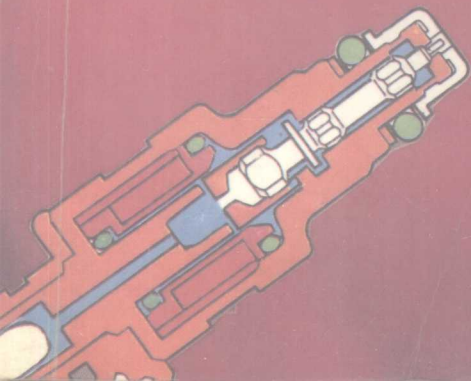


汽车发动机 电控汽油 喷射系统

(第二版)

钱耀义 编著



人民交通出版社

Qiche Fadongji Diankong Qiyou Penshe Xitong

汽车发动机电控汽油喷射系统

(第二版)

钱耀义 编著

人民交通出版社

汽车发动机电控汽油喷射系统

(第二版)

钱耀义 编著

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

华北磁专印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:9.25 字数:200千

1992年12月 第1版

1996年1月 第2版

1996年1月 第2版 第1次印刷 累计4次印刷

印数:12201~18600册 定价:11.00元

ISBN 7-114-02243-3

U·61549

第一版前言

近 20 年来,汽油喷射发动机在汽车上得到了广泛的应用。进入 90 年代后,电子控制汽油喷射发动机在美国、日本、德国等发达国家中,已基本上取代了传统化油器式的汽车发动机。在我国“八五”期间的汽车工业发展规划中,已把发展轿车技术、开发电控汽油喷射发动机列入重点研究课题。另外,我国在 80 年代进口的轿车中,有相当多车型装置了汽油喷射发动机。因此,汽油喷射系统的研究与使用,越来越多地引起人们的注意。但是,在我国现有的汽车及发动机教科书中,尚无详细叙述汽油喷射控制技术的内容,写作本书的目的,正是为了适应当前我国轿车工业发展的需要,弥补轿车发动机教科书中的不足。

本书讲述汽油喷射发动机燃料供给系统,主要是电控汽油喷射系统的结构、原理与使用,包括现有的机械式汽油喷射系统、机电混合控制汽油喷射系统、电子控制汽油喷射系统等。书中还概要地介绍了汽车发动机的性能,以及 80 年代以来国外汽油喷射发动机在排气污染控制与节能等方面的最新技术与数据。

本书向读者提供了有关汽油喷射发动机及其控制系统的基本原理与结构的系统知识,对于从事汽车、发动机设计、制造、试验以及使用维修的工程技术人员来说,掌握汽油喷射技术与电子控制的知识是完全必需的。

本书是根据作者近年来所从事的有关科学研究工作,以及 1989 年在德国卡尔斯鲁厄大学活塞式发动机研究所工作

时所从事过的电控汽油喷射发动机试验涉及的资料、文献与经验编写的。书中引用或列出的数据多数取自国外的技术资料,但也总结了作者在吉林工业大学内燃机教研室多年来研究汽油喷射系统的经验,其中个别章节的材料在吉林工业大学曾作为研究生课程的专题讲授过。

本书在编写过程中,曾得到德国奔驰(Benz)汽车公司汽车动力研究部主任格温纳(D. Gwinner)教授的支持与帮助,他向作者提供了各种奔驰汽车发动机装用的汽油喷射系统的有关资料与文献,借本书出版之机,谨向他表示谢意。

由于本书的内容涉及面较广,尤其是汽油喷射的电控系统,它与电子技术与微机控制方面的内容密切相关,限于作者水平,难免会有错误或不当之处,恳切地希望读者批评指正。

钱耀义

第二版前言

本书第一版自 1992 年 12 月出版以来已经有三年的时间,在此期间,我国的汽车工业迅速发展,国家制定了汽车工业的产业政策,汽车工业被列为国民经济的支柱产业。尤其是轿车生产开始发展,预计至 2010 年,我国的汽车年产量将达 600 万辆,其中轿车约占 70%。发展轿车的关键技术很多,第一位的就是发动机电控汽油喷射技术。因此要在北京、上海等地建立汽油喷射电控系统的生产基地,以便在“九五”期间使我国自行生产的电控汽油喷射发动机投入市场。另一方面,由于从国外进口的新轿车中,大多数也都是电控的汽油喷射发动机。这些汽车发动机的使用,使人们重视开发电控汽油喷射的技术。很多工程技术人员,包括多数汽车爱好者,都渴望对电控系统、汽油喷射技术与知识进行了解与掌握。

本书出版后,曾两次在吉林工业大学给研究生讲授过,取得了良好的效果,同时也受到广大读者的欢迎。这次受人民交通出版社的委托,在修订本书的过程中,对第一版的章节体系基本上没有大的变动,只在章节次序上有所改变,对发现的原书印刷错误作了校正,更换了个别不清晰的插图。

原书第五章点火与汽油喷射结合的电控系统稍加删减后改为第六章,原书第六章汽油喷射发动机的发展,改为第八章。

新增加两章内容,即第五章电子控制的点火系统和第七章汽车计算机与控制。这样,本书再版以后,发动机电控技术的篇幅得到增加,它向读者提供了较完整的汽车发动机电控

管理系统技术的理论与实践知识。因此再版后的书名改为《汽车发动机电控汽油喷射系统》。

再版的第五章电子控制的点火系统是由吉林工业大学内燃机工程系于秀敏副教授编写的。全书各章节的内容均经作者再次审定。

由于发动机电控技术是一门迅速发展的技术,人们对它的研究与认识将不断深化,要求本书的内容能适应发展形势,并逐步得到充实与提高。因此欢迎同行、专家、广大读者给本书提出宝贵的批评意见。

作 者

1995 年 1 月 25 日

于吉林工业大学

目 录

绪论	1
第一章 汽车发动机的性能	7
第一节 发动机的性能指标	7
第二节 汽车发动机的性能曲线	11
第三节 汽车发动机的道路性能	11
第四节 影响汽油机性能的主要因素	17
第五节 汽油机的混合气形成	21
第六节 汽油喷射的燃料供给	31
第二章 机械式汽油喷射系统	35
第一节 机械式汽油喷射系统的工作原理	36
第二节 燃油供给的主要部件	37
第三节 燃油配剂的主要部件	41
第四节 机械式汽油喷射系统混合气的配剂	45
第五节 机电混合控制的汽油喷射系统	52
第三章 电控汽油喷射系统	65
第一节 电控汽油喷射系统的特点	65
第二节 燃油供给各部件的结构	68
第三节 发动机使用工况的数据采集	72
第四节 燃油配剂与电控单元	77
第五节 电控汽油喷射系统的工况适应性	82
第六节 L-Jetronic 喷射系统的电路	89
第七节 L-Jetronic 电控喷射系统的变型	92
第八节 喷油器的计算	94
第四章 节气门体汽油喷射系统	98

第一节	节气门体汽油喷射系统的布置	98
第二节	节气门体喷射装置的结构	101
第三节	发动机运行工况数据的采集	103
第四节	节气门体汽油喷射系统混合气成分的 辅助调节	108
第五节	喷油控制方法	111
第五章	电子控制的点火系统	115
第一节	汽车发动机点火系统概述	118
第二节	晶体管点火系统	123
第三节	电容放电式点火系统	134
第四节	数字控制的点火系统	137
第六章	点火与汽油喷射结合的电控系统	145
第一节	概述	145
第二节	点火子系统	148
第三节	喷油子系统	155
第四节	电控单元	168
第五节	混合气成分的工况适应性	172
第六节	电控系统的扩展功能	190
第七章	汽车计算机与控制	197
第一节	微电子学基础	197
第二节	车用计算机	216
第三节	微机的控制与应用	237
第八章	汽油喷射式发动机的发展	250
第一节	汽油喷射发动机的动力性与经济性	250
第二节	汽油喷射发动机的排放性	262
第三节	混合气成分调节系统	269
第四节	催化排气净化装置	277
参考文献		284

绪 论

目前,轿车发动机大多数是汽油发动机,其主要特点是:发动机高速性能好、体积功率大、噪声低、质量轻,同时可靠性、寿命与经济性都已得到改善。

60年代后期,汽车的有害排放物和排气成分中的未燃烃,在大气中可能产生光化学烟雾反应,生成的氧化剂(臭氧 O_3)和过氧酰基硝酸盐(PAN)等,对人体与生物造成危害,已为人们所认识,并受到社会的普遍关注。汽车排气净化作为环境保护问题,在世界范围内提到重要的位置。

与此同时,世界各国的石油储量与产量一直比较紧缺,不能满足工业发展的需求,因此汽车发动机必须要求同时具有排气净化与节省燃油两者兼优的性能。为了达到这个要求,现在欧洲、美国、日本大部分的汽车制造工厂均已逐渐用汽油喷射式发动机取代化油器式发动机。但是,并不是说传统的化油器式发动机不能达到降低排气污染与降低燃油消耗的目的,只是为了实现这些功能,在化油器上需要增加较多的附加的装置,使其成本大为增加,同时增加的功效也相当有限,最终还不及汽油喷射发动机简单而有效。

除应满足为降低排气污染和减少燃油消耗所制定的法规外,现代轿车与发动机还必须满足车辆安全性法规与噪声法规的检验。例如欧洲安全法规规定了对轿车车厢几何形状和车辆外形曲线的要求、车辆在事故情况下的性能等级,并用对试验假人的影响、车辆部件的位移以及燃油系统的抗漏能力

来进行评定。在美国《车辆安全法》中规定,在 5mile/h^① 的车速下,进行冲击碰撞试验来检查车辆的损伤情况;在 30mile/h 的车速下,进行冲击碰撞试验来检查车辆在事故中的性能。关于汽车噪声的法规,各国都已限制汽车外部噪声的极限,如德国提出新车噪声为 75dB。这就意味着,对新车型的发动机必须进行封闭,或把发动机本身局部封装起来,或将整个发动机密封装起来。

有关汽车排放与燃油经济性等法规已经对汽车发动机的设计与制造产生明显的影响并经历着重大的改革。评定现代汽车发动机的性能,首先要考虑它对环境的影响,即它的低公害性能,这一点越来越受到人们的重视和认识。未来的汽车应该满足减少排气污染、减少能耗、减少噪声和提高在一般道路上行使的安全性等各方面的要求。

开发新一代汽车,必须同时考虑到上述各方面所包含的技术措施,例如在设计汽车车身和悬架时,主要应降低其驱动阻力,降低车阻可以减少燃油消耗与排气污染,而不影响汽车的其他性能;采用符合空气动力学原理的流线型车身外形,可以进一步降低风阻;采用高强度钢材或塑料类的新型轻质材料可以减轻汽车质量而不影响车厢空间与行驶安全性。又如,汽车发动机与变速器的型式对于汽车燃油经济性、排放性与车辆噪声起着决定性的影响。一方面应考虑发动机本体的改进措施,另一方面应考虑正确选择发动机与变速器的合理匹配,目的是在汽车行驶时,使发动机尽可能在最佳的工况范围内运转。对于火花点火式汽油机来说,其运行性能包括功率、油耗、排放等,主要取决于混合气的质量与点火定时的精确控制,在这一方面汽油喷射发动机有着明显的优势。

① 美国法规使用英制计量单位制此处未作改动。1mile=1.609km。

70 年代研制成功的大规模集成电路 (LSI) 和 80 年代的超大规模集成电路 (VLSI) 等电子技术的发展, 使电子控制元件具有结构紧凑、可靠性高、耗电量少、响应性好、成本低廉等优点, 把微型计算机引入汽车实用, 使今日汽车发展成为新一代的电子控制汽车。

电控汽车的目的在于, 追求控制的范围、精度、适应性与智能性, 以实现汽车的全面优化运行。电子化汽车首先是从发动机的喷油系统与点火系统控制开始的, 应用微机控制的初期, 就是为了适应社会对排放法规与节油的要求, 以后又在发动机的其他方面得到应用。同时, 在汽车的其他系统装置上电控也得到推广, 如在汽车传动系统上实现电控变速器与发动机运行工况的最佳匹配, 可以降低油耗; 在汽车行驶系统上已经付诸应用的有防抱死制动系统 (ABS), 它是一种可控的自动抑制滑移率的系统, 可以在道路行驶时获得最佳的制动效果; 在汽车悬挂装置上, 可以通过微机控制车高和减振器的衰减力, 在汽车行驶时能根据乘车人数与载货情况, 自动改变悬挂弹簧的刚度, 对汽车高度与形态进行调节, 提高了汽车行驶的舒适性。此外, 在汽车的信息、显示系统与空调等系统中, 电控技术也得到广泛的应用。

在现代汽车发动机上, 随着电控汽油喷射技术的应用, 高压缩比和稀混合气的燃烧系统、顶置双凸轮轴的四气门配气机构、可变压缩比、可变配气定时、可控进气管道与可变进气涡流的系统, 以及增压、中冷技术在轿车发动机上均得到应用, 使发动机的燃油经济性、功率和排放等综合性能又有进一步提高。与此相适应, 在发动机上的微机控制单元不仅控制点火与喷油系统的点火定时与空燃比, 而且还扩展到控制爆震、废气再循环、怠速转速与增压压力等多方面, 还增加了一些保护装置、后备系统与自诊断系统, 提高了整个控制系统的可靠

性。随着控制项目的扩展,微机控制单元已从 8 位机向 16 位机过渡,并已开始使用 40K 的 ROM 与 EPROM 的大容量存储器。同时,节拍频率进一步高速化,已由 6MHz 发展到 12MHz,控制性能得到进一步地完善。

汽油喷射发动机改善了混合气形成与分配,使汽油机的燃油经济性与排放性能有所提高。但由于当今世界各国严格的汽车排放法规要求,多数电控汽油喷射发动机都随带着混合气空燃比调节系统,使供给汽油机的混合气成分经常调节到 $\lambda=1$ 附近,从而使配置的催化反应器排气后处理工作得到较高的排气净化效率。

实际上,这种带氧传感器控制空燃比的汽油机运行时所供给的混合气,也并不都是按使用工况优化所需要的。由此想到,若能向汽油机供给按工况最佳的混合气成分时,汽油机的燃油消耗还有可能减少 8% 左右,新开发出的高压压缩比、快速稀燃发动机就是一个实例。稀燃混合气一直是汽油机降低燃油消耗的有效方法之一,在控制适当情况下,这种发动机可以同时获取减少排气污染的效果,例如当混合气成分 $\lambda=1.1\sim 1.2$ 时,在节油的同时排气中的 HC 也最少,这对于排量较大的轿车发动机,要求降低 HC 的排放尤为重要。由于电控汽油喷射对混合气成分的精确控制,使汽油喷射发动机可以在 $\lambda=1.3$ 左右的稀混合气状态下正常运行,并满足按欧洲汽车排放 ECE15.04 法规的限值要求;若进一步地满足美国联邦现行的排放法规,则在电控汽油喷射发动机上必须随带三元催化反应器,使 NO_x 、HC、CO 等排气的成分得到充分降低。新一代稀燃汽油机,要求专用一种稀混合气空燃比的氧传感器,使空燃比在较宽的稀区范围内得到控制。新研制的稀混合气氧传感器也是一种用氧化锆固体电介质为载体的传感器,其输出的电流与氧的分压成正比,借此可以较精确地检测出

发动机排气中氧的浓度。从而准确地控制发动机工作在较稀混合气的燃烧区域内。新型稀燃发动机可以在 $\lambda=1.5$ 的稀混合气下稳定运行,这相当于汽车柴油机在全负荷工况的混合气工作,因此燃油消耗量又进一步地得到降低,而且它还带有氧化催化反应器,以降低排气中的 HC。由于燃烧稀混合气时排气中的 NO_x 成分并不太多,可以不经转化就能符合欧洲 (ECE) 排放法规界限的要求。在怠速工况或全负荷工况下,这种稀燃发动机仍然可在化学当量比的混合气或稍许加浓的混合气状态下工作。

在我国,对汽油喷射发动机也不陌生,早在 1958 年,吉林工业大学内燃机教研室就进行过机械式汽油喷射装置的研制与试验工作,并取得了一定的成效。但是,对于车用发动机电子控制汽油喷射系统的研究,则是从 80 年代初期开始的。长春汽车研究所、吉林工业大学、清华大学等单位正进行着单点汽油喷射与多点汽油喷射系统、点火定时、爆震检测、氧传感器反馈系统等电控项目的研究与开发,到目前为止已取得了一定的进展。但是由于我国的工业基础较薄弱,研究工作仍处于对电控系统部件的引进与消化阶段,汽油喷射装置的零部件与控制系统的元件多数还需要完善和可靠性的考核,距实用还有相当一段距离,尤其是立足于国内制造,还需要解决传感器、喷油器等执行机构的研制与配套、制造工艺与试验方法,以及控制系统可靠性与使用寿命等多方面的问题。“八五”期间,国家已经把开发汽车发动机电控汽油喷射与点火系统列为重点研究开发项目。根据我国现有的工业基础与科研情况,以及 90 年代我国国民经济发展可能达到的水平,在今后几年,有可能在轿车与轻型发动机上,会有部分电控汽油喷射发动机投放市场,从而缩短在汽油喷射与电控发动机等方面的技术与先进国家的差距。

我国现行的汽车排放法规与噪声限制不算严格,在汽车发动机技术开发时,第一位需要考虑解决的问题,仍然是提高燃油经济性。汽车节油问题比较复杂,需要采取一些综合措施,它涉及到减小汽车质量、改进车身外形、降低风阻、减小滚动阻力、提高传动系统效率、用电子控制装置对发动机与汽车系统实现自动调节、发动机与传动系统的合理匹配,以及发动机本身的节油性能等。其中提高燃油经济性从改进发动机设计的角度考虑,仍然具有较大的潜力。例如,采用电控汽油喷射系统供给正确的混合气;把压缩比提高到 11 左右;设计紧凑的快速燃烧系统,将火花塞置于燃烧室中央,设计半球形的面容比较小的燃烧室;燃烧室内具有最佳的充气与旋流;改进进、排气系统,采用 4 气门的配气机构,以及采用中冷的增压系统,同时又通过减少发动机的机械损失,装用涨力低的活塞环和进一步改善发动机的润滑性能等等。可以预计,在今后几年中,随着国民经济的发展,汽车发动机技术的发展速度将会更快。

第一章 汽车发动机的性能

大部分轿车和轻型车的动力装置是四冲程汽油发动机,它是一种最常用的热力发动机,利用汽油燃料在气缸内燃烧所放出的热能,以气体为介质将热能转换为机械能。相对于其他热力发动机,这种汽油机的综合性能最好。

汽车发动机的性能包括动力性、经济性、排放性以及可靠性与耐久性等方面。前三个性能是表示一定尺寸的发动机在单位时间内作功的能力,所消耗的燃料多少和排出废气对大气的污染程度。后两个性能是表示发动机无故障与长期工作的能力。

评定一台汽车发动机的质量应该是这些性能的全面统一,从使用的观点考虑,要求汽车发动机不仅有好的动力性能、经济性能,而且也要求有好的运行性能,包括排放、噪声和起动性能等等。对于可靠性与寿命指标,由于汽车的使用条件是复杂多变的,因此要将这两种性能数值化是比较困难的,对此发动机制造厂也都以各自的质量标准进行制造,使用者一般只是根据实际使用效果作出判断与评定。近年来由于世界各国对环境保护的重视,都制定了严格的汽车排放法规与噪声法规,要求汽车不断地改善其排放特性与噪声性能。

第一节 发动机的性能指标

发动机的性能指标可以用来对各种类型的发动机进行比较与评定。最主要的性能指标如下:

一、功 率

功率表示发动机在单位时间内所做的机械功。发动机的有效功率 N_e 可以用测功器与转速计来进行测量,经过计算求得:

$$N_e = M_e \cdot \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{M_e \cdot n}{9550} (\text{kW})$$

式中 N_e ——发动机在某工况下运行,由曲轴输出的扭矩可通过测功器测定,扭矩经汽车传动系传至车轮上, $\text{N} \cdot \text{m}$;

n ——发动机同一工况下的曲轴转速, r/min 。

为了研究方便,经常还引用气体在气缸中发出的功率,它被称为指示功率 N_i ,可根据示功图的面积进行计算:

$$N_i = \frac{W \cdot \frac{n}{2} \cdot i}{60} \times 10^{-3} = \frac{p_i \cdot V_h \cdot n \cdot i}{120} \times 10^{-3} (\text{kW})$$

式中 W ——循环的指示功,它是 pV 示功图的面积,

$$W = \oint p dV = p_i \cdot V_h (W);$$

p_i ——平均指示压力, Pa ;

V_h ——发动机气缸的工作容积, m^3 ;

i ——气缸数目。

指示功率与有效功率之差就是机械损失功率:

$$N_m = N_i - N_e (\text{kW})$$

有效功率与指示功率之比称为机械效率:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$