

am 启明信息技术有限公司 资助项目

2008

世界汽车技术发展

跟踪研究

中国汽车工程学会 组编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

世界汽车技术发展跟踪研究

(2008)

中国汽车工程学会 组编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

世界汽车技术发展跟踪研究. 2008/中国汽车工程学会组编. —北京:
北京理工大学出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-5640-1393-6

I. 世… II. 中… III. 汽车工业-技术发展-研究-世界 IV. U46-11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 146364 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 21.25

字 数 / 495 千字

版 次 / 2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2500 册

定 价 / 69.00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

汽车电子技术发展（代序）

随着社会对汽车节能、环保、安全要求的日益严格以及人们对乘坐舒适性、驾驶便捷性要求的日益提高，电子化、信息化、网络化和智能化成为汽车产品先进性的重要体现。有数据显示，当前世界汽车工业 60% ~ 70% 的技术创新来源于电子技术的应用，并由此孕育出一个新的工业领域——汽车电子。据统计，2006 年全球汽车电子市场的销售规模约为 1 500 亿美元，至 2010 年，将增长至 2 500 亿 ~ 3 000 亿美元，到 2015 年，全球汽车电子市场的销售规模还将进一步扩大至 3 000 亿 ~ 4 000 亿美元。

在汽车电子技术成为汽车核心技术的同时，汽车工业也为电子工业的发展提供了新的平台和机遇。随着汽车电子技术和产品在汽车领域应用范围的扩大，汽车电子的概念不断延伸，现代汽车电子已经成为由基础技术层、电控系统层和人车环境交互层所组成，集电控技术、数字技术、信息网络技术和汽车技术于一体的平台。在此背景下，世界各大汽车公司、汽车电子公司和半导体芯片供应商均十分重视汽车电子技术的研发与应用，技术创新取得不少优秀成果。

动力传动方面：节能减排要求推动了汽油发动机可变气门正时 VVT、涡轮增压和缸内直喷技术以及稀薄燃烧、可变压缩比、车载诊断（OBD）等控制技术的发展应用。基于缸压控制的电控发动机和均质压燃发动机的研究工作也在不断深入。人们还发现，要使柴油发动机达到欧 IV 和欧 V 排放标准，需要在采用 OBD 技术的基础上进一步采用电控高压燃油喷射、可变截面涡轮增压、废气再循环（EGR）控制和排放后处理技术。随着发动机电控技术的不断发展，以 32 位嵌入式微控制器及多任务实时操作系统为内核的电子控制单元（ECU）开发成为应用主流。在自动变速器发展方面，实现动力传动一体化的集成控制以优化动力性和燃油经济性是目前技术发展的热点，电控液力自动变速器（AT）和电控无级变速器（CVT）成为轿车应用的主流，同时电控机械自动变速器（AMT）和双离合变速器（DCT）也得到快速发展和应用，而商用车越来越多地选择装用 AMT。

底盘方面：在转向领域，电动助力转向（EPS）是继液压动力转向之后汽车转向系统的又一重大技术进步，2007 年在欧洲上市轿车的 50% 已采用 EPS，四轮转向系统（4WS）、主动转向系统（AS）和线控转向等技术发展很快。在制动领域，集成了防抱死制动系统/防驱动打滑系统（ABS/ASR）技术和整车横摆稳定控制技术的车辆稳定性控制（ESP 或 ESC）是最先进的主动安全技术之一，电子机械制动（EMB）和线控制动（BBW）已成为研究热点，并取得可喜进展。在悬架领域，依靠调节弹簧刚度和减振器阻尼实现对悬架控制和对车辆高度调节的电控空气悬架系统被开发和应用，阻尼连续可调的电磁流变减振器的半主动悬架系统已有实际应用。

综合协调集成控制：所追求的目标是综合集成各种控制技术，实现对多个控制目标的统一协调控制，以全面提高整车的动力经济性、平顺性和安全稳定性。在底盘一体化电子控制技术中，融合了 ABS、ASR、主动前轮转向（AFS）和直接横摆控制（DYC）的功能，结合了 DYC、AFS 和主动悬架控制技术的汽车动力学综合管理系统，集成了主动和被动安全技

术。这些以汽车分布式控制系统为基础的车载网络总线技术的应用为整车综合集成控制提供了技术保证。

网络总线技术：为简化日益增加的汽车电控装置的线路连接，提高系统可靠性和故障诊断水平，利于各电控装置之间数据资源共享，便于建成开放式的标准化模块化结构，汽车网络总线技术得到了很大的发展。车载网络总线技术的应用为整车综合集成控制提供了技术保证，带来了整车电气系统设计的革新和结构优化。有专家认为，网络总线未来的发展方向是以控制器局域网（CAN）、局部互连网络（LIN）和一种更可靠的、高速可确定性的、具备故障容错的网络 FlexRay 为主，媒体信息传送网络（MOST）和 ByteFlight 将分别在媒体网络和安全网络中占有重要地位，FlexRay 成为未来网络总线中的骨干网络。

信息系统平台：以人、车、环境交互为特征的信息系统平台是以基于嵌入式技术的车载远程信息系统（Telematics）作为基本架构，提供包括多媒体移动视频音频系统、定位导航系统、移动通信、移动办公、车辆远程故障诊断、综合信息显示、辅助驾驶等功能，人性化的人机界面和语音识别控制技术也将被广泛应用。

智能汽车和智能交通：融入感知周围环境的智能传感技术和响应快速可靠的执行器技术、结合集成协调控制策略和网络通信技术是智能汽车技术发展的重要特点，这使得智能汽车的环境实时感知/预警能力、车辆行驶路线规划决策能力和自动驾驶操作能力得以大大提高。当前智能交通系统技术的环保、节能、安全使命被赋予更多的关注，解决行车安全问题已成为当前日本、欧洲和美国未来智能交通技术研究的重点，并希望借此提升交通畅通能力、降低温室气体排放、保护环境和节约能源。

新能源汽车：减少汽车工业对石油的依赖已成为与全球经济和能源安全有关的紧迫任务，这促进了新能源汽车（混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车和代用燃料汽车）的快速发展，电子技术在其动力系统匹配控制技术、车载动力蓄电池管理技术、燃料电池发动机控制技术和电液复合制动技术等关键技术方面发挥着重要作用。

通过以上的描述可以发现，汽车电子技术已经深入到汽车的每一个部件、汽车技术的每一个环节，接下来我们必须面对的问题是如何进一步提高 ECU 开发的质量和效率以及如何优化汽车电子系统的架构。从技术角度来看，嵌入式系统技术、标准化 V 模式设计开发流程和先进辅助设计开发工具的应用，保证了 ECU 的开发优质高效。但面对日益复杂且不断增加的 ECU 数量、越来越庞大的软件设计工作量和对产品可靠性要求得更加苛刻，使得 ECU 的开发难度不断加大，开发周期越来越长。为此世界主流的汽车公司、汽车电子开发供应厂商和半导体芯片供应商已经不约而同地开始推进 ECU 相关技术（软、硬件）的标准化，并通过集成而适当减少 ECU 数量。我们欣喜地看到，汽车开放系统体系结构（AUTOSAR）是实现汽车电子系统架构整合的一个好平台，软、硬件的开发工作将可根据 ECU 中的这个标准平台为基础进行开发。当然，我们仍然需要把握好的是，ECU 的集成和汽车电子系统的构架方案要充分考虑到整车设计中资源配置的灵活性、兼容性和零部件总成系统供货特点，并准确把握汽车未来的发展方向，从整车角度有序地进行功能集成而构建优化的汽车电子系统构架。

由此可见，汽车工业的发展已经无法离开汽车电子技术的进步，它为汽车设计者、生产者能够持续满足社会 and 消费者的需求提供了保障。本集《世界汽车技术发展跟踪研究》所要向读者传达的是国内外汽车电子各领域的最新技术进展、应用现状和发展趋势。为此进行

了兼顾多层次读者需求的设计,内容既包括对汽车电子技术和产品的综合介绍,又突出了汽车电子专业需求,并结合国情提出了产业化发展建议。我们希望本书能够对相关管理部门、业内企事业单位管理者和科技人员的工作有所帮助。同时相信,当普通消费者在看到这本书时也会对未来将要驾驶的汽车有更多的期待。

本书在中国汽车工程学会的组织下完成,由其所属汽车电子技术分会牵头,成立了由陈光前、袁大宏、连小珉、孙泽昌、何玉军、刘明辉和宋传学组成的编委会,确定了文集的专题内容、结构层次、论述重点。在编委会的精心组织和撰稿单位、作者的大力支持下,顺利完成了全书的编写。全书由陈光前统编定稿。由于时间紧,加之对一些最新技术的认识水平还有限,本书还存在一些不尽如人意的地方,不足之处欢迎读者指正。

中国汽车工程学会汽车电子技术分会
主任委员 陈光前

目 录

汽油发动机电子控制技术跟踪	王绍铤 (1)
柴油机电子控制技术发展	李建秋 (14)
汽车自动变速器及其控制技术	张友坤 宋传学 (27)
汽车转向系统电子化技术发展	 陈慧 杨磊 南楠 李一染 陈桢 刘方 张磊磊 朱卿 (35)
制动系统的电子化发展研究	罗文发 陈小磊 于素杰 (70)
汽车悬架电子技术发展跟踪研究	陈潇凯 王军 (92)
汽车安全电子技术发展跟踪研究	李克强 邹广才 (112)
车载信息系统平台	朱敦尧 连迅 谢斌 (123)
汽车网络总线技术发展研究	Rudolf Haug (142)
电动汽车动力系统控制技术	孙泽昌 钟再敏 赵治国 (156)
车用动力蓄电池管理技术	孙泽昌 魏学哲 戴海峰 (185)
燃料电池发动机系统控制技术	孙泽昌 马天才 (197)
电液复合制动系统技术	孙泽昌 刘清河 (210)
智能汽车技术及发展研究	贺汉根 (224)
智能交通技术及发展研究	杨殿阁 (245)
汽车半导体市场技术发展	康晓敦 (263)
汽车嵌入式系统技术综述	吕京建 赵珀璋 (276)
现代汽车电子开发流程	傅春江 庞启春 (292)
汽车电子相关标准发展	欧阳涛 许秀香 (315)

汽油发动机电子控制技术跟踪

王绍铤

(清华大学)

1 汽油发动机电子控制技术概述

1966年,美国加利福尼亚州最先颁布了世界上第一个汽车排放法规。1971年美国清洁空气法规要求必须大幅度地降低汽车排气中有害污染物的限值。当时在世界范围内又出现了能源危机,在法规的推动下促进了电子控制技术在汽车上的应用。

20世纪70年代,半导体技术获得了长足的进步,微处理器的广泛应用被称为是“第三次工业革命”。微处理器在汽车上的应用,使汽车的性能发生了重大的变化。最先在汽车上使用微处理器的是发动机电子点火系统,它能够精确地控制发动机的点火时刻,用来提高发动机的燃烧效率和输出功率。随着排放法规的加严,为了进一步改善汽车的排放性能,随后在电子点火系统的基础上增加了空燃比控制功能,使之发展成了电子控制化油器。

到了1979年,电子控制燃油喷射系统开始投放市场,汽油发动机燃油喷射系统主要的功能是空燃比的闭环控制功能。空燃比闭环控制和三元催化转化器一起使用,可以使发动机排气中有害生成物 CO 、 HC 、 NO_x 的排放量减少95%以上,是目前解决汽油发动机降低排放最有效的技术措施。以这种技术为基础发展起来的进气歧管多点顺序喷射技术一直沿用到现在。

全球气候变暖的趋势威胁着人类的生存和发展,日益严峻的能源和环境问题,对汽车的燃油经济性和排放性能提出了更高的要求。由于汽油发动机具有良好的动力性能,目前仍是乘用车首选的动力机型。为此,近年来,世界上汽车工业发达的国家,为汽油发动机开发了多种节能减排新技术,其中包括技术上比较成熟,并已经商品化的可变气门正时(VVT)、汽油机缸内直喷(GDI)和正在开发中的均质混合气压缩着火(HCCI)技术,这些技术具有压燃式发动机和点燃式发动机的优点,并具有很好的燃油经济性和很低的 NO_x 排放性能,已成为今后汽油发动机发展的一个重要方向。

2 可变气门驱动机构的控制

车用汽油发动机的转速变化范围宽,传统的配气机构不能满足发动机在各种工况下运行时对充量的要求,采用可变气门驱动机构,可使发动机的动力性、经济性和排放性能得到明显的改善。

2.1 可变气门控制技术的发展现状

可变气门技术按驱动方式的不同,可分为凸轮轴驱动系统和无凸轮驱动系统两大类。凸轮轴驱动的可变气门控制系统,已在乘用车上得到了较多的应用。随着电子控制技术的发

展,无凸轮轴驱动的可变气门控制系统,近20年来也有了很大进展,并已商品化。

无凸轮轴气门驱动机构在概念上完全不同于传统的机械气门机构,它取消了传统的凸轮轴及其从动件,而是以电机、电磁、电液等方式直接驱动气门,由于采用了电子控制技术,所以可以根据发动机的工况,将进气的充量调整到最佳状态。

2.2 可变气门控制技术应用举例

2.2.1 智能可变正时气门控制系统(VVT-i)

20世纪90年代中期,丰田汽车公司成功地研制出新一代VVT-i智能可变正时气门控制系统,该系统可根据发动机的工况,实时地调整凸轮轴的相位,精确地控制进排气门打开和关闭的时间。

(1) 智能可变正时气门控制系统的结构,如图1所示。

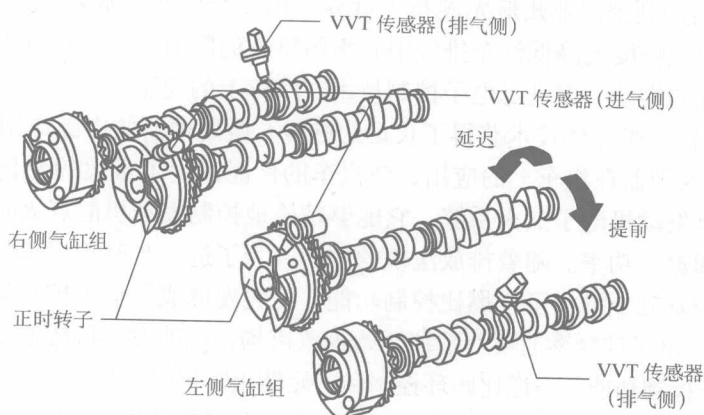


图1 智能可变正时气门控制系统的结构

(2) 工作原理。发动机控制单元根据发动机的转速、负荷等相关信息,确定进排气门的配气相位,通过装在凸轮轴前端的液压执行机构转动凸轮轴,根据VVT传感器提供的反馈信号,将配气相位准确地调整到所要求的位置。如图2所示。

执行机构是由电磁分配阀、安装在凸轮轴前端的叶轮和配气正时链轮等组成。执行机构的工作原理如图3所示。轴向移动电磁分配阀柱塞的位置,可以变换机油通向叶轮室叶轮两侧的通路,进入叶轮室内的机油推动叶轮相对正时链轮转动,从而改变配气相位。

(3) 控制策略。

① 怠速、小负荷、低温启动时:进气门在上止点后开启,减少废气进入进气一侧;排气门在上止点关闭,可以稳定燃烧,改善怠速稳定性和燃油经济性。

② 中等负荷时:进气门提前开启,增大排气门晚关角,可提高机内EGR率,减少泵气损失。

③ 中低速、大负荷时:减小排气门早开角,以充分利用燃气的压力;减小进气门晚关角,增加充气效率,使动力性得到改善,中低速、大负荷工况时扭矩/功率都得到提高。

④ 高速、大负荷时:增大排气门早开角,减小泵气损失;增大进气门晚关角,提高充气效率,以提高发动机的最大功率。

(4) 系统的评估和国内应用及研制现状。VVT-i系统应用于丰田3L6缸双凸轮轴发动机,

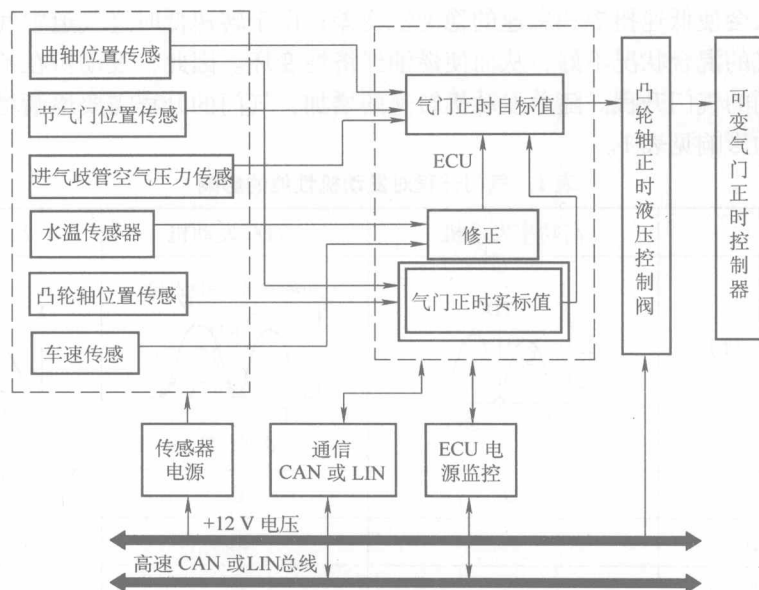


图2 VVT-i 控制框图

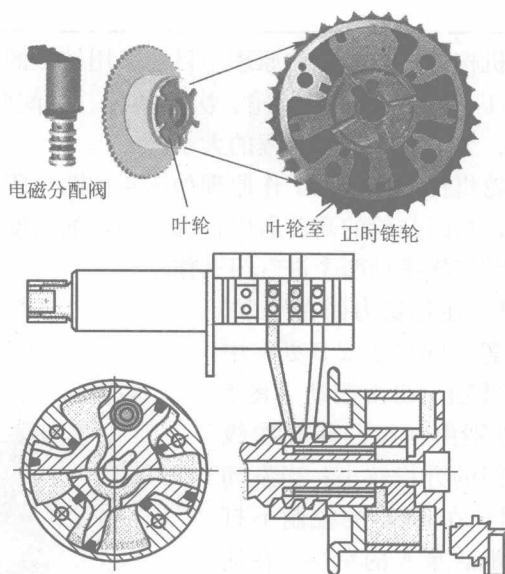


图3 VVT-i 执行机构的工作原理

燃油消耗量下降了6%；输出扭矩增加10%； NO_x 排放量减少40%，HC排放量减少10%。

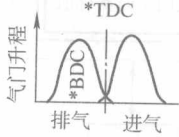
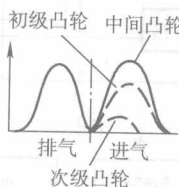
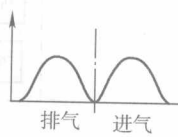
这种叶片式结构是目前国外车用发动机上应用最广泛的可变气门机构，排放可满足欧IV标准，关键技术是发动机的设计和制造技术以及控制系统软件的开发和匹配技术。由于发动机的设计和制造难度大，国内目前还没有进行这方面产品化开发的单位。

2.2.2 可变气门升程

发动机在高转速、大负荷运行时，要求气门升程大，以获得更多的充气；在低转速运行

时, 气门升程大会使低速扭矩和怠速的稳定性变差; 由于转速低时进气道中气流的速度比较慢, 可燃混合气的混合状况不好, 从而使燃油经济性变坏。因此, 发动机在不同的工况下运行时, 要求不同的气门升程。随着发动机转速的增加, 气门的升程需要逐渐增大。气门升程对发动机性能的影响见表 1。

表 1 气门升程对发动机性能的影响

	高功率发动机	VTEC 发动机	2 气门发动机
气门正时 (进/排) 气门升程			
最大功率	○	○	
低转速扭矩		○	○
怠速稳定性		○	○
油耗		○	○

注: ○表示好。

(1) 分级式可变气门机构的结构和工作原理。目前采用较多的是本田公司的分级式凸轮机构。根据发动机的运行工况, 通过初级凸轮、次级凸轮、中间凸轮和其相对应的初级摇臂、次级摇臂和中间摇臂, 分级控制气门升程的大小。

本田公司的分级式凸轮机构的结构和工作原理如图 4 和图 5 所示。凸轮轴上的一组凸轮中, 中间凸轮的高度最高; 初级凸轮的高度居中; 次级凸轮的高度最低。凸轮轴转动时, 分别通过初级摇臂和次级摇臂直接推动两个进气门工作。

发动机在低速运转时, 在弹簧力的作用下, 同步活塞 A 处在最左边位置, 同步活塞 B 处在中间位置, 中间摇臂可在摇臂轴上自由摆动 (图 5 (a)), 这时两个进气门分别由初级凸轮和次级凸轮推动工作, 两个进气门的升程较小; 当发动机的转速升高到规定值时, 在 ECU 的控制下打开进油阀, 使机油进入同步活塞 A 的左端, 在油压的作用下, 同步活塞 A 和同步活塞 B 向右移动, 使三个摇臂连成一体 (图 5 (b)), 由于中间的凸轮最高, 气门升程改为由中间摇臂控制, 这时气门的升程最大。

排气门的升程一般不进行调节。

(2) 连续可调节气门升程机构 (VVL) 的工作原理。连续可调节气门升程机构与分级式可变气门机构的结构相比, 可以使发动机的性能得到进一步的提高。近年来, 国外的一些汽车公司和零部件供应商, 像 BMW、本田、丰

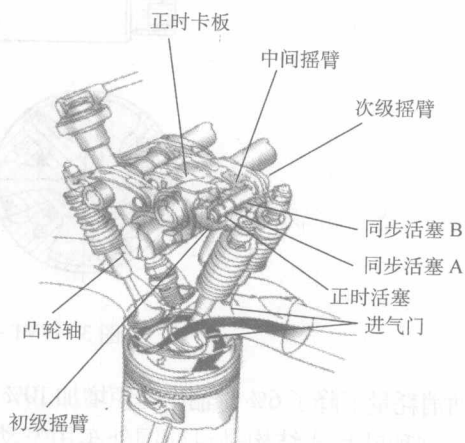


图 4 分级可变气门升程的结构示意图

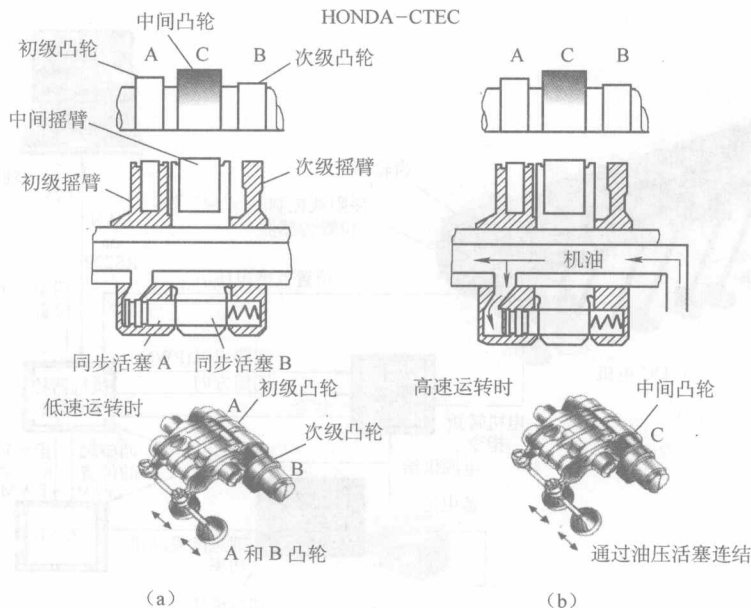


图5 分级可变气门升程的工作原理

田和德尔福等公司都相继开发出了控制自由度比较大的机械式连续可变的气门升程调节机构，它们共同的特点是采用直流电机驱动机械传动机构，实现气门升程的改变。

其中 BMW 公司的 Valvetronic 是比较典型的结构，已经商品化，其结构如图 6 所示。该机构在凸轮轴与气门之间增加了中间杆，并且在缸盖上增加了偏心轴，在偏心轴上设计了偏心轴齿轮。回位弹簧使得中间杆的小滚轮与偏心轴齿轮始终保持接触、大滚轮与进气凸轮始终保持接触，这样中间杆的运动由凸轮轴与偏心轴共同控制。凸轮轴通过中间杆上的弧线驱动摇臂，进而控制气门运动。当偏心轴相位不变时，中间杆在进气凸轮的驱动下围绕某一个中心旋转，中间杆弧线发生作用的是弧线的某一段区域。当伺服电机通过蜗轮蜗杆机构驱动偏心轴旋转一定角度后，中间杆旋转中心的位置就会发生变化，从而改变了中间杆弧线发生作用的区域，进而改变了气门升程。

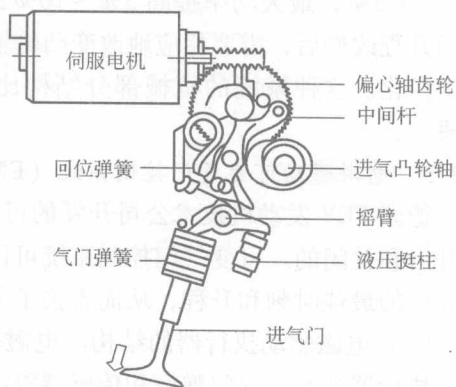


图6 BMW Valvetronic 的结构简图

在偏心轴上安装了位置传感器，以传感器的输出作为反馈信号，准确地控制偏心轴的旋转角度，偏心轴可在 $0^{\circ} \sim 170^{\circ}$ 范围内连续调节，气门升程可在 $0 \sim 9.7 \text{ mm}$ 范围内连续改变。

图 7 为德尔福公司的 VVL 的开发系统框图。

(3) 系统的评价和研制现状。BMW 公司采用这种系统，用升程的变化对负荷进行控制，实现无节气门方式控制负荷，降低了泵气损失。在发动机上的试验结果表明：输出扭矩提高了 6%，燃油经济性改善了 10%，废气排放降低了 40%。

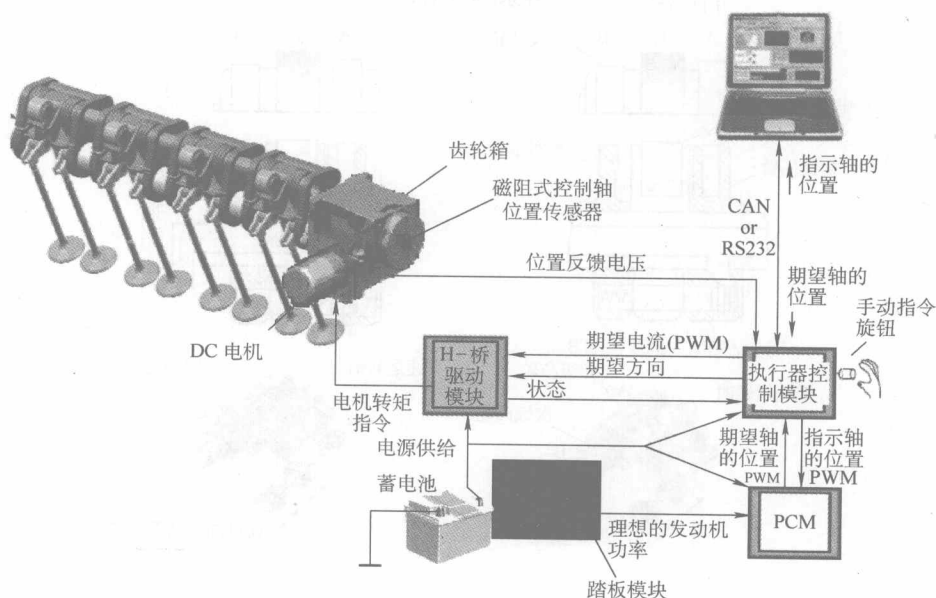


图7 连续可调气门升程机构的开发系统框图

据德尔福公司估计,采用这种系统,可使经济性提高8%~10% (NEDC),低速扭矩增加3%~5%,最大功率提高3%~10%;HC排放物可降低10%, NO_x 排放物可降低60%。气门升程改变后,需要相应地改变凸轮轴的相位,否则会使气门正时和气门开启的持续时间发生变化。这种系统的机械部分结构比较复杂,目前还多是处在小批量生产或研制开发阶段。

2.2.3 电磁驱动可变气门控制系统 (EMVT)

德国FEV发动机技术公司开发的可变进排气门控制系统,是借助于电磁力来推动气门的开启和关闭的。可变气门控制系统可以根据发动机的工况,直接连续、精确地控制进排气门开闭的最佳时刻和升程,从而省去了节气门装置。

(1) 电磁驱动执行器的结构。电磁驱动执行器是由关闭电磁线圈、衔铁、开启电磁线圈、执行器弹簧、气门弹簧和传感器等组成,外形和内部结构如图8所示。

(2) 工作原理。两个线圈均不通电时,在执行器弹簧和气门弹簧弹力的作用下,气门处于半开的中间位置。关闭电磁铁线圈通电时,吸动衔铁上行,气门关闭;开启电磁铁线圈通电时,衔铁下行,气门打开。如图9所示。

(3) 配气相位和气门升程的控制。发动机电控单元向气门控制单元VCU输出气门定时和气门升程的控制信号。VCU根据电控单元的指令接通或断开电磁铁线圈电路,并控制通过电磁铁线圈中电流的大小、变化的速率和通电的持续时间,控制打开或关闭气门。在一个控制周期内,变换电磁铁线圈的供电,可以控制气门的行程。例如,在最简单的工况下,只给关闭的电磁铁线圈通电,气门的开度只是最大升程的一半;如果将给关闭的电磁铁线圈供电转换为给开启的电磁铁线圈供电,气门的升程最大。

(4) 系统的评价。电磁驱动的可变气门控制系统(EMVT)省去了节气门装置,改用气

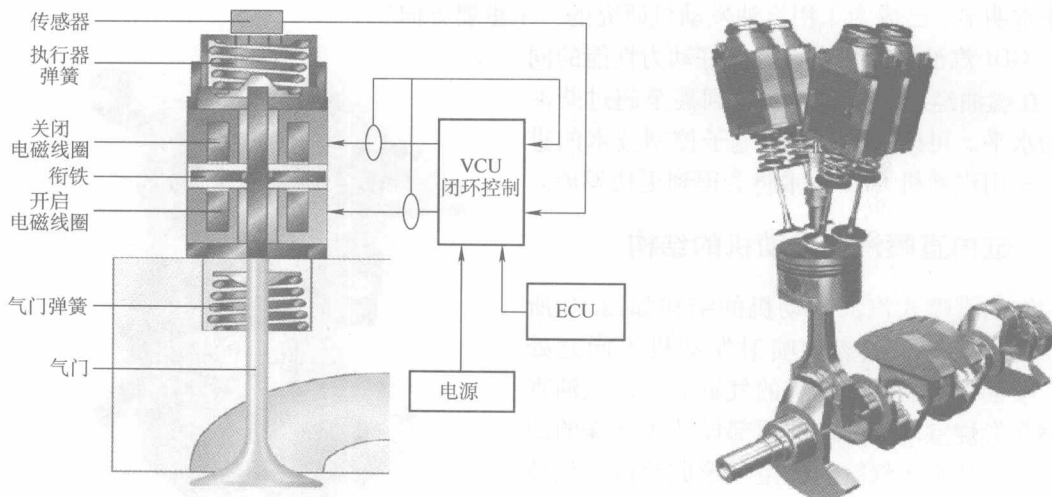


图8 电磁驱动执行器系统的结构和外形图

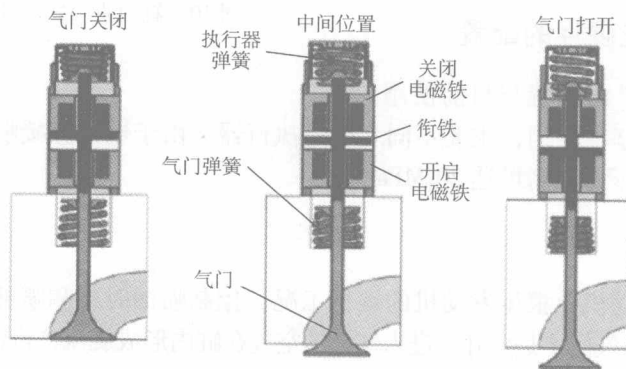


图9 电磁驱动气门执行器的工作原理

门控制发动机的进气，避免了节气门进气时的节流损失，可使燃油经济性改善 10% ~ 20%、低速转矩增加 10% ~ 20%、有害排放物 NO_x 和 HC 减少、进气状况的改变使燃烧更趋于稳定。

电磁驱动执行器直接驱动气门，去掉了传统的凸轮轴机械式配气机构，简化了发动机的结构；为 GDI、HCCI 和多缸发动机采用变缸控制等新技术提供了条件。

电磁阀式 VVT 是一种理想的配气机构，是用电子控制技术改造汽车传统机械系统的一个比较典型的例子，随着电子技术的快速发展，随着车用 42 V 电源的推广应用，电磁驱动可变气门控制系统的推广应用有着广阔前景。国外已在高档乘用车上应用，国内已有多个高等院校正在进行这方面的探索。

开发的重点除了控制策略及控制软件开发外，作为控制系统的硬件，主要是要改进执行器和气门行程传感器的性能，进一步降低系统的成本。

3 缸内直喷汽油发动机 (GDI)

近年来，国外开发的发动机新技术中，缸内直喷 (GDI) 汽油机在节能和减排放方面效

果非常明显,已成为车用汽油发动机研究的一个重要方向。

GDI 汽油发动机在保持良好动力性能的同时,在燃油经济性方面已经达到甚至超过柴油机的水平。可以预见,随着电子控制技术的进步,车用汽油机 GDI 技术将会得到更快发展。

3.1 缸内直喷汽油发动机的结构

缸内直喷式汽油发动机的结构如图 10 所示,与传统的多点燃油喷射发动机不同之处是,喷油器安装在发动机的气缸盖上,汽油直接喷在燃烧室内。活塞的顶部设计成特殊的凹坑形状,使吸入气缸内的空气形成旋流,汽油喷入后在火花塞周围形成较浓的混合气,以利于混合气的点燃。

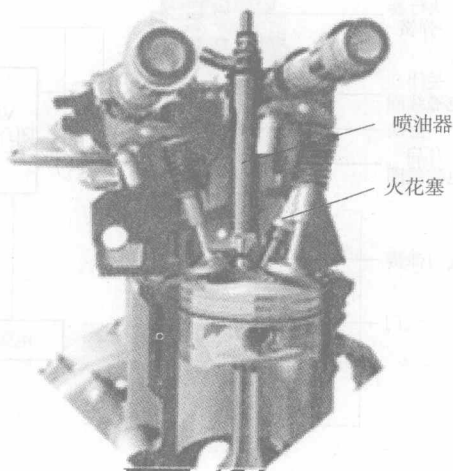


图 10 缸内直喷式汽油发动机的结构

3.2 燃油喷射系统硬件的配置

GDI 控制系统硬件的配置与目前使用的多点顺序燃油喷射系统基本相同,主要不同之处是执行器。由于燃油直接喷入气缸内,需要使用高压喷油器,喷油压力最高可达 20 MPa。

3.3 控制策略

缸内直喷汽油发动机要根据发动机的运行工况,控制喷油时刻和喷油方式的变换。

在部分负荷时,节气门不是全开,进入气缸的空气在缸内形成旋流,汽油在压缩行程的后期喷入,在旋流的作用下,在火花塞的周围形成较浓的混合气,其余的区域混合气较稀,形成分层燃烧的稀薄混合气,混合气的空燃比可以达到 25 ~ 50,极大地改善了汽油发动机在部分负荷下的经济性。

在发动机大负荷高速运行时,节气门全开,高速气流进入气缸形成较强的旋流,在进气行程时就将汽油喷入缸内,与空气均匀混合形成均质混合气,从而促进燃油充分燃烧,提高发动机的动力输出。两种燃烧方式的示意图如图 11 所示。



图 11 GDI 发动机的两种燃烧方式

3.4 系统的核心技术和评估

系统的核心技术是控制软件、系统与发动机的匹配以及喷油器的设计和制造技术。

三菱公司对 1.8 L GDI 发动机的测试表明,GDI 汽油机与常规汽油机相比,GDI 发动机可节油 20%,排放降低 20%,发动机功率和扭矩均提高了 10%。

近年来,汽油直喷发动机已成为国外内燃机技术与研究的热点。GDI 技术比较单一,目前国内条件下进行研究和实现产业化比较现实。国内一些高等院校和研究单位已经关注到这一重要的研究方向,并已开始了这方面的探索和研究工作。

4 均质压燃发动机 (HCCI)

HCCI 燃烧是指采用汽油发动机中空气与燃料均匀混合的方式形成混合气,使用柴油机压燃方式着火,代替火花塞点火。这种燃烧方式是发动机燃烧技术的重大变革,热效率高, NO_x 和 PM 的排放极低。

4.1 结构

HCCI 发动机的构成如图 12 所示。

4.2 工作原理

HCCI 发动机像传统的汽油发动机那样,吸入均质的混合气,但不用火花塞点火,而是通过提高压缩比,采用废气再循环、进气加温和增压等技术,提高缸内混合气的温度和压力,而使混合气压缩自燃。在缸内形成多个点火核,有效地维持火焰燃烧的稳定,并减少了火焰传播距离和燃烧持续时间。它的燃烧速率只与本身的化学反应动力学有关。HCCI 发动机的工作过程如图 13 所示。

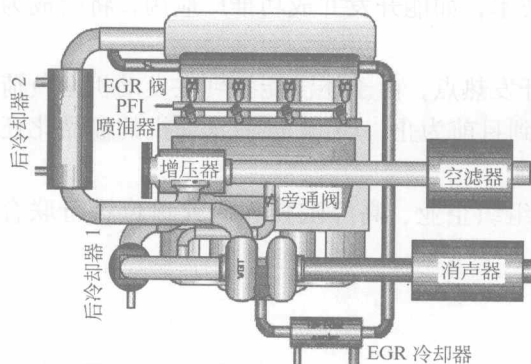


图 12 HCCI 发动机系统组成

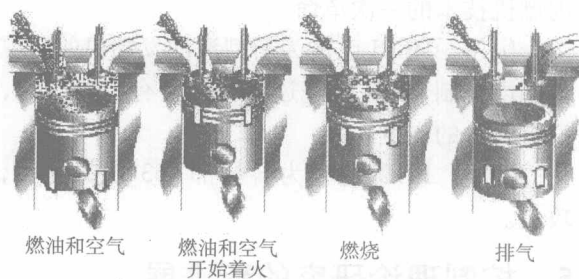


图 13 HCCI 发动机的工作过程

4.3 HCCI 的控制

控制 HCCI 燃烧的方法,可以通过改变混合气的特性,如提高进气温度、调节空燃比、使用 EGR、使用添加剂、改变燃料的性质,以及改变发动机的工作和设计参数,如改变压缩比、气门正时、使用增压器和不同的燃料喷射方式,使发动机在各种工况下都能获得最佳的燃烧状况和燃烧速率。控制系统的结构如图 14 所示。

4.4 系统的评价和国内外研究现状

均质混合气压缩着火 (HCCI) 发动机相对于传统火花点火式汽油机,燃油消耗率降低 15% ~ 20%, NO_x 排放降低 90% ~ 99%, 无炭烟 (PM) 排放。近期的研究成果表明, HCCI

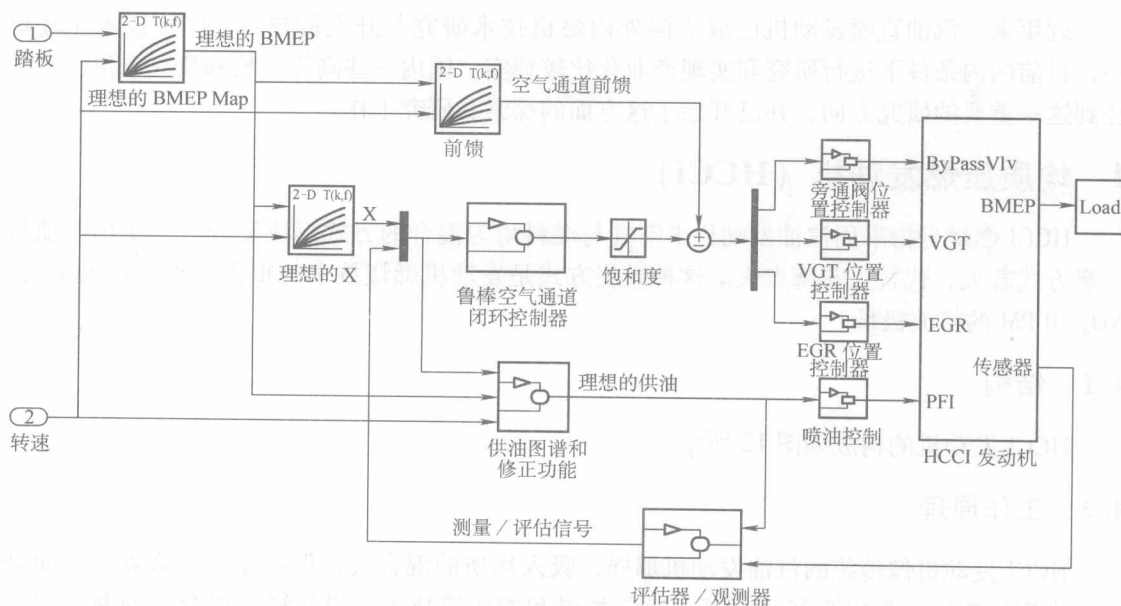


图 14 HCCI 发动机的控制系统结构

和其他汽油发动机新技术 GDI、VVT、EGR、变缸等相结合，会取得更好的效果。

HCCI 是一种新型的高效低污染内燃机燃烧技术，如能开发并成功推广应用，将会成为内燃机技术的一次革命。

国外，HCCI 已成为新型汽油发动机的研究开发热点，由于还没能找到在发动机全负荷范围内控制 HCCI 燃烧过程的切实有效的方法，到目前为止，HCCI 汽油发动机的商品化还没有成功的先例。

国内，HCCI 已列为科技部 863 攻关项目，组织企业、高等院校和研究单位进行联合攻关。

5 控制理论研究的新进展

发动机的控制系统组成如图 15 所示。控制系统的硬件，包括 ECU、传感器和执行器；控制系统的软件包括控制理论和算法的设计。控制理论和算法是当今发动机控制领域中的核心技术。

发动机稳态工况排放的控制已经取得了比较好的效果，现在主要问题是瞬态过渡工况的控制。由于发动机燃烧过程非常复杂，目前还不可能用一个完整可靠的数学模型来进行描述。发动机的控制算法的设计主要是将气道系统、动态的反馈控制和稳态精确的标定三者结合起来实现系统整体控制的目标。

采用稀燃技术的缸内直喷汽油发动机的控制理念与柴油机的控制原理相似，主要是空燃比的控制，特别是瞬态过渡工况的进气量动态的估算和控制。瞬态过渡工况控制包括气道控制、可变几何截面涡轮增压器控制、

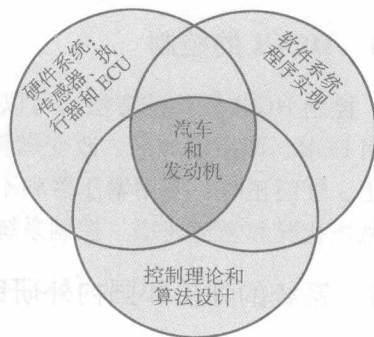


图 15 发动机控制系统的组成