷射,形成可燃混合气,在发动机进气行程时被吸入气缸内。故这种喷射系统又可称为节气门体喷射系统或中央喷射系统。

(2) 多点喷射系统 多点喷射系统是在每个气缸进气门附近安装一个喷油器,所以各缸之间的空燃比混合较均匀,而且在设计进气管时可以充分利用空气惯性的增压效应以实现高功率化设计。

相比而言,单点喷射系统可采用更低的喷油压力(只有 0.1 MPa),虽然其性能略逊于多点喷射系统,但其结构简单、成本低、故障率低、工作可靠,对发动机改动少,且维修方便,故 20 世纪 90 年代的小排量普通轿车上曾得到广泛应用。

6. 按喷射装置的控制方式分类

按喷射装置的控制方式不同,燃油喷射系统可分为机械式、机电混合式和电子控制式三种。

(1) 机械式燃油喷射系统 早在 20 世纪五六十年代就运用于汽车上,采用连续喷射方式,又可分为单点喷射和多点喷射。Bosch 公司的 K-Jetronic 系统属于该类型,可简称 K 系统。图 1-8 所示为机械式燃油喷射系统,其喷油量是通过空气计量板直接控制汽油流量调节柱塞来控制的。该系统中设有冷启动喷油器、暖车调节器、空气阀及全负荷加浓器等装置,以便根据不同工况对基本喷油量进行修正。

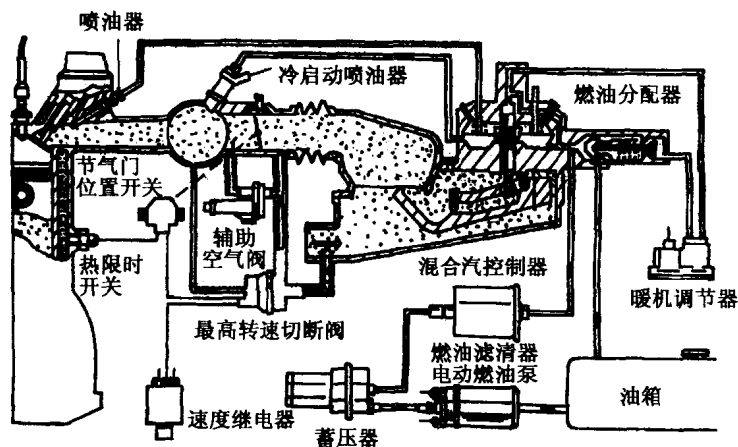


图 1-8 机械式燃油喷射系统

(2) 机电混合式燃油喷射系统 如图 1-9 所示,Bosch 公司的 KE-Jetronic 系统属于该类型,可简称 KE 系统,是在 K 系统的基础上改进后的产品。其特点是增加了一个电子控制单元 (ECU)。ECU 可根据水温、节气门位置等传感器的输入信号来控制电液式压差调节器的动作,以此实现对不同工况下的空燃比进行修正的目的。

(3) 电子控制式燃油喷射系统 电子控制式燃油喷射系统(Electronic Fuel Injection)简称 EFI,其构成见图 1-10。在 20 世纪六七十年代大多只控制汽油喷射,20 世纪 80 年代开始与点火控制一起构成发动机集中控制系统。电子控制单元通过各种传感器来检测发动机运行参数(包括发动机的进气量、转速、负荷、温度、排气中的氧含量等)的变化,再由 ECU 根据输入信号和数学模型来确定所需的燃油喷射量,并通过控制喷油器的开启时间来控制喷入气缸内的每

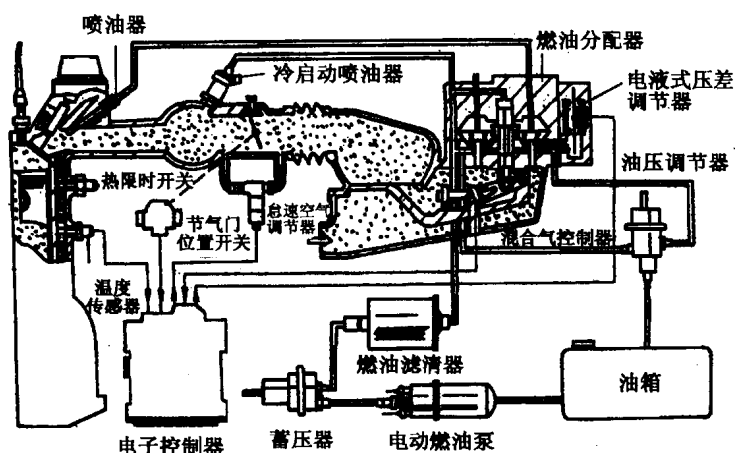


图 1-9 机电混合式燃油喷射系统

循环喷油量,进而实现对气缸内可燃混合气空燃比进行精确配制的目的。最佳点火时刻也用同样的方法计算,修正后送给点火电子组件,控制点火时刻。此外,根据发动机的要求,ECU 还可控制怠速(ISC)和废气再循环(EGR)等其他系统。

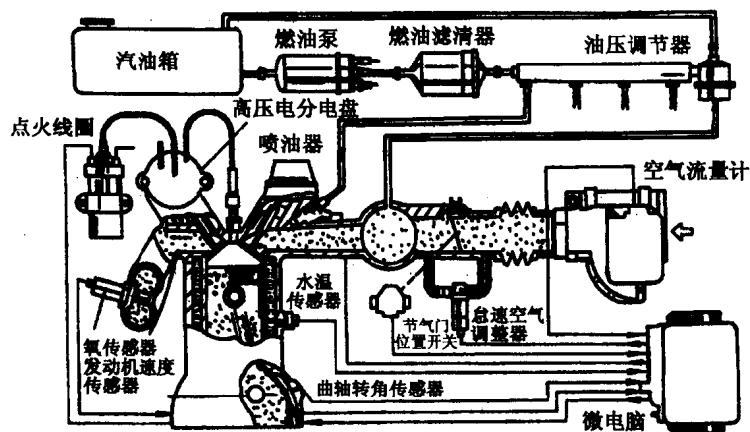


图 1-10 电子控制式燃油喷射系统

由于电子控制式燃油喷射系统在发动机各种工况下均能精确计量所需的燃油喷射量,且使用精度高,稳定性好,能实现发动机的优化设计和优化控制。因此,在汽车发动机燃油喷射系统中得到广泛应用。

7. 按电子控制系统的控制模式分类

按电子控制系统的控制模式进行分类,发动机电子控制系统可分为开环控制和闭环控制两种类型。

(1) 开环控制 是把根据实验确定的发动机各种运行工况所对应的最佳供油量的数据事先存入计算机中,发动机在实际运行过程中,主要根据各个传感器的输入信号,判断发动机所处的运行工况,再找出最佳供油量,并发出控制信号。控制信号经功率放大器放大后,再驱动

电磁喷油器动作,以此精确地控制混合气的空燃比,使发动机最佳运行。因此开环控制系统只受发动机运行工况参数变化的控制,按事先设定在计算机 ROM 中的实验数据流工作。其优点是简单易行,缺点是其精度直接依赖于所设定的基准数据的精度和电磁喷油器调整标定的精度。但当喷油器及传感器系统电子产品性能变化时,混合气就不能正确地保持在原预定的空燃比数值上。因此,它对发动机及控制系统的各个组成部分的精度要求高,系统本身抗干扰能力较差,而且当使用工况超出预定范围时,就不能实现最佳控制。

(2) 闭环控制系统 在排气管上加装了氧传感器,可根据排气中含氧量的变化,测出吸入发动机燃烧室内混合气的空燃比值,并把它输入到计算机中再与设定的目标空燃比值进行比较,将误差信号经放大器放大后控制电磁喷油器,使空燃比值保持在设定的目标值附近。因此闭环控制可以达到较高的空燃比精度,并可消除产品差异和磨损等引起的性能变化,工作稳定性好,抗干扰能力强。

当采用三元催化装置进行排气净化时,为使净化效果最佳,要求混合气浓度运行在理论空燃比附近。因此,对特殊的运行情况,如启动暖机、加速、怠速、满负荷等,需加浓混合气等,仍需采用开环控制,使电磁喷油器按预先设定的加浓混合气配比工作,充分发挥发动机的动力性能。所以,目前普遍采用开环和闭环相结合的控制方案。

第三节 燃油喷射系统的优点

如前所述,尽管汽车发动机的化油器可利用空气流经喉管时产生的负压,将汽油连续吸出、雾化、蒸发,与空气混合后形成可燃混合气,同时还可通过一些辅助装置,对不同工况下的混合气浓度进行校正,可基本满足发动机的工作要求。但这种供油方式无法使发动机在燃烧过程中得到最佳空燃比的混合气。特别是在低温、低速状态下,汽油的雾化效果较差,使燃烧室内所获的混合气空燃比有较大的误差,而且不能保证各缸供油均匀,造成发动机冷启动性能较差。此外,由于传统化油器无法根据进气量对燃油进行精确计量和控制,因此无法达到现代汽车的设计标准,严重影响了汽油机性能的进一步提高。

相比之下,电子控制燃油喷射系统由于采用了电子控制方式,可根据每循环的进气量对各缸所需的燃油喷射量进行精确计量和控制,并且 ECU 还可根据执行结果来改变控制目标,从而实现闭环反馈控制过程。为了进一步提高控制精度,一些燃油喷射控制系统中,在反馈控制基础上,增加了学习控制并自行进行修正,从而极大地改善了发动机的工作性能和控制系统的控制精度、稳定性和可靠性。具体来说,燃油喷射系统具有以下优点:

①燃油喷射系统可直接或间接地测量发动机的进气量,进而精确计量出发动机燃烧所需的供油量,并同时根据发动机负荷、温度等参数进行适时修正,以此精确控制发动机各种工况下的空燃比,实现发动机的最优控制,有效提高其动力性、经济性和排气净化程度。表 1-2 和表 1-3 分别列出了红旗轿车装用的 CA488 系列发动机和捷达轿车装用的发动机的性能参数,从表中可以看出,在发动机结构参数相同的情况下,燃油喷射式发动机比化油器式发动机的动力性和经济性都有明显改善。

② 由于燃油喷射系统进气管无需喉管进行节流,故可大大减少流通阻力,提高发动机的充气率。同时,由于燃油喷射系统可以采用较大气门重叠角,有利于废气排出,同样亦可提高发动机的充气效率,以此提高发动机的动力性。