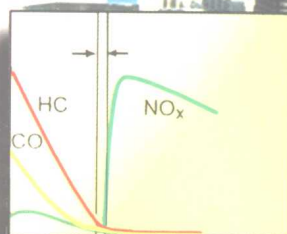
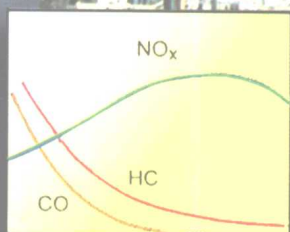


汽车排气污染治理及催化转化器
Motor Vehicle Emissions Control and Catalytic Converter
Motor Vehicle Emissions Control and Catalytic Converter
Motor Vehicle Emissions Control and Catalytic Converter



汽车排气

污染治理及催化转化器

Vehicle Emissions Control and Catalytic Converter

王建昕 傅立新 黎维彬 编著

化学工业出版社

34.201



本书出版由上海发展汽车工业教育基金会资助

汽车排气污染治理及催化转化器

Motor Vehicle Emissions Control and Catalytic Converter

王建昕 傅立新 黎维彬 编著

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

汽车排气污染治理及催化转化器/王建昕, 傅立新, 黎维彬
编著. —北京: 化学工业出版社, 2000.5

ISBN 7-5025-2754-0

I. 汽... II. ①王...②傅...③黎... III. ①汽车排气-
污染防治②汽车排气-催化-反应器 IV. X934.201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 00992 号

汽车排气污染治理及催化转化器

王建昕 傅立新 黎维彬 编著

责任编辑: 郎红旗

责任校对: 顾淑云

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市密云云浩印制厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 20¼ 字数 481 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

印数: 1—5000

ISBN 7-5025-2754-0/X·28

定价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

1876 年德国奥托(Nicholas otto)研制成功了世界上第一台四冲程火花点火式内燃机。戴姆勒-奔驰(Daimler-Benz)对此机进行了许多改进后,于 1886 年研制出世界上第一台车用内燃机。内燃机汽车经历了约 110 年的不断发展和改进,并在与电动汽车、蒸汽机汽车、燃气轮机汽车和斯特林机汽车等进行激烈的竞争中取胜,始终立于不败之地,内燃机至今仍是热效率最高、性能最好的发动机,在汽车领域一直保持着统治地位。内燃机的发展为汽车工业、石油工业和高速公路的现代化奠定了基础,也改变了能源生产和消耗的结构,极大地促进了现代工业的发展,使人类社会获得了空前的繁荣。

但是,内燃机汽车也有其本身的缺点,即其排气中的有害物质严重污染环境,对人类健康和植物生长构成威胁。对国内外大城市大气质量的测试结果表明,汽车尾气是大城市大气污染的主要污染源。为了解决这一全人类所关注的问题,发达国家早在 20 世纪 70 年代初就开始采取措施,对各类汽车制订了日益严格的排放法规,对主要有害排放物规定了严格的限制标准。为了满足这些排放法规及降低油耗的要求,各发达国家投入了大量人力物力,开展研究工作。以美国为例,从 20 世纪 70 年代开始,经过 20 年的艰苦努力,取得了突破性的进展,使汽车排放降低 90%以上,油耗率也降低了一半。内燃机在经过 100 多年的不断改进和发展后,现在又进入一个新的发展时期,虽然它已发展到相当完善的程度,但仍有相当大的改进余地,其性能、排放和油耗还可大幅度改善。有害排放是内燃机作为汽车动力的严重缺点,但近年来的研究工作表明,内燃机有可能成为零排放甚至负排放的汽车发动机。

至于内燃机汽车是否会在较短时期内被电动汽车或用其他动力装置的汽车所取代,这是一个国内外汽车界共同关注的问题。最近美国和其他国家汽车工业界和学术界有代表性的专家的意见是:在可以预见的将来,内燃机仍将是汽车的主流发动机(mainstream engine)。内燃机作为汽车动力的独特地位,在 21 世纪相当长的时间内仍将保持下去。

内燃机经过 100 多年的不断改进,不仅热效率保持最高,而且功率密度大,使用寿命长,工作可靠,操作方便,价格低廉,已经成为一种相当完善和成熟的产品。现代内燃机汽车可以说是集多种现代科学技术于一身的交通工具。上述这些优点不是其他动力装置在短时间所能超越的。燃料电池是新型动力装置中最有发展前景的,这一超时代的发明是美国科学家威廉-格洛夫(William Grove)于 1839 年提出的。它是不受卡诺循环热效率限制的理想动力能源。为了实现这一理想,人们已对此进行了很多研究开发工作,并已取得了很大进展,不仅在宇航和潜艇方面已得到应用,在汽车的应用也已进行了不少工作,但在比重量、比体积、可靠性、可控性、价格和寿命等方面还存在许多问题,在短期内仍难以与内燃机相竞争。因此,内燃机在 21 世纪的相当长的时间内,仍将在汽车动力中保持其主导地位。

鉴于上述情况,欧美发达国家及日本等都继续对内燃机汽车进行了更深层次的研究工作,投入巨大的人力物力,以进一步降低油耗和排放。例如,美国总统于 1993 年在过去 20 年所取得重大进展的基础上,又提出开展 PNGV 大型科研计划的工作,要求在 15 年内,在大幅降低污染并保持动力性能的同时,使汽车的油耗率降低到 1993 年指标的三分之一,即每加仑汽油的行驶里程由 1993 年的 27.5 英里提高到大约 80 英里。这一研究计划是美国继

“星球大战”计划后的最大计划。1994 年和 1995 年欧洲和日本也相继提出了相应的计划，目标是把每百公里油耗降低到 3 升。

相形之下，我国汽车排放状态还处于发达国家 20 世纪 70 年代初的水平。目前，在全世界 20 个大气质量最差的城市中，中国就占了 10 个。面对这种严峻形势，我国也应尽快采取有力措施，进行不懈的努力，早日解决好这一关系到国民经济持续发展和人类健康的重大问题。

在这种背景下，《汽车排气污染治理及催化转化器》一书的出版是很有意义的。本书主编王建昕博士，多年从事燃烧和排放控制方面的研究工作，颇有建树。这次他与傅立新博士和黎维彬博士合编此书，体现了这些年轻学者在科研工作中所取得的新成果与新经验。本书较全面地介绍了国外汽车排气污染治理的理论和技術，以及他们对国外最新资料的综合和分析。其中包括各种排气后处理技术及燃烧过程的控制，特别对催化转化技术进行了详细的论述。书中还以相当多的篇幅介绍了 21 世纪可能用于汽车的新能源和新型动力系统。此外，对汽车排放的管理对策也进行了详细的介绍，这对各级政府的管理和决策颇有参考价值。

本书取材新颖，内容丰富，实用性强，颇具特色，是一本很有参考价值的著作。相信它的出版将会对我国汽车排气污染治理和环境保护产生积极的影响。



中国科学院院士
2000 年 4 月

前 言

改革开放使中国融入了全球经济大循环,迅速发展的国民经济建设使中国的汽车工业日新月异,汽车保有量持续增长。与此同时,一些先进工业国家在其发展过程中曾遇到的大气污染问题已有在我国重演的趋势。以北京市的机动车污染治理为开端,以 2000 年全国范围内开始实施的相当于欧洲一阶段(Euro1)的汽车排放法规为标志,中国的汽车环保事业将翻开新的一页。

汽车排放治理工作是一项跨学科的系统工程,从政府的方针决策到具体的技术对策,涉及领域极广。本书的第一个特点是作者分别来自于环境科学与工程、汽车与内燃机工程、化学及催化剂等不同领域的教学科研第一线,他们试图将这些过去分别著书立说的汽车排放治理技术有机地融合在一起。本书的第二个特点是内容新颖。在写作过程中,作者不但参考了许多近 5 年中出版的国外有关书籍和近 10 年来的有关研究论文,而且参考了近 3 年来的许多国内外学术交流资料,还有一些已得到同行肯定的作者自己的最新研究成果。

本书由 11 章构成,分为汽车排放污染的宏观管理、评估及治理技术路线、有害污染物的生成机理及机内净化技术、三效催化转化器等机外净化技术三部分,介绍了降低汽车排放的理论和实用技术。1~4 章主要介绍了国内外汽车排放污染的现状、评估方法和治理技术路线,其中第 1 章重点介绍了机动车排放与城市空气污染的关系,第 2、3 章则宏观地介绍了国内外控制机动车排放的技术对策和管理体系,第 4 章以城市为对象,阐述了如何具体地实施机动车排放污染的综合控制措施。第 5 章和第 6 章主要介绍了有害污染物在发动机中的生成机理、测试方法,汽油机和柴油机的排放控制技术,高效低污染的新型动力系统和替代能源,其中包括电子控制燃油喷射、排气再循环、缸内直喷式稀燃汽油机、混合动力电动车以及二甲基醚燃料等关键技术和研究前沿。7~11 章集中介绍了催化转化器,特别是三效催化剂的结构和工作原理、制备方法、评价试验方法,催化转化器与发动机的匹配及优化设计、推广应用技术,催化剂回收再利用等汽油车排气后处理技术,同时也对微粒捕集器、 NO_x 还原催化剂、氧化催化剂等柴油车排气后处理技术作了介绍。

本书由清华大学汽车安全与节能国家重点实验室副主任王建昕博士担任主编。1~4 章由清华大学环境科学与工程学院傅立新博士编写;5、6、9、11 章由王建昕博士编写;7、8 章由清华大学环境科学与工程学院黎维彬博士编写;10 章由王建昕博士与黎维彬博士合写。

本书的出版得到了上海发展汽车工业教育基金会的支持和资助,在此表示感谢。同时也感谢中国科学院院士史绍熙先生对本书出版的莫大关怀和支持,并亲自为本书作序。在有关各方的鼎力协助下,我们得以赶在世纪之交完成本书的编写和出版工作,以期能为我国汽车工业的科技进步和汽车排放治理工作略尽微薄之力。

由于编著者水平所限,书中疏漏谬误之处在所难免,恳请读者和同行批评指正。

编著者

1999 年 12 月于清华园

内 容 提 要

本书围绕着汽车排放污染治理这一主题,从宏观汽车排放管理法规、污染评估及治理技术路线,有害污染物的生成机理及机内净化技术,三效催化转化器等排气后处理技术三个方面,介绍了降低汽车排放的理论和实用技术,以及国外一些很有应用前景的排放控制技术研究前沿。

书中综述了发达国家和地区对大城市机动车污染防治的管理对策和技术路线,结合我国典型城市的情况,对宏观管理和综合控制进行分析对比;从社会和经济的角度对不同治理技术,包括电子控制燃油喷射系统、三效催化转化器及其评价和匹配技术、催化剂的研制和试验室评价等排放治理中的重大问题和关键技术进行了详细论述;对缸内直喷式稀燃汽油机、柴油机微粒捕集器、混合动力电动车等国内外排放控制的最新技术进展也作了介绍。

本书所设想的读者是从事汽车排放治理的政府部门管理人员和工程技术人员,其中包括汽车和发动机研究、制造及维护、修理方面的技术人员,环境保护部门的管理和技术人员,从事催化转化器或催化剂研制开发及生产的有关人员。也可作为大专院校的汽车、内燃机以及环境保护等专业的参考书籍。

目 录

1 汽车排放污染与城市空气质量.....	1
1.1 城市大气污染源与危害.....	1
1.1.1 大气污染的起源.....	1
1.1.2 与机动车相关的空气污染物及其污染状况.....	2
1.1.3 空气质量标准、污染指数及污染警报.....	9
1.1.4 汽车排放污染物的危害.....	12
1.2 机动车排放对城市空气质量的影响.....	13
1.2.1 机动车保有量的发展.....	14
1.2.2 城市机动车污染物排放清单.....	16
1.2.3 机动车污染分担率.....	18
1.2.4 城市大气环境质量分析.....	19
1.3 机动车排放影响因素与排放因子.....	21
1.3.1 机动车排放影响因素.....	21
1.3.2 机动车排放因子的确定.....	22
1.3.3 不同技术条件下的机动车排放因子.....	27
1.4 城市机动车排放污染物的扩散.....	30
1.4.1 气象条件对扩散的影响.....	30
1.4.2 街道峡谷汽车污染扩散模式.....	33
1.4.3 公路线源汽车污染扩散模式简介.....	37
1.4.4 扩散模式的应用.....	39
参考文献.....	39
2 汽车排放污染控制技术对策.....	41
2.1 国外汽车排放标准和控制历程.....	41
2.1.1 机动车排放法规的演变.....	41
2.1.2 国外汽车排放法规和测试规程.....	42
2.2 控制汽车排放污染的技术手段.....	48
2.2.1 排放控制技术的发展.....	48
2.2.2 汽车发动机的类型.....	49
2.2.3 汽油车(点燃式发动机)排放控制技术.....	50
2.2.4 柴油车(压燃式发动机)排放控制技术.....	53
2.3 车用燃料技术.....	54
2.3.1 汽油无铅化进程.....	55

2.3.2	常规燃料技术	57
2.3.3	替代燃料	60
2.4	排放控制措施的成本和削减潜力	64
2.4.1	汽油轿车及轻型货车	64
2.4.2	重型汽油车	66
2.4.3	摩托车	66
2.4.4	柴油车	67
2.5	我国控制汽车排放的标准和技术政策	69
2.5.1	我国机动车排放控制状况	69
2.5.2	法规与标准	70
2.5.3	机动车排放污染防治技术政策	72
	参考文献	74
3	控制汽车排放污染的管理对策	76
3.1	新车排放控制管理体系	76
3.1.1	国外新车排放控制管理体系	76
3.1.2	国外新车排放控制的成功经验	80
3.1.3	我国新车排放控制管理现状	81
3.1.4	我国新车排放控制管理体系设想	82
3.2	在用车排放污染管理对策	84
3.2.1	国外在用车排放控制措施	84
3.2.2	我国在用车排放控制管理现状	88
3.2.3	我国在用车排放控制管理体系设想	89
3.3	汽车污染控制的综合管理措施	89
3.3.1	排放标准的变通办法	89
3.3.2	经济手段	90
3.3.3	交通管理措施	90
3.3.4	其他非技术对策	91
3.3.5	有关税收政策和城市交通管理的建议	92
	参考文献	93
4	城市汽车排放污染控制目标与综合治理	94
4.1	机动车排放发展趋势及控制目标	94
4.1.1	机动车排放污染趋势	94
4.1.2	机动车排放控制目标的建立	96
4.2	城市汽车排放污染的控制规划	97
4.2.1	新车排放控制方案的削减潜力	98
4.2.2	新车排放控制对策的费用效益分析	101
4.2.3	推荐的新车排放控制标准	104
4.3	城市汽车污染的综合治理	104

4.3.1	我国典型城市机动车运行、使用状况分析	104
4.3.2	我国部分城市新车排放控制管理现状与特点	105
4.3.3	完善在用车检查维护(I/M)制度	106
4.3.4	在用车的其他排放控制对策	108
4.4	世界典型城市汽车排放污染控制实例分析	113
4.4.1	曼谷的汽油无铅化进程	113
4.4.2	墨西哥城的综合控制方案	115
4.4.3	香港的综合治理措施	117
	参考文献	117
5	汽车排放污染物的生成机理及检测技术	119
5.1	发动机工作过程简述	119
5.1.1	发动机的构造及主要参数	119
5.1.2	四冲程汽油发动机工作过程	121
5.1.3	四冲程柴油机工作原理	122
5.1.4	二冲程发动机的工作过程	124
5.2	排气有害成分产生机理	125
5.2.1	氮氧化物(NO_x)	125
5.2.2	一氧化碳(CO)	126
5.2.3	碳氢化合物(HC)	127
5.2.4	微粒及碳烟	129
5.2.5	排放污染物的评定指标	132
5.3	影响排气污染物生成的主要因素	133
5.3.1	过量空气系数 ϕ_a 的影响	133
5.3.2	点火提前角的影响	135
5.3.3	运转工况的影响	136
5.3.4	发动机类型的影响	137
5.4	排气污染物的检测方法和试验设备	138
5.4.1	检测方法	138
5.4.2	排气污染物的取样系统	141
5.4.3	气体成分的分析	143
5.4.4	微粒及烟度测量	147
5.4.5	燃油蒸发污染物的测量方法	150
	参考文献	151
6	降低发动机排放污染的理论和应用技术	153
6.1	汽油机排气污染控制技术	153
6.1.1	电子控制燃油喷射系统	153
6.1.2	推迟点火提前角	161
6.1.3	废气再循环(EGR)	162

6.1.4	燃烧系统优化设计	163
6.1.5	点火能量和点火系统	165
6.1.6	可变进排气系统	165
6.2	稀薄燃烧及缸内直喷式汽油机	167
6.2.1	汽油机稀薄燃烧问题的提出	167
6.2.2	非直喷式稀薄燃烧方式	169
6.2.3	缸内直喷式稀薄燃烧方式	171
6.2.4	二冲程缸内直喷稀燃发动机	174
6.3	机外净化与非排气污染物控制	176
6.3.1	机外净化技术概述	176
6.3.2	非排气污染物及其净化技术	179
6.4	柴油发动机排气污染物控制技术	181
6.4.1	概述	182
6.4.2	推迟喷油提前角	184
6.4.3	EGR 的效果及控制	185
6.4.4	增压及增压中冷	187
6.4.5	改善喷油系统和喷油特性	188
6.4.6	改进燃烧方法和燃烧室	193
6.4.7	柴油机的预混合燃烧	199
6.5	新型动力系统及新能源	202
6.5.1	含氧燃料和二甲醚	203
6.5.2	生物燃料	206
6.5.3	氢燃料	206
6.5.4	太阳能汽车	208
6.5.5	电动车和混合动力车	209
6.5.6	可变排量发动机	212
6.5.7	高效低污染汽车动力系统实现的可能性	212
	参考文献	214
7	催化转化器的工作原理及物化特性	215
7.1	催化技术的基本原理和概念	215
7.1.1	催化反应的过程及扩散的影响因素	215
7.1.2	吸附过程及相关概念	216
7.1.3	两个重要的表面催化反应机理	218
7.1.4	催化作用的本质	218
7.1.5	工业催化剂的性能要求	219
7.2	催化转化器概述	220
7.2.1	催化转化器的结构	220
7.2.2	汽车尾气催化转化器的发展历程及分类	222

7.3 催化转化器中催化剂的化学组成	223
7.3.1 贵金属在催化剂中的作用	223
7.3.2 稀土元素在催化剂中的作用	225
7.3.3 替代贵金属催化剂的研究	230
7.4 催化剂载体	233
7.4.1 氧化铝的通性	233
7.4.2 粒状氧化铝	234
7.4.3 整体式催化剂载体	234
7.5 催化转化器中催化剂的作用机理	236
7.6 三效催化剂的劣化机理	239
7.6.1 热失活	239
7.6.2 化学中毒	240
7.7 稀薄燃烧型催化剂	242
7.8 代用燃料汽车催化剂	245
7.9 前景和展望	245
参考文献	246
8 催化剂的研制及实验室评价方法	248
8.1 固体催化剂的主要制备方法	248
8.1.1 浸渍法	248
8.1.2 沉淀法	249
8.2 汽车催化剂的特点和基本设计要求	250
8.3 催化剂的实验室评价方法	253
8.3.1 固定床积分反应器	253
8.3.2 脉冲火焰反应器	255
8.3.3 反应气氛动态变化反应器	255
8.4 车用催化剂的设计实例	256
8.4.1 催化剂研制的一般工作方法	256
8.4.2 催化剂研究开发的实例	258
8.4.3 影响控制排放的因素	259
参考文献	260
9 催化转化器的评价试验和匹配技术	261
9.1 催化转化器的性能指标	261
9.1.1 转化效率	261
9.1.2 空燃比特性	261
9.1.3 起燃特性	263
9.1.4 空速特性	263
9.1.5 流动特性	264
9.1.6 催化剂的耐久性	265

9.2 催化转化器的性能评价试验	265
9.2.1 评价试验体系	265
9.2.2 催化剂性能评价试验装置	267
9.2.3 老化试验方法	269
9.2.4 催化剂活性评价试验方法	272
9.2.5 活性和寿命评价试验结果分析	273
9.2.6 机械性能试验方法	275
9.3 催化转化器的匹配	276
9.3.1 催化器性能与电控喷油系统的匹配	276
9.3.2 催化器的冷起动特性	281
9.3.3 催化器与排气系统的匹配	286
9.3.4 催化器的流动特性优化	287
参考文献	291
10 柴油机排气后处理技术	293
10.1 氧化催化转化器	293
10.2 微粒捕集器	295
10.2.1 微粒捕集器的过滤材料	295
10.2.2 微粒捕集器的再生	297
10.2.3 微粒捕集器的失活	300
10.3 柴油机 NO _x 还原催化转化器	301
10.3.1 选择性催化还原法(SCR)	302
10.3.2 选择性非催化还原(SNCR)	303
10.3.3 四效催化转化器	304
参考文献	306
11 催化转化器实用技术	307
11.1 在用车的催化转化器应用技术	307
11.1.1 现状评估和项目规划	307
11.1.2 针对不同车型的具体改造技术方案	308
11.1.3 在用车改造实例	310
11.2 催化转化器的故障诊断及正确使用	310
11.2.1 催化转化器的故障诊断方法	311
11.2.2 催化转化器的正确使用方法	312
11.3 催化器的报废及回收利用	313
11.3.1 贵金属资源的供求现状	313
11.3.2 催化剂的回收利用	314
参考文献	315
附录 书中用到的主要缩略语一览	316

1 汽车排放污染与城市空气质量

随着我国城市空气污染问题的日益突出,汽车排放污染正越来越受到人们的关注。本章首先介绍了世界各国城市空气污染的总体概况,汽车排放对城市空气污染问题的影响,以及这些空气污染物对人们健康的危害。然后从机动车污染物的排放量和分担率计算入手,阐述了定量分析汽车排放对城市空气质量宏观影响的方法。第三部分重点从技术上分析了影响机动车排放因子的主要因素和计算机动车污染物排放因子的模式方法。最后对汽车排放污染物在城市街道的扩散和空气质量模拟进行了理论介绍。利用这些模式方法,可以定量地实现机动车的源排放计算并与周围地区的环境质量影响相关联,从而为机动车污染评价和控制决策提供整套技术路线和方法。

1.1 城市大气污染来源与危害

1.1.1 大气污染的起源

呼吸清洁空气是每个人与生俱来的权利。但是,在近 100 多年的世界历史中,空气污染对人类健康和地球生态环境已造成了很大的威胁。19 世纪开始的工业革命,既创造了人类历史上前所未有的物质财富,同时也带来了严重的环境污染灾害。世界上许多城市都曾出现过很严重的空气污染事件。

例如,1930 年 12 月,比利时的 Mense 市出现由 SO_2 污染为主因引起的 3 天大雾;1948 年美国宾夕法尼亚州出现以 SO_2 为主的大雾;1952 年 12 月,英国伦敦出现煤烟型大雾,污染物主要是 SO_2 和 TSP(总悬浮颗粒物),持续时间长达 5 天,致死 4000 多人。这些污染事故都是由于煤的燃烧过程引起的空气污染,常称为煤烟型污染。1943 年,美国洛杉矶又出现了另一种形式的空气污染,主要是由于汽车排放污染物中的 NO_x 和 HC(碳氢化合物),在夏天强烈的阳光照射下经过一系列大气化学反应而形成的二次污染,通常称为光化学烟雾。这一类型的污染后来相继出现在世界上许多其他大型城市。

化石燃料(主要是煤和石油)的大量使用以及工业生产过程,是造成大气污染的主要原因。例如煤在燃烧过程中排放的 SO_2 和 NO_x 是形成酸雨的两种最主要的气体污染物;垃圾焚烧产生的二噁英(dioxins)等一些有毒有害污染物,在很低浓度时就会危及人类健康和生态环境。

大气污染一般可分为 3 种类型:

① 局地污染——出现在一个城市或更小区域范围的空气污染,如北京、广州、沈阳等城市的空气污染,其距离尺度一般小于 100km;

② 区域性污染——范围在 500km 以上的地区出现的空气污染,以及这些污染物的跨国输送,最典型的是酸雨问题,如北美、欧洲、中国西南 3 大酸雨区;

③ 全球性污染——污染范围为数千公里以上的大气环境问题,如温室气体排放引起的全球气候变化(主要成分是 CO_2 , CH_4 等),以及空调制冷剂和有机溶剂在使用中排放的氯氟烃(CFCs)类物质对地球平流层臭氧的破坏等。

由于大气污染事件的相继出现,导致了公众和各国政府对空气污染的认识和重视。例

如, 1956 年英国通过了《清洁空气法》, 其主要内容是针对煤烟型污染的控制。经过 20 多年的努力, 绝大多数发达国家都已在 80 年代基本解决了城市煤烟型空气污染问题。

但与此同时, 另一类型的污染——机动车排放造成的空气污染却在许多城市逐渐加剧。很多国家一开始并没有清醒地认识到这一问题, 如英国就在 1979 年解散了清洁空气委员会, 当时政府对治理煤烟型污染取得的成绩沾沾自喜, 交通部门甚至公开申明没有证据足以说明机动车排放的空气污染对公众健康有任何不利影响。不过后来的证据表明, 80 年代在欧洲的许多大城市, 交通源的排放已经成为城市空气污染的主要来源。在美国, 这一问题暴露得远比欧洲突出。由于洛杉矶很早就出现了严重的光化学烟雾事件, 而且科学家经过十几年的研究, 也已证明光化学烟雾主要是由机动车排放的 NO_x 和 HC 化合物, 在大气中经过一系列光化学反应生成的臭氧等多种氧化性很强的物质所造成, 因此, 1968 年美国国会通过了《清洁空气法》修正案, 主要内容是增加了对汽车排放污染物的控制要求。随后的 20 多年, 日本和欧洲也逐渐加强了对汽车排放污染的控制。

1.1.2 与机动车相关的空气污染物及其污染状况

通常, 造成城市空气污染问题的主要污染物有: 总悬浮颗粒(TSP), 二氧化硫, 氮氧化物, 臭氧, 一氧化碳, 重金属如铅、镉等, 有机污染物如苯、苯并[a]芘(B[a]P)等, 以及氟化物等。而直接由汽车排放的污染物以及与交通源相关的主要污染物有: 一氧化碳, 氮氧化物(NO , NO_2), 碳氢化合物(包括苯、苯并[a]芘等), 铅, 细微颗粒物, 二氧化硫, 二氧化碳, 氧化亚氮(N_2O), 以及臭氧等。

1982 年, 我国第一次颁布了《大气污染防治法》, 内容总体上比较原则和笼统。后来在 1987 年、1995 年又分别进行了修改, 主要是加强了对煤烟型污染的控制力度。最近, 大气污染防治法又在进行修订, 拟增强对机动车排放污染的控制力度。虽然我国政府较早就比较重视对大气污染的防治, 但由于缺乏操作性强的实施细则, 以及受到经济水平和环境意识的制约, 空气污染状况还是在逐年积累和恶化。近两年来, 北京市的空气污染程度已经相当严重, 加之新闻媒体对空气污染指数的公开报道, 使得公众环境意识有了明显提高。北京市的大气污染属于煤烟与机动车混合型, 这与发达国家历史上曾出现过的空气污染的特点是不同的。

1.1.2.1 悬浮颗粒物

悬浮颗粒物是来自多种排放源的有机和无机物质的复杂混合物, 通常可以分为粗颗粒(颗粒直径大于 $2.5\mu\text{m}$)和细颗粒(粒径小于 $2.5\mu\text{m}$)两大类。细颗粒包括硫酸盐和硝酸盐粒子(由其气体氧化物转化而成), 以及燃烧产生的黑烟; 粗颗粒通常包含土壤碎粒和道路及工业扬尘。

由于颗粒物的组成非常复杂, 其表述和测量方法也多种多样。有时根据所用测量技术的不同分为总悬浮颗粒和黑烟, 有时也根据颗粒的尺寸来分类, 按其粒径大小通常分为 PM_{10} (粒径小于 $10\mu\text{m}$)和 $\text{PM}_{2.5}$ (粒径小于 $2.5\mu\text{m}$)等。称重法测得的颗粒物通常叫做总悬浮颗粒(TSP), 它比滤纸烟度法测得的黑烟浓度在数值上通常要大, 因为称重法可以检测烟度法测不出来的一些粒子, 如硫酸盐颗粒等。

用滤纸烟度法测量的结果可以用标准标定曲线转化成质量浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 但很多标准曲线是 60 年代制作的, 已经不太适合现在的情况, 而称重法则可以避免这一矛盾, 因而应用更广泛。不过, 按称重法测得的总悬浮颗粒中主要是大粒径的粒子, 由于它们不能被吸入人的肺部, 因而与健康影响没有直接关系。比较好的表达指标是 PM_{10} , 最好是 $\text{PM}_{2.5}$, 其浓度

与健康影响具有最好的关联性。

由于任何一个地点的悬浮颗粒物都具有不同的物理化学特征，因而滤纸烟度法的测量结果与称重法的结果没有很好的对应关系，两种方法所测得的颗粒物范围是不同的。在欧洲的农村地区，黑烟浓度一般在 $0\sim 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 范围，大城市的年均浓度则为 $10\sim 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。如果用称重法，则城市地区颗粒物年均浓度在 $50\sim 150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 范围。一些悬浮颗粒物浓度较高的发达国家城市见表 1-1。

表 1-1 一些发达国家城市的悬浮颗粒物年均浓度/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$

城 市	雅 典	里斯本	柏 林	汉密尔顿	芝加哥	里约热内卢
年均浓度	>200*	120*	104~116	>90	100	100~120
测定年份	1986 年	1986~1997	1986~1997	4 年日均值	4 年平均	4 年平均

注：带*者为滤纸烟度法测定的结果，其余为称重法的结果。

煤的燃烧曾经是英国颗粒物污染的主要来源，70 年代末约占总排放量的 70%。从 60 年代开始，通过鼓励清洁能源的使用，实施无烟区等措施，燃煤产生的烟尘已经削减了 90%。现在，柴油车排放已经成为颗粒物的主要来源，占英国全国黑烟排放量的 39%，而在一些城市区域其分担率则高达 90%。

世界上最清洁的 10 个城市中，9 个位于发达国家，而污染最严重的 10 个城市除墨西哥城外，都在亚洲的发展中国家。一方面是由于这些城市的扬尘等自然产生源较多，另一方面则反映了发展中国家对颗粒物的排放控制水平较低。

我国城市颗粒物污染普遍严重，燃煤排放是其主要来源。北方城市比南方城市相对严重，一年中又以冬、春两季污染浓度最高。1995 年北京和广州市区颗粒物浓度分别为 $377\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $295\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，已经超过国家二级标准。考虑到我国现行的颗粒物控制标准较松，如果以世界卫生组织(WHO) $60\sim 90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准来衡量，两城市分别超标 3~5 倍。1997 年全国环境质量统计表明，总悬浮颗粒物是我国城市空气中污染最严重、影响范围最广的污染物。表 1-2 为近年我国 93 个城市的颗粒物污染年均浓度统计情况。

表 1-2 我国城市总悬浮颗粒物年均浓度统计结果

年 度	>500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的城市名称	>300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的城市比例/%	>200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的城市比例/%
1997	兰州、安阳、吉林、大同、延安、太原	41. 9	72. 0
1996	吉林、万县、兰州、怀化、安阳、大同、焦作、延安、西宁、太原	46. 6	75. 0
1995	兰州、吉林、太原、焦作、万县、乌鲁木齐、宜昌、汉中、安阳	52. 6	79. 5

1997 年度全国城市悬浮颗粒物的浓度年均值在 $32\sim 741\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的范围，全国平均浓度为 $291\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比前两年有所降低，其中 47 个北方城市平均浓度为 $381\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，46 个南方城市平均浓度为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。年均值低于 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ (国家二级空气质量标准)的城市为 26 个，其中北方城市只有 3 个。

我国城市颗粒物浓度日均值超标率见表 1-3。

表 1-3 我国城市总悬浮颗粒物日均值超标率

年 度	统计城市总数	超标城市比例/%					超标率大于 80%的城市名称
		超标率范围					
		零	小于 30%	30%~50%	50%~80%	大于 80%	
1997	93	4.3	41.9	19.4	23.7	10.8	太原、兰州、焦作、安阳、郑州、银川、延安、七台河、包头、平顶山
1996	88	4.55	34.09	29.54	22.73	9.09	焦作、安阳、延安、太原、万县、兰州、乌鲁木齐、包头
1995	87	4.60	31.03	25.29	31.03	8.05	太原、吉林、焦作、宜昌、延安、兰州、乌鲁木齐

1.1.2.2 氮氧化物

氮氧化物通常是 NO_2 和 NO 的统称，通常可概括表示为 NO_x 。它们主要是在高温燃烧过程中由空气中的氧和氮化合而成，燃料中含氮化合物也会部分形成氮氧化物排放。汽车尾气中直接排放的氮氧化物基本上是 NO ，之后在大气中被氧化为 NO_2 ，这一过程一般需要几个小时，但当空气中有强氧化剂如臭氧等存在时，氧化过程会变得很迅速。 NO 本身是无害的，而 NO_2 是一种刺激性很强的污染物。

城市区域的 NO_2 年均浓度一般在 $20\sim 90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的范围，例如伦敦的道路边监测站近年的监测数据都在 $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，而离道路较远距离的监测站，浓度在 $45\sim 65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。洛杉矶的 15 个监测站年均 NO_2 浓度在 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。高浓度的 NO_2 一般出现在早上和下午的上下班高峰时段，如在伦敦中心区的道路边， NO_2 最大小时浓度超过 $600\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而记录中的最大小时浓度曾高达 $3000\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1982 年)。阿姆斯特丹、布鲁塞尔、慕尼黑等城市的最大小时浓度都曾超过 $700\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。数据表明，伦敦地区的 NO_2 年均浓度 80 年代在逐年增加，1980 到 1985 年间，年均值增加了将近 1/4。

我国氮氧化物污染问题近年来在一些大城市相对突出，但全国总体平均浓度水平尚不高。1997 年度我国部分城市氮氧化物浓度的统计结果见表 1-4，其年均值在 $4\sim 140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间，平均结果为 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 1-4 我国城市氮氧化物浓度年均值统计(1997 年)

城 市	浓度/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	城 市	浓度/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$
北京	133	广州	140
济南	82	上海	105
乌鲁木齐	78	武汉	84
郑州	75	沈阳	73
重庆	67	杭州	66
兰州	65	深圳	60
青岛	64	南京	51
成都	50	太原	57
西安	54	长春	53
福州	43	大连	53
呼和浩特	52	天津	49
昆明	39	石家庄	48
长沙	39	贵阳	37
银川	44	哈尔滨	43
南昌	32	西宁	37
桂林	21	拉萨	18
海口	13	厦门	26
个旧	15	嘉峪关	20