

国家示范性高职院校汽车类规划教材——任务驱动式项目教材

# 汽车 发动机

Q

ICHE FADONGJI  
DIANKONG XITONG JIANXIU

## 电控系统检修

刘德发 主 编



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

国家示范性高职院校汽车类规划教材  
——任务驱动式项目教材

# 汽车发动机电控系统检修

刘德发 主 编  
曲洪亮 焦安源 副主编  
曹晓光 主 审



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书系统地阐述了发动机电控系统的结构、原理、元件的检测、故障诊断和检测方法,并对柴油电控系统进行了重点详尽的介绍。全书共分 6 个学习任务:1. 电子燃油喷射系统检修,2. 电控点火系统检修,3. 进气控制系统检修,4. 排气控制系统检修,5. 柴油机电控系统,6. 电控发动机故障诊断方法与运用。

本书适合作为高等职业院校汽车类专业有关课程的教材,也可供专业技术人员和汽车维修技师参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电控系统检修/刘德发主编. —北京:北京大学出版社, 2009.12

(国家示范性高职院校汽车类规划教材·任务驱动式项目教材)

ISBN 978-7-301-16361-0

I. 汽… II. 刘… III. 汽车—发动机—电子系统: 控制系统—检修—高等学校: 技术学校—教材  
IV. U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 209819 号

书 名: 汽车发动机电控系统检修

著作责任者: 刘德发 主编

策划编辑: 温丹丹

责任编辑: 桂 春

标准书号: ISBN 978-7-301-16361-0/U·0019

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

电子邮箱: [xxjs@pup.pku.edu.cn](mailto:xxjs@pup.pku.edu.cn)

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 17.75 印张 390 千字

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

随着汽车电子控制技术的发展,各种先进的电控系统在现代汽车发动机中得到了广泛的应用。时至今日,汽车电子化、智能化程度越来越高,这使汽车的结构、性能发生了根本性的变化,在燃油消耗、排气污染、动力性等方面得到了明显的提高,还使发动机的设计、制造及检修取得了突破性的发展与进步。由于汽车新装置的结构与工作原理相继涌现,对汽车的使用与维修也提出了更高的要求。为此,我们组织编写了《汽车发动机电控系统检修》这本教材。

本书体现了如下特点:

1. 以工作任务作为驱动。结合目前我国职业教育改革的新模式,以工作任务驱动切实按照“一线岗位人才”的要求,将发动机电控系统的知识和技能,分解成一项项由浅入深的具体任务来编排。

2. 体现理论与实践相融合,突破“理论”与“实践”的界线,体现现代职业教育“一体化”的特色。

3. 本书突出了柴油电控系统知识、发动机维修方法(如数据流的分析、波形的分析等)的讲解。

本书任务一、任务四由刘德发(黑龙江农业工程职业学院)和韩卫东(黑龙江农业工程职业学院)编写,任务二、任务五由焦安源(辽宁科技大学)和刘剑峰(黑龙江农业工程职业学院)编写,任务三、任务六由曲洪亮(东北林业大学)和王娜(黑龙江农业工程职业学院)编写。刘德发任主编,曲洪亮、焦安源任副主编,由曹晓光教授(东北林业大学)主审。

在本书的编写过程中,参考了大量的相关著作和文献资料,在此一并向有关作者和文献资料的提供者表示真挚的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥或错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009年10月

# 目 录

任务一 电子燃油喷射系统检修	1
任务目标	1
任务资讯	1
资讯一 电子燃油喷射系统概述	1
一、电子燃油喷射系统(EFI)的发展过程	1
二、电子燃油喷射系统的分类	3
三、汽油机电子燃油喷射系统的组成及工作原理	6
四、电子燃油喷射系统的优点	12
资讯二 空气供给系统	13
一、空气流量计	13
二、节气门体和节气门位置传感器	19
三、进气歧管压力传感器	24
资讯三 燃油供给系统	27
一、燃油滤清器	28
二、燃油分配管	28
三、燃油压力调节器	28
四、电动燃油泵	29
五、喷油器	35
六、电磁式冷启动喷油器和热控正时开关	39
资讯四 电子控制系统	40
一、冷却液温度传感器(THW)	40
二、进气温度传感器(THA)	41
三、曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器	42
四、氧传感器	44
五、空燃比传感器	47
资讯五 汽油喷射控制	49
一、喷油正时控制	49
二、喷油持续时间控制	49
三、断油控制	54
四、清除溢流控制	55
任务训练一 传感器的检测	56
一、热膜式空气流量计的检测	56

二、热线空气流量计的检测 .....	57
三、卡门涡旋式空气流量传感器的检测 .....	58
四、线性输出型节气门位置传感器的检测与调整 .....	59
五、半导体压敏电阻式进气歧管绝对压力传感器的检测 .....	60
六、进气温度传感器的检测 .....	61
七、磁感应式曲轴位置传感器检修 .....	62
八、光电式曲轴位置传感器检修 .....	63
九、霍尔传感器的检测 .....	63
任务训练二 燃油供油系统检测 .....	65
一、电动燃油泵的检修 .....	65
二、燃油压力调节器的检修 .....	67
三、喷油器的检测 .....	68
案例分析 .....	72
思考题 .....	73
<b>任务二 电控点火系统检修 .....</b>	<b>74</b>
任务目标 .....	74
任务资讯 .....	74
资讯一 概述 .....	74
一、汽油机对点火系统的要求 .....	74
二、普通电子点火系统与电控点火系统 .....	75
资讯二 点火提前角和闭合角控制 .....	82
一、点火提前角和点火提前角控制 .....	82
二、闭合角控制 .....	88
资讯三 爆震传感器与爆震反馈控制 .....	89
一、爆震传感器 .....	89
二、爆震控制 .....	91
任务训练一 点火系统检测 .....	92
一、皇冠 3.0 2JZ-GE 发动机点火系统检测 .....	92
二、桑塔纳 2000GSi AJR 发动机无分电器点火控制系统电路检修 .....	94
任务训练二 爆震传感器的检测 .....	97
一、凌志 LS400 轿车爆燃传感器的检测方法 .....	97
二、桑塔纳 2000 发动机爆震传感器的检测 .....	97
案例分析 .....	99
思考题 .....	100

任务三 进气控制系统检修 .....	101
任务目标 .....	101
任务资讯 .....	101
资讯一 电控怠速控制系统 .....	101
一、电控怠速控制系统的工作原理 .....	101
二、怠速控制方式 .....	102
三、怠速控制装置 .....	102
资讯二 进气道控制系统 .....	107
一、进气惯性增压控制系统 (ACIS) .....	107
二、动力阀控制系统 .....	109
资讯三 进气增压系统 .....	110
一、涡轮增压、强制增压和混合增压系统 .....	110
二、使用涡轮增压器的发动机的正确使用和维护 .....	112
资讯四 可变气门正时系统 .....	114
一、可变气门正时系统的作用机理 .....	114
二、可变气门的效果 .....	115
三、可变气门正时系统的结构与原理 .....	115
资讯五 电控节气门系统 (ETCS) 的结构组成及工作原理 .....	119
一、ETCS 的结构与原理 .....	119
二、加速踏板位置传感器 .....	122
三、电控节气门系统的故障诊断 .....	124
四、智能电控节气门系统 (ETCS-i) 的工作模式 .....	125
任务训练 怠速系统的检测 .....	127
一、怠速控制阀的就车检测 .....	127
二、旋转滑阀式怠速控制阀的检测 .....	127
三、步进电动机型怠速控制阀的检测 (以丰田皇冠 2JZ-FE 型发动机为例) .....	128
四、占空比控制电磁阀型怠速控制阀的检测 .....	129
五、节气门直动式怠速控制阀的检测 .....	129
六、皇冠 3.0 2Jz—GE 发动机 ACIS 的检修 .....	130
七、VTEC 的检修 .....	131
八、一汽奥迪 A6 1.8T (AEB) 发动机涡轮增压系统的检修 .....	132
九、电子节气门的检修 .....	134
案例分析 .....	135
思考题 .....	136

<b>任务四 排气控制系统检修</b> .....	137
任务目标 .....	137
任务资讯 .....	137
资讯一 三元催化转换器与空燃比反馈控制系统 .....	137
一、TWC 的功能 .....	137
二、TWC 的构造 .....	137
三、影响 TWC 转换效率的因素 .....	138
资讯二 废气再循环控制 .....	139
一、废气再循环的基本概念 .....	139
二、EGR 控制系统的功能 .....	140
三、EGR 的结构及原理 .....	140
四、EGR 的控制方法 .....	142
资讯三 燃油蒸气排放控制系统 .....	143
一、燃油蒸气排放控制系统的功能 .....	143
二、EVAP 控制系统的结构与工作原理 .....	143
资讯四 二次空气喷射系统 .....	145
一、空气泵系统 .....	145
二、脉冲空气系统 .....	146
任务训练一 EGR 控制系统的检查 .....	146
任务训练二 TWC 及氧传感器的检修 .....	147
任务训练三 二次空气喷射系统的故障诊断 .....	148
任务训练四 燃油蒸气排放控制系统的检测 .....	148
案例分析 .....	149
思考题 .....	151
<b>任务五 柴油机电控系统</b> .....	153
任务目标 .....	153
任务资讯 .....	153
资讯一 柴油机电控系统概述 .....	153
一、柴油机电控喷油技术的发展概况 .....	153
二、柴油机电控系统的分类 .....	154
三、柴油机电控系统的组成 .....	155
四、电子控制系统的控制内容 .....	158
五、电控燃油系统的工作原理 .....	163



资讯二 电子控制式喷油泵 .....	168
一、电子控制分配式喷油泵 .....	168
二、电子控制柱塞式喷油泵 .....	175
资讯三 电控泵喷嘴 .....	177
资讯四 共轨式电控喷射系统的组成及工作原理 .....	179
一、共轨式电控喷射系统概述 .....	179
二、高压共轨式电控喷射系统 .....	181
三、电控共轨总成的组成及工作原理 .....	185
四、电控中压共轨系统 .....	192
五、电控共轨柴油机的控制原理 .....	194
六、共轨系统的燃油喷射过程 .....	197
任务训练一 捷达柴油轿车电子控制轴向压缩式分配泵系统检修 .....	197
一、电子控制轴向压缩式分配泵系统组成 .....	197
二、电子控制轴向压缩式分配泵系统的工作原理 .....	199
三、电子控制轴向压缩式分配泵的结构 .....	199
四、电子控制轴向压缩式分配泵系统的维修 .....	202
任务训练二 电控泵喷嘴的检查与安装 .....	208
任务训练三 共轨喷射发动机主要故障诊断 .....	214
案例分析 .....	218
思考题 .....	219
<b>任务六 电控发动机故障诊断方法与运用 .....</b>	<b>220</b>
任务目标 .....	220
任务资讯 .....	220
资讯一 故障诊断基本原则与方法 .....	220
一、故障诊断的基本原则 .....	220
二、故障诊断的方法 .....	221
三、电控系统的基本检查 .....	227
资讯二 故障代码分析与运用 .....	227
一、发动机电控系统故障自诊断原理 .....	227
二、故障代码的存储及读取 .....	234
三、故障代码的清除方法 .....	236
四、第二代随车诊断系统（OBDII）的特点 .....	237
五、OBDII 系统的故障码及故障指示灯 .....	238

---

资讯三 数据流分析与运用 .....	240
一、数据流分析在汽车故障分析中的作用 .....	240
二、发动机控制器编码 .....	241
三、控制器基本设定 .....	242
四、利用数据流进行故障分析 .....	243
资讯四 波形分析诊断及应用 .....	245
一、汽车示波器的应用 .....	246
二、汽车电子信号的五大类型 .....	248
三、汽车电子信号的五个判定依据 .....	249
四、汽车示波器的使用操作 .....	250
五、波形分析 .....	252
资讯五 废气分析诊断及应用 .....	256
一、废气分析原理 .....	256
二、废气诊断分析 .....	262
任务训练一 故障码的提取与消除 .....	263
一、人工提取和消除 .....	263
二、用故障诊断仪读取和清除故障码 .....	266
任务训练二 数据流的分析实例 .....	268
一、进行数据测试的条件 .....	268
二、数据组 001 的分析 .....	269
三、数据组 002 分析 .....	270
案例分析 .....	271
思考题 .....	272
参考文献 .....	273

# 任务一 电子燃油喷射系统检修

## 任务目标

了解电子燃油喷射系统的组成、类型、结构和原理；能进行传感器和执行器的检测；以及电子燃油喷射系统的常见故障的诊断与排除。

## 任务资讯

### 资讯一 电子燃油喷射系统概述

电子燃油喷射系统（Electronics Fuel Injection, EFI）是指用电子控制器（ECU）控制喷油器，向发动机提供所需的燃油量。当发动机工作时，由电子控制器接收各种传感器送来的信息，对这些信息进行处理并计算出发动机各种工况下所需的燃油量，然后向喷油器发出指令，控制喷油器的开启时间，把汽油喷射到发动机的进气管并与吸入的空气混合后，进入发动机汽缸。

采用电子控制供给发动机燃油量，使发动机在各种工况下都能得到最佳的可燃混合气，可提高发动机的最大功率，节省燃油和减少排气污染，目前在各国已广泛采用。

#### 一、电子燃油喷射系统（EFI）的发展过程

电子燃油喷射系统是在汽油机械喷射的基础上发展而来，汽油机械喷射系统最早用于以活塞式发动机为动力的军用飞机上，20世纪50年代开始安装在赛车发动机上和极少数的豪华型轿车上。

到了20世纪60年代，由于人们对于汽车造成的空气污染日益重视，限制汽车排放污染物的标准日益严格，以降低排气污染为主要目的的汽油发动机技术革新和技术革命得到了突飞猛进的发展，以汽油喷射为主要研究方向的研究成果不断出现，并随着电子技术的发展，汽油机电一体化的喷射控制系统日趋完善，并在轿车上得到了很好的应用。

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、日各国相继制定了严格的汽车排放法规, 限制排气中的 CO、HC 和 NO<sub>x</sub> 等有害物质的排放。20 世纪 70 年代初, 受能源危机的影响, 各国又制定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、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, 并且无须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 电子燃油喷射系统, 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, 无须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 TECS 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。

为了将电子燃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 0.1MPa 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，就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 2L 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，使电子燃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，电子燃油喷射系统的应用已得到迅猛的发展。在 1976 年至 1984 年的 9 年间，各国生产的轿车中采用电子燃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 年电子燃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% 应用电子燃油喷射系统。

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子燃油喷射系统。

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。2000 年 1 月 1 日起，新生产的轿车要采用电子喷射装置，2001 年 9 月 1 日在全国范围内禁止销售化油器轿车。

## 二、电子燃油喷射系统的分类

### 1. 按喷射方式分类

按喷射方式不同，燃油喷射系统可分为连续喷射方式和间歇喷射方式。连续喷射方式是指在发动机运转期间，汽油连续不断地喷射在进气道内，且大部分汽油是在进气门关闭时喷射的，

因此大部分汽油在进气道内蒸发。除 K 型机械式、KE 型机电组合式汽油喷射系统外，电子燃油喷射系统一般不采用此种喷射方式。间歇喷射方式是指在发动机运转期间，将汽油间歇地喷入进气道内。在目前广泛采用间歇喷射方式的多点电子燃油喷射系统中，按各缸喷油器的喷射顺序又可分为同时喷射、分组喷射和顺序喷射，如图 1-1 所示。

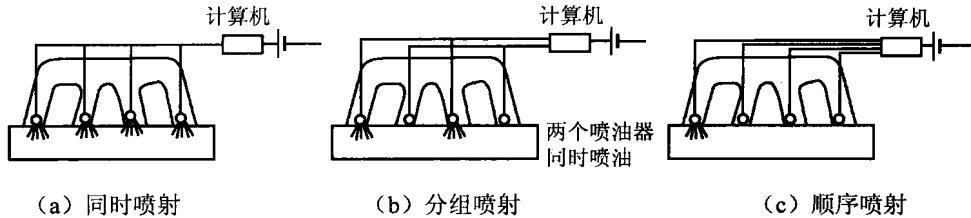


图 1-1 喷油器喷射顺序

(1) 同时喷射 同时喷射是将各缸的喷油器并联，在发动机运转期间，所有喷油器由电脑的同一个喷油指令控制，同时喷油、同时断油。采用此种喷射方式，对各缸而言，喷油时刻不可能都是最佳的，其性能较差，一般用在部分缸数较少的汽油发动机上，如韩国大宇轿车上装用的四缸发动机电控多点燃油喷射系统等。

采用同时喷射方式的电子燃油喷射系统，一般都是曲轴每转一圈各缸同时喷油一次，对每个汽缸来说，每一次燃烧所需的供油量需要喷射两次，即曲轴每转一圈喷射 1/2 的油量。

(2) 分组喷射 分组喷射是指将各缸的喷油器分成几组，它是同时喷射的变形方案，电脑向某组的喷油器发出喷油或断油指令时，同一组的喷油器同时喷油或断油。

(3) 顺序喷射 顺序喷射是指各喷油器由电脑分别控制，按发动机各缸的工作顺序喷油。多缸发动机电控燃油喷射系统采用分组喷射或顺序喷射方式较多。

## 2. 按对空气量的计量方式分类

电子燃油喷射系统必须对进入汽缸的空气量进行精确的计量，才能通过对喷油量的控制，实现混合气浓度的高精度控制。按对进气量的计量方式不同，电子燃油喷射系统可分为 D 型和 L 型。

(1) D 型电子燃油喷射系统 “D” 是德语 Druck (压力) 的第一个字母。D 型电子燃油喷射系统利用绝对压力传感器检测进气管内的绝对压力，电脑根据进气管内的绝对压力和发动机转速推算出发动机的进气量，再根据进气量和发动机转速确定基本喷油量。D 型电子燃油喷射系统的基本工作原理如图 1-2 所示。

(2) L 型电子燃油喷射系统 “L” 是德语 Luft (空气) 的第一个字母。L 型电子燃油喷射系统利用空气流量计直接测量发动机的进气量，电脑不必进行推算，即可根据空气流量计信号计算与该空气量相应的喷油量。L 型电子燃油喷射系统的基本工作原理如图 1-3 所示。

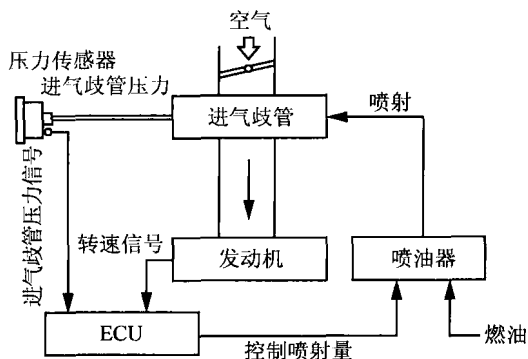


图 1-2 D型电子燃油喷射系统基本工作原理

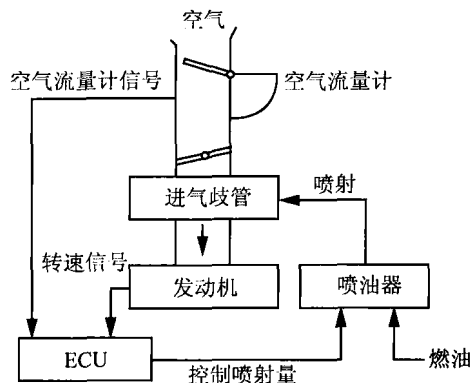


图 1-3 L型电子燃油喷射系统基本工作原理

### 3. 按喷射位置分类

按喷射位置不同，电子燃油喷射系统可分进气管喷射和缸内直接喷射两种类型。

缸内直接喷射技术是近年来研究和开发的发动机新技术，目前还未得到广泛应用，它是将喷油器安装在汽缸盖上，把燃油直接喷入汽缸内，配合缸内组织的气体流动形成可燃混合气，容易实现分层燃烧和稀混合气燃烧，可进一步提高汽油发动机的经济性和排放性。

目前汽车上应用的电子燃油喷射系统一般都是进气管喷射式，按喷油器的数量不同，又可分为单点喷射（SPI）系统和多点喷射（MPI）系统，如图 1-4 所示。

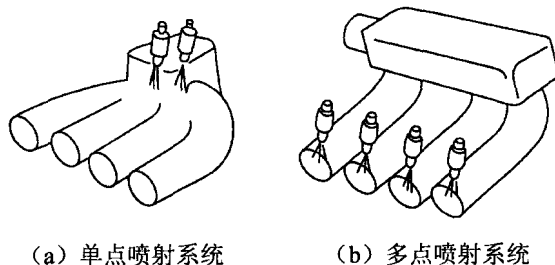


图 1-4 电子燃油喷射系统喷射位置

(1) 单点喷射系统是在节气门体上安装一个或两个喷油器，向进气管中喷油，汽油和空气在进气管中形成可燃混合气，在进气行程时混合气被吸入汽缸。该系统虽然能够提高空燃比的控制精度，但各缸混合气分配不均匀的问题仍然没有解决，因此已被淘汰。

(2) 多点喷射系统是在每缸进气门处装有 1 只喷油器，由电子控制单元（ECU）控制喷油，因此多点喷射又称为多气门喷射。多点喷射系统的燃油分配均匀性好，进气管可按最大进气量来设计，而且无论发动机处于冷态或热态，其过渡的响应及燃油经济性都是最佳的；但多点电

子燃油喷射系统的控制系统比较复杂，成本较高。

#### 4. 按有无反馈信号分类

电子燃油喷射系统按有无反馈信号可分为开环控制系统和闭环控制系统。

(1) 开环控制系统(无氧传感器) 它是将通过实验确定的发动机各工况的最佳供油参数预先存入电脑，在发动机工作时，电脑根据系统中各传感器的输入信号，判断自身所处的运行工况，并计算出最佳喷油量，通过对喷油器喷射时间的控制，来控制混合气的浓度，使发动机优化运行。

开环控制系统按预先设定在 ECU 中的控制规律工作，只受发动机运行工况参数变化的控制，简单易行。但其精度直接依赖于所设定的基准数据和喷油器调整标定的精度。喷油器及发动机的产品性能存在差异，或由于磨损等引起性能参数变化时，就不能使混合气准确地保持在预定的浓度(空燃比)上。因此，开环控制系统对发动机及控制系统各组成部分的精度要求高，抗干扰能力差，当使用工况超出预定范围时，不能实现最佳控制。

(2) 闭环控制系统(有氧传感器) 在该系统中，发动机排气管上加装了氧传感器，根据排气中含氧量的变化，判断实际进入汽缸的混合气空燃比，再通过 ECU 与设定的目标空燃比值进行比较，并根据误差修正喷油器喷油量，使空燃比保持在设定的目标值附近。

闭环控制系统可达到较高的空燃比控制精度，并可消除因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。但是，为了使排气净化达到最佳效果，只能运行在理论空燃比 14.7 附近。对启动、暖机、加速、怠速、满负荷等特殊工况，仍需采用开环控制，使喷油器按预先设定的加浓混合气配比工作，以满足发动机特殊工况的工作要求。所以，目前普遍采用开环和闭环相结合的控制方案。

### 三、汽油机电子燃油喷射系统的组成及工作原理

汽油机电控燃油喷射(EFI)系统，以 ECU 为控制中心，利用安装在发动机不同部位上的各种传感器来检测发动机的各种工作参数。根据这些参数选择 ECU 中设定的程序，通过控制喷油器，精确地控制喷油量，使发动机在各种工况下都能获得最佳空燃比的混合气。此外，电子燃油喷射系统通过 ECU 中的控制程序，还能实现启动加浓、暖机加浓、加速加浓、全负荷加浓、减速调稀、强制怠速断油、自动怠速控制等功能，满足发动机特殊工况对混合气的要求，使发动机获得良好的燃油经济性和排放性，也提高了汽车的使用性能。

#### 1. EFI 系统的组成

EFI 系统一般由 3 个子系统组成，即空气供给系统、燃油供给系统和电子控制系统。

##### (1) 空气供给系统

空气供给系统的功用是根据发动机的工况提供适量的空气，并根据电控单元的指令完成空气量的调节。



根据空气供给系统空气计量方式的不同,EFI系统可以分为:D型EFI系统——通过进气歧管绝对压力传感器与其他传感器一起检测进气量(如图1-5a)。L型EFI系统——通过空气流量计检测进气量(如图1-5b)。

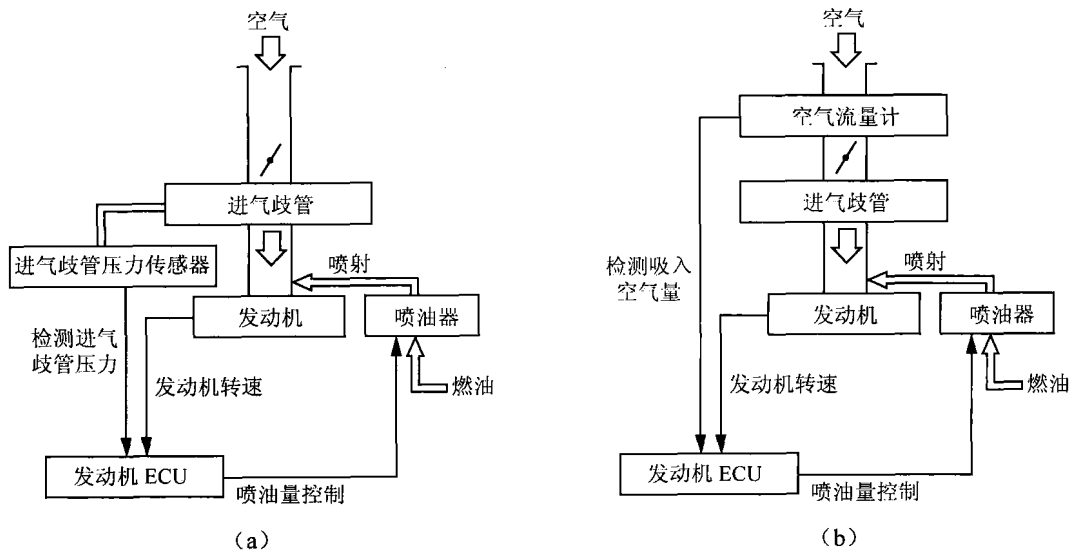


图 1-5 空气供给系统框图

以L型EFI系统为例,空气经空气过滤器过滤后,由空气流量计计量,通过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,从喷油器喷出的燃油与空气混合后被吸入汽缸内燃烧。

在冷却水温度较低时,为加快发动机暖机过程,设置了快怠速装置,由空气阀来控制快怠速所需要的空气量。这时经空气流量计计量后的空气,绕过节气门经空气阀直接进入进气总管,可以通过怠速调整螺钉调节怠速转速,用空气阀控制快怠速转速,也可由ECU操纵怠速控制阀(ISC)控制怠速与快怠速,如图1-6所示。

## (2) 燃油供给系统

燃油供给系统的功能是向发动机精确提供各种工况下所需要的燃油量。燃油系统一般由油箱、电动燃油泵、过滤器、燃油脉动阻尼器、燃油压力调节器、喷油器、冷启动喷油器及供油总管等组成(见图1-7)。

燃油由燃油泵从油箱中泵出,经过过滤器,除去杂质及水分后,再送至燃油脉动阻尼器,以减少其脉动。这样具有一定压力的燃油流至供油总管,再经各供油歧管送至各缸喷油器。喷油器根据ECU的喷油指令,开启喷油阀,将适量的燃油喷在进气门前,待进气行程时,再将燃油混合气吸入汽缸中。装在供油总管上的燃油压力调节器是用以调节系统油压的,目的在于保持油路内的油压约高于进气管负压300 kPa。此外,为了改善发动机低温启动性能,有些车