

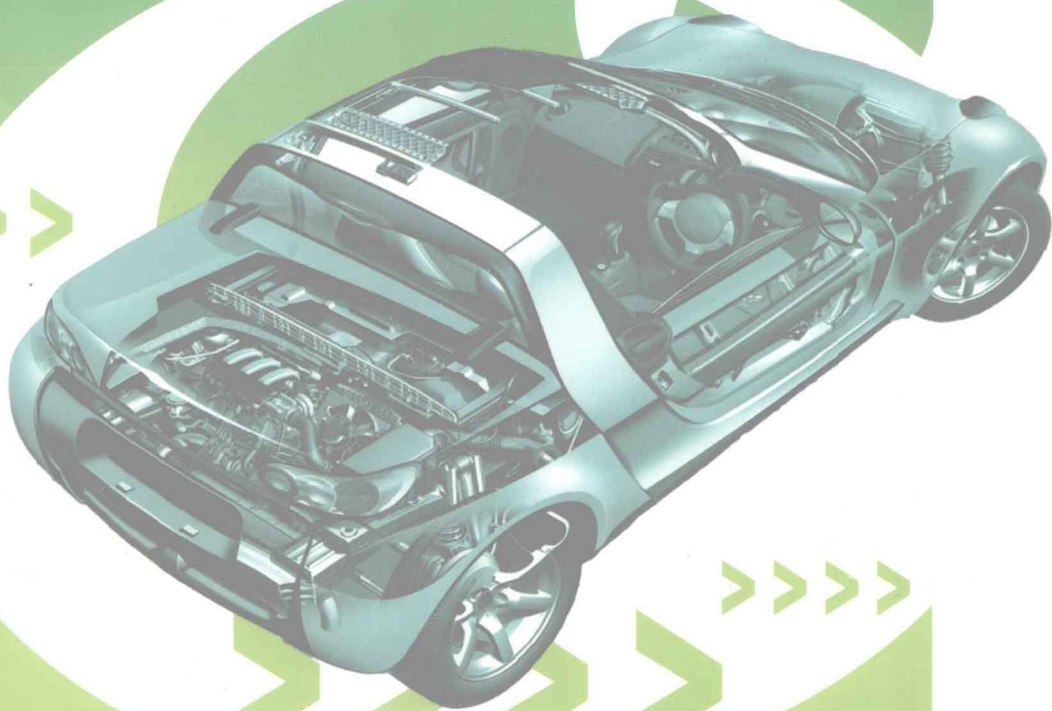


高职高专汽车类规划教材
国家技能型紧缺人才培养培训系列教材



汽车发动机管理系统 原理与检修

韩建国 主编



化学工业出版社



高职高专汽车类规划教材
国家技能型紧缺人才培养培训系列教材



汽车发动机管理系统 原理与检修

韩建国 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书介绍了汽油机管理系统和柴油机管理系统的发展、分类和组成。重点阐述了汽油机管理系统的燃油喷射控制、电子点火控制、怠速控制、排放控制、气缸充量控制和车载诊断系统的组成、原理、检测与诊断技术，并配有相应的故障案例供读者参考分析。教材内容兼顾教学的完整性和规范性以及实际应用的先进性和典型性。本书内容丰富，实用性强。

本书适合高职高专院校各汽车相关专业的师生使用，也可作为成人高等教育、汽车技术培训和自学用书，同时可供广大汽车工程技术人员和汽车维修人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车发动机管理系统原理与检修/韩建国主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.1

高职高专汽车类规划教材

国家技能型紧缺人才培养培训系列教材

ISBN 978-7-122-07370-9

I. 汽… II. 韩… III. 汽车-发动机-高等学校: 技术学院-教材 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 232276 号

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 张燕文

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 1/4 字数 344 千字 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

高职高专汽车类规划教材 编审委员会

主 任 张西振

副主任 张红伟 何乔义 胡 勇 李幸福
周洪如 王凤军 宋保林 熊永森
欧阳中和 王贵槐 刘晓岩 黄远雄

委 员 (按姓名笔画排序)

于丽颖	上官红喜	王木林	王凤军
王志文	王贤高	王贵槐	王洪章
王晓波	王海宝	韦焕典	卢 华
代 洪	冯 伟	冯培林	伍 静
刘 刚	刘凤波	刘玉清	刘泽国
刘晓岩	刘鸿健	孙晓峰	李 刚
李 彦	李幸福	杨安杰	杨晓波
吴东平	吴东阳	吴英萍	吴喜骊
何乔义	何金戈	沈洪松	宋东方
宋保林	张 军	张 晔	张西振
张红伟	张利民	张忠伟	陈 宣
陈振斌	苗全生	欧阳中和	罗富坤
周 晶	周洪如	郑 劲	赵文龙
赵伟章	胡 勇	胡文娟	胡寒玲
姜 伦	姚 杰	胡索文	贾永枢
党宝英	郭秀香	黄 坚	黄远雄
龚文资	崔雯辉	梁振华	蒋 芳
董继明	韩建国	惠有利	曾庆吉
谢三山	强卫民	廖 忠	熊永森
潘天堂	戴晓松		

前言

自 1886 年汽车问世至今已经有一百多年的历史了。其间的前 80 年，汽车技术的发展主要依靠机械设计进步。之后，电子技术的广泛应用使汽车变得越来越安全、经济、清洁、舒适和可靠。

近些年来，汽车排放法规和燃油经济性对发动机控制技术提出了更高的要求。发动机管理系统也为此进行了较大的改动，一些早期的控制逻辑已经不复存在。我们在编写过程中及时地补充了这些新的发动机电子控制技术和控制逻辑，以期读者能够及早了解。

我们在编写时充分考虑了职业教育的特点，以学生就业所需的专业知识和操作技能为出发点，在适度的基础知识和理论体系框架下，突出能力的培养，同时强调实训和案例教学，通过实际训练加深对理论知识的理解，力求使初学者能在短时期内掌握发动机管理系统的有关基本知识和常用诊断与检修方法，并能有效地利用维修资料和仪器设备对故障车辆进行高效诊断与检修。当然，在实际工作中，应针对具体的车型参考其维修手册进行维修。本书所介绍的一些诊断与检修方法和注意事项虽为典型实例，但仍具有普遍的实际指导意义。

本书共有八章。其中总论、第一章、第五章、第六章、第八章由河南职业技术学院韩建国编写；第二章由徐州工业职业技术学院宋发民编写；第三章由河南职业技术学院阴丽华编写；第四章由河南工程学院赵科编写；第七章由河南职业技术学院罗道宝编写。全书由韩建国主编并负责统稿。

本书在编写过程中，曾得到许多专家和同行的热情支持，并参考了相关著作和文献资料，在此对相关作者表示感谢。

本书有配套电子教案，可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如果有需要，可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

由于本书内容涉及面广，加之编者才学所限，难免会出现不当之处，敬请读者批评指正，以便改进。

编者

2009 年 11 月

目 录

总论	1
一、燃油喷射控制	1
二、点火控制	1
三、怠速控制	2
四、排放控制	2
五、气缸充量控制	3
六、车载诊断系统	4
七、发动机的其他控制	4
第一章 汽油喷射系统	5
第一节 概述	5
一、汽油喷射的发展历史	5
二、空燃比与汽油机性能的关系	5
三、汽油喷射系统与化油器供油系统的区别	7
四、汽油喷射的分类	7
第二节 早期燃油喷射系统	10
一、机械式连续喷射系统	10
二、机电混合式连续喷射系统	18
三、电控单点汽油喷射系统	23
第三节 电控多点汽油喷射系统	25
一、电控燃油喷射系统的组成和工作原理	25
二、空气系统与空气计量装置	26
三、燃油系统	33
四、控制系统	42
第四节 燃油喷射的控制策略	56
一、喷油正时的控制	56
二、喷油量的控制	56
习题	61
第二章 电子点火系统	64
第一节 概述	64
一、发动机对点火系统的要求	64
二、点火系统的发展历程	66
第二节 计算机控制的点火系统	68
一、计算机控制的点火系统的基本工作原理	69
二、无分电器点火系统	70
第三节 点火控制策略	72
一、点火提前角的控制	73

二、闭合角（通电时间）的控制	74
三、爆燃控制	75
习题	80
第三章 怠速控制系统	81
第一节 概述	81
一、怠速控制的方法	81
二、怠速控制系统的组成与基本原理	82
第二节 节气门直动式怠速控制机构	82
一、节气门直动式怠速控制机构结构与原理	83
二、节气门直动式怠速控制实例	83
第三节 旁通空气式怠速控制机构	87
一、步进电动机式怠速控制阀	87
二、旋转滑阀式怠速控制阀	91
三、线性脉冲电磁阀式怠速控制阀	93
习题	96
第四章 排放控制系统	98
第一节 概述	98
一、汽车排放的形成和危害	98
二、影响汽车排放污染的主要因素	98
三、排放控制的作用和分类	99
四、我国现阶段的汽车排放法规	99
第二节 曲轴箱通风系统和废气再循环系统	100
一、曲轴箱通风系统	100
二、废气再循环系统	101
第三节 燃油蒸发排放控制	105
一、蒸发排放控制系统的作用	105
二、蒸发排放控制系统的组成	105
三、蒸发排放控制系统的工作原理	106
第四节 废气后处理系统	107
一、二次空气喷射系统	108
二、三元催化转换器	110
三、NO _x 储存催化转换器	111
习题	112
第五章 气缸充量控制	113
第一节 概述	113
第二节 可变进气控制	113
一、可变进气系统的理论基础	113
二、可变进气系统的结构	114
三、可变进气转换阀的控制	115
第三节 可变配气控制	117
一、配气相位与发动机性能的关系	117
二、可变配气机构实例	118
三、无级变化的气门正时和升程调节	122

第四节 增压控制	125
一、机械增压系统	125
二、涡轮增压系统	127
三、复合增压系统	132
第五节 电子节气门系统	136
一、电子节气门系统的组成	136
二、电子节气门系统的工作原理	139
三、电子节气门系统的故障模式	139
四、电子节气门体的初始化	140
习题	141
第六章 车载诊断系统	143
第一节 概述	143
一、车载诊断系统的作用	143
二、车载诊断系统的故障逻辑	143
三、车载诊断系统的组成	144
四、故障代码的读取与清除	144
第二节 第二代车载诊断系统	146
一、OBD-Ⅱ的特点	146
二、OBD-Ⅱ的诊断接口	147
三、OBD-Ⅱ的故障代码	147
四、OBD-Ⅱ的故障指示器	152
五、OBD-Ⅱ的诊断范围	153
第三节 故障保护与备用系统	156
一、故障保护功能	156
二、后备系统	157
习题	157
第七章 发动机管理系统的故障排除	159
第一节 常用工具及仪器	159
一、跨接线	159
二、测试灯	159
三、万用表	160
四、手动真空泵	160
五、燃油压力表	161
六、喷油器清洗设备	161
七、专用测试仪	162
八、多功能信号模拟发生器	171
九、示波器	171
第二节 诊断原则与注意事项	171
一、诊断原则	171
二、诊断与维修注意事项	171
第三节 故障诊断与检修的基本流程	172
一、问诊	173
二、自诊断测试	174

三、试车	174
四、基本检查	175
五、故障分析	176
六、故障确认	177
七、修复与验证	177
八、交车	177
第四节 故障诊断测试方法	177
一、电子控制系统的一般诊断测试方法	178
二、针对疑难故障的故障症状模拟法	180
三、其他诊断测试方法	181
习题	181
第八章 柴油机电子控制技术	182
第一节 概述	182
一、柴油机电控技术的发展	182
二、电控柴油机的优点	182
三、柴油机电控系统的功能	183
第二节 位置控制式电控柴油喷射系统	184
一、电控直列柱塞泵燃油系统	184
二、位置控制式电控分配泵系统	186
第三节 时间控制式电控柴油喷射系统	188
一、电控分配泵柴油喷射系统	188
二、电控泵喷嘴系统	188
第四节 共轨式电控柴油喷射系统	193
一、共轨式喷射系统的组成	193
二、电控高压共轨喷射系统的控制功能	198
习题	199
参考文献	200

总 论

尽管各厂商生产的汽车发动机的构成不尽相同，但他们的期望一致，即低的燃油消耗和有害排放物、高的热效率、良好的运转稳定性和行驶平顺性以及较长的无故障使用寿命。为达到这些目的，除了对汽车发动机的机械结构进行适当的改进外，还运用了许多电子控制装置来实现相应的控制功能。

早期的汽车发动机使用模拟电路实现功能控制，一个电路只具有单一的控制功能，被称为单项控制系统，如汽油喷射系统只控制汽油喷射，点火系统由点火控制电路管理，怠速由怠速空气阀控制等。各单项控制系统之间不存在或只有极少量的信息交换，当它们之间有相互对立的需求时，只能由自身分别去协调，而不能以“系统交互”的方式解决。如果要为发动机增加一种控制功能，在增加相关部件的同时还要增加相应的逻辑控制电路，这使发动机的尺寸和成本都增加较大，非常不利于发动机技术的发展。

随着电子技术尤其是微电脑技术的发展与广泛应用，汽车生产商把与发动机有关的系统如点火控制、怠速控制和排放控制等集中在一起，由一个电子控制模块统一管理，以满足对动力性、经济性、安全性、排放性和自诊断等诸多方面的要求。这种集中控制系统被称为发动机管理系统，简称 EMS (Engine Management System)。如果要在这种集中控制系统中增加控制功能，只需改变存储在发动机控制模块（电脑）中的控制程序，同时增设相应的传感器和执行器即可。EMS 极大地方便了发动机控制系统的变型与改良。

当今车用汽油发动机的 EMS 通常具有以下功能。

一、燃油喷射控制

汽车发动机的运行工况多种多样。相应于每一特定的工况，都有一个最佳喷油量，可以使发动机获得良好的经济性、排放性和运转性能。

发动机各种工况下的最佳喷油量都存放在发动机控制模块 ECM 中。发动机运行时，ECM 根据空气流量传感器、曲轴转速传感器等提供的发动机工况信息，从内存中找出对应的最佳喷油量，并控制电磁喷油器在合适的时刻将燃油喷出。有些发动机的喷油定时是不变的，一些则由 ECM 控制随发动机工况而变化。

ECM 还对燃油系统中的电动燃油泵进行控制，以期降低发动机的功率消耗并延长油泵的使用寿命。

二、点火控制

不同发动机工况下的最佳点火提前角不同，发动机各种运行工况下的最佳点火提前角数据也存放在 ECM 中。ECM 根据各种传感器信号控制点火正时，使点火时刻始终处于最佳值。

另外，点火线圈充电时间的长短，影响着次级电压的高低和火花能量。为保证在不同的蓄电池电压和曲轴转速下都能够可靠地点火与燃烧，ECM 还对充电时间进行控制。

为保证火花能量，现代发动机点火线圈的初级绕组阻值往往较小，初级电路的饱和电流因此而变得较大，如果不加以限制，将会损坏电子元件。ECM 进行的恒流控制，使初级电流不超过限定值，从而可以改善点火特性和防止点火线圈过热。

在计算机控制的点火系统中还兼有爆燃控制。爆燃控制可以使汽油发动机始终工作在临界爆燃状态，在获得最佳效率的基础上防止发动机受到损坏。

三、怠速控制

怠速是汽车发动机最常用的工况之一。较高的怠速意味着油耗的上升, 较低的怠速则会增加排放污染并造成发动机运转不稳而熄火。控制怠速的意义在于降低排放污染、提高燃油经济性和怠速时的运转稳定性。

ECM 能根据发动机怠速工况的不同要求, 控制怠速转速的高低。发动机工作时, ECM 根据曲轴转速、车速、冷却液温度、变速器挡位、空调请求和动力转向等信号, 计算出不同怠速工况下的目标转速, 通过调节怠速时的节气门开度或旁通空气量, 使怠速转速稳定在目标值附近。

四、排放控制

汽油发动机的排放污染物主要有 CO、HC 和 NO_x 三种。

CO 是在燃烧不完全的情况下产生的。它能破坏血液吸收和输送氧的能力, 当人体吸入过多的 CO 后, 会有头晕、头疼等症状, 严重时会使窒息死亡。

HC 的主要成分是未燃燃料的蒸气。低温气缸壁的冷激作用、电火花微弱不能点燃混合气、气门重叠期间新鲜混合气的泄漏、曲轴箱窜气与燃油的蒸发等, 都会造成 HC 排放的增加。HC 对人眼及呼吸系统均有刺激作用, 对农作物也有害。

NO_x 是在燃烧过程中的高温和多氧的条件下生成的。 NO_x 会刺激人眼黏膜, 引起结膜炎、角膜炎, 严重时还会引起肺炎和肺气肿等疾病。 NO_x 还是产生烟雾的主要化学物质。

随着对环保的重视, 世界各地排放法规日益严格, 有的甚至已经达到了非常苛刻的程度。为减少发动机的排放污染, 当今车辆上使用三种类型的排放控制系统: 燃烧前控制系统、燃烧后控制系统和蒸发控制系统。

(一) 废气再循环控制

把发动机的部分排气引入进气管来稀释进气, 废气不仅不能再次燃烧, 还会因吸热使气缸内的最高燃烧温度降低, 从而减少 NO_x 的排放。废气再循环系统就是基于上述原理工作的。

相对于特定的工况, 再循环气体量应控制在一定的范围内。多数情况下, 如果再循环气体量过多, 反而会导致不完全燃烧, 造成 HC 的排放增加和燃油消耗率的上升。如果再循环气体量过少, 则会引起发动机过热与爆燃等不良现象。例如在冷启动、怠速和节气门全开等工况下, 就不应进行废气再循环。

在发动机管理系统中, ECM 根据发动机工况的不同, 控制废气再循环的时刻与数量。

(二) 汽油蒸发排放控制

由于外界的热辐射以及回油被加热等原因, 油箱中会产生大量的燃油蒸气。燃油蒸气中含有大量污染物 HC, 因此燃油的蒸发排放必须加以限制。

蒸发排放控制系统中的活性炭罐通过软管与油箱相连, 因此能够吸附燃油蒸气, 阻止燃油蒸气向大气的排放。

活性炭罐和进气管之间也有软管连接, 炭罐同时还和大气相通。当发动机工作时, 进气管中形成一定的真空度, 将活性炭罐中的汽油蒸气和空气吸入进气管以供燃烧。

由于这股通风气流是成分难以确定的油气混合物, 为了使空燃比不受通风气流的干扰, 使用装在通风管路上的炭罐清洗电磁阀来控制通风时刻和通风量。ECM 控制炭罐清洗电磁阀的开启和关闭。如果炭罐清洗电磁阀关闭, 从活性炭罐到发动机进气管之间的通风管路切断。炭罐清洗电磁阀的开度, 受 ECM 输出信号占空比的影响, 但它可以决定通风量的多少。

(三) 三元催化转换器与二次空气喷射系统

三元催化转换器 (TWC) 的作用是将排气中的主要污染物 CO、HC 和 NO_x 通过催化

反应生成 H_2O 、 CO_2 和 N_2 等无害气体。三元催化转换器能高效工作的前提条件是：必须将混合气的空燃比控制在理论空燃比附近，同时其工作温度应在 $400\sim 800^\circ\text{C}$ 之间。因此，三元催化转换器应和空燃比的闭环控制结合使用。以前也有些车上单独使用三元催化转换器，它的转换效率虽然不是很高，却也能减少大约 50% 的排放污染物。

在一些发动机管理系统中，三元催化转换器上装有温度传感器，ECM 对三元催化转换器的温度进行监测。当三元催化转换器的温度过高时，ECM 控制一个旁通阀开启，使废气不经过三元催化转换器而直接排入大气。

当发动机在混合气较浓的情况下运行时，废气中的 CO 和 HC 含量增多。为减少排放污染，二次空气喷射系统将一定量的新鲜空气加压后喷射到排气门的后方，使废气中的 CO 和 HC 进一步氧化燃烧，生成 CO_2 和无污染的水。

二次空气的引入使催化转换器在最短的时间内达到工作温度，提高了催化转换器的效能，但也可能会使催化转换器升温过高而损坏。所以，ECM 要根据转换器内的温度，控制二次空气泵与转换阀的工作情况，进而控制二次空气喷射量，以防止催化转换器中产生过度的反应和燃烧。

（四）曲轴箱强制通风系统

发动机工作时，会有一部分未燃燃料与燃烧产物经过活塞环而流入曲轴箱，这就是曲轴箱窜气。由于含有未燃燃料，所以曲轴箱窜气不仅是发动机排污的主要来源之一，同时还会影响到润滑油的质量。因此，必须对曲轴箱窜气进行处理。

曲轴箱强制通风系统的作用是，将窜气再次送入发动机并在燃烧过程中随新气一同燃烧掉，同时向曲轴箱中补充干净的空气。PCV 系统的关键部件是曲轴箱强制通风阀，它由进气管的真空度（发动机负荷）控制，调节进入进气管的曲轴箱窜气量。

五、气缸充量控制

（一）可变进气控制

发动机工作时，进气管内存在着动力效应。如果能有效地利用这种动力效应，使之与气门正时和曲轴转速相匹配，就可以提高充气效率，增加发动机的输出转矩和功率。某些发动机上，进气管的等效几何形状（长度、直径以及充气室的容积）在 ECM 的控制下变化，以适应不同转速的要求。

（二）可变配气控制

进气门关闭时刻对一定曲轴转速下的气缸充量有着很大的影响。进气门关闭时刻早，在低速时吸入气体量最大；进气持续期延长会使最大进气量移向发动机高速区。

气门重叠相位决定了内部残余气体再循环量。进气门提前打开会引起气门开启的持续期延长，由于增加了回流到进气管的废气量，从而提高了再循环废气比例，这样在一定节气门开度下的新鲜充量会减少，因此在任意给定的工作载荷点，必须增加节气门开度来进行补偿。这种减少节流的效应，减少了回流和再吸入的废气量。

在换气过程中，固定的气门正时和升程只能对某个特定的发动机运行状态达到最优。相比之下，由 ECM 控制的可变配气机构可以与不同发动机工况相适应。

（三）增压控制

增压就是将空气预先压缩后再供入气缸，以提高进气密度、增加进气量。由于进气量增加，如相应的增加循环供油量，就可以提高发动机的功率。实践证明，增压还能改善燃油经济性。增压有废气涡轮增压、机械增压和气波增压三种类型。其中涡轮增压和机械增压应用得较多，气波增压目前多用于柴油机。

涡轮增压是将发动机的排气引入涡轮机，利用高温废气的能量推动涡轮旋转运转，并带动与其同轴的压气机工作。压气机将新鲜空气压缩增压后，送入气缸。

机械增压器由发动机曲轴经齿形带或齿轮增速器加上电磁离合器驱动，它将空气压缩后送入气缸。

采用增压技术后，由于平均有效压力增加，发动机爆燃倾向增大，热负荷偏高。为了保证发动机在不同工况下都得到最佳的增压值，以限制热负荷和防止爆燃，EMS 对发动机的增压压力进行控制。

六、车载诊断系统

汽车电子系统的控制功能越多，结构原理也就越复杂，诊修也就越困难。车载诊断系统的出现在一定程度上改变了这一现象。发动机工作时，ECM 不断地监测包括自身在内的整个电子控制系统。当它发现任一异常信号时，经判断确认为故障后，便点亮仪表板上的故障指示灯以提醒驾驶员系统出现故障，同时将故障以诊断代码的形式存入存储器。检修时，维修技师可以通过规定的程序或者使用专用仪器，从 ECM 的存储器中调出故障代码，再根据故障代码表查找故障内容进行维修。

当 ECM 检测到不正常信号时，将启用备用程序，按照其内存中固定的喷油持续时间和固定的点火提前角控制发动机，使之能够继续工作。

当 ECM 本身出现故障时，备用电脑将对喷油和点火进行控制，使车辆能继续行驶。

七、发动机的其他控制

为了保证汽车用电设备的正常使用和蓄电池的正常充电，交流发电机的输出电压应保持在 13.5~15V。在以前的车辆上，发电机输出电压的调节由电压调节器来完成，而在发动机管理系统中，则由 ECM 根据发电机输出电压、曲轴转速、蓄电池温度及有关信息，通过控制磁场电流的方法来实现。

ECM 同样通过控制磁场电路的相对导通率的方法改变磁场电流，进而控制发电机输出电压。当发电机输出电压超过额定值时，ECM 使磁场电路接通的相对时间变短，来减弱磁场电流，降低发电机输出电压。当发电机输出电压低于额定值时，ECM 使磁场电路接通的相对时间变长，来增强磁场电流，提高发电机输出电压。

另外，还有冷却风扇控制、防非法启动装置。

第一章 汽油喷射系统

第一节 概 述

一、汽油喷射的发展历史

燃油喷射系统追溯起来已经有一百多年的历史了。早在 1898 年, Deutz 发动机厂就开始少量生产用于燃油喷射系统的柱塞泵。不久应用文丘里效应开发出了化油器, 燃油喷射技术在竞争中一度停止了。后来, 由于航空发动机化油器结冰和容易发生火灾等问题, 重新推动了燃油喷射技术的研究开发工作。1912 年, BOSCH 公司开始研究汽油喷射泵。第一台应用 BOSCH 燃油喷射技术的航空发动机的功率为 894.84kW (1200hp), 并于 1937 年形成系列产品。由于当时的制造成本很高, 燃油喷射装置在汽车上的应用仅限于高性能的赛车。

20 世纪 50 年代初, 机械式车用燃油喷射系统问世。1951 年, BOSCH 将直接喷射装置作为标准配置首次应用于小轿车。几年后, 该系统装到 Daimler-Benz 的一款具有传奇色彩的跑车 300SL 上。

1957 年, BENDIX 公司研制出采用真空管的电子控制燃油喷射系统, 但真空管体积大和笨重的缺陷, 限制了电子控制燃油喷射系统的普及推广。

20 世纪 50 年代初, 在美国加州洛杉矶发现汽车排放物是产生烟雾的部分原因。1959 年末, 加州制定了第一个汽车排放法规, 并决定从 1965 年 7 月开始施行。随后, 其他主要工业国家也陆续制定了严格的排放法规, 这迫使各汽车生产商不得不重视电子燃油喷射技术的开发和应用。

1962 年, 晶体管已从锗管发展到硅管, 其价格和可靠性也适宜应用于汽车上。BOSCH 从这一年开始着手于开发晶体管分立件模拟电子燃油喷射系统, 并于 1967 年成功研制出由进气管压力控制的第一代电子喷射系统 D-Jetronic。它具有良好的空燃比控制精度并极大地减少了排气污染。

1973 年, BOSCH 研制出更为先进的空气流量控制的 L-Jetronic 系统和另一种机械-液力式空气流量控制的 K-Jetronic 系统。

1976 年, BOSCH 在 K-Jetronic 的基础上引入了空燃比闭环控制, 成为第一种闭环控制燃油喷射系统。

1979 年, BOSCH 研制出了数字式发动机控制系统 Motronic。这种由单片机控制的系统将 L-Jetronic 和程序脉谱图电子点火控制组合在一起, 成功地解决了模拟控制系统中无法实现的控制功能。从此, 车用汽油发动机进入了快速发展的计算机控制时代。

二、空燃比与汽油机性能的关系

(一) 空燃比对汽油机性能的影响

混合气中空气与燃油的质量之比, 称为空燃比, 用 A/F 来表示。理论上, 14.7kg 空气与 1kg 汽油混合能完全反应并生成 CO_2 和 H_2O , 即理论混合气的空燃比为 14.7 : 1。过量空气系数 λ 也用来表示发动机混合气的浓度。理论混合气的过量空气系数值为 1; 浓混合气的过量空气系数小于 1; 稀混合气的过量空气系数大于 1。

在发动机工作实际中,由于时间和空间的限制,理论混合气并不能完全燃烧。欲使燃油完全燃烧得到最小的燃油消耗率,应供给空燃比值约为 $16 \sim 18$ ($\lambda = 1.1 \sim 1.2$) 的经济混合气。但是稀混合气会因为燃烧速度慢而造成发动机功率不足,为使发动机发出最大功率,则需要供给空燃比值约为 $12 \sim 13.5$ ($\lambda = 0.85 \sim 0.95$) 的功率混合气。

浓混合气因氧气含量少而燃烧不充分,最高燃烧温度低,因此 CO 和 HC 的排放都较多,而 NO_x 的排放却较少。在浓混合气区间,随着过量空气系数向理论值靠近,含氧量增加使燃烧速度加快,因此 NO_x 的排放增加,而 CO 和 HC 的排放减少。理论空燃比附近的燃烧速度最快, NO_x 的排放达到最高。稍稀混合气由于燃烧比较充分,CO 和 HC 的排放都较少, NO_x 的排放却较多。随着空燃比的进一步增大,燃烧速度变慢,最高燃烧温度降低,燃烧也更充分,因此 NO_x 、CO 和 HC 的排放都减少。对于特稀混合气而言,由于伴随着失火,会使 HC 的排放激增。

混合气浓度对发动机性能的影响如图 1-1 所示。

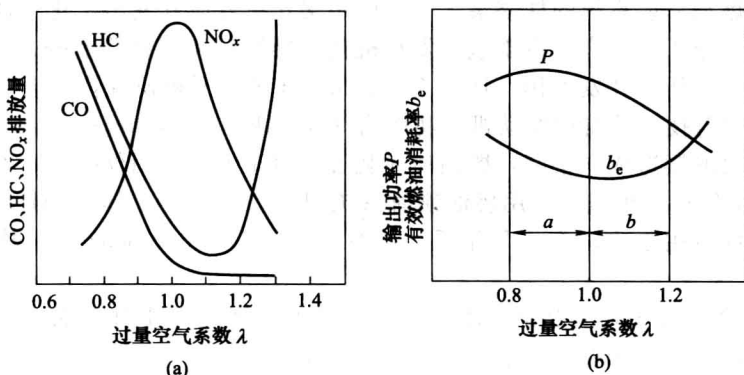


图 1-1 混合气浓度对发动机性能的影响

(二) 不同发动机工况对混合气成分的要求

在实际使用中,汽车发动机的运行工况变化较大,因此对可燃混合气的空燃比要求差别很大。通常认为汽车发动机的工况分稳定工况和过渡工况两大类。而稳定工况又可以分怠速、小负荷、中负荷以及大、全负荷。过渡工况则可以分为冷启动、暖机、急加速和急减速。各种工况对混合气成分的具体要求如下。

在冷启动时,由于发动机温度与转速都较低,蒸发和雾化条件很差,所以应供给极浓混合气, $A/F = 3 \sim 9$ 。

冷启动后的暖机阶段,发动机温度逐渐提高,燃油蒸发条件逐步改善,应供给浓度逐渐减小的浓混合气。但为了加快暖机的过程,混合气的数量应较热机怠速时的要多。

热机怠速时,由于进气量较少,残余废气的稀释作用较强,因此应向发动机供给较浓的混合气, $A/F = 9 \sim 12$ 。

发动机在小负荷工况下工作时,废气的稀释作用减弱,应供给较热机怠速时为稀的稍浓混合气, $A/F = 10.5 \sim 13.5$ 。

中等负荷是发动机最为常用的工况之一。为获得良好的燃油经济性,在中等负荷下应供给比较稀的混合气, $A/F = 13.5 \sim 16.5$ 。

在大、全负荷工况下,为获得最大功率,应供给功率混合气, $A/F = 12 \sim 13.5$ 。

急加速时,由于节气门突然开大进气量增加,进气管中的压力升高、温度下降,这就容易使部分燃油凝结而造成混合气瞬间过稀。所以此时应供给浓混合气, $A/F \approx 10.5$ 。

急减速时与急加速时的情况相反,节气门的突然关闭使进气管内的压力迅速降低,先前

凝结的部分燃油重新蒸发而使混合气变浓。此时需要供给稀混合气甚至停止燃油供应。

三、汽油喷射系统与化油器供油系统的区别

(一) 化油器供油系统的基本原理与特点

当流体所流过的管道在某处直径缩小时, 流体在该处的流速增加, 同时在该处的压力降低形成一定的真空度。这种现象被称为文丘里效应。这样的管道就是文丘里管。

化油器供油系统就是利用文丘里效应的原理工作的。在这种系统中, 燃油主喷管的一端开口置于化油器狭窄的喉管内, 另一端位于浮子室燃油液面以下, 如图 1-2 所示。当发动机运转时, 空气流过喉管而在喉部产生一定的真空度。燃油在浮子室油面上的大气压以及喉部真空度的共同作用下, 由浮子室进入喉管与空气雾化混合。空气流量(进气量)越大, 喉部的空气流速和真空度也越大, 供油量也就越大。该系统结构简单, 成本低, 但存在着充气及混合气质量分配不理想的缺点。

(二) 汽油喷射系统的基本原理与特点

发动机控制模块根据进气量和曲轴转速计算出基本喷油量, 再参考各类与发动机工况有关的传感器信号对此修正, 从而确定最佳的喷油量和喷油时刻, 最后由 ECM 指令喷油器喷油。

汽油喷射系统取消了喉管, 进气阻力减小, 充气效率增加。由于 ECM 能精确控制不同工况下的空燃比, 所以发动机的动力性、经济性增加, 排污减少, 并具有良好的加速等过渡性能。

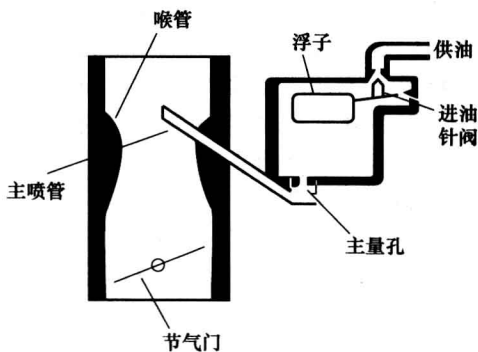


图 1-2 化油器供油系统原理

四、汽油喷射的分类

(一) 按控制方式的不同划分

1. 机械控制式汽油喷射系统

机械控制式汽油喷射系统(K-Jetronic)利用机械的方法测量进气量, 并由机械-液力控制的燃油量分配器根据进气量的多少, 向每个气缸的喷油器供油。只要供油压力大于喷油器内针阀弹簧的开启压力, 喷油器即连续地向进气门后的进气管内喷油。

2. 机电混合控制式汽油喷射系统

机电混合控制式汽油喷射系统(KE 型系统)是 K 型系统的变型, 它在 K 型系统的基础上增设了若干传感器、一个电控单元 ECM 和一个用于控制混合气成分的电液压力控制执行器。传感器将表征发动机运行工况的信息传送给电控单元, 由电控单元对燃油喷射系统进行控制, 使之具有更好的工况适应性和更加完善的功能。

3. 电子控制式汽油喷射系统

在电子控制式汽油喷射系统中, 空气流量计(或进气管绝对压力传感器)将进气量的信息传送给发动机控制模块 ECM, ECM 根据进气量和曲轴转速计算出基本喷油量, 再根据各种传感器检测到的与发动机工况有关的参数(如冷却液温度、进气温度等), 对基本喷油量进行修正, 从而确定最佳喷油量和喷射时刻。这种控制系统在正常工作时性能最优。

(二) 按空气流量检测方式的不同划分

1. 质量流量法

质量流量法利用空气流量计直接测量单位时间内发动机吸入的空气流量, 再根据发动机的转速计算出每一工作循环进气量。L-Jetronic 就是利用这种检测方式工作的。

2. 速度密度法

速度密度法利用进气管绝对压力传感器测知进气管的压力, 再结合曲轴转速来测定循环

进气量。由于进气管压力与吸入的空气量之间并非成简单的函数关系，在检测过渡状态的吸入空气量时，需进行修正。并且当采用 EGR（废气再循环）时，由于排气脉动造成进气管压力的变化，也不易精确测定吸入的空气量。D 型系统就是利用这种检测方式工作的。

3. 节流速度法

节流速度法利用节气门位置传感器检测节气门的开度，再根据节气门开度和曲轴转速测定每一周期的吸入空气量。由于这种控制方式直接检测节气门的角位移，发动机的过渡响应性能好。但是，吸入空气量与曲轴转速和节气门开度之间的函数关系极为复杂，所以很难准确测出空气量。这种空气流量的检测方式目前应用很少。

（三）按喷射部位的不同划分

1. 缸内喷射

缸内喷射利用装在气缸体上的电磁喷油器将汽油直接喷入燃烧室与空气混合，如图 1-3 所示。它实际上是第一台汽油喷射系统的理论基础，其最大优点在于消除了进气通道上燃油凝结的可能性。缸内喷射对喷油器要求非常高，过去仅在 K 型系统中有过应用，目前应用的混合气形成系统几乎全都是在燃烧室外形成混合气。由于缸内喷射在降低燃油消耗方面具有很大潜力，正成为汽油喷射技术的发展趋势。

2. 进气管喷射

（1）单点喷射 在采用单点喷射（SPI）的发动机上，所有气缸共同使用一个或两个电磁喷油器。喷油器将燃油喷在节气门附近与空气进行混合，如图 1-4 所示。由于喷油器距气缸较远，受到的加热少，油路中不容易产生气阻，因此可采用成本较低的低压喷射，但单点喷射仍存在类似于化油器混合气分配不理想的缺点，发动机性能较差。

（2）多点喷射 在采用多点喷射的发动机上，每个气缸都单独使用一个喷油器。喷油器将燃油喷到进气门后方与空气混合，如图 1-5 所示。多点喷射系统中的喷油器数量多，控制复杂。为了避免燃油系统产生气阻，将喷射压力提高。因此多点喷射的成本较高，但发动机性能较好。

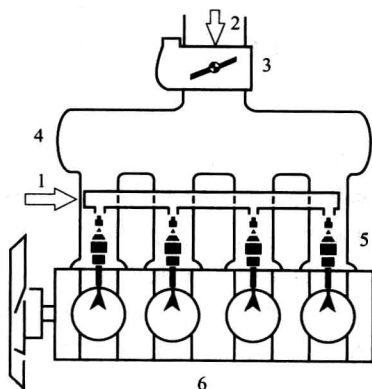


图 1-3 缸内直接喷射

1—燃油；2—空气；3—节气门；
4—进气管；5—喷油器；6—发动机

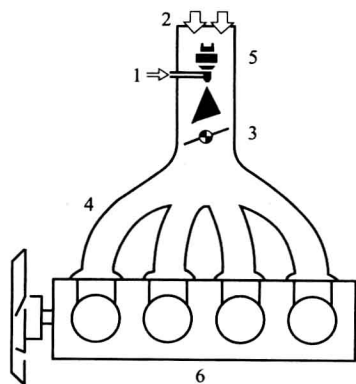


图 1-4 单点喷射

1—燃油；2—空气；3—节气门；
4—进气管；5—喷油器；6—发动机

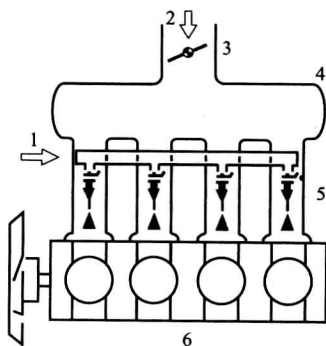


图 1-5 多点喷射

1—燃油；2—空气；3—节气门；
4—进气管；5—喷油器；6—发动机