

# 磨漿的理論及磨漿作業

中興大學  
森林系教授  
蘇裕昌博士

# 內容大綱

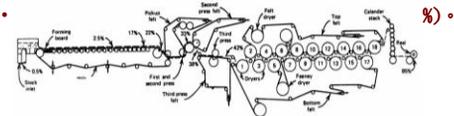
- 壹、磨漿作業
- 貳、磨漿的理論
- 參、低強度磨漿技術

# 壹、磨漿作業

# 一、緒言

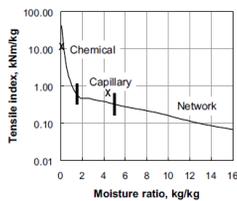
## 抄紙工程中纖維間的鍵結與紙力的形成

- 成形即紙層形成的初期階段，在這階段是漿料上網使纖維交織初期的網狀結構，
- 從紙機進漿口唇板噴出的稀薄漿料（含水率約99%）
- 經過網部的脫水（出該部的含水率約 80%）
- 壓榨部（出該部的含水率約 60%）



# Development of Paper strength( tensile index )

Tensile index Vs. moisture ratio



乾度	20%	40%	95%
M.r.	4	1.5	0.05

Figure 3.8. Development of tensile index for paper of sulphite pulp with decreasing moisture ratio. (Robertson).

# Page equation of tensile strength

The Page equation can be written as follows:

$$1/T = (9/8 Z) + [(12 A p g)/(b P L RBA)] (1)$$

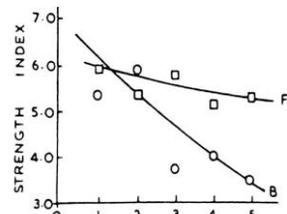
- Where
- T = tensile strength, expressed as breaking length (BL)
  - A = average fiber cross-sectional area
  - p = density of fiber material
  - g = acceleration due to gravity
  - P = perimeter of fiber cross section
  - L = average fiber length
  - RBA = relative bonded area.

## Page equation-抗張強度的影響因子

- $1/T = 1/F + 1/B$ 
  - 其中 T: 抗張強度 F: 單纖維強度 B: 纖維間的結合強度
- 紙張的強度性質有所改變
  - 主要是因為單纖維強度及纖維本身的結合強度的降低。

7

## Page equation



隨回收次數的增加單纖維強度 (F) (零跨距強度) 及纖維間的結合強度 (B) 兩者均呈下降的現象。  
但纖維間結合力則隨回收次數增加而有急劇的下降

回收次數對紙張單纖維強度及纖維結合力的影響

8

## 一、緒言

- 未鍊漿的纖維，不適合直接在抄紙機使用
  - 所抄製紙張的紙力甚差
  - 所抄製紙張的有較高濕度
  - 所抄製紙張的有較開放性的不規則紙質組織
  - 所抄製紙張的交織較不均勻

9

## Refining enabling to form sheet with desiring properties

To treat the fibres mechanically to give them characteristics enabling them to form sheets with desired properties,

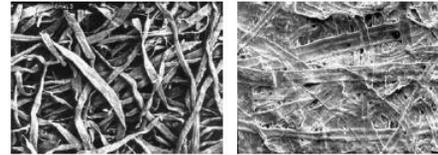
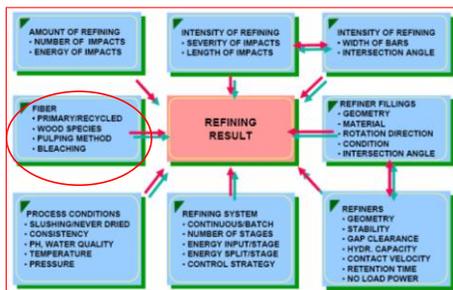


Figure 16.8. Unbeaten, left, and highly beaten pulp, right. The conformability of the fibres greatly increases with beating, resulting in a much better bonded sheet. Photos depicting dried pulp samples. (Photo STFI).

10

## Parameters affect refining results



11

## 改善紙張乾強度的方法 - 機械處理法

- 機械處理方法
  - 磨漿處理
    - 改變纖維的形態及性質
      - 增加纖維表面上可供結合的位置
      - 增加纖維的可撓度
      - 可使纖維被壓潰效果
    - 可增加紙張強度，不透明度變差
    - 但會降低藥料游離度- 濾水性質會變差
    - 但處理過當會傷害纖維長度及強度

12

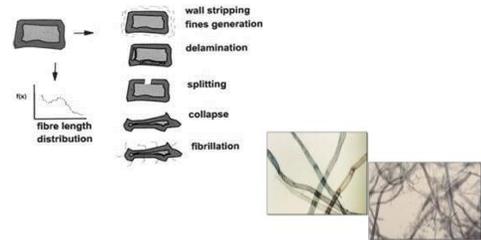
## 二、磨漿的目的與原理

### 磨漿的漿目的 (beating and refining)

- 利用機械力磨漿以改變漿料纖維的特性
- 以確保成紙物理強度、外觀性質、及其他性質等，能夠達到紙及紙板等不同品質的要求。

13

## 磨漿(打漿)作業對化學紙漿纖維性質的影響



14

## 纖維性質與品質之關係

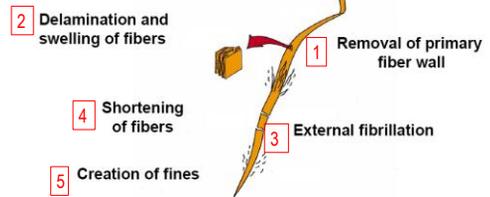
- 磨漿作業改變纖維的性質
- 紙張的特性與所構成纖維之形態特性或化學性質，及纖維之特性等均有不同程度的影響
- 下表為評估纖維造紙適性之基本項目。可以由纖維的尺寸、纖維的形狀、細胞壁的構造、纖維的表面性質等來評估。

Size Distribution	Shape	Structure of fiber wall	Fiber surface
Fiber length	Specific	Flexibility	Chemical
Fiber width	surface	Swellability	composition
Cell wall thickness	External fibrillation	Pore volume	ESCA
Coarseness	Curl	Specific volume in structure	Fibril angle

15

## 磨漿的階段及磨漿效果

### Effect of refining



16

## 三、磨漿對纖維構造的影響

### Stages of refining

1. Removal of primary fiber wall
2. Delamination and swelling of fibers (internal fibrillation)
3. External fibrillation
4. Shortening of fibers (cutting)
5. Creation of fines
6. Decomposition of hemicellulose

17

## 磨漿對纖維特性的影響

1. 纖維的切斷及纖維的短化，纖維長度太短，固然影響紙力；但纖維太長，亦易發生纏絡現象。一般而言，將長纖維切短，不若直接添加短纖維，在經濟上亦較有利，因而一般打漿作業皆抑制纖維的切斷作用。
2. 纖維在磨漿時可能會移除初生壁時，可能產生微纖維。
3. 纖維經機械作用時其纖維外部(表面)產生帶化的現象，同時纖維亦有縱向分裂(Splitting)的現象，又稱之為外部帶化(External fibrillation)，又稱之(Brushing)及層剝(Foliation)，使纖維在水中呈膠體狀。
4. 使纖維細胞壁內部的結構產生剝離分層(delamination)、或疏鬆分裂成纖毛此作用稱為內部帶化(internal fibrillation)。

18

## 磨漿對纖維特性的影響

- 使捲曲纖維或伸直纖維。將纖維中或細胞壁中產生結(nodes), 扭結(kinks), 滑動的平面(slip planes), 微擠壓(micro-compressions)等刷平, 或者將其從細胞壁移去。
- 磨損纖維分子的水平表面產生一更具凝膠狀的表面。
- 隨著打漿的進行, 可吸著水份增高即纖維的保水值(Water retention value; WRV) 逐漸提高更膨潤纖維, 濾水變慢, 而紙漿在觸覺上有油滑之感。
- 溶解或過濾出膠體物質進入外部的水溶液。
- 從纖維的內部至外部半纖維素(hemicelluloses)含量的重新分配。

19

## 磨漿的效果

### Effect of refining - ECF bleached pine



	Unrefined	200 kWh/t
• Freeness, ml	735	455
• Fiber length, mm	2.34	2.19
• Tensile index, Nm/g	28.4	73.8
• Tear index, mNm <sup>2</sup> /g	20.5	16.0
• Air permeability, Bendtsen ml	1350	1040
• Bulk, cm <sup>3</sup> /g	1.79	1.52

20

## 四、磨漿對紙張的品質的影響

- 脫水阻力(水的移去阻力)增加。
- 提升抗張強度、抗張挺度、破裂強度、內部鍵結強度及斷裂韌度(fracture toughness)等物理性質。
- 撕力強度在磨漿初期可能些微改善, 但是在延長磨漿以後會又有急遽的降低。
- 紙張的透氣度(Air permeability)、嵩度、吸收性、不透明度、及光散射降低。
- 白度會些微降低。

21

## 磨漿(打漿)作業對紙張力學性質的影響

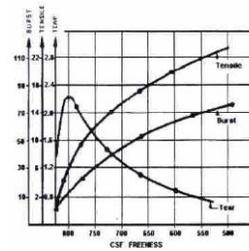
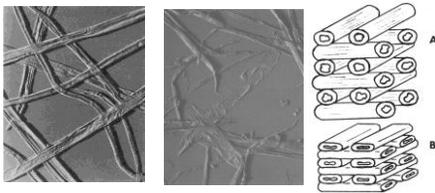


圖1 打漿程度對強度性質的影響

22

## 磨漿(打漿)作業對化學紙漿纖維性質的影響

### 纖維的可壓潰性 (Fiber collapsability)



23

### 纖維的可壓潰性 (Fiber collapsability)

- 木材纖維之橫切面為圓形或矩形, 製漿或抄製、壓榨、乾燥壓光製程時其形狀則可能會被壓平或壓潰成絲帶狀。
- 但在壓潰後其周長仍維持不變, 一般化學漿之可壓潰性較機械漿為佳, 春材較秋材易潰陷, 而且其可壓潰性與細胞壁的厚度呈直線之相關。
- 不易壓潰之纖維內腔可散射光線, 易潰陷之纖維因此在光學性質上有負面之效果。
- 潰陷成絲帶狀之纖維較有彈性, 較未潰陷之管狀細胞能有較大之結合面積, 由於纖維的潰陷改善紙張之強度性質。

24

## 磨漿(打漿)作業對化學紙漿纖維性質的影響

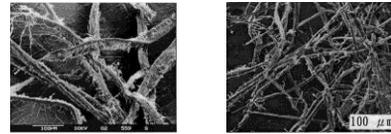


- 打漿會導致化學漿打鬆化學漿細胞壁的構造(內部帶化)及表面(外部帶化)。而且能打破部份細胞壁成碎片。
- 內部帶化 (Internal fibrillation) 即纖維壁的部份離層反應 (Delamination)

25

## 磨漿(打漿)作業對化學紙漿纖維性質的影響

### 纖維的外部帶化



纖毛突出於纖維之表面。  
細胞壁的離層反應能改善纖維濕纖維壁的膨潤性、彈性(柔軟性)及馴服性(Conformability)等。而改善纖維間的結合及強度性質但損失了光學性質。

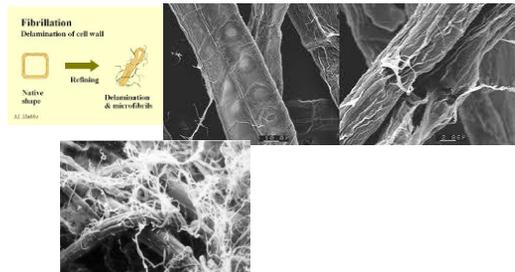
26

## 纖維的特性對纖維性質的影響

- 打漿可以使纖維的內部帶化及外部帶化
- 內部帶化可增加細胞壁的水合能, 增加纖維的柔軟性、提昇纖維的可繞性等。
- 外部帶化則更能增加纖維間氫鍵的數目、或增加纖維間之結合的數目等, 兩者均是增加纖維間的結合面積之處理作業, 因此打漿作用可顯著的改善紙張的強度性質。

27

## 纖維的外部及內部帶化



28

## Deformability of wet fiber

- Fiber collapsability Flexibility & conformability

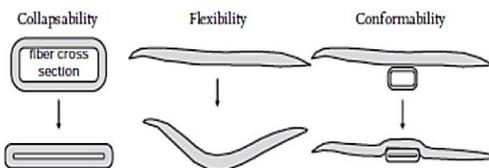
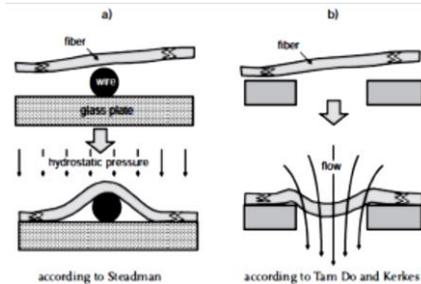


Fig. 5.3 Parameters of deformability of single wet fibers.

29

## Fiber flexibility test



30

## Fiber Deformations

- Fibres are **tube-like and straight** whereas fibres in pulps can be **twisted, bent, compressed** and so forth. The most familiar fibre deformations might be the so-called latency in **mechanical pulps, the fibres are not straight but twisted and curled**.

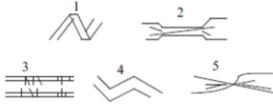


Figure 2. Examples of fiber deformations.

1. Folds.
2. Compression.
3. Micro-compression (dislocation)
4. Knee.
5. Twist

31

## 磨漿的效果及磨漿對纖維的影響

磨漿的效果及磨漿對纖維的影響是一複雜的綜合效果  
必須探討

- 纖維的形態及構造
  - 纖維的應力-應變性質
  - 磨漿進行時紙漿纖維及的性質變化
- 自其中萃取有用的影響因子進行討論，更進一步進入係  
依隨的複雜性本項研究仍留下很多可能挑戰的空間

## 磨漿對紙張抗張性質的影響

Within the freeness range used, all six of the measured paper properties were affected by the level of beating.

Figure 1 shows that **tensile strength (measured as breaking length), modulus, and sheet density increase with the level of pulp beating** until they **level off at moderate levels of pulp freeness**.

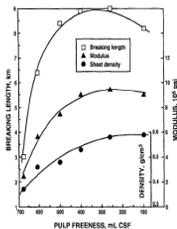


Figure 1. Tensile strength (measured as breaking length), elastic modulus, and density of handsheets as functions of pulp freeness

33

## 磨漿對紙張抗張能量吸收及伸長率的影響

The response of tensile strength to beating is more complex, with strength peaking and then dropping at low pulp freeness.

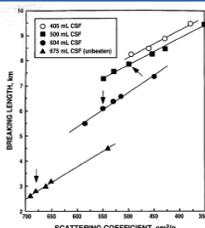
Figure 2 shows that the level of beating has a similar effect on **TEA, sheet elongation, and tensile index**, with these properties also peaking and dropping at high levels of beating.

Figure 2. Tensile energy absorption, elongation, and tensile index of handsheets as functions of pulp freeness

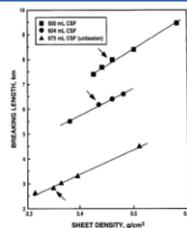
34

## 不同磨漿程度

### 抗張強度(斷裂長) Vs. 光散亂係數



3. Breaking length as a function of light-scattering coefficient for hand-sheets prepared from pulps at various levels of freeness



4. Breaking length as a function of density for hand-sheets prepared from pulps at various levels of freeness

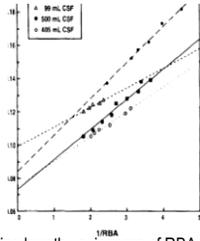
35

## 磨漿對紙張或纖維性質的影響-1

- 游離度磨漿進行的程度下降
- 纖維長隨磨漿進行的程度下降
- 紙張的**抗張強度(斷裂長)、彈性係數、密度**隨磨漿進行的程度上升
  - 但達中度磨漿時則持平
  - 持續磨漿時則抗張強度下降
- 紙張的**抗張能量吸收、抗張強度、伸長率**隨磨漿進行的程度上升
  - 持續磨漿時則上述性質下降

36

### 不同磨漿程度 1/斷裂長(1/BL) Vs. 1/相對結合面積(1/RBA)



10. Inverse of breaking length vs. inverse of RBA for handsheets prepared from pulps **beaten to various levels of freeness** and containing no strength additive.

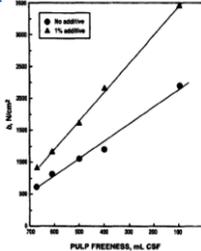
37

### 磨漿對紙張或纖維性質的影響-2

- 斷裂長的倒數(1/BL or 1/T)對纖維間相對結合面積(Relative bonded area)的影響
- 雖然紙張的強度性質相當複雜的，及尚有一些尚未被確定的因子存在，但是結果顯示，不同磨漿程度對纖維間單位結合面積的結合強度b (bond strength per unit bonded area) as a function of pulp freeness )隨著打漿的進行而增加，與 Page equation 呈高度的相關。

38

### 不同磨漿程度對纖維間單位結合面積的結合強度的影響



11. Calculated values (Page's equation) of b (bond strength per unit bonded area) as a function of pulp freeness for handsheets prepared from pulps with and without strength additive

39

### 不同磨漿程度對纖維長及纖維強度的影響

Table 1. Average fiber length and calculated values (Page's equation) of z and b for handsheets prepared from pulps at various levels of freeness

1. Average fiber length and calculated values (Page's equation) of Z and b for handsheets prepared from pulps at various levels of freeness

Pulp freeness, ml CSF	Average fiber length, mm	Zero-span tensile strength, km	Bond strength per unit of bonded area (b), N/cm <sup>2</sup>	
			No strength additive	1% strength additive*
675 (unbeaten)	2.20	9.0	600	840
604	2.09	13.4	790	1120
500	2.04	15.6	1060	1600
400	1.84	15.2	1420	2110
296	1.84	15.5	...	...
99	1.63	11.3	2250	3480

\*Quar gum, based on dry pulp weight

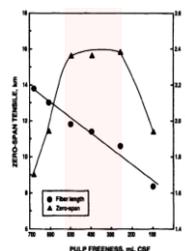
40

### 磨漿對紙張或纖維性質的影響-3

- 表1 顯示隨著磨漿進行的程度時纖維長度，與依據 Page equation 計算零跨距抗張強度 Z、纖維間單位結合面積的結合強度(b)的變化情形。
- Figure 11 顯示隨著磨漿進行的程度(游離度的下降)與纖維間單位結合面積的結合強度之間呈極高的線性關係

41

### 不同磨漿程度對纖維長及單纖維強度的影響



12. Calculated values (Page's equation) of zero-span tensile and average fiber length as functions of pulp freeness

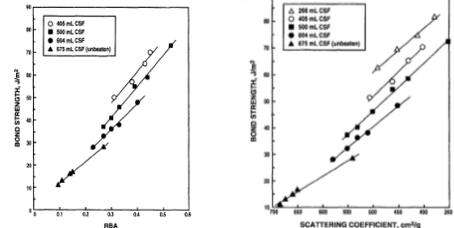
42

### 磨漿對紙張或纖維性質的影響-4

- 圖12 為隨磨漿進行紙料的游離度與其零跨距抗張強度(Z)間的關係，與隨著磨漿進行的程度紙料的游離度與平均纖維長(L)間的關係
- 顯示紙料的游離度與其零跨距抗張強度間呈高度的相關
  - 在高磨漿度下零跨距抗張強度的下降反映在磨漿時對纖維本身的強度的損傷
  - 纖維長度的下降可能對抗張強度有較小的影響

43

### 不同磨漿程度下對纖維間的結合強度與RBA及光散亂係數的相關



13. Bond strength as a function of relative bonded area for handsheets prepared from pulps beaten to various levels of freeness

14. Bond strength as a function of light-scattering coefficient for handsheets prepared from pulps beaten to various levels of freeness

44

### 磨漿對紙張或纖維性質的影響-5

- 上述結果可以解釋
- 藉由磨漿可以提升紙張中纖維與纖維間的單位結合面積的結合強度(b)
- 磨漿作業影響鏈結
  - 結合的數目(size)
  - 結合的形態(shape)
  - 結合的大小(abundance)
- 磨漿作業提升鏈結的多寡
  - 纖維與纖維間的結合面積與投影面積的比率(結合的頻率)

45

### 磨漿對紙張或纖維性質的影響-6

- 紙張的結合強度(Bond strength)
  - 每單位面積的平均鏈斷裂能量
  - 單位光學表面面積斷鏈產生的能量
- 鏈結強度分別與相對結合面積和光散射係數的相關
- 結果顯示
  - 隨磨漿進行紙料的游離度的下降
    - 鏈結強度分別與相對結合面積呈增加的趨勢
    - 光散射係數與相對結合面積增加而下降

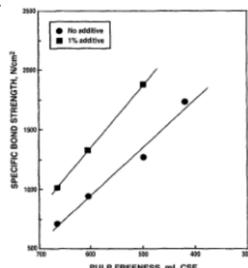
46

### Specific bond strength

#### ● 比結合強度

(Specific bond strength)

- 隨著磨漿的進行而增加
- (上述結果與前述的單位結合面積的結合強度(b)有相似的趨勢)
- 添加合適的強度助劑則更呈增加的趨勢



17. Specific bond strength as a function of pulp freeness for handsheets with and without strength additive

47

### 磨漿對紙張或纖維性質的影響-7

- 比結合強度
  - 隨著磨漿的進行而增加(Specific bond strength)
  - 上述結果與前述的單位結合面積的結合強度(b)有相似的趨勢
  - 添加合適的強度助劑則更呈增加的趨勢

48

## Page equation

The Page equation (13) can be written as follows:

$$1/T = (9/8 Z) + [(12 A p g)/(b P L RBA)] (1)$$

Where

- T = tensile strength, expressed as breaking length (BL)
- A = average fiber cross-sectional area
- p = density of fiber material
- g = acceleration due to gravity
- P = perimeter of fiber cross section
- L = average fiber length
- RBA = relative bonded area.

## 磨漿作業 (Beating or Refining)

50

## Targets of refining

- The target of the refining is to develop fibers to obtain desired properties for paper or board  
零跨距抗張強度
- Physical development of fibers so that they form strong and smooth paper sheet with good printing properties.
- Refining is based on mechanical treatment with metallic bars with the presence of water

51

## Targets of refining

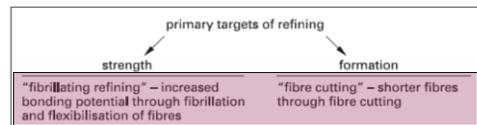


Figure 7.1. Two different primary targets in refining of papermaking fibres, to improve bonding ability of fibres ("fibrillating refining") and to reduce fibre length ("fibre cutting").

52

## Fiber deformation

- By refining, the shape of the fibers is changed. They may be shortened, split length wise, collapsed or fibrillated.
- Refining is done either
  - at low consistency (virgin fibers, secondary fibers) of about 3–6 % or
  - at high consistency (mainly secondary fibers) of about 30 % and more.

53

## Refining processes

- In refining the fibers pass between the bars of the fillings of the stator and rotor of a refiner.
- The operating parameters influencing the result in low consistency refining are
  - geometry (and material) of the fillings
  - net refining energy
  - specific edge load

54

## 影響磨漿的參數

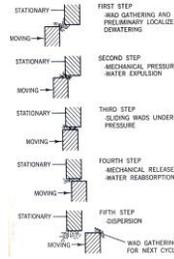
主要可由三大項，漿料、設備及製程參數等，如表

表 影響磨漿的參數		
漿料	設備	製程參數
◆ 樹種	◆ 刀棒尺度及外型	◆ 溫度
◆ 製漿方式	◆ 刀棒面積及刀溝	◆ pH
◆ 製漿程度	◆ 刀溝深度	◆ 濃度
◆ 漂白處理	◆ 有無擋條	◆ 添加物
◆ 纖維長度分佈	◆ 打漿刀的材質	◆ 處理量
◆ 纖維粗細度	◆ 磨損式樣	◆ 施加能量
◆ 化學組成(木質素、纖維素、半纖維素)	◆ 刀棒角度	
	◆ 轉速	

55

## 磨漿的機制

● 圖說明所有的磨漿階段，纖維與刀盤上的刀棒之反應的情形。



在磨漿階段，纖維與刀盤的刀棒上之反應機制。在磨漿初期，纖維絮凝物在刀棒的前緣聚集，在纖維擷取(Pick-up)階段期間，濃度通常是3%~5%

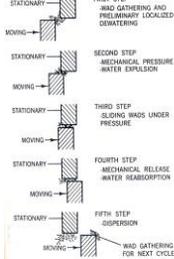
當轉動刀盤(Rotor)刀棒的前緣接近固定刀盤(Stator)刀棒的前緣時，這纖維的絮凝物會受到壓縮且會接受到強烈的衝擊。

因此大部份的水會被壓縮而分離出纖維絮凝物。

56

## 磨漿的機制

● 圖說明所有的磨漿階段，纖維與刀盤上的刀棒之反應的情形。



57

## 磨漿的機制

1. 在最初的時候，纖維絮凝物在刀棒的前緣聚集，在這個纖維擷取 (pick-up) 階段期間，濃度通常是 3~5%，且纖維絮凝物包含的主要是水。
2. 當轉動盤 (rotor) 刀棒的前緣接近固定盤 (stator) 刀棒的前緣時，這纖維的絮凝物會壓縮且會接受到一強烈的衝擊。因此大部份的水會因為壓縮而離開纖維絮凝物。
3. 同時短的纖維具有較低的絮凝能力可能會與纖維絮凝物剝離出來 (peeled off) (離開絮凝物與水在一起) 並且流至刀棒間的刀溝。
4. 僅那些殘留在絮凝物的纖維在二個金屬刀棒之間壓縮並且接受磨漿的作用。

58

## 磨漿的機制

• 二個刀棒的前緣沿著纖維絮凝物滑過且擠向前使得二個平坦的刀棒表面相對。在低濃度打漿中，其平均的刀距是 100 μm，約相當於 2~5 枝膨潤纖維的厚度，或者是 10~20 枝磨潰的纖維 (collapsed fibers)。

• 大部份的磨漿作用是在這個刀角-刀棒表面階段期間完成的，刀棒前緣可以提供機械的處理，且纖維間的摩擦，可以提供纖維絮凝物內部的纖維處理。

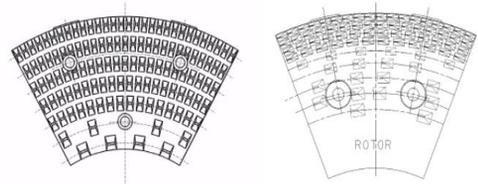


59

## 磨漿的機制

High energy:

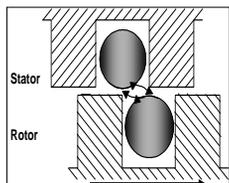
High flow:



60

## 磨漿的機制

- 當轉動盤的刀棒橫過固定盤的刀棒時，在刀棒間的刀溝內會有十分強的旋渦流動，這種現象在纖維擷取階段期間會使得纖維固定在刀角上。
- 如圖中所示假如刀溝太窄，纖維或者纖維絮凝物在刀溝內不能旋轉並且不能促使纖維固定在刀角上。
- 假如刀溝太寬，這些纖維將停留在刀溝中通過磨漿機沒有接受到任何的打擊衝擊。



61

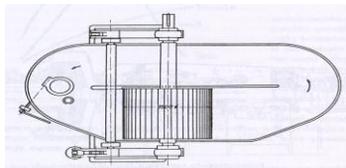
## 磨漿的機制

- 磨漿的結果及程度是決定於打擊衝擊期間在刀角上的固定纖維及絮凝物中的纖維特性。
- 針葉樹紙漿的長纖維很容易固定在刀角上且可以形成強的絮凝物結構，所以在磨漿時不會很容易斷裂。
  - 減少刀距會加速磨漿度的改變且會增加纖維的切斷作用。
- 使用闊葉樹紙漿的短纖維要固定至刀角上是更加的困難，這些短纖維將形成弱的絮凝物結，所以在磨漿時會很容易斷裂。
  - 減少刀距的意思是延緩磨漿且刀棒會很容易接觸。

62

## (三) 磨漿設備

- 1. 荷蘭式磨漿機(Hollander beater)
- 最初的磨漿設備是荷蘭式磨漿機(Hollander beater)。這分批式操作的設備是由一大的開放式的槽體，一附有旋轉刀片組(飛刀組)及附有2-3刀棒的逆向底板所組成(圖19)。



63

## 1. 荷蘭式磨漿機(Hollander beater)

- 批式操作的荷蘭式磨漿機的能源消耗大，但能生產均勻的纖維。
- 另外，磨漿的動力及磨漿的強度可以個別的控制。
- 目前，荷蘭式磨漿機僅用在少數的工廠中且通常使用在特殊的應用，例如在使用磨漿磨漿之前來切斷長的棉花纖維及破布纖維。

64

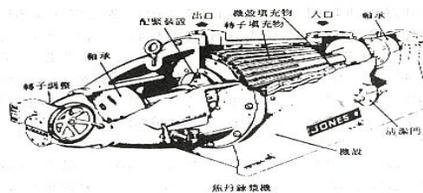
## 2、圓錐式磨漿機 (Conical refiners)

- 在圓錐式磨漿機中，最初的設備是焦丹型式淺角式的圓錐式磨漿機附有完全的軸心(圖22)。
- 這類型的磨漿機的圓錐角度大約是 $10^\circ$ 且其刀盤通常都很粗，這類型的磨漿機被認為可以提供纖維切斷的磨漿效果。
- 可是當刀盤是使用窄的刀棒時，這類型的磨漿機可以做卓越的纖維發展且適合於所有種類的纖維。但因為刀盤更換的困難，且為相當長時間的低處理量機器，使用這種設備的數量持續減少。



65

## 2、圓錐式磨漿機 (Conical refiners)



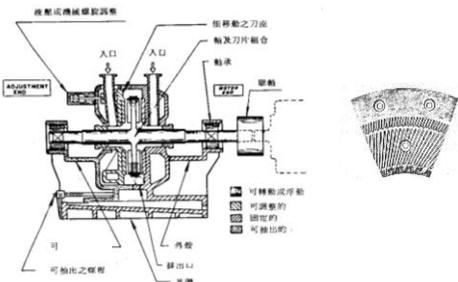
66

### 3. 盤式磨漿機

- 盤式磨漿機族群是由三種型式的磨漿機所組成，即單盤式、雙盤式及多盤式磨漿機。
- 單盤式磨漿機最常使用在高濃度的打漿，在低濃度磨漿的效率沒有辦法來滿足需求。
- 多盤式磨漿機是使用在非常低強度的磨漿，具有非常細的刀盤，最適合機械紙漿的後磨漿，下列的圖形表示紙廠中使用現代化的設備來做化學紙漿的低濃度磨漿
- 在市場上有許多的雙盤式磨漿機，圖21中所示的是 Voith Sulzer及Andritz AG 雙流式(Twin Flo E)雙盤式磨漿機。

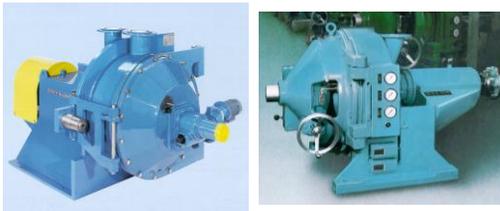
67

### 3. 盤式磨漿機



68

### 3. 盤式磨漿機



69

### 3. 盤式磨漿機

- 使用每一種型號的磨漿機，其實際的動力消耗，處理量，刀盤型式，磨漿強度及濃度值決定於纖維的物理尺寸及纖維的打漿阻力，也決定於所設定目標的磨漿結果。
- 一般而論，長未漂針葉樹牛皮紙纖維是最強的纖維且具有最高的磨漿阻力，然而短漂白闊葉樹牛皮紙纖維是最弱的纖維具有最低的磨漿阻力。
- 因此，長且強得針葉樹纖維比起短且弱的闊葉樹纖維需要較多的能源及使用較粗的刀盤型號。

70