

貳、磨漿的理論

Refining Theories

71

Introduction to refining theories

Refining theory is a mathematical way to describe refining action.

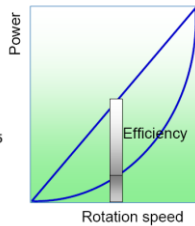
- The first to introduce refining theory was Jagenberg in 1887. This consists term such as **beating area and beating force**, which are still used as a basis.
- The common feature of theories is that the **total refining power** is divided into two components, **net and no-load power**.

72

磨漿機的總動力與無負荷動力

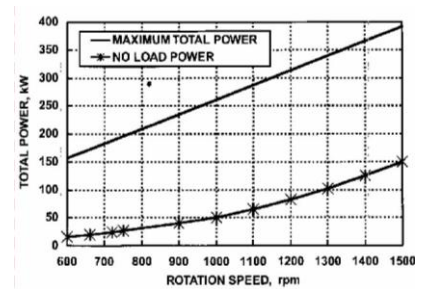
No-load power & maximum loaded power

- $P_{max} = M_t \times 2\pi \times n$
 - M_t max moment
 - n speed
- $P_{idling} = k \times n^{2.3} \times d^{4.5}$
 - k constant
 - n speed
 - d diameter



73

磨漿機的總動力與無負載荷動力



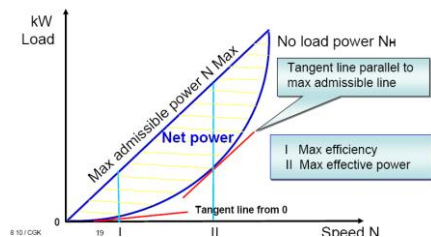
74

盤磨機無負載荷動力比較表

盤磨機(吋)	處理量(t/d)	rpm	Max hp	N.L. hp
12	10-50	1800	175	65
20	20-100	900	300	75
26	40-200	720	500	130
34	75-450	600	1000	210
42	150-1000	514	2200	300
52	375-1500	450	3500	500

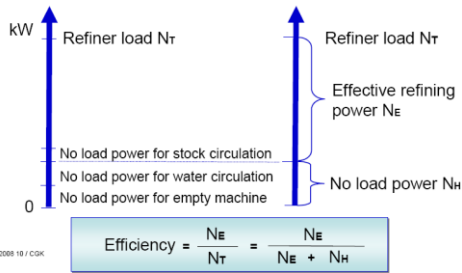
75

Refining Power limits



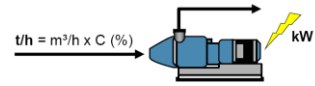
76

Refining Power distribution



77

Amount of refining



$$\text{SRE (kWh/t)} = \frac{N_E \text{ (kW)} = N_T \text{ (kW)} - N_H \text{ (kW)}}{m \text{ (t/h)}}$$

SRE = specific refining energy, SRE, in net kWh/t.

比磨漿動力 (SRE, kWh/t) = P_e / M

淨磨漿動力 (P_e , kW, effective refining power)

78

Specific edge load theory

比邊負荷理論

- The amount of refining is described with the **specific refining energy, SRE, in net kWh/t.**
- The intensity of the refining is described with the **refining impacts in J/m or Ws/m.**

79

Amount of refining

$$\text{SRE (kWh/t)} = \text{IN (km/kg)} \times \text{IE (Ws/m)}$$

The amount of refining is the number of refining impacts multiplied by the energy content of the impacts. It can be calculated also in the conventional manner.

- SRE = specific refining energy, SRE, in net kWh/t.
- IN = Number of refining impacts 衝擊的數目
- IE = Energy of refining impacts 單位衝擊的能量

80

Amount of refining

Number of refining impacts 衝擊數目

$$\text{IN (km/kg)} = \frac{L_s \text{ (km/s)} = \text{CI (km/r)} \times n \text{ (r/s)}}{m \text{ (kg/s)}}$$

This describes how many impacts the fibers receive in the refiner. It does not take into account the refiner load.

切斷速度 (L_s , km/s)
= 切斷長度 (CEL, km/rev) \times 刀盤轉速 (n , rev/s)

81

Amount of refining

Energy of refining impacts

$$\text{IE (Ws/m)} = \frac{N_E \text{ (kW)} = N_T \text{ (kW)} - N_H \text{ (kW)}}{L_s \text{ (km/s)} = \text{CI (km)} \times n \text{ (r/s)}}$$

This describes the amount of energy the fibers receive in the refiner.

This is the same value as the conventional specific edge load value (Ws/m = J/m).

82

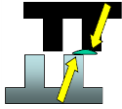
Specific edge load theory

$$\text{SRE, kWh/t} = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{no-load}}}{\text{Production}}$$

$$\text{SEL, J/m} = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{no-load}}}{\text{CEL} \times n}$$

The nature of refining is evaluated by the specific edge load, SEL, which describes the intensity of the refining impacts in J/m or Ws/m.

SEL is the energy applied to fibres from the rotor edge to the stator edge



刀盤的切斷長度
(cutting edge length · CEL · km/rev)

83

比邊負荷理論

- 比鍊漿動力(SRE, kWh/t) = P_e / M
- 比邊負荷(SEL, J/m or Ws/m) = P_e / L_s
 - 其中淨動力 (P_e , kW, effective refining power)
 - = 總動力(P_t , kW) - 無負載動力(P_n , kW)
 - 處理量 (M , kg/s, fiber mass flow)
 - = 流量(F , L/min) x 濃度(C , %)
- 切斷速度 (L_s , km/s, cutting speed of bars)
 - = $Z_r \times Z_{st} \times l \times n$
 - = $\text{CEL} \times n$

84

切斷長度(CEL, km/rev)

- 切斷長度跟刀盤的型式有關
- 刀盤每轉一圈時，轉盤及固定盤刀棒的數目與相對刀棒的接觸的長度(common contact length of opposite bars)
- 切斷長度(CEL, km/rev) = $Z_r \times Z_{st} \times l$
 - 其中 Z_r = 轉盤轉一圈的刀棒數目(1/rev)
 - Z_{st} = 固定盤轉一圈的刀棒數目(1/rev)
 - l = 刀棒有效長度(km)

85

切斷速度(L_s , km/s)

切斷速度(km/s)定義為

磨漿機刀盤的切斷長度(cutting edge length, CEL, km/rev)乘以刀盤的轉速(N , rev/s)。

切斷速度(L_s , km/s)

= 切斷長度(CEL, km/rev) x 刀盤轉速(N , rev/s)

86

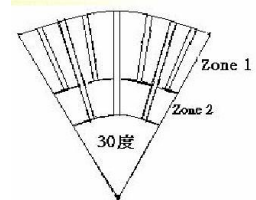
切斷長度(CEL, km/rev)

- 切斷長度跟刀盤的型式有關
- 刀盤每轉一圈時，轉盤及固定盤刀棒的數目與相對刀棒的接觸的長度(common contact length of opposite bars)
- 切斷長度(CEL, km/rev) = $Z_r \times Z_{st} \times l$
 - 其中 Z_r = 轉盤轉一圈的刀棒數目(1/rev)
 - Z_{st} = 固定盤轉一圈的刀棒數目(1/rev)
 - l = 刀棒有效長度(km)

87

切斷長度的計算

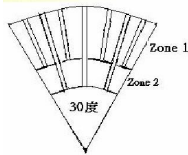
- 刀盤的轉盤及固定盤一般由12片圓形刀盤(360/30)所組成，三根300 mm刀棒及四根200 mm刀棒，刀棒的角度為 0° 。
- 第一區由七根200 mm刀棒組成，第二區則由三根100 mm刀棒組成。



88

切斷長度的計算

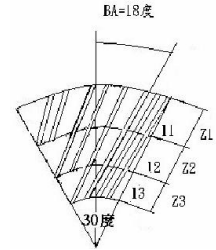
- 第一區 $CEL = 84 \times 84 \times 200 \times 10^{-6} = 1.4112 \text{ km/rev}$
- 第二區 $CEL = 36 \times 36 \times 100 \times 10^{-6} = 0.1296 \text{ km/rev}$
- 合計 $CEL = 1.4112 + 0.1296 = 1.5408 \text{ km/rev}$



89

切斷長度的計算 B

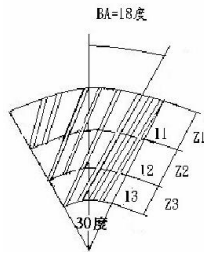
- 刀盤的轉盤及固定盤都是由12片圓形刀盤(360/30)所組成，四根315 mm刀棒、二根210 mm刀棒及二根105 mm刀棒，刀棒為傾斜角度($\cos\theta = 100/105$)。
- 第一區由八根105 mm刀棒組成，第二區則由六根105 mm刀棒組成，第三區則由四根105 mm刀棒組成。



90

切斷長度的計算 B

- 第一區 $CEL = 96 \times 96 \times 105 \times 10^{-6} = 0.9677 \text{ km/rev}$
- 第二區 $CEL = 72 \times 72 \times 105 \times 10^{-6} = 0.5443 \text{ km/rev}$
- 第三區 $CEL = 48 \times 48 \times 105 \times 10^{-6} = 0.2419 \text{ km/rev}$
- 合計 $CEL = 0.9677 + 0.5443 + 0.2419 = 1.754 \text{ km/rev}$



91

比邊負荷

- 假如盤磨機的处理量为100 t/d，淨動力(Pe)為360 kW，轉速(N)為600 rpm，切斷長度(CEL)為20 km/rev，請計算比磨藥動力(SRE)、比邊負荷(SEL)。
 - 比磨藥動力(SRE , kWh/t) = Pe / M
 - 比邊負荷(SEL , J/m or Ws/m) = Pe / Ls
- 切斷速度(Ls , km/s)
 - = 切斷長度(CEL , km/rev) x 刀盤轉速(N , rev/s)
- $SRE = Pe / M = 360 / (100 / 24) = 86.4 \text{ kWh/t}$
- $SEL = Pe / Ls = 360 / (20 \times 600 / 60) = 1.8 \text{ Ws/m}$

92

比邊負荷(SEL)

- 比邊負荷(SEL)的物理意義為刀棒每米長度交錯時，所承受的鍊漿能量亦可視為鍊漿衝擊的強度(intensity of the refining impacts)
- 已被證明可有效的評估不同型式精鍊機的鍊漿程度
- 在相同馬力輸入下，
 - SEL 增加表示切斷長度降低，切斷作用將會增強；反之， SEL 降低表示切斷長度增加，帶化作用將會增強。

93

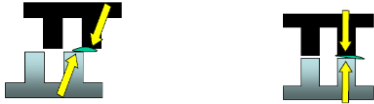
常用紙漿典型比邊負荷(SEL)值

鍊漿應用	比邊負荷(Ws/m)
基本鍊漿	
針葉牛皮漿	5.0 - 9.0
闊葉牛皮漿	2.5 - 4.5
亞硫酸鹽漿	2.5 - 4.5
尤加利漿	0.5 - 1.7
輕度鍊漿(調整用)	
文化用紙	9.0 - 10.0
紙板	9.0 - 12.0
後精鍊	
磨木漿	0.5 - 1.7

94

比面負荷(SSL)理論

- 比邊負荷理論為假設當纖維束或纖維絮凝物在刀棒前緣間(即刀棒角-刀棒角狀態)開始擠壓,有效的磨漿動作開始,接著是刀棒角-刀棒面,一直到刀棒前緣至相對的刀棒尾端為止。
- 比邊負荷理論並沒有考慮刀棒寬度的影響,僅說明在磨漿衝擊期間有多少的淨磨漿動力傳送到纖維上。



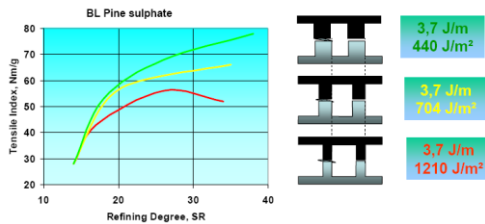
95

比面負荷理論已部份取代比邊負荷理論

- 比面負荷理論已成功的應用在較窄刀棒的鍊漿系統
 - 當纖維膠羽大於刀溝寬時,膠羽會覆蓋在整個刀棒上,而整體受到鍊漿衝擊。
 - 必須記住鍊漿性質同時跟比面負荷及刀棒寬有關,所以當刀溝寬遠小於纖維膠羽時,會嚴重切斷纖維。

96

SEL&SSL



The specific surface load theory is valid when the fiber floc cover the whole width of bar surface

97

Specific surface load theory

the intensity of the refining impacts

- The nature of refining is evaluated by the specific surface load, SEL, which describes the intensity of the refining impacts in J/m^2 or Ws/m^2 .
- SSL is the energy applied to fibers from the rotor surface to the stator surface
- 自轉動刀盤表面倒到固定刀盤表面施以纖維的能量

$$SSL \cdot J/m^2 = \frac{SEL}{IL}$$

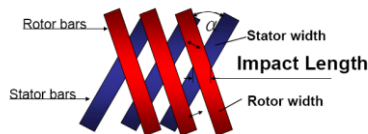


98

Impact length Calculation

Refining intensity

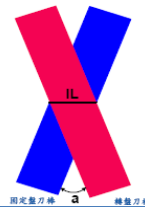
$$IL \text{ (mm)} = \frac{W_{\text{rotor}} \text{ (mm)} + W_{\text{stator}} \text{ (mm)}}{2} \times \frac{1}{\cos \alpha/2}$$



99

Impact length Calculation

- 衝擊長度(IL)與刀棒的寬及角度排列有關
- 衝擊長度(IL, m)=
- [轉盤刀棒寬(Wr, m) x 定盤刀棒寬(Wst, m)] / 2 x 1/cos(a/2)



$$IL = \frac{W_r + W_{st}}{2} \times \frac{1}{\cos \alpha/2}$$

IL = 衝擊的長度
 Wr = 轉盤刀棒的寬度
 Wst = 固定盤刀棒的寬度
 a = 交叉的角度

100

比邊負荷(SEL)值及比面負荷(SSL)值
Valmet Conflo典型

項目	針葉樹漿	闊葉樹漿
鍊漿濃度(%)	3.5-4.5	4.0-6.0
比面負荷 (SSL, J/m ²)	250-1000	150-500
比邊負荷 (SEL, J/m)	0.9-6.0	0.3-1.5
刀棒寬(mm)	3.5-5.5	2.0-3.0

101

比邊負荷(SEL)值及比面負荷(SSL)值
Voith Sulzer DDR型

項目	針葉樹漿	闊葉樹漿
鍊漿濃度(%)	3.5-4.5	4.0-6.0
比面負荷 (SSL, J/m ²)	500	< 500
比邊負荷 (SEL, J/m)	1.5-4.0	< 1.0
刀棒寬(mm)	3.0	2.0

102

比邊負荷(SEL)值及比面負荷(SSL)值

項目	針葉樹漿	闊葉樹漿
鍊漿濃度(%)	3.5-4.5	4.0-6.0
比面負荷 (SSL, J/m ²)	250-1000	150-500
比邊負荷 (SEL, J/m)	0.9-6.0	0.3-1.5
刀棒寬(mm)	3.5-5.5	2.0-3.0

103

常用紙漿典型比邊負荷(SEL)值

鍊漿應用	比邊負荷(Ws/m)
基本鍊漿	
針葉牛皮漿	5.0 - 9.0
闊葉牛皮漿	2.5 - 4.5
亞硫酸鹽漿	2.5 - 4.5
尤加利漿	0.5 - 1.7
輕度鍊漿(調整用)	
文化用紙	9.0 - 10.0
紙板	9.0 - 12.0
後精鍊	
磨木漿	0.5 - 1.7

104

影響磨漿的因子

影響磨漿的參數可以歸類成三項

- 原料
- 設備
- 製程參數

105

影響磨漿之因子- 漿料

- 樹種
- 製漿方式
- 製漿程度
- 漂白處理
- 前處理(例如：乾燥方式、機械性處理)
- 纖維長度分佈
- 纖維粗細度
- 早材/晚材比例(early wood/late wood ratio)
- 化學組成(木質素、纖維素、半纖維素)

106

影響磨漿之因子-漿料

- 在同樣鍊漿條件下，不同的漿料會有不同的鍊漿程度。
- 未漂漿較漂白漿不易鍊漿。
- 乾漿吸水較慢，不若濕漿容易鍊漿。
- 化學漿鍊漿會增加相互鍵結及產生微細纖維，結果為紙力增強及不透明度下降。
- 機械木漿鍊漿會增加相互鍵結及產生更多的微細纖維，微細纖維的增加超過鍵結的形成，導致為紙力稍增及不透明度上升。

107

影響磨漿之因子-磨漿設備

- 刀棒尺度及外型
- 刀棒面積及刀溝
- 刀溝深度
- 有無擋條
- 打漿刀的材質
- 磨損式樣
- 刀棒角度
- 轉速(周圍速度)

108

影響磨漿之因子-磨漿設備

- 對於設備參數對於鍊漿程度的影響，利用20"盤磨機分別安裝兩種不同型式的刀盤來說明
 - 刀盤A為刀棒及刀溝皆為3/16" (6 mm)寬
 - 刀盤B為刀棒及刀溝減半，亦即3/32" (3mm)。
- 當計算在轉速1000 rpm時的每分鐘吋對數(inch-contacts per minute)，刀盤A為95百萬，而刀盤B有280百萬。

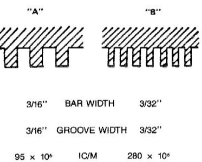
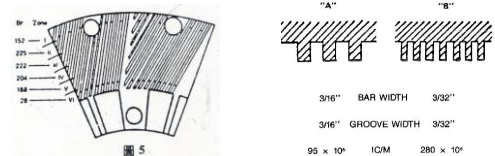
109

3. 磨漿作業

- 使用每一種磨漿機，其實際的動力消耗、處理量、刀盤型式、磨漿的強度及濃度值、決定於纖維的尺寸及纖維的打漿阻力，也決定磨漿結果。
- 一般未漂針葉樹牛皮紙漿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漿纖維是最弱的纖維具有最低的磨漿阻力。

吋接觸理論 (Inch contact theory) 及磨漿機刀盤對磨漿的影響

- 所謂吋接觸理論 (inch contact theory) 是指每一分鐘的刀棒與刀棒間的吋接觸值，每一吋長的鍊漿機刀棒在一分鐘的時間，二相對刀棒的刀片的相對運動的關係
- 在1983年的TAPPI Seminar note中，Stevens曾舉例說明如何計算每分鐘的吋接觸值，IC/M表示之。
- 先把刀片區分為幾個的同心圓，如圖7所示分成 I、II、III、IV、V、VI等六個區域(Zone)。然後依下式，計算出IC/M值。
- $IC/M = 2Σ(BR1 \times BS1 \times L1) + (BR2 \times BS2 \times L2) + \dots + (BRn \times BSn \times Ln) \times RPM$
- 其中為各區域的
- BR：回轉刀棒(Rotor)的數目，BS：回轉刀棒(Stator)的數目，L：刀棒長度。

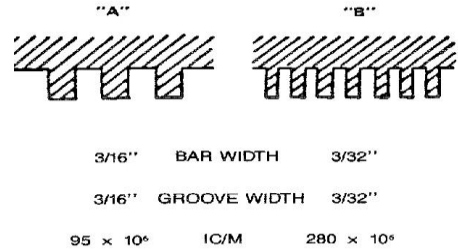


4. 吋接觸理論 (Inch contact theory) 及磨漿機刀盤對磨漿的影響

- 吋接觸理論原理說明了IC/M值與刀盤之刀棒大小、數目、角度、刀溝的尺寸、以及磨漿機的轉速等有密切的關係。在其他條件不變的狀況下，IC/M值此較大者對纖維的切斷作用較少，而內部的帶化作用較多。
- 以圖8的兩種刀棒安裝在20吋直徑的盤式鍊漿機(Disk refiner)刀盤A、B為例，
 - A刀盤中的刀棒寬3/16吋，刀溝寬度也是3/16吋，依據上式所得到的IC/M值為 95.0×10^6 。
 - 而B刀盤的刀棒寬及刀溝寬都是3/32吋，其工IC/M值經上述計算其為 280×10^6 。
- B刀盤的IC/M值較大，因此，鍊漿強度較小，鍊漿後的纖維的平均纖維長度較長、鍵結能力、及紙張的強度均較佳(蔡茂松，1986)。

影響磨漿之因子-磨漿設備

不同型式的刀盤



114

刀盤形狀對於磨漿的影響

表 刀盤形狀對於磨鍊漿的影響

性質	刀盤A	刀盤B
淨能量(hpd/t)	1.3	1.3
IC/min x 10 ⁶	95	280
破裂比	21	27
比撕裂強度	101	112
斷裂長度(km)	4.6	5.1
14 + 30 mesh (%)	32.9	36.5

註：1. 20" 盤磨機，1000 rpm

2. 蘭葉牛皮漿，400 mL CSF

上表說明漂白蘭葉樹漿鍊漿至游離度400mL時，兩種刀盤對於鍊漿程度的影響。刀盤B具有較窄的刀棒及較高的IC/min值，所以有較低的鍊漿強度(帶化鍊漿)，可以得到較高的破裂比、比撕裂強度及斷裂長度，較高比例的長纖維。

115

磨漿機轉速對磨漿的影響

表 轉速對磨漿的影響

	轉速 rpm		
	600	730	1000
淨能量(hpd/t)	6.4	6.9	8.9
IC/min x 10 ⁶	44	52	93
破裂比	40	48	56
比撕裂強度	184	196	210
斷裂長度(km)	4.6	5.1	5.1
14 + 30 mesh (%)	54.8	69.0	72.7

磨漿機轉速改變會影響IC/min及鍊漿強度，表11說明未漂針葉樹漿利用20"盤磨機鍊漿的結果，轉速控制在600、730、1000 rpm。當提高轉速時，所有的物理鍵結強度增加及長纖維比例增加。

另外跟上一範例類似，增加IC/min或降低鍊漿強度，有較高的強度及較高比例的長纖維。

116