

“十二五”国家重点图书出版规划项目



造纸及其装备科学技术丛书

纸张结构 与印刷适性

Structure of Paper Sheet
and Its Printability

周景辉 主编



中国轻工业出版社

造纸及其装备科学技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

纸张结构与印刷适性

Structure of Paper Sheet and Its Printability

周景辉 主编

周景辉 石海强 杨瑞丰 鲁杰 编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

纸张结构与印刷适性/周景辉主编;石海强,杨瑞丰,鲁杰编. —北京:中国轻工业出版社,2013.1

(造纸及其装备科学技术丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-5019-9014-6

I. ①纸… II. ①周… ②石… ③杨… ④鲁… III. ①纸张性能—结构性能②印刷适性 IV. ①TS761 ②TS77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 236183 号

责任编辑:林 媛 责任终审:滕炎福 整体设计:锋尚设计
策划编辑:林 媛 责任校对:燕 杰 责任监印:吴京一

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:北京君升印刷有限公司

经 销:各地新华书店

版 次:2013年1月第1版第1次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:19.75

字 数:505千字

书 号:ISBN 978-7-5019-9014-6 定价:60.00元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 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邮购联系调换

081137K4X101ZBW

《造纸及其装备科学技术丛书》编辑委员会

主 任：陈克复

副主任：张美云 詹怀宇 陈嘉川 张栋基 侯庆喜

委 员：曹邦威 陈克复 陈嘉川 陈 港 戴红旗

侯庆喜 黄菊红 刘秉钺 刘温霞 裴继诚

万金泉 王孟效 詹怀宇 张美云 张栋基

周景辉

序

得知中国轻工业出版社准备编辑出版《造纸及其装备科学技术丛书》时,我感到很振奋。20世纪90年代初,我国造纸工业正处于新的发展阶段,中国轻工业出版社就及时编辑出版了一套《制浆造纸手册》,给我国造纸工业注入急需的科技资源。现在,根据国家节能减排工作要求,我国造纸工业正在实施国务院下达的《节能减排综合性工作方案》的时候,中国轻工业出版社又及时编辑出版具有现代造纸科学技术信息的《造纸及其装备科学技术丛书》,也同样将为我国造纸工业提供在实施节能减排工作中所需要的科学技术资源,无疑将对我国造纸工业在彻底落实科学发展观和走新型工业化道路的要求方面,在坚持循环发展、环境保护、科技创新、推进清洁生产方面具有重要作用。

我国造纸工业在国家国民经济中的重要性,已明显体现在国家发展和改革委员会2007年10月发布的《造纸产业发展政策》上。我国造纸工业一直是与国民经济和社会工业发展关系密切的重要基础原材料工业,并且是推动林业、农业、化工、印刷、包装、机械制造、仪器仪表等工业发展的重要力量,是以植物纤维和废纸等为原料,可部分替代塑料、钢铁、有色金属等不可再生资源,具有可持续发展特点的重要工业。

我国造纸工业近些年来的快速发展举世瞩目,纸和纸板的生产量和消费量均居世界第二位,仅次于美国,已成为造纸大国。目前仍不能满足国内市场的需要,还需要有较大发展。但是应该看到,我国还不是造纸强国,与世界造纸发达国家相比,差距还很大,还存在下列一些问题:①资源利用率较低;②水耗能耗较高;③废水及污染物排放量较大,对环境造成一定污染;④国产装备的各项技术指标与国外先进装备相比还较落后,上述问题需要造纸科技工作者依靠造纸科学与技术进步同心协力来解决,同时也将促使我国造纸科学与技术的进一步发展。

造纸是一门科技范围很广的多学科技术,除造纸科学与技术外,它还涉及化学工程、机械工程、过程控制、生物技术、环境工程及化学品等学科技术。在造纸过程的各个领域,由于有上述学科技术应用与支持,都已经取得了显著的进步。造纸科技发展到今天,已经具备了下列的特点,即工艺越来越复杂,运行规模越来越大,运行速度越来越快,产品质量越来越高,基于环境的压力,还要求水耗、能耗要低,对实施清洁生产技术的要求更加严格。在这样的条件下,从造纸工业整体宏观系统来说,要保持造纸工业的健康发展,就更加需要现代造纸科学与技术的支持。

目前对每个造纸科技工作者的挑战是,在上述发展形势下,如何以最少的资源,以对环境友好的生产过程,生产出低成本高质量的产品。每位在造纸领域工作的科技工作者,都必须面对这样的挑战,这也就使广大造纸科技工作者迫切需要了解、学

习造纸科学与技术,从造纸科学与技术中寻找解决上述重大问题的有效途径。

事实上,要进一步推动我国造纸工业进入新的发展阶段,实现我国造纸工业的现代化,使其成为可持续发展的重要工业,需要解决下列科技问题:

1. 在大力推进林纸一体化工程方面,要建立林纸一体化工程的技术与装备创新体系,研发国产高得率制浆技术,特别是 BCTMP、APMP 和 PRC - APMP 等高得率制浆技术,不但要进行工艺技术的创新性研究,还要研发相应的装备技术。

2. 在废纸(脱墨)制浆造纸方面,要研发高效、高质、大产能的废纸(脱墨)制浆工艺技术,高浓制浆漂白技术,废纸纤维质量增强检测与监控技术。

3. 在研发清洁生产技术,实施清洁制浆造纸方面,要研发无污染或少污染的植物组分分离技术;要研发除硅技术,快速置换回收蒸煮技术以及相应装备;研发大产能的中浓非木浆清洁漂白技术;研发非木浆纤维品质的增强技术。

4. 在节能节水、降耗减排方面,要进一步研发节水节能技术,特别是中浓技术、封闭筛选技术、纸机白水回用技术、废水深度处理回用技术、生物技术以及上述技术的相应装备,实现“零排放”中所需要的相关技术及装备。

5. 在特种纸或功能纸的研制方面,由于特种纸广泛应用于电子信息产业、汽车工业、冶金工业、航天航空、石油化工、食品轻工、纺织工业、建筑业、医药业、军事工业,从而是最重要的纸品之一。特种纸的生产难度大,其制造过程涉及热学、电学、光学、磁学等物理学及化学,其中,研发具有热特性、电磁特性、分离和过滤特性、光学特性、黏合特性、机械特性等高档特种纸,是国内急需研究的具有高技术含量的纸品。

6. 在发展国产制浆造纸关键装备方面,下列关键装备是目前国内急于解决的:

大产能的氧脱木素技术装备、无元素氯漂白技术装备、全无氯漂白技术装备;

年产 10 万 t 以上高得率低能耗的化机浆成套设备,特别是大产能盘磨机;

年产 10 万 t 以上的废纸浆成套设备,特别是大产能脱墨装备;

大产能非木浆原料连续蒸煮装备;

国产高速造纸机,包括幅宽 6m 左右、车速 1200m/min 以上、年产 10 万 t 及以上的文化纸机,幅宽 2.5m 以上、车速 600m/min 以上的卫生纸机,年产 30 万 t 及以上的纸板机。

7. 造纸化学品及表面活性剂的研制,特别是生物表面活性剂的研制方面,根据我国造纸工业的现状,适用于非木纤维化学品和再生纤维化学品,造纸环保专用化学品及特殊功能造纸化学品等将是研发的重点,特别是具有上述用途的表面活性剂。环保、高效、平价的生物表面活性剂是今后的发展方向。

8. 在废水处理及污染物的控制方面,要研发各制浆造纸方法的污染物控制技术,研发高效低耗的废水处理技术,实现“零排放”的相关技术。

上述八个方面的科技问题,几乎涉及制浆造纸科学与技术的各个领域,并且是各个科技领域的重点技术或关键技术,造纸科技工作者还在为实现上述科学与技术而努力。因此,《造纸及其装备科学技术丛书》就应该为造纸科技的所有方面提供广泛的覆盖面,以满足或适应造纸科技工作者的需要。同时,还要为造纸企业的生产与管

理人员服务,为他们在科技决策时提供科学支撑,也应为就读造纸专业的学生提供参考资料,这就要编辑出版十多分册的系列丛书。

既然对《造纸及其装备科学技术丛书》提出这么高的要求,没有造纸科技界既有理论又有工程实践的高水平的撰稿人是根本不能完成这一重要任务的。我们要感谢本丛书的所有撰稿专家和审核专家,通过他们的热情努力,按时完成了原稿,使整套丛书的编辑工作得到顺利完成。我们还要感谢中国轻工业出版社,特别要感谢林媛副编审,她为整套丛书的统筹、协调和出版做了大量艰巨的工作,为共同完成这一重要任务发挥了很大作用。

我们坚信本套丛书的出版发行,由于所具有的知识广度、深度及工程应用案例,将为广大的造纸科技工作者,包括造纸工程师、生产者、企业管理者、造纸专业研究生、本科生以及教师们所欢迎喜读,甚至,也将成为从事与造纸科技领域有关联的其他科技工作者所热读文献资料。这就实现了本套丛书全体编著者、编辑和出版人员的最大愿望。

陈克复

2010年1月29日

前言

自从人类发明纸张以来,纸张就作为材料在不同领域得到应用。然而,人们关心的是纸张的使用性能,尤其是印刷性能。众所周知,任何一种材料的使用性能都是与其结构密切相关的,所以自从纸诞生之日起人们就关心和研究其结构。而纸页的结构和性能又与其原材料、生产工艺、添加的助剂、生产设备等密切相关。随着人类发展和科学技术的进步,纸的质量得到了大幅度的提高,用途也在不断地扩大。所以,纸页的性能也就越来越多地受到造纸工作者及相关行业人员的重视,尤其印刷行业。

众所周知,纸张是现代印刷工业中最重要的承印物之一,它的印刷适性对印刷作业和印品质量在一定程度上起着决定性作用。尽管纸的印刷适性不是单一的纸页性质,却与纸页结构密切相关。要想了解和掌握纸的性能包括印刷性能,必须掌握其结构。所以许多相关人员希望有一本系统介绍纸页结构、纸页性能及印刷性能方面的教材或著作,来满足纸张的生产和印刷工业对纸张印刷适性的知识需要。

关于纸页的结构与性能方面书籍在过去几十年间也有过几本,尤其是2006年由胡开堂主编,中国轻工业出版社出版的《纸页的结构与性能》一书,比较系统地介绍了纸的结构和纸页的性能。而在参考此书的基础上,编写了这本《纸张结构与印刷适性》,其重点是注重纸页结构与印刷的关系,注重印刷适性和印刷适性的测量和评价。

在内容设置上,本书对纸张的结构和组成、与结构密切相关的纸页的性质、纸张印刷适应性做了重点讲解。为了保证本书的系统性,我们还增加了印刷基础知识、印刷油墨基础知识以及印刷适性及其评价的知识介绍。在每一章的编写过程中,我们尽可能参阅了较大量的国内外的著作和最新研究成果,既有理论成果,如涉及形成原理、工作原理,还有工艺因素的讨论,同时还介绍了经典测试方法和检测技术等。可用于普通高等学校本科生和研究生的学习参考书,教师的教学辅助材料,还可用于造纸和印刷工业科技和生产工作者的实践生产工具书。

参加本著作编写的是大连工业大学的几位教师,其中第一、二、三、四章由周景辉教授编写,第五、六章由石海强副教授编写,第七、八章由杨瑞丰教授和鲁杰副教授编写,全书由周景辉教授主编。

鉴于造纸和印刷工业领域科学技术发展和学科交叉融合的迅速,虽然在编写过程中编者尽心努力和反复推敲,但由于每个人的学术视野、专业领域和知识水平有限,书中难免存在不足,无论在理论阐述上还是性能的研讨上都可能存在各种不同的疏漏和谬误,谨此,先致歉并诚恳希望读者批评指正。

编者

2012年3月15日

目 录

CONTENTS

第一章 纸张的结构	1
第一节 纸张结构的概念	1
一、纸张结构的概念	1
二、纸张结构形成	2
三、纸张结构的特征表述	8
第二节 纸张的结构特性	14
一、三维网状多孔几何结构	14
二、层叠和交织的纸张结构	16
三、三维纤维定向排列的纸张结构	17
四、两面差的表面结构	24
五、凹凸不平的表面结构	26
第三节 影响纸张结构的因素	27
一、纤维材种和制浆方法	27
二、打浆	28
三、浆料流送	30
四、压榨	31
五、牵引力	32
六、干燥	34
参考文献	36
第二章 纸张物理性质	38
第一节 纸张的功能性质概述	38
第二节 定量	39
一、定量的定义	39

二、水分对定量的影响	40
三、定量测量	40
四、定量的重要性	41
五、纸张定量的波动	42
六、影响定量的因素	43
七、纸张定量的检测	43
第三节 厚度	44
一、厚度定义	44
二、影响纸张厚度测量结果的因素	44
三、纸张紧度和松厚度的计算	45
第四节 纸张的柔软性、硬度和可压缩性	46
一、柔软性	46
二、硬度和可压缩性	47
三、纸张的柔软性和可压缩性对印刷的影响	48
第五节 纸张匀度	48
一、纸张匀度的特性及表达	48
二、随机纤维网状结构的匀度	49
三、纸张实际成形机理对匀度的影响	50
四、纸张的匀度对纸张性能的影响	52
参考文献	53
第三章 纸张机械强度性质	54
第一节 概述	54
第二节 抗张强度	54
一、抗张强度的基本意义	54
二、抗张强度模型	55
三、零距抗张强度	58
四、湿纸张抗张强度	60
五、Z 向抗张强度	60
六、抗张强度的影响因素	60
七、抗张强度的表示方法	66
第三节 耐破强度	67
一、耐破强度的基本意义	67
二、耐破强度的表示方法	68
三、耐破强度的影响因素	68

第四节 撕裂强度	69
一、撕裂强度的基本意义	69
二、撕裂强度的表示方法	70
三、撕裂强度的影响因素	70
第五节 耐折强度	72
一、耐折强度的基本意义	72
二、耐折强度的影响因素	72
参考文献	73
第四章 纸张的变形性质	75
第一节 纸的弹塑性	75
一、纸的应力 - 应变特性	75
二、纸张的“Z”向压缩流变特性	80
三、纸张“Z”向压缩的流变模型	82
四、纸张在“Z”向压缩的流变方程	83
五、流变方程参量的确定	84
第二节 纸张的拉伸与损伤	85
一、纸张的拉伸性能概述	85
二、纸张损伤变量的定义	87
三、纸张力学性能随回用损伤的变化	88
四、孔隙带来的纸张损伤演化	90
五、纸张力学性能随孔隙率的变化	91
六、纸张的拉伸蠕变破坏	94
七、纸张材料的环境损伤	96
第三节 纸张的动态强度	97
一、纸张断裂机理和断裂韧性	97
二、抗张能量吸收	102
三、伸长率	104
四、挺度	105
第四节 纸张的刚度	107
一、一般刚度的概念	107
二、影响刚度的因素	107
第五节 纸张的脆性	111
一、纸张脆性分析	111

二、纸张脆性的表示方法	112
三、影响纸张发脆的因素	113
第六节 纸张的塑化	113
一、纸张塑化	113
二、增塑剂	114
第七节 纸的润湿变形和永久变形	116
一、吸收性能对纸张变形的影响	116
二、减小纸张变形方式	121
三、纸张的养生和调态	121
参考文献	122
第五章 纸张的印刷适性	124
第一节 概述	125
一、印刷纸组成及简介	125
二、基纸性质对印刷质量的影响	129
第二节 纸张的运行适印性	129
一、卷筒印刷的运行性	130
二、单张进纸印刷的运行性	133
第三节 纸张印品适印性	141
一、纸张的表面性质	141
二、纸张的光学性质	163
三、纸张的油墨吸收性	196
第四节 实验室中适印性和印刷质量测定	212
一、常用测试指标	213
二、实验室印刷适性和质量测试应用	215
参考文献	219
第六章 印刷的基础知识	221
第一节 印刷的定义及过程	221
一、印刷定义	221
二、印刷过程	222
第二节 传统印刷要素	222
一、原稿	222
二、印刷版	222

三、油墨	223
四、印刷机	223
第三节 印刷术的分类	224
一、接触式机械印刷	224
二、非接触电子印刷	244
参考文献	253
第七章 印刷油墨	254
第一节 常用印刷油墨的种类	254
第二节 油墨的组成	255
一、色料	255
二、连结料	255
三、填料	256
四、辅助剂	257
第三节 油墨的质量技术指标	257
一、油墨的颜色	257
二、油墨的透明度	262
三、油墨的光泽度	262
四、油墨的着色力	263
五、油墨的密度	263
六、油墨的细度	264
七、油墨的渗透性	264
八、油墨的黏性	265
九、油墨的耐抗性能	268
第四节 油墨的流变性和印刷适性	269
一、油墨的流变性	269
二、油墨的印刷适性	271
第五节 油墨的干燥性	272
一、印刷油墨干燥方式的分类	272
二、影响印刷干燥性的因素	274
三、油墨干燥性与印刷的关系	276
四、油墨干燥的控制	276
第六节 印刷油墨的辅助剂	276
一、干燥性调整剂	277
二、流动性调整剂	278

三、色调调整剂	278
四、其他辅助剂	279
第七节 常用印刷油墨（简）	280
一、平版油墨	280
二、凹印油墨	281
三、柔性版油墨	283
四、丝网油墨	284
参考文献	285
第八章 印刷适性及其评价	286
第一节 印刷适性的研究	286
一、纸张加工工艺对其印刷适性的影响	286
二、不同纸种的印刷适性	287
三、印刷适性其他方面的研究	290
第二节 印刷适性的评价	290
一、基本模块	290
二、模块的权重系数	290
三、纸张印刷适性模糊综合评价	291
四、纸样综合评价体系实例	292
第三节 印刷适性的检验	295
一、印刷表面平滑度的检验	295
二、纸张吸墨性的检验	295
三、油墨干燥性的检验	296
四、油墨渗透性的检验	297
五、油墨印刷适性的检验	297
六、纸和纸板印刷表面强度的测定	298
参考文献	299

第一章 纸张的结构

自从公元 105 年中国蔡伦发明了纸,纸就成了人类生活中不可缺少的一种材料。纸的结构、纸的性能和纸的生产是人类一直研究的课题。由于纸的结构决定着纸的各种性能,所以研究和了解纸的结构对改进纸的性能及使用有着重要的意义。本章就纸的结构及与其相关的一些问题进行介绍和讨论,包括纸页结构形成理论、纸页的结构特性、影响纸页结构的因素等。

第一节 纸张结构的概念

一、纸张结构的概念

纸张是一种独立结构的材料。纸张本身多数都不是最后成品,用于涂布、印刷、书写、包装、加工、制作容器的纸张品种很多。纸张的用途要求纸张应是一类具有强固结构的材料。

制浆造纸过程是根据纸和纸板的用途要求对所用原料的原来结构形态(自然结构形态)进行破坏、改造,重组为所希望的新的物质结构(人为的结构)。所以,制浆就是按要求对原料原来的自然结构形态进行破坏和改造的过程;造纸是把已破坏了的物质结构重新组合成另一种人们所企求的人为的物质结构,同时为了各种目的加进各种辅料,组成新的结构——纸或纸板。在整个过程中不希望存在的性质得到了减弱或消除,希望的性能得到了强化。

制浆过程改变了细胞壁的结构。机械浆的纤维虽然分离了,但多数木质素并没有从细胞壁中除去,即木质素仍包围着构成细胞壁主体的细纤维。因此,这类纤维就显得较硬,而且因其细纤维被填充物坚硬地支撑在原位,所以在抄造过程中不易被压溃。

在化学制浆过程中,化学品脱除了纤维之间夹层区域的木质素,还脱除了细胞壁内的木质素。实际上还很可能是细胞壁内木质素首先被脱除,因为制浆化学品可以很迅速地穿过纤维的胞腔。从细胞壁脱除木质素,意味着细纤维(在湿纤维中)此时可以容易地彼此做相对位移了,特别是当细纤维之间的区域内存在着大量水分作为润滑剂时。所以化学浆纤维在湿润状态就显得十分柔软或具有可塑性,而且,如果细胞壁不是太厚,很可能会容易被压溃,这一切都源于细纤维能自由地彼此做相对位移所致。所以制浆“打开”了细胞壁,产生出了更大的表面积。

打浆对纸浆纤维的机械作用也有类似效应。打浆把细纤维彼此分开,让水进入所形成的空间中。这使表面积逐渐增加,细纤维更为柔软。

例如,生产文化用纸,所用的原料为芦苇和木材。制化学浆就是用化学药品在高温和高压下破坏芦苇和木材的天然结构,漂白和打浆就是对纤维形态进行改造,加填和施胶就是强化平滑度、耐水性、适印性等书写印刷性能,抄纸就是重新组合成新的结构——文化用纸,新结构具有一定强度、挺度、印刷适性,减少吸水性、掉粉、掉毛等性能。

然而,什么样的产品属于纸和纸板的范畴呢?一般广义上讲,由流体悬浮在网子上交织成毯状的一切纤维结构都属于纸和纸板的范畴。这里的原料是指包括有机、无机、金属等任何类型纤

维原料,但多数是植物天然纤维素纤维;流体是指包括空气、水、泡沫等任何类型悬浮流体,但多数是水。因此,所谓纸,它的原料必须是纤维性的,而且必须是用交织成毯的方法形成的。所以,狭义上讲,纸和纸板是宏观的纤维复杂地缠绕交织而构成的一种三维网目构造体。

一张纸,表面上看似都差不多,大同小异。但由于使用的主要纤维原料种类和辅料不同,采用的加工方法不同,形成的结构不同,导致其用途和功能的差异。其纸的结构特点主要有以下几方面:

(1)纸张是一种多相成分的复合体结构。在纸的结构中,主要成分有纤维、填料、胶料、染料等固相成分,有水分或其他液体等液相成分,有空气等气相成分。由于所含成分的品种和量的差异,造成其结构及性能的差异。

(2)纸张是非均态结构。纸的主要成分是纤维、填料、水和空气等,由于纤维本身的差异以及采用的加工方法等原因,导致纤维之间的交织状况是非均态的,所以纸页结构也是非均态的。

(3)纸张是各向异性的结构。由于纸张中的各种成分在各个方向上的非均态分布和排列,导致纸张在纵向、横向和垂向(或称竖向)上各性能的差异,构成纸张的结构、性能等各向异性。

(4)纸张是网目构造体。由于纸张是由纤维交织而成,在纸页中存在着许多空隙,在纵向、横向和垂向(或称竖向)都有成分分布,因此决定了纸张是三维网目构造体结构。

二、纸张结构形成

(一) 纸料的胶体性质

纸料中的植物纤维及各种微细组分的表面都带有电荷,从而具有胶体化学特性。这个胶体结构是由距离远的或距离大的(与原子大小相比)相互作用的微小物体(纤维、填料粒子、胶料,等等)所组成的。所以 N·φ·叶费列夫定义:纸料是一种具有触变凝结结构的可逆体系。因此具有以下化学现象:

- (1)表面带电,同电荷的排斥而形成稳定的分散系。
- (2)胶体粒子溶剂化效应增强,分散能力提高,稳定性增大。
- (3)自动减小表面的倾向是胶体产生凝聚的内在根据。
- (4)带电特性和凝聚倾向,又导致体系对电解质,尤其聚电解质和热的敏感性。
- (5)电泳、电渗、流动电位及沉淀电位等一系列动电现象。

(二) 纤维间结合力

一般认为,纸的强度主要由以下3种因素构成:①纤维间相互结合力(可以通过打浆改变);②纤维自身的强度(由原料性质决定);③纸中纤维的分布和排列(由抄造条件决定)。

我们知道,天然植物纤维素纤维基本是按以下规律构成,即:葡萄糖基→纤维素→原细纤维(φ3nm)→微细纤维(φ12nm)→微纤维(φ25nm)→细纤维(φ30~50nm)→纤维(一个细胞)。

现代理论普遍认为纤维间相互结合力由3种力构成:

①极性键吸引力,即分子间的范德华力。

②表面交织力,是湿纸页湿强度的来源,是由打浆对纤维表面的处理作用决定的。纤维比表面积越大,接触点越多,交织力越大;纤维越柔软、可塑,交织力越大;纤维越长,单根纤维上的交织点越多,交织力越大;纤维的帚化现象越好,帚化度越高,交织力越大。

③氢键结合力,是纸页干强度的来源,能充分解释为什么干强度高,而湿强度低。

纸张是一种非常独特的材料,由于植物纤维素纤维存在许多羟基,在纸料浓缩、压榨、干燥等过程中能显著地形成氢键结合,使纸张中的纤维在没有黏合剂的情况下,也能互相结合而使纸张

具有一定的强度。

纤维素纤维表面由于打浆作用游离着大量羟基(—OH)。由于氢、氧原子电负性质之差大,所以羟基(—OH)是一个强极性官能基,能与其他氢氧等原子构成的官能基构成氢键结合。水分子(H_2O)由于其特殊结构在纤维间形成氢键过程中起到了不可缺少的特殊作用。

水分子中氧的两个孤对电子对与成键电子产生相斥作用,影响水中两个 O—H 键之间夹角,使键角被压缩到 104.5° ,氧原子位于中心,两个 H 和两个孤对电子位于 4 个角,构成四面体,如图 1-1 所示。

水中氧原子(O)外层的 6 个电子($2s^2 2p_x^1 2p_y^2 2p_z^1$)中的两对孤对电子($2s^2 2p_y^2$)占据两个电子轨道,两个孤电子($2p_x^1 2p_z^1$)各占一个轨道。氢上电子与氧上两个孤电子($2p_x^1 2p_z^1$)构成电子对,形成共价键。形成偶极性分子,使水分子具有很高的极性,图 1-2 是水分子的平面结构图。

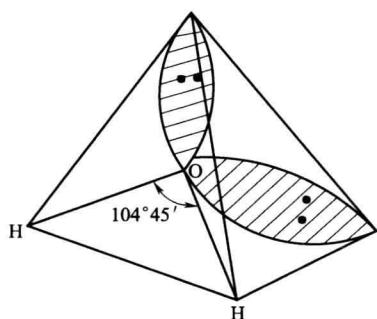


图 1-1 水分子立体结构图

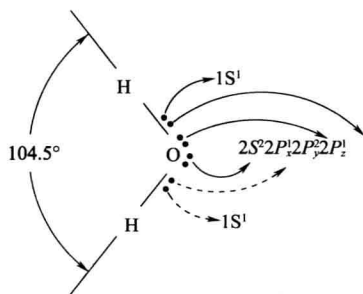


图 1-2 水分子平面结构图

由于氧电负性很强,将共用电子对强烈拉向氧一边,使 H 原子的轨道几乎成为空轨道,而且明显呈正电性,而氧原子明显呈负电性。在强正、负电吸引下一个水分子中氧孤对电子试图与另一个水分子中氢结合在一起,形成氢键,但会受到氧的排斥,因此形成的氢键($O-H \cdots O$)会尽量保持直线,才能吸引得牢固,这就是氢键的方向性。而当再有氧原子要靠近时,会受到已结合氧原子的排斥,这是氢键的饱和性。在氢键结合的水分子中,共价键结合较近,而氢键结合则较远。只有当两个水分子间距离在 $2.8 \times 10^{-10}m$ 以内,才能形成氢键,如图 1-3 所示。

(三) 纸张结构的具体形成过程

1. 纸料在网上脱水

纸料在网上脱水、浓度增加,水的表面张力开始将纤维拉拢在一起,在纤维之间形成了水膜,纤维之间开始有机械交织力存在,纤维间逐渐建立了絮凝的接触,逐渐形成了湿纸幅的空间结构。水膜的表面张力和纤维之间形成的机械交织力构成了纤维之间的内聚力,内聚力的大小决定了湿纸幅的空间结构的强度(一般称湿强度),而与纤维本身强度无关。但这个湿纸幅的空间结构的强度与纸料胶体的 ξ 电位有关, ξ 电位趋近 0 时有最大的结合强度。

水膜厚度大时,水的润滑作用使纤维之间很难产生较强的机械交织力,且此时的毛细管半径也大。因此,含水量很高的纸页是不具有湿强度的。当脱水使毛细管半径减小到一定程度,纸页内外的压差增大了纤维间的摩擦力,从而显现出足够的机械交织力。因此,水的表面张力是纤维之间产生机械交织力的保证。

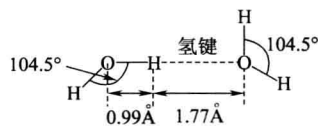


图 1-3 两个水分子形成氢键示意图