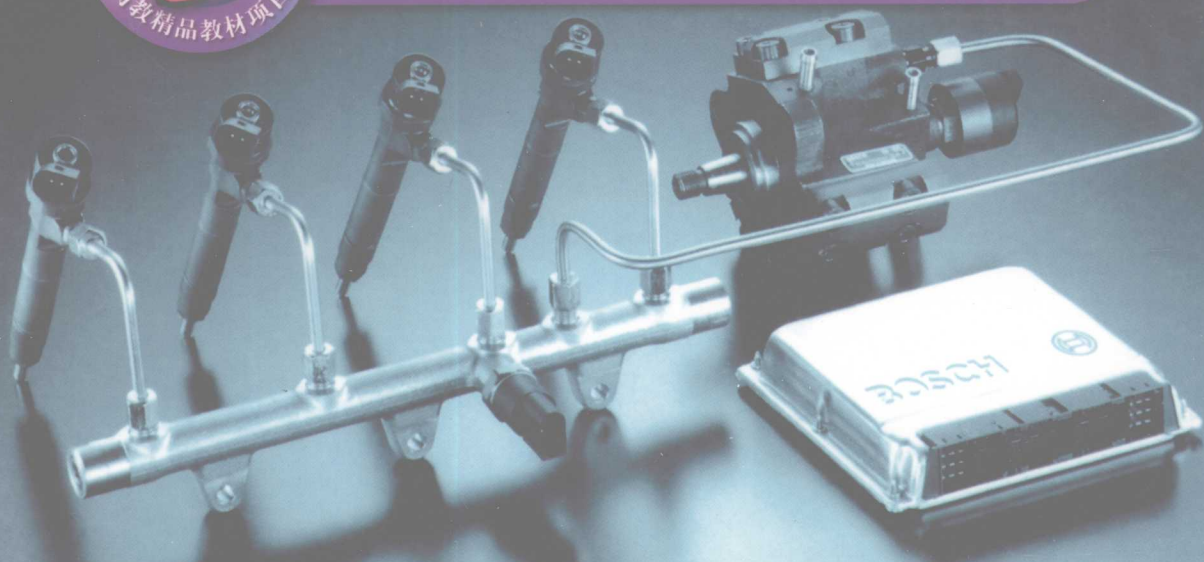




北京市高等教育精品教材立项项目



柴油机 电子控制技术

王尚勇 杨青 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

北京市高等教育精品教材立项项目

柴油机电子控制技术

王尚勇 杨青 编著



机械工业出版社

本书详细讲述了柴油机电子控制系统,重点是柴油机电控喷油系统,从第一代的位置控制式燃油喷射系统、第二代的时间控制式燃油喷射系统,到第三代的共轨式燃油喷射系统都作了详细介绍,并介绍了控制器、传感器、执行器的分类、结构与理论。在执行器部分,还详细介绍了各种执行器的关键技术及其相关的基础知识。控制模型与控制算法重点介绍了经典的PID控制原理及模糊PID控制等新的控制技术。本书还介绍了柴油机电子控制在废气涡轮增压器可变喷嘴环、可变进气涡流、可变进排气门及废气再循环等领域里的发展,最后介绍了柴油机电控系统工程实现中的问题。

本书可作为动力机械及工程专业的本科生和研究生的教材,也可供从事柴油机电控系统研究、设计、维修、使用等方面的科技人员、工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

柴油机电子控制技术/王尚勇,杨青编著. —北京:机械工业出版社, 2005.1

ISBN 7-111-15665-X

I. 柴... II. ①王...②杨... III. 汽车—柴油机—电子控制
IV. U464.172

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第120804号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:徐巍 责任编辑:蒋有彩 版式设计:冉晓华

责任校对:李汝庚 封面设计:王伟光 责任印制:石冉

北京中兴印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·19.25印张·382千字

0 001—3 500册

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了降低柴油机的能源消耗和减少废气排放污染,满足节能和排放法规的要求,电子控制技术在柴油机中的应用和发展已经成为必不可少的一个环节,是当今柴油机发展的重要方向之一。早在 20 世纪 70 年代,世界上许多发达国家就竞相开发柴油机的电子控制技术和研制新产品。到目前为止,已研制并生产出了许多功能各异的柴油机电子控制系统,而且,大部分已产品化并大量投放市场,取得了显著的经济效益和社会效益。现在,柴油机电子控制的内容已由当初的燃油喷射系统单一控制,逐步发展到了柴油机各个系统控制,如:废气涡轮增压器可变喷嘴环的控制、可变进气涡轮的控制等。此外,还可实现故障诊断,实时管理,已形成了包括控制、信息处理、故障诊断和实时管理的柴油机综合管理系统。柴油机管理系统还可以和传动装置管理系统及车辆电子管理系统接口,对整车的动力性、经济性、排放特性及安全行驶实现综合管理。

21 世纪柴油机电子控制技术将进入发展的鼎盛时期,在硬件功能不断强化的基础上,现代控制理论将大显神通。柴油机电子控制的目标除了改善发动机的动力性和经济性外,更加强调对排放的控制及追求安全和舒适性。随着发动机对多功能电子控制的要求逐年增加,开发能对发动机进行全面管理和系统优化的发动机管理系统,将成为电子控制技术今后的发展方向。另外,新型传感器和执行器的研制开发也将对动力系统的构成产生很大影响。展望未来 10 年柴油机技术发展的需求,电子控制技术的主要目标将集中在全面的智能控制、排放控制、安全及舒适性上。

我国从 20 世纪 80 年代开始,就有许多科研单位和高等院校相继开展了柴油机电子控制技术的研究和开发。进入 21 世纪以后,为了实现我国政府对人类可持续发展的承诺,大力发展柴油机电子控制技术,加快我国柴油机产品电子化的进程已成为内燃机工业的当务之急。

在这种客观形势下,在广大柴油机工程技术人员中推广、应用、掌握柴油机电子控制技术,在大专院校的内燃机专业教学中,开设柴油机电子控制技术的课程或讲座已显得十分迫切与需要。但在过去,由于诸多原因的影响,国内柴油机电子控制方面的教科书很少。编写本书的目的就是为了适应柴油机的电子控制技术发展的需要,弥补柴油机

教科书的不足。

本书详细讲述了柴油机电子控制系统，重点是电控喷油系统，其中包括柴油机电子控制系统的控制器、传感器、执行器三部分的结构与理论。控制模型与控制算法重点介绍了北京理工大学发动机实验室多年来的研究成果。作为扩展，还介绍了柴油机电子控制在其他领域里的发展。

本书可供动力机械及工程专业的本科生或研究生作为教材使用。也可供从事柴油机电子控制系统研究、设计、维修及使用等方面的科技人员、工程技术人员阅读。

本书初稿由王尚勇完成，后来第一章、第三章、第四章由杨青修改。

全书由北京理工大学车辆工程学院魏春源教授进行了仔细的审阅，提出了许多非常宝贵的意见和建议，使作者受益匪浅，在此表示感谢，并向本书所引用的参考文献的作者们表示衷心感谢。柴油机电子控制技术发展很快，由于作者水平有限、资料的限制，肯定存在不足甚至错误，敬请专家和读者批评指正。

编 者

2004年9月

目

前言

第一章 柴油机电子控制

技术概论 1

第一节 柴油机电子控制技术出现的必然趋势 1

第二节 柴油机微机电子控制系统概述 6

第三节 柴油机电子控制系统的主要特点 9

第四节 柴油机电子控制系统存在的问题及其发展趋势 11

第二章 柴油机电控喷油系统和

执行器 12

第一节 柴油机电控喷油系统控制原理和分类 12

一、柴油机电控喷油系统控制原理 12

二、柴油机电控喷油系统的分类 13

第二节 位置控制式电控分配泵和执行器 16

一、日本电装公司 ECD—V1 型分配泵电控系统 16

二、德国 Bosch 公司的 EDC 分配泵 16

三、英国 Lucas 公司的 EPIC 系统 19

四、美国 Stanadyne 公司的 PCF 系统 23

第三节 位置控制式电控直列泵和执行器 24

一、日本 Zexel 公司的 COPEC 直列式喷油泵 24

录

二、德国 Bosch 公司 EDR 系统 26

三、日本日野发动机公司的电控喷油定时器 29

第四节 时间控制式电控喷油系统和执行器 31

一、时间控制式电控分配泵和执行器 31

二、电控单体泵 34

三、电控泵喷嘴 35

第五节 电控共轨喷油系统 38

一、日本电装公司的 ECD—U2 高压共轨式喷油系统 38

二、美国 Caterpillar 公司的 HEUI 共轨式液压喷油系统 44

三、德国 Bosch 公司的 CR 高压共轨喷油系统 47

四、美国 BKM 公司的 Servojet 系统 47

五、采用压电晶体驱动技术的高压共轨电控喷油系统 47

第六节 电控喷油系统执行器中的关键技术 51

一、电-机械转换的基础 51

二、高速电磁开关阀 70

三、电液式执行器 84

第三章 柴油机电控系统中的

传感器 89

第一节 加速踏板位置传感器 89

一、电位器式加速踏板位置传感器 89

二、非接触（霍尔式）加速踏板位置传感器 92

第二节 转速、曲轴转角和气缸识别	
传感器	94
一、电磁式曲轴位置传感器	94
二、霍尔效应式转速传感器	97
三、差动霍尔式转速传感器	97
第三节 压力传感器	99
一、压阻式压力传感器	99
二、压电式压力传感器	104
第四节 位移传感器	110
一、差动变压器式电感位移传感器	110
二、差动自感式位移传感器	114
三、电涡流位移传感器	116
四、喷油器针阀升程传感器	121
第五节 空气质量流量计	122
一、热线式空气流量计	122
二、热膜式空气流量计	125
第六节 温度传感器	125
一、金属热电阻温度传感器	125
二、热敏电阻温度传感器	128
第四章 柴油机电控系统的电控	
单元	134
第一节 电控单元 (ECU) 的	
输入级	135
一、ECU 输入级的作用	135
二、ECU 输入级信号类型	135
三、ECU 输入级的特点	136
四、ECU 输入级的结构类型	136
五、输入通道设计中应考虑的问题	138
六、输入通道中的先进技术	141
第二节 电控单元中的微型	
计算机	142
一、概述	142
二、柴油机电控系统微型	
计算机	143
第三节 电控单元的输出级	150
一、模拟量的输出通道	150
二、开关量的输出通道	156
三、功率放大器	157
第四节 电控单元电源设计	169
一、线性稳压电源	169
二、开关稳压电源	169
三、升压电源	171
第五节 通信技术	172
一、总线技术	173
二、控制器局域网 (CAN)	175
第六节 电控单元 (ECU) 设计实例	177
一、总体结构	177
二、输入信号处理器	178
三、输出信号处理器	178
四、CAN 通信模块	179
五、控制软件	180
第五章 柴油机电控系统的控制	
模型与控制策略	182
第一节 位置控制式电控喷油系统的	
控制模型与控制策略	182
一、直列喷油泵电液式油量控制系统	
模型分析	183
二、电磁式油量控制系统控制模型	206
三、控制算法的研究与改进	208
第二节 时间控制式柴油机喷射系统	
的控制算法	213
一、喷射过程的时序	214
二、高速电磁开关阀关闭时间的	
测量与预测	216
三、喷油脉宽和喷油定时的计算	216
第三节 共轨电控喷油系统的	
控制策略	220
一、喷油压力控制技术与策略	220
二、喷油量控制技术	224
三、喷油率控制技术	226
四、喷油定时控制	231
五、柴油机瞬态转速的测量	232

第六章 柴油机的其他电控

系统	234
第一节 可变喷嘴涡轮增压系统电控	
技术	234
一、废气涡轮增压器调节的目的	234
二、涡轮调节	236
三、用于重型载货汽车的连续反馈控制	
可变喷嘴涡轮增压器 (VNT) ...	237
第二节 可变气门驱动系统	245
一、可变气门驱动机构在汽油机上	
的应用	245
二、可变气门驱动机构在柴油机上	
的应用	246
三、可变气门驱动机构的实现	247
四、相位连续可变气门的凸轮	
驱动系统	248
五、无凸轮轴气门驱动机构	250
第三节 可变进气涡流控制系统	255
一、可变进气涡流的调节方法	255
二、可变进气涡流的控制系统	258
第四节 柴油机的废气再循环	
控制 (EGR)	259
一、概述	259
二、柴油机的最佳 EGR 脉谱	260
三、增压柴油机 EGR 的实现	261
四、冷 EGR	263
五、柴油机 EGR 的控制	263

六、柴油机 EGR 系统中的 EGR

控制阀	263
-----------	-----

第七章 柴油机电控系统工程实现

中的问题	265
第一节 柴油机电控系统中测试信号	
的处理	265
一、信号滤波	265
二、线性化处理	267
三、线性标度变换	268
第二节 采样频率的选取	269
一、采样周期对系统性能的影响	269
二、选择采样频率的经验规则	272
第三节 柴油机电控系统软件的设计	273
一、软件的分类	273
二、实时控制程序设计语言的选用 ...	279
三、应用软件的设计	280
第四节 柴油机电控系统的现代开发	
技术	287
一、传统的电控系统开发方法	287
二、基于模型、面向应用的电控系统	
现代开发技术	288
三、dSPACE 实时仿真系统	289
四、dSPACE 实时仿真系统在高压共轨	
电控喷油系统中的应用	292
参考文献	298

第一章

柴油机电子控制技术概论

第一节 柴油机电子控制技术出现的必然趋势

在刚刚过去的 20 世纪中,一方面科学技术的发展突飞猛进,另一方面人类的生存与发展也遇到了前所未有的挑战。人类文明已陷入了非常尴尬的境地:人类在创造一个丰富的物质世界的同时,也付出了牺牲整个生存空间的沉重代价。我国是一个人口众多、资源相对不足的国家,走一条具有中国特色的可持续发展道路,不仅是对联合国等世界组织的承诺,而且也符合中国的国情。可持续发展问题已不仅是各国政府的行为,它还是每个地区、每个行业、每个企业、每个社会团体,甚至是每一个人的事情。

车用发动机是能源消耗的大户。据国际汽车工程师协会(FISITI)1996年公布的资料,公路运输是当今世界上最主要的运输方式。世界客运总量的80%和世界货运总量的42%由公路承担。在世界能源消耗中,公路运输要占石油消耗的42%,约占人类能源总消耗的16%。由于车用发动机的油耗在世界能源消耗中占有举足轻重的地位,所以降低发动机油耗一直是全人类共同关注的问题。如从日本载货汽车发动机性能改善的历史来看,全负荷的最低比油耗已从20世纪60年代的 $250\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 下降到90年代的 $180\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 水平,下降近30%。欧洲75kW以下不同类型轿车发动机每百公里油耗的统计表明,采用直喷式柴油机后,油耗比汽油机下降35%~40%。直喷式增压中冷柴油机油耗,又比非增压直喷式柴油机下降15%。现在电子技术的应用,使发动机在降低油耗、改善性能方面跨入了一个新阶段。

20 世纪后,中国汽车产量迅速上升,2004 年我国汽车保有量已达到 2 830 万辆。预计到 2010 年,汽车保有量将达到 4 500~5 000 万辆。汽车在我国能源消耗中的地位也将更为重要。我国是一个能源紧缺的国家,1997 年生产石油 1.5 亿 t,不能满足需要,紧缺 3 000 万 t,靠进口解决。因此,不断地降低发动机的油耗,节约能源将是一项长期的任务。

另外,车用发动机是环境污染的罪魁祸首之一。内燃机对环境的污染问题已不容忽视。现在我们生活的这个地球环境状况日益恶化,由于温室效应,全球气温升高,灾害

性气候增加,特别是城市的污染问题更为严重。在城市里,我们已很难看到蓝色的天空,再也呼吸不到新鲜的空气,呼吸道疾病病人在增加,人体内的铅含量严重超标。这主要是因为内燃机的排气在起作用。因此,许多国家都对车辆排放制定了严格的限制标准。我国对车辆的排放法规与国外发达国家相差甚远,如欧洲 1992 年已实施 EURO—I 排放标准,1995 年已实施 EURO—II 排放标准,2000 年已实施 EURO—III 排放标准,2005 年将实施 EURO—IV 排放标准。周边国家如泰国、新加坡等国,在 2000 年也已实施了 EURO—II 排放标准。我国在 2001 年才在一些局部地区执行 EURO—I 排放标准,在 2004 年执行 EURO—II 排放标准,北京将在 2005 年执行 EURO—III 排放标准,2010 年与世界接轨。

面对日益严重的能源危机和环境污染,国际内燃机界不停地在寻找实现汽车工业可持续发展的途径。在不断的技术发展中,人们对柴油机、车用柴油机有了更新、更深入的认识。

首先,自 20 世纪 90 年代以来,由于排放控制技术的发展,柴油机在车用动力中占据着越来越重要地位。在中、重型汽车动力中,柴油机保持着其独占的地位;在轻型车动力领域内,柴油机的应用不断扩大;在轿车领域,低油耗、低污染的柴油机轿车在欧洲得到迅速发展。目前,欧美国家的 100% 的重型车、90% 的轻型车采用柴油机。欧洲柴油机轿车已占轿车年产量的 32%,法国、西班牙等国家大于 50% 以上。人们逐渐认识到柴油机是当今保持汽车大批量、低成本生产中,解决环保与节能双重压力的最有效、最经济的手段之一。因此,无论是欧洲排放更清洁的经济型轿车的开发,还是美国的“新一代汽车合作计划(PNGV)”,都无一例外地将柴油机作为最佳的选择方案,3L 轿车(百公里油耗 3L)的开发成功,则标志着柴油机技术的又一次飞跃。欧洲和日本等国政府计划在今后相当长的时期内,继续实施低燃油税收的政策,以促进柴油机的发展。

伴随着柴油机技术的不断发展,气体燃料发动机(天然气发动机、液化石油气发动机)、混合动力汽车、电动汽车,以及与之配套的各种动力电池的开发已取得重大突破。然而,业内人士仍普遍认为,由于受到诸如关键技术水平、生产成本、使用条件等方面的制约,上述新型动力汽车要普及保有量 6 亿多辆和年产 6 000 万辆车的规模,决不是想像中一二十年内能够实现的。美国《大众科学》杂志 2000 年 9 月号专文指出:“至少在今后几十年内,对于燃料消耗总量以及空气质量来说,新一代超洁净、超高效内燃机的影响,将远远超过高技术的替代手段。如果燃料经济性和排放仍存在问题的话,那么第一个解决的途径将是柴油机”。

我国内燃机,特别是车用柴油机工业在过去几十年里得到飞速发展,但存在的问题很多。应该说,过去我国的发展走的是粗放经营的道路,我们取得的高速发展是以高投

人换来的。我们强调了高速发展，却忽视了经济增长的质量。我们的柴油机产品的质量一般不高，可靠性差，能耗大，排放污染严重，动力性、紧凑性、振动和噪声等指标也较低。现在，国外在柴油机方面已普遍采用电子控制技术，直喷式高压喷射技术，以及增压，特别是增压中冷、废气再循环技术和四气门技术。电子控制共轨喷射技术也已进入实用阶段，并且正在迅速地推广应用。而在国内，由于缺乏技术开发与投入，车用柴油机的水平相当落后，对国外现在采用的或正在研究的新技术总体上还较陌生。

科学技术是解决可持续发展难题的必要手段。为使我国的内燃机工业实现可持续发展，就必须在新技术方面加大人、财、物的投入，并取得重大突破。在这中间，柴油机采用电子控制技术，特别是电控共轨式喷射技术已势在必行。

采用电子控制技术是当前柴油机技术发展的重要方向之一。早在 20 世纪 70 年代，世界上许多技术发达国家就已竞相开发柴油机电子控制技术并研制新产品。到目前为止，已研制并生产出了许多功能各异的柴油机电子控制系统，其中大部分已产品化并投放市场，取得了显著的经济效益，与此同时，也有力地推动了柴油机电子控制系统的进一步发展，控制功能更全、工作更可靠的新产品层出不穷。

柴油机电子控制技术的出现与发展是一个必然趋势，究其原因，主要有两个方面：

原因之一是由于石油能源危机及严重的环境污染，对柴油机这一主要移动式动力装置的燃油经济性和排放指标，提出了几乎是十分苛刻的要求所导致的。很久以来，为了降低柴油机的油耗和减少排放，除了对柴油机本身的各个系统进行了研究和改进外，先后出现了各种各样的机械式控制机构。这些控制机构如机械式调速器、喷油提前装置等，实现了对影响发动机经济性和排放的主要参数的控制，曾取得了不容忽视的成果。但由于它们不可能实现更为复杂的调控并存在一些先天缺陷，其控制结果终是不能令人满意。有结果证明：喷油始点改变 1° 曲轴转角，燃油消耗率会增加 2%，HC 排放量增加 16%， NO_x 排放量增加 6%。另一方面，无论是柴油机的循环供油量（齿杆位移量的控制）还是喷油提前角（喷油始点的控制），实际上均受很多因素的制约，其每一瞬时的最佳值均不同。要想实现发动机的最优运行，必须实现多参量的实时检测与控制，显然，这又是机械式控制无能为力的。因此，当人们对柴油机的经济性和排放提出更高的要求时，传统的机械式控制系统就有可能被别的更好的系统所取代。美国国会通过的“大气污染防治法”，要求将重型载货汽车柴油机的排放污染降低 90%，欧盟的排放法规也日趋严格。图 1-1 为美国重型载货汽车柴油机排放标准，图 1-2 则为欧洲重型载货汽车柴油机排放标准，图 1-3 为不同阶段欧洲的柴油轿车的排放标准限值。可见对氮氧化物（ NO_x ）和颗粒物（PM）的限制已经达到相当严的程度。

要降低柴油机 NO_x 排放，就要减小柴油机气缸内的最高压力和最高温度，不使气

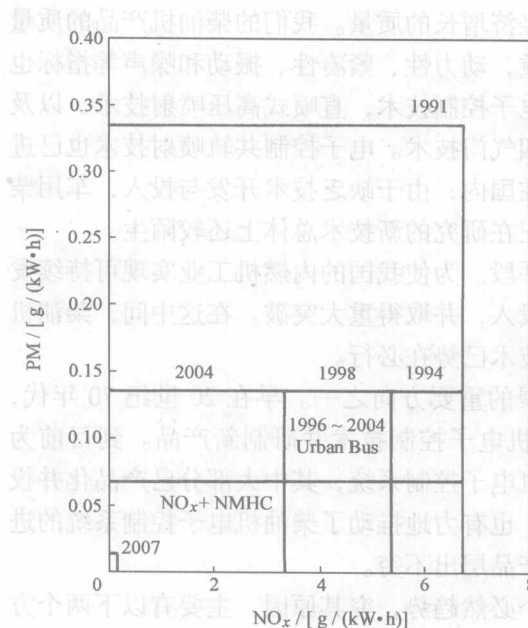


图 1-1 美国重型载货汽车柴油机排放标准

注: NMHC: Non-Methane-HC;

PM: Particulate Matter. (颗粒)

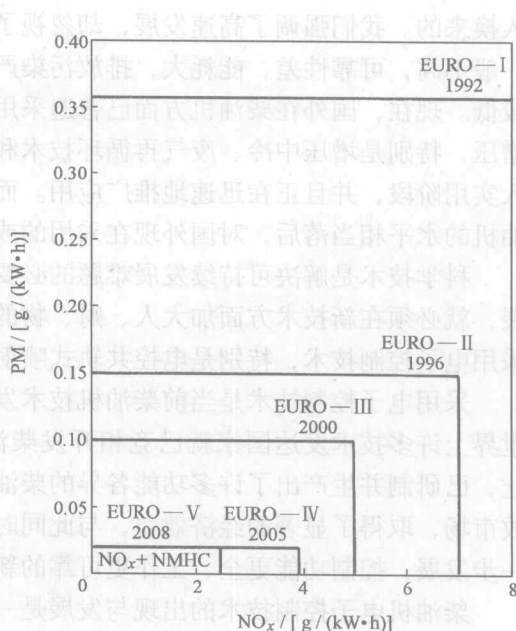


图 1-2 欧洲重型载货汽车柴油机排放标准

缸内的 N_2 和 O_2 在高温高压下变成 NO_x 。这就要求喷射正时滞后。喷射正时滞后会引起烟度(颗粒)排放上升,经济性和动力性下降。矛盾的统一,除提高压力和速率,缩短喷射持续时间外,主要是通过电子控制方式寻求最优化的喷油定时。废气再循环对降低 NO_x 大有好处,但会引起颗粒排放量增加,这也需要用电子控制技术来寻求最佳的废气再循环时刻和排量。可变涡流增压、废气催化这些先进技术对排放有利,但也必须采用电子控制技术才能与柴油机运行工况配合起来,达到其应有的效果。为降低燃烧噪声和 NO_x 排放,柴油机要求喷射系统在主喷射之前,有一个如图 1-4 所示小的预喷射。而且预喷射量、预喷射与主喷射之间的间隔,都能根据不同运行工况有所变化。显然这些只有在柴油机电子控制的某些系统(如共轨系统)才能实现。为降低排放,还要对喷油嘴喷出的瞬时喷油速率进行控制,希望实现喷射初期低的喷油速率,以降低 NO_x 和噪声;喷射结束时又要能快速断油,以降低颗粒和 HC;并且也要随着不同工况进行适当调整。这些都只有采用电子控制技术才能应用自如。图 1-5 是美国 Caterpillar 公司在柴油机有或没有对喷油速率的控制对排放指标影响的试验结果。柴油机采用电子控制技术后,由于其控制精度高、控制自由度大、控制功能齐全,因此能实现整个运行范围内

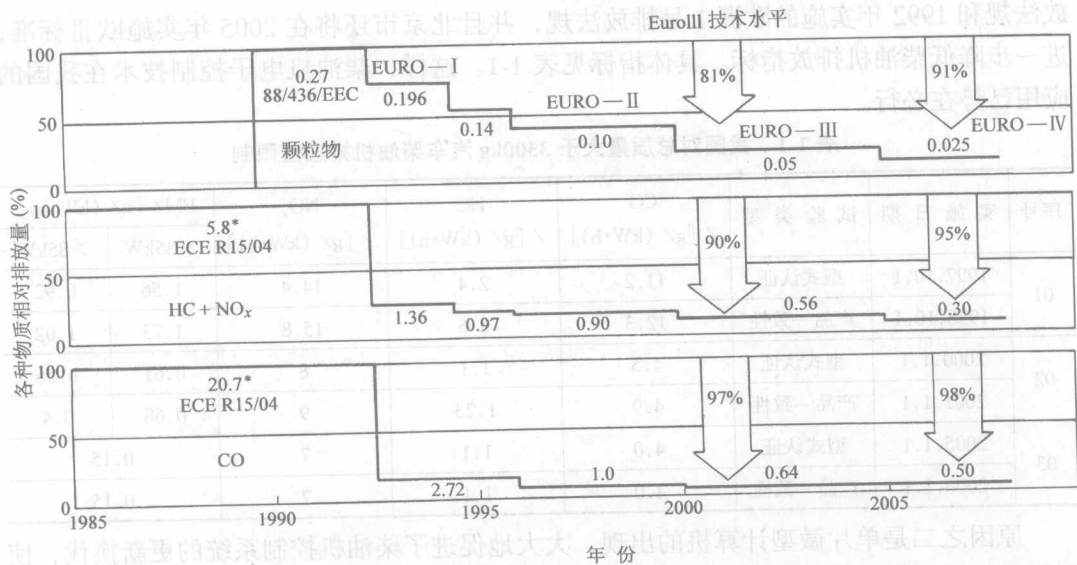


图 1-3 不同阶段欧洲的柴油轿车的排放标准限值

注：1. ECE R15/04 标准：当量限值单位为 1 590 kg。

2. 排放限值单位为 g/km。

参数优化，不仅能改善排放，改善经济性，还可有效地改善低速性能，改善低温启动和怠速性能，以及改善操作性能，从而也改善了汽车的舒适性。柴油机电子控制技术的发展，明显地提高了使用性能和降低了排放。

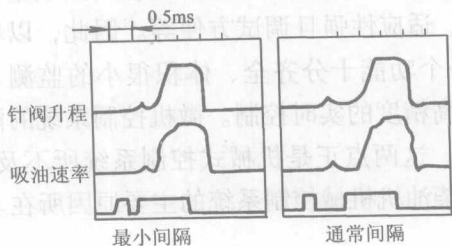


图 1-4 预喷射

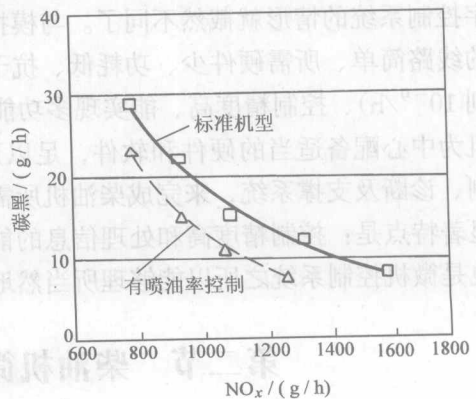


图 1-5 额定工况时喷油速率控制效果

我国对降低柴油机排放已提出了明确要求，并已在 1997 年 10 月 1 日和 2000 年元月 1 日对于总质量大于 3 500 kg 的中重型汽车柴油机分别实施相当于欧洲 1986 年的排

放法规和 1992 年实施的欧洲 1 号排放法规, 并且北京市还将在 2005 年实施欧Ⅲ标准, 进一步降低柴油机排放指标。具体指标见表 1-1。这样, 柴油机电子控制技术在我国的的应用已势在必行。

表 1-1 我国对总质量大于 3500kg 汽车柴油机排放值限制

序号	实施日期	试验类型	CO	HC	NO _x	PM/ [g/ (kW·h)]	
			/ [g/ (kW·h)]	/ [g/ (kW·h)]	/ [g/ (kW·h)]	≤85kW	>85kW
01	1997.10.1	型式认证	11.2	2.4	14.4	1.56	0.92
	1998.10.1	产品一致性	12.3	0.6	15.8	1.73	1.02
02	2000.1.1	型式认证	4.5	1.1	8	0.61	0.36
	2001.1.1	产品一致性	4.9	1.23	9	0.68	0.4
03	2005.1.1	型式认证	4.0	1.1	7	0.15	
	2006.1.1	产品一致性	4.0	1.1	7	0.15	

原因之二是单片微型计算机的出现, 大大地促进了柴油机控制系统的更新换代, 使柴油机电子控制技术的出现与发展成为必然趋势。自 20 世纪 70 年代以来, 微电子技术有了长足的发展。随着大规模集成电路的出现, 微电子产品的成本大幅度下降, 在功能强化、功耗降低的情况下, 可靠性逐步提高, 且性能日臻完善, 使柴油机这一特殊设备采用微型计算机控制技术成为可能。特别是当单片机以崭新的面貌出现以后, 采用单片机的柴油机数字控制系统异军突起, 发展十分迅速。可以说电子模拟控制已比传统的机械控制大大前进了一步。但由于各种内在原因, 这种控制仍不能满足更高的要求, 而数字控制系统的情形就截然不同了。与模拟控制相比, 数字控制系统具有许多优点, 如它的线路简单、所需硬件少、功耗低、抗干扰能力强、可靠性高 (集成电路的失效率已达到 $10^{-9}/h$)、控制精度高、能实现多功能控制、适应性强且调试方便等。因此, 以单片机为中心配备适当的硬件和软件, 足以形成一个功能十分齐全、体积很小的监测、控制、诊断及支撑系统, 来完成柴油机所需要的高精度的实时控制。微机控制系统的两大显著特点是: 控制精度高和处理信息的能力强。这两点正是机械式控制系统所不及的, 也是微机控制系统之所以能够理所当然地取代柴油机机械控制系统的主要原因所在。

第二节 柴油机微机电子控制系统概述

尽管目前已发展出许多功能各异的柴油机电子控制系统, 如喷油系统控制、调速控制、进/排气控制及废气涡轮增压器喷嘴环截面控制系统等。其基本组成大体上是相同的, 如图 1-6 所示, 它们均与被控对象 (柴油机或动力装置) 构成一闭环反馈控制系

统。一般可将电控柴油机分为四个部分,即被控对象柴油机、传感器、以单片机为核心的控制器及执行器。后三部分组成柴油机电子控制系统。

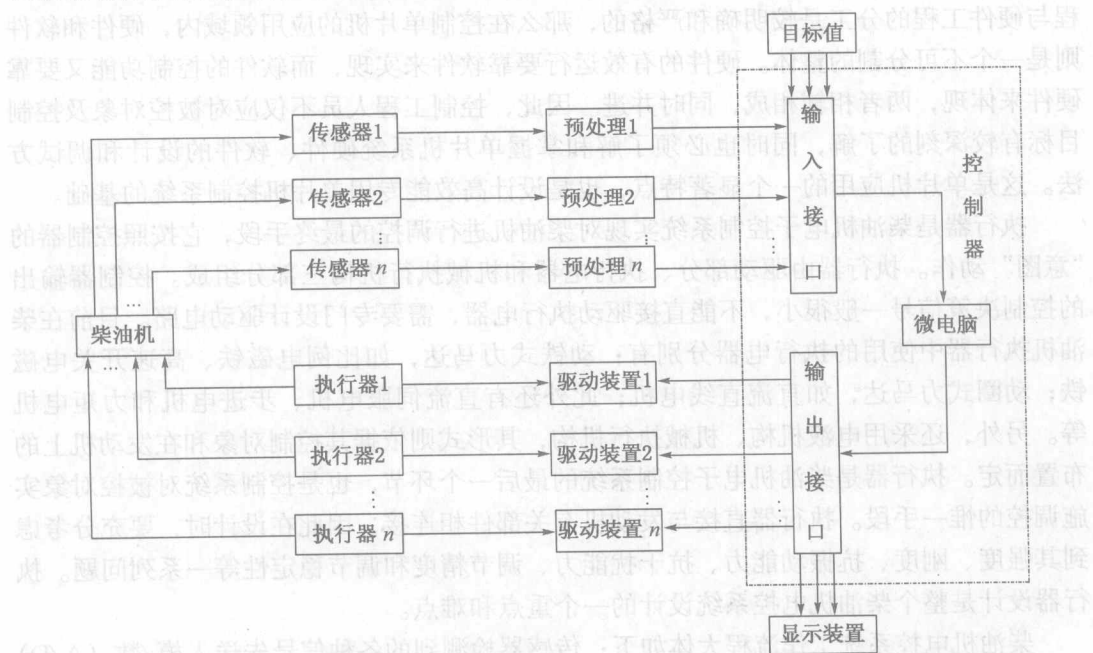


图 1-6 微机电控柴油机基本组成

传感器的主要功能是检测发动机的运行参数或状态。它将非电量的有关参数或状态转化成电信号,然后不失真地将有关信息提供给控制器。目前在柴油机的信号检测中,所用传感器的种类很多。按信号的种类大体上可分为开关脉冲量和连续模拟量两种。具体应根据所需的监控参数及要求选用。

以单片机为核心的控制器是柴油机电子控制系统的大脑。柴油机动力装置能否可靠、经济地运行,在很大程度上取决于该控制器。它是一个典型的数字式控制器,由单片微型计算机、接口电路等硬件和软件组成。信息的采集、处理、传输和时间程序控制是该控制器的主要功能。目前的柴油机电子控制系统中大都采用单片机,以减小体积,降低成本和提高可靠性。单片机的工作原理和内部结构与通用微型计算机基本相同,但由于它是特殊用途的专用机,对其功能和处理信息能力的要求均较低,因此其系统结构和设备可以大大简化。目前市场销售的控制单片机的价格仅为数十元至数百元,而其性价比却相当高。控制器中的单片微机由硬件和软件组成。主要硬件有中央处理器(CPU)、存储器、输入/输出设备、定时器/计数器等。硬件构成了控制器的实体。软件

分为两种类型,即系统软件和应用软件。软件通过硬件来实现系统的控制与管理功能,它是计算机控制管理功能的实施标志和依据。如果说在计算机的一般应用领域,软件工程和硬件工程的分工是较明确和严格的,那么在控制单片机的应用领域内,硬件和软件则是一个不可分割的整体。硬件的有效运行要靠软件来实现,而软件的控制功能又要靠硬件来体现,两者相辅相成,同时并进。因此,控制工程人员不仅应对被控对象及控制目标有较深刻的了解,同时也必须了解和掌握单片机系统硬件、软件的设计和调试方法。这是单片机应用的一个显著特点,也是设计高效能专用单片机控制系统的基础。

执行器是柴油机电子控制系统实现对柴油机进行调控的最终手段,它按照控制器的“意图”动作。执行器由驱动部分、执行电器和机械执行机构三部分组成。控制器输出的控制决策信号一般很小,不能直接驱动执行电器,需要专门设计驱动电路。目前在柴油机执行器中使用的执行电器分别有:动铁式力马达,如比例电磁铁、高速开关电磁铁;动圈式力马达,如直流直线电机;此外还有直流伺服电机、步进电机和力矩电机等。另外,还采用电液机构、机械执行机构,其形式则依据其控制对象和在发动机上的布置而定。执行器是柴油机电子控制系统的最后一个环节,也是控制系统对被控对象实施调控的惟一手段。执行器直接与发动机有关部件相连接,因此在设计时,要充分考虑其强度、刚度、抗振动能力、抗干扰能力、调节精度和调节稳定性等一系列问题。执行器设计是整个柴油机电控系统设计的一个重点和难点。

柴油机电控系统工作流程大体如下:传感器检测到的各种信号先送入模/数(A/D)转换器(如果输入信号是模拟量),然后通过控制器的接口输入。在控制器的存储器中,存有所需的发动机的调控参数或状态的目标数据。这些目标数据是柴油机的各种不同参数和最优运行结果的综合,一般是通过统计或实测而得到的。当由传感器检测到的发动机的某一实际参数进入单片机控制器后,先与存储器中的相应参数和最优运行结果比较。如果两者相同,则整个柴油机电子控制系统保持原状态,发动机继续按先前状态运行。反之,当实际参数偏离目标参数时,单片机控制器则会根据该偏离值的大小和极性(正或负),按一定的控制策略进行有关信息的处理。

对数字信号的处理主要有两种方法:第一种是根据预定控制规律的控制算法对输入信号进行直接运算和处理,然后输出控制信号,这是一种较为简单的控制;第二种是对输入的数字信号进行特征抽取,即对输入信号的处理并不是为了得到直接控制决策和作用,而是从大量的输入信号中抽取那些有用的信息,然后根据所抽取的特征值来决定控制决策,这是一种较为复杂的高级控制。经过运算处理后,控制器通过I/O通道输出控制决策信号。这些信号只能以数码形式出现,它既可以表示数值的大小或极性,也可以代表约定的确定信息。当执行器所需要的是连续时间函数信号(模拟量)时,控制器的输出信号还必须通过数/模转换器(D/A),然后再输给执行器的驱动部分。这样,执

行器就按特定的规律调节发动机的有关机构,使发动机的相应参数或状态向目标值逼近。逼近程度如何又可由传感器来检测,并将检测结果再次送给单片机控制器。如此循环,就形成了一个闭环反馈控制系统,使发动机按最优状态运行。上述过程是柴油机单片机控制应用中较为普遍的一种控制过程,它类似于最优控制。

第三节 柴油机电子控制系统的主要特点

柴油机电子控制的一个突出特点是借助单片机的功能,可以实现更为复杂的控制规律,而这在以前则是不可能的。在采用单片机电子控制系统之后,柴油机的面貌大为改观,且随着单片机电子控制系统的逐步发展和不断成熟,人们对柴油机所提出的种种苛刻要求逐步得以满足。下面介绍单片机电子控制系统的特点:

1. 改善柴油机的经济性和排放

关于这一点,前面已有说明,在此不再赘述。

2. 提高发动机的工作可靠性

当一个单片机控制系统建立以后,可以很方便地扩展其控制功能。如为柴油机提供各项保护功能就是一例。借助传感器的输入信号,单片机控制器可随时检测影响发动机工作可靠性的一些参数,如润滑系统的机油压力、排气温度、曲轴轴瓦温度及发动机的转速等。一旦某一项或某些项的参数或状态超出或低于设定值,控制系统会立即显示报警,同时控制执行器进行相应的调节,直到这些参数或状态正常为止。对于一些影响发动机运转可靠性的重要参数,控制系统还可为发动机提供双重甚至是多重保护,以免造成巨大损失。例如,当柴油机发生重大事故时,控制系统一方面控制直列式喷油泵调节齿杆迅速减油回复零位,同时也控制喷油泵进油管路上的电磁阀切断燃油通路或关闭进气阀,使发动机迅速停车。

3. 响应快、控制精度高

响应要快是对一个控制系统的基本要求。控制系统从接收到一个信息开始,到处理完毕并输出控制信号所需的时间一般为毫秒级。这个时间要远远小于发动机或其他机械控制机构的响应时间。因此,一旦发动机及其系统的运行参数或状态稍微偏离目标值,微机控制系统就能立即进行跟踪并予以实时调节和控制。正是由于响应快这一特点,使得单片机控制系统能实现机械控制系统所不能实现的一系列功能。

控制系统的控制精度越高,被控对象的性能指标就越容易接近最优值。单片机控制系统的控制精度,远高于机械控制和模拟电路控制的主要原因是输入、输出信号实现了数字化传输,且单片机控制系统中有关硬件的位数愈高,控制精度就愈高。单片机控制的高控制精度主要体现在三个方面: