



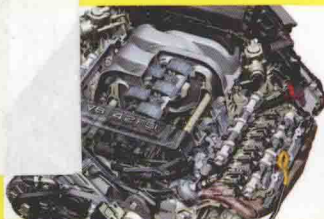
新型直喷、混合动力 发动机构造原理 与故障排除

第2版

李伟 ◎ 主编



XINXING ZHIPEN HUNHE DONGLI FADONGJI
GOUZAO YUANLI YU
GUZHANG PAICHU



☐ 直喷混合动力全覆盖

☐ 构造原理拆装深讲解

☐ 故障诊断排除有技巧

☐ 发动机新技术都掌握



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车维修技能修炼丛书

新型直喷、混合动力发动机 构造原理与故障排除

第 2 版

主 编 李 伟
副主编 高红柳



机械工业出版社

本书根据最新直喷和混合动力发动机结构与维修的特点,在理论与实用并重原则的基础上,详细介绍了现代直喷与混合动力发动机各部件结构、工作原理、检修、故障诊断与排除等知识,重点讲解了大众、宝马、奔驰、三菱、凯迪拉克、丰田、别克、奥迪、雷克萨斯等车系直喷混合动力发动机的最新技术、缸内直喷发动机的原理与控制、缸内直喷发动机的主要部件,以及其他车型混合动力发动机的结构原理等技术内容,工作原理叙述清晰、明了。本书精选了部分维修实例,便于读者查阅。

本书内容新颖,图文并茂,车型新,实用性强,适合用作汽车维修职业技术基础教材,供汽车维修或相关技术人员使用,也可作为大、中专院校汽车专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

新型直喷、混合动力发动机构造原理与故障排除/李伟主编. —2版.
—北京:机械工业出版社,2014.1
(汽车维修技能修炼丛书)
ISBN 978-7-111-45329-1

I. ①新… II. ①李… III. ①汽车-发动机-构造②汽车-发动机-故障修复 IV. ①U472.43

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第000601号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:连景岩 责任编辑:连景岩

版式设计:常天培 责任校对:陈立辉

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2014年4月第2版第1次印刷

184mm×260mm·23印张·566千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-45329-1

定价:59.80元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着世界能源危机和环保问题日益突出,人们对汽车的燃油经济性要求也越来越高,世界各大汽车公司纷纷致力于开发新能源与新燃料汽车,近几年直喷发动机和混合动力车辆已经大批量面世,新能源汽车获得了长足发展。为此,各汽车制造企业纷纷推出了各自的缸内直喷和混合动力发动机,如大众公司的 TSI (均质燃烧)、通用公司的 SIDI (点燃式缸内直喷)、丰田公司的 D-4S、宝马公司的 HPI (高压直喷)、三菱公司的 GDI (汽油缸内直喷)、丰田普锐斯混合动力、奥迪 Q5 混合动力、新款途锐混合动力、纯电动汽车等。特别是电子技术、计算机技术在汽车上的应用,使汽车故障诊断从传统的听、看、闻等经验诊断方式,向以集成化、智能化的诊断设备为手段,以信息技术为依托的现代汽车故障诊断技术发展,这些缸内直喷与混合动力发动机各有自身的特点,技术先进,维修难度大,而市场上缺少这方面的资料,严重影响了缸内直喷与混合动力发动机的维修。为了适合我国汽车维修业的发展,满足广大汽车维修人员的需要,以推动缸内直喷、混合动力发动机维修技术的普及与维修水平的提高,特编写此书。

本书特点:

1. 以市场主流车型为主,尽可能突出新结构,适合注重技能培养的汽车维修技术人员,以及高职、高校、高级培训学校和鉴定机构等高级工培训。
2. 系统地介绍了缸内直喷和混合动力发动机各部件的构造、可变配气机构拆装、常见故障的诊断与排除方法及专用工量器具使用,使读者能较快地掌握维修、调整技术。
3. 大量实物图片与结构原理相配合,使读者对缸内直喷和混合动力发动机的认识与理解更加深化。

本书文字简练,通俗易懂,适合于高职高专学员、汽车维修人员、汽车行业工程技术人员使用,也可供相关专业的师生参考阅读。

本书由李伟主编,参加编写的还有于洪燕、李校航、李春山。

由于经验不足,书中的错误和不完善之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 缸内直喷发动机原理与燃烧技术控制	1
第一节 直喷发动机稀薄燃烧特点和类型	1
一、基本术语	1
二、混合气形成与调节方面的基本要求及特点	2
三、稀薄燃烧的类型和特点	3
四、HCCI 的压燃技术	8
五、控制 HCCI 燃烧的方法	9
第二节 缸内直喷发动机的原理	10
一、分层燃烧与缸内直喷	10
二、GDI 与 FSI 的区别	11
三、均质混合缸内直喷	11
四、缸内直喷发动机工作原理	18
第三节 缸内直喷发动机控制技术	26
一、燃油供给系统的技术要求	26
二、燃烧系统的技术要求	32
三、喷油器与火花塞的安装位置	37
四、缸内直喷发动机火花塞	39
第四节 直喷式发动机的排气后处理	43
一、缸内直喷发动机排气系统组成	44
二、存储式 NO_x 催化转化器	44
三、 NO_x 传感器	48
四、废气温度传感器	51
第二章 缸内直喷发动机的主要部件	53
第一节 燃油系统的组成	53
一、缸内直喷发动机的燃油系统	53
二、电动燃油泵及控制单元	54
第二节 高压燃油泵	57
一、第二代高压燃油泵	57
二、第三代高压燃油泵	58

第三节 大众直喷发动机喷油器及传感器	64
一、直喷发动机喷油器	64
二、喷油器的工作过程	65
三、正确拆装喷油器	66
四、正确打开高压系统	66
五、大众直喷发动机喷油器清洗后的基本设定方法	67
六、燃油高压传感器 G247	67
七、燃油压力调节电磁阀 N276	67
八、燃油系统的检修注意事项	68
第四节 电子控制单元及系统概貌	69
一、ECU 的输入级（即输入信号电路）	70
二、ECU 中的微处理器（又称微机）	73
三、ECU 的输出级（即输出信号电路）	74
四、奥迪 1.4 TSI 发动机的系统组成	75
第五节 直喷发动机可变进气翻板、涡轮增压器、电子节气门	78
一、大众直喷发动机可变进气翻板	78
二、直喷发动机废气涡轮增压器	80
三、直喷发动机的双涡轮增压系统	85
四、新款奥迪 3.0L V6 TFSI 罗茨式增压器	87
第六节 宽量程氧传感器	92
一、构造	93
二、工作原理	95
三、检修	98
第七节 大众新型电子节气门结构、EGR 废气再循环阀	98
一、大众直喷发动机新型踏板机构	99
二、电子节气门控制策略	100
三、大众直喷奥迪、高尔夫 A6 1.4 TSI 电子节气门系统	101
四、奥迪直喷 2.0 TSI 发动机废气再循环阀（EGR 阀）	105
第三章 缸内直喷发动机机械部件	106
第一节 机械部分	106
一、曲柄连杆机构	106
二、奥迪曲轴箱通风系统	111
三、迈腾 1.8TSI 发动机曲轴箱通风系统	113
第二节 润滑系统	115
一、大众润滑系统的改进	115
二、润滑油路及电路图	118
三、电控自调式机油泵	119
第三节 直喷发动机冷却系统	126
一、增压空气冷却系统	126

二、主冷却系统	130
三、大众轿车冷却液泵驱动及随动泵 V50	133
四、电磁离合器冷却液泵	135
五、电控冷却液泵	137
第四节 电子真空泵	139
一、真空泵作用	139
二、真空泵种类	139
三、奥迪 2.0 TFSI 真空助力泵	142
第五节 奥迪 2.0L TFSI 发动机二次空气喷射系统	144
一、二次空气喷射系统作用	144
二、二次空气喷射系统主要部件	144
第六节 燃油蒸发排放控制系统	147
一、加强型 EVAP 系统的组成	148
二、加强型 EVAP 系统的工作原理	148
三、加强型 EVAP 系统的监测功能	149
第四章 可变配气机构	152
第一节 本田发动机 VTEC 结构原理	152
一、本田二段式 (SOHC NEW VTEC)	152
二、本田三段式 (SOHC 3 STAGES VTEC)	156
三、三段式 VTEC 的电路与油路	157
第二节 本田 i-VTEC 结构、原理与控制系统	158
一、i-VTEC 系统构造	159
二、VTC 系统	159
第三节 本田 VTEC/VTC 系统检修	163
一、VTC 电磁故障的检修 (显示 DTC P0010)	163
二、VTEC 电磁阀检查	165
三、摇臂检查	165
四、VTC 机油电磁阀的拆卸、测试与安装	167
五、故障分析	168
第四节 本田可变气缸结构原理与检修	169
一、VCM 系统	169
二、VCM 发动机中 i-VTEC 可变气门升程原理	173
三、i-VTEC 闭缸控制原理	174
四、VCM 系统液压油路	175
五、VCM 辅助系统	175
第五节 丰田 VVT-i 结构原理	177
一、VVT-i 构造	178
二、VVT-i 工作原理	179
第六节 丰田 VVT-i 工作原理	180

一、VVTL-i 原理与控制系统	180
二、VVTL-i 构造	180
三、VVTL-i 工作原理	182
第七节 大众/奥迪可变配气正时结构原理	183
一、大众可变配气正时机构	183
二、奥迪 A4L 可变配气机构	184
三、新款大众/奥迪 A6 直喷发动机气门升程系统	189
第八节 雷克萨斯 LS460 双 VVT-i 系统	194
一、VVT-iE 系统的结构	195
二、VVT-iE 系统工作	196
第五章 混合动力发动机结构原理	197
第一节 丰田普锐斯混合动力发动机的结构原理	197
一、丰田混合动力系统的主要组成部件	198
二、主要部件结构	200
三、丰田普锐斯控制系统的部件功用及结构	205
四、各部件控制原理	207
五、混合动力起动系统	213
六、混合动力系统工作过程	216
七、混合动力驱动桥	221
八、混合动力制动系统	223
九、新款普锐斯的动力分析	224
第二节 新款途锐混合动力结构原理	235
一、概述	235
二、途锐混合动力系统的部件	238
三、系统示意图	251
四、革新热管理系统	252
五、混合动力模式行驶时的显示和操控元件	254
六、高电压系统功能图	258
七、检测混合动力系统高压系统的注意事项	259
第六章 其他直喷发动机结构原理	261
第一节 奔驰缸内直喷发动机结构原理	261
一、奔驰缸内直喷发动机结构特点	261
二、喷油控制策略	262
三、废气再循环	264
第二节 宝马轿车 HPI 高精度直喷发动机	265
一、HPI 概述	265
二、HPI 燃油系统	266
第三节 宝马 HPI 高精度喷射 N63 发动机	270

一、N63 发动机概述	270
二、高精度直喷系统	270
第四节 宝马双涡轮增压系统	272
一、N54 发动机涡轮增压系统	272
二、N63 涡轮增压系统	275
三、无级双 VANOS	278
四、机油泵	278
五、冷却系统	279
第五节 丰田 D-4S 缸内直喷发动机结构原理	281
一、D-4S 型缸内直喷发动机结构特点	281
二、D-4S 系统	283
三、高压燃油泵	283
四、FSE 型发动机 D-4S 系统燃烧原理	284
五、D-4S 系统的喷射控制	285
第六节 凯迪拉克 CTS 缸内直喷发动机	286
一、概述	286
二、燃油供给系统	286
三、注意事项	287
第七节 三菱 GDI 缸内直喷发动机结构原理	289
一、控制策略	289
二、主要技术	292
三、喷射技术	295
第八节 福特 EcoBoost 动力技术	296
一、TNBA 发动机简介	296
二、缸内直喷技术	296
第九节 现代全新胜达缸内直喷发动机维修	301
一、高压燃油泵	301
二、油轨总成	301
三、高压油管	302

第七章 故障案例

第一节 新款别克商务车怠速发抖	303
第二节 迈腾 EPC 灯亮	303
第三节 迈腾 1.8 TSI 发动机偶尔熄火	306
第四节 新款速腾 1.4 TSI 无法起动	309
第五节 奔驰 E260 高压泵内部故障	314
第六节 宝马 740Li 怠速不稳	317
第七节 丰田普锐斯混合动力轿车无法正常起动	319
第八节 迈腾发动机无法起动	322
第九节 迈腾发动机怠速抖动的判定	325

第十节	奥迪 A6L 2.0 轿车无法起动	330
第十一节	燃油泵早期损坏导致发动机偶尔熄火	330
第十二节	燃油压力调节阀 N276 机械故障	332
第十三节	新款本田雅阁中速熄火	334
第十四节	新款本田雅阁变排量系统故障	336
第十五节	奥迪 Q7 发动机控制单元供电不良引起异响	340
第十六节	迈腾 1.8TSI 发动机偶尔无法起动, 正常行驶时加速无力	342
第十七节	迈腾 DSG 1.8TSI 发动机偶尔无法起动	344
第十八节	迈腾 1.8TSI 多功能转向盘信息菜单无法进行设置调整	348
第十九节	新款大众 CC 不能恢复正常怠速	351
第二十节	新款高尔夫 A6 怠速抖动	354

第一章

缸内直喷发动机原理与燃烧技术控制

第一节 直喷发动机稀薄燃烧特点和类型

随着能源供给的日益紧张，人们对车用发动机的燃油经济性更加重视，并且采取了许多有效的措施。汽油机稀薄燃烧技术是改进汽油机燃油经济性的重要手段，它可以使燃料的燃烧更加完全，同时辅以相应的排放控制措施，也可使汽油机的有害排放物 CO、HC 等大大地减少。

一 基本术语

可燃混合气中空气与燃油的比例称为可燃混合气成分或可燃混合气浓度，通常用过量空气系数和空燃比表示。

(1) 过量空气系数 发动机工作过程中，燃烧 1kg 燃油实际供给的空气量与理论空气量之比，称为过量空气系数，用 λ 或 φ_a 表示，即

$$\lambda = \frac{\text{燃烧 1kg 燃油实际供给的空气质量}}{\text{完全燃烧 1kg 燃油化学计量空气质量}}$$

$\lambda = 1$ 称为理论混合气； $\lambda < 1$ 称为浓混合气； $\lambda > 1$ 称为稀混合气。

(2) 空燃比 可燃混合气中空气质量与燃油质量之比称为空燃比，记作 α 。即

$$\alpha = \frac{\text{空气质量}}{\text{燃油质量}}$$

按照化学反应方程式的当量关系，可求出 1kg 汽油完全燃烧所需空气质量，即化学计量空气质量约为 14.7kg。 $\alpha = 14.7$ 为理论混合气； $\alpha < 14.7$ 为浓混合气； $\alpha > 14.7$ 为稀混合气。空燃比 $\alpha = 14.7$ 称为理论空燃比或化学计量空燃比。 过量空气系数与空燃比 α 在数值上的对应关系见表 1-1。

表 1-1 λ 与 α 数值对应关系

λ (φ_a)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
α	8.9	10.4	11.8	13.3	14.8	16.3	17.8	19.2	20.7

试验证明，当 $\lambda = 1.05 \sim 1.15$ 时，混合气燃烧完全，燃油消耗率低，故称这种混合气为经济混合气，其混合比为经济混合比。当 $\lambda = 0.85 \sim 0.95$ 时，混合气燃烧速度最快，热损失最低，这时发动机的有效功率最大，故称此种混合气为功率混合气，其混合比为功率混合比。

试验证明,混合气过浓或过稀都不能着火燃烧。在一般情况下,混合气浓到 $\lambda = 0.4 \sim 0.5$ 或混合气稀到 $\lambda = 1.3 \sim 1.4$ 时火焰便不能传播。通常称前者为火焰传播上限,称后者为火焰传播下限。

如上所述,可燃混合气成分直接影响发动机的性能及发动机能否正常运转,而且使用同一种成分的混合气不可能同时获得最大功率和最低燃油消耗率。

二 混合气形成与调节方面的基本要求及特点

人们在发展现代汽油机缸内直喷技术时,力图综合传统汽油机和柴油机两方面的优点。众所周知,柴油机按狄塞尔(Diesel)循环工作,即采用压燃和混合气调节方式工作,其燃油经济性明显优于汽油机。而汽油机则采用奥托(Otto)循环工作,混合气进行量调节,过量空气系数(实际空气量/燃油按化学计量比燃烧所需至气量=空燃比/14.7)小,可实现均质预混合燃烧,其动力性能指标,即升功率要高于柴油机。而在柴油机中进行的是非均质混合气扩散燃烧,尽管总体上过量空气系数 $\lambda > 1$,但混合气中仍存在局部缺氧的情况,以至于形成了柴油机特有的炭烟与颗粒排放,这在缸内直喷式汽油机中,特别是在分层混合气燃烧过程中的浓混合气区域要尽量避免出现类似的情况。

为了扬长避短,综合汽油机和柴油机两方面的优点,要求在现代缸内直喷式汽油机中,如图 1-1 所示,在部分负荷时燃油于压缩行程后期喷入,实现混合气分层稀薄燃烧(过量空气系数 $\lambda \geq 1.9 \sim 2.2$),并采用混合气调节,以避免节气门的节流损失,力求达到与柴油机相当的燃油经济性;而在中等至高负荷时,燃油在进气行程中喷入,根据运行工况的需要,实现均质稀薄混合气燃烧($\lambda = 1.3 \sim 1.4$)、均质燃烧($\lambda = 1.0$)或均质加浓混合气燃烧($\lambda < 1.0$),以保持汽油机升

功率高的优点。同时,由于喷入缸内的燃油蒸发时吸收热量所起的冷却作用,提高了抗爆性能,可以实现较高的压缩比($\varepsilon = 12 \sim 14$),从而有助于提高循环的热效率,降低燃油消耗。

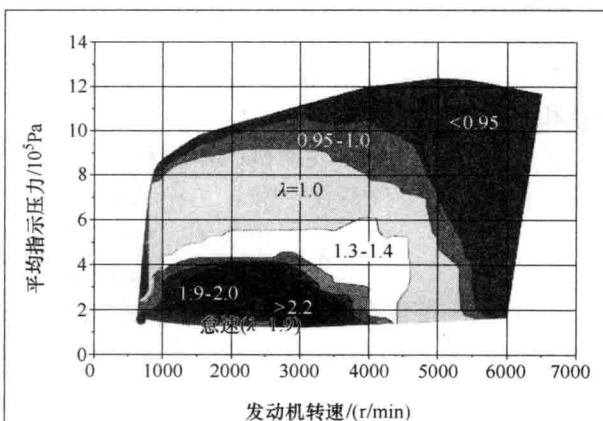


图 1-1 缸内直喷式汽油机各种运转模式下的过量空气系数 λ 特性曲线场

由于这种缸内直喷式汽油机必须在部分负荷时形成分层混合气,而在高负荷和全负荷时形成均质混合气,并在这两种运行方式之间进行瞬态转换,而且必须做到响应快、转换平顺,使驾驶人无明显的感觉,因此对喷油系统、混合气形成与燃烧过程的稳定性以及发动机电子控制系统提出了很高的要求,而且还必须专门配用吸附式降 NO_x 催化器以及低硫汽油。为此,现代缸内直喷式汽油机基于性价比和使用条件的考虑,有的机型已开始采用在所有运行工况下全部以均质混合气燃烧运行,这样一来发动机的电控系统就要简单得多,也无需应

用吸附式降 NO_x 催化器以及低硫汽油, 电控单元和三元催化转化器基本上可与进气道喷射机型通用, 从而成本要明显优于以分层混合气燃烧运行的机型, 只是其燃油消耗略为逊色, 但仍要比进气道喷射汽油机低 5% ~ 9%。然而, 如果这种以均质混合气运行的直喷式汽油机采用高废气再循环, 也可实现稀薄燃烧, 那么它与分层混合气燃烧在燃油消耗上的差别将会进一步减小。1999 年, Fiat-GM-Opel 动力总成公司在 2.2-ECotec 进气道喷射汽油机的基础上推出的该公司第一台 2.2-DireCt Ecotec 直喷式汽油机, 就是在经过综合经济效益评估后, 决定放弃分层混合气燃烧而仍沿用均质混合气燃烧, 与进气道喷射机型相比较, 其标定功率提高 6%, 最大扭矩提高 8%, 低速转矩提高 6% ~ 10%, 燃油消耗降低 6%, 并达到欧 IV 排放标准。大众公司在我国大连生产的直喷式汽油机, 也就是因我国市场目前暂时无法供应低硫汽油以及缺乏维修经验的实际情况而将原来的分层混合气燃烧过程改为均质混合气燃烧过程。2006 年, 宝马公司开发的 335i-3.0L 轿车上搭载的直喷式汽油机也采用均质混合气运行, 从而在喷油量跨度较大的涡轮增压机型上能够采用每循环多次喷射的策略。在小负荷工况时只需进气行程期间的单次喷油就足以获得均匀的混合气, 而在低速高负荷运转工况时, 在进气行程期间将喷油量分成两次或三次喷射, 这样就能够在尽可能少湿壁的情况下获得非常均匀的混合气。图 1-2 示出了其在发动机特性曲线场范围内多次喷射的应用情况, 其燃油消耗也要比相应的进气道喷射机型低 10%, 而且废气排放也能得到明显的改善。特别是在冷起动后采用两次喷油策略, 第一次在进气行程喷油, 第二次在压缩行程喷油, 此时只要不损坏发动机的运转平稳性, 点火时刻可以明显延迟到点火上止点后, 从而使废气温度提高 200℃ 以上, 大大加快催化转化器的预热过程, 使 NO_x 和 HC 排放明显降低, 可比采用单次喷油时低大约 30%, 如图 1-3 所示。

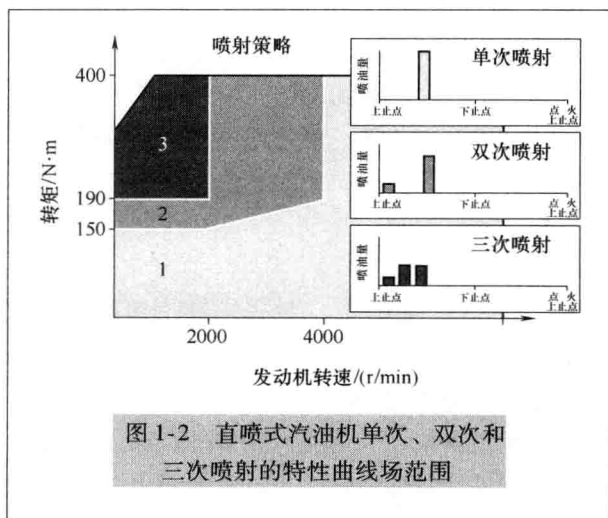


图 1-2 直喷式汽油机单次、二次和三次喷射的特性曲线场范围

此外, 应当指出, 分层混合气运行并不是减少换气过程泵气损失的唯一途径, 可变气门正时也可以减少这种损失。如果均质混合气燃烧的直喷式汽油机与可变气门正时装置 (VVT) 结合起来, 其燃油消耗可与分层混合气燃烧系统相当。

三 稀薄燃烧的类型和特点

1. 稀薄燃烧的定义

稀薄燃烧是指空燃比 α 大于理论空燃比 14.7 时的燃烧。但在实际使用中, 为保证各缸不失火, 混合气不能太稀, 其空燃比的稀限为 17, 所以在实际使用中, 将空燃比大于 17 的燃烧视为稀薄燃烧。

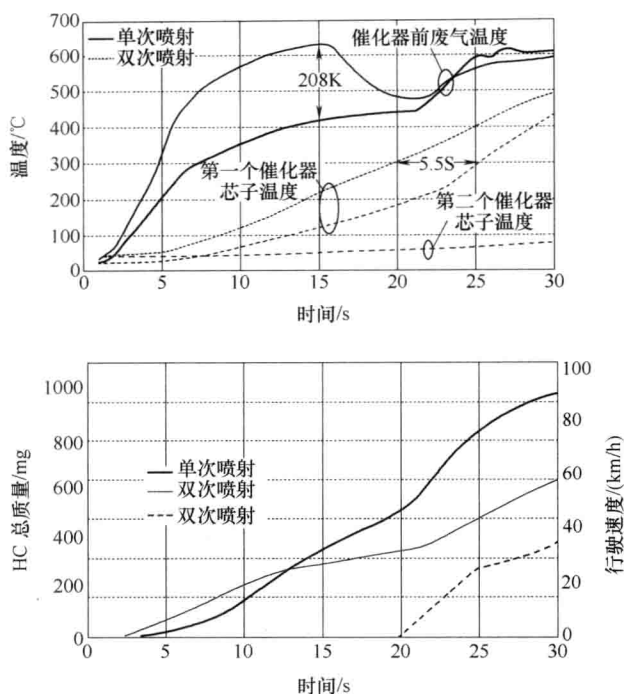


图 1-3 直喷式汽油机采用二次喷射可提高废气温度并降低排放

2. 稀薄燃烧的实现

传统的汽油机在空燃比达到 15 或者更高以后,就可能出现点火困难或不点火现象,使发动机各项性能指标降低、排放水平恶化。为了实现稀薄燃烧,必须使燃烧室内形成分层气流,使火花塞周围形成较浓的混合气,在远离火花塞处则形成较稀的混合气。为了达到上述要求,对汽油机主要进行了如下改动:

1) 进气道由传统形状改为螺旋式,在进气口处设置蝶形涡流阀,使气流形成较强的涡流,流动更为合理,有利于火花塞点火及火焰的迅速传播。

2) 采用无级调节气门定时系统 (VVT-i),可改变进气门定时角,以满足不同工况、不同转速下的进、排气效应,从而保证汽油机在各种工况下都能稳定地工作。

3) 加装燃烧压力传感器。汽油机的压缩比在提高到 10 以上时,为了防止汽油机出现爆燃现象,在燃烧室内加装了燃烧压力传感器,使燃烧室内的燃烧状态及时反馈到 ECM (电子控制器),ECM 根据预先设定的数据对喷油及点火进行调整,使汽油机各项性能指标均保持在最佳状态。

4) 采用大口径喷油器,通过提高燃油系统压力,使燃油能在设定时刻准确无误地充分喷入燃烧室内。

5) 氧传感器的重新研究开发。为了保证燃烧的稳定性和稀薄燃烧系统对进气涡流的组织、喷油定时和各工况下的空燃比控制都提出了严格的要求。目前,安装有三元催化转化器的车用汽油机一般采用氧传感器进行闭环反馈控制,即将发动机的空燃比控制

在当量空燃比附近,以保证三元催化转化器的正常工作。而稀薄燃烧要求对各工况下的目标空燃比进行调节,其目标空燃比并不仅仅在当量空燃比附近,因而必须采用测量范围较宽的新型氧传感器,通过 PID (比例—积分—微分) 调节对空燃比进行闭环反馈控制。

目前,丰田、三菱、本田、福特、奔驰等许多国外汽车公司和研究机构都开发出了比较成熟的 GDI 机型和产品。这些 GDI 机型,除了少数仍采用单一的均质预混燃烧模式外,大都根据汽油机的不同工况而采用了不同的混合燃烧模式。它们广泛使用的是内开式螺旋喷油器,中小负荷区域通过压缩行程后期喷油和燃烧系统的合理配合,可形成分层稀薄快燃的混合气;而在大负荷和全负荷工况下,通过在进气行程中较早地把燃油喷入气缸,在点火时刻则会形成预混燃烧的均质混合气。如丰田、三菱的某些 GDI 机型采用两段喷射技术,即把燃油分两次喷射到燃烧室内。

3. 稀薄燃烧的分类

(1) 按混合气状态分 按混合气状态分,可将稀薄燃烧分为均质和非均质两种。

1) 均质预混合方式。大部分进气管喷射汽油机一般只能在空燃比小于 25 的范围内工作,且采用均质预混合方式。此种方式的空燃比限制在以化学当量比为中心的狭窄区域内,即空燃比小于 25 的范围内工作,其本身存在燃油经济性较差和自身排放高的缺点。

① 为保证所要求的空燃比,只能用进气管节流的方式对混合气充量进行调节。由于节流会引起较大的泵气损失,因此会造成低负荷时的燃油经济性较差。

② 由于缸内充满均质的易着火和燃烧的混合气,容易产生爆燃,因而不能采用高压缩比,使得热效率较低。

③ 浓混合气的比热容较低,也使热效率较低。在化学计量比附近燃烧, NO_x 排放较高。

2) 非均质分层进气。由于均质预混合方式存在很多缺点,目前,分层燃烧(分层进气)发动机作为稀薄燃烧中的非均质燃烧是实现稀薄燃烧的主要方式。随着空燃比的增加,由于混合气过稀,火花塞周围微小点火体内的燃料量太少,产生的热量不足以聚集形成火焰,使得均质混合气难以点燃且燃烧速度减慢,从而造成燃烧不稳定,使油耗和 HC 排放上升。而传统发动机供给各缸的混合气成分不均匀,在汽油机中只要形成火焰,在火焰的传播过程中,即使是相当稀的混合气,也能正常燃烧。为了提高稀薄燃烧界限,可采用分层充气燃烧,以保证在空燃比大于 20 的条件下在火花塞周围形成易于着火的较浓的可燃混合气(空燃比在 12~13.5),而在周边区域和燃烧室的大部分区域是较稀混合气或空气。在浓稀之间,有从浓到稀的各种空燃比混合气,以利于火焰的传播。因此,燃烧室中混合气浓度有组织地分成各种层次,故称为分层燃烧(分层进气)发动机。分层燃烧的汽油机可稳定在空燃比为 20~25 的范围内工作,分层燃烧缸内直喷发动机空燃比的稀限可提高到 40 以上。在小负荷工况下,不需要关小节气门来限制进气量,基本上避免了发动机换气过程中的泵气损失。在高空燃比情况下,由于混合气物性的改变,等熵指数(绝热指数)增加,传热损失减少,发动机的热效率可进一步提高。由于汽车发动机经常在小负荷工况下工作,可使其平均油耗降低 15%~20%, NO_x 排放也会显著降低。为使发动机在燃用稀混合气时工作稳定可靠,必须同时控制燃烧过程,使之实现快速燃烧;改善供给系统混合气制备与分配;改进或强化点火系统。分层进气燃烧室可分为统一式和分隔(预燃室)式两大类。美国德士古公司的 TCCS 和福特公司的 PROCO 以及日本三菱公司的 MCP 属于统一式;日本本田公司

的 CCVC 和丰田公司的 TGP 以及德国波舍尔公司的 SKS 和大众公司的 PCI 则属于预燃室式。

(2) 按燃烧供给方式分 按燃烧供给方式分, 汽油稀薄燃烧可分为三种类型, 即进气道喷射分层稀薄燃烧 (PFI)、缸内直喷稀薄燃烧 (GDI)、均质混合气压燃 (HCCI)。

4. 稀薄燃烧空燃比的特性

稀薄燃烧技术的宗旨是使发动机在最佳稀薄空燃比下稳定工作, 以改善燃油消耗率和排放性能。由图 1-4 所示的空燃比特性曲线可知: 在理论空燃比下, 采用三元催化转化技术, 可以使 NO_x 排放达标, 但不能满足燃油经济性的要求; 提高空燃比, NO_x 排放量会增加, 并在 $\alpha = 16$ 时达到最大; 而后继续增加空燃比, NO_x 排放量下降, 而发动机输出转矩的变动量增加, 发动机不能稳定工作。同时满足油耗最佳、 NO_x 排放量最低、转矩变动量小的空燃比范围很窄。因此, 空燃比的精确控制是稀薄燃烧技术成功的关键。

(1) 稀薄燃烧空燃比的控制策略

1) 空燃比反馈控制原理。在排气系统中安装空燃比传感器, 利用其测出排气中的 O_2 浓度, 实现空燃比的闭环控制。其工作原理如图 1-5 所示, 排气侧有氧化铝和镁制成的气体扩散层, 管型加热器可将端部加热至 $700 \sim 800^\circ\text{C}$, 传感器通过将氧离子沿图示实线方向泵入, 可探测到排气中氧气的浓度, 由此进行空燃比的反馈控制。

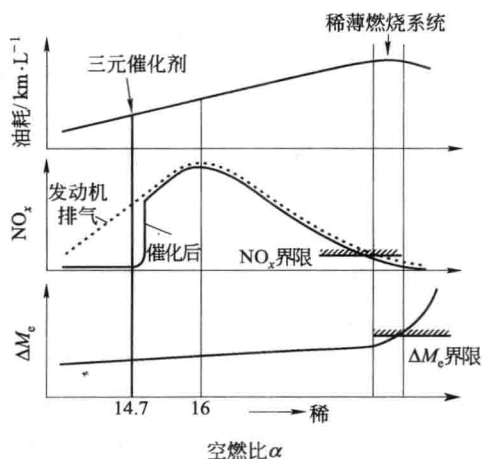


图 1-4 空燃比 α 特性

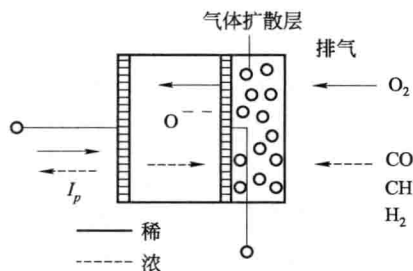


图 1-5 空燃比传感器工作原理图

2) 控制过程。空燃比传感器输出的信号为模拟量, 需进行 A-D 转换, 转换后输入电子控制单元 (ECU)。ECU 根据传感器测得排气中的 O_2 浓度, 查询存储在 ROM 中的由发动机工况确定的目标空燃比的脉谱图, 计算该工况下排气中的目标 O_2 含量。然后比较目标值与实测值, 求出偏差量并修正, ECU 根据修正的 O_2 浓度确定燃油的最终喷射量, 如图 1-6 所示。

(2) 燃烧压力反馈控制 通过气缸压力传感器直接检测气缸内的燃烧压力, 进而计算出发动机每一循环输出转矩的变动量 ΔM_e , 以此进行空燃比的反馈控制, 使实际转矩的变动量控制在允许的范围之内, 如图 1-7 所示。该控制方式是直接测量发动机输出转矩的变动量, 故可以控制空燃比 α , 使实际转矩变动量更接近于所允许的界限值。因此, 可将空燃比控制在稀薄燃烧范围的上限, 使油耗率降得更低, NO_x 的排放量更少。

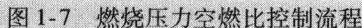
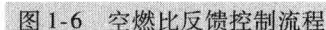


图 1-8 所示。

