

恶臭 防治技术与实践

邹克华 ● 主编

张涛 刘咏 宁晓宇 ● 副主编

E CHOU FANGZHI JISHU YU SHIJIAN



化学工业出版社

恶臭 防治技术与实践

邹克华 ● 主编

张 涛 刘 咏 宁晓宇 ● 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《恶臭防治技术与实践》对恶臭的治理技术、国内外相关法律法规进行了总结,包括恶臭的基本概念、治理技术原理及方法、国内外恶臭控制技术法规、恶臭污染评估与控制技术评价、恶臭治理技术概况、吸附法、吸收法、燃烧法、生物法、高级氧化法、除臭剂、典型行业恶臭控制技术推荐等内容。

《恶臭防治技术与实践》可供从事环境保护工作及环境科学研究的管理与科研人员和大专院校相关专业师生等读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

恶臭防治技术与实践/邹克华主编. —北京:化学工业出版社, 2017. 10
ISBN 978-7-122-30594-7

I. ①恶… II. ①邹… III. ①恶臭污染-污染防治
IV. ①X512

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 221215 号

责任编辑: 满悦芝

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 关 飞

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: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 10½ 字数 198 千字 2018 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: 59.00 元

版权所有 违者必究

《恶臭防治技术与实践》编委会

主 编 邹克华

副主编 张 涛 刘 咏 宁晓宇

编 委 曹 阳 黄丽丽 回俊博 经广欣 李 玮

李昌建 李伟芳 刘 博 刘 杰 刘英会

刘子钰 卢志强 商细彬 王 亘 王 浩

王健壮 王金良 王铁铮 殷 江 夏晓鹏

翟友存 张 君 张菲菲

前言

恶臭污染属于大气污染的范畴，与雾霾、挥发性有机物（VOCs）有着密切的联系，已受到政府和公众广泛关注。恶臭物质可通过呼吸进入人体，直接危害人体健康，引发恶心、头痛、失眠和食欲不佳等症状。

近年来，我国在恶臭污染治理方面发展较快，越来越多的高校和科研院所开始进行恶臭污染治理的研究工作，许多企业也积极介入，从业人数迅速增加。同时，我国政府和企业在恶臭污染治理方面的投入逐年攀升，传统技术的升级改造取得大幅进展，并研究开发了一系列新技术、新方法。相对常规大气污染，恶臭污染来源更加复杂，往往由多组分、低嗅阈值、低浓度的挥发性气体组成，治理难度大，有时单一的除臭技术难以达到排放标准要求，需开发组合式除臭工艺才能实现对恶臭污染的有效控制。因此，全面总结和介绍国内外恶臭治理技术的特点及发展趋势，可为从事相关专业的学者、工程师及地方环保管理部门提供借鉴和参考，对于规范行业恶臭治理技术，促进我国恶臭污染治理及环境保护事业发展，都具有重要的意义。

为了更加全面地展现不同臭气治理技术的特点、发展趋势及应用领域，国家环境保护恶臭污染控制重点实验室和天津市恶臭控制技术工程中心发挥各自优势，分别根据多年的恶臭测试、恶臭管理、治理技术方面的前瞻性研究和积累的实战性工程经验，联合编写了《恶臭防治技术与实践》，共分为两篇十章。第一篇恶臭污染概况，介绍恶臭的产生、来源、特点、危害以及恶臭污染管理现状和评价体系。第二篇恶臭治理技术，首先介绍了吸附、吸收、燃烧、生物、高级氧化、植物液等除臭技术的基本原理、特点、设备类型、应用及相关工程案例，其次论及了污水处理、垃圾处理、畜牧养殖和制药等典型行业的恶臭排放现状、排放特征，并就相关行业推荐最佳实用治理技术，附案例详细说明。

本书是一本环境科学与工程领域的技术工具书，特点是：①内容全面，对恶臭的产生、来源、危害、治理技术、设备等内容均有较全面的阐述；②联系实际，书中内容都从实际需要和适用技术出发，每一项技术均列举了工程实例；③重点突出，结合治理技术特点及应用领域，为典型行业推荐具有针对性的治理技术并附典型案例，便于实际应用。本书编者力求内容翔实、条理清晰、层次分明、深入浅出，为了直观、清晰、加深理解，书中适当增加插图和表格。本书对恶臭治理工程技术的开发、设计、管理具有一定的参考价值，可为环境保护部门的决策者和管理人员、科技工作者，以及大专院校相关专业师生全面了解和掌握恶臭治理技术提供帮助，为相关从业人员开展恶臭污染调研和控制提供借鉴和支撑。

本书由邹克华、张涛、刘咏、宁晓宇组织编写，邹克华任主编，张涛、刘咏、宁晓宇任副主编。各章的编写人员分工为：第1章由李伟芳、曹阳编写，第2章由王亘、卢志强、张君编写，第3章由王金良、商细彬编写，第4章由王铁铮、刘英会编写，第5章由黄丽丽、张菲菲、刘子钰编写，第6章由刘博、王健壮编写，第7章由回俊博、经广欣编写，第8章由翟友存、刘杰、殷江编写，第9章由李昌建、夏晓鹏编写，第10章由李玮、王浩编写。在本书的编撰过程中参考了国内外的有关著作，部分研究成果得到了中央财政大气污染防治专项资金项目的支持。另外，化学工业出版社工作人员为本书的出版做了大量工作，付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心感谢。

由于编者学识和水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请广大学者及同行批评指正、多提宝贵意见。

编者

2017年10月

目录

第一篇 恶臭污染概况

第1章 恶臭概述	2
1.1 恶臭的产生	2
1.2 恶臭来源	3
1.2.1 自然发生源	3
1.2.2 人工发生源	3
1.3 恶臭特点	4
1.4 恶臭的危害	7
1.4.1 恶臭对人体的影响	7
1.4.2 恶臭对社会的影响	7
1.4.3 恶臭对经济的影响	8
1.4.4 恶臭对生态环境的影响	8
第2章 恶臭管理概况	9
2.1 美国	9
2.2 加拿大	11
2.3 欧盟	12
2.3.1 荷兰	12
2.3.2 英国	13
2.3.3 德国	14
2.3.4 欧盟标准方法的建立	15
2.4 澳大利亚	15
2.5 日本	16
2.6 韩国	18
2.7 中国	19
第3章 恶臭污染评价	21
3.1 恶臭污染调查	21

3.1.1	调查目的	21
3.1.2	调查范围	21
3.1.3	调查方法	22
3.1.4	调查内容	22
3.2	恶臭测定方法	23
3.2.1	仪器分析法	23
3.2.2	嗅觉测试法	25
3.3	恶臭污染评价	27
3.3.1	评价指标	27
3.3.2	评价模型	28

第二篇 恶臭治理技术

第4章	吸附法	32
4.1	吸附法概述	32
4.2	吸附原理	33
4.2.1	吸附类型	33
4.2.2	吸附平衡	33
4.2.3	吸附速率	35
4.2.4	吸附曲线	37
4.3	吸附剂	38
4.3.1	常用吸附剂	39
4.3.2	吸附剂的物理性质	42
4.4	吸附设备	43
4.4.1	固定床	44
4.4.2	移动床	44
4.4.3	流化床	45
4.5	吸附工艺	47
4.5.1	变压吸附	47
4.5.2	变温吸附	48
4.5.3	沸石浓缩转轮技术	49
4.6	工程案例	52
4.6.1	概述	52
4.6.2	处理工艺流程	52
4.6.3	处理工艺设计参数及技术指标	53
4.6.4	主要经济指标	53

4.7 小结	53
第5章 吸收法	55
5.1 吸收法概述	55
5.2 吸收基本理论	56
5.2.1 物理吸收法	56
5.2.2 化学吸收法	58
5.3 吸收设备	59
5.3.1 板式塔	60
5.3.2 填料塔	61
5.3.3 喷雾塔	64
5.3.4 文丘里洗涤器	65
5.4 吸收剂	66
5.4.1 物理吸收	67
5.4.2 酸碱反应吸收	67
5.4.3 氧化还原吸收	68
5.5 工程案例	70
5.5.1 概述	70
5.5.2 处理工艺流程	70
5.5.3 处理工艺参数	70
5.5.4 处理效果	71
5.5.5 主要经济指标	71
5.6 小结	71
第6章 燃烧法	73
6.1 燃烧法概述	73
6.2 直接燃烧法	74
6.2.1 直接燃烧设备	74
6.2.2 直接燃烧法特点	75
6.3 热力燃烧法	75
6.3.1 热力燃烧过程	75
6.3.2 热力燃烧条件和影响因素	76
6.3.3 热力燃烧设备	76
6.3.4 热力燃烧法特点	78
6.4 催化燃烧法	79
6.4.1 催化燃烧法基本原理	79
6.4.2 催化燃烧法特点	80

6.4.3 催化燃烧法催化剂	80
6.4.4 催化燃烧法设备	83
6.5 工程案例	84
6.5.1 概述	84
6.5.2 处理工艺流程	84
6.5.3 处理工艺参数	85
6.5.4 处理效果	85
6.5.5 主要经济指标	85
6.6 小结	86

第7章 生物法

7.1 生物法概述	87
7.2 生物法基本原理	88
7.2.1 气体吸收-生物膜双膜理论	88
7.2.2 吸附-生物膜(新型)双膜理论	88
7.3 生物法分类	89
7.4 生物过滤法	89
7.4.1 技术原理	90
7.4.2 技术特点	90
7.4.3 影响因素	90
7.5 生物滴滤法	94
7.5.1 技术原理	94
7.5.2 技术特点	94
7.5.3 影响因素	95
7.6 生物洗涤法	97
7.6.1 技术原理	97
7.6.2 技术特点	97
7.6.3 生物洗涤法分类	98
7.6.4 影响因素	98
7.7 工程案例	100
7.7.1 概述	100
7.7.2 处理工艺流程	100
7.7.3 主要设备工艺参数	100
7.7.4 处理效果	101
7.7.5 主要经济指标	101
7.8 小结	102

第 8 章 高级氧化法	103
8.1 高级氧化法概述	103
8.2 基本原理	104
8.2.1 直接降解	104
8.2.2 光催化氧化	104
8.2.3 激发氧化	105
8.3 技术特点	105
8.4 激发源	106
8.4.1 光源	106
8.4.2 等离子体产生源	107
8.5 高级氧化技术影响因素和中间产物	109
8.5.1 影响高级氧化技术降解效率的因素	109
8.5.2 中间产物与副产物	110
8.6 高级氧化技术应用	110
8.6.1 UV/低温等离子体-催化剂耦合技术	111
8.6.2 高级氧化技术-生物技术	111
8.6.3 高级氧化技术-传统技术集成	112
8.7 工程案例	112
8.7.1 光化学氧化技术	112
8.7.2 低温等离子体技术	113
8.8 小结	115
第 9 章 植物液除臭法	116
9.1 植物液除臭法概述	116
9.2 植物液除臭剂有效成分	117
9.2.1 植物多酚类	117
9.2.2 萜烯类	118
9.2.3 有机酸及大分子类	118
9.2.4 其他化合物	118
9.3 植物液除臭机理	118
9.3.1 加成反应	118
9.3.2 取代反应	119
9.3.3 酸碱反应	119
9.4 植物液提取方法	120
9.4.1 溶剂萃取法	120
9.4.2 沉淀法	120

9.4.3	树脂法	121
9.4.4	超临界流体萃取法	121
9.4.5	其他方法	121
9.5	植物液除臭工艺	121
9.5.1	空间雾化	122
9.5.2	洗涤吸收	122
9.5.3	本源喷洒	122
9.6	工程案例	123
9.6.1	概述	123
9.6.2	处理工艺流程	123
9.6.3	处理工艺参数	123
9.6.4	处理效果	124
9.6.5	主要经济指标	124
9.7	小结	124

第 10 章 典型行业恶臭控制技术推荐 126

10.1	污水处理行业	126
10.1.1	行业现状	126
10.1.2	恶臭排放环节	127
10.1.3	主要恶臭物质	127
10.1.4	治理技术推荐	128
10.1.5	典型案例	129
10.2	垃圾处理行业	130
10.2.1	行业现状	130
10.2.2	恶臭排放环节	130
10.2.3	主要恶臭物质	131
10.2.4	治理技术推荐	132
10.2.5	典型案例	132
10.3	畜牧养殖行业	135
10.3.1	行业现状	135
10.3.2	恶臭排放环节	136
10.3.3	主要恶臭物质	137
10.3.4	治理技术推荐	137
10.3.5	典型案例	138
10.4	制药行业	139
10.4.1	行业现状	139
10.4.2	恶臭排放环节	140

10.4.3	主要恶臭物质	143
10.4.4	治理技术推荐	143
10.4.5	典型案例	144
参考文献		146

第一篇

恶臭污染概况

第1章 恶臭概述

第2章 恶臭管理概况

第3章 恶臭污染评价

第1章

恶臭概述

1.1 恶臭的产生

恶臭是各种引起不愉快感觉气体（异味）的总称，可以通过人们的感知思维进行分析和判断。自然界的新陈代谢，人类生活产生的垃圾和污水、汽车尾气、畜牧养殖、食品及农产品加工、冶炼等都会产生恶臭气体，刺激着人类的嗅觉器官。特别是随着生产力的发展，人口急剧增加，工业化生产带来的恶臭气体集中排放，大规模、区域性恶臭污染事件时有发生，严重影响人类生活环境和生活质量。

恶臭物质的种类众多，迄今凭人体嗅觉可感受到的恶臭物质有 4000 多种，除 NH_3 、 H_2S 、 CS_2 等少数无机气体外，绝大多数是挥发性有机气体，如硫醇类、硫醚类、醛酮类、脂肪酸等。不同类型的气体分子结构中含有不同的“发臭团”，使各类恶臭气体呈现不同的气味。表 1-1 列出了不同“发臭团”代表的恶臭气味属性。

表 1-1 不同“发臭团”代表的恶臭气味属性

发臭团	化学结构	物质及气味属性
醇羟基	—OH	药用酒精、医用酒精(花香)
酚羟基	—OH	丁子香酚(花香)
羰基	>CO	茉莉酮(花香)
甲酰基	—CHO	甲醛(刺激臭)、茴香醛(花香)
羧基	—COOH	醋酸(醋味)
酯基	—COOR	乙酸乙酯(果实香)
酰氧基	—CO—O—	茉莉内酯(花香)
醚	—O—	玫瑰醚(花香)、橙花醚(果实香)
氰基	—CN	十二腈(果实香)、香叶醇腈(果实香)
氨基	—NH ₂	邻氨基苯甲酸甲酯(花香)

续表

发臭团	化学结构	物质及气味属性
硫醚	—S—	二甲基硫醚(恶臭)
硫氰基	—SCN	硫氰酸乙酯(洋葱臭)
异硫氰基	—NCS	异硫氰酸烯丙酯(野菜香)
硝基	—NO ₂	二甲苯麝香(麝香)

1.2 恶臭来源

自然界的新陈代谢，人类的繁衍生息以及生产活动均会产生一些恶臭源。根据人类的参与程度，恶臭源可分为自然发生源和人工发生源。

1.2.1 自然发生源

动植物蛋白质分解会产生腐败性臭气；停滞污水和沼泽水腐败容易发生鱼臭和青草臭；火山喷发会释放浓厚的硫黄气味；一些有机物质在厌氧条件下会自然散发难闻气体。世界上每年自然发生的 H₂S 在陆地上达 $6 \times 10^7 \sim 8 \times 10^7$ t，海面上达 3×10^7 t；NH₃ 主要是在含氮有机物分解时产生，其产生量每年约为 3.9×10^9 t，而生产过程产生量不过 4.2×10^6 t/a。

1.2.2 人工发生源

人工发生源又可分为生活污染源和生产污染源。

生活污染源主要来自人体排泄物和生活垃圾。城市中恶臭生活污染源主要包括垃圾、粪便的转运站及处理场、生活污水处理厂等。垃圾贮存、转运、倾倒、填埋和焚烧过程中，污水处理厂格栅、沉降、曝气和污泥脱水等环节，由于恶臭防治设施不完善或管理措施不到位等问题，极易产生脂肪酸、H₂S、硫醇类、硫醚类等挥发性气体，造成恶臭污染。

生产污染源主要来自人类的生产过程，如电子、化工、石油、食品加工、精密注塑、印染、喷涂、橡胶、冶炼、酿造、制药、餐饮、畜产、饲料加工等行业以及工业废水处理等。由于工业生产所产生的恶臭物质较为集中，排放源强和浓度较大，产生污染影响较重。某些恶臭物质的主要来源如表 1-2 所示。

表 1-2 某些恶臭物质的主要来源

物质	主要来源
H ₂ S	石油化工、天然气、炼焦化工、煤气、粪便处理等
硫醇类	炼油、农药、煤气、制药、合成树脂、合成橡胶、橡胶加工等
硫醚类	牛皮纸浆、炼油、农药、垃圾处理、生活下水道等
NH ₃	氮肥、硝酸、炼油、粪便处理、肉类加工、禽畜饲养等
胺类	水产加工、畜产加工、皮革、骨胶、油脂化工、饲料等

续表

物质	主要来源
吡啶类	粪便处理、生活污水处理、炼油、屠宰牲畜、粪便堆积发酵等
硝基化合物	染料、炸药等
烃类	炼油、炼焦、石油化工、化肥、油漆、溶剂、油墨、印刷等
醛类	炼油、石油化工、医药、内燃机排气、垃圾处理、铸造等
脂肪酸类	石油化工、油脂加工、皮革制造、肥皂、合成洗涤剂、酿造、制药、香料、食物腐烂、粪便处理等
醇类	石油化工、酿造、合成材料、制药、合成洗涤剂
酚类	钢铁厂、焦化厂、染料、制药、合成材料、合成香料等
酮类	溶剂、涂料、油脂工业、石油化工、合成材料、炼油等
酯类	合成纤维、合成树脂、涂料、黏合剂等
有机卤代物	衍生物合成树脂、合成橡胶、溶剂、灭火器材、制冷剂

1.3 恶臭特点

恶臭污染属于大气污染范畴，具有一般大气污染的特性，同时其本身又可通过嗅觉感知及主观感觉加以表征，因此具有不同于其他大气污染的特殊性，主要为以下几点。

(1) 组分多 恶臭往往不是由单一物质气味引起的，而是以多种物质混合气味的形式存在。如图 1-1 为某类型恶臭气体气相色谱图。

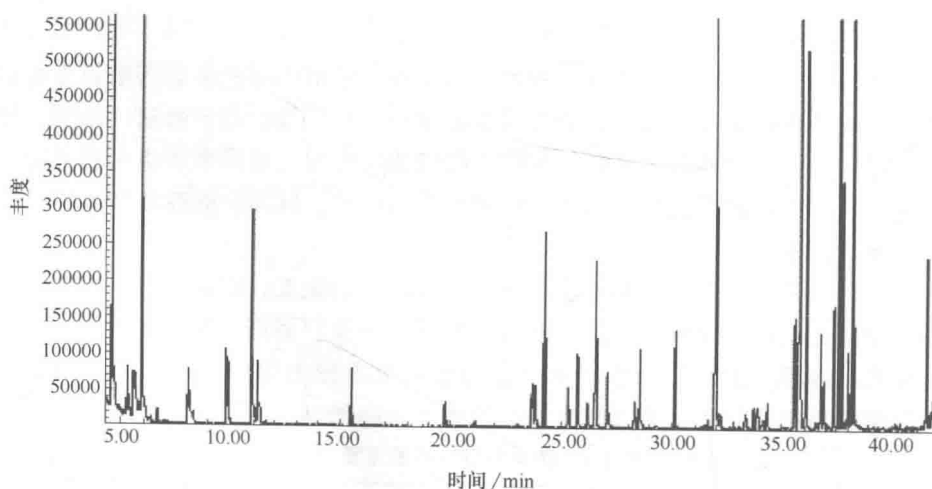


图 1-1 某类型恶臭气体气相色谱图

(2) 嗅阈值低 嗅阈值即为能引起嗅觉的最小物质浓度，通常指能够勉强感觉到气味而难以辨别到底是什么气味时的浓度。恶臭物质嗅阈值通常很低，可达到