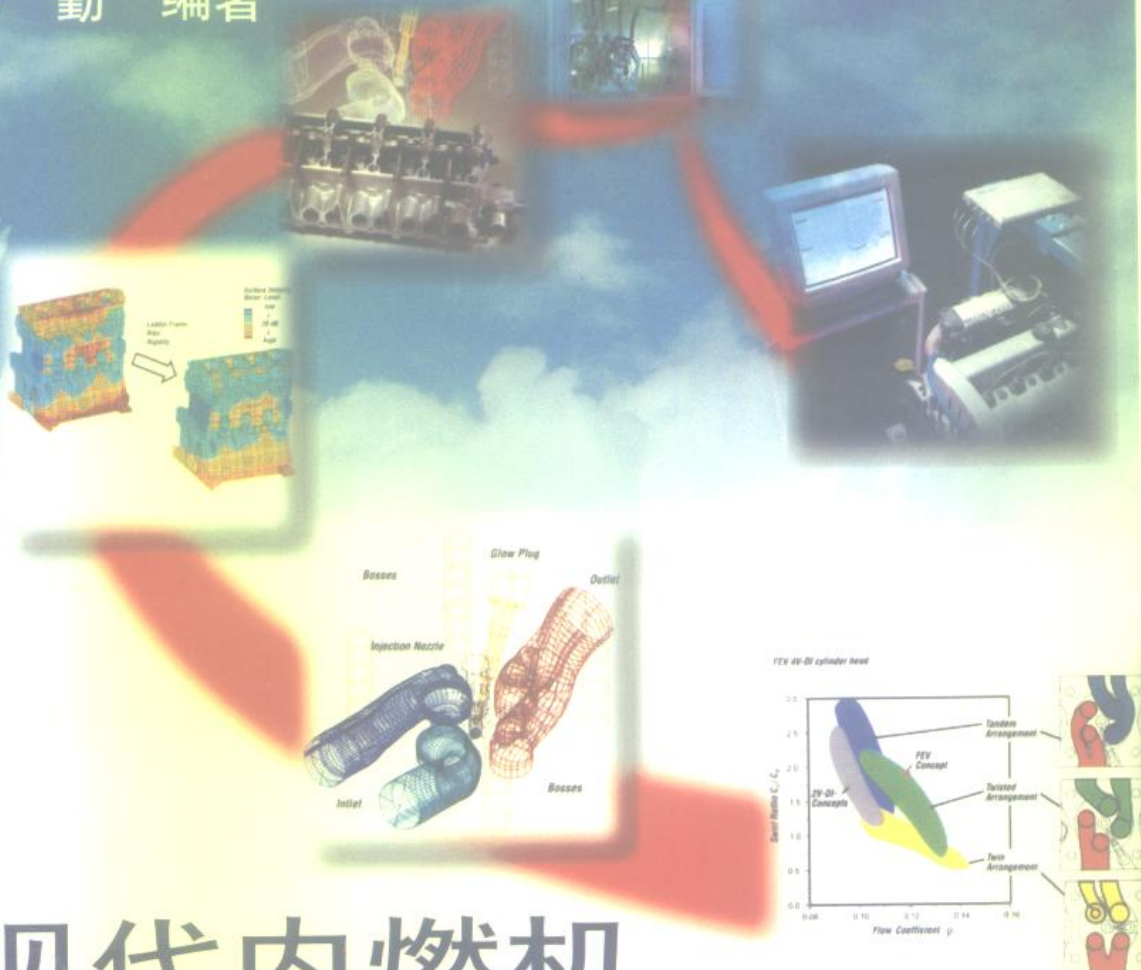


李 勤 编著

现代内燃机 排气污染物的 测量与控制

机械工业出版社

FEV
motorentechnik



现代内燃机排气污染物的 测量与控制

李 勤 编著
刘巽俊 审



机 械 工 业 出 版 社

本书介绍了德、美等西方工业发达国家有关内燃机排气污染物的测量与控制问题。主要包括：内燃机排气污染物的形成和危害，欧美排放法规，排气测试技术，内燃机新技术，排气后处理技术以及清洁燃料和代用燃料的新发展等。

书中较系统地介绍了直喷式汽油机、电磁控制气门汽油机、共轨柴油机、燃料电池、三效排气催化转换器、滤烟器和降氮氧化物催化器等内燃机和能源技术的前沿课题。

本书所介绍的排放测试技术，是从排放法规的要求出发，以实践经验为背景，对常见测试误差进行了分析，并介绍了许多行之有效的检验技巧，为排放测试人员所必备知识。

本书的读者对象为汽车内燃机和零配件工业的工程技术人员、环保部门的有关人员以及大专院校汽车和内燃机专业的师生。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代内燃机排气污染物的测量与控制/李勤编著. —北京: 机械工业出版社, 1998, 12

ISBN 7-111-06641-3

I. 现… II. 李… III. ①内燃机-排气-测量②内燃机-排气-污染防治 IV. X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 20596 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 崔世荣 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚 毅 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/16 · 10.75 印张 · 256 千字

0 001—3 000 册

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

内燃机排气污染物测量的实践经验和内燃机新技术（包括代用燃料）的系统介绍是本书的两大特点。

第 1、2 章介绍了内燃机所面临的排放问题。

第 3 章介绍了欧美排放法规注重的背景材料。

第 4、5 章介绍了笔者早年开发内燃机排放测试系统的实践经验。尽管现在的仪器先进了很多，但测试原理和误差原因依旧，读者不要轻易掠过。并就各种标准对测试技术和条件的要求也作了简要的介绍，以方便读者的实际使用。

第 6、7 章分别介绍了汽油机和柴油机降低污染物排放的新技术。

第 8 章介绍了内燃机排气后处理技术。

第 9 章介绍了燃油特性和代用燃料以及新型动力机械，例如燃料电池的应用前景等。

笔者在德国开始求学时，苦于内燃机知识基础较差，不能大胆提问，因而失去了很多向专家求教的机会。在国际交流日益广泛的今天，希望本书有助于国内同行减少此类遗憾。

在本书的成书过程中，得到了以下各公司和个人的支持，笔者深表谢意：

F. Pischinger 教授所领导的德国 FEV 发动机技术公司和亚琛工业大学应用热力学研究所（LAT/RWTH Aachen）二十多年来在内燃机和相关测试技术上富有成就的研究和开发工作是本书的基础。

中国内燃机排放研究的前辈、吉林工业大学刘巽俊教授，虽与笔者素不相识，欣然接受本书的审稿工作，通读书稿两遍，在内容和用词上都提了很多宝贵的意见，保证了本书的质量，使笔者在学识上获益匪浅。

德国 FEV 发动机技术公司的 G. Lepperhoff 博士提供了他在亚琛工业大学的讲课教材，为本书第 4 章奠定了基础。

F. Pischinger 教授和他遍布德国工业界的学生对本书的支持和帮助，为本书的写成创造了极为有利的条件。

许多德国公司的同行也热情为本书提供资料和图样，特别需要一提的有：

阿拉尔（Aral）石油公司的 B. Nierhauve 博士；

福特（Ford）汽车公司的 R. Backes 工程师；A. Müschen 博士；

HJS 汽车技术公司的 G. Hühwohl 博士；

路博润（Lubrizol）公司的 C. Von Eberan-Eberhorst 博士；

奔驰（Mercedes-Benz）汽车公司的 S. Reichel 博士；J. Stein 博士；

皮尔堡（Pierburg）公司的 P. Klotzbach 博士；

西门子（Siemens）公司的 S. Schneider 博士；

费芭（Veba）石油公司的 P. Schug 博士。

李勤

1998 年夏至于北京

目 录

前言

1 引言	1
2 内燃机排气污染物的危害	3
2.1 内燃机排气污染物在大气中的 扩散及其影响	3
2.2 内燃机排气污染物对人体的 危害	6
3 汽车及内燃机的排放标准	8
3.1 轻型汽车排放标准	8
3.2 重型车用发动机排放标准	17
3.3 其它发动机排放标准	22
4 内燃机排气成分的测试	23
4.1 气样的制备	23
4.1.1 气样制备系统的主要部件	25
4.1.2 快速排气测量的气样制备	27
4.1.3 定容取样 (CVS) 系统	28
4.2 排气成分的分析方法	32
4.2.1 物理分析方法	32
4.2.2 化学分析方法	40
4.3 排气分析仪器的标定和取样 系统的校核	42
5 柴油机排气微粒的测量 和分析	44
5.1 排气微粒的定义和特性	44
5.2 排气微粒的质量测量	44
5.2.1 全流稀释风道测量系统	45
5.2.2 分流稀释风道测量系统	49
5.2.3 稳定工况下微粒浓度的 计算	51
5.2.4 稳定工况下稀释比的 计算	52
5.3 排气微粒成分的分析	54
5.3.1 微粒的热质分析	54
5.3.2 微粒中碳氢化合物的 分析	55

5.3.3 微粒中硫酸根的分析	55
5.4 排气微粒的快速测量方法	56
5.4.1 波许烟度计法	56
5.4.2 透光烟度计法	56
6 降低汽油机排气污染物排放 的措施	58
6.1 汽油机排气污染物的形成和 影响因素	58
6.1.1 汽油机排气污染物的形成	58
6.1.2 汽油机运转状态对排气污染 物形成的影响	62
6.2 汽油机工作过程和结构设计 对排气污染物排放的影响	63
6.2.1 汽油机混合气制备系统的 影响	64
6.2.2 汽油机点火系统的影响	67
6.2.3 汽油机结构参数的影响	69
6.2.4 现代汽油机新技术简介	72
7 降低柴油机排气污染物排放 的措施	89
7.1 柴油机排气污染物的形成和 影响因素	89
7.1.1 柴油机排气污染物的形成	89
7.1.2 柴油机运转状态对排气污染 物形成的影响	93
7.2 柴油机降低排气污染物排放的 措施	97
7.2.1 柴油机的燃烧方式	98
7.2.2 柴油机的燃油喷射系统	102
7.2.3 柴油机的气流组织和 多气门技术	111
7.2.4 柴油机的排气再循环	113
7.2.5 行程缸径比的影响	115
8 内燃机的排气后处理技术	116
8.1 汽油机的排气后处理技术	117

8.1.1	排气热反应器	117
8.1.2	汽油机排气催化转化器的 类型	117
8.1.3	三效催化转化器	119
8.1.4	NO _x 吸附催化转化器	124
8.1.5	提高冷起动时催化转化器 效率的措施	125
8.2	柴油机的排气后处理技术	128
8.2.1	柴油机排气微粒捕集器	128
8.2.2	柴油机排气氧化催化 转化器	133
8.2.3	柴油机排气选择还原 催化转化器	134
8.3	车载排放诊断系统	136
9	清洁燃料	140
9.1	燃料成分的基本特性和 对内燃机排放的影响	140

9.1.1	燃油成分的基本特性	140
9.1.2	燃料成分对内燃机排放的 影响	143
9.2	改善燃油品质的措施	146
9.2.1	改善汽油品质的措施	146
9.2.2	改善柴油品质的措施	148
9.3	代用燃料的应用现状和前景	150
9.3.1	植物燃料	150
9.3.2	天然气	151
9.3.3	醇类燃料	153
9.3.4	煤炭	154
9.3.5	氢	155
9.3.6	电能	155
9.3.7	燃料电池	156
9.3.8	代用燃料的评价	158
主要参考文献		160

1 引言

20 年来的改革开放,中国经济得到了飞速发展,交通运输量也迅速增加。1996 年的旅客周转总量是 1978 年的 5.25 倍,货物周转量是 1978 年的 3.7 倍,分别见图 1-1a、b。

为适应交通发展的需要,中国的汽车年产量从 1978 年的 14 万 9 千辆增加到 1997 年的 157 万 7 千多辆。增加了 9.6 倍,年增长率为 13%。其中,轿车年产量从 1978 年的 4 千多辆增加到 1997 年的 48 万 1 千多辆,增加了 115 倍,见图 1-2,年增长率高达 28%。1996 年底中国汽车总保有量超过了 1 千 1 百万辆,是 1978 年的 8 倍多见图 1-3。

尽管中国交通和汽车制造事业有了长足的发展,但是这个市场还远远没有饱和。因为中国目前汽车总保有量仅为只有 8 千多万人人口德国的汽车保有量的 1/4 左右。中国每人利用动力交通工具旅行的平均里程尚低于印度。随着经济的进一步发展,交通运输和汽车保有量必将继续高速增长。作为交通工具中最主要的动力——内燃机也将起到越来越重要的作用。但是内燃机的发展将对能源供应和环境污染造成极大的压力。

有人会说应限制汽车的发展,以保护环境。这只能是书生们一相情愿的空想。经济的发展必然会带来物流的增加和人们对自由行动的渴望。中国走私汽车现象屡禁不止,农用车产量逐年剧增,从另一个方面反应了发展中国汽车工业的必要性。限制汽车工业的发展,只能导致市场和就业机会的外流,或者由农用拖拉机来担当运输主力,这将对环境造成更为严重的污染。

作为务实的汽车和内燃机工程师,应正视内燃机的排放问题,吸收各工业国家的先进经验,为满足中国经济发展的需要和国民需求,提供合格的低排放的内燃机产品。

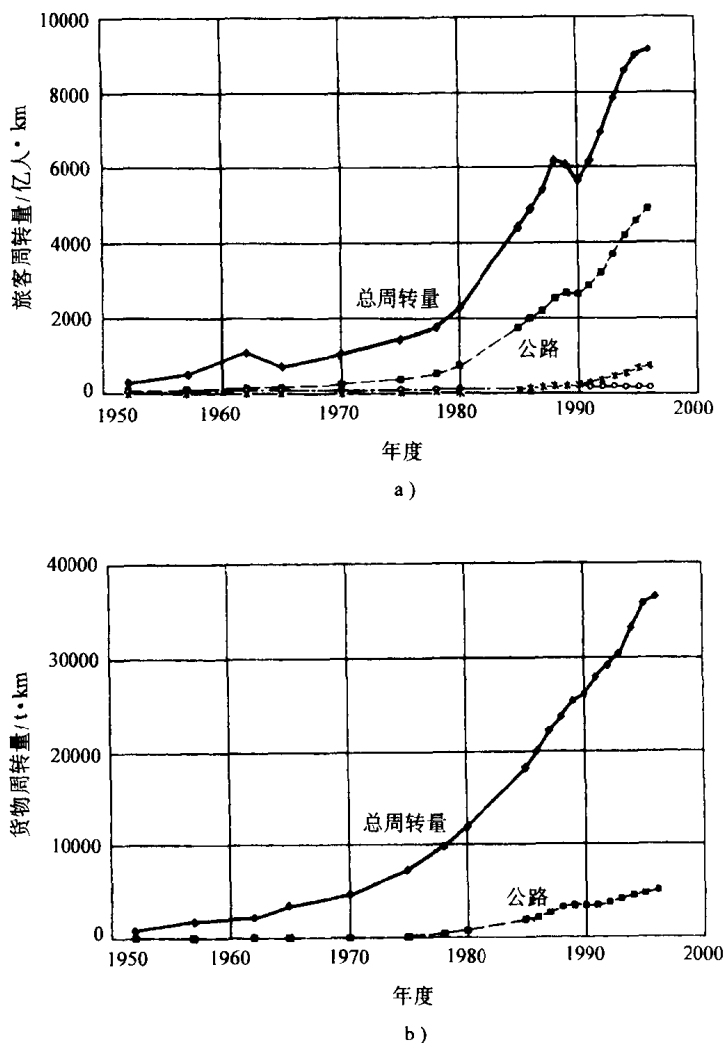


图 1-1 20 年来中国旅客和货物周转量的发展情况^[1]

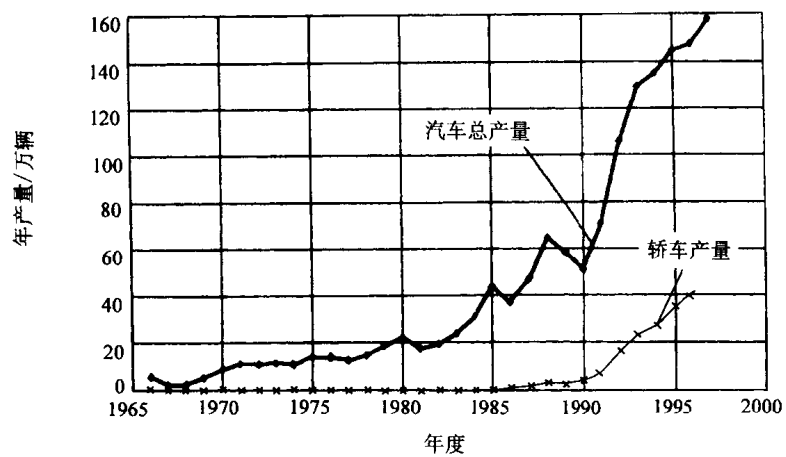


图 1-2 中国的历年汽车产量

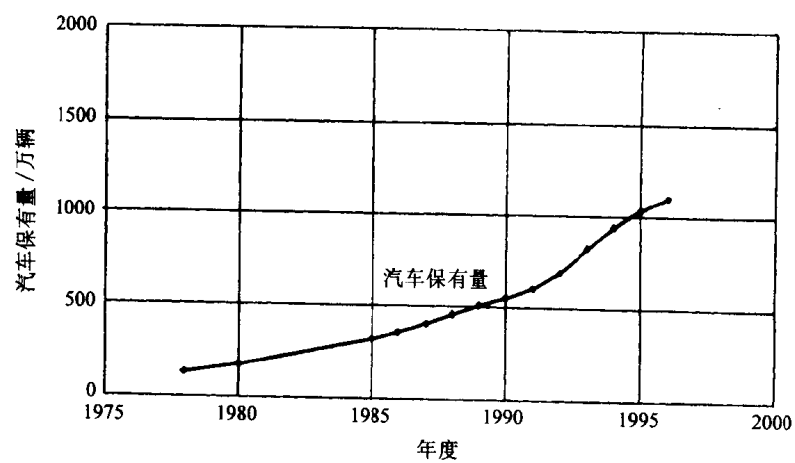


图 1-3 中国汽车总保有量的发展情况

2 内燃机排气污染物的危害

2.1 内燃机排气污染物在大气中的扩散及其影响

对人类、动物、植物以及其它物质造成危害的内燃机排气污染物，从内燃机中排出并扩散到大气中，其扩散后的浓度取决于排放地点、浓度以及气候的影响，如风强、风向、温度和日照强度。在城市中，建筑群分布也影响排气污染物扩散后的浓度。

由于影响因素众多，从污染物的排放来计算污染物的扩散浓度，只是在很少的简单场合里才有可能。

扩散到大气中的排气污染物，可以通过化学反应、降雨冲刷（有造成土地酸化的危险）以及被土地或植物吸收（如光合作用可以减少大气中的 CO_2 ）等途径消失。影响它们消失的因素有气候和地理位置。表 2-1 列出了各气体成分在大气层中的浓度和平均寿命。特别难以消失的气体成分有 CH_4 和 CO_2 。大部分有害气体，如 CO 、 NO_x 、 SO_2 等在大气层中的寿命都很短。由于它们的寿命很短，故其在时间和空间上的分布变化则很大。

表 2-1 各种气体在大气层中的摩尔分数和寿命^[1]

气体种类	平均寿命	大气中的平均摩尔分数	气体种类	平均寿命	大气中的平均摩尔分数
CH_4	约 7a	1.6×10^{-6}	NO	3~30h	
其它 HC	几小时到几天		NO_2	1~2d	$< 0.2 \times 10^{-9}$
CO	约 60d	$(0.05 \sim 0.2) \times 10^{-6}$	SO_2	约 5d	
CO_2	2~4a	348×10^{-6}	O_3	35~40d(纯空气) 几小时(非纯空气)	$(20 \sim 40) \times 10^{-9}$

排气污染物（包括其它工业和民用设备的排气污染物）对大气环境的影响主要表现在以下几个方面：

- 1) 烟雾；
- 2) 酸雨；
- 3) 臭氧 (O_3) 层减薄（臭氧洞）；
- 4) 臭氧浓度过高；
- 5) 温室效应。

温室效应和臭氧层减薄是一个全球性的效应。而臭氧浓度过高，则只发生在地面附近，烟雾和酸雨也是发生在污染源的附近地区，特别是人口密集地区。

酸雨主要是由 SO_2 和 NO_2 在大气中而引起的雨水 pH 值的变化。

烟雾的形成，则是由排气扩散过程中的化学反应造成的。这种化学反应的产物在大城市和工业区上空空气中滞留时会造成烟雾。冬季经常发生的“伦敦烟雾”，主要是由家庭烟囱和工业废气中的含硫物质和微粒造成的。在煤气取代煤炭以后，“伦敦烟雾”就会消失。而“洛

杉矶烟雾”，则主要是由汽车废气中的非饱和 HC 在阳光和 NO_x 的共同作用下，在经过光化学反应形成臭氧的同时，产生的对人体粘膜有刺激的有机含氧物质所致^[1]。

排气污染物对臭氧的影响在地面附近的大气对流层和在离地面 1 千米以上的同温层中完全不同。在大气对流层中，特别是在北半球，臭氧的浓度在增长。而在大气同温层中，臭氧浓度则在下降，出现了臭氧洞。图 2-1 所示为大气层不同高度的臭氧浓度从 1860 年到 2050 年的变化。在这个模型计算中，假定含氟含氯碳氢化合物 (FCCH) 排放量的年增长率为 4%。

臭氧在大气对流层中的浓度，取决于对流层和同温层之间的臭氧交换及对流层中的臭氧形成。在流层的臭氧形成过程中， NO 、 NO_2 、 CO 和 HC 都起着一定的作用。

除了对人体健康直接有害的排气污染物 CO 、 HC 、 NO_x 和微粒

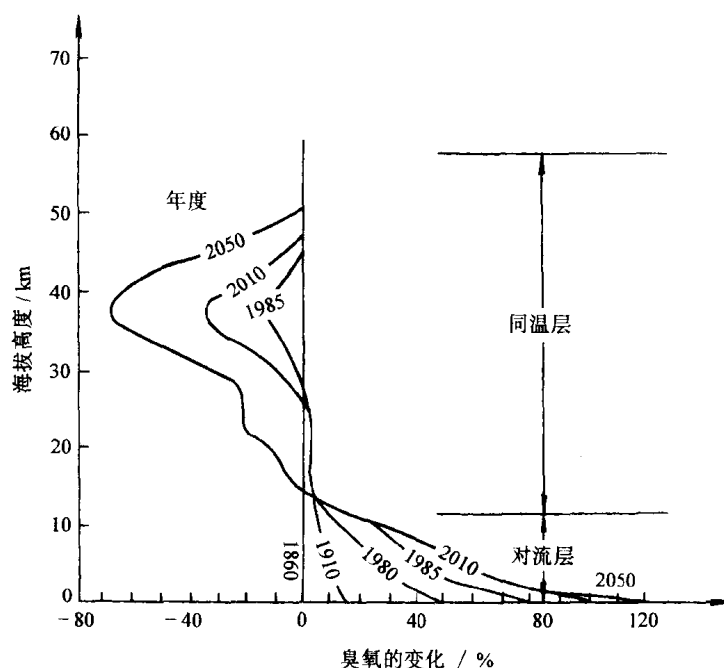


图 2-1 大气层中臭氧摩尔分数的变化^[2]

外，内燃机还排出一些虽对人体健康无直接伤害，但会造成气候变化，从而影响人类生活环境的排气成分。这些成分的排出，增加了大气层中温室气体的浓度。这种温室气体，具有短波段的太阳光透过，而吸收从地球上反射的长波段的热辐射的特点。这种效应就是一般所称的温室效应。大气层中温室气体浓度的增加，会导致地球大气的变暖。其实，这种温室气体本来是地球上生命的基础，没有它们，地球表面的温度将只有一 -17°C 。但目前大气层中的温室气体浓度增大过多所造成的大气温度持续升高，可能会带来气候的灾难性变化。

表 2-2 列出了各种温室气体的主要特征值。 CO_2 在大气中的摩尔分数目前为 348×10^{-6} ，在温室气体中浓度最大。相比之下，含氟含氯碳氢化合物的浓度就小得可以忽略不计。所有影响气候变化的温室气体的浓度都在增长。特别值得注意的是含氟含氯碳氢化合物，它的年增长率高达 5%，而且它们在大气中的生存期还很长。

表 2-2 各种温室气体的主要特征值^[1]

温室气体	CO_2	CH_4	N_2O	O_3	FCCH_{11}	FCCH_{12}
摩尔分数 $\times 10^{-6}$	348	1.65	0.31	0.02	0.0002	0.00032
浓度率增长率 / %	0.4	1.0	0.25	0.5	5	5
寿命 / a	8	10	150	0.1	65	110
致暖势	1	32	150	2000	14000	17000

一个评定温室气体对气候影响的重要指标是致暖势。它给出了一个温室气体分子对气候变化影响和一个 CO_2 分子对气候变化影响的比值。例如， CH_4 致暖势是 32，它的致暖效果就

是 CO_2 的 32 倍。含氟含氯碳氢化合物的致暖势高达 14000 和 17000，再加上它们的寿命长达 65 年和 110 年，因此，尽管它们目前的浓度很小，但蕴藏着造成气候灾难性变化的极大危机。

含氟含氯碳氢化合物还是造成高层大气中臭氧层减薄甚至出现臭氧空洞的主要因素。

从表 2-2 中也可以看出，在对气候变化产生影响的温室气体中， CO_2 的作用占一半以上。 CO_2 是含碳燃料燃烧后的产物，也是内燃机排气中的主要温室气体。图 2-2 表示工业化以来，大气层中 CO_2 摩尔分数迅速增长的过程。在夏威夷的测量观察表明，大气中 CO_2 浓度从 1958 年的 315×10^{-6} 增加到 1988 年的 350×10^{-6} 。根据最近 10 年统计，大气层中的 CO_2 浓度每年平均增长约 0.5%。

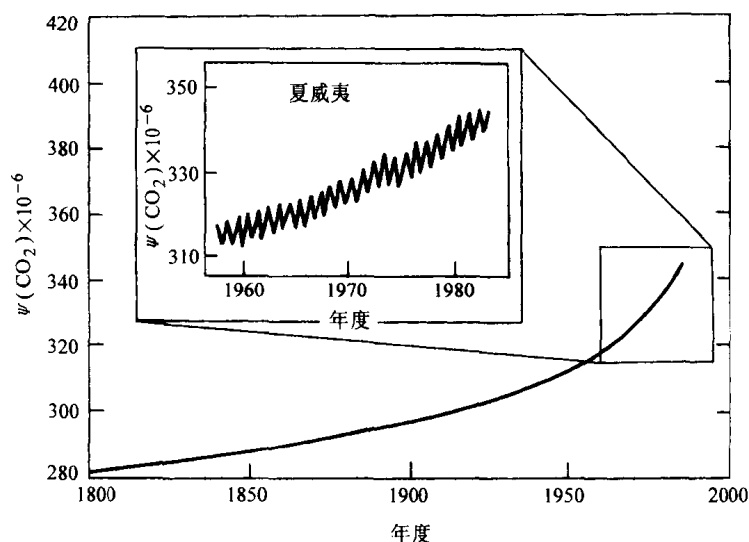


图 2-2 大气层中 CO_2 摩尔分数的增长情况^[1]

表 2-3 是世界各地 CO_2 排放的百分比。其中，中国的 CO_2 排放为世界总排放量的 13%。

表 2-3 世界各地的 CO_2 排放百分比^[2]

地 区	百分比/%	地 区	百分比/%	地 区	百分比/%
北美	28	东欧	21.6	拉美、非洲、中东	10.1
西欧	15.4	南亚、东亚、澳洲	12	中国	13

图 2-3 所示为世界上 CO_2 排放量的组成。其中以内燃机为主要动力的交通运输所产生的 CO_2 占整个 CO_2 排放量的 14%。

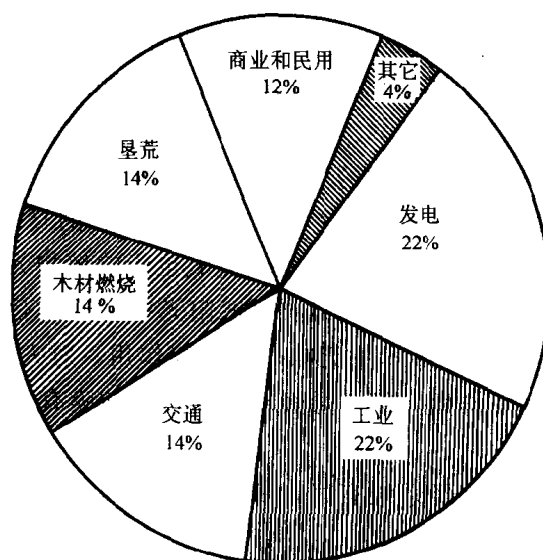


图 2-3 世界 CO_2 排放量的组成^[1]

2.2 内燃机排气污染物对人体的危害

一种物质对人体的有害程度，与它被人体接触的量、接触的时间长短以及接触的方式有关。在德国，各种物质对人体的有害程度由《最大工作地点浓度》(MAK, 即 maximale Arbeitsplatzkonzentration) 以及《最大扩散浓度》(MIK, 即, maximale Immisions Konzentration) 分别给出了最高浓度限制值。在美国则相应地有《联邦空气质量标准》(FAQS, 即 Federal Air Quality Standards), 见表 2-4。

表 2-4 德国 MAK、德国 MIK 和美国 FAQS 规定值^[1]

物 质	德国 MAK	德国 MIK	美国 FAQS	物 质	德国 MAK	德国 MIK	美国 FAQS
一氧化碳(CO)	30(33)	9(10)	9(10)	苯(C ₆ H ₆)	5(16)	1(3)	—
一氧化氮(NO)	—	0.4(0.5)	0.05(0.1)	甲苯(C ₆ H ₅ CH ₃)	100(380)	5(20)	—
二氧化氮(NO ₂)	5(9)	0.05(0.1)	—	甲醛(HCHO)	0.5(0.6)	0.02(0.03)	24(0.16)
二氧化硫(SO ₂)	2(5)	0.1(0.3)	0.03	乙醛(CH ₃ CHO)	59(90)	2(4)	—
硫酸(H ₂ SO ₄)	(1)	0.03(0.1)	—	丙烯醛(CH ₂ CHCHO)	0.1(0.25)	0.005(0.01)	—
臭氧(O ₃)	0.1(0.2)	0.06(0.12)	0.08(0.16)				

注：括号外数值单位为摩尔分数 $\times 10^{-6}$ ；括号内数值单位为 mg/m^3 。

最大工作地点浓度 (MAK), 指的是工作地点的空气中该污染物浓度不超过这个浓度时, 成年人在此环境工作 8h 后, 不会对健康产生不良影响。最大扩散浓度 (MIK), 指的是地面附近大气中该有害成分浓度不超过这个浓度时, 不会影响人们的健康。最大扩散浓度 (MIK) 分为持续值和短期值两种。表 2-4 列出的是持续最大扩散浓度。

现将内燃机排气污染物对人体的危害简述如下：

1. 一氧化碳 (CO) 一氧化碳是无色无味的气体。它和血红蛋白 (血液中输送氧气的载体) 的结合能力是氧气的 240 倍。空气中一氧化碳的含量超过 0.1% (质量分数) 时, 就会导致人体中毒, 当 75% 的血红蛋白丧失输氧能力时, 就会导致人体窒息。

2. 二氧化碳 (CO₂) 二氧化碳是无色的气体, 略有酸味, 略带刺激性气味, 无毒。它的危害在于作为主要温室气体, 造成地球表面温度升高 (温室效应)。它和大气层中臭氧洞形成的关系, 目前还不清楚。

3. 臭氧 (O₃) 臭氧是刺激性很强的气体, 它刺激人的眼睛和呼吸道。它是由含有 NO_x 和烃类的废气经过光化反应后形成的。空气中含有 0.1×10^{-6} 的臭氧 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 时, 就会使人明显感觉呼吸困难。它比 SO₂ 和 NO₂ 更有害。臭氧也影响植物光合作用, 是导致森林病害的主要因素之一。但高空大气层中的臭氧却有过滤阳光中对人体有害的紫外线的作用。

4. 碳氢化合物 (HC) 烷烃基本上无味, 有麻醉作用, 对人的口鼻粘膜有刺激。

烯烃略带有甜味, 有麻醉作用, 部分烯烃对人的口鼻粘膜有刺激, 是造成烟雾的因素之一。

芳香烃具有特殊气味, 对神经系统有害, 带一到两环的芳香烃有麻醉作用, 带更多环的芳香烃被怀疑有致癌作用。

5. 醛类 (C_{n-1}H_{2n-1}CHO) 大多数醛类有刺激性气味和麻醉作用, 部分醛类对人体器官有刺激, 如空气中甲醛的含量超过 1×10^{-6} 时, 会刺激眼睛和鼻腔。

6. 一氧化氮 (NO) 一氧化氮是无色的气体。在空气中，一氧化氮被氧化成二氧化氮。在空气中的含量超过 15×10^{-6} 时，它会和血红蛋白结合，若超过 20×10^{-6} 时，会影响肺的功能。

7. 二氧化氮 (NO_2) 二氧化氮呈红褐色，具有强烈的刺激味，对肺和心肌等都有很强的损害作用。二氧化氮是地面附近大气中形成臭氧的主要因素之一。

一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO_2) 通常被统称为氮氧化物 (NO_x)。

8. 二氧化硫 (SO_2) 二氧化硫是无色气体，有强烈的刺激气味，和水结合后形成亚硫酸，对人的口鼻粘膜有强烈的刺激性。若与灰尘一起，则危害性更大。

9. 含铅物质 含铅物质对血液、骨骼和神经系统的细胞有损害作用。它的作用是一个慢性过程。

10. 微粒 微粒中主要成分是碳。柴油机排放物中的微粒大多小于 $0.3 \mu\text{m}$ ，可以被吸入肺叶，并在肺里滑动，造成肺组织的摩擦损伤。另外，微粒碳核上吸附的其它有毒物质被吸入人体，也会对人体造成损害。

以上所有物质（除了 CO_2 外）都对人体健康直接或间接地产生危害，因而，被称为污染物。

空气中污染物对植物的损害过程，至今了解得还不是很多，各种说法缺乏足够的可靠性。一般认为污染物对植物的作用有两种方式：污染物直接作用在植物身上或通过土壤对植物产生作用。受空气污染危害特别严重的是树木，一方面由于它们寿命长，另一方面由于它们高大，树木吸收的有害物质比其它植物都多。

3 汽车及内燃机的排放标准

几乎所有的工业国家都制定了限制排气污染物排放量的标准（简称排放标准），以此来限制内燃机的排气污染。由于各国政治、经济和技术的发展水平不同，采用的排放标准也不相同。对于汽车的排放标准，主要分为轻型汽车（含轿车）和重型汽车两类。完整的排放标准往往比本书还厚，而且随时修订，限于篇幅，本章只能介绍其中的重要部分。

目前，世界上实行的排放标准主要有美国、欧洲和日本三大体系，而其中美国和欧洲的排放标准体系为各国广泛引用，中国采用的也是欧洲排放标准体系。本章主要介绍这两种排放标准体系。

3.1 轻型汽车排放标准

在美国标准中，轻型汽车被分为轻型货车（light duty trucks）和轻型客车（light duty vehicles）两类：

轻型货车：

最大总质量不超过 3.85t（8500lb[⊙]）；

空车质量不超过 2.7t（6000lb）；

车辆的正面投影面积不超过 3.1m²（45in²[⊙]）；

车辆的构造必须适合于运货或 12 个以上的客人。

轻型客车：

包括司机座位在内最多有 12 个座位的小客车。

在欧洲标准中，轻型汽车被定义为：包括司机座位在内最多有 9 个座位的小客车。或最大总质量不超过 3.5t 的小货车。

但是，它的空车质量超过 400kg；最高速度不低于 50km/h；车轮不少于 4 个。

在中国国家标准中，轻型汽车被定义为：最大总质量为 400~3500kg；最高速度不低于 50km/h 的轿车、客车和载货汽车。

轻型汽车的排放标准一般都有以下几个部分：

- 1) 标准测试循环运行过程中的排气污染物排放和燃油消耗限制标准；
- 2) 汽油车的油气蒸发排放量限制标准；
- 3) 车辆排气净化系统部件运行性能检测系统。

本章仅涉及标准测试循环运行过程中的排气污染物排放和燃油消耗限制标准。

各种车辆或发动机，按照能再现车辆和发动机实际运行状况的标准测试循环在标准试验台上运行，在循环过程中测得的排气污染物排放量，就是该车辆或发动机排气污染物的排放

⊙ 1lb=0.453 592 37kg。下同。

⊙ 1in=0.025 4m。下同。

指标。各种车辆发动机的排气污染物排放性能，只有在这种基本统一的条件下测得才有可比性。循环越接近车辆的实际运行状况，测试的结果就越有实际意义。这样，根据标准要求设计的车辆，就越接近市场的需求。

轻型汽车的排放标准，都要求整车在底盘测功器上进行测试。在测试中，汽车的驱动轮在底盘测功器的转鼓上滚动，转鼓联接模拟汽车惯性的配重和模拟汽车平面运行阻力（空气阻力和滚动阻力）的测功器。在汽车前面放置的风扇用来模拟汽车行进中所获得的冷却空气。为了测量汽车排气污染物的排放量，测试汽车按照规定的标准测试循环运行。在此同时，按照相应标准的要求，采用定容取样系统（CVS）对排气进行收集和分析。对测试设备的具体要求见 4.1.3 节。

1. 美国轻型车排放标准 世界上最早的标准测试循环于 1966 年诞生于加利福尼亚州，称为加利福尼亚标准测试循环。它和目前欧洲标准测试循环很相似。加利福尼亚标准测试循环在 70 年代初被美国城市标准测试循环 FTP，即 Federal Test Procedure）所代替。最早的 FTP—72 是在美国洛杉矶市内对早晨上班的汽车工况实测获得的。1975 年以后，FTP—72 被扩充成 FTP—75，成为目前及在可见的将来所使用的美国城市标准测试循环（图 3-1）。

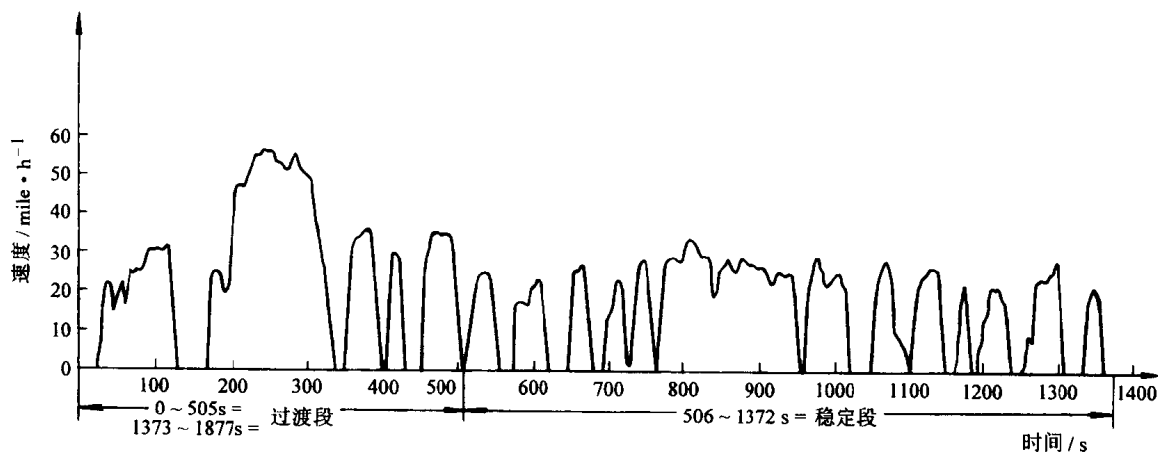


图 3-1 美国城市标准测试循环（FTP—75）

测试距离：约 17.9km 平均车速：约 31.7km/h 最高车速：91.2km/h

1mile/h=0.447m/s

美国城市标准测试循环（FTP—75）要求被测汽车在测试前，在温度为 20~30℃ 的恒温室里放置 12h 以上。

美国城市标准测试循环（FTP—75）分为四部分（表 3-1）进行测量和计算。在第 1、2 和 4 阶段里排气，分别收集在不同的取气袋里，其测量值分别乘上规定的加权系数，然后加在一起。

在 FTP—75 循环中，变速挡是规定好的。自动变速汽车，应打到 D 挡上。在美国城市标准测试循环中允许的速度最大误差为 ±3.2km/h，允许的时间最大误差为 ±1s。

美国轻型汽车排放标准中规定的各种排气污染物的排放限值，是指汽车按 FTP—75 循环运行后，按运行里程及表 3-1 所列的加权系数折算而得的平均值。

表 3-1 美国城市标准测试循环（FTP—75）的分段和排放值加权系数

阶 段	加权系数
1. 过渡段（0~505s）冷起动	0.43
2. 稳定段（506~1372s）	1.0
3. 10min 停车	
4. 重复过渡段（0~505s）热起动	0.57

在标准测试循环里测得的排气污染物排放量，不仅和发动机的性能有关，还和标准测试循环在发动机万有特性图上的位置有关，也就是说，和汽车阻力特性（空气阻力和滚动阻力）、汽车的质量以及各变速挡的分配有关。

图 3-2 所示为一辆总质量为 1200kg 的汽车，按 FTP—75 循环运行的工况点在一个排量 1.5L 的汽油机万有特性图上的位置。从图上可以看出，FTP—75 循环的工况点主要是部分负荷。

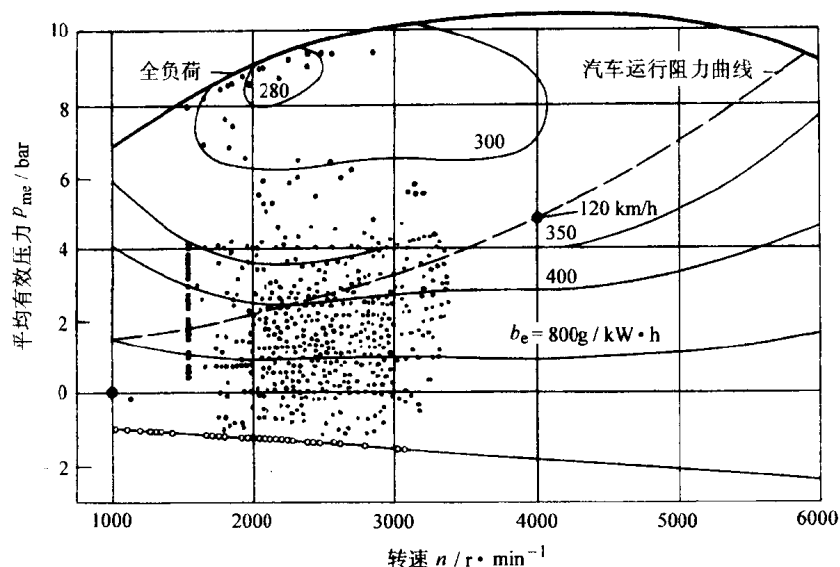


图 3-2 FTP—75 循环的工况点在一个排量 1.5L 汽油机万有特性图上的位置^①（汽车总质量为 1200kg）
1bar=10⁵Pa。下同。

表 3-2 是美国联邦 49 州 1994 年开始实行的美国轻型车排放标准。这个标准要求制造商对汽车运行 160000km（10 万 mile^②）以内的排气污染物排放都有保证。如果不是由于用户不正当使用而造成汽车排气污染物排放增加，则制造厂商须负责所有的修理费用。新的排放标准中对 NO_x 和微粒的排放更加严格。

表 3-2 美国轻型汽车排放标准的排放限值

汽油车			柴油车		
	50 000mile 以内	100 000mile 以内		50 000mile 以内	100 000mile 以内
CO	3.4 g/mile	4.2 g/mile	CO	3.4 g/mile	4.2 g/mile
	2.11 g/km	2.61 g/km		2.11 g/km	2.61 g/km
NO _x	0.4 g/mile	0.6 g/mile	NO _x	0.4 g/mile	0.6 g/mile
	0.25 g/km	0.37 g/km		0.25 g/km	0.37 g/km
NMHC ^①	0.25 g/mile	0.31 g/mile	NMHC ^①	0.25 g/mile	0.31 g/mile
	0.16 g/km	0.19 g/km		0.16 g/km	0.19 g/km
			微粒	0.05 g/mile	0.06 g/mile
				0.03 g/km	0.04 g/km

① 无甲烷碳氢化合物。

在这个排放标准中，对碳氢化合物的排放限制标准值不是指总碳氢（THC，即 total hydro carbon），而是无甲烷碳氢化合物（NMHC，即 non methan hydro carbon）。因为，它们是形

② 1mile=1609.344m。下同。

成大城市中高浓度臭氧的因素之一。甲烷是化学反应很不活泼的气体，它对臭氧的形成影响很小，但它对大气变暖的温室效应影响很大，它的致暖势仅次于含氟含氯碳氢化合物、臭氧和氧化二氮 (N_2O)，而高于 CO_2 ，为 CO_2 的 32 倍 (参见表 2-2)。因此，在新的美国轻型车排放标准中不限制甲烷排放，是个值得争议的问题。

在所有的标准中，所测得的 NO_x 都按照 NO_2 的分子量进行计算。

冬季早晨，由于许多汽车同时冷起动，造成许多大城市中的“冬季烟雾”。对此，1994 年开始执行的美国轻型车排放标准还要求限制冷起动的 CO 排放。具体的规定是：当 FTP—75 循环从 -6.7°C 起动时，CO 排放不超过 6.22g/km 。2000 年以后这个指标将降到 2.11g/km 。

另外，在一些污染比较严重的地区，还要求汽车制造厂商提供一定比例的“清洁燃油汽车” (clean fuel vehicle)。这种汽车可以使用清洁燃油，但不是必须使用清洁燃油。美国排放法规中规定的清洁燃油有重整汽油、重整柴油、含有 85%^①以上甲醇或乙醇的燃油、高压天然气和液化天然气，以及氢燃料。对清洁燃油汽车的排放要求，1996 年起相当于加利福尼亚州的过渡性低排放汽车 (TLEV，即 transitional low emission vehicles) 排放限值，2000 年起相当于加利福尼亚州低排放汽车 (LEV，即 low emission vehicles) 的排放限值。

目前的美国排放标准至少适用到 2003 年。美国将最迟在 1999 年底做出决定是否在 2003 年以后再严格排放标准。

除了城市标准测试循环 (FTP—75) 以外，在美国，还有高速公路标准测试循环 (图 3-3)。它主要顾及到城市之间的交通，并用于汽车的油耗计算。另外，它还用来检验汽车的排气净化系统在高速运转状态下是否会失效。

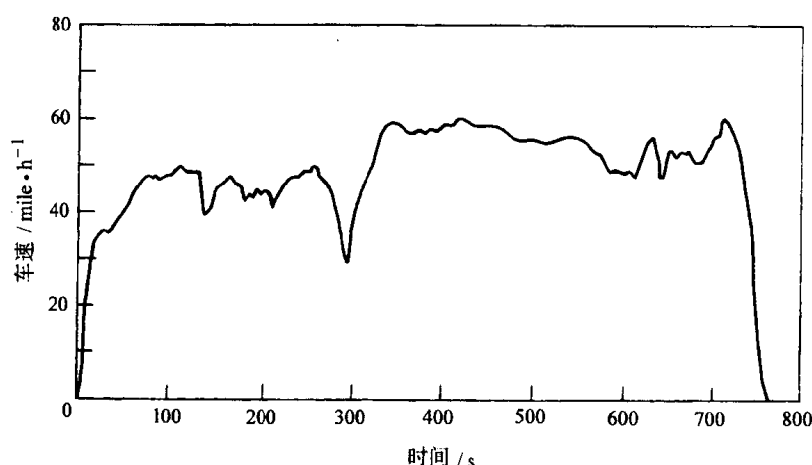


图 3-3 美国高速公路标准测试循环

试验时间：15445 s，当量里程：32.89km

最高速度：96.4km/h，平均速度：77.4km/h

美国排放标准还为每一年度出厂的轻型汽车规定燃油消耗限制标准值。当汽车制造厂商、当年出厂汽车的公司平均燃油经济性 (CAFE，即 corporate average fuel economy) 高于图 3-4 所示的值时，制造厂家就要被处以罚款。当某一厂家的出厂汽车总平均油耗值每加仑^②燃油少行驶 0.1mile 时，每出厂一辆车就要被罚款 5 美元。

① 此处 85% 系指体积分数。

② 1USgal = 3.785 41dm³。下同。