

高等专科学校 环境类系列教材
高等职业技术学院

“三废”处理及综合利用

高红武 主编

"Sanfei" Chuli ji
Zonghe Liyong

中国环境科学出版社

高职高专环境类系列教材

“三废”处理及综合利用

高红武 主编

徐 征 胡献舟 赵旭德 副主编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

“三废”处理及综合利用 / 高红武主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.6

ISBN 7-80209-110-1

I. 三… II. 高… III. ①废物处理—高等学校: 技术学校—教材②废物综合利用—高等学校: 技术学校—教材 IV.X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 063422 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-67112735

网 址: www.cesp.cn

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

本中心以跟踪环境科学的发展, 出品优秀环境科学类图书为宗旨; 服务于读者、作者, 服务于社会。中心全体同仁愿成为您的朋友。

责任编辑: 黄晓燕

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

电子信箱: bianji1@cesp.cn

电话(传真): 010-67133437

印 刷 北京东海印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2005 年 9 月第一版

印 次 2005 年 9 月第一次印刷

印 数 5 000

开 本 787×960 1/16

印 张 27.5

字 数 480 千字

定 价 28.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

本书是适应中央提出的以科学发展观指导我国社会主义经济建设各项工作,推动循环经济的发展,以实现可持续发展战略而开设的一门满足化工、冶金、轻工及环境工程等工程类专业拓展专业知识面,强化清洁生产与循环经济意识,提高工艺技术知识和水平的跨学科的专业课。此前所编写出版的类似或相近教材,多数所涉及的专业面较窄,或者作为某些专业教材的部分章节,该教材较全面的综合阐述了相关内容,具有一定的特色和较强的适应性。由于该教材所涉及的知识面较广,应用到的基础理论知识也很广泛,加之为适应高职高专教学特点的要求,其基础理论以必须够用为度,突出应用性及联系生产实际,力求适应当前科学技术发展的需要,特别是推动循环经济发展及实现可持续发展和保护地球生态环境的需求。编写中注意了内容的适用性,典型性与先进性,在内容广度、深度的选择,兼顾不同需求等方面做了一些有益的探讨和尝试。

该教材共分六章。第一章绪论,介绍了相关基本概念和基础知识;第二章环境、资源与可持续发展概论,主要阐述环境资源的特点及相互关系,当前面临的环境与资源的重大问题。从可持续发展的战略选择出发,阐述了在科学发展观的指导下,实现可持续发展,使环境经济与社会效益的统一与协调,创建和谐社会;第三章工业烟气净化与气体污染的防治,阐述了工业废气污染及处理原则、工业烟气的净化和有关大气污染防治的相关知识,介绍了各种除尘技术和气态污染物的净化工艺原理与相关设备,同时兼顾了污染物的综合利用;第四章工业废水处理及利用,对水资源、水污染的基本概念,工业废水的处理工艺类型和方法原理作了简要阐述。在此基础上按不同工业类型:如冶金、化工、轻工及其他工业废水的处理与利用工艺原理,主要设备构造与工作原理作了介绍;第五章工业固体废弃物的处理及回收利用,阐述了固体废物的来源、危害、分类和一般处理和处置方法分类,分别讨论了矿山、能源、冶金、化工、石油、化纤、城镇和放射性固体废物的回收处理与利用。并介绍了目前最常用的处理工艺原理、处理流程与设备,以及相关知识;第六章工业生产中有价金属的综合回收,重点是突出有价金属的综合回收和利用。随着科学技术的发展,对金属材料的需求量不断增大,而作为不可再生资源的金属矿物,其回收利用尤其重要,也是推进循环经济的重要环节。按不同的金属类别,依其性能特征与使用功能,阐述了其回收与利

用的工艺原理与过程,有较强的适用性。

本书是高职高专院校环境保护、分析测试技术、冶金、化工、轻工等专业的相关课程教材,同时也可供各行各业工程技术人员参考。

本书由高红武(昆明冶金高等专科学校)任主编,徐征(昆明冶金高等专科学校)、胡献舟(长沙环保职业技术学院)、赵旭德(黄石理工学院)任副主编。章节编写分配如下:高红武编写第一章、第三章(第3、4、5、6、7、8、9节)、第四章(第4、5、6节)、第五章,徐征编写第六章,胡献舟编写第四章(第1、2、3节),赵旭德编写三章(第1、2节),徐汝琦、袁刚(扬州环境资源职业技术学院)编写第二章,全书由高红武统稿。王宜民教授、朱嘉安教授(昆明冶金高等专科学校)对全书进行了审校,在此深表谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免存在疏漏和错误,诚望批评指正。

编者

2005年6月

目
录

第一章 绪论	1
第一节 “三废”与环境污染	1
第二节 “三废”污染的防治原则	3
一、减少污染物的产生量	3
二、降低污染的排放量	3
第三节 “三废”处理和利用方法	4
第四节 “三废”处理和利用流程	6
第二章 环境、资源与可持续发展概论	8
第一节 环境资源的特点及相互关系	8
一、地球生态系统	8
二、环境的特点	9
三、资源的基本特点	9
四、资源与环境关系	10
五、中国资源的优劣	10
第二节 当前面临的环境与资源问题	11
一、人类面临严峻挑战	11
二、中国面临的重大环境与资源问题	13
第三节 以科学发展观指导可持续发展	21
一、可持续发展的定义与内涵	21
二、可持续发展战略在中国的实施	23
三、以科学发展观指导可持续发展	28
复习与思考题	31
第三章 工业烟气净化与气体污染的防治	32
第一节 概述	32
一、工业废气污染的来源及处理原则	32
二、工业废气净化处理	34
三、大气污染的防治	34
第二节 除尘技术	36

一、除尘技术基础.....	37
二、机械除尘器的种类及应用.....	44
三、湿式除尘器.....	56
四、电除尘器.....	63
五、过滤式除尘器.....	73
六、除尘装置的选择.....	81
七、烟气除尘及其流程.....	82
八、尘源控制.....	85
九、烟气管道系统.....	92
第三节 气体污染物的排放控制技术.....	101
一、气体吸收法.....	101
二、气体吸附法.....	104
三、热力燃烧和催化燃烧.....	106
四、稀释法.....	107
第四节 含硫废气的净化与利用.....	108
一、含二氧化硫烟气净化与利用.....	108
二、含硫化氢废气的净化与利用.....	133
第五节 含氮氧化物废气的净化与利用.....	139
一、概述.....	139
二、氮氧化物废气的净化方法.....	140
第六节 含氟废气的净化与利用.....	145
一、概述.....	145
二、含氟废气的净化与综合利用.....	146
第七节 含碳氧化物废气的净化与利用.....	155
一、一氧化碳废气的净化与利用.....	155
二、含二氧化碳废气的回收与利用.....	158
第八节 含氯废气的净化与利用.....	161
一、概述.....	161
二、含氯废气的净化方法.....	163
三、含氯化氢废气的净化与综合利用.....	167
第九节 含汞、铅、砷废气的净化与利用.....	168
一、含汞废气的净化.....	168
二、含铅废气的净化与利用.....	172
三、含砷废气的净化及含砷物料の利用.....	175
第十节 放射性废气的净化.....	177
一、概述.....	177

二、核工业放射性废气的控制与净化	179
复习与思考题	181
第四章 工业废水处理及利用	184
第一节 概述	184
一、水资源的特点	184
二、水污染及其危害	185
三、水污染的来源和分类	191
第二节 工业废水处理与利用的基本方法	193
一、废水处理方法的分类	193
二、废水的物理处理方法	195
三、废水的化学处理方法	201
四、废水的物理化学处理方法	206
五、废水的生物处理方法	214
第三节 冶金工业废水处理与利用	220
一、钢铁工业废水处理与回用	220
二、有色冶金工业废水处理与利用	239
第四节 轻工业废水的处理与利用	266
一、造纸废水的处理与利用	266
二、印染废水的处理及利用	273
三、化学纤维废水处理及利用	277
四、制革废水处理及利用	280
第五节 化学工业废水的处理及利用	284
一、含油废水的处理	284
二、含酚废水的处理	288
三、硝基化合物废水的处理及利用	293
四、酸碱废水的处理及利用	295
第六节 食品与其他工业废水的处理及利用	302
一、食品废水的处理及利用	302
二、酿造废水的处理及利用	308
三、抗生素等废水的处理及利用	311
四、农药废水的处理及利用	313
复习与思考题	316
第五章 工业固体废物的处理及回收利用	318
第一节 概述	318

一、固体废物来源和危害	318
二、固体废物分类	320
三、固体废物的处理处置	323
第二节 工业固体废物的回收和利用	327
一、矿山固体废物的综合利用	327
二、能源工业废物的回收和利用	331
三、冶金工业固体废物的回收利用	338
四、化学工业固体废物的回收和利用	343
五、石油化学工业固体废物的回收和利用	349
六、石油化纤工业固体废物的回收和利用	352
七、城市固体废物资源化技术	353
八、放射性固体废物的综合利用	370
复习与思考题	372
第六章 工业生产中有价金属的综合回收	373
第一节 贵金属的综合回收	373
一、贵金属的性质、应用和资源	373
二、共生资源综合利用概述	378
三、共生资源综合利用实例	382
四、二次资源的再生回收	388
第二节 稀散金属的综合回收	396
一、稀散金属的性质、应用	396
二、综合回收稀散金属典型实例	398
第三节 有色金属再生	405
一、再生有色金属的原料来源及预处理	406
二、铜再生实例	408
三、铝再生	412
四、铅再生	416
五、锌再生	421
六、马口铁废料生产再生锡	424
七、镍钴再生	426
复习与思考题	429
参考文献	430

第一章

绪 论

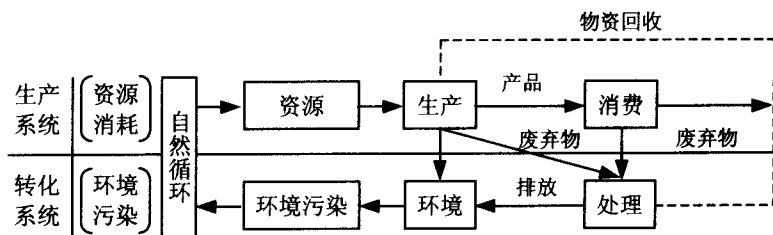
第一节 “三废”与环境污染

人类社会发展到今天，创造了前所未有的文明，但也带来一系列环境问题。环境问题是指由于自然或人为活动使环境质量发生变化，从而带来不利于人类生产、生活和健康的结果。

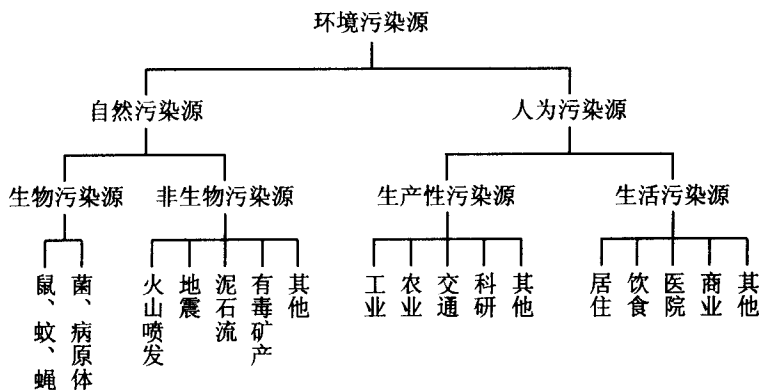
环境问题可以分为两类：由自然力引起的环境问题称为原生环境问题，如火山爆发、洪涝、干旱、地震、流行病等自然界的异常变化；又称为第一环境问题。由人类活动引起的环境问题称为次生环境问题，又称为第二环境问题。环境问题又可以分为环境污染与生态环境破坏两大类。由于人为或自然的因素，使环境的化学组分或物理状态发生变化，与原来的环境相比，环境质量发生恶化，扰乱或破坏了原有的生态系统或人们正常的生产和生活条件，称为“环境污染”，又称“公害”，如工业生产排放的废水、废气、废渣对水体、大气、土壤和生物的污染。“生态环境破坏”主要指人类盲目地开发自然资源引起的生态退化及由此而衍生的环境效应，如因过度放牧引起的草原退化、因毁林开荒造成的水土流失和沙漠化等。

人既是生产者，又是消费者。从生产者的人来说，任何生产都需要大量的自然资源来支持，如农业生产要有耕地；工业生产要有能源、各类矿产资源、各类生物资源等。随着人口增加，生产规模的扩大，所需要的资源继续或急剧增大。而任何生产中都有废物排出，生产规模的增大也加重了环境污染。对消费者来说，随着人口的增加、生活水平的提高，对土地的占用（住、生产食物）越大，对各类资源如不可再生的能源和矿物、水资源等的利用，亦急剧增加，同时，排出的废弃物质亦增加，加重了环境污染。

环境污染是一系列因果关系组成的系统，如图 1-1 中所表示的那样，从生产系统开始转化，污染主要是由大规模工业生产造成的，开发资源取得了原料和能源，破坏了原来的自然状况，各种原料、能源在生产中不能全部成为产品，形成废气、废水和各种固体废弃物排入环境。



凡是对环境产生污染的物质即称为污染物或污染因子，污染环境物质发生源则称为污染源。污染源有来自自然的，有来自人为的。其主要污染源如图 1-2 所示。



人为污染源是伴随人类活动而产生的，几乎已经延伸到人类活动的各个角落，严重地影响着甚至威胁着人类自身的生存环境。这种污染从某种意义上说是由于能源、水资源、物料的流失和浪费造成的。

按来源和人类社会功能的不同可以分为工业污染源、农业污染源、生活污染源及交通污染源等。按照污染物排放的种类,可以分为有机污染源、无机污染源、热污染源、放射性污染源、病原体污染源、噪声污染源、感官性状污染源、电磁波污染源以及同时排放多种污染物的混合污染源。人类凭借科学技术手段,从自然界中(环境中)获取其生产、生活所必需的生产资料和生活资料。人为污染源的产生则取决于科学技术水平、工艺设备、生产管理以及人们的环境意识等多方面的因素。大工业的产生,科学、工业、交通的迅猛发展,工业过分的集中,城市人口的过度密集,使得人为的环境污染显得愈来愈突出,成为当今污染的主要原因。

工业“三废”污染产生于:

(1) 原料的提取率或利用率不完全, 化学反应不彻底, 产生未被提取、未被

利用或未反应的废余物。

(2) 原料中的杂质，化学反应的副反应，往往合成为或产生废物。

(3) 石化燃料的燃烧产生烟尘废气。

(4) 工业中产生含有大量废热及含有防腐剂、杀藻剂的冷却水。

(5) 生产过程中的事故及“跑冒滴漏”等形成废物。

(6) 生产中的消耗性废物，如废轮胎、报废机器设备、管道、阀门、塑料制品、过时的建筑件以及废催化剂、废溶剂、废吸附剂等。

(7) 产品本身在使用过程中以及使用后也会成为危害人体健康和影响生态平衡的物品，如氟氯烃、多氯联苯、有机氯（砷、磷）农药、含铅汽油、农用薄膜、洗涤剂。

工厂废水（及生活污水）排放江河湖泊造成水体污染，农药化肥污水灌溉造成土壤、粮食及各种食品污染，各种烟尘废气排入大气造成污染。工业产品在生产和消费过程中生成的废料和废品介入环境所造成自然资源（包括能源）的利用不合理，这也是引起资源耗竭的重要原因。要解决工业污染必须与减缓资源耗竭联系起来，应减少乃至消除废料，使原料得到充分合理的利用。

第二节 “三废”污染的防治原则

工业生产过程中的废气、废水、废渣和农业上使用的农药、化肥等对自然环境造成的污染，可从以下两个方面来防治。

一、减少污染物的产生量

工业污染物主要是生产过程中产生的，只有改革生产工艺和合理组织、管理生产过程，才能减少污染物的产生量。

例如，应用无氰电镀工艺，可消除含氰废水的产生；采用隔膜电解法代替汞阴极电解法生产烧碱，可消除含汞废水的产生；使用酶法制革代替灰碱法，可避免危害性大的碱性废水产生；改用纤维素代替淀粉作上浆剂，可使棉纺织废水中的 BOD_5 降低 30%~50%；又如良好的燃烧条件，合理的设备结构，可以减少燃料燃烧时烟尘、 C_mH_n 、CO 等废气污染物的产生；加强生产管理、减少跑冒滴漏，禁止向下水道倾倒或冲洗余料、剩液等，可以减少废水量及其污染。应替代或停止生产和使用比生产过程更危害环境的某些产品，如多氯联苯、有机氯农药等。

二、降低污染的排放量

从“三废”中尽可能综合回收有用物质，可以减少（或消除）污染物的排放量

并得到合理的利用。

如废气中的 SO_2 ，用催化氧化法吸收制成硫酸；废水中的重金属离子，用离子交换法或其他方法加以回收；高炉废渣作为水泥混合材料等综合回收利用；生产过程废水处理回用；对于不能利用的废物进行无害化、减量化（如生化法、燃烧高温处理法）处理。

第三节 “三废” 处理和利用方法

在综合利用，回收其有用介质、原料、能源或对废物进行无害化、减量化处理时，可参考图 1-3 来选择合适的处理方法。

根据废物的组成是均相体系，还是多相体系，各组分含量及其物理化学性质，选择适宜的处理方法。首先应确定：①相分离；②特定组分分离；③化学转化或生物转化处理必要性；④不经过预处理分离废物的可能性。

在相分离中，对于悬浮体可以利用重力、离心力作用分离，或用某种过滤方法分离。胶体因不易沉降、过滤，需要电除尘、电泳及絮凝，也可采用胶粒浮选、超滤来分离。

特定组分分离，根据所需要分离对象存在的状态是分子还是离子、其物理化学特性（如蒸气压、溶解度、沸点、荷电性等）来选择方法。选用吹脱、气提、蒸发、结晶、冷冻等方法，或用阳（或阴）离子交换、电渗析、还有吸附、浮选、扩散渗析等方法分离。

有必要转化处理的，根据要处理物质的性质确定用化学转化处理，还是生物转化处理。对于酸碱废物，能破坏化学结构、改变价态使性质变化或毒性变小的，可选用化学转化处理，如中和、氧化、还原、电解等。对于有机废物、氨、硫化物、亚硝酸盐和病毒等选用生物转化处理，如好氧或厌氧生化、消毒处理。

一般情况下，会产生新的固体或污泥沉淀物，要进一步处理这些废物。但除去毒性或提取有用组分往往比较困难。只有在进行调理处理（用加热、冷冻、添加助滤剂、淘洗等方法改善污泥的脱水性能）、稳定处理（用加消毒剂等方法防止污泥腐败）、脱水处理（用浓缩、脱水、干化等过程降低污泥的含水率）后，才采用选地投弃。

如果已知悬浮粒子的大小，溶液中分子和离子的组成，可利用图 1-4 确定采用相分离法或溶液中提取个别组分的方法。如对溶液（或气体）中的 $1\sim 100\ \mu\text{m}$ 大小的颗粒，可采用重力沉降、旋液分离、离心分离、过筛和过滤，对于溶液中要分离出离子大小的粒子可用电渗析、反渗透、电解、离子交换、溶剂萃取、超过滤等方法。

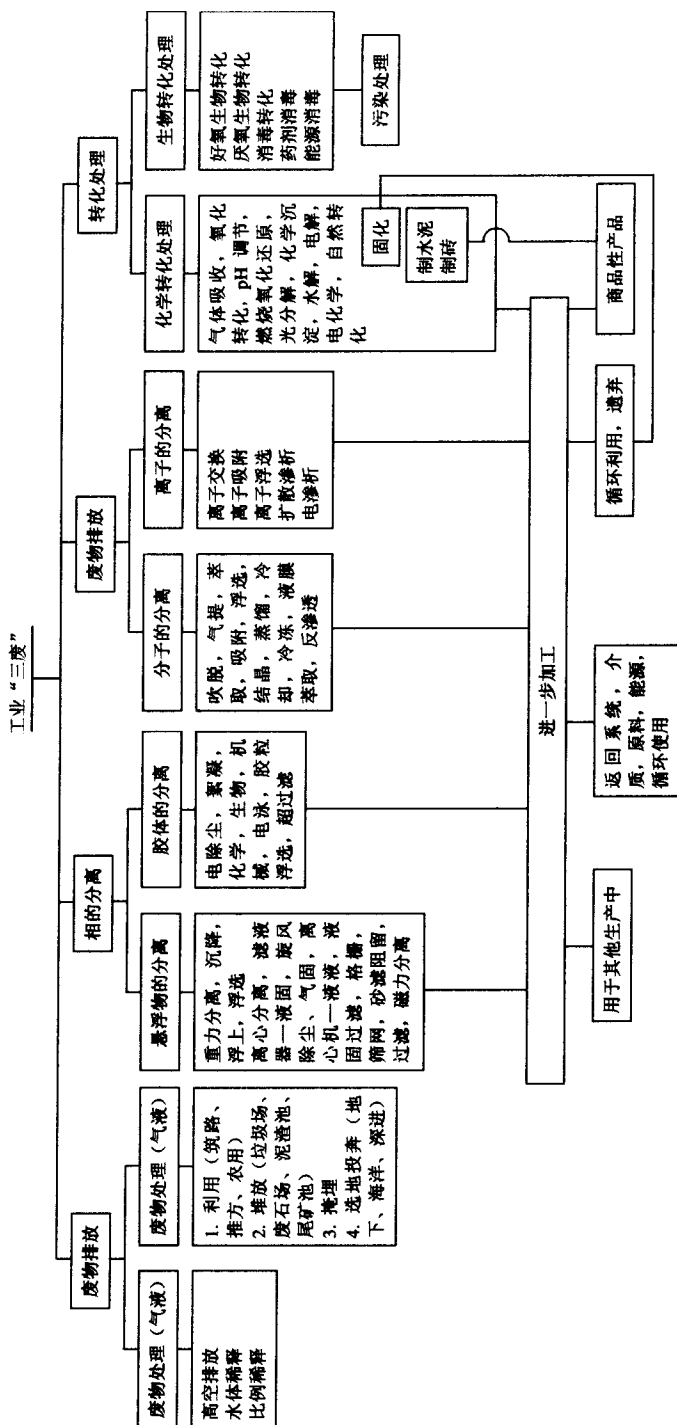


图 1-3 工业“三废”的利用和处理方法

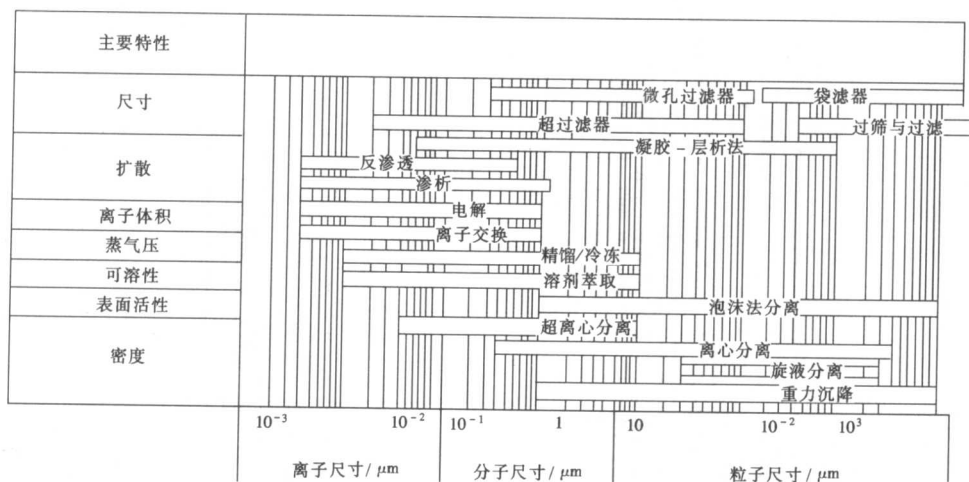


图 1-4 分离方法

第四节 “三废” 处理和利用流程

多数情况下, 某一废物处理仅采用一种方法难以得到预定效果, 通常需将物理法、化学法、生物法及其它方法联合起来合理配置, 按主次或前后次序组成一个处理流程。一般应按污染物浓度高低先分流处理, 才能达到有效的目的。例如, 对焦化厂含酚废水的处理, 可先把高浓度酸性废水经过沉淀法除悬浮物及焦油, 沉淀池出来的清液用萃取法回收酚, 含有相当量酚的萃取液, 与经砂滤法除去悬浮物后的含低浓度酚废水一起进入调节池中, 经均匀水质和调节水量后, 加入生活污水, 再用活性污泥法(在曝气池中)彻底除去酚, 最后再用沉淀法分离活性污泥后排放。即需要用萃取法、活性污泥法、再沉淀法的次序所组成的流程来处理, 才能经济地回收酚, 有效除去污染物(酚)。其流程如图 1-5 所示。

从排放的废弃物中回收有用的物料(往往又是有害、有毒的物质), 开展综合利用。在某种意义上, 废与不废是相对的。煤焦油、石油炼厂气在没有开辟化工利用前景之前, 也曾被视作为废料, 如今却成为宝贵的合成材料。把“三废”中的有毒物质分离出来加以回收, 本身也是无害化处理的过程。从“三废”中回收有用物质, 有的是通过分离操作就直接得到, 有的则是通过相应的化学处理, 把“三废”中的特定组分转化为所需的产品, 再加以回收。现在还没有找到合适用途的许多废渣、废油, 实际上都是可二次利用的原料。

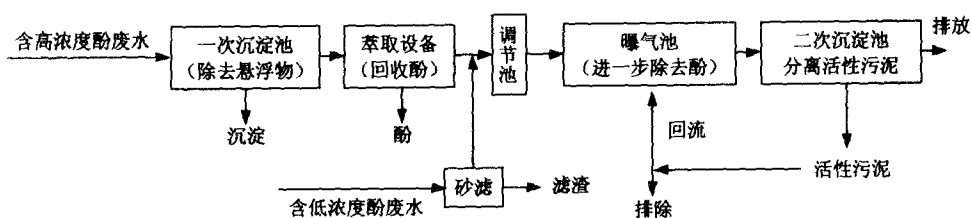


图 1-5 焦化厂含酚废水回收处理流程

掌握区域内污染物的产生、排放和处理状况，最大限度地减少能源、水资源及原材料的消耗，提高其利用率，控制流失率，加强工业企业的技术改造、污染治理和综合利用是改善环境质量的根本途径。

环境、资源与可持续发展概论

地球是人类唯一的家园，地球的资源环境是人类生存的基本条件。保护生态环境是新世纪面临的重大课题。

第一节 环境与资源的特点及相互关系

一、地球生态系统

空间中的生物群落与其环境组成的系统，称生态系统。地球的生物圈是一个基本不与外界进行物质交流，但能量可以自由进出的封闭生态系统。在生物界中绿色植物吸收阳光、二氧化碳和无机物，通过光合作用释放氧气并生产出复杂的有机物；一部分动物以植物为食，从中获取营养，另一部分动物以动物为食，它们都是生物界中营养的消费者；微生物可将动植物尸体及其排泄物从复杂的有机物分解还原为简单的无机物，并从中获取营养。从营养关系上看，生物界组成一个个食物链，这些食物链又组成复杂的食物网。阳光提供的能量驱动物质沿食物链和食物网不停地循环流动。生物的进化是生物与环境相互作用的结果。

在自然界中，生物的种群在环境无明显变化时，个体数量基本保持稳定。一个种群栖居的环境空间和食物有限，只能承载一定数量的生物，若承载量饱和则生物的增长量下降，个体死亡率会提高；当种群数量减少时增长量将上升，最终使种群数量达到该环境允许的水平。

人是生物界的一员，自然环境的任何变化都会影响人类生存；人类是具有思维能力的高等生物，能够主动改造自然。人类的活动可创造美好的生态环境，也可能由于无知与失误对生态系统造成永久性的破坏。例如南太平洋上的莱生珊瑚岛，原先植被丰茂，野生爬行动物和鸟类众多。为了利用岛上的动物资源，人们计划组建肉类罐头加工厂，1903年引进了一批家兔和野兔。由于岛上没有大型食肉动物，也没有流行的致命性疾病，兔子迅速繁殖，岛上的植被遭到毁灭性破坏，原有的25种植物在10年内减少至4种。由于植被破坏，水土流失严重，千万年形成的土壤在短时期被冲刷一空，呈现沙漠化趋势。至此人们才觉醒，不能为建工厂而毁坏一颗“海上绿色明珠”。再例如20世纪中叶，美国亚利桑那州北部的凯巴伯森林中生