

车用汽油机电控燃油喷射技术的发展与应用

叶淑贞^①

(中国农业大学车辆工程学院)

摘要 电控燃油喷射因具有改善发动机的燃油经济性、降低排气有害物含量和提高动力性等优点而被广泛应用。介绍了电控燃油喷射系统的发展历程和现状,阐述了电控燃油喷射系统的主要类型、组成部分和控制功能,并指出了车用汽油机的发展趋势。

关键词 汽油机;燃油喷射;电控;发展趋势

中图分类号 TK413.84

Development and Application of Electronic Fuel Injection Technology for Automobiles

Ye Shuzhen

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract Electronic fuel injection has major advantages of improving fuel economy, decreasing exhaust emission and increasing engine power and has been used widely. The development and current situation of electronic fuel injection systems is introduced. The major types, component parts and functions of the systems is described. The developing trends of the gasoline engines used in automobiles is presented also.

Key words gasoline engine; fuel injection; electronic control; development trend

自70年代以来,汽油喷射技术得到了迅速发展和广泛应用。尤其是电子控制燃油喷射发动机的装车率在发达国家中逐年增加,目前已接近于100%。例如在美国,1988年为84%,1992年达100%;在日本,1988年为53%,1992年为68%;在德国,1989年为71%,1993年达98%;在其他西欧国家,1989年为42%,1993年达96%^[1]。电控燃油喷射发动机采用的是新的燃油供给系统,其最大的优点是能按照发动机的使用条件和不同工况,非常准确地供给最佳混合气。与传统的化油器式发动机相比,试验结果表明,它一般可节省燃油5%~20%,提高功率约10%,排气较清洁,低速扭矩较大,热机及加速性能好等;因此,发展电控燃油喷射发动机是实现车用汽油机高动力性、高经济性和优良排放性能的最有效的途径。

1 汽油喷射技术的发展与现状

早在30年代,汽油喷射技术便成功地用在装有汽油发动机的军用飞机上。当时采用汽油

收稿日期:1997-02-24

①叶淑贞,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)44信箱,100083

喷射是为了解决化油器的结冰问题。由于技术难度大,成本也高,一直未能应用到汽车发动机上。到了50年代,作为提高赛车发动机的输出功率和改善过渡响应性能的技术手段而被大多数赛车所采用。1957年德国本茨公司也在轿车用的四冲程汽油机上采用喷射技术。以上的汽油喷射采用的都是柴油喷射泵的机械式高压喷射装置。

电子控制燃油喷射技术始于1967年,德国波许公司率先推出了多点缸外喷射的D-Jetronic系统,它装在大众汽车公司生产的VW-1600型轿车上,从此开创了电控汽油喷射的新时代。随着汽车保有量的增加,汽车排放对大气造成的污染也越来越严重。60年代美国加利福尼亚州首先制定了汽车排放法规,随后,欧洲一些国家和日本等也相继制定了严格的排放法规,限制汽车排气中的HC,CO和NO_x等有害物的排放(见表1)。同时,70年代受石油危机冲击的影响,各国又制定了汽车燃油经济性法规。例如,美国汽车的燃油经济性法规也是越来越严格的:1978年规定每100km的燃油消耗量(平均值)为13L,1980年为11.76L,1982年为9.80L,1984年为8.55L,据预测到2000年将达到每100km为6.5L。上述法规的要求,传统的化油器供油方式和点火系统已难以达到,迫使世界各国汽车制造者寻求各种技术途径,以实现汽车减少排气污染和节油。

表1 美国加州和欧洲排放限值^[2]

排气成分	试验方法						
	LA-4CH 工况			ECE 工况 + Total Bag/NDIR			
	g·km ⁻¹			g·试验次 ⁻¹			
	1975	1977	1981	1975	1977	1980	1983
HC	0.56	0.26	0.26	10.1	8.6	7.6	7.6
CO	5.60	5.60	2.11	152.0	122.0	99.0	76.0
NO _x	1.24	0.93	0.44		14.0	11.9	
地区	美国加州			欧洲			

此外,电子技术的迅速发展,为汽车实现电子控制提供了有利条件。自60年代以来,车用发动机技术上的重大突破,几乎无一例外地是应用电子技术的成果。电控汽油喷射经历了从晶体管、集成电路到微型计算机控制,从模拟式到数字式控制的发展过程。从70年代到80年代中期是电控汽油喷射技术发展的鼎盛时期(见表2)。世界主要汽车公司都研制成功与各自车型配套的电控系统,其中德国波许公司研制、生产和应用的喷射系统从类型到数量都是最多的。从1976到1984年间,德国生产的轿车中采用电控汽油喷射的比例由8%增长到42%;1976年美国还未开始采用电控汽油喷射系统,到了1984年猛增到39%。到了90年代车用汽油机已达到采用微机进行全面监控,以满足更严格的排放法规、燃油经济法规,自我诊断,安全性和舒适性等多面的要求。电子控制技术已成为反映车用发动机性能水平的重要标志。

2 电控燃油喷射的类型、组成和控制功能

目前国外各大汽车制造公司研制和使用的电子控制燃油喷射系统的名称及控制功能并不完全相同,但归纳起来主要的有下面2种类型^[4~5]。

1) 多点燃油喷射 MPI(multipoint fuel injection)。在每个气缸的进气门前进气歧管处装有

表2 世界主要汽车公司电控汽油喷射系统的发展^[2~4]

年份	公司	系统名称	主要控制功能与特点
1967	德国波许	D-Jetronic	燃油多点缸外(进气口)喷射,以进气管压力控制空燃比
1973	德国波许	K-Jetronic	机械式多点缸外连续喷射,控制空气计量和燃油量
		L-Jetronic	燃油多点缸外喷射,用空气流量计计量进气量,控制喷油量
1979	德国波许	Motronic	燃油多点缸外喷射与点火相结合的数字式微机控制,怠速和废气再循环控制
1981	德国波许	LH-Jetronic	燃油多点缸外喷射,采用热线式空气流量计
1982	德国波许	KE-Jetronic	燃油多点缸外连续喷射,机械-电子控制
1986	德国波许	Mono-Jetronic	燃油单点集中喷射
1989	德国波许	Motronic-M ₃	16位微机综合控制燃油多点喷射、点火正时等,采用氧传感器闭环控制
1993	德国波许	Motronic-M ₄ , M ₅	具有第二代随机自动诊断、多点喷射、怠速、点火正时和废气再循环等功能,特点:采用双氧传感器等
1979	美国通用	EFI ^①	燃油多点喷射、怠速、点火正时等 ^②
		TBI	燃油单点喷射、点火正时、怠速和废气再循环
1979	美国福特	CFI ^①	燃油单点喷射、点火正时、怠速和废气再循环
1982	美国福特	EEC-IV	采用16位微机综合控制,功能同上
1980	美国克莱斯勒	EFI ^①	燃油单点喷射、点火正时
1979	日本日产	ECCS ^①	燃油多点喷射、点火正时、怠速和废气再循环
1980	日本丰田	JCCS ^①	燃油多点喷射、点火正时、怠速和废气再循环
1980	日本三菱	ECI ^①	燃油多点喷射、点火正时、怠速和废气再循环
1981	日本五十铃	I-TEC	燃油多点喷射、点火正时、怠速和废气再循环
1984	日本丰田	T-LCS	功能同上,特点:稀薄燃烧

①采用8位数字式微机控制系统;②具有自动诊断故障功能。

一个电磁式喷油器,由电控单元ECU(electronic control unit)控制。根据控制电路的不同可有3种喷射方式:同时喷射、顺序喷射和分组喷射。同时喷射方式是所有喷油器并联,曲轴每转1转各缸同时喷射1次。这种方式在制控系统的电路及软件设计上均比较简单,但是各缸对应的喷射时间不可能最佳,对混合气形成有一定不利的影响。顺序喷射方式是各缸按发火顺序单独喷射。这种方式是最理想的和最精确的控制方式,但在控制系统的电路和软件设计上都较为复杂。分组喷射方式,如4缸或6缸汽油机可分成2组喷射,每组喷油器同时喷射,其控制系统和性能介于同时喷射与顺序喷射之间。多点喷射系统的主要优点是各缸燃油分配均匀,可直接控制空燃比,因此,无论发动机处于冷态还是热态,其过渡过程的响应性及燃油经济性均最佳。如表2中的D,L,LH和Motronic及其改进型EFI,JCCS,T-LCS和ECI等系统都是多点喷射,它们广泛用于中、高级小轿车上。

2)单点燃油喷射SPI(single point fuel injection)。在进气管的节流阀上方装有与化油器大小和形状相似的中央喷射装置,其中装置1个或2个喷油器,将汽油喷入进气气流中形成混合气,由进气歧管分配到各个气缸中。单点燃油喷射又称为节流阀体喷射TBI(throttle body injection)或中央燃油喷射CFI(center fuel injection)。单点燃油喷射在排放和燃油经济性方面优于化油器而稍逊于多点燃油喷射,但其结构简单,故障源较少,而且对发动机本身改动较少,

其成本仅略高于化油器;因此,中、低级小轿车上应用较多。

上述2种喷射系统都是缸外低压喷射,采用0.25~0.35 MPa的低压油泵和喷油器。目前车用汽油机更多采用多点电控燃油喷射系统。

尽管电控燃油喷射系统的种类繁多,但其主要组成及工作原理基本上是大同小异的。从总体结构上看都是由空气供给系、燃油供给系和控制系统三大部分组成^[6]。

空气供给系主要由空气滤清器、空气流量计、节流阀及附加空气阀、怠速控制阀、进气歧管等组成,主要起计量空气和控制输出功率的作用。

燃油供给系主要由油箱、电动汽油泵、汽油滤清器、压力调节器和喷油器等组成,主要作用是提供汽油喷射所需压力的干净汽油并由电控单元控制将汽油喷入进气管或气缸。

控制系统由输入级、微型计算机(或电子控制装置 ECU)和输出级等3个部分组成。

不同车型的燃油喷射系统的主要区别在于其微机的控制方式、控制范围及内部控制程序不完全相同,各种传感器、执行器的数量和构造也各不相同。随着控制功能的扩展,其传感器及执行器数量也将随之增加。

近二三十年来,国外汽车电子技术应用迅速发展的特点是控制功能不断增多,从单项控制发展到多项控制,进而发展到整车的综合控制。仅发动机本身的控制内容竟达9项之多(见表3),而且随着微机的应用,控制项目和控制精度都会有增加或提高。

表3 发动机控制系统的控制功能^[7]

控制项目	控制内容	控制项目	控制内容
1. 燃油喷射	喷油量,喷射定时,燃料停供,燃油泵	5. 排放控制	废气再循环,CO控制,二次空气喷射,氧传感器及三元催化,活性炭罐电磁阀控制
2. 点火装置	点火时刻,通电时间,爆震防止	6. 增压控制	
3. 怠速控制		7. 警告提示	涡轮指示灯,催化剂过热警报
4. 进气控制	空气引导通路切换,旋涡控制阀	8. 自我诊断	
		9. 备用功能与失效保护	

3 车用汽油机电控技术的发展趋势^[8~10]

3.1 闭环微机控制多点燃油喷射与直接点火系统相结合

随着社会和市场对车用汽油机要求的提高,汽油机的电控系统必须提供更加准确的控制。首先,闭环控制^[3]精度高,不受发动机零件磨损、老化等的影响;其次,微机小型化、功能强,已由16位向32位发展,其指令功能更丰富,运算速度、存储容量都大大提高,性能更好;第三,直接点火系统DIS(distributorless ignition system)取消了分电器使之有高的可靠性和耐久性,而且在成本和维修方面占有优势。上述几种技术的结合,可以使汽油机在各种工况下都能获得高的燃油经济性和低排放性,并具有更强的自我诊断功能等。

3.2 多气门发动机

现代汽车发动机,大多数已经采用了每缸4气门(2进2排)的顶置凸轮轴的配气机构。缸径相同时,4气门发动机比2气门可提高充气效率和减小换气损失。4气门汽油机的功率可达44~57 kW·L⁻¹,扭矩可达73~98 N·m·L⁻¹,这比2气门发动机高25%以上。排放指标和燃油

经济性都可达到 90 年代严格的法规要求。此外,近几年研究、生产和使用的 5 气门(3 进 2 排)汽油机比 4 气门有更大的优越性,因而具有更大的发展潜力。

3.3 增压中冷电控汽油机

增压中冷技术的采用是提高发动机功率和降低燃油消耗率的有效手段。电控汽油机采用增压中冷后,其性能有较大的提高。例如日本三菱 Galant Turbo 型和德国奥迪 200-Quator 型轿车的功率约达 $74 \text{ kW} \cdot \text{L}^{-1}$, 扭矩约达 $140 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{L}^{-1}$, 若结合使用三元催化反应器后处理装置,可使排气中的 HC 含量降低 80%, CO 降低 85%, NO_x 降低 70% 以上,完全可以满足目前各国汽车排放法规的要求。

3.4 可变控制技术

能提高汽油机性能的可变控制技术发展很快,目前已达实用化阶段,如可变进气系统、可变气门正时和气门升程的 VTEC 系统、气门正时和直径及升程都可变的配气系统、可变进气谐振增压系统和可变双涡轮增压系统等。

3.5 缸内汽油喷射技术

缸内高压直接喷射是电子控制燃油喷射系统中的最新发展方向。目前,国外只有少数汽车公司在研制或初步应用这种技术。1994 年日本丰田公司研制成功的 D-4 发动机的燃油喷射系统,是世界上首次使用的一种缸内直接喷射系统^[9]。日本三菱公司、德国西门子公司和波许公司、美国福特公司^[10]等都已研制出高压汽油喷射系统的实用化发动机或样机。该系统像柴油机供油方式一样,使用高压(大于 5 MPa)喷射,它通过新开发的燃烧控制技术实现了稳定超薄燃烧和更高的压缩比(可达 12.5),因此,可达到或接近于柴油机的燃油经济性和高的功率输出。

4 结束语

我国的汽车保有量已超过 1 000 万辆。车用发动机正面临着两大问题:排放污染严重和燃油消耗率高。发展电控燃油喷射技术无疑是解决上述问题的必然趋势。通过对国际先进技术的引进、吸收消化并加以利用,我国车用发动机电控技术的发展进程必将加快。

参 考 文 献

- 1 胡玉梅,何渝生. 汽车电子技术的发展及应用. 汽车研究与开发,1994(5):45~50
- 2 藤沢英也,小林久德. 电子控制汽油喷射. 于贵林译. 北京:汽车与驾驶维修杂志社,1992. 15~31
- 3 钱耀义. 汽车发动机电控汽油喷射系统. 北京:人民交通出版社,1996. 169,241~243,250~262
- 4 Erjavec J, Scharff R. Automotive Technology. New York:Delmar Publishers, 1996. 523~527,623~628
- 5 赵士林. 90 年代内燃机. 上海:上海交通大学出版社,1992. 245~255
- 6 林平. 汽车电子控制汽油喷射系统结构·原理·检修. 福州:福建科学技术出版社,1996. 10~12,55
- 7 邹长庚,赵琳. 现代汽车电子控制系统构造原理与故障诊断(上)——发动机部分. 北京:北京理工大学出版社,1995. 2~3
- 8 郑乃金,商国华. 汽车发动机的发展趋势. 汽车研究与开发,1996(4):2~8
- 9 辛潮. 丰田 D-4 发动机及其汽油直接喷射系统. 汽车运输,1995(3):14~16
- 10 Anderson R W, Yang Jialin. Direct Injection Spark Ignition Combustion System Investigation. USA: Ford Motor Company Ford Research Laboratory,1996. 1~23