



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等教育机电类规划教材

车用发动机 电子控制技术

□ 林学东 王霆 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



上海汽车工业教育基金会资助

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材

车用发动机电子控制技术

林学东 王 霆 编著
钱耀义 于秀敏 审



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书主要以汽油机电控技术和柴油机电控技术为主,讲述车用发动机电控系统的结构原理及控制方法。全书内容包括内燃机的发展简史,车用发动机电控技术的发展背景,发动机的控制计算模型,电控汽油喷射系统的结构及工作原理,传感器及其测量原理和信号处理方法,不同电控汽油喷射系统喷油量的控制方法及特点,点火时期以及 EGR、怠速、可变进气系统等辅助控制系统的控制原理,汽油机组织稀薄燃烧的基本原理,车用柴油机电控技术的特点、喷油量的控制原理及标定方法、高压共轨时间控制式电控喷射系统燃料喷射量的控制策略、泵喷嘴喷射系统及单体泵喷射系统的结构特点及控制原理,电动汽车的结构特点和控制原理以及混合动力汽车的控制策略等。

本书为动力机械工程、车辆工程及汽车类专业本科生或研究生教材,也可供从事汽车发动机控制方面研究开发的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

车用发动机电子控制技术/林学东,王霆编著. —北京:机械工业出版社,2008.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 普通高等教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-23633-7

I. 车… II. ①林…②王… III. 汽车-发动机-电子系统:控制系统-高等学校-教材 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 029940 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:赵爱宁 冯 铨 责任校对:张晓蓉

封面设计:王伟光

责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 432 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23633-7

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379712

封面无防伪标均为盗版

前 言

内燃机于 19 世纪 80 年代问世,为汽车文化的发展作出了巨大贡献,有力地推动了人类社会文明的发展。但是,随着世界汽车工业的迅猛发展,巨大的石油能源消耗以及汽车尾气排放对大气造成的污染日趋严重,已成为 21 世纪地球资源和环境保护刻不容缓的两大问题。伴随着节能与排放控制而发展起来的汽车发动机电子控制技术,由于成为解决这两大问题的核心技术而得到广泛应用,电子控制系统已成为车用发动机不可缺少的重要部分。

近年来,国内有关汽车电子技术、电控技术方面的书籍较多,为相关研究提供了不少参考资料,但作为专业教材的书籍尚不多。

编者根据多年来为本科生、研究生以及为企业多次讲授有关发动机电控技术课程及专题讲座的经验和体会,撰写了本书,期望为动力机械工程、车辆工程及汽车类专业的本科生、研究生提供一本理论体系比较完整的汽车发动机电控技术的教材。本书有幸被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书共 8 章,介绍发动机及其电控技术的发展史,发动机的控制计算模型,电控汽油喷射系统的结构及工作原理,传感器及其测量原理和信号处理方法,不同电控汽油喷射系统喷油量的控制方法及特点,点火时期以及 EGR、怠速、可变进气系统等辅助控制系统的控制原理,汽油机组织稀薄燃烧的基本原理,车用柴油机电控技术的特点、喷油量的控制原理及标定方法、电动汽车的结构、特点和控制原理以及混合动力汽车的控制策略等。

本书由吉林大学林学东教授编写第 1、2、3、5、6、7 章和第 8 章部分内容,长春工业大学王霆副教授编写第 4 章和第 8 章的部分内容;由吉林大学汽车工程学院钱耀义教授和于秀敏教授进行了详细审阅,并提出了许多宝贵意见,编者在此深表谢意。

在编写过程中,我们也参考了大量国内外的文献资料,在此,编者向所参考文献的作者致以诚挚的谢意。

本书为动力机械工程、车辆工程及汽车类专业本科生和研究生教材,也可供从事汽车发动机控制方面研究开发的工程技术人员参考。

由于本书涉及面广、内容新颖,加之作者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论 1

- 第一节 车用发动机的发展历史 1
- 第二节 汽车电子技术的发展史 7
- 第三节 汽车电子控制技术概况 9

第二章 发动机的控制计算模型 16

- 第一节 发动机转矩的计算模型 16
- 第二节 进气压力的计算模型 18
- 第三节 燃料喷射量的数学模型 20
- 第四节 发动机角速度的计算模型 22
- 第五节 发动机的控制逻辑 23

第三章 电控汽油喷射系统 28

- 第一节 电控汽油喷射系统分类 28
- 第二节 电控汽油喷射装置的空气供给系统 30
- 第三节 燃料供给系统 36
- 第四节 控制系统 43
- 第五节 控制系统与 CAN 总线接口技术 58

第四章 传感器及信号处理 62

- 第一节 进气流量传感器 63
- 第二节 节气门位置传感器 67
- 第三节 转速-曲轴位置传感器 70
- 第四节 温度传感器 72
- 第五节 压力传感器 74
- 第六节 氧传感器 75
- 第七节 传感器输出信号的预处理 78
- 第八节 数据采集 80
- 第九节 A/D 转换后的数据处理技术 83
- 第十节 传感器的基本特性及数学模型 86
- 第十一节 传感器信号处理 90

第五章 电子控制汽油喷射系统的控制方法 93

- 第一节 集中控制及其控制内容 93
- 第二节 喷油器目标喷油量的确定 94
- 第三节 质量流量式喷射方式喷油量的控制 96
- 第四节 速度-密度(进气压力)方式 108
- 第五节 空燃比的几种控制方法 114
- 第六节 燃油泵控制 135

第六章 电控汽油喷射的辅助控制 138

- 第一节 点火时间控制 138
- 第二节 怠速转速控制 156
- 第三节 进气系统控制 165
- 第四节 EGR 的控制 175
- 第五节 稀薄燃烧系统 180

第七章 柴油机的电控技术 190

- 第一节 柴油机的排放和电控系统 190
- 第二节 电控柴油机的基本控制内容 197
- 第三节 分配泵电控喷射系统 212
- 第四节 直列式喷油泵的电控技术 218
- 第五节 共轨式电控高压喷射系统 230
- 第六节 电控泵喷嘴和单体泵 248

第八章 电动汽车技术 252

- 第一节 电动汽车发展史 252
- 第二节 电动汽车的基本结构 255
- 第三节 电动汽车输出转矩的控制 262
- 第四节 混合动力汽车的控制策略 267

参考文献 273

第一章 绪 论

发动机作为动力装置的总称，是人类在认识自然利用自然的实践活动中，经过科学家们的艰辛而无畏的探索而发明的。它的发明与发展，把人类从过去繁重的体力劳动中彻底解放出来，同时发明了汽车，由此替代“传统”的马车。交通工具的更新大大缩短了社会空间，方便了交流，促进了流通，改变了世界结构，加快了人类社会的向前发展。

可以说，20 世纪的最大发明是汽车。而汽车的概念及其文明的发展是从蒸汽机的发明与应用开始的。蒸汽革命改变了人们对自然的认识。自然界是可以被人类认知且可以利用的。正是基于这种理念，使科学家们不懈地进行探索与研究，才使科学技术得以发展，才有今天辉煌的科学成果。

回顾汽车发展史，作为汽车心脏的发动机，在如何使其小型化、轻量化、高功率化的要求下，也经历了从蒸汽机发展到电动机以及内燃机的过程。随着社会发展的不同时代，针对不同社会的要求，在进一步提高热效率改善经济性和降低有害排放物的过程中，内燃机得到了不断完善，已发展成集现代技术于一体的高科技机电一体化的现代动力机械装置。

在人类社会历史文明的发展过程中，能源利用及其动力机械的发明与发展，有力地推动了汽车事业的发展。而汽车事业的发展历史又与人类社会文明与科学技术的发展历史紧密相关。在人类历史发展过程中，科学技术的发展不仅为推动人类社会文明的发展发挥了重要的作用，而且成为把汽车融入于人类社会的重要手段。所以可以说，汽车的发展历史是和人类社会文明协调发展的历史。

第一节 车用发动机的发展历史

从 1673 年荷兰物理学家赫更斯的内燃机草图的问世开始，其中经历了 1712 年纽可门蒸汽机的发明和 1781 年瓦特发明蒸汽机而引发的蒸汽革命，以及后来蒸汽汽车的广泛应用，使人类社会从被动地受自然界束缚的生活方式中解脱出来，进入认识自然、利用自然、创造动力、改造世界的新的人类社会模式。如果人类没有能源的意识，或许就没有发动机这种动力机械装置的创造，也就没有今天的汽车文化。

汽车发动机的电控技术，正是在这样的认识能源、利用能源并不断适应越来越严格的社会环境要求的过程中，基于发动机技术、电子技术、控制技术以及传感器技术等相关技术发展的前提下得到发展的。而发动机电子控制技术的发展又进一步促进了电子技术、传感器技术和控制技术。所以，回顾发动机以及电子技术的发展历史很有必要。

一、发动机的发展史

16 世纪末和 17 世纪初进行了著名的三大实验：英国包尔塔的蒸汽压力实验，托里拆利（流体力学奠基人）和巴斯噶的大气压力实验以及那末格里凯的真空作用实验。通过这三大实验和 1673 年荷兰物理学家赫更斯在法国凡尔赛宫庭院及运河的灌溉用水过程中企图借助机械力来代替笨重体力劳动的意识中创造性地构想出来的内燃机的“草图”，为早期蒸汽动

力技术的产生奠定了牢固的实验科学基础。

从赫更斯内燃机草图的构想开始，法国著名物理学家、工程师巴本（Denis Papin 1647—1712）从欧洲当时炼铁厂广泛使用的活塞式风箱中受到启发，利用蒸汽压力、大气压力、真空的相互作用，发明了带有活塞的蒸汽泵；英国机械工程师赛维利（T. Savery 1650—1715）利用包尔塔的蒸汽压力原理，当蒸汽从锅炉经管路进入汽缸后被冷却，所形成的真空把矿井中的水经吸水管吸出来，再将蒸汽注入汽缸，由此把水从排水管中排出去，这样就由汽缸与锅炉构成了蒸汽泵；以及1712年托马斯·纽可门（Thomas Newcomen）在赛维利所设计的蒸汽泵的基础上进行改进，把冷却水通过一个细小的龙头向汽缸内进行喷溅，不让冷却水直接进入汽缸，并引入巴本的活塞装置，这样通过蒸汽压力、大气压力和真空度的相互作用推动活塞作往复式运动的蒸汽机的三次技术革新，形成了初期的蒸汽机，并向人类社会预告即将兴起的第一次工业革命的信息——蒸汽时代即将到来。纽可门蒸汽发动机的诞生，使英国的煤矿工业从地下水的困惑中解脱出来，产量迅速增加，迎来了英国的（工业）产业革命，有力地推动了英国经济的发展。

蒸汽机的问世，激发了许多科学家认识自然、战胜自然、利用自然的斗志和创造性的思维。1764年，当时负责修理格拉斯哥大学实验教学仪器的技师瓦特在修理纽可门蒸汽机过程中，通过故障分析，发现纽可门蒸汽机存在着两大缺点，即燃料消耗量大、热效率低，同时它只能作往返直线运动。而其热效率低的主要原因就是蒸汽在缸内冷凝造成的。针对这些问题，瓦特从1765年至1784年，用20年的研究时间，对纽可门蒸汽机进行改进，前后发明了冷凝器、带有齿轮和拉杆的机械联动装置、带有飞轮齿轮联动装置和双向进排气汽缸的高压蒸汽机综合装置等，并获得多项发明，由此完成了瓦特蒸汽机发明的全过程。

在前人科学研究成果的基础上，瓦特在蒸汽机上的这些重大技术改进，使得蒸汽机作为动力机械在工厂和交通运输等方面得到了广泛应用；使得动力机械的潜能逐渐发挥出来，最终迎来了蒸汽革命。

瓦特蒸汽机虽然大大提高了当时的劳动生产率，促进了手工业向大工业的迅速过渡，直接推动了18世纪伟大的工业革命。但仍然存在体积庞大、效率低等问题。要克服蒸汽机的这些致命缺点，必须解决锅炉与汽缸的分离技术。为此，许多科学家在这方面进行了不懈的探索研究。英国的W. L. 莱特（Wright）等人最早开始研究直接利用燃烧压力来获得动力的发动机。此时的发动机已与现在的内燃机结构很相近了。到1838年，英国的伟利蒺巴讷特（William Barnett）提出了在点火之前压缩混合气有利于提高热效率的观点，由此发明了压缩式发动机，同时研究了用火点燃的点火装置。1842年美国的A. 杰克（Drake）、1855年英国的A. W. 牛顿（Newton）制造出热管点火式发动机。直到此时为止，发动机仍然处于试验研究阶段。虽然研究工作获得了很大的成功，但还没有达到实用化的水平。1860年，法国的雷诺（Lenoir）首先发明了将煤气和空气吸入汽缸后进行混合，并在汽缸内燃烧的无压缩过程的实用性煤气机，并推向市场。这种煤气机有汽缸、活塞、连杆、飞轮等，是内燃机的初级产品。当时由于压缩比为零（无压缩过程），所以热效率很低，只达到4.5%。但当时在英国和法国很盛行。此时，社会上开始承认早在1838年伟利蒺巴讷特提出的观点，即如果在点火之前压缩混合气，则有利于提高热效率。1862年，法国的彼奥德罗萨斯（M. A. Beau de Rochas）立志要“站在瓦特肩膀上”，彻底改进蒸汽机的缺点。他分析认为，当时内燃机的热效率还不如蒸汽机的主要原因，在于这种无压缩内燃机在设计方案上就存在

缺少提高热效率的有效途径。彼奥德罗萨斯开始构想提高内燃机热效率的方案。经理论研究分析,他认为高效率的内燃机必须具备两个必要条件:第一,点火前要高压;第二,燃料必须迅速膨胀,达到最大膨胀比。为了满足这两个条件,彼奥德罗萨斯提出了提高内燃机热效率的具体设想,即把活塞运动分成4个行程:活塞下移,进燃气;活塞上移,压缩燃气;点火,气体迅速燃烧膨胀,活塞下移做功;活塞上移,排出废气。这一理论成为现在四冲程发动机最基本的理论。但是,彼奥德罗萨斯只是一个理论家,缺少动手制作的能力,最终未能迈出关键的一步。

当时作为商人的德国人奥托,从蒸汽机的广泛应用中看到内燃机的发展前途,因而一直关注着内燃机的研制情况。他利用透明的气缸和手动活塞以及侧式进排气管制作试验模型,并把香烟的烟气放入进气阀,反复观察,终于研究出空气与煤气的添加方法。奥托受到雷诺煤气机的启发,认为如果用液体燃料,其用途将大大地增加,为此设计了化油器。1862年2月,奥托制造出一台四冲程样机。但在实用化过程中遇到了点火装置方面的困难,便把它搁置一旁,去研究发明“常压引擎”,一种新的二冲程煤气发动机,并于1863年获得专利权,在1867年的巴黎世界博览会上获得金奖。后来在报纸上看到彼奥德罗萨斯设计的内燃机的报道后,奥托看到了内燃机的希望。于是,他反复研读了彼奥德罗萨斯设计方案,深刻领会其设计思想,全身心地投入四冲程内燃机的研制工作。1872年,他们聘请了才华非凡、管理经验丰富的工程师戈特利叶博·戴姆勒协助研发发动机;1876年,根据彼奥德罗萨斯提出的四冲程理论创立了由4个行程构成一个工作循环的奥托循环,首次实现了四冲程发动机,并成立了德国气体发动机制造公司。最初发动机的压缩比只有2.5左右,热效率仅为10%~12%。同年,奥托又设计出一个点火系统的改进方案,研制出第一台四冲程内燃机,翌年获得专利权。这种煤气内燃机基本上克服了蒸汽机的缺点,终于跨出了彼奥德罗萨斯无法跨出的最后一步。此后,英国科学家对奥托的四冲程内燃机进行了改进,在一台内燃机上增加一个气缸而变成多缸机,从而使发动机输出的转矩更均匀。

二、内燃汽车的问世

虽然奥托发明了奥托循环,在内燃机上实现了四行程理论,为内燃机汽车的发展奠定了坚实的基础。但作为商人的他在成功之后却很保守,未能把成果进一步推向汽车领域,以取得更辉煌的成就。

曾在德国气体发动机制造公司担任技术工作,为奥托内燃机研制作出重要贡献的德国人戴姆勒(G. Daimler)认为,奥托内燃机虽然体积大而重、转速低,但只要稍加改进就可以安装在汽车上。然而奥托却目光短浅,不同意改进,只热衷于蒸汽机的生产。为此,戴姆勒与奥托之间出现了严重的意见分歧,于是在1881年,戴姆勒与同公司就职的梅巴赫一起辞掉公司的一切职务,办起了当时第一家汽车工厂,专门研究一种轻便又快速的内燃机。当时要解决的最关键的问题就是如何在气缸内形成可燃混合气并使之燃烧,以实现热功转换。为此,他们在继承和总结雷诺等人研究成果的基础上,根据当时已使用的雾化器原理,于1883年发明了化油器,并研制出世界上第一台轻便又快速的内燃机——汽油机。该发动机采用了热管式点火方法,并于1885年将其安装在二轮车上,同年试制了三轮车。在此之前,发动机最高转速只有200r/min,而戴姆勒制造的发动机一下子把转速提高到1000r/min。

1886年，戴姆勒将 1.1hp^{\ominus} 的发动机安装在四轮车上（图1-1a）。到1887年，汽油机已作为车用和船用发动机而开始使用。

与此同时，另一位德国人卡尔·奔驰（K. Benz），也热衷于制造一种无轨道、不需马拉的车。几经多次失败的艰难研究工作，终于于1879年试验成功一台二冲程发动机。1885年利用电池和线圈发明电点火方法，并将此方法应用于二冲程汽油机上，制造出具有实用性的现代意义的三轮汽车（图1-1b），并成立第一家奔驰汽车公司开始生产汽车。到1900年为止，奔驰汽车制造公司已成为世界上最大的汽车制造厂。

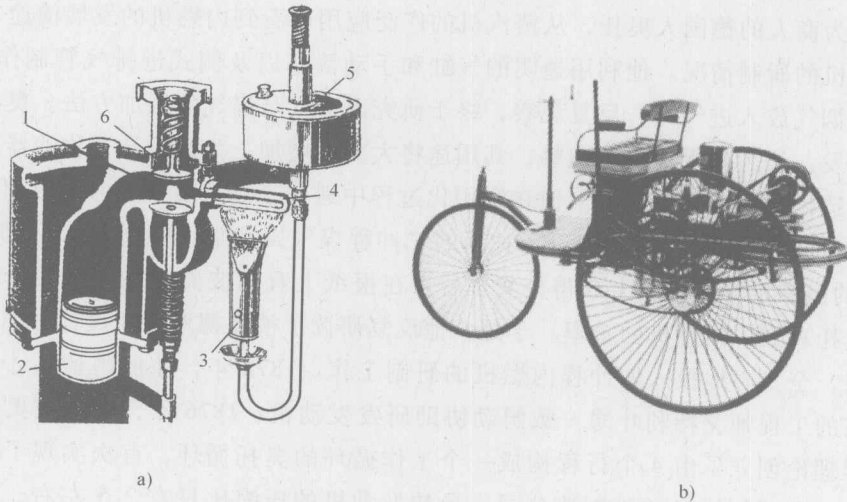


图1-1 戴姆勒及奔驰发明的内燃机及三轮车

a) 戴姆勒汽油机 b) 奔驰三轮车

1—燃烧室 2—活塞 3—喷灯 4—热管 5—油箱 6—进气阀

第一次世界大战德国战败后，给其经济带来了沉重的打击。戴姆勒汽车公司也陷入了经营上的困境。于是，于1926年与奔驰汽车公司合并，成为现在的戴姆勒-奔驰汽车公司。

作为内燃机另一个典型代表的柴油机是由德国工程师鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel）发明的。他针对当时发动机热效率低、着火困难等问题，从热力学角度进行全面分析，企图从根本上提高循环热效率，以实现卡诺循环。早在1878年，狄塞尔在慕尼黑工业学校念书时，其恩师林德教授在一次热力学课程中解说卡诺循环时讲到，蒸汽机仅仅是将从燃料中获得的热量的 $6\% \sim 10\%$ 转化为有效的机械功，如果气体燃料能实现等温燃烧过程，则有可能将所供给的全部热能转变为机械功。这句话给狄塞尔留下了很深刻的印象，他在课堂笔记上写道：“去研究从实用角度能否具体实现等温过程”。从此他将具体实现卡诺循环的志向作为人生的追求。当时改善蒸汽机热效率的主要途径就是通以过热蒸汽。大学毕业后作为冷冻机技术员的狄塞尔对氨蒸气比较熟悉。所以，他着眼于利用正常运转条件下凝点远比水蒸气高而且对气缸冷却作用不敏感的过热氨蒸气替代水蒸气，并在巴黎的林德制冰会社建立实验室，专门进行有关氨过热蒸气和氨溶液的基础研究，以及配备进排气装置的小型氨气发动机的设计制造。通过研究确认，为了合理利用过热蒸气所具有的热量必须具备高压，而在高压下

$\ominus 1\text{hp} = 745.700\text{W}$ 。

过热蒸气几乎成为气态。在这种研究过程中逐渐产生一种新的思想，即将氨气替换成高压高温的空气，在其中逐渐导入已微粒化了的燃料，使之燃烧加热空气，并使之尽可能膨胀而对外输出功。为实现这一想法进行了无数次的试验研究。从蒸汽机的过热蒸汽状态到独特的燃烧过程，狄塞尔从热力学角度细致全面地进行理论分析和验证，并把研究结果写成《合理的热力发动机理论和构造》一书公开出版，于1893年获得关于内燃机工作方式及其实施形态的第1个专利。

这里值得提出的是，从理论到实际发动机的开发研究过程中，狄塞尔通过实际发动机中存在的机械损失，认识到卡诺循环的热效率仅仅是理论上的，它只取决于温度。而对实际发动机而言，并非最高温度而是最高压力起决定性作用。因此，在实践中为了获取更高的升功率和机械效率，他勇于放弃自己在理论研究过程中所提出的等温过程，同时于1895年获得了关于“具有在压力变化过程中可变燃料导入时期的内燃机”的第二个有关柴油机发明的专利。其基本思想是：

- 1) 通过发动机气缸内活塞的机械压缩将纯空气压缩并加热至远超过燃料的自燃点。
- 2) 将微粒化的燃料导入缸内高温高压的空气中燃烧，由此推动活塞做功。

3) 对非安全气体燃料，在气缸内从压缩空气向燃料提供汽化潜热开始，随活塞的位移需要逐渐汽化。

狄塞尔由此创造性地创立了压缩自燃发动机的工作模式，其特点是燃料的自行着火。而高压压缩比提高压缩压力的目的，就是使上止点附近喷射的燃料能可靠地自行燃烧。因此，在这种燃烧方式中，压缩程度成为自行着火的必要条件。

从1893年到1897年通过多次样机的试制、失败、改进，并通过试验验证的过程，狄塞尔终于在1897年研制成功具有实用价值的柴油机，当时指示热效率就达到38.6%。

柴油机以使用廉价的低级燃料获得高热效率的特点，而广泛应用于四冲程和二冲程发动机上。后经改进其热效率高达46%，成为热效率最高的热力发动机。但是柴油机真正用于汽车上，是从其发明起近40年后的1936年，由戴姆勒-奔驰汽车公司首先认可，并安装在梅赛德斯-奔驰牌260D型轿车上，成为第一台柴油轿车。

汽油机和柴油机的发明，以其体积小、质量轻、效率高以及续驶里程长的特点，确定了其作为车用发动机的牢固地位，同时有力地推动了汽车事业的迅速发展。1908年，美国的福特（Henry Ford）推出了世界著名的T型福特汽车（图1-2），揭开了汽车批量生产的序幕，使汽车走向大众化的道路。

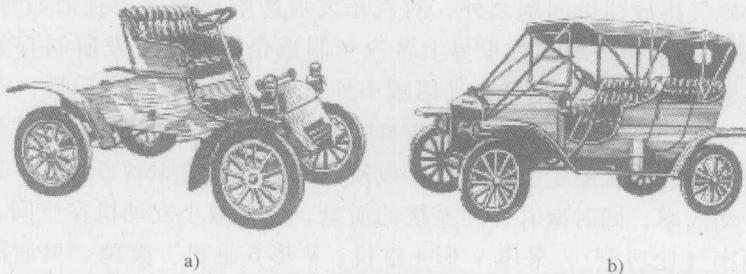


图 1-2 福特汽车公司的早期车型

a) A 型车 (1903 年) b) T 型车 (1910 年)

三、内燃汽车发展的几个阶段

20 世纪初期, 汽车结构已基本完成, 社会上普遍形成了汽车概念。特别是从第二次世界大战之后汽车工业的复兴至今, 汽车的发展过程经历了提高性能、主动安全、被动安全、环境保护、节能等几个阶段。

二战后人们对汽车的要求越来越高。对汽车性能方面的要求主要体现在车速更快、操作方便、价格便宜。高速化的要求主要是针对当时盛行的赛车, 而驾驶性和价格的要求是针对大众化的汽车。但是汽车的大众化发展, 给社会带来了新的问题, 即造成交通拥堵、交通事故、环境污染以及石油能源紧张等。

随着社会经济的高度发展, 汽车工业也得到了迅速发展。伴随汽车保有量的急剧增加, 交通事故也大幅度增加, 已成为社会问题, 甚至当时在国外一些国家称汽车为“行驶的凶器”。为汽车洗去这一绰号的惟一手段就是安全措施。伴随汽车大众化的发展, 各汽车公司开始纷纷开发汽车的安全技术。汽车安全技术包括主动安全技术和被动安全技术。所谓主动安全技术, 就是为了预防事故发生而采取的一系列措施, 如制动系统的开发与完善, 判断行驶路面状态和驾驶员状态的感知、判断支援系统, 减轻操作力和疲劳强度, 帮助驾驶员控制操作运行的辅助行驶支援系统, 考虑人的反应时间等人和汽车的协调技术; 而被动安全技术则是指当发生事故时, 用来保护乘客和驾驶员的技术措施和安全装置, 包括以缓和车辆冲撞而吸收能量为目的的车辆结构上的技术措施, 保险杠、安全带、安全气囊等安全装置。直到如今, 安全技术措施在主动、被动两方面仍在继续深入研究, 且通过采用电子控制技术和自动控制技术使之更加完善。

从国家法律形式控制汽车排放是从 1943 年 9 月在美国洛杉矶发生的光化学烟雾事件开始的。当时, 整个洛杉矶市被一层烟雾遮住, 给市民带来催泪、呼吸系统疾病等灾难。美国联邦政府和加利福尼亚州政府对该烟雾事件进行调查的结果表明, 造成这种烟雾事件的主要元凶就是汽车尾气排放物中的 HC 和 NO_x 。于是, 美国于 1960 年首次制定了防止汽车尾气污染物的法案, 并从 1965 年开始实施。所以从 20 世纪 60 年代后半期开始到 70 年代的十几年间, 汽车排气净化的新技术得到迅速发展。其中典型的技术就是转子发动机和稀薄燃烧技术。转子发动机是于 1967 年实现批量生产的, 其特点是燃烧温度低, 所以 NO_x 排放量少; 而稀薄燃烧技术是于 1972 年由日本本田技研工业首先发明的。在稀薄混合气下燃烧时, CO 和 HC 生成量少, 又由于空气相对比较多, 所以在排气管内也继续氧化。而且由于空气的冷却作用燃烧温度也低, 故 NO_x 的排放量也低。之后出现了废气再循环 (EGR) 技术、电控汽油喷射技术、三效催化转换装置等。

除了安全和尾气排放污染问题之外, 对汽车发展影响比较大的还有石油危机。1945 年和 1972 年度的两次石油危机, 促使世界上各汽车制造企业大力开发研制有关节能技术。在整车上, 如美国通用 (GM) 汽车公司采用减小外形尺寸来减轻整车质量; 而福特汽车公司则通过提高铝等轻合金以及塑料等氧化树脂材料的使用率, 达到减轻整车质量的目的。在整车布置上, 采用发动机前置前轮驱动方式, 或发动机后置后轮驱动方式等, 通过直接传动驱动轴, 以提高传动效率, 同时减轻传动系统的质量; 为了减小发动机室空间, 提高发动机单位质量输出的功率 (比功率), 采用 V 形 4 缸机、V 形 6 缸机。奔驰、奥迪汽车公司开发的直列式 5 缸机, 日本大发汽车公司开发的直列 3 缸机等, 都是针对节能问题而开发的产品。由此降低发动机的比质量 (单位输出功率的整车质量), 有效地改善了燃油消耗率。同时在

改善发动机燃烧过程、应用电控技术、改善汽车空气阻力特性等方面，也进行了深入的研究。这里，在节能和排放控制，以及安全等整车性能控制方面，电子技术、控制技术以及汽车发动机的电控技术及其发展起着决定性的作用，电控技术已作为汽车必备的部分在现代汽车领域占据了不可或缺的重要位置。

随着节能要求的不断提高，柴油机以其独有的热效率高、油耗低以及耐久性好的特点，不仅广泛应用于货车上，而且在轿车上也得到应用。柴油机工作粗暴、振动噪声大、起动性差等缺点，通过柴油机电控技术及其燃烧系统的改进，已得到大幅度的改善。在欧洲，柴油机在轿车上的应用已比较普及。但目前柴油机的微粒排放和 NO_x 排放仍然是尚未很好解决的问题。为此，正广泛深入研究和应用电控高压喷射、EGR 中冷、增压中冷、后处理技术以及 HCCI 燃烧方式等新技术。

四、汽车动力三足鼎立时期

自蒸汽机发明直到 1887 年，人们已经充分认识到人类社会活动中汽车的重要性。从 19 世纪后期到 20 世纪初，作为车用动力源有蒸汽发动机、汽油机及电动机三种类型，而三种动力汽车当时的竞争非常激烈。其中，蒸汽机首先应用到汽车上。1895 年 6 月在法国举行的巴黎—波尔多—巴黎的第二次汽车拉力赛，不仅使人们认识到机动车在生活中的重要性，同时通过参赛的各种车型如蒸汽汽车、汽油车、电动车及马车的比较，也开始认识到车身质量越轻、优势越大的现实意义，而且充气式轮胎也得到了充分的肯定。在这次汽车拉力赛中，也发现了各种车型所存在的问题。当时，对汽车所关心的主要问题并不是能源与排放，而是燃料的能源密度和一定量燃料所能达到的续驶里程。当时对三种机动车和马车的行驶特性进行了对比分析，蒸汽汽车每行驶 10mile[⊙]需加一次水，电动车每行驶 30mile[⊙]充一次电，汽油车每行驶 150mile[⊙]加一次油，马车既无车速也无续驶里程概念。对于任何一种马车，一般每天至多只能行走 15~20mile[⊙]，所以机动车取代马车已成为必然趋势。而当时内燃机驱动的车辆，尽管在热效率、起动性、排气噪声以及车速等方面与蒸汽汽车相比并不占优势，但是在续驶里程方面汽油车具有其他车种无法相比的绝对优势。后来由马克西姆发明了消声器，1899 年克莱德·科尔曼 (Clyde Coleman) 设计出电动起动机，继而查尔斯·富兰克林·卡特林于 1912 年使之进一步完善，使得汽油机的优势逐渐明朗化。进入 20 世纪以后，石油被世界公认为机动车的主要燃料，由此确立了汽油车的主导地位。

第二节 汽车电子技术的发展史

电子技术、控制技术，包括现在汽车的电子控制技术等的发展，都离不开电的发明。人类在社会实践逐渐发现自然界中存在着电和磁现象，并在此基础上发现电磁效应。基于这样的实践基础，电磁学逐渐发展起来，带动了相关的技术，为现代科学技术的发展及社会的发展奠定了牢固的技术基础。

作为汽车电子技术，最初于 1861 年爱蒂恩斯·雷诺 (Ettience Lenoir) 利用伦科夫 (Runm korff) 在 1851 年发明的电磁感应线圈发明了一种电子线圈点火装置，并用于煤气机上。1866 年卡尔·奔驰 (Karl Benz) 发明一种带传动的永磁发电机，1886 年又利用电池和

⊙ 1 mile = 1609.344m。

线圈点火方法，开发出汽车点火装置，并第一次用于奔驰车上。

19世纪末到20世纪初，汽车电子技术主要用来开发和完善汽油机的点火系统和发电机及蓄电池充电系统。例如，1887年博世（Bosch）发明的低电压永磁发电机应用于固定式汽油机上；1889年乔治·伯顿（Georges Bouton）发明线圈点火系统用断电器，第一次调整汽油机的点火装置；1895年埃米尔·摩尔斯（Emile Mors）利用带驱动直流发电机第一个成功地实现蓄电池的充电系统；1897年博世和西门子发明由“H”形电枢制成的用于汽车点火系上的低电压永磁发电机；1901年兰彻斯特（Lanchester）制造出第一台飞轮式永磁发电机；1902年博世制造出高电压永磁发电机；1905年汉斯·雷特（Hans Leitner）和R. H. 卢卡斯（R. H. Lucas）发明了三刷直流发电机；1908年C. A. 万德弗（C. A. Vandervell）发明了电子点火装置；1912年美国查里斯·弗朗克林·卡特灵（Charles Franklin Kertering）改进他曾在开发研制现金出纳机时开发过的小电动机，发明了起动装置，并第一次应用于由亨利·玛尔廷·理朗德设计制造的凯迪拉克汽车上；1920年美国开发研制出蓄电池-线圈式点火装置；1939年在点火分电器上安装点火自动提前装置等，由此完成了经典的汽油机点火系统、电起动装置和发电充电系统。

1948年晶体管的发明和1958年集成（IC）电路的发明，使得汽车电子技术又有新的飞跃性的发展。1951年德国的博世公司率先开发了汽油喷射技术，并于1954年在轿车上采用了燃油喷射技术。1960年半导体元件开始应用于汽车上，最初是在交流发电机整流器上采用硅二极管，之后在调压器、晶体管点火系上得到广泛应用。同年交流发电机开始替代直流发电机，并于1965年发明了电控防抱死制动系统（ABS）。

1966年，美国加利福尼亚州首次制定了关于汽车尾气排放法规，进一步有力地推动了汽车电子技术及控制技术的发展。1967年，博世发明的Jetronic质量流量式燃油喷射系统已开始投入生产，而IC技术是在1967年后才逐渐应用于汽车上，如IC化电压调节器、IC化点火模块等。在这一段时间内，已开发出模拟电路式汽油喷射装置、定车速装置、变速器控制装置等，但由于成本高的原因而未能普及。

1970年后，基于美国发布的关于安全、排放、油耗的三大法规，以及1971年微机的问世，车用电子技术得到了迅速发展。针对安全法规，要求开发出若不系安全带就不能起动的系统。这就是说，要求即使关闭点火开关，安全带控制系统仍然能用电。为此需开发耗电量少的IC，以尽可能降低蓄电池的放电量。1974年，在汽车上首次应用无触点式电子点火装置。

自微机问世5年后的1976年，通用汽车公司（GM）将微机控制技术首先应用于汽车点火控制上。这标志着汽车电子控制技术已进入新的数字化控制阶段。从1970年后期到20世纪80年代，排放法规和油耗法规进一步强化。为了适应这种不断强化的法规要求，必须在有效降低汽车排放的同时，改善发动机的动力性和经济性。为此，所采取的技术措施主要包括：改进发动机的结构，点火时间的最佳控制，进一步提高空燃比的控制精度，以及怠速转的低速化控制等，使控制技术向集中控制化方面发展。

电子技术的发展也促进了传感器技术和控制技术的发展。这使得汽车电控技术更加成熟和完善。1977年，日本日产和丰田汽车公司实现了氧传感器反馈控制的汽油喷射系统。1980年，三菱电机公司推出卡门涡式空气流量计。1981年，博世公司、日立制作所推出了热线式空气流量计。

1980年以后,尖端技术的发展、用户要求的多样化以及微机的普及和数字化控制的发展,使电子技术得以应用于整车控制上,并使整车综合控制技术得到全面发展。

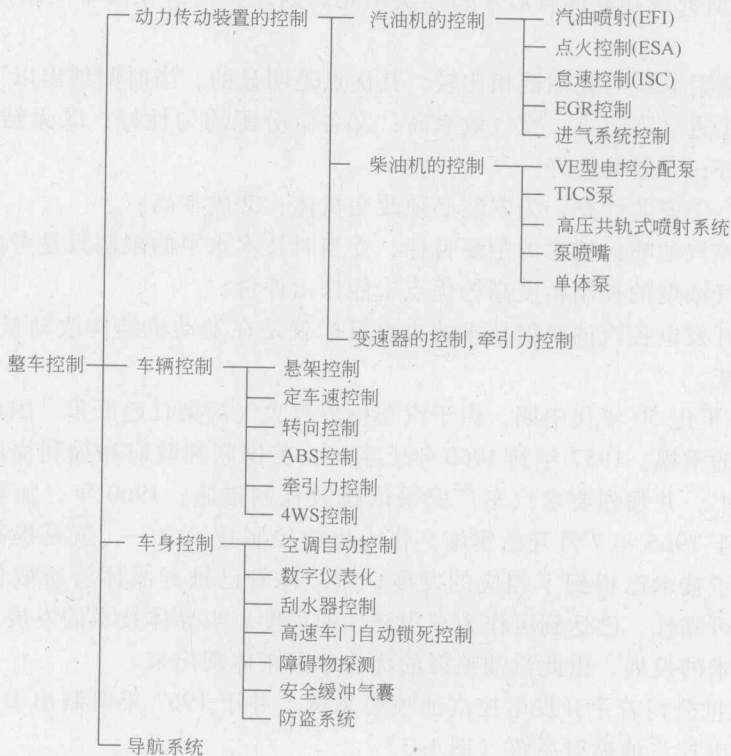
可以说,20世纪60年代,伴随着半导体技术的发明与发展,汽车电子控制技术处于开发研制阶段;及至20世纪70年代,随着集成电路及传感器技术的发展,汽车电子控制技术处于不断成熟的阶段;80~90年代,伴随着微机技术的发展与应用,汽车电子控制技术全面进入到数值化控制和集中控制阶段。

进入21世纪后,实现了半导体技术大规模集成化(LSI),传感器向智能化发展,微机技术不断完善,同时引入模糊控制、神经网络、自适应控制、最优控制等新的现代控制理论,以及利用全球定位系统(GPS)的导航系统,使得汽车动力传递控制及车辆驾驶安全等综合控制得到进一步完善。

第三节 汽车电子控制技术概况

随着微机的应用以及数字化控制技术的发展,电控技术在汽车整车控制上得到广泛应用和发展。表1-1表示目前在整车范围内电控技术的应用概况。

表 1-1 电控技术在整车上的应用



一、汽油机的电控技术

1. 汽油喷射

化油器和汽油喷射是汽油机混合气形成的两种主要方式。1883年戴姆勒发明的化油器实现了将液体燃料在气缸内燃烧的汽油机。但是由于化油器式混合气形成方式,是通过气体

流动中在化油器喉管部节流所形成的压差进行喷油，流经喉管部的高速气流再将已喷入的燃油冲散实现雾化、蒸发而形成可燃混合气的，所以进气流动损失增加，同时在喉管部因压力下降而易结冰。这对于航空用发动机来说是一个致命的缺点。

1930年，针对化油器结冰等缺点，在航空用发动机上首先开发研究出汽油喷射系统。第二次世界大战后期，根据战争的需要，汽油喷射装置开始应用于军车上，以克服化油器的上述缺点。

从1950年到1953年，Goliath、Gutbrod两公司在二冲程二缸汽油机上采用了机械式汽油喷射系统。1957年，奔驰（Benz）汽车公司在四冲程发动机上也采用了机械式汽油喷射系统。机械式汽油喷射系统采用了柱塞式喷油泵（模仿柴油机的喷油泵），增加了汽油机燃料系统的成本，且安装也不方便。所以到20世纪50年代末，机械式汽油喷射系统仅用于赛车上。

2. 电控汽油喷射

汽油喷射作为汽油机的燃料供给系统，是在与化油器相互竞争过程中发展起来的。它经历了从机械式喷射发展到电子控制喷射的发展过程。

早在1953年，Bendix公司已开始着手研究电控汽油喷射器。鉴于当时电子技术尚落后，晶体管虽早已发明，但均为锗晶体管，价格高、可靠性差。因此，开发当时采用的是真空管，及至1957年研究成功晶体管后才勉强实用化。因此，当时在汽车上采用电控技术未免过早。

但是，汽油喷射系统与化油器相比较，其优点是明显的。当时归纳出以下几点：采用汽油喷射系统后：①进气阻力小，充气效率高；②各缸分配均匀性好；③无结冰、气阻现象；④加减速响应性好；⑤起动性好。

主要缺点是：①安装性差，为安装必须改变机体；②成本高。

当时开发电控汽油喷射技术的主要目标，受当时技术水平的限制只是考虑安装性，而对进气流量及混合气浓度的控制精度高等优点未能作出评价。

所以，当时开发电控汽油喷射技术的主要目标就是在发动机结构改动量最小的前提下，安装汽油喷射系统。

但是，到20世纪50年代中期，由于汽车排放对大气污染日趋严重，因此引起一些国家对排放污染问题的重视。1957年到1960年上半年，美国联邦政府和加利福尼亚州政府发布了污染调查报告书，并强烈要求汽车厂家采取排放控制措施；1960年，加利福尼亚州制定了排放法规，并于1965年7月开始实施。作为排放控制技术之一，就是提高空燃比的控制精度。而当时电子技术已得到了相应的发展，锗晶体管已被硅晶体管所取代，不仅成本降低，而且提高了可靠性，已达到可作为车用部件的程度。半导体技术的发展，有力地推动了电控汽油喷射技术的发展，由此汽油喷射的优点才真正体现出来。

1962年，博世公司着手开发电控汽油喷射系统，并于1967年研制出D-Jetronic（速度-密度）型第一代电控汽油喷射系统（图1-3）。

1972年，博世公司又开发了质量流量式（板式空气流量计）电控间歇喷射的L-Jetronic型系统（图1-4），取代了D-Jetronic型系统，以适应排放法规的要求。同时也开发了质量流量式连续喷射的机械式K-Jetronic型系统（图1-5），在欧洲得到广泛应用。

1976年，通用（GM）汽车公司将微机应用于点火时间的控制（MISAR）上，表征已开

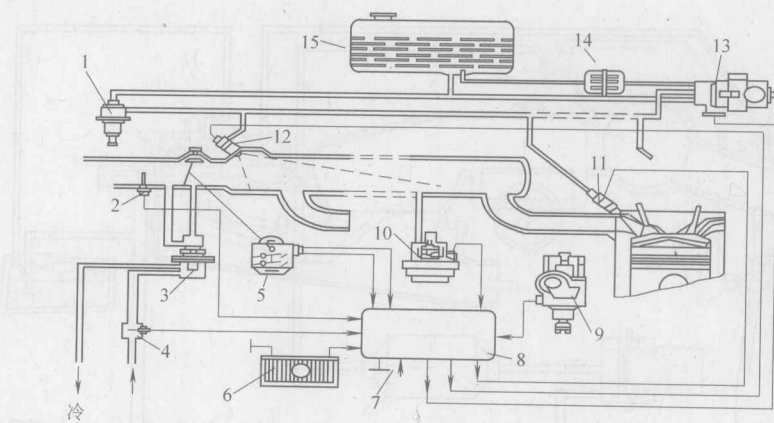


图 1-3 D-Jetronic 型电控汽油喷射系统

- 1—调压器 2—进气温度传感器 3—空气阀 4—冷却液温度传感器 5—节气门位置传感器
6—蓄电池 7—(接) 起动开关 8—ECU 9—分电器 10—进气压力传感器
11—喷油器 12—起动喷油器 13—燃油泵 14—滤清器 15—油箱

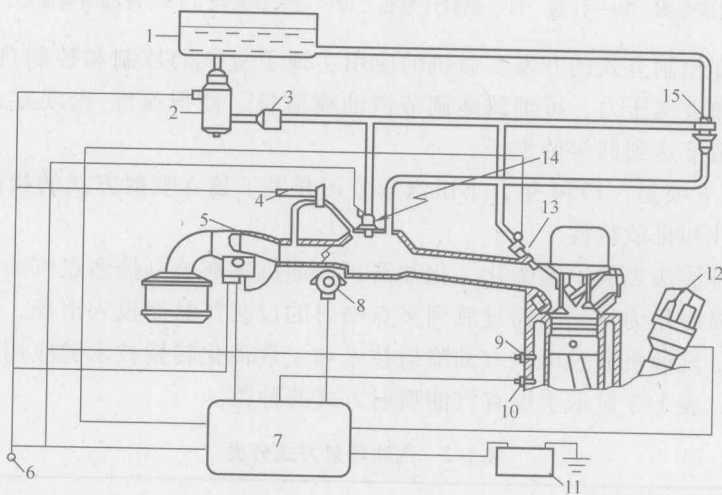


图 1-4 L-Jetronic 型电控汽油喷射系统

- 1—油箱 2—燃油泵 3—滤清器 4—空气阀 5—空气流量计 6—(接) 起动开关
7—ECU 8—节气门开关 9—冷起动喷射定时开关 10—冷却液温度传感器
11—蓄电池 12—分电器 13—喷油器 14—冷起动喷油器 15—调压器

始进入(微机)数字化控制阶段。此时,晶体管已 IC 化,模拟控制向数字控制方向发展。进入数字化控制后,电控汽油喷射技术在以下 4 个方面得到显著的发展:

1) 控制集中化。所谓集中控制,就是针对发动机同一工况的信息,同时控制各子控制系统,使发动机达到最佳状态。通过集中控制可改善发动机的动力性、经济性、排放性以及行驶性。

2) 通过反馈控制和学习控制技术,进一步提高控制精度。1981 年丰田汽车公司实现了氧传感器的反馈控制和学习控制,由此消除了因不同发动机以及汽油喷射系统零部件的差别和使用时间的变化而引起的空燃比的偏差。

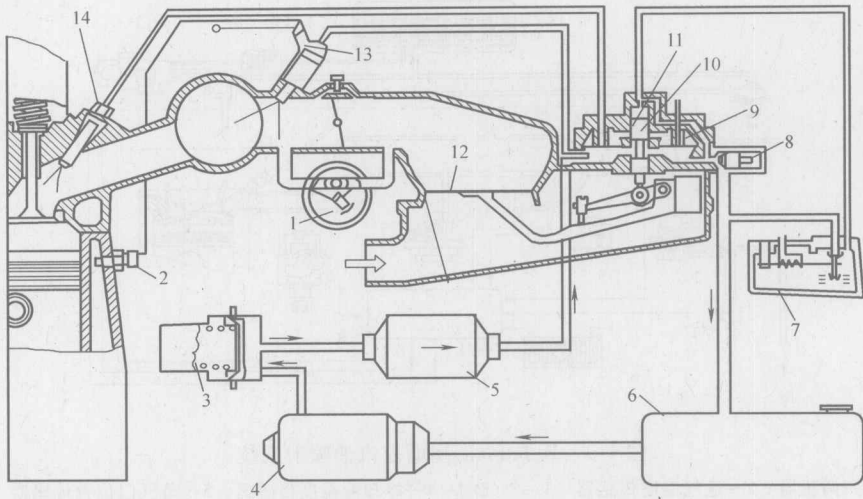


图 1-5 K-Jetronic 型机械式汽油喷射系统

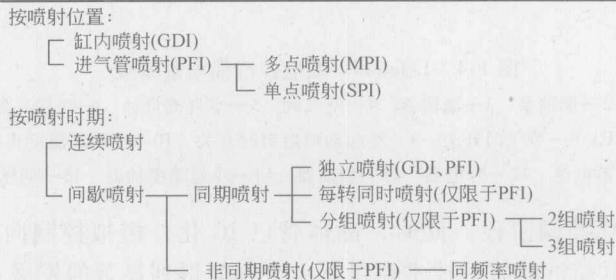
1—空气阀 2—冷起动喷射定时开关 3—蓄能器 4—燃油泵 5—滤清器 6—油箱 7—缓冲控制装置 8—压力调节器 9—定压差阀 10—柱塞 11—燃料计量孔 12—空气计量板 13—冷起动喷油器 14—喷油器

3) 速度-密度控制方式的开发。微机的应用实现了复杂的控制和自由特性。所以, 根据发动机转速和进气压力, 可细致地调节汽油喷射量, 使得速度-密度方式与质量流量方式的空燃比控制精度达到同等的水平。

4) 可实现独立喷射。1984年, 丰田汽车公司开发了独立喷射方式的稀薄燃烧系统, 进一步改善了经济性和排放特性。

随着油耗、排放法规的不断强化, 化油器式汽油机逐渐被电控多点汽油喷射式汽油机所替代。尽管单点喷射作为从化油器过渡到多点喷射的过渡产品而投入市场, 但在市场上仍以多点喷射占主流。汽油机通过电控汽油喷射技术和三效催化转换技术的应用, 已将其排放控制在很低的水平。表 1-2 显示了现有汽油喷射方式的种类。

表 1-2 汽油喷射方式分类



另一方面, 为了进一步节能, 减少对地球产生温室效应的 CO_2 的排放量, 目前已开发研制出缸内直接喷射式电控汽油喷射系统 (GDI), 并逐渐投放市场。缸内直接喷射方式, 一方面通过缸内喷射雾化吸热, 降低缸内进气温度, 提高充气效率, 由此改善动力性; 另一方面, 更主要的是利用稀薄燃烧技术, 在改善油耗的同时有效地降低了 CO_2 和 NO_x 的排放量。