

现代汽车技术丛书

汽车发动机 电子控制系统

——结构·原理

■ 钱耀义 编著



机械工业出版社

现代汽车技术丛书

汽车发动机电子控制系统

结构·原理

钱耀义 编著

机械工业出版社

本书主要介绍汽车发动机电控系统,包括车用计算机、传感器与喷油、点火等执行机构三部分的理论、结构与试验,也介绍了有关电控发动机及其控制理论的基础知识。同时还概要地叙述了电子控制技术在汽车底盘和柴油机喷射系统上的应用与最新发展。

本书内容较新,理论结合实际,对于轿车发动机的电控管理系统,阐述得比较系统、完整。

本书可供从事汽车和发动机设计制造、试验研究与使用工作的工程技术人员参考,也可作为高等学校机械工程与动力工程等相关专业的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电子控制系统 / 钱耀义编著. — 北京:机械工业出版社, 1999.1
结构·原理

1999.1

(现代汽车技术丛书)

ISBN 7-111-06892-0

I. 汽… II. 钱… III. 汽车-发动机-电子控制-自动化系统 IV. U464

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第29271号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:钱既佳 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.75印张·335千字

0 001—3 000册

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

近十多年来,电子技术、计算机技术已广泛应用于汽车发动机的控制,以及底盘的传动系统、转向系统、悬架与行驶系统等控制。汽车电子化的程度已成为衡量汽车现代化质量水平与档次的最重要指标。

汽车的电子化首先从发动机的控制开始,汽车发动机在采用电控喷射与发动机管理系统后,在降低燃油消耗、减少排气污染、提高动力输出等方面都取得了显著的进步。技术的发展证明了采用电子技术是提高发动机综合性能的最佳途径,现代汽车的发展完全离不开电子技术。电子控制改变了发动机的传统结构,它使发动机的设计、制造取得了突破性的发展与进步。电子控制技术还使汽车的行驶与安全总能处于最佳状态,使今日汽车、发动机发展成为新一代的电子化汽车与电控发动机。

目前,我国已开始在汽车上应用电子技术,开发与生产汽车电子产品已受到汽车工程界人士的广泛重视,大力发展汽车电子技术,加快我国汽车电子化的进程已成为发展我国汽车工业的当务之急。

在这种客观形势下,在大学专业教学中,开设汽车电子化或发动机电子学这样的课程或讲座已显得十分迫切与重要。

但是,过去受到专业面窄的影响,国内关于汽车及发动机电子控制的教科书出版得较少,这使有志学习汽车、发动机电子控制的师生深感不便。编写本书的目的就是为了适应电控发动机技术发展趋势的需要,弥补目前发动机教科书的不足。

本书分章节详细讲述汽车发动机的电子控制系统,包括汽车电脑、传感器与执行器三部分的结构与理论,以及汽车发动机设计、试验与控制理论的专门知识,也概要地介绍了汽车柴油机的电控喷射系统和汽车底盘各种电控系统的发展与应用。

本书向读者提供了有关汽车、发动机及其电子控制系统的理论与结构方面的系统知识,对于从事发动机与汽车设计、制造与试验的工程技术人员来说,掌握这些发动机电子控制的专门知识是完全必需的。

本书引用或列出的数据与结构图形,多数取自国外近年发表的技术文献与资料,但也总结了作者及科研组同事在吉林工业大学内燃机工程系多年从事电控发动机科学研究经验,其中部分章节的内容曾在研究生选修的课程中讲授过几次。

由于本书内容涉及的专业面较广,除发动机学科之外,它与电子技术、计算机控制等密切相关,限于作者的水平、在资料选取与论述方面,难免会有不妥与错误之处,恳切希望读者与专家批评指正。

作 者

1998年5月于吉林工业大学

目 录

前言	
绪论	1
第一章 电控汽油喷射系统	5
第一节 汽油喷射系统概述	5
第二节 电子控制的汽油喷射系统	7
第三节 燃油供给各部件的结构	9
第四节 发动机使用工况的数据采集	13
第五节 电控汽油喷射系统的工况适应性	17
第六节 电控喷射系统的电路与变型	21
第七节 节气门体电控汽油喷射系统	24
第八节 电控喷射系统主要参数的计算	29
第二章 机械式汽油喷射与机电混合控制的汽油喷射系统	36
第一节 机械式汽油喷射系统概述	36
第二节 机电混合控制的汽油喷射系统	44
第三节 机电混合控制喷射系统的工况适应性	46
第三章 电子点火系统	51
第一节 点火系统概述	53
第二节 晶体管点火系统	56
第三节 电容放电式点火系统	66
第四节 计算机控制的点火系统	69
第四章 电控发动机管理系统	75
第一节 点火与汽油喷射结合的电控系统	76
第二节 点火与喷油结合系统中的电控单元	83
第三节 点火定时与混合气成分的工况适应性	85
第四节 电控系统的扩展功能	94
第五节 电控发动机管理系统实例	98
第五章 电控发动机自诊断系统	104
第一节 诊断系统概述	104
第二节 汽车自诊断系统的工作原理	104
第三节 诊断系统故障代码的读取	106
第四节 汽车发动机故障代码读取的实例	111
第五节 电控汽油喷射发动机的使用与调整	118
第六章 汽车用计算机	120
第一节 微电子学基础	120
第二节 汽车用计算机	128
第三节 微机控制单元的选用	138
第七章 发动机控制的理论基础	142
第一节 系统的动态特性	142
第二节 比例、积分、微分控制(PID)	144
第三节 现代控制理论的基本知识	145
第四节 线性状态方程的解	148
第五节 采样控制	150
第六节 发动机的控制模式	153
第八章 汽车传感器	159
第一节 车用传感器概述	159
第二节 温度传感器	162
第三节 压力传感器	163
第四节 空气流量传感器	165
第五节 曲轴位置传感器和转速传感器	169
第六节 氧传感器	174
第七节 爆震传感器	178
第八节 其他用途的传感器	180
第九节 传感器技术的发展	182
第九章 汽车柴油机电控系统	186
第一节 电控柴油喷射系统的发展	186
第二节 电控柴油喷射系统的组成	189
第三节 电控柴油喷射系统的控制功能	190
第四节 柴油机的电控单元与执行器	192
第十章 汽车电子化的应用与发展	196
第一节 变速器的电子控制	196
第二节 防抱死制动系统与牵引力控制系统	199
第三节 汽车悬架系统的电子控制	201
第四节 汽车转向系的电子控制	203
第五节 汽车安全性的电控系统	204
第六节 汽车仪表的电子控制	209
第七节 汽车导航系统	212
参考文献	215

绪 论

汽车工业的水平是衡量一个国家工业化水平高低的一个重要标志。

目前,随着各国汽车工业的迅速发展、汽车技术的长足进步,汽车生产量、市场销售量和保有量都有大幅度增长。汽车的普及和由此带来的排气污染、噪声、交通安全事故,以及燃油短缺等问题愈来愈受到各国政府与社会公众的重视与关注。

为了满足有关环境保护、消除公害、节约能源、交通安全等方面严格的要求,国际组织与各国政府立法部门都为此制定了若干汽车法规或标准,强制性地加以颁布实施。法规是汽车制造商、销售者与使用者都必须遵守的守则,也是汽车与发动机设计与制造的准则和汽车发动机产品认证、鉴定和进出口商品检验的主要技术依据。美国、欧洲、日本等国在制订和实施机动车法规方面起步较早,并已取得一定的成效,刺激了汽车技术的发展。美国机动车法规已形成了相当完善的体系,是世界上最具有影响的汽车法规,其中主要包括联邦环境保护法规(EPA法规)、联邦汽车燃料经济性标准法规及联邦机动车安全法规等。

在制定的联邦环境保护法规中,有汽车和摩托车的排放、噪声法规,这些法规由美国联邦环境保护署根据大气清洁法制定的。汽车(尤其是轿车)的迅速增加,汽车排气作为大气中的一个流动污染源已使城市空气污染日趋严重。汽车工业若不能解决由它自身带来的排气污染问题,汽车在城市中的使用必将受到限制。因此,必须不断地提高汽车排气净化的要求与标准,迫使汽车制造厂努力改进排气净化技术,开发代用燃料,开发新能源发动机等。

90年代后美国还从长远的观点出发,提出21世纪使用零排放车辆(ZEV),从1994年后开始使用过渡时期低排放车辆(TLEV),1997年后用低排放车辆(LEV),和超低排放车辆(ULEV)。LEV标准只需采用新的排气净化技术或采用代用燃料就能实现。因为ULEV的排放限值只有同时使用新的排气净化技术与采用代用燃料才能达到,而且还附带要减少CO排放50%,减少无甲烷碳氢(NMHC)的排放。因此要到2000年才对较多的出售汽车有约束力。

ZEV是进一步追求的目标,规定在2003年,就要有10%的汽车是ZEV,其无甲烷有机气体(NMOG)的排放只允许有0.06g/mile^①。

汽车噪声是动力传动系统噪声、进、排气噪声和轮胎以及风阻产生的噪声的综合。汽车噪声主要辐射到车外,同时也通过传声结构传到车内。从环境保护和提高汽车舒适性要求考虑,希望减少车内、外噪声。关于汽车噪声的法规,各国也都已限制汽车外部噪声的极限,如德国提出新车的噪声限值为75dB。这就意味着,对新车型的发动机必须进行封闭,把发动机整体或局部封装起来。

汽车燃料经济性法规,规定了汽车的综合平均燃料经济性(CAFE)限值,不论汽车制造厂生产何种档次的汽车,其平均燃油耗必须符合此法规限值,这是为了减少能源消耗,与促进汽车制造厂努力开发低油耗车辆是相一致的。至2000年CAFE的标准限值为6.7L/(100km)。

汽车安全性法规对一系列影响汽车结构、燃料供给系统、客车车厢、制动器、轮胎等部

① 1mile=1609.344m。

件及防止事故方面的一些元器件提出了安全性法律要求，均对汽车技术的开发起到促进与限制作用。安全性法规考虑了以侧面碰撞保护为主，防止事故的发生，减轻事故的伤害程度等标准。在美国《车辆安全法》中规定，事故对车辆的影响可通过以下试验来判断：在 5mile/h 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，并要求车内乘员不应遭受危及生命安全的伤损。进行此类试验一般用假人进行（同时在一切实客车上需安装乘员被动保护装置）。

美国对侧向碰撞保护法规中，规定在静态碰撞外，还增加一个动态试验步骤。在这个试验中，一个质量为 1365kg 的可变形的障碍物被推向试验车辆的侧面，撞击速度定为 33.3mile/h。由于它的斜运动（障碍物的轮子与障碍物的纵轴成 27° ）模拟了两辆运动着的汽车状况（被撞的汽车运动速度为击撞的汽车速度的一半），在欧洲汽车安全法规中，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，也用对于试验假人的影响、车辆部件的位移以及燃油系统的抗漏能力来进行评定的。

有关汽车排放与燃油经济性等法规的要求，促进了汽车及发动机技术的开发与研究。已经对汽车、发动机的设计与制造产生明显的制约与技术指导作用，并经历着重大的改革。评定现代汽车发动机的性能，第一位的是考虑它对环境的影响，即它的低公害性能。这一点越来越多受到人们的重视与认识，新一代汽车及其发动机应该满足减少排气污染，减少噪声、减少能耗和提高在一般道路上行驶的安全性等方面的要求。

因此，开发新车要同时考虑上述各方面所包括的技术措施。

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结构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。

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，以实现汽车运行的最优化。

对于车用火花点火式汽油机来说，其运行性能包括排放、噪声、油耗与输出功率等，主要都取决于混合气的质量与点火定时的精确控制。在这一方面，电控汽油喷射发动机具有明显的优势。

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、耗能量少、响应性好、成本低廉等众多优点，成功地把微机应用到汽车上，使今日汽车的发展进入到汽车电子化时代。

近 20 多年来汽车工业的迅速发展，汽车技术的长足进步，都是随着计算机与电子技术的应用取得的。采用电子技术已经成为解决汽车质量与性能诸多问题中的最佳方案。电子化汽车首先是从发动机的喷油系统和点火系统的控制开始实现的。应用微机控制发动机的喷油与点火就是为了适应社会对汽车排放法规与节能的要求。以后，又在发动机的其他方面得到应用。目前，发动机的控制已由早期的模拟装置发展成为微机控制的数字控制系统。多数轿车上都已装用发动机管理系统，对发动机各个系统进行综合控制。

同时,在汽车底盘的其他系统上,电子控制也得到应用。如在汽车传动系统上装用电控变速器,实现变速器换挡的最佳控制,与发动机运行工况得到最佳的匹配,可以降低油耗。汽车安全性法规促进了防抱死制动系统(ABS)、安全气囊等系统的研究与付诸实用。ABS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,有效地提高了汽车制动时的方向稳定性与行驶安全性。安全气囊是现代汽车最重要的被动安全性部件,可以防止碰撞与减少对乘员的损伤。在汽车悬架装置上,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,自动改变悬架弹簧的刚度,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、空调以及导航系统中,电控技术都得到了广泛应用。

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、缸内汽油直接喷射和稀燃混合气的燃烧系统、顶置双凸轮轴的多气门配气机构,以及增压、中冷技术在轿车发动机上也得到广泛应用。此外,电子控制的可控进气管系统、可变进气涡流、可变配气定时、可变压缩比装置的应用,使发动机结构设计取得了突破性的进展,使汽车发动机的排放性、燃油经济性与功率、转矩等综合性能又有进一步的提高。与此相适应,喷油装置与进气系统的集成,提高了系统设计的灵活性,出现了发动机系统的模块式结构,也进一步减轻了结构质量。在发动机管理系统中,微机不仅控制点火与喷油系统的点火定时与空燃比,而且还扩展到控制怠速转速、爆燃、增压压力、进气与废气再循环以及变速器传动等多方面,还增加了自诊断系统、后备系统与保护装置,提高了整个控制系统的可靠性。

随着控制功能与项目的扩展,微机控制的智能化程度越来越高,其控制单元已从普通8位机向16位机过渡,并使用64K字节EPROM的大容量存储器,少数高级轿车开始装用32位微机。同时微机的时钟节拍频率进一步高速化,已由6MHz发展到12MHz,18MHz,控制性能进一步得到改善。

电控汽油喷射发动机能够精确控制发动机的空燃比,改善了混合气的形成、分配与燃烧,使汽油机的排放性、燃油经济性都有所提高。多数电控汽油喷射发动机都随带混合气空燃比的反馈控制系统,使供给汽油机的混合气成分经常调节到 $\lambda=1.0$ 附近,从而使配置的三元催化反应器工作得到较高的排气净化效率。在现阶段,电控汽油喷射发动机加装三元催化反应器后处理装置,被认为是满足当今美、欧各国的汽车排放法规要求的最佳方案。

实际上这种带氧传感器的反馈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,若能向发动机供给按工况经济性优化的混合气成分时,发动机的燃油消耗还有可能减少5%~8%左右,高压压缩比、快速的稀燃发动机就是一个实例。燃用稀混合气,一直是汽油机降低燃油消耗的有效方法之一,而且在控制得当的情况下,这种发动机还可以同时获得排气污染少的效果。新开发的缸内汽油直接喷射发动机,在进气门关闭以后,直接将燃料喷入燃烧室内,并与气缸内的涡流相配合,实现层状充气,使电控发动机可以在 $\lambda=1.3\sim 1.5$ 的稀混合气状态下正常运行。由于过量空气高,可以降低燃烧温度,从而减少了 NO_x 排放的生成,若附带氧化催化反应器,可降低排气中的HC和CO,就能符合欧洲ECE汽车排放法规界限的要求。而且燃烧稀混合气时的燃油消耗率比 $\lambda=1.0$ 时的燃油消耗率还要低。其试验样机的燃料消耗率达到了与涡流室燃烧室柴油机相当的水平,因此汽油直接喷射的电控发动机是一种有前途与值得推广的电控发动机。

我国对汽车发动机电控系统的研究始于80年代初期,一些研究单位进行对汽油喷射、点

火、爆震控制、氧传感器反馈控制等电控项目的研究与开发，取得了一定的进展，在国产 CA7220 小红旗轿车和桑塔纳 2000 型轿车发动机上相继装用了电控汽油喷射系统。但是，由于我国的工业基础还较薄弱，在汽车电子化程度上与国外先进水平相比，还存在较大的差距。多数试验研究仍处于对电控系统部件的引进与消化阶段，已生产的一些控制系统的元件，还没有达到全部配套实用的水平，其中多数需要完善和可靠性考核，距离实用还要经历一段时间。

但是，电控发动机是发展趋势，我国制定的轿车工业与轿车技术发展规划中，均已把电控汽油喷射技术列为重点研究开发的项目。根据我国现有的汽车工业基础以及下世纪初我国汽车产量翻一番的前景，开发与应用发动机电子技术是完全可能与必要的。可以预计，在今后的几年中，在我国的轿车与轻型汽车上，装用电控汽油喷射或管理系统的发动机将陆续投放市场，并逐渐取代化油器式发动机，从而在汽油喷射与电控发动机等方面的技术上缩短与先进国家的差距。

第一章 电控汽油喷射系统

第一节 汽油喷射系统概述

传统汽车都装用化油器式汽油机，汽油通过化油器和空气混合后进入气缸，驾驶员操纵加速踏板相连接的节气门来改变进气通路的截面积，来调节发动机的充气量，从而增减发动机的功率。也就是说，这种发动机是用化油器来调节空燃比的。汽油喷射是汽油机混合气形成的另一种有效方法，它通过喷油器把汽油喷入进气门后的进气管内，或直接喷入气缸内，与进入的空气混合形成可燃混合气。发动机空燃比的调节是通过控制汽油喷射装置实现的。由于汽油喷射系统的供给性能要比化油器的供给性能好得多，因此，目前汽油喷射供给系统已经完全取代了传统化油器式的供给系统，汽车上多数已经广泛使用汽油喷射发动机。

汽油喷射技术早在 30 年代就应用于当时的航空活塞式发动机上，50 年代开始用于德国梅赛台斯、奔驰 (Mercedes-Benz) 300SL 轿车发动机上。电控汽油喷射的最初设想是从 1957 年美国本迪克斯 (Bendix) 公司试制电控喷油器开始的，但这套系统并未付诸实用。以后，德国博世 (Bosch) 公司购得此项专利，经过几年的努力，于 1967 年推出 D-Jetronic 型电控汽油喷射系统 (向进气管喷射的供给系统)，并装在大众 (VW) 公司的轿车上向美国出口。从此以后，欧、美、日本等发达国家的汽车制造厂中都相继采用，并逐步地开发出各种型式的水控汽油喷射系统。

近十多年来，由于电子技术、微型计算机技术的迅速发展，电控汽油喷射发动机在汽车上得到广泛应用。根据统计，1990 年在美国装用电控汽油喷射系统的轿车发动机比例就已经达到 90%，福特 (Ford) 公司生产的轿车和货车已全部装用电控汽油喷射发动机。在德国、日本使用的比例也都已超过 50% 以上。可以说，在轿车发动机上，电控汽油喷射系统必将完全取代化油器式的燃料供给系统。

这种发展趋势的主要原因在于世界各国的汽车排放法规的日趋严格化，同时也由于石油燃料的短缺，社会要求汽车行驶省油。为了达到汽车排放与节油的综合优化效果，靠传统的化油器用机械控制的办法是难以实现的。实现汽车发动机排放的控制，要在化油器等常规结构上要增设一些附加的装置与部件，使得化油器的结构更加复杂化，成本也相应增加，但最终的控制效果还不及电控汽油喷射系统有效。

一、汽油喷射供给系统的优点

1) 提高发动机的充气效率，由此可增加发动机的输出功率与转矩，这是由于它没有化油器的喉管损失，喷出燃油雾滴较细，可以灵活设计进气歧管，同时也可以不依靠进气管的强预热来促进蒸发。

2) 汽油喷射能够保证各气缸混合气的分配比较均匀，可以较精确地控制各气缸的混合气与运行工况的匹配。

3) 由于各气缸混合气在质与量两方面的均匀分配，汽油喷射发动机就可能使用辛烷值相

对较低的燃料（约3个单位），允许有高的压缩比，同时也可使爆燃的倾向减小。

4) 通过燃油喷射，可以按气缸不同的位置，实现燃料的分层燃烧，例如在火花塞附近用浓混合气以保证发火，末端混合气处用稀混合气可以防止爆震燃烧。

5) 发动机的冷起动力性能和加速性能较好。

6) 在二冲程发动机中可以避免在扫气过程中的燃料损失，明显地改善其燃油经济性和HC排放。

由于汽油喷射发动机能准确控制混合气的空燃比，采用高压压缩比，且使燃烧比较完善，燃油消耗可以得到减少。尤其是近年来，在电控汽油喷射发动机上、再设置涡轮增压与中冷系统，使汽油机的性能指标达到了一个新的高度。例如，日本丰田赛利卡轿车（Toyota Celica）用2.0L级直列4缸中冷增压汽油喷射发动机，缸径86mm，行程86mm，压缩比8.5，最大功率218kW（5700r/min），最大扭矩450N·m（4000r/min），升功率达109kW/L。

二、汽油喷射供给系统的分类

汽油喷射供给系统在发动机上应用已有多种型式，可以按不同形式进行分类。

1. 按喷射系统执行机构的不同分

(1) 多点喷射（MPI）——每个气缸上安装一个喷油器，直接将燃油喷入各气缸气道的进气门前方。

(2) 单点喷射（SPI）——一个喷油器供给二个以上的气缸，喷油器安装在节气门前的区段中，燃油喷入后随空气流进入进气歧管内。

2. 按喷射控制装置的形式不同分

(1) 机械式——燃料的计量是通过机械传动与液体传动实现的。

(2) 电子控制式——燃料的计量是由电控单元及电磁喷油器实现的。

(3) 机电一体混合控制式——和机械喷射系统一样，也是通过机械、液体喷射装置控制的，同时还设有一个电控单元、多个传感器和电液混合气调节器来控制混合气成分，提高了控制的灵活性，扩展了控制功能。

3. 按喷射方式不同分

(1) 间歇喷射或脉冲喷射式——对每一个气缸的喷射都有一限制的喷射持续期，喷射是在进气过程中的某段时间内进行的，喷射持续时间相应就是所控制的喷油量。对于所有的缸内直接喷射系统和多数进气道喷射系统都采用了间歇喷射的方式。

(2) 连续喷射式——燃料喷射的时间占有全工作循环的时间，连续喷射都是喷在进气道内，而且大部分的燃料是在进气门关闭后喷射的，因此大部分燃料是在进气道内蒸发的。

4. 按喷射位置的不同分

(1) 进气道喷射式——喷油器安置在进气歧管上，把燃油喷至进气道内进气门的前方，进气道喷射都采用低压的喷射装置，是目前汽油喷射发动机常用的喷射方式。

(2) 缸内燃油直接喷射式——喷油器装在气缸盖上，把燃油直接喷入气缸内，配合缸内组织的气体流动形成可燃混合气，容易实现分层燃烧和稀混合气燃烧，进一步改善了汽车发动机的排放性与燃油经济性。但是缸内汽油直接喷射需要采用较高的压力（约3.0~4.0MPa）的喷油装置，使制造成本有所增加，而且还要求喷出的燃料能随气流分布到整个燃烧室内，对于在缸内布置喷油器、火花塞及组织气流方向与之匹配都比较复杂。因此，这种直接喷射方式目前应用还不普遍。对于二冲程发动机，使用缸内直接喷射把燃料直接喷入气缸内是较为

合理的，若喷射定时选择得当，它可以避免进入新气在扫气过程中的损失，对于提高发动机的燃油经济性与减少 HC 的排放更为有效。

第二节 电子控制的汽油喷射系统

在 60 年代，电子控制的汽油喷射系统就已经付诸实用，1967 年德国博世公司首先推出一种 D 型 (D-Jetronic) 电控汽油喷射系统应用于轿车上，由于其燃油经济性、排气净化性与动力性等均优于化油器式发动机，因而赢得了市场。此后，欧、美、日各大汽车制造厂都相继开发了各种型式的电控汽油喷射发动机。

图 1-1 所示的 D-Jetronic 电控汽油喷射系统是采用进气管压力作为控制喷油量的主要因素，它在汽车突然制动或下坡节气门关闭时以及大气状态有较大变化时，会出现加速响应不良的现象。1973 年后经过改进，采用以吸入空气流量，即采用质量流量计的方式作为控制喷油量的主要因素，成为现在广泛应用的 L 型 (L-Jetronic) 电控汽油喷射系统。1979 年后，德国博世公司又开发生产了集电控汽油喷射系统与点火系统于一体的 M 型 (Motronic) 数字式电控系统。1983 年该公司又推出了一种燃油压力只有 0.1MPa 的低压单点喷射系统 (Mono-Jetronic)。在此同时期，美国、日本的轿车上开发的电控汽油喷射系统有福特公司的 EEC-Ⅲ、EEC-Ⅳ 系统和 TBI 系统，丰田公司的 TCCS 系统、日产 (Nissan) 公司的 ECCS 系统等等。

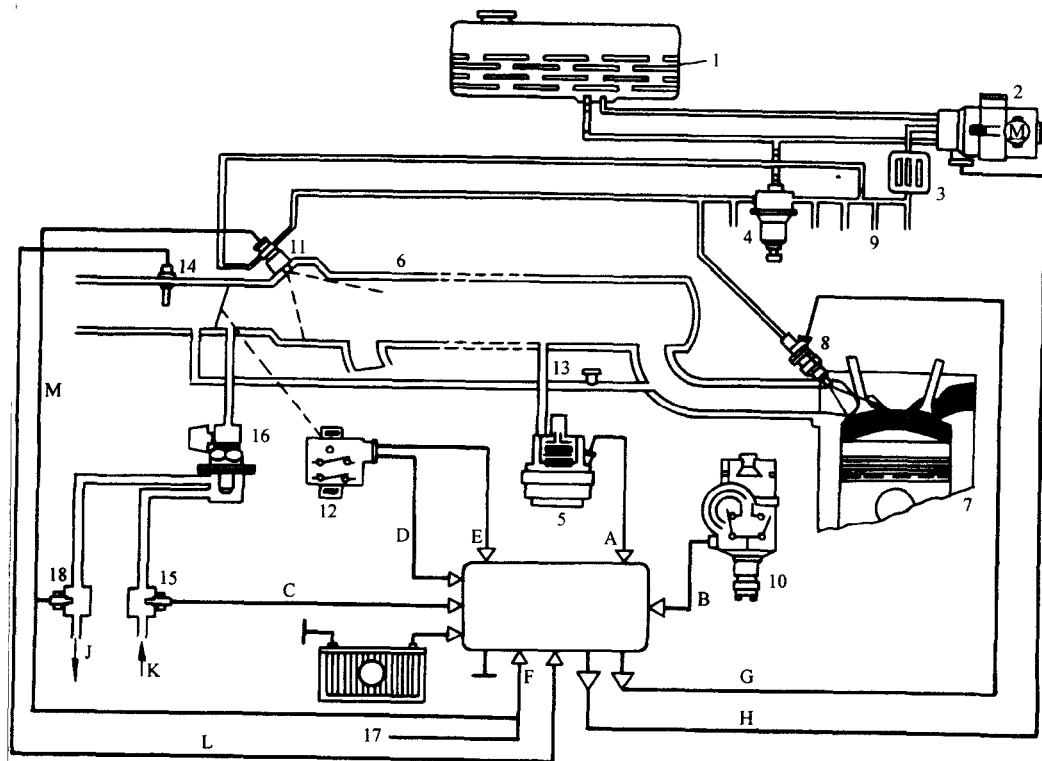


图 1-1 D-Jetronic 电控汽油喷射系统方案

- 1—汽油箱 2—汽油泵 3—滤清器 4—压力调节器 5—进气压力传感器 6—进气管 7—气缸 8—喷油器
9—喷油管 10—分电器 11—冷起动阀 12—节气门开关 13—怠速调节螺钉 14—温度传感器
15—水温传感器 16—辅助空气调节器 17—接起动电动机 18—温度-时间开关

L-Jetronic 电控汽油喷射系统的布置如图 1-2 所示。

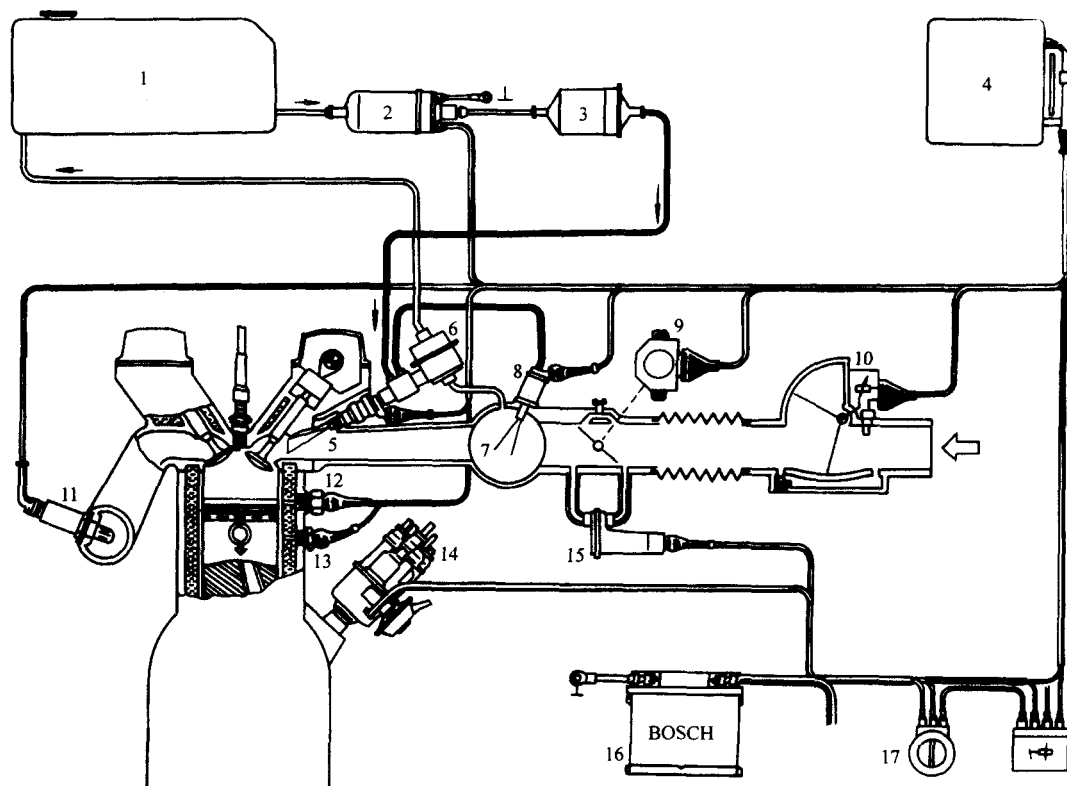


图 1-2 L-Jetronic 汽油喷射系统的布置

1—汽油箱 2—汽油泵 3—滤清器 4—控制单元 5—喷油器 6—油轨与压力调节器 7—进气总管 8—冷启动阀
9—节气门开关 10—空气流量计 11—氧传感器 12—温度-时间开关 13—温度传感器
14—分电器 15—辅助空气调节阀 16—蓄电池 17—点火起动开关

L 型电控喷射系统是利用各种传感器感应采集的信号送入一个电控单元 (ECU) 中根据发动机各种工况的实际需要来控制喷油量。例如在汽车正常行驶时供给 15:1 空燃比的混合气, 在冷车起动与全负荷运行时, 需要加浓混合气使供给混合气的空燃比小于 14:1。这种喷射系统是用间歇式的喷油方式, 混合气的空燃比用微机控制。当电控单元的控制电流流经喷油器内的电磁线圈时, 喷油器就开启, 把燃油喷入进气管内, 与吸入的空气混合后进入气缸内燃烧, 产生动力。

微机的主要功能是控制喷油器的喷油量。吸入空气量是由节气门的开度确定的。

L-Jetronic 汽油喷射控制系统的特点是:

- 1) 采用空气流量传感器, 以空气流入量为控制的基础。
- 2) 以空气流量与发动机转速作为控制基本喷油量的因素。
- 3) 接受节气门位置、冷却水温、空气温度等传感器检测到的表征发动机运行工况的信号作为喷油量的校正, 使发动机运转稳定。

整个 L 型喷射系统可分为燃油供给、空气供给与电路控制等三部分。

一、燃油供给

燃油从燃油箱经过电动汽油泵以约 0.25MPa 的压力流经燃油滤清器，滤去杂质后，进入燃油导轨（分配管）。在油轨的后端有一个压力调节器，它使喷油压力保持恒定。过量的压力油将通过此压力调节器无损失地返回到油箱。由于燃油连续地流过，因此总能保证有正常的燃油供给。调节后的 0.25MPa 的压力油，将通过油轨支管分送到各喷油器，接受电控单元的指令控制。燃油喷至进气门的上方，当进气门打开时，才将燃油与空气同时吸入气缸中。

二、空气供给

空气经过空气滤清器，滤去空气中的尘埃等杂质后，流经空气流量传感器，经过计量后，空气流沿着节气门通道流入进气歧管，再分别供给到各个气缸中。汽车行驶时空气流量是由驾驶员通过加速踏板操纵节气门控制的。

三、电路控制

电控单元通过电路接受的输入信号有：

- 1) 分电器点火线圈——发动机转速；
- 2) 空气流量传感器——吸入的空气流量；
- 3) 起动开关打开时——起动信号；
- 4) 节气门开关——节气门开度位置；
- 5) 冷却水温传感器——冷却水的温度；
- 6) 空气温度传感器——吸入空气的温度。

上述各信号输入电控单元后，经过综合判断与计算，由控制单元确定喷油器的开启时间，便指令给喷油器，产生喷油。

第三节 燃油供给各部件的结构

燃油供给由电动汽油泵、燃油滤清器、燃油导轨、压力调节器、喷油器等组成，如图 1-3 所示。

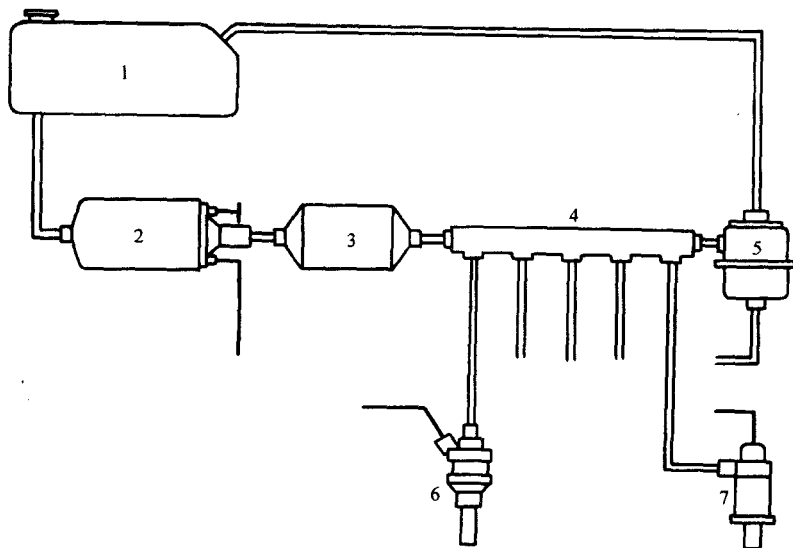


图 1-3 L-Jetronic 系统的燃油供给部分

1—汽油箱 2—汽油泵 3—滤清器 4—油轨 5—压力调节器 6—喷油器 7—冷起动阀

一、电动汽油泵

燃油泵的功用是供给各喷油器及冷起动阀所需的燃油。常用的是一种由永磁电动机驱动的带滚柱的转子泵。其泵油的工作原理如图 1-4 所示, 装有滚柱的转子 2 被偏心地安置在泵体内, 转子旋转时, 位于凹槽内的滚柱 3 在离心力的作用下压靠在泵体的内表面上, 对周围起密封作用。相邻两个滚柱之间形成了一个空腔, 在汽油泵运转过程中, 一部分空腔的容积不断增大, 成为低压吸油腔; 而另一部分空腔容积不断减小, 成为高压泵油腔。受压的燃油通过出油口压出, 油泵内部有电动机并允许有燃油流过, 它被称为湿式电动机。因为电动机浸泡在燃油中, 其周围没有空气, 不可能发生着火。但在无燃油而汽油机旋转时, 因转子上的滚柱与壳体内壁无法密封产生吸力, 以及冷却不良, 可发生电动机烧毁。电动汽油泵供给的燃油量要比发动机要求的最大喷油量多, 以便在各种使用工况下保持输油压力。另外, 在泵进口口的后方设有一个释压阀, 当泵油压力超过规定值 (约 0.3MPa) 以上时, 释压阀被推开, 超压的燃油流回吸入口。在泵的出口处还设有一个止回阀, 以防止发动机停车时, 油压突然下降可能造成的燃油倒流现象, 这样可保持油路中有一定的静压, 确保发动机能顺利地再次起动。电动汽油泵的结构如图 1-5 所示, 在发动机点火开关打开之后, 就立即开始运转, 待发动机运转后, 汽油泵就不停地运转, 但当点火开关已打开, 发动机停车时却只运转 1s, 使喷油器的燃油增加压力, 随后电控单元就发出一断路信号, 使燃油泵停止运转。

由于滚柱式电动泵运转时有较大的噪声, 且泵油时压力脉动较大、易于磨损、使用寿命不高等缺点, 近年来在汽油喷射发动机上较多地是采用叶片式电动汽油泵, 如图 1-6 所示。这种泵的结构比较简单, 它由叶轮和带流道的前、后泵壳所组成。叶轮是一块圆形板, 其圆周上开有许多槽孔形成泵油叶片。油泵运转时, 转子叶轮圆周槽内的燃油都跟着转子一起高速转动。由于离心力的作用, 使燃油出口处的油压增高, 同时又在进口处产生一定

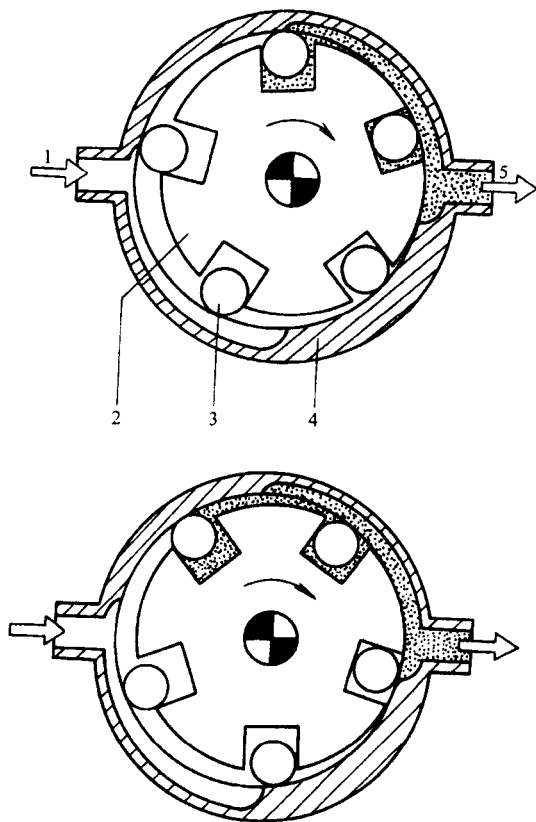


图 1-4 汽油泵的工作原理

1—进口口 2—转子 3—滚柱 4—泵体 5—出口口

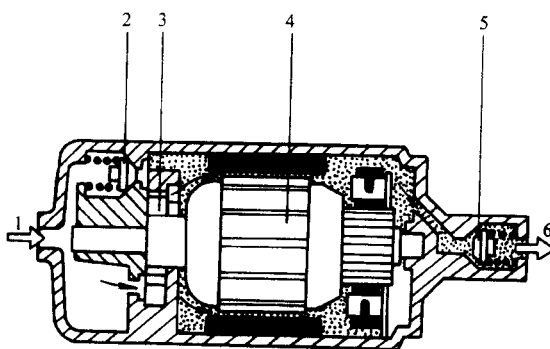


图 1-5 电动汽油泵的结构简图

1—吸油口 2—限压器 3—滚柱泵
4—电动机电枢 5—止回阀 6—出口口

的真空,从而使燃油从进口处吸入,并被泵向出口处流出。这种泵的燃油输送和压力升高完全是由油液分子之间动量转换所实现的,这种泵结构的压力升高效率不高,适用于低压、大流量的场合,用于汽油喷射系统,输油压力可达 $250\sim 400\text{kPa}$,达到普通滚柱式泵的水平。但它的泵油压力波动很小,只有 2kPa 左右,达到普通滚柱式泵随带油压波动减振器时的水平。因此可以取消油压减振器,使泵的总长度缩短,便于直接装入燃油箱内,具有较高的可靠性。而且它的运转噪声也比较低。

这种泵在叶轮与泵壳之间的轴向间隙和密封进出口通道间的径向间隙应适当小些,这样可以减少内部泄漏损失。同样为了防止油压过高,在泵体上也设有限压阀,在出口处的通路上设有一个止回阀。

电动汽油泵可以安装在燃油箱内部(称湿式泵),也可以安装在油箱外部的输油管路上(干式泵)。现在多数车型都使用内装湿式泵,如图 1-7 所示。这种安装方式管路较简单,不易产生气阻和漏油,有时在燃油箱内再分设一个专用小油箱,以防止在燃油箱中汽油不足时,因汽车转弯或倾斜而引起汽油泵周围汽油的流动,使汽油泵吸入空气产生气阻。湿式电动汽油泵浸在燃油中工作时,汽油不断穿过油泵和电动机,使之得到润滑与冷却。使用时,严禁在无油情况下开动汽油泵,也不要等到汽油耗尽才添加燃料,以免烧坏电动汽油泵。

与叶片式泵工作原理相似的还有一种侧槽泵,两者的主要区别是在于叶轮的形状、叶片的数目以及流道的形状与配置。这种泵的优点是它能以蒸气和燃油混合气工作,并能通过适当的放气口分离油气。但其工作压力较低,适于用作初级泵。在许多汽车上,出于应急保险的考虑,都采用湿式电动汽油泵,把它装在燃油箱内,由此出现了双级泵的配置。初级泵压力较低,用于分离蒸气;主输油泵用于提高压力,两级合成一个组件,用 1 个电动机驱动。经常配用侧槽泵作为初级泵、用叶片式泵作为主输油泵,使系统具有两者的优点。

电动汽油泵的运转噪声是一个值得重视的问题,因为电动燃油泵压力的波动和本身的振动所产生的噪声较大,占发动机怠速工况运行噪声的比例偏大,已影响到轿车的舒适性。因此从泵的结构设计要考虑降低运行噪声的措施。例如,改进滚柱泵的滚道廓线,避免在压油与吸油交替瞬间泵室容积的突变;在滚道廓线处用椭圆过渡,使之在该处的容积变化减小,压力变化较平缓,噪声得到降低。另外,如在压油出口处装设一个阻尼器,在吸口端用一个充气软塑料空心垫可降低压力波动与噪声。在电控系统中的电动汽油泵驱动电路可以控制驱动电压,平缓电流,节省电功率,降低运转噪声。

二、燃油滤清器

喷油器是精密的元件,容易受污染堵塞而失效。为了确保喷油器的工作性能,将燃油喷

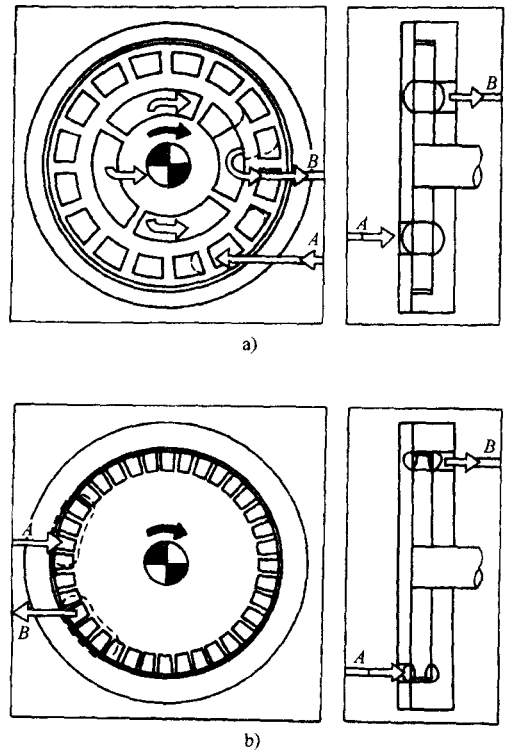


图 1-6 叶片式电动汽油泵

a) 侧槽泵 b) 涡轮泵

成雾状, 必须在喷油系统内设有燃油滤清器, 以过滤燃油中的杂质。图 1-8 表示的滤清器结构与普通滤清器相仿, 在圆柱形壳体内有一个纸滤芯, 滤芯的微孔平均直径约为 $10\mu\text{m}$, 串接一个尼龙或纤维制成的网筛, 以得到较好的滤清效果。滤清器的使用时间取决于燃油的污染程度, 一般在汽车行驶 40000km 后, 才需要更换。

三、燃油导轨 (分配管)

燃油导轨的功用是将燃油均匀地、等压地输配给各个喷油器, 还具有贮油蓄压的作用。油轨的容积油量相对于发动机的循环喷油量要大得多, 这样可以防止燃油压力的波动, 可供给各个喷油器以等量的油量。此外, 分配管的结构应使喷油器在其上面的安装不致复杂。

四、压力调节器

压力调节器的功用主要是调节至喷油器的燃油压力, 使油路中的燃油压力与进气管压力之差保持常数, 这样从喷油器喷出的燃油量便唯一地取决于喷油器的开启时间, 使电脑能通过控制喷油时间的长短来精确控制喷油量。

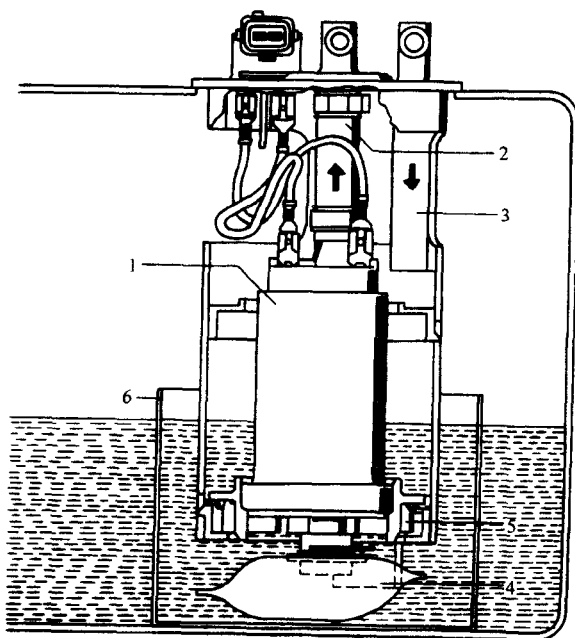


图 1-7 湿式电动汽油泵的安装

1—电动汽油泵 2—出油管 3—回油管 4—滤清器
5—悬置件 6—小油罐 (防止油面起落)

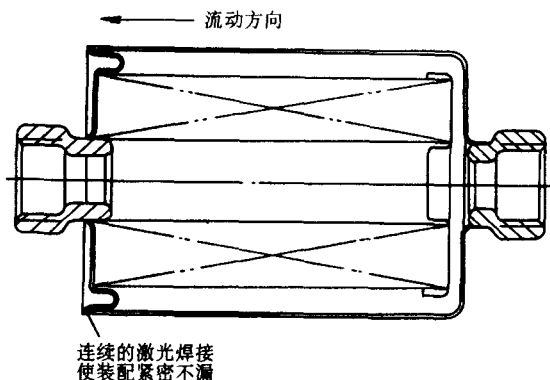


图 1-8 喷射系统中的燃油滤清器

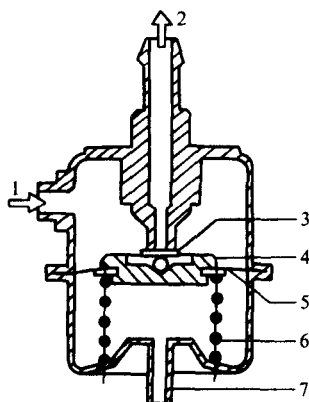


图 1-9 压力调节器

1—燃油流入 2—燃油回流 3—阀门 4—阀支
承板 5—膜片 6—弹簧 7—进气管接口

压力调节器位于分配管的一端, 按装置的不同, 可使燃油压力调节在 $0.25 \sim 0.3\text{MPa}$ 的范围内。压力调节器的结构如图 1-9 所示, 由金属壳体组成的内腔, 其中有一个膜片把内腔分成两室: 一个室内装有预紧力的弹簧压在膜片上; 一个室通燃油。当油压超过预调的压力值时, 将克服弹簧压力, 使膜片向下移动, 由膜片操纵的阀门可将回油孔打开, 使超压的燃油