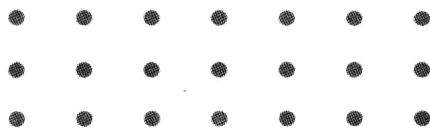


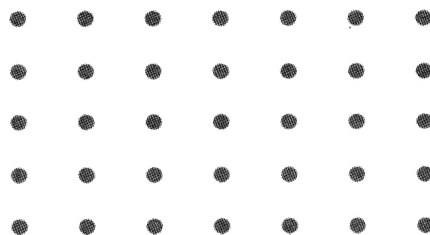
AUTOMOTIVE ENGINE ELECTRONICS CONTROL

汽车发动机电子控制技术

[美] Elisabeth H. Dorries 等 著
付百学 主编



国际高等教育精品教材引进项目



汽车发动机电电子 控制技术

内 容 简 介

本书共分五个模块,主要介绍了发动机电控系统的控制内容与基本组成,电控燃油喷射系统、微机控制点火系统和辅助控制装置的结构原理,发动机电控系统的故障诊断,电控燃油喷射系统、微机控制点火系统和辅助控制装置的主要部件的检修等内容。

本书可作为高等院校汽车相关专业教材,可供汽车制造、使用维修行业和相关工程技术人员参考,也可供汽车培训学校学生和汽车爱好者学习参考。

automotive engine electronics control

Elisabeth H. Dorries 等 著,付百学 主编

ISBN: 9781424069491

Copyright © 2011 Cengage Learning Asia Pte Ltd.

Beijing Institute of Technology Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this textchoice edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

此客户定制版由圣智学习出版公司授权北京理工大学出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Cengage Learning Asia Pte Ltd

5 Shenton Way, # 01 - 01 UIC Building Singapore 068808

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2010-0496号

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电子控制技术 / (美)多莉丝等著;付百学主编. —北京:
北京理工大学出版社, 2010. 11

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3933 - 2

I. ①汽… II. ①多… ②付… III. ①汽车-发动机-电子系统:控制系统-高等学校:技术学校-教材 IV. ①U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 212079 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 / 15.5

字 数 / 358 千字

版 次 / 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑 / 李炳泉

印 数 / 1 ~ 2500 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 53.00 元

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

CHUBANSHUOMING

近年来,随着我国汽车保有量的迅猛增长,汽车维修技术人才存在很大的缺口。为此,教育部、交通运输部根据汽车维修业的实际情况,制定了汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养计划,着重培养汽车维修技术人才,力求缩小汽车服务业,特别是汽车维修业,在服务理念、服务设施、维修技术等方面与消费者需求上的差距。

随着世界经济一体化进程的不断推进,我国高等教育的国际化趋势越发明显。引入国际先进的教育理念、教学体系、教学内容和管理经验,大力改造人才培养模式,已经成为高等教育进一步发展的主要内容,引进相应教学产品的需求也显得更加迫切。为贯彻“服务教师、服务学校”这一高等教育研究与出版工作的永恒主题,北京理工大学出版社充分认识到高等教育出版国际化的重要性,积极探索为高等教育提供更高水准的服务与产品,与美国圣智学习出版集团(Cengage Learning,原汤姆森学习出版集团)展开战略合作,引进并改编了美国圣智学习出版集团“Today's Technician”系列教材(美国汽车维修资格认证协会(National Institute for Automotive Service Excellence,缩写为 ASE)考试指定用书),力求将国际化的教育教学理念、教学体系、教学手段引入国内高等院校。

ASE 成立于 1972 年,是一家非赢利性组织,其颁发的 ASE 证书是世界上最具影响力的汽车行业资格认证证书。美国汽车维修资格认证协会通过汽车维修技师考试和认证来正确评价维修技师的知识和能力,提高汽车维修和服务质量。ASE 证书的持有人作为汽车行业的技术领袖及技术骨干,被遍及全美各地的 4S 服务站、大型汽车售后服务企业、专业的汽车机械设备经销商以及汽车类技术学院等机构所青睐。ASE 资格认证证书享有良好声誉的最重要原因是,其持有人掌握了作为一个高技能专业维修技师应具备的专业知识和技能。“Today's Technician”系列教材作为美国 ASE 考试指定用书,具有较高的认可度及知名度。

“Today's Technician”系列教材经国内优秀教师改编、知名学者和行业专家主审后,由北京理工大学出版社携手全球著名教育出版机构——美国圣智学习出版集团作为“汽车类引进版国际教育教学与出版项目”重点推出。首批确定出版以下十本:《汽车发动机构造与维修》、《汽车底盘构造与维修》、《汽车电气构造与维修》、《汽车发动机电子控制技术》、《汽车底盘电子控制技术》、《汽车空调结构与维修》、《汽车车身电子控制技术》、《汽车电

工与电子》、《汽车新技术》及《汽车概论》。本系列教材在改编过程中,充分考虑汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训计划的要求,顺应高等教育的发展趋势,配合高等院校的教学改革,体现高等教育思想和教学观念的转变,结合高等教育的教学特点,面向学生的就业岗位,注重基本技能的培养。

本系列教材配有原版插图、表格和大量的图片资料,介绍了大量的故障诊断案例。改编后,在吸收了国外先进教学理念和编写模式的基础上,完成了全套教材的本土化改造,在内容上强调面向应用、任务驱动、精选案例、严把质量;在风格上力求文字精练、脉络清晰、图表明快、版式新颖;在理论阐述上,遵循“必需”、“够用”的原则,在保证知识体系相对完整的同时,做到知识讲解实用、简洁和生动。改编后的教材既适合于国内高等教育现状,同时又顺应我国高等教育面向就业、注重操作、培养高素质应用型人才改革思路。

本套教材在编写上有如下特色:

- 以培养综合职业能力为目标
- 基于岗位技能、面向工作过程
- 引进国际化教育的先进教学理念
- 采用国际化教材的优秀编写模式
- 附有强化实践技能的工作表单或工作页
- 配有真实案例和 ASE 考试复习题
- 内容详实、图例丰富、难易适中

本系列教材结构体系严整,同时又不失灵活性。各章对操作安全和从业安全规范均做重点强调,使学生在学期间即可掌握安全、合理的工作规范。内容安排充分考虑职业技能和素质的养成规律,逐步引导学生掌握汽车各总成维修中正确的诊断程序和具体的维修操作方法等。各章节的总结和启发性提问,对培养学生独立思考和解决实际问题的能力大有裨益。此外,各章结尾还附有 ASE 考试题型和答案,可供学生自学。

本系列教材适合高等院校汽车类相关专业的学生使用,也可作为相关行业从业人员的培训和参考用书。

北京理工大学出版社

前言

QIAN YAN

随着我国汽车工业的迅速发展，汽车产、销量和保有量迅速增加，2008年，我国汽车产、销量分别为934万辆和938万辆，全国汽车保有量达到6467万辆。2009年，汽车产量将达到1273万辆，2020年，中国本土汽车产量将达到2000万辆，我国汽车保有量将增长至1.2亿辆。汽车车型、结构、性能在不断改变，汽车电子化程度越来越高，新结构与装置不断涌现，尤其是汽车电气与电子控制装置装车率迅速增多。要求汽车相关专业的学生，以及从事汽车专业的维修人员、技术人员，应及时掌握汽车电子控制技术的理论知识，熟悉汽车电子控制装置的检测、故障诊断与维修的基本方法，不断更新知识，以适应日新月异的现代汽车技术发展的要求。

近年来，国内汽车服务业，特别是汽车维修业，在服务理念、服务设施、维修技术等方面与消费者的需求均存在一定差距，教育部、交通部根据汽车维修业的实际情况，制订了汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训计划，着重培养维修技术人才。

本教材根据汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训计划要求，顺应高等教育的发展趋势，配合高等院校的教学改革，体现高等教育思想和教学观念的转变，结合高等教育的教学特点，注重基本技能的实际应用，面向学生就业岗位，介绍了发动机电控系统的控制内容与基本组成，电控燃油喷射系统、微机控制点火系统和辅助控制装置的结构原理，发动机电控系统的故障诊断与检修等内容。在编写过程中从基本概念、基本结构入手，由浅入深地讲述，体现最新汽车电子技术发展动向。语言通俗易懂，图文并茂，文字简洁、内容深浅适度、重点突出、层次合理，注重操作、实例丰富、简明生动，具有较强的针对性和实用性。各章的总结和启发性提问，有助于学生学习和教师教学，对培养学生独立思考能力和提高解决实际问题大有裨益。

本书由付百学主编，窦磊、杨琳、胡书文、刘兰俊副主编。编写分工：概述

(付百学); 模块一的课题 1.1 (孙贵巍); 模块一的课题 1.2、课题 1.3 (胡书文); 模块一的课题 1.4 (朴振华); 模块二 (窦磊); 模块三 (杨琳); 模块四的课题 4.1、课题 4.2 (毕然); 模块四的课题 4.3、课题 4.4 (刘兰俊); 模块五的课题 5.1 (王丽霞); 模块五的课题 5.2、课题 5.3 (范智勇); 模块五的课题 5.4 (杨凤英)。

由于编者水平有限, 书中难免有错误和不妥之处, 恳请广大师生和读者批评指正。

编者

目录

MULU

► 概述	1
► 模块一 电控燃油喷射系统的结构原理	2
课题 1.1 概述	2
课题 1.2 电控燃油喷射系统的组成	13
课题 1.3 电控燃油喷射系统主要部件的结构原理	19
课题 1.4 电控燃油喷射系统的控制原理	46
总结	52
术语须知	52
复习思考题	53
► 模块二 微机控制点火系统的结构原理	56
课题 2.1 微机控制点火系统的组成	56
课题 2.2 微机控制点火系统主要部件的结构原理	57
课题 2.3 微机控制点火系统的控制原理	62
总结	68
术语须知	68
复习思考题	68
► 模块三 辅助控制	71
课题 3.1 怠速控制	71
课题 3.2 排放控制	79

课题 3.3 进气与增压控制	85
总结	92
术语须知	93
复习思考题	93
► 模块四 发动机电控系统故障诊断与检修基础	96
课题 4.1 汽车车间安全规则与操作	96
课题 4.2 发动机电控系统故障诊断与检修的注意事项	106
课题 4.3 常用诊断工具	108
课题 4.4 专用测试仪器	114
总结	135
案例分析	136
术语须知	139
复习思考题	139
ASE 认证考试复习题	142
ASE 竞赛题	147
工作表单 1~9	149
► 模块五 发动机电控系统的故障诊断与检修	161
课题 5.1 发动机电控系统的故障诊断与排除	161
课题 5.2 电控燃油喷射系统主要组成部件的检修	190
课题 5.3 微机控制点火系统主要组成部件的检修	203
课题 5.4 辅助控制装置主要部件的检修	206
总结	215
案例分析	215
术语须知	218
ASE 认证考试复习题	218
ASE 竞赛题	223
工作表单 1~11	225
► 参考文献	237



概 述

电子技术用于发动机控制的初期，主要是为了满足排放的严格要求和获得更好的燃油经济性。随着排放问题的基本解决，充分利用电子技术强大的控制能力，不断丰富发动机控制系统的功能，充分挖掘其在动力性、经济性方面的潜力，进而全方位地改善发动机的性能，已经成为发动机控制技术的主要发展方向。电子控制在发动机上的应用已从燃油喷射控制、点火控制发展到集中控制。20 世纪 60 年代至 70 年代，汽车电控系统多采用模拟电路的电子控制单元（Electronic Control Unit, ECU），对汽车某一系统的控制多采用独立控制模式，很难实现汽车多系统同步适时控制，且线路复杂、成本高。其次，多个系统采用多个 ECU，同一种信号几个独立控制系统的 ECU 均需要时，必须同时配备几个相同的传感器，势必会造成系统结构复杂、维修困难、控制效果差及可靠性较低等问题。为此，采用集中控制，即用一个 ECU 进行以燃油喷射为主的多项控制，是发动机控制技术发展的必然。随着控制功能的不断增加，电子控制已经遍布发动机的各个机构和系统。同时，除发动机集中控制外，还以此为中心进行传动控制，并向车辆集中控制方向发展。

发动机控制系统从独立控制发展到集中控制，其主要控制对象为燃油喷射控制和点火控制，再根据不同车型适当增加一些辅助控制功能，如怠速控制、废气再循环控制、发电机控制、变速控制、汽油泵控制、加速踏板控制、巡航控制、极限转速控制、发动机闭缸控制和自诊断系统等。

发动机电子控制系统（简称发动机电控系统）主要由信号输入装置、ECU 和执行器等组成。信号输入装置包括各种传感器和开关，执行器主要有喷油器、点火器、怠速控制阀、步进电动机、氧传感器加热器、汽油泵继电器和活性炭罐电磁阀等。ECU 将输入信号处理后，调用程序指令，向执行器发出控制命令或向仪表板输出其他信息，完成相关控制功能。

近年来，汽车电子技术发展迅速，并呈现出以下特征：从最初的发动机电子点火与喷油，发展到目前的各种控制功能，如自动巡航、自动启停、自动避撞等；从最初单一控制发展到如今的多变量、多目标综合协调控制，例如，动力总成综合控制、集成安全控制等；从初期的多子系统分别工作到目前的分布式模块化控制器局部网络，例如，以 CAN 总线为基础的整车信息共享的分布式控制系统、以无线通信为基础的远程高频网络通信系统等；从最初的机、电部件松散组合到目前的机、液、电、磁一体化，例如，直喷式发动机电控共轨燃料喷射系统。



电控燃油喷射系统的结构原理

【学习目标】

- 解释发动机对可燃混合气的要求。
- 介绍燃油喷射系统的优点。
- 介绍电控燃油喷射系统的组成。
- 介绍电控燃油喷射系统各部分组成的功能。
- 描述电控燃油喷射系统常用传感器的类型、结构和工作原理。
- 描述喷油器的结构原理。
- 掌握电动汽油泵的结构原理。
- 描述喷油器的控制原理。
- 描述喷油正时的控制原理。
- 描述发动机启动时和启动后的喷油量控制原理。
- 结合实际对燃油喷射系统进行分类。
- 比较电控燃油喷射系统常用传感器。
- 正确区分不同类型的喷油器。
- 正确区分电动汽油泵的控制方式。

课题 1.1 概 述

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（A/F）的混合气进入汽缸。

燃油配制方式见图 1-1，化油器式发动机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，再被吸入汽缸内燃烧做功，使发动机运转；燃油喷射式发动机则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

制喷油器喷油时间精确配制,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汽缸内与相应空气形成可燃混合气。

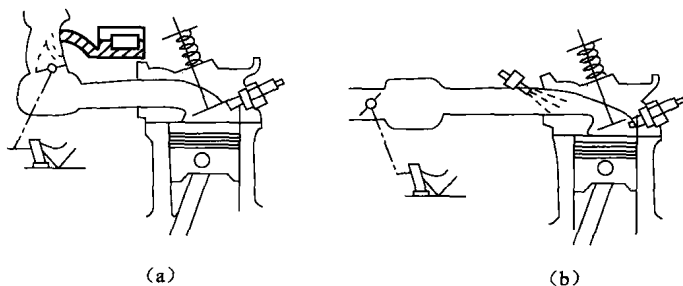


图 1-1 燃油配置方式
(a) 化油器供油; (b) 燃油喷射供油

电子燃油喷射 (Electronic Fuel Injection, EFI) 系统采用多种传感器检测发动机工作状态, 经过 ECU 计算处理, 使发动机在各种工况下均能获得最佳的空燃比, 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。

相关知识 1 空燃比对发动机性能的影响

可燃混合气的成分对发动机动力性、经济性及排放性均有较大的影响。下面分析空燃比与发动机性能的关系。

将进入发动机的空气质量与燃油质量之比称为空燃比, 用 A/F 表示。燃油供给装置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, 使其在汽缸内燃烧。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 为 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为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 , 当 $\lambda = 1$ 时, 即为理论混合气; $\lambda > 1$ 时, 称为稀混合气; $\lambda < 1$ 时, 称为浓混合气。

A/F 对发动机性能的影响见图 1-2。当 $A/F \approx 12.5$ 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, 所以又称为功率空燃比。当 $A/F = 16$ 时, 由

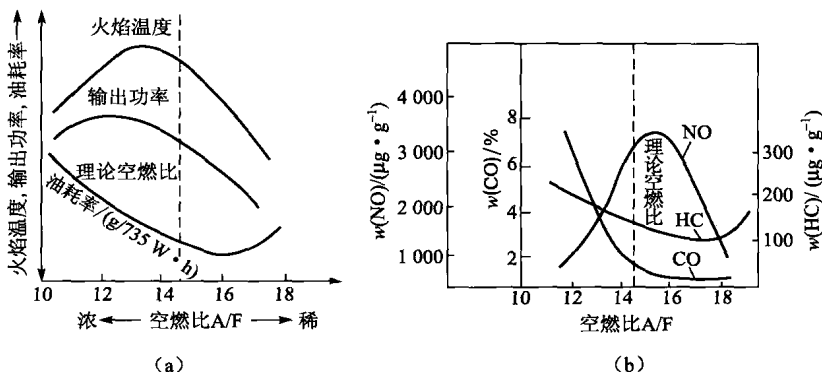


图 1-2 A/F 对发动机性能的影响
(a) 动力性、经济性影响; (b) 排放性能影响

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。

发动机的性能与 A/F 有着密切的关系,但影响的程度和变化规律各不相同。因此,如何精确控制 A/F ,是提高发动机性能的重要途径。



相关链接 发动机各种工况对可燃混合气的要求

发动机在实际运行过程中,其工况在工作范围内不断变化,且在工况变化时,发动机对可燃混合气 A/F 的要求也不同。

1. 稳定工况

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变。稳定工况可分为怠速、小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷等。

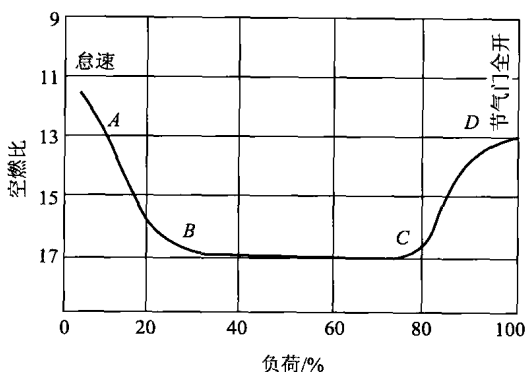


图 1-3 汽油机负荷变化时所需要的 A/F

燃烧,就必须提高其浓度,见图 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。即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。该工况相当于图 1-3 中的 BC 段, $A/F \approx 16 \sim 17$ 。

(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,混合气的加浓应逐渐变化。

2. 过渡工况

汽车运行过程中的过渡工况分冷启动、暖机、加速和减速等。

(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, 要求提供极浓的混合气。

(2) 暖机。发动机冷机启动后, 各汽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 A/F 较小的浓混合气, 而且随着发动机温度升高而 A/F 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。而进入汽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汽缸内, 造成混合气过浓, 严重时甚至熄灭。因此, 发动机减速时应供给较稀的混合气, 以免上述现象发生。

电控燃油喷射系统的控制目标是精确控制 A/F, 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。这正是化油器式燃油供给系统无法做到的。

相关知识 2 电控燃油喷射系统的分类

1. 按控制方式分类

按控制方式不同, 发动机燃油喷射系统可分为机械控制式、机电结合式和电子控制式燃油喷射系统 (简称电控燃油喷射系统)。

(1) 机械控制式燃油喷射系统。指利用机械机构实现燃油连续喷射的机械控制系统, 为缸内喷射系统, 即系统将燃油直接喷射到汽缸内部, A/F 采用了气动式混合气调节器进行调节。1967 年, 德国博世公司研制成功了与柴油发动机喷油系统结构原理截然不同的 K-Jetronic 型 (简称 K 型) 机械控制式燃油喷射系统, 见图 1-4, 并装备奔驰和奥迪等轿车使用。K 型机械控制式燃油喷射系统开辟了现代汽车燃油喷射技术的先河, 将汽车发动机燃油喷射技术提高到一个新水平。

(2) 机电结合式燃油喷射系统。指由机械机构与电子控制装置结合实现燃油喷射的系统。1982 年, 德国博世公司在 K 型机械控制式燃油喷射系统的基础上, 增设了一个油压调节器、部分传感器和电子控制器, 改进研制成功了 KE-Jetronic 型 (简称 KE 型) 机电结合式燃油连续喷射系统, 见图 1-5。1993 年以前出厂的奔驰、奥迪轿车大多采用 KE 型系统。KE 型燃油喷射系统供油压力为 610 ~ 650 kPa, 喷油器开始喷油压力为 430 ~ 460 kPa。

(3) 电控燃油喷射系统。指由 ECU 直接控制燃油喷射的系统, 见图 1-6。目前, 帕萨特, 马自达 M6, 桑塔纳 GLi、2000GLi、2000GSi, 捷达 AT、GTx, 夏利 2000 型轿车以及切诺基吉普车等国产汽车均采用电控燃油喷射系统。

供油系统供给一定压力的燃油 (一般高于进气歧管压力 300 kPa 左右), 燃油由喷油器

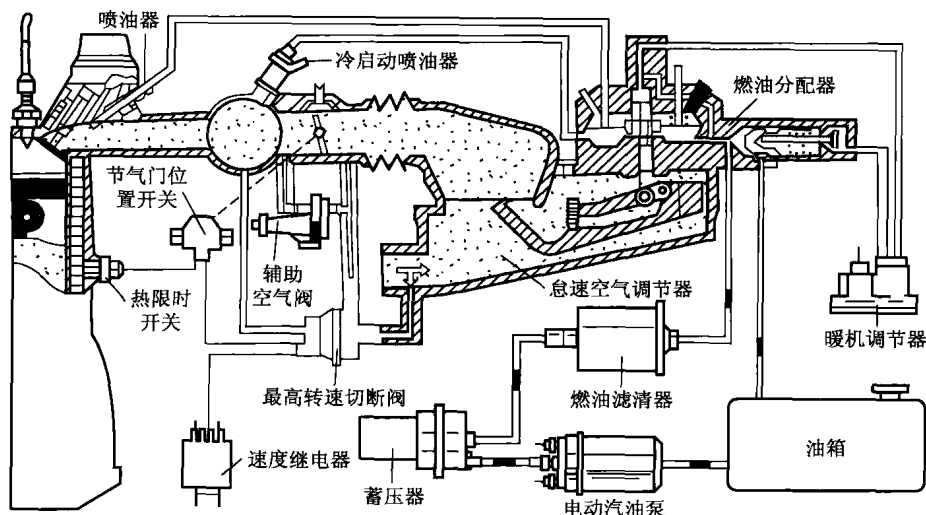


图 1-4 K 型燃油喷射系统

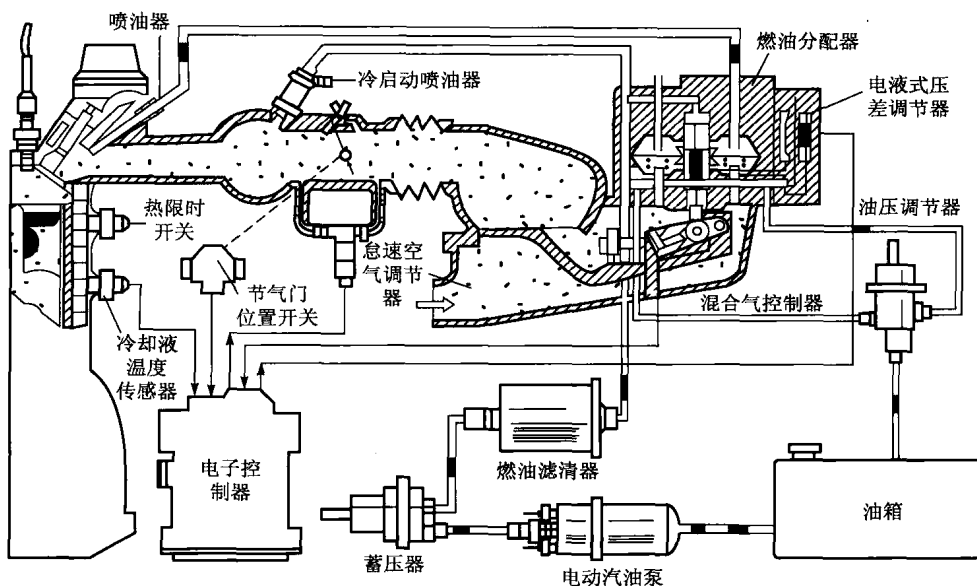


图 1-5 KE 型燃油喷射系统

喷入进气门附近（多点喷射）或节气门附近（单点喷射）的进气歧管内或直接喷入发动机汽缸内与空气混合，喷油器受 ECU 控制，ECU 通过控制每次喷油持续时间控制喷油量，喷油持续时间一般为 $2 \sim 12 \text{ ms}$ 。喷油持续时间，决定喷油量的多少。

根据控制方式不同，电控燃油喷射系统可分为开环控制系统、闭环控制系统、自适应控制系统、学习控制系统和模糊控制系统等。

2. 按空气量的检测方式分类

根据空气进气量的检测方式不同，发动机燃油喷射系统可分直接检测方式和间接检测方式两种。

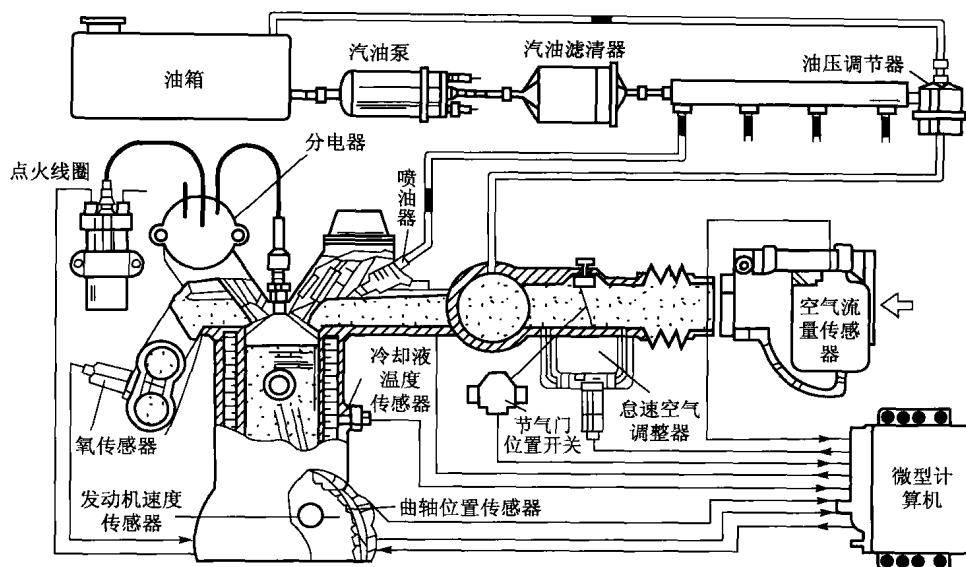


图 1-6 电控燃油喷射系统

直接检测方式称为质量—流量（Mass Flow）方式；间接检测方式又可分为速度—密度（Speed Density）方式和节气门—速度（Throttle Speed）方式。

速度—密度方式根据进气管绝对压力和发动机转速计量发动机每循环的进气量，而节气门—速度方式则根据节气门开度和发动机转速计量发动机每循环的进气量，从而计算所需的喷油量。三种 A/F 控制系统见图 1-7。目前，在汽油发动机上通常采用质量—流量方式和速度—密度方式来测量进气量。

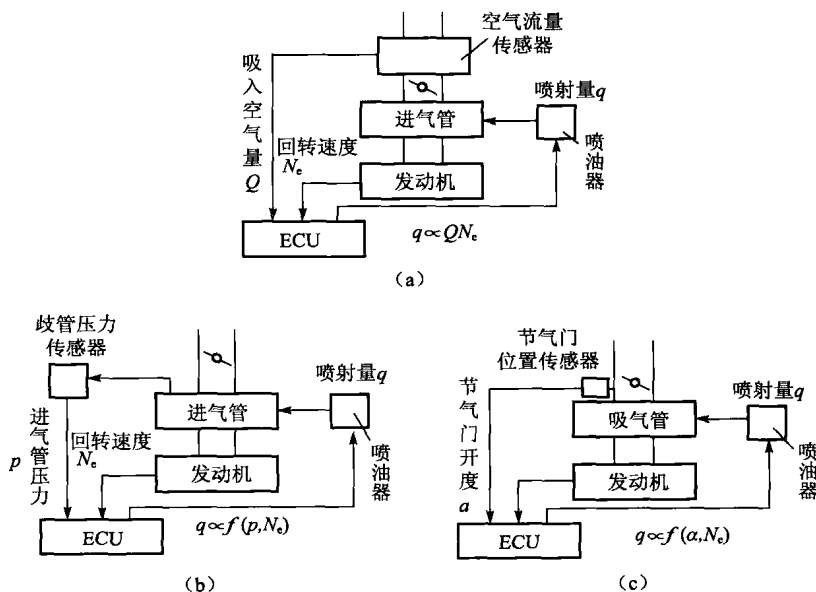


图 1-7 A/F 控制系统

(a) 质量—流量方式；(b) 速度—密度方式；(c) 节气门—速度方式

由于质量—流量控制方式（L 型）是通过翼片式空气流量传感器（Air Flow Sensor, AFS）直接测量发动机的进气量，再根据进气量和转速来确定发动机每工作循环的供油量，因此，比用进气管绝对压力间接测量发动机进气量的方法精度高、稳定性好。

3. 按喷油器喷油部位分类

根据喷油器喷油的部位不同，发动机燃油喷射系统可分为缸内喷射系统和进气管喷射系统。其中，进气管喷射系统又可分为单点喷射系统和多点喷射系统，而多点喷射系统又可分为 D 型、L 型、LH 型和 M 型燃油喷射系统。其中，D 型为压力检测型燃油喷射系统，L 型、LH 型和 M 型均为空气流量检测型燃油喷射系统。

（1）缸内喷射系统。喷油器将燃油直接喷射到汽缸内部，又称为缸内直接喷射系统，见图 1-8（a）。

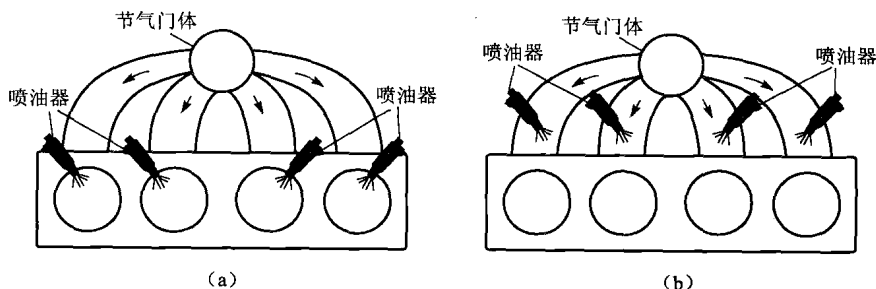


图 1-8 喷油器喷油位置示意图

（a）缸内喷射；（b）进气管喷射

缸内喷射系统均为多点喷射系统，喷油器安装在汽缸盖上，并以较高的燃油压力（3 ~ 4 MPa）将燃油直接喷入汽缸。由于汽油黏度低而喷射压力较高，且缸内工作条件恶劣（温度高、压力高），因此，对喷油器的技术条件和加工精度要求较高。

（2）进气管喷射系统。喷油器将燃油喷射在节气门或进气门附近进气管内，又称为缸外喷射系统，见图 1-8（b）。目前，汽车燃油喷射系统大都采用进气管喷射系统。与缸内喷射相比，进气管喷射系统对发动机机体的设计改动量较小，喷油器不受燃烧高温、高压的直接影响，设计喷油器时受到的制约较少，且喷油器工作条件大大改善。国产桑塔纳 GLi、2000GLi、2000GSI，捷达 AT、GTX，奥迪 Audi100、Audi200，红旗 CA7180E、CA7200E、CA7220E，夏利 TJ7130E、2000 型轿车以及切诺基吉普车等均采用了进气管喷射系统。

4. 按喷油器数量分类

根据喷油器数量的不同，发动机燃油喷射系统可分为单点喷射系统和多点喷射系统。

（1）单点燃油喷射（Single Point Injection, SPI）系统。指在多缸发动机节气门上方，安装一只或两只喷油器同时喷油，见图 1-9（a）。

单点燃油喷射系统将燃油喷在节气门上方的进气管中，并与进气气流混合形成可燃混合气，通过进气歧管再分配到各个汽缸。因为喷油器安装在节气门体中央集中喷射燃油，所以，单点喷射系统又称为节流阀体喷射（Throttle Body Injection, TBI）系统或集中喷射（Continuous Fuel Injection, CFI）系统。例如，美国通用汽车公司采用的 TBI 系统、福特汽车公司采用的 CFI 系统以及德国博世公司研制的 Mono-Motronic 系统等。

单点喷射系统的工作原理与多点喷射系统相似，也是由 ECU 根据空气流量传感器、曲