

曾郴林 刘情生 主编

工业废水 处理工程 设计实例

GONGYE FEISHUI
CHULI GONGCHENG SHEJI SHILI

中国环境出版社

工业废水处理工程设计实例

曾郴林 刘情生 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

工业废水处理工程设计实例/曾郴林, 刘情生主编.

—北京: 中国环境出版社, 2016.10

ISBN 978-7-5111-2898-0

I. ①工… II. ①曾…②刘… III. ①工业废水处理—工程设计 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 192989 号

云南今业生态建设集团有限公司

地址: 云南昆明关平路万兴花园

电话: 0871-67156777

云南开发规划设计院

地址: 云南昆明经济技术开发区昌宏路 49 号

电话: 0871-66305696

出版人 王新程

责任编辑 沈建

责任校对 尹芳

封面设计 宋瑞

出版发行 中国环境出版社

(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (总编室)

010-67113412 (教材图书出版中心)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2017 年 1 月第 1 版

印 次 2017 年 1 月第 1 次印刷

开 本 880×1230 1/16

印 张 66

字 数 1840 千字

定 价 360.00 元

【版权所有。未经许可, 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

编 委 会

主 编：曾郴林 刘情生

副 主 编：邓辅唐

钟世民 邓辅商 吴锡平 易艳梅

编委成员：（按姓氏笔划排序）

刘英礼 孙 权 张刚强 张 勇 李江燕 杨 武 闵根平

官小刚 范 伟 候 妮 徐庆涛 黄彩琴 喻家伟 胡娜妮

前 言

工业废水是造成环境污染，特别是水体污染的重要原因之一，控制和消减工业废水污染是改善我国水环境质量的重要内容和保障。工业行业种类繁多，废水性质迥异，处理难度大。随着国务院《水污染防治行动计划》（“水十条”）的发布，工业废水排放标准和监管力度将得到进一步提升，其政策的实施也将强力推动工业废水污染的全面治理。为此，历经两年，一部集各方智慧、三易其稿，专为工业废水处理工程设计实务量身打造的专业书籍正式面世。

全书共分为十二章，以工业废水处理系统设计实践为基础，通过以案例的形式，为读者呈现了包括化学工业废水、医药工业废水、机械电子工业废水、皮革制品工业废水及生物、食品工业废水在内的 6 大工业废水的处理技术及工程方案设计。其中工程方案设计包括污水来源、水质水量、工艺流程、主要设备、工程造价、运行费用、平面及高程布置等。主要作者从事水处理工作 30 余年，设计的工程项目类型多，处理的故障多，所精选的 91 个工业废水处理方案实例均由作者亲自设计或参与指导设计，不仅覆盖面广，而且得到了实际实施并运行效果良好，突出了其创新性、实用性、成熟性和代表性。同时，书中还汇集了常用的工业废水处理系统、设备结构设计概算等专业数据、图表和专业设计规程、规范条文等资料，是有关水处理设计方面的实用书籍。本书适用于从事水处理工作方面的专业人员及相关专业的高等院校师生阅读参考，也可作为水处理设备经营人员的参考资料。

由于本书编写涉及专业面广，时间跨度大，一些技术尚处于探索阶段，部分数据及图片无法考究，浅陋之处还请同行和师长们指正。

目 录

第一章 制浆造纸工业废水.....	1
实例一 宁波市某公司 1 200 m ³ /d 造纸废水回用处理工程	7
实例二 湖南某造纸厂 12 000 m ³ /d 造纸废水处理工程	13
实例三 宁波某再生纸厂 3 000 m ³ /d 造纸废水处理改造工程	20
第二章 化学工业废水.....	27
实例一 宁波某集成电路元件公司 120 m ³ /d 中水回用工程	30
实例二 贵州某化工厂 120 m ³ /h 废水处理站设计	36
实例三 景洪市某天然橡胶加工厂 50 m ³ /h 综合废水回用处理工程.....	44
实例四 桂林某光伏能源企业 3 000 m ³ /d 综合废水处理工程	52
实例五 河南某发制品生产企业 2 500 m ³ /d 废水处理工程	63
实例六 云南某 LED 衬底基片生产企业 1 000 m ³ /d 生产废水处理工程.....	72
实例七 云南某企业 PVC 次氯酸钠废水处理回用工程	81
实例八 郴州某科技公司 400 m ³ /d 玻璃生产废水中水处理工程.....	88
实例九 长沙某环保科技有限公司 80 m ³ /d 膜生产废水处理工程	104
实例十 宁波某化工有限公司 1 000 m ³ /d 生产废水循环处理工程.....	122
实例十一 福建某化工有限公司 4 100 m ³ /d 合成氨工业废水处理回用工程设计.....	129
实例十二 江西某科技公司 350 m ³ /d 水晶玻璃制造生产废水处理工程设计.....	145
实例十三 宁波某磁业有限公司 10 m ³ /h 电镀生产废水回用处理工程.....	163
实例十四 深圳某微电子企业 20 m ³ /h 废水回收系统改造工程	169
实例十五 江西某电子材料公司 3 m ³ /h 高氨氮废水处理方案设计.....	175
实例十六 宁波某电子有限公司 24 m ³ /d 晶片生产废水处理工程.....	184
实例十七 昆明某洗涤公司 300 m ³ /d 废水处理及回用工程	191
实例十八 宁波某光伏电池企业 500 m ³ /d 含氟废水达标处理工程.....	205
实例十九 宁波某塑胶制品企业 200 m ³ /d 废水处理及中水回用工程.....	215

实例二十	宁波某高分子科技有限公司 150 m ³ /d 化工废水处理工程.....	223
实例二十一	宁波某文具企业 240 m ³ /d 电泳漆废水处理工程.....	231
实例二十二	宁波某制冷设备有限公司 6 m ³ /d 化工废水处理工程.....	238
实例二十三	宁波某静电喷塑厂 20 m ³ /d 废水处理及中水回用工程.....	244
实例二十四	宁波某电路板生产企业 150 m ³ /d 中水回用处理工程.....	251
实例二十五	400 m ³ /d 制衣废水处理工程工艺设计	257
实例二十六	云南通海县某科技有限公司 800 m ³ /d 有机肥综合废水治理工程.....	262
第三章	纺织染整工业废水.....	277
实例一	宁波市某纺织企业 3 000 m ³ /d 印染废水回用处理工程.....	282
实例二	无锡某废水处理企业 16 000 m ³ /d 印染废水处理提标改造工程.....	289
实例三	宁波某毛绒制品企业 200 m ³ /d 废水处理及中水回用工程.....	297
实例四	大连某家用饰品公司 100 m ³ /h 印染废水处理及中水回用处理工程.....	304
实例五	某漂印厂 4 000 m ³ /d 印染废水预处理系统工艺设计	325
第四章	钢铁工业废水.....	334
实例一	昆明某钢铁集团 80 m ³ /h 生产废水回用处理工程	342
实例二	云南昭通某洗煤场 1 000 m ³ /d 洗煤废水处理及精煤回收技术方案.....	350
实例三	越南下龙某焦化厂 45 m ³ /h 焦化废水处理工程	356
实例四	7 200 m ³ /d 焦化废水处理工程方案设计	378
实例五	50 m ³ /h 焦化废水处理站设计方案	386
第五章	养殖、屠宰及肉类加工废水.....	413
实例一	云南某集团企业下属养殖场 800 m ³ /d 养殖废水处理及中水回用工程.....	417
实例二	云南某食品加工企业 200 m ³ /d 屠宰废水回用工程	430
实例三	云南某肉类加工厂 3 000 m ³ /d 废水处理站改造工程	441
实例四	山西某食品公司 30 m ³ /d 牛肉加工废水处理工程	454
实例五	500 m ³ /d 屠宰废水处理工程设计方案	465
实例六	肉类深加工企业 130 m ³ /d 屠宰废水处理站改造工程	478
实例七	300 m ³ /d 家禽类深度加工废水处理工程设计方案	488
第六章	食品加工工业废水.....	497
实例一	广西某制糖企业 8 400 m ³ /d 循环冷却水处理工程	500
实例二	南宁某糖业有限公司 6 000 m ³ /d 制糖废水处理工程	507
实例三	昆明某薯片加工企业 600 m ³ /d 废水回用处理工程	515

实例四	云南某烘焙企业 400 m ³ /d 生产废水处理站改造工程	526
实例五	四川某农业发展有限公司 1 500 m ³ /d 柚汁生产废水回用处理工程.....	538
实例六	云南某饮品有限公司 300 m ³ /d 核桃饮料生产废水处理工程.....	551
实例七	保定某食品科技股份有限公司污水处理站方案设计	561
实例八	云南新平 400 m ³ /d 木薯淀粉废水处理工程	567
实例九	UASB+SBR 工艺处理酱菜调味品企业废水	577
实例十	云南 500 m ³ /d 核桃乳生产废水处理回用工程	589
实例十一	600 m ³ /d 水产品加工废水处理工程	607
实例十二	广西来宾市某糖厂 14 400 t 生产废水处理工程方案设计	617
实例十三	1 440 m ³ /d 红柚清洗废水处理工程	629
第七章	饮料酒及酒精制造业废水	644
实例一	云南某酒业有限公司 133.5 m ³ /d 白酒废水处理及中水回用工程.....	648
实例二	新疆某生物科技有限公司 1 800 m ³ /d 玉米酒精发酵废水处理工程.....	657
第八章	制药工业废水	673
实例一	制药公司 300 m ³ /d 综合废水处理及回用改造工程	677
实例二	生物制药企业 70 m ³ /d 万寿菊压榨废水处理工程	686
实例三	云南某制药企业 250 m ³ /d 综合废水处理及回用工程	694
实例四	江西某生物制药公司 800 m ³ /d 废水处理站改造工程	700
实例五	72 m ³ /d 中药废水处理工程设计方案	712
实例六	医药中间体废水处理工艺技术方案.....	736
实例七	500 m ³ /d 中药制药废水处理工程	751
实例八	300 m ³ /d 植物提取综合废水处理改造工程	795
实例九	25 m ³ /d 氨基酸生产废水回收与处理工程	809
实例十	云南某药业 150 m ³ /d 综合废水处理工程	817
第九章	机械加工工业废水	839
实例一	电子公司电镀废水处理及中水回用改造工程.....	842
实例二	机械加工企业废水处理站改造工程.....	849
实例三	义乌某电镀厂 300 m ³ /d 废水处理改造工程设计方案	868
实例四	大型机车制造企业 2 400 m ³ /d 废水处理及中水回用工程.....	877
实例五	不锈钢生产企业 720 m ³ /d 废水回用处理工程	896
实例六	金属表面加工废水处理及中水回用设计	901

实例七 金属压延厂 360 m ³ /h 钢带酸洗废水处理设计	908
实例八 25 m ³ /d 电镀废水回用处理工程设计	914
实例九 电镀厂镍生产废水回收与再生利用工程设计	924
实例十 磁电企业电镀废水处理工程设计	929
实例十一 某机电生产废水的多级物化处理设计	938
第十章 有色金属工业废水	948
实例一 湖南某铅锌选矿厂 3 000 m ³ /d 重金属选矿废水回用改造项目	958
实例二 广西某有色金属冶炼厂 12 000 m ³ /d 废水处理改造工程	964
实例三 余姚市某铜业公司 50 m ³ /d 酸洗废水处理工程	969
第十一章 石油工业废水	975
实例一 宁波某炼化厂 500 m ³ /d 炼油废水处理改造项目	979
实例二 5 000 m ³ /d 石化工业园区废水处理工程	993
实例三 120 t/d 采油废水处理工程设计方案	999
实例四 炼化企业 480 m ³ /d 中水回用处理设计方案	1006
第十二章 制革废水	1013
实例一 宜章某制革厂 300 t/d 制革废水处理厂工程	1021
实例二 徐州某制革厂 5 000 m ³ /d 废水处理工程设计方案	1033

第一章 制浆造纸工业废水

1 制浆造纸废水概述

造纸工业废水是指制浆造纸生产过程中所产生的废水。造纸工业所产生的废水具有种类繁多、水量大、有机污染物含量高等特点，属于难处理的工业废水之一。废水来源于制浆及造纸各个环节，针对废水的特征确定有效的处理工艺，当前用于造纸工业废水处理的主要方法有沉淀、气浮、吸附、膜分离、好氧生物、厌氧生物等处理方法以及几种工艺结合的处理方法。无论采用什么样的方法，废水都需要进行一定的处理，其目的主要是为了改善废水水质，以便满足各工艺的进水要求，提高废水处理的整体效果，确保整个处理系统的稳定性。随着造纸工业的迅速发展，其废水的治理也越来越引起各方面的重视。近年来，人们针对造纸废水的特性开发出了一系列的处理技术。

2 制浆造纸废水的来源与特点

2.1 蒸煮工段废液

蒸煮工段废液指的是碱法制浆产生的黑液和酸法制浆产生的红液。我国绝大部分造纸厂采用碱法制浆而产生黑液。黑液中所含的污染物占到了造纸工业污染排放总量的 90% 以上，且具有高浓度和难降解的特性，它的治理一直是一大难题。黑液中的主要成分有 3 种，即木质素、聚戊糖和总碱。木质素是一类无毒的天然高分子物质，作为化工原料具有广泛的用途，聚戊糖可用作牲畜饲料。

2.2 中段水

制浆中段废水是指经黑液提取后的蒸煮浆料在筛选、洗涤、漂白等过程中排出的废水，颜色呈深黄色，占造纸工业污染排放总量的 8%~9%，吨浆 COD 负荷 310 kg 左右。中段水浓度高于生活污水，BOD 和 COD 的比值在 0.20 到 0.35 之间，可生化性较差，有机物难以生物降解且处理难度大。中段水中的有机物主要是木质素、纤维素、有机酸等，以可溶性 COD 为主。其中，对环境污染最严重的是漂白过程中产生的含氯废水，例如氯化漂白废水、次氯酸盐漂白废水等。次氯酸盐漂白废水主要含三氯甲烷，还含有 40 多种其他有机氯化物，其中以各种氯代酚为最多，如二氯代酚、三氯代酚等。

此外，漂白废液中含有毒性极强的致癌物质二噁英，对生态环境和人体健康造成了严重威胁。

2.3 白水

白水即抄纸工段废水，它来源于造纸车间纸张抄造过程。白水主要含有细小纤维、填料、涂料和溶解了的木材成分，以及添加的胶料、湿强剂、防腐剂等，以不溶性 COD 为主，可生化性较低，

其加入的防腐剂有一定的毒性。白水水量较大，但其所含的有机污染负荷远远低于蒸煮黑液和中段废水。现在几乎所有的造纸厂造纸车间都采用了部分或全封闭系统以降低造纸耗水量，节约动力消耗，提高白水回用率，减少多余白水排放。

3 制浆造纸废水的常规处理方法

制浆造纸废水由于污染物浓度高、成分复杂、可生化性差、流量和负荷波动较大而成为难处理的工业废水之一。其处理方法分为以下几种：化学处理法（包括臭氧氧化、光电催化、超临界水氧化等），物理化学处理法（包括混凝、气浮、吸附、膜分离、电渗析等），生物处理法（好氧生物、厌氧生物、好氧厌氧组合生物处理^①）。

3.1 黑液的处理与资源化

3.1.1 碱回收法

碱回收处理法是目前解决黑液问题比较有效的方法，通过黑液提取、蒸发、燃烧、苛化四个主要工段，可将黑液中的 SS、COD、BOD 一并彻底去除，并可回收碱，产生二次蒸汽（能量）。然而，碱回收系统技术要求高，设备投资较高，一般中小型造纸厂无力承担建设碱回收系统所需的高额费用，碱回收系统目前仅主要应用于大型造纸厂。此外，草浆厂产生的白泥中硅含量高，不易回烧成石灰，白泥有可能造成二次污染。

3.1.2 酸析法

传统的酸析法是将碱性黑液用酸沉淀，分离出木素，再将废水与中段水混合进行好氧、厌氧生化处理。这种工艺比较成熟，与碱回收处理法相比，最大的优点是设备投资少，可以在中小型造纸厂应用。但这种方法分离出的木素灰分高，杂质多，利用困难。且这种工艺用酸量大，成本高，设备腐蚀严重，易造成酸泄漏事故，危害后续生化处理单元。

利用烟道气酸析黑液是近年来处理黑液的另一种方法。对蒸煮黑液进行烟道气酸析，其酸析过程兼具强酸和弱酸酸析的特点，净化效果可达到硫酸酸化法的水平，而终点 pH 值却较硫酸法高 2~2.5，极大地减轻了二次酸性废水的污染。近来有学者提出并设计了“黑液烟气酸析净化—单阳膜电渗析”的碱回收工艺流程。该工艺采用了以废治废的方法，既消除了烟道气污染，又避免了木质素沉淀堵槽的现象，从而提高了碱的回收率，降低了吨碱的耗电量。用该法处理造纸黑液，木质素去除率高达 85%~97%，色度、COD、硅去除率分别为 75.94%、63.18%和 87.32%。实验表明，该改性黑液的加入可明显改善生坯的成型、干燥性能，提高烘烤后成品的抗压强度，降低吸水性能，并为建材行业节约大量的地下水。

3.1.3 超声法

超声降解水体中有机污染物是物理—化学降解过程，主要靠超声空化效应而引起的物理和化学变化降解污染物。液体的超声空化过程是集中声场能量并迅速释放的过程，即液体在超声辐射下产生空化气泡，这些空化气泡吸收声场能量并在极短的时间内崩溃释能，在其周围极小空间范围内产生高温高压、强烈的冲击波和微射流等现象。进入空化气泡中的水蒸气在高温高压下反应产生氢氧自由基，而进入气泡内的有机污染物蒸汽也可发生类似燃烧的热分解反应，在空化气泡表面层的水分子则可形成超临界水，增加了化学反应速率。有机污染物通过氢氧自由基氧化、气泡内燃烧分解、超临界水氧化三种途径进行降解。此技术可在一定程度上降解造纸黑液中大分子有机物，有望成为

① 褚华宁，张仁志，韩恩山. 造纸废水的处理技术及研究进展[J]. 环境监测管理与技术，2006，18（1）：36-37，47.

生化法处理造纸废水的前处理技术。

3.1.4 燃烧法

燃烧法的工艺流程是利用烟道气余热、外加煤热量蒸发浓缩黑液，然后将木素等有机物燃烧，同时回收碱。这种工艺的工业化技术已经比较成熟。燃烧法每吨黑液的投资较碱回收法稍低，但运行成本较高。对燃烧法做出改进，利用高 CaO 含量的赤泥和高有机物含量的造纸黑液研制的散煤固硫助燃剂，可以达到固硫助燃的作用，尤其是在 1 050℃ 左右时对低硫煤的助燃效果最好。这种处理造纸黑液的方法达到了变废为宝的效果，具有良好的环保意义和经济效益。

3.1.5 混凝法

混凝法是向废水中投入一定量的混凝剂，使废水中难以自然沉淀的胶体状污染物和一部分细小悬浮物经过脱稳、凝聚、架桥等反应过程，形成具有一定大小的絮凝体，再在后续沉淀池中沉淀分离，从而使胶体状污染物得以从废水中分离出来的方法。常用的混凝剂主要有无机混凝剂（如铝盐、铁盐等）和有机混凝剂（如聚丙烯酰胺等）两大类。有研究者用工业废渣经硫酸和盐酸的混合酸浸提后制得矿渣复合混凝剂，考察了废渣种类、酸浓度、温度对造纸黑液混凝效果的影响。结果表明，以粉煤灰为原料制得的混凝剂混凝效果最好，浸提所用酸浓度不宜太高，浸提时温度升高有利于提高混凝效果，提出了具有实用价值的黑液处理工艺。

3.2 中段水的处理

3.2.1 化学氧化法

化学氧化法是指利用强氧化剂的氧化性，在一定条件下与中段水中的有机污染物发生反应，从而达到消除污染的目的。常见的强氧化剂有氯、二氧化氯、臭氧、过氧化氢、高氯酸和次氯酸盐等。

臭氧因具有很高的氧化电位（ $E_0=2.07\text{ V}$ ）而对中段水有很好的脱色效果。臭氧质量浓度为 20 mg/L 时，只要 90 min 就可以去除中段水色度的 90%，而且其中 85% 是在 15 min 内完成的。有大量自由基参加的化学氧化处理工艺称为高级化学氧化法，此处理工艺可使废水中有机污染物彻底分解，是近年来备受重视的水污染治理新技术。如臭氧和紫外线（UV）、超声波、催化剂等联合使用，大大提高了氧化脱色性能。这些辅助手段所提供的能量不仅催化臭氧产生具有极强氧化性的氢氧自由基，而且能激发水中的物质，使其成为激发态，加速氧化反应的速率。

光催化氧化法是在特殊的光照射条件下发生的有机物参与的氧化分解反应，最终把有机物分解成无毒物质的处理方法。光催化氧化法由于产生的电子—空穴对具有较强的氧化和还原能力，能氧化有毒的无机物，降解大多数有机物，最终生成简单的无机物，使中段水对环境的影响降到最低。有学者对 TiO_2 光催化氧化技术在造纸废水处理中的应用进行研究发现：用 TiO_2 作催化剂，在 O_2 和紫外光作用下，室温处理时间不超过 1 h，中段水中的总有机氯和色度可降低 80% 以上，再经生物氧化法处理，废水中 COD、TOC 和色度几乎完全被去除。

3.2.2 物化法

物化法包括吸附法、混凝法、膜分离法等。

吸附法是采用多孔的固体吸附剂，利用固—液相界面上的物质传递，使废水中的有机污染物转移到固体吸附剂上，从而使之从废水中分离除去的方法。目前用于水处理的吸附剂主要有：活性炭、硅藻土、氧化硅、活性氧化铝、沸石及离子交换树脂等。活性炭是最早应用的脱色吸附剂，虽能有效脱除废水中的颜色，但价格较高，再生困难且损失率高，因此一般只用于浓度较低的废水处理或深度处理。膨润土主要成分为硅铝酸盐，其层状结构间具有可交换的钙、镁、钠等离子，膨润土颗粒表面往往带有电荷，因而具有良好的吸附性。用硫酸活化方法制作活化粉煤灰吸附材料，结果表明，在 20℃，pH=7 时，粉煤灰对有机物有明显的去除效果。该吸附材料的制作以及其用于处理工

业废水的成本低，并且达到了废物综合利用的目的。

混凝法处理中段水的原理与其处理黑液的原理相同，通过混凝，可降低中段水的浊度、色度，去除高分子物质、呈悬浮状或胶体状的有机污染物和某些重金属物质。中段水处理中常用的混凝剂主要有：硫酸铝、硫酸镁、二价或三价的铁盐、氧化铝、氧化钙、硫酸、磷酸、聚酰胺类有机高聚物等。

膜分离法是一种新兴的分离、净化和浓缩技术。膜分离过程是以选择性通透膜为分离介质，在两侧加以某种推动力，使待分离物质选择性地透过膜，从而达到分离或提纯的目的。膜分离法具有分离效率高，且将滤后的净化水重复利用于生产，实现“零排放”，装置简单，操作容易，易维修、控制等优点^①。膜分离可分为超滤、电渗析、纳滤等技术。超滤是以压差为推动力，按粒径选择分离溶液中所含的微粒和大分子的膜分离操作；电渗析是以电位差为推动力，利用离子交换膜的选择透过性，从溶液中脱除或富集电解质的膜分离操作；纳滤是以压差为动力，介于反渗透和超滤之间，从溶液中分离物质的膜分离过程。美国、芬兰、挪威和瑞典等国家在造纸工业采用膜分离技术处理漂白废水，生产工艺已比较成熟；我国在 20 世纪 70 年代也开始研究膜分离技术处理造纸废水，取得了一定进展。

3.2.3 生物法

生物法是利用微生物降解代谢有机物为无机物来处理废水。通过人为的创造适于微生物生存和繁殖的环境，使之大量繁殖，以提高其氧化分解有机物的效率。根据使用微生物的种类，可分为好氧法、厌氧法和生物酶法等。

好氧法是利用好氧微生物在有氧条件下降解代谢处理废水的方法，常用的好氧处理方法有活性污泥法、生物膜法、生物接触氧化、生物流化床等方法。相对于活性污泥系统而言，生物膜系统具有如下显著优点：高容积负荷，更强的抗毒能力和耐冲击负荷能力，无须污泥回流，处理设施紧凑。在造纸废水处理中逐渐得到了广泛应用^②。

厌氧法是在无氧的条件下，通过厌氧微生物降解代谢来处理废水的方法。厌氧法的操作条件要比好氧法苛刻，但具有更好的经济效益，因此也具有重要的地位。目前开发出的有厌氧塘法、厌氧滤床法、厌氧流动床法、厌氧膨胀床法、厌氧旋转圆盘法、厌氧池法、升流式厌氧污泥床法（UASB）等。通常为了取得更好的处理效果，将好氧法和厌氧法联合使用。

生物酶处理有机物的机理是先通过酶反应形成游离基，然后游离基发生化学聚合反应生成高分子化合物沉淀。与其他微生物处理相比，酶处理法具有催化效能高、反应条件温和、对废水质量及设备情况要求较低，反应速度快，对温度、浓度和有毒物质适应范围广，可以重复使用等优点。

3.2.4 电子束法

电子束法依赖高能电子束对水的辐射作用，产生活性自由基，通过这些活性自由基与水中有机物的作用，达到去除水中有机物的目的。高能电子束对细菌和病毒有较好的杀灭作用，而且电子束不生成副产物，没有二次污染物，工艺本身清洁，是较先进的污染处理技术。

3.2.5 电化学法

电化学法是通过电极反应来产生活性很强的新生态自由基，废水中的发色有机物在这些自由基的作用下发生氧化还原反应，降解为无色的小分子物质或者形成絮凝体沉淀下来，处理后水的色度和 COD 都得到了降低。人们对电化学法进行了改进，在电化学反应器中使用金属铝或铁作为阳极，电解时产生的 Al^{3+} (Fe^{2+}) 水解生成铝（铁）的氢氧化物等具有混凝剂作用的物质。与混凝法投入的

① 杨玲. 用于造纸废水处理的膜分离技术研究进展[J]. 四川理工学院学报（自然科学版），2005，18（2）：62-65.

② 梁宏，林海波. 造纸废水治理技术研究现状及展望[J]. 四川理工学院学报（自然科学版），2002，18（2）：56-60.

铝(铁)无机盐相比,它具有更高的活性,更强的絮凝作用,使中段废水中的有机悬浮物及胶体粒子凝聚,形成絮体。阴极上生成的氢气以微细气泡的形式排出,与絮体黏附一起,上浮到水面而被分离,这种方法被称为电絮凝法。将电化学法和凝聚沉淀法联合应用处理造纸废水,使造纸废水 COD 去除率达到 55%~70%,色度去除率达到 90%~95%。

3.2.6 物理法

物理法即采用各种筛网、滤网、斜形筛、格栅等预处理中段水,主要阻截滤出水中较大的废纸浆纤维,回用于生产普通板纸或油毡原纸。废纸浆纤维掺加量一般在 10%~15%,回收利用可得到一定的经济效益。除此之外,微滤与振动筛技术作为一种简单的机械过滤方法,也逐渐被应用到中段污水的预处理中去。它适用于把废水中存在的微小悬浮物质、有机物残渣及其他悬浮固体等最大限度地分离出来,大大降低了后处理负荷,且处理水量大,管理方便,回收废纸浆品质好,成为造纸中段水预处理中一项很有发展前途的技术。

3.2.7 综合法

以上介绍了造纸中段水处理的一些方法,实际上,这些方法大都是综合应用的。每种方法都有自身的优点和不足,单一使用某种方法进行废水处理,不仅成本高,处理后的废水也难达到排放标准。因此,常将它们结合起来使用,寻找适合不同水质的最佳搭配方式,使流程简化。

3.3 白水的处理与回用

3.3.1 气浮法

气浮法是白水处理中较常用的方法。白水中所含的物质为短纤维、填料、胶状物以及溶解物,它经过调节后在气浮池内与减压后的溶气水混合,进行气浮操作过程。完成分离后,清水入清水池供纸机回用,短纤维进入浆池供造纸机回用。气浮法在我国造纸企业中有较广的应用。

3.3.2 絮凝法

絮凝法在造纸白水处理中也有应用,其原理上面已有介绍。利用絮凝剂处理造纸白水, COD 去除率可达 98%,且操作方法简单、周期短、处理结果稳定。

3.3.3 过滤法

应用于白水处理的过滤法常见的有两种:真空过滤法和微滤法。真空过滤法具有过滤速度快、处理量大、工艺过程稳定、占地面积小、基建费用少、运行费用低等特点,处理后的白水可直接用于造纸过程。近年来国内的一些大型造纸企业大力推广真空过滤机用于白水处理,使得白水的处理与循环回用的程度大大提高。

微滤法采用的过滤介质为不锈钢丝网或化纤网,其过滤孔径的大小可根据用户的废水种类、浓度等的不同而随意选择,最小孔径当量可小于 20 μm 。其优点更在于工艺简单、占地少、投资省;过滤能力大、效率高、运行费用低、操作极其简便。

3.3.4 膜分离法

膜分离技术处理造纸白水,可以较彻底去除造纸白水中的金属离子和溶解性无机盐物质,是实现造纸零排放目标的有效措施之一。膜分离方法处理造纸白水的分析结果表明: TOC、COD 的去除率分别达到 78%~96%、88%~94%,而电导率的下降率达 95%~97%。然而,膜分离法处理水量能力不大、费用较高,在用于造纸白水处理方面还处于实验室的研究阶段,距离实际生产还有很长的路要走。

随着科技的不断进展,制浆造纸废水处理和资源化技术日新月异。传统的废水处理回用技术不断被革新和发展,同时,出现了许多更新的、更先进的技术。对于黑液的处理,碱回收仍是最经济、最有效的途径。但碱回收设备需要较高的投资,每万吨浆投资 8 000~10 000 元,最低生产规模要求

日产 50 t 浆以上, 因此目前碱回收法主要用于大型造纸厂。对中小型造纸厂来说, 可以考虑采用酸析法处理黑液, 而新兴的烟道气酸析法可以达到“以废制废”的效果, 是一种更好的选择; 利用矿渣混凝剂处理黑液也可达到较好的效果, 且处理费用较低; 将黑液用于生产固硫助燃剂则使黑液得到了资源化利用。中段水的处理比较可靠的技术是两级生物处理法, 将物化法和生物法联合使用也对 COD 有较好的处理效果; 光催化氧化法和生物法联用对中段水有很好的脱色效果。白水的处理和回用工艺现在已较为成熟, 气浮法是目前采用得较多的技术, 白水处理后回用, 且可回收白水中的细小纤维。膜分离法对白水处理效果较好, 但处理费用较高, 是未来发展的方向, 需要进一步深入研究。

制浆造纸废水的处理方法很多, 但每种方法和工艺都有适用条件, 各有其优点和不足。即使是非常先进的处理方法, 也不可能独立完成处理任务。往往需要把几种方法组成一个处理系统, 才能完成所要求的处理功效。一般来说, 废水中的污染物是多种多样的, 也有各自最佳的处理方法, 可根据不同水质, 并结合企业自身情况, 选择最合适的废水处理系统。

实例一 宁波市某公司 1 200 m³/d 造纸废水回用处理工程

1 项目概况

该公司是一家以经营印刷造纸及纸制品为主的企业，日产纸制品 40 t，目前已建成并运行一座生产废水处理站，对企业产生的废水加以处理达标后排放。随着企业生产规模的不断扩大，产生的废水量也日益增大，为此欲新建一套造纸废水回用处理系统，将原有废水处理站处理达标后的废水加以深度处理，处理后的出水回用于车间生产，不仅实现了水资源的循环利用，也带来了一定的经济效益。该回用水处理工程日处理规模 1 200 m³，采用“高效曝气生物滤池+一体化设备+活性炭过滤”的组合工艺，出水达到该公司车间回用水要求。该工程总占地面积约 90 m²，总装机容量 93.18 kW，运行成本约 1.31 元/m³ 废水（不含折旧费）。

该工程采用拥有自主知识产权的一体化中水回用处理设备，该设备集高效混凝、气浮、氧化、过滤于一体，出水能稳定达到车间回用水要求。

2 设计依据

2.1 设计依据

- (1) 业主提供的各种相关基础资料（水质、水量、回用水要求等）；
- (2) 现场踏勘资料，现场采集水样的分析数据；
- (3) 《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544—2008）；
- (4) 《制浆造纸废水治理工程技术规范》（HJ 2011—2012）；
- (5) 《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）；
- (6) 其他相关标准。

2.2 设计原则

- (1) 认真贯彻国家关于环境保护工作的方针和政策，使设计符合国家的有关法规、规范、标准；
- (2) 综合考虑废水进、出水水质及水量特征，选用的工艺应技术先进、稳妥可靠、经济合理、安全适用；
- (3) 妥善处理和处置废水回用处理过程中产生的污泥和浮渣，避免造成二次污染；
- (4) 废水回用处理系统的自动控制系统应管理方便、安全可靠、经济实用；
- (5) 废水回用处理系统的平面布置力求紧凑，减少占地面积和投资；高程布置应尽量采用立体布局，充分利用地下空间。

2.3 设计范围

本项目的范围包括废水回用系统，包括调节池至清水池（回水池）的工艺、土建、构筑

物、设备、电气、自控及给排水的设计；不包括回用水池至车间的配水系统，不包括从废水回用处理站外至站内的供电、供水系统以及站内的道路、绿化等。

3 主要设计资料

3.1 设计进水水质

根据建设单位提供的资料，设计水量为 $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$ 。设计进水水质指标如表 1 所示。

表 1 设计废水进水水质

项目	COD/(mg/L)	色度(稀释倍数)	pH	SS/(mg/L)
进水水质	$\leq 400\sim 500$	≤ 80	6.5~9.0	90~100

3.2 设计出水水质

根据建设单位要求，废水经处理后回用，回用水须满足生产车间用水要求，具体水质指标要求如表 2 所示。

表 2 生产车间回用水水质要求

项目	COD/(mg/L)	色度(稀释倍数)	pH	SS/(mg/L)
回用水水质	≤ 120	≤ 50	6.5~7.5	≤ 100

4 处理工艺

4.1 工艺流程

该废水回用处理工艺由预处理、高效曝气生物滤池、一体化回用水处理设备及活性炭深度处理四部分组成，工艺流程详见图 1。

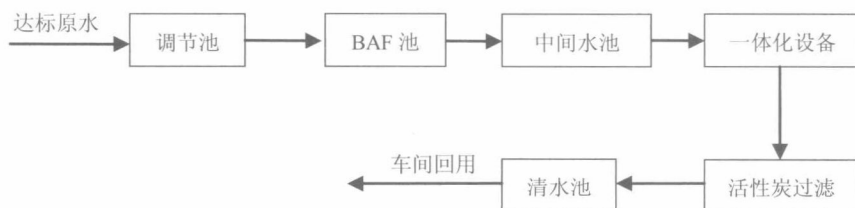


图 1 造纸废水回用处理工艺流程

4.2 工艺流程说明

本处理工艺共分为四大部分：

预处理系统：企业排放的废水经原有的废水处理系统处理达到《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544—2008)后，经提升泵提至调节池内，均化水质、水量，减少对后续处理构筑物