

大气污染控制技术
与策略丛书

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

典型化工有机废气催化 净化基础与应用

Foundation and Application on Catalytic
Removal of the Classic Organic Exhaust Gases
from Chemical Industry

张润铎 戴洪兴 刘志明 刘 宁 刘雨溪 邓积光 著



科学出版社

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

大气污染控制技术与策略丛书

典型化工有机废气催化 净化基础与应用

张润铎 戴洪兴 刘志明 著
刘 宁 刘雨溪 邓积光

科学出版社

北 京

内 容 简 介

化工生产所释放的过程废气,具有排放量大、毒害性强、覆盖范围广等特点,对人体健康、生命安全和生态环境构成严重威胁。近年,对其净化治理技术的研究已引起学术界的广泛关注。本书结合国内外最新前沿技术进展,针对三类典型化工废气——含氰(CN)废气、含氯(Cl)废气、碳氢化合物有机废气的催化治理技术,涵盖从科学基础研究到工程应用技术开发,深入探讨各类净化技术的特征,具体包括催化剂种类、结构特性、催化性能、反应机理、模式放大试验及工业示范建设等方面。

本书是一部从基础理论到工业应用全方位介绍化工行业废气催化净化技术的专著,力求系统而全面地阐述相关技术的原理及其应用,希望能够为大气污染治理领域的学者和工程师提供参考和帮助。

图书在版编目(CIP)数据

典型化工有机废气催化净化基础与应用/张润铎等著. —北京:科学出版社, 2016.9

(大气污染控制技术与策略丛书)

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-03-049886-1

I. ①典… II. ①张… III. ① 化学工业—工业废气—废气净化—研究
IV. ①X701

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 216386 号

责任编辑:杨 震 刘 冉 / 责任校对:何艳萍

责任印制:肖 兴 / 封面设计:黄华斌

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 9 月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:340 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛书编委会

主 编：郝吉明

副主编（按姓氏汉语拼音排序）：

柴发合 陈运法 贺克斌 李 锋

刘文清 朱 彤

编 委（按姓氏汉语拼音排序）：

白志鹏 鲍晓峰 曹军骥 冯银厂

高 翔 葛茂发 郝郑平 贺 泓

宁 平 王春霞 王金南 王书肖

王新明 王自发 吴忠标 谢绍东

杨 新 杨 震 姚 强 叶代启

张朝林 张小曳 张寅平 朱天乐

丛 书 序

当前,我国大气污染形势严峻,灰霾天气频繁发生。以可吸入颗粒物(PM_{10})、细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)为特征污染物的区域性大气环境问题日益突出,大气污染已呈现出多污染源多污染物叠加、城市与区域污染复合、污染与气候变化交叉等显著特征。

发达国家在近百年不同发展阶段出现的大气环境问题,我国却在近 20 年间集中爆发,使问题的严重性和复杂性不仅在于排污总量的增加和生态破坏范围的扩大,还表现为生态与环境问题的耦合交互影响,其威胁和风险也更加巨大。可以说,我国大气环境保护的复杂性和严峻性是历史上任何国家工业化过程中所不曾遇到过的。

为改善空气质量和保护公众健康,2013 年 9 月,国务院正式发布了《大气污染防治行动计划》,简称为“大气十条”。该计划由国务院牵头,环境保护部、国家发展和改革委员会等多部委参与,被誉为我国有史以来力度最大的空气清洁行动。“大气十条”明确提出了 2017 年全国与重点区域空气质量改善目标,以及配套的十条 35 项具体措施。从国家层面上对城市与区域大气污染防治进行了全方位、分层次的战略布局。

中国大气污染控制技术与对策研究始于 20 世纪 80 年代。2000 年以后科技部首先启动“北京市大气污染控制对策研究”,之后在 863 计划和科技支撑计划中加大了投入,研究范围也从“两控区”(酸雨区和二氧化硫控制区)扩展至京津冀、珠江三角洲、长江三角洲等重点地区;各级政府不断加大大气污染控制的力度,从达标战略研究到区域污染联防联控研究;国家自然科学基金委员会近年来从面上项目、重点项目到重大项目、重大研究计划各个层次上给予立项支持。这些研究取得丰硕成果,使我国的大气污染成因与控制研究取得了长足进步,有力支撑了我国大气污染防治。

在学科内容上,由硫氧化物、氮氧化物、挥发性有机物及氨等气态污染物的污染特征扩展到气溶胶科学,从酸沉降控制延伸至区域性复合大气污染的联防联控,由固定污染源治理技术推广到机动车污染物的控制技术研究,逐步深化和开拓了研究的领域,使大气污染控制技术与策略研究的层次不断攀升。

鉴于我国大气环境污染的复杂性和严峻性，我国大气污染控制技术与策略领域研究的成果无疑也应该是世界独特的，总结和凝聚我国大气污染控制方面已有的研究成果，形成共识，已成为当前最迫切的任务。

我们希望本丛书的出版，能够大大促进大气污染控制科学技术成果、科研理论体系、研究方法与手段、基础数据的系统化归纳和总结，通过系统化的知识促进我国大气污染控制科学技术的新发展、新突破，从而推动大气污染控制科学研究进程和技术产业化的进程，为我国大气污染控制相关基础学科和技术领域的科技工作者和广大师生等，提供一套重要的参考文献。

2015年1月

序

中国目前已成为世界第二大经济体、能源生产及消费第一大国。然而，改革开放后三十余年，经济的高速增长与能源的巨大投入是密不可分的。尤其是近年，粗放式的经济增长模式带来了一系列影响可持续发展的问题，突出表现为大气环境污染严重。据统计，2013年，全国平均雾霾天数达到29.9天，波及25个省份中的100多个大中型城市；而我国500个大中型城市中，只有不到1%达到世界卫生组织空气质量标准。上述现象表明：我国现阶段大气环境承载能力已经达到或接近上限，必须转变我国经济增长模式，形成资源、环境约束下的中国经济发展新常态，这已经成为国家和社会的共识。其中，大力发展大气污染防治技术，依靠科学手段解决大气环境恶化问题，是解决我国经济与环境内在矛盾的重要途径。

来源于化工行业的挥发性有机化合物 (volatile organic compounds, VOCs) 主要包括以下三大类：含氰废气 (氰化氢、丙烯腈、乙腈)，含氯有机化合物，以及碳氢化合物有机废气 (甲烷、苯系物、醇、醛、酮类)。这些废气的排放不仅直接危害人体健康，还会促进光化学烟雾和灰霾形成，间接影响区域大气环境质量。目前，常见的化工废气治理技术包括热力燃烧、催化燃烧、光催化氧化、等离子氧化、吸附、吸收、生物处理 (生物过滤、生物滴滤、生物洗涤) 等。其中，催化燃烧治理 VOCs 具有净化效率高、设备投资少等优点，得到广泛的研究与应用。值得注意的是：含氰及含氯有机废气在催化燃烧治理过程中，除考虑废气转化率这一重要技术指标外，还需要考虑氮元素 (N) 及氯元素 (Cl) 的最终产物问题。因此，面向这两类化工废气的催化治理，高效、高 N_2/HCl 选择性催化剂的研发就显得十分必要。

《典型化工有机废气催化净化基础与应用》一书针对系列有机废气催化燃烧，综述了大量国内外最新研究报道，并对相关前沿技术进行详细介绍，为我国大气污染催化治理技术的开发提供了重要的文献参考；该书结合作者多年来在科技部“863”计划及国家自然科学基金等项目支持下取得的成果，从基础科学研究到工业应用技术放大，对废气催化燃烧反应机理、高效催化剂设计与制备、整体式催化剂成型与组装、催化燃烧工艺设计与优化等方面进行了系统总结及案例分析。目前，我国化工废气的治理，依然主要依靠引进国外技术，开发具有自主知识产权的催化燃烧净化技术意义重大，希望此书能为我国大气环境治理技术的发展作

做出贡献。我国大气环境污染的复杂性和严重性,我国大气污染防治技术政策战略

全书由北京化工大学化学工程学院张润铎教授、刘志明教授、刘宁副研究员,以及北京工业大学环境与能源工程学院戴洪兴教授、邓积光教授、刘雨溪讲师联合编写。此书凝聚了作者们长期积累的理论成果和实验经验,希望能够为从事化工废气治理的科研和技术人员提供参考和帮助,感谢作者们为编著此书所付出的辛勤努力!

中国科学院生态环境研究中心研究员

2016年7月于北京

前 言

环境是人类赖以生存的基础，人类在利用自然、开发自然的同时，也对自然环境造成了不同程度的损害。近年来，我国大气污染严重、雾霾气候频现；其中，化工行业尾气排放是导致大气环境恶化的重要因素之一。化工行业所排放的有害废气主要包括三大类：①含氰废气（氰化氢、乙腈、丙烯腈）；②含氯有机废气（氯代烷烃、氯代烯烃、氯代苯系物）；③碳氢化合物有机废气（甲烷、苯系物、醇、醛、酮类）。催化燃烧具有操作温度低、设备投资少、净化效率高等特点，被广泛应用于化工废气的治理。本书基于国内外最新研究进展，从科学基础研究到工业模式放大，详细介绍了上述三类化工废气催化治理技术，其中，对于前两种净化技术而言，除污染物转化效率这一重要指标外， N_2 （含氰废气催化燃烧）及 HCl （含氯废气催化燃烧）的选择性分别作为另一项重要评价指标。而针对第三种碳氢化合物有机废气的脱除，高效催化材料的定向合成及活性中心的精确控制显得尤为必要。

针对上述三类化工废气的催化控制技术，本书详细介绍了多种催化剂，包括分子筛催化剂、贵金属催化剂、简单金属氧化物催化剂，以及复合金属氧化物催化剂，并对其种类、结构、理化特性、催化性能、反应机制等几方面展开详细讨论。此外，针对含氰（丙烯腈）废气催化燃烧技术的工业放大及示范建设过程所涉及瓶颈问题的解决进行了系统介绍，包括整体式催化剂制备、一步式选择性催化燃烧工艺设计、反应过程流体动力学模拟等。

本书作者张润铎、戴洪兴、刘志明、刘宁、刘雨溪、邓积光长期从事大气污染催化控制基础理论和创新技术的研发工作，在催化剂制备、表征、催化作用原理探究，以及实际工业应用放大等方面积累了学术成果和实践经验，掌握了国内外最新研究动态。其中，张润铎教授、刘志明教授、刘宁副研究员来自北京化工大学，在含氮及含氯有机废气催化燃烧治理技术方面，拥有多项成果；戴洪兴教授、邓积光教授、刘雨溪讲师来自北京工业大学，在碳氢化合物有机废气催化燃烧技术方面，经验丰富，成绩突出，成功开发出多种高效、低污染排放的氧化型催化剂，并建立了完善的催化剂可控制备工艺新技术。

本书著者为张润铎、戴洪兴、刘志明、刘宁、刘雨溪、邓积光，各章的具体执笔如下：第1、3章由张润铎撰写；第2章由刘宁撰写；第4章由刘志明撰写；

第5章由戴洪兴、刘雨溪、邓积光撰写。

在本书成稿过程中，冯超、赵艳丽、陈平、史东军、袁晓宁、王强、韩曙光、董小松、于明涛、向晨辉、沙宇对资料收集、内容修订、图表编辑和文献校对做了大量工作；科学出版社的杨震、刘冉编辑对本书的立项和出版各个环节提供了诸多的建议、鼓励和帮助，在此表示衷心感谢！

本书涉及的部分内容和研究成果，得到国家高技术研究发展计划（国家“863”计划）、国家自然科学基金等的资助，项目团队中包括北京化工大学、北京工业大学、中国石油化工股份有限公司上海石油化工研究院、中国石油吉林石化公司等单位的研发人员，以及推动产学研合作创新成果的工作人员，在此一并深表谢意。

恳请读者在阅读中发现本书的问题，并提出批评和建议，以便作者更新知识，以及再版时改正和完善。

著 者

2016年5月于北京化工大学

目 录

丛书序

序

前言

第1章 化工废气的危害及排放	1
1.1 化工废气的主要特征	1
1.2 化工有机废气的种类及危害	3
1.2.1 含氰(CN)有机废气	3
1.2.2 含卤有机废气	5
1.2.3 碳氢化合物有机废气	6
1.3 我国化工废气排放现状及发展趋势	8
1.4 环境保护立法	11
1.5 化工废气的治理技术	13
1.5.1 吸附法	15
1.5.2 吸收法	17
1.5.3 冷凝法	18
1.5.4 膜分离法	19
1.5.5 生化法	20
1.5.6 燃烧法	21
参考文献	30
第2章 化工废气净化催化剂	32
2.1 贵金属催化剂	32
2.1.1 贵金属催化反应的影响因素	32
2.1.2 贵金属催化剂的研究现状	34
2.2 简单金属氧化物	37
2.2.1 简单金属氧化物分类	38
2.2.2 简单金属氧化物的性质	39
2.3 复合金属氧化物	40

2.3.1 复合金属氧化物分类	40
2.3.2 复合金属氧化物的性质	42
2.4 分子筛	45
2.4.1 分子筛组成及拓扑结构	45
2.4.2 分子筛理化特性	51
参考文献	81
第3章 含氰废气选择性催化氧化技术	89
3.1 含氰废气选择性催化氧化的科学基础	89
3.1.1 实验室催化剂的制备及表征	90
3.1.2 实验室小试活性评价装置的建设	91
3.1.3 含氰废气的催化燃烧性能	93
3.1.4 反应机理研究	100
3.2 模式放大试验考察	107
3.2.1 中试反应装置的搭建和控制系统设计	107
3.2.2 中试评价体系催化剂装填、床层压力和温度分布情况	112
3.2.3 模式放大反应的运行效果	117
3.2.4 扰动因素考察	118
3.3 基于分子筛催化剂的含氰废气催化燃烧工业技术	120
3.3.1 整体式催化剂的成型工艺	120
3.3.2 用于丙烯腈脱除的蜂窝状分子筛催化剂的工业规模生产	124
3.3.3 催化剂最终产品及测评	126
3.4 整体式催化反应器的模型化	127
3.5 针对13万吨/年丙烯腈装置尾气催化燃烧净化工艺的初步设计	129
3.6 示范工程建设	136
3.6.1 反应器内部改造方案	136
3.6.2 催化剂模块的安装	141
3.6.3 催化剂操作手册及开车方案的编制	144
3.6.4 AOGC开车正式运行	147
3.6.5 AOGC开车运行调试阶段	148
3.7 运行结论及效果图	151
参考文献	151
第4章 含卤有机废气催化燃烧治理技术	154
4.1 氯代烷烃的催化燃烧	155
4.1.1 一氯甲烷	155

4.1.2 二氯甲烷	158
4.1.3 1,2-二氯乙烷 (DCE)	162
4.2 氯代烯烃 (TCE)	169
4.3 氯代苯系物	173
4.4 不同氯代 VOCs 催化燃烧特征的比较	183
4.5 反应机理	183
4.6 产物选择性分析	188
4.7 催化剂中毒与失活	189
4.8 含卤有机废气催化燃烧产物回收利用	192
4.8.1 Cl_2	193
4.8.2 HCl	196
4.9 含卤有机废气催化燃烧技术展望	198
参考文献	200
第5章 碳氢化合物有机废气催化治理技术	203
5.1 甲烷催化燃烧技术	203
5.1.1 催化剂制备及性能评价	203
5.1.2 催化作用原理	220
5.1.3 甲烷催化燃烧技术展望	222
5.2 苯系物 VOCs 催化治理技术	223
5.2.1 催化剂制备及性能评价	225
5.2.2 苯系物 VOCs 催化燃烧技术展望	231
5.3 醇、醛、酮类 VOCs 催化治理技术	231
5.3.1 催化剂制备及性能评价	232
5.3.2 醇、醛、酮类 VOCs 催化燃烧技术展望	239
参考文献	239
索引	248

第1章 化工废气的危害及排放

化工行业具有污废来源广泛、种类繁多、组成复杂、污染严重等特征，其排放的诸多有害废气是大气污染的重要来源。其中，一些典型化工废气还具有特殊的毒害特性，对人体健康、生命安全和生态环境构成了严重的威胁。近年来，我国通过加速立法和加大科技研发投入，在有毒、有害气态污染物净化脱除方面已取得了一定的成效，但仍然不能完全适应化工行业废气污染控制的多样性、复合性、复杂性等特点。因此，研究和开发适合我国国情，并具有自主知识产权的化工废气净化技术，具有重要意义。本章将围绕典型化工废气的种类及危害、相关国家法规，以及废气治理方法展开论述。

1.1 化工废气的主要特征

由于生产工艺的多样性及废气来源的广泛性，化工废气的组成十分复杂。不仅有各种有机无机化合物（含氮化合物、含硫化合物及含碳化合物等），也包括许多大分子的颗粒物，以及众多有机化合物。其中，绝大多数的大分子颗粒物都是生产过程中形成的粒径大小不同的粒状物。根据其粒径的差异，可以将其分为烟、雾、粗粒粉尘及细粒粉尘。在空气中， $0.5\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物可直接进入人体的肺部，在肺泡内沉积，并可能进入血液中，随循环系统输往全身，在各个部位进行累积，最终引起症状，严重可导致死亡。一般需通过多级除尘设备加以捕集，避免其排放而造成大气污染。

废气中的无机化合物多以氧化物的形式存在，如二氧化硫、一氧化氮、二氧化氮、氧化二氮、一氧化碳等。其中，二氧化硫、一氧化氮、二氧化氮均是形成酸雨的重要原因，对人体也有着很大的危害。二氧化硫对于呼吸道及眼部具有强烈的刺激性作用，大量吸入会引起肺水肿、喉水肿，导致声带痉挛，严重者会窒息，威胁生命安全。氮氧化物属于高毒物，对于人体的中枢神经系统有着麻醉作用，长期处在高浓度氮氧化物环境中，会产生高铁血红蛋白症；低浓度下可刺激呼吸道，引起咽喉炎、支气管肺气肿等疾病。一氧化碳则属于中毒性物质，会导致中枢神经系统症状，轻者头疼眩晕，重者昏迷。大量二氧化碳、氧化二氮的排放则是导致气候变暖的罪魁祸首。

化工行业一般以生产和加工各类有机化学品为主, 将伴随大量挥发性有机化合物 (volatile organic compounds, VOCs) 的产生及释放, 故含有机化合物废气通常作为化工企业末端尾气治理的重点对象。废气中的有机化合物主要包括烯烃、烷烃和芳香烃等碳氢化合物, 也会出现一些含氮、含卤的有机化合物, 由于部分有机化合物为小分子, 具有特殊的理化性质, 能穿透人体的固有屏障, 诱发细胞癌变, 对人体造成不可预知的危害。

化工废气具有以下特点^[1, 2]:

(1) 种类繁多, 组成复杂。废气中既含有诸如氯乙烯、氯甲烷、丙烯腈、芳烃等有机物, 又含有 NO_x 、 SO_2 、 HCl 、 NH_3 、 H_2S 等无机物, 粉尘、烟尘、酸雾等悬浮颗粒物。不同的化工企业排放的废气类型也不相同, 如氯碱行业产生的废气中主要含有氯气、氯化氢、氯乙烯、汞、乙炔等, 氮肥行业产生的废气中主要含有氮氧化物、尿素粉尘、一氧化碳、氨气、二氧化硫、甲烷等, 农药行业中主要是氯化物等有机气体。针对不同的化工企业要采用不同的处理方案, 不能一概而论。

(2) 污染物浓度高。由于工艺路线、技术设备等不够先进, 同时受到资金的制约, 排放的废气中污染物浓度往往较高。以 VOCs 气体为例, 一个工业化国家每年排入大气中的 VOCs 总量可达数百万吨之多, 石油化工企业以煤、石油、天然气为燃料或原料的工业或与之有关的化工企业是有机废气主要的来源。炼油厂和石化厂的加热炉和锅炉的不完全燃烧排放的废气, 生产装置产生的不凝气、弛放气和反应中产生的副产品等过剩气体, 这些污染物虽然经过高空排放, 但造成的环境污染仍较为严重。

(3) 易燃、易爆气体较多。例如低沸点的酮、醛, 易聚合的不饱和烃等, 高浓度易燃、易爆气体如不采取适当措施, 容易引起火灾、爆炸事故, 危害极大。其尾气处理过程也需兼顾操作安全, 例如, 将有机废气浓度通过稀释等手段, 控制在爆炸极限以外。

(4) 排放物大都有刺激性或腐蚀性。例如, 二氧化硫、氮氧化物、氯气、氟化氢等成分都具有刺激性或腐蚀性, 尤其以二氧化硫排放量最大。二氧化硫气体直接损害人体健康, 腐蚀金属、建筑物和雕塑的表面, 还易氧化成硫酸盐降落到地面, 污染土壤、森林、河流、湖泊。工业废气对人体的刺激以有机废气最为严重, 如苯类有机物大多能损害人的中枢神经, 造成神经系统障碍, 当苯蒸气浓度过高时, 可引起致死性的急性中毒; 多环芳烃有机物有着强烈的致癌性; 苯酸类有机物能使细胞蛋白质发生变形或凝固, 导致全身中毒; 腈类有机物中毒时, 可以引起呼吸困难、严重窒息、意识丧失, 直至死亡。

废气中浮游粒子种类多、危害大。化工生产排放的浮游粒子包括粉尘、烟气、

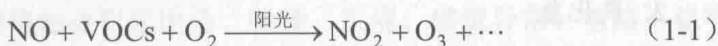
酸雾等,种类繁多,对环境的危害较大。特别当浮游粒子与有害气体同时存在时能产生协同作用,对人的危害更为严重。挥发性有机化合物(VOCs)在大气中可以与 NO_x 作用形成光化学烟雾,造成二次污染,我国北京房山区和兰州西固区等石化工业区都出现过此类光化学污染事件^[3]。

1.2 化工有机废气的种类及危害

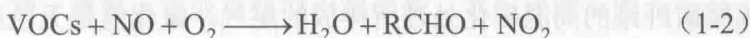
挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)是常见的化工行业大气污染物,主要来自于有机产品的生产或加工过程,例如汽油产品的生产过程,塑料、橡胶工业的生产和加工过程等环节所排放的含挥发性有机化合物废气,以及石化下游挥发性化工产品的吸收塔尾气或工艺废气。

VOCs 大多有毒性,严重危害人体健康,轻则刺激眼睛和呼吸系统,重则会导致中毒^[4]。有些如丙烯腈、乙腈、HCN 等具有较高的毒性,严重威胁人类生命安全;有些如甲醛、苯、甲苯、二甲苯、氯乙烯、多环芳烃等这些为人们所熟知的有机化合物可对健康造成极大的损害,导致癌症、畸形、突变等潜在风险。

此外, VOCs 对大气的危害还在于它与 NO_x 在阳光下会引发光化学反应,可产生臭氧、过氧乙酰硝酸酯(PAN)和醛类等,进而形成二次有机气溶胶,产生光化学烟雾,对人体健康造成严重危害。VOCs 的光化学反应是一系列复杂且同时发生的化学反应,可总结为方程(1-1)^[5]:



臭氧是光化学烟雾的主要贡献物,而也有类似的反应生成醛类:



式中, R 代表烃基。

我国的挥发性有机污染物的排放量正逐年增加,引发的光化学烟雾、城市灰霾等复合大气污染问题日益严重,全国年灰霾日数有逐年增加的趋势。国家和公众开始关注化工行业 VOCs 的减排与控制。可以预见,随着我国经济形势的好转,以及受国家政策的持续引导和推动,我国化工行业挥发性有机污染物的治理必将会得到快速发展,相关治理产业也将进入快速增长的发展时期。

1.2.1 含氰(CN)有机废气

1. 丙烯腈

丙烯腈(acrylonitrile, AN)是生产三大合成材料(纤维、橡胶、塑料)的重要化工原料,主要用来合成聚丙烯腈纤维(腈纶)、ABS/SAN 树脂、己二丙腈、丙烯酰胺、碳纤维等。丙烯腈是一种强烈的环境污染物,在局部区域,像腈纶车

间等,丙烯腈有着相对较高的浓度;而且丙烯腈是一种很容易挥发的液体,只要挥发或泄漏出少量的丙烯腈就能造成严重的危害。因此,在生产和使用丙烯腈过程中,也不可避免地产生含丙烯腈过程废气。

丙烯腈是一种高毒性、具有特殊气味的 VOCs,在常温常压下是一种无色、可燃烧、易流动、具有特殊气味的有毒液体,分子式为 CH_2CHCN ,分子量为 53,密度为 0.8 g/cm^3 (25°C),稍溶于水,在 209°C 时,1 kg 水中能溶解 73 g 丙烯腈,能与乙醇、乙醚、丙酮、苯等有机溶剂混溶,其沸点为 77.3°C ,凝固点为 -86°C ,能和水形成共沸物 (71°C)。丙烯腈蒸气带刺激性气味,在空气中的爆炸极限为 $3.05\%\sim 17.5\%$,遇火会发生燃烧和爆炸。丙烯腈的化学性质比较活泼,在光照、加热或催化剂作用下可以彼此之间或和其他化合物发生聚合反应,在加热、酸碱作用下与水发生水解,在空气中燃烧可以生成二氧化碳、水和氮氧化物。

丙烯腈废气对人体的神经系统、血液系统、心血管系统有毒害作用。急性毒性主要表现在对眼睛、鼻黏膜的刺激作用,以及乏力、头晕、呼吸困难、恶心、呕吐等症状,皮肤接触丙烯腈可以引起灼伤,引起外周和中枢神经系统的功能紊乱;慢性毒性会引起血红蛋白结构破坏和其他血液方面的疾病;另外,丙烯腈可与其他有毒物质发生混杂作用,造成人体多系统急性或慢性毒性。此外,大量研究表明:丙烯腈具有一定的致突变性,可能是一种间接的潜在致癌物。

2. 氰化氢

氰化氢(hydrogen cyanide)分子式为 HCN ,主要来源于煤的高温裂解、聚丙烯腈碳纤维的高温碳化处理所排放的尾气。氰化氢是无色剧毒气体,极易挥发,沸点 26°C ,有苦杏仁味,温度降至 -14°C 后冷凝成液体,可以任意比例与水混合,显极弱的酸性,比二氧化碳的酸性还要弱近千倍。氰化氢还可以与乙醇、乙醚、甘油、苯、氯仿等有机溶剂互溶。

HCN 的毒性是由氰基表现出来的^[6],氰基的毒理作用表现为与细胞线粒体内的氧化型细胞色素氧化酶中的 Fe^{3+} 结合来阻止 Fe^{3+} 的还原,导致细胞组织因无法对氧进行利用而产生内窒息性缺氧。氰化氢的毒性强、作用快,人处在氰化氢浓度很低(约 0.005 mg/L)的空气中短时间内就会造成不适、头痛、心律不齐;当空气中的氰化氢浓度大于 0.1 mg/L 时,人将立即死亡。由于 HCN 的毒性非常强,各国都对其在空气中的允许浓度和接触值作了严格的规定。我国规定的 HCN 最高允许浓度为 0.3 mg/m^3 ,新建污染源的最高排放浓度为 1.9 mg/m^3 ,现有污染源的最高排放浓度为 2.3 mg/m^3 。随着人们生活水平的改善和对生态环境要求的进一步提高,对污染源 HCN 的排放标准会更加严格。