

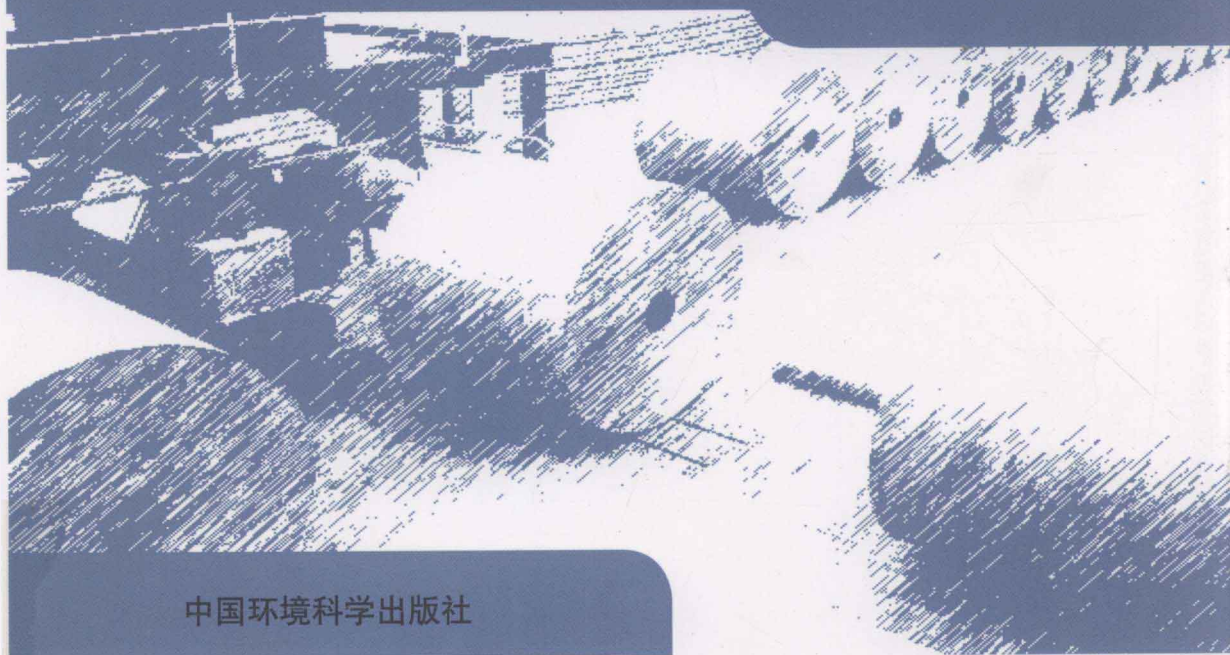
环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

孙德智 张立秋 齐 飞 等编著

制浆造纸行业 全过程降污减排技术与评估方法

ZHIJIANG ZAOZHI HANGYE

QUANGUOCHENG JIANGWU JIANPAI JISHU YU PINGGU FANGFA



中国环境科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制浆造纸行业全过程降污减排技术与评估方法/孙德智, 张立秋, 齐飞等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.8

ISBN 978-7-5111-1089-3

I. ①制… II. ①孙…②张…③齐… III. ①造纸工业—污染控制—研究②造纸工业—节能—研究 IV. ①X793②TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 187675 号

责任编辑 付江平
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 8 月第 1 版
印 次 2012 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 15
字 数 325 千字
定 价 45.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

编著委员会

顾 问：吴晓青

组 长：赵英民

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转变方式调节结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上新台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》(以下简称《规划纲要》)，提出了“建设创新型国家”战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，“水体污染控制与治理”科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国

家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得的资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

前 言

我们于 2008 年承担了国家环保行业科研专项“造纸行业全程降污减排评价指标体系与技术途径”的课题，针对目前我国制浆造纸行业在降污减排方面普遍存在的技术与政策等问题，课题组进行了较为深入的调研和分析，通过国内外调研、现场监测、专家咨询，建立了适合我国制浆造纸行业全程降污减排技术的评价指标体系和方法，构建出我国制浆造纸行业“三废”污染物控制技术模式库和降污减排咨询服务平台。这些研究成果对促进我国制浆造纸行业工艺改进和污染防治技术的进步起到一定的作用。

课题组在上述研究的基础上，将研究成果进行整理编撰此书，希望能为相关研究提供一些参考。本书第 1 章主要由孙德智编写；第 2 章和第 3 章主要由齐飞、赵强编写；第 4 章和第 5 章主要由张立秋、冯宇编写。全书由孙德智、张立秋统稿。李华楠参加了书稿的资料收集、整理和校对工作。

本书在编写过程中参考了不少相关领域的论著和文献，借鉴了国内外许多专家和学者发表的研究成果，在此向有关作者致以谢忱。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中的错误、疏漏之处在所难免，希望得到专家、学者及广大读者的批评指教。

编 者

2008 年 7 月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 制浆造纸行业污染现状分析	1
1.2 本书编写的目的与内容	4
第 2 章 制浆造纸行业污染物产生与排放特征	5
2.1 木材制浆污染物产生与排放特征	5
2.2 非木材制浆污染物产生与排放特征	27
2.3 废纸制浆污染物产生与排放特征	43
2.4 造纸工艺污染物产生与排放特征	55
第 3 章 制浆造纸行业降污减排技术	61
3.1 化学制浆降污减排技术	61
3.2 木材机械浆和化学机械浆的降污减排技术	85
3.3 废纸制浆降污减排技术	86
3.4 中段废水处理技术	95
3.5 抄纸工段废水处理及回用技术	123
3.6 废气与粉尘的降污减排技术	130
3.7 固体废物降污减排与资源化技术	140
第 4 章 制浆造纸行业全程降污减排评价方法的构建	148
4.1 评价指标体系构建的基本原则	148
4.2 常见的综合评价方法	149
4.3 制浆造纸行业降污减排评价指标的选取	153
4.4 评价指标体系层级结构	158
4.5 基准值的确定	165
4.6 权重的确定	171
4.7 评价体系计算方法	182
4.8 评价案例	184

第 5 章 制浆造纸行业降污减排咨询平台的构建 190

5.1 平台系统简介 190

5.2 平台功能和结构 191

5.3 平台系统运行环境 210

5.4 平台系统安装 210

5.5 使用常见问题 230

第1章 绪 论

1.1 制浆造纸行业污染现状分析

造纸工业是我国经济发展的重要产业之一,我国又是全球纸张消费需求增长最快的国家之一。2000—2010年,我国纸及纸板生产量年均增长速度高达11.8%,消费量年均增长9.9%,与GDP的增长趋势基本一致,两者的相关度为0.99。2009年,我国纸和纸板的生产量为8640万t,消费量为8569万t;2011年,我国纸及纸板生产量为1.05亿t左右,同比增长10.1%;消费量为1.06亿t左右,同比增长11.5%。纸张消费量的多少也是现代社会物质文明和社会发展进步的重要标志,但同时造纸工业又是环境污染的大户。造纸工业总的特点是使用原料种类多、生产工艺类型多、中小企业多、技术装备也相对落后,生产过程中往往产生废水、废气、废渣和噪声,特别是产生的生产废水,对我国的水环境构成严重的污染,严重地破坏了自然水生生态环境的平衡。美国将造纸行业列为本国的六大污染工业之一,日本也将造纸行业列为本国的五大污染工业之一。随着我国造纸工业的快速发展,其与资源、环境之间的矛盾日渐突出,主要表现在植物纤维原料和生产用水的资源匮乏,以及制浆造纸废水对环境的污染严重。据统计,2009年我国造纸工业每年废水排放量40多亿t,约占全国工业废水排放总量的20%,废水中COD和氨氮的排放量分别占全国工业COD和氨氮排放总量的28.9%和11.2%,其中COD排放量成为我国工业行业的第一排放大户。此外,造纸工业中废气、烟尘和固体废弃物的排放也不能忽视。据国家统计局2005年统计公报数字表明,造纸行业中废气排放总量为4515亿标立方米(主要包括:SO₂、NO₂等),烟尘排放总量为24.08万t,固体废弃物排放量为1243万t(主要为生物污泥、碱回收白泥和脱墨污泥等),造纸污泥处置带来的二次污染问题也逐步凸显。由此可见,制浆造纸行业是我国工业降污减排的重要对象,特别是造纸废水的降污减排任务非常艰巨。

制浆造纸废水是一种典型的高污染、高耗氧、难生化降解的有机废水,所排废水中主要污染物和排放量因造纸原料、工艺的不同而异。制浆造纸厂废水主要来自以下几个工段:备料、蒸煮、洗涤、筛选、漂白、纸机及涂料制备,其中制浆所产生的污染最大,尤其是化学浆。制浆废水中主要含有碎屑和溶解物质,如采用含氯漂白,漂白工段可形成大量的毒性物质。木材、稻草、麦草、竹子、蔗渣和芦苇都可用来作为制浆的原料,原料中含有多种化合物,且大多难以生物降解,具有生态毒性和累积效应。制浆方法不同,化学污染物的种类也不同,主要有树脂酸、不饱和脂肪酸、二乙烯醇和其他在制浆

造纸过程中形成的物质。废纸制浆造纸过程中产生的废水中含有各种细小纤维、填料微粒和造纸化学助剂,增加了废水处理的难度。

与世界造纸工业以木材为主要原料不同,我国制浆造纸原料是以非木质纤维造纸为主,草浆造纸占有较大比重,草类制浆 COD 排放量占整个造纸工业排放量的 60% 以上。草浆造纸中水回收率低、污染负荷极高、黑液处理难度大,这是造成我国制浆造纸行业污染严重现状的主要原因。20 世纪 90 年代以来,我国对制浆造纸的原料结构、产品结构进行了很大的调整,以商品浆和废纸取代草制浆,并建设了一批有竞争力的大、中型造纸企业,逐步减少草浆造纸。近年来,我国造纸行业龙头企业又通过引进国外先进技术和装备,提高了行业整体技术水平和生产能力,生产规模不断扩大,至 2009 年,我国共有 100 t 以上规模的企业 9 家。然而,我国还难以全面摒弃非木浆造纸。据统计,2009 年我国非木浆总产量 918 万 t, 占我国生产的原生浆的 53.2%。在此背景下,如何控制与减少制浆造纸行业污染物产生,回收其中有用资源,化害为利,促进生态环境与造纸工业可持续发展,具有重要的现实意义。

总体来说,我国制浆造纸行业还没有摆脱粗放式的经营方式,资源利用率普遍较低。我国大多数中小型制浆造纸企业的管理落后,浪费大,生产中各项原材料、水资源消耗都很高。我国一般纸张产品的电耗和汽耗都高于世界先进水平。有资料显示,我国造纸工业的能耗为世界水平的 1.5 倍,而水耗尤为突出,比国外制浆造纸企业高出很多。据统计,我国制浆造纸行业吨纸水耗高达 100 m^3 , 吨浆纸综合水耗高达 300 m^3 。而发达国家纸厂吨纸水耗仅为 $10\sim 20\text{ m}^3$, 甚至低于 10 m^3 , 吨浆纸水耗为 $35\sim 50\text{ m}^3$ 。因此,我国制浆造纸行业降污减排的潜力巨大。

自 20 世纪 90 年代以来,我国政府高度重视制浆造纸行业产业结构调整和清洁生产,淘汰落后工艺。早在 1999 年,原国家环保总局就发布了草浆造纸的污染防治技术政策,对污染严重的小型草浆企业提出了技术规范和要求。“十五”期间,国家有关部委将纸浆、纸及纸板列入国家《产业结构调整指导目录》和《外商投资产业指导目录》中的鼓励类;为了调整不合理的造纸工业原料结构,解决制浆造纸行业可持续发展的瓶颈问题,国务院批准了《关于加强造纸工业原料林基地建设的若干意见》。国家发改委在《全国林纸一体化工程建设“十五”及 2010 年专项规划》中对造纸行业提出:“引进国外先进的制浆造纸技术和节水、治污措施,加快国内制浆造纸技术装备和节水、治污措施的研究开发和应用,鼓励采取清洁生产工艺技术和节水措施,减少污染物的发生和水资源消耗,确保区域污染物排放总量稳定削减,走可持续发展道路。”

为了贯彻落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》,原国家环保总局制定的《国家环境保护“十一五”科技发展规划》中,选取了钢铁、石化、化工、能源、有色、造纸、水泥等资源消耗多、污染物排放量大的行业,研究测定了主要工艺、生产过程的产污系数;制定隔断和削减主要污染物总量的方案,支持国家“十一五”环境保护目标的实现;研究开发削减污染物总量的清洁生产技术、物质循环技术和替代技术。

2007 年,国务院颁布的《节能减排综合性工作方案》中,明确规定了要淘汰年产 3.4 万 t 以下草浆生产装置、年产 1.7 万 t 以下化学制浆生产线、排放不达标的年产 1 万 t

以下以废纸为原料的纸厂。同年8月,中国造纸协会规定了我国“十一五”期间,要淘汰现有落后产能650万t、淘汰落后草浆生产线。同年10月,国家发改委又下发了《造纸工业产业政策》,进一步明确了大力发展造林基地,关闭和淘汰污染严重的非木浆比例,坚持走林纸一体化发展道路的方向。规定了到2010年,淘汰现有落后产能650万t;淘汰年产3.4万t及以下化学草浆生产装置、蒸球等制浆生产技术与装备,以及窄幅宽、低车速的高消耗、低水平造纸机;淘汰能耗高的技术与装备,加快淘汰小的落后的生产线。

2008年修订的《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544—2008)中,设定了更加严格的排放标准,除提高原有指标限值外,新增了5项指标,并将过去中的2项参考指标调整为硬性指标。为了达到新的排放标准,绝大多数企业都需要对所排废水进行深度处理。

2006—2009年,环保部先后发布了《造纸工业废水治理工程技术规范》《制浆造纸工业污染防治最佳可行技术导则》以及“漂白碱法蔗渣浆”“漂白化学烧碱法麦草浆”“硫酸盐化学木浆”和“废纸纸浆”4类生产工艺的清洁生产标准,引导制浆造纸企业实现清洁生产。造纸行业的技术水平和清洁技术应用程度不断提高,特别是各类化学浆的碱回收黑液治理技术、先进蒸煮技术,以及多种制浆造纸节水技术的应用,使相关生产工艺的单位产品废水排放量和有机污染负荷大幅度降低。

2009年2月,国务院颁布的《轻工业调整和振兴规划》中,明确指出造纸行业要淘汰落后制浆造纸200万t以上,重点淘汰年产3.4万t以下草浆生产装置和年产1.7万t以下化学制浆生产线,关闭排放不达标、年产1万t以下以废纸为原料的小造纸厂。

2010年4月,国务院下发的《关于进一步加强淘汰落后产能工作的通知》中规定,2011年年底,淘汰年产3.4万t以下草浆生产装置、年产1.7万t以下化学制浆生产线,淘汰以废纸为原料、年产1万t以下的造纸生产线。同年12月,工业和信息化部公布了《部分工业行业淘汰落后生产工艺装备和产品指导目录(2010年本)》,明确规定了造纸行业应淘汰的生产线,即淘汰单条年生产能力3.4万t以下的非木浆生产线、年生产能力5.1万t以下的化学木浆生产线、单条年生产能力1万t及以下以废纸为原料的制浆生产线、幅宽在1.76m及以下并且车速为120m/min以下的文化纸生产线、幅宽在2m及以下并且车速为80m/min以下的白板纸、箱板纸及瓦楞纸生产线。这些规定将对我国制浆造纸行业的产业结构调整产生有力的推动。

总体上,我国制浆造纸企业通过结构调整,有了较大变化。小草浆造纸厂通过关停,生产规模向大型化发展,大型企业向集团化发展。全国制浆造纸企业总数已由“十五”初期的5000多家减少为“十一五”末期的3500家左右,并且建设了一批有竞争力的大、中型造纸企业,有效地削减了造纸行业的污染,促进了造纸行业可持续发展。“十一五”期间,我国针对制浆造纸行业存在的问题进行了深入调研和分析,从制浆造纸行业的产业政策、生产工艺到污染治理的关键技术进行全面的,提出相应的降污减排策略和关键支撑技术体系,依靠技术创新,全面推进节能、节水、节原料的资源节约和资源综合利用,淘汰落后产能、降低能源、水资源及原料消耗。通过工程减排、结构调整和产业结构的调整,大力推行清洁生产,发展循环经济,降耗减污,实现了造纸行业

大幅度降污减排。经过多年的努力，我国部分非木纤维制浆技术及装备已具备国际先进水平。

但是迄今为止，由于我国制浆造纸工业原料结构的复杂性，针对不同类型制浆造纸行业污染控制技术的模式库尚未建立，对制浆造纸行业全程降污减排技术的评估尚缺少一套合理的评价指标体系和评估方法，造成先进的污染控制技术得不到推广应用。

1.2 本书编写的目的与内容

本书编写的目的，是通过对国内外制浆造纸行业的调研与考察，分析制浆造纸行业污染物产生与排放特征和制浆造纸行业降污减排技术，建立制浆造纸行业全程降污减排技术的评价指标体系和方法，构建出制浆造纸行业“三废”污染物控制技术模式库和降污减排咨询服务平台，为促进我国制浆造纸行业工艺改进和污染防治技术的进步提供技术支撑。

本书的内容主要包括：

（1）制浆造纸行业污染物产生与排放特征。按照制浆原料的不同（木浆、非木浆和废纸浆），对制浆造纸生产的主要工艺单元及其污染产生与排放特征进行论述，深入分析制浆造纸行业污染物产生与排放特征，并结合所调研的典型企业，对制浆造纸行业污染产生的关键位点进行分析。

（2）制浆造纸行业降污减排技术。针对制浆造纸行业污染物的种类和产生节点，根据近年来制浆造纸工业清洁生产技术和污染末端治理技术的发展和运用，重点介绍适合我国制浆造纸行业降污减排的清洁生产技术和末端治理技术。

（3）制浆造纸行业全程降污减排评价方法。介绍了制浆造纸行业全程降污减排评价指标体系构建的基本原则和综合评价方法，重点介绍了不同制浆造纸原料降污减排评价指标体系的构建方法、各评价指标基准值和权重值的确定方法等，并通过案例计算，介绍了制浆造纸行业全程降污减排评价方法的使用方法。

（4）制浆造纸行业降污减排咨询服务平台。主要介绍了制浆造纸行业降污减排咨询服务平台的功能和结构，平台系统运行环境，平台系统安装、运行、维护与管理等内容。

参考文献

[1] 国家信息中心中经网. 2011 年我国造纸行业产业结构将进一步调整[J]. 行业周评, 2010 (49) .
[2] 张超. 中国工业行业水污染减排潜力分析及政策评估[D]. 清华大学博士学位论文.

第 2 章 制浆造纸行业污染物产生与排放特征

制浆造纸工程主要包括制浆工艺和造纸工艺。制浆是指利用化学方法、机械方法或者化学与机械相结合的方法，使植物纤维原料离解成本色纸浆或漂白纸浆的过程。造纸是指将纸浆抄造成纸产品的过程。制浆造纸过程可概括为如图 2-1 所示。

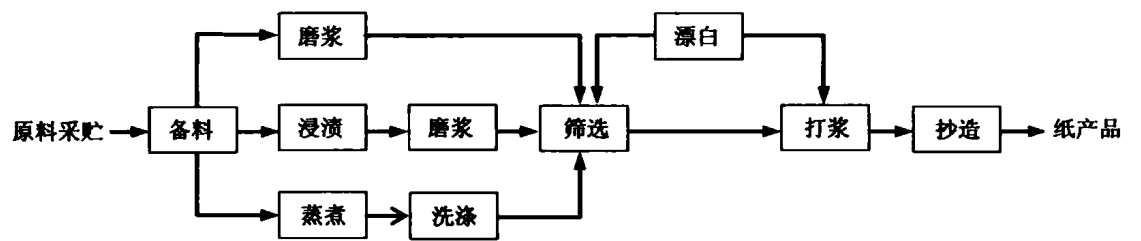


图 2-1 制浆造纸工艺典型流程

本章将按照制浆原料的不同（木浆、非木浆和废纸浆），对制浆造纸生产的主要工艺单元及其污染产生与排放特征进行论述，并结合所调研的典型企业，对制浆造纸行业污染产生的关键位点进行分析。

2.1 木材制浆污染物产生与排放特征

2.1.1 木材制浆生产工艺概述

木浆是指以木材为原料制成的纸浆，是目前纸浆中的主流浆种。根据制浆方法的不同可以分为化学法、机械法及化学机械法等。目前，国内外木浆的化学制浆法主要以硫酸盐法为主，近年来碱性亚硫酸钠-蒽醌法和木材高得率制浆也得到较好发展。本节将针对木材硫酸盐浆、亚硫酸盐浆、机械浆、化学机械浆等生产工艺进行概述。

2.1.1.1 硫酸盐法制浆

硫酸盐法制浆是指用氢氧化钠和硫化钠等碱液对木片进行蒸煮的制浆过程。在碱液的作用下使木素大分子降解成较小的组分，木素钠盐溶解于蒸煮液中，其主要目的是尽量除去木素，使纤维彼此容易分离开来，而生产出纸浆。根据漂白程度的不同，硫酸盐浆分为未漂浆、半漂浆和漂白纸浆 3 种。硫酸盐法制浆可以制造出强韧的纸产品，但其未

漂浆呈深棕色。硫酸盐法制浆往往产生较为浓重的臭味气体，主要是有机硫化物，它对环境有严重污染。

硫酸盐法制浆及其碱回收工艺的简要流程，如图 2-2 所示，主要包括备料、蒸煮、洗涤及筛选、氧脱木素、漂白、碱回收等主要工段。制浆、洗涤工段产生的废液经一系列处理与回收，可提取出化学品重新制成蒸煮液。下面将针对这些主要工段进行概述。

原木和木材加工厂下脚料

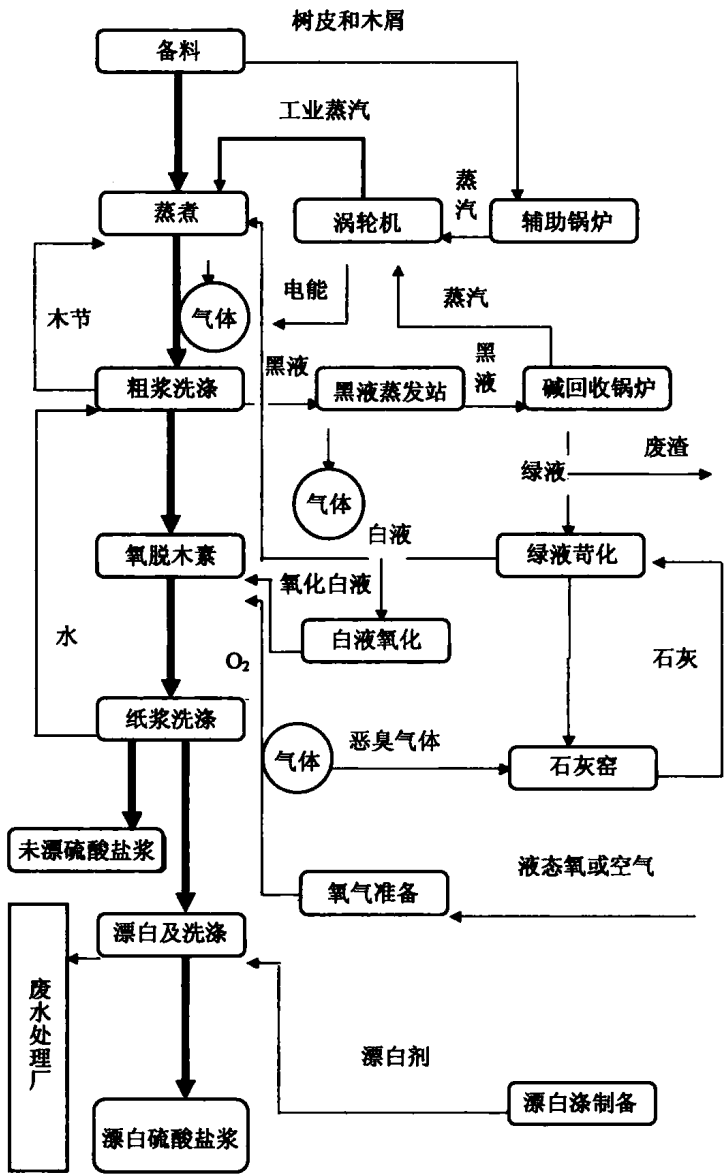


图 2-2 硫酸盐法制浆及其碱回收工艺简要流程

(1) 备料工段。木材原料的来源主要为原木、木片及其他木材加工（锯木厂、胶合板厂）的下脚料，原木通常带树皮，需要进一步处理，部分树种如桉木，由于在砍伐一

周内剥皮效果最佳,常采用在林地剥皮。木片或下脚料一般不带树皮,可以经过筛选或必要的洗涤之后使用。典型的木材原料备料工段主要包括去皮、锯木、除节和劈木、削皮和筛选等工段。

①去皮。由于一般的树皮中纤维含量低、灰分和杂质含量高,所以要先将其除去,以减少化学药品的消耗和提高纸浆的质量。树皮有内皮和外皮之分,是否去内皮要视制浆方法而定,如生产磨木浆、亚硫酸盐化学浆和人造丝浆等需除去内皮;生产硫酸盐化学浆可不除去内皮;生产较低档的纸板用浆甚至内皮和外皮都可以保留。

去皮的方法主要有人工去皮、机械去皮(刀式去皮和摩擦去皮)、水力去皮和化学去皮。其中人工去皮和机械去皮属于典型的干法剥皮技术,水力去皮和化学去皮是典型的湿法剥皮技术。

②锯木。进厂的原木有许多在长度和直径方面不符合后续磨木机或削片机等设备的要求,需要将这部分大径原木锯开或将过长的原木锯断。通常磨木机要求原木长度为0.6 m或1.2 m,普通削片机要求原木长度为2.0~2.5 m。锯木设备通常用锯木机,它有单圆锯、多圆锯和带锯3种类型。单圆锯锯木的长度可以任意改变,一般用于中小型浆厂及原木长度经常变化的情况,所锯原木直径限制在400 mm以内;多圆锯又称排锯,由多个等距的圆锯组成,所以锯断的木材长度大都相等,原木直径一般小于300 mm,通常适用于大型浆厂;带锯主要用于大直径长原木的纵向锯开,尤其是削片机的进料口要求原木直径不能太大时,必须用带锯纵向锯开,才能削片。

③除节和劈木。一般原木的树节较为坚硬,并含有大量的树脂和尘埃等,它的存在不仅易损伤磨石表面,损坏削片机的刀刃,降低磨木机的生产能力、增加电耗,而且使磨木浆中的尘埃增加,影响浆的质量;如果这些木节不除去,当生产化学浆时,也会造成蒸煮药液渗透困难,从而影响生产。

原木的除节一般采用类似钻床的除节机来除节。较小的树节用钻头将树节钻碎去除;较大的树节则应沿树节周围钻孔,然后将其敲掉。也有利用小圆锯来除节的。

劈木的目的是将大径的原木劈开,以适应削片机和磨木机的装料,同时也为了去除原木中的木节、腐木等。劈木所用的设备是劈木机,它分为立式和卧式两种。立式劈木机又分为单斧式和双斧式;卧式劈木机则分为固定斧子移动原木和固定原木移动斧子两种。现以前者为主。

④削片。生产化学木浆、机械木浆和化学机械浆等都需要将原料削成木片。削出的木片要求尺寸均一,尽量减少大片和碎末。一般木片的规格:长15~25 mm,厚3~5 mm,宽度不超过20 mm。原木木片的合格率一般要求大于90%,板皮木片的合格率一般要求大于75%。常用的削片设备主要有圆盘削片机和鼓式削片机,前者使用较多。

⑤木片的筛选。木片尺寸的大小与分布情况直接影响到后面的蒸煮成浆质量。从削片机出来的木片,往往带有粗大片、长条、木节和木屑等。过大木片通常需要再削片或再碎,以充分利用木材;碎片作为废料处理掉或作其他用途。另外,木片中混有的树皮也要除去。

木片的筛选最早多用圆筛和高频振框平筛,后来逐步采用摇摆式筛片机,再后来出现多边形筛片机和盘式筛片机。木片的再碎所采用的设备有再碎机和小型削片机。

(2) 蒸煮工段。蒸煮工艺分为间歇法和连续法。在间歇蒸煮过程中, 蒸煮容器装满木片并加入足够的蒸煮液。然后根据预定的程序将内容物加热, 通常是使蒸煮液通过一个加热器进行强制循环。空气和其他不凝气则通过一个锅顶压力控制阀排出。一般在 1.0~1.5 h 后达到最高温度, 以便使蒸煮液浸透木片。

然后在最高温度(一般为 170℃左右)保温直至 2 h, 以完成蒸煮反应。在蒸煮以后, 内容物被排入喷放锅, 此时软化了的木片解离成纤维; 排出的水蒸气在热交换器种的冷凝, 所得热水则用于纸浆洗涤。

在连续蒸煮中, 木片首先在汽蒸器中进行汽蒸, 排出空气和其他不凝气。预热后的木片和蒸煮液加入到连续蒸煮器中, 并移动经过一个中间温度区域(115~120℃)以使化学品能均一地渗入木片。当木片移动通过蒸煮器时, 在此温度保持 1.0~1.5 h。随着蒸煮的完成, 热废液被抽送到一个低压罐, 在这里产生的闪蒸气可用于汽蒸器。纸浆通常用冷黑液骤冷到 100℃以下, 以防止纤维的降解。

(3) 洗涤筛选工段。洗涤的目的是以最少量的清水或回用水除去最大量的蒸煮浆中溶解的有机物和可溶性无机物。在离开洗浆系统后, 存在于纸浆中的任何可溶性固形物均将对漂白和抄纸过程产生不利影响, 而且这些固形物进入废水处理系统还将增加废水的 BOD₅、COD 和色度。有效的洗涤可减少纸浆中所带的黑液, 从而减少漂白段漂剂的消耗量, 降低漂白段的废水排放负荷。还可降低氧脱木素段化学药品消耗量。洗涤的效果在很大程度上取决于所用设备的效率、洗浆机出口浆浓及洗涤用水量, 但以增加洗涤水的用量来改善洗涤效果, 会增加后续黑液蒸发工段的负荷。

洗涤通常分单向洗涤和多段逆流洗涤。单向洗涤是单纯的用水置换蒸煮废液(如用洗涤池洗浆), 然后将废液排出。洗涤因装卸浆料而中断故又称为间歇洗涤。这种洗涤方法用水量大, 排出废液浓度低, 多不回收, 直接排出, 因此污染大, 但设备简单。多段逆流洗涤是在洗涤过程中, 洗涤水与浆料以相反的流向进行置换。此洗涤方法的特点是浆料洗得干净, 同时稀释因子小, 即用水量小、废液浓度高。多段逆流洗涤是目前用得最广泛的洗涤方式。

多段逆流洗涤通常是以多台洗涤设备串联, 组成洗涤机组, 纸浆顺次通过各台设备, 洗涤新加用水则从最后一段设备加入, 而洗滤出的稀废液送至前一段设备作为洗涤液之用, 以此类推经过 3~4 段, 形成逆流洗涤。这就使稀洗液与含废液浓度较低的浆料接触, 浓洗涤液则与含废液浓度较高的浆料接触, 以保持各段洗液与浆料残液有一定的浓度差。最前段的废液也是最浓的废品滤液送去回收。这种方法不会因装卸浆料而中断洗涤, 所以也称为连续洗涤。

在洗涤提取过程中, 段数增加, 则用水量减少, 洗涤效果好, 但实际上段数不能太多, 否则将增加设备投资、建筑面积和动力消耗。一般采用三段, 最多不超过四段。

洗涤后的纸浆, 还需进行筛选, 以除去浆中的节子、碎片、纤维束等未蒸解物, 这些杂质不仅会给后续漂白等操作带来不利影响, 而且会影响纸张的质量。在筛选工段利用杂质与纸浆纤维的尺寸及密度的不同, 通过振动、离心、过滤等作用将杂质分离出去。

(4) 氧脱木素工段。氧脱木素(氧碱漂白)是一种工业化的成熟漂白技术, 未漂浆残余木素的 1/3~1/2 可以用氧在碱性条件下除去而不会引起纤维强度严重的损失, 而且

废液中不含氯,可用于粗浆洗涤且洗涤液可送到碱回收系统处理和燃烧。氧脱木素是完全无氯漂白(TCF)不可缺少的重要组成部分,也是大多数无元素氯漂白(ECF)的重要组成部分,是纸浆漂白技术的一个重要发展方向。

分子氧作为氧脱木素剂,主要是利用其具有两个未成对的电子对有机物具有强烈的氧化反应。氧是一种相对较弱的氧化剂,要保证木素与氧的反应有适当的速率,必须加碱活化木素,即将酚羟基和烯醇基转变成更有活性的酚盐和烯酮盐。为了保持工厂的钠平衡,氧脱木素阶段通常使用氧化白液,其中氢氧化钠是主要的碱性化学品,硫化钠已氧化成硫代硫酸盐。在氧脱木素过程中,脱木素反应器在带压及高温(100℃)下运行。通常采用一段或两段氧脱木素,脱木素率可达40%~60%。废液逆流送到碱回收车间进行能量及化学品的回收。按浓度划分,可分为中浓(8%~15%)氧脱木素工艺和高浓(25%~35%)氧脱木素工艺。与中浓系统相比,高浓氧脱木素的化学药品耗用量较低,而脱木素程度较高;但高浓系统存在设备投资大,给料操作复杂,纸浆强度较低以及在氧气中可能发生燃烧等缺点。因此,1983年以后投产的氧脱木素系统都采用中浓。中浓氧脱木素的主要优点是:投资较少;浆料浓度较低,设备的腐蚀少,也没有在氧气中燃烧的危险。其缺点是化学品耗用量比高浓系统高,而脱木素率较低。

(5) 漂白工段。漂白的目的—是提高纸浆的白度和白度稳定性;二是改善纸浆的物理化学性质,纯化纸浆。漂白是通过化学作用除去浆中的木素或者改变木素的发色基团的结构来实现的。化学浆漂白过程中木素的去除可以看做是蒸煮的延续,因为蒸煮过程不可能达到满意的白度所要求的脱木素程度,否则纸浆的得率和强度会大大下降。

纸浆漂白的方法可分为两大类,一类称为“溶出木素式漂白”,通过化学品的作用溶解纸浆中的木素使其结构上的发色基团和其他有色物质被彻底破坏和溶出。此类溶出木素的漂白方法常用氧化性的漂白剂,如氯、次氯酸盐、二氧化氯、过氧化物、氧和臭氧等,这些化学品可单独使用或相互结合,通过氧化作用实现木素的去除,常用于化学浆的漂白。另一类称为“保留木素式漂白”,在不脱出木素的条件下,改变或破坏纸浆中属于醌类、酚类、金属螯合物、羰基或碳碳双键等结构的发色基团,减少其吸光性,增加纸浆的反射能力。这类漂白仅使发色基团脱色而不是溶出木素,漂白浆得率的损失较小,通常采用氧化性漂白剂过氧化氢和还原性漂白剂连二亚硫酸盐等,此类漂白方法常用于机械浆或化学机械浆的漂白,将在2.1.1.3节中详细论述。

对于木材化学浆,主要漂白方式有传统含氯漂白、无元素氯漂白和全无氯漂白。

自元素氯用于硫酸盐木浆漂白以来,几乎所有的生产高白度硫酸盐浆的漂白方法均以氯化(C)和碱抽提(E)两段漂白开始。这是由于采用C和E相结合的方法是漂白硫酸盐木浆最经济有效的方法。然而反应过程中生产的大量氯化有机物的毒性和生物累积性很高,这些氯化有机物均具有一定的致癌性,因此漂白工段的氯化物和碱处理废水对环境的危害极大。为了减少漂白废水中的AOX(可吸附有机卤)含量,最有效的途径是减少或不用氯进行漂白。因此,无元素氯和全无氯漂白方法开始广泛使用。鉴于无元素氯和全无氯等漂白方法对污染物减排的高潜力,其具体内容将在第3章中进行详细介绍。

(6) 碱回收工段。在硫酸盐法制浆过程中化学品回收也是很重要的一个生产环节。从残余黑液中回收化学品和能量,并将回收的化学品再制成白液,都是与硫酸盐浆工段