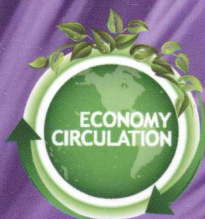


“十一五”国家重点图书出版规划项目



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



第二产业与循环经济丛书

Treatment Methods for Refractory Wastewater

难降解废水治理技术

顾问：曲格平 叶汝求 石定寰 王玉庆
总主编：李沛生 杨西京

乌锡康 编著



中国轻工业出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十一五”国家重点图书出版规划项目

第二产业与循环经济丛书

难降解废水治理 技术

Treatment Methods for Refractory
Wastewater

顾问:曲格平 叶汝求 石定寰 王玉庆

总主编:李沛生 杨西京

编著:乌锡康

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

难降解废水治理技术/乌锡康编著. —北京:中国轻工业出版社, 2010. 9

(第二产业与循环经济丛书)

“十一五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-5019-7733-8

I. ①难… II. ①乌… III. ①废水治理-研究

IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 132844 号

责任编辑:林 媛

策划编辑:王立平 责任终审:滕炎福 封面设计:伍毓泉

版式设计:王超男 责任校对:燕 杰 责任监印:张 可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街 6 号,邮编:100740)

印 刷:河北高碑店市德裕顺印刷有限责任公司

经 销:各地新华书店

版 次:2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本:720×1000 1/16 印张:24.75

字 数:493 千字

书 号:ISBN 978-7-5019-7733-8 定价:68.00 元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

100337K4X101ZBW

第二产业与循环经济丛书编委会

顾问

- 王玉庆 全国政协人口资源环境委员会副主任、原国家环保总局副局长
曲格平 中国环境保护基金会理事长、全国人大环境资源委员会原主任、原国家环保局局长
叶汝求 国务院参事、原国家环保局副局长
石定寰 国务院参事、中国产学研合作促进会常务副会长、国家科学技术部原秘书长

主任

- 李沛生 中国产学研合作促进会循环经济分会会长、联合国工业发展组织中国投资与技术促进处绿色产业专家委员会委员、北京华夏村循环经济科技中心主任、原国务院全国包装改进办公室常务副主任、研究员、高级工程师
杨西京 中国轻工业出版社社长、研究员

副主任

- 赵红玉 中国轻工业出版社副总编辑

委员

- 黄海峰 北京工业大学经济管理学院中国经济转型中心主任、博士、教授、博士生导师
张阿玲 清华大学教授
柴金艳 中原工学院经济管理学院副教授、公共管理系主任
郭建斌 北京林业大学教授
龚毅 郑州轻工业学院副院长、教授
孙恒虎 清华大学教授
周国梅 原国家环保总局环境与经济政策研究中心副主任、国际环境政策研究所副所长
方孺康 原北京冶金设备自动化研究所高级工程师
林跃梅 以色列希伯来大学高级访问学者、博士
杨惠娣 《中国塑料》杂志主编、中国塑协塑料技术协作委员会秘书长、编审

丛 书 序 言

改革开放以来,我国经济高速发展,目前正处于工业化和城镇化加速发展阶段。由于粗放型经济增长方式还没有根本改变,资源利用和废弃物再资源化循环利用率低,单位产值的污染物排放量高,经济增长在相当程度上仍然主要依赖资源的高投入来实现。快速的经济增长在提高人民生活水平的同时,也使我国资源和环境付出了巨大的代价。要促进经济、社会 and 环境的协调发展,必须认真贯彻科学发展观,按照“减量化、再利用、资源化”原则,大力发展循环经济,以尽可能少的资源消耗和尽可能小的环境代价,取得最大的经济产出和最少的废物排放,以建设资源节约型和环境友好型社会,实现又好又快发展和全面建设小康社会的战略目标。

第二产业在国民经济发展中占有十分重要的地位。随着经济的发展,第一产业在国民经济中所占的比重逐渐下降,第二、三产业的份额持续上升,而随着工业化进程的发展,第二产业在国民经济中的份额也将逐渐下降,而以服务业为主的第三产业的地位将进一步提高。2006 年第一、第二和第三产业在国民经济中的比重分别为 11.8%、48.7% 和 39.5%。与 2001 年相比,第一产业的比重减少了 3.4 个百分点,而第三产业的比重则增加了 5.9 个百分点。

我国实施循环经济不仅包括废弃物资源化的再生资源产业,即静脉产业,而且也包括开发利用自然资源并以非废弃物作为原料的产业,即动脉产业。静脉产业和动脉产业基本上属于第二产业范畴。

我国的第二产业的发展,必须坚持走新型工业化道路,通过经济结构调整,加快技术进步,用新技术提升传统工业的水平,提高资源利用效率,减少废物的产生和排放。发展第二产业循环经济将改变过去高投入、高消耗、高污染的传统经济增长方式,转向科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分发挥的新型工业化道路;发展第二产业循环经济将促进经济发展与环境保护的有机结合,是全面落实党中央提出的科学发展观的主要举措,对加快建设资源节约型、环境友好型的社会具有重大意义。

第二产业发展循环经济,需要建立比较完善的发展循环经济法律法规体系、政策支持体系、技术创新体系和激励约束机制。其中包括建立循环经济的回收体系,促进绿色产品生产和绿色消费的发展。在工业企业中要大力推行清洁生产,从生产的源头和全过程大幅度提高资源利用效率,使生产过程中废物最小化、资源化、无害化,建成符合循环经济发展要求的典型企业。在工业集中地区应积极发展生态工业园,在企业清洁生产的基础上,使上游企业的废物成为下游企业的原料,延长生产链条,实现园区或企业群的资源最有效利用,废物产生量最小。在一定区域



内,可以用生态链将工业与农业、生产与消费、城区与郊区、行业与行业有机结合起来,推进可持续生产和消费,逐步建成循环型社会。

近年来,为了应对经济发展过程中面临的资源约束和环境污染挑战,我国党和政府在探索、推广循环经济发展方面做出了不懈努力。党的十六届五中全会通过的“关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议”中提出;要大力发展循环经济。发展循环经济,是建设资源节约型、环境友好型社会和实现可持续发展的重要途径。2006年国务院下发了《关于加快发展循环经济的若干意见》,明确提出了发展循环经济的指导思想、基本原则和主要目标,发展循环经济的重点工作和重点环节,以及相应的政策措施。胡锦涛同志在十七大报告中谈到全面建设小康社会时提出,要建设生态文明,基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式,循环经济形成较大规模,可再生能源比重显著上升。

随着循环经济理念的推广,循环经济实践的开展,对于循环经济理论研究也不断深入,但是针对各个行业的特别是对第二产业发展循环经济的研究缺乏系统的总结和提高。本丛书涵盖了钢铁、轻工、包装、纺织、石油、化工、电子、环保、城市垃圾、新型材料等多个产业,较系统地介绍了国内外第二产业各行业发展循环经济的现状、中国第二产业各行业以及区域经济发展实施循环经济的理论与实践。研究分析了各行业发展循环经济的潜力和存在的问题,提出了逐步构建循环经济发展的技术、机制、金融支撑体系和回收体系等方面的具体措施。我相信,该丛书的问世将进一步促进对第二产业实施循环经济的研究,为相关产业部门、决策部门和广大科研工作者提供重要参考,为基层企业实施循环经济提供可操作性强、解决实际问题的导向。

国家发展和改革委员会副主任

二〇〇七年十一月十四日



Ⅱ 丛书序言二

在几千年的文明史中,人类与自然环境长期协调发展。但是随着人类社会的发展,人类活动对自然环境的破坏也日益严重。人类在农业社会主要从事传统农业活动。由于当时人口总量较少、耕作方式原始,所以对自然环境几乎不造成破坏。人类在工业社会用机器生产代替了大部分手工劳动,也打破人类与自然环境的原有平衡。

第一产业的自动化生产逐渐成为现实,人类几乎有能力在地球的任一角落发展农、林、牧、渔业。现代化的第一产业破坏了地表,改变了自然环境,也带来了环境污染。第二产业的现代化创造的产值更超过以往人类历史时期全部产值之和,但第二产业的大规模扩张也消耗了大量自然资源,而直接排向自然界的污染物带来了诸多环境灾难。产值在各国 GDP 中所占比重越来越大的第三产业同样造成了环境破坏。

人类社会是自然生态系统的子系统,其存在依赖于上一层系统的平衡。生态环境的破坏打破了自然生态系统的平衡,一旦失衡达到临界点,整个系统必然发生突变,还有可能走向消亡。人类社会发展带来的生态环境问题引起了国际社会的广泛关注。德国、日本等发达国家从生产和消费领域全面入手,提高资源效率,降低环境负荷,并从法律制度方面促进循环经济发展,分别制定并实施了《循环经济与废弃物法》《促进循环型社会建设基本法》等。其他发展中国家也在积极探索加强了资源节约和环境保护,构建可持续生产与消费体系的实践方法。

转变经济发展模式,发展循环经济逐渐成为国际社会的共识。循环经济本质上是一种生态经济。循环经济通过清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费将人类的经济活动重构成“资源—产品—再生资源”的反馈式流程,实现资源的“低开采、高利用、低排放”的循环利用,将经济活动再次与自然环境相协调,从而实现经济活动的生态化。与传统经济模式相比,循环经济是一种有效利用资源和保护环境的经济发展模式,可以充分提高资源和能源的利用效率,最大限度地减少废物排放,保护生态环境;可以实现社会、经济 and 环境的“共赢”;可以在不同层面上将生产和消费纳入到可持续发展框架中。

我国人均资源拥有量低,经济发展水平不高,粗放型的增长模式未发生根本性转变,缺乏先进技术。目前经济高速增长,如果继续沿袭传统经济发展模式,资源将难以为继,环境将不堪重负。因此,走以有效利用资源和保护环境为基础的循环经济道路,是全面建设小康社会、贯彻落实科学发展观的必然选择。

为了克服经济发展过程中面临的资源约束和环境污染困难,中国政府在探索、



推广循环经济发展方面做出了不懈努力。党的十六届四中全会决定提出：“要大力发展循环经济，建设节约型社会”。党的十六届五中全会再次重申：“发展循环经济，是建设资源节约型社会、环境友好型社会和实现可持续发展的重要途径”。胡锦涛总书记在 2005 年中央人口资源环境工作座谈会上指出：“要大力宣传循环经济理念，加快制定循环经济促进法，加强循环经济试点工作，全方位、多层次推广适应建立资源节约型、环境友好型社会要求的生产生活方式”。温家宝总理在十届全国人大三次会议政府工作报告中也指出，要大力发展循环经济，从资源开采、生产消耗、废弃物利用和社会消费等环节，加快推进资源综合利用和循环利用。国家“十一五”规划确定了单位 GDP 能源消耗降低 20% 左右、主要污染物排放总量减少 10% 的目标。为实现节能减排的约束性目标，需要全国各行各业的共同努力。走循环经济道路、建设资源节约型和环境友好型社会，已经成为中国的重大战略决策。

目前，中国的经济增长主要依赖第二产业，第二产业的产值占 GDP 的比重为 51.1%。在第二产业内部，重工业，特别是一些高耗能、高污染行业增长依然偏快。2006 年，重工业增加值在工业中的比重接近 70%，其中轻重工业增速差距由 2005 年的 1.8 个百分点扩大到 2006 年的 4.1 个百分点，水泥、钢材、电解铝、有色金属的产量分别比上年增长 15.5%、25.3%、20.1% 和 17.2%，大大高于 GDP 增长速度。西方发达国家的工业化历程说明传统工业化道路需要经历三个阶段六个时期，其中第一阶段是重工业化阶段（包括以原材料工业为重心和以加工装配工业为重心的两个时期），第二阶段是高加工度化阶段（包括以劳动密集型加工工业为重心和以技术密集型加工工业为重心的两个时期），第三阶段是技术集约化阶段（包括一般技术密集型工业为重心和高新技术密集型工业为重心的两个时期）。

中国已基本完成了以原材料工业为重心的重工业化阶段，在向以加工装配工业为主高加工度化过程中，出现消费品工业过度扩张，而重加工工业尤其是装备工业却一直停留于劳动密集型为主的加工重心时期。所以说中国应放弃传统工业化道路，寻求一条新型工业化道路。发展第二产业的循环经济，正是实现工业化的一个新选择，是全面贯彻落实党中央国务院科学发展观的重大举措，是实现可持续的经济增长、绿化中国经济结构的重要途径，是建设节约型社会、实施可持续发展战略的根本出路。

为了推动第二产业循环经济的发展，中国产学研合作促进会循环经济分会组织了本会专家学者编写了“第二产业与循环经济”系列丛书。丛书首批 20 部，涵盖了钢铁、轻工、包装、纺织、石油、化工、电子、环保、城市垃圾、新型材料——凝石等多个行业。本丛书基于对中国工业化进程的客观判断，着眼于第二产业在循环经济实践过程中遇到的种种问题，发展中突现出的新特点、新矛盾，从制约各行业生态化转型的关键环节入手，简要介绍了中国第二产业各行业发展循环经济的理论与实践，并通过国际的比较、案例的分析展开研究与论述，进而实现理论的升华。



本丛书不仅详细论述了第二产业发展循环经济的内涵与外延,深刻剖析了发达国家先进经验对中国的借鉴价值和有益启示,而且特别研究并总结了第二产业发展循环经济所必备的四大体系,即资源回收体系、技术保障体系、政策支持体系,以及综合评价体系等。希望本丛书的出版将有助于我国在发展中解决资源与环境问题,有助于中国工业企业突破资源“瓶颈”,有效治理工业污染,真正承担起社会环境责任,并最终引导全社会生产、分配逐步走上良性循环的轨道,从而保证国家经济持续发展,并为相关产业部门、决策部门和广大科研工作者提供重要决策参考。

对于书中不足之处,希望各位读者不吝指正!

本丛书总主编:李沛生 杨西京

2008. 04. 23

前言

新中国成立以来,尤其是改革开放以来,我国的化学工业飞速发展,在为国家、人民提供丰富的产品,创造大量财富的同时,也产生了大量的化学化工废水,其中有相当多的是难降解废水。近年来,我国在难降解废水治理的环保领域已有很大的进步,取得了许多可喜的成绩,但相应的环境保护任务仍相当艰巨。化学化工废水的治理,特别是其中难降解废水治理技术的研究开发,仍是我国该领域科技工作者的一个重要而迫切的课题和任务。

作者曾于1989年编写了《有机水污染治理技术》(华东化工学院出版),较全面地讨论了受各种有机污染物污染的废水治理技术。本书则聚焦于受无机、有机污染物污染的难降解废水的治理技术。作者收集了近50年来有关难降解废水治理技术的国内外文献资料,在讨论了难降解废水特征、治理原理及技术后,分章介绍了废水中多类无机化合物及1000余种有机化合物的去除技术。

由于涉及的污染物种类、数量繁多,本书的篇幅又有限,为在有限的篇幅中容纳尽可能多的信息量,作者在编写过程中,尽量做到突出重点,力求言简意明。

此外,作者还编制了《化学物质环境数据简表2010》,其中含有约4000个无机及有机化合物的环境数据,其中包括化合物的毒性、环境命运、生物可降解性等数据。这些数据都是废水处理时的重要依据,已将其作为本书的附录,并考虑到本书的篇幅有限,已将其置于“国厚环保”的网站(<http://www.shguohou.cn>)上供读者下载使用。

本书主要供大专院校有机化工及环境工程专业的师生阅读参考,希望对从事有机化工工作及相应环境保护工作的科技工作者也有所帮助。

限于作者水平有限,漏误之处在所难免,尚请读者予以指正。

在本书的编写过程中,曾与徐亚同、彭武厚及史家樑教授进行有益的讨论,并得到了上海国厚环保科技有限公司江国平总经理的热情鼓励和支持,在此表示万分感谢。如果本书的出版,能作为攻克难降解废水征程中添加的一块铺路石,对我国的环保事业有所助益,将是作者最大的欣慰。

乌锡康

于华东理工大学 2010年3月

目录

1	第一章 绪论
1	一、前言
1	二、清洁生产
4	三、生化处理概要
15	参考文献
17	第二章 重金属的去除技术
17	一、概述
17	二、沉淀及气浮法
22	三、电解法
23	四、吸附及离子交换法
25	五、萃取法
25	六、膜法
25	参考文献
28	第三章 氟的去除技术
28	一、概述
28	二、沉淀法
32	三、吸附法
33	四、离子交换法
33	五、膜分离法
33	六、萃取法
33	七、从废水中去除氟硼酸及氟硅酸化合物
34	参考文献
37	第四章 硫的去除技术
37	一、概述
37	二、回收利用
37	三、清除法
37	四、混凝沉降及沉淀法
38	五、氧化法
39	六、树脂法
40	七、生化法
40	参考文献
42	第五章 氨氮的去除技术
42	一、概述
42	二、物理法



43	三、化学法
45	四、生化法
48	参考文献
50	第六章 磷的去除技术
50	一、沉淀法
51	二、离子交换及吸附法
52	三、电解法
52	四、萃取法
53	五、生化法
53	参考文献
54	第七章 砷的去除技术
54	一、概述
54	二、回收利用
54	三、沉淀及混凝沉降法
56	四、吸附法
57	五、离子交换法
57	六、萃取法
57	七、生物法
58	参考文献
60	第八章 硒的去除技术
60	一、还原法
60	二、氧化法
61	三、沉淀法
61	四、萃取法
61	五、离子交换及吸附法
62	六、生化法
62	参考文献
64	第九章 硼的去除技术
64	一、概述
64	二、焚烧法回收
64	三、蒸发及蒸馏回收法
64	四、沉淀法
65	五、吸附法
65	六、离子交换树脂法
65	七、萃取法
66	参考文献
67	第十章 氟的去除技术
67	一、回收法
67	二、沉淀及气浮法
68	三、水解法

68	四、缩合法
68	五、氧化法
70	六、还原法
70	七、吸附及离子交换法
71	八、萃取法
71	九、膜技术
71	十、生化法
72	参考文献
74	➤ 第十一章 硝酸或硝酸盐的去除技术
74	一、回收法
74	二、沉淀法
74	三、蒸馏法
74	四、萃取法
75	五、膜技术
75	六、氧化法
75	七、还原法
76	八、生化法
76	参考文献
78	➤ 第十二章 胂的去除技术
78	一、空气氧化法
79	二、化学氧化法
79	三、电解法
79	四、光催化法
80	五、银盐法
80	六、吸附法
80	七、聚合法
80	八、生化法
80	参考文献
82	➤ 第十三章 烃的去除技术
82	一、概述
82	二、含烃或含油废水的物化处理法
95	三、含烃或含油废水的化学处理法
98	四、含烃或含油废水的生化处理法
102	五、含多环芳烃废水的处理法
106	参考文献
109	➤ 第十四章 卤烃的去除技术
109	一、概述
110	二、含多氯联苯(PCB)废水的处理法
112	三、含有机氯杀虫剂废水的处理法
116	四、含工业卤烃废水的处理法



131 ▽ 参考文献

133 ▽ **第十五章 醇及醚的去除技术**

133 ▽ 一、概述

133 ▽ 二、含醇废水的物化处理法

137 ▽ 三、含醇废水的化学处理法

145 ▽ 四、含醚废水的物化处理法

149 ▽ 五、含醚废水的化学处理法

151 ▽ 六、含醚废水的生化处理法

155 ▽ 参考文献

157 ▽ **第十六章 醛及酮的去除技术**

157 ▽ 一、概述

157 ▽ 二、含醛、酮废水的处理法

163 ▽ 三、含甲醛(不含酚)废水的处理法

169 ▽ 四、含醛(不包括甲醛)废水的处理法

172 ▽ 五、含酮废水的处理法

174 ▽ 六、含糖废水的处理法

175 ▽ 参考文献

177 ▽ **第十七章 酸及酯的去除技术**

177 ▽ 一、概述

177 ▽ 二、含酸废水的处理法

198 ▽ 三、含酯废水的处理法

203 ▽ 参考文献

206 ▽ **第十八章 酚及醌的去除技术**

206 ▽ 一、概述

206 ▽ 二、含酚废水的综合利用

206 ▽ 三、含酚废水的物化处理法

219 ▽ 四、含酚及含醌废水的化学处理法

227 ▽ 五、含酚及含醌废水的生化处理法

233 ▽ 参考文献

235 ▽ **第十九章 酰胺或脲的去除技术**

235 ▽ 一、概述

235 ▽ 二、含酰胺废水的处理法

244 ▽ 三、含脲废水的处理法

248 ▽ 参考文献

249 ▽ **第二十章 硝基、亚硝基化合物的去除技术**

249 ▽ 一、概述

249 ▽ 二、含硝基化合物、亚硝基化合物、硝酸及亚硝酸酯化合物废水的处理法

260 ▽ 参考文献

262 ▽ **第二十一章 胺的去除技术**

262 ▽ 一、未取代脂肪族胺类化合物去除技术

270	二、氨基醇的去除技术
271	三、季铵盐化合物的去除
274	四、芳胺的去除
287	参考文献
289	➤ 第二十二章 有机硫化合物的去除技术
289	一、概述
289	二、含磺酸盐或硫酸盐废水的处理法
300	三、含硫醇、硫酚或硫醚废水的处理法
301	四、含硫脲废水处理法
302	五、含磺酸盐及其他含硫化合物废水的处理法
304	参考文献
305	➤ 第二十三章 杂环化合物的去除技术
305	一、概述
305	二、含吡啶、喹啉及其衍生物废水的处理法
307	三、含三聚氰酸及其衍生物废水的处理法
308	四、含三聚氰胺及其衍生物废水的处理法
309	五、含氯代三聚氰酸废水的处理法
310	六、含其他杂环化合物废水的处理法
312	参考文献
313	➤ 第二十四章 有机元素及金属化合物的去除技术
313	一、概述
313	二、含有机磷化合物废水的处理法
318	三、含有机汞化合物废水的处理法
320	四、含有机铅化合物废水的处理法
321	五、含其他有机金属或元素化合物废水的处理法
322	参考文献
324	➤ 第二十五章 水溶性高分子聚合物的去除技术
324	一、含聚乙烯醇废水的处理法
330	二、含羧甲基纤维素废水的处理法
331	三、含淀粉废水的处理法
334	四、含木质素废水的处理法
335	五、含果胶废水的处理法
336	六、含蛋白质废水的处理法
336	七、含其他高聚物废水的处理法
337	参考文献
339	➤ 第二十六章 精细化工产品废水的处理技术
339	一、概述
339	二、含医药产品废水的处理技术
349	三、含染料产品废水的处理技术
367	参考文献

CONTENTS

1	Chapter 1	Introduction
1	Section 1.1	Foreword
1	Section 1.2	Cleaner Production
4	Section 1.3	An Overview of Biological Treatment
17	Chapter 2	Removal Methods for Heavy Metal Compounds
17	Section 2.1	Foreword
17	Section 2.2	Precipitation and Flotation
22	Section 2.3	Electrolysis
23	Section 2.4	Adsorption and Ion Exchange
25	Section 2.5	Extraction
25	Section 2.6	Membrane Process
28	Chapter 3	Removal Methods for Fluorine Compounds
28	Section 3.1	Foreword
28	Section 3.2	Precipitation
32	Section 3.3	Adsorption
33	Section 3.4	Ion Exchange
33	Section 3.5	Membrane Process
33	Section 3.6	Extraction
33	Section 3.7	Removal Methods of Fluoroborate and Fluosilicic Compounds from Wastewater
37	Chapter 4	Removal Methods for Sulfur Compounds
37	Section 4.1	Foreword
37	Section 4.2	Utilization
37	Section 4.3	Elimination Methods
37	Section 4.4	Coagulation and Precipitation
38	Section 4.5	Oxidation
39	Section 4.6	Ion Exchange
40	Section 4.7	Biological Methods
42	Chapter 5	Removal Methods for Ammonia-Nitrogen
42	Section 5.1	Foreword
42	Section 5.2	Physical Methods