

QICHE DIANPEN XITONG JIBEN YUANLI

汽车电喷系统

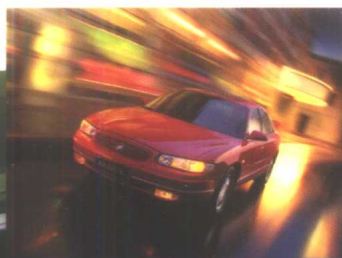
黄河编

基本原理

QICHE

DIANPEN XITONG

JIBEN YUANLI



64.136
4431

上海交通大学出版社

汽车电喷系统基本原理

黄 河 编

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书主要对汽油喷射发动机电控系统进行了详细的剖析及研究,并以 BOSCH 公司 Motronic 为例具体介绍了多点喷射电控系统的基本原理,电控系统的组成,控制单元(ECU)的特点,各传感器和执行器的功能,ECU 故障检测及其系统的电气检测方法,并对 ECU 输入输出信号进行了分析。此外,对喷油、点火正时和怠速的控制规律进行了阐述,包括开环和闭环控制各工况的匹配及车辆运行等。

汽油喷射电控系统优化了发动机燃烧过程,使发动机额定功率提高,油耗量下降,怠速稳定,废气排放量减少,加速性能也有很大的提高,通过对本书的有关章节的学习可以对汽车发动机电控系统故障进行故障诊断。

本书的内容既可作为汽车电子专业的工程技术人员及汽车维修人员阅读材料,也可作为大专院校汽车专业师生以及汽车电喷系统技术培训人员的参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电喷系统基本原理/黄河编. —上海:上海交通大学出版社,2003

ISBN7-313-03166-1

I. 汽... II. 黄... III. 汽车—电子控制—喷油器—原理 IV. U464.136

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 070668 号

汽车电喷系统基本原理

黄 河 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

上海锦佳装璜印刷发展公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:9.75 字数:235 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印数:1-3050

ISBN7-313-03166-1/U·111 定价:13.00 元

前言

汽车电子控制技术是近 20 年来汽车工业发展最快的领域,随着微电子技术、(单片机)、传感器技术的发展,汽车电子设备的应用已占汽车总成本的三分之一左右,目前在国外,美国福特、日本丰田、德国大众等公司生产的汽车上装有几个甚至二十几个单片机和上百个各类传感器,其主要汽车电子设备都可用 BOSCH 公司首推的 CAN 总线控制网络进行通信和控制。

近年来,随着人们对环保的重视,我国已制定了一系列汽车排放法规。从 2000 年开始我国首先强制轿车执行欧洲 1 号排放法规,2002 年 1 月 1 日又开始明令禁止生产和销售装用机械式化油器和点火装置的轿车,必须改用电控汽油喷射和电子点火系统。为此,国内的许多汽车厂商所生产的轿车都装配了电子控制发动机燃油喷射点火系统,使其轿车在发动机性能和排放水平上都有极大的提高,目前使用的电子控制发动机燃油喷射点火系统中大部份是 BOSCH 公司的 Motronic 系统。

中联汽车电子有限公司与德国 BOSCH 公司合资在上海浦东建立的联合汽车电子有限公司专门制造生产 Motronic 系统的发动机电子控制器(ECU)以及与之配套的各种汽车发动机传感器和执行器,为上海大众、上海通用、一汽大众、长安、昌河、东风、吉利、哈飞等汽车公司配套使用,大大提高了国内汽车电控技术水平。对广大读者来说了解和掌握先进的汽车制造,尤其是汽车电子技术十分重要。

随着进口汽车的增多和汽车电子技术在国产汽车中的广泛应用,掌握汽车电子控制设备的原理与维修已成为汽车行业急需解决的技术问题,为此,本书针对 Motronic 系统的基本结构、工作原理、控制过程和维修方法进行了比较全面的阐述。为了使读者易于掌握,在编写过程中坚持理论联系实际、由浅入深、便于学习的原则,力求使读者通过本书的学习,能迅速地了解和掌握 Motronic 系统的基本原理和维修方法。

本书前期的大量资料收集和整理与系统中的实验测试工作由顾成、吕刚、徐峰、李直、吴平友、程庆等完成,本书在编写中还得到了联合汽车电子、上海大众、一汽大众等汽车有限公司有关人员的大力帮助,在此表示感谢。

本书在编写过程中参阅了众多同行的资料,在此对所参考资料的原作者深表谢意。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中难免出现错误,敬请读者批评指教。

编者

2002 年 5 月

目 录

第一章 概述	1
一、汽车电子控制技术发展简介	1
二、目前国内外汽车电子技术发展状况	1
第二章 汽车发动机基础	5
一、发动机的总体结构	5
二、内燃机的分类	5
三、汽油机的工作原理	6
四、发动机的主要性能指标	8
五、发动机特性	9
第三章 汽车发动机控制理论	10
一、喷油量控制理论	10
二、点火提前角控制	15
三、喷油正时	17
四、排放控制	18
第四章 电喷发动机系统概述	21
一、电喷系统的基本组成	21
二、电喷系统的工作过程	23
三、电喷系统控制软件	23
四、Motronic 电喷系统的特点	24
第五章 Bosch 电喷系统简介	26
一、Bosch 典型系统	26
二、UAES 产品介绍	32
第六章 Motronic 系统的主要构成及其功能	46
一、M1 电喷系统	46
二、M3 电喷系统	75
三、ME7 电喷系统	80

第七章 MI ECU 输入输出信号分析	87
一、MI ECU 输入信号分析	87
二、MI ECU 输出信号分析	93
第八章 Motronic ECU 基本控制策略	96
一、主体控制策略	96
二、转速与负荷计算	98
三、喷油控制	98
四、反馈控制	101
五、点火控制	102
六、爆震控制	105
第九章 电喷发动机运行工况的匹配	106
一、冷起动工况	106
二、暖机工况	108
三、怠速工况	111
四、全负荷工况与倒拖运行工况	112
五、加速运行工况	113
六、对进气温度的匹配	114
七、对高原行车的匹配	115
八、对蓄电池电压的匹配	115
九、对转速与停车工况的匹配	115
十、对爆震的处理	116
十一、 λ 的调节及 λ 综合特性曲线	117
第十章 Motronic 故障自诊断系统	119
一、简介	119
二、汽车自诊断系统的发展史及其具备的功能	119
三、故障诊断仪 V. A. G1551/1552 简介	126
第十一章 MI ECU 系统电气检测	131
一、MI ECU 故障诊断系统	131
二、用信号换接器检测电缆和元件	134
第十二章 CAN 总线简介	141
一、CAN 技术背景	141
二、CAN 技术规范 2.0A 简介	141
三、CAN 技术规范 2.0B 简介	143

四、国际标准 ISO11898 简介	144
参考文献	145

第一章 概 述

一、汽车电子控制技术发展简介

汽车电子技术是从电子控制燃油喷射技术开始的。传统的汽车都使用化油器,化油器是发动机混合气的生成系统,具有对燃油进行雾化、气化、混合、配剂和定量控制等功能。但是化油器具有一些致命的弱点,比如混合气浓度过大、油耗多、尾气污染严重,使发动机振动大、易于熄火。并且,浮子式化油器在工作状况时易受发动机姿势的影响。飞机在爬升、翻滚时,化油器不能正常工作。航空发动机如果出现这种故障,可能造成机毁人亡。因此汽油喷射取代化油器,实为不可避免。美国空军 1925 年正式开发汽油喷射航空发动机,并于 6 年后进行了试飞。二战结束后,汽油喷射转向车用。20 世纪 50 年代,大批量生产的汽油喷射轿车开始投入市场。但这一阶段的汽油喷射为机械喷射,即利用杆系传递负荷信息,利用离心块探测转速信息,通过空间凸轮控制循环喷油量。1957 年美国公司推出了电子控制汽油喷射系统,这就是所谓电子喷射,简称电喷。电喷技术为发动机,乃至整个运输事业的发展开创了一个新纪元。

随着电子技术的发展,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,从模拟电子喷射到数字电子喷射的发展过程。电子控制汽油喷射的优点主要表现为:一是在各种工况下都能根据特定的目标对燃油定量实现最精确的优化,且各工况之间能做到最佳匹配;二是可实现闭环控制,为使用三元催化转化器净化排气创造了条件,而且避免了因零件的磨损、空气密度的变化所带来的喷油量偏差。在研究电喷的同时,开发商也开展了对汽车其余部分的电子控制的研究。1960 年开始使用集成电路调节器代替电磁振动调节器,1969 年开始研制汽车变速器的电控装置,1970 年开始使用电控防滑装置(即防抱死制动系统),1977 年数字单片机开始用于点火系统,同年又研制出同时控制点火时刻、排气再循环和二次空气的电控系统。以上系统都是对发动机的各个部件分别控制,各自独立,但是发动机的各个参数是互相关联的,所以这些系统的功效都有很大的局限性。在 1979 年开发出了综合控制点火时刻、空燃比、排气循环和怠速速度,并具有自我诊断功能的发动机集中控制系统。从此以后电子技术在汽车上的应用越来越广。

二、目前国内外汽车电子技术发展状况

汽车电子控制技术是近 20 年来汽车工业发展最快的领域,随着微电子技术、单片机技术和传感器技术的发展,汽车电子设备的应用有的已达汽车总成本的三分之一。目前在国外,美国福特、日本丰田、德国大众等公司生产的汽车上装有几个甚至二十几个单片机和上百个各类传感器,其主要汽车电子设备有:发动机电控系统(EMS ECU)、自动变速系统(Transmission)、防抱死制动/驱动控制系统(ABS/Traction)、防碰撞系统(Vehicle Collision Prevention System)、电子动力转向控制系统(Electronic Power Steering)、安全气囊系统(Air-condition-

ing Control System)、泵油控制系统(Fuel Pump Control)、自动悬挂控制系统(Auto Suspension Control System)、自动门锁系统(Auto Door-lock Control System)、玻璃窗升降控制系统(Window Lift Control)、声控警报系统(Voice Warning and Recognition)、路线识别计算机(Trip Computer)、汽车防盗系统(Anti-Theft System)。而且这些设备都可用 BOSCH 公司首推的 CAN 总线控制网络进行通信和控制,称为汽车电子 CAN 总线控制系统,如图 1-1 所示。

目前 BOSCH 公司设计的电子控制汽油喷射系统已被广泛应用在各国生产的汽车上。此外,美国、日本及欧洲各国汽车制造厂除了采用 BOSCH 公司设计生产的电子控制汽油喷射系统外,自己也逐步研制开发了各种型式的汽油喷射系统,以适应不同车型的需要,且在技术上也有所创新和发展。

20 世纪 90 年代以来,用在各国轿车发动机上的电子控制汽油喷射系统通常都采用超大规模集成电路组成的电脑和数字控制方式,能同时对汽油喷射系统、进气系统、排放控制系统、电子点火系统以及自动变速器、巡航控制系统等进行控制。通常将这种控制系统称为发动机总体控制系统(简称 TECS 或称为 EMS),如图 1-2 所示。这些系统具有以下几个特点:

(1) 能自动实现起动机加浓、冷车快怠速、加速加浓、全负荷加浓等功能。特别是在使用无铅汽油的汽车上,普遍采用了带有氧传感器的喷油量闭环控制系统(或称为反馈控制系统),能将混合气浓度精确地控制在十分接近理论混合比的范围内。

(2) 具有急减速断油、起动机溢油时自动断油及超速断油等功能。

(3) 具有自动稳定怠速转速的功能,在使用和维护中无需调整怠速。

(4) 能根据运转工况自动调整点火提前角,采用带有爆震传感器的点火提前角闭环控制系统,在产生爆震时能自动推迟点火。

(5) 采用电脑控制的涡轮增压器和可变惯性充气系统,充分利用进气气流惯性所产生的谐振增压效应,最大限度地提高充气量,使发动机在所有转速范围内都能产生充足的扭矩。

(6) 电脑除了控制各个系统的工作外,还具有故障自诊断和保护功能,能自动检测各传感器、执行器线路方面的故障,并能在出现故障时按预定的保护程序维持发动机运转等。

在我国,上海大众、一汽大众等汽车公司生产的轿车上装配了 BOSCH 公司的 Motronic 电子控制发动机燃油喷射点火系统,使其轿车在发动机性能和排放水平上都有极大的提高。随着国内一系列排放法规的出现,迫使国内的许多汽车厂商都采用发动机电喷系统,其中大部分使用 Motronic 系统。

中联汽车电子有限公司与德国 BOSCH 公司合资在上海浦东建立的联合汽车电子有限公司专门制造 Motronic 系统的发动机电子控制器(ECU)以及与之配套的各种汽车传感器和执行器,大大提高了国内汽车电控技术水平。除此之外,上海通用 BUICK、广州本田 ACCORD、天津夏利、神龙富康等的电喷汽车也已批量生产。

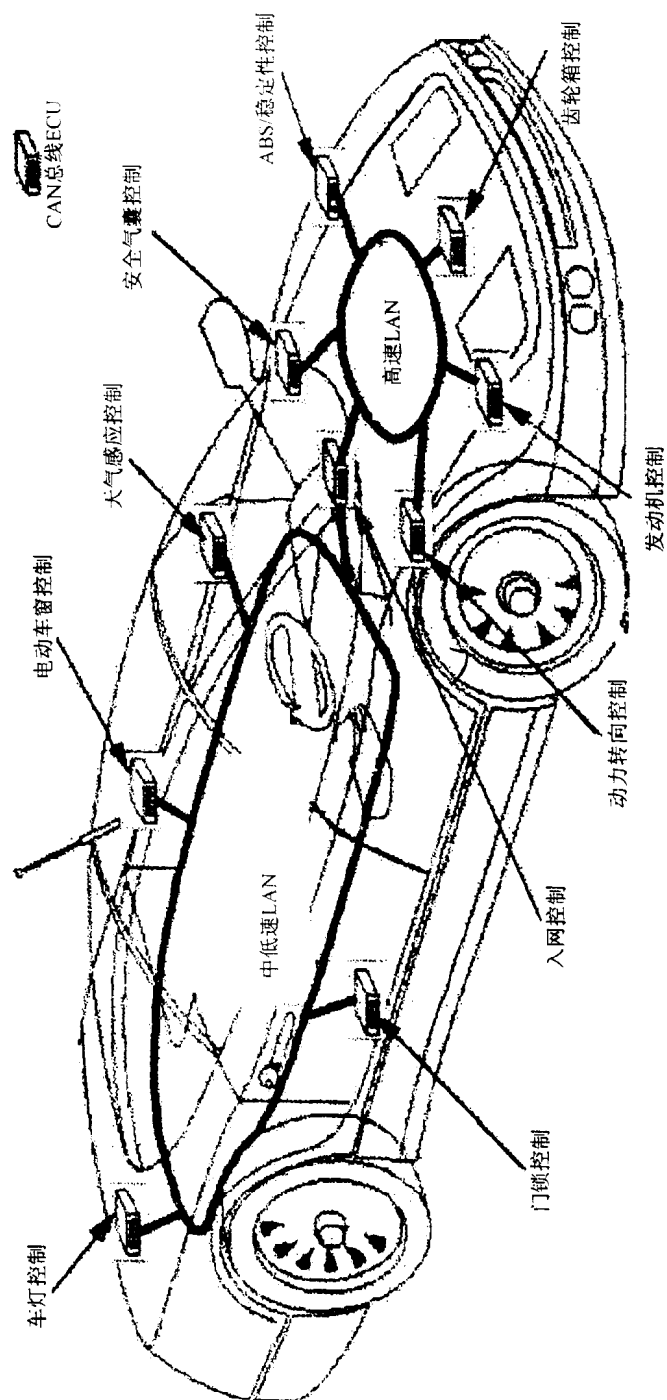


图 1-1 汽车电子 CAN 总线控制系统

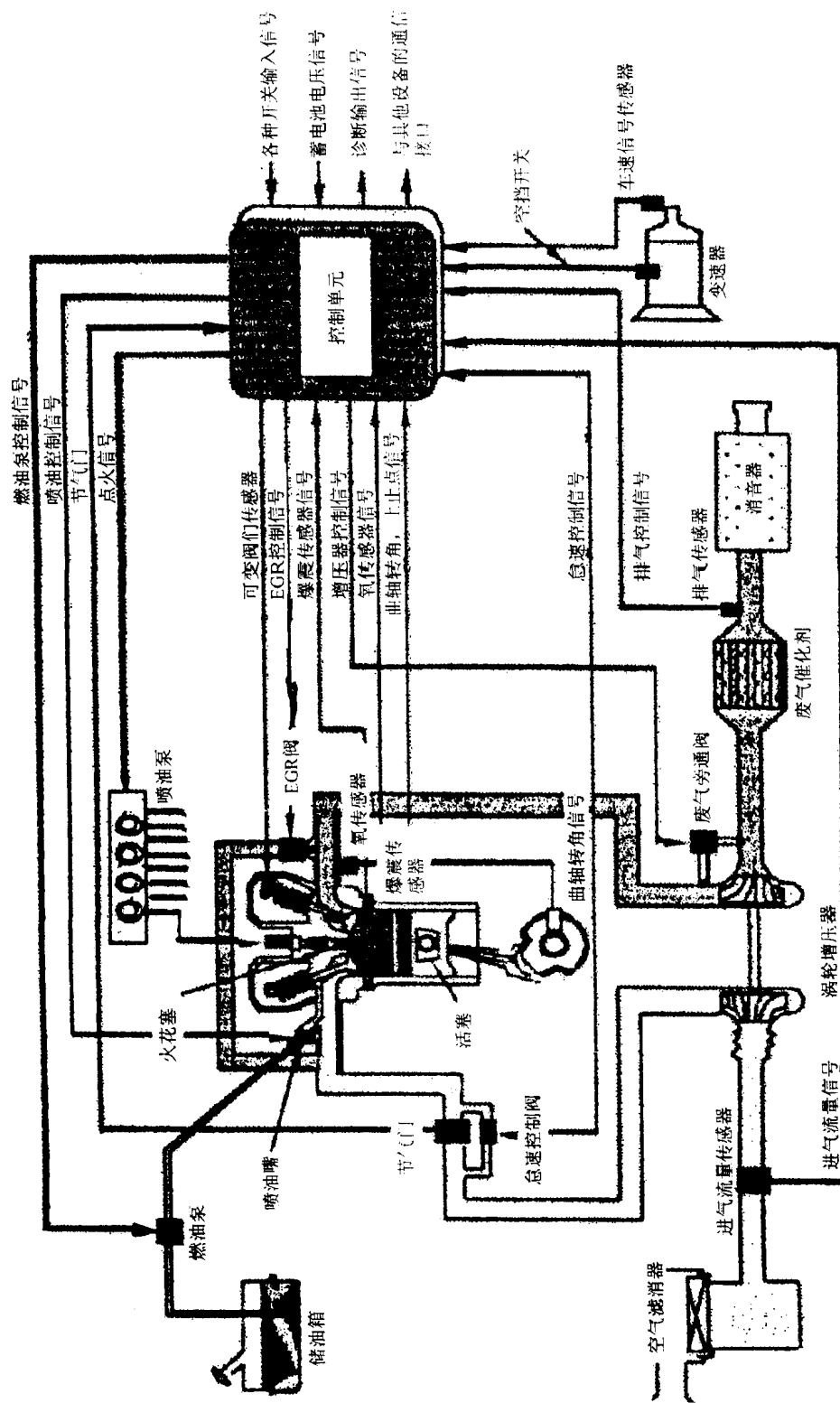


图 12 发动机总体控制系统

第二章 汽车发动机基础

一、发动机的总体结构

尽管随着内燃机技术的发展,各种新型的发动机不断涌现,但对内燃机的总体结构来说,还是大同小异的。内燃机在工作过程中能输出动力,除了直接将燃料的热能转变为机械能的燃烧室和曲柄连杆机构外,还必须具有一些机构和系统予以保证,并且这些机构和系统是互相紧密连结和协调工作的。不同类型和用途的内燃机,其机构和系统的形式不同,但其功用是完全一致的。如图 2-1 所示,汽油机通常由下列机构和系统组成:曲柄连杆机构、配气机构、冷却系统、润滑系统、点火系统、燃料系统和起动系统。

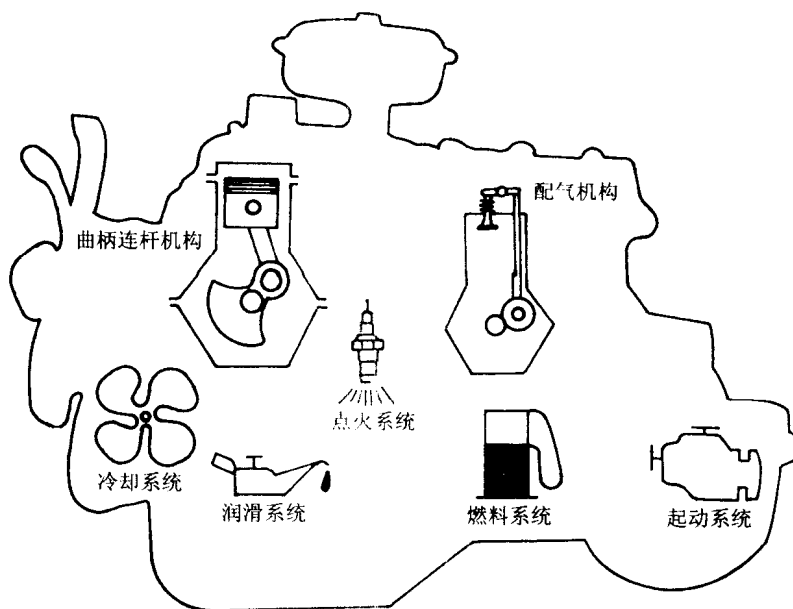


图 2-1 汽油机系统组成

二、内燃机的分类

内燃机按所用燃料分为柴油机、汽油机和煤油机。此外,还可按往复式内燃机其他特征进行分类,如图 2-2 所示。

- (1) 按工作循环分为四冲程发动机和二冲程发动机。
- (2) 按使用燃料分为汽油机和柴油机。

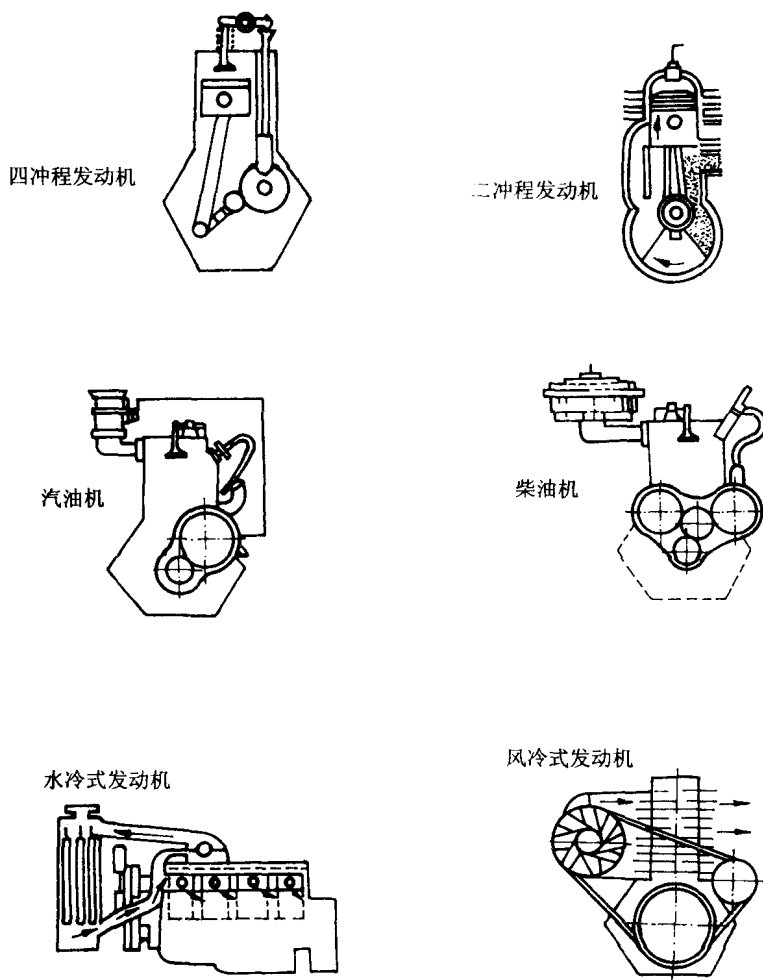


图 2-2 内燃机的分类

(3) 按冷却方式分为水冷式发动机和风冷式发动机。

(4) 对汽油机按混合气形成方式分为化油器式汽油机和电子控制燃油喷射式汽油机,后者在轿车和轻型车上已广泛应用。

(5) 按缸数分为单缸、双缸和多缸机。

(6) 按气缸排列形式分为直列式、V 型和水平对置式发动机。

(7) 按每缸气门数分为单气门(仅用于二冲程发动机)、二气门(进排气门各一)、三气门(二个进气门、一个排气门)、四气门(二个进气门、二个排气门)和五气门(三个进气门、二个排气门)发动机。

(8) 按进气方式分为自然进气式和增压进气式发动机。

三、汽油机的工作原理

汽油机是一种点燃式或奥托循环式外源点火的内燃机,它将燃油含有的能量转换成动能。

使用一个置于燃烧室外部的混合气配制装置来形成空燃混合气(使用汽油或某种燃气)。当活塞下降时,混合气被吸入燃烧室,然后随着活塞的上升被压缩。一个外部点火源以特定的时间间隔点火,利用火花塞点燃混合气。燃烧过程释放的热能使得气缸内的压力升高,活塞向下推动曲轴,从而提供实际的做功能量(动力)。在每一个燃烧行程之后,废气被排出气缸,新鲜的空燃混合气又被吸入。对于汽车发动机来说,这种气体的交换通常是根据四冲程原理来设计的,如图 2-3 所示。

一个完整的循环需要曲轴转动两周。四冲程汽油机每个工作循环要经过进气、压缩、作功、排气四个活塞行程,如图 2-4 所示。

1. 进气行程

进气门开,排气门闭。活塞由曲轴带动从上止点向下止点运动,曲轴旋转半周(180°),燃烧室容积逐渐增大,产生真空,通

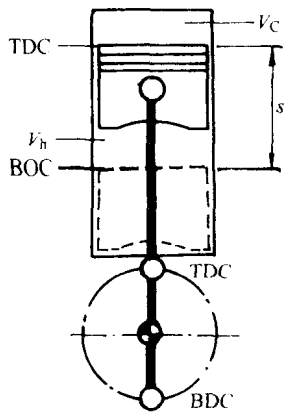


图 2-3 四冲程发动机示意图

TDC - 上止点;BDC - 下止点;

V_h - 气缸工作容积; V_c - 最小压缩容积;

s - 活塞行程

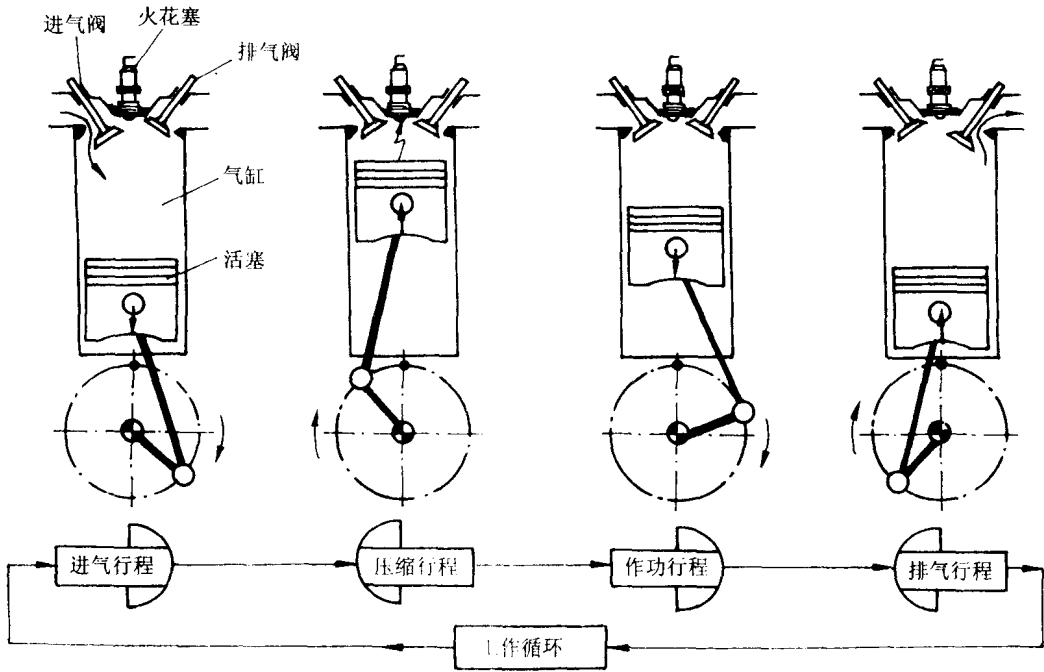


图 2-4 四冲程汽油机的工作循环

过开启的进气门吸入新鲜空燃混合气。

汽油发动机运行时要求一个特定的空气和燃料比例(空燃比),理论上完全燃烧的理想空燃比值是 14.7:1,这被称为化学当量比(理想配比)。

2. 压缩行程

进气门、排气门均关闭。曲轴和飞轮的惯性将活塞从下止点推向上止点,曲轴又旋转半周(180°),气缸内混合气被压缩,温度、压力升高,混合气温度约 300°C ,压力约 $600\sim 900\text{kPa}$,空气和汽油进一步均匀混合。压缩比可用气缸工作容积 V_h 和最小压缩容积 V_c 来计算:

$$\epsilon = (V_1 + V_2)/V_2$$

压缩比 ϵ 的范围根据不同发动机的设计从7:1到13:1。提高压缩比可以提高发动机的热效率,更有效地利用燃油。压缩比的增加受到爆震(或过早着火)极限的限制。爆震指的是由于压力的过度增加而发生的不可控制的混合气燃烧。燃烧爆震会导致发动机的损坏。采用适当的燃油和燃烧室构造可以改善爆震极限,从而使压缩比达到更高。

3. 做功行程

进气门、排气门继续关闭。压缩行程接近终了,活塞将达上止点时,火花塞产生电火花点燃混合气。混合气迅速燃烧,温度、压力急剧上升,推动活塞从上止点向下止点运动,通过连杆推动曲轴旋转,输出动力。发动机转速和扭矩的提高使得输出功率提高。

此外,汽车还配备有各种传动比的变速器来使发动机的功率和扭矩与车辆运行的实际要求相匹配。

4. 排气行程

进气门闭,排气门开。曲轴和飞轮的惯性将活塞从下止点推向上止点运动,将燃烧后的废气排出气缸。然后,重复整个工作循环。进排气门的开启时间有一定的重叠,这样可以改善气流和振荡方式以加强气缸的充气和扫气。

四、发动机的主要性能指标

发动机的主要性能指标可分为动力性指标、经济性指标和可靠性指标等。

(一) 动力性指标

标定功率:根据不同的使用条件和要求,对同一发动机可以有不同的标定功率,可以分15分钟功率、1小时功率、12小时功率和持续功率等。对于汽车、摩托车发动机而言,按其使用特点,都定义为15分钟功率。使用功率定得越高,使用寿命越短。

标定转速:发动机发出标定功率时的转速。标速的高低标志着单位时间内做功次数的多少。

最大扭矩:一旦标定功率确定,在标定转速下的扭矩也随之确定,但对车用发动机而言还要求发动机有一定的扭矩储备,即有较好的扭矩特性,这个能力的最大值即是最大扭矩。最大扭矩越大,则其克服外界负荷的能力也越大。

(二) 经济性指标

经济性指标通常都以燃油消耗率和机油消耗率来评价。

燃油消耗率:在不同的运转条件下有着不同的结果,对车用发动机来说,一般不作特殊说明,都是以外特性曲线上的最低燃油消耗量作为衡量指标的。一般轿车的比油耗为 $\leq 285\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

机油消耗率:在标定工况下,以每 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 所消耗的机油量来评价。它不仅与活塞、与活塞环的密封性能、轴与轴承的润滑的性能等有关,关键还与使用的条件,尤其与发动机的走合期的规范与否影响极大。一般这个比油耗指标在 $4\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 以下,桑塔纳轿车为 $0.5\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

(三) 可靠性指标

可靠性指标是可靠性的衡量指标,一般指发动机的保证期和使用寿命。桑塔纳轿车的发

动机使用寿命为 $15 \times 10^4 \text{ km}$ 。

五、发动机特性

发动机的主要性能指标随工况而变化的关系称为发动机特性。若这种关系以曲线形式表示,则称为内燃机特性曲线。

发动机特性曲线是全面了解发动机性能在不同工况下变化情况的依据。根据特性曲线的形状,可以选定最合理的工作区域,以利于在工作中充分发挥发动机的性能。

发动机特性有多种,但应用最多的为速度特性和负荷特性。

(一) 负荷特性

发动机的负荷特性是在发动机转速不变的情况下,其他性能参数随负荷变化的关系。作为横坐标的负荷可以是有效功率 P_e ,而作为纵坐标的性能参数则有燃油消耗率 g_e 、耗油量 B 及排气温度等。汽油机负荷特性曲线,如图 2-5 所示。

(二) 速度特性

发动机的油门固定不动,发动机的功率、转矩、燃油消耗率、排气温度等性能参数随转速的变化关系,称为发动机的速度特性。如油门放在最大供油位置时的速度特性称为内燃机的外特性。内燃机的速度特性,特别是外特性,对配套的运输机械具有重要意义。汽油机外特性曲线,如图 2-6 所示。

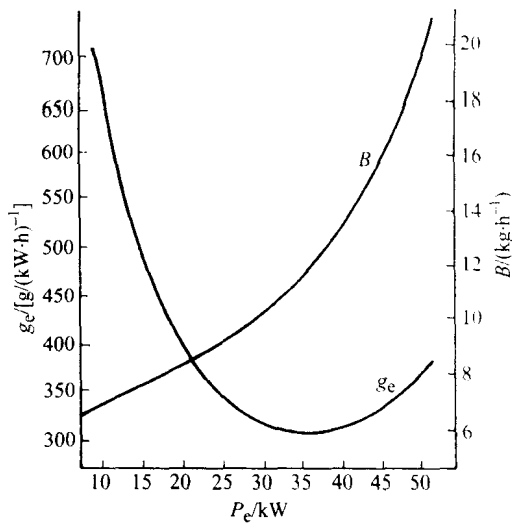


图 2-5 汽油机负荷特性

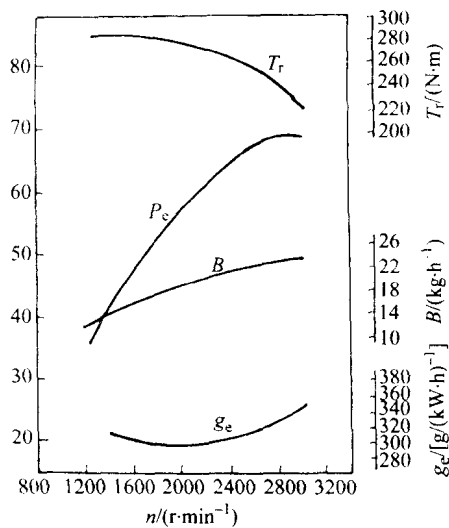


图 2-6 汽油机外特性

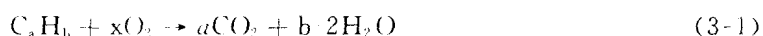
第三章 汽车发动机控制理论

汽车发动机电子控制燃油喷射点火系统是一个非常复杂的系统,不仅包含有先进的硬件技术和软件技术,而且应用了一些先进的理论。如电子控制燃油喷射和点火理论及故障诊断学理论等,作为分析该控制系统的基础首先要对这些基本理论有一定的理解。因为只有深入了解好汽车电控的过程,才能在对汽车电控系统的分析过程中把握正确的方向。控制理论是编制应用和优化控制软件的理论基础,是研究自动控制共同规律的技术学科,是汽车发动机控制中的难点和重点,需要大量投资,采集大量实用数据,利用经典和现代控制理论而建立的开环、闭环、最优自适应控制系统,在优化控制中,采用建立汽车发动机系统控制的数字模型,然后利用相应的控制方法进行优化控制。但是发动机喷油点火系统比较复杂,影响因素多。理论推导优化状态下的数字模型有时比较困难,因此还是要采用实验的方法。

在实际发动机试验中,用计算机不断检测发动机转速、负荷、温度、进气量、油耗等一系列实车参数,然后用查表的方法,查出该工况的数据,并进行修正后再输出由驱动电路去控制执行机构。这是目前应用中较多的优化控制方法。

一、喷油量控制理论

燃油供给装置向进气管提供一定比例的燃油与空气相混合,形成混合气。混合气燃烧时按下式进行化学反应:



空气和燃油的混合比,即空气质量 G_a 和燃油质量 G_f 之比,称为空燃比,公式如下:

$$A/F = G_a/G_f \quad (3-2)$$

汽油完全燃烧并且只生成 CO_2 和 H_2O 时的空燃比称为理论空燃比,约为 14.7 左右。但是空燃比除了对排放有影响外,还对发动机的性能和油耗有影响,达到零污染并不是空燃比控

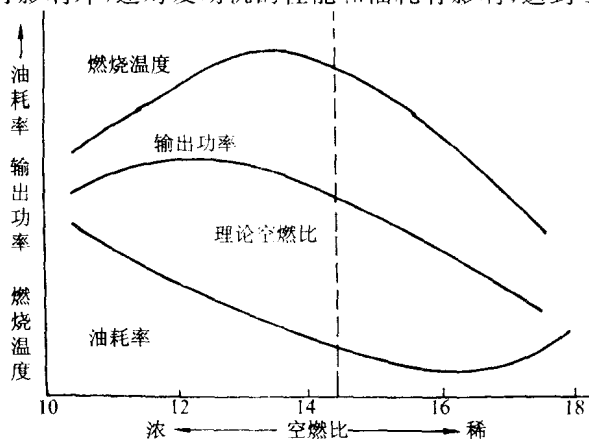


图 3-1 空燃比与燃烧温度、输出功率与油耗率的关系