

目 录 | CONTENTS

■ 卷首语

克服熵增 凝心聚力

■ 行业要闻

青岛派尼尔环保技术有限公司与济南大学建立校企合作模式 01



国林科技亮相第 21 届环博会 03

河南迪诺参展第 21 届中国环博会 04

独树一帜 匠心传承 三康第 21 届中国环博会圆满结束 05

新大陆环保闪亮 2020 环博会 新老朋友齐聚一堂 共议环保新篇章 06

金大万翔臭氧消毒机环博展中引人注目 07

江苏康尔携 KCF-DB 型设备亮相环博会 09

深圳科莱环保亮相中国环博会 10

■ 市场纵横

2020 年中国环保行业市场现状与发展趋势 11

十张图带你看中国工业废水处理行业市场发展现状 13

■ 技术交流

浅谈臭氧行业发展对售后服务的要求 16

浅谈中国臭氧行业的现状及发展前景 19

臭氧在空间消毒中的应用 23

■ 信息发布

中华人民共和国固体废物污染环境防治法 27

■ 科研文献

臭氧联合氧化技术在污水处理方面的新进展 40

生物质锅炉臭氧脱硝技术的应用 43

生物质循环流化床锅炉臭氧脱硝试验研究 46

青岛派尼尔环保技术有限公司 与济南大学建立校企合作模式

□ 供稿：青岛派尼尔环保技术有限公司



8月15日，青岛派尼尔环保技术有限公司与济南大学自动化与电气工程学院举行济南大学毕业生就业实习基地、本科实践教学基地签约揭牌仪式。济南大学青岛校友、自动化与电气工程学院青岛校友，自动化与电气工程学院相关负责人和教师代表参加仪式。

崔焕勇院长介绍了近年来学校及学院的基本发展情况和取得的成绩，感谢青岛派尼尔环保技术有限公司对学院各项工作的大力支持。

青岛派尼尔环保技术有限公司副总经理苏焱芳介绍了公司的基本情况，表示将与自动化与电气工程学院开展更宽领域的全面合作。

夏卫东书记、崔焕勇院长与陈勇总经理代表双方签订济南大学毕业生就业实习基地、本科实践教学基地协议并为基地揭牌。

仪式结束后，夏卫东书记进行了总结讲话，此次校友交流活动和基地的建立为学生提供了实践平台，学院将充分利用好这个平台，提高学生的实践能力、就业竞争力。希望校企双方共同努力，加快推进创新创业教育，探索更有效的创新型、应用型人才培养模式，为产学研合作协同育人做出示范。

通过本次基地建设，双方在人才引进、人才培养、教学实践、科学研究等方面达成共识将继续深化合作，实现校企合作的共享双赢。

青岛派尼尔环保技术有限公司

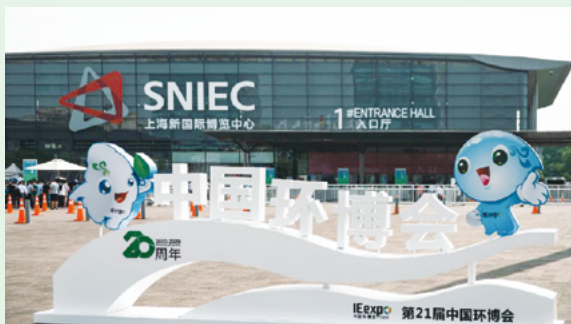
青岛派尼尔环保技术有限公司成立于2009年，是一家主要从事环保行业设备中大型臭氧发生器设备的生产型企业。公司产品主要应用于净水、污水、印染、高级氧化等多个行业，是环保行业里近十年新崛起的一种重点应用技术，公司通过十年的发展目前产品的核心部件：变压器、不锈钢放电电极、整流逆变电控、电抗器已经实现了自主化生产。

公司拥有自主知识产权及软件著作权三十多项，并于2011年最早在国内发明并申请了目前在行业广泛应用的玻璃介质阻挡电晕放电技术专利；自2014年起至今公司已经连续申请ISO9001、ISO14001、ISO18001等体系认证。

2016年及2019年公司两次被认定为“高新技术企业”，2018年派尼尔环保公司被认定为知识产权贯标企业。



前言



8月15日，为期三天的第21届中国环博会在上海新国际博览中心闭幕。日逛2万步的15万平米超大展览空间，汇集了全球24个国家与地区、近两千家知名环保企业参与其中，面向七万多专业观众呈现了水、固废、大气、土壤、噪声污染治理等全产业链技术，凝聚起环保产业合力，为加快我国环境产业发展注入新的活力和动力。

国林科技亮相第21届环博会

□ 供稿：青岛国林环保科技股份有限公司

8月13日-15日，第21届中国环博会在上海新国际博览中心盛大举行，作为亚洲最具影响力的环境技术交流盛会，本届环博会云集了环境监测、环境服务业、大气污染治理、室内空气污染治理、场地修复、污水处理、给水排水、固体废弃物处理、资源回收利用等环境污染防治与治理领域的前沿技术、最新解决方案及产品供应商。

国林科技作为全球知名臭氧系统供应商，受邀参加此次展会，向世界各国、企业及用户展示国林科技臭氧工艺在市政自来水、市政污水、工业废水、烟气脱硝等领域的技术优势、业绩成果、综合实力及品牌影响力。展会中，国林科技凭借优质的设备

和品牌的魅力，吸引了众多专业人士的青睐，大家纷纷驻足咨询。

中国环博会不仅是一场展示环保创新产品和领先技术的展会，也是行业精英思想交流、观点碰撞的平台。国林科技与来自世界各国的环保企业进行技术交流与探讨，对接国际先进绿色理念。

本次展会，国林科技不仅向公众展示了最新产品和创新技术，同时也展现了我们强大的综合实力，国林科技将秉承“科技创新，产业报国”的经营理念，继续对产品和技术创新升级，为客户提供更多更优质的产品以及更完善的售后服务，助推全球臭氧行业快速发展，为水处理行业发展注入新动力！



河南迪诺参展第 21 届中国环博会

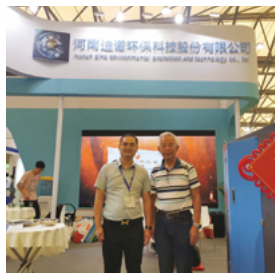
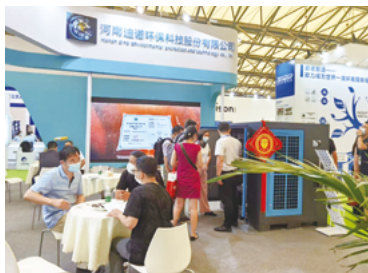
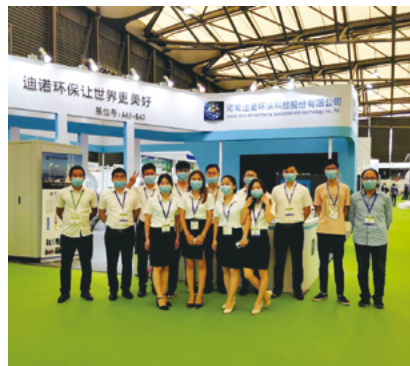
□ 供稿: 河南迪诺环保科技股份有限公司

第 21 届中国环博会于 8 月 15 日闭幕, 河南迪诺环保科技股份有限公司参展的板式臭氧发生器、磁悬浮鼓风机、微纳米气泡机、工矿企业废水处理、废气脱硫脱硝工艺得了环保界的一致好评。

展台前, 三台设备实物样机和循环播放的宣传片不断吸引过往客商的眼球, 我公司现场演示印染废水脱色实验, 将臭氧投加到实验装置中, 印染废水在 30 秒内与臭氧发生反应, 水体颜色迅速发生

变化, 脱色效率得到业内肯定, 前来参观和咨询的国内外同行和友人络绎不绝。

展会上, 有多家企业项目负责人在我公司展台前驻足, 他们有的是咨询设备用途、有的是咨询工艺参数、有的是洽谈合作, 而更多的是出于对设备产品结构的好奇和赞美。国内以及自日本、新加坡、美国等多地客户纷纷表达了合作意向以及对产品设备和废气废水处理工艺表示出浓厚的兴趣。



△ 上海新国际博览中心第二十一届中国环博会迪诺现场照片

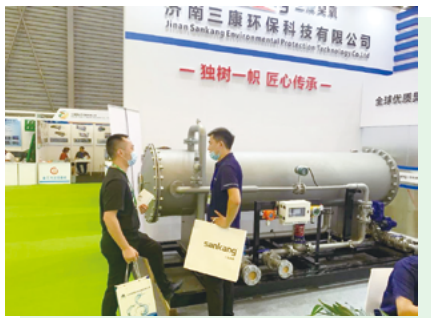


独树一帜 匠心传承 三康第 21 届中国环博会圆满结束

□ 供稿: 济南三康环保科技有限公司



△ 三康家用臭氧产品广受欢迎



△ 三康现场展示 20kg/h 臭氧发生室



△ 接待来访客商

▷ 三康参展工作人员亮相



由德国慕尼黑国际博览集团、中贸慕尼黑展览（上海）有限公司等单位联袂举办的 IE expo 2020 第二十一届中国环博会于 8 月 13-15 日在上海新国际博览中心举行。

三康臭氧公司今年仍采用特装方式参与了本次展会盛事。

三康臭氧 2002 年创立于山东省济南市，致力于设计和制造世界上先进的臭氧发生器产品。三康臭氧公司现以济南三康环保科技有限公司、山东方升环保科技有限公司、蓝氧臭氧技术研发中心、三康臭氧海外分公司分别作为工业、大健康、研发运维、外贸四大板块布局依托。

本次展会中，三康臭氧展示了拥有自主知识产权的 20kg/h 臭氧发生器，本产品广泛应用于臭氧低温脱硝、水处理、工业氧化领域。三康全体参展工作人员以专业的现场解答和良好的精神面貌受到来访参展客商广泛称赞。

本次展会，三康共获得有效业务信息 135 条，接访人数接近 1500 人次，借助上海环博会进一步向市场展示了三康的品牌和企业发展力。

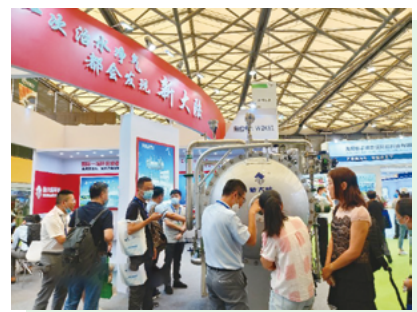
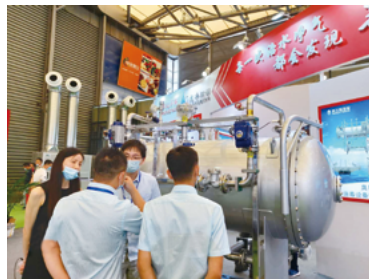
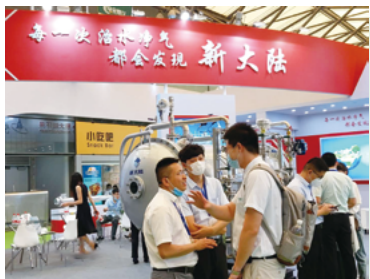
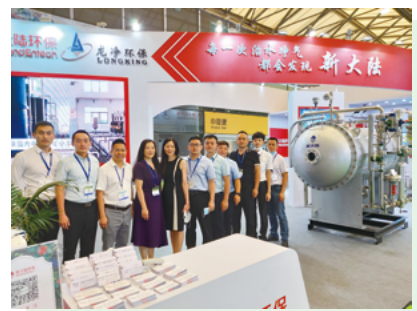


新大陆环保闪亮 2020 环博会 新朋老友齐聚一堂 共议环保新篇章

□ 供稿: 福建新大陆环保科技有限公司

8月13-15日,第二十一届中国环博会在上海新国际会展中心开幕,新大陆环保应邀参与了此次环保盛典。在这届展会上,我们看到了环保产业克服疫情后蓬勃发展的良好势态,无数业界精英群聚一堂,共议发展新篇,为接下来“十四五”环保战全面打响,揭开帷幕。

新大陆环保沉浸环保产业20余年,是臭氧发生器、紫外消毒设备领域的领军企业,国际一流的环境治理装备制造和高级氧化解决方案服务提供商。近三年来,公司成功实施了多个“臭氧+”高级氧化EPC项目,为客户实现稳定达标排放,形成了一整套针对生活污水、工业废水领域切实有效的高级氧化工艺技术路线!





金大万翔臭氧消毒机环博展中引人注目

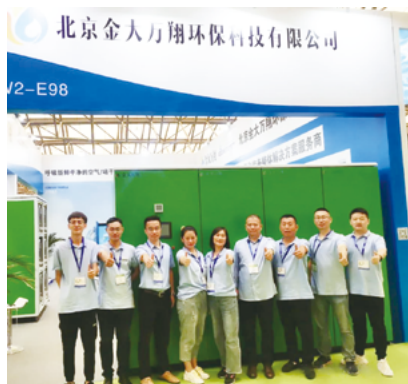
□ 供稿: 北京金大万翔环保科技有限公司

8月13日,第21届中国环博会在上海新国际博览中心盛大开幕,北京金大万翔环保科技有限公司应邀参展了此次环保盛会。大疫之后,金大万翔与众多环保企业携手共筑碧水蓝天的中国梦,向世界展示了中国环保产业及市场的蓬勃活力与发展潜力。

北京金大万翔环保科技有限公司以新技术、新环境、新常态、新思维为经营理念,使命担当,创新求进,成为国内首家大型模块化集装箱板式臭氧发生系统和高级氧化系统的制造企业,是国家鼓励发展的重大环保装备臭氧发生器的依托单位,在饮用水处理、污水处理、烟气脱硫脱硝等行业为用户提供研发设计、生产制造、安装调试等全方位、全周期的综合解决方案。作为国家级高新技术企业,

金大万翔以技术为先导,与哈尔滨工业大学、北方工业大学等高校密切合作,在环境污染治理、宇航材料民用、物联网等方面建立联合研发基地,为技术创新提供不竭动力。获得了北京市科学技术奖二等奖和中国产学研科技成果二等奖。

公司自主研发生产的模块化板式臭氧发生器和高级氧化系统,采用航天级材料、集装箱式模块化生产工艺、全数字高频高压电源,人机交互实时监控界面等全球领先技术,在臭氧发生技术指标、运行能耗、安全性、稳定性和可靠性等方面优势明显,实现了规模化生产,安装维护更加便捷,有效降低采购成本和运行成本。目前,金大万翔销售网络遍布海内外,我们的客户已经涵盖了在中国的日资及其他外资企业,国内外已经成功实施了300多个项



目。金大万翔模块化板式臭氧发生系统和高级氧化系统长期应用于首创股份、光大水务、中节能、北排等数十个知名企业的环保项目。

此次会展，金大万翔携 20KG 级大型模块化板式臭氧高级氧化装备及小型的民用系列臭氧空气消毒机闪亮登场。公司高度重视新老客户及各级供应商的需求，商务、技术精英全程参展。针对污水处理、烟气脱硝、自来水处理、河道治理、空气消杀等环保领域的各项诉求，积极专业的帮助客户提供全方

位的技术解决方案。为期三天的展会，金大万翔展位门庭若市，慕名而来的朋友络绎不绝。

金大万翔始终坚持以技术为先导。不断优化、突破、创新。在国家遭遇重大疫情考验之际，金大万翔牢记社会使命，加班加点研发出空间消杀消毒机，通过了权威机构的多项检测，并获得了卫生健康委员会颁发的消毒产品生产企业卫生许可证。

金大万翔 – 臭氧消毒机在此次环博展中脱颖而出，客户咨询热情高涨，众多同行竞相前来咨询。





江苏康尔携 KCF-DB 型设备亮相环博会

□ 供稿: 江苏康尔臭氧有限公司

8月13日-15日,第21届中国环博会IE EXPO CHINA 在上海新国际博览中心隆重召开,江苏康尔臭氧有限公司应邀参加了此次盛会。

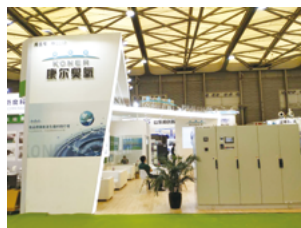
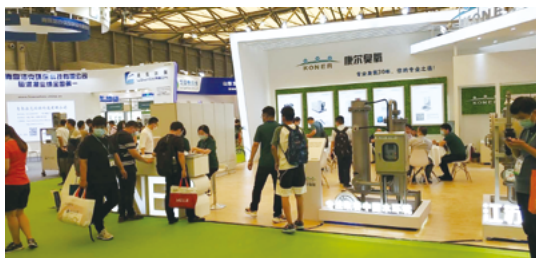
江苏康尔臭氧有限公司是国内最早专注于臭氧发生器研发和制造的企业,在臭氧发生器领域深耕30年,品牌知名度、美誉度均在行业内名列前茅。

本次展会,康尔臭氧展位位于博览中心W2馆,D42E42展位。展示样机为10KG玻璃管式臭氧发生器主机、控制柜和尾气破坏器。KCF-DB型设备是康尔公司自主研制的大型臭氧发生器,广泛应用

于自来水、市政污水、制药废水、脱硫脱硝、医药中间体和空气消毒灯行业,积累了大量客户单位,赢得了良好的市场口碑。

三天的展会时间,前来康尔臭氧展位参观的老客户、新朋友络绎不绝,公司销售经理、技术工程师进行了热情接待,业务洽谈、技术交流,大家相谈甚欢,展出获得了圆满成功。

康尔臭氧,专注臭氧30年,以科技赋能,尊重自然与平衡,守护生态,守望绿色,大美于行。





深圳科莱环保亮相中国环博会

□ 供稿: 深圳科莱环保科技有限公司

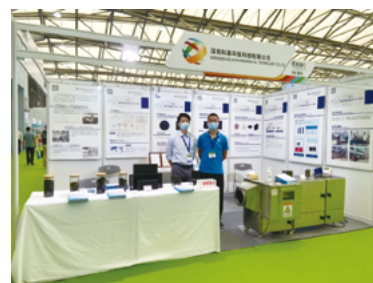
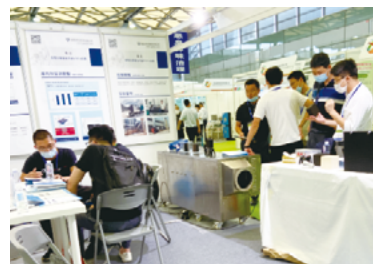
8月15日,为期三天的第21届中国环博会闭幕。本次环博会,聚集了海内外24个国家和地区的环保领域优秀企业。

展会上,深圳科莱环保科技有限公司携“臭氧消除及利用催化材料及技术”亮相,共接待客户300人次,收集有效项目信息100多个。

会展中,工作人员为观众详细介绍材料原理并现场进行设备演示、实时的数据测量,展示了如何快捷高效的去除臭氧。面对客户的提问,耐心解答、细致讲解其工作原理及应用的场景与方式。专业的讲解,丰富的案例分享,吸引了海内外高质量客户现场咨询、洽谈。

相信随着2020“蓝天保卫战”的收官之年和“大气治理十四五规划”的启动,未来对臭氧污染的治理将进一步加强,整个臭氧技术及市场会进一步稳定、繁荣。

感谢一直关注深圳科莱环保的各界朋友和客户以及展会主办方,在风雨飘渺的2020年,让我们携起手来,乘风破浪,共创辉煌。



2020 年中国环保行业市场现状与发展趋势

□ 摘自: 北极星固废网

近年来, 环境污染问题愈发严重, 环保行业愈发得到重视。环保行业涉及的领域多, 主要包括大气治理、污水治理、固体废物治理及土壤修复等种类。按照产业链分, 整个环保行业分为上游环保设备, 中游环保服务, 下游环保运营。随着新技术的发展, 环保设备行业政策倾向于加强关键环保技术应用, 环保设备产品自主创新, 推动智慧环保设备发展。

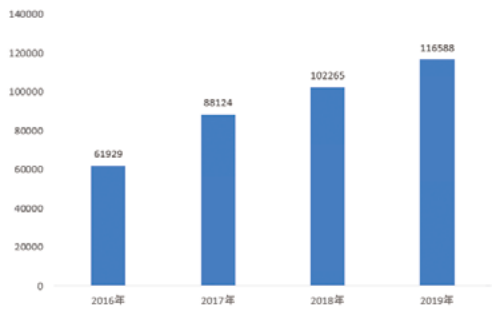
图表1: 2016-2020年环保行业主要政策及法律法规

发布时间	发布机构	政策法规	主要内容
2020/6/3	生态环境部	《关于在重点排污单位常态化开展排污许可执法检查的意见》	推动智慧环保设备、环保监管执法装备研发制造和基础能力建设, 加强关键环保技术产品自主创新, 推动省(市)重大技术装备示范应用。
2019/5/2	国务院	《国务院关于印发6个领域自由贸易试验区总体方案的通知》	对符合国家环保要求允许进口的高附加值数控机床、工程设备、电子设备、通信设备等机电设备的进口、加工等再出口, 海关给予通关便利。在风险可控、依法依规前提下, 积极开发高技术、高附加值、符合环保要求的机电产品维修和再制造, 探索开展高端装备绿色再制造试点。
2019/3	发改委	《绿色产业指导目录(2019年版)》	进一步厘清污染防治装备制造等绿色产业的界定, 并明确各地方、各部门要以《目录》为基础, 根据各自领域、区域发展重点, 出台投资、价格、金融、税收等方面政策举措, 着力壮大节能环保、清洁生产、清洁能源等绿色产业。
2018/10/30	工信部	《环保装备制造行业(污水治理)规范条件》、《环保装备制造行业(环境监测仪器)规范条件》	《规范条件》从企业基本要求、技术创新能力、产品要求、管理体系和安全生产、环境保护和社会责任、人员培训、产品销售和售后服务、监督管理等八个方面, 对污水治理和环保监测仪器制造企业提出了要求。
2017/10/17	工信部	《关于加快推进环保装备制造发展的指导意见》	《指导意见》从五个方面对环保装备制造提出了发展的重点方向: 一是强化技术研发协同创新发展, 二是推进生产智能化绿色化转型发展, 三是推动产品多元化品牌化提升发展, 四是引导行业差异化集聚化发展, 五是鼓励企业国际化开放发展。
2016/12/13	工信部	《环保装备制造行业(大气治理)规范条件》	《规范条件》从企业基本要求、技术创新能力、产品要求、管理体系和安全生产、环境保护和社会责任、人员培训、产品销售和售后服务、监督管理等八个方面, 对大气污染治理装备制造企业提出了要求。

环卫装备是进行环卫机械化作业的主要工具, 是国家环境卫生事业持续发展不可或缺的基础设施之一, 近年来随着国家对市政基础投入的增加, 环卫保洁机械化率已显著提高。根据中国银行保险监

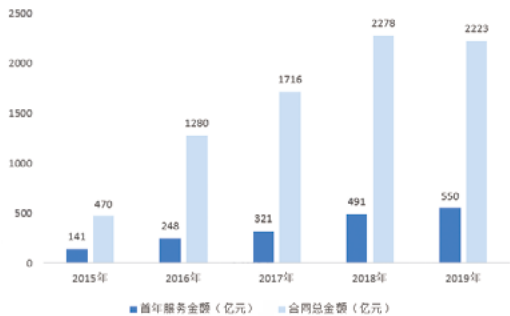
督管理委员会的新车交强险统计数据, 2019 年全国环卫车辆销量 116588 辆, 同比增长 14.01%, 近三年复合增长率为 23.48%, 同比增速有所减缓, 环卫装备行业进入了稳步增长时期。

图表2: 2016-2019年全国环卫车辆销量情况(单位: 辆)



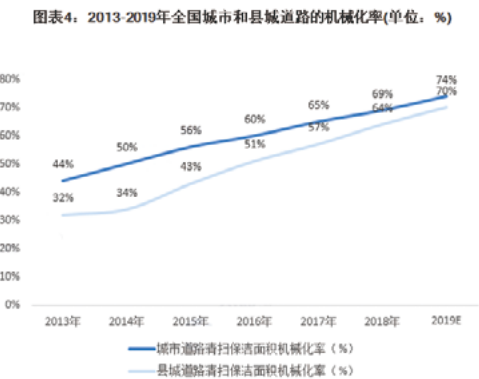
环卫服务市场化改革之初至目前成为必然的发展趋势, 据环境司南不完全统计, 2019 年全国各地新签环卫服务合同总金额为 2223 亿元, 同比略降 2.41%, 首年合同金额为 550 亿元, 同比增长 12.02%。

图表3: 2015-2019年全国环卫服务市场首年服务金额(单位: 亿元)



智慧化趋势明显

环保行业智慧化趋势明显。根据住建部《中国城乡建设统计年鉴》各年统计数据，我国城市和县城道路的机械化清扫率不断提升，2018 年分别达到 69%、64%，初步估计 2019 年达到 74% 和 70%。



随着垃圾分类、乡村振兴、农村人居环境整治

等利好政策的落地执行，为环卫装备，特别是垃圾分类装备带来了增量。但是智能垃圾分类设备一般金额较大，从招标情况来看，智能垃圾分类设备的招标总量金额较大。

图表5：2019-2020年智能垃圾处理设备招标投标情况(单位：万元)

时间	项目名称	采购代理机构名称	预算金额(万元)
2020-7	安徽省政务大厦管理中心智能垃圾分类设备采购及服务项目	安徽省政务大厦管理中心	6
2020-6	广州市黄埔区文冲街道办事处 黄埔区文冲街道瑞东花园小区智能垃圾分类设备升级改造项目	黄埔区文冲街道办事处	98.5
2019-12	陆河县河城环境卫生管理站餐厨垃圾收运处理系统、智能垃圾分类设备和车辆采购项目	陆河县河城环境卫生管理站	1215.32
2019-11	林周县生态环境局关于购置智能垃圾分类设备采购	林周县生态环境局	285.76

随着物联网云计算产业的快速发展，我国大力发展的环保产业智慧化是必然趋势，未来随着通信技术的发展，市场将构建一个高度感知的智能环保环境。



十张图带你看中国工业废水处理行业市场发展现状

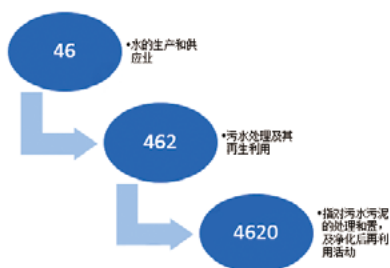
□ 摘自: 北极星水处理网

工业废水具有类型复杂、处理难度大、危害大等特征,主要来源于石化行业、纺织工业、造纸工业、钢铁工业和电镀工业等。2019 年我国工业废水总排放量约为 252 亿吨;同时,据生态环境部数据显示,全国废水治理设施和废水处理能力不断提升。随着环保风向趋严,水环境综合治理需求开始释放,市场上也涌现了一批工业废水处理的领先企业。前瞻预计,“十四五”时期,随着环保治理的不断深入,工业废水处理行业仍将保持稳定增长。

1、我国工业废水处理行业的发展历程

根据 2017 年国家统计局发布的新版《中华人民共和国国家标准》(GB/T 4754-2017) 中的国民经济行业分类,工业废水处理行业隶属于水的生产和供应业(国统局代码 46)中的污水处理及其再生利用(国统局代码 462)中的 4620。

图表1: 工业废水处理行业代码表



建国以来,我国工业废水处理行业经历了四个发展阶段,具体内容如下:

图表2: 我国工业废水处理行业发展历程



2、工业废水处理能力逐步提升

工业废水具有类型复杂、处理难度大、危害大等特征,主要来源于石化行业、纺织工业、造纸工业、钢铁工业和电镀工业等。

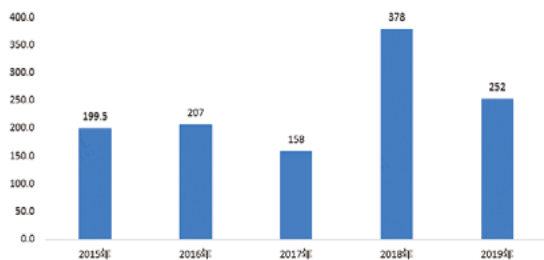
图表3: 我国工业废水的主要来源



据国家统计局数据显示,2015 年,我国工业废水总排放量为 199.5 亿吨。2019 年,据生态环境部公布的 448 个日排污水量大于 100 立方米的

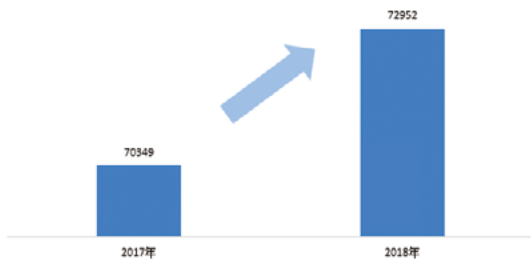
直排海污染源监测结果显示,工业废水排放量为25.85亿吨,同比下降33.3%。由于国家统计局于2015年以后停止公布工业废水总排放量数据,前瞻结合2016-2019年我国工业废水直排海排放量的增速测算,估计2019年我国工业废水总排放量约为252亿吨。

图表4: 2015-2019年中国工业废水排放总量变化趋势(单位:亿吨)



自“水十条”出台以来,我国各涉水企业加快安装废水处理设施。据生态环境部于2020年5月公布的《2019年中国生态环境状况公报》中披露的数据显示,2018年,全国废水治理设施72952套,比2017年增加了3.7%。在废水处理能力方面,2018年,全国废水治理设施处理能力已达22370万吨/日。

图表5: 中国工业废水处理设施数量(单位:套)



3、政策驱动行业发展

工业废水作为生态环境的重大污染源之一,我国政府十分重视工业废水的减排和处置,为此,发布了多项政策鼓励工业废水处理行业的发展。2020

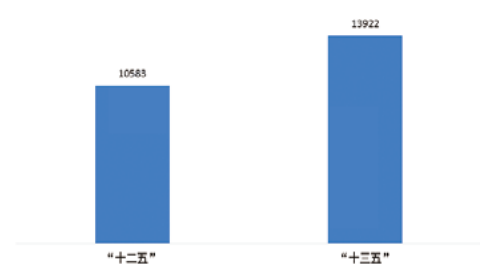
年7月,国家发改委、住建部印发《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》,提出到2023年,县级及以上城市设施能力基本满足生活污水处理需求。

图表6: 2018-2020年7月我国工业废水处理行业相关政策汇总

发布时间	政策名称	政策思路
2018.01	《中华人民共和国水污染防治法》(第二次修改)	法律法规
2018.06	《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》	规范管理
2018.12	《国家水污染物排放标准制修订技术导则(征求意见稿)》	规范管理
2019.02	《关于建立完善船舶水污染物接收处置联合监管制度的指导意见》	监管管理
2019.04	《关于印发城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019-2021年)》	治理规划
2019.07	《城市管网及污水处理补助资金管理暂行办法》	融资机制
2020.02	《关于印发污水处理和垃圾填埋场PPP项目合同示范文本的通知》	融资机制
2020.04	《关于完善长江经济带污水处理收费机制有关政策的指导意见》	收费机制
2020.07	《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》	规划管理

同时,在财政投入方面,据国家环保总局环境规划院和国家资讯中心的分析预测,“十二五”和“十三五”期间我国废水治理投入(含治理投资和运行费用)合计将分别达到10583亿元和13922亿元,其中用于工业和城镇生活污水的治理投资将分别达到4355亿元和4590亿元。未来十年,随着国家对环境保护的重视程度不断提升,人民生活水平改善和环保要求提高,以及城市供水和污水处理的不断升级改造,水污染治理投资仍将保持较快的增长。

图表7: “十二五”、“十三五”时期中国废水治理投入(单位:亿元)



4、2019年14家企业入围“领跑企业榜单”

随着环保风向趋严,水环境综合治理需求开始释放,市场上也涌现了一批工业废水处理的领先企业。据中国水网公布的2019年度水业细分领域—

工业及园区水处理领域领跑及单项能力领跑企业榜单显示，共有 14 家企业入围“领跑企业榜单”，具体如下表所示：

图表8：2019年度水业细分领域-工业及园区水处理领域领跑及单项能力领跑企业榜单

序号	领先企业	单项能力
1	安徽中环环保科技股份有限公司	工业园区污水处理年度标杆
2	重庆耐德环境资源股份有限公司	工业园区污水处理年度标杆
3	高邑环保有限公司	工业园区污水处理年度标杆
4	湖北雪高水处理有限公司	工业园区污水处理年度标杆
5	三达膜环境技术股份有限公司	工业废水处理及回用年度标杆
6	上海鑫宇环境工程股份有限公司	工业废水零排放年度标杆
7	广东益诺环保股份有限公司	工业废水零排放年度标杆
8	江苏久普高科技股份有限公司	工业废水回用年度标杆
9	湖南湘丰环保实业有限公司	焦化废水处理年度领跑
10	北京赛诺水务科技有限公司	海水淡化及综合利用年度领跑
11	广东新大禹环境科技股份有限公司	重金属废水处理年度领跑
12	北京天地人环保科技有限公司	高浓度工业废水处理年度标杆
13	江苏坤成环境工程有限公司	高盐废水零排放年度成长
14	北京翰祺环境技术有限公司	石油化工废水处理年度成长

其中，分区域来看，这 14 家企业多分布于北京市、广东省和江苏省，一定程度上说明了这些地区的废水处理竞争力较强。

图表9：2019年度水业细分领域-工业及园区水处理领跑企业区域分布(单位：家)

北京	3
广东	2
江苏	2
安徽	1
福建	1
湖北	1
湖南	1
陕西	1
上海	1
重庆	1

5、“十四五”期间发展前景较好

据 GEP Research 的研究数据显示，2017 年，我国工业废水处理行业的市场规模约为 889 亿元。根据市场发展情况结合政策支持情况，在“十三五”期间，我国的工业废水处理市场规模迅速增长；“十四五”期间，随着环保治理的不断深入，工业废水处理行业仍将保持稳定增长，保守估计到 2025 年，工业废水市场规模将将达到 1262 亿元。

图表 10：2017-2025 年中国工业废水处理行业规模及预测(单位：亿元)



浅谈臭氧行业发展对售后服务的要求

□ 郭晓光 青岛国林环保科技股份有限公司

随着臭氧技术的不断发展和应用技术的成熟，臭氧发生器在市政给水、市政污水、工业废水、烟气脱硝、精细化工、泳池消毒、空间消毒、饮料食品等行业得到广泛应用。随着臭氧行业的高速发展，售后服务市场规模也逐年递增。

臭氧行业的蓬勃发展也对臭氧系统的售后服务的要求越来越高：不仅关注产品实体，在不同厂家同类产品的质量和性能相近的情况下，更加重视产品的售后服务保障，售后服务的宏观环境正在发生剧烈变化。面对越来越多的挑战，臭氧行业售后服务还需进一步完善和规范。首先企业在提供物美价廉的产品的同时，应具备向客户提供完善的售后服务能力，满足客户对售后服务的需求；其次，提升售后服务工程师的技术水平管理，提高服务技能与服务技巧，提升服务质量；最后，售后服务市场竞争有待进一步规范，避免中、小型臭氧发生器低端服务市场的恶性竞争局面，鼓励臭氧设备制造企业积极参与国际 / 高端服务市场的竞争。

一、臭氧行业的售后服务系统运营

臭氧行业的售后服务系统，是指臭氧发生器厂家把产品（服务）销售给客户后，为客户提供的一

系列服务，包括技术咨询、安装 / 指导安装、调试、维修 / 维护服务等。高质量的售后服务可以提高公司产品的信誉度和美誉度；有利于公司企业形象的整体对外输出；为公司营销工作的开展奠定坚实的市场基础，增加公司的竞争优势。

臭氧行业售后服务体系的本身就是一个完整的运营系统。其应展示的运营效果是顺畅与高效。客户真正需要的就是服务质量：对客户现场的设备进行及时、可靠的技术支持与相关服务。只有完美的服务理念与服务热情，加上严谨的服务流程，过硬的服务质量，服务过程中附加的增值设施与增值服务才能达到锦上添花、事半功倍的效果！

二、臭氧行业售后服务现状

臭氧售后服务是一项专业性非常突出的技术服务。随着臭氧行业的蓬勃发展，客户群日益庞大复杂，售后服务的管理难度越来越大，臭氧行业售后服务在发展过程中，本身不可避免的会出现一些问题：

1、服务人员服务意识不强

部分企业售后服务起点低，过高的追求高利润，服务人员缺乏良好的服务意识。维修工程师的专业水平参差不齐：工作效率、技术水平、沟通能力以

及敬业精神都是直接影响与客户之间关系的重要因素。每位工程师对服务的认知理念不同，有的是将每一次的服务做的非常认真、仔细，当做是一种职业生涯成长的过程，为壮大自己而积累经验，但也有部分服务工程师没有真正的服务意识，并未设身处地的为客户着想，不是想方设法解决疑难问题，而是诱导客户更换不必要的零配件，增加客户的使用成本，糊弄对付，草草检修一下设备能运行来就万事大吉了，长此以往，恶性循环，公司就会失信与更多客户。

2、售后服务监督与培训缺乏

售后服务工程师要求有能力、有素质，还有一个很重要的素质叫做意愿。能力可以随着时间的延长而提高，但意愿可能随着时间的延长是下降的。因为随时都会有突发事件要去面对，所以，售后服务过程中大部分员工会处于高压、高强度的工作状态中，在监督不是特别有力的时候，售后服务员工是否愿意全心全意的投入就显得非常重要。部分企业的售后服务工程师未经专业培训，仅凭个人经历进行操作，由于对维修流程不熟练，不按规定的流程进行故障判断，很容易造成设备的二次故障。

部分企业没有建立完善的售后服务流程和监督体系，客户的反馈信息得不到满意的回应和解决。在这种情况下，客户的满意度下降，这部分客户的差评宣传甚至扩大不足的宣传，就会降低公司的形象，使公司失去更多的客户。给公司参与市场竞争和战略决策造成困扰。

三、提高臭氧行业的售后服务质量措施要求

1、团队协作、以身作则、强化培训、提高意识

服务是一个系统性的工作，单兵作战时代已经过去，客户服务不再是仅凭一个人就能全部解决完成的工作。是需要团队协作，齐心协力，满足客户的服务需求。要想留住客户的心，那就必须在服务上下功夫，客户不一定都是对的，但是只要把客户需求放在第一位，客户说的永远是对的，保持这种理念，企业就能赢得客户的信任与肯定。

臭氧行业的售后服务是需要强大的专业支持系统才能完成相关的服务承诺。由于各工程师的性格及理解力、接受力等都是因人而异的，这就会出现高技术水平、一般的水平之分，所以，服务理念是解决我们企业员工的职业素养问题，服务技能与服务技巧才是解决服务的核心问题。加强员工对服务意识的关注与重视，强化对员工服务技能的培训管理与技能研讨，长期地与有计划地锻炼与培养自身的技术队伍，改善售后服务质量。

同时售后服务管理人员要以身作则，尊重员工，提高员工的心理素质，引导如何真正解决问题。重点关注售后服务过程，一起分析、解决问题，鼓励员工自愿参与到服务当中，让他发自内心的去做，就会有非常好的工作效果。

2、建立规范的服务标准化流程

服务流程与相关的服务规范仅仅是最基本的岗位职责。服务流程标准化的普及与教育，只能降低员工的服务差错率，但是不一定能提高员工的从业技能与服务技巧。所以，在售后服务岗位上工作的员工，在熟悉与完成相关标准化服务流程之后，在职业生涯的道路上，还有很长的路要走。

为此，我们应不断地给在各岗位上的员工创造多种学习的机会。提高服务技能与服务技巧，提升

服务质量，尽快达到或者力图超越客户的需求期望，应是我们快速提升客户满意度的重要捷径。

服务的标准化将使企业发展越来越壮大，而不规范的企业将逐步退出服务市场。

3、诚信经营

臭氧行业售后服务市场上，由于零配件供应日趋活跃，在维修、更换配件方面，流通着“原厂配件”、“仿制品”。在产品质量方面，“仿制品”零配件的价格和费用虽然低，但质量较差。这种配件的使用不仅影响设备的正常运行，留下安全隐患，还会给企业声誉造成恶劣影响。

因此，臭氧行业生产制造商应把控好零配件销

售渠道，诚信经营，给客户id提供高性价比的产品。客户也应选择有设计、制造产品经验和资质的供应商，通过调查市场价格或参考类似的市价，不可仅凭低价，误入圈套。

“服务好”不再局限在简单的服务态度好、人员投入和随叫随到式的快速响应上。售后服务的改变除自身改变脱胎换骨以外，还需要企业其他相互关联流程的鼎力协作，全员“以客户为中心”，准确把握客户需求，不断提供预防性、增值性服务，提高服务质量，帮助客户降低运营成本和增加效益，才能为客户创造卓越的服务体验和价值！



浅谈中国臭氧行业的现状及发展前景

□ 肖盛隆 青岛国林环保科技股份有限公司

一、臭氧的起源及国外发展现状

早在 1785 年，德国物理学家冯·马鲁姆用大功率电机进行实验时发现当空气流过一串电火花时，会产生一种特殊气体，但并未深究。1840 年德国科学家舒贝因将电解和火花放电试验过程中产生的一种异味气体确定为 O_3 ，命名为 OZONE(臭氧)，臭氧的特性和功能开始进入科学研究领域，并逐渐进入了工业化生产应用。到二十世纪末，臭氧的工业应用已非常普遍，广泛应用于饮用水处理、污水处理、纸浆漂白、医药中间体合成、香料合成、烟气脱硝、废旧轮胎处理、疾病治疗、仓储运输等领域。

目前，以 Ozonia、WEDECO、OEI、日本三菱电机、美得华等为代表的国际臭氧行业知名企业都已进入中国市场，并通过并购、国产代工等形式迅速扩张，加大了对包括中国在内的新兴国家市场的开拓力度。

二、国内臭氧的发展历程及现状

我国臭氧发生技术起步较晚，上世纪 70 年代中期，国内开始进行臭氧技术的研究开发；90 年代，矿泉水、纯净水臭氧消毒技术的推广应用，医药行

业采用臭氧进行空气杀菌处理，以及小型家用臭氧发生器的应用，促进了我国臭氧行业的发展。

2000 年后，我国工业用大型臭氧设备制造技术的研究取得大量成果，在臭氧放电管、熔断器、中高频电源、特种变压器等大型臭氧发生器制造的关键技术取得重大突破，相继研制成功的 3kg/h、10kg/h、20kg/h、50kg/h、80kg/h、100kg/h、120kg/h 等大型中高频臭氧发生器，将中国臭氧技术逐步提升到国际先进水平。

2010 年 6 月 1 日实施臭氧发生器行业标准《水处理用臭氧发生器》(CJ/T 322-2010) 以及 2020 年 7 月 1 日实施的臭氧发生器国家标准《水处理用臭氧发生器技术要求》(GB/T 37894-2019)，使我国臭氧发生器标准与国际先进标准接轨，对我国臭氧行业整体技术水平的提升和市场的规范起到重要作用。经过多年的积累和发展，我国的臭氧系统设备技术水平、制造水平和市场规模有了很大提高，并在市政给水、市政污水、工业废水、低温烟气脱硝、精细化工氧化、泳池水消毒、空间消毒、饮料食品等行业得到了广泛应用。随着我国经济社会的高速发展、环境保护意识的提高及环境保护力度的持续加大，中国臭氧行业将迎来新的高速发展的时期。

但我国臭氧行业目前仍存诸多问题，还需进一步完善和规范。第一，行业内企业发展水平良莠不齐，大部分企业研发投入有限，需要加大产品研发力度，进一步提高产品规格和性能指标，以满足市场对大产量、高性能臭氧设备的需求；第二，臭氧设备加工水平、集成度、系统配套水平有待提高，应用技术研发需加大投入，拓展臭氧的应用领域；第三，市场竞争有待进一步规范，避免行业内恶性竞争局面，鼓励臭氧设备制造企业积极参与国际高端市场的竞争；第四，需要加大臭氧应用的宣传、加强臭氧系统基础知识的科普，提高广大设计单位、工程公司、用户的认知水平，从监督、使用规范的角度减少部分制造企业虚报性能参数、虚报产量、以次充好等恶性竞争行为。

三、臭氧行业的应用前景

未来，臭氧在市政给水、市政污水、工业废水、低温烟气脱硝、化工氧化、泳池水消毒、空间消毒、饮料食品、半导体清洗、水产养殖等领域都将有更加广泛的应用，其中：

1、市政给水深度处理

臭氧-生物活性炭技术应用于给水深度处理，主要以改善水质为主要目的。未来，市政给水的水源将越来越依赖地表水，地表水有相当一部分为Ⅳ类、Ⅴ类，有些为劣Ⅴ类，水体受到一定程度的污染；尽管政府采取措施对水体污染进行了控制，但难以在短期内有效控制。常规给水处理工艺对溶解性有机物处理效果不理想，出水有异味、口感差、色度偏高、COD 偏高等问题突出，臭氧-活性炭深度处理工艺能够有效解决此类问题，使出水水质全面

达到生活饮用水卫生标准。此工艺技术特点鲜明、占地面积小、处理效果好、运行成本低，特别是在深度处理升级改造项目中优势突出；随着全民生活水平的提高和安全意识的加强，深度处理在县级、园区级、乡镇级的给水深度处理项目中将得到越来越广泛的应用。

2、市政污水及各类难降解工业废水处理

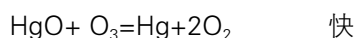
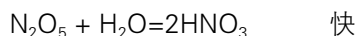
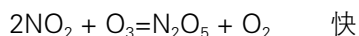
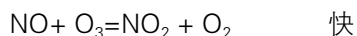
市政污水处理厂深度处理升级改造项目，出水水质要求达到一级 A、地表Ⅳ类，甚至地表Ⅲ类的水平，常规处理工艺难以达到技术要求；往往需要臭氧高级氧化或者催化臭氧氧化工艺。特别是北方缺水地区利用深度处理后的出水作为河道补水、地下水补水、中水回用等，具有很高的环保价值和经济效益。

难降解工业废水，诸如煤化工废水、焦化废水、印染废水、制药废水、化工废水、炼油废水、化纤废水等等。臭氧氧化应用于废水处理有多重明显的作用，能够氧化细胞内酶、破坏 DNA、RNA 物质，透过细胞膜使之发生通透性的畸变，破坏发色基团中的不饱和键（芳香基或者共轭双键）、破坏 C=C 双键转化为羧基、羧酸或者酮，去除氰、硫氰等毒性有机物。催化臭氧氧化工艺能够进一步改善臭氧氧化的局限性，降低臭氧氧化的选择性、提高废水 COD 的去除率，减少小分子的醛、酮、羧酸等中间产物、将有机物彻底矿化为 CO₂、H₂O，减少硝基苯等毒性中间产物。催化臭氧氧化工艺不产生二次污染，处理效果好、经济性好，工程可行性最强，发展前景良好。

3、烟气脱硝处理

臭氧氧化法脱硝，是将烟气中不溶于水的 NO

和难溶于水的 NO_2 氧化成易溶于水的 N_2O_5 ，随脱硫洗涤一并脱除。具体脱除反应机理有 65 种之多，起主要作用的基元反应如下：



NO_x 被迅速转化成溶于水溶液的硝酸酐，很容易通过水洗吸收，并与浆液快速反应，从而不可逆地脱除了 NO_x ；除了 NO_x 之外，一些重金属，如汞及其他重金属污染物也同时被臭氧所氧化，因此氧化脱硝具有很好的脱汞效果；与 CO 、 SO_x 等其他燃烧产物相比，臭氧对 NO_x 的氧化反应速率常数比氧化 CO 、 SO_x 高几个数量级，故 CO 、 SO_x 等的存在对其影响较小。

臭氧化法脱硝与传统的还原法相比具有明显的优势

I、在现有的脱硫塔中对多种污染物一并脱除，不需要增加其他设施；

II、氧化过程在烟道中进行，仅需对烟道改造，工程量小，炉外脱硝对锅炉影响小；

III、反应区温度范围要求不高；不使用氨等还原剂；

IV、调节灵活，可根据 NO_x 含量和烟气量进行调节，脱硝效率可达 90% 以上；

V、适应今后烟气排放脱汞要求，提前达标，无需再上脱汞设施。

目前，臭氧氧化法脱硝工艺已经广泛应用于重油裂解加热炉、热电锅炉、工业锅炉、煤电锅炉、生物质锅炉、焦炉、钢铁烧结机等，取得了良好的

环保效益和经济效益。随着环保力度的进一步加大、排放标准的进一步提高，臭氧在脱硝行业的应用也将越来越广泛。

四、竞争充分，行业前景向好

近年来，在国家节能环保政策推动下，臭氧发生器行业发展前景明朗，行业新注册企业数量增多，据不完全统计，2019 年，臭氧发生器行业新注册企业数量就达到了 80 多家。截至 2020 年 6 月，国内共拥有臭氧发生器相关生产企业数量为 700 多家，主要分布在山东 (150 多家)、江苏 (140 家)、广东 (100 多家) 三个省份。越来越多的企业 and 专业人员参与到臭氧行业中，为臭氧行业加入了新鲜血液，推动了行业的发展，同时也加剧了行业竞争。臭氧发生器主机（以液氧气源计）的单价已经从 10 年前 8–10 万元 / $\text{kg} \cdot \text{O}_3$ 下降到 2–4 万元 / $\text{kg} \cdot \text{O}_3$ ，行业平均毛利率下降到 35% 以下。充分竞争的背后，很多中小臭氧企业也面临被兼并和整合。

在大型环保治理工程中，臭氧发生器系统设备是关键的设备，是国家实现“十三五”节能环保目标的关键设备之一。臭氧行业的未来发展与国家环境保护、节能减排的政策和执行力度密切相关。国家“十三五规划纲要”提出的培育服务主体，推广节能环保产品，支持技术装备和服务模式创新，完善政策机制，促进节能环保产业发展壮大。同时，提出要增强节能环保工程技术和设备制造能力，研发、示范、推广一批节能环保先进技术装备。相关规划的出台为主要应用于环保行业的臭氧设备制造创造了良好的发展环境。预计至 2020 年，我国

GDP 总量将比 2010 年翻一番，这将会带动与此相关的臭氧设备制造行业的发展。

“十二五”期间，我国节能环保产业以 15% 至 20% 的速度增长，十二五期间环保投资 3.4 万亿元，比十一五期间增长了 62%。据环保部规划院测算，预计“十三五”期间环保投入将增加到每年 2 万亿元左右，“十三五”期间社会环保总投资有望超过 17 万亿元。大量的社会环保投资将带动大型臭氧系统设备的市场需求。受益于国民经济的高速发展、产业结构升级加速、国家对环保问题的

日益重视以及投入的不断增大，臭氧设备制造行业正处于快速发展阶段，其应用领域在不断延伸和丰富，对国民经济的直接贡献将逐渐增大，将成为改善经济运行质量、促进经济增长的先进制造业，发展前景广阔。

此外，国际市场臭氧设备需求逐年增加，随着我国臭氧设备制造技术逐渐达到并超越国际同类先进水平，依靠成本和服务优势，我国臭氧设备制造企业的国际竞争力将进一步提升，国际市场占有率将不断提高。



臭氧在空间消毒中的应用

□ 王欣明 青岛国林环保科技股份有限公司

臭氧是一种广谱、高效消毒剂，氧化作用极强，反应速度快，有很好的消毒、除臭作用。臭氧对空气中的微生物有明显的杀灭作用，采用 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 浓度的臭氧，作用 30min，对自然菌的杀灭率达到 90% 以上。目前我国 GMP 中臭氧灭菌是被推荐的重要灭菌方法之一。

一、臭氧杀菌的作用原理

臭氧的灭菌机制及过程类属于生物化学过程，氧化分解了细菌内部氧化葡萄糖所必须的葡萄糖氧化酶。也可直接与细菌、病毒发生作用，破坏其细胞器和核糖核酸，分解 DNA、RNA，蛋白质、脂类和多糖等大分子聚合物，使细菌的物质代谢生产和繁殖过程到破坏。还可以渗透胞膜组织，侵入细胞膜内作用于外膜脂蛋白和内部的脂多糖，使细胞发生通透性畸变，导致细胞溶解死亡。并且将死亡菌体内遗传基因、寄生菌种、寄生病毒粒子、噬菌体、枝原体及热原（细菌病毒代谢产物、内毒素）等溶解变性灭亡。

二、臭氧的灭菌优点

1、有较高的扩散性： O_3 是气体，扩散性能好，

灭菌空间无死角，空间内浓度分布均匀，灭菌效果稳定。

2、现行的《消毒技术规范》认定 O_3 为一种广谱高效杀菌剂： O_3 对多种致病微生物如大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄菌及肝炎病毒、真菌等均有很好的杀灭作用。科学研究表明： O_3 具有强烈的杀菌消毒作用，不但对各种细菌（包括肝炎病毒、大肠杆菌、绿脓杆菌及其它杂菌）有极强的杀灭能力，而且对真菌也有效。目前尚无 O_3 对某些致病微生物产生耐药性的报道，克服了传统化学灭菌剂产生耐药性的缺点。

3、 O_3 消毒后自然分解为 O_2 ，安全无残留，不存在二次污染的可能。

4、只需要臭氧发生器，且原料为空气，运行只需要用电，操作简单。

5、常温下灭菌，使用范围广。

三、臭氧空间消毒参考浓度

空间、器具、溶具消毒、保鲜、除臭净化空气中使用臭氧参考浓度

用 途	种 类	浓度 ppm	每 m ³ 每小时臭氧量 (mg)	使 用 方 法
消 毒	医用器具	20	50-100	20ppm 消毒时间 60min (国标 yy0215.2-95)
	冷库	6-10	15-25	根据库容和污染程度连续开机， 主要杀灭霉菌
	食品车间	1.0-1.5	2.5-3.5	班后开机送 O ₃ 气体
	病房、手术室	10-20	25-50	需要消毒时开机， 按标准检查细菌总数
	工作服	10-20	25-50	相对湿度 90% 左右，衣服用衣架挂起
防 毒 保 鲜	一般场所	1-2	2.5-5	定期开机
	鸡蛋	2-2.5	5-5.5	间断供给 O ₃ 气体，每天 开机 2-3 次
	香蕉	2.5-3.5	5.5-8	
	苹果	2.0	5	
	叶绿素少蔬菜	1.5-1	3.5-2.5	
	鱼、干酪	0.5-1	1.5-2.5	
除 臭 净 化	停尸房	3	7	有臭味即开机除臭
	鱼类加工厂	3	7	污染气体进入处理管理， 在管道内投入 O ₃ 气体氧化除臭。 如车间内异味严重， 应在车间进风口投加 O ₃ 气体为宜。
	屠宰车间	2-3	5-7	
	脂肪酸加工	10	25	
	橡胶厂	3-10	7-25	
	垃圾废物处理	10	25	
	污水处理厂	1-2	2.5-5	

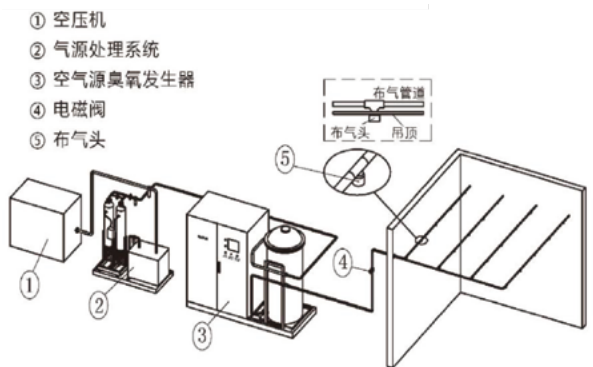
备注：1、空气中使用臭氧参考浓度（1ppm=2.14mg/m³）

2、出自：化学工业出版社，2003.3【臭氧技术及应用】

四、臭氧空间消毒的主要应用

1、食品车间

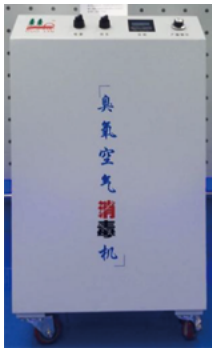
食品加工车间臭氧深度要求相对较低，一般达到 2.5ppm 即可。对于不同的食品储存的物质不同设计不同的臭氧浓度。臭氧投加方式一般采用布管式，如下图：



对于小车间可采用分体或移动式放在单独空间中，一般要放置高处，因为臭氧比重在空气中较大，易下降，放置高处的目的主要是有利于臭氧的散播。



壁挂式



移动式

2、制药厂

利用 HVAC 系统的循环风作为臭氧的载体，即将臭氧发生器生产的臭氧化气体由 HVAC 系统中净化风机产生的压力风源，扩散至所控制的整个洁净区域，并且使空气中臭氧浓度均匀，在洁净区域的生产环境中不增加任何消毒设备，即可达到灭菌的

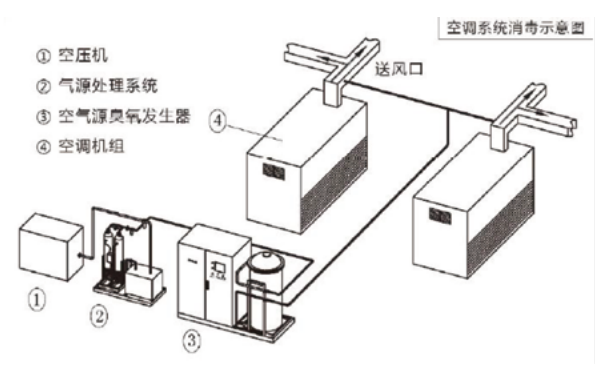
目的，同时对 HVAC 系统起到杀灭杂菌和霉菌的效果，实践发现，该消毒灭菌方式还能对高效过滤器起到溶菌疏导作用，延长其使用寿命。

臭氧发生器安装位置有以下几种方法：

(1) 分体或移动式放在单独房间内（同上述）

(2) 组装在空调机组中（此种布置方法主机一般安装在高效过滤后段或高效过滤器前，但是由于受到空调送风污染，臭氧发生器频繁故障不能持续运行，此方法基本不用）

(3) 臭氧发生器置于空调机组外，臭氧管路通至总送风管道内，如下图：



五、臭氧发生器的选型方法

根据【消毒技术规范】及实际应用经验

序号	消毒等级	臭氧浓度 (ppm)	臭氧浓度 (mg/m ³)
1	三十万净化级	2.5ppm	5mg/m ³
2	十万净化级	5ppm	10mg/m ³
3	万净化级	15ppm	30mg/m ³
4	百净化级	20ppm	40mg/m ³

计算方法：利用 HVAC 系统集中投加时，臭氧发生器选用按以下方法计算，首先计算实际臭氧消

毒体积，实际体积由三部分组织 $V=V_1+V_2+V_3$, V_1 洁净区空间体积， V_2 空气净化系统体积， V_3 循环时空气损失体积，实际计算过程中 V_3 等于循环系统总风量的 1.2%。

$$W=C \times V / D$$

W: 实际选用臭氧发生器的产量，单位为 g/h;

V: 实际臭氧消毒体积;

D: 臭氧衰退系数 0.4208。

若设计臭氧浓度按空间浮游菌为 5ppm，消毒体积 10000m^3 ，送风流量 $100000\text{m}^3/\text{h}$

$$V_1=10000\text{m}^3$$

$V_2=$ 忽略不计

$$V_3=100000 \times 1.2\% = 1200$$

$$\text{实际臭氧消毒体积 } V = V_1 + V_2 + V_3 = 11200\text{m}^3$$

臭氧投加量

$$W = C \times V / D = 5 \times 11200 / 0.4208 = 284.79\text{g/h}$$

推荐选择臭氧发生器的产量为 300g/h。

六、使用臭氧空间消毒的影响因素及注意事项

1、臭氧的杀菌效果 K 为臭氧实际浓度 C 与作用时间 T 的乘积即 $K = C \times T$ 。臭氧消毒需要至少要达到阈值浓度，发生浓度低于阈值浓度，是达不

到灭菌效果的，而浓度过高会造成运行成本增加，所以应该计算选用合适范围的发生浓度的臭氧发生装置。

2、适当的湿度，臭氧的灭菌效果在湿度为 70–80% 条件下效果最理想，在湿度低于 45% 时效果较差，所以一般使用中，应注意在环境中适当增加湿度。

3、微生物种类、温度、有机物、pH、水的浑浊度、水的色度以及消毒空间内还原性物质等都可能影响臭氧的杀菌作用，使用时应加以控制。

4、臭氧对人有毒，使用臭氧杀菌时，严禁工作人员进入。国家规定大气中允许浓度为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

5、臭氧为强氧化剂，对多种物品有损坏，浓度越高对物品损害越重，可使铜片出现绿色锈斑、橡胶老化，变色，弹性降低，以致变脆、断裂，使织物漂白褪色等，使用时应注意。

6、由于臭氧只能就地生产，目前最经济也是技术成熟的产生臭氧的方式为电晕放电，管式臭氧具有结构简单、性能可靠、运行费用低及调节灵活等优点。

中华人民共和国固体废物污染环境防治法

□ 摘自: 中华人民共和国生态环境部

前言: 新版《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》于9月1日正式实施, 引发市场对固废产业链再次关注。相较于之前的版本, 新《固废法》拓宽了固废管理范围, 提高了环境违法成本, 有望加速固废行业细分领域市场空间的释放。此外, 当前多项水相关政策持续推进, 治理需求依然旺盛, 水务及水处理行业依然维持景气周期, 高出水标准的水处理企业未来有望获得更多市场份额。

第一章 总 则

第一条 为了保护和改善生态环境, 防治固体废物污染环境, 保障公众健康, 维护生态安全, 推进生态文明建设, 促进经济社会可持续发展, 制定本法。

第二条 固体废物污染环境的防治适用本法。

固体废物污染海洋环境的防治和放射性固体废物污染环境的防治不适用本法。

第三条 国家推行绿色发展方式, 促进清洁生产和循环经济发展。

国家倡导简约适度、绿色低碳的生活方式, 引导公众积极参与固体废物污染环境防治。

第四条 固体废物污染环境防治坚持减量化、资源化和无害化的原则。

任何单位和个人都应当采取措施, 减少固体废物的

产生量, 促进固体废物的综合利用, 降低固体废物的危害性。

第五条 固体废物污染环境防治坚持污染担责的原则。

产生、收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位和个人, 应当采取措施, 防止或者减少固体废物对环境的污染, 对所造成的环境污染依法承担责任。

第六条 国家推行生活垃圾分类制度。

生活垃圾分类坚持政府推动、全民参与、城乡统筹、因地制宜、简便易行的原则。

第七条 地方各级人民政府对本行政区域固体废物污染环境防治负责。

国家实行固体废物污染环境防治目标责任制和考核评价制度, 将固体废物污染环境防治目标完成情况纳入考核评价的内容。

第八条 各级人民政府应当加强对固体废物污染环

境防治工作的领导，组织、协调、督促有关部门依法履行固体废物污染环境防治监督管理职责。

省、自治区、直辖市之间可以协商建立跨行政区域固体废物污染环境的联防联控机制，统筹规划制定、设施建设、固体废物转移等工作。

第九条 国务院生态环境主管部门对全国固体废物污染环境防治工作实施统一监督管理。国务院发展改革、工业和信息化部、自然资源、住房城乡建设、交通运输、农业农村、商务、卫生健康、海关等主管部门在各自职责范围内负责固体废物污染环境防治的监督管理工作。

地方人民政府生态环境主管部门对本行政区域固体废物污染环境防治工作实施统一监督管理。地方人民政府发展改革、工业和信息化部、自然资源、住房城乡建设、交通运输、农业农村、商务、卫生健康等主管部门在各自职责范围内负责固体废物污染环境防治的监督管理工作。

第十条 国家鼓励、支持固体废物污染环境防治的科学研究、技术开发、先进技术推广和科学普及，加强固体废物污染环境防治科技支撑。

第十一条 国家机关、社会团体、企业事业单位、基层群众性自治组织和新闻媒体应当加强固体废物污染环境防治宣传教育和科学普及，增强公众固体废物污染环境防治意识。

学校应当开展生活垃圾分类以及其他固体废物污染环境防治知识普及和教育。

第十二条 各级人民政府对在固体废物污染环境防治工作以及相关的综合利用活动中做出显著成绩的单位和个人，按照国家有关规定给予表彰、奖励。

第二章 监督管理

第十三条 县级以上人民政府应当将固体废物污染环境防治工作纳入国民经济和社会发展规划、生态环境保护规划，并采取有效措施减少固体废物的产生量、促进固体废物的综合利用、降低固体废物的危害性，最大限度降低固体废物填埋量。

第十四条 国务院生态环境主管部门应当会同国务院有关部门根据国家环境质量和国家经济、技术条

件，制定固体废物鉴别标准、鉴别程序和国家固体废物污染环境防治技术标准。

第十五条 国务院标准化主管部门应当会同国务院发展改革、工业和信息化部、生态环境、农业农村等主管部门，制定固体废物综合利用标准。

综合利用固体废物应当遵守生态环境法律法规，符合固体废物污染环境防治技术标准。使用固体废物综合利用产物应当符合国家规定的用途、标准。

第十六条 国务院生态环境主管部门应当会同国务院有关部门建立全国危险废物等固体废物污染环境防治信息平台，推进固体废物收集、转移、处置等全过程监控和信息化追溯。

第十七条 建设产生、贮存、利用、处置固体废物的项目，应当依法进行环境影响评价，并遵守国家有关建设项目环境保护管理的规定。

第十八条 建设项目的环境影响评价文件确定需要配套建设的固体废物污染环境防治设施，应当与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。建设项目的初步设计，应当按照环境保护设计规范的要求，将固体废物污染环境防治内容纳入环境影响评价文件，落实防治固体废物污染环境和破坏生态的措施以及固体废物污染环境防治设施投资概算。

建设单位应当依照有关法律法规的规定，对配套建设的固体废物污染环境防治设施进行验收，编制验收报告，并向社会公开。

第十九条 收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位和其他生产经营者，应当加强对相关设施、设备和场所的管理和维护，保证其正常运行和使用。

第二十条 产生、收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位和其他生产经营者，应当采取防扬散、防流失、防渗漏或者其他防止污染环境的措施，不得擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒固体废物。

禁止任何单位或者个人向江河、湖泊、运河、渠道、水库及其最高水位线以下的滩地和岸坡以及法律法规规定的其它地点倾倒、堆放、贮存固体废物。

第二十一条 在生态保护红线区域、永久基本农田集中区域和其他需要特别保护的区域内，禁止建设工业

固体废物、危险废物集中贮存、利用、处置的设施、场所和生活垃圾填埋场。

第二十二条 转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域贮存、处置的，应当向固体废物移出地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门提出申请。移出地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门应当及时商经接受地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门同意后，在规定期限内批准转移该固体废物出省、自治区、直辖市行政区域。未经批准的，不得转移。

转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域利用的，应当报固体废物移出地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门备案。移出地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门应当将备案信息通报接受地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门。

第二十三条 禁止中华人民共和国境外的固体废物进境倾倒、堆放、处置。

第二十四条 国家逐步实现固体废物零进口，由国务院生态环境主管部门会同国务院商务、发展改革、海关等主管部门组织实施。

第二十五条 海关发现进口货物疑似固体废物的，可以委托专业机构开展属性鉴别，并根据鉴别结论依法管理。

第二十六条 生态环境主管部门及其环境执法机构和其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门，在各自职责范围内有权对从事产生、收集、贮存、运输、利用、处置固体废物等活动的单位和其他生产经营者进行现场检查。被检查者应当如实反映情况，并提供必要的资料。

实施现场检查，可以采取现场监测、采集样品、查阅或者复制与固体废物污染环境防治相关的资料等措施。检查人员进行现场检查，应当出示证件。对现场检查中知悉的商业秘密应当保密。

第二十七条 有下列情形之一的，生态环境主管部门和其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门，可以对违法收集、贮存、运输、利用、处置的固体废物及设施、设备、场所、工具、物品予以查封、扣押：

- （一）可能造成证据灭失、被隐匿或者非法转移的；
- （二）造成或者可能造成严重环境污染的。

第二十八条 生态环境主管部门应当会同有关部门建立产生、收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位和其他生产经营者信用记录制度，将相关信用记录纳入全国信用信息共享平台。

第二十九条 设区的市级人民政府生态环境主管部门应当会同住房城乡建设、农业农村、卫生健康等主管部门，定期向社会发布固体废物的种类、产生量、处置能力、利用处置状况等信息。

产生、收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位，应当依法及时公开固体废物污染环境防治信息，主动接受社会监督。

利用、处置固体废物的单位，应当依法向公众开放设施、场所，提高公众环境保护意识和参与程度。

第三十条 县级以上人民政府应当将工业固体废物、生活垃圾、危险废物等固体废物污染环境防治情况纳入环境状况和环境保护目标完成情况年度报告，向本级人民代表大会或者人民代表大会常务委员会报告。

第三十一条 任何单位和个人都有权对造成固体废物污染环境的单位和个人进行举报。

生态环境主管部门和其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门应当将固体废物污染环境防治举报方式向社会公布，方便公众举报。

接到举报的部门应当及时处理并对举报人的相关信息予以保密；对实名举报并查证属实的，给予奖励。

举报人举报所在单位的，该单位不得以解除、变更劳动合同或者其他方式对举报人进行打击报复。

第三章 工业固体废物

第三十二条 国务院生态环境主管部门应当会同国务院发展改革、工业和信息化等主管部门对工业固体废物对公众健康、生态环境的危害和影响程度等作出界定，制定防治工业固体废物污染环境的技术政策，组织推广先进的防治工业固体废物污染环境的生产工艺和设备。

第三十三条 国务院工业和信息化主管部门应当会同国务院有关部门组织研究开发、推广减少工业固体废

物产生量和降低工业固体废物危害性的生产工艺和设备，公布限期淘汰产生严重污染环境的工业固体废物的落后生产工艺、设备的名录。

生产者、销售者、进口者、使用者应当在国务院工业和信息化主管部门会同国务院有关部门规定的期限内分别停止生产、销售、进口或者使用列入前款规定名录中的设备。生产工艺的采用者应当在国务院工业和信息化主管部门会同国务院有关部门规定的期限内停止采用列入前款规定名录中的工艺。

列入限期淘汰名录被淘汰的设备，不得转让给他人使用。

第三十四条 国务院工业和信息化主管部门应当会同国务院发展改革、生态环境等主管部门，定期发布工业固体废物综合利用技术、工艺、设备和产品导向目录，组织开展工业固体废物资源综合利用评价，推动工业固体废物综合利用。

第三十五条 县级以上地方人民政府应当制定工业固体废物污染环境防治工作规划，组织建设工业固体废物集中处置等设施，推动工业固体废物污染环境防治工作。

第三十六条 产生工业固体废物的单位应当建立健全工业固体废物产生、收集、贮存、运输、利用、处置全过程的污染环境防治责任制度，建立工业固体废物管理台账，如实记录产生工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等信息，实现工业固体废物可追溯、可查询，并采取防治工业固体废物污染环境的措施。

禁止向生活垃圾收集设施中投放工业固体废物。

第三十七条 产生工业固体废物的单位委托他人运输、利用、处置工业固体废物的，应当对受托方的主体资格和技术能力进行核实，依法签订书面合同，在合同中约定污染防治要求。

受托方运输、利用、处置工业固体废物，应当依照有关法律法规的规定和合同约定履行污染防治要求，并将运输、利用、处置情况告知产生工业固体废物的单位。

产生工业固体废物的单位违反本条第一款规定的，除依照有关法律法规的规定予以处罚外，还应当与造成环境污染和生态破坏的受托方承担连带责任。

第三十八条 产生工业固体废物的单位应当依法实施清洁生产审核，合理选择和利用原材料、能源和其他资源，采用先进的生产工艺和设备，减少工业固体废物的产生量，降低工业固体废物的危害性。

第三十九条 产生工业固体废物的单位应当取得排污许可证。排污许可的具体办法和实施步骤由国务院规定。

产生工业固体废物的单位应当向所在地生态环境主管部门提供工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等有关资料，以及减少工业固体废物产生、促进综合利用的具体措施，并执行排污许可管理制度的相关规定。

第四十条 产生工业固体废物的单位应当根据经济、技术条件对工业固体废物加以利用；对暂时不利用或者不能利用的，应当按照国务院生态环境等主管部门的规定建设贮存设施、场所，安全分类存放，或者采取无害化处置措施。贮存工业固体废物应当采取符合国家环境保护标准的防护措施。

建设工业固体废物贮存、处置的设施、场所，应当符合国家环境保护标准。

第四十一条 产生工业固体废物的单位终止的，应当在终止前对工业固体废物的贮存、处置的设施、场所采取污染防治措施，并对未处置的工业固体废物作出妥善处置，防止污染环境。

产生工业固体废物的单位发生变更的，变更后的单位应当按照国家有关环境保护的规定对未处置的工业固体废物及其贮存、处置的设施、场所进行安全处置或者采取有效措施保证该设施、场所安全运行。变更前当事人对工业固体废物及其贮存、处置的设施、场所的污染防治责任另有约定的，从其约定；但是，不得免除当事人的污染防治义务。

对2005年4月1日前已经终止的单位未处置的工业固体废物及其贮存、处置的设施、场所进行安全处置的费用，由有关人民政府承担；但是，该单位享有的土地使用权依法转让的，应当由土地使用权受让人承担处置费用。当事人另有约定的，从其约定；但是，不得免除当事人的污染防治义务。

第四十二条 矿山企业应当采取科学的开采方法和选矿工艺，减少尾矿、煤矸石、废石等矿业固体废物的产生量和贮存量。

国家鼓励采取先进工艺对尾矿、煤矸石、废石等矿业固体废物进行综合利用。

尾矿、煤矸石、废石等矿业固体废物贮存设施停止使用后，矿山企业应当按照国家有关环境保护等规定进行封场，防止造成环境污染和生态破坏。

第四章 生活垃圾

第四十三条 县级以上地方人民政府应当加快建立分类投放、分类收集、分类运输、分类处理的生活垃圾管理系统，实现生活垃圾分类制度有效覆盖。

县级以上地方人民政府应当建立生活垃圾分类工作协调机制，加强和统筹生活垃圾分类管理能力建设。

各级人民政府及其有关部门应当组织开展生活垃圾分类宣传，教育引导公众养成生活垃圾分类习惯，督促和指导生活垃圾分类工作。

第四十四条 县级以上地方人民政府应当有计划地改进燃料结构，发展清洁能源，减少燃料废渣等固体废物的产生量。

县级以上地方人民政府有关部门应当加强产品生产和流通过程管理，避免过度包装，组织净菜上市，减少生活垃圾的产生量。

第四十五条 县级以上人民政府应当统筹安排建设城乡生活垃圾收集、运输、处理设施，确定设施厂址，提高生活垃圾的综合利用和无害化处置水平，促进生活垃圾收集、处理的产业化发展，逐步建立和完善生活垃圾污染环境防治的社会服务体系。

县级以上地方人民政府有关部门应当统筹规划，合理安排回收、分拣、打包网点，促进生活垃圾的回收利用工作。

第四十六条 地方各级人民政府应当加强农村生活垃圾污染环境的防治，保护和改善农村人居环境。

国家鼓励农村生活垃圾源头减量。城乡结合部、人口密集的农村地区和其他有条件的地方，应当建立城乡一体的生活垃圾管理系统；其他农村地区应当积极探索

生活垃圾管理模式，因地制宜，就近就地利用或者妥善处理生活垃圾。

第四十七条 设区的市级以上人民政府环境卫生主管部门应当制定生活垃圾清扫、收集、贮存、运输和处理设施、场所建设运行规范，发布生活垃圾分类指导目录，加强监督管理。

第四十八条 县级以上地方人民政府环境卫生等主管部门应当组织对城乡生活垃圾进行清扫、收集、运输和处理，可以通过招标等方式选择具备条件的单位从事生活垃圾的清扫、收集、运输和处理。

第四十九条 产生生活垃圾的单位、家庭和个人应当依法履行生活垃圾源头减量和分类投放义务，承担生活垃圾产生者责任。

任何单位和个人都应当依法在指定的地点分类投放生活垃圾。禁止随意倾倒、抛撒、堆放或者焚烧生活垃圾。

机关、事业单位等应当在生活垃圾分类工作中起示范带头作用。

已经分类投放的生活垃圾，应当按照规定分类收集、分类运输、分类处理。

第五十条 清扫、收集、运输、处理城乡生活垃圾，应当遵守国家有关环境保护和环境卫生管理的规定，防止污染环境。

从生活垃圾中分类并集中收集的有害垃圾，属于危险废物的，应当按照危险废物管理。

第五十一条 从事公共交通运输的经营单位，应当及时清扫、收集运输过程中产生的生活垃圾。

第五十二条 农贸市场、农产品批发市场等应当加强环境卫生管理，保持环境卫生清洁，对所产生的垃圾及时清扫、分类收集、妥善处理。

第五十三条 从事城市新区开发、旧区改建和住宅小区开发建设、村镇建设的单位，以及机场、码头、车站、公园、商场、体育场馆等公共设施、场所的经营管理单位，应当按照国家有关环境卫生的规定，配套建设生活垃圾收集设施。

县级以上地方人民政府应当统筹生活垃圾公共转运、处理设施与前款规定的收集设施的有效衔接，并加强生活垃圾分类收运体系和再生资源回收体系在规划、建设、

运营等方面的融合。

第五十四条 从生活垃圾中回收的物质应当按照国家规定的用途、标准使用，不得用于生产可能危害人体健康的产品。

第五十五条 建设生活垃圾处理设施、场所，应当符合国务院生态环境主管部门和国务院住房城乡建设主管部门规定的环境保护和环境卫生标准。

鼓励相邻地区统筹生活垃圾处理设施建设，促进生活垃圾处理设施跨行政区域共建共享。

禁止擅自关闭、闲置或者拆除生活垃圾处理设施、场所；确有必要关闭、闲置或者拆除的，应当经所在地的市、县级人民政府环境卫生主管部门商所在地生态环境主管部门同意后核准，并采取防止污染环境的措施。

第五十六条 生活垃圾处理单位应当按照国家有关规定，安装使用监测设备，实时监测污染物的排放情况，将污染排放数据实时公开。监测设备应当与所在地生态环境主管部门的监控设备联网。

第五十七条 县级以上地方人民政府环境卫生主管部门负责组织开展厨余垃圾资源化、无害化处理工作。

产生、收集厨余垃圾的单位和其他生产经营者，应当将厨余垃圾交由具备相应资质条件的单位进行无害化处理。

禁止畜禽养殖场、养殖小区利用未经无害化处理的厨余垃圾饲喂畜禽。

第五十八条 县级以上地方人民政府应当按照产生者付费原则，建立生活垃圾处理收费制度。

县级以上地方人民政府制定生活垃圾处理收费标准，应当根据本地实际，结合生活垃圾分类情况，体现分类计价、计量收费等差别化管理，并充分征求公众意见。生活垃圾处理收费标准应当向社会公布。

生活垃圾处理费应当专项用于生活垃圾的收集、运输和处理等，不得挪作他用。

第五十九条 省、自治区、直辖市和设区的市、自治州可以结合实际，制定本地方生活垃圾具体管理办法。

第五章 建筑垃圾、农业固体废物等

第六十条 县级以上地方人民政府应当加强建筑垃

圾污染环境的防治，建立建筑垃圾分类处理制度。

县级以上地方人民政府应当制定包括源头减量、分类处理、消纳设施和场所布局及建设等在内的建筑垃圾污染环境防治工作规划。

第六十一条 国家鼓励采用先进技术、工艺、设备和管理措施，推进建筑垃圾源头减量，建立建筑垃圾回收利用体系。

县级以上地方人民政府应当推动建筑垃圾综合利用产品应用。

第六十二条 县级以上地方人民政府环境卫生主管部门负责建筑垃圾污染环境防治工作，建立建筑垃圾全过程管理制度，规范建筑垃圾产生、收集、贮存、运输、利用、处置行为，推进综合利用，加强建筑垃圾处置设施、场所建设，保障处置安全，防止污染环境。

第六十三条 工程施工单位应当编制建筑垃圾处理方案，采取污染防治措施，并报县级以上地方人民政府环境卫生主管部门备案。

工程施工单位应当及时清运工程施工过程中产生的建筑垃圾等固体废物，并按照环境卫生主管部门的规定进行利用或者处置。

工程施工单位不得擅自倾倒、抛撒或者堆放工程施工过程中产生的建筑垃圾。

第六十四条 县级以上人民政府农业农村主管部门负责指导农业固体废物回收利用体系建设，鼓励和引导有关单位和其他生产经营者依法收集、贮存、运输、利用、处置农业固体废物，加强监督管理，防止污染环境。

第六十五条 产生秸秆、废弃农用薄膜、农药包装废弃物等农业固体废物的单位和其他生产经营者，应当采取回收利用和其他防止污染环境的措施。

从事畜禽规模养殖应当及时收集、贮存、利用或者处置养殖过程中产生的畜禽粪污等固体废物，避免造成环境污染。

禁止在人口集中地区、机场周围、交通干线附近以及当地人民政府划定的其他区域露天焚烧秸秆。

国家鼓励研究开发、生产、销售、使用在环境中可降解且无害的农用薄膜。

第六十六条 国家建立电器电子、铅蓄电池、车用

动力电池等产品的生产者责任延伸制度。

电器电子、铅蓄电池、车用动力电池等产品的生产者应当按照规定以自建或者委托等方式建立与产品销售量相匹配的废旧产品回收体系，并向社会公开，实现有效回收和利用。

国家鼓励产品的生产者开展生态设计，促进资源回收利用。

第六十七条 国家对废弃电器电子产品等实行多渠道回收和集中处理制度。

禁止将废弃机动车船等交由不符合规定条件的企业或者个人回收、拆解。

拆解、利用、处置废弃电器电子产品、废弃机动车船等，应当遵守有关法律法规的规定，采取防止污染环境的措施。

第六十八条 产品和包装物的设计、制造，应当遵守国家有关清洁生产的规定。国务院标准化主管部门应当根据国家经济和技术条件、固体废物污染环境防治状况以及产品的技术要求，组织制定有关标准，防止过度包装造成环境污染。

生产经营者应当遵守限制商品过度包装的强制性标准，避免过度包装。县级以上地方人民政府市场监督管理部门和有关部门应当按照各自职责，加强对过度包装的监督管理。

生产、销售、进口依法被列入强制回收目录的产品和包装物的企业，应当按照国家有关规定对该产品和包装物进行回收。

电子商务、快递、外卖等行业应当优先采用可重复使用、易回收利用的包装物，优化物品包装，减少包装物的使用，并积极回收利用包装物。县级以上地方人民政府商务、邮政等主管部门应当加强监督管理。

国家鼓励和引导消费者使用绿色包装和减量包装。

第六十九条 国家依法禁止、限制生产、销售和使用不可降解塑料袋等一次性塑料制品。

商品零售场所开办单位、电子商务平台企业和快递企业、外卖企业应当按照国家有关规定向商务、邮政等主管部门报告塑料袋等一次性塑料制品的使用、回收情况。

国家鼓励和引导减少使用、积极回收塑料袋等一次性塑料制品，推广应用可循环、易回收、可降解的替代产品。

第七十条 旅游、住宿等行业应当按照国家有关规定推行不主动提供一次性用品。

机关、企业事业单位等的办公场所应当使用有利于保护环境的产品、设备和设施，减少使用一次性办公用品。

第七十一条 城镇污水处理设施维护运营单位或者污泥处理单位应当安全处理污泥，保证处理后的污泥符合国家有关标准，对污泥的流向、用途、用量等进行跟踪、记录，并报告城镇排水主管部门、生态环境主管部门。

县级以上人民政府城镇排水主管部门应当将污泥处理设施纳入城镇排水与污水处理规划，推动同步建设污泥处理设施与污水处理设施，鼓励协同处理，污水处理费征收标准和补偿范围应当覆盖污泥处理成本和污水处理设施正常运营成本。

第七十二条 禁止擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒城镇污水处理设施产生的污泥和处理后的污泥。

禁止重金属或者其他有毒有害物质含量超标的污泥进入农用地。

从事水体清淤疏浚应当按照国家有关规定处理清淤疏浚过程中产生的底泥，防止污染环境。

第七十三条 各级各类实验室及其设立单位应当加强对实验室产生的固体废物的管理，依法收集、贮存、运输、利用、处置实验室固体废物。实验室固体废物属于危险废物的，应当按照危险废物管理。

第六章 危险废物

第七十四条 危险废物污染环境的防治，适用本章规定；本章未作规定的，适用本法其他有关规定。

第七十五条 国务院生态环境主管部门应当会同国务院有关部门制定国家危险废物名录，规定统一的危险废物鉴别标准、鉴别方法、识别标志和鉴别单位管理要求。国家危险废物名录应当动态调整。

国务院生态环境主管部门根据危险废物的危害特性和产生数量，科学评估其环境风险，实施分级分类管理，建立信息化监管体系，并通过信息化手段管理、共享危

危险废物转移数据和信息。

第七十六条 省、自治区、直辖市人民政府应当组织有关部门编制危险废物集中处置设施、场所的建设规划，科学评估危险废物处置需求，合理布局危险废物集中处置设施、场所，确保本行政区域的危险废物得到妥善处置。

编制危险废物集中处置设施、场所的建设规划，应当征求有关行业协会、企业事业单位、专家和公众等方面的意见。

相邻省、自治区、直辖市之间可以开展区域合作，统筹建设区域性危险废物集中处置设施、场所。

第七十七条 对危险废物的容器和包装物以及收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的设施、场所，应当按照规定设置危险废物识别标志。

第七十八条 产生危险废物的单位，应当按照国家有关规定制定危险废物管理计划；建立危险废物管理台账，如实记录有关信息，并通过国家危险废物信息管理系统向所在地生态环境主管部门申报危险废物的种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。

前款所称危险废物管理计划应当包括减少危险废物产生量和降低危险废物危害性的措施以及危险废物贮存、利用、处置措施。危险废物管理计划应当报产生危险废物的单位所在地生态环境主管部门备案。

产生危险废物的单位已经取得排污许可证的，执行排污许可管理制度的规定。

第七十九条 产生危险废物的单位，应当按照国家有关规定和环境保护标准要求贮存、利用、处置危险废物，不得擅自倾倒、堆放。

第八十条 从事收集、贮存、利用、处置危险废物经营活动的单位，应当按照国家有关规定申请取得许可证。许可证的具体管理办法由国务院制定。

禁止无许可证或者未按照许可证规定从事危险废物收集、贮存、利用、处置的经营活动。

禁止将危险废物提供或者委托给无许可证的单位或者其他生产经营者从事收集、贮存、利用、处置活动。

第八十一条 收集、贮存危险废物，应当按照危险废物特性分类进行。禁止混合收集、贮存、运输、处置

性质不相容而未经安全性处置的危险废物。

贮存危险废物应当采取符合国家环境保护标准的防护措施。禁止将危险废物混入非危险废物中贮存。

从事收集、贮存、利用、处置危险废物经营活动的单位，贮存危险废物不得超过一年；确需延长期限的，应当报经颁发许可证的生态环境主管部门批准；法律、行政法规另有规定的除外。

第八十二条 转移危险废物的，应当按照国家有关规定填写、运行危险废物电子或者纸质转移联单。

跨省、自治区、直辖市转移危险废物的，应当向危险废物移出地省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门申请。移出地省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门应当及时商经接受地省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门同意后，在规定期限内批准转移该危险废物，并将批准信息通报相关省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门和交通运输主管部门。未经批准的，不得转移。

危险废物转移管理应当全程管控、提高效率，具体办法由国务院生态环境主管部门会同国务院交通运输主管部门和公安部门制定。

第八十三条 运输危险废物，应当采取防止污染环境的措施，并遵守国家有关危险货物运输管理的规定。

禁止将危险废物与旅客在同一运输工具上载运。

第八十四条 收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的场所、设施、设备和容器、包装物及其他物品转作他用时，应当按照国家有关规定经过消除污染处理，方可使用。

第八十五条 产生、收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的单位，应当依法制定意外事故的防范措施和应急预案，并向所在地生态环境主管部门和其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门备案；生态环境主管部门和其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门应当进行检查。

第八十六条 因发生事故或者其他突发性事件，造成危险废物严重污染环境的单位，应当立即采取有效措施消除或者减轻对环境的污染危害，及时通报可能受到污染危害的单位和居民，并向所在地生态环境主管部门

和有关部门报告，接受调查处理。

第八十七条 在发生或者有证据证明可能发生危险废物严重污染环境、威胁居民生命财产安全时，生态环境主管部门或者其他负有固体废物污染防治监督管理职责的部门应当立即向本级人民政府和上一级人民政府有关部门报告，由人民政府采取防止或者减轻危害的有效措施。有关人民政府可以根据需要责令停止导致或者可能导致环境污染事故的作业。

第八十八条 重点危险废物集中处置设施、场所退役前，运营单位应当按照国家有关规定对设施、场所采取污染防治措施。退役的费用应当预提，列入投资概算或者生产成本，专门用于重点危险废物集中处置设施、场所的退役。具体提取和管理办法，由国务院财政部门、价格主管部门会同国务院生态环境主管部门规定。

第八十九条 禁止经中华人民共和国过境转移危险废物。

第九十条 医疗废物按照国家危险废物名录管理。县级以上地方人民政府应当加强医疗废物集中处置能力建设。

县级以上人民政府卫生健康、生态环境等主管部门应当在各自职责范围内加强对医疗废物收集、贮存、运输、处置的监督管理，防止危害公众健康、污染环境。

医疗卫生机构应当依法分类收集本单位产生的医疗废物，交由医疗废物集中处置单位处置。医疗废物集中处置单位应当及时收集、运输和处置医疗废物。

医疗卫生机构和医疗废物集中处置单位，应当采取有效措施，防止医疗废物流失、泄漏、渗漏、扩散。

第九十一条 重大传染病疫情等突发事件发生时，县级以上人民政府应当统筹协调医疗废物等危险废物收集、贮存、运输、处置等工作，保障所需的车辆、场地、处置设施和防护物资。卫生健康、生态环境、环境卫生、交通运输等主管部门应当协同配合，依法履行应急处置职责。

第七章 保障措施

第九十二条 国务院有关部门、县级以上地方人民政府及其有关部门在编制国土空间规划和相关专项规划

时，应当统筹生活垃圾、建筑垃圾、危险废物等固体废物转运、集中处置等设施建设需求，保障转运、集中处置等设施用地。

第九十三条 国家采取有利于固体废物污染防治的经济、技术政策和措施，鼓励、支持有关方面采取有利于固体废物污染防治的措施，加强对从事固体废物污染防治工作人员的培训和指导，促进固体废物污染防治产业专业化、规模化发展。

第九十四条 国家鼓励和支持科研单位、固体废物产生单位、固体废物利用单位、固体废物处置单位等联合攻关，研究开发固体废物综合利用、集中处置等的新技术，推动固体废物污染防治技术进步。

第九十五条 各级人民政府应当加强固体废物污染环境的防治，按照事权划分的原则安排必要的资金用于下列事项：

- （一）固体废物污染防治的科学研究、技术开发；
- （二）生活垃圾分类；
- （三）固体废物集中处置设施建设；
- （四）重大传染病疫情等突发事件产生的医疗废物等危险废物应急处置；
- （五）涉及固体废物污染防治的其他事项。

使用资金应当加强绩效管理和审计监督，确保资金使用效益。

第九十六条 国家鼓励和支持社会力量参与固体废物污染防治工作，并按照国家有关规定给予政策支持。

第九十七条 国家发展绿色金融，鼓励金融机构加大对固体废物污染防治项目的信贷投放。

第九十八条 从事固体废物综合利用等固体废物污染防治工作的，依照法律、行政法规的规定，享受税收优惠。

国家鼓励并提倡社会各界为防治固体废物污染环境捐赠财产，并依照法律、行政法规的规定，给予税收优惠。

第九十九条 收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的单位，应当按照国家有关规定，投保环境污染责任保险。

第一百条 国家鼓励单位和个人购买、使用综合利

用产品和可重复使用产品。

县级以上人民政府及其有关部门在政府采购过程中，应当优先采购综合利用产品和可重复使用产品。

第八章 法律责任

第一百零一条 生态环境主管部门或者其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门违反本法规定，有下列行为之一，由本级人民政府或者上级人民政府有关部门责令改正，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员依法给予处分：

（一）未依法作出行政许可或者办理批准文件的；

（二）对违法行为进行包庇的；

（三）未依法查封、扣押的；

（四）发现违法行为或者接到对违法行为的举报后未予查处的；

（五）有其他滥用职权、玩忽职守、徇私舞弊等违法行为的。

依照本法规定应当作出行政处罚决定而未作出的，上级主管部门可以直接作出行政处罚决定。

第一百零二条 违反本法规定，有下列行为之一，由生态环境主管部门责令改正，处以罚款，没收违法所得；情节严重的，报经有批准权的人民政府批准，可以责令停业或者关闭：

（一）产生、收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位未依法及时公开固体废物污染环境防治信息的；

（二）生活垃圾处理单位未按照国家有关规定安装使用监测设备、实时监测污染物的排放情况并公开污染排放数据的；

（三）将列入限期淘汰名录被淘汰的设备转让给他人使用的；

（四）在生态保护红线区域、永久基本农田集中区域和其他需要特别保护的区域内，建设工业固体废物、危险废物集中贮存、利用、处置的设施、场所和生活垃圾填埋场的；

（五）转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域贮存、处置未经批准的；

（六）转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域利用未备案的；

（七）擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒工业固体废物，或者未采取相应防范措施，造成工业固体废物扬散、流失、渗漏或者其他环境污染的；

（八）产生工业固体废物的单位未建立固体废物管理台账并如实记录的；

（九）产生工业固体废物的单位违反本法规定委托他人运输、利用、处置工业固体废物的；

（十）贮存工业固体废物未采取符合国家环境保护标准的防护措施的；

（十一）单位和其他生产经营者违反固体废物管理其他要求，污染环境、破坏生态的。

有前款第一项、第八项行为之一，处五万元以上二十万元以下的罚款；有前款第二项、第三项、第四项、第五项、第六项、第九项、第十项、第十一项行为之一，处十万元以上一百万元以下的罚款；有前款第七项行为，处所需处置费用一倍以上三倍以下的罚款，所需处置费用不足十万元的，按十万元计算。对前款第十一项行为的处罚，有关法律、行政法规另有规定的，适用其规定。

第一百零三条 违反本法规定，以拖延、围堵、滞留执法人员等方式拒绝、阻挠监督检查，或者在接受监督检查时弄虚作假的，由生态环境主管部门或者其他负有固体废物污染环境防治监督管理职责的部门责令改正，处五万元以上二十万元以下的罚款；对直接负责的主管人员和其他直接责任人员，处二万元以上十万元以下的罚款。

第一百零四条 违反本法规定，未依法取得排污许可证产生工业固体废物的，由生态环境主管部门责令改正或者限制生产、停产整治，处十万元以上一百万元以下的罚款；情节严重的，报经有批准权的人民政府批准，责令停业或者关闭。

第一百零五条 违反本法规定，生产经营者未遵守限制商品过度包装的强制性标准的，由县级以上地方人民政府市场监督管理部门或者有关部门责令改正；拒不改正的，处二千元以上二万元以下的罚款；情节严重的，处二万元以上十万元以下的罚款。

第一百零六条 违反本法规定，未遵守国家有关禁止、限制使用不可降解塑料袋等一次性塑料制品的规定，或者未按照国家有关规定报告塑料袋等一次性塑料制品的使用情况的，由县级以上地方人民政府商务、邮政等主管部门责令改正，处一万元以上十万元以下的罚款。

第一百零七条 从事畜禽规模养殖未及时收集、贮存、利用或者处置养殖过程中产生的畜禽粪污等固体废物的，由生态环境主管部门责令改正，可以处十万元以下的罚款；情节严重的，报经有批准权的人民政府批准，责令停业或者关闭。

第一百零八条 违反本法规定，城镇污水处理设施维护运营单位或者污泥处理单位对污泥流向、用途、用量等未进行跟踪、记录，或者处理后的污泥不符合国家有关标准的，由城镇排水主管部门责令改正，给予警告；造成严重后果的，处十万元以上二十万元以下的罚款；拒不改正的，城镇排水主管部门可以指定有治理能力的单位代为治理，所需费用由违法者承担。

违反本法规定，擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒城镇污水处理设施产生的污泥和处理后的污泥的，由城镇排水主管部门责令改正，处二十万元以上二百万元以下的罚款，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员处二万元以上十万元以下的罚款；造成严重后果的，处二百万元以上五百万元以下的罚款，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员处五万元以上五十万元以下的罚款；拒不改正的，城镇排水主管部门可以指定有治理能力的单位代为治理，所需费用由违法者承担。

第一百零九条 违反本法规定，生产、销售、进口或者使用淘汰的设备，或者采用淘汰的生产工艺的，由县级以上地方人民政府指定的部门责令改正，处十万元以上一百万元以下的罚款，没收违法所得；情节严重的，由县级以上地方人民政府指定的部门提出意见，报经有批准权的人民政府批准，责令停业或者关闭。

第一百一十条 尾矿、煤矸石、废石等矿业固体废物贮存设施停止使用后，未按照国家有关环境保护规定进行封场的，由生态环境主管部门责令改正，处二十万元以上一百万元以下的罚款。

第一百一十一条 违反本法规定，有下列行为之一，

由县级以上地方人民政府环境卫生主管部门责令改正，处以罚款，没收违法所得：

- （一）随意倾倒、抛撒、堆放或者焚烧生活垃圾的；
- （二）擅自关闭、闲置或者拆除生活垃圾处理设施、场所的；
- （三）工程施工单位未编制建筑垃圾处理方案报备案，或者未及时清运施工过程中产生的固体废物的；
- （四）工程施工单位擅自倾倒、抛撒或者堆放工程施工过程中产生的建筑垃圾，或者未按照规定对施工过程中产生的固体废物进行利用或者处置的；
- （五）产生、收集厨余垃圾的单位和其他生产经营者未将厨余垃圾交由具备相应资质条件的单位进行无害化处理的；
- （六）畜禽养殖场、养殖小区利用未经无害化处理的厨余垃圾饲喂畜禽的；
- （七）在运输过程中沿途丢弃、遗撒生活垃圾的。

单位有前款第一项、第七项行为之一，处五万元以上五十万元以下的罚款；单位有前款第二项、第三项、第四项、第五项、第六项行为之一，处十万元以上一百万元以下的罚款；个人有前款第一项、第五项、第七项行为之一，处一百元以上五百元以下的罚款。

违反本法规定，未在指定的地点分类投放生活垃圾的，由县级以上地方人民政府环境卫生主管部门责令改正；情节严重的，对单位处五万元以上五十万元以下的罚款，对个人依法处以罚款。

第一百一十二条 违反本法规定，有下列行为之一，由生态环境主管部门责令改正，处以罚款，没收违法所得；情节严重的，报经有批准权的人民政府批准，可以责令停业或者关闭：

- （一）未按照规定设置危险废物识别标志的；
- （二）未按照国家有关规定制定危险废物管理计划或者申报危险废物有关资料的；
- （三）擅自倾倒、堆放危险废物的；
- （四）将危险废物提供或者委托给无许可证的单位或者其他生产经营者从事经营活动的；
- （五）未按照国家有关规定填写、运行危险废物转移联单或者未经批准擅自转移危险废物的；

(六) 未按照国家环境保护标准贮存、利用、处置危险废物或者将危险废物混入非危险废物中贮存的;

(七) 未经安全性处置,混合收集、贮存、运输、处置具有不相容性质的危险废物的;

(八) 将危险废物与旅客在同一运输工具上载运的;

(九) 未经消除污染处理,将收集、贮存、运输、处置危险废物的场所、设施、设备和容器、包装物及其他物品转作他用的;

(十) 未采取相应防范措施,造成危险废物扬散、流失、渗漏或者其他环境污染的;

(十一) 在运输过程中沿途丢弃、遗撒危险废物的;

(十二) 未制定危险废物意外事故防范措施和应急预案的;

(十三) 未按照国家有关规定建立危险废物管理台账并如实记录的。

有前款第一项、第二项、第五项、第六项、第七项、第八项、第九项、第十二项、第十三项行为之一,处十万元以上一百万元以下的罚款;有前款第三项、第四项、第十项、第十一项行为之一,处所需处置费用三倍以上五倍以下的罚款,所需处置费用不足二十万元的,按二十万元计算。

第一百一十三条 违反本法规定,危险废物产生者未按照规定处置其产生的危险废物被责令改正后拒不改正的,由生态环境主管部门组织代为处置,处置费用由危险废物产生者承担;拒不承担代为处置费用的,处代为处置费用一倍以上三倍以下的罚款。

第一百一十四条 无许可证从事收集、贮存、利用、处置危险废物经营活动的,由生态环境主管部门责令改正,处一百万元以上五百万元以下的罚款,并报经有批准权的人民政府批准,责令停业或者关闭;对法定代表人、主要负责人、直接负责的主管人员和其他责任人员,处十万元以上一百万元以下的罚款。

未按照许可证规定从事收集、贮存、利用、处置危险废物经营活动的,由生态环境主管部门责令改正,限制生产、停产整治,处五十万元以上二百万元以下的罚款;对法定代表人、主要负责人、直接负责的主管人员和其他责任人员,处五万元以上五十万元以下的罚款;情节

严重的,报经有批准权的人民政府批准,责令停业或者关闭,还可以由发证机关吊销许可证。

第一百一十五条 违反本法规定,将中华人民共和国境外的固体废物输入境内的,由海关责令退运该固体废物,处五十万元以上五百万元以下的罚款。

承运人对前款规定的固体废物的退运、处置,与进口者承担连带责任。

第一百一十六条 违反本法规定,经中华人民共和国过境转移危险废物的,由海关责令退运该危险废物,处五十万元以上五百万元以下的罚款。

第一百一十七条 对已经非法入境的固体废物,由省级以上人民政府生态环境主管部门依法向海关提出处理意见,海关应当依照本法第一百一十五条的规定作出处罚决定;已经造成环境污染的,由省级以上人民政府生态环境主管部门责令进口者消除污染。

第一百一十八条 违反本法规定,造成固体废物污染环境事故的,除依法承担赔偿责任外,由生态环境主管部门依照本条第二款的规定处以罚款,责令限期采取治理措施;造成重大或者特大固体废物污染环境事故的,还可以报经有批准权的人民政府批准,责令关闭。

造成一般或者较大固体废物污染环境事故的,按照事故造成的直接经济损失的一倍以上三倍以下计算罚款;造成重大或者特大固体废物污染环境事故的,按照事故造成的直接经济损失的三倍以上五倍以下计算罚款,并对法定代表人、主要负责人、直接负责的主管人员和其他责任人员处上一年度从本单位取得的收入百分之五十以下的罚款。

第一百一十九条 单位和其他生产经营者违反本法规定排放固体废物,受到罚款处罚,被责令改正的,依法作出处罚决定的行政机关应当组织复查,发现其继续实施该违法行为的,依照《中华人民共和国环境保护法》的规定按日连续处罚。

第一百二十条 违反本法规定,有下列行为之一,尚不构成犯罪的,由公安机关对法定代表人、主要负责人、直接负责的主管人员和其他责任人员处十日以上十五日以下的拘留;情节较轻的,处五日以上十日以下的拘留:

(一) 擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒固体废物,造

成严重后果的；

（二）在生态保护红线区域、永久基本农田集中区域和其他需要特别保护的区域内，建设工业固体废物、危险废物集中贮存、利用、处置的设施、场所和生活垃圾填埋场的；

（三）将危险废物提供或者委托给无许可证的单位或者其他生产经营者堆放、利用、处置的；

（四）无许可证或者未按照许可证规定从事收集、贮存、利用、处置危险废物经营活动的；

（五）未经批准擅自转移危险废物的；

（六）未采取防范措施，造成危险废物扬散、流失、渗漏或者其他严重后果的。

第一百二十一条 固体废物污染环境、破坏生态，损害国家利益、社会公共利益的，有关机关和组织可以依照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国民事诉讼法》、《中华人民共和国行政诉讼法》等法律的规定向人民法院提起诉讼。

第一百二十二条 固体废物污染环境、破坏生态给国家造成重大损失的，由设区的市级以上地方人民政府或者其指定的部门、机构组织与造成环境污染和生态破坏的单位和其他生产经营者进行磋商，要求其承担损害赔偿；磋商未达成一致的，可以向人民法院提起诉讼。

对于执法过程中查获的无法确定责任人或者无法退运的固体废物，由所在地县级以上地方人民政府组织处理。

第一百二十三条 违反本法规定，构成违反治安管理行为的，由公安机关依法给予治安管理处罚；构成犯罪的，依法追究刑事责任；造成人身、财产损害的，依法承担民事责任。

第九章 附则

第一百二十四条 本法下列用语的含义：

（一）固体废物，是指在生产、生活和其他活动中

产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。经无害化加工处理，并且符合强制性国家产品质量标准，不会危害公众健康和生态安全，或者根据固体废物鉴别标准和鉴别程序认定为不属于固体废物的除外。

（二）工业固体废物，是指在工业生产活动中产生的固体废物。

（三）生活垃圾，是指在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物，以及法律、行政法规规定视为生活垃圾的固体废物。

（四）建筑垃圾，是指建设单位、施工单位新建、改建、扩建和拆除各类建筑物、构筑物、管网等，以及居民装饰装修房屋过程中产生的弃土、弃料和其他固体废物。

（五）农业固体废物，是指在农业生产活动中产生的固体废物。

（六）危险废物，是指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的固体废物。

（七）贮存，是指将固体废物临时置于特定设施或者场所中的活动。

（八）利用，是指从固体废物中提取物质作为原材料或者燃料的活动。

（九）处置，是指将固体废物焚烧和用其他改变固体废物的物理、化学、生物特性的方法，达到减少已产生的固体废物数量、缩小固体废物体积、减少或者消除其危险成分的活动，或者将固体废物最终置于符合环境保护规定要求的填埋场的活动。

第一百二十五条 液态废物的污染防治，适用本法；但是，排入水体的废水的污染防治适用有关法律，不适用本法。

第一百二十六条 本法自2020年9月1日起施行。

臭氧联合氧化技术在污水处理方面的新进展

□ 张艳霞 山西师范大学

摘要：目前，在生态文明建设的精神引导下，城市规划部门开始积极实践并严格落实城市环境工程污水处理工作，以期尽早达成《水污染防治行动计划》的相关目标。具体实践中，相关人员本着“创新技术开发、强化新工艺应用”的理念，将各项新兴污水处理技术有效贯彻与落实到日常处理工作当中。其中，以臭氧联合氧化技术为主的污水处理技术应用效果较为显著。对此，重点对臭氧联合氧化技术在污水处理中的应用及进展进行分析与阐述。

关键词：臭氧联合氧化技术 环境工程 污水处理 进展

现阶段，国内工业生产进程的不断推进，除了带来显著的经济效益之外，同时还带来明显的环境污染问题。其中，以水污染为代表的工业污染问题最为突出，不仅对周围河流流域带来严重污染，同时还对居民日常饮水安全造成严重威胁。针对这一现状，城市环境工程污水处理工作主张应用先进的技术手段与方法，以缓解当前水污染问题。根据实践效果来看，臭氧联合氧化技术在污水处理方面所带来的生态效益与经济效益最为显著，基本上可以实现对污染物的分解与氧化处理，不存在二次污染问题，所取得的处理效果较为理想。

1 臭氧联合氧化技术的综合概述

1.1 技术原理

臭氧的分子式为 O_3 ，属于 O_2 的同素异形体。臭氧的化学性质相较于氧气而言，性质活泼、易分解成氧气，具有极强的氧化能力。根据研究表明，臭氧的氧化能力仅次于氟。也就是说，其氧化能力

要远高于过氧化氢、高锰酸钾、二氧化氯等高氧化剂。臭氧联合氧化技术正是借助臭氧高强的氧化能力，将其应用于水溶液当中，与水溶液中的各类物质发生化学反应。

以污水溶液为例，臭氧可以与污水溶液中的悬浮物质、胶体物质以及微生物等发生化学反应，将复杂的有机物逐步分解成为简单的有机物。目的在

于促使污染物的生物降解性与毒性发生本质改变。而水溶液中的臭氧会随着化学反应的不断进行分解成为氧气,基本不会对周围环境产生污染影响以及二次污染。

1.2 技术类型

臭氧联合氧化技术较多,可集中体现为臭氧超声波法、臭氧活性污泥法、臭氧膜处理法、臭氧生物活性炭吸附法等技术类型。这些技术方法可以针对污水性质的不同提供不同的作用效果。如根据污水中难降解物质或者有毒物质性质,编制科学、合理的污水处理工艺予以及时解决。目前,以臭氧超声波法与臭氧生物活性炭吸附法为主的臭氧联合氧化技术已经成为城市环境工程污水处理工作的主体技术,应用效果较为显著。

其中,臭氧超声波法主要结合超声波与臭氧的应用优势,提高降解有机物的效率,可以强化臭氧污水处理效果。而臭氧生物活性炭吸附法主要结合物理原理、化学原理以及生物原理,将降解技术合为一体,在有机物去除效率与降解效率方面所体现出的效果较为显著。最重要的是,该技术涉及到的工艺成本较低,且取得的经济效益与生态效益较为良好,值得推广与应用。

1.3 技术优势

介于臭氧联合氧化技术的强氧化性特点,促使反应过程过程可以氧化多种化合物物质。针对于此,臭氧联合氧化技术被广泛地应用于城市环境工程污水处理工作当中。根据多年来的实践经验来看,臭氧联合氧化技术具备以下技术应用优势:

(1) 臭氧不仅可以快速地实现杀菌、消毒的要求,同时还可以高效氧化有机物或者无机化合物,可以解决以往污水处理工艺难以消除的物质、微生物等。

(2) 臭氧联合氧化技术反应期间多具备反应完全、反应速度快等特点,基本可以达到减少构筑物体积的目的。

(3) 反应剩余的臭氧可以在短时间内完全转化为氧气,并且可以强化水溶液溶解氧的效果,基本不会产生污泥等二次污染物质。

(4) 臭氧联合氧化技术在净化效果、杀菌效果、消毒效果等方面所呈现出的技术优势要远比其他污水处理工艺高得多,甚至还可以借助其高氧化能力消除污水中的难闻气味。

2 臭氧联合氧化技术在污水处理中的实践应用

2.1 医药污水中的实践应用

医药污水中 COD 含量较大,且可生化性较差。单纯凭借物理处理或者化学处理很难达到预期的处理效果且生化处理方式难以实现。而通过采用臭氧联合氧化技术基本可以实现臭氧预处理要求,目的在于提高污水的可生化程度,为后续生物处理工作提供实现条件,不仅能够降低降解难度,同时还能够降低 COD 含量。

2.2 印染污水中的实践应用

印染污水问题俨然成为制约城市环境工程污水处理工作有序开展的关键因素。究其原因,主要是因为印染行业涉及到的污水排放量极大且水质波动问题明显。再加上污染物成分复杂以及含量较高的影响,很难对其进行有效处理。根据以往的处理经验来看,无论是处理效率,还是处理技术,均未达到预期效果。而应用臭氧联合氧化技术可以与含有双键的染料直接发生加成反应,促使染料出现开环脱色现象,促使印染污水问题得到有效解决。

与此同时,臭氧在紫外线作用下,可以生成相对分子质量较小的有机酸或者醛等物质,能够进一

步实现脱色与降解有机物的处理目标。另外,技术人员通过利用臭氧联合氧化技术与常规生化组合的方式,可以大量去除溶液中可生化的有机物质。至于剩余的不可生化污染物,则可以利用臭氧联合氧化技术的高氧化原理,提高出水质量。

2.3 含酚污水中的实践应用

含酚污水作为工业废水的主要代表,是环境工程污水处理工作公认的处理难点。一般来说,含酚污水问题比较普遍且危害性较为严重。研究表明,通过应用臭氧联合氧化技术之后,工业含酚污水问题得到明显缓解。究其原因,主要是因为臭氧具备的高氧化性,可以与含酚污水中的酚类物质发生化学反应,加强对含酚污水的降解效率。

2.4 垃圾渗滤液中的实践应用

垃圾渗滤液是城市环境工程污水处理工作予以重点解决的污染问题。结合当前情况来看,垃圾渗滤液不仅成为我国环境工程亟待解决的污染问题,同时也成为我国环境部门亟待攻克的污染问题。一般来说,垃圾渗滤液涉及到的污染程度较高,如有机废水含量较高。其中,有机污染物高达 77 余种、促癌物、辅致癌物高达 5 余种。

最重要的是,垃圾渗滤液多会对周围环境、地下水水质造成严重污染。为及时解决这一问题,应用臭氧联合氧化技术降低垃圾渗滤液含量。目前,以生物-臭氧-生物为主的联合技术在垃圾渗滤液的处理方面取得了良好的应用效果。经过臭氧氧化后的垃圾渗滤

液,基本达到生物降解要求与预期处理标准。

3 臭氧联合氧化技术在污水处理中的发展趋势

随着臭氧联合氧化技术处理效果的不断深化,人们逐渐意识到臭氧联合氧化技术的实行必要性。根据当前现状来看,臭氧联合氧化技术在环境工程污水处理工作中取得的效果较为显著。但是介于我国该项技术起步较晚,在技术研究力度与技术应用规模方面,与国外先进国家还存在一定差距。针对于此,建议研究人员最好及时调整研究方向,如从如何降低臭氧处理技术的成本、如何优化臭氧发生器装置、结构等入手。尽量结合当前自动化控制技术,实现臭氧发生器的智能化、自动化应用效果,以期为我国污水处理工作提供更好的技术力量。

4 结束语

面对当前环境污染问题的严峻考验,城市环境工程必须将污水处理工作放在首要位置上,积极利用各种先进、科学的技术手段加强对污水问题的处理效果。在应用臭氧联合氧化技术的过程中,技术人员必须明确臭氧联合氧化技术的应用原理与应用流程,并且针对其涉及到的工艺流程进行合理规划与设计,防止二次污染问题的出现。需要注意的是,相关研究人员最好在臭氧联合氧化技术当前的技术基础上,不断进行创新与优化,以期可以开创污水处理的新里程碑。

参考文献

- [1] 王峰. 高级氧化技术在有机污水处理中的研究进展 [J]. 广东化工, 2016, 43 (09) : 190-191.
- [2] 刘旭, 崔康平, 汪翠萍, 等. 高级氧化-生化深度处理工业园区生化尾水 [J]. 环境工程学报, 2016, 10 (08) : 3993-3998.
- [3] 杨赛, 华涛. 污水处理工艺的生态安全性研究进展 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (05) : 1468-1478.

生物质锅炉臭氧脱硝技术的应用

□ 罗香銮 刘全辉 邹新 福建龙净环保股份有限公司

摘要：本文介绍了在某生物能源有限公司电厂 170t/h 蔗渣锅炉应用臭氧脱硝技术，使得氮氧化物排放从 150mg/m³ 降低到 70mg/m³。从技术角度分析，臭氧脱硝适合生物质锅炉 NO_x 的提效改造，设备简单独立，不受锅炉燃烧工况影响，设备维护简单，可在线检修维护。臭氧脱硝技术可作为传统脱硝技术的一个高效补充，在中小炉窑应用前景广阔。

关键词：臭氧脱硝 生物质锅炉 蔗渣锅炉 NO_x

1 背景

某生物能源有限公司电厂 170t/h 蔗渣锅炉除尘采用旋风 + 电袋复合除尘器，脱硝采用 SNCR(喷氨水)，锅炉烟气先进行 SNCR 脱硝后进入除尘系统再通过引风机后经烟囱排出，整体工艺简单，目前烟气排放烟尘 ≤ 30mg/m³，氮氧化物 ≤ 150mg/m³，此次改造要求锅炉在最低和最大负荷之间任何工况运行时 NO_x 的排放浓度 < 70mg/Nm³ (折算值)。在燃煤锅炉领域，NO_x 的脱除主要是采用选择性催化还原技术 (SCR)，NO_x 能得到有效控制并达到超净排放。但蔗渣锅炉由于锅炉结构、燃烧工艺限制，无法提供 SCR 反应所需的温度，为达到反应温度区间需投入巨大资金进行锅炉改造；且锅炉飞灰含大量碱性成分，催化剂易中毒，因此不适合直接采用 SCR 脱硝。臭氧氧化法脱硝不受工

况的影响，不需要有同 SCR 的反应温度区间，设备独立性，操作灵活性，运行维护费用低适合生物质锅炉、循环流化床锅炉、垃圾焚烧炉、玻璃窑中小炉窑等的脱硝提效改造。本项目经双方的多次技术交流及用户的调研、讨论最后决定采用我司的臭氧脱硝技术改造。

主要设计资料如下表 1。

表 1 锅炉基础资料

序号	项目	参数	备注
1	锅炉型号	固定炉排蔗渣锅炉	
2	锅炉蒸发量 (额定，开停期)	170t/h	约 120 天
3	锅炉蒸发量 (炼糖期)	110t/h	约 180 天
4	最大烟风量 (标况)	300000m ³ /h	单台锅炉
5	烟气湿度 (V/V%)	20	
6	烟气含氧量	3% ~ 6%	
7	NO _x 初始排放浓度	≤ 150mg/Nm ³	平均值

2 臭氧脱硝原理

臭氧氧化法脱硝主要是利用臭氧的强氧化性，将不可溶的低价态氮氧化物氧化为可溶的高价态氮

氧化物,然后在洗涤塔内通过冷却、喷淋最终将氮氧化物吸收,达到脱除的目的,主要流程图如下图1。与 SO_2 等气体相比, NO_x 可以很快被臭氧氧化,确定 O_3 与 NO 最佳摩尔比是选型的依据, O_3 对于 NO_x 复杂的氧化反应过程,实际上最后通过 N 的价态变化体现出来,主要的反应如下:

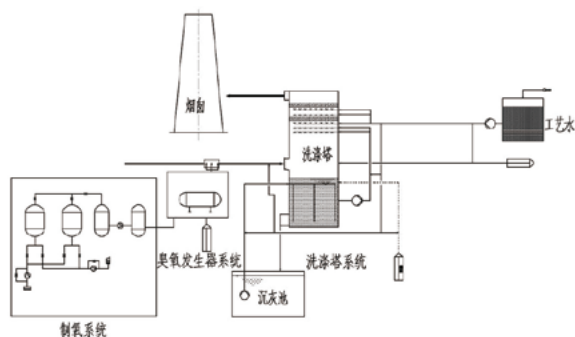
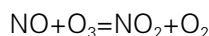
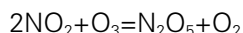
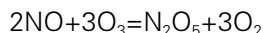


图1 臭氧脱硝系统图

3 臭氧脱硝主要设备

臭氧脱硝系统主要由制氧系统、臭氧发生系统（含臭氧发生器、冷却循环水系统、检测仪器仪表等）、臭氧喷射系统、洗涤塔系统、辅助的气源系统、工艺水系统、安全报警系统和PLC的全自动控制系统组成。

制氧系统采用VPSA变压吸附,制氧系统主要由鼓风机、真空泵、吸附器、氧压机、压氧调节、送氧调节、仪表空气系统、仪表控制系统、电气控制系统等组成。原料空气通过空气过滤器后经鼓风机压缩进入吸附器,空气中的氮气、二氧化碳等组分被吸附,生成的氧气产品从吸附器顶部流出,生成合格氧气露点温度 $< -60^{\circ}\text{C}$ 经精密过滤器过滤、减压稳压后进入臭氧发生室。

氧气在臭氧发生室内部通过中频高压放电生成

臭氧,含臭氧的气体经温度、压力、流量监测调节后经臭氧出气口产出。臭氧发生室上设有臭氧取气口,在臭氧发生器配备的臭氧浓度检测仪在线监控臭氧发生器的出气浓度,通过控制系统计算出臭氧产量。臭氧发生器冷却水设计闭环的循环冷却水系统,该冷却系统先通过流过放电管外壁的除盐水(即内循环水)来实现对臭氧发生器的降温,内循环水又与外循环水通过板式换热器进行换热降温,即冷却水系统为两道降温系统,冷却水出水管路装有流量计、温度变送器,当冷却水流量不足、温度超过设定值时报警。水冷却循环系统包括板式换热器、水泵、膨胀罐、阀门仪表及底座等。

在除尘系统后部(洗涤塔前)的烟道上设有臭氧喷射系统,臭氧喷射系统由流量调节控制系统、臭氧喷嘴、管路组成,喷嘴布置能够满足臭氧与烟气充分均匀混合,臭氧流量数据可实现远传并时时可调。臭氧将烟气中的不溶性低价氮氧化物氧化为可溶性高价态的氮氧化物 NO_x ,之后进入洗涤塔。洗涤塔系统包括一台洗涤塔(含两级除雾器、两层喷淋层)、浆液再循环系统、相应的管道阀门等。烟气通过洗涤塔入口从洗涤塔浆液池上部进入吸收区,在吸收区热烟气与自上而下的浆液(浆液由两层喷淋层的多个喷嘴喷出)接触发生化学吸收反应,即氮的氧化物(NO_x)与氢氧化钙反应,形成硝酸钙,烟气同时被冷却。在此,烟气中的 NO_x 被吸收洗涤,起到脱除氮氧化物的目的。洗涤后的烟气依次经过除雾器除去雾滴,再经净烟道由烟囱排入大气。

辅助的安全报警系统在臭氧制备区内安装有臭氧泄漏报警仪,当制备区域内环境中臭氧/氧气泄露超标时,系统输出报警信号。整个臭氧脱硝系统采用PLC的全自动控制,能够完成脱硝装置内所有的测量、监视、操作、自动控制、报警及保护和联锁、记录等功能。

4 臭氧脱硝的技术经济性分析

臭氧脱硝在生物质锅炉、循环流化床锅炉、垃圾焚烧炉、玻璃窑中小炉窑等领域具有较佳的技术经济性，上述锅炉机组燃烧工况极其复杂，随着日益严格的环保要求，只采用 SNCR 已经不能满足排放要求，必须再上一套脱硝设备，进一步降低 NO_x 的出口排放浓度。如果采用 SCR，锅炉没有适合 SCR 的温度场，需要投入大量资金改造锅炉，而且复杂的燃烧工况如：水汽含量高、飞灰含大量碱性成分等，将大大降低催化剂的活性，脱硝锅炉改造成本及运行费用高昂。

臭氧脱硝系统具有设备独立性，操作灵活性，运行维护费用低等优势，采用 SNCR+ 臭氧脱硝设备能够满足锅炉任何工况使用要求。臭氧脱硝工艺可以根据锅炉是否运行，运行负荷的变化随时调整臭氧发生量，运行过程中，根据 CEMS 检测仪的反馈数据实时调整臭氧流量，设备启动和调试时间短。锅炉检修期间可以停止脱硝工艺，当锅炉低负荷运行时，通过调整臭氧发生量减少臭氧产量降低运行成本。如在 xx 公司有 $3 \times 150\text{t/h}$ 循环流化床锅炉，锅炉满负荷运行时只采用 SNCR 即可满足排放要求，但在正常运行中，经常有一台锅炉并不能带到满负荷，且循环切换，按此工况，若采用 SCR 脱硝，催化剂在三台炉内磨损消耗，运行成本极高，若采用臭氧脱硝，只需上一套臭氧脱硝设备，臭氧按需求投加即可。

因此，臭氧脱硝虽然臭氧产生的成本较高，但是在某些特定运用领域经济性明显。

5 臭氧脱硝改造效果

某生物能源有限公司 170t/h 生物质锅炉脱硝项目采用我司臭氧脱硝设备顺利通过 168 试运行，该

项目采用制氧工艺，配置 50kg/h 臭氧发生器，PLC 全自动控制，设备投运效果达到预期，经环保监测，烟囱出口 NO_x 浓度（以 NO_2 计）小于 $70\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。实测旋风除尘器入口、洗涤塔出口的含氧量分别为 2.66%、5.41%，标况 NO_x 浓度 ($6\%\text{O}_2$) 分别为 $131.7\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $58.4\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， NO_x 脱除效率为 55.7%（表 2）。各项性能指标完全满足合同协议要求，取得了圆满成功。

表 2 臭氧脱硝系统氮氧化物浓度试验结果

参数	单位	锅炉蒸发量 118t/h ，臭氧投量 37kg/h	
		旋风除尘器入口	洗涤塔出口
烟气温度	$^{\circ}\text{C}$	135	69
烟气动压	Pa	83.4	95.2
烟速烟气流速	m/s	11.568	11.264
烟道截面积	m^2	8.00	7.04
工况烟气流量	m^3/h	333148	285464
标况烟气流量	Nm^3/h	218674	225649
含氧量	%	2.66	5.41
标况 NO 浓度	mg/Nm^3	94.8	38.3
标况 NO_2 浓度	mg/Nm^3	16.1	2.1
标况 NO_x 浓度 ($6\%\text{O}_2$)	mg/Nm^3	131.7	58.4
NO_x 脱除效率	%	55.7	

6 结 语

本次臭氧脱硝技术改造的成功，为工业炉窑提供了一项可靠的脱硝技术路线，扩展了公司产品，意义重大。它是传统脱硝技术的一个高效补充，不受锅炉燃烧工况的影响，在中小炉窑，尤其是传统脱硝技术无法满足的领域，如生物质锅炉、冶金行业、全负荷脱硝等，应用前景广阔。

参考文献

- [1] 姜树栋. 利用臭氧及活性分子协同脱除多种污染物的实验及机理研究 [D]. 杭州：浙江大学, 2010.
- [2] 曾健华, 季彤. 蔗渣锅炉脱硝技术及运行分析 [J]. 化工管理, 2015(08).
- [3] 刘志龙. 臭氧氧化法烟气脱硝初步研究 [J]. 炼油技术与工程, 2012(09).
- [4] 魏林生, 周俊虎, 王智化, 岑可法. 臭氧氧化结合化学吸收同时脱硫脱硝的研究 [J]. 动力工程, 2006(04).

生物质循环流化床锅炉臭氧脱硝试验研究

□ 张建平² 万凯迪¹ 王荣涛² 徐超群¹ 贾卫卫² 王智化¹

1. 浙江大学能源清洁利用国家重点实验室 2. 中国光大绿色环保有限公司

摘要: 为了揭示生物质锅炉中活性分子臭氧脱硝的特点, 在一台应用了活性分子臭氧深度一体化超低排放技术的生物质循环流化床锅炉上, 开展烟气臭氧脱硝试验。采用烟气分析仪测量锅炉尾部烟道活性分子臭氧喷入前和塔顶烟囱处的烟气组分, 重点探究了脱硝前后烟气污染物的排放特性以及臭氧投加量对脱硝效果的影响。结果表明: 由于入炉生物质燃料的水分和热值的变化有较强的随机性, 机组负荷及 CO、NO_x 等污染物初始浓度均随之波动; 烟气中 NO_x 初始浓度的平均值为 146mg/m³, 最高值可达 480mg/m³, 其瞬时值与含氧量有着非常强的线性相关性, 线性回归相关系数 (R^2) 为 0.96; 随着臭氧投加量的增加, 脱硝率从臭氧发生器功率为 118kW 时的 24% 增至 250kW 时的 95%; 应用活性分子臭氧脱硝技术后, 臭氧发生器功率为 250kW 时, 烟气中 NO_x 浓度一直稳定在 15mg/m³ 以下, 满足超低排放标准要求。

关键词: 生物质锅炉 循环流化床 活性分子 臭氧脱硝 超低排放

我国城区内及城市周边乡镇拥有大量的小型燃煤锅炉, 烟气污染十分严重, 直接影响了城市及周边乡镇的空气质量^[1]。为此, 许多城市取消燃煤锅炉, 采取“煤改气”等措施减少污染^[2]。目前, “煤改气”在北京、天津、上海等重点城市得到了补贴和推广应用, 同时在其他城市的推广力度也很大, 烟气污染问题在逐渐改善。但“煤改气”依然存在财政补贴缺口和气源短缺问题^[3-4]。

我国作为农业大国, 每年都产生大量的农作物秸秆及林业废物等生物质资源, 而这些资源尚未得到合理利用^[5]。采用可再生的生物质能源代替煤炭用作小型锅炉的燃料能够打开双赢的局面,

不但节约了化石燃料, 同时发挥了生物质燃料环境友好、可以再生的优点^[6]。

当前, 随着国家环保要求的日益严格, 对生物质锅炉污染物减排的需求也愈加迫切^[7]。国家发展和改革委员会、国家能源局于 2016 年 12 月发布的《能源发展“十三五”规划》^[8] 反复提及对能源环保、污染物排放的要求, 部分地区已要求生物质锅炉烟气排放标准按照超低排放标准^[9] 执行。然而, 一方面针对大型电站锅炉开发的超低排放技术工艺过于复杂和昂贵, 对于中小型企业来说投入过大; 另一方面, 对于治理难度较大的 NO_x, 由于中小锅炉尾部烟道烟气温度较低

($< 200^{\circ}\text{C}$), 传统的选择性催化还原 (selective catalytic reduction, SCR) 和非选择性催化还原 (selective non-catalytic reduction, SNCR) 技术均难以实施^[10]。因此, 利用臭氧作为氧化剂的低温氧化一体化超低排放技术近年来已成为国内外中小锅炉烟气综合治理领域的研究热点^[10-13]。

笔者针对活性分子臭氧深度一体化超低排放技术在生物质锅炉中的应用展开研究, 重点研究脱硝前后烟气污染物的排放特性以及臭氧投加量对脱硝效果的影响, 旨在揭示生物质锅炉中活性分子臭氧脱硝的特点, 以期为该技术在生物质锅炉行业的进一步推广提供借鉴。

1 试验锅炉及其脱硝工艺

1.1 锅炉概述

试验锅炉为自然循环、循环流化床锅炉, 额定蒸发量为 130t/h, 额定蒸气温度为 540°C , 额定蒸气压力为 9.81MPa, 给水温度为 210°C 。锅炉采用半塔式布置 (高温过热器以及低温过热器布置在分离器前), 中温分离。用来产生蒸气的热量来自流化床系统。燃烧产生的高温烟气夹带着物料通过炉膛向上流动, 通过水冷吊挂管、高温过热器、中温过热器及炉膛上部后水冷壁两侧的出口, 切向进入蜗壳式绝热旋风分离器, 粗的物料在旋风分离器内被分离下来后经过与旋风分离器底部相连的回料器, 返回位于布风板之上的炉膛密相区, 实现循环燃烧。

烟气经位于旋风分离器顶部的出口烟道, 通过尾部包墙过热器前包墙进入尾部第一竖井烟道, 在竖井烟道内, 烟气向下冲刷并向四壁及其内的尾部受热面 (依次为低温过热器、省煤器以及空预器) 放热, 最后流经第二竖井烟道的空气预热器后离开锅炉本体。

1.2 锅炉燃料情况

锅炉燃料由多种生物质组成, 包括黄秆 (稻秆、麦秆、稻壳) 以及灰秆 (桑树枝) 等。燃料及其灰分化学指标分别见表 1 和表 2。从表 1 和表 2 可以看出, 该生物质混合燃料的灰分中碱金属 K (以 K_2O 计) 占比很高, 其中桑树枝的灰分中 K_2O 占比可达 30% 以上。

表 1 生物质混合燃料化学指标

Table 1 Chemical analyses of blended biomass fuel

收到基组分占比/%						收到基低位发热量/(kJ/kg)
C	H	O	N	S	水分	灰分
31.76	3.89	27.90	0.53	0.06	30.00	5.86
						10 951

表 2 灰分化学指标

Table 2 Chemical analyses of burnout ash %

指标	稻秆	麦秆	桑树枝	稻壳
SiO_2	44.62	53.58	18.58	80.88
Al_2O_3	1.35	1.21	3.60	1.47
Fe_2O_3	0.32	0.35	1.32	0.22
CaO	4.74	3.53	14.61	1.77
MgO	2.75	2.00	3.94	0.54
SO_3	1.75	1.55	0.90	0.55
TiO_2	0.05	0.04	0.22	0.08
K_2O	26.82	28.38	31.71	9.53
Na_2O	1.86	1.66	1.73	0.52
P_2O_5	2.40	1.60	10.80	0.75
MnO_2	0.69	0.12	0.10	0.25

1.3 锅炉烟气脱硝工艺

由于锅炉燃烧的是生物质燃料, 热值相对偏低, 炉膛出口温度不足 800°C , 完全没有 SNCR 的反应温度窗口, 导致 SNCR 脱硝工艺无法实施^[12]。其次生物质燃烧烟气中碱金属 K 占比较高, 对热段/高灰形式布置的 SCR 系统而言, 碱金属进入催化剂孔道与催化剂表面接触能直接与活性位发生作用而导致催化剂钝化继而失活^[14]。因此, 生物质锅炉不适合采用热段/高灰形式布置的 SCR 工艺。

锅炉采用了活性分子臭氧深度一体化超低排放 (臭氧脱硝) 工艺^[15-16], 该工艺与燃烧过程无关,

适用于各种烟气，具有对锅炉负荷变化不敏感，对炉型和烟气成分不挑剔，调节响应速度快等优点。活性分子与污染物的气相反应为均相反应，反应迅速，而且与固体颗粒物的反应不敏感，脱硝率最高可达 95% 以上。臭氧脱硝工艺适用于 60~150℃ 的锅炉尾部低温烟气，烟气流速一般需小于 20m/s，

对锅炉负荷及初始 NO_x 浓度没有要求。臭氧脱硝技术可适用于传统 SCR、SNCR 难以适用的低温烟气及复杂烟气成分场合，如炭黑干燥窑、生物质电厂、垃圾焚烧炉尾气等难治理场合，对锅炉设备改动量小，运行稳定可靠，在工业锅炉的超低排放治理中具有显著的优势 (表 3)。

表 3 臭氧脱硝与 SCR、SNCR + SCR 的技术特点对比
Table 3 Comparison of technical characteristics of ozone denitration technology with SCR and SNCR + SCR

项目	臭氧脱硝	SCR	SNCR + SCR
反应剂	活性分子臭氧	NH ₃ 或尿素	NH ₃ 或尿素
反应温度/℃	60 ~ 150	300 ~ 400	SNCR: 800 ~ 1 250 SCR: 300 ~ 400
脱硝率/%	>95	> 90	60 ~ 90
脱硝反应剂储存	现用现制,由于生命周期限制不能储存,无重大危险源设备	液氨储存量超过 40 t 为重大危险源,须经过安全、环保与消防等机构的评估;尿素需加装尿素热解装置	液氨储存量超过 40 t 为重大危险源,须经过安全、环保与消防等机构的评估;尿素需加装尿素热解装置
系统压力损失/Pa	100 ~ 200(烟道反应器)	900 ~ 1 200(催化剂造成的压力损失)	400 ~ 600(催化剂用量较 SCR 小,产生的压力损失相对较低)
燃料影响	无	灰分会磨耗催化剂;碱金属氧化物使催化剂钝化;As、S 等使催化剂失活	影响与 SCR 相同。由于催化剂的体积较小,更换催化剂的总成本较 SCR 低
炉侧影响	无	受锅炉负荷变化影响较大	受锅炉负荷变化、炉内流场温度场影响较大
二次污染	逃逸的微量臭氧可自行分解	氨逃逸,废催化剂为危险废物,需特殊处理	氨逃逸,废催化剂为危险废物,需特殊处理
运行影响	无	空预器堵塞,烟道阻力增加,增加引风机能耗	空预器堵塞,烟道阻力增加,增加引风机能耗
停炉改造周期/月	0.5 ~ 1	4 ~ 6	4 ~ 6
后续检修	主要设备 10 年内无需更换	需定期更换催化剂(2 ~ 3 年),价格约为 2 万元/m ³	需定期更换催化剂(2 ~ 3 年),价格约为 2 万元/m ³

2 试验方法

锅炉烟气活性分子臭氧氧化脱硝超低排放工艺流程如图 1 所示。从图 1 可以看出，该工艺主要包括制氧系统、活性分子发生系统、活性分子反应系统、吸收系统等。其中制氧系统采用空分制氧机变压吸附制氧，活性分子发生系统采用活性分子臭氧发生器，吸收系统采用湿法吸收塔。

由制氧系统提供的富氧气源 (纯度 ≥ 92%) 经活性分子臭氧发生器产生臭氧，喷入锅炉尾部烟道中与低温烟气 (< 150℃) 进行充分混合，并在特制的活性分子混合反应器中对 NO_x 进行氧化。经活性分子臭氧氧化后的烟气随后进入湿法吸收塔洗涤，最后经烟囱排放。在试验中，采用烟气分析仪 (德国，Testo350) 测量锅炉尾部烟道活性分子臭氧喷入前和塔顶烟囱处的烟气组分，测点位置

见图 1。

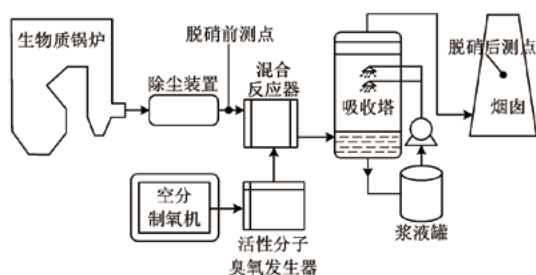


图 1 活性分子臭氧氧化脱硝工艺流程

烟气中 NO_x 浓度折算到含氧量为 6% 的干烟气中的浓度计算公式：

$$c_{\text{inlet}, \text{NO}_x} = \frac{21 - 6}{21 - c'_{\text{inlet}, \text{O}_2}} c'_{\text{inlet}, \text{NO}_x}$$

$$c_{\text{outlet}, \text{NO}_x} = \frac{21 - 6}{21 - c'_{\text{outlet}, \text{O}_2}} c'_{\text{outlet}, \text{NO}_x}$$

脱硝率 (η_{NO_x}) 计算公式：

$$\eta_{\text{NO}_x} = \frac{c_{\text{inlet}, \text{NO}_x} - c_{\text{outlet}, \text{NO}_x}}{c_{\text{inlet}, \text{NO}_x}} \times 100$$

式中： $c_{\text{inlet}, \text{NO}_x}$ 、 $c_{\text{outlet}, \text{NO}_x}$ 分别为喷淋塔入口、出口的 NO_x 气体折算到含氧量为 6% 的干烟气中的浓度， mg/m^3 ； $c'_{\text{inlet}, \text{NO}_x}$ 、 $c'_{\text{outlet}, \text{NO}_x}$ 分别为喷淋塔入口、出口的 NO_x 气体浓度的测量值， mg/m^3 ； $c_{\text{inlet}, \text{O}_2}$ 、 $c_{\text{outlet}, \text{O}_2}$ 分别为喷淋塔入口、出口烟气的含氧量，%。本文 NO_x 浓度均为按含氧量 6% 折算后的浓度。

3 结果与讨论

3.1 生物质锅炉污染物排放特性

通过烟气分析仪测量锅炉尾部烟道活性分子臭氧喷入前位置的烟气组分，获得了该 130t/h 循环流化床生物质锅炉的初始污染物排放特性。测量时间为连续的 130min，每 1min 记录 1 个数据。图 2 为机组负荷随测量时间的波动。从图 2 可以看出，该机组负荷一直在 25~33MW 间波动，变

化速率较快，难以长时间稳定。这主要是由于入炉生物质燃料的水分和热值的变化有较强的随机性^[17]，机组负荷则随之波动，难以进行精确控制。

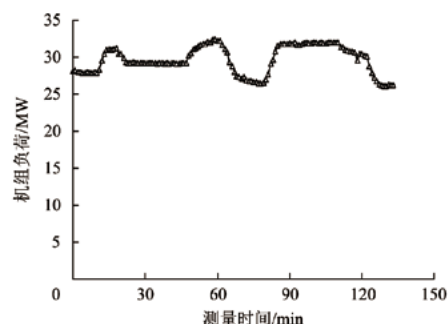


图 2 机组负荷波动特性

图 3 为活性分子臭氧喷入前烟气中 CO 和 CO_2 浓度随测量时间的波动。由于入炉生物质燃料的不稳定性，造成了燃烧需氧量及 CO_2 生成量的不断波动。另一方面，烟气中 CO 浓度非常高，平均浓度为 $2698\text{mg}/\text{m}^3$ ，瞬时最高浓度甚至超过了 $10000\text{mg}/\text{m}^3$ ，这反映出锅炉炉膛内燃烧不充分。

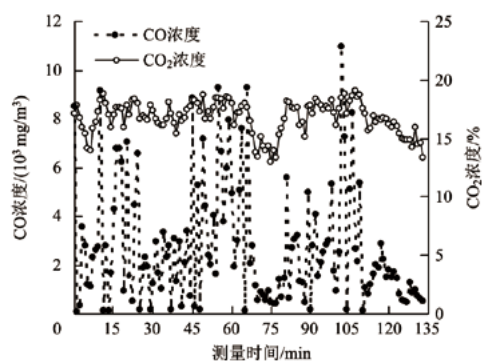
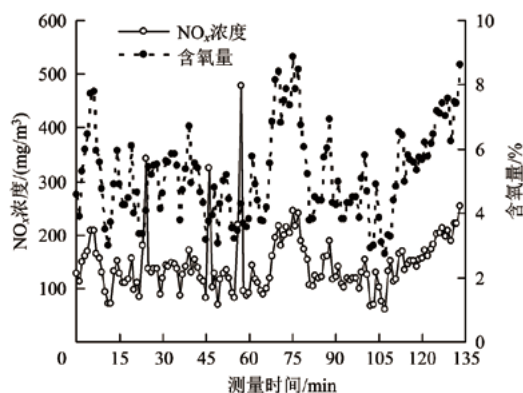
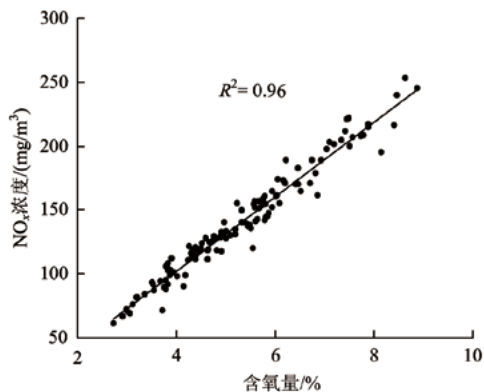


图 3 CO 和 CO_2 浓度特性

图 4 为活性分子臭氧喷入前烟气中原始含氧量及 NO_x 浓度随测量时间的波动。同样，由于入炉生物质燃料的不稳定性，燃烧消耗氧气量不断波动，造成烟气含氧量也随之波动。测得的烟气平均含氧量为 5.19%。类似地，烟气中 NO_x 浓度也来回波动，平均 NO_x 浓度为 $146\text{mg}/\text{m}^3$ ，瞬时最高浓度可达 $480\text{mg}/\text{m}^3$ 。


 图4 烟气含氧量与 NO_x 浓度特性

从图4可以看出,烟气中 NO_x 浓度与含氧量的波动规律有很强的一致性。对二者的相关性进行分析,剔除了3个 NO_x 浓度大于 $380\text{mg}/\text{m}^3$ 的数据点后,二者的散点图如图5所示。从图5可以看到,烟气中 NO_x 浓度与含氧量有非常强的线性相关性,拟合得到关系式为 $c_{\text{outlet}, \text{NO}_x} = 29.2 \times c_{\text{outlet}, \text{O}_2} - 14.9$, $R^2 = 0.96$ 。由于该生物质混合燃料的含氮量较低(表1),故燃烧产生的 NO_x 以热力型 NO_x 为主。而热力型 NO_x 的生成受燃烧温度的影响非常大,当烟气含氧量较高时,说明生物质燃烧供给的氧量充足,燃烧温度较高,导致生成的热力型 NO_x 增多;反之,当烟气含氧量较低时,说明燃烧供给的氧量不足,燃烧温度较低,生成的热力型 NO_x 减少。


 图5 烟气含氧量与 NO_x 排放相关性

锅炉烟道低温段喷入的具有强氧化性的臭氧在与烟气充分混合反应时,烟气中的 NO 被氧化成为易溶于水的高价态 NO_2 、 NO_3 或 N_2O_5 。随后通过湿法吸收塔洗涤将这些高价态 NO_x 转移到洗涤液中形成硝酸或硝酸盐溶液,从而实现烟气中 NO_x 的脱除。图6为臭氧投加量及脱硝率随活性分子臭氧发生器功率的变化。从图6可以看出,随着臭氧发生器功率的加大,臭氧的投加量几乎呈线性增加。同时,脱硝率也从臭氧发生器功率为 118kW 时的24%增至 250kW 时的95%,这是因为随着臭氧投加量的增加,越来越多的 NO 被氧化成易溶于水的高价态 NO_x 并被洗涤脱除。臭氧发生器功率从 150kW 增至 200kW 时,对脱硝率的提升幅度最大。通过线性拟合,可以得到臭氧投加量 (q_{m, O_3}) 为 $21\sim 42\text{kg}/\text{h}$ 时,脱硝率与 q_{m, O_3} 的关系式为 $\eta_{\text{NO}_x} = 3.6 \times q_{\text{m}, \text{O}_3} - 53.8$, $R^2 = 0.97$ 。

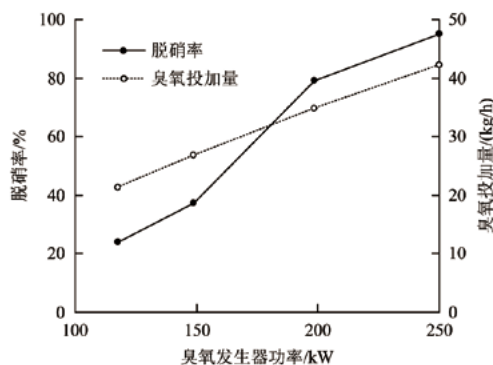


图6 臭氧投加量及脱硝率随臭氧发生器功率的变化

3.3 臭氧脱硝后 NO_x 排放特性

图7为臭氧发生器功率为 250kW 时,烟气分析仪测得的脱硝后塔顶烟囱烟气中的 NO_x 浓度及含氧量。测量时间为连续的 30min ,每 1min 记录1个数据点。从图7可以看出,经过活性分子臭氧氧化脱除,烟气中 NO_x 浓度大幅降低,一直稳定在 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,满足超低排放标准要求。经臭氧脱

硝及湿法吸收塔洗涤后的烟气温度为 65℃, 满足烟气排放对烟温的要求。

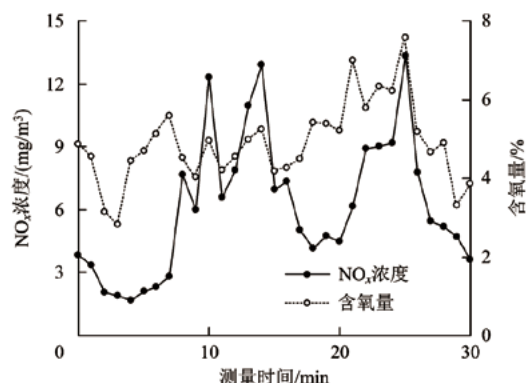


图 7 臭氧脱硝后 NO_x 排放特性

4 结 论

(1) 由于入炉生物质燃料的水分和热值的变化有较强的随机性, 机组负荷及 CO、NO_x 等初始污染物浓度均随之波动, 且波动幅度较大。

(2) 烟气中 NO_x 的初始浓度与含氧量有着非常强的线性相关性, 拟合得到的二者关系式为 $c_{\text{outlet, NO}_x} = 29.2 \times c_{\text{outlet, O}_2} - 14.9$, $R^2 = 0.96$ 。

(3) 随着臭氧投加量的增加, 脱硝率从臭氧发生器功率为 118kW 时的 24% 增加到 250kW 时的 95%。

(4) 臭氧发生器功率为 250kW 时, 脱硝后烟气中 NO_x 浓度一直稳定在 15mg/m³ 以下, 满足超低排放标准要求。

参考文献

- [1] 王毅, 杜金宇, 张全国, 等. 生物质锅炉多效烟气净化装置设计与性能研究 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(2):313-318.
- [2] 李霞, 郭宇宏, 卢新玉, 等. 乌鲁木齐市大气污染治理成效的综合评估分析 [J]. 中国环境科学, 2016, 36(1):307-313.
- [3] 欧春华, 李蜀庆, 张军, 等. 重庆市煤改气及其环境

效益分析 [J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 2004(11):100-104.

[4] CHANG G, SONG C, WANG L. A modeling and experimental study of flue gas desulfurization in a dense phase tower [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 189(1):134-140.

[5] 武文璇, 李寒松, 李青, 等. 生物质锅炉的发展现状 & 农业中的应用 [J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(3):81-84.

[6] 舒振杨. 小型秸秆生物质成型燃料锅炉结构设计研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2017.

[7] 方平, 唐子君, 黄建航, 等. 生物质锅炉烟气污染物排放特性及其控制对策 [J]. 环境科学与技术, 2016, 39(10):155-160.

[8] 国家能源局. “十三五”规划重点强化能源规划体系的完整性 [A/OL]. (2017-01-05) [2018-10-01]. http://www.nea.gov.cn/2017-01-05/c_135957164.htm.

[9] 朱法华, 王临清. 煤电超低排放的技术经济与环境效益分析 [J]. 环境保护, 2014, 42(21):28-33.

[10] 朱燕群, 杨业, 黄建鹏, 等. 橡胶厂 60000m³/h 炭黑干燥炉烟气臭氧脱硝试验研究 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2016, 50(10):1865-1870.

[11] MA Q, WANG Z H, LIN F W, et al. Characteristics of O₃ oxidation for simultaneous desulfurization and denitration with limestone-gypsum wet scrubbing: application in a carbon black drying kiln furnace [J]. Energy & Fuels, 2016, 30(3):2302-2308.

[12] 高劲豪, 张幼安, 高原. 生物质锅炉烟气脱硝脱硫技术方案选择 [J]. 硫酸工业, 2017(8):52-54, 58.

[13] LIN F W, WANG Z H, MA Q, et al. Catalytic deep oxidation of NO by ozone over MnO_x loaded spherical alumina catalyst [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2016, 198:100-111.

[14] 李志峰, 种振宇, 林七女. 生物质锅炉受热面的防腐研究 [J]. 工业锅炉, 2017(4):16-18.

[15] WANG Z H, ZHOU J H, ZHU Y Q, et al. Simultaneous removal of NO_x, SO₂ and Hg in nitrogen flow in a narrow reactor by ozone injection: experimental results [J]. Fuel Processing Technology, 2007, 88(8):817-823.

[16] 岑可法, 周俊虎, 王智化, 等. 锅炉烟气臭氧氧化脱硝方法: 200510061120. 3 [P]. 2006-05-10.

[17] 史辉, 刘立平, 郝莉. 浅析燃料性质对生物质锅炉负荷的影响及控制措施 [J]. 可再生能源, 2010, 28(5):48-51.