

CHUNRANLIAO DE SHIYONG JISHU

醇燃料的 实用技术

崔心存 编著

王素伟 陈居滨 主审



化学工业出版社

醇燃料的 实用技术

崔心存 编著

王素伟 陈居滨 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书扼要地介绍了我国能源形势、燃料与净化空气的关系,我国当前用得较多的以甲醇燃料为主的醇燃料(甲醇、乙醇等)的生产、理化性质及燃烧特性、应用技术及性能,在使用过程中可能产生的问题、原因及解决的办法。另外本书特别介绍了内燃机的结构及原理;同时介绍醇燃料已作出的贡献,进一步提高醇燃料内燃机性能的技术、发展趋势。

本书不仅可作为醇燃料汽车行业人员的培训教材使用,同时也可供从事能源、热力机械、醇燃料专用零部件的研发及管理、醇燃料动力机械的维修保养等方面人员及相关高等学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

醇燃料的实用技术/崔心存编著. —北京:化学工业出版社,
2014. 10

ISBN 978-7-122-21347-1

I. ①醇… II. ①崔… III. ①醇-液体燃料 IV. ①TQ517.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第161075号

责任编辑:戴燕红

文字编辑:孙浩

责任校对:吴静

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数359千字 2014年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 85.00 元

版权所有 违者必究

前言

我国经济发展稳健迅速，经济总量为世界第二，贸易额为世界第一。2013 年汽车产销量约为 2200 万辆，人民生活水平有较大的提高，对燃料的需求也逐年增加，2012 年石油进口依存度已达 58%，能源供应日趋紧张，空气污染严重。而使用低碳含氧的甲醇 (CH_3OH) 及乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 燃料，可降低汽车等的有害排放物，尤其柴油机使用 100% 甲醇 (M100) 或乙醇 (E100)，不冒烟，碳烟微粒极少，对净化空气及根治雾霾极有利。20 世纪 70 年代以来，国外研究、开发和使用了大量的醇燃料汽车等，国内外大量的试验研究结果及使用经验都验证了醇燃料是可持续发展，可再生的清洁燃料。

我国也日益重视醇燃料的应用，在国务院 2013 年 12 号文件《关于加强内燃机节能减排的工作》中，明确要求加强有关技术的研发，到 2015 年要用 500 万吨甲醇燃料替代汽油和柴油，工业和信息化部也组织山西、陕西和上海市进行甲醇轿车、甲醇柴油双燃料货车等使用试点工作，已有多家公司生产的 7 种甲醇汽车上了工信部的产品目录。预计 2015 年以后，这些汽车将会批量生产投入市场使用。

我国在用汽油机汽车改装使用甲醇燃料及柴油机车掺烧甲醇的汽车已有数百万辆，从事有关工作的单位已达 100 家以上，有关单位及使用人员日益增多。醇燃料与汽油、柴油有些不同，使用时必须对它们有更多的了解，也要掌握解决可能产生的问题。中源公司认为有必要编著《醇燃料的实用技术》，于是与本书的主编合作，并得到化学工业出版社的支持。

由于我国当前主要在汽车上使用甲醇燃料，而国外也早在内燃机上使用乙醇燃料。目前用生物质生产纤维乙醇的技术更趋成熟，国内外已有规模化生产。乙醇与甲醇的性质很接近，本书的内容重点虽在使用甲醇，但是同样可供使用乙醇燃料及在其他热力装置上使用醇燃料时参考。

从 20 世纪 70 年代起笔者就从事醇燃料的试验研究及推广应用工作。本书是总结了近 40 年的科研实践成果，参阅了大量国内外有关资料写成的。在此对采用的个人及公司的研究成果及资料表示衷心的感谢。由于作者水平有限，不足之处，敬请广大读者批评指正。

编著者
2014 年 6 月

目录

第一章 醇燃料是新能源 / 1

一、能源形势	1
1. 国际简况	1
2. 中国简况	1
二、燃料与环保	2
1. 温室气体与气候变化	2
2. 燃料与雾霾	4
三、缓解气候变暖及净化空气的对策	5
四、能源及燃料的多元化	7
1. 燃料的多元化	7
2. 汽油及柴油的简介	8
五、新能源：醇燃料	14
1. 联合国关于新能源的定义	14
2. 汽车新能源的要求	14
3. 醇燃料是可再生、可持续发展的清洁燃料	15
参考文献	15

第二章 内燃机的基本结构与工作原理 / 17

一、概述	17
1. 内燃机的类型	17
2. 内燃机的主要性能指标	18
3. 内燃机产品名称和型号的编制规则	19
二、内燃机的基本结构	20
三、四冲程发动机的工作原理	21
1. 四冲程汽油机工作原理	21
2. 四冲程柴油机工作原理	24
四、二冲程发动机的工作原理	25
1. 二冲程汽油机工作原理	25
2. 二冲程柴油机工作原理	25
3. 二冲程发动机与四冲程发动机的比较	26

五、汽车的总体组成及内燃机的供油系统	26
1. 汽车的总体组成	26
2. 电控汽油喷射系统	27
3. 柴油机的供油系	30
六、内燃机的排放物	34
1. 内燃机排气中的有害成分及其危害	34
2. 内燃机的排放指标	36
3. 排气有害成分的生成机理	37
七、降低内燃机排放的措施	41
1. 曲轴箱强制通风装置	41
2. 燃油蒸发控制系统	42
3. 热反应器	43
4. 催化反应器	44
5. 三元催化反应器	46
6. 排气再循环	47
7. 排气微粒的后处理	49
参考文献	51

第三章 醇 燃 料 / 52

一、概述	52
1. 醇燃料的含义	52
2. 醇燃料的生产简介	52
3. 国际醇燃料会议	53
二、醇燃料的理化性质	54
1. 化学成分及一般性质	55
2. 热值	55
3. 沸点及蒸气压	56
4. 辛烷值	56
5. 十六烷值	57
6. 汽化潜热	57
三、醇燃料的燃烧特性参数	58
1. 自燃及闪点温度	58
2. 着火极限	58
3. 火焰传播速度	58
4. 燃料的摩尔变化系数 β_0	59
四、醇燃料与汽油的混溶	59
1. 助溶剂	59
2. 芳烃含量	60
3. 含水量的影响	61
4. 温度的影响	62

5. 关于用杂醇作助溶剂	62
五、混合燃料的性质	63
1. 热值	63
2. 辛烷值	63
3. 燃料的蒸馏特性	64
4. 混合燃料的汽化潜热	64
5. 混合燃料的蒸气压及挥发性	64
6. 混合燃料的黏度	65
7. 混合燃料的十六烷值	65
8. 含氧燃料的稀释效应	65
9. 混合燃料的毒性	66
六、甲醇燃料的毒性、安全性、腐蚀性及其对策	66
1. 甲醇燃料的毒性	66
2. 甲醇燃料的安全性	68
3. 甲醇燃料的腐蚀性	69
参考文献	72

第四章 醇燃料在内燃机中的应用及性能 / 73

一、掺烧	73
1. 掺烧方式	73
2. 掺烧比的选择	74
3. 熏蒸法	75
4. 双供油系统法	79
5. 内燃机使用混合燃料的性能	79
二、灵活燃料汽车	82
1. 开发和应用灵活燃料汽车的意义	82
2. FFV 的开发历程及基本的工作原理	82
3. 国外开发的 FFV 的简介	83
4. 灵活燃料汽车的动力性能、比油耗与排放	86
三、汽油机使用 100% 的醇燃料	87
1. 需要考虑及试验研究的问题	87
2. 醇奥托内燃机的性能	88
四、柴油机使用 100% 的醇燃料	89
1. 柴油机改用醇燃料的重大意义	89
2. 柴油机改用醇燃料的技术难度	90
3. 柴油机改用醇燃料的技术	90
参考文献	108

第五章 醇内燃机工作过程的若干问题 / 110

一、混合气分配及燃烧过程的特点	110
-----------------------	-----

1. 混合气分配的不均匀性	110
2. 燃烧过程的一些特点	111
3. 低负荷时醇燃料的燃烧	112
4. 醇发动机热效率的综合分析及替代比	113
二、醇燃料内燃机的冷启动	114
1. 醇燃料内燃机冷启动的难点及必要条件	114
2. 改善冷启动性能的措施	115
3. 影响冷启动的因素	121
4. 醇燃料发动机冷启动水平	122
三、气阻及热启动性能	123
1. 气阻及避免气阻的措施	123
2. 热启动性能	125
四、早燃与敲缸	125
1. 醇燃料的早燃及其危害	125
2. 影响早燃的因素及防止早燃的对策	126
3. 醇燃料的敲缸	127
参考文献	129

第六章 醇燃料内燃机及汽车的排放 / 130

一、了解和研究内燃机排放的重要性及复杂性	130
二、汽油机掺烧醇燃料的排放	131
1. 掺烧甲醇	131
2. 掺烧乙醇	132
3. 蒸发排放	133
4. 基本情况的归纳	133
三、柴油机掺烧醇燃料的排放	133
1. 掺烧甲醇	133
2. 掺烧乙醇	135
3. 基本情况的归纳	136
四、汽油机汽车使用醇燃料的排放	136
1. 国内情况	136
2. 国外试验结果	137
五、柴油机汽车使用醇燃料的排放	140
1. 柴油机燃用甲醇的排放	140
2. 柴油机改用乙醇的排放	141
3. 醇燃料汽车排放基本情况的归纳	142
六、灵活燃料汽车的排放物及排放水平	143
1. 醇燃料汽车排放的认证参考值	143
2. 灵活燃料汽车的排放性能	144

七、应用醇燃料能降低二氧化碳排放	148
1. 汽车是产生二氧化碳的重要根源	148
2. 限制 CO ₂ 排放将成为新的法规	149
3. CO ₂ 排放与发动机油耗之间的关系	149
4. 使用醇燃料能降低 CO ₂ 排放	150
八、甲醇的氧化机理和甲醛、未燃醇的排放	151
1. 甲醇的氧化机理	152
2. 甲醛及未燃醇的生成机理	152
3. 甲醛及未燃醇的排放	154
4. 甲醛的毒性及甲醛、未燃醇的排放限值	155
九、降低醇燃料汽车排放的途径	157
1. 当前醇燃料汽车排放问题概述	157
2. 降低醇燃料汽车排放的措施	158
参考文献	164

第七章 醇燃料内燃机的可靠性及使用寿命 / 165

一、概述	165
1. 我国开发与应用醇燃料的工作方兴未艾	165
2. 影响可靠性及使用寿命的主要原因	165
3. 可能遇到的问题	166
4. 关于可靠性及使用寿命的评估	166
二、性能方面的问题	168
1. 汽油机及改装甲醇车的油耗情况	169
2. 怠速不稳	170
3. 动力不足	171
三、供油系的故障及对策	171
1. 供油系组成	171
2. 主要部件的故障及分析	177
四、点火系的故障及对策	178
1. 概述	178
2. 火花塞的基本结构	179
五、零部件的故障及分析	180
1. 进气及供油系部件及管道表面清洁度差及积垢	180
2. 进排气门及缸套上部的磨损及气门的烧伤	181
3. 活塞顶及缸盖底面的损坏	181
4. 催化反应器发生故障	181
六、国外甲醇发动机零部件发生故障及磨损的简介	181
七、提高甲醇汽车使用可靠性及寿命的主要措施	183
参考文献	183

一、国际简况	185
1. 对醇燃料的评价	185
2. 醇燃料的应用广泛	185
3. 醇燃料内燃机的性能优越	188
4. 标准及科技专著	190
二、国内简况	200
1. 起步晚、成效大	200
2. 从事改装车及研发的单位众多, 试点工作的规模大	200
3. 甲醇产量供大于求	201
4. 中央及地方颁布的标准多	201
5. 相关的学会等组织	201
6. 出版的科技书籍	201
三、醇燃料的发展与技术创新	202
1. 生产技术的发展	202
2. 应用技术的发展与创新	206
3. 醇燃料促使缩缸技术的发展	210
四、醇燃料的应用促进内燃机的发展	212
1. 奥托循环及狄塞尔循环的交融	212
2. 促进内燃机可变技术的发展	212
3. 醇燃料适合促进新型燃烧过程的发展	214
五、开发灵活燃料内燃机可行性的分析	217
1. 背景	217
2. 意义	217
3. 现有的技术基础	218
参考文献	218

第一章 醇燃料是新能源

一、能源形势

1. 国际简况

世界石油工业诞生于 1859 年，当时美国成为全球最大石油生产国，20 世纪 60 年代以后，中东及前苏联成为世界主要的石油供应中心。能源的供应及消费涉及经济发展、环境保护、人民生活水平、社会稳定及国家安全等。长期以来，美国是世界第一大石油进口国及消费国，为了发展经济及国家安全，争夺油、气资源以及将石油作为制裁别国的工具成为国际关系的焦点之一。

1973 年的石油危机使石油供应紧张，油价上涨，对各国经济发展产生重大影响，开发和应用替代燃料，节能减排，开拓新的油、气资源及供应渠道成为各国能源领域的重点工作。由于世界经济尚未明显复苏，每桶石油价格在 100 美元左右，然而经济复苏后对石油需求增加，油价将会上升。

进入 21 世纪后，美国致力于开发本国石油资源、页岩油、页岩气以及可再生能源，例如甲醇及纤维乙醇等生物燃料，减少对进口石油的依赖。国际预测 2017 年后，美国可能超越沙特，成为第一石油生产国。此外，巴西发现了石油资源，加拿大开发利用油砂等，油、气开发供应中心可能由沙特、俄罗斯及非洲转移到美国等。

目前国际上提倡能源及燃料多元化，除了开发利用太阳能、生物质能、风能及水能等以外，还重视应用生物燃料（甲醇、纤维乙醇、二甲醚及生物柴油等）及天然水合物（俗称可燃冰）。在高压、低温条件下，天然气和水结合成外观似冰的白色结晶固体，在压力低、温度高达一定条件时，可燃冰又会分解成天然气及水。可燃冰分布在两极地区的永冻层、大陆架的海底及深海盆地中，开发虽有技术难度，但我国及一些国家已在勘探资源，试验研究开发的技术。

2. 中国简况

我国煤炭多、石油及天然气少，资源分布不均。2009 年产煤 $31 \times 10^8 \text{ t}$ ，进口 $1.04 \times 10^8 \text{ t}$ ，进口量仅次于日本。

2012年12月美国每天进口石油598万桶,我国为612万桶,2013年我国已超过美国,成为第一大石油进口国。2012年进口天然气 $450 \times 10^8 \text{ m}^3$,进口依存度为28.9%,2013年为32%。天然气在总的能源消费构成中只占4%,远低于国际水平23.8%。

二、燃料与环保

环境保护涉及很多领域,本书仅阐述燃料、空气污染与气候变化等方面的关系。20世纪40年代世界工业有了初步规模,除了煤炭燃烧形成煤烟污染空气外,石油开采等工业生产及汽车排放物对空气污染也开始显露。例如美国加利福尼亚州从1939年起,空气质量持续恶化,每年从夏季至早秋,在有阳光的日子里,天空就出现浅蓝色的烟雾。1943年5月至10月在汽车保有量大约250万辆的洛杉矶地区上空,出现了浅蓝色的烟雾,几天后才消散,约400人生病而死亡,水果及蔬菜也枯萎了。据洛杉矶市1968年调查,每年排入大气中的9860t污染物中,有6782t来自汽车尾气的排放。后来经过研究及模拟光化学烟雾实验室验证,这是由于汽车排出的氮氧化物(NO_x)及未燃烧的烃类化合物(HC)在太阳光的照射下,经过复杂的化学反应形成的烟雾,其中含臭氧、过氧酰基硝酸酯PAN、醛类及酮类等有害物质,这种光化学烟雾刺激咽喉及眼睛,引起呼吸系统及眼睛的疾病。

1952年12月伦敦上空由于煤及石油燃烧形成浓雾,能见度只有几米,其中烟尘最高浓度达到 4.46 mg/m^3 ,超标10多倍,二氧化碳日平均浓度超标6倍以上,形成的硫酸凝聚在烟尘上形成酸雾,导致患呼吸系统疾病的人增多,使已患慢性病者加剧而死亡。伦敦烟雾事件持续5天,死亡人员达4000~6000人,如包括原有病人的病情加剧,总死亡人数约1.2万。并且使农业生产等受到很大损失。1976年夏天,英国出现强烈的光化学烟雾,造成人员伤亡及重大经济损失。在比利时及日本等国也发生过烟雾事件,这些震惊世界的空气被污染的事件,迫使人们意识到要控制矿物燃料燃烧及汽车尾气的排放,于是限制工业生产及汽车排放等法规日益严格。例如1954年英国伦敦通过治理污染的特别法案,1956年通过全国性作为法律要求的《清洁空气法案》等。美国加州制定了美国乃至世界上最严格的汽车排放法规,投入大量人力及物力开发和生产了能降低排放、净化空气的甲醇、乙醇等清洁燃料汽车。经过数十年的努力,1998年洛杉矶所在的南加州的人口是1955年的3倍,机动车的数量是当时的4倍,但空气质量却得到很大的改善。2007年洛杉矶的空气质量达到美国清洁空气质量标准的要求。

1. 温室气体与气候变化

含碳(C)的燃料完全燃烧后会排出二氧化碳(CO_2),除 CO_2 外,臭氧(O_3)、甲烷(CH_4)、一氧化二氮(N_2O)、氯氟烃(CFC)及水蒸气在大气中会形成温室效应,统称为温室气体。

太阳辐射能是人类生存发展不可少的能源,主要以可见光的形式射向地球,其中约30%的能量散射返回太空,约70%穿过大气被地球表面吸收,使地球气候变暖,万物才得以生长和发展。为了使能量平衡,地球接受的太阳能以及人类活动所产生的热能,以红外辐射的形式将能量返回太空。红外辐射不像可见光能直接穿过大气辐射出去,大气中的 CO_2 及其他一些气体阻挡由地面射向空间的红外辐射,就像“塑料大篷”将地球罩着,于是地球

表面温度逐步升高，这种现象叫温室效应，大气中 CO₂ 等温室气体浓度越大，温室效应引起的温度升高越明显。

水蒸气是大自然环境中产生的，人类无法控制。而其他温室气体是人为活动产生，它们产生不同的温室效应，使地球变暖的作用见表 1-1。CO₂ 起的作用最大，所以要力求降低 CO₂ 排放，当然也要减少其他温室气体的作用，例如禁止在生产冰箱中采用氟里昂。

表 1-1 温室气体使气候变暖的作用 单位：%

二氧化碳(CO ₂)	氯氟烃(氟里昂 CFC)	甲烷(CH ₄)	一氧化二氮(N ₂ O)	臭氧(O ₃)
50	20	18	8	4

根据世界气象组织 (IPCC) 2000 年发表的研究结果表明，从发生工业革命 1775 年以后的 200 多年中 (1775~1998 年) 大约有 $(4060 \pm 600) \times 10^8 \text{ t}$ 的碳以 CO₂ 的形式进入大气中。其中主要是由矿物燃料燃烧及生产水泥等工业部门排放的 CO₂，约占 67%。而在排放到大气中的总 CO₂ 排放量的 43%，停留在大气中，使大气中 CO₂ 浓度增加，导致地球气温上升，在近 100 年中气温上升约 0.3~0.8℃。

如果不采取有效措施降低 CO₂ 排放，到 2100 年全球平均气温将上升 1.4~5.8℃。气候变暖，两极冰川融化，使海平面年平均上升约 3.9mm，飓风的能量增加，气候失调，导致干旱、洪涝、风暴、热浪等自然灾害频繁发生，带来严重的环境问题、巨大的经济损失和人员伤亡。据美国公共利益研究集团的研究结果表明，20 世纪的最后 10 年发生的高温、干旱、水灾和厄尔尼诺现象等造成的重大自然灾害比 50 年代多 4 倍，经济损失多 9 倍。在全球夺走了 33 万人的生命，经济损失 6252 亿美元。美国是世界上最大的温室气体排放国，CO₂ 的排放量占全球总排放量的 22%，10 年中灾害死亡 5.2 万人，经济损失 680 亿美元，2003 年全球一些地区因夏季气温过高而死亡的人数达数万人。

温室气体效应引起的地球变暖已经不仅是环保问题，而是地球能否持续发展的大事，引起各国高度关注。1997 年 12 月各国通过的《京都议定书》动员各国努力降低 CO₂ 排放，特别要求人均能耗高的国家更要承担降低 CO₂ 排放的义务，加大研究经费的投入。

进入 21 世纪后，全球气候变暖，极端气候及自然灾害的发生更加频繁。中国、俄罗斯、美国及英国等多个国家都遇到数十年乃至百年以来最热的热浪，很多国家遭受到干旱、火灾、暴雨、洪水及飓风的袭击。例如 2013 年 11 月菲律宾遭受到有记录以来最强的台风“海燕”的袭击，登陆时中心附近的风力达每小时 314 公里，阵风时速 379 公里，导致 3000 多人死亡，许多建筑被损。2014 年一季度，中国、美国、英国及日本等发生暴风雨、暴风雪。而澳大利亚等一些地区则连续两年未下雨，天气炎热、干旱，导致交通事故等灾害，伤亡人员及经济损失巨大。

形成极端气候的主要原因之一是厄尔尼诺现象，由于温室气体排放增加及太阳黑子减少，太平洋水温升高，使天空中气流形成及流动失常，一部分地区高温、干旱，而另一些地区则是暴雨、飓风，形成的台风也增多。此外，南极和北极的冰地在融化，海平面上升，不仅影响一些低海拔的沿海城市的正常生活；而且可能在若干年后，使印度洋上一些如马尔代夫等岛国被水淹、消失掉。

南极及北极的能源、矿产及水产资源较丰富，成为一些国家开发的热点。连接欧洲和东亚的海上通道也逐步在开通，2010 年 9 月一艘丹麦货轮运载 4 万吨铁矿石经北冰洋到达我国的青岛，这比过去经过苏伊士运河，可缩短约一半的航程，节省 8 天时间，仅燃料费用能节省 18 万美元。

英国剑桥大学与荷兰鹿特丹伊拉斯姆斯大学的三位学者在英国的《自然》杂志,联合发表《人类将为北极变化付出巨大代价》的文章,认为北极人类活动及气候变暖会使该地区埋藏的天然气水合物(可燃冰)中的甲烷(CH_4)逸出。该研究认为,研究模型假定以现有北极冻土融化速度,其中的甲烷气体将在10年内释放出,在未来15~35年使地球气温升高 2°C 左右,产生巨大灾难,俄罗斯北侧东西伯利亚下方永久冻土融化,仅经济损失可能达到60万亿美元,整个北极地区受到的损失更难想象,而2012年全球经济总量为70万亿美元。

尽管温室气体使气候变暖给地球人类带来的灾难巨大,但并未被所有国家都认识到,在2013年11月在波兰华沙召开的联合国年度气候变化大会上,日本、澳大利亚及加拿大降低对减少温室气体排放的承诺,引起很多国家的不满。会议的成果是大多数国家认为要继续召开国际会议商讨降低温室气体排放。气候变暖及极端气候使农作物减产,全球粮食价格上涨,虫害及病毒增加,水资源短缺,危及人类生存,这是每个国家都要面对的严峻现实。

2. 燃料与雾霾

大气中的水蒸气在低温下形成白色的雾,悬浮在大气中的微粒(Particulate Matter-PM)形成灰色的霾。造成雾霾的原因是向空气中排放的污染物量大,包括燃煤、机动车、工业生产、建筑工地以及地面扬尘等。气象专家认为,大气结构稳定,近地层空气湿度大,地面气压低,风力小,夜间温度低导致大雾出现。由于大气层处于稳定状态,既无垂直流动,也无水平流动,致使大气中碳烟微粒等污染物无法扩散。

悬浮在大气中的微粒粒径大小不等,如 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 等, $\text{PM}_{2.5}$ 意即该微粒的直径有 $2.5\mu\text{m}$ [$1\mu\text{m}$ (微米) $=10^{-3}\text{mm}$ (毫米)],即大约相当于头发丝直径的 $1/20$]。在大气污染研究领域中,微粒被定义为除纯水以外的、单个颗粒直径大于 $0.002\mu\text{m}$ 的任何固体或液体的微颗粒。

汽车发动机(内燃机)排出的微粒主要由碳、烃类化合物(简称为未燃烃)、氮氧化物、硫化物、含金属成分的灰分等组成,后者主要来自燃油及润滑油的燃烧产物以及运动件摩擦生成的磨屑等。

汽油及柴油是由多种烃类化合物组成的混合物,汽油组成含5~11个碳原子不等,而柴油含15~23个碳原子,重柴油含多达30个碳原子。碳在柴油中的质量百分比高达87%,其余为氢。汽油及柴油都不含氧,含少量的硫。由于柴油含碳原子多,同时由于零部件工作及燃烧过程是否良好等的影响,柴油机排气容易冒灰色或黑色的烟,其中碳烟微粒多。排气中除含氮氧化合物(NO_x)、一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)、未燃烃(HC)外,通常会含比汽油机排气中更多的碳烟微粒,其上会附有苯并芘等致癌物质。

20世纪一些国家的雾霾气候严重,例如汽车工程师学会年会论文(SAE)报道,20世纪70年代美国很多城市出现了雾霾天气,公路上能见度低,1981年美国环境保护署公布控制重型柴油发动机排放的建议。通用汽车公司对环保署关于控制大气中微粒的建议的回答中,认为城市公共汽车排出的碳烟微粒是影响城市环境的重要因素,同意环保署在法规中的意见,认为甲醇是能明显降低微粒的替代燃料,表1-2为通用汽车公司给环保署的答复中关于1979年美国若干城市大气中微粒的数据。紧接着美国加利福尼亚州能源委员会制定了从1982~1984年将一些柴油机开发成甲醇发动机的计划,其中包括底特律柴油机公司的二冲程柴油机及福特公司、卡特皮勒公司等四冲程柴油机。

表 1-2 1979 年美国主要城市空气中微粒及公路能见度

城市	年平均总的悬浮微粒/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	不同柴油机排出的微粒量/%		柴油机排出的微粒/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
纽约	81	轻型客车 1.3 轻型货车 6	公共汽车 61.1 重型货车 37.6	1.9
洛杉矶	117	轻型客车 1.4 轻型货车 0	重型货车 94.6 公共汽车 4.0	5.5
华盛顿	73(1978 年)	轻型客车 2.3 轻型货车 0	重型货车 4.3 公共汽车 93.4	3.3
丹威尔	227	轻型客车 1.5 轻型货车 0	重型货车 39.0 公共汽车 59.5	2.0

2013 年我国雾霾天气严重,范围之广及持续时间之长前所未有。环境部门监测的 74 座城市中,1~6 月 $\text{PM}_{2.5}$ 的平均浓度为 $76\mu\text{g}/\text{m}^3$,京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度为 $115\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。世界卫生组织推荐为 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$,我国空气污染是该级别的 3 倍。

雾霾的影响及危害是多方面的,主要如图 1-1 所示。



世界卫生组织的《世界癌症报告》指出,2012 年全世界有 1400 万新增癌症病例,癌症死亡人数达 820 万,其中中国新诊断癌症病例为 307 万人,占全球总数的 21.9%,死亡人数 220 万,占全球总数的 26.9%。从全世界来看,目前发病率最高的癌症是肺癌,2012 年新增肺癌 180 万,死亡人数 159 万,其中 1/3 是出现在中国。导致肺癌的主要原因是空气污染严重及吸烟。

2013 年《美国国家科学院院刊》刊登中国、美国和以色列的 4 名经济学家的研究论文,通过详细分析 1981~2000 年期间 90 座中国城市的空气质量数据,并将它们与 1991~2000 年期间 145 个地方的人员死亡数据进行对比,该论文的结论是用烧煤取暖导致空气污染使中国北方人的平均寿命比南方人的寿命缩短 5.5 岁。尽管有专家对该结论的严谨性有异议。然而从雾霾对人体健康的危害以及产生雾霾的日子里患病的人剧增,可以肯定严重的空气污染必然会影响人的健康,使一些人早亡。

三、缓解气候变暖及净化空气的对策

缓解气候变暖及净化空气的主要对策有:①全球所有国家都要致力于降低 CO_2 等温室气体排放,但是发达国家与发展中国家承担的责任应有所不同;②开发及应用可再生的低碳或无碳排放的新能源;③节能减排,少用石化燃料;④捕捉、封存及利用大气中的 CO_2 ,例如将 CO_2 与氢(H_2)合成甲醇等;⑤开发与应用低碳、含氧、可持续发展的、清洁的醇燃料;⑥开发与应用高效低排放的包括醇燃料、天然气及电动汽车等在内的新能源汽车;

⑦提高汽油及柴油的品质,降低其中硫等有害物。

美国总统科技顾问委员会(PCAST)向总统提出“21世纪能源研究与发展要求”报告,其中的主要要求为:①发展能使经济可持续发展的能源供应;②实现多种能源结构,使应用的能源多样化;③降低有害排放物及CO₂排放;④增加石油代用清洁燃料及核能的供应。美国能源部在实施纲要中重点提出:①提高发动机、锅炉及透平等的热效率,进一步降低CO₂等有害排放物;②发展可再生能源;③发展核聚变及裂变;④在5年内将用于提高动力装置效率及开发可再生能源的费用增加2~7倍;⑤组织科研院所,高等学校及大型企业联合攻关;⑥要求各个州使用可再生能源的比例逐年增加。

欧盟21世纪的能源政策有如下要点:①重视发展可再生能源,要求可再生能源在总能源消费中的比例,要从1996年的6%提高到2010年的12%;有些国家如法国、巴西及荷兰等利用生物质等可再生能源的比例已经超过整个欧盟的要求;②努力降低CO₂排放,要求减少CO₂排放高的矿物燃料的使用,增加生物燃料的应用,例如英国要求到2010年时的CO₂排放要比1990年降低20%;③限制机动车辆CO₂排放,对节能汽车给予税收优惠,鼓励使用节能型及清洁代用燃料汽车;④不能只靠市场机制推行可持续发展的能源政策,而要从政策上提供激励作用,制定法规性要求,提出目标,支持示范工作项目,增加投资,强化宣传及信息传播工作。

我国在“十一五”及“十二五”规划中,明确要求推动能源生产和消费的革命,控制能源消费总量,加强节能减排,支持节能低碳产业和新能源、可再生能源的发展,确保国家能源安全。早在20世纪80年代政府就重视醇燃料的开发与应用,国家科委组织近10个单位参加的甲醇汽车重点攻关课题,与德国合作进行甲醇(M100)汽车使用试点,2002年制定了燃料乙醇与车用乙醇汽油“十一五”发展规划,在一些省、市地区逐步开展了E10(在汽油中加10%的乙醇)使用试点工作。2007年国家发改委颁布了关于开展醇醚清洁燃料及汽车的开发与应用的文件。陆续成立了醇醚(二甲醚)燃料及汽车专业委员会以及甲醇燃料及乙醇燃料的标准化委员会。2012年工业和信息化部决定在山西、陕西及上海市开展甲醇轿车及甲醇/柴油双燃料货车的使用试点工作,同时成立了甲醇燃料专家组。

2013年9月国务院发布《大气污染防治行动计划》,要求经过5年努力,使全国空气质量总体上得到改善,较大幅度减少重污染天气;京津冀、长三角、珠三角等区域明显好转,空气中微粒浓度(PM)分别比2012年下降25%、20%及15%左右,全国地级及以上城市则下降10%以上,再用5年或更长时间,逐步消除重污染天气,全国空气质量明显改善。主要措施如下:①提前完成钢铁、水泥、电解铝及平板玻璃等21个重点行业的“十二五”落后产能的淘汰任务,实现较大的节能减排;②减少煤炭消费,多用清洁的替代燃料,到2017年,煤炭占能源消费总量比重降到65%以下,要求用天然气、醇燃料等清洁替代燃料,2013年国务院办公厅颁发的《关于加强内燃机工业节能减排的意见》国办发[2013]12号文件中,要求加强甲醇轿车、柴油/甲醇双燃料货车等的技术研发工作,要求2015年用500万吨甲醇替代汽油及柴油;③要求降低汽车有害排放物,到2017年,在全国淘汰未达到排放标准的汽车;④提高汽油及柴油的品质,降低其中燃烧时产生有害排放物的硫等;⑤加强空气中微粒等有害排放物的监测工作;⑥各省市地区要签订防治空气污染的计划和责任书。

过去我国为了提高汽油的辛烷值及抗爆燃性,向汽油中加入四乙基铅,燃烧后形成的铅化物对人体健康有害,于是改用无铅汽油。进入21世纪后逐步减少汽油中含硫量的过程如下:①2003年1月1日起汽油中硫含量由不大于1500ppm降至800ppm以下;②2005年7

月1日起降至500ppm以下；③2010年1月1日起降至150ppm以下；④过渡期截止到2013年底降低至50ppm；⑤过渡期截止到2017年底降低至10ppm（ppm为浓度计量单位，1ppm为百万分之一）。上述第③～⑤阶段的含硫量标准，即相当于国Ⅲ、国Ⅳ及国Ⅴ汽油标准。目前，北京、上海及江苏等部分地区已先期使用国Ⅴ标准的汽油。由于改变了汽油中某些成分，辛烷值有所降低，汽油牌号由90号、93号、97号分别调整为89号、92号、95号，在全国范围内供应。

根据国家标准化委员会工业标准一部的资料介绍，第五阶段与第四阶段国家标准相比，主要有6个方面变化。

（1）为进一步提高汽车尾气净化系统能力，减少汽车污染物排放，将硫含量指标限值由第四阶段的50ppm降为10ppm，降低了80%。

（2）考虑到锰对人体健康不利的潜在风险和对车辆排放控制系统的不利影响，将锰含量指标限值由第四阶段的8mg/L降低为2mg/L，禁止人为加入含锰添加剂。

（3）考虑到第五阶段车用汽油由于降硫、降锰引起的辛烷值减少，以及我国高辛烷值资源不足的情况，将第五阶段车用汽油牌号由90号、93号、97号分别调整为89号、92号、95号，同时在标准附录中增加98号车用汽油的指标要求。

（4）为防止冬季因蒸气压过低而影响汽车发动机冷启动性能，导致燃烧不充分、排放增加，冬季蒸气压下限由第四阶段的42kPa提高到45kPa。为进一步降低汽油中挥发性有机物质的排放，减少大气污染，夏季蒸气压上限由第四阶段的68kPa降低为65kPa，并规定广东、广西和海南全年执行夏季蒸气压。

（5）为进一步降低汽油蒸发排放造成的光化学污染，减少汽车发动机进气系统沉积物，烯烃含量由第四阶段的28%降低到24%。

（6）为进一步保证车辆燃油经济性相对稳定，首次规定了密度指标，其值为20℃时720～775kg/m³。

降低汽油中的硫、锰等含量，控制蒸气压，对降低汽车排放有利。要防治空气被污染，还要认识到汽油是由5～12个碳原子的多种碳氢化合物构成，其燃烧产物必然会有多种有害排放物，尤其柴油含的碳原子更多为15～23个，含硫等也较多，即使较先进的柴油机的一些工况也会冒烟，维护保养不良的一般柴油机更容易排烟及产生大量的碳烟微粒，是污染空气、形成雾霾的重要根源之一。使用仅含1～2个碳原子、不含硫，含30%～50%氧的醇燃料才能根本上解决排烟，明显地降低氮氧化合物（NO_x）等排放。

我国大部分地区当前柴油实施国Ⅲ标准（接近欧Ⅲ标准），含硫量不高于350ppm，北京实施京标Ⅴ柴油标准，含硫量不高于10ppm，上海、广州、深圳和南京等城市实施国Ⅳ车用柴油标准，含硫量不高于50ppm。日本、欧盟车用柴油含硫量不高于10ppm，美国不高于15ppm，我国柴油的含硫量还有待降低。

四、能源及燃料的多元化

1. 燃料的多元化

为了应对经济发展及能源需求逐年增长及降低温室气体的要求，必须使能源及燃料的应用多元化，而且要少用石化燃料，多用可再生、可持续发展的低碳、含氧的清洁燃料，交通