

可持续发展的

现代制浆造纸技术探究

邵志勇 著

浆外借

可持续发展的现代制浆造纸 技术探究

邵志勇 著

 中国纺织出版社

内容简介

在可持续发展的角度,对现代制浆造纸技术进行了系统的探究和分析。主要内容包括:绪论、造纸植物纤维原料和纸浆的化学成分分析、制浆技术和设备、纸浆处理技术、纸页成形和气流成形技术、废纸纸浆可持续发展的技术、制浆造纸末端废水处理技术、制浆造纸固体废弃物资源化利用技术。本书可作为高等院校制浆造纸相关专业的参考用书,也可供制浆造纸领域的相关科研和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

可持续发展的现代制浆造纸技术探究 / 邵志勇著

— 北京:中国纺织出版社,2019.1

ISBN 978-7-5180-3939-5

I. ①可… II. ①邵… III. ①制浆造纸工业-可持续发展—研究 IV. ①TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 204774 号

责任编辑:武洋洋 责任印制:储志伟

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010-67004422 传真:010-87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail: faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 <http://www.weibo.com/2119887771>

北京虎彩文化传播有限公司印制 各地新华书店经销

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本:710×1000 1/16 印张:14.625

字数:250 千字 定价:88.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前言

近几十年，造纸工程技术和装备水平取得了长足的发展，新技术和工艺不断涌现造就了造纸工业的繁荣。在行业空前繁荣之时，造纸工业也迎来了挑战。21 世纪以来，随着世界各国对环境问题的认识不断加深，人们对工业生产的碳排放量、废水排放的环保要求越来越高。在这样的背景下，造纸工业面临着可持续发展的变革，不符合环保要求的造纸企业将会被淘汰。特别是党的十九大报告明确提出“建立健全绿色纸碳循环发展的经济体系”，各行各业必将践行绿色、循环、低碳的可持续发展路线。造纸工业作为国家轻工业的重要组成部分，必然会紧跟党的方针路线，顺应国家经济的发展趋势，朝着可持续发展的方向迈进。

本书深入探讨了可持续发展的现代制浆造纸技术，共分为 8 章。第 1 章介绍了造纸术的发展史、我国造纸工业现状、造纸工业在国民经济建设中的地位和作用、造纸原理与工程问题的内涵与解析、我国造纸工业绿色发展的主要制约因素、目前我国造纸工业绿色发展中的困惑、我国造纸工业可持续发展现状等方面的内容。第 2 章讨论了造纸植物纤维原料和纸浆的化学成分分析，内容包括造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察、分析用试样的采取、灰分及酸不溶灰分含量的测定、抽出物含量的测定、纤维素和综纤维素含量的测定，以及聚戊糖含量的测定。第 3 章介绍了现代制浆技术和设备，内容包括打浆理论探索、打浆工艺、打浆设备和打浆系统的控制。第 4 章阐述了纸浆处理技术，包括纸浆的洗涤技术、纸浆的净化技术和纸浆的漂白技术。第 5 章讨论了纸页成形和气流成形技术，内容包括纸页成形技术和气流成形技术。第 6 章研究了废纸纸浆可持续发展的技术，内容包括废纸制浆可推广的经济可行技术、废纸制浆需发展的经济可行技术。第 7 章探讨了制浆造纸末端废水处理技术，内容包括制浆造纸废水的来源及特点、末端废水可推广的可行最佳技术和末端废水需要完善的可行最佳技术等方面。第 8 章探讨研究了制浆造纸固体废弃物

资源化利用技术，内容包括制浆造纸固体废弃物资源化利用的经济可行最佳技术、制浆造纸固体废弃物资源化利用需完善的先进技术。总的来说，本书例证丰富、论述详实，在阐述新技术的同时注重联系行业生产实际，紧贴行业应用的前沿，值得相关专业的师生参考学习和生产一线的技术人员研读。

需要说明的是，在撰写本书的过程中，作者得到了诸多同行专家学者的帮助，参考了许多国内外的相关学术文献与资料，并在书中引用相关重要的结论和图表，在此特表示衷心的感谢。此外，应当指出，本书出版过程中，经历了多次修改，然而限于作者水平，书中难免存在不足之处，恳请同行专家学者和广大读者予以批评指正。

作者

2018年8月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 造纸术的发展史	1
1.2 我国造纸工业现状	4
1.3 造纸工业在国民经济建设中的地位和作用	9
1.4 造纸原理与工程问题的内涵与解析	10
1.5 我国造纸工业绿色发展的主要制约因素	13
1.6 目前我国造纸工业绿色发展中的困惑	15
1.7 我国造纸工业可持续发展现状	16
第 2 章 造纸植物纤维原料和纸浆的化学成分分析	19
2.1 造纸植物纤维原料的生物结构与纤维形态观察	19
2.2 分析用试样的采取	31
2.3 灰分及酸不溶灰分含量的测定	34
2.4 抽出物含量的测定	39
2.5 纤维素和综纤维素含量的测定	48
2.6 聚戊糖含量的测定	54
第 3 章 现代制浆技术和设备	61
3.1 打浆理论探索	61
3.2 打浆设备	71
3.3 打浆工艺	75
3.4 打浆系统的控制	83
第 4 章 纸浆处理技术	87
4.1 纸浆的洗涤技术	87
4.2 纸浆的净化技术	95
4.3 纸浆的漂白技术	103

第 5 章 纸页成形和气流成形技术	120
5.1 纸页成形技术	120
5.2 气流成形技术	151
第 6 章 废纸纸浆可持续发展的技术	158
6.1 废纸制浆可推广的经济可行技术	158
6.2 废纸制浆需发展的经济可行技术	179
第 7 章 制浆造纸末端废水处理技术	185
7.1 制浆造纸废水的来源及特点	185
7.2 末端废水可推广的可行最佳技术	189
7.3 末端废水需要完善的可行最佳技术	191
第 8 章 制浆造纸固体废弃物资源化利用技术	197
8.1 制浆造纸固体废弃物资源化利用的经济可行最佳技术	197
8.2 制浆造纸固体废弃物资源化利用需完善的先进技术	219
参考文献	222

第 1 章 绪论

在人类历史上，基于我国先人智慧的发明创造为世界文明的发展起到了无比重要的推动作用。在这些智慧的闪光点中，让整个世界都为之震撼的当属我国的“四大发明”，即造纸术、印刷术、火药、指南针。就其社会影响而言，恐怕任何其他古代发明都不能与其比拟。在这“四大发明”中，纸和印刷术的出现改变了世界文明发展的进程。正如英国 17 世纪的学者培根（Francis Bacon，1569—1626）在《新工具》（*Novum Organum*，1620）一书中所说：“已经改变了整个世界的面貌和事物的状态，第一种发明表现在学术方面……从这里又引起无数的变化，以致任何帝国、任何宗教、任何名人在人事方面似乎都不及这些机械发明更有力量 and 影响。”

1.1 造纸术的发展史

人类文明的开端源于文字的创造，迄今已有 5000 多年的历史，而人类文明的传播与发展又得益于文字记录的载体，因此承载人类思想文明的文字载体就显示出了非凡的重要性。我国古代经历了甲骨刻文、青铜铸字、简牍成册和绢帛书卷等漫长的过程，最终由东汉蔡伦发明了最为实用的书写载体——纸。与古代其他的书写材料相比，纸具有无可比拟的优越性。可以说，纸的出现是人类文字载体发展史中一个划时代的里程碑。

1.1.1 造纸术的起源

纸的出现绝不是偶然事件，在古代社会，人们使用绢帛书卷记录历史的进程，随着历史车轮地滚滚前行，已远远不能满足其要求。对新的书写载体的迫切需要，使得我国古人借助自己的劳动智慧创造了造纸术，随即其渐渐在世界范围内传播开来。我国古代最早使用的造纸原料是破麻布（大麻和苧麻织造），后来用楮皮，这些都是我国本土的植物资源，可以说从北到南，取之不尽。事实上，其他国家虽然没有大麻和楮树，但还是有

可以用来造纸的其他纤维植物资源，那么为什么造纸术会起源于古代中国呢？这和当时的社会、经济、文化、教育和技术背景是分不开的。

公元前几世纪，除却我国的几个重要的文明起源国家大部分都处在奴隶制的社会统治之下，而据史料考察，从战国起我国就已经从奴隶制转化为封建制社会了。在奴隶制的社会背景下，上层统治阶级一心只想掠夺财富，扩大国家版图，而处于下层的广大奴隶和平民几乎都是文盲，这使得没有人关心新型文明的创造与发展，所有人只看得到自己的利益。在当时的奴隶制社会，人们使用的书写材料基本可以满足其需要，新材料没有合适的时机被发明创造；而我国古代，相较其他奴隶制国家来说，相对稳定繁荣，极大地促进了文明的发展，对书写材料的要求较高，新型材料的创造迫在眉睫。这说明了，在当时的历史环境下，相比较奴隶制社会，封建制社会有更大的可能和机会发明造纸术，这不仅决定了造纸术发明的起源地，还决定了造纸术的发明时间。

造纸术的起源时间一直争论不断。以曹魏时的张揖（190—245 在世）和刘宋人范晔（379—445）为代表，认为纸是东汉宦官蔡伦（63—121）于元兴元年（105）发明的；而唐代人张怀瓘（686—758 在世）和宋代人史绳祖（1204—1278 在世）则认为在西汉初已经有“纸”的存在，东汉的蔡伦是改良者，不能算作发明者。在近现代的考古工作中可以看到，西汉已经出现有可以被现代概念定义的“纸”，即其原料是植物纤维。西汉造纸说有文献和实物证据，从历史发展的观点分析也是言之有理的。

1.1.2 造纸术的发展

造纸术无疑是人类文明发展中的一个巨大飞跃。我国在造纸术发明之后，又通过各种渠道和途径将其向世界传播，实现文明成果共享，见表 1-1-1。

表 1-1-1 造纸历史法发展大事记

年代（公元）	记事
105 年	我国东汉蔡伦发明造纸术
628—907 年	我国手工纸施胶与染色问世
610—625 年	造纸术东传高丽及日本
715 年	造纸术西传小亚细亚

(续表)

793 年	阿拉伯第一座手工纸作坊在巴格达建成。继而传遍欧洲各国
1495 年	英国 Hertfordshire 建成手工纸作坊
1637 年	《天工开物》载人造纸术工艺
1680 年	荷兰式打浆机发明问世
1690 年	美国在宾夕法尼亚州建成手工纸作坊
1774 年	含氯化合物用于纸浆漂白
1798 年	长网造纸机雏形问世
1807 年	长网造纸机在法国问世
1809 年	圆网造纸机在英国问世
1840 年	德国首创用机械方法处理木材制浆造纸, 并在 1870 年投入商业运行, 生产首批磨木浆
1854 年	英国首创烧碱法制浆
1874 年	瑞典及德国开始采用亚硫酸盐法制浆
1875 年	涂布技术问世
1884 年	硫酸盐法制浆在德国问世
1920 年	长网纸机最高车速达 320 m/min
1920 年—	制浆造纸技术飞速发展, 其间主要技术成就有: 化学品回收技术, 连续蒸煮, 连续漂白, 连续打浆, 夹网造纸机等。近代造纸机最高车速已达到 1500 ~ 2000 m/min, 卫生纸机车速已高达 2500 m/min 以上

现代造纸术对比《天工开物》记载的古法造纸发生了翻天覆地的变化, 装备水平和工艺流程进步巨大, 但是其核心精髓和古法造纸大同小异, 是对古法造纸内涵的继承和发展。

1.1.3 造纸术的传播

受地理位置的因素影响, 我国的造纸术最先传播到的国家是相邻的朝鲜和日本。中、日、朝三国同属亚洲东部, 在文化、科学等交流上十分频繁。且朝鲜和日本崇尚使用汉字, 因此朝鲜和日本对造纸术的发展要早于其他国家。在沿用我国造纸工艺流程模式的基础之上, 造纸术传入朝鲜和日本后, 两国都根据自己国家的实际情况, 对造纸术的工艺流程、操作技

术和原料加工方法做了相应的调整和改善。可以说,朝鲜和日本的纸张是中国纸张传入两国后变异的产物,如李圭景所说:“倭纸稍如我纸。”

公元前2世纪开始,陆路的丝绸之路一直是中国与中亚、西亚各国之间重要的贸易通道。早在汉晋时期,我国所生产的纸张就跟随丝绸一起从甘肃、新疆一带转运到西方国家。唐代以后,尤其是开元盛世时期,中西方在文化、经济、交通等方面的来往十分频繁,我国除陆路以外,还通过海上运输与印度洋、波斯湾、红海和地中海沿岸的一些国家进行贸易往来。公元793年,阿拉伯人在巴格达建立起第一座手工造纸作坊,从此,我国造纸术造世界范围内传播开来。

各国对我国先进的造纸技术十分感兴趣,想要学为己用。例如,阿拉伯人在发现纸是当时最先进的书写材料后,便一直想要从我国招工传艺,但是因为路途遥远,未能成功。直到8世纪中期,我国的造纸技工作为一次军事冲突的战俘被迫前去传授技术。

随着时间的推移,由我国传入各国的造纸术都经过自己国家实际需要的改良,发展出更加先进的造纸方法。值得一提的是,不论是现代造纸工艺,还是古法造纸术,都是来源于我国古代劳动人民的智慧结晶,这是值得今人好好学习和借鉴的优秀经验。

1.2 我国造纸工业现状

1.2.1 我国造纸工业对环境的污染状况

现代社会工业对环境的污染主要有三个方面,废水、废气、废固的排放,对于我国的造纸工业来说,以废水排放对环境的污染最严重。下面分别来叙述“三废”的排放情况。

1. 我国造纸工业废水的排放情况

在制浆造纸的过程中,会产生大量带有污染物的废水,如备料废水、漂白废液、蒸煮废水和抄纸白水等。在这些污染物中存在可降解或难以降解的有机物、具有毒性或酸碱性的物质和一些有色物质等。造纸工业废水之所以对环境污染严重,是因为以下三点。

(1) 我国现在依旧多采用用水量大的湿法低浓造纸工艺生产纸张,造成大量废水排放。

(2) 当下先进的浆料漂白技术无法在一些小规模的非木浆造纸厂得到应用,并且先进的碱回收技术因为纤维自身特点也很难大范围推广。

(3) 治理废水的成本投入较高,会造成生产厂家的经济效益低下,况且工业废水也很难得到有效治理。

下图中显示了2003年到2012年我国造纸工业废水排放变化曲线。

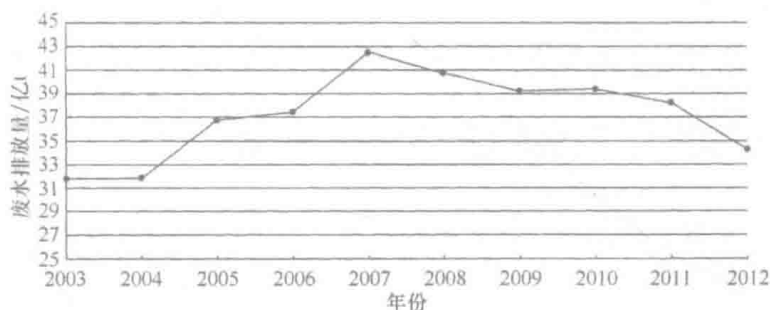


图 1-2-1 2003—2012 年废水排放趋势图

由上图可以看出,虽然废水的排放仍旧是我国造纸业对环境的主要污染源,但是在近年来的有效治理下,废水排放量已经在逐渐降低中。

2. 我国造纸工业废气的排放情况

制浆造纸所排放的大气污染物主要包括粉尘、还原性含硫气体、氧化性含硫气体、氯气、二氧化氯气体、二氧化碳等。其来源主要是:①在造纸工艺过程中物料的扬尘或喷放过程中产生扩散及挥发性的物质;②蒸发或燃烧过程中产生的污染物。有数据表明,2012年,我国在废气治理上投入设施运行费用高达16.3亿元,比2011年同比增长了73.9%;2014年,我国造纸工业二氧化硫的排放量为44.9万吨,氮氧化物的排放量为19.3万吨,粉尘排放量为14.9万吨,与2013年相比,分别下降了9.6%、6.8%和10.8%。可以看出,虽然我国的造纸工业废气污染依旧严重,但在国家宏观控制下,生产企业也逐渐重视废气污染问题,目前大部分废气排放都得到了有效治理。

3. 我国造纸工业废固的排放情况

在我国造纸工业中,造纸原料和造纸方法可选择的类别多种多样,因此产生的固态废弃物的种类和数量都可以表示为一个巨大的数字。例如,使用木材原料制浆时产生的树皮、木屑、木节,使用草类原料制浆时产生的草屑、苇末、蔗渣、竹屑,在碱回收段产生的白泥,废水处理产生的污泥,废纸脱墨制浆时产生的脱墨污泥等。这些废固中有很多可以作为资源

进行二次使用,但是都被当成垃圾丢弃,造成了资源的无故浪费,而且对自然环境产生了极大的危害。处理这些固态废弃物时,应该先考虑资源的再回收利用,比如:①备料废渣可以回收做废料锅炉的燃料;②碱回收白泥可以作为烧砖、水泥、造纸填料、精致碳酸钙填料的生产原料;③废水污泥可以用做燃烧锅炉的燃料和肥料生产;④脱墨污泥可以作为热聚合材料填充剂和无机颜料的生产。随着时代技术的发展,会对固态废弃物进行更有针对性的资源回收利用,从根本上消除废固造成的环境污染。

1.2.2 我国造纸工业的资源消耗情况

造纸工业属于轻工业,是我国经济建设必不可少的重要环节。在创造巨大的经济收益的同时,必然会涉及资源的大量消耗,包括水资源消耗、能源消耗、生产原料的消耗等。分述如下。

1. 我国造纸工业水资源消耗情况

截止到2012年,我国可统计的制浆造纸和纸制品生产的工厂企业共有5235家,用水总量为121.30亿吨,其中,新鲜水用量为40.78亿吨,占工业总耗新鲜水量的8.64%;重复用水量为80.51亿吨,占造纸工业总用水量的66.37%;万元工业产值(现价)新鲜水用量为57.2吨。2004—2012年新鲜水用量见表1-2-1,见图1-2-2和图1-2-3。

表1-2-1 2004—2012年新鲜水用量数据表

年份	新鲜用水量/亿吨	万元产值新鲜水用量/(吨/万元)
2004	37.3	188.3
2005	42.5	183.0
2006	44.0	52.5
2007	48.8	124.1
2008	48.84	94.0
2009	46.59	107.8
2010	46.15	89.6
2011	45.59	67.4
2012	40.78	57.2

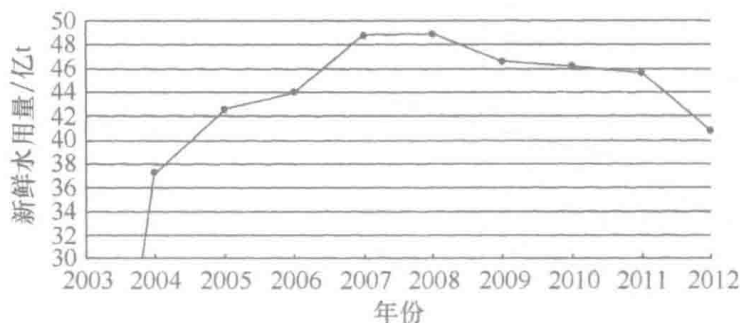


图 1-2-2 2004—2012 年造纸业新鲜水用量

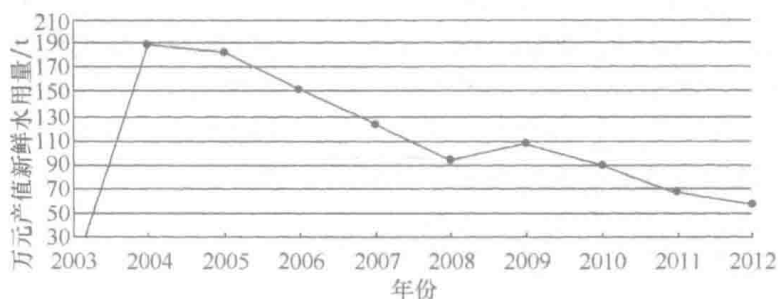


图 1-2-3 2004—2012 年造纸业万元产值新鲜水用量

从图 1-2-3 中可以看出,从 2004 年开始,我国造纸万元产值新鲜水用量在逐年减少,这反映了造纸工业技术在不断改善和提高。

2. 我国造纸工业能源消耗情况

我国造纸工业所消耗的能源包括原煤、电力、天然气、蒸汽和重油等,其中原煤和电力所占能耗的比例高达 96%。我国重工业虽然在近些年逐渐发展壮大,但是在制浆造纸工业上,这些所需的能源还是以外购进口为主要渠道。尤其是原煤的外购,不仅使得能耗巨大,而且对环境污染严重。

到 2012 年为止,我国在造纸工业花费了巨大的研究心血,使制浆造纸技术不断提高,现在呈现一种高产量、低能耗的趋势,具体变化曲线见图 1-2-4。

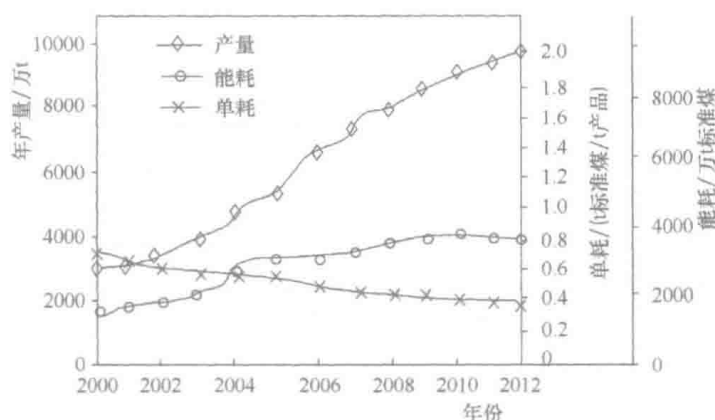


图 1-2-4 2000—2012 年我国造纸业纸和纸板综合能耗状况

2012 年 5 月，我国政府发起“万家企业节能低碳行动”，号召造纸工厂和企业“在‘十二五’期间，共同达到 591 万吨标准原煤的节能，参加活动的企业多达将近 500 家。可以看出的是，在这近 15 年的时间里，我国造纸业不断发展进步，通过技术改善、生产结构调整、加强企业管理等各种科学手段，在节能降耗上取得了巨大的进展。

3. 我国造纸工业生产原料消耗情况

我国造纸业在制浆造纸时使用的原料大致可以分为三个大类：废纸浆、木浆和草浆，废纸浆是主要的造纸原料。根据中国造纸协会发布的 2014 年度报告，全国当年纸浆消耗总量 9484 万吨，其中木浆消耗总量为 2540 万吨，占纸浆消耗总量的 27%；非木浆消耗总量为 755 万吨，占纸浆消耗总量 8%；废纸浆消耗总量为 6189 万吨，占纸浆消耗总量 65%。据统计，进口原料中，木浆占 17%、废纸浆占 24%；国产原料中，木浆占 10%、废纸浆占 41%。而非木浆中，如稻草浆占 3.5%、竹浆占 1.6%、苇浆占 1.2%、蔗浆占 1.2%。

在这近 10 年的时间里，通过造纸技术改良，而原料的结构不断优化，我国造纸业对进口原料的需求已经在逐年降低，废纸浆已然成为我国造纸制浆的主要原材料。

1.2.3 我国造纸工业的现状

我国的造纸工业现状可以概括为七个方面。

(1) 在促进生产和消费不断增长的同时，对产品质量有了质的飞跃。

(2) 充分改善造纸原材料的供给，增加废纸浆的回收利用，对原材料的浆料结构进行优化。

(3) 在造纸技术上不断吸收外来优秀经验,引进先进设备,在符合我国国情的情况下对国外先进经验进行再创新,同时要不断自主创新,使我国的技术和装备水平更上一个台阶。

(4) 对产品结构继续进行深度优化,使我国的纸制品最大程度地满足国内外消费需求。

(5) 合理布局产业格局,让造纸产业呈现由北向南分布的稳定新格局。

(6) 在全国范围内兼并整合有实力的造纸企业,使其趋向集团化和规模化,拥有强大的市场竞争力。

(7) 依旧将节能降耗、污染防治放在工作重心,使我国造纸产业在产质量、消耗定额和污染排放负荷处于国际领先水平。

1.3 造纸工业在国民经济建设中的地位和作用

造纸工业一直以来都是轻工业发展中的重中之重,在一定程度上,体现着一个国家的国力发展水平,因此造纸工业也被称为“软钢铁”。在世界多个造纸工业发达的国家中,如美国、瑞典、加拿大、日本等,造纸工业的发展已经成为国民经济的重要发展来源。

改革开放以来,我国积极发展经济建设,造纸业在其中发挥了重要作用,同时也在我国的经济建设中占据了重要地位。2007年,国家发改委颁布《造纸产业发展政策》,其中提出,造纸工业是我国经济建设和社会建设的重要产业支柱,极大地推动了农业、林业、机械制造等第一产业和第二产业的发展。同时,造纸工业从一定程度上反映了一个国家的社会文明和国民经济状况,可以说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。

经过新中国60年的发展,我国现代化造纸工业体系已基本建成。到2008年,我国规模以上造纸企业约3500家,制浆造纸设备制造企业273家,造纸化工原料生产企业700多家,造纸科研院所14所,拥有造纸专业的设计院20个。设置制浆造纸专业的大专院校24所,中等专业、技工学校50余所。有国家级工程研究中心和重点实验室4个,有国家级企业技术中心5个。已建立全国性的图书、教材、标准和刊物的出版部门和网站,有初具规模的商品物流系统,有行业协会、学会、商会等中介组织为行业和企业服务。可以说中国造纸工业已经建立起生产、科研、教育、工程设计、机械制造、精细化工、书刊出版、媒体网络、现代物流和中介服务等较为完整的现代工业体系。而中国正朝着造纸产业更高的发展目标,

如生产清洁化、资源节约化、林纸一体化和产业全球化等，持续、努力、健康的向前进。

1.4 造纸原理与工程问题的内涵与解析

制浆造纸发展至今，经过了数代人的不懈努力和钻研。从最早的古法造纸术到现代化的造纸技术，从传统的“水碓、春臼”到现代化制浆，造纸产业一步步进行着突飞猛进的发展，主体工艺和工程技术虽然看似操作简单，并不复杂，但是每一个工艺流程中都蕴藏着我国古代劳动人民的智慧结晶，具有深刻合理的科学原理。但是，为什么古人可以想到设置这样的造纸工艺？促进他们萌发这些在当时并不能很好解释的科学思想的根源来自于哪里？这些未解的问题，愈发增加了中国古代造纸术的魅力与神奇，也更加激发了探索造纸工程原理的决心和动力。

古法造纸分为五个流程，分别是斩竹漂塘（图1-4-1）、煮徨足火（图1-4-2）、荡料入帘（图1-4-3）、覆帘压纸（图1-4-4）、透火焙干（图1-4-5）。



图：明·宋应星《天工开物》

图1-4-1 斩竹漂塘示意图