



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 特别推荐



21世纪高职高专规划教材 · 汽车类

汽车发动机 燃油喷射技术

(第3版)

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

21 世纪高职高专规划教材·汽车类

汽车发动机燃油喷射技术

(第3版)

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

内 容 提 要

本书从发动机电控燃油喷射技术的基础知识入手,以我国最为常见的典型车型为例,较系统地介绍了汽油电控燃油喷射系统和柴油电控燃油喷射系统的结构、工作原理、故障诊断与维修实例等内容,具有较强的针对性与实用性;同时还介绍了最新发动机电控燃油喷射技术,如汽油发动机缸内直喷技术、电子控制柴油共轨技术等内容。

本书可作为职业院校的汽车检测与维修、汽车电子技术等相关专业教材,也可用作汽车发动机燃油喷射技术培训教材使用,还可供从事汽车维修工作的技术人员使用。

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. —3版. —北京:北京理工大学出版社,2008.8(2011.6重印)

ISBN 978-7-5640-0032-5

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(2008)第 114186 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) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中华美凯印刷有限公司

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/19

字 数/468 千字

版 次/2008 年 8 月第 3 版 2011 年 6 月第 8 次印刷

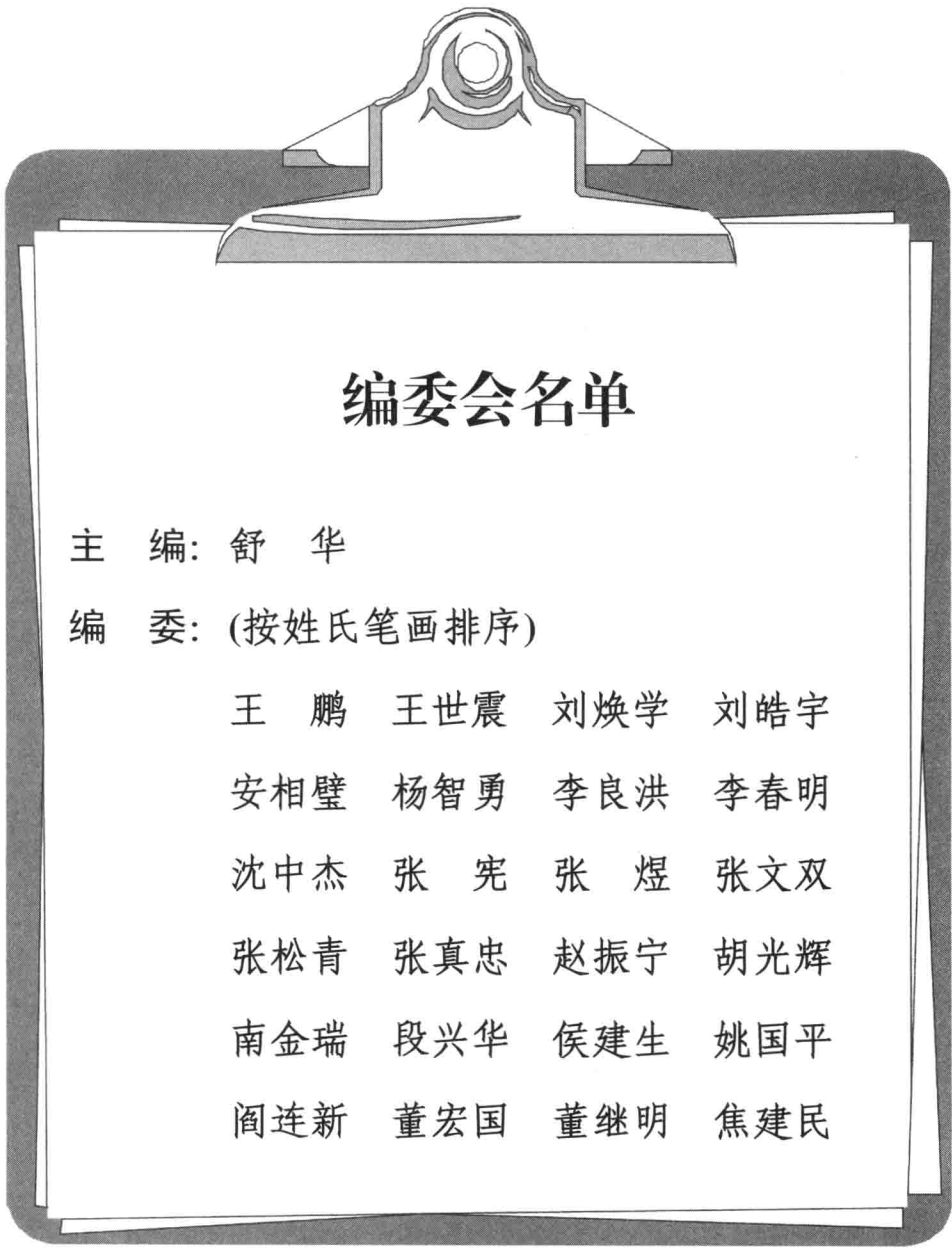
印 数/27001~29000 册

定 价/38.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换



编委会名单

主 编：舒 华

编 委：(按姓氏笔画排序)

王 鹏	王世震	刘焕学	刘皓宇
安相璧	杨智勇	李良洪	李春明
沈中杰	张 宪	张 煜	张文双
张松青	张真忠	赵振宁	胡光辉
南金瑞	段兴华	侯建生	姚国平
阎连新	董宏国	董继明	焦建民

编写说明

汽车作为人类文明发展的标志，从 1886 年发明至今，已有 100 多年的历史。近几年，我国的汽车生产量和销售量都迅速增大，全国汽车拥有量大幅度上升。世界知名汽车企业进入国内汽车市场，促进了国内汽车技术的进步。汽车保有量的急剧增加，汽车技术又不断更新，使得汽车运用与维修行业的车源、车种、服务对象以及维修作业形式都已发生了新的变化，使得技能型、应用型人才非常紧缺。

根据“职业院校开展汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训工程”的通知精神，并配合高等职业院校关于紧缺人才培养计划的实施，北京理工大学出版社组织了一批多年工作在教学一线的优秀教师，根据他们多年的教学和实践经验，再结合高等职业院校汽车运用与维修专业的教学大纲要求，编写了本套教材。

本套教材既有专业基础课，又有专业技术课。在专业技术课中又分几个专门化方向组织编写，分别是：汽车电工专门化方向，检测技术专门化方向，汽车机修专门化方向，大型运输车维修技术专门化方向，车身修复技术专门化方向，技术服务与贸易专门化方向，汽车保险与理赔专门化方向。

本套教材是按照“高等职业教育汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养指导方案”要求而编写的。在内容的编排上根据汽车专业教育教学改革的要求，注重职业教育的特点，按技能型、应用型人才培养的模式进行设计构思。本套教材编写中，坚持以就业为导向，以服务市场为基础，以能力为本位，以培养学生的职业技能和就业能力为宗旨；合理控制理论知识，丰富实例，注重实用性，突出新技术、新工艺、新知识和新方法。

本套教材适用于培养汽车维修、检测、管理、评估、保险、销售等方面的高技术应用型人才的院校使用。

本套教材经中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会评审，并做了适量的修改，内容更具体，更实用。本套教材由汽车工程图书出版专家委员会推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

前言

随着汽车工业的迅猛发展,汽车电子化程度不断提高,发动机电控燃油喷射技术也日益成熟和发展。它不仅广泛应用于汽油发动机,还越来越多地用于柴油发动机,并在各自的应用领域得到长足的进步,同时汽油发动机缸内直喷技术、柴油发动机的共轨技术已进入了实用化阶段。为了使广大的汽车维修技术人员和职业院校学生更好地掌握发动机燃油喷射系统的检修技能与相关知识,我们组织力量编写了本书。

本书按照汽车检测与维修专业高素质技能型人才培养目标要求编写,是一本具有鲜明特色的高职高专教材。全书以职业能力培养为主线,通过工作任务将发动机燃油喷射技术每一部分的技能与知识紧密联系起来,内容上能够反映燃油喷射最新技术,注重理论联系实际,与职业岗位工作标准接轨,具有较强针对性与实用性;编写组织形式上,打破章节概念,采用单元与任务的形式,突出学生技能培养,体现知识为技能服务思想,旨在培养学生的技术应用能力。

全书主要包括汽车发动机燃油喷射技术概述、电控汽油喷射技术基础、电控汽油喷射系统的检修方法、典型轿车电控汽油喷射系统、汽油发动机缸内直喷技术、电控柴油喷射技术基础、典型电控柴油喷射系统等内容,涵盖了我国最为常见的捷达、宝来、奥迪、威驰、花冠、富康、雅阁、别克等车型。

本书可作为高等职业院校、高等专科院校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院汽车检测与维修技术、汽车电子技术及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业教材,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

本书由长期从事汽车专业教学的教师与具有丰富实践经验的一汽-大众4S店的技术服务人员共同编写。编写组成员有:焦传君、赵宇、夏英慧、何英俊、刘艳莉、孙雪梅、邛艳芬、赵晓宛、张军、董长兴、许大伟、王伟军、张勇钊。全书由李春明任主编,焦传君任副主编。

由于编者水平所限,书中有不妥和错误之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2008年4月

目 录

第一章 汽车发动机燃油喷射技术概述	1
第二章 电控汽油喷射技术基础	13
第一节 空气供给系统	13
第二节 燃油供给系统	14
第三节 点火系统	26
第四节 电子控制系统	29
第五节 燃油喷射控制	53
第六节 点火控制	59
第七节 辅助控制	66
第三章 电控汽油喷射系统的检修方法	86
第一节 电控汽油喷射系统的故障诊断	86
第二节 常见检测仪器的使用	98
第四章 典型轿车电控汽油喷射系统的检修	111
第一节 捷达轿车电控汽油喷射系统的检修	111
第二节 奥迪轿车电控汽油喷射系统的检修	129
第三节 威驰轿车电控汽油喷射系统的检修	140
第四节 花冠轿车电控汽油喷射系统的检修	153
第五节 富康轿车电控汽油喷射系统的检修	161
第六节 雅阁轿车电控汽油喷射系统的检修	171
第七节 别克轿车电控汽油喷射系统的检修	177
第五章 汽油发动机缸内直喷技术	187
第一节 汽油缸内直喷技术基础	187
第二节 奥迪 3.2FSI 发动机缸内喷射技术	193
第六章 电控柴油喷射技术基础	203
第一节 电子控制直列泵燃油系统	203
第二节 电子控制分配泵燃油喷射系统	208
第三节 电子控制泵喷嘴燃油系统	212
第四节 电子控制柴油共轨喷射系统	218
第七章 典型电控柴油喷射系统的检修	232
第一节 捷达轿车 SDI 电控柴油喷射系统的检修	232
第二节 宝来轿车 TDI 电控柴油喷射系统的检修	241
第三节 解放 CA6DL 发动机柴油共轨喷射系统	292
参考文献	295

第一章 汽车发动机燃油喷射技术概述

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,这一过程就称为燃油配制。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。

图 1-1 所示为燃油配制的两种方式。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。

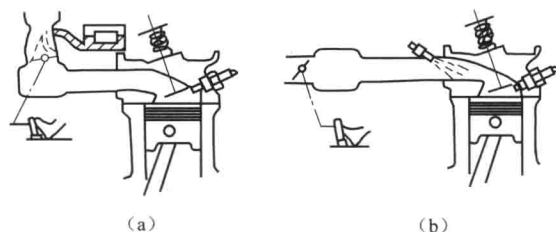


图 1-1 燃油配制两种方式
(a) 化油器供油;(b) 燃油喷射供油

为了满足汽车动力性、经济性、排放性不断提高的要求,化油器系统已经被淘汰,开发了电子燃油喷射(Electronic Fuel Injection,EFI)系统。它利用各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。

(一) 空燃比对发动机性能的影响

我们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。在标准大气压^①下,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 燃油所供给的空气不一定就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,通常我们把实际空气量与理论空气量的比值称为过量空气

^① 1 标准大气压(atm) = 101 325 Pa。

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如图 1-2(a) 所示。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。

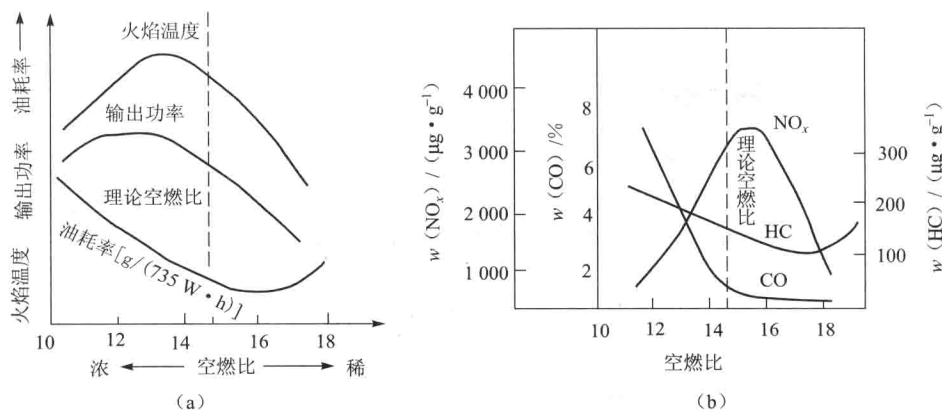


图 1-2 空燃比与发动机转矩、油耗率和有害排放物的关系

(a) 空燃比与火焰温度、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 以理论空燃比为界,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。

(二) 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,混合气燃烧后所作的功,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 ~ 1 000 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 所示的 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 所示的 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 所示的 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 所示的 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 所示的 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。

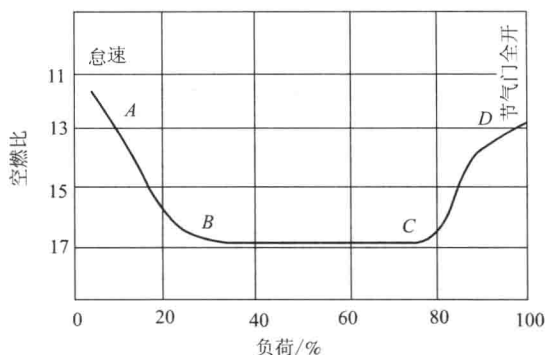


图 1-3 发动机混合气空燃比与负荷的关系

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作功,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,使发动机转速下降。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,以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、燃油喷射技术的发展

发动机电子控制系统的主要功用是控制燃油喷射,因此又将其称为发动机电子控制燃油喷射系统,简称电控燃油喷射系统。按发动机使用的燃料不同可分为汽油喷射系统和柴油喷射系统。

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 - Benze 300 L 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 200 S 型轿车,装备了 Bosch 公司和 Kugerfischer 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。

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 年代中期,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。

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。

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。

德国 Bosch 公司生产了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 公司的 DEFI 系统、Ford 公司的 EEC-III 系统,以及日本日产公司的 ECCS 系统、丰田公司的 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。

自 20 世纪 80 年代初,电控汽油喷射系统的应用得到迅猛的发展,化油器逐渐被淘汰。

目前,各国的汽油发动机基本上全部采用了电控汽油喷射系统,并且不断完善其性能,缸内汽油喷射系统也进入了实用化阶段,以满足日益严格的排放和节油需要。

四、电控燃油喷射系统的功用与组成

汽油发动机电子控制系统的功用是控制燃油喷射和点火,除此以外,还控制发动机的启动、怠速转速、空燃比、爆震、极限转速、减速断油、燃油蒸发、废气再循环、发动机输出电压、电动燃油泵和系统自诊断等辅助功能。

汽油发动机电控燃油喷射系统通常由空气供给系统、燃油供给系统、点火系统和电子控制系统四部分组成。电子控制系统是核心。

电子控制系统主要由传感器、电控单元(electronic control unit, ECU)和执行器三大部分组成,如图 1-4 所示。传感器可将发动机各种状态的物理量转换成相应的电量送给 ECU, ECU 综合处理这些电量信号后,送出控制数据,执行器将 ECU 送出的控制数据转换成物理或机械动作,以改变发动机的工作状态。

燃油喷射技术发展至今,已有多种类型。

五、电控汽油喷射系统的分类

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。

1. 按空气量的检测方式分类

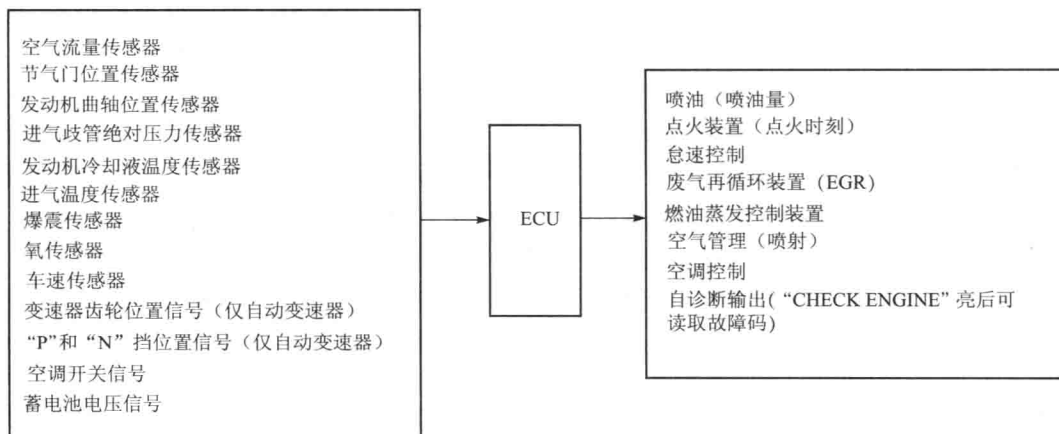


图 1-4 发动机电子控制系统框图

按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。

上述三种方式的空燃比控制系统如图 1-5 所示。

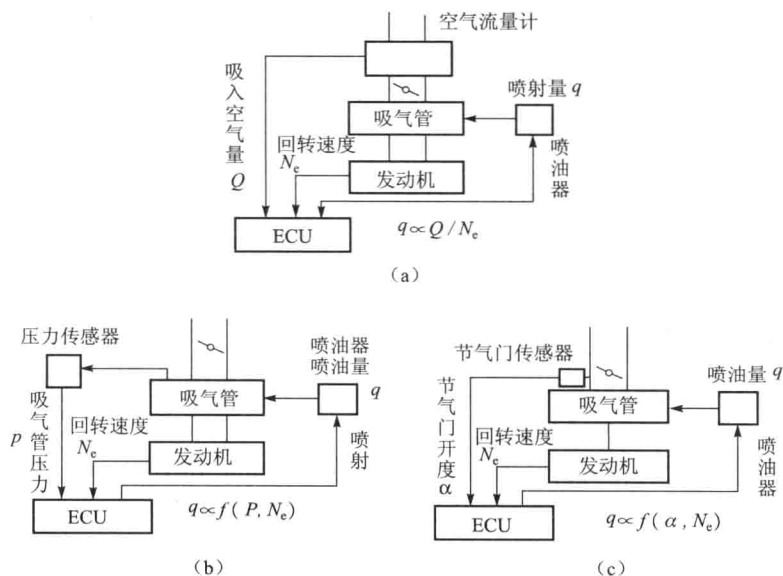


图 1-5 空燃比控制系统

(a) 质量—流量方式；(b) 速度—密度方式；(c) 节流—速度方式

(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。一般而言，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,需要修正检测过渡状态的吸入空气流量;其次,作为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,因此过渡响应性能良好,广泛应用于赛车上。

2. 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外喷射和缸内喷射。

(1) 缸外喷射

缸外喷射是指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,故燃油在进气过程中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。

由于缸外喷射方式汽油的喷油压力不高($0.1 \sim 0.5 \text{ MPa}$),且结构简单,成本较低,应用较为广泛。

(2) 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($3.0 \sim 4.0 \text{ MPa}$)。由于喷油压力较高,可实现稀薄燃烧,有利于提高经济性和排放指标,但对供油系统的要求较高,成本也相应较高。

3. 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

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道内,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道内蒸发的。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

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,如图 1-6 所示。

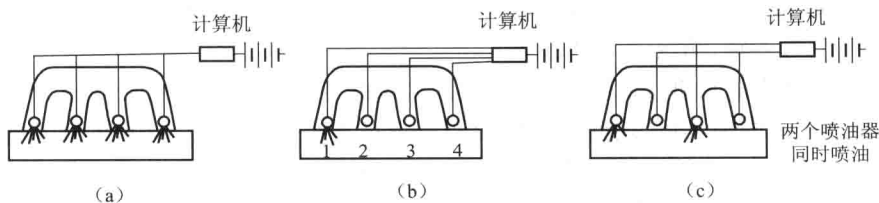


图 1-6 喷油时序

(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,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。

4. 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, 简称 SPI)和多点喷射(Multi Point Injection, 简称 MPI)两种形式,如图 1-7 所示。

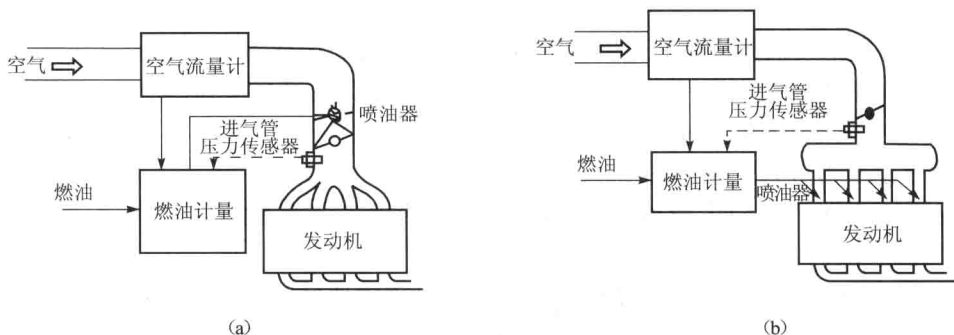


图 1-7 单点喷射与多点喷射系统

(a) 单点喷射;(b) 多点喷射

(1) 单点喷射

单点喷射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。这种喷射系统也可称为节气门体喷射系统或中央喷射系统。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,故在 20 世纪 90 年代的小排量普通轿车上曾得到广泛应用,目前已趋于淘汰。

(2) 多点喷射

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。

5. 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

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,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。

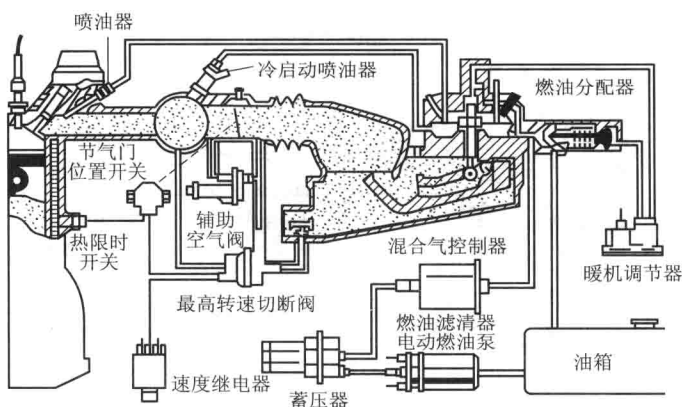


图 1-8 机械式燃油喷射系统

(2) 机电混合式燃油喷射系统

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

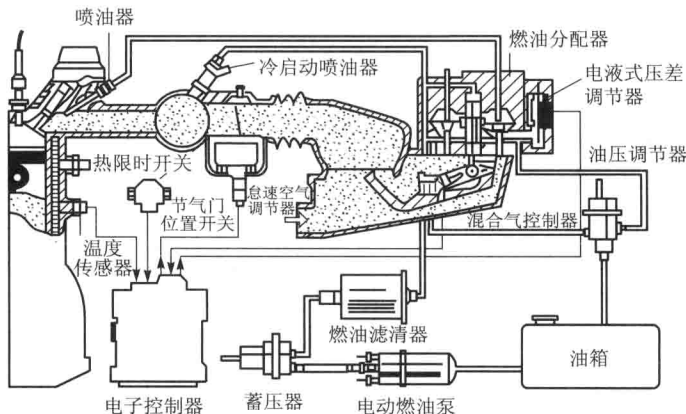


图 1-9 机电混合式燃油喷射系统

(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),其构成如图 1-10 所示。在 20 世纪六七十年代大多只控制汽油喷射,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循环喷油量,进而实现对气缸内可燃混合气的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,电脑还可控制怠速(ISC)和废气再循环(EGR)等其他系统。

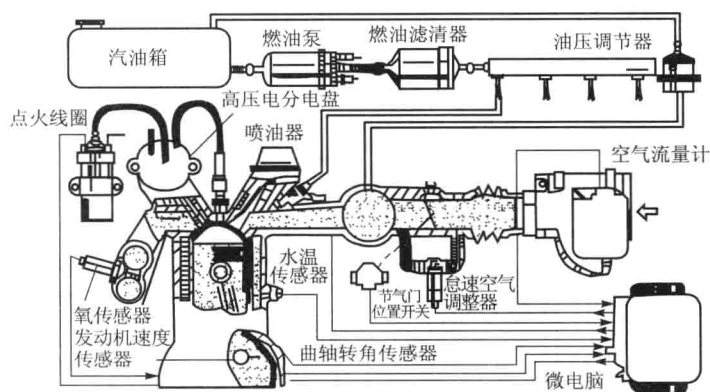


图 1-10 电子控制式燃油喷射系统

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。

6. 按电子控制系统的控制模式分类

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

(1) 开环控制系统

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。