



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 **特别推荐**



21世纪高职高专规划教材 · 汽车类

电控发动机 原理与检修

赵振宁 主编
李春明 主审



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高职高专规划教材·汽车类

电控发动机原理与检修

赵振宁 主编

李春明 主审



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

电控发动机在汽车中是最主要总成,是机电一体化的典型产品。

本书第1章对发动机的基本知识作了一些介绍;第2章介绍了电控发动机的传感器;第3章讲述了点火系统;第4章介绍燃油系统;第5章介绍燃油直喷系统;第6章介绍怠速控制;第7章介绍进气系统控制;第8章介绍排放控制;第9章介绍发动机冷却控制;第10章介绍自诊断;第11章是汽车电路图。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电控发动机原理与检修/赵振宁主编. —北京:北京理工大学出版社,
2008.6

21世纪高职高专规划教材·汽车类

ISBN 978-7-5640-1521-3

I. 电… II. 赵… III. ①汽车-电子控制-发动机-理论-高等学校:技术学校-教材②汽车-电子控制-发动机-检修-高等学校:技术学校-教材 IV. U464

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第070823号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京圣瑞伦印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/16

字 数/374千字

版 次/2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

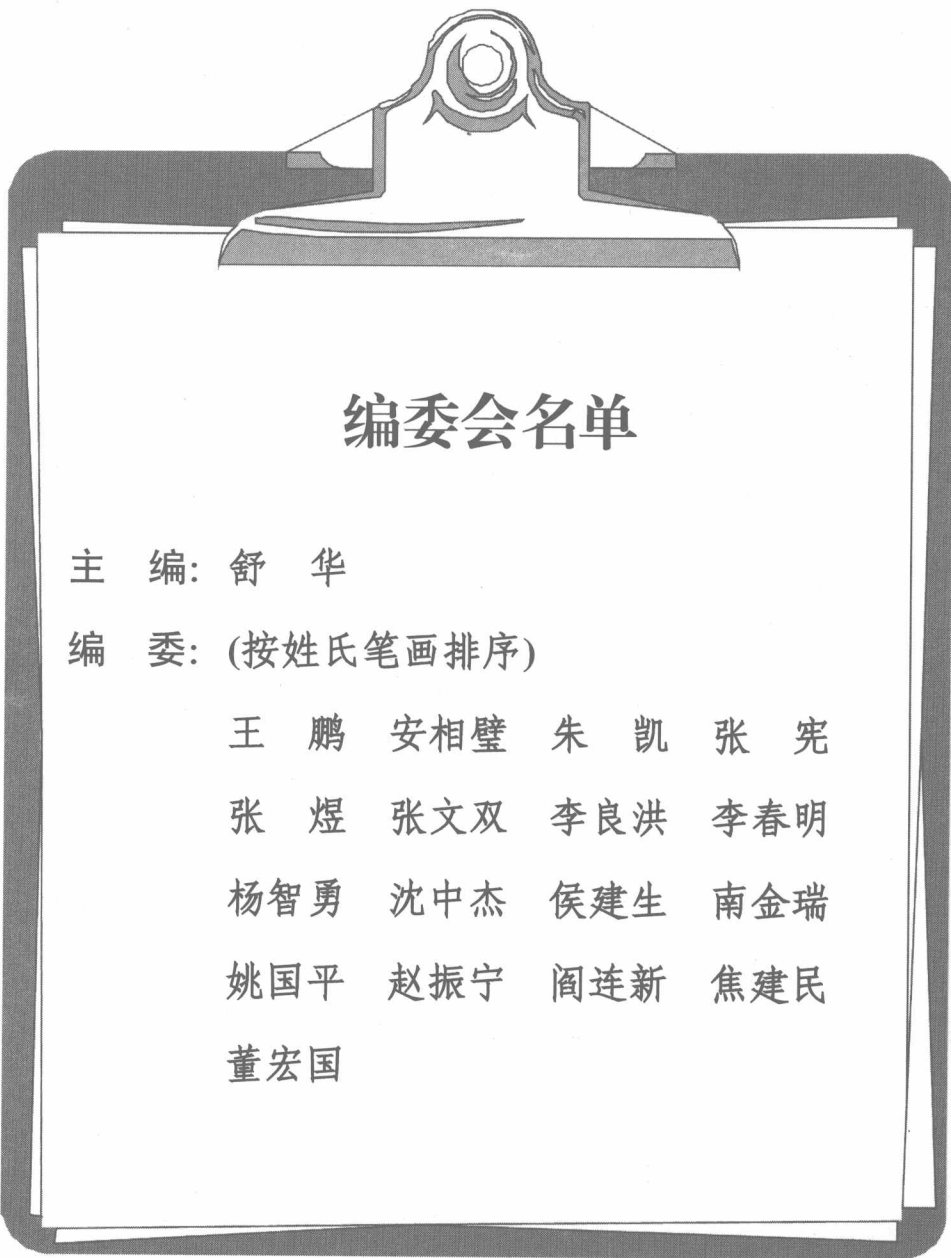
印 数/1~4000册

定 价/32.00元

责任校对/申玉琴

责任印制/李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换



编委会名单

主 编：舒 华

编 委：(按姓氏笔画排序)

王 鹏	安相璧	朱 凯	张 宪
张 煜	张文双	李良洪	李春明
杨智勇	沈中杰	侯建生	南金瑞
姚国平	赵振宁	阎连新	焦建民
董宏国			

编写说明

汽车作为人类文明发展的标志,从1886年发明至今,已有100多年的历史。近几年,我国的汽车生产量和销售量都迅速增大,全国汽车拥有量大幅度上升。世界知名汽车企业进入国内汽车市场,促进了国内汽车技术的进步。汽车保有量的急剧增加,汽车技术又不断更新,使得汽车运用与维修行业的车源、车种、服务对象以及维修作业形式都已发生了新的变化,使得技能型、应用型人才非常紧缺。

根据“职业院校开展汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训工程”的通知精神,并配合高等职业院校关于紧缺人才培养计划的实施,北京理工大学出版社组织了一批多年工作在教学一线的优秀教师,根据他们多年的教学 and 实践经验,再结合高等职业院校汽车运用与维修专业的教学大纲要求,编写了本套教材。

本套教材既有专业基础课,又有专业技术课。在专业技术课中又分几个专门化方向组织编写,分别是:汽车电工专门化方向,检测技术专门化方向,汽车机修专门化方向,大型运输车维修技术专门化方向,车身修复技术专门化方向,技术服务与贸易专门化方向,汽车保险与理赔专门化方向。

本套教材是按照“高等职业教育汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养指导方案”要求而编写的。在内容的编排上根据汽车专业教育教学改革的要求,注重职业教育的特点,按技能型、应用型人才培养的模式进行设计构思。本套教材编写中,坚持以就业为导向,以服务市场为基础,以能力为本位,以培养学生的职业技能和就业能力为宗旨;合理控制理论知识,丰富实例,注重实用性,突出新技术、新工艺、新知识和新方法。

本套教材适用于培养汽车维修、检测、管理、评估、保险、销售等方面的高技术应用型人才的院校使用。

本套教材经中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会评审,并做了适量的修改,内容更具体,更实用。本套教材由汽车工程图书出版专家委员会推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

前言

世界经济一体化,给我国带来了机遇和挑战,中国汽车工业迅速兴起,从数量上已变成汽车大国。世界各国汽车公司都争先恐后地涌入我国,由原来向中国出口汽车,转向与国内合作生产汽车,并带来了大量先进的汽车技术。对于修理行业来讲新知识的学习和老知识的淘汰也要跟得上。

电控发动机在汽车中是最主要总成,是机、电一体化的典型产品。

本书第1章对发动机的基本知识作了一些介绍;第2章介绍了电控发动机的传感器;第3章讲述了点火系统;第4章介绍燃油系统;第5章介绍燃油直喷系统;第6章介绍怠速控制;第7章介绍进气系统控制;第8章介绍排放控制;第9章介绍发动机冷却控制;第10章介绍自诊断;第11章是汽车电路图。

本书的编写难度较大,主要是新电控发动机的资料较少,与所讲的内容对得上的电子图片素材又太缺乏,一般是处于厂家内部修理层面的培训内容,能见到的国外报道内容又很不具体,而且涉及知识产权,给编写工作带来很大困难。

本书由赵振宁编,一汽教育培训中心李春明校长对本书提出了宝贵的意见,在此表示最诚挚的谢意。

本书著作权均受保护,对本书的任何再版、复制,包括对其任何内容的引用或职业学校自己翻印作为内部教材必须得到作者的书面许可,并且让作者详细了解情况。

本书的读者对象是汽车领域培训和进修的工程技术人员,汽车车间工作的技师和工程技术人员,中职、高职学校汽车专业的教师、学生和所有汽车技术爱好者,也可作为中职、高职学校汽车专业的教材。

书中提出的观点、方法有的是作者个人的看法,错误和不足在所难免,希望读者给予谅解和宽容,敬请批评和指正。

编者

目 录

第一章 汽油机燃烧基本知识	(1)
第一节 汽油的使用性能	(1)
第二节 缸外汽油喷射发动机的优点	(3)
第三节 电控发动机的组成	(4)
第四节 汽油发动机的燃烧条件	(5)
第五节 汽油车排放基本知识	(13)
第二章 传感器的工作原理与检修	(17)
第一节 空气流量计	(17)
第二节 进气压力传感器 (MAP)	(30)
第三节 节气门和油门踏板位置传感器	(36)
第四节 温度类传感器	(49)
第五节 爆振传感器	(53)
第六节 催化转换器和氧传感器	(60)
第七节 怠速提升信号	(73)
第八节 转速类信号	(77)
第三章 点火系统的控制与检修	(78)
第一节 概述	(78)
第二节 微机控制点火系统	(79)
第三节 点火提前角的确定	(80)
第四节 记数基准点和 1° 信号的确定	(84)
第五节 气缸不做功的判断	(97)
第六节 点火系统常见故障	(100)
第七节 火花塞常见故障	(102)
第八节 点火系统典型故障	(106)
第四章 燃油供给系统工作原理与检修	(108)
第一节 汽油喷射系统简介	(108)
第二节 缸外喷射燃油供给系统	(114)
第三节 喷油量控制	(126)
第四节 喷油器波形分析	(129)
第五节 典型燃油压力故障	(132)
第五章 直喷均质发动机和直喷稀燃发动机	(135)
第一节 直喷稀燃发动机理论	(136)

第二节 典型直喷发动机	(139)
第三节 典型直喷稀燃发动机	(143)
第六章 怠速控制	(146)
第一节 概述	(146)
第二节 旁通气道式怠速控制执行机构的分类	(151)
第三节 辅助空气阀	(152)
第四节 电磁阀式怠速控制执行机构	(154)
第五节 旋转滑阀式怠速控制执行机构	(155)
第六节 步进电机式怠速控制执行机构	(158)
第七节 节气门直动式怠速控制系统	(163)
第八节 怠速控制系统故障	(169)
第七章 进气系统控制与检修	(173)
第一节 可变配气相位技术与检修	(173)
第二节 可变进气管长度控制与检修	(182)
第三节 丰田发动机的谐振增压控制	(188)
第四节 大众涡轮增压系统控制与检修	(189)
第八章 排放控制系统	(198)
第一节 排放控制系统简介	(198)
第二节 二次空气供给系统	(199)
第三节 油箱蒸发物排放控制 (EVAP) 系统	(201)
第四节 废气再循环控制 (EGR) 系统	(205)
第五节 曲轴箱强行通风 (PCV) 系统	(209)
第九章 电控发动机对冷却系统的控制	(211)
第十章 电控发动机的自诊断	(219)
第十一章 汽车电路图	(228)

第一章 汽油机燃烧基本知识

第一节 汽油的使用性能

汽油有车用汽油、工业汽油和直馏汽油等。我们讨论的是车用汽油的使用性能。

1. 汽油的蒸发性能

汽油机要求汽油能在极短时间(0.001~0.010 s)内汽化并与空气充分混合,使每一汽油分子都被空气中的氧包围以便可以充分燃烧。所以汽油的蒸发性能对汽油机的工作影响很大。

2. 汽油的抗爆性能

汽油在发动机中正常燃烧时,火焰的传播速率约为 30~70 m/s。但当混合气已燃烧 2/3~3/4 时,未燃烧的混合气中产生了高度密集的过氧化物。它的分解使混合气中出现了许多燃烧中心,燃烧速率猛增,产生强大的压力脉冲,火焰的传播速率可达 800~1 000 m/s,甚至高达 3 000 m/s。这种情况下气缸内产生清脆的金属敲击声。这种燃烧就是爆燃(deflagration)。爆燃会使发动机过热,活塞、气阀和轴承等冲击变形损坏。

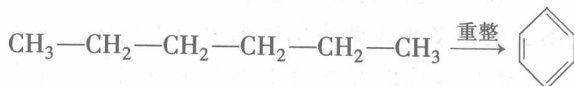
爆燃的程度与燃料的组成有关。已经知道,异辛烷(2,2,4-三甲基戊烷)的抗爆性(antiknock character)极高,将它的“辛烷值(octane number)”定为 100;正庚烷的抗爆性极低,将它的“辛烷值”定为 0。将二者按一定比例配成混合液,便可得到辛烷值(即异辛烷的体积百分数)为 0~100 的“燃料”,这就是燃料辛烷值的标准。辛烷值是汽油抗爆性的定量指标。我国汽油机用汽油的牌号就是根据辛烷值确定的。

例如:某汽油的辛烷值是 93(即 93#汽油),表明这种汽油在标准的单缸内燃机中燃烧时,其爆燃噪声强度与 7 份正庚烷和 93 份异辛烷的混合物在相同条件下的爆燃噪声强度相同。

汽油的抗爆性与组成汽油的烃(与“听”同音)类有关。正构烷烃随碳原子数增多抗爆性降低,辛烷值降低;异构烷烃随支链的增多抗爆性升高。环烷烃抗爆性居中,而芳香烃及其衍生物抗爆性较高。

为了提高汽油的抗爆性,常向汽油中添加抗爆添加剂。其中四乙基铅是最有效的添加剂。四乙基铅的作用是破坏生成的过氧化物,使爆燃不能发生。然而,含铅化合物的汽车尾气是大气铅污染的主要来源。从环保出发,我国早已淘汰含铅汽油而大力发展无铅汽油。

可通过重整或加入高辛烷值组分的方法来获取高辛烷值燃料。所谓重整(reforming),就是把馏分中烃类分子的结构进行重新排列,使辛烷值高的组分如芳烃、带支链异构体等含量增加,且保证所含碳原子数仍在汽油组分范围内,因而辛烷值大大提高。例如,把下面的长直链重整为芳香烃:



其他高辛烷值的化合物如甲醇、甲基叔丁基醚等加入后也可显著提高抗爆性,而无需加入

四乙基铅了。为了便于与含铅汽油区分,无铅汽油不添加着色染料。我国早已经禁止加油站供应含铅汽油。

3. 汽油的化学安定性和物理稳定性

汽油中若含大量不饱和烃,在储存、运输、加注及其他作业中,会因空气中氧、较高温度及光的作用而氧化生成胶质。胶质在汽油中溶解度小,会黏附在容器壁上,给汽油机的工作带来害处,降低汽油的化学安定性(chemical stability)。

知识点滴:不饱和烃氧化生成胶质,胶质在汽油中溶解度小,会黏附在汽油供给系统,所以无论是使用化油器还是电喷系统,到一定时间必须清洗发动机的汽油供给系。

提高化学安定性的方法,一是通过炼制工艺,使易氧化的活泼烃类、非烃类组分尽量减少;二是向汽油中添加抗氧化添加剂,如酚类(2,6-二叔丁基-4-甲酚)、胺基酚类及胺类等物质。

汽油在储藏、运输、加注和其他作业时,保持不被蒸发损失的性能叫物理安定性(physical stability)。汽油的物理安定性主要由汽油中的低温馏分决定。

4. 汽油中腐蚀性物质的影响

汽油中水溶性酸和碱(H_2SO_4 、NaOH、磺酸及酸性硫酸酯)等对所有的金属都有强烈的腐蚀性;环烷酸对有色金属,特别是铅和镁有强的腐蚀性。氧化生成的有机酸,特别是有水存在时,对黑色金属也有腐蚀性。

汽油中的含硫化合物,特别是 SO_2 和噻吩,不仅有腐蚀性,还会使汽油产生恶臭,促使汽油产生胶质。硫化物燃烧后生成的 SO_2 、 SO_3 与水反应生成 H_2SO_3 、 H_2SO_4 ,能直接与金属作用,使气缸和活塞受到强烈腐蚀。

5. 汽油中机械杂质和水分的影响

新出厂的汽油完全没有机械杂质和水分。由于运输、倒装、用小容器向汽油箱加注,到达使用者手中时,常将机械杂质(锈、灰尘、各种氧化物)及水分落入其中。机械杂质会加速化油器量孔的磨损,堵塞化油器量孔,堵塞电喷系统的喷油嘴和汽油滤清器等;机械杂质若进入燃烧室会使燃烧室沉积物增多,加速气缸、活塞和活塞环的磨损。水分在冬季结冰,冰粒堆积在汽油滤清器中会堵塞油路,严重时终止供油。水分还会引起加速腐蚀,加速汽油氧化生胶,破坏汽油中的添加剂等不良作用。所以汽油规格中规定不允许有机机械杂质和水分存在。

知识点滴1:化油器量孔变大是杂质的磨损;杂质、冰粒、胶质可以堵塞化油器量孔,堵塞电喷系统的喷油嘴和汽油滤清器。

知识点滴2:汽油标号低会导致化油器发动机爆振,只能转动分电器改变初始点火角来适应。对于电喷发动机,爆振传感器把信号传给电脑后,电脑推迟点火提前角。若无检测仪,则不易知道究竟是什么原因造成发动机加速无力,检查很多项目、更换很多元件后仍发现不了原因。这时若有正时枪则用正时枪看点火角推迟,点火角稳定且较小,说明是油的故障;点火角乱动不稳定可能是油的故障,也可能是进气歧管压力波动太大造成,这与传统分电器的点火角乱动故障排除方法相同。若有检测仪,则可直接通过故障码或数据流看到点火角推迟。

低标号汽油导致电喷发动机推迟点火角。遇到点火角推迟的故障时,要考虑到汽油有质量问题,这种可能性理论书上的很多描述都要倒过来才能用到实践中去。

知识点滴3:多数汽油制造厂家已经在汽油里添加了净化剂。添加净化剂最初是为了清洁喷油嘴并使其保持干净。喷油嘴发生阻塞的原因是:在高温和短程驾驶条件下,会使汽油中

的烯烃(一种有机化合物)累积并形成沉淀,附着在喷嘴边上。添加净化剂的作用就在于使沉淀物分解并保持喷油器干净,但是它们自身也会在发动机进气门背部上和火花塞上形成沉淀。正因为如此,添加的汽油喷嘴的净化物质不可避免地会危害发动机的运行。

知识点滴4:如果在汽油中加用强溶剂,它会破坏线圈表面的绝缘层,最终会使线圈绕组线之间发生短路,降低喷油器绕组的电阻。虽然表面线圈匝数变少,电流变大,电磁力可以互补,但实际上会造成喷油增多。

节气门体喷射的供油系统很少使喷油嘴出现阻塞现象,这是因为喷油嘴的位置距发动机热源足够远,从而使沉淀无法形成。

第二节 缸外汽油喷射发动机的优点

知识点滴:我国从2001年9月1日起禁止销售化油器车。化油器车维修配件的供应时间为10年,试想现存运行的化油器车不久将在市面上全部消失。

目前大多数汽车应用的混合气形成系统和化油器差不多,都在燃烧室外形成混合气,即在进气门前混合气已经形成了。喷油器的位置可位于化油器的位置,即节气门之前,各缸共用一个喷油器(双腔节气门体采用两个喷油器)。此种喷油器称为节气门体喷射,已经淘汰。现在几乎都在进气门之前喷射(节气门之前和进气门之前位置不同),每个缸一支喷油器。

下面列出了电控发动机缸外汽油喷射的优点:

1. 启动性能好

冬季启动时,不用再像化油器车那样烤车或拉阻风门,电喷车在寒冷的冬季可以很容易着车。

2. 消除了化油器中的节流效应

去掉化油器中喉管的节流,可以提高供气效率,这对全负荷运行特别有意义。因此在这一点上,化油器式发动机与喷射式发动机相比还存在一定的差距。由于消除了化油器结冰的危险和免除了化油器和进气管的加热,因而提高了供气效率。

3. 进气管内燃料沉积减少

化油器在节气门体处供油,部分油会在整个进气歧管内大量沉积。缸外喷射(除单点喷)在进气门处喷油,所以进气管壁面的燃料沉积减少。

4. 进气管造型不受制约

不需考虑燃料及混合气的输送而自由地进行进气管造型设计,可利用空气波动效应以提高供气效率,在全负荷时相应地提高了功率。

5. 减弱了对加速力的敏感性

化油器浮子室油面易受加速力的影响。通常化油器在汽车加速时由于惯性效应提供了相对更多或更少的燃料。

6. 各缸混合气分配均匀

多缸发动机通过向各气缸喷油,消除了化油器供油造成各缸燃料的不均匀性。

7. 精确控制各工况混合气浓度和混合气量

化油器发动机只有在喉管处出现相应的真空,才供给相应燃料,实际上只与节气门开度和发动机转速建立简单关系,不能兼顾发动机的其他相关因素。

8. 滑行工况汽油切断

持续下坡时关闭节气门或高速后滑行时,化油器发动机会把沉积在进气门前的汽油吸入气缸形式浓混合气,造成大量未燃 HC 出现。外喷射发动机在此工况完全切断或部分切断燃料供给,除了降低油耗外,还可避免上述的未燃 HC 出现。

9. 降低发动机高度

下吸式化油器这种结构导致化油器要高出发动机进气歧管,使发动机高度增加。喷射式发动机允许相对自由的进气管造型,这样可以降低发动机的高度。

第三节 电控发动机的组成

首先,要有一套完整的电控系统,即有传感器、电脑和执行器。我们把具有以上三者的系统称为电控系统。这套电控系统必须有能正确地反应发动机状态的各种传感器,根据传感器输入信号计算发动机最佳控制结果的控制电脑,即 ECU,以及直接控制发动机喷油、点火和排放的执行器。

其次,作为电控系统要有帮助修理人员查找故障的自诊断系统。电脑必须有对传感器的输入信号和标准信号“范围”相比较的功能;执行器工作的反馈信号和标准信号“范围”相比较,发现故障后存储故障;在电脑自身的自诊断电路正常工作时,也能检查电脑板上的一些故障,以利于修理人员快速查找故障。

一、传感器

用于汽车发动机电子控制系统的传感器有空气流量传感器、压力传感器、速度传感器、加速度传感器、位置类传感器、温度类传感器、氧气浓度传感器和爆振传感器等。不同发动机电子控制系统所采用的传感器数量多少不一,即使是同一类型的传感器也有多种结构形式。

二、执行器

用于汽车发动机电子控制系统的执行器有喷油器、点火器、继电器、电磁阀和直流电动机等。

三、自诊断系统

20 世纪 80 年代,不少汽车发动机电脑只控制喷油,而点火单独控制,排放一般不控制,这样的发动机管理系统可以称为电喷发动机管理系统,这样的发动机已淘汰。

20 世纪 90 年代初,汽车发动机管理系统除控制喷油,还可以控制点火及部分排放(如 EGR 控制),甚至有的汽车对进气系统进行了如可变进气管长度、可变进气正时控制(VVT-i 技术)及进气门升程控制(VTEC-i 技术),这时电喷发动机管理系统就升级为电控发动机管理系统。这样的发动机管理系统有一套非常简单的自诊断系统,诊断出故障后存储故障码,然后再人工调出故障码,需要修理人员手中必须要有一本故障码表,对照故障码表查出故障,即早期电控发动机书中介绍的人工调故障码功能。这个时期车的自诊断功能较差,且自诊断系统一般不提供数据在线功能。以上早期的自诊断系统只能对某些传感器、执行器进行简单的故障判断。修理人员要通过人工方法调出故障码,查询故障码表,根据故障码表提示确定一个

相对确定的故障范围。

20 世纪 90 年代末到 21 世纪初,汽车发动机管理系统在控制喷油、点火与 90 年代初功能方面相比没有太多区别,但其他方面却发生了很大变化。这个时期的发动机管理系统的突出功能表现在两个方面:一是在提高发动机的效率方面和在排放控制更细化、控制更精确方面,出现了许多新技术;二是自诊断系统的功能非常强大,且提供数据在线功能。

新技术方面,如排放控制增加了二次空气喷射技术、带 EGR 率反馈的 EEGR 技术、油箱检漏技术、精确的活性炭罐清洁阀控制技术;进气系统,如汽油机废气涡轮增压技术、进排气正时都可变的配气正时控制技术(双 VVT-i 技术)等;冷却系,增加了冷却风扇转速和节温器开度的控制,保证发动机工作在正常工作温度;发动机管理系统,增加了对充电系的控制等。

自诊断系统的功能升级为点火有失火识别、喷油有多种断油控制、进气正时控制相位出错识别、排气控制有 EGR 系统故障监测、活性炭罐清洁阀故障监测等一系列自诊断功能。自诊断的功能除了故障码功能外,又配备了数据的在线读取功能。数据在线功能和故障码功能的联合使用,可使故障的范围进一步缩小,大大节省了修理时间。例如空气流量计有故障或点火线圈开裂都会造成排气冒黑烟,具体是哪的故障可以通过空气流量计数据流来分析,进行排除或确认,因此可缩小范围。数据在线功能在没有故障码时仍可以推出一些难于发现的故障,为诊断提供依据。例如空气流量计后的漏气监测功能可以通过空气流量计数据异常发现。这样的发动机正是流行产品,由于购入成本较高,使用损耗一般不易接受,一般学校的实验室很少使用。

2005 年以后,德国首先在国内的奥迪车上配备了直喷系统;日本丰田也不示弱,在推出混合动力普锐斯和凌志之后,其直喷轿车也打入中国市场。这样缸外喷射的电控发动机管理系统升级为缸内喷射的电控发动机管理系统。由于软件的控制功能和控制数据较多,响应快,这就要求系统信号采集、处理、运算等方面速度更快,存储器的容量更大,使得电控发动机管理系统变得极为复杂。不过不用担心,因为管理系统复杂的只是软件,对于修理人员来说可以不必了解。

第四节 汽油发动机的燃烧条件

发动机电子控制系统主要控制空燃比、点火响应等,使发动机在经济性、动力性、排放净化等性能达到最优。下面简单介绍空燃比、点火基础知识。

一、汽油发动机对可燃混合气的要求

混合气的成分不同,对发动机动力性和经济性、排放污染有较大影响。混合气的成分通常用“空燃比”或“过量空气系数 λ ”表示。

(一) 空燃比对发动机动力性和经济性的影响

1. 空燃比

汽油供给装置向进气管提供一定比例的汽油与空气相混合,即形成混合气。汽油燃烧时按下式进行化学反应:



因为汽油的成分不是一种有机物,所以用 C_aH_b 表示。

空气和汽油的混合比,即空气质量与汽油质量比,称为“空燃比”,通常美国用 A/F 空燃比表示。其公式如下:

$$A/F = \text{空气质量} / \text{汽油质量}$$

汽油完全燃烧并生成 CO_2 和 H_2O 时的空燃比称为“理论空燃比”,约为 14.7。在实际的发动机燃烧过程中,燃烧 1 kg 汽油所消耗的空气不一定是理论所需求的空气量。它与发动机的结构与使用工况密切相关,所供实际空气量可能大于或小于理论空气量,所以将 1 kg 汽油所消耗的实际空气量与理论空燃比 14.7 的比值称为“过量空气系数 λ ”。其公式为:

$$\text{过量空气系数 } \lambda = 1 \text{ kg 汽油所消耗的实际空气质量} / 14.7$$

若 $\lambda > 1$,表示所供的空气量大于理论空气量,这种混合气叫稀混合气;若 $\lambda < 1$,表示空气量不足以燃料完全燃烧,这种混合气叫浓混合气; $\lambda = 1$ 时,为理想空气量。

例如:在气缸内燃烧 1 kg 汽油所消耗的空气为 12.23 kg,这种缸内燃烧是不完全燃烧。

过量空气系数 $\lambda = 12.23 / 14.7 = 0.9$ (小于 1),混合气过浓。

空燃比和过量空气系数 λ 都是描述混合气浓稀的术语,有时用“空燃比”表示混合气浓稀,有时用“过量空气系数 λ ”表示混合气浓稀。

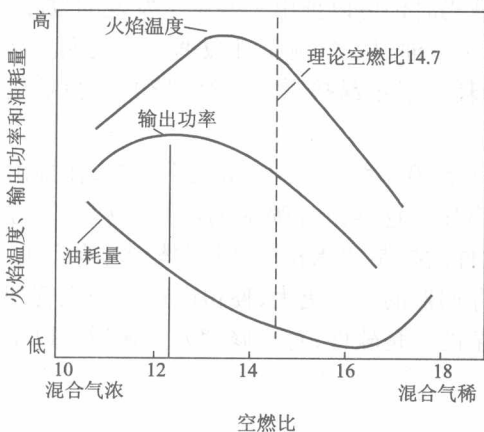


图 1-1 表示空燃比与温度、输出功率和油耗量的关系

2. 空燃比对发动机动力性和经济性的影响

如图 1-1 表示空燃比与温度、输出功率和油耗量的关系。从图中可知,燃烧火焰温度在比理论空燃比稍浓的混合气 ($A/F = 13.5 \sim 14.0$) 时出现最高值。火焰燃烧速度最高时的空燃比,比火焰温度最高时的空燃比还要小一点,约为 12~13。相当于这种空燃比的混合气将使发动机发出最大功率,因此这种稍浓混合气的空燃比称为功率空燃比。当汽油燃烧完全时,发动机的油耗率最低,此时混合气的空燃比要比理论空燃比大一些,约为 16,这种稍稀混合气的空燃比称为经济空燃比。在功率空燃比与经济空燃比之间范围内的混合气成分是汽油发动机常用的混合气,它可使发动机获得较好的使用性能。

(二) 电喷发动机和化油器发动机对混合气要求的不同

从发动机工作的稳定性、动力性和汽油经济性统一考虑,对不同工况,混合气的空燃比的要求是不同的。

1. 化油器发动机稳定工况要求的混合气(五个稳定工况)

在稳定工况运转时,发动机已经完成预热,运转过程中没有转速和负荷的突然变化。混合气成分的要求根据实际运行的转速与负荷而定。稳定工况大致可分为怠速、小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷五种情况。

怠速工况是发动机无负荷的运行。这时,节气门处于关闭状态,因而进气管内的真空度很大。在进气门开启时,气缸内的压力可能高于进气管压力,于是废气膨胀冲入进气管内,随后又由活塞的下移运动,把这些废气和新混合气又吸入气缸内,结果气缸内的混合气中含有较多的废气。为保证这种废气稀释过的混合气能正常燃烧,就必须供给很浓的混合气,如图 1-2

中A点。随着负荷的增加和节气门开度的加大,稀释将逐渐减弱,所以在小负荷工况运行时要求的混合气成分如图1-2中AB线段,即在小负荷区运行时,供给混合气也应加浓,但加浓程度随负荷加大而变小。

在中等负荷运行时,节气门已经有足够大的开度,废气稀释的影响已经不大,因此要求供给发动机稀的混合气,以获得最佳的燃油经济性,这种工况相当于图1-2中的BC段,空燃比约为16~17。

在大负荷时,节气门开度已超过3/4,这时要随着节气门开度的加大,逐渐加浓混合气以满足功率的要求,如图1-2中的CD线段。实际上,在节气门尚未全开之前,如果需要获取更大的扭矩,只要把节气门进一步开大就可以实现,因此也就没有必要使用功率空燃比来提高功率,而应当继续使用经济混合气来达到省油的目的。因此在节气门全开之前的所有部分负荷工况都应当供给经济混合气。只是在全负荷工况时,节气门已经全开,此时为了获取该工况的最大功率必须供给功率混合气,如图1-2中的D点。从大负荷过渡到全负荷工况、节气门达全开位置时,混合气加浓也是逐渐变化的。

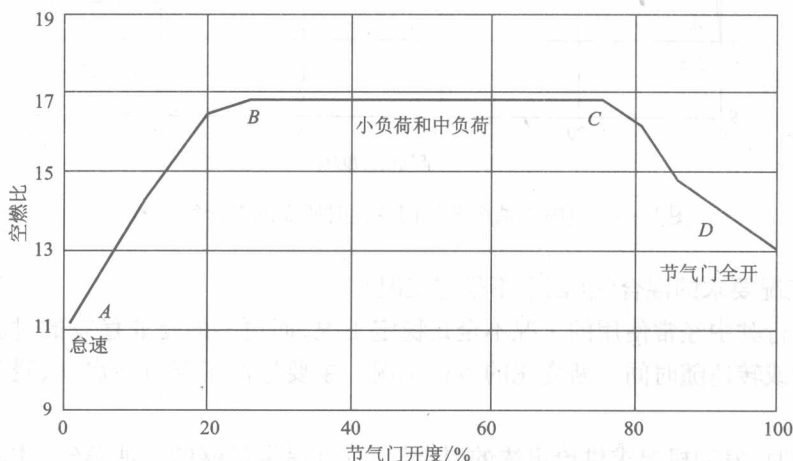


图1-2 化油器式汽油机节气门开度变化时所需的混合气空燃比

图1-2是化油器发动机节气开度与空燃比的对应关系。它一般分为五个稳定工况:A点为怠速(节气门开度最小)、AB段为小负荷(节气门开度由最小至25%)、BC段为中负荷(节气门开度25%~75%)、CD段为大负荷(节气门开度75%~100%)、D点为全负荷(节气门开度为100%)。

知识点滴:化油器发动机省油就是因为汽车大多行驶在空燃比为17,混合气非常稀的BC段,但 NO_x 排放超标,上图已经不适用于电喷发动机。

2. 电喷发动机节气门开度与空燃比的对应关系(假设为直动式节气门)

对于电喷发动机的空燃比随节气门的变化规律,一般分为三个稳定工况:AB段为怠速、BC段为部分负荷(节气门开度由最小至75%)、CD段为大负荷(节气门开度75%~100%)。但是上述规律与实际可能会有差异,这是因为:

(1) B点和C点的节气门开度因车而异。

(2) AB段和发动机水温有关,对于化油器不存在发动机温度这样的问题,所以实际AB段

要比图中所画的曲线变化复杂得多,或者说不能用曲线来描述。

(3) 节气门开度不是表征发动机负荷的主要信号。

电喷发动机应尽可能在所有稳定工况用空燃比为 14.7 的混合气,这样可充分发挥燃料的作用,保证排放达标。但实际上是不可能的,怠速是由浓变稀,全负荷是由稀变浓,只有 BC 段可用 14.7 的混合气,这样可以保证排放不超标。图 1-3 是电喷汽油机节气门变化时所需的混合气空燃比。

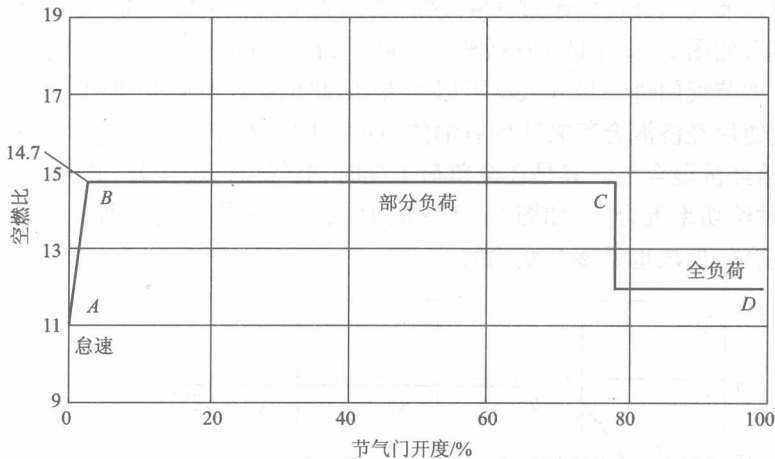


图 1-3 电喷汽油机节气门变化时所需的混合气空燃比

3. 过渡工况要求的混合气(四个不稳定工况)

汽车实际行驶中经常使用的工况不全是稳定工况,而更多的是非稳态的过渡工况。过渡工况是指负荷或转速随时间不断变化的运行工况。主要过渡工况有冷启动、暖车、加速、减速倒拖等工况。

冷车启动时,发动机要求供给很浓的混合气,只有提供足够的汽油蒸气,才能形成可燃混合气。因为在冷启动时,汽油与空气的温度很低,汽油蒸发的百分数很小,为了保证冷启动顺利,化油器发动机要拉阻风门或启动时多踩几脚油门,才能在气缸内产生可燃的混合气。对于电控发动机,电脑根据水温 and 启动工况直接供给空燃比为 2:1 混合气。

启动后,发动机进入暖车期,在暖车过程中也需要浓的混合气。暖车的加浓程度,必须在暖车过程中随水温逐渐减小,一直到发动机能以正常的混合气在稳定工况运转为止。化油器发动机是靠暖机调节器实现,精度不高,且不能直接控制怠速提升。对于电控发动机怠速稳定是由怠速控制系统实现,使暖机更平顺,且能控制怠速提升。

汽车发动机加速时,节气门突然开大,进气管压力随之增加,化油器发动机由于液体燃料流动的惯性和进气管压力增大后燃料蒸发量减少,大量的汽油颗粒被沉积在进气管壁面上,形成厚油膜,而进入气缸内的实际混合气成分则瞬间地被稀释,严重时甚至出现过稀,使发动机转速下降。也就是说踩下加速踏板后,车速不但不升高,反而会下降。为了防止这种现象发生,在电控发动机加速时,要喷入进气管一些附加燃料以弥补加速时的瞬间减稀,以获得良好的加速过渡性能。

当汽车减速倒拖时,驾驶员迅速松开加速踏板,节气门突然关闭,此时由于惯性作用,发动

机仍保持很高的转速,因为进气管真空度急剧升高,进气管内压力降低,促使附着在进气管壁面上的汽油加速汽化,在空气量不足的情况下进入气缸内,对于化油器发动机会造成混合气过浓。为避免这一现象出现,电控发动机减速时供给的燃料应减少一部分。

知识点滴:化油器发动机:中负荷时使用空燃比为 17 的混合气,省油,但 NO_x 排放不合格。

电喷发动机:电控系统在部分负荷(即小负荷和中负荷)提供空燃比为 14.7 的混合气,经三元催化器处理后即可达排放合格标准,相对费点油。

稀燃发动机:反过来想,若能解决 NO_x 排放问题,还是像化油器一样使用一定程度的稀混合气,汽油燃烧更充分,热机效率提高。

可见,汽车空燃比的大小总在发动机经济性和动力性与排放性之间取舍。

二、发动机对点火系统的要求

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统来实现的。

(一) 发动机对点火系统的要求

点火系统应在发动机各种工况和使用条件下,保证可靠而准确的点火。为此应满足以下三个基本要求。

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 8~10 kV 的击穿电压,启动时需要击穿电压最高可达 17 kV。为了保证可靠地点火,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 28 kV 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;发动机的工作情况等。

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 $W = \text{火花电压 } U \times \text{火花电流 } I \times \text{火花持续时间 } T$)。试验证明,在一定范围内,随着火花能量的增大,其着火性能越好。

点燃混合气所必需的最低能量,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(1~5 mJ)。在发动机启动、怠速及节气门急剧打开时,则需较高的火花能量。为保证可靠点火,一般应保证有 50~80 mJ 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 80~100 mJ。

3. 点火时刻必须适应发动机工作情况

首先,点火系统应按发动机气缸的工作顺序进行点火;其次,必须在最佳的时刻进行点火。最佳的点火时刻,主要是从发动机获得最大功率和最小燃料消耗来考虑的,目前也有根据改善燃烧情况和减少有害气体的排放来考虑的。

实验证明:如果点火时刻适当,燃烧最大压力出现在上止点后 10° 左右时,发动机产生功率最大。在发动机气缸内,从开始点火到完全燃烧需要一定的时间(约千分之几秒)。为了使发动机发出最大功率,点火时刻不应在压缩行程终了,而应适当提前。