

环境工程技术手册

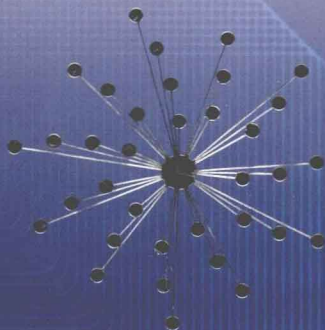
废气处理

工程技术手册

**Handbook on Waste Gas
Treatment Engineering Technology**

王纯 张殿印 主编

王海涛 张学义 副主编



化学工业出版社



环境工程技术手册

废气处理 工程技术手册

**Handbook on Waste Gas
Treatment Engineering Technology**

王纯 张殿印 主编 王海涛 张学义 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是一本环境科学与工程领域的技术工具书。本书共分四篇二十章，第一篇污染源篇，介绍废气的分类、来源、危害以及各行业废气的产生量和排放量。第二篇废气治理篇，介绍废气治理的对象、方法，颗粒污染物的分类、性质与除尘技术，气态污染物的性质与控制技术以及主要行业废气治理技术。第三篇设备设计篇，介绍除尘设备设计，吸收、吸附、换热装置设计及除尘和净化系统设计。第四篇大气污染综合防治篇，介绍大气污染综合治理的原则与方法、清洁生产和循环经济。

本书具有较强的实用性和可操作性，利用本书可进行废气处理的技术开发、工程设计、设备选型、设备设计、维护管理，并能利用本书判断、解决工程和生产中遇到的各种技术与设备问题。

本书可供环境科学与工程领域的科研人员、设计人员、管理人员阅读使用，也可供高等学校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

废气处理工程技术手册/王纯，张殿印主编. —北京：
化学工业出版社，2012.11
(环境工程技术手册)
ISBN 978-7-122-15351-7

I. ①废… II. ①王… ②张… III. ①废气治理-环
境工程-技术手册 IV. ①X701-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 220771 号



责任编辑：管德存 刘兴春 左晨燕
责任校对：陶燕华

文字编辑：汲永臻
装帧设计：王晓宇

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：北京永鑫印刷有限责任公司

装订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 79 $\frac{1}{2}$ 字数 2103 千字 2013 年 1 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：235.00 元

版权所有 违者必究

《环境工程技术手册》

编委会

主任：郝吉明

副主任：聂永丰 潘涛 张殿印

其他编委会成员（以姓氏笔画排序）：

王伟 王纯 王冠 王琪 王绍堂 王洪涛
王海涛 田刚 司亚安 刘建国 刘富强 孙长虹
孙瑞征 杜兵 杨景玲 李安峰 李金惠 李建民
张克南 张学义 张进锋 陆文静 武江津 苑文颖
林秀军 岳东北 岳清瑞 金宜英 赵学林 俞非漉
洪亚雄 秦永生 钱雷 倪正 梁延周 董保澍

《废气处理工程技术手册》

编委会

主编：王纯 张殿印

副主编：王海涛 张学义

编写人员（以姓氏笔画排序）：

王延 王冠 王雨清 卢扩 田玮 申丽
冯馨瑶 吕方军 朱法强 朱晓华 任旭 庄剑恒
安登飞 许亚男 杨青 杨景玲 李可 李小建
李惊涛 肖春 肖敬斌 沈建忠 张建 张学军
陈满科 赵宇 赵学林 郝以党 俞非漉 倪正
顾生臣 徐飞 高华东 董悦 韩志强 褚宁

前 言 FOREWORD

随着社会的发展和人类的进步，人们对生活质量和自身健康愈来愈重视，对生态环境和空气质量也愈来愈关注。然而人类在生产和生活活动中，通过种种途径成年累月地向大气排放各类废气污染物质，使地球环境遭到污染和破坏，气候渐渐变暖、臭氧层出现空洞、物种正在减少，有些地域和城市大气环境质量不断下降，甚至直接影响人类基本生存条件。在大气污染物直接威胁人体的健康、造成城市能见度降低、工厂设备磨损和环境动植物受害的时候，防治废气污染、保护大气环境成为刻不容缓的重要任务。落实科学发展观，建设生态文明社会，改善大气环境质量，尚需全社会共同努力。编写本书的目的在于为环保技术人员提供一本实用阅读书，为保护大气环境助一臂之力。

本书是一本环境科学与工程领域的技术工具书。本书共分四篇二十章，第一篇污染源篇，介绍废气的分类、来源、危害以及各行业废气的产生量和排放量。第二篇废气治理篇，介绍废气治理的对象、方法，颗粒污染物的分类、性质与除尘技术，气态污染物的性质与控制技术以及主要行业废气治理技术。第三篇设备设计篇，介绍除尘设备设计，吸收、吸附、换热装置设计及除尘和净化系统设计。第四篇大气污染综合防治篇，介绍大气污染综合治理的原则、方法，清洁生产和循环经济。

本书特点是：(1) 内容全面，对废气的来源、污染、危害、治理技术、设备和系统设计等内容均有较全面阐述；(2) 联系实际，书中内容都从实际需要和适用技术出发进行介绍，有些列举了工程实例；(3) 技术新颖，如垃圾焚烧烟气净化，电袋复合除尘技术，二噁英治理方法，新型过滤材料等；(4) 突出重点，突出各行业的废气治理技术和设备环节，便于实际运用。编写力求特点突出、层次分明、深入浅出、内容翔实，并充分注意手册的完整性和系统性。为了直观、清晰、查找方便、加深理解，书中适当增加了插图和表格。读者通过本书可以对废气治理技术有全面的了解和掌握。对废气治理工程技术的开发、设计、管理均有切实的裨益和帮助。

在本书的编撰过程中得到中冶建筑研究总院环境保护研究设计院、中国京冶工程技术有限公司、工业环境保护国家工程研究中心、中国环境科学学会环境工程分会、中国金属学会冶金环保专业委员会等单位的大力支持和帮助。书中引用了这些单位的部分科技成果、论文、专著中的有关内容，在此表示衷心感谢。

参加本书编撰的作者，都分别在科学研究、工程设计、技术管理、高校教学等领域工作，积累了较多基础理论知识和丰富的工程实践经验，并有大量论文、著作问世，这些都为编撰好本书提供了有利条件并能满足不同读者的需求。

试读结束：需要全本请在线购买：www.ertongbook.com

杨景玲教授、邹元龙教授对全书进行了总审核，钱雷教授、许宏庆教授为本书编写提供了宝贵的技术文献资料，在此一并深致谢忱。本书在编写中参考和引用了刘天齐主编，黄小林、邢连壁、耿其博副主编，黄炜孟、石学军、王海燕、奚振声、马民涛、孟繁坚、张小青、叶惠芝、纪树兰、陈业勤参编的《三废处理工程技术手册》（废气卷）和其他一些科研、设计、教学和生产工作同行撰写的著作、论文、手册、教材和学术会议文集等，在此对所有作者表示衷心感谢。

由于作者学识和水平有限，书中疏漏和不当之处在所难免，殷切希望读者朋友不吝指正。

编者

2012年6月于北京

目 录

CONTENTS

第一篇 污染源篇

001

Chapter 1	第一章	污染源概述	2
	第一节	大气和大气污染	2
		一、纯净的大气	2
		二、大气污染	3
		三、大气污染的影响	3
		四、大气污染管理	6
	第二节	污染源的分类及调查评价	10
		一、污染源的分类	10
		二、污染源调查	11
		三、污染源评价	13
	第三节	废气的分类	13
		一、废气的分类方法	13
		二、含颗粒污染物废气	14
		三、含气态污染物废气	15
	第四节	废气及所含污染物的来源	18
		一、燃料燃烧废气	19
		二、工业生产废气	23
		三、机动车尾气	40
		四、垃圾焚烧废气	41
	第五节	废气中污染物特征及危害	42
		一、主要污染物的特性	43
		二、主要污染物对人体的危害	50
		三、对生物、水、土资源及器物的影响	54
		四、PM _{2.5} 的来源和危害	57
	参考文献		59
Chapter 2	第二章	废气污染物产生量和排放量	60
	第一节	估算的一般方法	60
		一、有组织排放的估算方法	60
		二、无组织排放的估算方法	61

第二节	燃煤污染物产生量和排放量	63
	一、工艺描述	63
	二、产污量和排污量的估算方法	64
	三、燃煤工业锅炉污染物的产污和排污系数	65
	四、茶炉、大灶污染物的产污和排污系数	68
第三节	工业污染物产生量和排放量	68
	一、产污量和排污量的估算方法	68
	二、主要工业部门产污和排污系数	69
	参考文献	82

第二篇

废气治理篇

083

Chapter 3	第三章 废气治理概述	84
	第一节 废气治理的对象与要求	84
	一、废气治理对象	84
	二、废气治理的要求	84
	第二节 废气治理方法	85
	一、颗粒物分离机理和方法	85
	二、气态污染物治理方法	91
	参考文献	100

Chapter 4	第四章 颗粒污染物的分类及性质	101
	第一节 颗粒污染物的分类	101
	一、根据颗粒污染物来源分类	101
	二、根据气溶胶的概念分类	101
	第二节 颗粒污染物的性质	106
	一、粉尘密度	106
	二、粉尘粒径和粒径分布	106
	三、粉尘的物理性质	112
	四、粉尘的化学性质	118
	第三节 含尘气体的性质	120
	一、气体状态和换算	120
	二、气体的主要参数和换算	122
	参考文献	127

Chapter 5	第五章 颗粒污染物的控制技术与装置	128
	第一节 粉尘捕集机理和除尘装置	128
	一、粉尘沉降过程中的阻力	128

	二、粉尘分离受力	130
	三、除尘装置的性能	132
	四、除尘器的分类	139
	五、除尘器的选择	140
第二节	机械式除尘器	141
	一、重力除尘器	141
	二、惯性除尘器	148
	三、旋风除尘器	150
	四、旋风除尘器的选型	172
第三节	湿式除尘器	174
	一、气液接触表面及捕尘体的形式	175
	二、湿式除尘器效率计算	176
	三、湿式除尘器的流体阻力	177
	四、湿式除尘器的型式	177
	五、常用湿式除尘器	189
第四节	过滤除尘器	199
	一、过滤除尘器的分类	200
	二、袋式除尘器	201
	三、滤筒式除尘器	222
	四、塑烧板除尘器	236
	五、颗粒层除尘器	244
第五节	电除尘器	248
	一、电除尘器的分类	248
	二、电除尘器工作原理	250
	三、常用电除尘器	256
第六节	电袋复合式除尘器	270
	一、电袋复合式除尘器分类	270
	二、两种除尘器的特点	271
	三、电袋复合除尘器工作原理	275
	四、技术性能	276
	五、应用注意事项	276
	参考文献	278

Chapter 6

第六章	气态污染物控制方法	280
第一节	控制机理	280
	一、气体扩散	280
	二、气体吸收	281
	三、气体吸附	283
	四、气-固催化反应	286

	五、可燃气体组分的燃烧	287
第二节	主要气态污染物的控制途径	289
	一、采用低硫、低氮燃料	289
	二、燃料脱硫、脱氮	289
	三、改善燃烧方法和燃烧条件	289
	四、高烟囱排放	290
	五、排烟治理	290
	参考文献	290

Chapter 7

第七章	二氧化硫废气治理	291
第一节	氨法脱硫	293
	一、氨法吸收原理	293
	二、氨-酸法	296
	三、氨-亚硫酸铵法	299
	四、氨-硫酸法	303
第二节	钠碱法脱硫	304
	一、钠碱法的吸收原理	305
	二、钠碱法工艺	306
第三节	石灰/石灰石法脱硫	311
	一、石灰/石灰石直接喷射法	312
	二、荷电干式喷射法	314
	三、流化态燃烧法	317
	四、石灰-石膏法	317
	五、石灰-亚硫酸钙法	323
	六、喷雾干燥法	325
第四节	双碱法脱硫	329
	一、钠碱双碱法	330
	二、碱性硫酸铝-石膏法	333
	三、CAL 法	336
第五节	金属氧化物吸收法脱硫	337
	一、氧化镁法	337
	二、氧化锌法	340
	三、氧化锰法	341
第六节	活性炭吸附法脱硫	342
	一、方法原理	342
	二、工艺方法与流程	343
	三、影响因素	344
	参考文献	345

第八章	氮氧化物废气净化	346
第一节	催化还原法	347
	一、非选择性催化还原法	347
	二、选择性催化还原法	348
第二节	液体吸收法	356
	一、稀硝酸吸收法	356
	二、氨-碱溶液两级吸收法	358
	三、碱-亚硫酸铵吸收法	359
	四、硫代硫酸钠法	360
	五、硝酸氧化-碱液吸收法	361
	六、络合液吸收法	363
	七、尿素还原法	363
	八、尿素溶液吸收法	364
第三节	固体吸附法	366
	一、分子筛吸附法	366
	二、活性炭吸附法	368
	三、其他吸附法	369
第四节	化学抑制法	371
	一、抑制原理	371
	二、抑制工艺流程	371
	三、影响因素	371
第五节	氮氧化物治理技术的选择	372
	一、氮氧化物废气治理技术的选择	372
	二、发展趋势	373
第六节	SO₂ 和 NO_x 废气“双脱”技术	375
	一、干式“双脱”技术	375
	二、湿式“双脱”技术	384
	三、高能电子束辐照氧化法	386
	参考文献	386

第九章	机动车排气净化	387
第一节	机动车排气的产生和控制标准	387
	一、机动车排气的产生	387
	二、机动车排气控制标准	388
第二节	燃料的改进与替代	389
	一、燃料的改进	390
	二、氢替代燃料	391
	三、可燃性气体替代燃料	391

	四、可燃性液体替代燃料	392
	五、混合燃料或电力的替代	392
第三节	机动车排气的机内净化	393
	一、汽油箱汽油蒸气的控制系统	393
	二、汽油直接喷射系统	394
	三、曲轴箱排气的回收	398
第四节	汽车排气的机外净化	399
	一、催化剂的制备	400
	二、汽车排气的二元净化催化剂	401
	三、汽车排气的三元净化催化剂	403
	四、三效催化净化工艺流程	406
第五节	柴油车的排烟净化	407
	一、机前的预防	407
	二、机内净化措施	407
	三、机后处理	408
	参考文献	408

Chapter 10

第十章	其他气态污染物的控制	409
第一节	硫化氢的治理	409
	一、干法脱硫	409
	二、湿法脱硫	411
第二节	含氟废气的治理	416
	一、含氟烟气的来源	417
	二、含氟烟气湿法净化技术	418
	三、含氟烟气干法净化技术	428
第三节	氯、氯化氢及酸雾的治理	435
	一、氯气的治理	435
	二、氯化氢废气的治理	436
	三、酸雾的治理	439
第四节	含铅及含汞废气的治理	443
	一、含铅废气的治理	443
	二、含汞废气的治理	446
第五节	恶臭的治理	459
	一、恶臭物质概述	459
	二、恶臭的治理方法	461
	三、垃圾焚烧厂恶臭控制	463
第六节	沥青烟的治理	464
	一、沥青烟的来源	464

	二、沥青烟的组成与性质	465
	三、沥青烟的治理方法	465
第七节	烃类化合物的净化	468
	一、燃烧法	469
	二、催化燃烧法	475
	三、吸附法	476
	四、吸收法	479
	五、冷凝法	480
第八节	二噁英的污染控制	480
	一、二噁英的性质	481
	二、垃圾焚烧过程二噁英的产生机理与控制	481
	三、烧结厂二噁英的产生机理与控制	484
	四、电炉炼钢二噁英产生机理与控制	486
第九节	二氧化碳减排技术	488
	一、二氧化碳减排意义	488
	二、电力企业应对低碳经济的措施	489
	三、钢铁生产中二氧化碳减排与利用	492
	四、水泥生产减排二氧化碳的途径	496
第十节	饮食业油烟污染净化技术	498
	一、饮食业油烟定义	498
	二、饮食业油烟净化技术	499
	三、油烟净化技术工艺选择	499
第十一节	PM _{2.5} 治理	500
	一、PM _{2.5} 的污染特点	500
	二、PM _{2.5} 控制标准和监测方法	500
	三、PM _{2.5} 的污染治理	502
	参考文献	503

Chapter 11	第十一章 主要污染行业废气的治理	504
第一节	电力工业废气治理	504
	一、电力工业废气来源和特点	504
	二、电厂锅炉除尘技术	504
	三、SO ₂ 控制技术	510
	四、燃煤锅炉烟气 NO _x 减排技术	523
	五、火电厂脱汞技术	535
第二节	钢铁工业废气的治理	538
	一、钢铁工业废气来源和特点	538
	二、烧结厂废气治理	538

	三、炼铁厂废气治理	548
	四、炼钢厂废气治理	556
	五、轧钢厂及金属制品厂废气治理	568
	六、铁合金厂废气治理	569
	七、耐火材料厂废气治理	574
第三节	有色冶金工业废气的治理	575
	一、有色冶金工业废气来源和特点	575
	二、轻金属生产废气治理技术	576
	三、重金属生产烟气治理技术	585
	四、稀有金属和贵金属烟气治理技术	597
	五、有色金属加工废气治理	601
第四节	建材工业废气的治理	602
	一、建材工业废气来源和特点	602
	二、水泥工业废气治理	602
	三、建筑卫生陶瓷工业废气治理	611
	四、油毡砖瓦工业废气治理	619
第五节	化学工业废气的治理	624
	一、化学工业废气来源和特点	624
	二、氮肥工业废气治理技术	624
	三、磷肥工业废气治理技术	629
	四、无机盐工业废气治理技术	632
	五、氯碱工业废气治理技术	634
	六、硫酸工业尾气中二氧化硫的治理	638
	七、石油化学工业废气治理技术	638
	八、其他化学工业废气治理技术	646
第六节	炼焦工业废气治理	650
	一、炼焦烟尘来源和特点	650
	二、备煤车间除尘	652
	三、焦炉煤气净化技术	656
	四、炼焦生产烟尘减排技术	663
第七节	垃圾焚烧烟气净化技术	674
	一、湿法净化处理工艺	674
	二、半干法净化处理工艺	675
	三、干法净化技术	676
	四、烟气中 NO _x 净化技术	678
	五、医疗废物焚烧烟气净化	679
	六、垃圾焚烧烟气净化新技术	682
参考文献	684

Chapter 12	第十二章 设备设计概述	686
	第一节 设备设计指导思想和设计依据	686
	一、设备设计的指导思想	686
	二、设备设计准则	686
	三、设备设计的依据	687
	第二节 设计的理论和方法	688
	一、设计的基本理论	688
	二、设计方法与步骤	688
	三、设备设计注意事项	690
	参考文献	692
Chapter 13	第十三章 除尘装置设计	693
	第一节 重力除尘器设计	693
	一、重力除尘器设计条件	693
	二、重力除尘器主要尺寸设计	694
	三、重力除尘器性能计算	698
	第二节 旋风除尘器设计	700
	一、旋风除尘器设计条件	700
	二、旋风除尘器基本型式	701
	三、旋风除尘器基本尺寸设计	701
	四、直流式旋风除尘器设计计算	711
	第三节 袋式除尘器设计	715
	一、袋式除尘器设计条件	715
	二、人工和机械振动除尘器工艺设计	717
	三、反吹风袋式除尘器设计	723
	四、脉冲袋式除尘器设计	735
	五、滤筒式除尘器设计	751
	第四节 电除尘器设计	757
	一、电除尘器设计条件	757
	二、电除尘器本体设计	757
	三、收尘极和放电极配置	761
	四、振打装置设计	773
	五、气流分布装置设计	779
	六、供电装置设计	783
	七、发电厂燃煤锅炉静电除尘器工艺设计实例	792
	第五节 湿式除尘器设计	797
	一、喷淋式除尘器设计	797

	二、冲激式除尘器的设计	800
	三、文氏管除尘器设计	808
	四、高温烟气湿法除尘设备设计实例	812
第六节	除尘器改造设计	815
	一、改造设计原则	816
	二、反吹风改造为脉冲袋式除尘器	816
	三、电除尘器改造为袋式除尘器	817
	四、电除尘器改造为电袋复合除尘器	819
	五、电除尘器自身改造设计	820
	六、除尘器改造设计实例	822
	参考文献	828

Chapter 14	第十四章 吸收装置的设计	830
	第一节 吸收塔概述	830
	一、吸收塔的构造	830
	二、对塔设备的要求	831
	三、塔型选择原则	831
	第二节 填料塔及其吸收过程设计	832
	一、填料	832
	二、吸收过程的物料衡算与操作线方程	835
	三、塔径的计算	838
	四、喷淋密度	841
	五、填料层高度的计算	843
	六、填料层阻力	858
	七、填料塔的附属结构	858
	第三节 板式塔的设计	862
	一、板式塔的主要塔板类型	862
	二、板式塔的流体力学性能	863
	三、浮阀塔主要工艺尺寸的设计	865
	四、浮阀塔板的流体力学验算	875
	参考文献	877

Chapter 15	第十五章 吸附装置的设计	878
	第一节 吸附装置概述	878
	一、吸附装置设计的基本要求	878
	二、吸附剂的种类和应用	878
	三、吸附剂的选择与再生	880
	四、吸附剂的残留吸附量与劣化现象	882
	第二节 固定床吸附装置的设计	883

	一、固定床吸附器的分类与结构特征	883
	二、固定床吸附器的设计计算	885
第三节	移动床吸附装置的设计	891
	一、移动床吸附器的结构特征	891
	二、移动床吸附器的设计计算	892
	三、移动床吸附器设计举例	894
第四节	流化床吸附装置的设计	896
	一、流化床吸附器的结构特征	896
	二、流化床吸附器操作速度的确定	898
	三、流化床吸附器设计举例	899
第五节	催化反应器设计	901
	一、反应器的设计要求	901
	二、固定床催化反应器	901
	三、流化床催化反应器	902
	四、催化反应器设计计算	903
参考文献	903

Chapter 16	第十六章 换热装置的设计	904
第一节	换热装置概述	904
	一、换热器的分类	904
	二、换热器的特征与选型	904
	三、换热器的近代成果和发展趋势	907
第二节	管壳式换热器的设计	908
	一、管壳式换热器的型式及结构	908
	二、管壳式换热器的设计	914
	三、管壳式换热器的应用	923
第三节	螺旋板式换热器的设计	926
	一、螺旋板式换热器的结构特点及分类	926
	二、螺旋板式换热器的设计	928
	三、螺旋板式换热器的应用	930
第四节	板式换热器的设计	933
	一、板式换热器结构特点	933
	二、板式换热器的设计计算	935
	三、板式换热器的应用	937
第五节	螺旋管式换热器	939
	一、结构	939
	二、基本传热公式	940
	三、传热系数	941
	四、压力损失	943
	五、螺旋的最大直径	944