

磨漿的基本理論及低強度磨漿技術

蘇裕昌*

Theory of Refining and Low intensity refining

Yu-Chang Su*

Summary

Refining is one of important processes which determine the properties of paper products. And it tended to change with the quality of raw materials and the advancing papermaking technology. As papermaking nowadays uses mainly BHKP from fast-growing plantation wood and secondary fibers which are often shorter, hence, the refining operation needs modification accordingly so as to match other operations of papermaking and provide the required quality. We chose a low intensity refining to minimize fiber cutting while modify the morphology of fibers without altering their length distribution leading to improved paper physical properties.

Key words : Theory of Refining 、Low intensity refining 、Refining mechanism 、Pulp refining 、Principle of refining

一、前言

決定紙製品的特性的的重要工程之一的磨(打)漿作業的方式,隨著製紙原料的品質、抄紙技術的進步等同時有變化的趨勢。由此觀點,由於目前造紙的主要原料來自造林木闊葉樹紙漿(LBKP)與來自於廢紙原料的二次纖維的纖維長度皆有變短的現象,因此在打漿作業也必須有相當程度的轉變,才可配合抄紙工程的各項操作以得到所要求紙張的品質,如檢討以何種打漿的方式、何種打漿程度,才能製備出纖維長不會變短、游離度不會降的太低的紙料,以抄出具有優良的紙張特性的紙張、降低生產成本並提高生產量。打漿的方式當然是不能使用以往的截斷(Cutting)打漿的方式,必須採用儘量保持纖維長、而僅變化纖維的形態去提升紙張力學性質的黏狀打漿(或稱帶化磨漿)或稱之低強度打漿(Low Intensity Refining)。在抄紙機的控制較不成熟的時代,或使用較舊設計的抄

紙機是為了得到紙張強度,打漿是造紙製程中相當重要的技術之一,但對如何打漿才能得到相對的需求特性必需慎重。

二、磨漿的原理及機制

1. 磨漿機的歷史

最初的磨(打)漿設備是荷蘭式磨漿機(Hollander beater),這種批式操作的設備是由一大的開放式的槽體,一附有旋轉刀片的飛刀鼓及附刀棒的逆向底部板所組成(圖1)。批式操作的荷蘭式磨漿機的能源消耗大,但能生產品質較為均勻的纖維。1856年由Kingsland首先開發盤磨機或稱之圓盤式精磨機(Disk refiner),此機形是在水平軸上兩個固定刀盤中間安裝轉動刀盤,所有的刀盤為溝槽面,但是此設備在市場上應用上並不很成功。1858年Joseph Jordan及Thomas Eustice提出錐形磨漿機(Conical refiner)的專利,迴轉體與胴體均為錐形,上附刀棒,供磨漿

用。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 2)。這類型的磨漿機的圓錐角度大約是 10° 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進行卓越的纖維帶化發展，且適合於所有種類的纖維。但因為刀盤更換的困難，且須費相當長時間的低磨漿處理量的機器，使用這種設備的數量持續減少。荷蘭式打漿機及錐形磨漿機為當時市場上主流的磨漿設備。

1950 年錐形磨漿機逐漸退出市場，現代的盤磨機問世，主要有單轉盤 (Single disc) 及雙轉盤 (Double disc) 兩種型式，在 1990 年幾乎所有造紙廠的磨漿作業使用雙轉盤磨機 (Double disc Refiner)，只有殘存少數小型紙板廠及特殊紙廠使用荷蘭式打漿機、或錐形磨漿機。在 2000 年以後，隨著錐形磨漿機技術的改良，可以有較長的磨漿距離及動力較節省的優勢有逐步取代盤磨機的趨勢。

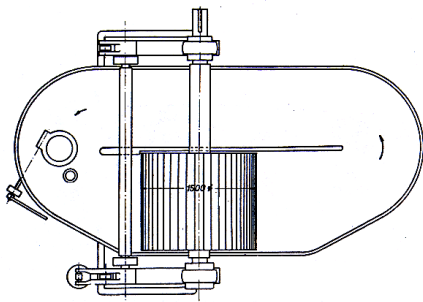


圖 1 荷蘭式磨漿機

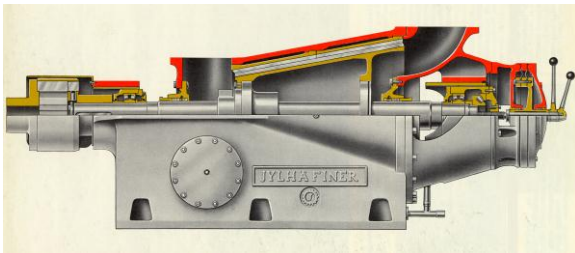


圖 2 焦丹型式圓錐式磨漿機

2. 盤式磨漿機的種類

目前盤式磨漿機是由三種型式的磨漿機，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無法來滿足需求。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作業，下列的圖為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 3 中所示的是 Voith Sulzer 及 Andritz AG 雙流式 (Twin Flow) 雙盤式磨機。



圖 3 Voith Sulzer 及 Beloit 雙盤磨漿機

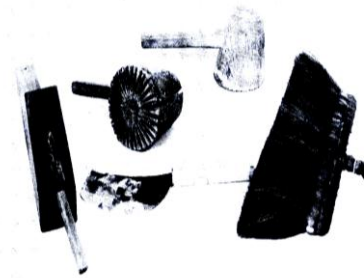


圖 4 早期造紙的打漿作業用工具

3. 打(磨)漿機的變遷與其變遷的背景

(1) 1950 年代前半：打漿的方式由荷蘭式打漿機

(Hollander Beater) 轉換到錐形磨漿機 (Conical Refiner)。

歐洲最早自 1600 年代起便使用之打漿機是在打漿槽中將所有的原料調成工程以一台打漿機完成所有的作業，僅僅以一台打漿機即可構成的備漿工廠，基本上的操作方式是批次的作業 (Batch Operation)，在 1950 年代前半，紙張的需求急速的增高，為因應此背景而上場的是連續式到錐形打(磨)漿機，由於細長的刀棒，可降低纖維所接受的動力、延長在機體內的滯留時間，並可在機內裝有可進行循環的操作的設備。雖然當時電氣儀表技術不如現代精密，但是，細長的錐形刀棒，可以有效的進行刀盤間隙 (Gap) 的調整。當時所使用的磨漿機的刀棒與機械製造技術尚未十分成熟，均非常粗糙，但是對當時的原料，纖維長較長的針葉樹紙漿，已經可進行充分的打漿作業，並足以因應抄紙機的需求。

(2) 1950 年代後半 - 由錐形磨漿機轉換為圓筒型磨漿機 (Cylinder Refiner)。

隨著紙張需求的增高，單使用針葉材紙漿為原料則有原料不足的現象。為了補足原料也採取闊葉樹紙漿為原料，與製漿技術的配合，從磨漿的觀點，因闊葉樹紙漿的纖維長僅有針葉樹紙漿的 1/3 以下，在磨漿機時必須有相互對應的技術。但當時尚無對應進行如此短纖維打漿的所需之纖細的刀棒的製造技術而碰到瓶頸。因此開發使用天然火山岩之玄武岩做為打磨漿機刀盤的刀棒，而得到技術的突破。玄武岩具有無數的細小氣泡穴，為了以岩石加工做為磨漿的刀棒，轉動刀盤必須改成愈單純、愈不易破損的圓筒形 (Cylinder)，其具有由側面 4 個方向的固定刀盤壓著構造的圓筒型磨漿機 (Cylindrical Refiner) (圖 5)。

(3) 1960 年代：往盤磨機 (Disc Refiner) 的轉換紙張的需求再度的增高，以天然岩石做為磨刀盤的刀棒的玄武岩刀棒型磨漿機無法製造大型機器，而形成製造瓶頸，當時隨著軍事開發、宇宙開發等的時代背

景同時對鑄造、機械加工、電裝等的技術有飛躍式的進步，內裝盤型刀棒的盤狀磨漿機 (Disc Refiner) 被開發應用。緊接其後，為求更有效率化在轉動刀盤 (Rotar) 的兩面可同時進行打磨漿的雙盤式磨漿機 (DDR: Double Disc Refiner) 因此誕生 (圖 6)。DDR 的構造簡單，圓盤上打漿用的刀棒的製造及(磨)漿刀棒的裝卸均容易，所需要的刀棒的形狀，排列幾乎可完全配合磨漿的需求。更由於抄紙技術的進步，即使將纖維以截短式打漿的紙料，也可抄製交織良好且得到充分紙力強度的紙張，而且所使用的磨漿動力原單位非常小，即使到目前為止，雙盤式打漿機的本體的構造也沒有太大變化。

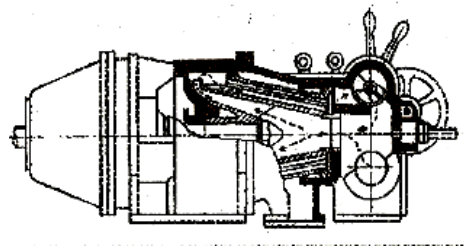


圖 5 圓筒型磨漿機

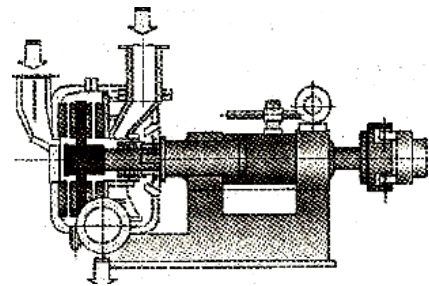


圖 6 雙盤式磨漿機

4. 磨漿的機制

磨漿或打漿 (Refining 或 beating) 的目的是將纖維進行機械處理及修飾，以期得到所需品質的紙張或紙板。對於製造高品質的紙張或紙板而言，準備造紙

漿料時，磨漿是一個最重要的單元操作。早期造紙的磨漿 “Beating” 作業是使用一支棒子手動搥打紙漿，一般普遍使用（圖 4），然而到了今天仍然某些傳統的紙種仍然在使用，早期一般普遍使用。磨漿作業的設備是荷蘭式打漿機 (Hollander Beaters) 的打漿 (Beating)。但是現在有各種型式的磨漿機 (Refiners) 來取代打漿機 (Beaters) 並且廣泛的使用 “Refining” 這個字。事實上，“Beating” 及 “Refining” 這二個字是同義的，但是此處的 “Refining” 是用來說明使用磨漿機對纖維所做的功。

磨漿的主要目的，使纖維的內部帶化及外部帶化，前者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，以調整纖維的帶化程度 (Degree of Fibrillation) 及纖維可壓潰 (Collapseability) 的性質，已達到改善纖維間的鍵結形成能力，因而可以形成具有良好印刷品質強且高平滑度的紙張。有時也用來截短過長的纖維，以期得到良好的交織、或者發展其他的紙漿品質，例如吸收性、透氣度、或光學上的性質。

最普遍使用的磨漿方法是使用金屬的刀盤在水溶液的狀態下來處理纖維，刀盤 (plates) 是帶有刀棒及刀溝，如此刀棒用來處理纖維，刀棒間的刀溝可以容許纖維通過磨漿的設備。圖 7 說明在磨漿階段，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。同時具有較低的絮凝能力短的纖維可能會被從與纖維絮凝物剝離出來 (Peeled off)，並且流至刀棒間的刀溝，僅那些殘留在絮凝內的纖維被壓縮在二個金屬刀棒之間接受到磨漿的作用。

在上述的階段之後，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，其平均的刀距約為 $100 \mu\text{m}$ ，約相當於 2~5 枝膨潤纖維的厚度，或者是 10~20 枝可被壓潰的纖維 (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，且纖維間的磨擦力，可以提供進行纖維絮凝物內部的纖維處理（圖 8）。

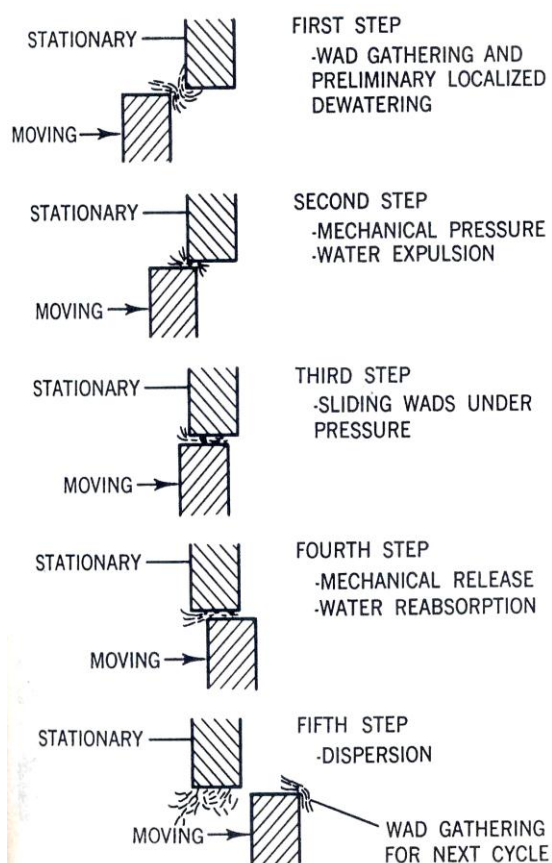


圖 7. 磨漿的機制 (Smook, 1992)

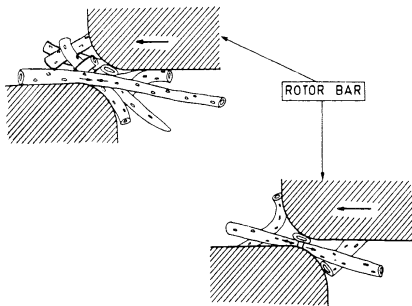


圖 8. 纖維的磨漿 (Smook, 1992)

表 1. 影響磨漿的參數 (李志良, 2006)

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	刀盤磨損式樣	施加能量
化學組成(木質素、纖維素、半纖維素)	刀棒角度 轉速	

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。因此，長且強的針葉樹纖維比起短且弱的闊葉樹纖維需要較多的能量消耗、及使用較粗的刀盤型號。影響磨漿的參數主要可由三項，漿料、設備及製程參數等，如表 1 (李志良, 2006)。

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

如上述磨漿設備之主要影響因子為 1. 刀棒尺度及外型。 2. 刀棒寬及刀溝寬。 3. 刀溝深度。 4. 打

漿刀棒的材質。 5. 刀棒磨損式樣。 6. 刀棒交叉角度。 7. 刀盤的轉速 (周圍速度)。

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。先把刀盤上刀棒區分為幾個的同心圓，如圖 9 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。

$$IC/M = 2 \sum (BR1 \times BS1 \times L1) + (BR2 \times BS2 \times L2) + \dots + (BRn \times BSn \times Ln) \times RPM$$

其中為各個區域的 BR：回轉刀棒 (Rotor) 的數目，BS：回轉刀棒 (Stator) 的數目，L：刀棒長度。

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 10 的兩種不同設計的刀棒安裝在 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 值為為 95.0 x 10⁶。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 x 10⁶，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、鏈結能力、及紙張的強度均較佳 (蔡茂松, 1986) (Lee et al., 2003) (Casey 1980)。

對於磨漿的影響結果如表 2 及表 3，結果顯示漂白闊葉樹漿磨漿至游離度 400 mL 時，兩種刀盤對於磨漿程度的影響。刀盤 B 具有較窄的刀棒、及較高的 IC/min 值，所以有較低的磨漿強度，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。

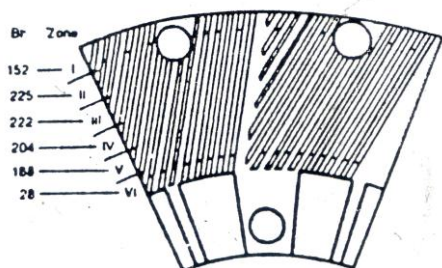


圖 9. 刀盤上刀棒的區分分成幾個同心圓 (蔡茂松, 1986)

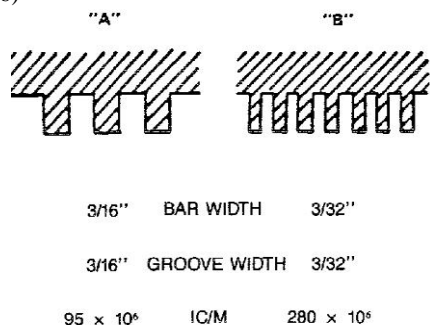


圖 10. 不同的刀棒設計的刀盤 (蔡茂松, 1986)

改變磨漿機轉速改變會影響 IC/min 及磨漿強度，表 3 的結果說明未漂針葉樹漿利用 20” 盤磨機磨漿的結果，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，IC/M 值增加、而達到降低磨漿強度，而使成紙有較高的強度、及較高比例的長纖維。

(二)原料紙漿的現狀與紙製品抄造時所發生的問題

1. 使用 LBKP 紙漿抄製紙張

如圖 11 所示，最近 LBKP 紙漿是由造林木所生產，其纖維長、游離度有急速的下降。不像天然林之木片，其原料木片包括各種樹齡齡級的混合木材，可以想像的是這些木片皆為同環境在相同的短期間育成，木材之纖維長短且不一致可想而知。因未經打

(磨)漿作業的原料紙漿其游離度本身就低，即使不經充分之打(磨)漿作業也可容易達到目標值，濕紙匹的強度低，從伏轆輸送到烘缸的過程中，發生斷紙的頻度變高等問題的發生。

表 2 刀盤形狀對於磨漿的影響

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. 闊葉牛皮漿，400 mL CSF

表 3 刀盤轉速對磨漿的影響

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)	7.7	8.4	8.9
14 + 30 mesh (%)	54.8	69.0	72.7

註：1. 20”盤磨機，刀盤 A

2. 針葉牛皮漿，400 mL CSF

相反的，為了得到高強度而進行進強度打(磨)漿，所得之紙料的游離度則過低。導致抄紙時濾水性低、抄紙效率下降、紙張的高度過低，因此不得不增加基重，對生產效率及成本均有莫大損害。除此之外，更為了降低紙料調成打(磨)漿機動力原單位，幾乎所有的打(磨)漿均裝設使用截短型打(磨)漿刀棒，經過打(磨)漿的 LBKP 紙漿之纖維長愈來愈短，沒有充分帶化而對導管等的保持能力差 (照片 1)，而導致導管剥起 (Vessel Picking) 問題的發生 (蘇裕昌，

2006)。同樣的原因也導致所抄製紙張的內部的纖維結合力下降，而有紙張的強度過低的問題發生。

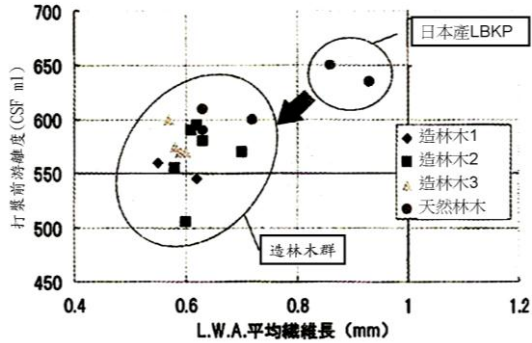
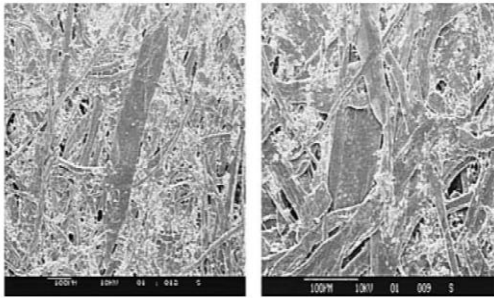


圖 11.最近 LBKP 的纖維長及游離度

鬆散結合

緊密結合



照片 1 紙張表面導管的結合狀態

(五) 使用回收瓦楞廢紙 (OCC) 脫墨漿 (DIP) 等抄製紙板

最近由於回收瓦楞廢紙 (OCC) 脫墨漿 (DIP) 等來自回收廢紙漿的利用率的增加，而更使廢紙纖維短纖維化的問題更為嚴重。OCC 未打(磨)漿，經除塵之完成原料的游離度僅為 430~380 ml 左右，ONP 的 DIP 的游離度更是非常的低，僅為 220~200 ml 左右，呈現不宜再進行打漿的狀態。與前述 LBKP 同樣，不需充分磨漿就達到抄紙目標的游離度，導致成紙無法消去白斑、色斑等造成外觀性質不佳、及表層紙力不足，而在畫線作業時裂開、漿料脫水性不佳，導致層間剝離、橫向分布惡化而使原紙產生皺

紋、貼合不良等問題的發生。

四、盤式磨漿機(盤磨機)的基本及動力消滅對策

(一) 刀盤圖樣 (Disc pattern) 的基本設計原理如圖 12。

1. 刀棒幅、溝幅、溝深(刀棒高度)、刀棒間隔

(1) 依據原料種類、濃度選定溝幅，以確保纖維在溝內能自由運動，同時考量刀棒角度與送漿(Pumping)作用的關係，LBKP 一般的使用 2.0~3.5mm、NBKP 3.0~5.0mm 的溝幅。

(2) 刀棒幅與溝幅的關係

標準的設計為 1 比 1，截斷打漿(游離打漿)則採用刀棒幅<溝幅，黏狀打漿(濕式打漿)則採用刀棒幅>溝幅。

(3) 溝深(刀棒高度)

視材質必須能耐受作業時之彎曲應力，一般溝深在刀棒幅的二倍以內，溝深淺則纖維容易登上在刀棒邊緣，導致容易打漿。但溝深太淺則容易阻塞漿料，發生固定刀盤溝內無回流漿流的現象，刀盤壽命變短。溝深太深則纖維容易直接通過，會有輸送作用(Pumping action) 過強的現象。

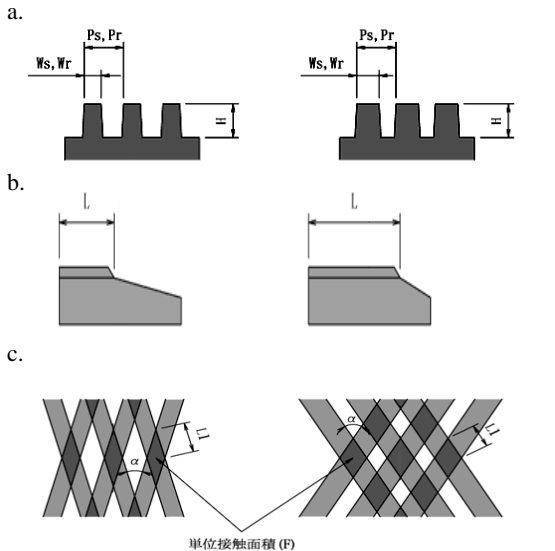
2. 刀棒的長度

與切斷長度 (Cutting length; or cutting edge length) 有關。刀棒愈長則切斷長度(或吋接觸)增大，則有愈大的接觸面積，在同一動力負荷下單位接觸面積所受的力愈小，因此為黏狀打漿。

3. 轉動刀盤刀棒與固定刀盤刀棒的交叉角度：

標準的轉動刀盤刀棒與固定刀盤刀棒的交叉角度一般為 10~20 度，與切斷長度有關，為了得到愈大的與切斷長度則角度愈大。交叉角度變大則刀棒物接觸面積變的愈大、所夾角度為鈍角。纖維不易被切斷、呈黏狀打漿(濕式打漿)傾向。輸送作用變強、

能量損失 (Energy loss) 變大。交叉角度變小：與上述呈相反的現象、有截斷打漿 (游離打漿；Free beating) 之傾向。



- a. 刀棒幅、溝幅、溝深 (刀棒高度)、刀棒間隔、
- b. 刀棒的長度(L)
- c. 轉動刀盤刀棒與固定刀盤刀棒的交叉角度 (α)

圖 12 刀盤圖樣 (Disc pattern) 的示意圖
(<http://www.ohhara-machinery.co.jp/technology/ddisc.html>)

(二) 磨漿作業的基本知識

磨漿機的能量消費可以劃分為 (1) 轉動移動刀盤所消費之動力。(2) 轉動刀盤所產生之送漿作用所消費之動力。(3) 纖維磨漿 (Refining)或打漿所消費之動力。轉動移動刀盤所消費之動力及對實際磨漿無效的動力(約占全磨漿動力的 30%，其中又可以分 1. 無負荷運轉動力。2. 發熱消耗動力。3. 送漿作用動力)。

影響 1、2、3 之因子，為 (a) 刀盤之刀棒高度。(b) 二刀盤刀棒之交錯角度。(c) 刀盤的外徑及周速。(d) 固定刀盤與轉動刀盤的間隙。(e) 軸承與墊片之間隙等有關 (如圖 13)。

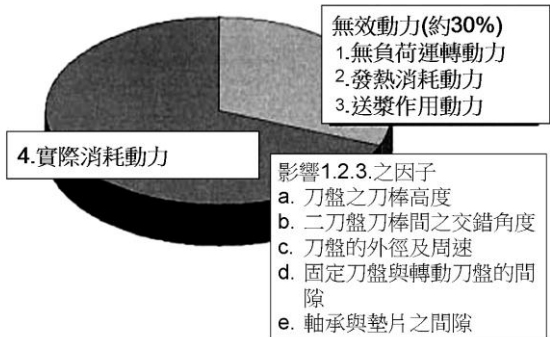


圖 13. 磨漿機能量消費的劃分(金沢，2008)

(三) 影響磨漿機磨漿動力原單位之因子

1. 磨漿機的操業條件 (動力負荷率)：處理原料濃度及原料通過量。
2. 磨漿機的設計條件 (磨漿機的轉數)：刀盤的形狀、刀盤的材質。

(四) 動力負荷率與動力原單位的相關

1. 重視動力原單位時以在磨漿機的 100% 負荷下操作為宜。
2. 單位刀盤面積適當的負荷 0.12 ~ 0.15 HP/cm²，即 14 吋為 75~110kW、20吋為 190~220kW、26 吋為 300~350kW、34 吋為 600~650kW，比此值高、或比此值低，其動力原單位有變差的傾向。
3. 由於針葉樹紙漿纖維強韌、無法不在低負荷率下進行磨漿動力原單位變差。闊葉樹紙漿若過度負荷，則轉動刀盤與固定刀盤的接觸壓太高、闊葉樹纖維太短較難登掛上刀面而使動力原單位動力變差。

(五) 漿料濃度與動力原單位的關係 (圖 14)

1. 一般的推薦的濃度：NBKP 3.0~3.5%、LBKP 4.0~4.5%。
2. 針葉樹紙漿：濃度太高則刀盤盤面上之原料呈紙層 (Mat) 狀，動力無法傳到每根纖維的

磨漿的基本理論及低強度磨漿技術

狀態，無法進行有效磨漿、動力原單位動力變差。

3. 闊葉樹紙漿：濃度太低則纖維自刀盤之刀棒溝間流出、無法進行有效磨漿，動力原單位變差。
4. 高收率 BKP：高收率 LBKP 或一些闊葉樹紙漿與針葉樹紙漿有相同的磨漿性，實際使用紙漿時必須詳細把握紙漿的性質，並使用一定規格的紙漿，視紙漿性質以適合的原料濃度處理為宜。

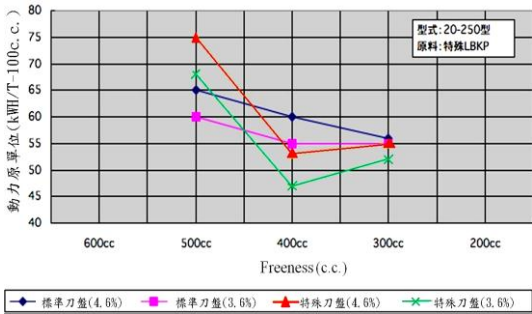


圖 14.處理漿料濃度與動力原單位的關係(金沢, 2008)

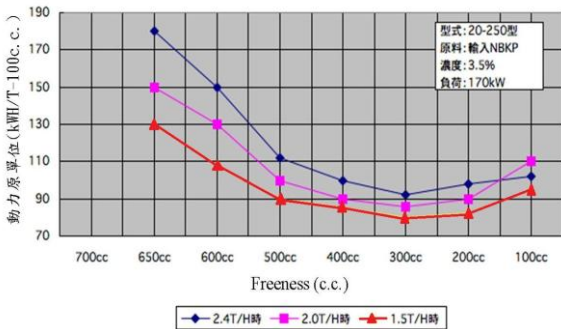


圖 15. 處理量與動力原單位的相關 (金沢, 2008)

(六)原料通過量與動力原單位的相關 (圖 15, 16)

1. 一般的 DDR 原料通過量以下表所顯示之值為宜，依據刀盤面積的大小選擇適當的處理量，比建議值高或低均有動力原單位變差的傾

向。

2. 容易磨漿的原料：高蒸解度紙漿、赤松、日本闊葉樹紙漿通過量較細表所示之量越多動力原單位越低。
3. 不易磨漿的原料：輸入針葉樹紙漿、一些輸入闊葉樹紙漿通過量較少動力原單位差。

表 4. 一般 DDR 磨漿機的常用原料通過量值

	14-150 型	20-250 型	26-400 型	34-800 型
LBKP	24-36T/D	40-60T/D	64-96T/D	128-192T/D
NBKP	15-21T/D	25-35T/D	40-56T/D	80-112T/D

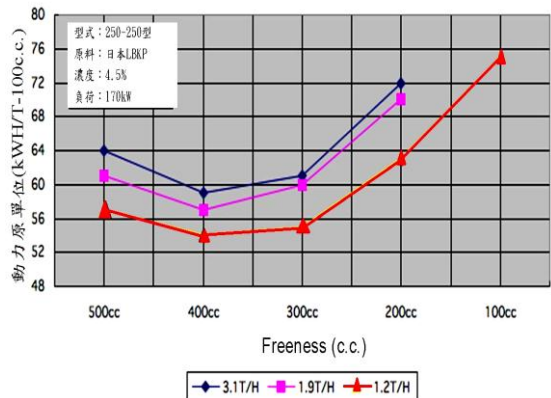
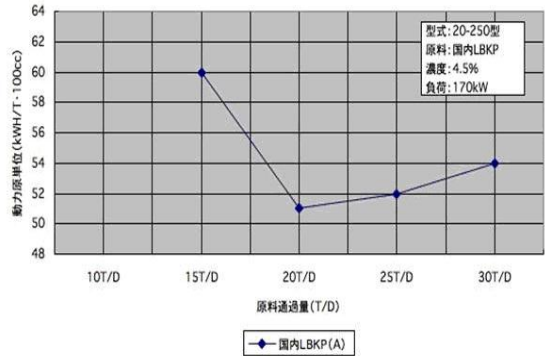


圖 16. 原料通過量與動力原單位的相關 (金沢, 2008)

(七) 刀盤的轉數與動力原單位的相關 (圖 17)

1. 增加刀盤的轉數：離解、結束纖維解織的促

進、降低纖維的截斷及帶化程度。

2. 降低下刀盤的轉數：促進纖維的截斷、離解、結束纖維解纖的降低。
3. 回轉數的調整：變化磨漿特性...但作為動力原單位的調節手段不適當。
4. 適當的刀盤的轉數：20-250型 DDR 880rpm，刀盤周速以 23~26 m/sec 為適當。

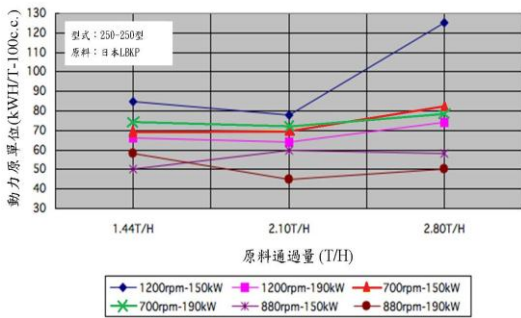


圖 17. 刀盤的轉數與動力原單位的相關

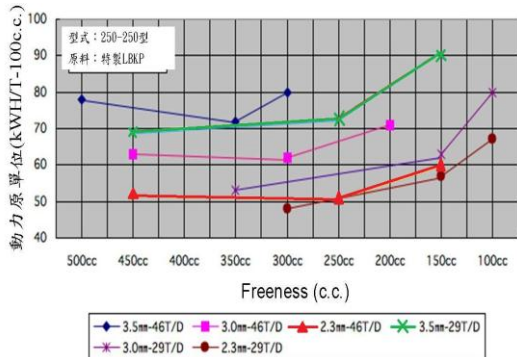


圖 18. 刀盤形狀與動力原單位關係

(八) 刀盤的的形狀與動力原單位的相關 (圖 18)

1. 是影響動力原單位得最大因子。
2. 刀盤的設計因子：刀棒幅、溝幅、溝深（刀棒高度）、刀棒間隔、交叉角度、材質。
3. 刀盤形狀對磨漿特性（Free beating、Fibrillation、defiberating、deshieving）的影響

必須由降低動力原單位、與磨漿特性兩方面的影響檢討。

4. 一般的刀盤與動力原單位相關的特性可以用切斷長度理論說明。切斷長度越大則在刀緣的磨漿作用越多，磨漿效率愈高 (圖 19)。

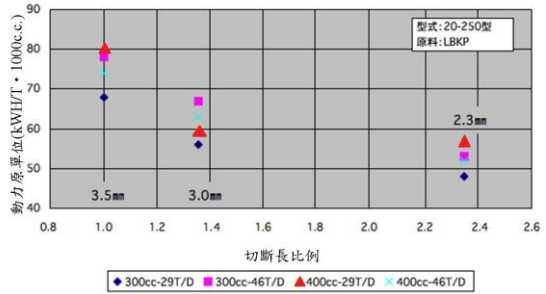


圖 19. 切斷長度與動力原單位的相關

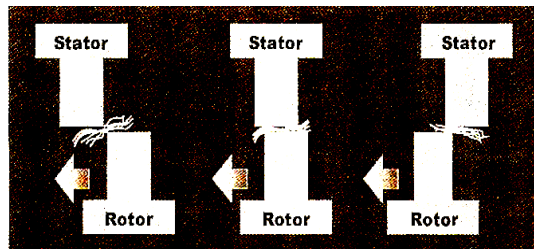


圖 20. 黏狀磨漿的機制

(九) 刀盤的與材質動力原單位的關係

1. 基本材質

- (1) 自成型...硬度高但相對的壽命短、能保持刀棒邊緣的銳度。依刀棒面的可濕潤度而改變其磨漿特性。
- (2) 耐磨耗型...硬度高、具延展性、壽命長。刀棒邊緣易變圓。依切斷長度(cutting edge length)不同，其動力原單位也隨之變化。

2. 可濕潤強度(Wetting ability)大的材質即使其切斷長度低也可降低動力原單位。



圖 21. 兩類打漿特性與伸張性的發生(藤田, 2007)

五、以低強度磨漿 (Low Intensity Refining) 方式磨漿的解決上述之問題

上節所討論由於原料紙漿的現況，與導致抄製作業及紙製品問題的發生，對已經短纖維化的纖維長度，不能再進行截短的打漿方式，必需採用保持纖維長而改變纖維形態之黏狀磨漿 (= Low Intensity refining ; 低強度磨漿) ，此處黏狀磨漿未必與低強度磨漿完全相同，但兩者皆是為了使短纖維抄紙時以強度增加為目的所進行磨漿的作業。黏狀磨漿的概念如圖 20 所示，纖維登上轉動刀盤 (Rotar) 在磨漿刀棒的刀面上，與固定刀盤 (Stator) 間進行擠壓、磨擦方式的磨漿。磨漿後的纖維的形狀如圖 21 所示，仍舊

保有纖維長度，但纖維表皮開裂而有高帶化作用形成纖毛帶化結 (Fibril Code) 被壓潰成絲帶狀、扭曲 (Twist) 狀、扭結 (Kink) 狀、捲曲 (Curl) 狀等形態上的變化。如以製備紙袋用的 NUKP 的黏狀打(磨)漿為例，由於打漿後形成多數的帶化性的纏繞、或扭曲之纖維本身有伸長強度的增加效果，而得到以一般截短打漿下很難得到的紙張抗張強度。

纖維被刀角部分所捕捉而登上刀棒面 在刀棒面上纖維受到壓迫而接受到磨擦作用 固定刀盤的刀棒與轉動刀盤的刀棒交叉完成磨漿作業

Refining Intensity (Specific Edge Load) (W s / m)

$$= \frac{\text{打漿動力}}{\text{切斷長度}}$$

切斷長度 (Cutting Length per Second) (m / s)

$$= N_s \times N_r \times L_x \times \text{rpm}$$

固定刀棒的數目: N_s ，回轉刀棒的數目: N_r ，刀棒長度: L_x ，轉盤之轉數: rpm

圖 22. 磨漿理論與 Refining Intensity (比邊負荷理論) 理論的比較 (藤田, 2007)

(一) 實施低強度磨漿之方案 (方案 1)

一般常被提出的打漿刀棒的磨漿強度值 (Refining Intensity = 比邊負荷) 如圖 22 所示，以打漿動力除以切斷長度 (Inch Cut ; Cutting Length Per Sec) 所得數值評估之。打漿強度值愈高則愈傾向於截斷打漿，愈低則愈傾向於黏狀打漿。由此計算出式為了降低打漿強度值，則必須加大分母切斷端長度的數值，要使 Inch-Cut 愈大必需 (a) 提高回轉數。(b) 增高刀棒數。(c) 增加刀棒長度，等對策 (如圖 23) 。

1. 提高切斷長度
 - (1) 增加刀棒的數目。
 - (2) 提高刀棒的長度。
 - (3) 提高轉盤轉速。
2. 降低打漿動力



為了使每支之原料纖維所受之衝擊變小之方案

1. 增加刀棒之作用點(交叉點)、使動力分散。
2. 提高打漿機內漿料的濃度(密度)。
3. 使多數原料容易登到刀棒面上。

圖 23 由切斷長度理論所推導出低強度打漿方案

(1) 轉動刀盤轉數的影響

轉動刀盤轉數愈高則切斷長度變大，但同時無負荷動力也隨之變大，結果則導致為轉動刀盤之外周速太高、太低均會使磨漿動力原單位變高。但是轉速變高則原料離解或解纖 (Deshieve) 能力變大，轉速降低則纖維截斷的傾向增高。

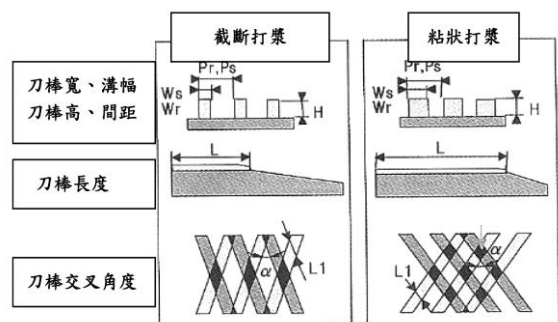


圖 24. 磨漿機刀盤構造、轉速與打漿特性

(2) 增加刀棒數目

增加刀棒數目則必須調整刀棒幅、溝幅的大小等因子，如 (a) 刀棒的最小值：視刀棒材質及否最小的棒幅在運轉中能耐的住彎曲應力等而決定。(b) 溝幅的最小值則必須考量在刀棒溝內纖維是否能自由運動、阻塞問題、通過流量等限制而決定 (圖 24)。此

處覺得有趣的是磨漿理論中沒有討論有關刀棒幅與溝幅的比率之綜合影響因子 (Cofactor)。一般標準的打(磨)漿之刀棒的刀棒幅等於溝幅 (刀棒幅 = 溝幅)，溝幅較刀棒幅小 (刀棒幅 > 溝幅) 者則有黏狀打(磨)漿傾向，相反的，溝幅較刀棒幅大 (刀棒幅 < 溝幅) 者則有打(磨)漿的傾向。

(3) 增加刀棒的長度 (圖 23)

增加刀棒的長度有以下的 2 種方法，各有其如下述之必須注意事項。

a. 降低刀棒內徑(刀棒的開始點之內徑側)：最內徑開口之刀棒溝入口的數目被限制住，必須注意不能超過漿流阻塞的問題、或通過流量等的限制。一般刀棒內徑小者有黏狀打(磨)漿傾向，內徑較大者則有截斷打(磨)漿傾向。 b. 加大刀棒交叉角度：二刀盤之刀棒之交叉角度變的過大，原料的送漿 (Pumping) 作用變大，會多消費與打(磨)漿無關之能量。角度過小則作用送漿作用太弱，導致原料阻塞的發生。無角度 (刀棒呈放射狀) 刀棒的刀棒全長同時交錯時，棒的摩擦聲音大、且浪費動力，一般，刀棒交叉角大者屬黏狀打(磨)漿傾向，刀棒交叉角小者屬於截斷打漿漿傾向。

(二) 低強度磨漿 (方案 2)

實施低強度磨漿另一個解決的法就是將計算磨漿強度 (Refining Intensity) 的計算式中的分子的打(磨)漿動力變小。但是單純將磨漿動力變小會導致磨漿效率降低。此處磨漿動力是指每根纖維通過一次磨漿所接受的動力或衝擊 (Impact)。降低衝擊力的方法為 1. 增加刀棒作用點 (交叉點)。2. 提高磨漿機內的原料濃度(密度)。3. 使多數原料纖維容易登上刀棒面等。以分散磨漿動力的方法。

1. 增加刀棒作用點(交叉點)

增加刀棒作用點(交叉點)的方法可以看為與增加切斷長度相同。如圖 8 所示，刀棒與間隔 1/2 若刀棒數增加 1 根，則單位面積之交叉差點數字 4 個增加

為 9 個交叉點呈大幅度的增加。刀棒作用點(交叉點)增加則切斷長度也隨之增加，磨漿動力原單位降低。以此觀點為基礎，如照片 2 的刀棒模式，具小的間隔的磨漿刀棒也具探討的價值。

2. 提高磨漿機內的原料濃度

提高磨漿機內的原料濃度(密度)，也有單純的將原料處理濃度提高的方法，但是將料阻塞篩或送漿能力上也有其極限。一般濃度愈高越趨近於黏狀打(磨)漿，濃度愈低越趨近截斷磨漿，但是本節擬更進一步追求錐型盤磨機 - 「ADC 型雙錐形盤磨機」(圖 25)的原理與以為解決的方案。

3. 使多數原料纖維容易登上刀棒面

為了使多數原料纖維容易登上刀棒面的方法，單純的將刀棒間之溝幅變窄，即前述之(刀棒寬/溝幅)的刀盤，但是此種改變可能導致原料阻塞或處理流量的限制問題點。此處如上項可參照「ADC 型錐形盤磨機」的原理及解決方案。除此之外，計算磨漿強度(Refining Intensity)的計算式中未考量處理原料濃度或原料處理量等因子。低強度磨漿一般只依據的計算式，在實際磨漿作業有檢討的必要。

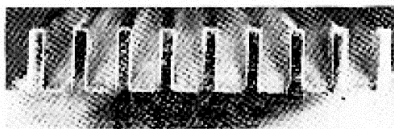
一般的磨漿刀棒例

刀棒寬 2.5mmx 溝幅 2.5mm



刀棒間隔減小的磨漿刀棒例

刀棒寬 1.0mmx 溝幅 2.0mm



照片 2. 低強度磨漿用刀棒的模式圖

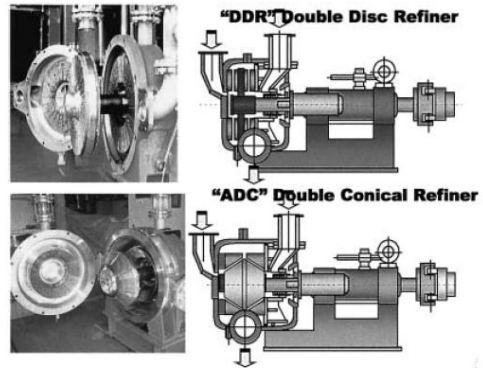


圖 25. DDR 與 ADC 磨漿機的構造比較

六、以 ADC (Aikawa Double Conical Refiner) (圖 25) 進行低強度打(磨)漿

(一) ADC 型與 DDR 打(磨)漿的特徵

圖 26 比較說明以同一外徑尺寸吋盤 (Disc) 型與錐形 (Conical) 打(磨)漿機打漿，錐型者的刀棒面積約大 30%。相反的，若要確保相同(磨)漿面積錐型者可縮小外徑尺寸。20 吋級的錐型者可較盤型縮小約 10% 外徑尺寸，外徑尺寸愈小所消費的無負荷運轉動力愈小，消費動力越小的優點。圖 26 顯示 ADC 200 型的無負荷運轉動力，較 AWN 20 型可降低約 30% 的無負荷運轉動力。除此之外，兩者的固定刀盤與回轉刀盤間的打(磨)漿作用，如圖 27 所示，應該有很大的不同。盤磨機的打(磨)漿，由於回轉刀盤的高速旋轉，原料由內周側飛往外周側，僅有很短時間，由於回轉刀盤與固定刀盤的交錯，使刀棒邊緣與刀棒面之紙漿纖維磨擦，進行纖維截斷或帚化。雙錐形磨漿機 (Double Conifiner) 與上述雙盤式磨漿機 (Disc Refiner) 具有相同的作用機制，由旋轉回轉刀盤之刀棒所產生之離心力，將紙漿纖維往固定刀棒方向壓擠，局部將原料濃度 (密度)提高，每支刀棒上所登上之纖維支數增加，因而在固定刀棒表面有多數纖維進行打(磨)漿的狀態，而呈對纖維衝擊較小的低強度打漿。

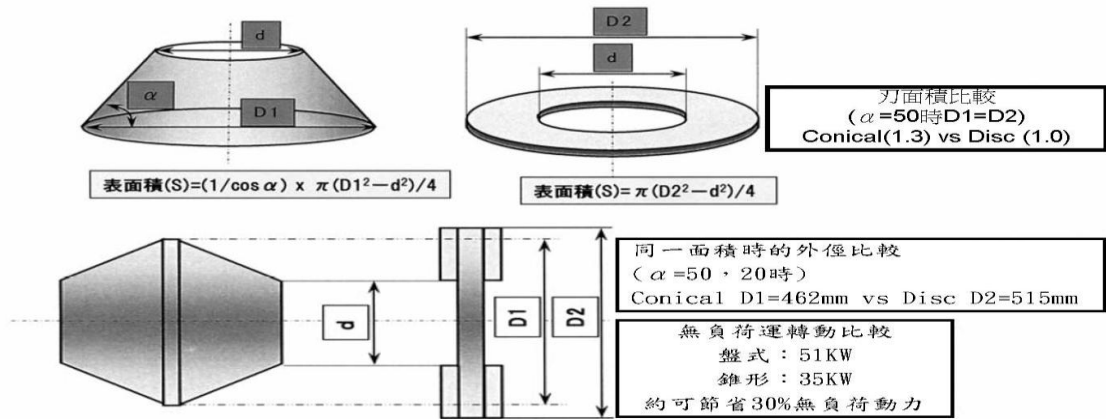


圖 26. DDR 與 ADC 之磨漿刀盤比較 (藤田, 2008)

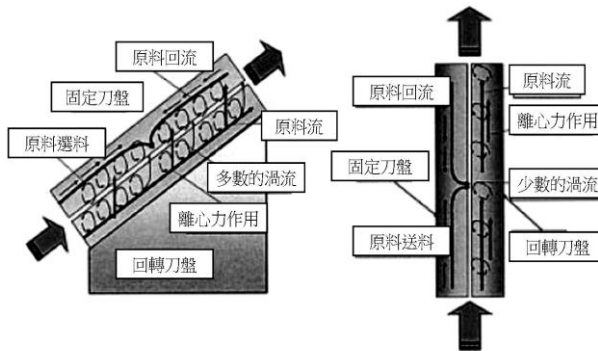


圖 27. DDR 與 ADC 刀盤內紙料的移動 (藤田, 2008; 金沢, 2008)

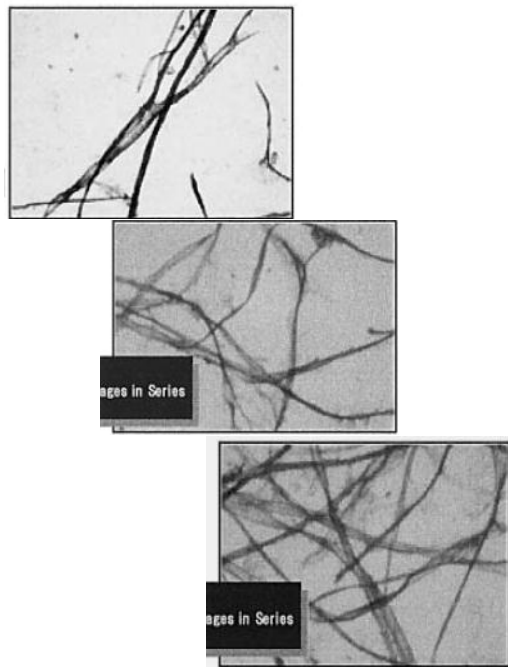
(二) ADC 型雙錐形刀盤磨漿機 (Double Conifiner) 的打漿解特性

如前述 ADC 型 Double Conifiner 可提高纖維密度，停留刀棒面上之纖維支本數較多，因此與在同一動力負荷操作之雙盤磨漿機 比較則每支纖維上的衝擊 (Impact) 較為緩和。Low Intensity 打(磨)漿的結果，纖維的切斷作用較少、促進帚化作用。以下比較 ADC 與雙盤磨漿機式進行 NUKP、瓦楞廢紙、LBKP、DIP 為原料的打(磨)漿結果。

離心力使纖維自轉動刀盤飛到固定盤、在固定盤刀溝內產生渦流、纖維再回到轉動刀盤，其來回的次

數較一般盤磨機的刀盤次數有壓倒性的多。

另外，由於離心力使固定盤刀棒表面纖維密度提高，且在機內的滯留時間加長，增高纖維得到磨漿的機會(圖 27)。



照片 3. NUKP 磨漿前後的纖維形態比較 (藤田, 2008)

磨漿的基本理論及低強度磨漿技術

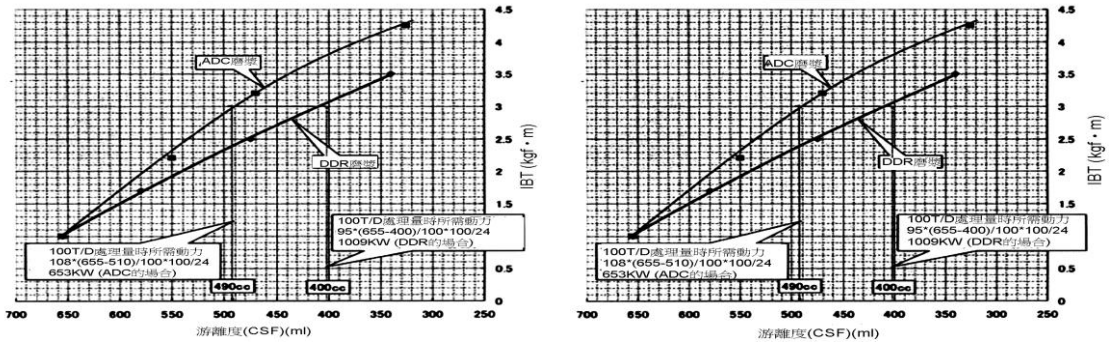


圖 28. 以 DDR 與 ADC 表面紙板表層 NUKP 磨漿後比破裂強度與 IBT 的強度比較 (藤田, 2008)

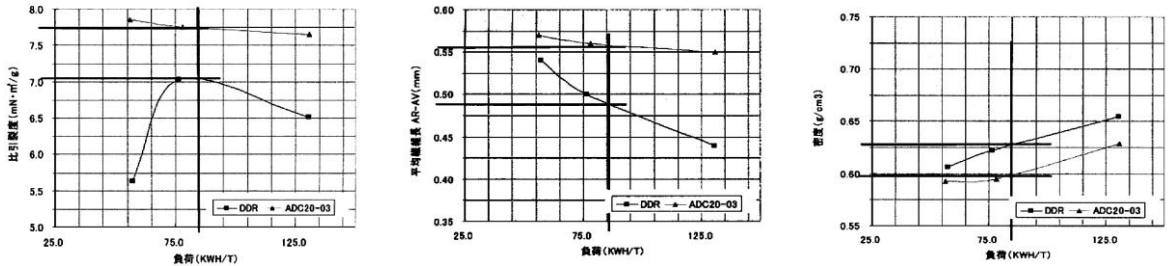


圖 29. LBKP 以 DDR 與 ADC 磨漿後比撕裂強度纖維長與密度的比較

1. NUKP 的打(磨)漿

照片 3 為 NUKP 分別以 ADC 及 DDR 各通過磨漿機 3 次 (3 Pass)，磨漿至游離度 CSF 325ml，磨漿前後纖維的 40 倍顯微鏡照片。可明顯區別經過磨漿的纖維成帶化起毛狀，原料纖維則呈扁平絲帶狀態。牛皮紙用紙料使用 ADC 磨漿可以得到以 DDR 磨漿無法得到之抗張強度。

圖 28 為表面紙板表層原料之 NUKP 分別以 ADC 與 DDR 磨漿後所得紙板之比破裂強度與 IBT 的強度比較結果。相同游離度比較則以 ADC 磨漿者之强度高，相反的若以為為了磨漿要得相同強度 ADC 磨漿後紙漿之游離度，不需如 DDR 磨漿後紙漿之游離度般降低，因此磨漿動力可節省 30~40%，達到省能的結果。

2. LBKP 為原料的磨漿

最近的尤加利造林木等的平均纖維長約只有

0.6mm 左右，從纖維的分布觀察纖維長度短、但均一，未經磨漿之紙漿游離度遠低於 CSF 600 ml，較差則甚至只有 CSF 500ml 左右。圖 29 為以相同動力投入分別以 ADC 與 DDR 磨漿後所製成紙張之比撕裂強度、平均纖維長、密度之比較。

ADC 磨漿強度較 DDR 磨漿強度為低，因此即使以強度弱的紙漿纖維經過輕柔的磨漿作用也可大幅提升比撕裂強度。另外，相同動力投磨漿 ADC 磨漿者具有較長的纖維長、低密度、高高度的趨勢。為了得到高高度及即使磨漿動力僅有減少一些，但對降低成本的效果非常很大。

除此之外，ADC 磨漿不易降低纖維長，對導管的保持力也相對的變大，也可用為導管剝離的對策。對紙品的不透明度、白度的提升、或緩衝性變好等優點，而可期待有印刷適性的改善及提升紙張的穩定性。

3. 瓦楞廢紙為原料的打(磨)漿

瓦楞紙原料之瓦楞廢紙紙漿 JOCC 的磨漿後紙

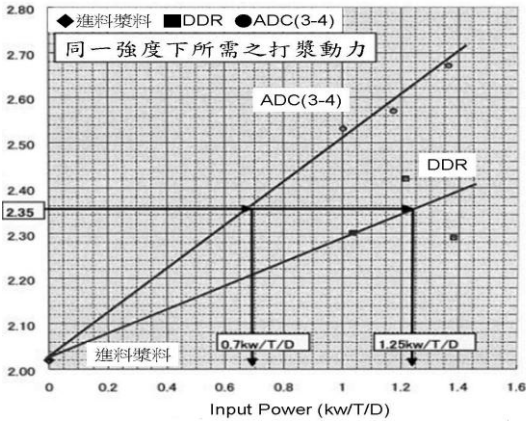


圖 30. 以 JOCC 製備之瓦楞芯紙不同磨漿設備 DDR 與 ADC 之磨漿比較(破裂強度、磨漿動力)

漿被要求需要有破裂強度、及耐壓縮強度。圖 30、31 為比較 ADC 與 DDR 磨漿之在同一游離度下紙力強度，與在相同紙力強度下所需要之投入動力。無論破裂強度、耐壓縮強度 ADC 者在同游離度下有高紙力強度，相同紙力強度下需低動力就可達成。圖 32、33 顯示 Brush Refining 的效果。所謂 Brush Refining 是廢紙對經多次回收，纖維長變短、游離度變低的 JOCC，進行游離度僅降低 10~30 ml 之非常輕緩的磨漿，「如在纖維表面刷過一樣」。在如此些微的游離度下降 ADC 者較 DDR 者有較大的紙力強度改善。另外紙製品的外觀有不良影響的白斑、色斑也因毛刷式磨漿 ADC 者較 DDR 者有較佳的改善

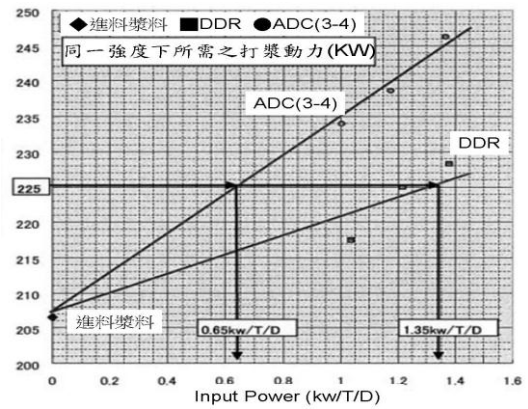
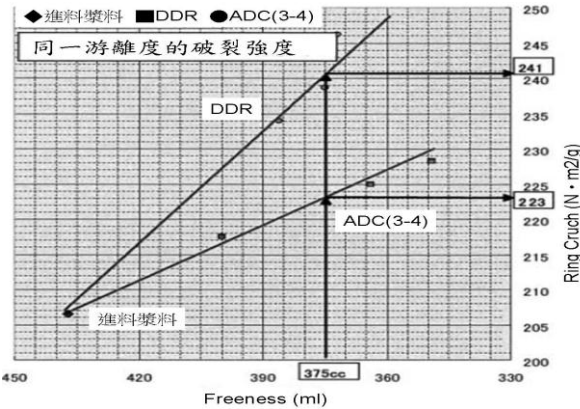


圖 31. 以 JOCC 製備之瓦楞芯紙不同磨漿設備 DDR 與 ADC 之磨漿比較(壓縮強度)

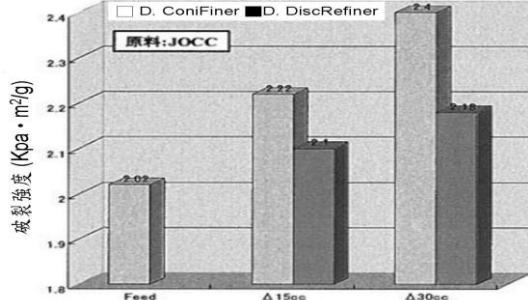
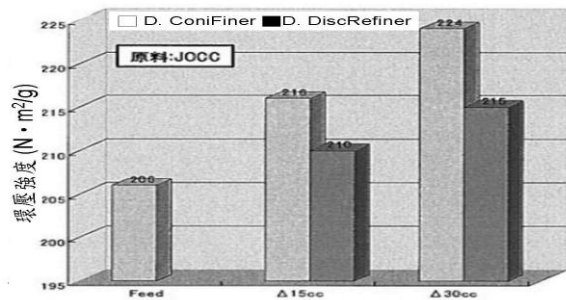


圖 32. 以 ADC 及 DDR 進行毛刷式磨漿 (Brush refining) 瓦楞芯紙對紙力改善效果的比較 (藤田, 2008)

效果。另外，毛刷式磨漿屬於輕負荷操作，磨漿動力中無負荷動力的比例較高，此點轉動刀盤直徑較小的 ADC 則較為省能。

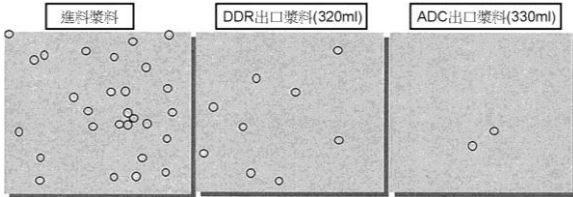


圖 33. 以 ADC 及 DDR 進行毛刷式磨漿瓦楞芯紙上白斑量的比較 (藤田, 2008)

4. 新聞脫墨紙漿的磨漿

新聞廢紙脫墨的脫墨製程後的後磨漿作業 (Post Refining)，對機械漿的去除結束纖維而言是相當重要作業之一。圖 34 比較 ADC 型磨漿機與 DDR 磨漿機磨漿至相同游離度漿中所含結束纖維的比率，ADC 磨漿後有較低的結束纖維比率。圖 35 磨漿至相同游離度所需磨漿動力原單位，ADC 者原單位較低，這種紙漿因游離度下降幅度小的緣故，主要動力的節省是由降低空轉動力得來。比較兩者磨漿後的平均纖維長，ADC 者的纖維長較長，有利於對微細纖維或填料 (藤田, 2008)。

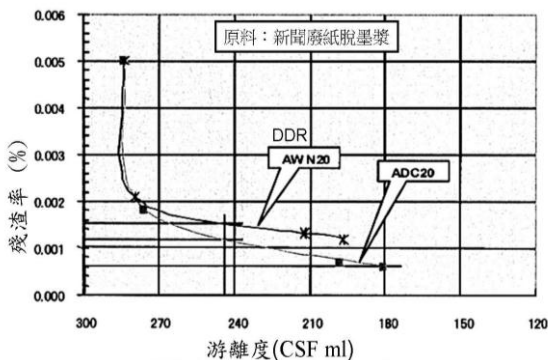


圖 34.新聞脫墨紙漿(ONP-DIP)磨漿時去殘渣效果

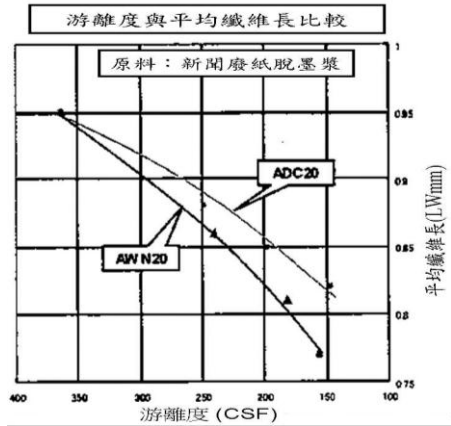
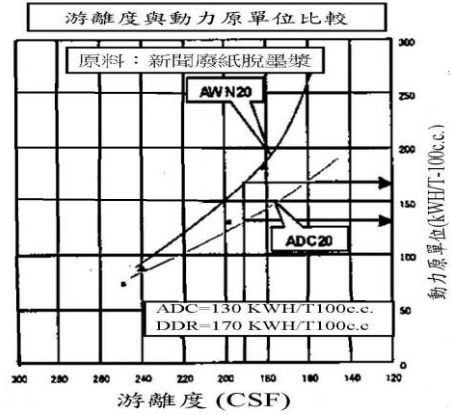


圖 35. 新聞脫墨紙漿 (ONP-DIP) 的打漿 (DDR 與 ADC) 比較單位與平均纖維長

(三) 以 Satomi 三錐型 (Triconic) 磨漿機的磨漿動力削減對策

1. 降低無負荷動力

錐型形式與盤式磨漿機比較，可得到有較小的刀盤直徑與較大的磨漿面積。由於轉動刀盤直徑較小，達到與纖維磨漿無關的無負荷動力大幅降低。更由於專利的三錐型 (Triconic) 的構造，具有小型、且能產生大磨漿能力的效果 (圖 36)。

2. 磨漿 (Refining) 動力的降低

具有寬的磨漿區 (Refining zone)，可以獲得大的切斷長度 (CEL; Cut edge length; km/rev)，即磨漿

(Refining) 達到同一游離度下只需較低的能量消費原單位 (kWh/ton)。

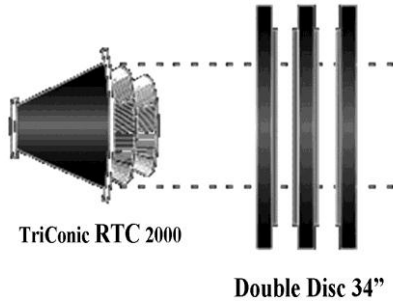


圖 36. 與 DDR 刀盤直徑比較 (Triconic RTC 2000 vs DDR 34")

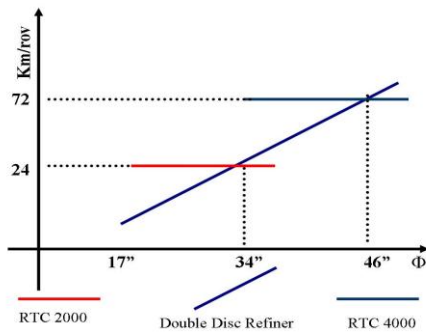


圖 37. 三錐型磨漿機與 DDR 的切斷長度 (CEL) 比較

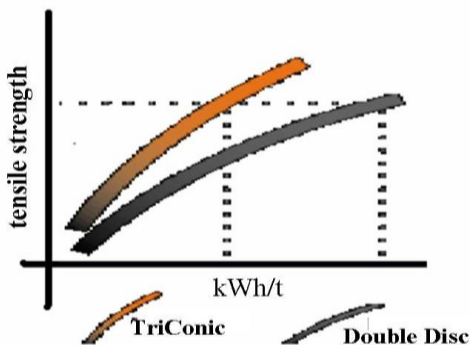


圖 38. 三錐型磨漿機與 DDR 的動力原單位比較
<http://www.satomi/triconic JP.html>

3. 低動力集中及和緩的磨漿

三錐式刀盤磨漿機的構造、可達到以和柔緩且均一的磨漿作用加附於纖維上。能賦予纖維有更高之接著強度。

4. 三錐式刀盤磨漿機與 DDR 的磨漿動力原單位比較

能夠得到較均一的磨漿期原因為因具三錐式刀盤構造因而具高切斷長度 (cutting edge length ; CEL)、能將纖維均質磨漿，改善帶化狀態。且進一步能將三錐式刀盤進化為最適用途的刀盤圖樣以適合省能及提高紙漿品質。分別有適合 N 紙漿用、L 紙漿用、殘渣用、廢紙用 (OCC 用、DIP 用等) 刀盤。

5. 三錐式刀盤磨漿機的優點(<http://www.satomi/triconic JP.html>)

- (1) 降低磨漿機的噪音：磨漿機的機側 1 m 實測噪音值為 91 dB 以下
- (2) 可降低設置馬達動力。
- (3) 磨漿機地基的簡略化，不需有鋼筋水泥地基。
- (4) 具前方開放構造，刀盤交換迅速化。
- (5) 小型・大容量處理 = 磨漿機設置空間低減

(四) 低強度磨漿的磨漿評估方法

如上述的討論，磨漿至同一游離度的紙漿，進行一般磨漿與低強度磨漿所得纖維的特性大有很大的不同。即紙漿的游離度不必與如 DDR 磨漿時之降低也能充分得到纖維特性。此時要磨漿到何種程度是適合哪，用以往的游離度評估是無法判定的。一個解決方法的提案，是採用連續測定纖維的形狀，可以數值表示的 Morfi Fiber Analyzer 以代替以往以游離度評估的方法。Morfi Fiber analyzer 是由法國 TECAPAP 社所開發，可以自漿流中連續測量，原料纖維的形狀進行影像解析、量測纖維的長度、寬度、扭曲 (Kink) 度、捲曲 (Curl) 度、帶化度、切斷度程度、結束纖維比率、微細纖維比率等且將之數值化表示之。

七、結論

本文說明磨漿機的設計及磨漿機作業的基本原理，及為了因應目前製紙原料纖維特性的變化，同時調整備漿工程中的磨漿作業。由於抄紙技術的進步，與其重視纖維的強度性質，纖維的性質分布更為重要，以截斷纖維之叩解作業導致纖維強度降低下，因而改變為重視纖維強度的 Low intensity 磨漿。目前紙廠使用速生闊葉樹纖維作為造紙原料、與來自於廢紙原料的二次纖維的纖維長度皆有變短的現象，其纖維長度較短、且強度脆弱，因此在打漿作業也必須有相當程度的轉變，必須考量磨解機的形態、調整磨解刀棒的形狀、增加刀棒的長度、加大刀棒交叉角度等。並配合低強度磨漿方案以降低對纖維衝擊力的方法如 增加刀棒作用點(交叉點)提高磨漿機內的原料濃度(密度)使多數原料纖維容易登上刀棒面等，以分散並降低纖維磨漿動力的方法。以儘量保持纖維長、而僅變化纖維的形態達到提升紙張力學性質，並節省磨漿動力。

八、參考文獻

1. 蘇裕昌 2006 導管障礙的發生及其對策。經濟部工業局造紙工業技術人才培訓計畫(一) 纖維性質及漿料製備培訓班 pp.166-182
2. 李志良 2006 鍊漿及備漿單元操作。經濟部工業局造紙工業技術人才培訓計畫(一) 纖維性質及漿料製備培訓班 pp.58 -77
3. 蔡茂松 1986 紙漿練漿淨漿學 第一章 鍊漿處理 pp.21~49.
4. Casey 1980 Chapter 6 Fiber preparation in Pulp and paper chemistry and chemical Technology. pp.843~849.
5. Lee H. L., M. S. Yang, Y. D. Heo, and T. Y. kang 2003 Evaluation of Refining Properties Base on the inch contact theory. Journal of Korean TAPPI 35(2)
6. Smook G.A. 1992. Handbook for pulp & paper Technologists. 2nd Edition Angus Wilde Publications.
7. 青嶋和男 2006 リファナー(叩解機)の省エネルギー：最新の取り組みと可能性。紙パ技協誌 60(6)：879-889.
8. 藤田和己 2007 最新の叩解技術：叩解機と叩解刃物の取り組み。紙パ技協誌 61(2)：153-162.
9. 藤田和己 2008 最新の叩解技術：叩解機と叩解刃物雙方からのアプローチ。紙パ技協誌 62(7)：807-813.
10. 金沢 毅 2008 最新の省エネイルギー技術：パルパー・スクリーン・リファイナーの省エネイルギー技術及び省エネに寄与する原料調整システムの提案と実施例。紙パ技協誌 59(6)：972-818.
11. <http://www.ohhara-machinery.co.jp/technology/ddisc.html>
12. <http://www.satomi/triconic JP.html>

*蘇裕昌 國立中興大學森林學系教授

*Dr. Yu-Chang Su, Professor, Dept. of Forestry, National Chung-hsing University.