



“十一五”国家重点图书出版规划项目

中高浓制浆造纸技术的

理论与实践

Theory and Implementation of
Medium and High Consistency
Pulping and Papermaking
Technology

陈克复 主编

我国是造纸大国，但由于资源、环境、技术装备水平等三大问题的困扰，我国还不是造纸强国。因此，我国造纸工业必须重视资源和环境的问题，实现清洁生产。

成为很少对环境污染甚至无环境污染的可持续发展工业，必须提高能源的有效传输与利用价值，大幅度降低水耗，有条件的企业甚至要达到“零排放”，遵循能源“减量化、再利用、再循环”的基本原则，成为高效、节能、节水的良性工业，要进一步提高技术与装备水平，满足大型、快速、全自动，成为高质、高速的信息化管理的现代化工业。

为了实现上述目标，就要依靠科技进步，科技创新，依靠造纸工业自主科技创新能力和科技竞争力，依靠科技创新人才去努力掌握新技术及重大技术。

中高浓制浆造纸技术的研制成功，与其他重大技术一样，使制浆过程产生了重大变革，为建设高效、节能节水的现代化制浆造纸厂特别是建设大型制浆厂创造了条件。

从2000年以来，我国造纸工业的废水排放量如表1-2所示，从表可见，

尽管近几年每万元工业总产值的废水排放量在逐渐减少，但造纸工业的废水排放总量没有降下来，而且占全国重点统计企业废水排放量的比例都有所上升。

在全国重点统计企业废水排放量的比例里，可以从造纸工业所排放的废水量来预测其用水量，事实上，在占全国重点统计企业的用水量已接近世界先进水平。

尽管有25%产能的制浆造纸厂，而且多数造纸企业近几年节水意识已经加强，进一步实施了节水技术与措施，但根据报道的调查资料，多数企业生产1吨纸浆仍用水100~250m³，利用废纸作为原料生产1吨纸浆仍用水50m³以上。

抄造1吨纸也仍用水50m³以上。

早在1971年，联合国水事会议就发出了警告：“水不久将成为一项严重的社会危机，石油危机之后的下一个危机就是水。”据世界卫生组织调查，

目前全球100多个国家缺水，10亿人的饮用水不符合卫生要求，全球淡水严重不足。可见水已经向全世界人类敲响了警钟。

我国是一个水资源贫乏的国家，尽管水资源居世界第一位，但由于我国人口众多，人均淡水量为世界人均量的25%，联合国规定正常人均水资源占有量为1700m³，而我国有25个省市人均水资源占有量达不到1700m³，

甚至有20个省市的人均水资源占有量低于500m³的严重缺水线，这种水资源短缺以及水资源在时空分配上的不平衡，已成为制约我国经济和社会发展的重要因素。

为了解决工业节水的问题，主管部门已研究制定了相关政策法规，出台各行业的取水定额，发布当前国家鼓励发展的节水技术，组织实施重大节水示范工程，努力促进各行业的节水进程。

我国造纸工业为了节约用水，除了在管理上下功夫之外，更重要的还必须依靠科技进步，实施节水技术，努力达到节水型企业标准。

目前正在我国造纸工业推行的节水技术，除中高浓制浆技术外，还有封闭筛选技术及三大循环回用技术，这都是造纸工业节水关键技术。其中三大循环回用技术为废水循环回用技术，

白水循环回用技术及洗浆废水循环回用技术，这些技术均取得了明显的效果。

造纸工业对水环境污染的缓解情况。

大幅度降低水耗，有条件的企业甚至要达到“零排放”，遵循能源“减量化、再利用、再循环”的基本原则，成为高效、节能、节水的良性工业，要进一步提高技术与装备水平，满足大型、快速、全自动，成为高质、高速的信息化管理的现代化工业。

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

“十一五”国家重点图书出版规划项目

中高浓制浆造纸技术的理论与实践

陈克复 主编

陈克复 李 军 陈海峰 杨仁党 刘建安 田英姿 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中高浓制浆造纸技术的理论与实践/陈克复主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2007. 7

“十一五”国家重点图书出版规划项目、国家科学技术学术著作出版基金资助出版

ISBN 978-7-5019-5877-1

I. 中… II. 陈… III. 制浆-造纸 IV. TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 020846 号

责任编辑: 林 媛

策划编辑: 林 媛 责任终审: 滕炎福 封面设计: 伍毓泉

版式设计: 马金路 责任校对: 燕 杰 责任监印: 胡 兵 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: 利森达印务有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.5

字 数: 566 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-5877-1/TS·3423 定价: 60.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119817 65128898 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读者服务部联系调换

40785K4X101ZBW

前 言

造纸术是我国古代四大发明之一,发明者蔡伦的这一伟大创举,对人类的文明进步及思想文化交流做出了巨大的贡献。随着历史的发展,造纸工业在全球工业化的进程中,不断采用新工艺与装备,其技术水平不断提高,在不少国家已成为经济发展的重要支柱产业,成为衡量一个国家现代化水平和文明程度的重要标志之一。

改革开放 20 多年来,我国造纸工业的快速发展所取得的辉煌成就举世瞩目,纸和纸板的生产和消费量均居世界第二位。但是,我国造纸工业的整体水平与发达国家相比,还有较大的差距,特别表现在大部分造纸企业的技术装备落后,单位产品的水耗及能耗都较大,对环境的污染仍然较为严重。因此,为了成为造纸强国,我国造纸工业必须实现清洁生产,清洁生产技术是我国造纸工业持续发展的根本保证。

清洁生产是一种新的创造性的思想,清洁生产技术是使清洁生产能得到顺利实施的创造性技术,其目的是依靠科技发展,创造出生产单位产品的产污系数最低,而且资源和能源消耗最少的先进技术,在生产过程中能根本减少或消除环境污染,而不是单纯开发对废水、废气、废渣等治理的环保局部性终端治理技术。因此,节约能源、节约用水,减少对环境污染是造纸工业实施清洁生产的根本目的。

中高浓制浆造纸技术与传统的低浓过程比较,由于纸浆中纤维浓度高,可实现无(少)污染漂白工艺,缩小设备规模,减少纤维和化学品的流失,因而节水、节能,对环境污染少,是造纸工业清洁生产技术中的关键技术,目前已成为造纸工业的基本概念和基本方法。

中高浓制浆造纸技术早已引起国内造纸界的高度重视,对它的研究开发已进行了多年,并已有部分制浆造纸厂引进了中高浓制浆技术与装备。正如我国著名造纸科学家余贻骥先生所指出的:“中浓技术的巨大节水、节能效益是值得我国造纸工业大力推广的。”我国工程科技人员也为推广和应用中高浓制浆造纸技术进行了不懈的努力。但是,到目前为止还没有一本(部)较系统的文献资料。针对这一实际情况,我们研发中高浓制浆造纸技术与装备的同时,编著《中高浓制浆造纸技术的理论与实践》一书,作为我国造纸工业发展中高浓制浆造纸技术的重要著作。

本书的内容除参考几百篇国内外的文献资料外,主要是来源于作者多年的科技成果总结,部分初稿已在研究生班及培训班的教学中宣讲过。

全书除第一、二、四、六章由笔者编著外,其他均由笔者的学生编著,其中李军博士编著第三、五章,陈海峰博士编著第七章,杨仁党博士编著第八、九章,刘建安博士编著第十章,另外,为了让读者能初步了解与中高浓纸浆造纸技术有关的重要物质的分析与检测方法,特请田英姿老师编著第十一章。全书由笔者主编、审校。

必须提出的是,在我们团队多年研究中高浓制浆造纸技术与装备的历程中,一直得到了我国造纸界资深专家余贻骥、胡楠、顾民达、胡宗渊、杨懋暹、卢谦和、张熙、官日彬、薛宗华等先生的支持,特别在编著本书时,得到张齐生院士、胡楠教授、卢谦和教授及林媛副编审的帮助,同时也得到笔者的学生洪义梅、李擘等的帮助,在此一并表示感谢。

陈克复

2006 年 10 月 26 日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 造纸工业的用水与节水	1
第二节 造纸工业对水环境污染的缓解及仍存在的污染源	3
一、造纸工业对水环境污染的缓解情况	3
二、造纸工业仍存在的污染源	3
第三节 造纸工业的能耗与节能	5
第四节 清洁生产是造纸工业持续发展的保证	6
第五节 按纤维浓度划分纸浆类型	8
第六节 低浓制浆过程所存在的问题	9
第七节 中高浓制浆造纸技术是造纸工业清洁生产的关键技术	10
第八节 中高浓制浆造纸技术主要操作单元	12
一、中高浓制浆造纸技术的操作单元	12
二、中浓操作单元简介	13
三、高浓操作单元简介	15
第九节 中高浓制浆造纸技术的经济效益	16
第十节 国内外中高浓技术发展情况	18
一、中浓技术发展	18
二、高浓制浆技术的发展	20
第二章 中浓纸浆的流动特性及流体化技术	22
第一节 概述	22
一、纸浆中的水与纤维含量	22
二、纸浆中的气体含量	22
三、水—纤维悬浮液	23
第二节 中浓纸浆的纤维网络	23
一、纤维网络的形成	23
二、存在于网络中的作用力	24
三、纤维的弹性弯曲变形产生的内聚力	25
四、关于纤维网络的五点假设	26
五、中浓纸浆的纤维网络强度	27
第三节 中浓纸浆悬浮液在管道中的流动状态	28
一、外力的作用	28
二、按多相流体流动的数学模型来描述中浓纸浆的稳定塞流流动	29
三、中浓纸浆在管道中的不稳定流动流态	31

第四节 纸浆在管道中稳定流动的压头损失预测	31
一、计算公式	32
二、有关数据	32
三、压头损失的影响因素	34
第五节 中浓纸浆的流体化机理	36
第六节 中浓纸浆的流体化实验方法	38
一、转子剪切法实验原理	38
二、中浓木浆的流体化实验结果	40
三、中浓草浆及废纸浆的流体化实验结果	40
四、实验结果分析	41
五、结论	44
第七节 中浓纸浆在流体化过程中的能量耗散	44
第八节 影响中浓纸浆流动特性的主要因素	45
一、浆种对中浓纸浆流动特性的影响	45
二、含气量对中浓纸浆流动特性的影响	46
三、转子结构对中浓纸浆流动特性的影响	47
四、pH 对中浓纸浆流动特性的影响	48
第九节 中浓纸浆流体化对纸浆纤维性能的影响	49
一、流体化作用对纸浆滤水性能的影响	49
二、流体化作用对纤维平均长度的影响	49
三、纤维形态观察	50
第十节 中浓纸浆在管道中流动的启动阻力	50
一、浆泵启动阻力的表现形式	50
二、启动阻力的机理	51
三、启动阻力的影响因素	53
第三章 中浓纸浆输送技术	55
第一节 概述	55
第二节 中浓浆泵的种类及基本结构	55
一、容积式中浓浆泵	55
二、离心式中浓浆泵	56
第三节 离心式中浓浆泵的理论与设计方法	57
一、离心式中浓浆泵的发展	57
二、中浓浆泵泵体设计	59
第四节 离心式中浓浆泵的运行及维护	62
一、中浓浆泵运行控制原理 (以 MCA 系列中浓浆泵为例)	62
二、中浓浆泵 (以 MCA 泵为例) 操作规程	65
三、维修及维护	66
第四章 中浓纸浆与化学品的混合技术	68
第一节 概述	68
一、中浓纸浆的漂白与中浓混合器	68

二、中浓混合器的类型	69
三、中浓高剪切混合器的特征	70
第二节 中浓纸浆与漂白化学品的混合机理	71
一、混合机理概述	71
二、混合过程的定性描述	73
三、湍动混合机理	74
第三节 水、气在与中浓纸浆混合过程中所表现的特性	78
一、纸浆悬浮液中的水在混合过程中所表现的特性	78
二、气相化学品与中浓纸浆混合表现出来的特性	79
第四节 中浓高剪切混合器的工作原理	82
第五节 不同结构形式的中浓混合器	84
一、搅拌式中浓混合器	84
二、卡米尔中浓混合器	84
三、拉乌玛·里波拉公司的 RMX 中浓混合器	86
四、双涡旋型中浓混合器	87
五、SM 中浓混合器	87
六、AHL MIX 型中浓高剪切混合器	88
七、国产中浓高剪切混合器	89
八、中浓浆泵作为混合器使用	90
九、实验室用高端动混合器	91
第六节 中浓混合器的设计	92
一、设计参数	93
二、临界剪切应力与临界转矩的确定	95
三、中浓混合器驱动电机功率和转速的确定	96
四、中浓混合器的强度校核	97
五、漂白化学品射入口的设计	99
第七节 中浓混合器应用于漂白系统对纸浆流态特性的影响	101
一、中浓纸浆在混合器中的停留时间	101
二、混合器的能量消耗	102
三、中浓纸浆通过中浓混合器时的湍流强度	103
四、中浓混合器对纸浆纤维形态的影响	103
第八节 中浓混合器混合质量的评价	103
一、混合质量的评价方法	103
二、混合器混合质量的示踪剂分布评估方法	104
第五章 中浓纸浆漂白技术	110
第一节 概述	110
第二节 中浓氧脱木素技术	112
一、氧脱木素所需的漂白化学品	113
二、氧脱木素反应机理及反应动力学	114
三、氧脱木素段的工艺条件	115

四、氧脱木素塔的结构及设计方法	118
五、中浓纸浆氧脱木素过程的管线设计	128
六、目前国内氧脱木素技术存在的问题	134
第三节 中浓纸浆过氧化氢漂白技术	134
一、中浓过氧化氢漂白所需的漂白化学品	135
二、中浓过氧化氢漂白反应的机理	136
三、中浓过氧化氢漂白段的工艺条件及影响因素	137
四、中浓过氧化氢漂白塔的结构及设计方法	138
第四节 中浓纸浆二氧化氯漂白技术	139
一、二氧化氯漂白所需的漂白化学品	139
二、二氧化氯漂白反应的机理及反应动力学	140
三、二氧化氯漂白段的工艺条件及影响因素	141
四、二氧化氯漂白塔的结构及设计方法	142
第五节 中浓纸浆漂白的流程	142
一、硫酸盐木浆的漂白	143
二、硫酸盐法竹浆的漂白	144
第六章 高浓纸浆漂白技术	147
第一节 概述	147
第二节 高浓纸浆漂白的流程及设备	148
一、流程	148
二、高浓纸浆漂白的主要设备	148
第三节 容积式高浓浆泵	150
一、齿轮式高浓浆泵	150
二、单转子高浓浆泵	153
三、高浓浆泵的造型、使用和维护	154
第四节 高浓混合器	156
一、高浓混合器的混合原理	156
二、高浓混合器的应用	157
第五节 双网挤浆机	160
第六节 高浓纸浆氧漂白	161
一、高浓纸浆氧漂白流程	162
二、高浓纸浆氧漂白的工艺条件	162
三、高浓纸浆氧漂白塔	162
四、高浓与中浓氧漂白的比较	164
第七节 高浓纸浆过氧化氢漂白	164
一、概述	164
二、高浓过氧化氢漂白流程	165
三、高浓纸浆过氧化氢漂白工艺条件	166
四、高浓漂白塔和高浓卸料器	166
五、应用高浓纸浆过氧化氢漂白注意事项	168

第八节 高浓纸浆臭氧漂白	169
一、高浓臭氧漂白流程	169
二、高浓臭氧漂白段关键设备	170
第七章 中高浓纸浆的浓缩与洗涤技术	172
第一节 纸浆在浓缩与洗涤过程中所表现出的特性	172
一、纸浆悬浮液的基本特性	172
二、影响浓缩的制浆工艺因素	175
第二节 纸浆的浓缩方法与浓缩理论	177
一、过滤理论	177
二、挤压浓缩	182
第三节 纸浆的洗涤方法与洗涤理论	189
一、纸浆的洗涤过程和方法	189
二、洗涤理论	191
第四节 纸浆浓缩的实验方法与装置	193
过滤浓缩实验及装置	193
第五节 中浓纸浆浓缩设备	196
一、多圆盘浓缩机	196
二、离心浓缩机	203
第六节 高浓纸浆浓缩设备	203
一、双网挤浆机	203
二、双辊挤浆机	213
第七节 转鼓式洗浆设备	218
一、真空洗浆机	218
二、压力洗浆机	221
三、鼓式置换洗浆机	222
第八节 压力置换洗浆机	226
一、水平带式真空洗浆机	226
二、压力置换洗涤塔	228
第八章 纸浆的高浓筛选和高浓净化技术	231
第一节 纸浆筛选净化技术的发展	231
第二节 筛选理论	232
一、影响纸浆筛选重要技术指标的因素	232
二、筛选过程中的纸浆流动力学	235
三、高浓筛选过程中的特殊性	239
四、筛选效率新的评价方法	241
第三节 高浓筛选设备	242
一、高浓筛选设备类型	242
二、高浓压力筛的结构	248
第四节 高浓筛浆机的应用	252
一、高浓压力筛的应用	252

二、超高浓压力筛浆机的应用	257
第五节 高浓除渣器	258
一、高浓除渣器的净化原理	258
二、高浓除渣器的结构和类型	259
第九章 中、高浓纸浆打浆技术	262
第一节 概述	262
第二节 中高浓纸浆在盘磨机中的流动特性	263
一、作用于磨盘上纸浆的作用力	263
二、纸浆的径向速度	264
三、圆环内纸浆的平均机械压力—— $p_m(r)$ 的确定	265
四、摩擦因数 u_{fl} 的确定	266
五、影响纸浆在磨浆机中流动的主要因素	266
第三节 中浓纸浆打浆机理	268
第四节 中浓打浆的能耗及影响因素	269
一、中浓打浆的能耗	269
二、中浓打浆能耗的影响因素	271
第五节 中浓打浆设备——盘磨机	272
一、盘磨机的结构	272
二、盘磨机的控制系统	274
第六节 中浓打浆流程及应用	275
一、中浓盘磨机用于马尾松未漂硫酸盐浆的打浆	276
二、中浓打浆用于针、阔叶木浆生产防粘原纸	276
三、废纸浆的中浓打浆	277
第七节 高浓打浆	278
一、高浓打浆原理	278
二、高浓盘磨机	279
三、高浓打浆流程及应用	279
第八节 中高浓打浆技术的发展	281
第十章 造纸过程的高浓成形与高浓流浆箱	283
第一节 概述	283
一、高浓成形的优点及发展高浓成形技术的意义	283
二、高浓成形技术的国内外发展现状	287
三、高浓成形技术今后的研究重点	288
第二节 高浓成形的机理探讨	288
一、纸浆的流体特性及对纸页成形的影响	288
二、纸页的高浓成形机理	295
第三节 高浓流浆箱	301
一、高浓流浆箱在高浓成形中的重要地位	301
二、高浓流浆箱的设计探讨	302
第四节 新型高浓成形器	319

一、高浓成形器原理	319
二、高浓成形器设计	320
三、高浓成形器初步实验及其研究结果	320
第五节 高浓成形的成纸特性	322
一、高浓成形纸页的基本性质	322
二、低浓与高浓成形所抄纸页的微观结构分析	324
三、几种纸页两种成形方式的性能比较	326
四、高浓成形纸页特性的综合分析	327
第六节 纸和纸板的高浓喷射成形	328
一、概述	328
二、高浓喷射成形设备	329
三、高浓喷射成形工艺	330
四、高浓喷射成形的成纸特性	331
第七节 高浓成形技术的应用	332
一、高浓成形技术的产品适用性	332
二、高浓成形技术的工程应用	333
三、制约高浓成形技术推广和发展的因素	335
第八节 高浓成形的前景展望	337
第十一章 中高浓制浆造纸中的污染检测技术	340
第一节 概述	340
一、光谱分析技术	341
二、色谱分析技术	341
三、电化学分析技术	341
第二节 光谱分析技术	342
一、光谱的产生	342
二、光谱的分类	342
三、光谱分析仪器	342
四、光谱分析技术在中高浓制浆造纸中的应用	343
第三节 色谱分析技术	362
一、色谱分析技术的原理及分类	362
二、气相色谱法分析技术	363
三、色谱分析技术在制浆造纸中的应用	365
第四节 电化学分析技术	369
一、电化学分析技术的原理	369
二、电化学分析技术的应用	376
第五节 废水中 COD、BOD、TOC、TOD 指标的在线测定	378

第一章 绪 论

我国是造纸大国，但由于资源、环境、技术装备水平等三大问题的困扰，我国还不是造纸强国。因此，我国造纸工业必须重视资源和环境的问题，实现清洁生产，成为很少对环境污染甚至无环境污染的可持续发展工业；必须提高能源的有效传输与利用价值，大幅度降低水耗，有条件的企业甚至要达到“零排放”，遵循能源“减量化、再利用、再循环”的基本原则，成为高效、节能、节水的良性工业；要进一步提高技术与装备水平，满足大型、快速、全自动，成为高质、高速的信息化管理的现代化工业。

为了实现上述目标，就要依靠科技进步，科技创新，依靠造纸工业自主科技创新能力和科技竞争力，依靠科技创新人才去努力掌握新技术及重大技术。

中高浓制浆造纸技术的研制成功，与其他重大技术一样，使制浆过程产生了重大变革，为建设高效、节能、节水的现代化制浆造纸厂特别是建设大型制浆厂创造了条件。

第一节 造纸工业的用水与节水

从 2000 年以来，我国造纸工业的废水排放量如表 1-1 所示，从表可见，尽管近几年来每万元工业总产值的废水排放量在逐渐减少，但造纸工业的废水排放量总量没有降下来，而且占全国重点统计企业废水排放量的比例都有所上升。这里可以从造纸工业所排放的废水量来预测其用水量，事实上，我国造纸工业实际用水量要远大于废水排放量。尽管有 30% 产能的制浆造纸厂的用水量已接近世界先进水平，而且多数造纸企业近几年节水意识已经加强，进一步实施了节水技术与措施，但根据报道的调查资料，多数企业生产（化学浆）吨浆纸仍用水 100~250m³，利用废纸作为原料生产吨浆纸仍用水 50m³ 或以上，抄造吨纸也仍用水 50m³ 以上。

我国于 2005 年 1 月起正式实施的取水定额国家标准（造纸产品），如表 1-2 所示。

表 1-1 废水排放情况表（2000 年—2003 年）

年 份	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年
废水排放量/亿 t	35.3	31.0	31.9	31.8
占全国工业总排放量比例/%	18.6	16.7	17.4	18.4*
造纸工业总产值当年价/亿元	1064	1204	1398	1709
每万元工业总产值废水排放量/(t/万元)	331.8	257.5	228.2	186.61

* 占全国重点统计企业废水排放量的比例。

表 1-2

造纸产品取水量定额指标 (GB/T 18916.5—2002)

单位: m^3/t 纸

	标准分级	A 级	B 级		标准分级	A 级	B 级
浆	漂白化学木(竹)浆	90	150	纸	新闻纸	20	50
	未漂化学木(竹)浆	60	110		印刷书写级	35	60
	漂白化学非木(麦草、芦苇、甘	130	210		生活用纸	30	50
	蔗渣)浆				包装用纸	25	50
	脱墨废纸浆	30	45	纸板	白纸板	30	50
	未脱墨废纸浆	20	30		箱纸板	25	40
	机械木浆	30	40		瓦楞原纸	25	40

即使严格执行取水定额国家标准,我国造纸工业用水量也是世界先进水平的 3~4 倍。表 1-3 和表 1-4 介绍了美国和瑞典的造纸工业用水情况。

表 1-3

美国造纸工业用水量

产 品 名 称	用水量/ $(\text{m}^3/\text{t}$ 纸)
化学木浆新闻纸	50~60
脱墨废纸新闻纸	20
非脱墨废纸瓦楞纸及箱板纸	基本做到“零排放”
新闻纸、铜版纸、涂布白卡纸等	10~20

表 1-4

瑞典造纸工业部分产品用水量

纸 种	用水量/ $(\text{m}^3/\text{t}$ 纸)	纸 种	用水量/ $(\text{m}^3/\text{t}$ 纸)
新闻纸	5~15	薄页纸	5~15
不含磨木浆高级纸	5~10	箱板纸和瓦楞纸	2~8
轻量涂布纸	10~20		

早在 1977 年,联合国水事会议就发出了警告:“水不久将成为一项严重的社会危机,石油危机之后的下一个危机就是水”。据世界卫生组织调查,目前全球 100 多个国家缺水,13 亿人缺饮用水,10 亿人的饮用水不符合卫生要求,全球淡水量严重不足。可见水已经向全世界人类敲响了警钟。

我国是一个水资源贫乏的国家,尽管水资源居世界第一位,但由于我国人口众多,人均淡水量为世界人均量的 25.8%,联合国规定正常人均水资源占有量为 1700m^3 ,而我国有 16 个省市人均水资源占有量达不到 1700m^3 ,甚至有 10 个省市的人均水资源占有量低于 500m^3 的严重缺水线,这种水资源短缺以及水资源在时空分配上的不均衡,已成为制约我国经济社会发展的重要因素。

为了解决工业节水的问题,主管部门已研究制定了相关政策法规,出台各行业的取水定额,发布当前国家鼓励发展的节水技术,组织实施重大节水示范工程,努力促进各行业的节水进程。我国造纸工业为了节约用水,除了在管理上下工夫之外,更重要的还必须要依靠科技进步,实施节水技术,努力达到节水型企业标准。

目前正在我国造纸工业推行的节水技术,除中高浓制浆技术外,还有封闭筛选技术及三大循环回用技术,这都是造纸工业节水关键技术。其中三大循环回用技术为废水循

环回用技术、白水循环回用技术及洗涤滤液循环回用技术。这些技术的实施均已取得了明显的效益。

第二节 造纸工业对水环境污染的缓解及仍存在的污染源

一、造纸工业对水环境污染的缓解情况

我国造纸工业通过实施清洁生产技术,加强废水治理,已缓解了对水环境的污染,表 1-5 列出了近几年废水达标排放及 COD_{Cr} 排放情况。从表中可看出,我国造纸工业近几年达标排放废水量在逐年增加,所排放的 COD_{Cr} 在逐年下降。另外,造纸工业每万元产值的 COD_{Cr} 排放强度近 6 年大幅降低,已由 1998 年的 0.462t/万元降到 2003 年的 0.094t/万元。由于制浆造纸企业环境治理力度加大,治理效果显著,造纸工业对环境污染程度得到较大缓解,正向良性的方向发展。尽管这样,我国造纸工业对环境的污染仍比较严重,COD_{Cr} 排放量占全国工业 COD_{Cr} 排放总量近 30%,消除或减少污染仍然是我国造纸工业的重要任务。

表 1-5 废水达标排放及 COD_{Cr} 排放情况表 (2000 年—2003 年)

年 份	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年
废水达标排放量/亿 t	19.0	24.5	26.9	27.4
废水达标排放量占行业废水排放量比例/%	53.8	79.0	84.9	85.9
化学耗氧量(COD _{Cr})排放量/万 t	296*	203	164	152.6
占全国工业 COD _{Cr} 总排放量比例/%	43.5*	40.8	35.3	29.8

* 1999 年数据。

造纸工业减少对水环境的污染是和用水与节水工作紧密相关的。据《2000 年全国环境保护相关产业状况公报》,我国七大重点流域地表水有机物污染普遍,40%的断面超过三类,劣五类水质占 30%,基本丧失使用价值,主要污染物 COD_{Cr} 排放量达到 1293 万 t,超过环境允许容量 62%。目前造纸工业废水的排放标准规定,排放废水中 COD_{Cr} 含量在 400mg/L (漂白木浆) 和 450mg/L (漂白非木浆) 以下就算达标,事实上如水中 COD_{Cr} 含量在 40mg/L 时,按照地表水环境质量标准基本项目标准限值,就已达到 V 类水的水质了,只适用于农业用水。那么,可以看出,造纸工业达标排放的废水,远超过 V 类水质。已基本丧失生态价值,不进行深度处理,就不可能作为生活用水。这里还没有考虑我国造纸工业至今仍存在 15% 没有达标排放的废水,也仍存在不少没有统计的不允许排放而排放的废水。这样,从另一角度可以看出,造纸工业节约用水的重要意义和间接的经济效益,节约用水实际上就是减少了对水环境的污染,节约用水就是清洁生产的重要环节,而且是最重要的环节之一。

二、造纸工业仍存在的污染源

造纸工业的废水主要来源于以下三个方面:

1. 蒸煮工段的废液

蒸煮工段的废液即碱法蒸煮产生的黑液和酸法蒸煮产生的红液。

我国除个别造纸厂外,绝大部分制浆造纸厂采用碱法蒸煮,所排放的黑液中的固形物有两个来源:一是作为蒸煮液加进去的无机物,二是蒸煮过程中从原料里溶解出来的木素等有机物,是造成废液中 COD_{Cr} 和 BOD_5 值高的主要污染源。

回收黑液中化学药品和热能的碱回收系统被认为是目前解决黑液污染的唯一可靠方法。对木浆来说,已经有很成熟的技术及成套设备。目前木浆厂碱回收系统运行较好,其黑液提取率和碱回收率均较高。但对非木浆来说,由于草浆强度低,过滤性能差,加上黑液的硅干扰及本身特性,使黑液较难提取,黑液浓度低,蒸发所需要的能耗就较大,浓度稍微升高,黑液黏度就很大,给输送与蒸发带来困难。因此非木浆厂的碱回收仍存在一些问题。我国不少非木浆厂对制浆黑液碱回收系统的运作已取得相当丰富的经验,多数碱回收系统已实现了正常运行。只要能达到碱回收所需的一定生产规模,实现黑液增浓降黏的中高浓输送,逐步解决所存在的技术问题,黑液的污染还是可以避免。

据 2004 年《中国造纸年鉴》报道,我国造纸工业有碱回收系统的制浆企业 70 家,其中木浆厂 24 家,竹浆厂 8 家,麦草浆厂 21 家,芦苇芒秆浆厂 9 家,蔗渣浆厂 7 家,另有桑树浆厂 1 家。木浆厂的碱回收系统,黑液提取率 95% 以上,碱回收率一般在 85% 以上,非木浆厂除竹浆厂外的碱回收系统,其黑液回收率在 85% 以上,碱回收率就更低,在 70% 以上,个别的还在 70% 以下。这说明,设置有碱回收系统的制浆厂,虽然已基本改善了黑液的污染,但仍有 5%~15% 的黑液、15%~30% 的碱进入废水系统。

2. 氯漂白的废液污染物

制浆造纸厂第二个严重污染源是用氯作为漂白剂漂白纸浆所产生的废液排放造成的污染。多数中小型制浆生产线仍采用低浓 CEH 三段漂白,其废液中不但含有 COD 和 BOD,而且还含有剧毒物质。虽然就污染量来说,氯漂白废液远少于蒸煮黑液,但由于氯漂白废液中存在剧毒物质,更引起人们的高度重视。

表 1-6 和表 1-7 列出了我国部分造纸企业采用低浓 CEH 三段漂白的废液中可吸附有机氯化物 (Absorbable organic Halogens, 简称 AOX) 含量的严重情况。由于 AOX 对人体健康的影响以及其不可降解,可认为是氯漂白废液对水环境污染的主要根源。

3. 制浆造纸过程其他工段废水的污染

与蒸煮黑液和氯漂白废液的污染相比,其他工段的废水或滤液的污染,并不严重,但如不处理,对环境也会造成污染。但通过实施逆流洗涤、封闭筛选、造纸机白水回用等技术,这些操作单元的废水或滤液已大为减少。

对于废纸制浆造纸、高得率制浆造纸等工艺技术,虽然不存在蒸煮黑液和含氯漂白剂的漂白废液,但由于其废水中存在其他化学品、树脂、黏胶物质,纤维束及细小纤维等物质,如不处理,也会对环境造成污染。也是造纸工业的污染源。

为了减少漂白废水排放量,减少含氯漂白中 AOX 的产生量,造纸工业应提倡并实施无元素氯漂白 (ECF) 或全无氯漂白 (TCF),按我国造纸工业的实际情况,实施无元素氯漂白是符合造纸工业经济利益的。在纸浆无元素氯漂白技术中,中浓氧脱木素技术、中浓二氧化氯漂白技术及中高浓过氧化氢漂白技术是核心技术,统称为中高浓纸浆少污染漂白技术。而中高浓技术为实施中高浓纸浆少污染漂白技术创造了条件。

表 1-6 部分纸浆 CEH 三段漂白废水中的 AOX 发生量 (1999)

编号	原料	制浆方法	漂白段	漂白纸浆 AOX 发生量/(kg/t 浆)	亮度/%	各段 AOX 发生总量/(kg/t 浆)
1	麦草	硫酸盐	C H	4.420 2.840	72	7.260
2	芦苇	硫酸盐	C H	3.360 3.620	73~74	6.980
3	混苇	硫酸盐	C H	3.864 1.528	75	5.392
4	白松	酸 法	C H	2.540 2.240	85	4.780
5	马尾松	硫酸盐	C H	2.748 1.142	70~75	3.890
6	杨木	酸 法	C H	2.300 1.270	85	3.570

表 1-7 不同纸浆厂不同漂白方法其废水 AOX 的测定结果 (2003)

原 料	漂白方法	取样点	AOX 测定值/(mg/L)	AOX 排放量/(kg/t 浆)
草浆	CEH(低浓)	总排污口	95	9.5
木浆	C/DEOD(中浓)	总排污口	43	2.15
甘蔗渣浆	CEH(低浓)	C 段排污口	88	1.41
		E 段排污口	61	0.49
		H 段排污口	99	2.77

第三节 造纸工业的能耗与节能

能源问题是目前国际上最常提到的话题。我国由于人口众多,人均能源占有量就相对贫乏,还不到世界平均水平的一半,也仅为发达国家的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$ 。同时,我国的能源利用率也较低,每百万美元国内生产总值其能耗量要比世界平均水平高出 2.4 倍,比发达国家高出更多。可见,节约能源,减少能耗,开发新能源,是我国各行各业的重要任务。

造纸工业不仅是用水大户,而且也是能耗大的行业。据报道,1985 年,在造纸工业发达的国家,造纸工业总能耗占整个工业部门能耗总量的比例均相当高,如芬兰为 64%,瑞典为 42%,美国为 10.5%,这就引起各国对造纸工业节能工作的重视,从而使节能永远成为各国造纸工业技术革新所追求的目标。

我国造纸工业的能耗量占国家整个工业生产总能耗的比例虽然不大,如表 1-8 所示,但由于能耗与生产总值比例过高,就被列为高能耗行业。

表 1-8 我国造纸工业生产能耗状况 (选自《中国经济年鉴》)

年 份	1985 年	1997 年	2000 年	2002 年
造纸工业生产能耗/万 t 标准煤	1640.00	1943.40	1826.84	2180.5
占整个工业生产总能耗比例/%	3.22	1.94	2.04	2.13

另一方面我国造纸工业生产吨浆纸和纸板平均综合能耗为 1.55~1.7t 标准煤,是世界先进水平的 1.3~1.5 倍。

造纸工业一般通过四个方面来节能:一是积极利用再生能源,利用生产过程产生的热和汽;二是开发新技术、新工艺、新材料,最大限度实现节能;三是提高碱回收炉及锅炉的燃烧效率,减少能源原料资源的消耗;四是企业自己建设先进的发电机组,减少对外能源的依赖。在这四方面中,开发新技术、新工艺、新材料,最大限度实现节能对造纸工业的整体节能起到最重要的作用,其中,中高浓制浆造纸技术是最重要的节能技术之一。

第四节 清洁生产是造纸工业持续发展的保证

清洁生产在不同国家的不同发展阶段有不同的叫法,但其基本内涵是一致的,即对产品和产品的生产过程采用预防污染的策略来减少污染物的产生。联合国环境规划署总结了各国开展的污染预防活动,1989 年提出了清洁生产的最初定义,并得到国际社会的普遍认可和接受,1996 年又对该定义作了进一步完善,即:“清洁生产是一种新的创造性的思想,该思想将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中,以增加生态效益和减少人类及环境的风险。对生产过程,要求节约原材料和能源,淘汰有毒材料,减降所有废弃物的数量和毒性;对产品,要求减少从原材料提炼到产品最终处置的全周期对环境的不利影响;对服务,要求对环境因素纳入设计和所提供的服务中。”

根据上述对清洁生产的定义,我国阎恩泽院士等科学家提出了工业生产中“绿色化学与技术”的思想,在绿色化学基础上发展的技术称绿色技术、环境友好技术或清洁生产技术。其目的是依靠科技发展,创造出生产单位产品的产污系数最低,而且资源和能源消耗最少的先进工艺技术,从化学反应入手根本上减少环境污染,而不是单纯开发对废水、废气、废渣等治理的环保局部性终端治理技术。

近年来,在现代企业中又提出生态效益 (ECO-efficiency) 一词,即在可持续发展要求下,极力减少其生产与服务对自然资源的消耗,减少或消除对人类生存环境冲击的一种经营理念。这一理念强调企业应以追求经济效益为主要目标,提高资源的利用效率,并进行严格清洁生产,作为取得经济效益的主要途径。

至于企业的经营是否符合生态效益的理念,世界企业可持续发展委员会认为可以从以下七个方面加以衡量认定:①有效降低了自然原料资源的消耗量;②有效降低了能源消耗量;③消除或减少了有毒害物质的扩散;④提高了生产过程废物及用后废弃产品的可回用性;⑤充分利用了再生能源资源及社会废弃资源;⑥提高了产品的耐用性;⑦提高了为产品获得充分利用的服务效果。可以认为,生态效益与清洁生产是相同的思路,