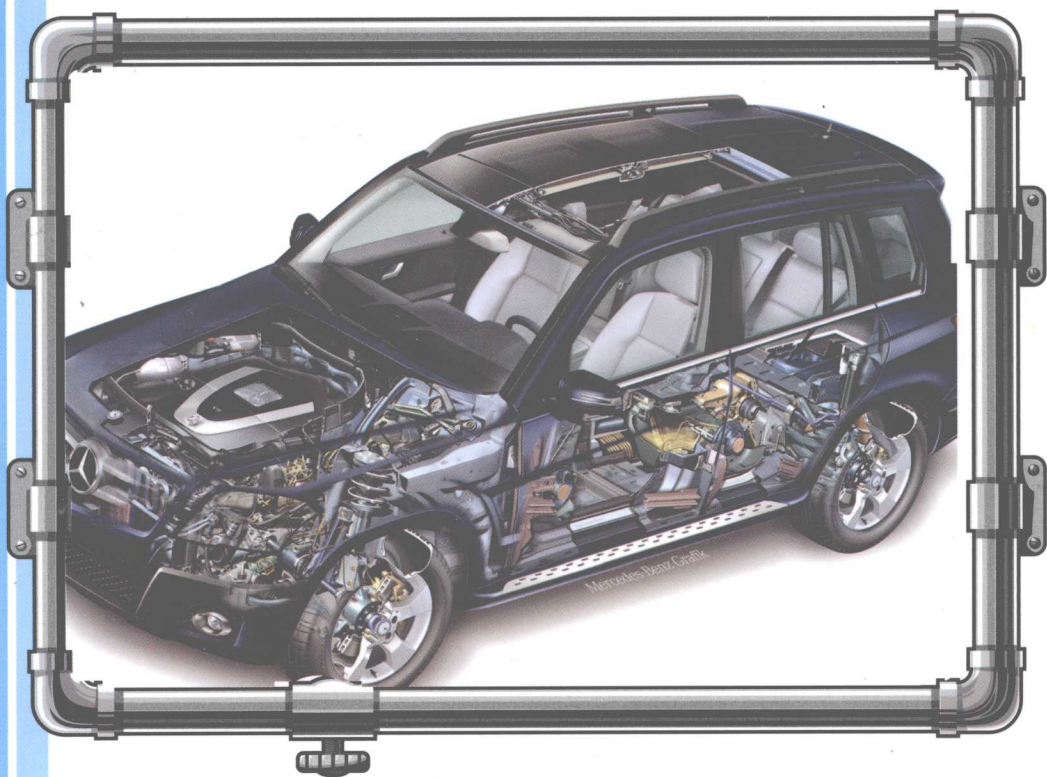




21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

现代汽车排放控制技术

主编 周庆辉



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

现代汽车排放控制技术

主 编 周庆辉

副主编 王延福 李建伟



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

前 言

随着世界汽车保有量的增加，汽车排放污染日趋严重，掌握汽车排放控制技术无疑是治理排放污染、改善大气环境的前提条件。本书针对汽车排放污染物的生成机理和影响因素、改善汽车排放特性的措施与技术、汽车排放污染物检测的方法和设备、在用车的排放控制、排放标准的发展等方面做了详细的介绍。通过学习，使学生能够理解汽车排放污染的来源和生成机理，掌握排放控制的技术方法，熟悉汽车排放检测的原理和方法，了解汽车排放标准的发展方向。

本书主要内容包括：汽车排放污染物的危害、汽车排放污染物的生成机理和影响因素、汽车排放控制技术的策略和措施、低排放燃料和汽车新能源、低污染汽车的机内净化技术、汽车排放后处理技术、在用车的排放控制方法、汽车排放测试方法和国内外排放标准的发展状况。

本书编写的指导思想和追求的目标是：理论与实际相结合，力求使内容具有新颖性、趣味性和实用性，使语言表达通俗易懂，避免使用太多的专业词汇。本书具有以下特点。

(1) 注重体系，尽量全面和客观。对与汽车排放物相关的基本原理、检测方法、排放标准、技术手段等方面进行逐一描述，层层深入、逻辑性强。

(2) 取材较新，努力反映当代最新汽车技术的研究成果，以适应排放控制技术的需要。

(3) 内容精简，突出重点，通俗易懂，尽可能多地进行文字解释、图形说明和举例分析，而不仅仅是原理分析。

(4) 遵照认识规律，力求深入浅出、层次分明。

本书由北京建筑工程学院周庆辉担任主编并统稿，哈尔滨理工大学王延福、河南农业大学李建伟担任副主编。在编写过程中，得到了中国农业大学纪威教授及北京建筑工程学院王跃进教授、孙健民、刘永峰、田洪森和朱爱华等的帮助和指点，在此表示感谢！

由于时间紧迫、内容繁多，加之篇幅受限，本书难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正，不胜感激。

编 者

2010年3月

目 录

第 1 章 概述	1		
1.1 环境保护与汽车.....	2	3.2.1 发动机各系统对排放污染物的影响	44
1.2 我国主要城市大气污染状况.....	3	3.2.2 解决排放污染物的方法.....	46
1.3 汽车排放污染物及其危害.....	4	3.3 提高汽车排放特性的措施.....	48
1.3.1 CO 的危害	4	3.3.1 提高汽车排放特性的思路.....	48
1.3.2 NO _x 和 HC 的危害.....	4	3.3.2 提高汽车排放特性的方法.....	49
1.3.3 光化学烟雾的危害.....	5	3.3.3 我国正在进行的有关汽车排放控制的方法	50
1.3.4 微粒的危害.....	6	3.4 汽车排放控制系统的演变过程.....	51
1.3.5 非常规排放物的危害.....	6	本章小结	53
1.3.6 CO ₂ 排放	7	习题	54
本章小结	7	第 4 章 低排放燃料及汽车新能源	56
习题	7	4.1 车用燃料及其来源	57
第 2 章 汽车排放污染物的生成机理和影响因素	9	4.2 传统石油燃料的改善	59
2.1 汽油车排放污染物的形成机理及其影响因素.....	10	4.2.1 改善石油燃料的重要性.....	59
2.1.1 汽油机排放污染物的形成机理.....	11	4.2.2 汽油品质提高的方法.....	61
2.1.2 影响汽油机污染物排放的因素	18	4.2.3 柴油品质提高的方法.....	62
2.2 柴油车排放污染物形成机理及其影响因素.....	26	4.3 含氧燃料对排放的影响	62
2.2.1 柴油机排放污染物的形成机理.....	26	4.3.1 醇类燃料	62
2.2.2 影响柴油机污染物排放的因素	30	4.3.2 生物柴油	68
本章小结	36	4.3.3 二甲醚	71
习题	37	4.4 气体燃料(液化石油气、压缩天然气、沼气).....	72
第 3 章 汽车发动机排放控制技术	38	4.4.1 液化石油气	72
3.1 汽车发动机的排放特性.....	39	4.4.2 压缩天然气	73
3.1.1 汽油机的排放特性.....	39	4.4.3 沼气	76
3.1.2 柴油机的排放特性.....	41	4.5 氢燃料	77
3.1.3 影响发动机排放特性的因素 ...	44	4.6 混合动力汽车	78
3.2 发动机各系统与排放污染物的关系 ...	44	4.6.1 混合动力技术发展现状.....	78
		4.6.2 混合动力汽车的分类.....	81
		4.6.3 混合动力汽车面临三大挑战.....	85
		4.7 电动汽车	85
		4.7.1 纯电动汽车	86
		4.7.2 燃料电池汽车	89
		本章小结	98



习题	99	6.1.1 柴油机与汽油机排放控制 技术的异同	139
第 5 章 低污染车用汽油机排放 控制技术	101	6.1.2 柴油机排气污染控制的 主要途径	140
5.1 概述	102	6.1.3 柴油机排放控制的 对策技术	141
5.1.1 汽油机的燃烧过程	102	6.2 柴油燃烧系统技术	144
5.1.2 影响汽油机燃烧的因素	103	6.2.1 燃烧室的改进	144
5.1.3 汽油机排放控制的主要技术 措施	104	6.2.2 新型燃烧方式—— 均质充量压缩燃烧	147
5.2 曲轴箱排放控制	105	6.3 柴油喷射系统技术	151
5.3 燃油蒸发控制	106	6.3.1 高压喷射	151
5.4 电控燃油喷射系统	109	6.3.2 合理的喷油规律	153
5.4.1 典型电控燃油喷射系统的 结构和工作原理	109	6.3.3 低排放的喷油器	156
5.4.2 喷油量的控制	110	6.3.4 喷油正时	158
5.5 点火控制	113	6.4 柴油机进排气系统技术	159
5.5.1 点火提前角的控制	114	6.4.1 多气门技术	159
5.5.2 加大点火能量	116	6.4.2 增压与可变截面涡轮增压	160
5.6 燃烧系统的优化设计	117	6.5 废气再循环	161
5.6.1 紧凑的燃烧室形状	117	6.5.1 废气再循环对排放和发动机 性能的影响	162
5.6.2 改善缸内气流运动	118	6.5.2 废气再循环率的控制	163
5.6.3 优化压缩比	118	6.5.3 柴油机废气再循环的缺点	164
5.6.4 减少不参与燃烧的 缝隙容积	118	6.5.4 柴油机废气再循环与汽油机 废气再循环的区别	165
5.7 新型燃烧系统	119	6.5.5 废气再循环的发展趋势	165
5.7.1 稀薄燃烧	119	6.6 柴油机电控管理技术	166
5.7.2 分层燃烧	121	本章小结	167
5.7.3 均质充量压缩燃烧	128	习题	167
5.8 进气系统的改进	130	第 7 章 汽车排放后处理技术	170
5.8.1 多气门技术	130	7.1 概述	171
5.8.2 进气增压	130	7.2 汽油车排气后处理技术	172
5.8.3 可变进气系统	131	7.2.1 三元催化转化器	172
5.9 废气再循环	133	7.2.2 稀薄燃烧 NO _x 催化转化器	179
5.9.1 废气再循环的效果	133	7.2.3 新型后处理技术	182
5.9.2 废气再循环的控制策略	134	7.3 柴油机排放后处理技术	185
5.9.3 内部废气再循环	135	7.3.1 氧化催化转化器	188
本章小结	136	7.3.2 微粒捕集器及其再生技术	190
习题	136	7.3.3 选择催化还原法	195
第 6 章 车用柴油机排放控制技术	138		
6.1 概述	139		

7.3.4 选择非催化还原法.....	198	习题.....	226
7.3.5 直接催化分解.....	199	第9章 汽车排放测试.....	227
7.3.6 四元催化转化器.....	200	9.1 我国汽车排放测试方法.....	228
7.3.7 等离子体在柴油机排放 控制上的应用.....	200	9.1.1 新车型式核准和一致性 检测方法.....	228
本章小结.....	201	9.1.2 在用车定期排放测试方法.....	232
习题.....	202	9.1.3 在用车道路行驶排放 检测——遥感检测法.....	233
第8章 在用车的排放控制和 诊断系统.....	203	9.2 汽车排放测试系统.....	234
8.1 在用车的排放控制对策.....	204	9.2.1 汽车排放测试系统原理.....	234
8.1.1 在用车的检查维护制度.....	204	9.2.2 取样系统.....	235
8.1.2 在用车的排放控制对策.....	208	9.3 汽车排放污染物测试.....	240
8.2 随车诊断系统.....	210	9.3.1 汽车排放污染物测试原理.....	240
8.2.1 随车诊断系统的概述.....	210	9.3.2 汽车排放测试常用 检测仪器.....	243
8.2.2 随车诊断系统监测 主要内容.....	214	9.4 新型汽车检测设备.....	246
8.2.3 随车诊断系统在我国 应用.....	216	9.4.1 对检测设备的要求.....	247
8.2.4 未来的随车诊断系统技术.....	217	9.4.2 ASM 检测系统.....	247
8.3 在用车的工况法检测.....	218	9.4.3 汽车排放总质量分析系统.....	248
8.3.1 美国汽车排放检测的 工况法.....	218	9.5 汽油车非排气污染物的 测量与分析.....	248
8.3.2 日本汽车排放检测的 工况法.....	219	9.5.1 曲轴箱排放物.....	248
8.3.3 欧盟汽车排放检测的 工况法.....	219	9.5.2 蒸发排放物.....	248
8.3.4 我国汽车排放检测的 简易工况法.....	222	本章小结.....	249
本章小结.....	225	习题.....	250
		附录 国内外汽车排放标准的发展.....	252
		参考文献.....	266

第 1 章 概 述



学习目标

了解汽车与环境污染的关系，了解我国主要城市的污染状况，理解汽车排放污染物的危害。



学习要求

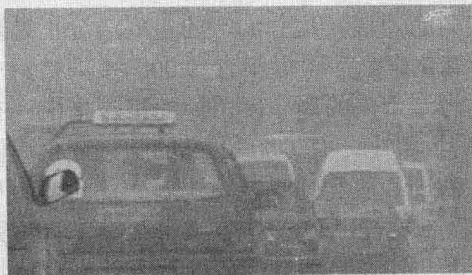
本章中的知识要点、能力目标如下。

能力目标	知识要点	权重	自测分数
了解汽车与环境污染的关系	环境保护与汽车	20%	
了解主要城市的污染状况	我国主要城市的污染状况	20%	
理解汽车排放污染物的危害	汽车排放污染物 CO、NO _x 、HC、光化学烟雾、非常规排放物和 CO ₂ 等的危害	60%	



引 例

据国家环保总局测试，汽车尾气排放在城市大气污染中的分担率已经达到 79% 左右。城市空气污染将由目前的煤烟型和机动车混合型转变为机动车污染型。





意大利首都罗马所在的拉齐奥大区汽车尾气污染也非常严重，那些长年站在马路上疏导交通的警察成了尾气污染最直接的受害者，10年中已有500多名交警因此致病死亡。这一现象已引起了该市行业工会负责人的重视。他们已委派有关人员为值勤在第一线的交警送去了口罩。

试分析：汽车尾气排放是城市的主要污染源吗？汽车尾气排放会对人身体健康产生哪些危害？汽车永远是环境杀手吗？

1.1 环境保护与汽车

环境是人类赖以生存的基本条件，是社会得以持续稳定发展的物质基础。社会物质文明高度发展的同时，也带来了一系列如人口、粮食、能源、资源和环境等严重的社会问题。

汽车作为经济增长的原动力，同时作为人们富足生活的象征，其加速增长为人们带来了诸多便利。据统计，截至2009年年底，全国机动车保有量已超过1.86亿辆，继续保持快速增长的态势，其中，汽车和摩托车为机动车的主要构成部分，共占全国机动车保有量的91.5%。与2008年相比，全国机动车保有量增长9.83%。到2020年，中国家用轿车保有量将达到7200万辆。同时，汽车市场发展潜力巨大，特别是私人汽车消费，在未来20年将持续高速增长。截至2009年年底，中国公路总里程达386.08万公里，其中高速公路6.5万公里，居世界第2位。到2010年，中国将建设九纵十八横的高速公路网，在400~500公里内实现当日往返，800~1000公里实现当日到达，形成以公路网为载体的快速运输网络。今后，中国还要加快公路客运发展，汽车数量的增长已成为不可避免的趋势。

汽车业的发展在带给人们便利、带给企业利润的同时，也使我国燃油消耗快速增加。目前我国石油消耗量位居世界第二，2000年进口7000万吨，2003年约1亿吨，2009年约2.04亿吨，国家能源安全面临严峻挑战。与此同时，汽车也给社会带来了环境问题。例如：2005年12月，拥有1000万人口的大城市伊朗首都德黑兰笼罩着厚厚的一层有毒烟雾，如图1.1所示。居民遭受持续性头痛、呕吐和呼吸道疾病的困扰，这些烟雾的主要成分正是数百万破旧、高油耗的汽车所排放废气中具有毒性的一氧化碳。法国每年有9000多人被汽车尾气等造成的污染夺取生命。据一份题为《城市大气污染带来的健康冲击》的报告指出，有关专家经过8个月的调查后，发现在法国30岁以上的人群中，有6%~11%的肺癌死亡病例是由排放到大气中的污染颗粒造成的；另外还有7%左右因心脏和呼吸系统疾病死亡的案例与城市污染直接相关，两者相加至少有9700多人。调查还发现，60~69岁人群最容易受污染影响。住在公路旁边以及交通繁忙地带的人的身体状况与住在自然景物多的地方的人身体状况明显不同，后者明显强于前者。



图 1.1 伊朗首都德黑兰灰蒙蒙的上空

1.2 我国主要城市大气污染状况

据《中国环境状况公报》显示,2008年全国城市空气质量总体良好,但部分城市污染仍较重。519个城市报告了空气质量数据,其中达到一级标准的城市21个,二级标准的城市378个,三级标准的城市113个,劣于三级标准的城市7个。全国地级及以上城市的达标比例为71.6%,县级城市达标比例为85.6%。北方城市比南方城市污染严重。例如1997年, SO_2 年均值浓度在 $3\sim 248\text{mg}/\text{m}^3$ 范围之间,全国年均值为 $66\text{mg}/\text{m}^3$ 。北方城市年均值为 $72\text{mg}/\text{m}^3$;南方城市年均值为 $60\text{mg}/\text{m}^3$ 。以宜宾、贵阳、重庆为代表的西南高硫煤地区的城市和北方能源消耗量大的山西、山东、河北、辽宁、内蒙古及河南、陕西部分地区的城市 SO_2 污染较为严重。 NO_x 年均值浓度在 $4\sim 140\text{mg}/\text{m}^3$ 范围之间,全国年均值为 $45\text{mg}/\text{m}^3$ 。北方城市年均值为 $49\text{mg}/\text{m}^3$;南方城市年均值为 $41\text{mg}/\text{m}^3$ 。其中,广州、北京、上海3市 NO_x 污染严重,年均值浓度超过 $100\text{mg}/\text{m}^3$;济南、武汉、乌鲁木齐、郑州等城市污染也较重。总悬浮颗粒物年均值浓度在 $32\sim 741\text{mg}/\text{m}^3$ 范围之间,全国年均值为 $291\text{mg}/\text{m}^3$ 。北方城市年均值为 $381\text{mg}/\text{m}^3$;南方城市年均值为 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 。从区域分布看,北京、天津、甘肃、新疆、陕西、山西的大部分地区及河南、吉林、青海、宁夏、内蒙古、山东、河北、辽宁的部分地区总悬浮颗粒物污染严重。

汽车尾气也成为城市大气污染的主要因素。研究表明,广州市空气污染的主要污染源是:机动车尾气占22%、工业污染源占20.4%、建筑工地扬尘污染占19.2%,汽车尾气被市民评为“最不可忍受的污染物”。我国第一批环保模范城的深圳市,大气污染中机动车尾气污染已占70%,每年排放的各种有害物质达20多万吨,并且还在以每年超过20%的速度上升。在北方城市中,近年来随着大量工厂的迁出和采暖结构的改善,工业污染、燃煤污染对城市污染的贡献率正大幅下降,而汽车排放污染则均有不同程度的上升,已成为主要的污染源。老工业基地沈阳在黑烟囱日益消失的同时,汽车污染急剧上升,尾气所产生的污染物所占比例逐年增加。在北京、上海等一些工业废气较少的城市,日益加剧的交通拥堵,频繁的怠速、低速、加速、减速,使汽车的排放量成倍增加,汽车排放的尾气量已经达到甚至超过城市废气总量的60%。

机动车拥有量逐年增加,使我国一些大中城市的空气污染逐步由煤烟型和机动车混合型转向机动车污染型。汽车源污染的严重性正在日益增加,其对大气污染所占的比重,特别是



在大城市正在发生结构性变化。如北京市机动车尾气排放对大气污染物中 CO、NO_x、碳氢化合物(简称 HC)的分担率分别为 63.4%、46%和 73.5%。上海市中心地区机动车尾气排放对大气污染物中 CO、NO_x、碳氢化合物的分担率分别为 86%、56%和 96%。广州、天津、重庆等许多大中城市也出现类似情况。因此,机动车尾气污染物 CO、NO_x、HC 等已成为我国大气污染的主要污染源。此外,2005 年全国 SO₂ 排放总量达 2 549 万吨,居世界第一,比 2000 年增加了 27%。酸雨频率大于 40%的城市比例由 2000 年的 52%上升至 2005 年的 63.9%。2005 年据对全国 522 个城市空气质量监测结果分析,达到国家环境空气质量一级标准的仅有 22 个城市,占统计城市数的 4.2%;达到二级标准的有 293 个城市,占统计城市数的 56.1%;处于中度或重度污染的有 207 个城市,占统计城市数的 39.7%。从环境变化的趋势看,大气污染也已经向上升化方向发展。

1.3 汽车排放污染物及其危害

由于燃油汽车在行驶中排放了大量有害气体,对人们的身体健康和人类生存环境造成了严重危害,引起了人们的极大关注。作为发展中国家,我国汽车制造技术水平总体不高,单车排放量较大、排放控制性能的耐久性较低,由此造成污染物排放量大幅度上升。汽车废气的排放主要集中在 0.3~2m 之间,正好是人体的呼吸范围,对人体的健康损害非常严重——刺激呼吸道,使呼吸系统的免疫力下降,导致暴露人群慢性气管炎、支气管炎及呼吸困难等病症的发病率升高、肺功能下降等一系列症状。同时,儿童吸入的机动车尾气量为成人的两倍。长期吸入这些气体,可发生贫血、眼病、肾炎等,有人称上述病为“城市儿童交通病”。

排放的废气中含有 150~200 种不同的化合物,其中对人危害最大的有 CO、HC、NO_x、微粒及非常规排放物等。

1.3.1 CO 的危害

CO 为无色、无臭、难溶于水、毒性很大的气体。CO 进入人体后,非常容易和血液中的血红蛋白结合,它的亲和力是氧的 200~300 倍。因此在肺里血红蛋白不与铁结合而与 CO 结合,从而削减了其向各组织的输送,使人缺氧,造成感觉、反应、理解、记忆等机能障碍,以及头痛、头晕等中毒症状。当大气中 CO 浓度达到 10×10^{-6} 时,就能引起人慢性中毒,出现贫血、心慌、呼吸道病变恶化等症状;当 CO 浓度达到 30×10^{-6} 时,在 4~6h 内就会导致人中毒;当 CO 浓度达到 120×10^{-6} 时,在 1h 内就会导致人中毒;当 CO 浓度达到 $10\,000 \times 10^{-6}$ 时,就会使人死亡。一般认为,健康人所能允许的安全极限是在 CO 浓度为 50mg/m^3 的环境中暴露 90min。

1.3.2 NO_x 和 HC 的危害

汽车发动机排气中 NO_x 通常是指 NO 和 NO₂,这两种成分对人体都是有害的,特别是对呼吸系统。高浓度的 NO 能引起中枢神经障碍,低浓度的 NO 对人体的影响目前尚不清楚。汽车发动机排气中的 NO 在排入空气后与氧接触变成 NO₂。NO₂ 是一种褐色气体,沸点为 -21.2℃,有特殊刺激性臭味。NO₂ 中毒可以使人发生肺气肿,以及引起闭塞性支气管炎。健康人大约在 NO₂ 浓度为 9.4g/m^3 的环境中暴露 10min 即可造成呼吸失调等症状。

HC 直接对人体健康的作用和影响目前尚缺乏充分的研究。目前,人们把注意力放到致癌性碳氢化合物上。从硝基烃在动物身上的试验看,其影响是颇令人担忧的。另外,HC 和 NO 一起生成光化学烟雾,对动、植物都造成危害,而未燃烃 HC 也会直接刺激人的视觉和嗅觉器官,造成人视觉和嗅觉功能减退。

1.3.3 光化学烟雾的危害

光化学烟雾是由汽车排气中的 NO_x 和未燃烃 HC 在阳光的强烈照射下,发生一系列的光化学反应,形成二次污染物,如臭氧(O_3)、醛类、过氧乙酰硝酸酯(PAN)等氧化剂,如图 1.2 所示。由这些 NO_x 、HC 及其光化学反应的中间产物、最终产物所组成的特殊混合物形成了光化学烟雾。

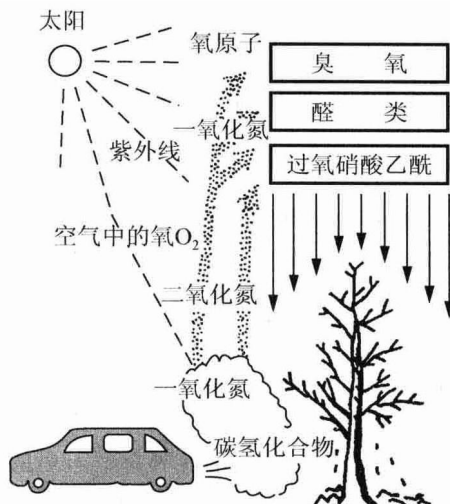


图 1.2 光化学烟雾形成的过程

光化学烟雾成分中 O_3 、PAN、过氧基硝酸酯(PBN)、醛类等氧化剂对人体的影响类似 NO_x , 但比 NO_x 的影响更强。这些强氧化剂对人体各器官都具有强烈的刺激性, 如刺激上呼吸道黏膜和眼睛, 出现咳嗽、流泪、头痛等症状, 使哮喘病患者发作频率增加, 严重时造成呼吸困难和视力减退, 损害中枢神经和引起肺气肿。其慢性毒作用还可诱发染色体畸变, 加速人体衰老, 降低肺部对细菌的抵抗力等。

以 O_3 为例, 由于 O_3 通过上呼吸道时几乎不能被摄取, 因此 O_3 可直接侵入肺部。动物试验表明, 当空气中 O_3 的体积分数为 1×10^{-6} 时, 接触 1h 能使肺细胞蛋白质发生变化; 接触 4h, 在 24h 后出现肺水肿。据有关资料记载, 空气中 O_3 的体积分数为 0.1×10^{-6} 时, 人与其接触 1h 未见明显症状; 体积分数为 $0.5 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ 时, 人与其接触 1~2h, 引起呼吸道阻力增加, CO 的扩散功能和肺的换气功能下降。

O_3 和 PAN 还会对植物产生严重的危害, 使植物生长受阻, 枯萎死亡。 O_3 可以侵入植物叶片内部组织, 破坏细胞膜透性, 使叶片组织坏死。典型症状是叶面上出现细小斑点、黄褐色条斑, 大叶脉间出现失绿, 叶尖和叶缘焦枯等。PAN 的产生取决于光照强度, 通常中午危害最强烈, 尤其是受过光照 2h 以上的植物对 PAN 变得特别敏感。PAN 可以造成叶背气室周围的海绵组织原生质解体, 形成气隙。受到 PAN 伤害的植物, 通常表现为叶背呈银白色, 而后呈青铜色, 在叶片继续生长的过程中出现凹背、扭曲, 严重时则叶片两面坏死。



1.3.4 微粒的危害

所谓微粒是排气中的铅化物、炭烟和油雾的总称。在车用汽油中，为了改善汽油的品质，曾采用添加各种铅的化合物，例如添加四乙铅可提高汽油的辛烷值和抗爆性。在高压压缩比、高性能的汽油机上大都使用添加四乙铅的高辛烷值汽油。可是这种含铅的高辛烷值汽油燃烧所生成的铅化物从发动机排出时，成为污染大气的有害物质。如果人们吸入这种铅化物气体时，铅将在人体内逐渐积累造成危害。当成年人的血液中混入 0.08g/mL 以上的铅时，将引起所谓的铅中毒。另外，汽油中添加的铅还会使催化剂中毒，影响催化反应器的转化效率和使用寿命。为了防治铅污染，近年来许多国家采用无铅汽油。

炭烟是燃料不完全燃烧的产物。汽车发动机的炭烟主要是指直径 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 的多孔性碳粒。燃烧中各种各样的不完全燃烧产物，可以以多种形式附着在多孔的活性很强的炭粒表面。这些附着在炭粒表面的物质种类繁多，其中有些是致癌物质。

1.3.5 非常规排放物的危害

非常规排放物包括醛类、酮类、多环芳香烃(PAHs)、单环芳香烃(MAHs)、金属粒子和 DDE 等排放污染物。目前，很多国家开始监测非常规排放物，美国环境保护署将 16 种多环芳香烃(PAHs)作为重要环境监测排放物，醛类物质是我国环保标准关于室内挥发污染物的重点检测对象。

由于发动机结构、行驶里程数及三元催化器效率的差异，不同汽油车中醛酮化合物的排放值差异较大，大约可在 $10\sim 40\text{mg/km}$ 范围之内，其中甲醛、乙醛、丙烯醛、丙酮和环己酮 5 种化合物的检出含量普遍较高，共占汽油车排气总醛酮量的 77.9%~89.7%，且绝大部分为有毒物质，对人体健康造成很大影响。汽油车燃烧排放的挥发性有机物中绝大部分为芳香烃和烷烃，分别占总数的 31.6%~39.2%和 23.1%~27.9%，其中又以芳香烃类化合物甲苯、二甲苯和苯的检出含量最高，平均占可挥发性有机物质的 16.68%、16.87%和 5.23%，是排气中的主要有机污染物。

所有的非常规物质都有毒性，有些还有强烈的致癌性，如 PAHs 都有毒性，其中苯并(a)芘的毒性最大，是一种强烈致癌物。调查研究表明，经常接触煤焦油、沥青和某些石油化工溶剂等物质的工人，患有皮肤癌、咽喉癌与肺癌的比例相当高。城市空气中苯并(a)芘浓度较高时，患肺癌的死亡率比农村高得多，如美、英等国的大城市里肺癌的死亡率约是农村的 10 倍。在—批白鼠皮肤上涂以苯并(a)芘做的致癌试验表明，5 个月就有白鼠出现皮肤肿瘤，9 个月出现皮肤肿瘤的白鼠数量达到 40%，12 个月高达 80%。

排气中 SO_2 的含量与燃料中的含硫量有关。一般来说，柴油机比汽油机中的 SO_2 要多些。 SO_2 对汽车发动机使用催化净化装置有破坏作用，即使少量的 SO_2 堆积在催化剂的表面，也会降低催化剂的使用寿命。同时， SO_2 是生成柴油机排气微粒的原因之一。

中国环境科学研究院曾对北京市崇文门交通路口大气颗粒物进行了采集和分析，发现环境中的非常规排放物含量非常高，可使人的致癌概率成倍增长，而且主要是来源于汽车尾气排放。特别是一些细小、可吸入颗粒的污染物可长期悬浮在半空中，对幼儿和中小学生等身高高度的人群影响最大。

目前我国还没有针对汽车尾气非常规排放物的法规，同时人们也没有对此引起足够的重视。但随着汽车保有量的增加，环境质量的日趋恶劣，以及近 10 多年来癌症发病率急速上升，

非常规污染物的排放应该引起人们的重视。

1.3.6 CO₂ 排放

CO₂ 是一种无色气体, 略带刺激性气味, 本身并没有毒性, 它的危害在于作为温室气体造成地球表面温度升高, 也就是所谓的温室效应。由于地球上森林资源日益减少, 而燃料燃烧后排入大气的 CO₂ 不断增加, 温室效应就越来越严重。在大气层中, CO₂ 气体像一层日益加厚的透明薄膜, 太阳光照射在地球表面的能量由于受到 CO₂ 层的阻隔难以逸出, 热量经多年积累将使全球气候变暖, 造成全球范围内气候反常变化, 破坏自然界的生态平衡。

有资料表明, 在全球 CO₂ 的排放中, 有 14% 来自于以内燃发动机为动力的交通工具。为了摆脱温室效应的严重后果, 世界各国正在开发各种高性能的汽车发动机, 以降低燃料消耗和 CO₂ 排放, 同时, 还在开发使用各种非化石燃料的动力装置, 如太阳能、氢燃料、核能等。

可以看出, 汽车排放造成的空气污染比例逐年加重, 在很多大城市, 它已经成为第一大空气污染源, 直接或间接地损害人们的健康, 破坏自然界的生态环境。

本章小结

汽车的加速增长给人们带来了诸多便利, 也给社会带来了环境问题。

我国城市空气质量总体良好, 但部分城市仍处在较重的污染水平, 北方城市比南方城市污染严重。

汽车尾气也已成为城市大气污染的主要因素。

排放的废气中含有 150~200 种不同的化合物, 其中对人危害最大的有 CO、HC、NO_x、微粒、非常规排放物与 CO₂ 等。

习 题

1-1 简答题

1. 为什么说汽车尾气排放是城市的主要污染源?
2. 我国主要城市排放污染状况如何?
3. 汽车排放污染物有哪些?
4. 汽车排放中的 CO 会对人体带来怎样的危害?
5. 什么是光化学烟雾?
6. 汽车排放中的光化学烟雾会对人体带来怎样的危害?
7. 汽车的非常规排放物有哪些, 有什么危害?
8. 为什么说 CO₂ 也是排放污染物?

1-2 案例分析

近年, 美国加利福尼亚州政府对各国车辆的 CO₂ 排放情况做了一个比较, 发现美国因为车辆的排量大仍居最高水平, 通用、福特和戴姆勒-克莱斯勒这三大品牌汽车在美国的 CO₂ 年排放量达到 2.3 亿吨, 超过美国最大的电力企业一年的 CO₂ 排放量。而加利福尼亚州一直



是提倡节能减排都先行一步的一个州，州有州的标准，特别在该州电动车辆应用比较多，所以排放 CO_2 相对低些。中国、澳大利亚和韩国则处在中等地位，而欧盟国家、日本就比较低，应当说是控制得很好的地区。

面临能源和环境的严峻形势，欧美日等汽车工业先进国家和地区结合自身的资源优势和传统技术优势领域，都在不断发展和提升传统汽油发动机、柴油发动机技术，尽最大可能降低汽车的 CO_2 排放量。长期以来，欧盟一直希望在 2012 年将乘用车的 CO_2 排放水平降低到 120g/km 。为此，早在 2007 年 2 月份，欧洲委员会就宣布计划针对 CO_2 的排放水平进行立法。在广泛征求了各方意见之后，2007 年 12 月，欧洲委员会提出了一个立法草案，要求每个汽车制造商从 2012 年开始必须达到 130g/km 的 CO_2 排放水平，而另外的 10g/km 将通过扩大生物油料的使用范围以及其他的技术进步来实现。图 1.3 所示为欧盟提出的 CO_2 减排规划方案。

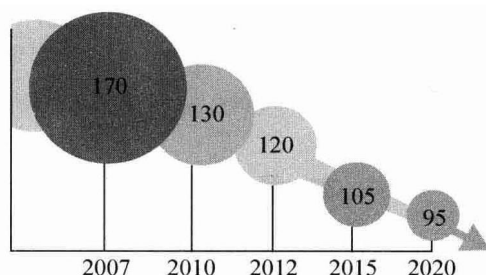


图 1.3 欧盟提出 CO_2 减排规划方案

最近，美国政府作出规划，到 2014 年轿车平均百公里油耗标准，要从目前的 8.2L 降到 6.6L，降低 20% 左右，这意味着美国汽车要大力向新能源和小型化方向发展。

试回答：

- (1) CO_2 排放有什么危害？
- (2) 控制车辆 CO_2 排放有什么措施？

第 2 章 汽车排放污染物的生成机理和影响因素

学习目标

理解汽油车排放污染物与柴油车排放污染物有何异同，理解汽车排放污染物的生成机理及其影响因素。

学习要求

本章中的知识要点能力目标如下。

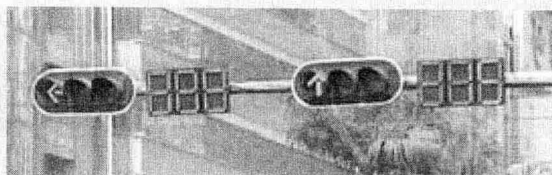
能力目标	知识要点	权重	自测分数
理解汽油车的排放污染物成分	汽油车排放污染物的生成机理	25%	
理解汽油车的排放污染物的影响因素	汽油车排放污染物的影响因素	25%	
理解柴油车的排放污染物成分	柴油车排放污染物的生成机理	25%	
理解柴油车的排放污染物的影响因素	柴油车排放污染物的影响因素	25%	

引 例

图中所示是在某城市上下班的高峰期，等待交通信号灯的车辆排起了长队。市环保局机动车尾气排放管理处曾对机动车尾气的进行 24h 测试。结果表明尾气浓度最高时间是上下班时间，地点是在高架入口和十字路口处。



为了减少排放，交警部门在十字路口把绿灯分为了直行和左转，从而将左转车辆的两次起动改变为一次起动，并且在路段设置倒计时装置。



试分析,汽车尾气排放为什么在上下班时间,在路口的地方排放浓度大?从发动机运转工况的角度分析,为什么两次起动改为一次起动能降低排放?

汽车排放对大气污染严重,其主要原因是与燃料的燃烧过程密切相关。目前汽车常用的燃料是汽油和柴油,属于石油制品,是多种烃的混合物,其主要化学成分为碳(C)和氢(H),具体的组成成分与原油产地还有关系。汽车排放除了和燃料在发动机中与空气的混合过程、燃烧过程及燃烧结束后在排气过程中的物理变化和化学反应有关外,还和燃油的蒸发等因素有关。

由于汽油机和柴油机的燃烧特点不同,因而它们污染物生成机理也不同。汽油为 $C_4 \sim C_{11}$ 的碳氢燃料,易挥发,化学稳定性好,着火温度高,不易自燃,是依靠点火使其燃烧的。因此,汽油机需要燃油和空气在外部形成比较均匀的混合气进入汽缸后,用火花塞点燃,形成火焰中心,化学反应加速,开始进行火焰传播,所以其燃烧方式为预混合燃烧。柴油机为 $C_{12} \sim C_{23}$ 的碳氢化合物,不易挥发,着火温度低,化学稳定性差,但易自燃。因此,柴油机靠压缩提高缸内混合气的温度,使其自燃。由于柴油机在极短的时间内靠高压将柴油喷入汽缸,经过喷雾、蒸发、混合过程形成非均质的可燃混合气,当压缩达到自燃温度就会有多处着火而燃烧,燃烧时,仍有燃料正在进行喷射、雾化、蒸发和混合,因此其燃烧方式为扩散燃烧。汽油机与柴油机排放污染物的比较见表 2-1。

表 2-1 汽油机与柴油机排放污染物的比较

成 分	汽油机	柴油机	成 分	汽油机	柴油机
CO/%	0.1~6	0.05~0.50	NO _x /10 ⁻⁶	2 000~4 000	700~2 000
HC/10 ⁻⁶	2 000	200~1 000	PM/(g/m ³)	0.005	0.15~0.30

由表 2-1 可见:汽油机污染物主要是 CO、HC 和 NO_x。柴油机污染物主要是微粒和 NO_x。

2.1 汽油车排放污染物的形成机理及其影响因素

汽油中一般烷族烃约占 45%~60%,芳香族烃约占 30%~35%,烯族烃约占 5%~10%。其组成元素按质量百分比,碳(C)元素约占 85.5%,氢(H)元素约占 14.5%。传统的汽油机压缩比在 7~10 之间,燃烧过程依靠火花塞点燃汽油与空气的混合气。汽油机燃烧必须具备两个条件:一是空气和燃料的混合气成分(空燃比)应处在可燃界限内(一般在 10~19 之间);二是火花塞应具有足够的点火能量(最小点火能量 40~120mJ)才能可靠地点燃混合气。汽油的理论空燃比为 14.7,一般最经济混合气的空燃比在 15.4~16.2,最大功率空燃比为 12.5~14。汽油机排放污染物与过量空气系数 ϕ_a 的变化关系如图 2.1 所示。

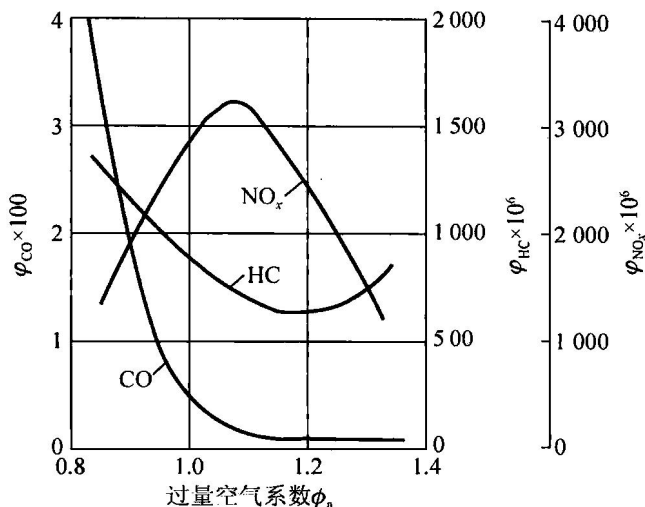


图 2.1 汽油机排放污染物与过量空气系数 ϕ_a 的变化关系

较浓的混合气($\phi_a < 1$)由于燃烧不完全,排放的 CO 与 HC(碳氢化合物)浓度较高,在 $\phi_a = 1$ 附近,CO 与 HC 排放浓度下降,在 $\phi_a = 1.1 \sim 1.25$ 范围内 HC 最少。 NO_x 在稍稀处排放浓度最高。过稀或过浓混合气工作时 NO_x 都急剧下降。过分稀时还会出现失火,导致 HC 排放增加。

2.1.1 汽油机排放污染物的形成机理

1. CO 的生成机理

CO 的生成主要是和混合气的混合质量及其浓度有关。燃料燃烧时不可能全部生成 CO_2 , 会由于下列原因产生部分 CO。

- (1) 燃料不完全燃烧。
- (2) 混合气混合不均匀。
- (3) CO_2 和 H_2O 在高温时裂解。

CO 是碳氢化合物燃料在燃烧过程中生成的主要中间产物。控制 CO 排放量的主要因素是可燃混合气的过量空气系数 ϕ_a 。当空气不足即 $\phi_a < 1$ 时,燃料燃烧生成大量 CO。

在传统的汽油机(化油器式)中,可燃混合气基本上是均匀的。在这种情况下,其 CO 排放量几乎完全取决于混合气的空燃比 α , 或过量空气系数 ϕ_a 。

图 2.2 表示 11 种不同 H/C 比的燃料在传统的汽油机中燃烧后,排气中的 CO 摩尔分数 x_{CO} 随 α 或 ϕ_a 的变化关系。

图 2.2(a)表示 x_{CO} 与 α 的关系。对于不同燃料,由于 H/C 比不同而互不重合。但如把空燃比 α 换成过量空气系数 ϕ_a , 则不同燃料的关系相当精确地落在一条线上(图 2.2(b))。由此图可见,在浓混合气中($\phi_a < 1$), x_{CO} 随 ϕ_a 的减小不断增加,这是因为缺氧引起不完全燃烧所致。作为一种粗略的估计,可以认为 ϕ_a 每减小 0.1, x_{CO} 增加 0.03。在稀混合气中($\phi_a > 1$), x_{CO} 都很小,只有在 $\phi_a = 1.0 \sim 1.1$ 时, x_{CO} 才随 ϕ_a 有较复杂的变化。