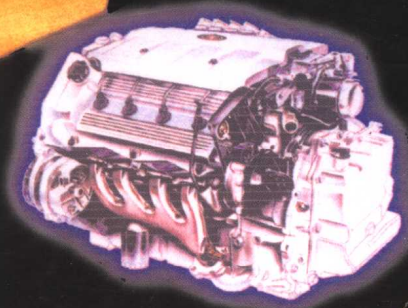


汽车发动机 电子控制系统

徐小林 胡 年 谢竹生 编著



4

中国铁道出版社

汽车发动机电子控制系统

徐小林 胡年 谢竹生 编著

中国铁道出版社

2002年·北京



(京)新签字 063 号

内 容 提 要

本书论述了现代汽车四冲程汽油机的电子控制系统的组成、工作原理以及故障诊断技术。首先,结合实例较系统地阐述了发动机的控制电脑。在此基础上,介绍了电子点火、汽油喷射系统、排放控制系统、可变气门正时系统、发动机怠速控制、发动机自诊断系统,对各系统中的关键技术作了重点阐述。最后,介绍了发动机故障诊断技术。本书可供从事汽车设计与研究的工程技术人员、维修人员以及相关专业的的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电子控制系统/徐小林,胡年,谢竹生编著.-北京:
中国铁道出版社,2002.7

ISBN 7-113-04818-8

I.汽… II.①徐… ②胡… ③谢… III.汽车-
发动机-电子系统;控制系统 IV.U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 053855 号

书 名:汽车发动机电子控制系统

作 者:徐小林 胡年 谢竹生 编著

出版发行:中国铁道出版社(100054 北京宣武区右安门西街8号)

责任编辑:王俊法 编辑部电话:(市)010-63549455,(路)021-73099

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:850mm×1168mm 1/32 印张:5 字数:118千字

版 本:2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

印 数:0001~3000册

书 号:ISBN 7-113-04818-8/TH·98

定 价:13.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

发行部电话:(市)010-63545969,(路)021-73169

前 言

为了满足日益严格的关于汽车节能、排放和安全的法规要求，随着电子技术与控制技术的飞速发展，各汽车制造厂家在汽车上采用了大量的电子控制系统。汽车的电子化首先是从发动机的控制开始的。对发动机而言，传统的化油器和机械点火存在着控制精度低、响应速度慢等不足。采用电子控制是提高发动机性能的最佳选择。电子控制技术在发动机上的应用，改变了发动机的传统结构，它使发动机变成了一个典型的机电一体化产品。目前，汽车上新的电子控制装置不断出现。电子控制装置所占汽车总成本的比例不断上升。汽车电子化程度已成为衡量一个国家汽车工业水平的重要标志。

近年来，国产轿车发动机正在逐步采用电子控制系统。为了普及这方面的知识，我们收集了国内外汽车发动机电子控制方面的最新资料，结合作者和同事多年的教学与研究的经验，编写了这本小册子，供从事汽车设计与研究的工程技术人员、维修人员以及相关专业的专科院校师生参考。

全书由七章组成，其中第一、三、四、五、六章由徐小林编写；第二章第六节、第七章由胡年编写；第二章第一、二、三、四、五、七节由谢竹生编写。

编写本书，我们参考了国内外大量的文献和资料。在此，对原作者一并表示深切的谢意。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中错误、疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2002. 2

目 录

第一章 汽车发动机电子控制系统发展概述	(1)
第一节 汽车发动机电子控制系统的发展	(1)
第二节 汽车发动机电子控制系统的优越性	(6)
第二章 现代轿车计算机	(9)
第一节 专用 ECU 的基本结构	(9)
第二节 输入信号处理	(10)
第三节 微处理器	(13)
第四节 输出信号处理	(17)
第五节 ECU 的可靠性系统	(18)
第六节 TOYOTA 4S—FE 发动机电脑内部电路	(28)
第七节 控制理论基础	(39)
第三章 发动机电子点火系统	(44)
第一节 概述	(44)
第二节 相对闭合率的控制	(53)
第三节 电子点火系统	(58)
第四节 微机控制点火系统	(65)
第五节 点火提前角的控制	(67)
第六节 无分电器点火系统	(71)
第四章 汽油喷射系统	(74)
第一节 空燃比	(74)
第二节 汽油喷射系统概述	(79)
第三节 电控多点汽油喷射系统	(82)
第四节 汽油喷射系统的空气流量计	(84)

第五节	喷油时间	(89)
第六节	空燃比控制	(99)
第五章	发动机排放控制	(104)
第一节	发动机排放污染物形成机理	(104)
第二节	排气净化的途径	(107)
第三节	废气再循环系统	(112)
第六章	发动机其他控制系统	(115)
第一节	可变气门正时系统	(115)
第二节	发动机怠速控制	(118)
第三节	发动机自诊断系统	(121)
第七章	电控发动机故障实例分析	(126)
第一节	EFI 故障实例分析	(127)
第二节	ISC 故障实例分析	(130)
第三节	ESA 故障实例分析	(132)
第四节	其他故障分析	(134)
第五节	排放控制系统检修	(135)
第六节	总结	(139)
参考文献	(146)

第一章 汽车发动机电子控制系统 发展概述

第一节 汽车发动机电子控制系统的发展

一、汽车电子技术是汽车技术与电子技术 相结合的产物

汽车上最初采用的电子装置是收音机,1948年发明了晶体管以后,其时间是到20世纪60年代,硅二极管第一次用于汽车的交流发电机上,继而,大量应用于点火系统和调节器上。

自1958年发明了集成电路(IC)后,约在20世纪70年代后期,为了满足日益严格的汽车废气排放法规和人们对汽车发动机的燃料经济性的要求,开始对发动机的控制进行微处理。

1976年计算机首次用于汽车上——美国克莱斯勒公司用模拟计算机控制发动机的点火时刻。

1977年美国通用汽车公司将数字计算机用于点火自动控制系统,它是一种简单的现代计算机控制系统。

1979年开发了能综合控制点火时刻、排气循环、空燃比和怠速转速,并具有自我诊断功能的电子式发动机的集中控制系统。

1967年德国波许公司研制成功D型电子燃油喷射系统。同年,又开发了L型电子燃油喷射系统。1981年又将L型电子燃油喷射系统中的叶片式空气流量计,改用热线式空气流量计,开发了L-H型电子燃油喷射系统。

20 世纪 80 年代出现了微机控制的汽车仪表系统，它可以对汽车上的几十个参数几乎同时进行测量、处理，并对主要工况进行高、低限报警。

20 世纪 80 年代以后电子技术在汽车上的应用范围越来越广，汽车电子设备有的已占汽车总成本的 1/4。具体应用有以下几个方面：

1. 汽车发动机方面

主要有电子点火系统、电子控制燃油喷射系统、电子化油器、防爆系统、废气再循环控制系统、怠速控制系统和可变气门配气相位控制系统等。

2. 汽车底盘方面

主要有电子控制防抱死制动装置、电子控制自动变速器、电控动力转向、电控悬架系统和电子自动行驶装置等。

3. 汽车安全方面

主要有电子控制安全气囊及安全带装置、雷达防撞器、倒车安全装置、汽车导向行驶系统、防盗系统、自动变光灯、自动控制门锁和自动除水、霜装置等。

4. 汽车乘坐舒适性方面

主要有自动空调、座位调节系统、娱乐和通信装置（收音机、电视机、车用立体音响、电话等）。

5. 智能化仪表方面

由微机控制智能化仪表不但能检测汽车的几十个工况，同时还可以进行轮胎压力报警、散热器液面报警和车门未关紧等多项报警。

二、汽车法规对汽车设计与发展 产生了重大的影响

为了满足有关环境保护、消除公害、节约能源、交通安全等方面严格的要求，国际组织与各国政府立法部门都为此制定了若

干汽车法规或标准，强制性地加以颁布实施。法规是汽车制造商、销售者与使用者都必须遵守的守则，也是汽车与发动机设计制造的准则和汽车发动机产品认证、鉴定和进出口商品检验的主要技术依据。美国、欧洲各国、日本等在制订和实施发动机法规方面起步较早，并已取得一定的成效，刺激了汽车技术的发展。美国机动车法规已形成了相当完善的体系，是世界上最具有影响的法规，其中主要包括联邦环境保护法规（EPA）、联邦汽车燃料经济性标准法规及联邦机动车安全法规等。

汽车法规的第一方面是排放法规。汽车（尤其是轿车）数量迅速增加，汽车排放作为大气中的一个流动污染源已使城市空气污染日趋严重。汽车工业若不能解决由它自身带来的排气污染问题，汽车在城市中的使用必将受到限制。因此，必须不断地提高汽车排气净化的要求与标准，迫使汽车制造厂努力改进排气净化技术，开发代用燃料，开发新能源发动机等。

汽车法规的第二方面是噪声法规。汽车噪声是动力传动系统噪声、进排气噪声、轮胎噪声以及风阻产生的噪声的综合。汽车噪声主要辐射到车外，同时也通过传声结构传到车内。从环境保护和提高汽车舒适性要求考虑，希望减少车内、外噪声。关于汽车噪声的法规，各国也都已限制汽车外部噪声的极限，如德国提出新车的噪声限值为 75dB。这就意味着，对新车型的发动机必须进行封闭，把发动机整体或局部封装起来。

汽车法规的第三方面是汽车燃料经济性法规。为了减少能源消耗，促进汽车制造厂努力开发低油耗车辆，规定了汽车的综合平均燃料经济性限值（CAFÉ）。无论汽车制造厂生产何种档次的汽车，其平均燃油消耗必须符合此法规限值。至 2000 年 CAFE 的标准限值为 6.7L/100km。

汽车法规的第四方面是汽车安全性法规。美国于 1966 年颁布了《机动车辆安全法》之后制定了一系列影响汽车结构、燃料供给系统、客车车厢、制动器、轮胎等部件及防止事故方面的一

些法规，均对汽车技术的开发起到促进与限制作用。

有关汽车排放、噪声、燃油经济性与安全性等法规的要求，对汽车、发动机的设计与制造产生明显的制约与技术指导作用，促进了汽车及发动机技术的开发与研究。在评定现代汽车发动机的性能时，第一位考虑的是它对环境保护的影响，即它的低公害性能。这一点越来越多地受到人们的重视。新一代汽车及其发动机应该满足减少排气污染、减少噪声、减少能耗和提高在一般道路上行驶的安全性等方面的要求。

同时，近几十年电子技术与计算机技术的飞速发展，为汽车的电子化提供了技术上的支持。20世纪70年代研制成功的大规模集成电路和80年代的超大规模集成电路等电子技术的发展，使电子控制元件具有结构紧凑、可靠性高、耗能量少、响应性好、成本低廉等诸多优点。成功地把微机应用到汽车上，使今天汽车的发展进入到汽车电子化时代。近二十多年来汽车工业的迅速发展，汽车技术的长足进步，都是随着计算机与电子技术的应用取得的。采用电子技术已经成为解决汽车质量与性能等诸多问题中的最佳方案。电控汽车的目的在于追求控制的精度、适应性与智能性，以实现汽车运行的最优化。对于车用火花点火式汽油机来说，其运行性能包括排放、噪声与输出功率等，主要取决于混合气的质量与点火定时的精确控制。在这一方面，电控汽油喷射发动机具有明显的优势。

汽车电子化首先是从发动机的喷油系统和点火系统的控制开始实现的。此后，电子技术又在发动机的其他方面得到应用。目前，发动机的电子控制已由早期的模拟装置发展成为微机控制的数字控制系统。多数轿车上都已装用发动机集中管理系统，对发动机各个系统进行综合控制与优化。

目前，随着电控技术的发展，汽油喷射、电子点火、缸内汽油直接喷射、稀燃混合气的燃烧系统、顶置双凸轮轴的多气门配气机构、电子控制的可控进气管系统、可变配气定时、可变压缩

比装置的广泛应用,使发动机结构设计取得了突破性的进展,使汽车发动机的排放性、燃油经济性与功率、转矩等综合性能又有进一步的提高。与此相适应,发动机多系统的集成,提高了系统设计的灵活性,出现了发动机系统的模块式结构,也进一步减轻了结构重量。在发动机集中管理系统中,微机不仅控制点火与喷油系统的点火定时与空燃比,且还扩展到控制怠速转速、爆燃、进气与废气再循环以及变速器传动比等多方面。并增加了自诊断系统、后备系统与保护装置,提高了整个系统的可靠性。

随着控制功能与项目的扩展,微机控制的智能化程度越来越高,其控制单元已从普通 8 位机向 16 位过渡,并使用 64K 字节 EPROM 的大容量存储器,少数高级轿车开始装用 32 位微机。同时,微机的时钟节拍频率进一步高速化,已由 6Hz 提高到 18Hz,控制性能进一步得到改善。

电控汽油喷射发动机能够精确控制发动机的空燃比,改善了混合气的形成、分配与燃烧。由于三元催化反应器只有工作在理论空燃比下,才能得到较高的排气净化效率,多数电控汽油喷射发动机都随带混合气空燃比的反馈控制系统,使供给汽油机的混合气成分经常调节到 $\lambda = 1.0$ 附近。在现阶段,电控汽油喷射发动机闭环反馈控制与三元催化反应器后处理装置,是满足当今欧美各国的汽车排放法规要求的最佳方案。

实际上这种带氧传感器的闭环控制汽油机运行时所供给的混合气,也并不都是按使用工况优化所需要的。若能向到发动机供给按工况经济性优化混合气成分时,发动机的燃油消耗还可能减少。高压压缩比、快速的稀燃发动机就是一个实例。燃用稀混合气,一直是汽油机降低燃油消耗的有效方法之一,而且在控制得当的情况下这种发动机还可以同时获得排气污染少的效果。新开发的缸内汽油直接喷射发动机,在进气门关闭以后,直接将燃料喷入燃烧室内,并与汽缸内的涡流配合,实现层状充气,使电控发动机可以在 $\lambda = 1.3 \sim 1.5$ 的稀混合气状态下正常运行。由于

过量空气系数高，可以降低燃烧温度，从而减少了氮氧化合物(NO_x)的排放。若附带氧化催化反应器，可以降低排气中的碳氧化合物(HC)和一氧化碳(CO)。而且由于燃用稀混合气，燃油消耗率低。因此，汽油直接缸内喷射的电控发动机是一种有前途、值得推广的电控发动机。

第二节 汽车发动机电子控制系统的优越性

传统化油器对发动机空燃比的控制是一种近似的控制，虽然化油器采用了繁多的装置，但效果不尽人意。最初的机械控制汽油喷射系统与化油器相比具有很大的优势。但是，如果想要充分发挥汽油喷射的优越性，就离不开电子控制。相对于机械控制而言，汽油喷射电子控制具有无与伦比的优越性。这些优越性同样体现在整个汽油机的电子控制中。

1. 控制元件引起的偏差较小

控制元件的尺寸和性能偏差会使控制精度下降。在机械控制的场合，控制元件的机械加工尺寸偏差与磨损造成尺寸偏差都会带来较大的控制偏差。可是电子控制元件的性能偏差相对较小，而且不存在磨损问题，所以电子控制元件带来的偏差较小。

2. 控制精细

电子控制装置运行极为精确，对转速、负荷等工况参数的分辨率高，因此电子控制比机械控制精细。

3. 工况优化控制的独立性好

化油器的性能参数是连续的，选择化油器结构参数时，如果照顾到发动机低速性能就可能难以照顾到高速性能。化油器在各种工况下实际达到的空燃比不可能与发动机在该工况下要求达到最佳空燃比完全一致。因此，不可能在所有工况下都实现空燃比的最佳控制。在机械控制汽油喷射系统中也有同样的问题。但是，在数字式电子控制场合，不同工况下的控制数据贮存在计算

机的各个存贮单元中，它们是孤立的、离散的、互不相关的，因此对每一个工况可以实现最佳控制。

4. 可以考虑更多的控制变量

在机械控制汽油喷射中，有些变量如负荷、转速、温度、压力等能利用机械的探测器来探知，并用于控制燃油量。但是发动机其他许多状态信息如节气门位置、是否爆震、空燃比是大于还是小于理论值 14.7 等却很难，甚至无法用简单的机械装置探测得到。电子元件——传感器可以从发动机提取几乎全部的状态信息供 ECU 处理。这使汽油机电子控制比机械控制具有更高的精度和更强的功能。

5. 可以执行更多的控制项目

与传感器在发动机状态信息的探测方面给电子控制带来优越性一样，电子控制系统的执行器也带来很大的优越性，它们可以执行机械执行机构很难、甚至无法执行的许多任务，例如怠速转速电子控制、爆震电子控制、可变进气系统电子控制等。

6. 可以实现闭环控制

发动机控制任务就是根据发动机当时的工况来调节一系列参数使之优化。而闭环控制则可将发动机某一特定参数调节到预定目标值。机械控制的场合，如果说发动机工况参数的信息可以通过机械控制装置对执行机构产生影响的话，那么这种影响对发动机产生的结果却难以反馈给机械控制装置。以化油器发动机为例，驾驶员加大油门从怠速进入部分负荷工况，本应当将过量空气系数 λ 调节到一个略高于 1.0 的水平，例如 1.1，但实际上 λ 可能由于某种原因而偏离这个数值。 λ 的实际数值几乎无法通过机械方式探测到，更谈不上在 λ 不符合预定目标的情况下调节供油量使 λ 接近目标值的可能性了。在机械控制汽油喷射系统中，情况完全一样，而电子控制系统借助于传感器，很容易将执行器指令执行结果的信息反馈给控制装置，形成闭环控制。

7. 响应迅速

机械装置都有间隙和惯性；流体都有摩擦，特别是气体还有可压缩性。所以涉及机械和流体的控制系统往往会产生信息传递和处理迟延。这种迟延虽然极其短暂，却是存在的，有时会产生不良影响。例如化油器中的泡沫管可以抑制在从怠速进入部分负荷时混合气变浓的现象，但负荷突然加大之初泡沫管就来不及发挥作用。电子控制系统则不同，因为它的信息传递过程瞬息完成。

第二章 现代轿车计算机

第一节 专用 ECU 的基本结构

现代轿车控制系统包括硬件和软件两部分。硬件有电子控制单元 (ECU——Electronic Control Unit) 及其接口、执行机构、传感器等; 软件则存储在 ECU 的存储器中, 使控制系统完成实时测控功能, 包括各种数据采集、计算处理、输出控制、系统监控与自诊断等。围绕单片计算机设计组织的 ECU 是整个控制系统的核心, 使用了从普通电路到大规模集成电路等各种器件, 结构简单、可靠, 可以灵活方便地适应需求变化, 迅速开发出新的功能投入市场。随着汽车电子化程度的进一步提高和微电子技术

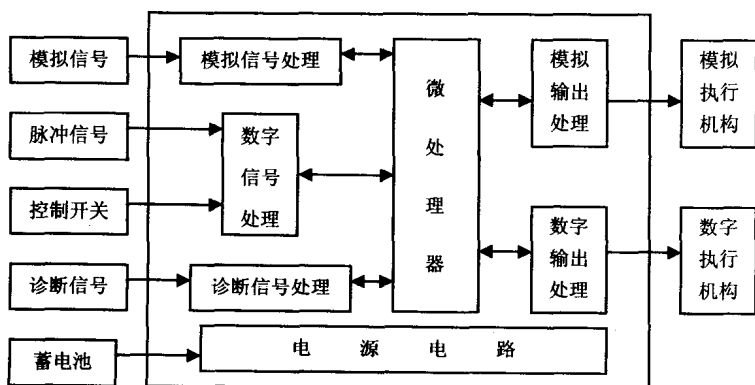


图 2-1 ECU 的基本结构

的迅速发展，ECU 的控制功能也在不断增强，并逐渐由单一控制向集中控制方向发展。

汽车上大部分控制系统中 ECU 的电路结构大同小异，其控制功能的变化则主要依赖于控制软件及输入输出模块的变化，随控制系统所完成任务的不同而不同。ECU 的基本结构如图 2-1 所示，由输入信号处理电路、微处理器、输出驱动电路和电源电路等四部分组成。

第二节 输入信号处理

传感器采集到的测量数据有模拟量，也有数字量。通常的传感器输出的是模拟量，数字传感器输出的是数字量。作为 ECU 的输入信号主要有三种形式，即模拟信号、数字信号（包括开关信号）、脉冲信号。因此输入信号处理就分成模拟信号处理通道和数字信号处理通道。

一、模拟信号处理通道

模拟信号处理通道的任务是把传感器输出的模拟量转换成数字量输入计算机，它的一般组成框图如图 2-2 所示。它由信号放大、多路选择开关、采样保持器和 A/D 转换器等组成。

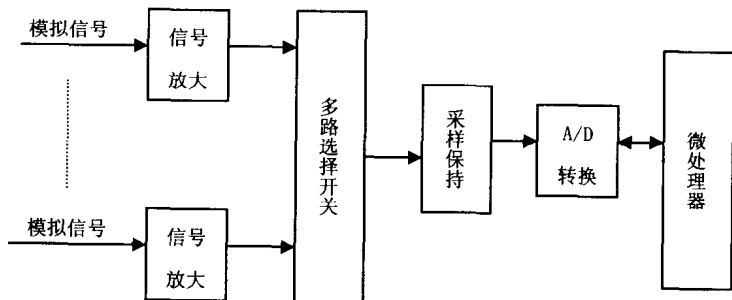


图 2-2 模拟信号处理通道

1. 信号放大

传感器将物理量转换成电信号后得到的模拟信号有弱模拟信号和强模拟信号。某些传感器，如节气门位置传感器，输出的是强模拟信号，可以直接送入 A/D 转换器；某些传感器，如氧传感器，产生一个小于 1V 的低电压信号；而 A/D 转换器所能转换的电压范围为 5V、 $\pm 5V$ 等，故这样弱的信号送入 (A/D) 转换器之前必须放大。信号放大的任务是使传感器输出电压的满量程和 A/D 转换电压的满量程相匹配，这样可提高模拟信号测量系统的精度。由于各种传感器输出电压的满量程一般是不等的，每个传感器可配以不同的放大器，选取不同的放大器增益。另一种方法是采用可编程的放大器，预先算得各个模拟量输入通道所需的放大器增益，存入微处理器的存储器中。当微处理器要求输入某一路信号时，由微处理器控制将对应的放大器增益从存储器中取出送入可编程放大器相应的端点，这样该路信号就按预先设定的放大器增益进行放大。

2. 多路选择开关

当多路模拟量输入时，不必每个模拟量输入都配置一个 A/D 转换器，可共用一个 A/D 转换器。这时输入通道中要增加一个多路选择开关，使得每一路模拟输入轮流和 A/D 转换器接通，经 A/D 转换后送入计算机。目前，很多 A/D 转换器本身带有多路选择开关。

3. 采样保持

A/D 转换需要的时间较长，完成一次 A/D 转换所需的时间称为孔径时间。对随时间变化的模拟信号而言，由于孔径时间的存在会产生转换误差。而孔径时间又是 A/D 转换器的性能决定的。解决这个矛盾的方法是在 A/D 转换器前加采样保持电路，以较小的采样时间对快速变化的信号进行采样，采样后保持电压，并以此电压进行 A/D 转换。

4. A/D 转换器