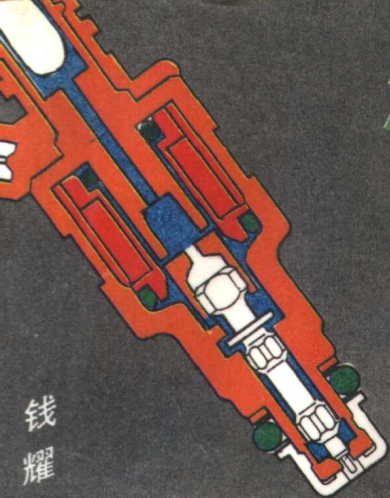


汽车发动机

汽油喷射系统

QICHE FADONGJI QIYOU PENSHE XITONG



钱耀义 编著

人民交通出版社

Qiche Fadongji Qiyou Penshe Xitong

汽车发动机汽油喷射系统

钱耀义 编著

人民交通出版社

(京)新登字091号

内 容 提 要

本书讲述现代汽车发动机汽油喷射系统,包括机械式、机电混合控制式、电子控制式汽油喷射系统等的结构、原理与使用,还介绍了轿车发动机节油与排气净化等方面的新技术。

本书内容较新,选材结合实际,对于轿车发动机汽油喷射系统讲述比较系统与完整。本书可供从事汽车和发动机使用、试验与研究工作的技术人员参考,也可作为高等院校汽车与内燃机专业的参考教材。

汽车发动机汽油喷射系统

钱耀义 编著

插图设计: 佘文利 正文设计: 崔凤莲 责任校对: 赵艳红

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

北京龙印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 8.875 字数: 150千

1992年12月 第1版

1992年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3200册 定价: 6.50元

ISBN7-114-01408-2

U·00940

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使用过。

本书在编写过程中，曾得到德国本茨（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

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	8
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	14
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	20
第六节 汽油喷射的燃料供给	30
第二章 机械式汽油喷射系统	34
第一节 机械式汽油喷射系统的工作原理	35
第二节 燃油供给的主要部件	36
第三节 燃油配剂的主要部件	40
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	51
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	66
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·····	110
第五章	点火与燃油喷射结合的电控系统·····	115
第一节	概述·····	115
第二节	点火子系统·····	118
第三节	喷油子系统·····	125
第四节	电控单元·····	138
第五节	混合气成分的工况适应性·····	152
第六节	电控系统的扩展功能·····	170
第六章	汽油喷射式发动机的发展·····	177
第一节	汽油喷射发动机的动力性与经济性·····	177
第二节	汽油喷射发动机的排放性·····	189
第三节	混合气成分调节系统·····	196
第四节	催化排气净化装置·····	204
参考文献	·····	211

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由排气成分中的未燃烃HC，氮氧化物 NO_x ，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。

除了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，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评定。在美国《车辆安全法》中，规定在 5mile/h 的车速下，进行冲击碰撞试验来检测车辆的损伤情况；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，新车型的发动机噪声必须进行封闭，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和经历着重大的变革。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，对此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驶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；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、排放性与车辆噪声性起着决定性的影响。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

美国法规使用英制计量单位制，此处未作改动。1mile=1.609km。

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。

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，有防滑制动系统，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。这样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的混合气，也并不是都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供给化学当量比的混合气或稍许加浓的混合气工作。

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发动机设计的改进考虑，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功。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经常多变的，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: M_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

$$N_i = W \frac{n}{2} \frac{i}{60} \times 10^{-3}, \text{ kW}$$

式中: $W = \oint p dV = p_i V_h$, 它是 pV 示功图的面积,称为循环的指示功, 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

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

二、平均有效压力

平均有效压力 p_e 是一个作用在活塞上假想的、大小不变的压力，它使活塞移动一个行程所作的功等于每循环所作的有效功，与有效功率的关系为

$$N_e = \frac{p_e i V_k n}{120}, \text{ kW}$$

式中： p_e ——平均有效压力，MPa；

V_k ——气缸工作容积，L；

根据定义，平均有效压力 p_e 可以反映出发动机单位气缸工作容积输出扭矩的大小，它可以用来评定不同排量发动机的动力性能， p_e 越高，发动机的动力性能就越好。

三、有效燃油消耗率

发动机输出的有效功与输入发动机的热能之比，称为有效热效率 η_e 。

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^6}{H_u g_e}$$

式中： H_u ——燃料的低热值，kJ/kg；

g_e ——有效的燃油消耗率，表示发动机每发出 $1\text{ kW} \cdot \text{h}$ 的功所消耗的燃料量。

如果发动机发出 N_e (kW) 时，每小时 (h) 消耗的燃料为 G_f (kg)，则有

$$g_e = 1000 \frac{G_f}{N_e}, \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$$

它表明不同发动机在燃料消耗方面经济性的好坏。

四、排气污染的限制

车用汽油机排气中的有害物质有一氧化碳 (CO)、碳氢

化合物 (HC), 氮氧化合物 (NO_x) 等。CO 和 HC 是不完全燃烧产物, 在氧气不足时大量产生。 NO_x 是氮和氧在高温燃烧时的化合物, 在空燃比稍大于理论空燃比的稀混合气燃烧时最容易产生。

按照汽车排放法规, 一般要求进行三种检验:

第一种是工况法检验 CO、HC 和 NO_x , 要求待检验的汽车在转鼓试验台上运转, 按汽车在一定道路的实际行驶情况所编制的试验程序进行排气采集与测定, 用每单位行驶距离的有害成分排放量作为评定指标。

第二种是怠速法检验, 要求在怠速工况下检测排气中 CO 与 HC 的浓度。

第三种是检验曲轴箱的排放污染物, 由于气缸密封性不严, 一定数量的废气就可能通过曲轴箱通风系统自由排出造成污染。这种检验应紧接在第一、第二种检验之后, 按一定的工况采样与测定, 要求平均的 HC 排放量不超过燃料量的 0.15%。

五、噪声的限制

随着城市交通现代化程度的提高, 汽车噪声对城市居民生活的骚扰日益严重、危害颇深, 世界各国也因此相继制定了噪声法规进行限制。

汽车噪声分车内噪声与车外噪声两种。车内噪声与驾驶员、乘客的疲劳与安全有关, 是决定汽车商品质量价值的重要因素。车外噪声则是环境的公害之一。在加速行驶工况, 汽车的噪声最大, 其噪声源来自发动机本体、进排气系统、

轿车各部分噪声的比例 (%)

表 1-1

发 动 机	排 气 管 系	冷 却 系	轮 胎	其 他
46	8	14	18	14