

DAQI WURAN KONGZHI  
JISHU SHOUCHE

# 大气污染控制 技术手册

马广大 主 编  
黄学敏 朱天乐 李 坚 副主编



化学工业出版社

全书分为八篇，共 28 章。主要包括：大气污染的基础知识及大气污染控制的法律法规；气体和粉尘的性质；能源、燃烧和燃烧污染物的控制；各种除尘器及其选择方法；气态污染物（硫氧化物、固定源氮氧化物、挥发性有机污染物以及机动车排放）治理技术；净化系统（集气罩、管道系统、通风机和电动机）设计；主要工业（电力工业、水泥工业、钢铁工业、有色冶金工业、化学工业等）的大气污染控制技术；大气污染物的扩散及其浓度估算模式。

本书可供大气污染控制领域的科研人员、设计人员和管理人员阅读使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

大气污染控制技术手册/马广大主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.4

ISBN 978-7-122-07814-8

I. 大… II. 马… III. 空气污染控制-技术手册  
IV. X510.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 031744 号

---

责任编辑: 刘兴春  
责任校对: 郑捷

文字编辑: 荣世芳  
装帧设计: 杨北

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 52½ 字数 1949 千字 2010 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 248.00 元

版权所有 违者必究



# 前 言

近十几年来,随着社会、经济和科技的快速发展,我国的大气污染控制技术水平、装备制造水平和管理水平皆有很大进步,城市环境空气质量恶化的趋势有所减缓,部分城市环境空气质量逐步改善。为了贯彻和落实科学发展观,建设资源节约型、环境友好型及生态文明型社会,大力推动节能、减排、降耗,发展循环经济,实现可持续发展,全面改善环境质量,特别是环境空气质量,尚需全社会共同做出长期的、巨大的努力。但是,目前国内有关大气污染控制工程方面的技术书籍特别是工程技术设计手册等工具书还非常缺乏。为此,承蒙化学工业出版社之约,我们编写了《大气污染控制技术手册》,以期为从事大气污染控制的工程技术人员提供实用的技术参考依据。

本技术手册编写的理念是,在整体结构体系方面,尽可能做到系统、全面、完整;在内容选取方面,力求体现先进、科学、实用;在具体的取材和论述上,对于有关大气污染控制工程的基本概念和基本理论,必要时仅做简明介绍;对于工程实用技术、工程设计资料和实践数据以及工程应用实例等,则尽可能完整、详细地论述。

全书分为八篇,共28章。第1篇总论,论述了大气污染物的基本概念,大气污染控制的现状、战略目标和综合控制措施,以及大气污染控制的法律法规;第2篇简述了气体和粉尘的基本性质,以便为后述的气态污染物和颗粒污染物控制提供必要的基本理论和基础数据;第3篇为能源及燃料燃烧污染物的控制,重点论述了化石燃料(煤、油、燃气)在燃烧过程中污染物的生成与控制方法,并简述了可再生能源(太阳能、风能、地热能、海洋能)的蕴藏和开发利用现状及其利用方法和途径;第4篇详尽论述了各种除尘装置(机械式除尘器、袋式除尘器、电除尘器、湿式除尘器)的类型、除尘性能和特点、选用设计和计算方法及其设计和应用实例等;第5篇详细介绍了各种气态污染物治理设备(吸收设备、吸附设备、催化转化设备等)的类型、净化性能和特点、选用设计和计算方法及其设计和应用实例等,包括硫氧化物( $\text{SO}_2$ )、氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、挥发性有机化合物(VOCs)及机动车排气的各种净化和控制方法,并尽可能给出现今应用较多、控制效果较好的应用实例;第6篇为净化系统的设计,包括集气罩的形式、性能、设计和计算,管道系统的设计和计算,风机和电动机的选型设计和计算,以及净化系统参数和净化装置性能的测试;第7篇为主要工业(包括电力、水泥、钢铁、有色冶金、化工等工业)大气污染源的控制技术,分别综述了各生产工序的大气污染源、产生的大气污染物及其排放特性,详尽阐述了各种相应的污染控制技术并列举了应用实例;第8篇介绍了大气污染气象学及大气污染物扩散浓度估算模式。

本书由马广大担任主编,黄学敏、朱天乐、李坚担任副主编,各章编写分工如下:第1章、第2章、第24章由黄学敏、闫东杰编写;第3章~第5章、第12章、第19章、第20章由马广大编写;第6章由侯晨涛、马广大编写;第7章由马广大、闫东杰编写;第8章、第9章由黄学敏、杨全编写;第10章由陈隆枢、杨复沫编写;第11章、第22章由党小庆、庞敏编写;第13章由李坚、竹涛、刘春敬、刘莹编写;第14章由曹利编写;第15章由朱天乐、燕潇编写;第16章由王宝庆编写;第17章由朱天乐、吴从佳编写;第18章由陈柳、马广大编写;第21章由李坚、竹涛、梁文俊、李晶欣编写;第23章由娄汉民、王毅编写;第25章由王宝庆、谢燕飞编写;第26章由李坚、刘佳、竹涛编写;第27章、第28章由高兆瑞、黄学敏编写。参加本书部分资料查询和绘图等工作的还有曹爽、朱海俭、冯芳宁、刘党生、彭淑婧、李超、方宏萍和朱永超等。

尽管本书的编者多为具有丰富科研和工程实践经验的教授或高级工程师,但由于大气污染控制技术在不断发展进步,新成果、新技术和新装备不断涌现,受编者学识、水平所限,加之编写时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请读者不吝指正,以便再版时进行补充和修正。

编 者  
2010年1月于西安

# 目 录

## 第1篇 总 论

第1章 概论	1	2.2.2 大气环境保护标准汇总	12
1.1 大气污染的概念	1	2.3 大气环境质量标准	18
1.2 大气污染物的种类和来源	1	2.3.1 环境空气质量标准	18
1.2.1 大气污染物	1	2.3.2 室内空气质量标准	19
1.2.2 大气污染物的来源和发生量	4	2.3.3 保护农作物的大气污染物最高 允许浓度	20
1.3 大气污染问题的产生和发展	7	2.4 大气污染物排放标准	21
1.3.1 工业发达国家大气污染的发展和 控制历程	7	2.4.1 制定原则	21
1.3.2 我国大气污染控制发展历程	8	2.4.2 大气污染物综合排放标准	21
1.4 大气污染的工程控制途径	10	2.4.3 行业标准	31
1.5 中国大气污染的现状	10	2.4.4 制定地方大气污染物排放标准的 技术方法	41
1.6 中国大气污染控制战略目标和措施	11	2.5 空气污染指数及报告	43
参考文献	11	2.5.1 空气污染指数分级及其浓度限值	43
第2章 大气污染控制的法律法规	12	2.5.2 空气污染指数的计算方法	44
2.1 大气污染防治法	12	参考文献	44
2.2 大气环境保护标准体系	12		
2.2.1 空气质量控制标准的分类	12		

## 第2篇 气体和粉尘的性质

第3章 气体的性质	45	3.5.3 碳化合物	64
3.1 气体的湿度	45	3.5.4 有害大气污染物	69
3.1.1 绝对湿度	45	参考文献	71
3.1.2 气体的相对湿度	46	第4章 粉尘的性质	72
3.1.3 气体的含湿量	46	4.1 粉尘的粒径和粒径分布	72
3.1.4 湿气体中水蒸气的体积分数	46	4.1.1 颗粒的粒径	72
3.2 气体的密度	49	4.1.2 颗粒的形状	72
3.2.1 单一气体的密度	49	4.1.3 粉尘的粒径分布	77
3.2.2 混合气体的密度	49	4.1.4 粒径分布函数	81
3.2.3 气体密度的换算	49	4.1.5 多众数分布	88
3.2.4 气体体流量的换算	50	4.2 粉尘的物理性质	89
3.3 气体的黏度	51	4.2.1 粉尘的密度	89
3.3.1 气体黏度与温度和压力的关系	51	4.2.2 粉尘的安息角与滑动角	89
3.3.2 混合气体的黏度	51	4.2.3 粉尘的含水率	89
3.4 气体的热容和定压热的计算	53	4.2.4 粉尘的润湿性	91
3.4.1 气体的热容	53	4.2.5 粉尘的光学特性	92
3.4.2 定压热的计算	54	4.2.6 粉尘的荷电性和导电性	93
3.4.3 混合气体的比热容	54	4.2.7 粉尘的黏附性	93
3.5 某些气态污染物的特性	56	4.2.8 粉尘的自然性和爆炸性	95
3.5.1 硫化物	57	参考文献	96
3.5.2 氮化合物	60		

## 第3篇 能源、燃烧和燃烧污染物的控制

<b>第5章 能源和燃料</b> .....	97	6.3.1 完全燃烧时的理论燃烧温度 .....	133
5.1 能源的分类和利用概况 .....	97	6.3.2 不完全燃烧(有离解)时的理论 燃烧温度 .....	134
5.1.1 能源的分类 .....	97	6.3.3 理论燃烧温度的近似估算 .....	134
5.1.2 世界能源资源及利用概况 .....	98	6.3.4 实际燃烧温度 .....	135
5.1.3 中国能源资源及利用概况 .....	99	6.4 燃烧产生的污染物 .....	137
5.1.4 能源利用中的环境问题 .....	100	6.4.1 颗粒物的生成机理和燃烧条件 .....	137
5.2 固体燃料 .....	100	6.4.2 $SO_x$ 的生成机理和燃烧条件 .....	138
5.2.1 煤的种类及化学组成 .....	101	6.4.3 $NO_x$ 的生成机理和燃烧条件 .....	140
5.2.2 煤的分析 .....	101	6.4.4 燃料燃烧的排放因子 .....	143
5.2.3 煤的使用特性和分类 .....	104	参考文献 .....	145
5.3 液体燃料 .....	105	<b>第7章 燃烧装置中污染物的生成与控制</b> 方法 .....	146
5.3.1 液体燃料的化学组成 .....	105	7.1 气体、液体燃料燃烧装置中污染物的 生成与控制方法 .....	146
5.3.2 燃料油的分类 .....	106	7.1.1 引言 .....	146
5.3.3 油品的主要使用特性 .....	108	7.1.2 固定式燃烧装置的 $NO_x$ 排放 特性 .....	146
5.4 气体燃料 .....	109	7.1.3 抑制 $NO_x$ 生成的方法 .....	148
5.4.1 气体燃料的组成 .....	109	7.1.4 $CO$ 、炭黑等的控制方法 .....	154
5.4.2 主要气体燃料 .....	112	7.2 煤燃烧装置中污染物的生成与控制 方法 .....	155
5.5 可再生能源 .....	113	7.2.1 粉煤燃烧装置中 $NO_x$ 的生成 特性 .....	155
5.5.1 太阳能 .....	113	7.2.2 粉煤燃烧装置中 $NO_x$ 的控制 方法 .....	156
5.5.2 风能 .....	114	7.3 沸腾燃烧装置中污染物的生成与 控制方法 .....	159
5.5.3 地热能 .....	116	7.3.1 沸腾炉内脱硫 .....	159
5.5.4 生物质能 .....	118	7.3.2 沸腾炉内脱氮 .....	161
5.5.5 海洋能 .....	118	7.3.3 二段燃烧沸腾炉脱硫和脱氮 .....	164
参考文献 .....	122	7.3.4 脱硫剂的再生 .....	165
<b>第6章 燃料燃烧过程及计算</b> .....	123	参考文献 .....	166
6.1 燃烧所需空气量和燃烧产物生成量 .....	123		
6.1.1 完全燃烧所需空气量 .....	123		
6.1.2 完全燃烧产生的烟气量 .....	124		
6.1.3 不完全燃烧产生的烟气量 .....	127		
6.2 燃烧产物及过量空气系数的检测 计算 .....	130		
6.2.1 气体分析方程 .....	130		
6.2.2 过量空气系数的确定 .....	131		
6.3 燃烧温度 .....	132		

## 第4篇 除尘装置

<b>第8章 除尘装置的分类、性能和选择</b> .....	167	8.3.1 根据粉尘性质选择除尘装置 .....	170
8.1 除尘装置的分类 .....	167	8.3.2 根据运行条件选择除尘装置 .....	171
8.2 除尘装置的性能 .....	167	8.4 除尘装置的费用 .....	171
8.2.1 除尘装置技术性能的一般表示 方法 .....	167	8.4.1 设备费 .....	171
8.2.2 除尘效率的表示方法 .....	168	8.4.2 运行费 .....	173
8.2.3 排放浓度及排放速率 .....	169	8.4.3 总费用 .....	173
8.3 除尘装置的选择 .....	170	参考文献 .....	174
		<b>第9章 机械式除尘器</b> .....	175

9.1 重力沉降室 .....	175	10.5.8 在筑路行业的应用(沥青混凝土拌和机的烟尘治理) .....	259
9.1.1 沉降室的捕集效率 .....	175	10.5.9 滤筒式除尘器的工业应用 .....	260
9.1.2 沉降室的设计 .....	177	10.5.10 陶瓷质微孔管过滤式除尘器的工业应用 .....	260
9.2 惯性除尘器 .....	177	参考文献 .....	261
9.3 旋风除尘器 .....	178	<b>第 11 章 电除尘器</b> .....	264
9.3.1 旋风除尘器内气流流型简介 .....	178	11.1 电除尘器的工作原理 .....	264
9.3.2 旋风除尘器的除尘效率 .....	178	11.1.1 电除尘器的除尘过程 .....	264
9.3.3 旋风除尘器的压力损失 .....	182	11.1.2 电晕的发生 .....	264
9.4 旋风除尘器的结构形式和性能 .....	184	11.1.3 电场 .....	266
9.4.1 旋风除尘器的结构形式 .....	184	11.2 粒子荷电及粒子捕集 .....	267
9.4.2 常用旋风除尘器的结构和性能 .....	185	11.2.1 粒子荷电 .....	267
9.5 组合式多管旋风除尘器 .....	186	11.2.2 粒子的捕集 .....	269
9.5.1 串联式旋风除尘器组合形式 .....	187	11.2.3 理论分级效率方程的修正 .....	272
9.5.2 并联式旋风除尘器组合形式 .....	187	11.3 电除尘器的结构 .....	275
9.6 旋风除尘器的选择设计和应用 .....	188	11.3.1 电晕电极 .....	275
9.6.1 旋风除尘器的选择设计 .....	188	11.3.2 集尘电极 .....	276
9.6.2 旋风除尘器的应用 .....	189	11.3.3 电极清灰装置 .....	276
参考文献 .....	189	11.3.4 气流分布装置 .....	277
<b>第 10 章 袋式除尘器</b> .....	190	11.3.5 电除尘器高压绝缘、密封及隔流 .....	278
10.1 袋式除尘器的主要类型 .....	190	11.4 电除尘器的选择设计和计算 .....	279
10.1.1 袋式除尘器的分类 .....	190	11.4.1 电除尘器本体结构的设计和计算 .....	279
10.1.2 袋式除尘器的清灰机理 .....	193	11.4.2 电除尘器振打机构的设计和排灰装置 .....	282
10.1.3 典型的袋式除尘器 .....	194	11.4.3 电除尘器的设计实例 .....	283
10.2 袋式除尘器的滤料 .....	210	11.5 电除尘器高压供电装置 .....	284
10.2.1 袋式除尘器滤料的材质 .....	210	11.5.1 高压供电装置的种类 .....	284
10.2.2 对袋式除尘器滤料的要求 .....	211	11.5.2 高压供电装置的控制方式 .....	284
10.2.3 袋式除尘器滤料的种类 .....	212	11.5.3 电源容量的选择 .....	285
10.2.4 织造滤料及其性能 .....	212	11.5.4 电除尘器低压电源控制装置 .....	285
10.2.5 针刺毡滤料及其性能 .....	217	11.5.5 脉冲电源 .....	285
10.2.6 复合耐高温针刺毡——氟美斯(FMS)和特氟美针刺毡 .....	218	11.5.6 恒流源 .....	287
10.2.7 覆膜滤料及其性能 .....	218	11.5.7 高频开关电源 .....	289
10.2.8 消静电滤料及其性能 .....	220	11.6 电除尘器的维护、管理及经济分析 .....	290
10.2.9 烧结不锈钢纤维毡 .....	220	11.6.1 电除尘器的维护 .....	290
10.3 袋式除尘器的设计和计算 .....	221	11.6.2 电除尘器的管理 .....	291
10.3.1 选用袋式除尘器应考虑的因素 .....	221	11.6.3 电除尘器的经济分析 .....	295
10.3.2 袋式除尘器的设计和选用步骤 .....	223	11.7 新型电除尘器 .....	296
10.3.3 袋式除尘器的设计实例 .....	235	11.7.1 带辅助电极电除尘器 .....	296
10.4 袋式除尘器的故障及其排除 .....	236	11.7.2 组合式除尘技术 .....	297
10.5 袋式除尘器的工业应用 .....	238	参考文献 .....	298
10.5.1 在钢铁工业的应用 .....	238	<b>第 12 章 湿式除尘器</b> .....	299
10.5.2 在水泥工业的应用 .....	246	12.1 概述 .....	299
10.5.3 在有色冶金工业的应用 .....	251	12.1.1 湿式除尘器的分类 .....	299
10.5.4 在机械工业的应用 .....	253	12.1.2 湿式除尘器的性能和净化效率 .....	299
10.5.5 在炭黑工业的应用 .....	253		
10.5.6 在电力工业的应用 .....	253		
10.5.7 在生活垃圾焚烧炉烟尘净化中的应用 .....	255		

12.1.3 湿式除尘器的选择 .....	301	12.4.2 冲激式除尘机组 .....	308
12.2 重力喷雾洗涤器 .....	301	12.5 文丘里除尘器 .....	311
12.3 湿式旋风除尘器 .....	303	12.5.1 文丘里除尘器的结构及工作 原理 .....	311
12.3.1 旋风水膜除尘器 .....	303	12.5.2 文丘里管的凝聚效率 .....	312
12.3.2 卧式旋风式水膜除尘器 .....	304	12.5.3 文丘里管的压力损失 .....	313
12.3.3 中心喷雾旋风除尘器 .....	306	参考文献 .....	317
12.4 自激喷雾除尘器 .....	307		
12.4.1 冲击水浴除尘器 .....	307		

## 第5篇 气态污染物治理技术

### 第13章 气态污染物治理设备 .....

13.1 吸收设备 .....	318
13.1.1 吸收设备的类型和特点 .....	318
13.1.2 吸收设备的设计和计算 .....	324
13.1.3 吸收法的典型工程应用 .....	332
13.2 吸附设备 .....	342
13.2.1 吸附设备的类型和特点 .....	342
13.2.2 吸附设备的设计和计算 .....	344
13.2.3 吸附设备典型工程应用 .....	349
13.3 催化转化设备 .....	354
13.3.1 催化转化设备的类型和特点 .....	354
13.3.2 催化转化设备的设计和计算 .....	355
13.3.3 催化转化设备典型工程应用 .....	359
13.4 其他设备 .....	361
13.4.1 燃烧设备 .....	361
13.4.2 冷凝设备 .....	367
参考文献 .....	371

### 第14章 硫氧化物排放控制技术 .....

14.1 控制硫氧化物排放的方法 .....	372
14.1.1 大气中 SO <sub>2</sub> 的来源及危害 .....	372
14.1.2 SO <sub>2</sub> 的性质 .....	372
14.1.3 SO <sub>2</sub> 污染控制的主要方法 .....	372
14.1.4 国内外烟气脱硫技术的应用 情况 .....	376
14.2 燃烧前脱硫 .....	376
14.2.1 煤中硫的形态 .....	376
14.2.2 物理脱硫 .....	376
14.2.3 化学脱硫 .....	377
14.2.4 生物脱硫 .....	377
14.2.5 煤炭转化 .....	378
14.3 燃烧中脱硫 .....	378
14.3.1 型煤燃烧固硫 .....	378
14.3.2 流化床燃烧脱硫 .....	380
14.3.3 炉内喷钙脱硫 .....	380
14.4 烟气脱硫 .....	381
14.4.1 石灰石/石灰湿法烟气脱硫 .....	381
14.4.2 双碱法 .....	386

14.4.3 氨法 .....	388
14.4.4 钠碱法 .....	393
14.4.5 金属氧化物吸收法 .....	397
14.4.6 海水脱硫 .....	399
14.4.7 活性炭吸附法 .....	401
14.4.8 喷雾干燥法脱硫 .....	404
14.4.9 干法脱硫 .....	406
14.4.10 高能电子活化氧化法 .....	413
14.5 烟气脱硫技术的综合评价 .....	416
14.5.1 烟气脱硫工艺的技术性能分析 .....	416
14.5.2 烟气脱硫技术综合评价结果 .....	418
14.5.3 烟气脱硫工艺选择的主要原则 .....	418
参考文献 .....	420

### 第15章 固定源氮氧化物排放控制

技术 .....	421
15.1 选择性催化还原脱硝技术 .....	421
15.1.1 SCR脱硝原理 .....	422
15.1.2 SCR脱硝工艺流程 .....	422
15.1.3 SCR脱硝性能影响因素 .....	424
15.2 选择性催化还原脱硝系统概述 .....	426
15.2.1 供氨与注氨系统 .....	426
15.2.2 催化反应器及附属组件 .....	429
15.2.3 SCR控制系统 .....	430
15.3 催化剂设计与管理 .....	432
15.3.1 催化剂结构形式 .....	433
15.3.2 催化剂体积计算 .....	433
15.3.3 催化剂的钝化与中毒 .....	434
15.3.4 催化剂的寿命管理 .....	434
15.3.5 失效催化剂的处理 .....	436
15.4 选择性非催化还原脱硝技术 .....	437
15.4.1 SNCR工艺原理 .....	437
15.4.2 SNCR脱硝工艺流程 .....	437
15.4.3 影响SNCR脱硝效率的因素 .....	438
15.4.4 SCR与SNCR工艺比较 .....	440
15.5 其他氮氧化物排放控制技术 .....	441
15.5.1 吸收法 .....	441
15.5.2 非热等离子体法 .....	443

15.5.3	吸附法	444	16.5.7	燃烧热	463
15.5.4	催化分解法	445	16.5.8	燃烧动力学	463
15.5.5	微生物法	446	16.5.9	催化燃烧净化石化污水处理厂 废气	464
	参考文献	447	16.6	生物法净化含 VOCs 废气	466
<b>第 16 章</b>	<b>挥发性有机污染物的控制</b>	449	16.6.1	生物法的选择	466
16.1	概述	449	16.6.2	生物过(滴)滤降解	467
16.1.1	挥发性有机物的概念	449	16.6.3	生物法净化 VOC <sub>x</sub> 实例	468
16.1.2	挥发性有机物的来源	449	16.7	其他方法净化含 VOCs 废气	470
16.1.3	挥发性有机物的危害	449	16.7.1	非平衡等离子体净化技术	470
16.1.4	挥发与溶解蒸气压	450	16.7.2	膜吸收净化技术	470
16.2	冷凝法净化含 VOCs 废气	451	16.7.3	微波催化氧化净化技术	471
16.2.1	冷凝原理	451	16.8	净化 VOCs 方法的选择	471
16.2.2	工艺流程	452		参考文献	473
16.2.3	冷凝计算	452	<b>第 17 章</b>	<b>机动车排放控制技术</b>	474
16.2.4	直接冷凝法净化回收含癸二腈 废气	454	17.1	车用燃料改进和燃料替代技术	474
16.2.5	吸收-冷凝法回收氯乙烷	454	17.1.1	改进车用汽油	474
16.3	吸收法净化含 VOCs 废气	455	17.1.2	改进车用柴油	476
16.3.1	吸收过程	455	17.1.3	替代燃料技术	477
16.3.2	吸收设备和吸收剂	455	17.2	机动车排放污染形成和机内控制 技术	480
16.3.3	工艺流程	455	17.2.1	发动机工作原理	480
16.3.4	空调生产有机废气治理工艺	455	17.2.2	汽油机污染物形成机理	482
16.4	吸附法净化含 VOCs 废气	457	17.2.3	汽油机排放污染物机内控制技术	484
16.4.1	吸附剂	457	17.2.4	柴油机污染物形成机理	488
16.4.2	多组分吸附	457	17.2.5	柴油机排放污染机内控制技术	490
16.4.3	活性炭的吸附热	458	17.2.6	电动汽车技术	494
16.4.4	吸附剂再生	458	17.3	机动车排放污染机外净化技术	497
16.4.5	吸附工艺	459	17.3.1	汽油机排气净化技术	497
16.4.6	固定床活性炭吸附净化炼油厂 表曝池恶臭污染	459	17.3.2	柴油机排气净化技术	504
16.5	燃烧法净化含 VOCs 废气	460	17.3.3	非排气污染控制技术	510
16.5.1	直接燃烧法	460	17.4	机动车排放控制管理对策	512
16.5.2	热力燃烧法	460	17.4.1	实施严格的机动车排放标准	512
16.5.3	催化燃烧法	461	17.4.2	完善机动车排放控制管理体系	513
16.5.4	蓄热式燃烧法	462	17.4.3	科学规划交通设施	515
16.5.5	蓄热式催化氧化法	463	17.4.4	其他非技术性对策	516
16.5.6	不同燃烧法的比较	463		参考文献	517

## 第 6 篇 净化系统设计

<b>第 18 章</b>	<b>集气罩</b>	518	18.3.1	设计原则	528
18.1	集气罩的形式和性能	518	18.3.2	排气量的计算	528
18.1.1	集气罩的基本形式	518	18.4	热过程接受罩的设计和计算	536
18.1.2	集气罩的主要性能	518	18.4.1	热射流参数法	536
18.2	密闭罩的设计和计算	520	18.4.2	流量比法	537
18.2.1	设计原则	520	18.5	吹吸罩的设计和计算	538
18.2.2	排气量的计算	520	18.5.1	临界断面法	538
18.3	外部集气罩的设计和计算	528	18.5.2	流量比法	539



18.6 槽边集气罩的设计和计算 .....	543	20.1 通风机 .....	598
18.6.1 设计原则 .....	543	20.1.1 通风机的分类与命名 .....	598
18.6.2 条缝式槽边集气罩的设计和 计算 .....	544	20.1.2 通风机的特性曲线 .....	600
18.6.3 平口式槽边集气罩的设计和 计算 .....	546	20.1.3 通风机在通风系统中的运行 .....	602
18.7 排气柜的设计和计算 .....	546	20.1.4 通风机的联合运行 .....	603
18.7.1 排气柜的形式和设计原则 .....	546	20.1.5 通风机的选型及注意事项 .....	603
18.7.2 排气柜的排气量计算 .....	547	20.2 电动机 .....	604
18.7.3 排气柜的布置和排气系统 .....	547	20.2.1 异步电动机型号的表示方法 .....	604
参考文献 .....	547	20.2.2 异步电动机的分类 .....	604
<b>第 19 章 管道系统设计</b> .....	548	20.2.3 Y 系列小型鼠笼转子异步电 动机 .....	604
19.1 概述 .....	548	20.2.4 异步电动机的选择 .....	606
19.1.1 管道设计的基本内容 .....	548	20.3 其他附属设备的选型 .....	606
19.1.2 管道材料和规格 .....	548	20.3.1 液力耦合器的选型 .....	606
19.2 管道的压力损失 .....	550	20.3.2 三角胶带传动计算 .....	607
19.2.1 沿程压力损失的计算 .....	550	20.4 通风机房布置 .....	611
19.2.2 局部压力损失的计算 .....	552	参考文献 .....	612
19.3 管道的设计和计算 .....	564	<b>第 21 章 净化系统参数的测定</b> .....	613
19.3.1 管道布置 .....	564	21.1 测定位置的选择和测点的确定 .....	613
19.3.2 除尘管道的设计和计算 .....	565	21.1.1 测定位置的选择 .....	613
19.3.3 高温烟气管道的设计和计算 .....	569	21.1.2 测点的确定 .....	613
19.3.4 其他管道的设计和计算 .....	571	21.2 管道中气体温度和湿度的测定 .....	615
19.4 管道的热伸长及其补偿 .....	573	21.2.1 管道中气体温度的测定 .....	615
19.4.1 管道的热伸长量计算 .....	573	21.2.2 管道中气体湿度的测定 .....	615
19.4.2 管道自然补偿计算 .....	574	21.3 管道中气流压力、流速和流量的 测定 .....	617
19.4.3 伸缩器的选择和计算 .....	578	21.3.1 管道中气流压力的测定 .....	617
19.5 管道支架布置及推力计算 .....	582	21.3.2 管道中气体流速和流量的计算 .....	618
19.5.1 支架形式和布置 .....	582	21.4 管道中气体含尘浓度的测定 .....	619
19.5.2 各种固定支架的推力计算 .....	583	21.4.1 过滤称重法 .....	619
19.5.3 管道重力负荷及跨距计算 .....	583	21.4.2 光电透射法 .....	625
19.5.4 管道扭力计算 .....	585	21.5 管道中气态污染物的测定 .....	626
19.6 防腐蚀 .....	586	21.5.1 管道中气态污染物的采样 .....	626
19.6.1 概述 .....	586	21.5.2 气态污染物的测定方法 .....	629
19.6.2 防腐蚀措施 .....	586	21.6 净化装置性能的测试 .....	634
19.7 管道与设备保温 .....	591	21.6.1 处理气体量的测试 .....	634
19.7.1 设置保温的原则 .....	591	21.6.2 压力损失的测试 .....	634
19.7.2 保温材料的主要技术性能 .....	591	21.6.3 净化效率的测试 .....	635
19.7.3 保温的热力计算 .....	591	21.6.4 净化装置性能的测试次数 .....	636
19.7.4 保温结构与施工 .....	596	21.6.5 污染物浓度和净化效率的测定 误差 .....	636
参考文献 .....	597	参考文献 .....	637
<b>第 20 章 通风机和电动机</b> .....	598		

## 第 7 篇 主要工业大气污染源的控制技术

<b>第 22 章 电力工业大气污染控制</b> .....	638	22.1.2 火电厂烟气的特点 .....	639
22.1 概述 .....	638	22.1.3 火电厂烟气控制方法 .....	639
22.1.1 废气的来源和分类 .....	638	22.2 火电厂逸散尘污染控制 .....	639

22.2.1	火电厂逸散尘污染源及排放因子	639	24.3	焦化厂废气治理	703
22.2.2	火力发电厂逸散尘的特性	642	24.3.1	概述	703
22.2.3	火电厂逸散尘的控制方法	642	24.3.2	焦炉装煤烟气治理	704
22.3	火电厂烟尘污染控制	643	24.3.3	焦炉推焦烟尘治理	709
22.3.1	火电厂烟尘的排放因子	643	24.3.4	熄焦烟尘的控制	713
22.3.2	火电厂烟尘的控制技术	646	24.3.5	焦炉炉体烟气治理	714
22.4	火电厂二氧化硫污染控制	654	24.3.6	筛、贮焦烟气治理	715
22.4.1	火电厂二氧化硫的排放因子	654	24.3.7	煤气净化及化学产品生产过程污染物的控制	715
22.4.2	火电厂二氧化硫的控制技术	654	24.3.8	焦炉煤气脱硫	715
22.5	火力发电厂氮氧化物的控制技术	664	24.4	炼铁厂废气治理	716
22.5.1	低氮氧化物燃烧技术	664	24.4.1	概述	716
22.5.2	烟气脱硝技术	666	24.4.2	炉前矿槽除尘	718
	参考文献	674	24.4.3	高炉出铁厂除尘	719
<b>第 23 章</b>	<b>水泥工业大气污染控制</b>	675	24.4.4	高炉煤气袋式除尘技术	720
23.1	水泥生产工艺简介	675	24.5	炼钢厂废气治理	721
23.1.1	水泥生产方法	675	24.5.1	概述	721
23.1.2	水泥生产用原料和燃料	676	24.5.2	吹氧转炉烟气净化	722
23.1.3	水泥生产工艺流程简介	677	24.5.3	炼钢电炉烟气除尘	726
23.2	水泥厂主要大气污染源及其污染物	679	24.5.4	混铁炉烟气除尘技术	730
23.2.1	粉尘污染源	679	24.6	铁合金厂废气治理	731
23.2.2	废气污染源	682	24.6.1	概述	731
23.3	水泥厂大气污染防治技术	682	24.6.2	矿热电炉废气治理	731
23.3.1	大气污染防治基本要求	682	24.6.3	钼铁车间废气治理	734
23.3.2	粉尘防治措施	683	24.6.4	钒铁车间回转窑废气治理	736
23.3.3	废气的防治措施	688		参考文献	737
23.4	水泥厂防尘设计	688	<b>第 25 章</b>	<b>有色冶金工业大气污染控制</b>	738
23.4.1	除尘设计一般规定	688	25.1	概述	738
23.4.2	除尘设备选型	689	25.2	铝厂大气污染控制技术	738
23.4.3	常用设备除尘排风量计算简介	689	25.2.1	氧化铝厂大气污染控制技术	738
23.4.4	抽风点设计的一般要求	690	25.2.2	电解铝厂大气污染控制技术	740
23.4.5	管网设计	691	25.3	铜冶炼厂大气污染控制技术	746
23.4.6	除尘系统保温、加热器要求	691	25.3.1	概述	746
	参考文献	692	25.3.2	主要生产工艺	746
<b>第 24 章</b>	<b>钢铁工业大气污染控制</b>	693	25.3.3	大气污染物排放	746
24.1	概述	693	25.3.4	污染防治技术	746
24.1.1	生产工艺	693	25.3.5	铜冶炼工艺烟气的净化	747
24.1.2	大气污染源及污染物	693	25.3.6	烟气治理实例	748
24.1.3	钢铁工业废气特点	693	25.4	铅、锌冶炼厂大气污染控制技术	753
24.1.4	控制技术概况	694	25.4.1	概述	753
24.1.5	废气治理技术发展趋势	695	25.4.2	主要生产工艺	753
24.2	烧结厂废气治理	695	25.4.3	大气污染物排放	754
24.2.1	概述	695	25.4.4	污染防治技术	755
24.2.2	原料准备系统除尘	696	25.4.5	烟气治理实例	758
24.2.3	混合料系统除尘	697	25.5	冶炼烟气制酸	760
24.2.4	烧结机烟气治理	698	25.5.1	接触法制酸工艺	760
24.2.5	烧结机尾、整粒系统烟气除尘	701	25.5.2	二氧化硫烟气的净化	761
24.2.6	球团竖炉烟气治理	702	25.5.3	二氧化硫的转化	763

25.5.4	二氧化硫的干燥	765	26.5.1	概况	786
25.5.5	三氧化硫的吸收	765	26.5.2	化肥工业大气污染防治技术	787
25.5.6	低浓度烟气两转两吸制酸工艺实例	765	26.6	石油化学工业大气污染控制	794
参考文献		767	26.6.1	概述	794
<b>第26章</b>	<b>化学工业大气污染控制</b>	769	26.6.2	挥发性有机物污染治理	794
26.1	概述	769	26.6.3	硫化氢废气	797
26.1.1	化学工业分类及其产品	769	26.6.4	二氧化硫废气	798
26.1.2	化工废气种类及特点	769	26.6.5	恶臭气体	798
26.2	硫酸工业大气污染控制	770	26.6.6	烟尘和粉尘	800
26.2.1	概况	770	26.7	有机原料及合成材料工业大气污染控制	800
26.2.2	工业实例——硫酸生产中废物的处理及综合利用	771	26.7.1	乙烯装置废气排放及治理	800
26.3	硝酸工业大气污染控制	773	26.7.2	低压法制低密度聚乙烯装置的污染控制	800
26.3.1	概况	773	26.7.3	环氧乙烷、乙二醇生产污染控制	801
26.3.2	治理原理、技术、工艺流程	774	26.7.4	苯酚、丙酮装置的污染控制	801
26.3.3	工业实例	779	26.7.5	甲醇装置污染控制	801
26.3.4	最新技术	780	26.7.6	己内酰胺装置的污染控制	802
26.4	氯碱工业大气污染控制	780	26.8	涂料生产过程大气污染控制	803
26.4.1	概况	780	26.8.1	涂料生产工艺简介	803
26.4.2	治理原理、技术、工艺流程	781	26.8.2	涂料生产中VOCs的污染与防治	804
26.5	无机化肥工业大气污染控制	786	参考文献		805

## 第8篇 大气污染物的扩散

<b>第27章</b>	<b>大气污染气象学</b>	806	28.2.1	有效源高的估算	816
27.1	大气边界层的温度场	806	28.2.2	烟流抬升高度的计算公式	816
27.1.1	气温的垂直分布	806	28.2.3	地面绝对最大浓度	818
27.1.2	干绝热直减率	806	28.3	环评导则中推荐的大气污染物浓度估算模式	818
27.1.3	大气的静力稳定度及其判据	807	28.3.1	大气污染物浓度估算一般方法	818
27.1.4	位温及位温梯度	807	28.3.2	封闭型扩散模式	821
27.1.5	逆温	808	28.3.3	熏烟型(漫烟型)扩散模式	821
27.1.6	气温层结与烟流形状	809	28.3.4	小风和静风时的点源扩散模式	822
27.2	大气边界层的风场	809	28.3.5	颗粒物的倾斜烟云模式	823
27.2.1	风场的概念	809	28.4	非点源大气污染物环境浓度估算模式	824
27.2.2	大气边界层的理想风场	810	28.4.1	线源扩散模式	824
27.2.3	大气边界层中风随高度的变化	810	28.4.2	面源扩散模式	825
27.2.4	平均风速的风速廓线模式	811	28.4.3	体源扩散模式	825
27.2.5	风的日变化和年变化	811	28.5	烟囱高度的设计	826
27.2.6	地方性风场	812	28.5.1	烟囱高度的计算	826
参考文献		813	28.5.2	烟囱设计中的几个问题	826
<b>第28章</b>	<b>大气污染物扩散浓度估算模式</b>	814	28.6	厂址选择	827
28.1	点源大气污染物扩散的高斯模式	814	28.6.1	背景浓度	827
28.1.1	高斯模式的坐标系及假设	814	28.6.2	对风的考虑	827
28.1.2	无界连续点源扩散的高斯模式	814	28.6.3	对气温层结的考虑	828
28.1.3	高架连续点源扩散的高斯模式	815	28.6.4	对地形的考虑	828
28.2	有效源高的估算模式	816	参考文献		828

# 第1篇 总论

## 第1章 概论

### 1.1 大气污染的概念

大气污染系指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到了足够的时间,并因此而危害了人体的舒适、健康和福利或危害了生态环境。所谓人类活动不仅包括生产活动,而且也包括生活活动,如做饭、取暖、交通等。自然过程包括火山活动、森林火灾、海啸、土壤和岩石的风化及大气圈中的空气运动等。一般说来,由于自然环境所具有的物理、化学和生物机能(即自然环境的自净作用),会使自然过程造成的大气污染经过一定时间后自动消除(即生态平衡可自动恢复)。可以说,大气污染主要是人类活动造成的。

大气污染对人体的舒适、健康的危害包括对人体的正常生活环境和生理机能的影响,引起急性病、慢性病以致死亡等;而所谓福利,系指与人类协调并共存的生物、自然资源以及财产、器物等。

按照大气污染的范围来分,大致可分为4类:a.局部地区污染,局限于小范围的大气污染,如受到某些烟囱排气的直接影响;b.地区性污染,涉及一个地区的大气污染,如工业区及其附近地区或整个城市大气受到污染;c.广域污染,涉及比一个地区或大城市更广泛地区的大气污染;d.全球性污染,涉及全球范围的大气污染。

### 1.2 大气污染物的种类和来源

#### 1.2.1 大气污染物

大气污染物系指由于人类活动或自然过程排入大气的并对人和环境产生有害影响的那些物质。

大气污染物的种类很多,按其存在状态可概括为两大类:气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

(1)气溶胶状态污染物 气体介质和悬浮在其中的粒子所组成的系统称为气溶胶。在大气污染中,气溶胶粒子系指沉降速度可以忽略的小固体粒子、液体粒子或固液混合粒子。从大气污染控制的角度,按照气溶胶粒子的来源和物理性质,可将其分为如下几种。

① 粉尘(dust) 粉尘系指悬浮于气体介质中的小固体颗粒,受重力作用能发生沉降,但在一段时间内能保持悬浮状态,它通常是由于固体物质的破碎、研磨、筛分、输送等机械过程或土壤、岩石的风化等自然过程形成的。颗粒的形状往往是不规则的,颗粒的尺寸范围一般为 $1\sim 200\mu\text{m}$ 。属于粉尘类大气污染物的种类很多,如黏土粉尘、石英粉尘、煤粉、水泥粉尘、各种金属粉尘等。

② 烟(fume) 烟一般系指由冶金过程形成的固体颗粒的气溶胶。它是由熔融物质挥发后生成的气态物质的冷凝物,在生成过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟颗粒的尺寸很小,一般为 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 。产生烟是一种较为普遍的现象,如有色金属冶炼过程中产生的氧化铅烟、氧化锌烟,核燃料后处理厂产生的氧化钙烟等。

③ 飞灰(fly ash) 飞灰系指随燃料燃烧产生的烟气排出的分散得较细的灰分。

④ 黑烟(smoke) 黑烟一般系指由燃料燃烧产生的能见气溶胶。

在某些情况下,粉尘、烟、飞灰、黑烟等小固体颗粒的界限很难明显区分开,在各种文献特别是工程中使用得较混乱。根据我国的习惯,一般可将冶金过程和化学过程形成的固体颗粒称为烟尘;将燃料燃烧过程产生的飞灰和黑烟,在不需仔细区分时,也称为烟尘。在其他情况下或泛指小固体颗粒时,则通称为粉尘。

⑤ 霾(或灰霾)(haze) 霾天气是大气中悬浮的大量微小尘粒使空气浑浊、能见度减低至 $10\text{km}$ 以下的天气现象,易出现在逆温、静风、相对湿度较大等气象条件下。

⑥ 雾 (fog) 雾是气体中液滴悬浮体的总称, 在气象中指造成能见度小于 1km 的小水滴悬浮体。

在工程中, 雾一般泛指小液体粒子悬浮体, 它可能是由于液体蒸气的凝结、液体的雾化及化学反应等过程形成的, 如水雾、酸雾、碱雾、油雾等。

在我国的环境空气质量标准中, 还根据粉尘颗粒的大小将其分为总悬浮颗粒物 (total suspended particles, TSP) 和可吸入颗粒物 (inhalable particles, 即  $PM_{10}$ )。总悬浮颗粒物 (TSP) 指悬浮在空气中, 空气动力学当量直径  $\leq 100\mu m$  的颗粒物。可吸入颗粒物 ( $PM_{10}$ ) 指悬浮在空气中, 空气动力学当量直径  $\leq 10\mu m$  的颗粒物。

(2) 气体状态污染物 气体状态污染物是以分子状态存在的污染物, 简称气态污染物。气态污染物的种类很多, 总体上可以分为五大类: 以二氧化硫为主的含硫化合物、以氧化氮和二氧化氮为主的含氮化合物、碳的氧化物、有机化合物及卤素化合物等, 见表 1-1 所列。

表 1-1 气体状态大气污染物的总分类

污染物	一次污染物	二次污染物
含硫化合物	$SO_2$ 、 $H_2S$	$SO_3$ 、 $H_2SO_4$ 、 $MSO_4$
含氮化合物	$NO$ 、 $NH_3$	$NO_2$ 、 $HNO_3$ 、 $MNO_3$
碳的氧化物	$CO$ 、 $CO_2$	无
有机化合物	$C_1 \sim C_{10}$ 化合物	醛、酮、过氧乙酰硝酸酯、 $O_3$
卤素化合物	$HF$ 、 $HCl$	无

注:  $MSO_4$ 、 $MNO_3$  分别为硫酸盐和硝酸盐。

对于气态污染物, 又可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物是指从污染源排到大气中的原始污染物; 二次污染物是指由一次污染物与大气中已有组分或几种一次污染物之间经过一系列化学或光化学反应而生成的与一次污染物性质不同的新污染物。在大气污染控制中, 受到普遍重视的一次污染物主要有硫氧化物 ( $SO_x$ )、氮氧化物 ( $NO_x$ )、碳氧化物 ( $CO$ 、 $CO_2$ ) 及有机化合物 ( $C_1 \sim C_{10}$  化合物) 等; 二次污染物主要有硫酸烟雾 (Sulfurous smog) 和光化学烟雾 (Photochemical smog)。

对上述主要气态污染物的特征、来源等简单介绍如下。

① 硫氧化物 硫氧化物主要有  $SO_2$ , 它是目前大气污染物中数量较大、影响范围较广的一种气态污染物。大气中  $SO_2$  的来源很广, 几乎所有工业企业都可能产生, 它主要来自化石燃料的燃烧过程以及含硫化物矿石的焙烧、冶炼等热过程。火力发电厂、有色金属冶炼厂、硫酸厂、炼油厂以及所有烧煤或油的工业炉窑等都排放  $SO_2$  烟气。

② 氮氧化物 氮和氧的化合物有  $N_2O$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 、 $N_2O_3$ 、 $N_2O_4$  和  $N_2O_5$ , 总起来用氮氧化物 ( $NO_x$ ) 表示。其中污染大气的主要是  $NO$ 、 $NO_2$ 。 $NO$  毒性不太大, 但进入大气后可被缓慢地氧化成  $NO_2$ , 当大气中有  $O_3$  等强氧化剂存在时或在催化剂作用下, 其氧化速度会加快。 $NO_2$  的毒性约为  $NO$  的 5 倍。当  $NO_2$  参与大气中的光化学反应形成光化学烟雾后, 其毒性更强。人类活动产生的  $NO_x$  主要来自各种炉窑、机动车和柴油机的排气, 其次是硝酸生产、硝化过程、炸药生产及金属表面处理等过程, 其中由燃料燃烧产生的  $NO_x$  约占 83%。

③ 碳氧化物  $CO$  和  $CO_2$  是各种大气污染物中发生量最大的一类污染物, 主要来自燃料燃烧和机动车排气。 $CO$  是一种窒息性气体, 进入大气后由于大气的扩散稀释作用和氧化作用, 一般不会造成危害。但在城市冬季采暖季节或在交通繁忙的十字路口, 当气象条件不利于排气扩散稀释时,  $CO$  的浓度有可能达到危害人体健康的水平。

$CO_2$  是无毒气体, 但当其在局部空气中的浓度过高时, 使氧气含量相对减小, 便会对人产生不良影响。大气中  $CO_2$  浓度的增加能产生“温室效应”, 迫使各国政府开始实施控制。

④ 有机化合物 有机化合物种类很多, 从甲烷到长链聚合物的烃类。大气中的挥发性有机化合物 (VOCs) 一般是  $C_1 \sim C_{10}$  化合物, 它不完全相同于严格意义上的烃类化合物, 因为它除含有碳和氢原子外, 还常含有氧、氮和硫的原子。甲烷被认为是一种非活性烃, 所以人们以非甲烷总烃 (NMHC) 的形式来报道环境中烃的浓度。特别是多环芳烃类 (PAH) 中的苯并 [a] 芘 (B[a]P) 是强致癌物质, 因而作为大气受 PAH 污染的依据。VOCs 是光化学氧化剂臭氧和过氧乙酰硝酸酯 (PAN) 的主要贡献者, 也是温室效应的贡献者之一, 所以必须进行控制。VOCs 主要来自机动车尾气和燃料燃烧排气以及石油炼制和有机化工生产等。

⑤ 硫酸烟雾 硫酸烟雾系大气中的  $SO_2$  等硫氧化物在有水雾、含有重金属的悬浮颗粒物或氮氧化物存在时,



表 1-2 全球主要大气污染物的来源、发生量、背景浓度和主要反应

物质	人为源	自然源	发生量/(t/a)		大气中背景浓度	推算的在大气中的留存时间	迁移中的反应和沉降	备注
			人为源	自然源				
SO <sub>2</sub>	煤和油的燃烧	火山活动	146×10 <sup>6</sup>	148×10 <sup>6</sup>	0.2×10 <sup>-9</sup>	4d	由于臭氧或固体和液体气溶胶的吸收而被氧化为硫酸盐	与NO <sub>2</sub> 和HC发生光化学氧化使SO <sub>2</sub> 迅速转化为SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
H <sub>2</sub> S	化学过程污水处理	火山活动、沼泽中的生物作用	3×10 <sup>6</sup>	100×10 <sup>6</sup>	0.2×10 <sup>-9</sup>	2d	氧化为SO <sub>2</sub>	只有一组背景浓度是可用的
CO	机动车和其他燃烧过程排气	森林火灾、海洋、萘稀反应	304×10 <sup>6</sup>	33×10 <sup>6</sup>	10 <sup>-7</sup>	<3a	很可能是土壤中的有机体	海洋提供的自然源可能是小的
NO/NO <sub>2</sub>	燃烧过程	土壤中的细菌作用	53×10 <sup>6</sup>	NO:430×10 <sup>6</sup> NO <sub>2</sub> :658×10 <sup>6</sup>	NO: (0.2~2)×10 <sup>-9</sup> NO <sub>2</sub> : (0.5~4)×10 <sup>-9</sup>	5d	由于固体和液体气溶胶的吸收和光化学反应被氧化为硝酸盐	关于自然源所做的工作很少
NH <sub>3</sub>	废物处理	生物腐烂	4×10 <sup>6</sup>	1160×10 <sup>6</sup>	(6~20)×10 <sup>-9</sup>	7d	与SO <sub>2</sub> 反应生成(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 被氧化为硝酸盐	NH <sub>3</sub> 的消除主要是形成铵盐
N <sub>2</sub> O	无	土壤中的生物作用	无	590×10 <sup>6</sup>	0.25×10 <sup>-6</sup>	4a	在平流层中光离解, 在土壤中的生物作用	还未提出用植物吸收N <sub>2</sub> O的报告
HC	燃烧和化学过程	生物作用	88×10 <sup>6</sup>	CH <sub>4</sub> :1.6×10 <sup>9</sup> 萘烯:200×10 <sup>6</sup>	CH <sub>4</sub> :1.5×10 <sup>-6</sup> 非CH <sub>4</sub> <10 <sup>-9</sup>	4a(CH <sub>4</sub> )	与NO/NO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 发生光化学反应, CH <sub>4</sub> 必然大量消除	从污染源排出的“活性”HC为27×10 <sup>6</sup> t
CO <sub>2</sub>	燃烧过程	生物腐烂、海洋释放	1.4×10 <sup>10</sup>	10 <sup>12</sup>	320×10 <sup>-6</sup>	2~4a	生物吸附和光合作用, 海洋的吸收	大气中浓度增长率为0.7×10 <sup>-6</sup> /a
颗粒物	燃料燃烧、工业生产	火山活动、森林火灾、风沙、海盐	<5μm 颗粒 240×10 <sup>6</sup>	<5μm 颗粒 630×10 <sup>6</sup>		对流层: 7~14d 平流层: 1~3a	参与SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、HC的化学或光化学反应, 生成硫酸盐或硝酸盐, 降水冲刷	

发生一系列化学或光化学反应而生成的硫酸雾或硫酸盐气溶胶。硫酸烟雾引起的刺激作用和生理反应等危害要比 SO<sub>2</sub> 气体大得多。

⑥ 光化学烟雾 光化学烟雾是在阳光照射下，大气中的氮氧化物、烃类化合物和氧化剂之间发生一系列光化学反应而生成的蓝色烟雾（有时带些紫色或黄褐色），其主要成分有臭氧、过氧乙酰硝酸酯、酮类和醛类等。光化学烟雾的刺激性和危害性要比一次污染物强烈得多。

### 1.2.2 大气污染物的来源和发生量

(1) 大气污染源 大气污染物的来源可分为自然污染源和人为污染源两类。自然污染源是指自然原因向环境释放污染物的地点或地区，如火山喷发、森林火灾、飓风、海啸、土壤和岩石的风化及生物腐烂等自然现象。人为污染源是指人类生活活动和生产活动形成的污染源。

人为污染源有各种分类方法。按污染源的空间分布可分为：点源，即污染物集中于一点或相当于一一点的小范围排放源，如工厂的烟囱排放源；面源，即在相当大的面积范围内有许多个污染物排放源，如一个居住区或商业区内许多大小不同的污染物排放源。按人们的社会活动功能不同可分为生活污染源、工业污染源和交通运输污染源三类。

根据对主要大气污染物的分类统计分析，大气污染源又可概括为三大方面：燃料燃烧、工业生产和交通运输。前两类污染源统称为固定源，交通运输工具（机动车、火车、轮船、飞机等）则称为流动源。

(2) 大气污染物的发生量 全球几种主要大气污染物的来源、发生量、背景浓度和主要反应等列入表 1-2 中。几种生产过程产生的气溶胶状态污染物列在表 1-3 中。

表 1-3 几种气溶胶态污染物发生源的特性

发生源	污 染 物			废 气		
	发生量	粒径分布	化学组成 (质量分数)/%	流量	化学组成 (体积分数)/%	
烧结机	0.5~11g/m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> ；烧结带 9kg/t；卸矿端 10kg/t	d <sub>50</sub> :100μm σ <sub>g</sub> :5.4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :45~50 SiO <sub>2</sub> :3~15 CaO:7~25 MgO:1~10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :2~8 C:0.5~5 S:0~2.5 氟化物	850~13000m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> /min 4200~6500m <sup>3</sup> /t	O <sub>2</sub> :10~20 CO <sub>2</sub> :4~10 CO:0~6 SO <sub>2</sub> :0~0.4 N <sub>2</sub> :64~86 氟化物	
钢 铁	高炉	9~69g/m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> 59kg/t	15%~90% <74μm	Fe:36~50 FeO:12~47 SiO <sub>2</sub> :8~30 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :2~15 MgO:0.2~5 C:3.5~15 CaO:3.8~28 Mn:0.5~1 P:0.03~0.2 S:0.2~0.4	1100~4000m <sup>3</sup> /min 1700~3900m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> /t	CO:21~42 平均 26 CO <sub>2</sub> :7~19 平均 18 H <sub>2</sub> :1.7~5.7 平均 3.1 CH <sub>4</sub> :0.2~2.3 N <sub>2</sub> :50~60
	平炉 (不吹氧)	0.2~8g/m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> 7.7kg/t	50%<1μm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :85~90 以及 SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、 CaO、MnO、S	700~2800m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> /min	CO <sub>2</sub> :8~9 O <sub>2</sub> :8~9 N <sub>2</sub> :余量及少量 SO <sub>2</sub> 、SO <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub>
	平炉 (吹氧)	0.5~16g/m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub>	69%<10μm		1300~5700m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> /min	
	氧气转炉	4.6~23g/m <sup>3</sup> <sub>N<sub>2</sub></sub> 18.1kg/t	85%~95% <1μm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :90 FeO:1.5 以及 SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、 MgO	1000~7000m <sup>3</sup> /min	CO <sub>2</sub> 、CO、N <sub>2</sub> 、 O <sub>2</sub>

续表

发生源	污 染 物			废 气		
	发生量	粒径分布	化学组成 (质量分数)/%	流量	化学组成 (体积分数)/%	
钢	电弧炉 (不吹氧)	0.2~5g/m <sup>3</sup> 4.5kg/t	84%<10μm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :19~44 FeO:4~10 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :0~12 SiO <sub>2</sub> :2~9 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :1~13 CaO:5~22 MgO:2~15 ZnO:0~44 MnO:3~12 以及 CuO、NiO、PbO、C	300~2800m <sup>3</sup> /min	CO <sub>2</sub> 、CO、N <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub>
铁	电弧炉 (吹氧)	2.3~23g/m <sup>3</sup>		SiO <sub>2</sub> 、FeO、MgO、CaO、MnO、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、K <sub>2</sub> O	300~1700m <sup>3</sup> /min	CO <sub>2</sub> 、CO、N <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub>
	铁合金 电炉	0.5~69g/m <sup>3</sup> 109kg/t	0.01~4μm	Cu:9 S:10 Fe:26	130m <sup>3</sup> /min 1300m <sup>3</sup> /t	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub>
	铜矿焙 烧炉	15g/m <sup>3</sup> 76kg/t		Cu:4.4 Zn:12.5 S:7.3	600m <sup>3</sup> /min 2200m <sup>3</sup> /t	O <sub>2</sub> :5~6 CO <sub>2</sub> :10~17 N <sub>2</sub> :72~76 CO:0~0.2 SO <sub>2</sub> :1~2
	铜鼓风炉	15g/m <sup>3</sup>		Cu、Zn、S等	700~1700m <sup>3</sup> /min 2000m <sup>3</sup> /t	
	铜反射炉	2.3~11g/m <sup>3</sup> 93.4kg/t		Zn:5~18 Pb:45~55 Cd:2~8 S:8~13	4000m <sup>3</sup> /t	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO、H <sub>2</sub> O、SO <sub>2</sub>
	锌矿 烧结机	1~11g/m <sup>3</sup> 81.6kg/t	100%<10μm	ZnCl <sub>2</sub> 、ZnO、NH <sub>4</sub> Cl、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 及Mg、Sn、Ni、Si、Ca和Na的氧化物	200~230m <sup>3</sup> /min 11000~23000m <sup>3</sup> /t	典型组成 CO <sub>2</sub> :2.4 H <sub>2</sub> O:4.5 N <sub>2</sub> :76.6 O <sub>2</sub> :15.8
有色冶金	锌精炼 反射炉	0.5~2.3g/m <sup>3</sup>		PbO、ZnO、CdO、Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 焦粉	200~5400m <sup>3</sup> /min 5100m <sup>3</sup> /t	典型组成 O <sub>2</sub> :4.7 O <sub>2</sub> :15 CO:1.3 SO <sub>2</sub> :0.14 N <sub>2</sub> :余量
	铅鼓风炉	4.6~15g/m <sup>3</sup>	0.03~3μm	Pb:40~65 Zn:10~20 S:8~12	4000m <sup>3</sup> /min 3700m <sup>3</sup> /t	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO、H <sub>2</sub> O、SO <sub>2</sub>
	铅矿烧 结机	2~15g/m <sup>3</sup> 236kg/t		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <99 SiO <sub>2</sub> :0.005~0.015 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :0.005~0.02 Na <sub>2</sub> O:0.04~0.8	840m <sup>3</sup> /min	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O、SO <sub>2</sub>
	铝矾土 回转窑	5g/m <sup>3</sup>	25%~40% <10μm			

续表

发生源	污 染 物			废 气	
	发生量	粒径分布	化学组成 (质量分数)/%	流量	化学组成 (体积分数)/%
建 材	干法: 2.3~39g/m <sup>3</sup> 湿法: 2.3~32g/m <sup>3</sup> 76kg/t	$d_{50}: 8.5\mu\text{m}$ $\sigma_g: 4.1$	CaO: 39~50 SiO <sub>2</sub> : 9~19 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 2~11 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 2~8 K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O: 0.9~8 MgO: 1.3~2.5	干法: 960~8500m <sup>3</sup> /min 2700~17000m <sup>3</sup> /t 湿法: 2000~12600m <sup>3</sup> /min 4700~16000m <sup>3</sup> /t 2100m <sup>3</sup> /min	典型组成 CO <sub>2</sub> : 17~25 O <sub>2</sub> : 1~4 CO: 0~2 N <sub>2</sub> : 75~80
	水泥立窑 1.8g/m <sup>3</sup>				
	石灰回 转窑 4.6~51g/m <sup>3</sup> 82kg/t	$d_{50}: 44\mu\text{m}$ $\sigma_g: 13.7$	CaCO <sub>3</sub> : 23~61 CaO: 6~66 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : 1~4 MgCO <sub>3</sub> : 1~19 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 3	1600~5800m <sup>3</sup> /min 950m <sup>3</sup> /min	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、 H <sub>2</sub> O、SO <sub>2</sub>
石灰立窑 0.7~2.3g/m <sup>3</sup> 3.2kg/t	10% < 10 $\mu\text{m}$ 50% < 30 $\mu\text{m}$				
化 工	硫酸吸收塔 (接触法) 0.04~1.7g/m <sup>3</sup> 0.9kg/t	80% ~ 90% < 3 $\mu\text{m}$	酸雾	140~1800m <sup>3</sup> /min 1000~4500m <sup>3</sup> /t	NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、 N <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O
	磷酸吸收塔 (加热法) 3.7~213g/m <sup>3</sup> 61kg/tP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$d_{50}: 1.6\mu\text{m}$	酸雾	100~900m <sup>3</sup> /min 1000~4500m <sup>3</sup> /t	NO <sub>x</sub> 、O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、 H <sub>2</sub> O

注: 1. 污染物发生量和废气流量皆为无控制时的数据, 为每吨产品产生的污染物质量 (kg) 或废气量 (m<sup>3</sup> 或 m<sup>3</sup>/min)。

2. 粒径分布以质量百分数表示, 其中  $d_{50}$  为质量中位直径,  $\sigma_g$  为几何标准差。

1989~2008 年间中国主要大气污染物的总排放量变化情况如图 1-1 所示。中国的大气污染仍以煤烟型为主, 主要污染物是 SO<sub>2</sub> 和烟尘。自 1996 年后, 烟尘和工业粉尘的排放总量总体呈下降趋势; SO<sub>2</sub> 的排放总量在 1997~2002 年间总体呈下降趋势, 在 2002~2006 年间总体呈上升趋势, 自 2006 年后, 开始出现下降趋势。

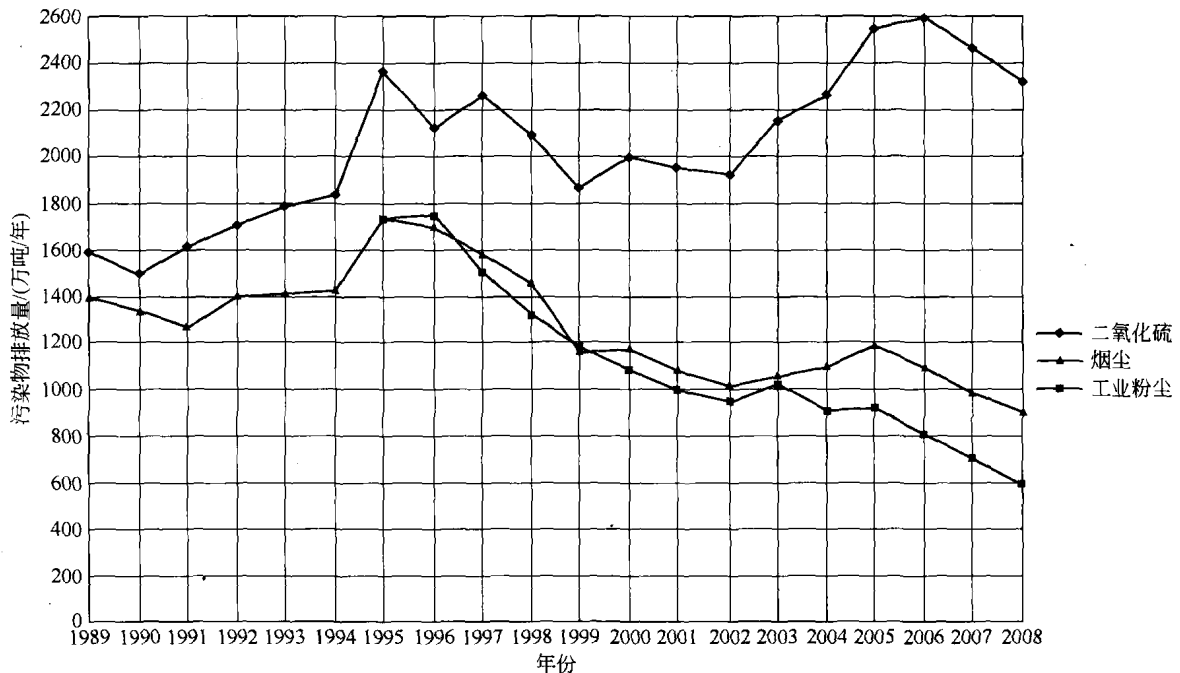


图 1-1 1989~2008 年中国主要大气污染物的总排放量 (按历年“中国环境状况公报”绘制)