

何争光 主编

大气污染控制工程及 应用实例



化学工业出版社
教材出版中心

大气污染控制工程及应用实例

何争光 主 编

阎裕林 副主编



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

大气污染控制工程及应用实例/何争光主编. —北京:
化学工业出版社, 2004. 8
ISBN 7-5025-5860-8

I. 大… II. 何… III. 空气污染控制-高等学校-
教材 IV. X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 074376 号

大气污染控制工程及应用实例

何争光 主 编

阎裕林 副主编

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 胥景岩

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
教 材 出 版 中 心

(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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 26 字数 638 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5860-8/G · 1582

定 价: 48.00 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

前 言

大气污染控制是环境工程的一个重要领域，是高等院校环境工程专业的一门重要的专业课程。现有的优秀教材和专著大多侧重于大气污染控制理论方面，而对这些理论在不同行业、不同生产过程中的应用则较少顾及。因此，编写本书的初衷在于将大气污染控制的原理和应用实例有机地结合在一起，以期缩短读者在理论和实践之间的距离。

编者在多年讲授大气污染控制工程课程的基础上，广泛参考了国内外优秀的教材和专著，以及相关行业的应用实例，编写了本书。本书分上篇和下篇两部分，上篇系统地阐述了大气污染控制的原理、方法和有关设计计算问题，下篇则主要介绍一些比较成熟的气体污染控制技术在一些行业生产过程中的应用。该书以介绍国内外较为成熟实用的技术为主，也适当地介绍了国内外目前的先进技术。本书将大气污染控制理论与具体的工程实例有机结合，尽量使理论部分系统、全面、精炼，使实例部分典型、实用、先进、可操作性强。本书可作为高等院校环境工程专业教材，参考学时为 80~100 学时，也可供从事与大气污染控制领域有关的技术人员以及管理干部参考。

本书由何争光主编，闫裕林任副主编，参加编写的人员有何争光（第 4，5，9，10，11，14 章）、闫裕林（第 6，7，8，13，15 章）、崔富德（第 1，2，3，12 章）。

在本书的编写过程中，上海交通大学环境科学与工程学院蔡伟民教授、河南省环境保护局黄普选高级工程师对该书提出了许多宝贵意见，芦丽霞、胡晓娜和朱琳娜为本书做了许多有益的工作。对上述同志以及所引用文献的作者表示真挚的谢意。

由于作者水平所限，实践经验不够，书中难免有缺点和不足，欢迎读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月 于上海交通大学

内 容 提 要

本书分上、下两篇，共 15 章。上篇重点阐述大气污染控制的原理、方法和有关设计计算，包括概论、燃烧过程、污染物与大气扩散、除尘技术基础、除尘装置、气态污染物净化技术基础、硫氧化物净化技术、氮氧化物净化技术、机动车尾气的污染控制、工业过程气体净化、净化系统的设计与运行管理。下篇介绍了一些工程实例，包括大气污染综合防治模型、除尘技术应用实例、脱硫技术应用实例、氮氧化物的控制实例、工业气体净化实例等。

本书可作为高等院校环境工程专业本科生和研究生的教材，也可供从事相关专业和行业的技术人员和管理人员参考。

目 录

上篇 大气污染控制基础

第一章 概论	3
第一节 大气与大气污染.....	3
一、大气基础知识.....	3
二、大气污染.....	4
第二节 大气污染物及其危害.....	5
一、污染物种类及危害.....	5
二、污染物的来源.....	6
三、城市空气污染.....	6
第三节 大气污染热点问题.....	7
一、温室效应.....	7
二、臭氧层的破坏.....	8
三、酸雨.....	9
四、光化学烟雾.....	10
第四节 大气污染综合防治.....	12
一、大气污染综合防治的途径.....	12
二、大气污染物的总量控制.....	13
三、总量控制模型的对比.....	13
第五节 大气质量控制标准.....	14
一、大气质量控制标准的种类与作用.....	14
二、制定地方大气污染物排放标准的技术方法.....	15
第二章 燃烧过程、污染物与大气扩散	18
第一节 燃烧及其燃烧过程.....	18
一、燃料的种类.....	18
二、燃烧过程.....	19
第二节 污染物产生机理与排放量计算.....	20
一、烟气量.....	20
二、二氧化硫的形成.....	22
三、氮氧化物的形成.....	23
四、颗粒物的形成.....	24
五、其他污染物的形成.....	26
第三节 大气扩散基础.....	27
一、气象参数.....	27

二、烟气抬升高度	28
三、大气扩散参数	30
第三章 除尘技术基础	35
第一节 粉尘与气溶胶	35
一、粒状污染物的分类	35
二、粒状污染物的来源	35
第二节 粉尘的几何特性与粒径分布	36
一、粒径的表示方法	36
二、粒径分布	36
第三节 粉尘的物理性质	39
一、粉尘的密度	39
二、粉尘的安息角	40
三、粉尘的比表面积	40
四、粉尘的含水率	40
五、粉尘的润湿性	41
六、粉尘的荷电性	41
七、粉尘的黏附性	41
八、粉尘的爆炸性	42
第四节 除尘器性能及除尘效率	42
一、除尘器性能表示方法	42
二、除尘效率	43
第四章 除尘装置	47
第一节 重力沉降室	47
一、重力沉降室的形式与沉降机理	47
二、重力沉降室的设计	48
第二节 惯性除尘器	52
一、惯性分离机理	52
二、惯性除尘器的结构形式	52
第三节 旋风除尘器	54
一、旋风除尘器的分离机理与效率	54
二、旋风除尘器的阻力	57
三、旋风除尘器的结构形式	58
四、旋风除尘器的设计选型	61
五、新型旋风除尘器	63
第四节 袋式除尘器	65
一、过滤机理	65
二、袋式除尘器的效率	67
三、袋式除尘器的压力损失	68
四、袋式除尘器的滤料	70
五、袋式除尘器的清灰	73

六、袋式除尘器的结构形式与选型	75
七、颗粒层除尘器	84
第五节 电除尘器	88
一、电除尘器的工作原理	88
二、影响电除尘器性能的主要因素	92
三、电除尘器的清灰	95
四、电除尘器的结构与选型	97
五、新型静电除尘器	105
第六节 湿式除尘器	108
一、湿式除尘器的净化机理	108
二、湿式除尘器的分类	112
三、喷淋塔	112
四、旋风洗涤器	114
五、筛板塔	118
六、填料塔	119
七、文丘里除尘器	120
第七节 除尘器的选用	126
一、各种除尘器的性能对比	126
二、除尘器的合理选择	129
第八节 粉尘净化技术新进展	131
一、复合式除尘器	131
二、磁力除尘	133
三、电凝聚除尘	134
第五章 气态污染物净化技术基础	137
第一节 气态污染物的种类及其基本性质	137
一、气态污染物的种类	137
二、气态污染物的基本性质	140
第二节 气体吸收	141
一、传质与扩散	141
二、物理吸收	142
三、化学吸收	145
四、常用吸收设备	148
第三节 气体吸附	151
一、吸附剂	152
二、吸附机理	155
三、吸附工艺与设备	158
第四节 气体催化	162
一、催化原理	163
二、催化剂	166
三、催化设备与工艺	168

第六章 硫氧化物净化技术	173
第一节 燃料脱硫	173
一、煤炭脱硫	174
二、重油脱硫	179
第二节 燃烧过程脱硫	179
一、脱硫原理	179
二、脱硫过程及其影响因素	179
第三节 燃煤烟气脱硫	182
一、吸收法脱硫	182
二、吸附法脱硫	198
三、催化转化法脱硫	198
第七章 氮氧化物净化技术	201
第一节 氮氧化物的源头控制	201
一、氮氧化物的形成原理	201
二、低氮氧化物的燃烧技术	202
第二节 烟气脱硝技术	204
一、吸收法净化氮氧化物	204
二、吸附法净化氮氧化物	205
三、催化还原法净化氮氧化物	207
第八章 机动车尾气的污染控制	212
第一节 机动车尾气污染概论	212
一、机动车尾气的产生与危害	212
二、气象条件对城市大气污染的影响	214
第二节 机动车污染的形成	216
一、汽油发动机的工作原理与污染的形成	218
二、柴油发动机的工作原理与污染的形成	222
第三节 机动车污染的控制	224
一、尾气的净化技术	225
二、低污染与无污染机动车	227
三、发展城市的公共交通	230
第九章 工业过程气体净化	233
第一节 有机废气的净化	233
一、有机废气的来源与特征	233
二、吸收法	234
三、吸附法	235
四、氧化还原法	237
第二节 酸雾的净化	239
一、酸雾的来源	239
二、酸雾的净化方法和设备	239
第三节 含氟气体的净化	242

一、含氟气体的来源	242
二、含氟气体的净化	242
第四节 含重金属气体的净化	244
一、重金属气体的来源	244
二、金属气体的净化	244
第五节 碳氢化合物的净化	245
一、燃烧法	246
二、催化燃烧法	248
三、吸附法	249
四、吸收法	251
五、冷凝法	251
第十章 净化系统的设计与运行管理	254
第一节 净化系统的组成	254
第二节 集气罩的设计	255
一、集气罩的类型	255
二、集气罩的主要参数	257
三、集气罩的设计计算	259
第三节 管道的设计	261
一、管道系统布置	262
二、设计计算	263
三、管道的保护	270
第四节 净化系统的运行管理	273
一、试运行阶段	273
二、净化系统的正常运行与管理	274

下篇 大气污染控制应用实例

第十一章 大气污染综合防治模型	279
第一节 A-P 值法	279
一、A-P 值法的基本原理和计算公式	279
二、A-P 值法在二氧化硫控制方面的应用实例	283
三、A-P 值法在飘尘控制方面的应用实例	285
第二节 多源模型模拟法	288
一、污染源排放特征和计算范围	288
二、大气质量模式	289
第十二章 除尘技术应用实例	294
第一节 水泥厂除尘	294
实例 1 某水泥厂采用电除尘器治理立筒预热器窑窑尾废气	294
一、生产品种与规模	294
二、生产工艺简介及主要污染源	294
三、废气类别、性质及处理量	295

四、处理工艺流程及操作条件	296
五、主要构筑物和设备	297
六、治理效率及结果	298
七、工程运行说明及主要技术经济指标	298
八、工程特点, 经验教训和建议	299
实例 2 某水泥厂采用玻璃纤维袋式除尘器治理预分解窑窑尾废气	300
一、生产品种与规模	300
二、收尘系统工艺简介及主要污染源	300
三、废气类别、性质及处理量	300
四、处理工艺流程与操作条件	300
五、主要构筑物和设备	301
六、治理效率及结果	301
七、工艺运行说明及主要经济技术指标	301
八、工程特点, 经验教训和建议	302
实例 3 某水泥厂采用玻璃纤维袋除尘器治理回转窑窑尾废气	302
一、处理工艺流程与主要技术参数	302
二、运行说明与主要技术经济指标	303
三、工程设计特点与经验体会	304
实例 4 某水泥厂采用宽间距电除尘器治理机立窑废气	304
一、生产品种与规模	304
二、处理工艺流程与主要设备	304
三、运行情况和主要技术经济指标	306
四、工程设计特点和经验体会	307
实例 5 某水泥厂湿法回转窑窑尾电除尘系统技术改造	308
一、生产品种与规模	308
二、生产工艺简介及主要污染源	308
三、废气类别、性质及处理量	308
四、处理工艺流程与操作条件	308
五、主要构筑物和设备	309
六、治理效果及结果	309
七、工程运行说明及主要技术经济指标	309
八、工程特点, 经验教训和建议	310
第二节 电厂除尘	311
实例 1 某电厂 YEH 型电除尘器治理 1 号炉烟尘	311
一、工程简介	311
二、废气性质	311
三、废气治理工艺流程	312
四、除尘器主要设计参数	312
五、除尘器的结构及其主要特点	312
六、主要技术性能	313

七、运行情况、经验及存在问题	315
八、治理效果	315
实例 2 某电厂混合间距型电除尘器治理 3 号炉烟尘	315
一、工程简介	315
二、废气性质	316
三、除尘器主要设计参数及其结构	316
四、主要技术性能	317
五、运行情况、经验及存在的问题	318
六、治理效果	318
实例 3 某电厂倒锥式水膜除尘器治理 8 台锅炉的烟尘	318
一、工程简介	318
二、废气性质	319
三、废气治理工艺流程	319
四、除尘器主要设计参数及其结构	319
五、主要技术性能	321
六、运行情况、经验及存在的问题	322
七、治理效果	323
实例 4 某热电厂文丘里管除尘器治理 1 号炉烟尘	323
一、工程简介	323
二、废气治理工艺流程	323
三、除尘器主要设计参数及其结构	323
四、主要技术性能	324
五、运行情况、经验及存在的问题	325
六、治理效果	325
第三节 钢铁工业除尘	326
实例 1 某钢铁厂使用电除尘器治理烧结机机尾烟气	326
一、工程简介	326
二、废气来源、性质及处理量	326
三、废气治理工艺流程	327
四、主要设备	327
五、治理效果	328
六、主要技术经济指标	328
七、经验教训	328
实例 2 某钢铁厂使用文丘里管湿法治理焦炉装煤车烟气	329
一、工程简介	329
二、废气来源、性质及处理量	329
三、废气治理工艺流程	329
四、主要设备	330
五、治理效果	331
六、经验教训	331

实例 3 某钢铁厂使用袋式除尘器治理高炉出铁场烟气	331
一、工程简介	331
二、废气来源、性质及处理量	332
三、废气治理工艺流程	332
四、主要设备	333
五、治理效果	333
六、主要技术经济指标	334
七、经验教训	335
实例 4 某钢铁厂使用电除尘器治理 12 号吹氧平炉烟气	335
一、工程简介	335
二、废气来源、性质、处理烟气量	336
三、废气治理工艺流程	337
四、设备	337
五、治理效果	338
六、主要技术经济指标	338
七、经验教训	339
第十三章 脱硫技术应用实例	340
第一节 吸收法净化二氧化硫	340
实例 1 某电厂高速平流简易石灰石-石膏湿法烟气脱硫工程	340
一、概述	340
二、烟气脱硫系统	341
三、运行试验情况	343
四、费用分析	344
实例 2 某化工厂热电循环流化床烟气脱硫工程	345
一、工程概况	345
二、工艺流程及主要设备	346
三、运行状况与测试数据	347
四、装置性能特点	349
五、应用前景	349
第二节 吸附法净化二氧化硫	349
实例 某电厂 5000m ³ (标准状况)/h 烟气水洗再生活性炭脱硫中试工程	349
一、工程概况	349
二、废气治理工艺流程	349
三、主要技术问题	350
四、主要消耗指标及副产物量	351
第三节 电子束法净化二氧化硫	351
实例 某热电厂电子束烟气脱硫工程	351
一、工程概况	351
二、电子束脱硫系统	352
三、副产品栽培试验及中国硫酸铵市场	358

四、主要技术特点.....	358
五、存在的问题.....	359
第十四章 氮氧化物的控制实例	360
第一节 低氮氧化物燃烧技术.....	360
一、工艺概述.....	360
二、改进措施.....	361
三、氮氧化物分解过程及影响因素.....	361
第二节 催化还原法净化氮氧化物.....	363
一、项目概述.....	363
二、工艺与技术分析.....	363
三、经济分析.....	364
第三节 炉内空气分级低 NO_x 燃烧技术	365
一、项目概况.....	365
二、工艺与原理.....	365
三、工艺与技术分析.....	366
第四节 分级燃烧技术.....	367
一、概述.....	367
二、改造原理及工艺.....	367
三、改造效果.....	367
第五节 美国治理燃煤电厂氮氧化物排放的技术措施.....	368
一、低公害型燃烧器的应用.....	368
二、低公害型燃烧器与两段燃烧的联合应用.....	368
三、集中燃烧技术的应用.....	369
第十五章 工业气体净化实例	370
第一节 含氟气体的净化.....	370
实例 1 某厂干法(氧化铝吸附法)净化电解车间含氟烟气	370
一、概述.....	370
二、处理工艺流程.....	370
三、主要设备.....	371
四、净化效果.....	371
实例 2 某厂湿法净化含氟烟气	372
一、工程概述	372
二、工艺流程.....	372
三、处理效果.....	373
实例 3 某铝厂湿减法净化含氟烟气	373
一、概述.....	373
二、废气处理工艺流程.....	373
三、主要构筑物和设备.....	374
四、净化效果.....	375
五、技术经济指标.....	375

六、工程设计特点、经验和建议	375
第二节 酸雾的净化	376
实例 1 某厂用喷淋法治理硅钢片厂酸洗车间盐酸酸雾	376
一、概述	376
二、生产工艺流程	376
三、主要设备	377
四、治理效果	377
实例 2 某无缝钢管厂分厂碱液吸收法治理酸洗槽酸雾	377
一、概述	377
二、生产工艺流程	378
三、主要设备	378
四、主要技术经济指标	379
实例 3 某制钉厂静电净化法治理酸洗工段酸雾	379
一、概述	379
二、生产工艺流程及主要条件	379
三、主要设备	380
四、治理效果	380
第三节 含氯废气的治理	380
实例 1 某厂碳酸钠溶液净化法治理含氯废气	380
一、产品品种和生产规模	380
二、废气组成和产生量	380
三、废气处理工艺流程	381
四、主要设备及构筑物	382
五、工艺控制条件	382
六、治理效果	382
实例 2 某厂海绵钛生产中含氯废气的治理	383
一、产品品种与生产规模	383
二、生产工艺流程及含氯废气的来源	383
三、钛氯化尾气的治理工艺	384
四、主要设备及构筑物	385
五、处理效果	385
六、存在问题	386
七、主要技术经济指标	386
八、工程设计特点与建议	387
实例 3 某有色金属公司第二冶炼厂一钴车间双碱(氢氧化钠和碳酸钠) 两级吸收法治理含氯废气	387
一、概述	387
二、废气处理工艺流程	387
三、主要设备及构筑物	388
四、治理效果	388

五、工程运行情况及主要技术经济指标.....	388
第四节 含汞烟气的治理应用.....	389
一、概述.....	389
二、烟气除汞工艺流程.....	389
三、工程运行效果及经验.....	390
附录	391
附录一 空气的物理参数（压力为 101 325Pa）	391
附录二 水的物理性质.....	393
附录三 几种气体或蒸气的爆炸特性.....	394
附录四 通常状态下空气的性质.....	394
附录五 部分物理量的单位和因次.....	395
附录六 国内常用筛.....	395
参考文献	396

上篇

大气污染控制基础