

新型汽车 电控汽油喷射系统 结构与检修

曾建谋 编著

广东科技出版社



前 言

电子控制汽油喷射系统是应用在现代汽车发动机上的高新技术，具有降低油耗、提高功率、低速扭矩大、加速性好、减少排气污染等优点，已广泛地应用在汽车，尤其是轿车上。美、日、德等国家发动机排量2升以上的轿车几乎百分之百采用电子控制汽油喷射式发动机，而且大部分都采用电子控制自动变速器。在我国，轿车生产的发展趋势也将逐步配置电子控制汽油喷射装置。因此，对电子控制汽油喷射系统的研究、应用及检修，已越来越引起人们的关注。但是，目前我国汽车工程技术人员及修理工对于电子控制汽油喷射技术还比较陌生，对其进行故障诊断和检修是一个薄弱环节。为了使汽车工程技术人员和修理工了解、掌握电子控制汽油喷射系统的结构原理及检修技术，特编写此书。

该书共三编：第一编，电子控制汽油喷射概说；第二编，结构与工作原理；第三编，故障诊断与检修。该书全面、系统地介绍现代汽车电子控制汽油喷射系统各部件的结构原理、故障诊断、拆卸、检修、安装及调试等。书中图文并茂，易于理解，实用性强。该书将使初学者在短时间内了解、掌握电子控制汽油喷射的基本知识；对于工程技术人员，将使他们进一步提高理论水平及解决问题的能力。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免出现缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者
1997年2月

目 录

第一编 概 论

第一章 汽油发动机的性能及排放	3
第一节 汽油发动机的性能	3
一、汽油发动机的主要性能指标	3
二、可燃混合气成分对发动机性能的影响	4
三、发动机不同工况对可燃混合气的要求	5
第二节 汽油发动机的排放与净化	6
一、汽油发动机排放物的有害气体	7
二、影响排放中有害气体生成的因素	8
三、排气净化的措施	9
第二章 汽油喷射概说	14
第一节 汽车发动机汽油喷射	14
一、汽油喷射的基本概念	14
二、汽油喷射发展简介	14
第二节 汽油喷射系统的优点	17
一、化油器式供油系统的缺点	17
二、汽油喷射系统的优点	18
第三节 汽油喷射系统的分类	19
一、缸内喷射和缸外喷射	19
二、连续喷射和间歇喷射	20
三、单点喷射和多点喷射	20
四、机械式、机电结合式汽油喷射系统与电控式汽油喷射系统	22
五、开环控制与闭环控制汽油喷射	24
六、电子控制汽油喷射系统的分类	24
七、广泛采用的汽油喷射系统	26

第二编 结构与工作原理

第三章 电子控制汽油喷射系统的结构和工作原理	31
第一节 燃油系统	32
一、燃油系统的组成及作用	32
二、各部件的结构及工作原理	32
第二节 进气系统	46
一、进气系统的组成及作用	46
二、主要部件的结构及工作原理	47
第三节 电子控制系统	60

一、电子控制装置 (ECU)	61
二、传感器	67
三、执行器	89
四、继电器及开关信号	89
第四章 燃油喷射的控制	92
第一节 喷油器的基本工作情况与特性	92
一、喷油器的基本控制电路和工作原理	92
二、喷油器针阀的工作特性	93
三、喷油器的喷射量特性	94
四、电压修正特性	94
五、喷油器驱动方式	95
第二节 喷油正时的控制	96
一、多点间歇喷射的喷油正时控制	96
二、单点喷射的喷油正时控制	100
第三节 喷油量的控制	100
一、起动后同步喷射时间的计算方法	100
二、基本喷射时间	101
三、与发动机温度相关的燃油修正系数	103
四、加减速时的燃油修正系数	104
五、急加速时的异步喷射	106
六、理论空燃比的反馈控制	107
七、学习空燃比控制	109
八、大负荷、高转速运转时燃油增量的修正	110
九、无效喷射时间	111
十、燃油停供	111
十一、起动时的喷油时间	112
第四节 电动燃油泵的控制	115
一、燃油泵开关继电器的控制	115
二、燃油泵转速的控制	116
第五章 辅助控制系统	119
第一节 点火系统的控制	119
一、微机控制的点火系统	119
二、无分电器点火 (DLI) 系统	125
第二节 爆震控制	130
一、爆震与点火时刻的关系	130
二、爆震的控制	131
第三节 怠速控制 (ISC)	133
一、旁通空气式怠速控制	133
二、节气门直动式怠速控制	141
第四节 废气再循环 (EGR) 控制	142
一、机械式 EGR 控制	142
二、固定 EGR 率的电子式 EGR 控制	143

三、可变 EGR 率的电子式 EGR 控制	144
四、闭环控制式的 EGR 控制	145
第五节 安全保险功能与备用系统	145
一、安全保险功能	145
二、备用系统	146

第三编 故障诊断与检修

第六章 常用工具及专用检测仪器	151
一、跨接线	151
二、测试灯	151
三、万用表	152
四、手提式真空泵	154
五、压力表	155
六、喷油器清洗试验台	156
七、专用测试仪	158
第七章 电控汽油喷射发动机故障自诊断系统	164
第一节 自诊断系统概述	164
一、故障的识别和存贮	164
二、故障代码	165
三、读取故障码的方法	165
四、故障码的显示	165
五、故障码的清除	168
第二节 亚洲汽车自诊断测试	168
一、丰田 (TOYOTA) 轿车自诊断测试	168
二、日产 (NISSAN) 轿车自诊断测试	174
三、三菱 (MITSUBISHI) 汽车自诊断测试	178
四、韩国现代 (HYUNDAI) 轿车自诊断测试	187
五、韩国大宇 (DAEWOO) 轿车自诊断测试	189
第三节 美国汽车自诊断测试	190
一、福特 (FORD) 轿车自诊断测试	190
二、通用汽车公司轿车自诊断测试	194
三、克莱斯勒 (CHRYSLER) 轿车自诊断测试	198
第四节 欧洲汽车自诊断测试	199
一、奥迪 (AUDI) 轿车自诊断测试	199
二、宝马 (BMW) 轿车自诊断测试	202
三、绅宝 (SAAB) 轿车自诊断测试	204
四、沃尔沃 (VOLVO) 轿车自诊断测试	206
第八章 电子控制汽油喷射系统故障诊断	208
第一节 故障诊断的基本原则及注意事项	208
一、故障诊断的基本原则	208
二、使用维修注意事项	209
三、故障检修程序	211

第二节 基本检查	211
一、客户意见	211
二、基本检查	212
第三节 常见故障诊断	215
第四节 故障征兆模拟试验	221
第五节 运用“故障诊断表”检查	223
第九章 丰田皇冠 3.0 轿车发动机电控燃油喷射系统的检修	233
第一节 概述	233
一、2JZ-GE 型发动机电喷系统总图	233
二、2JZ-GE 型发动机电控燃油喷射 (EFI) 系统的三个子系统简介	233
三、发动机 (含电控自动变速器) ECU 的连接端子名称	240
四、故障码的含义、读取及清除	241
五、检修注意事项	243
第二节 燃油系统的检修	244
一、燃油泵系统的检修	244
二、燃油压力调节器的拆装	249
三、喷油器的检修	251
四、燃油压力脉动缓冲器的拆卸与安装	258
第三节 进气系统的检修	259
一、节气门体及其电路	259
二、节气门体的车上检查	260
三、节气门体的拆卸、检查及安装	264
四、怠速控制 (ISC) 阀的检修	266
五、谐波增压进气系统 (ACIS) 的检修	268
第四节 电子控制系统的检修	272
一、ECU 电源电压检查	272
二、EFI 主继电器的检查	275
三、水温传感器的检修	276
四、进气温度传感器的检修	278
五、真空传感器 (进气歧管绝对压力传感器) 的检修	280
六、爆震传感器的检修	281
七、可变电阻器的检修	282
八、谐波增压进气系统真空开关阀 (ACIS VSV) 的检修	284
九、燃油泵 ECU 的检修	284
十、发动机 (和 ECT) ECU 的检修	285
十一、起动电路的检查	289
十二、点火电路的检查	289
十三、检查发动机故障指示灯电压	289
第十章 凌志 (LEXUS) LS400 轿发动机电控燃油喷射系统的检修	293
第一节 概述	293
一、系统原理	293
二、电子控制燃油喷射 (EFI) 系统的三个子系统简介	293

三、故障码的读取与清除	298
四、故障代码表	299
五、检查瞬时断路	303
六、EFI 系统电路配线图	304
七、发动机（和 ECT）ECU 连接器的端子	306
第二节 燃油系统的检修	308
一、燃油泵的检修	308
二、燃油压力调节器的检修	310
三、冷起动喷油器的检修	311
四、喷油器的检修	314
五、燃油压力脉动减振器的拆装	317
六、燃油箱及管路组件	318
第三节 进气系统的检修	319
一、空气流量计的检修	319
二、节气门体的检修	321
三、怠速控制（ISC）阀的检修	325
第四节 电子控制系统的检修	326
一、燃油泵 ECU	326
二、EFI 主继电器的检查	327
三、开路继电器的检查	328
四、冷起动喷油器定时开关	329
五、水温传感器	330
六、可变电阻器	331
七、燃油泵继电器和电阻器（1993 年前用）	332
八、真空开关阀（VSV）	332
九、发动机（和电控变速器）ECU 的检查	333
第五节 按故障码排除故障	336
第六节 电路故障检查	356
一、ECU 电源电路	356
二、备用电源电路	358
三、喷油器电路	359
四、冷起动喷油器电路	360
五、ISC（怠速控制）阀电路	362
六、燃油压力控制 VSV 电路	364
七、可变电阻器电路	366
八、TE1 和 TE2 端子电路	367
第十一章 奥迪 V6 发动机电控汽油喷射系统的检修	369
第一节 奥迪 V6 发动机电控汽油喷射系统和点火系统的组成和工作原理	369
一、概述	369
二、奥迪 V6 发动机电喷系统和点火系统的组成	371
第二节 奥迪 V6 发动机的自我诊断系统和电器设备	375
一、发动机的自我诊断系统	375

二、汽车故障自我查询系统	379
三、奥迪车电器位置和名称	379
四、检测盒的使用	379
第三节 奥迪 V6 发动机电控燃油喷射系统的检修	384
一、检修注意事项	384
二、检查燃油压力和保持压力	385
三、检查燃油泵继电器	386
四、检查对燃油泵继电器的控制信号	387
五、检查喷油器	387
六、检查喷油量和喷油器的密封	388
七、检查怠速	389
八、检查怠速控制阀	389
第四节 燃油控制系统的其他检查	390
一、检查燃油蒸气活性炭罐电磁阀 (ACF 阀)	390
二、检查和调整怠速开关	391
三、检查和调整节气门开度传感器	392
四、调整自动变速器跳合开关	393
五、检查空调压缩机的切断	394
第五节 发动机点火系的检修	394
一、概述	394
二、点火系检修注意事项	395
三、点火系各机件的检查	396
第十二章 桑塔纳 2000 电控燃油喷射系统的检修	401
第一节 概述	401
一、供油系统	401
二、燃油喷射部件	403
三、进气系统	403
四、中央集线盒和保险丝	403
第二节 主要检查和调整	405
第三节 点火系	409
参考文献	411
附录一 英文缩写注释	412
附录二 电线颜色缩写识别	416

第一编

概 论

第一章 汽油发动机的性能及排放

第一节 汽油发动机的性能

一、汽油发动机的主要性能指标

发动机性能指标是发动机质量好坏的反映。汽油发动机的主要性能指标有动力性指标（有效扭矩、有效功率、转速等）和经济性指标（燃油消耗率）。

1. 有效扭矩

发动机通过飞轮对外输出的扭矩称为有效扭矩，用 M_e 表示，单位为 $N \cdot m$ 。有效扭矩与外界施加于发动机曲轴上的阻力矩相平衡。

2. 有效功率

发动机通过飞轮对外输出的功率称为发动机的有效功率，用 P_e 表示，单位为 kW 。它等于有效扭矩与曲轴角速度的乘积。发动机的有效功率可以用台架试验的方法测定。在试验台上测定有效扭矩和曲轴转速，然后按下列公式计算出发动机的有效功率：

$$P_e = M_e \cdot \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{M_e \cdot n}{9550} \quad (kW) \quad (1-1)$$

式中 M_e ——有效扭矩， $N \cdot m$ ；

n ——曲轴转速， r/min 。

3. 燃油消耗率

发动机发出 $1kW$ 有效功率，在 $1h$ 内所消耗的燃油质量（以 g 为单位），称为燃油消耗率，用 g_e 表示。燃油消耗率越低，经济性越好。

燃油消耗率可按下式计算：

$$g_e = \frac{G_T}{P_e} \cdot 10^3 \quad (g/kW \cdot h) \quad (1-2)$$

式中 G_T ——发动机每单位时间的耗油量， kg/h ，可由试验测定；

P_e ——发动机的有效功率， kW 。

发动机的性能是随着许多因素变化的，其变化规律称为发动机特性。当发动机节气门开度最

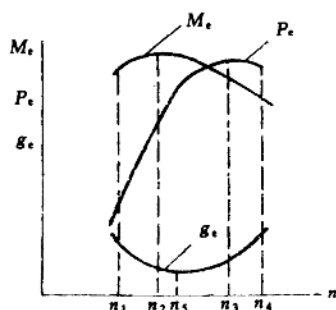


图 1-1 发动机外特性

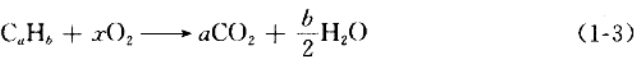
大时，所得到的 M_e 、 P_e 随 n 变化的关系曲线，称为发动机外特性（图 1-1），而节气门在其它开度情况下得到的特性称为部分特性。发动机外特性代表了发动机所具有的最高动力性能。外特性曲线上标出的发动机最大功率和最大扭矩及其相应转速，是发动机性能的重要指标。

二、可燃混合气成分对发动机性能的影响

1. 可燃混合气及空燃比

可燃混合气是指空气与燃料的混合物，其成分对发动机的动力性和经济性有很大的影响。

发动机工作时，进气系统及燃油供给装置向进气管提供一定比例的空气及燃油，它们互相混合，形成可燃混合气并流进气缸内，在气缸内，可燃混合气被压缩、点燃，推动活塞运动而作功。其燃烧反应如下：



空气和燃油的混合比，即空气质量与燃油质量之比，称为空燃比，通常用 A/F 表示。其表达式如下：

$$A/F = \frac{\text{空气质量}}{\text{燃油质量}}$$

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，为 14.7。 A/F 大于 14.7 时为稀混合气， A/F 小于 14.7 时为浓混合气。

发动机在工作过程中，实际燃烧 1kg 汽油所消耗的空气量不一定刚好等于理论值，它与发动机的结构及使用工况有关，所提供的空气量可能大于或小于理论空气量。在我国，将实际空气量与理论空气量的比值称为过量空气系数，用 λ 表示：

$$\lambda = \frac{\text{燃烧 1kg 燃料所实际供给的空气质量}}{\text{完全燃烧 1kg 燃料所需的理论空气质量}}$$

由上面的定义表达式可知：过量空气系数 $\lambda=1$ 的可燃混合气为理论混合气， $\lambda<1$ 的为浓混合气， $\lambda>1$ 的为稀混合气。

2. 可燃混合气对发动机性能的影响

可燃混合气的成分对发动机性能的影响是通过实验得到的。图 1-2 表示空燃比与发动机输出功率、燃油消耗率以及燃烧温度的关系。如图所示，燃烧火焰温度在比理论空燃比稍浓的混合气（空燃比约 13.5~14.0）时出现最高值。火焰燃烧速度最高时的空燃比，比火焰温度达到最高时的空燃比还要稍小一些，约为 12~13。相应于这种空燃比的混合气将使发动机发出最大的功率，因此这种稍浓的混合气的空燃比称为功率空燃比。

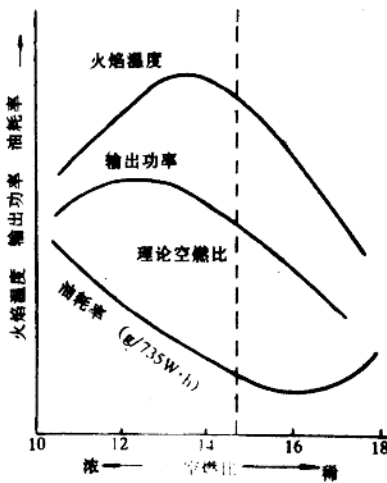


图 1-2 空燃比与输出功率、燃油消耗率和火焰温度的关系

当混合气较稀时,有利于汽油完全燃烧,降低发动机的油耗。从图可见,当空燃比约为 16 时,燃油消耗率最低。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。

三、发动机不同工况对可燃混合气的要求

作为汽车动力的汽油发动机,在运行过程中,其工况(负荷和转速)是不断变化的。从发动机的工作稳定性、动力性、燃油经济性及排放等方面综合考虑,对不同的工况,其可燃混合气的空燃比要求是不同的。

1. 稳定工况对混合气的要求

发动机的稳定工况是指发动机已经完全预热,进入正常运转,且在一定时间内没有转速和负荷的突然变化。稳定工况又可分为怠速和小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷几种情况。

(1) 怠速和小负荷工况

怠速工况是指发动机在对外无功率输出的情况下以最低转速运转,此时混合气燃烧后所做的功,只用于克服发动机内部的阻力,使发动机保持最低转速稳定运转。汽油机怠速转速一般为 $300\sim 700\text{r/min}$ 。怠速工况下,节气门处于关闭状态,这时,吸入气缸内的可燃混合气不仅数量极少,其中的汽油雾化蒸发也不良,而且由于进气管中的真空度很高,当进气门开启时,气缸内的压力仍高于进气管的压力,于是废气膨胀而冲入进气管内,随后又随着新鲜混合气一起被吸入气缸,结果气缸内的混合气中含有较大百分数的废气。为保证这种品质不良且被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 1-3 中的 A 点。随着负荷的增加和节气门略开大而转入小负荷工况时,新鲜混合气的品质逐渐改善,废气对混合气的稀释作用也逐渐减弱,所以在小负荷工况时,发动机对混合气成分的要求如图 1-3 中的 AB 线段所示,即在小负荷区运行时,供给混合气也应加浓,但加浓程度随负荷的加大而变小。

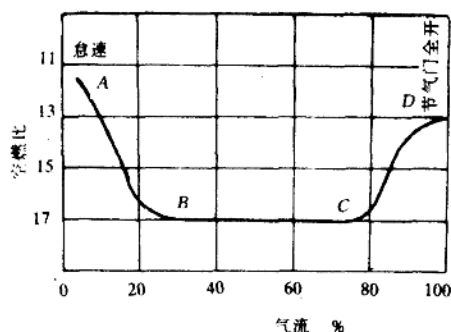


图 1-3 汽油机负荷变化时所需的混合气空燃比

(2) 中等负荷工况

汽车发动机的大部分工作时间处于中等负荷状态。此时,节气门已有足够大的开度,废气稀释的影响已经不大,可略去不计,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 1-3 中的 BC 段,空燃比约为 $16\sim 17$ 。

(3) 大负荷和全负荷工况

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,逐渐地加浓混合

气以满足功率的要求如图 1-3 中的 CD 线段。实际上,在节气门尚未全开之前,如果需要获得更大的扭矩,只要把节气门进一步开大就可以实现,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的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,此时为了获得该况下的最大功率必须供给功率混合气,如图 1-3 中的 D 点。从大负荷过渡到全负荷工况,节气门达到全开位置时,混合气的加浓也是逐渐变化的。

2. 过渡工况对混合气的要求

汽车在运行中主要的过渡工况有冷起动、暖机、加速和减速三种。

(1) 冷起动

冷机起动时,发动机要求供给很浓的混合气,以保证混合气中有足够的汽油蒸气,使发动机能够顺利起动。因为在冷起动时,燃料和空气的温度很低,汽油蒸发的百分数很小,为了保证冷起动顺利,要求供给的混合气的空燃比可浓到 $1:2$,才能在气缸内产生可燃混合气。这样浓的混合气在汽油喷射系统中是用冷起动喷油器来取得的。

(2) 暖机

冷机起动后,发动机各气缸开始依次点火而作动,发动机温度逐渐上升,即暖机,直至发动机温度接近正常值,发动机能稳定地进行怠速运转为止。发动机在暖机过程中也需要浓的混合气,暖机的加浓程度,必须在暖机过程中逐渐减小,一直到发动机能以正常混合气在稳定工况运转为止。

(3) 加速和减速

发动机的加速是指发动机的负荷突然迅速增加的过程。当加速时,驾驶员猛踩加速踏板,节气门开度突然加大,进气管压力随之增加,由于汽油的流动惯性和进气管压力增大后汽油蒸发量减少,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时地被减稀,严重时出现过稀,使发动机转速下降。也就是踩下加速踏板后,车速不但不升高,反而下降。为了避免这种现象发生,在发动机加速时,要向进气管喷入一些附加汽油以弥补加速时的暂时减稀,以获得良好的加速性能。在汽油喷射系统中是由电控单元通过预置的加速加浓程序控制喷入附加汽油来达到加浓的。

当汽车减速时,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,因此进气管真空度急剧增高,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,造成混合气过浓。为避免这一现象出现,通过控制装置将发动机减速时供给的汽油减少一部分。电控汽油喷射系统是通过传感器取得减速信号,由控制单元指令将怠速供给的汽油切断一部分,来防止混合气过浓。

第二节 汽油发动机的排放与净化

目前,大气污染已不仅仅是在一些工业化国家中,它已发展成为世界性的问题。在大气污染中,汽车排放的废气所造成的污染占有相当大的比例。为此,美、日、加拿大、德国等许多国家对车辆排放制订了严格的法规加以限制。我国城乡建设环保部也于 1983 年 9 月发布了“汽车污染排放标准和测量方法”的国家标准,并已于 1984 年 4 月 1 日开始实施。

一、汽油发动机排放物的有害气体

汽油由多种碳氢化合物组成,其基本成分是85%的碳和15%的氢。汽油燃烧后排出的废气成分中,由(1-3)式可知,有二氧化碳(CO_2)和水蒸气(H_2O)。除此之外,还有空气中的氮气(N_2)、氧气(O_2),汽油中的碳氢化合物(HC),因不完全燃烧而产生的一氧化碳(CO),以及由燃烧高温而生成的氮氧化合物(NO_x),氮氧化合物主要是一氧化氮(NO)和二氧化氮。其中 CO 、HC和 NO_x 气体对人类和环境都会造成很大危害。

汽油发动机排气污染物的来源有三个:排气、蒸发及曲轴箱串气。HC由汽油箱和化油器蒸发的占20%,由曲轴箱串气形成的占25%,排气中占55%。 CO 和 NO_x 都只出现在排气中,各占100%。

排气管排气是汽车排放有害气体的主要来源,对于汽油发动机而言,排气中所含的各种有害气体的比例与可燃混合气的燃烧情况有关。

1. CO 的生成

CO 是汽油在燃烧过程中,由于缺氧或低温而不完全燃烧产生的。从理论上讲,当空燃比为14.7时,可燃混合气可以完全燃烧,生成 CO_2 和 H_2O 。而当空气不足($A/F < 14.7$)时,则有部分燃料不能完全燃烧而生成 CO 。然而,实际上汽油机在运行过程中,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 ,这是由于可燃混合气的形成与分配不均匀造成的。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离解反应:



而离解反应生成的 H_2 ,又会把 CO_2 还原成 CO :



所以,汽油发动机的排气中,总会有 CO 的存在。尽管如此,排气中 CO 的浓度,基本上取决于空燃比。

2. HC 的生成

HC产生的原因除汽油的不完全燃烧外,缸壁淬冷是产生HC的主要原因之一,从图1-4可以了解缸壁淬冷产生HC的机理。

由于汽油发动机气缸内混合气的燃烧是靠火焰传播进行的,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厚度上的混合气烧不着,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、气缸内压力、气体的流动状况而变化。当混合气

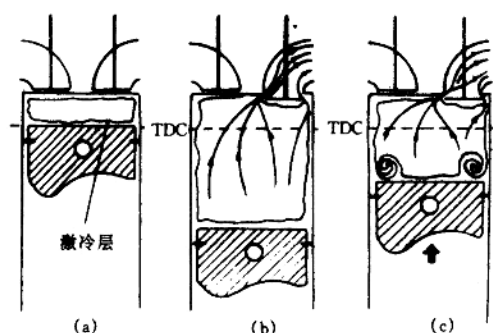


图 1-4 HC 的排放原理

的空燃比位于浓混合区的某个值的附近，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，都使淬冷层变薄。此外，活塞顶部与第一道气环之间的空隙、火花塞瓷芯周围的空隙等，火焰也不能传播进去。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，靠近排气门附近的淬冷层中的未燃烧气体首先随排气排出，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，未燃燃料或燃烧过程中生成的HC增多，使HC的排放浓度增加。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，以致不能完全燃烧，使排气中的HC浓度显著增加。

3. NO_x 的生成

NO_x 是空气中的氧和氮在燃烧室内的高温条件下反应而形成的，它和其它废气成分不同，不是来自燃料。发动机排出的NO_x 中，只有少量的NO₂，大部分是NO，NO在大气中氧化成NO₂。

可燃混合气无论是进行完全燃烧反应，还是不完全燃烧反应，其最初反应所生成的热必将使空气中的氧分子裂解为氧原子，氧原子与空气中的氮分子反应而生成NO和氮原子，而氮原子又与氧分子反应生成NO和氧原子，这部分氧原子又可与空气中的氮分子重新反应，生成NO，其反应式为：

$$O_2 = 2O \tag{1-7}$$

$$N_2 + O = NO + N \tag{1-8}$$

$$N + O_2 = NO + O \tag{1-9}$$

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。

二、影响排放中有害气体生成的因素

排气中有害气体的生成主要与空燃比和点火时刻有关。

1. 空燃比的影响

空燃比对排气中有害气体浓度的影响如图 1-5 所示。

从图中看出，当空燃比低于理论空燃比(14.7)时，排气中CO浓度迅速上升，相反，空燃比高于理论值，CO浓度趋于稳定且数值很低。

HC的浓度，在空燃比为17以
内时，随空燃比的增大而下降。但
继续增大空燃比时，由于混合气过
于稀薄，容易发生火焰不完全传播

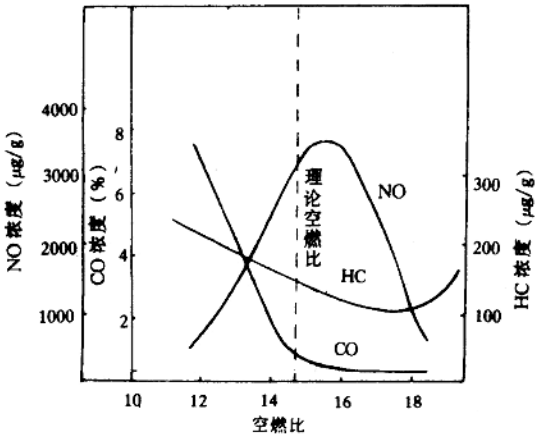


图 1-5 有害气体的浓度与空燃比的关系

甚至断火，使排放物中 HC 浓度迅速增加。

当混合气很浓时，由于燃烧高峰温度和可利用的氧的浓度都很低，使 NO 的生成量也很低，空燃比为 16 左右稍稀混合气时，排出的 NO 浓度最高。空燃比大于 16 的更稀混合气，虽然氧浓度增加可以促进 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。可见，使用浓混合气或稀混合气，NO 的排放浓度都不高。

2. 点火时刻的影响

即使空燃比是合理的，可以使排气中有害气体浓度降低，但当点火时刻不正时时，也将会增加有害气体的排放量。

推迟点火时间，可以减少 HC 的排放，这是因为点火时刻推迟后，在燃烧室内的燃烧时间将缩短，由于后燃，使排气温度上升，促进了 HC 和 CO 的后氧化。应该指出的是，采用推迟点火时刻虽然使排气污染物有所下降，但它将使燃油消耗率增加，经济性下降。

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

点火时刻对 NO 浓度的影响，无论在何转速和负荷下，加大点火提前角，都使 NO 的排放浓度增加。这是因为点火时刻提前时，燃烧温度升高所造成的。

三、排气净化的措施

为减少大气污染，必须对汽车发动机废气进行净化处理。对发动机设计的改进和增加排放净化装置是减少排气污染的有效方法。

1. 发动机设计的改进

从有害气体的生成机理出发，对发动机供油方式进行改进，使排出废气的有害成分尽可能减少。例如采用汽油喷射系统代替传统的化油器，通过汽油直接喷射实现分层燃烧，不但可以减少排气污染，而且又能提高燃油经济性，因此是汽油机中一种最有前途的排气净化方法。

由于混合气形成与燃烧的控制及进行情况，对排放中有害气体的生成有直接的关系，因此对那些对混合气形成与燃烧影响大的因素实行最佳的调节与控制，也是一种机内净化的有效方法。其中包括对空燃比、点火时刻、进气温度随工况变化进行最佳调节与控制等。

降低 NO_x 和降低 CO、HC 所采取的措施往往是相互矛盾的，因此，所采取的排气净化措施要兼顾各种有害成分的全面净化和发动机的性能。

2. 排气净化装置

采用汽油喷射是减少发动机排气中有害成分的一种有效途径。除此之外，还可以采用其它的附加净化装置，如二次空气供给装置、热反应器、氧化催化反应器、三元催化反应器、曲轴箱强制通风 (PCV) 装置、废气再循环 (EGR) 装置以及汽油蒸发净化装置等，进一步对排气净化，可以得到满意的净化效果。

(1) 二次空气供给装置

二次空气供给装置是将一定量的空气引入排气管中，使废气中的 CO 和 HC 进一步燃烧，以减少 CO 和 HC 的排放，它是减少污染物排放的最早使用的方法。在采用催化反应器以后，这一方法仍然使用。