



世纪阳光
Century Sunshine

《造纸工艺理论》培训教材

(内部资料，请勿外传)

课程类别：工艺

教材类型：基础理论

教材编码：GY-01

部 门：生产技术部

山东世纪阳光纸业集团有限公司

前 言

纸和纸板的消费水平是衡量国家现代化水平和文明程度的重要标志。经济发达国家（如美国、加拿大、日本、芬兰、瑞典等）均拥有发达的造纸工业，长期以来一直是本国十大产业之一。近 20 年来，新兴的发展中国家（如中国、巴西、印度等）造纸工业也得到了较快的发展、产品包装和国防工业都有着重要的影响。随着国民经济的持续快速健康发展，造纸行业市场越来越大，加快发展具有重要的战略意义。

随着中国经济的持续发展，不断拉动对纸张的需求，为我国造纸行业的发展提供了广阔的空间。目前，中国已成为国际上重要的造纸生产和消费国，自 2009 年以来，中国造纸产量和消费量一直位于世界首位。

本书详细介绍了纸机网部、压榨部、烘干部、施胶、涂布、卷曲与完成等工艺，同时讲解了造纸工艺与产品质量控制、造纸化学品以及制浆造纸行业发展趋势。本书由山东世纪阳光纸业集团有限公司生产技术部工艺人员结合制浆造纸生产实践与制浆造纸理论编写，供世纪阳光同事参考学习，欢迎指正批评。

编者 2021 年 8 月

目 录

第 1 章 造纸工艺--网部	1
1.1 纸机的基本概念、术语	1
1.1.1 车速	1
1.1.2 浆速、网速、湿部、干部	1
1.1.3 宽度	1
1.1.4 左手机、右手机	2
1.1.5 三率	3
1.1.6 生产能力	3
1.2 纸料上网（流浆箱）	3
1.2.1 作用	3
1.2.2 设备	3
1.2.3 流浆箱历史	4
1.2.4 流浆箱组成	4
1.2.5 流浆箱主要元件	5
1.3 纸页的成型与脱水	8
1.3.1 网部	8
1.3.2 纸页成型器分类	8
1.3.3 长网成型器	9
1.3.4 脱水过程	10
1.3.5 纸料喷射上网与纸页脱水成形	10
第 2 章 造纸工艺--压榨	12
2.1 压榨脱水及限制	12
2.1.1 压榨的目的	12
2.1.2 压榨的作用	12
2.1.3 压榨脱水对纸的影响	12
2.2 压榨脱水机理	12
2.2.1 横向压榨脱水机理	13

2.2.2 垂直压榨脱水机理	13
2.3 压榨辊类型与压榨部组合	14
2.3.1 平辊压榨	14
2.3.2 网衬压榨	15
2.3.3 真空压榨	16
2.3.4 沟纹压榨	17
2.3.5 盲孔压榨	18
2.3.6 宽压区压榨	19
2.3.7 压榨部组合-双辊压榨	20
2.3.8 压榨部组合-多辊压榨	20
2.3.9 压榨部组合-中高及可控中高辊	22
2.4 影响压榨脱水的因素	23
2.4.1 升温压榨	23
2.4.2 双毯压榨	25
2.4.3 宽压区压榨	26
2.5 湿纸页的传递	26
2.5.1 开式引纸	26
2.5.2 粘舐引纸	28
2.5.3 真空引纸	28
第 3 章 造纸工艺--烘干部	30
3.1 蒸汽冷凝系统	30
3.1.1 蒸汽冷凝系统相关基础概念	30
3.1.2 烘缸虹吸管	31
3.1.3 烘缸传热效率	33
3.1.4 热泵	33
3.1.5 蒸汽供热系统节能主要方向	34
3.1.6 蒸汽冷凝系统涉及的自动化、控制回路	34
3.2 通风系统	35
3.2.1 通风系统相关基础概念	35
3.2.2 通风系统零位、露点温度相关检查控制点	36

3.2.3	TAPPI 标准中关于通风系统的相关建议值	39
3.2.4	DKUM 关于 PM1 至 PM4 通风系统的相关建议	39
第 4 章	造纸工艺--施胶	41
4.1	概述	41
4.1.1	施胶的基本定义	41
4.1.2	施胶方法	41
4.1.3	施胶剂	41
4.2	浆内施胶	42
4.2.1	松香胶	42
4.2.2	AKD	43
4.2.3	ASA	44
4.3	表面施胶	46
4.3.1	常用表面施胶剂种类及缺陷	46
4.3.2	表面施胶类型	46
4.3.3	表面施胶后纸幅处理	48
第 5 章	造纸工艺--涂布	49
5.1	涂布的基础知识	49
5.1.1	涂布定义	49
5.1.2	涂布类型	49
5.1.3	涂布过程概括	49
5.1.4	涂布的作用	49
5.1.5	涂料的主要组成部分	49
5.1.6	涂料制备	51
5.1.7	涂布量的影响因素	51
5.2	涂布性能的影响因素	52
5.2.1	原纸	52
5.2.2	涂料	52
5.2.3	涂布方式	52
5.2.4	装饰方式	53
5.3	涂料助剂的性能和应用	53

5.3.1 分散剂.....	53
5.3.2 流变性和保水性改性剂（WRRM）.....	54
5.3.3 润滑剂.....	55
5.3.3 抗水剂.....	55
5.3.4 增白剂.....	56
5.3.5 消泡剂.....	56
5.3.6 染料.....	57
5.4 涂布技术发展趋势.....	57
5.4.1 刮刀涂布.....	57
5.4.2 MSP 涂布.....	57
5.4.3 非冲击性涂布.....	58
5.4.4 喷雾涂布.....	58
5.4.5 帘式涂布.....	58
第 6 章 造纸工艺--卷曲与完成	59
6.1 概述.....	59
6.1.1 复卷和卷取的定义.....	59
6.1.2 三种基本的复卷机类型.....	59
6.1.3 复卷的要求.....	59
6.1.4 纸页性质对复卷的影响.....	59
6.1.5 复卷对纸页性质的影响.....	60
6.1.6 横幅曲线在线控制.....	60
6.2 卷曲.....	60
6.2.1 卷取过程.....	60
6.2.2 卷取参数.....	61
6.2.3 母卷内的应力与母卷结构.....	61
6.2.4 卷取过程的空气夹带.....	62
6.2.5 生产效率.....	63
6.3 复卷.....	63
6.3.1 复卷的功能.....	63
6.3.2 退纸部的作用.....	63

6.3.3 纵切部的作用	64
6.3.4 纸幅展开装置	64
6.3.5 复卷机的自动控制方式	65
6.3.6 复卷机种类	65
6.3.7 双底辊复卷机的常见纸病	65
6.3.8 纸种对复卷造成的挑战	66
6.3.9 发展趋势	67
6.4 纸卷的包装与处理	68
6.4.1 纸卷的防护	68
6.4.2 纸卷的包裹方式	69
6.4.3 多站式包装机	69
6.4.4 单站包装机	70
6.4.5 拉伸膜包装机	71
6.4.6 包装材料	71
第 7 章 造纸工艺--工艺控制与产品质量	72
7.1 制浆工艺控制点与产品质量关系	72
7.1.1 浆点问题	72
7.1.2 尘埃点问题	72
7.1.3 衬层黑点问题	72
7.1.4 底浆胶蜡点问题	72
7.1.5 纸面透眼问题	73
7.1.6 衬层黑点问题	73
7.2 造纸工艺控制点与产品质量关系	73
7.2.1 纸页匀度差	73
7.2.2 纸页定量不均	74
7.2.3 纸页两面差	74
7.2.4 纸页表吸大/小	75
7.2.5 纸页耐破、耐折低	75
7.3 化工辅料添加与产品质量关系	75
7.3.1 功能助剂的主要作用	75

7.3.2 过程助剂的主要作用	76
7.3.3 硫酸铝	76
7.3.4 施胶	77
7.3.5 干强剂	77
7.3.6 喷淋淀粉	78
7.3.7 助留助滤剂	78
7.3.8 加填	78
7.3.3 杀菌剂	79
第 8 章 造纸工艺--造纸化学品使用工艺	81
8.1 概述	81
8.1.1 造纸化学品的分类	81
8.2 施胶	81
8.2.1 施胶与施胶剂	81
8.2.2 液体在纸页表面的扩散和渗透机理	82
8.2.3 接触角理论	82
8.2.4 施胶剂的基本要求	82
8.2.5 酸性施胶、中性施胶与碱性造纸	83
8.2.6 AKD 施胶（烷基烯酮二聚体）	83
8.2.7 AKD 施胶机理	84
8.2.8 AKD 施胶的特点	85
8.2.9 AKD 影响因素	85
8.2.10 ASA 施胶（烯基琥珀酸酐）	87
8.2.11 ASA 施胶的影响因素	88
8.2.12 ASA 与 AKD 的性能比较	89
8.3 加填	89
8.3.1 加填的目的和作用	89
8.3.2 加填对纸张性能和纸机运行的影响	90
8.3.3 填料质量评价	90
8.3.4 常用填料	90
8.3.5 填料的选择	91

8.3.6 填料的留着机理	91
8.3.7 填料液的制备和使用	91
8.3.8 影响填料留着因素	92
8.4 染色和调色	92
8.4.1 染色和调色的目的与作用	92
8.4.2 色料的种类和性质	92
8.4.3 几种常用合成染料的性质	92
8.4.4 荧光增白剂的使用	93
8.4.5 影响染色的因素	93
8.4.6 染色两面性及解决	94
8.5 增强剂	94
8.5.1 纸张的结构	94
8.5.2 纸张的强度	94
8.5.3 纤维之间的结合	95
8.5.4 影响纸页强度的因素	95
8.5.5 干强剂的分类及作用机理	95
8.5.6 淀粉类干强剂	96
8.5.7 主要淀粉类干强剂	96
8.5.8 湿部淀粉的选择	96
8.5.9 聚丙烯酰胺 (PAM) 干强剂	97
8.5.10 纸的湿强度	97
8.5.11 湿强剂作用机理	98
8.5.12 几种常用湿强剂	98
8.5.13 影响湿强剂留着和增湿强效果的因素	98
8.5.14 湿强纸的再碎	98
8.6 助留助滤剂	99
8.6.1 助留、助滤	99
8.6.2 助留、助滤剂的种类	99
8.6.3 助留机理	99
8.6.4 助滤机理	100

8.6.5 常用助留助滤体系	100
8.6.6 助留、助滤剂	101
8.7 其他化学品	101
8.7.1 消泡剂	101
8.7.2 杀菌剂	102
第 9 章 造纸工艺-制浆造纸行业发展趋势	103
9.1 制浆造纸行业发展现状	103
9.1.1 造纸行业发展现状	103
9.1.2 市场规模与现状	103
9.2 造纸行业的发展趋势	105
9.2.1 制浆造纸行业的发展趋势	105
9.2.2 对我国造纸行业发展的建议	106
9.3 造纸工业绿色可持续发展	107
9.3.1 国家政策层面	108
9.3.2 生产工艺层面	109
9.4 对造纸行业技术发展趋势的预测	110

第 1 章 造纸工艺--网部

1.1 纸机的基本概念、术语

1.1.1 车速

车速：造纸机各部分的速度是不同的，一般所说的车速是指造纸机的出纸速度，即卷纸辊上纸卷的实际速度，以 m/min 表示。

工作车速：是指纸机最适宜的车速范围。

结构车速：也叫设计车速、极限车速，一般比最高的工作车速高出 20%-30%。

爬行车速：为了检修和清洗毛毯所使用的慢车速，一般为 10-25 m/min。

1.1.2 浆速、网速、湿部、干部

浆速是指纸料离开流浆箱堰（唇）口喷向成形网时的速度，由流浆箱中浆位高度（或压力）和堰（唇）口结构所决定。

$$V_j = 60\mu \times (2Gh)^{0.5}$$

V_j —浆速（m/min）， μ —堰口系数， h —浆位高（或压力+浆位）（m）

网速是指成形网的运转速度，由纸页性质而定，一般网速低于车速，网速 \neq 浆速。

$$V_w = K_w \times V_j$$

V_w —网速， V_j —车速， K_w —浆网速比

湿部：指纸机上用机械方法进行脱水的各部分，自流浆箱至压榨部统称为湿部。

干部：指纸机上以加热方法脱水的各部分，包括烘干部、压光、卷取部。

1.1.3 宽度

公称净纸宽度：卷纸机上纸幅宽度裁去一定宽度的纸边后的纸幅宽度。公称净纸宽度=毛纸宽度-切边宽。

毛纸宽度（抄宽）：卷纸机上纸幅的宽度。以 mm 表示。

湿纸宽度：成形网上的湿纸幅经水针切边后的宽度。

定幅宽度：流浆箱喷口的宽度，以 mm 表示。

网宽：成形网的宽度，以 mm 表示。

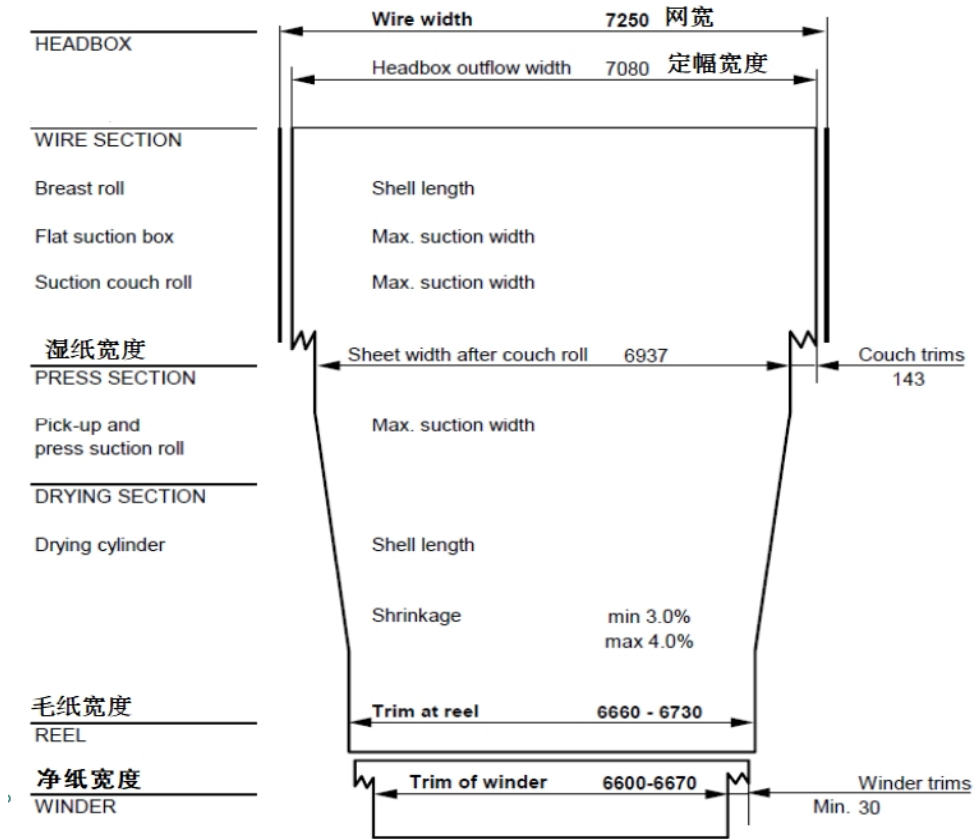


图 1-1 纸幅宽度

1.1.4 左手机、右手机

左手机：又称 Z 型机，站在造纸机干燥部末端，面向湿部，如传动装置在左侧，称为左手机。

右手机：又称 Y 型机，站在造纸机干燥部末端，面向湿部，如传动装置在右侧，称为右手机。



图 1-2 右手机

1.1.5 三率

抄造率：指在卷纸机处成纸的完成率，其公式为：

$$\text{抄造率} = \text{抄造量} / (\text{抄造量} + \text{抄造损失量}) \times 100\%$$

成品率：指扣除了切选损失后成品纸的百分率，其公式为：

$$\text{成品率} = \text{合格品量} / \text{抄造量} \times 100\%$$

合格率：抄出的纸、纸板经切裁、选别或复卷后，合格品占全部产量的百分比，其公式为：

$$\text{合格率} = \text{合格成品量} / \text{成品量} \times 100\%$$

1.1.6 生产能力

$$Q = (1.44VBmqK_1K_2K_3) / 1000 \text{ (t/d)}$$

Q—造纸机的生产能力 (t/d)

V—造纸机的车速 (m/min)，造纸机的车速是指卷纸机上卷纸的线速度

Bm—纸的抄宽 (m)，纸的抄宽通常是指卷纸机的毛纸幅宽度

Q—纸的定量 (g/m²)

K₁—设备利用率 (%)，长网机 0.937，圆网机 0.937-0.958

K₂—抄造率，一般为 0.95~0.98

K₃—成品率，一般纸张 93%~98%，对薄页纸张取 88%~90%

1.2 纸料上网 (流浆箱)

1.2.1 作用

纸料上网可以沿着纸机横幅全宽将纸料均匀、稳定地流送上网，为纸页成形以至生产优质的产品创造良好的前期条件。

1.2.2 设备

纸料上网的主要设备是流浆箱，被成为“纸料上网的心脏”，其可以向纸机网部均匀的分布纸料、能良好的分散纤维、提供适当的上网浆速。

流浆箱分类：

(1) 敞开式：适用于 100~140m/min 低速文化纸机，浆速由液位高度控制。

(2) 封闭式：以气垫式为主，真空式主要用于特种纸的生产，车速 300~700m/min。

- (3) 水力式：以满流式为主（满流气垫结合式、多层水力流浆箱）。
- (4) 带稀释水调浓的水力式流浆箱：用于高速纸机。
- (5) 高浓流浆箱：生产中很少应用。



图 1-3 水力式流浆箱

1.2.3 流浆箱历史

1804 年敞开式流浆箱，适用于低速纸机，20 世纪 40 年代封闭（气垫式）流浆箱。1958 水力式流浆箱随着夹网纸机的发展，70 年代后快速发展，有满流式、满流气垫、多层水力式，20 世纪 90 年代稀释水流浆箱。

1.2.4 流浆箱组成

1. 布浆装置

作用：沿着纸机全宽提供压力、流速、流量均一的纸料。

元件：总管、布浆元件、稀释水浓度控制系统。

2. 整流装置

作用：产生湍流，分散纤维防止絮聚。

元件：机械式整流元件、水力式湍流发生器。

3. 上网装置

作用：控制纸料以适当的速度和角度上网。

元件：堰板。

1.2.5 流浆箱主要元件

布浆总管

布浆总管作用：展开纸料流沿纸机的全宽均匀地分布纸料。

布浆总管回流的作用：

- (1) 保持纸料在纸机的全宽压力均匀。
- (2) 排除管内空气、泡沫。
- (3) 防止死浆：防止纤维束、尘埃聚集到末端。

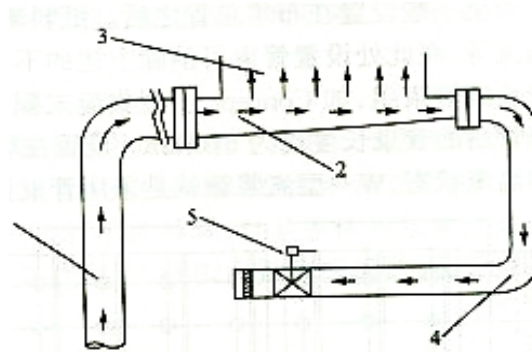


图 2-5-14 布浆总管示意图
1—纸料进口管 2—锥形布浆总管
3—纸料进布浆元件 4—纸料回流管
5—回流量控制阀

图 1-4 布浆原件

孔板布浆器：纸料由总管进浆，通过一块由若干小孔的孔板进行布浆，浆进入孔板流速加快，产生压力降，能产生小的湍动，结构简单，适于中高速纸机。

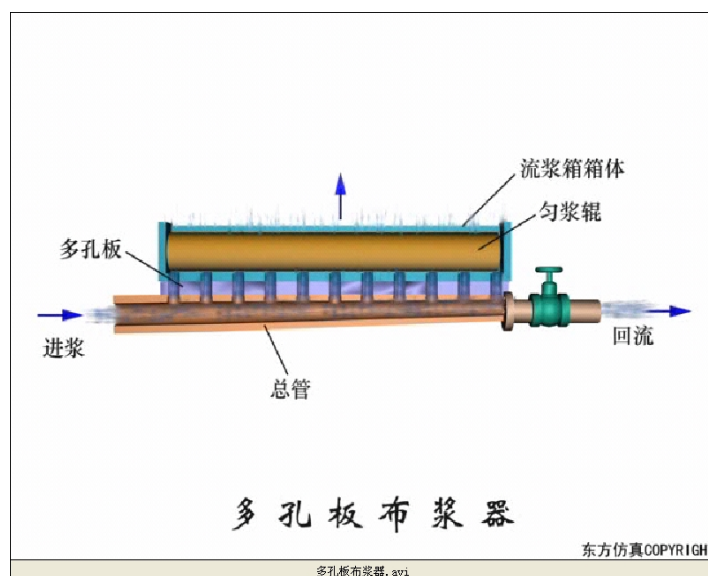


图 1-5 孔板布浆器

阶梯扩散布浆器：纸料由总管进浆，通过若干个阶梯扩散器进行布浆，具有整流和消能功能，能产生高强微湍，结构简单，适于各类纸机。

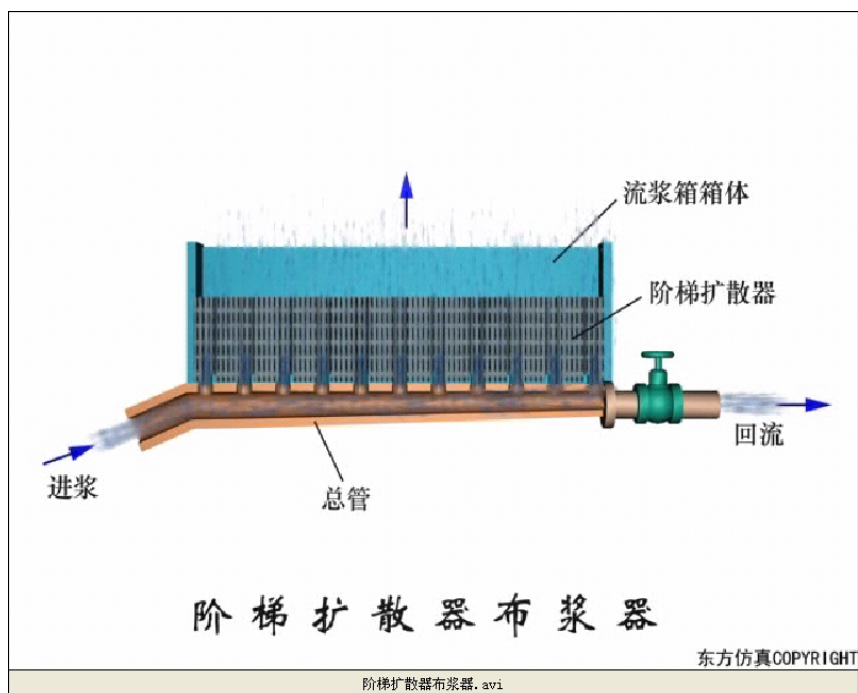


图 1-6 阶梯扩散布浆器

管束布浆器：纸料由总管进浆，通过若干管束进行布浆。管束两头管径不同，进纸料端管径小，出口端大，使纸料能圆滑的扩展到整个端面上。能产生高强微湍，管束结构复杂，适于新型的高速长网和夹网纸机，除此上述布浆器外，还有单管布浆器、多管布浆器、错流布浆器。

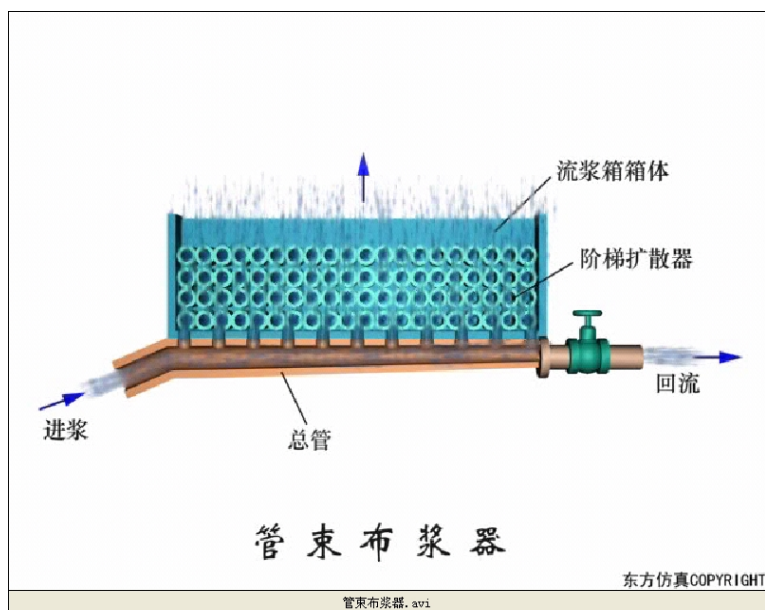


图 1-7 管束布浆器

整流原件：

匀浆辊：是一根有较大刚性，辊面上由若干小孔的中空薄壁辊筒，是一般流浆箱（敞开式、封闭式）应用最广的整流元件。

作用：消除浆中的涡流、横流、偏流，对纸料进行整流，防止纤维絮聚和沉降。提高浆流的湍动强度，分散纤维，提高成纸的匀度。

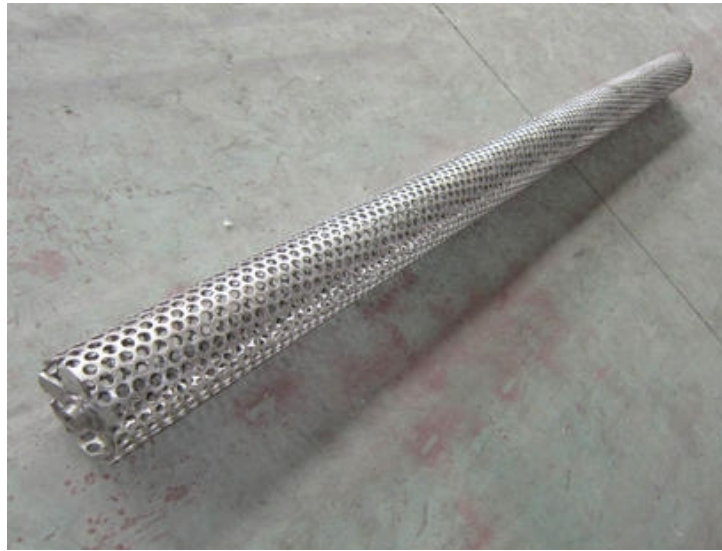


图 1-8 匀浆辊

阶梯扩散器：是一种高效的布浆整流元件，从结构上可以看作多块不同开孔直径孔板的组合，不需要配其他消能元件，可配合用于各种类型、各种车速范围的流浆箱。



图 1-9 阶梯扩散器

堰板：使纸料以一定的速度和角度上网；唇口开度可调，控制上网纸料流全幅和局部的流量；控制纸料稳定性及其湍动强度和规模。



图 1-10 堰板

1.3 纸页的成型与脱水

1.3.1 网部

成形过程：纸料在网上留着和滤水的过程。

作用：①脱水：脱去纸料中的大部分水分；②成形：形成均匀的湿纸页。

要求：①尽量保留纸料，减少纤维的流失；②尽量脱出水分；③形成均一纸页。

网部留着率可分为单程留着率和全程留着率。

首（单）程留着率：指纸机网部（伏辊）后还留着在纸幅上的物料与离开纸机流浆箱堰口处的物料之比（40%~90%）。

全程留着率（overall retention）：指纸机干燥卷取出来的物料与进纸机湿部的物料之比（90~95%）。

留着率低可能引发的问题：

- （1）输送物料负荷增加，成本增加。
- （2）白水中的细小组分影响浆料滤水，影响湿部化学助剂的效率，影响纸机的清洁。
- （3）加重纸的两面性，影响纸的性能。

1.3.2 纸页成型器分类

纸页成型器的分类：

按结构分：圆网、长网、多网（顶网、夹网和叠网成形器）；

按成形方式分：单层、多层；

按浓度分：低浓<1.5%，高浓。

1.3.3 长网成型器

从胸辊到伏辊之间一张平直、无端的网子所形成的网案以及网内的脱水元件。

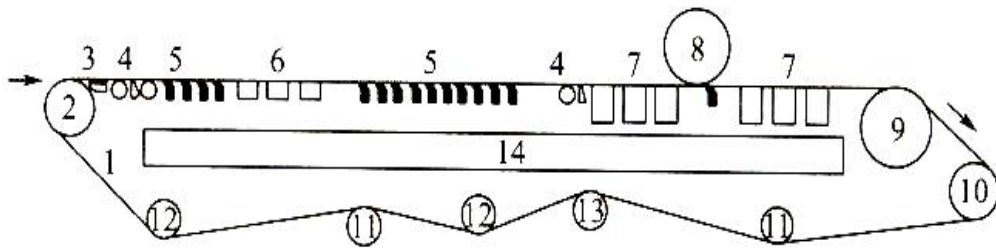


图 2-5-41 典型的长网造纸机网部

- 1—成形网 2—胸辊 3—成形板 4—案辊 5—脱水板 6—湿真空箱
7—干真空箱 8—整饰辊 9—伏辊 10—驱网辊 11—导网辊
12—舒展辊 13—紧网辊 14—白水盘

图 1-11 长网

长网成型器的主要部件及作用：.

胸辊：脱水，支撑网。

成形板：控制脱水速率，支撑网，材料：高密度聚乙烯或陶瓷覆面

案辊和沟文案辊：低速纸机用（<600m/min），车速高产生的真空脉动干扰已形成的纤维层。

案板：组成：前角（ $630\sim 60$ ）、顶面（ $10\sim 15\text{mm}$ ）、斜面（长度 $30\sim 60\text{mm}$ ，后角 $1\sim 4^\circ$ ），材料：多为高密度聚乙烯或高纯度的陶瓷等。

真空箱：干度由 $2\%\sim 3\%$ 提高到 $8\%\sim 12\%$ 。

湿箱（水线前）：靠真空箱的抽吸，纸页受压缩而脱水。

干箱（水线后）：空气穿过纸页带走水分。

水线：纸页成形的分界线，液面反射和纤维散射的分界线，干度 7% 左右。

水线的作用：判断横幅纸料是否稳定；判断脱水的快慢。

影响脱水的因素：

（1）真空度：增加有利脱水，过大，动力增加，网磨损增加。

(2) 脱水面积：增加，脱水效率增加，比真空度更有效，中低速纸机 5~8 个，高速纸机 8~10 个。

(3) 纸料性质：毛细管半径、纤维长度、水粘度等。

伏辊：驱动，脱水（18~25%）。

现代纸机上，所用的伏辊基本都是真空伏辊，依靠真空抽吸力进行脱水。

结构：蜂窝式（缝隙式）和小室式，小室分单室、双室、三室。

成形网：聚酯网。

1.3.4 脱水过程

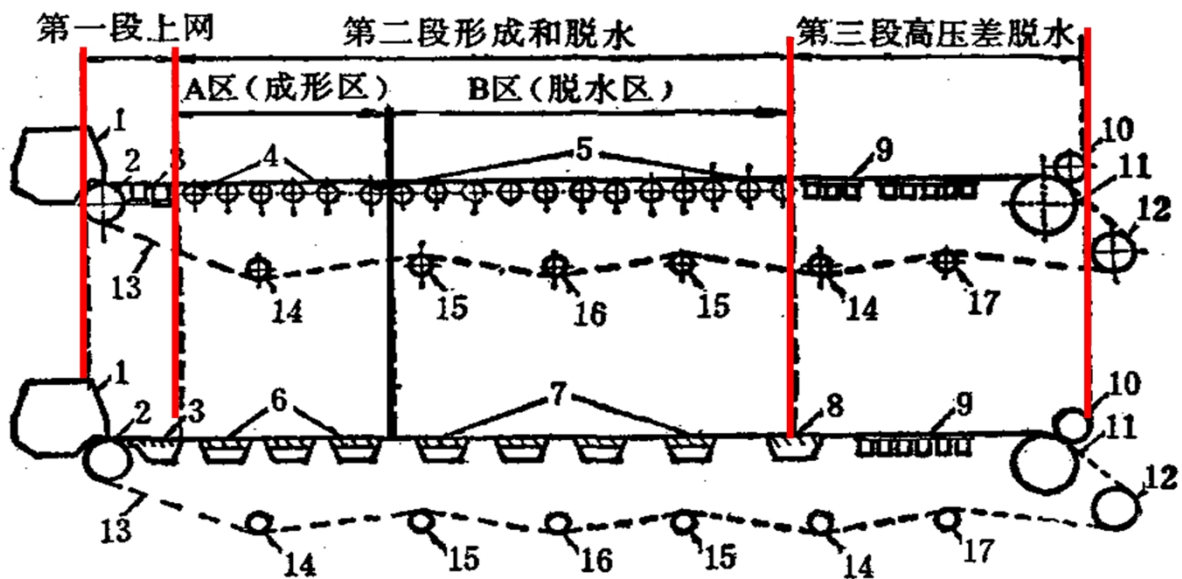


图 1-12 脱水过程

上网段：着网点至成型板或第一根案辊为止，要求：喷出的纸料均匀分散且浆流平稳。

成型脱水段：第一段至真空箱前，大量脱水形成湿纸页，纸页干度可达 1.8%-3%，成型 A 区主要是控制合适的脱水速率，保证脱水均匀，成型 B 区主要是大量脱水阶段。

高压脱水区主要由真空箱和伏辊组成，纸页以成型可采用高压差加速水分脱出。

1.3.5 纸料喷射上网与纸页脱水成形

喷射角：浆流喷射轨迹与下唇板之间的夹角 (α) 为喷射角。

着网点：堰板喷浆口喷出纸料与网接触处称为着网点。

着网点的位置控制方法：靠调节堰板，控制喷射角的大小。

着网点的最佳位置：长网部纸料的着网点，成形板前缘附近。

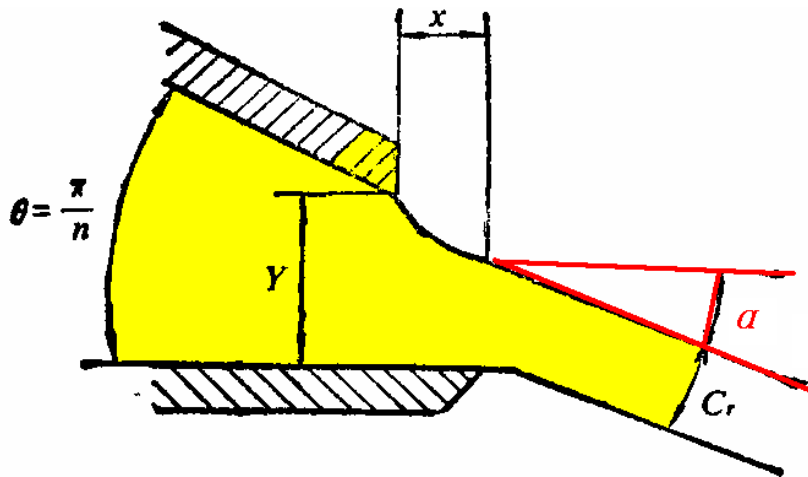


图 1-13 喷射角

浆网速比：即流浆箱唇口喷浆速度和纸机成形网运行速度的比率（R）。

对成形的影响：

当 $R=1$ 时，浆料与网没有相对运动，纤维易絮聚，成纸的匀度较差；

当 $R>1$ 时，浆速大于网速，纤维在网上横向排列较多，差值太大纸料翻滚，纤维容易卷曲或垂直于网面；

当 $R<1$ 时，网子的牵引力促使纤维分散，匀度好，大多数纸用。相差太大，纵横向强度差大，成纸的多孔性和柔软性较差。

第 2 章 造纸工艺--压榨

2.1 压榨脱水及限制

2.1.1 压榨的目的

压榨目的：现代新式造纸机，纸张抄造过程水脱出情况：98.3%在网部脱掉，1.1%在压榨部脱掉，0.6%在烘缸部脱去；网部、压榨部、烘缸部脱去相同重量水的成本比较：1:70:330。为了降低生产成本，需要进行压榨以脱去更多的水分。

吨纸运行成本：成形部 10%、压榨部 12%、干燥部 78%。

2.1.2 压榨的作用

1. 脱除纸页水分；压后纸页干度 25%~42%，采用复合压榨、靴式压榨、宽压区压榨，干度可达 48%~50%。
2. 提高纤维结合力，提高湿纸幅强度。
3. 消除纸幅网痕，提高平滑度，降低松厚度。
4. 将湿纸页传递到干燥部。

2.1.3 压榨脱水对纸的影响

1. 结合强度增加，形成氢键。
2. 降低纸的孔隙度，吸收性和透气性下降。
3. 紧度增加，松厚度降低。
4. 纤维柔软性增加，耐破度增加。
5. 不透明度下降，纸的反射系数降低。
6. 副作用：两面性、角质化，降低润胀能力，保水值下降，尤其对硫酸盐木浆。
7. 压榨主要脱除游离水，会受到压榨设备和湿纸幅（压花）限制。

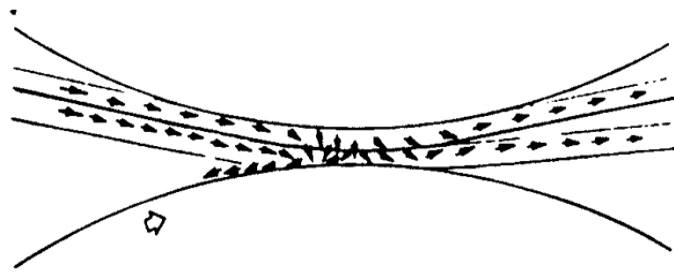
压花现象：在生产过程中讲的“压花”现象，是指当浆粕进入压榨辊后，湿纸幅局部位置被压辊压溃留下的镂空散花暗道。

2.2 压榨脱水机理

压区：压辊或压靴间接触的区域称为压区。

压区宽度：从湿纸幅和毛毯进压缝开始接触的地方起到出压缝两者分开的宽度。

压区压力：机械压力和流体压力两部分组成。



平压榨压区的示图，从纸页与毛毯挤出的水只能利用侧向移动在压区入口侧离去（Beloit 公司）

图 2-1 平压榨

2.2.1 横向压榨脱水机理

第一压区：纸和毛毯受到压缩，纸中水分饱和向毛毯转移。进一步的挤压毛毯也达到饱和，水分便水平反向脱水或称横向脱水。

第二压区：压力减小，纸和毛毯膨胀，湿纸毛细管小于毛毯，使纸页从毛毯上吸回水分，造成纸页的回湿。

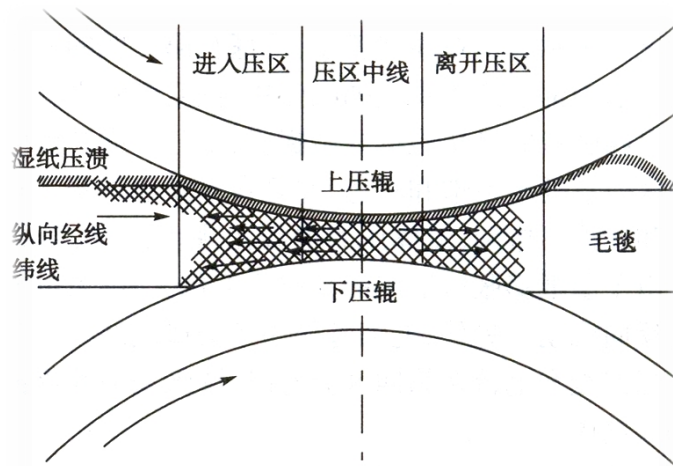


图 2-2 水平反向脱水

2.2.2 垂直压榨脱水机理

第一压区：到水分饱和点：纸页和毛毯开始压缩，空气流出直至水分达到饱和，纸页中尚未形成脱水的推动力，排气不排水。

第二压区：饱和点到压区中线：纸页内压力上升，水由纸页转入毛毯，当毛毯

达到饱和时，水从毛毯排出。

第三压区：压力最高点到纸页干度最高点：压区开始扩大，纸仍受压，毛毯膨胀，直至纸页中流体压力为零，相当于纸页干度的最高点。

第四压区：纸开始膨胀至离开压区，纸页和毛毯开始扩张，纸页变成不饱和状态，纸页重新从毛毯吸收水分，纸页回湿。

两种脱水方式的特点：

横向脱水：横向脱水的路线长，阻力大，脱水效率低，且易造成压花。

垂直脱水：缩短了脱水距离，减少了脱水阻力，增加了脱水量，提高了压榨脱水效率，可以减少甚至消除纸页的压花。

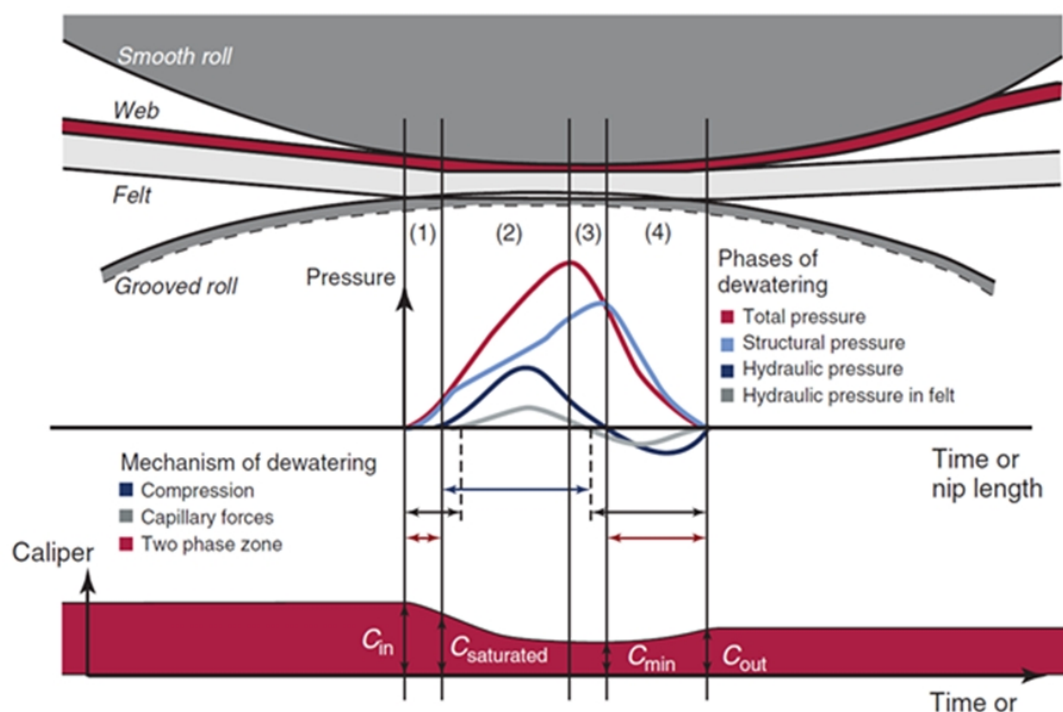


图 2-3 垂直脱水机理

2.3 压榨辊类型与压榨部组合

2.3.1 平辊压榨

平辊压榨：由一对压辊组成，上辊为石辊，下辊为胶辊，普通压榨和正压榨均采用平辊压榨，效率低且易压花。

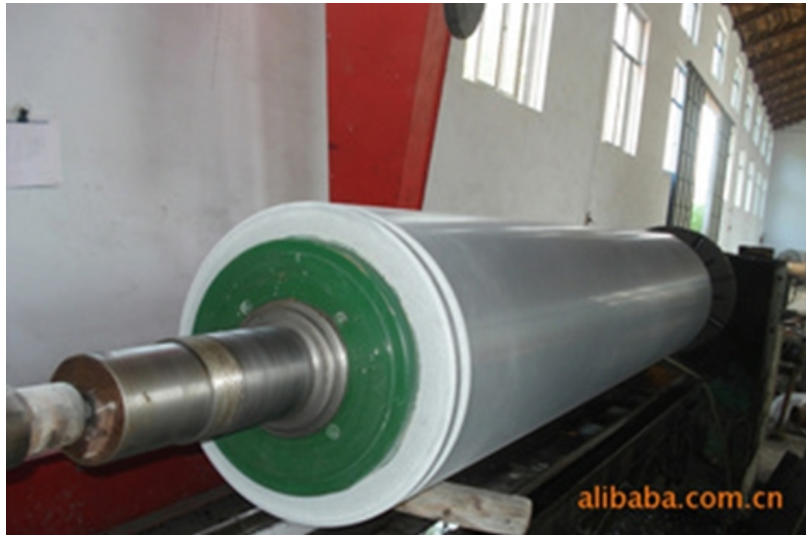


图 2-4 石辊

胶辊：提供耐腐蚀性和良好的弹性，缓和压榨作用，延长毛毯使用寿命，减少压花，补偿中高误差，变形大，热积累导致胶辊温度上升，加速老化。20 世纪 60 年代开始使用硬质聚氨酯代替橡胶制造压榨胶辊。



图 2-5 胶辊

2.3.2 网衬压榨

衬网压榨：毛毯内衬一网眼大的无端塑料网，在毛毯下部保持大量空隙，开孔率大于真空压榨和沟纹压榨，为压区被挤出的水提供排水通道。水经过毛毯进入塑料网的眼孔中，又称网毯压榨。

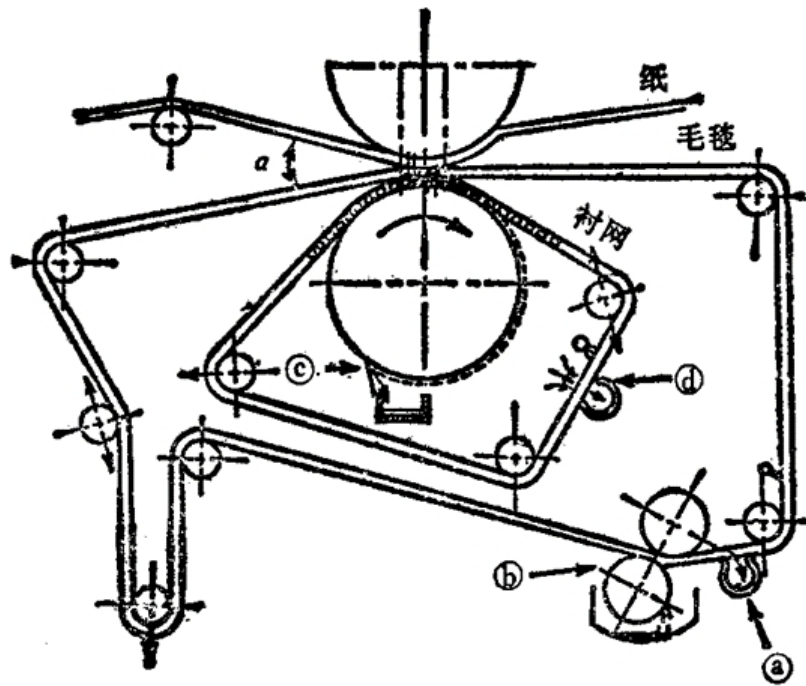


图 2-6 衬网压榨

套网压榨：在包胶的下压辊或真空辊上套一张网套，脱水原理与衬网压榨相同。

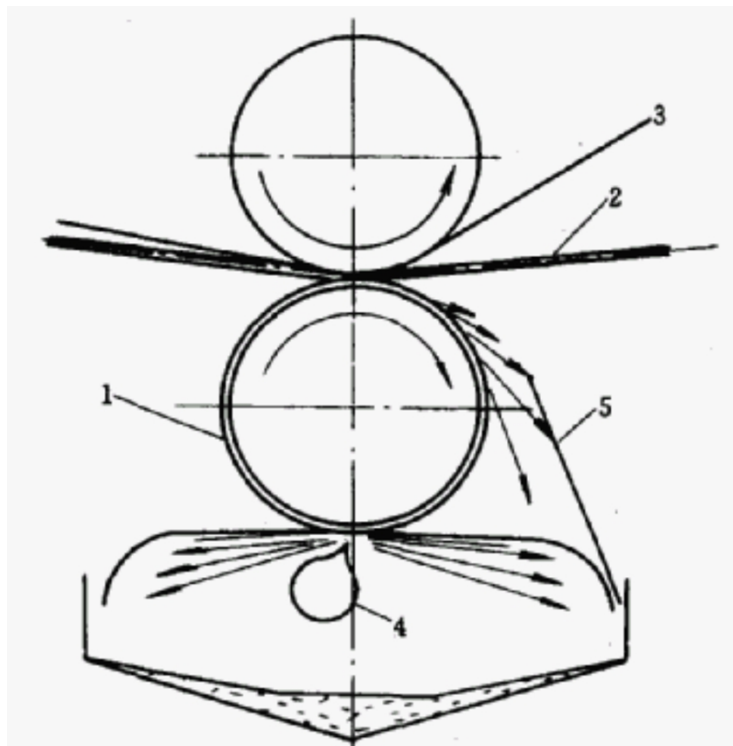


图 2-7 套网压榨

2.3.3 真空压榨

真空压榨：多用于中高速纸机，上辊为石辊，下辊为真空辊，辊壳由青铜或不锈钢铸成，辊面包有橡胶并钻有大量直径 6-8 毫米的通孔，壳内装有真空室。

真空压榨的脱水机理：高速纸机抄纸时，毛毯和湿纸中的水分被真空吸出后经过辊上眼孔，几乎来不及到达真空室中便转过真空吸水区，然后被辊子的离心力甩入白水盘。因此，真空室作用仅是抽吸眼孔中的空气，辊壳越薄，抽吸空气体积越少，越有利于提高脱水效率。



图 2-8 真空压榨辊

2.3.4 沟纹压榨

沟纹压榨：上压辊为石辊，从动辊；下压辊为空心铸铁辊包胶，胶层辊面刻有螺旋型沟纹，主动辊。现在，大型高速纸机的沟纹辊为实心金属辊包胶，可控中高辊结构，以适应更大线压。

沟纹压榨脱水机理：沟槽为压区内被挤压出的水分提供了排泄渠道。沟槽使压区下方与大气相通，压区内的水分沿着垂直或接近于垂直方向穿过毛毯进入沟纹，缩短了水通过毛毯的距离。水分在毛毯内所需横向（水平）移动的距离不大于沟槽间距离的一半，流阻较小。因此沟纹压榨易于脱水，可提高脱水效率和湿纸干度，减少压花。

特点：脱水效率高，加工简单。压力大沟纹易变形。



图 2-9 沟纹压榨辊

2.3.5 盲孔压榨

盲孔压榨：上辊：石辊，从动。下辊：铸铁包胶盲孔辊，包胶面上钻有盲孔，其孔眼容积比沟纹辊约大 5 倍，可以容纳更多压出的水。可适用于双毯压榨，上下压辊都是盲孔辊，两面对称脱水，这是区别于沟纹压榨的独特优势。

盲孔压榨的脱水机理：高速纸机上，盲孔内的水分大部分被离心力甩到辊面，用刮刀除去；另一部分水被毛毯吸收，再借吸水箱从毛毯吸走。低速纸机采用气刮刀，借助高速喷向辊面的空气，把水分从盲孔内吹出。

盲孔压榨的特点：

1. 脱水率高（比沟纹压榨大 37.5%）；
2. 压辊和毛毯的使用寿命长（平均比用沟纹辊时长 0.5~1 倍）；
3. 出压榨纸页干度高（提高 1%~2%）；
4. 纸页出压榨的水分也较均匀，无毯印痕；
5. 孔眼不易封闭；
6. 可用于双毯压榨，两面脱水。

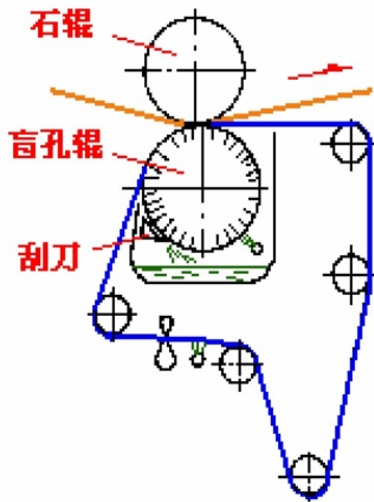


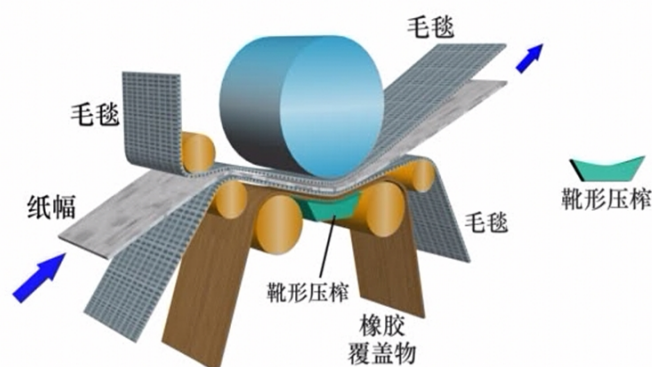
图 2-10 盲孔压榨

2.3.6 宽压区压榨

宽压区压榨：压区内有较长的停留时间，用于最后一道压榨时，改进纸幅的结构，关键部件是固定的靴形加压板和不透水的合成胶带。靴形板用润滑油连续润滑。压力维持时间是传统压榨的 8 倍，实现了压榨脱水的重大跃进。

宽压区压榨的特点：

宽压区压榨是由压脚顶着压辊形成压区，压区宽度可达 250mm，因此，可相应延长湿纸在压区内的受压时间，压榨线压可提高 1700KN/m。由于湿纸在长压区压榨中受压时间较长，因此可以提高压榨出纸干度；降低烘缸部蒸汽消耗量；改善压榨部运行性能，提高纸机的生产能力。



宽压区压榨装置

东方仿真COPYRIGHT

图 2-11 宽压区压榨

2.3.7 压榨部组合-双辊压榨

普通长网纸机压榨部：一组以上，通常 2—4 组组成，前面为正压榨、反压榨，最后一道多为光泽压榨。现在多采用多辊复合压榨。

圆网纸机压榨部：预压榨和主压榨组成。

按每道压榨的压辊数可分为：双辊压榨、多辊压榨。

按压榨的功用可分为：正压榨、反压榨、光泽压榨、挤水压榨、引纸压榨、高强压榨、复合压榨、热压榨等。

正压榨：湿纸进入压榨的方向与纸机运行方向相同，即正面与石辊接触，提高纸正面平滑度。

反压榨：湿纸进入压榨的方向与纸机运行方向相反，即网面与石辊接触，提高纸反面平滑度，减轻网痕，减少两面差。

光泽压榨：最后一道（湿纸不用毛毯传递），压平纸页，消除网痕和毯痕，提高纸紧度和网面平滑度。无脱水，提高平滑度，使之紧贴烘缸表面以提高传热效率。

挤水压榨：即毛毯洗涤压榨。

引纸压榨：用于真空引纸的中高速纸机，作用是将湿纸从引纸毛毯转移到压榨毛毯，又称转移压榨。

其他组合形式的新型双辊压榨：单一压榨、紧凑压榨、贯穿压榨、三真空压榨、脱架压榨、对位压榨、双通道压榨等。

2.3.8 压榨部组合-多辊压榨

复合压榨：由多辊构成的多压区压榨，也是多辊压榨的组合。

优点：①提高压榨部的脱水效率和进烘缸部纸的干度；②对于相同压区数，减少了压辊数，降低功率消耗；③压榨部损纸易于处理，消除了反压引纸困难；④正面网面对称脱水，减小了纸的两面差；⑤缩短压榨部长度，节省车间长度和建筑面积；⑥对纸种适应性好，适用于高速纸机，引纸简单；⑦便于封闭引纸，减少纸的断头，增加纸机车速；⑧基本解决草浆抄纸粘辊断头问题。

三辊两压区压榨：三辊两压区压榨取消了两道压榨间的引纸，网面经过双压区时接触到光滑石辊，提高反面平滑度，该双压区只需要一个光泽的石辊。

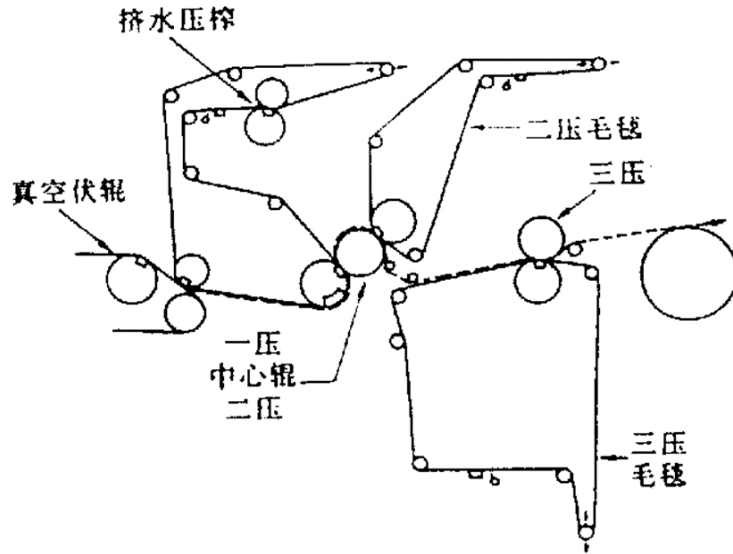


图 2-12 倾斜三辊双压区复合压榨

四辊三压区压榨：湿纸幅经过三个压区压榨脱水，才开放引纸进入光泽压榨，断头的机会大大降低，同时能增加纸张的光泽度。

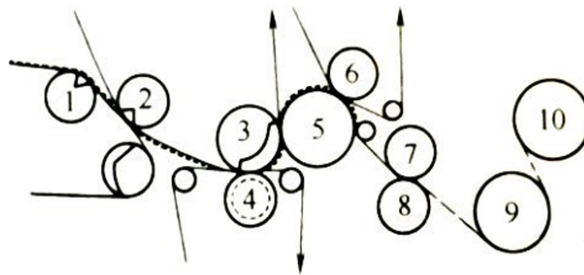


图 5-29 四辊三压区复合压榨

1—真空伏辊 2—真空吸引辊 3—真空压辊 4、6—沟纹辊 5—平压辊 7、8—光泽压辊 9、10—烘缸

图 2-13 四辊三压区复合压榨

靴型压榨：现代高速纸机上的常用形式，与普通压榨组合或单独使用。

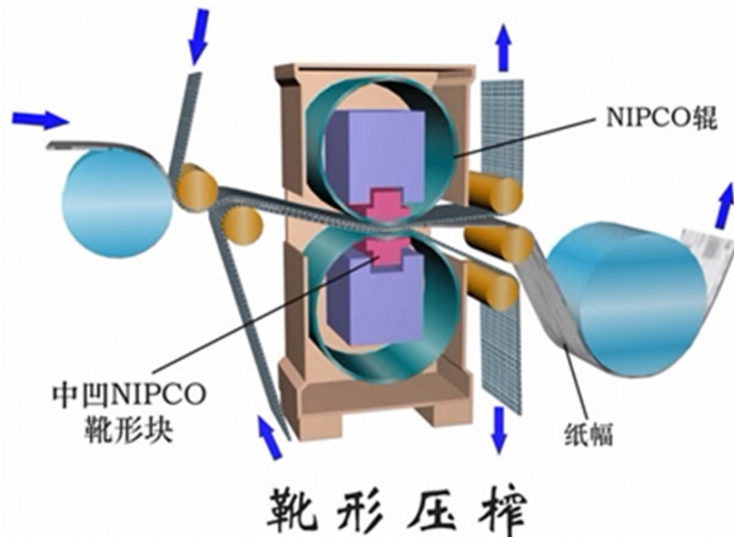


图 2-14 四辊三压区复合压榨

2.3.9 压榨部组合-中高及可控中高辊

压榨部主要由压辊构成，压辊在上压辊的自重和附加压力下对湿纸幅施加压力。

挠度：辊子在自重和附加压力的作用下，会产生弯曲变形，变形的大小即挠度

中高度：压榨辊中间直径与两端直径之差。

设置中高的原因：弥补辊子中间部位接触不好造成的脱水不均匀。

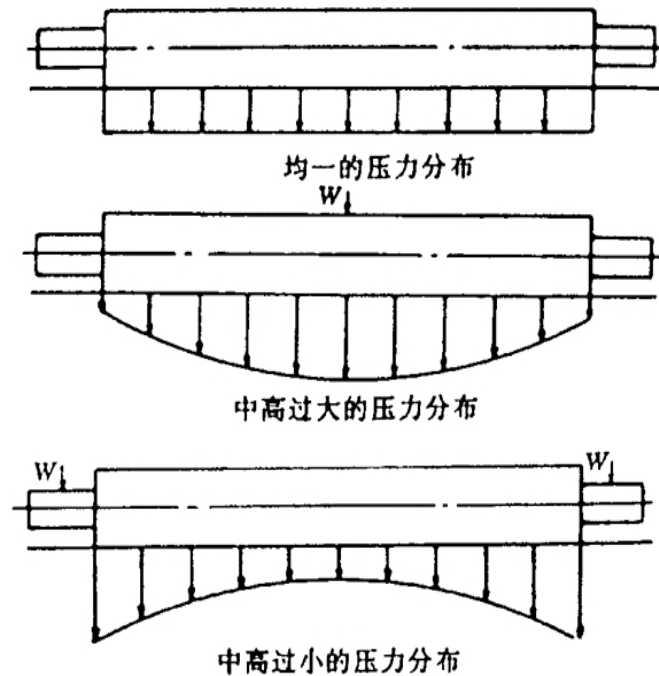


图 2-15 中高大小的影响

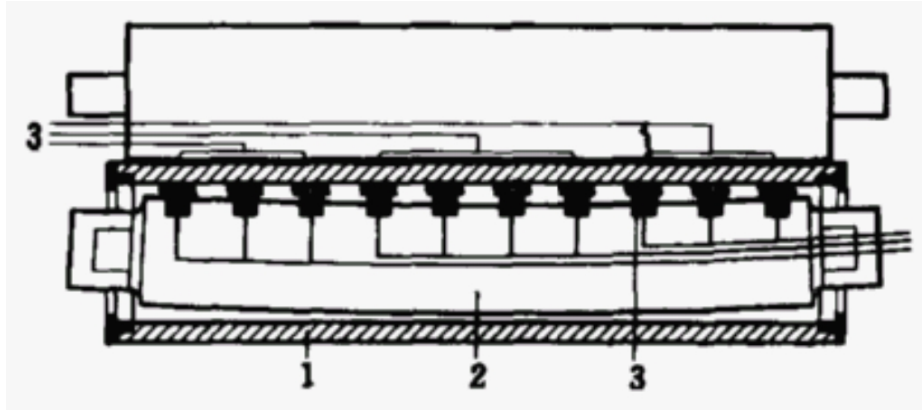


图 2-16 靴形压榨辊

2.4 影响压榨脱水的因素

压榨压力：脱水效率与压榨比压成正比，随线压呈指数增加。

加压时间：对高速纸机尤其重要，尽量提高压区宽度。

进压区毛毯的含水量：要求尽量小。

进压区湿纸干度：进出干度变化比值 3:1~2:1。

纸的回湿：减少纸、毯压区后的接触时间，做到纸、毯的快速分离，可明显提高出纸干度。

湿纸温度：升高 11°C，出纸干度增加约 1%。

毛毯性质：影响压区压力均匀性、回湿、压区宽度。定量大的，用粗毛毯；小的用细毛毯，脱水均匀。双毯压榨可大大提高脱水效率。

浆料性质：打浆度、材种、制浆方法。

纸的定量：定量大，出纸干度小。打浆度高，定量大时为流控压榨。

强化压榨的途径与技术：升温压榨、双毯压榨、宽压区压榨。

2.4.1 升温压榨

升温压榨：在压榨部提高湿纸温度（60~65°C）以强化压榨脱水。升温可减小流体流动阻力、减小纤维压缩阻力和回湿作用，提高脱水效率。

红外线升温：气体燃烧发生器和电力发生器，天然气燃烧红外线发生器用得普遍。

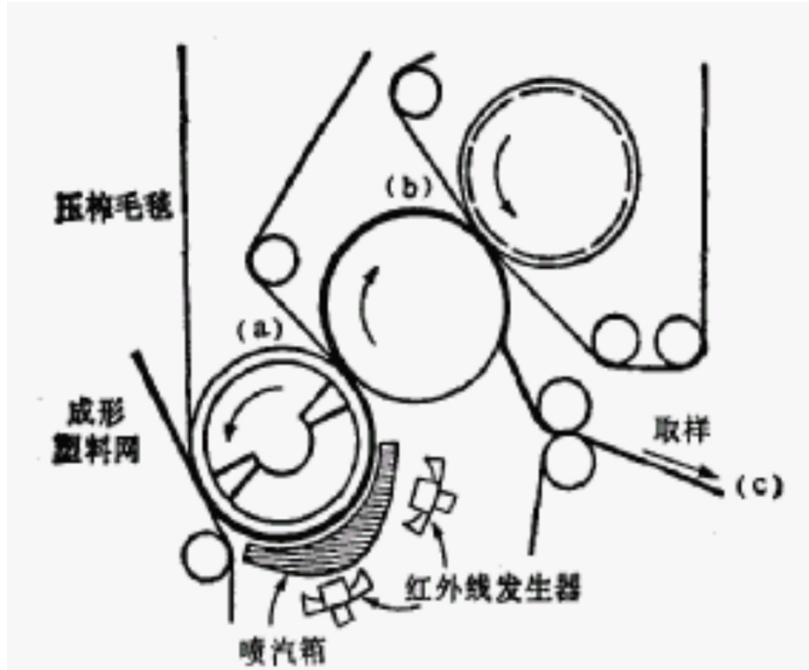


图 2-17 红外线升温

升喷气箱升温：可装在真空引纸辊真空室的外缘，也可装在网部后面的几个真空箱的上面或二压、三压前。喷汽箱的蒸汽不应直接冲击湿纸；控制喷出蒸汽量可改善横幅水分的均匀性。

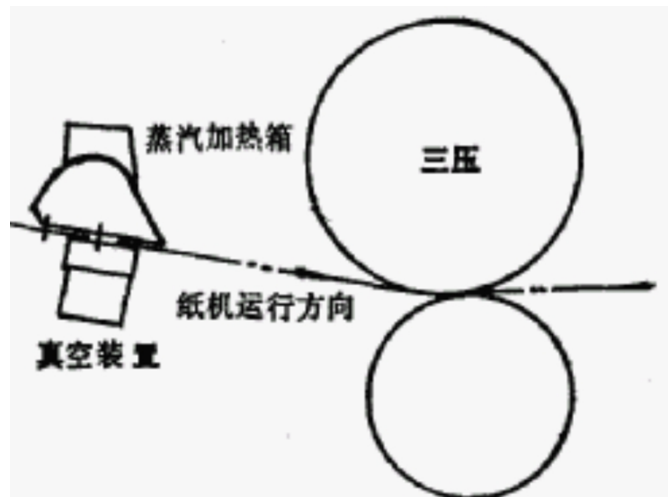


图 2-18 喷气箱升温

热缸升温：用一个大型钢辊，内通蒸汽加热。大辊直径：2~3m，辊面用特种合金制成操作温度：80~100℃。可与各种不同的压榨装置结合使用。常用做三压区压榨中的中心辊。

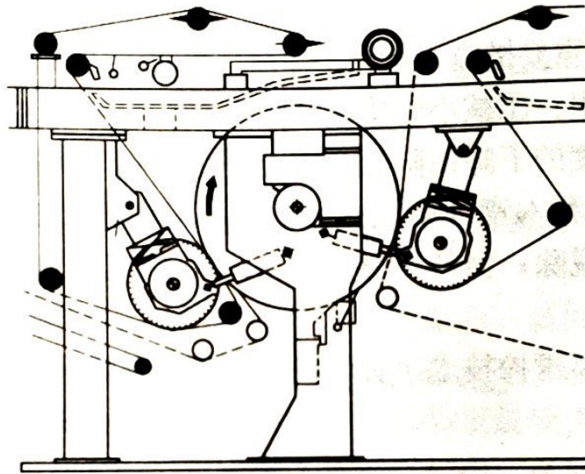


图 2-19 热缸升温

2.4.2 双毯压榨

双毯压榨优点：

1. 较宽的压区，增加脱水效率
2. 改善纸和纸板的松厚度
3. 减小成纸的两面性
4. 增加压榨脱水能力，提高压榨出纸干度
5. 出纸干度高，节约烘缸部蒸汽消耗
6. 提高压榨线压，减少压溃的危险
7. 特别适用于高打浆度高定量纸板的压榨

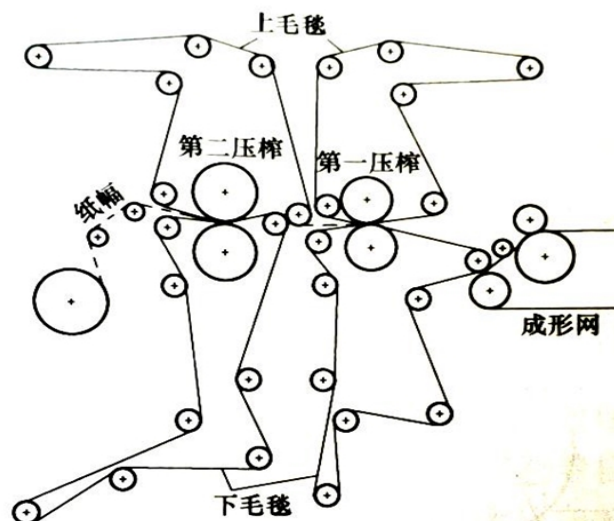


图 5-57 双毯压榨的实例——
挂面纸板机的压榨组合

图 2-20 双毯压榨

2.4.3 宽压区压榨

宽压区压榨：压榨时间延长至辊式的7倍，压区线压增至4倍，可大大提高压榨脱水效率。

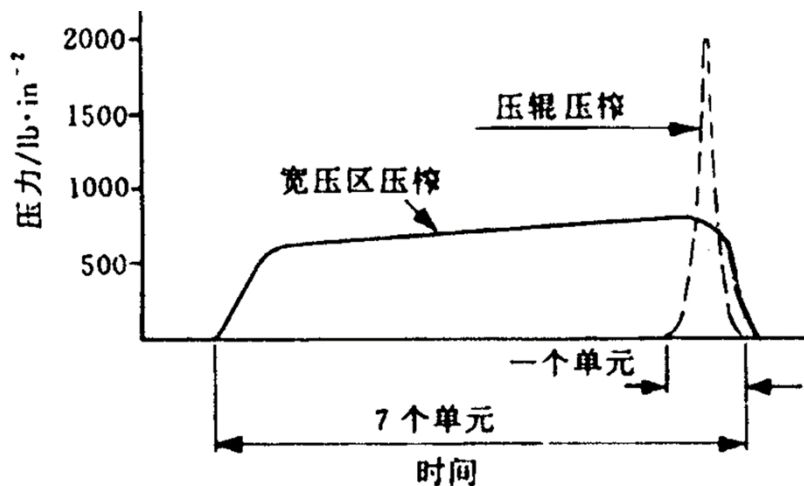


图 2-21 压力分布曲线

理想的压区压力分布曲线：压区进口压力缓慢增加，压区出口压力瞬时降低。

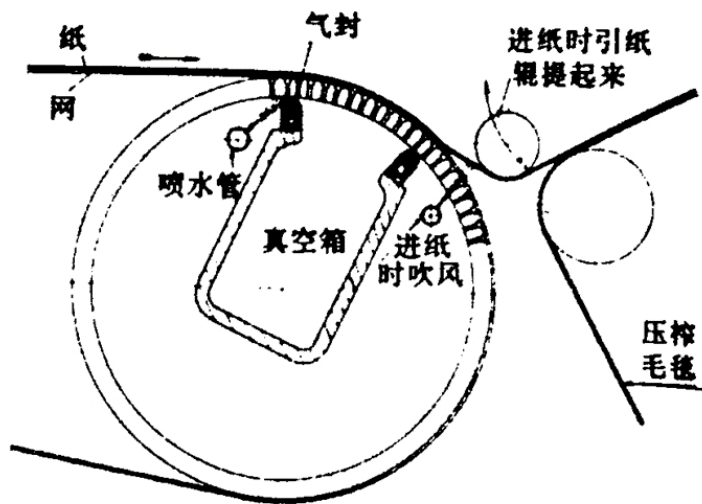
2.5 湿纸页的传递

开式引纸：低速纸机或纸板用。

封闭式引纸：粘舐引纸（中速纸机或低定量纸）、真空引纸（高速纸机或薄纸超高速纸机）。

2.5.1 开式引纸

开式引纸：湿纸页在伏辊的剥离和传递依靠调整第一压榨的速度大于伏辊的速度，使湿纸页受到一定的张力（递纸张力），从伏辊上剥离下来。开式引纸只依靠湿纸本身的强度，没有任何外界的支持，经引纸辊传递到一压毛毯上。



开式引纸伏辊真空箱相对应的纸页移离位置是典型的

图 2-22 开式引纸

剥离点：湿纸页离开伏辊的点，略微超过真空室后方边缘。

剥离角：伏辊在剥离点的切线与湿纸页的夹角。

剥离功：将湿纸从网面上剥离下来所需的功。

剥离点位置：湿纸的剥离点应当在真空区和喷水区之间。通常剥离点应略微超过真空伏辊的真空室后方边缘。

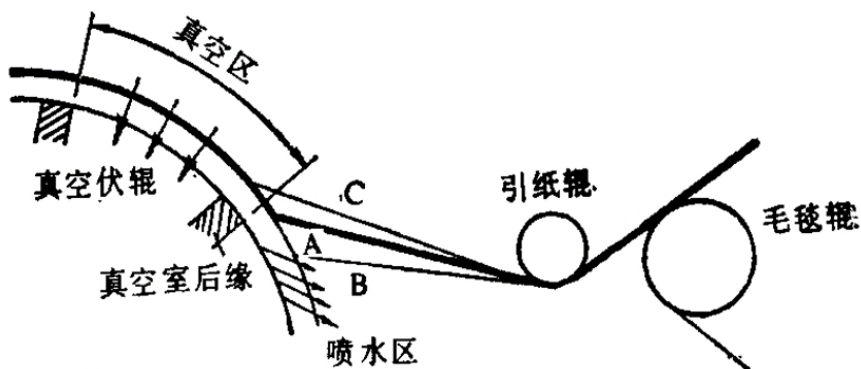


图 2-23 剥离点

引纸辊的作用：保证湿纸页按照最优曲线运行减少张力；使纸幅稳定而不抖动；引导湿纸页取得较大的剥离角，同时使剥离角和剥离点位置稳定。

引纸辊的要求：引纸辊的位置应能调节。

减少纸页在伏辊处的断头途径：剥离点与剥离角（ $30\sim 60^\circ$ ）；一压毛毯的接纸位置：纸页进入一压略微向上倾斜，湿纸页爬上一压毛毯，不会带进空气，纸也不易发生皱褶；速比：控制在（ $1.03\sim 1.07$ ）：1 内。过高，引纸张力越大，湿纸页拉伸，强度降低；提高纸页的干度，降低引纸张力，增强湿纸强度。

2.5.2 粘舐引纸

粘舐引纸：将伏辊上的湿纸黏贴在引纸毛毯下面进行传递，这是依靠毯面水膜的粘附作用和毛毯转过揭纸辊产生的微弱抽吸作用进行的，特别适合于中速和生产低定量纸的纸机，多用于生产薄纸的圆网或长网单缸纸机。

优点：引纸结构简单，产纸网痕较轻，而且引纸毛毯的寿命较长。

缺点：操作运行要求的条件相当严格。要求毛毯编织紧密，毯面平整，纸和毛毯的含水量较高，毛毯保持清洁，纸张的定量不能太大。给一压压榨和纸页从引纸毛毯向一压毛毯的转移带来困难。

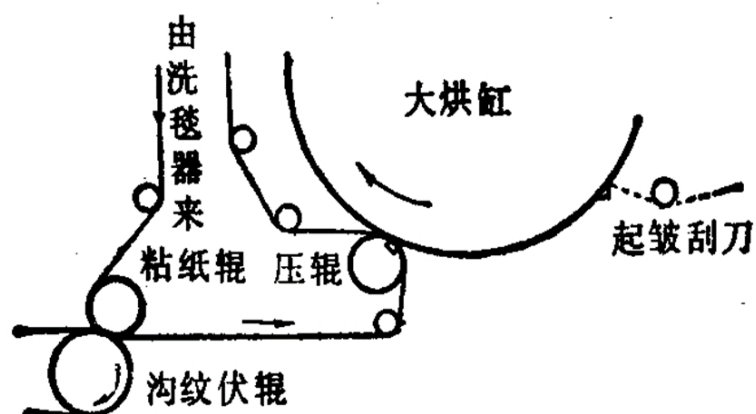


图 2-24 粘舐引纸

2.5.3 真空引纸

真空引纸：依靠真空引纸辊的真空作用从伏辊处转移纸页。可用于伏辊到一压引纸，也可用于各道压榨间湿纸传递，可降低断头。

缺点：毯速与网速应一致，要做到比较困难，一般要求毯速略高于网速。毯速低于网速，湿纸产生皱褶；毯速太高，湿纸伸长，强度下降。

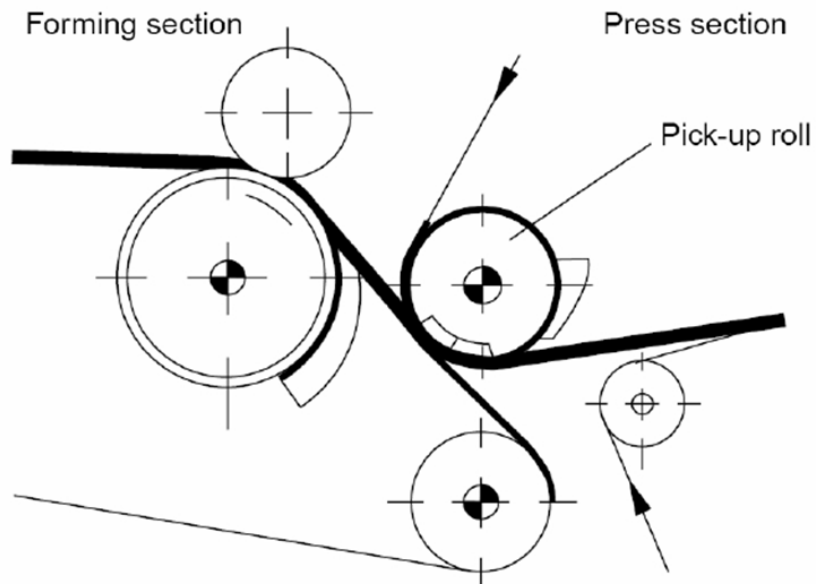


图 2-25 真空引纸

第3章 造纸工艺--烘干部

3.1 蒸汽冷凝系统

3.1.1 蒸汽冷凝系统相关基础概念

蒸汽节流减压造成能量贬值、能量浪费：

传统的级联式三段汽系统采用阀门来调节供给纸机各段烘缸的进气压力和进气量，阀门的节流减压作用导致能量贬值。

烘缸积水问题：

烘缸是否积水取决于烘缸进出口压差以及疏水系统和疏水设备的水流阻力。纸机烘缸排出冷凝水的动力是其进出口压差，该压差同时又是推动各段烘缸热力系统循环的动力。当某种因素引起闪蒸罐压力升高时，会导致闪蒸蒸汽量减少，冷凝水管道的背压升高，烘缸排水不畅问题从而造成烘缸积水问题。

纸机干燥部合理烘干曲线难于建立：

传统的三段供汽系统是被动式的蒸汽串联供热系统，不便于按照湿纸干燥工艺要求调节各段烘缸的供汽压力和供汽量，而且还会出现为使串联工作的蒸汽系统满足高温段烘缸的供汽要求，或强行排出烘缸积存的冷凝水而提高进汽压力时造成的烘缸温度不正常，影响湿纸幅的干燥质量。

蒸汽特性：

显热：水在沸腾前所含有的热能可用温度计测量，水在沸腾时（212° F/100° C）含有 180BTU（419kJ）的热量。

潜热：水由液态变成气态所需的“额外”的热能。

表 3-1 蒸汽特性

压力	温度	显热	潜热	总热量	比容
0	100	419	2257	2676	1.67
3.5	148	625	2118	2743	0.415
7	171	721	2047	2768	0.24

蒸汽种类：

1. 饱和蒸汽：“刚刚”由水汽化/转化而来的蒸汽，又称为湿蒸汽。
2. 过热蒸汽：在温度高于沸点后又被加热升温的蒸汽，又称为干蒸汽。

比容：一磅蒸汽在给定压力下的体积，蒸汽压力与比容成反比。

管道流速：

$$S_v = \frac{F \times V \times 2.4}{A}$$

SV = 蒸汽流速，ft/min

F = 蒸汽流量，lb/hr

V = 比容，ft³/lb

A = 管路流通面积，in²

蒸汽冷凝系统相关建议

蒸汽流速 < 6000 fpm (30 m/s)

冷凝水流速 < 4000 fpm (20 m/s)

3.1.2 烘缸虹吸管

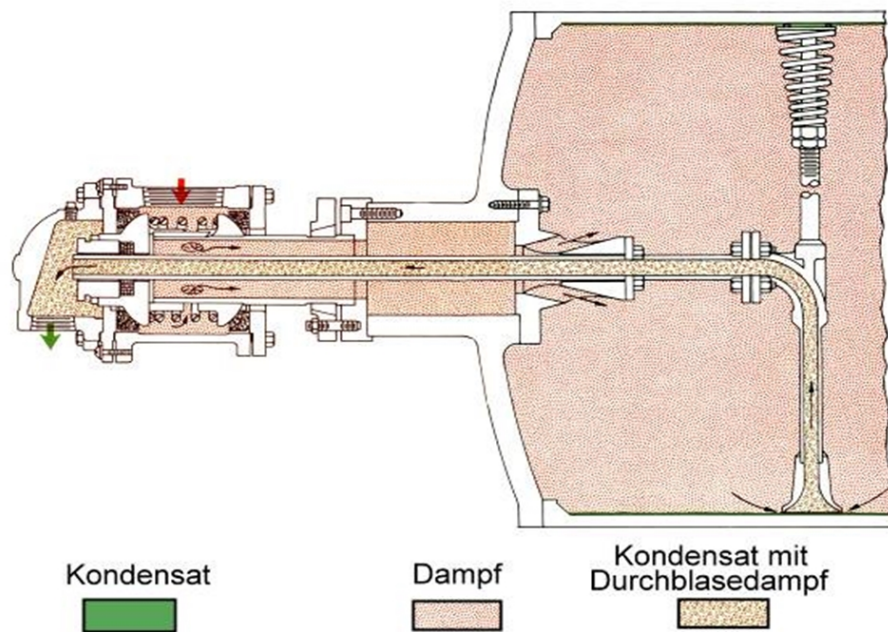


图 3-1 烘缸旋转虹吸管

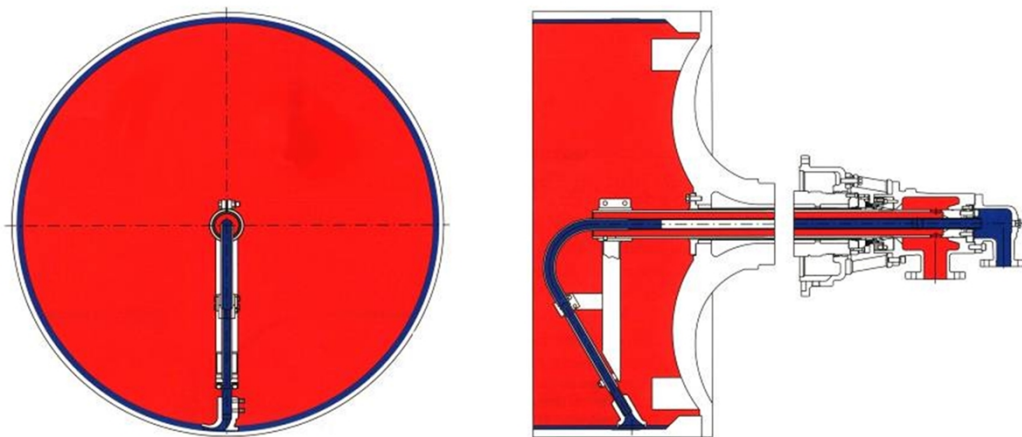


图 3-2 烘缸固定式虹吸管

蒸汽冷凝系统-压差：

固定虹吸管在离心力下不起作用，纸机车速与冷凝水排放相对应。车速越高，压差需求越小，相反地，因离心力导致提速，旋转虹吸管需要更高的压差。

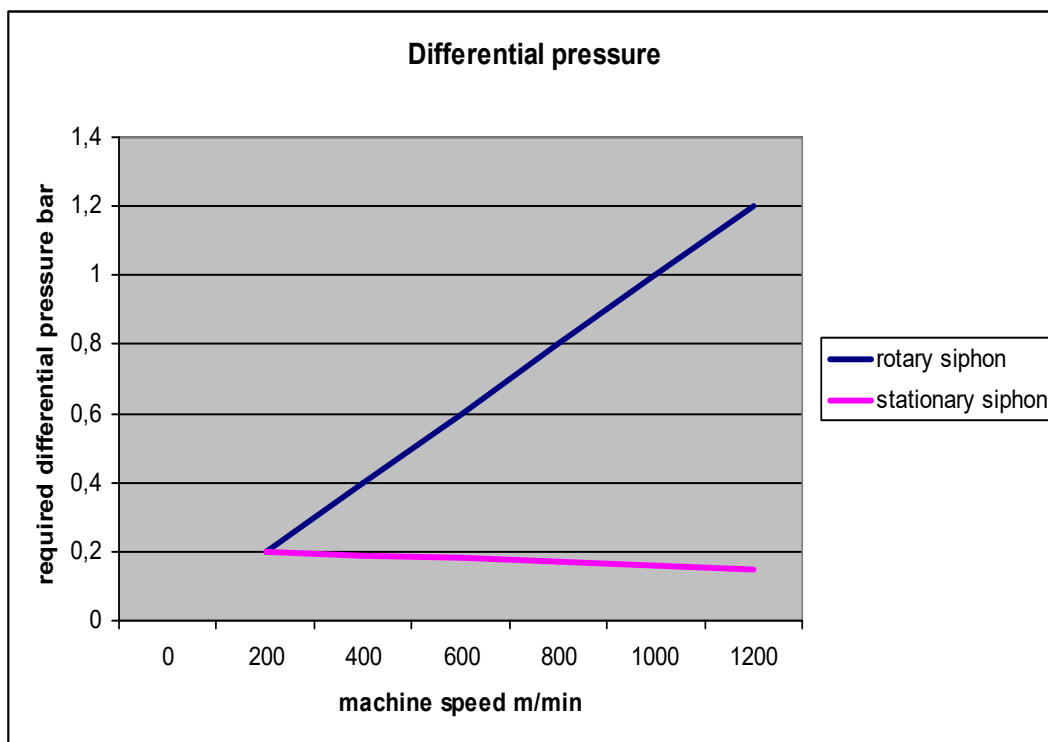


图 3-3 扰流棒

固定虹吸管和扰流棒一同使用会大大提高，相同蒸汽压力下，生产可提高，横幅有所改善，产量提高 5-10%。

3.1.3 烘缸传热效率

烘缸表面温度与蒸汽温度：

烘缸表面温度受蒸汽压力、传热效率（蒸汽实际压力显示、扰流棒工作状态、压差控制、蒸汽饱和状态等）决定，烘缸表面温度与蒸汽温度差值建议范围为 25-35℃，温差超过 35℃ 以上，需要检查传热效率（蒸汽实际压力显示、蒸汽饱和状态、压差及扰流棒使用等）。

闪蒸汽：高压冷凝水水释放到低压环境中产生的蒸汽，又称二次蒸汽。

计算公式：

$$\text{闪蒸量} = (S1 - S2) / L2 \times 100\%$$

S1：高压水显热

S2：低压饱和水显热

L2：低压饱和蒸汽潜热

3.1.4 热泵

热泵节能并不是指热泵本身消耗的能量减少了，而是指热泵利用了喷射器的原理，最大限度地将引射蒸汽的品位提升到生产工艺要求的程度之后，循环利用，从而达到节约新鲜蒸汽的目的。

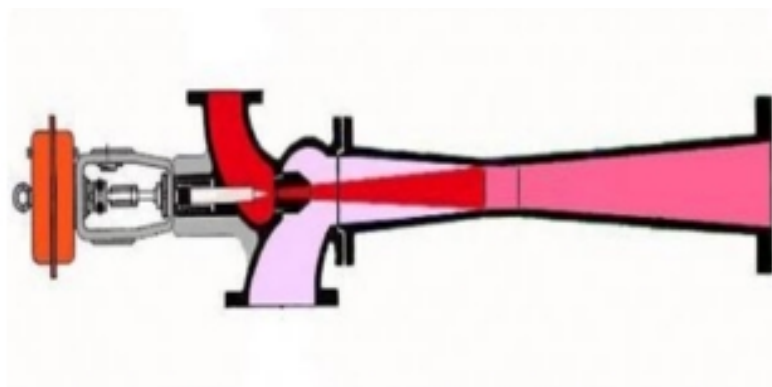


图 3-4 热泵结构

纸机蒸汽冷凝水系统使用热泵以高压工作蒸汽作为引射动力源，通过热泵来提升通过各级闪蒸罐闪蒸出的二次蒸汽的压力以循环利用。

优势：无活动件、施工方便，高稳定性、操作安全

劣势：需为某运行点而优化泵子、使用动力蒸汽作为驱动功率、对操作参数变化有较大影响

热泵使用建议：

- (1) 热泵用于压差控制，以实现良好脱水，但并不是压力控制的一种设备；
- (2) 热泵允许单独操作各加热组，使系统富有弹性（如 PM3，3 烘最高压力）；
- (3) 热泵在低压蒸汽入口应安装 1 个止回阀，以防止喷嘴关闭时所产生的蒸汽回流，连接热泵出口的直管段的长度应不小于管径的 6 倍；

一般不凝气体及时排出的设计方式：

在热泵出口管道上都设有带止回阀的不凝气体排出通道，不凝气体被连续不断地从该管道直接排出，其携带的热能被低温段烘缸利用后，最终由真空泵抽吸至大气。这样中、高温段烘缸内积聚的不凝气体相对很少，有利于提高烘缸的传热强度。

冷凝水泵使用建议：

1. 冷凝水任何时候都处于沸点。
2. 气蚀现象快速发生。
3. 离心泵不适合，寿命短。
4. 建议使用侧流泵（正常生产中需更多关注侧流泵工作状态）。

3.1.5 蒸汽供热系统节能主要方向

1. 降低蒸汽泄漏率-（可节约蒸汽价值的 10-20%）。
2. 提高凝结水回收率及蒸汽利用率-（可节约蒸汽价值的 15-25%）。
3. 蒸汽冷凝系统-能量优化。
4. 蒸汽必须已除气：蒸汽容积占 0.5%的空气，降低传热效率 50%。
5. 断纸放气阀必须关闭。
6. 如有真空系统，真空设定不要太高。
7. 安全泄压阀必须拧紧。
8. 蒸汽疏水阀必须拧紧。
9. 维护：保持系统各备件、参数运行良好。

3.1.6 蒸汽冷凝系统涉及的自动化、控制回路

传感器、控制阀、DCS 系统（控制器）：自动模式、手动模式。

功能描述：

1. 蒸汽冷凝系统可完全自动控制。仅主控制回路由 ACS 系统或操作工的外部输入来控制。

2. 避免手动操作。
3. 稳定与安全生产。
4. 质量稳定。
5. 纸幅断纸自动设定。
6. 断纸过程中安全脱水。

维护建议：

1. 优化 DCS 系统功能描述（提高系统运行稳定性）。
2. 优化 DCS 系统中的控制参数（减少运行波动）。
3. 尽可能使用自动模式运行系统。
4. 保持传感器状态良好。
5. 保持控制阀状态良好。
6. 阀座必须拧紧。
7. 定位器必须在安全操作状态下。
8. 仪表压缩空气必须无油且干燥。

3.2 通风系统

3.2.1 通风系统相关基础概念

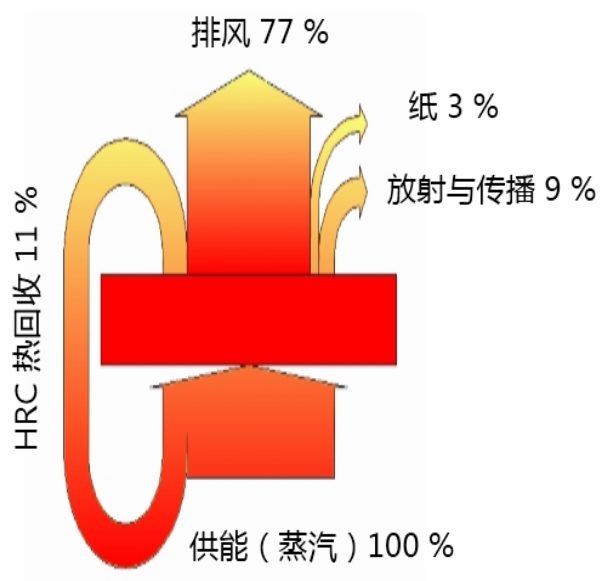


图 3-5 干燥部汽热回收能量平衡

准确的调整烘干部通风对纸机的益处：

1. 能维持一个好的水分曲线。
2. 一个优化的能量分配，即节能。
3. 纸机较好的运行状态。

密闭气罩的作用：

1. 防止热量和潮湿空气散失到整个厂房。
2. 减少有害的噪音。
3. 减少热辐射。
4. 减少由于温差引起的空气流动。

干球温度 (t)：普通温度计放置于空气流中所检测数值，即为空气的实际温度。

湿度 H：湿空气中所含水蒸气的质量与绝干空气质量之比。

相对湿度 ϕ ：湿空气中水蒸汽分压与同温度下的饱和蒸气压之比的百分数。

比容积 uH (m³/kg)：每单位质量绝干空气中所具有的空气和水蒸汽的总体积。

比热 CH：将 1kg 干空气和其所带的 H kg 水蒸气的温度升高 1℃所需的热量。

焓 I：湿空气的焓为单位质量干空气的焓和其所带 H kg 水蒸汽的焓之和。

3.2.2 通风系统零位、露点温度相关检查控制点

露点温度 t_d ：一定压力下将不饱和空气等湿降温至饱和，出现第一滴露珠时的温度。当空气总压一定时，露点时水的饱和蒸汽压力只与空气湿度有关；当湿空气湿度一定时，温度越高其相对湿度越小，即作为干燥介质时吸收水汽的能力越强；因此湿空气进入干燥器前，必须先经过预热以提高温度，其目的除提高湿空气的焓值使其作为载热体外，还为了降低其相对湿度而作为载湿体；这也是为什么未经加热泄露进气罩的空气影响干燥效率的原因。

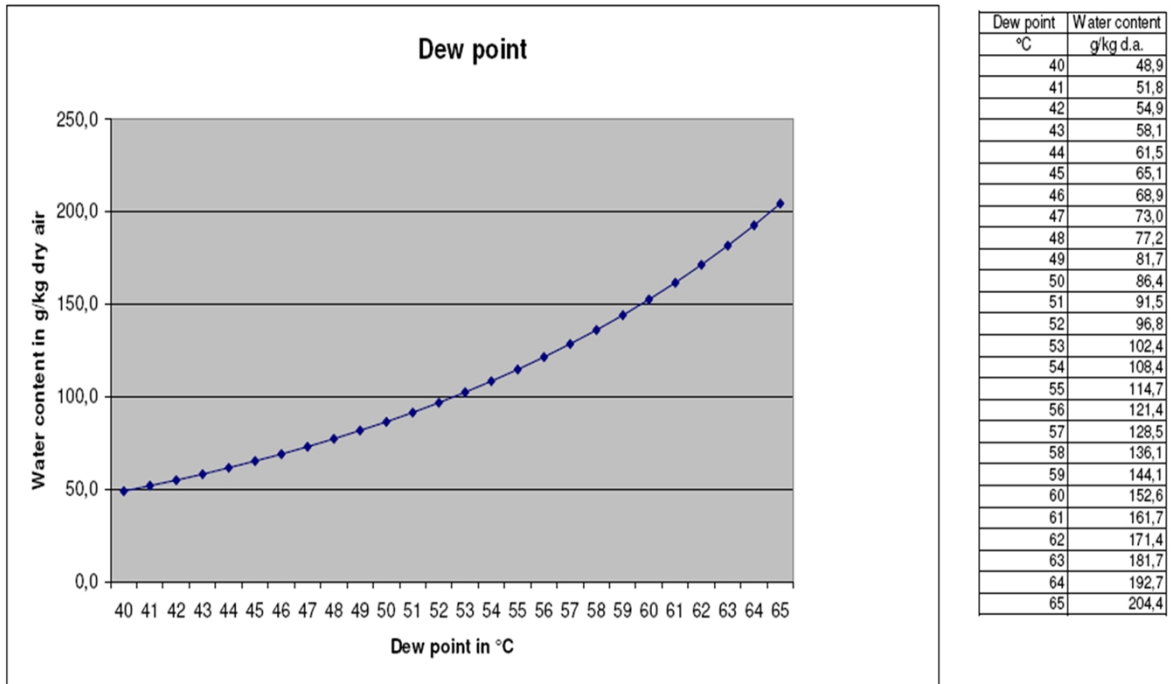


图 3-6 露点温度与绝对湿度对应关系

露点温度越高，每公斤排气中的含水量越高，烘干部蒸发水量一定的前提下，需要的空气量下降，则通风设备可设计的越小或需要的通、排风量则越低，进而可实现节省能量。高露点温度可以降低送、排风的需求量；合适的露点温度是兼顾车速、能耗及运行状态（气罩内有无滴水问题）下的最高露点温度；过高露点温度，则气罩内部滴水；高低露点温度意味着高的能量消耗。

露点温度检测：检测排风温度、相对湿度计算绝对湿度，对应露点温度，准确方法：露点温度检测装置。

露点温度控制：“露点”温度的高低取决于排风量及外排空气的温度、湿度；“露点”温度主要通过排风风机频率调整；其他条件不变的前提下，排风风机频率提高，则露点温度下降。

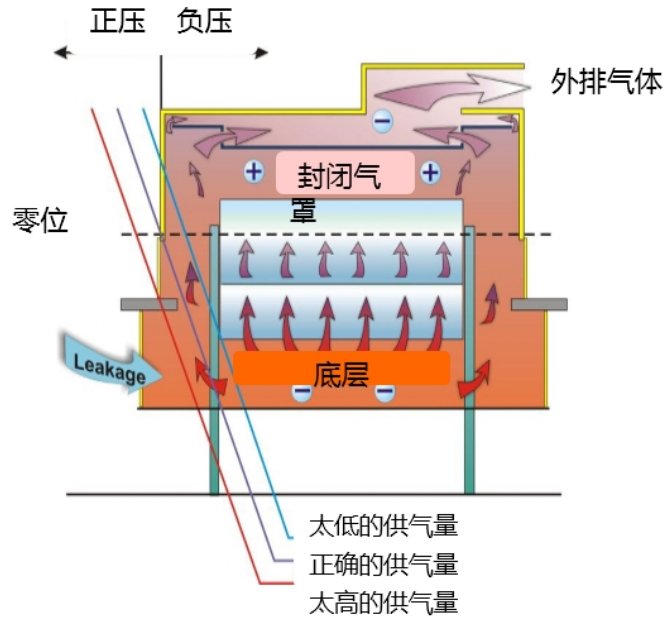


图 3-7 零位

零位：指气罩内外压差为零的位置点，零位是衡量气罩好坏及系统节能情况的一个重要标准；表示在这一位置上气罩内压差为零。一般零位范围为 1-2m，“零位”以下，空气是从罩外向罩内流，“零位”以上，空气是从罩内向罩外流动，过高零位，过多的冷空气进入气罩影响蒸发效率；过低零位，过多的热量泄露进厂房。

零位检测：

简单方法：根据气罩内空气的流向和空气流温度变化位置确定；准确方法：实测压差与温度（零位检测装置）

零位控制：“零位”的高低取决于气罩送风量和排风量的大小；“零位”需综合考虑气罩平衡水平调整；一般推荐在保证气罩不滴水的情况下通过送风温度传感器及送风风机频率调整；其他条件不变的情况下，送风风机频率提高，零位降低。

表 3-2 不同气罩类型的参数设定

项目	高性能封闭气罩	中等封闭气罩	开放式气罩
一般排风湿度 (kg H ₂ O/kg d.a)	0.160-0.180	0.120-0.140	0.040-0.070
露点温度℃	60.8-62.8	55.7-58.5	37.5-46.3
一般排风温度℃	80-90	75-85	50-60
气罩平衡值	60-70	70-75	25-35

气罩平衡值等于送风量除以排风量。气罩平衡过低，容易造成气罩滴水并影响

烘干部蒸发速率；气罩平衡值过高，则过多的送风量需求（能耗过高），气罩零位过低，过多的热量进入厂房，同时带来纸页过度干燥问题。

3.2. 3TAPPI 标准中关于通风系统的相关建议值

袋区绝对湿度：应低于 250 gH₂O/kg d.a，即相对湿度低于 70%RH；

气罩排风空气绝对湿度：控制在 160-180 gH₂O/kg d.a，对应的露点温度范围为 60-63 °C；

送风空气的绝对湿度：应该低于 20 gH₂O/kg d.a；

高湿度气罩平衡值及送风量为排风量的 60%-70%。

3.2. 4DKUM 关于 PM1 至 PM4 通风系统的相关建议

袋区空气湿度：袋区空气湿度表征气罩内空气吸湿干燥能力；气罩蒸汽压力水平及密闭程度一定时取决于送风温度。

袋区空气湿度需权衡车速、运行状态及能耗控制；建议袋区空气相对湿度 ≤ 70%RH（对应绝对湿度 ≤ 270 gH₂O/kg d.a 以下）；这与 TAPPI 标准一致。

表 3-3 相关建议值

项目	较高干燥水平	好的干燥	中等干燥水平	干燥受限
相对湿度	≤50%RH	50-60%RH	60-70%RH	70-85%RH
绝对湿度 gH ₂ O/kg	≤70	70-160	160-270	≥270

袋区空气温度：袋区空气温度决定了袋区空气的吸湿干燥能力，需要根据纸机气罩整体平衡。水平及运行状态通过送风温度、蒸汽压力及气罩密闭性控制；建议袋区空气温度与露点温度差必须高于 12 °C 以上；对于蒸汽压力水平及气罩密闭性能一定的气罩而言，袋区空气温度可以通过送风温度调节过高的送风温度意味着过高的能量消耗，过低的送风温度则影响袋区内蒸发效率。

表 3-4 相关建议

项目	PM1	PM2	PM3	PM4
建议送风温度°C	80-90	85-90	≤90	≤95
建议露点温度°C(对应外排空气湿度 gH ₂ O/kg)	≥54 (108.4)	60(153.0)	≥56 (121.4)	≥58 (136.1)

上述为前期 DKUM 进行通风系统检测及调整试验的基础上建议的数值；因各车间车速及通风设备使用（包括送风、排风风机配置或使用组合）变化，需要各车间根据现有实际情况调整总结。

操作及维修人员需要注意事项：

1. 结合车间实际操作情况，保持包括露点温度及零位在合适范围确认通风系统 DCS 显示数值的准确性。

2. 送风及排风风机频率及电流；送风温度；送风及排风湿度（需要专业标定）外部检查。

3. 送排风相关的温湿度传感器、送风加热用冷凝水与蒸汽相关控制阀、手阀以及蒸汽疏水阀的工作状态；定期检查维修。

维护及保养：

1. 检查气罩的封闭性，保证气罩无泄漏点。

2. 湿度传感器的定期校准（一年必须至少校准一次）。

3. 湿度传感器帽的定期清洁维护（以保证湿度传感器准确性）。

4. 热回收换热器喷淋、清洗系统的使用完善及定期清理（包括喷淋喷嘴运行状态检查及热交换表面清洗清理）。

第4章 造纸工艺--施胶

4.1 概述

4.1.1 施胶的基本定义

施胶：施胶就是通过向浆料内部添加或向纸张表面喷涂抗水性胶料物质，使纸张具有一定抗水性能，在一定程度上不易被水或溶液所浸润的操作过程。

施胶目的：赋予纸页抗墨水、抗油、抗血、抗水和水汽浸蚀的功能。



图 4-1 施胶机

4.1.2 施胶方法

施胶有：浆内施胶、表面施胶、双重施胶。

浆内施胶：酸性施胶、中/碱性施胶。

4.1.3 施胶剂

施胶剂：施胶剂是一种造纸添加剂，主要分为浆内施胶和表面施胶。在纸上施胶可提高纸张抗水、抗油、抗印刷油墨等性能，同时可提高光滑性、憎水性、印刷适应性。

施胶剂的基本要求：

1. 施胶剂分子必须具有亲水和疏水基团，前者用于与纤维结合，后者在纤维表

面形成疏水层。

2. 用于浆内施胶时，能被纤维表面吸附并能在纤维中有比较高的留着率，有时可借助阳离子助留剂来提高留着率。

3. 施胶剂粒子在纤维表面能均匀分布，这可通过调整胶料浓度、添加点和浆浓度等实现。

4. 施胶剂粒子具有定向的能力，疏水基团紧密排列在纤维表面。

5. 与纤维有较强的结合力，定向胶粒分子必须锚定在纤维表面。

6. 对渗透物质表现出优异的化学惰性。

7. 对造纸过程和纸张性能没有不利影响。

4.2 浆内施胶

浆内施胶：浆内施胶是将施胶剂添加到造纸浆料中，在系统湿部采用适当的方法使其保留在纸页中并与纤维结合。

浆内施胶有：松香胶施胶（酸性）、ASA/AKD 施胶（中碱性）。

4.2.1 松香胶

松香胶：松香是一种大分子的有机酸，是从松树等针叶木中提取的黄色至棕色固体。松香胶是由松香与碱反应生成的皂化产物，是纸和纸板常用的施胶剂。

松香胶又分为：皂化松香胶、强化松香胶、阴离子乳液松香胶。

皂化松香胶：纸浆悬浮液中，纤维素纤维的表面显示较强的负电性，其行为如同阴离子。皂化松香胶也是阴离子型的，因此它们对纤维没有固有的亲和能力，必须借助造纸明矾（硫酸铝）或其它能产生阳离子的铝化合物的作用将其定着在纤维表面。

强化松香胶 施胶机理和皂化松香胶相似，需要铝盐做沉淀剂，在 pH 值 4.5-4.8 的酸性条件下具有较好的施胶效果。

阴离子乳液松香胶：胶料以分散的阴离子颗粒形式加入纸浆悬浮液中，颗粒中仅有部分松香酸分子位于颗粒的外表面，加之松香酸不溶解性和有限的电离，与铝盐在湿部直接反应的机会就比较少，大部分粒子会以它们原有的形式留着在带负电荷的纤维上，而这种留着有阳离子助剂帮助。

施胶特点：

1. 在近中性条件下使用。
2. 能自行留于纤维上，并与纤维反应较快。
3. 与铝盐作用缓和、与浆料混合均匀。
4. 对内添助剂、填料及细小纤维具有一定助留作用。

松香胶施胶的影响因素：浆料温度、PH 及硫酸铝用量、干燥温度（80-90）、施胶顺序、助留剂及其它助剂、填料用料、原料种类。

提高铝盐用量：可加速游离松香酸形成松香皂、加速胶料絮聚、加速铝盐形成氢氧化铝。

4.2.2 AKD

AKD: AKD 全称烷基烯酮二聚体，是一种不饱和内酯，产品是不溶于水的蜡状固体，熔点为 51~52℃左右，以乳液形式用于浆内施胶。

施胶机理：AKD 与纤维素进行共价键结合而固着在纤维上，AKD 中有一反应基团，能直接和纤维素的基反应，在纤维素表面上形成一层稳定的薄膜，使纤维素具备了疏水性。

AKD 与纤维素作用：

1. 吸附过程。
2. 融化扩展。
3. 与纤维素开始反应。
4. 定向排列施胶。

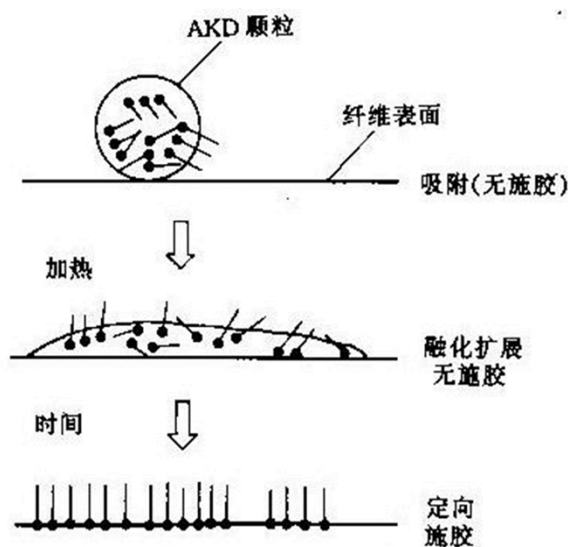


图 4-2 AKD 作用机理

优点：可以用碳酸钙做填料，使纸张的白度、不透明度、耐折度、表面强度、耐久性能和印刷性能等均有明显提高，且纸张的脆性降低，可以解决草浆纸变脆的问题，另外 AKD 还可用于液体包装纸。

缺点：存在施胶滞后、纸页打滑和施胶费用较高。

影响因素：

1. 系统温度：系统温度升高导致 AKD 稳定性变差，水解加剧，引起施胶效率降低；系统温度升高后浆料滤水速度加快，系统的留着率下降，纸内存留的施胶剂减少造成的；AKD 加入点靠近流浆箱，必要时控制体系温度。

2. 下机温度：下机温度越高，施胶剂的熟化程度越好。

3. 采用快速升温的干燥曲线，需要提供足够的干燥热量，以尽快降低纸页水分，破坏 AKD 的静电吸附作用，促使施胶剂分子重排，加快施胶剂与纤维素羟基之间的化学反应。

4. 水分：适当降低纸页出压榨部和干燥部的水分，有助于减少 AKD 水解，提高参加反应的 AKD 量，加快 AKD 熟化。

5. 填料：填料使用降低了 AKD 在纤维上的留着，对施胶不利；加填 GCC 纸页的施胶度要高于加填 PCC 的纸页施胶度；加填碳酸钙的 AKD 施胶纸页常发生施胶逆转（假施胶）现象，这主要与填料的碱度较高而导致 AKD 水解有关；AKD 的添加点应远离填料的添加点或将填料事先用絮凝剂处理，减少填料对 AKD 的吸附。

4.2.3 ASA

ASA：AKD 全称烯基琥珀酸酐，ASA 是一种高反应活性的施胶剂，水解速度较快，水解物会造成抄造障碍并降低施胶效率，一般要求在纸厂进行在线乳化分散和添加使用。

ASA 的施胶特点：

1. ASA 的反应性很强，留着的 ASA 胶料大部分与纤维在纸机运行中就发生了比较快的反应，因此完成施胶所需的时间很短。

2. ASA 的水解反应比较快。为了控制 ASA 的水解，乳化之后应立即加入硫酸铝使乳液的 pH 值降低，保持低温贮存，并使从制备到使用的时间尽可能短。

3. ASA 使用时可添加硫酸铝，且 ASA 与硫酸铝的相容性好，对抄纸系统从酸性转换到中（碱）性也比较有利。

4. 使用 ASA 施胶对碳酸钙加填有利，ASA 的钙盐有疏水性，在加填碳酸钙的纸张中，ASA 不会影响施胶度。

优点：作为中性施胶剂用于浆内施胶，施胶成本低、施胶反应速度快、适用 pH 值范围宽、施胶体系转换容易。ASA 的用量一般为：高级纸 0.075~0.15%，纸和纸板 0.075~0.50%。

缺点：易水解，产生粘压榨辊和结垢现象；需在纸厂现场乳化，乳化计量设备复杂；如要求高施胶度和加大填料用量时，易产生结垢。

各因素对 AKD 施胶的影响。



图 4-3 各因素对 AKD 施胶的影响

表 4-1 浆内施胶-ASA 与 AKD 对比

性能	ASA	AKD
商品形态	油状物	乳液
水解与纤维反应速度	非常快	中等
水解物	引起沉淀，损失施胶	对施胶基本无害
适用 pH 值	5—10	6—9
熟化速率	无需熟化，施胶压榨前施胶度可达 90% 以上	需要熟化，下机后需要较长时间才可获得完全的施胶
施胶效率	适度抗水性，无抗酸、碱性	中、高抗水性，抗乳酸和碱
对成纸影响	纸张不会打滑	纸张可能打滑
使用方法	现场乳化，工艺要求较高	计量添加，操作方便
施胶成本	较低	较高
其它	需乳化剂/助留剂，酸/中性施胶系统转换容易，可以兼容	需助留剂，酸/中性施胶系统转换困难

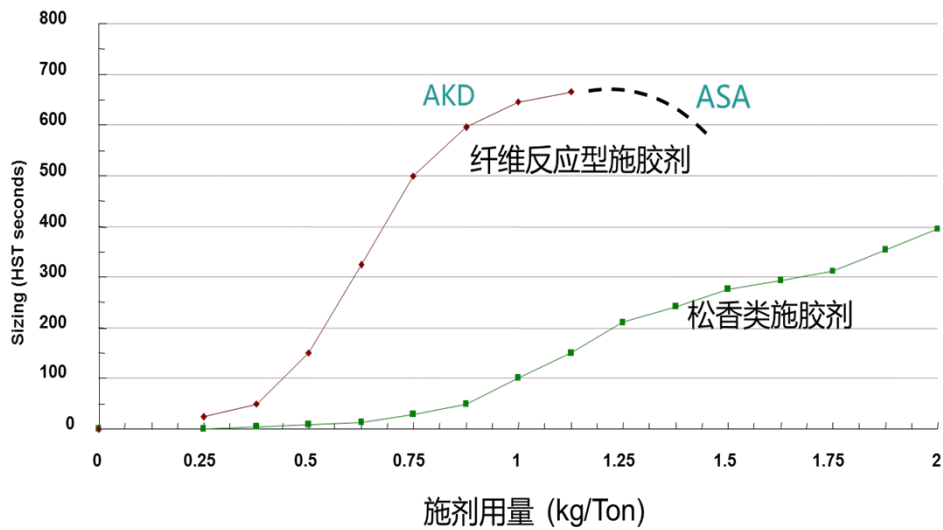


图 4-4 各种施胶剂施胶效果与添加量的比较

4.3 表面施胶

表面施胶：表面施胶是将施胶剂施加到纸的表面上，使施胶剂与纸体粘合并在纸页表面附着一层近乎连续的薄膜，取得憎液性能或其它性能。

目的：

1. 提高纸的表面强度：减少掉毛掉粉。
2. 改善纸页的外观和结构性能：提高平滑度、减小空隙率。
3. 提高纸页抗拒流体在纸张表面的渗透和扩散。
4. 提高纸页的物理强度：如耐破度等。

4.3.1 常用表面施胶剂种类及缺陷

淀粉：成膜性差，不抗水；使用中要求粘度较低、溶解性、粘着力和成膜性能良好。

聚乙烯醇（PVA）：粘度较高，流动性差，且涂层易变黄。

动物胶：气味难闻，施胶层易吸潮、易退化。

羧甲基纤维素：粘度变化较大，不易控制，吸湿性强，成膜易发软发粘。

海藻酸钠：粘度高，表面张力大，渗透性差，成膜坚硬，吸湿性高。

4.3.2 表面施胶类型

辊式纸面施胶、槽式纸面施胶、烘缸表面施胶和压辊表面施胶、压光机表面施

胶。

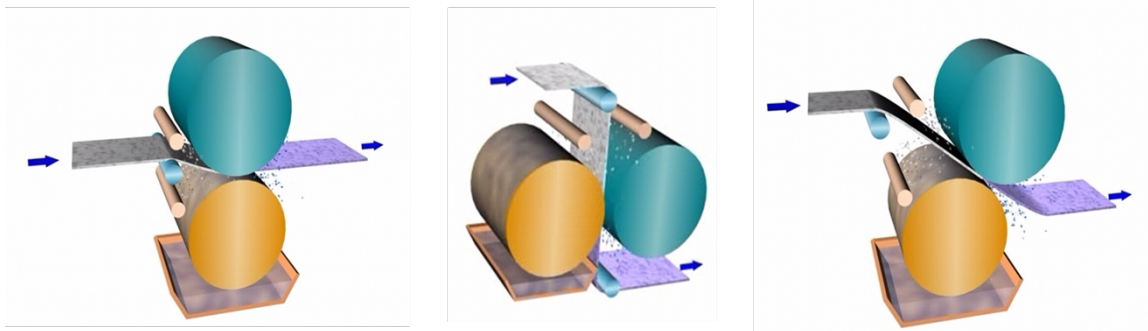


图 4-5 辊式表面施胶

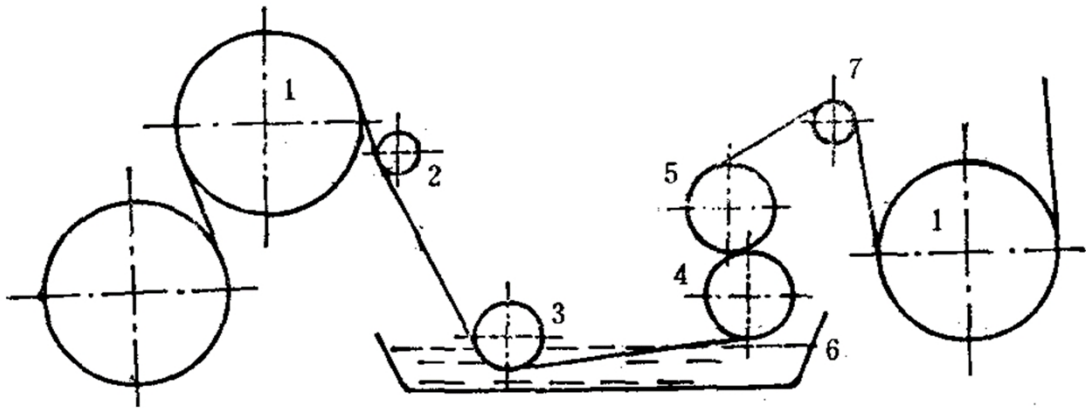


图 4-6 槽式表面施胶

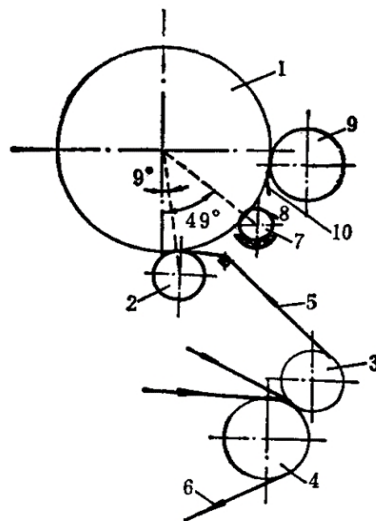


图 4-7 烘缸表面施胶

烘缸表面施胶：

施胶辊由烘缸带动，并将胶液涂在烘缸的表面，湿纸幅与烘缸表面接触并经托辊挤压，在纸面上形成薄层胶膜，在烘缸上干燥，取得施胶效果并提高纸面的光泽度。

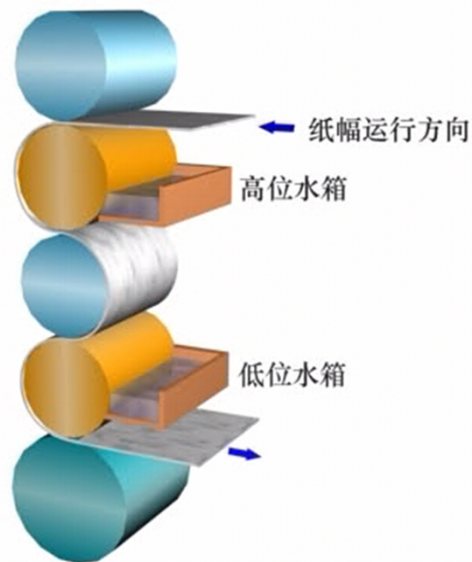


图 4-8 压光机表面施胶

压光机表面施胶：施胶后不用干燥部，依靠纸板内潜热和压光辊增热蒸发，余下水分被纸板吸收。

存在问题：对压光辊的腐蚀。

表面施胶的影响因素：纸页特性和干度、施胶辊硬度、施胶压力、胶液组成、胶液温度、胶液浓度。

4.3.3 表面施胶后纸幅处理

1. 弧形舒展辊：防止起皱和断头。
2. 纸页张力控制。
3. 纸页的后干燥：前两个烘缸低温、防粘。

第5章 造纸工艺--涂布

5.1 涂布的基础知识

5.1.1 涂布定义

涂布是一种通过“涂抹”施加于表面，在表面形成连续涂层的表面处理方式。

5.1.2 涂布类型

机内涂布和机外涂布、单面涂布和双面涂布、一次涂布和多次涂布。

5.1.3 涂布过程概括

涂布过程可分为两大步骤，即上料和计量。上料是指采用上料装置如辊子将涂料转移到纸上的过程；计量是指通过计量元件如刮刀将涂料计量到所要求的厚度，这可通过涂布量来控制。

5.1.4 涂布的作用

纸张涂布具有提高原纸平滑度，改善油墨吸收，提高印刷适性，增加附加值，赋予其某种特性的作用。

5.1.5 涂料的主要组成部分

1. 颜料

- 1) 颜料最重要的四个性能：白度、粒径及其分布、颗粒的形状、胶粘剂需求量。
- 2) 颜料分类依据：平均粒径尺寸、粒径分布、形状、光学特性（特别是白度）。
- 3) 理想颜料的选择：
 - 价格低，在较长时期内可以容易得到和供应；
 - 不溶于水，可以分散成为高浓度的浆液；
 - 杂质含量少，高白度；
 - 高折射系数（光散射 → 不透明度）；
 - 胶粘剂需求量低；
 - 给予所期望的光泽度或无光性能；
 - 磨耗低，均匀/一致。
- 4) 常见的涂布颜料：瓷土、碳酸钙、塑性颜料。

2. 胶黏剂

具有将颜料颗粒相互胶粘并粘在原纸上，控制油墨的吸收和支撑（holdout）的作用，能够影响涂料的流变性、涂料固含量、抗水性、压光性能、胶粘性、抗油性、耐折性、适印性。同时，胶黏剂占了涂料成本的很大一部分，对光学性能有负面影响（白度、不透明度）。

1) 胶黏剂用量取决于：

- 颜料类型（胶粘剂需求量）；
- 胶粘剂类型；
- 涂布方式（所需流变性）；
- 印刷方式（所需强度）；
- 最终产品的总体性能要求。

2) 常见涂布胶粘剂分为天然胶黏剂和合成胶黏剂：

天然胶黏剂：有淀粉、聚糖类、Cellulose-ethers（CMC/Thickener）、使用蛋白质，以上胶粘物都是溶解于水中后，糊化使用。天然胶粘剂除了胶粘剂用途外，还做为改善涂料流动性使用。

3) 合成胶粘剂（胶乳）：有丁苯、醋酸乙烯酯、乙烯丙烯酸、丙烯酸、聚乙烯醇。

4) 合成胶黏剂相比于天然胶黏剂的优缺点：

优点：

- 在任何种类的涂布机上运行性好；
- 容易加入到涂料中（无须制备），与其它胶粘剂的相容性好，对涂料粘度的影响较小；

- 较高的粘结强度，较低的胶粘剂用量，因而较好的不透明度和白度；

- 贮存容易，寿命长，质量稳定；

- 超压后较高的光泽度和平滑度，较高的油墨光泽度，较高的抗水性；

- 容易改性，可根据所需要的性能进行精细配制。

缺点：

- 比淀粉贵，与淀粉相比产生泡沫的趋势强；

- 保水能力较低，低克重产品的挺度较低，一些产品的胶粘性较低；

- 对金属离子，剪切，冰冻，PH值等较敏感。

5) 合成胶黏剂性能对比:

表 5-1 合成胶黏剂性能对比

性能	丁苯胶乳 S/B	聚乙烯丙烯酸酯胶乳 PVAc	丙烯酸胶乳
胶黏强度	++	-	+
透气度	-	++	+
光牢度	--	+	++
湿强度	+	-	+
抗起泡性	+	++	+
成本 (欧洲 1989)	-	+	--

6) 双胶黏剂系统: 通常为淀粉或蛋白 + 胶乳。

双胶黏剂系统具有涂料设计更灵活, 降低成本的作用 (淀粉比胶乳更便宜)。使用全胶乳系统自控容易, 工作量小, 投资成本低, 库存低, 在一些用途中某些性质得以提高 (特别是印刷)。

5.1.6 涂料制备

涂料制备时的需求事项 (作业性和涂布适性) 如下:

涂料制备质量: 不能有结块, 不能混入空气。

制备作业性的容易性: 可以又快又简单的制备作业性以及制备涂料的均匀稳定, 涂料的特性和质量不随时间的长短而变化。

机器方面的稳定性: 分散状态稳定, 容易泵抽, 容易过滤。

流动性、作业性: 良好的保水性、低粘度。

印刷适性: 强度良好, 印刷光泽度高, 网点转移性良好。

光学特性: 白度高, 不透明度高。

纸的性能: 粘合性能要好, 防止发霉, 挺度好。

后加工工艺稳定性: 防止静电发生, 摩擦少, 减少印刷版的摩擦, 不能发生涂料的脱落。

5.1.7 涂布量的影响因素

表 5-2 涂布量的影响因素

区分		增加涂布量	减少涂布量
涂料	Thixotropy	没有	有
	粘度	高	低

		固含量	高	低
		温度	高	低
涂布	成纸基本指标	表面平滑度	粗糙	平滑
		施胶度	低	高
		肉眼粗糙度	粗糙	平滑
		挺度	低	高
		透气度	低	高
		厚度	薄	厚
	刮刀片	角度	小	大
		压力	小	大
		幅	宽	窄

5.2 涂布性能的影响因素

5.2.1 原纸

用于涂布加工的纸张被称为涂布原纸。涂布原纸对涂布运转性、涂布纸的整饰性及成纸性能均有重要影响。涂布往往加重而不是消除原纸的缺陷。原纸的重要性能有匀度、均一性、孔隙率、可压缩性、强度、施胶度、水分、表面强度、亮度、不透明度和平滑度等。

5.2.2 涂料

涂料配方以及涂料性能：固含量、pH 值、保水性、流变性等。

5.2.3 涂布方式

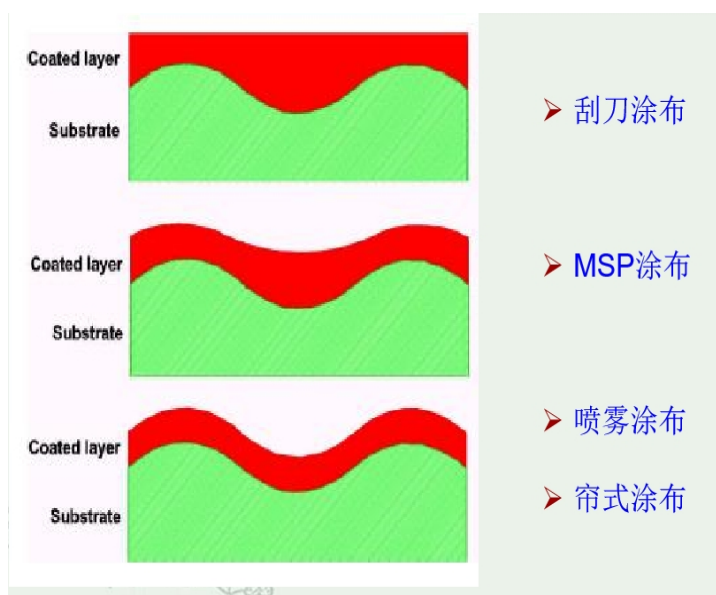


图 5-1 几种不同的涂布方式

5.2.4 装饰方式

几乎所有的涂布纸均经过整饰处理，以获得光泽、平滑、细腻的纸面效果。整饰设备通过压平、熨烫、摩擦、上光等作用，显著改善了涂布纸性能。下面是几种常见的整饰设备：

- (1) 纸机压光机
- (2) 光泽压光机
- (3) 软辊压光机
- (4) 超级压光

5.3 涂料助剂的性能和应用

5.3.1 分散剂

颜料分散是涂料制备最重要的一个环节，而分散剂的性能无疑是最重要的。不良分散会导致刮刀痕、过筛困难和流变性能波动。分散剂为一种特殊表面活性剂，带有大量粒子基团的高聚物，具有高的抗絮凝能力，而表面张力降低效应、起泡倾向和润湿作用则很小。分散剂通过在颜料颗粒表面的吸附发挥作用，借助静电斥力（双电层）和空间位阻效应稳定颜料分散液，避免其絮聚。

聚丙烯酸盐类占据主导地位。以最少的用量获得最低粘度的分散剂为最优分散剂性能还需要考察分散浆料的放置稳定性和耐老化性，这两方面对研磨用分散剂尤为重要。

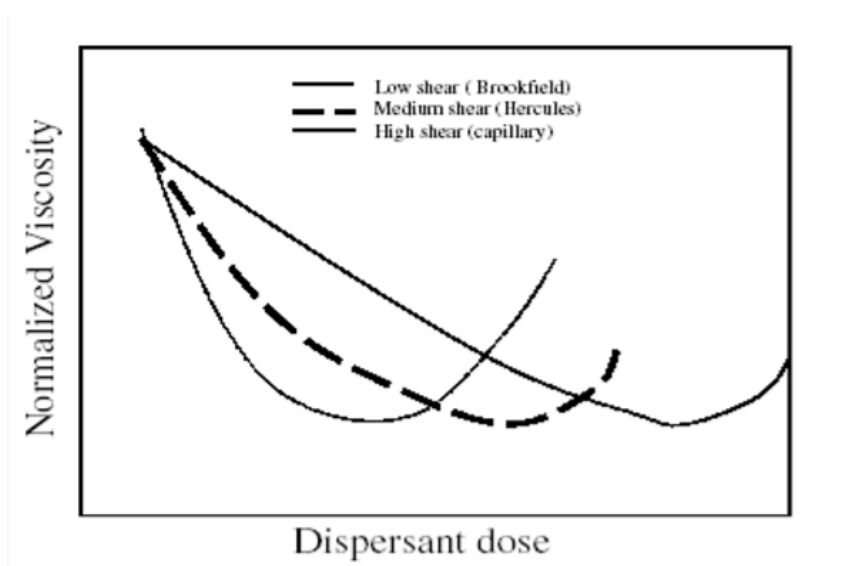


图 5-2 剪切速率对分散剂用量的影响

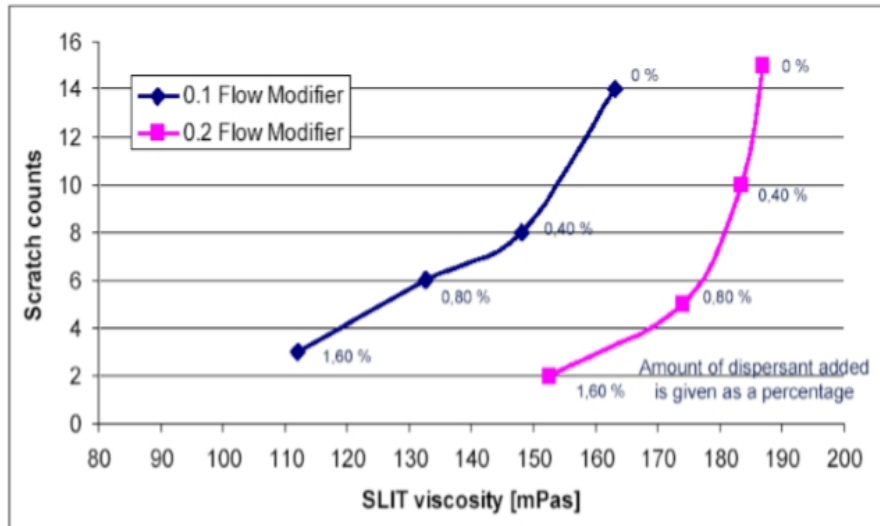


图 5-3 分散剂用量对刮痕数量的影响

5.3.2 流变性和保水性改性剂 (WRRM)

对涂料流变性和保水性的控制有重要的作用，可以在一定程度上改变涂料的凝固行为和涂层结构。与水作用可以改善保水性，与颜料作用使涂料增稠。要求具有假塑流变性，以获得低的高剪切粘度。

1. 种类:

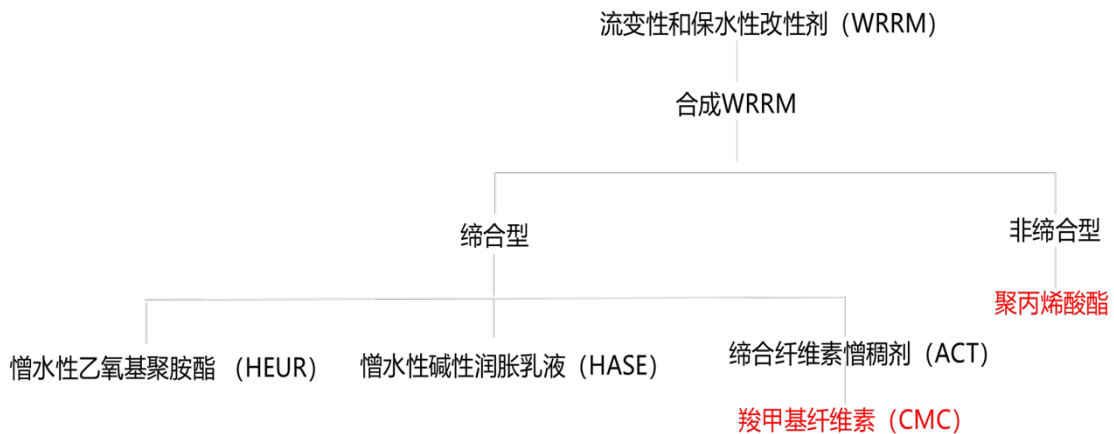


图 5-4 改性剂的种类

1) 羧甲基纤维素 (CMC) 品种:

典型粘度	固体浓度	平均分子量	主要用途
<20	4	30 000	C
20~50	4	43 000	C
50~200	4	66 000	C
200~500	4	83 000	C (S)
500~1600	4	116 000	S (C)
150~400	2	150 000	S (C)

图 5-5 羧甲基纤维素 (CMC) 品种

2) 聚丙烯酸酯 WRRM

聚丙烯酸酯 WRRM 性能：通过碱性润胀增加水相粘度，并赋予涂料保水性。在颜料颗粒表面吸附，并通过架桥机理将颜料颗粒彼此间结合在一起，导致涂料形成高交联程度的结构，从而获得附加的增稠效应。这种结构化效应在高剪切的作用下明显降低，从而不会损害涂料的流变性。

聚丙烯酸酯 WRRM 应用：通过合成的控制，使得分别调节涂料保水性、低剪切粘度和高剪切粘度成为可能。为减小涂料的粘弹性对涂布运转性的影响，在涂料粘度和保水性控制方面，加入大量的短链聚合物比加入少量长链聚合物效果更好。

5.3.3 润滑剂

润滑剂主要有金属皂类分散液、蜡乳液、含硬酯酸钙的高固含量混合物和大豆卵磷脂/油酸混合物。

作用：降低摩擦——改善涂布运转性，减少刮刀磨损。

使涂层增塑——降低掉粉趋势并改善光泽。

降低涂层粘附性——减少粘料趋势。

5.3.3 抗水剂

分为三聚氰胺甲醛树脂、改性乙二醛类、聚酰胺聚脲树脂 (PAPU)、碳酸锆铵 (AZC)。抗水剂的用量一般为胶粘剂总量的 5~10%。含淀粉的涂料比纯胶乳涂料需要更多的抗水剂。选择最佳用量的抗水剂是重要的。过量添加可能会导致涂层易于破裂的问题，甚至用量增加，水溶性涂料组分的溶解性反而增强。为避免对涂料性能有坏的影响，在涂料制备中抗水剂常常最后加入。另外聚酰胺聚脲树脂和碳酸锆铵抗水剂加入前也应适当调高 pH 值以避免引起涂料过度增稠。

1. 三聚氰胺甲醛树脂和改性乙二醛类：

三聚氰胺甲醛树脂成本低，但含游离甲醛（国产 2%左右、进口 0.5%以下），需要下机后熟化。改性乙二醛类不含游离甲醛，下机即可熟化，不恶化涂料性能，完全可以代替三聚氰胺甲醛树脂。

2. 聚酰胺聚脲树脂（PAPU）

PAPU 是一种新型的抗水剂，显弱阳离子性，可以使涂料产生微弱的絮凝，加速涂料的凝固，降低胶粘剂的迁移，并赋予涂层一定多孔性和松厚性，从而在一定程度上改进涂布纸的光学性能和印刷性能如油墨吸收性、湿排斥、耐起泡性和印刷斑点等。所以这一类助剂在日本被称之为印刷适性改性剂。聚酰胺聚脲树脂另一重要特性是可改善羧基丁苯胶乳的抗水性，这是三聚氰胺甲醛树脂无法达到的。

3. 碳酸锶铵（AZC）

碳酸锶铵（AZC）是另一种新型的抗水剂，由于显较强的阳离子性，可能使涂料产生更强的絮凝作用，有助于涂料和表面施胶剂的保留。据报道在生产涂布高级纸时，明显地减少了胶乳用量，而涂层的强度和印刷性能未受到损害。据认为碳酸锶铵是最有效的涂料抗水剂，因为它可以赋予涂层高度的抗湿拉毛阻力，这对于 6~10 色的多色彩色胶版印刷非常有利。碳酸锶铵抗水剂的另一重要特性是可改善羧基丁苯胶乳的抗水性。

5.3.4 增白剂

分为四磺酸型和六磺酸型，四磺酸型是通用性产品，在湿部、表面施胶和涂布中获得了最广泛的应用，六磺酸型专用于高白度涂料中。

5.3.5 消泡剂

消泡剂有三部分构成：载体或扩展剂如碳氢化合物、油脂化合物和聚烷基化合物等；消泡成分有蜡、脂肪酸或脂肪酸衍生物（盐、酯或胺）、脂肪醇、聚烷基化合物、憎水性二氧化硅和聚硅氧烷等；具有乳化、分散、增稠和稳定效果的助剂如表面活性剂和各种聚合物。消泡剂有时细分为抑泡剂和消泡剂两类。

由于消泡剂分散不良常常导致“鱼眼”现象，造成涂层的明显缺陷，所以消泡剂的选用原则首先是在涂料中可良好分散，并且分散效果稳定，然后才是消泡效果。通常有机硅类是不合适的，尽管有实际应用的例子

5.3.6 染料

通常用于纸张调色的染料有酸性染料、碱性染料、直接染料和有色颜料。有色颜料非常适合涂布纸染色，因为它与涂布颜料性质类似，配伍性好，可协调一致地发挥作用，并且耐酸碱、化学稳定性好，有利于获得着色均匀和色差小的颜色。

5.4 涂布技术发展趋势

5.4.1 刮刀涂布

涂布纸和纸板的最主要涂布方式仍然是刮刀。由于低角度射流涂布装置已经开发成功，目前传统涂布方式未出现显著的进步。刮刀涂布器的改良更多地体现在某些细节上。如美卓的 ValCoat，特别适合纸板涂布；Voith 的 DynaCoat，具有最佳的涂布量分布控制等。

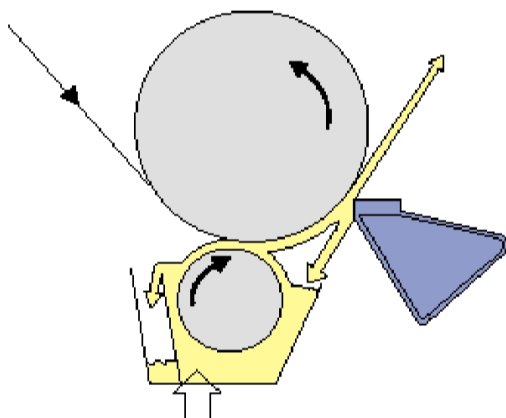


图 5-7 辊式上料刮刀涂布器

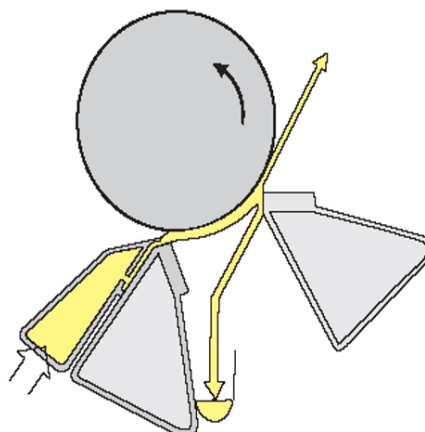


图 5-8 自由射流上料刮刀涂布器

5.4.2 MSP 涂布

计量施胶压榨（MSP）的方展势头良好，MSP 已成为低定量涂布纸（LWC）新建和改造项目的首选。低的投资成本和操作成本，以及可以应用低强度浆料是 MSP 最具优势的地方。国内新建的大型新闻纸和轻量涂布纸生产线毫无例外地选择了 MSP。

MSP 为近似轮廓性涂布，涂层的覆盖性和均匀性比刮刀更好，涂布纸表面更粗糙。例如，MSP 涂布胶印纸的印刷粗糙 1.5-1.7 微米，而相应的刮刀涂布纸为 1.2-1.3 微米。综合来看，MSP 涂布胶印纸和刮刀涂布胶印纸在印刷适应性和总的质量方面并没有差异。

5.4.3 非冲击性涂布

非冲击性涂布对纸幅的作用力很小，可以适应强度低的原纸。非冲击性涂布时，涂料对纸幅的冲击力小，有利于涂料的保留和涂层的覆盖。非冲击性涂布虽然有很好的应用前景，但仍需要解决某些设备和工艺上的难题。

5.4.4 喷雾涂布

涂料在高压下被雾化并同时施涂到纸幅的两面，而在这一过程中纸幅不与纸机的任何部分相接触。生产效率较刮刀提高 5-6%，较 MSP 提高 2%。可以达到非常好的轮廓涂布效果，涂层的覆盖性和均匀性比 MSP 要好。涂层孔隙率高，平滑较差。喷雾涂布最大的影响因素是涂料的粘度，高固含量涂布受到限制，运转固含量大约为 55%。

5.4.5 帘式涂布

帘式涂布的发展受到了高度关注。虽然已经用于特种纸的生产，但目前还没有商业化设备用于颜料涂布。在外力或重力的作用下，涂料从挤出模头中垂直流出形成幕帘，与水平通过的纸幅相接触获得涂布。帘式涂布一个突出的特点是在一个涂布站内实现多层涂布。

与喷雾涂布一样，帘式涂布也具有完美的轮廓涂布效果。最新的商业化规模试验结果显示，帘式涂布可以在 1200m/min 的车速、66%的固含量和 12-18g/m² 涂布量下稳定地运行。帘式涂布最大的挑战是涂料必须进行有效的除气处理。帘式涂布流程的特殊性使得其在纸机内布置费用高。

第 6 章 造纸工艺--卷曲与完成

6.1 概述

6.1.1 复卷和卷取的定义

纸幅通常以纸卷的形式储存与运输，这就需要纸的卷取。在造纸工业中有两个基本的卷纸流程。卷取用来产生大直径的纸卷被称为母卷。母卷被卷到卷取轴架上，例如在纸机、涂布机与机外压光上，然后为下一道工序做准备。用于这种工艺的设备被称为卷纸机。一般来说，造纸厂的最后一道卷纸流程被称为复卷，复卷的主要功能是从母卷上制作成品纸卷（customer roll）。用于复卷的设备被称为复卷机，成品纸卷则被卷到纸芯上。

6.1.2 三种基本的复卷机类型

复卷机主要分为以下三种类型：

最简单的是中心轴式复卷，纸卷完全由其纸芯支撑与驱动。驱动力由复卷辊的中心产生，故因此而得名。另一种常见的形式是表面复卷，复卷纸卷被一个驱动辊压住，从而依靠表面摩擦驱动复卷纸卷。第三种形式是复卷机的驱动同时贴近复卷纸卷和压辊，这种形式的复卷机被称为轴式表面复卷机。

6.1.3 复卷的要求

正确的纸卷尺寸，即纸卷宽度纸卷直径，纸卷重量或纸幅长度。纸卷直径必须横向一致，避免隆起、起鼓、爆裂以及在接下来的退纸与复卷工序中出现硬度变化。

纸芯要在纸卷的中心。这就需要避免纸幅张力变化波动，避免在退纸时断纸。

纸卷边缘要齐整，没有端面不齐或纸芯凸出现象。这就要保证纸幅纵向边缘齐整，使纸卷运输时能轴向堆叠起来。

良好的纸卷结构，即最优的纸卷硬度或纸卷张力。这能防止纸卷变形，保持纸质持续稳定，没有轴向或径向变化。

纸幅表面与边缘无尘，特别对于静电复印纸而言。

纸卷要求没有任何缺陷。

6.1.4 纸页性质对复卷的影响

纸页密度是影响复卷过程的基本变量。对于那些传统的双底辊复卷机，即无弹

性转鼓或皮带传动技术的，纸辊自身质量对底辊压区压力会有直接影响，即更高密度纸卷会产生更大的压区压力，使低克重纸无法复卷出大直径纸。在多站式复卷机或卷纸机中，问题多出在纸芯与辊底，即支撑纸卷的位置。

摩擦因数对纸卷张力的形成有影响，对复卷期间或复卷后的纸卷变形有影响。平滑度高的纸页每卷一圈时会损失一些张力，当在复卷时可在纸卷边缘看到直线的“1”字形逐渐变成了J形。张力损失会造成起皱与起鼓。

纸页性质变化对复卷过程有影响。如定量的变化能分为纵向组分、横向组分、残留或随机组分等，随机组分的变化对复卷中影响不大。

6.1.5 复卷对纸页性质的影响

在复卷时的纸页张力、压区压力与辊内张力会对纸页性质产生影响。右表显示了因压区压力与内压力造成的弹性压缩对纸页性质的影响。这些影响在纸辊外沿时最小，因为这个位置的径向压力也是最小的。纸幅在复卷与储存期间，因张力引起的纵向塑性伸长会增加纸页长度，导致纤维间的连接键断裂。通常在纸幅的横向上会有塑性应变，导致诸如起鼓、起皱、纸卷硬度变化等问题。

6.1.6 横幅曲线在线控制

纸幅张力横幅曲线是以智能辊为基础的测量与控制为改善纸页张力横幅分布提供了一种有效的工具。

在纸机生产线，控制张力曲线越早越有效。在干燥部纸幅同时被拉伸与烘干，使张力曲线变成了固定的形状。这个形状可通过在干燥部前前端安装回湿装置来改变。

在线张力控制的效果是明显的，它改善了横幅曲线，尤其是起皱影响的纸幅边缘区域。测量值能显示横向张力曲线中的纸边偏松与倾斜。在安装控制系统之后，纸边松弛的情况显著下降，偏斜状况也消失了。控制系统明显改善张力曲线，使产品水分横幅曲线控制在允许范围内。改善后的张力曲线降低了纸幅皱褶，能使纸幅的张力更低，从而减少了断纸。

6.2 卷曲

6.2.1 卷取过程

对卷取过程的要求来源于后续过程，但它自身的过程也要符合造纸工序的固有

需求。而且，卷取的成功很大程度取决于它自身的功能，此外操作方式在整个卷取效率上也扮演着重大的作用。

卷取效率取决于：纸幅处理及其性能、卷取设备、卷纸操作、母卷存放和处理、退纸操作。

每个造纸生产线都至少包括一道卷取过程，但最高可达到 5 道独立的卷取过程。对卷取的评估有多种方法，例如通过划分为两种效率来评估：即物料效率和时间效率。

6.2.2 卷取参数

良好的纸卷结构能够在卷取过程及后续退卷过程中抵御多重纸页围绕质量的负荷。为了卷出一个良好的母卷结构，需要采用先进的卷取工艺。实现最小化纸页浪费的最好方法就是精确控制卷取参数。

在传统的没有芯轴卷纸能力的卷筒式卷纸机上，有效的卷取参数是压区负荷和纸幅张力。此外，第二代卷纸机提供了第三个卷取参数—圆周力，以实现高质量的卷取。

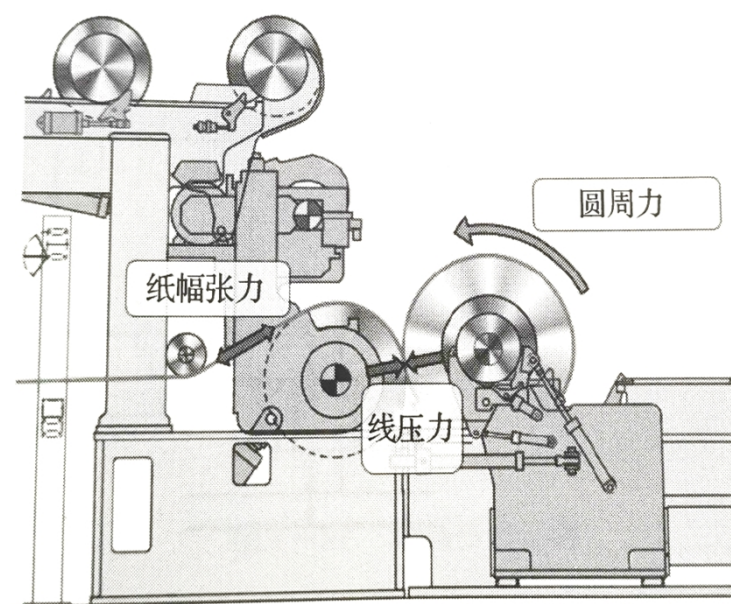


图 6-1 卷曲参数

6.2.3 母卷内的应力与母卷结构

母卷尺寸影响着辊筒内的应力。内部应力起源于纸卷的重量和卷纸轴的挠曲。缠绕在辊筒上的纸对抗着卷取轴的挠曲，从而导致在母卷内产生不均匀应力。

母卷纸幅层间的应力可以分成两类：即在卷纸轴以上产生的径向压缩应力和在母卷两边垂直面上发生的剪切力。有效元法（FEM）分析被用于断定在众多变量中母卷应力所占的百分比。同样地，卷纸轴直径和硬度，还有纸的密度、摩擦因数（COF）、纸幅模数（在所有轴线上）以及其他参数也已经由不同的方式进行评估。比如，FEM 分析显示，卷纸轴的尺寸和母卷直径对于辊筒内应力的影响是极其显著的。

在构建母卷过程中，终极目标就是正确调整与芯轴相关的纸卷硬度或刚性。这可以减小内部压力和纸幅暴露的应力。另一方面，母卷结构必须足够紧实以防止层间的移动。为了达到这个目的，母卷的硬度必须是可调整的。

6.2.4 卷取过程的空气夹带

辊筒旋转和纸幅运转中产生的空气流可导致卷取过程的空气夹带问题。当空气聚集在高速纸机卷取压区前的一个袋区里就会产生气袋。特别是在密实的、低孔隙率纸种的生产中就会发生，如在线涂布或在线压光的纸种。如果有太多的空气，气袋就开始移向边缘，并穿过压区压溃。如果气袋穿过了压区，就会产生褶子和随后的断纸。气袋的存在也能降低卷纸缸表面与纸幅间的牵引力，降低母卷的紧度。

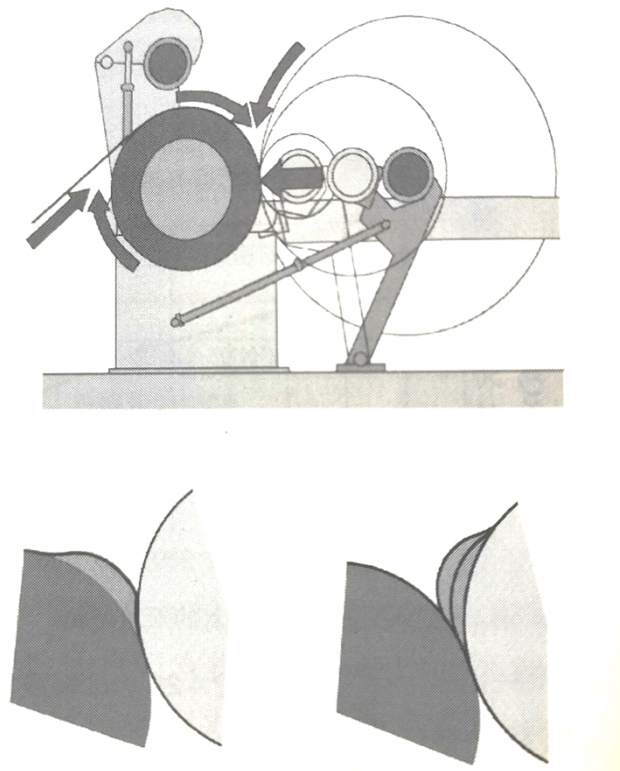


图 6-2 卷取中的空气夹带

6.2.5 生产效率

生产效率是几个变量的组合。影响卷取操作的变量可以分成三个不同种类：纸的性能、恒定的机器性能以及可变的机器性能。在纸的性能中，厚度、全幅张力和密度以及纸层间的摩擦对卷取结构的影响最大。

为了实现良好的卷取，有 7 个值得关注的重要因素：恰当的张力、恰当的压区压力、恰当的扭矩、恰当的横断面分布、适当的纸层间的摩擦、恰当的母卷尺寸、恰当的卷纸轴尺寸。

对于前三个因素一张力、压区压力和扭矩，操作员能够控制母卷结构和卷入张力，但仅仅是在一定范围内。举例来说，如果纸幅卷取恶化，阻止越来越多的损纸产生的唯一方法，就是用更大的张力和扭矩来构建这个母卷。压区负荷具有引起卷取硬度变化的趋势，这可能会导致更多的瑕疵。

通常，卷取损耗可分为四个不同的种类：表面损耗、底层损耗、损纸损耗、质量损耗(纸种更换、水分缺陷、卷纸缺陷以及工艺缺陷等)。

为了力求损耗最低，首先要进行的研究就是分析生产线产生的损耗数量。研究结果可以显示出生产线的问题以改善目前状况的方法。

6.3 复卷

6.3.1 复卷的功能

复卷的功能：一个基本的复卷机由满足其功能的部件和设备组成，其功能是从大纸卷上舒展开纸幅，将纸幅纵切为较窄的分纸幅，并将其卷成一组成品纸卷。同时也需要像复卷引纸一样的处理母卷更换的设备。

复卷机的任务：切除原纸毛边，将整幅原纸分切成若干符合用户规格的幅宽，控制成品纸辊的辊径、使之符合出厂规格。

6.3.2 退纸部的作用

纸卷安置在退纸架上，为了从纸幅两侧切下的纸边宽度一致，退纸卷应能沿轴向移动调位。而在新式的结构中纸卷连同退纸架整体移动，以保证退纸架有较大的刚度。除了用手动装置移动纸卷外，还可采用气动、电动或光电装置自动调节其轴向移动，这就可使复卷机上的切边较窄，仅为 5~10mm，而在手动调节的情况下切边为 20~25mm。



图 6-3 退纸架

6.3.3 纵切部的作用

纵切机构是复卷机最重要的部件之一。平直而光滑的切边能保证分卷容易，并保证印刷时减少起毛。纵切机构应尽可能靠近纸卷安装，使切开的纸幅在卷纸前的行程中减少或不产生横向的位移。



图 6-4 圆刀装置

6.3.4 纸幅展开装置

舒展装置通常是使纸幅在纵切后保持切缝分开而设的。在某些纸种中在纵

切刀前也使用舒展器，以消除纸幅的皱纹和松弛区段，保证纵切良好。

常用的舒展器有三种形式：D形舒展杆、弧形辊以及2型双杆舒展器等。

6.3.5 复卷机的自动控制方式

现代复卷机的自动化程度很高，将手动工作降到最低程度。可以根据产量需求与人力情况来选择自动化最合适的程度。自动化也能提高复卷机的运行性与产品质量，自动定刀、自动停机与自动复卷程序能更精确地控制成纸直径、宽度和紧度。即使减少熟练工，纸卷质量也会更均一。在自动响应所测复卷振动水平的帮助下，由于复卷振动引发的纸卷缺陷也会减少。

复卷最常见的自动化功能有以下几种：切纸刀定位、纸芯弹出和处理、母卷就位、纸芯涂胶或胶带黏接、纸芯输送、纸幅裁切、卸出纸卷。

6.3.6 复卷机种类

复卷机的种类主要分为双底辊复卷机和多站式复卷机。

双底辊复卷机主要用于非涂布板纸与文化用纸，一系列纸卷在两个平行的复卷底辊之间进行复卷。两个底辊同样地支撑着纸卷质量，每套纸最大的复卷压区负荷由纸卷来决定。现在已研发出直径与外形不同的双底辊复卷机，两个底辊对纸卷质量的分配也不同，但基本原理是一致的。为了解决有些纸种对额外压区压力的压区负荷敏感的问题，已开发了新型的双底辊复卷机。这包括气垫减压式、带状支撑式、可变几何式与软包胶式。双底辊复卷机的优点是操作与维护简单，产能高。

由于传统的双底辊复卷机将高密度薄页纸复卷成大直径纸卷非常困难，因而导致了双底辊复卷机向单底辊复卷机的过渡。低定量涂布纸、超级压光纸与涂布文化纸种通常在单底辊复卷机或多站式复卷机上复卷。使用多站式复卷机取代双底辊复卷机的这种变革，产生于30年以前，因为双底辊复卷机不适宜大量的轮转印刷类纸种的复卷，会造成纸病和操作问题。

6.3.7 双底辊复卷机的常见纸病

双底辊复卷机最常发生的纸病是皱褶与爆裂，这与厚度/定量曲线变化和复卷高压区负荷是相关的。

皱褶是由于纸卷直径较大时传统双底辊复卷不可控的压区负荷造成的。局部的高复卷压区压力与低张力导致纸卷表面纸页的滑动，皱褶就会形成。低摩擦因数的纸种会增加皱褶发生的可能性。唯一被证实有效的补救措施就是改进双底辊的设计，

或用多站式复卷机取代。

当复卷松厚度高和摩擦力大的纸种时，纸芯偏心和纸卷抖动是双底辊复卷机常见的纸病。当横幅厚度变化时，每套纸的纸卷直径会有所不同。纸卷以不同的角速度旋转，导致纸卷边缘之间产生摩擦力。这种力导致纸卷抖动，或不是以同轴方式旋转，导致卷偏心变形，纸卷抖动甚至弹出(纸卷不受控制地跳动)。这种现象可以通过将纸芯切得平直与均匀来降低摩擦力，或者在纸芯间加油或低摩阻垫片。防止纸芯偏心和纸卷抖动的最后补救方法是在纸芯上刻沟纹。每套纸使用的沟纹形式是可以相互嵌合以形成刚性轴，使同套纸卷以相同的直径建立。

6.3.8 纸种对复卷造成的挑战

1. 新闻纸与目录纸

新闻纸的定量从 48.8~52 g/m² 降到了 36~45 g/m²，这意味着纸张挺度与强度的巨大变化。与此同时，如今的纸卷直径在增加，且脱墨浆成为主要的原料。日益增长的密度、填料含量以及摩擦因数的改变，使得纸张复卷时易产生纸病和复卷操作问题，因而推荐使用多站式复卷机与改进型的双底辊复卷机。

2. 高光泽度纸种

涂布与非涂布高光泽度纸种的密度经常超过 1000 kg/m³，因为紧度高与压区负荷高会普遍产生折子、爆裂、起鼓、皱纹，使得复卷出现瓶颈。因为支撑力的主要部分来自纸芯与纸卷底部，所以多站式复卷机也会在纸芯与纸卷边缘区产生折子与爆裂。

3. 非涂布的化学浆类纸种

非涂布化学浆类纸种的主要问题，是因为高摩擦因数与纸卷偏心造成的复卷振动。不断增加的使用碳酸钙取代瓷土填料(甚至是表面施胶)，以及用 ASA 型憎水性施胶剂取代 AKD，都增加了纸页的摩擦因数，从而导致纸卷振动。因为纸机车速的增加，双底辊复卷机车速要维持得比较高。通过优化不同化学品来得到最好的摩擦因数水平，可以得到好的复卷质量。对于非涂布化学浆类纸种的复卷机，高车速和高自动化程度是复卷成功的关键因素。

4. 涂布类化学浆纸种

涂布类化学浆纸种对复卷机产生的问题与涂布类机械浆纸种类似。其主要的差异如下：更高的定量，强度与硬度更好(爆裂与折子会不常出现)；可生产从哑光到

丝光等纸种，导致光泽痕、高摩擦因数与振动；大部分产品需要包装，因此要求软的大直径纸卷；透气度低，空气会进入纸卷之中，纸幅稳定性不好，这会降低潜在的最快运行速度；纸页的矿物质含量可达 50%，这会增加切刀的磨损。

因为涂布类化学浆纸种定量范围很大，纸页张力范围也很大，最高的纸幅张力要求接近纸板的张力。

5. 箱板纸

箱纸板，如瓦楞芯纸和挂面纸板，一般是由传统双底辊复卷机复卷。挂面纸板是松厚的，一个纸卷的纸页长度较短，且纸板机的产量很高。通常一台板纸机只配一台复卷机。如果是现代的纸板机，则需要一台高产的复卷机。由于纸板的强度高，可以使用高车速和高加速度。一般来说，箱纸板的复卷所面对的不是纸卷质量的问题，而是噪声、粉尘以及与复卷机产能相关的自动化水平和有效性的问题。此外，纸边的输送系统也很关键。为了分开窄条与宽条的复卷切边，良好的复卷系统在复卷机下配备两个独立的损纸池。

6. 盒用纸板

盒用纸板通常被涂层整饰为光泽或亚光的产品。对于盒用纸板，松厚度与挺度是很重要的，且要求在复卷与储存后能得以保持。亚光的纸种对印痕与松厚度的降低更为关注。盒用纸板的芯层使用脱墨浆，由于切刀的磨损与粉尘等问题，含脱墨浆与涂料类纸板的要求更高。由于纸卷底部的卷曲问题，必须使用大直径的纸芯。

6.3.9 发展趋势

1. 原材料

涂布类纸种的涂布量更高，但定量普遍更低。即浆料中纤维含量降低而涂料与化学品含量增加，从而导致纸页密度、切刀磨损量、纸卷质量以及纸页摩擦因数的波动量增加。

更多的再生纤维采用更先进的脱墨工艺。由此增加了纸卷的密度和填料的含量，影响到了纸页的摩擦因数（与原生纤维相比，通常是摩擦因数更高，平滑度下降）。

几种短纤维（非木浆纤维、桉木浆、相思木浆等）的化学浆使用量大大增加。

因为水系统的封闭循环，细小组分、填料、胶料与诸如助留剂、消泡剂等过程助剂进入纸页中，它们对纸页摩擦因数产生影响，从而进步影响复卷操作。

碳酸钙与特殊填料使用增加。由此造成纸页摩擦因数比传统填料(高岭土、二氧化

钛)更大。

2. 纸机与复卷机

车速每年增加约 50 m/min 或 3%。静电复印纸机设计车速超过 2000 m/min。涂布机与压光机发展方向越来越趋于与纸机合并。结果是一台纸机只需要一台涂布机与压光机。当然对于非常高速纸机的来讲需要两台复卷机，这将需要增加投资。

纸机发展的另一个趋势是，采用幅宽更窄和投资更低的纸机生产线，这在亚洲市场尤为突出。与电子媒体的竞争需要降低复卷的费用，这意味着更低的操作费用，更少断纸，更少纸卷破损、更少复卷降级。复卷机必须高度自动化，配备人数最少(一台复卷机一个人)。故需要万能的复卷机，即要求自动化水平高、产能高、出产纸卷质量好。无论什么纸种，产能要比传统的双底辊复卷机高，质量比传统多站式复卷机好。

3. 纸卷尺寸

凹版印刷的纸卷宽度不断增加。最宽的印刷机大于 4300mm。胶版印刷与凹版印刷最实用的印刷纸卷直径是 1300mm。超级压光纸与低定量涂布纸最大的密度达 1300 kg/m³，这种纸卷质量超过 8t。如果纸卷直径超过 1500mm，则最大的纸卷重量会达 10t。

6.4 纸卷的包装与处理

6.4.1 纸卷的防护

对于大多数纸和纸板来说，纸种的不同将大大影响到其完成系统的类型，以及纸卷处理和包装系统的性能。

1. 新闻纸

现在的新闻纸通常含有较高的脱墨浆和填料，这使得纸页变得非常脆。未包覆新闻纸卷的外层容易撕裂和破裂，这会造成纸卷松脱，进而引起保管方面的麻烦且会干扰纸卷的处理和包装操作。纸页的完成通常包括在纸卷末包装的端部喷墨模印纸卷序号和一个退纸的箭头。装运的纸卷完全用牛皮纸包装，也常常采用多个纸卷的复合包装的形式。贴标包括卷体和端面。喷墨模印技术已经越来越多地得到应用，通常在卷体周围打印条形码。

2. 非涂布和涂布出版印刷纸

这些含机械木浆的纸种包括非涂布纸（如目录纸）、超级压光纸（SC）和低定量

涂布纸（LWC）。这些纸种的性能不同于胶版印刷的新闻纸，纸卷的规格和密度也大不相同，特别是对于用于轮转凹版印刷的 SC 纸或 LWC 纸。纸卷密度的增加导致纸卷重量大大增加，因此与较低定量的纸种相比，对高定量的未包装纸卷的处理则更需和缓。同时要减少未包装纸卷的滚动，以保证纸卷的质量。对于重型纸卷，包装规范要求加强纸卷封头，且要包覆多达 4~6 层的包装材料。复合纸卷包装也是常用的，其喷墨模印和贴标操作与新闻纸卷是相似的。

3. 涂布的印刷和书写纸种

对于这些纸种，造纸厂的纸卷处理是相对简明，因为这些纸卷的规格和重量都是适中的。然而涂布过程则对纸卷的损坏和凹痕相对敏感。纸厂现场裁切母卷成为平板纸，并配有过程仓库。这一系统范围从简单的夹式叉车服务区域到非常现代化的自动储存与检索系统(AS/AR)和自动真空吸吊储存，纸卷由夹式叉车无损地自动移送到裁切机，纸卷成品完好地包装。多纸卷的复合包装普遍采用，并在卷体和端部贴标。

4. 非涂布的印刷与书写纸种

大量的化学浆纸种被用于书写、打印、复印和计算机打印、胶印书刊和油封等。从纸卷处理的视角看，化学浆的配料使其有相对高的强度。然而，这种纸卷在尺寸上有很大的变化，使其在处理和包装上面临挑战。对于这些纸种，纸机可为切纸机（如 12-pocket 尺寸裁切机）生产直径在 1500mm 到 2545mm 的母卷，质量为 3400kg。

6.4.2 纸卷的包裹方式

纸卷的包裹方式主要分为：宽幅包装、窄幅包装、复合包装方式、螺旋式包裹、套筒式包装、拉伸膜包装。

6.4.3 多站式包装机

高产量的包装过程必须分成多站式。一种典型的布置有识别、检索、包装、贴标、封头和端头贴标等分站（如右图）。在每一个分站中，纸卷从进站到出站的时间必须小于或等于包装机一个工作循环的时间，所有分站应能够自动地达到较高的产率和均匀的质量。

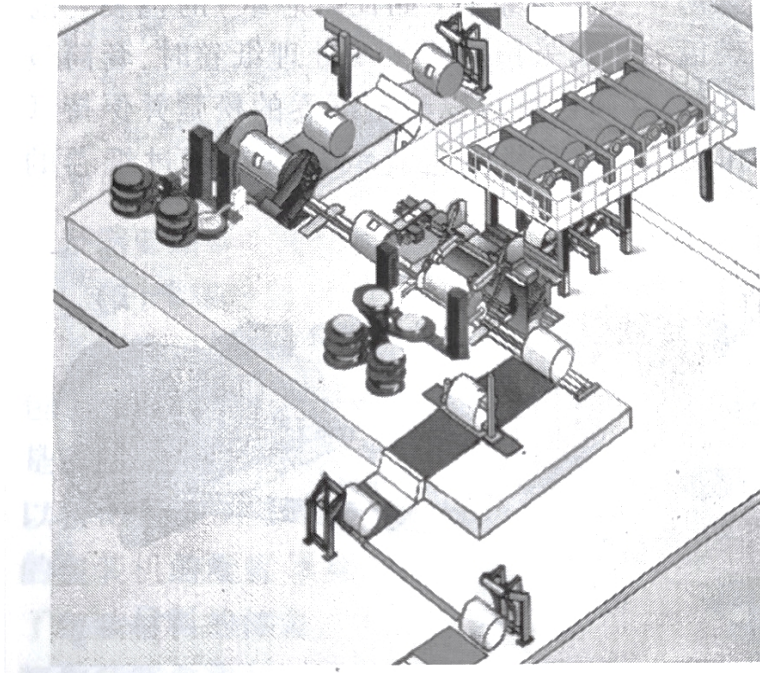


图 6-5 传统的带有内外封头传递系统的多站式包装机

6.4.4 单站包装机

多站纸卷包装机是将工序分配给多个操作站，而单站包装机仅用一个站来完成所有工序。在使用单站包装机时(如右图所示)，操作者需要进行纸卷封头封装和贴标。在单侧包装机中，上面提及的所有包装工序将一个接一个地进行，而无法同时完成。这些包装过程由操作者或由自动装置完成。在纸卷识别后，操作者将内封头贴在纸卷的两端。包装机进料、压褶、涂胶，然后裁切包装材料。然后，操作者将外封头放到封头压板上。

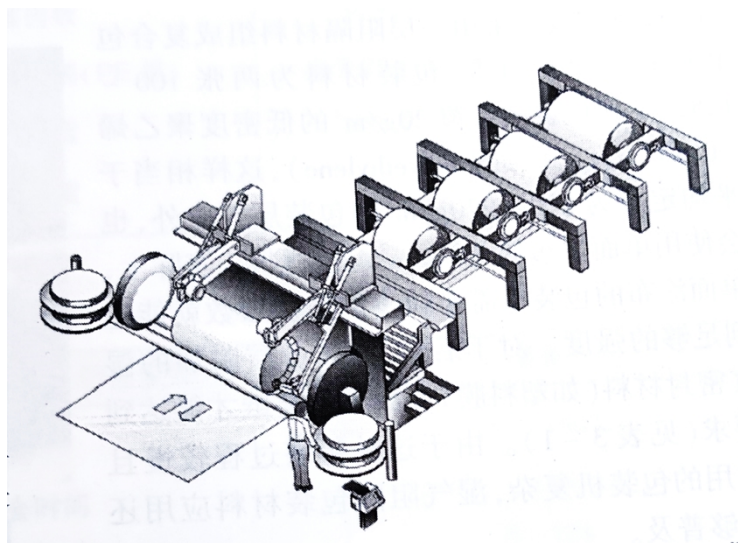


图 6-6 单站包装机—每一个包装工序均在该站完成

6.4.5 拉伸膜包装机

拉伸膜包装机采用的是一种窄幅包装的方法。其包装顺序是径向或轴向，或者是两者的结合。这种包装机特别适合软的薄页纸纸卷（母卷为卫生纸、面巾纸和纸毛巾等）。

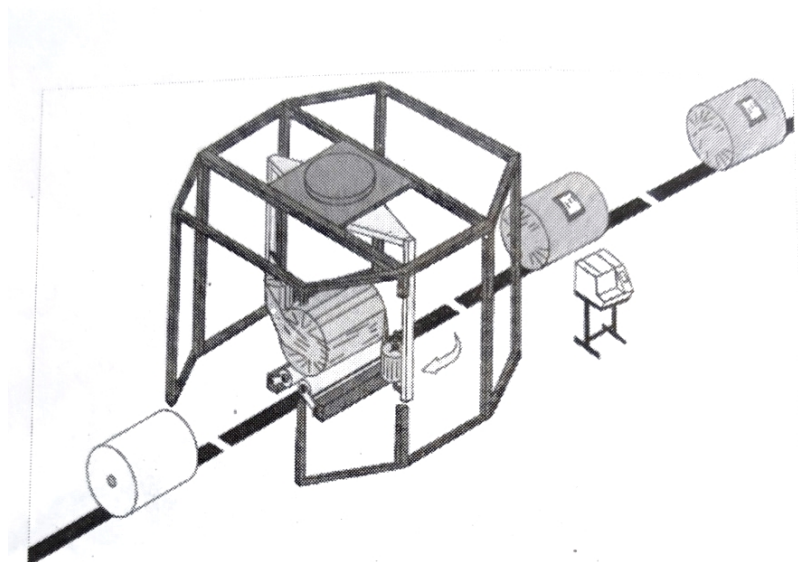


图 6-7 拉伸膜包装机旋转拉伸膜缠绕纸卷（纸卷本身也保持转动，拉伸膜原宽度为 0.5m）

6.4.6 包装材料

理想的包装可提供最佳的纸卷保护，且价格便宜和具有视觉吸引力。在实际工程中，这部分的纸页完成工艺通常要在成本和效果两方面寻求平衡。

举例来说，一个年出口量为 50 万卷新闻纸的造纸厂，每个纸卷的包装费用约为 3 欧元。在这方面，通过优化包装过程和材料，成本还有降低的潜力。每个纸卷包括 1.25 至 3 层的包装物、2 个内封头、胶黏剂和水分阻隔材料、标签和外封头等。具体来说，每个包装平均需两张瓦楞纸板内封头、2~3 层 220 g/m 的牛皮包装纸（为了压褶的需要，要多出 300mm）、带有 PE 涂层的 250 g/m² 定量的外封头、预涂胶和预印刷的 120g/m² 的标签（这些标签将贴在纸卷的筒体和端头）。

第7章 造纸工艺--工艺控制与产品质量

7.1 制浆工艺控制点与产品质量关系

7.1.1 浆点问题

原因：浆点因浆板或损纸碎解不完全引起的小浆块儿叫做浆点，引起浆点的原因主要时碎解损纸产生，特别是含湿强的损纸。

工艺控制：在处理损纸时必须按（损纸处理规定）执行，并且要多抽检，在确定无浆点才能抽浆，再根据打浆检测结果控制好打浆时间。

7.1.2 尘埃点问题

原因：引起尘埃点的原因主要是有以下几点：深色纤维或腐浆引起；原料中夹杂的纸芯，其它原色纤维种类导致；水体中含有杂质引起。

工艺控制：从原料入手，杜绝其它杂质入内，保证水系统的清洁，循环水的各控制点正常。

7.1.3 衬层黑点问题

原因：引起衬层黑点的原因主要是有以下几点：碎解与脱墨时纤维与油墨颗粒未剥离干净，仍含有较大的油墨点；浆料中的胶黏物；回用水和系统中的杂质。

工艺控制：对上料链板的异常原料进行筛选，加大三段精筛尾渣排放量；对污控回水 进行取样观察，发现异常及时通知污控车间调整；延长碎浆机碎解时间，并调整原料配比（增加 A 页比例）；协调纸机适当加大网前筛尾渣排放。

7.1.4 底浆胶蜡点问题

原因：引起底浆胶蜡点的原因主要是有以下几点：原材料中的蜡纸、沥青纸等不合格原料为拣选彻底；挤浆机、热分散使用未达到工艺要求；白水系统置换不及时，造成胶黏物在系统中循环。

工艺控制：重点盯靠链板原料拣选质量；立即对中、长纤维挤浆机白水进行排污，减少胶蜡点在系统中循环；加大三段精筛尾渣及轻渣排放量；检查挤浆机出浆浓度是否过小影响热分散处理效果，以及热分散温度是否达到工艺要求（大于95℃）；协调纸机适当加大网前筛尾渣排放。

7.1.5 纸面透眼问题

原因：引起纸面透眼的原因主要是浆料中的细沙、硬塑料等杂质或污控水中的杂质引起。

工艺控制：调整四段除砂器尾渣排量，协调纸机增加网前筛尾渣排量，时刻关注污控回水质量，及时做出调整。

7.1.6 衬层黑点问题

原因：引起衬浆白度低的原因主要有以下几点：原料来货白度低，油墨排放不正常；污控回用水发黑；检测不及时，调整时间

工艺控制：备料时根据来货白度做好搭配，上料时应及时观察原料白度情况，以便做出调整；控制好油墨阀门开度，加强对污控回用水的监督。

7.2 造纸工艺控制点与产品质量关系

表 7-1 产品质量影响因素

指标	影响因素
耐破	挂浆量、淀粉加入量、施胶量、干强剂用量、留着率、灰分
耐折	原料配比、打浆度、纤维湿重、挂浆量、淀粉加入量、施胶量、留着率、灰分
白度	碳酸钙浓度用量、面衬挂浆量、衬浆白度、白纸边白度、施胶挂量
平滑	表胶挂量、横幅定量
水分	蒸汽烘干压力、车速、施胶量
定量	上网浓度、白水浓度、挂浆量、填料量、留着率、助留剂用量
表吸	AKD 用量、施胶固含、施胶剂用量、水质
层间结合	打浆度、喷淋淀粉用量
耐磨	原料配比、打浆度、纤维湿重、挂浆量、淀粉加入量、施胶量、施胶固含、留着率、灰分、干强剂用量、成纸水分
油墨吸收	AKD 用量、施胶固含、施胶剂用量、干强剂用量、碳酸钙、灰分

7.2.1 纸页匀度差

匀度对纸页性能的影响主要有以下几点：

- 1) 影响纸张大多数物理性能：如吸收性能，透明度，不透明度，透气性等；
- 2) 表面容易卷曲，影响使用和进一步加工；

- 3) 纸的机械强度下降;
- 4) 染色不均匀;
- 5) 对纸板不规定匀度指标: 纸越厚, 越看不出不均匀
- 6) 改善匀度的措施(工艺控制):
- 7) 纤维的特性: 主要是纤维的长度、柔软性和表面状况: 短纤维纸浆和柔软性好的纸浆易于分散;
- 8) 化学添加剂: 化学添加剂的加入能改变纤维的带电情况: 助留助虑剂促进纤维絮聚, 分散剂促进分散;
- 9) 纸料的浓度和流动状态: 降低浆料的上网浓度, 破坏纤维的絮聚。

7.2.2 纸页定量不均

1. 定量不均匀性的影响: 各性能指标下降。
2. 增加定量的作用: 提高机械强度: 抗张、撕裂、耐破、伸长率等; 改善适印性: 吸墨性、不透印性等。
3. 改善纸页定量偏差的措施(工艺控制):
 - 1) 调节匀度改善局部定量不均匀;
 - 2) 调节局部区域稀释水的上网浓度;
 - 3) 保证浆塔液位变化不要太大, 避免上下浓度不均一, 保证供浆流量稳定, 上网浓度稳定无波动。

7.2.3 纸页两面差

两面性: 是指纸张或纸板正反面的组织结构和性质存在差别。

正面: 细小物质含量多结构细密、平滑。

反面: 粗糙, 粗长纤维多, 结构疏松。

1. 造成纸张两面差的原因:
 - 1) 沿纸的厚度方向纤维积留和定向不同, 网面粗大细长纤维更多, 正面细微物质更多。
 - 2) 纤维纵向排列多于横向, 且网面纤维纵向排列更多。
 - 3) 纸浆的配比: 纤维长度均匀的纸浆比纤维长度差别大的纸浆所抄成纸的两面性小。
2. 改善纸张两面差的措施(工艺控制):

- 1) 适当调整原料配比，合理控制真空箱的真空度；
- 2) 在纸料中加入助留剂；
- 3) 尽可能使用细网目，较平滑的成形网。

7.2.4 纸页表吸大/小

正面表吸大：防潮、抗湿性能差，易塌箱；印刷吸墨快。

正面表吸小：印刷时油墨渗透慢，易粘花；上光油时光油渗透慢。

反面表吸大：吸胶量快且多，成箱易透楞导致印刷不实；吸胶量大，造成成本上升；防潮、抗湿性能差，易塌箱。

反面表吸小：粘箱不良。

造成表吸大/小的原因：主要是由于制备表面胶时表胶固含量和粘度差异大，造成施胶不均所致。

改善表吸大/小的措施（工艺控制）：规范正面固含量数值，根据成纸灰分、表吸情况，适当调整碳酸钙加入量。

7.2.5 纸页耐破、耐折低

1. 造成纸页耐破耐折低的主要原因有：

- 1) 打浆度低，纤维间结合力差；
- 2) 所使用纤维原料中纤维长度较短；
- 3) 纤维自身强度低；
- 4) 纸页由于过度干燥造成水分小，纸页发脆，纤维收缩率。

2. 改善纸页耐破和耐折的措施（工艺控制）：

- 1) 适当提高纤维打浆度，增加纤维间结合力；
- 2) 适当提高木浆纤维挂量和比例；
- 3) 增加干强剂用量；
- 4) 密切关注浆料的在成形网的滤水性能，严格控制下机纸幅水分。

7.3 化工辅料添加与产品质量关系

7.3.1 功能助剂的主要作用

（1）改善纸页的结构特性：通过添加功能助剂，可改善纸页的匀度和纸页的两面性。

(2) 改善纸页的强度特性：加入增强剂可促进纤维间的良好结合，从而提高纸页的强度。

(3) 赋予纸页以特殊的功能：加入施胶剂可改善纸页的抗水性；加入湿强剂或提高纸页的湿强度；加入阻燃剂可提高纸页的耐高温和防火的能力。

(4) 改善纸页的表观特性：染料和矿物质颜料可改善纸页的颜色、白度等表观特性。

功能助剂主要有施胶剂、干强剂、湿强剂、染料、增白剂、柔软剂等。

7.3.2 过程助剂的主要作用

(1) 加快滤水：通过加入助滤剂，提高纸料的滤水速度，从而提高纸机车速。

(2) 提高留着：通过加入助留剂，可提高细小纤维和填料等的留着率，从而减少纤维和填料的流失以及降低污染负荷。

(3) 改善成形：加入如分散剂等，减少纤维间的絮聚，从而得到良好成形的纸页。

(4) 消泡除气：通过加入消泡剂等，消除纸料中的气泡以减少含气量，可提高滤水速度和减少纸页的纸病（针眼等）。

(5) 控制树脂障碍：过程助剂主要有助留剂、助滤剂、树脂控制剂、消泡剂、防腐剂、网毯清洗剂等。

7.3.3 硫酸铝

硫酸铝是一种蓝色透明液体，具有一定的腐蚀性，贮存罐及管道要使用不锈钢材质。

1. 硫酸铝添加的作用：

(1) 明矾用来调节 PH 值，定着松香胶（一般 PH 在 5.5-6.5 之间），辅助留着和絮凝以及控制树脂沉积物。

(2) 改变明矾用量而引起 PH 值的变化，进而能改变调和影响湿纸幅与压榨辊间的吸附力。

(3) 湿纸幅的剥离或“抗剥离性能”随氧化铝的含量而改变如果 PH 值太高，可能会产生压榨断纸；当 PH 值降低后，断纸消失。很多问题与系统内明矾或矾土离子太少有关。低施胶度、泡沫问题、游离松香沉积物的形成、纤维结合力的降低和滤水性的变差以及形成树脂沉积物的显著趋势均证明了这一点。

2. 硫酸铝的工艺控制：其加入点在浓浆管处或冲浆泵进口，用量一般控制在 20kg 以内，中性施胶时 PH 值控制在 7.0 左右。

7.3.4 施胶

1. 施胶的作用主要有以下几点：

- 1) 赋予纸页抗拒液体扩散和渗透的能力，以适于书写或防潮抗湿；
- 2) 可以提高纸页强度，防止老化，延长纸页的使用和保存时间；
- 3) 改善纸页的柔软性、松厚度和印刷适性。

2. 酸性施胶存在的问题：

- 1) 纸页易返黄，白度下降；
- 2) 纸页耐久性差，不能生产高级纸；
- 3) 不能大量使用碳酸钙作填料；
- 4) 白水回收， Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 积累。

3. 中性施胶与造纸的特点：

优点：

- 1) 提高纸页强度，延长保存时间；
- 2) 可用碳酸钙加填；
- 3) 无硫酸根积累，提高白水回用率；
- 4) 有利于白水的封闭循环，减少污染。

不足：

- 1) 施胶反应迟缓，施胶不够稳定；
- 2) 中性抄纸的滤水性差，成纸挺度和紧度较差；
- 3) 细菌和微生物易于滋长，腐浆和断头较多，损纸量大。

7.3.5 干强剂

干强剂外观表现为无色透明黏状液体，黏度在 2000-10000 mPa·S，一种多羟基高分子聚合物。一般添加在浓浆料中，即配浆池处。干强剂的作用是使纤维与干强剂之间形成氢键，从而增加纸页的物理强度，尤其是耐破，环压。

干强剂的工艺控制：

- 1) 用量不能过大，太大用量会引起系统电荷不平衡，成纸指标难做。
- 2) 在使用过程中，需要使用一定量的硫酸铝，中和系统阴离子垃圾，以提高干

强剂的增强能力。

3) 使用时稀释水压力要控制在 4bar 左右，停止使用后管道串水不少于 20min。

7.3.6 喷淋淀粉

喷淋淀粉的作用是可提高耐破强度，抗张强度及层间结合力。对于多层纸的层间结合强度取决于最弱的层的层间结合强度，所以判断出薄弱位置是很重要的。对于薄弱层可使用多个喷淋管喷洒。

喷淋淀粉的工艺控制：

喷淋淀粉制备使用表胶生粉，溶解制成 2-10%的溶液，通过特制的喷淋管及喷嘴喷洒在网面上，喷射压力在 2-4Bar。淀粉浓度，喷射压力可根据实际情况调节。喷嘴要保持畅通，喷出的雾滴保证有均一的形态。为了使喷淋淀粉胶凝，淀粉颗粒在干燥部要尽快达到胶凝温度 70°C，此时水分含量较大，所以要保证前部烘缸温度。

7.3.7 助留助滤剂

助留助滤剂的目的和作用：

- 1) 提高填料和细小纤维的留着率，减少流失，改善白水循环，减少污染；
- 2) 改善纸页的两面性，提高纸页的印刷性能；
- 3) 提高网部脱水能力，适应纸机车速的提高。

助留助滤对纸页成形的影响：

- 1) 助留助滤作用影响纸页的匀度；
- 2) 浆料湍动会影响助留效果：过大效果差；
- 3) 助留助滤剂加入方法和地点的影响：多选旋翼筛的出口、高位稳浆箱出口或流浆箱。

7.3.8 加填

加填就是就是向纸料中加入基本不溶于水的白色矿物质微细颜料或合成填料。

1. 加填的目的和作用：

- 1) 改善纸的光学性能：不透明度和亮度。
- 2) 改进纸的物理性能和印刷性能：平滑度和匀度，柔软性，吸墨性，伸缩变形。
- 3) 满足纸张某些特殊性能的要求：透气性。
- 4) 节约纤维原料降低生产成本：改善纸张的干燥，减少蒸汽消耗。

2. 加填与纸张性质的关系：

加入填料会降低纸页的强度，其原因主要有以下几点：

1) 填料分散于纤维之间，减少了纤维间的相互联接和氢键结合；

2) 纤维用量减少，使纸张的物理强度下降；

3) 加填使纸张掉毛掉粉的现象增加，降低纸张的施胶度，尤其是碱性填料的危害更大。

常用填料主要有滑石粉、高岭土、碳酸钙。

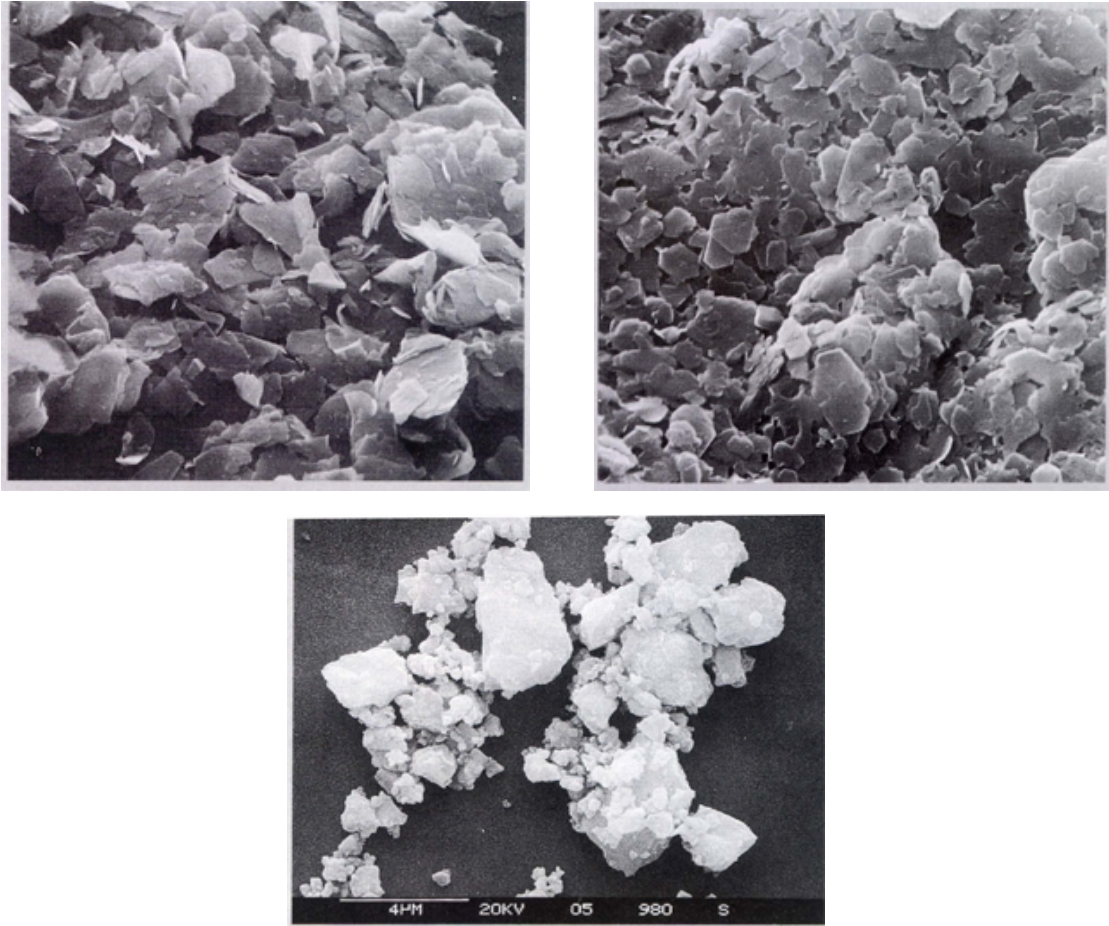


图 7-1 滑石粉、高岭土、碳酸钙的扫描电镜照片

7.3.3 杀菌剂

腐浆所造成的问题，微生物在纸机系统中的大量生长和繁殖将产生腐浆，并对纸机生产和产品质量产生许多负面影响。腐浆所引起的主要问题有：

(1) 断纸；(2) 产量下降；(3) 纸张上产生污点、洞眼、纸病等；(4) 堵塞喷嘴；(5) 纸料变色；(6) 纸张质量下降；(7) 纸机系统及成纸产生异味。

杀菌剂的工艺控制：

湿部腐浆控制中杀菌剂添加方式的确定—间隙添加。微生物群体的增长会经列

周期性的四个时期：潜伏期，快速增长期，稳定期和衰减期。为将纸机系统的微生物数量稳定控制在较低水平，则杀菌剂的使用必须有效地控制微生物群体进入快速增长期。而在潜伏期和衰减期，微生物数量通常较低，不必添加杀菌剂。所以在短循环中用于腐浆控制地杀菌剂通常采用间隙添加。当然，因系统条件不同，具体添加次数也因系统而异。一般加入点：在混合浆池和机外白水池。

第 8 章 造纸工艺--造纸化学品使用工艺

8.1 概述

8.1.1 造纸化学品的分类

1. 功能化学品:

影响产品的功能特性或赋予纸张全新特性，如纸张强度、光学特性与疏水性、阻燃性等。

- (1) 施胶剂提高防潮抗水性能;
- (2) 填料增加纸张不透明度、白度、匀整性以改善印刷适性;
- (3) 增强剂增加纸张的干、湿强度;
- (4) 增白剂提高纸张的光学白度等。

2. 过程化学品:

改善留着率、脱水性和控制树脂、微生物等问题，改善造纸工艺过程的运行性能。

- (1) 助留、助滤剂提高留着率、改善脱水性能;
- (2) 杀菌剂抑制微生物生长，防止微生物沉积，造成纸病;
- (3) 消泡剂消除纸机系统泡沫等。

8.2 施胶

8.2.1 施胶与施胶剂

施胶的目的：通过应用化学添加剂，使得纸和纸板能抗拒水或其他液体的渗透。

(1) 在纸张的加工过程中，如施胶压榨处理（即表面施胶）或涂布中，控制液相的渗透；

(2) 在纸张印刷过程中，控制液体（如油墨）的吸收或润湿性能；

(3) 控制一些品种纸或纸板（如纸板包装材料和壁纸）的最终应用性能。

施胶的方法：浆内施胶、表面施胶、双重施胶（浆内和表面均施胶）。

施胶度的测定：表面吸收重量法（Cobb 法）、墨水划线法、浸没法（吸收质量法）等。

施胶剂：一种使纸张具有耐水性能的添加剂，主要包含以下几类：

- (1) 松香胶类（皂化胶、强化松香胶和分散松香胶等）
- (2) 合成施胶剂（ASA、AKD 等）
- (3) 表面施胶剂（淀粉、PVA、苯丙表面施胶剂等）

8.2.2 液体在纸页表面的扩散和渗透机理

纸页的组成及结构与液体在纸页上的扩散和渗透的关系

- (1) 纸和纸板是由纤维组成的多层网状结构。
- (2) 植物纤维具有亲水性。
- (3) 纤维本身有微细管，形成纸页后纤维与纤维之间又有很多孔隙，具有多孔性，起到毛细管作用。

通过施胶减少纸页对液体的附着作用和毛细管作用

- (1) 胶料覆盖了部分毛细管或使毛细管半径变小。
- (2) 胶料改变了纸页的表面性质，即增大了液固间的接触角（接触角理论）减少了纸面对液体的附着力。

8.2.3 接触角理论

接触角 θ ：液体和固体的界面与液体和气体的界面之间的夹角。

施胶剂是憎水性的，能够降低纤维表面的表面张力，使 θ 角增大，使液滴的润湿作用降低。

施胶过程就是用表面自由能较低的胶料定着在纤维表面以降低纸面的表面张力，增加纸页与液滴间的界面接触角，以达到降低纸面附着力而取得抗液性能。

8.2.4 施胶剂的基本要求

●施胶剂分子必须具有亲水和疏水基团，前者用于与纤维结合，后者在纤维表面形成疏水层；

●用于浆内施胶时，能被纤维表面吸附并能在纤维中有比较高的留着率，有时可借助阳离子助留剂来提高留着率；

●施胶剂粒子在纤维表面能均匀分布，具有定向的能力，疏水基团紧密排列在纤维表面，此过程在干燥过程中完成；

●与纤维有较强的结合力，定向胶粒分子必须锚定在纤维表面；

●对渗透物质表现出优异的化学惰性，对造纸过程和纸张性能没有不利影响。

8.2.5 酸性施胶、中性施胶与碱性造纸

酸性施胶存在的问题：松香施胶使用硫酸铝作沉淀剂，PH 值为 4.7~5.5，纸页易返黄，白度下降；纸页抗老化性差，纸发脆，强度下降严重；纸页耐久性差，不能生产高级纸；设备腐蚀严重；不能大量使用碳酸钙作填料；白水回收存在 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 积累问题。

中性施胶与碱性造纸：中性施胶是指在 pH 值大于 6 的弱酸性，接近于中性或弱碱性条件下进行的施胶。中性、碱性造纸是指在接近于中性或弱碱性条件下进行抄纸。中性施胶剂就是为适应中性或碱性抄纸而发展起来的。

中性施胶和造纸的特点：

优点：减少设备腐蚀，提高纸页强度；延长保存时间；可用白度高不透明度好的碳酸钙加填；无硫酸根积累，提高白水回用率，有利于白水的封闭循环，减少污染；改善纸页柔软性、松厚度和印刷性。

缺点：施胶反应迟缓，施胶不够稳定；中性抄纸的滤水性差，成纸挺度和紧度较差；细菌和微生物易于滋长，腐浆和断头较多，损纸量大。

中性施胶剂的类型：

反应型：在碱性条件下，胶料能与纤维直接反应，并固着在纤维上。常用的两种中性施胶剂有烷基烯酮二聚体（AKD）、烯基琥珀酸酐（ASA）。

自行固着型：仍用松香胶作施胶剂，但是采用阳离子树脂代替硫酸铝作沉淀剂。其成本高、用量大，仅用于特种纸的生产。

8.2.6 AKD 施胶（烷基烯酮二聚体）

AKD 施胶剂的组成：

AKD，不饱和内酯， $\text{R} = \text{C14-C16}$ ，熔点 40—50℃，外观蜡状固体，>65.5℃极易水解生成酮，以乳液形式使用。乳化剂，一般为阳离子淀粉或阳离子聚合物。

AKD 施胶的反应：

AKD 能与纤维素表面的羟基反应形成一种酯，在纤维表面形成一层稳定的播磨，而使纸获得憎液性能。AKD 水解生成酮酸，造纸沉积粘辊或者失效。

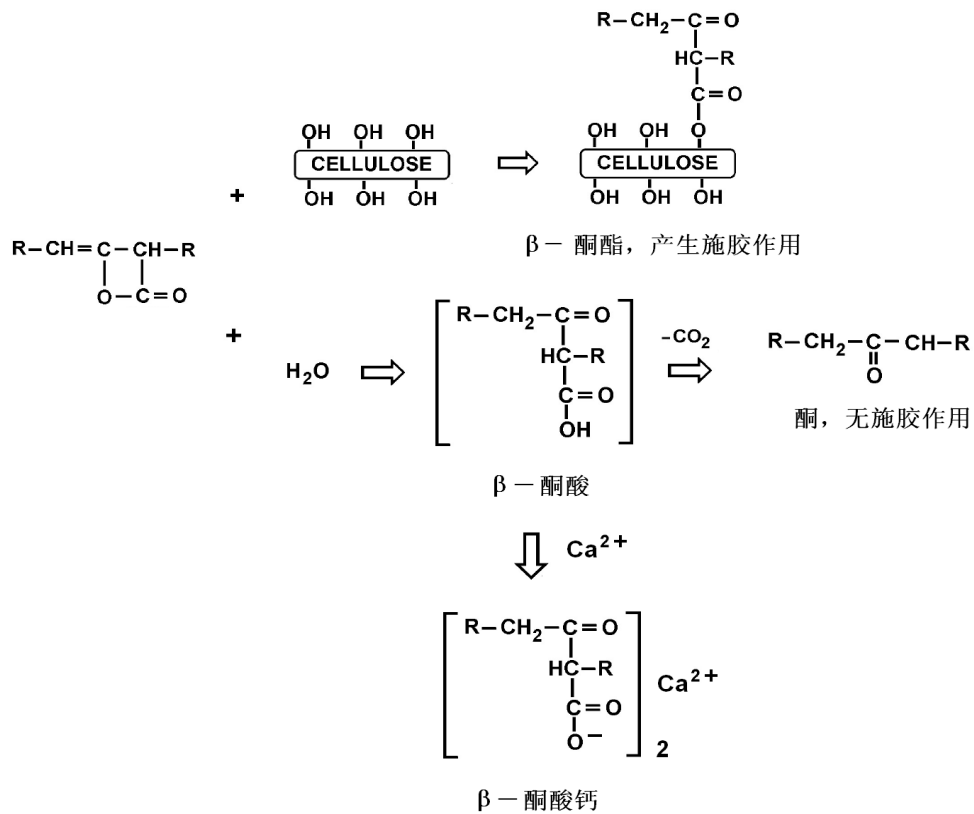


图 8-1 AKD 施胶机理

8.2.7 AKD 施胶机理

AKD 粒子被吸附在纤维、细小纤维和填料表面，上网后随着这些纸料留着的湿纸页中；

在纸机干燥部，被吸附的颗粒融化并扩散到纤维表面；

在纸机干燥部，AKD 与纤维发生反应；

纸幅在高温和低含水量时，疏水性分子重排，形成一个疏水性纸张表面。

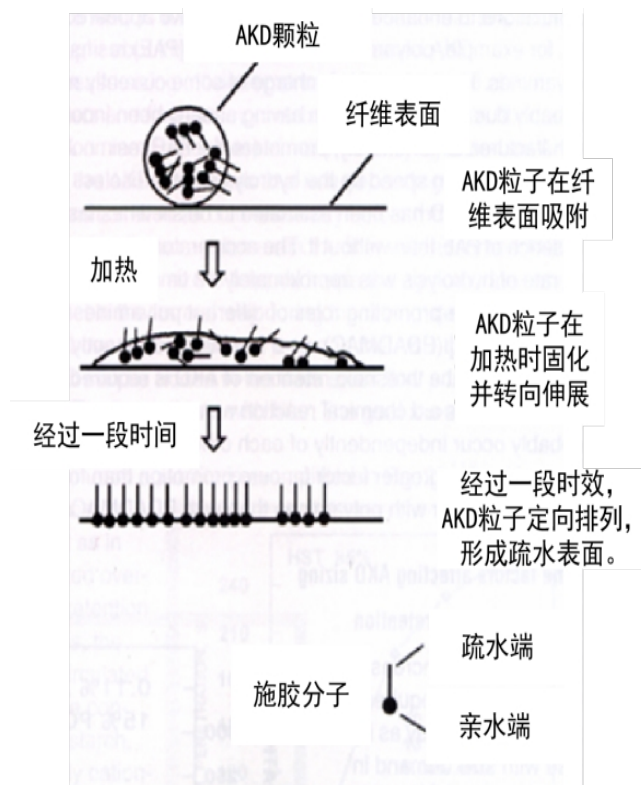


图 8-2 AKD 施胶过程

8.2.8 AKD 施胶的特点

一般以乳液分散体提供，为减少水解，在流浆箱前管道连续计量加入；熟化速度慢、快熟化的产品在复卷后能熟化 80%以上；用量过大时纸页易打滑，成品纸不易粘贴；施胶度检测存在滞后性，在实际的生产控制中一般以烘干法进行检测，温度以 105℃为宜，文化用纸一般以 15min 为宜。

8.2.9 AKD 影响因素

(1) 助留体系

高效的助留体系，能提高 AKD 在纤维上的留着率，尤其是在长纤维上的留着率。由于细小纤维和填料具有较大的比表面积，对 AKD 施胶剂的吸附能力比纤维大得多，因此通过提高细小纤维和填料的留着率提高 AKD 的留着率。

(2) 硫酸铝

硫酸铝的添加顺序对施胶效果影响很大：先加硫酸铝，AKD 的留着率和纸页的施胶度都有所下降，但如果硫酸铝在 AKD 和 PAE 之后加入，AKD 的留着率和纸页的施胶度则明显增加。

(3) 施胶增效剂

聚酰胺多胺环氧氯丙烷树脂（简称 PPE 或 PAE 树脂）不仅在湿部具有助留作用，而且在纸页干燥时可参与 AKD 的施胶反应，能明显改善 AKD 的施胶效果。

几乎所有的阳离子聚合物，如聚乙烯亚胺（PEI）、阳离子聚丙烯酸酯乳液、阳离子聚丙烯酰胺和壳聚糖改性物等，均能提高 AKD 的施胶效果。

（4）助剂添加顺序

对于草浆配比高的浆料而言，AKD 通常在阳离子淀粉或阳离子聚合物之后添加，让阳离子淀粉或阳离子聚合物先将细小纤维絮聚，从而可以增加 AKD 在长纤维上的留着率。

阴离子干扰物含量高的废纸浆和磨木浆，在添加 AKD 之前，通常也要先加入阳离子絮凝剂以中和浆中的阴离子干扰物。

（5）PH 值和碱度

当 pH 值 < 6 时，AKD 几乎不能产生施胶作用；随 pH 值增加，AKD 的施胶效率会逐渐增大，尤其是 pH 值在 6.5—7.5 之间时，纸页的施胶度上升最快；但当 pH 值 > 8.0 时，施胶度的上升速度开始减慢。因此实际生产中 pH 值一般控制在 7.5—8.5 之间。

（6）填料

填料减少 AKD 在长纤维上的留着而对施胶不利。

在相同的条件下，加填 GCC 纸页的施胶度要高于加填 PCC 的纸页施胶度。

加填碳酸钙的 AKD 施胶纸页常发生施胶逆转（假施胶）现象，这主要与填料的碱度较高而导致 AKD 水解有关。

AKD 的添加点应远离填料的添加点，以减少 AKD 被填料表面吸附；或将填料事先用絮凝剂处理，减少填料对 AKD 的吸附。

（7）浆料种类

纸浆种类对 AKD 施胶的影响是不同的：木浆好于草浆；阔叶木浆好于针叶木浆；化学浆好于机械浆。麦草浆中含量较多的细小纤维是造成其不易施胶的主要原因。麦草浆中细小纤维的留着率越高，AKD 的施胶效果越好。

（8）系统温度

随着系统温度的升高，AKD 的施胶效率明显下降，其原因一方面是由于系统温度升高导致 AKD 稳定性变差，水解加剧，引起施胶效率降低；另外一方面则是由于系统温度升高后浆料滤水速度加快，系统的留着率下降，纸内存留的施胶剂减少造成的。

AKD 加入点靠近流浆箱，必要时控制体系温度。

(9) 烘缸干燥曲线及纸页下机温度

纸页进入烘干部以后，就需要采用快速升温的干燥曲线，并且需要提供足够的干燥热量，以尽快降低纸页水分，破坏 AKD 的静电吸附作用，促使施胶剂分子重排，加快施胶剂与纤维素羟基之间的化学反应。纸幅的下机温度越高，施胶剂的熟化程度越好。

(10) 纸页的水分含量

适当降低纸页出压榨部和干燥部的水分，有助于减少 AKD 水解，提高参加反应的 AKD 量，加快 AKD 熟化。

纸页下机时，纸张中的大部分 AKD 与纤维素之间仍旧以静电吸附形式存在，还需要再放置一段时间，或者通过复卷加热进一步促进其共价键的形成，以达到最佳施胶度。下机纸页水分高，则继续参加反应的 AKD 少，大部分 AKD 将会逐渐水解而失去施胶作用。

(11) 系统中的阴离子干扰物

如果体系中阴离子干扰物大量增加，AKD 本身很容易吸附在阴离子干扰物上，从而导致留着在纤维上的 AKD 量减少，施胶效率下降。

(12) 假施胶与再定向

如果纸页水分过高、贮存温度过高、PCC 悬浮液中游离石灰含量过高等均易加快 AKD 水解，严重时放置一段时间后纸页施胶度丧失，造成假施胶。如果表面施胶前纸页施胶良好，而表面施胶后却失去施胶度，一般是因烘缸干燥曲线不当、干燥热量不足、纸页水分过高等导致 AKD 的正常施胶反应被表面施胶淀粉所干扰，发生了再定向。可以降低纸页出压榨部水分、改善干燥曲线、提高干燥能力或者增加 AKD 的用量。

8.2.10 ASA 施胶（烯基琥珀酸酐）

ASA 是一种高反应活性的施胶剂，水解速度较快，水解物会造成抄造障碍并降低施胶效率，一般要求在纸厂进行在线乳化分散和添加使用。

ASA 的水解：水解物二元酸的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子盐是粘性很大的物质，可促使形成沉淀和出现掉粉现象。

加入少量的硫酸铝，铝离子与 ASA 水解的二元酸形成铝盐，可降低水解物粘性，提高施胶效率。ASA 与硫酸铝相容性好，对抄纸系统从酸性转换到中（碱）性比也较有利。

（6）加入点

由于填料（通常是碳酸钙）具有比纤维更大的表面积，更容易吸附 ASA 乳液颗粒，而吸附在填料上的 ASA 是不能起到施胶作用的，因此要求 ASA 的加入点在填料之前。

（7）施胶逆转

ASA 不易发生施胶逆转，因为其反应活性高，纸页中只有少量的未反应胶存在。但如纸页中有较高未反应的 ASA，则会水解成二元酸，降低纸页的抗水性。

8.2.12 ASA 与 AKD 的性能比较

表 8-1 ASA 与 AKD 的性能比较

性能	ASA	AKD
商品形态	油状物	乳液
水解与纤维反应速度	非常快	中等
水解物	引起沉淀，损失施胶	对施胶基本无害
适用 pH 值	5—10	6—9
熟化速率	无需熟化，施胶压榨压榨前施胶度可达 90%以上	需要熟化，下机后需要较长时间才可获得完全的施胶
施胶效率	适度抗水性，无抗酸、碱性	中、高抗水性，抗乳酸和碱
对成纸影响	纸张不会打滑	纸张可能打滑
使用方法	现场乳化，工艺要求较高	计量添加，操作方便
其它	需乳化剂/助留剂，酸/中性施胶系统转换容易，可以兼容	需助留剂，酸/中性施胶系统转换困难

8.3 加填

8.3.1 加填的目的和作用

目的：加填就是在纸料的纤维悬浮液中加入不溶于水或微溶于水的白色矿物质

微细颜料。

作用：改善纸页的光学性质和印刷适性，满足纸张某些特殊性能的要求，例如卷烟纸加碳酸钙，改进透气性，调节燃烧速度。导电纸加入碳黑，以获得导电性。节约纤维原料降低生产成本，克服树脂障碍，填料具有大的比表面积，能吸附树脂，使纸浆中的树脂不致凝聚成大粒子。

8.3.2 加填对纸张性能和纸机运行的影响

加填易引起纤维间结合力的损失，使纸张的物理强度下降，印刷时掉毛掉粉；增加化学品的消耗量和低的留着，导致纸张的两面性；加填增加纸张毛细孔，增加纸张吸水性，减少伸缩变型性；加填使网部和压榨部脱水容易，并可加快干燥速率；加填增加了纸机部件的磨损。

8.3.3 填料质量评价

颗粒细致均匀，理想的粒度为 0.25 微米，以增加覆盖能力和填料留着率；白度高、亮度大、无杂质、有光泽；相对密度大，不易溶解于水；折光率较高，散射系数大，以提高纸张的不透明度；化学稳定性好，资源丰富，价格低廉等。

8.3.4 常用填料

1. 滑石粉：由天然矿石滑石磨碎而成，是一种水合硅酸镁矿，白度较高（90~96.8%），粒子呈鳞片状，有皂滑的手感。价格低廉。可提高纸页的匀度、平滑度、光泽度和吸油墨性，改善印刷适性，对施胶的影响较小，多用于一般印刷类和书写类文化用纸的加填。但由于其折射率不高，较少用于薄页纸中。

2. 瓷土：又称高岭土。使用较广泛。除折光率较低外，其余性能与滑石粉相似。此外，瓷土加填对纸页的强度指标影响较大。

3. 碳酸钙：用于造纸加填用的主要有两种：天然研磨碳酸钙 GCC 和沉淀碳酸钙 PCC。

碳酸钙白度高，颗粒细，可显著提高纸页不透明度、吸油墨速度快，且成纸柔软有光泽，是理想的造纸填料。碳酸钙的另一最大优点是能控制纸张的燃烧，加上有效改善纸页的透气度和不透明度，燃烧后的灰发白好看，是卷烟纸不可缺少的填料。

4. 二氧化钛：又名钛白粉，是一种高级填料，其白度高（>95%），粒度小（0.15-0.3 μm ），具有较高的光泽度和光散射系数，覆盖力强，能显著地增加纸页的

白度和不透明度。

8.3.5 填料的选择

根据纸张的质量要求与用途而定，同时要考虑生产成本与经济效益：

文化用纸：滑石粉、碳酸钙或高岭土；

卷烟纸和薄页纸（小于 $40\text{g}/\text{m}^2$ ）：碳酸钙；

定量小的高级薄页纸：二氧化钛；

不同纸种的加填量相差很大，多数纸种为 10%-25%；

有些纸张不能加填，例如：高物理强度纸（水泥袋纸），高吸收性（滤纸，吸墨纸，钢纸原纸、羊皮纸原纸），特殊用途纸（玻璃纸，半透明纸、描图纸）。

8.3.6 填料的留着机理

填料的留着是由吸附过程、过滤过程、沉积过程及絮凝过程所决定。留着机理分为机械截流学说和胶体吸附学说。

机械截流学说：机械过滤使填料不能通过过滤层而留在纸内，颗粒大留着率高。

胶体吸附学说：认为填料在水中带负电荷，与阳离子助留剂、絮凝剂或铝盐作用，使颗粒表面形成阳离子电荷，留着在带负电荷的纤维上。

一般认为是两者双重作用的结果。颗粒较大的填料靠机械截留作用而颗粒较小的填料靠胶体吸附作用。

8.3.7 填料液的制备和使用

为了输送添加方便，一般需把填料制成悬浮液再加入到纸料中去，填料悬浮液的浓度为 10~20%。

1. 填料的加入方法和加入地点

间歇式加填位置：混合池

连续式加填位置：调料稀释箱出口、高位箱或流浆箱

2. 填料的用量：填料加入量有两种表示方法，一种是加入浆料中填料的量对浆料中纤维量的百分比；另一种为加入填料量与所生产的成品纸量的百分比，主要用于经济核算。

3. 填料用量的决定因素：纸张品种、浆料种类、填料本身性质、纸机车速和抄造条件。（填料用量是指加入填料对纤维质量的百分比，少至 2%，高至 40%以上，

多数为 10%~25%)

8.3.8 影响填料留着的因素

填料颗粒形状：非球形的和表面较粗糙的留着率较高。

浆料的打浆度：提高浆料的打浆度可以增加填料的留着率（纤维表面积增大）。

浆料的种类：较高吸收能力和较小尺寸的纤维具有较高的填料留着率。即细小纤维含量高，比表面积大的浆料。填料留着率的增加顺序大致为：棉浆>硫酸盐浆>亚硫酸盐浆>麻浆>磨木浆。草浆有利于填料的留着。

纸机的生产条件：纸张定量高，上网浓度大，留着率高；车速高，浆浓低，真空度大，网目大，填料流失大；网部用脱水板比用案辊填料的流失少。

白水回收和使用：白水封闭循环是提高填料留着率的重要途径。

助留剂的使用：可有效的提高填料的留着率。如硫酸铝、动物胶、阳离子淀粉、聚丙烯酰胺等。

8.4 染色和调色

8.4.1 染色和调色的目的与作用

为了生产颜色纸需进行染色。（染色）

生产白纸需对纸页进行调色，以使得每批产品的色调趋于一致。（显白）

对某些纸种，需要提高白度，因此需加入增白剂增白。（增白）

染色方法：包括浆内染色（间歇染色、连续染色）和纸面染色（浸渍法、压光法和涂布法）。

8.4.2 色料的种类和性质

颜料：有色的填料，多属天然无机物，不溶于水，与纤维无亲和能力，要依靠固色剂如硫酸铝的作用形成沉淀而固着在纤维表面取得颜色，着色的质量主要取决于其粒度及其在纸页上的分散。染色性能一般不如染料，且易产生染色的两面性。

染料：溶于水，着色质量好。分为天然染料与合成染料两类。造纸工业中主要使用合成染料，因其着色力强，价格便宜，易于操作。用于造纸的主要是碱性染料、酸性染料、直接染料三种，另外还有荧光增白剂。

8.4.3 几种常用合成染料的性质

直接染料：常用的有直接品蓝、直接湖蓝、直接黄、直接大红等。染色能力及

鲜艳度都远不如碱性染料，但耐热性、耐光性优于碱性染料和酸性染料。直接染料与纤维有较强的亲和力，能直接染色。适合不施胶的纸和吸收性纸种，染色 pH 值为 4.5~8，温度 50°C。

碱性染料：最常用的碱性染料，有盐基槐黄、盐基玫瑰红、盐基品蓝等。一般为阳离子型，很容易吸附到含有木素的纤维上，如机械浆、未漂硫酸盐浆和半化学浆上，但耐光、耐热性能不强，容易褪色。不宜使用硬水和带有碱性的水溶解，否则产生色斑。通常加入 1%的醋酸，pH 值在 4.5~6.5，用 70°C 以下的水溶解后使用。

酸性染料：常用的有酸性皂黄、酸性曙红、酸性品蓝等。着色力和色泽的鲜艳性不如碱性染料，但耐光耐热性能较好。与纤维没有亲和力，需借助于硫酸铝留着，通常用于施胶的纸，在加胶、加铝之前加入浆中。pH 值在 4.5~4.7 染色效果最好。混合浆的染色多用，不会产生色斑。

荧光增白剂：对纸浆的作用只是一种光学作用，并未对纸浆起漂白或染色作用。荧光增白剂的增白机理是它除了能反射可见光的光线以外，还能将紫外线反射为可见光，使所染物质在紫外线激发后产生紫蓝色荧光。从而抵消纸浆的淡黄色，而起了补色效应，对一定白度的纸浆产生了增白的效果。

8.4.4 荧光增白剂的使用

- 可视为阴离子型直接染料，它可不借助阳离子助剂而直接与纤维素纤维结合保留，应避免使用强阳离子助剂（如明矾）与荧光增白剂直接作用，以免降低增白效果。

- 只适用于漂白浆，对未漂浆、机械浆和白度低于 65% 的纸浆不起增白作用。

- 可应用于浆内、表面施胶和涂布，一般二磺、四磺用于浆内，四磺、六磺用于表面、涂布。

- 耐酸性较差，硫酸铝对增白有不利影响，浆料 PH 低于 5.4 时，增白效果下降。

- 在涂布使用时，与胶乳几乎无亲和力，一般需要高亲和力的粘合剂如淀粉、CMC、PVA 等作为载体而发挥作用。

- 使用过量，会造成纸张发绿。

- 有致癌性，食品包装纸禁用。

8.4.5 影响染色的因素

纸浆的性质：不同纸浆对染料有不同的亲和力。

打浆：有利于色料的留着，并增加了紧度和透光性，使色相加深。

胶料与硫酸铝：松香胶对着色有阻碍作用，硫酸铝促进酸性和碱性染料着色，对直接染料会降低着色效果。

填料：填料与染料有较强的亲和力，应在加填之前加入。

pH 值：各种染料均有适宜的 pH 值范围，必须严格控制。

其他助剂：纸浆中残留的氧化剂和还原剂对染色影响很大。

纸机生产条件的影响：车速高，染料留着差；干燥会造成变色；压光后颜色变深。

8.4.6 染色两面性及解决

染色两面性的原因：纸机的车速高，案辊和真空箱脱水剧烈，会降低染料的留着率；烘缸温度过高或纸页两面受热不匀，会使某些染料褪色或染料从粘缸的纸面转移到另一面。

改善两面性的主要途径：选择适当网目的造纸网；在纸料中加入碳酰胺树脂和酚醛树脂；染料必须在软水中溶化；控制好烘缸的温度曲线，干燥温度不要过高。

8.5 增强剂

8.5.1 纸张的结构

纸张具有层状结构，平面内纤维排列杂乱，相互交错，并以二维取向为主，层与层间的结合主要靠氢键和分子间力，但作用点数目远远小于层内。

据观察，定量 60 g/m^2 的纸页由大约 10 层纤维组成，层间少有纤维交织，主要靠分子间力结合。

纤维间的结合通过抄纸前的打浆作用得以加强，打浆主要是提高纤维的比表面积，增加纤维间的结合面积。

大量空气存在于各层纤维之间：纸的表观密度 $0.6-0.7 \text{ g/cm}^3$ ，约为纤维密度的一半，纸页中约 50% 是纤维，50% 是空隙。

提高纸张强度，提高纤维层之间的结合。

8.5.2 纸张的强度

纸页的强度指纸页承受各种机械力时的抵抗力：抗张强度、撕裂强度、耐折强度、抗弯强度、耐破强度、表面强度、内部结合强度等。

由于水的浸湿会对纸页强度造成较大的影响，所以将纸的强度分为“干强度”和“湿强度”，一般所指强度均为干强度。

纤维之间的结合是纸张产生强度的主要原因。

8.5.3 纤维之间的结合

氢键：因纤维素分子上含有大量的羟基，分子间和分子内都可产生氢键；氢键具有加和性，加合值远大于其化学键能。纤维间的主要结合力，约 80% 的强度由氢键结合产生。

离子键：阳离子电解质中的阳离子基团与纤维上的阴离子基团电离后形成离子键产生牢固的结合。

配位键：这种结合很少，原来的配位理论认为铝离子通过配位键分别与纤维和松香结合。

共价键：有机高分子可以直接和纤维形成醚键、酯键或其他牢固结合的共价键，如 PAE 的环氧基可和纤维羟基形成醚键。

范德华力：即分子间作用力，包括偶极力、诱导力和色散力。当分子间距小于 0.4nm 时，开始发生相斥作用；反之则发生吸引作用。在浆料中，各种添加剂之间的距离大于范德华半径，故分子间力是它们作用的主要形式。色散力是高分子作用的主要形式，且具有加和性。

物理缠结：纤维素属于刚性分子，基本呈直链型构象。长纤维之间不发生物理缠结，所以缠结主要是指加入的聚合物分子间的缠结，即柔性分子链相互缠绕，作用点可以滑移。当一条分子链运动时，可以带动其他分子链发生相应运动，并将应力传递到整个纤维网络上。

8.5.4 影响纸页强度的因素

浆料纤维本身的强度、纤维之间的结合强度、纤维之间的结合面积。

8.5.5 干强剂的分类及作用机理

1. 干强剂的分类及主要品种：

天然聚合物：淀粉及其改性物、壳聚糖及其改性物、植物胶等。

合成聚合物：聚丙烯酰胺、乙二醛聚丙烯酰胺等。

2. 干强剂的增强机理

(1) 提高纤维间的结合：氢键，羟基、胺基与纤维表面羟基形成氢键结合，增

加氢键的数目；静电吸附结合：阳离子基团与纤维上阴离子基团之间，阴离子基团通过铝离子与纤维形成静电结合等。

(2) 提高纤维分布均匀性：由此使纤维更加均匀地结合，导致纤维间及纤维与高分子之间结合点增加，从而提高干强度。

(3) 改善细小纤维留着和纸页滤水，从而有利于湿纸页的固化。

干增强剂可以增加纸中纤维间的结合力，因而提高以结合力为主的强度指标，如裂断长、耐折度、Z 向强度、挺度、表面拉毛强度、抗压强度等，但一般不能增加撕裂度，甚至会使撕裂度、压缩性、柔软度等降低。

8.5.6 淀粉类干强剂

淀粉是一种直链分子和支链分子的混合物，淀粉分子结构中的羟基基团在干燥过程中与纤维或者其他组分之间形成氢键，从而起到干强剂的作用。

淀粉的糊化：淀粉不溶于冷水，当淀粉和水的悬浮液加热时，随着温度的升高，淀粉颗粒的无定形区开始吸水膨胀，当达到某一温度时，高度膨胀的颗粒相互接触，在整个介质中形成连续体（半透明的粘稠糊状，称为淀粉糊），导致淀粉乳的粘度急剧增大，这一过程称为糊化。

在造纸过程中应用主要有湿部添加淀粉和纸张表面处理淀粉。

湿部添加淀粉，主要加入点由抄前池出口浓浆，也可在长网纸机网部水线附近喷入，或在叠网纸机复合辊前喷入。可糊化后加入，也可淀粉乳加入后在烘干部升温糊化。淀粉的使用主要影响纸张 Z 向强度（如耐破强度、环压强度），少量增加抗张强度。

8.5.7 主要淀粉类干强剂

阳离子淀粉：随着纸机车速变快，白水封闭程度变高，系统阴离子垃圾变多，阳离子淀粉与纤维的结合能力更强，留着率更高。

两性淀粉：因为同时带有阳离子和阴离子极性基团，两性淀粉可以在更宽的 PH 值范围内使用，阳离子基团可以和纤维直接作用，阴离子基团可以与其他阳离子助剂结合沉淀或通过 Al^{3+} 与纤维形成配合键，使两性淀粉能形成三维网络结构，增加纤维间结合的机会。

8.5.8 湿部淀粉的选择

淀粉的与阳离子化程度的选择要根据湿部条件而变，受到所需用量和浆料组成

的影响。根据经验，上网浆料的离子电荷及 Zeta 电位应在负值接近零（-1 ~ -5 mV）。

较高阴离子垃圾含量的浆料需要较高阳离子的淀粉；

高定量纸产品需要更高阳离子的淀粉；

较低的阳离子淀粉用量可以获得更好地成形匀度；

更快的纸机车速需要更高阳离子的淀粉；

较低的阳离子淀粉用量可以获得更好地成形匀度；

淀粉用量范围及功能：**0-0.4%的淀粉**：仅中和浆料中的阴离子垃圾，**0.4-1.6%的淀粉**：纸机运行良好，并与淀粉用量相关，**超过 1.6%**：开始出现纸幅脱水和干燥问题。

8.5.9 聚丙烯酰胺（PAM）干强剂

聚丙烯酰胺（PAM）树脂结构中的极性酰胺基团，能与纤维素上的羟基结合形成氢键，这些氢键的结合强度显著高于普通纤维-纤维间氢键结合力，当 PAM 树脂存在于纸页内纤维-纤维的接触点时，就会形成很强的纤维-PAM-纤维间结合键，从而提高纸张的干强度。加入点在浓浆处，与纤维充分混合反应。

非离子聚丙烯酰胺：在制浆中的留着率很低，一般很少直接加入纸浆中使用；

阴离子聚丙烯酰胺（APAM）：不能被纤维吸附，需要明矾的作用下才能发挥作用；高分子量的 APAM 可作为纤维分散剂；

阳离子聚丙烯酰胺（CPAM）：可直接定着于纤维上，具有较宽的 PH 试用范围，相对分子量为 50-100 万作干强剂，易形成较大絮团，影响纸张匀度，从而减弱增强效果；

两性聚丙烯酰胺：因为白水封闭循环程度的增加，两性 PAM 是现在主流的干强剂。

8.5.10 纸的湿强度

纸的湿强度是指干燥后的纸被水完全浸湿或饱和后，仍能保持的强度。

一般的纸的湿强度只能保留原有干纸强度的 2%-7%，经高度施胶的纸也只能保留 10%-12%，湿强纸能够保留 20%-50%。

纸页浸水后强度丧失的原因：

湿纸幅经脱水干燥后，产生了大量的内部纤维键合。由于氢键在内部纤维键合中起着重要的作用，纸幅也因此获得最大的强度。当纸页与水接触以及纤维—纤维

间结合被水—纤维间键合取代后，纸页将失去其结合强度。

8.5.11 湿强剂作用机理

保护原有的纤维间的结合。该机理认为，湿强剂在纤维周围形成一个交错的链状网络结构，阻止纤维的吸水润胀以保持原有的纤维间的氢键结合。例如 UF，MF，PAE。

产生新的抗水纤维结合键。该机理认为，湿强剂与纸浆纤维交联形成了新的共价键、氢键等抗水结合键，从而增加了纤维结合强度。例如 PEI、PAE。

部分湿强剂树脂分布于纤维表面，热固化后具有持久不变的不溶于水的性质，使纸页具有良好的湿强度。

8.5.12 几种常用湿强剂

MF 三聚氰胺甲醛树脂：只用于浆内增强，不用于纸面处理，一般用量为 1.5~3%。

UF 尿醛树脂：未改性的脲醛树脂是非离子型树脂，多用于表面施加，用量为 1.5~2%。亚硫酸钠改性的阴离子树脂用于浆内施加，需在较低的 PH 和硫酸铝存在下使用。胺基改性的脲醛树脂是阳离子型树脂，能较好地吸附在纤维上，获得与三聚氰胺类似的增湿强效果。

PAE 聚酰胺环氧树脂：阳离子型树脂，添加到浆料后会很快被纤维吸附，因此应特别注意搅拌均匀，PAE 同时还起到助留剂的作用。

PEI 聚乙烯亚胺：阳离子型树脂，湿强效果不如热固化树脂，多用于生活用纸和滤纸的增湿强度，用量为 1~2%。

8.5.13 影响湿强剂留着和增湿强效果的因素

● 纸浆打浆的影响：提高打浆度有利增湿强效果。湿强剂的留着与纤维的表面积增加成正比。

● 加入地点的影响：要综合考虑湿强剂充分的吸附留着和其他助剂的影响。

● 酸碱性的影响：不同湿强剂要求 PH 不同。

● 干燥过程熟化时间的影响：热固性树脂的固化熟化缓慢，离开干燥部约需要 10~15 天才能熟化完成。

8.5.14 湿强纸的再碎

●脲醛树脂 UF 和三聚氰胺甲醛树脂 MF 增强的纸张需要在酸性 pH 和较高的温度（如 3.5-4.5 和 90°C、10-20min）下再次成浆。

●PAE 树脂增强的纸张需要和次氯酸盐一起在碱性条件下（pH 为 10）下再成浆。

●暂时性湿强剂（双醛淀粉 DAS 和乙二醛）树脂增强的纸张，很容易再碎。

8.6 助留助滤剂

8.6.1 助留、助滤

助留是提高填料和细小纤维的留着，助滤是改善滤水性能，提高脱水速率，多数情况下二者是同时进行的。

1. 助留和助滤的作用

- （1）提高填料和细小纤维的留着率，减少流失，改善白水循环，减少污染；
- （2）改善纸页的两面性，提高纸页的印刷性能；
- （3）提高网部脱水能力，适应纸机车速的提高。

2. 助留助滤对纸页成形的影响

- （1）助留助滤作用影响纸页的匀度；
- （2）浆料湍动会影响助留效果：过大效果差；
- （3）助留助滤剂加入方法和地点的影响：多选旋翼筛的出口、高位稳浆箱出口或流浆箱。

8.6.2 助留、助滤剂的种类

无机盐类：只起助留作用，效果差。主要有硫酸铝、聚合氯化铝等。

天然有机聚合物类：阳离子淀粉、CMC、阳离子瓜豆胶和壳聚糖等，效果不明显且用量大。

高分子聚合物类：可分为非离子型、阳离子型、阴离子型和两性型等四类。其代表是聚丙烯酰胺类聚合物。此外，还有聚胺（PA）、聚乙烯亚胺（PEI）、聚酰胺（PPE）和聚环氧乙烷（PEO）等。

8.6.3 助留机理

Zeta 电位电荷中和机理：纸浆和大多数填料具有负电荷表面，加入阳离子助留剂后，将其电荷逐渐中和，减少了纤维与填料的排斥力，当 zeta 电位接近零时，细

小纤维和填料沉积在纤维上，从而得到了较好的吸附和留着。

镶嵌机理（补丁机理）：阳离子型聚合物的强阳电荷抢先吸附带负电荷的填料和细小组分，形成带正电荷的小区域，然后再吸附与带负电荷的纸浆纤维上，从而产生镶嵌留着。

桥联机理：具有足够链长的高分子聚合物，可在纤维、填料粒子等空隙间架桥，并形成凝聚。

8.6.4 助滤机理

电荷中和：阳离子型助留助滤剂能降低纤维、填料等的表面电荷，致使纤维和填料中充满水的结构受到破坏，使其表面定向排列的水分子被扰乱而容易释放出来。

凝结与絮聚：阳离子型助留助滤剂能促进纤维和填料凝聚，使纤维和填料的比表面积降低，结合水量减少，并减少了湿纸页微孔结构的堵塞，而加速了脱水作用。

8.6.5 常用助留助滤体系

1. 单元助留体系：单阳离子聚合物（CPAM），聚丙烯酰胺直接加在压力筛的出口，形成大的絮团后，直接上网，这将引起很多问题。

（1）纸张匀度变差；

（2）出现浆块的几率大大提高，引起断纸，影响纸机的正常生产；

（3）单元助剂用量达到一定量，再增加就会影响产品质量和生产，无法控制白水浓度。

2. 微粒体系：阳离子助留剂加入至纸料体系中时，助留剂以链圈、链尾的形式吸附至纸料粒子表面，并以桥联形式引发纸料的初始絮聚，所形成的初始絮聚体再经高剪切作用破碎成小碎块，暴露出更多的阳离子吸附点。加入负电性微粒后，微粒吸附至阳离子助流剂链圈链尾之间，将细小碎块重新连接起来，形成尺寸更小、结构更为致密的微小絮块，从而在提高纸料留着率的同时，也显著改善了纸料的滤水性能及成纸的匀度。

3. 双组分体系：可由两种带不同电荷密度和分子量的阳离子聚合物组成；也可由低分子量高电荷密度的阳离子作为凝聚剂（电荷中和剂），再用高分子量低电荷密度的阴离子聚合物作为絮凝剂来完成保留和脱水的功能。

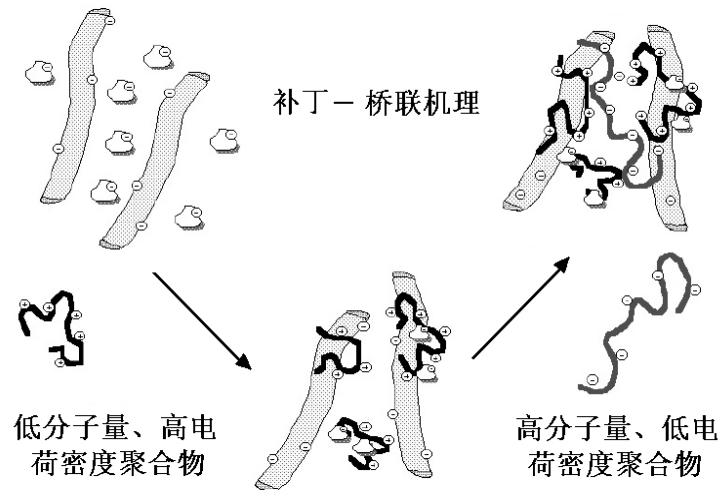


图 8-5 补丁-桥联机理

8.6.6 助留、助滤剂

用以提高造纸过程中纤维物和填料留着率的化学品。

由于打浆作用形成细小的纤维、加入填料和其他化学品均(细小组分)会在浆料和白水系统中生成纤维物，纤维物在造纸机和湿部系统中起重要作用，如不稳定控制将会使纤维、填料等大量流失，增加原料消耗，且使成纸质量下降或波动。

作用机理：一般是通过胶体吸附和机械截留来实现。

8.7 其他化学品

8.7.1 消泡剂

1. 泡沫的产生：使用洗涤不良的纸浆或不合理的施胶、在酸性系统中使用碱性填料、过量不当的浆内添加剂、不合理的供浆系统（混入空气）。气泡存在于纸料表面、分布于纸料液中、吸附于纤维上或溶解于水中。

2. 纸浆中气泡的危害：降低浆料滤水速度、造成纸页针眼；降低纸幅初始湿强度，引起纸页断头，影响纸机操作。

消泡剂一般有疏水性的例子为主要消泡介质，并分散成乳液形式，能在空气-水界面迅速传播开，而疏水性粒子引起分布比较薄的水膜破裂，因此泡沫消除。消泡介质主要有：

- (1) 油基消泡剂如矿物油等；
- (2) 有机硅消泡剂；
- (3) 表面活性剂类如聚醚类，用在纸机上使用时有一个最佳用量，且在一个确

定的温度区间消泡效果最好；

(4) 乳化剂包括脂肪醇乳液等，在中等温度下消泡效果最好。

8.7.2 杀菌剂

1. 微生物带来的问题：

(1) 形成腐浆团块，脱落引起纸张缺陷（纸斑和洞）或断纸，堵塞筛网和毛毯、堵塞喷淋水口，增加清理停机时间；

(2) 产生有毒气体和气味；

(3) 改变 pH 值等体系参数，影响纸机运行；

(4) 造成原料浪费等。

2. 杀菌剂的添加方式：

(1) 连续式：维持杀菌剂浓度的稳定，防止细菌繁殖；

(2) 间歇式：定期添加一定量杀菌剂，保证瞬时杀菌剂浓度，保证杀灭效果。

3. 杀菌剂的种类：

(1) 表面活性剂类

表面活性剂的阳离子基吸附于微生物的细胞壁破坏细胞壁内的某种酶，与蛋白质发生某种反应并影响微生物的正常代谢过程，最终导致微生物死亡。

(2) 有机杀菌剂

目前主要用有机硫、有机溴和含氮硫杂环化合物，典型产品有异噻唑酮类、亚甲基双硫氰酸酯和 2, 2—二溴氰基丙酰胺等。代表性产品是亚甲基双硫氰酸酯，简称 MBT。MBT 具有很强的杀菌作用，对细菌、真菌、藻类均具有明显杀菌作用。

第 9 章 造纸工艺-制浆造纸行业发展趋势

9.1 制浆造纸行业发展现状

9.1.1 造纸行业发展现状

纸和纸板的消费水平是衡量国家现代化水平和文明程度的重要标志。经济发达国家（如美国、加拿大、日本、芬兰、瑞典等）均拥有发达的造纸工业，长期以来一直是本国十大产业之一。近 20 年来，新兴的发展中国家（如中国、巴西、印度等）造纸工业也得到了较快的发展、产品包装和国防工业都有着重要的影响。随着国民经济的持续快速健康发展，造纸行业市场越来越大，加快发展具有重要的战略意义。

随着中国经济的持续发展，不断拉动对纸张的需求，为我国造纸行业的发展提供了广阔的空间。目前，中国已成为国际上重要的造纸生产和消费国，自 2009 年以来，中国造纸产量和消费量一直位于世界首位。

9.1.2 市场规模与现状

造纸行业规模持续增长，供需基本平衡。数据显示，纸及纸板的生产量和消费量从 2015 年 10710 万吨和 10352 万吨增至 2019 年 10765 万吨和 10704 万吨。预计 2020 年和 2021 年依然会保持稳定增长，供需平衡的状态。

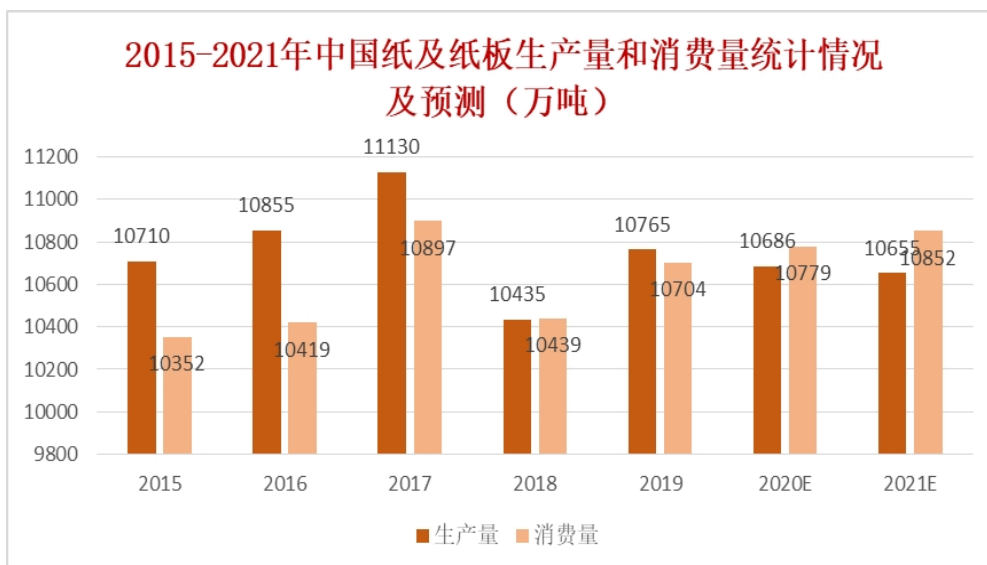


图 9-1 2015-2021 年中国纸和纸板情况

数据显示，2019 年中国纸及纸板的消费量中箱纸板占比最高为 22.45%，其次是瓦楞原纸和未涂布印刷书写纸分别为 22.18%和 16.34%。因瓦楞包装产品符合绿色消

费标准，未来将会有很大的市场空间。

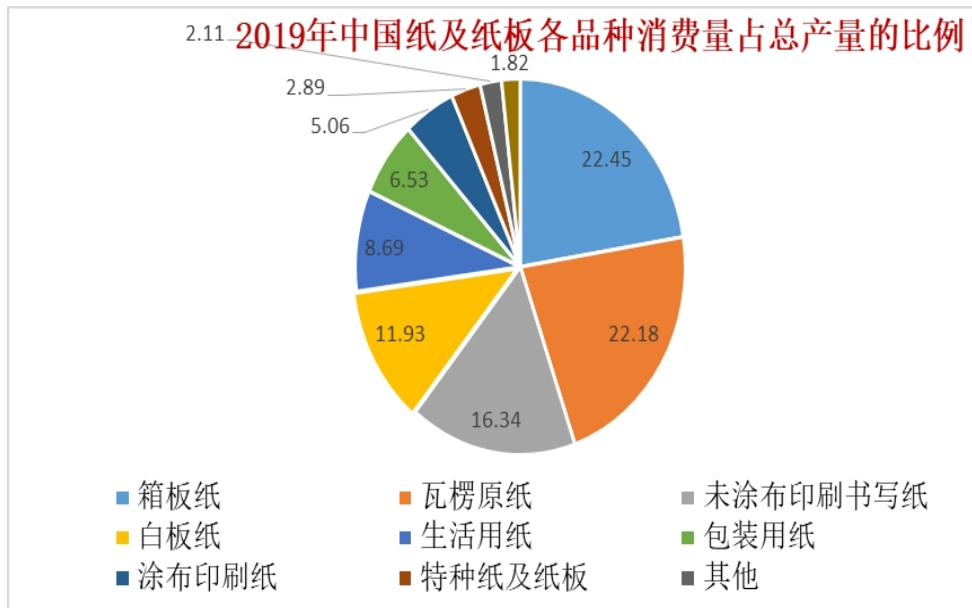


图 9-2 2019 年中国纸和纸板情况

随着造纸原料政策和区域政策的调整，我国造纸工业逐步实现自西向东推移并优化产业布局。从东西部产业布局来看，东部地区产量占比进一步提升。2019 年纸及纸板产量超过 100 万吨的省份有 17 个省（市），产量合计达 10,412 万吨，占全国纸及纸板总产量的 96.72%；其中，产量最大的广东、山东、浙江三省总量占全国的 47.59%。

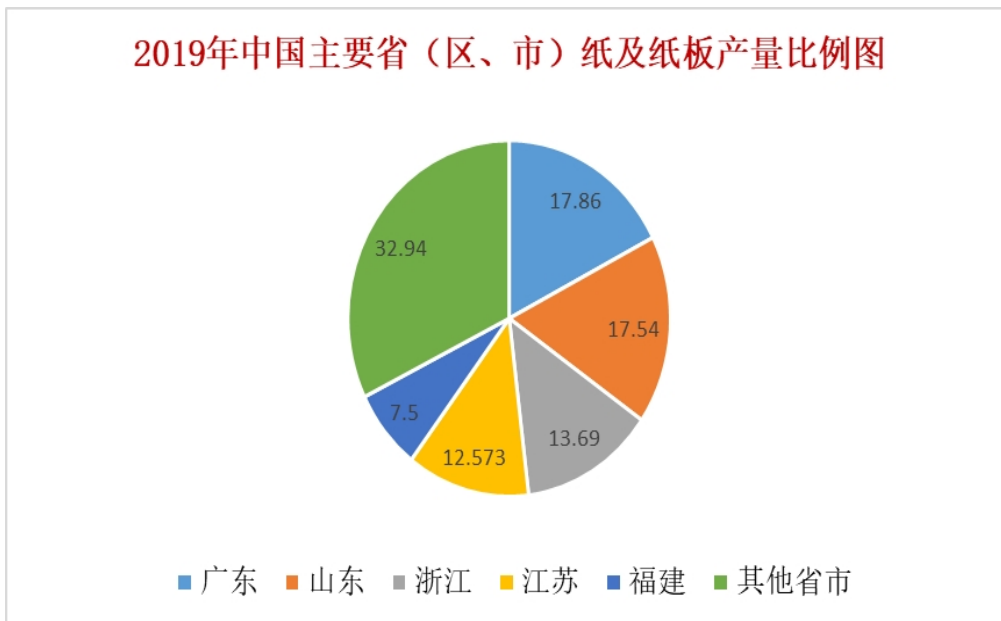


图 9-3 2019 年中国主要省地纸和纸板产量

9.2 造纸行业的发展趋势

9.2.1 制浆造纸行业的发展趋势

1. 在线销售的增长

在线销售正在增长，特别是中国和美国这两个最大的市场，预计这一趋势将在2021年得以继续。在线购物需要包装方面的创新，以优化货架上的产品展示，这将推动对原材料和瓦楞纸箱的更高需求。在交货时间较短的情况下，产品数量交付有所增加，这包括当日和次日的产品交付服务。这使得生产要在保证质量的前提下更快地提供服务。

2. 更高的包装需求

近年来，在线购物的增长导致包括中国、日本、欧洲国家和美国在内的全球市场对各种包装产品的需求将保持稳定或增长，纸浆及造纸行业长足发展的优势之一也受益于对包装产品的需求一直在增长。

3. 大数据的使用

纸浆及造纸行业的另一趋势是大数据的使用，这可以满足分析行业趋势和优化生产、营销和销售结果的需求。在生产过程中还使用了新技术，包括智能系统和连接的设备，以提高产量。这些功能将继续发展，例如评估纸浆及造纸行业状况和质量的智能系统。分析甚至被用于评估可以砍伐的树木的数量和生长量。大数据的使用预计将在2021年及以后的几年中扩大。

4. 数字革命

尽管数字革命并未破坏纸浆造纸业，但确实需要在战略上做出重心的调整。部分从业者已经采取了一些改变，其中涉及利用各种功能来满足市场不断变化的需求。为了优化生产率实施新技术，以获得更快的速度和更高的质量。

5. 轻质包装

包装的克重产生了变化，对某些产品来说显而易见。这是因为引入了轻巧的包装，并由此产生了许多好处，对于包括奢侈品牌在内的所有级别的包装产品都是如此。轻质包装的好处之一是，它可以通过削减开支来支持企业的发展；轻质包装降低了纸浆成本，减少了碳排放，并削减了运输成本，当然这些也只是众多好处中的一部分。

6. 可回收产品

对于多数消费者来说，纸浆及造纸产品的回收能力是他们着重关注的，这带来了挑战。比如：某些产品所含的涂料是防水的，并且存在回收问题，针对此，企业在推动使用可回收利用的防护涂料及其他更利于回收的方案及举措，这种趋势将在2021年及以后进一步发展，并为纸浆及造纸行业提供了许多未来的机会。

7. 卫生用品包装

纸浆和造纸工业将继续存在的另一趋势是卫生产品的增长和随后对包装的需求。这包括卫生纸、湿巾和纸。增长的部分原因是消费群体增加了对这些物品的购买量。纸浆及造纸行业的制造商已经通过调整生产，以适应日益增长的卫生产品包装数量。

8. 热包装市场增长

热包装市场的增长与食品配送服务的扩展有关。特别是提供送餐选择的餐馆数量有所增加，而且第三方送餐服务提供商也在激增。这产生了对热包装的需求。只要消费者期望将热食品迅速送到家中，纸浆和纸张的热包装市场就会蓬勃发展。随着电商的不断发展，这一领域将出现许多可能性和机遇。

9. 食品包装

食品包装在不断发展。近年来，人们越来越对耐油脂的包装产品产生兴趣，目前，这类产品可用于各种包装商品和餐馆。用于生产抗油脂包装的材料正在发生变化，以消除含氟化合物，并用不含任何化学物质的天然替代品来代替它。制造商将继续在这一领域进行创新和发展，以适应法规要求并满足当前的行业需求。

10. 反塑料情绪

全球都在为减少或消除在包装中使用塑料而做出努力。这种反塑料情绪对纸浆及造纸行业是有益的，因为它鼓励了可生物降解的替代品。实际上，正在探索使用基于植物的原材料。这由政府机构和具有健康意识并致力于寻找环保选择的消费者共同推动。简而言之，与塑料有关的问题在纸浆和造纸工业中带来了巨大的机会。替代产品的发展将持续到2021年及以后，尤其是与禁止一次性塑料产品有关的发展。

9.2.2 对我国造纸行业发展的建议

1. 加大废纸回收力度

采取高效形式的废纸回收与利用，对造纸行业的循环发展大有裨益。比如安徽山鹰股份有限公司这几年一直致力于发展循环经济，加强资源的综合利用，大力扶持对废纸的回收利用，倡导“绿色消费”，是安徽省第一批循环经济示范单位，例如，

截止到 2016 年底，该公司已经建立了覆盖 20 余个城市的原料回收网络和铁路专用线，生产的环保低碳纸箱收到客户的一致好评。另据报道，山东太阳控股集团有限公司近年来加大研发投入，积极开展技术创新和节能减排，该公司的原料结构是全木浆，生产的产品质量优异，该公司造纸耗水量达到世界领先水平，生产文化用纸和白卡纸的耗水量远低于国内同行。除此之外，还有一些规模企业，改变生产观念，变被动为主动，加大对废弃物进行综合利用的投资，从而形成了新的增长点。以上这些企业在实现废物高效回收利用的基础上，都获得了可观的经济效益，值得中小企业学习和借鉴。

2. 减少造纸企业的废水排放

作为耗水量大户的造纸企业，产生的废水量同样很大，所以造纸企业需要按照国家环保要求，引进国外先进技术、同时加大科技投入，从而使得生产用水可以达到循环利用的效果，达到废水“零排放”，实现生态效益和经济效益双赢。

3. 管理创新与制度创新的有机结合

企业的管理创新非常重要，制度创新也非常重要，两者都必不可少。我国企业的发展，基本上是在市场经济条件下真正开始的，从我国加入 WTO 以来，我国造纸企业面临与国外造纸企业的竞争和对比，我国造纸企业需要在制度创新与管理创新方面学习和借鉴国外先进的经验，并与我国的基本国情相结合，以达到创新的目的。

4. 坚持走循环经济之路

从国外循环经济发展的经验来看，造纸企业大多采用林纸一体化的发展模式。我国的造纸企业虽然经过多年发展取得了很大成绩，但是与国外发达国家相比还是有一定的差距。因此我们必须严格执行相关的法律法规、坚持科学发展、加快转变经济增长方式，确保造纸企业循环发展。只有这样做才能实现我国造纸企业的发展目标。

9.3 造纸工业绿色可持续发展

近年来，为贯彻落实《中国制造 2025》，工信部先后发布了《绿色制造工程实施指南（2016-2020 年）》、《绿色制造标准体系建设指南》等，大力开展绿色制造体系建设。中国造纸院所属全国造纸工业标准化技术委员会（以下简称造纸标委会）积极推进造纸行业绿色制造标准体系建设，先后起草完成了《制浆造纸企业综合能耗计算细则》、《造纸企业水平衡计算方法》等 6 项造纸绿色标准。按照工信部绿色制

造标准制修订计划，造纸标委会目前正在开展的绿色制造标准项目见下表。

表 9-1 目前正在开展的绿色制造标准项目

序号	标准名称	标准性质	标准进展
1	制浆造纸行业绿色工厂评价要求	团标/行标	起草中/已申报
2	制浆造纸行业节能诊断技术导则	团标/行标	起草中/已申报
3	绿色设计产品评价技术规范 文化办公用纸	团标	起草中
4	绿色供应链管理评价规范 造纸工业	行标	已申报
5	绿色设计产品评价技术规范 食品接触用纸及纸制品	行标	已申报

9.3.1 国家政策层面

1. 正确认识，正面宣传

各级政府应通过正面宣传正确评价我国造纸行业进行绿色可持续发展的重要性；以 CM 纸业集团为标杆，同时将造纸企业等同于污染的负面理念加以转变；使各级领导及群众意识到被关闭的制浆造纸企业是不符合国家相关规定的，不能代表整个制浆造纸行业；对于 CM 纸业集团这种国际领军行业，国家要大力宣传和推广。

2. 制定废纸回收优惠政策

应提高全民环保意识，积极进行垃圾分类工作。同时政府尽快完善相应的回收政策标准和回收系统，制定鼓励国民使用国产废纸的税收优惠政策。

3. 污染物排放标准制定应符合我国国情

我国针对制浆造纸行业污染物排放标准中的某些规定，如关于碳排放的固定已经超过了某些发达国家，而为我国大部分造纸企业不论从管理理念还是从生产设备工艺上都明显落后于发达国家，这种污染物排放标准不科学，缺乏可操作性。而关于某些有毒有害物质的排放例如 AOX 及其污染物的排放又明显与发达国家有非常大的差距，对该类型污染物排放的忽略又反映出我国在制定相关标准时存在较大的漏洞。因此，污染物排放标准的制定应科学、缜密，同时要符合我国国情。

4. 加强调查，强化执法力度

对于认真贯彻执行我国排放标准的制浆造纸类企业应给予政策上的支持；对于

某些有意愿进行改造，又欠缺相应能力的企业应给予技术、资金等方面的扶持；对于既不执行排放标准又不进行改造的企业，应加大执法力度，不能以罚代管。

9.3.2 生产工艺层面

1. 水污染排放控制技术

绿色制造开展良好的制浆造纸企业，通常会将水处理分为清水处理和污水处理两部分：

(1) 清水处理车间，主要通过净水站、动力化水、化学预处理、除盐、软化等工艺负责向整个企业提供生产和消防用水；

(2) 污水处理车间，将企业各个车间排除的污水导入水泵站和热交换器进行冷却后，通过初沉池重力沉淀、中和进行 pH 调节、曝气池生物处理、二沉池泥水分离、Fenton 系统、气浮脱色处理和污泥处理，使出水达到我国国家及地区的相关排放标准。

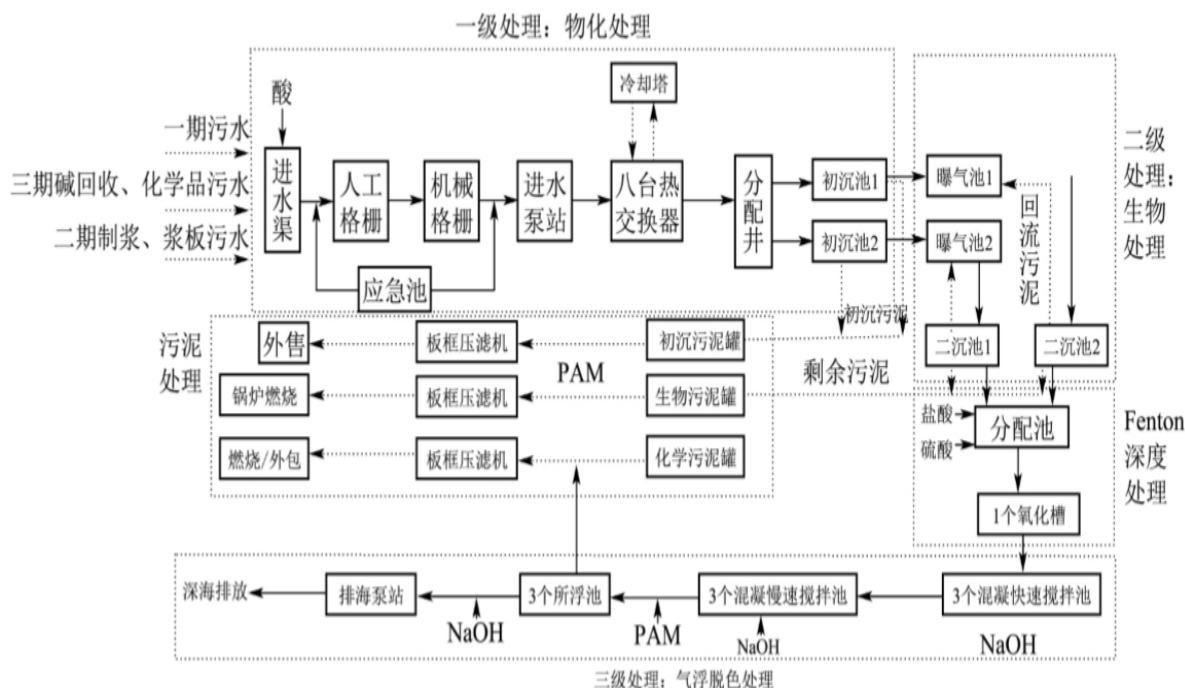


图 9-4 制浆造纸水加工工艺

2. 固体废弃物排放控制技术

通常情况下，制浆造纸企业的固体废弃物及绿色制造处理方式包括：

(1) 木屑，通过采购木片经皮带机对木屑废料进行筛选，对于符合纸板厂使用要求的合格木片或大木片进行搜集，统一出售纸板厂，对于其余木屑则与初污泥

等进行混合焚烧发电。

(2) 绿泥、消化石灰渣，送固废填埋场填埋处理。

(3) 锅炉煤灰渣，可用于水泥厂生产水泥，应全部出售。

(4) 污泥，由于污泥中含有大量的有毒有害物质，世界各国基本已经明令禁止直接将污泥进行填埋处理，初沉污泥中含有较多的纤维，三级气浮污泥主要成分为难以进行脱水处理的黏泥，因此可以合并配合木屑进行焚烧发电，据相关企业统计，该技术进行污泥处理可以减少污泥排放约 6 万 t/年，减排有机质固废 6.2 万 t/年。

(5) 白泥综合利用，可采用“蒸发—碱炉—苛化—石灰窑”四个步骤进行循环处理，后经过盘式过滤机进行过滤后煅烧，得到生石灰重新进行使用。

3. 节能低碳生产技术

(1) 从制浆蒸煮工段分析，可以选择最先进的紧凑蒸煮技术，该技术是改良的连续蒸煮技术，能够在更低的温度下，根据原材料的不同进行预浸和蒸煮，同时在加工过程中能够改变业比帮助企业获得最佳的用碱量。据研究分析，采用该方法进行制浆蒸煮，能够有效节约蒸汽 50%以上。

(2) 从黑液提取工段分析，可以选择采用多段逆流洗涤和封闭筛选工艺节省蒸发工段的蒸汽。据研究分析，采用该方法进行黑液提取能够提高 99%以上的提取率，同时提取的稀黑液浓度也比传统工艺更高。

(3) 从浆板机压榨工段分析，可以选用靴形压榨方式进行压榨。该模式具有更宽的压区，能够帮助工段获取更好的脱水能力。采用该方式进行浆板机压榨能够使压榨后的湿浆干度超过 50%。

(4) 选择使用更为先进的碱液循环利用技术，提升生产系统的碱回收率，节省企业资源。

9.4 对造纸行业技术发展趋势的预测

随着网络购物和电子商务的蓬勃发展，互联网对消费者行为的影响日渐扩大，人们越来越习惯于网上购物等消费模式。而 2020 年年初开始的新冠肺炎疫情更是助推了这一趋势，电子商务的发展无疑刺激了对更多包装纸板的需求，以用于安全、可靠的快递包装。因此，包装纸板技术的飞跃将是未来行业关注的重点之一。同时，广告从纸质媒体向电子媒体的转移正在侵蚀着市场对文化纸和新闻纸的需求。

未来十年，纸张和纸板的数字化技术至关重要，其中许多技术是相辅相成或相

互支持的，因为企业正在努力提高造纸效率和精度，并接受工业 4.0 概念。例如，智能制造、人工智能、机器学习、大数据分析等技术都将成为造纸行业与时代接轨所需的先进技术。

随着各国政府和品牌商逐渐减少使用不可回收材料，纸和纸板取代塑料是行业的一个关键机会。纸张供应商正在通过新的等级来实现产品组合的多样化，以便使用纸类包装取代不可回收的塑料，因此，生物基材料开发的可回收涂层技术将成为行业亮点之一。

从长远来看，行业还需要进一步实现包装板的轻量化，整合纤维素纤维（CF）和微纤维素（MFC），以提高强度，同时减轻整体重量。此外，利用牛皮纸木质素的独特性能生产的新产品也将有发展空间。



世纪阳光
Century Sunshine

《制浆工艺理论》

(内部资料，请勿外传)

课程类别：工艺

教材类型：基础理论

教材编码：GY-02

部 门：生产技术部

山东世纪阳光纸业集团有限公司

前言

《制浆工艺理论》是制浆造纸工程专业的一门必修课，通过本课程的学习，可以掌握制浆过程的基本概念，基本原理、计算、工艺流程及设备，系统学习原料、备料、蒸煮或磨浆、筛选、净化及漂白、废液处理各部分的基本原理与现代工艺技术，掌握制浆造纸专业的国内外最新动态，为从事制浆造纸生产和科学研究工作打下良好的基础。第一章主要内容为了解目前我国制浆造纸工业面临的纤维原料状况；掌握植物纤维原料的分类、细胞种类、纤维形态和化学组成，掌握选择原料的原则。第二章主要内容为了解原料备料的生产流程，掌握木材及草类原料的流程、设备及工艺参数；了解化学法制浆的常用方法及流程，掌握碱法及亚硫酸盐法制浆的流程、设备、工艺参数及计算；了解机械法、化学机械法、半化学法制浆的分类和生产流程、存在问题及其发展方向；了解纸浆的洗涤、筛选与净化的目的和作用；了解废液的组成与性质、废液回收方法和流程以及废液回收新技术新方法的评述。第三章主要内容为了解废纸种类、废纸回用的意义及再生纤维的特性；重点掌握废纸制浆的每一个具体工段，如碎浆、除渣、洗、选、漂等，以及废纸脱墨的主要方法和工艺流程。第四章主要内容为掌握打浆工艺，包括打浆方式、打浆作用、打浆机理、打浆过程、打浆影响因素、打浆设备等。第五章主要内容为了解制浆过程中所用到的化学助剂，重点了解漂白助剂和脱墨助剂。

本教材供世纪阳光纸业集团有限公司阳光培训学校教学和内部员工

自我学习之用，请勿外传！

由于编者学识水平有限，错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正！

编者 2021 年 7 月

目 录

第 1 章 植物纤维化学	1
1.1 植物纤维原料的分类及特点.....	1
1.1.1 木材纤维类.....	1
1.1.2 禾本科茎秆纤维类.....	2
1.1.3 韧皮纤维类.....	4
1.1.4 叶纤维类.....	4
1.1.5 棉花及棉短绒.....	5
1.1.6 废纸.....	5
1.2 植物细胞壁的微细结构.....	6
1.2.1 细胞壁(layer)的层状结构.....	6
1.2.2 微细纤维的精细结构.....	7
1.2.3 各主要组成在细胞壁中的分布.....	9
1.3 植物纤维化学成份.....	12
1.3.1 纤维素.....	13
1.3.2 半纤维素.....	16
1.3.3 木素.....	17
1.4 植物纤维形态对制浆造纸性能的影响.....	19
1.4.1 纤维基本形态.....	19
1.4.2 纤维形态对纸张性能的影响.....	22
1.4.3 纤维形态的检测.....	24
第 2 章 制浆基本原理与工艺	25
2.1 备料.....	25
2.1.1 原料的贮备.....	25
2.1.2 木材原料备料.....	28
2.1.3 草类原料备料.....	33
2.2 不同制浆方法.....	37
2.2.1 高得率制浆.....	37
2.2.2 化学法制浆.....	46

2.3 制浆过程.....	56
2.3.1 纸浆洗涤.....	56
2.3.2 纸浆筛选与净化.....	64
2.3.3 漂白.....	68
2.4 废液回收与利用.....	71
2.4.1 废液性质.....	71
2.4.2 碱回收流程.....	72
第 3 章 废纸制浆工艺概述.....	78
3.1 废纸种类及质量特性.....	78
3.1.1 废纸回用的意义.....	78
3.1.2 废纸的种类与组成.....	80
3.1.3 再生纤维的质量特性.....	82
3.2 废纸制浆处理工艺流程.....	87
3.2.1 碎浆和除渣工段.....	88
3.2.2 筛选、洗涤和浓缩工段.....	94
3.2.3 分散与揉搓工段.....	98
3.2.4 漂白和精浆工段.....	102
3.3 废纸脱墨工艺流程.....	104
3.3.1 废纸脱墨的主要方法.....	104
3.3.2 废纸脱墨工艺流程及其设备.....	107
3.3.3 影响油墨脱除性的因素及脱墨效果评价.....	110
3.4 废纸胶粘物及其控制.....	112
3.4.1 胶粘物的来源及物化性质.....	112
3.4.2 胶粘物的危害与分类.....	115
3.4.3 胶粘物的检测及其控制方法.....	116
第 4 章 打浆工艺基础理论.....	125
4.1 打浆方式及主要作用.....	125
4.1.1 打浆方式.....	125
4.1.2 打浆的主要作用.....	126
4.1.3 打浆对成纸性质的影响.....	128

4.2 打浆的机理及过程.....	128
4.2.1 打浆机理.....	128
4.2.2 打浆过程.....	130
4.3 打浆影响因素及质量检查.....	131
4.3.1 打浆的影响因素.....	131
4.3.2 各种浆料的打浆特性.....	135
4.3.3 打浆的质量检查.....	136
4.4 打浆设备及能耗表征.....	138
4.4.1 打浆设备类型.....	138
4.4.2 打浆能耗.....	140
第 5 章 制浆化学品.....	141
5.1 蒸煮助剂.....	141
5.1.1 蒸煮助剂定义及分类.....	141
5.1.2 无机蒸煮助剂.....	141
5.1.3 有机蒸煮助剂.....	144
5.2 漂白助剂.....	146
5.2.1 漂白助剂的定义及分类.....	146
5.2.2 无机漂白助剂.....	147
5.2.3 有机漂白助剂.....	150
5.2.4 生物漂白助剂.....	152
5.3 脱墨助剂.....	152
5.3.1 脱墨剂的定义及分类.....	152
5.3.2 废纸脱墨的影响因素.....	153
5.4 其他制浆助剂.....	155
5.4.1 消泡剂.....	155
5.4.2 絮凝剂.....	156

第 1 章 植物纤维化学

1.1 植物纤维原料的分类及特点

“纤维”在制浆造纸工业中是指长宽比较大，纤细的丝状物。由于其形态的特征，容易相互交织而形成纤维薄层，即我们通常所说的纸页。造纸工业纤维主要来源于植物纤维原料。纤维是构成植物纤维原料的主体，也是制浆中力求得到的成分。目前应用于制浆造纸的纤维原料种类繁多，以造纸工业原料的传统分类方法，造纸植物纤维原料可分为以下几类：

1.1.1 木材纤维类

木材纤维类主要分为针叶材和阔叶材两种。

① 针叶材 (softwood)

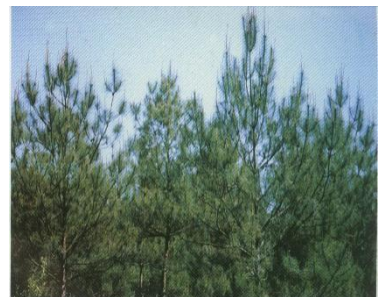
种子植物门裸子植物亚门(Gymnospermae)，这类植物的叶子多呈针状、条状或鳞型，材质比较松软，纤维较长。代表植物：松、柏、杉等。



水杉



云杉



马尾松

图 1-1 常见的针叶木材

针叶木又称软木，木质部有 95%左右的管胞，其余 5%左右髓线细胞及树脂道。针叶木的杂细胞少，且一般都在洗涤、抄纸时流失。针叶木浆纯净，纤维长且宽，适于制造高强度纸张及纸板。针叶木纤维形态管胞的长度在 1.1~5.6 毫米之间，大多数为 2.0~3.2 毫米，宽度在 0.03~0.075 毫米。

春材：管胞胞腔大、壁薄、两端圆钝，纹孔多且大。秋材：管胞两端尖锐、胞腔窄，壁厚。在数量上春材管胞占木材的 60~63%，秋材管胞占 20~30%。春材与秋材分界线明显。春材管胞壁薄腔大，秋材管胞壁厚腔小。

② 阔叶材 (hardwood)

种子植物门被子植物亚门(Angiospermae), 叶子多为宽阔状, 材质坚硬, 称之为硬木, 造纸工业中使用的是材质较松软的品种, 如杨、桉、柳、楸木、相思木等。

阔叶木又称硬木。与针叶木不同, 木质部有较多的导管, 故称为多孔材。阔叶木中含木纤维 43%~70%, 导管 20%~40%, 木射线 10%~20%, 薄壁细胞 2%~13%。阔叶木的纤维长度在 0.7~1.7 毫米, 大多数在 1.3 毫米左右。宽度在 0.02~0.04 毫米, 导管长度一般为 0.4~0.8 毫米。

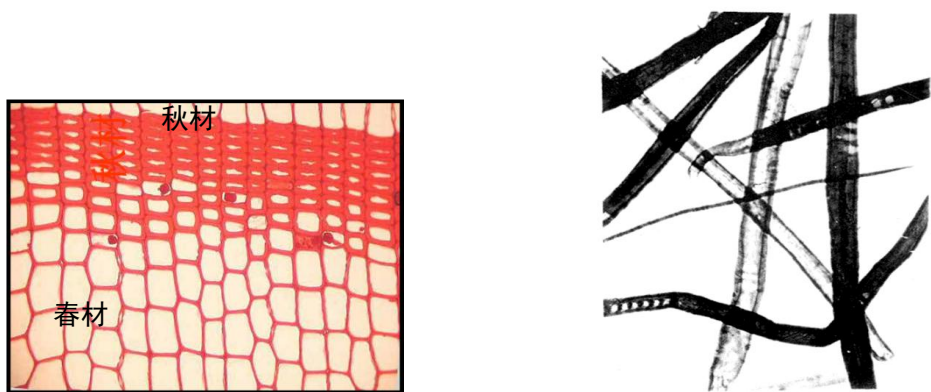


图 1-2 针叶木的细胞壁结构与纤维形态



三倍体毛白杨

尾叶桉

马占相思

图 1-3 常见的阔叶木材

1.1.2 禾本科茎秆纤维类

(一) 禾本科植物纤维的微细结构

禾本科植物多数为一年生植物。主要包括草类、竹类等。我国地处温带、亚热带, 这类植物非常丰富。目前, 由于废液处理困难, 污染重, 因此占我国造纸工业所用植物原料的比重变化较大。

草类原料 P 层结构松弛, 微细纤维无规则排列。纤维细胞 S1 与 S2 层结合紧密, 要脱除 S1, 必须对纤维进行较强的机械处理, 必然损伤纤维的长度和强度, 因此,

草浆打浆叩解度一般不超过 40 °SR。常用的禾本科植物纤维原料主要分为以下几类：

1. 芦苇

芦苇的纤维短而细，大部分为 0.95~1.52 毫米，宽度大部分为 0.009~0.019 毫米。长宽比为 95 左右。但与木材不同，细胞壁厚，胞腔狭窄，纤维呈棒状。杂细胞含量高，约占 35%左右。多戊糖含量高易水化，轻微打浆后打浆度上升很快而纤维并未分丝帚化，纤维的结合力差。成纸的物理强度低、吸收性强。适于制造印刷纸类。

制浆中存在的问题：芦苇的叶、穗、节、苇膜很难除去，造成浆中黄色尘埃较多。印刷时掉毛掉粉影响印刷效果。因此，必需加强原料的除尘以提高纸张的质量。

2、蔗渣

蔗渣为甘蔗制糖厂的副产品。甘蔗纤维长度大部分为 1.47~3.04 毫米，宽度为 0.021~0.028 毫米。胞腔大、纤维扁平，是草类原料中最宽、最长者。蔗渣浆纤维 1 毫米左右可用来生产一般的书写、印刷纸类。成纸透明度高特别适于制造半透明纸。



图 1-4 蔗渣的纤维结构

3、竹

竹类从纤维形态看比较细长，如慈竹长度一般在 1.33~1.90 毫米，宽度为 0.009~0.019 毫米。可用来生产较高级的纸张如打字纸、胶版印刷纸、绘图纸等。尤以纤维纤细特别适合做高级的薄页纸。我国著名的毛边、贡川等手工纸都是用竹为原料制造的。

制浆存在问题：竹的比重大，嫩竹在 0.42 以上，老竹则在 0.8 以上。单位容积装锅量大。结构紧密药液不易渗透，造成对蒸煮药液渗透的阻力，且木素含量高，蒸煮困难。

4、稻草

稻草的纤维细短，长度一般在 1.14~1.52 毫米，宽度为 0.006~0.009 毫米。胞腔窄。稻草是所有草类原料中含木素最低者，制浆容易。稻草纤维细短，吸收性强，可改善纸的适印性，适合于制造印刷纸及纸板，但制浆时草节、草叶等不易除去。浆中表皮细胞多，含硅量高对碱回收不利。

5、麦草

麦秆和稻草类似，但其纤维较稻草长。大部分为 1.30~1.71 毫米，宽大部分为 0.017~0.019 毫米，常用来生产普通文化用纸及纸板。

(二) 禾本科植物原料的化学组成特点

禾本科植物纤维原料的化学组成特点是多戊糖的含量较高，一般都在 20%左右。木素含量除竹外都较低。尤其是稻草的木素是最低，表明制浆比较容易。灰分的含量都比木材高，而以稻草的灰分含量最高。

1.1.3 韧皮纤维类

韧皮纤维类包括：麻类、树皮、棉秆皮等。这类原料皮层中富含纤维，纤维的特点是细胞壁厚、细胞腔仅占纤维断面的 10%左右。纤维长、强度高。胞间层含较多的果胶质。韧皮纤维类的特点是纤维素含量高，麻类的纤维素含量都在 70%左右。韧皮纤维类纤维的特征是纤维长度大，远远超出一般造纸需要的纤维长度，因而适合于制造高强度的纸张。

麻浆一般用做强度要求高的纸张，如钞票纸、证券纸、保险信封等，由于麻纤维燃烧时无臭味，常用于卷烟纸的生产。树皮类纤维如构树皮、檀树皮等是我国手工纸最先使用的原料。驰名中外的宣纸就是用檀皮做的。我国江南各省种桑养蚕每年都有大量的桑枝、桑皮。桑皮适于制造薄型的长纤维纸类，如纱纸、复写原纸等。

我国北方广大产棉区盛产棉秆，从纤维形态来看，棉秆也是较好的造纸原料，但皮层与髓难分离，影响使用。

1.1.4 叶纤维类

1. 龙须草

一种丛生野草，在我国分布很广，以四川、湖北产量最高。龙须草的纤维细长，杂细胞较其它草类少，纤维均整。纤维的长宽比平均达 200 倍以上，是草类原料中少见的。龙须草的木素含量低、纤维素含量高，是一种质量较好的原料。我国已用来生产胶版纸、打字纸等高级纸张。但由于产区分散收集不便，大量使用有困难。

2. 剑麻

剑麻又称龙舌兰麻，为热带多年生植物，我国海南岛、云南等地都有。木素含量低，纤维素含量高，一般都用于织麻袋、搓麻绳。废旧料可用于造纸。



龙须草

甘蔗

香蕉树

图 1-5 常见的叶纤维类

1.1.5 棉花及棉短绒

棉花的纤维素含量在 95%以上，纤维扁平稍有扭曲。一般造纸工业都是使用纺织厂的落地棉、废棉、破布等，用来生产高级生活用纸、钞票纸、证券纸以及一些有特殊要求的。

由于成纸柔软、耐磨，常用做高档的餐巾纸、卫生纸等。油棉、深色破布常用做油毡原纸供建筑部门使用。棉短绒一般用来生产高级纸及人造丝浆粕。从棉花及棉短绒的化学组成来看，纯度很高，不含多戊糖。棉纤维的长度为 10~15 毫米，宽度为 0.012~0.037 毫米。长宽比为 1250。可用棉纤维制造出质量高、强度大的纸张。

1.1.6 废纸

(一) 废纸的定义

字面上讲，是用过而失去使用价值的纸，英文：“waste paper”。但绝大多数废纸是用过而不废，可以回收再作为造纸的原料。

指已经作为成品使用过的，并将再一次作为造纸原料的纸和纸板，并非“报废无用的纸”。Recovered paper，即回收的纸。废纸原料也叫做“二次纤维”（Secondary fiber）或“再生纤维”（Recycled fiber）。在日本称为“古纸”，英文：“waste paper”。

(二) 废纸纤维的特点

与原始植物纤维原料相比，应算是半成品原料，一般不含果胶、树脂、溶剂抽出物、灰分等植物原料及天然所固有的有机物和无机物杂质。

主要成分：纤维素和半纤维素，以及由于加工和使用而带的杂物。如油墨、蜡类、树脂浸渍物、塑料薄膜、金属薄膜、合成树脂、热溶物、胶粘剂、各种无机物填料、涂料以及装订书钉、油污、泥沙等。

1.2 植物细胞壁的微细结构

成熟细胞的结构主要为细胞壁，细胞壁由原生质体所分泌的物质形成，分为胞间层、初生壁和次生壁。细胞壁上有纹孔，它是次生壁不均匀加厚过程中遗留下来的未加厚部分形成的凹穴，是相邻细胞间水分和养料交流的主要通道，也是制浆造纸过程中药液渗透的主要通道。

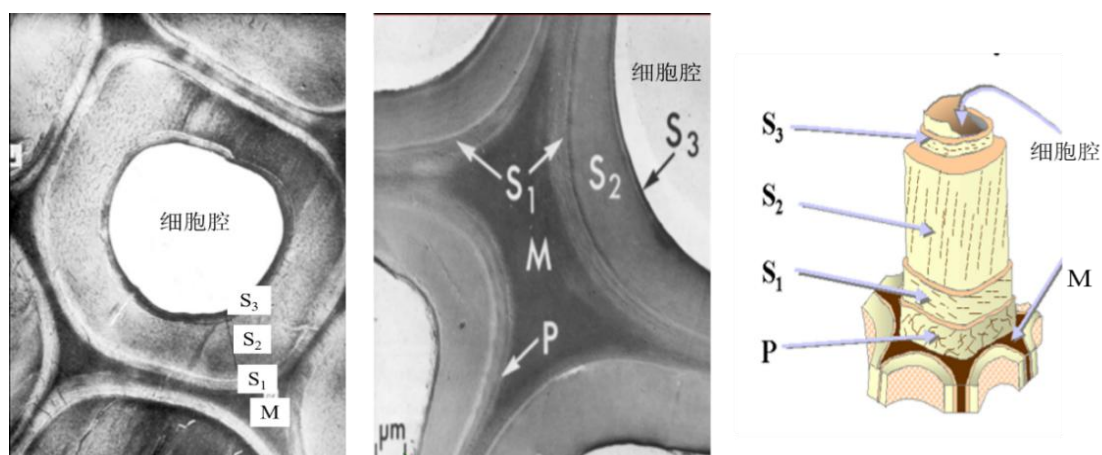


图 1-6 植物纤维细胞壁的层状结构

1.2.1 细胞壁的层状结构

(一) 胞间层

植物细胞是由细胞壁和细胞腔组成，相邻的两个细胞壁之间称为胞间层。胞间层简称 ML 层，位于两个细胞之间，为两个细胞所共有，是细胞之间最早的分割部分，木素浓度最高。胞间层的主要化学组成为木素及果胶等。制浆过程中化学药品可使胞间层物质溶解或部分溶解，使纤维细胞分离成单根纤维。

(二) 初生壁

初生壁简称 P 层，厚度仅 0.05-0.1 μm 左右，通常与胞间层一起统称为“复合胞间层”(CML)，占胞壁总厚度的 1%。含有较大量的半纤维素及木素，纤维素以微细纤维的形式在初生壁上作不规则的网状排列，镶嵌在无定形物质木素和半纤维素之中。

(三) 次生壁

次生壁是在细胞停止生长、初生壁不再增加表面积后，由原生质体代谢产生的细胞壁物质沉积在初生壁内侧而形成的壁层。次生壁中微细纤维排列有一定的方向性，次生壁通常分三层，即次生壁外层（S1）、次生壁中层（S2）和次生壁内层（S3），各层纤维素微细纤维的排列方向各不相同，这种层层迭加的结构使细胞具有较高的强度。

外层（S1）：厚度约为 0.1-0.3 μm ，主要由纤维素及半纤维素组成。纤维素微细纤维以近乎于垂直纤维轴的方向（50-70°或 70-90°）、规则交错地缠绕在纤维细胞壁上，形成交叉螺旋，即一层 S 螺旋，一层 Z 螺旋，相互盘绕。

中层（S2）：纤维细胞壁的主体，针叶材 S2 的厚度约为 1-8 μm ，占细胞壁厚度的 70-80%，对单根纤维的强度有很大的影响。S2 层的微细纤维都是平行的螺旋排列，与纤维轴的角度由外到内有个渐变过程，夹角为 5-30°，几乎与纤维轴平行。

内层（S3）：次生壁内层在纤维细胞壁中占的比例不大，壁厚为 0.1 μm ，壁上的微细纤维的缠绕与 S1 层相似，有个过度的渐变过程，与纤维轴的夹角约为 60-90°。

A.B.Wardrop 等人认为：细胞壁实际上是由许多同心的薄层组成，由于木素和其他物质存在，这些薄层平常看不见，但脱木素后就变得十分明显。Stone 等人用氮气吸收法研究云杉的细胞壁，其结论是：润胀的纤维细胞壁由几百层同心层组成，每层厚度约为 10nm，层间平均间隔为 3.5nm，而每一层也是由排列不同的微细纤维组成的。J.C.Roland 和 M.Mosiniak 提出，次生壁中的微细纤维与纤维轴的夹角的变化是有规律、连续的。

（四）纤维的层次结构与打浆的关系

打浆过程：

---打浆初期，P 层及 S1 层破裂引起纤维表面微细纤维化。

---破坏 P 层及 S1 层，完全打掉或部分打掉，使 S2 层裸露并使其分丝帚化。

---横向切断，纵向分丝帚化。

---使纤维发生水化润胀，也叫内部微细纤维化

1.2.2 微细纤维的精细结构

（一）细胞壁的微细结构

纤维素大分子链有规则的排列聚集成原细纤维。

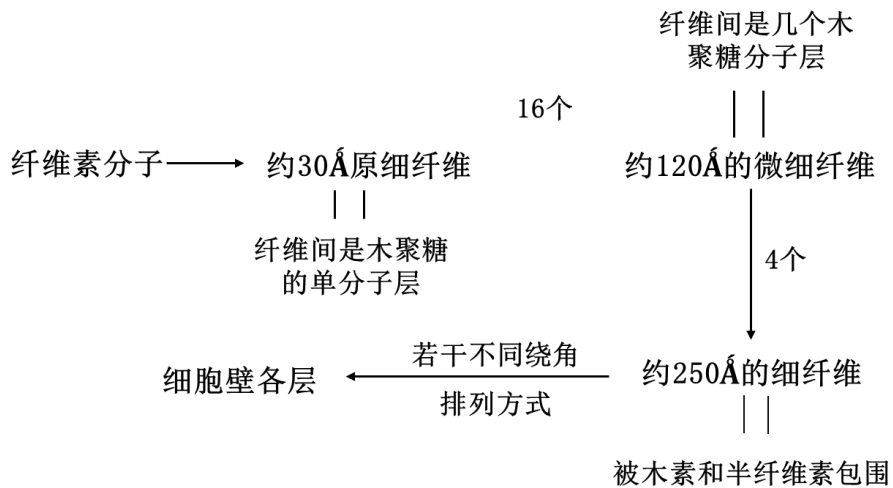


图 1-7 纤维素分子的组成结构

(二) 微细纤维在细胞壁各个层次中的分布特点

ML 层：没有微细纤维

P 层外侧：微细纤维呈杂乱无章（网状）排列

P 层内侧：与纤维轴向近乎垂直的交叉螺旋排列

S1 层：由 4-6 层微细纤维交叉螺旋排列，其倾角为 30-60°

S2 层：由几十到一百多层微细纤维按单向螺旋排列，螺旋方向逆时针上升，角度 10-20°

S3 层：呈单向螺旋排列，角度较大，60-90°

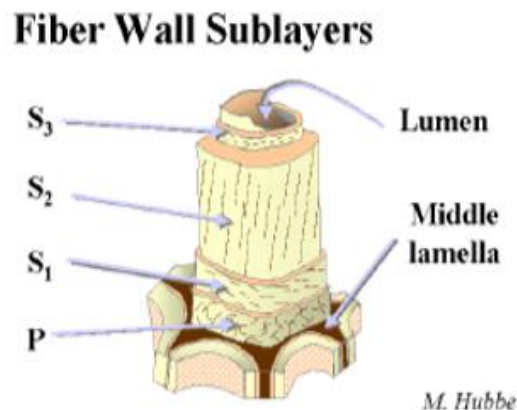


图 1-8 微细纤维在细胞壁各层中的分布

(三) 细胞壁中微细纤维走向

微纤丝角：主要是指细胞壁上 S2 层微细纤维与纤维轴的夹角。

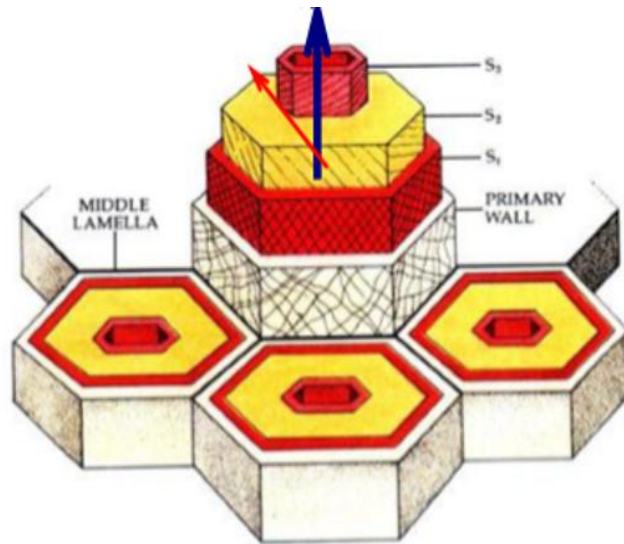


图 1-9 微纤丝在细胞壁上的排列

(四) 纤丝角（倾角）大小与纤维强度的关系

单根纤维强度主要决定于 S2 层的微细纤维与纤维轴的夹角，夹角越小，单根纤维的强度越大。具有理想的微细纤维角度的亚麻，其拉伸强度 110 kg/mm^2 ，接近钢的水平，若考虑比重的不同，亚麻约为钢的 25 倍。纤维越长，S2 层微细纤维的方向越靠近轴向，单根纤维的强度也就多大，但伸长率越小。

微细纤维的取向不同，直接影响纤维及木材原料的力学性质。倾角大：抗压性能好，抗拉强度差。倾角小：抗拉强度好，抗压强度差。

1.2.3 各主要组成在细胞壁中的分布

(一) 主要化学组分在细胞壁中分布的意义

原料的化学成分含量及其在细胞壁中的分布，是原料利用的基础，对研究制浆、漂白、纸浆质量和纸张抄造都有重要意义。

植物纤维原料中的三种主要成份：纤维素、半纤维素、木素。纤维素是构成微细纤维、组成纤维细胞、导管及薄壁细胞等的骨架物质，而半纤维素、木素则是纤维间以及微细纤维间的“粘合剂”、“填充剂”。

不同的制浆和漂白方法，所用制浆及漂白药剂不同，其作用机理不同，对木素和半纤维素的降解程度也不同。各种形式的制浆工艺及机理都与原料的主要化学成份及其分布密切相关。化学制浆就是在适当的温度下，通过化学药品的作用，使纤维间以及微细纤维间的“粘合剂”“填充剂”溶出，纤维分散而成浆，再经过适当的漂白，就可以获得不同纤维素“纯度”的漂白浆，满足各种纸浆质量的要求。机械

浆和化机浆，则是以保留或极少影响“粘合剂”“填充剂”为前提，通过机械磨碎成浆。

(二) 纤维素的分布

胞间层：不含纤维素，只有木素、半纤维素和少量果胶物质。

初生壁：微细纤维较松散，含有较少的纤维素，半纤维素和木素浓度较高。

次生壁：纤维素含量较高且分布均匀，微细纤维排列规则，木素和半纤维素含量较低。

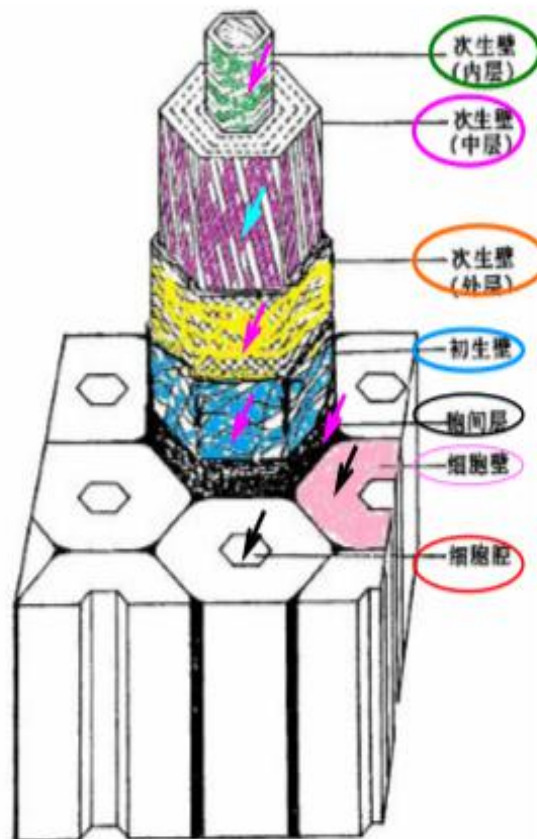


图 1-10 纤维素的分布示意图

(三) 半纤维素的分布

云杉综纤维素：半纤维素醛基氧化 → 羧基 → 胶态铁离子、银、铅或高锰酸钾液染色 → 电子显微镜直接观察，研究半纤维素的分布。

CML（复合胞间层）、CC（细胞角隅）部位染色最深。

--- S1 层由外向内，半纤维素浓度渐减。

--- S2 层的外层和内层，半纤维素浓度均高于 S1 层，但 S2 中层半纤维素浓度较低，S3 层又较高。

因此，半纤维素的浓度分布总的趋势是由外向内渐减，以 S2 层为最低。

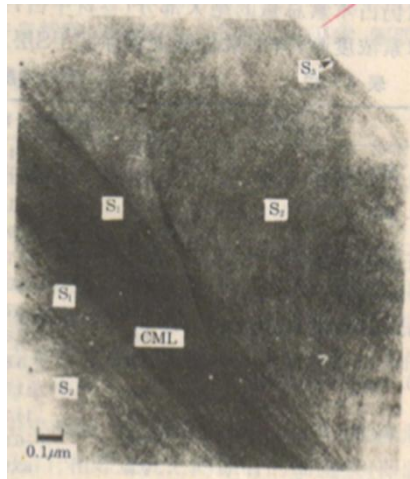


图 1-11 云杉细胞壁中半纤维素浓度分布（硝酸钪染色）

（四）木素的分布

木素与纤维素、半纤维素共同组成植物纤维的主要成分，广泛分布于复合胞间层和次生壁。

--- CML、P 层及 S1 层木素浓度最高

--- 各层次在木素状态不同：

CML 中的木素为无定型

S 层中的木素，木素在微细纤维周围顺着各层细纤维的方向排列。

--- 总体来说，木素浓度 $CC > CML > S3 > S1 > S2$

S2 层木素浓度低，但是体积分数高，故木素总量大部分存在于 S2 层。

（五）微细纤维与半纤维素、木素的微细结构关系

纤维素大分子以一定的方式排列、组合形成原细纤维，最后形成微细纤维，构成纤维细胞壁的骨架，而半纤维素和木素则成为骨架间的填充材料，三种植物细胞壁的主要组分相互交织形成多个同心薄层，共同组成纤维细胞壁。

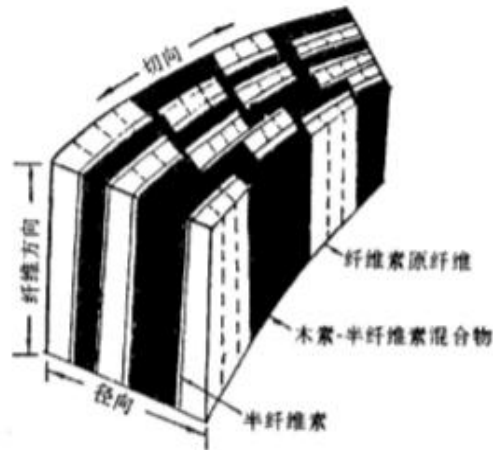


图 1-12 微细纤维与半纤维素、木素的微细结构

(六) 制浆造纸与纸张的关系

在化学制浆过程中，随着木素、半纤维素的溶出，纤维与纤维之间的黏结物质脱除，导致纤维分离，同时微细纤维之间的木素和半纤维素也部分溶出，使微细纤维暴露在纤维表面，经过打浆处理，可以使纤维细胞壁进一步破损，暴露出更多的微细纤维，形成分丝帚化。

赋予成纸强度结合面积↑，更多氢键结合，结合强度↑，赋予成纸强度。

1.3 植物纤维化学成份



图 1-13 木棉纤维的纤维形态

植物纤维：两头尖、中间宽、内有空腔、纤细的植物细胞。由纤维素、半纤维素、木素及其他少量杂质组成。

表 1-1 三类植物纤维原料的主要化学成分比较

项目	单位	软木	硬木	禾本科
纤维素	%	45	45	42
半纤维素	%	26	34	40

其中：木糖	%	9	25	33
其中：葡萄糖-甘露糖	%	16	5	0
木素	%	29	21	17

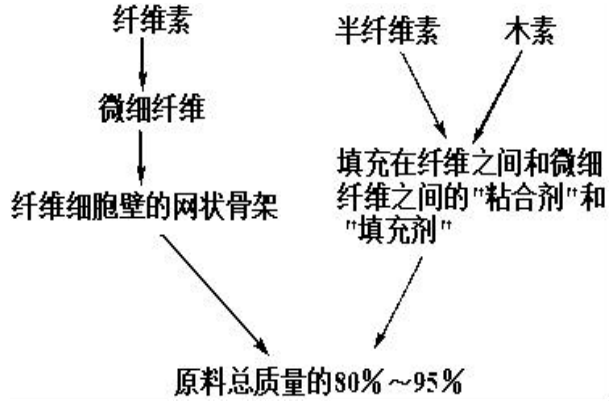


图 1-14 植物纤维三大主要成分的关系

1.3.1 纤维素

(一) 纤维素的定义

纤维素是由 D-吡喃式葡萄糖基通过 1,4-β 苷键联结而成的线状高分子化合物，分子式 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。

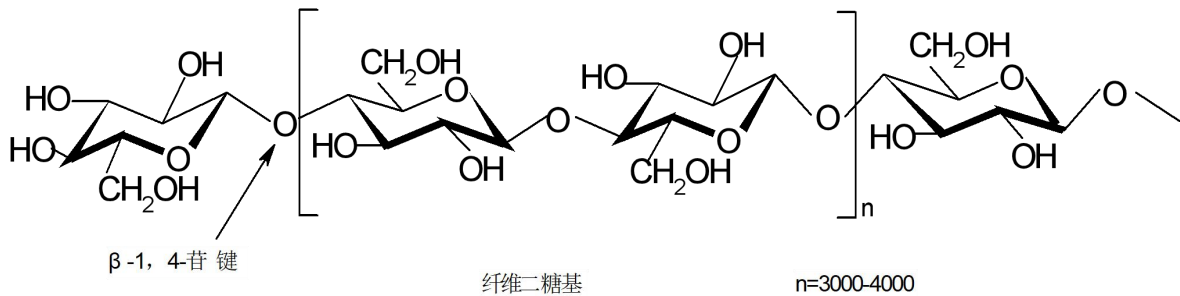


图 1-15 纤维素的分子链结构

纤维原料不同，纤维素含量也不同：

棉 > 麻 > 木材（针叶木、阔叶木）> 禾本科

木材：40-50%

禾本科植物：40-45%

苧麻皮：80-90%

棉花：95-99%

树皮：20-30%

（二）纤维素的物理结构

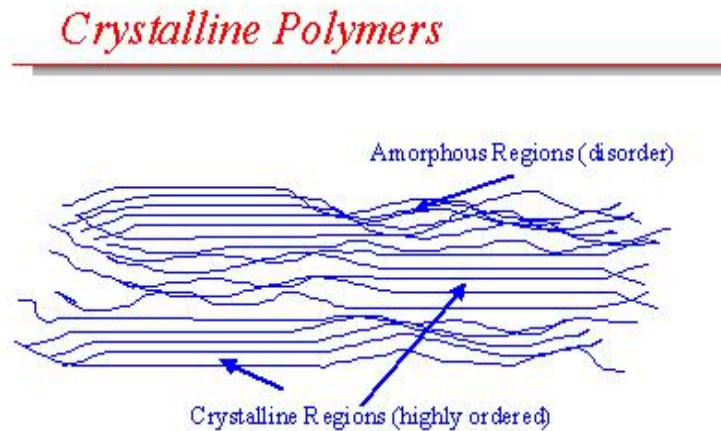


图 1-16 纤维素的聚集态结构

纤维素大分子的聚集状态是一种由结晶区和无定形区交错结合而形成的体系。结晶区到无定形区是逐步过渡的。结晶区和无定形区间无明显界限。一个纤维素分子链可以经过若干个结晶区和无定形区。

1. 结晶区氢键和无定形区氢键的区别

结晶区：所有羟基均形成氢键，因此结晶区分子间的结合力强，即氢键结合力强，水分子不易进入，形成永久结合点。

无定形区：只有部分羟基形成氢键，另一部分羟基呈游离状况，结合力较弱，氢键始终处于结合 → 破裂 → 再结合的过程中，水分子进入无定形区与纤维素形成氢键水桥，产生润胀作用，形成暂时结合点。

2. 氢键对纤维素性质的影响：

- ① 对吸湿性的影响：氢键的形成，使纤维及纸页的吸湿性降低。
- ② 对溶解度的影响：分子间氢键破坏程度大的溶解度大。
- ③ 对反应能力的影响：氢键的形成阻碍反应的进行。

3. 氢键存在对纸浆和纸张的性能的影响：

纸页中纤维和纤维之间形成氢键结合导致纸页具有强度。纸的强度来自于纤维本身的强度和纤维间的结合强度。打浆使纤维表面细纤维化，露出更多游离羟基，有利于氢键的形成，增加纸张的强度。

（三）纤维素的化学性质

1. 纤维素分子链的降解反应

热降解：指聚合物在单纯热的作用下发生的降解反应。

光降解：纤维素直接吸收太阳能进行分解反应（纤维素强度下降，纸浆粘度下降）。

机械降解：纤维素在受强烈机械作用时，大分子连接键断裂，结晶结构和大分子间氢键受破坏。（纤维素聚合度下降，造成纸浆强度下降，反应能力、溶解度提高）。

2. 纤维素聚合度（DP）的定义

纸浆的粘度就是指纤维素的聚合度。通过纤维素酶的作用，使纤维素大分子链上的 1-4- β -苷键断裂，导致聚合度下降的现象。

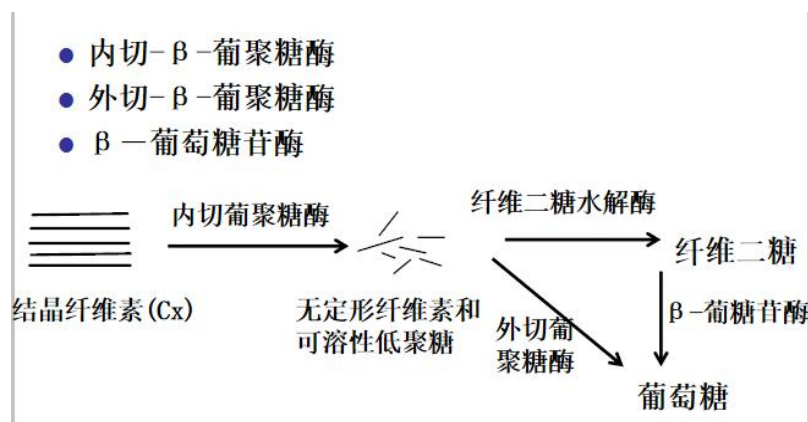


图 1-17 纤维素的降解示意图

3. 纤维素的吸附和解吸

结合水：进入纤维素无定形区与纤维素的羟基形成氢键而结合的水，又称化学结合水。特点：水的吸着力强，有热量放出，纤维素发生润胀，对电解质溶解力下降。

游离水：纤维物料吸湿达到纤维饱和点后，水分子继续进入纤维的细胞腔和孔隙中，形成多层吸附水。称为游离水，与纤维素无化学键连接。特点：吸附游离水无热效应及润胀。

纤维素在吸附结合水时有热放出，发生润胀，其在横向和轴向上的润胀程度不一样，直径方向上尺寸变化大。纤维的强度在不同的水分含量下不一样。棉纤维在绝干时发脆、强度差；粘胶人造丝在干时强度好。

纸张强度一部分来源于纤维之间的氢键结合力。水分含量高，纤维之间的氢键结合减少，纸张强度下降；水分含量低，纸张发脆，强度亦下降。

4. 纤维素的电化学性质

由于纤维素表面上糖醛酸基及极性羟基的存在，使得纤维在水中其表面带负电。动电电位：吸附层界面对零电位之差，也称 Zeta 电位。Zeta 电位绝对值越大，粒子排斥力越强，体系越稳定。Zeta 电位为 0 时，体系出现絮凝，Zeta 电位高不利于细小纤维留着。施胶时，因纤维和胶料粒子均带负电，二者不能很好结合。需加入矾土（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）作电解质，降低 Zeta 电位，施胶料与纤维结合，达到施胶效果。

1.3.2 半纤维素

半纤维素是无定形物质，聚合度较低，易吸水润胀。它不是均一聚糖，是一群复合聚糖的总称。构成半纤维素的糖基如下：

针叶木：含量 25%~35%；主要是聚半乳糖葡萄糖甘露糖类和聚木糖类；

阔叶木：含量 20%~38%；主要是聚木糖类和聚甘露糖类；

非木材原料：含量 25%~35%；主要是：聚木糖类。

（一）半纤维素的化学性质

①半纤维素的酸性水解：半纤维素苷键在酸性介质中会被裂开而使半纤维素发生降解，这一点与纤维素酸性水解是一样的。

②半纤维素的碱性降解：半纤维素在碱性条件下可以降解，碱性降解包括碱性水解与剥皮反应。例如在 5% NaOH 溶液中，170°C 时，半纤维素苷键可被水解裂开，即发生了碱性水解。在较温和的碱性条件下，也发生剥皮反应。

③半纤维素的酶降解：内切- β -木聚糖酶：在不同位点上作用于木聚糖。外切- β -木聚糖酶：作用于木聚糖的非还原端，产生木糖。 β -木糖苷酶：作用于短链木寡糖，产生木糖。

（二）半纤维素的物理性质

①溶解度：（1）分离出来的半纤维素溶解度高于天然状态半纤维素；（2）半纤维素支链越多越易溶于水；（3）阔叶木和针叶木中的聚葡萄糖甘露糖即使在强碱中也难溶。

②分子质量：半纤维素的聚合度：150~200。

（三）半纤维素对纸浆的影响

溶解浆是生产粘胶纤维、玻璃纸或者其他纤维素衍生物的原料。半纤维素的存在对溶解浆的使用会产生不利影响。浆粕中半纤维素的含量增加，会使粘胶过滤困难并降低粘胶的透明度。所以在制备溶解浆时，半纤维素的含量有一定限制。

纸浆中存留的半纤维素有利于纸浆的打浆，因为半纤维比纤维素更容易水化润胀，而纤维素的润胀对纤维细纤维化是十分有利的。

(四) 半纤维素对纸张的影响

半纤维素含量高有利于纤维的结合，所以对提高纸张的裂断长、耐破度和耐折度等有利。半纤维素含量低，有利于一些与纤维结合力无关的纸张性质，如不透明度和撕裂度等。半纤维素含量增加，纤维间结合力增加，但是由于半纤维素本身的强度不如纤维素高，因此，在某种程度上会影响成纸的强度。

1.3.3 木素

(一) 木素的分布

木素的分布具有不均一性，复合胞间层浓度最高，而次生壁的含量最多，70%分布在次生壁。针叶材木素含量高于阔叶材和禾本科植物，同株木材木素含量上部低、下部高，心材部分木素含量高于边材。针叶木中木素含量在25~35%，阔叶木中木素含量在20~25%，禾本科木素含量在15~25%。鉴于原本木素的溶解性较差(原因：分子大，疏水性)，在制浆过程中为了把木材中的木素溶出，使纤维分离开来，往往要在木素大分子中引入亲液性基团。

(二) 木素基本结构单元

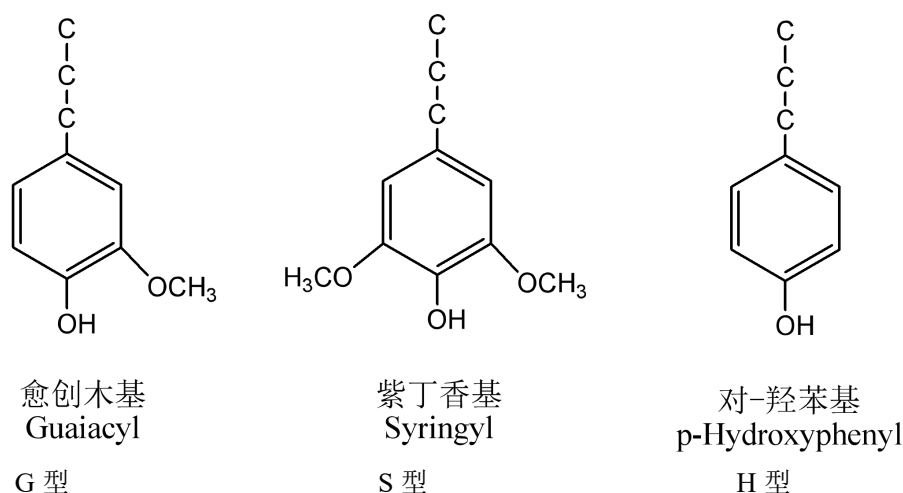


图 1-18 木素基本结构单元

木素的三个基本结构单元分为愈创木基、紫丁香基、对-羟苯基。

(三) 制浆中木素的溶出

使用碱在一定条件下从木素中导出新的酚羟基，酚羟基是亲液性，使得木素溶解出来。这也就是化学制浆的基本依据之一。蒸煮后纸浆中还保有大量木素，存在

大量的发色基团：羰基、醌式结构、侧链的共轭双键。

（四）抽出物和灰分

① 针叶木的抽出物主要成分为松香酸、脂肪酸、萜烯类化合物及不皂化物。阔叶木的抽出物主要成分为游离的或酯化的脂肪酸，少量中性物。禾本科原料的抽出物的主要成分是蜡。

② 针叶木与阔叶木有机溶剂抽出物含量、成分及存在位置的差异如下：

针叶木：树脂酸、少量脂肪酸及不可皂化物（树脂道、木射线薄壁细胞）。

阔叶木：脂肪酸（主要）（游离的、酯化的都有）（木薄壁细胞，射线薄壁细胞）。

③ 有机溶剂抽出物对制浆造纸的影响

有机溶剂抽出物含量少，但影响：制浆、漂白、纸浆白度、白度稳定性及废液回收利用等。

（五）对纸浆生产的影响

酸法制浆过程产生“树脂障碍”。在酸法制浆过程中，由于抽出物被加热、软化成油状物，漂浮在浆水体系中，易粘附到浆池壁、管道内壁、流浆箱、毛毯、铜网、烘缸、纸张等地方，给生产过程及纸张质量带来不良影响。

在碱法制浆中树脂酸、脂肪酸与碱反应形成皂化物，使得纸浆废液容易产生泡沫。多酚类化合物不仅消耗碱，而且还会形成粘度较高的缩合物，造成黑液黏度升高，影响黑液的浓缩和燃烧。

（六）无机盐（灰分）

木材中含有少量无机物，经燃烧和灰化后产生灰分。木材灰分含量一般较少，温带木材灰分含量为 0.1-1.0%，但热带木材灰分则可高达 5%。禾本科植物纤维原料的灰分比木材的含量高，一般多在 2%以上，稻草灰分高达 10%甚至 15%。稻草与麦草灰分中 60%以上为二氧化硅。

对制浆造纸的影响：硅干扰一原料中的硅在碱法制浆时形成硅酸钠，溶解于制浆黑液中，使黑液粘度升高，影响黑液蒸发、燃烧、苛化、白泥回收（碱回收系统的四个阶段）。Cu、Mn、Fe 等过渡金属离子对纸浆颜色造成不良影响， H_2O_2 、 O_2 、 O_3 漂白时，分解漂白剂，产生选择性差的 $HO\cdot$ 游离基，降解碳水化合物，降低漂白效果。Ca、Mg 等碱土金属离子，可稳定漂剂、保护碳水化合物，若过量降低漂浆白度。

1.4 植物纤维形态对制浆造纸性能的影响

纤维形态指纤维长度、宽度、长宽比、壁厚、壁腔比、纤维粗度和非纤维细胞含量等。纸张性能、物理性能、光学性能等。纸张的强度是由纤维本身的强度以及纤维与纤维之间的结合强度构成的。

1.4.1 纤维基本形态

(一) 长度、宽度、长宽比及长宽度均一性

纤维的长度、宽度、长宽比及长宽度均一性，是评价造纸原料优劣、确定工艺条件的一项重要依据，对纸张强度产生有利的影响。针叶木纤维粗（宽）而长。阔叶木纤维长度与一般草类原料纤维（如稻草、麦草、芦苇等）接近，宽度比针叶木纤维小。

克拉克（Clark）认为撕裂强度与纤维长度的 $3/2$ 次方成正比，抗张强度（裂断长）与纤维长度的 1 次方成正比，耐破强度与纤维长度的 $1/2$ 次方成正比。国际上有时用(耐破强度 \times 撕裂强度) $1/2$ 指标来比较纸的强度，这个指标也与纤维长度成正比关系。

纤维长度与纸页的撕裂强度、抗张强度（裂断长）、耐破度、耐折度都有关系。在考虑纤维长度的影响时，只看纤维平均长度是不全面的，还需要注意纤维长度、宽度的不均一性。长宽比能够在一定程度上预示某种原料的纸浆强度，长宽比大的纤维，成纸时单位面积中纤维之间相互交织的次数多，纤维分布细密，成纸强度高。但是，具有一定的片面性。例如很多禾本科原料纤维的长宽比比针叶木纤维大，但是其成纸强度则比针叶木纤维低的多。因此，原料纤维的绝对长度是最基本、最重要的，对纸张的裂断长、耐折度、撕裂度等指标影响更大。一般认为，长宽比小于 45 的原料，应用价值很低。

(二) 纤维卷曲

纤维卷曲是指纤维平直方向的弯曲。单根纤维卷曲的程度可以用卷曲指数（Curl Index）来表示。纤维的卷曲对纸张的影响分两个方面：① 纤维的卷曲可以提高成纸的松厚度和透气度，并且一定程度上提高成纸的湿纸幅伸长率和撕裂指数；② 高卷曲纤维会降低纸张的耐破度。

(三) 纤维粗度

纤维粗度即每 100m 长度的绝干纤维的质量（mg），以 decigrex(dg)表示。与纤

纤维细胞壁的厚度和纤维宽度有关，常用作纤维细胞壁厚度的间接指标，对纸页的印刷性能有较大的影响：（1）当纤维粗度大于 30dg，成纸厚，松厚度高，而裂断长、耐破度、撕裂度、耐折度等强度指标较低，纸页粗糙，平滑度也较低。（2）当纤维粗度小于 10dg，其成纸较为细腻、平滑度好（白水中的纤维可能有利于纸页平滑度的提升）。

（四）纤维扭结

纤维扭结是指由于纤维细胞壁受损而产生的突然而生硬的转折。纤维扭结率会在一定程度上影响纸张的耐破指数和抗张指数，扭结纤维减少，有利于提高纸张的相对结合面积，从而提高耐破指数和抗张指数。

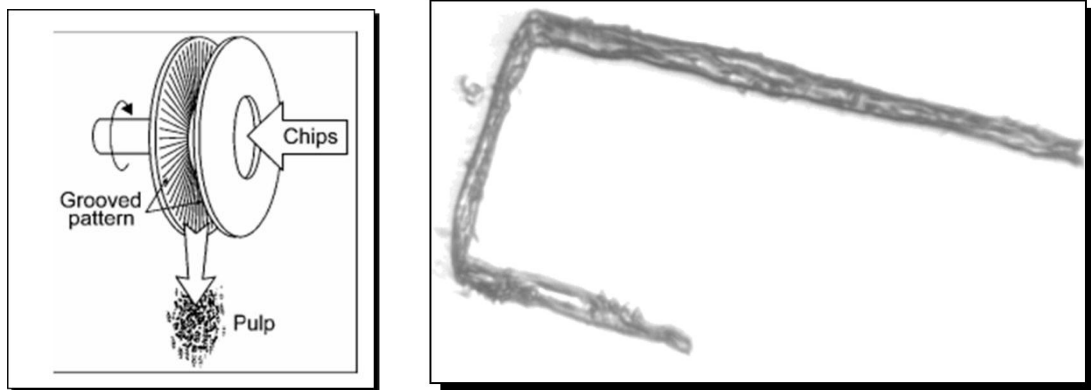


图 1-19 纤维扭结示意图

（五）细小纤维含量

造纸原料中长度等于或者小于 $200\mu\text{m}$ (0.2mm) 的纤维，或者那些通过纤维筛分仪的 200 目筛的纤维，被看作是细小纤维。

其来源主要有两部分：① 初级细小纤维：木材中原有的小颗粒，如切断的纤维、导管分子、纹孔、射线细胞和薄壁组织细胞（量少）；② 二次细小纤维：浆料在生产 and 后续的抄造过程中通过机械处理产生的纤维壁碎片（量多）。

细小纤维可以填充在相邻长纤维的空隙中，从而减少纸页纤维间的空隙，有利于提高纤维间的结合强度。白水中的细小纤维表面积大，回用抄纸过程中可以游离出更多的羟基，其润胀程度更大，在给定脱水条件下可以增加纸幅的湿度，干燥过程中通过纤维、水、空气接触界面而增加纤维间的相互作用，从而提高纸页性能。

（六）导管

导管是由一连串的轴向细胞形成的无一定长度的管状组织。当所测对象长度 $>100\mu\text{m}$ ，宽度 $>75\mu\text{m}$ ，且长宽比为 2:1（具体的长宽比需根据浆种调整）时定

义为导管。导管的大小和数目会影响纸页的表面性质，在印刷过程中容易使纸面产生白点；导管与纸张纤维间结合不紧，容易影响印刷质量。

（七）纤维细胞壁厚、腔径及壁腔比

纤维细胞壁的绝对厚度与纸张性能的关系不大，而纤维细胞壁厚与胞腔直径之比值(壁腔比)却对纸张性能影响极大。壁腔比是指细胞壁厚度的2倍与胞腔直径的比值。一般认为，细胞壁薄而腔大的纤维抄成的纸强度大，这是由于壁薄腔大的纤维有柔软性，纤维交织得好。而壁厚腔小的纤维比较僵硬，彼此结合差，制成纸张强度较低，纸页较疏松，吸收性好。

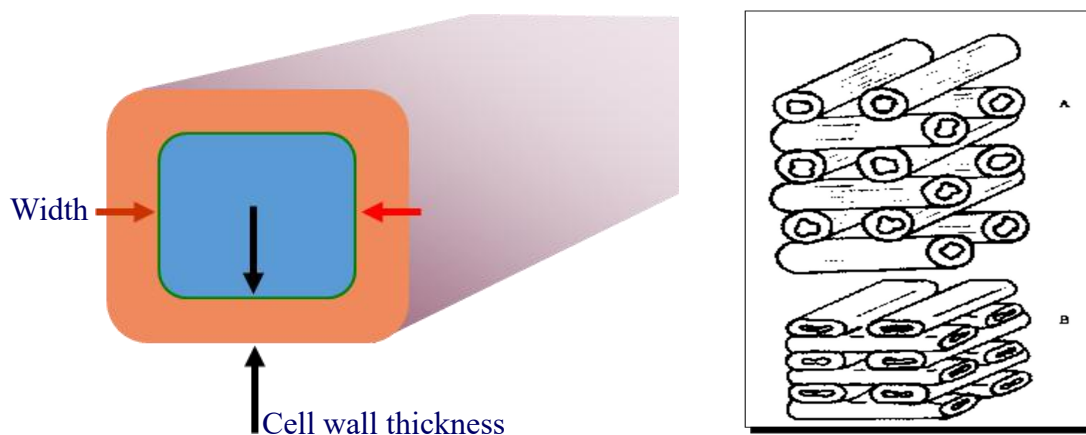


图 1-20 纤维细胞壁厚及壁腔比

壁腔比小于1是好原料，等于1是中等原料，大于1是劣等原料。一般说来，薄壁纤维造纸耐破强度、抗张强度均好，而厚壁纤维造纸松厚度好、挺度好、撕裂强度好，但抗张强度、耐破强度、适印性能、耐折强度都较低，而且不易打浆。长宽比相同的纤维，壁腔比愈大，则纤维愈挺硬，成纸时纤维间接触面积愈小，因而结合力较低；反之，壁腔比小的纤维相对柔软，成纸时易于交织、压溃，在纤维间形成较大的接触面积，具有较高的结合力，因此成纸强度（特别是耐破度）亦较高。实际上，壁腔比过小的原料由于其纤维细胞壁过薄，纤维本身强度较低，因此也会影响成纸强度，特别是不利用挺度指标的提高。

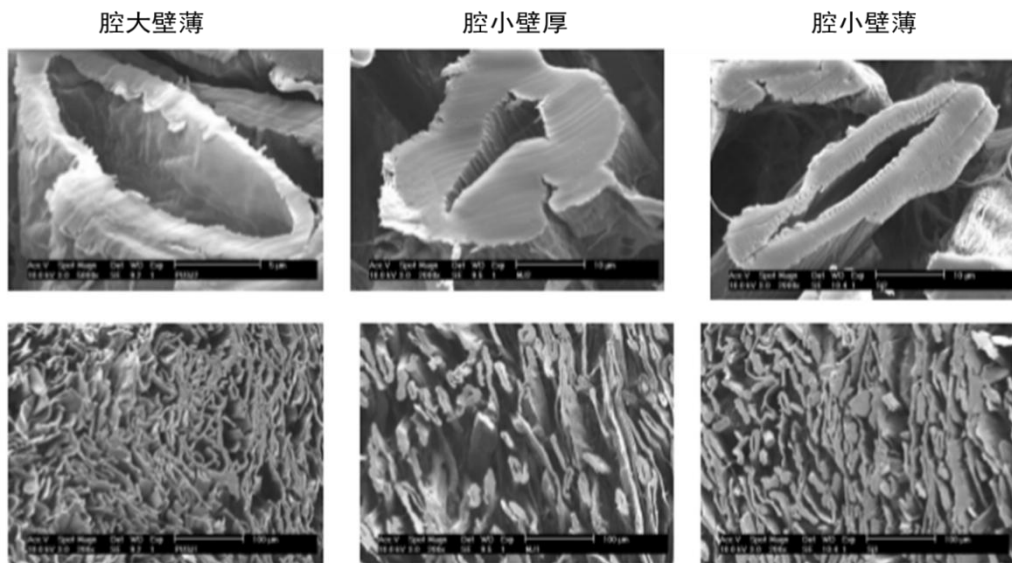


图 1-21 壁腔比对成纸性能的影响

壁厚腔小、微纤丝角小的纤维，一般单根纤维的强度较大，除赋予纸张较好的撕裂度以外，还可以给纸页带来较好的松厚度、较好的吸收性能及弹性、较好的不透明度。

1.4.2 纤维形态对纸张性能的影响

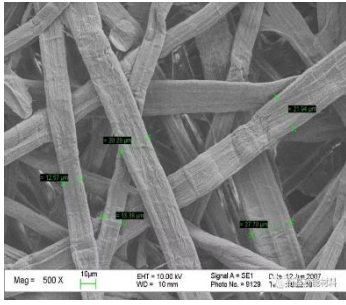
成纸的各项物理性能主要取决于纤维形态。从纤维形态的角度来看，影响纸张强度的因素主要有三个：① 纤维的交织能力；② 纤维的结合能力；③ 纤维自身的强度。一般细而长的纤维在造纸时将产生较好的纤维交织能力，故成纸强度较好，以撕裂度最为明显。但是，纤维过长则使成纸匀度下降，结构上产生一些薄弱点，纸张强度反而降低，外观不好。纤维的结合能力与细胞壁厚度及细胞壁的微细结构---微纤丝角有关。细胞壁较薄的纤维，造纸时可赋予纤维较好的结合能力，成纸强度较高，特别是受纤维结合力影响较大的指标，抗张强度和耐破度较好。纤丝角越小，意味着这种纤维在打浆时越容易纵裂帚化，使纤维的表面积增加，从而纤维的结合强度越大。



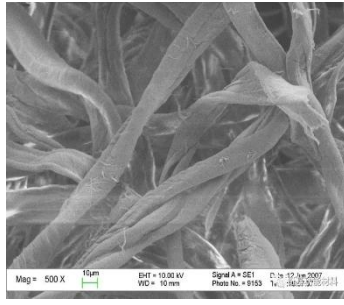
针叶木浆

草浆

桉木浆



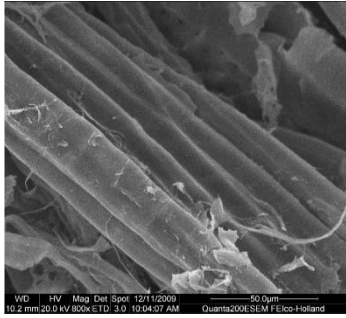
大麻纤维



棉浆



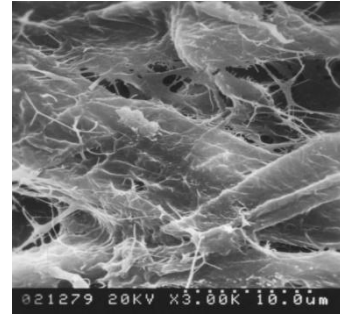
麻浆



机械浆



化学浆



化学浆打浆之后表面分丝帚化

图 1-22 不同植物纤维的 SEM 照片

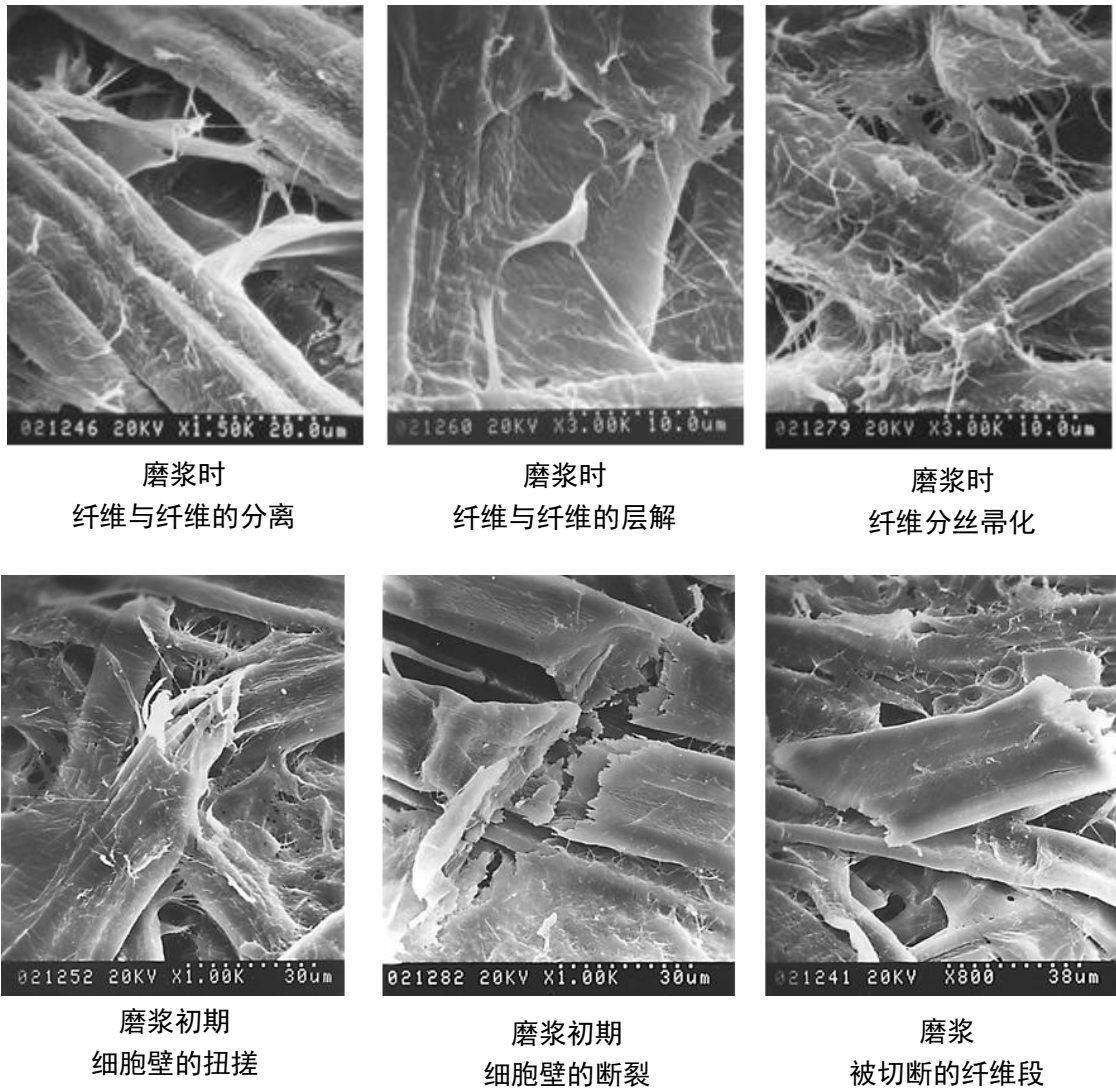


图 1-23 磨浆过程中纤维形态的变化

1.4.3 纤维形态的检测

棉、麻等特长纤维长度的测定：传统的显微镜法（200 根左右纤维），估算其平均长宽度，用数均平均长度和重量平均长度表示。使用筛分器测定纤维长度：鲍尔筛分仪或平板筛浆机，采用不同目数孔径筛选得出不同长度纤维分布。纤维质量测量分析 FQA 是目前最先进的纤维质量分析仪器。

第 2 章 制浆基本原理与工艺

2.1 备料

2.1.1 原料的贮备

(一) 原料的贮存

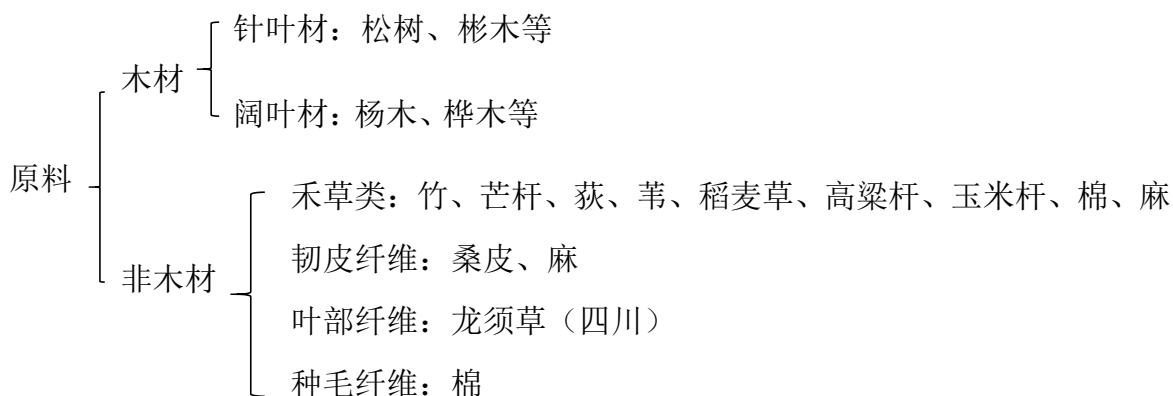
① 备料的目的

贮存的原料经过一定要求的处理以满足制浆生产（蒸煮和磨浆）要求的过程。包括原料堆放（贮存）、除尘筛选（净化）、切断破碎（制备）等基本流程。

② 备料的范围（过程）

原料贮存 → 原料处理 → 料片的输送及贮存备用

③ 备料的分类



(二) 原料场的要求

① 防火安全与要求

(1) 设置消防设施

原料经发酵后温度升高引起自燃或遭雷击易失火，因此应注意防火（防雷电）。

(2) 设置在厂址的下风向，并靠近进料处。

(3) 防火带设置符合下列要求，原料场与生产区：草 100~200 米，木 25 米，原料场与住宅区：100 米。

② 运输要求

运输要通畅，避免交叉：原料场的运输量约占全厂的运输量 50% 以上，所以进出原料场的运输路线必须通畅、方便，不宜交叉。

③排水要求

排水要通畅，避免积水：跺基高度应高于周围地面 300~500mm，跺基面层应有 0.3%~0.5%的排水坡度。

④通风要求

通风良好：堆放时要有一定的间距，原料堆垛长度方向与常年主导风向成 45°角，垛之间有通风道。

⑤照明要求

照明良好：采用埋设电缆，原料场地面上不宜架设照明电路，最好采用照明灯塔。

（三）木材原料的采运和贮存

①采运

木材采伐后，先去掉树尖与树枝，锯成一定长度（约 6m），至贮木场贮存。

②贮存

1、水上贮存（现在一般不用）

优点：能均匀水分，防止木材变质腐烂。

能省去繁重的搬运操作，降低劳动强度低，提高效率。

缺点：原木中的树脂含量难以降低，原木沉底沾泥，溶出物污染水体。

2、地面贮存（原木和木片）

优点：能降低水分和树脂的含量（对生产亚硫酸盐化学浆有利）。

缺点：夏季天气的潮湿，会使地上贮存的原木容易腐烂，降低原木的质量。

③减轻木片发热和变质的措施：

主要是防止木片堆中的霉菌繁殖，并避免产生高温。堆垛时向木片喷洒化学药品（如稀绿液或稀硼砂）；避免产生比表面积较大的碎木片和木屑；按堆放的先后顺序使用木片；尽量降低木片堆垛高度；使用几个较小的木片堆代替一个较大的木片堆；场地四周设置木板或网状围墙，在防止木片被吹散的同时，尽量注意通风。

（四）非木材原料的收集和贮存

①收集

非木材原料的特点：

1、体积大，轻质松散，产地分散，不易集中。

2、杂质多，要进行除根、叶和穗等杂质。

②贮存

贮存方法：原料场内（打包+堆垛）

贮存时间：6~9个月

贮存期间注意事项：a. 防火；b. 交通方便；c. 排水畅通；d. 通风良好；e. 照明良好。

（五）草类原料贮存注意事项

①防火

目的：防止自燃，以及烟火、雷击等。

方法：原料场需要设在生产厂区的下风向，并留有100~200米的防火带，防止火灾危及生产、生活区。

草类原料中的少量组分发酵分解，放热，垛内温度升高，很容易自燃。

防止自燃的措施：严格控制上垛水分不超过15%；注意垛内通风；垛内设温度检测装置等。

②交通方便

目的：满足原料场的运输量，避免交通拥挤，车辆堵塞。

方法：主通道为15-20米；在主通道的两边排列草垛。

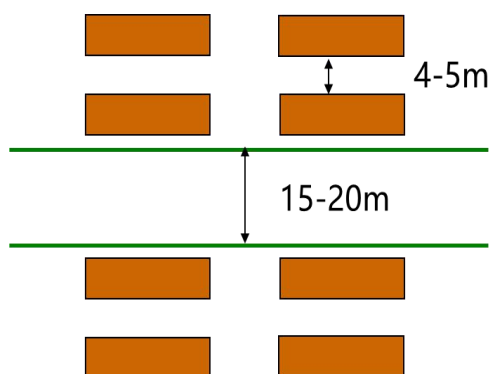


图 2-1 原料场内草垛排列具体尺寸图

③排水畅通

目的：避免原料霉变和原料场积水影响垛基的稳定。

方法：垛基高于周围地面300~500毫米（避免雨积水浸泡原料垛），垛基面层在3~5%的坡度（以利排水），堆垛基边与周围地面保持1:1.5的坡度（确保排水畅通）。

④通风良好

目的：避免原料自燃；降低原料的水分，减少和避免霉烂。

方法：堆垛时应留有通风道，垛间有一定的间隙，垛的长度方向与主导风的方向最好呈 45° 角。

⑤照明良好

目的：满足夜间运输和防火保卫工作。

方法：采用照明灯塔，不宜采用移动线路或架空明线，最好埋设电缆。

2.1.2 木材原料备料

（一）原木备料基本流程

贮木 → 拉木机 → 1. 锯木 → 2. 剥皮 → 3. 去节劈木 → 4. 削片 → 5. 筛选和再碎 → 6. 木片输送与贮存

（二）原木的备料过程及设备

①锯木工段

原木经链式拉木机运送到锯木工段，根据要求把较长的原木锯成一定长度。磨木机适用的原木长度为 0.6 米或 1.2 米，普通削片机要求原木长度为 2.0~2.5 米。



图 2-2 锯木工段示意图

其设备主要分为以下几种类型：

单圆锯：单个锯片，可任意改变锯木的长度。

多圆锯：排锯，由多个等距的圆锯组成，锯木长度大致相等。

带锯：用于长原木的纵向锯开。

链式拉木机是传送原木的链式输送设备，它的特点是重载、慢速、工作环境链式拉木恶劣，机体耐磨、耐腐蚀性能较高。



图 2-3 链式拉木机

②剥皮工段

原因：一般的树皮（韧皮类树种除外）中纤维含量低、灰分和杂质含量高，在制浆中会增加药品消耗、降低纸浆质量并使废液处理困难。树皮有内皮和外皮之分，是否去内皮要视浆种而定。例如：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。

剥皮方法主要分为人工去皮、机械去皮、水力去皮、化学去皮。机械去皮方式又分为刀式去皮、摩擦去皮、挤压去皮。

1、人工去皮

优点：去皮干净，可以只去外皮留下内皮；剥皮损失率小（1%~4%）。

缺点：劳动强度大，成本高，不适于大规模生产。

2、机械去皮

刀式去皮，设备：滚刀式剥皮机，圆环式剥皮机，Rosser 刀辊式剥皮机。

摩擦去皮，设备：圆筒剥皮机（又称鼓式剥皮机、摩擦式剥皮机）。

挤压去皮，主要针对枝桠材或木材加工的边脚料。

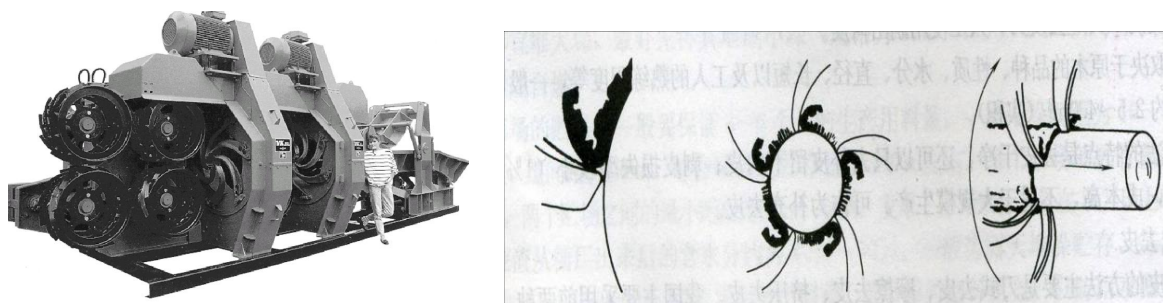


图 2-4 圆环式剥皮机剥皮刀操作简图

连续式圆筒去皮机具有连续转动的圆筒形的转鼓。原木进入圆筒体后（装满

1/2~1/3 体积), 由于筒身转动, 使原木在筒内翻动; 原木互相摩擦及与筒壁摩擦, 树皮即从原木上脱离。特点: 剥皮效率高、重载、慢速、工作环境恶劣, 机体耐磨、耐腐蚀性能较高。

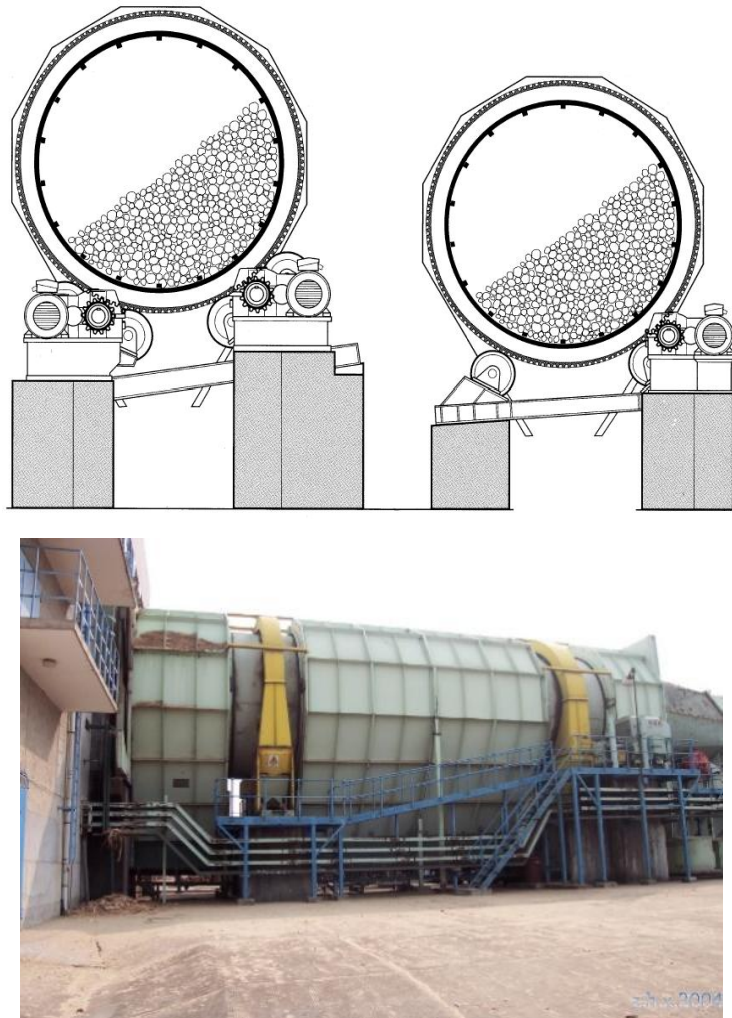


图 2-5 圆筒式剥皮机

3、水力去皮

水力喷射式剥皮机 (hydraulic jet barker), 其原理是以高压水喷射 (超过 6.9MPa) 树皮。优点是效果好, 损失率低于 2%。缺点是投资和动力消耗大, 废水处理困难, 基本转向机械剥皮。

4、化学去皮

在树木砍伐之前, 在距地面 1.2m 左右的树干上, 剥掉一圈树皮 (宽度与树径相等), 并涂上 20%~40% 的磷酸钠溶液。

(三) 去节与劈木工段

①去节

木节对机械法制浆的影响：削片时损坏削片机的刀刃；磨木时易损害磨石表面；降低磨木机的生产能力、增加电耗；使磨木浆中的尘埃增加，影响浆的质量。木节对化学法制浆的影响：在蒸煮时引起渗透困难，致使纸浆质量下降，颜色较深。去节设备为去节机，类似钻床，将原木放在钻台上，利用钻头钻取树节，还可用人工电钻去节。

②劈木

其目的是将大径的原木劈开，以适应削片机和磨木机的装料，同时为了去除木材中的木节、腐木等。设备为劈木机，分立式和卧式两种，立式劈木机又分单斧式和双斧式劈木机。

（四）削片

削片的目的是便于药液在各个方向渗透均匀（木片两端面倾斜切削，使细胞腔暴露出最大面积，便于渗透），适应化学木浆和各种高得率化学木浆蒸煮需要，以及满足木片磨木浆的生产需要。根据木材结构特性，要求木片的长度为 20~25 毫米，厚 3~5 毫米，宽 10~20 毫米，合格率在 90%以上。

削片设备为圆盘削片机和鼓式削片机。圆盘削片机的工作原理是当原木由喂料槽进入削片机时，原木被旋转的削片刀和固定的底刀切削出一块椭圆形木饼，经削片刀和刀牙之间时受到刀牙的作用分裂成一定规格的木片后进入到圆盘的另一面，即被旋转的翅片甩出切片机。在圆盘旋转时削片刀与旁刀也同时进行切削，目的在于防治和减少长木条的产生。

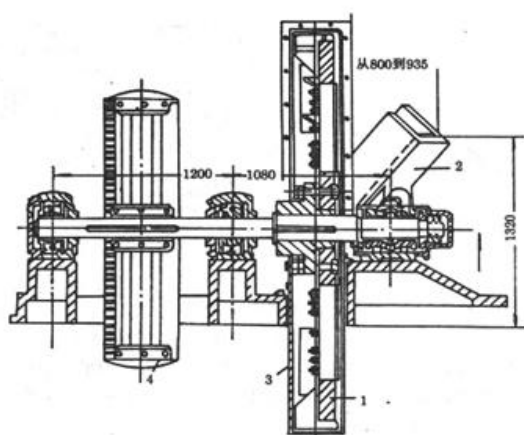


图 2-6 圆盘式削片机

鼓式削片机的工作原理是木材经过输送系统和喂料口进入削片机，在高速旋转

的飞刀与装在机座上的底刀形成的剪切作用下，被削成了木片。削出合格木片通过刀辊下方的筛网孔漏下，经出料系统输出。少许较大木片因不能通过筛网孔，则继续在旋转的刀辊带动下，撞击在碎料杆上得以再次破碎。

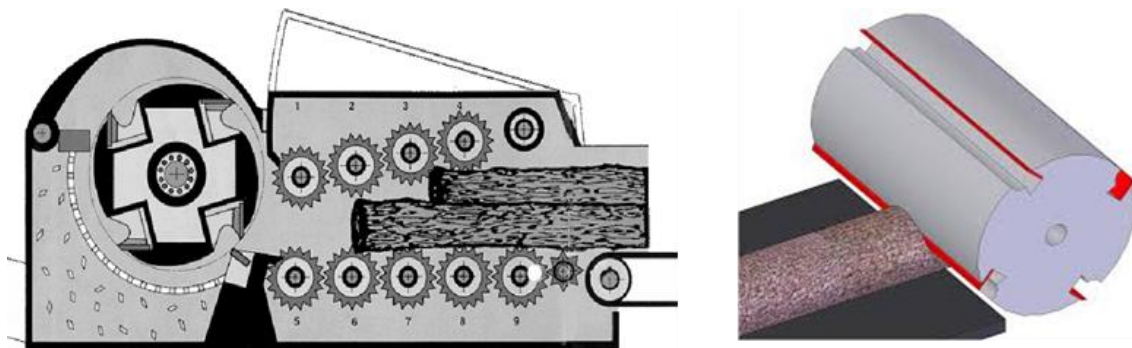


图 2-7 鼓式削片机

（五）筛选和再碎

筛选的目的是从削片机生产出来的木片，往往带有粗大片，长条、三角木，木屑和木节等，不完全合乎规格，因此必须要把过大或过小的木片、碎屑筛选排出。送往制浆的木片合格率要求大于 90%，而来自削片机的木片合格率以为 75%~85% 左右。再碎的目的是过大木片还要进行再碎，再筛，以达到充分利用的目的。过小木片，一般作为废料处理。

筛选设备主要分为以下几种：a. 圆筛（双层木片圆筛）；b. 高频振动框平筛；c. 摇摆式筛片机。双层木片圆筛由两个筛孔大小不同的圆锥形筛网套装在同一主轴的框架上而构成。木片送入最内层筛网，随筛鼓的转动，木片被分成大片、合格片和碎片、木屑。

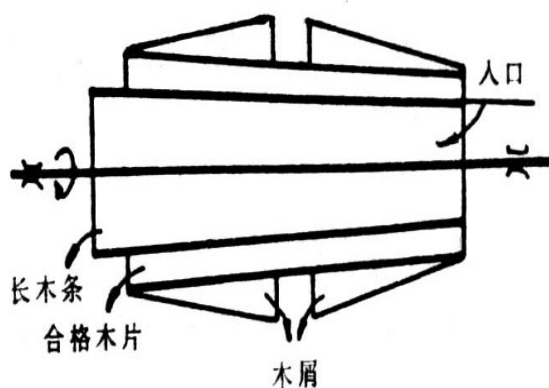


图 2-8 双层木片圆筛

再碎设备主要分为以下几种：a. 再碎机：将木片筛出来的大木片进行再碎处理，

再通过旋风分离器送到木筛进行再次筛选；b. 小型削片机。再碎机分为荡锤式和斜刀式，其作用主要是沿着木片纵向将木片撕裂，而在长度的方向切断的作用较小，设备结构紧凑，便于布置。再碎机将木片筛出来的大木片进行再碎处理，再通过旋风分离器送到木片筛进行再次筛选。

而小型削片机切削木片质量对制浆生产的影响主要有以下几点：

- 1、影响药液的渗透：长度与厚度方向
- 2、影响木片在料仓中的流动性。木片过大会“架桥”。
- 3、影响装锅量，碎细片及粉末增多，抽液时变实，药液循环困难，因此部分会过煮。合格木片长度为 20~25 毫米，厚 3~5 毫米，宽 10~20 毫米。

（六）木片的运输与贮存

木片的运输方式：a. 带式运输：结构简单，动力消耗少，生产能力大，输送距离长，维修周期长，使用较为普遍；b. 斗式提升：提升高度大，可以垂直提升；c. 风送：用风机通过风管输送，设备简单，维修费用低，占地少，但动力消耗大，管道易磨损。木片易受损坏。

木片的贮存：木片仓：蒸煮锅上部，地面上，底部出口处设有出料螺旋输送机。

2.1.3 草类原料备料

（一）稻、麦草备料

①干法备料流程及设备

干法备料流程：切料--喂料、刀辊切草机切草、草片输送；筛选与除尘--除去草片中夹带的谷粒、尘土、草叶、草节。

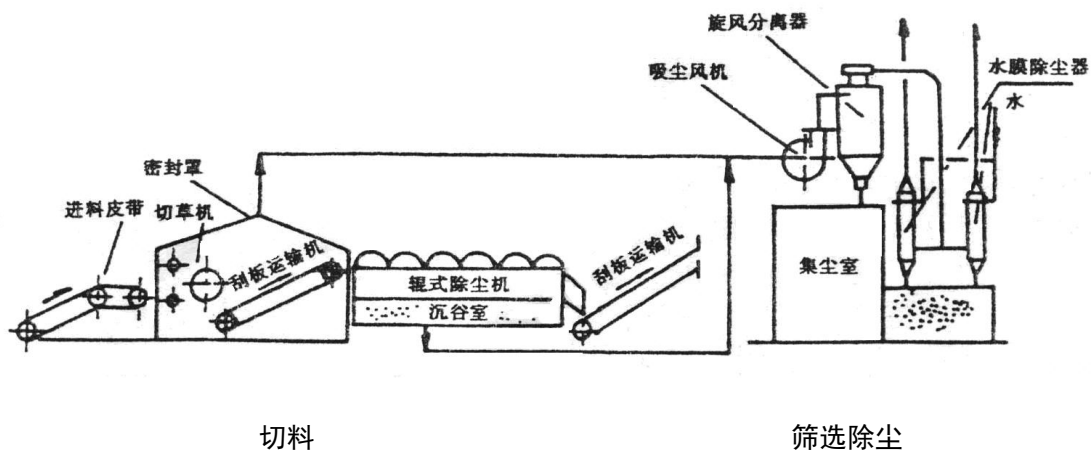


图 2-9 干法备料流程示意图

干法备料的主要设备：**a**: 输送设备：链板输送机；**b**: 切断设备：辊式切草机；**c**: 筛选设备：辊式除尘机（羊角除尘器）。筛选的目的是将草片中夹带的谷物、部分草叶、草节、尘土等杂质分离出来，以降低蒸煮化学药品的消耗，提高草浆的质量；**d**: 除尘设备：集尘室和水膜除尘器（水帘除尘室）。除尘目的—是为了消除切草机切割时揭起的飞尘；另一方面是为了从筛选系统分离开来的杂质中进一步将谷料回收而将留下的草叶、尘土等除掉。

②湿法备料流程

在湿法备料中，草片经水洗、压榨，除尘效果好，能大大降低制浆后黑液中灰分的含量，减少碱回收中硅干扰问题。但耗水量大，设备投资及运转费用较高。因此，许多工厂采用碱回收蒸发工段冷凝水洗草片，降低水耗。

湿法备料主要流程为：碎草机 → 螺旋压榨机（脱水干度达 10%） → 圆盘压榨机（使干度提高到 25%~35%的草饼） → 预碎机 → 送去蒸煮。

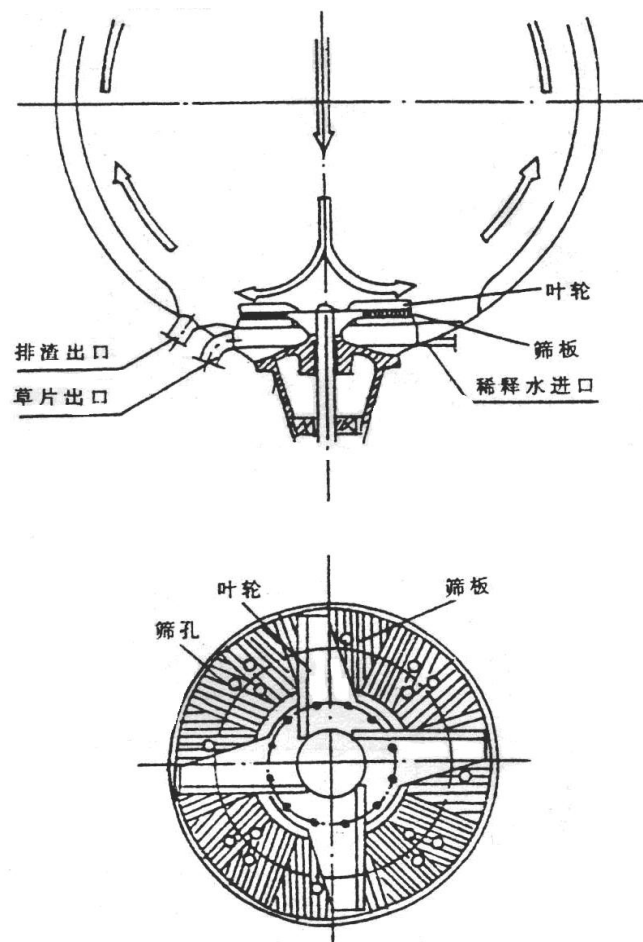


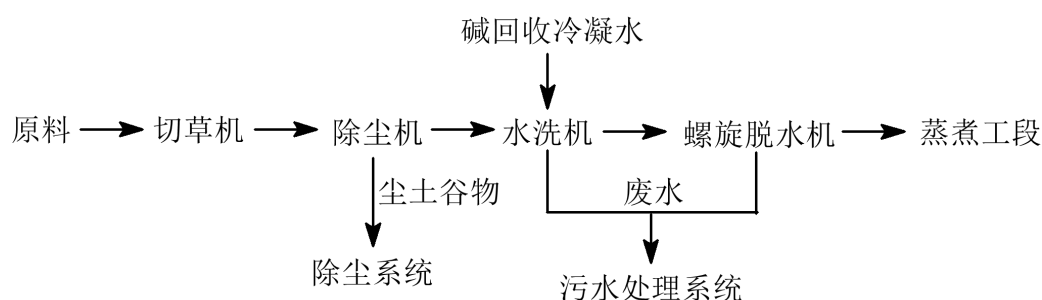
图 2-10 碎解机底部叶轮和筛板示意图

湿法备料的主要设备为水力碎解机。麦草由运输带送入球形的水力碎解机，碎

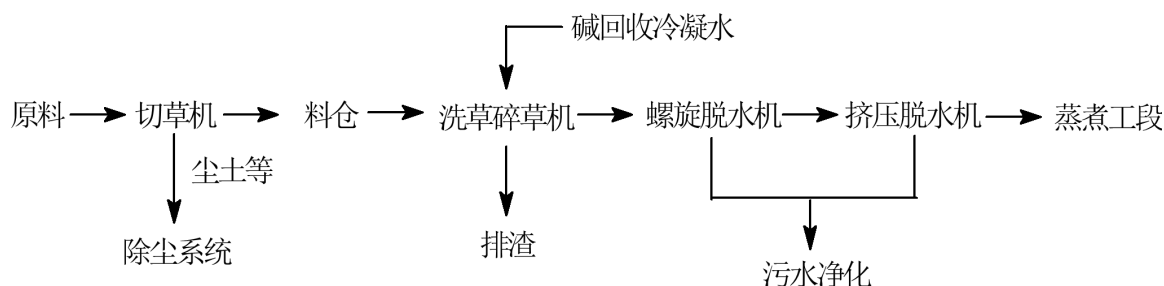
解机底部装有 1600mm 的叶轮，叶轮转动的离心力及球形壳体能产生剧烈的上、下对流搅拌，使麦草得到充分的洗涤。碎浆机底部装有带磨盘的筛板（锥形筛孔 $\text{O}28/30\text{mm}$ ），筛板与叶轮间距 4~6mm。麦草在此间隙中被研磨和碎解成长度约 30mm、纵向已被撕裂的草片，穿过筛孔，以 3.5% 浓度被草料泵抽出，不能穿过筛孔的铁块、石头等重杂质，由排渣机连续排出。

③ 干湿法结合备料

方式 1：干切、干净化、湿洗涤流程



方式 2：干切、湿净化流程



④ 干法备料和湿法备料以及干湿法结合三种备料工艺的优缺点对比

干法备料：

优点：流程简单、操作及运行费用较低，适用于中、小企业生产。

缺点：污染大（尤其空气污染），净化效率低约 6%。

湿法备料：

优点：消除飞尘，改善环境；降低噪音和劳动强度；提高草片质量；减少药品用量；提高得率、强度。

缺点：但投资大，用水多，一般适用于大厂的备料。

干湿法结合：备料工艺比较灵活，采用的厂家较多。

（二）芦苇、荻苇、芒秆的备料

从茎秆的形状及结构来看，芦苇、荻苇和芒秆相似，备料流程基本相同，常采用干法备料和干湿法备料。其主要目的除切断外，要特别注意苇梢、节、穗、膜等

轻杂质的去除，否则，成纸容易出现黄色尘埃并发生“掉苇毛”现象，影响纸的质量。卸料时通过卸料台卸料，卸料台由两组链式输送带组成。切断设备为圆盘式切苇机，由于芦苇的备料要点是除轻杂质，筛选与除尘十分重要，主要设备为旋风分离器 → 圆筛 → 风选机。苇片的备料规格为：长度 30-50mm，合格率大于 80%，含杂率 5% 以下。



芦苇

荻苇

芒杆

图 2-11 芦苇、荻苇、芒杆图片

（三）竹子原料的备料

竹子原料特点为竹类结构紧密，组织内部留有空气，蒸煮时药液渗透困难；另外，竹类木素含量高，蒸煮困难。因此，竹类的备料要点是切断并使竹片分丝，便于蒸煮，其流程为：竹类 → 贮存 → 切竹机 → 竹片筛 → 撕裂机 → 洗涤。竹子削片备料设备为刀辊切竹机和刀盘切竹机。切竹机与辊式切草机相似，喂料部分有差异，切竹机有一对轧竹辊，作用是轧裂竹子并压紧竹料。竹片备料规格为：小径材 20~30mm，不要超过 40mm；大径材（老竹）15~25 mm；合格率要求在 90% 以上。

（四）蔗渣原料的备料

甘蔗渣是糖厂的副产品，榨糖后水分（50%左右）和糖分（2-6%）含量较高，髓细胞含量也高对制浆不利。因此，它的备料要点是降糖、降水、除髓。

蔗渣贮存的目的是满足制浆造纸厂的连续生产的需要，甘蔗制糖属季节性生产，每年只有几个月的生产期。贮存后可降低化学药品消耗，提高制浆质量新榨出的蔗渣水分高，糖分高。贮存方法分为干法贮存和散装湿法贮存。散装湿法贮存在蔗渣中加入生物液（如乳酸菌液），蔗渣在生物液作用下松散堆存，乳酸菌的存在能抑制其他菌的生长，防止蔗渣纤维的变质。（喷淋）湿堆高度达 22~25 米。生物液的 pH 值控制在 3~4 之间。从蔗渣堆流出的回收液 pH 值一般为 5。

蔗渣中一般含有 30%左右的蔗髓，蔗髓是指蔗渣中的海绵状非纤维状物质，由松软、粗而短的薄壁细胞组成，吸水性强。其在蒸煮时增加化学药品消耗；使浆料滤水性差；抄纸时易糊网粘缸；成纸强度低，发脆，透明点多。另外，由于它含硅量高，影响废液的处理。必须除髓。除髓方法分为半湿法除髓、干法除髓、湿法除髓。半湿法除髓是指糖厂压榨后蔗渣含水量在 50%左右进行的除髓。干法除髓是指蔗渣干法贮存、自然干燥后（水分降到 20%以下）进行的除髓。除髓设备为锤击式除髓机。湿法除髓是指蔗渣在 5%的浓度除髓。设备一般为水力碎浆机。优点是不仅可以除去髓，还可除去溶出物及其他非纤维物质（包括残糖、砂、石及灰分等）。对纤维的损伤小，对空气的污染也较小。经湿法除髓的纤维被打散，水分均匀，有利于蒸煮的均匀。缺点是耗水量大，除髓后的蔗渣及回收的蔗髓水分含量高，常给后续的工序带来不便。

（五）麻类及棉杆的备料

原料特点：果胶质含量较高，应贮存半年以上再用。备料流程是：贮存 → 切断 → 筛选。切断设备为辊式切草机，切断后的原料用锤式粉碎机粉碎，再筛选除尘，因为粉碎后，原料分丝，皮带和“髓骨”分离，有利于筛选。

（六）破布类的备料

现在主要是指一些棉、麻织物（如旧麻袋、渔网、绳索等）和棉短绒，除棉短绒外，其它织物由于用过，杂质多较脏，要进行消毒。备料的流程为：挑选 → 消毒干燥 → 切碎 → 筛选 → 除尘。消毒是用高温蒸汽处理，再用热气流干燥，切碎可采用两台辊式切草机垂直安装，筛选和除尘可采用羊角除尘器。

2.2 不同制浆方法

2.2.1 高得率制浆

制浆就是利用化学方法或机械的方法、以及两者相结合的方法使这些纤维原料中的纤维解离，再经净化或精制成本色纸浆或漂白纸浆。高得率浆是指用化学、生物、热和机械的方法使纤维原料分离，制取得率在 65%以上的浆种。主要有两个特征：（1）得率高；（2）涉及机械处理，不涉及机械处理不是高得率制浆。高得率制浆的分类：机械法制浆、化学机械法制浆、半化学法制浆。

（一）高得率制浆---盘磨机械浆

①盘磨机主要分为三种类型：单盘磨、双盘磨、三盘磨。

单盘磨：由 1 个定盘和 1 个动盘组成，由 1 台电动机带动转轴上的动盘旋转进行磨浆，动盘 1500~1800 r/min。单盘磨产量较低，但其设计与制造简单，成本较低。

双盘磨：由两个转向相反的动盘组成，各由 1 台电动机带动，转速为 2400~3000r/min。产量高，趋向于高速、大直径。

三盘磨：由 2 个定盘和中间 1 个动盘组成，动盘两侧具有两齿面，分别与 2 个定盘组成 2 个磨浆室。增加磨浆面积，在不提高转速及增加盘径情况下，磨浆面积增加两倍，提高产量、改善浆的质量。

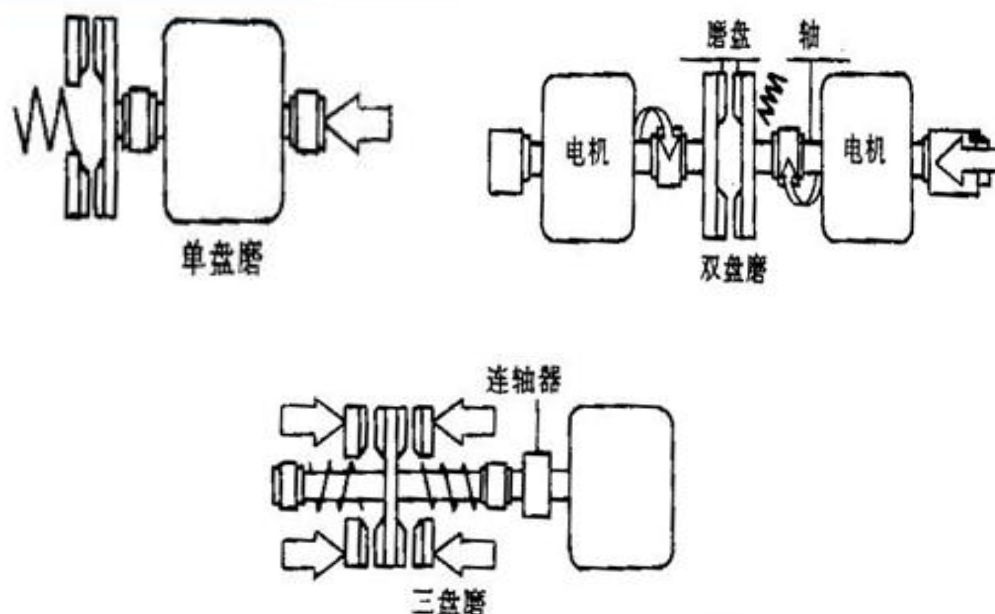


图 2-12 盘磨机的类型

②盘磨机的结构

盘磨机主要结构由磨盘、主轴、机壳及支架、盘磨螺旋进料器、调节磨盘间隙的油压循环系统和轴承、带有冷却水系统的密封箱等部分组成。齿盘：盘磨机的核心部件，直接对磨浆质量、产量和能耗产生影响。齿盘在结构上可分为整体齿盘与组合齿盘；从形状上可分为圆形与扇形；从用途上可分为一段齿盘、二段齿盘、精磨齿盘、粗渣齿盘。

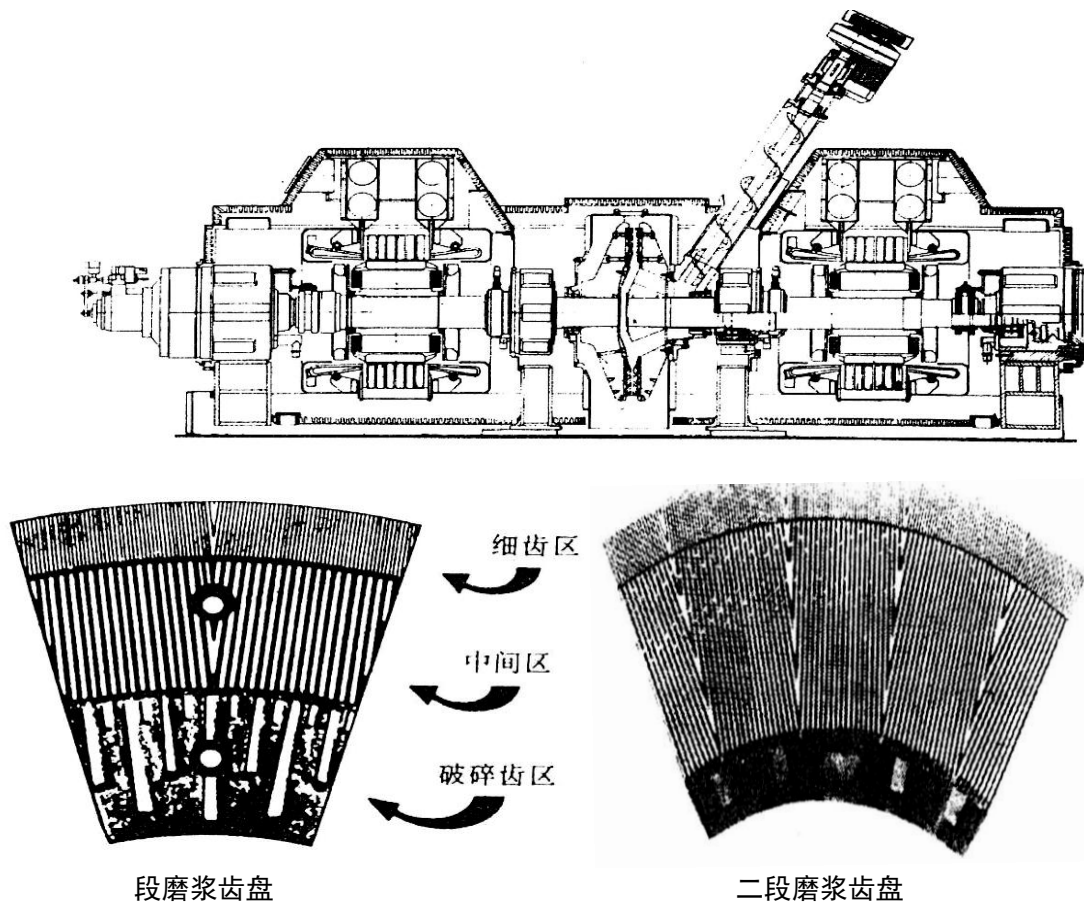


图 2-13 盘磨机的结构

③盘磨机磨浆机理盘磨机在磨浆过程中存在三个明显的重叠交叉阶段：破碎区、粗磨区、精磨区。

a. 破碎区：

位置：磨区入口（磨盘中心）。

磨盘：齿盘间隙最大，刀片厚，刀数少。

木片：木片在高温下破碎，成火柴杆状小木条。（木片在磨区入口处被解离成较粗糙的碎块）。

b. 粗磨区：

位置：磨区中部。

磨盘：齿盘间隙由内向外逐渐变窄。

木片：停留时间较长，逐渐被磨碎成针状木丝，在相互摩擦及齿盘作用下，被离解成纤维束及部分单根纤维。（碎块在磨区中部被离解成纤维）

c. 精磨区：

位置：磨区外围。

磨盘：靠齿盘外周，齿数增多，齿沟变窄。

木片：进一步细纤维化，离解。（纤维在磨区外围进行细纤维化）

首先木片在磨区入口处被破碎成粗糙的碎块；然后在磨区中部，碎块被离解成纤维；最后在磨区外围，齿盘间对纤维进行精磨。最重要的是第二阶段，粗纤维束在磨区内成不定向排列，在齿盘的剪切作用下被打碎，与盘齿平行的纤维束分离成纤维，而与盘齿垂直排列的纤维束则被磨成碎片，盘磨机磨浆可自成典型的纵向磨浆方法。在盘磨机磨浆区内圈，有相当数量的粗大纤维束产生再循环作用，即沿定盘的齿沟回流到破碎区，再沿动盘齿沟流向磨碎区外圈；在粗磨区，纤维受到盘齿剪切、摩擦力等复合作用分级；在精磨区，纤维沿齿和齿沟向前流动，对纤维所作的功大部分在此完成，且不会降低纤维长度，浆强度在这个区得到迅速发展。

④盘磨机磨浆影响因素

a. 材种与料片规格

木材种类、纤维形态、化学组成有关研究表明，用密度小、生长快、秋材含量高、抽出物含量低的木材，可生产出强度较高的盘磨机械浆。

b. 磨浆浓度

是重要的影响因素，一般控制在 20%~30%范围。第一段目的在于分离纤维，为减少纤维的切断，主要应靠纤维间的相互摩擦作用分离纤维，因此，浆浓度宜高些，一般在 25%左右。第二段磨浆主要在于发展强度，磨浆浓度不宜太高，在 20%左右。

c. 预热温度（压力）和时间

预热（汽蒸）的作用：对 TMP，软化纤维胞间层木素，使纤维易于分离。预热温度影响纸浆质量。预热温度过高（超过木素玻璃化转移温度）：木素充分软化，纤维分离发生在胞间层和次生壁之间，纤维分离后表面覆盖着木素，一段磨浆后浆料冷却，原来软化的木素变硬形成玻璃状外壳，成为二段磨浆的障碍，造成难以细纤维化，磨浆动力消耗大，浆料白度下降。预热温度过低：木素未能软化，纤维发生不规则分离，产生碎片多，纤维长度降低，纸浆强度下降（类似 RMP）。据有关研究，在接近（稍低于）木素玻璃化转移温度时，纤维分离发生在次生壁外层，有利于二段磨浆产生细纤维化作用，提高纸浆强度。木素玻璃化转移温度的下限为 120-135℃。预热时间一般为 1-2min。

⑤磨浆能耗与能量分配

离解纤维和单根纤维的细纤维化，都需要外界提供能量。离解只消耗较少的能

量，大部分能量消耗于纤维的进一步磨解（精磨）。在两段中合理地分配能耗有利于提高浆料的强度性质。有研究表明，对于 TMP，一段磨浆能耗占总能耗的 50%左右时，浆料的强度较好。能耗一定，浆浓高，间隙应加大；浆浓一定，间隙小，能耗会增加。用于离解纤维，间隙应大些，用于精磨（发展强度）则间隙应小些。间隙 200m 时，磨盘震动，纤维长度剧烈下降，纸浆强度明显下降。

⑥磨盘特性

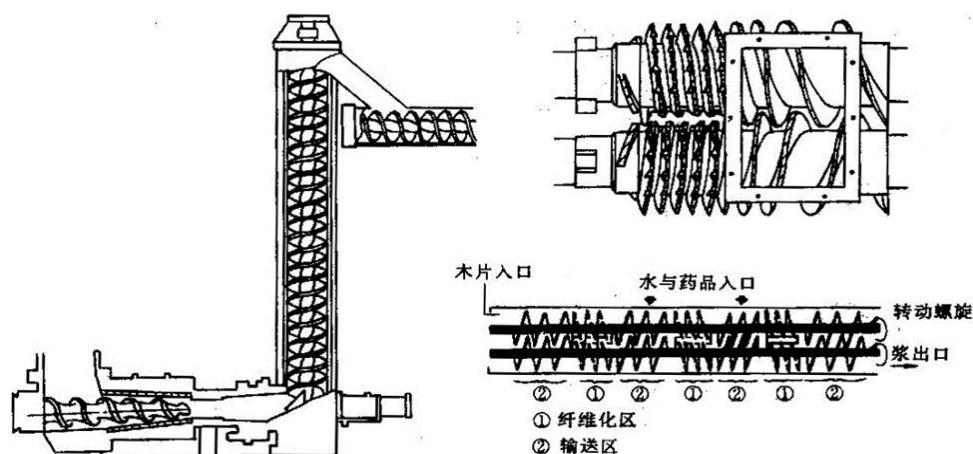
齿型：齿的长短、数量、粗细；齿的排列与分布；齿槽的深浅、宽窄和分布；浆档的设置；三个区的划分与磨浆面积等，均影响生产能力、浆料质量和能耗。一定齿型下，增大齿角，有利于发展纤维强度；减小齿角，切断作用增大。齿盘锥度：指单位径向上的坡度，随材种、得率、齿型结构而变。提高磨浆浓度，锥度应加大。磨盘在破碎区设计成有锥度的目的，一是使原料易于进入，二是避免机械能量骤增。磨盘材料：关系到磨盘的使用寿命（铬钨钼合金、陶瓷、塑料等）。

（二）高得率制浆---化学机械浆

化学机械浆分为 CTMP、APMP、PRC-APMP 等。其优点是得率高、污染负荷轻、生产费用低和容易上马，强度优于机械浆，可用于配抄新闻纸、印刷纸、书写纸等。化学预处理（预浸渍）中的化学药品： NaOH 、 Na_2SO_3 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaOH}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + \text{NaOH}$ （或其它 pH 缓冲剂如 MgO 等）、 $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$ 等。

①CTMP（化学热磨机械）

化学热磨机械浆（CTMP）是在 TMP 和 CMP 的基础上发展起来的，它是在 TMP 生产系统中增加了一个化学预处理段。用作化学预浸渍的设备有 Prex 预浸器或双螺杆挤压机（BIVIS）。这两种设备，都是使木片首先受压缩，然后再膨胀以吸收预浸的液体。



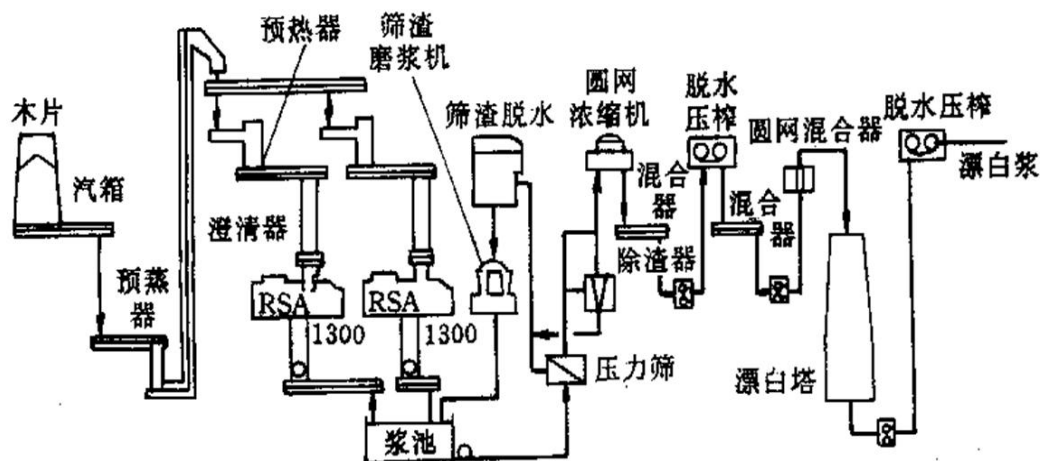


图 2-14 CTMP 典型生产流程

木片 → 筛选和洗涤 → 常压汽蒸 → 冷 Na_2SO_3 浸渍 → 蒸汽加热并在 $80\sim 90^\circ\text{C}$ 反应仓停留 $30\sim 60\text{min}$ → 预热器中加热至 $120\sim 130^\circ\text{C}$ → 两段磨浆，磨后浆料经过消潜、筛选、除渣，然后进入浓缩和漂白段。筛选出来的渣浆经过浓缩之后进入渣浆磨。

CTMP 的化学处理的目的和任务主要有以下几点：

- 在保证高纸浆得率的基础上，制造出能满足某些产品性能（包括物理强度和光学性能）的高得率纸浆；
- 为了降低生产成本，少用或不用高价的长纤维化学浆；
- 开辟制浆原料来源，充分利用其他制浆方法不太适宜或较少使用的阔叶木，特别是蓄量较大的中等密度的阔叶木；
- 软化纤维，为提高强度，减少碎片，改善质量创造条件；
- 节约磨浆能耗，延长磨浆设备的齿盘寿命等。

对比 TMP，CTMP 具有的优点为：a. 长纤维组分多，纤维束少；b. 具有较好的柔韧性，主要表现在具有较大的紧密性，改善了抗张强度与撕裂强度；c. 可漂性得到改善，白度较高；d. CTMP 中易于脱除树脂，这是因为在碱性条件下，磨浆时树脂组分得以很好分离，在随后的洗涤中极易除去。

CTMP 的应用主要有：a. 新闻纸的生产，传统配比：化学木浆 $20\%\sim 30\%$ ，SGW $70\%\sim 80\%$ ；使用 TMP 时，可以按照 5:1 的比例取代 BKP 生产新闻纸；使用 CTMP 时，则可以 2:1 的比例取代化学浆；也可采用 100%CTMP 生产新闻纸。b. 印刷书写纸的生产，采用 CTMP 代替部分化学浆生产印刷纸，可以提高纸页的松厚度、挺度和不透明度。CTMP 稍高的表面粗糙度和稍低的白度，可通过添加稍多的填料来补偿。结合力不好的长纤维，会降低印刷性能，引起掉毛。因此，CTMP 在磨浆时应

充分细纤维化，以产生大量的带状纤维，抄出的纸具有较高的强度与不透明度，并能增加表面平滑度，使光散射系数与强度获得最佳组合。c. 吸收性薄纸的生产，如卫生纸、面巾纸等，要求浆具有高松厚度、优良的柔软性、良好的吸收性和满意的强度。CTMP 的高游离度，低纤维束含量，较多的长纤维组分，较少的细小纤维以及较低的抽出物含量，适合这类薄型纸的要求。d. 纸板的生产，与 SGW、TMP 相比，CTMP 更能满足纸板所应具有弯曲挺度、剥离强度及印刷性能等重要特性。CTMP 大部分用于纸板芯层或内层。e. 绒毛浆生产，这种浆的基本要求是，树脂含量（二氯甲烷抽出物，DCM）要低于 0.08%，游离度高、吸水性好、初始渗透速度快。CTMP 的基本特性，可保证满足这类吸收性产品的需要。

②APMP, P- RC APMP（碱性过氧化氢机械浆）

APMP 制浆的最大特点就是将制浆和漂白合二为一，制浆的同时完成漂白过程。主要使用 NaOH 和 H₂O₂ 两种化学药品，其作用分别如下：

NaOH 的作用：

1. 保证预处理药液有一定的碱度，促使 H₂O₂ 离解出过氧氢离子 HOO⁻，充分发挥 H₂O₂ 的漂白效果；
2. 润涨和软化纤维，溶出某些抽提物及木材中的短链的半纤维素，并溶出小分子量的木素。

H₂O₂ 的作用：

1. 在碱性条件下按下式进行分解 $H_2O_2 + OH^- \rightarrow H_2O + HOO^-$ ，分解出的过氧氢离子与木素反应，改变木素发色基团的结构，例如木素结构中的醌型， α -羰基结构，侧链上的共轭双键等，并氧化它们为无色的木素分子；（无色）
2. 在漂白血素分子的同时，使木素大分子侧链断裂，变成小分子木素溶出；
3. 向木素分子中引入羧基，增加木素亲水性，使木素软化，其作用与向木素中引入磺酸基类似。（亲水）

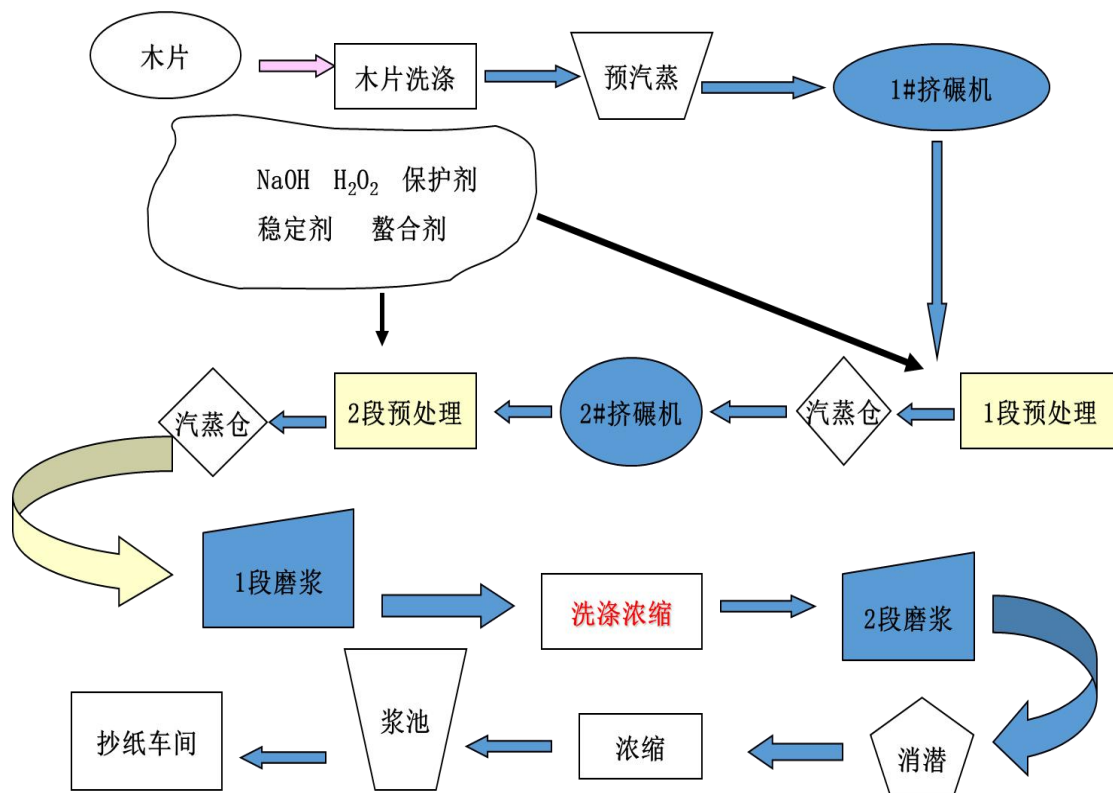
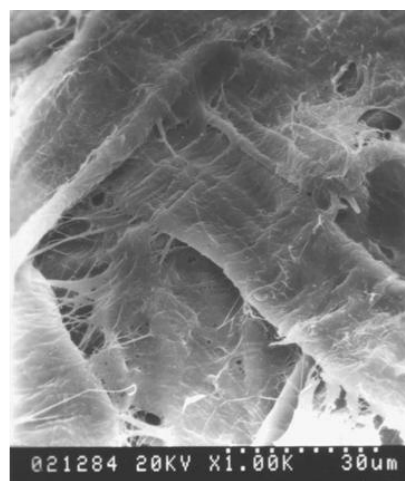


图 2-15 APMP 工艺流程图

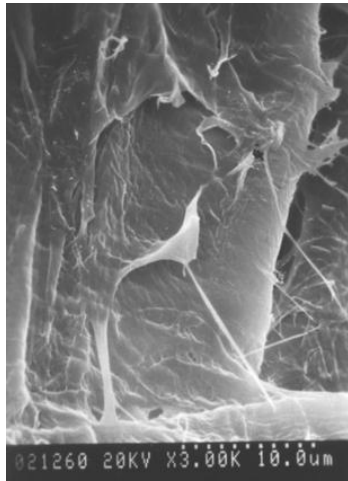


4%NaOH 用量

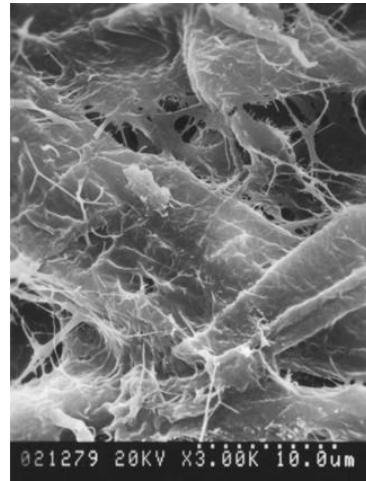


8%NaOH 用量

图 2-16 不同 NaOH 用量下纤维形态扫描电镜观察



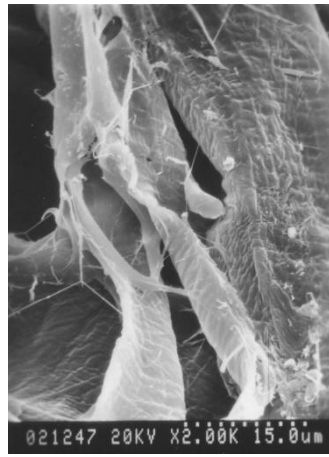
纤维的层解现象



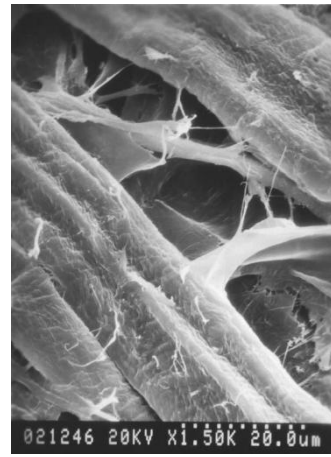
纤维的细纤维化



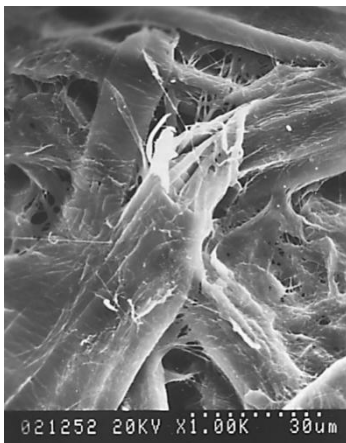
磨浆初期纤维形态



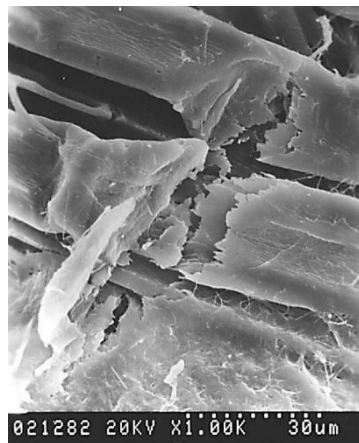
纤维与纤维的分离



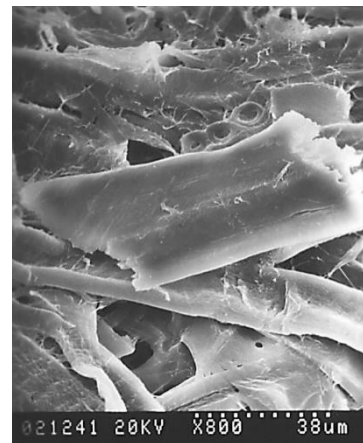
纤维与纤维的分离



磨浆初期细胞壁的扭搓



磨浆初期细胞壁的断裂



被切断的纤维段

图 2-17 磨浆过程中纤维形态变化的扫描电镜观察

化学、机械两段制浆，化学处理占主导，化学处理条件介于化学浆和化机浆之间，生产化学浆的方法原则上都可用于半化学浆的生产。一半左右的半纤维素和木

素溶出，得率在 65%-84%。常用方法为 NSSC（中性亚硫酸钠法），废液回收难。用途：新闻纸、文化纸、包装纸、纸板，前景：浆的强度差，纤维束多，纸的外观和印刷适性不好，漂后易返黄。基本上被淘汰。

2.2.2 化学法制浆

化学法制浆是利用化学溶出的作用，使植物纤维原料中的木素溶出，纤维彼此分离，成为纸浆，我们平时所说的“蒸煮”，就是指“化学法制浆”。化学法制浆的目的是溶出原料中的木素。

（一）化学法制浆的要求主要有两点

1. 尽可能多地脱出植物纤维原料中使纤维黏合在一起的胞间层木素，使纤维细胞分离或易于分离。
2. 使纤维细胞壁中的木素含量适当降低，纤维素溶出最少，半纤维素有适当的保留（根据纸浆质量要求而定）。

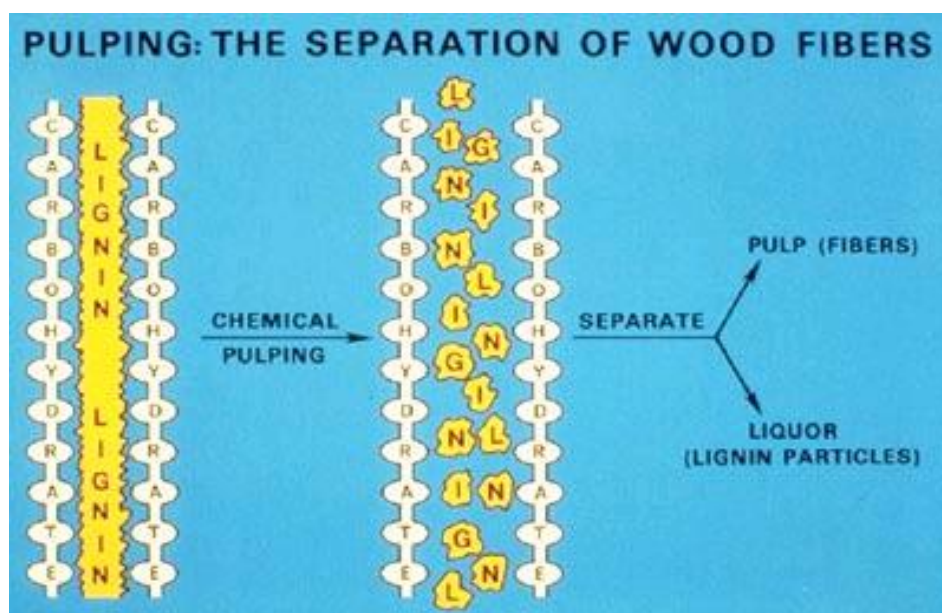


图 2-18 化学制浆法分离木素

（二）化学法制浆的分类

化学法制浆主要包括：碱法制浆和亚硫酸盐法制浆。碱法制浆主要包括：烧碱法和硫酸盐法。烧碱法：又名苛性钠法，活性药剂：氢氧化钠 NaOH ，国内草浆厂大部分采用烧碱法蒸煮。硫酸盐法：简称 KP 法，活性药剂：氢氧化钠 NaOH +硫化钠 Na_2S ，木浆蒸煮。除上述两种方法之外，还有石灰法，活性药剂：氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

①碱法蒸煮液的组成

碱法蒸煮液通常由白液和一定量的黑液加水混合而成，主要有两种：

1. 由商品化学药品制备蒸煮液

将外购的固体或液体的 NaOH、Na₂S、和 Na₂SO₃ 等，分别溶解成一定浓度的溶液，并沉淀、过滤。

2. 由碱回收的白液配制蒸煮液

根据蒸煮要求和白液的浓度、硫化度，在蒸煮废液碱回收时，补充适量的 Na₂SO₄、Na₂CO₃ 等化工原料。

②碱法蒸煮液的性质

烧碱法：80—85%NaOH，15-20%Na₂CO₃

硫酸盐法：NaOH+Na₂S，少量 Na₂CO₃、Na₂SO₄ 等

蒸煮液中含有 Na₂Sn（多硫化钠）时，对蒸煮有益，能提高蒸煮得率，有强烈的腐蚀作用。烧碱法：强碱性质，PH=14 左右，硫酸盐法中由于 Na₂S 在水溶液中的存在受溶液 PH 值影响：

当：PH 值=14 时，主要以 S²⁻形式存在；

PH 值=13 时，S²⁻和 HS⁻各半；

PH 值=10 时，主要以 HS⁻为主；

PH 值=5 时， 主要以 H₂S 为主。

在硫酸盐法蒸煮过程中，开始 PH 值=14，终了时 PH 值大约为 10-12。因此可以断言，在硫酸盐法蒸煮过程中，Na₂S 主要以 S²⁻和 HS⁻形式存在。

（三）几种碱法制浆的比较

就制浆速率、纸浆得率、纸浆质量和生产成本而论，硫酸盐法优于烧碱法。其特点：脱木素能力强，浆强度大，颜色深难漂白，废气污染大，废液回收成熟（但投资大）。

硫酸盐法制浆的优点有以下几点：（1）适应任何原料：可使用任何树种和非木材原料，原料供应有很大的灵活性，容许木片中有相当量的树皮，蒸煮时间较短，纸浆具有较高的强度。（2）易与现代漂白方法结合：五十年代采用了高效率的二氧化氯作为漂白剂后，硫酸盐法成为生产漂白浆的主要方法。树脂障碍和草类的表皮细胞群块少，问题较少。（3）黑液回收完善：有效率高的硫酸盐废液回收方法，即碱回收可以从一些材种中制取松节油和塔罗油等副产品。

（四）碱法制浆生产流程简介（烧碱法和硫酸盐法）

1. 送料：植物纤维原料经过备料后，合格的料片送至蒸煮器中。
2. 汽蒸：对于木材原料，木片先经蒸汽汽蒸，将木片中的空气驱除，以利于蒸煮药液浸透。
3. 送液：然后将蒸煮液（一般 80-100℃）送入蒸煮器内。蒸煮液由白液、黑液和水按照设定的浓度配制而成。送液量由蒸煮的液比和木片水分而定。
4. 空运转：送液完毕，为了使蒸煮化学反应进行得均匀，可在升温之前进行空运转。
5. 升温：然后通过间接加热或直接通蒸汽加热升温至蒸煮化学反应所需要的温度（一般 150-170℃）。
6. 保温：并在此温度下保温一定时间，使原料中的木素脱除，纤维彼此分离
7. 放料：蒸煮到达终点后，蒸煮器内的物料直接喷放或者泵送到喷放锅内。

（五）药液浸透

蒸煮过程主要是脱木素的过程。同时，不可避免地会使部分纤维素和半纤维素受到一定程度的降解。

①蒸煮过程

蒸煮过程是一个复杂、多相、多种化合物发生化学变化和物理变化的过程，具体如下：

1. 蒸煮药液中的离子（OH⁻、SH⁻等）渗透和扩散到料片中；
2. 料片中的木素等化学组分吸附蒸煮液中的 OH⁻、SH⁻等离子；
3. 蒸煮液中的 OH⁻、SH⁻等离子与木素等木材成分发生化学反应；
4. 反应生成物溶解并扩散到木片外部；
5. 反应生成物传递到周围药液中。

②蒸煮原理

蒸煮的目的是除去木素，使纤维彼此分离。要制得均一的纸浆，则纤维在分离过程中受热的化学溶液的作用要相同。所以，在剧烈的化学反应进行之前，药液均匀的浸透到原料中去是非常必要的。蒸煮液一接触到木片或草片，就开始向木片或草片内部渗透，并开始一系列的化学反应。因此，浸透作用对顺利完成化学反应将起到非常重要的作用。

根据药液浸透推动力的不同，药液浸透方式分为两类：

1. 压力浸透，推动力是压力差，即毛细管作用和外加压力的作用。蒸煮初期，

特别是原料水分较低时，药液浸透以毛细管作用为主。

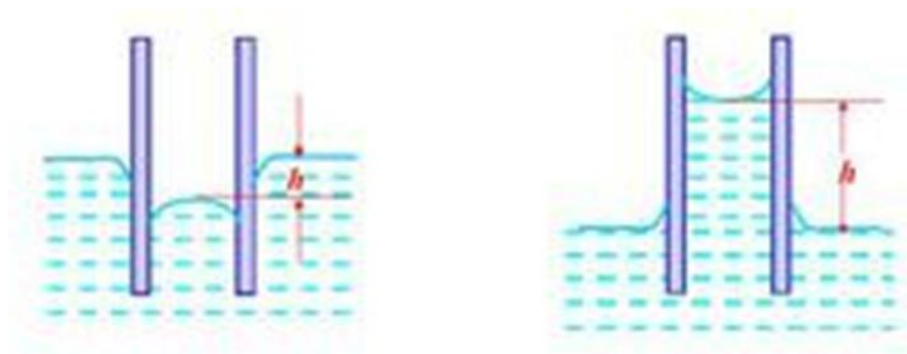


图 2-19 毛细管现象

毛细管原理：含有细微孔隙的物体与液体接触时，使该液体因而沿孔隙上升、渗透或下降的现象。当液体和固体（管壁）之间的附着力大于液体本身内聚力时，就会产生毛细现象。案例：把一张纸巾浸入一杯水中，水就会“爬”上纸巾，直到它无法克服地球的重力为止。

2. 扩散浸透，即扩散作用，推动力是药液在料片周围和里面的浓度差。蒸煮中后期，水分含量达到纤维饱和点时，浸透主要是扩散作用，特别当温度超过 140°C 时，脱木素速率加快，纤维细胞腔已被液体所充满，扩散作用是药液浸透的主要形式。

当原料含水分高至饱和点时（即毛细管中充满水），则完全为扩散浸透。扩散浸透效果取决于以下因素：（1）药液离子浓度梯度（浓度差）；（2）毛细管有效截面积；（3）药液分子/离子的活性和大小；（4）原料水分；（5）药液温度；（6）药液组成及性质。

③影响药液浸透的因素

1. 药液的组成和 pH 值

pH 大于 13，纤维轴向的扩散作用与横向的扩散作用比较接近 1：0.8。

pH 小于 13，纤维轴向的扩散作用比横向的大 10-40 倍。

蒸煮药液的组成不同，其 PH 值不同，会影响纤维的润胀情况，从而影响毛细管的有效面积，最终影响扩散作用。

当药液 PH 值 > 13 时，由于药液对纤维细胞壁的润胀作用，产生了许多“暂时毛孔”，大大增加了扩散作用的渠道，纤维轴向和横向扩散作用差别较小。

当药液 PH 值 < 13 时，则“暂时毛孔”不会出现，纤维轴向和横向的扩散作用差别较大。因此，在采用 pH > 13 的蒸煮液蒸煮时，可以进行快速升温；而采用低 pH

蒸煮液蒸煮时，就不应进行快速升温，否则会造成蒸煮不均匀。

2. 温度

温度升高，药液黏度降低，表面张力下降，扩散系数增加，药液压力渗透和扩散渗透都会加快。

3. 压力差

压差增大，药液浸透速率加快。压差来源：毛细管作用而产生的压力差；料片外部液体静压产生的压力差；蒸汽装锅、木片预汽蒸、连续通汽排气等操作，使原料内的空气受热膨胀而排除一部分，在毛细管内留存一定量水蒸气，等温度较低的药液与料片接触时，使料片内的蒸汽冷凝造成部分真空而产生压力差；蒸煮送液时，用泵加压而造成压力差。

4. 纤维原料种类和料片规格

---原料种类和性质。一般来说，密度小、胞腔大、壁薄、树脂少的原料，药液容易浸透。

---料片规格。削片要适当斜切，以增大纤维胞腔的暴露量，木片长 15-20mm，厚 3-5mm。

---水分。水分控制在 40%时，浸透速率最快。

5. 强化药液浸透的措施有：蒸汽装锅和预汽蒸；蒸煮器外药液预浸；装锅送液时，适当提高药液温度，预热至 70-85℃后送入蒸煮器内；抽真空；液相变压法。

（六）脱木素历程

①木素的脱除反应

1. 木素从植物原料中溶解出来的基本方法：降解木素大分子为较小的能溶解在水中或蒸煮液中的碎片。例如木素与硫化钠反应；将亲水取代基与木素大分子相连接，使它的衍生物可溶于水中或蒸煮液中。例如木素与亚硫酸盐反应，生成木素磺酸盐。增加脂肪族和（或）芳香族羟基或羧基的数量，以提高木素的亲水性。

2. 碱法蒸煮脱木素的特点：木素大分子碎解为小分子从原料中溶解出来。实际上，就是木素大分子的结构单元间各种连接键发生断裂，同时也关系到断裂了的木素分子不再缩合变为大分子。

3. 烧碱法蒸煮的反应剂是 OH^- ，硫酸盐法蒸煮的反应剂是 OH^- 和 HS^- 。其共性是：都具有碱性，通过化学反应，在木素大分子中引入亲液性的基团，使木素大分子降解，变为分子量较小、结构较简单、易溶于碱液的碱木素和硫化木素。

②碱法蒸煮过程中脱木素的反应历程

脱木素反应历程：蒸煮过程中，木素的脱除随温度和时间变化的情况。反映：（1）脱木素的快慢，即速率；（2）脱木素量的多少，即程度。

不同原料使用不同的蒸煮方法，其化学反应历程有所不同，一般认为，可以分为三个阶段：木材原料碱法蒸煮的脱木素历程；草类原料碱法蒸煮的脱木素历程；木材原料碱法蒸煮脱木素历程。针叶木与草类蒸煮反应历程的比较。但各种原料用不同的方法蒸煮，其各个阶段的具体划分有所差异。

初始脱木素阶段：从升温开始到 140°C，主要是药液浸入料片，木素溶出少（只有小分子量的溶出），占原料总木素的 20%~25%。

大量脱木素阶段：升温至 140°C 以上，蒸煮液的浓度下降不多，前阶段浸入原料的药液与木素大量反应，而木素的溶出量相当于原料木素 70%~80%，因此，这一阶段主要是木素从料片中溶出。

残余木素脱除阶段：蒸煮液的浓度继续下降，但木素的溶出速率和溶出量均很小。可以说，这一阶段的脱木素作用已经不大了，继续进行蒸煮，势必造成碳水化合物的大量降解。

③草类原料碱法蒸煮的脱木素历程

大量脱木素阶段：升温到 100°C，木素脱除 60% 以上。

补充脱木素阶段：从 100°C 升温至最高蒸煮温度，木素脱除越 30%。

残余木素脱除阶段：木素的溶出量不足 5%。由于这是在最高蒸煮温度下的保温，且木素已经大量溶出，继续进行蒸煮会对碳水化合物造成伤害，致使成浆的强度与得率下降，要特别慎重。

（七）蒸煮 H 因子和碳水化合物降解

1. H-因子的意义：

主要控制蒸煮后纸浆的硬度。通过计算所必需的总 H-因子数，用来控制蒸煮的升温、保温的温度和时间。虽然蒸煮温度不同，只要 H-因子相同，所得纸浆木素含量及得率相同。（即获得相同质量的纸浆）同一原料，在用碱量、硫化度、液比等蒸煮条件相同时，控制 H-因子相同，则其纸浆得率及浆中木素含量相同。

如何利用 H-因子控制蒸煮质量？

已知：硫酸盐法蒸煮竹子，活化能 $E=38200 \text{ J/mol}$ ，气体常数 $R=8.3 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ ，当 $T=373 \text{ OK}$ （100°C）时，令 $K=1$ ，代入反应动力学方程式：

$$\ln K = \ln k_0 - \frac{E}{RT}$$

得出： $\ln K_0 = 12.35$ ，将其代回上式，得出： $\ln K = 12.35 - E/RT$ 依据上式，可以求出任意温度下的相对反应速度常数 $K(T)$ 。

2. 碱法蒸煮过程中的碳水化合物降解化学

蒸煮的目的主要是脱木素，但是碳水化合物的降解也是难以避免的。碱法蒸煮时的碳水化合物降解反应有两种：剥皮反应：剥皮反应在升温至 100°C 时就开始了，在低于 150°C 时，剥皮反应是降解的主要原因。碱性水解一般在温度升至 $150\text{-}160^{\circ}\text{C}$ 时才发生，温度愈高，这两种反应就愈剧烈。

(1) 剥皮反应

剥皮反应是在碱性条件下，各种聚糖的醛末端基的降解反应。剥皮反应发生的结果：大分子链变短、聚合度下降，得率降低。

可用多硫化物、硫化氢、蒽醌和硼氢化钠处理来变更还原末端基，以减轻降解作用和提高纸浆得率。

(2) 碱性水解

碱性水解的反应是一种环氧化作用的结果。碱性水解发生的结果：纸浆平均聚合度下降，强度降低，同时制浆得率下降。到目前为止，还没有一种助剂能减少碱性水解，只有采取降低蒸煮最高温度这唯一的办法。

(八) 蒸煮方法与技术

1. 间歇蒸煮

用木片和白液填充容器，然后用蒸汽加热至预定的蒸煮温度和压力。经过一定的蒸煮时间，内容物送至储料罐，然后这一过程反复。

2. 连续蒸煮

顾名思义有相当稳定的木片投入和纸浆纤维流出。这些木片通常是先在蒸汽容器中经过预热。随着木片下移通过蒸煮器（垂直型），它们充分被加热、蒸煮、清洗，然后冷却和排放到卸料桶。蒸煮液的间接蒸汽加热是用来控制蒸煮器各部分的温度。比起间歇流程，大多数较新的浆厂更喜欢采用连续蒸煮流程。

(九) 碱法（苛性钠法和硫酸盐法）间歇蒸煮

操作过程：装锅、送液；升温、小放气；保温；大放气、放料。用不同的蒸煮液或不同的蒸煮设备，蒸煮不同的原料，它们之间有些具体的差异。

(1) 装料、送液

装料要多：以提高单位容积的装料量

送液与装料要配合：使药液与料片混合均匀，以保证蒸煮均匀。

装料时间要短：特别是装草片，先装的草片和后装的草片与热药液接触的时间相差大的话，将影响蒸煮的均匀性。送液的温度要适宜：太低会影响装料量，太高又将影响蒸煮的均匀性。

(2) 升温、小放气

升温要求：升温时间宜稍长，且均匀升温。原因如下：

可以弥补装料、送液时原料与药液混合不均匀的不足，使蒸煮质量均匀，减少粗渣率，避免出生料。大部分草料在升温过程中，脱木素作用可以基本完成，并分散成浆。升温到一定温度或压力下，需进行小放气，其作用：

a. 排除蒸煮器内的空气和其他气体，消除假压，利于升温。

b. 小放气时，锅内产生自然沸腾，减少锅内不同部位的温度差和浓度差，利于药液浸透和均匀蒸煮。

c. 松木原料回收松油节。

(3) 保温

在最高温度下的保温和蒸煮终点的确定：不同原料，采用不同的蒸煮工艺，在最高压力或温度下的保温时间不同。实际操作中，蒸煮终点的确定，除了依靠残余药液的分析外，可参考原料的品种、季节，蒸煮条件和最近放锅的浆样来判断是否到达蒸煮终点。

(4) 大放汽和放料

烧碱法和硫酸盐法，蒸煮终了，可以进行大放汽，把球内压力降至零，然后进行“倒料”。但目前较多采用“喷放”。喷放即在蒸煮终了时，不进行大放汽而直接进行全压喷放，或稍放汽降低压力后，进行喷料。（减压喷放）

(十) 碱法连续蒸煮过程与工艺

连续蒸煮是通过连续作业，完成蒸煮过程，即连续地完成蒸煮的装锅、送液、升温、保温和放锅等全过程。65%KP浆采用连续蒸煮技术。连蒸工艺的缺点：设备结构复杂，附属设备较多，维修费用高；动力消耗大；设备的精度要求高；生产的灵活性较差。连蒸工艺的优点：生产自动化程度高，劳动强度低；单位锅容量产量高，占地面积小；汽、电、蒸煮液和植物纤维原料消耗均衡；连续放汽放锅，热回

收效率高，配置紧凑，大气污染小，易于控制；成浆得率高，且质量均匀稳定。

添加助剂的目的：为了加速脱木素速率，保护纤维素和半纤维素使之少受降解，从而提高蒸煮得率。几种常见的蒸煮助剂介绍：（1）多硫化钠；（2）亚硫酸钠；（3）硼氢化钠和连二亚硫酸钠；（4）蒽醌及其衍生物；（5）IPA（异丙醇）。各蒸煮助剂的具体介绍如下：

（1）多硫化钠

原理：利用多硫化钠的氧化作用将纤维素和半纤维素的醛末端基氧化成碱稳定的糖酸末端基，终止剥皮反应。

优点：提高蒸煮得率。得率比一般硫酸盐浆高 3%。

缺点：a. 多硫化钠对纤维素和半纤维素的保护作用只有在低温条件下才能进行。超过 100°C 后，温度愈高，多硫化钠的分解作用就愈严重，其分解后的产物为硫化钠和硫代硫酸钠。因此，在高温时纤维素和半纤维素仍然会发生碱性水解，产生新的醛末端基，继续进行剥皮反应。b. 腐蚀性强。

（2）亚硫酸钠

优点：保护碳水化合物，提高蒸煮的得率。这主要是由于亚硫酸钠也可以作为纤维素和半纤维素醛末端基的氧化剂从而减少剥皮反应。添加亚硫酸钠的量可多可少，少时作为助剂，多时可作为蒸煮剂，即形成碱性亚硫酸钠法的蒸煮。

（3）硼氢化钠和连二亚硫酸钠

目前用来研究的无机还原性助剂是硼氢化钠（ NaBH_4 ）和低亚硫酸钠（连二亚硫酸钠 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ）。

原理：强还原剂，能将羰基还原为羟基，避免碳水化合物的剥皮反应，可提高得率 10% 左右。

优点：提高蒸煮的得率。

缺点：硼氢化钠在 135°C 的热碱中即完全分解为硼酸钠；硼氢化钠的价格太高。

危险特性：遇水、潮湿空气、酸类、氧化剂、高热及明火能引起燃烧。硼氢化钠具有较强的选择还原性，能够将羰基、醛基选择还原成羟基，也可以将羧基还原为醛基，但是与碳碳双键、叁键都不发生反应。被成为“万能还原剂”。

（4）蒽醌及其衍生物

常用助剂有蒽醌及四氢蒽醌，作用原理是利用它的氧化还原催化作用。

是 1 : 2~3, 立锅大约是 1 : 4~5。

3. 硫化度

药液的硫化度无论对于脱木素速率, 还是对成浆的得率和质量等方面都有很大的影响: (1) 在一定范围内, 硫化度增大, 可加快脱木素; 但若超过一定范围, 效果不明显, 甚至降低蒸煮速率。(2) 用碱量一定, 适当提高硫化度, 可提高得率; 若过高, 硫化木素不能充分溶出, 浆质量下降。

4. 最高温度、升温、保温时间

蒸煮温度即指蒸煮过程最高的温度。蒸煮时间包括升温时间和最高温度下的保温时间。对制浆过程的影响: (1) 随着温度的升高, 能加快蒸煮的反应速度, 并促进木素的溶出。通常在蒸煮的最高温度范围内, 随着蒸煮温度的提高, 蒸煮时间可以缩短。(2) 随着蒸煮温度的提高和保温时间的延长, 虽有利于脱除木素, 但也将加剧对碳水化合物的损害。因此, 成浆得率低, 物理强度也小, 漂率也低。

2.3 制浆过程

2.3.1 纸浆洗涤

(一) 洗涤的目的

纸浆洗涤目的: 尽可能完全地把纸浆中的废液分离出来, 获得比较纯净的纸浆; 尽可能为回收系统提供浓度大、温度高的黑液。即用最少的水量, 最大限度地把废液从浆料中提取出来, 同时尽可能减少纤维的损失。

化学制浆的得率一般在 50%左右, 另外 50%的物质溶解在蒸煮液中, 需进行分离。蒸煮废液: 黑液 KP (kraft pulp)、红液 SP (sulfite pulp)。

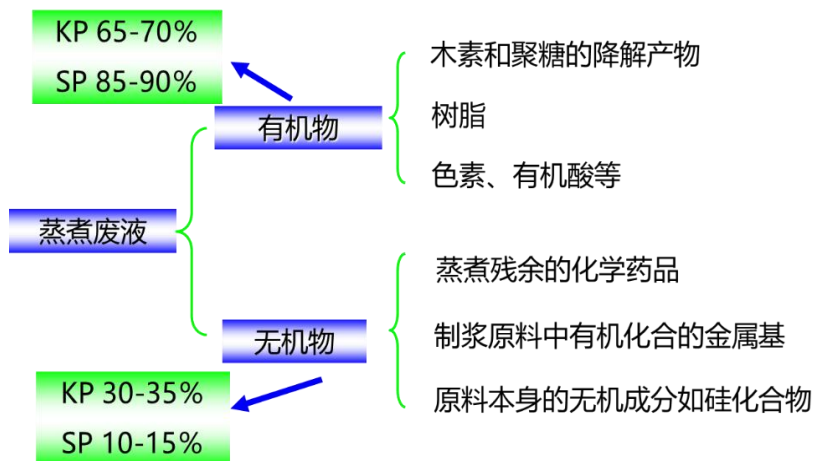


图 2-21 蒸煮废液的组成

(二) 纸浆洗涤的要求

从洗涤角度：把浆尽量洗干净，减少纤维流失。

从碱回收角度：尽量提高黑液提取率，尽量减少洗涤用水，保持高的黑液浓度与温度。

(三) 洗净度：表示纸浆洗涤后的干净程度

1. 以洗后每吨风干浆中所含的残余药品量表示。

2. 以洗后纸浆滤液中所含的残余药品量表示。残碱量(洗后每吨浆中或洗后滤液中)表示：kg/t 风干浆或 g/L。

3. 以洗后纸浆滤液消耗 KMnO_4 (废液中含有木素) 的量表示。滤液消耗 KMnO_4 值的量表示：mg/L (酸法制浆)。

(四) 置换比 (Displacement Ratio)

在洗涤段里浆内废液可溶性固形物实际减少量与最大可能减少量之比。

$$\text{D.R.} = \frac{W_0 - W_M}{W_0 - W_w}$$

W_0 -- 洗涤前 (洗浆机网槽中) 浆内废液所含溶质质量分数，%

W_M -- 洗涤后浆内废液所含溶质质量分数，%

W_w -- 洗涤液所含溶质质量分数，%

在理想状况下，洗后液体的溶质质量分数与洗涤液一样，即 $W_M = W_w$ ，则 $\text{D.R.} = 1$ ；实际上 $W_M \neq W_w$ ，所以 $\text{D.R.} < 1$ 。置换比大，洗涤效果好，提取率高。

(五) 稀释因子 (Dilution factor) (又称稀释度)

洗涤每吨风干浆时进入所提取的废液中的水量 (m^3)，表示提取的黑液的稀释程度，有时称稀释度 (即：废液的增加量)。稀释因子越大，洗涤用水量越多，黑液浓度就越稀，黑液提取率越高，浆洗得越干净。

单位：Kg H_2O /Kg 风干浆或 t H_2O /t 风干浆

$\text{DF} \approx V - V_0$ (m^3/t 风干浆)

$\text{DF} \approx VW - VP$ (m^3/t 风干浆)

V -- 提取的废液量， m^3/t 风干浆；

V_0 -- 蒸煮后纸浆中的废液量， m^3/t 风干浆；

V_w -- 洗涤用水量， m^3/t 风干浆；

V_p -- 洗后浆带走的液体量， m^3/t 风干浆；

（六）洗涤损失

以残留在每吨绝干浆中的溶质（总固形物含量；Na、Na₂SO₄或BOD）表示，指洗涤过程中的化学损失。稀释因子增大，洗涤用水量越多，浆洗得越干净，残余碱洗出越多，洗涤损失下降。

（七）洗涤效率

指浆料通过洗涤系统后提取出的固形物占总固形物的百分比。用来评价洗涤系统和设备的洗涤效果。

（八）黑液提取率

每吨浆提取出来送蒸发的黑液溶质量对蒸煮后吨浆黑液总溶质量的百分比。一般黑液提取率小于洗涤效率，“跑、冒、滴、漏”。当所提取黑液全部送蒸发工段时：黑液提取率=洗涤效率。

（九）泡沫形成原因、预防及消泡

内因：原料中溶出的有机物如树脂、脂肪、蜡及其皂化物等表面活性剂的存在。
外因：浆料输送、机械搅拌和稀释混合时混入空气，真空洗浆机真空度的作用以及温度、粘度、pH等外部条件的变化。碱法制浆由于会形成许多皂化物而非常容易产生泡沫。

预防和减少泡沫形成的措施：尽量使用贮存时间较长的原料，因为贮存可以降低易产生泡沫的有机物含量；尽量避免或减少空气混入浆和废液中；尽可能地使废液保持较高的温度。

消泡方法分为静止消泡和机械消泡、消泡剂消泡。静止消泡是采用较大容积的黑液槽，使泡沫自行破裂；温度上升，消泡时间下降；pH上升，消泡时间增加。机械消泡是利用超翼回转和离心作用使泡沫与器壁碰破。消泡剂消泡是采用煤油、松节油、有机硅等表面活性大、表面强度低、粘度小液体消泡。

（十）洗涤的原理及洗涤方式

①洗涤原理

废液的分布情况（废液在纸浆中存在的形式）

	KP/%	SP/%
纤维之间	75-80	60-70
纤维细胞腔	15-20	20-30
胞壁内部毛细管	5	5-8

过滤：指用具有许多微细孔道的物质（如滤网、滤布、多孔的薄膜或浆层）作介质，在压差的作用下，固体被截留，而液体滤出的过程。（浓度低于 10%）

影响过滤速度的因素：过滤面积、压差。目前以过滤为主的设备，一般都以其过滤面积定规格和型号，并用以间接表示生产能力。过滤面积大，生产能力大。

压差的产生有 3 种方式，即液体静压、鼓风或抽真空形成的气压及机械挤压。压差越大，过滤速度越快；浆层越薄，过滤速率越快；废液粘度越大，过滤越困难，浆层越紧，过滤越困难。

②挤压

指用机械设备（压辊、螺旋等）对高浓浆料（浓度高于 10%）进行过滤的操作。纤维间的废液容易被挤出，少部分纤维内部的废液也能被挤出，不可能将废液与纤维完全分离。

外加压强 > 毛细管压强 能把黑液挤出

外加压强 ≤ 毛细管压强 不能把黑液挤出

③扩散（置换）

纸浆的扩散洗涤是利用浆中残留的废液溶质浓度大于洗涤液溶质浓度这一浓度差，使细胞腔和细胞壁中高浓度的废液溶质向洗涤液转移。

④吸附作用

纤维表面分子与废液中的溶质分子具有一定的吸力，而产生吸附作用。它的存在对浆料的洗涤不利。所以说，通过洗涤使纸浆与废液完全分开是不可能的。带负电荷的纸浆纤维对金属离子的吸附能力比对木素大。

（十一）洗涤方式

洗涤要求：洁净度高（浆洗得干净）；黑液提取率高；稀释因子要小；黑液浓度要高。要解决上述矛盾，必须采用多段逆流洗涤：在较小的稀释因子下，充分发挥扩散作用，取得较好的洗涤效果。

1. 多段逆流洗涤

是由多台设备或一台设备分隔成多个洗涤段组成洗涤机组，浆料由第一段依次通过各段，从最后一段排出；洗涤水（一般为热水）则从最后一段加入，稀释并洗涤浆料，该段分离出来的稀温废液再用于洗涤前一段的浆料；此段分离出来的浓一些的废液再送往更前一段，供洗涤浆料之用，如此类推，在第一段能够获得浓度最高的废液，送往碱回收。

2. 四段逆流洗涤

在各段中始终保持着洗涤液（较低浓度）与浆中废液（较高浓度）之间的浓度差，从而充分发挥洗涤液的洗涤作用，并达到废液增浓的目的。为提高洗涤效果，增大浆料与洗涤液之间的接触面积，段间配用稀释搅拌槽，提供混合扩散的空间、时间。

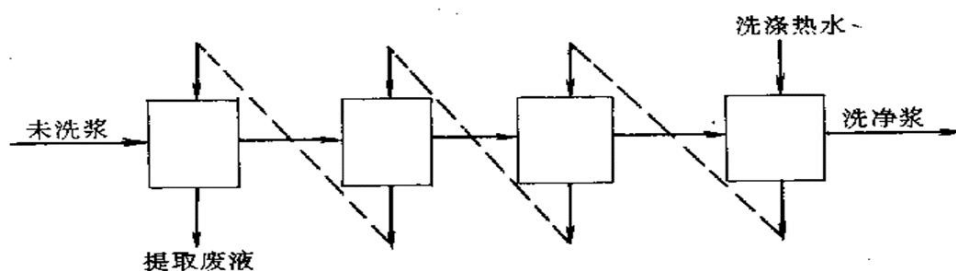


图 2-22 四段逆流洗涤流程示意图

（十二）纸浆洗涤：设备

按设备结构形式分：鼓式、带式、辊式和多盘式等；

按洗涤原理分：过滤式、挤压式和扩散式；

按动力形式分：液压差过滤、气压差过滤和机械压差过滤等；

按处理的纸浆浓度分：低浓、中浓和高浓洗涤设备

1. 低浓洗涤设备

出浆浓度一般小于 8%。利用液位差过滤洗涤的设备，常见的有圆网浓缩机、侧压浓缩机、斜网浓缩机等。特点：出浆浓度低，过滤后粗浆含有许多溶质，需要较多的水才能将浆洗干净，洗涤效率低。目前主要用于浆料的浓缩。

2. 中浓洗涤设备

出浆浓度一般在 10%~20% 范围内。这类设备的挤压作用不强烈，由于进出口浓度相差较大（可相差 10 倍），所以扩散作用比较明显。一般采用多台串联逆流洗涤，废液提取率可达 96~99%。

（1）鼓式真空洗浆机

原理：兼有过滤、扩散置换的作用。分配头的多小室轮流受到过滤、抽吸、排空作用。构造：转鼓、鼓槽、分配头等组成。优点：生产能力大，黑液提取率高，洗浆质量好，生产易检查。缺点：设备较复杂，投资较大，安装标高，易产生泡沫。

工艺条件为：

进浆浓度：木浆 0.8%~1.5%，草浆 1.0%~3.5%

出浆浓度：10%~15%

提取率：木浆 95%，草浆 83~88%

真空度：26.7~40.0kPa

过滤上网 → 抽吸 → 洗涤 → 吸干 → 卸料。

(2) 压力洗浆机

利用风机产生正压，在封闭状态下使洗鼓内外产生压差，浆料在洗鼓滤网压滤脱液。原理：兼有过滤、扩散、置换作用。构造：转鼓、鼓槽、气罩、密封辊等组成。工艺条件为：进浆浓度：0.8~1.2%，出浆浓度：12~14%。优点：洗涤效果好，生产能力大，安装标高不受限制，不易产生泡沫。缺点：结构复杂，密封要求高，电耗大。

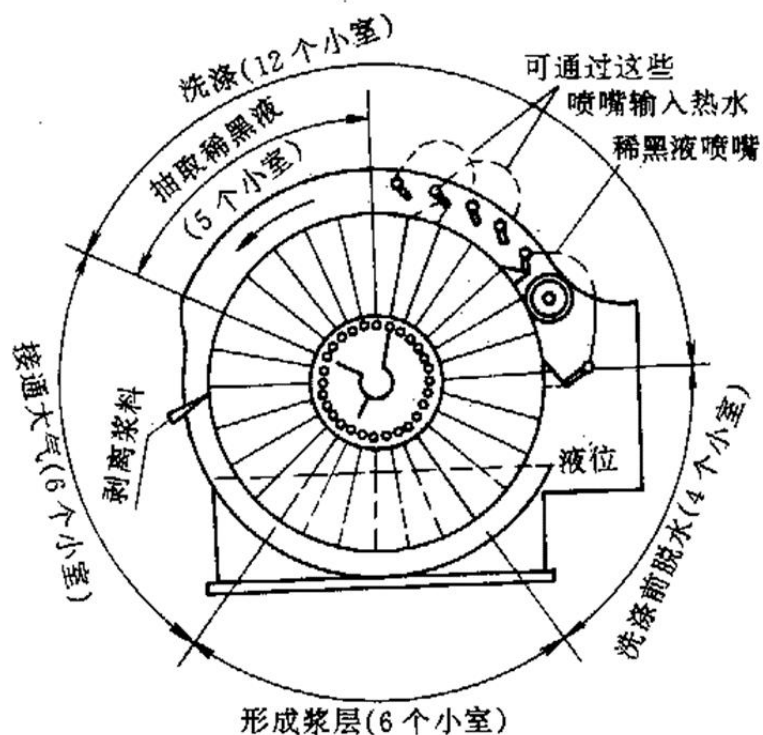


图 2-23 分段式真空洗浆机工作原理图

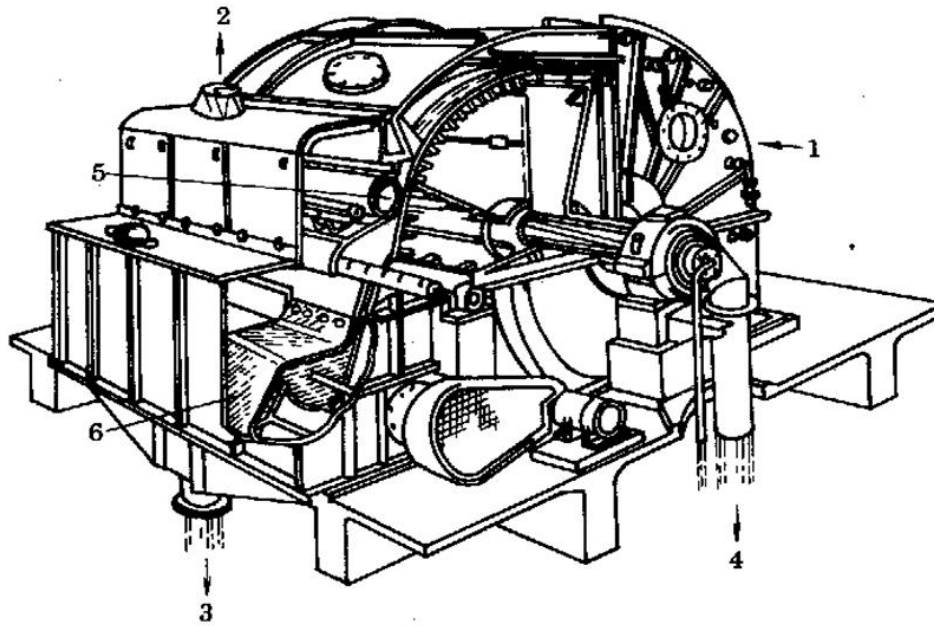


图 2-24 压力洗浆机外观结构图

（3）水平带式真空洗浆机

优点：取消了段间的稀释，单机洗涤段数多；稀释因子小，废液浓度高，泡沫少。存在问题：如密封性差，跑、冒、滴、漏严重，故热损失比较大。

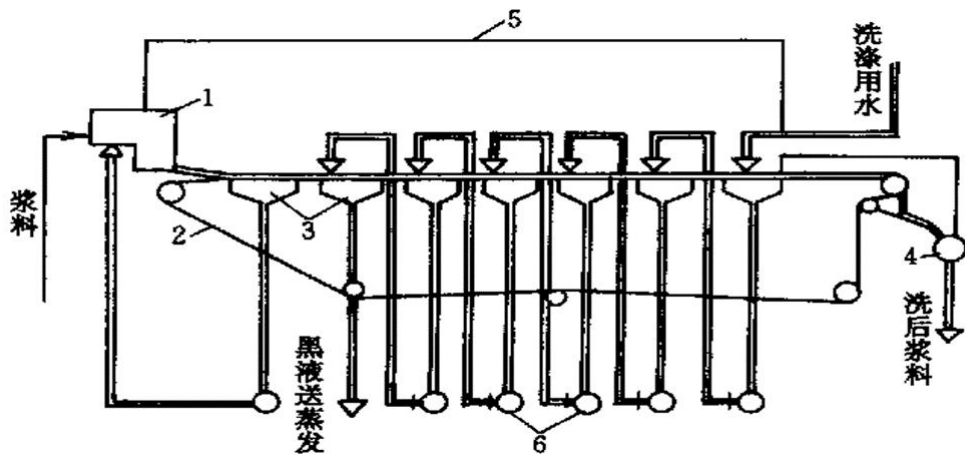


图 2-25 水平带式真空洗浆机示意图

（4）置换压榨洗浆机

原理：挤压、置换构造，其由两个多空辊、压力浆槽、输料器、刮刀等组成，每个压区分为脱水区、置换区、压榨区。工艺条件：进浆浓度 2-5%，出浆浓度 30-40%，黑液提取率可达 99%。

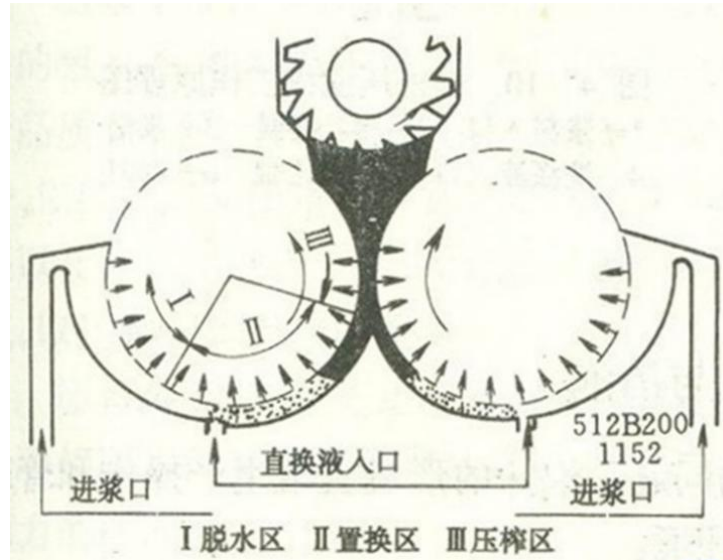
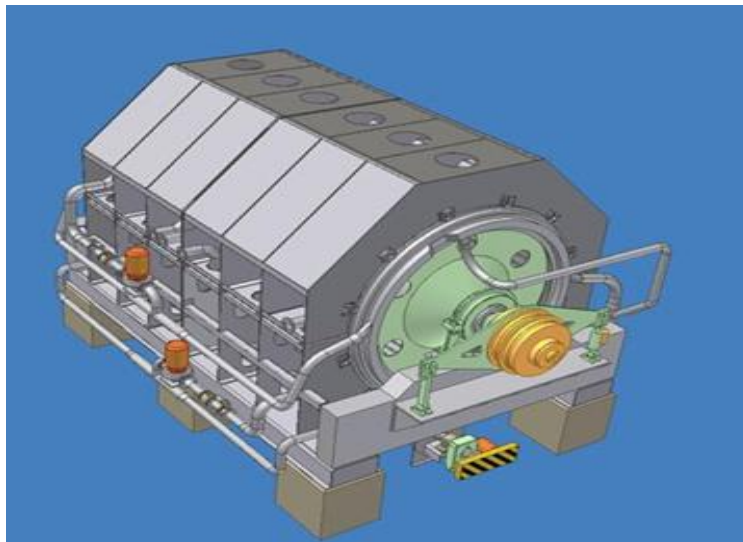


图 2-26 双辊置换压榨洗浆机

(5) 鼓式置换洗涤设备

工作原理：结构转鼓沿圆周被分隔成 7 个区，分布是：上浆成形区、4 个置换区、真空区（用真空泵将干度提高到 14-16%）、脱落区（用压缩空气将浆片吹落）。该设备可在一台洗浆机上实现四段逆流洗涤，最后一段用热水洗。从鼓式置换洗浆机的运行特点及结构上看，就好比一台水平带式洗浆机弯成圆鼓式，所以其具有水平带式洗浆机和真空洗浆机的特点，又有其不可比的优点。



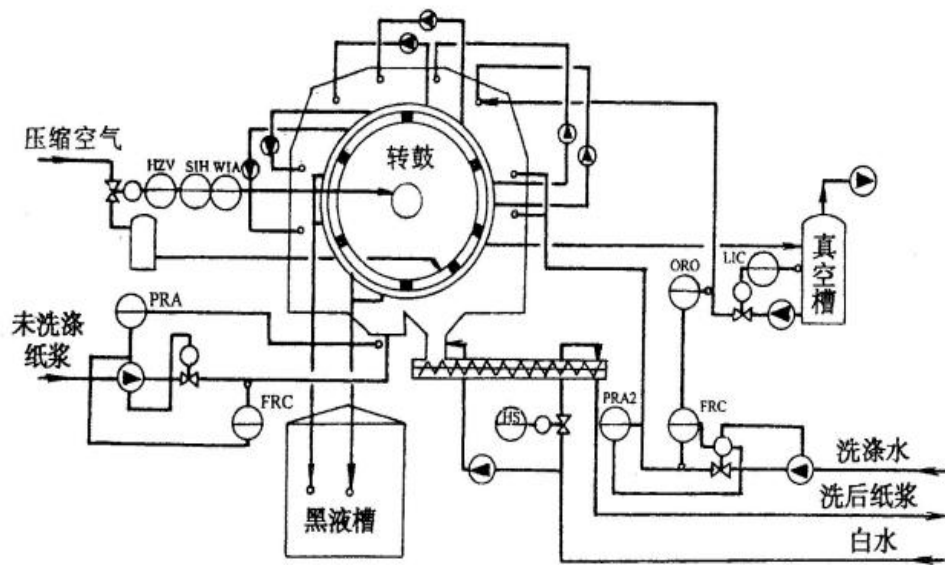


图 2-27 鼓式置换洗涤设备

特点：（1）黑液提取率高，洗涤效果好。黑液提取率 97%，整个洗涤过程在全密封条件下运行，洗涤质量更加稳定，而且洗涤时不产生泡沫。（2）生产能力大。本设备不需要多台串联工作一台可完成整个洗涤过程。（3）安装占地面积小。本设备可以低位安装，各段间的滤液是由循环泵输送。（4）运行动力消耗低、维修量少。本设备单台实现四段逆流洗涤，代替原 4 台鼓式洗浆机，所以辅助设备少，动耗低，维修量少，高强度滤板，终生使用。（5）洗涤应用范围广。本设备可以应用在低浓、中浓蒸煮喷放后本色浆洗涤，氧脱木素后洗涤及漂白各段间的洗涤。

3. 高浓洗涤设备

出浆浓度一般可达 30%以上。多机串联，热水逆流洗涤。

螺旋挤浆机：入口浓度 4-8%， 出口浓度 30-40%。

双辊挤浆机：入口浓度 8-12%， 出口浓度 20-30%。

双网挤浆机：入口浓度 3-12%， 出口浓度 35%。

2.3.2 纸浆筛选与净化

纸浆筛选与净化的目的是满足纸浆的质量要求；保护后续设备不因浆中含有杂质而被损坏。筛选是利用粗浆中杂质与纤维的几何尺寸大小和形状不同。去除的杂质主要是化学浆中未蒸解的纤维束以及磨木浆中粗木条、粗纤维束等。净化是利用杂质和纤维的密度不同来分离的。除去非纤维性杂质（树脂、泥沙、碎石、铁屑、

煤尘等), 提高浆的质量, 减少漂白药品的消耗, 及保护机器设备。要求: 有效的除去各种杂质, 纤维的流失又要最少。

筛选与净化的流程中的级与段:

“级”是指良浆(包括第一级处理原浆)经过筛选或净化设备的次数。

“段”是指尾浆(包括第一段处理原浆)经过筛选或净化设备的次数。

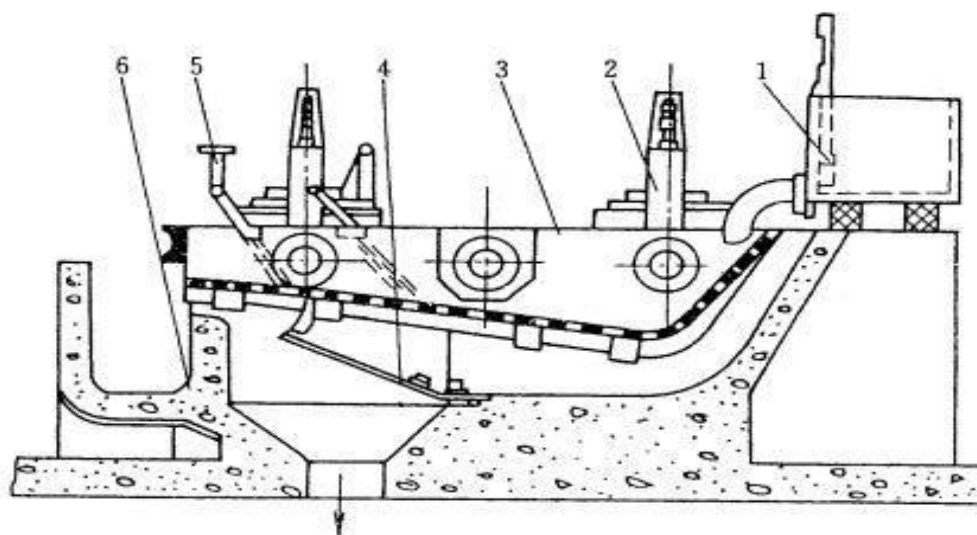
(一) 纸浆的筛选

理想状态的筛选, 应将进入筛浆机的浆料分成两个部分: 不包括任何杂质的细浆, 为不包括任何好纤维的浆渣。筛选设备分为: 振动式筛浆机、离心式筛浆机、压力式筛浆机。

(1) 振动式筛浆机(振动筛)

结构: 筛框、筛板、偏心轮、喷射管等。筛选原理: 将筛板两边的压力差作为推动力, 使良浆通过筛孔。振动--破坏纤维层, 防止堵塞; 喷水--防止粗渣中带出合格纤维。

按筛板的形状不同, 振动筛可分为平筛和圆筛, 按振动频率的不同又可分为高频振动筛(频率大于 1000 次/min)和低频振动筛(频率 200~600 次/min)。其特点是适应浆种广、除节能力高、生产能力大、动力消耗低, 操作维修方便, 但操作环境差。主要用于纸浆的粗选, 用来筛除较大的杂质, 如木节、草节、生片、沙石和铁屑等。



1-进浆箱 2-减振装置 3-筛筐 4-浆位调节板 5-喷水管 6-粗渣槽

图 2-28 振动式筛浆机(振动筛)

(2) 离心筛

原理：利用转子产生的离心力和筛板内外的压力差，使良浆通过筛孔而与浆渣分离。浆料以一定的压头进入后，随着叶片的旋转而产生离心力。当离心力大于重力时，在筛鼓内形成环流，良纤维比重大，靠近外环，穿过筛孔；粗渣比重轻，悬浮于内环。空心主轴两端可分别送入一定压力的稀释水，冲洗筛板，稀释纸浆，避免糊筛。

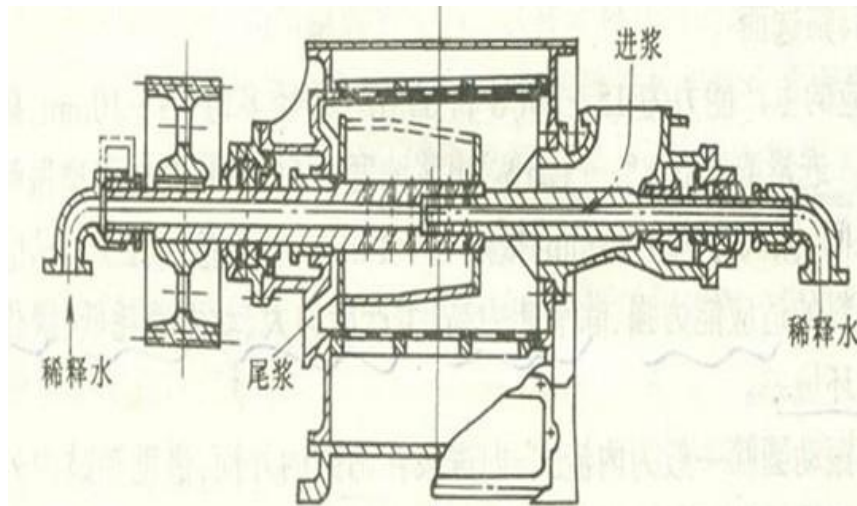


图 2-29 离心筛

(3) 压力筛 (Pressure Screen)

原理：浆料以一定的压力沿切线进入，筛板内外压压力差使纤维通过筛孔，压力脉冲代替机械振动进行分离。良浆在压力作用下通过筛板，粗渣被阻留在筛板表面，并向下移动排出。按照旋转方向，旋翼的前部分与筛板间隙很小，一般是0.75-1.0mm，迫使浆料压向筛板外。旋翼的后半部分由于间隙渐大，在高速旋转下出现局部负压，筛板外侧的浆液则反向冲进筛筐，使絮积的纤维层定时破坏，因此旋翼筛能保持高效筛选。

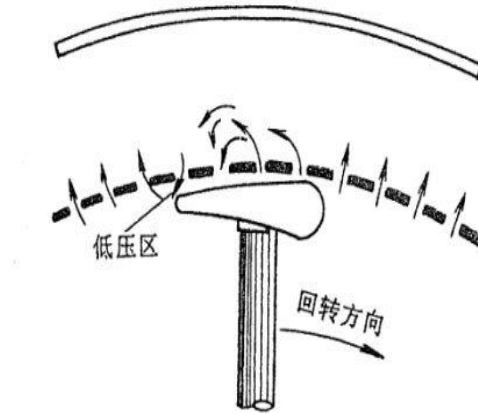


图 2-30 旋翼筛工作原理图

(4) 纸筛选的影响因素

1. 筛板的形式

普通光滑面、齿形、波形

2. 筛孔大小、形状与间距

应根据浆料的种类、杂质的形状、进浆量以及筛选浆料的质量要求来确定。

孔距不能小于纤维长度，否则纤维容易缠在两孔之间。圆孔能更有效地去除纤维束和细薄碎片，长缝能更有效地去除圆形和立体状杂质。

3. 进浆浓度与进浆量

在保证质量的前提下，尽量提高浓度，每种筛处理不同的浆种均有一适宜浓度。浓度过大，良浆与粗渣不能有效分离，尾渣量增大；浓度过低，产量下降，粗渣也易通过，筛选效率下降，泵送、浓缩负荷上升，水电耗上升。

4. 稀释水量与水压

根据浆种、筛孔径、进浆量和进浆浓度来决定。

--- 稀释水太少，好纤维损失增加；

--- 稀释水太多，筛选效率下降。

5. 压力差

压力差增加，推动浆料通过筛孔的作用力增大，筛选能力提高；但是太大，会使粗渣嵌入筛孔，使效率下降。

6. 转速

转速太低，离心力过小，分离作用小，产量低，易堵塞，纤维损失大；

转速太高，离心力过大，产量增加，粗渣被迫通过筛孔或嵌入筛孔，筛选效率

下降，电耗大。

7. 排渣率

排渣率上升，筛选效率上升；在相同排渣率下，筛孔孔径减小，筛选效率提高；把 20%-30% 的排渣率看作筛浆机最合适的操作范围。

(二) 纸浆的净化

纸浆的净化是根据纸浆与杂质的相对密度不同来除去较重或较轻的杂质。净化设备的分类分为重力分离、离心分离。按浆流方向把涡旋除渣器分为正向式、逆向式、通流式 3 种类型。重力分离：典型设备沉沙沟。离心分离：典型设备锥形除渣器。

良浆（浆中的水和纤维）向中心推移的原因：1. 涡旋除渣器下部直径越来越小，即最外层空间越来越小，而良浆与粗渣的离心力之差越来越大，使相对密度大的粗渣优先占据了最外层。2. 相对密度小的良浆被挤向内层，空气则在中心部分，而相对密度虽与纤维相近但体积较大的粗渣则因质量与惯性比纤维大，它向中心移动的速度滞后于良浆。3. 最终，良浆向上由中心管排出，而粗渣由下部排出。

2.3.3 漂白

漂白是用适当的漂白剂通过氧化、还原或分解等化学作用，使纸浆中残余的木素溶出（化学浆），或在保留木素的情况下使有色物质褪色（机械浆），使纸浆纤维发亮或变白的工艺过程。实质上，就是在一定条件下消除、减少或改变纸浆中发色基团。漂白的目的有：增加白度；改善白度稳定性；改善洁净度；脱除半纤维素（溶解浆）；降低树脂含量。

纸浆中颜色的产生来源有：1. 木素产生颜色，是主要来源，包括木素结构原有的发色基团和制浆过程中新产生的发色基团；2. 纸浆中的抽出物和单宁；3. 金属离子与纸浆中的酚形成配合物。纸浆的发色系统由发色基团和助色基团组成：

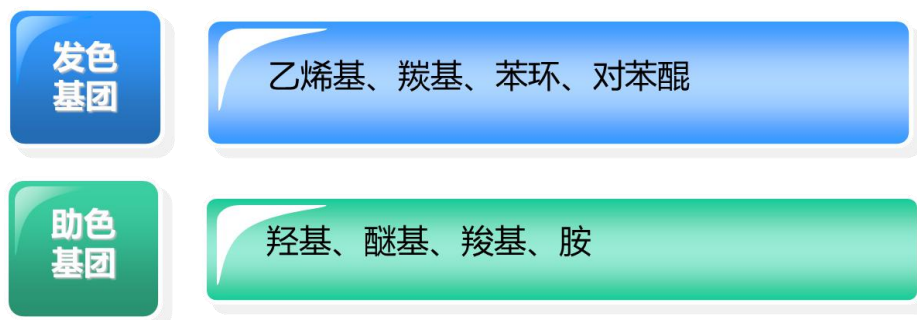


图 2-31 发色基团和助色基团

另外，需要注意的是：共轭双键结构不是木素显色的主要原因，共轭的羰基和蒽醌结构是木素和部分抽出物显色的主要原因。

漂白的的方法分为溶出木素式漂白和保留木素式漂白。溶出木素式漂白的原理是化学品溶解木素，破坏木素结构上的发色基团和其他有色物质使其溶出。保留木素式漂白的原理是不脱除木素，破坏发色基团结构（醌、酚、羰基、碳碳双键）使其脱色。

（一）纸浆的可漂性

定义：可漂性，对于给定的漂序，达到目标白度值所需的化学品的量除以初始卡伯值。（当比较不同漂序时，可漂性以单位卡伯值消耗的漂白化学品氧化当量 OXE 度量），“可漂性”描述某一纸浆漂白的难易。

①影响化学浆可漂性的因素

1. 蒸煮类型

亚硫酸盐浆 > 硫酸盐浆 > Soda-AQ 浆（原因：亚硫酸盐木素因磺化而溶解较多；Soda-AQ 木素含有更多醌型基团）针叶木硫酸盐浆 > 阔叶木硫酸盐浆

2. 蒸煮条件

有效碱增加，可漂性改善；硫化度增加，可漂性改善；均匀碱分布，可漂性改善；蒸煮低 H 因子，可漂性改善；蒸煮结束时溶解有机物质的脱除，可漂性改善；制浆温度不影响可漂性；增加液比，对可漂性不利。

3. 沉淀木素

PH 值低于 11，金属离子例如 Ca^{2+} 或 Al^{3+} 有利于木素沉淀，从而导致较低的可漂性。

4. 金属离子

铁离子使纸浆显色，因此降低白度；铁、铜、锰离子与漂白化学品反应，造成浪费。纸浆中金属离子来源：木片和树皮；化学品；设备腐蚀；过程水。

5. 抽提物

抽出物影响未漂浆的颜色，有研究表明，抽提物与纸浆可漂性无相关性。

6. 细小纤维

细小纤维含量多，纸浆的光吸收系数高；因此，从纸浆中去除细小纤维，可提高白度。

7. 早材和晚材

可漂性：晚材硫酸盐浆<早材硫酸盐浆，原因：晚材具有较厚的细胞壁和较慢的沥滤速度。

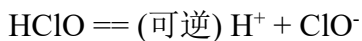
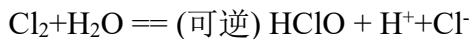
②影响机械浆可漂性的因素

原料材种和材质：例如对于 SGW，云杉~辐射松>铁杉>花旗松；金属离子：催化分解漂白化学品；与浆中多酚物质生成有色物质；常用螯合剂 DTPA、EDTA、STPP（三聚磷酸钠）。制浆方法：例如对于辐射松，SGW >RMP >TMP。漂白方法：保留木素式漂白包括 P、Y、F；溶出木素式漂白包括 D、O、Z。

（二）漂白工艺

1. 常规含氯漂白

含氯漂剂包括氯、次氯酸盐、二氧化氯，优点：来源丰富、价格便宜、漂白效率高、成本低，缺点：漂白废水中含有有毒的有机氯化物。



2. 传统 CEH 三段漂白工艺介绍

化学浆的 CEH 三段漂白是指：氯化（C）、碱处理（E）、次氯酸盐漂白（H）组合的漂白过程。氯化工艺的影响因素有以下几点：

①用氯量：通常希望在氯化过程中尽量除去较多的木素，减少后序漂剂用量及其对纤维的损伤。一般氯化用氯量为总耗氯量的 60%~80%。

②pH 值：其影响到氯水体系的组成，pH 值<2 时氯水体系的主分为 Cl_2 。

③温度：氯化作用速度相当快，在常温下，5min 内可消耗加入氯量的 85%~90%。因此纸浆氯化一般在室温下进行。

④浆浓：改变浆浓会影响氯的溶解性、氯化时间及氯的用量等。氯化反应一般在较低浆料浓度（3%~4%）下进行。为了克服低浓氯化的缺点（废水量增加，氯化时间延长，动力消耗增加等），发展中浓氯化和高浓氯化。

⑤氯化时间：氯化反应速度很快，通常情况下，硫酸盐木浆 60~90min，草浆 20~45min。

⑥混合：由于“氯气-水-浆”所构成的氯化系统的非均一性，所以混合非常重要为了良好地混合使用浆氯混合器。

（三）纸浆的碱处理（即碱抽提、碱洗）

目的：利用热的稀碱液把氯化后不溶于酸和水的氯化木素溶解除去；同时除去

有色物质和部分树脂；碱对纤维具有润胀作用。碱处理一般使用氢氧化钠。

碱处理工艺条件：用碱量：一般氢氧化钠用量为 1%~5%，pH 值：11~11.5 浆浓：8%~15%，温度：60~70℃，处理时间：60~90min。添加助剂例如 KBH_4 ， Na_2SO_3 或 H_2O_2 ，还原或氧化碳水化合物的羰基末端基，减少剥皮反应，保护碳水化合物。

（四）次氯酸盐补充漂白

目的：次氯酸盐补充漂白，抑制碱性返黄，提高白度。经氯化化和碱处理后，浆料中大部分氯化木素已经溶解，但由于在碱处理中产生了碱性返黄，使浆的颜色呈黄色，白度提高不大，因此需施加次氯酸盐补充漂白。

（五）其它注意

若加入漂液过多，白度已达到要求，这时应立即终止漂白，否则碳水化合物将受到严重降解。终止漂白最好加入硫代硫酸钠或二氧化硫溶液使漂白迅速终止。漂白终点达到，应立即洗涤，否则浆要发黄。

2.4 废液回收与利用

2.4.1 废液性质

（一）废液组成

废液中 65%-70%为有机物：木素、半纤维素和纤维素降解产物 30%-35%为无机物： NaOH 、 Na_2S 、 Na_2CO_3 、 Na_2SO_4 及有机结合的钠，草浆黑液还有硅酸钠。

（二）废液的性质

1. 黑液的浓度

可用波美度 $^{\circ}\text{Bé}$ 表示，波美度（ $^{\circ}\text{Bé}$ ）是表示溶液浓度的一种方法。把波美比重计浸入所测溶液中，得到的度数就叫波美度。当测得波美度后，从相应化学手册的对照表中可以方便地查出溶液的质量百分比浓度。黑液浓度高，黑液中无机物含量高，沸点升高就大。

$$^{\circ}\text{Bé} (15^{\circ}\text{C}) = ^{\circ}\text{Bé} (t^{\circ}\text{C}) + 0.052(t-15):$$

2. 黑液的粘度

黑液粘度主要来源于聚糖和木素，浓度越高，粘度越大；温度越高，粘度越大；有效碱含量越低，粘度越大。

在相同浓度、温度下，黑液粘度大小顺序如下：

草浆黑液粘度 > 木浆黑液粘度

龙须草浆 > 稻草浆 > 麦草

蔗渣浆 > 荻苇浆 > 竹浆 > 木浆

3. 黑液的临界浓度

临界浓度是当浓度提高到某一个值时，废液粘度就会骤然上升，习惯上把这一温度值叫做“临界浓度”。通常草浆黑液由于硅含量较高等原因，其“临界浓度”较木浆黑液低：草浆黑液的蒸发增浓较木浆黑液难度大，影响了草浆黑液的碱回收过程。采用在压力下加热至 180 °C 处理几分钟，使黑液中的高分子物解聚，以降低废液黏度的办法。黑液的热处理一般采用在多效蒸发中间进行，也就是稀黑液先进行蒸发，然后热处理，再进行继续蒸发。

4. 起泡性

碱木素、树脂等是表面活性剂，使表面张力降低，起泡性增加。

5. 燃烧值

木素发热为 6000 Kcal/kg，碳水化合物发热值为 3000 Kcal/kg。黑液中有机物与无机物之比越高，燃烧值越大，木浆黑液 > 草浆黑液

6. 腐蚀性

黑液碱性腐蚀很小，酸性腐蚀（二次蒸汽及冷凝水中酸性物质引起的腐蚀）较大。

7. 胶体性

红液一般对金属设备的酸性腐蚀比黑液强的多，黑液中有效碱含量过低时，碱木素胶体不稳定，易沉淀。草浆黑液含有水玻璃胶体，含量过高时，碱木素完全溶于黑液中呈亲水胶体（ $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ ），易导致蒸发管结垢。

8. 表面活性及粘结性

木素化合物具有一定的表面活性，红液具有粘结性能

2.4.2 碱回收流程

燃烧法是目前最为广泛应用的蒸煮废液回收利用方法。木浆碱、热回收率 90% 以上，草浆碱回收率一般不超过 70%。黑液回收系统的投资占硫酸盐浆总投资的 35%。典型的产量为 1.25 t 黑液固体/t 绝干浆。硫酸盐黑液碱回收系统作用有以下几点：

- （1）回收和重新利用无机蒸煮药品；
- （2）消除保留在黑液中的有机物质，并回收能量来产生蒸汽和电力；

(3) 除去和回用有用的有机副产品。

(一) 黑液提取及要求

提取的黑液，要求“三高”：浓度高、温度高和提取率高。

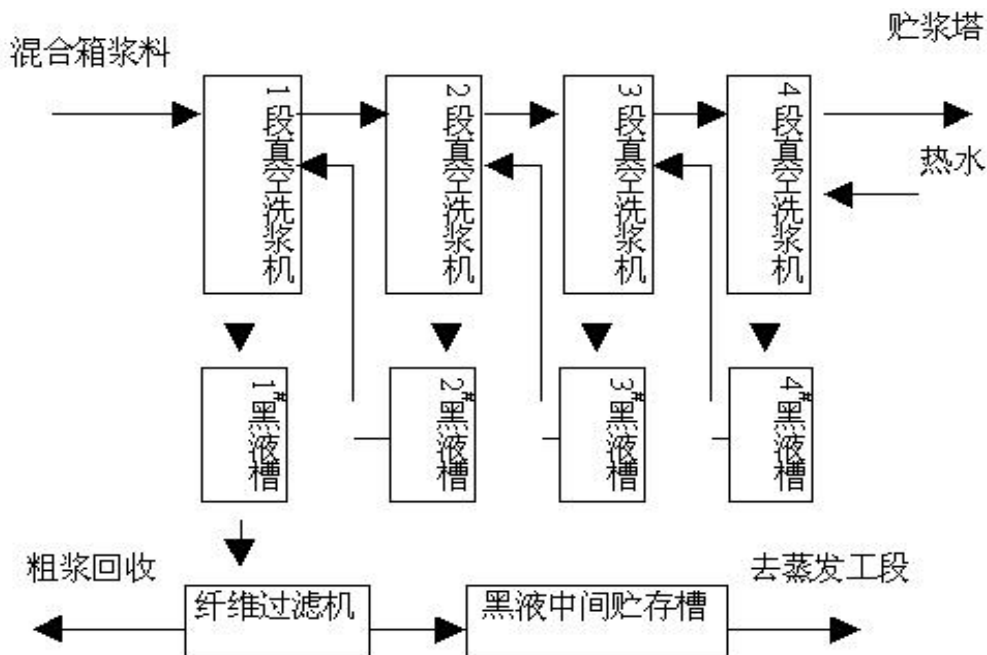


图 2-32 黑液提取工艺流程示意图

(二) 废液的蒸发和浓缩

黑液在蒸发前需进行预处理，预处理分为除渣、氧化和除皂。除渣是通过纤维过滤机除去细小纤维和各种残渣。氧化是将黑液中的 Na_2S 氧化为稳定的 Na_2SO_4 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，草浆黑液不宜氧化，会造成硫的损失、污染大气和腐蚀设备。黑液氧化反应为： $2\text{Na}_2\text{S}+2\text{O}_2+\text{H}_2\text{O}=\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3+2\text{NaOH}$ ， $\text{Na}_2\text{S}+2\text{O}_2=\text{Na}_2\text{SO}_4$ 。

除皂是除去树脂类物质在碱性环境下生成的皂化物，回收塔罗油。

黑液蒸发分为间接蒸发和直接蒸发。间接蒸发：采用新鲜的蒸汽为热源，在多效真空蒸发器中进行。蒸发增浓稀废液时，效果较为显著；蒸发后废液固含量一般不超过 40-55%。直接蒸发：采用燃烧炉的烟道气做为热源，直接接触废液而蒸发。木浆废液固含量可达到 60-65%，草浆可达到 50-55%。



图 2-33 黑液蒸发浓缩设备示意图

（三）除硅：草浆

（1）硅干扰：

使黑液粘度增加，引起蒸发器结垢，严重时堵塞；黑液燃烧值下降，产生的熔融物熔点升高和纯度降低，增加燃烧困难；苛化率下降，白液的澄清困难；白泥难以采用常规方法进行回收，导致二次污染。

（2）碱法草浆除硅

补加烧碱法：在蒸煮或蒸发前适当增加烧碱用量，使黑液中的硅化物处于游离状态，减少对蒸发过程的影响，但不能从根本上解决除硅的问题。

CO₂除硅法：在黑液中通入 CO₂，使其 pH 达到 9.5-10.0，部分硅化物会以硅酸的形式沉淀出来。

生物除硅法：加入一些微生物，使其 pH 下降到硅化物能析出的环境。

（四）蒸发系统的组成

废液蒸发浓缩工段组成：蒸发器、预热器、冷凝器、汽水分离器、扩容器、汽提塔等泵类、槽类、仪表类。根据处理黑液浓度范围不同分为：蒸发器和增浓器。

蒸发器：将黑液浓度提高到 45-50%（管式蒸发器）或 60-65%（板式降膜蒸发器）。

增浓器：将浓黑液浓度提高到 70%以上。蒸发器：根据蒸发器中溶液的流动情况分为：循环式：自然循环和强制循环；非循环式（单程式）：膜式蒸发器；

（五）黑液的蒸发方式

（1）间接蒸发

顺流：设备少，动力消耗小，温差小，传热效率低。

逆流：温度差较大，传热效率高，设备多，动力消耗大。

混流：兼有顺流和逆流的优点。

(2) 间接蒸发方式（烟气净化与黑液增浓）

从碱回收炉出来的烟气一般为 250-300°C，还带出 40-90Kg/t 浆的 Na_2CO_3 、 Na_2S 及约 20Kg/t 浆的恶臭的硫化氢气体。黑液直接接触烟气蒸发把降温、除尘与黑液增浓结合起来，还可吸收烟气中的 SO_2 、 H_2S 等。主要设备：文丘里—旋风分离器系统圆盘蒸发器。

(六) 废液的燃烧

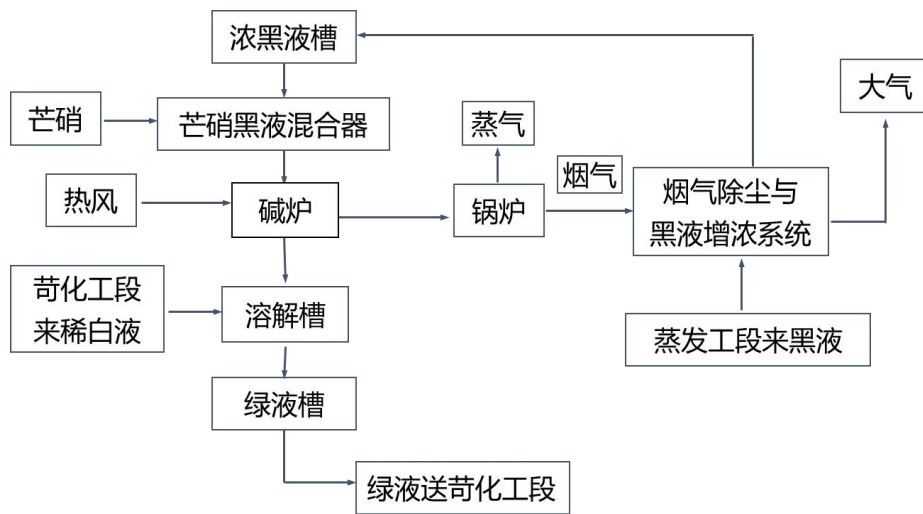


图 2-34 黑液的燃烧流程图

① 黑液燃烧原理分为相互交错、不能截然分开的三个阶段。

1. 黑液的蒸发干燥阶段

使黑液水份降到 10-15%，黑液中残碱和有机酸钠盐与烟气中 CO_2 、 SO_2 和 SO_3 反应：游离的 NaOH 和大部分的 Na_2S 都转变成 Na_2CO_3 、 Na_2SO_3 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 和 Na_2SO_4 。

2. 黑液的热裂解及燃烧阶段

有机物受热裂解，挥发性热分解产物（甲醇、丙酮、酚等）燃烧且发出大量热量，部分有机物炭化变成碳与有机物结合的钠热分解生成 Na_2CO_3 。

3. 无机物的熔融和芒硝的还原阶段（温度 950~1050°C）。

② 影响黑液燃烧的因素

碱回收炉运行效率取决于合理的炉子结构，正确的工艺控制。主要采用喷射炉。黑液浓度低，水量多，耗热多，产碱量低，产汽量小，过低无法燃烧；浓度太大，粘度高，难输送，雾化不好，易结垢。喷液要求粒度合适，流量稳定，喷液均匀。送风不足则产生 CO ，热量损失，污染空气；太多则降低炉温，降低芒硝还原率。

一次风：距炉底 0.7~1.0m 风压，80~100mmH₂O；风量占总风量 50%，使垫层燃烧供给熔融还原需热。二、三次风：共占 50%（20:30），风压 150~250mmH₂O，使挥发性可燃气体均匀而完全燃烧。炉温在 950~1050℃左右，过高，碱的流失大；过低则产生更多的含硫还原性气体，无机物有凝固危险或流动困难，芒硝还原率低。

（七）绿液苛化与白泥回收

绿液：黑液燃烧后流出的熔解物用稀白液或水溶解后的液体，主要成分为 Na₂CO₃ 和 Na₂S。

绿泥：绿液澄清后沉淀的渣子。

白液：绿液加石灰苛化后得到的澄清液，主要成分为 NaOH 和 Na₂S。

白泥：白液澄清后沉淀的渣子，主要成分为碳酸钙。

影响苛化的主要因素有：

1. 绿液浓度

绿液浓度提高，NaCO₃ 电离度减小，苛化率下降，绿液浓度过低，虽有利于苛化率提高，但白液浓度过低。一般绿液浓度 100-120 g/L(NaOH 计)。苛化率 85-90%。

2. 绿液成分

绿液中 NaOH、Na₂S、Na₂SiO₃、Na₂SO₃ 等对苛化有阻滞作用，要求绿液和稀白液中上述化合物的含量越低越好。

3. 苛化温度

提高温度，加快苛化反应，但温度上升，CaCO₃ 溶解度上升，Ca(OH)₂ 溶解度下降，苛化率降低。一般苛化温度为 90~105℃。

4. 石灰用量与质量

一般过量 5% 就可以，过多不仅浪费，且白液澄清过滤困难。以 Ca(OH)₂ 存在的泥渣比以 CaCO₃ 形式存在的泥渣较难沉淀和过滤。石灰的 CaO 含量应 >70%，MgO、Al₂O₃ 越少越好，因为易形成胶体悬浮物。

5. 搅拌速度与时间

适当搅拌，使反应均匀；但搅拌太快或时间过长，形成的 CaCO₃ 沉淀过细，沉降速度下降。

6. 白液澄清

沉淀颗粒越大，重度越大，越有利澄清；碱浓增大，粘度增大，沉降速度下降；草浆黑液硅含量高，由于 Na₂SiO₃ 胶体的影响，白泥较难沉降。

（八）白泥回收

方法：回转炉法、硫化床沸腾炉法、闪急炉法。

第3章 废纸制浆工艺概述

3.1 废纸种类及质量特性

3.1.1 废纸回用的意义

目前，造纸行业面临三大问题：a. 原料短缺；b. 能源紧张；c. 污染严重。而废纸回用可以节省原料，节约投资，节约能源，降低污染。

根据《中国造纸工业可持续发展白皮书（2019年）》资料显示，目前中国纸和纸板产量占全球总量 1/4，位居世界第一。受生态环境限制和产品质量要求，多年来我国造纸原料结构基本为废纸 62.7%、木浆 31.1%、非木浆 5.9%，其中废纸、木浆的对外依存度高达 50%。纤维原料短缺已成为制约我国造纸工业发展的瓶颈问题，长久以来，大量进口废纸弥补了我国纤维原料的缺口。然而 2017 年 4 月国家颁布了《关于禁止洋垃圾入境推进固体废物进口管理制度改革实施方案》，明确规定 2020 年起禁止作为固体废物的废纸进口，这使制浆造纸行业面临的原料短缺问题进一步突出。

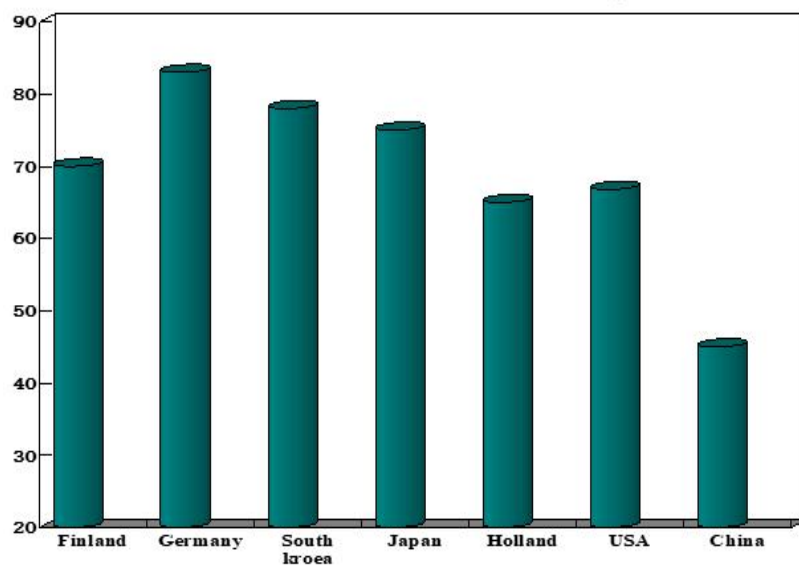


图 3-1 世界废纸回用率

表 3-1 2009-2018 废纸利用情况

年份	国内废纸回收量/万吨	废纸净进口量/万吨	废纸浆消费量/万吨	废纸回收率/%	废纸利用率/%
2009	3676	2750	4997	42.9	74.4
2010	4017	2435	5305	43.8	69.6

2011	4347	2728	5660	44.6	71.2
2012	4473	3007	5983	44.5	73.0
2013	4377	2924	5940	44.7	72.2
2014	4841	2752	6189	48.1	72.5
2015	4832	2928	6338	46.7	72.5
2016	4963	2850	6329	47.6	72.0
2017	5285	2572	6303	48.5	70.6
2018	4964	1703	5474	47.6	63.9

表 3-2 包装纸板的生产和消费量占纸及纸板总生产量及总消费量的比重

年份	纸及纸板生产量/万吨	包装纸板生产量/万吨	比重%	纸及纸板消费量/万吨	包装纸板消费量/万吨	比重%
2010	9270	5000	53.94	9173	5089	55.48
2011	9930	5310	53.47	9752	5386	55.23
2012	10250	5490	53.56	10048	5563	55.36
2013	10110	5415	53.56	9782	5429	55.50
2014	10470	5730	54.73	10071	5693	56.53
2015	10710	5870	54.80	10352	5824	56.26
2016	10855	5980	55.09	10419	5900	56.63
2017	11130	6150	55.26	10897	6205	56.94
2018	10435	5585	53.52	10439	5777	55.34
2019	10765	5820	54.07	10704	6054	56.56

包装纸原材料紧缺问题：市场容量不断扩大，受终端需求减弱及产销平衡的影响，产品市场竞争加剧；同时受国家产业结构调整、包装纸板行业产品价格下降，主要原料价格上涨。

废纸回用的意义主要有以下几点：

①节约原料， 增加生产

生产 1t 磨木浆>2m³ 木材；生产 1t 高白度化学浆 4~5m³；木材生产 1t 纸或纸板仅需 1.3t 废纸。

②减少污染， 保护环境

废纸制浆耗水量少，废水量小；废水的污染负荷小。

③节省能源，降低能耗

生产 1t 废新闻纸浆比生产 1t 磨木浆节约能量 75%左右； 生产 1t 高白度脱墨浆比 1t 化学浆节能 50%以上。

④节省投资，降低成本

与原生浆生产线投资相比，废纸浆厂只需要原生浆的 25-30%废水的污染负荷小；废水处理费用低，环保投资少。

3.1.2 废纸的种类与组成

废纸按照分类方法不同有以下几种：

按照产地分为国产废纸、美国废纸、欧洲废纸、日本废纸等。

按照来源分为家庭废纸、办公室废纸、商业包装废纸、印刷厂/装订厂废纸、纸箱厂和纸制品厂废纸。

按照成分和性质分为旧箱纸板 OCC、旧报纸 ONP、旧杂志纸 OMG、混合办公、废纸 MOW、废纸边、本色浆纸、混合废纸。



图 3-2 废新闻纸（ONP）和纸箱与纸板废纸（OCC）

国内废纸分为以下几种：

- ①混合废纸：由公众回收的未经分类的各类废纸。
- ②废包装纸箱：由公众回收的无瓦楞和有瓦楞的包装纸箱。
- ③特种废纸：由公众回收的含高湿强剂、沥青、热熔胶等化学品的特种废纸。
- ④废书刊杂志：由公众回收的废杂志、废书刊以及类似印刷品。
- ⑤废报纸：由公众回收的未受潮、未曝晒、未返黄的废报纸，不应含废杂志和

空白纸张。

⑥废牛皮纸：由公众回收的废牛皮纸及纸袋纸，不含不可利用的衬纸。

⑦纸箱切边：在纸箱和纸板生产过程中产生的边角料。

⑧办公废纸：由公众回收的已使用过的办公废纸。

⑨出版物白纸边：未印刷的出版物白纸边，不含印刷装订切边、有色废纸。

⑩白报纸：未印刷的新闻纸纸页和切边，或其他类似的白色未涂布机械木浆纸。

我国废纸的主要来源：印刷厂切下的白纸边和报废的印刷品；出版单位作为废纸处理的书籍和刊物；机关、工商企事业单位的废旧公文资料；废旧书刊报纸及各种包装纸箱、纸盒等；学校的旧报纸和学生练习本；居民家庭自有的各种旧报纸、废旧图书杂志、包装纸箱等。

常用的国内废纸：

①白色废纸：纸浆代用品，为印刷厂的白纸边。

②书籍、杂志废纸：脱墨后可生产书写纸、卫生纸等，也可生产箱纸板，或在新闻纸中掺用。

③旧新闻纸：脱墨后主要用于配抄新闻纸或抄造生活用纸和一般文化用纸。

废纸的组成为：有用物、无用物、有害物质。

一般废纸的组成有纤维（纤维素、半纤维素、木素）、填料、湿部助剂、涂料，以及由于加工和使用而带入的杂物，如油墨、蜡类、树脂浸渍物、塑料薄膜、金属薄膜、合成树脂、热溶物、胶粘剂以及装订书钉、油污、泥沙等。

与原始植物纤维原料相比，废纸应算是半成品原料，一般不含果胶、树脂、溶剂抽出物、灰分等植物原料及天然所固有的有机物和无机物杂质。

表 3-3 废纸中各种废杂质及其特征

废杂质类别	对生产造成的影响
矿物质：砂，玻璃，铁等	磨损，磨蚀
木材碎片	断头并对纸的洁净度产生影响
除胶粘物外的合成聚合物	弄脏干燥部，影响清洁
胶粘物	弄脏网、毛毯、干燥部，降低纸机的运转性能，造成纸机纸页断头，压光机断头
沥青（来自 OCC）	纸上产生黑点
热熔性蜡、石蜡、聚合物、热熔物	纸上产生透明点，降低纸张物理性能，弄脏毛毯

3.1.3 再生纤维的质量特性

废纸原料，即再生纤维（Recycled fiber），也叫二次纤维（Secondary fiber）。其经历了制浆造纸的整个生产过程，以及由于使用和贮存条件的多样性，不可避免地发生了许多物理和化学变化，使得再生纤维的性能与原生纤维不同，相应地使再生纤维的抄造性能及再生纸张的各项性能发生变化。

纤维的物理性能和光学性能变化：纤维的种类多样；纤维细胞壁的化学组分分布多变；纤维形态发生了改变；纤维发生了不可逆的收缩和角质化；纤维的自身强度改变。

纤维细胞壁在脱水和吸水过程中的变化：

①细胞壁层间毛细管作用力和氢键开始作用，微细纤维以紧密的方式重新排列，细胞腔塌陷。

②纤维直径迅速变小，收缩阶段。

③纤维宽度没有变化，但失去了大部分细胞壁内部空隙，细胞壁变薄，纤维变得僵硬脆弱。

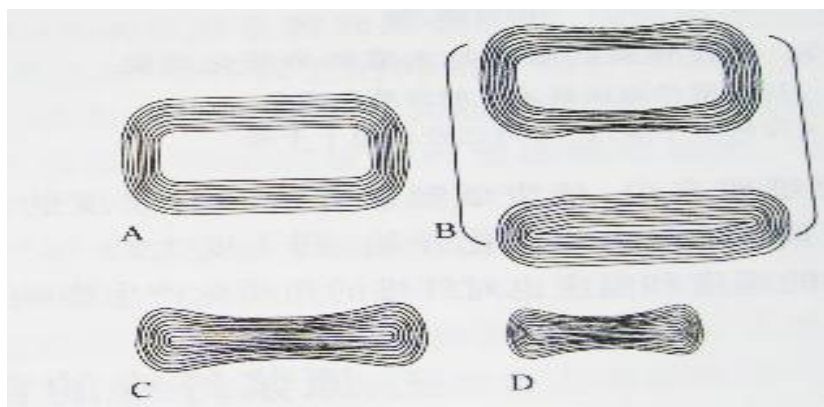


图 3-3 纤维细胞壁在吸水和脱水过程中的变化示意图

机械浆：纤维的反复使用可能会因为制浆及打浆等作用使纤维变短，碎解的纤维变多，但原本较低的纤维间结合力不会下降，有时反而会上升；废纸回用过程会使原先挺硬的原生纤维变得更柔韧，从而提高了纤维的结合强度。如图 3-4，机械浆废纸再生浆的强度没有变化或者稍有提高。

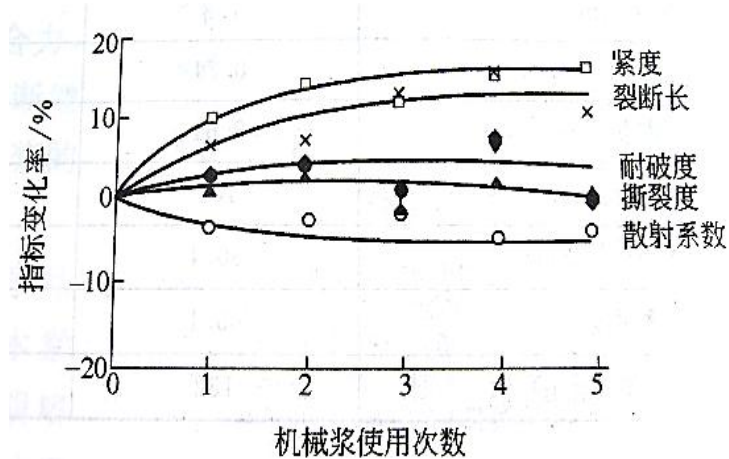


图 3-4 SGW 机械木浆在使用 1-5 次时对纸张技术指标的影响

化学浆：反复的吸水、干燥会产生内部游离氢键的结合，这将导致发生不可逆转的角质化，在废纸回用时将会导致纤维结合力的降低。如图 3-5，化学浆废纸再生浆的强度会有明显下降。

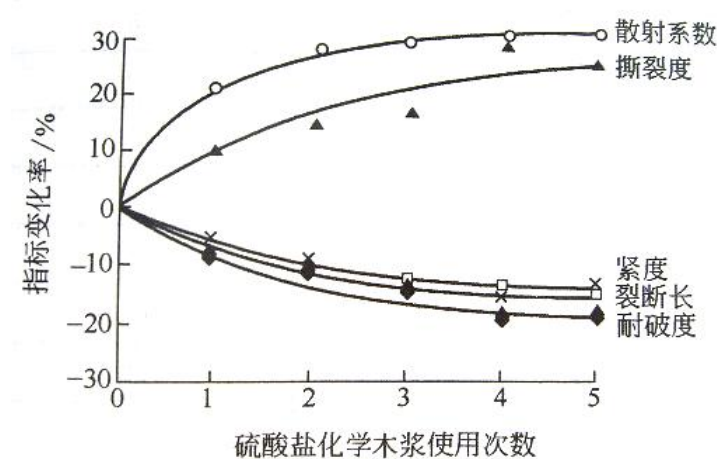


图 3-5 硫酸盐化学木浆在使用 1-5 次时对纸张技术指标的影响

(一) 纤维的质量特性之一：纤维收缩

纸浆在脱水干燥的过程中，细胞壁之间及各层细胞壁内部在微细纤维的氢键作用下重新定向排列形成紧密的结构，依纤维的缠绕角度不同、打浆和吸水润胀不同等产生收缩（横向收缩是轴向收缩的十几倍）。

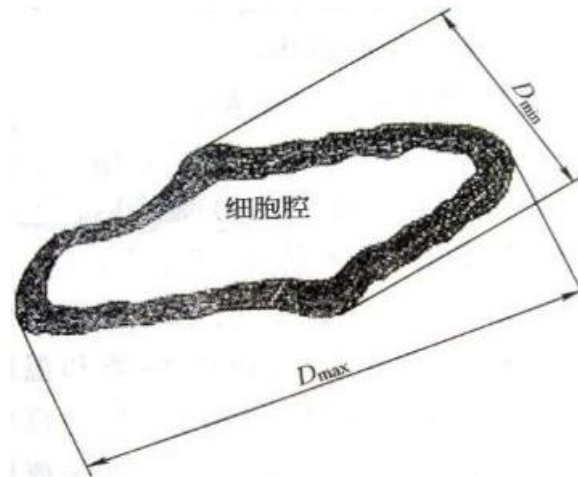


图 3-6 废纸纤维细胞腔横截面

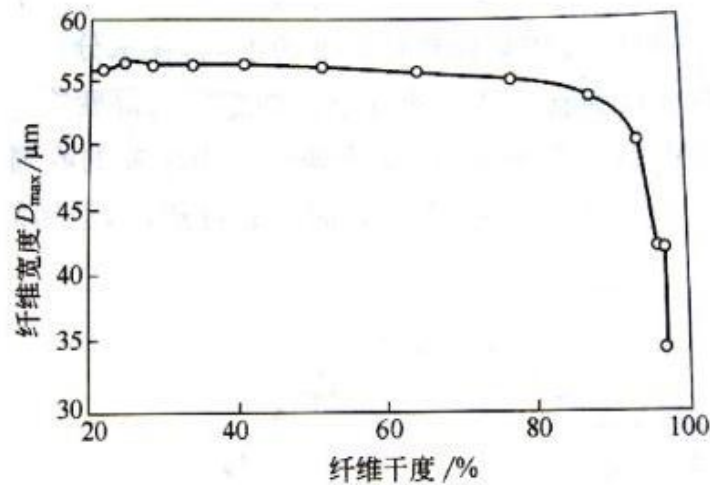


图 3-7 硫酸盐漂白木浆在干燥时 D_{max} 收缩与干度的关系

(二) 纤维的质量特性之二：纤维角质化现象

经过干燥收缩的纤维在再次制浆和打浆的过程中部分微细纤维间的氢键不再打开，纤维变得相对僵直、脆硬，细胞壁各层之间紧密，使纤维不容易再吸水润胀，纤维表面微纤维紧贴在表面，纤维再制成纸浆后保水值减少的现象。

$$\text{角质化程度} = (R_0 - R_1) / R_1 * 100 (\%)$$

R_0 -- 原浆的纸浆保水值

R_1 -- 经过干燥和再制浆的纸浆保水值

如图 3-8 和图 3-9 为硫酸盐木浆打浆前后角质化情况。

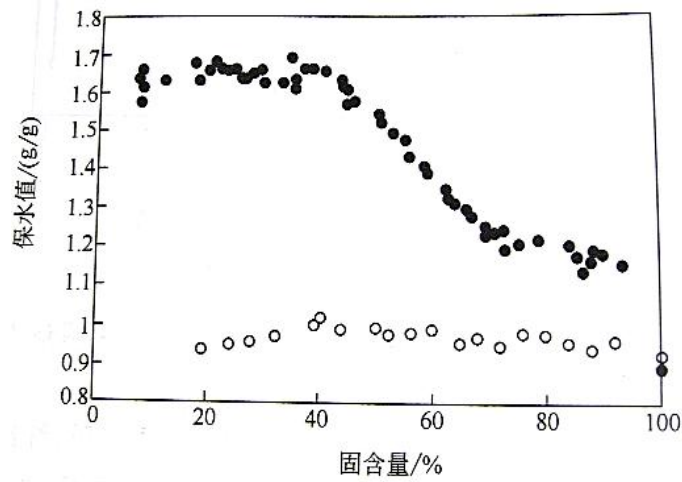


图 3-8 硫酸盐木浆打浆前角质化情况 (●为从未干燥过 ○为已经干燥过)

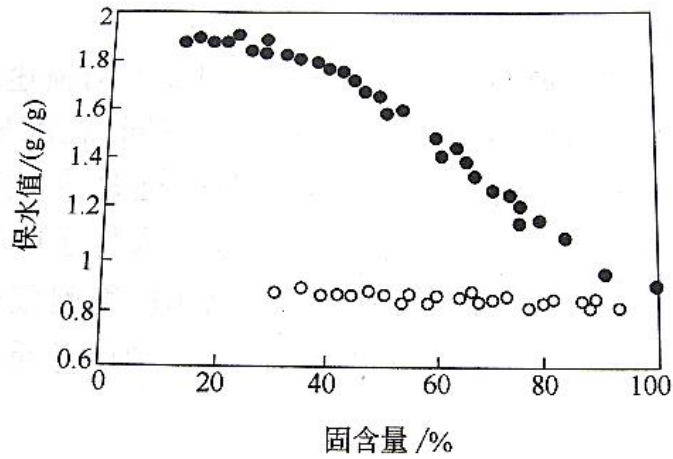


图 3-9 硫酸盐木浆打浆后角质化情况 (●为从未干燥过 ○为已经干燥过)

(三) 纤维的质量特性之三：保水值

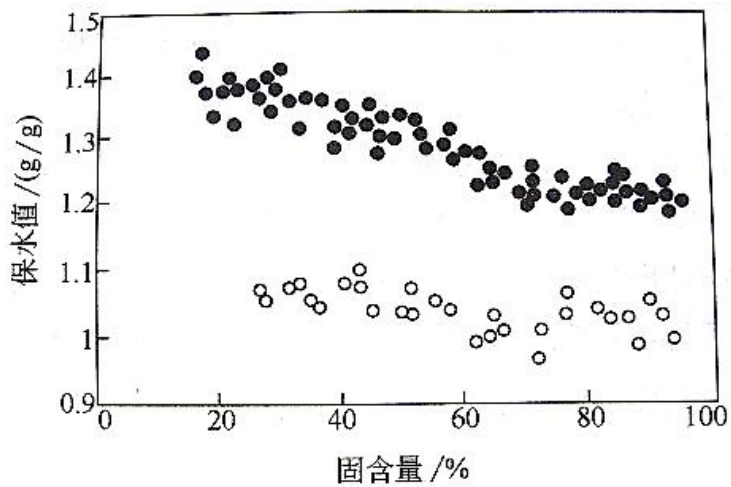


图 3-10 已干燥过的脱墨浆纤维再制浆后保水值变化情况

(●脱墨浆的角质化 ○已经过绝干干燥的脱墨浆)

对废纸浆来说，干度约 30%时（纸机的压榨部）保水值开始下降，即再次角质化开始，到干度大约 70%后，基本不再变化。干燥的速度和温度越高，角质化程度越高。图 3-11 为回用次数对纤维保水值的影响。

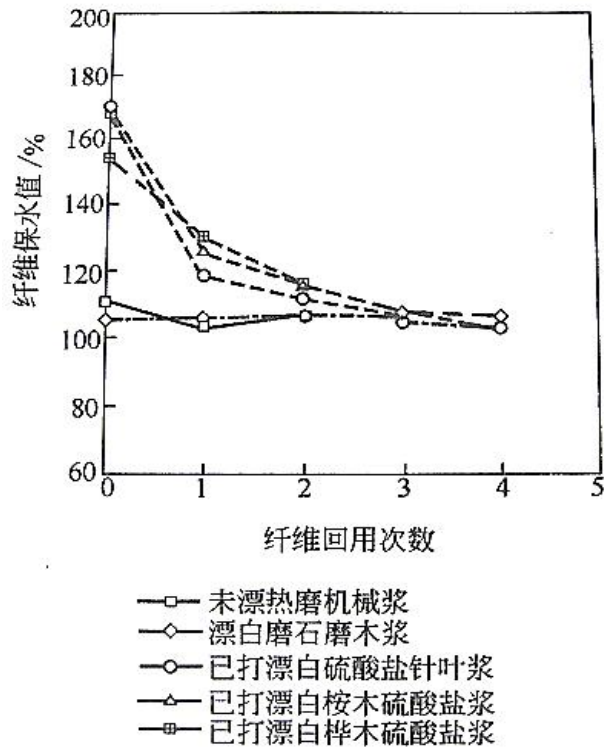


图 3-11 回用次数对纤维保水值的影响

（四）纤维的质量特性之四：纤维表面性能与纤维的结合力

无论是机械浆还是化学浆，由于角质化现象和机械作用，以及废纸再制浆的影响，纤维表面的细纤维化程度明显比原浆少，使得纤维间的结合力明显降低；同样角质化现象减少内部的细纤维化；纤维的结合力主要取决于纤维表面的细纤维化和纤维的柔顺性（主要取决于内部细纤维化），柔顺性差的纤维间的接触面积减少，可通过加入化学品、浸泡和渗透、打浆提高细纤维化。因此，废纸浆不经过进一步的处理时纤维间的结合力比原浆要低许多。

（五）纤维的质量特性之五：其他因素对再生纤维的影响

机械浆（包括 SGW、TMP、CTMP）细胞壁的角质化现象很轻---因为凝胶状的木素和半纤维素占用和保护了微细纤维上的氢键并阻碍了干燥时纤维壁的收缩。

化学处理的程度越高，得率越低，漂白程度越高，木素、半纤维素相对低的浆，其角质化现象越严重。

得率很高的浆如 TMP，反复使用 4 次后，纤维的柔顺性是原浆的 4 倍，纸的密

度提高。

对化学浆、半化学浆，必须考虑纤维的角质化现象，以及纤维间结合力下降的问题。相反，使用废报纸再生新闻纸，各项指标不降低，有些还会提高。

未漂浆比漂白浆中的半纤维素含量高，草浆、阔叶木浆的半纤维素含量比针叶木高，产生的多聚糖中的游离羟基含量也高，易吸水。在制浆过程中的角质化现象要略轻些。

随着纸张年龄的增加，纸张纤维的白度下降。

干燥的速度和温度越高，角质化程度越高。

抄纸过程中的机械压光会明显降低保水值，提高角质化程度。

废纸再制浆时加入化学品、浸泡和渗透及打浆作用，会部分抵消角质化的影响。

废纸处理技术的发展前景有：加强对废纸分拣技术的研究；加强其它行业适用于废纸处理，废纸脱墨技术的开发研究；废纸处理设备的改革；流程的简化；突破现有废纸的处理方法。

3.2 废纸制浆处理工艺流程

废纸制浆一般流程：废纸→废纸浆→除渣→筛选→洗涤→浓缩→分散→漂白→储存。

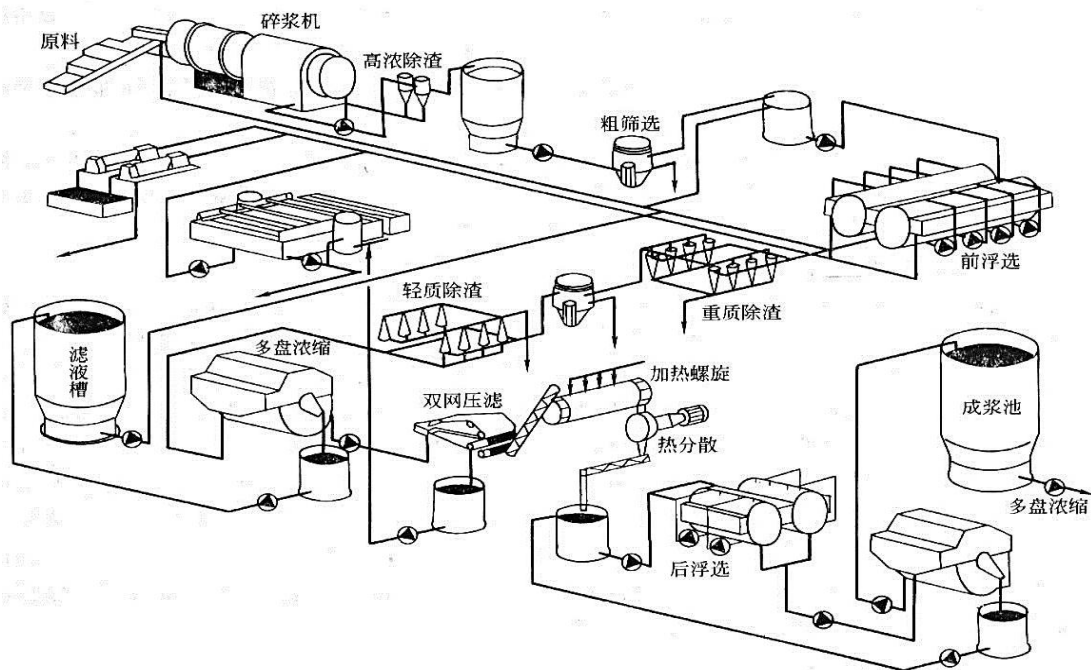


图 3-12 芬兰 Kaipola 纸厂日产 330t 新闻脱墨浆生产流程

3.2.1 碎浆和除渣工段

(一) 碎浆工段

碎浆的目的和作用：疏解废纸的纤维，打散废纸浆中的碎纸片至一定程度；促进油墨和其他污染物与纤维的分离；使油墨颗粒分散成理想的颗粒大小以便通过后续工序除去；污染物颗粒应尽可能保持原状，以便在随后的筛选和净化中除去。



图 3-13 料场拣选和堆垛

碎浆过程分为：备料、碎浆、疏解。

碎浆是化学与机械共同的作用过程。化学作用来源于氢氧化钠、硅酸钠、过氧化氢、表面活性剂；机械作用来源于纤维与悬浮液之间的运动，纤维与纤维之间的相互作用，悬浮液与转子相互间的直接作用。

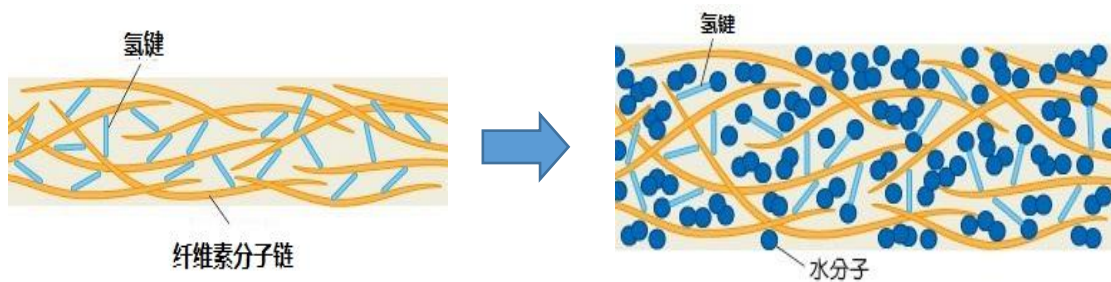


图 3-14 碎浆机械作用过程示意图

碎浆要最大限度地分离纤维及油墨和杂质，并保持杂质不致碎解。具体分为以下几个步骤：

- ①润湿：加水润湿废纸，废纸的机械强度降低，纤维间的氢键断裂。
- ②循环：产生旋转的及径向的浆流流动。
- ③摩擦：转子回转产生的速度差异使纸片在所形成的高剪切力作用下被撕开。

碎浆设备分为水力式碎浆机和圆筒式连续碎浆机。水力式碎浆机按浆浓分为高

浓水力碎浆机和低浓水力碎浆机；按结构分为立式水力碎浆机和卧式水力碎浆机；按操作分为间歇式水力碎浆机和连续式水力碎浆机。

如图 3-15 为立式连续碎浆机，它是借助高速回转的转子所产生的冲击力和高剪切力来疏解纤维，然后疏解好的纸浆通过抽提孔板的开孔连续排出。其碎浆浓度一般为 3%-8%，其优点有：可连续排除难以碎解的非纤维杂质；可除去打包用铁丝和绳索等束状物；电耗较间歇式低，设备利用率高；适用于处理各种废纸。缺点有：纸片分散成纤维的程度较小，仅能达到 90%；由于连续使用，限制了化学药品的作用时间，使废纸脱墨不能很好的进行。

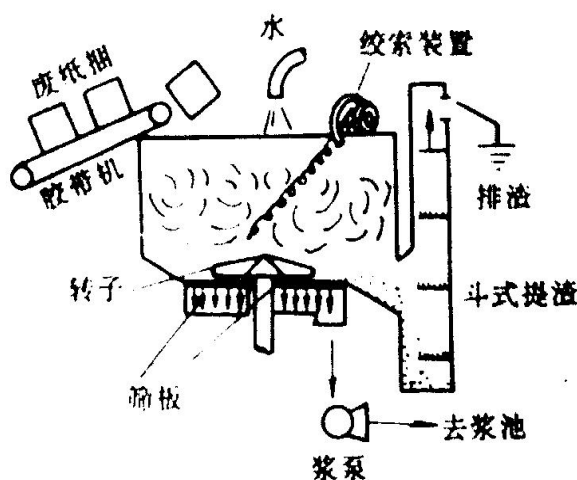


图 3-15 立式连续水力碎浆机结构示意图

如图 3-16 为立式间歇碎浆机，其优点是：浆料碎解程度比较稳定，便于掌握投料量、加水量、脱墨时间及反应温度。缺点是：单位能耗大投料放料等非碎解时间较长，降低了设备的生产能力不适合处理 杂质较多的废纸。

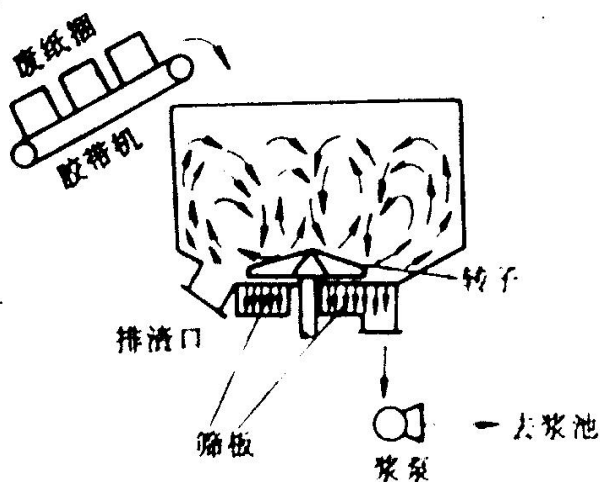


图 3-16 立式间歇水力碎浆机结构示意图

间歇式水力碎浆机底部的转子有中浓转子和高浓转子，其特点各不相同：
中浓碎浆浓度大约 8%-12%。
高浓碎浆浓度可达 18-20%。
设计的转子减少了对纤维的剪切力，废杂质破碎率低，避免了油墨过度碎解。
碎浆能耗低，与低浓相比，可节约能耗 60%。
在高浓下，纤维之间相互产生强力摩擦，可缩短碎浆时间，节约化学药品。
间歇操作，所需进料和放料时间长。

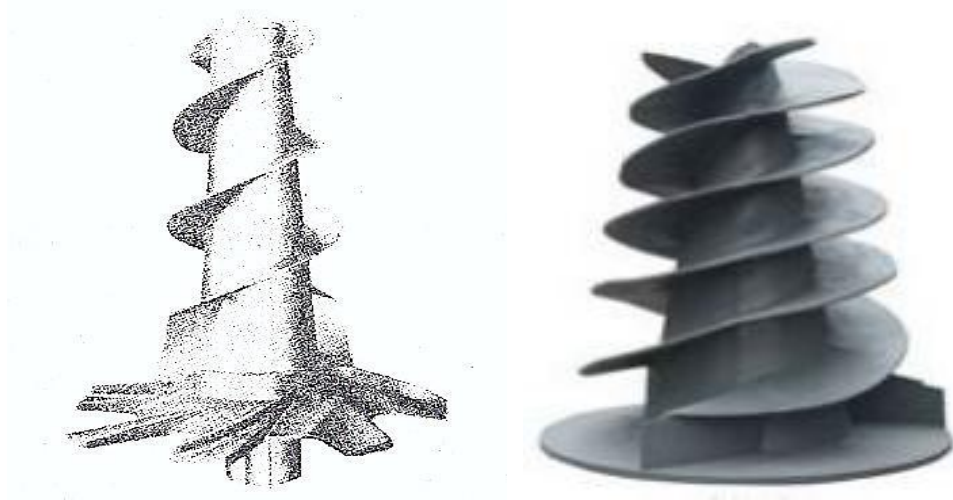


图 3-17 图左为中浓转子，图右为高浓转子



图 3-18 高浓水平鼓式碎浆机外观图

如图 3-18 和图 3-19 为高浓水平鼓式碎浆机，其特点为鼓式碎浆设备对废杂质的作用比间歇式高浓碎浆设备还要温和；去除油墨、胶粘物的效率高于高浓水力碎浆机；与水力碎浆机相比，化学药品可减少 10% 以上，蒸汽可节省 60%。

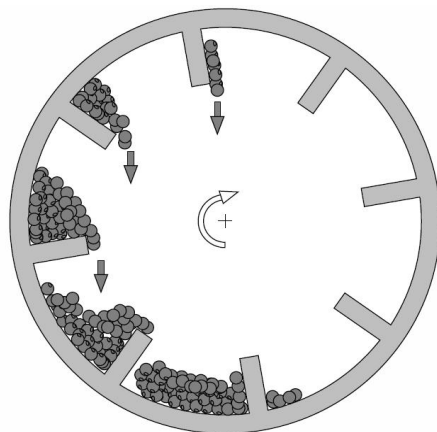


图 3-19 高浓水平鼓式碎浆机内部结构图

表 3-4 高浓水力碎浆机和鼓式碎浆机性能对比

高浓水力碎浆机	鼓式碎浆机
纤维与纤维间的搓揉产生摩擦，浆槽内没有高剪切力区域，疏解作用主要依靠锥形螺旋移动纸浆所产生的泵送作用。废纸的疏解效果极佳，胶粘物的降解很少。	疏解作用比较温和，大片的塑料能保持原有尺寸，并在后面的筛选中除去。胶粘物可保持原状并在后续的筛选中除去。
高浓间歇运行，可根据浆料量精确掌握纸浆浓度，疏解温度以及碎浆机化学所需要的条件，以获得满意的碎浆效果。 目前高浓除浆也有了采用连续碎浆的流程，据称可以节约占地面积，降低能耗，纸浆质量均匀，没有纤维流失，得率比间歇碎浆高，还可节省设备投资费用。 高浓碎浆机疏解能力比鼓式碎浆机强，疏解 OCC 和 MOW 没有困难。	高浓，连续运行。鼓式碎浆机内的能量强度要显著低于高浓水力碎浆机，故其废纸疏解效果不如高浓水力碎浆机，特别是 OCC，MOW 和复合废纸，疏解不能完全，需要疏解机的帮助。
可掌握碎浆时间以获得最佳油墨去除效率。	疏解时间较长，有可能造成油墨颗粒的再沉降。
动力消耗较高（10~40kwh/t）	动力消耗要比间歇式高浓碎浆机低 50%（10~20kwh）
需另设置除杂质机、圆筒筛以去除较大的轻	转鼓本身兼有除杂质机和圆筒筛的功能。

重杂质。	
碎浆浓度<19%。	碎浆浓度可达 20%~26%。
间歇式操作，需加强管理，维修成本较高。	连续式运行，较粗放简单，易于管理。
占地面积小。	占地面积大。
初期投资小。	初期投资高。

(二) 除渣工段

除渣器可除掉的废杂质：相对密度大于水的废杂质（如金属、碎玻璃、砂等）及小于水的废杂质（如泡沫塑料等），但一些相对密度与水十分相近的胶粘物很难用除渣器去除；尺寸大小：大到 8~10mm（水力碎浆机的孔板直径），小到 5 μ m 或更小，如填料；变形性的废杂质，如胶粘物，这类物质由于会变形，易于通过筛选开口，但如果其密度与水有足够的差异，合适尺寸的也可通过除渣器除去。

除渣器的基本原理：靠离心力将废杂质与纤维分离。当纸浆从切线方向进入除渣器顶部时，浆流即产生了涡旋的移动，呈螺旋形沿着除渣器的锥体加速向下。涡旋的移动生成离心力，使比水重的杂质移向除渣器的内壁，而相对密度小于水的则移向涡旋的芯部。



图 3-20 除渣器结构

除渣器分为正向除渣器和逆向除渣器。

表 3-5 正除渣器的标准工作参数

工作参数	除渣器直径/mm	
	75	150 或 200
进浆浓度	0.5%~0.6%	0.5%~0.7%
压力差/kpa	135~200	100~170
排渣率(质量)/%	15~20	10~15
单个除渣器生产能力/(L/min)	10~15	7~15
排渣率(容量)/%	55~135	400~570
停留时间/s	1	2

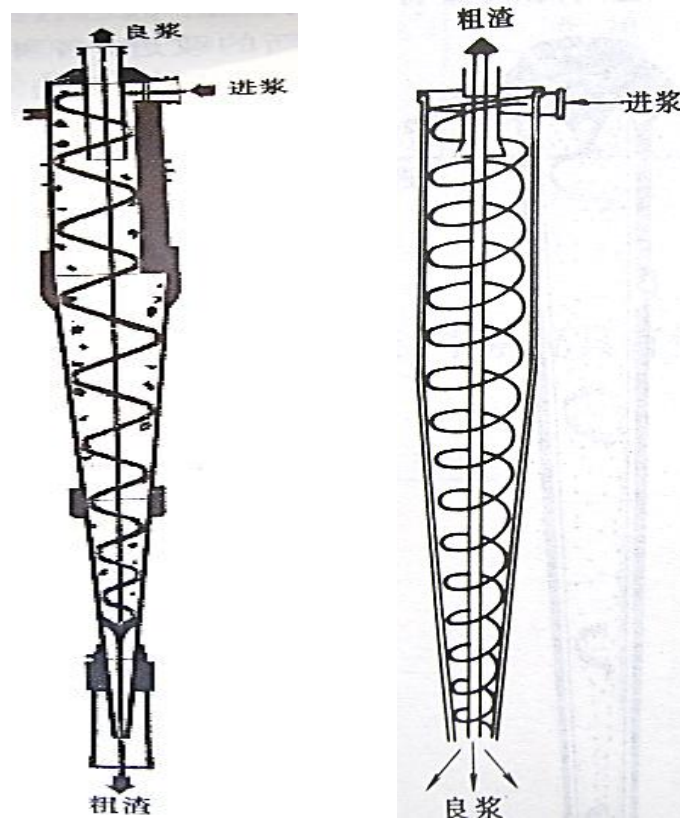


图 3-21 左图为正向除渣器结构示意图，右图为逆向除渣器结构示意图

逆向除渣器特点：清除轻杂质；由于细缝筛对胶粘物的独特效用，在生产文化用紙的廢紙脫墨流程中，逆向除渣器的作用显得不那么重要；但对胶粘物含量多、品种繁多的 OCC 廢紙处理过程中，以及在处理含蜡的廢紙中，逆向除渣器还是有用的。



图 3-22 轻杂质除渣器示意图

表 3-6 轻杂质除渣器工作参数

工作参数	逆向除渣器	通流式除渣器
进浆浓度/%	0.5~0.8	0.5~10
压力差/kpa	170~270	100~135
排渣率/%(质量分数)	15~25	5~10
排渣率/%(体积分数)	40~60	5~15
单个除渣器生产能力/(L/min)	55~115	95~150
停留时间/S	1	1.5

3.2.2 筛选、洗涤和浓缩工段

(一) 筛选工段

筛选去除胶粘物的效率居废纸处理流程中各操作单元之首。废纸浆的筛选主要有三大部分：

- ①碎浆机筛选：去除大的废杂质如打包钢丝、塑料片、木块等。
- ②粗筛选：碎浆和高浓除渣后进行，主要用来除去一些较大的废杂质。
- ③细筛选：去除一些非常细小的废杂质，如胶粘物、热熔物等。

分级筛选：将纸浆分选为长纤维组分和短纤维组分，所用筛孔大小为 1.3-2.0 mm，浓度 2%-4%。

杂质的形状与筛选：如图 3-23 所示，A 容易被筛出；B 能否筛出，与其大小、

形状、坚硬性有关；C 能否筛出，取决于在筛孔和筛缝附近的取向。

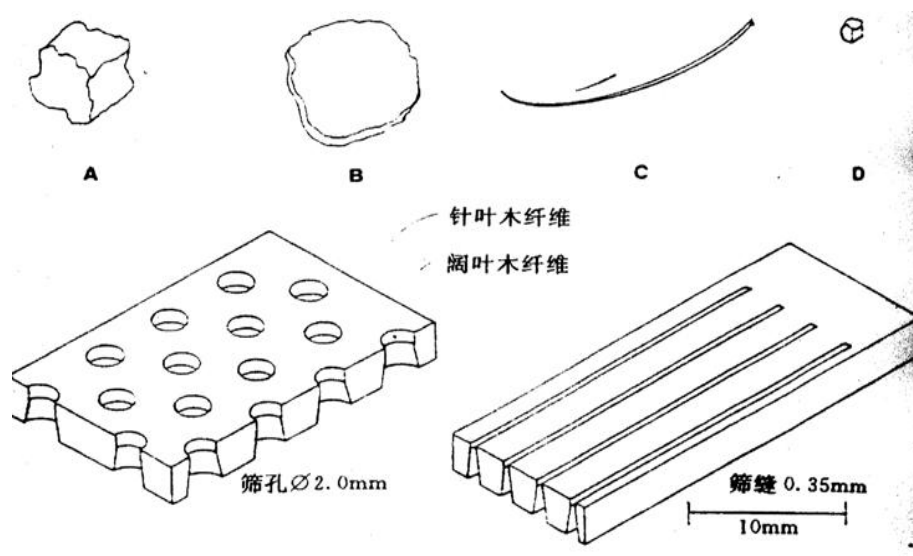


图 3-23 杂质的形状与筛选方式

筛选的杂质类型：

- ①纸片：没有疏解好的纸片；
- ②塑料：成片状或薄膜状的聚乙烯，可筛选除去；
- ③胶粘物：热熔物、压敏胶带和乳胶；
- ④小而重的杂质：小石块、砂、铁屑、玻璃屑、钢针；
- ⑤蜡、沥青、油墨、涂层等：粒子很小，难通过筛选除去，可借助于浮选、除渣、洗涤、乃至揉搓除去。

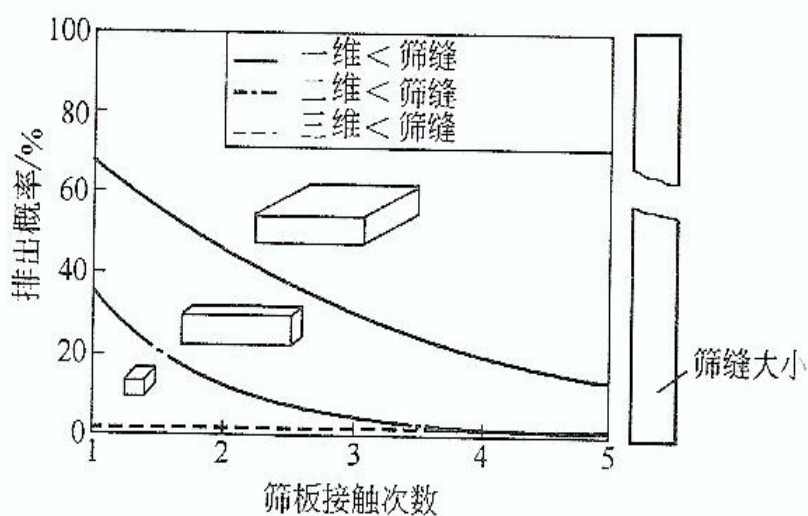


图 3-24 杂质的排出概率和筛缝大小与筛板接触次数的关系

杂质与筛板的接触次数越少，则被筛除的概率越高；三维小的硬性立方体杂质

可以 100%通过筛板，被筛除的概率几乎为零；二维小的杂质在第一次接触筛板时被筛除的可能性小于一维小的杂质。

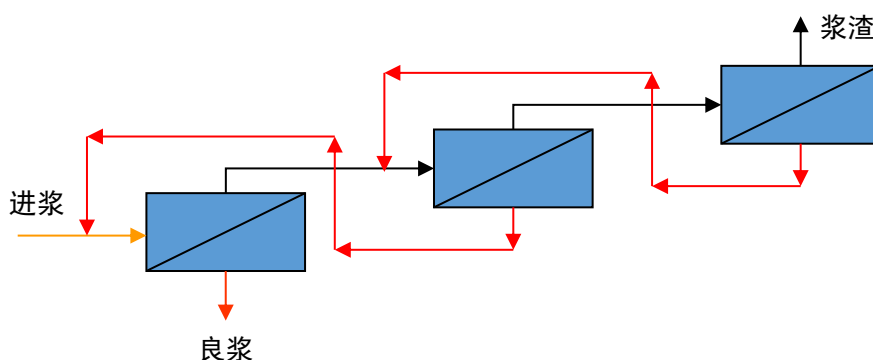
筛选流程：

组合原则：视浆种、产品质量要求、设备特点与投资；浆质好，投资少，占地面积少，纤维损失少，动力消耗少，操作管理方便。

筛选、净化流程的级和段：

级--指原浆和良浆通过筛（净）设备的次数。

段--指原浆和尾浆通过筛（净）设备的次数。



筛选设备主要为压力筛，压力筛可分为单鼓外流式、单鼓内流式、内外双鼓式旋翼筛。

单鼓外流式压力筛：纸浆从筛鼓内向筛鼓外流动，转子在进浆侧旋转，纤维和废杂质随着环流而成线状排列，促进长纤维和废杂质的排出；进料有从底部进入，粗渣从顶端排出的，也有从顶部进料，底部排渣的。

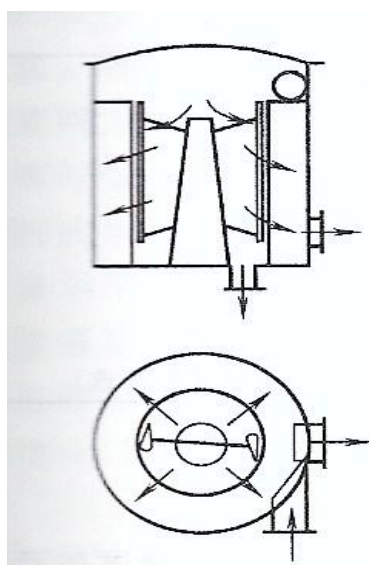


图 3-25 单鼓外流式压力筛

单鼓内流式压力筛：纸浆从筛鼓外侧流向筛鼓内侧，旋翼有在筛鼓外的，有在筛鼓内的。

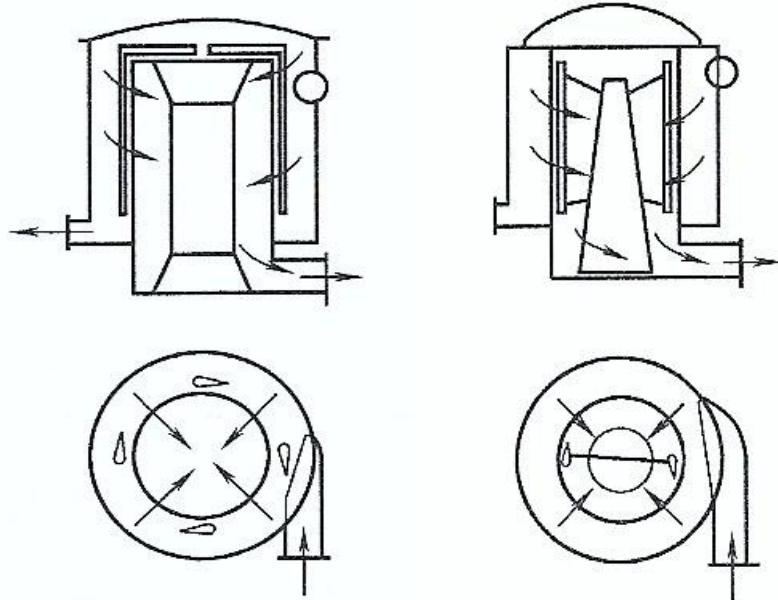


图 3-26 单鼓内流式压力筛

内外双鼓式压力筛：有两个筛鼓，利用筛选中产生的离心力和向心力，纸浆产生内外双向流动。

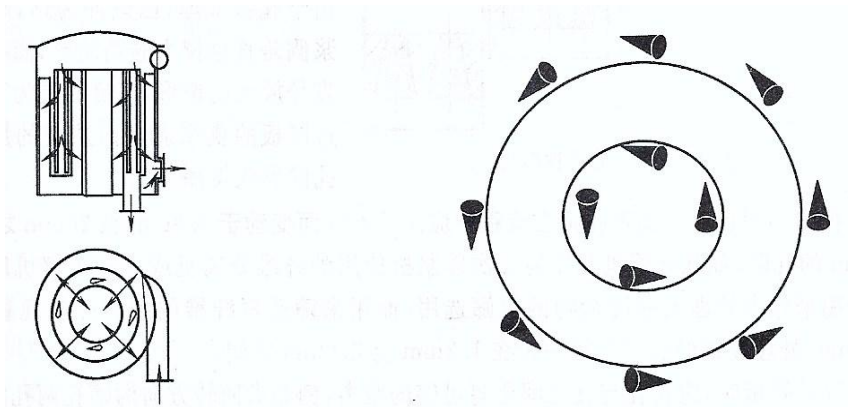


图 3-27 内外双鼓式压力筛

(二) 洗涤浓缩工段

洗涤的目的和作用：用过滤的方法将纸浆悬浮液中小于 $30-40 \mu\text{m}$ 的废杂质除去，同时可除去溶解的和胶体的污染物。包括：填料、涂料颗粒、微细胶粘物、油墨颗粒以及与 COD 和阴离子垃圾有关的污染物。一些细小纤维(长度 $<0.2\text{mm}$)甚至长纤维也会进入洗涤滤液中。在揉搓分散、漂白、高浓贮浆之前起浓缩纸浆的作用。

浓缩是提高出口纸浆浓度（与进浆浓度相比）的一种措施。其目的是：回收流程水和/或化学品以增加运行效率；将纤维浓缩以便在后续工序（如漂白、分散与揉搓）中得到更有效的处理。如分散所需浓度范围 22%-30%或更高；满足经济性要求，如漂白化学药品、能量和所需容器容积大小都是根据浆料浓度而变化的；浓缩脱水主要是固体和液体的分离，注重提高固体的浓度。

洗涤/浓缩在废纸处理流程中的安排：

所有废纸处理流程中，均使用了洗涤和/或浓缩工序。一般来说，绝大多数脱墨系统至少有一道，有时两道或三道洗涤和澄清。

对脱墨系统来说，洗涤出来的白水要进行澄清以除去油墨、灰分或其它小直径颗粒的悬浮固形物。

洗涤设备根据洗涤浓缩的范围分为：

低浓洗浆机：出浆浓度< 8%，如斜筛、圆网浓缩机等；

中浓洗浆机：出浆浓度 8%-15%，如斜螺旋浓缩机、真空过滤机等；

高浓洗浆机：出浆浓度>15%，如螺旋挤浆机、夹网挤浆机等。

表 3-7 各种洗涤、浓缩设备和主要运行参数

设备名称	浓度/%			固体物损失率/%	灰分去除率/%
	进浆浓度	良浆浓度	白水浓度		
斜筛	0.8~1.2	3~4	0.15~0.25	15~20	50~60
斜螺旋浓缩机	3.0~4.0	10~14	0.4~0.5	10~15	60~65
重力圆网浓缩机	0.8~1.4	4~6	0.1~0.2	10~15	50~60
真空洗浆机	0.8~1.2	8~12	0.05	3~5	20~25
真空多盘浓缩机	0.8~1.2	8~12	0.05	3~5	20~25
高速带式洗浆机	0.8~1.5	10~12	0.2~0.3	20~25	80~85
夹网洗浆机	3~4	25~35	0.2~0.3	3~5	15~20
螺旋挤浆机	5~10	30~40	0.25~0.35	4~6	15~20

3.2.3 分散与揉搓工段

（一）分散工段

分散是用机械方法使油墨与纤维分离，或将油墨和其它杂质进一步碎解成肉眼看不见的大小，使其均匀地分布于废纸浆中，从而改善成纸外观质量的工序。

分散的目的和作用：使废杂质的颗粒变小；促使油墨与纤维分离；使纸浆均匀化；分散设备可作为漂白工序中的热预处理、化学品的混合以及漂白反应器；在加有过氧化氢情况下提升温度可消灭细菌和真菌；改变纤维特性。

分散工艺分为冷分散和热分散，绝大部分采用热分散。浆浓 30%-40%，温度 80-120°C，时间 3-4 min。一个好的分散系统可消除残留总脏点量的 90%以上。

表 3-8 不同污染物的软化温度

污染物名称	软化温度	污染物名称
沥青	100-110	沥青
蜡	85-105	蜡
油墨	85-120	油墨

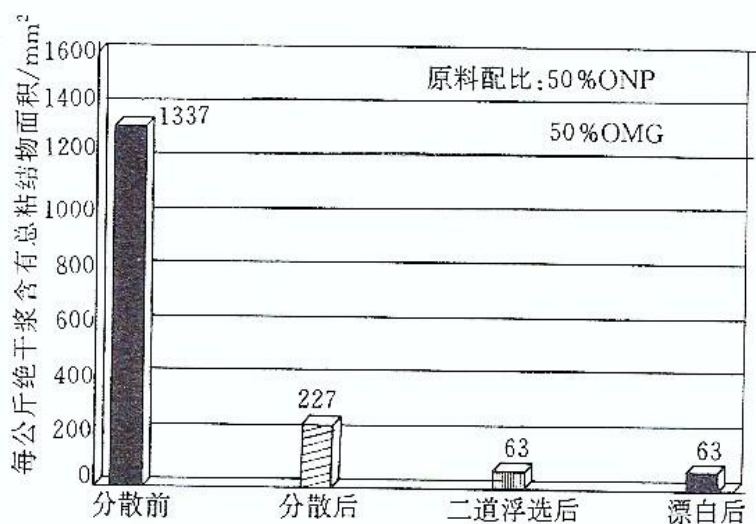


图 3-28 胶粘物的热分散效果

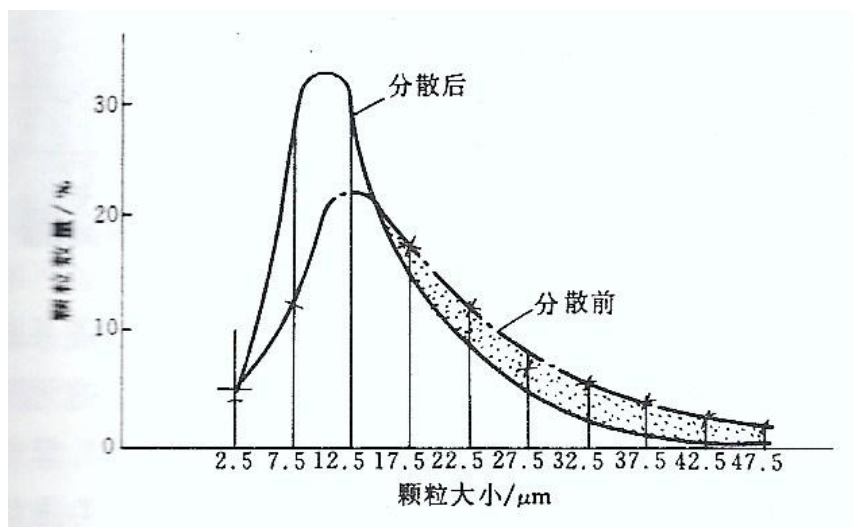


图 3-29 油墨的分散效果

（二）揉搓工段

揉搓的目的和作用：为了保证油墨和其它污染物质的去除，使油墨与污染物质有效分离，并在随后的浮选、洗涤等工序除去，而不是单纯将污染物破碎并分散到纸浆中去，以揉搓代替分散是一个良好的选择。高浓下，依靠纤维与纤维间产生的强力摩擦作用使难以脱去的油墨与纤维分离并将这些油墨颗粒减小到能为浮选、洗涤除去的尺寸。

表 3-9 分散与揉搓特性的比较

揉搓	分散
通常放在流程的中部	通常放在中部或尾部
目的是使污染物与纤维分离，并通过后续工段除去	将污染物破碎成小的粒子并均匀分散到纸浆中
大团纸浆在转子回转时与定子条棒间产生的纤维与纤维之间的滚动摩擦作用	利用精浆机、盘磨机，纤维在高温下通过高速回转的磨片
单轴揉搓机运行大多为常温，双轴则加热到 90 度左右，速度慢	通常加热到 90 度以上，转子转速高
游离度基本没有下降	游离度有中等程度的下降
较高的设备费用但较低的运行费用	较低设备投资费用，但运行费用高

各种污染物的分散与揉搓处理：

（1）沥青

来源于层压粘合剂和纸袋纸、纤维桶容器、牛皮纸货运袋中的防水汽层及其它物品的防潮包装等处。除去方法：使用加压的分散机，温度 150℃，但会导致纸的物理强度下降。

（2）胶粘物

揉搓会改变胶粘物的形状（趋向于球形），因此有人认为将揉搓段放在筛选、除渣、浮选的前面有利于胶粘物的去除。高温使得胶粘物软化以及内部粘合力减弱。纸浆的高浓度、高温对分散胶粘物十分有益。分散比揉搓更能有效地除去胶粘物。

（3）残余油墨

高速分散机适宜于分散含机械浆废纸中的胶粘物和斑点。而揉搓机则更适合于用来破碎不含机械浆废纸的调色剂印刷油墨。

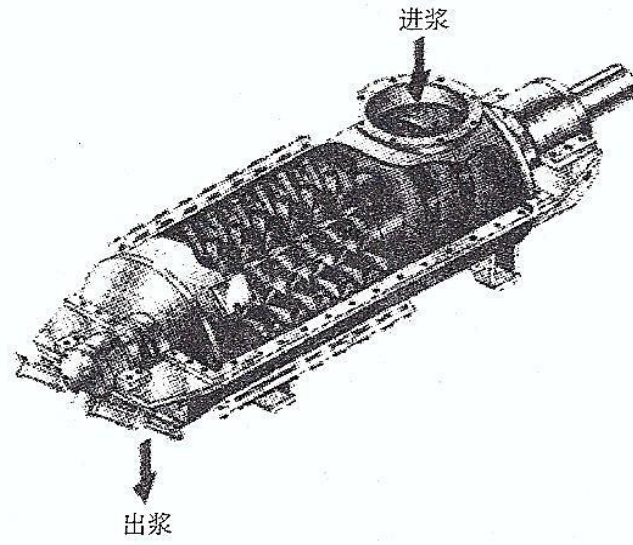


图 3-30 单轴揉搓机

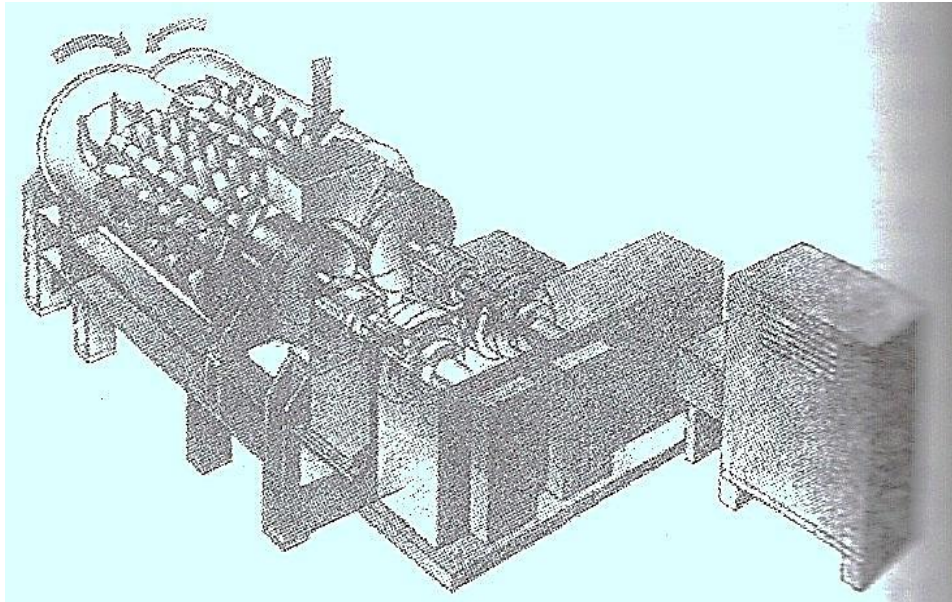


图 3-31 双轴揉搓机

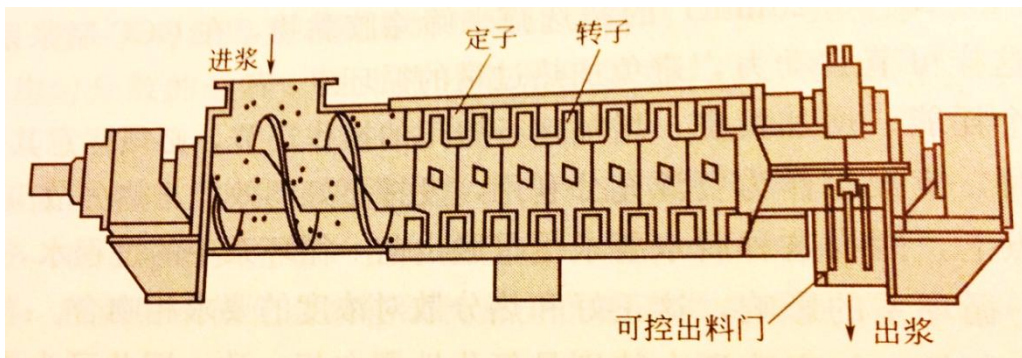


图 3-32 单辊揉搓式分散机

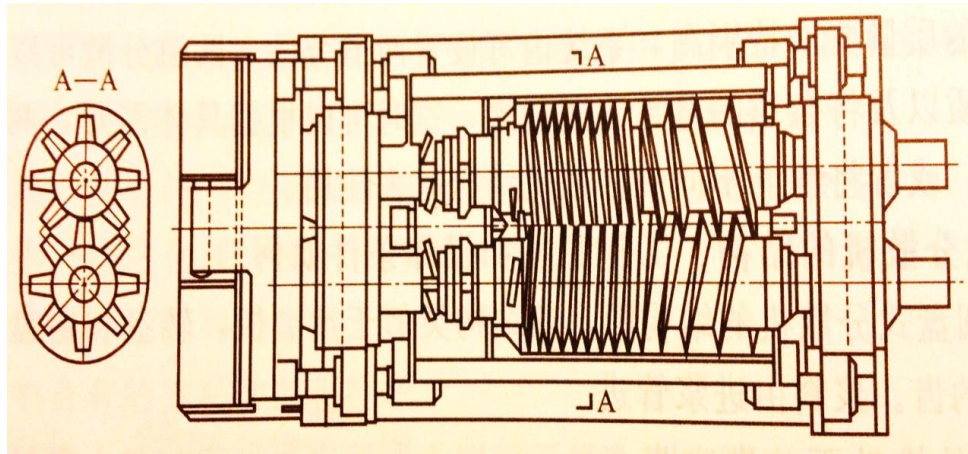


图 3-33 双辊揉搓式分散机

3.2.4 漂白和精浆工段

(一) 漂白工段

废纸浆漂白与原浆漂白的不同。化学浆的漂白要求在少损伤纤维素、半纤维素的前提下脱除木素以提高纸浆白度；机械浆的漂白要求在提高纸浆白度的同时不发生或较少发生脱木素作用；废纸浆的纤维组成具有不均匀性和不稳定性，并含有填料、涂料、颜料、染料、印刷油墨等废杂质。

废纸浆漂白的目的：增白；脱色；脱木素。

漂白剂分类：

①含氯漂白剂

二氧化氯：具有选择性，能迅速与木素反应，很少降解纤维素。但含元素氯，限制了使用。

次氯酸盐：价格便宜，效果好。可加在水力碎浆机用于脱色，但产物中生成三氯甲烷，逐渐被停止使用。

②无氯漂白剂

臭氧：在常温和常压下即可进行漂白，是破坏纸浆中发色团的最佳漂剂之一，同时具有破坏染料和氧化污染物的功用，是唯一能彻底破坏废纸浆中荧光增白剂的漂剂，但对高机浆含量的废纸浆漂白效果不理想。

过氧化氢：用于碎浆机中，可防止含机械木浆的废纸浆的泛黄，0.5-0.8%。用于未脱墨浆中，废纸经水力碎浆机疏解，脱水螺旋脱水后加入过氧化氢，而后在漂白塔中漂白，部分脱除杂质后浮选前的过渡阶段的漂白。脱墨后在分散机或揉搓机内加入，而后在升降塔中进行漂白。用于后段漂白，流程末端的漂白，温度：60-80 度。

连二亚硫酸钠：反应速度很快，是优良的脱色剂，能漂白多种染料，因为是还原漂白，对纸浆的得率没有什么损失。用于机械木浆漂白：低浓（3%~5%）、低温（50~70℃）、低pH值（微酸性）；用于漂白MOW脱墨浆时倾向于用中浓或高浓（10%）以上，如果脱墨浆含量不多，pH值还可以略高些。漂白时尽量避免氧（空气）的存在。

漂白剂的加入方法：

①加入水力碎浆机中：使用特点是对白度要求不高，且在漂白纤维的同时，有一些不必要的消耗。

②脱墨前在漂白塔中进行：脱除部分杂质后，脱墨前过度阶段的漂白。

③热分散机或搓揉处加入，在漂白塔中进行效果好。

（二）精浆工段

精浆即废纸纤维的升级使用。使再生纸的产品档次与原浆相当或更高，而不是低于原有纸产品的档次（降级使用）。

实现工序：纤维分级、热分散、精浆。

在使用废纸浆的生产线，原料质量会经常波动，若产品强度指标下降，首先要考虑的即就是精浆的工艺条件。

废纸浆精浆的目的：使纤维细胞表面细纤维化，细胞壁内部细纤维化，纤维的保水性能提高；再生的纸浆是已经打过浆的纤维，精浆时必须非常小心，避免纤维再次损伤和切断。

精浆使纤维发生的变化：纤维的切断，细胞壁脱层分裂，细胞腔体积减小压平，细胞表面细纤维化，细胞壁内部的细纤维化，纤维保水性提高，产生二次细小纤维，扭曲折叠，磨掉表面胶质状物质等。

精浆对成纸性能的影响：

精浆时，挺硬的纤维优先细纤维化，而柔软的纤维则以切断为主。纤维形态特性对成纸强度的影响，要比它的化学成分对成纸强度的影响大得多。

长纤维的抗张力、耐破度和耐折度相对较短纤维高；随着纤维直径增加，纤维会更加扁平 and 易被精浆卷曲，成纸伸长率和撕裂度提高，但耐折度，裂断长和耐破度有所降低，这与采用高浓精浆和采用高浓揉搓机、热分散的结果相似；在少切断纤维的情况下，适当的精浆可使成纸的性能在抗拉力和抗撕裂之间得到一个合理的点。

多层纸板生产要通过精浆调整各层纸浆的透气性和收缩率，减少脱水过程、干燥过程中各层间的收缩率差，防止产生内应力并导致纸板不平整和脱层。控制外层相对于内层的透气度，防止蒸汽压降低层间结合力。

包装纸板的挺度、耐折和弹性是重要质量性能（相关性较大的是纸板厚度和两个面层的耐破度），这两个强度性能的 85%以上来自纸板的正反两个面层，中间的填充层对厚度有贡献。

3.3 废纸脱墨工艺流程

3.3.1 废纸脱墨的主要方法

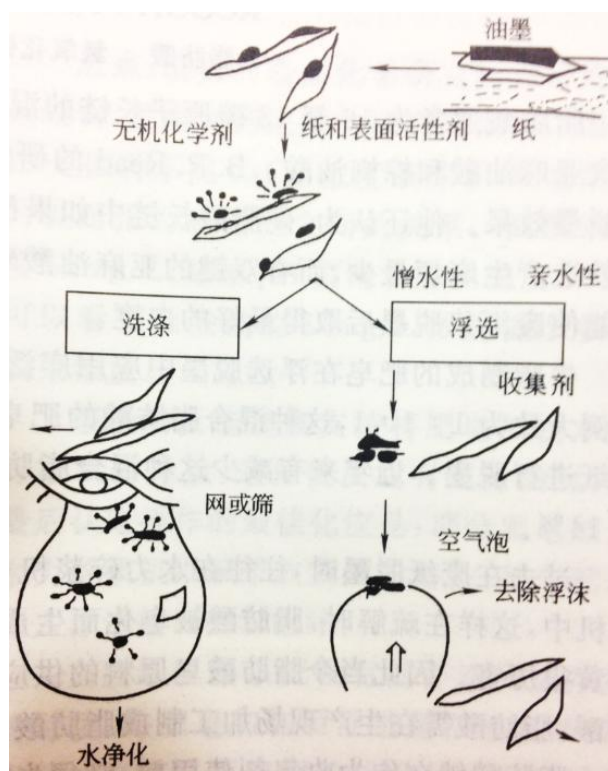


图 3-34 洗涤法和浮选法的脱墨机理

油墨粒子从纸浆悬浮液中脱除的方法主要有三种：a. 洗涤法；b. 浮选法；c. 洗涤与浮选相结合的方法。

（一）洗涤法

洗涤法通过反复洗涤过滤纸浆，将分散的油墨粒子从浆料中除去，同时也能除去纸浆中的填料和细小纤维。

要求剥离下来的油墨粒子尺寸要小，并且是高度亲水性的，可以很好的分散在纸浆悬浮液中。

洗涤法适合于容易分散的油墨，如胶版印刷油墨、凸版印刷油墨、水性苯胺油墨。油墨粒子在 $1-10\ \mu\text{m}$ 之间时，洗涤效果最好；大于 $40\ \mu\text{m}$ 的油墨粒子易被纤维层阻留在纸浆中；小于 $1\ \mu\text{m}$ 的油墨粒子又易被纤维吸附到表面上或进入纤维细胞腔中，降低脱墨浆的白度。

(二) 浮选法

浮选法最有效的油墨粒子脱除范围为 $15-150\ \mu\text{m}$ 。油墨粒子太小，与上升气泡的碰撞机会太少而不能吸附到空气泡上；油墨粒子太大，极有可能在到达悬浮液表面之前因碰撞而脱离气泡；油墨颗粒覆盖在空气泡上的面积为 $5\%-15\%$ 时，油墨对空气泡的附聚力最大。

浮选的目的和作用：浮选是利用憎水性颗粒或用表面活性剂使亲水性油墨颗粒转变成憎水性的颗粒吸附在纸浆悬浮液中的空气泡上，向上浮动再与纸浆分离的方法。前浮选和后浮选：根据位于分散前后位置而定。

前浮选：废纸浆白度的增加值通常要超过 $10\% \text{ISO}$ 。

后浮选：白度增加值则要少于 $2\% \text{ISO}$ 。通常不加化学药剂，主要起着清洁作用，被热分散将颗粒减少了很多的油墨粒子和胶粘物可以通过后浮选除去。

浮选机理：憎水性油墨的浮选机理：油墨颗粒表面的离子化；吸附；钙皂的沉降；油墨的聚集；油墨颗粒的浮起。

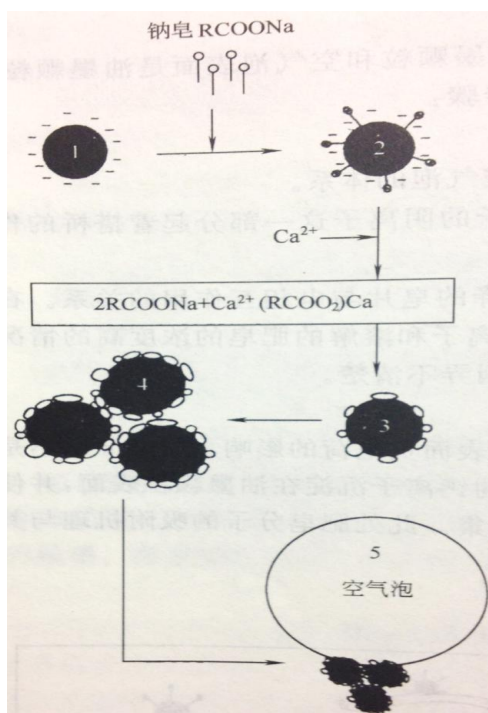


图 3-35 憎水性油墨的浮选机理

亲水性油墨的浮选机理：通过表面活性剂的作用改变亲水性油墨与空气泡的亲水性；阳离子表面活性剂与油墨颗粒的吸附最好，因此其脱墨效果很好：憎水性油墨与亲水性油墨浮选后，后者脱墨浆白度要低于前者约 15%。

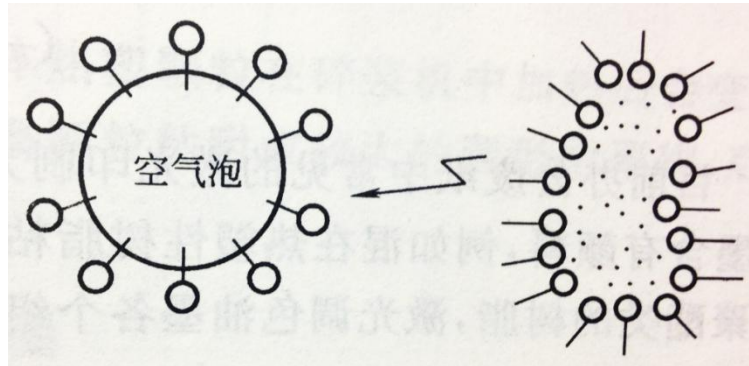


图 3-36 在蒸馏水中，憎水性化的油墨颗粒对空气泡的趋近

实现浮选成功的几个步骤：

- ①油墨和纤维的分离；
- ②油墨颗粒与空气泡的碰撞；
- ③空气泡-油墨颗粒复合体的形成；
- ④复合体上升到液面；
- ⑤空气泡-油墨颗粒复合体从浮选槽的去除；
- ⑥避免油墨与纸浆（或油墨与回用水）的重新混合。

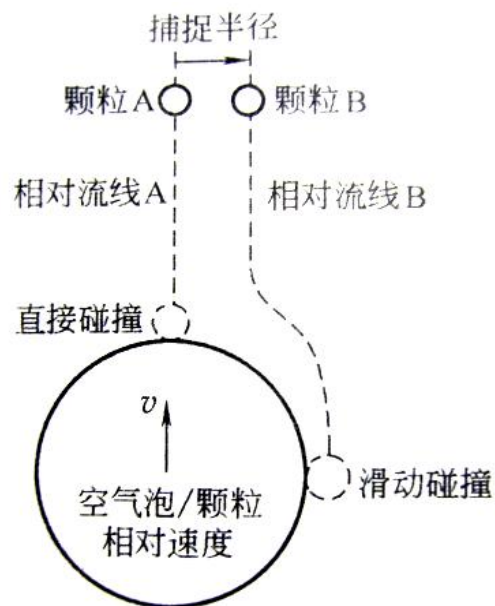


图 3-37 油墨颗粒与空气泡的相互作用

油墨-空气泡复合体的去除：

分离的油墨是否与纸浆重新结合，取决于复合体至泡沫去除系统的游动距离以及扰动程度。

浮沫的去除通常通过含有油墨的泡沫溢流来实现，有时则借助于一个回转的机械刮料器或真空吸泡装置。

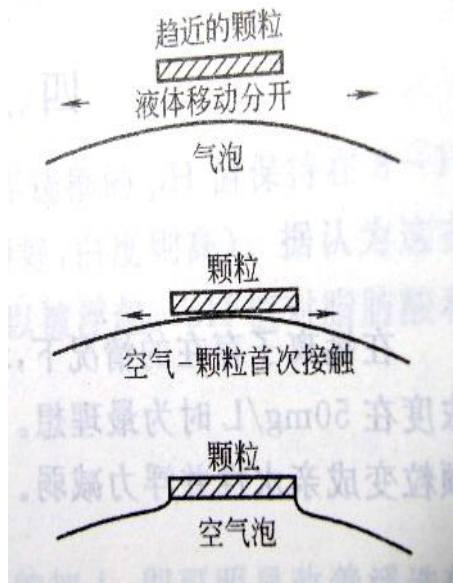


图 3-38 油墨颗粒与空气泡复合体的形成

3.3.2 废纸脱墨工艺流程及其设备

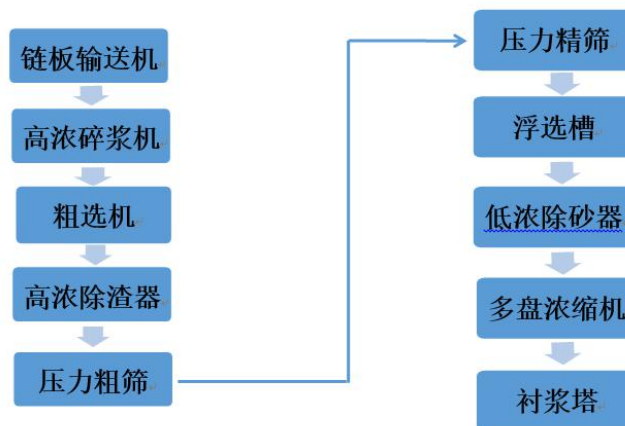


图 3-39 废纸脱墨工艺流程

废纸脱墨设备的发展趋势：

- ①设备形式 平流卧式→旋流立式
- ②机体结构 方箱形→圆柱式
- 开启式→密闭式

③气泡形式 压缩空气或机械搅拌 → 文丘里抽气或专用气体发生器

④浮渣排除 自然溢流或机械刮板 → 正压吹风或负压抽吸

Swemac 立式圆柱形浮选机：70 年代开发；不需搅拌器；浆料由泵送入底部喷射混合器，使浆、空气与脱墨剂均混合后沿切线方向喷入槽底，浆作旋转运动；油墨（泡沫）从溢流口入槽中心空心管，从槽下方排出；处理浆浓 1.2%-1.5%；可 2-3 个重迭安装。

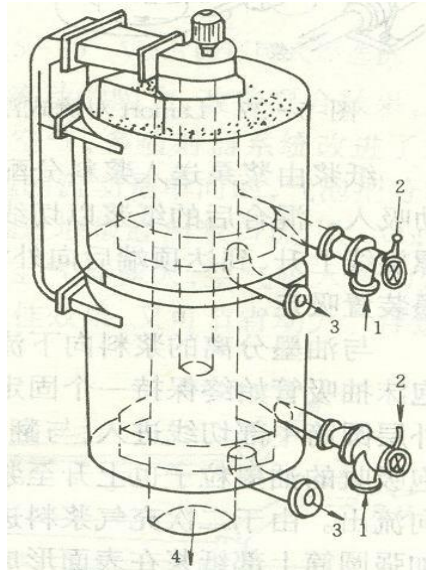


图 3-40 Swemac 立式圆柱形浮选机

(1-未脱墨浆；2-空气；3-脱墨后浆；4-墨渣)

Lamort 对流式浮选机：上大下小的两段圆柱体；文丘里浆气混合器；特点：两次充气、两次浮选、真空吸墨；在外层圆筒第二次充气，进行第二次浮选；浆浓 0.8-1.5%。

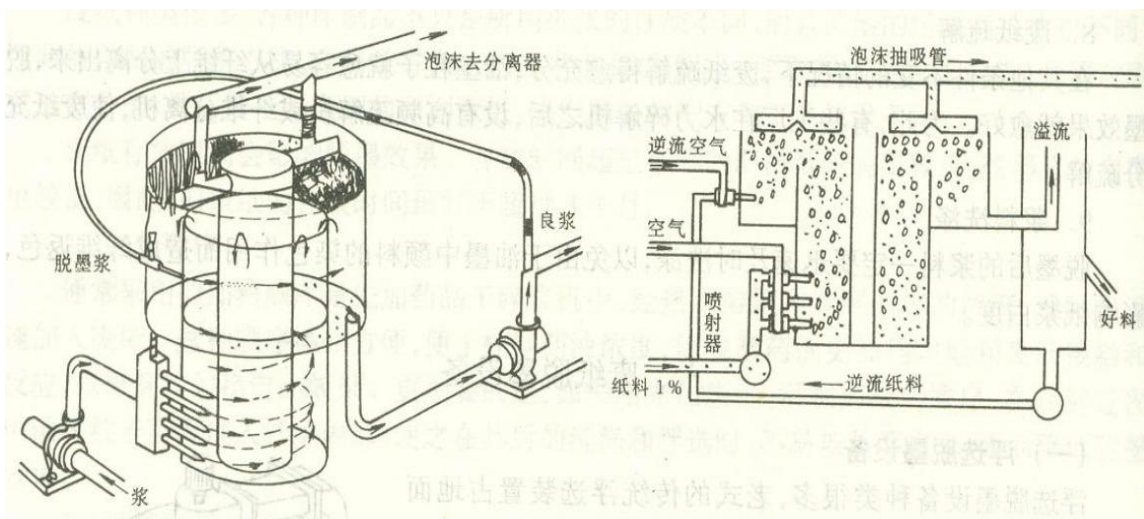


图 3-41 Lamort 对流式浮选机

Escher Wyss 阶梯扩散式浮选机：浆料用泵送入布气元件，通过阶梯扩散器吸入空气，浆位用液位箱控制可单台水平安装，也可多台迭装浆浓 0.8-1.5%。

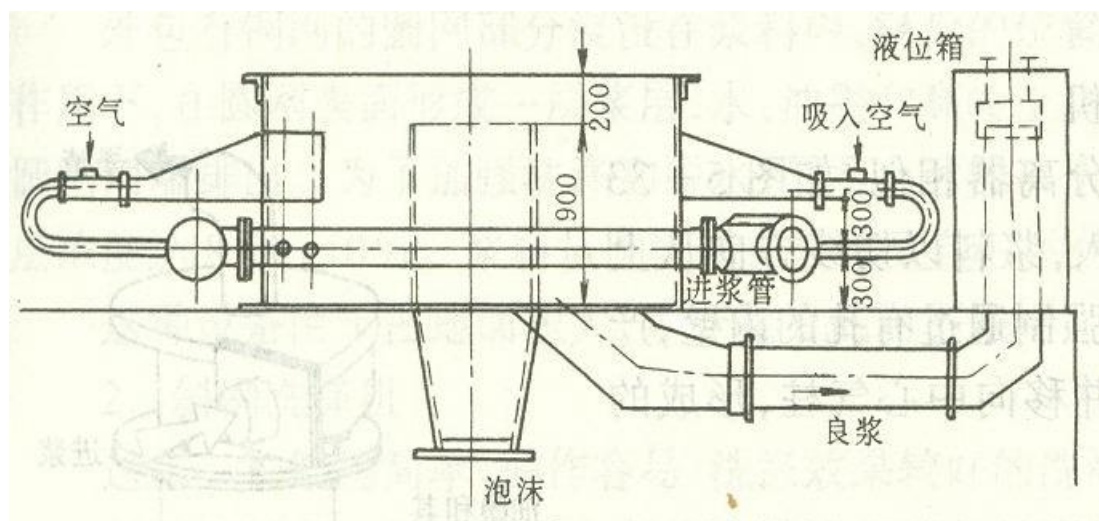


图 3-42 Escher Wyss 阶梯扩散式浮选机

Voith 多喷射器椭圆形浮选机：椭圆形的卧式槽体；有 12 个文丘里喷射器，文丘里管吸入空气；浆浓 0.8-1.0%。

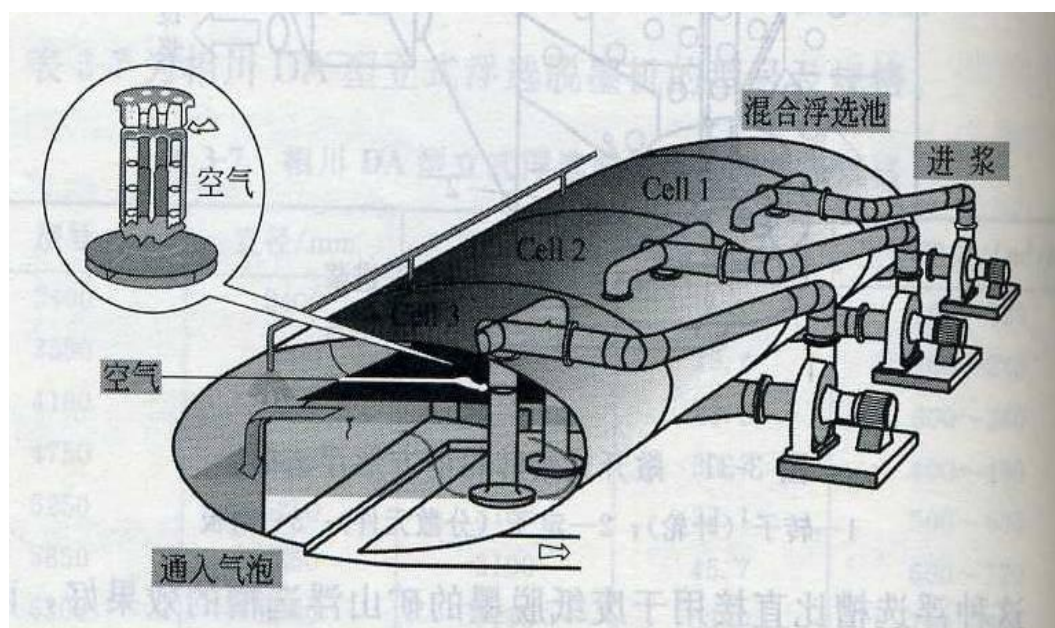


图 3-43 MAC Cell 浮选槽-Lamort

表 3-10 我公司使用的脱墨槽规格型号及工艺参数

车间	名称	规格型号	技术参数	生产厂家
五车间	浮选脱墨机组	ZFW3T	进浆浓度 0.8-1%，进浆压力 0.15-0.25MPa	济宁华一轻工机械有限公司
七车间	浮选槽	ZFM5	4100mmQ=976m ³ /h，进浆浓度	烟台华日机械

			0.9-1.1%，进浆压力 0.20M	制造有限公司
新迈制浆	前浮选槽	ECC4/44.S	产量：200BDT/D，C=1.1%，2个槽串联，4m×4.4m，17.6m ²	福伊特（中国）有限责任公司
新迈制浆	后浮选槽	ECC5/44.P	进浆浓度：1.46%，第一段5个槽串联，Q=545BDt/d	福伊特（中国）有限责任公司

3.3.3 影响油墨脱除性的因素及脱墨效果评价

油墨的可脱除性主要表现在：

- ①油墨与纤维的可分离性；
- ②油墨的可破碎性；
- ③油墨的抗再吸附性；
- ④油墨的可浮选/洗涤性。

影响油墨脱除的因素主要有：废纸种类及油墨组成与性质、印刷方式及干燥方法；废纸的贮存状况；脱墨方法、工艺流程及工艺条件。

（一）油墨种类与特性

随着印刷技术及办公自动化的发展，新型油墨越来越多，印刷的颜色、光泽、牢固性大大提高，但油墨的脱除越来越困难。

凸版印刷油墨容易从纤维上剥离；胶版印刷油墨，醇酸胶粘剂的固化会使脱墨有一定困难；轮转凹版印刷油墨比胶版印刷油墨容易从废纸中脱除；水基苯胺凸版印刷油墨则较难有效地除去；静电复印、喷墨、激光打印的油墨及采用紫外、红外辐射固化的油墨不易脱除。

废新闻纸的油墨膜比较薄，墨膜较分散，成膜性差。油墨中的连结料易被皂化，油墨容易剥离和分散，碎解后形成的油墨粒子粒径很小，通过浮选/洗涤可有效除去。但油墨又易被分散得过细，容易重新沉积在纤维上，妨碍油墨的有效脱除。激光打印墨粉的成膜性好，熔融固化在纸张表面后形成较厚的成片油墨膜；碎浆后的油墨粒子呈较大的片状，不易从纸浆悬浮液中除去，且有许多油墨颗粒仍然粘结在纤维上，很难脱落。

（二）废纸的储存情况

油墨粒子是由连结料包裹颜料形成的微小粒子。贮存过程中，连结料会发生氧化聚合和交联作用，形成坚固的体型结构，耐碱性大大增强，不利于皂化或乳化，使脱墨困难。贮存时间的延长，贮存时的温度、湿度过高会加速油墨的老化，使油

墨的脱除更加困难。

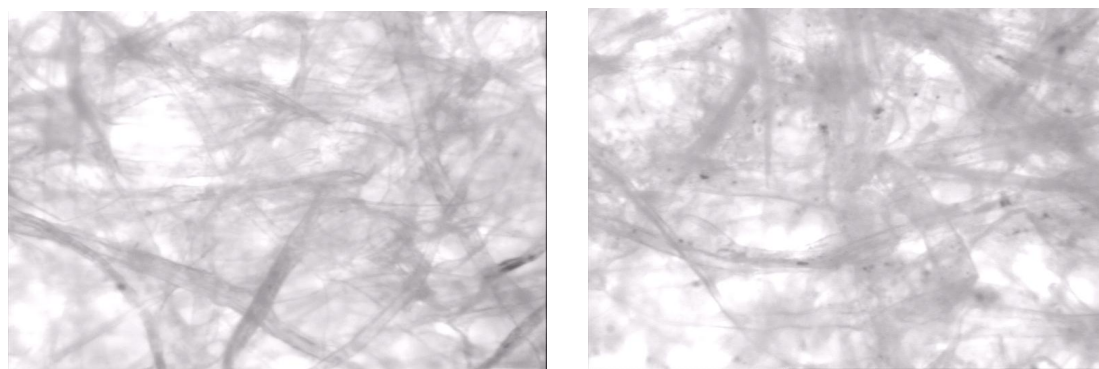


图 3-44 左图为发行当天的废新闻纸脱墨浆的显微镜照片；右图为室内贮存 3 个月废新闻纸脱墨浆的显微镜照片

贮存会大大降低废新闻纸油墨的可脱除性；实际生产中应缩短废新闻纸的存放时间，要求不超过三个月；尽量避免其遭受日晒、雨淋及高温等情况。

（三）废纸脱墨工艺的影响

脱墨流程和工艺条件对废纸油墨的可脱除性影响很大。脱墨需要化学能、机械能和热能的协同作用。

机械作用：碎浆和分散设备的效率决定着油墨的剥离程度及油墨粒子的粒径分布；使废纸与设备内壁之间、纤维与纤维之间产生剪切作用、摩擦作用及水力作用，疏解纤维并使油墨颗粒从纤维上脱落下来；机械作用主要表现在废纸碎解时的浆浓、碎浆设备的转速及碎解时间。

热力作用：采用较高的碎浆温度，有利于纤维的润胀和油墨的软化，有利于油墨与纤维结合力的降低，油墨剥离速度的加快；废新闻纸中机械浆含量较高，碎浆温度过高将引起脱墨浆变黄、白度下降。

化学作用：纤维的润胀；油墨的皂化、分离、润湿、防止再沉积、分散、聚集；发色基团的氧化还原反应；脱墨化学药品是降低废纸与印刷油墨的表面张力而产生皂化、润湿、渗透、乳化、分散和脱色等多种作用的综合体。

脱墨效果的评价：

①脱墨得率法

脱墨过程的得率，可以通过脱墨过程中移除的固体物质（填料、颜料、细小纤维、纤维、油墨、胶粘物等）的质量和所用废纸的总质量计算出来（均以绝干量计）：

得率（%）=（加入的废纸质量-除去的固体物质质量）/加入的废纸质量×100%

采用浮选法脱墨时，移除的固体物质存在于浮选泡沫中。而对于洗涤法脱墨，

移除的固体物质则存在于洗涤水（滤液）中。

一段浮选脱墨的得率大约是 85%-90%，而洗涤法的得率是：75%-85%。

脱墨得率除取决于脱墨方式外，还主要取决于所用废纸的类型。多段脱墨的得率取决于浮选或洗涤的段数。除此之外，浮选时用的化学药品、pH 值、气流量的大小，也会影响浮选得率。而稀释和增浓会影响洗涤法脱墨的得率。

测定移除的固体物质中灰分的含量，并结合移除的固体物质的质量，可以分析脱墨过程的选择性。

②白度

测定 457nm 处纸样或浆样的反射率。

白度受到纸浆的颜色及处理过程中漂白状态和油墨特性诸多因素的影响。

脱墨浆的白度不仅取决于油墨的数量，还取决于油墨粒子的大小，尺寸越小的粒子对白度的影响越大。

白度不能具体表示残余油墨的含量。

③有效残余油墨浓度（ERIC 950）

在近红外波长（950-1000nm）处测定脱墨浆的吸收系数。在波长 1000nm 左右时，只有油墨会影响红外区的吸收，而染料、木素或其他着色剂都不会产生影响测得吸收系数后，即可计算出有效残余油墨浓度。由残余油墨测定仪测定。

对于办公废纸的脱墨浆采用油墨尘埃更能反应脱墨浆的质量。

通过测定样品的尘埃数量及尺寸。

3.4 废纸胶粘物及其控制

3.4.1 胶粘物的来源及物化性质

（一）胶粘物的来源

广义上的胶粘物（stickies）：废纸纤维中的亲脂性物质，如脂肪酸、树脂酸、甾醇和甾醇酯等；在纸张加工和使用中引入的涂布粘合剂、印刷油墨、热熔胶、压敏胶等物质；纸张抄造过程中添加的干、湿强剂、施胶剂、填料等；细小纤维等物质。

表 3-11 纸制品中使用的粘合剂

应用	聚合物	增粘剂
信封	淀粉	无
用水润湿	丙烯酸、天然橡胶和聚异戊间	无

自粘	二烯	C-5 碳氢树脂、松脂和衍生物
瓦楞芯纸和纸袋	淀粉	无
瓦楞纸箱（片状纸板和接缝）	乙烯基醋酸乙烯酯共聚物	C-5 碳氢树脂、萜烯、萜烯树脂、松脂和衍生物
掩蔽胶带	天然橡胶	C-5 碳氢树脂和松脂
湿润胶带（复合的） 湿润粘合剂 复合粘合剂	淀粉 苯乙烯丁二烯橡胶	无 松脂（可选用）
杂志粘合	成块共聚物或乙烯基醋酸乙 烯酯共聚物	油
便条本粘合	乙烯酯醋酸乙烯酯共聚物；天 然橡胶或苯乙烯丁二烯橡胶	树脂
压敏标签	苯乙烯丁二烯橡胶	蒎烯树脂
上蜡纸	聚乙烯	松脂（选用）
塑料复合物	聚异戊间二烯块儿装共聚物 天然橡胶	无
牛奶纸箱料	聚乙烯	树脂

涂布粘合剂（Coating binders）：加工纸生产过程中所使用的各种涂布粘合剂，主要包括 SBR、PVAc、PA 和聚苯乙烯（PS）等人工合成物。

施胶剂（Sizing agents）：如烷基烯酮二聚体（AKD）。来源于各种施胶废纸，本身呈亲脂性，易于与粘性杂质粘附在一起，增加沉积趋势。



图 3-45 便利贴和胶带中的粘合剂

油墨联结料和残余油墨：脱墨是一道非常重要的工序。但总有一部分尺寸很小的油墨粒子难以通过筛选、净化和浮选等手段除去而残留在浆中。这些残余油墨在

碎解过程中不可能与油墨联结料完全分离，而油墨联结料多数也是人工合成粘胶剂，因而使残余油墨也具有一定的粘性。许多油墨粒子本身呈亲脂性，使失稳和沉积趋势大大增加。

无机填料和细小纤维：无机填料主要来源于回用的旧杂志纸，成份比较复杂，如白土、缎白、二氧化钛和滑石粉等。容易与粘性杂质粘附在一起沉积下来。

粘性沉积物中常含有较大比例的无机成份。

树脂类物质：树脂的来源相对比较单一，主要来源于原生木浆，但同时也不排除一些残余脱墨剂。其中中性组分沉积趋势较强，主要包括甘油三酸酯(TG)、甾醇、甾醇酯等物质。酸性组分沉积趋势相对较低，但它们可与系统中的金属离子形成不溶性皂化物，粘性较强。

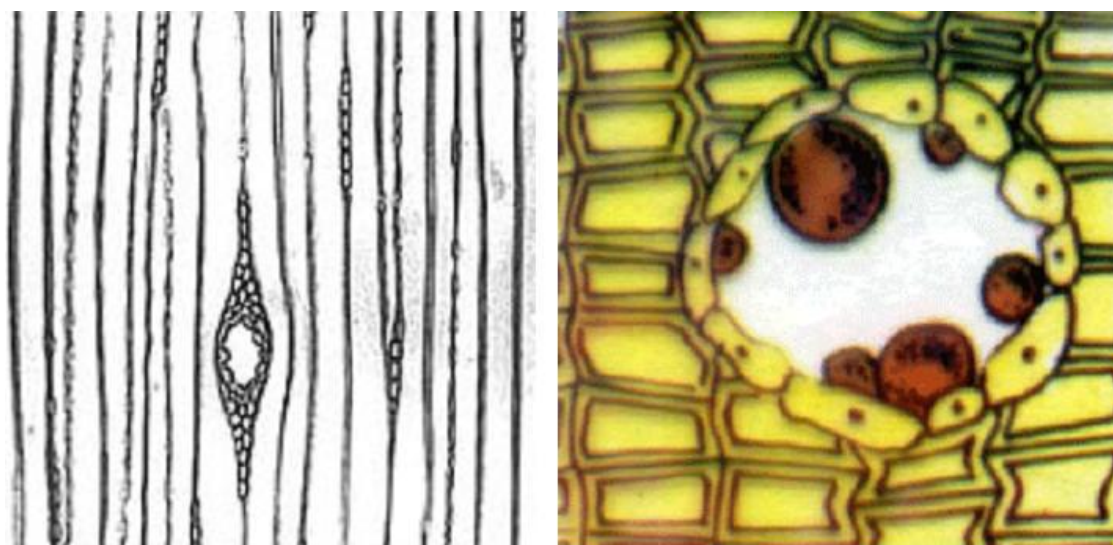


图 3-46 树脂

表 3-12 废纸中胶粘物的潜在来源

胶粘剂和热融物	涂布粘合剂	残余油墨	脱墨剂	天然树脂和湿强树脂
SBR、PVAc、PBD、PIP、聚丙烯酸酯、EVA、PE、PP、蜡	SBR、PVAc、PVA、聚丙烯酸酯、淀粉、干酪素、白土、TiO ₂ 、和 CaCO ₃	矿物油、SBR、PVA、环氧丙烯酸酯、苯乙烯丙烯酸酯	树脂酸和脂肪酸、金属皂、油性碳氢化合物	树脂酸、脂肪酸、不皂化物和 TG、脲醛树脂、三聚睛胺甲醛树脂

注：SBR—丁苯胶乳，PVAc—聚醋酸乙酯，PBD—聚丁二烯，PIP—聚异戊二烯，EVA—乙烯乙酸乙酯，PE—聚乙烯，PP—聚丙烯，PVA—聚乙烯醇，TG—甘油三酸酯

(二) 胶粘物的物理化学特性

粘性：粘性杂质中大都含有压敏胶粘剂、涂布粘合剂、树脂等组分。这些组分

一般都具有低的表面能，使其具有较高粘性，容易相互聚结成大的颗粒，粘附于疏水性设备表面。

亲脂性：胶粘物中很多组分具有亲脂性特点，容易失稳并相互聚结，增加沉积趋势。

形变性：由于粘性杂质表面能低，其外观柔软可塑，易变形。尤其在温度升高或受到外界应力时，此性质表现得尤为突出。因此，在筛选过程中，某些尺寸大于筛缝（孔）的杂质粒子在压力作用下，可通过筛缝（孔）进入到后面的工序。

表面电负性：胶粘物中含有较多树脂酸、脂肪酸和涂布粘合剂等组分，它们在液相中可发生电离，使杂质粒子表面带有负电荷。同时碱性造纸技术和造纸用水封闭循环的应用，更促进了这种电离作用的发生和白水系统中阴离子垃圾的聚集。

3.4.2 胶粘物的危害与分类

（一）胶粘物的危害

当胶粘物的含量超出可接收程度时，将导致纸机操作问题：沉积于网、毛毯毛布、压榨辊和烘缸上；积聚在白水中对整个系统带来麻烦；阻碍纤维和纤维间的良好结合，使纸机产生断头；严重影响纸产品的外观质量，形成孔、洞及其它纸病；在高速印刷和织品加工过程中产生断头。

对成形网：堵塞网孔，造成滤水困难，增加停机清洗时间。

对压榨毛布和压辊：缩短毛布使用寿命，影响纸页滤水。

对烘缸表面：造成纸页断头。

在纸页中：造成纸页断头，形成黑点，增加纸病。

在白水中：成为“阴离子垃圾”，影响阳离子型助剂的作用效果，阻碍白水的封闭循环。

（二）胶粘物的分类

按照其几何尺寸分：胶粘物可分为大胶粘物和微胶粘物。

大胶粘物（macrostickies）：是指筛选时不能通过 0.10-0.15mm 筛缝而留在筛板上的胶粘物；留着于 0.15 mm 或 0.10 mm 的缝筛；0.15 mm 用于量化 OCC 浆胶粘物；0.10 mm 用于量化 MOW、ONP、OMG 等脱墨浆胶粘物。

微细胶粘物（microstickies）：是指可以通过 0.10-0.15mm 筛缝的胶粘物。通过 0.15 mm 或 0.10 mm 的缝筛，可被洗涤和浮选除去。

按照其形成过程分：胶粘物可分为原生胶粘物和再生胶粘物。

原生胶粘物（Primary Stickies）：废纸中原有的大胶粘物及其碎化而来的微胶粘物。再生胶粘物（Secondary Stiekies）：二次胶粘物指碎解和漂白时已溶解在浆料中形成稳定胶体状态的胶粘物。

二次胶粘物较原生胶粘物更难除去且不具有粘性，但外界条件变化（如加入阳离子聚合电解质或其他因素造成溶解度降低）可导致其聚集和沉积。

按照结合状况分：胶粘物可分为附着（粘结态胶粘物）和非附着（游离态胶粘物）。

附着（粘结态胶粘物）：指吸附在纤维表面与纤维粘合的胶粘物。与纤维连接并在筛选和除渣过程中被除去，但降低了浆的得率。

非附着（游离态胶粘物）：指未与纤维粘合在纸浆中呈游离态的胶粘物。粘合力较低，与纤维分离。根据大小、形状和相对密度等，可通过筛选、除渣、浮选或洗涤等工段除去。

3.4.3 胶粘物的检测及其控制方法

（一）胶粘物的分析与检测

胶粘物的检测有许多方法。大胶粘物可以通过 INGEDE 方法测定：用实验室筛子将胶粘物和其他粗大物质作为筛渣与浆料分离；在筛渣上撒上铝粉，加热和加压后胶粘物就显示出来；再用图象分析来定量测定。该法在欧洲得到广泛应用。

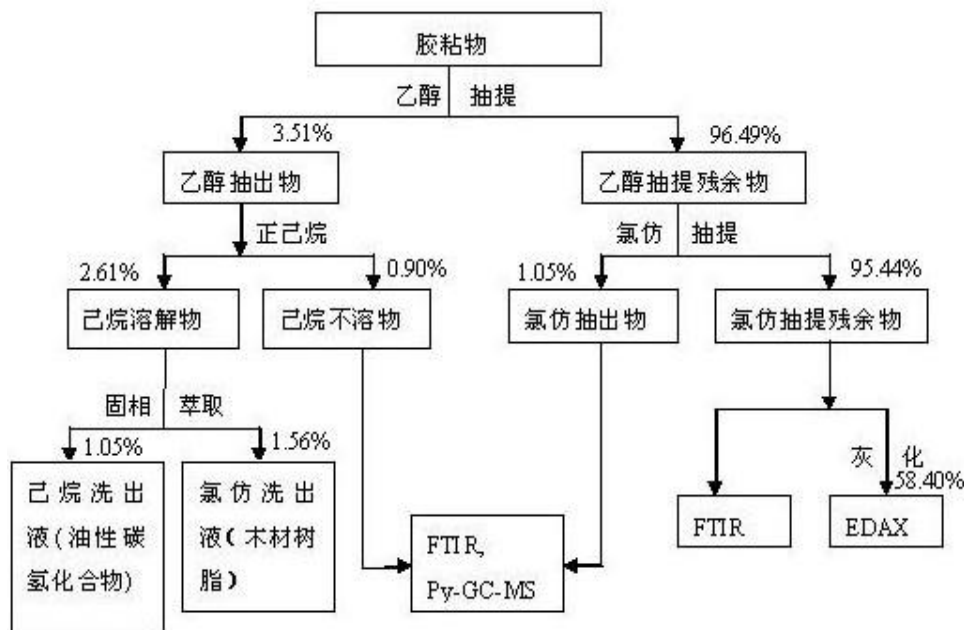


图 3-47 某造纸厂纸机网前压力筛筛板处的胶粘物分析

巴斯夫和 Simpatie 采用激光光学颗粒计数装置测定 0.5-40 μm 的颗粒。用荧光染色剂对未固定在纤维上的树脂颗粒染色，再经荧光光学分析仪分析。

对纸机网前压力筛筛板处的胶粘物分析发现，胶粘物的组成十分复杂，其中有机溶剂抽出物占的比例很小，大部分是无机物和细小纤维；聚醋酸乙烯酯和聚丙烯酸酯是人工合成物的代表，但含量很少，分别占胶粘物的 0.90%和 1.05%；天然树脂含量约有 1.56%；胶粘物中的无机物大部分为碳酸钙，约占原始胶粘物 58.4%，而细小纤维也占较大比例，本身无粘性的碳酸钙和细小纤维被其他粘性杂质吸附而一起沉积。

某厂烘缸上胶粘物的分析结果：

聚醋酸乙烯酯（PVAc）和聚丙烯酸酯类（PA）作为主要的有机溶剂抽出物，分别占粘性沉积物的 7.9%和 6.6%。

天然树脂成份及其形成的金属皂含量并不多，分别占 2.1%和 2.8%。

残余油墨和无机成份（缙白，来源于 OMG 中的涂布颜料）占有较大比重，分别为 61.8%和 21.0%。

（二）胶粘物的控制方法

机械法：除去大胶粘物（Macrostickies）

化学法：控制微细胶粘物（Microstickies）

生物法：控制胶粘物

①机械法除去大胶粘物

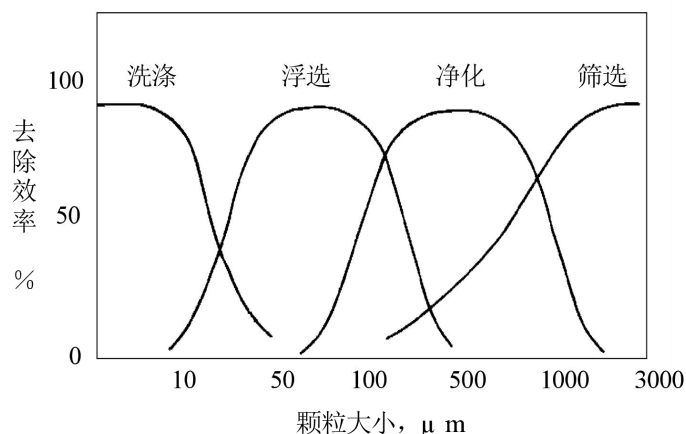


图 3-48 杂质粒子尺寸与去除方式及效率的关系

制浆（碎浆和浮选）：转鼓碎浆机；高浓碎解；浮选可以除去 30-150 μm 的杂质

粒子。

净化：与锥形除渣器的操作参数和材质有关

筛选：筛缝或筛孔的尺寸及筛选条件有关

洗涤：杂质尺寸 $<10\ \mu\text{m}$

热分散：大的变小（肉眼看不见）

高浓碎解：掌握好碎解条件，不要将胶粘物打得很碎。

高浓筛选：粗选筛也采用缝筛，缝宽 $0.35\sim 0.40\text{mm}$ ；精选筛，缝宽 $0.15\sim 0.30\text{mm}$ ；缝宽 $0.08\sim 0.10\text{mm}$ 时，可省去分散机；缝宽较大时仍需安排分散机以分散胶粘物。

②化学方法控制微细胶粘物

分散：阴离子、非离子、阳离子表面活性剂

脱粘：非离子高分子聚合物、滑石粉、锆化学品

固着/助留：硫酸铝、阳离子聚合物

钝化：阳离子聚合物如聚丙烯酰胺

（1）分散--阴离子表面活性剂：

表面活性剂的疏水基吸附在粘性杂质粒子表面，增强了粒子的负电性，从而加大了粒子间的排斥作用，促进了粒子的稳定化。同时，还可以降低杂质粒子的粘性。

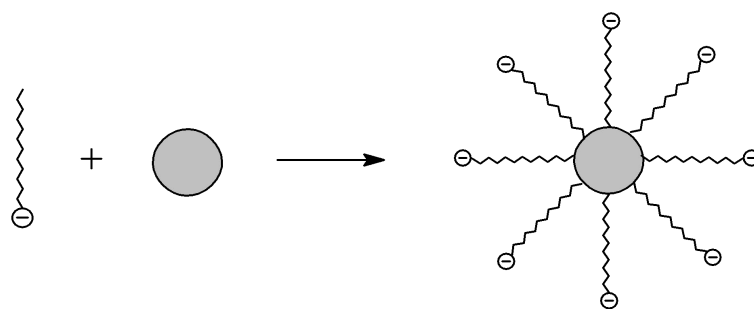


图 3-49 阴离子表面活性剂对胶体粒子的稳定作用

（2）分散--非离子表面活性剂：

表面活性剂的疏水基吸附在粘性杂质粒子表面，亲水基则伸向水中，降低了粒子的表面张力，使其稳定地分散在水中。非离子表面活性剂还具有软化和溶解已形成的粘性杂质颗粒的功能，可使大颗粒转变成较小尺寸的粒子，然后进一步使粒子乳化。

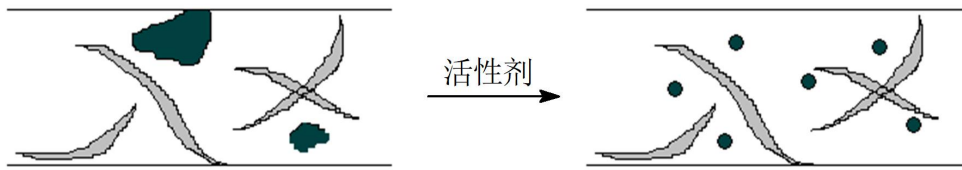


图 3-50 非离子型表面活性剂对杂质粒子的增溶和乳化作用

(3) 分散--阳离子表面活性剂

分散和乳化粘性杂质粒子；改变粘性杂质粒子表面电性，使其吸附在纤维上，降低游离杂质的浓度；可使杂质粒子尺寸有所增大，促进其在抄纸过程中截留于纤维介质中。

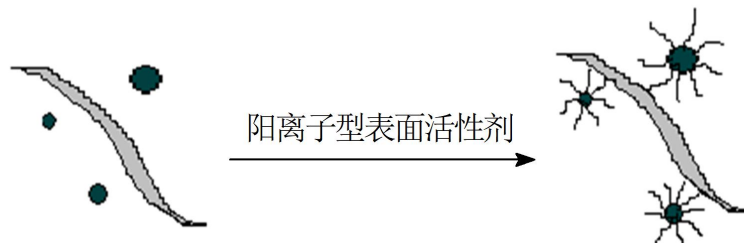


图 3-51 阳离子型表面活性剂使杂质粒子在纤维表面的沉积

(4) 脱粘

造纸中通常采用滑石粉来达到脱粘的效果。改性的阳离子型滑石粉与传统型中性滑石粉相比，对阴离子垃圾的去除具有更好的效果和适应性。

滑石粉用于脱粘的优势：成本低，效果明显；适应范围广，不受 pH 值和温度的影响；无毒性，利于环保；化学性质稳定，与其它物质不发生化学发应；大部分残留在纸页中，避免了白水循环中的过分积累，同时对纸页强度性质影响小。

滑石粉加入地点：木素不仅对树脂具有乳化稳定作用，而且对滑石粉具有吸附作用，因此滑石粉不能在洗浆机内或洗浆机前加入；在未漂浆中加入的滑石粉进入漂白工段后仍然有效，随着洗涤的进行，溶解木素含量降低使得树脂胶粒变得不稳定，因而在未漂浆最后一段洗浆机出口处加入滑石粉是第一个理想地点；在漂白工段，应在纸浆 pH 值、温度、浓度变化大的地方加入。

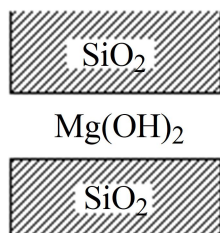


图 3-52 滑石粉的分子结构示意图



图 3-53 滑石粉片晶对树脂胶粒的吸附

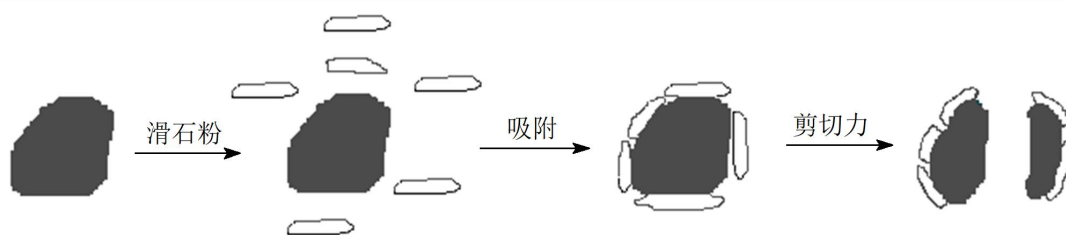


图 3-54 滑石粉片晶对已聚结树脂胶粒的吸附和包裹

(5) 固着剂或助留剂

硫酸铝：硫酸铝是酸性抄造系统中最常用的无机药剂。主要遵循电荷中和作用，并与硫酸铝的水解化学有关。溶解状态的水解铝离子，如 $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$ ，通常借助于氢键吸附在粘性杂质的表面上而与树脂发生聚结。这将导致胶粒表面的负电性和 Zeta 电位的降低。

过量的水解铝离子会改变胶粒的电性，而使胶粒呈正电性，又可使分散树脂趋于稳定。当系统中存在纸浆纤维时，带正电性的胶粒就会强烈地吸附在带有负电性的纤维上，而不会使胶粒发生聚结和沉积。

硫酸铝加入地点：最好在纸机浆池中加入硫酸铝，可以获得最高的浓度，并且有足够的时间保证铝离子的水解和粘性杂质粒子的固着；比较靠近纸机，可防止杂质粒子的固着被过多的剪切力破坏。

(6) 有机固着剂或絮凝剂

低分子量高电荷密度型。分子量小于 100 万，阳离子度超过 50%。包括聚胺 (polyamine)、聚乙烯亚胺 (PEI) 和聚二烯丙基二甲基氯化铵 (PDADMAC) 等。

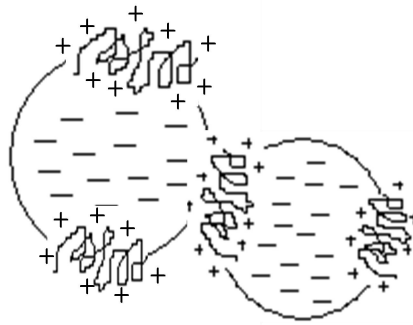


图 3-55 补丁絮凝模型

“补丁”机理：当其与阴离子粒子混合时，聚合物分子会吸附在粒子表面上形成电荷“补丁”，使原有粒子发生局部阳离子化，这些正电补丁吸引其它粒子表面的阴离子区域，静电吸引力将它们拉在一起引起絮聚。

高分子量低电荷密度型。分子量通常超过 100 万，阳离子度一般低于 30%。最为常用的是阳离子聚丙烯酰胺 CPAM 和两性聚丙烯酰胺 (Am-PAM)。

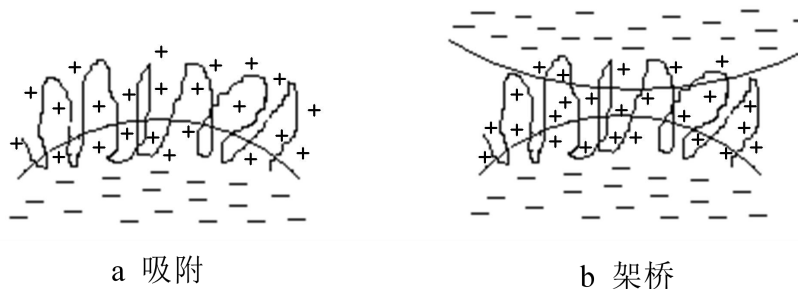


图 3-56 架桥絮凝模型

架桥机理：吸附在固体颗粒表面的高聚物会形成一系列的链环和链尾并伸向液相中，这些环和尾可以穿过双电层吸附在其它粒子或纤维表面上而发生絮凝。

(7) 钝化剂

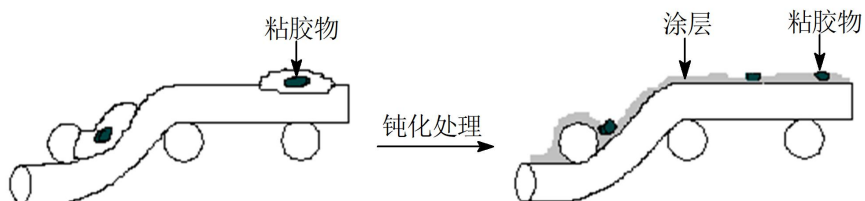


图 3-57 阳离子型助剂对成形网表面的钝化作用

抄纸过程中，利用某些阳离子聚合物如聚丙烯酰胺，连续喷洒在成形网或压辊上，可有效防止粘性杂质的沉积。但此方法不能减少浆料中的粘性杂质的浓度。

③树脂障碍/胶粘物沉积控制的生物技术

白腐菌预处理木片，减少机械浆中的亲脂性抽出物；脂肪酶处理机械浆或脱墨浆，降解粘性的甘油三酸酯，减少树脂障碍；酯酶处理废纸浆；降解导致胶粘物沉积的酯类物质，降低它们的粘性；果胶酶降解高负电荷的果胶酸，提高阳离子聚合物的固着效果，减少胶粘物沉积。

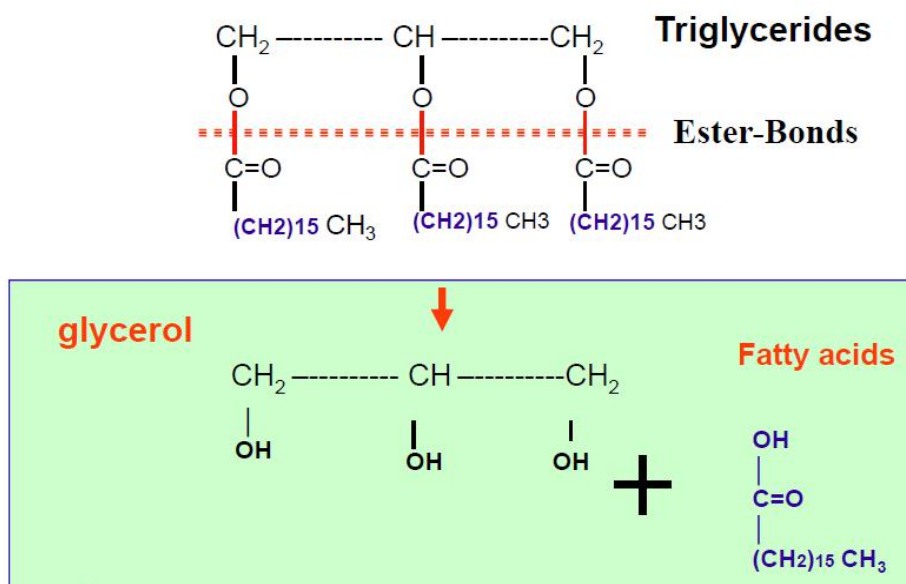


图 3-58 脂肪酶控制树脂沉积

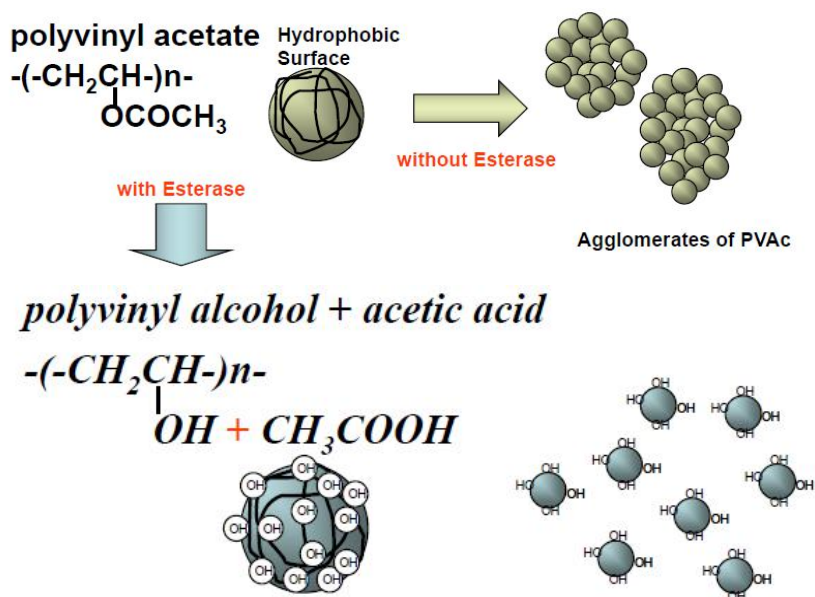


图 3-59 酯酶控制胶粘物沉积

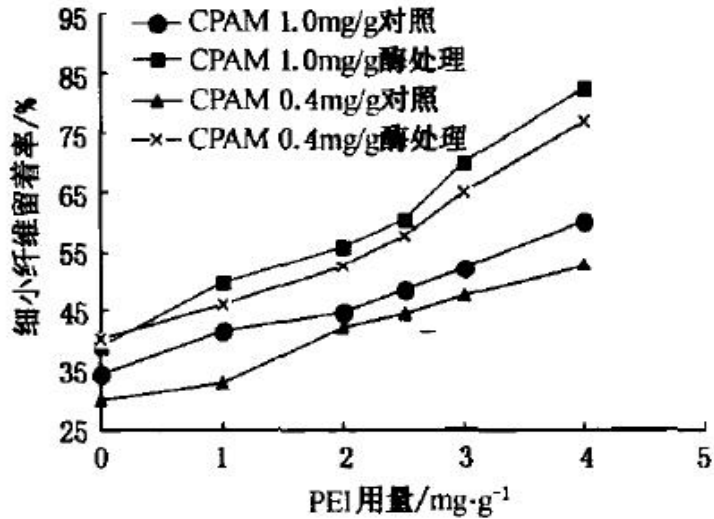


图 3-60 果胶酶处理 DCS 对 CPAM 助留效果的影响

④采用容易循环使用的胶粘剂

水不溶解的压敏胶，在制浆中可附聚成团，通过筛选除去，如聚苯乙烯-b-异戊间二烯胶粘剂。

水溶并可分散的胶粘剂，如丙烯酸酯与亲水单体（如丙烯酸）的共聚体，通过洗涤过程除去。

阳离子的水溶或可分散的压敏胶，在制浆和抄纸过程中不易沉积，且很容易吸附到带负电荷的纤维上带出系统而不会在白水中积累。

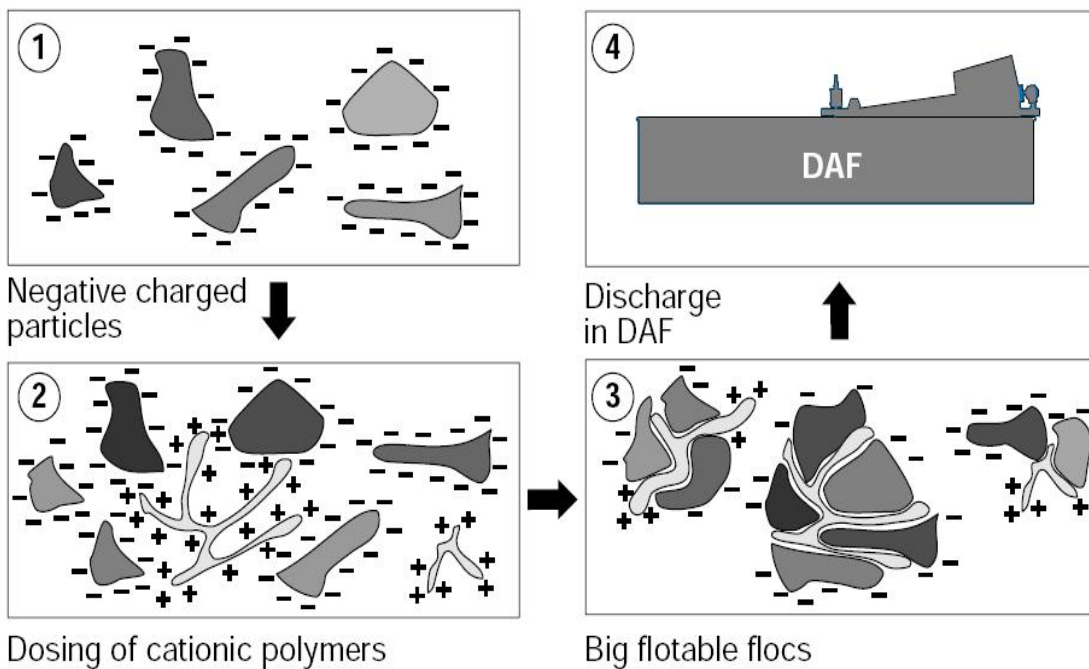


图 3-61 过程水或白水中除去胶粘物

对于胶粘物控制：减少胶粘物的来源：控制回收废纸的质量；机械法如筛选、净化、浮选和白水处理对胶粘物的控制非常重要；几种方法的结合是必要的。

第 4 章 打浆工艺基础理论

4.1 打浆方式及主要作用

4.1.1 打浆方式

打浆方式主要有以下几种：

游离状打浆是以横向切断纤维为主的一种打浆方式。

粘状打浆是以纤维吸水润胀、细纤维化为主的打浆方式。

长纤维打浆是指尽可能的保留纸浆中纤维的长度。

短纤维打浆是指对纤维进行切断的打浆方式。

打浆方式只表明打浆过程中打浆的方向和打浆的主要作用，并不表示打浆的程度。而打浆的程度主要是用打浆度来衡量。

我国通常将打浆度低于 30°SR 以下的浆料称为游离浆，打浆度高于 70°SR 的浆料称为粘状浆，而介于 $30\sim 70^{\circ}\text{SR}$ 之间的浆料称为半游离半粘状浆。

不同打浆方式下浆料的特点也不同。

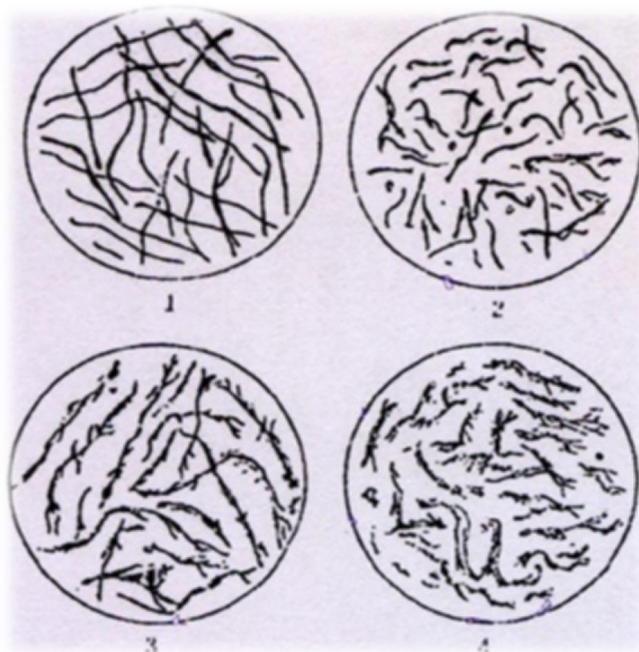


图 4-1 (1) 长纤维游离状打浆；(2) 短纤维游离状打浆；
(3) 长纤维粘状打浆； (4) 短纤维粘状打浆

1) 长纤维游离状打浆

以疏解为主，适当切断纤维，尽可能保持纤维长度。纸料在网上容易脱水，成纸强度大、透气性好和变形小、匀度不太好，表面粗糙，多用来抄造牛皮包装纸、工业滤纸等。

2) 短纤维游离状打浆

高度切断纤维，避免纸浆的润胀和细纤维化。纸料脱水容易，纸的组织均匀，纸质松软，强度不大，吸收性好。适于抄造滤纸、吸墨纸等组织均匀要求高的纸。

3) 长纤维粘状打浆

要求纤维高度细纤维化，良好的润胀水化，尽量避免切断纤维。脱水困难，纤维长上网时容易絮聚，影响成纸匀度，需采用低浓上网。成纸强度大，吸收性小，可用来生产高级薄页纸如仿羊皮纸、字典纸等。

4) 短纤维粘状打浆

要求纤维高度细纤维化，润胀水化，并进行适当的切断。上网脱水困难，成纸匀度好，吸收性小，有较大的强度，适合于抄造电容器纸和证券纸等。

4.1.2 打浆的主要作用

打浆的主要作用有以下几点：

1) 初生壁和次生壁外层的部分被破除

P层和S1层中木素含量较多，其存在影响S2层的吸水润胀。

打浆使S2层的细纤维产生位移和变形，有利于吸水润胀和P层S1层的破除。除去的难易与制浆方法和原料有关。

2) 吸水润胀作用

润胀定义：是指高分子化合物在吸收液体的过程中，伴随着体积膨胀的一种物理现象。

润胀的原因：纤维素大分子含有极性羟基与水产生极性吸引。

润胀的结果：

纤维吸水后，体积增大，径向增加20-30%，影响滤水，是干燥时纸张发生收缩的根源。

内聚力下降，内部的组织结构变得更为松弛，纤维变软，有利于细纤维化，不利于横向切断。

能有效地增加纤维间的接触面积—提高成纸强度，使透气度下降。

影响纤维润胀的因素：原料组成、半纤维素含量和制浆的方法等因素有关。

纤维润胀程度的测量：保水值

3) 纤维细纤化作用

外部细纤化：是指纤维两端的帚化和纵向分丝，纤维表面游离出细小纤维。

结果：纤维比表面积增加，柔软性增加，游离出更多羟基。

内部细纤化：是指纤维发生润胀后，细胞壁同心层之间彼此产生滑动。

结果：纤维的刚性下降，塑性增加。

细纤化对纸页的性质影响极大，是打浆的重要作用之一。

细纤化与润胀的关系：互相促进。纤维吸水润胀后组织结构松弛，为进一步细纤化创造了有利条件；纤维的细纤化，使水分更容易渗入，又能促进纤维的进一步润胀。

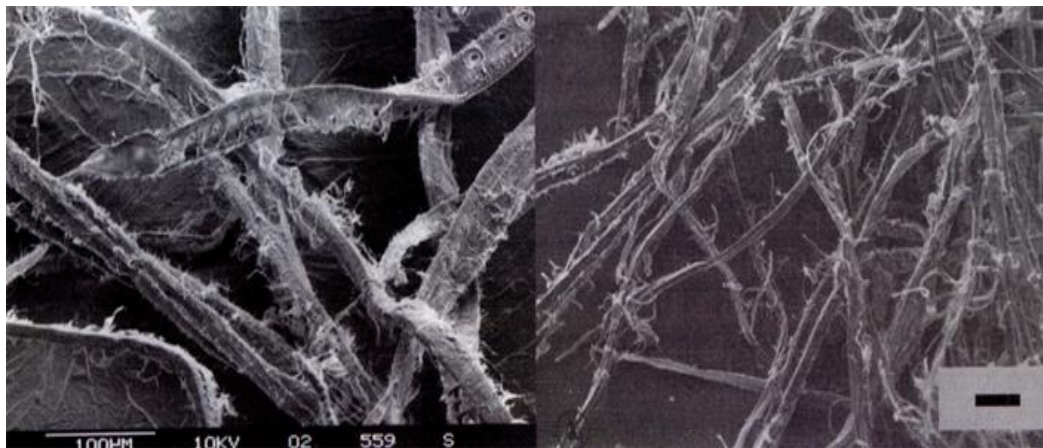


图 4-2 纤维的外部细纤化

4) 切断

切断是指纤维横向发生断裂的现象。初生壁和次生壁外层破除、杂细胞被打碎、横向被切断产生碎片。

适当地切断纤维，提高匀度和平滑度，但过短会降低强度，特别是撕裂度。

与润胀的关系：润胀好，不易切断。纤维切断后，断口增加，能够促进纤维的润胀。

与细纤化的关系：纤维切断后，锯齿形的断口有利于纤维的分丝帚化和细纤化。

5) 其他次要作用

增加纤维柔软性

纤维扭曲、卷取、伸展和压缩

溶解作用

4.1.3 打浆对成纸性质的影响

1) 紧度

一般而言随打浆度的提高而提高。

2) 裂断长

纤维结合力、纤维平均长度、纤维交织排列及纤维自身强度随打浆程度的提高而提高，高到一定程度开始下降（当纤维结合的增加不能弥补长度的损失时开始下降）。

3) 耐破强度

纤维结合力、纤维平均长度、纤维本身强度和纤维排列情况为抗张强度与纤维伸长性能的复合函数，与裂断长变化趋势类似。

4) 耐折度

纤维平均长度、纤维结合力、纤维排列及纤维自身强度和弹性打浆对耐折度的影响与对裂断长的变化趋势类似。

5) 层间结合强度

纤维结合强度、纤维自身强度、复合水分及纸机装置、纸幅张力（每层不同伸长、剪切应力不同）、成形过程（底面和顶面的细小纤维含量不同）、填料、复合水分、湿压榨的压力、流浆箱浓度、打浆程度、浆料配比、化学添加剂等都有密切关系。

4.2 打浆的机理及过程

4.2.1 打浆机理

打浆过程中单根纤维的变化：比表面增加；柔软性增加；氢键再分布；Zeta 电位变化。

打浆过程中浆料性质的变化：纤维束疏解成单根纤维；纤维的平均长度下降；打浆度上升，纤维壁的破除，杂细胞被打烂；温度上升。

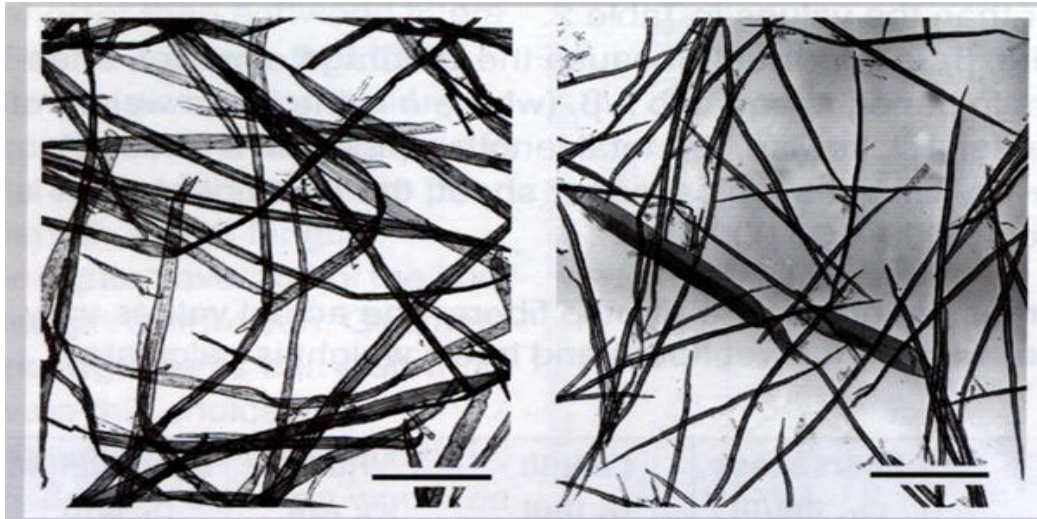


图 4-3 打浆前纤维形态

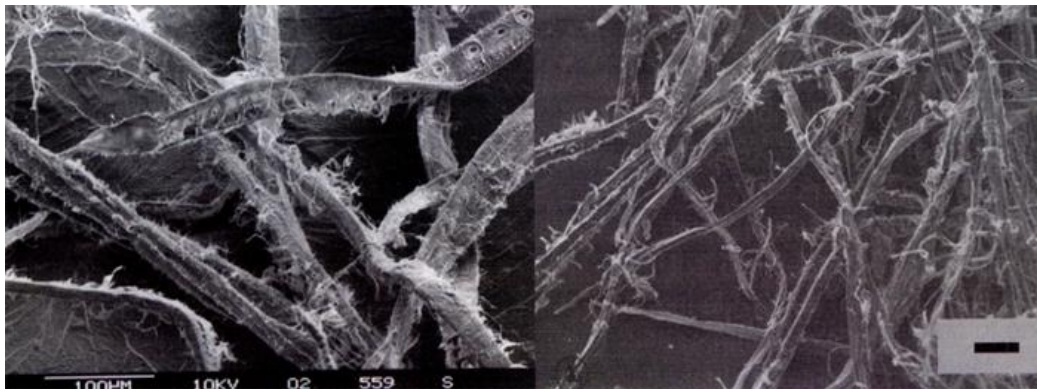


图 4-4 打浆后纤维形态

打浆作用的性质：打浆是物理变化，打浆作用对纸浆产生的纤维结构和胶体性质的变化，都属于物理变化，并不引起纤维的化学变化或产生新的物质。

注意：打浆作用会使纤维表面暴露一些新的基团，但这是纤维本身原有的，与化学变化无关。

打浆的任务：

- (1) 改变纤维的形态，保证抄出的纸和纸板能取得预期的质量要求。
- (2) 通过打浆控制纸料在网上的滤水性，以适应造纸机生产的需要。

纤维细胞定义：一个两端细长的纺锤状的死亡的植物细胞。

Fiber Wall Sublayers

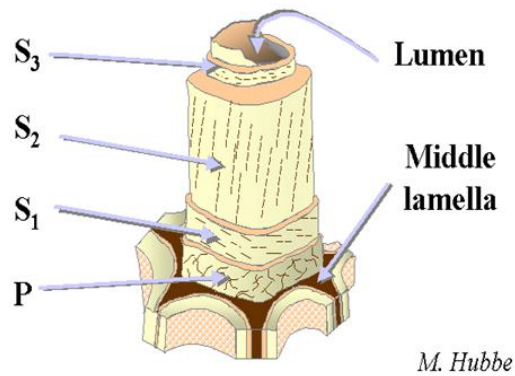


图 4-5 纤维细胞结构图

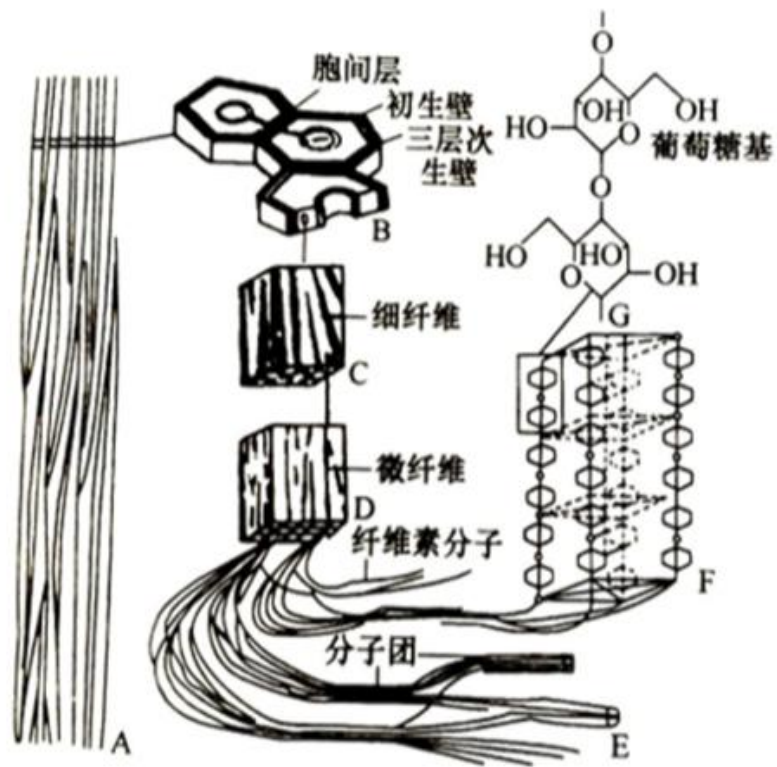


图 4-6 纤维细胞壁结构图

4.2.2 打浆过程

- 1) 纤维束挂在齿缘上;
- 2) 小束纤维聚集在刀口, 初步定位脱水;
- 3) 纤维束经受一次切向冲击, 机械压缩脱水;
- 4) 纤维束经受面向挤压, 在压力下纤维束滑动;

- 5) 机械分离后纤维束重新吸水；
6) 转子磨齿离开定子磨齿，完成一次处理过程。



图 4-7 打浆过程示意图

4.3 打浆影响因素及质量检查

4.3.1 打浆的影响因素

(一) 打浆比压

单位面积上浆料所受到的压力称为打浆比压，它是决定打浆效率的主要因素，也是决定打浆方式的首要因素。打浆比压不仅决定打浆方式是属于游离状打浆还是粘状打浆，也是缩短打浆时间、提高打浆质量和节约电耗的关键。比压是通过测量电机电流的方法进行控制的。

$$P=F/A$$

P— 打浆比压，Pa

F— 盘磨磨区间或打浆机飞刀与底刀间的压力，N

A— 盘磨磨区或打浆机飞刀与底刀接触面积，m²

表 4-1 打浆比压与刀距的关系

打浆比压	刀距/mm	下刀方式
极小	>1	搅动混合
小	0.6-1.0	轻刀疏解

小	0.5-0.6	重刀疏解
小	0.2-0.4	轻刀打浆
中	0.1-0.2	中等刀打浆
大	<0.1	重刀打浆

打浆比压的大小与刀间距有密切的关系。一般刀间距越小，比压越大，纤维的切断作用大，打浆度上升快。刀间距大，比压小，切断少，纤维润胀好，分丝帚化多。

打游离浆应采用小的刀间距，大的比压。在纤维充分润胀前，用较大的压力，将纤维快速切断。

打粘状浆，应逐步缩小刀间距，逐步提高比压，以较长的时间，较低的压力，使纤维获得充分的润胀和细纤维化。

打浆的刀间距：0.05-0.08mm。

（二）打浆浓度

低浓打浆：10%以下

中浓打浆：10%-20%之间

高浓打浆：20%-30%甚至更高

低浓打浆范围内，打浆浓度越高，则进入转盘与定盘（或飞刀与底刀）间的浆料增多，单根纤维所分担的压力相应减少，从而减少了纤维的切断作用，促进纤维间的挤压和揉搓作用，有利于纤维的分散、润胀和细纤维化。

提高打浆浓度可提高单位时间的产浆量，降低单位产量的电耗，降低生产成本，经济成本方面的合理性是不容置疑的。不论是间歇或连续打浆，在设备条件允许下，根据生产纸种的质量要求，应尽量保持最大可能的打浆浓度。

高浓与低浓打浆的主要区别：低浓打浆时刀片与纤维直接作用，而高浓打浆是靠纤维间的相互摩擦作用；磨浆浓度低纤维易被切断，浓度高则有利于纤维的分丝帚化。

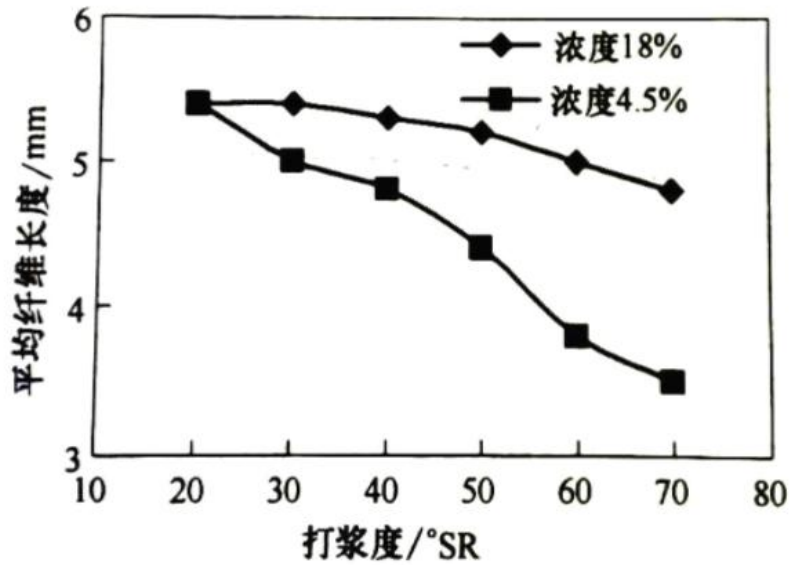


图 4-8 高浓、低浓打浆的纤维平均长度

高浓打浆与低浓打浆相比，纤维的长度下降不大，短纤维和细小纤维碎片减少；高浓打浆浆料的打浆度上升的较慢，浆料的滤水性能好；经高浓打浆的纤维细纤维化程度高，纤维多呈扭曲状，而低浓打浆的纤维多呈宽带状。

中浓打浆时纤维受到较大的摩擦力作用，纵向分丝帚化，游离出较多的羟基；打浆过程中纤维的切断较少，纤维自身长度保留较好；中浓打浆效率高，能耗低。

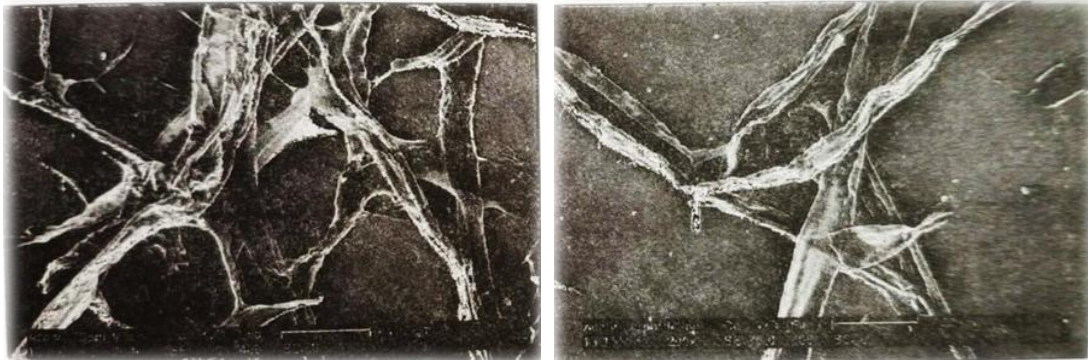


图 4-9 左图为中浓打浆纤维扫描照片（40 ° SR）；右图为低浓打浆纤维扫描照片（42 ° SR）

（三）打浆温度

打浆时，由于纤维与刀片及纤维与纤维之间的摩擦作用，产生摩擦热，引起浆料温度上升

游离状打浆由于打浆时间短，温度上升不大。粘状打浆，时间较长，往往易于出现升温较多的现象。

打浆温度过高，会引起纸料脱水，纤维的润胀作用下降，导致已帚化纤维的“脱

毛”现象，使纤维的结合力和强度下降。过高的温度还会导致施胶度下降，打浆时间延长，动力消耗增加。通常要求打浆温度不超过 45℃，打高粘状浆不超过 60℃。

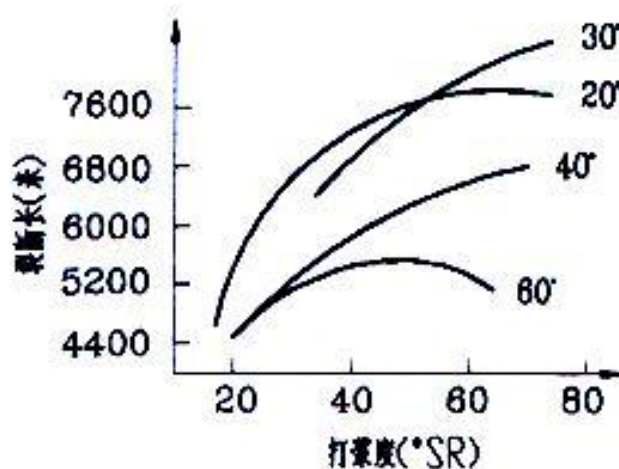


图 4-10 打浆温度与打浆度、裂断长的关系

(四) 浆料特性

纤维形态：纤维细长、长宽比大的，打浆时纤维结合面积大，强度高，壁腔比小。

化学成分：半纤维素含量高，木素含量低，打浆性能良好。但半纤维素含量过高，会影响纸的强度。

多层微观结构：P 层、S1 层的厚薄，S1 层与 S2 层结合紧密程度，各层微细纤维的排列与纤维轴夹角大小，都影响打浆的难易。

(五) 浆料通过量

磨浆浓度和磨浆负荷不变时，浆料通过量增加，则浆料通过磨区的速度加快，即每根纤维在磨区的停留时间变短，受到磨浆机会少。

在间歇式的打浆机中，控制打浆时间。

在连续打浆设备中，控制通过量。通过量大，浆料在打浆设备中停留的时间短，降低打浆效果，使成浆打浆度降低，因此生产中可通过控制通过量来控制打浆度。

打浆效率主要取决于打浆时间、打浆比压和纸浆的浓度。所谓打浆效率是指单位时间内处理的浆料量与打浆前后所提高打浆度数的乘积，即：

$$\text{打浆效率} = \text{通过浆量 (kg/h)} * \Delta ^\circ \text{SR}$$

(六) 设备特性

磨片的选型通常会影响到打浆的效果。

磨齿可分为疏解型和帚化型。疏解型采用细沟、细齿和浅齿，如锯齿型等。帚化型采用较大的齿宽，如平齿型等。磨盘分为粗磨区和精磨区。粗磨区的齿形为浅沟宽齿，精磨区的齿形为窄齿深沟。此外，两盘间还有锥形梯度。

磨纹倾角指齿与磨盘半径之间的夹角。倾角的方向和大小对浆料的流速有很大的影响。流速小，打浆作用强，但产量小。当盘磨的转动方向与齿纹倾斜方向相反时，“泵出作用”增强；当盘磨的转动方向与齿纹倾斜方向相同时，“拉入作用”增强。

转盘与定盘的齿纹通常是交叉排列的。当齿纹相互平行时，切断作用最强；当齿纹相互垂直时，纤维的切断作用最小，而摩擦作用增强，对纤维的撕裂和帚化能力最大，而生产能力却随之下降。

4.3.2 各种浆料的打浆特性

1) 化学木浆：针叶木浆，当用来生产水泥袋等一类的纸张时，不希望切断纤维，但当生产某些薄纸时需适当的切断，以提高纸的匀度。阔叶木浆，纤维较短，在打浆中应尽量避免纤维的切断。

2) 早材与晚材木浆的磨浆：晚材细胞壁厚而硬，初生壁不易破坏，磨浆时纤维容易遭到切断，吸水润胀和细纤维化困难。早材细胞壁薄，性质软，磨浆时容易分离成单根纤维。

3) 硫酸盐木浆与亚硫酸盐木浆的磨浆：硫酸盐木浆比亚硫酸盐木浆的磨浆速度慢，但能发展至较高的机械强度。这可能是由于硫酸盐浆中木素、半纤维素的分布在整个细胞壁中较为均匀，糖尾酸含量较低有关。

4) 草类浆：草浆纤维较短，应尽量保持纤维的长度；杂细胞含量较高，在打浆中容易破碎引起打浆度的升高，造成抄纸时的滤水困难；且草浆难以帚化，若要求过多的帚化，必然造成切断过多，故草浆的打浆应轻打、快打，避免过度吸水润胀，使其表面稍加活化即可。采用草浆生产文化纸时打浆度一般控制在 $30\sim 50^{\circ}$ SR 为宜。

草类浆打浆特性：

麦草浆的特点：纤维平均长度短 0.9mm、S1 厚、S1 与 S2 结合紧密、夹角较大、微纤维薄层排列方向不一致、微纤维具有异相性、杂细胞多、半纤维素含量高。

麦草浆难以外部细纤维化。

4.3.3 打浆的质量检查

(一) 打浆度°SR (Schopper-Riegler)

表示纸浆脱水难易的程度。它综合反映了纤维被切断、分裂、润胀和细纤维化等打浆作用的效果。

通常用肖伯尔打浆度仪进行测定。2g 绝干浆，稀释到 1000ml，在 20℃ 下以侧管流出水量表示。

国外尚有普遍用游离度表示打浆程度的，打浆度越高，浆料的游离度则越小。



图 4-11 打浆度仪

(二) 纤维长度

测定平均长度的方法主要有显微镜法和湿重法两种。显微镜法比较复杂且速度较慢，200 根的平均长度。

生产中多用湿重法。它是稀释的浆料在测定打浆度的同时流过框架，框架上挂住的湿纤维的重量即湿重。它以重量间接的表示纤维的平均长度，通常湿重越大，纤维越长。

纤维特性分析仪 FS-200、测纤维粗度、扭角等。



图 4-12 显微镜

（三）保水值

保水值表示纤维打浆后水化及润胀程度，用以反映细纤维化程度及可塑性，同时纸张的紧度、裂断长、耐破度、耐折度等物理指标随保水值的增加而直线上升。

保水值=（湿浆重-干浆重）/干浆重

（四）筛分析

纤维长度是衡量浆料质量的一个重要指标，除了测量纤维的平均长度外，还通过筛分析，使纤维按长度得到分级，测出各级纤维的长度和所占的百分率。

保水值和筛分析测定所用的时间较长，不适于生产中使用，多用于研究中。



图 4-13 纤维筛分仪

BZF-1 鲍尔式纸浆纤维筛分仪：采用标准的网目分级（16 目，30 目，50 目，100 目和 200 目）对纸浆纤维进行筛分，以分析纸浆纤维长度的分布情况，并以此作为对打浆过程的监控。

（五）比表面的测定

纤维比表面积是指每克绝干纤维本身所暴露的面积，用 cm^2/g 表示。

磨浆使纤维润胀和细纤维化，增加了纤维的比表面积。

比表面积影响纤维滤水速度、絮聚情况、纤维结合以及成纸强度、透明度、多孔性等。常用于纸的性能的研究课题。

（六）浆料浓度的测定

定义：每 100g 液体浆料中含绝干浆的克数。

测定方法：烘箱干燥法；红外线干燥法；离心分离法；手拧干法。

4.4 打浆设备及能耗表征

4.4.1 打浆设备类型

打浆设备是影响打浆质量的一个重要方面，造纸（工艺）工作者必须了解打浆设备的特点与原理。

（一）打浆设备的作用

疏解作用：使纤维束分散成单根纤维；

切断作用：使纤维横向切断；

帚化作用：使纤维表面帚化起毛；

压溃作用：纸料获得胶体性质，易于相互交织；

水化作用：使纤维吸水润胀，变得柔软细腻，并具有可塑性；

混合作用：在间歇打浆过程中。

（二）磨打浆设备的发展及趋势

发展过程：槽式打浆机、锥形磨浆机、圆柱磨浆机、圆盘磨浆机。

发展趋势：由间歇式向连续式发展；由低浓向高浓发展；由单台设备的人工操作发展到多台设备的集中控制和自动调节；由多性能发展到单一性能。

打浆设备可分为间歇式和连续式两大类。

间歇式主要是各种类型的打浆机；

连续式则有锥形磨浆机、圆柱磨浆机和盘磨机三类。

①间歇式打浆机

槽式打浆机主要由浆槽（包括山形部）、底刀、飞刀辊、调节机构、罩盖及洗鼓等组成。适合于棉、麻等长纤维打半浆。

②连续式打浆机

锥形磨浆机主要由装有刀片的圆锥形转子和内表面装有刀片的圆锥形外壳以及加压和传动装置所组成。其主要作用：纸机前精整纤维、混合纸浆；连续打浆。

磨浆设备特点：小端进浆，大端出浆；通过调节转子（内锥）的进退，控制打浆压力和刀距；内循环式的锥形磨浆机，部分浆料可循环打浆，使纤维的分丝帚化能力提高。大锥度磨浆机，锥角较大（60-70°），对纤维有较强的切断作用和离解作用。

圆柱磨浆机的工作原理：利用外界压力对定子刀进行加压打浆的。底刀固定在长方形的底刀匣中，通过外界压力使其向刀辊作径向移动而达到调压目的。

缺点：

切断能力较差，长纤维需先打半浆；

打高粘状浆时，纤维不够柔软；

散热性差，易引起石刀爆裂；

单台设备的处理效果不显著，需要多台串联，80年代以后逐渐被淘汰。

圆盘磨浆机是纸浆打浆的主流设备之一。并发展成为木片磨木浆和化学机械浆的主流制浆设备。盘磨机型号一般以磨盘直径命名，从 $\phi 300$ -- $\phi 1250$ 。

盘磨机按磨盘数可分为：

单盘磨：一个磨盘固定，另一个磨盘回转；

双盘磨：两个磨盘同时转动，但回转方向相反；

三盘磨：共有三个磨盘，两边两个磨盘固定，中间磨盘转动，形成两个磨区。

另外，还可按用途及工作条件分为木片盘磨机、热磨机、高浓盘磨机等。

盘磨机工作原理：为了使磨浆程度均匀，在定盘和转盘上设置了多层的交叉挡坝（封闭圈）。浆料运动时碰到挡坝受阻，将在定盘与转盘之间反复作折向运动，多次受到磨盘的作用。浆料纤维在行程中，反复受到摩擦力、冲击力、搓揉力、扭曲力和剪切力等的作用，在短短几秒钟内完成打浆过程。

4.4.2 打浆能耗

表 4-2 典型能耗—浆料通过一台打浆机应施加能耗

浆种	能耗 (kWh/t)
针叶木 KP	60-200
针叶木 SP	40-100
阔叶木 KP	40-80
阔叶木 SP	25-40
回收纤维	20-100
机械浆后处理	30-80
化学浆渣浆	50-100
浆匀整	20-50

表 4-3 有效边缘载荷

浆种	SEL 值
NBKP	1.0-2.0
LBKP	0.2-0.6
OCC 长纤维	0.6-0.8
OCC 短纤维	0.2-0.6

磨齿边长 (Km/rev)=转盘刀数*刀长*定盘刀数*转速

有效边缘载荷(Ws/m)=有效加载功率/(磨齿边长*转速*60)

第5章 制浆化学品

5.1 蒸煮助剂

5.1.1 蒸煮助剂定义及分类

蒸煮助剂是指用以加速蒸煮液对纤维原料的渗透或加速脱木素作用，从而缩短蒸煮时间或降低蒸煮温度、减少蒸煮药剂的用量、提高纸浆强度或得率的化学品。

蒸煮过程一般有三个阶段，分别是：渗透反应阶段、木素溶出阶段、纤维素及半纤维素与碱液的反应溶出阶段。

蒸煮助剂的作用：a. 加速蒸煮液的浸透；b. 改善蒸煮条件；c. 参与蒸煮反应，保护碳水化合物。

蒸煮助剂的作用机理：蒸煮助剂可以适当去除原料中的木素，同时使纤维和半纤维受到不同程度降解，从而缩短蒸煮时间或降低蒸煮温度或减少蒸煮药剂的用量，提高纸浆得率或强度。

蒸煮助剂根据化学组成不同可以分为无机蒸煮助剂和有机蒸煮助剂。

5.1.2 无机蒸煮助剂

在蒸煮过程中添加的辅助化学药品是无机物的称为无机蒸煮助剂，例如在 KP 法蒸煮中添加的多硫化钠 (Na_2S_x)，在硫酸盐法和烧碱法蒸煮中添加的亚硫酸钠 (Na_2SO_3) 都属于无机蒸煮助剂。

1) 无机蒸煮助剂-多硫化钠 (Na_2S_x)

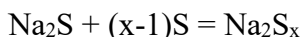


图 5-1 多硫化钠外观形态

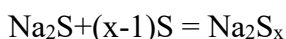
Na_2S_x 为黄色微晶粉末，吸湿性很强，易溶于水，水溶液一般显黄色，随着 x 值的增加由黄、橙色而至红色，其中最常用的是 Na_2S_2 。

多硫化钠的制备方法：

第一种，在硫酸盐蒸煮液中直接加硫：

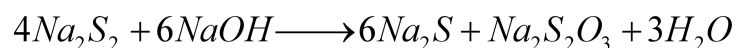


第二种， Moxy 方法：用空气中的氧作氧化剂，用活性炭加以控制氧化程度，将白液中 Na_2S 氧化为 Na_2S_x



多硫化钠的作用机理：多硫化钠与 H_2O_2 中的过氧链类似，具有氧化性，它能使纤维素和半纤维素的还原性末端基的醛基氧化成对碱稳定的糖酸末端基，从而避免剥皮反应，因此可以保护碳水化合物，提高蒸煮得率。

多硫化钠的影响因素：多硫化钠的这种氧化作用，在温度较低时才能发挥，温度超过 $100\text{ }^\circ\text{C}$ ，多硫化钠会发生分解，而且温度愈高，分解愈快，分解后的产物为 Na_2S 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，见下式：



多硫化钠对碳水化合物的保护作用受温度条件限制的，温度升高，碳水化合物会发生碱性水解反应，产生新的还原性末端基，继续进行剥皮反应，而此时由于多硫化钠发生分解，氧化作用降低或消失，也就不能更有效地保护碳水化合物。但由于多硫化钠分解产生 Na_2S ，故可进一步促进脱木素反应。

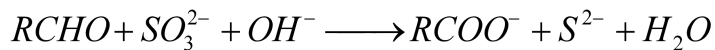
2) 无机蒸煮助剂-如亚硫酸钠 (Na_2SO_3)



图 5-2 亚硫酸钠外观形态

Na_2SO_3 为白色或无色晶体，易溶于水，其水溶液呈碱性反应。难溶于乙醇，在空气中风化并氧化为硫酸钠。

亚硫酸钠的作用机理：硫酸盐法蒸煮时添加亚硫酸钠，可代替部分 NaOH 和 Na_2S 。亚硫酸钠中的 S 离子为 +4 价，具有一定的氧化性，当其作为蒸煮助剂作用时，能够氧化纤维素和半纤维素的还原性末端基的醛基为羧基，使其避免剥皮反应发生而少受降解，如下式：



亚硫酸钠除具有保护碳水化合物、使纸浆得率明显提高外，还可使所得纸浆色浅，易洗和易于漂白。

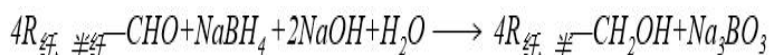
3) 无机蒸煮助剂-硼氢化钠 (NaBH_4)



图 5-3 硼氢化钠外观形态

硼氢化钠 (NaBH_4) 为白色结晶粉末，干空气中稳定，湿空气中分解，溶于水，并与水作用产生氢气，在碱性溶液呈棕黄色，是一种强还原剂。

硼氢化钠的作用机理：硼氢化钠是一种强还原剂，所以可用它作为还原性无机助剂添加到蒸煮液中，它能使还原性基团如羰基还原为羟基，从而使纤维素、半纤维素避免剥皮反应，提高了纸浆得率，如下式：



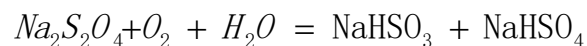
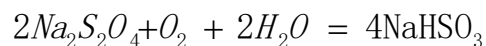
另外，硼氢化钠还能使 $\beta(1-4)$ 糖甙键断裂，降低纸浆粘度。

4) 无机蒸煮助剂-连二亚硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

连二亚硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 又称保险粉。固体时有无水和含结晶水两个产品，不

含结晶水的是细砂状粉末，含结晶水的为细小发光棱晶，但两个结晶水不稳定，易分解。易溶于水，不溶于乙醇，但水溶液中有食盐和 NaOH 时溶解度急剧减低。

连二亚硫酸钠的作用机理连二亚硫酸钠是一种很强的还原剂，它的水溶液在空气中放置就被空气中的氧氧化，生成亚硫酸盐或硫酸盐：



连二亚硫酸钠能将浆料中碳水化合物的羰基和木素的羰基还原为羟基，减少了纸浆的发色基团，纸浆颜色变白，同时也增进了脱木素的速率。



图 5-4 连二亚硫酸钠外观形态

5.1.3 有机蒸煮助剂

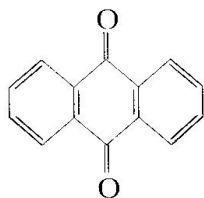
在蒸煮过程中添加的辅助化学品是有机物的称为有机蒸煮助剂。如既保护碳水化合物又具有脱木素作用的蒽醌（AQ），及早期用于加速蒸煮液渗透作用的表面活性剂。

1) 有机蒸煮助剂-蒽醌（AQ）及衍生物

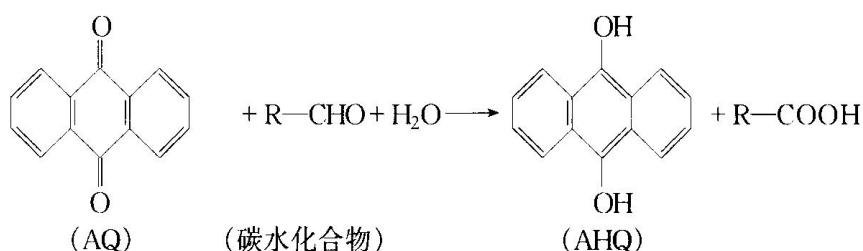


图 5-5 蒽醌外观形态

纯的蒽醌为淡黄色针状晶体，工业品为灰绿色结晶粉末，微溶于水。其分子式为 $C_{14}H_{10}O_2$ ，其结构式为：

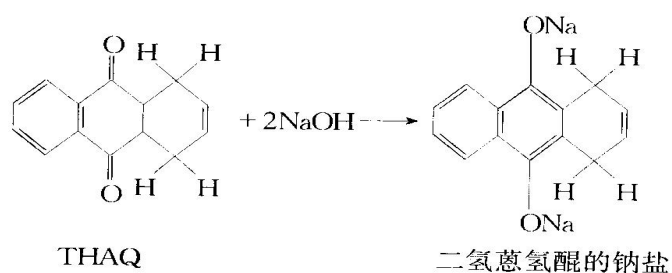


蒽醌的作用机理：碱性条件下，AQ 把碳水化合物分子上的隐性醛基氧化为羧基，避免剥皮反应，自身还原为蒽氢醌（AHQ）。



蒽氢醌在碱性条件下电离为易溶的蒽氢醌离子（ AHQ^{2-} ），并与木素大分子中的亚甲基醌结构反应，提供电子促使木素分子中 β -芳基醚键迅速断裂，加速木素的溶出。而蒽氢醌则同时又被氧化为蒽醌形式。使其可以在很少的用量下，对既减少了碳水化合物的剥皮反应，又对脱木素反应产生了催化作用。

一些蒽醌衍生物也应用于蒸煮过程，且由于溶解性较好，并且蒸煮效果更佳。

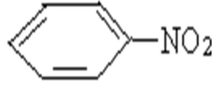


2) 有机蒸煮助剂-硝基苯



图 5-6 硝基苯

硝基苯为淡黄色澄清液体，难溶于水，作为制浆助剂常用在硫酸盐蒸煮上。其分子式为 $C_6H_5NO_2$ ，其结构式为：



硝基苯的作用机理：硝基苯作为蒸煮助剂主要是利用硝基苯的氧化性，既能氧化木素，又能氧化碳水化合物的还原性末端基，从而得以稳定。但在得率和木素含量相同时，浆的强度较硫酸盐浆差。

3) 有机蒸煮助剂-烷基苯磺酸盐



图 5-7 十二烷基苯磺酸钠

一类阴离子表面活性剂，其中以烷基苯磺酸钠最为常用。具有渗透、乳化、分散、发泡、洗涤去污等功能。生物降解度高，并可在较宽的 pH 范围内稳定，可用于破布脱色和废棉去除油脂，从而提高漂白破布浆和棉浆的白度。

5.2 漂白助剂

5.2.1 漂白助剂的定义及分类

漂白助剂是指在漂白过程中，用于提高漂白剂稳定性，减少无效分解或减少纤维素降解，保持漂白后浆强度的化学药品。漂白助剂可以分为无机漂白助剂、有机漂白助剂和生物漂白助剂。

漂白助剂的作用机理：

1) 加速漂白剂与发色基团的作用

如在 ClO_2 漂白时，添加的少量氧化还原催化剂 V_2O_5 (0.008%)，一方面可将木素等有色物质氧化，加速漂白作用，还原后的 V^{4+} 同时将 ClO_2 分解形成的氯酸盐，

重新还原为 ClO_2 ，充分发挥漂剂的作用。

2) 提高各种漂白剂的利用率

化学漂白中的漂白剂都是氧化剂或还原剂，除了与有色物质作用外，还易和周围其他杂质作用或受条件影响而分解，如 H_2O_2 就极易与重金属离子作用而分解，可加入整合剂或可吸附重金属离子的试剂如 Na_2SiO_3 、 MgSO_4 ，防止微量重金属离子对 H_2O_2 的分解，从而提高 H_2O_2 漂白剂的利用率。

3) 改善各类漂白过程的条件

在各种漂白方法中，各种漂白剂都有各自最佳使用条件，但随着漂白过程的进行，一些生成物或前段漂序带入的物质常常影响到后续漂白，这时可通过添加漂白助剂来改善或维持最佳条件，如 H_2O_2 漂白中加入硅酸钠，既为 H_2O_2 的电离提供适当碱性条件，又具有 pH 值缓冲性能。

5.2.2 无机漂白助剂

1) 无机漂白助剂-镁盐助剂

镁盐助剂主要用于阻止氧碱漂白过程中纤维素的碱氧化降解。常见的有碱式碳酸镁、硫酸镁、氧化镁和镁的配合物。

碱式碳酸镁，碱式碳酸镁 $[\text{Mg}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$ 为白色单斜结晶或无定形粉末，微溶于水，能使水呈弱碱性。易溶于酸，在稀酸中分解，放出 CO_2 ，是最早的镁盐助剂。

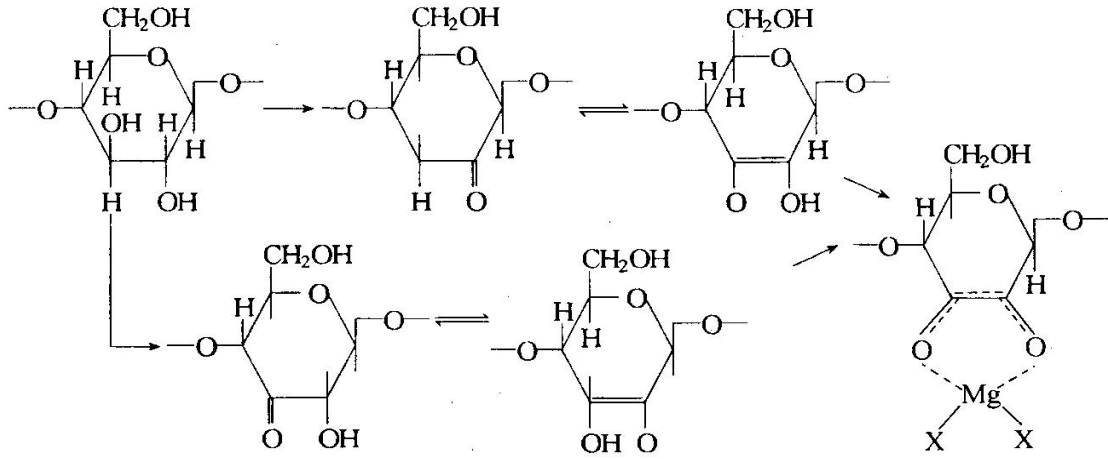
氧化镁，白色立方晶体或白色细微粉末，也有呈米黄色粉末，根据制法有轻质和重质之分。



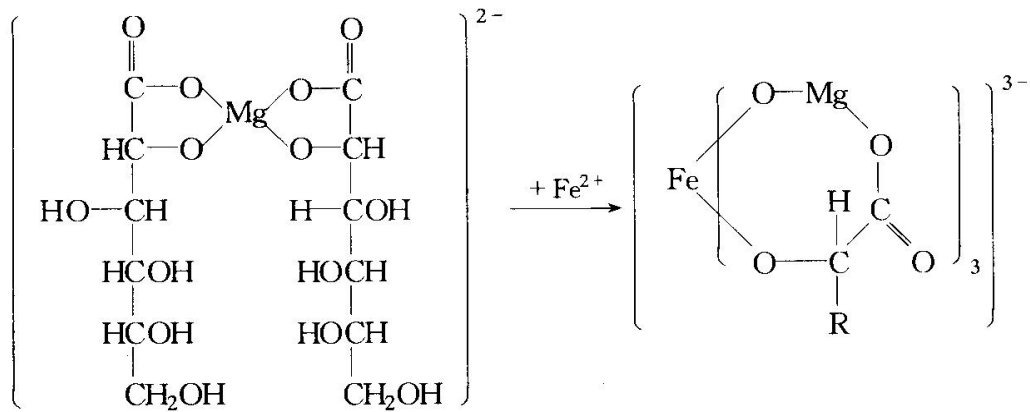
图 5-8 氧化镁

镁盐的作用机理：

镁盐与纤维素氧化物能形成稳定的配合物，从而避免 β -烷氧基消除反应。



镁盐配合物，如葡萄糖酸镁能与 Fe^{2+} 形成复合物，从而减少 Fe^{2+} 的催化降解作用。



镁盐配合物

过渡金属配合物, R-葡萄糖酸基的其余部分

2) 无机漂白助剂-硅酸钠



图 5-9 硅酸钠

硅酸钠 (Na_2SiO_3) 俗称水玻璃或泡花碱。液体为透明无色或带淡黄色、浅灰色

的粘稠液体。固体为天蓝色或黄绿色玻璃状物质。硅酸钠作为造纸业的漂白助剂，主要应用于 H_2O_2 漂白过程。

其作用主要有：一是 pH 值缓冲作用，二是消除重金属离子的作用。

硅酸钠的作用机理：

(1) pH 值缓冲作用

H_2O_2 是一种弱酸，在溶液中存在下列平衡： $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HOO}^-$

其中起漂白作用的是 HOO^- 离子，因此需要补充 OH^- 以促进 H_2O_2 提供足够 HOO^- 进行漂白反应。 Na_2SiO_3 是一种弱酸强碱盐，水解过程的酸碱性正适宜 H_2O_2 漂白，并且 Na_2SiO_3 能起到一定的 pH 缓冲作用，因此漂白液的 pH 变化很小。另外，漂白过程中加入一定量的 Na_2SiO_3 ，能够补充一定碱度促进 H_2O_2 的电离。

(2) 消除金属离子作用

Na_2SiO_3 可吸附 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Fe^{3+} 等重金属离子而减少 H_2O_2 受重金属离子的催化分解。所以，在 H_2O_2 漂白中 Na_2SiO_3 能降低浆料中重金属离子，起到稳定和保护的作用。

3) 无机漂白助剂--亚硫酸盐

亚硫酸盐主要是 Na_2SO_3 能作为氧化剂对碳水化合物的还原性末端基进行氧化，同时又是脱木素的反应剂。因此，碱处理后的纸浆的可漂性提高。在 H_2O_2 漂白工艺中，为了提高白度，也可采用加入螯合剂或同时加入 Na_2SO_3 进行预处理后，再用 H_2O_2 漂白。



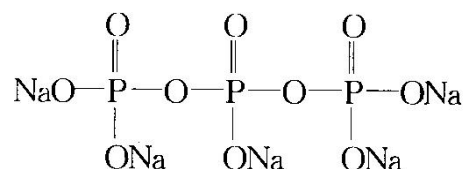
图 5-10 亚硫酸钠

4) 漂白助剂--磷酸盐

作为漂白助剂常用的磷酸盐有磷酸钠、磷酸氢钠、焦磷酸钠和三聚磷酸钠等。这些可溶性的磷酸盐中的酸根具有很强的配位能力，能与许多金属离子形成可溶性配合物。

造纸业用作漂白助剂使用，主要是利用它们的这一性质，消除重金属离子。

三聚磷酸钠的结构式：



三聚磷酸钠的作用机理：

三聚磷酸钠作为漂白助剂，其作用是利用它的配合性，与 Fe^{2+} 等重金属离子形成稳定的配合物，从而消除重金属离子的影响。

在 H_2O_2 漂白中，也常加入三聚磷酸钠来减少过氧化氢的消耗和提高浆的白度。



图 5-10 三聚磷酸钠

5) 无机漂白助剂--其他助剂

硼氢化钠 (NaBH_4)：它是一种强还原剂，选择性强。

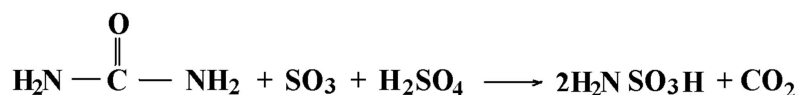
碘化钾 (KI)： KI 对碳水化合物稳定作用的效果很明显，比起其他氢氧游离基消除剂来说效果好得多，对碳水化合物的碱性氧化降解有相当强的阻抑作用。另外， KI 助剂还可以降低重金属离子的催化作用，也可与镁盐配合物共同使用，效果更好。

5.2.3 有机漂白助剂

1) 有机漂白助剂-氨基磺酸

外观为无色无臭晶体，由尿素与发烟硫酸或氯磺酸反应制备，可用于次氯酸盐

漂白中。



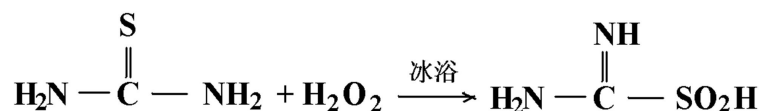
氨基磺酸的作用机理：

由于次氯酸盐漂白需在碱性条件下漂白，且漂白的 pH 值为 10~10.5 时，漂后纸浆白度的稳定性最好。但是漂白时 pH 值越高，漂白速度就越低，在某些情况下，为了加快漂白速率，有时采用降低 pH 值的办法。但是，降低 pH 值，易产生次氯酸，引起碳水化合物的剧烈降解，加入氨基磺酸可抑制次氯酸的对碳水化合物的过度氧化的反应。

氨基磺酸作为次氯酸盐漂白时的助剂，实际上是起到“游离基清除剂”的作用。在 pH 值较低条件下，HOCl 含量增加，HOCl 能形成 HO·和·Cl 游离基，对碳水化合物的氧化能力特别强，从而减少碳水化合物的降解。

2) 有机漂白助剂--甲脒亚磺酸

甲脒亚磺酸简称 FAS，为无色针状晶体，易溶于水，可将硫脒和过氧化氢在中性水溶液中反应制备。

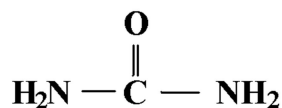


甲脒亚磺酸的作用机理：

甲脒亚磺酸具有较强的还原性，在碱性溶液中分解时能生成强还原性的次硫酸盐，可利用其还原性，用于纸浆的漂白。其漂白效果优于一般的漂剂 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$ 和 H_2O_2 、次氯酸盐。例如，FAS 在脱墨浆(DIP)漂白中，可作为终漂，用以提高和稳定白度。

3) 有机漂白助剂-尿素

尿素是一种白色晶体，易溶于水，其分子式如下：



尿素的作用机理：尿素本身没漂白作用，作为漂白助剂主要是促使 H_2O_2 快而稳定地分解，从而提高漂白纸浆的白度。尿素的加入，可使纸浆漂白在较低的 pH 值下

进行，减轻了后续处理的负担。尿素 H_2O_2 漂白可以大幅度提高白度，常用于成浆白度比较低的半化学浆漂白或化学浆多段漂的终漂。

4) 有机漂白助剂-EDTA、DTPA

EDTA 和 DTPA 是两种能与许多金属离子形成螯合物的螯合剂，它们与金属离子形成的螯合物很稳定。所以常被添加到纸浆的漂白中，用以消除金属离子对漂白剂和漂白后纸浆白度影响。

5.2.4 生物漂白助剂

白腐菌能产生多种木素酶的胞外酶，这些酶的活性依赖于过氧化氢，所以称为木素过氧化酶。这些酶与木素的酚型和非酚型结构的侧链进行氧化反应，可起到脱除木素和漂白作用。

木聚糖酶是能催化降解木聚糖的一种半纤维素酶，主要用于硫酸盐浆的漂白中，其主要作用是降解浆料中的木聚糖。硫酸盐蒸煮中的木聚糖会部分回吸到纤维上，阻碍了漂白剂对木素的作用，经木聚糖酶降解后，有利于漂剂对木素的反应。此外，在未漂硫酸盐浆中，存在着难于降解的木质素-木聚糖复合物，木糖酶可降解这些复合物中的木聚糖部分，也有利于漂剂对木质素的作用。

木素酶在麦草浆漂白中用于脱除木素。实验结果表明，其比木糖酶更为有效。

5.3 脱墨助剂

5.3.1 脱墨剂的定义及分类

1) 脱墨剂指能使粘附在纸张上的油墨、颜料颗粒及胶粘物脱落所用的化学药品。

2) 脱墨工序的整个过程可分为以下三个步骤：疏散分离纤维；使油墨从纤维上脱离；把脱离出来的油墨粒子从浆料中除去。

3) 油墨的组成与性质

颜料或染料：使油墨具有颜色、不透明性和可流动性。

载色体（连结料）：它们起着夹带颜料的作用，并把它们携带到纸页上，使其在纸面上凝固下来。载色体主要是油脂和树脂，也可以是溶剂和水。油脂一般为植物油和矿物油。树脂有天然树脂和合成树脂等。

附加料：改善油墨性能，通常有填料和助剂，助剂的量一般很少，对造纸脱墨的影响很小。

4) 脱墨方法

根据油墨与纤维分离方式不同，现代废纸脱墨方法分为洗涤法和浮选法：

洗涤法：是把从废纸上脱离下来的油墨等污物，用脱水—洗涤的处理方式去掉，从而达到分离油墨污物和纸浆纤维的目的。洗涤一般采用逆流置换洗涤，动力消耗较浮选法少，处理后的纸浆灰分含量少、洁净、白度高，适于生产薄页纸及要求灰分低的纸张。但用水量较大，纸浆得率较浮选法低。

浮选法：在需要脱墨的纸浆中不断通入微小空气气泡，使气泡吸附油墨及污物并浮到表面，然后排除的方法。该法特点是耗水量少，纸浆灰分与得率高，但要求精确控制 pH 值，占地面积较大，动力消耗大。

5) 脱墨剂的作用机理

脱墨剂能使油墨连结料皂化溶解，以破坏油墨与纤维的粘附力，并降低印刷油墨的表面张力、乳化油墨中的油分，从而将纤维中的颜料剥离掉。之后通过洗涤或浮选的方法除去已脱离纤维的油墨。

6) 脱墨剂分类

碱类和过氧化物：碱类化学品如 NaOH、Na₂CO₃、Na₂SiO₃ 等，过氧化物如 Na₂O₂、H₂O₂。

表面活性剂类：如阴离子型的烷基苯磺酸盐，脂肪酸盐等；非离子型的聚氧乙烯烷基酚醚。

螯合剂类：如：三聚磷酸钠、焦磷酸钠、ETPA、EDTA 等。

吸附剂类：常用的有高岭土、硅藻土等。

5.3.2 废纸脱墨的影响因素

废纸脱墨的影响因素有：脱墨方法；印刷方法与油墨组成；脱墨剂；脱墨温度、时间、脱墨剂用量。

1) 废纸脱墨的影响因素--脱墨方法

洗涤法：是根据纤维、填料及油墨等组分的可湿性不同，用浮选机将可湿性差的油墨浮到浆面上而除去。影响脱墨效果因素较多，如脱墨剂和废纸的加入次序、空气进入量和速度、浆的 pH 值、浆料浓度、温度、时间、药剂等都影响脱墨效果。如在碎浆机中应先加热水、化学脱墨剂、后加废纸。若先加废纸后加脱墨剂，则油墨粒子在解离纤维中，易进入到纤维内部，不易被悬浮出来，从而影响脱墨效果。

浮选法：是气-液-固表面共同参与的脱墨方法，气泡的稳定性、油墨等污物对气泡的附着性都影响脱墨效果。如果泡沫不稳定，与气泡一同浮上来的油墨会再次混入悬浮的纸浆中，达不到预期的目的；如果油墨等污物对气泡附着性差，也不能有效除去。所以除了有良好的脱墨剂外，还要严格控制浆液 pH 值、浓度、温度、时间和进气度。浮选法脱墨细微纤维损失少，纸浆灰分含量高，灰分可高达 25%-30%，洗涤法纸浆仅有 2.4%。所以浮选法得率高，得出灰分高的浆不能作为薄页纸用浆。

2) 废纸脱墨的影响因素--脱墨剂

脱墨剂的主要成分是阴离子和非离子型表面活性剂，因为油墨粒子一般也带有负电荷，阴离子和非离子表面活性剂对油墨粒子具有较好的分散、乳化、洗涤等作用，不会发生油墨粘附装置等问题。其中又常常是非离子型表面活性剂的脱墨效果更好些。脱墨效果除与表面活性剂类型有关外，还与其亲水基与疏水基的结构、比例有关。

3) 废纸脱墨的影响因素--脱墨温度、时间

一般情况下温度越高、脱墨时间越长，脱墨剂用量越大，脱墨效果越好，但均有其最佳条件。且高温下，加热时间越长，纤维损坏的会越多。非离子表面活性剂在刚好低于其浊点的温度时最有效。过低或高于其浊点温度，脱墨效果都会下降。脱墨剂用量也有其最佳值，加入量过高，至少是不经济。

脱墨时间包括离解、熟化、脱墨等步骤需要的时间，在一般情况下随着时间增加而效果增强，但要考虑效率和对纤维的影响，脱墨时间不宜过长。

4) 废纸脱墨的影响因素-印刷方法与油墨组成

凸版印刷：该法常用于印刷报纸、杂志和牛皮纸袋。该法印刷油墨具有中等粘度，呈糊状，主要是碳墨分散在碳氢油料中，还添加树脂和其他添加剂。油墨主要借助于吸收、挥发和沉淀作用而干燥于纸面之上。所以凸版印刷的废纸比较容易脱墨，脱墨中可加入 1%~2% 活性剂，利用洗涤法即可脱墨。

胶版印刷：印刷油墨中含有斥水性载色体和颜料，不能在水和醇类中去掉，此类颜料在色调上要比凸版印刷油墨强得多，同时很容易把亚麻仁油渗入载色体中。目前的配方使用醇酸树脂与干性油，在印刷时聚合成耐磨交叉链的薄膜，热固化油墨常用碳氢树脂为基料，以挥发作用来干燥。紫外油墨用于印刷报纸彩色印刷品，它含有丙烯酸单体物和预聚合物的混合物，它在紫外线照射下聚合成强度大的薄膜。所以胶版印刷的废纸脱墨比较困难，因为胶版印刷油墨中的树脂难于分散。但是可

加入硅酸盐和表面活性剂进行脱墨。有些厂则使用冷分散的设备有助于分散胶版印刷油墨，可采用浮选和洗涤相结合的办法脱墨。

柔性印刷：是凸版印刷方法的改进。柔性印刷的油墨为快干和低粘性油墨。其颜料常用醇—脂的混合物。有些油墨以水基作载色体，用挥发与吸收使之干燥。脱墨较为容易，可采用浮选法。

电印刷、激光印刷：都是办公用纸类的印刷方法。这些印刷品对脱墨影响较大，一般常规的脱墨剂不能除去。因为这些印刷不使用常规的颜料---载色体品种的油墨，必须开发新型脱墨剂和新工艺来脱墨。

5.4 其他制浆助剂

5.4.1 消泡剂

消泡剂是指用于消除制浆、造纸和涂布加工等过程中出现泡沫的化学品。而用于上述过程中阻止泡沫出现的化学品称为阻泡剂。一般消泡剂都具有一定的阻泡性。

按消泡剂化学组成分类：高级醇类；脂肪酸及其盐类；磷酸酯类；烃油类；聚醚类；有机硅聚合物；酰胺类等。

按造纸工序分类：制浆消泡剂；造纸消泡剂；涂布消泡剂。

本小节主要讲解制浆消泡剂。

1) 制浆过程中起泡原因

制浆消泡剂是指消除制浆过程中泡沫所用的化学药品。

制浆过程中会溶出大量有机物，废纸浆经脱墨后也含有皂化物，在洗涤、筛选和漂白过程中，由于引入空气往往会积聚大量泡沫，黑液在蒸发浓缩时，也会产生严重泡沫。

制浆消泡剂常为由烃油类溶剂和亲油性表面活性剂组成，它具有耐碱、耐高温特性，加入纸浆或黑液中，可减少或消除泡沫，提高洗涤、筛选和浓缩效果，节约用水，并提高纸浆脱水后的干度。

2) 消泡剂的作用机理

消泡剂能够进入泡沫液膜中，将液膜的局部表面张力降至很低，可在表面上迅速展开，同时带走了表面下的一层液体，使液膜局部厚度薄至破裂点以下，造成泡沫破灭。如含氟表面活性剂、硅油、聚醚、高碳醇、胶体二氧化硅、二硬脂酰乙二胺等即通过这一方式消泡。

降低液膜的表面粘度，从而削弱液膜的抗扰动能力，加快了排液速度，使泡沫稳定性下降。例如磷酸三丁酯，它的分子截面积很大，渗入到液膜之中会使表面活性剂分子之间的相互作用大大削弱，液膜的表面粘度也大幅度降低。

一些润湿剂和由环氧乙烷与环氧丙烷共聚而成的聚醚型非离子表面活性剂，它们不能形成牢固的界面膜，但很快扩散和吸附到界面上，从而使液膜失去弹性和“修复”能力。这类物质常预先加到体系中，以抑制泡沫的形成。

3) 对消泡剂的要求：成泡倾向低，否则自身也会起泡；与水具有相容性，因此有移动气-液界面的倾向；与起泡剂相反，有正铺展系数；使用条件(pH 值、温度等)下化学稳定。

4) 消泡剂的使用事项

注意浆料的条件：浆料的条件如酸碱性、温度、何种浆等，针对不同的浆料条件选择不同的消泡剂。例如，脂肪酸在酸性条件下可能是消泡剂，而在碱性条件下则是起泡剂，在低温下效果良好，但在高温时可能是无效的。

注意消泡剂加入的位置和用量：使用消泡剂时，要距泡沫处尽量远些加入，以使消泡剂得到良好的分散。

使用多种消泡剂：通常使用两种以上的消泡剂比用较高比率加单一消泡剂更为经济有效，并将两种相距较远的部位分别添加

注意消泡剂的缺点，防止影响正常生产：有些消泡剂有一定的缺点，如酰胺类消泡剂，可能造成沉积而使筛板缝堵塞，由于分散不良造成纸面出现鱼眼点；一些消泡剂也可能是对施胶剂和增强剂有干扰作用。

5.4.2 絮凝剂



图 5-11 絮凝剂

絮凝剂是能使溶胶变成絮状沉淀的凝结剂，用于促进废液中废物沉降、过滤、澄清，主要包括无机物和有机高分子两类。两者可单独使用，也可配合使用，但配合使用比单独使用效果更佳。

絮凝剂作用机理：在废水处理中，水中胶体粒子多数带负电荷，粒子间具有静电斥力，使胶体粒子保持分散状态。絮凝剂多为电解质，电离后形成与胶体粒子带相反电荷的高价离子或大离子，压缩胶体粒子的双电层或对胶体粒子的电荷产生电中和，粒子间斥力随之消失，使粒子间聚集成大颗粒而沉降，水即可澄清。

常用絮凝剂：

1) 硫酸铝

硫酸铝的絮凝机理：溶液中硫酸铝与水中碱反应生成氢氧化铝：



氢氧化铝胶体带正电，可吸附于废液中的胶体粒子上，中和胶体粒子的负电荷被而产生絮凝，或对胶体粒子产生夹裹作用而引起胶体粒子的沉降。

2) 聚合氯化铝

聚合氯化铝在水溶液中离解为单核配合离子 $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_5]^{2-}$ 并在水解中发生羟联反应，形成多核铝离子 $[\text{Al}_7(\text{OH})_{18}]^{3+}$ 、 $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$ 、 $[\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}]^{5+}$ ，这些多核离子絮凝能力很强，因此能得到较好絮凝效果。

3) 铁盐

主要是硫酸亚铁、氯化铁和氯化亚铁，处理废水。一般要和石灰配用，形成氢氧化物沉淀，靠夹裹吸附去除废水中的物质。和铝盐相比，铁盐絮凝颗粒比硫酸铝重而易沉淀，价格也便宜。但其最适宜絮凝 pH 值较高，如亚铁是 pH9.5—11.0，故适用于原水 pH 值高及高浊度的废水。

4) 活性硅絮凝剂

活性硅是在硅酸钠的稀溶液中加入稀酸等制成的胶体状聚合硅酸。它在净化水厂中，作为低浊度水的絮凝剂使用，也广泛用于工业用水和废水处理，与硫酸铝共用，则有促进沉淀的作用。

5) 聚丙烯酰胺(PAM)

主要是非离子型、弱阴离子型和阳离子型聚丙烯酰胺。

非离子 PAM 以水合状态溶于水中，此时高分子链不是呈伸展状态，而是呈卷曲状态，其絮凝作用是通过酰胺基与粒子表面的氢形成氢键结合而产生吸附。为了在

被吸附粒子间产生桥联作用而形成坚实的絮聚体，聚丙烯酰胺的分子量应尽可能大些。

阴离子聚丙烯酰胺：与非离子型 PAM 相比，絮凝沉淀性强，所以工业上应用广泛。悬浮胶体粒子与絮凝剂间靠氢键结合。

阳离子聚丙烯酰胺：在水中溶解时，带正电的活性基吸附带负电的悬浮胶体粒子，如果聚合物有较长的链，则一个聚合物分子链可同时吸附几个粒子，聚合物分子链在粒子之间形成桥联作用，小颗粒聚集成大颗粒而产生沉淀。

PAM 的应用特点：

加入量少，沉淀速度快，常与无机絮凝剂配合使用

含有机悬浮物较多的造纸废水宜采用无机絮凝剂和阴离子型或非离子型聚丙烯酰胺共用的絮凝，这样效果更显著。并且废液 pH 值偏低时使用阴离子型比非离子聚丙烯酰胺产生的沉淀速度快。