



教育部高职高专规划教材

# 大气污染控制技术

▶ 李广超 傅梅绮 主编



化学工业出版社  
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

# 大气污染控制技术

李广超 傅梅绮 主编

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

大气污染控制技术/李广超,傅梅绮主编. —北京:  
化学工业出版社, 2004. 2  
教育部高职高专规划教材  
ISBN 7-5025-2671-4

I. 大… II. ①李…②傅… III. 空气污染控制-  
高等学校: 技术学院-教材 IV. X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004534 号

---

教育部高职高专规划教材

**大气污染控制技术**

李广超 傅梅绮 主编

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 于 兵

\*

化学工业出版社  
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19½ 字数 478 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-2671-4/G · 702

定 价: 32.00 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

## 出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

# 前 言

本教材编写时充分考虑职业教育的特点，在保证教学内容科学合理的基础上，适当减少理论性内容，突出实用性内容，从而使教材重点突出，难易适当。如除尘技术中重点介绍了除尘效率比较高、应用比较广泛的袋式除尘器和静电除尘器；洁净燃烧技术中着重介绍了煤在燃烧前和燃烧过程中脱硫技术；烟气中二氧化硫净化技术中着重介绍了湿法烟气脱硫，特别是石灰（石灰石）-石膏湿法烟气脱硫系统。

编写时结合环境类职业岗位要求的要求，适当加强了对学生综合能力培养的内容。如在教材里加强了常见设备的安装、运行与维护，以及不正常现象的原因分析与处理等操作性很强的内容，以培养学生分析问题和解决问题的能力。

根据该书读者群的特点，除附有设备结构示意图和工艺流程图外，还采用了大量的图片，既提高了教材的可视性和可读性，又方便了学生的阅读和理解。

在每章的开头附有学习指南，简单概述了本章要掌握的重点内容及学习方法。在每节后安排填空题、判断题、选择题、计算题和综合题等不同类型的练习题，方便了学生的练习。另外，教材中用小字编排的一些内容，旨在扩大学生的知识面，提高学生学习兴趣，学生可以自己阅读，也可以在教师的指导下阅读。

本书由五位同志共同编写，其中李广超编写第1章、第4章的第5、6节和第5章的第1节，傅梅绮编写第5章的第2、3、4、5、6节，朱延美编写第2章，徐忠娟编写第3章和第6章，牟晓红编写第4章的第1、2、3、4节。全书由李广超负责统稿，由中国矿业大学环境与测绘学院顾强教授主审。在编写过程中得到了兄弟院校同行的关心和帮助，化学工业出版社教材出版中心对本书的编写也给予了极大的关心和支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错误和疏忽之处在所难免，诚望广大读者批评指正。

编者

2004年1月

# 高职高专环境教材

## 编审委员会

顾问

刘大银

主任委员

沈永祥

副主任委员

李居参 许 宁 王文选 王红云

委员

(按姓氏汉语拼音排序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 白京生 | 陈 宏 | 冯素琴 | 傅梅绮 | 付 伟 |
| 顾 玲 | 郭 正 | 何际泽 | 何 洁 | 扈 畅 |
| 胡伟光 | 蒋 辉 | 金万祥 | 冷士良 | 李党生 |
| 李东升 | 李广超 | 李 弘 | 李洪涛 | 李居参 |
| 李旭辉 | 李耀中 | 李志富 | 牟晓红 | 司 颐 |
| 宋鸿筠 | 苏 炜 | 孙乃有 | 田子贵 | 王爱民 |
| 王春莲 | 王红云 | 王金梅 | 王文选 | 王小宝 |
| 王小平 | 王英健 | 魏振枢 | 吴国旭 | 徐忠娟 |
| 许 宁 | 薛叙明 | 杨保华 | 杨永红 | 杨永杰 |
| 尤 峥 | 于淑萍 | 于宗保 | 袁秋生 | 岳钦艳 |
| 张柏钦 | 张洪流 | 张慧利 | 张云新 | 赵连俊 |
| 智恒平 | 周凤霞 | 朱惠斌 | 朱延美 | 庄伟强 |



## 内 容 提 要

本书共分为6章,内容主要包括洁净燃烧技术、烟气排放、颗粒物控制技术、气态污染物控制技术以及局部通风净化系统。本书概括地介绍了大气污染控制的基本方法、净化设备、工艺流程、典型气态污染物的治理。详细介绍了烟囱高度计算和厂址选择、煤脱硫技术和低氮氧化物燃烧技术、烟气脱硫脱硝技术、除尘技术、含氟废气净化技术、含挥发性有机物废气净化技术和汽车排气净化技术等。重点介绍了袋式除尘器和静电除尘器的型号和性能及安装、运行和维护等;湿法烟气脱硫技术的原理、工艺流程和常用设备等。

本书为高职高专环境类专业的教材,也可以作为从事大气污染控制技术的工作者的参考用书。

# 目 录

|          |                              |    |
|----------|------------------------------|----|
| <b>1</b> | <b>绪论</b>                    | 1  |
| 1.1      | 大气污染                         | 2  |
| 1.1.1    | 大气污染的基本常识                    | 2  |
| 1.1.2    | 大气污染源和大气污染物                  | 2  |
| 1.2      | 大气污染控制的主要内容                  | 5  |
| 1.2.1    | 大气污染控制的对象                    | 5  |
| 1.2.2    | 大气污染控制的主要技术                  | 5  |
| 1.3      | 中国大气污染及工业废气治理现状              | 7  |
| 1.3.1    | 中国大气污染的现状                    | 7  |
| 1.3.2    | 中国工业废气治理现状                   | 8  |
| 1.4      | 大气污染综合防治                     | 9  |
| 1.4.1    | 大气污染综合防治的原则                  | 9  |
| 1.4.2    | 大气污染综合防治措施                   | 11 |
|          | 练习 1                         | 12 |
| <b>2</b> | <b>洁净燃烧技术</b>                | 14 |
| 2.1      | 燃料的燃烧过程                      | 15 |
| 2.1.1    | 燃料的种类与性质                     | 15 |
| 2.1.2    | 影响燃烧过程的主要因素                  | 17 |
| 2.1.3    | 固体燃料的燃烧过程和设备                 | 19 |
| 2.1.4    | 气体燃料的燃烧过程和设备                 | 22 |
| 2.1.5    | 液体燃料的燃烧过程和装置                 | 23 |
|          | 练习 2.1                       | 23 |
| 2.2      | 燃烧过程中主要污染物的形成机制              | 24 |
| 2.2.1    | 硫氧化物的形成机制                    | 24 |
| 2.2.2    | 氮氧化物的形成机制                    | 25 |
| 2.2.3    | 颗粒污染物的形成机制                   | 25 |
|          | 练习 2.2                       | 26 |
| 2.3      | 煤脱硫技术和低 $\text{NO}_x$ 生成燃烧技术 | 26 |
| 2.3.1    | 煤脱硫技术                        | 27 |
| 2.3.2    | 低 $\text{NO}_x$ 生成燃烧技术       | 30 |



|                              |    |
|------------------------------|----|
| 练习 2.3 .....                 | 32 |
| 2.4 燃烧过程污染物排放量的计算 .....      | 33 |
| 2.4.1 烟气体积的计算 .....          | 33 |
| 2.4.2 工业生产废气和污染物排污量的估算 ..... | 37 |
| 练习 2.4 .....                 | 39 |
| <b>3 烟气的排放</b> .....         | 40 |
| 3.1 影响烟气扩散的因素 .....          | 41 |
| 3.1.1 气象条件对烟气扩散的影响 .....     | 41 |
| 3.1.2 下垫面对烟气扩散的影响 .....      | 45 |
| 3.1.3 水陆交界区对烟气扩散的影响 .....    | 46 |
| 练习 3.1 .....                 | 47 |
| 3.2 污染物浓度的估算 .....           | 48 |
| 3.2.1 污染物浓度估算公式——高斯公式 .....  | 48 |
| 3.2.2 扩散参数的确定 .....          | 49 |
| 3.2.3 地面最大浓度 .....           | 53 |
| 练习 3.2 .....                 | 55 |
| 3.3 烟气抬升现象和烟云抬升高度 .....      | 55 |
| 3.3.1 烟气抬升现象 .....           | 55 |
| 3.3.2 烟云抬升高度的计算 .....        | 56 |
| 3.3.3 增加烟云抬升高度的措施 .....      | 59 |
| 练习 3.3 .....                 | 60 |
| 3.4 烟囱高度计算及厂址选择 .....        | 60 |
| 3.4.1 烟囱高度计算 .....           | 60 |
| 3.4.2 厂址的选择 .....            | 64 |
| 练习 3.4 .....                 | 67 |
| <b>4 颗粒污染物控制技术</b> .....     | 68 |
| 4.1 除尘技术基础 .....             | 69 |
| 4.1.1 粉尘的性质 .....            | 69 |
| 4.1.2 除尘装置的性能指标 .....        | 71 |
| 4.1.3 除尘器的分类 .....           | 74 |
| 练习 4.1 .....                 | 75 |
| 4.2 机械式除尘器 .....             | 76 |
| 4.2.1 重力除尘器 .....            | 76 |
| 4.2.2 惯性除尘器 .....            | 77 |
| 4.2.3 旋风除尘器 .....            | 78 |
| 练习 4.2 .....                 | 89 |
| 4.3 湿式除尘器 .....              | 90 |
| 4.3.1 湿式除尘器除尘原理 .....        | 90 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 4.3.2 常见的湿式除尘器 .....             | 91  |
| [应用实例 1] 文丘里洗涤器用于热电厂锅炉烟气除尘 ..... | 95  |
| 练习 4.3 .....                     | 96  |
| 4.4 过滤式除尘器 .....                 | 97  |
| 4.4.1 袋式除尘器的除尘原理 .....           | 97  |
| 4.4.2 袋式除尘器除尘效率的影响因素 .....       | 98  |
| 4.4.3 袋式除尘器的结构、分类和命名 .....       | 101 |
| 4.4.4 常见袋式除尘器 .....              | 104 |
| 4.4.5 袋式除尘器的选型 .....             | 112 |
| 4.4.6 袋式除尘器的安装、运行与维护 .....       | 117 |
| 4.4.7 颗粒层除尘器 .....               | 120 |
| [应用实例 2] 袋式除尘器用于热电厂锅炉烟尘的除尘 ..... | 121 |
| 练习 4.4 .....                     | 123 |
| 4.5 静电除尘器 .....                  | 124 |
| 4.5.1 静电除尘的基本原理 .....            | 124 |
| 4.5.2 除尘效率的影响因素 .....            | 126 |
| 4.5.3 静电除尘器的结构形式和主要部件 .....      | 128 |
| 4.5.4 静电除尘器的选型 .....             | 134 |
| 4.5.5 电除尘器的安装、调试、运行与维护 .....     | 140 |
| [应用实例 3] 用静电除尘器治理水泥厂立窑废气 .....   | 144 |
| 练习 4.5 .....                     | 146 |
| 4.6 除尘装置的选择 .....                | 147 |
| 4.6.1 除尘装置的选择原则 .....            | 147 |
| 4.6.2 各类除尘器的适用范围 .....           | 148 |
| 4.6.3 主要污染行业废气净化除尘器的选择 .....     | 149 |
| 练习 4.6 .....                     | 152 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>5 气态污染物控制技术 .....</b>            | <b>153</b> |
| 5.1 净化气态污染物方法 .....                 | 153        |
| 5.1.1 吸收法 .....                     | 153        |
| 5.1.2 吸附法 .....                     | 158        |
| 5.1.3 催化转化法 .....                   | 168        |
| 5.1.4 燃烧法 .....                     | 172        |
| 5.1.5 冷凝法简介 .....                   | 175        |
| 练习 5.1 .....                        | 177        |
| 5.2 烟气中 SO <sub>2</sub> 净化技术 .....  | 179        |
| 5.2.1 湿法烟气脱硫 .....                  | 180        |
| 5.2.2 半干法 .....                     | 192        |
| 5.2.3 干法烟气脱硫 .....                  | 196        |
| [应用实例 4] 简易石灰(石灰石)-石膏湿法烟气脱硫系统 ..... | 199        |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 练习 5.2 .....                                   | 201 |
| 5.3 烟气中 $\text{NO}_x$ 的净化技术 .....              | 202 |
| 5.3.1 液体吸收法 .....                              | 203 |
| 5.3.2 选择性催化还原法 (SCR) .....                     | 206 |
| 5.3.3 烟气脱硫脱氮技术简介 .....                         | 208 |
| [应用实例 5] 氨选择性催化还原法净化硝酸尾气中的 $\text{NO}_x$ ..... | 212 |
| 练习 5.3 .....                                   | 213 |
| 5.4 含氟废气的净化技术 .....                            | 213 |
| 5.4.1 水吸收法 .....                               | 213 |
| 5.4.2 碱吸收法 .....                               | 215 |
| 5.4.3 吸附净化法 .....                              | 216 |
| [应用实例 6] 氧化铝吸附法净化铝厂含氟废气 .....                  | 217 |
| 练习 5.4 .....                                   | 218 |
| 5.5 含挥发性有机物废气净化技术 .....                        | 219 |
| 5.5.1 净化方法选择原则 .....                           | 219 |
| 5.5.2 燃烧法 .....                                | 220 |
| 5.5.3 吸附法 .....                                | 222 |
| 5.5.4 吸收法 .....                                | 223 |
| 5.5.5 冷凝法的应用 .....                             | 224 |
| 5.5.6 生物法 .....                                | 225 |
| 练习 5.5 .....                                   | 227 |
| 5.6 其他废气净化技术 .....                             | 227 |
| 5.6.1 汽车排气净化技术 .....                           | 227 |
| 5.6.2 恶臭的治理 .....                              | 230 |
| 5.6.3 含铅废气的治理 .....                            | 233 |
| 5.6.4 沥青烟净化方法简介 .....                          | 234 |
| 5.6.5 汞蒸气净化方法简介 .....                          | 235 |
| 练习 5.6 .....                                   | 237 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>6 工业通风技术</b> .....  | 239 |
| 6.1 概述 .....           | 239 |
| 6.1.1 局部通风 .....       | 240 |
| 6.1.2 全面通风 .....       | 241 |
| 6.1.3 气流组织方式 .....     | 243 |
| 练习 6.1 .....           | 244 |
| 6.2 局部排气罩 .....        | 244 |
| 6.2.1 排气罩的类型 .....     | 244 |
| 6.2.2 局部排气罩的性能 .....   | 249 |
| 6.2.3 局部排气罩的设计原则 ..... | 252 |
| 练习 6.2 .....           | 253 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 6.3 通风系统中的风口 .....                   | 254 |
| 6.3.1 室内送、排风口 .....                  | 254 |
| 6.3.2 室外进、排风口 .....                  | 255 |
| 6.4 通风管道和风机 .....                    | 256 |
| 6.4.1 通风管道 .....                     | 256 |
| 6.4.2 通风机 .....                      | 259 |
| 练习 6.4 .....                         | 262 |
| 6.5 净化系统的保护 .....                    | 263 |
| 6.5.1 净化系统的防爆 .....                  | 263 |
| 6.5.2 净化系统的防腐 .....                  | 264 |
| 6.5.3 净化系统的防振 .....                  | 264 |
| [设计方案] 12500kV·A 矿热炉烟气净化系统设计方案 ..... | 265 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| <b>附录</b> ..... | 267 |
|-----------------|-----|

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 附录 1 大气污染物综合排放标准(GB 16297—1996)(摘要) .....  | 267 |
| 附录 2 锅炉大气污染物排放标准(GB 13271—2001)(摘要) .....  | 278 |
| 附录 3 火电厂污染物排放标准(GB 13223—1996)(摘要) .....   | 281 |
| 附录 4 工业炉窑大气污染排放标准(GB 9078—1996)(摘要) .....  | 285 |
| 附录 5 水泥厂大气污染物排放标准(GB 4915—1996)(摘要) .....  | 289 |
| 附录 6 炼焦炉大气污染物排放标准(GB 16171—1996)(摘要) ..... | 292 |
| 附录 7 恶臭污染物排放标准(GB 14554—1993)(摘要) .....    | 294 |
| 附录 8 有关除尘器的标准号和标准名称 .....                  | 296 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| <b>参考文献</b> ..... | 299 |
|-------------------|-----|

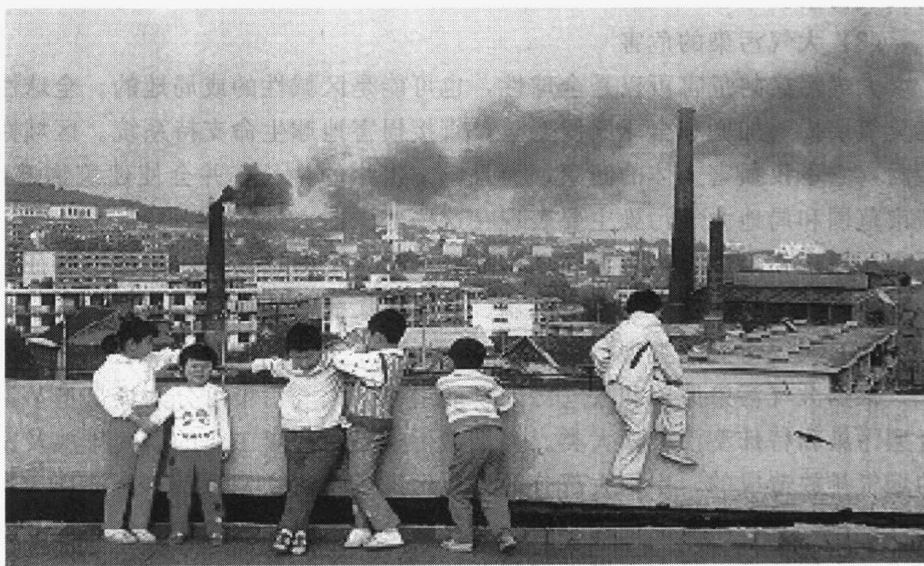
# 1

## 绪 论



### 学习指南

本章概括性地介绍了大气污染、大气污染控制技术、大气污染综合防治等基本常识，学习时应注意掌握大气污染、大气污染类型、大气自净作用等基本概念，了解中国大气污染的现状和污染控制技术的主要内容，具体的污染控制技术将会在以后的章节陆续详细介绍。要求认真思考和完成本教材各章节后的练习，在掌握知识的同时锻炼自己分析问题和解决问题的能力。



大气是人类赖以生存的基本环境要素，大多数生命过程（人类、一切动植物和大多数微生物）都离不开大气。大气给人类创造了一个适宜的生活环境，而且能阻挡过量的紫外线照射到地球表面，有效保护地球上的生物。但随着人类生产活动和社会活动的增加，大气环境质量日趋恶化，自工业革命以来，由于大量燃料燃烧、工业废气和汽车尾气的排放等原因，曾发生多起以大气污染为主要特征的公害事件，已经引起了世界各国的重视。如不对大气污染进行治理与控制，将会给人类带来灾难性的后果。研究一个地区大气污染就要查明污染物的来源；了解污染物在大气中的物理和化学行为；研究大气污染对人群健康和生态环境的影响；研究控制的途

径和方法及进行管理的方法。大气污染控制技术就是对大气污染物排放进行控制的实用技术。

## 1.1 大气污染

### 1.1.1 大气污染的基本常识

#### (1) 大气污染的概念

国际标准化组织（ISO）的定义是：大气污染，通常是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，持续了足够的时间，并因此危害了人体的舒适、健康和福利或危害了环境。

#### (2) 大气污染的原因

造成大气污染的原因包括两个方面，自然过程和人类生产、生活活动，而后者是最主要的原因。一方面由于人口的迅速增长，人类在进行生活活动时需要燃烧大量的煤、油、天然气等燃料而排放大量有害的废气；另一方面由于人类在进行工业生产过程中，将含有多种有害物质的大量工业废气未经净化处理或处理得不彻底就排入大气环境中，从而造成大气的污染。无论是排放有害物质的总量、持续时间还是影响范围和程度都远远超过自然排放所造成的大气污染。

#### (3) 大气污染的危害

大气污染的危害可以是全球性，也可能是区域性的或局地的。全球性大气污染主要表现在臭氧层损耗加剧和全球气候变暖，直接损害地球生命支持系统。区域性的大气污染主要是酸雨，它不仅损害人体的健康，而且影响生物的生长，并会使建筑物遭到不同程度的破坏。城市范围和局地大气污染主要表现在这些范围内大气的物理特征和化学特征的变化。物理特征主要表现在烟雾日增多、能见度降低以及城市的热岛效应。化学特征的不良变化将危害人体健康，导致癌症、呼吸系统疾病、心血管疾病等发病率上升。

#### (4) 大气污染的类型

根据大气污染原因和大气污染物的组成，大气污染可分为煤烟型污染、石油型污染、混合型污染和特殊型污染四大类。煤烟型污染是由用煤工业的烟气排放及家庭炉灶等燃煤设备的烟气排放造成的，中国大部分的城市污染属于此类型污染。石油型污染是由于燃烧石油向大气中排放有害物质造成的。混合型污染是由煤炭和石油在燃烧或加工过程中产生的混合物造成的大气污染，是介于煤烟型和石油型污染之间的一种大气污染。特殊型大气污染是由于各类工业企业排放的特殊气体（如氯气、硫化氢、氟化氢、金属蒸气等）引起的大气污染。

根据污染的范围可将大气污染分为局部地区大气污染、区域性大气污染、广域性大气污染和全球性大气污染。

不同类型的大气污染，其危害程度和控制措施均有许多差异。

### 1.1.2 大气污染源和大气污染物

#### (1) 大气污染源

大气污染源是指向大气排放足以对环境产生有害影响物质的生产过程、设备、物体或场所等。它具有两层含义，一层是指“污染物的发生源”，如火力发电厂排放  $\text{SO}_2$ ，就称火力

发电厂为污染源；另一层是指“污染物来源”，如燃料燃烧向大气中排放污染物，表明污染物来自于燃料的燃烧。

大气污染物主要来源于自然过程和人类活动，因此从大范围来分，可将大气污染源分为自然污染源和人为污染源两大类。为了满足污染调查、环境评价、污染物治理等方面的需要，对人为污染源进一步分类。按污染源存在的形式可分为固定污染源（如工厂烟囱、厂房等）和移动污染源（如汽车、火车等交通工具）两大类；按污染源排放空间分为高架源和地面源；按污染源排放方式可分为点源、面源和线源；按污染物排放时间可分为连续源、间断源和瞬时源；按污染物产生的类型可分为工业污染源、农业污染源、生活污染源和交通污染源。

(2) 大气污染物

大气污染物是指由于人类活动或自然过程排放到大气中，对人或环境产生不利影响的物质。

按中国环境标准和环境政策法规规定，大气污染物可分为两种。一种是为履行国际公约而确定的污染物，主要是二氧化碳（CO<sub>2</sub>）和氯氟烃（CCl<sub>3</sub>F、CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>）；另一种是全国性的大气污染物，主要有烟尘、工业粉尘、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、一氧化碳（CO）、光化学氧化剂（O<sub>3</sub>）和过氧乙酰硝酸酯（PAN）等。中国大气环境中的主要污染物是尘、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub>。

按污染物的存在状态可将其分为颗粒污染物和气态污染物（见表 1-1）。各种主要工业企业产生的大气污染物见表 1-2。

表 1-1 颗粒污染物和气态污染物

| 颗粒 污 染 物    |             | 气 态 污 染 物 |                                                    |
|-------------|-------------|-----------|----------------------------------------------------|
| 污染物种类       | 污染物颗粒大小     | 污染物种类     | 污染物举例                                              |
| 粉尘(dust)    | 1~200μm 左右  | 含硫化合物     | SO <sub>2</sub> 、SO <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> S |
| 烟(fume)     | 0.01~1μm 左右 | 含氮化合物     | NO、NO <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub>                |
| 飞灰(fly ash) |             | 碳的氧化物     | CO、CO <sub>2</sub>                                 |
| 黑烟(smoke)   |             | 碳氢化合物     |                                                    |
| 雾(fog)      |             | 卤素化合物     | HF、HCl                                             |

表 1-2 各种主要工业企业产生的大气污染物

| 工 业 部 门 | 企 业     | 排 放 的 主 要 污 染 物                                               |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------|
| 电 力     | 火力发电厂   | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO                       |
| 冶 金     | 钢铁厂     | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、CO、氧化铁粉尘、氧化钙粉尘等                           |
|         | 有色金属冶炼厂 | 含铅、锌、镉、铜等金属粉尘，SO <sub>2</sub> ，汞蒸气                            |
|         | 炼焦厂     | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、CO、H <sub>2</sub> S、苯、酚、萘、烃类              |
| 石 化、化 工 | 炼油厂     | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、苯、酚、烃类                                    |
|         | 石油化工厂   | SO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> S、氟化物、NO <sub>2</sub> 、氯化物、烃类 |
|         | 氮肥厂     | 粉尘、NO <sub>2</sub> 、CO、NH <sub>3</sub> 、酸雾                    |
|         | 磷肥厂     | 粉尘、氟化氢、四氟化硅、硫酸气溶胶                                             |
|         | 硫酸厂     | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、砷化物、硫酸气溶胶                   |
|         | 氯碱厂     | 氯气、氯化氢、汞蒸气                                                    |



续表

| 工 业 部 门 | 企 业   | 排 放 的 主 要 污 染 物                                                  |
|---------|-------|------------------------------------------------------------------|
| 石化、化工   | 化学纤维厂 | 烟尘、H <sub>2</sub> S、NH <sub>3</sub> 、CO <sub>2</sub> 、甲醇、丙酮、二氯甲烷 |
|         | 合成橡胶厂 | 丁二烯、苯乙烯、乙烯、二氯乙烷、异戊二烯、异丁烯                                         |
|         | 农药厂   | 砷化物、汞、氯、农药                                                       |
|         | 燃料化工厂 | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub>                                 |
| 建材      | 水泥厂   | 烟尘、粉尘                                                            |
|         | 石棉加工厂 | 粉尘                                                               |
|         | 砖瓦厂   | 烟尘、CO                                                            |
| 机械      | 机械加工厂 | 烟尘、粉尘                                                            |
| 轻工厂     | 造纸厂   | 烟尘、H <sub>2</sub> S、硫醇、SO <sub>2</sub>                           |
|         | 仪器仪表厂 | 汞、氰化物、铬酸                                                         |
|         | 灯泡厂   | 烟尘、汞                                                             |

在大气污染控制中，根据大气中粉尘颗粒的大小，又将粉尘分为飘尘、降尘和总悬浮颗粒物。飘尘是指粒径小于 10 $\mu$ m 的固体颗粒，它能较长期地在大气中飘浮。降尘是指粒径大于 10 $\mu$ m 的固体颗粒，在重力的作用下可在较短时间内沉降到地面。总悬浮颗粒物是指粒径小于 100 $\mu$ m 的所有固体颗粒。

按污染物的形成过程可分为一次污染物和二次污染物。由污染源直接排放，且在大气迁移时其物理和化学性质尚未发生变化的污染物称为一次污染物（如 SO<sub>2</sub>、NO、CO 和 HF 等）。一次污染物在大气中经过化学反应生成的污染物称为二次污染物（如硫酸盐气溶胶、硫酸烟雾、光化学氧化剂、臭氧、过氧乙酰硝酸酯等）。

大气污染物的来源

大气污染物主要来源于燃料燃烧、工业生产过程、农业生产过程和交通运输。

无论是火力发电厂、钢铁厂、焦化厂等工矿企业，还是其他企业中的各种工业炉窑及民用炉灶和取暖锅炉的燃料燃烧均向大气中排放大量的污染物。不同种类燃料，同一种燃料在不同燃烧设备和燃烧工况下排放的污染物种类和数量不尽相同。例如：

- 火力发电厂每燃烧 1t 煤，大约排放 10kg 的烟尘；
- 燃烧 1t 含硫 0.5% 的煤，大约产生 SO<sub>2</sub> 10kg，产生 NO<sub>x</sub> 8~9kg；
- 燃烧 1t 石油，大约产生 9~12kg 的 NO<sub>x</sub>。

化工、建材、钢铁、冶金、煤炭等工业企业，在原材料及产品的运输、粉碎、及由各种原料制成成品的过程中，都会有大量的污染物排入大气环境中，所排放污染物的种类、数量、组成、性质因生产工艺、流程、原材料及操作条件和管理水平的不同而不同。主要的污染物有粉尘、碳氢化合物、含硫化合物、含氮化合物及卤素化合物等。重有色金属在火法冶炼中产生的有害物质以重金属烟尘和 SO<sub>2</sub>，也伴有汞、镉、铅、砷等剧毒物质。生产轻金属铝时，污染物以氟化物和沥青烟为主；生产镁、钛、锆时，排放的污染物以氯气、CO 和金属氟化物为主。

生产 1t 钢要消耗包括铁矿石、煤炭、石灰石等原材料 6~7t，其中约 80% 变成各种废物或有害物质排入环境中。

生产 1t 硝酸产生的 NO<sub>x</sub>（以 NO<sub>2</sub> 计）约 20~30kg。用常压氧化加压吸收的方法，规模为年产 4 万吨的硝酸工厂，尾气排放量每小时约为 2000m<sup>3</sup>，尾气中 NO<sub>x</sub> 的含量达 0.2%~0.4%。

生产 1t 硫酸，废气中含有 SO<sub>2</sub> 9~18kg。

生产 1t 成品盐酸，废气中含有 1.4kg HCl 和 0.9kg Cl<sub>2</sub>。  
生产 1t 纯碱，随废气排放的 NH<sub>3</sub> 约为 3.5kg。  
生产 1t 硝酸铵排放的废气中含有硝酸雾 2.3kg，NH<sub>3</sub> 22.7kg，硝酸粉尘 27.2kg。  
生产 1t 硫铵排放的废气中有 CO 45.4~90kg，CH<sub>4</sub> 45.4kg，NH<sub>3</sub> 3.2~68.1kg，H<sub>2</sub>S 8~25kg。  
生产 1t 普通过磷酸钙产生废气 250~300m<sup>3</sup>，主要的污染物是氟化物及粉尘，氟含量约为 15~25g/m<sup>3</sup>。  
高炉法生产 1t 钙镁磷肥，排放废气 1000~1500m<sup>3</sup>，粉尘 60kg，氟含量 0.2~3g/m<sup>3</sup>。

## 1.2 大气污染控制的主要内容

### 1.2.1 大气污染控制的对象

大气污染控制的对象主要是人为活动，特别是燃料燃烧、工业生产过程、农业生产过程和交通运输所排放的含有污染物的废气。主要包括含尘废气、低浓度 SO<sub>2</sub> 废气、NO<sub>x</sub> 废气、含氟废气、含铅废气、含汞废气、有机化合物废气、H<sub>2</sub>S 废气、酸雾、沥青烟及恶臭等，也包括对破坏臭氧层物质和温室气体排放的控制。

中国大气环境污染以煤烟型污染为主，主要是工业生产过程燃煤和城市居民生活燃煤过程排放的污染物。2002 年 1 月 30 日，国家环保总局、国家经贸委、科技部联合发布了《燃煤二氧化硫排放污染防治技术政策》，明确指出目前中国控制的主要污染源包括燃煤电厂锅炉、工业锅炉和炉窑，以及对局地环境污染有显著影响的其他燃煤设施。重点区域是“两控区”，及对“两控区”酸雨的产生有较大影响的周边省、市和地区。

随着城市化进程的加快，经济快速发展，以汽车排气为代表的石油型污染在一些大中城市日益突出。因此，控制的主要污染物是燃煤烟气和汽车尾气中的烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和工业工艺尾气中的有毒物质。

### 1.2.2 大气污染控制的主要技术

根据污染控制的方法原理可将大气污染控制技术分为洁净燃烧技术、烟气的排放、颗粒物净化技术、气态污染物净化技术等（见表 1-3）。根据污染控制的对象可将大气污染控制技术分为除尘技术、脱硫技术、NO<sub>x</sub> 控制技术，以及含氟废气、含铅废气、含汞废气、有机化合物废气、H<sub>2</sub>S 废气、酸雾、沥青烟及恶臭净化技术等。

表 1-3 大气污染控制技术及其净化的污染物

| 大气污染控制方法  |      | 主要作用或净化的主要污染物                           |
|-----------|------|-----------------------------------------|
| 颗粒污染物控制技术 | 除尘技术 | 烟尘、工业粉尘                                 |
|           | 吸收法  | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、氟化物   |
| 气态污染物控制技术 | 吸附法  | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、有机化合物 |
|           | 燃烧法  | 碳氢化合物、CO、恶臭、沥青烟                         |
|           | 催化法  | CO、碳氢化合物、NO <sub>x</sub>                |
|           | 冷凝法  | 有机溶剂蒸气                                  |
| 工业通风技术    | 全面通风 | 保持车间环境空气质量满足健康卫生标准                      |
|           | 局部通风 | 控制室内污染物的排放，收集污染气体进入净化装置                 |
| 洁净燃烧技术    |      | 粉尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub>     |
| 烟气的高烟囱排放  |      | 对各种污染物进行稀释排放                            |