

宁平 编著

Air Pollution Control Principle



空气污 染 控 制 理 论

云南科技出版社

空气污染控制理论

KONGQI WURAN KONGZHI LILUN

宁 平

编著

云南科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空气污染控制理论/宁平编著. —昆明: 云南科技出版社,
2001.12

ISBN 7 - 5416 - 1480 - 7

I. 空 ... II. 空 ... III. 空气污染—理论 IV. X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 74647 号

书 名: 空气污染控制理论

作 者: 宁 平

出 版 者: 云南科技出版社 (昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼)

责任编辑: 肖 娅

封面设计: 杨 峻

印 刷 者: 昆明市五华区教育委员会印刷厂

发 行 者: 云南科技出版社

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 14.875

字 数: 335 千

版 次: 2002 年 2 月第 1 版

印 次: 2002 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 800 册

书 号: ISBN 7 - 5416 - 1480 - 7/X·25

定 价: 35.00 元

若发现印装错误请与承印厂联系

前 言

本书是在昆明理工大学环境工程专业研究生使用教材的基础上编著而成的。主要内容涉及废气的产生及其控制理论研究。全书共分八章，概论部分主要介绍空气污染控制的概念，并列举一系列典型的空气污染现象，介绍了国内外空气污染控制方面的法律、法规。第一章介绍了化学动力学、传质传热理论及湍流混合的基本知识。第二章介绍了燃烧过程理论，包括燃烧中的化学反应、混合过程以及火焰结构。第三章在第二章的基础上全面分析了燃烧过程中气体污染物的形成机理。第四章介绍了燃烧装置的内部结构、工作原理以及污染物的形成机理。第五章着重介绍气溶胶的基本概念和性质，包括流体中的气溶胶粒子的机械运动、外力作用下的运动、粒子的布朗运动、颗粒分布函数及成核作用等。第六章论述了燃烧过程中粒子的形成。第七章和第八章分别介绍了气流中颗粒污染物及气体污染物的去除方法。

在本书的编写过程中，昆明理工大学易红宏、王学谦、邓春玲，西南林学院田森林、汪琼，西南交通大学陈海堰以及研究生王宝庆、吴文涛为本书的编写付出了辛勤的劳动，在此表示衷心的感谢。

目 录

概述	(1)
第一节 污染物的产生及分类	(1)
第二节 大气污染防治法	(7)
第一章 废气污染控制基础	(10)
第一节 化学动力学	(10)
第二节 传热及传质	(16)
第三节 湍流及混合	(20)
第二章 燃烧原理	(24)
第一节 燃料	(24)
第二节 化学计量学	(25)
第三节 热力学	(28)
第四节 动力学	(38)
第五节 液态燃料的燃烧	(39)
第六节 固态燃料的燃烧	(45)
第三章 燃烧污染物的反应及控制	(50)
第一节 氮氧化物	(50)
第二节 一氧化碳	(66)
第三节 碳氢化合物	(76)
第四节 硫氧化物	(76)
第四章 内燃机	(80)
第一节 火花点火式内燃机	(80)
第二节 压缩式内燃机	(101)
第三节 分层气料内燃机	(105)
第四节 汽轮机	(107)
第五章 气溶胶	(112)
第一节 斯托克斯定律	(112)
第二节 非连续作用	(114)
第三节 气溶胶粒子的运动	(116)
第四节 布朗运动	(122)
第五节 单个粒子的扩散	(126)
第六节 颗粒分布函数	(130)
第七节 常用对数分布	(133)
第八节 普通动力方程	(135)

第九节 凝结系数	(138)
第十节 成核作用	(141)
第六章 燃烧粒子的形成	(147)
第一节 灰	(147)
第二节 炭和焦炭	(157)
第三节 煤烟	(157)
第四节 机动车辆排出的气溶胶	(165)
第七章 微粒的去除	(167)
第一节 去除效率	(168)
第二节 沉降室	(169)
第三节 旋风除尘器	(173)
第四节 电收尘器	(179)
第五节 过滤器	(190)
第六节 湿式洗涤器	(201)
第七节 除尘技术小结	(208)
第八章 气体污染物的去除	(210)
第一节 界面传质	(210)
第二节 吸收	(213)
第三节 吸附	(221)
第四节 SO ₂ 净化实例	(225)
第五节 NO _x 净化实例	(228)

概 述

大气污染包含一系列过程：污染物的产生和排放；污染物的迁移和转化；污染物最终从大气中消除以及污染物对人类、材料和生态系统的影响。因为实现大气污染物的绝对零排放在经济上是不可行的，在技术上也是不可能的，所以设法把污染物排放控制到一定水平，使它的影响不存在或控制到最小。

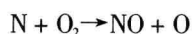
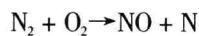
大气污染的内容可分为三部分：①污染物的产生和控制。其中包括了污染物排放前的所有环节。②污染物的迁移、扩散、化学转化以及从大气中的消除。其中包括了污染物从排放到最终消除的所有物理、化学过程。③大气污染物对人类、动物、材料、植物、农作物、森林以及水生生态系统的影响。一个地区的大气污染控制策略是污染物排放标准的具体化。为构成这样一个策略，必须能够估计气态污染物的最终形态以及聚集情况，控制方案和设备的最终配备也要建立在一定的经济基础上。所以，大气污染控制策略包含了从第一部分到第三部分的反馈过程。本书仅对污染物的产生和控制进行分析。

第一节 污染物的产生及分类

表 1 分类列举了大气污染物。主要是燃烧产生的化合物，例如氮氧化物、硫氧化物、碳氧化物、未燃的碳氢化合物和颗粒物。表 2 列举了空气中主要的碳氢化合物，表 3 列举了有关的气态有机物。

一、氮氧化物

NO 和 NO₂ 是两种很重要的氮氧化物类大气污染物。尽管分析技术能够很清晰地鉴别它们，但我们把它们合写成 NO_x。NO 是燃烧过程的主要副产物，来自于燃烧空气中的 N₂ 和 O₂ 的高温反应及煤、油等燃料中含有的 N 的氧化。N₂ 和 O₂ 的氧化主要通过下面两个反应发生：



第一个反应有较高的活化能用以破坏 N₂ 的强共价键。因为活化能较高，该反应是控制反应速度的步骤，并以比燃烧慢的速率进行，且对高温敏感。以这种途径生成的 NO 称为热 - NO_x。NO 生成的第二种机理是燃料中的含氮元素的氧化。以这种方式生成的 NO 称为燃料 - NO_x。

表 1

大气污染物

	物理性质	浓度水平	人为来源	天然来源
SO ₂	无色，带刺激性臭味的气体；浓度在 $(0.3 \sim 1) \times 10^{-6}$ 时，可用味觉检测；在水中易溶（293K 下为 $0.105\text{g}/\text{m}^3$ ）	全球本底浓度在 $(0.04 \sim 6) \times 10^{-9}$ 之间，市区时平均最大浓度偶尔会超过 1×10^{-6}	固定源的燃料燃烧；工业过程的排放；金属和石油的炼制	有机硫化物的大气氧化
H ₂ S	无色，可燃性气体；剧毒；有明显的臭鸡蛋气味	全球本底值大约 $3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ；观察到的市区最大浓度为 $390 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	牛皮纸浆厂；天然气和石油炼制；人造纤维和尼龙的制造；炼焦炉	生物腐烂过程；火山和地热行为
NO	无色、无味气体；不易燃烧，在水中微溶；有毒	全球本底值在 $(10 \sim 100) \times 10^{-12}$ 间；观察到的市区最大浓度为 500×10^{-9}	燃烧	细菌作用；天然燃烧过程；照明
NO ₂	带明显刺激性气味的红棕色气体；有毒、易腐蚀性；能吸收许多可见光谱中的光	全球本底值在 $(10 \sim 500) \times 10^{-12}$ 间；观察到的市区最大浓度为 500×10^{-9}	燃烧	
NH ₃	带刺激性气味的无色气体；在浓度超过 500×10^{-6} 时能检测；在水中易溶	全球本底值为 1×10^{-9} ；市区浓度 5×10^{-9} 范围之内	燃烧	在有机废物中氨基酸的细菌分解
CO ₂	无色、无味、无毒气体，在水中的溶解度适中	全球本底浓度从 1900 年 290×10^{-6} 增加到 1985 年的 345×10^{-6}	矿物燃料的燃烧	
CO	无色、无味、可燃的有毒气体，在水中微溶	全球平均浓度为 0.09×10^{-6} ；北半球的浓度大约是南半球的两倍；在交通繁忙的公路附近，市区值超过 100×10^{-6}	矿物燃料的燃烧	甲烷和其它生物烃的大气氧化
O ₃	无色、有毒气体，在水中微溶	全球本底浓度在 $(20 \sim 60) \times 10^{-9}$ 之间；受污染市区值在 $(100 \sim 500) \times 10^{-9}$ 之间	没有最初来源；在涉及碳氢化合物和氮的氧化物的反应中形成的二次污染物	天然对流层的化学物；从平流层输送到对流层
非甲烷 烃 类		全球本底浓度在 $(10 \sim 20) \times 10^{-9}$ 之间；受污染市区值在 $(500 \sim 1200) \times 10^{-9}$ 之间	不完全燃烧；工业源	植被

表 2

空气中主要的碳氢化合物

碳的数目	化合物	碳的数目	化合物
1	甲烷		顺-2-己烯
2	乙烷		逆-2-己烯
	乙醇		顺-3-己烯
	乙炔		逆-3-己烯
3	丙烷		2-甲基-1-戊烯
	丙醇		4-甲基-1-戊烯
	丙酮		4-甲基-2-戊烯
	甲基乙炔		苯
4	丁烷		环己烷
	异丁烷		甲基环戊烷
	1-丁烯	7	2-甲基己烷
	顺-2-丁烯		3-甲基己烷
	逆-2-丁烯		2,3-二甲基戊烷
	异丁烯		2,4-二甲基戊烷
	1,3-丁二烯		甲苯
5	戊烷	8	2,2,4-三甲基戊烷
	异戊烷		乙苯
	1-戊烯		对-二甲苯
	顺-2-戊烯		间-二甲苯
	逆-2-戊烯		邻-二甲苯
	2-甲基-1-丁烯	9	间-乙基甲苯
	2-甲基-1,3-丁二烯		邻-乙基甲苯
	环戊烷		1,2,4-三甲基苯
	环戊烯		1,3,5-三甲基苯
	异戊二烯	10	次-丁苯
6	己烷		α -蒎烯
	2-甲基戊烷		β -蒎烯
	3-甲基戊烷		3-蒎烯
	2,2-二甲基丁烷		丁烯
	2,3-二甲基丁烷		

表 3

潜在危险的大气污染物

化学名称	化学式	毒性	平均浓度 ^b ($\times 10^{-12}$)
卤甲烷			
甲基氯	CH ₃ Cl	BM	788
甲基溴	CH ₃ Br	BM	141
甲基碘	CH ₃ I	SC, BM	2.7
二氯甲烷	CH ₂ Cl ₂	BM	978
氯仿	CHCl ₃	SC, BM	346
四氯化碳	CCl ₄	SC, BM	221
卤乙烷和卤丙烷			

续表 3

化学名称	化学式	毒性	平均浓度 ^b ($\times 10^{-12}$)
乙基氯	C_2H_5Cl	—	100
1,2-二氯乙烷	CH_2ClCH_2Cl	SC, BM	558
1,2-二溴乙烷	CH_2BrCH_2Br	SC	32
1,1,1-三氯乙烷	CH_3CCl_3	弱 BM	512
1,1,2-三氯乙烷	$CH_2ClCHCl_2$	SC, NBM	29
1,1,2,2-四氯乙烷	$CHCl_2CHCl_2$	SC, BM	10
1,2-2 氯丙烷	$CH_2ClCHClCH_3$	BM	60
氯烷			
亚乙烯氯	$CH_2 = CCl_2$	SC, BM	19
三氯乙烯	$CHCl = CCl_2$	SC, BM	143
四氯乙烯	$CCl_2 = CCl_2$	SC	401
烯丙基氯	$ClCH_2CH = CH_2$	SC	< 5
六氯-1,3-丁二烯	$Cl_2C = CCl - CCl = CCl_2$	BM	5
含氯芳烃			
单氯苯	C_6H_5Cl	—	280
α -氯甲苯	$C_6H_5CH_2Cl$	BM	< 5
对-二氯苯	$o-C_6H_4Cl_2$	—	12
间-二氯苯	$m-C_6H_4Cl_2$	—	6
1,2,4-三氯苯	$1,2,4-C_6H_3Cl_3$	—	5
芳香烃			
苯	C_6H_6	SC	3 883
含氧含氮物			
甲醛	$HCHO$	SC, BM	14 200
光气	$COCl_2$	—	< 20
硝酸过氧化乙酸	$CH_3COOONO_2$	植物毒性	589
过氧丙酰硝酸酯	$CH_3CH_2COOONO_2$	植物毒性	103
丙烯腈	$CH \equiv CN$	SC	

注：“BM”：基于阿米沙门氏菌诱变试验(细菌诱变剂)测得的正诱变作用；

NBM：在阿米沙门氏菌诱变试验中未发现诱变(非细菌诱变剂)；

SC：疑似致癌物。

表 4 给出了不同类型的污染源排放出的 NO 和 NO_x 比率。可以看出,尽管 NO 是主要的 NO_x 化合物,但 NO₂ 的比例随污染源的不同而不同。一旦排放后,NO 会迅速通过空气反应转化成 NO₂。

二、硫氧化物

SO₂ 来自于燃料中硫的氧化及使用含硫化合物的工业生产。排放的 SO₂ 主要来自点源。少部分硫氧化物是以气态硫酸盐 SO₃ 和 H₂SO₄ 的形式排放的,以 SO₂ 形式排放的硫氧化物 90% 以上,硫酸盐占其余的 10%。煤一直被认为是最大的 SO₂ 源,尽管工业用煤和民用煤已经降低。但电力设施增用的煤补偿了这种降低。电力设施中排放的 SO₂ 占 SO₂ 总量的一半以上。

表 4 从各种污染源排放物中 NO/NO_x 的比率

污染源类型	NO/NO _x
工业锅炉	
天然气	0.90 ~ 1.0
煤	0.95 ~ 1.0
六号燃油	0.96 ~ 1.0
内燃机	0.99 ~ 1.0
柴油马力轮车	0.77 ~ 1.0 ^a
柴油马力货车和公共汽车	0.73 ~ 0.98
氮酸厂排出的非控制尾气	~ 0.50
石油炼制加热器;天然气	0.93 ~ 1.0
机动车	
气涡轮发电机;二号燃油	0.55 ~ 1.0 ^b

a 最低限度是指空转状况;最高是指 50mi/hr(80.5km·h⁻¹)。

b 最低限度是空载,最高限度是满载。

三、有机化合物

表 2 和表 3 列举了一些空气中固有的有机化合物。有机物一般根据挥发性分成气态和颗粒态,有些种类介于气态和颗粒态之间。大气中有机化合物的主要来源是汽车。汽车排放的污染物含有以有机化合态存在的未燃烧燃料,主要以 NO 形式存在的 NO_x、CO 和颗粒物等。

四、颗粒物

颗粒物是指以浓缩形态排放的所有物质,包括液态和固态。表 5 列举了从典型大气污染源中排放出的非控制颗粒物的化学性质。煤和油的燃烧是颗粒物的主要来源。煤是一种灰尘含量较高的低燃值燃料。煤的灰分中含有 C、SiO₂、Al₂O₃ 及铁氧化物(FeO 和 Fe₂O₃)。与煤相比,油是一种高速燃烧、含灰分低的燃料。灰分低,颗粒物产生的少,并且油燃烧中产生的颗粒物的尺寸比煤燃烧的颗粒物尺寸小。油燃烧的颗粒物含有 Ca、Co、Cu、Ni 和 V。

表 5 非控制排放的微粒特性

污染源种类	颗 15μm	粒 2.5μm	大小 1.0μm	化 学	组 成
燃料燃烧				主要元素和化合物	微量元素(重量 < 1%)
公用事业					
煤	15 ~ 90	5 ~ 70	1 ~ 15	Al, Ca, Fe, Si, 硫酸盐, 有机物	As, B, Ba, Be, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, FHg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, SeTi, V, Zn, Zr
油	95	70 ~ 95	5 ~ 20	Al, Ca, Fe, Mg, Na, 硫酸盐, 有机物	As, Ba, Br, Co, Cr, Cu, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V
工业					
油	—	—	65 ~ 95	Al, Fe, Mg, Si, 硫酸盐, 有机物	As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V, Zn

续表 5

	颗	粒	大小	化 学	组 成
气	—	—	100	Cl, Na, 硫酸盐, 有机物	—
商业/ 社团/ 居民					
油	—	—	—	Al, Ca, Mg, Zn, 有机物	As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, K, Ni, Pb, Sb, C
气	—	—	100	Cl, Na, 硫酸盐, 有机物	—
工业 加工					
钢铁	—	35 ~ 99	30 ~ 95	Al, C, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Si, Zn, 硫酸盐, 有机物	Ag, As, Br, Cd, Cs, Cu, F, I, Mo, NiRb, Se, Sn, V, Zr
原铝	90	75	35 ~ 45	Al, C, Ca, F, Fe, Na	—
原铜	—	20 ~ 95	70	Cu, Pb, S, Zn	Ag, Al, As, Cd, Hg, Sb, Se, Si, Te
原铅	—	80	—	Pb, Zn	As, Cd, Se, Te
原锌	—	90 ~ 98	—	Cd, Fe, Pb, S, Zn	Cu, Hg, Mn, Sn
铸铁	70 ~ 95	65 ~ 90	65	—	—
矿物产品					
水泥	80	30	5 ~ 30	Al, C, Ca, Cl, K, Mg, Na, Si, 碳酸盐, 硫酸盐	Ag, Ba, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Ti, Zn
石膏	—	—	20	Al, C, Ca, Mg, Na, 硫酸盐	As, Ba, Br, Cd, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Y, Zn
沥青	10 ~ 15	1 ~ 2	< 1/2	Al, C, Ca, Fe, K, Mg, Si, 硫酸盐	Ag, As, Ba, Cr, Ti
石灰	—	25 ~ 50	5	Ca, Fe, Mg, Se, Si, 碳酸盐	—
粉碎岩石	—	—	1 ~ 2	Ca, Si, P	Ba, Cu, Fe, K, Mn, Sr
石油	—	—	50 ~ 90	沥青, 焦炭渣, 硫酸雾, 飞尘, 烟尘	—
化学制品					
硫酸	—	40 ~ 95	10 ~ 55	硫酸雾	—
其它					
谷物加工	15	1	0	有机物	—
纸浆和纸张	90 ~ 95	70 ~ 80	—	碳酸盐, 硫酸盐	—
固体废物处理					
焚烧炉	45	35	—	—	—

颗粒物的主要工业产生源包括金属矿物加工、石油和化工等。炼钢炼铁是冶金工业中最重要的排放源。钢铁工业包括炼焦、炼钢和炼铁, 其中每一个过程都是颗粒物排放源。其它主要冶金工业包括炼铜、炼铅、炼锌以及铝的生产等。S 在加工过程中转化成 SO_2 , 少量的转化成颗粒态及硫酸。矿物加工过程产生的颗粒物主要来自水泥、沥青、粉碎的岩石、石灰、玻璃、石膏、砖合用工业等。在爆破、筛选、运输、粉碎中产生的颗粒物直径大于 $15\mu\text{m}$ 。

第二节 大气污染防治法

一、美国的大气环境保护法

1970 年美国的《清洁空气法》是立法中的一个重要步骤,以至于很多方面的大气污染控制得以生效。这部法律的主要目的是在 1975 年空气达到清洁水平。法律要求环保局建立全国大气质量标准:主要标准(保护公民健康)和次要标准(保护公共财产)。法律还要求各州为在三年内达到国家标准提供各州的实行计划。

1977 年的《清洁空气法》是对 1970 年法的一系列修改和补充。在这部法里,国家环保局被要求提高大气质量标准和调控策略。为了防止此国家环境质量标准要求更高的地区的重要污染,新的法律定义了一类区、二类区和三类区,重点防止污染地区的标准比一类区稍高。

两类大气污染标准出现在这部法律中。一类是空气质量标准;另一类是污染物排放标准。表 6 列出了美国大气质量标准。新的法律还制定了点源的特殊类别标准,用以处理有害大气污染物,例如 Be、Hg、[O]、石棉等。

表 6 天然环境空气质量标准(原始)

污染物	平均时间	原始标准
二氧化硫 SO ₂	年平均	80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
	24h	365 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
二氧化氮 NO ₂	年平均	100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
	8h	10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
一氧化碳 CO	1h	40 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
臭氧 O ₃	1h	0.12 $\times 10^{-6}\text{g}/\text{m}^{-3}$ (235 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
颗粒物(PM ₁₀) ^a	年几何平均	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
	24h	150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

二、我国的大气环境保护法

1. 环保法体系

我国 1989 年正式颁布《中华人民共和国环境保护法》,代替 1979 年的《中华人民共和国环境保护法(试行)》。自 70 年代以来,相继颁布了各项专门法,目前已形成以宪法为基础,环保法为主体,其它单行法为支撑的相对独立、完整的环保法体系。在专项法中,针对空气污染制定了《中华人民共和国大气污染防治法》(1987 年 9 月 5 日通过)、《环境空气质量标准》(GB3095-1996)和《大气污染物综合排放标准》(GB9087-1996),并针对特殊行业制定了相应标准,如《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB9078-1996)、《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-91)、《汽油车怠速污染物排放标准》(GB14761.5-93)以及《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)等,并形成许多技术导则。

2. 大气污染防治法

该法最初于 1987 年 9 月 5 日第六届全国人民代表大会常务委员会第 20 次会议通过，同日公布，并于 1988 年 6 月 1 日起施行。为了适应新时期大气环境保护的需要，全国人大环境与资源保护委员会于 1994 年组织有关部门对原《大气压污染防治法》进行修订，并由全国人民代表大会常务委员会于 1995 年 8 月 29 日通过了《关于修改〈中华人民共和国大气污染防治法〉的决定》。修改后的《大气污染防治法》从原来的 6 章 41 条增加到 6 章 50 条。

现行《大气污染防治法》分别对大气污染的基本原则、大气污染防治的监督管理、防治燃煤产生的大气污染、防治废气、粉尘和恶臭污染作出比较全面的规定，它是我国大气污染防治方面的牵头法律，具体内容归纳为：①关于排污单位的责任和公民的权利义务的规定；②关于大气污染防治的监督管理；③关于对严重污染大气环境的落后生产工艺和落后生产设备实行淘汰制度的规定；④关于防治燃煤污染措施的规定；⑤关于防治废气、粉尘和恶臭污染的规定。

3. 大气环境标准体系

大气环境标准是环境保护体系组成部分，包括大气环境质量标准、大气污染物排放标准以及配套的检测方法标准（环境基础标准、样品标准和方法标准）。大气质量标准、污染物排放标准又分为国家标准和地方标准，大气环境质量标准和大气污染物排放标准属于强制性标准，具体包括：

(1)《环境空气质量标准》GB3095-1996，该标准从 1996 年 10 月 1 日起实施，同时替代《大气环境质量标准》GB3095-82。该标准适用于全国范围的环境空气质量评价，标准规定了环境空气质量功能区划分、标准分级、污染物项目、取值时间及浓度限制、采样分析方法数据统计等。

①环境空气质量功能区分类和标准分级：功能区分类，三级：一类区为自然保护区、风景名胜区和其它需要特殊保护的区域；二类区为城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区；三类区为特定工业区。标准分级，三级：一类区执行一级标准；二类区执行二级标准；三类区执行三级标准。

②污染物项目：本标准中规定了 10 项污染物，分别是：二氧化硫（SO₂）、总悬浮颗粒物（TPS）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、氮氧化物（NO_x）、二氧化氮（NO₂）、一氧化碳（CO）、臭氧（O₃）、铅（Pb）、苯丙[a]芘、氟化物（F）。

(2)《大气污染物综合排放标准》GB16297-1996。连其它大气污染物排放标准共 15 个。《大气污染物综合排放标准》自 1997 年 7 月 1 日实施，该标准是在 GBJ4-73《工业“三废”排放试行标准》废气部分以及 1983 年、1984 年、1985 年发布的有关行业性国家排放标准中的废气部分的基础上制定的。标准公布实施后，下列标准的废气部分即行废除：

工业“三废”排放、合成洗涤剂、火炸药、雷汞、硫酸、船舶、钢铁、轻金属、重有色金属、沥青、普钙工业污染物排放标准。

标准中规定了 33 种大气污染物的排放限值，同时规定了标准执行中的各种要求。

①本标准设置下列三类指标：通过排气筒排放废气的最高允许浓度；按排气筒高度

规定的最高允许排放速率；以无组织排放方式排放的废气，规定无组织排放的监控点相应的监控浓度限值。

②排放速率标准分级：本标准规定的最高允许排放速率，现有污染源分为一、二、三级，新污染源分为二、三级，按污染源所在的环境空气质量功能区类别，执行相应级别的排放速率标准：位于一类区的污染源，执行一级标准（一类区禁止新、扩建污染源，现有污染源改建时执行现有污染源的一级标准）；位于二类区的污染源执行二级标准；位于三类区的污染源执行三级标准。

③对于新老污染源规定了不同的排放限值：1997年1月1日前设立的污染源为现有（老）污染源，1997年1月1日起设立的污染源为新污染源。

④其它规定：排气筒高度应高出周围200米半径范围的建筑物5米以上；新污染源的排气筒一般不应低度于15米；新污染源的无组织排放应从严控制，一般情况下不应有无组织排放存在；酸雨控制区和二氧化硫污染控制区的污染源，其二氧化硫排放，除执行本标准外，还应执行行业总量控制标准。

（3）到2000年为止，我国大气环境监测方法标准共46个。

第一章 废气污染控制基础

大气污染工程需要以化学热力学、动力学、流体力学以及热量和质量传递基础。本章给出化学动力学、热量和质量传递的基本知识,这些将在以后运用。

第一节 化学动力学

一个有 S 个反应物和生成物的化学反应式写成:

$$\sum_{i=1}^S v_i A_i = 0 \quad (1-1)$$

反应系数 v_i 对于产物为正,对反应物为负。如 R 个化学反应,可以记成:

$$\sum_{i=1}^S v_{ij} A_i = 0 \quad j = 1 \cdots R \quad (1-2)$$

v_{ij} , 物质 i 在 j 反应中的系数。以 R_i 代表物质 i 的反应速率,以 r_j 代表 j 反应的速率。在一个封闭的体系中:

$$\frac{dc_i}{dt} = R_i = \sum_{j=1}^R v_{ij} r_j \quad i = 1, 2, \cdots S \quad (1-3)$$

$$\text{上式也可写为: } \frac{(R_i)_j}{(R_l)_j} = \frac{v_i}{v_j} \quad i, l = 1, 2, \cdots S; j = 1, 2, \cdots R \quad (1-4)$$

现在我们来定义 R 个反应的反应程度:

$$c_i - c_{i0} = \sum_{j=1}^R v_{ij} \xi_j \quad i = 1, 2, \cdots, S \quad (1-5)$$

反应程度满足:

$$\frac{d\xi_j}{dt} = r_j(\xi_1, \cdots \xi_R) \quad j = 1, 2 \cdots R; \xi_j(0) = 0 \quad (1-6)$$

考虑气相化学反应 $A + B \xrightarrow{K} C$, 反应在一密闭容器中, 体积 $V(t)$ 随时间而改变。固有反应速率是 $k c_A c_B$ 。让我们来看一看体系中的浓度变化率。物质 A 的摩尔浓度是 $c_A = n_A/V$, 物质 A 的摩尔变化率是:

$$\frac{d}{dt}(c_A V) = V k c_A c_B \quad (1-7)$$

或:

$$\frac{dc_A}{dt} = k c_A c_B - \frac{c_A}{V} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1-8)$$

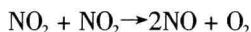
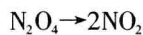
在一个体积变化的体系中,反应物的浓度变化受体积和反应本身的双重影响。理想的浓度变化率表达式仅同反应本身有关。在封闭体系中,质量 m 是不变的,所以,以体系的总质量而不以总体积为基础的浓度将满足这种要求。 ρ 作为体系中的质量密度,等于 m/v 。用 m/ρ 代替 v :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{c_A m}{\rho}\right) = \frac{m}{\rho} k c_A c_B \quad (1-9)$$

因为 m 是恒定的,从两边约去,则:

$$\rho \frac{d}{dt}\left(\frac{c_A}{\rho}\right) = k c_A c_B \quad (1-10)$$

例 1.1 考虑反应:



设 $A_1 = \text{O}_2$, $A_2 = \text{NO}$, $A_3 = \text{N}_2\text{O}_4$, $t = 0$ 时仅 N_2O_4 存在。 $v_{31} = 2$, $v_{41} = -1$, $v_{22} = 2$, $v_{12} = 1$, $v_{32} = -2$ 。则:

$$c_1 = \zeta_2$$

$$c_2 = 2\zeta_2$$

$$c_3 = 2\zeta_1 - 2\zeta_2$$

$$c_4 - c_{40} = -\zeta_1$$

对于一个密闭、均匀的体系,在体积不变情况下:

$$\frac{dc_i}{dt} = \sum_{j=1}^2 v_{ij} r_j \quad i = 1, 2, 3, 4$$

上式又可写成:

$$\frac{d\xi_1}{dt} = r_1(\xi_1, \xi_2) \quad \frac{d\xi_2}{dt} = r_2(\xi_1, \xi_2)$$

上面所写的反应如果是以分子水平反应的,则称为基本反应。有时,一个反应并不是像上面所写的那样进行的,而是包括了一系列基本反应。例如反应: $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{HBr}$ 包括了一系列基本反应: