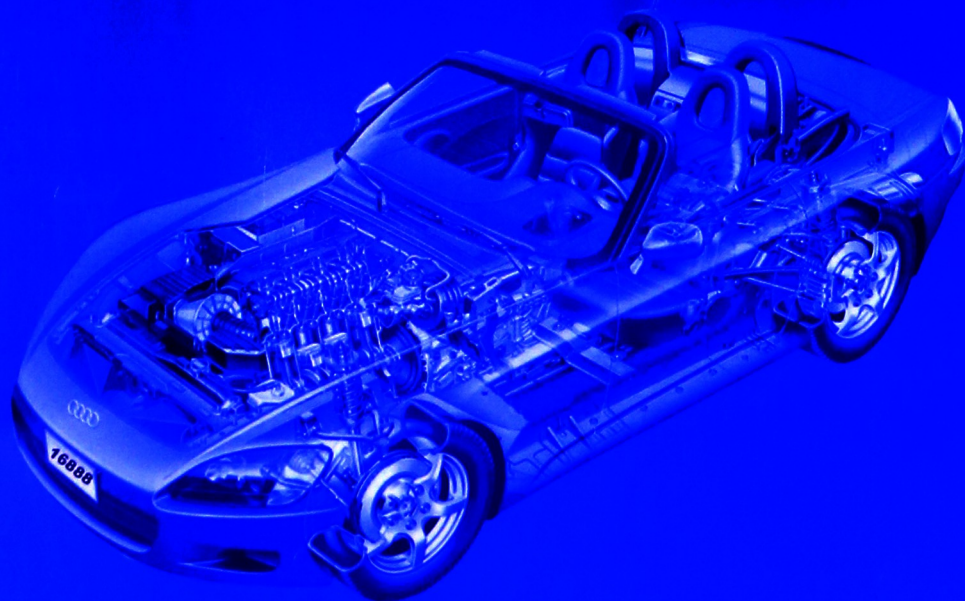


发动机 电控系统检修

FADONGJI

DIANKONG XITONG JIANXIU

主编◎ 黄艳玲 张贵武 姚 杰



发动机电控系统检修

主 编 黄艳玲 张贵武 姚 杰

副主编 罗乃杰 李 波 吴世洋



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书从实际出发,根据项目和工作任务教学的要求,将具体内容按照任务目标、任务引入、相关知识、任务实施、知识扩展和习题与思考的形式进行编排。本书共分五个项目,内容包括发动机电控系统简述、汽油机电控燃油喷射系统的检修、汽油机电控点火系统的检修、汽油机辅助控制系统的检修和汽油机电控系统常见故障诊断与检修。本书内容实用,知识新颖。注重理论与实践的紧密结合。

本书可作为汽车相关专业和课程的教材,也可作为汽车技术人员的培训教材和参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

发动机电控系统检修/黄艳玲,张贵武,姚杰主编. —北京:北京理工大学出版社, 2015.3

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9984 - 8

I. ①发… II. ①黄… ②张… ③姚… III. ①汽车 - 发动机 - 电子系统 - 控制系统 - 检修 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 280529 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 305 千字

版 次 / 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 40.00 元

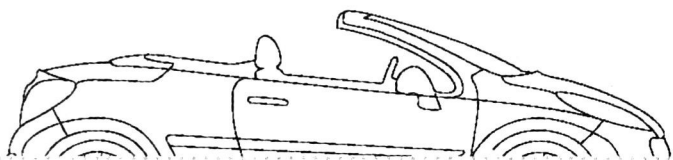
责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

P R E F A C E

“发动机电控系统的检修”是汽车相关专业的一门专业核心课程，为了帮助教师比较全面、系统地讲授这门课程，使学生在掌握相关理论知识的同时，能够熟练地对汽车发动机电控系统的故障进行检测、诊断与维修，我们编写了这本《发动机电控系统检修》。

本书的编写过程紧紧围绕汽车专业教育教学改革的要求，按技能型、应用型人才培养的模式进行设计构思。在编写时，结合教学和行业实际的需要，在内容上注重实训教学环节的重要性和动手能力的培养，具有针对性和实用性，强化了实践教学。为了适应汽车技术的飞速发展与不断更新，本书采用大量的图片介绍汽车新技术和实用技术知识，还列举了一些通俗易懂的维修实例，注意理论与实践的紧密结合。

本书从实际出发，根据项目和工作任务教学的要求，将具体内容按照任务目标、任务引入、相关知识、任务实施、知识扩展和习题与思考的形式进行编排。本书共分五个项目，内容包括发动机电控系统简述、汽油机电控燃油喷射系统的检修、汽油机电控点火系统的检修、汽油机辅助控制系统的检修和汽油机电控系统常见故障诊断与检修。

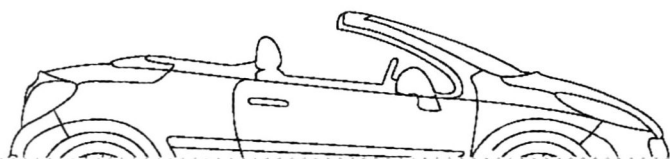
本书由黄艳玲、张贵武和姚杰任主编，由罗乃杰、李波和吴世洋任副主编。参加本书编写工作的还有：张丽丽、修玲玲、张凤云、康爱琴、郭大民、李春芳等。在编写过程中，我们借鉴和参考了国内外大量资料，在此对相关资料的作者表示衷心的感谢。

本书可作为汽车相关专业和课程的教材，也可作为汽车技术人员的培训教材和参考用书。

由于时间仓促和作者水平所限，书中不当甚至错误之处在所难免，恳请使用本教材的师生和读者批评指正。

编者

2015.01



目 录

C O N T E N T S

项目一 发动机电控系统简述	001
项目二 汽油机电控燃油喷射系统的检修	008
任务1 汽油机电控燃油喷射系统的基本原理	008
任务2 空气供给系统主要元件的构造与检修	020
任务3 燃油供给系统主要元件的构造与检修	025
任务4 控制系统主要元件的构造与检修	041
项目三 汽油机电控点火系统的检修	083
任务1 有分电器电控点火系统检修	083
任务2 无分电器电控点火系统检修	103
项目四 汽油机辅助控制系统的检修	114
任务1 怠速控制系统的检修	114
任务2 进气控制系统的检修	127
任务3 排放控制系统的检修	140
任务4 巡航控制系统及电控节气门系统	161
项目五 汽油机电控系统常见故障诊断与检修	179
附录 汽车发动机电控系统常用英文缩写	196
参考文献	201

项目一

发动机电控系统简述

随着汽车技术的不断发展,各汽车公司不断推出装备电控发动机的新款车型,同时使用了一些能够提高发动机性能、促进低碳环保的新技术,这使得汽车维修工作的技术难度不断提高。为了能对电控发动机进行正确有效的维修,必须先认识电控发动机的组成和工作过程。



任务目标

- (1) 了解发动机电控系统的发展过程。
- (2) 了解发动机电控系统的优点。
- (3) 了解发动机电控系统的基本组成和分类。
- (4) 熟悉发动机电控系统的基本控制原理。
- (5) 能够简单叙述电控技术对发动机性能的影响。
- (6) 能够说出应用在汽车发动机上的电控系统名称及功能。
- (7) 能够说出电控系统的基本组成和各部分的基本功用。



现代的发动机是现代科学技术发展的综合成果,在原有基础和传统的技术上,不断融入现代科学技术,如计算机技术、传感器技术、电动技术、网络技术、现代控制技术等。这些技术也在随着微电子技术的发展不断出现新的变化,但是对于发动机而言,总体目标仍然是提高动力性、经济性和降低有害物质的排放。虽然发动机的发展不断变化,但是从工作原理到结构组成、从燃烧理论到运动特性都还保留着基本的特征,而新技术的应用主要是在如何实现最佳控制,以获得最有利的效果等方面,这就要求汽车维修技术人员要综合技术知识,掌握综合运用技术知识的能力,只有真正掌握发动机各个系统的作用、基本工作原理,及时了解各种新技术在汽车发动机技术中的应用状态,才能适应汽车的发展要求。



相关知识

一、发动机电控技术的发展

1966年,美国加利福尼亚州首先颁布了世界上第一部汽车排放法规。

1967年,由BOSCH公司开发的D-Jetronic电控燃油喷射系统投入使用,在此后的几十年间,汽油发动机电子控制系统经历了由模拟电路到数字电路,由简单控制到电脑控制,由

单一控制到综合控制的发展历程。

1971年,美国清洁空气法规要求必须大幅度降低汽车废气中的有害污染物的现值。当时在世界范围内又出现了能源危机,从而推动了汽车电子技术的快速发展。

1973年,美国通用汽车公司开始采用IC电子点火装置,并逐渐普及使用。

1974年,通用汽车公司开始装备加大火花塞电极间隙、点火能量增强的高能点火系统,并且力图将分电器、点火线圈和电子控制电路制成一体。

1976年,美国克莱斯勒公司首先采用模拟计算机来控制发动机点火时刻。当时因其价格昂贵、可靠性差而没有得到推广应用。

1977年,通用汽车公司采用中央处理器(CPU)控制的数字点火系统,这是一种真正的计算机控制系统。它能够精确地控制发动机点火时刻,用来提高发动机的燃烧效率和输出功率,同时还可以大幅度地降低排气中的有害成分。同年,美国福特汽车公司开发了同时点火控制、废气再循环和二次空气供给的发动机电子控制系统。

电控汽油喷射系统在各方面显示出来的优越性,使之在20世纪70年代末及80年代得到了迅速发展。从20世纪80年代后,发动机电子控制技术逐渐成熟,电子技术逐渐向汽车的其他组成部分扩展。

汽车发动机电子控制技术发展至今,主要实现了在以下几方面的控制:

- (1) 电控燃油喷射控制:最佳空燃比控制(主要控制喷油量、喷油正时)。
- (2) 电子点火控制:最佳点火提前角控制(主要控制点火提前角、闭合角)。
- (3) 怠速控制:主要对怠速转速进行控制。
- (4) 排放控制:废气再循环(EGR)、三元催化转化器、二次空气喷射、热反应器、活性炭罐清污(汽油蒸气回收)等的控制。
- (5) 可变气门配气正时控制(VTEC、VVTi等)。
- (6) 废气涡轮增压控制。
- (7) 电子节气门控制(ETC)。
- (8) 故障自诊断控制(OBD)。

通常将电控燃油喷射控制和电子点火控制以外的其他控制系统称为辅助控制系统,所以电控发动机主要由电控燃油喷射系统、电子点火系统和辅助控制系统组成。

二、电控技术对发动机性能的影响

众所周知,汽车发动机的运行工况是多变的,只有电子控制的灵活性和电子控制单元强有力的综合处理功能,才能使发动机在各种运行工况下实现全面优化运行,从而提高发动机性能。电子控制技术在发动机上的使用,使得发动机的性能得以大大改善,主要体现在以下几方面:

1. 提高发动机的动力性

在汽油发动机上,电控燃油喷射取代了传统的化油器,减小了进气系统中的进气阻力,部分发动机上还采用了进气控制系统,来提高充气效率,而且电控系统可保证进入发动机气缸的空气得到充分利用,从而提高发动机动力性。

2. 提高发动机的燃油经济性

在各种运行工况和运行环境下,电控系统均能精确控制发动机工作所需的混合气浓度,

使燃烧更完全、燃油利用更充分，从而提高发动机的燃油经济性。

3. 降低发动机的排放污染

电控系统对发动机在各种运行工况和运行环境下进行优化控制，提高了燃烧质量，同时各种排放控制系统在汽车上的应用，都使发动机的排放污染大大降低。

4. 改善发动机的加速和减速性能

在加速或减速运行的过渡工况下，电子控制单元的高速处理功能，使控制系统能够迅速响应，使汽车加速或减速反应更灵敏。

5. 改善发动机的起动性能

在发动机起动和暖机过程中，控制系统能根据发动机温度变化，对进气量和供油量进行精确控制，从而保证发动机顺利起动并平稳经过暖机过程，可明显改善发动机的低温起动性能和热机运转性能。

此外，电控系统对发动机各种运行工况的优化控制和电控系统的不断完善，使发动机的故障发生率大大降低。自我诊断与报警系统的应用，提高了故障诊断的速度和准确性，缩短了汽车因发动机故障而停驶的时间，具有良好的社会效益和经济效益。

三、应用在发动机上的电子控制系统

目前，汽车上广泛应用的是集中控制系统，应用在发动机上的电子控制系统主要包括电控燃油喷射系统、电控点火系统和其他辅助控制系统。

1. 电控燃油喷射系统（EFI）

电控燃油喷射的功能是电子控制单元（ECU）主要根据进气量、发动机转速确定基本的喷油量，再根据其他传感器（如冷却液温度传感器、节气门位置传感器等）信号对喷油量进行修正，使发动机在各种工况下均能获得最佳浓度的混合气，从而提高发动机的动力性、经济性和排放性。此外，电控燃油喷射系统还包括喷油正时控制、断油控制和燃油泵控制。

在柴油机电控燃油喷射系统中，供油量和供油正时控制是最基本的控制功能，ECU 主要是根据发动机转速信号和负荷信号（加速踏板位置信号）来确定基本供油量和供油正时，再根据其传感器信号进行修正。柴油机电控燃油喷射系统还具有供油速率控制和喷油压力控制等功能。

2. 电控点火系统（ESA）

电控点火系统的主要功能是实现对点火提前角的控制。该系统根据各相关传感器信号，判断发动机的运行工况和运行条件，选择最理想的点火提前角点燃混合气，从而改善发动机的燃烧过程，以实现提高发动机动力性、经济性和排放性的目的。此外，电控点火系统还有通电时间控制和爆燃控制的功能。

3. 其他辅助控制系统

1) 怠速控制系统（ISC）

怠速控制系统的功能是在发动机怠速工况下，根据发动机冷却液温度、空调压缩机是否工作、变速器是否挂入挡位等，通过怠速控制阀或节气门开度对发动机进气量进行控制，使发动机随时以最佳怠速运转。

柴油机电控怠速控制系统与电控燃油喷射系统集成一体，其功能包括怠速转速控制和各缸均

匀性控制，均由 ECU 通过对怠速工况下的供油量的控制来实现。

2) 排放控制系统

排放控制系统的功能主要是对发动机排放控制装置的工作实行电子控制。排放控制的项目主要包括：废气再循环（EGR）控制、活性炭罐电磁阀控制、氧传感器和空燃比闭环控制以及二次空气喷射控制等。

3) 进气控制系统

进气控制系统的功能是根据发动机转速和负荷的变化，对发动机进气进行控制，以提高发动机的充气效率，从而改善发动机的动力性。在柴油机上，为改善发动机性能，对进气涡流也实现了电子控制。

4) 增压控制系统

增压控制系统的功能是对发动机进气增压装置的工作进行控制。在装有废气涡轮增压装置的汽车上，ECU 根据检测到的进气管压力，对增压装置进行控制，从而控制增压装置对进气增压的强度。

5) 巡航控制系统

驾驶员设定巡航控制模式后，ECU 根据汽车运行工况和运行环境信息，自动控制发动机工作，使汽车自动维持一定车速行驶。

6) 警告提示

由 ECU 控制各种指示和报警装置，一旦控制系统出现故障，该系统能及时发出信号以警告提示，如氧传感器失效、油箱油温过高等。

7) 故障自诊断与报警系统

在发动机控制系统中，电子控制单元（ECU）都设有故障自诊断系统，对控制系统各部分的工作情况进行监测。当 ECU 检测到来自传感器或输送给执行元件的故障信号时，立即点亮仪表盘上的“CHECK ENGINE”灯（俗称故障指示灯），以提示驾驶员发动机有故障；同时，系统将故障信息以设定的数码（故障码）形式储存在存储器中，以便帮助维修人员确定故障类型和范围。对车辆进行维修时，维修人员可通过特定的操作程序（有些需借助专用设备）调取故障码。故障排除后，必须通过特定的操作程序清除故障码，以免与新的故障信息混杂，给故障诊断带来困难。

8) 失效保护系统

失效保护系统的功能主要是当传感器或传感器线路发生故障时，控制系统自动按电脑中预先设定的参考信号值工作，以便发动机能继续运转。例如，冷却液温度传感器电路有故障时，可能会向 ECU 输入低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或高于 $139\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷却液温度信号，失效保护系统将自动按设定的标准冷却液温度信号（ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）控制发动机工作，否则会引起混合气过浓或过稀，导致发动机不能工作。

此外，当对发动机工作影响较大的传感器或电路发生故障时，失效保护系统则会自动停止发动机工作。例如，汽油机控制 ECU 收不到点火控制器返回的点火确认信号时，失效保护系统则立即停止燃油喷射，以防大量燃油进入气缸而不能点火工作。

9) 应急备用系统

应急备用系统的功能是当控制系统电脑发生故障时，自动启用备用系统，按设定的信号控制发动机转入强制运转状态，以防车辆停驶在路途中。应急备用系统只能维持发动机运转

的基本功能，不能保证发动机性能。

除上述控制系统外，应用在发动机上的电控系统还有冷却风扇控制、配气正时控制、发电电动机控制等。应当说明的是，上述各控制系统在不同的汽车发动机上，只是或多或少地被采用。此外，随着汽车技术和电子技术的发展，发动机控制系统的功能必将日益增加。

四、发动机电控系统的基本组成

1. 电控系统的基本组成

发动机电控系统一般由传感器、电子控制单元（ECU，简称电控单元）和执行元件三大部分组成，其工作关系如图 1-1 所示。

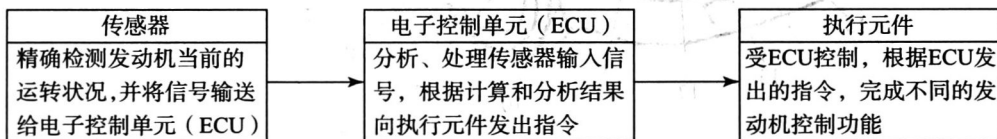


图 1-1 发动机电控系统原理

1) 传感器

一般来讲，传感器是感知发动机信息的部件，主要功用是采集控制系统所需的信息，并将其转换成电信号输送给 ECU。具体来说，传感器是向电子控制单元提供汽车运行状况和发动机工况的部件。发动机电控系统主要传感器有空气流量计、进气管绝对压力传感器、节气门位置传感器、凸轮轴位置传感器、曲轴位置传感器、进气温度传感器、冷却液温度传感器、氧传感器、爆燃传感器等。

2) 电子控制单元（ECU）

电子控制单元（ECU）是一种综合控制电子装置，其功用是给各传感器提供参考（基准）电压，接受传感器或其他装置输入的电信号，并对所接受的信号进行存储、计算和分析处理，根据计算和分析的结果向执行元件发出指令。

3) 执行元件

执行元件接受 ECU 的指令，完成控制功能。发动机电控系统主要的执行器有电动燃油泵、喷油器、怠速控制阀、点火器等。

2. 电控系统的类型

电子控制系统有两种基本类型：即开环控制系统和闭环控制系统。开环控制系统的控制方式比较简单，ECU 只根据各传感器信号对执行元件进行控制，而控制的结果是否达到预期目标对其控制过程没有影响。闭环控制系统除具有开环控制的功能外，还对其控制结果进行检测，并将检测结果（即反馈信号）输入 ECU，ECU 则根据反馈信号对其控制误差进行修正，所以闭环控制系统的控制精度比开环控制系统高。

任务实施

在学习发动机电控系统理论知识的同时，认识一下常见元件也是很有必要的。为了对发动机电控系统进行维修，必须先认识发动机电控系统的组成及工作过程。图 1-2 所示为凌志 LS400 发动机的元件位置。

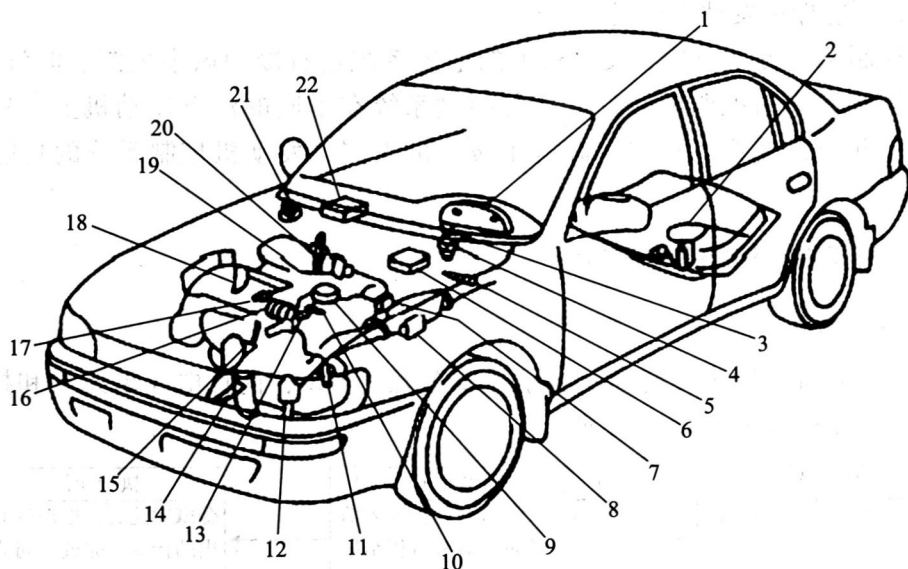


图 1-2 凌志 LS400 发动机元件位置

- 1—组合仪表；2—燃油泵；3—点火开关；4—断路继电器；5—氧传感器（1 缸侧后氧）；6—发动机控制 ECU；
7—诊断座；8—点火模块；9—怠速控制阀；10—进气温度传感器；11—车速传感器；12—空挡开关；
13—冷却液温度传感器；14—氧传感器（1 缸侧前氧）；15—曲轴位置传感器；16—分电器；
17—爆燃传感器；18—喷油器；19—节气门位置传感器；20—EGR 电磁阀；21—进气歧管压力传感器；22—ECU

虽然现在电控发动机的种类很多，但是系统的元件位置变化不是很大，所以识别元件位置时还是有规律可循的。图 1-3 所示为捷达轿车发动机的 Motronic 电控系统。

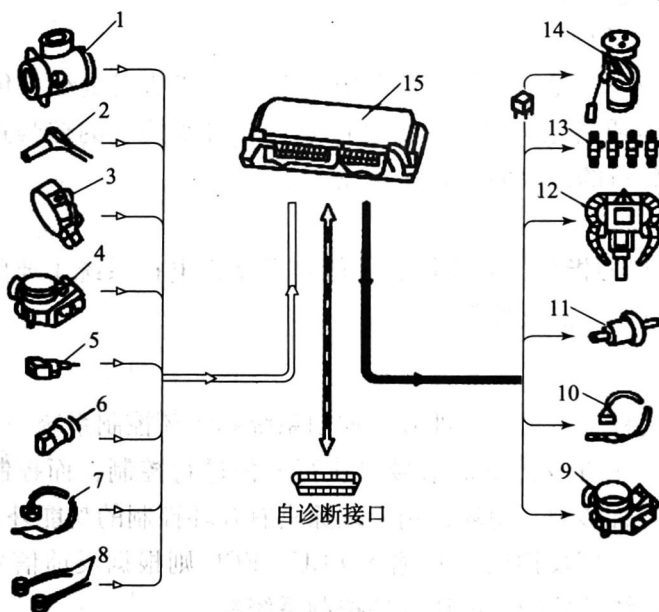


图 1-3 捷达轿车发动机的 Motronic 电控系统

- 1—空气流量计；2—转速传感器；3—霍尔传感器；4—节气门电位计、怠速节气门电位计、怠速开关；
5—进气温度传感器；6—冷却液温度传感器；7—氧传感器；8—爆燃传感器；9—怠速电动机和节流阀体；
10—氧传感器加热器；11—活性炭罐电磁阀；12—带点火器的点火线圈；13—喷油器；
14—汽油泵；15—ECU

习题与思考

1. 汽车电子技术的发展经历了哪些过程?
2. 电控技术对发动机工作性能有何影响?
3. 发动机电控系统控制内容有哪些? 试举例说明。
4. 分析电控系统的基本组成及功用。
5. 电控系统常见传感器及执行器有哪些? 各有何作用?
6. 发动机电控系统由哪几个子系统组成?

项目二

汽油机电控燃油喷射系统的检修

任务1 汽油机电控燃油喷射系统的基本原理



任务目标

- (1) 能够区别汽油机电控燃油喷射系统的类型、特点。
- (2) 能够说明汽油机电控燃油喷射系统的功能、基本工作原理和实现方法。
- (3) 熟悉汽油机电控燃油喷射系统的常见元件类型及安装位置。



任务引入

汽油喷射系统在 20 世纪 30 年代始用于军用飞机发动机上,最早装用汽油喷射系统的发动机出现在 1954 年的汽车展览会上,即德国奔驰公司生产的奔驰 300SL 所用的发动机。

20 世纪 60 年代,随着汽车数量的日益增多,在汽车发达国家相继制定了严格的排放法规,以限制汽车排放污染物的数量;20 世纪 70 年代,受能源危机的影响,迫使各国纷纷制定汽车燃油经济性法规;在这一背景条件下,汽油喷射技术也得到了进一步的完善和发展。

20 世纪 60 年代后期,随着电子技术的飞速发展,尤其是电子计算机的问世,电子技术在汽车上的应用成为各国汽车工业的重要发展方向。德国 BOSCH 公司首先成功研制出电控燃油喷射系统,电控燃油喷射技术历经晶体管、集成电路到微机处理三大发展进程,直到目前,各种汽车上应用电控燃油喷射系统都是以 BOSCH 公司产品为原形发展起来的。电控燃油喷射系统简称为“EFI (Electronic Fuel Injection) 系统”。

在现代汽车上,K 型和 KE 型汽油喷射系统已基本淘汰,EFI 系统因其更优越的性能而成为现代汽车用汽油机燃料供给系统的主流。



相关知识

一、电控燃油喷射系统的优点

众所周知,要提高发动机的动力性、燃料经济性和降低排放污染,就必须根据汽车运行工况的变化,精确控制供往气缸的混合气浓度。EFI 系统能实现混合气浓度(即空燃比)的高精度控制、电子控制的灵活性和电脑强有力的综合处理功能,使电控系统能够根据发动机

运行工况和运行环境的变化,如起动、暖机、怠速、加速、满负荷、部分负荷、滑行、环境湿度、海拔高度和燃油品质等,实现最佳空燃比控制及最佳点火提前角控制,以优化发动机各种运行工况,从而取得良好的节油和排气净化等效果。

与化油器式汽油机相比,电子控制技术在汽油机上的应用全面提高了汽油机的综合性能。电控汽油喷射系统在以下几方面有明显的改善和提高:

- (1) 电控汽油机采用压力喷射方式,汽油的雾化质量好。
- (2) 喷油器可以安装在进气门附近,可以使进气管的设计更合理,改善了各缸混合气的均匀性。
- (3) 通过精确控制空燃比和采用排放净化措施使有害物的排放量显著减少。
- (4) 电控系统根据传感器的输入信号随时判断发动机运行工况的变化,并调整喷油量,改善了汽油机过渡工况的响应特性。
- (5) 进气管中不需要设置喉管,通常不采用进气预热,减少了进气阻力,提高了充气效率,改善了发动机的动力性和经济性。
- (6) 电控系统根据起动时发动机冷却液的温度不同,提供与起动条件相适应的喷油量,提高了汽油机高、低温起动性能和暖机性能。
- (7) 在各种环境条件下可以准确地计算进气量,改善了汽油机对地理及气候环境的适应性。

二、电控燃油喷射系统的类型

1. 按喷射方式分类

按喷射方式不同,电控燃油喷射系统可分为连续喷射方式和间歇喷射方式。

(1) 连续喷射方式。连续喷射方式是指在发动机运转期间,汽油连续不断地喷入进气道内,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。除早期的 K 型机械式汽油喷射系统和 KE 型机电组合式汽油喷射系统外,电控燃油喷射系统一般不采用此种喷射方式。

(2) 间歇喷射方式。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。在采用间歇喷射方式的多点电控燃油喷射系统中,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 2-1 所示。

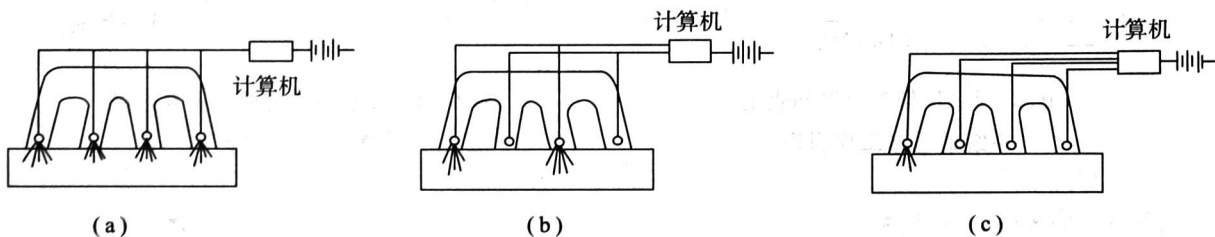


图 2-1 喷油器喷射顺序

(a) 同时喷射; (b) 分组喷射; (c) 顺序喷射

①同时喷射。同时喷射指将各缸的喷油器并联,在发动机运转期间,所有喷油器由 ECU 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,一般用在缸数较少的汽油发动机上。

采用同时喷射方式的电控燃油喷射系统,一般都是曲轴每转一圈各缸同时喷油一次,对

每个气缸来说，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。分组喷射指将各缸的喷油器分成几组，它是同时喷射的变形方案，当 ECU 向某组的喷油器发出喷油指令或断油指令时，同一组的喷油器同时喷油或断油。

③顺序喷射。顺序喷射指各喷油器由 ECU 分别控制，按发动机各缸的工作顺序喷油。一般缸数较多的发动机，均采用分组喷射或顺序喷射。

2. 按对空气量的计量方式分类

电控燃油喷射系统必须对进入气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，电控燃油喷射系统可分为 D 型电控燃油喷射系统和 L 型电控燃油喷射系统。

1) D 型电控燃油喷射系统

“D”是德语 Druck（压力）的第一个字母。D 型电控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，ECU 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 型电控燃油喷射系统的基本工作原理如图 2-2 所示。

2) L 型电控燃油喷射系统

“L”是德语 Luft（空气）的第一个字母。L 型电控燃油喷射系统利用空气流量计直接测量发动机的进气量，ECU 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。由于消除了推算进气量的误差影响，其计算的准确程度高于 D 型电控燃油喷射系统，故对混合气浓度的控制更精确。L 型电控燃油喷射系统的基本工作原理如图 2-3 所示。

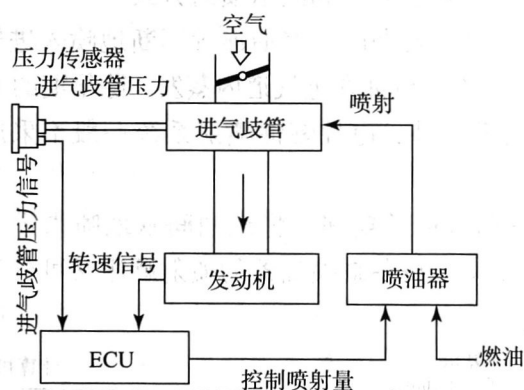


图 2-2 D 型电控燃油喷射系统的基本工作原理

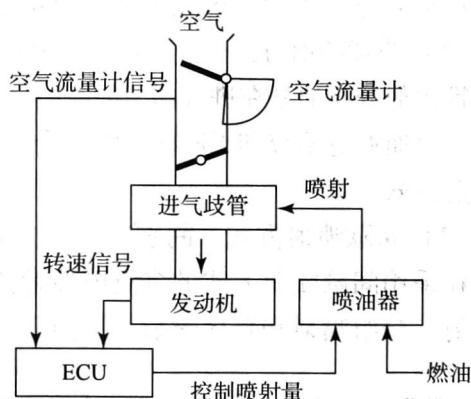


图 2-3 L 型电控燃油喷射系统的基本工作原理

3. 按喷油器数量分类

按喷油器的数量不同，电控燃油喷射系统可分为单点喷射（SPI）系统和多点喷射（MPI）系统，如图 2-4 所示。

1) 单点喷射系统

在节气门上方装一个中央喷射装置，用 1~2 只喷油器集中喷射。汽油喷入进气流中，形成的

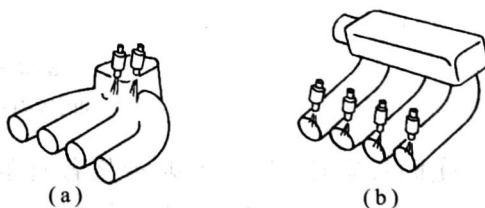


图 2-4 电控燃油喷射系统喷射位置
(a) 单点喷射系统；(b) 多点喷射系统

可燃混合气由进气歧管分配到各气缸中。单点喷射系统又称为节气门体喷射（TBI）系统或中央喷射（CFI）系统。

单点电控燃油喷射系统在每个气缸进气行程开始的时候喷油，采用的是顺序喷射方式，又称独立喷射方式。独立喷射可使燃油在进气管中滞留的时间最短，各缸得到的燃油量尽可能一致。单点喷射系统与多点燃油喷射系统的控制原理相似，空气量可采用空气流量计直接计量，也可采用绝对压力传感器间接测量。

2) 多点喷射系统

由于在每缸进气门处装有一只喷油器，由 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机状态还是热机状态，其过渡的响应及燃油经济性都是最佳的；但多点电控燃油喷射系统的控制系统比较复杂，成本较高，主要应用于对汽车性能要求较高的中、高级轿车上。

4. 按有无反馈信号分类

电控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）

将通过试验确定的发动机各工况的最佳供油参数预先存入 ECU，在发动机工作时，ECU 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，以优化发动机运行。

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，判断实际进入气缸的混合气空燃比，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（14.7:1）附近。对起动工况、暖机工况、加速工况、怠速工况、满负荷工况等特殊工况，仍需采用开环控制模式，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。

5. 按喷射位置分类

按喷射位置不同，电控燃油喷射系统可分为进气管喷射和缸内直接喷射两种类型。

1) 进气管喷射

进气管喷射是将喷油器安装在进气歧管上，喷油器将燃油喷射在进气门前，这种系统喷

油压力较低，一般不超过 1 MPa，目前大部分汽油喷射发动机都采用这种喷射方式，喷油器喷油时可以连续喷射，也可以间歇喷射，如图 2-5 所示。

2) 缸内直接喷射

燃油喷射系统在历经了化油器、单点电喷、多点电喷等多个技术发展阶段之后，终于进入了直喷时代，包括大众、通用等在内的越来越多车型的发动机开始采用缸内直接喷射技术。

FSI 是“Fuel Stratified Injection”的缩写，意为燃油分层喷射，亦称“汽油缸内直喷”，是大众公司将其首创的柴油机缸内直接喷射技术移植到汽油发动机领域的一项革命性的创新技术。通俗地说，就是将汽油和空气单独注入燃烧室，电喷发动机在这个过程中利用电子芯片经过计算分析精确控制喷射进入气缸的燃油量，以提高发动机空燃比控制的精确度，进而提高发动机效率的一种技术。与采用传统技术把燃油喷入进气歧管的发动机相比，FSI 发动机的主要优势有：动态响应好、功率和扭矩可以同时提升、燃油消耗降低。

FSI 汽油直喷技术代表着汽油发动机的最新发展方向。通常的发动机采用的是将汽油和空气在进气歧管中混合后喷入燃烧室的方式，而汽油直喷技术则是将汽油直接注入燃烧室，如图 2-6 所示，通过均匀燃烧和分层燃烧，降低了燃油消耗，提升了发动机动力。

实际应用证明，在同等排量下，FSI 与传统的进气管喷射燃油系统相比，动力性显著提高、输出更高的功率和扭矩、燃油消耗可降低 15%，从而实现了发动机动力性和燃油经济性的完美结合，是当今汽车工业发动机技术中最为成熟、最为先进的燃油直喷技术。

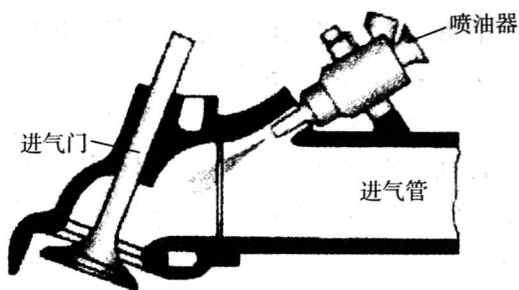


图 2-5 进气管喷射

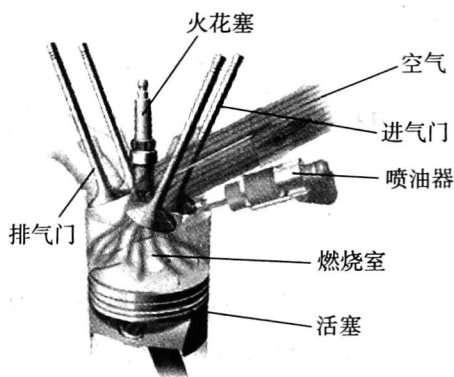


图 2-6 缸内直接喷射

三、电控燃油喷射系统的组成与基本原理

电控燃油喷射系统形式多样，但其组成基本相同。都是由三个子系统组成：空气供给系统、燃油供给系统和控制系统，如图 2-7 所示。

1. 空气供给系统

空气供给系统的功用是为发动机提供清洁的空气并控制发动机正常工作时的进气量。发动机工作时，空气经空气滤清器过滤后，通过空气流量计（L 型）、节气门体进入进气总管，再通过进气歧管分配给各缸。节气门体中设有节气门，用以控制进入发动机的空气量，从而控制发动机的输出功率（负荷）。在采用旁通空气式怠速控制系统的发动机上，节气门体的外部或内部设有与主进气道并联的旁通怠速进气通道，并由怠速控制阀控制怠速时的进气量。

在 L 型电控燃油喷射系统中，流经怠速控制阀的空气首先经过空气流量计测量。而在 D 型电控燃油喷射系统中，由于进气管绝对压力传感器测量的是进气管内的绝对压力，流经怠速控制阀的空气也在检测范围内。怠速控制阀由 ECU 直接控制。