



制浆造纸

关键技术理论与实践

Key Theory & Practice of Pulp and Paper Engineering

陈克复 杨仁党 李 军 编
曾劲松 冯郁成



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

制浆造纸

关键 技术理论与实践

Key Theory & Practice of Pulp and Paper Engineering

陈克复 杨仁党 李 军 编
曾劲松 冯郁成



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

制浆造纸关键技术理论与实践/陈克复, 杨仁党, 李军等编. — 广州: 华南理工大学出版社, 2016. 9

ISBN 978 - 7 - 5623 - 5095 - 8

I. ①制… II. ①陈… ②杨… ③李… III. ①制浆造纸工业 IV. ①TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 288660 号

制浆造纸关键技术理论与实践

陈克复 杨仁党 李 军 曾劲松 冯郁成 编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼 邮编: 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 张 颖

印 刷 者: 广东省农垦总局印刷厂

开 本: 787mm × 1096mm 1/16 印张: 15.5 字数: 373 千

版 次: 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 1000 册

定 价: 50.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前 言

近十年来,“制浆造纸科学与工程导论”一直是制浆造纸工程学科研究生的必修课程。为了让研究生更好地掌握这门课程的内容,我们编写了这本《制浆造纸关键技术理论与实践》教材。

编写这本教材我们主要考虑了以下几点:

1. 研究生在本科期间已系统学习过《制浆造纸工艺》及《制浆造纸机械与设备》教材内容,基本知识已经掌握。

2. 我国造纸工业目前正处于由造纸大国向现代化造纸强国转变时期,在工业绿色化发展中已取得很大进步,目前还需要科技人员通过技术优化升级,提高整体技术水平;通过科技创新,驱动并发掘产业新的增长点;通过科技引领,加强我国造纸工业现代化产业体系建设。因此,对本领域的科技人才就有更高的要求。

3. 由于造纸工业链中还包括林业、农业、化工业、装备产业、包装印刷业及环境产业,因此制浆造纸科学与工程涉及林学、农学、化学与化工、机械与设备、包装与印刷、环境工程等学科领域。本教材不可能把所涉及的所有科学与技术都纳入,而只选择国际科技前沿、国内外的科技热点以及行业需求强烈的相关内容进行编写。

本教材由下列五部分组成:第一章概论(陈克复编写),第二章植物资源有效利用和加工装置(杨仁党编写),第三章现代制浆漂白技术(李军编写),第四章纸浆纤维悬浮液流体力学及可视化实验(曾劲松编写),第五章现代造纸机的关键技术与装备(冯郁成编写)。

本教材由陈克复院士负责统稿。

由于现代制浆造纸科学与技术发展迅速,涉及学科领域较多,加上我们水平有限,疏漏之处在所难免,希望研究生以学习、创新的精神领会教材内容。读者如发现有不妥之处,请给予批评指正。

编者

2016年5月15日

目 录

第一章 概论.....	1
第一节 我国造纸工业现状.....	1
第二节 我国造纸工业绿色发展的主要制约因素.....	3
第三节 我国造纸工业绿色发展所要解决的问题.....	5
第四节 制浆造纸共性关键技术体系.....	7
第五节 造纸生物质资源的高值、高效清洁利用技术.....	9
第六节 制浆造纸领域发展趋势	13
参考文献	17
第二章 植物资源高效利用和加工装置	19
第一节 植物纤维素结构与性能	19
第二节 植物纤维素改性与应用	35
第三节 生物质基造纸化学品与生物质能源	67
第四节 高品质工业包装纸浆纤维模塑材料	82
参考文献	93
第三章 现代制浆漂白技术.....	104
第一节 置换蒸煮.....	104
第二节 氧脱木素技术.....	120
第三节 清洁漂白技术.....	135
参考文献.....	146
第四章 纸浆纤维悬浮液流动力学及可视化实验.....	147
第一节 纸浆纤维悬浮液流动力学简介.....	147
第二节 纸浆纤维悬浮液的主要力学性质.....	154
第三节 纸浆纤维悬浮液固-液两相流的流动特性.....	163
第四节 纸浆纤维悬浮液湍流流动的模拟算法.....	168
第五节 纸浆纤维悬浮液流动的可视化实验.....	181
参考文献.....	193

第五章 现代造纸机的关键技术与装备.....	196
第一节 现代造纸机的发展.....	196
第二节 纸浆流送与白水稀释型水力式流浆箱.....	197
第三节 造纸机成形装置.....	210
第四节 宽压区压榨装置.....	218
第五节 高效节能干燥技术与装备.....	231
参考文献.....	238

第一章 概 论

第一节 我国造纸工业现状

2007年10月,国家发展和改革委员会在所发布的《造纸产业发展政策》中指出:“造纸产业是与国民经济和社会事业发展关系密切的重要基础原材料产业。造纸产业具有资金技术密集、规模效益显著的特点,其产业关联度强,市场容量大,是拉动林业、农业、印刷、包装、机械制造等产业发展的重要力量。造纸产业以木材、竹、芦苇等原生植物纤维和废纸等再生纤维为原料,可部分替代塑料、钢铁、有色金属等不可再生资源,是我国国民经济中具有可持续发展特点的重要产业。”《造纸工业发展“十二五”规划》指出:“造纸工业与国民经济发展和社会文明息息相关,纸及纸板消费水平是衡量一个国家现代化和文明程度的重要标志之一。《全国林纸一体化工程建设“十五”及2010年专项规划》实施以来,伴随废纸的大规模回收利用,造纸工业主要以废纸辅以木、竹以及芦苇、秸秆等可再生资源为原料,通过清洁生产,实现了资源、生产、消费、资源再生的良性循环,已成为国民经济中具有循环经济特征的重要基础原材料产业和新的经济增长点。”经过这些年的发展,我国造纸工业实现了《造纸产业发展政策》和《造纸工业发展“十二五”规划》的发展目标。

鉴于自然环境中存在丰富的植物生物资源及造纸工业具有较高的生物质资源利用率,制浆造纸工业具备了绿色、循环及低碳发展的基本条件。

一、生产和消费量持续稳定增长

2000—2012年的13年间,我国纸和纸板的生产量从3090万吨增长到10250万吨,年均增长17.8%;消费量从3576万吨增长到10048万吨,年均增长13.9%;我国纸和纸板人均消费量由26 kg增长为73 kg,年均增长13.9%,目前已超过世界人均水平。据国家统计局统计,2012年造纸企业工业总产值7075亿元,工业销售产值6926亿元,利税总额554亿元。如考虑造纸装备及造纸化学品的产值,其总产值超过1.5万亿元。自2009年后,纸和纸板的产量超过了美国,居世界第一,为世界总产量的1/4。

二、木浆和废纸浆的供给能力提高,原料结构改善

我国造纸工业通过发展循环经济和落实科学发展观的成功实践,充分利用国内外木材和废纸资源,大力推进林纸一体化工程建设,加强国内废纸回收利用,关停落后的草浆生产线,提高了国内木浆和废纸浆的供给能力,改善了原料结构。

2000—2012年的13年间,木浆消费量由535万吨增至2291万吨,废纸浆由1140

万吨增至 5983 万吨，非木浆由 1115 万吨降至 1074 万吨。2012 年，木浆用量占总用浆量的 25%，其中，进口木浆 16%，国产木浆 9%；废纸浆占纸浆消耗总量的 64%，其中，进口废纸浆 26%，国产废纸浆 38%；非木浆占纸浆消耗总量的 11%。废纸浆消耗总量的提高，表明我国造纸工业已成为发展循环经济的典范。

废纸的回收利用对于造纸产业节约森林资源，减少水、电、气等资源消耗和减少环境污染意义重大。因此，废纸回收循环利用符合资源节约和清洁生产的发展理念，可促进造纸工业实现节能减排，减少对环境污染，提高资源利用率，实现可持续发展。

三、引进、消化、再创新与自主创新相结合，提高技术及装备水平

“十一五”以来，我国造纸工业在引进先进技术和装备的同时，加快了自主研发的步伐，已建成了一批技术起点高、装备先进、单机生产线规模大的项目。新增年产 10 万吨及以上各类中高档纸机和纸板机 140 余台，年新增产能 3400 万吨。一批优秀的骨干企业率先完成由传统造纸业向现代造纸业的转变，步入世界先进行列。国内制浆造纸装备制造企业建立了产学研结合的科技创新平台，通过引进、消化、再创新，研发了一批具有自主知识产权的高新技术与装备。同时，建成了一批国家级或省部级的造纸重点实验室和工程研究中心、企业技术中心，对我国造纸工业结构调整和优化升级起到了支撑和推动作用。

近些年来，我国涌现出很多关于造纸技术与装备的科技创新典型范例，最具有影响力的有“中高浓纸浆清洁漂白技术”“高速文化纸造纸机关键技术与装备”“秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用新技术”“造纸纤维组分的选择性酶解技术及其应用”及“废纸造纸废水资源化利用关键技术研发与应用”等技术与装备的科技成果，这些成果分别入选当年《中国造纸十大要闻》。

四、产品结构有所优化，满足国内外市场需求

通过加强科技研发、改进工艺技术与装备等一系列措施，使纸及纸板产品结构更加适应消费需求，由数量型向质量型转变，由少品种向多品种转变，增加了高档纸及纸板的供给能力，新闻纸、涂布印刷纸、白卡纸、生活用纸等满足了国内市场需求，解决了高档纸及纸板长期短缺的供需矛盾，个别品种产品质量已达到世界先进水平。

五、产业布局趋于合理，新的格局基本形成

随着造纸原料政策和区域政策的调整，造纸工业产业分布总体上呈现由北向南推移，东、中、西部相对稳定的总体格局。东部地区产量占全国总产量比例保持在 70% 以上；中部地区占 20% 左右；西部地区在 10% 以下。2012 年，纸及纸板产量超过 100

万吨的有山东、广东、浙江、江苏、河南、福建、河北、湖南、广西、四川、湖北、安徽、天津、重庆、江西和海南 16 个省（区、市），产量合计已达 9692 万吨，占全国纸及纸板总产量的 94.56%。

六、企业重组力度加大，产业集中度提高

多个有实力的企业在全国范围内进行跨地区兼并整合，促进了造纸企业向集团化和规模化方向发展，一批生产技术装备先进、产品信誉好、具有较强竞争力的现代化造纸企业集团脱颖而出，优化了造纸工业组织结构。2012 年，纸及纸板年产量超过 100 万吨的造纸企业有 14 家，总产量增至 3612 万吨，占全国总产量的比重由“十一五”初的 14% 提升至 2013 年的 35%；行业前 30 位的企业产量占全国的比重由“十一五”初的 33% 提升至 46%。

七、污染防治成效显著，能源单耗大幅降低

我国造纸工业不断加大环境治理力度，扎实推进节能减排工作，重点对较大污染源点以及重点流域造纸企业进行了综合整治，关停落后产能的企业。2012 年，造纸工业废水排放量 34.27 亿吨，占全国工业废水总排放量的 16.9%，比 2011 年减低 1.1 个百分点。2012 年，造纸废水中主要污染物化学需氧量（COD）排放量 62.3 万吨，比 2011 年的 74.2 万吨减少 11.9 万吨，万元产值 COD 排放强度由 11kg 降至 9 kg，比 2011 年降低 18.2%。

“十一五”期间，吨纸浆平均综合能耗（吨标准煤）由 0.55 tce 降至 0.45 tce；吨纸及纸板平均综合能耗（吨标准煤）由 0.83tce 降至 0.68 tce；吨纸浆、纸及纸板平均取水量由 103 m³ 降至 85 m³；吨纸及纸板平均消耗原生纸浆由 427 kg 降至 340 kg。其中，已建成的先进生产线产能的质量、消耗定额、污染物排放负荷已达到国际先进水平。

第二节 我国造纸工业绿色发展的主要制约因素

一、植物纤维原料资源的缺乏

造纸工业的原料主要是植物纤维资源，包括木材、废纸和非木材三大类。从产品质量和档次以及废水处理的难易程度来看，木材原料远优于非木材原料。国外造纸业发达和环境保护水平高的经济技术先进国家，其造纸业的原料基本上是木材原料或以木材原料制造的废纸，几乎不使用非木材植物纤维原料。而我国是森林资源缺乏的国家，木材资源远远不能满足造纸业的正常生产需求；尽管多年来实施了“林纸一体化工程”，但因建筑、家居用材的影响，仍不能有效解决造纸用木材问题。所以，我国造纸工业原料

仍要用相当量的稻麦草、竹子、甘蔗渣等非木原料，在非木材原料制浆造纸过程中，因原料特性和生产线规模小等因素，碱回收等废液处理技术不能有效应用，故制约了造纸工业绿色化发展。由于国内原料林基地建设迟缓，供材有限，非木浆发展受到清洁生产新技术开发滞后以及国内废纸回收率偏低等因素的影响，造纸纤维原料自给率难以提高，供需矛盾日益加剧。目前，造纸用原料依赖进口，进口纤维原料依存度达 42% 以上，进口木浆占全部木浆量的 64%，进口废纸浆占全部废纸浆的 41%。2012 年的造纸原料结构如图 1-1 所示。

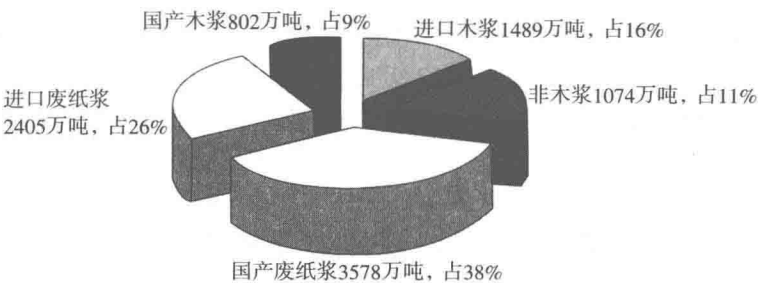


图 1-1 2012 年造纸原料结构图

二、企业规模小、技术装备相对落后

近二十多年来，尽管我国造纸企业数量大幅减少、规模大幅度提高，从上万家企业变成目前的近三千家企业，但与国际上造纸发达国家相比，除了极少数企业规模和技术装备水平与国际接轨外，总体上单个企业的生产规模偏小，大部分企业的技术装备水平比较落后。由于技术装备水平落后，使得生产过程耗水大，污染物产生量多，废水排放的有害物质浓度高；企业的生产规模小，影响了企业的规模经济效益，从而影响了企业环境保护的投资和运行成本的承受力，继而制约了造纸工业发展。这是我国造纸工业发展必须要解决的问题。年产量超 100 万吨的 14 家先进大型企业仅占企业总数的 0.46%，但产量占总产量的 35%，其产品质量、消耗定额、污染物排放负荷，已达到国际先进水平。这里所说的达到国际先进水平是指：①所生产的产品与国外同类产品比较，质量优质或为一等品，已出口到先进国家市场或取代进口产品垄断国内市场；②生产单位重量的产品与国外先进同类产品比较，水耗、能耗、原料消耗处于同等水平，或先进水平；③清洁生产技术应用得好，生产过程中所产生的废弃物或污染物的排放严格执行国家标准，相关数值达到或优于国家标准值；④重视绿色发展，具有绿色发展的管理理念，有明确的绿色发展目标。

对于技术装备水平落后的部分中小企业，其产能仅占总量的 35%，COD 排放量却占排放总量的 47%，是节能减排的重点。

按照我国大、中、小型企业划分标准，2012 年 2748 家规模以上造纸生产企业中，大中型企业 504 家，占比 18.34%；小型企业为 2244 家，占比 81.66%。在纸和纸产品主要主营业务收入中，大中型企业占 65.28%，小型企业占 34.72%；在利税总额中，

大中型企业占 62.82%，小型企业占 37.18%。

三、末端废水治理任务重及处理成本高

一方面，从整体行业来说，我国制浆造纸过程本身资源与化学品消耗大，远没有达到清洁生产水平，使得排放废物的成分复杂、种类多、数量大，对环境污染程度较高；另一方面，造纸企业投资大、利润率低、投资回收期长，大多数企业由于技术与经济等原因，无法承担投资和运行费用；对“三废”的达标排放处理成本过高，造成利润空间小。近几年，在纸与纸板及纸制品企业中有一成以上的企业亏损。

造纸行业专家分析，末端废水处理成本高是压缩造纸业利润空间的重要原因之一。由于造纸业废水量大及 COD 排放量大，位居各行业之首，因此国家特别重视造纸工业废水及 COD 的排放，逐年逐级对废水及 COD 提出严格的排放要求，这就迫使大部分企业提高了末端废水处理成本。

四、制造成本过高

我国造纸工业由于上述各项原因，使得制造成本过高，压缩了利润空间，从而制约了造纸工业的发展。据有关资料介绍，我国造纸企业纤维原料成本占 50% 以上，能源成本占 10%~35%（具体数据取决于生产的纸种），是原料成本之后的第二大成本。加上人工成本、末端废水处理成本以及设备投资成本等的上升，就大幅提高了制浆造纸的成本，使利润空间被大大压缩，从而制约了我国造纸工业的发展。

用我国造纸工业的进步来对照上面关于绿色发展的论述，可以看出，我国造纸工业近十年来在绿色发展进程中不断努力，不断进取，并取得了很大的进步。可以认为，我国造纸工业一直处于绿色发展的进程中。

但是，社会对我国造纸工业绿色发展所取得的成果关注度不高，那种“造纸 = 污染”的旧有观念仍然存在，难以去除。对造纸工业的绿色发展进程的速度要求高，有可能鞭策我国造纸工业的可持续发展，但也会由于急于缓和社会“压力”而过度投资，从而使过高的成本阻碍发展。因此，要准确定义我国造纸工业的绿色发展进程，促使造纸工业一直处于稳定发展的道路上。

第三节 我国造纸工业绿色发展所要解决的问题

根据中国造纸协会理事长钱桂敬先生的论述，目前我国造纸工业绿色发展要解决如下问题。

一、要高效高值化利用资源，提高产业链价值

造纸工业作为传统制造业，其原料在生产成本中所占的比例超过 50%，制造加工

深度不高、增值不大。从这方面讲，制浆造纸工业虽然是技术密集型产业，但还不是深加工、高附加值的高新技术产业。当前生产要素成本不断增加，特别是人力资本大幅上升，导致造纸行业盈利水平不断下降。因此要把“提高全要素生产效率”和“提升产业链价值”作为主攻方向。通过技术进步和科学管理，全面降低综合成本。提升产业链价值，本质上是提高造纸企业产出水平，提高附加值。全要素生产率包括劳动生产率、资金利用率、能源效率、资源利用率、投入产出率。要充分认识到高投入、高消耗、低成本发展模式已不可持续，要加快从资源消耗型向全生产要素集约利用型转变，加快从依靠扩大投资和规模扩张转向依靠技术进步、创新和要素升级。

提升产业链价值是造纸产业当前急需发展突破的重要任务。这既是提高造纸行业发展质量和效益的需要，也是造纸行业实现由传统制造业向高附加值现代化产业战略转型的重要举措。从造纸工业实际来看，应抓好资源高效、高质利用工作，开发高附加值产品，高效利用水、汽、废弃物等，大力推进循环发展，进一步提升产业链价值。

二、要实现清洁生产、节能减排，与生态环境协调发展

面对严峻的生态环境问题，造纸工业将面对越来越严格的制度环境。如开征排污税、碳税的呼声越来越高，环境容量控制越来越严等。造纸行业对此必须有清醒的认识，必须把“资源节约型、环境友好型、科技创新型”的绿色纸业战略目标放在突出位置，坚持循环发展、低碳发展、绿色发展，坚持清洁生产。要依靠技术进步，抓好节能减排工作，降低消耗水平，从源头做好减量化工作，使各项消耗尽快达到世界先进水平。特别要大力降低水耗并大力推进废水资源化。降低水耗既是降低成本的重要举措，更是减轻废水处理负荷的有效办法。同时要大力开展节能减排工作，加快企业能源管理中心建立，大力推广节能技术和装备等，不断降低单位产品能耗。

总之，要做到以下几点：

- ①从制浆造纸过程的源头做好减量化工作，降低水耗，提高水的重复利用率。
- ②推进废水资源化，尽量减少废水的产生与排放。
- ③杜绝或减少可吸附有机卤化物（AOX）的产生，使排放废水中的 AOX 排放量达到国家新排放标准的要求。
- ④研发并实施高效低成本的末端废水处理技术，水污染物的排放量要达到国家新排放标准的要求。
- ⑤实现固体废弃物的资源化利用，如污泥的资源化利用。

三、进一步完善和研发先进造纸装备技术，早日进入造纸装备先进制造行列

对战略转型期造纸工业发展趋势的分析，能了解处于战略转型期的造纸工业对造纸装备业的迫切需求。这种需求概括起来说，首先要求造纸装备的研发、制造和服务要适

应大型、高速、自动化、绿色化和高可靠性的要求；其次，急需研发能提升造纸产业链价值、节能减排的装备；第三，在逐步实现造纸装备可靠性的基础上，急需性价比较高的装备以降低纸业投资；第四，大力推进产、学、研和用的结合，加快装备制造业与造纸企业的合作，联合研发装备，并提供优质服务。

具体来说，目前我国造纸工业最迫切的是要研发、完善、推广如下装备技术：

①进一步完善高速文化造纸机研究技术成果，推广应用高速文化造纸机的关键技术，在实现高速文化造纸机电一体化和自动化的基础上实现智能化。

②研发高速纸板机、高速卫生纸机的关键技术。

③研发大型制浆漂白过程装备的关键技术。

④研发其他重要制浆造纸装备关键技术的信息化、智能化、云制造的高新技术。

⑤研发及完善大型先进制浆漂白的装备、高速纸机、纸板机的智能化控制技术。

⑥研发制浆造纸过程的信息化、云制造的高新技术。

第四节 制浆造纸共性关键技术体系

为了推进“十三五”造纸工业技术进步和行业的可持续发展，解决目前所面临的上述问题，并考虑进一步推动造纸工业的绿色发展，本节列出了制浆造纸工业共性关键技术体系。一是造纸工业关键技术体系的基础理论；二是造纸工业前沿技术；三是造纸工业目前应用的关键技术；四是制浆造纸装备需研发的技术；五是造纸工业要进一步完善的新技术与新产品研发。

一、造纸工业关键技术体系的基础理论

（一）植物资源化学与化工

植物原料形态特征、化学组分、性质及结构的理论；植物原料组分清洁分离技术理论；纤维性能及改性机理；天然高分子材料功能化理论；生物质能源转化技术理论。

（二）清洁制浆技术

制浆、漂白新技术理论；置换蒸煮及脱木质素动力学理论；黑液提取、蒸发和碱回收技术及理论；生物技术在制浆中的应用机理。

（三）造纸工艺过程

纤维分级、打浆、混合机理；新型高效功能性造纸助剂在造纸过程中的反应机理；湿部化学基础理论；纸浆悬浮液流动力学及流变学；纸浆流送与纸页成型机理；涂料性能研究与涂布理论；造纸过程的传质、传热理论研究；纸基复合材料及功能材料成型机理。

二、造纸工业前沿技术

植物组分的高效清洁分离技术；纳米纤维素等多功能材料制备及应用技术；非木原料的化学机械法制浆生产关键技术；制浆造纸废水低耗高效的深度处理技术；环境友好型高效化学品制备及应用技术；极端环境下高效生物酶制备技术；高速造纸机全自动在线检测及监控技术。

三、制浆造纸工业需要推广的关键技术

高硅含量的非木原料除硅型、留硅型蒸煮技术；非木材原料深度氧脱木质素技术；非木纸浆的全无氯或无元素氯短流程漂白技术及设备；非木纸浆高效洗涤技术及设备；非木纸浆碱回收过程硅干扰控制技术；固体废弃物的综合利用技术；废纸制浆造纸过程胶粘物去除与控制技术；高得率制浆工艺优化及低浓废液浓缩技术；现代造纸机的智能型白水稀释水力式流浆箱技术；现代造纸机的夹网（双网）脱水技术；靴形压榨等宽压区压榨技术；适用于高速造纸机的网毯制造技术；现代造纸机的全自动控制技术及其事故预警监控技术；应用于制浆造纸过程的生物技术；对环境友好的低耗高效化学品在制浆造纸中的应用技术。

四、制浆造纸装备需研发的技术

年产 10 万吨以上废纸（脱墨）制浆系统关键装备技术及成套装备及控制技术；年产 10 万吨以上非木纤维原料制浆系统成套装备及控制技术；年产 10 万吨以上非木纸浆的全无氯、无元素氯漂白装备及控制技术；年产 10 万吨以上化机浆成套装备及控制技术；车速 1200 m/min 以上现代造纸机关键技术与装备，特别是智能型白水稀释水力式流浆箱、夹网（双网）脱水成形装备、靴形宽压区压榨装备、干燥部全封闭式气罩及热回收系统等。

造纸污泥干化、固体废物处理及生物质资源化利用新装备；现代造纸机的纸页质量控制系统（QCS）、集散控制系统（DCS）、本体控制系统（MCS）、过程控制系统（PCS）等相关仪器与装备；造纸检测与故障诊断相关仪器与装备；新型造纸脱水器材的制造技术与装备。

五、造纸工业要进一步完善的新技术与需研发的新产品

（一）化学法制浆

禾草类非木纤维干湿法备料及连续蒸煮技术；非木纤维干法备料及间歇置换蒸煮（RDH 或 DDS）技术；低卡伯值蒸煮工艺；黑液高效高浓提取装备；纸浆封闭筛选及压

力筛的应用；深度氧脱木质素技术；全无氯漂白工艺及无元素氯漂白工艺；非木浆制浆生产的碱回收系统先进工艺技术。

（二）化学机械法制浆（高得率制浆）

磨浆系统热回收技术；二段低浓磨浆技术；化学机械浆废水与化学浆蒸煮黑液综合处理技术；化学机械浆低浓废水的浓缩技术。

（三）废纸制浆

废纸干法散包、筛选及分拣系统；鼓式碎浆技术；废纸高效脱墨技术；纤维高精度分级技术；脱墨浆固废的资源化利用技术；高效除砂除杂技术；适宜于废纸浆的洗涤浓缩技术；废纸制浆生产的废水回用技术。

（四）纸张抄造

浆料除气技术；高速膜转移施涂技术；造纸机的干燥部烘缸供热技术；干燥部热回收技术；帘式涂布技术；透平式真空泵的应用技术；非接触干燥技术；可生物降解造纸助剂的应用；超滤机涂布废水处理技术。

（五）废水及固废末端治理技术

废水深度处理技术及废水处理技术集成；碱回收系统中白泥处理及利用技术；废水污泥处理及利用技术；脱墨污泥处理及利用技术；厌氧沼气利用技术。

（六）新产品研发

特种纸及功能纸板；清洁食品包装纸及纸板；低定量文化用纸及新闻纸；低白度或未漂白系列纸产品。

第五节 造纸生物质资源的高值、高效清洁利用技术

制浆造纸工业是生物质资源的巨大消耗者，将制浆造纸工业中没有得到利用的半纤维素和木质素转化为高值化材料，可以大大提高其附加值，又可以减少植物资源有效成分的浪费和对环境的污染。目前，仅有少数国家和地区的制浆造纸厂掌握了这些新兴的技术，已成功转型的工厂也不多，而且需要投入大量的资金对现有工厂进行改造，这大大限制了造纸生物质资源的高效清洁利用技术的应用和推广。

造纸生物质资源组分的高效、高值利用是制浆造纸的最终目标。对于从原料中分离的组分必须寻求高附加值的应用，否则就失去了研究及产业化的意义。

一、半纤维素的高值化利用技术

半纤维素可通过水解发酵生产乙醇；或针对分子各种糖基上不同羟基进行选择性的反

应,制备新型材料。利用半纤维素纯化过程中产生的低分子片段合成立体专一的手性药物与医用材料,具有良好的应用前景。

(一) 半纤维素水解发酵生产乙醇

目前生产燃料乙醇的原料主要是粮食,如玉米,但是我国人口众多,粮食的供给受到限制,一味地发展粮食乙醇很可能导致粮食危机,因此我国很有必要大力发展纤维素类的生物质乙醇,其中,半纤维素是很好的选择。2002—2004年间,美国能源部研究了木质纤维素类资源的综合利用,将纤维素、木质素、半纤维素分离,半纤维素用来制备乙醇燃料或其他化合物。

(二) 半纤维素水解制备木糖醇和副产品糠醛、乙酸等

目前工业化生产木糖醇主要是通过化学法,此法成本高、工艺复杂、副产物多、分离提纯较困难。半纤维素水解物微生物发酵法制备木糖醇,可以降低生产成本,简化工艺流程,提高产品纯度。因半纤维素来源广泛,如桉树、稻草、玉米轴、甘蔗渣等,故目前利用生物转化的方法生产木糖醇已成为国际上研究的热点,人们在用半纤维素水解产物制备木糖醇方面做了大量的研究。

(三) 半纤维素改性后做热塑性、抗水性材料

半纤维素的亲水性严重束缚着半纤维素基材料的发展,化学改性被认为是解决这个问题一个很好的途径。半纤维素化学改性后可以制备防水材料,通过脂肪酸氯化物的酯化作用来制备热塑性和疏水性材料就是其中一种好办法。

二、纤维素的高值化利用技术

(一) 纤维素高值化利用概述

纤维素作为地球上最丰富的可再生资源,具有价廉、可降解性和对生态环境不产生污染等优点,利用纤维素作为原料进行功能材料的开发和应用受到了人们的普遍重视。由于纤维素的获得途径与制浆造纸类似,从而为制浆造纸产业开拓了更加广阔的前景。

纤维素除应用于造纸外,还可以通过溶解体系发生均相反应,转化合成各种高值化材料,如羧甲基纤维素、醋酸纤维素等高附加值产品。采用N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)溶解纤维素,以物理过程将天然植物纤维素溶解,形成了较清洁的NMMO纺丝工艺,可生产出天丝(Lyocell)等多种纤维,所制成的纤维素薄膜,可被生物降解,解决了化学纤维难以自然降解的难题,可以解决目前塑料薄膜的白色污染问题。

当前最热门的纤维素应用研究莫过于纤维素制备乙醇技术的开发与应用。纤维素乙醇被称为“第二代生物燃料”,虽然这种技术更多的是应用农业秸秆作为原料,但这一领域的研究方法、技术手段却是造纸工作者值得借鉴的,目前在国内外已有部分研究人员开始研究利用造纸厂废水处理污泥中的纤维制备乙醇。

近年来以超低酸的方法水解纤维素日益受到重视。超低酸水解是稀酸水解的一种新型工艺,以浓度低于0.1%的酸为催化剂,在200℃以上、稀酸饱和蒸汽压以上的压力条件下将纤维素水解成单糖和低聚糖。纤维素的水解产物主要包括两部分:富含单糖和可溶性低聚糖的液体产物和未能反应的固体残渣。将产物和残渣进行定量和定性分析,进而探讨生物质超低酸水解反应途径,对反应机理的研究和确定后续产物的应用及该技术的进一步发展是非常必要的。

另外,纳米纤维素的制备与应用也越来越受到科技界的重视。

(二) 利用纤维素制备生物燃料

燃料乙醇发展至今不过三四十年,随着原料的转换,出现了纤维素乙醇工程,以纤维素为原料,结合生物工程和现代化学工程技术,就构成了利用纤维素制备生物燃料,形成了纤维素乙醇工程。现在可把纤维素乙醇称为“第二代生物燃料”。

纤维素乙醇工程如应用农业秸秆作为原料,这一领域的研究方法、技术手段就值得造纸工作者借鉴和进一步研究。纤维素乙醇工程将会有下列关键技术问题:

1. 预处理技术

由于植物原料的木质素和半纤维素这两大组分形成的结合层紧密包围着纤维素,阻碍了纤维素酶与纤维素的接触,处理过程可溶性抑制物的形成使得原料处理成为这一工程的关键技术。研发高效率、低成本、低能耗的预处理技术是重点。

2. 酶解技术

纤维素酶解及酶制剂是当前纤维素乙醇工程的核心课题。如何研发出选择性高、专一性强,效率高、速率快、反应条件温和的酶解技术是重点研发方向。

3. 发酵技术

目前国外对纤维素乙醇工程在发酵技术领域研究主要体现在两个方面:一是高产和高耐受力菌株的选育,二是发酵工艺的研究。

4. 产品精制技术

在纤维素乙醇工程中,发酵后酶液经蒸馏技术和精馏技术成为合适的乙醇产品。产品精制过程能耗占纤维素乙醇工程总能耗的60%~70%。因此,节能是研发重点。

5. 废水处理

纤维素乙醇工程的废水处理也是必须解决的难题,主要原因是废水量大,处理难度大。

(三) 高纯度纤维素制造过程中的关键技术

高纯度纤维素原料作为可再生植物原料,将取代合成纤维而具有广阔的市场前景。但高纯度纤维素生产对纸浆本身半纤维素、木质素含量、灰分、金属离子含量等有很高的要求。还需解决以下关键技术:

(1) 半纤维素的提取或溶出技术与设备,溶出率达90%以上。目前有下列方法:

①碱预处理提取半纤维素。碱可有效抽提和分解半纤维素。

②稀酸预处理降解半纤维素。实现较低温度和短时间内去除原料中半纤维素。