



淺談紙張的起皺

文、圖 ■ 錢景行 ■ 原上海福伊特造紙機械有限公司工程師／項目經理

起皺（Creping）是一種將紙頁產生橫向皺紋的機械加工方法。在造紙機上起皺，一般可分乾濕法起皺和乾法起皺兩種形式。當紙幅在潮濕狀態下（紙張固形物含量約38~42%）於最後一道壓水輥上用刮刀起皺，稱之乾濕法起皺。乾法起皺則是在起皺烘缸（或楊基烘缸）上用刮刀對乾燥後的成紙進行起皺加工。簡言之，濕法起皺是在最後一道壓水輥上進行，而乾法起皺則是在烘缸上進行。而乾法起皺又可分成半乾法和乾法起皺，當紙張固形物含量達到55~85%時，用刮刀在烘缸上刮起皺紋，然後再將其引到下一個烘缸上進行乾燥，稱之乾半乾法起皺。這種方法對刮刀和烘缸表面要求不高，而且容易操作。當紙幅在烘缸上乾燥到固形物含量在90%以上而進行起皺時，叫作乾法起皺。乾法起皺具有紙質柔軟、彈性好、乾燥效率高等優點。

還有一種叫做機外起皺，這是將已抄好的成紙，經過浸漬（也稱含浸）槽或染色槽，加壓擠水後貼在烘缸表面乾燥，這時，因蒸發乾燥及膠料的作用，紙幅可以很好地貼附在烘缸表面，然後通過起皺刮刀的剝離進行起皺加工，即可獲得具有橫向皺紋的皺紋紙。由於

機外起皺後的紙幅是潮濕的，因此必須經過後段乾燥。為了保留紙幅上的皺紋，後段乾燥必須在無張力作用的狀況下進行，可以用乾毯承載著在烘缸上進行乾燥，也可以用烘房進行熱風乾燥。

無論是採用濕法起皺還是乾法起皺，機內起皺還是機外起皺，主要視成紙的要求而定。濕法起皺時，由於濕紙幅中的纖維尚未完全結合，因此起皺變形部分會破壞濕紙幅原有的組織結構，但因在後段乾燥中，紙幅因繼續收縮，纖維之間在新的組織狀態下發生新的結合，並且固定下來，所以紙幅中纖維的結合仍然會比較牢固，只是紙的柔軟性差些。濕法起皺具有操作易控制、紋距較細、成紙的伸長能力較好等優點。一般可做皺紋電纜紙、包裝紙、藝術用紙等。

但在乾法起皺時，乾燥後的成紙因其組織狀態已經固定，這時再進行起皺加工（固形物含量在90%以上），必然會破壞紙幅的纖維組織，纖維間的結合也會被打斷，所以乾法起皺後的紙幅剛性會降低，但成紙的彈性好，紙幅的伸長率和柔軟度得以提升，還能獲得特殊之外觀。因此，乾法起皺被廣泛

用於衛生紙、餐巾紙、毛巾紙、擦手紙等家用生活薄頁紙的製造。

紙張起皺過程中，影響起皺品質的因素很多，下面簡要談談影響起皺的一些因素及其對策。

一、漿料化學成分對起皺品質的影響

漿料中的某些化學成分對起皺影響很大。如採用含半纖維素（Hemicellulose）及木質素（Lignin）較多的漿料所生產的紙頁，對烘缸的黏合力較強。木質素在乾燥過程中容易軟化成具有高黏著力的物質貼合在烘缸表面，與紙頁產生很強的黏結作用。用木質素含量高的漿生產皺紋紙時，必須注意過大的黏結力會使刮刀對紙頁的剝離效果大為降低，甚至無法剝離，嚴重時會卡住起皺刮刀而無法繼續生產。這時應加大脫缸劑的用量，大幅度降低黏缸劑的用量，最好使用黏結力較弱的黏缸劑或改良劑。反之亦然，含半纖維素及木質素較少的漿料所生產的紙頁與烘缸的黏合力較差，對烘缸有嚴重的剝離效果。這種漿料如按常規工藝處理容易出現如下紙病：由於刮刀對紙頁

作用小，剛接觸到起皺刮刀紙幅就會發生漂移，導致皺紋粗大，局部無法起皺，嚴重時會產生紙幅發飄起飛，乃至無法上卷。此時應減少脫缸劑用量，增加黏缸劑，或者改用高黏結力的黏缸劑，那麼此虞即可除矣。

二、漿料處理方式對起皺品質之影響

對長纖維進行一定程度的切斷和分絲帚化（Fibrillation），對短纖維只作疏解，儘量使纖維分散而不作切斷。

纖維混合後進行精漿（Refining）處理，主要在低功率下進行各種纖維的均勻混合，包括一些濕部化學品的均勻混合。

長纖維的打漿是生產控制的一個重要環節，保持連續穩定的合理處理對起皺品質的控制至關重要。

採用輕打漿，低打漿度、少分絲帚化的漿料抄出來的皺紋紙，疏鬆多孔、蓬鬆柔軟、吸水性好，但強度稍低，宜做皺紋面巾紙，廁所用紙。

由打漿濃度較高、打漿度較高、纖維分絲帚化好，表面細小纖維化程度高而切斷少的漿料形成的紙幅，結構緊密、纖維結合力強。因而，起皺時纖維和纖維之間發生的剪切錯位的永久性變形相對較少，而不穩定的彎曲變形較多。同時，這種漿料在貼附烘缸後與塗料的作用力也較大，貼缸緊密，起皺後的皺紋較密，但蓬鬆度（Bulk）較差。這種起皺原紙經複卷拉伸後，一些彎曲變形減弱，但是表面光滑、細膩、拉力好。



（圖片／高遠文化 攝影／林文集）



反之，打漿度和打漿濃度較低，而切斷較多的漿料，起皺時，因紙頁纖維結合力較低，產生剪切變形相對較多，纖維結合之間容易發生位移，紙頁皺紋較粗糙，但紙質柔軟，手感舒服，蓬鬆度好。

三、烘缸及其塗料層對起皺品質的影響

皺紋紙的起皺烘缸，要求表面光滑、清潔、烘缸壁內部之材料分布均勻，使得熱傳導在烘缸表面處處都非常均勻，因此缸體內壁必須經切削加工（一般烘缸是由鑄鐵加工而成），這樣就能促使紙幅與烘缸面保持均勻良好的黏結狀態。目前使用的起皺烘缸大多為鑄鐵製造，其表面有一層氧化鐵薄膜，而這層薄膜在生產過程中極易被腐蝕，當腐蝕不均勻時會導致紙幅和缸面黏貼強度不佳，造成起皺品質的不均勻。因此工廠常常在烘缸表面噴鍍一層不銹鋼層，然後進行研磨，以保證缸面光滑耐磨，與紙幅黏貼均勻，並可減輕刮刀壓力。

所有的高速衛生紙機都採用將塗料噴塗在烘缸表面，形成均勻的膜層，其作用如下：

避免刮刀與烘缸直接接觸，減少刮刀磨損量而且還可以保護好烘缸表面；塗層與紙幅產生黏結力使刮刀對紙幅的起皺處於良好狀態；紙幅對烘缸的黏著力（Adhesion Force）跟紙幅中的內聚力之間有著一定的函數關係，有助於確定起皺效果。如果黏著力太小，紙幅將在達到起皺刮刀之前就被剝離烘缸表面，倘若黏著力太大或內聚力太小，紙幅將緊貼烘缸表面並在起皺刮刀處破裂，造成塞紙。

因此塗料層與起皺品質關係如下：

低的黏結力、較柔軟的塗料層所生產出來的皺紋紙其皺紋粗大，蓬鬆度高，紙幅粗糙，宜作廚房及廁所用紙、擦手紙等；高的黏結力、硬的塗料層所生產出來的皺紋紙其皺紋細密，蓬鬆度較低，紙幅表面光滑，紙質柔軟，宜作面巾紙、手帕紙等；高的黏結力、軟的塗料層所生產出來的皺紋紙其皺紋細密，蓬鬆度較好，紙幅柔軟，宜作各種衛生原紙。

四、紙頁全幅基重分布之均勻度對起皺品質的影響

如果紙頁全幅基重分布不均勻，那麼其橫向水分之分布必定不佳，基重較大處之水分含量必高於基重較低處的水分含量；由於紙幅的乾度不均勻，紙幅對缸面的附著力亦不盡全然，而紙幅中內聚力也大相徑庭。因此起皺後的紙幅之皺紋必定是粗細各異，直接影響著起皺品質，必須有一套優良的頭箱（Head-Box）裝置和成型器（Former）予以配合。皺紋的好壞與紙幅的勻度有很大關係，如果紙幅厚薄不均，勻度很差，那麼刮出的皺紋肯定粗細不勻，大小不一。要想生產出良好的皺紋紙，尤其是在抄造 $13\sim 18\text{ g}/\text{m}^2$ 的高檔衛生紙時，沒有一套良好的頭箱和成型器是不可思議的。

現代高速薄頁紙機之頭箱是基於高湍流漿料均布為基本功能的多層漂片式階梯擴散頭箱，要求在任何情況下都要保持從湍流發生器布漿到噴漿出口縱向漿流對稱，這是

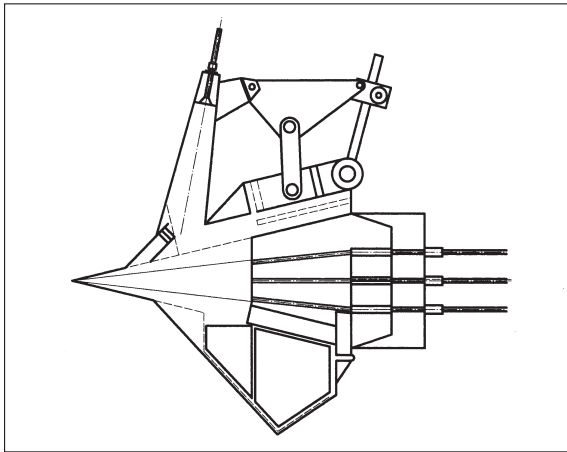


圖1 Sym Flo TIS型漂片式頭箱之結構簡圖。

取得最佳成型效果之重要因素。多層漂片式階梯擴散頭箱之內壁表面必須要求電解拋光，其機械力學之特徵如下：

- 頭箱總管應小於 $0.8 Re$ （雷諾數）；
- $1/1,000$ mm；
- 布漿管應小於 $0.6 Re$ ， $1/1,000$ mm；
- 堰板區應小於 $0.2 Re$ ， $1/1,000$ mm。

現代高速薄頁紙機一般採用水力式或漂片式頭箱，先進的稀釋式頭箱也常被採用。新月型衛生紙機之頭箱則多為層式結構（兩層或三層）。這種頭箱可分別將兩種或兩種以上的漿料噴入網部和毛毯之間，能充分發揮短纖維使紙幅表面平滑柔軟、長纖維則可提高強度之特點。如在兩層漂片式頭箱中短纖維用於貼在揚基烘缸表面，因長纖維在起皺時被破壞得較小，故成紙之松厚度更佳，短纖維面更柔軟，長纖維面之強度則更高。為了降低成本，在現代高速薄頁紙機中還採用三層式頭箱，也就是將二次纖維作為芯層。圖1為Sym Flo TIS型漂片式頭箱之結構簡圖。

現代高速薄頁紙機的成型器是以新月型

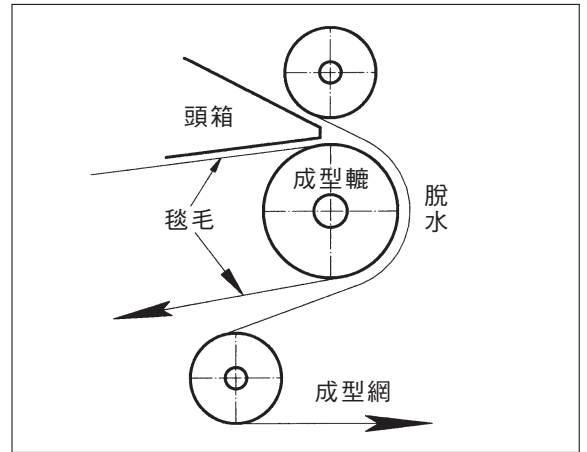


圖2 新月形成型器結構原理圖。

成型器和C型成型器為主導，近年已投產的高速薄頁紙機都是以此為設計基礎，圖2是新月型成型器的結構原理圖。

新月型成型器是由大直徑的成型軋、毛毯、成型網組成，毛毯和成型網以將近180度的包角包覆著高速旋轉之成型軋，漿流從噴漿口噴出而進入成型區，經成型、脫水形成紙胎。

五、紙幅全幅水分含量之均勻度對起皺品質的影響

紙幅在乾燥前的脫水，直接影響著起皺的品質。成型良好的紙幅能否在楊基烘缸面上均勻地脫水和貼附，這對於獲得均勻的全幅水分含量、創造一個最佳的起皺條件至關重要。如果濕紙幅脫水和貼附不均勻，就不能滿足高速紙機的生產。

眾所周知，濕紙幅在傳統的楊基烘缸和真空壓榨軋（SPR）壓區內的最大脫水和貼附作用以及紙幅在起皺刮刀上的黏附力有著直接的關係。下面我們來分析其脫水情況：

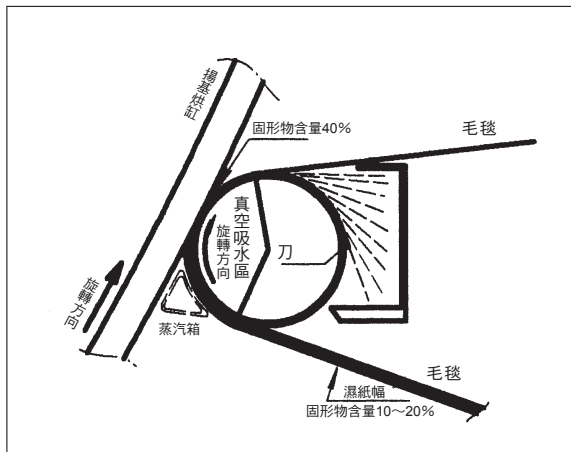


圖3 揚基烘缸—SPR壓區內的動態特性。

圖3是楊基烘缸—SPR壓區的截面圖。當毛毯托著固形物含量（乾度）為10~20%的紙幅進入楊基烘缸—SPR壓區時，經受到很大的液壓力和機械力，水從三個方向擠出，穿過滲透性毛毯，流到SPR包覆層的鑽孔裏。在壓區裏的停留時間一般為1~3毫秒，最高壓力200~400 psi。在真空箱後沿處脫抽真空。水從孔中排出，流向白水盤。紙幅出SPR後的固形物含量一般增加到40%。

以生產衛生紙為例，在脫水的同時，濕紙幅是由毛毯傳送著貼附到楊基烘缸表面。紙幅對楊基缸的有效貼附取決於壓區的黏貼性能。一般情況下，濕紙幅對楊基缸的黏貼力比較低（見圖4），這與烘缸面上的塗層性能有關。紙幅的傳送和貼附是各種作用相互結合的結果，包括機械纏結作用或紙幅與軟化的或部分溶解的楊基缸塗層，化學黏缸劑相互結合作用，還包括離子吸引作用。由於紙幅不斷地圍繞烘缸運行，由SPR到起皺刮刀，其固形物含量由40%增加到95%左右。與此同時，紙幅對烘缸的黏附作用也增加，這歸結於塗層與紙

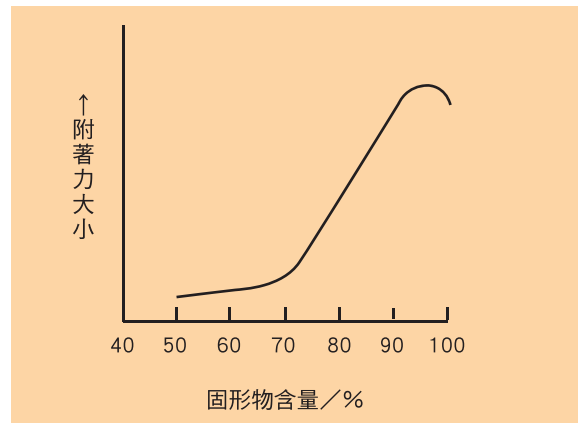


圖4 附著力與紙幅固形物含量之關係曲線。

幅間產生了脫水作用和固結作用以及產生了生產與共價化學藥品結合作用。

為瞭解楊基烘缸—SPR壓區中所發生的情況，把動態特性分為物理和化學特性是十分有益的。首先，最重要的是紙幅在乾燥前必須均勻脫水。雖然SPR在脫水時可以固結紙幅，對衛生紙之柔軟度有不利影響，但在起皺前必須有效地減少紙幅所需的熱量。脫水過程的主要效果是將紙幅均勻地黏附在楊基烘缸表面。通過調節和穩定壓區的水分含量和水的移動，可以最大限度地發揮塗料性能的作用，促使紙幅更好地傳送和貼附。

水通過毛細結構中的移動可以用Wahlstrom的Darcy（達西）定律來解決，其公式如下：

$$dp/dx = (\mu)(FR)(V)$$

其中：

dp：從濕紙幅到SPR開孔區域的壓降；

dx：壓降從開始到結束的距離；

μ ：水的黏度；

FR：流阻；

V ：滲透速度。

根據達西定律，操作者應考慮到壓區條件是怎樣影響脫水的，其中包括：毛毯結構、毛毯的滲透性、脈衝（壓力×時間）、壓區內的水溫、真空軋包覆層開孔區域以及要排出的總水量。

流阻問題通常是由污染毛毯的雜質、毛毯壓實程度、毛毯的磨損等因素造成的。當橫向水分之變化增加時，就能覺察出流阻問題來。出壓區水分的變化直接與毛毯的滲透性有關，即毛毯的流阻越大，出壓區的紙幅之水分含量就越高。在整個蒸發過程中，出壓區的紙幅之水分常常會發生變化，但變化程度並不大。刮刀片處的水分含量變化也會影響起皺變形效果，對紙頁性質會產生不利影響。

對於門幅較寬的高速薄頁紙機來說，袋區通風也非常重要，因為在高速運行下的紙機乾燥部，烘缸中間地區的水蒸汽不易被立刻排除，使紙幅在乾燥後的水分含量不均勻，中間地區的水分含量高，兩邊的紙幅則相對乾燥。用了袋區通風裝置後，此種現象可大幅度緩解或消除。對於揚基缸來說，可以運用高速熱風罩，使紙幅的全幅水分含量比較均勻。

六、起皺刮刀安裝位置和安裝幾何形狀和對起皺品質的影響

刮刀片通常安裝在距烘缸水平中心線下方 $1/4$ 半徑處較為合適，過低操作則不便。如果安裝在中心線以上，不但起皺不理想，還會減少烘缸的乾燥有效面積。

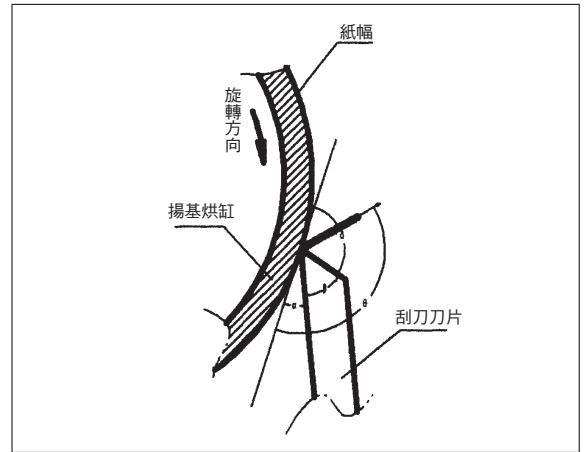


圖5 起皺刮刀刀片的幾何形狀和安裝位置。

不同的造紙機之安裝位置不盡全然，一般情況下，刮刀片和烘缸接觸點至少在水平中心線以下30~50 mm。

刮刀體安裝角度即刀片與烘缸接觸點的切線方向與刀片形成之角度（ α ）也有一個比較嚴格的要求。因為這個角度之大小會直接影響起皺角度（ δ ）的大小，不僅會影響起皺效果，還會影響操作安全。如果這個角度太小，起皺角就太大，線壓力就相對較低，起皺效果就差，刮刀的使用壽命亦短。倘若這個角度較大，那麼起皺角度就小，線壓力就會增大，起皺較易但皺紋相對較粗，頂角磨損也厲害。如果這個角度大到超過一定範圍，那麼就有可能造成刮刀片被烘缸帶翻卷過去然後又彈回來，造成缸面嚴重被刮傷，所以刮刀體安裝的角度一般控制在20~25度左右，最大也不要超過28度。

圖5中 α 為刮刀與烘缸的接觸角，也稱刀片接觸角，即刮刀底面與刮刀接觸烘缸點切線之間的夾角； β 為起皺刀片頂角，亦稱

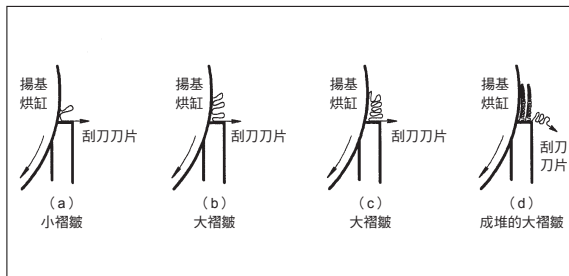


圖6 起皺過程中各起皺階段的示意圖。

刀片水平角； δ 為起皺角，亦稱切割角； θ 為紙幅的輸出角。

皺紋紙的結構以及成紙的性能是通過黏著性、刮刀片的角度、未起皺紙幅的性能以及皺紋比（在楊基烘缸上紙幅的速度與離開起皺刮刀後紙幅速度之比）等之間的互相作用而形成的。在起皺過程中，貼附在楊基烘缸表面上的皺紋紙進行到與刮刀接觸時，紙頁的縱向被壓縮，並產生細微的小皺褶。如圖6所示，當紙幅的黏附和內聚力比例適當時，在它與刮刀刀片接觸前，紙幅就從楊基烘缸表面脫離開來，並形成一個被稱之為“小皺褶”的弧形圈。當這些圓弧形圈集積在刮刀刀片上並聚在一起時，稱之為“大皺褶”。在紙幅離開刀片和楊基烘缸之間的袋區時，很可能有幾堆這樣的“大皺褶”積集在刮刀刀片上。皺紋的細度（通常與增加柔軟度相關）可通過黏著性程度（如增加濕強劑用量）加以改進。由於黏著性增加，使紙幅在從烘缸表面剝離前更加靠近刮刀刀片的頂端，從而形成更加細小的“小皺褶”。通過增加刀片的切割角（起皺角），也可以獲得類似效應。有時隨著起皺角的增加，“小皺褶”完全不再存在，而獲得一個細微皺紋結構。但起皺角不能無限增大，因為必

須保持足夠的袋區，以提供使紙幅折疊成皺紋所需的靜摩擦力。

此外，刮刀刀片壓力的變化，可能影響黏附層的裂開，黏附層厚度不均勻，會影響熱量傳遞；接觸角與起皺角的差值，決定刀片的加壓負荷和皺紋細度。

七、刮刀的材質和幾何角度對起皺品質的影響

刮刀一般用1~2 mm厚的帶鋸鋼片加工而成。也有用磷銅片或黃銅片製成，目前大陸低速衛生紙機使用的刮刀片材質普遍為經熱處理的彈簧鋼帶，厚度0.8~1.2 mm，寬度約80~120 mm。這種材質彈性好，不易生銹，但硬度偏低，容易磨損，換刀頻繁，不適合150米/分以上的紙機使用。在高速衛生紙機上起皺，應注意刮刀在起皺時會產生高溫，因而要求刮刀在使用過程中不退火、不發藍、穩定、均一持久的硬度，而且要保證良好的直線和平面性。選擇合適硬度的刮刀在起皺工藝中對起皺品質影響很大。刮刀硬度高，紙幅皺紋相對細密，但對烘缸表面的磨損亦大。目前，國內使用的刮刀大部分為碳合金鋼刀，也有用陶瓷刮刀。陶瓷刮刀硬度大，一次使用的時間比較長，生產出來的紙幅皺紋也比較細密、柔軟、均一、手感好，但不能重復使用，總的壽命短，價格高，在經濟上不如鋼鋸片。

刮刀斜口的角度（刀片頂角）通常有 90° 、 45° 和 30° 三種。 90° 的刮刀多用於半乾法起皺；乾法起皺的刮刀斜口角度較小，

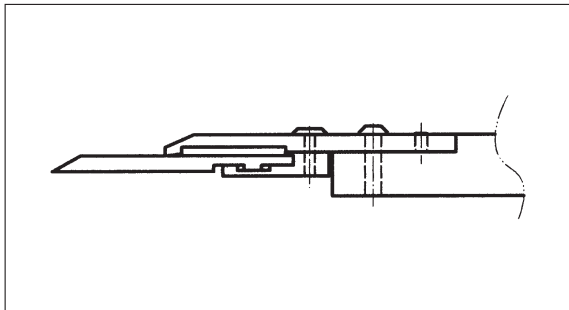


圖7 起皺刮刀之結構原理。

大多在 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之間。刀片薄、刀口角度小，起皺後的皺紋細密、紙質柔軟。

刮刀與烘缸的接觸角（刀片接觸角）在 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 之間，一般為 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。如果這個角度太小，起皺角就太大，線壓力相對也較低，起皺效果就較差，刮刀使用時間也短。倘若這個夾角大到超過一定程度，就有可能造成刀片被烘缸帶翻卷過去然後又彈回來，造成

缸面被刮壞的嚴重事故。所以，刀片的接觸角不能超過 28° 。小角度不僅可以減輕刮刀對烘缸表面的磨損，而且可改善紙幅的皺紋品質。

刮刀體宜做成抽插式的氣動刮刀。好的皺紋並非一成不變，刮刀使用一段時間後因磨損之原因，刮刀的幾何尺寸會有所改變，紙頁上的皺紋也會因此而改變。操作時要對刀口及時打磨修正或更換刮刀。所以，這種刮刀結構必須設計得易於更換才好（詳見圖7）。

刀片和刀體之配合尺寸也應該注意。一般刀片伸出的部分以 $30 \sim 50 \text{ mm}$ 為好，並在伸出部分中間加一道 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 厚的壓板頂住，以便使刀片加壓後變形不大，保證角度的穩定，這樣才能刮出理想的皺紋。

烘缸的清潔刮刀必須與起皺刮刀配合使用。衛生紙起皺後在烘缸表面難免會殘留一些紙屑或膠粒等雜物，清潔刮刀就會把這些東西清除乾淨，使烘缸表面保持清潔。這樣生產出來的皺紋紙就不會掉毛掉粉掉皮，不會造成洞眼，手感也柔軟光滑，所以清潔刮刀也是非常重要的部件，應予以充分重視。

八、刮刀對烘缸表面的線壓力大小對起皺品質之影響

刮刀對缸面的線壓力大小是由紙幅對缸面的黏結牢度所決定。黏結力大的時候，刮刀的線壓力應大些。但倘若線壓過大，則容易產生斷續起皺的現象，而且容易使紙幅產生洞眼等瑕疵，還會加劇刮刀與烘缸的

（圖片／高遠文化 攝影／曾珮瑩）



磨損。反之，當紙幅與烘缸黏結力較小時，刮刀的線壓力可適當小些。總之，刮刀的線壓力應按照紙幅對缸面黏結力的大小合理調節，一般控制在 $0.3\sim 1.0\text{ kN/mm}$ 之間。

當然刮刀的線壓力還要根據不同的漿料生產的紙幅，不同的基重和不同的刀片角度來決定的。一般規律是，濕紙幅黏缸較緊的線壓力大些，刀片頂角小的線壓力小些，基重較高的線壓力可以大些，生產廠家可根據自己的實際情況靈活運用。

九、結語

影響高速薄頁造紙機起皺的因素很多，不同的紙機，不同的流水線其工藝情況均不

相同，但萬變不離其宗，無非是原料的選擇，工藝處理的方法，濕部化學品的添加情況，頭箱之形式，成型器之特性、毛毯和成型網的清洗情況、壓水工藝的處理、烘乾部塗層工藝的設計、烘缸的清潔程度、烘缸和熱風罩的乾燥工藝情況、刮刀的物理特性等等，都可以影響紙幅的起皺品質。操作者只要在抄紙和起皺過程中密切注意生產中發生的不良情況，認真分析原因，合理調整，逐一解除不良狀況，那麼生產線就一定會很順利地運行並能獲得令人滿意的皺紋來。▲

參考資料（請逕洽作者）



（圖片／高遠文化 攝影／楊美娟）