

现代汽车

柴油机电控系统

XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG

杨杰民 郑霞君 编著



XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG
XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG
XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG

XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG
XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG
XIANDAIQICHE CHAIYOUJI DIANKONG XITONG

上海交通大学出版社

本书出版由上海汽车工业教育基金会资助

现代汽车柴油机电控系统

杨杰民 郑霞君 编著

上海交通大学出版社/

内 容 提 要

本书介绍了现代汽车柴油机电控技术的发展背景,阐明了面对能源和环境问题日益严峻的挑战,只有采用电控技术才能取得汽车柴油机动力性、经济性、排放和噪声指标等的全面优化。

本书对现代汽车柴油机电控技术发展中的各个层面做了全面的分析,使读者能比较完整地了解现代汽车柴油机电控技术逐步走向成熟的过程。本书用了相当多的篇幅阐明了现代汽车柴油机电控系统的控制任务和系统的配置,详细介绍了各组成部分的结构和工作原理。

本书既可作为大专院校汽车工程、汽车运用工程、内燃机工程、交通运输工程及有关专业的选修课教材,又可作为从事上述专业工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(C I P)数据

现代汽车柴油机电控系统 / 杨杰民, 郑霞君编著.
—上海: 上海交通大学出版社, 2002
ISBN 7-313-03023-1

I. 现... II. ①杨... ②郑... III. 汽车—柴油机—
电子系统: 控制系统 IV. U464.172

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第022581号

现代汽车柴油机电控系统

杨杰民 郑霞君 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路877号 邮政编码200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市文化印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13.25 字数: 324千字

2002年6月第1版 2002年6月第1次印刷

印数: 1~1 050

ISBN7-313-03023-1/U·106 定价: 19.00元

版权所有 侵权必究

前 言

20 世纪 80 年代以来,以微机为控制单元的电控技术在汽车发动机上广泛应用并逐步形成现代汽车发动机电控系统,这是一个多世纪来汽车发动机发展史上又一个新的里程碑。它使困扰着以内燃机为主要动力的现代汽车发展的节约能源和控制排放这两大难题,有了一条比较满意的解决途径。

现代汽车发动机电控技术首先是在轿车汽油机上得到应用的,经过三十多年的发展,迄今为止已取得了令人瞩目的技术成就,电控系统已成为现代轿车汽油机上的标准设备。90 年代中期以来,随着我国轿车工业的快速发展,相当一部分国产轿车已经采用了电控汽油机。此外,在吸收、消化引进技术的基础上,我国汽车发动机电控技术的自主开发已列入科技发展规划,并已在一些科研院所、高校和大的企业集团进行实质性的开发工作,各高等院校的相关专业也相继开设有关课程,有关汽车汽油机电控技术的出版物可以说是琳琅满目。

然而,对于现代汽车发动机大家庭中的另一重要成员——柴油机来说,情况却有些不同。由于起步较晚和技术上的难度更大,迄今为止电控技术在现代汽车柴油机上的应用还未能像在汽车汽油机上那么广泛。不过,近几年来,随着发达国家(特别是欧盟国家)柴油轿车在全部轿车中所占份额的不断增加,电控汽车柴油机也是异军突起,技术上也有所突破,特别是以基本改变了传统燃油喷射系统组成和结构为特征的高压电控共轨式燃油喷射系统的出现,表明了汽车柴油机电控技术正在走向成熟。当前,在发达国家中,电控技术不仅在重型汽车柴油机上,而且在轿车柴油机上已经进入了比较成熟的实用化阶段。

我国是一个柴油机生产大国,由于历史的原因,柴油机在我国国民经济中一直扮演着极为重要的角色,柴油机在各种车辆动力中所占的比重也相当可观。同时,经过半个多世纪的积累,我国在汽车柴油机研究和开发、设计和制造上已具有一定的规模和基础,而所拥有的人才资源更是不可忽视。在跨入 21 世纪的今天,随着我国汽车工业的持续高速发展,轿车进入家庭的步伐加快,在解决节约能源和控制排放这两大问题的过程中,必将促进柴油轿车在我国的发展和使用,而汽车柴油机电控技术在我国无疑也将得到迅速的发展、推广和应用。

我国有关决策部门早在“九五”规划中就已把开发以微机为控制单元的现代汽车用柴油机电控系统作为重要内容,并已组织力量攻关,迄今为止已取得了一些阶段性的成果。在“十五”规划中,将进一步加大投入力度,采取引进技术、联合开发和自主开发等各种方式,使规划得以尽早实现。

然而,国内现有公开出版的教材和专业书刊中,有关汽车柴油机电控技术方面

的内容还很少见,更未见到专门介绍汽车柴油机电控技术的出版物。这种状况显然不能适应当前我国汽车工业发展和汽车教育发展的形势,也无法满足广大读者学习和了解汽车柴油机电控技术的迫切需要。为此,作为多年从事汽车柴油机工程实践的科技工作者和汽车发动机教学实践的高等学校教师,编著者觉得有责任和义务编著本书,以填补这一不应有的空白,并以此“抛砖引玉”,使更多更好的关于汽车柴油机电控技术的出版物问世。正是在这样的背景和指导思想下,编著者总结多年来在上海工程技术大学汽车工程学院开设汽车柴油机电控技术课程的实践,在收集了大量 20 世纪 90 年代以来,特别是近五年来国内外汽车柴油机电控技术最新发展的资料的基础上,花了近一年的时间完成了本书的编著。

本书对现代汽车柴油机电控技术的发展背景做了介绍,在对传统的机械式柴油机控制系统的各种功能和有关装置进行回顾的基础上,分析其功能的局限性,实现多参量实时检测与调控的不可行性,以及难以面对能源和环境问题日益严峻的挑战的现实,阐明只有采用电控技术和其他相关技术,整合为现代汽车柴油机电控系统,才能实现在各种工况下,对汽车柴油机的运行进行全方位的控制,取得动力性、经济性、排放和噪声指标等的全面优化。

本书对现代汽车柴油机电控技术从第一代到第二代发展中的各个层面作了全面的分析,使读者能比较完整地了解现代汽车柴油机电控技术逐步走向成熟的过程。本书用了相当多的篇幅阐明了以微机为控制单元的现代汽车柴油机电控系统的控制任务和为完成这些任务对系统所作的配置,详细介绍了系统各组成部分的结构和工作原理。

此外,本书还以 20 世纪 90 年代以来国内外典型的汽车柴油机电控系统为例,向我国读者提供了迄今为止最为完整和丰富的现代汽车柴油机电控技术的内容以及尽可能新的信息和资料。这不仅可以大大丰富现有的有关汽车发动机电控技术的课程的教学内容,而且也可从事现代汽车柴油机电控系统研究开发的科技人员提供一份极有实用价值的参考资料。

由于现代汽车发动机要求的是多参数和多目标的控制,使得具有非线性、时变性、多层次、多因素、变结构、大滞后和不确定性等为特点的发动机控制很难用简单、精确的数学模型来描述。经典的控制方法已不能满足对发动机实施所需要的控制的要求了。计算机技术的飞速发展和广泛应用推动了新的控制理论与策略(或称算法)的形成和发展;而这些新的控制理论与策略在现有的有关发动机电控技术的出版物中是很少读到的,为此,本书概要介绍了 20 世纪 60 年代后形成的、以状态空间法为本的时域分析方法发展起来的微机控制理论与策略(包括最优控制理论、自适应控制理论、自学习控制理论、预测控制理论和模糊控制理论等),作为附录 1,以满足对此感兴趣的读者的需要。

现代汽车中除了发动机电控系统外,以微机为控制单元的其他控制系统越来越多,控制内容也越来越多,各控制单元间进行信息交换的要求越来越高,为此在

现代汽车中出现了能实现众多的检测与控制数据信息交换的数据通信网络,这就是被称为“控制器局域网”的CAN系统。它和发动机电控系统有着十分密切的联系,为了使读者对其功能有一个基本的了解,本书在附录2中对它做了简要的介绍。

本书编著时力求内容充实,结构严谨。以“讲透原理,弄清结构”为宗旨,以可读性好为原则,尽量避免繁复的、理论性很强的推导,而代之以简洁明了的阐述,从而能更好地为具有一定相关专业知识的广大读者服务。它既可作为大专院校汽车工程、汽车运用工程、内燃机工程、交通运输工程以及有关专业的选修课教材和各种汽车发动机电控技术高级培训班的培训教材,又可作为从事上述专业工作的工程技术人员参考书。

本书由杨杰民和郑霞君合作编著。其中,第4章中的部分内容及第5章中的主要内容由郑霞君编著,其余部分由杨杰民编著,全书由杨杰民统稿。

本书在编著过程中,参考了大量的有关著作、资料、样本和说明书,在此向有关作者、编者和资料的提供者表示真诚的感谢。

本书的出版是上海工程技术大学“汽车发动机电控技术”课程建设的一个成果,为此,编著者谨向学校领导和汽车工程学院的领导及同事们表示衷心的感谢,正是在他们热情的支持和鼓励下,本书的编著工作才能得以顺利完成。

本书的出版得到了上海汽车工业教育基金会的资助,在此特表最深切的感谢。

现代汽车柴油机电控技术是一门技术含量较高,学术范围较宽,并且是正在发展和不断更新的技术。编著者学识有限,水平有限,疏漏、谬误和不足之处在所难免,还望广大读者不吝赐教,批评指正。

编著者

2002年1月于上海工程技术大学

目 录

第 1 章 汽车柴油机电控技术的发展	1
1.1 发展背景	1
1.2 现代汽车柴油机电控系统发展现状	9
第 2 章 柴油机燃油喷射系统概述	15
2.1 柴油机燃油喷射系统的基本任务	15
2.1.1 理想的柴油机供(喷)油速度特性	15
2.1.2 传统柱塞式直列泵的供油原理和供油特性	16
2.1.3 分配式喷油泵的供油原理和供油特性	19
2.1.4 供(喷)油正时控制与提前器	21
2.1.5 转速控制与调速器	22
2.1.6 喷油器	24
2.2 现代汽车柴油机燃油喷射系统的分类	24
2.3 燃油喷射控制的内容和控制方式的发展	27
第 3 章 燃油喷射控制	30
3.1 循环供(喷)油量的控制	30
3.1.1 传统的控制方法	30
3.1.2 第一代电控方法	31
3.1.3 第二代电控方法	43
3.2 供(喷)油正时的控制	46
3.2.1 传统的控制方法	46
3.2.2 第一代电控方法	48
3.2.3 第二代电控方法	55
3.3 供(喷)油速率和供(喷)油规律的控制	56
3.3.1 传统的控制方法	56
3.3.2 第一代电控方法	64
3.3.3 第二代电控方法	68
3.4 喷油压力的控制	71
3.4.1 传统的控制方法	71
3.4.2 第一代电控方法	72
3.4.3 第二代电控方法	72

第 4 章 其他控制	74
4.1 怠速控制	74
4.1.1 怠速转速的控制	74
4.1.2 怠速时各缸均匀性的控制	75
4.2 进气控制	76
4.2.1 进气管节流控制	76
4.2.2 可变进气涡流控制	77
4.2.3 可变配气正时控制	78
4.3 增压控制	80
4.3.1 废气旁通控制	81
4.3.2 涡轮通流面积控制	82
4.4 排放控制	89
4.5 起动控制	92
4.6 故障自诊断和失效保险功能	95
4.6.1 故障自诊断	95
4.6.2 失效保险	98
4.6.3 OBD - I 系统和 OBD - II 系统	99
第 5 章 汽车柴油机电控系统的组成	100
5.1 传感器	100
5.1.1 负荷传感器	100
5.1.2 反馈控制用油门位置传感器	104
5.1.3 曲轴(或凸轮轴)转速与位置传感器	105
5.1.4 供(喷)油正时传感器	109
5.1.5 共轨系统燃油压力传感器	113
5.1.6 空气流量计	114
5.1.7 进气压力传感器	119
5.1.8 温度传感器	120
5.2 电控单元	121
5.2.1 电控单元的组成和工作原理	121
5.2.2 软件	124
5.2.3 电控单元的外围设备	125
5.2.4 工作流程	125
5.2.5 工作条件	126
5.2.6 电源	126
5.3 执行器	128
5.3.1 线性螺线管和电磁阀	129
5.3.2 伺服式电磁阀	133

5.3.3 转动式螺线管	134
5.3.4 动圈式线性螺线管	135
5.3.5 步进电动机	137
5.3.6 电控泵喷嘴	139
5.3.7 电控共轨式喷油系统中的喷油器	140
5.3.8 电控高压共轨式喷油系统中的高压供油泵	145
5.3.9 执行器的发展方向	147
第 6 章 典型的现代汽车柴油机电控系统	148
6.1 日本电装 ECD 系统	148
6.2 德国 Bosch EDC 系统	156
6.3 美国 Stanadyne PCF 系统	161
6.4 德国 Bosch EDR 系统	167
6.5 美国 Caterpillar HEUI 系统	171
6.6 日本电装 ECD-U2 系统	176
6.7 德国 Benz/Bosch CR 系统	179
6.8 意大利 Fiat/德国 Bosch Unijet 系统	181
6.9 英国 Delphi CR 系统	182
附录 1 汽车柴油机电控控制策略概述	184
1. 过程控制的基本概念	184
2. 汽车柴油机电控系统控制策略	187
3. 控制策略的发展方向	196
附录 2 CAN 系统简介	198
参考文献	201

第1章 汽车柴油机电控技术的发展

1.1 发展背景

自 1897 年 Rudolf Diesel 发明的第一台柴油机诞生至今,柴油机已经历了一个多世纪的发展。其间,每隔三十年左右,柴油机技术就出现一次飞跃。20 世纪 20 年代中期以德国 Bosch 公司为代表推出的机械式喷油系统代替了蓄压式供油系统,使柴油机在车辆上的应用成为可能。50 年代初出现的废气涡轮增压技术,使柴油机的升功率有了大幅度的提高,奠定了它作为中、重型车辆上几乎不可替代的动力装置的基础。80 年代以来,以微机为电控单元的电控技术在柴油机上应用并逐步形成现代汽车柴油机电控系统,使柴油机在动力性、经济性、排放及噪声指标等各个方面具有了更强的竞争能力,柴油机技术的发展进入了一个新的历史阶段。

和现代汽车汽油机电控技术发展的背景一样,电控技术在柴油机上的应用也是在为解决当代困扰内燃机发展的能源和环保两大难题的需求下,在电控技术飞速发展的支撑下实现的。从 60 年代末就已开始的汽油机电控技术的应用,以及现代汽车汽油机电控系统发展的日趋成熟,也为现代汽车柴油机电控系统的发展提供了宝贵的经验。

另一方面,80 年代以来,现代汽车柴油机电控技术的快速发展,也是在汽车动力,特别是在轿车和轻型车动力领域内,柴油机和汽油机激烈竞争的结果。

尽管柴油机热效率可高达大约 42%(汽油机在最佳工况下也只能达到 36%左右),燃油经济性好(燃油耗率通常要比汽油机低 20%左右),但由于其升功率低、比质量大、振动和噪声大、起动性能差、价格又高,而汽油机具有高的升功率、低的比质量、低的制造成本和低的噪声,因而在相当长的时间内,除出租车外,在轿车和轻型车领域内应用很少。在轿车和轻型车动力中,汽油机所占的比例一直处于首位。全世界汽油机每年产量高达 3000 万台以上,为柴油机总产量的 4 倍。

20 世纪 70 年代两次石油危机使人们对于节能的重要性有了新的认识,同时对汽油机 CO 和 HC 排放量的限制日趋严格,使轿车和轻型车柴油化很快提到议事日程上来。国外各大汽车公司和研究所对轿车和轻型车柴油机的发展作了很大的投入。采用顶置凸轮轴、分配式油泵、分隔式燃烧室、自然吸气或涡轮增压、排量为 1.4~2.5L 的轿车柴油机,成为 70 年代末日本的五十铃、丰田和日产公司,80 年代初德国的 Benz 和 BMW 公司等先后形成的柴油轿车系列中的动力。这些轿车柴油机缩小了与轿车汽油机的升功率、比质量、振动和噪声等方面的差距。图 1-1 所示为轿车柴

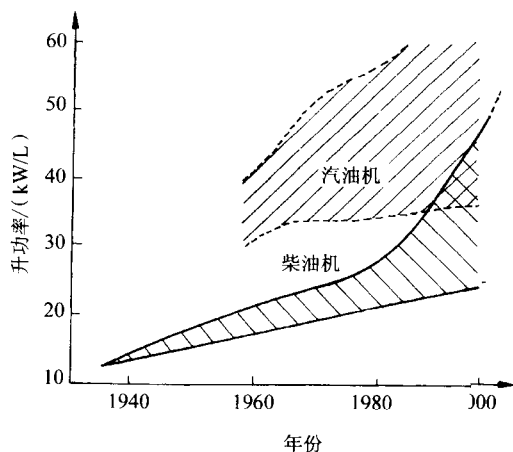


图 1-1 轿车柴油机与汽油机升功率发展的趋势

油机与汽油机升功率发展的趋势。柴油机在轿车和轻型车动力中所占的份额逐年增多,图1-2所示为1980年以来欧洲生产的柴油轿车所占比例的发展趋势,图1-3所示为世界范围内柴油汽车的发展趋势。

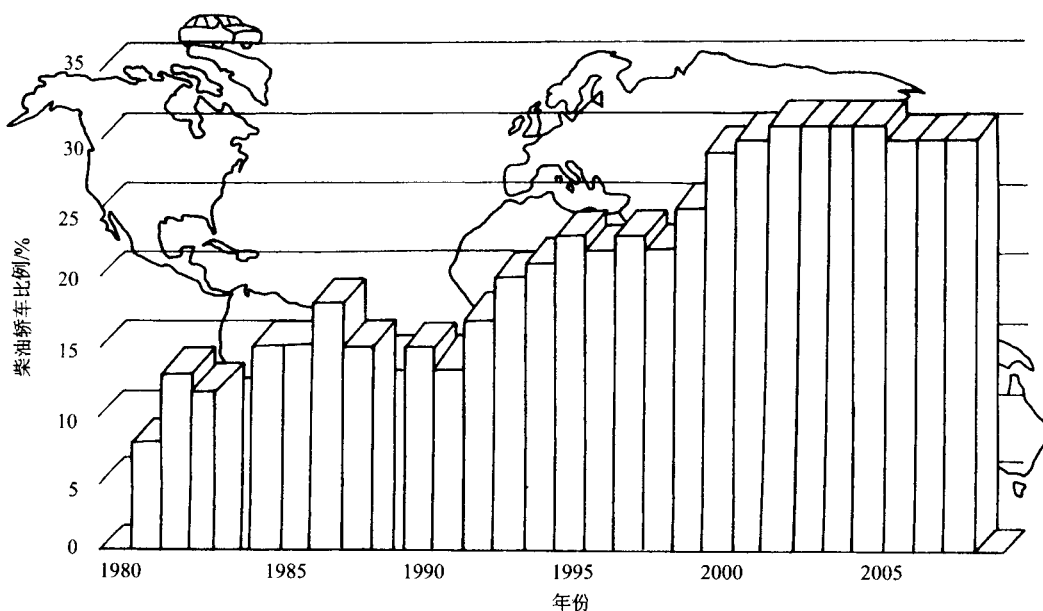


图 1-2 1980 年以来欧洲生产的柴油轿车所占比例的发展趋势

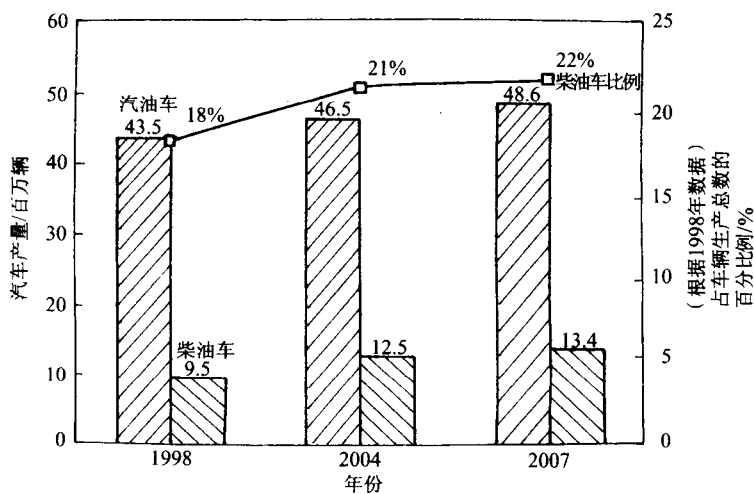


图 1-3 世界范围内柴油汽车的发展趋势

80 年代中期后采用电控技术、增压技术和三元催化反应器使轿车和轻型车汽油机的燃油经济有了很大的改善,升功率进一步提高,HC、CO 和 NO_x 的排放量均可满足日趋严格的排放法规要求。相反,柴油机却面临日趋严格的排放法规对 NO_x 和颗粒排放量限制的挑战。这因为,在未作净化处理的条件下,由于过量空气系数较大,柴油机的燃烧通常较汽油机充

分,CO 和 HC 的排放量远较汽油机少,NO_x 排放量约为汽油机的一半,但颗粒(包括碳烟)排放量则是汽油机的 30~60 倍。由于广泛采用电控技术和三元催化反应器等各种净化措施,在发达国家中,现代轿车和轻型车汽油机到 20 世纪末已具有了实现上述三种有害气体接近零排放的可能。而柴油机由于是富氧燃烧,不能使用三元催化器。为减少 NO_x 的排放量,较有效的方法是采用废气再循环(EGR)技术,但会使经济性受到影响。而颗粒被证明是对人类健康极有害的一种排放物,其中可溶性高分子有机物中 90%以上是致癌物质,而 90%以上颗粒的直径小于 1 μ m,可长期悬浮于大气中,不仅可被直接吸入人体,而且可通过食用受颗粒侵害的动植物食品后进入人体。因此,降低颗粒排放成为轿车和轻型车柴油机面临的重大课题。然而,为降低颗粒排放而采取的机内措施往往和降低 NO_x 的排放有矛盾。解决柴油机 NO_x 和颗粒排放问题以满足如图 1-4 所示的日趋严格的排放法规所具有的难度,在很大程度上影响了柴油机在轿车和轻型车上的应用。加上汽油价格的明显回落,用柴油机作为轿车和轻型车动力均前途又面对新的考验。例如在德国,80 年代中期柴油轿车的保有量曾经占轿车总保有量的 25%左右,而到了 80 年代末,却下降到了 10%以下。

但是,近 20 年来全世界气温上升,气候变异,而积累在大气层中的 CO₂ 的量日益增多是造成地球“温室效应”的重要原因。从对南极冰层中的气泡的分析结果所得到的如图 1-5 所示的过去两百多年中大气中 CO₂ 浓度的变化情况显示,近四十年来大气中 CO₂ 的浓度迅速增加。研究表明,当大气中 CO₂ 的浓度从 300ppm(1ppm = 10⁻⁶)增加到 600ppm 时,地球表面平均气温将会升高 2.4℃。如果 CO₂ 的浓度按现在的每年 0.7ppm 的速率增加,到 21 世纪中叶,地球上的冰层将会融化掉一半,后果不堪设想。石油是当前世界上应用最多的能源,作为石油制品的燃油完全燃烧后的产物主要就是 CO₂ 和水蒸气,1kg 燃油完全燃烧后会产生大约 3kg 的 CO₂,每年因此而排入大气的 CO₂ 已超过 50×10⁸t。汽车是使用燃

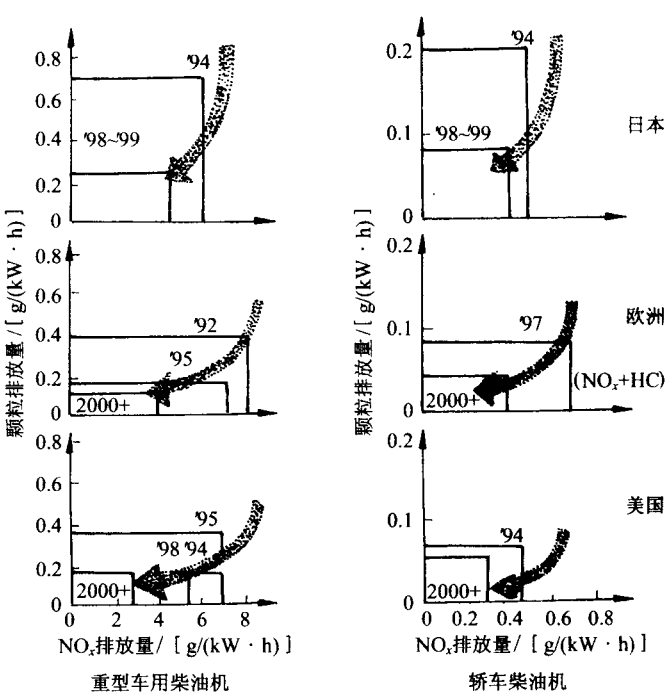


图 1-4 车用柴油机排放法规日益严格的趋势

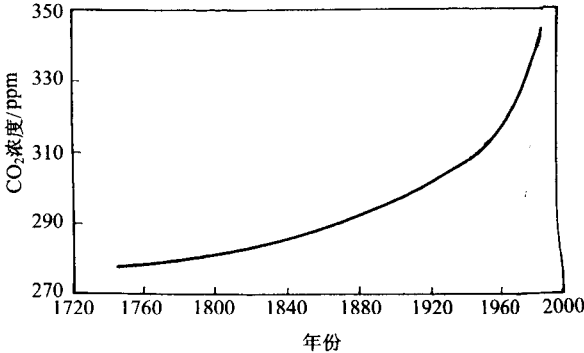


图 1-5 过去两百多年来大气中 CO₂ 浓度的变化

油的大户,而轿车和轻型车在汽车中所占的比例又最大,所以,减少轿车和轻型车燃油的使用量就是减少 CO_2 的排放量。为此,制定法规来限制汽车 CO_2 的排放量已刻不容缓。1997 年 12 月,130 多个国家和地区的代表在日本京都“联合国京都会议”上通过的“京都议定书”规定,欧洲各国必须在 2010 年前将 CO_2 和其他五种会引起“温室效应”的气体的排放量在 1990 年的基础上减少 8%。1998 年 10 月初,欧盟 15 国环境部长讨论和通过了一项由欧洲各国汽车生产厂家提交的环保计划。根据这一计划,在今后十年内,欧洲生产的汽车的 CO_2 排放量将比 1990 年减少 15%。即到 2008 年将所生产的汽车的平均耗油量限制在每百公里 5.8 升以内。每辆新车每公里所排放的 CO_2 从目前的 186g 减少到 140g,也就是要将汽车耗油量降低 25% 左右。任务是相当艰巨的。如前所述,柴油机由于其热效率高,其燃油耗率通常要比汽油机低 20% 左右,由此而带来的低的 CO_2 排放量的优点就被凸显出来了。图 1-6 所示为在 FTP-75 实验循环中轿车发动机 CO_2 排放情况。

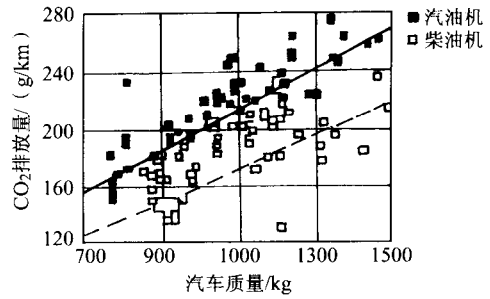


图 1-6 在 FTP-75 实验循环中轿车发动机 CO_2 排放情况

然而,柴油机在与汽油机的竞争中,除了必须继续保持在燃油经济性方面的优势外,还必须在提高升功率、降低比质量,特别是在降低 NO_x 和颗粒排放,以及降低噪声等方面有较大的突破。

十多年来,由于燃烧过程的优化,材料的改进,特别是增压技术的成熟,使汽车柴油机的升功率有了明显的提高(参见图 1-1),增压和增压加中冷柴油机的升功率已达到或超过自然吸气汽油机,个别采用四气门的直喷式增压中冷柴油机的升功率已接近增压汽油机的水平(由于汽油机增压后升功率的提高最终要受到爆燃的限制,因而通过提高增压度来提高升功率对柴油机更为有利)。图 1-7 所示为 60 年来轿车柴油机升功率的提高过程。升功率的提高,轻质量设计技术的应用,材料和制造水平的提高,使比质量也有所下降,由汽油机派生的柴油(相同缸心距)其总质量约为汽油机的 110%。

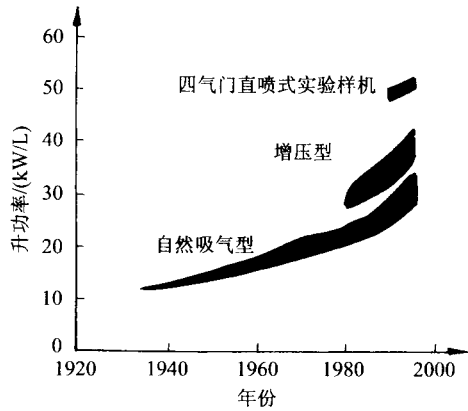


图 1-7 60 年来轿车柴油机升功率提高的过程

如上所述,现代汽车柴油机是以降低 NO_x 和颗粒排放、降低噪声和降低油耗为主攻目标的。然而影响和制约它们的因素太多,而且相互关系复杂,往往互相矛盾。而这些问题的处理通常归结为在一定约束条件下,使影响目标函数中各变量的参数最优化。例如,当目标函数为燃油耗率时,就需对各种工况下的循环喷油量、喷油正时、喷油速率、喷油压力、进气涡流、配气正时及涡轮喷嘴截面积等参数进行调节。而当柴油机工况改变或干扰进入时,就成为一个更复杂的动态最优化控制问题。

以喷油正时为例,由于它决定了上止点前喷入气缸的燃油量,影响了缸内最高燃烧压力和温度。通常提高燃烧压力和温度可改善柴油机的经济性,但会导致 NO_x 排放的增加。而独立

于转速与负荷之外的对喷油正时的精确控制,不仅可有效降低 HC、CO、NO_x 和颗粒的排放,改善噪声,还可抑制油耗的上升,是在改善燃油经济性、降低排放和降低噪声之间取得优化的关键。

再如,为适应日益严格的排放法规,必须在抑制 NO_x 排放的同时降低颗粒排放。由图 1-8 可以看出,从燃烧放热率的角度出发,为减少 NO_x 的排放量,必须抑制预混合燃烧;而为了降低颗粒排放量,则必须促进扩散燃烧。为达到图 1-8 所示的由虚线所描述的放热率的变化规律,抑制预混合燃烧和促进扩散燃烧,所能采取的措施如图 1-9 所示。喷油速率和与之相关的喷油规律得到合理控制后,更可以同时改善噪声、排放和燃油耗率。例如采用预喷射后,不仅可在不增加 NO_x 排放的情况下降低颗粒排放,而且还可改善低速扭矩和降低噪声。但预喷射量、预喷射与主喷射之间的时间间隔在不同工况下的要求是不一样的,这就要求有可变的预喷射控制能力。

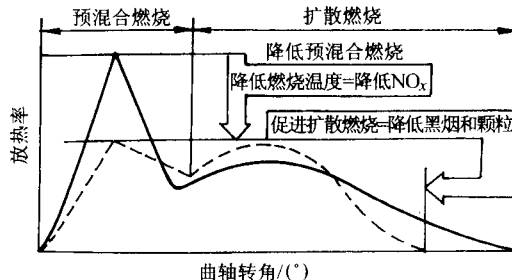


图 1-8 为抑制 NO_x 排放和降低颗粒排放所希望的燃烧放热率

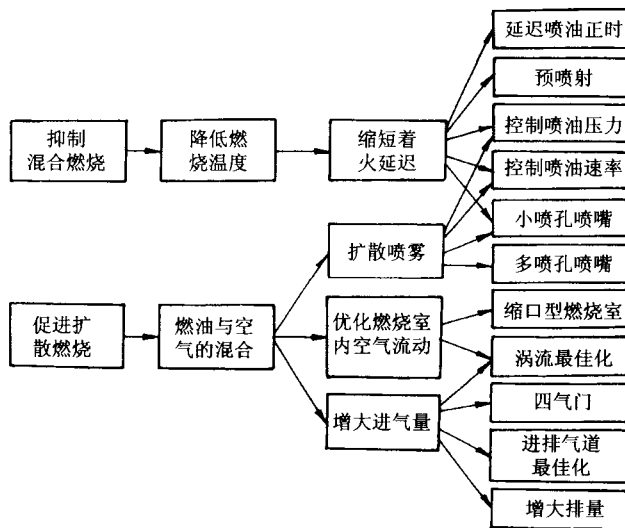


图 1-9 为抑制预混合燃烧和促进扩散燃烧所能采取的措施

提高喷油压力能使燃油流出的初速度加大,提高雾化质量,明显改善燃油和空气的混合,加快燃烧速度,不仅有利于提高发动机低转速时的扭矩,而且可使 HC、CO 和颗粒排放降低。同时,喷油压力提高后可以缩短燃烧延迟期,如采用减少先期着火时的喷油量,再结合喷油正时的推迟,就可显著降低 NO_x 的排放。从图 1-10 可以看出,为满足日益严格的排放法规(从满足 EURO1、EURO2 直到 EURO3)要求,喷油压力从 100MPa 升高到 120MPa,再升高到 180MPa。而为了满足 EURO4 甚至 EURO5 预计喷油压力达到或超过 200MPa 也已为期不远。因此,独立于转速与负荷之外的对喷油压力的精确控制是十分重要的。

此外,外界操作条件的变化或零部件的磨损等,都会引起对象特性的变化。因此要

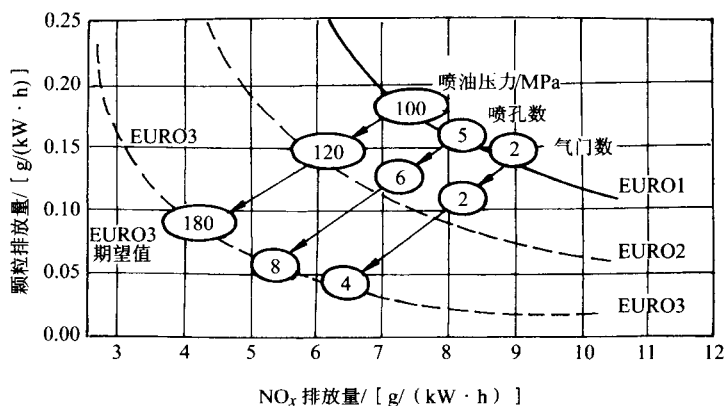


图 1-10 柴油机燃油系统改进对 NO_x 和颗粒排放的影响

机的控制系统能自动获取有关信息,并按预定的“希望性能”,对循环喷油量、喷油正时、喷油速率、喷油压力、进气涡流、配气正时等进行全面的柔性控制,保证系统在对象结构参数、初始条件变化或目标函数极值点漂移时,自动维持在最优运行状态。这样,单就对现代汽车柴油机燃油喷射系统的要求而言就是:在实现喷油量的精确控制的前提下,实现可独立于喷油量和发动机转速而加以选择的高压喷射,同时实现对喷油正时的柔性控制和对喷油速率的优化控制。

传统的机械式的控制方法显然是无法实现上述所要求的各种控制的,必须要有一个能实现复杂的、多参量的、高精度的而且能进行实时控制的柔性控制系统。

现代汽车汽油机电控技术的发展所提供的经验证明,只有在柴油机上应用以微机为电控单元的电控技术和其他相关技术,从系统工程的观点出发,对发动机的各种信息重新进行有机的组织和整合,实现在不同工况和各种环境下的最佳组合,达到整体最优化,才能满足汽车柴油机在提高动力性、降低燃油耗率、降低排放、降低噪声等各个方面越来越严格的要求。图 1-11 所示为在一台非直喷式汽车柴油机上,仅仅喷油正时采用以微机为电控单元的电控技术与采用传统机械式调节,在排放和燃油耗率等方面的比较。

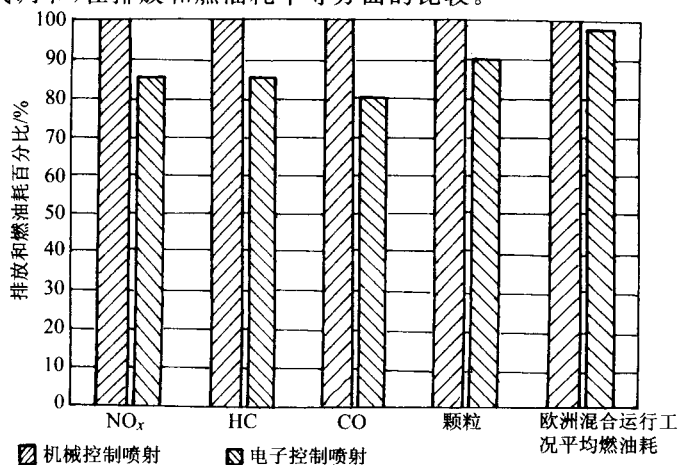


图 1-11 采用电控喷油正时后在排放和燃油耗率方面取得的好处

上面所说的“希望性能”(即所希望达到的控制目标)只能在采用按各种现代控制理论和策略建立的数学模型,采用程序控制法(也称计算法)或由试验得到并由计算机“仿真”产生的脉谱图法(也称参考模型法)的基础上,由电控单元根据所获得的各种信息,进行处理,作出决策,向有关执行器发出各种指令,实现包括闭环控制、自学习控制或其他控制后(参阅本书附录1),才能实现。以汽车柴油机的循环供(喷)油量的控制为例,在采用程序控制法时,电控单元根据柴油机的转速和负荷信息,由主程序算出基本循环供(喷)油量,再根据各相关的传感器(如进气压力、进气温度等)信号,或计算或查取以表格形式存储在 ROM 中的相关参数的检索表和修正曲线,求得修正用的辅助循环供(喷)油量。总的循环供(喷)油量为基本循环供(喷)油量与辅助循环供(喷)油量之和。而所谓脉谱图法,就是用经过大量的柴油机台架试验测取的各种工况下(即各种转速和负荷下)的最佳循环供(喷)油量,绘制成三维图(也称三维脉谱图),以表格形式存储在 ROM 中。柴油机实际运行时,电控单元根据柴油机的转速和负荷信息,从脉谱图中查出该工况下的最佳循环供(喷)油量,再根据各相关的传感器(如进气压力、进气温度等)信号,查取同样以表格形式存储在 ROM 中的相关参数的检索表和修正曲线,求得修正用的辅助循环供(喷)油量,然后加上基本循环供(喷)油量,就得到了总的循环供(喷)油量。

20 世纪 90 年代以来,正是因为电控技术在柴油机上应用的日益增多,控制精度不断提高,控制自由度不断增多,控制功能不断扩大,加上增压技术和直喷式燃烧过程在小缸径柴油机上应用的逐渐成熟,以及多气门结构和高压喷射技术的实用化,才大大提高了轿车和轻型车柴油机的竞争力。电控技术在柴油机喷油系统中的应用经过了“位置控制”、“时间控制”等几个阶段的发展,特别是对循环喷油量、喷油正时、喷油压力和喷油速率均可控制的电控共轨式喷油系统的应用,使工作过程参数能在整个运行范围内得到优化。再加上 EGR 技术的不断完善,使 NO_x 和颗粒排放物的机内净化取得了明显的综合优化效果。此外,以 NO 催化热裂变为 N_2 和 O_2 的 Denox 催化技术的应用,具有再生能力的颗粒过滤器的应用,提高了 NO_x 和颗粒排放物的机外净化效果。上述措施使 NO_x 和颗粒排放问题已不再成为轿车和轻型车柴

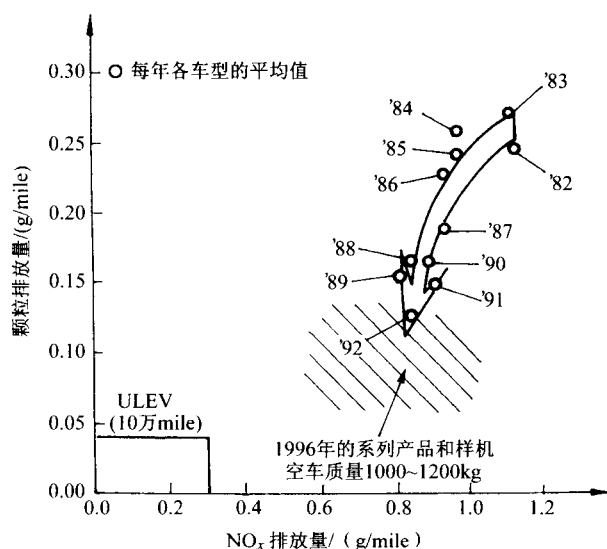


图 1-12 轿车柴油机 NO_x 和颗粒排放值降低的历程
(1mile=1.609km)

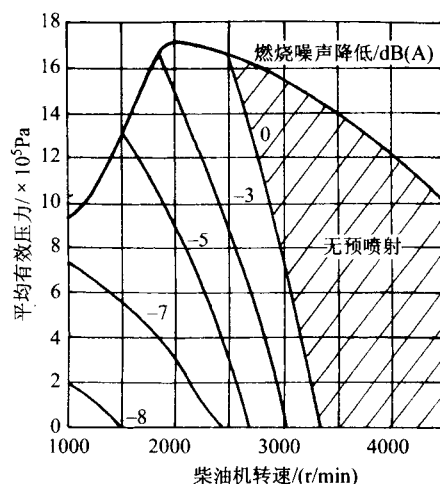


图 1-13 预喷射对燃烧噪声的影响

油机发展的拦路虎了。图 1-12 清楚地显示出,经过多年的努力,轿车柴油机 NO_x 和颗粒排放指标下降的趋势。有控制的、精确的预喷射和分段喷射的应用,不仅可降低 NO_x 排放和颗粒排放,而且如图 1-13 和图 1-14 所示,可减低噪声,改善低温起动性能,此外,还可改善低速扭矩特性。电控技术的应用使工作过程得到不断优化的另一直接结果是,燃油耗率的继续下降。一些先进的汽车柴油机的燃油耗率甚至已降至 $195\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 左右。图 1-15 显示了汽车柴油机在采用增压、增压中冷和电控喷油等各种技术后在 NO_x 排放下降的同时,燃油耗率逐渐下降的情况。从中可以看出采用电控喷油技术后的明显效果。目前,先进的柴油轿车的百公里油耗已降低至 3 升。1998 年德国大众汽车公司推出的以三缸 TDI 型柴油机为动力的、百公里耗油量为 3 升的“3 升微型车”受到了世人的瞩目,被业内人士预测为今后家用轿车发展的主流。同时,电控技术的应用还有效地改善了怠速性能和低速性能,改善了柴油轿车乘坐的舒适性。在此基础上,柴油轿车和轻型车正在逐年增加。2000 年欧洲轿车柴油化率达到了 27% (在欧盟市场份额中早在 1996 年就已从 1990 年的 14% 增加到 27% 了),预计到 2005 年将达到 30%。到 2003 年,西欧柴油轿车的年产量将接近 400 万辆,比 1989 年增长 82%。一向对发展柴油轿车保持低姿态的美国,到 2000 年也有 10% 的轿车动力采用柴油机。

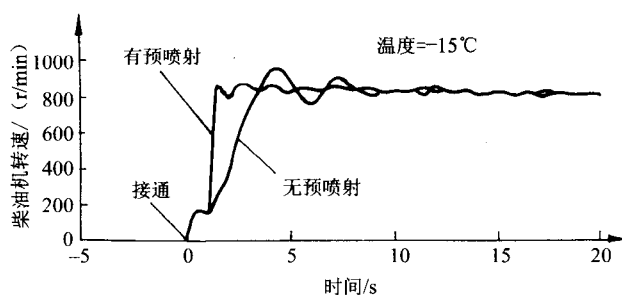


图 1-14 预喷射对冷起动性能的影响

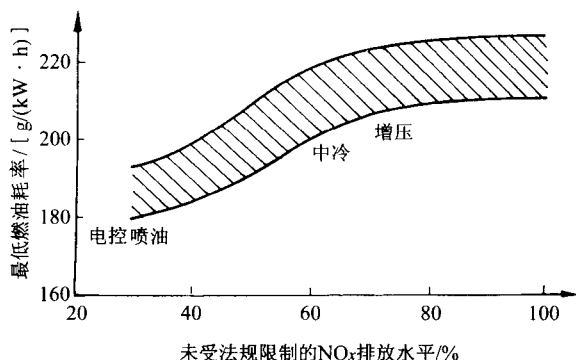


图 1-15 采用各种技术后在降低排放 NO_x 的同时降低燃油耗率