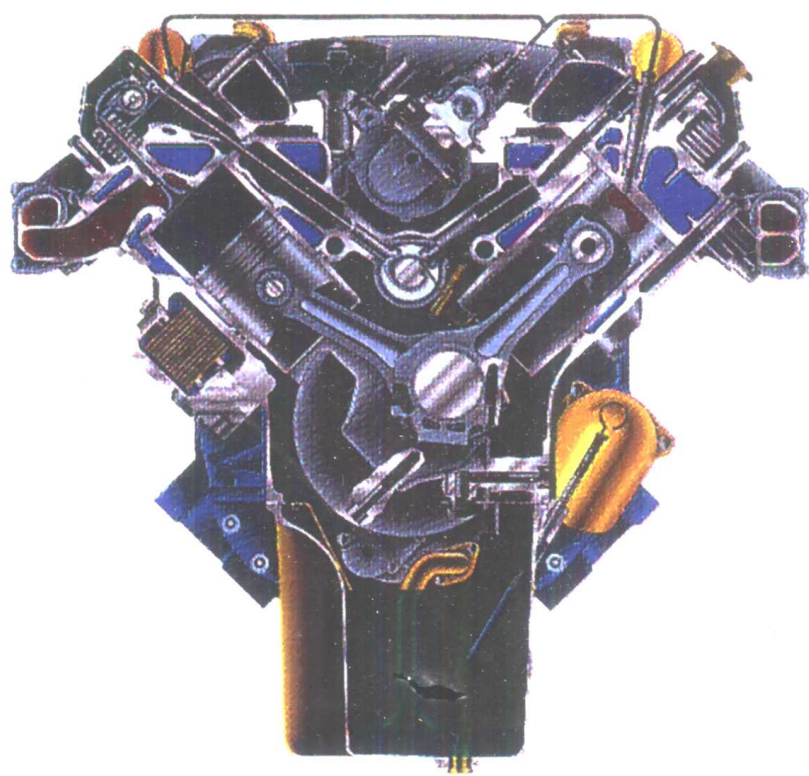


内燃机废气排放及 控制技术

周玉明 主编



人民交通出版社

01
6

Neiranji Feiqi Paifang Ji Kongzhi Jishu

内燃机废气排放及控制技术

周玉明 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分 12 章,主要对内燃机有害排放物的形成机理、有害排放物的危害、有害排放物的影响因素、内燃机废气排放的特点、控制废气排放的措施、限制有害排放物的法规及测量方法等进行了较为全面的介绍,较好地反映了内燃机废气排放控制的新技术和新方法。本书取材新颖,实用性强。

本书可作为高等院校汽车、内燃机专业的教材,也可作为汽车发动机修理人员、工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机废气排放及控制技术 / 周玉明主编. —北京:
人民交通出版社, 2001. 8
ISBN 7-114-04064-4

I.内... II.周... III.①内燃机—废气—排气
②内燃机—废气治理 IV.X701

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 063429 号

内燃机废气排放及控制技术

周玉明 主编

正文设计:涂 浩 责任校对:宿秀英 责任印制:张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.25 字数: 350 千

2001 年 10 月 第 1 版

2001 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 23.00 元

ISBN 7-114-04064-4

U · 02968

前 言

内燃机经过 100 多年的不断改进,已经成为一种热效率高、功率大、使用寿命长、工作可靠、操作方便、价格低廉的产品。现代内燃机汽车是集多种现代科学技术于一体的交通工具。到目前为止,尽管对其他新型动力装置进行了许多开发研究工作并取得了很大进展,应用上也做了不少工作,但在比质量、比体积、可靠性、可控性、价格和寿命方面还存在许多问题,在短期内还难以与内燃机相比。在 21 世纪相当长的时间内,内燃机仍将在汽车动力中保持主导地位。但内燃机,尤其是车用内燃机废气排放中的有害物质对环境造成的污染也越来越严重,对人类的健康和动植物的生长构成了严重威胁。在大城市,车用内燃机的废气排放是大气污染的主要污染源之一。为保护环境,维护人类的生存环境,世界各国都采取措施,制定了日益严格的限制内燃机排放的法规和限制标准。为了达到排放的要求,采用了一系列的新方法、新技术和新措施。

我国内燃机,尤其是车用内燃机的排放水平与发达国家相比,还有相当大的差距。随着国民经济的发展、人民生活水平的提高和轿车进入家庭,我国汽车的保有量持续增长,内燃机废气排放中有害物质对环境的污染也日益严重。我国正在采取有力措施,控制内燃机废气排放,减少废气中有害排放物的污染。

本书取材新颖实用,共分 12 章,对内燃机有害排放物的形成机理、有害排放物的危害、有害排放物的影响因素、内燃机废气排放的特点、控制废气排放的措施、限制有害排放的法规及测量方法、有关的新技术和新方法进行了较为全面的介绍,较好地反映了内燃机废气排放控制技术的最新发展和目前采用的新技术、新方法,实用性强。本书除适合于高等院校汽车、内燃机专业使用外,也可作为高等工科院校相关专业的教材及工程技术人员的培训教材。

本书由周玉明教授(中国内燃机学会材料与工艺分会理事)主编,林在犁副教授(中国石油天然气集团公司西南天然气汽车技术开发培训中心副主任)、胡健丽副教授、包正清实验师参编。周玉明编写了第五、六、七、九、十二章,林在犁编写了第三、十一章,胡健丽编写了第四、十章,包正清编写了第一、二、八章。

由于资料收集不够全面,再加上编者的水平有限,本书的不足之处甚至错误在所难免,敬请读者指正。

编 者

2001 年 6 月

CPAAS01/3

目 录

第一章 内燃机常用燃料及热化学	1
第一节 燃料	1
第二节 燃料燃烧的化学反应	6
第二章 排放污染及危害	8
第一节 发动机的废气成分	8
第二节 有害排放的危害	9
第三章 有害排放的形成机理	12
第一节 汽油机有害排放的形成机理	12
第二节 柴油机有害排放的形成机理	17
第四章 有害排放的影响因素	23
第一节 影响汽油机有害排放的因素	23
第二节 影响柴油机有害排放的因素	28
第三节 内燃机的排放特征	33
第五章 汽油机排放控制	38
第一节 进气前措施	38
第二节 曲轴箱排放物及燃油蒸发污染的控制	39
第三节 热力学后处理措施	47
第四节 化油器式汽油机化油器上的维护措施	52
第五节 点火系统的控制措施	60
第六章 柴油机排放控制	65
第一节 燃烧方式和燃烧室形状	66
第二节 喷油系统	73
第三节 柴油机的预混合燃烧	78
第四节 柴油机电控燃油喷射系统	81
第五节 进气系统	85
第七章 汽油喷射	88
第一节 汽油直接喷射系统的分类	88
第二节 机械控制式汽油喷射系统	90
第三节 电子控制式汽油喷射系统	97
第四节 稀薄燃烧及缸内直喷式汽油机	125
第八章 废气再循环	132
第一节 EGR 率	132
第二节 EGR 系统的控制	133
第三节 化油器式汽油机上的 EGR	134

第四节	EFI 发动机的废气再循环	136
第五节	用计算机直接控制的废气再循环	138
第六节	柴油机 EGR 的效果及控制	139
第九章	汽油机废气催化转化器	141
第一节	废气催化转化器概述	141
第二节	三元催化转化器的结构	144
第三节	三元催化转化器的使用及控制系统	147
第四节	废气催化器的性能及劣化	149
第五节	稀薄燃烧型催化剂	152
第十章	柴油机废气后处理技术	154
第一节	碳烟的后处理	154
第二节	氧化催化转化器	160
第三节	柴油机废气中 NO _x 的还原催化器	161
第四节	用碳素纤维降低 NO _x	167
第十一章	低排放燃料	169
第一节	燃料成分对内燃机排放的影响	169
第二节	石油燃料的改善	170
第三节	代用燃料	173
第十二章	内燃机排放法规及测量方法	184
第一节	排放法规的演变	184
第二节	国外排放法规和测试规程	184
第三节	国内的排放标准及测试规程	191
第四节	内燃机废气排放的测量方法	202
参考文献	219

第一章 内燃机常用燃料及热化学

第一节 燃 料

一、燃料的分类

内燃机目前使用的燃料主要有液体燃料和气体燃料两大类,其分类方法如图 1-1 所示。

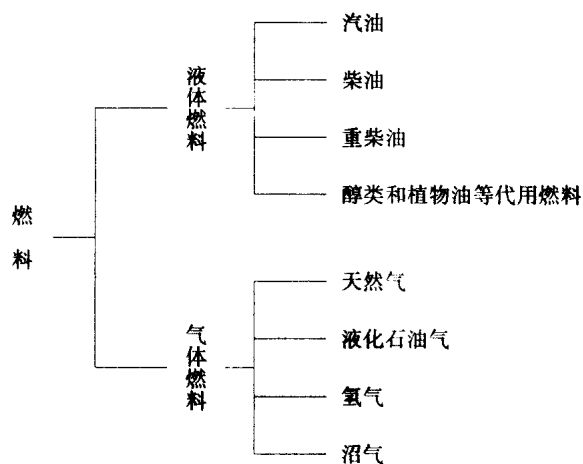


图 1-1 内燃机燃料分类

二、燃料的主要成分

汽油、柴油、重柴油及天然气、液化石油气等化石燃料,主要是由碳、氢两种元素组成,其体积份额之和占总量的 97% ~ 98%,其他还有少量氧、氮、硫等。绝大部分元素是以碳氢化合物 C_mH_n 的形式存在。

1. 液体燃料

对于液体燃料来说,当燃料中的 C 含量减少、H 含量增加时,燃料轻质化,并呈气态。在极限情况下,即当 C_mH_n 中的 $m=0, n=2$ 时,就成为氢气;而当 C 含量增加、H 含量减少时,则成为重质燃料;当 n 趋于 0 时,便成为煤。H 质量比大的燃料通常为低污染燃料,H 质量比小的,通常为高污染燃料。

从结构上看,这类燃料基本上是由各种烃类物质组成的混合物。这些烃主要是脂肪族烃、环烷族烃和芳香族烃。

脂肪族烃包括烷烃和烯烃。烷烃是一种饱和的链式结构,总分子式可用 C_nH_{2n+2} 表示,在常温、常压下, $n=1\sim5$ 为气态、 $n=6\sim16$ 为液态、 $n>16$ 为固态。其中,直链式排列的正构烷

(图 1-2), 如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、庚烷等, 热稳定性低, 在高温下易分解, 滞燃期短, 适合作柴油机的燃料。非直链排列的异构烷, 其分子结构紧凑, 自行着火的倾向比正构烷小、抗爆性强, 适合作汽油机的燃料, 并常用异构烷来评价汽油燃料抗爆性的标准。如正辛烷与异辛烷的辛烷值之比为 17:100。

烯烃是由两个或多个 C 原子组成的开链碳氢分子, 其间通过一个双链联结, 是一种不饱和和结构(图 1-3), 与烷烃一样, 也有正烯烃和异烯烃之分。其热值较低、着火性能差, 只适合作汽油机的燃料。正烯烃相对于正烷烃的抗爆性更高。在常温下化学稳定性较差, 易产生胶质, 在高温下形成过氧化物的倾向较小。

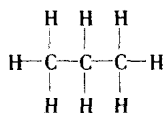


图 1-2 丙烷

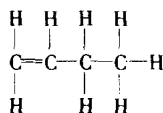


图 1-3 丁烯

环烷烃的 C 原子不是链状、而是环状排列, 为单键相联, 总分子式是 C_nH_{2n} , 如环己烷 C_6H_{12} (图 1-4), 属饱和烃, 其热稳定性比脂肪族高, 自燃温度也高于脂肪族, 适合作汽油机的燃料。在 C 原子数相同时, 环烷烃的抗爆性介于正烷烃和异烷烃之间, 形成过氧化物的倾向较小。

芳香烃的 H 原子数少, 且为双键相联的环状结构, 最基本的结构是苯 C_6H_6 , 环上的一 H 由一个或两个 $-CH_3$ 取代。由于其结构紧凑, 难以氧化形成氧化物, 因而具有较高的化学和热稳定性, 在高温下不易分裂, 抗爆性能极强。自燃温度比脂肪族烃和环烷烃高, 适合作汽油机燃料或汽油的抗爆添加剂。其中, 属于芳香烃的 α -甲基萘与正十六烷值还用作评定柴油自燃性能(十六烷值)的标准燃料。

产地不同, 燃料的组分也不同。常用燃料中的主要成分是烷烃和环烷烃。一般情况下, 常用燃料中各原子的质量成分为:

C	82% ~ 87%
H	10% ~ 14%
S	0.01% ~ 7%
N	0.01% ~ 2.2%

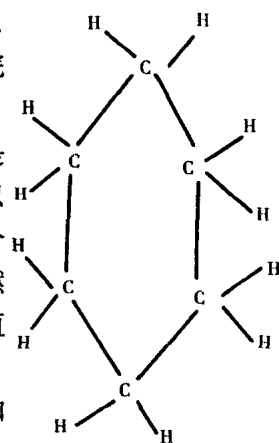


图 1-4 环己烷

不同燃料的 C、H、O 质量百分比见表 1-1。

不同燃料的 C、H、O 质量百分比

表 1-1

燃料	C	H	O	C/H	m_0 (kg/kg)
甲烷	75.0	25.0	0	3.0	17.4
丙烷	81.8	18.2	0	4.5	15.8
丁烷	82.8	17.2	0	4.8	15.6
正庚烷	84.0	16.0	0	5.25	15.3
异辛烷	84.2	15.8	0	5.33	15.2
十六烷	85.0	15.0	0	5.67	15.1
高级汽油	~86.5	~13.5	~0	~6.4	~14.7
普通汽油	~85.5	~14.5	~0	~5.9	~14.9
柴油	~86.3	~13.7	~0	~6.3	~14.8

注: C、H、O 为质量百分比%; m_0 为理论空气量。

2. 气体燃料

1) 天然气

天然气是以自由状态或与石油一起存在于自然界中的可燃气体,其主要成分为链烷烃化合物甲烷(CH_4),其容积比可达95%以上。另外,还有乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)等。天然气的热值和辛烷值较高,在作点燃式发动机的燃料时,可通过提高压缩比等适当技术措施接近原发动机的动力性能。天然气是一种清洁能源,特别是压缩天然气(CNG)使用比较方便,排放性能较好。

2) 液化石油气

液化石油气(LPG)是天然气石油或石油炼制过程中产生的石油气,其主要成分是丙烷(C_3H_8)、丙烯(C_3H_6)、丁烷(C_4H_{10})、丁烯(C_4H_6)及异构物,在常温下加压可变为液体,其单位容积热值高于天然气,可作为汽油机的燃料,排放性能较好。

气态燃料的抗爆性用甲烷值(MZ)来表示。甲烷的甲烷值为100,氢气的甲烷值为0。

3. 代用燃料

由于化石燃料有限,寻找代用燃料是当前内燃机研究的热门话题。代用燃料有醇类燃料和动植物油等,这里介绍醇类燃料和植物油燃料。

1) 醇类燃料

醇类燃料有甲醇(CH_3OH)和乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)。甲醇可从天然气、煤及生物质等原料中提取;乙醇主要是将含糖和淀粉的农作物发酵后制得。

醇类燃料是液体,可沿用传统石油燃料的运输、贮存系统,相关的基础设施建设投入少,发动机的动力性、经济性可接近或超过原有的汽油机或柴油机,排气的有害成分少,是一种很有发展前景的替代燃料。自70年代来,不少国家已开展对醇类燃料的研究,目前已出现以乙醇作燃料的汽车。我国也于近期开始推广使用掺乙醇燃料的汽车。

2) 植物油燃料

植物油可分为食用油和非食用油两大类。大多数植物油的主要化学成分是甘油三酸酯,即由一个分子甘油(丙三醇)和三个脂肪酸分子以脂键连接组成的复合物。其热值比柴油低。植物油加热时易产生分解,少量轻成分挥发,大部分则变成胶状物质,很难获得蒸馏特性。植物油的密度大,粘度高(比柴油高十多倍),雾化特性差,燃料不充分,积炭严重。植物油的十六烷值较低,经酯化处理后,其着火性能可得到改善。

目前,植物油主要是在柴油机上试用。

三、汽油和柴油的理化性质

油料的理化性质与其炼制工艺有关(表1-2)。典型的工艺流程有直接蒸馏法与裂解法两种。前者是将原油在专用的分馏塔中进行加热蒸馏,不同的分馏温度得到不同成分的燃油,最终获得的燃料约占原油的25%~40%;后者则是将蒸馏后的重油等一些高分子成分通过不同的技术手段裂解为分子量较轻的成分。其中,通过加温加压进行裂解的方法称为热裂解法,使用催化剂进行裂解的方法称为催化裂解法。

热裂解法工艺简单,但所获得的燃油稳定性较差,一般还需要进行催化裂解等炼制过程,以保证质量。一般的商品燃料系多种烃类的混合物,而且是各种炼制工艺所得油料的混合物。近年来大量采用催化重整工艺,即将低辛烷值的汽油在铂、铼等催化剂有接触催化下进行重整,使其辛烷值得到进一步提高。

不同炼制方法对油料性质的影响

表 1-2

油料 \ 炼制方法	直接蒸馏法	热裂解法	催化裂解法
汽油	稳定性好,含 90% ~ 95% 的烷族烃与环烷烃,芳香烃不超过 5% ~ 9%,不含不饱和的链状烃,其辛烷值大小与所含烷族烃的比例直接相关,大致为 50 ~ 70	含有较多的不饱和烃,在储存中易生成胶质,抗爆性能比直馏汽油好,辛烷值在 58 ~ 68 的范围内	芳香烃的体积份额在 32% ~ 40%,烷族烃为 50% ~ 60%,环烷烃为 8% ~ 10%,品质高,抗爆性能好,辛烷值可达 77 ~ 48,常作高级汽油
柴油	约含有 20% ~ 30% 的芳香烃,具有较高的十六烷值	含有大量不饱和烃,其十六烷值较低,一般用作中、低速柴油机燃料	性能较好,可作高品质柴油使用,用于高速柴油机

燃料特性(表 1-3)对内燃机的功率输出、燃油消耗以及可靠性均有较大影响,同时不同的内燃机对燃料的要求也不相同。

对于柴油机来说,与其性能相关的燃料特性是自燃温度、馏程、粘度和含硫量等,其中尤以自燃温度和低温流动性(凝点)影响最大。

柴油在无外源点火的情况下能够自行着火的性质称为自燃性,能够自行着火的最低温度称为自燃温度。正十六烷 $C_{16}H_{34}$ 的自燃性很好,十六烷值定义为 100; α -甲基萘 $C_{11}H_{10}$ 的自燃性很差,十六烷值定义为 0。十六烷值高的柴油,自燃温度低,滞燃期短,有利于发动机的冷启动,适合于高速柴油机使用。但过高的十六烷值使柴油在燃烧过程中容易裂解,造成排气过程中的碳烟。一般将柴油的十六烷值限制在 65 以下。

柴油的低温流动性常用浊点和凝点来表示。温度降低时,柴油中含有的高分子烷族烃(如石蜡)和燃料中夹杂的水分开始析出并结晶,使柴油变得浑浊,达到这一状态的温度值就是柴油的浑浊点,此时的柴油仍具有流动性,但析出的结晶会堵塞滤清器和油管等;当温度进一步降低,柴油完全凝固,此时的温度即为凝点。显然,柴油在低于凝点后,无法正常供应与工作。我国的轻柴油标号,是按柴油的凝点来规定的。国产 0 号柴油的凝固点为 $0^{\circ}C$,适合夏季使用; -20 号柴油的凝固点为 $-20^{\circ}C$,适合冬季或严寒地区使用。因此,应根据地区和季节来选用轻柴油。

对于汽油机来说,与其性能有关的燃料特性主要是挥发性和抗爆性。

挥发性表示液体燃料汽化的倾向,与其馏分的组成、蒸气压、表面张力及汽化潜热有关。汽油是烃类的混合物,进行蒸馏时,随温度上升按馏分由轻到重,逐次沸腾。汽油馏出的温度范围称为馏程。汽油蒸发一般以蒸发馏程中馏出一定比例的燃料时所对应的温度来表示。10% 馏出温度越低,则汽油机在低温下越容易启动,但过低的馏出温度在高温下容易产生气阻; 50% 馏出温度表示汽油的平均挥发性,是保证汽车加速性和平稳性的重要指标; 90% 馏出温度和终馏温度过高,易产生积炭并稀释曲轴箱的润滑油。一般初馏点为 $40^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$,终馏点为 $180^{\circ}C \sim 210^{\circ}C$ 。汽油的饱和蒸气压高则挥发性强,汽油机容易启动,但产生气阻的倾向和挥发损失也大。一般规定蒸气压在夏季不低于 $67kPa$,冬季不低于 $80kPa$ 。汽油的挥发性应满足发动机冷启动和暖车在内的所有工况的要求,但挥发性过高,会增加因蒸发而形成的有害 HC 排放物。

汽油的抗爆性即汽油对于发动机发生爆燃的抵抗能力,它是汽油的一项十分重要的指标,且随化学成分的不同而差别很大。烷烃的抗爆性最差,烯烃次之,环烃较好,芳香烃最好。在同一烃内,轻馏分优于重馏分,异构物优于正构物。从炼制工艺来看,直馏油的辛烷值最低,热裂解汽油的辛烷值较低,催化裂解、重整汽油的辛烷值较高。辛烷值表示汽油的抗爆性,异辛烷(C_8H_{18})的抗爆性最好,其辛烷值为 100,正庚烷(C_7H_{16})的抗爆性最差,其辛烷值为 0。辛烷值按试验规范又分为马达法(MON)和研究法(RO)辛烷值。我国采用研究法(RO)辛烷值。

几种燃料的主要性质

表 1-3

燃料	高级汽油	柴油	重柴油	甲醇	乙醇	液态天然气	甲烷	氢	
化学式	C_{4-12} 的烃	C_{16-22} 的烃		CH_3OH	C_2H_5OH		CH_4	H_2	
性质	化合物类	化合物类	化合物类	烃化合物类	烃化合物类				
摩尔质量	~ 98	~ 170	198	32	46	51	16	2	
重量比 (%)	C	~ 85	~ 36.3	86	37.5	52.0	82.3	75	0
	H	~ 15	~ 13.7	14	12.5	13.0	17.70	25	100
	O	~ 0	~ 0	0	50.0	35.0		0	0
C/H	5.6 ~ 7.4	—	—	3.0	4.0				
密度(kg/m^3)	730 ~ 780	815 ~ 855	950	795	789	540	427	71	
						2.06	0.72	0.09	
理论空燃比	~ 14.7	14.5	14.6	6.46	9.0	15.5	17.2	34	
蒸气压 ($10^5 Pa$)	冬 0.6 ~ 0.9	—	—	0.37	0.21				
	夏 0.45 ~ 0.7								
沸点($^{\circ}C$)	30 ~ 190	170 ~ 360	175 ~ 450	65	78	~ 30	~ 162	~ 253	
凝固点($^{\circ}C$)	- 57	- 1 ~ - 4		- 98	- 114		- 183		
20 $^{\circ}C$ 动力粘度	0.42(cp)	3.7(cp)		0.60(cp)	1.2(cp)				
20 $^{\circ}C$ 运动粘度	0.65 ~ 0.85 (cst)	2.5 ~ 8.5 (cst)		—	—				
低热值(MJ/kg)	43.9	43	41.3	19.7	28.6	45.84	50	12	
高热值(MJ/kg)	46.6	—	—	22.34	29.8		55.5		
汽化潜热(kJ/kg)	419	544		1119	904	353	510	450	
辛烷值(RO)	97.4	—	—	114.4	111.4	100	140		
16 烷值(CZ)	—	45 ~ 55	34 ~ 44	3	8				
甲烷值(MZ)	—	—	—	—	—	18	100	0	
着火极限	0.4 ~ 1.4	0.48 ~ 1.35	0.5 ~ 1.35	0.34 ~ 2.0	0.3 ~ 2.1	0.4 ~ 1.7	0.7 ~ 2.1	0.5 ~ 10.5	
自燃温度($^{\circ}C$)	220 ~ 260	200 ~ 220		470	420				
闪点($^{\circ}C$)	~ 45	75		11	21				
20 $^{\circ}C$ 比热(kJ/kg)	2.3	1.9		2.55	2.72				
理论 α 下的 混合气热值	2.99 MJ/kg	2.93 MJ/kg		3.07 MJ/kg	2.97 MJ/kg				
$\alpha = 1$ 理论分子 变更系数	1	1.065		1.21	1.14				

摩尔质量的单位为: $kg/kmol$

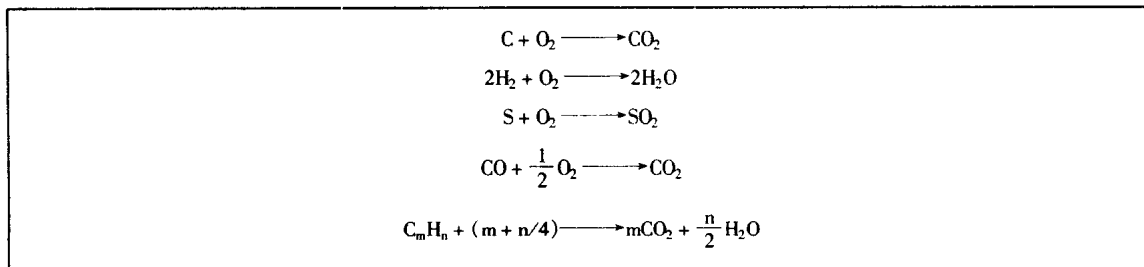
第二节 燃料燃烧的化学反应

一、完全燃烧的化学反应

燃料中的可燃成分为 C、H、S、CO、 C_mH_n 。燃料完全燃烧的化学反应见表 1-4。

燃料完全燃烧时的化学反应

表 1-4



二、燃烧所需的空气量

对于汽油和柴油来说,由于 S 和其他组分不多,视为只含有 C、H、O。如以 g_C 、 g_H 、 g_O 分别表示每千克燃油中 C、H、O 的质量成分(%),则:

$$g_C + g_H + g_O = 1$$

汽油的平均质量成分: $g_C = 0.855$; $g_H = 0.145$; $g_O = 0$

柴油的平均质量成分: $g_C = 0.870$; $g_H = 0.126$; $g_O = 0.004$

1kg 燃料完全燃烧时所必需的最少空气量,称理论空气量。

如 1kg 燃油中含有的氧为 g_O kg 或 $g_O/32$ kmol,则每千克燃油完全燃烧时需要的理论氧气量为:

$$g_C/12 + g_H/4 - g_O/32 \text{ (kmol)}$$

$$\text{或 } 2.667g_C + 8g_H - g_O \text{ (kg)}$$

燃烧所需的氧气来自空气,以容积成分计,空气中 O_2 占 21%, N_2 占 79%;以质量成分计, O_2 占 23%, N_2 占 77%。1kg 燃油完全燃烧所需的理论空气量 L_0 为:

$$L_0 = \frac{1}{0.21}(g_C/12 + g_H/4 + g_O/32) \text{ (kmol/kg 燃油)}$$

$$\text{或 } L_0 = \frac{1}{0.23}(2.667g_C + 8g_H - g_O) \text{ (kg/kg 燃油)}$$

标准状态下以体积表示的理论空气量为:

$$L_0 = \frac{22.4}{0.21}(g_C/12 + g_H/4 - g_O/32) \text{ (Nm}^3\text{/kg 燃油)}$$

式中: Nm^3 ——标准立方米,系标准状态下气体体积的单位。

将平均质量成分代入可得汽油的理论空气量为 14.9(kg/kg),柴油的理论空气量为 14.5(kg/kg)。

对于液体燃料来说,理论空气量可用下式进行近似计算:

$$L_0 = 0.2H_u + 2 \quad (\text{Nm}^3\text{/kg 燃油})$$

式中: H_u ——燃料的低发热量, MJ/kg。

三、不完全燃烧

燃料的不完全燃烧是产生有害排放的重要原因之一。当实际供给的空气量小于理论空气量时, O_2 不足, 造成不完全燃烧, 燃料中的 C 和 H 等, 由于不完全氧化形成了 CO、HC 等不完全燃烧产物。燃烧产物的得出必须采用化学平衡、化学反应动力学或其他较为复杂的计算方法。

第二章 排放污染及危害

第一节 发动机的废气成分

发动机的废气主要是 N_2 、 CO_2 ，有害排放主要是指 CO 、 HC 和 NO_x （通常指 NO_2 及 NO ）。发动机的废气成分及废气中有害排放的份额见图 2-1 ~ 图 2-4。

汽油机的废气中， N_2 占 72%， CO_2 占 17%， O_2 及其他占 9.36%；有害排放占 1.64%。

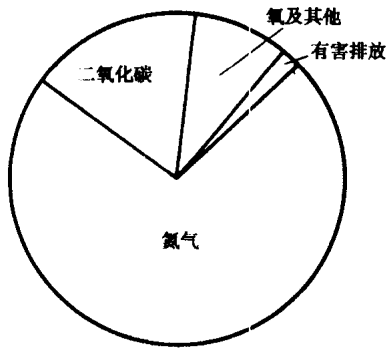


图 2-1 汽油机的废气成分

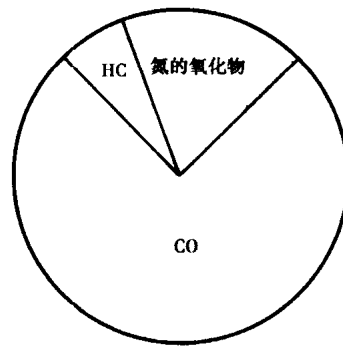


图 2-2 汽油机废气成分中有害排放的组成

汽油机废气的有害排放中， CO 占 85%； HC 占 5%； NO_x 占 8%；其他占 2%。

柴油机的废气中， N_2 占 75.2%； CO_2 占 7.1%； O_2 及其他占 16.88%；有害排放占 0.82%。

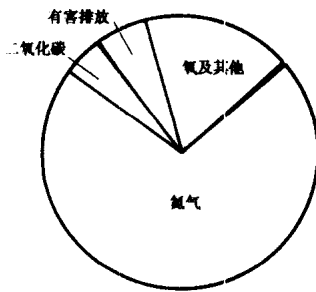


图 2-3 柴油机的废气成分

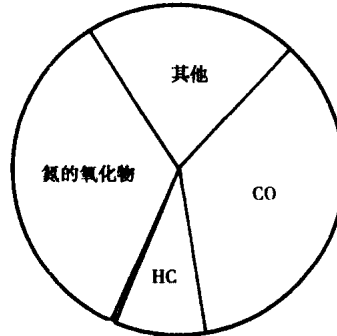


图 2-4 柴油机废气成分中有害排放的组成

柴油机废气的有害排放中， CO 占 35.4%； HC 占 8.54%； NO_x 占 35.4%；其他占 20.66%。

由上面的图可以看出，汽油机的废气所占的比例（占 1.64%）比柴油机大（占 0.82%），但是由于柴油机的过量空气系数（1.2 ~ 2.2）比汽油机的过量空气系数（0.8 ~ 1.2）大，柴油机的废气总量比汽油机大。在废气的有害排放中，汽油机主要是 CO （占 85%），氮氧化物含量很少（占 8%）；而在柴油机中， CO 的含量比汽油机少（34.5%），但是氮氧化物比汽油机多得多（占

35.4%)。

第二节 有害排放的危害

一、CO 的危害

CO 是不完全燃烧的产物,是一种无色、无刺激、无味的气体。CO 与血液中血红蛋白的亲合力是与氧的亲合力的 300 倍,人体吸入后,会在血液中取代氧而形成牢固的血红蛋白,影响氧气输送。人体吸入 CO 后,会由于缺氧会感到疲劳,引起头晕、恶心等中毒症状,甚至导致窒息死亡。大气中各种浓度的 CO 的毒害见表 2-1。

各种浓度 CO 的毒害

表 2-1

CO ($\times 10^{-6}$ mL/L)	危 害
10	使人慢性中毒、贫血,使心脏与呼吸道疾病恶化
30	引起麻木或植物神经麻痹
500	移动身体时会引起呼吸急促和头痛
1 000	导致死亡

CO 的另一种危害是促使 NO 向 NO₂ 转化,使光化学烟雾增加。

城市大气中的大部分 CO 是汽车排放的,CO 是汽车排气中浓度较高的有害成分,CO 在大气低层停留的时间较长,累计值常常超过允许值,应特别引起注意。

二、HC 的危害

由第一章可知,燃油由各种碳氢化合物形成的烃类物质组成。大部分烃类化合物对人体健康无直接的影响。HC 是燃烧后生成的多种碳氢化合物的总称,其中含有少量醛类(甲醛和丙烯醛)和芳香烃(最后组成苯丙芘)。每种化合物的量很少,但其共同作用十分明显。甲醛、丙烯醛具有强烈气味,对鼻、眼呼吸道的粘膜有刺激作用,可引起结膜炎、鼻炎等。苯丙芘是一种致癌物质。汽车密集的城市癌症和发病率比汽车排污少的地区高得多。此外,碳氢化合物与氮氧化物发生光化学反应会形成化学烟雾。

三、NO_x 的危害

氮氧化物有 NO、NO₂、N₂O₃、N₂O、N₂O₅、N₂O₄、NO₃,统称为 NO_x。汽车排气中排出的主要是一氧化氮和二氧化氮。

NO 是一种无色无味的气体,毒性不大,在空气中能生成 NO₂,但高浓度的 NO 对血液有毒性作用,能使神经麻痹,使中枢神经瘫痪及痉挛。

NO₂ 是一种红棕色气体,有强烈的刺激性气味,是汽车排气中恶臭物质成分之一,被吸入肺部时,能与肺部的水分结合生成可溶性硝酸,有刺激作用,严重时会引起肺气肿。在强烈阳光下会发生光化学反应,形成二次污染。各种浓度的 NO₂ 的危害见表 2-2。

各种浓度的 NO₂ 的危害

表 2-2

NO ₂ ($\times 10^{-6}$ mL/L)	危 害
0.5	连续 3~12 个月,支气管患者可能恶化为肺气肿

续上表

NO ₂ (× 10 ⁻⁶ mL/L)	危 害
1.0	闻到臭味
2.5	持续 7h 以上, 植物叶子变白
5.0	闻到刺激臭味
50	引起咳嗽、头痛、眩晕
80	3min ~ 5min 就会引起胸痛
100 ~ 150	30min ~ 60min 因肺气肿而死亡

NO_x 在大气中几天内就可扩散, 下雨时可被溶解, 其累积深度不会过高, 其危害虽不如 CO 那么严重, 但也不可忽视。表 2-3 为 NO_x 对人体的影响。

NO_x 对人体的影响

表 2-3

浓度 (× 10 ⁻⁶ mL/L)	影 响
0.02	5min 内多数人能感觉到
0.2	肺的机能减弱, 肺部有紧缩感, 眼睛红疼
0.2 ~ 0.5	3h ~ 6h 内会使视力减弱
0.5 ~ 1.0	1h 内呼吸紧张、气喘病恶化
1 ~ 2	2h 内出现头疼、胸闷、肺活量减少、慢性中毒
5 ~ 10	全身疼痛、麻痹、肺气肿
15 ~ 20	小动物 2h 内死亡
> 50	人在 1h 内死亡

四、光化学烟雾的危害

HC 和 NO_x 混合在一起, 在强烈阳光照射下会产生一系列复杂的光化学反应, 产生臭氧和各种化合物。臭氧(O₃)具有很强的氧化性和毒性, 如果空气中 O₃ 的深度为 5 × 10⁻⁵ 以上, 人在 1h 内就会死亡, 化合物中含有甲醛、丙烯醛、硫酸等, 这些化合物会产生毒性较大的浅蓝色烟雾, 即光化学烟雾。光化学烟雾会阻碍视线, 刺激眼睛, 引起咳嗽, 并能致癌; 使植物枯萎, 并会使受应力的橡胶件开裂。

五、硫化物的危害

在有害排放物中, 还有燃油中硫分燃烧后生成的硫化物, 主要是 SO₂。它是无色气体, 有强烈气味, 有很强的腐蚀性, 会刺激呼吸系统粘膜, 引起喉管发炎。SO₂ 氧化后生成 SO₃, SO₃ 与空气中的水发生作用会生成硫酸, 随雨雪降落形成酸雨、酸雾, 腐蚀建筑物、车身, 造成土壤酸化, 破坏农作物与森林, 影响自然界的生态平衡。

硫化物对催化装置也有危害, 少量的 SO₂ 吸附在催化剂表面会使催化剂劣化, 导致催化剂更换次数增加。

六、碳烟的危害

碳烟是因为排气中含有碳粒所致。碳粒是指排气中的固体及液体的凝结物。一般认为, 碳烟本身无毒, 但碳粒常夹附有 SO₂ 及其他碳氢化合物, 如致癌的多环芳香烃、苯丙芘等。不

同直径的碳粒对人体的影响不同,如表 2-4 所示。碳粒的颗粒越小,在空气中悬浮的时间越长,最小的颗粒可在空气中悬浮达一周以上,这就增加了这些颗粒与人体接触的机会。

另外,碳烟沉淀后呈黑色,使环境的清洁度变差。

碳烟的危害

表 2-4

碳烟颗粒直径(μm)	危害
2~10	吸入气管后,可排出体外,对人体危害不大
2	吸入后,将在肺部沉积
0.1~0.5	吸入肺部后,导致肺气肿,还将引起皮肤病,变态性病、致癌,危害最大

与柴油机相比,汽油机排出的碳粒很少,只有柴油机的 1/20 ~ 1/50。