

高等职业技术教育规划教材

电控发动机维修

冯 渊 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



高等职业技术教育规划教材

电控发动机维修

主 编 冯 渊
参 编 陈力捷 黎盛寓 王从明
胡祥卫
主 审 吴竟成



机械工业出版社

本书主要介绍现代轿车发动机的结构、组成和工作原理,以及电控发动机的维修、常见故障分析和发动机故障自诊断系统应用等知识。主要包括发动机用传感器、电控汽油喷射系统、电控电子点火系、辅助电子控制系统、典型汽油发动机集中控制系统、电控柴油喷射系统、传感器信号与检测、电控发动机维护和电控发动机常见故障分析等。

本书精选目前最新发动机电子控制技术和维修方法为教材内容,信息量大,图文并茂,可作为高等职业学校汽车专业教材,也可供汽车运用与维修方面的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电控发动机维修/冯渊主编 —北京:机械工业出版社,2002.9

高等职业技术教育规划教材

ISBN 7-111-10698-9

I. 电… II. 冯… III. 汽车-电子控制-发动机-车辆修理-高等学校:技术学校-教材 IV. U472.43

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第055446号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:赵爱宁、汪光灿 版式设计:冉晓华 责任校对:刘秀芝

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京市樱花印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13印张·315千字

0001-3000册

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677—2527

封面无防伪标均为盗版

编写说明

随着国民经济的迅速发展,汽车行业已成为我国的支柱产业。近年来,我国汽车保有量迅速增加;同时为满足环保、节能、安全性和舒适性等要求,现代汽车上已采用了许多新结构和新技术,尤其是随着计算机技术、控制技术的发展,各种先进的电控系统在汽车中得到广泛的应用,给汽车的生产、使用和维修等带来了许多新问题。因此,迫切需要与之相适应的职业技术教材,为培养应用型人才服务。

本套教材是由机械职业教育汽车专业教学指导委员会组织编写的,一套共7种。它们是《汽车发动机构造与维修》、《汽车底盘构造与维修》、《汽车电气设备构造与维修》、《汽车使用性能与检测》、《汽车材料》、《电控发动机维修》和《汽车自动变速器维修》。该套教材的特点是面向高等职业技术教育,兼顾中等职业技术教育,既有较强的理论性、实践性,又有较强的综合性,并根据高等职业教育的特点,在内容上加强了针对性和应用性,以保证基础、加强应用、体现先进、突出以能力为本位的职业教育特色,力求把传授知识与培养能力有机地结合起来。

本套教材的编者均来自教学第一线,有着丰富的教学经验和扎实的专业知识基础。他们对于当今的教改形势、专业设置等,有着深刻的体会和认识。这些无疑为编写出具有创新性、适用性的高水平教材奠定了良好的基础。

本套教材的编写得到了机械职业教育汽车专业教学指导委员会各委员及相关院校的大力支持,在此表示衷心的感谢。

机械职业教育汽车专业
教学指导委员会
2002年4月

前 言

汽车技术,特别是汽车电子控制技术在世界较发达国家发展迅猛。轿车电子控制技术已从发动机、底盘的控制发展到行驶姿态、通信与GPS、转向控制等全方位的集群控制系统。发动机的电子控制也从单一的点火控制、汽油喷射控制等转向点火、喷射、进气、排放等集成的控制系统。随着全球经济一体化的进程,我国汽车电控技术应用的速度明显加快,水平和档次明显提高,与国外汽车制造技术水平差距正在缩小。汽车技术的飞速发展给汽车技术应用与服务带来了挑战,为了培养高级汽车维修与服务专业技术人才,适应日新月异的汽车新技术应用的要求,我们特组织编写了这本教材。

本教材对目前采用的发动机电控最新技术与应用作了全面的介绍,知识新、机型多、信息量大。同时,加强了发动机控制理论基础和传感器基础知识,并按照基础理论、零部件结构原理、控制系统原理、典型控制系统分析、检修工艺方法的顺序组织编写。体现了深入浅出、注重实际应用的高职教材特点。

本教材由冯渊副教授主编,并编写了第一章第一节与第二节、第四章、第八章第五节,王从明编写了第一章第三节与第四节、第二、三章,胡祥卫编写了第五、六章,陈力捷编写了第七、八章第一节至第四节,黎盛高编写了第九、十、十一章。本教材由吴竟成研究员高工主审。

由于编者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2002年3月

目 录

编写说明

前言

第一章 电控汽油发动机概述	1
第一节 电控发动机发展背景	1
第二节 电控发动机的发展过程	2
第三节 电控发动机基础理论	4
第四节 电控汽油喷射系统的组成与功用	9
第二章 空气供给系统	22
第一节 空气供给系统	22
第二节 怠速控制部件	24
第三章 汽油供给系统	31
第一节 汽油供给系统组成	31
第二节 电动汽油泵的构造和工作原理	36
第三节 电磁喷油器	39
第四章 传感器	45
第一节 传感器概述	45
第二节 空气流量计	52
第三节 压力传感器	57
第四节 节气门位置传感器	60
第五节 氧传感器	61
第六节 温度传感器	64
第七节 爆震传感器	65
第八节 曲轴位置传感器	67
第九节 转速传感器	69
第五章 电控汽油喷射系统	71
第一节 汽油泵的控制	71
第二节 喷油器的控制	74
第三节 喷油量的控制	76
第六章 电子控制点火系	80
第一节 电控点火系的组成和分类	80
第二节 点火提前角和闭合角的控制	82
第三节 发动机爆震的控制	87
第四节 典型电控点火系	88
第七章 汽油机辅助电控系统	95

第一节 怠速控制	95
第二节 排放控制	101
第三节 进气控制	107
第四节 其他辅助控制装置	111
第五节 发动机自诊断系统	114
第八章 典型发动机集中控制系统	119
第一节 丰田车系 TCCS 发动机控制系统	119
第二节 福特 EEC—IV 系统	124
第三节 上海—通用 GM BUICK 轿车电控系统	129
第四节 捷达轿车 Motronic M3.8.2 电控燃油喷射系统	137
第五节 电控柴油喷射系统简介	140
第九章 传感器与信号检测	144
第一节 传感器诊断	144
第二节 其他信号检测	153
第十章 发动机电控系统的维护与测试	157
第一节 发动机电控系统的检修注意事项	157
第二节 汽油供给系统的维护和检修	158
第三节 进气系统的维护与检修	169
第四节 怠速系统的维护和检修	173
第五节 点火系的维护和检修	174
第六节 排放系统维护和检修	182
第十一章 电控发动机常见故障诊断与排除	189
第一节 电控发动机故障诊断	189
第二节 常见故障分析	191
附录 汽车电子控制技术常用缩略语	197
英汉对照表	197
参考文献	199

第一章 电控汽油发动机概述

第一节 电控发动机发展背景

汽车既可作为生产运输的生产用品，又可作为代步、休闲、旅游等消费用品，汽车技术的发展是人类文明史的见证。随着社会、经济的发展，汽车成为人类密不可分的伙伴。当然，汽车的发展也带来了一些负面的影响，如随着汽车拥有量的增加，交通条件、安全、环境污染也成了日益严重的问题。汽车的安全、环保和节能是当今汽车技术发展的主要方向，而解决环保和节能两大难题是现代发动机的主要目标。

一、环保和节能推动了发动机技术的发展

HC 和 NO_x 混合在一起，在强烈的阳光照射下，会发生一系列光化学反应，产生臭氧和各种化合物。臭氧 (O_3) 具有很强的氧化性和毒性。1963 年美国洛杉矶地区发生了光化学烟雾事件，促使了各国对大气污染研究的重视。据统计，城市大气中的一氧化碳 (CO)、碳氢化合物 (HC) 和氮氧化物 (NO_x) 的主要污染源是汽车排出的气体。因此，世界各国都相继制订了日益严格的汽车排放物限制法规。

进入 20 世纪 70 年代，全球的石油危机，使汽车节能问题受到世界各国高度重视，汽车耗油量被相应的法规限制，并成为汽车报废的一个主要标志。到 20 世纪末，美国政府提出了耗油为 3L/100km 的“3 升车”计划。传统的化油器等发动机部件虽然有了很大的改进，仍然满足不了排放和油耗两大法规的要求。可见，传统技术已无能为力，只有采用汽油喷射及电子点火等易于应用的电子控制新技术，才能有所突破。

二、电子技术的发展推进了汽车电控技术的进程

汽车技术，特别是汽车电子控制技术在世界较发达国家发展迅猛，其先决条件是电子技术和计算机技术的迅猛发展。20 世纪物理学的革命，促使半导体技术的迅速发展，尤其是集成电路 (IC) 和大规模集成电路 (LSI) 及超大规模集成电路 (VLSI) 的发展，使电子元件过渡到了功能块和微计算机。这些功能块和微计算机不仅功能极强，而且价格便宜，可靠性好，结构紧凑，响应敏捷，迅速推动了汽车电控技术的发展。目前，发达国家的轿车电子产品应用已占车价的 20% 以上。表 1-1 为汽车上应用较多的汽车电子控制系统。随着量子力学的重大发现和纳米技术的推广应用，还将进一步推进汽车技术的发展。

表 1-1 汽车电子控制系统

发动机控制	电控汽油喷射 (EFI)	喷油量 喷射定时 汽油停供 汽油泵
	电控点火装置 (ESA)	点火时刻 通电时间 爆震防止

(续)

发动机控制	怠速控制 (ISC)	
	排放控制	EGR 废气再循环 氧传感器及三元催化 二次空气喷射 活性炭罐电磁阀控制
	进气控制	空气引导通路切断 旋涡控制阀
	增压控制	
	警告提示	涡轮指示灯 催化剂过热报警
	自我诊断	
	备用功能与失效保护	
底盘部分	传动系控制	自动变速器 防滑差速器 (ASD) 与加速防滑系统 (ASR)、牵引力控制
	行驶、制动转向系控制	电控制动防抱死装置 (ABS) 电控悬架装置 (TEMS) 电控定速/加速/怠速控制 动力转向车速感应稳定系统
其他装置	安全保证及仪表报警	电子仪表 雷达防撞装置 安全气囊 防盗装置
	电源系统	发电机电压调节 过压保护
	舒适性	空调系统 门窗自动开闭 座椅调节 门锁控制
	娱乐通信	汽车音响系统 汽车通信系统

第二节 电控发动机的发展过程

目前所说的车用电控发动机实际上是电控内燃机, 即电控汽油发动机和电控柴油发动机。电控汽油发动机的方案相对成熟, 应用也比较广泛。近年来, 电控柴油机的研究成果斐然。最早是在直列式柱塞泵上附加控制齿条或拉杆的位置电控装置; 后来在分配泵上加上电控系统进行控制。高压喷射技术的发展, 又开发出泵—喷嘴、共轨式等电控柴油喷射系统, 特别是电控共轨式柴油喷射系统, 能达到欧洲 EEC—IV 的排放标准, 其应用前景乐观。

一、电控汽油发动机的发展

20 世纪 60 年代, 由德国博世 (BOSCH) 公司研制成功了发动机汽油喷射系统。

20 世纪 70 年代, 美国通用 (GM) 汽车公司采用了集成电路 (IC) 点火装置、高能点火 (HEI) 系统, 并在分电器内装上点火线圈和点火控制线路, 力图将点火系统做成一体, 这种电路具有结构紧凑、可靠性高、成本低、耗电少、不需冷却、响应性好等特点。后期又采用数字式点火时刻控制系统, 称为迈塞 (MISAR) 系统, 该系统体积小, 由中央处理器 (CPU)、存储器 (RAM/ROM) 和模/数 (A/D) 转换器等组成。系统可根据输入的水温、转速和负荷等信号, 计算出最佳点火时刻。美国克莱斯勒公司首先创立了模拟计算机对发动机点火时刻进行控制的控制系统。

由于集成电路及计算机的发展, 使汽车电子技术得到了快速发展。发动机的电子控制技术是从控制点火时刻开始的。进而从单一地控制点火正时/点火提前角、或汽油喷射、或排放控制等辅助控制, 发展到汽油喷射、点火控制、排放控制等多项内容复合的发动机集中控制系统。现代汽车电子控制系统又将发动机控制与自动变速器控制、驱动系统控制等集合在一起, 成为动力控制系统或牵引控制系统。

此外, 汽油发动机缸内直接喷射方式崭露头角, 由于兼有柴油机的低油耗和汽油机的高输出, 其发展前景值得关注。

二、缸内直喷式汽油机系统

缸内直喷式汽油机 (GDI, Gasoline Direct Injection), 由于改变了油气混合机理, 采用稀薄分层燃烧技术, 可有效降低 HC 等排放。同时, 新的混合方式使混合气体积和温度降低, 爆震燃烧的倾向大为改观, 发动机的压缩比可比进气管喷射时大大提高。

1. 福特 PROCO 稀薄燃烧系统

福特汽车公司 PROCO (Programmed Combustion Injection) 稀薄燃烧系统是程序化燃烧过程的缩写。如图 1-1 所示, 进气道为螺旋式气道, 汽油直接喷射到燃烧室内。喷油器位于中央, 两侧各有一个火花塞。由于汽油在缸内雾化需要吸收能量, 混合气温度下降。因而可采用高压压缩比的发动机 ($\epsilon = 15$), 并可在空气与燃料质量之比 (简称空燃比) 为 25:1 的条件下工作。

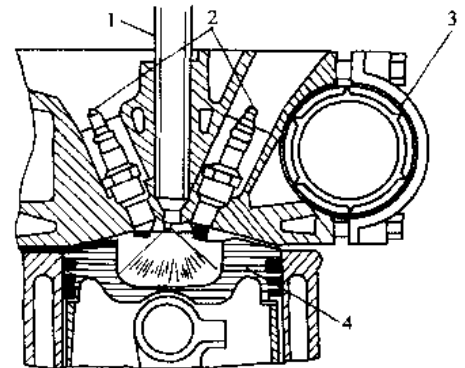


图 1-1 福特 PROCO 稀薄燃烧系统

1—喷油器 2—火花塞

3—低热惯性排气歧管 4—活塞

2. 丰田 D-4 稀薄燃烧系统

图 1-2 为丰田 D-4 稀薄燃烧系统组成。该系统采用电控涡流阀 (E-SCV), 形成斜向进气涡流。喷油器为高压旋流式 (8~13MPa), 雾化性能好, 雾滴直径小于 $5\mu\text{m}$ 。喷射方式控制灵活, 对不同转速与负荷采用不同的喷油控制方式, 并带有电控废气再循环系统和氧传感器、三元催化器闭环控制系统等, 其轿车工况试验油耗小于 0.06L/km 。

3. 三菱 4G 稀薄燃烧系统

三菱 4G 稀燃系统与丰田 D-4 系统相近 (图 1-3)。进气采用立式进气道, 以保证高度的纵向涡流及充气系统。与 D-4 稀薄燃烧系统相同, 在火花塞附近形成较浓易点燃的混合气; 也采用旋涡式喷油器, 但喷油压力小于 D-4 系统, 喷油压力为 5.0MPa 。

缸内直喷式发动机采用了稀薄燃烧方式, 油耗和排放远远低于普通汽油机, 目前属于完善与提高阶段, 其应用前景看好。

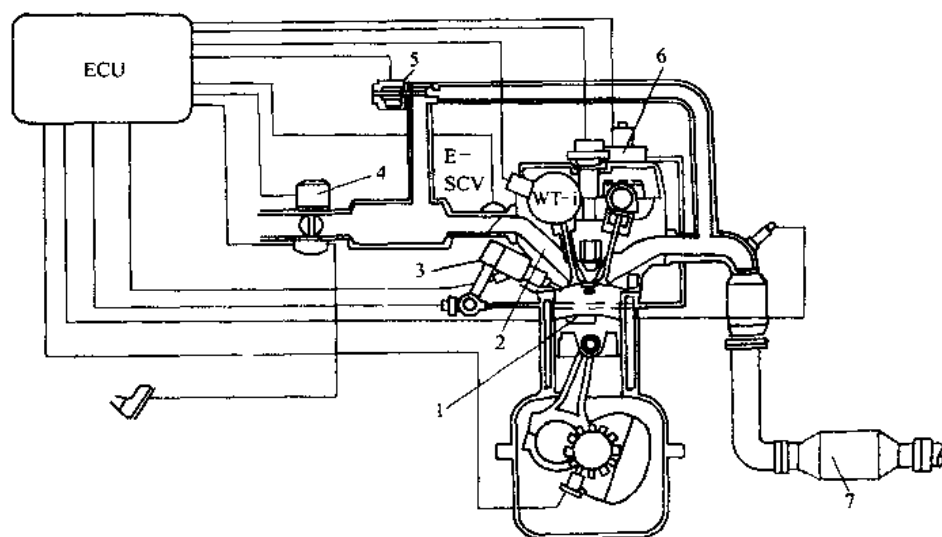


图 1-2 丰田 D-4 稀薄燃烧系统组成

1—层状燃烧室 2—螺旋进气道 3—高压螺旋喷嘴 4—电控节流阀
5—电控 EGR 阀 6—高压油泵 7—三元催化器

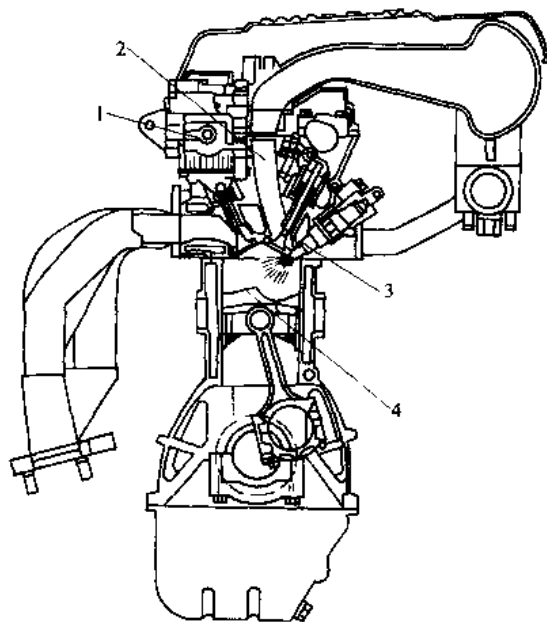


图 1-3 三菱 4G 稀薄燃烧系统组成

1—高压燃料泵 2—立式进气道 3—高压螺旋喷嘴 4—弯曲顶面活塞

第三节 电控发动机基础理论

一、汽油发动机的排放与净化

1. HC 的生成机理

HC 产生的原因除燃料的不完全燃烧外，缸壁淬冷也是 HC 产生的主要来源。由于汽油

机中混合气的燃烧是依靠火焰传播进行的，当火焰传播到接近气缸壁面附近时，由于壁面的冷却作用，火焰不能完全传播到缸壁表面，使大约 0.5mm 厚度的混合气烧不着，通常把这层烧不着的混合气叫做淬冷层。淬冷层的厚度随空燃比、气缸内的压力、气体的流动状况而变化。当混合气的空燃比位于浓混合区的某个值的附近时，淬冷层的厚度最小，比它更浓或更稀的混合气，都会使淬冷层的厚度增加。气缸内的压力越高，气体流动越活跃，都会使淬冷层变得越薄。另外，对于活塞顶部与第一道气环之间的空隙、火花塞磁芯周围的空隙等，火焰也不能传播过去。上述淬冷层和气隙中的混合气没有燃烧就随废气排出。在排气初期，靠近排气门附近的那一部分淬冷层中的未燃气体首先“剥离”随排气排出；在排气后期，活塞把气缸壁面的淬冷层也卷进排气中，使 HC 的排放浓度大大增加。

发动机工作时，如果混合气过浓，由于空气不足，燃烧不完全，未燃烧或燃烧过程中生成的 HC 增多，HC 的排放浓度当然增加。而当混合气过稀或缸内废气过多时，则可能引起火焰不充分甚至完全断火，致使排气中的 HC 浓度显著增加。在正常情况下，发动机提供的是可点燃的混合气，但在怠速、减速、暖机等工况下、进入气缸内的混合气很可能过浓或过稀，以致不能燃烧完全，使 HC 排放量增加。

2. CO 的生成机理

CO 是燃料燃烧的中间产物。排气中 CO 主要是在局部缺氧或低温下由于烃的不完全燃烧产生的。

把实际进入气缸的空气质量与燃料质量之比，称为空燃比。理论上讲，当空燃比 $A/F = 14.7$ 时，将实现完全反应，生成 CO_2 和 H_2O 。而当空气不足时 ($A/F < 14.7$) 时，则有部分燃料不能完全燃烧而生成 CO。

然而，在实际汽油机中，不仅空气不足时燃烧生成物中有 CO，就是在空气充足时，燃烧产物中也含有 CO 及 H_2 。其原因是由于混合气的形成与分配不均造成的。另外在使用稀混合气时，在高温下，燃烧生成的 CO_2 和 H_2O 也可能有一小部分发生分解反应，而离解反应生成的 H_2 又会使 CO_2 还原成 CO，所以，在发动机排气中，总会有 CO 的存在。尽管如此，排气中 CO 的浓度，基本取决于空燃比。

3. NO_x 的生成机理

NO_x 是空气在燃烧室的高温条件下，由氧和氮的反应所形成的，它和其他废气成分不同，不是来自燃料。发动机所排出的 NO_x ，虽含有少量的 NO_2 ，但大部分是 NO。排气中的 NO 在大气中氧化成 NO_2 ，通常把 NO_2 和 NO 统称为 NO_x （氮的氧化物）。

在发动机工作中，无论是进行完全燃烧反应，还是不完全燃烧反应，其最初燃烧反应所产生的热必将使空气中的氧分子裂解为氧原子，并与空气中的氮分子发生反应而生成 NO 和氮原子，而氮原子又与空气中氧分子发生反应生成 NO 和氧原子，这部分氧原子又可与空气中分解后的氮原子重新反应，产生 NO。

在这些反应中，燃烧废气温度越高，燃烧后残留的氧气浓度越大，高温持续的时间越长，NO 的生成量就越多。

4. 影响排放中有害气体的生成因素

排气中，有害气体的生成与空燃比、点火时刻、发动机的结构等有关，通常空燃比和点火时刻的影响最大。

(1) 空燃比 当低于理论空燃比 14.7 时，排出的 CO 浓度便急剧上升；反之，空燃比

从 16 附近起, 则趋于稳定, 并且数值很低。这说明混合气越浓时, 由于燃烧所需要的氧气不足, 所以引起不完全燃烧, 而引起 CO 的急剧增长。同时还说明, 要减小 CO 的排放, 就必须采用稀混合气。试验证明, 发动机 CO 的排放量主要决定于空燃比, 其他的影响因素都小。

HC 与 CO 不同, 空燃比在 17 以内时, 随着空燃比的增大, HC 便下降。但继续增大时, 由于混合气过于稀薄, 易于发生火焰不完全传播, 甚至断火, 使 HC 排放浓度迅速增加。

空燃比对 NO 的影响: 当混合气很浓时, 由于高温燃烧和可利用的氧的浓度都很低, 使 NO 的生成量也较低。用空燃比为 15.5~16 的稍稀混合气时, 排出的 NO 浓度最高。对于空燃比稀于 16 的混合气, 虽然氧的浓度增加可以促进 NO 的生成, 但这种增加却被由于稀混合气中燃烧温度和形成速度的降低所抵消。因此, 对于很浓或很稀的混合气, NO 的排放浓度均不高。

(2) 点火时刻: 推迟点火时刻, 在燃烧室内的燃烧时间将缩短, 由于后燃, 将使排气温度上升, 促进了 HC 和 CO 的氧化, 排出的 HC 减少。另外, 由于燃烧时降低了气缸的面容比, 使燃烧室内的淬冷面积减小, 使排出的 HC 减少。但需要指出的是, 采用推迟点火的结果虽然使排出的气体污染物有所下降, 但这种下降是靠牺牲燃料经济性换来的。

点火时刻对 CO 排放浓度影响不大, 但过分推迟点火, 亦会使 CO 在燃烧室内没有时间完全氧化, 而引起排放量的增加。

无论在任何转速和负荷下, 加大点火提前角, 均使 NO 的排放浓度增加。这是因为点火时刻提前时, 燃烧温度提高所造成。

5. 排气净化的后处理

发动机本身的改进后, 排放尚不能符合规定时, 就要附加净化处理装置。现在的净化处理装置很多。如: 三元催化转换器、废气再循环、二次空气供给装置等都普遍有所应用。有的可以单独使用, 有的是两项净化装置同时结合起来使用, 都可以得到满意的净化效果。

(1) 二次空气供给装置 这种装置是为了解决从燃烧室排到排气管中未完全燃烧的 HC 和 CO 的, 为了区别于发动机正常进气, 这种排气系统中供给空气的装置叫二次空气供给装置。工作原理是: 空气送到各缸的排气门附近, 利用燃烧后的高温, 使废气中残留的 HC 和 CO 与空气相混合后再燃烧, 达到排气净化的目的。

(2) 三元催化转换器、氧传感器与闭环控制 现代汽车普遍采用三元催化排气净化器, 把发动机排出的废气中有害气体转换成无害气体。三元催化转换器装在排气管中。三元催化剂是铂(或钯)和铑的混合物, 它与 HC、CO 和 NO_x 发生反映, 但是只有当空燃比保持稳定时, 其转换效率才能得到精确控制。发动机在标准的理论空燃比 14.7 运转时, 三元催化转换器的效率最佳。为此, 必须对空燃比进行精确的控制, 把空燃比保持在理论空燃比附近很窄的范围内。

在发动机开环控制过程中, ECU 只是根据转速、进气量、进气压力、温度等信号确定喷油量, 即控制混合气空燃比。但对实际空燃比的控制是不可能很精确的。很难将实际空燃比控制在 14.7 附近很窄的范围内。

为了将实际空燃比精确地控制在 14.7 附近, 在发动机控制系统中普遍采用由氧传感器组成的空燃比反馈控制方式, 即闭环控制方式。在三元催化转换器前面的排气歧管或排气管内装有氧传感器, 其功用是用来检测排气中的氧气含量以确定实际空燃比是比理论空燃比浓还是稀, 并向 ECU 反馈相应的电压信号。ECU 根据氧传感器反馈的空燃比浓稀信号, 控制

喷油量的增加和减少。

(3) 废气再循环控制 (EGR) EGR 废气再循环是发动机工作过程中, 将一部分废气引到吸入的新鲜空气 (或混合气) 中返回气缸进行再循环的方法, 该方法被广泛用于减少 NO_x 的排放量。因为废气是惰性气体, 在燃烧过程中, 废气吸收热量, 这样将降低最高燃烧温度, 也减少了 NO_x 的生成量, 因为 NO_x 主要是在高温富氧的条件下生成的。

但是, 过多的废气再循环将会影响发动机的正常运行, 特别是在怠速、低转速小负荷及发动机处于冷态运行时, 再循环的废气将会明显降低发动机的性能。因此应根据工况及工作条件的变化自动调整参与再循环的废气量。根据发动机结构不同, 进入进气歧管的废气量一般在 6%~13% 之间变化。

二、发动机对点火系的要求

1. 发动机对点火系的要求

在汽油发动机中, 气缸内的混合气是由高压电火花点燃的, 而产生电火花的功能是由点火系来实现的。汽油发动机对点火系有以下三个基本要求:

(1) 能产生足以击穿火花塞电极间隙的电压 火花塞电极间产生火花时的电压, 称为击穿电压。实验证明, 发动机在满负荷低速时, 需要 8~10kV 的击穿电压, 起动时需要击穿电压最高可达 17kV。为了保证可靠的点火, 点火系必须具有一定的次级电压储备, 现代大多数点火系已能提供 28kV 以上的击穿电压。

影响击穿电压的因素很多, 其中包括: 火花塞电极间隙和形状; 气缸内混合气的压力和温度; 电极的形状、温度和极性; 以及发动机的工况等。

(2) 火花应具有足够的能量 要使混合气可靠点燃, 火花塞产生的电压应具有一定的能量 (火花能量 = 火花电压 × 火花电流 × 火花持续时间)。实验证明, 在一定范围内, 随着火花能量的增大, 其着火性能越好。

点燃混合气所必须的最低能量, 与混合气的成分、浓度、火花塞电极的间隙及电极形状等有关。发动机正常工作时, 由于混合气压缩终了的温度已接近其自燃温度, 所需的火花能量很小 (1~5mJ)。在发动机起动、怠速及节气门急剧打开时, 需较高的火花能量。为保证可靠点火, 一般应保证有 50~80mJ 的点火能量。目前采用的高能点火装置, 一般点火能量都要求超过 80~100mJ。

(3) 最佳点火提前角 (点火时刻) 不同发动机的最佳点火提前角各不相同, 并且同一发动机在不同工况和使用条件下的最佳点火提前角也不相同。影响最佳点火提前角的主要因素有:

1) 发动机转速。发动机转速越高, 最佳点火提前角越大。这是因为发动机转速升高时, 在同一时间内, 活塞移动距离增大, 曲轴相应转过的角度增大, 如果混合气燃烧速率不变, 则最佳点火提前角应按线性规律增长。但当转速继续升高时, 由于混合气压力和温度的提高及扰流增强, 会使燃烧速度也随着加快, 因此当转速升高到一定程度时, 最佳点火提前角虽随发动机转速的升高而增大, 但增加速度减慢, 因此不是线性关系。

2) 负荷。在同一转速下, 随着发动机负荷的增大, 最佳点火提前角将逐渐减小, 这是由于发动机负荷增大时 (即节气门开度增大), 吸入气缸内的混合气增多, 压缩行程终了时的压力和温度增高, 残存废气量相对减少, 使燃烧速度加快, 因此最佳点火提前角随负荷增大而减小。

3) 空燃比。当空燃比 $A/F = 14.7$ 左右时, 所需点火提前角最小。这是因为当空燃比 $A/F = 14.7$ 左右时, 燃烧速度最快, 因此, 当混合气过稀和过浓时, 由于燃烧速度变慢, 必须增大点火提前角。

4) 进气压力。进气压力减小, 由于混合气雾化和扰流变坏, 使燃烧速度变慢, 因此点火提前角应增大。如在高原地区, 由于大气压力低, 空气稀薄, 应适当增大点火提前角。

5) 水温。水温低时, 为尽快暖机, 应适当增大点火提前角; 而当水温高时, 为了减少 NO_x 、HC 的排放量应适当减小点火提前角。

除上述因素外, 影响点火提前角的因素还有压缩比、燃烧室的形状、积炭量及同一缸火花塞的数量等。

2. 闭合角控制

闭合角的概念来源于传统的点火系, 是指断电器触点闭合期间 (图 1-4), 也即一次电流接通期间分电器转过的角度。在电子点火系中, 闭合角则指末级大功率晶体管导通期间分电器转过的角度。在传统的点火系中, 触点间隙及凸轮外形尺寸一定, 因此, 其闭合角是一定的, 不随转速变化而变化。发动机在低转速时, 触点闭合时间较长, 点火线圈易过热; 而在高转速时, 触点闭合时间较短, 由于一次电流从零上升到饱和电流时, 需要一段时间, 使一次线圈电流减小, 二次电压降低。最理想的闭合角, 应随着发动机转速增加而增加。电子点火系, 采用电子电路, 能轻而易举地控制闭合角。如图 1-5 所示为闭合角控制简图。

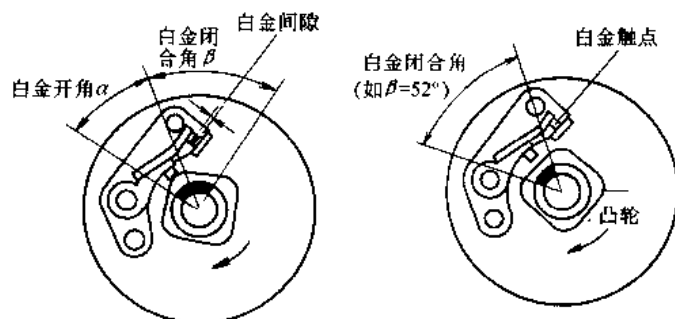


图 1-4 闭合角

3. 恒流控制

对于传统点火系, 在发动机高转速运转时, 一次电流减小, 二次电压下降, 影响了发动机动力性和经济性。而采用恒流控制, 则可消除上述缺点, 彻底改善点火性能。这种方法需要采用特殊的高能点火线圈。通过降低一次线圈电阻, 以提高一次电流, 饱和电流可高达 30A, 如此大的电流势必会烧坏大功率晶体管和电路, 因此必须加以控制, 使其电流在一定值 (如 6.5A), 如图 1-6 所示。

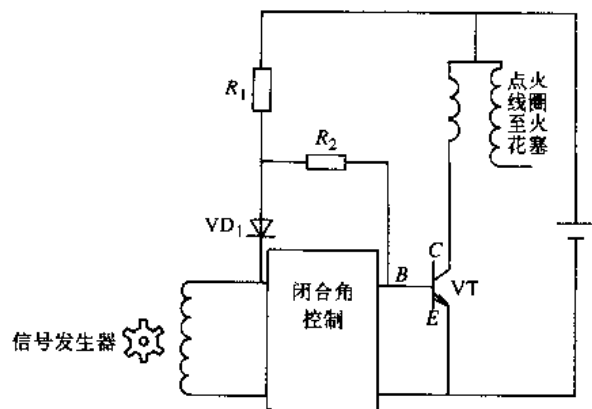


图 1-5 基本闭合角控制电路

将一次线圈中电流控制在一定值, 则二次电压成为一个定值, 不论发动机高速和低速都

能获得相同的二次电压，从而提高了发动机性能。如图 1-7 所示为恒流控制简图，其中 R_s 为采样电阻。

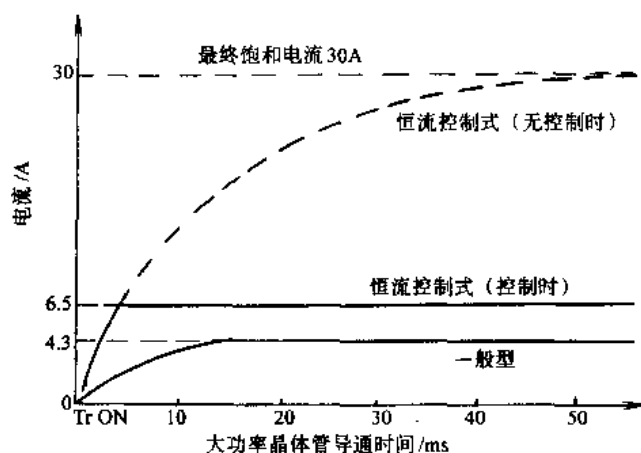


图 1-6 恒流控制点火线圈一次电流

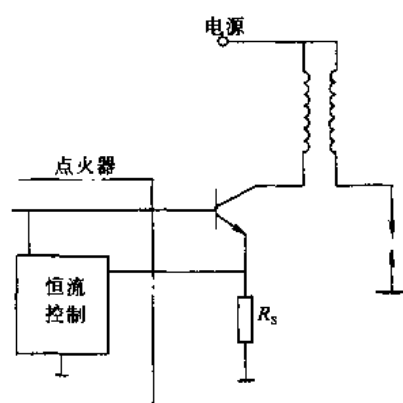


图 1-7 恒流控制电路原理图

第四节 电控汽油喷射系统的组成与功用

一、发动机汽油喷射的发展过程

二次大战后，汽油喷射技术才逐渐应用于汽车发动机。1952 年，德国 Daimeier-Benz 300L 型赛车装用了博世公司生产的第一台机械式汽油喷射装置，它采用气动式混合气调节器控制空燃比，向气缸内直接喷射。1958 年，德国 Mercedes 220S 型轿车装备了博世公司和 Kugelfischer 公司共同研制和生产的带油量分配器的进气管汽油喷射装置。20 世纪 60 年代以前，车用汽油喷射装置大多数采用机械式柱塞喷射泵，其结构和工作原理与柴油机喷油泵十分相似，控制功能也是借助于机械装置实现的，结构复杂，价格昂贵，因此发展缓慢，技术上无重大突破，应用范围也仅仅局限于赛车和为数不多的追求高速和大功率的豪华型轿车上。在车用汽油发动机领域内，化油器仍占有绝对优势。1967 年，博世公司研制成功 K-Jetronic 机械式汽油喷射系统，由电动汽油泵提供 0.36MPa 低压燃油，经燃油分配器输往各缸进气管上的机械式喷油器，向进气口连续喷射，用挡流板式空气流量计操纵油量分配中的计量槽来控制空燃比。后来，经改进发展成为机电结合式的 KE-Jetronic 汽油喷射系统（在 K-Jetronic 系统的油量分配器上增设一只电液式压差调节器）。1976 年，博世公司开始批量生产用进气管绝对压力控制空燃比的 D-Jetronic 模拟式电子控制汽油喷射系统。1973 年，经改进发展成为 L-Jetronic 电控汽油喷射系统，用叶片式空气流量计直接测进气空气体积流量来控制空燃比，比用进气管绝对压力间接控制的方式精度高，稳定性好。1981 年，L-Jetronic 系统又进一步改进发展成为 LH-Jetronic 系统，用新颖的热线式空气流量计代替机械式空气流量计，可直接测出进气空气的质量流量，无需附加专门装置来补偿大气压力和温度变化的影响，并且进气阻力小，加速响应快。1979 年，博世公司开始生产集电子点火和电控汽油喷射于一体的 Motronic 数字式发动机集中控制系统。与此同时，美国和日本各大汽车公司也竞相研制成功与各自车型配套的数字式发动机集中控制系统，例如：美国通用汽车公司 (GM) DEFI 系统、福特汽车公司 (Ford) EEC-III 系统，以及日本日产汽车公司

ECCS 系统、丰田汽车公司 TCCS 系统等。这些系统能够对空燃比、点火时刻、怠速转速和废气再循环等多方面进行综合控制，控制精度愈来愈高，控制功能也日趋完善。

价格低廉的单点电控汽油喷射系统一度在普通车上广泛被采用。1980 年，美国通用公司首先研制成功一种结构简单，节流阀体喷射系统 (TBI)。1983 年，博世公司推出了汽油压力只有 0.1MPa 的 Mono-Jetronic 低压中央喷射系统。中央喷射 (单点喷射) 系统在进气管原先安装化油器的部位仅用一只电磁喷油器集中喷射，能迅速地输送汽油通过节流阀，在节流阀上方没有或极少发生汽油附着管壁的现象，因而消除了由此引起的混合气燃烧的延迟，缩短了供油和空燃比信息反馈之间的时间间隔，提高了控制精度，排放效果得以改善。同时，采用节气门转角和发动机转速来控制空燃比的所谓 A/R 控制方式，省去了空气流量计，结构和控制方式均较简单，兼顾了发动机性能和成本，对发动机结构的影响又较小。因此，随着废气排放法规日益严格，这种单点喷射系统在排量小于 2L 的普通轿车上得到了迅速的推广应用。

二、发动机电子控制装置的组成与功用

发动机电子控制系统主要有电控汽油喷射系统 (EFI)、电控点火 (ESA)、怠速控制 (ISC)、废气再循环控制 (EGR) 等组成。

1. 电控汽油喷射系统 (EFI)

该系统根据各传感器输送来的信号，能有效控制混合气空燃比，使发动机在各种工况下，空燃比达到最佳值，从而实现提高功率、降低油耗、减少排气污染等功效。该系统可分为开环和闭环两种控制。闭环控制是在开环控制的基础上，在一定条件下，由计算机根据氧传感器输出的含氧浓度信号修正燃油供给量，使混合气空燃比保持在理想状态下。目前电子控制的汽油供给系统有电子反馈式化油器系统和电控汽油喷射系统两种，其中电控汽油喷射系统的性能显得更为优越，电控化油器式已趋于淘汰。

2. 电控点火系 (ESA)

该系统可使发动机在不同转速、进气量等因素下，在最佳点火提前角工况下工作，使发动机输出最大的功率和转矩，而将油耗和排放降低到最低限度。该系分为开环和闭环两种控制。电控点火装置闭环控制系统通过爆震传感器进行反馈控制，其点火时刻的控制精度比开环高，但排气净化差些。

3. 怠速控制 (ISC)

该系统能根据发动机冷却水温度及其他有关参数，如空调开关信号、动力转向开关信号等，使发动机的怠速处于最佳状态。

4. 废气再循环控制 (EGR)

该系统是将一部分排气中的废气引入进气侧的新鲜混合气中再次燃烧，以抑制发动机有害气体氮氧化物的生成。该系统能根据发动机的工况，适时地调节参与废气再循环的废气循环率，以减少排气中的有害气体氮氧化物。它是一种排气净化的有效手段。

除以上控制装置外，发动机部分的控制内容还有：发动机输出、冷却风扇、发动机排量、气门正时、二次空气喷射、发动机增压、油气蒸发控制及系统自诊断等功能，它们在不同类型的汽车上或多或少地被采用。

另外，随着计算机技术的进一步发展，计算机将会在现代汽车上承担更重要的任务，如控制燃烧室的容积和形状、控制压缩比、检测汽车零件逐渐增加的机械磨损等。

三、电控汽油喷射系统 (EFI) 的基本组成及功用

电控汽油喷射系统主要由空气供给系统、汽油供给系统和电子控制系统三部分组成。

1. 空气供给系统

空气供给系统为发动机可燃混合气的形成提供必需的空气。空气经空气过滤器、空气流量计 (D-Jetronic 系统无此装置)、节气门、进气总管、进气歧管进入各缸 (图 1-8)。

一般行驶时, 空气的流量由通道中的节气门来控制 (节气门由油门踏板操作)。踩下油门踏板时, 节气门打开, 进入的空气量多。怠速时, 节气门关闭, 空气由旁通道通过。怠速转速的控制是由怠速调整螺钉和怠速空气调整器调整流经旁通道的空气量来实现的。

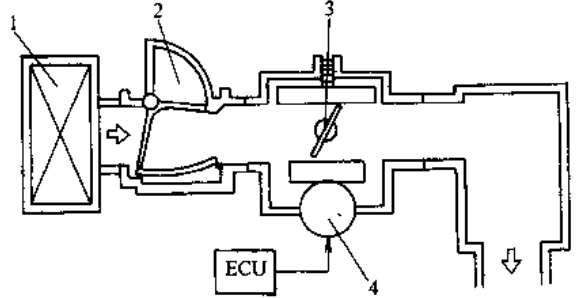


图 1-8 空气供给系统

1—空气过滤器 2—空气流量计

3—节气门 4—怠速控制阀

怠速空气调整器一般由 ECU 控制。在气温低发动机暖机时, 怠速空气调整器的通路打开, 以供给暖机时必需的空气量给进气歧管, 此时, 发动机转速较正常怠速高, 称为快怠速。随着发动机冷却水温升高, 怠速空气调整器使旁通道开度逐渐减小, 旁通空气量亦逐渐减小, 发动机转速逐渐降低至正常怠速。

2. 汽油供给系统

汽油供给系统由汽油泵、汽油过滤器、汽油压力脉动减振器、喷油器、汽油压力调节器及供油总管等组成 (图 1-9)。汽油由汽油泵从汽油箱中泵出, 经过汽油过滤器, 除去杂质及水分后, 再送至汽油脉动减振器, 以减少其脉动。这样具有一定压力的汽油流至供油总管, 再经各供油歧管送至各缸喷油器。喷油器根据 ECU 的喷油指令, 开启喷油阀, 将适量的汽油喷于进气门前, 待进气行程时, 再将汽油混合气吸入气缸中。装在供油总管上的汽油压力调节器是用以调节系统油压的, 目的在于保持喷油器内与进气歧管内的压力差为 250kPa。

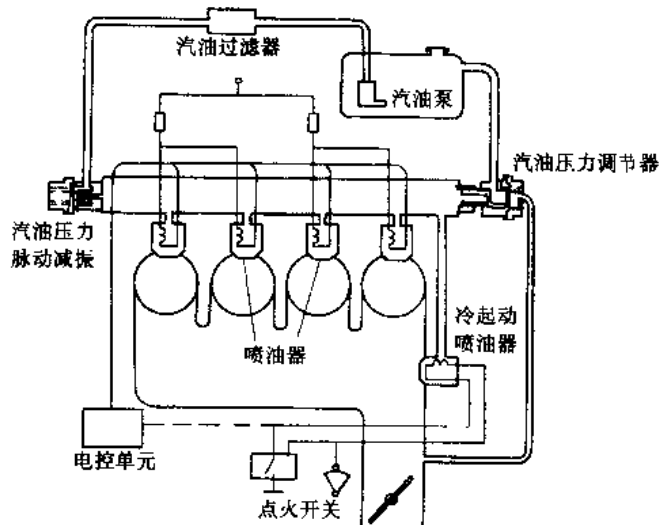


图 1-9 汽油供给系统