

汽车排气净化

秦文新 编著



机械工业出版社

汽车排气净化

秦文新 编著



机械工业出版社

本书系统地论述了汽车排气污染物的形成及净化措施。书中概述了汽车及发动机的总体构造和工作原理，系统地阐述了汽油车和柴油车的排气净化技术，在附录中介绍了国外汽车排放标准及试验测量方法。

本书可作为大专院校汽车、内燃机专业的教学用书，亦可供从事汽车、内燃机专业及环境保护工程方面有关的科技人员、管理人员参考。

汽车排气净化

秦文新 编著

责任编辑

封面设计



机械工业出版社出版 (北京阜成门外大街22号)
(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $8^{7/8}$ · 字数 193 千字
1988年5月北京第一版·1988年5月北京第一次印刷
印数 0,001—5,800 · 定价: 2.30元

ISBN 7-111-00567-8/X·2

前 言

由于汽车排气与大气污染关系日益密切，我国已于1982年开始执行汽车污染物排放标准。为此，汽车及内燃机工作者都需要掌握及了解汽车排气净化的原理及其净化措施，熟悉排气限制标准及测定技术。

本书于1980年编出后，主要作为高校汽车及内燃机专业学生用教材。这次出版，在章节上作了较大变动，同时对使用中所发现的不妥之处作了改正。由叶雷云编写第二章，以使本书不仅能供专业人员实用参考，也能满足初学者的要求。

本书在编写过程中曾得到清华大学程宏教授、长春汽车研究所陆坤元高级工程师的热情指导和帮助。几年来用过本书的北京工业大学、天津大学等校有关师生也提出了宝贵的意见，谨在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中谬误之处，热诚欢迎读者指正。

作 者

目 录

前 言

第一章 大气污染与汽车排气	1
1.1 公害的发展	1
1.2 汽车排放污染物种类	4
1.3 汽车排放污染物的形成及其危害	5
1.3.1 一氧化碳 (CO)	7
1.3.2 氮氧化物 (NO_x)	8
1.3.3 碳氢化合物 (HC)	9
1.3.4 光化学烟雾	10
1.3.5 硫氧化物 (主要 SO_2)	12
1.3.6 颗粒 (微粒)	12
1.3.7 臭气	15
第二章 汽车及发动机的总体构造和基本原理	16
2.1 汽车的构造	16
2.1.1 汽车类型及编号规则	16
2.1.2 汽车的总体构造	21
2.2 汽车发动机的构造	22
2.2.1 汽车发动机的总体构造	25
2.2.2 汽车发动机的燃烧室	33
2.3 汽车发动机工作原理	43
2.3.1 四冲程汽油机工作原理	44
2.3.2 四冲程柴油机工作原理	49
2.3.3 二冲程内燃机工作原理	52
2.3.4 多缸机的工作特点与点火顺序	55
2.4 发动机的性能指标与特性	57

2.4.1 发动机的动力性与经济性指标	58
2.4.2 发动机的特性	60
2.4.3 国产汽车发动机的主要性能指标	65
第三章 汽油车中有害排放物的生成及其影响因素	66
3.1 一氧化碳 (CO)	66
3.2 碳氢化合物 (HC)	70
3.3 氮氧化物 (NO _x)	75
第四章 低污染车用汽油机设计	84
4.1 概述	84
4.2 废气再循环 (EGR)	85
4.2.1 设计原则	85
4.2.2 EGR 系统的调节方法	89
4.2.3 使用实例	90
4.3 燃烧系的设计	92
4.3.1 降低燃烧室的面积/容积比 (S/V)	92
4.3.2 降低压缩比 ε	94
4.3.3 缩小燃烧室的激冷区	94
4.3.4 涡流对排气成分的影响	95
4.4 改进点火系统	97
4.4.1 延迟点火时间对排放的影响	97
4.4.2 加大点火能量	101
4.5 燃料供给系的改进	102
4.5.1 进气自动调温装置	102
4.5.2 化油器的改进	103
4.5.3 配气相位的影响	107
4.6 汽油喷射	109
4.6.1 电子控制汽油喷射 (ECGI 或 EI)	110
4.6.2 机械控制汽油喷射	115
4.7 稀薄燃烧系统	120

4.7.1 本田 CVCC 发动机	122
4.7.2 丰田 TGP 燃烧系统	128
4.7.3 波尔舍 SKS 燃烧系统	132
4.7.4 大众 PCI 系统	135
4.7.5 福特 PROCO 发动机	135
第五章 汽油车机外净化措施及装置	137
5.1 燃料的处理	137
5.1.1 现用燃料	137
5.1.2 代用燃料	138
5.2 后处理装置	140
5.2.1 二次空气喷射	140
5.2.2 热反应器	140
5.2.3 再次燃烧法 (后燃法)	142
5.2.4 催化反应器	142
5.3 防止汽油蒸汽措施	149
5.3.1 曲轴箱强制通风系统	150
5.3.2 防止汽油蒸汽进入大气装置	152
5.4 汽车排气净化装置实例	155
5.4.1 CA-770J 低污染红旗轿车净化措施及效果	155
5.4.2 日产防污染装置车 (NAPS-EGI)	157
5.4.3 丰田综合净化装置车 (TTC-C)	161
第六章 柴油车排烟净化	165
6.1 排气烟度标准	165
6.1.1 各国标准	165
6.1.2 国内标准	169
6.2 排烟的种类及生成	169
6.2.1 白烟	170
6.2.2 蓝烟 (青烟)	170
6.2.3 黑烟	170

6.3 减小黑烟的措施	171
6.3.1 前处理(包括改变燃料性质及燃料添加剂等措 施)	171
6.3.2 改进发动机(机内净化)	174
6.3.3 后处理	176
第七章 柴油车排气净化	178
7.1 柴油车排气限制标准	178
7.1.1 各国排气标准	178
7.1.2 地下矿用柴油车的排气限制标准	179
7.2 直喷式柴油机中燃烧和排出物生成模型	180
7.2.1 涡流空气中的喷注分层模型	180
7.2.2 涡流空气中喷注燃烧和排出物生成模型	182
7.3 碳氢化合物 HC 的生成及其净化	185
7.3.1 HC 的生成	185
7.3.2 HC 的净化措施	186
7.4 一氧化碳 CO 的生成及其净化	190
7.4.1 CO 的生成	190
7.4.2 CO 的净化措施	191
7.5 氮氧化物 NO _x 的生成及其影响因素	192
7.5.1 NO _x 的生成	192
7.5.2 影响柴油机 NO _x 生成的因素	193
7.6 柴油机 NO _x 的净化措施	197
7.6.1 机内净化	197
7.6.2 燃料及空气预处理	208
7.6.3 柴油机排气后处理	213
附录 汽车排气法规及试验测量方法	217
一、国内汽车污染物排放标准和测量方法(GB3842~ 3847-83)	217
1.1 汽油车怠速污染物排放标准及测量方法(GB3842-83,	

GB3845—83)	217
1.2 柴油车自由加速烟度排放标准及测量方法 (GB3843—83, GB3846—83)	220
1.3 汽车柴油机全负荷烟度排放标准及测量方法 (GB3844—83, GB3847—83)	225
1.4 柴油机排气烟度及测定方法 (NJ263-82)	230
二、国外汽车排放标准及取样测量方法	235
2.1 轻型车排气限制标准	236
2.1.1 1975年前标准	236
2.1.2 1975年后标准	236
2.2 重型车排气限制标准	239
2.3 轻型车试验行驶规范	240
2.3.1 美国 LA-4 工况	240
2.3.2 日本 10 段 6 循环工况	242
2.3.3 日本 11 段 4 循环工况	243
2.3.4 欧洲 ECE 15 段 4 循环工况	244
2.4 重型车试验行驶规范 (见附表 6)	245
2.4.1 日本重型汽油车 6 工况 (见附表 7)	245
2.4.2 日本柴油车 6 工况 (见附表 8)	246
2.4.3 美国重型车用汽油机 9 工况 (见附表 9)	247
2.4.4 美国重型车用柴油机 13 工况 (见附表 10)	247
2.5 排气的取样和测量方法	247
2.5.1 CVS 定容取样法	248
2.5.2 全量取样法	254
2.5.3 直接取样法	255
三、汽车排气成分测量仪器	260
3.1 非扩散型红外分析仪 (NDIR)	261
3.2 氢火焰离子型分析仪 (FID)	263
3.3 化学发光法分析仪 (CLD)	265

3.4 烟度计	266
3.4.1 透光式烟度计.....	266
3.4.2 滤纸式烟度计.....	267
四、低公害车用术语的英文缩写.....	269

第一章 大气污染与汽车排气

1.1 公害的发展

自然界最基本的物质循环是水循环、碳循环、氧循环和氮循环。以氮循环为例，氮是构成有机体的主要元素。植物开始从土壤中摄取氮生成蛋白质，动物吃植物吸收蛋白质，动、植物死亡后，蛋白质又被微生物分解回到土壤，再被植物吸收。自然界的物质循环和生态平衡，体现了大自然的环境调节和自净能力。

由于人类活动造成对环境的污染和破坏，以及由此产生对人类及其所经营的农、林、牧、渔业等的危害和对自然界物质循环和生态平衡的不良影响，称做次生环境问题。其产生原因与工业化、城市化及巨型工程建设三者密切相关。

目前，大气污染、水污染及噪声已成为世界三大公害。尤其在工业化国家已发展成普遍性问题，引起人们对环境保护的重视。

大气污染主要来自燃料（煤、石油、天然气等）燃烧生成的烟气、工业生产和汽车、内燃机排放的废气。因此，大气污染与人类对能源的利用密切相关。随着工业发展和能源的变化，大气污染已相继经历了三个时期：一是煤炭烟气的污染时期；二是二氧化硫污染时期；第三时期就是所谓光化学烟雾的污染。

由于英国用煤早、耗量大、工厂集中，煤炭粉尘烟雾在1952年12月使伦敦连续4天烟雾笼罩，这就是煤烟污染最有

代表性的伦敦烟雾事件。

随着世界能源的变迁，进入60年代后，工业上石油的使用迅速超过了煤。石油灰份很少，但硫的含量相对增高，而且石油中90%以上的硫燃烧后都生成 SO_2 进入大气，形成二氧化硫污染时期。最有代表性的就是日本四日市，由于 SO_2 与有毒金属微粒混合吸入人肺，形成支气管哮喘，1961年四日市居民气喘病大发作，特称为“四日气喘病”。

60年代起，世界汽车保有量剧增，造成对大气的污染。其特点不仅是流动污染源、而且数量很大，在居民稠密处散发，常易造成局部地区的污染物浓度过高，危害人体。在某些国家，汽车排出的有害废气成了大气污染的主要根源，进入所谓“光化学烟雾”时期。最有代表性的就是美国洛杉矶光化学烟雾事件。据该市1968年调查，每天排入大气的9860吨污染物中有6782吨来自汽车，加上该处特殊的地理位置，使汽车排出的碳氢化合物 HC 及氮氧化物 NO_x 在阳光紫外线作用下，形成一种有毒的“光化学烟雾”，可使人呼吸困难、眼红、喉痛，造成中毒。日本东京也不止一次地发生过光化学烟雾中毒事件。

60年代末世界上大气污染最严重的国家是美国和日本。美国每年排放到大气的污染物约3.3~3.5亿吨，其中汽车排出的污染物为2亿吨，约占60%，有些地区达70%以上。日本东京汽车排放污染物所占比例见表1-1。

由美、日、西欧等国参加的世界环境卫生经济合作与发展组织国家在《关于自然环境恶化的令人不安的总结》中指出：“从1965年到1975年，对环境造成的损害是巨大的，为了减少大气污染所进行的努力，远未获得成果，罪魁祸首仍然是汽车交通”。

表1-1 日本东京排放污染物的比例

污 染 源	CO%	HC%	NO _x %	SO ₂ %
汽 车	99.7	98.0	36.0	1.0
飞 机	0.2	0.5	0.6	0
工 厂	0.1	2.0	63.5	99.0

世界不断发生公害事件迫使人们重视环境保护工作。为此，一些国家制订法令采取法律措施来控制大气污染。例如美国于1970年底制订大气清净法修正案〔所谓马斯基(Muskie)法〕，规定了严格的汽车排气限制标准。世界各国汽车排气限制标准见附录二。

我国是社会主义国家，保护人民健康是党和国家的一项重要政策。环境保护已作为实现四个现代化的一项条件而载入宪法。我国环境保护的基本方针是：“全面规划，合理布局，综合利用、化害为利，依靠群众大家动手，保护环境造福人民”。1979年公布的《中华人民共和国环境保护法》规定：“一切排烟装置、工业窑炉、机动车辆、船舶等都要采取有效的消烟除尘措施，有害气体的排放必须符合国家的规定”。

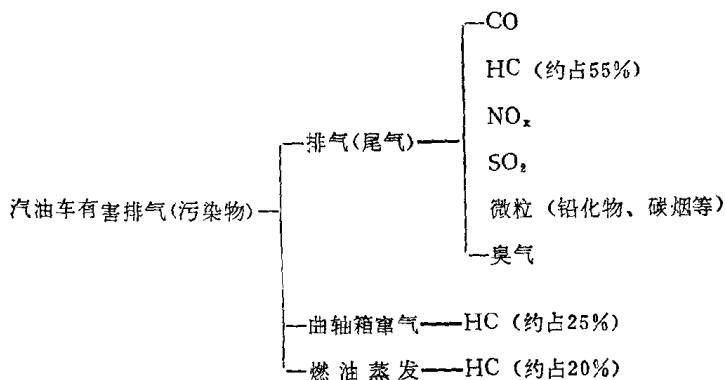
随着我国工业化的进展和交通现代化的发展，我们的环境也开始受到了不同程度的污染。目前，北京、上海等大城市已设立了大气检测站，在汽车比较集中的大城市及主要交通路口，检测到汽车排气对大气污染的影响已逐渐加大。现在，我国已制订出汽车污染物排放标准和测定方法（见附录一），并已于1983年开始实施。因此，汽车及内燃机工作者也要从思想上、技术上重视起来，按照四个现代化的目标，

在有关部门领导下积极行动起来，为“减少大气污染，保障人民健康”而作出贡献。

1.2 汽车排放污染物种类

汽车排放污染物主要由内燃机造成，汽油车的有害排气如表1-2所示。

表1-2 汽油车排污分类



内燃机排气包含着许多成分，随着内燃机种类及运转条件的改变而变化。排气中基本成分是二氧化碳 CO_2 ，水蒸气 H_2O ，过剩的氧 O_2 及存下的氮 N_2 等。它们是燃料和空气完全燃烧后的产物，与空气的组成基本相同，所不同的只是排气中 CO_2 和 H_2O 的含量较高而 O_2 的含量较低，从毒物学观点看，排气中基本成分是无害的。

排气中除基本成分外，还有不完全燃烧和燃烧反应的中间产物，包括一氧化碳 CO 、碳氢化合物 HC 、氮氧化物 NO_x 、二氧化硫 SO_2 、颗粒（铅化物、黑烟、油雾等）、臭气（甲醛、丙烯醛等）等。这些污染物质的总和，在柴油机中不到

废气总量的 1%，在汽油机中随不同工况变化较大，有时可达 5% 左右，它们中大部分是有毒的，或有强烈的刺激性、臭味和致癌作用，因此列为有害成分。

各种车用内燃机的排气有害成分比较见表 1-3。

表 1-3

排气有害成分		汽 油 机			柴 油 机
		四 冲 程	二 冲 程	转 子 机	
一氧化碳	CO	多	多	多	少
碳氢化合物	HC	中	多	多	少
氮氧化物	NO _x	多	少	少	中
二氧化硫	SO ₂	少	少	少	多
微 粒	铅化物 Pb	多	多	中	无
	碳 烟 C	少	少	少	多
	油 雾	少	多	中	少
臭 气		中	多	中	多

在有害成分中，CO、HC 及 NO_x 是造成大气污染的主要物质，目前汽车及内燃机净化措施主要就是研究如何降低这 3 种成分的含量。

1.3 汽车排放污染物的形成及其危害

大气污染对生物及人体的影响，情况是多种多样的。从卫生学观点考虑，不应从疾病而应从健康角度来观察环境污染的影响。

表 1-4 列举了美国有关部门按照世界卫生组织 (WHO)①

① World Health Organization 缩写。

表 1-4

有害成分	大气质量标准		允许汽车排气浓度 ^① (g/mile)	现有(未净化)汽车排气 (g/mile)	对现有汽车排气净化要求
	平均时间	允许浓度			
CO	8小时内	10mg/m ³ (9ppm) ^② (每年不超过一次)	6.16	80	92.5%
HC	8小时内	160μg/m ³ (0.24ppm) (每年不超过一次)	0.15	11	99%
NO _x	年平均 平均值	100μg/m ³ (0.05ppm)	0.38	4	93.6%
光氧化剂	1小时	160μg/m ³ (0.03ppm) (每年不超过一次)			
铅	3个月 平均值	2μg/m ³			

① 1g/mile = 1.609g/km。

② ppm——百万分之一容积浓度, 10000ppm = 1%。

提出的有关空气质量的指南，结合本国情况而研究制定的大气质量标准。表中同时列出为保护大气质量，对当时尚未采取净化对策的汽车排气净化的要求。

对大气污染的影响，决不是由于一种物质造成的，而应看作是各种污染物的综合结果。但是，对于汽车及内燃机排气的影响，到目前为止，人们还仅处于分别探索各种污染物的单独影响的阶段。

下面将对汽车及内燃机排气中主要有害成分加以讨论，至于综合影响，有待将来再深入研究。

1.3.1 一氧化碳 (CO)

CO 是燃料在空气不足情况下的燃烧产物，是汽车及内燃机排气中有害浓度最大的成分。一般来说，汽车在未采取净化措施前，CO 浓度为3~4%。国产车用汽油机怠速时 CO 可达4~6%。就地区大气污染来说，美国和日本大气中 CO，约95~99%来自汽车。

CO 是一种无色、无刺激的气体，通常认为 CO 是由于被人吸入体内才显示影响的。吸入的 CO 很容易和血红蛋白 Hb 及少量肌红蛋白结合并输送到体内。CO 急性中毒症状是由于阻碍血红素带氧，造成体内缺氧而引起的窒息状态。这种室内窒息状态一旦解除，症状也就随之消失。

关于有无 CO 慢性中毒症尚待研究。最近观察到，煤气配管工有记忆力减退症状，这说明确实存在着慢性中毒问题。从地区大气污染角度来考虑 CO 污染的时候，必须把24小时以内吸气中的 CO 浓度限制在5ppm 以下，大气中各种 CO 浓度的毒性如表1-5所示。由于 CO 在大气底层停留时间较长，其累积浓度常易超过允许值，因此要特别重视大气中 CO 的危害性。