



QiChe FaDongJi
RanYou PenShe JiShu

汽车发动机

燃油喷射技术

(第4版)

主编 ◆ 李春明 副主编 ◆ 焦传君



汽车发动机燃油喷射技术

(第4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。

本书可用做高等院校的汽车检测与维修、汽车电子技术等相关专业教材,也可用做汽车发动机燃油喷射技术培训教材,还可供从事汽车维修工作的技术人员参考使用。

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. —4版. —北京:北京理工大学出版社, 2013. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7321 - 3

I. ①汽… II. ①李… III. ①汽车 - 电子控制 - 喷油器 - 高等学校 - 教材 IV. U464. 136

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 013459 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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15. 5

字 数 / 349 千字

版 次 / 2013 年 1 月第 4 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 46. 00 元

责任校对 / 周瑞红

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

BIANXIESHUOMING

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。

本套教材既有专业基础课，又有专业技术课。专业技术课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。本套教材由中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会推荐出版。

中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会

前言

QIAN YAN

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高等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等院校教材。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，具有较强的针对性与实用性，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，也可用做五年制高职、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。

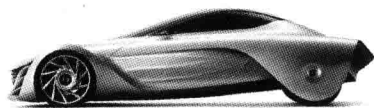
编 者

目录

MU LU

► 第一章 汽车发动机燃油喷射技术概述	(1)
练习与思考题	(6)
► 第二章 电控汽油喷射技术基础	(7)
第一节 空气供给系统	(7)
第二节 燃油供给系统	(8)
第三节 点火系统	(20)
第四节 电子控制系统	(23)
第五节 燃油喷射控制	(47)
第六节 点火控制	(53)
第七节 辅助控制	(60)
练习与思考题	(79)
► 第三章 电控汽油喷射系统的检修方法	(80)
第一节 电控汽油喷射系统的故障诊断	(80)
第二节 常见检测仪器的使用	(88)
练习与思考题	(98)
► 第四章 典型轿车电控汽油喷射系统的检修	(99)
第一节 捷达轿车电控汽油喷射系统	(99)
第二节 威驰轿车电控汽油喷射系统	(117)
第三节 花冠轿车电控汽油喷射系统	(130)
第四节 富康轿车电控汽油喷射系统	(138)
第五节 雅阁轿车电控汽油喷射系统	(144)

第六节 别克轿车电控汽油喷射系统	(151)
练习与思考题	(158)
► 第五章 汽油发动机缸内直喷技术	(159)
第一节 汽油缸内直喷技术基础	(159)
第二节 奥迪 3.2FSI 发动机缸内喷射技术	(165)
练习与思考题	(174)
► 第六章 电控柴油喷射技术基础	(175)
第一节 电子控制直列泵燃油系统	(175)
第二节 电子控制分配泵燃油喷射系统	(180)
第三节 电子控制泵喷嘴燃油系统	(184)
第四节 电子控制柴油共轨喷射系统	(190)
练习与思考题	(203)
► 第七章 典型电控柴油喷射系统的检修	(204)
第一节 捷达轿车 SDI 电控柴油喷射系统	(204)
第二节 宝来轿车 TDI 电控柴油喷射系统	(206)
第三节 解放 CA6DL 发动机柴油共轨喷射系统	(229)
练习与思考题	(232)
► 参考文献	(233)



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做功使发动机运转；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。

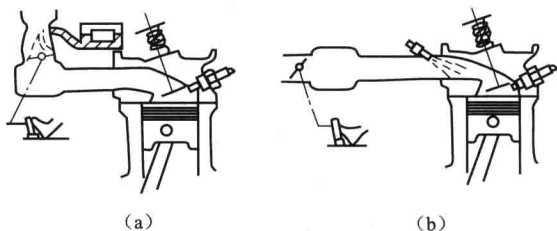


图 1-1 燃油配制两种方式
(a) 化油器供油；(b) 燃油喷射供油

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、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 1-2 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。

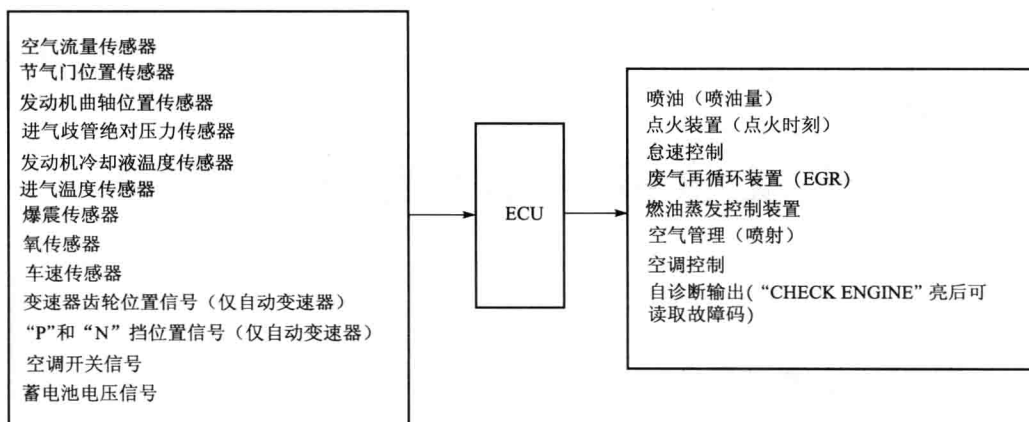


图 1-2 发动机电子控制系统框图

三、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

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，称为节流-速度方式。

上述三种方式的空燃比控制系统如图 1-3 所示。

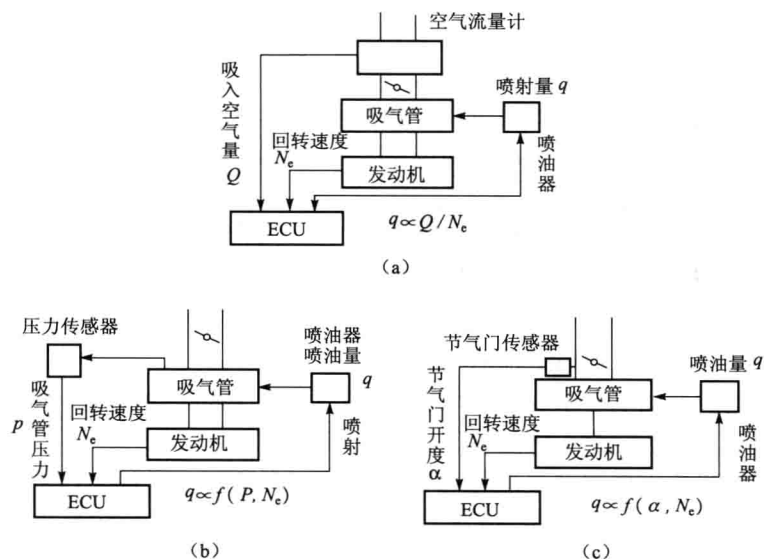


图 1-3 空燃比控制系统

(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须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1-4所示。

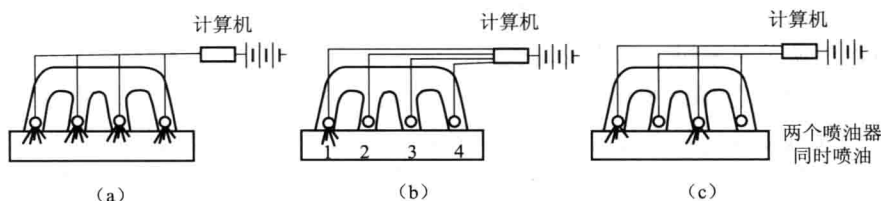


图1-4 喷油时序

(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, SPI)和多点喷射(Multi Point Injection, MPI)两种形式,如图1-5所示。

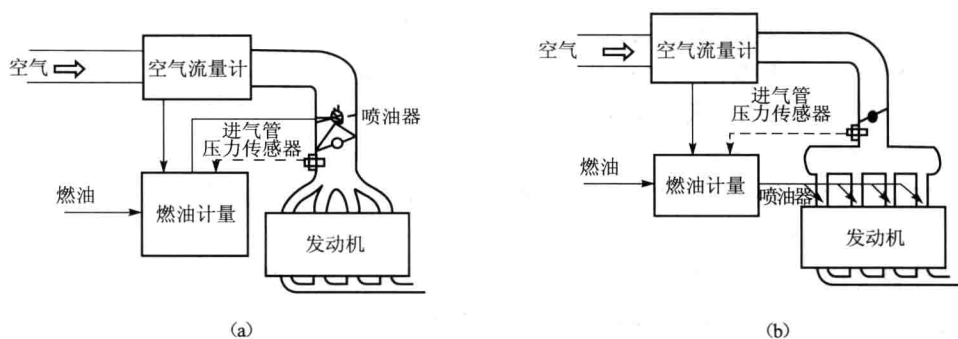


图1-5 单点喷射与多点喷射系统

(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,目前已经淘汰。

(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。

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统在排气管上加装了氧传感器,如图 1-6 所示。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

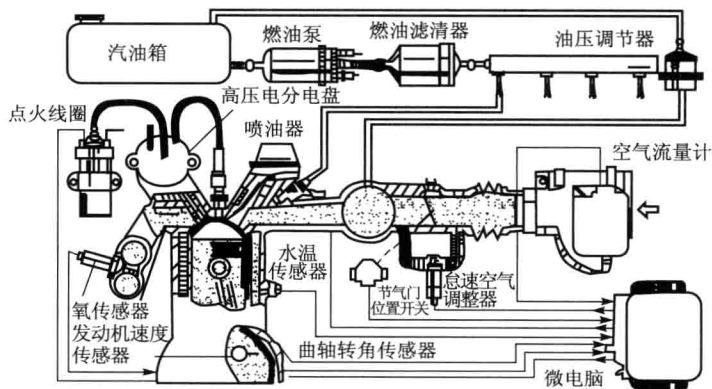


图 1-6 电子控制式燃油喷射系统

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。

对于采用三元催化装置进行排气净化，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。



练习与思考题

- 1-1 电控燃油喷射系统的电子控制装置由哪几部分组成？
- 1-2 按控制模式分，电子控制系统可分为哪两大类？其各自的特点是什么？

2

第二章



电控汽油喷射技术基础

第一节 空气供给系统

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。

空气供给系统的作用是为发动机可燃混合气的形成提供必要的空气，并计量和控制汽油燃烧时所需要的空气量。空气供给系统如图 2-1 所示，空气经空气滤清器、空气流量计

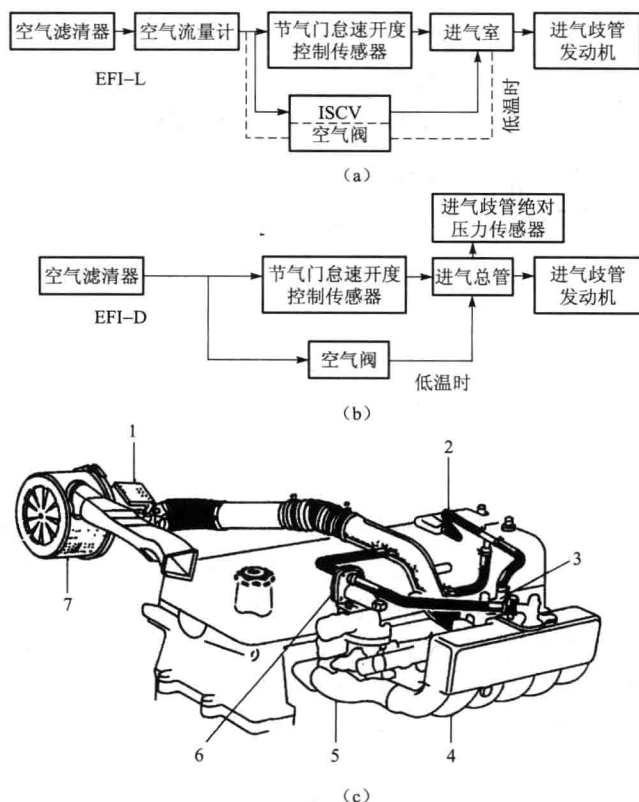


图 2-1 空气供给系统

(a)、(b) 空气供给系统框图；(c) 空气供给系统简图

1—空气流量计；2—PCV 阀；3—节气门怠速开度控制传感器；4—进气总管；

5—进气歧管；6—空气阀；7—空气滤清器

(在 L 型 EFI 系统中)、节气门体进入进气总管,再分配到各进气歧管。在进气歧管内,空气与喷油器喷出的汽油混合后被吸入气缸内燃烧。

在 L 型 EFI 系统中,发动机进气量通过空气流量计来计量,而在 D 型 EFI 系统中,进气量则由进气歧管绝对压力传感器来计量。

汽车在正常行驶时,空气流量由节气门控制,而节气门则通过油门踏板操纵。怠速时进气量的调整可通过两种方式进行:一是调整怠速状态下节气门的开度;二是调整旁通空气道的大小,如图 2-2 所示。可通过怠速调整螺钉、怠速空气阀或怠速控制阀调节怠速进气量,进而调节怠速转速。目前,大多数发动机控制系统,广泛采用带 ECU 控制的怠速控制阀来控制发动机的怠速转速和负荷。

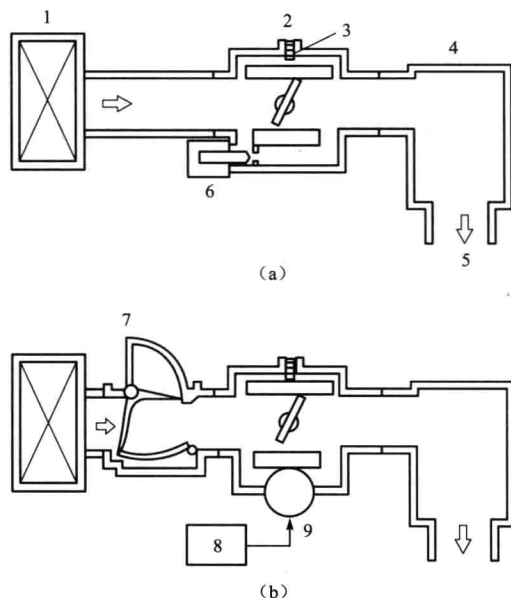


图 2-2 怠速及快怠速控制

(a) 怠速控制; (b) 快怠速控制

1—空气滤清器; 2—节气门体; 3—怠速调整螺钉; 4—进气总管; 5—进气歧管;

6—空气阀; 7—空气流量计; 8—ECU; 9—ISC 阀

在冷却水温较低时,为加快发动机暖机过程,设置了快怠速装置,由 ECU 控制的怠速控制阀可提供较多的空气量,这时经空气流量计计量后的空气,绕经节气门体经怠速控制阀直接进入进气总管,如图 2-2 所示。随着发动机冷却水温逐渐升高,怠速调整装置可使旁通的空气量逐渐减少,使发动机转速逐渐下降至正常怠速。

此外,发动机的 EFI 系统可自动控制发动机的怠速转速,及时调整发动机的输出功率,以满足怠速时空调装置及其他辅助装置和电路负荷的需要。

第二节 燃油供给系统

燃油供给系统的作用是供给发动机燃烧过程所需的燃油。燃油供给系统主要由燃油泵、燃油滤清器、油压脉动阻尼器、油压调节器、喷油器等组成,如图 2-3 所示。燃油从燃油

箱中被燃油泵吸出,先由燃油滤清器将杂质滤除后再通过输油管送到各个喷油器。喷油器则根据 ECU 发出的指令,将计量后的燃油喷入各进气歧管或稳压室中与流入发动机内的空气进行混合,形成可燃混合气。

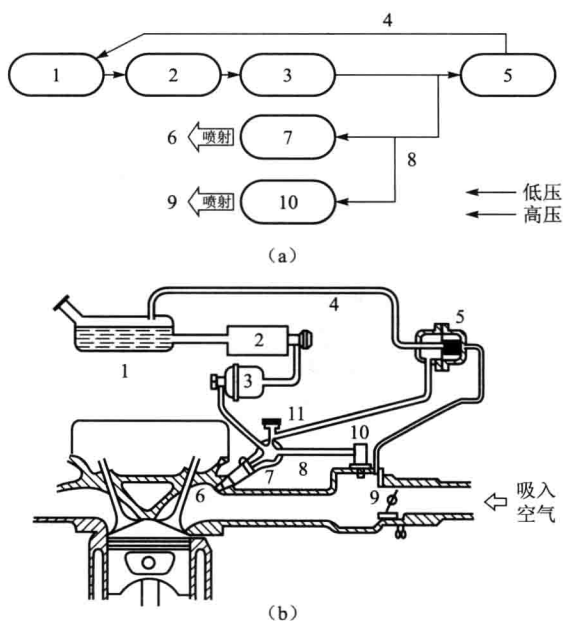


图 2-3 燃油供给系统

(a) 燃油供给系统框图；(b) 燃油供给系统结构图

1—燃油箱；2—燃油泵；3—燃油滤清器；4—回油管；5—燃油压力调节器；6—各缸进气歧管；
7—喷油器；8—输油管；9—进气总管；10—冷启动喷油器；11—油压脉动阻尼器

此外,利用压力调节器可将喷油压力控制在 $250 \sim 300 \text{ kPa}$ 范围内,而将多余的燃油从调压器经回油管送回油箱。为了消除燃油泵泵油时或喷油器喷油时引起管路中的油压产生微小扰动,在有些发动机的燃油供给系统中还装有油压脉动阻尼器,用于吸收管路中油压波动时的能量,以此抑制管路中油压的脉动,提高系统的喷油精度。

发动机在正常工况喷油量由安装在进气门前的各喷油器(MPI)或位于节气门体位置的喷油器(SPI)的通电时间长短来决定。

为了改善发动机的冷启动性能,在进气总管处安装一个冷启动喷油器,冷启动喷油器的喷油时间由热敏定时开关或者 ECU 控制。

一、电动燃油泵

电动燃油泵的作用是把燃油从油箱内吸出并通过喷油器供给发动机各气缸。

根据电动燃油泵安装位置不同可分为内置式燃油泵和外置式燃油泵两种。内置式燃油泵将泵安装在燃油箱内;外置式燃油泵则将泵安装在油箱之外的燃油管路中。相比而言,内置式燃油泵不易发生气阻和漏油现象,对泵的自吸性能要求较低,且噪声小,故目前大多数 EFI 系统广泛采用内置式燃油泵。

电动燃油泵主要是由泵体、永磁电动机、安全阀、单向阀和外壳等组成。其结构如图