

# 大气污染控制技术

第二版

李广超 主编



化学工业出版社

# 大气污染控制技术

# 第二版

李广超 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容包括燃料与洁净燃烧技术、烟气的排放、颗粒污染物控制技术、气态污染物控制技术和工业通风技术。本书概括性地介绍了大气污染控制技术的基本方法、净化设备和工艺流程,详细介绍了烟囱高度计算和厂址选择、煤脱硫燃烧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、含挥发性有机物净化技术、汽车排气净化技术及工业通风技术等内容。重点介绍了袋式除尘器和电除尘器的型号和性能、湿法烟气脱硫技术的原理、工艺流程和常用设备等。

本书可作为职业技术教育环境类专业的教材,也可作为从事环境保护工作人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制技术/李广超主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-122-01570-9

I. 大… II. 李… III. 空气污染控制 IV. X510.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第180427号

---

责任编辑:王文峡

文字编辑:李仙华

责任校对:王素芹

装帧设计:尹琳琳

---

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:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数371千字 2008年1月北京第2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: 25.00 元

版权所有 违者必究

## 第二版前言

《大气污染控制技术》自出版以来，深受广大读者的欢迎，特别是在职业技术类院校中被广泛采用。近年来，随着新的国家标准的发布和新技术的不断涌现，原教材中的部分内容已显得陈旧或不适宜，再加上时间紧迫等原因，原教材中可能存在一些疏漏。为了使教材更加完善，以适用教学改革的要求，更好地服务于广大读者，因此对教材进行修订，出版第二版。

修订内容比较多的是第4章和第5章。近几年，除尘效率高、适应性较广的电除尘器和袋式除尘器在工业生产上应用得越来越多，因此本书着重对这方面的内容进行调整。主要增加了电除尘器型号的选择及电除尘技术的研究和发展方向；较系统地介绍了袋式除尘器的结构、分类和命名；增加了袋式除尘器的选型及主要污染行业废气净化除尘器的选择等重要内容。

为了突出污染控制技术的应用，将第一版中第5章第1至第5节的内容列为一节“气态污染物的净化方法”，而将原来第6节的内容分为五节，并将其调整为“烟气脱硫技术”、“烟气脱氮技术”、“含氟废气净化技术”、“挥发性有机废气净化技术”和“其他废气净化技术”。在对章节进行重新编排的同时，对相关内容进行适当补充和调整，从而使该书内容更加充实，更具系统性、实用性和条理性。

在第6章中介绍了自然通风和机械通风两种全面通风方式及换气量的计算方法；补充了集气罩排风量和压力损失的计算方法以及管道系统的设计和通风机风量计算等有关内容。另外，更新了附录中部分国家标准中的相关内容。

本书编写保持了第一版的特点，在每章的开头附有学习指南，在每节后安排填空题、判断题、思考题、选择题、计算题和综合题等不同类型的练习题，在教材中用小字编排了一些旨在扩大学生的知识面、提高学生学习兴趣的阅读内容。

由于编者水平有限，再加上时间仓促，书中不妥之处，诚望广大读者批评指正。

编者

2007年11月

# 第一版前言

环境问题是当代人类普遍关注的全球性问题。随着现代工业生产的迅速发展,对环境污染实施有效控制已变得越来越重要和紧迫;人类的可持续发展成为 21 世纪国际社会关注的焦点。我国吸取世界上工业化国家“先污染、后治理”的教训,把实现可持续发展作为一项基本国策。而可持续发展战略的实施必须依靠科技进步和环境教育。为满足社会对环境专门人才,特别是具有从事环境保护与监测工作的综合职业能力,在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者的需求,许多学校先后开设了环境类专业,培养出了一批又一批职业人才。随着职业教育改革的发展,社会对环境类职业人才专业水平与能力的要求日渐提高,广大院校把进一步提高环境类专业的教学质量作为专业生存和发展的基本前提。更新专业教学内容,强化职业能力培养,提高学生的专业素质,增强学生对职业的适应能力等问题逐渐集中到对传统教学内容和方式的改革上来。专业教学改革对教材提出了全新的要求,而改革的成果又为新教材的诞生提供了充分的素材。

化学工业出版社对近两年职业教育环境类专业的教学改革给予了高度重视和认真研究。2000 年春,在全国石油和化工行业教学指导委员会的支持下,组建了由全国十几所院校的二十多位专家教师组成的环境类专业教材编委会。在对几十所学校的培养规格、教学内容、专业特色等问题进行广泛调研的基础上,编委会组织各校进行了教学文件和手段的交流和研讨,拟订了环境类专业的协作性教学计划。接着对各校现用教材基本情况 and 意见进行了调查和整理,并决定从目前较薄弱的专业基础课和专业课教材入手,开始新一轮教材的编审工作。第一批教材涉及的课程有环境保护基础、大气污染控制技术、水污染控制技术、固体废物处理与利用、噪声控制技术和环境监测。

本套教材充分考虑职业教育对教材的要求,以学生为本,注重对专业素质和能力的培养。在保证专业教学内容科学合理的基础上,结合社会对环境类职业的要求,适当突出了技术传授和能力培养;根据学生兴趣发展,安排了部分自学内容,增强学校与社会、理论与实践之间的衔接。考虑到学校之间教学重点和特色的区别,教材对课程内容和层次采用模块化拼接,以便于组织教学。

本书在编排过程中,力求教材的实用性。重点介绍目前大气污染控制的基本方法、净化设备、工艺流程、典型气态污染物和典型的应用实例。概括性地介绍有关大气污染控制技术的基本原理,对于在《化工原理》中详细介绍过的吸收、吸附等基本理论,特别是有关复杂的计算,本书介绍得很少甚至不介绍。对于污染物排放量的估算方法、烟囱高度的计算方法、除尘设备的设计计算等必要的计算也只是介绍最基本的计算方法,以突出净化方法、设备种类和性能、工艺流程等重要内容。

本书在编写时,考虑职业教育学生学习的特点,在每章的开头附有学习指南,简单概述了本章的学习目的和学习方法。在每节后安排了不同题型(填空题、判断题、选择题、计算题和综合题等)的练习。另外,本书中用小字编排的内容,旨在扩大学生的知识面,提高学生兴趣,学生可以自己阅读,也可以在教师的指导下阅读。

本书由李广超(编写第 5 章)、谢惠波(编写第 1、2、3 章)、傅新华(编写第 4、6 章)

编写，全书由李广超主编，顾强主审。沈永祥、李耀中、王松贤、冷宝林、王燕飞、刘云华、庄伟强等为本书提出了宝贵意见。在编写过程中，顾明华、彭德厚、冷士良、魏勇等也提出了建设性的建议，并给予大力支持，化学工业出版社对本教材的编审工作也给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，再加时间仓促，错误和疏忽之处在所难免，诚望广大读者批评指正。

编者

2001年4月

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>1 绪论</b>                  | 1  |
| 1.1 大气污染                     | 1  |
| 1.1.1 大气污染基本常识               | 1  |
| 1.1.2 大气污染源和大气污染物            | 2  |
| 练习 1.1                       | 5  |
| 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  |
| 练习 1.2                       | 8  |
| 1.3 大气污染综合防治                 | 8  |
| 1.3.1 大气污染综合防治的原则            | 8  |
| 1.3.2 大气污染综合防治措施             | 9  |
| 练习 1.3                       | 10 |
| <b>2 燃料与洁净燃烧技术</b>           | 11 |
| 2.1 燃料的种类与性质                 | 11 |
| 2.1.1 固体燃料                   | 11 |
| 2.1.2 液体燃料                   | 13 |
| 2.1.3 气体燃料                   | 13 |
| 练习 2.1                       | 13 |
| 2.2 燃料的燃烧过程                  | 14 |
| 2.2.1 影响燃烧过程的主要因素            | 14 |
| 2.2.2 固体燃料的燃烧过程及设备           | 16 |
| 2.2.3 气体燃料的燃烧过程和燃烧设备         | 18 |
| 2.2.4 液体燃料的燃烧过程和燃烧装置         | 19 |
| 练习 2.2                       | 19 |
| 2.3 燃烧过程中主要污染物的形成机制          | 20 |
| 2.3.1 硫氧化物的形成机制              | 20 |
| 2.3.2 氮氧化物的形成机制              | 20 |
| 2.3.3 颗粒污染物的形成机制             | 21 |
| 练习 2.3                       | 22 |
| 2.4 洁净燃烧技术                   | 22 |
| 2.4.1 洁净煤技术                  | 22 |
| 2.4.2 低 $\text{NO}_x$ 生成燃烧技术 | 25 |
| 练习 2.4                       | 28 |
| 2.5 燃烧过程污染物排放量的计算            | 28 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 2.5.1 烟气体积的计算            | 28        |
| 2.5.2 工业生产废气和大气污染物排污量的估算 | 32        |
| 练习 2.5                   | 34        |
| <b>3 烟气的排放</b>           | <b>35</b> |
| 3.1 影响烟气扩散的因素            | 35        |
| 3.1.1 气象条件对烟气扩散的影响       | 35        |
| 3.1.2 下垫面对烟气扩散的影响        | 39        |
| 练习 3.1                   | 41        |
| 3.2 烟气在大气中扩散的计算          | 42        |
| 3.2.1 实用的高斯扩散模式          | 42        |
| 3.2.2 烟气抬升现象和烟气抬升高度的计算方法 | 44        |
| 3.2.3 扩散参数的确定            | 46        |
| 练习 3.2                   | 48        |
| 3.3 烟囱高度的设计及厂址的选择        | 48        |
| 3.3.1 烟囱高度的计算            | 48        |
| 3.3.2 烟囱设计应注意的事项         | 50        |
| 3.3.3 厂址的选择              | 51        |
| 练习 3.3                   | 52        |
| <b>4 颗粒污染物控制技术</b>       | <b>53</b> |
| 4.1 除尘技术基础               | 53        |
| 4.1.1 粉尘的性质              | 53        |
| 4.1.2 除尘装置的性能指标          | 55        |
| 4.1.3 除尘器的分类             | 58        |
| 练习 4.1                   | 59        |
| 4.2 机械式除尘器               | 60        |
| 4.2.1 重力除尘器              | 60        |
| 4.2.2 惯性除尘器              | 62        |
| 4.2.3 旋风除尘器              | 63        |
| 练习 4.2                   | 73        |
| 4.3 电除尘器                 | 73        |
| 4.3.1 电除尘的基本原理           | 74        |
| 4.3.2 电除尘器除尘效率的影响因素      | 75        |
| 4.3.3 电除尘器的结构形式和主要部件     | 77        |
| 4.3.4 电除尘器的选型            | 81        |
| 练习 4.3                   | 86        |
| 4.4 湿式除尘器                | 87        |
| 4.4.1 湿式除尘器概述            | 87        |
| 4.4.2 几种常见的湿式除尘器         | 88        |
| 练习 4.4                   | 95        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 4.5 过滤式除尘器             | 95         |
| 4.5.1 袋式除尘器的除尘原理       | 96         |
| 4.5.2 袋式除尘器除尘效率的影响因素   | 96         |
| 4.5.3 袋式除尘器的结构、分类和命名   | 99         |
| 4.5.4 常见袋式除尘器          | 102        |
| 4.5.5 袋式除尘器的选型         | 106        |
| 4.5.6 颗粒层除尘器           | 109        |
| 练习 4.5                 | 112        |
| 4.6 除尘装置的选择            | 112        |
| 4.6.1 除尘装置的选择原则        | 112        |
| 4.6.2 各种类型除尘器的适用范围     | 114        |
| 4.6.3 主要污染行业废气净化除尘器的选择 | 115        |
| 4.6.4 除尘器的维护和管理        | 117        |
| <b>5 气态污染物控制技术</b>     | <b>119</b> |
| 5.1 气态污染物的净化方法         | 119        |
| 5.1.1 吸收法              | 119        |
| 5.1.2 吸附法              | 123        |
| 5.1.3 催化转化法            | 133        |
| 5.1.4 燃烧法              | 137        |
| 5.1.5 冷凝法              | 141        |
| 练习 5.1                 | 143        |
| 5.2 烟气脱硫技术             | 144        |
| 5.2.1 湿法烟气脱硫           | 144        |
| 5.2.2 半干法烟气脱硫          | 153        |
| 5.2.3 干法烟气脱硫           | 157        |
| 练习 5.2                 | 162        |
| 5.3 烟气脱氮技术             | 162        |
| 5.3.1 液体吸收法            | 163        |
| 5.3.2 选择性催化还原法         | 166        |
| 5.3.3 烟气脱硫脱氮技术及发展趋势    | 167        |
| 练习 5.3                 | 170        |
| 5.4 含氟废气净化技术           | 171        |
| 5.4.1 水吸收法             | 171        |
| 5.4.2 碱液吸收法            | 171        |
| 5.4.3 吸附净化法            | 172        |
| 练习 5.4                 | 175        |
| 5.5 挥发性有机废气净化技术        | 176        |
| 5.5.1 净化方法的选择原则        | 176        |
| 5.5.2 燃烧法              | 177        |
| 5.5.3 吸附法              | 178        |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 5.5.4 吸收法 .....                              | 178        |
| 5.5.5 生物法 .....                              | 180        |
| 练习 5.5 .....                                 | 182        |
| 5.6 其他废气净化技术 .....                           | 182        |
| 5.6.1 汽车排气净化技术 .....                         | 182        |
| 5.6.2 恶臭的控制与治理 .....                         | 186        |
| 5.6.3 沥青烟的净化方法简介 .....                       | 188        |
| 5.6.4 汞蒸气的净化方法简介 .....                       | 189        |
| 练习 5.6 .....                                 | 190        |
| <b>6 工业通风技术 .....</b>                        | <b>192</b> |
| 6.1 概述 .....                                 | 192        |
| 6.1.1 局部通风 .....                             | 192        |
| 6.1.2 全面通风 .....                             | 193        |
| 练习 6.1 .....                                 | 195        |
| 6.2 集气罩 .....                                | 195        |
| 6.2.1 集气罩的基本形式 .....                         | 196        |
| 6.2.2 集气罩排风量和压力损失 .....                      | 197        |
| 6.2.3 集气罩的设计原则 .....                         | 200        |
| 练习 6.2 .....                                 | 201        |
| 6.3 通风管道和通风机 .....                           | 201        |
| 6.3.1 通风管道 .....                             | 202        |
| 6.3.2 通风机 .....                              | 204        |
| 6.4 净化系统的保护 .....                            | 206        |
| 6.4.1 净化系统的防爆 .....                          | 206        |
| 6.4.2 净化系统的防腐 .....                          | 206        |
| 6.4.3 净化系统的防振 .....                          | 207        |
| <b>附录 .....</b>                              | <b>208</b> |
| 附录 1 锅炉大气污染物排放标准 (GB 13271—2001) (摘要) .....  | 208        |
| 附录 2 工业炉窑大气污染物排放标准 (GB 9078—1996) (摘要) ..... | 209        |
| 附录 3 水泥工业大气污染物排放标准 (GB 4915—2004) (摘要) ..... | 213        |
| 附录 4 火电厂大气污染物排放标准 (GB 13223—2003) (摘要) ..... | 215        |
| 附录 5 恶臭污染物排放标准 (GB 14554—93) (摘要) .....      | 216        |
| 附录 6 炼焦炉大气污染物排放标准 (GB 16171—1996) (摘要) ..... | 218        |
| 附录 7 大气污染物综合排放标准 (GB 16297—1996) (摘要) .....  | 219        |
| <b>参考文献 .....</b>                            | <b>232</b> |

### ➔ 学习指南

本章概括性地介绍了大气污染的基本常识，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，了解我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。大气层通过自身运动进行热量、动量和水资源分布的调节过程，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，由于大量燃料的燃烧、工业废气和汽车尾气的排放等原因，曾发生多起与大气污染有关的公害事件，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。大气污染控制技术就是对大气污染进行治理与控制的实用技术。

## 1.1 大气污染

### 1.1.1 大气污染基本常识

#### （1）大气污染的概念

由于人类活动或自然过程，排放到大气中的有害物质超过环境所能允许的极限（环境容量）时，其浓度及持续时间足以对人们的生活、工作、健康、精神状态、设备财产以及生态环境等产生不利影响，即为大气污染。

#### （2）大气污染的原因

造成大气污染的原因包括两个方面，即自然过程及人类生产和生活活动，而后者是最主要的原因。这一方面是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的工业废气未经净化处理或处理得不太彻底就排入大气环境中，从而造成大气的污染。人类活动无论从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过程所造成的大气污染。

#### （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部地区的。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，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。城市范围和局部地区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呈上升趋势。

### (4) 大气污染的类型

对大气污染分类可以采取不同的方法。根据大气污染原因和大气污染物的组成，把大气污染分为煤烟型污染、石油型污染、混合型污染和特殊型污染四大类。煤烟型污染是由燃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，我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，对人为污染源做了进一步分类。按污染源存在的形式可分为固定污染源和移动污染源两大类（如工厂烟囱、厂房等不能随便移动的为固定污染源，汽车、火车等交通工具等是在移动过程中排放出污染物的称为移动污染源）；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，排放到大气中并对人或环境产生不利影响的物质。

按我国环境标准和环境政策法规中规定的大气污染物可将其分为以下两种。

① 为履行国际公约而确定的污染物主要有二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ )、氟氯烃 ( $\text{CCl}_3\text{F}$ 、 $\text{CCl}_2\text{F}_2$ )。

② 全国性的大气污染物主要有烟尘、工业粉尘、二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ )、氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )、一氧化碳 ( $\text{CO}$ ) 和光化学氧化剂 ( $\text{O}_3$ )、过氧硝酸乙酰酯 (PAN) 等。我国大气环境的主要污染物是烟尘和  $\text{SO}_2$ 。

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。

在大气污染控制中,根据大气中颗粒物的大小,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  $10\mu\text{m}$  的固体颗粒,它能较长期地在大气中飘浮,由于可通过呼吸进入肺部,因此又称为可吸入颗粒物。降尘是指粒径大于  $10\mu\text{m}$  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  $100\mu\text{m}$  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  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}$  和  $\text{CO}$  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  $\text{SO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、硫酸盐和硝酸盐等)。

表 1-1 颗粒污染物和气象污染物

| 颗粒污染物 |                         | 气象污染物 |                                                      |
|-------|-------------------------|-------|------------------------------------------------------|
| 污染物种类 | 污染物颗粒大小                 | 污染物种类 | 污染物举例                                                |
| 粉尘    | $1\sim 200\mu\text{m}$  | 含硫化合物 | $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ |
| 烟     | $0.01\sim 1\mu\text{m}$ | 含氮化合物 | $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NH}_3$          |
| 飞灰    |                         | 碳的氧化物 | $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$                          |
| 黑烟    |                         | 碳氢化合物 | HC                                                   |
| 雾     |                         | 卤素化合物 | HF、HCl                                               |

## 阅读材料

### 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。举例如下。

- ① 火力发电厂每燃烧 1t 煤,大约排放 10kg 的烟尘;
- ② 燃烧 1t 含硫 0.5% 的煤,大约产生  $\text{SO}_2$  10kg,产生  $\text{NO}_x$  8~9kg;
- ③ 燃烧 1t 石油,大约产生 9~12kg 的  $\text{NO}_x$ 。

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  $\text{SO}_2$  为主,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、铪时,排放的污染物以氟气、 $\text{CO}$  和金属氟化物为主。

① 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。

② 生产 1t 硝酸产生的  $\text{NO}_x$  (以  $\text{NO}_2$  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>的浓度达0.2%~0.4%。

③ 生产1t硫酸，废气中含有SO<sub>2</sub> 9~18kg。

④ 生产1t成品盐酸，废气中含有1.4kg HCl和0.9kg Cl<sub>2</sub>。

⑤ 生产1t纯碱，随废气排放的NH<sub>3</sub>约为3.5kg。

⑥ 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。

⑦ 生产1t硫酸铵排放的废气中有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。

⑧ 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>。

⑨ 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>。

### 我国大气环境状况

近年来，我国城市空气质量总体有所好转，但部分城市污染仍然严重。每年二氧化硫排放量约为2600万吨，烟尘排放量约为1100万吨，工业粉尘排放量为810万吨。

在2006年监测的559个城市中（其中县级城市237个），空气质量达到一级标准的城市24个（占4.3%）、二级标准的城市325个（占58.1%）、三级标准的城市159个（占28.5%）、劣于三级标准的城市51个（占9.1%）。主要污染物为可吸入颗粒物。

在监测的城市中，66.5%的城市颗粒物年均浓度达到或优于二级标准，7.0%的城市颗粒物年均浓度劣于三级标准。颗粒物污染较重的城市主要分布在山西、新疆、甘肃、北京、陕西、宁夏、四川、内蒙古、河北、湖南、辽宁、河南、重庆、天津、江苏等省、自治区和直辖市。

2006年，全国二氧化硫年均浓度达到或优于二级标准的城市占86.8%，超过三级标准的城市占3.6%。二氧化硫污染较重的城市主要分布在：山西、内蒙古、云南、新疆、贵州、甘肃、河北、湖北、广西、湖南、四川、辽宁、河南、重庆、天津等省、自治区和直辖市。

至2006年，所有统计城市的二氧化氮浓度均达到国家二级标准（其中87.4%的城市达到国家一级标准），但广州、北京、乌鲁木齐、深圳、兰州等城市二氧化氮浓度相对较高。

2006年，全国参加酸雨监测统计的524个城市（县）中，出现至少1次以上酸雨的城市283个（占54.0%），酸雨发生频率在25%以上的城市198个（占37.8%），酸雨发生频率在75%以上的城市87个（占16.6%）。浙江省的建德市、象山县、湖州市、安吉县和嵊泗县，重庆江津市酸雨频率为100%。

全国酸雨发生频率在5%以上的区域占国土面积的32.6%，酸雨发生频率在25%以上区域占国土面积的15.4%。全国酸雨分布区域主要集中在长江以南，四川、云南以东的区域。主要包括浙江、江西、湖南、福建、贵州、重庆的大部分地区，以及长江、珠江三角洲地区。

**练习 1.1**

**填空题**

大气是人类赖以生存的最基本的环境要素，当排放到大气中的物质超\_\_\_\_\_时，就会造成大气污染。\_\_\_\_\_过程及\_\_\_\_\_活动是造成大气污染的原因，排放到大气中并对人或环境产生不利影响的物质称为\_\_\_\_\_，根据燃料的性质和大气污染物的组成，把大气污染分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_四大类。

**判断题**

1. 大气与空气是同一概念。 ( )
2. 飘尘的空气动力学当量直径与可吸入颗粒物相当。 ( )
3. 大气是人类生存的最基本的环境要素。 ( )
4. 人类的生产和生活活动是造成大气污染的最主要原因。 ( )
5. 粉尘属于气溶胶状态污染物而雾则属于气态污染物。 ( )
6. 我国的主要污染物是可吸入颗粒物。 ( )
7. 酸雨是指 pH 小于 7 的降雨。 ( )
8. 我国最大的酸雨区是华南、西南酸雨区。 ( )

## 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  $\text{SO}_2$  废气、 $\text{NO}_x$  废气、含氟废气、含铅废气、含汞废气、有机化合物废气、 $\text{H}_2\text{S}$  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的排放控制。

由于我国大气环境污染以煤烟型污染为主，以工业生产过程和燃料燃烧过程排放的污染物为主，因此，控制的主要对象是含尘烟气、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  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

根据污染物的来源和形态可将大气污染的常规控制技术分为洁净燃烧技术、烟气的高烟囱排放技术、颗粒污染物净化技术、气态污染物净化技术等。本书将分章介绍这些技术，主要讲述基本原理、主要设备及其性能、应用条件等，见表 1-2。

#### (1) 洁净燃烧技术

洁净燃烧技术是指旨在减少燃烧过程污染物排放与提高燃料利用效率的加工、燃烧、转化和排放污染控制等所有技术的总称。

洁净煤燃烧技术主要包括以下几方面：①先进的燃煤技术（包括整体煤气化联合循环发电即 IGCC、循环流化床燃烧即 CFBC、煤和生物质及废弃物联合气化或燃烧、低  $\text{NO}_x$  燃烧技术、改进燃烧方式和直接燃煤热机）；②燃煤脱硫、脱氮技术（如先进的煤炭洗选技术，型煤固硫技术，烟气处理技术，先进的焦炭生产技术等）；③煤炭加工成洁净能源技术（洗选、温和气化、煤炭直接液化、煤气化联合燃料电池和煤的热解等）；④提高煤炭及粉煤灰的有效利用和节能技术。

表 1-2 大气污染控制技术及所能净化的污染物

| 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                                 |
| 气态污染物控制技术 | 吸收法  | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、氟化物   |
|           | 吸附法  | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、有机化合物 |
|           | 燃烧法  | HC 化合物、CO、恶臭、沥青烟                        |
|           | 催化法  | CO、HC 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>x</sub>     |
| 烟气的排放     |      | 对各种污染物进行稀释排放                            |

中国洁净煤技术计划框架涉及四个领域，包括十四项技术。①煤炭加工（煤炭洗选、型煤、水煤浆）；②煤炭高效洁净燃烧（循环流化床发电技术、增压流化床发电技术、整体煤气化联合循环发电技术）；③煤炭转化（煤炭气化、煤炭液化、燃料电池）；④污染排放控制与废弃物处理（烟气净化、电厂粉煤灰综合利用、煤层甲烷的开发利用、煤矸石和煤泥浆的综合利用、工业锅炉和窑炉）。

本书简明扼要地介绍了洁净燃烧技术的主要内容，其中主要是燃料脱硫技术，包括煤炭洗选技术、型煤固硫技术、流化床燃烧脱硫技术及煤炭的转化技术等。并在气态污染物的净化技术中详细介绍了烟气脱硫、脱氮技术。

(2) 烟气的高烟囱排放技术

烟气的高烟囱排放就是通过高烟囱把含有污染物的烟气直接排入大气，使污染物向更大的范围和更远的区域扩散、稀释。经过净化达标的烟气通过烟囱排放到大气中，利用大气的自净作用进一步地降低地面空气污染物的浓度。

高烟囱排放并不是控制大气污染的根本性办法，不应提倡。但考虑目前的实际情况，高烟囱排放技术还在不少的行业继续使用，因此也列为本书一章的内容。主要讲述气象条件、下垫面等因素对污染物的大气扩散的影响，以及实用污染源浓度的估算方法，为烟囱高度的合理设计和厂址的选择提供依据。

(3) 颗粒污染物净化技术

颗粒污染物净化技术又称为除尘技术，它是将颗粒污染物从废气中分离出来并加以回收的操作过程，实现该过程的设备称为除尘器。常用的除尘方法有机械式除尘、静电除尘、洗湿式除尘和过滤除尘等。

颗粒污染物是我国大气污染的主要污染物之一，因此，颗粒污染物净化技术就显得十分重要。

(4) 气态污染物净化技术

气态污染物种类繁多，特点各异，因此采用的净化方法也不相同，常用的方法有吸收法、吸附法、催化法、燃烧法和冷凝法等。

吸收法是一种常用的和最基本的净化方法，是分离、净化气态污染物最重要的方法之一，因而这部分内容成为本书的核心。吸附法是一种日益受到重视的污染控制方法，属于干

法工艺,主要用于净化有机废气,在净化的同时又回收废气中的有机溶剂。催化转化法是利用催化剂的催化作用,将废气中的有害物质转变为无害物质或易于去除物质的方法。特别适用于汽车排放废气中  $\text{CO}$ 、 $\text{HC}$  化合物及  $\text{NO}_x$  的净化。

我国在大气污染防治的实践中,已评价、筛选出一批污染控制最佳实用技术,在实际工作中应优先考虑和选用这些实用技术。但随着科学技术的飞速发展,新的更加高效实用的技术也一定会不断地涌现。因此,要随时注意大气污染控制技术的发展,同时要及时引进国外的先进技术,以少走弯路。

本书作为教材,只是简单介绍了大气污染控制技术的基本原理、常用的设备、常见污染物的净化方法以及净化系统设计的基本知识。了解并掌握这些基础知识,可以为今后从事环境保护工作,特别是大气污染控制方面打下良好的基础。

## 阅读材料

### 大气污染控制技术的发展概况

大气污染控制技术的产生和发展经历了漫长岁月。1668年英国学者加斯特洛提出避免煤烟危害采取的技术措施。1809年英国采用了石灰乳脱除煤烟中的硫化氢,1849年开始采用氧化铁脱除硫化氢。1897年日本建造了煤烟脱硫塔,烟气经石灰乳脱硫后高烟囱排放。20世纪60年代以后大气污染控制技术有了较大的发展,除尘、脱硫、脱氮等实用技术在实际工作中发挥了重要的作用。我国自1973年开始研究和应用大气污染控制技术,到目前已大体经历了三个阶段。

第一阶段为起步阶段(1973~1981年)。该阶段的特点主要是抓单一污染源的控制,采用改进燃烧装置,安装除尘器等技术措施,控制烟尘、粉尘的排放量。另外还对污染比较严重的化工生产尾气进行了治理,如用选择性还原法和30%NaOH溶液吸收法治理硝酸和氮肥厂排放的 $\text{NO}_x$ ;对有色金属冶炼厂高浓度 $\text{SO}_2$ 进行综合利用;以及用吸附、吸收等技术方法治理氯化氢、氯乙烯尾气等。

第二阶段为发展阶段(1982~1991年)。该阶段最显著特点是将改善大气环境质量作为废气治理工程的主要目标,由单个污染源的治理转变为实施综合防治。

该阶段进行综合防治所采用的技术主要有:①推广型煤,减少 $\text{SO}_2$ 与粉尘的排放量;②集中供热,淘汰分散的小锅炉,提高除尘效率,减少 $\text{SO}_2$ 与粉尘的排放量;③改善能源结构,提高城市气化率。

该阶段采用的单项治理技术主要如下。

① 除尘技术 对耗能高、热效率低、污染重的锅炉和工业窑炉进行改造,减轻了燃煤对大气的污染。另外,一些工业生产减少粉尘的技术也有了较大的发展。

②  $\text{SO}_2$  治理技术 推广型煤加固硫剂,发展城市集中供热,提高城市气化率以减少生活用煤排放的 $\text{SO}_2$ 。对电厂排放 $\text{SO}_2$ 的控制技术有:旋转喷雾干燥烟器脱硫技术、炉内喷钙/增湿活化脱硫技术、石灰石法烟气脱硫技术以及循环流化床燃烧脱硫技术等。对工业锅炉排放 $\text{SO}_2$ 的控制技术有:循环流化床燃烧脱硫技术、工业型煤固硫技术和湿法脱硫除尘技术等。

③  $\text{NO}_x$  治理技术  $\text{NO}_x$ 的控制主要有三种方法,第一种是在燃料燃烧前用加氢脱氮方法,但这种方法至今尚未单独使用,而是与加氢脱硫等技术一起进行;第二种是改进燃烧方式,