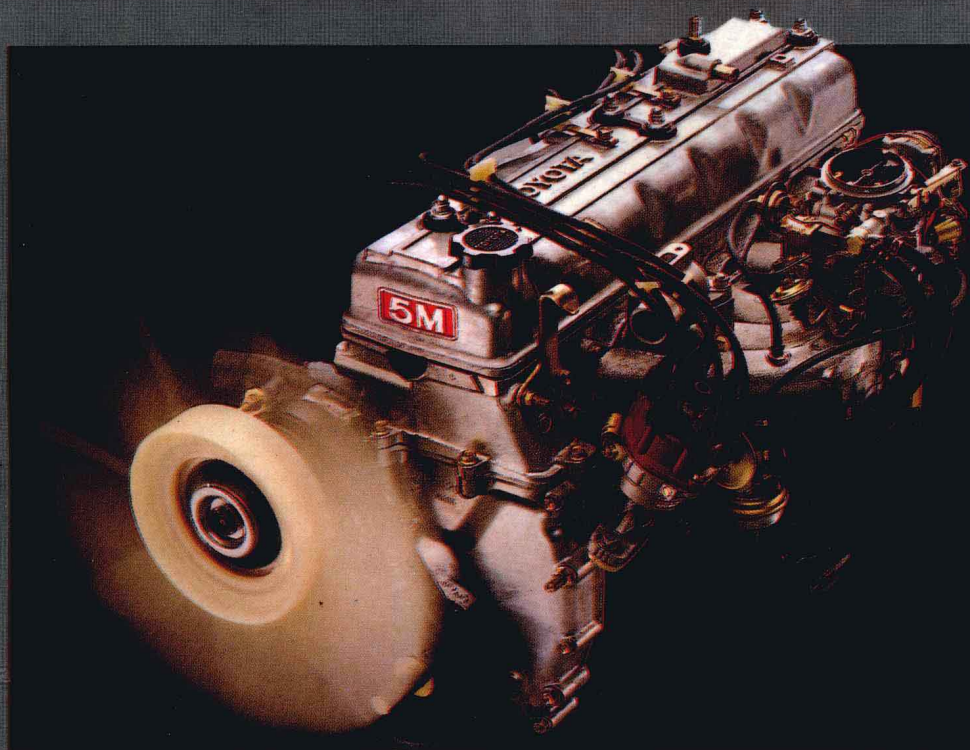


汽车 电子控制系统 的原理与检修

(电喷发动机部分)



王遂双 李建文 董宏国 编

北京理工大学出版社

汽车电子控制系统的原理与检修

(电喷发动机部分)

王遂双 李建文 董宏国 编

北京理工大学出版社

内 容 简 介

近年来,从国外进口以及国内中外合资生产的汽车中,大量采用了电子控制装置,这样必然导致汽车的结构有较大的改变,且技术也日益复杂。本书就是为补充国内广大汽车维修人员尚缺乏这方面的知识而编写的。

本书主要对发动机电子(电脑)控制系统的基本结构、工作原理和检修方法,进行了比较全面系统的阐述。在编写过程中,坚持由浅入深、通谷易懂,图文并茂、便于学习理解的指导原则,在内容上有理论,有实践,坚持理论与实践相结合的原则,力求使初学者在短时间内就能掌握汽车发动机电子(电脑)控制系统的基本知识。

本书可供广大汽车修理工、驾驶员、汽车使用工程技术人员和大中专院校汽车专业的师生阅读参考,也是“汽车电子控制培训班”使用的好教材。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制系统的原理与检修:电喷发动机部分/王遂双主编. —北京:北京理工大学出版社,1995

ISBN 7-81045-039-5

I. 汽… II. 王… III. ①汽车-电子控制-自动化系统-检修②汽车-活塞式发动机-电起动机-检修 IV. ①U463.6②U464.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10244 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 7 号)

邮政编码 100081 电话 68422683

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 插页 1 507 千字

1995 年 8 月第一版 1997 年 6 月第四次印刷

印数:23001—29000 册 定价:22.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

当代汽车为了提高其动力性、经济性、安全性以及减少排放污染、增强舒适性等原因,采用电子(电脑)控制技术已成为一种不可阻挡的潮流,且技术日益成熟、日趋普及。目前,美、日、德等发达国家在新生产的轿车上,电子控制燃油喷射发动机已经普及。在国内,中外合资生产的切诺基、奥迪、桑塔纳汽车也批量装配电子控制燃油喷射装置。另外一些国产车(如三星、三峰等)也相继采用电子控制燃油喷射装置,国内一些主要轿车生产厂家都计划在3~5年内,在轿车上装配电子控制燃油喷射装置。

近几年,国外生产的轿车源源不断的涌入国内市场,据有关资料统计表明,在1989年国内轿车保有量中,进口轿车比率达70%。仅1993年入境的国外轿车就达40万辆,而这些近期进口的轿车中基本上都装配电子控制燃油喷射装置及其它电子控制装置。

汽车上大量采用电子控制装置后,必然导致结构上有较大的改变,且技术日益复杂,然而,目前国内广大汽车维修人员尚缺乏这方面的知识,市场上也缺乏这方面较系统的参考资料,还普遍存在着一种神秘感,给维修工作带来许多困难。本书就是为改变这一现状,为开办“汽车电子控制培训班”而编写的一本教材。

本教材主要对发动机电子控制系统的基本结构、工作原理和检修方法,进行了比较全面系统的阐述。在编写过程中,从教学需要出发,坚持由浅入深,通俗易懂,便于学习理解的指导原则,力求使初学者在短时期内就能掌握汽车发动机电子(电脑)控制系统的基本知识。另外,在编写内容上力求做到有理论有实践,坚持理论与实践相结合的原则。因此,本书在内容上有一定的可操作性,对维修进口轿车具有重要的指导意义。

本书适应于“汽车电子控制培训班”教学使用,也可供广大汽车修理工、驾驶员、汽车使用工程技术人员和大中专院校汽车专业的师生阅读参考。

本书由王遂双、李建文、董宏国等人编写,由俞招海、郭运安同志审阅定稿。参加本书绘图的有张麟英、丁晶蓉等同志。另外在编写过程中得到北京吉普汽车有限公司、一汽集团公司诸多同志的热情帮助,还得到天津解放军运输工程学院汽车电气教研室全体同志的积极支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,资料缺乏,书中难免出现缺点和错误,敬请批评指正。

编 者

一九九五年三月

目 录

绪 论	(1)
第一章 汽油发动机的有关知识	(6)
第一节 汽油发动机对可燃混合气的要求	(6)
第二节 汽油发动机的排放与净化	(8)
第三节 发动机对点火系的要求及其发展过程	(18)
第二章 汽油发动机电子控制系统概论	(24)
第一节 汽油发动机电子控制系统的种类及控制内容	(24)
第二节 汽油喷射的基本概念和发展过程	(26)
第三节 现代汽油喷射系统的分类	(29)
第四节 汽油发动机电子控制系统的组成及功能	(34)
第五节 电控汽油喷射发动机的优点	(36)
第三章 发动机电子控制系统主要装置的结构与原理	(38)
第一节 传感器的结构与工作原理	(38)
第二节 电子控制器及其电源电路	(64)
第三节 执行器的结构与工作原理	(70)
第四节 燃油装置的结构与工作原理	(85)
第四章 发动机电子控制系统的工作情况	(89)
第一节 燃油喷射的控制	(89)
第二节 点火系统的控制	(109)
第三节 怠速控制 (ISC)	(127)
第四节 电动燃油泵的控制	(135)
第五节 排气再循环 (EGR) 控制	(139)
第六节 自诊断系统	(141)
第七节 安全保险功能与后备系统	(146)
第八节 电控系统的扩展功能	(148)
第五章 发动机微机控制系统的故障诊断与检修	(152)
第一节 常用工具和专用测试仪	(152)
第二节 故障诊断的基本原则及注意事项	(157)
第三节 客户意见与基本检查	(159)
第四节 自诊断测试概述	(161)
第五节 亚洲汽车自诊断测试	(164)
第六节 美国汽车自诊断测试	(182)
第七节 欧洲汽车自诊断测试	(191)
第八节 疑难故障诊断	(199)
第九节 主要系统及零部件的故障诊断与维修	(208)
第十节 电喷系统发动机故障排除实例	(240)
第六章 北京切诺基发动机电子控制系统	(244)

第一节 概述	(244)
第二节 输入信号装置的基本电路与工作	(246)
第三节 各执行器的基本电路和工作	(261)
第四节 故障诊断与测试	(275)
第七章 奥迪轿车发动机电子控制系统	(290)
第一节 概述	(290)
第二节 KE-Jetronic 系统主要装置的结构与原理	(291)
第三节 KE-Jetronic 系统的工作	(301)
第四节 KE-Jetronic 系统的检修	(305)
附录一 名词缩写注释	(313)
附录二 电线颜色缩写识别	(317)
主要参考文献	(319)

绪 论

汽车电子技术是汽车技术与电子技术相结合的产物。随着汽车工业与电子工业的不断发展,在现代汽车上,电子技术的应用越来越广泛,汽车电子化的程度越来越高。70年代中期,微机(俗称电脑)在汽车上应用后,给汽车工业带来划时代的变化。可以说,今天的汽车已进入了微机控制的时代,且日趋成熟和可靠。

一、汽车电子技术的发展过程

在50年代,汽车上最初采用的电子装置只是收音机。60年代初期,由于开发了交流发电机用整流器,从此开始在汽车上采用交流发电机。60年代中期,开始采用晶体管电压调节器和晶体管点火装置,接着又逐步实现其集成化。这一阶段,还有其它电子装置不断出现,但这一阶段的电子装置主要是代替机械部件的作用。

随着汽车工业的发展,由于一些发达国家汽车数量成直线增长,致使环境污染日趋严重。在美国的加利福尼亚州,首先颁布了世界上第一个汽车排放法规,接着美国、日本、欧共体等国家,相继效仿制订出类似法规。随着70年代能源危机的出现,又先后颁布了油耗法规,以限制汽车的耗油量。接着,又先后制定了防止汽车事故的安全法规。随着时间的推移,这些法规不断进行修改,其标准越来越严格。由于这些法规的出现,使各国汽车厂家无不感到压力,既要保证发动机的动力要求,又要降低发动机的油耗,还要满足符合排污法规的规定,为此在汽车行业展开了激烈的竞争与角逐。此时,他们感到采用传统的常规方法已无能为力,必须采用更先进的手段,庆幸的是进入70年代后期,电子工业有了长足的进步,特别是集成电路,大规模集成电路和超大规模集成电路的发展,使电子元件过渡到功能块和微机出现后,使用功能强、响应敏捷、可靠性高、价格便宜的电子技术成为解决上述矛盾的有效手段。因而迅速推动微机控制技术在汽车上的应用并快速发展。

1976年,美国克莱斯勒公司首先创立了由模拟计算机对发动机点火时刻进行控制的控制系统。1977年美国通用汽车公司开始采用数字点火时刻控制系统,称为迈塞(MISAR)系统,该系统体积较小,由中央处理器(CPU)、存储器(RAM, ROM)和模/数(A/D)转换器等组成,是一种真正的计算机控制系统。同年,美国福特汽车公司开发了能同时控制点火时刻、排气再循环和二次空气的发动机电子控制系统。继之,日本、欧洲一些国家也相继开发了自己的汽车电子控制系统。以后他们又经过多次改进,其控制功能不断增多,其性能更加先进。

电子燃油喷射系统,是由德国波许(Bosch)公司于1967年研制成功的,它用电子电路控制喷油器的喷油量,与化油器相比,具有明显的优越性。随着时间的推移,该技术日渐成熟,又被美国、日本等国家所广泛采用。

汽车电子控制装置开发最早、最主要部分是从发动机控制开始的。而发动机的电子控制技术又首先是从控制点火时刻开始的。它从单一项目的控制,发展到多功能的控制,即从单一的控制点火时刻开始,逐步扩展到控制排气再循环、空燃比、怠速转速等多项内容的发动机综合控制系统,后来称为发动机集中控制系统。由于电子技术在发动机控制中取得了成功

经验,汽车厂家越来越自觉地在汽车上展开全面应用。现在电子控制技术已渗透到汽车的各个组成部分,如我们熟悉的制动防抱系统、自动变速系统、信息显示系统等。据有关资料介绍,美国福特汽车公司出产的一部汽车上,最多的装有7个微处理器,日本丰田公司新式“滑翔机”牌汽车上已使用24个微处理器。如果我们注意观察,最近几年从美国、日本、欧洲以及韩国等国进口的汽车上,都或多或少、程度不同的装有各种微机控制装置。由于汽车上越来越多的采用这些电子控制装置,因而在提高汽车的动力性、经济性、减少排污性,以及提高安全性、操纵性、可靠性、舒适性等方面,都显示出它的优越性。有关资料表明,1990年世界生产的轿车上,有90%左右已采用微机控制装置。由于微机在汽车上的应用发展迅速,且日益普及和完善,可以说,在发达国家,汽车已进入电子控制时代。

目前,国产汽车的电子技术应用多数还处于初级阶段,只有少数汽车厂家,主要集中在一些中外合资生产的汽车上,开始采用电子控制装置,如北京切诺基、一汽奥迪、上海桑塔纳,另外在三星、三峰牌等汽车上也开始程度不同的安装电子控制装置。国产汽车采用电子控制装置的前景是可喜的,从我国机电部“八五”规划中可以看出,国家对汽车电子技术的开发、引进和应用是十分重视的,对发展汽车电子产品的指导思想、发展战略,基本任务,以及发展重点都提出了明确目标和要求。另外,当我国恢复关贸总协定缔约国地位后,迫于国际汽车行业的竞争,势必加快我国在汽车上采用电子控制技术的前进步伐。可以预料,国产汽车积极采用电子控制装置也是指日可待的事情。

二、国外汽车电子控制技术的概况

随着汽车电子化的发展,发达国家在汽车的各个系统上竞相采用电子控制装置,可以说是日新月异,层出不穷,令人眼花缭乱。但是他们的发展也是不平衡的,且各有特点,而且就某一厂家的某一车型来说,过去和现在也有较大差别,即使是同时期生产的某一车型,销售地区不同,采用的电子控制装置的数量也可能不一样。这里就目前较多见、较成熟的汽车电子控制装置的情况介绍如下。

(一) 发动机部分

1. 最佳点火提前角 (ESA)

该系统可使发动机在不同转速、进气量等因素下,实现最佳点火提前角,使发动机能发出最大的功率或转矩,而油耗和排放降低到最低限度。

该系统分开环和闭环两种控制。闭环是在开环的基础上,增加一个爆震传感器进行反馈控制,其点火时刻的精确度比开环高,但排气净化稍差些。

2. 最佳空燃比

空燃比的控制是电控燃油喷射发动机的一项重要内容。它能有效的控制混合气空燃比,使发动机在各种工况下及有关因素的影响下,空燃比达到最佳值,从而实现提高功率、降低油耗、减少排气污染等功效。

该系统可分为开环与闭环两种控制。闭环控制是在开环控制的基础上,在一定条件下,由微机根据氧传感器输出的混合气(空燃比)信号,修正燃油供应量,使混合气空燃比保持在理想状态。

该系统分电子反馈式化油器系统和电子燃油喷射系统两种,其中电子燃油喷射系统的性能显得更优越,化油器式已趋于淘汰。

3. 排气再循环 (EGR)

该系统是将一部分排气废气引入到进气侧的新鲜混合气中,以抑制发动机有害气体(氮的氧化物 NO_x)生成。该系统能根据发动机的工况,适时的调节排气再循环的流量,以减少排气中的有害气体 NO_x 。它是一种排气净化的有效手段。

4. 怠速控制 (ISC)

该系统能根据发动机冷却水温及其它有关参数,如空调开关信号、动力转向开关信号等,使发动机的怠速转速处于最佳状态。

除以上控制装置外,在发动机部分进行控制的内容还有:电动燃油泵,发电机输出、冷却风扇、发动机排量、节气门正时、二次空气喷射、发动机增压、油气蒸发及系统自我诊断等功能,它们在不同类型的汽车上,或多或少的被采用。

另外,随着微机技术的进一步发展,微机将会在现代汽车上承担更重要的任务。如控制燃烧室的容积和形状,控制压缩比,检测汽车零件逐渐增加的机械磨损等。

值得说明的是:现在发动机的各个电子控制系统或装置,一般都不是单独控制,多是实行集中控制的办法,即对上述内容,统一由一个电子控制器进行综合控制。

本书的主要内容就是阐述发动机的一些电子控制装置。

(二) 底盘部分

1. 制动防抱系统 (ABS)

该系统能在各种路面上,防止汽车制动时导致车轮抱死。该系统可以提高制动效能,防止汽车在制动和转弯时产生侧滑,它是保证行车安全,防止事故发生的重要措施。国外汽车上多作为标准装备采用。

2. 电控自动变速器

该装置有多种型式。它能根据发动机节气门开度和车速等行驶条件,按照换档特性,精确的控制变速比,使汽车处于最佳档位。该装置具有提高传动效率,降低油耗,改善换档舒适性,汽车行驶的平稳性以及延长变速器使用寿命等优点。

3. 电控动力转向

电子控制动力转向的型式较多,目前有电子控制前轮、后轮及前后四轮转向系统。它们分别显出不同的优越性,如有的可获得最优化的转向作用力特性,最优化的转向回正特性,改善行驶的稳定性以及节能降低成本的作用;有的主要是为了提高转向能力和转向响应性;有的主要用来改善高速行驶时的稳定性。目前电控前轮动力转向较普及,通过控制转向力,保证汽车停驶或低速行驶时转向较轻便,而高速行驶时又确保安全。小轿车的动力转向发展动向是四轮转向系统,其特点是汽车在转向上只作轻微操作及缓慢转变时,或在改变行驶路线而又高速行驶时,后轮与方向盘转动方向基本一致,这样行车摆动小,稳定性好。在车轮出入车库、左右转弯行驶及大转弯或做U型调头时,后轮与方向盘转动方向相反,可使汽车轻易转弯,具有较小的转弯半径,电子控制在这里多是根据驾驶工况,调整后轮转向角的大小,达到提高转向特性和转向响应性,以及改善高速行驶的稳定性等目的。

4. 电控悬挂

该系统能根据不同路面状况和驾驶工况,控制车辆高度,调整悬挂的阻尼特性及弹性刚度,改善车辆行驶的稳定性、操纵性和乘坐的舒适性。

5. 巡航控制系统 (CCS)

该系统一般叫恒速行驶系统。汽车在高速公路上长时间行驶时，打开该系统的自动操纵开关后，恒速行驶装置将根据行车阻力自动增减节气门开度，使汽车行驶速度保持一定。该系统可以减轻驾驶员长途之疲劳。

（三）行驶安全方面

1. 安全气囊系统（SRS）

该系统是国外汽车上的一种常见的被动安全装置。在车辆相撞时，由电控元件用电流引爆安置在方向盘中央（有的在仪表板杂物箱后边也安装）气囊中的氮化合物，象“火药”似的迅速燃烧产生氮气，瞬间充满气囊，所有动作在0.02秒内完成。安全气囊的作用是在驾驶员与方向盘之间、前座乘员与仪表板间形成一个缓冲软垫，避免硬性撞击而受伤。此装置一定要与安全带配合使用，否则效果大为减小。

2. 防撞系统

该系统有多种型式。有的在汽车行驶中，当两车间的距离小到某一距离时，即自动报警，若继续行驶，则会在即将相撞的瞬间，自动控制汽车制动器将汽车停住；有的是在汽车倒车时，会显示车后障碍物的距离，有效的防止倒车事故发生。

3. 驱动防滑系统

该装置是在制动防抱系统的基础上开发的，两系统有许多共用组件。该装置利用驱动轮上的轮速传感器，当感受到驱动轮打滑时，控制元件便通过制动或通过油门降低转速，使之不再打滑，实质上只一种速度调节器。它可以在起步和弯道中速度发生急剧变化时，改善车轮与路面间的附着力，提高其安全性。该装置在雪地或湿滑路面上，较能发挥其特性。

4. 安全带控制

该装置在汽车发生任何撞击情况下，可瞬间束紧安全带。有的汽车上则装有当微机确认驾驶员和乘客安全带使用正确无误时，发动机才能被发动。

5. 前照灯控制

该照明系统，可在前照灯照明范围内，随着方向盘的转动而转动，并能在会车时自动启闭和防眩。

除上述装置外，还开发出五花八门的安全装置，如自动门窗装置、车门自动闭锁装置、防盗装置、车钥匙忘拔报警装置、语言开门（无钥匙）装置等，分别在不同的汽车上采用。

（四）信息方面

随着电子化的发展，汽车信息系统越来越庞大，远远超出如车速、里程、水温、油压等项范围，逐渐向全面反映车辆工况和行驶动态等功能发展，名目繁多的信息装置正在源源不断地进入汽车领域。

1. 信息显示与报警

该系统可将发动机的工况和其它信息参数，通过微处理机处理后，输出对驾驶员更有用的信息，并用数字显示，线条显示或声光报警。

显示的信息除水温、油压、车速、发动机转速等常见的内容外，还有像瞬时耗油量、平均耗油量、平均车速、行驶里程、续驶里程、车外温度等，根据驾驶员的需要，可随时调出显示。

监视和报警的信息主要有：燃油温度、水温、油压、充电、尾灯、前照灯、排气温度、制动器液量、手制动、车门未关严等，当出现不正常现象或自诊断系统测出有故障时，立即由

声光报警。

2. 语音信息

过去一般信息显示都是靠驾驶员察看仪表，用视觉感知，容易造成遗漏，现在出现了语音信息。

语音信息包括语音警告和语音控制两类。

语音警告是在汽车出现不正常情况时，包括水温、水位、油位不正常，制动液不足和蓄电池充电值偏低等情况出现时，微机经过逻辑判断，输出信息至扬声器，发出模拟人的声音向驾驶员报警。如“请停车，水温不正常”、“请加油”等，多数还同时用灯光报警。

语音控制是用驾驶员的声音来指挥和控制汽车的某个部件、设备进行动作。目前，该装置一般都是为伤残人提供方便而设立的。

3. 车用导航

该系统是近几年发展起来的新课题，它可在城市或公路网范围内，定向选择最佳行驶路线，并能在屏幕上显示地图，表示汽车行驶中的位置，以及到达目的地的方向和距离。这实质是汽车行驶向智能化发展的方向，再进一步就可成为无人驾驶汽车。

4. 通讯

这方面真正实用且采用最多的是汽车电话。在美国、日本、欧洲等发达国家较普及。目前的水平在不断提高，除车与路之间，车与车之间，车与飞机等交通工具之间的通话外，还可通过卫星与国际电话网相联，实现行驶过程中的国际间电话通讯。

(五) 舒适性方面

1. 全自动空调

该装置突破单一的空气温度调节功能，它根据设置在车内外的各种温度传感器（车内温度、大气温度、日照强度、蒸发器温度、发动机水温等）输入的信号，由微机进行平衡温度演算，对进气转换风扇，送气转换风门、混合风门、水阀、加热继电器、压缩机、鼓风机等进行控制，根据乘客要求，保持车内的温度、湿度等小气候处于最佳值（人体感觉最舒适的状态）。

2. 自动座椅

该装置是人体工程技术与电子控制技术相结合的产物，它能使座椅适应乘客的不同体型，满足乘客乘坐的舒适性。

3. 音响、音像

车内装有立体音响，激光唱机。放音系统可实现立体声补偿、立体声音响自动选台，电视机实现数码选台。

由以上可以看出，汽车电子化的发展已是大势所趋，在世界范围内已形成热潮，更新、更先进、更实用的电子控制装置将会不断涌现，汽车电子控制技术将呈现出一片辉煌的局面。

第一章 汽油发动机的有关知识

发动机电子控制系统主要控制空燃比、点火时期等，使发动机在经济性、动力性、排放净化等性能达到最优。下面简单介绍空燃比、点火及排放污染基础知识。

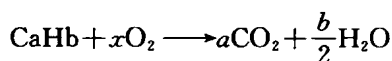
第一节 汽油发动机对可燃混合气的要求

混合气的成分不同，对发动机动力性和经济性、排放污染有较大影响。而混合气的成份通常用空燃比表示。

一、空燃比对发动机动力性和经济性的影响

1. 空燃比

燃油供给装置向进气管提供一定比例的燃油与空气相混合，即形成混合气。燃油燃烧时按下式进行化学反应：



空气和燃油的混合比，即空气质量与燃油质量比，称为空燃比，通常用 A/F 表示。其公式如下：

$$A/F = \frac{\text{空气质量}}{\text{燃油质量}}$$

汽油完全燃烧并生成 CO_2 和 H_2O 时的空燃比称为理论空燃比，约为 14.7 左右。在实际的发动机燃烧过程中，燃烧 1kg 燃油所消耗的空气不一定是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，所供实际空气量可能大于或小于理论空气量。实际空气量与理论空气量的比值称为过量空气系数，可用下式表示：

$$\text{空气过量系数 } \lambda = \frac{\text{实际空气量}}{\text{理论空气量}}$$

若 $\lambda > 1$ ，表示所供的空气量大于理论空气量，这种混合气叫稀混合气。若 $\lambda < 1$ ，表示空气量不足以燃料完全燃烧，这种混合气叫浓混合气。

2. 空燃比对发动机动力性和经济性的影响

如图 1-1 表示空燃比与温度、输出功率和油耗率的关系。从图中可知，燃烧火焰温度在比理论空燃比稍浓的混合气 ($A/F=13.5\sim14.0$) 时出现最高值。火焰燃烧速度最高时的空燃比，比火焰温度最高时的空燃比还要稍小一点，约为 12~13。相当于这种空燃比的混合

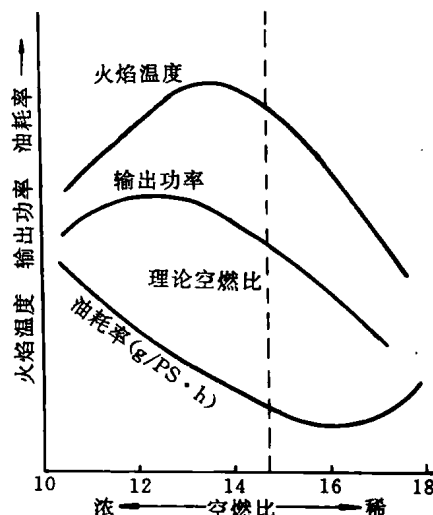


图 1-1 空燃比与温度、输出功率和油耗率的关系 ($1\text{g/ps} \cdot \text{h} = 1.36\text{g/kW} \cdot \text{h}$)

气将使发动机发出最大功率，因此这种稍浓的混合气的空燃比称为功率空燃比。当燃油燃烧完全时，发动机的油耗率最低，此时混合气的空燃比要比理论空燃比大一些，约为 16 左右，这种稍稀混合气的空燃比称为经济空燃比。在功率空燃比与经济空燃比之间范围内的混合气成份是汽油发动机常用的混合气，它可使发动机获得较好的使用性能。

二、发动机对混合气的要求

从发动机工作的稳定性、动力性和燃油经济性统一考虑，对不同工况，混合气的空燃比的要求是不同的。

1. 稳定工况要求的混合气

在稳定工况运转时，发动机已经完成预热，运转过程中没有转速和负荷的突然变化。混合气成份的要求根据实际运行的转速与负荷而定。稳定工况大致可分为怠速、小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷几种情况。

怠速工况是发动机无负荷的运行。这时，节气门处于关闭状态，因而进气管内的真空度很大。在进气门开启时，气缸内的压力可能高于进气管压力，于是废气膨胀冲入进气管内，随后又由活塞的下移运动，把这些废气和新混合气又吸入气缸内，结果气缸内的混合气中含有较大百分数的废气。为保证这种废气稀释过的混合气能正常燃烧，就必须供给很浓的混合气，如图 1-2 中 A 点。随着负荷的增加和节气门开度的加大，稀释将逐渐减弱，所以在小负荷工况运行时要求的混合气成份如图 1-2 中 AB 线段表示，即在小负荷区运行时，供给混合气也应加浓，但加浓程度随负荷加大而变小。

在中等负荷运行时，节气门已经有足够大的开度，废气稀释的影响已经不大，因此要求供给发动机稀的混合气，以获得最佳的燃油经济性，这种工况相当于图 1-2 中的 BC 段，空燃比约为 16~17。

在大负荷时，节气门开度已超过 3/4，这时要随着节气门开度的加大，逐渐加浓混合气以满足功率的要求，如图 1-2 中的 CD 线段。实际上，在节气门尚未全开之前，如果需要获取更大的扭矩，只要把节气门进一步开大就可以实现，因此也就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的所有的部分负荷工况都应当供给经济混合气。只是在全负荷工况时，节气门已经全开，此时为了获取该工况的最大功率必须供给功率混合气，如图 1-2 中的 D 点。从大负荷过渡到全负荷工况，节气门达全开位置时，混合气加浓也是逐渐变化的。

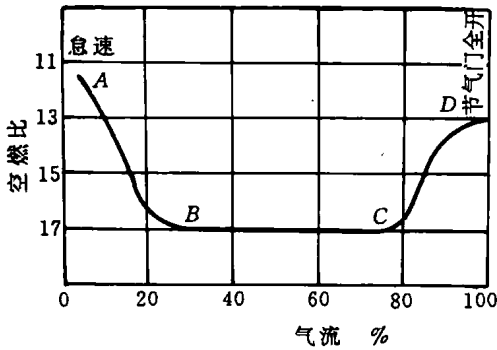


图 1-2 汽油机负荷变化时所需的混合气空燃比

2. 过渡工况要求的混合气

汽车实际行驶中经常使用的工况不全是稳定工况，而更多的是非稳态的过渡工况。过渡工况是指负荷或转速随时间不断变化的运行工况。主要过渡工况有冷起动、暖车、加速等工况。

冷车起动时，发动机要求供给很浓的混合气。只有提供足够的燃油蒸气，才能形成可燃

混合气。因为在冷起动时，燃油与空气的温度很低，燃油蒸发的百分数很小，为了保证冷起动顺利，要求供给的混合气的空燃比可浓到 2 : 1，才能在气缸内产生可燃的混合气。这样浓的混合气在汽油喷射系统中用冷起动喷油器来取得。

起动后，发动机进入暖车期，在暖车过程中也需要浓的混合气。暖车的加浓程度，必须在暖车过程中逐渐减小，一直到发动机能以正常的混合气在稳定工况运转为止。

汽车发动机加速时，节气门突然开大，进气管压力随之增加，由于液体燃料流动的惯性和进气管压力增大后燃料蒸发量减少，大量的汽油颗粒被沉积在进气管壁面上，形成厚油膜，而进入气缸内的实际混合气成分则瞬间地被减稀。严重时甚至出现过稀，使发动机转速下降。也就是踩下加速踏板后，车速不但不升高，反而呈下降。为了防止这种现象发生，在发动机加速时，要喷入进气管一些附加燃料以弥补加速时暂时减稀，以获得良好的加速过渡性能。

当汽车急减速时，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，因为进气管真空度急剧升高，进气管内压力降低，促使附着在进气管壁面上的燃油加速汽化，在空气量不足的情况下进入气缸内，造成混合气过浓。为避免这一现象出现，将发动机减速时（也是怠速）供给的燃料应减少一部分。

第二节 汽油发动机的排放与净化

在大气污染中，汽车排放所造成的污染占有相当比重。据有关资料介绍，大气中所含 CO 的 75%、HC 和 NO_x 的 50% 来源汽车的排放。特别是在汽车密度大的国家，其排放污染早已成为严重的社会公害。为此，发达国家都建立严格的排放法规加以限制。

一、汽油发动机排放中的有害气体

汽油是多种碳氢化合物的混合物。在发动机气缸内，汽油和空气混合并燃烧，大部分生成 CO₂ 和 H₂O。依据燃烧条件，也有一部分由于不完全燃烧而生成 CO 和 HC 化合物。此外当燃烧温度很高时，空气中的氮与未燃的氧起反应，生成 NO_x（参见图 1-3）。其中 CO、HC 和 NO_x 气体对人类和环境都会造成很大危害。

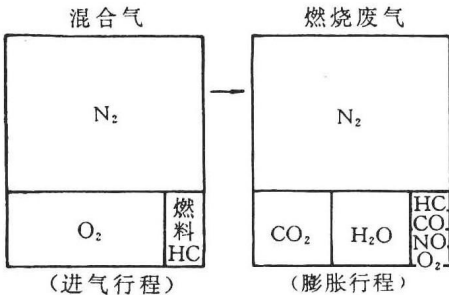


图 1-3 混合气和燃烧后废气的成分

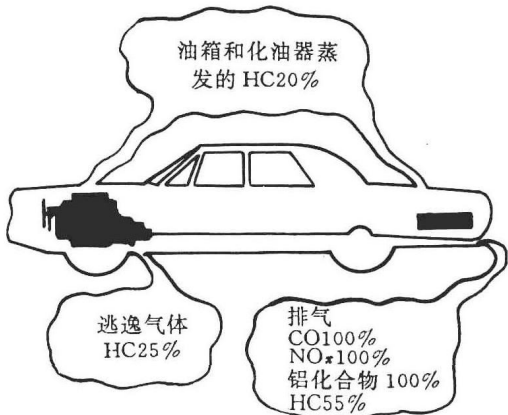


图 1-4 汽油车排放源的有害气体相对排放量

汽油发动机排放污染物来源有三个：排气、蒸发及曲轴箱窜气。其相对排放量如图 1-4 所示。

从图 1-4 看出，排气管排气是汽车排放有害气体的主要来源，对某一确定的汽油机而言，排气中所含的各种有害气体比例与燃烧情况有关。

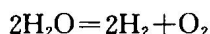
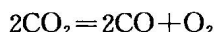
二、汽油车排放中有害气体生成机理

1. CO 的生成机理

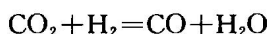
CO 是烃燃料燃烧的中间产物。排气中 CO 主要是在局部缺氧或低温下由于烃的不完全燃烧产生的。

理论上讲，当空燃比 $A/F=14.7$ 时，将实现完全反应，生成 CO_2 和 H_2O 。而当空气不足时 ($A/F<14.7$) 时，则有部分燃料不能完全燃烧而生成 CO。

然而，在实际汽油机中，不仅空气不足时燃烧生成物中有 CO，就是在空气充足时，燃烧产物中也含有 CO 及 H_2 。其原因是由于混合气的形成与分配不均造成的。另外在使用稀混合气时，在高温下，燃烧生成的 CO_2 和 H_2O 也可能有一小部分发生如下的离解反应：



而离解反应生成的 H_2 又会使 CO_2 还原成 CO，即：



所以，在发动机排气中，总会有 CO 的存在。尽管如此，排气中 CO 的浓度，基本上取决于空燃比。

2. HC 的生成机理

HC 产生的原因除燃料的不完全燃烧外，缸壁淬冷也是排气中 HC 的主要来源。通过图 1-5 可以清楚地说明缸壁淬冷产生 HC 的机理。

由于汽油机中混合气的燃烧是靠火焰传播进行的，当火焰传播到接近气缸壁面附近时，由于壁面的冷却作用，火焰不能完全传播到缸壁表面，使大约 0.5mm 厚度上的混合气烧不着，通常把这层烧不着的混合气叫做淬冷层。淬冷层的厚度随空燃比、气缸内的压力、气体的流动状况而变化。当混合气的空燃比位于浓混合区的某个值的附近，淬冷层的厚度最小，比它更浓或更稀的混合气，都会使淬冷层的厚度增加，气缸内的压力越高、气体流动越活跃，都使淬冷层变得越薄。另外，活塞顶部与第一道气环之间的空隙、火花塞磁芯周围的空隙等，火焰也不能传播过去。上述淬冷层和气隙中的混合气没有燃烧就随废气排出。在排气初期，靠近排气门附近的那一部分淬冷层中的未燃气体首先“剥离”随排气排出，在排气后期，活塞把气缸壁面的淬冷层也卷进排气中，使 HC 的排放浓度大大增加。

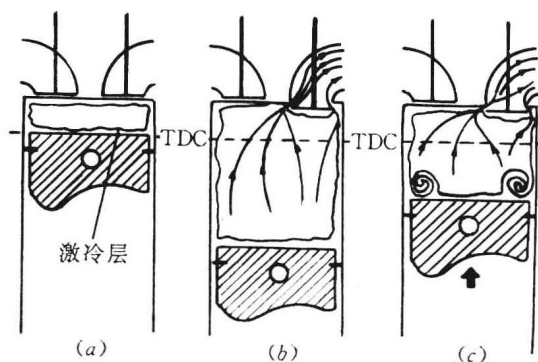


图 1-5 HC 的排放原理

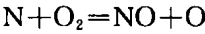
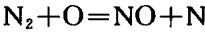
发动机工作时，如果混合气过浓，由于空气不足，燃烧不完全，未燃燃料或燃烧过程中

生成的 HC 增多，HC 的排放浓度当然增加。而当混合气过稀或缸内废气过多时，则可能引起火焰不充分甚至完全断火，致使排气中的 HC 浓度显著增加。在正常情况下发动机提供的是可点燃的混合气，火焰传播不完全通常是在进气管真空度很高的情况下使用发生的，例如急速或减速时所引起的高度废气稀释所造成，或者是在过渡工况，特别是在暖车及减速时，进入气缸内的混合气很可能是过浓或过稀，以致不能燃烧完全，使 HC 排放量增加。

3. NO_x 的生成机理

NO_x 是空气在燃烧室的高温条件下，由氧和氮的反应所形成的，它和其它废气成份不同，不是来自燃料。发动机所排出的 NO_x，虽含有少量的 NO₂，但大部分是 NO。排气中的 NO 在大气中氧化成 NO₂，通常把 NO₂ 和 NO 统称为 NO_x（氮的氧化物）。

在发动机工作中，无论是进行完全燃烧反应，还是不完全燃烧反应，其最初燃烧反应所产生的热必将使空气中的氧分子裂解为氧原子，并与空气中的氮分子发生反应而生成 NO 和氮原子，而氮原子又与空气中氧分子发生反应生成 NO 和氧原子，这部分氧原子又可与空气中氮分子重新反应，产生 NO，其反应式为：



在这些反应中，燃烧废气温度越高，燃烧后残留的氧气浓度越大，高温持续的时间越长，NO 的生成量就越多。

三、影响排放中有害气体的生成因素

排气中有害气体的生成与空燃比、点火时刻、发动机的结构等有关。通常，空燃比和点火时刻的影响最大。

1. 空燃比

如图 1-6 所示为排放中有害气体的浓度随空燃比变化关系。

从图中看出，当低于理论空燃比 14.7 时，排出的 CO 浓度便急剧上升；反之，空燃比从 16 附近起，则趋于稳定，并且数值很低。这说明混合气越浓时，由于燃烧所需要的氧气不足，所以引起不完全燃烧，而引起 CO 的急剧增长。同时还说明，要减小 CO 的排放，就必须采用稀混合气。试验证明，发动机 CO 的排放量基本决定于空燃比，其它的影响因素都小。

HC 与 CO 不同，空燃比在 17 以内时，随着空燃比的增大，HC 便下降。但继续增大时，由于混合气过于稀薄，易于发生火焰不完全传播，甚至断火，使 HC

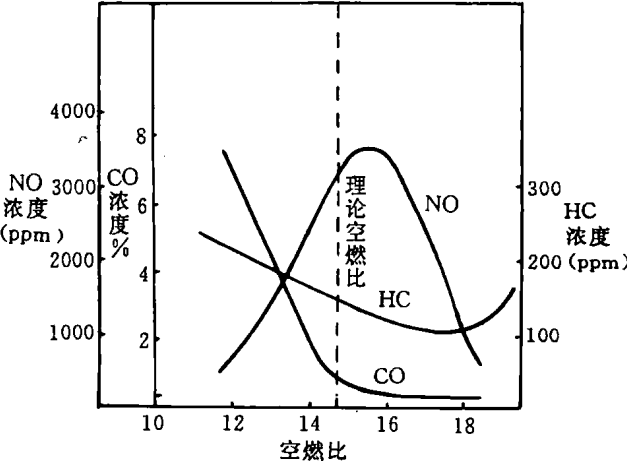


图 1-6 有害气体的浓度与空燃比的关系

排放浓度迅速增加。

空燃比对 NO 的影响：当混合气很浓时，由于燃烧高峰温度和可利用的氧的浓度都很低，使 NO 的生成量也较低。用空燃比为 15.5~16 的稍稀混合气时，排出的 NO 浓度最高。对于空燃比稀于 16 的混合气，虽然氧的浓度增加可以促进 NO 的生成，但这种增加却被由于稀混合气中燃烧温度和形成速度的降低所抵消。因此对于很浓或很稀的混合气，NO 的排放浓度均不高。

2. 点火时刻

图 1-7 表示 HC 与点火时刻的关系。从图中看出，推迟点火时间，HC 的排放将减少，这是因为点火时刻推迟后，在燃烧室内的燃烧时间将缩短，由于后燃，将使排气温度上升，促进了 HC 和 CO 的后氧化。另外由于燃烧时降低了气缸的面容比，使燃烧室内的淬冷面积减小，使排出的 HC 减少。但需要指出的是，采用推迟点火的结果虽然使排气污染物有所下降，但这种下降是靠牺牲燃料经济性换来的。

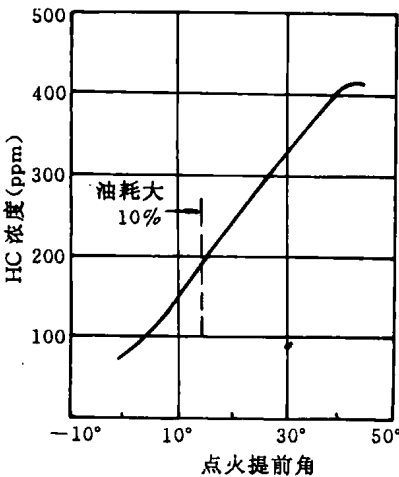


图 1-7 点火时刻对 HC 排放浓度的影响

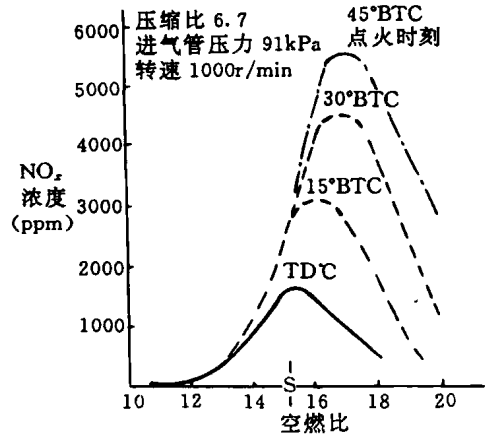


图 1-8 点火时刻对 NO 排放浓度的影响

点火时刻对 CO 排放浓度影响不大，但过分推迟点火，亦会使 CO 在燃烧室内没有时间完全氧化，而引起排放量的增加。

点火时刻对 NO 浓度的影响如图 1-8 所示。由图看出，无论在任何转速和负荷下，加大点火提前角，均使 NO 的排放浓度增加。这是因为点火时刻提前时，燃烧温度升高所造成。

另外影响排放中有害气体的生成因素还有：发动机的转速、空气湿度、燃烧室的形状、压缩比等。

四、排气净化的措施

汽车发动机作为一个大气污染源，应该采取各种有效的措施予以治理与改进。关于汽车发动机排气的控制与净化问题，各国都进行了大量的研究工作，研制了不少的技术措施。这些净化方法大致可分为：发动机本身改进与增加排放净化装置。

(一) 发动机本身改进

从有害气体的生成机理出发，对发动机的燃烧方式本身进行改进，抑制其有害气体成份