

抄紙機械概論

彭元興 教授

國立中興大學 森林學系

ysperng@nchu.edu.tw

0911-382369

2017年8月24日

簡報內容

■ 壹、濕部操作

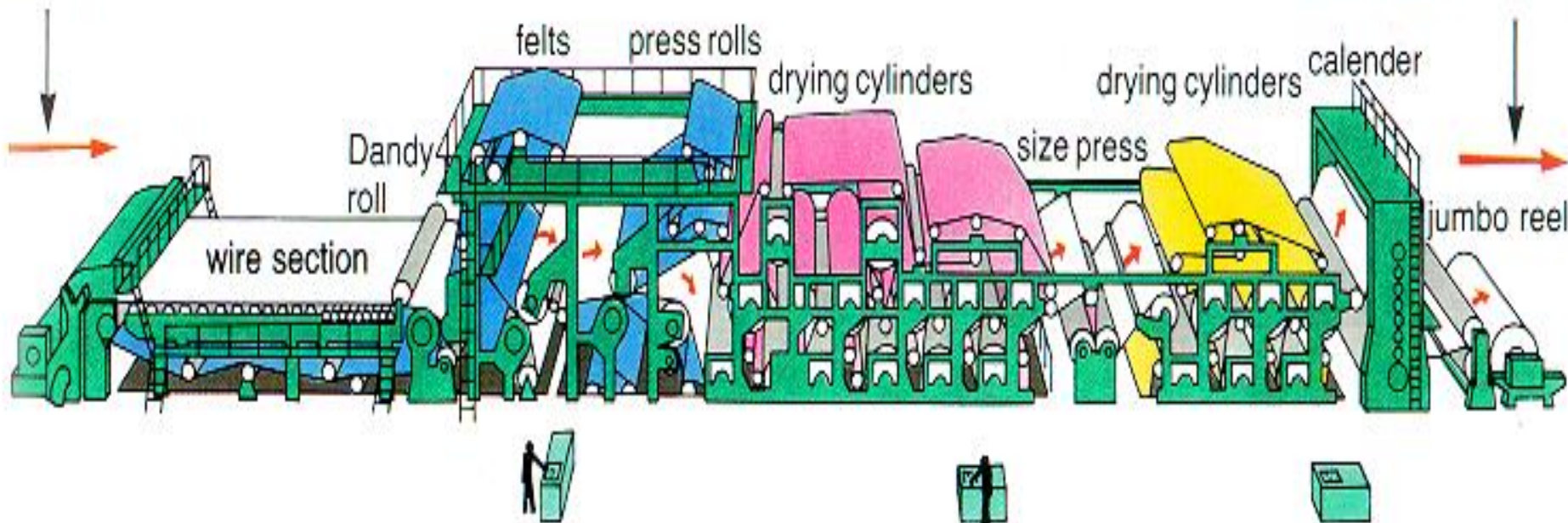
■ 貳、乾部操作

Water content:	99%	80%	50%	6%
Water removed by:	gravity	vacuum	compression	evaporation

← **WET END** → ← **DRY END** →

'Stock' from pulp preparation processes

reels to store and after processing eg slitting and coating



computer control panels

computer control panels

computer control panels

壹、濕部操作

一、流漿系統

二、進料分佈器及頭箱

三、基本紙匹成型流程

四、長網部

五、雙網成形

六、濕端平衡

七、損紙系統

八、壓水部

九、真空系統

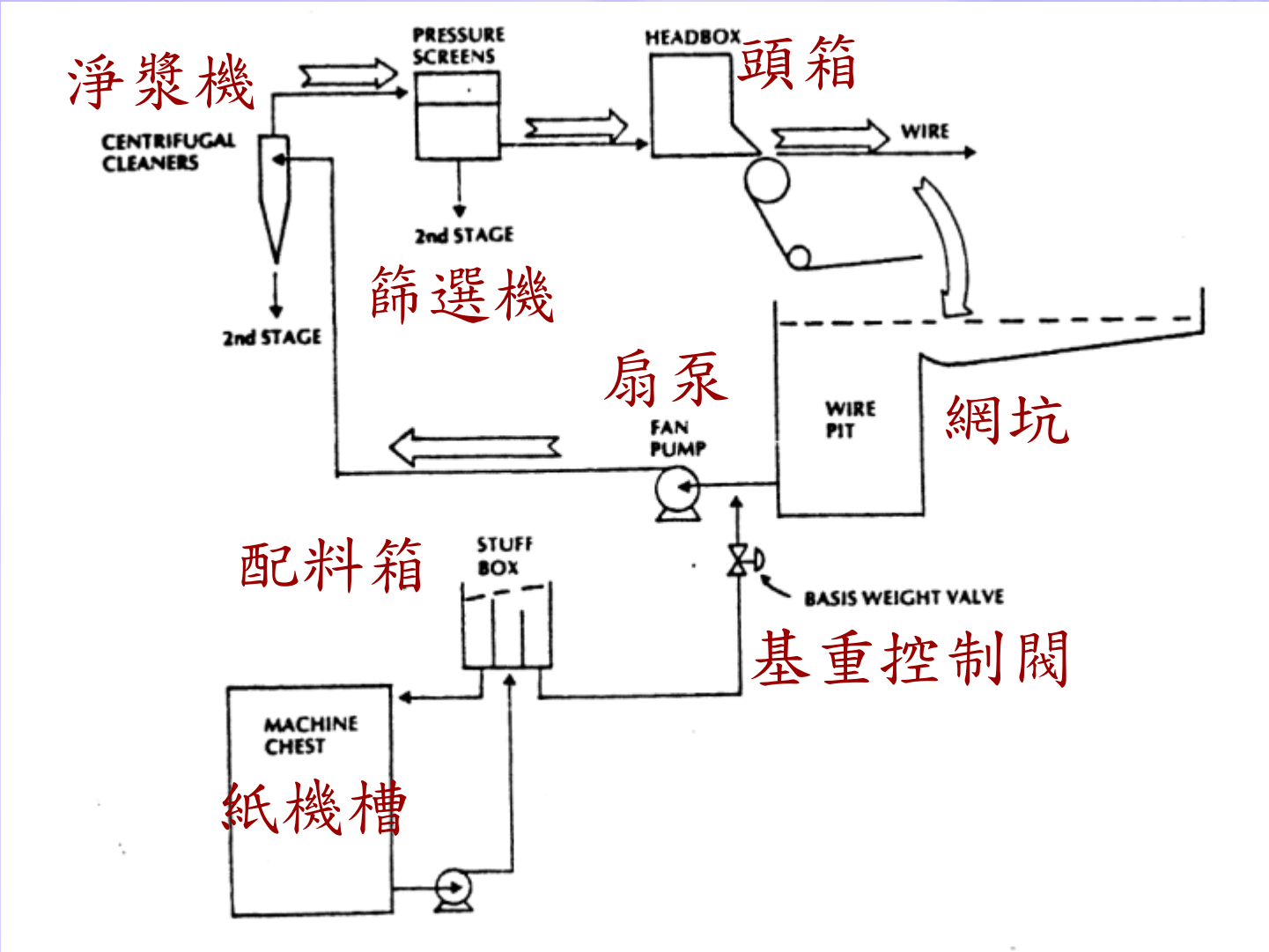
一、流漿系統(Approach System)

→ 範圍：扇泵迴路，其中漿料先經過計量、稀釋、混合添加物後，再經過篩選及淨漿到噴流至長網前。

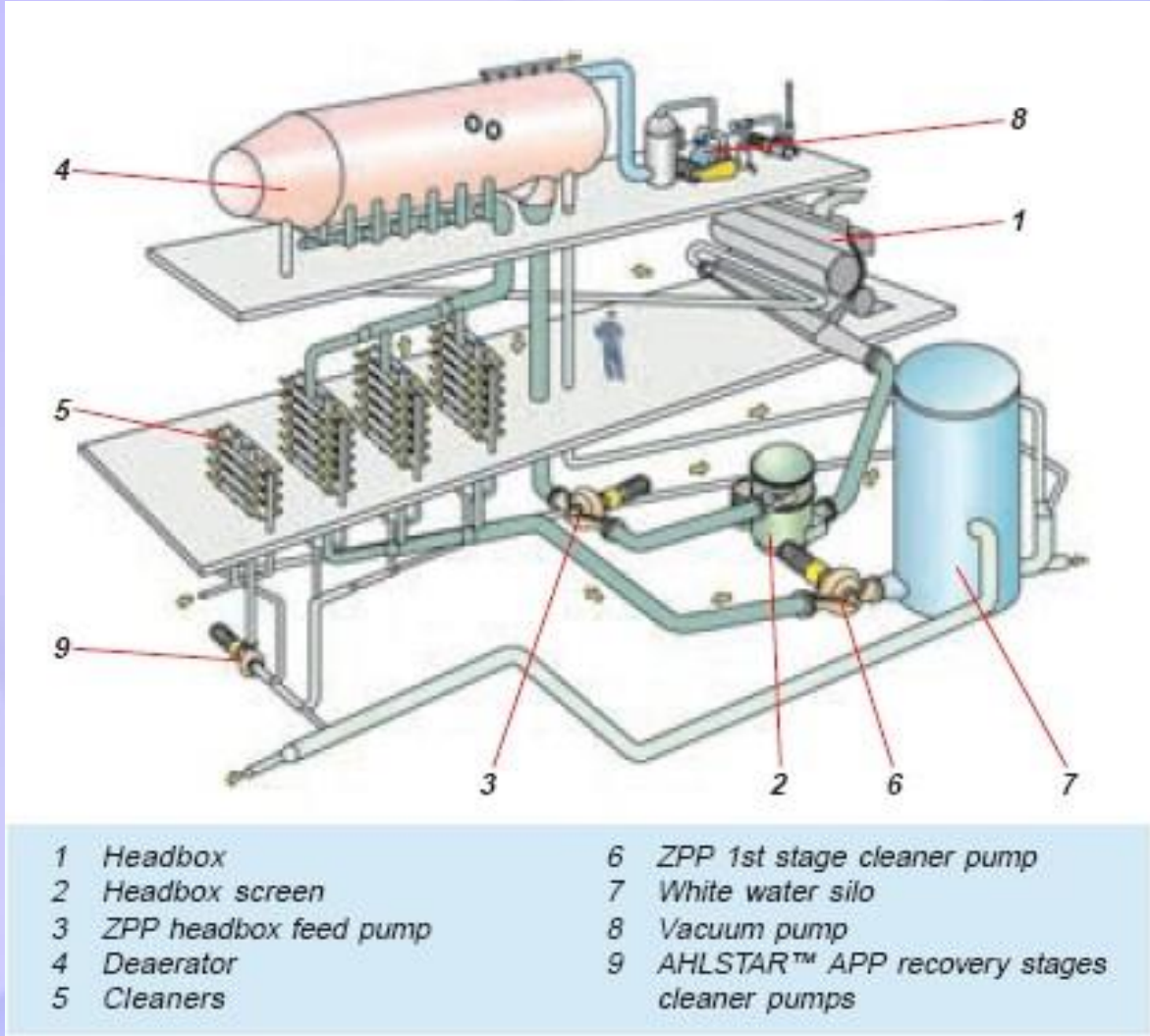
一、流漿系統(Approach System)

- ➔ 篩選機：大塊不純物、纖維反絮凝。
- ➔ 淨漿機：細小不純物。
- ➔ 扇泵：漿料與白水均勻混合，穩定輸送到頭箱。
- ➔ 配料箱：提供固定水位。

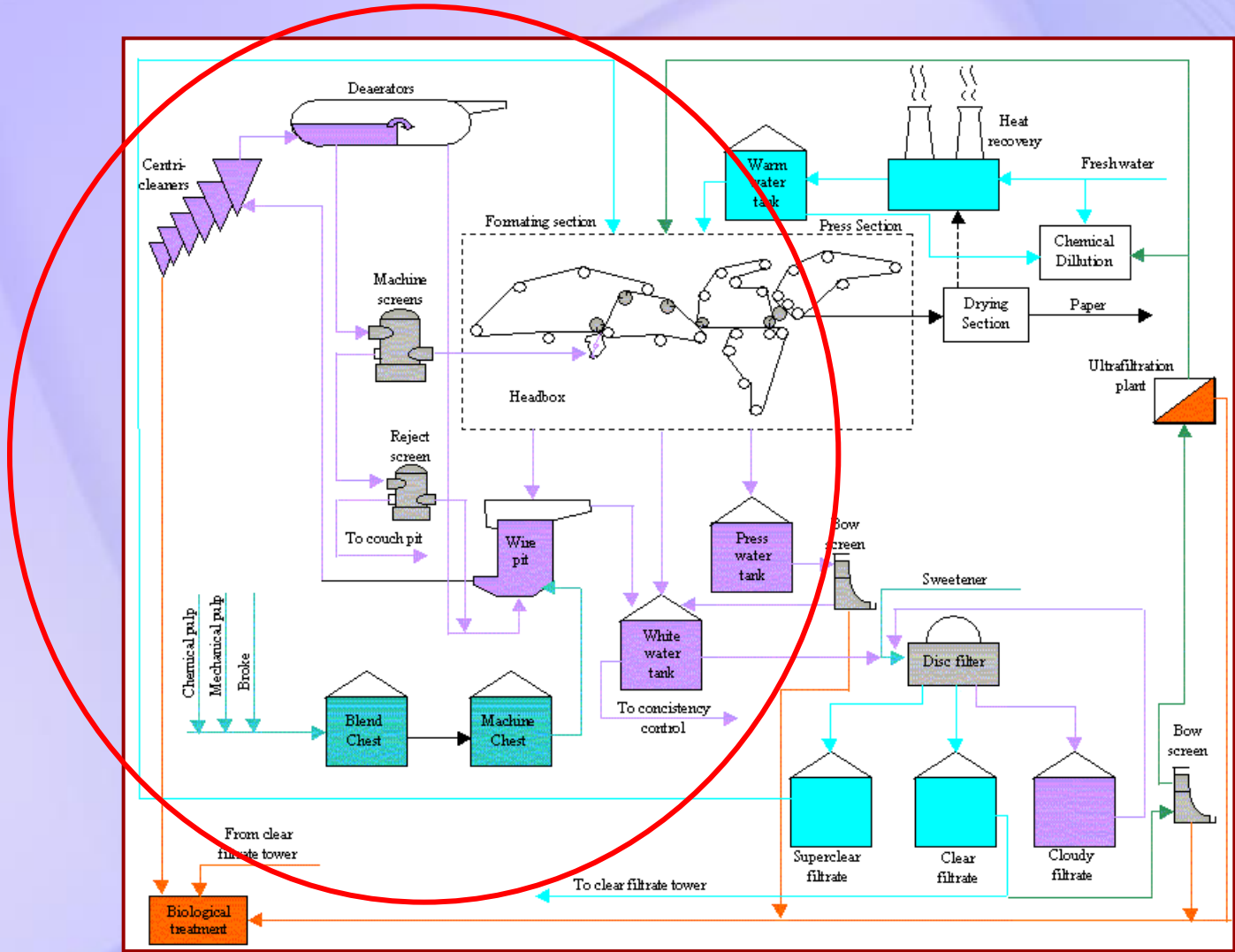
簡化的流漿系統示意圖



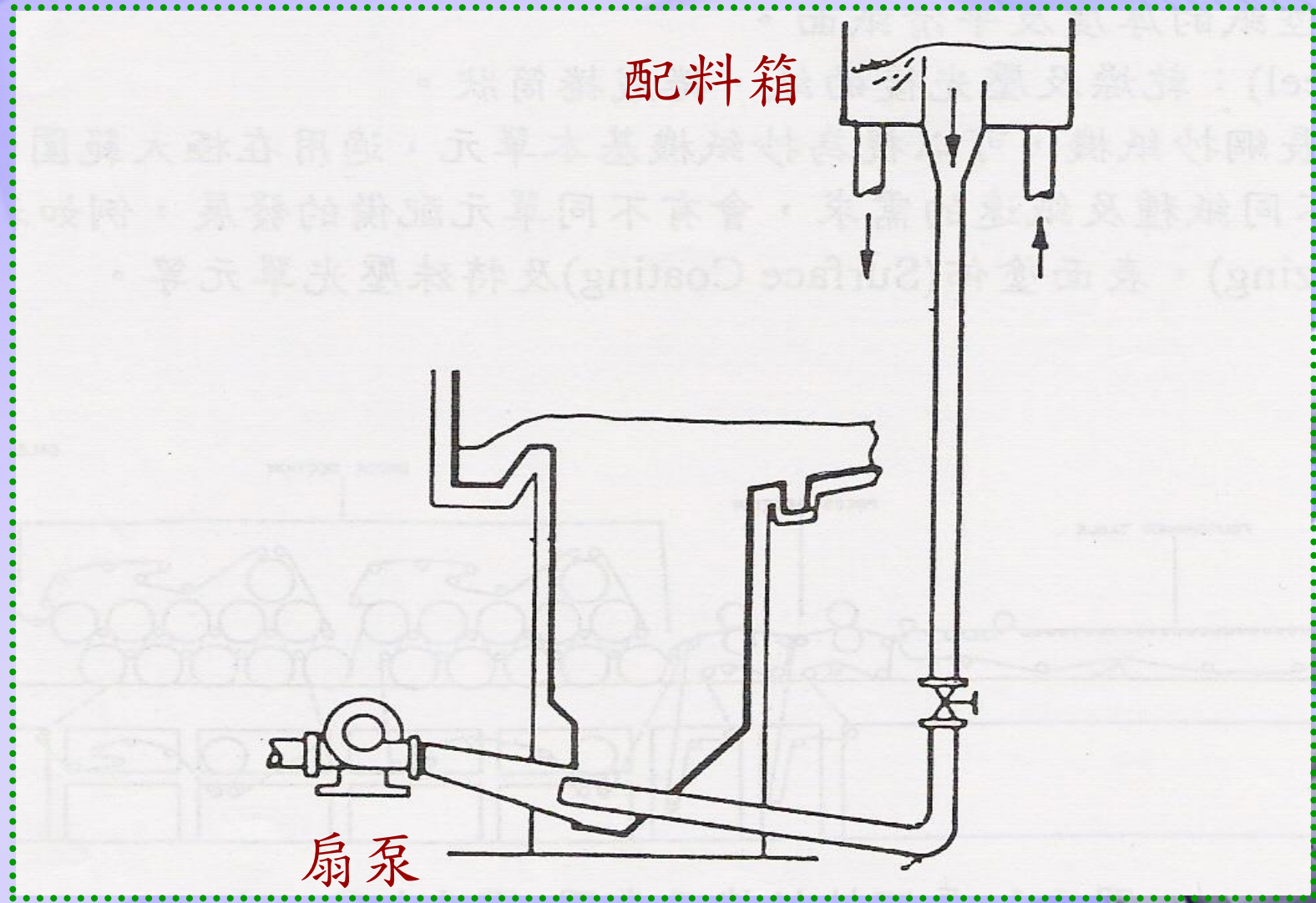
簡化的流漿系統示意圖



簡化的流漿系統示意圖



典型配料箱配置及漿料進流位置(Beloit Corp)



→ 空氣混入

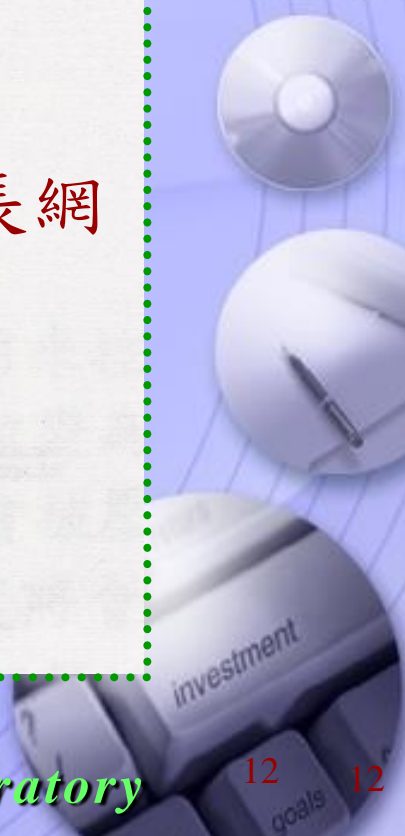
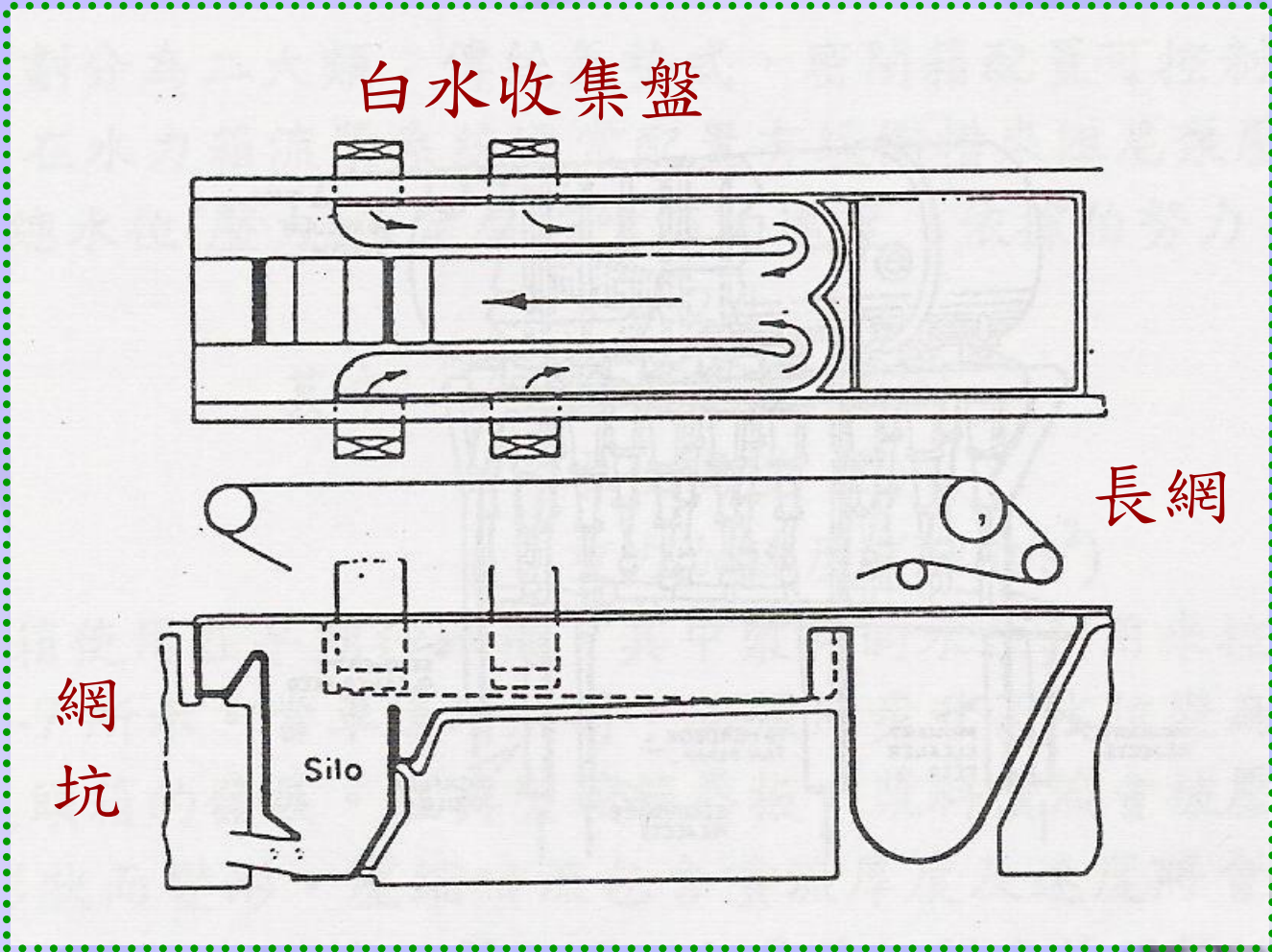


紙面產生瑕疵
網部脫水不良
流漿系統不穩定



脫氣設備/管路設計/消泡劑

長網下網坑位置示意圖(Beloit Corp)



長網下網坑位置設計原則

→ 較長開放式的管路設計

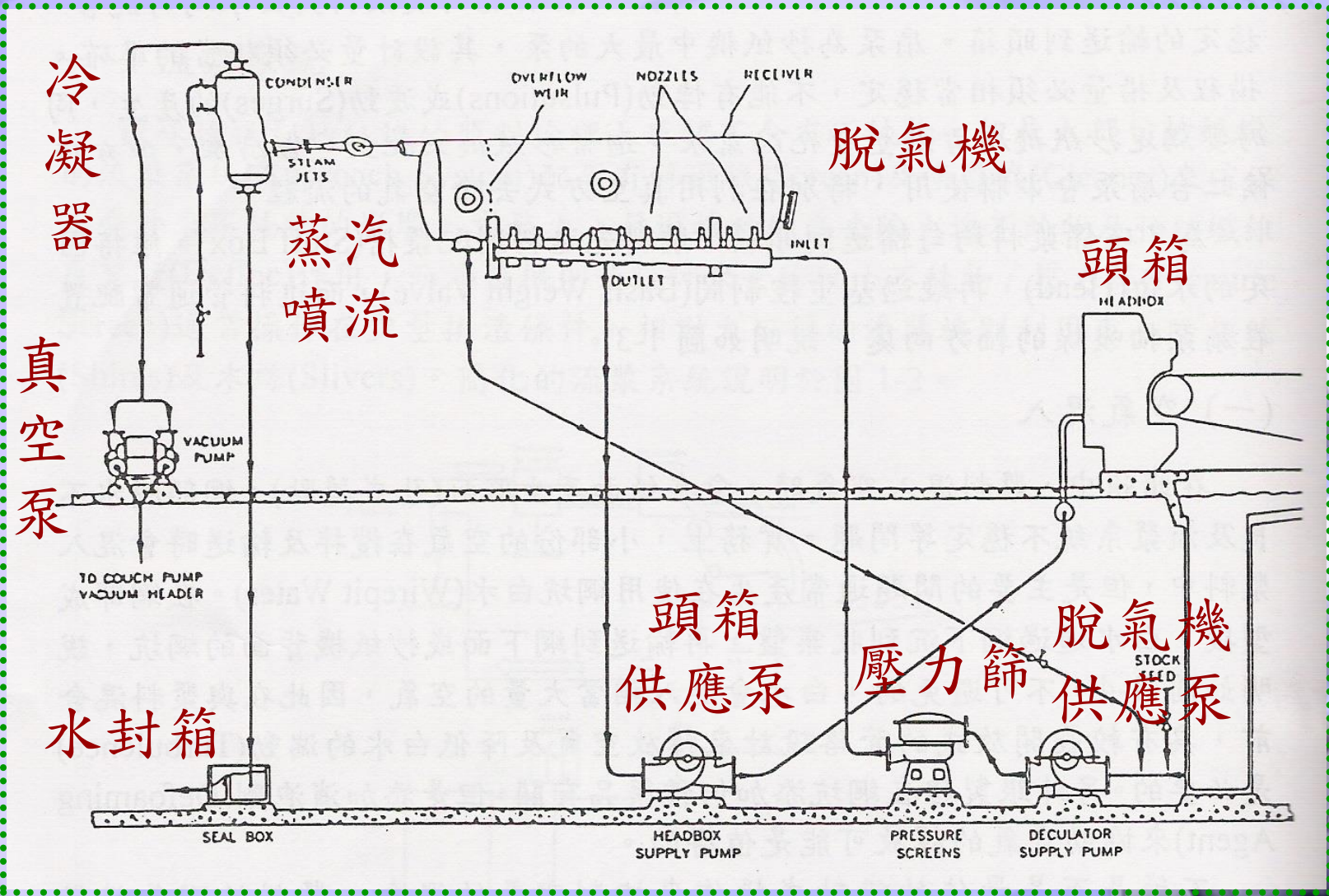


釋放空氣、降低白水湍動



消泡劑

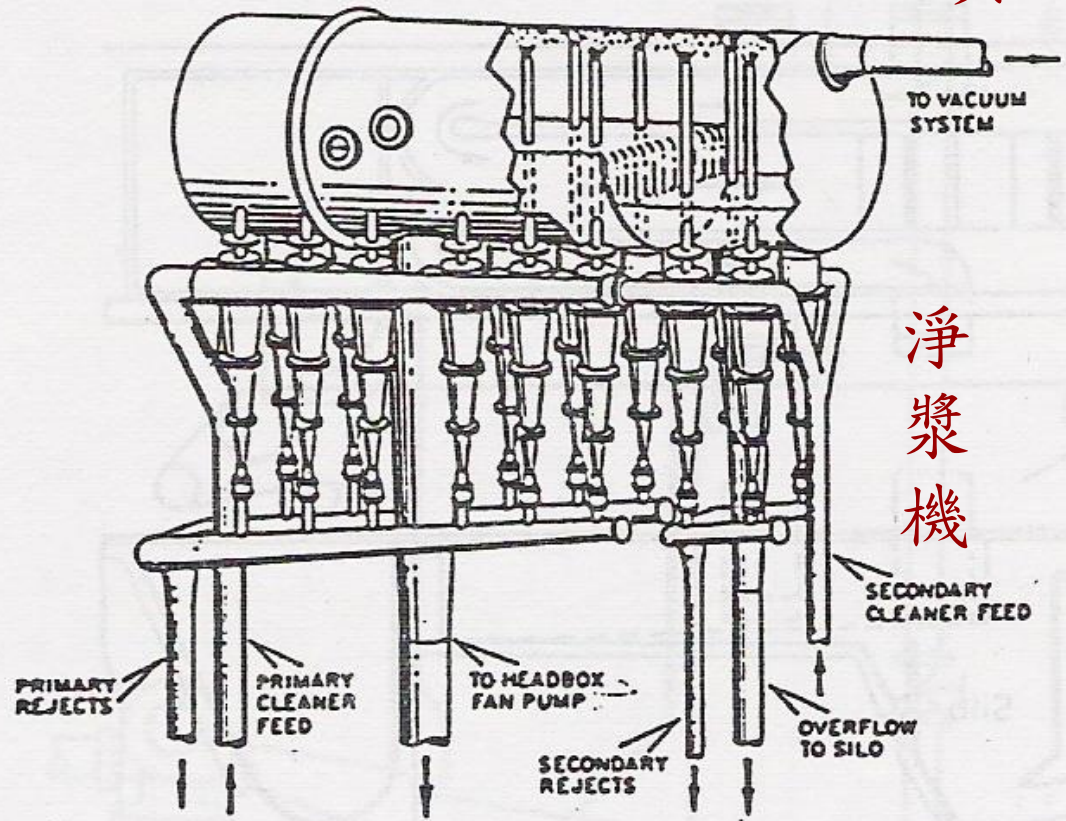
典型脫氣機系統(Clark & Vicario Corp)



典型淨漿脫氣機系統(Clark&Vicario Corp)

脫氣機

至真空系統

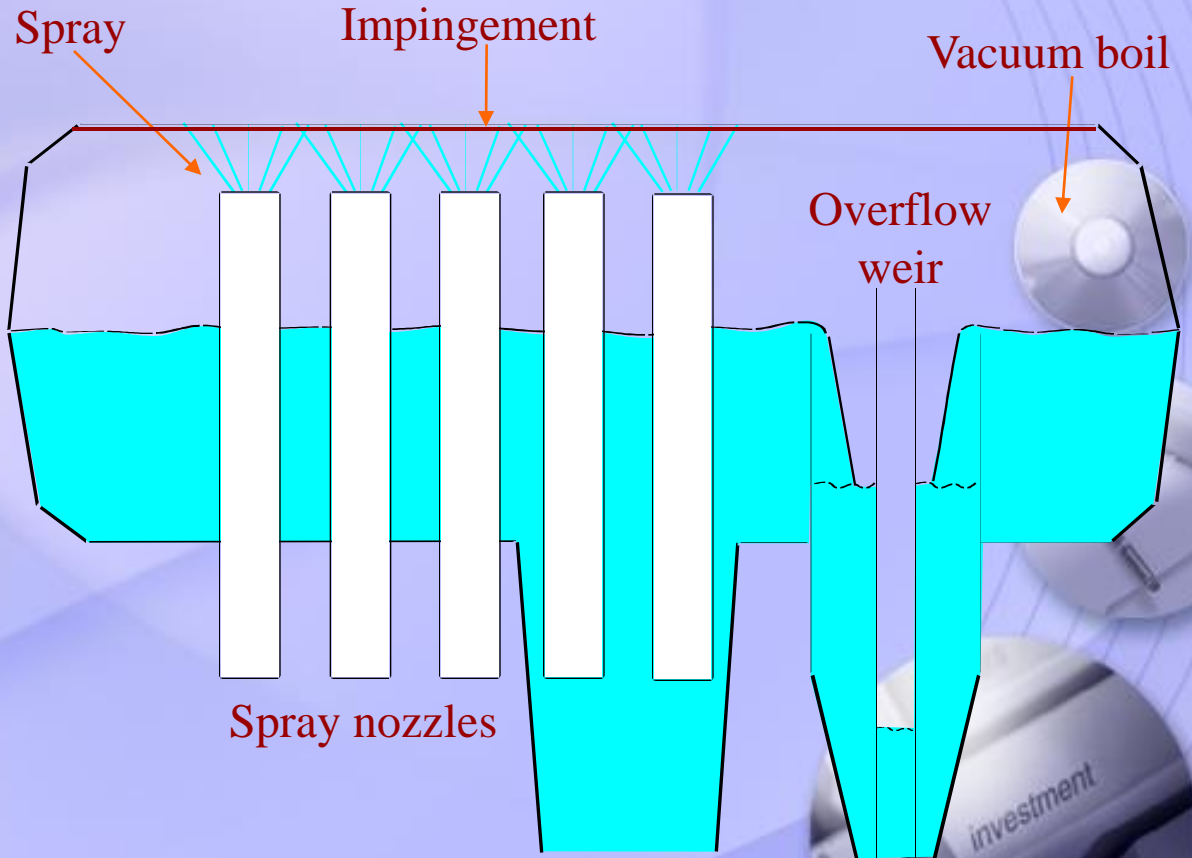


淨漿機

機械除氣/消泡機

有效且完全去除空氣，必須滿足下列三項條件：

- 1. 達到沸點 (真空)
- 2. 噴淋
- 3. 衝擊



二、進料分佈器及頭箱

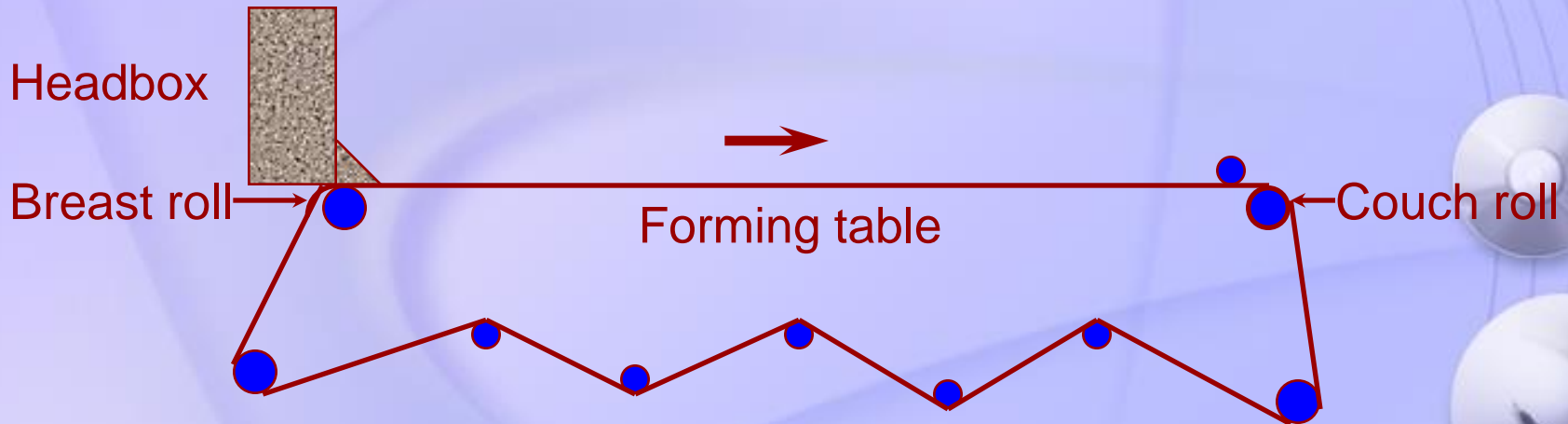
➤ 頭箱系統

- ➔ 目的：把扇泵輸送的漿料，轉化成管道流成為均勻、等寬度的長方型流體進入抄紙機，同時在抄紙機縱向平均等速度。
- ➔ 影響：交織及均勻度、纖維及填料的平均分佈

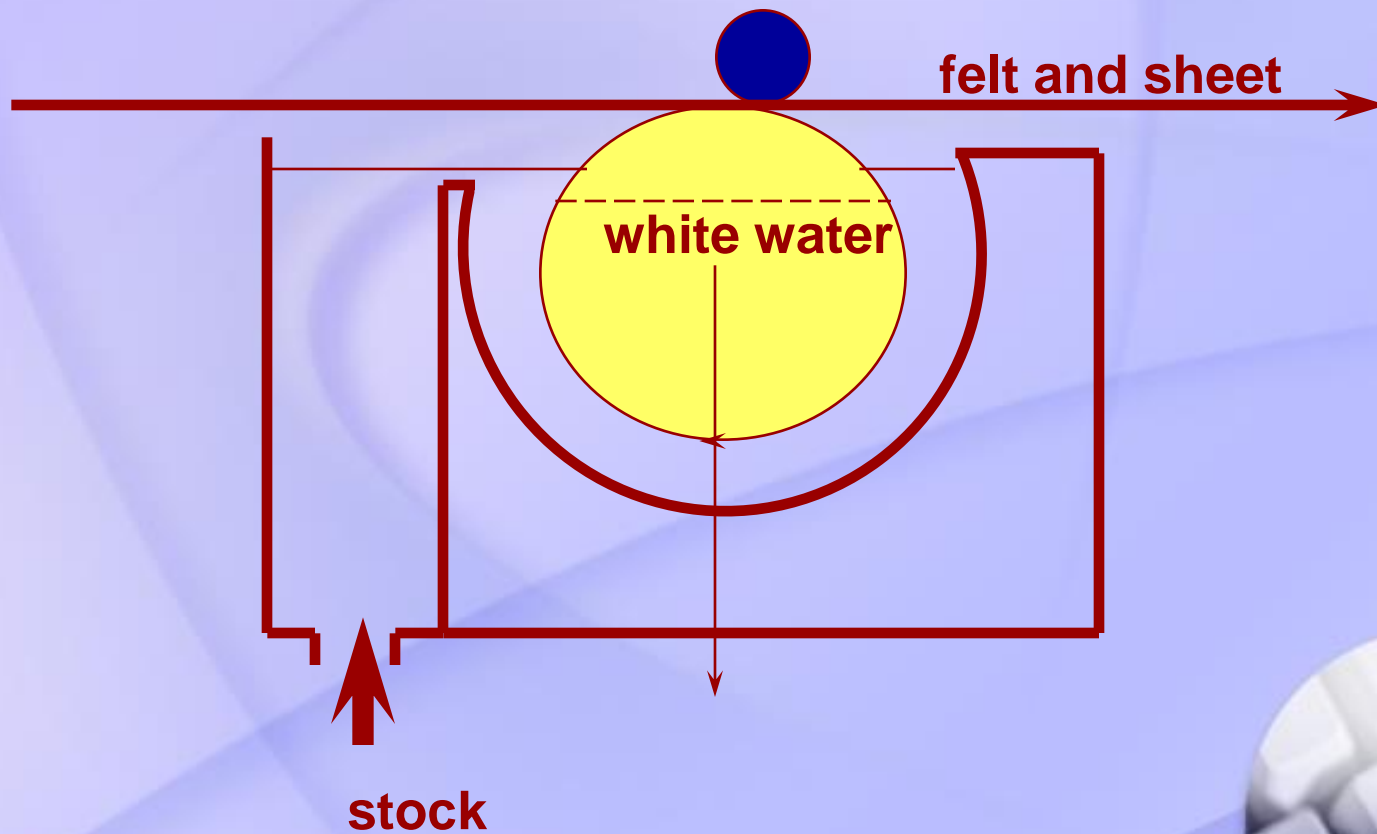
→ 頭箱要求：

1. 漿料平均分佈在橫向。
2. 整平錯流及濃度變化。
3. 整平縱向速度梯度。
4. 產生可控制的湍動來降低纖維絮凝。
5. 唇板開口需噴流均勻及噴到網的角度及位置正確。
6. 潔淨度。
7. 容易操作調整。
8. 頭箱設定的測量準確性
9. 凹凸設計達到固定唇板開度分佈。

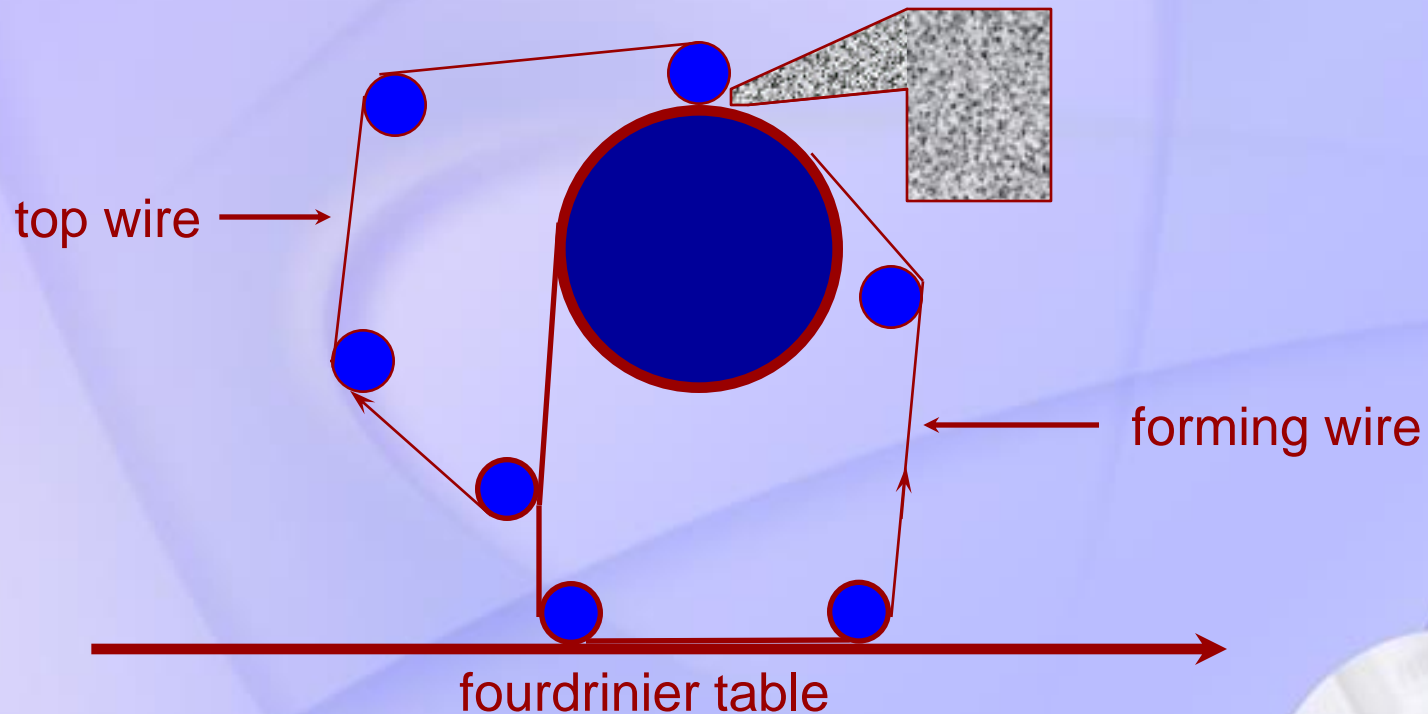
長網機 Fourdrinier Design



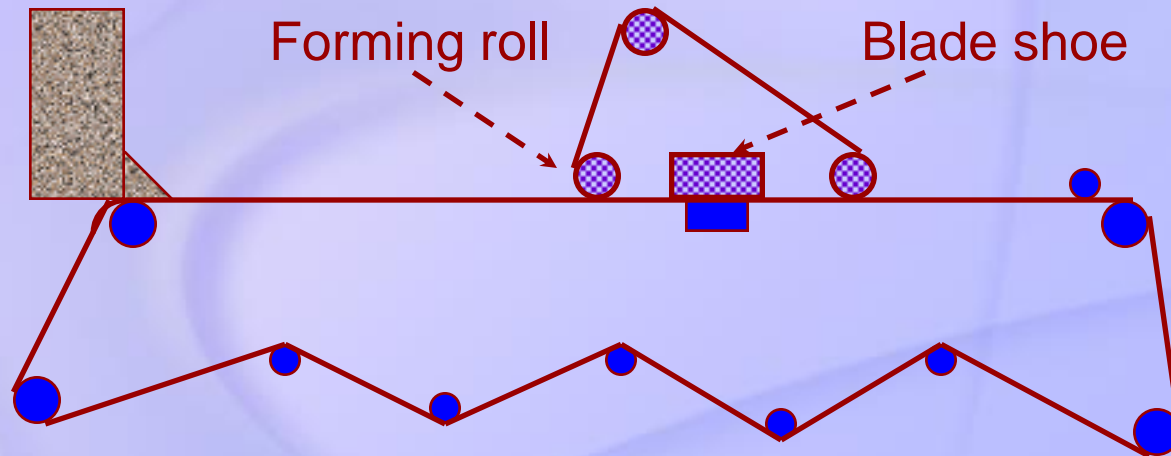
圓網機 Cylinder Design



上網成形單元 Top Forming Unit

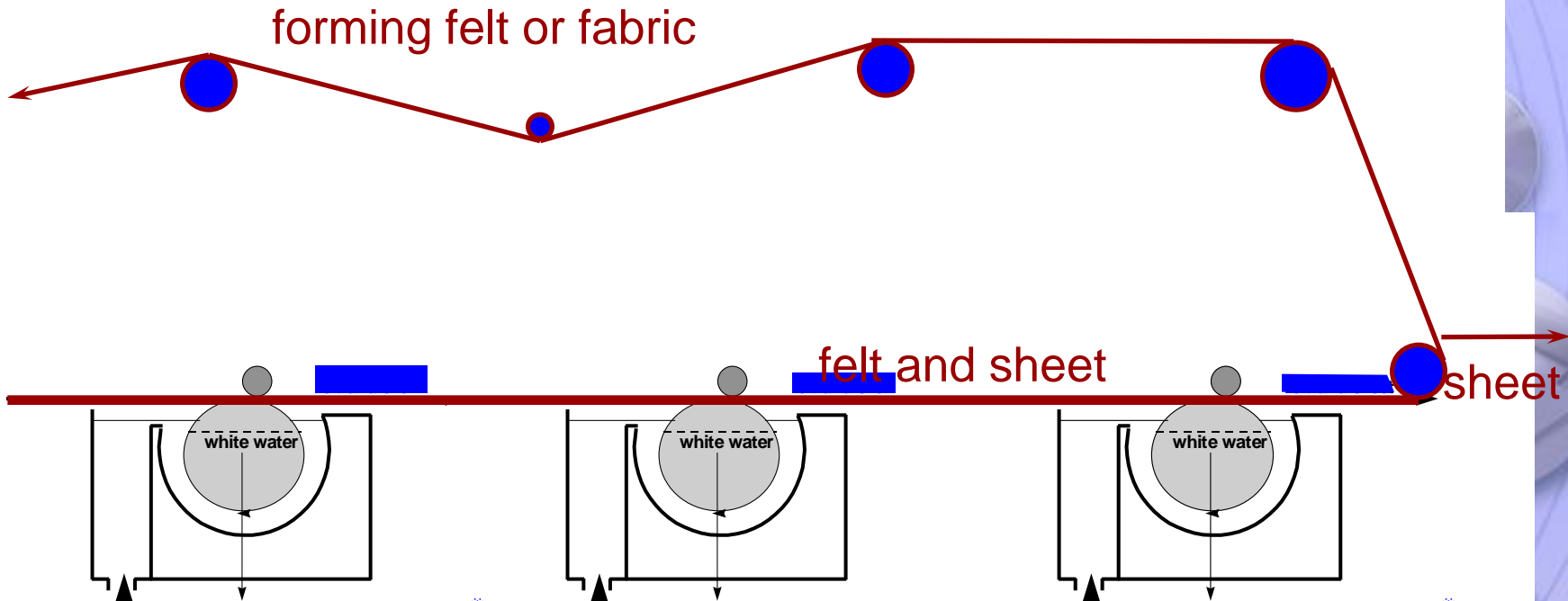


混合成形機 Hybrid Former

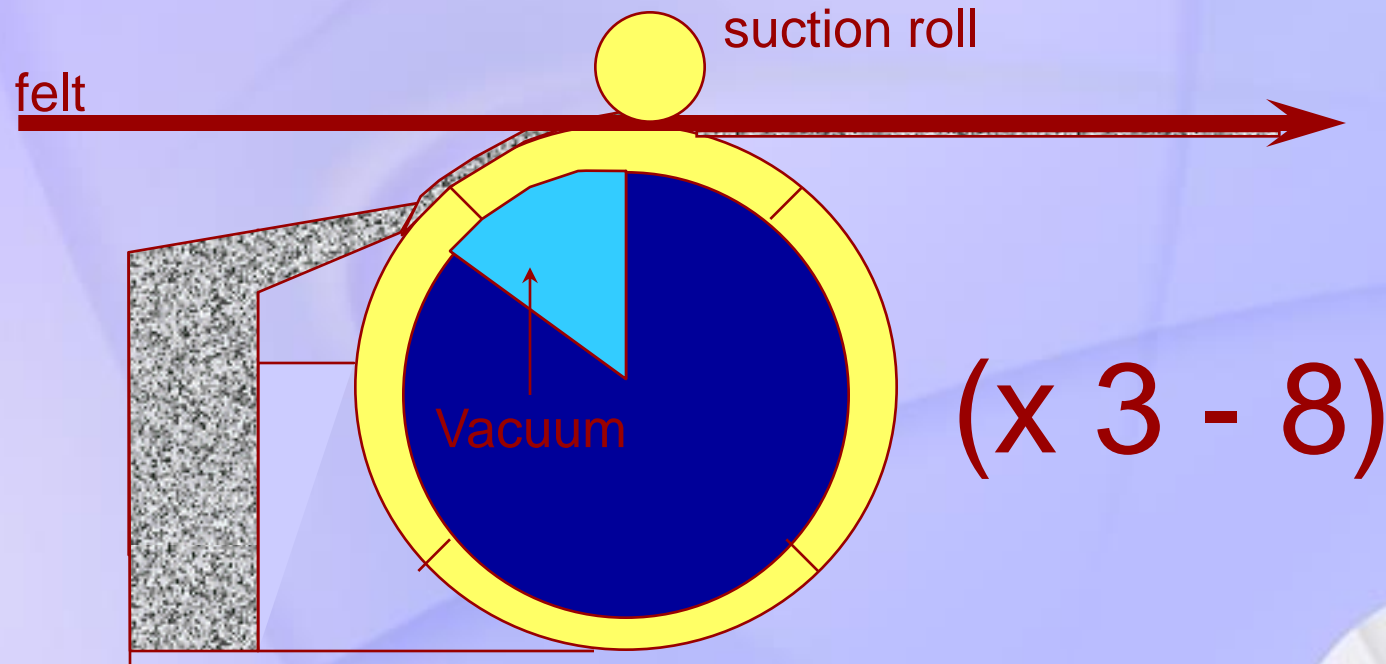


多圓網

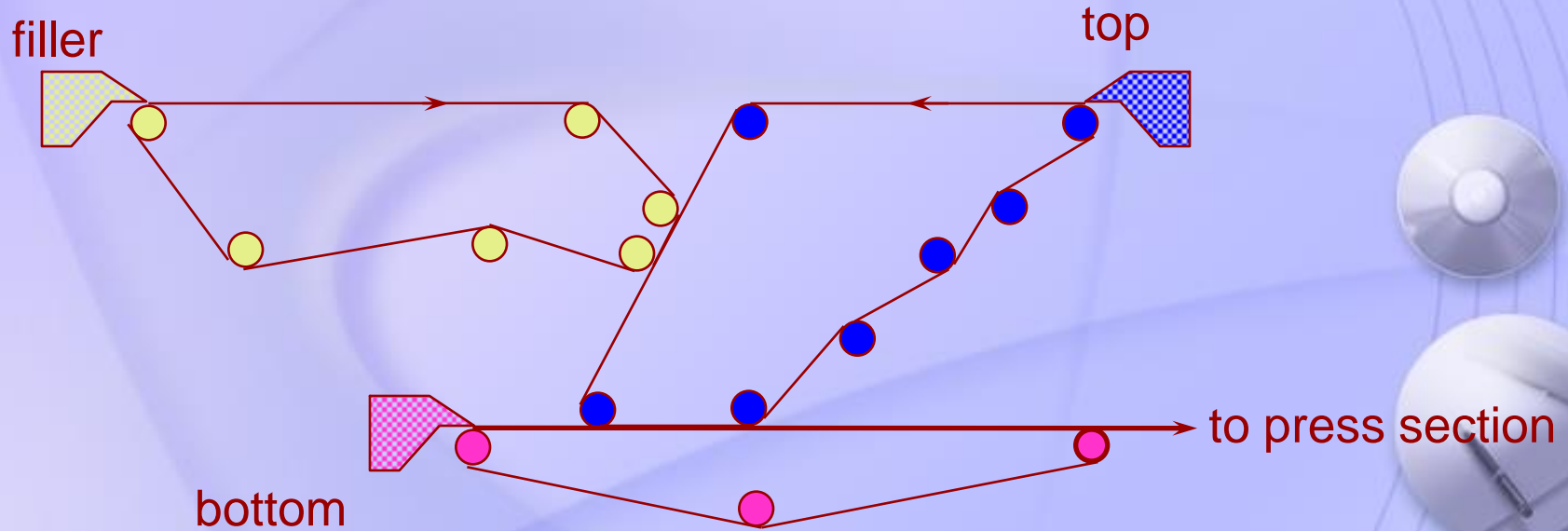
Multi cylinder (or vat)



多真空圓網成形機 Multi Vacuum Former

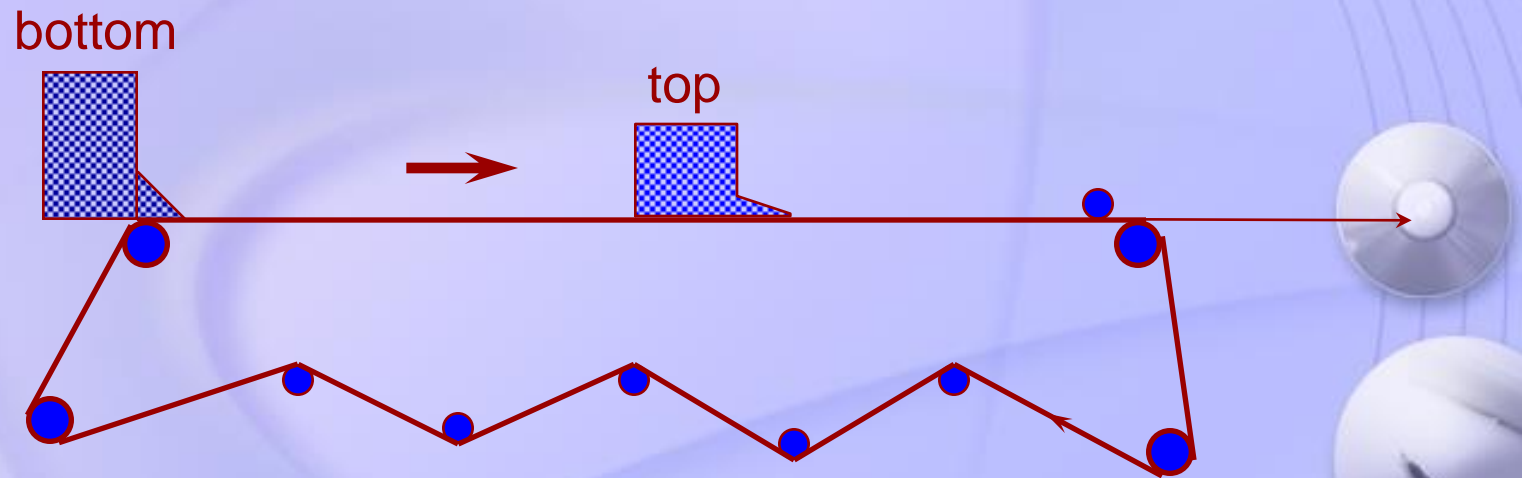


多長網 Multi fourdrinier

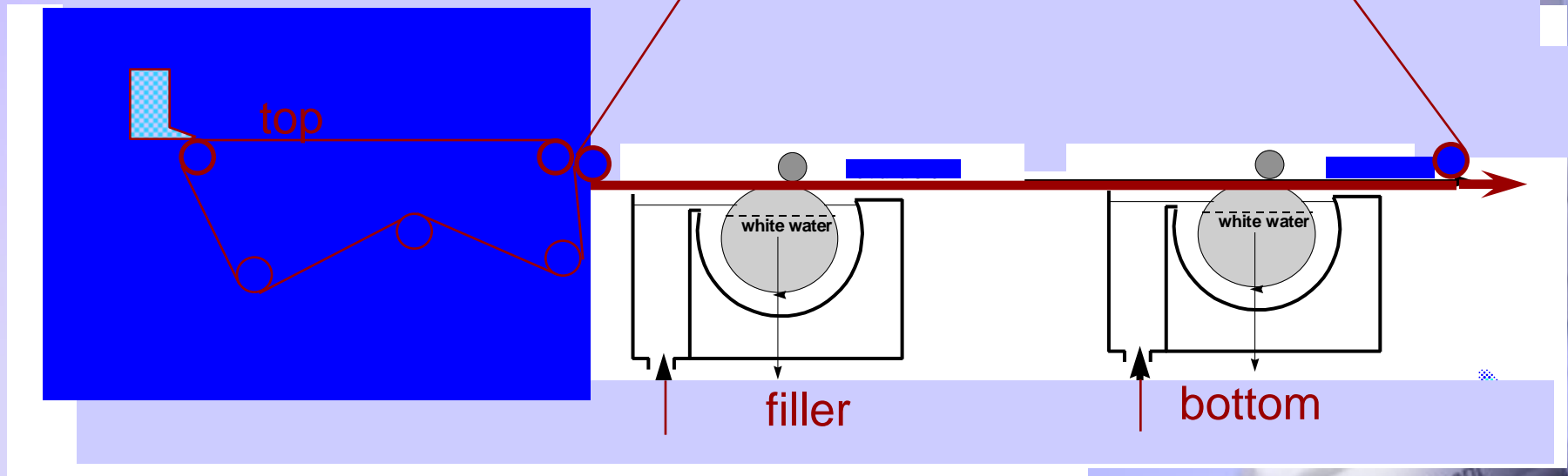


長網二次頭箱

Fourdrinier Secondary Headbox



長網圓網混合型 Combination Fourdrinier - Vat



➤ 頭箱系統

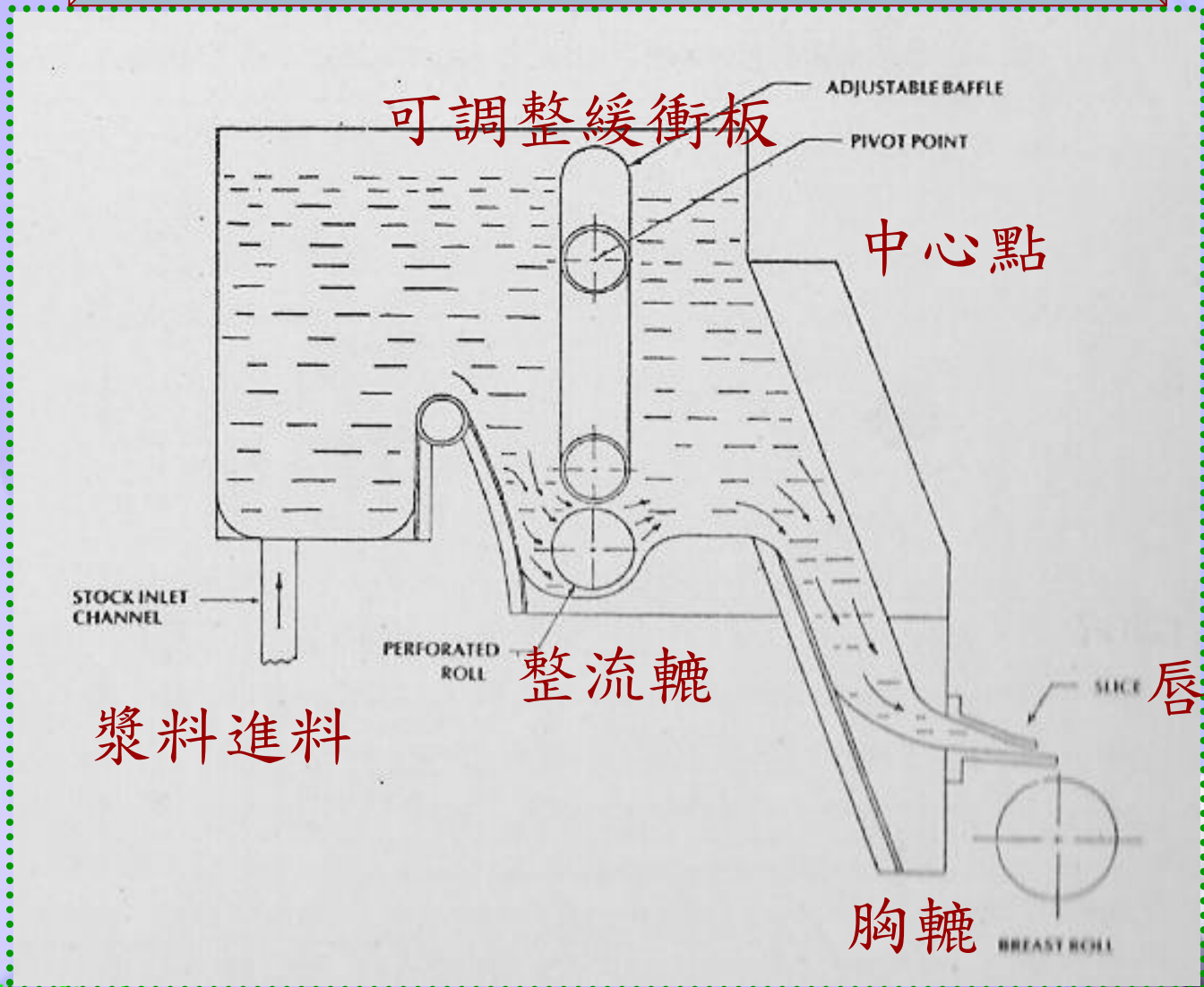
➔ 開放式 vs. 壓力式(氣墊式、水力式、稀釋水)

$$V : \sqrt{2gh}$$

➔ 漿料流量：噴流速度 + 噴流厚度

唇板開度 ≠ 噴流厚度

開放式頭箱側面圖



漿料進料

可調整緩衝板

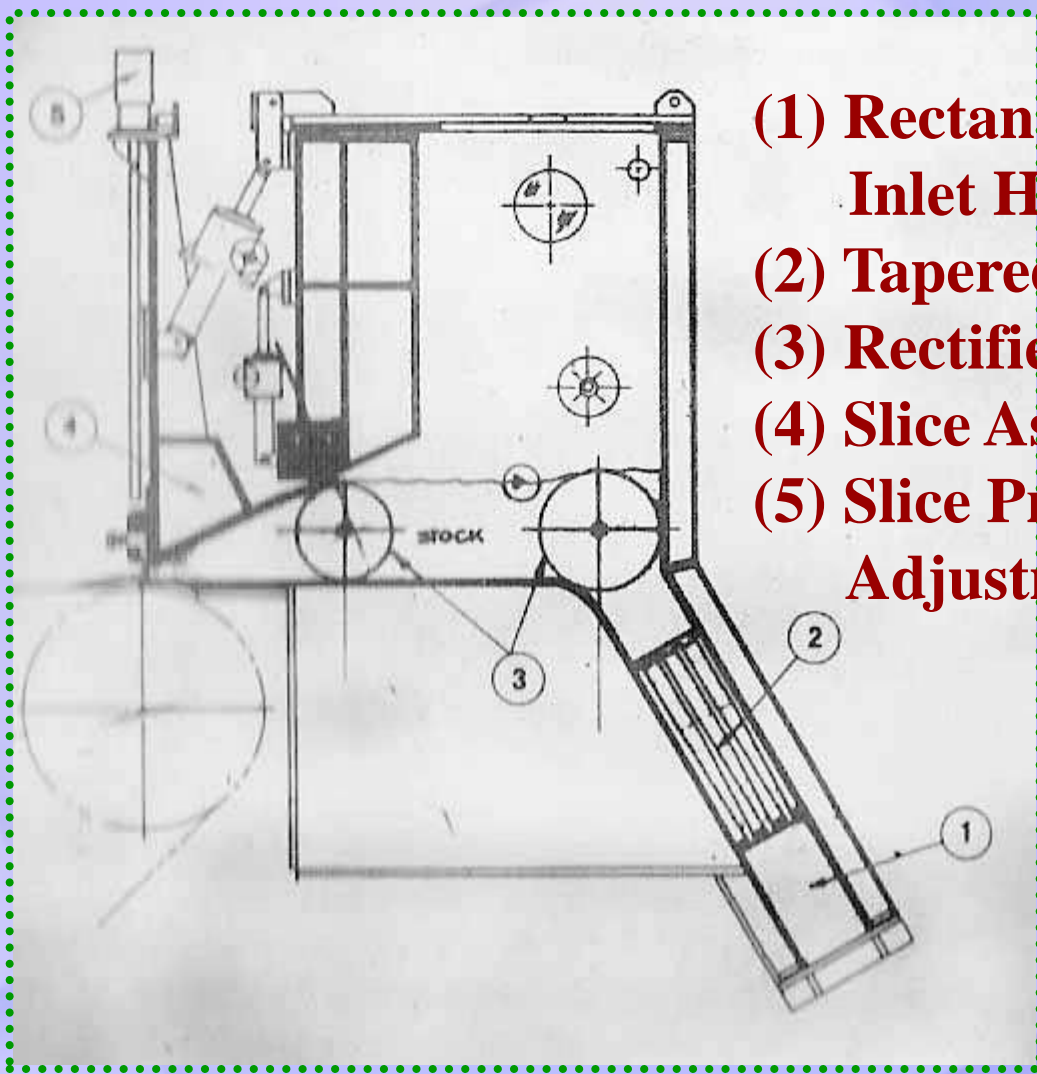
中心點

整流輥

唇板

胸輥

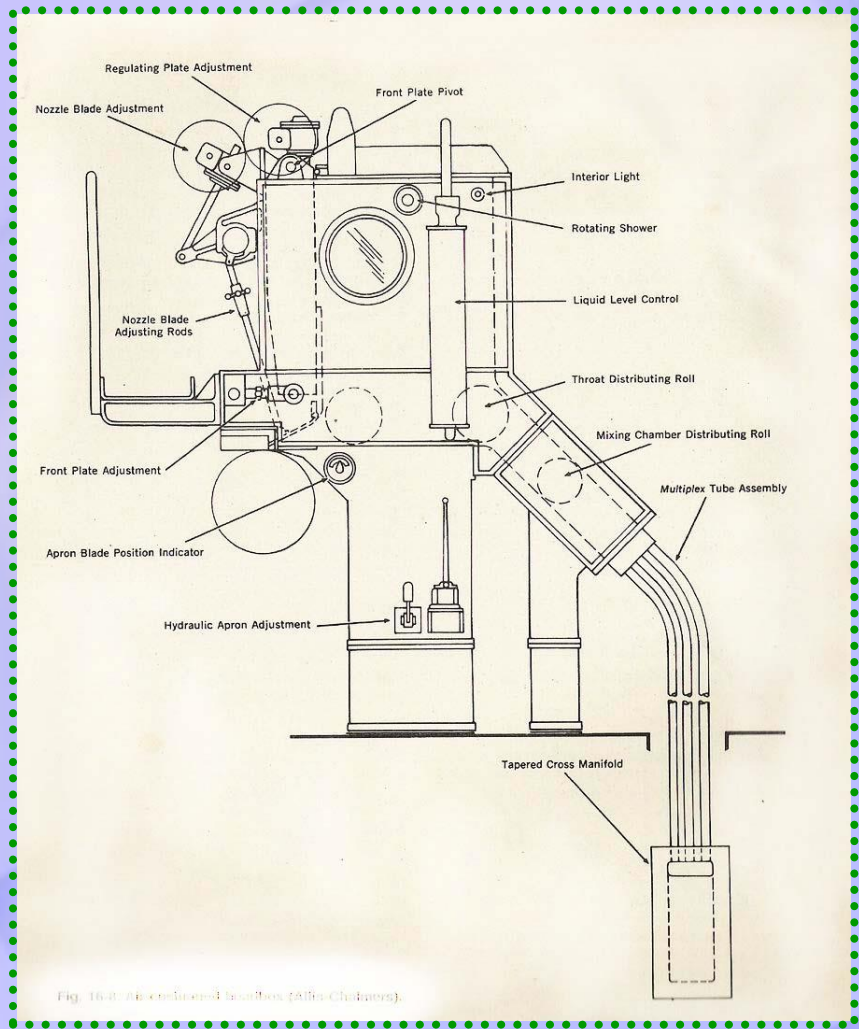
氣墊式頭箱側面圖(LG Industries Ltd)



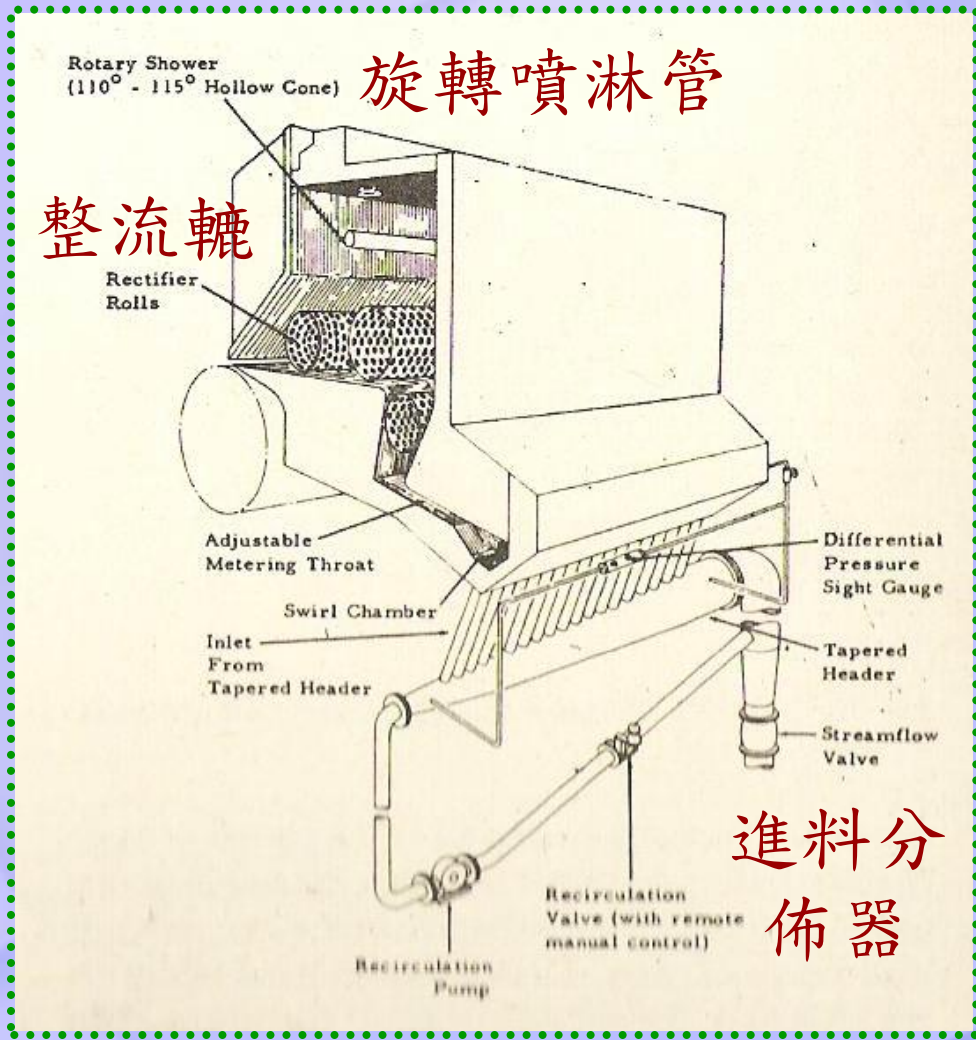
- (1) Rectangular Tapered Inlet Header
- (2) Tapered Laterals
- (3) Rectifier Rolls
- (4) Slice Assembly
- (5) Slice Profile Adjustment



氣墊式頭箱示意圖 (Allis-Chalmers)



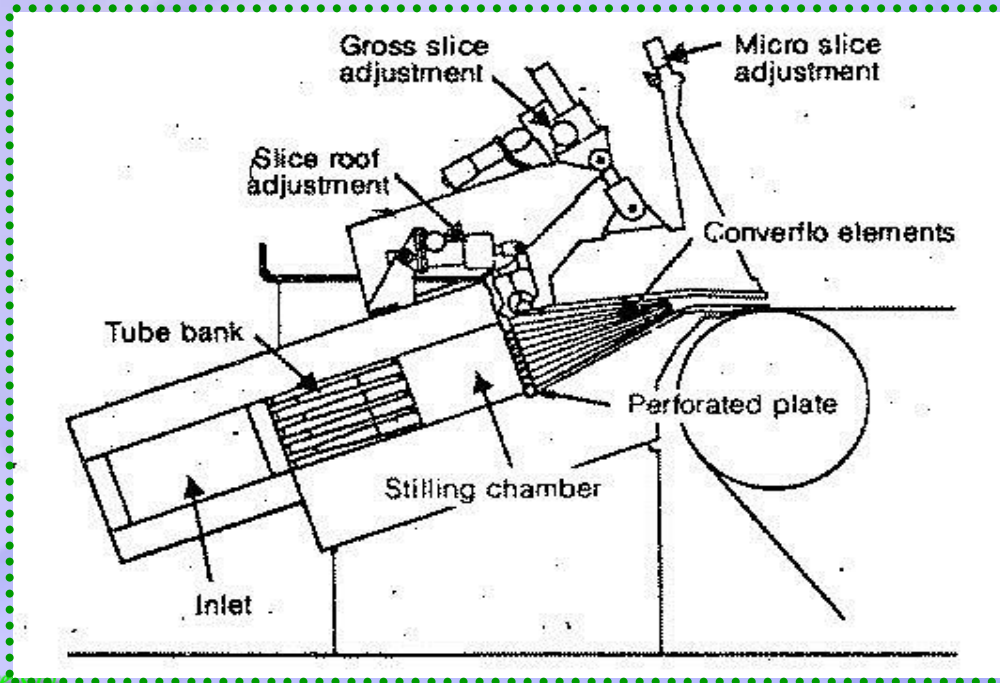
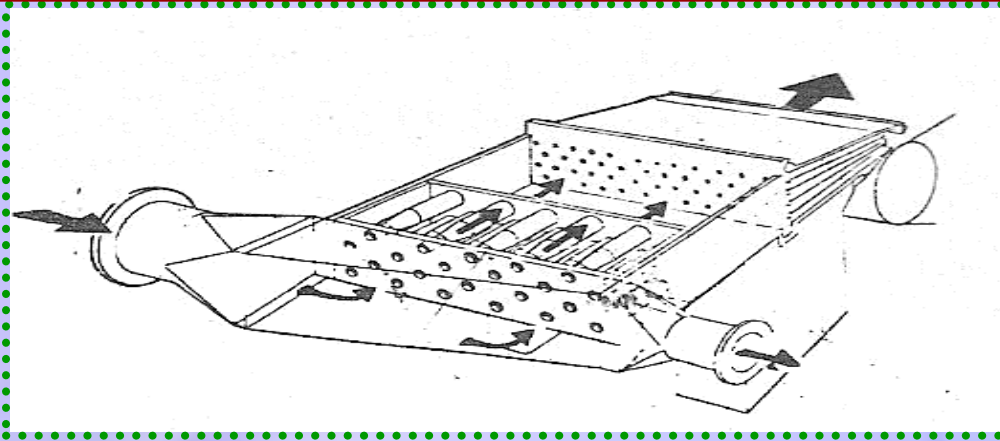
氣墊式頭箱示意圖(Beloit Corp)



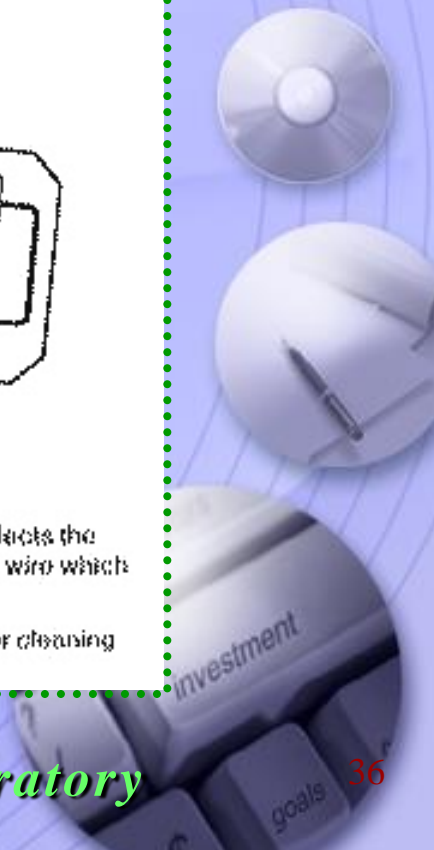
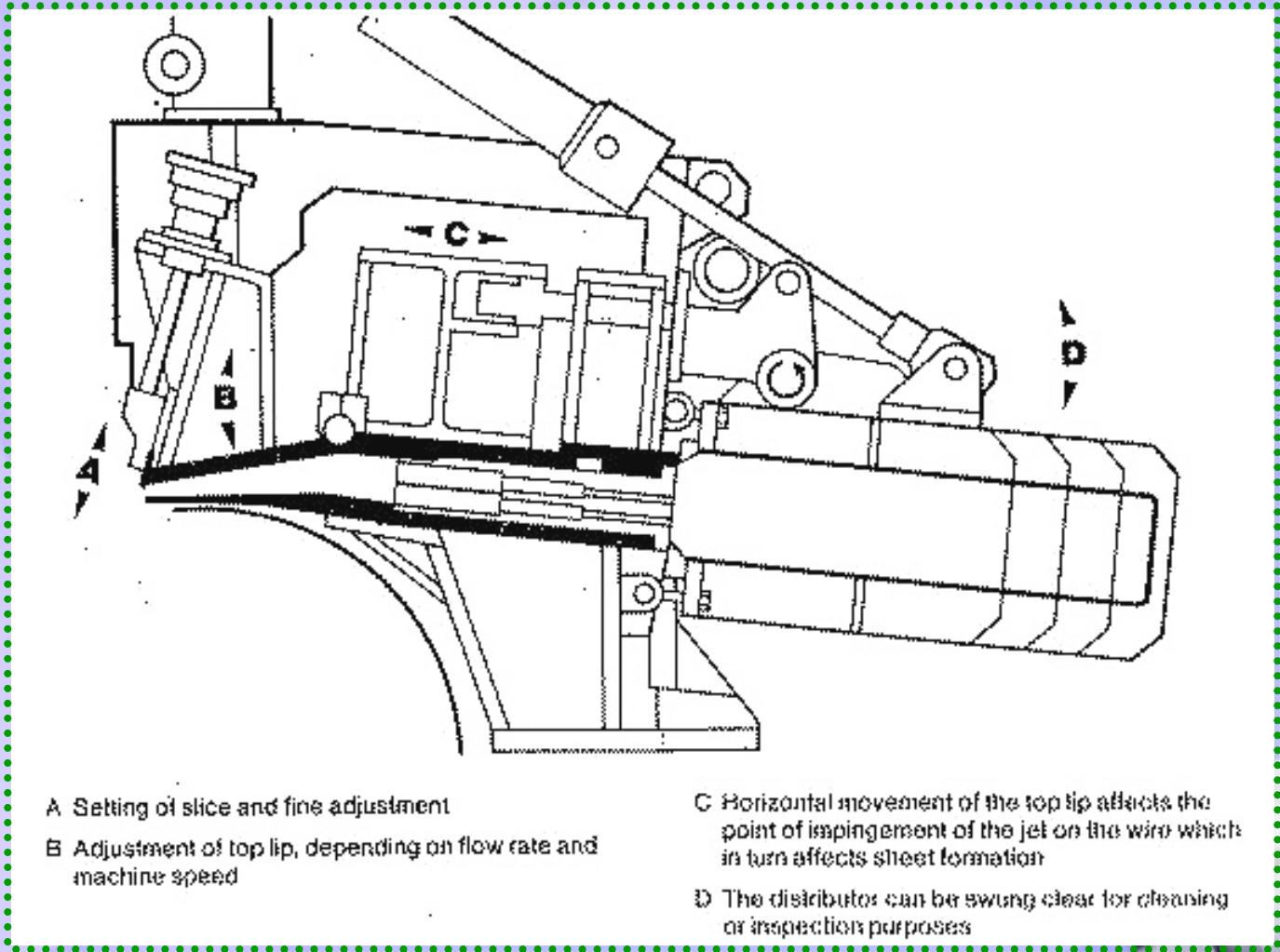
氣墊式頭箱內視圖(KMW)



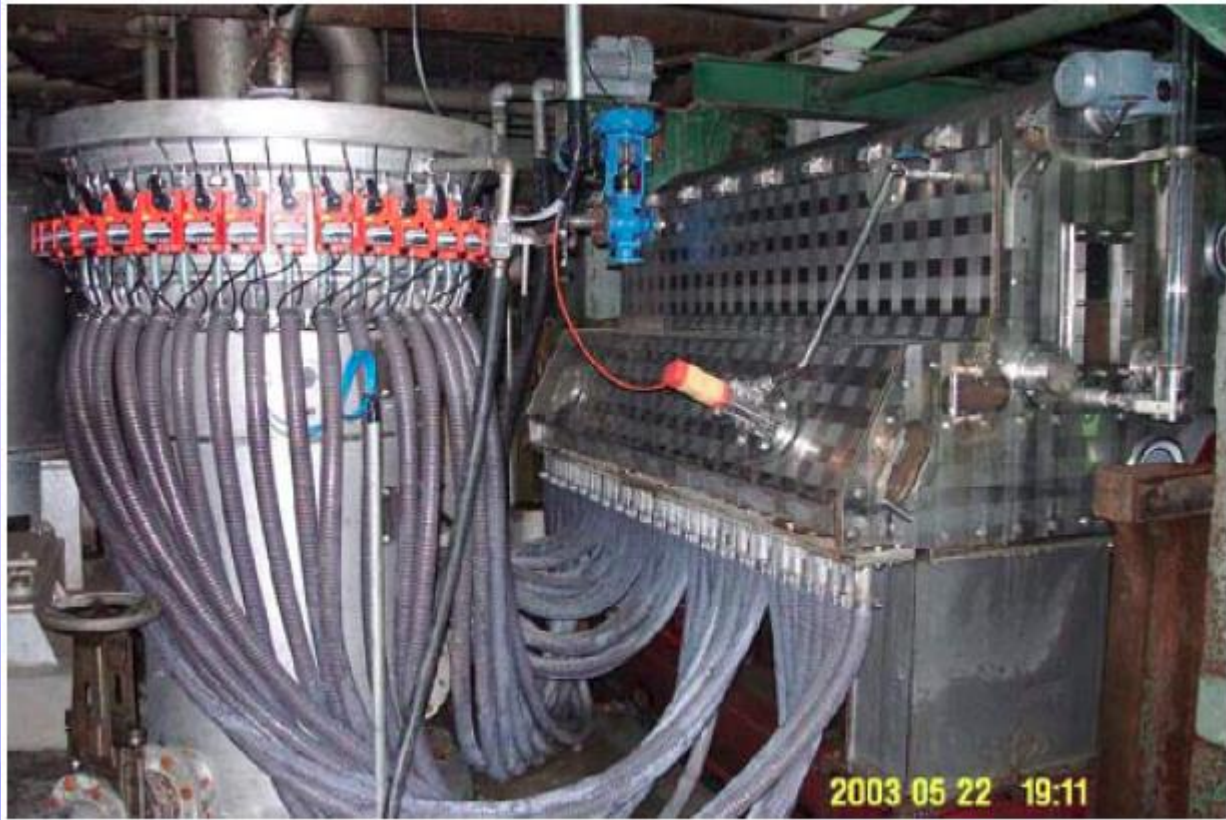
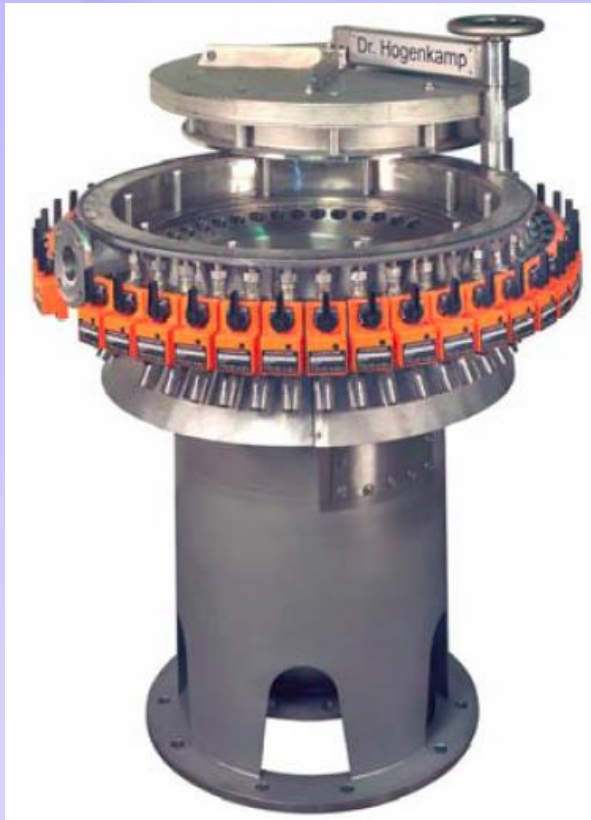
Converflow頭箱示意圖 (Beloit Corp.)



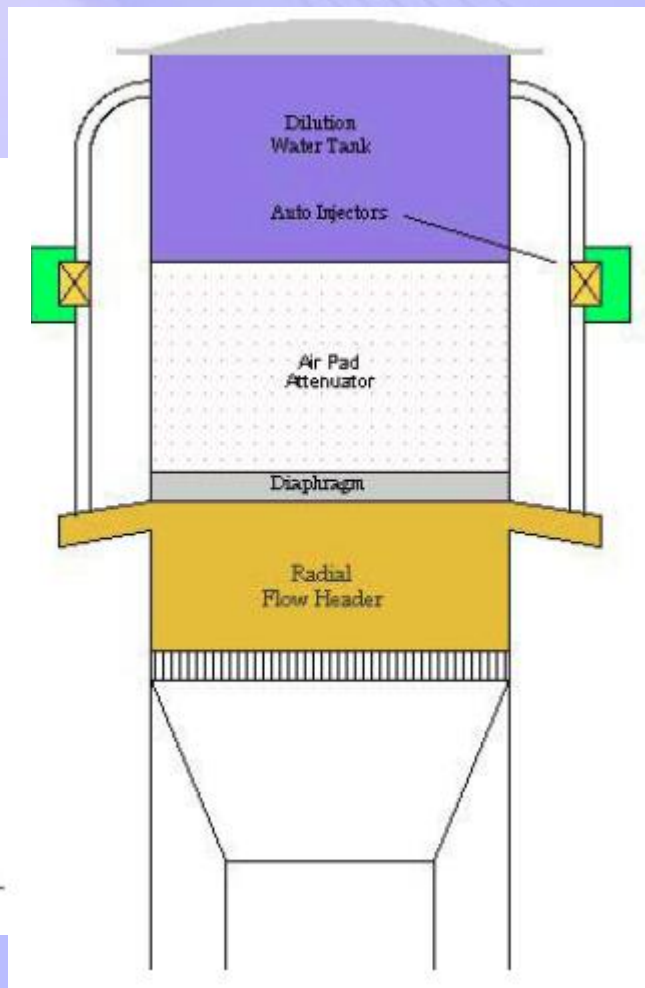
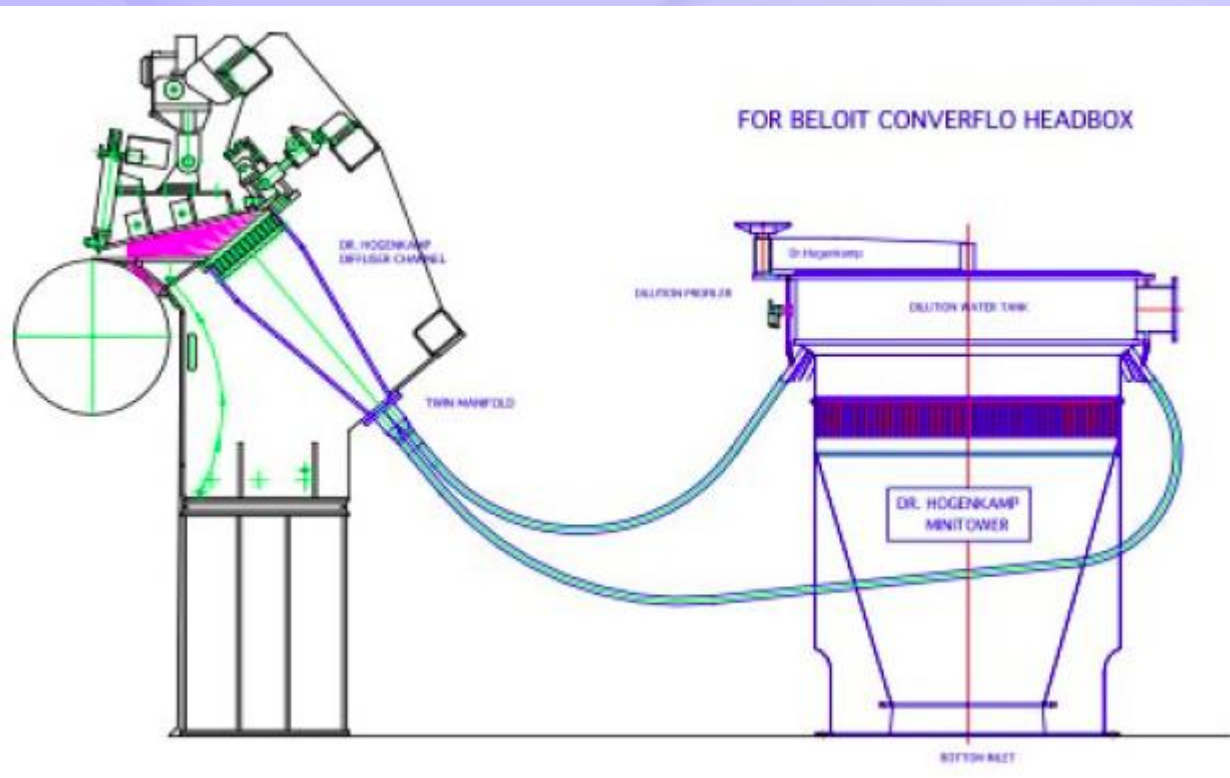
水力式頭箱示意圖 (Escher-Wyss)



稀釋水頭箱示意圖



稀釋水頭箱示意圖



▶ 進料分佈器

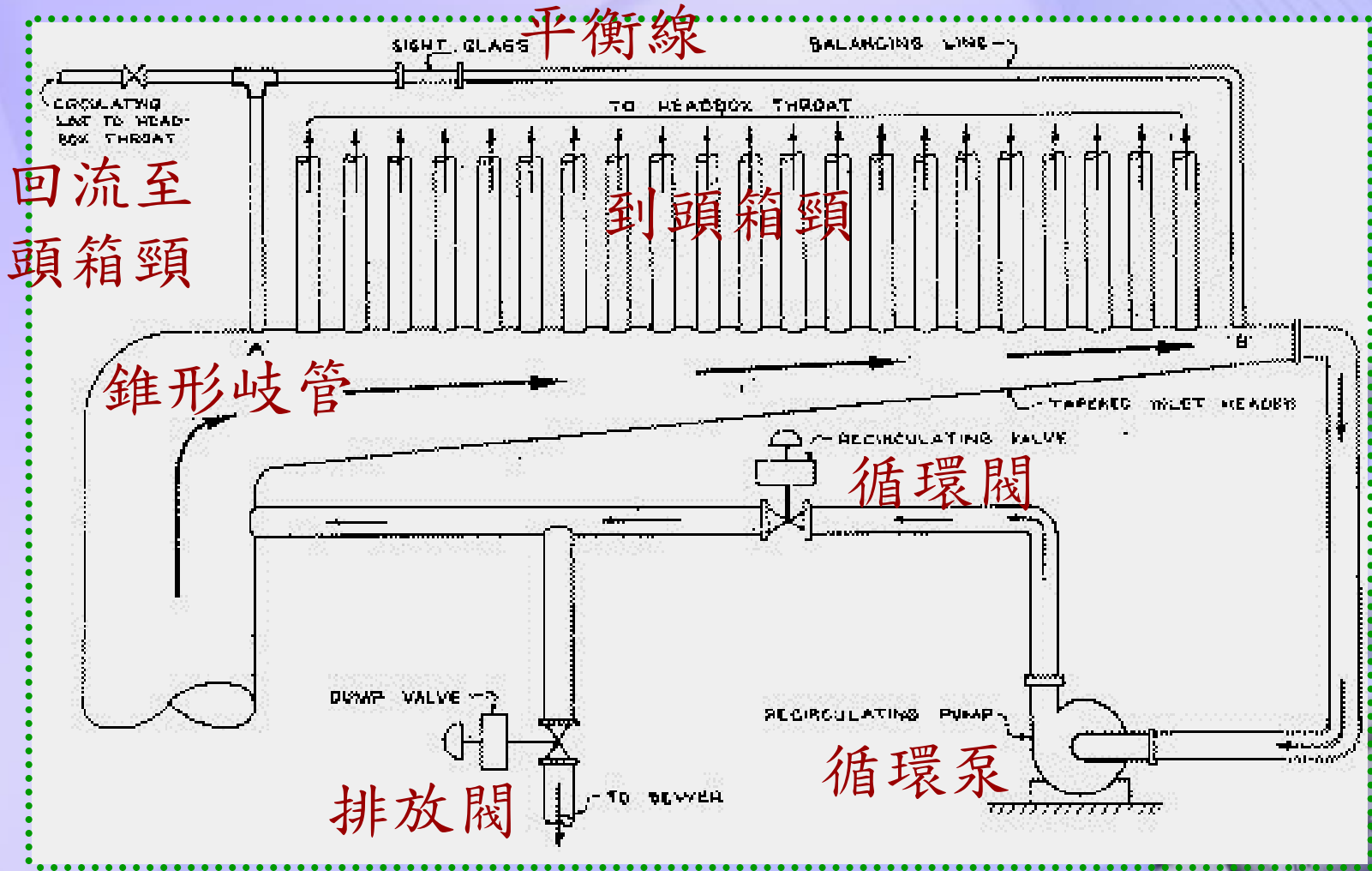
➔ 目的：漿流形成管道流均勻分佈在抄紙機的橫向。

➔ Mardon J. 1950年代中期

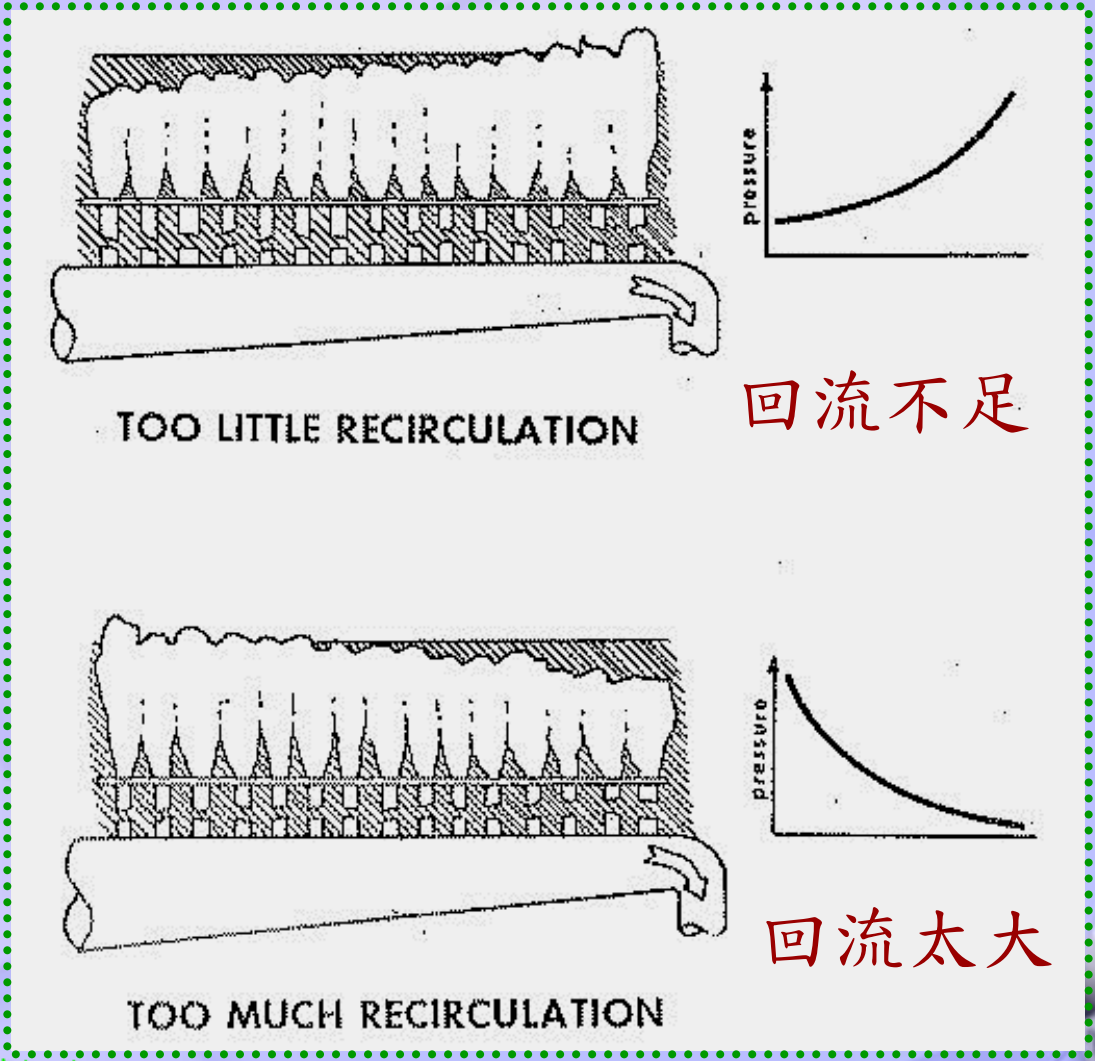


多管回流式錐形歧管
(Multi-tube Taped Manifold with Recirculation)

多管回流式錐型歧管



進料分佈器不正確回流比例的漿流分佈



回流不足

回流太大



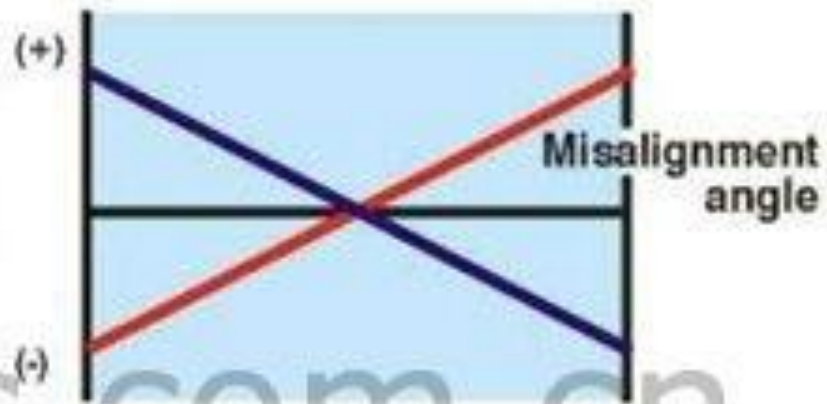
進料分佈器不正確回流比例的漿流分佈

Edge flows

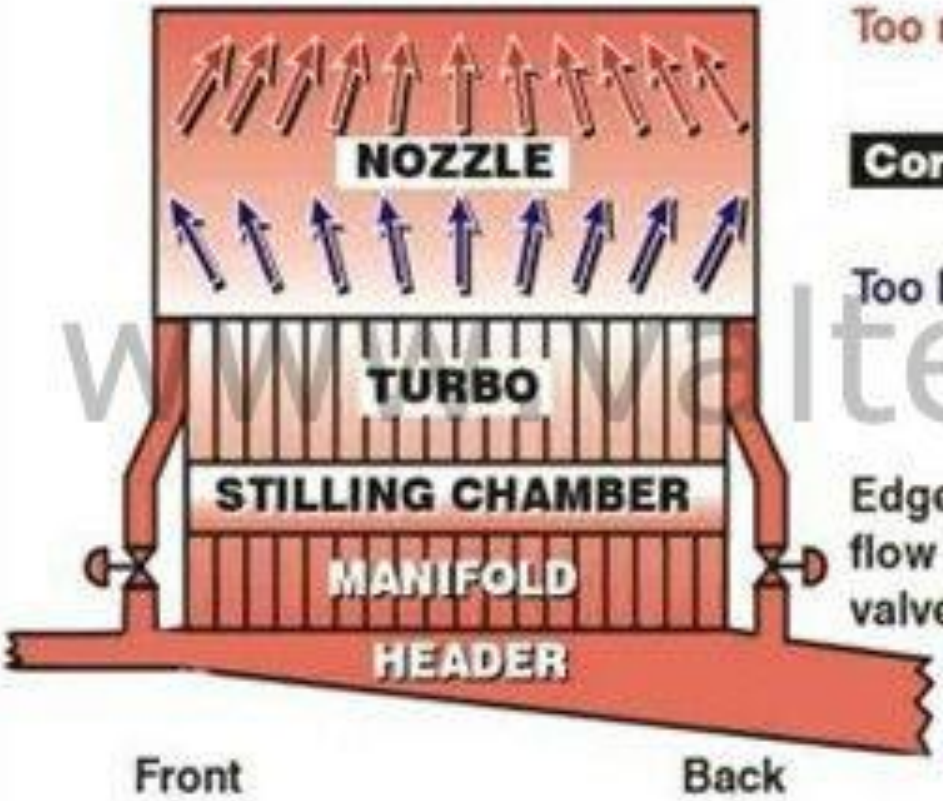
Too much (+)

Correct

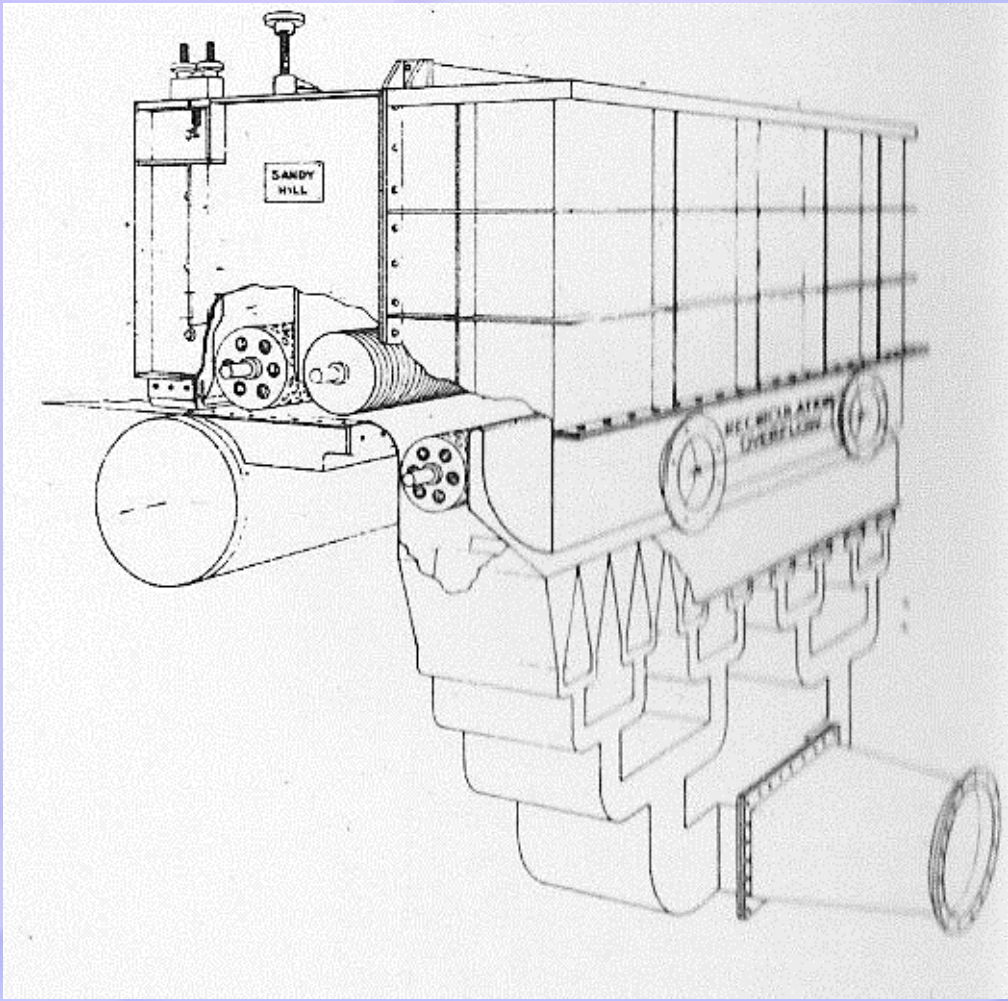
Too little (-)



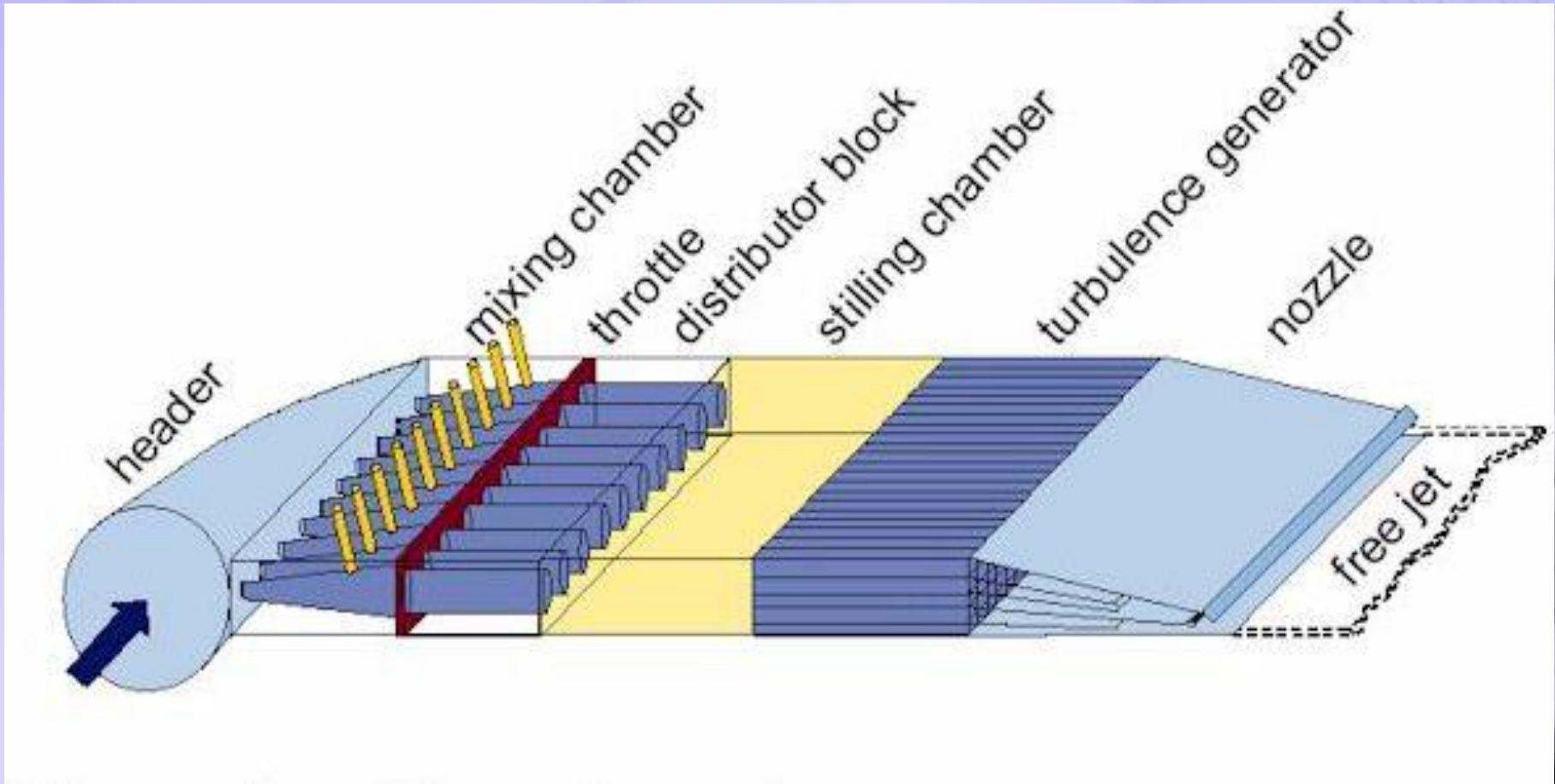
Edge flow valve



頭箱配置多管回流式錐型歧管



先進進料分部器示意圖



► 整流輓

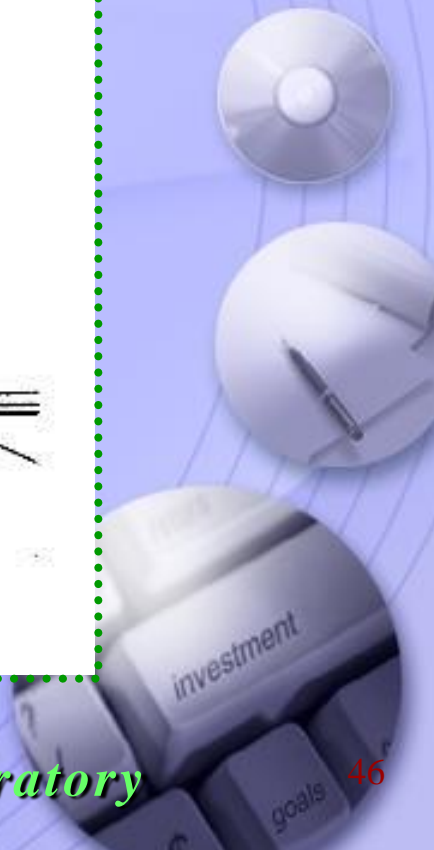
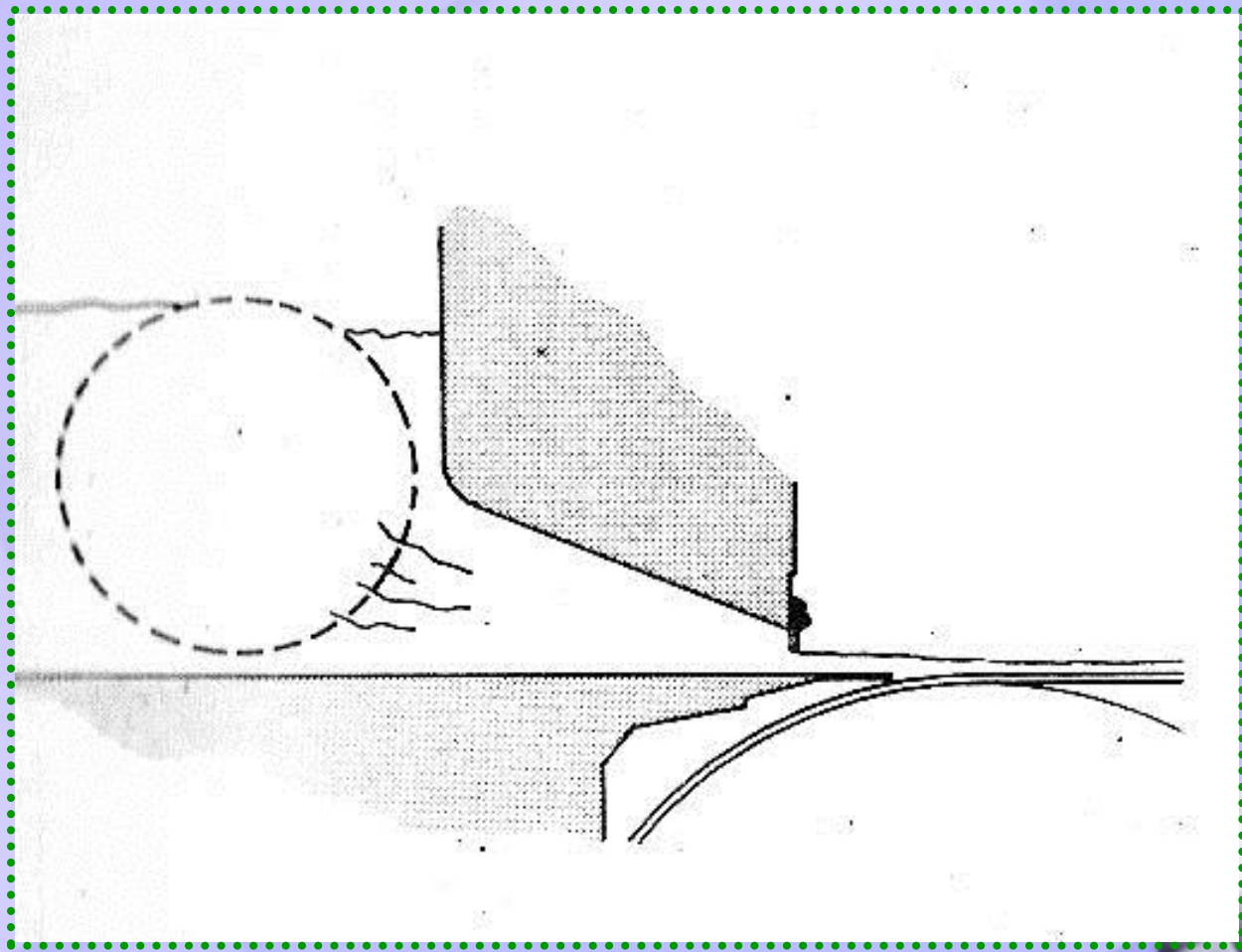
→ 目的：整平不規則漿流及產生湍流來維持纖維絮凝。

→ 參數：孔徑，%開孔率、壁厚、轉動方向及轉動速度、支數及位置。

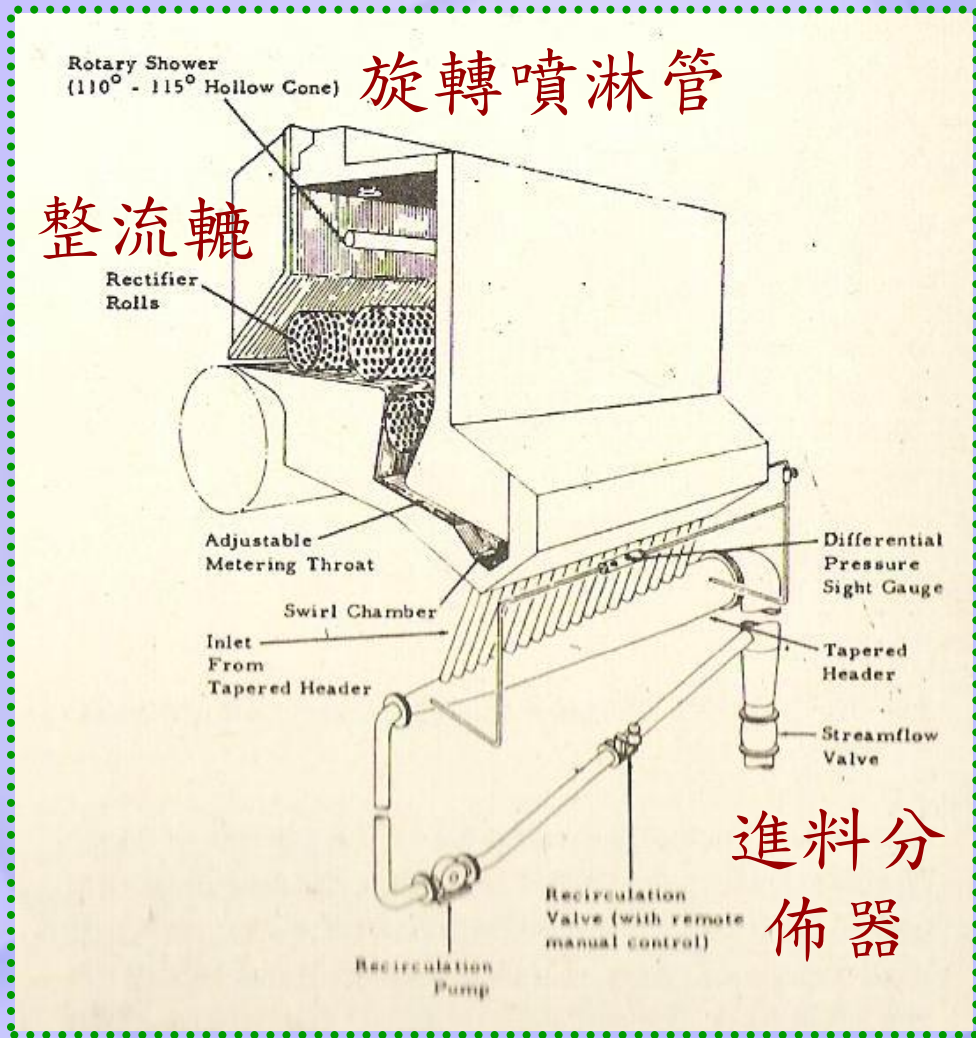


孔徑2~4 cm，開孔率35~50%，轉動速度6~15 rpm。

整流輥的作用



氣墊式頭箱示意圖(Beloit Corp)



唇板

→ 目的：調整開度得到需求的流量。



唇板幾何形狀及開口度決定噴流的厚度。
頭箱壓力決定噴流速度。

→ 上放漿唇閘(Top Lip)及唇布(Apron)。



上放漿唇閘可上或下來調整，局部可利用單獨螺絲來微調。

上放漿唇閘及唇布可在水平方向調整，以控制噴漿角度。

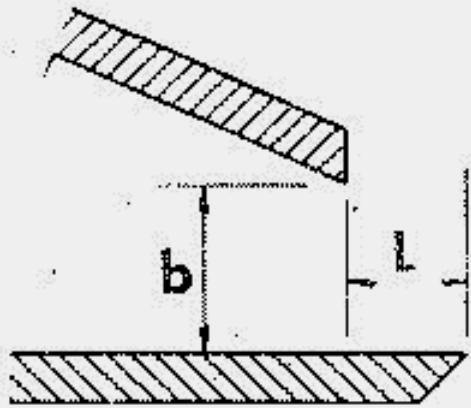
▶ 唇板

- 種類：刀式，收斂式，複合式。
- 噴流方式：速度成形及壓力成形。
- 重要決定噴流角度的參數有：
 - L：唇布的突出部份(右內垂直角之上)。
 - b：唇板開口(在垂直刀及唇口端中間)。



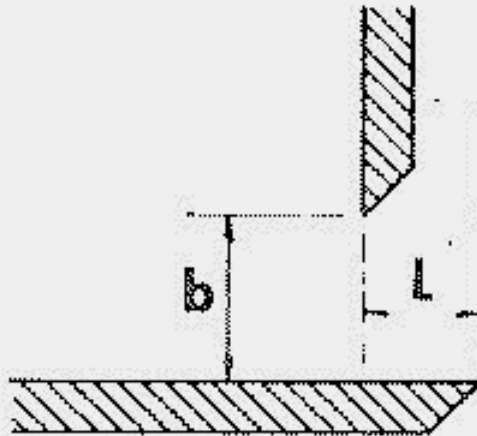
L/ b 比例

不同唇板的設計



Converging

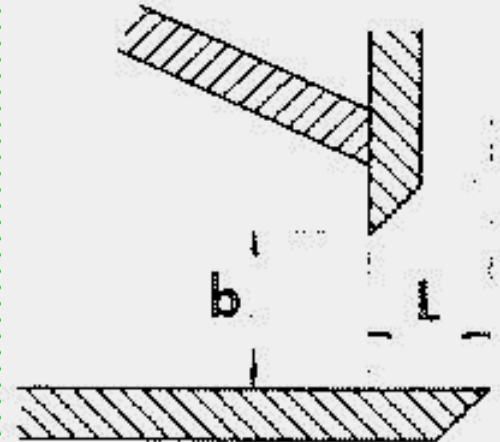
收斂式



Knife 唇布

刀式

上放漿唇閘

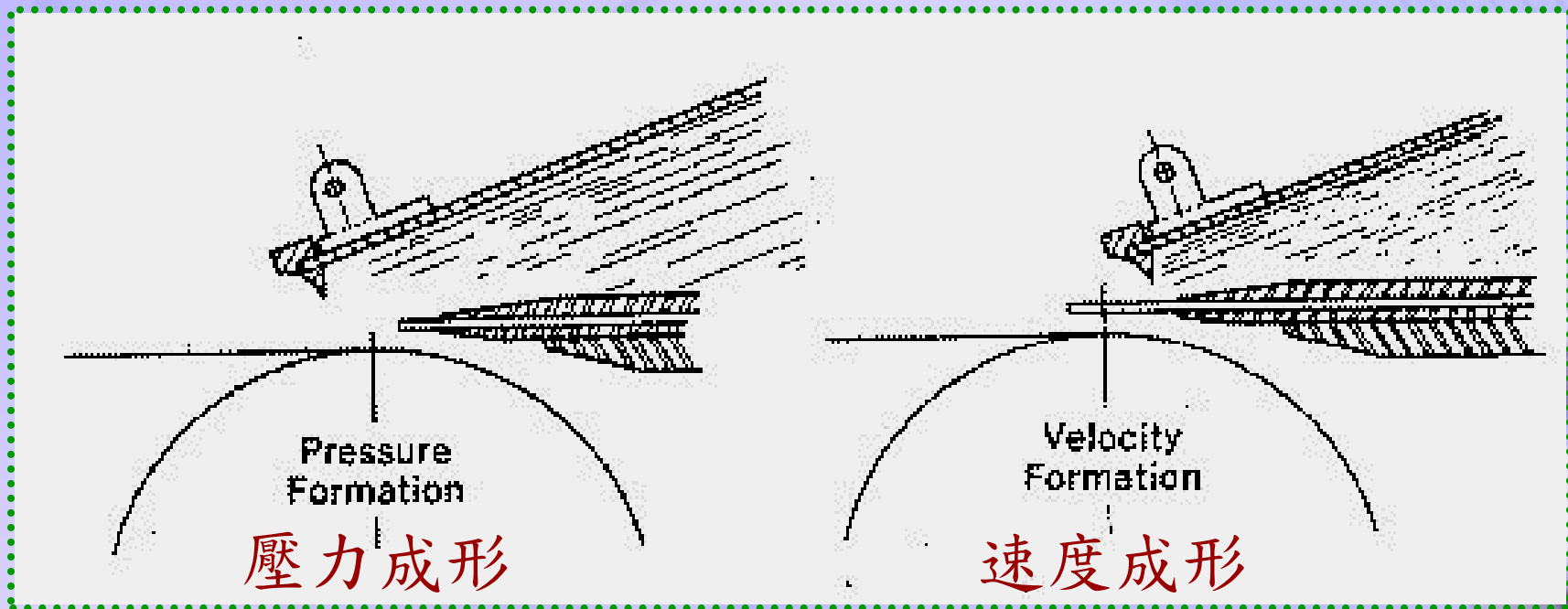


Combination

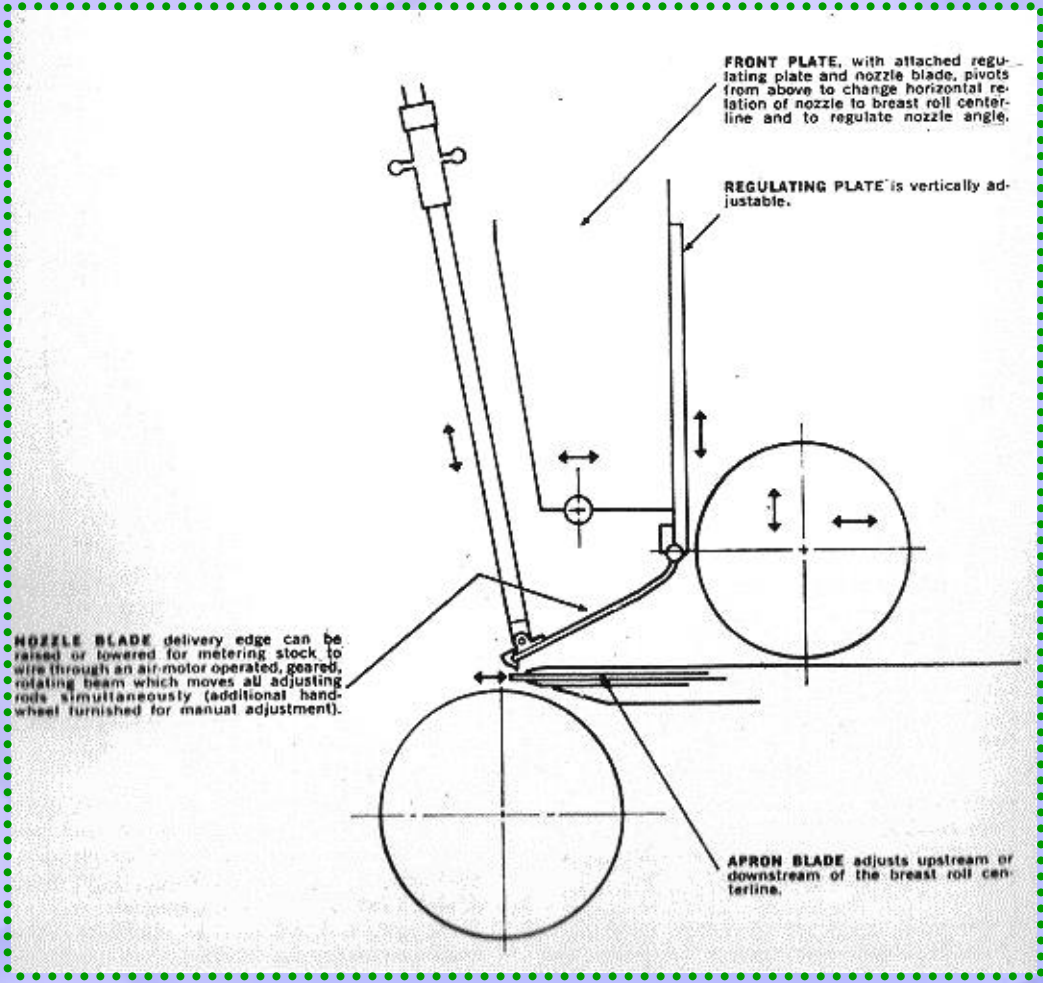
混合式



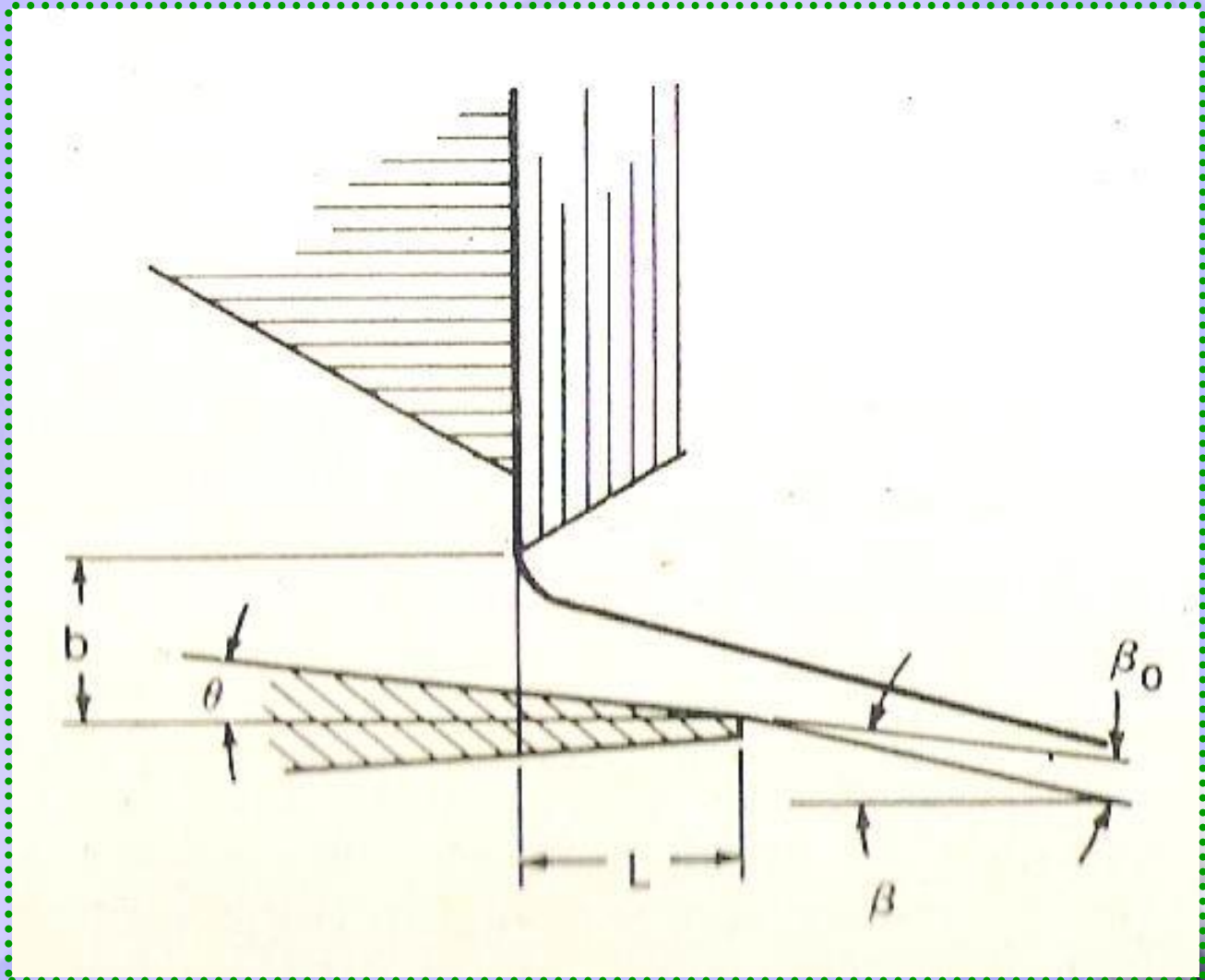
二種極端噴流示意圖



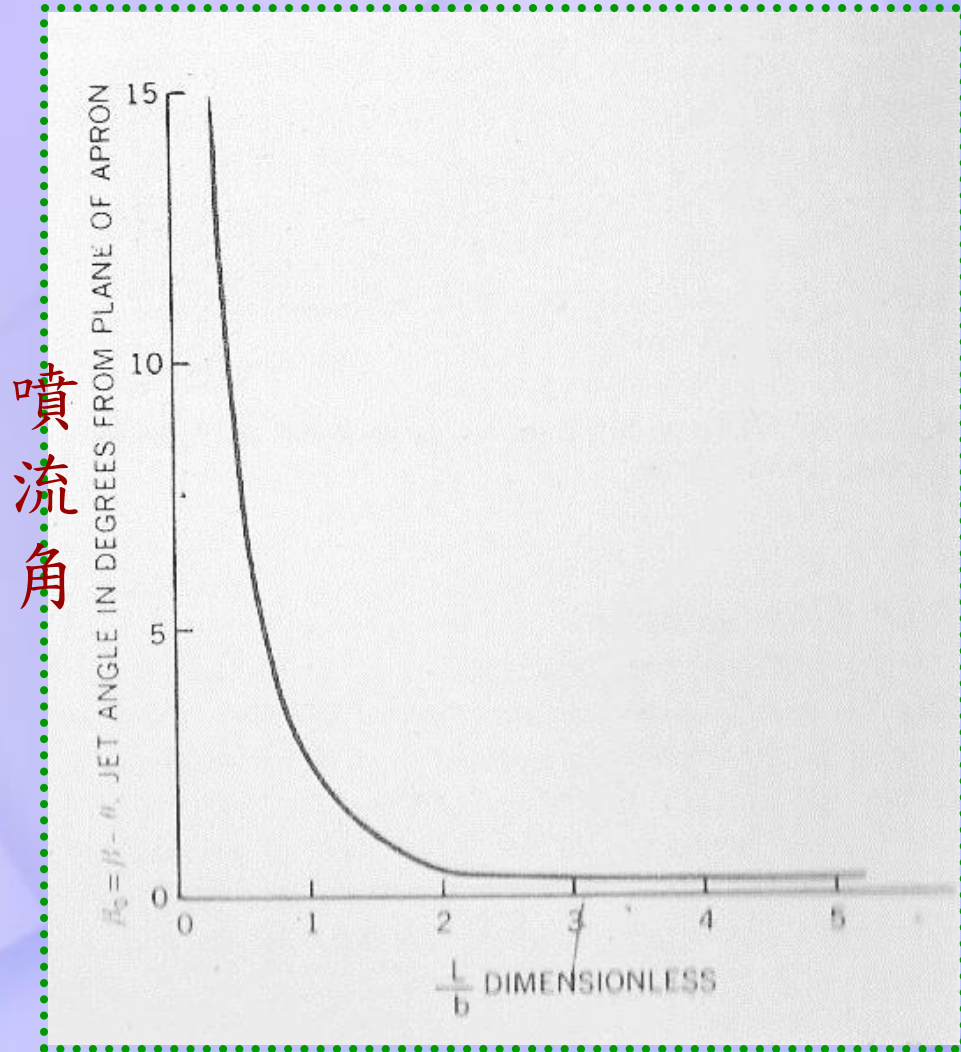
唇板調整示意圖 (Allis-Chalmers)



唇板幾何外型及噴流角定義 (Nelson)



噴流角與唇板設定關係圖



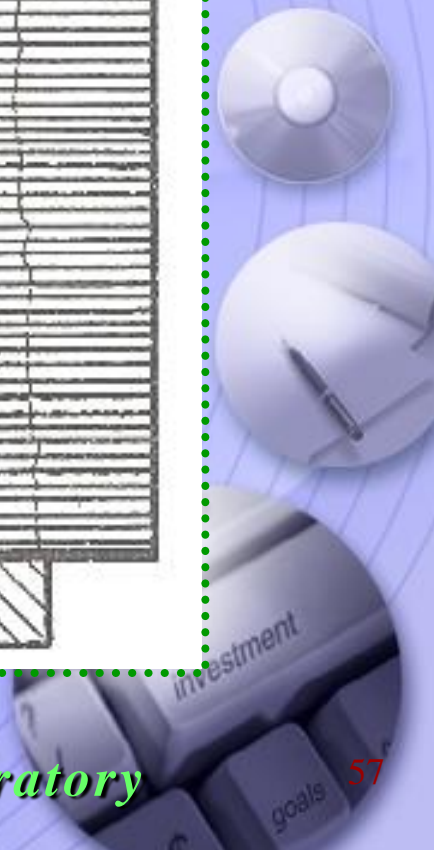
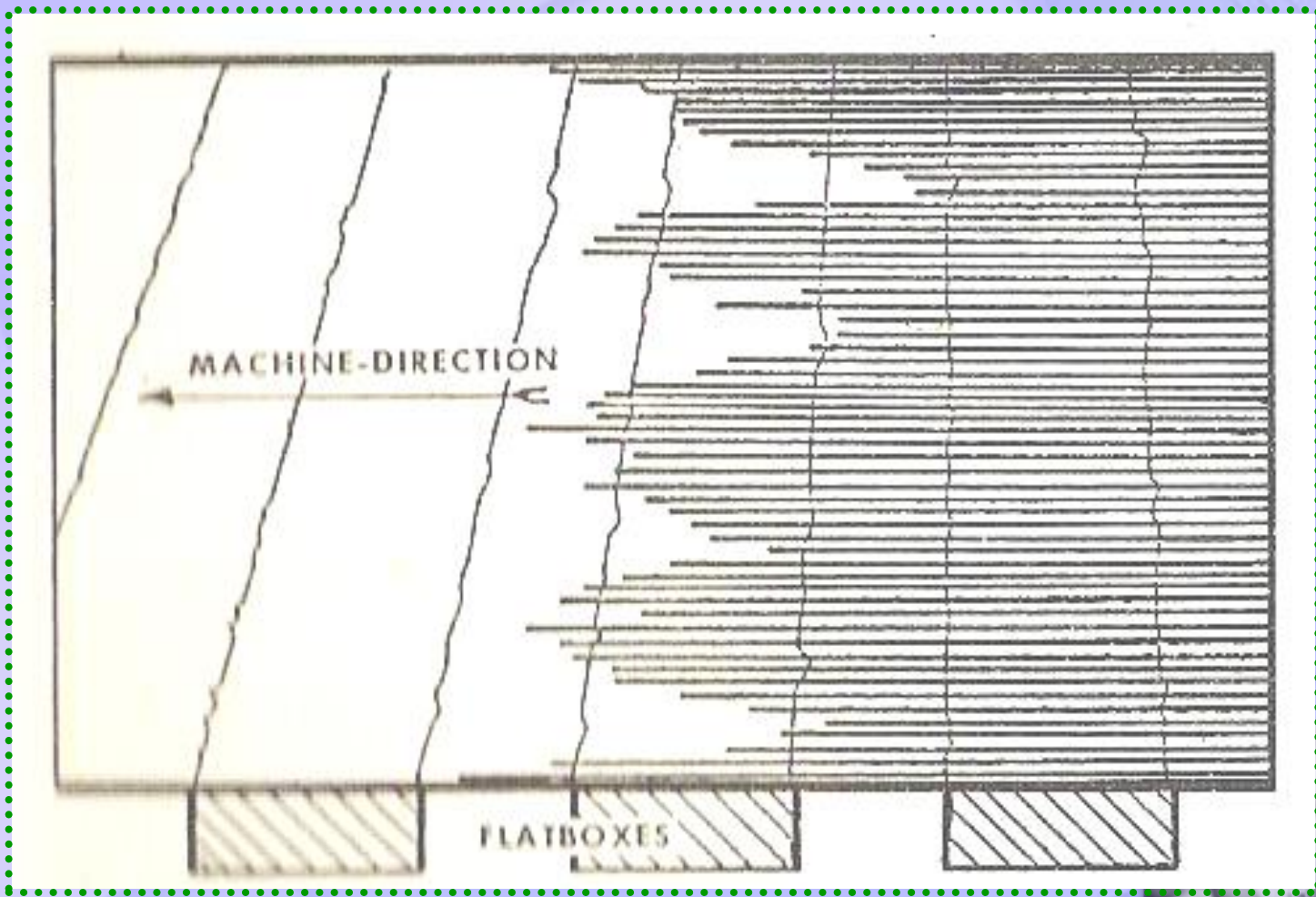
➤ 乾線

- ➔ 當從長網上端往下看，看到明顯的境界線（通常在第二乾燥箱附近），這表示在該點或線的紙漿表面玻璃狀的水份已被去除
- ➔ 乾線的形狀及位置為抄紙機濕端操作控制的參數。

從長網上端往下看的乾線



乾線鳥瞰圖



▶ 唇板修邊

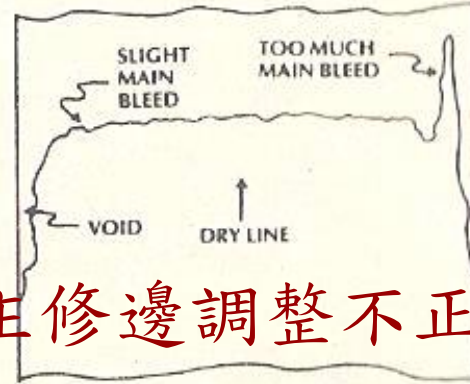
→ 利用去除乾燥箱邊少量的流量，噴流因自然流向而改善紙邊交織。

唇板修邊對於乾線的效應



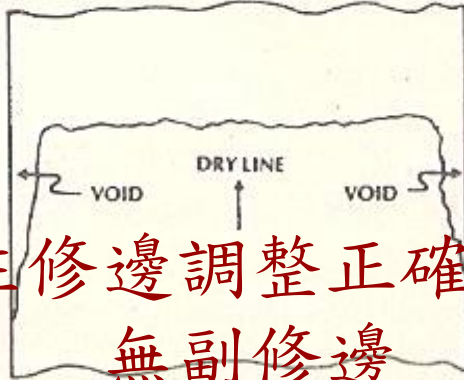
無修邊

NO BLEED



主修邊調整不正確

IMPROPERLY ADJUSTED MAIN BLEED



主修邊調整正確
無副修邊

NO SECONDARY BLEED
MAIN BLEED SET PROPERLY



主及副修邊調整正確

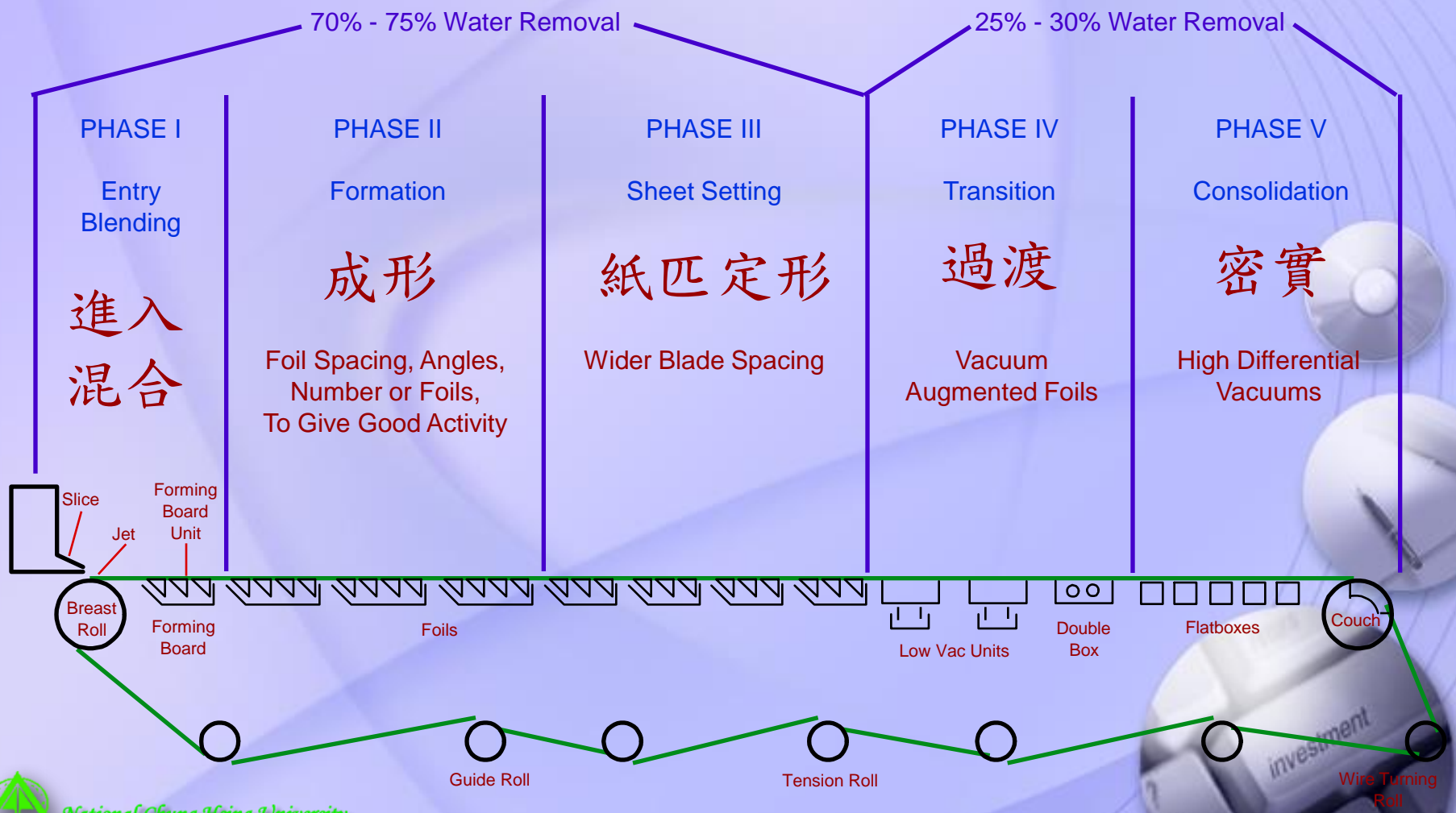
MAIN BLEED AND SECONDARY BLEED
SET PROPERLY

▶ 頭箱操作

- 操作參數：漿料濃度，溫度，噴流比。
- 牽引(Dragged)：噴流速度 $<$ 網速。
- 衝趕(Rushed)：噴流速度 $>$ 網速。

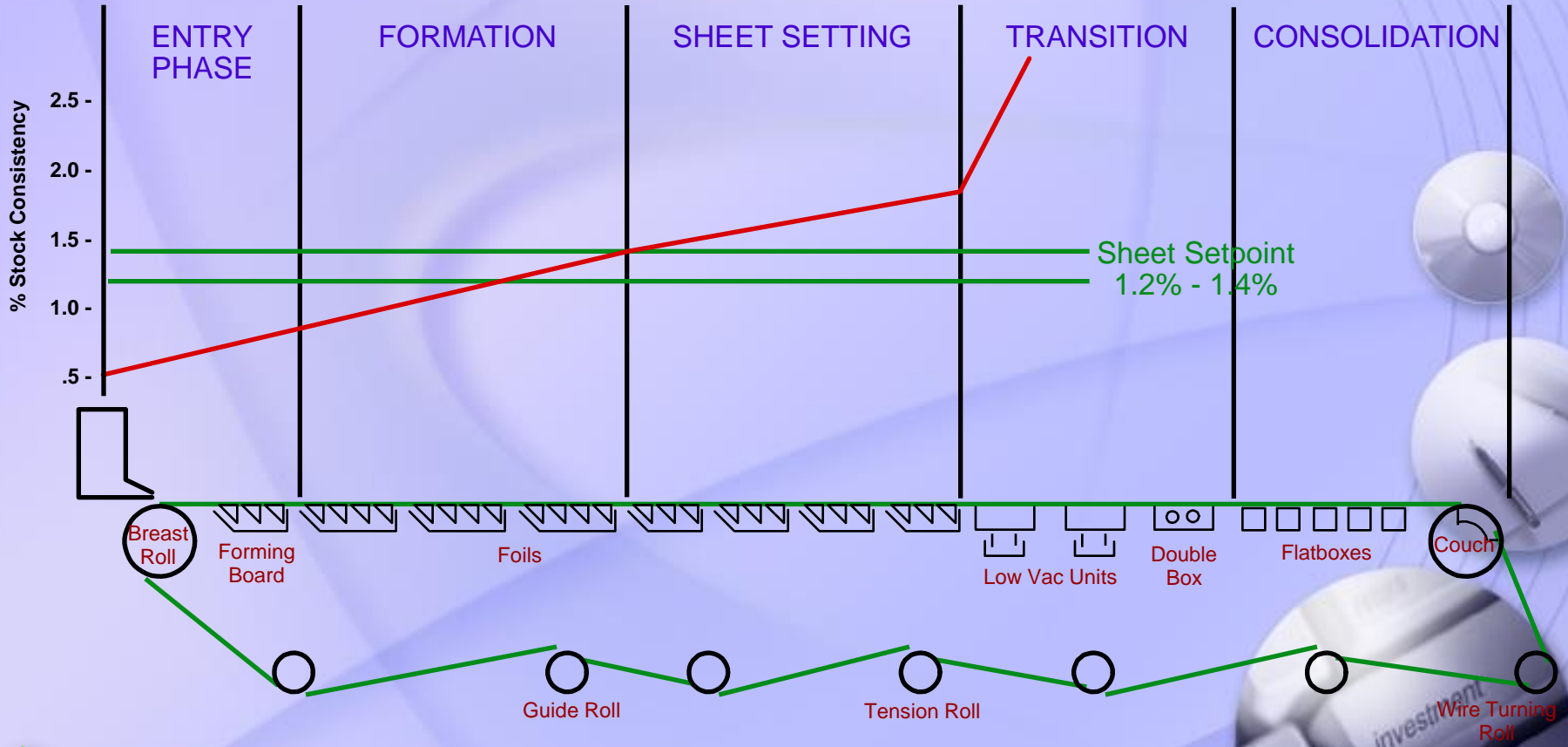
三、基本紙匹成型流程

長網抄紙機濾水模式



長網抄紙機濃度分佈曲線

Drainage Profile Is A Gentle Slope



紙匹成型的水力流程 (Parker)

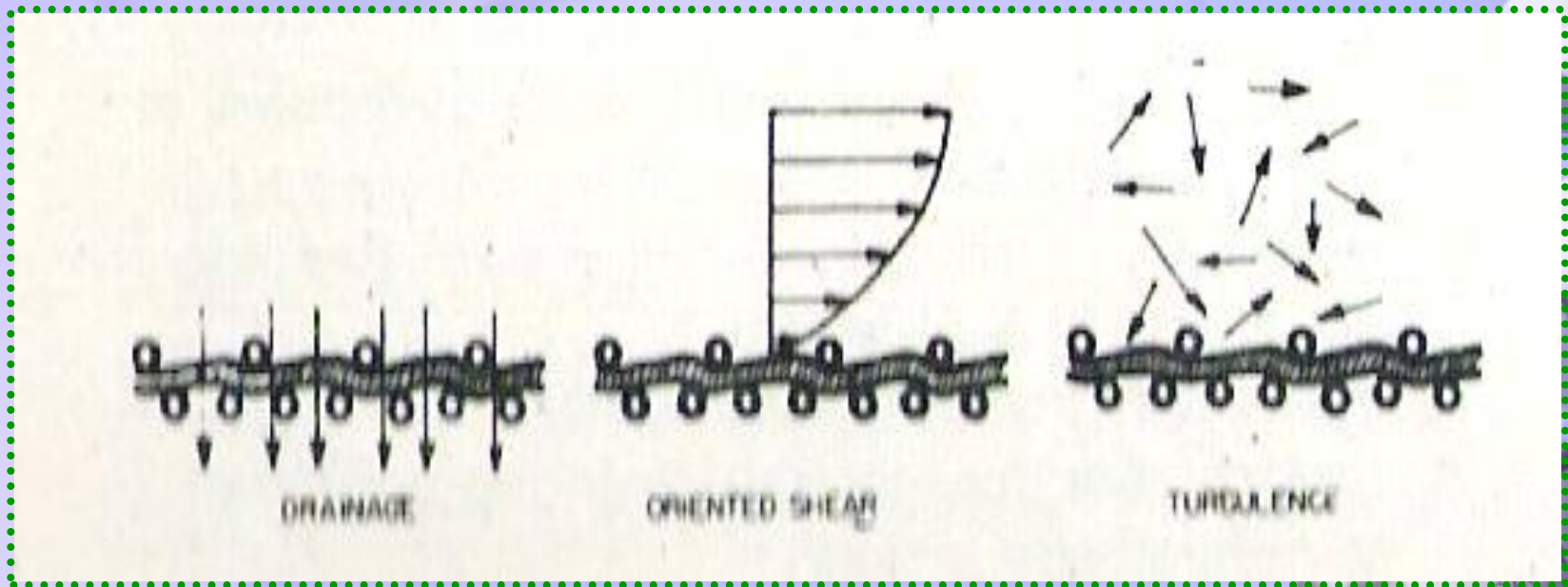
➔ Parker 紙匹成型水力流程



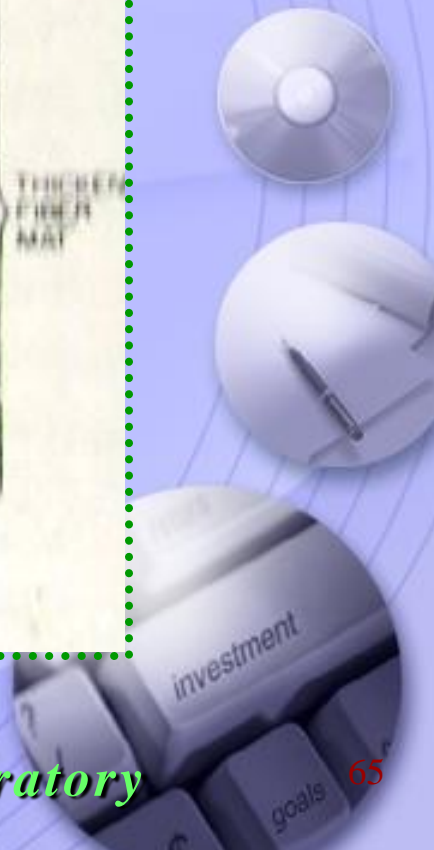
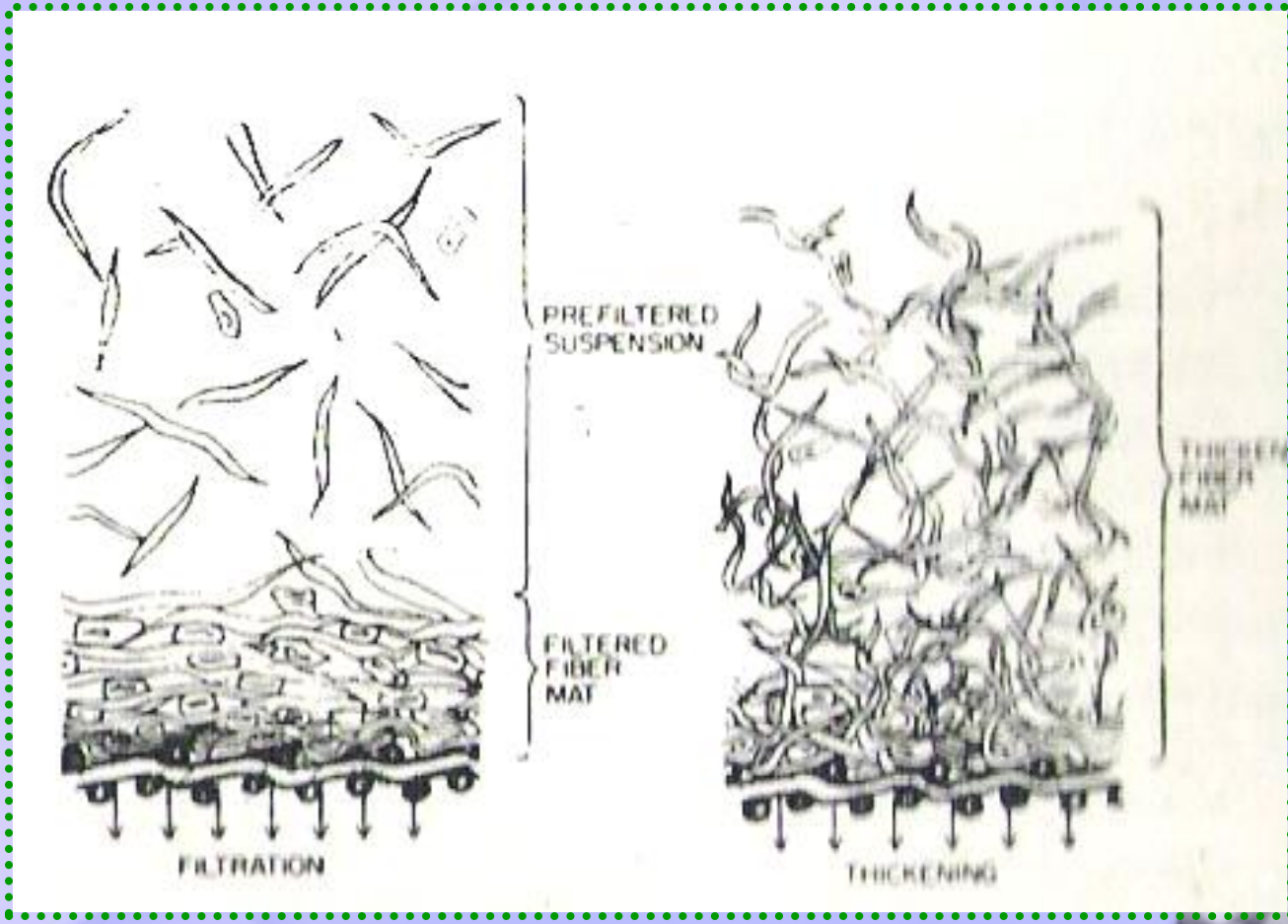
濾水

方向性剪力

湍流

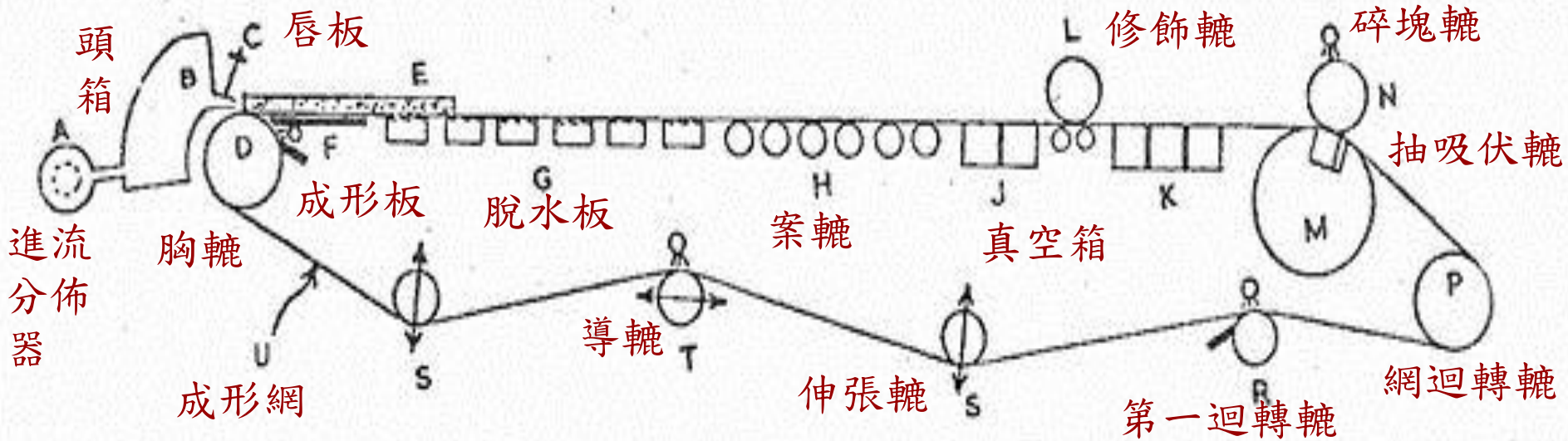


纖維因濾水效應的堆積機構



四、長網部

典型長網部示意圖

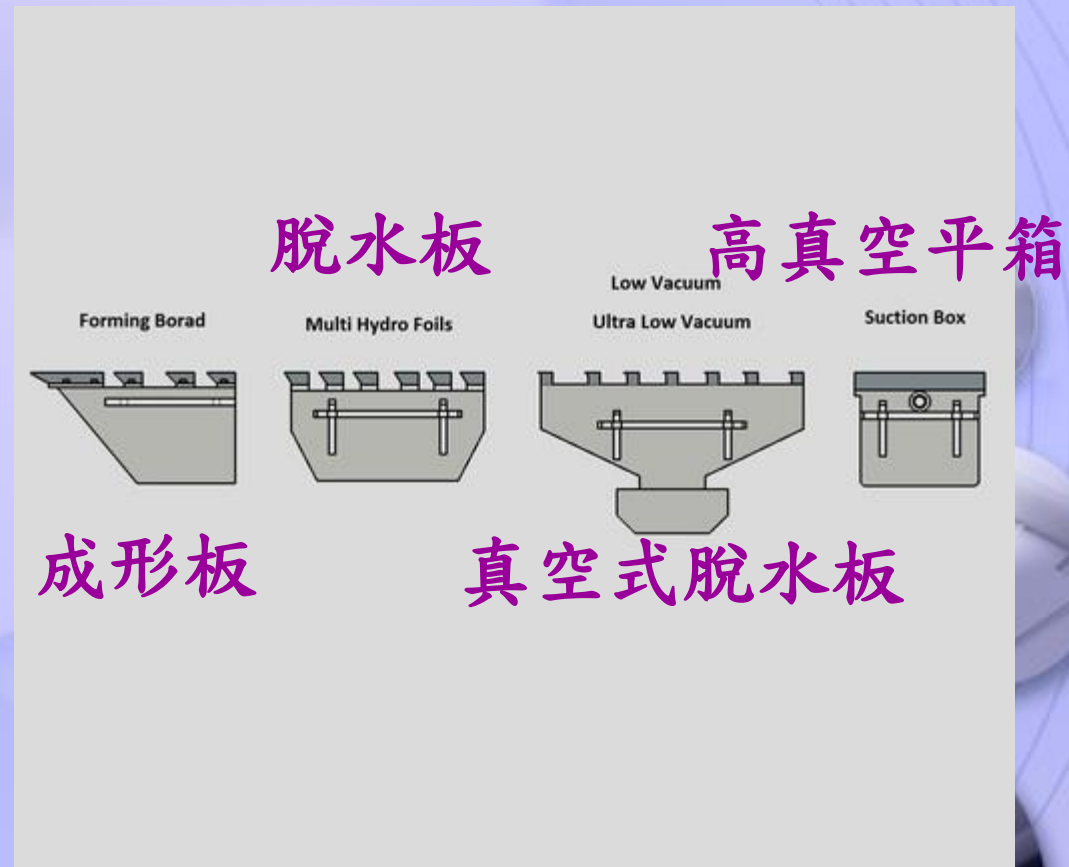


- A. Tapered inlet manifold
- B. Headbox
- C. Slice and adjustment mechanism
- D. Breast roll
- E. Rubber deckle (only on slower machines)
- F. Forming board
- G. Hydrofoil assemblies
- H. Table rolls
- J. Vacuum boxes (to control drainage before dandy roll)
- K. Vacuum boxes (to remove as much water as possible)

- L. Dandy roll, with two small table rolls under wire for support
- M. Suction couch roll
- N. Lump breaker roll (to improve water-removal at couch and consolidate sheet)
- P. Wire-turning roll or forward-drive roll (helping couch roll to drive wire)
- R. First return roll with water spray and doctor.
- S. Stretch rolls, having adjustment up and down to control wire tension
- T. Guide roll, having adjustment backwards and forwards (at one end)
- U. Forming fabric or wire

➤ 脫水元件

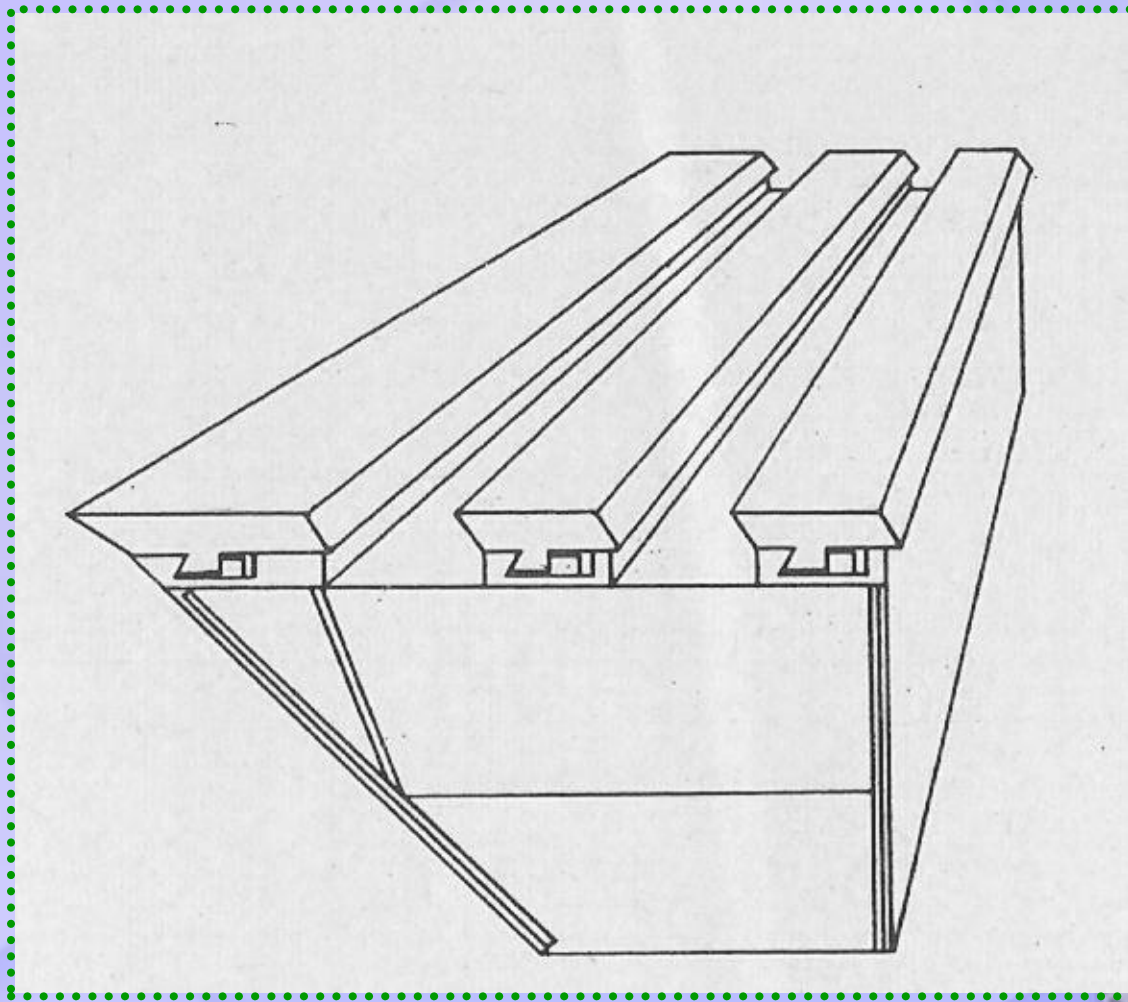
- ◆ 成形板
- ◆ 案輾
- ◆ 脫水板
- ◆ 真空式脫水板
- ◆ 高真空平箱



◆ 成形板

- 安裝在噴流點處，脫水的負荷相當重。
- 外形受到胸輓圓周的限制，水平偏斜必須維持在低程度以避免長網起皺。
- 導板必須設計到讓成形板趨近胸輓的中心線，才能使噴流角度最適化得到最佳的交織。
- 角色為延緩初期脫水速度，因此細纖維及填料才不會被洗出。

典型成形板示意圖 (Albany Engineered Systems)



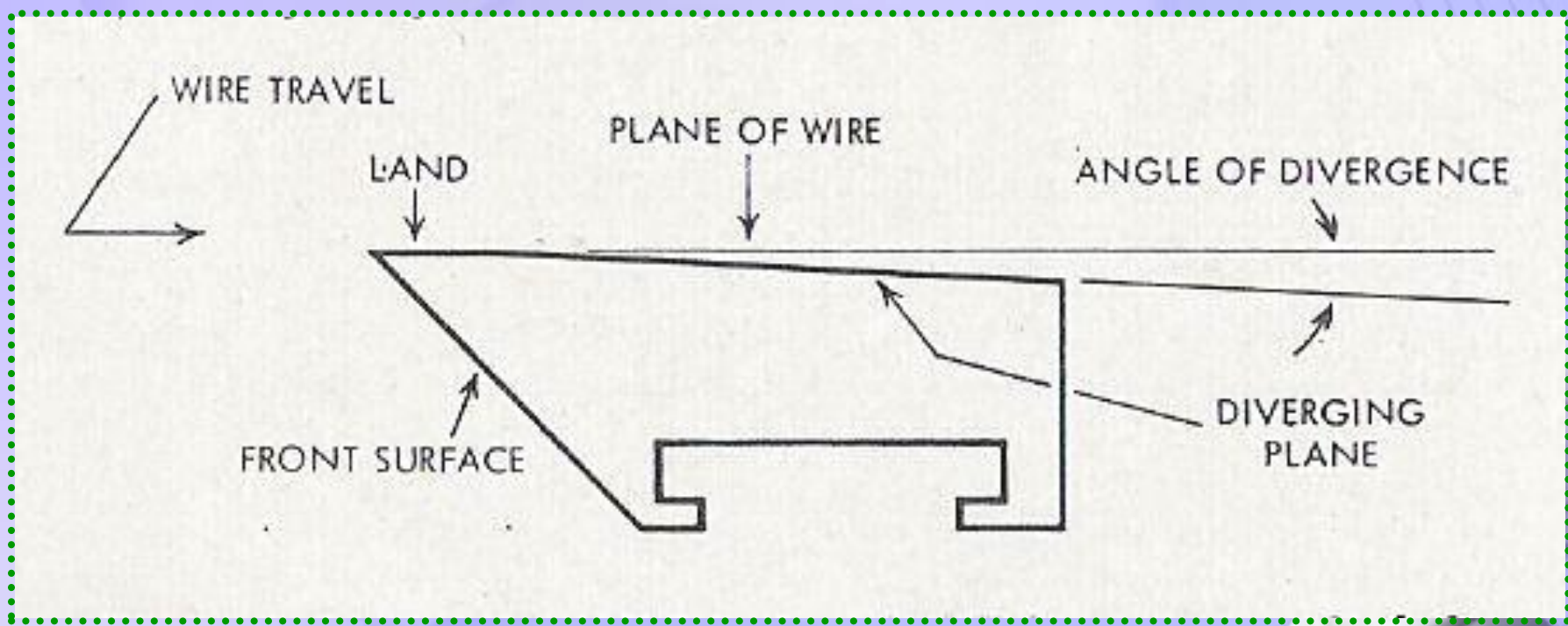
◆ 案輓

- 高速時，網及案輓之間發散的角度會因水的泵效應產生真空力量。
- 濾水率取決於速度、輓徑、網張力及輓溝槽。
- 為了有效在網面下拉開水份，在每一案輓後必須配置固定式的擋水板(Deflector)。

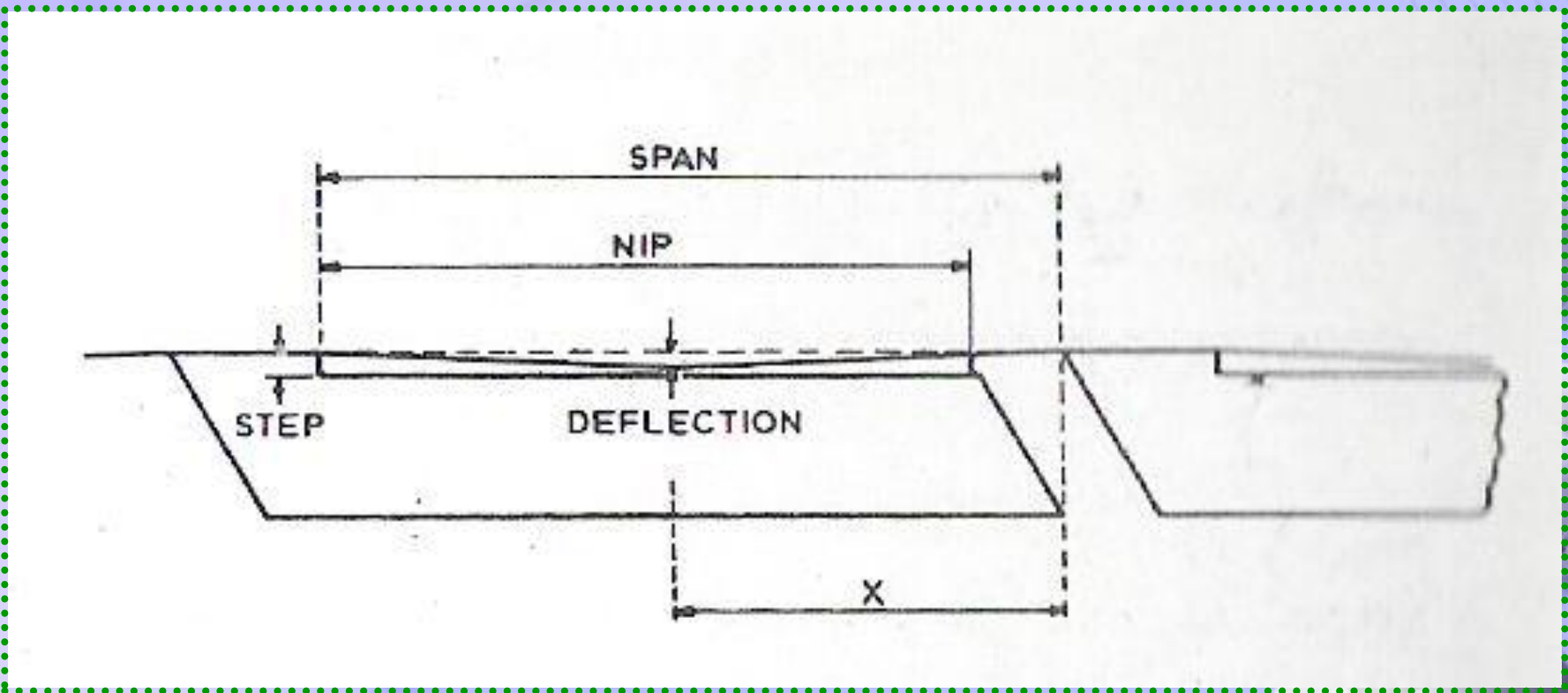
◆ 脫水板

- 當網通過固定有角度的平面時，其抽吸力量較小。
- 發散角度可以調整及其導板可視為擋水板
- 脫水板角度在1.5~4度，較大的角度，產生較高的真空。
- 導板的設計有可調整角度、階梯角度、傾斜角度。

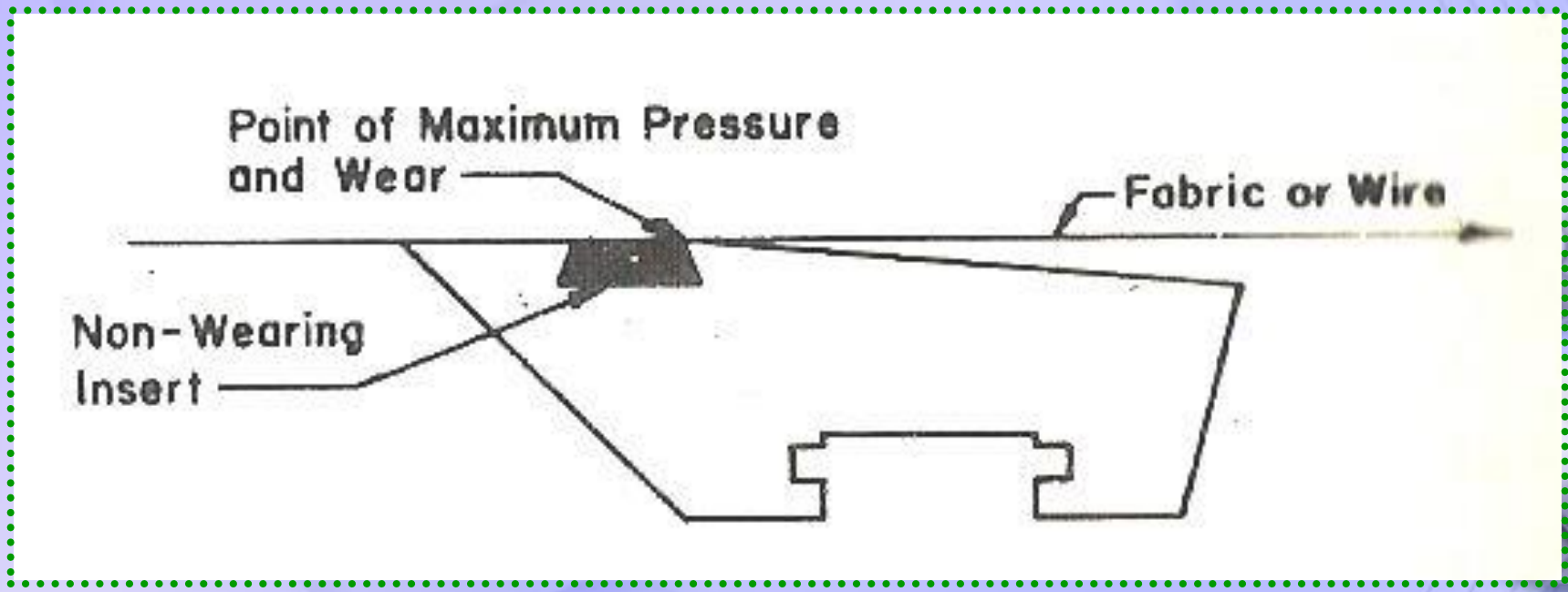
脫水板的基本設計圖



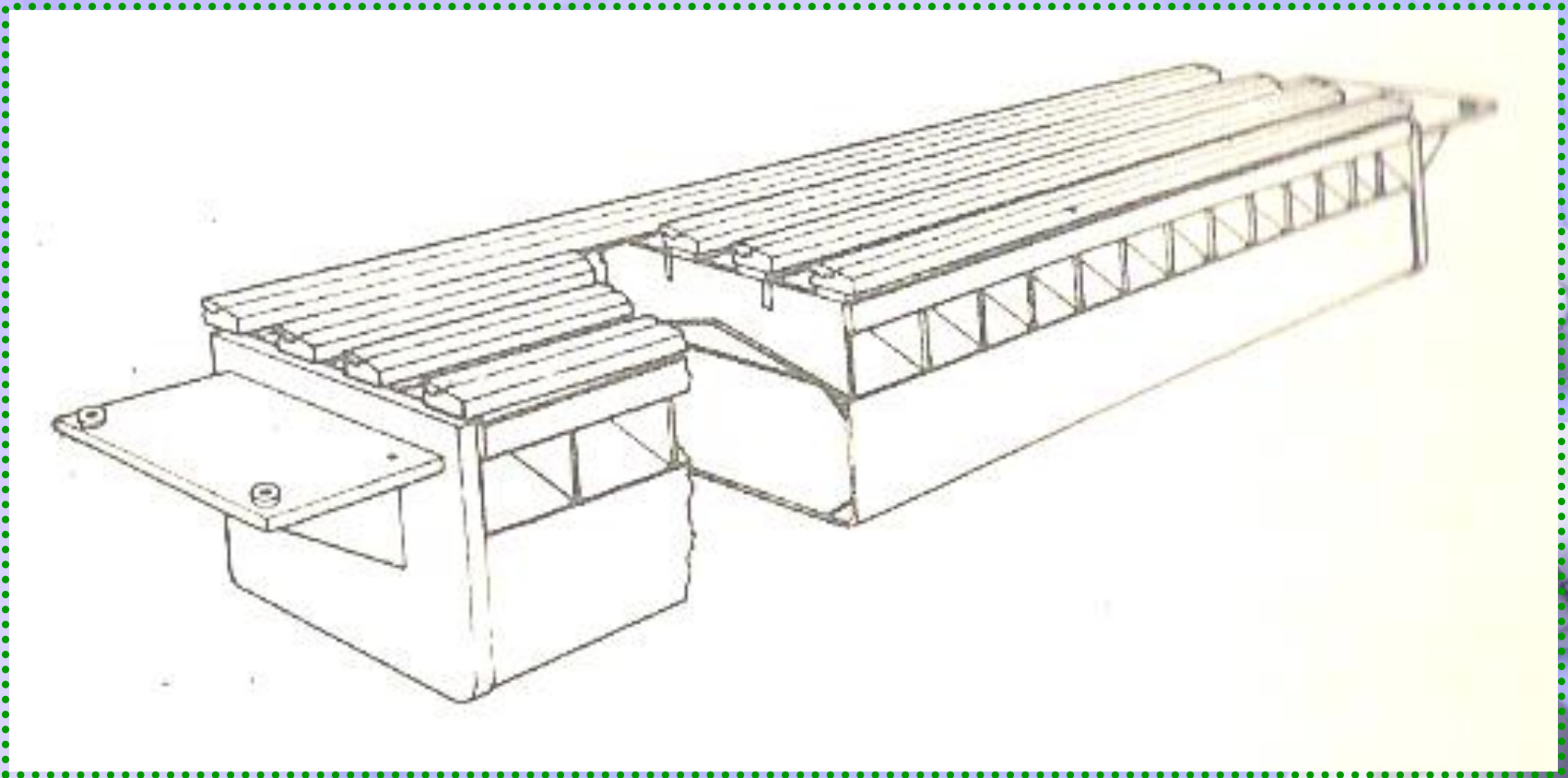
Unfoil脫水板 (Albany Engineered Systems)



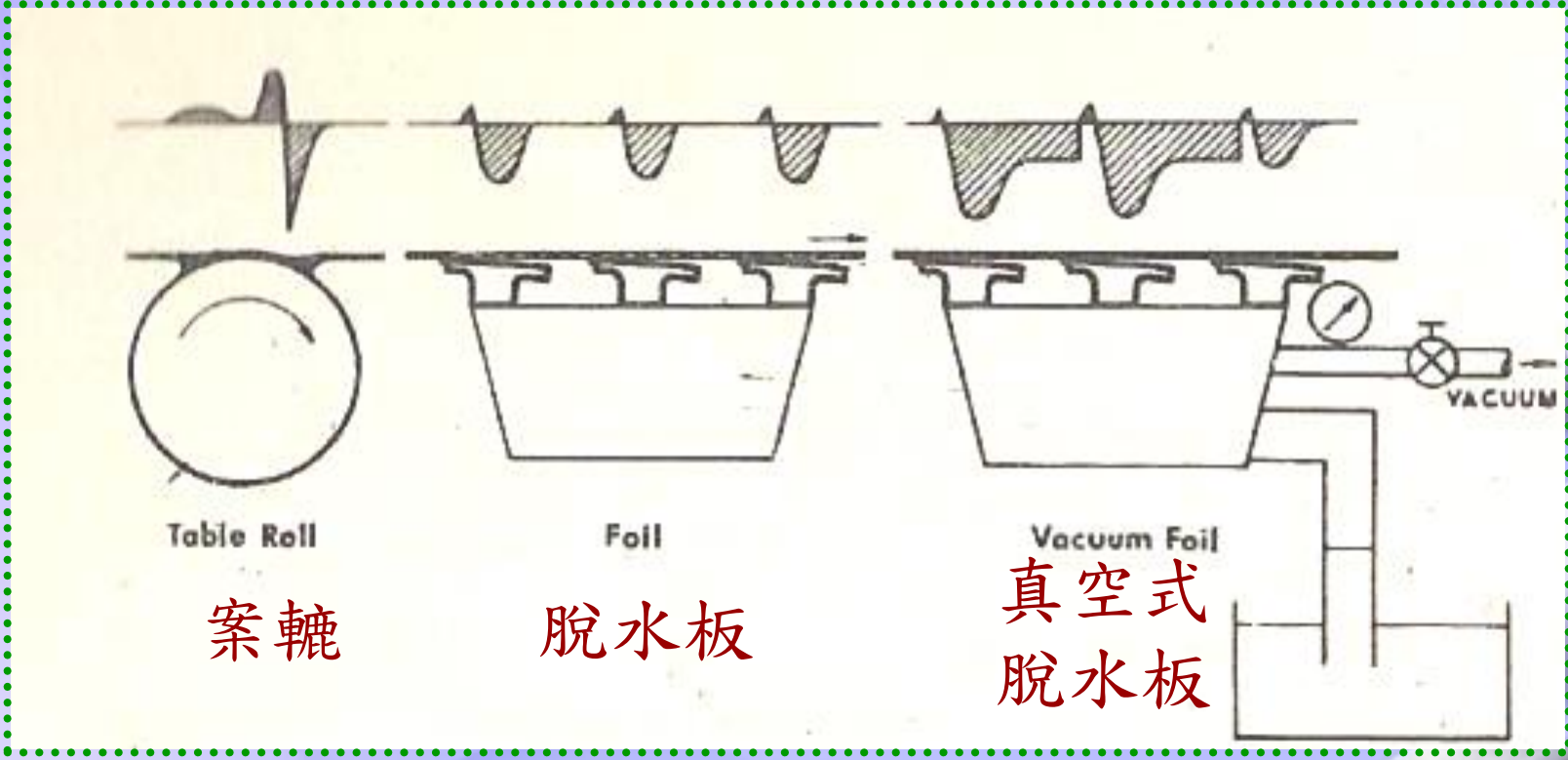
導板使用耐磨的陶瓷材料



脫水板中導板組裝圖 (Beloit Corp.)



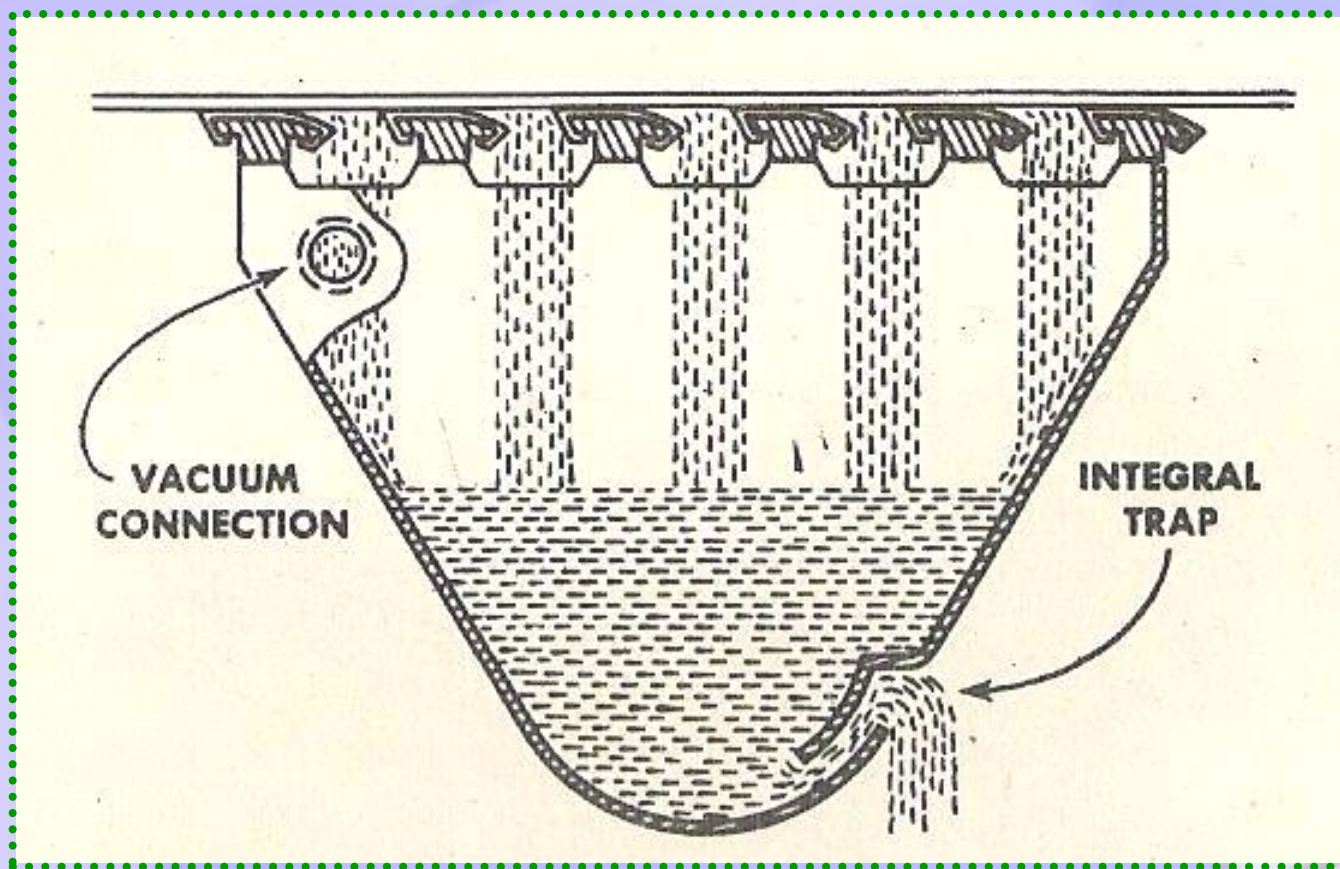
案輻、脫水板及真空式脫水板的相對脫水作用



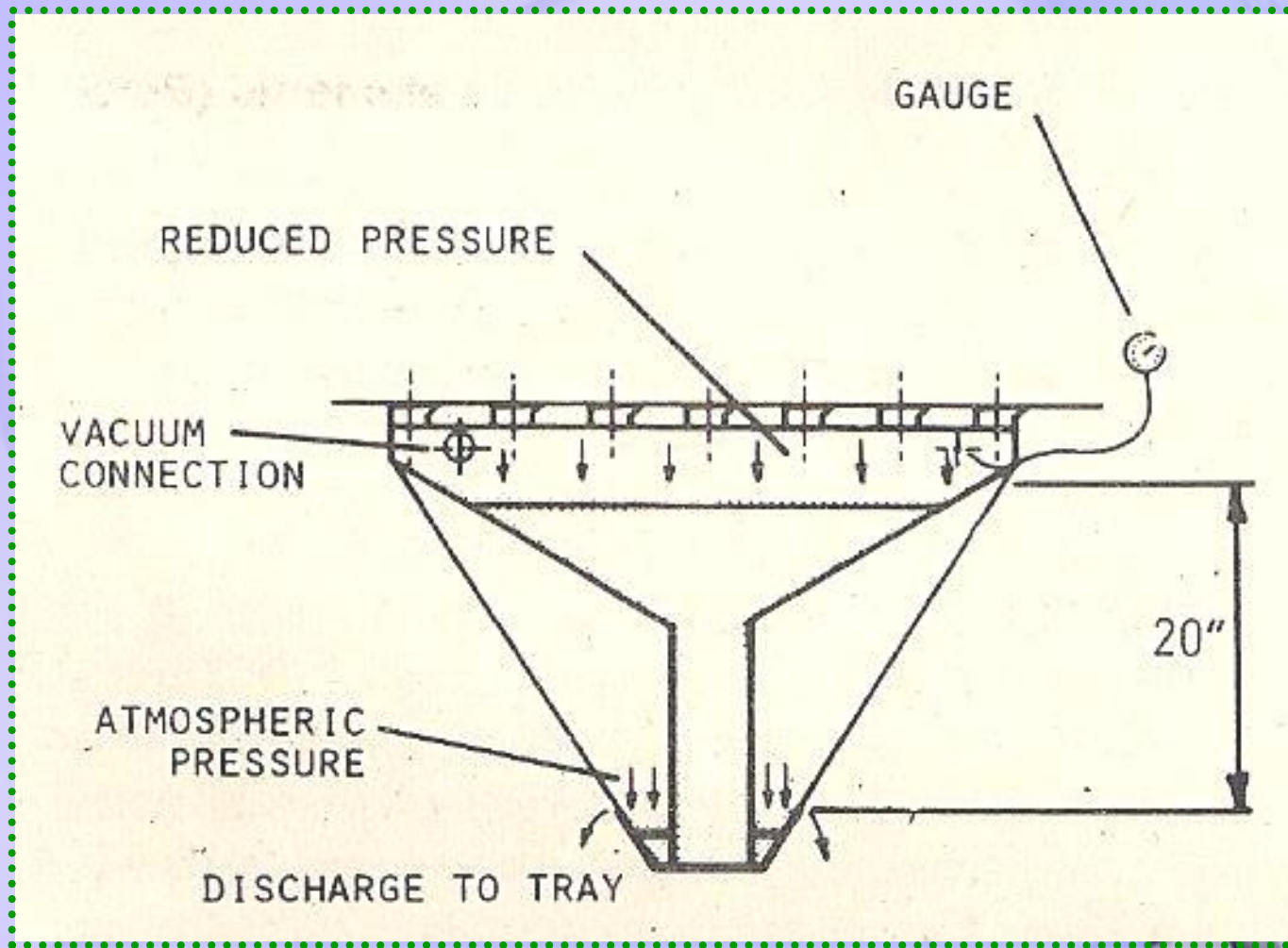
◆ 真空式脫水板

- 通常設計在20”的水柱真空。
- 白水從上面導入，通過全寬度的狹縫到底部，白水中所夾帶的空氣則在上端利用微真空線去除。

真空式脫水元件 (10"的水柱真空以下) (Huyck Corp.)



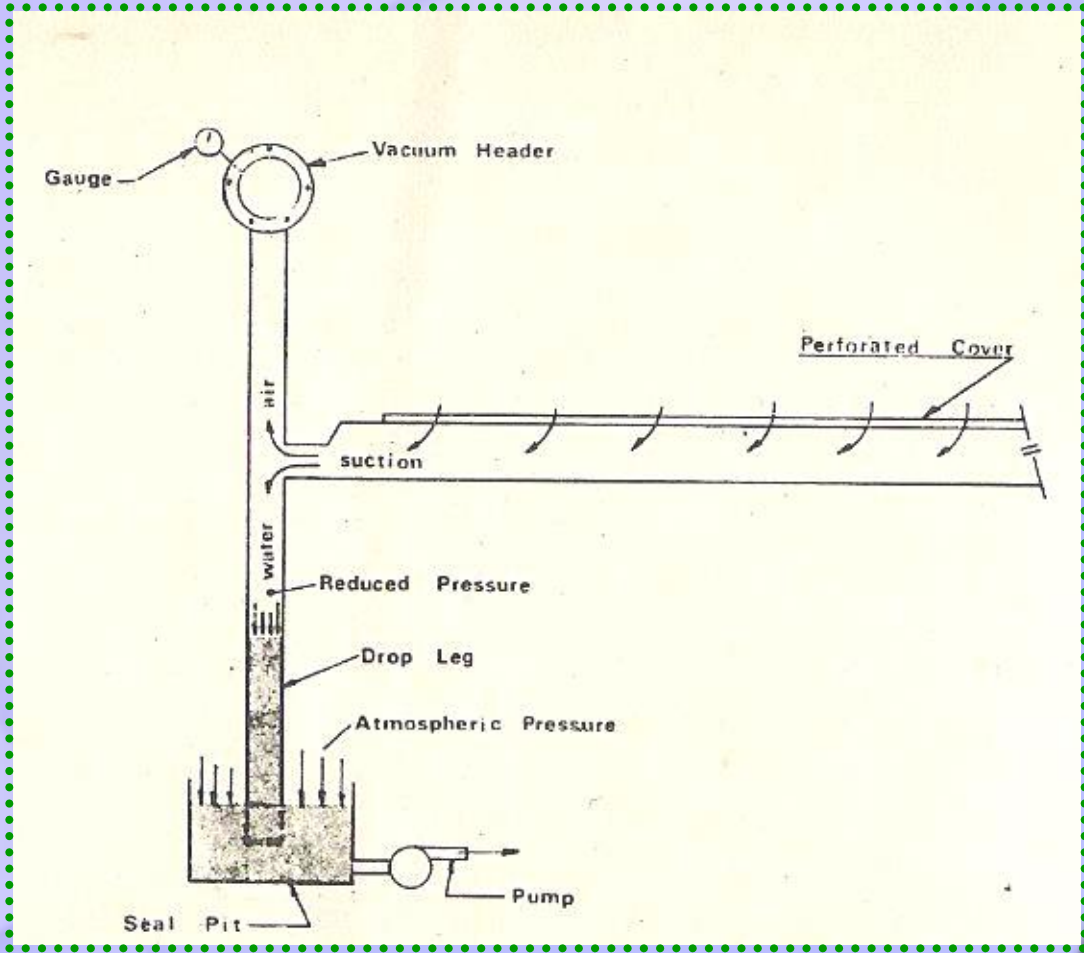
真空式脫水元件 (20"的水柱真空以下) (Huyck Corp.)



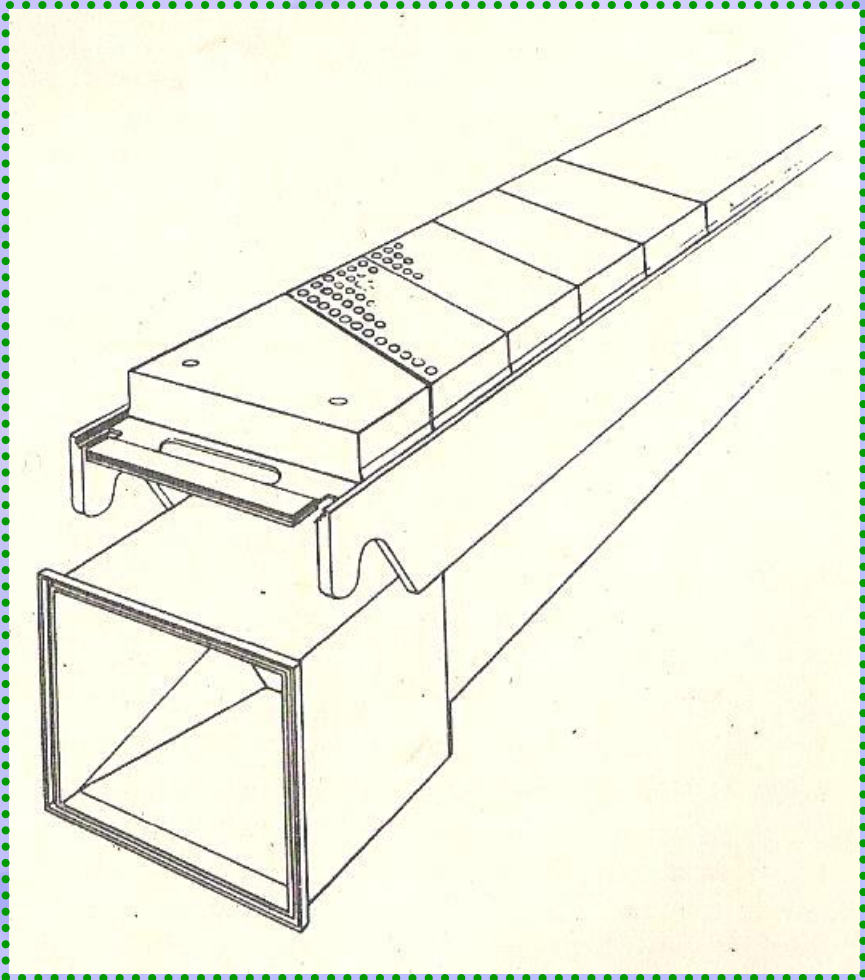
◆高真空平箱

- 白水及空氣同時被真空泵抽送到箱內，再到分離器。
- 箱的設計為小及凹凸不平可承受高真空負荷。
- 當紙匹經過平箱越到後面，其脫水越困難，逐步增加真空度來達到脫水效果。

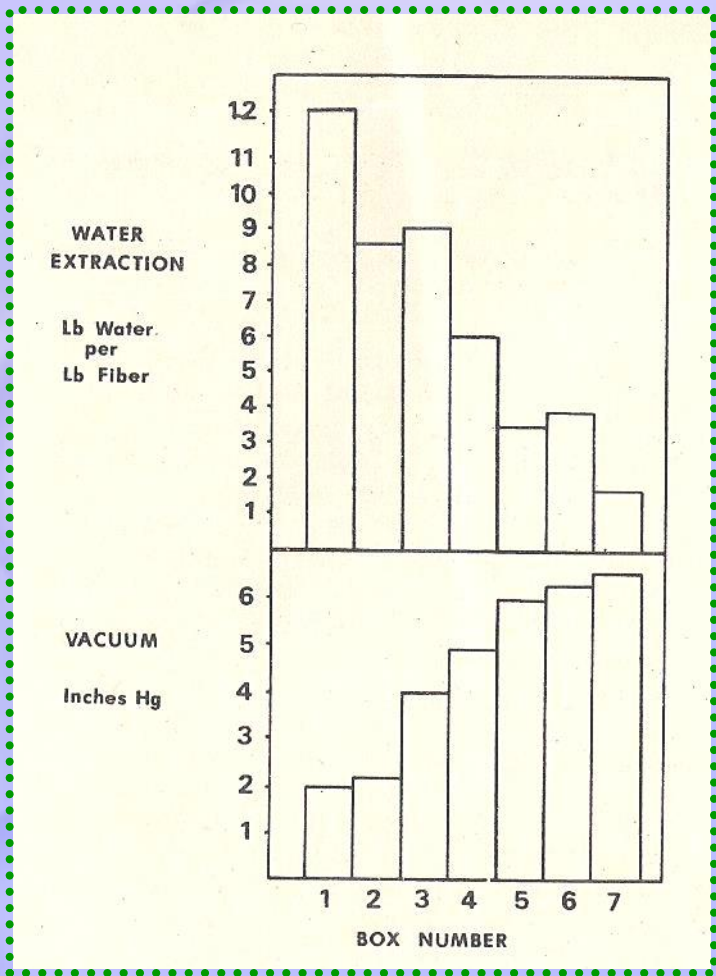
高真空平箱管路配置圖 (Huyck Corp.)



高真空平箱示意圖 (Beloit Corp.)



高真空平箱數與脫水率關係圖



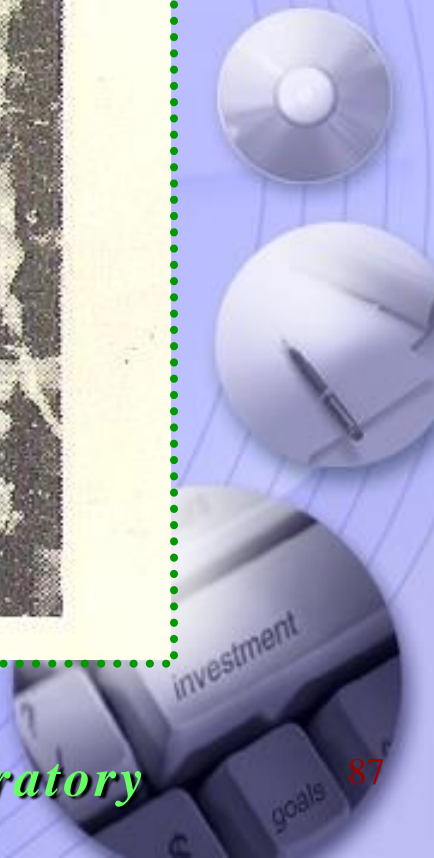
▶ 成形網

- PE單線編織而成的網，利用接縫形成連續皮帶。
- 網孔設計不僅足夠脫水，而且能夠保留纖維。
- 編織形狀、網目、線徑、編織摺皺程度。
- 經線(Warp) (紙機方向)；緯線(Weft, Shute, Filling)

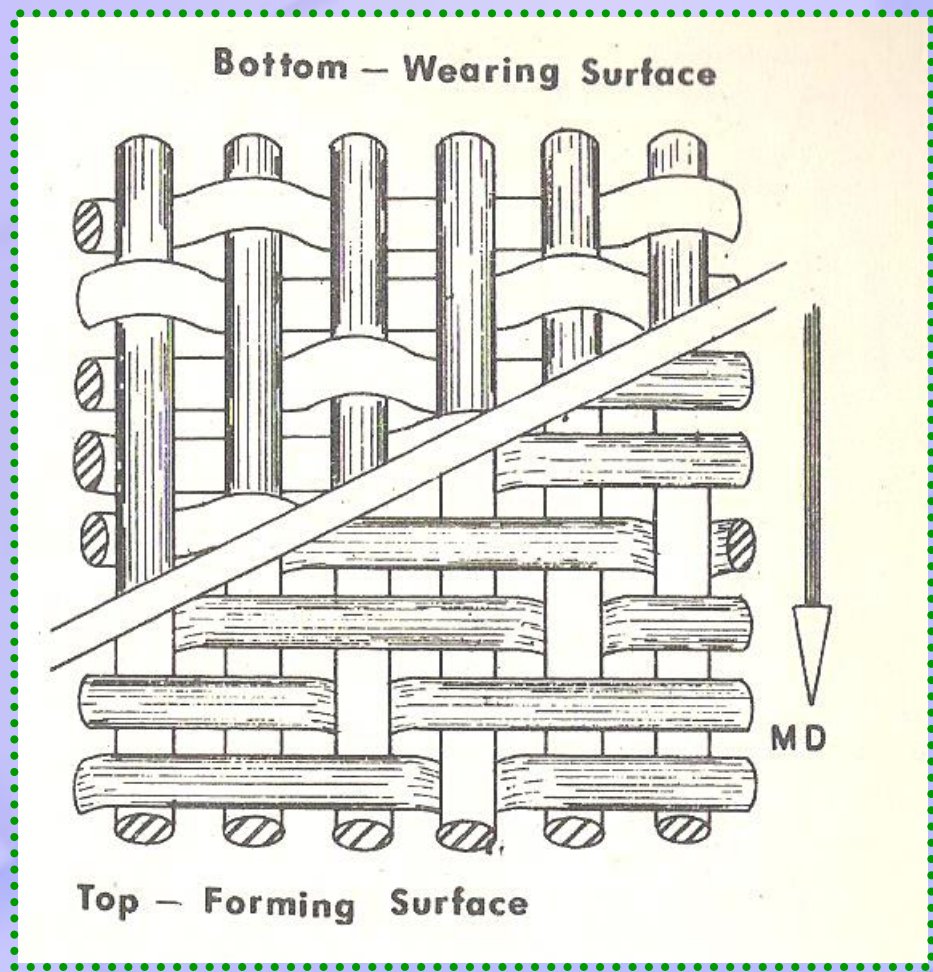
► 成形網

- 傳統金屬網利用三線設計，經線通過上一緯線、下二緯線。
- 4或5線設計，經線通過上一緯線，下三或四緯線
- 雙層網設計，上層為紙匹成形，下層為傳動抗摩耗。

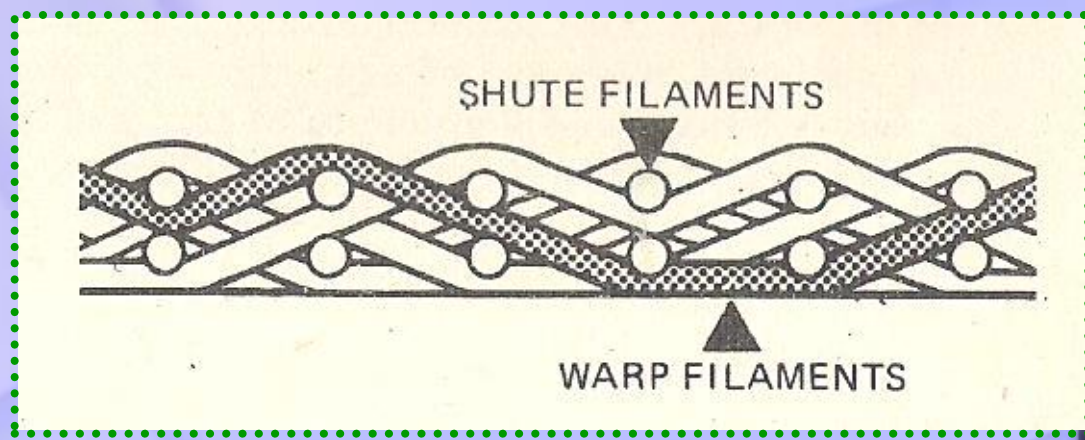
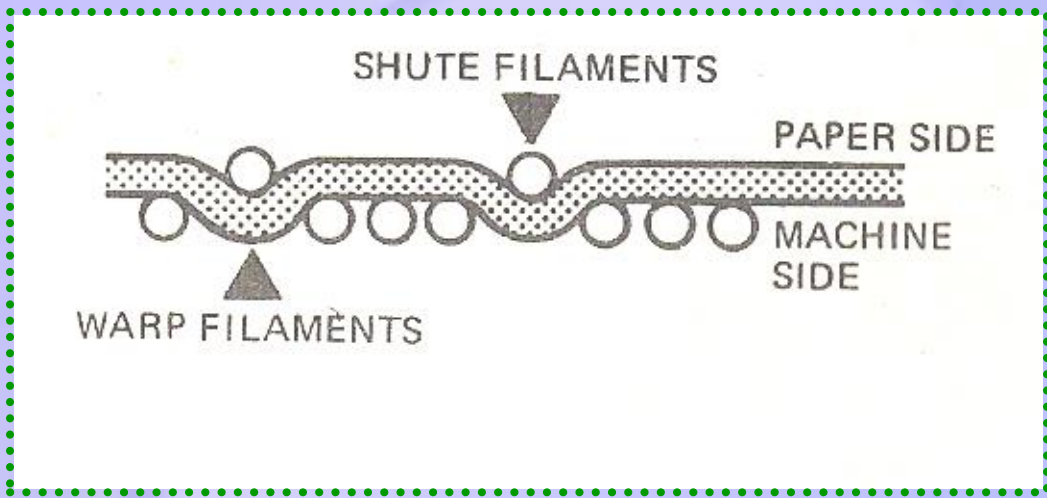
纖維在金屬網脫水初期留存現象圖



4線成形網構造圖 (Huyck Canada Ltd.)



單層及雙層成形網剖面圖 (Capital Wire)



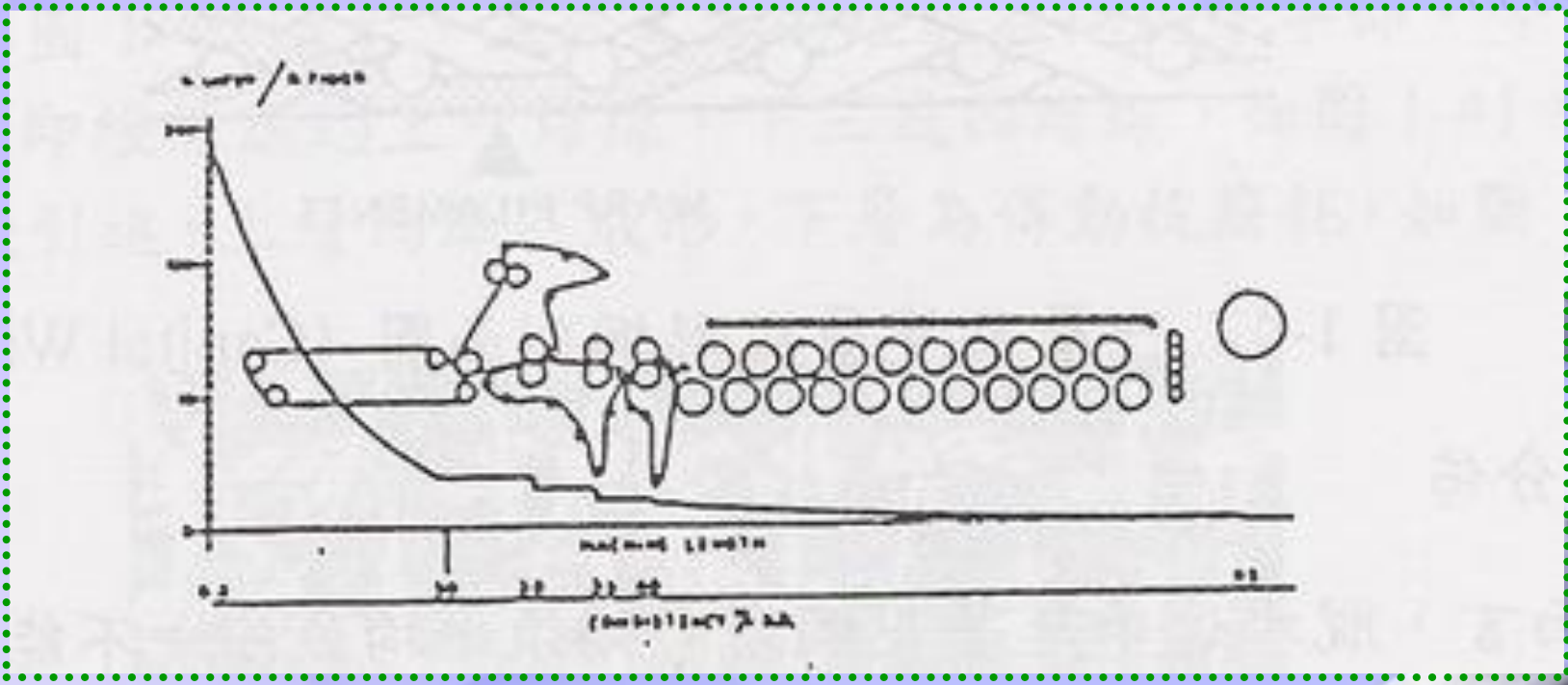
► 脫水分佈

→ 脫水速率沿著長網方向必須平均分佈，不能有停滯或突然大量脫水的現象發生。

1. 脫水元件排列。
2. 成形網特性。
3. 成形網張力。
4. 漿料特性(游離度、添加物等)。
5. 濕紙匹厚度。
6. 漿料溫度。
7. 漿料濃度。

8. 網速。

網部、壓水部及乾燥部的脫水率分佈圖



→ 4階段脫水排列

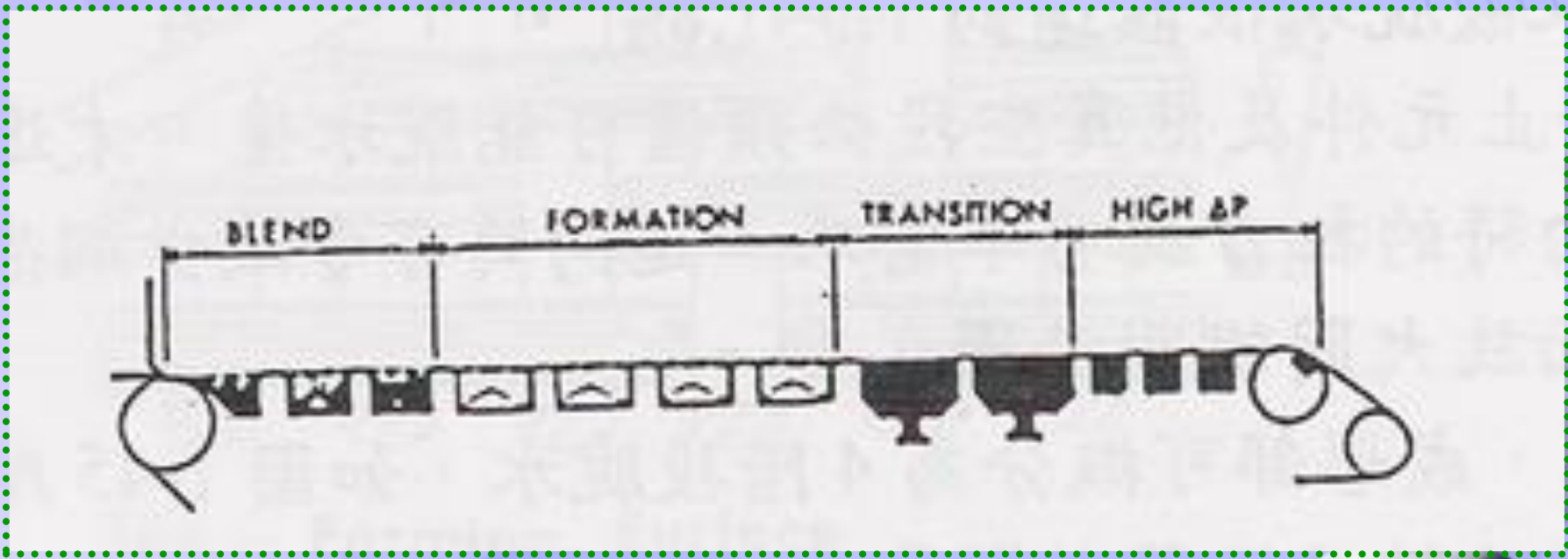
初期脫水段或稱混合段，對於紙的性質影響最關鍵，只跟噴流角度及成形板的位置有關。通常利用重力或輕微的外力即可，假如需要較強的脫水效率只要選取適合的導板即可。

第二段脫水為利用湍流方式，逐步增強脫水效率，即可達到成形的目的。適合的控制脫水速率，可以有效降低紙匹過早被網封死，維持開放狀，以得到相當脫水效率及降低網痕的產生。

→ 4階段脫水排列

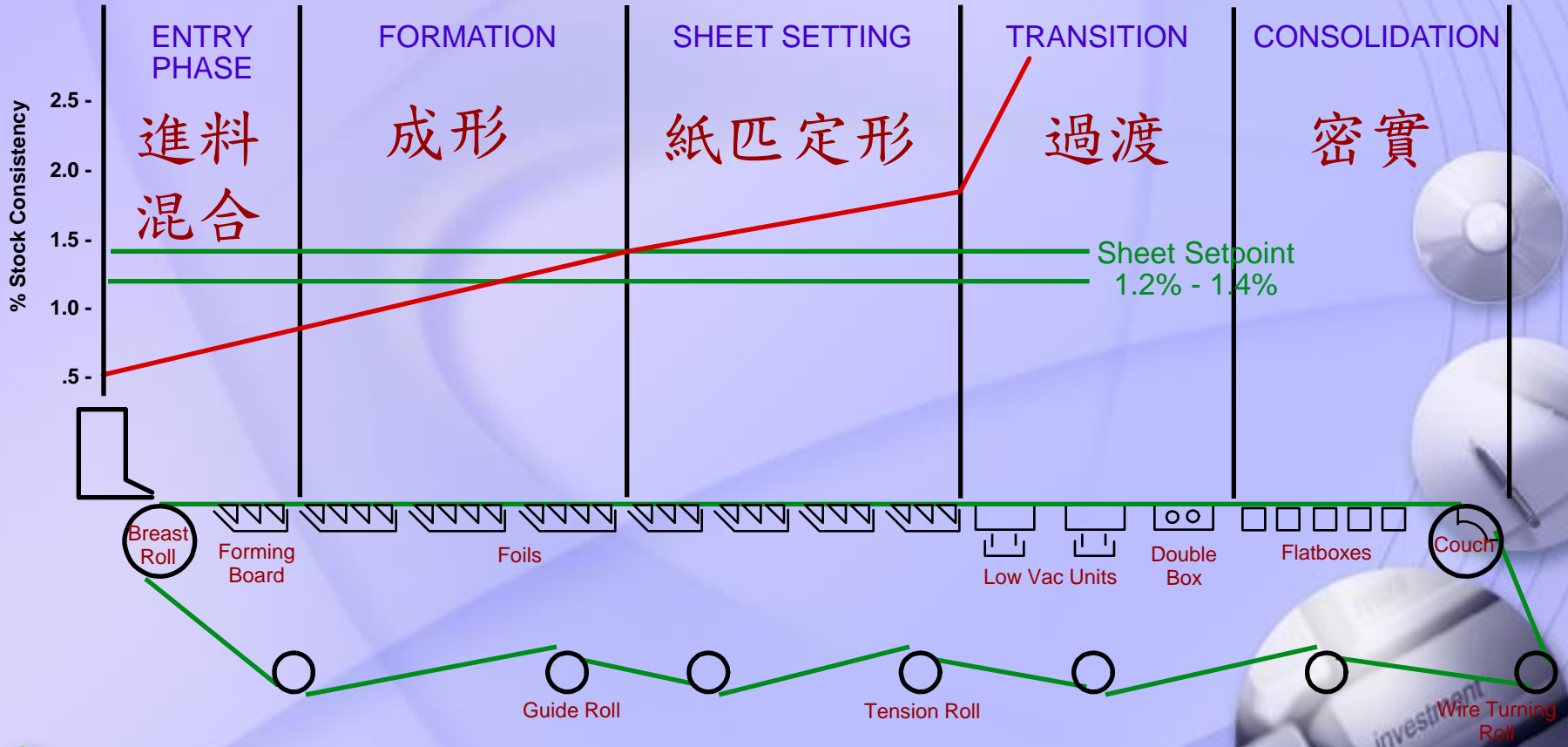
- 在紙匹完成成形後，往後的角色為在不傷害紙匹下，儘量去除水份，逐步增加較強的脫水元件而達到例如較高角度的脫水板，然後真空脫水板。
- 最後一段，增加高真空脫水板以得到最高的濃度進入伏軛。

成形部4階段脫水排列圖

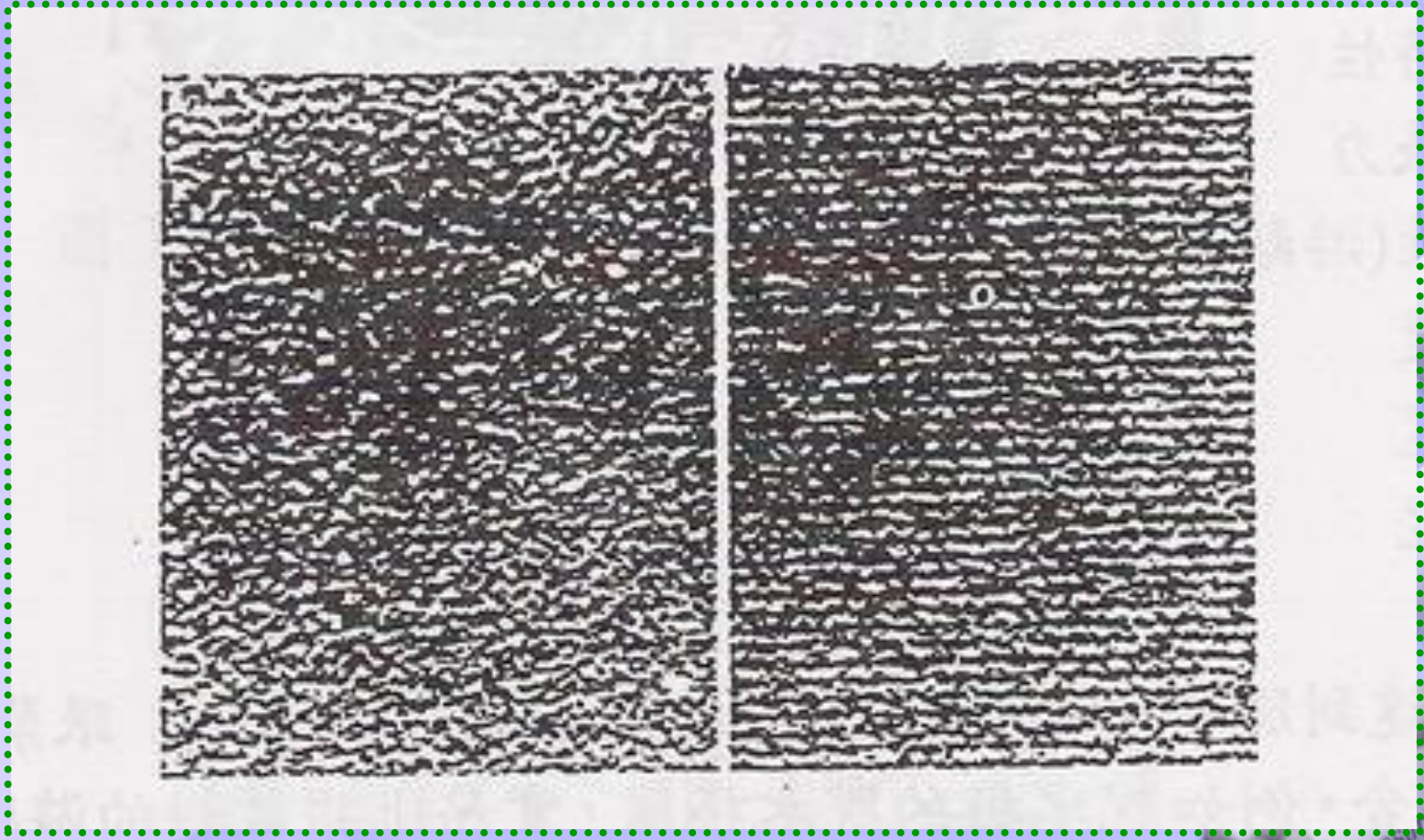


長網抄紙機濃度分佈曲線

Drainage Profile Is A Gentle Slope



紙匹面上及網面的表面放大圖



五、雙網成形

- 取代或改良長網。
- 家庭用紙成形。
- 多層成形。

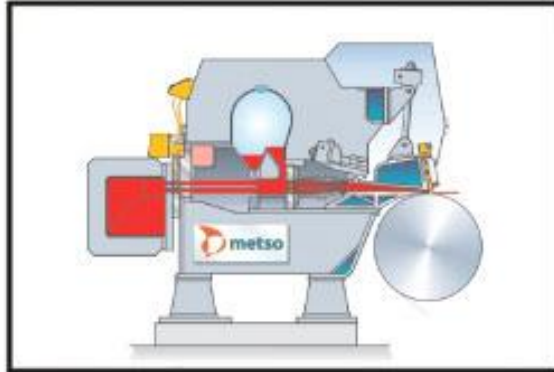
- ➔ 頭箱唇板的噴流射入收斂的雙網間隙中，初期脫水可以單面或雙面進行。
- ➔ 脫水的作用在於雙網間張力所產生的壓力及在網外的脫水元件。
- ➔ 纖維在網表面累積，脫水阻力逐步增加，相對的纖維層的壓力亦增加。
- ➔ 成形區的長度跟車速、基重、漿料游離度、雙網張力及脫水元件位置相關。

- 雙網成形部中，頭箱的操作相當關鍵，因為噴流噴到網面時馬上定形，噴流角度的控制成形更為重要。
- 優點為較高脫水能量，簡潔設計，較佳交織及較低雙面性。
- 缺點有雙面網痕，較低細纖維及填料保留，較低Z-方向強度。
- Vertiformer，Papriformer，Bel-Baie Former，Bel Bond Former。

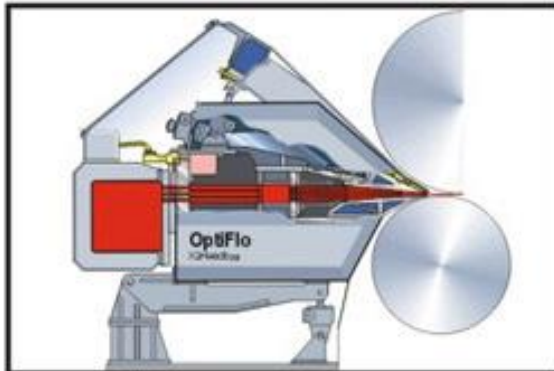
雙網成型機

Headbox

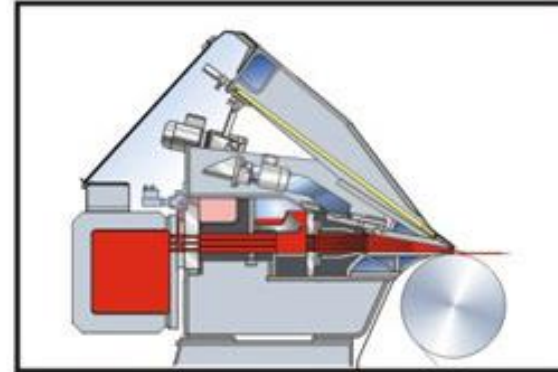
Fourdriniers, Hybrids



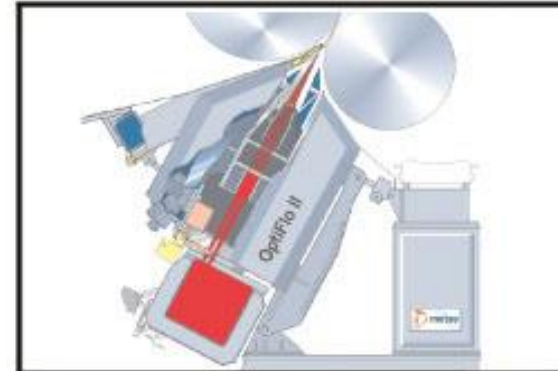
Horizontal Gap Forming



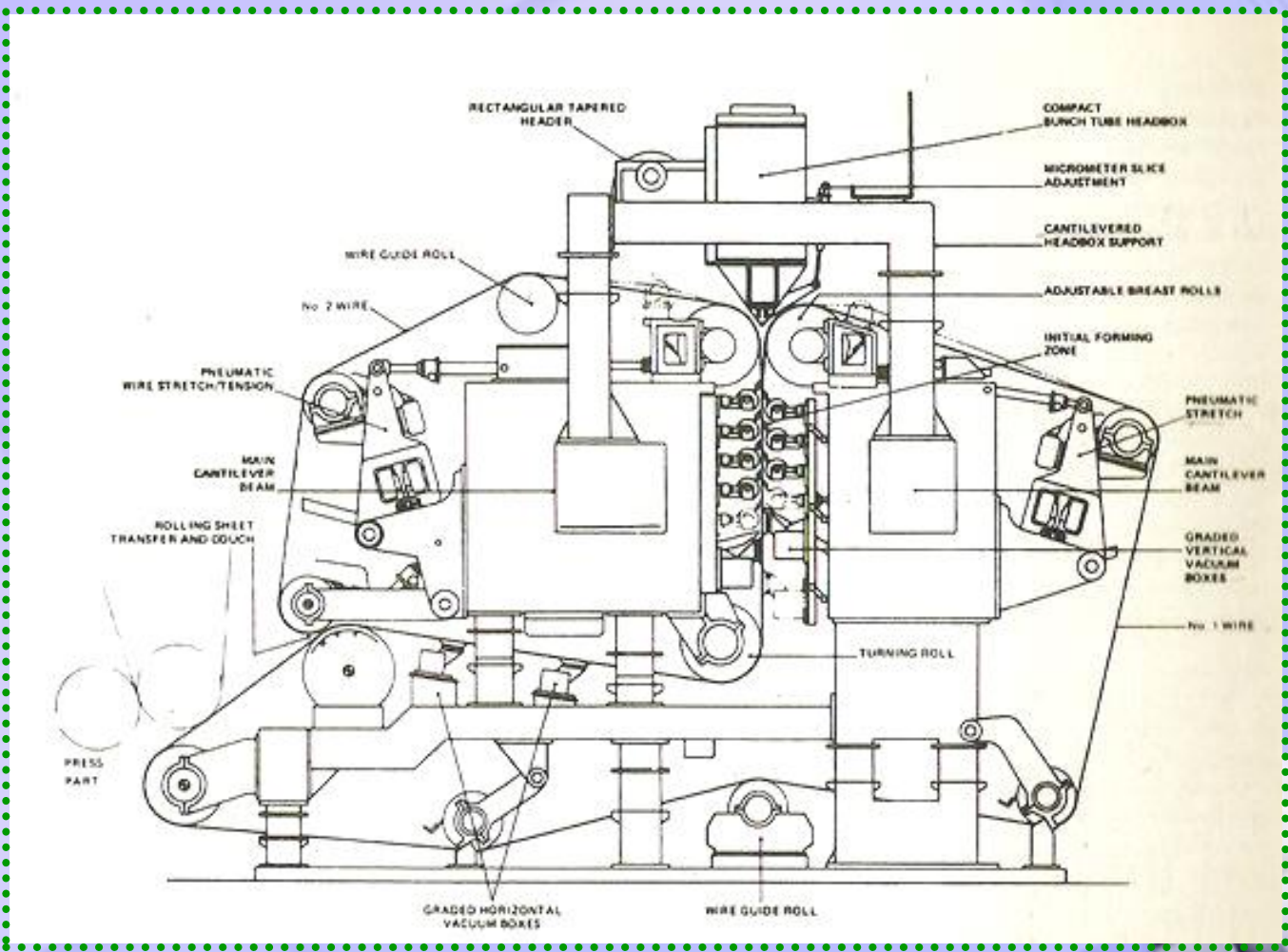
For Later Gap Former Rebuild



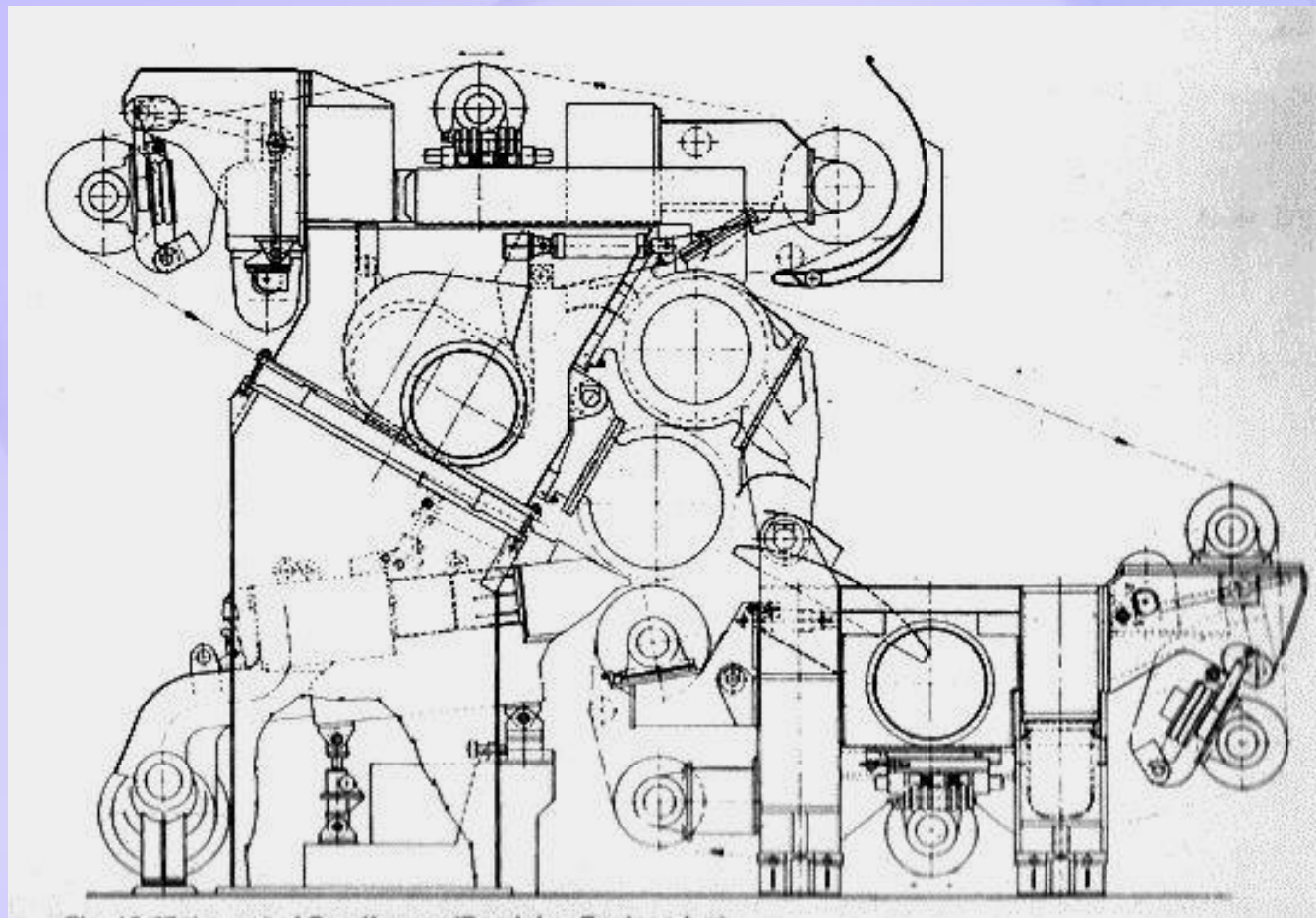
Vertical Gap Forming



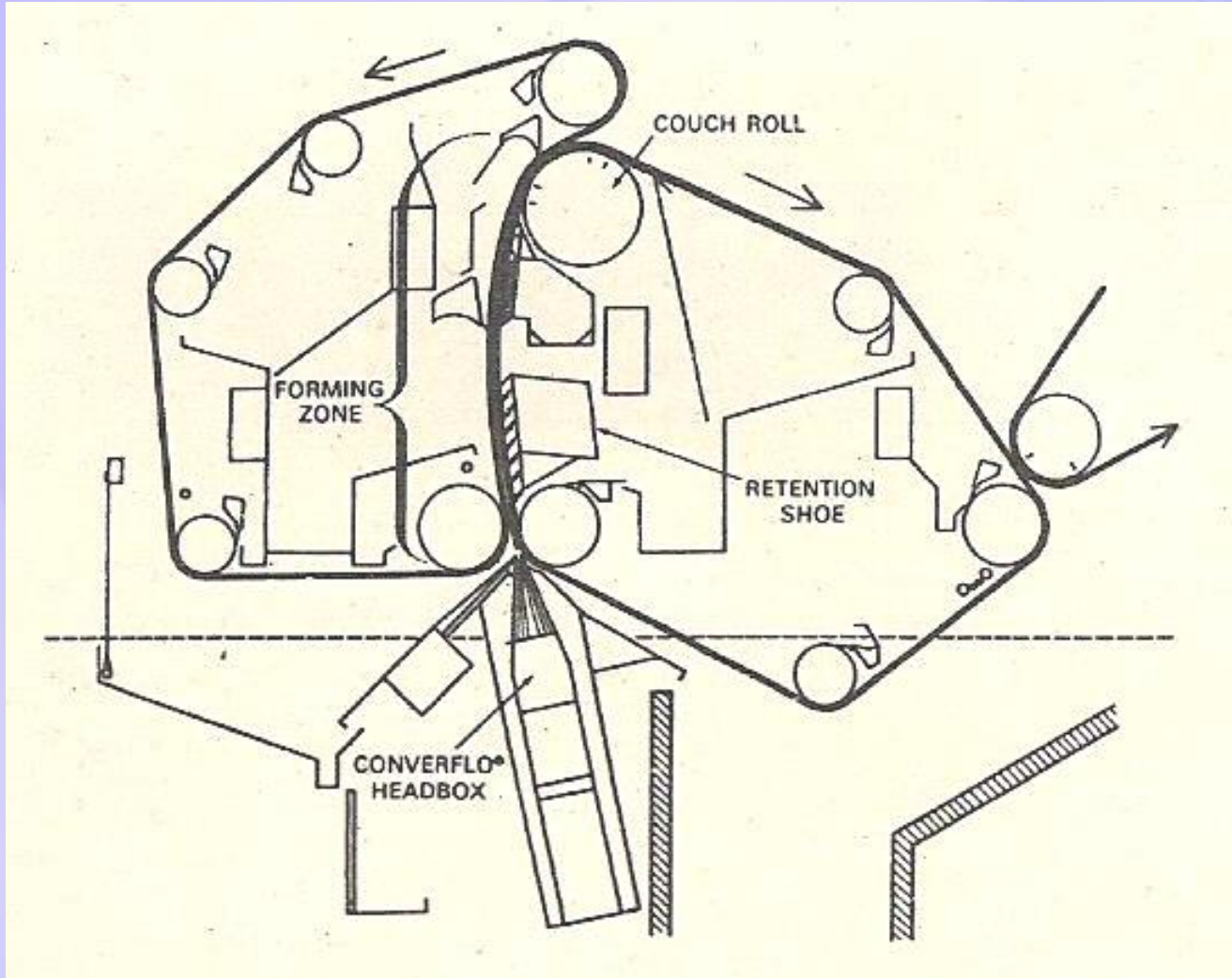
Vertiformer雙網成形部 (Black Clawson Co.)



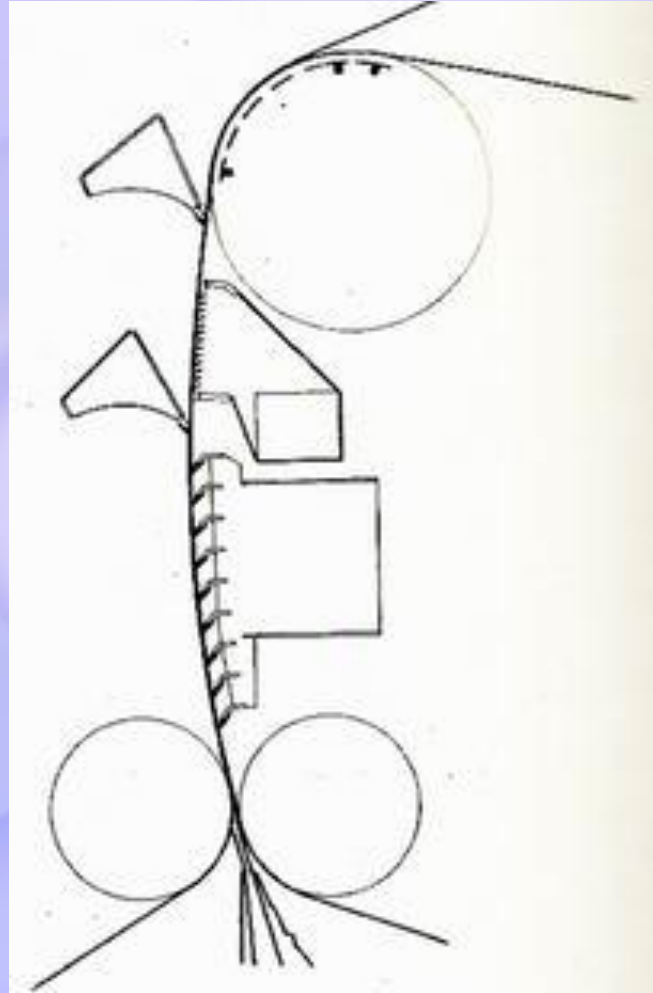
Papriformer雙網成形部 (Dominion Engineering)



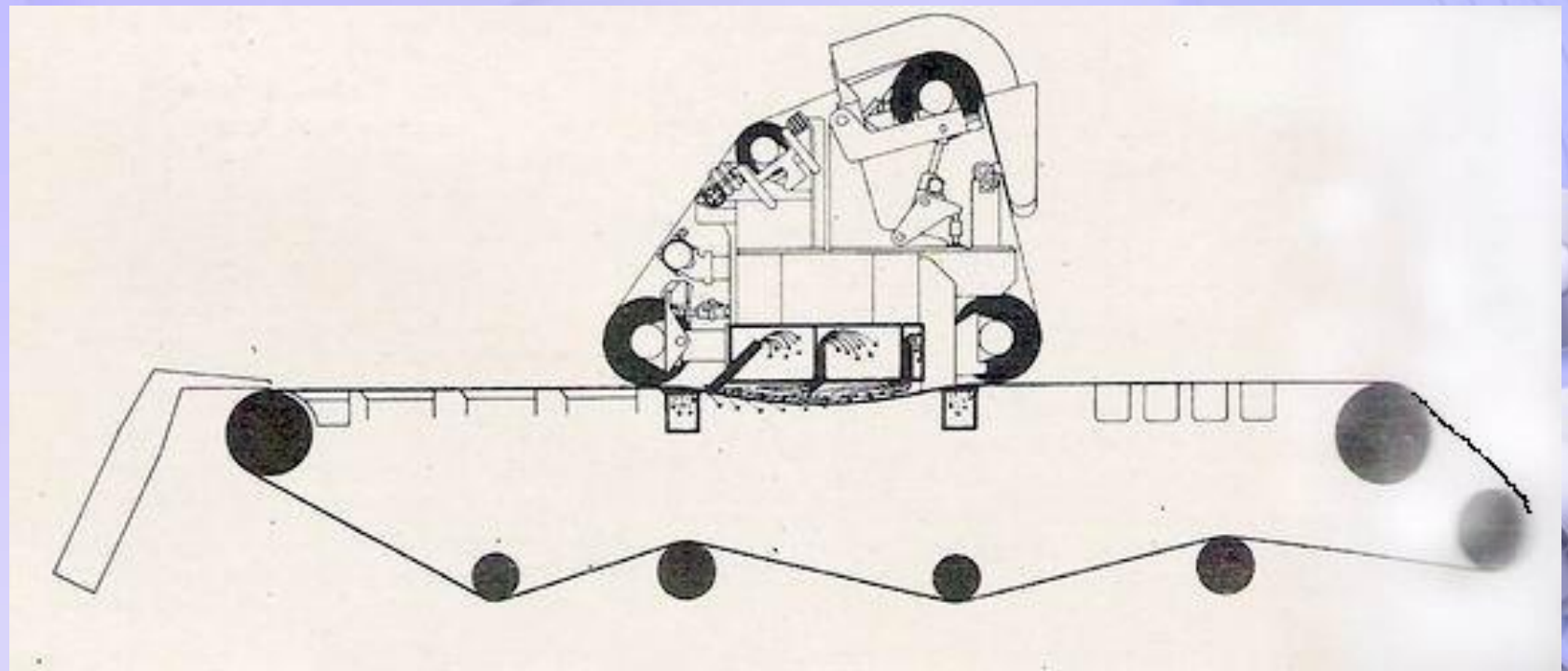
Bel-Baie Former雙網成形部 (Beloit Corp.)



Bale-Baie Former 成形區 (Beloit Corp.)



Bel Bond Former 雙網成形部 (Beloit Corp.)

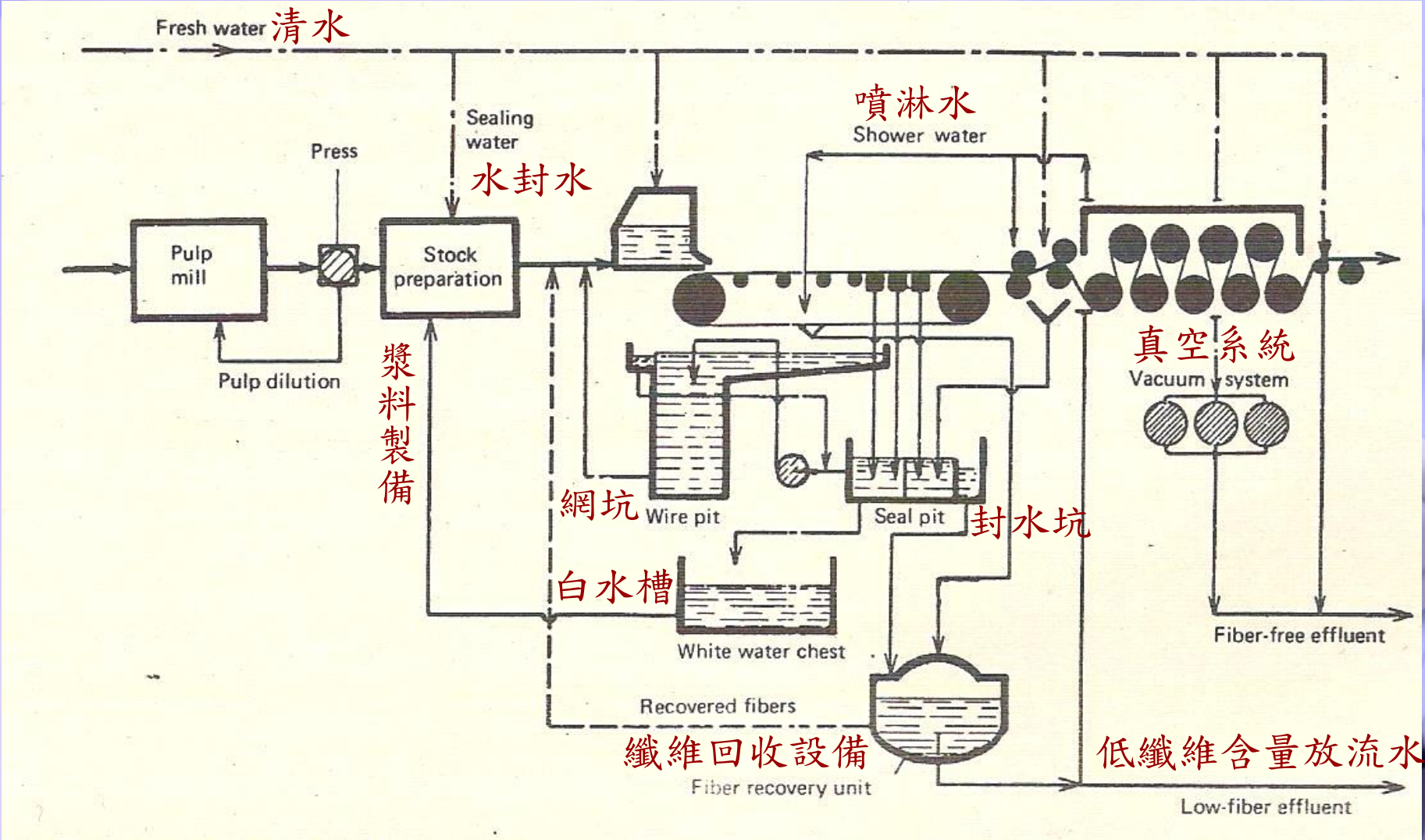


六、濕端平衡

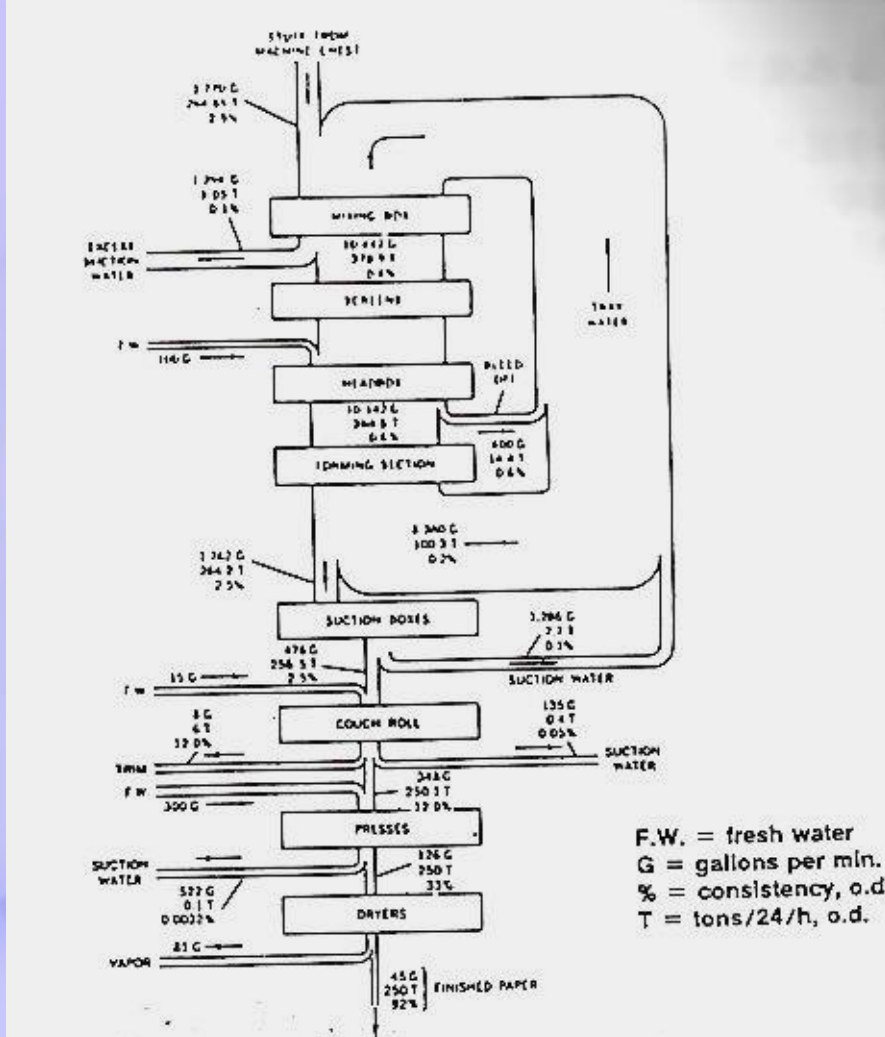
- 白水溢流部份，必須添加清水來補充。
- 白水溢流部份通常配置有纖維回收設備。
(例如盤式過濾機、紙料回收機)
- 清水主要使用在泵及攪拌機軸封水、長網及壓水部的噴淋管、真空泵的冷卻水及軸封水、烘缸部的冷卻水。
- 不含纖維的冷卻水可以分開收集，作為清水使用或泵回原水槽。

- 使用清水用量小的設備或在利用過濾後的白水。
- 密閉度的提高表示白水系統中溶解固體的累積，可能會導致喪失濾水度，高腐蝕率，沉澱物問題。
- 放流水處理成本，原水及能源成本的節省。
- 目前的趨勢為白水的密閉度(Closure)以減少清水用量。

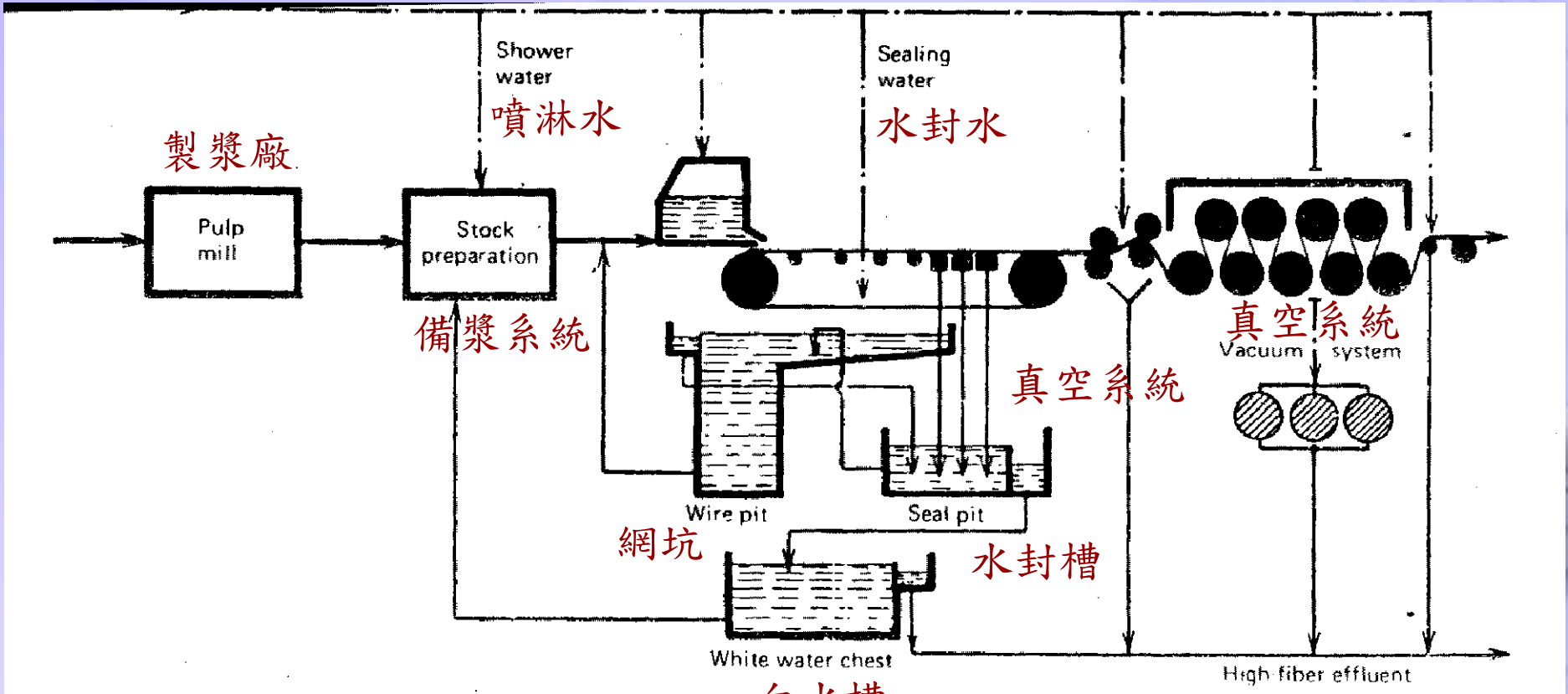
傳統抄紙機開放式白水系統



紙機白水平衡圖



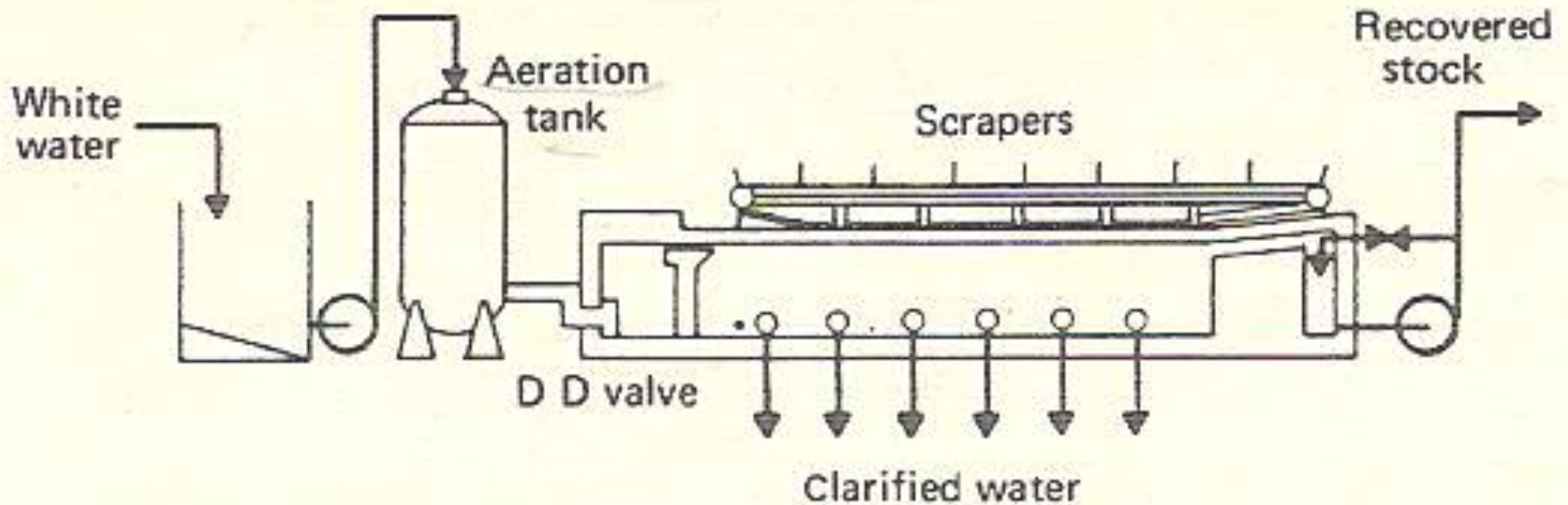
傳統抄紙機密閉式白水系統



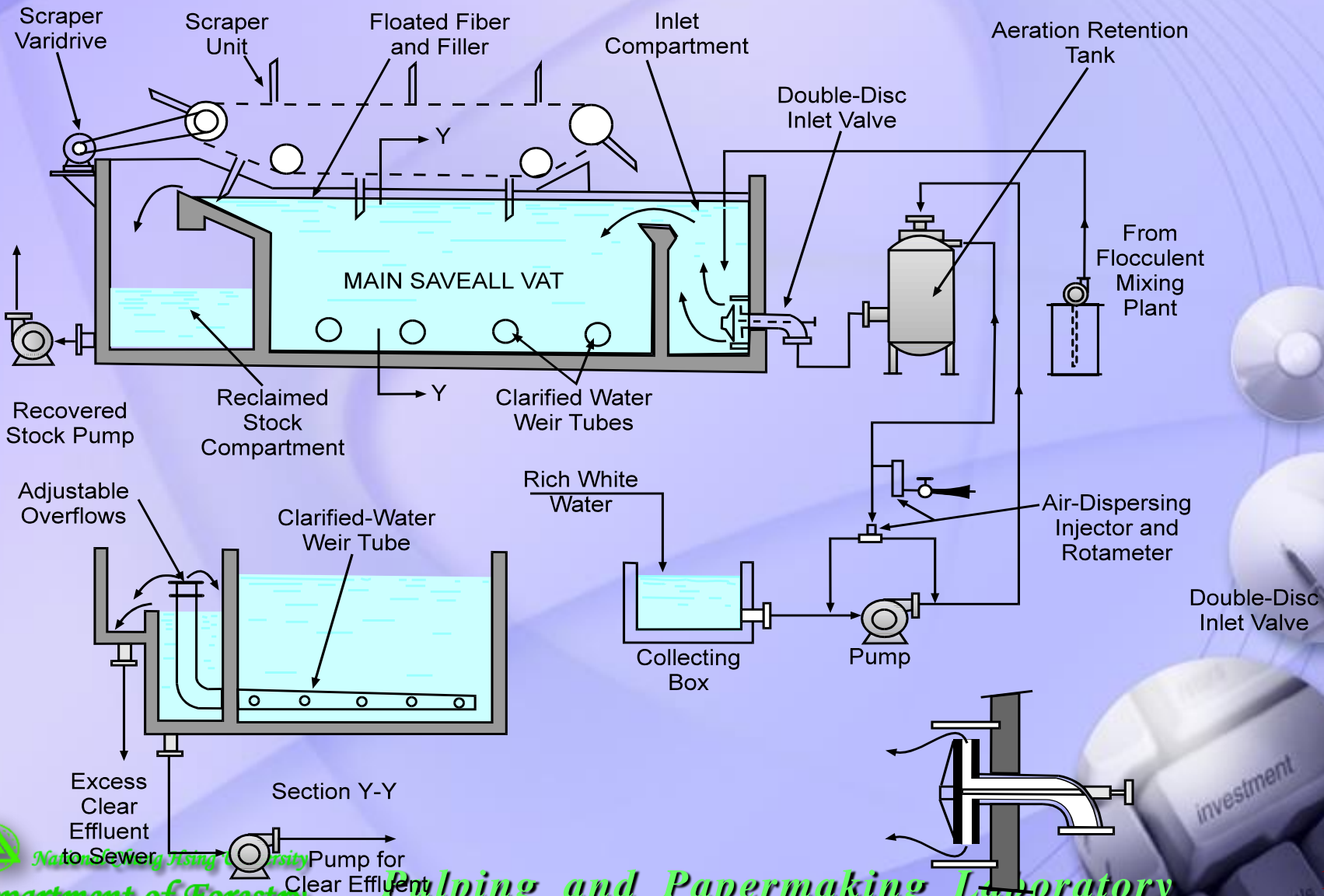
高纖維含量放流水



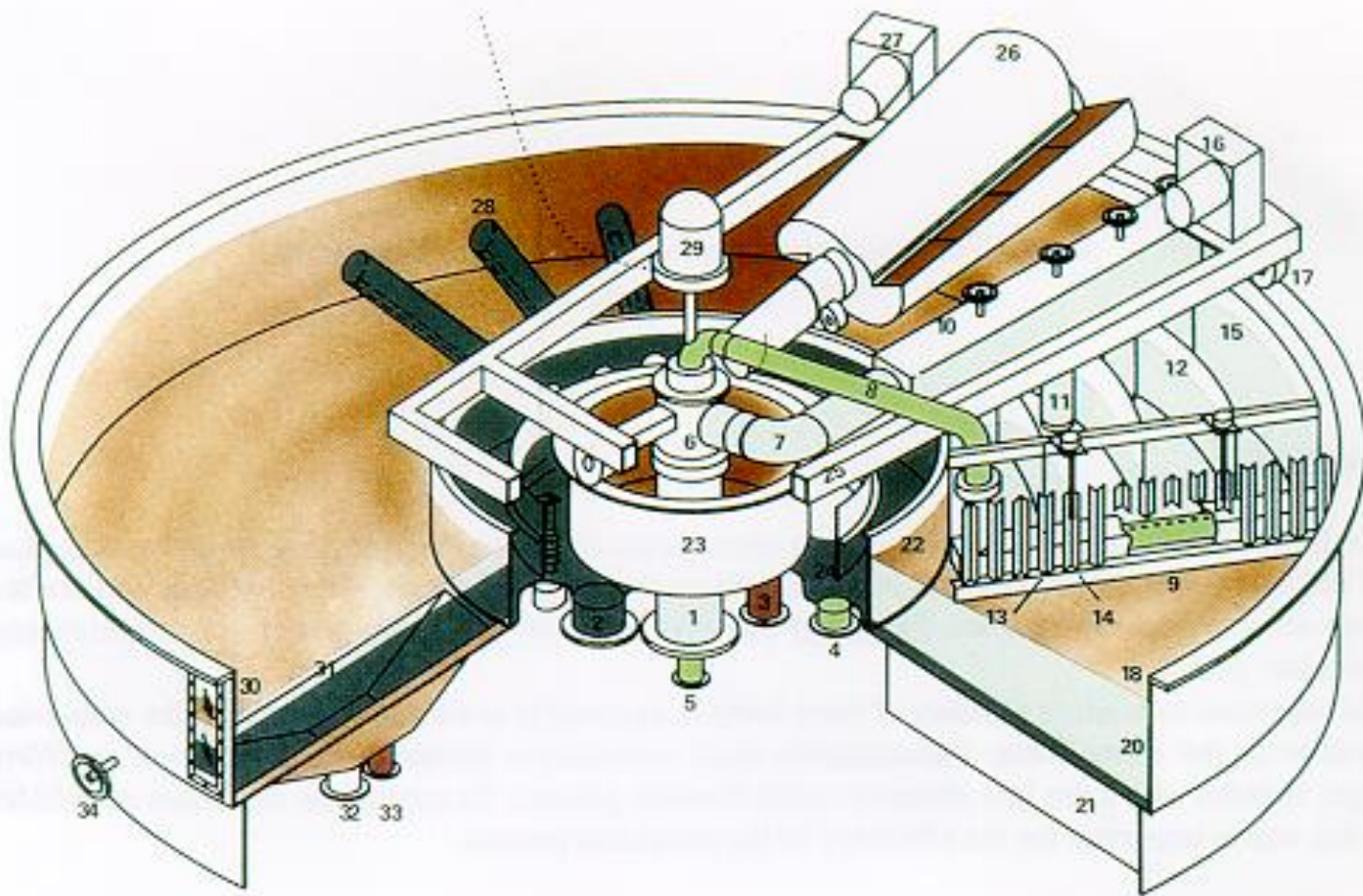
上浮紙料回收機



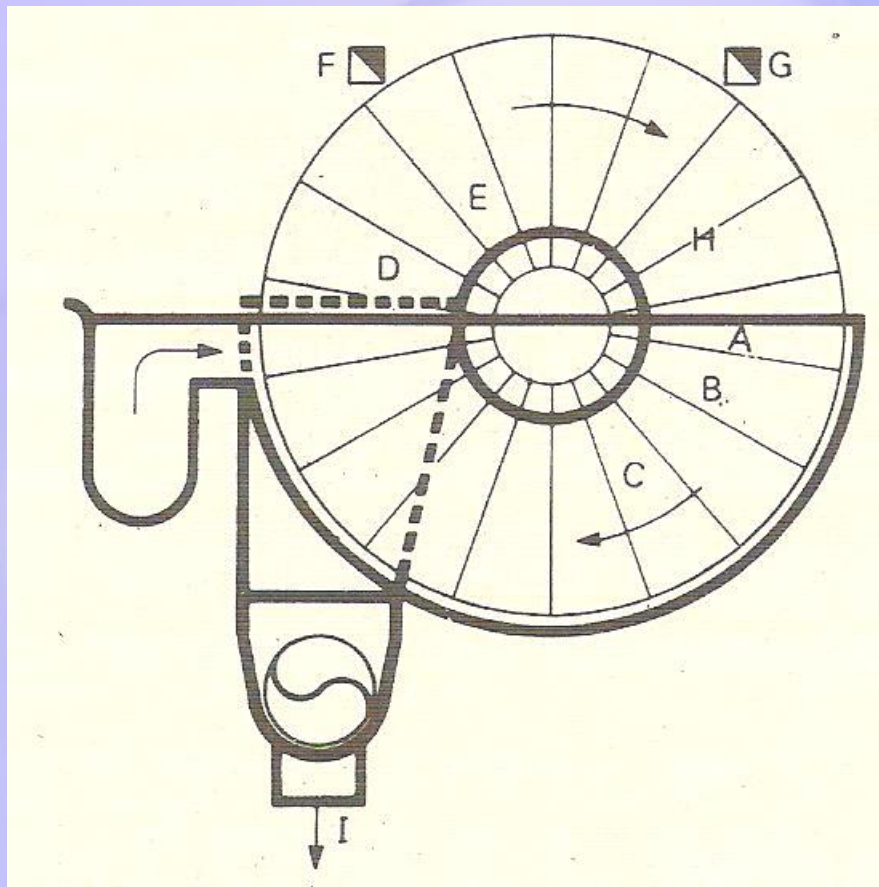
上浮紙料回收機



THE KROFTA SUPRACELL OVER 1000 INSTALLATIONS WORLDWIDE

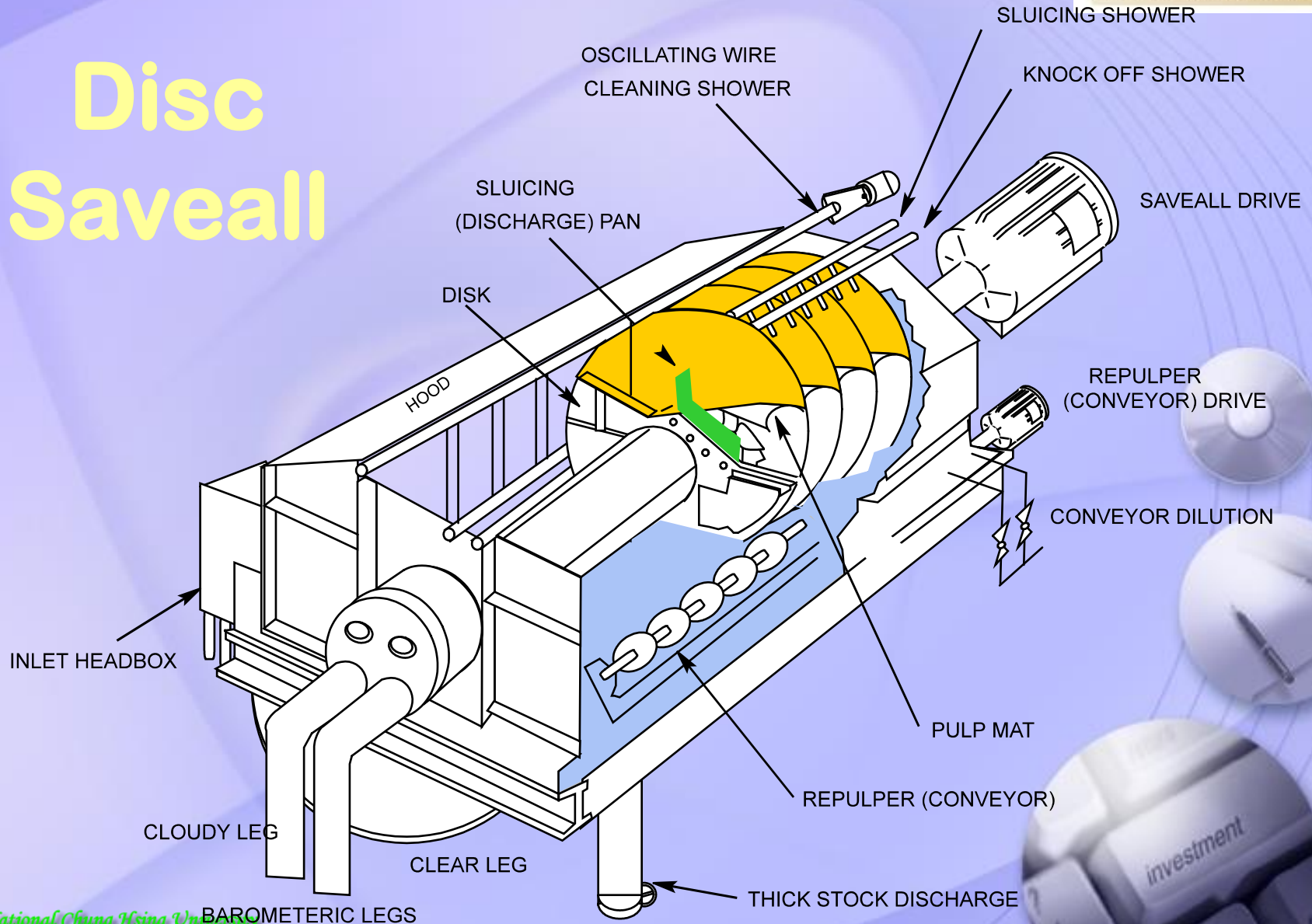


盤式回收機



The disc filter cycle (A) sector begins to gravity-fill core outward; (B) vacuum on cloudy filtrate collected; (C) clear filtrate obtained; (D) vacuum off; (E) atmospheric port opens; (F) knock-off shower peels mat; (G) wire washing starts; (H) atmospheric port closes; (I) thickened pulp discharged.

Disc Saveall

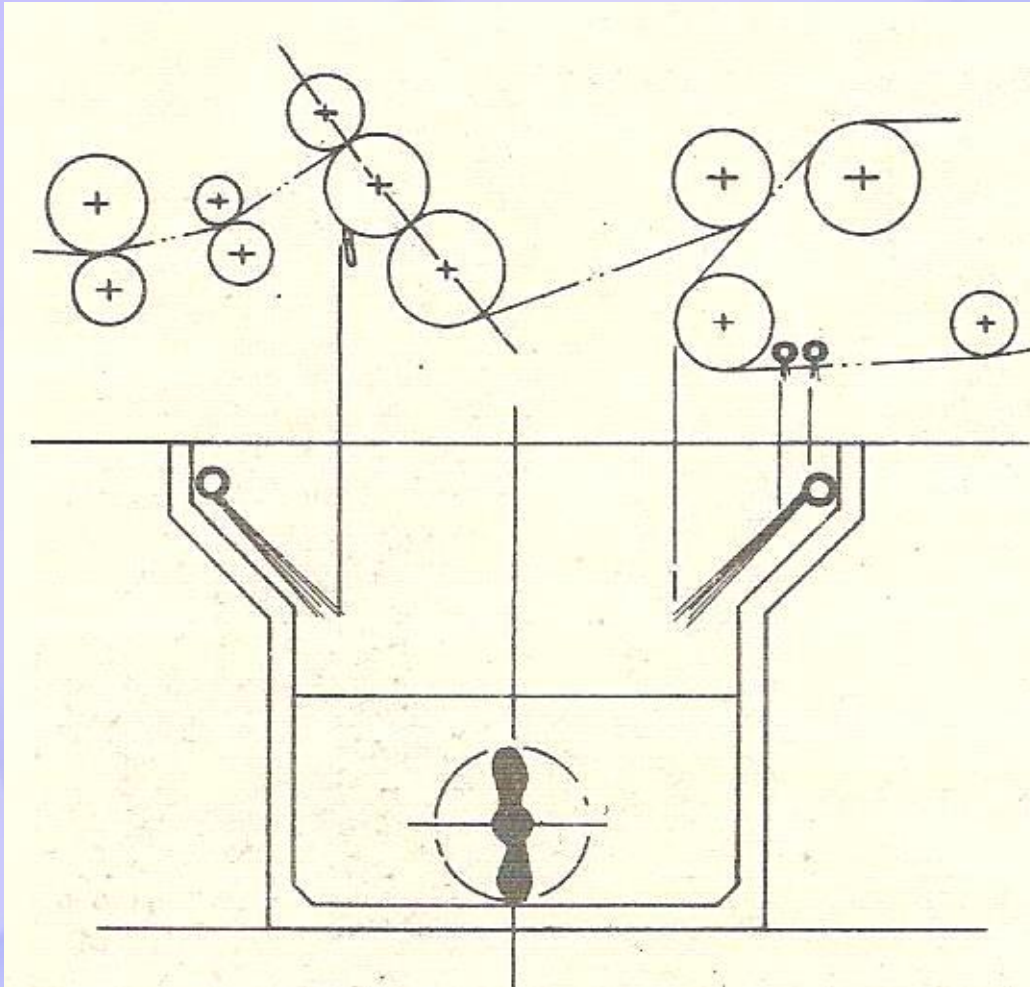


七、損紙系統

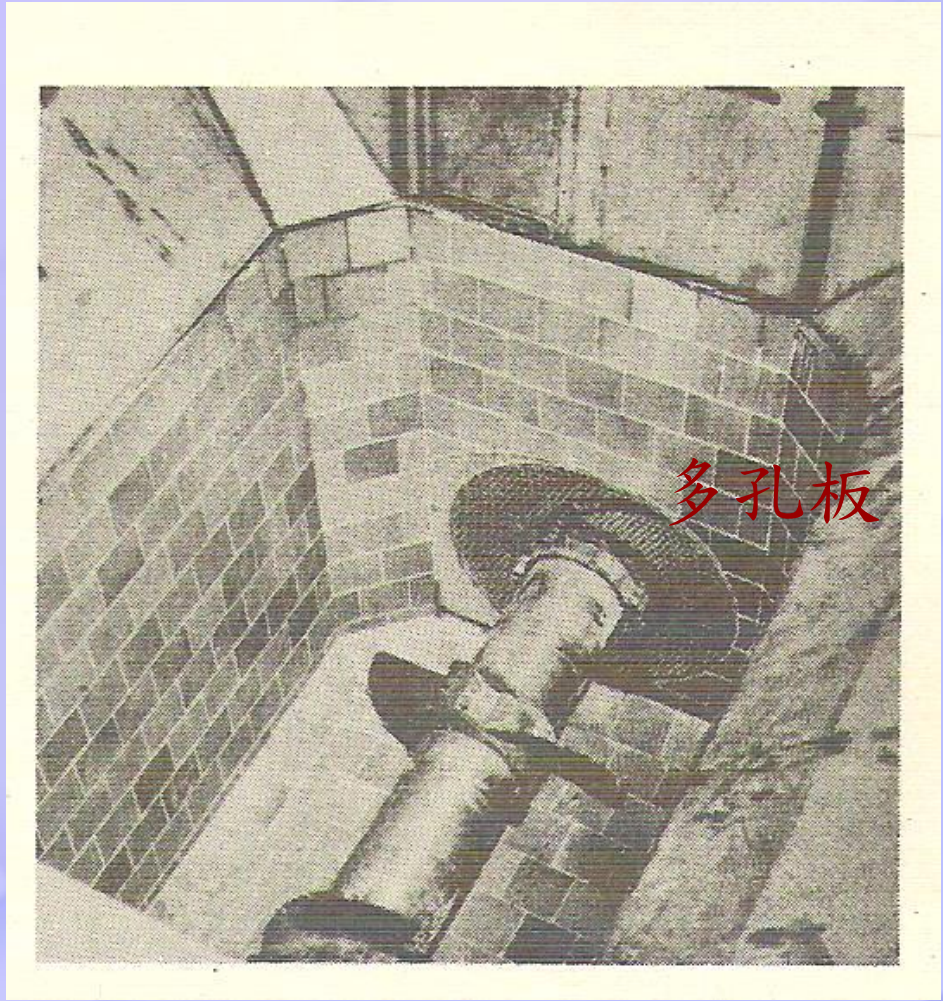
- ➔ 損紙系統為每部抄紙機必備的設備。
- ➔ 網部及壓榨部需要濕端散漿機(伏轆坑)。
- ➔ 烘缸部，壓光部及初捲，複捲部需要乾端散漿機。
- ➔ 必須要有能力處理所有損紙，同時連續不斷的切邊紙，例如：伏轆切邊，複捲機修邊等，亦需考慮在內。
- ➔ 濕端損紙處理較為簡單，因為濕損紙容易打散，停留時間較低。

- ➔ 乾端損紙散漿機，需要較強攪拌機及離解機輔助，停留時間較長。
- ➔ 利用回流漿料來協助打散紙匹，以防止紙匹懸掛在散漿機上面造成阻塞。
- ➔ 在正常操作時，需要低水量的噴淋管及小型泵即可。
- ➔ 當斷紙時，高水量的噴淋管會自動啟動來協助散漿。
- ➔ 當伏軾坑液位達到設定高度時，高容量泵會啟動，把等量漿料傳送到儲漿槽。

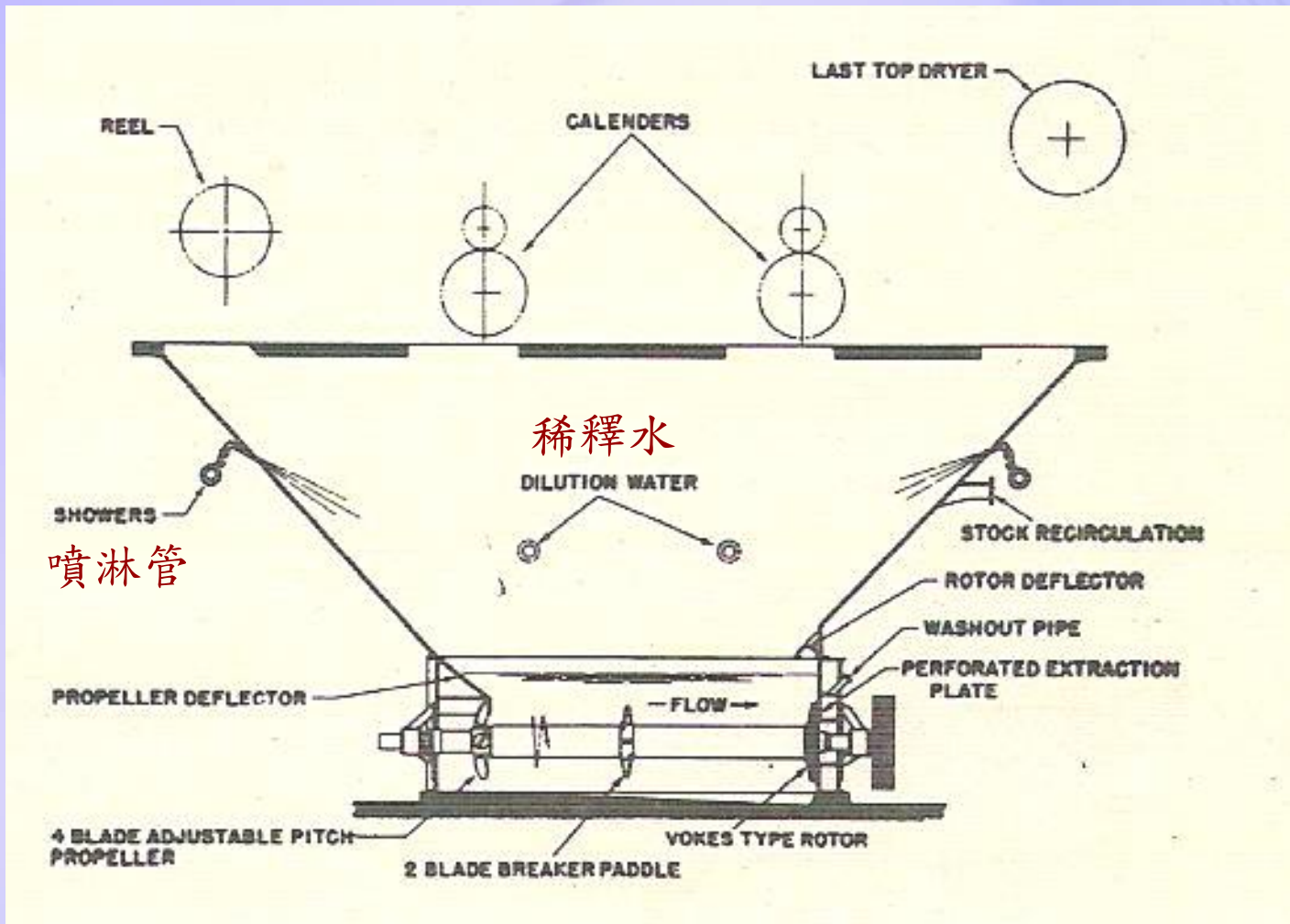
網部及壓水部的損紙同時進入伏轆坑 (Black Clawson)



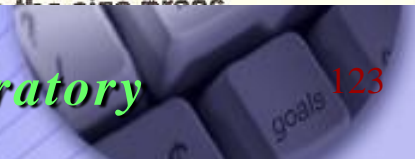
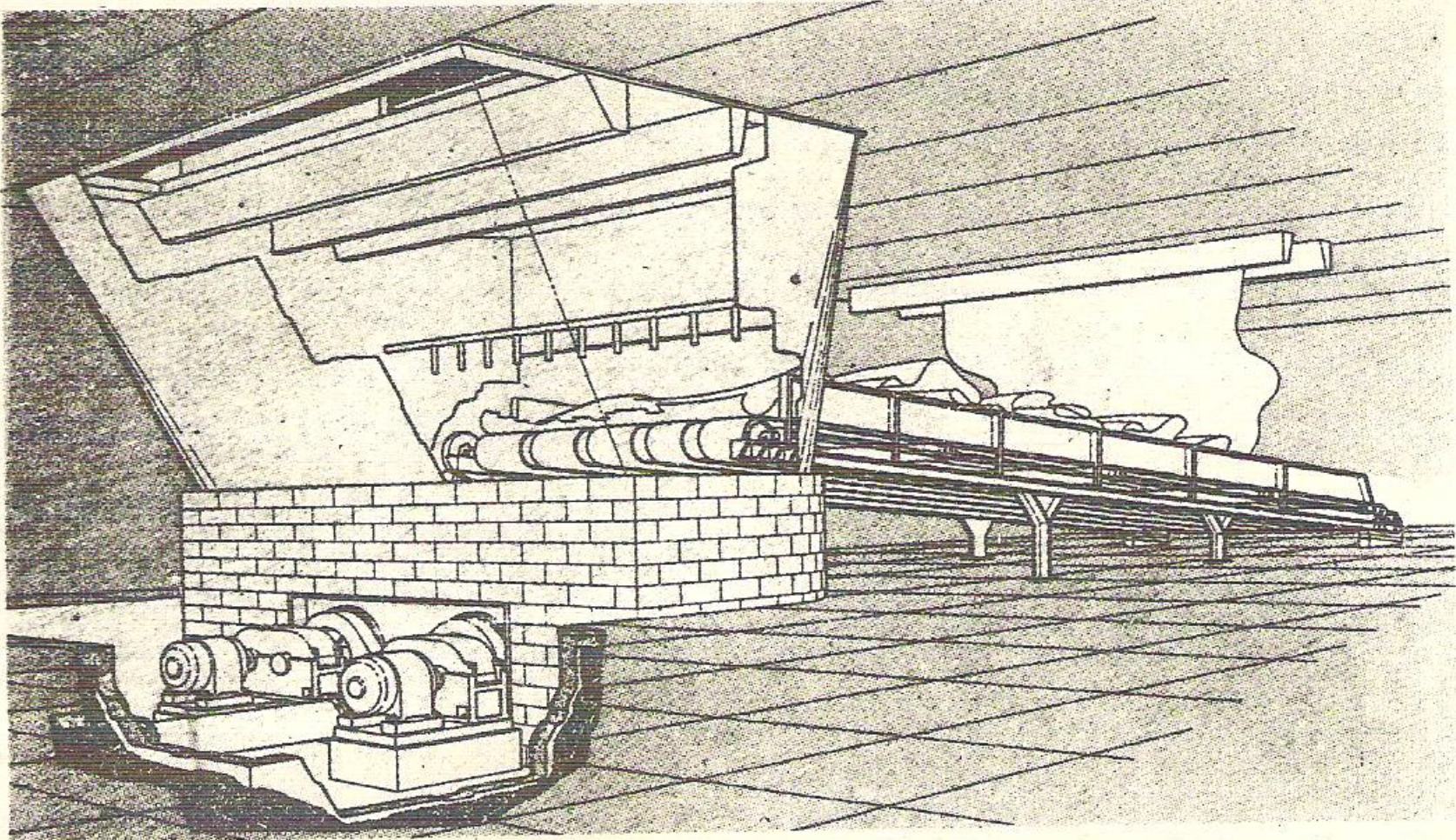
伏轆坑散漿機及多孔板 (Black Clawson)



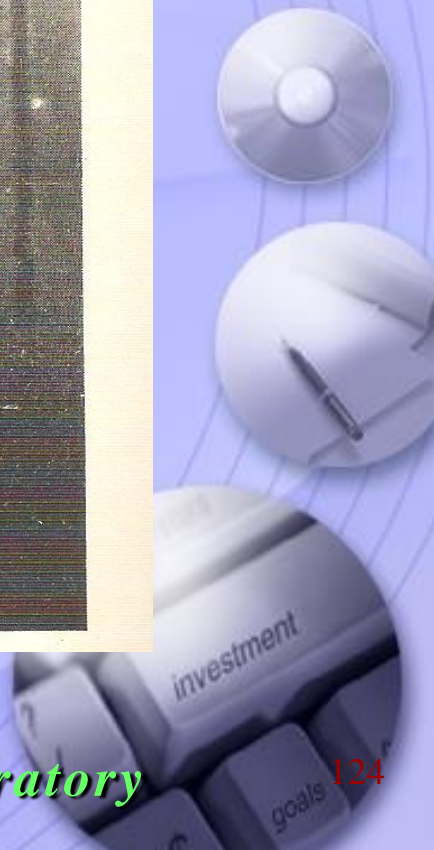
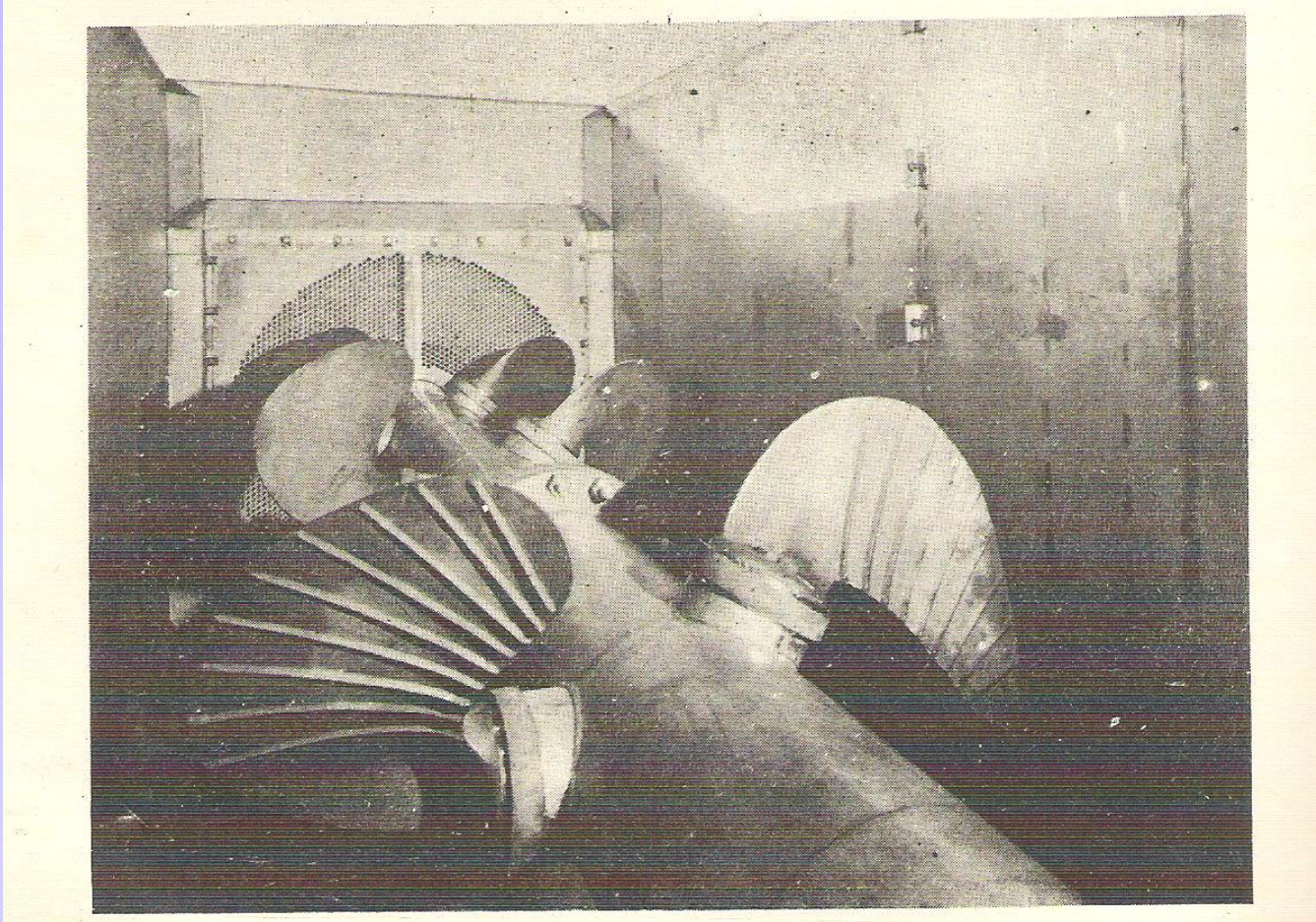
乾部損紙散漿機 (Black Clawson)



乾部損紙散漿機



乾部損紙散漿機 (Ingersoll-Rand Impco)



八、壓水部

- ➔ 目的為去除水份及讓紙匹更密實，表面平滑、降低鬆度、提高濕紙匹強度，以提昇乾燥部的操作性。
- ➔ 紙匹從成形部經過一連串的毛毯及不同的壓水輥再傳送到乾燥部。
- ➔ 利用機械力來脫水永遠比用蒸發方式來得經濟，因此抄紙業界無不設法來提昇水部效率，降低乾燥部的蒸發負荷。

- 抄紙機的水份去除必須均勻，因此在進入乾燥部前壓水部的水份分佈必須調控。
- 紙匹密實化在抄紙過程中極為關鍵，在壓水過程中，纖維被迫緊密的接觸，形成良好纖維與纖維間的鍵結。假如密實化過程在壓水部之後，紙匹將會鬆度較高、紙力較弱。
- 在壓水部的紙匹水分經常以濃度或乾度來表示。

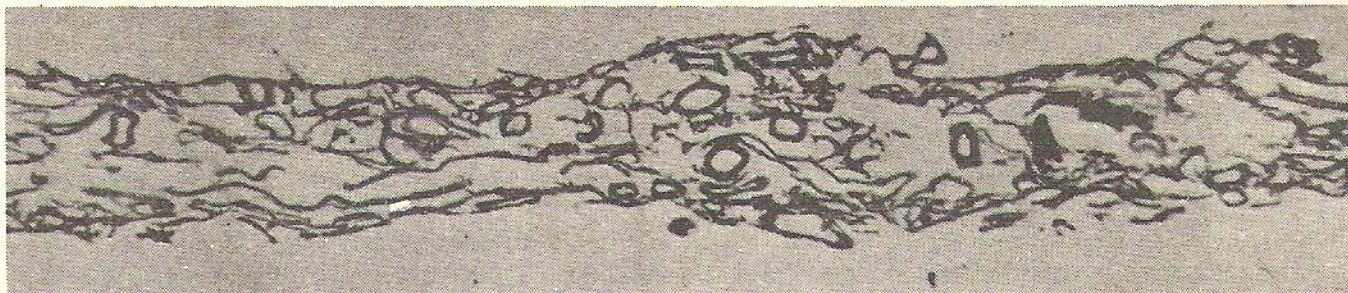
→ 必須特別注意的是乾度變化不代表絕對水分的差異。

→ 較佳的指標為水分/纖維比例

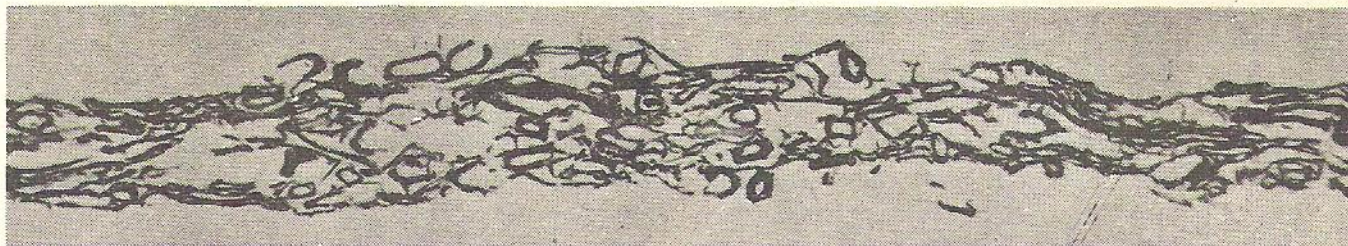
乾度	水分/纖維比
40%	1.50 (60/40)
41%	1.44 (59/44)
2.5%	4%

→ 這表示在壓水部降低乾度1%的重要性。

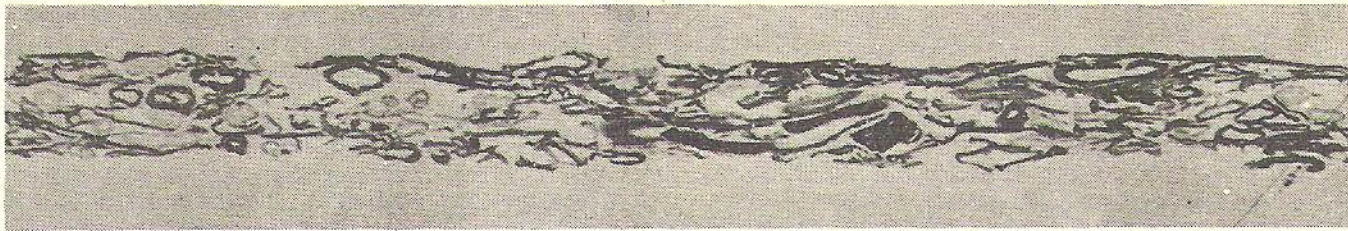
2段，3段及壓光段密實化的切圖面



After 2nd press

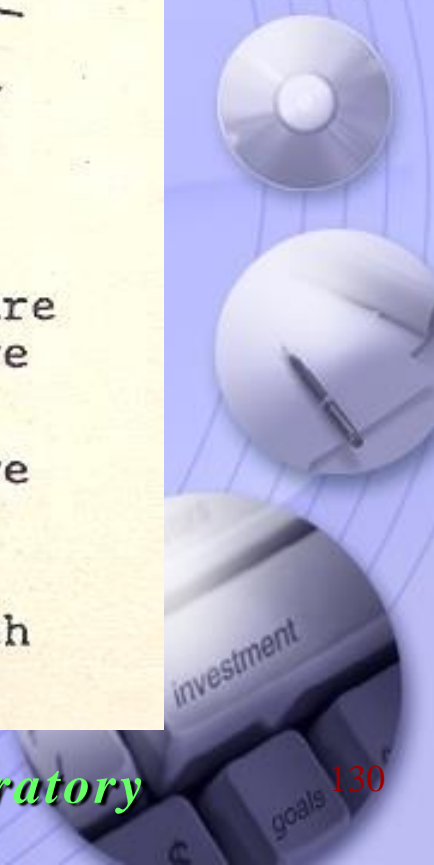
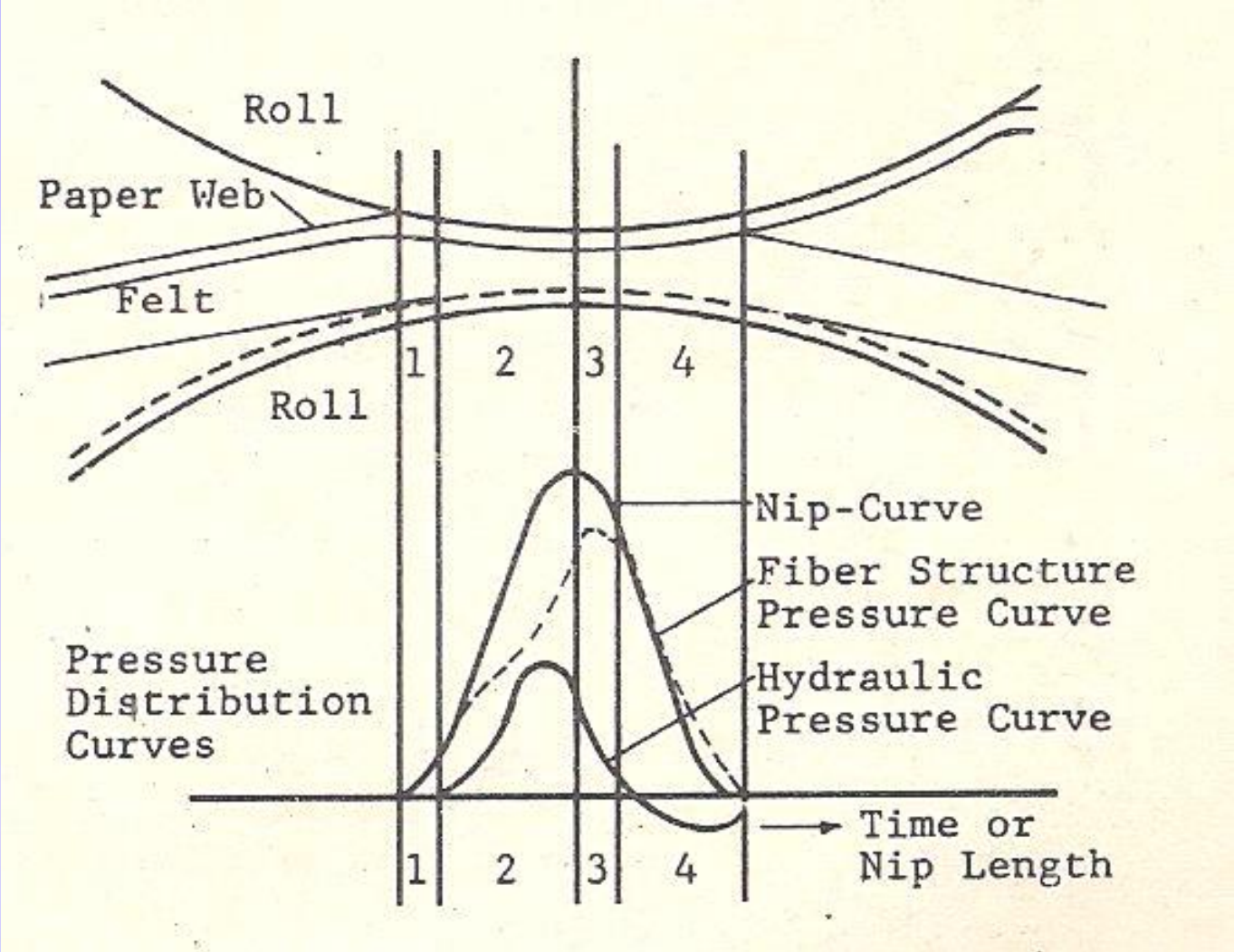


After 3rd press



After calendering

壓水捏縫脫水機構



▶ 壓水捏縫

- ➔ 所有壓榨過程都操作在具有捏縫(Nip)兩輥之間的毛毯。
- ➔ 相1：壓榨開始，空氣從紙匹及毛毯穿過，直到紙匹飽和，沒有水力壓力累積。
- ➔ 相2：紙匹在飽和狀態，水力壓力累積，導致水分從紙匹移動到毛毯。當毛毯達到飽和時，水分離開至毛毯之外。當水力壓力累積到達捏縫的一半時達到最高。

➤ 壓水捏縫

- ➔ 相3：捏縫持續加壓直到在紙匹的壓力接近於零，這表示紙匹的乾度已達到極致。
- ➔ 相4：紙匹及毛毯膨脹，導致紙匹水分變成未飽和。雖然在膨脹時有負水力壓力產生，但是紙匹的真空仍然相當大，導致毛毯的水分回濕到紙匹。

➤ 壓水部限制

- ➔ 流動控制：多快水分從紙匹中移出。
- ➔ 壓力限制：紙匹被壓縮的程度。
- ➔ 在流動限制狀態，過大的壓力會導致紙匹被壓潰。
- ➔ 壓水部通常經過一系列的捏縫(典型為3組)，每通過一捏縫，其壓力隨之增加，第一段捏縫通常為流動限制，最後一段捏縫則為壓力限制。

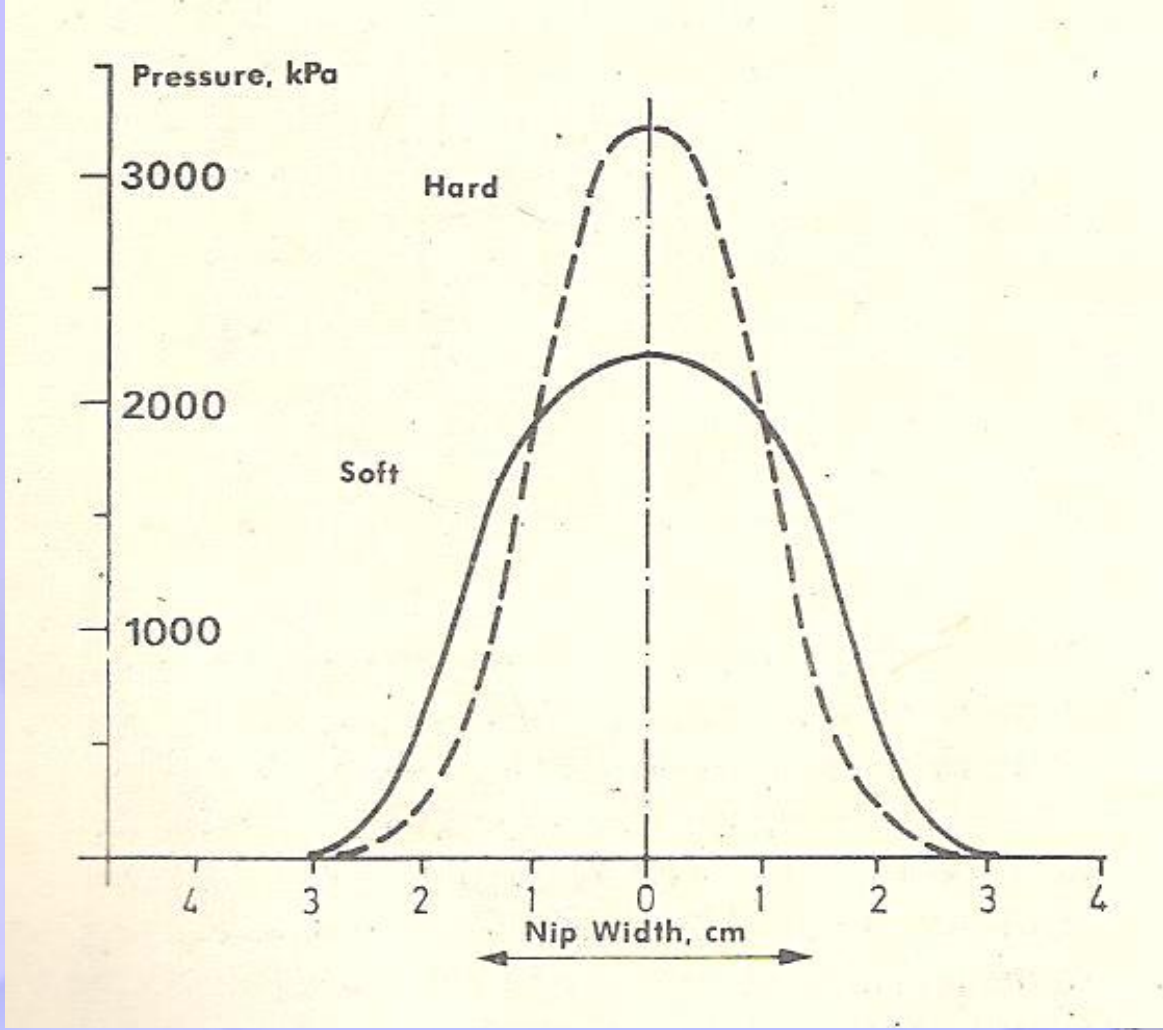
▶ 壓水部通則

- ➔ 紙匹及毛毯在兩支旋轉的輥之間被壓榨，上輥為機械加壓(通常為氣壓缸)在捏縫中產生需求的壓力。
- ➔ 線壓為機械加壓及上輥本身重量的加成，除以壓輥捏縫接觸面的長度。
- ➔ 最大線壓取決於線壓、輥徑、輥硬度及毛毯特性。

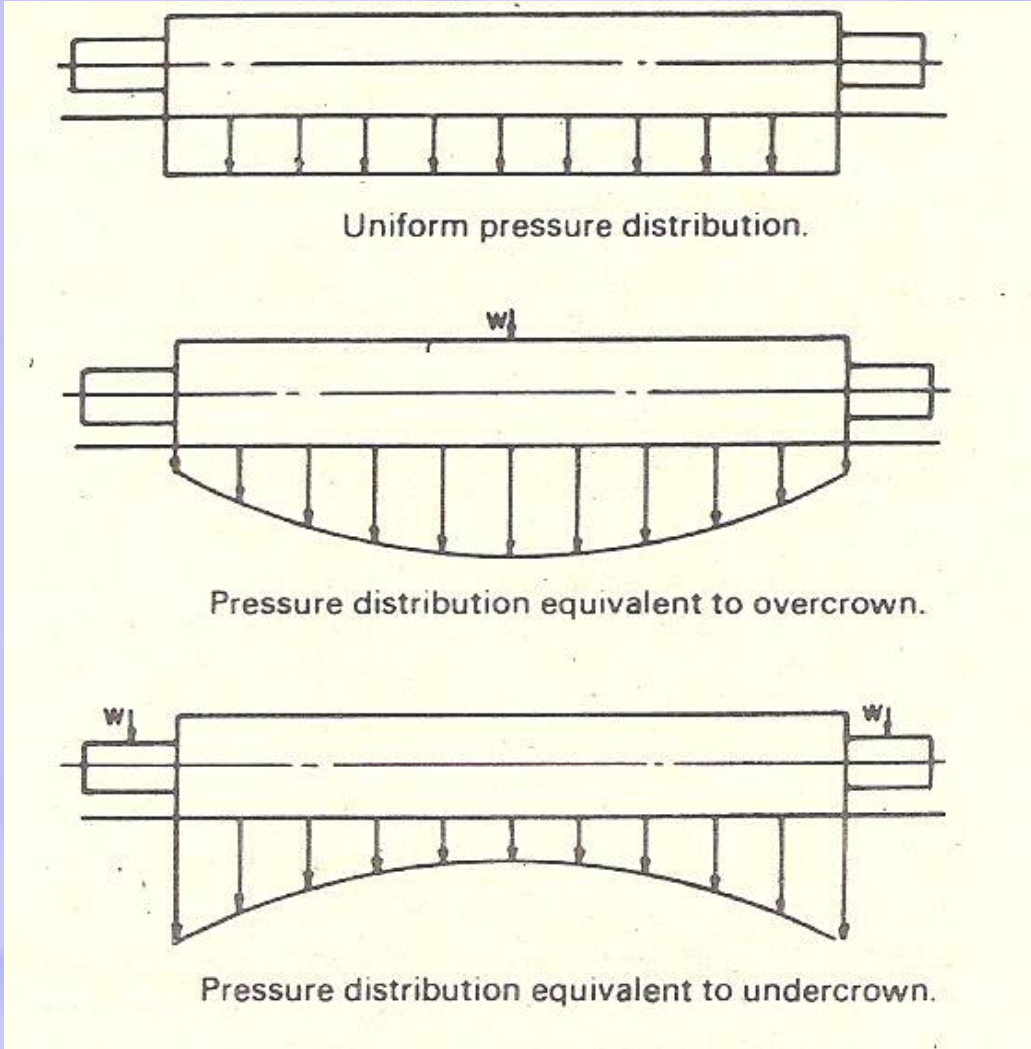
- ➔ 在捏縫中，紙匹一邊跟平滑，硬轆接觸，材質通常為花崗石(Granite)，有時為實心金屬轆有/無硬橡膠包膠。
- ➔ 毛毯接觸的轆通常為耐磨橡膠來軟化捏縫。
- ➔ 因為壓水轆再受力時會彎曲，因為一或兩支轆必須具備中高(Crown)，來達到接觸面受力平均分佈。

- ➔ 中高的需求取決於輥徑、輥長度、材質及受力程度。
- ➔ 固定中高(底輥研磨而得)只適用在單一負荷。
- ➔ 紙機生產不同基重及品質的紙種時，通常使用可調中高來補償不同程度的受力。
- ➔ 均勻壓榨是必需的，在進烘缸部前達到合適的水份分佈。

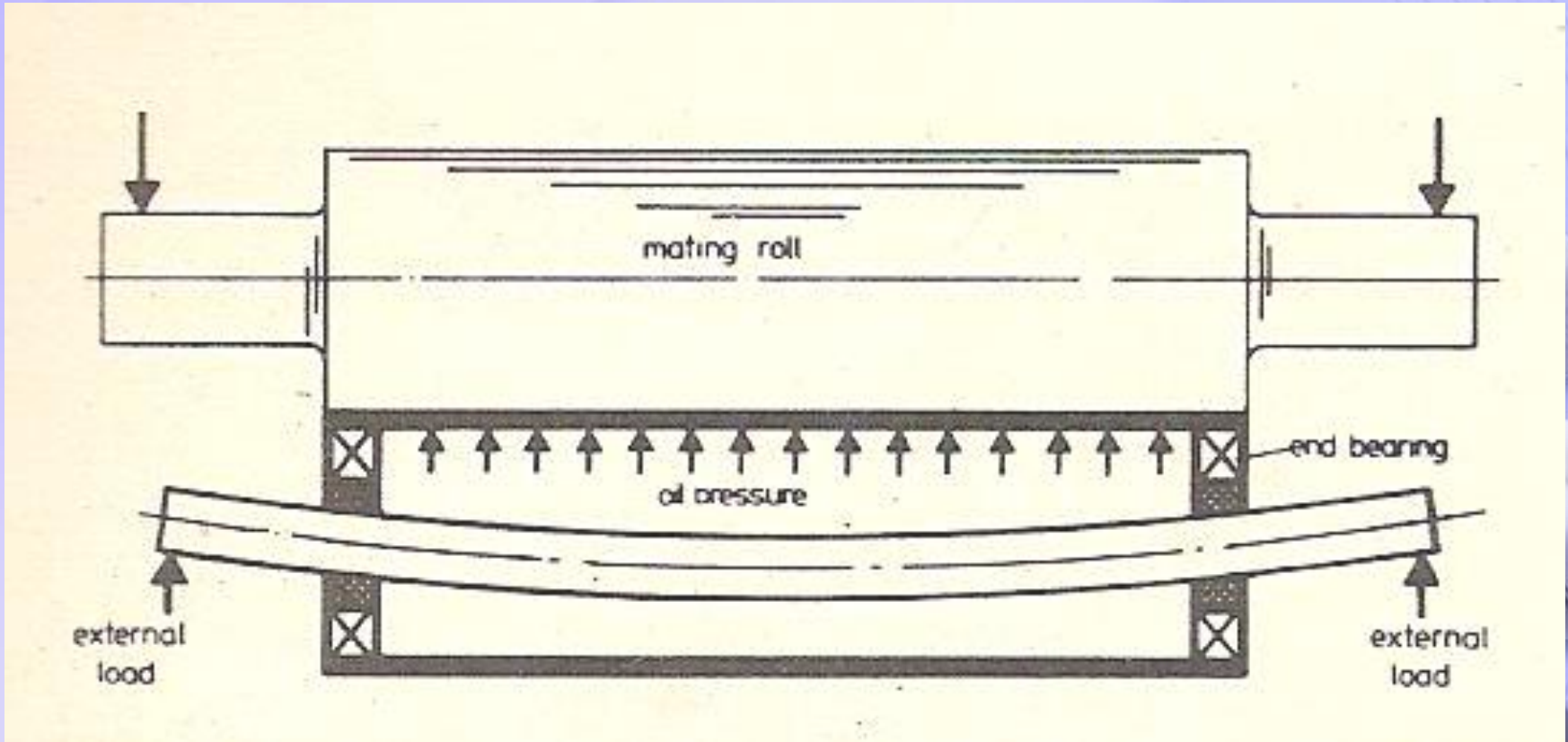
硬輥及軟輥壓水捏縫壓力分佈圖 (45 kN/m)



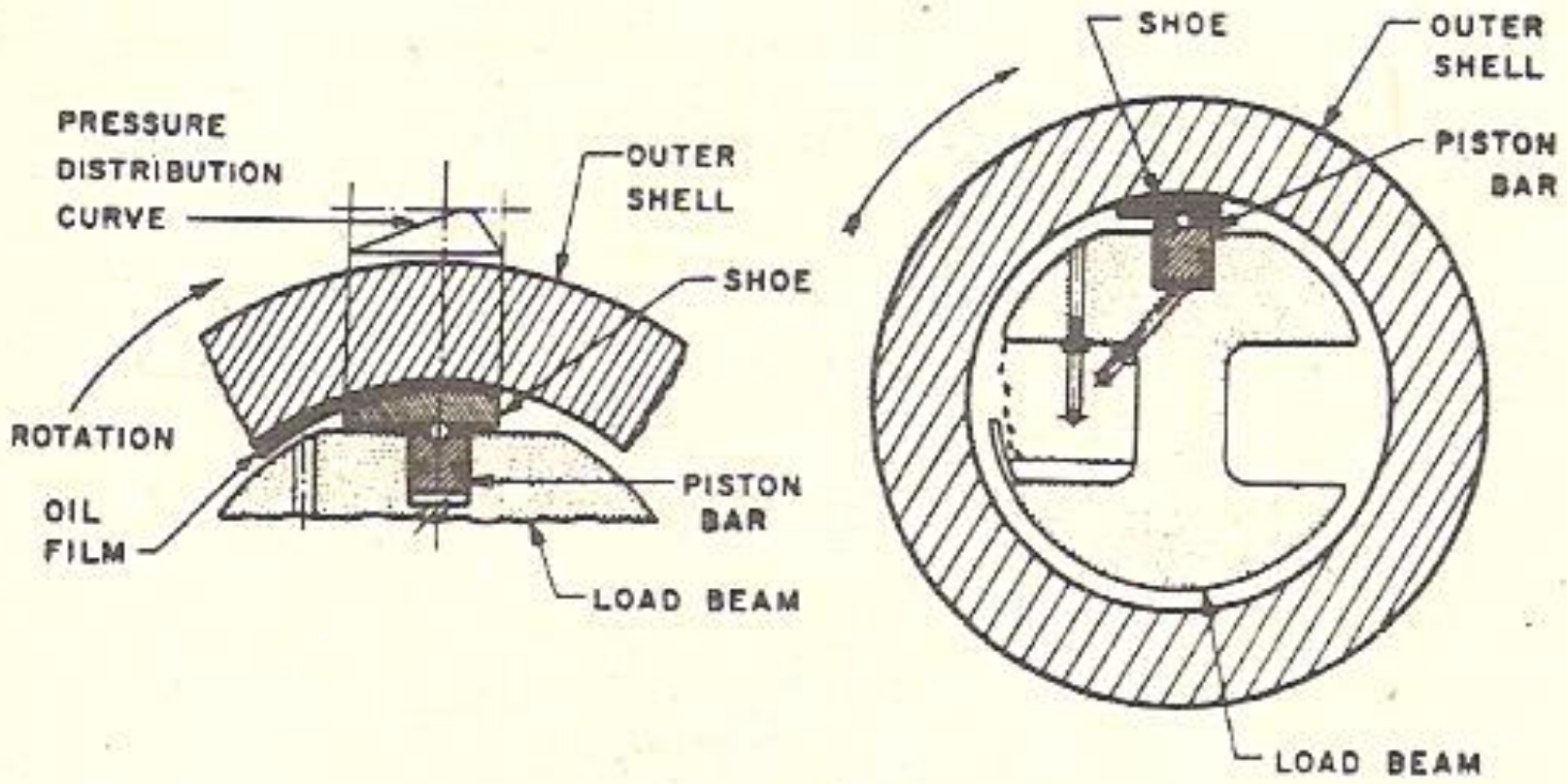
中高適用性



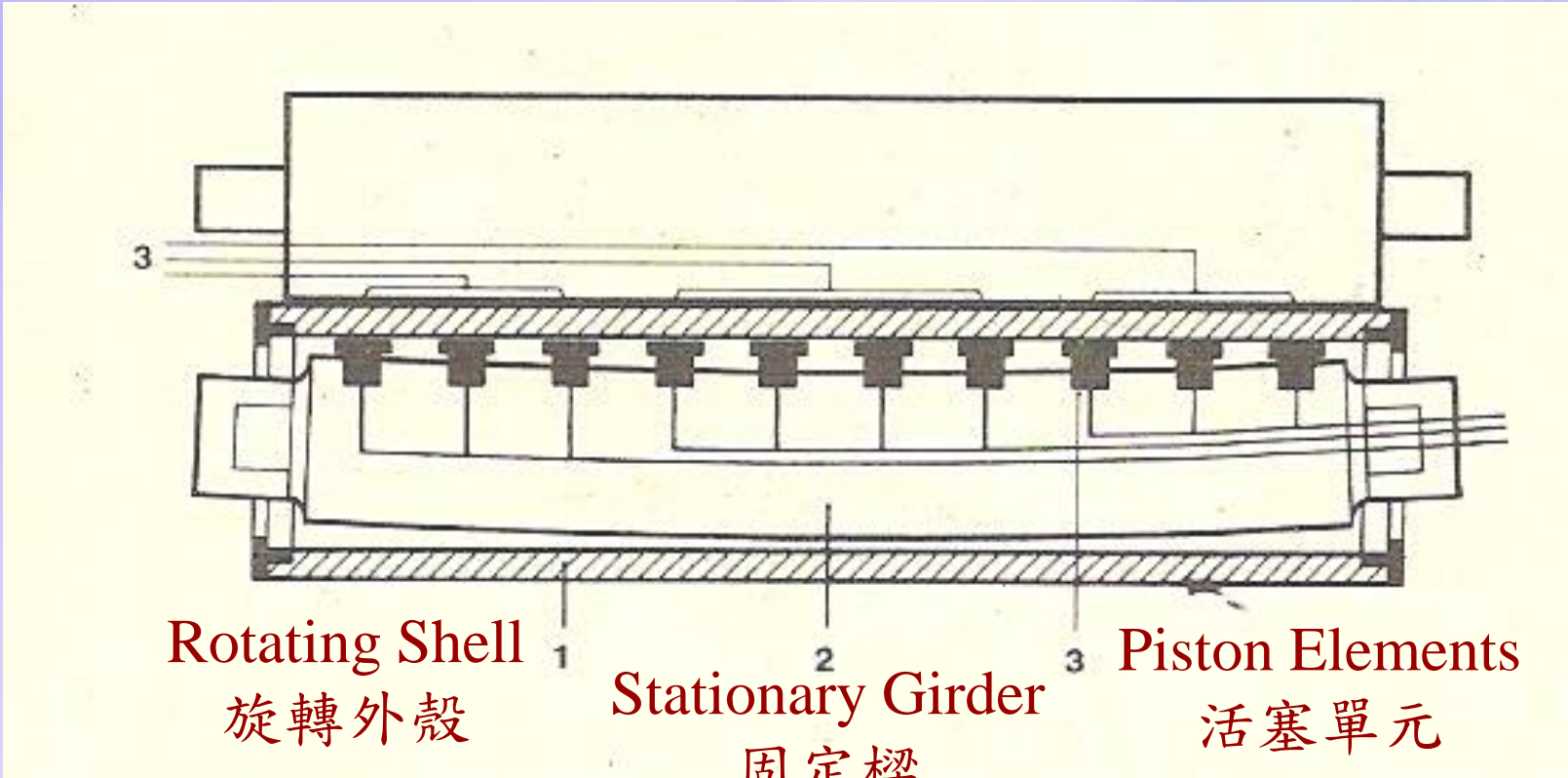
可調中高設計圖



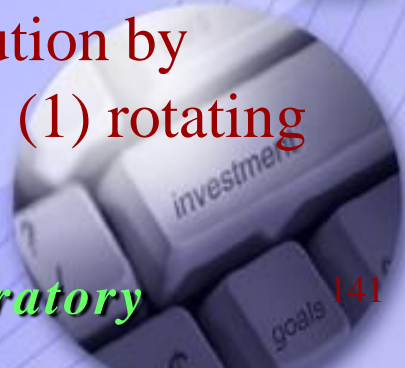
可調中高設計圖



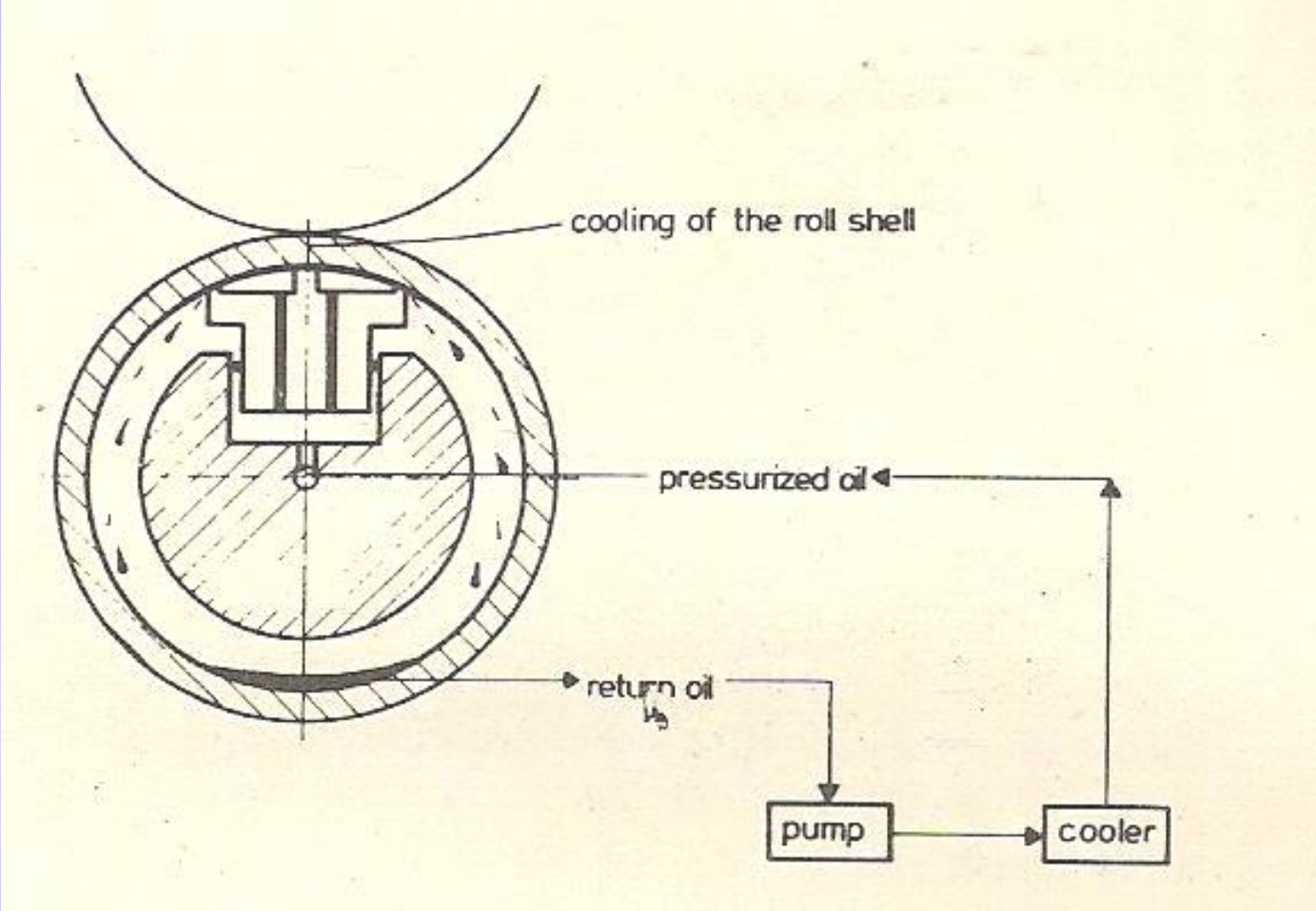
Nipco可調中高輥 (Escher-Wyss)



The Escher-Wyss Nipco roll controls the force distribution by means of individually controlled hydrostatic elements. (1) rotating shell; (2) stationary girder; (3) piston elements.



Nipco可調中高輥 (Escher-Wyss)



▶ 壓水部種類

- ➔ 壓水部的脫水需求為在捏縫中移除水的路徑最短，最短的路徑為毛毯厚度(通常稱為垂直方向)。
- ➔ 主要的水流方向必須與毛毯垂直，在橫向的水流最小化。
- ➔ 壓水部具有優勢垂直項水流被稱為橫向流壓水輻。

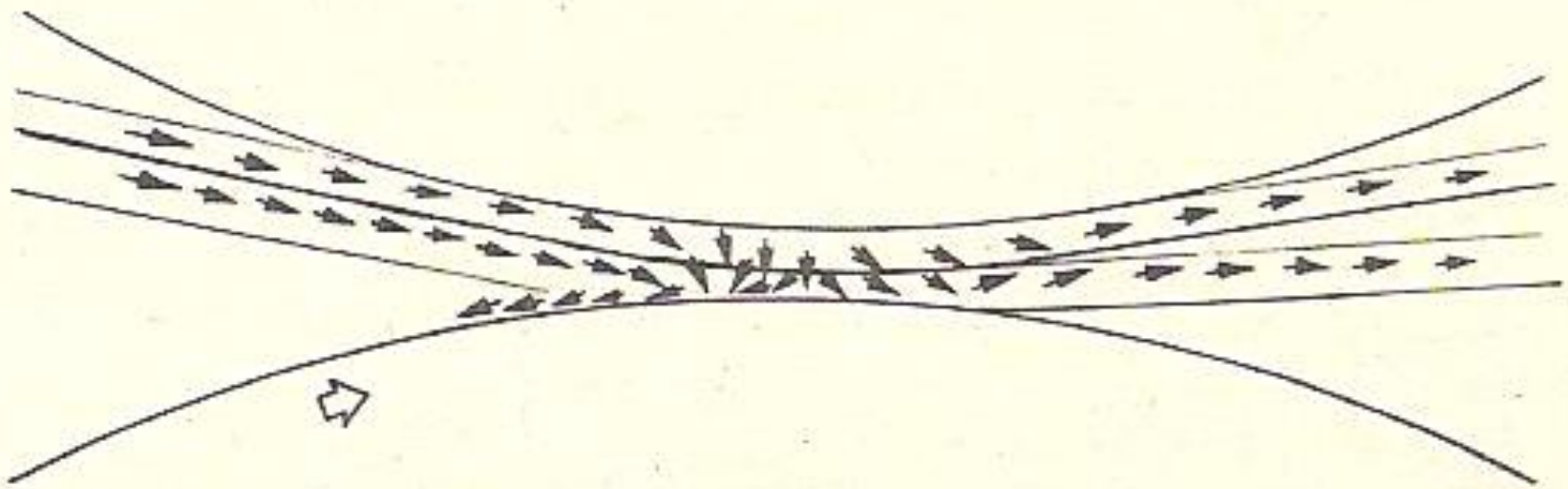
→ 平輥

- 嚴重的流動限制，因為水流只能橫向流出捏縫。

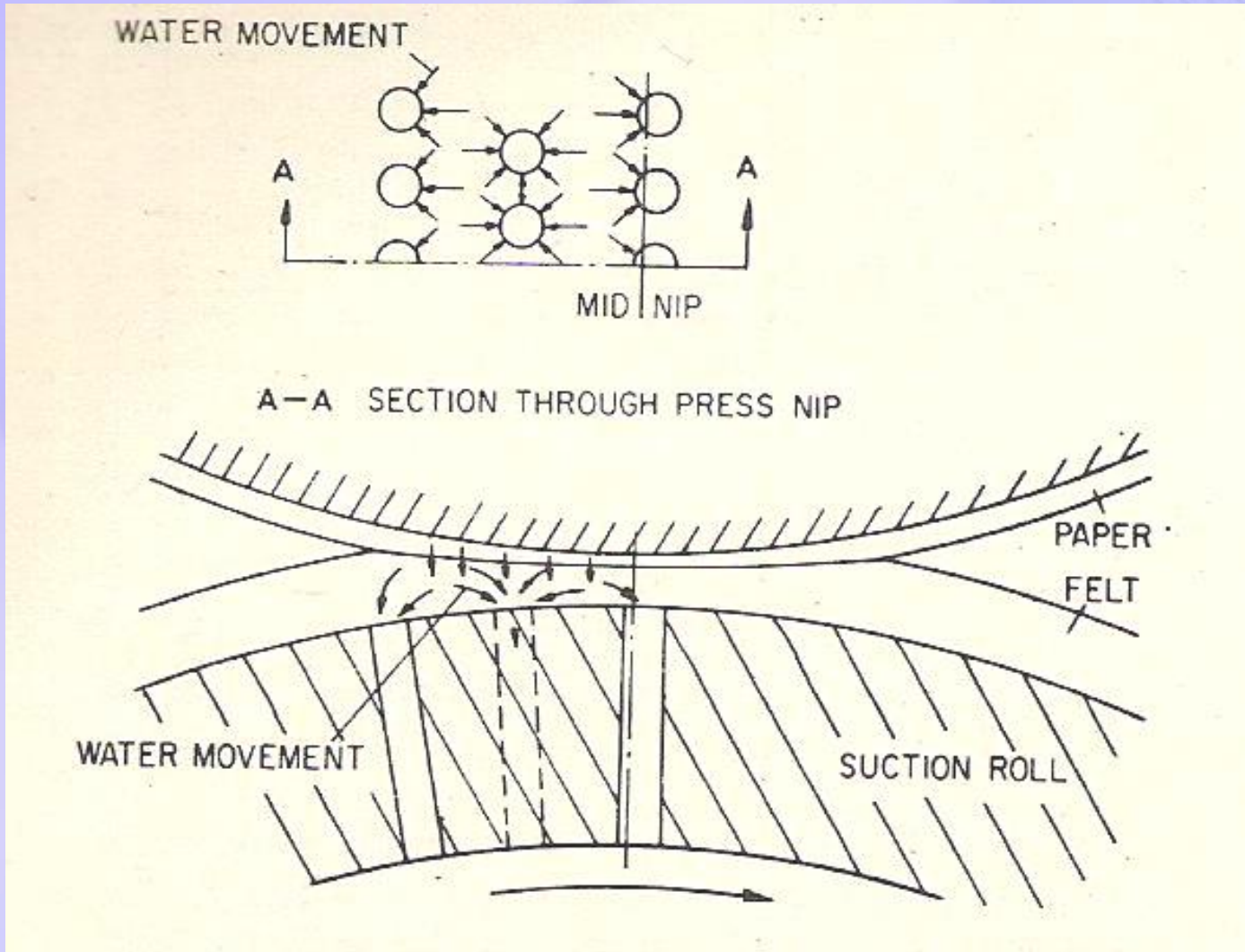
→ 抽吸壓水輥(1900)

- 在孔中的水經由輥內固定式的真空箱抽出到捏縫的外圍，再經由離心摔出。
- 部分水流可以直接流到孔中，但是大部分仍會經由橫向流動。
- 多孔式圓桶狀的設計，成為施加壓力的限制。
- 輥的應力疲勞，導致損壞，目前仍然無法有效解決。

平壓水捏縫示意圖



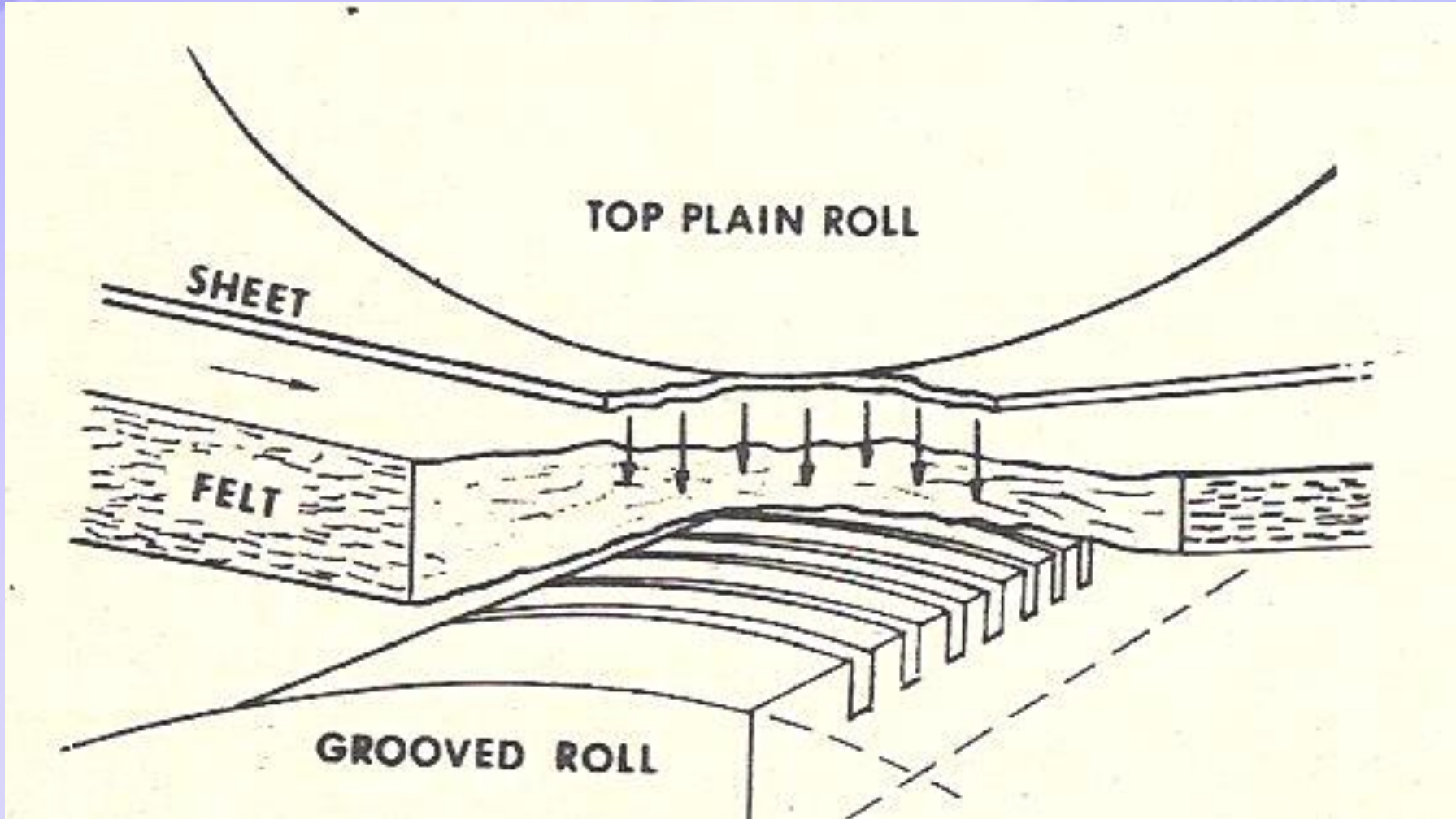
抽吸壓水輻橫向水流示意圖



→ 溝槽式壓水輥

- 橫流式壓水輥較新的開發，成為目前壓水輥的主流。
- 輥中的溝槽為0.1英吋深，0.02英吋寬，每英吋有八條溝槽。
- 橫向水流流度最大的距離只有0.05英吋，與抽吸輥及平輥的0.2及0.75英吋比較，縮短了許多。
- 溝槽輥為實心，可以容許較高的施加壓力。
- 再溝槽中的水經由離心力摔出而輥面經由噴淋及刮刀方式清潔。

溝槽式壓水輥示意圖



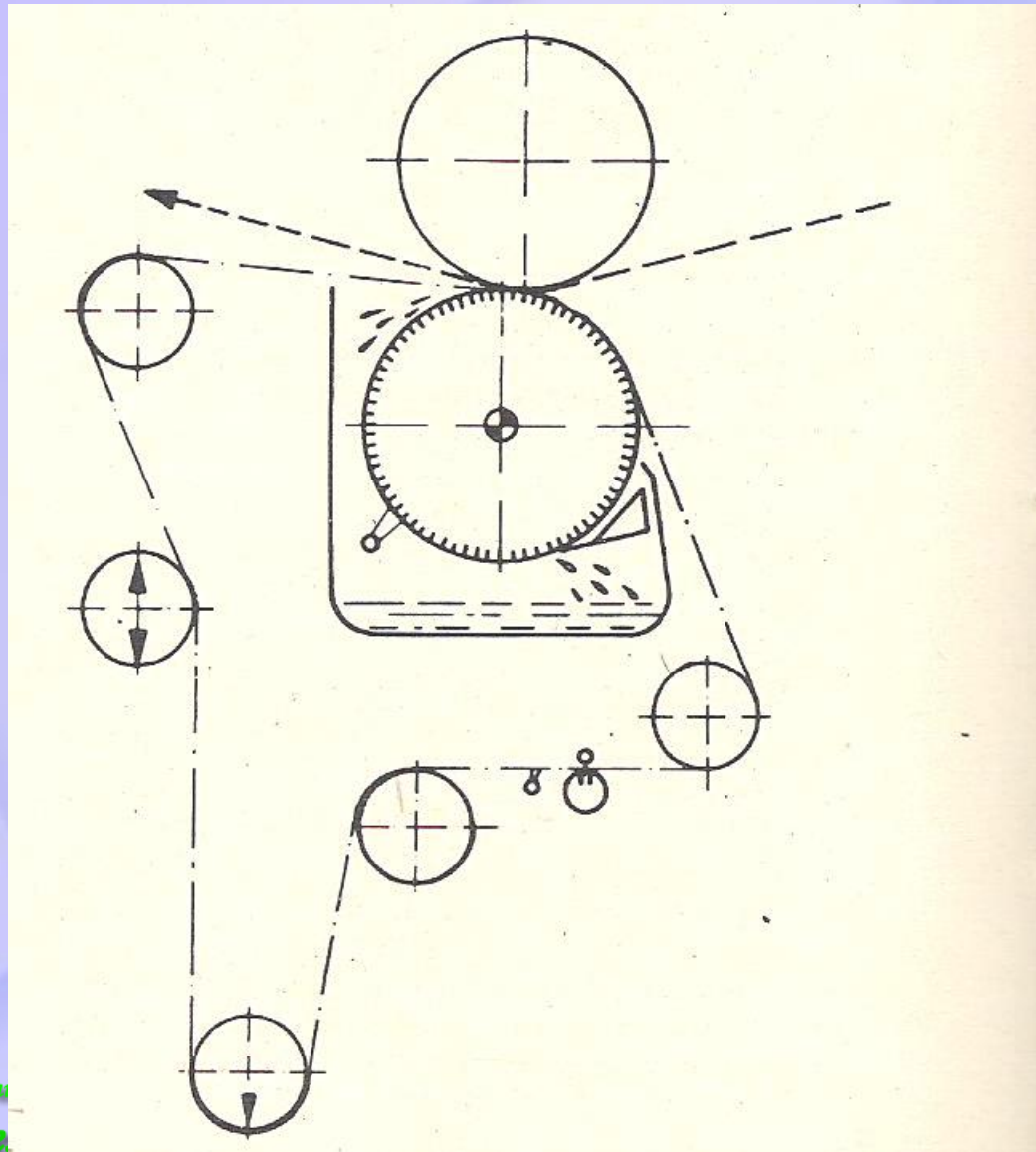
→ 鑽孔式壓水輥

- 鑽孔式壓水輥提供較大的集水面積及開放面積。
- 集水部分經由離心力達到自我清潔的作用。

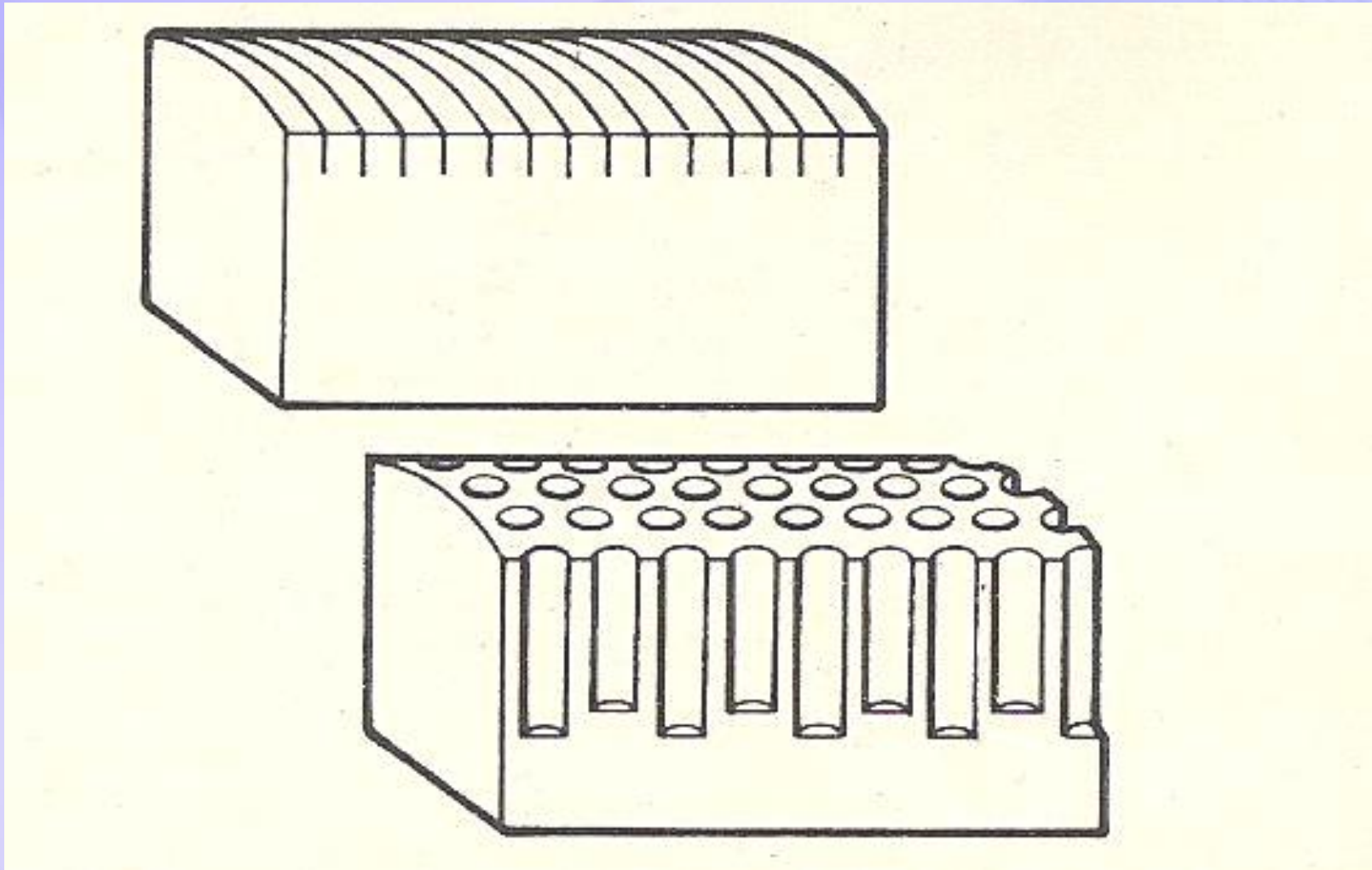
→ 襯網式壓水輥

- 襯網式壓水輥(Fabric Press)為近年來的發展。
- 在歐洲相當盛行，但在北美洲較少使用。
- 多段不可壓縮的襯網通過毛毯及橡膠包膠輥間的捏縫，提供盛水空間。
- 在襯網所吸收的水分經由抽吸箱移除。

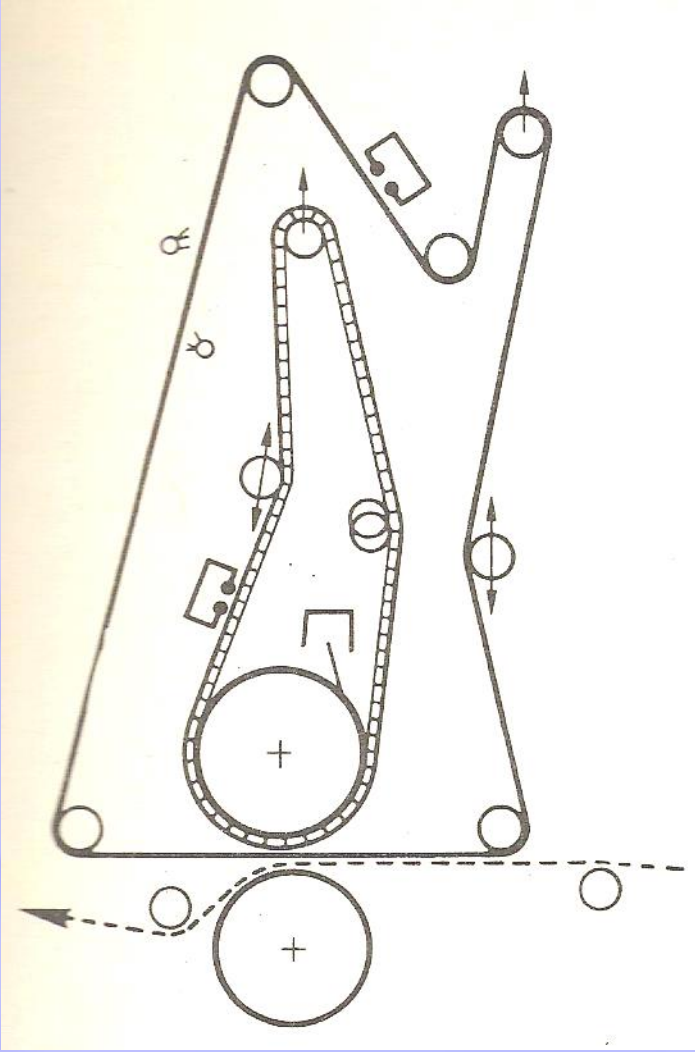
鑽孔式壓水輥跟溝槽式壓水輥脫水空間比較圖



鑽孔式壓水輥表面鑽孔安排



視網式壓水輥 (Albany International Corp.)



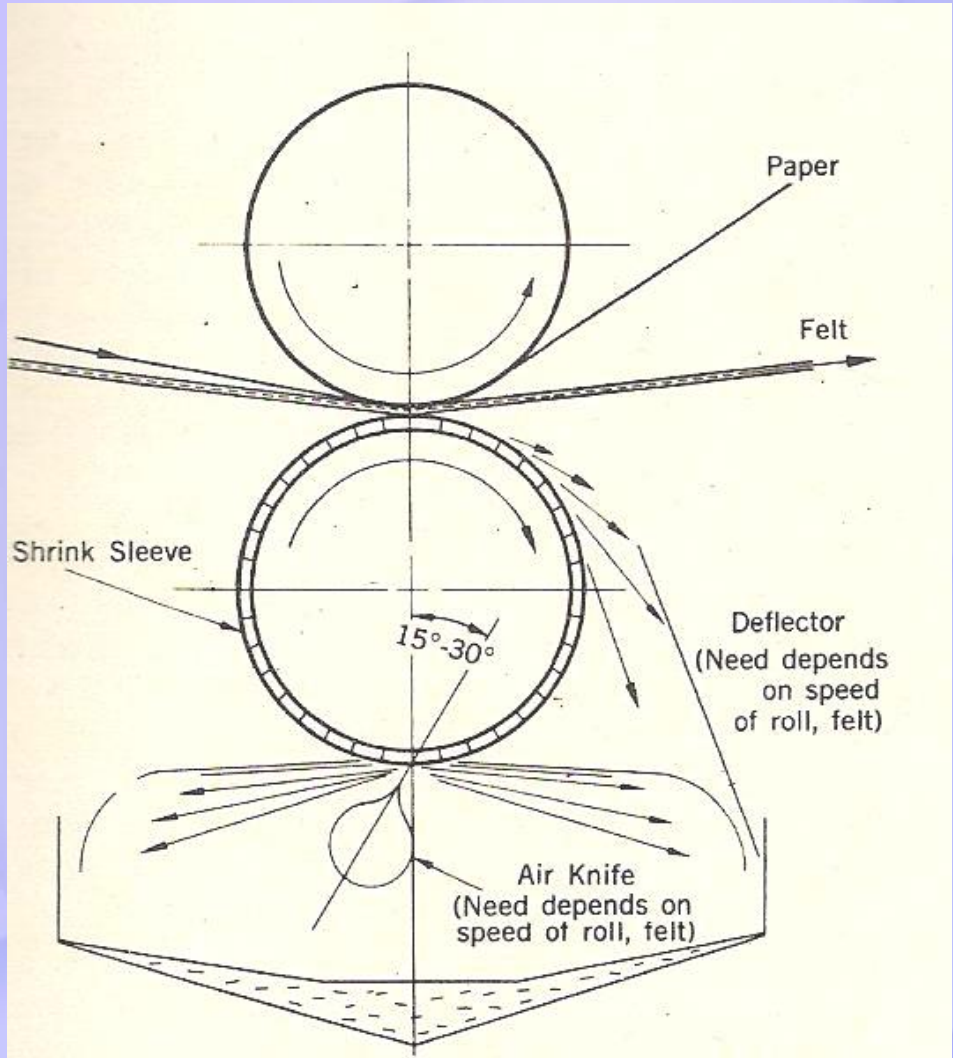
→ 縮套網面壓水輥

- 硬質橡膠下壓水輥套尚可收縮塑膠網，提供盛水空間。

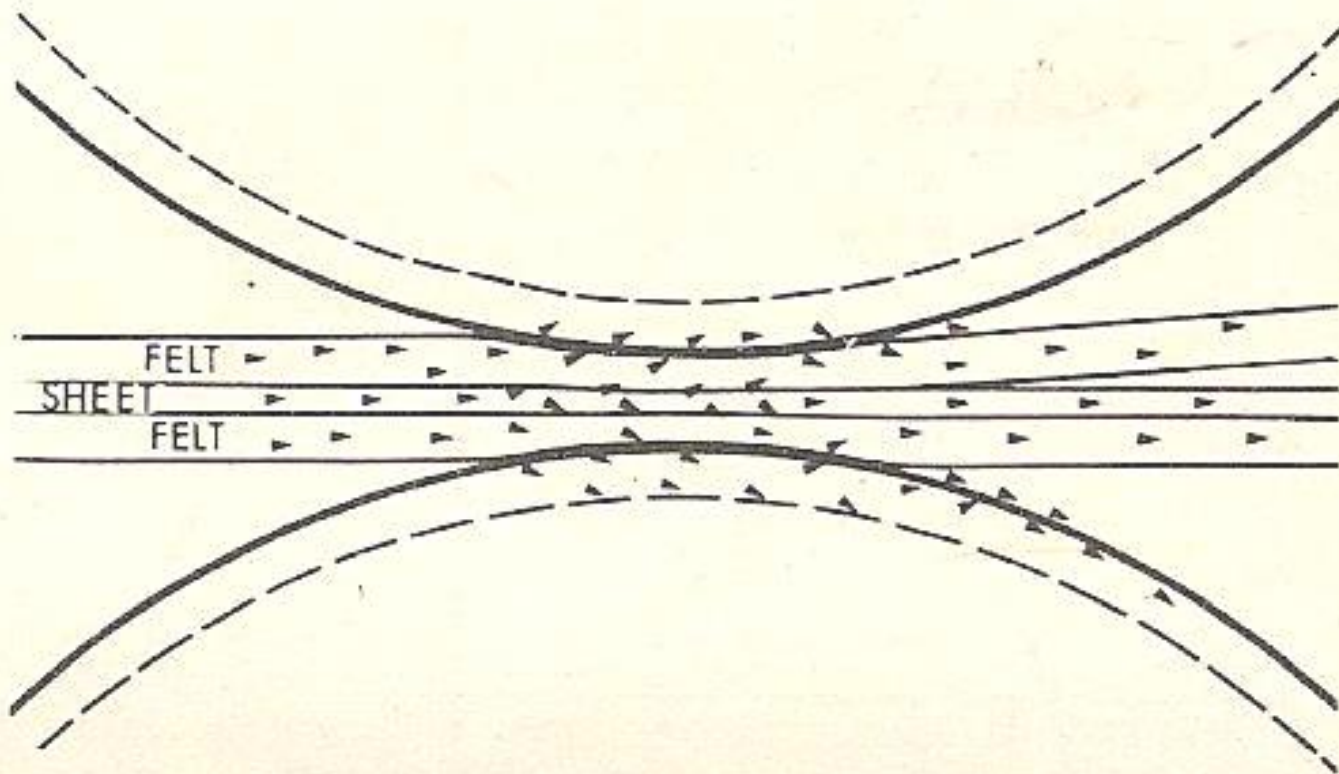
→ 延伸捏縫壓水輥(1981)

- 提供較寬的捏縫，使紙匹在高壓的時間增長。
- 不僅提供較寬的捏縫，使紙匹在高壓的時間增長，同時因為較密緻化，提供較佳的鍵結紙力。
- 固定式壓力鞋及不滲透性的彈性皮帶，位於雙毛毯捏縫的下方。壓力鞋連續用油潤滑，作為彈性皮帶的滑移軸承。

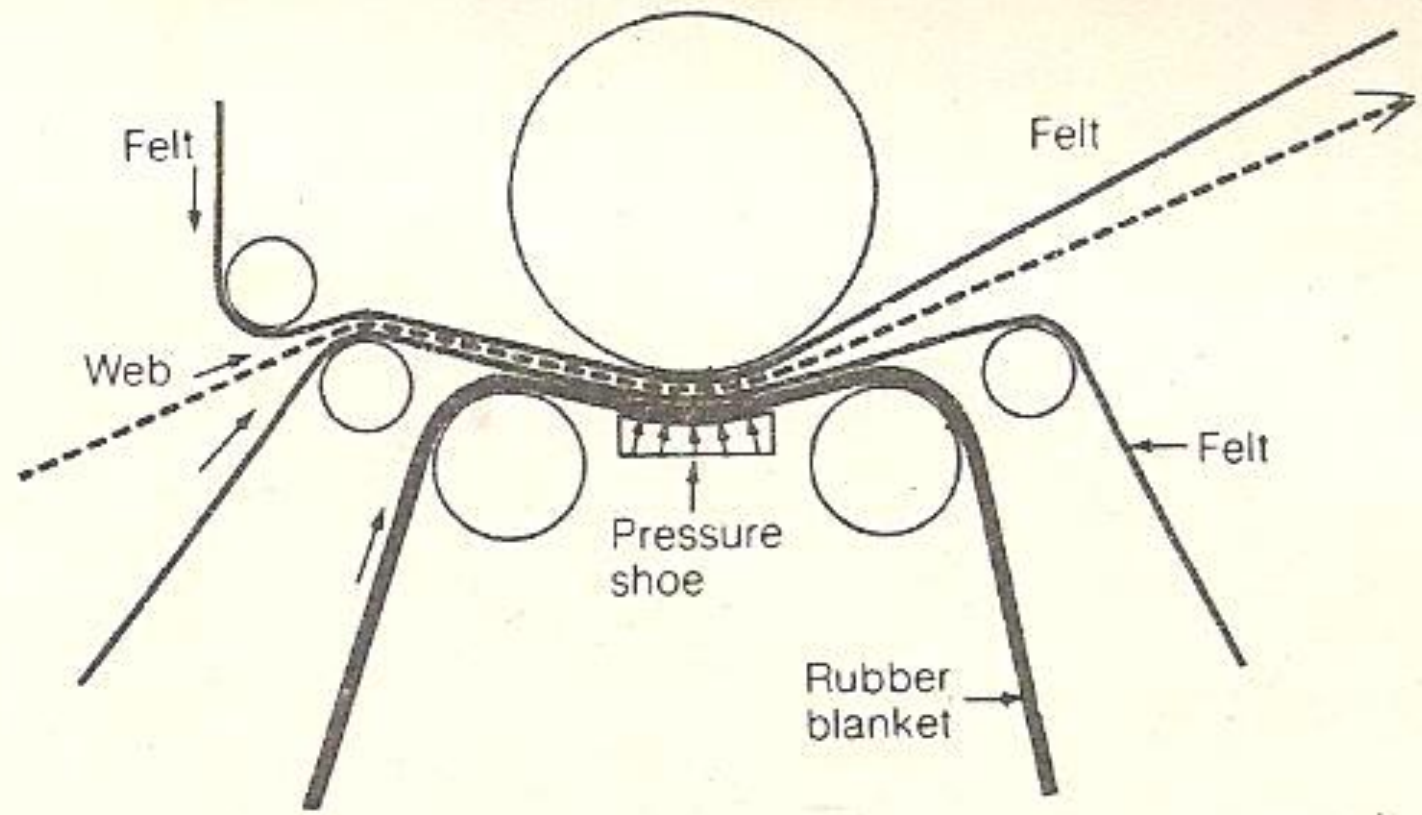
縮套網面壓水輥 (Albany International Corp.)



雙毛毯，雙捏縫設計 (Beloit Corp.)



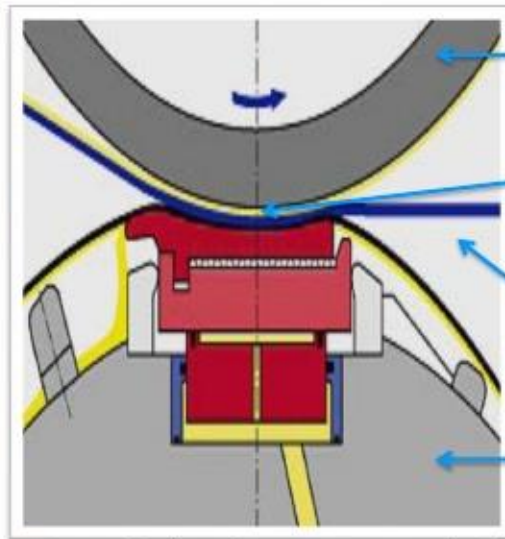
延伸捏縫壓水輥(靴壓) (Beloit Corp.)



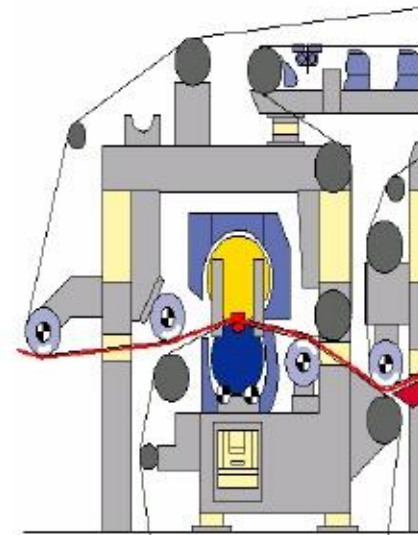
延伸捏縫壓水輥(靴壓)

2.5.2. Shoe press

- Current technical status
 - Sphere instead of nip

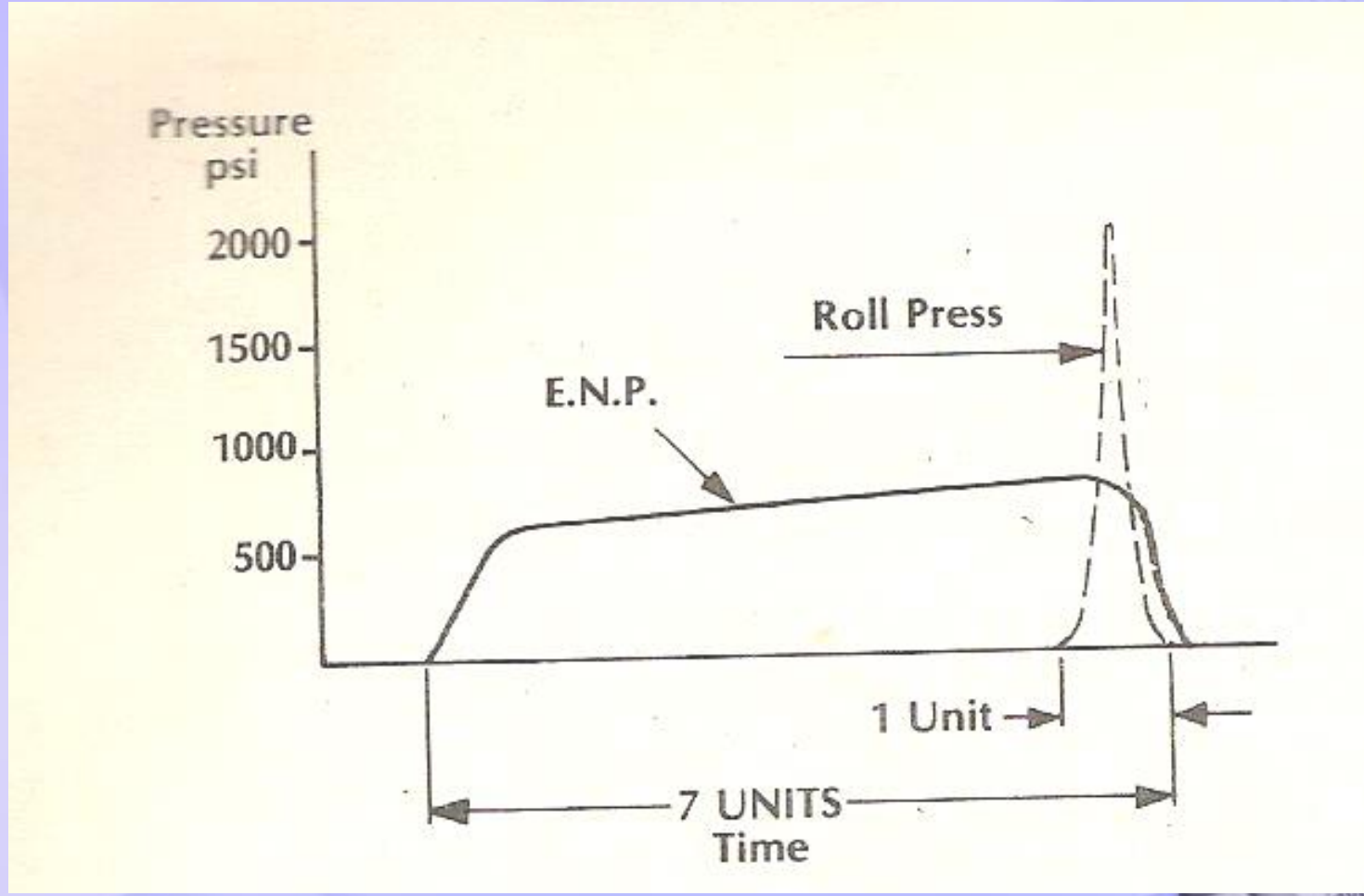


- Upper roll
- Shoe
- Press felt
- Lower roll

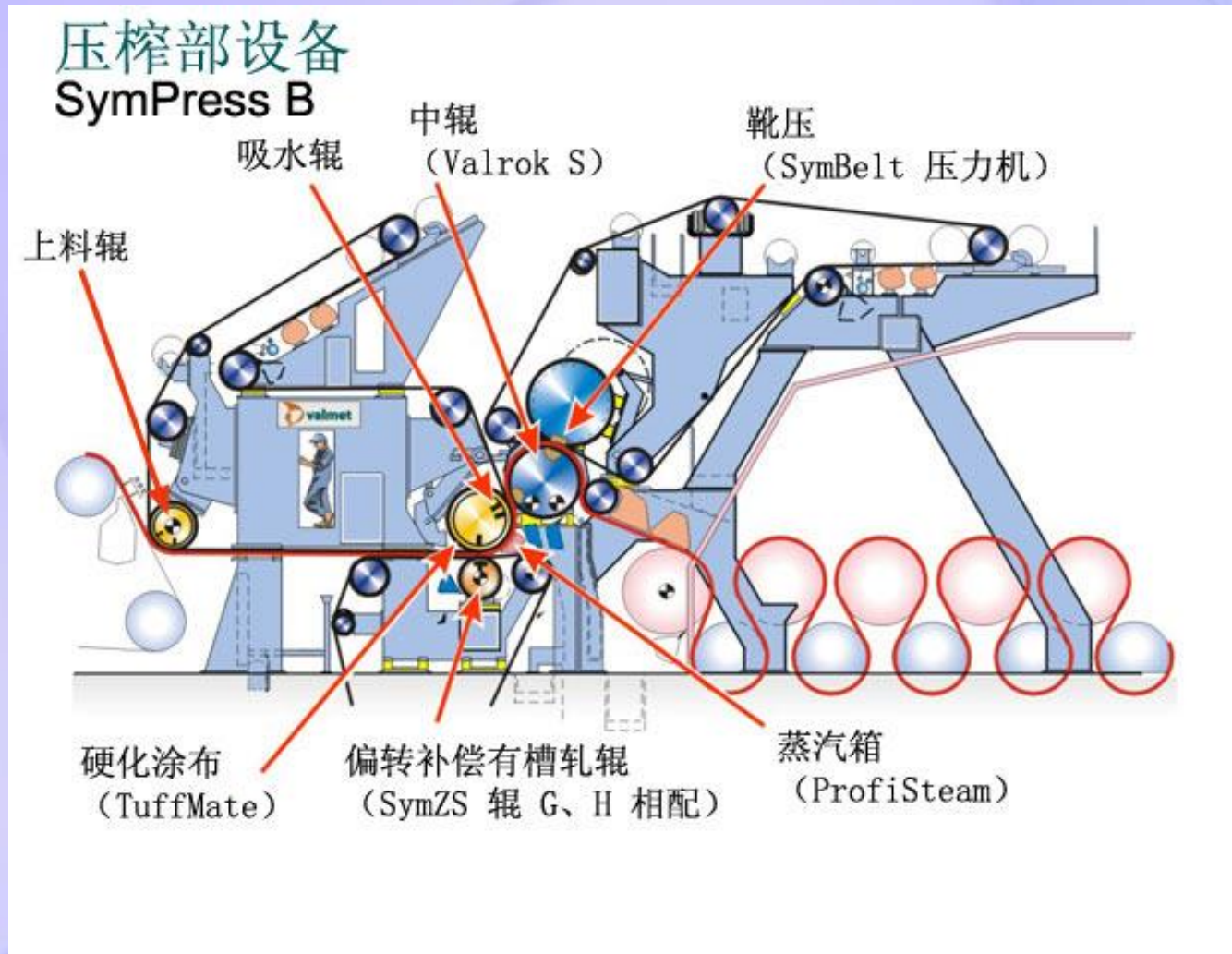


- Drying is more economical and faster
- Drawback: more technical effort and expensive equipment

捏縫壓力分佈圖



先進壓水部配置圖



➤ 紙匹從網部傳送到壓水部

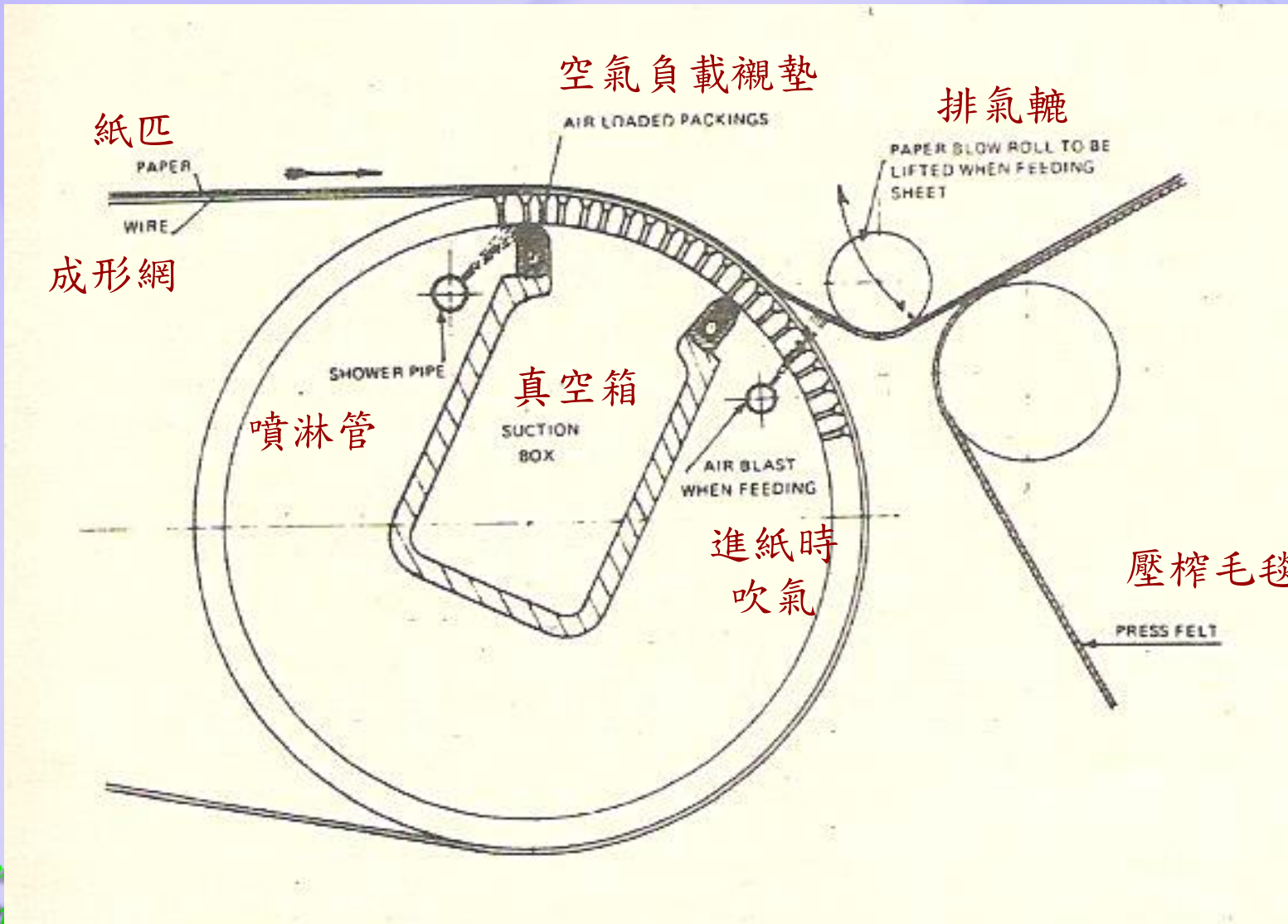
➔ 開放式牽引

- 壓水部及網部速差所產生的張力來把紙匹從網面掀起。
- 漿料濾水度，品質及交織等因素所影響。

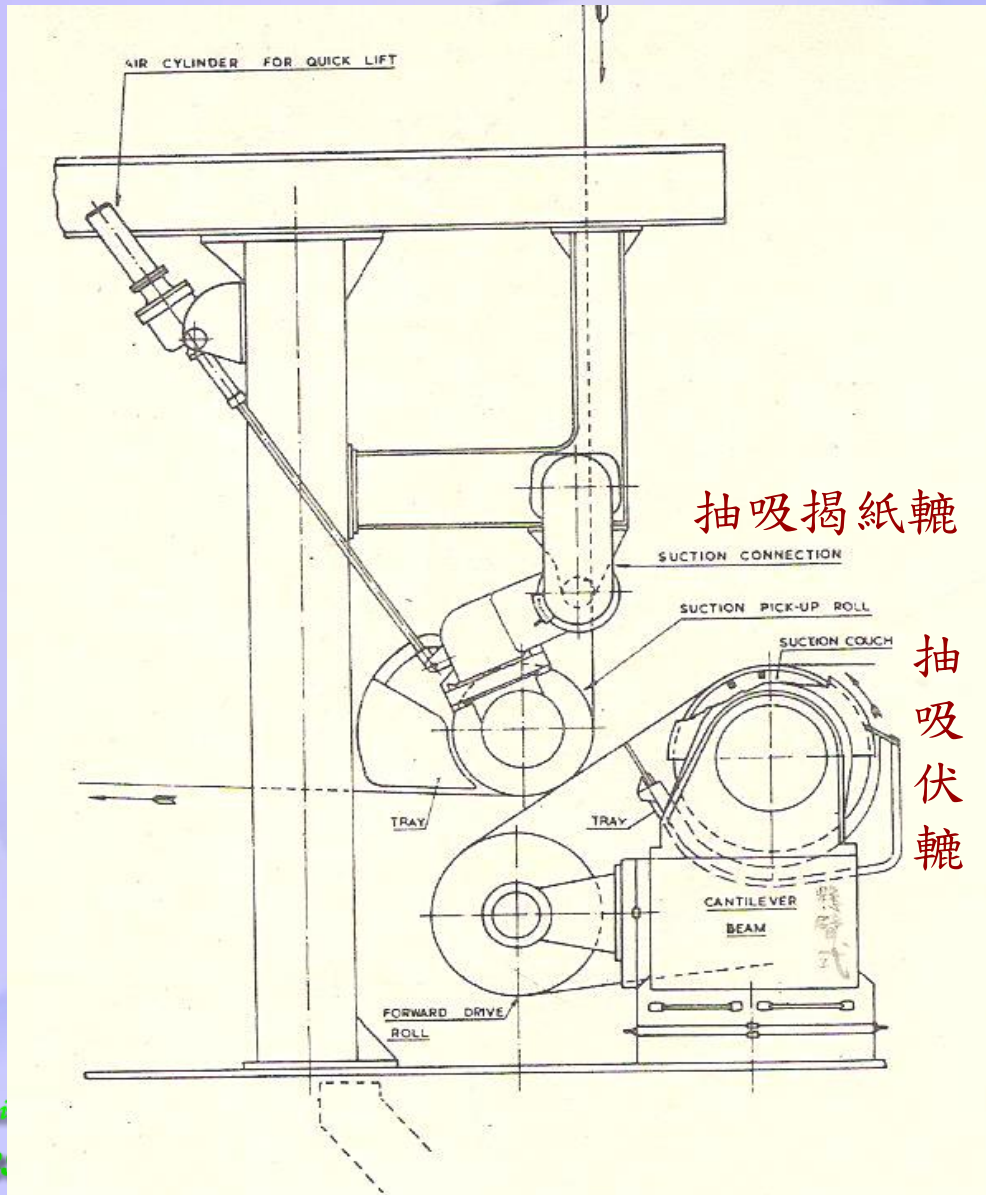
➔ 抽吸揭紙

- 紙匹經由毛毯被覆在抽吸輥上自網面掀起。
- 紙匹則被毛毯傳送到第一段壓水部。

開放式牽引



抽吸揭紙



抽吸揭紙輓

抽吸伏輓

➤ 壓水部排列

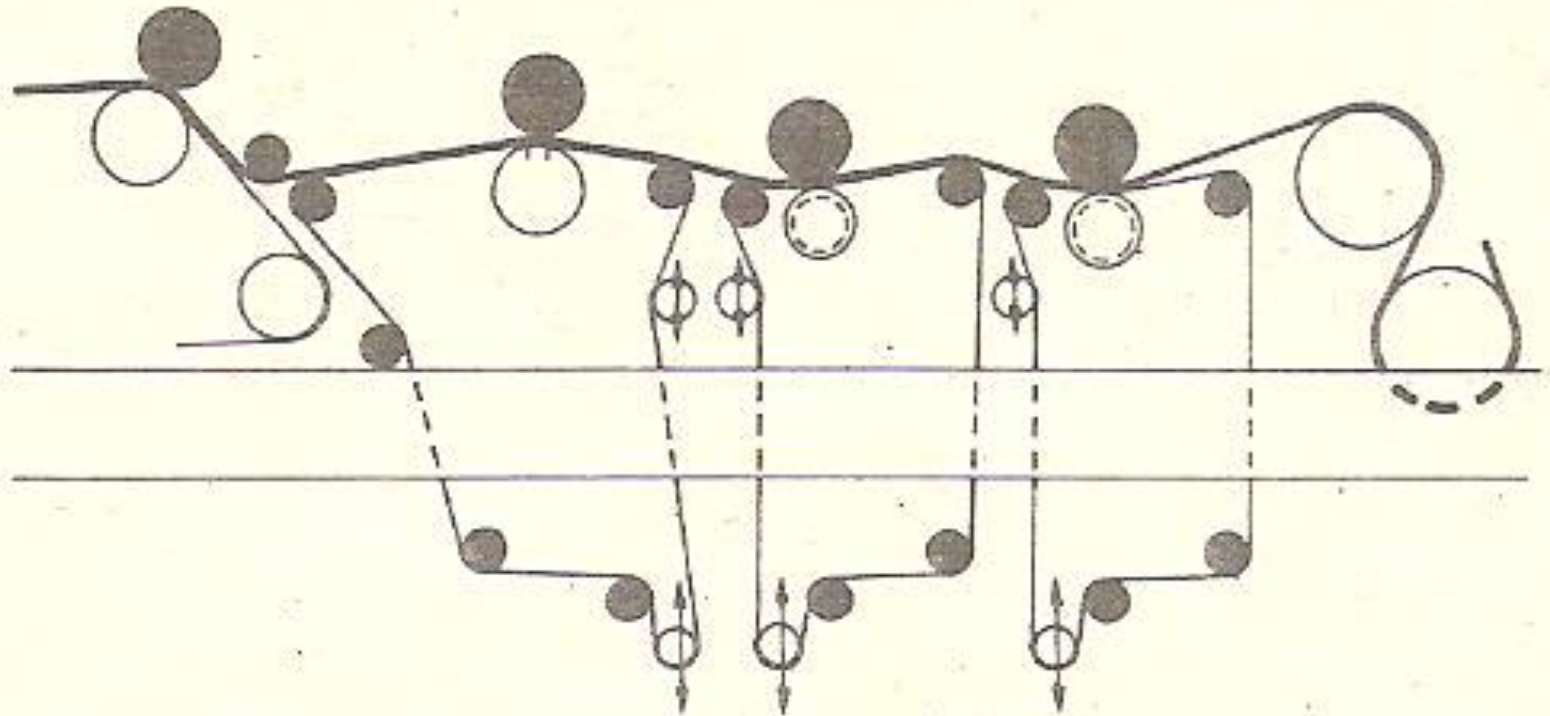
➔ 直進式壓水部

- 最古老也最簡單的排列。
- 早期，上輥為平滑輥，下輥為毛毯輥，因此紙匹上面接觸平滑面。
- 第二支輥為平滑輥的設計，因此紙匹網面也可以接觸到平滑面。

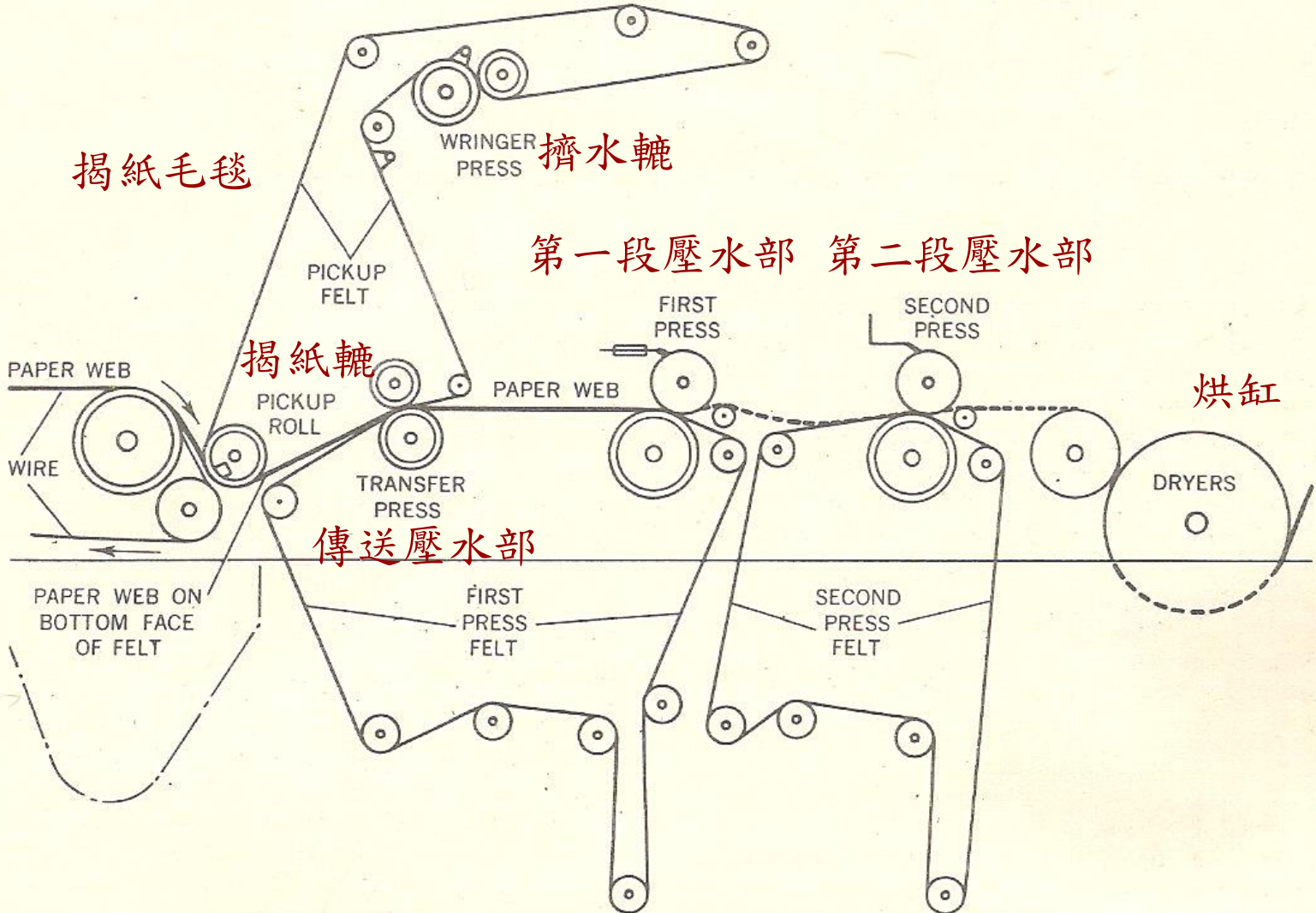
➔ 抽吸揭紙

- 把抽吸毛毯的紙匹傳送到第一段壓水毛毯。
- 早期傳送壓水部的設計脫水效率差，目前的橫向壓水部設計，使用雙毛毯捏縫，已有效的提昇脫水效率。

直進式壓水部 (Beloit Corp.)



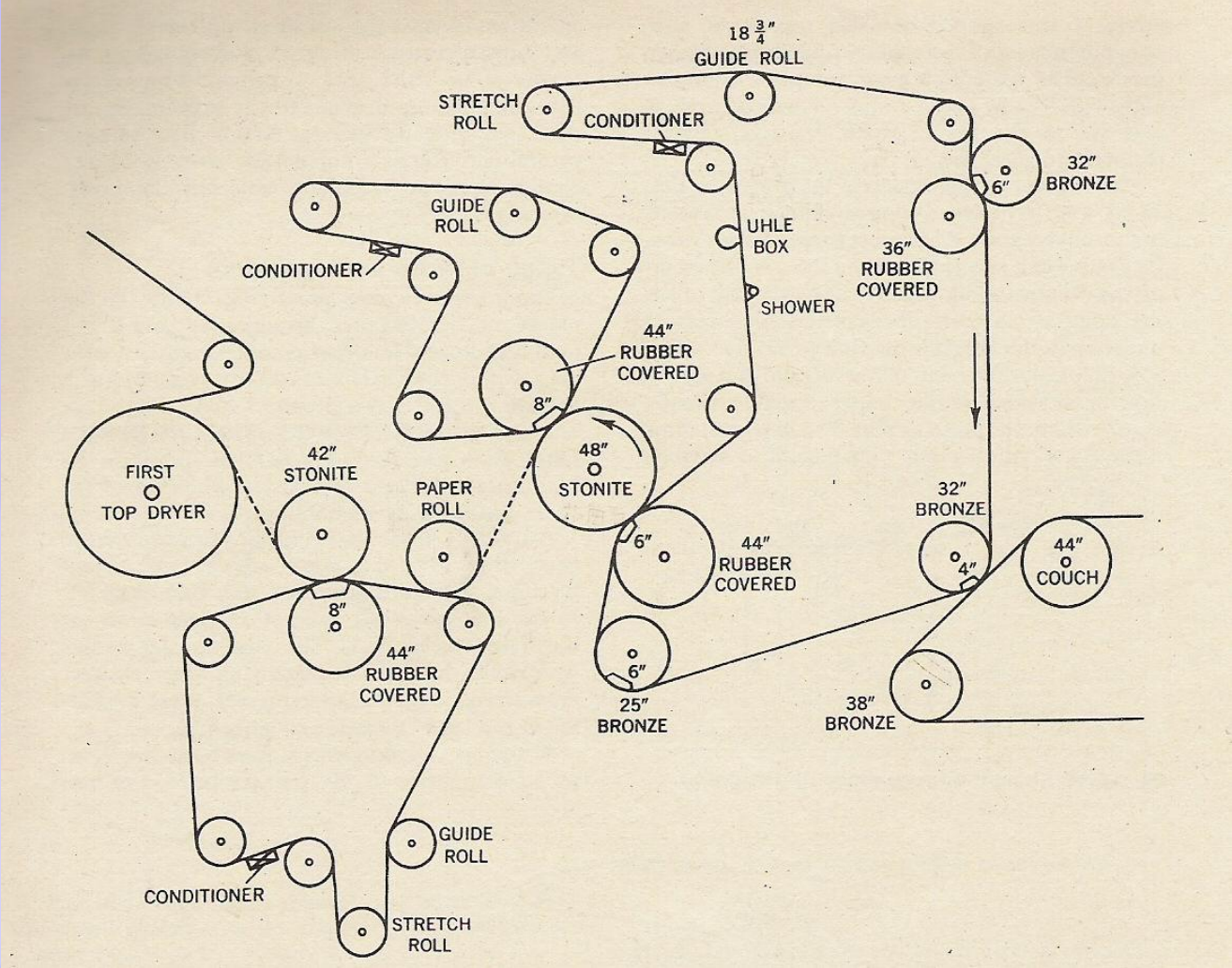
利用抽吸揭紙來傳送紙匹



→ 雙吸式壓水部

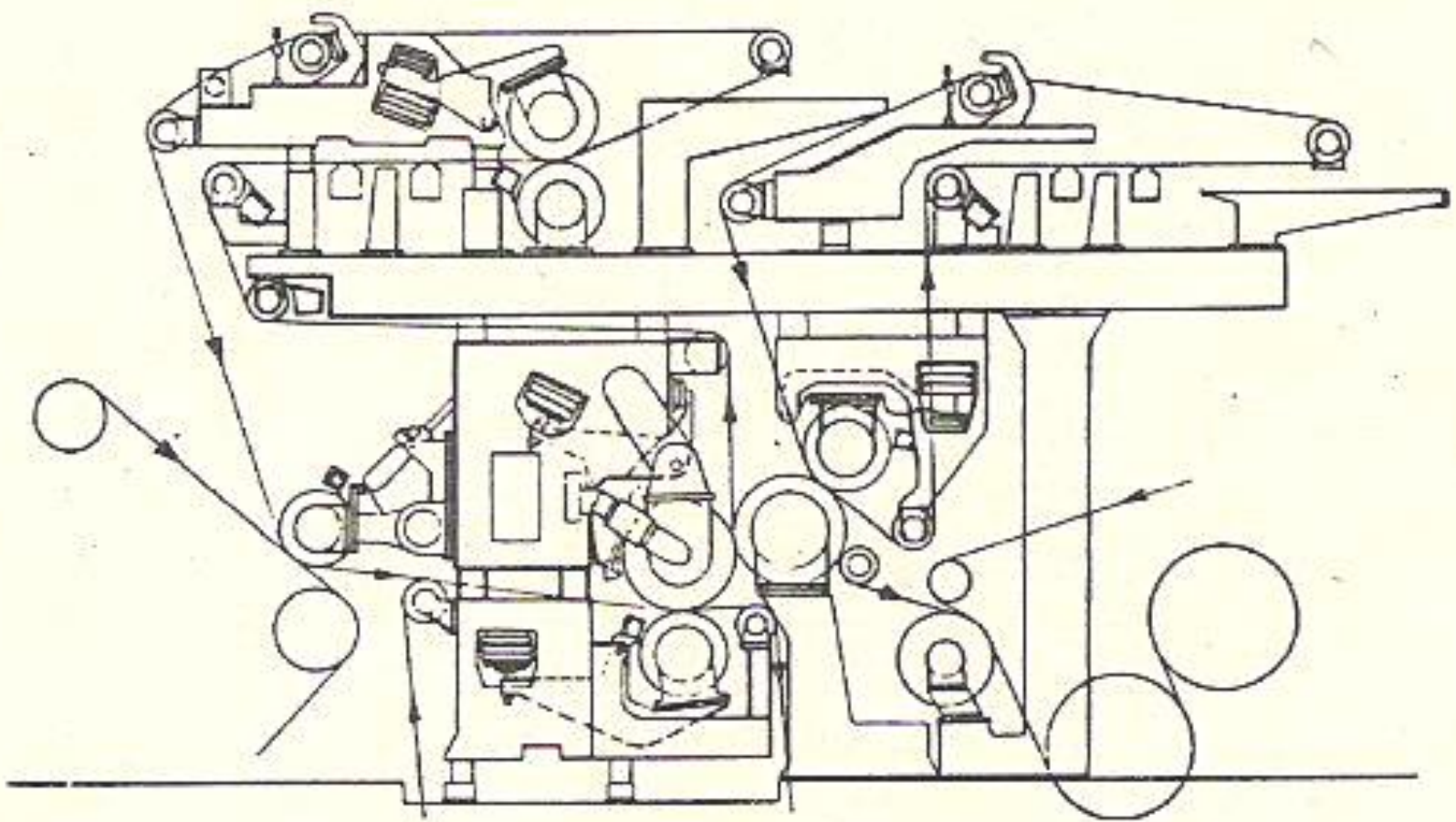
- 優點為第一段及第二段壓水輥的牽引可避免，網面接觸雙捏縫的平滑輥面；雙捏縫只需一支平滑輥。
- 最近的改良為摺紙毛毯上不需抽吸迴轉輥，而是使用較寬的抽吸箱來替代。

雙吸式壓水部

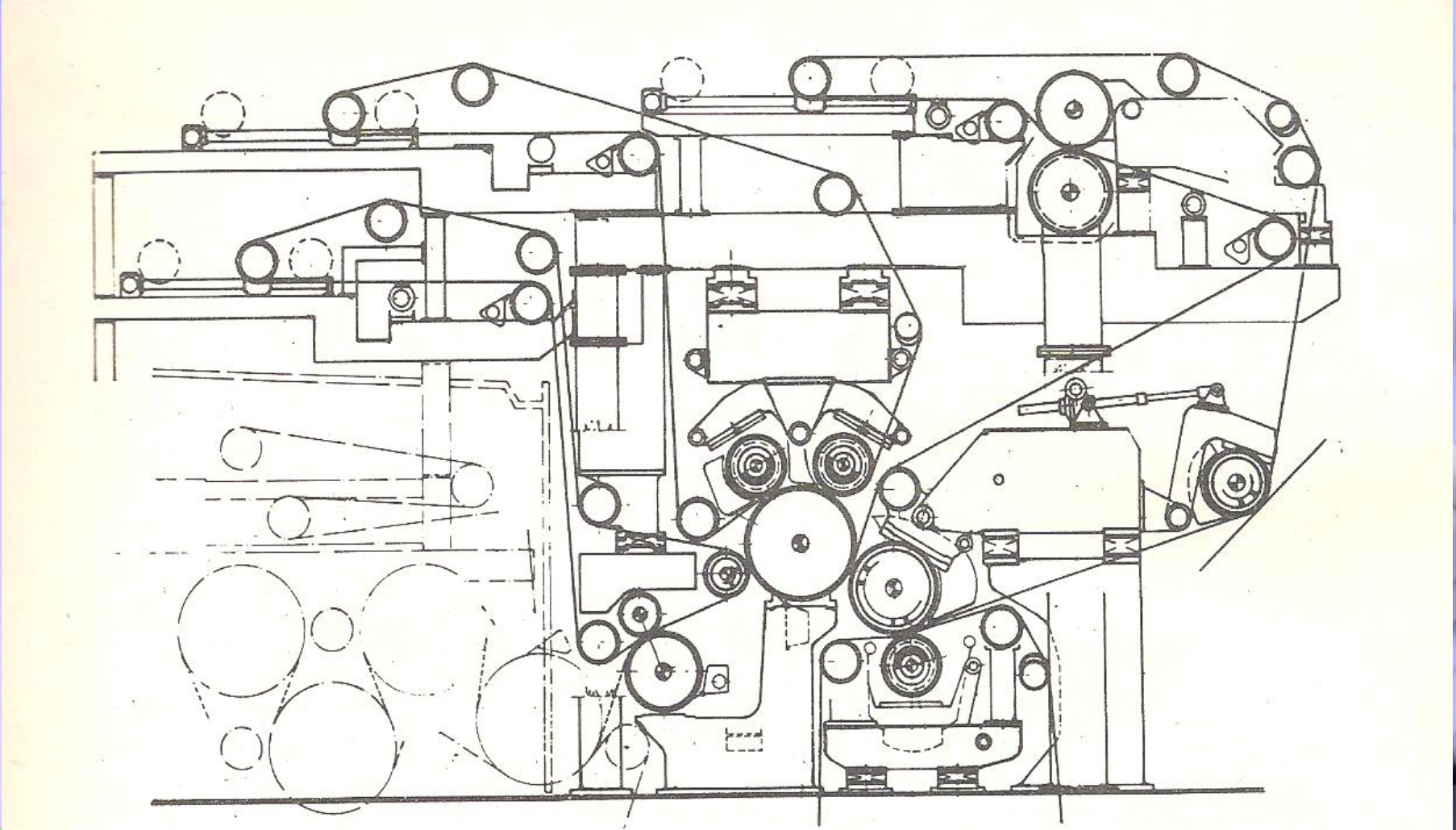


Tri-Nip壓水部 (Beloit Corp.)

→ 無牽引壓水部



Sym-Press壓水部 (Valmet)



▶ 壓水部毛毯

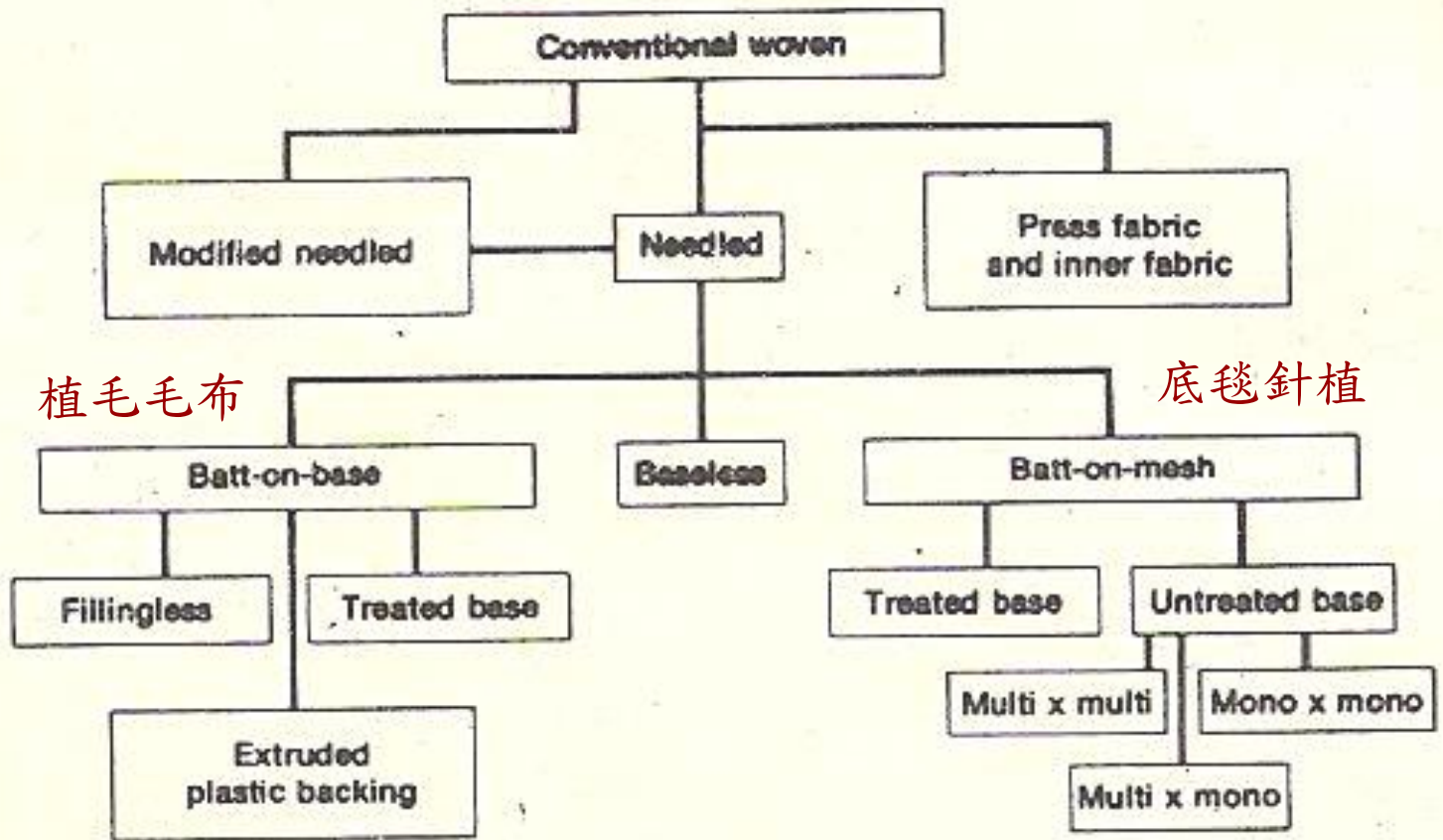
→ 特性

1. 長操作壽命(耐磨性，免阻塞)。
2. 足夠透氣度提供水流移動。
3. 細緻及平滑表面提供紙匹平滑面及再濕性最小化。
4. 不可壓縮的基材，提供儲存水分空間。
5. 具彈性，容易覆蓋。

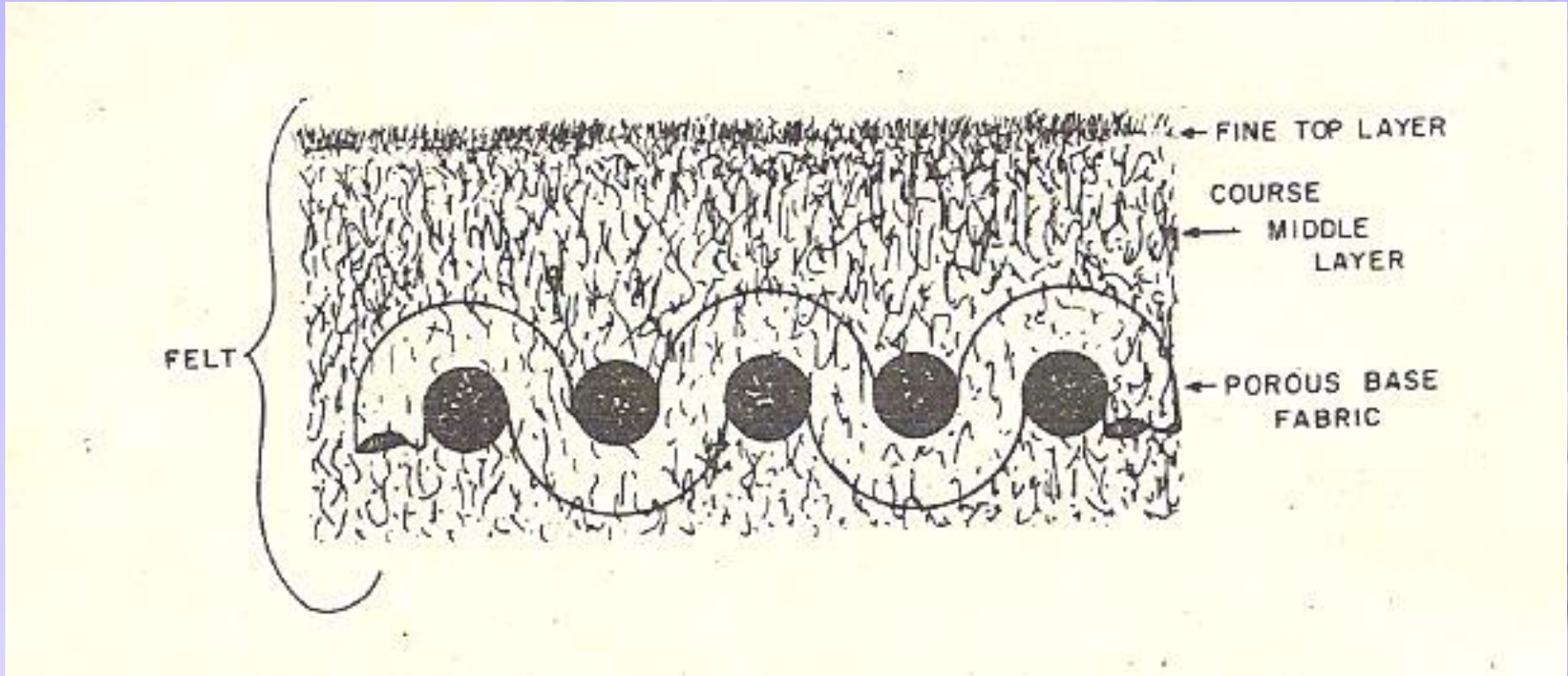
→ 雖然毛毯的選擇可經由經驗及資料所得，但不可避免的必須在抄紙機上測試，才能決定最適的毛毯規格。



毛毯發展史



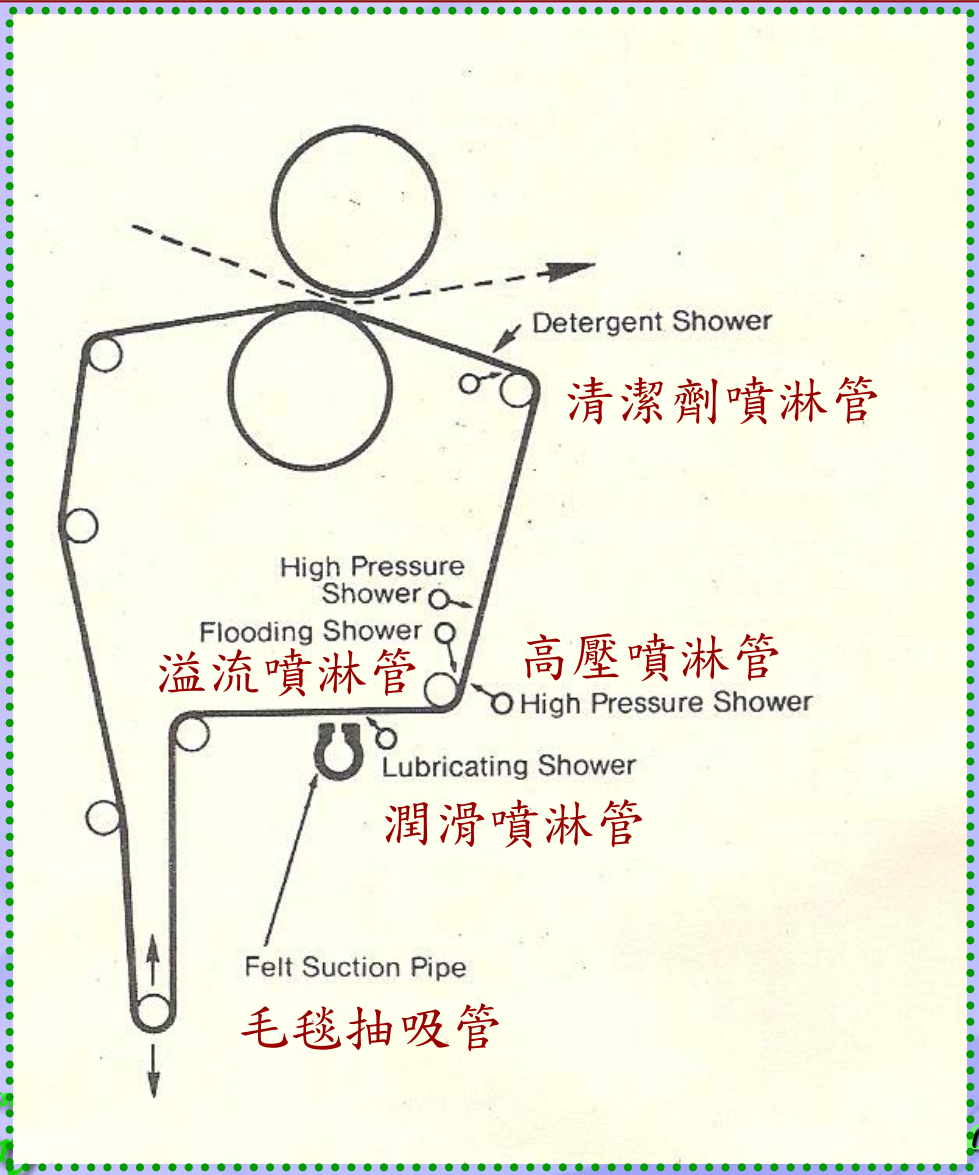
毛毯針織法 (Ascoe Felts Inc.)



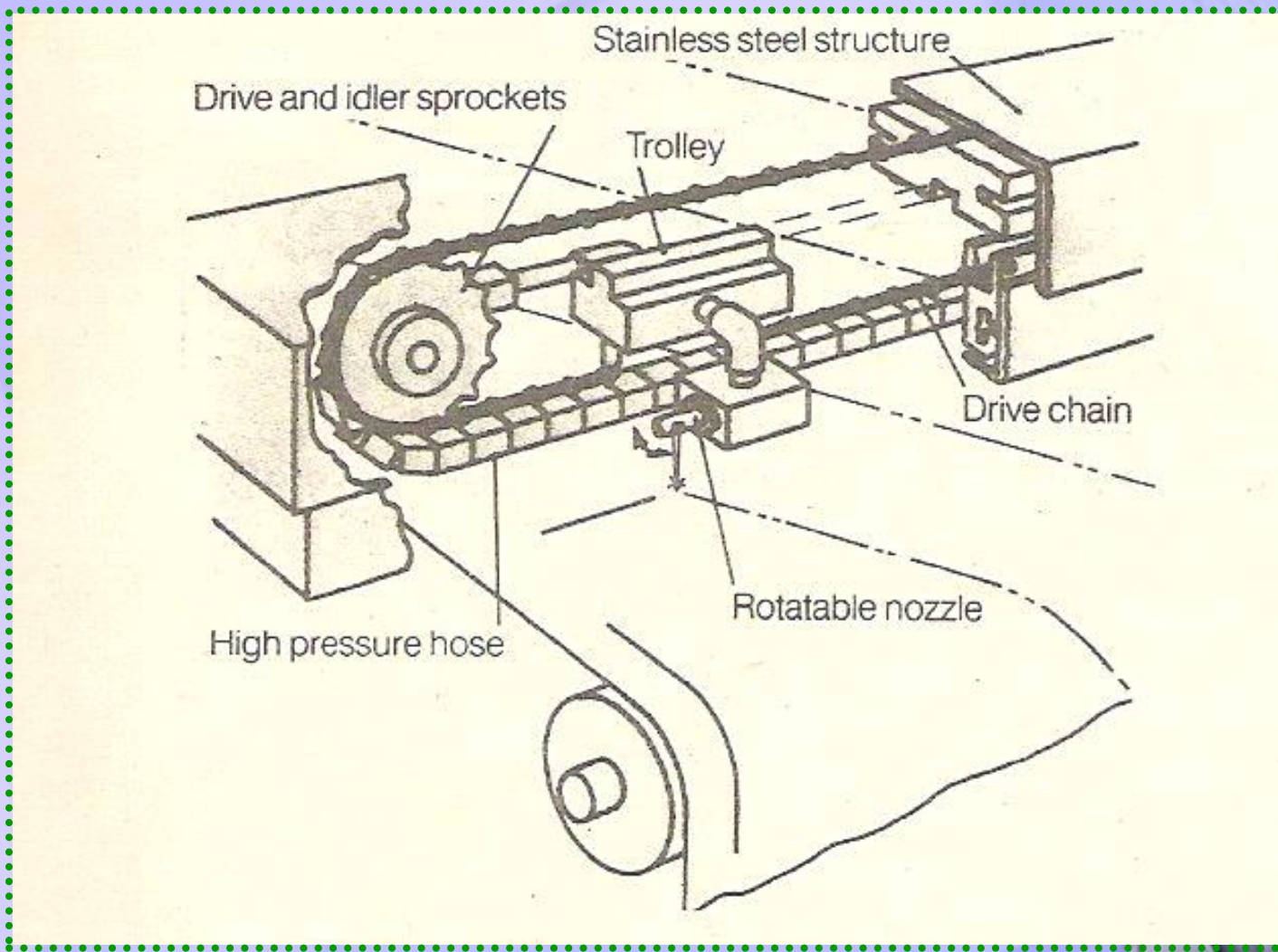
➤ 毛毯運轉

- ➔ 毛毯運轉包含緊張輓及定位輓，提供毛毯調濕及脫水過程中，維持透氣性及開放度。
- ➔ 機械法為利用高壓或低壓噴淋的水利能量來沖洗出細纖維及填料，毛毯隨之利用抽吸箱或擠水輓來去除水分及雜物。
- ➔ 化學法為添加清潔劑或化學藥品來達到特殊效果。

高負荷清潔系統 (Albany International Corp.)



高壓噴淋管清潔系統 (Lodding Engineering Corp.)



➤ 壓水部操作變數

1. 設計因素

- 輥硬度。
- 輥徑。
- 壓水輥形狀。
- 壓水輥捏縫形狀。

2. 漿料及紙匹特性

- 漿料種類。
- 游離度。
- 水分滯留係數。
- 壓縮性。
- 基重。
- 進入前的水份。
- 紙匹溫度。

3. 操作性

- 施加壓力。
- 毛毯形狀及使用壽命
- 毛毯清潔及調濕。
- 車速。

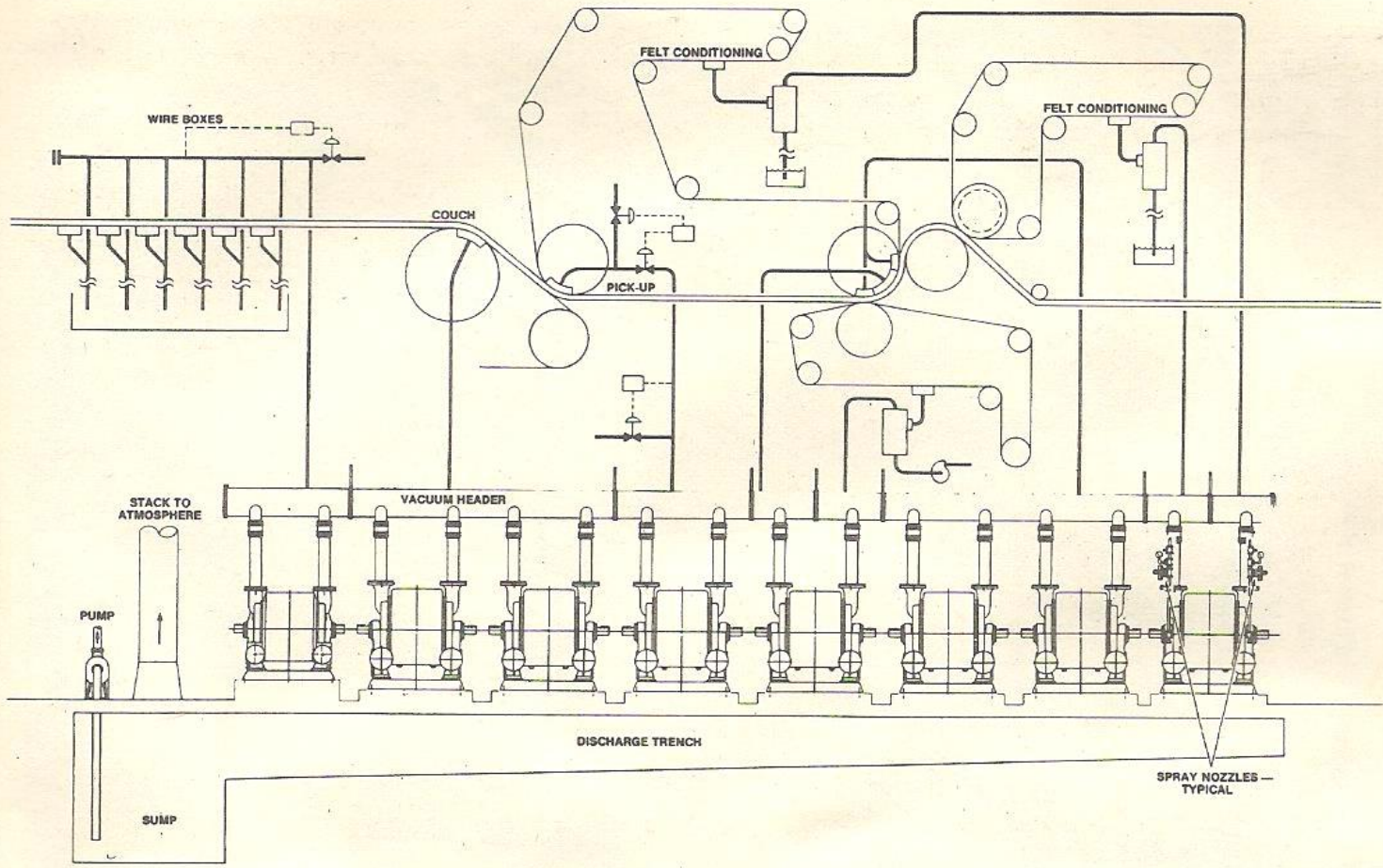
真空系統

➔ 足夠的真空泵能力提供長網部及壓水部的真空脫水元件，抽吸箱及毛毯網濕箱。

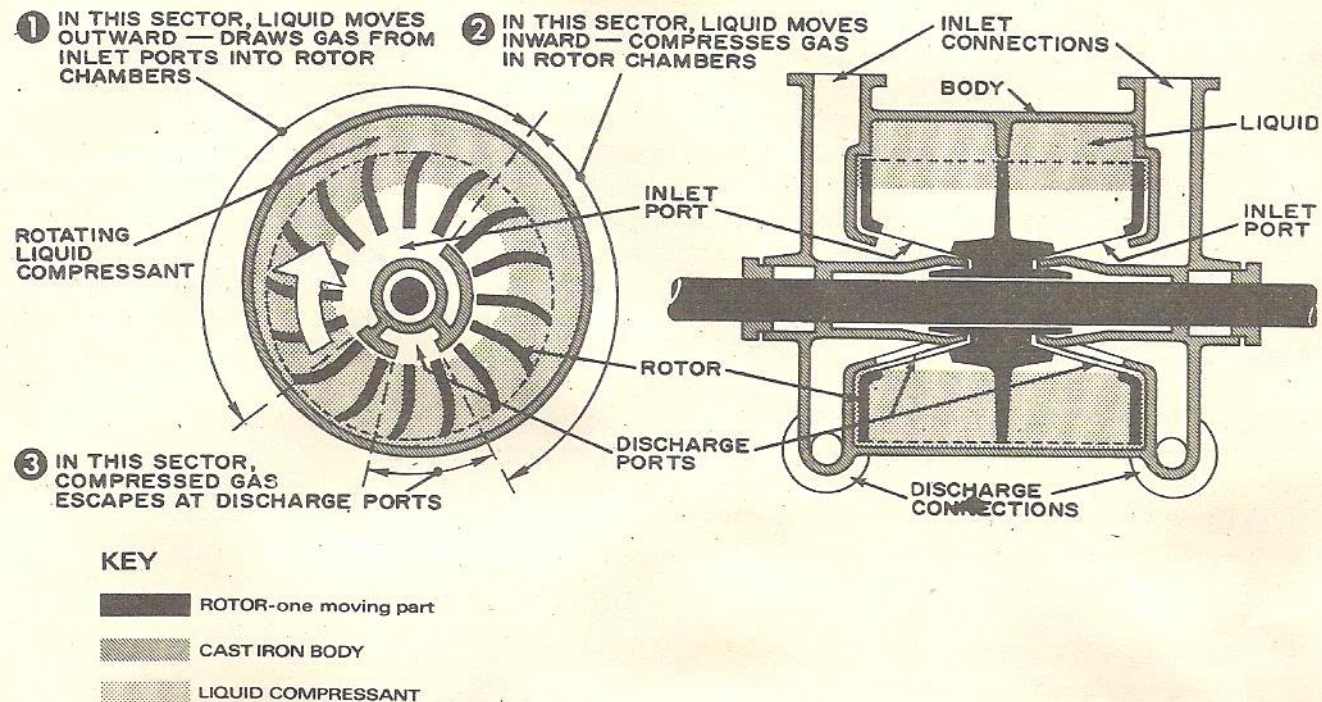
➔ 正壓移動，水封式真空泵

- 提供大範圍的真空需求。
- 容易操作在水及空氣混合溶液。

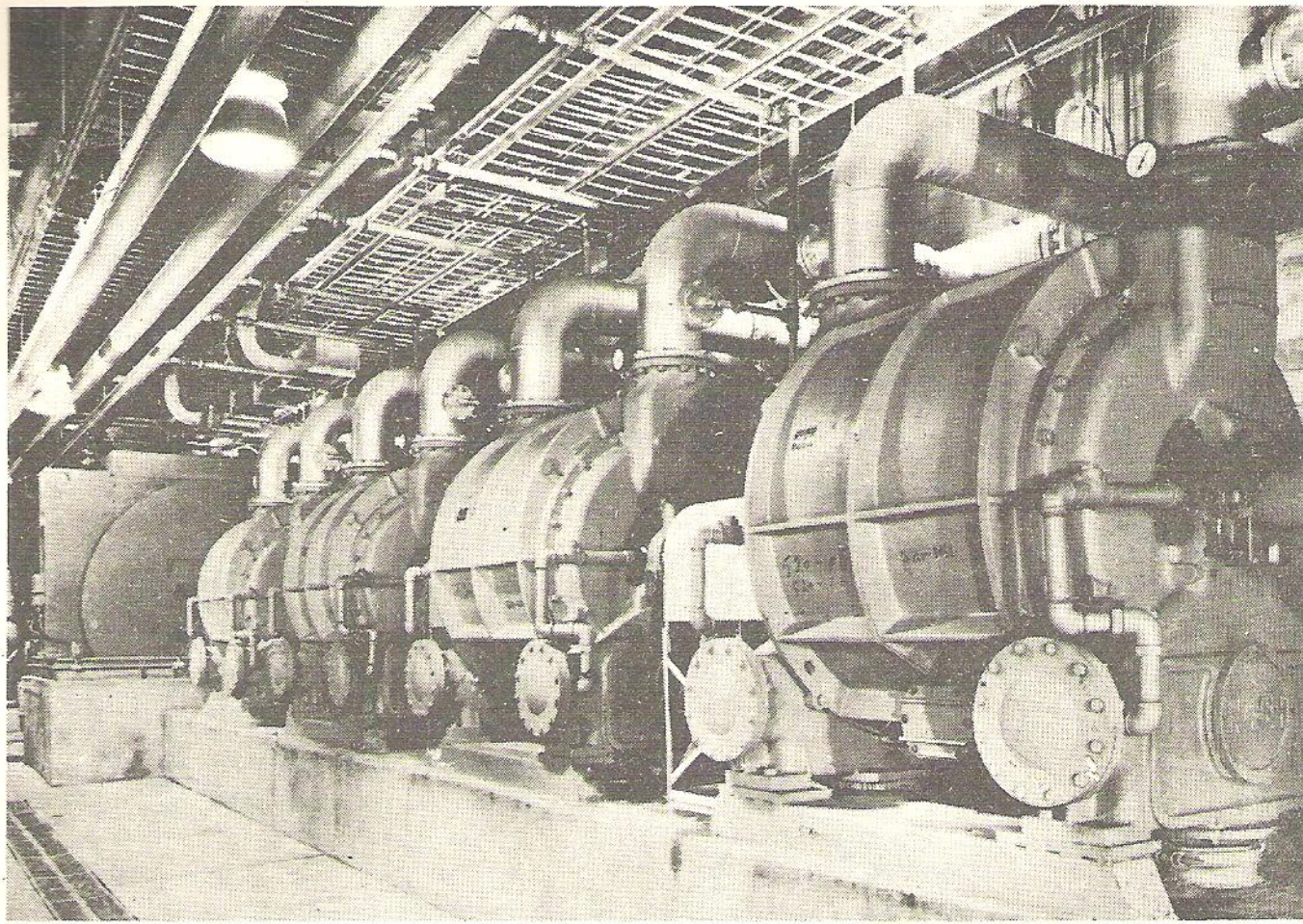
真空系統 (Nash Engineering Corp.)



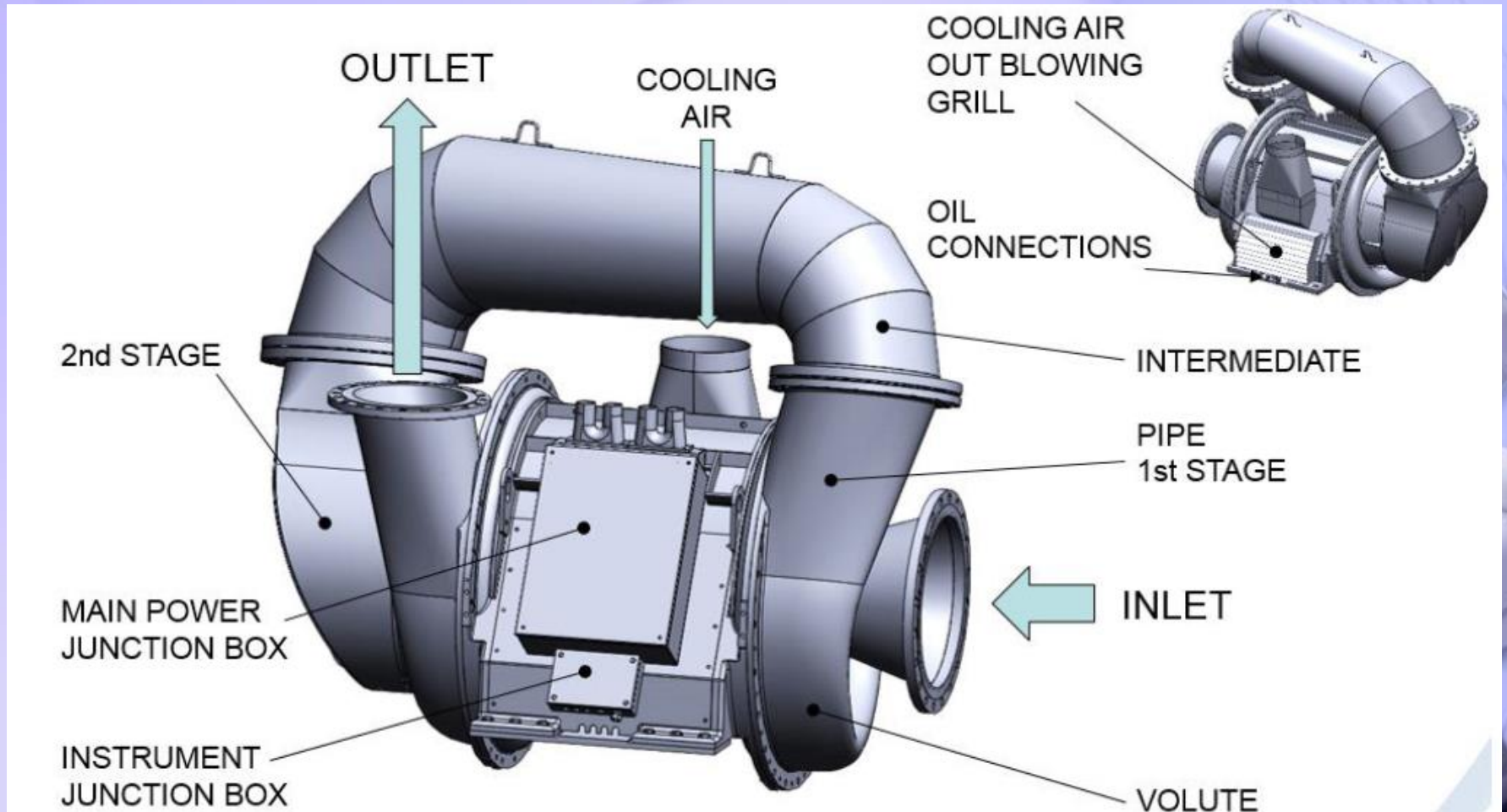
正壓移動，水封式真空泵 (Nash Engineering Corp.)



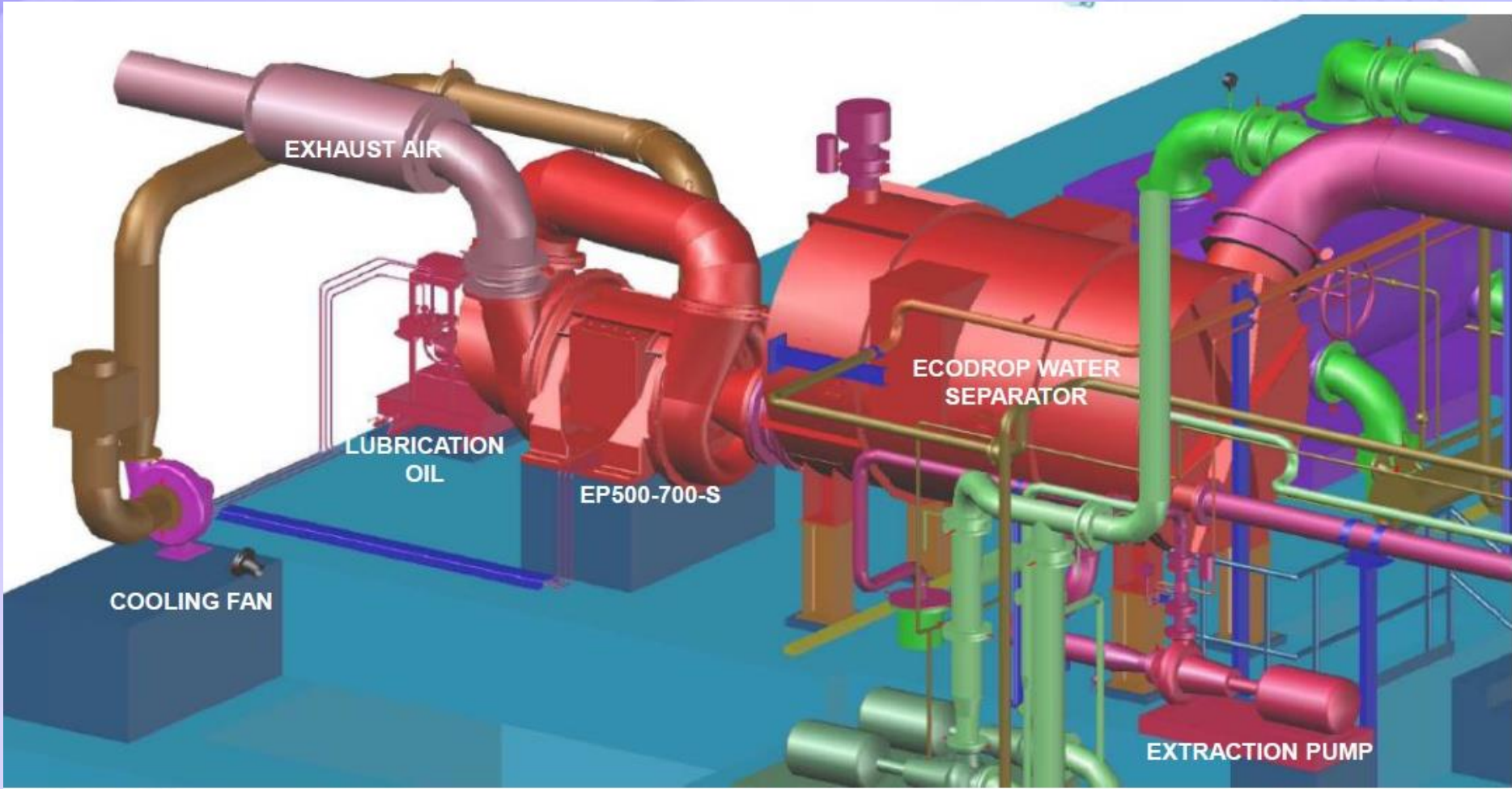
真空泵配置 (Nash Engineering Corp.)



透平泵 (Turbo Blower) (Runtech)



透平泵 (Turbo Blower) (Runtech)



貳、乾部操作

- 一、紙匹乾燥
- 二、壓光部
- 三、捲紙作業
- 四、紙機轉動
- 五、複捲作業

一、紙匹乾燥

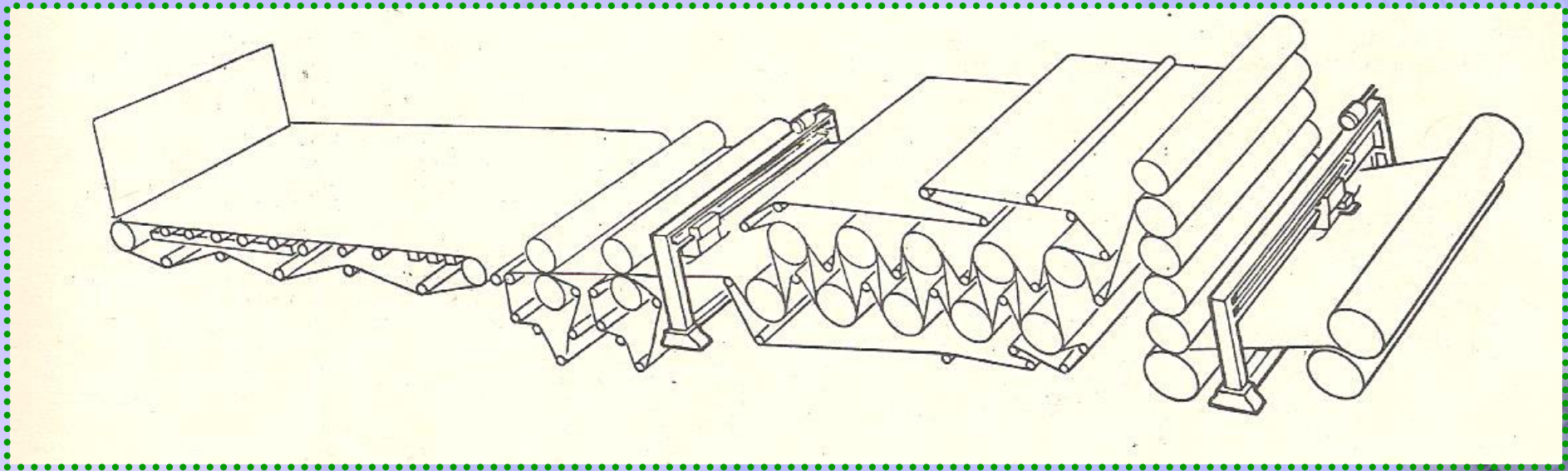
- ➔ 目的為在高效率及低蒸氣耗用下，蒸發通過壓水部紙匹剩餘的水分。
- ➔ 乾燥部無論是投資成本或是操作成本都是最昂貴的。

→ 效率指標

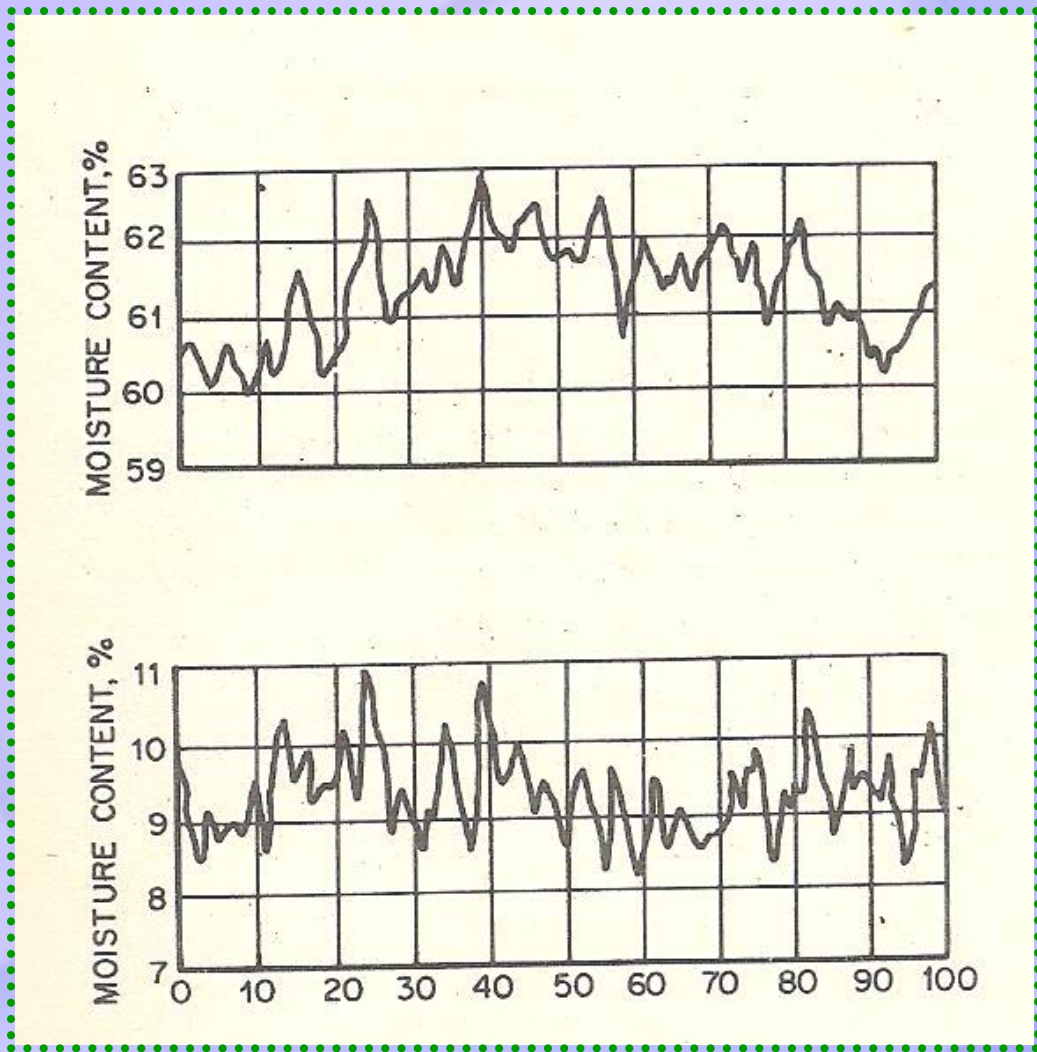
- 乾燥率：乾燥噸紙/hr/m²
- 蒸發率：蒸發噸水/hr/m²
- 蒸發係數：噸蒸汽/噸水蒸發

- 橫向蒸發均勻性可利用通過壓水部及乾燥部的橫向水份分佈來觀察。
- 乾燥率/蒸發率跟烘缸內的蒸氣壓力有很大的關係。

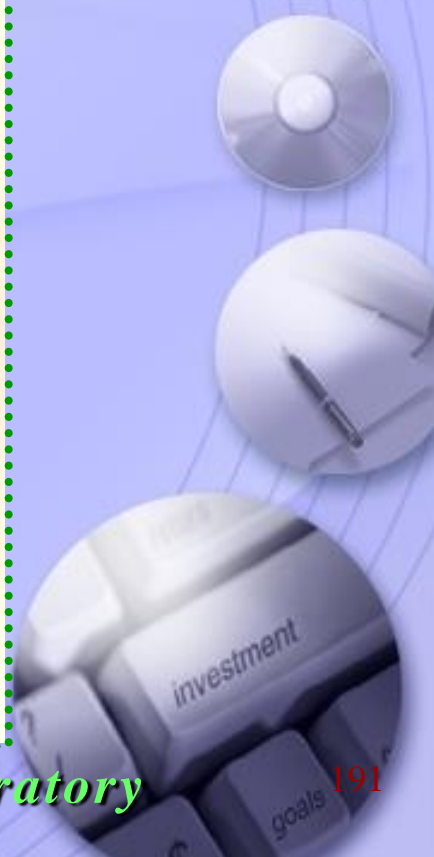
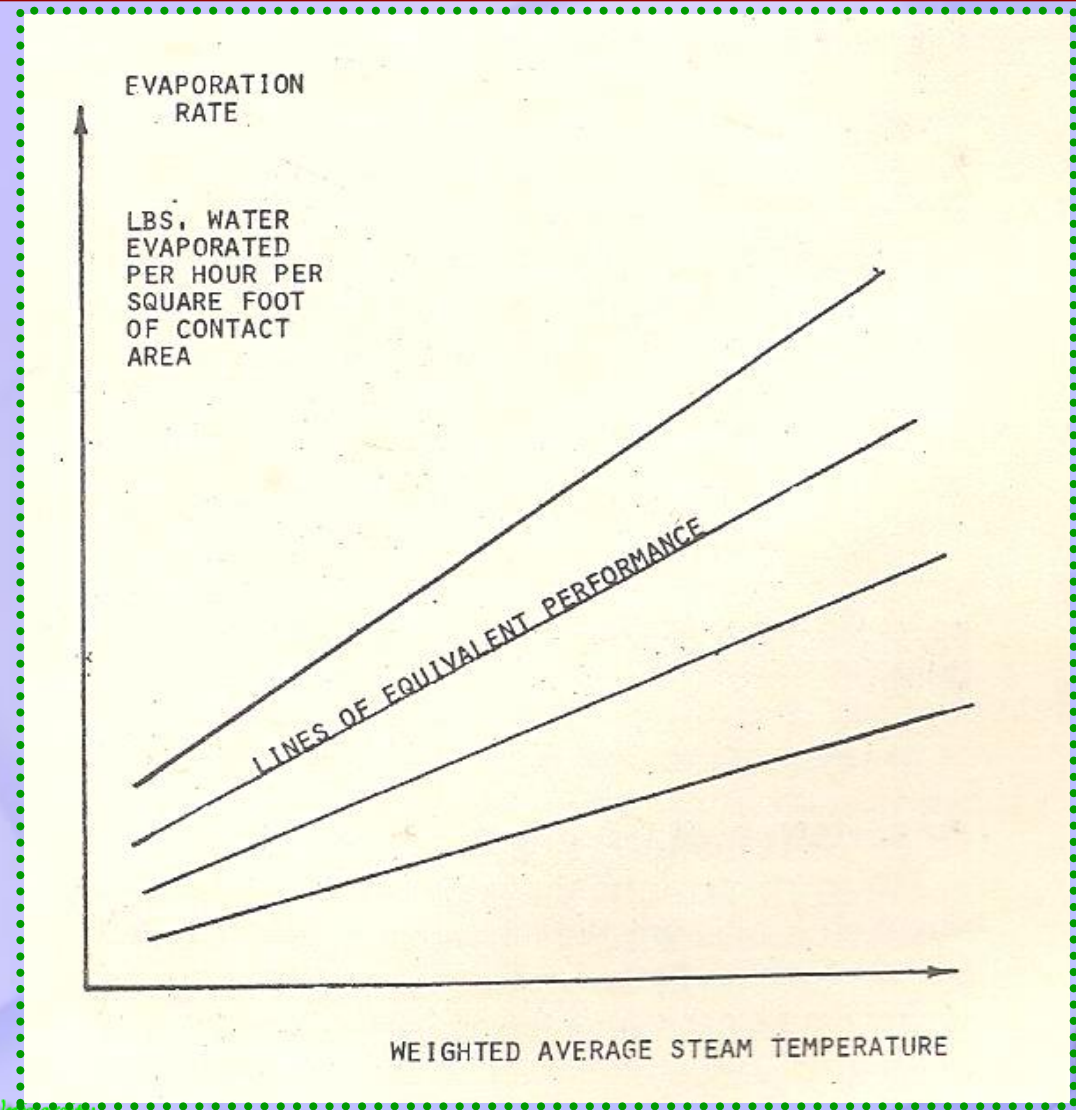
抄紙機水份量測安排的位置



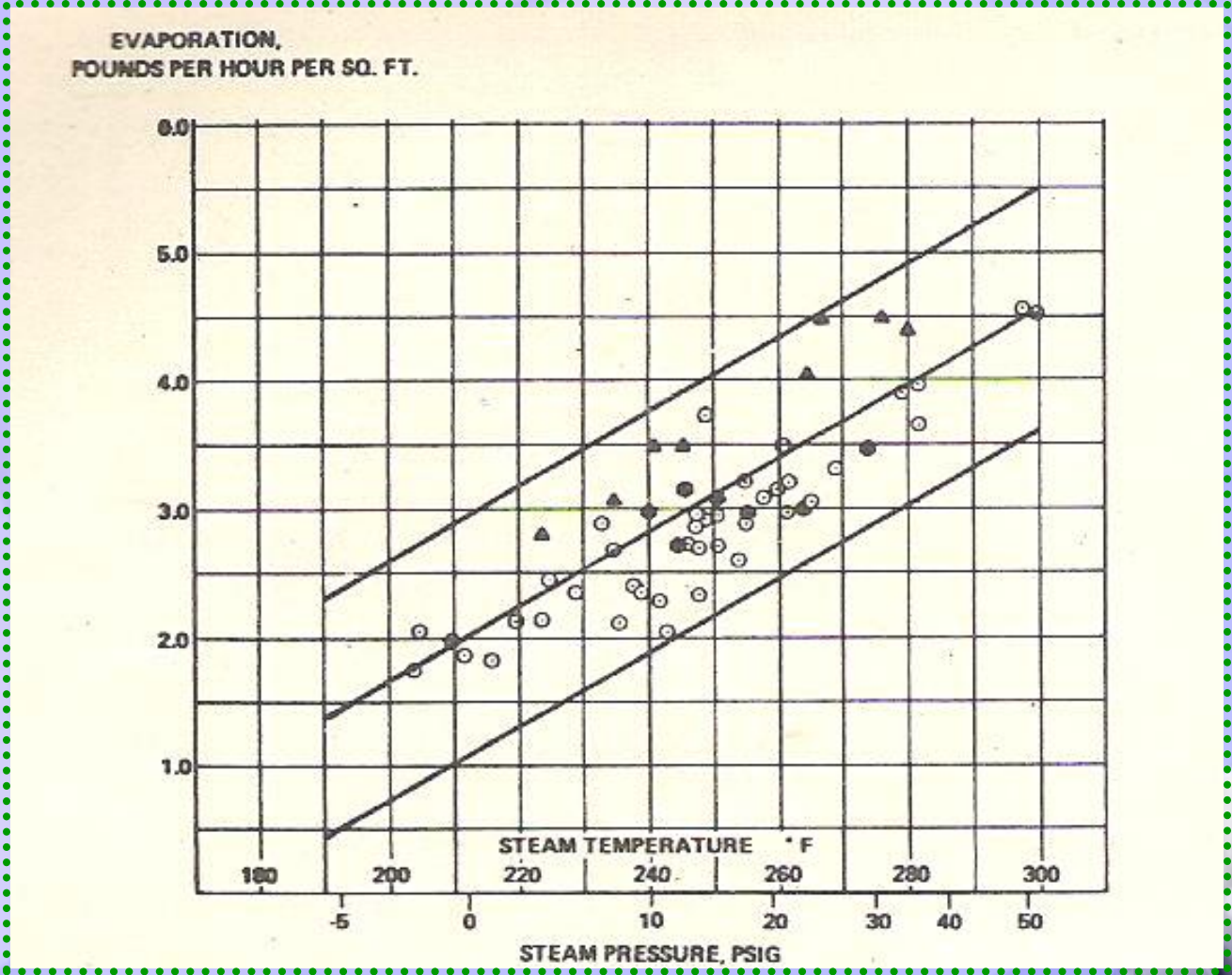
通過壓水部及乾燥部的橫向水份分佈



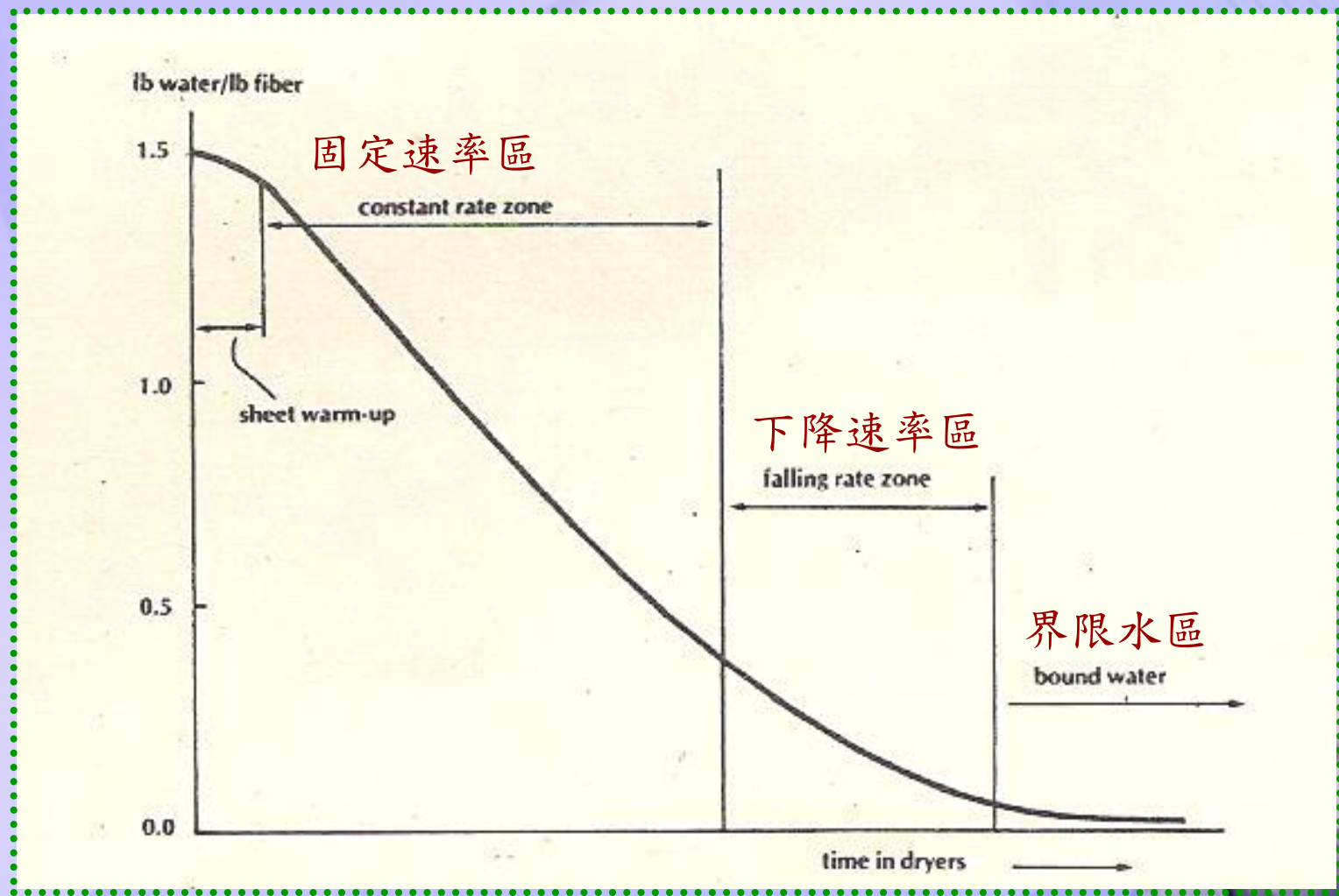
蒸汽溫度與蒸發率的相對效率曲線



不同抄紙機相對效率曲線圖



典型蒸發曲線圖



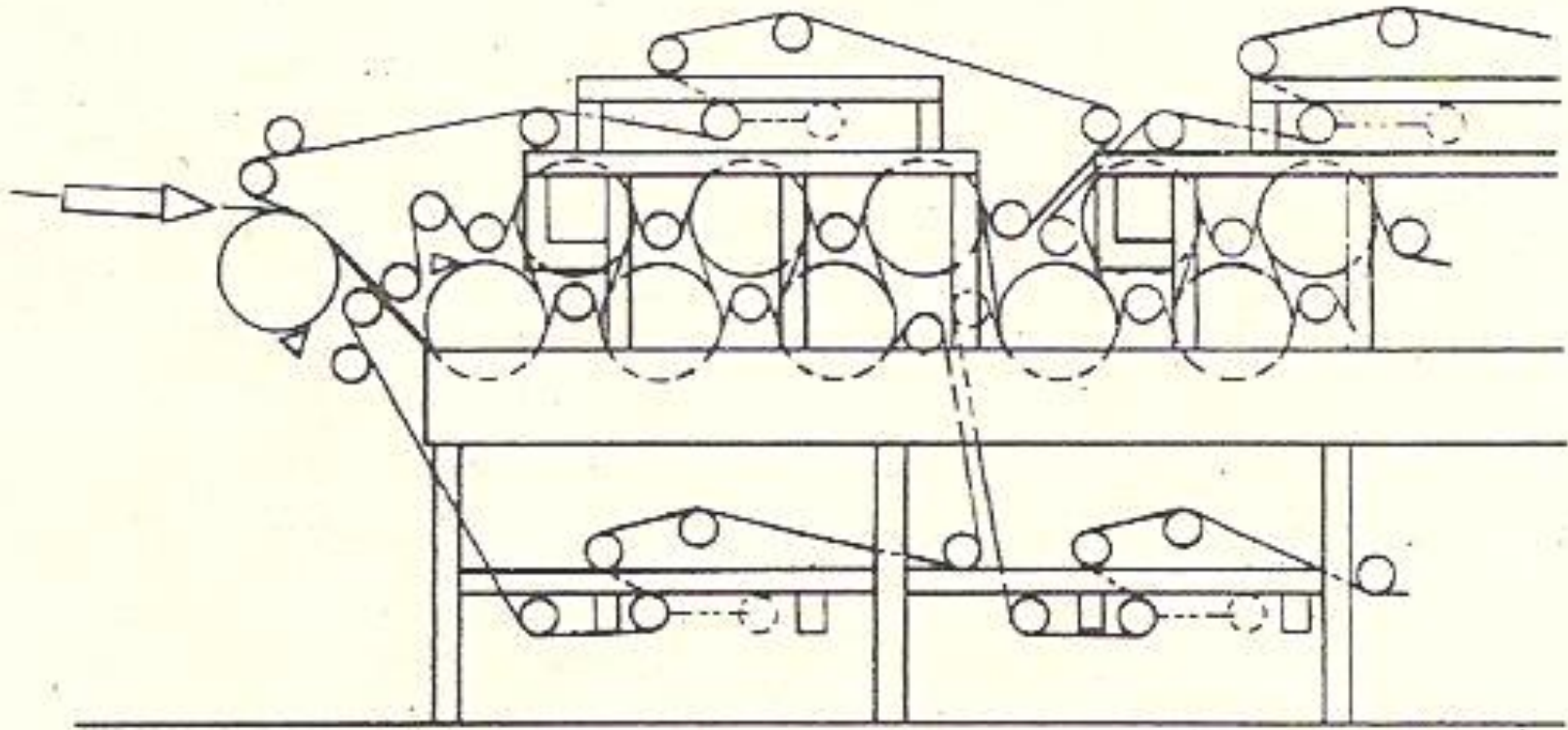
➤ 蒸發曲線

- ➔ 固定速率區：蒸發作用初期在纖維表面或較大的毛細孔，其蒸發速率很快。
- ➔ 下降速率區：當紙匹蒸發到自由水匯集在小的毛細孔時，蒸發速率開始下降。
- ➔ 界限水：在水份 9% 左右，要蒸發更多的水份，必須打破化學鍵才能達到。

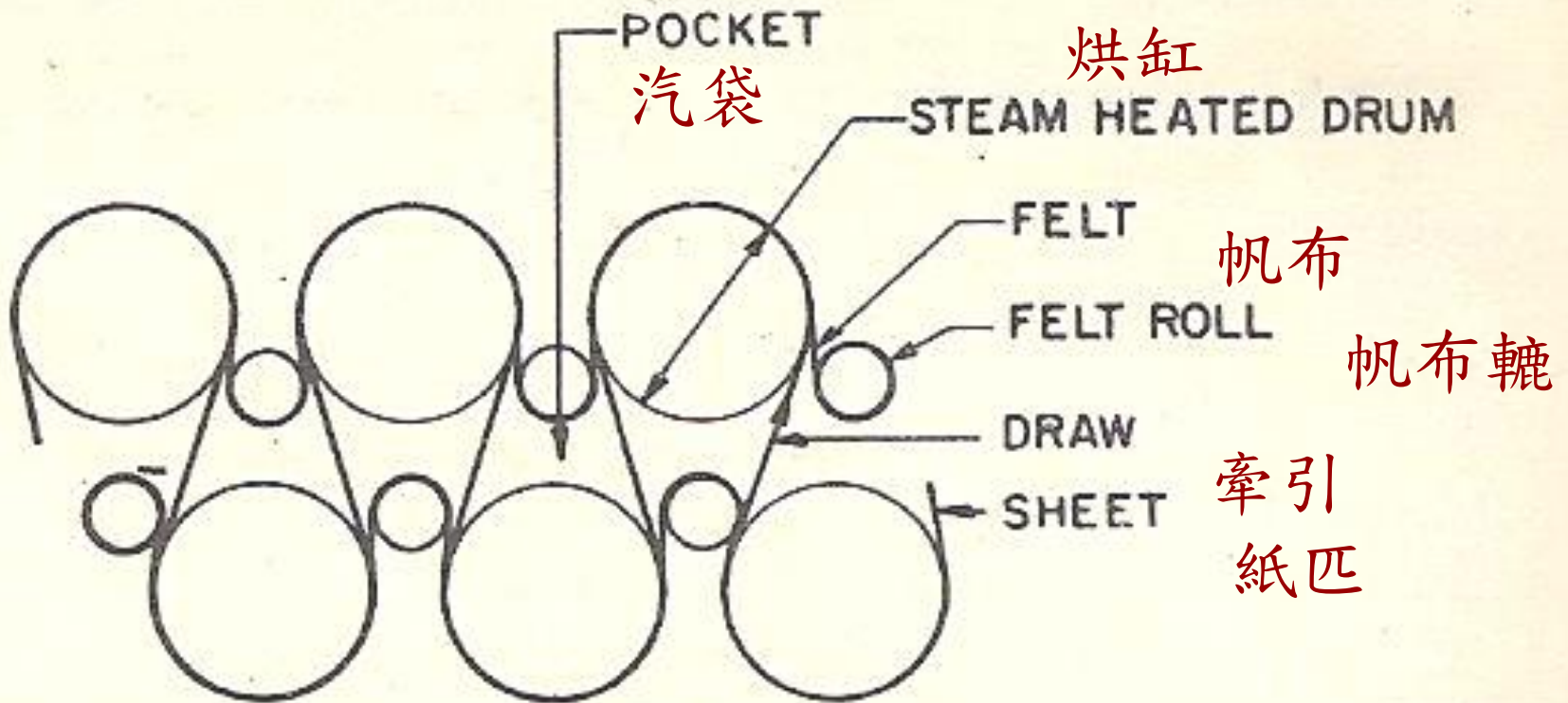
➤ 乾燥部流程

- ➔ 濕紙匹通過壓水部，其水份在60%，再通過一連串的蒸汽加熱烘缸(通常60或72英吋)，其水份被蒸發，而被通風空氣帶走。濕紙匹被帆布緊緊包覆去烘缸表面。
- ➔ 大部份抄紙機有3~5組獨立帆布系統，每組具有獨立的傳動來維持紙匹張力及紙匹縮收時調整用。上及下帆布都配置有緊張及定位輥。通常3~5組烘缸亦有獨立控制的蒸汽系統；這可以跟帆布系統一樣或不同配置。

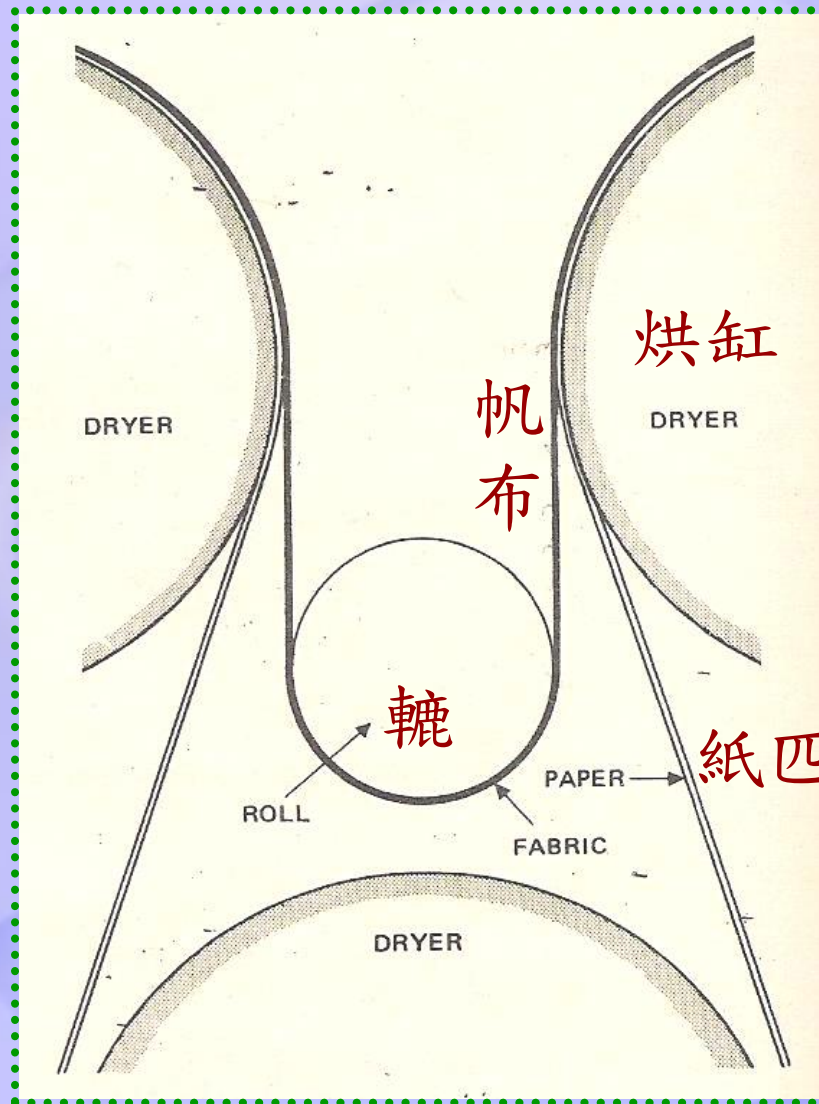
典型烘缸部的排列圖



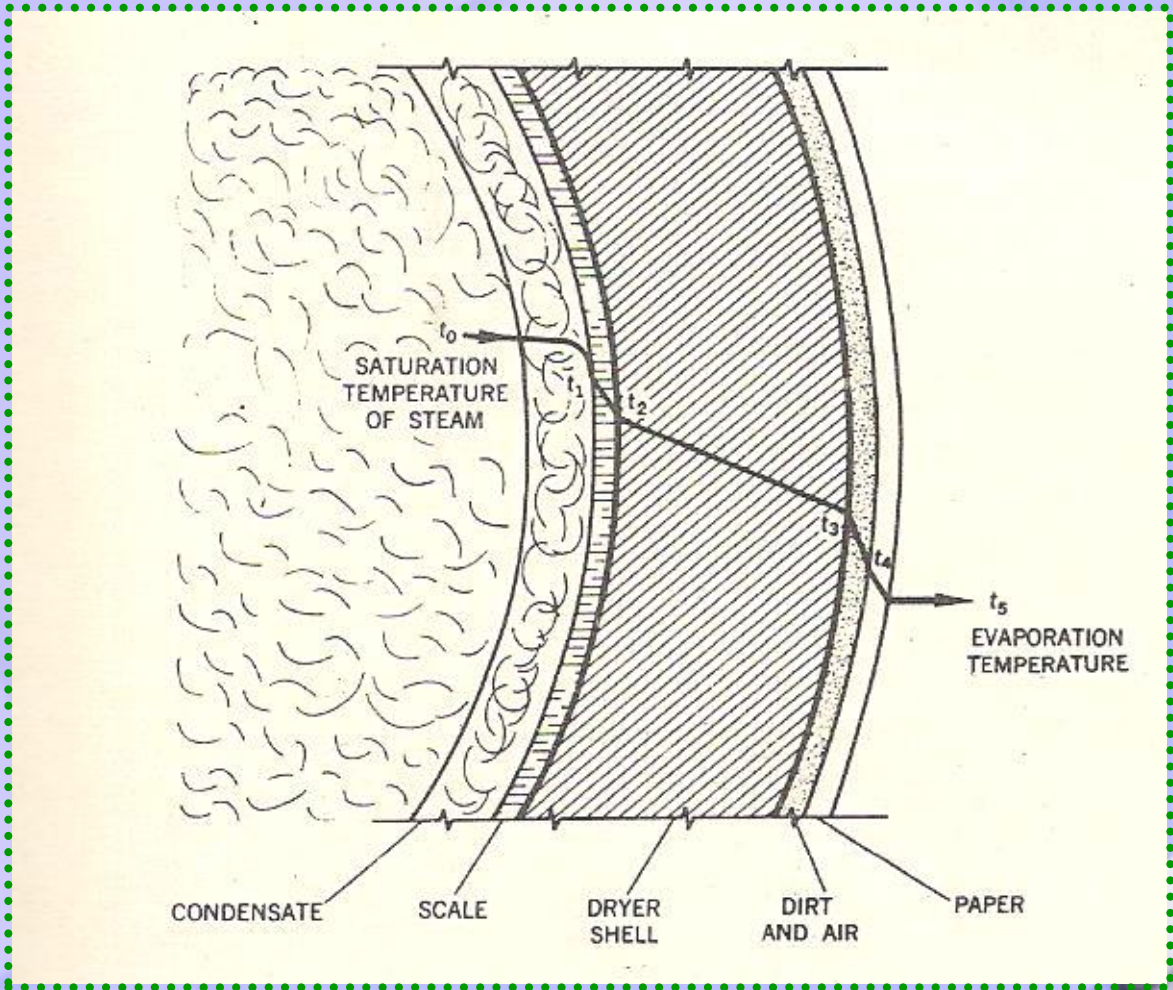
烘缸群配置圖



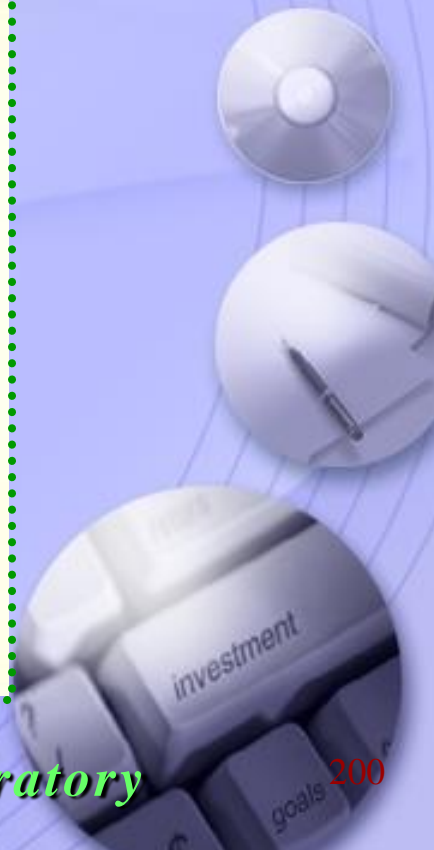
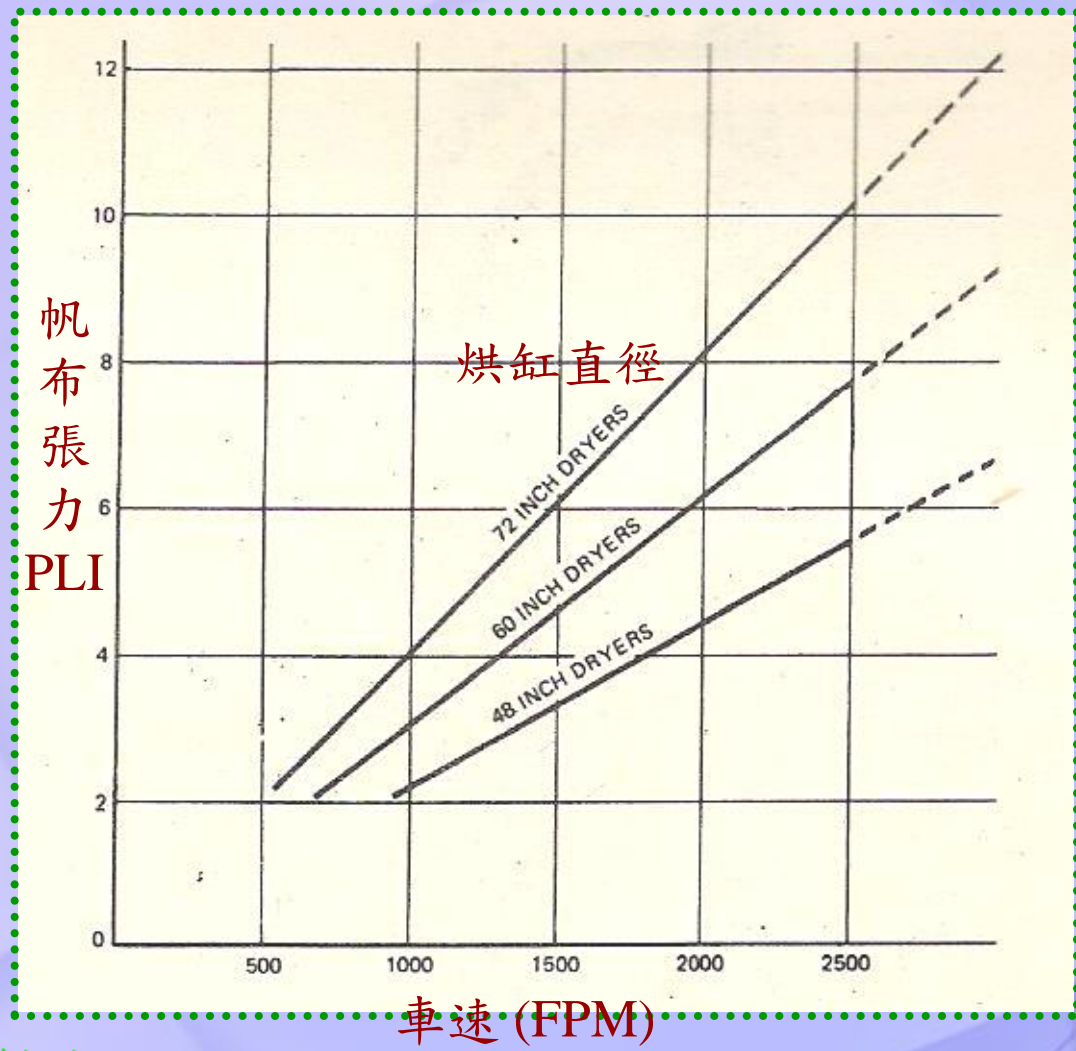
汽袋配置圖



烘缸橫切面的溫度分佈圖



張力跟車速及缸徑關係圖



➤ 紙匹乾燥過程

- ➔ 第一階段：紙匹當與烘缸面接觸時吸收潛熱。
- ➔ 第二階段：為紙匹蒸發水份至上/下烘缸群間的汽袋，導致紙匹溫度降低，再循環吸收潛熱。

► 熱阻力

- 烘缸內冷凝水膜，烘缸表面的髒層級空氣層。
- 烘缸表面的髒層，可能需要刮刀來保持缸面清潔。
- 空氣層可以用足夠的毛毯張力，儘量把紙匹貼緊烘缸面，來降到最低。
- 烘缸內累積不可冷凝的氣體，對於熱傳導亦會受到影響，可能導致不均勻乾燥。
- 當水份蒸發到汽袋時，濕度會提高導致壓力差會下降，因此需要在汽袋中維持足夠的通風。

➤ 蒸氣及冷凝水系統

- ➔ 紙匹蒸發水份的熱量來烘缸內蒸汽釋放熱，成為冷凝水。
- ➔ 蒸汽再當時壓力的飽和溫度時冷凝，這對於控制橫向乾燥均勻度相當重要。
- ➔ 蒸汽通常傳送在過飽和狀態，避免在管路中產生冷凝水。
- ➔ 當蒸汽壓力增加，冷凝水溫度上升，其潛熱下降。因此蒸汽壓力上升，熱傳速率增加，但在同樣熱交換量時，產生較多的冷凝水。

➤ 蒸氣及冷凝水系統

- ➔ 烘缸內冷凝水的移除，係利用虹吸管組 (Syphon)。
- ➔ 如何儘快把冷凝水移除，來使冷凝膜降至最低，對於烘缸作業是相當重要的。
- ➔ 在低速抄紙機，冷凝水累積在烘缸下方形成水坑狀，通常利用固定式虹吸管即可。

- 當車速增加時，通過過渡區後，因為離心力的關係，終於形成膜狀，就必須使用轉動式虹吸管。
- 在大部份的紙機，蒸汽進汽及冷凝水排放都在同一側，通常在傳動側。
- 在紙幅較寬的紙機，此種排列，較易累積不可冷凝的氣體。因此目前的設計為在傳動側蒸汽進汽而冷凝水排放則在前側。

- ➔ 烘缸內需要足夠的壓力差才能把冷凝水泵出烘缸，在高速紙機，需要相當大的壓力差(20 psi 在 3500 ft/min)。
- ➔ 蒸汽會夾帶出冷凝水出烘缸，稱為直接通過蒸汽，同時可有效的清空烘缸內不可冷凝的氣體。

冷凝水在烘缸的累積現象



SLOW-SPEED
PUDDLE



CLIMBING
PUDDLE



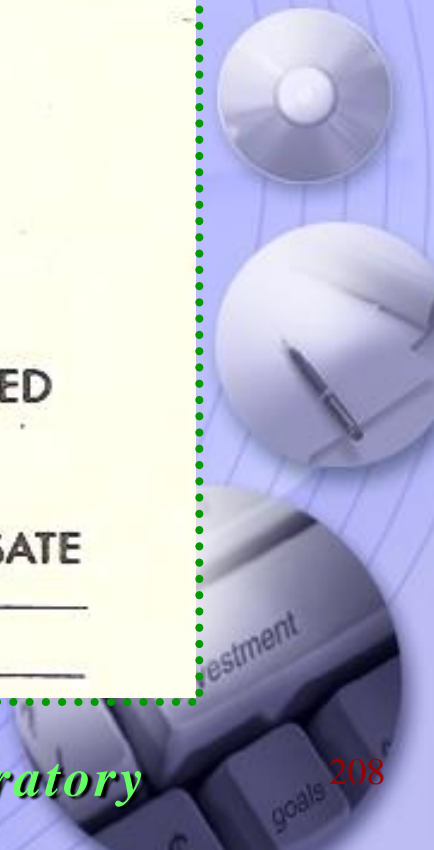
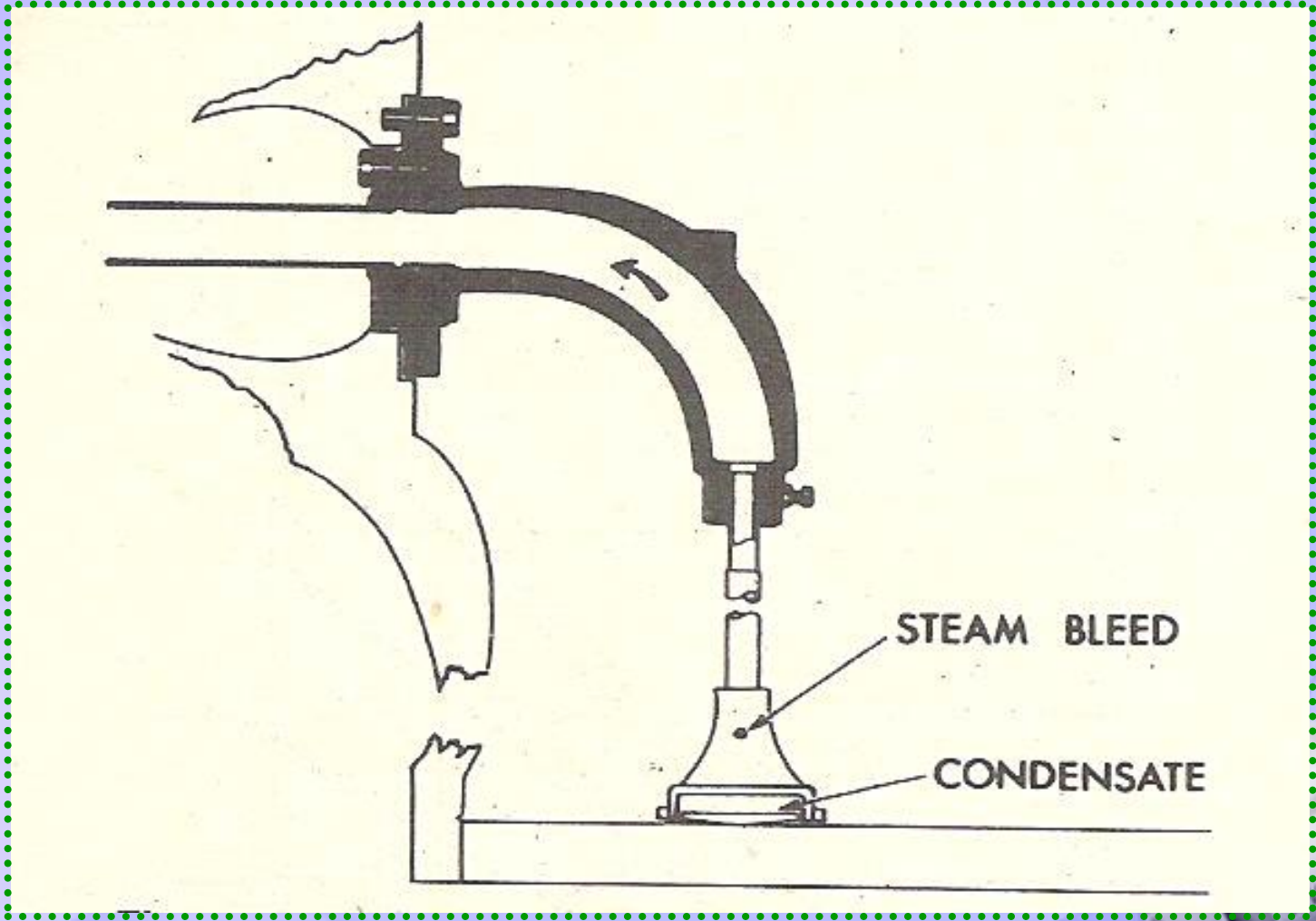
CASCADING



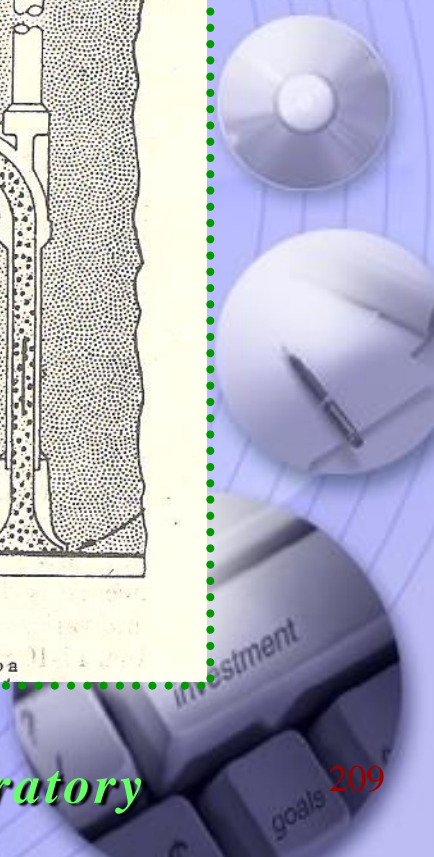
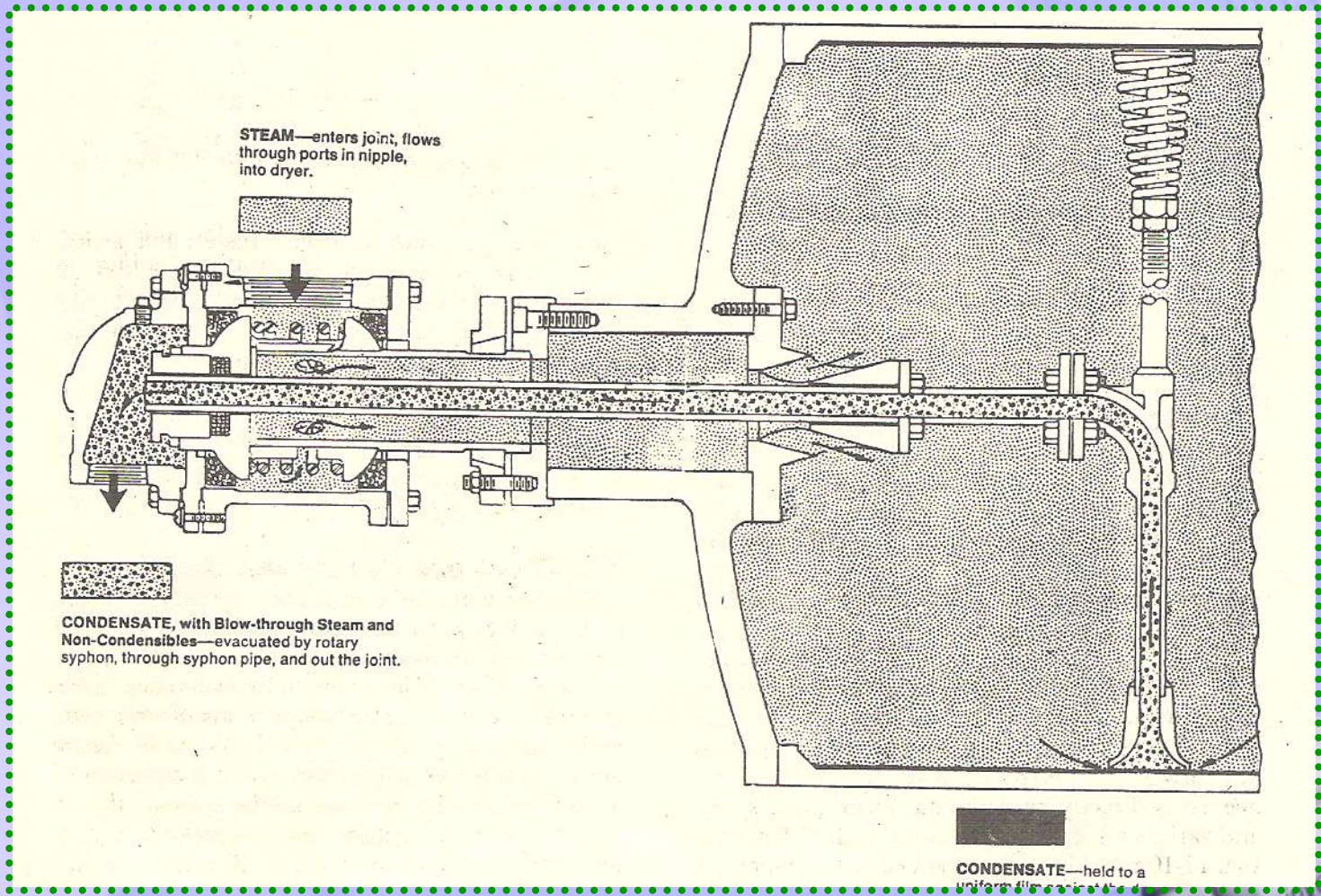
RIMMING



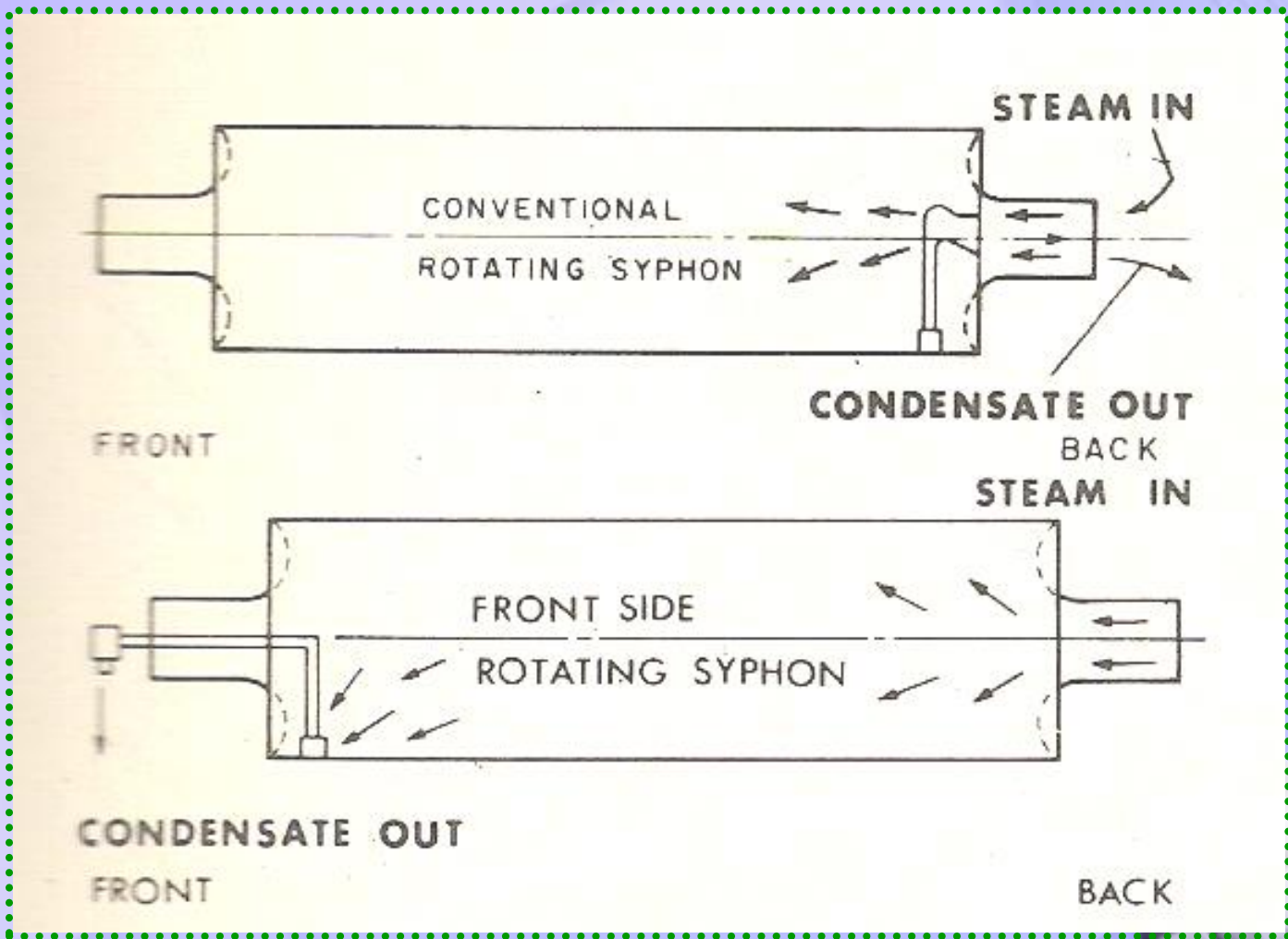
轉動式虹吸管 (Beloit Corp.)



轉動式虹吸管組 (Johnson Corp.)



蒸汽進汽及冷凝水排放配置圖



➔ 串級系統：蒸汽與冷凝水分離後，回用到較低壓力烘缸群。

■ 缺點：各段不能獨立控制，只在最高壓力群才能調控。

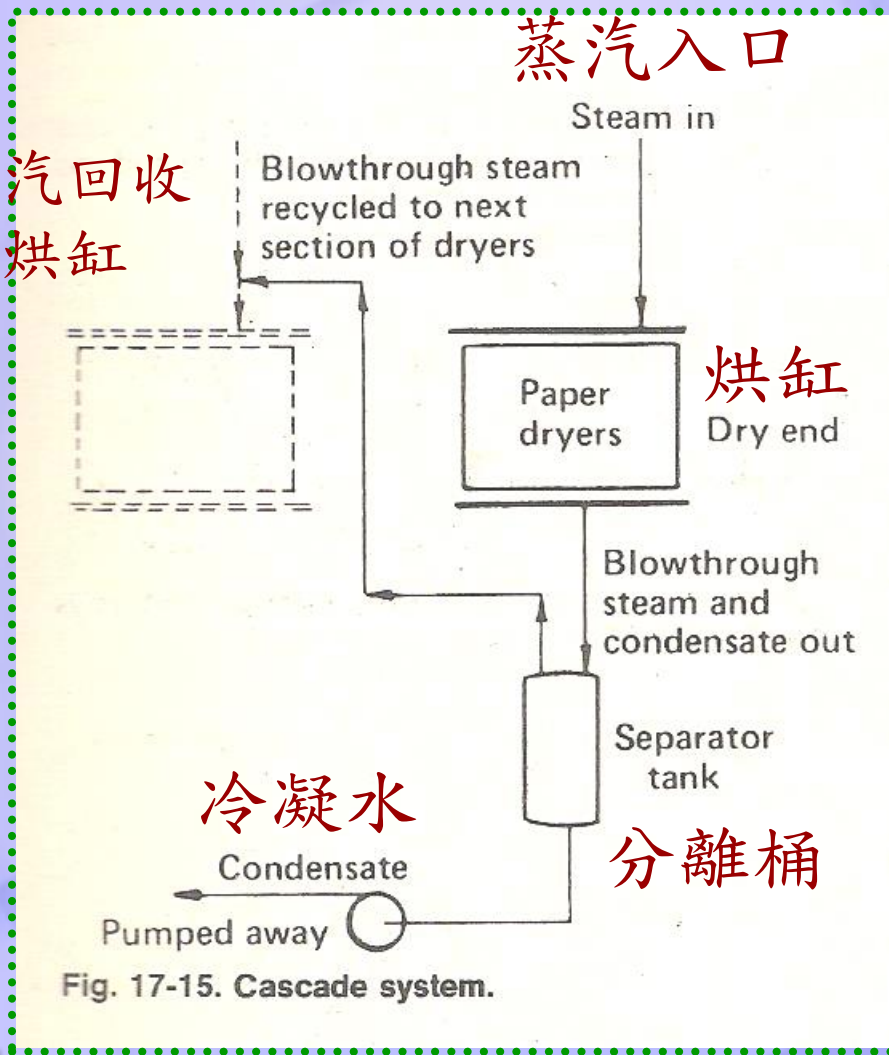
➔ 熱壓機系統：直接通過較低壓力的蒸汽，利用高壓蒸汽升壓後再利用，通常為同一群烘缸組。

■ 優點：各群能夠獨立控制。

■ 缺點：必須耗損高壓蒸汽的成本。

串級系統

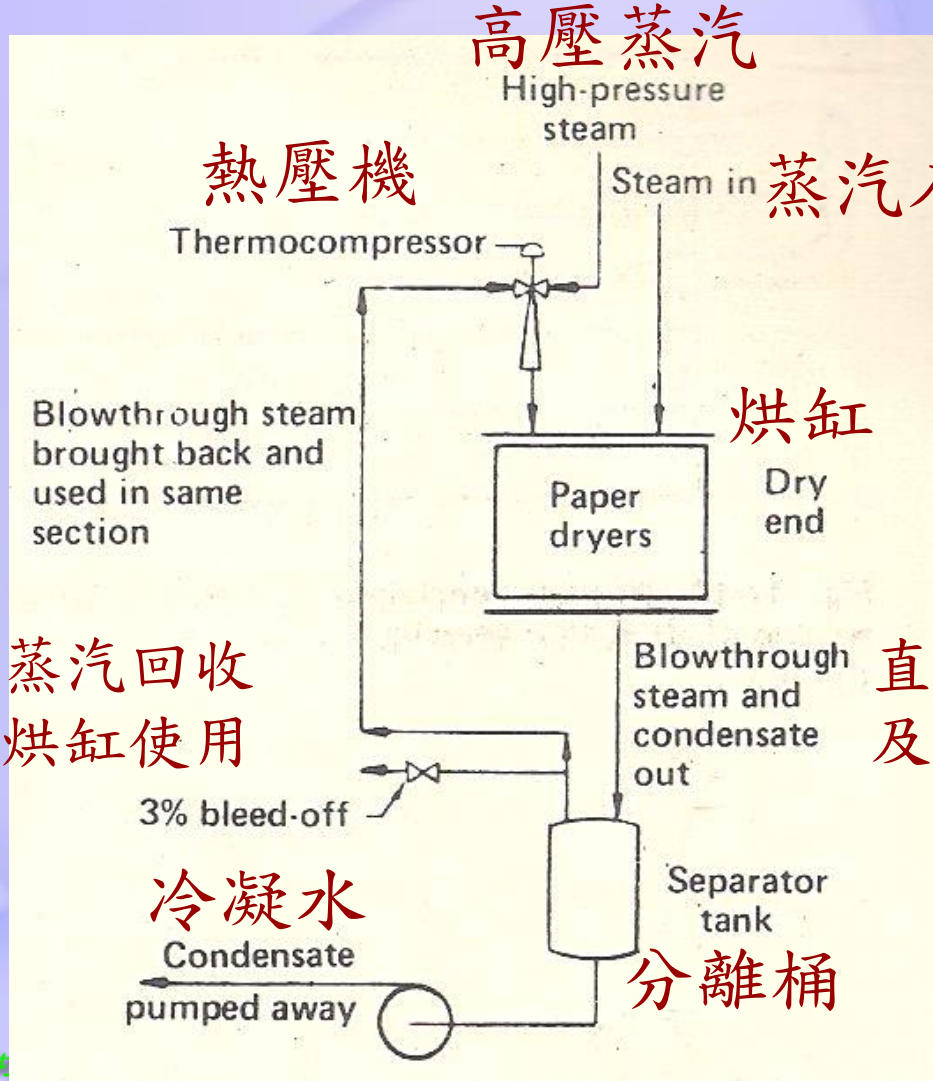
直吹通過蒸汽回收
至下一群烘缸



直接通過蒸汽
及冷凝水出口

Fig. 17-15. Cascade system.

熱壓機系統



高壓蒸汽

熱壓機

蒸汽入口

烘缸

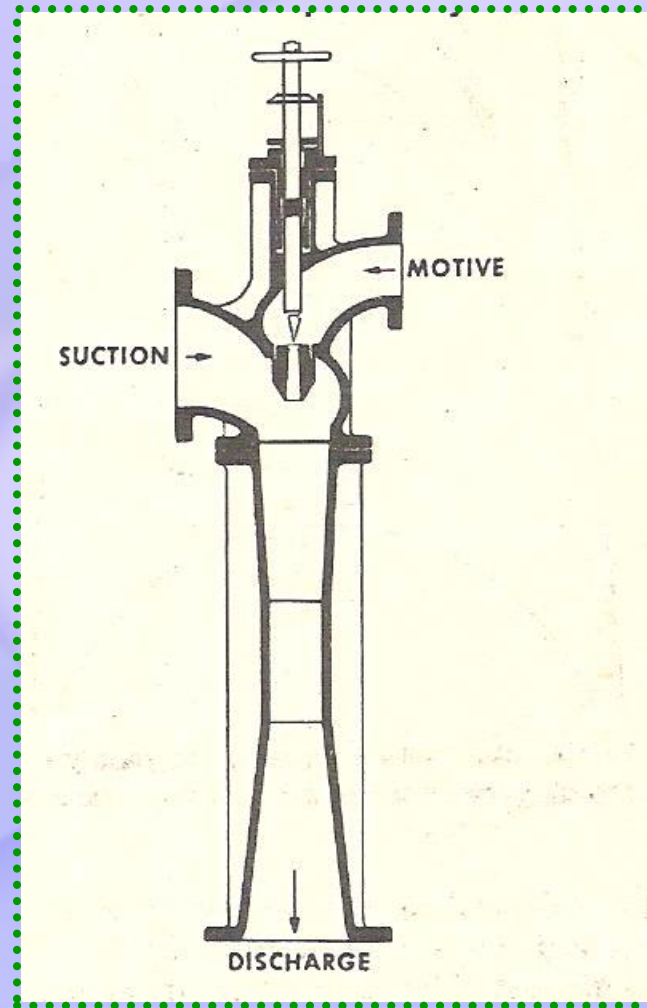
直吹通過蒸汽回收
在同一群烘缸使用

直接通過蒸汽
及冷凝水出口

冷凝水

分離桶

熱壓機的噴嘴設計圖



➤ 汽袋通風

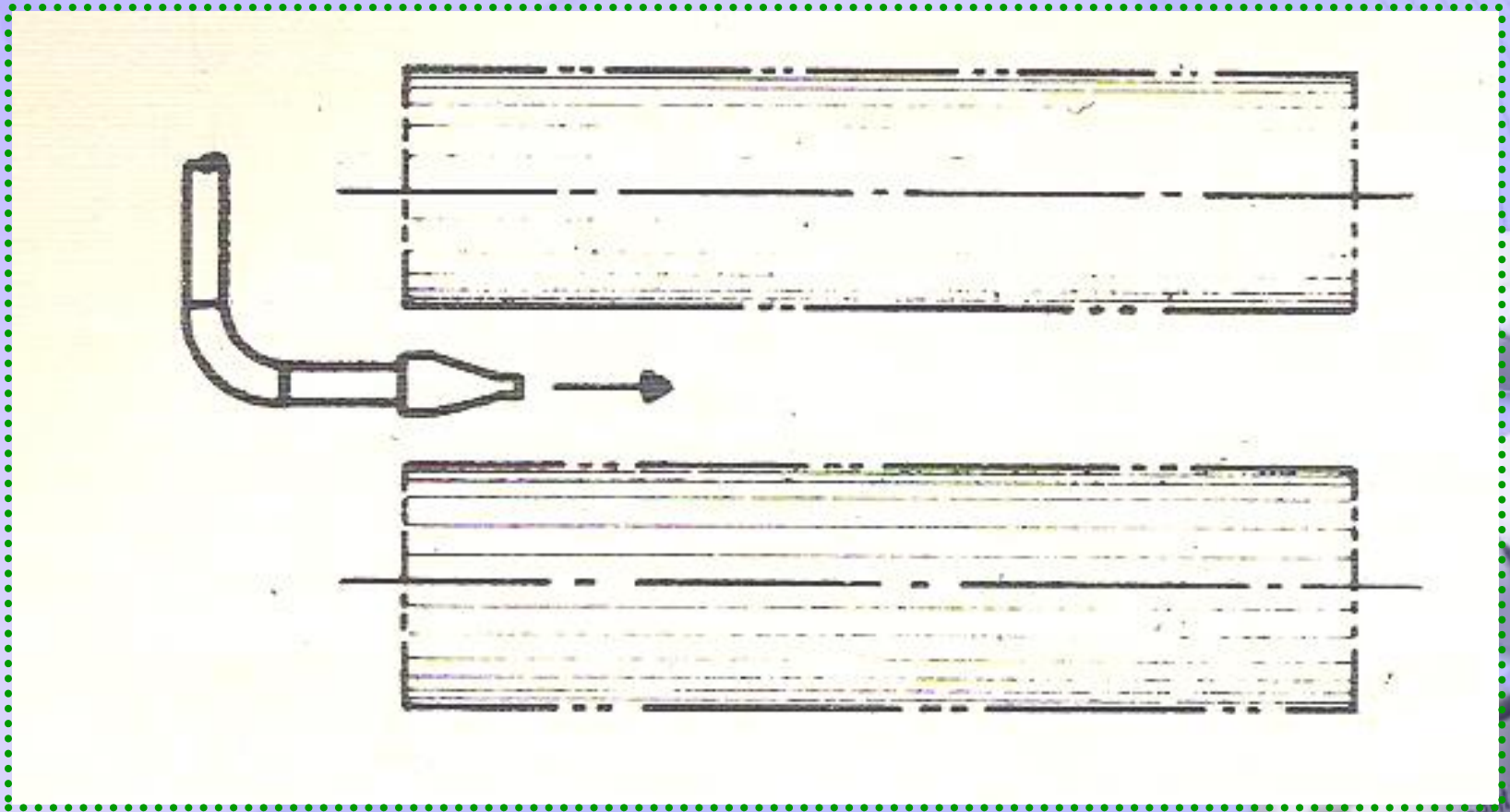
- ➔ 在1960年代以前，烘缸帆布由羊毛編織而成，透氣度相當差，汽袋通常是密閉的，只有在最末端式開放的。
- ➔ 利用通風方式來去除濕氣非常困難。通常利用在一端噴入高壓空氣，產生氣流，進而去除濕氣。不幸的是，此方式並不適用在紙幅較寬的紙機。

➤ 汽袋通風

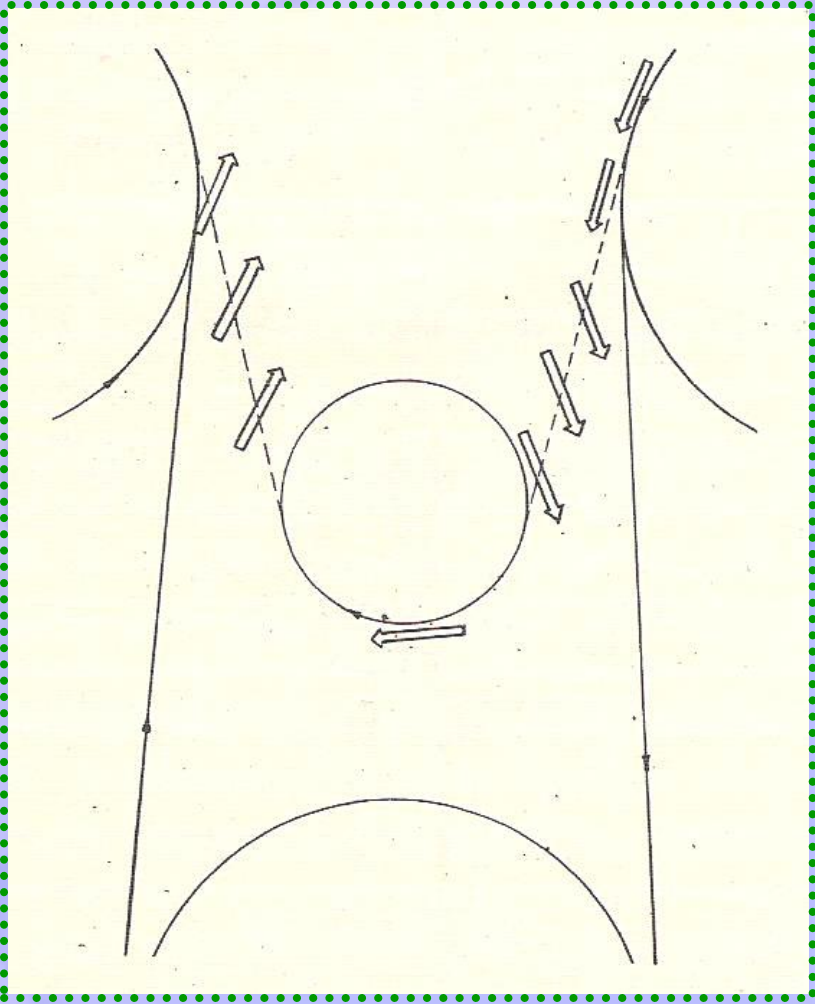
- ➔ 在1960年代早期，傳統帆布逐漸由透氣度較佳的合成纖維來取代。此種較開放的帆布被發現可以自動傳送空氣進出汽袋。
- 被置換的空氣量跟帆布透氣及車速有關。

- ➔ 可透氣的帆布在各供應商逐步開發下，目前熱且乾燥的空氣可直接導入汽袋中。
 - 導入方式有二種：經由帆布輓及從外部管道導入。
 - 許多不同的設計：Roll Type，Nozzle Type，Box Type。
 - 各段供應可調控空氣量，可以進而調整全幅水份分佈。
- ➔ 汽袋通風系統在近代帆布及通風系統的開發，已能有效提高蒸發速率。

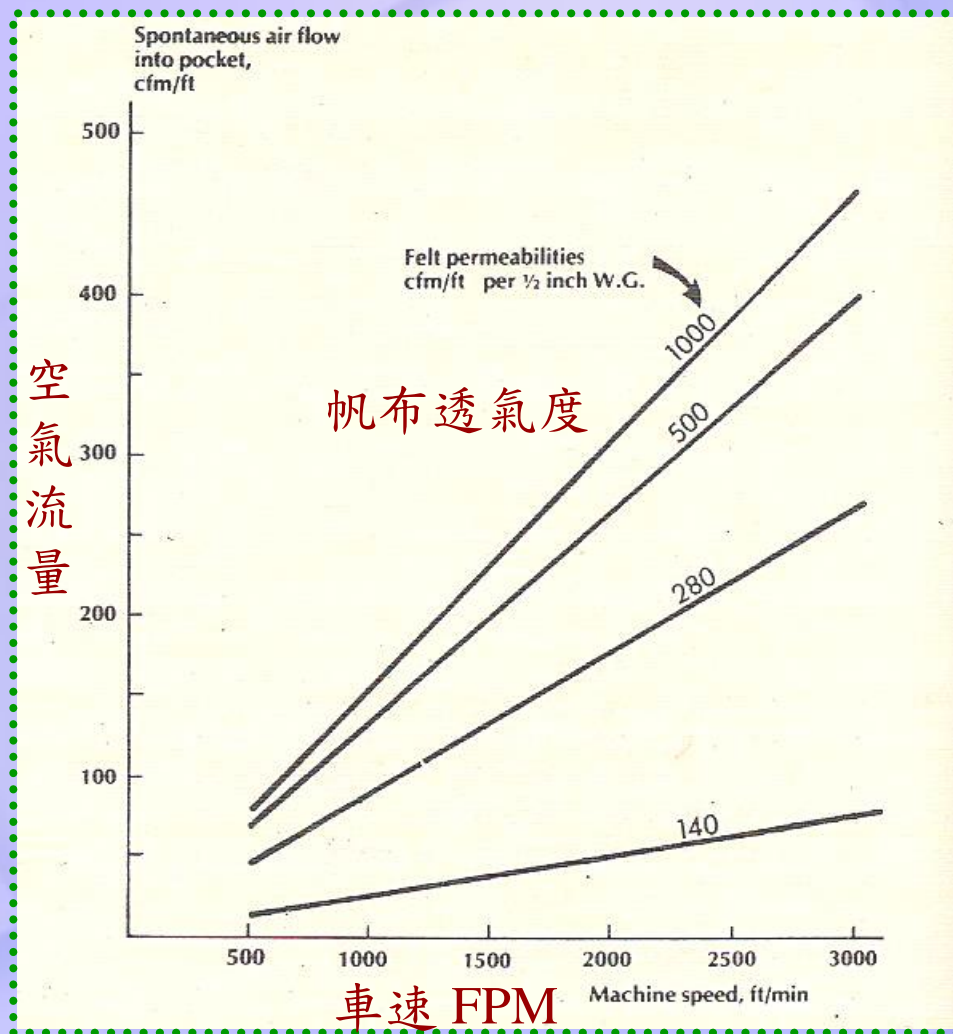
汽袋通風示意圖



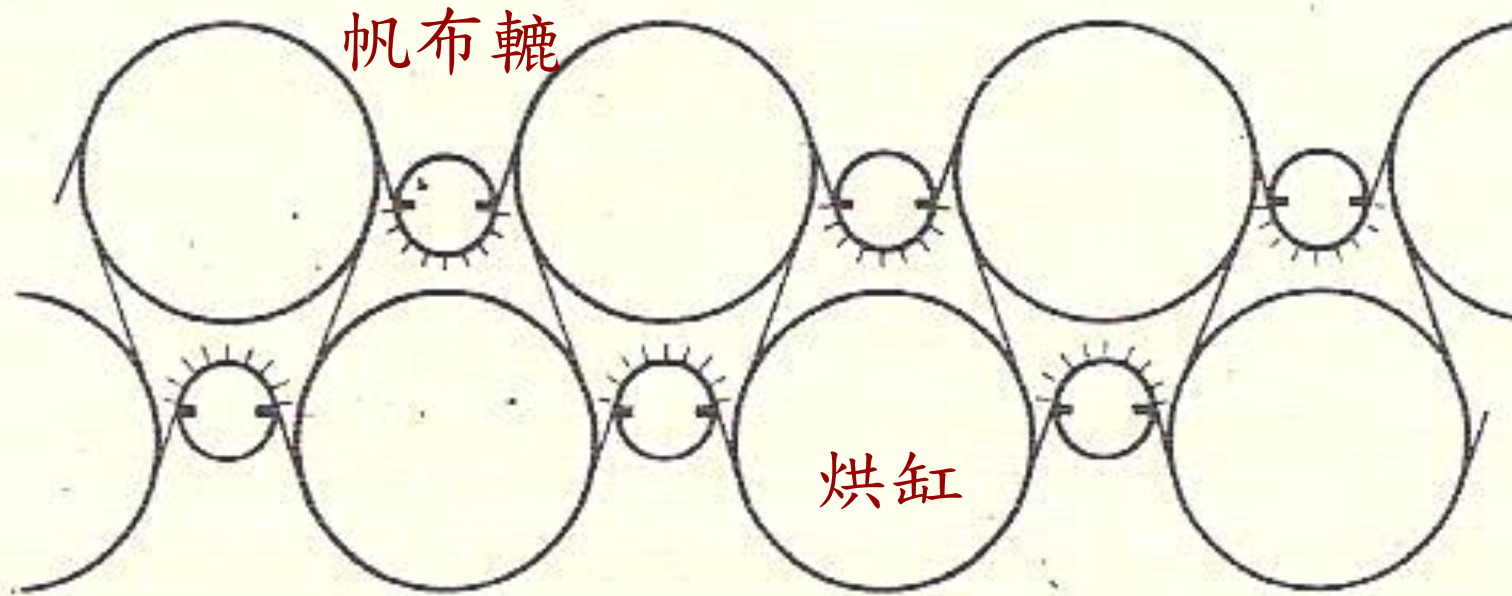
透氣度帆布通風機構



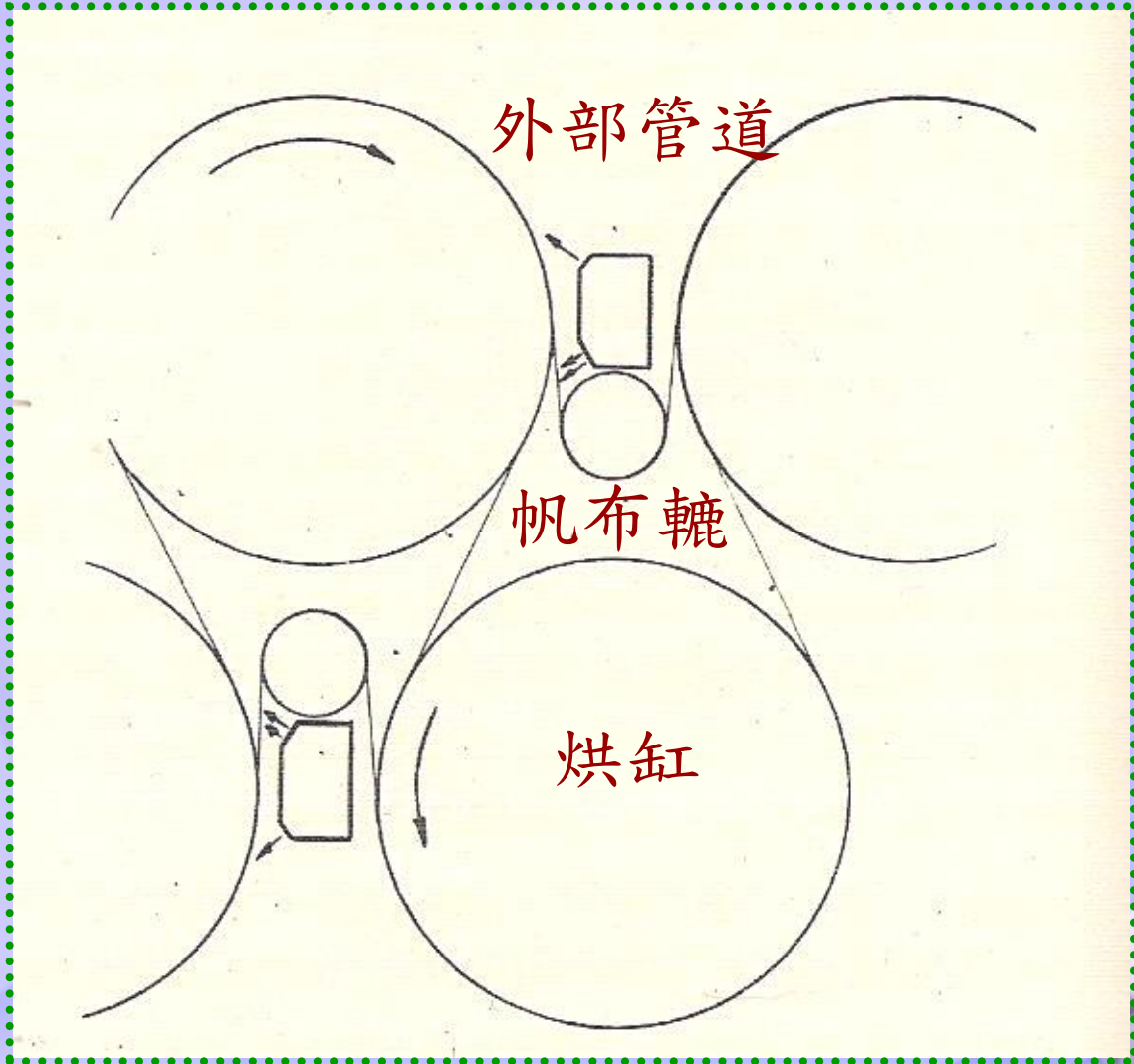
空氣量跟帆布透氣及車速關係圖



汽袋通風經由帆布轆 (Beloit Corp.)



汽袋通風經由外部管道 (Beloit Corp.)



汽袋通風不同管道設計

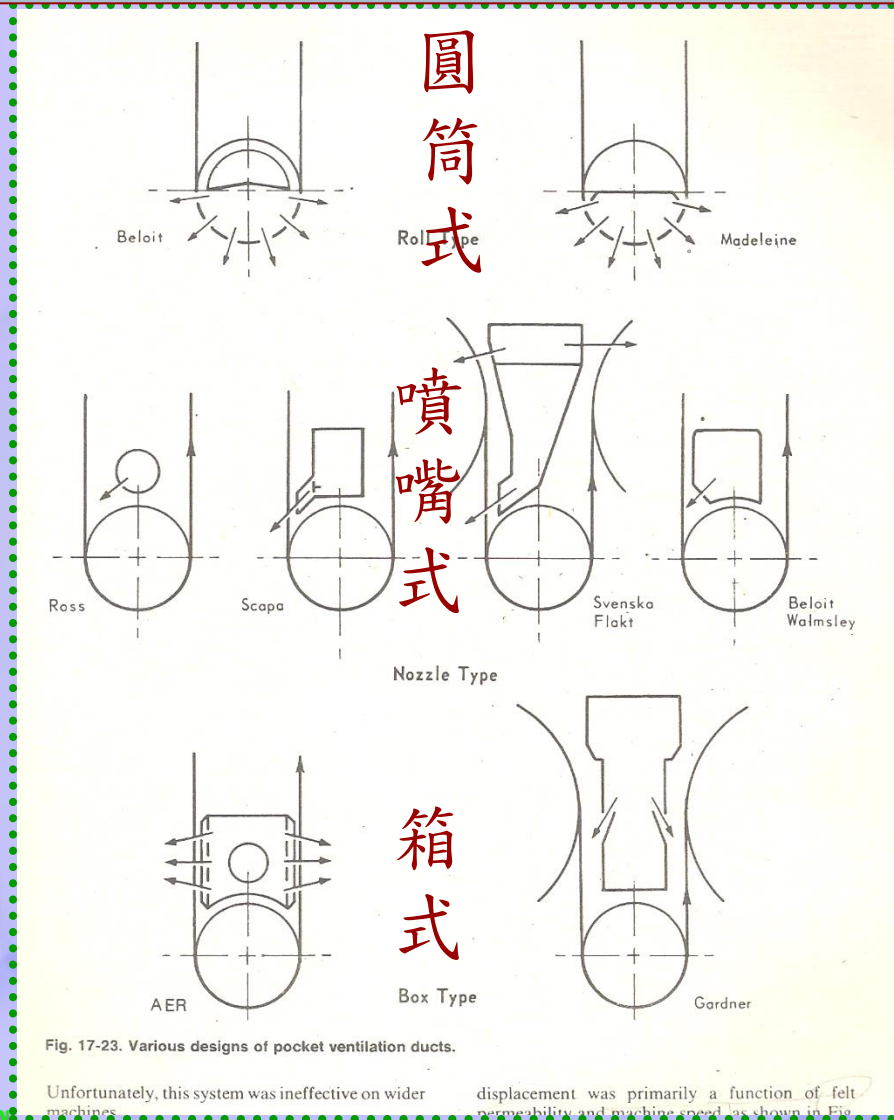
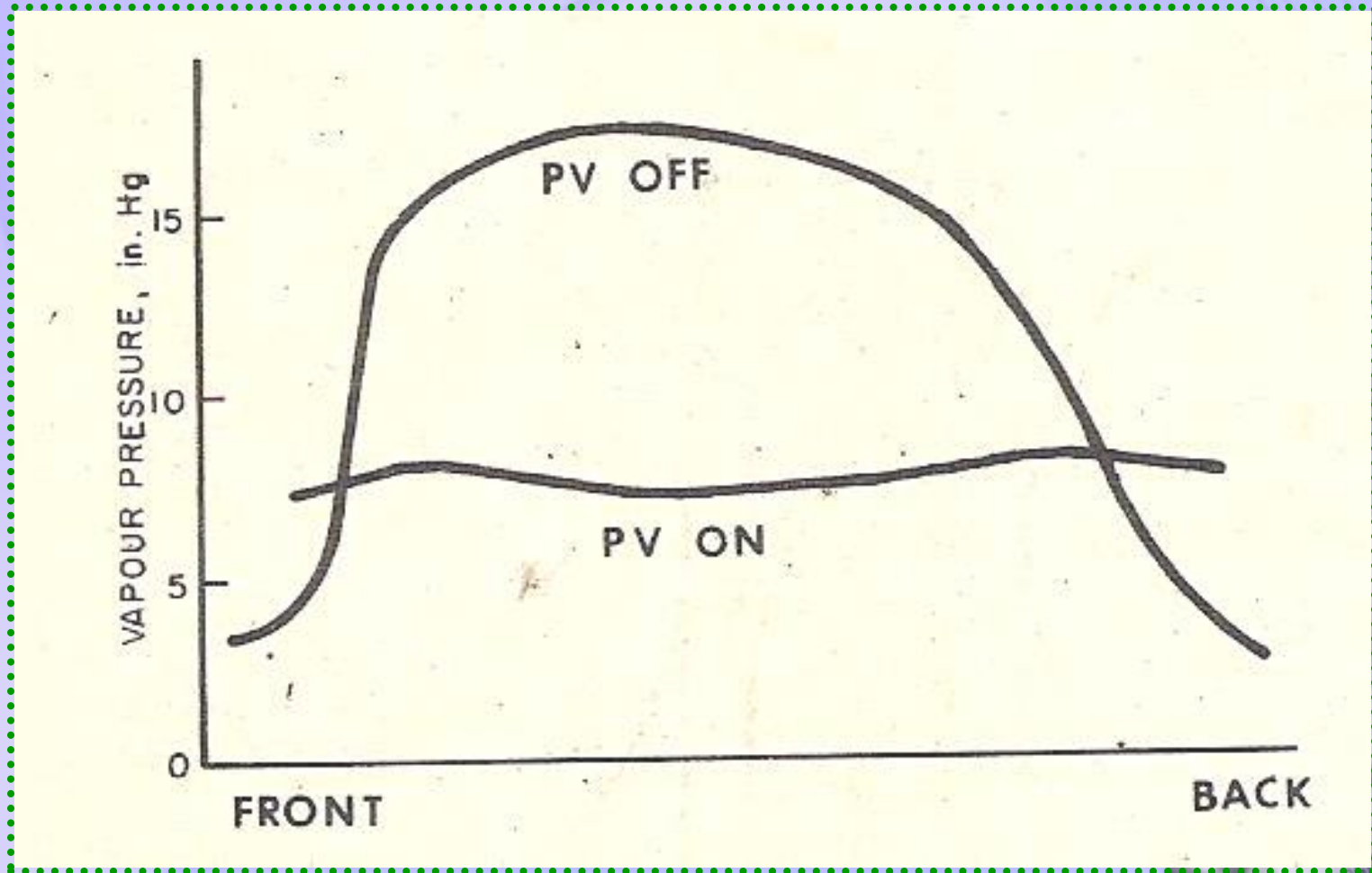


Fig. 17-23. Various designs of pocket ventilation ducts.

Unfortunately, this system was ineffective on wider machines. displacement was primarily a function of felt permeability and machine speed, as shown in Fig.

通氣系統對蒸發速率的影響



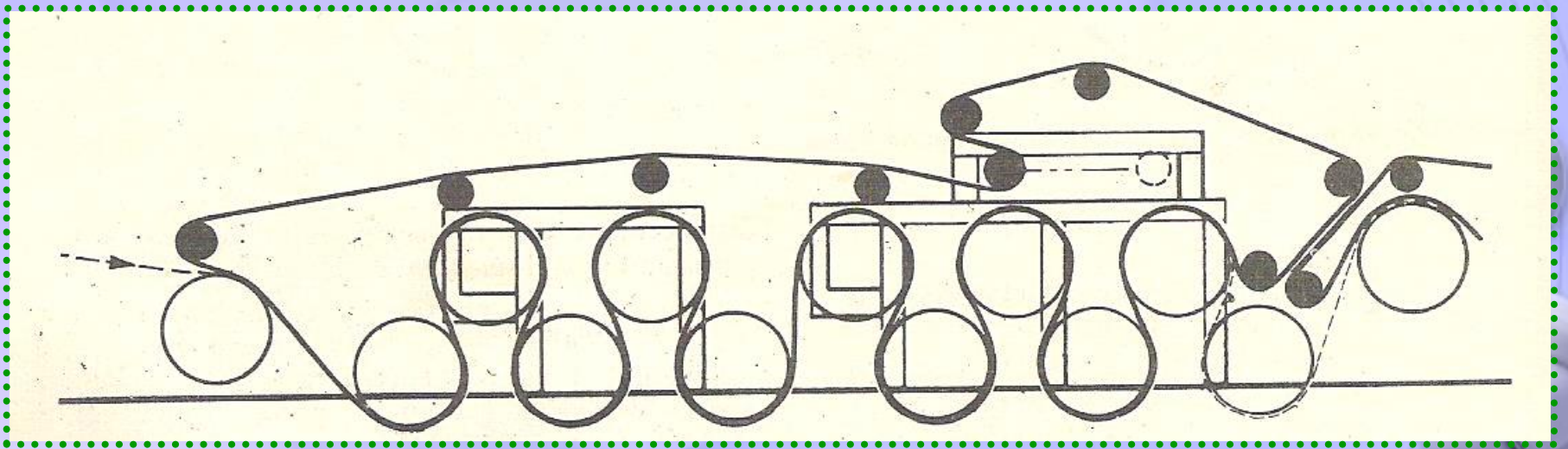
➤ 紙匹波浪

- ➔ 在合成帆布引進後，透氣度提高，有助於通風效率，但是在薄磅紙高速紙機時，氣流受到劇烈擾動，紙匹會相對形成波浪問題。
- ➔ 紙匹波浪問題導致在特定位置，必須慎選帆布。一些可控制透氣度的帆布亦同步應用。

➤ 紙匹波浪

- ➔ 克服紙匹波浪的問題：改變汽袋外型，使用汽刮刀
- ➔ 最常被使用的為在第一群烘缸使用彎曲帆布 (Serpentine Felt)，因為在此部位最容易斷紙或打皺
- 彎曲帆布：由單一帆布包覆上／下組烘缸，來支撐二組烘缸間的牽紙。在下方位置，帆布在烘缸面及紙匹中間。帆布與紙匹接觸面都是一致，不會改變。

彎曲帆布設計 (Beloit Corp.)



► 烘缸罩通風

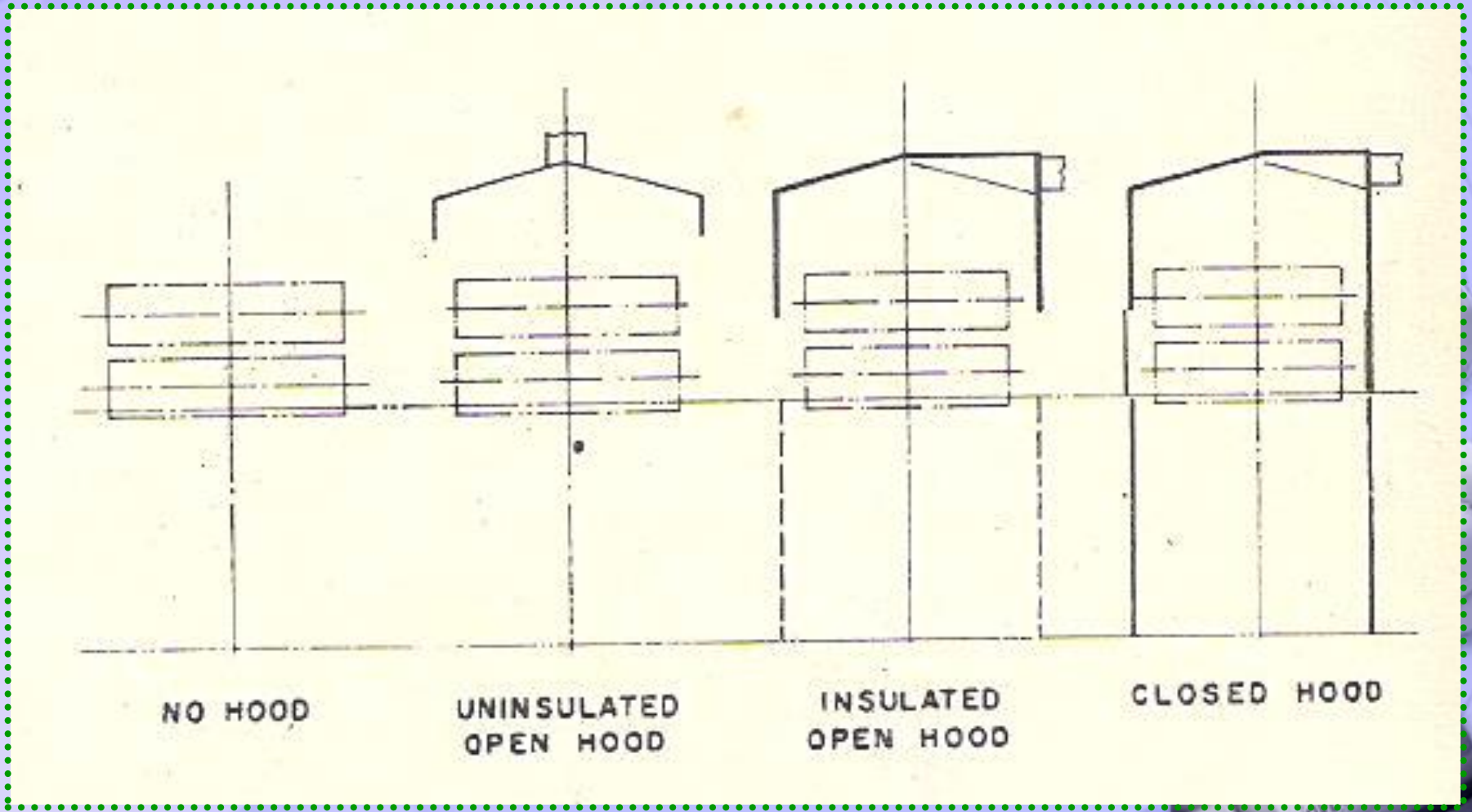
➔ 在紙匹乾燥過程中，空氣佔了非常重要的角色。

- 蒸發1 lb 的水份，需要空氣7~20 lb 。
- 空氣的供應必須足夠，以避免烘缸罩內滴水，累積及腐蝕。
- 空氣的供應必須在最具經濟效應下調控。

→ 烘缸罩的演進

- 早期只有天花板及抽風扇，所有的空氣被抽到紙機間，而無法有效利用。
- 半密閉式稍微改善。
- 全密閉式提供較佳的供應及排放控制，可使空氣亂流降至最低，以避免紙匹乾燥不均勻。
- 最新式的烘缸罩設計，稱為高露點烘缸罩，完全密閉及保溫，空氣擴散可完全避免，操作在高溫及部份回流，所需求的空氣量有效的減少。

烘缸罩的演進



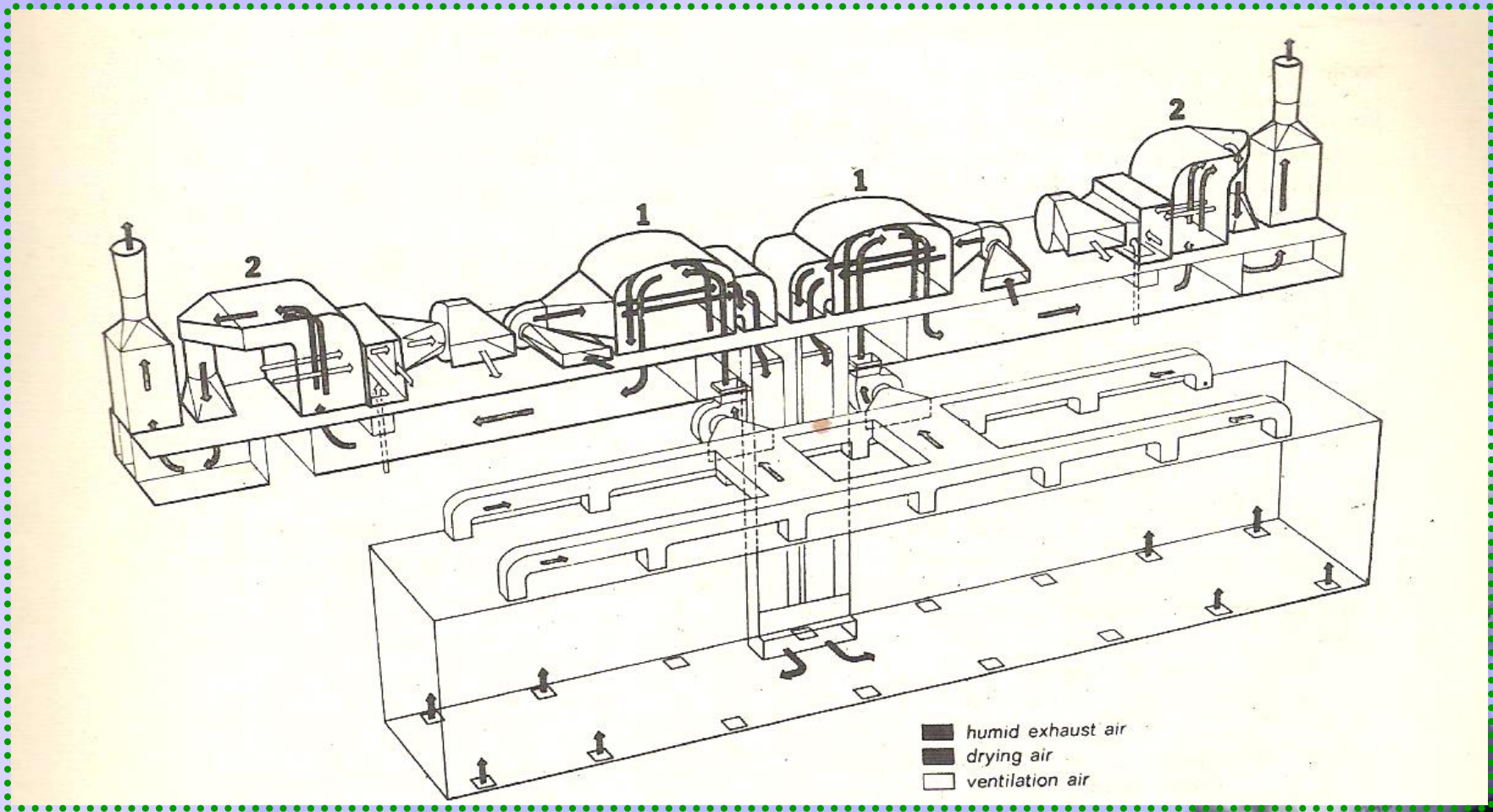
➤ 蒸汽係數及熱回收

- ➔ 所有使用在乾燥紙匹的熱量，會終結於排放空氣。
- ➔ 蒸汽係數會被使用空氣量及多少熱量可回收所影響。
- ➔ 所有現代的烘缸罩都配置有節熱氣來回收熱量。
- 空氣對空氣熱交換器，把熱且濕度高的排放空氣所含的熱量，傳送給新鮮且低溫的空氣。

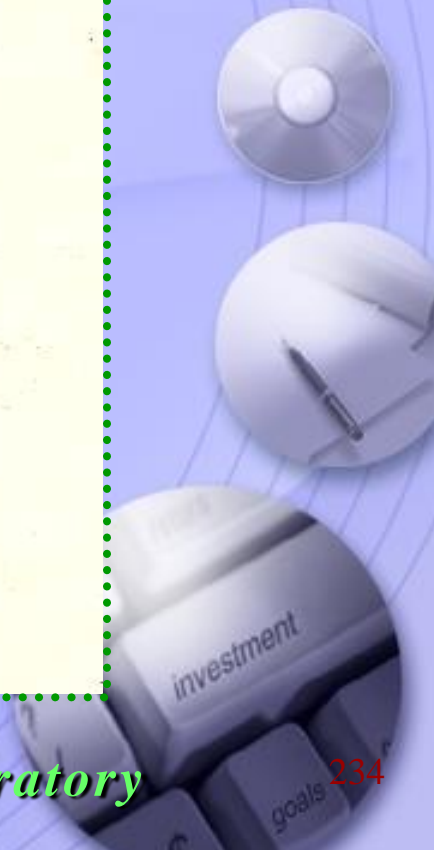
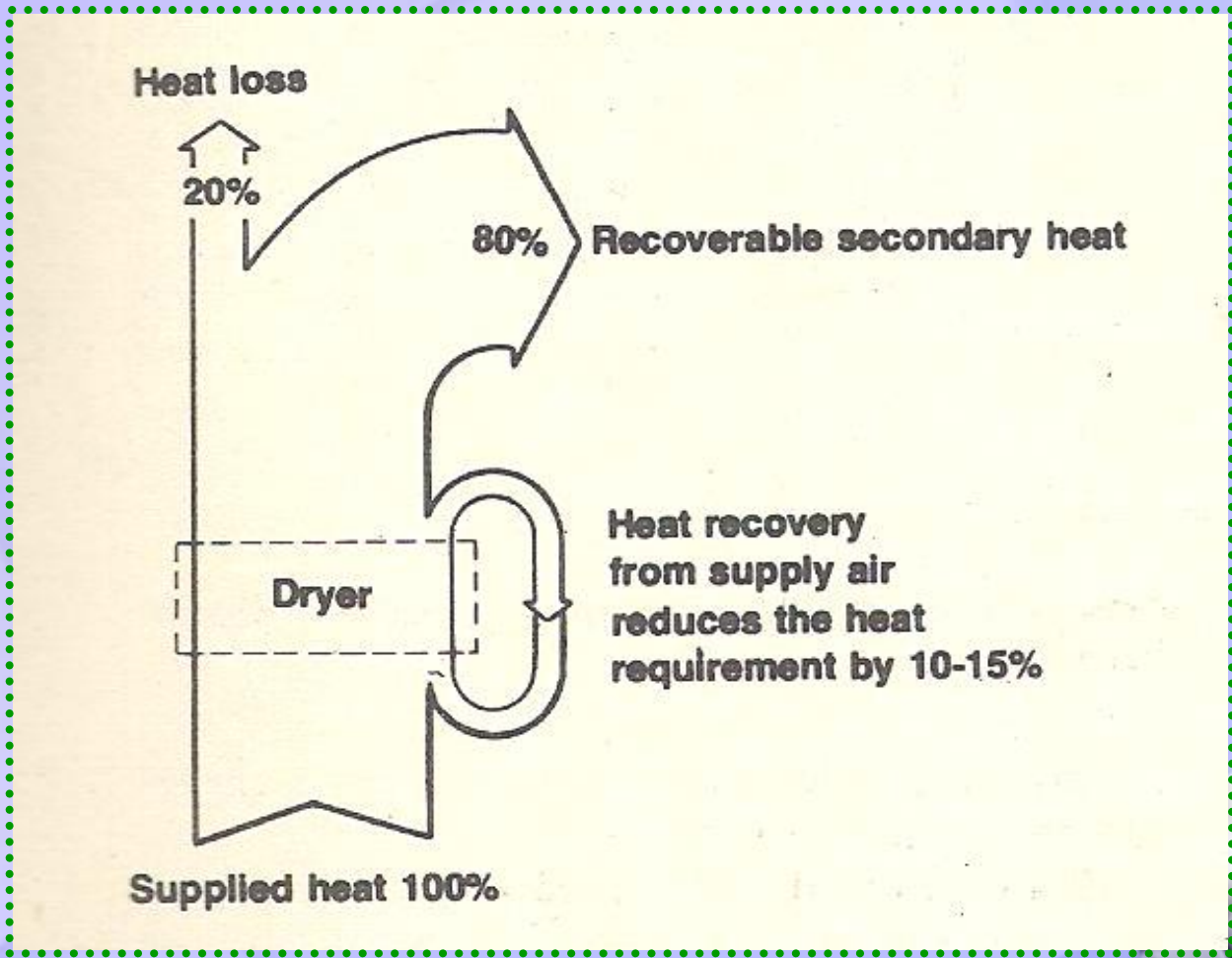
▶ 蒸汽係數及熱回收

- ➔ 蒸汽係數可藉由高露點烘缸罩，使用低空氣量及高比例的熱回收，而達到最適化。
- ➔ 在典型乾燥系統中，熱回收大概只能達到10~15%。
- 加熱清水為典型附加利用的方法，但是低程度的熱回收，並不能有效的提高蒸汽係數。

烘缸罩多配置節熱器



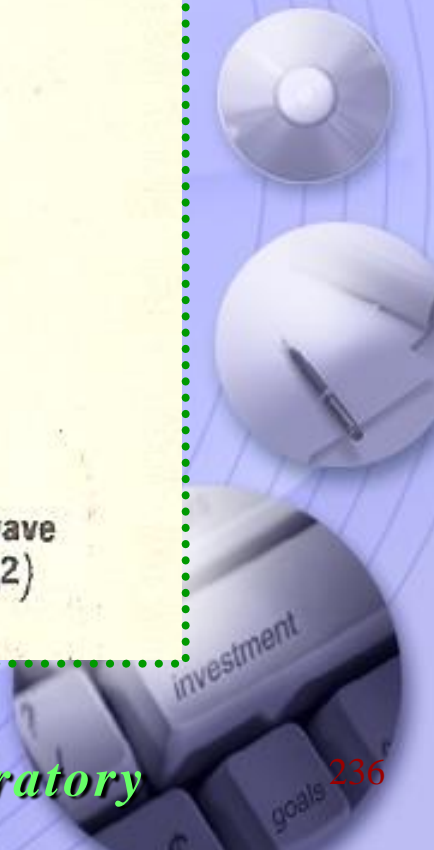
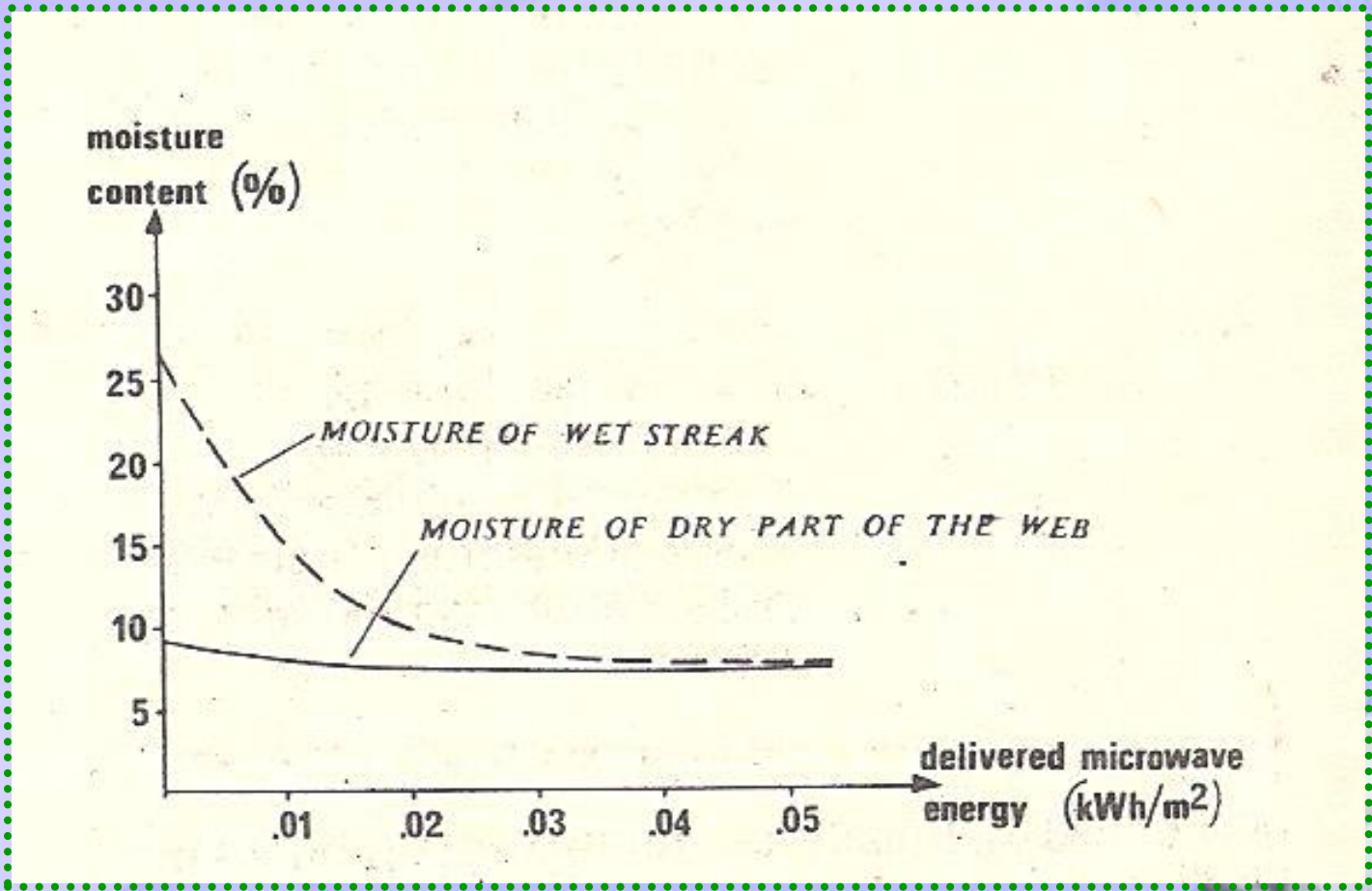
乾燥系統熱平衡圖



➤ 其他乾燥方式

- ➔ 空氣撞擊乾燥(Air Impingement Drying)。
- ➔ 紅外線乾燥(Infra-Red-Drying)。
- ➔ 空懸乾燥(Airborne Drying)。
- ➔ 氣透式乾燥(Air-Through Drying)。
- ➔ 微波乾燥(Micro Wave Drying)。
- ➔ 介電乾燥(Dielectric Drying)。

微波乾燥對濕部及乾部所需能量關係圖



二、壓光部

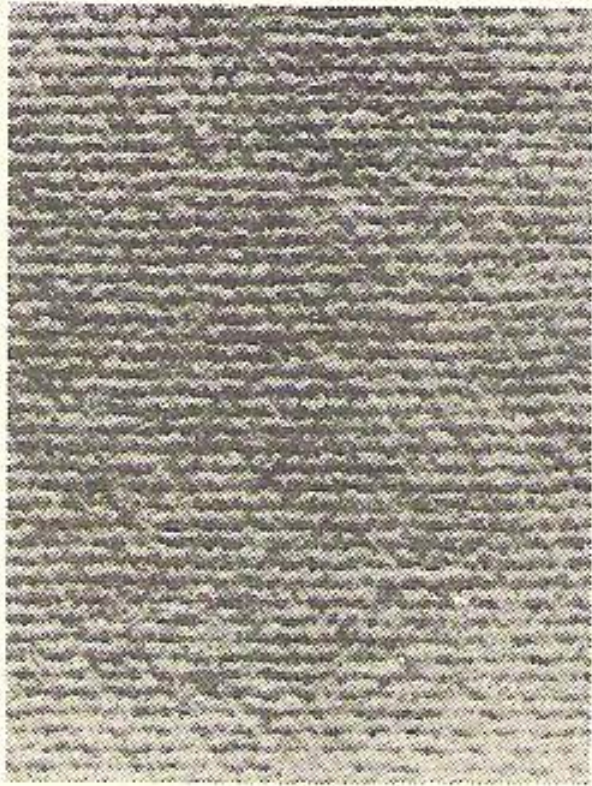
- 壓光作業：用輥來壓平紙匹的通稱。
- 紙及紙版作業有許多不同壓光方式。
 - 機上壓光(Machine)。
 - 超壓光(Super)。
 - 光澤壓光(Gloss)。
 - 雪面壓光(Matt)。
 - 摩擦壓光(Friction)。
 - 刷式壓光(Brush)。

→ 機上壓光：在機上紙匹通過一組或多組捏縫的鐵軋。

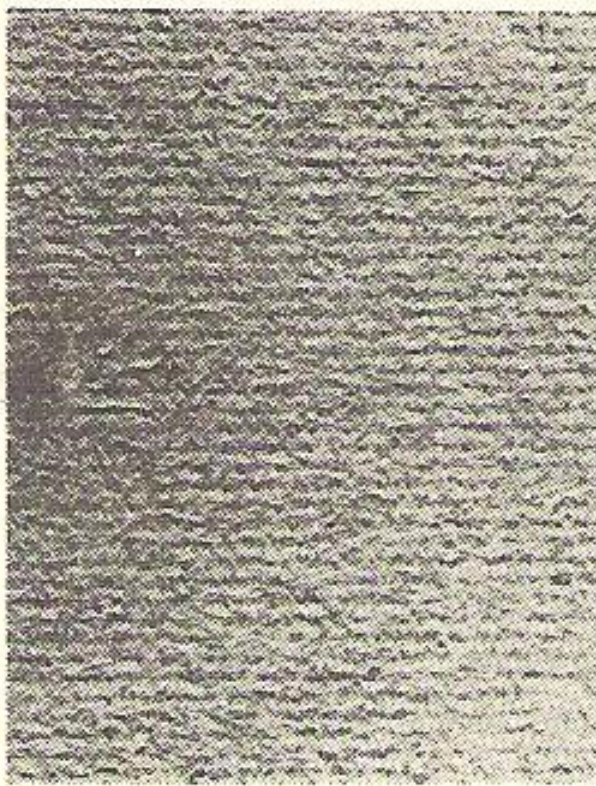
→ 機上壓光主要目的

- 降低張匹厚度致需求範圍。
- 整平厚度橫向變異。
- 改善表面性質（主要是平滑度）。
- 網痕及毯痕經過壓光作業後，很明顯被整平。

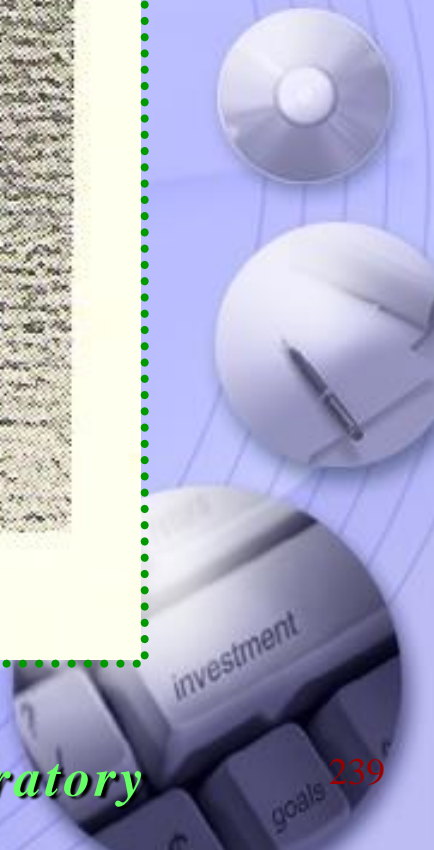
壓光前後紙面放大圖



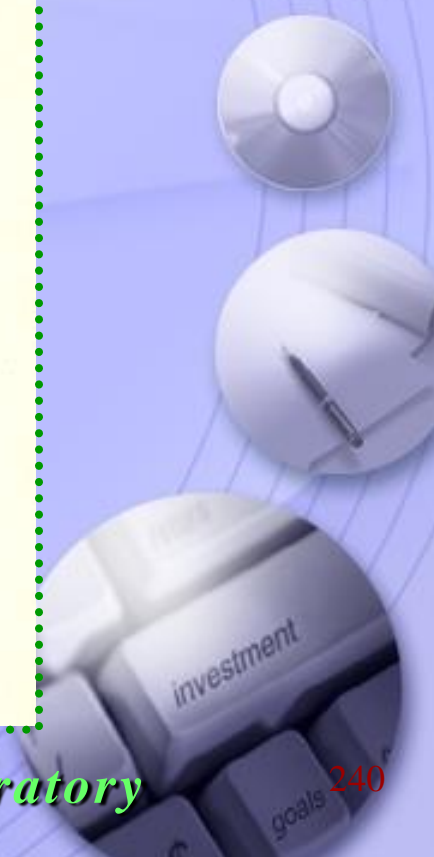
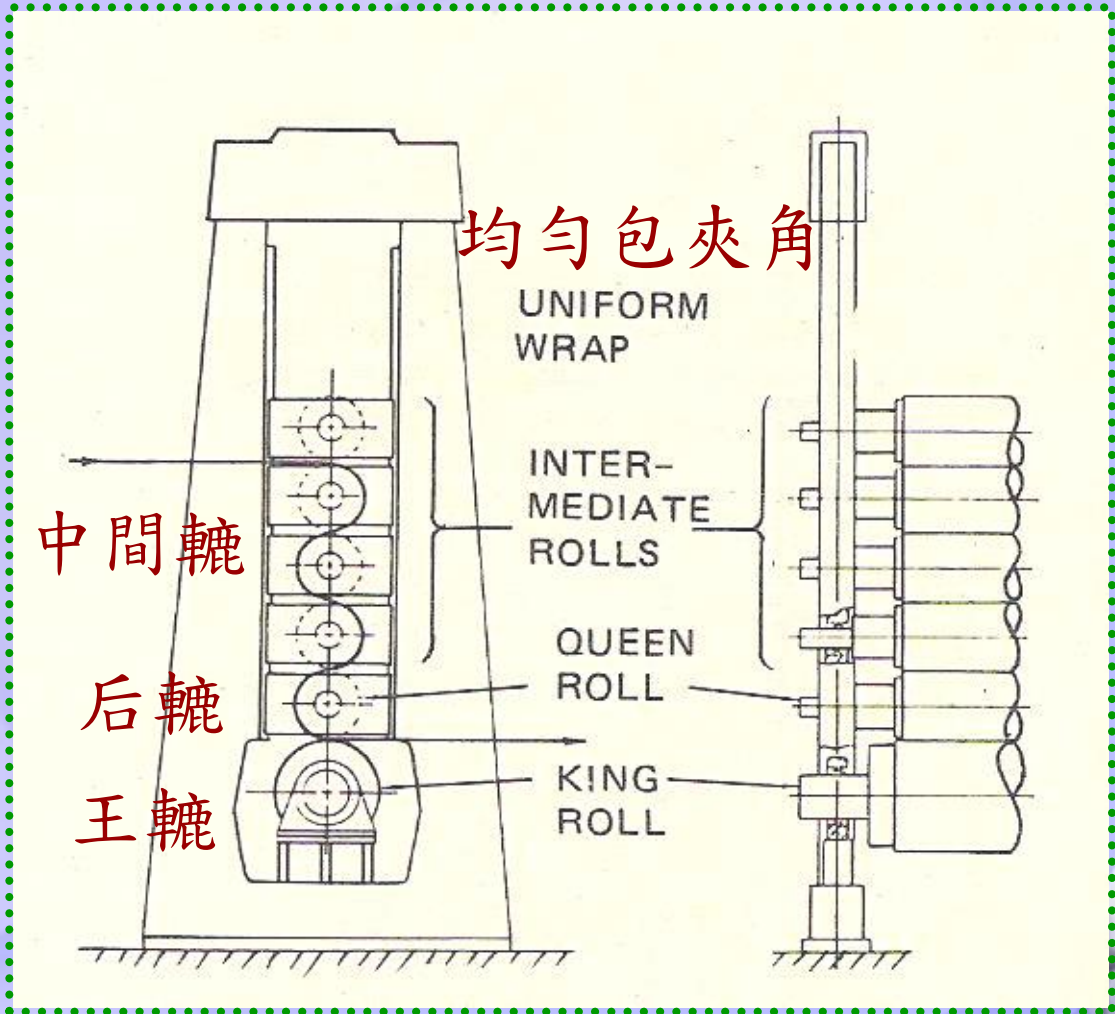
Before calendaring



After calendaring



典型機上壓光機組



→ 典型機上壓光機組

- 底輥(王輥)的輥徑最大，可能具有中高，以補償輥的彎曲效應；但是目前大部份底輥已使用可調中高輥。
- 后輥位於底輥之上，輥徑僅小於底輥，可能具有中高。
- 底輥及后輥配置有傳動，其他則經由摩擦帶動。
- 其餘的輥經由表面冷作處理，通常為平輥，不具中高。

➔ 典型機上壓光組(續)

- 依據加工的需求，每組有1~7支輥。
- 抄紙機典型使用1~3組壓光輥。
- 輥自重可能足夠提供所需的捏縫壓力或是需另外加壓。
- 線壓解除裝置利用來調整軸承及兩端的受力，以得到較均勻的線壓分佈。

→ 溫度在壓光作業為另一重要變數

- 大部份的壓光組配置有1~2控制溫度輥。
- 輥加熱主要的方法為在輥中間通蒸汽，常受到加熱的均勻性及程度所限制。
- 利用熱水通過設計的孔槽來控制。
- 冷空氣在一或二支壓光輥上，利用歧管來控制橫向分佈，冷空氣可以帶走因不平點（較高部份）摩擦所產生的熱，而得到較平整的線壓。
- 利用熱空氣或摩擦墊來膨脹較低點，雖然膨脹及收縮非常細緻，但是足夠改善厚度橫向分佈。

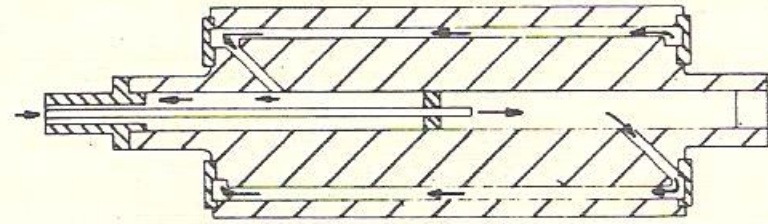
➔ 壓光部的趨勢為較少捏縫組及高捏縫壓力

- 固定后輓壓光可在上端及底端加壓，依需求可經過一道捏縫或三到捏縫。

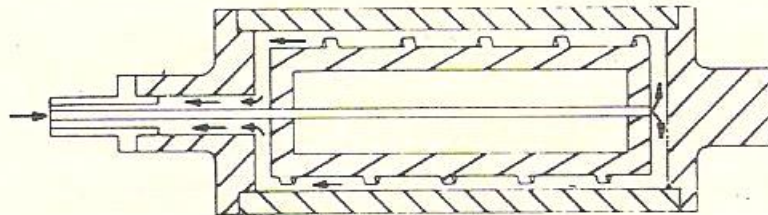
➤ 壓光過程的變化

- ➔ 早期，認為滑移為壓光過程重要的機構，但是經過精密的量測顯示兩輥間的滑移效應可以忽略。
- ➔ 今日可接受的說法為壓力及產生壓縮時受壓的時間為紙變形主要機構，此觀念導引出單捏縫的發展。

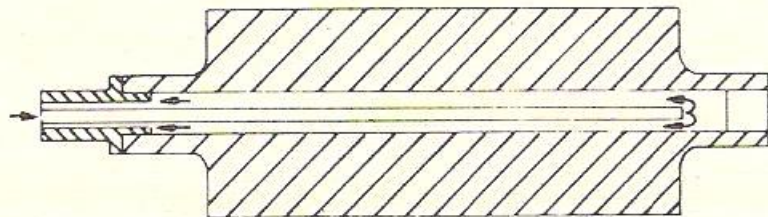
三種不同設計控制溫度輥



TRI-PASS DRILLED ROLL
MOST EFFICIENT



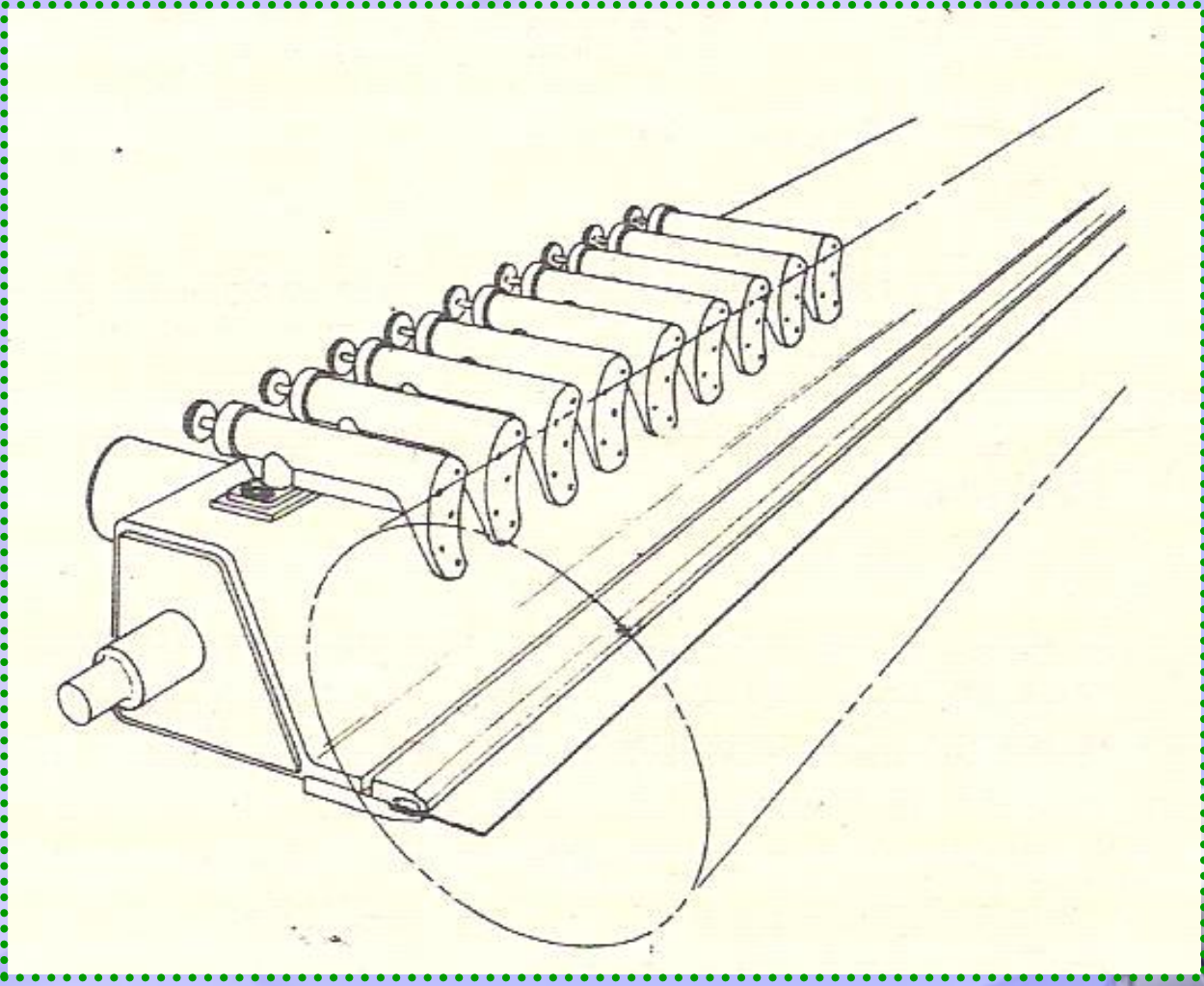
SHELL ROLL
EFFICIENT



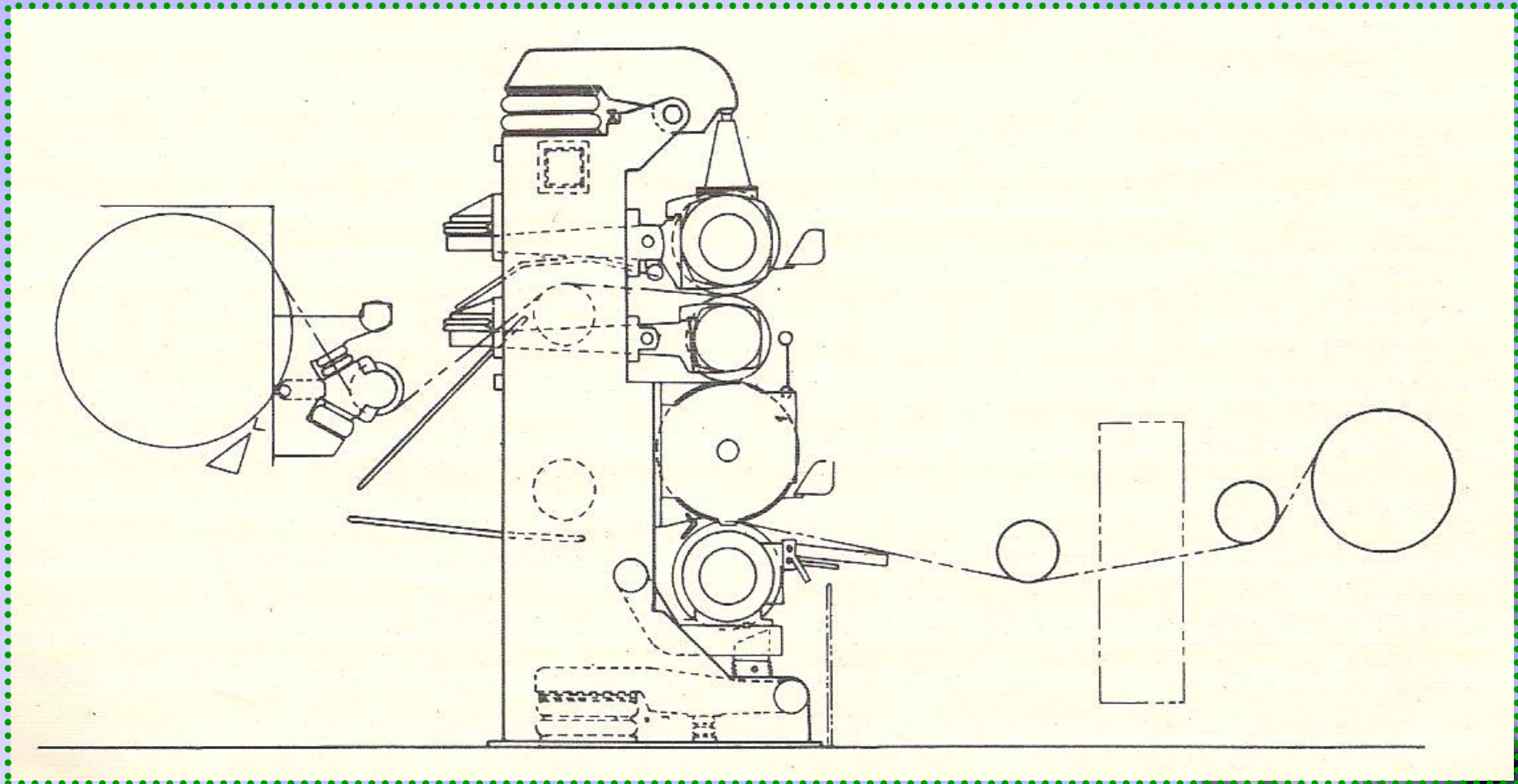
BORED ROLL
LEAST EFFICIENT



冷空氣利用歧管來控制橫向分佈



固定后軋壓光機組



➔ 紙匹中的水份對於紙匹壓縮性有極大的影響

- 紙匹通過在乾燥部的末端的冷缸，其中水份冷凝而傳送至紙表面。
- 蒸汽噴淋管有時使用來增加表面水份含量。
- 對於紙板而言，在進入第一組壓光捏縫前，利用水箱或水刮刀來增濕。
- 利用一對或一小組輥在兩群烘缸之間，提供較高濕度的壓光，稱為壓平輥(Breaker Stack)

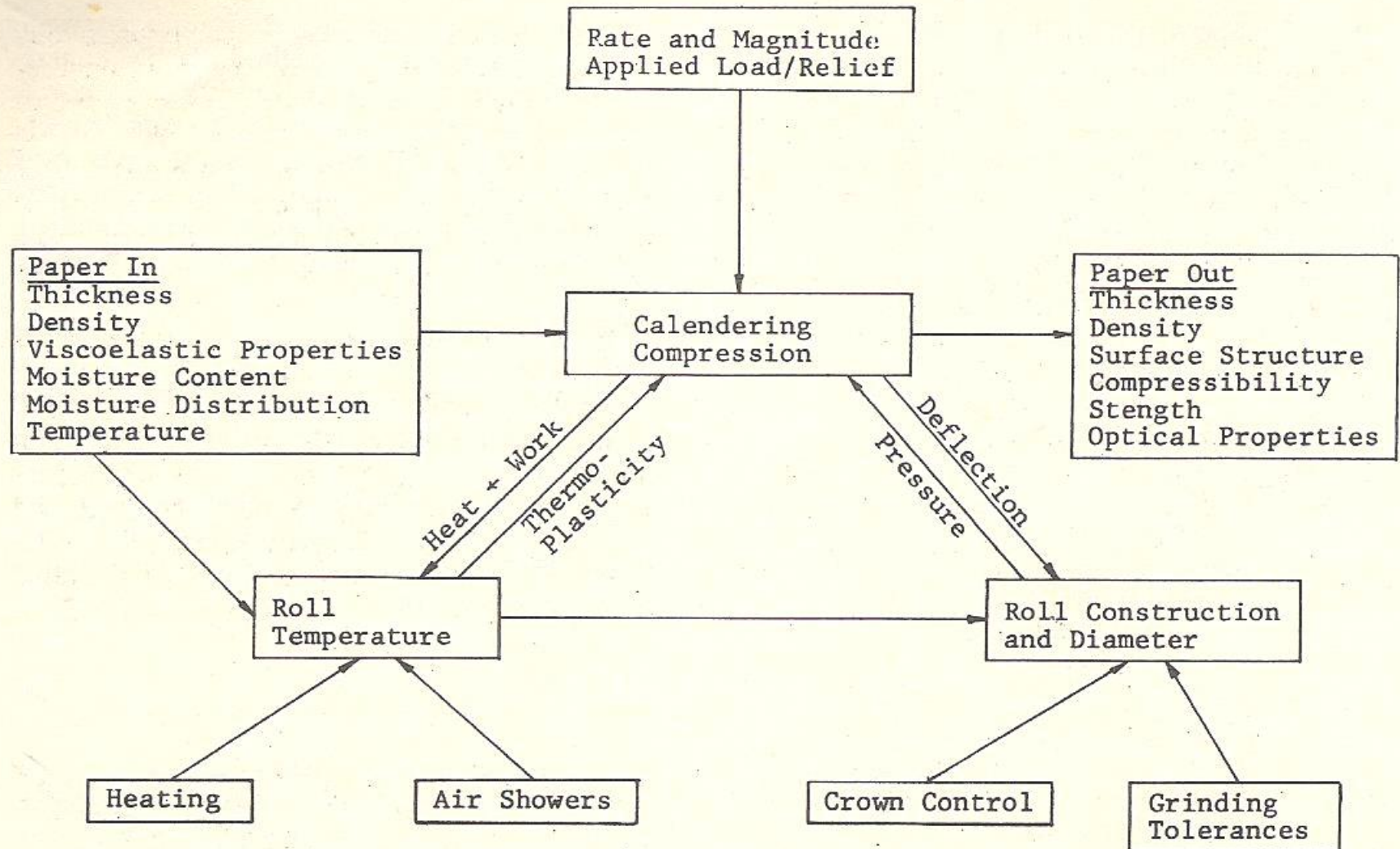
→ 在壓光過程中，紙匹厚度下降及表面平滑是互相影響的，跟捏縫壓力、滯留時間及捏縫數有關。

- 捏縫壓力及滯留時間跟輻徑及受力有關。
- 一般而言，厚度及平滑度很難分開控制。

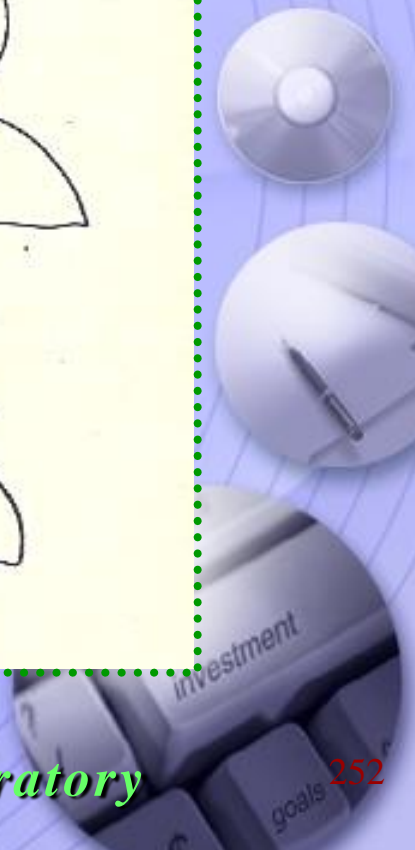
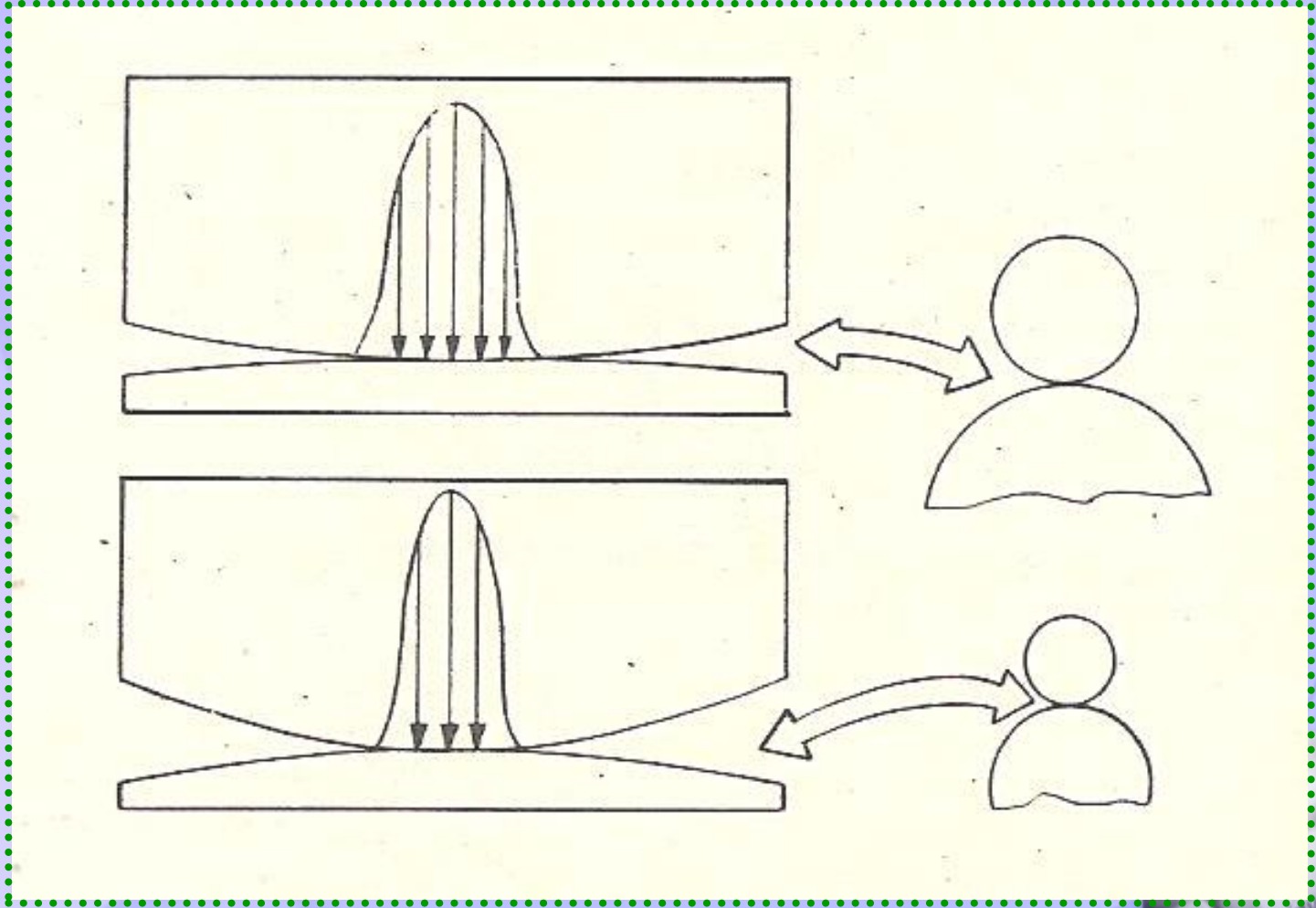
→ 溫度對於平滑度較有影響。

→ 平滑度跟輻面的表面處理有關。

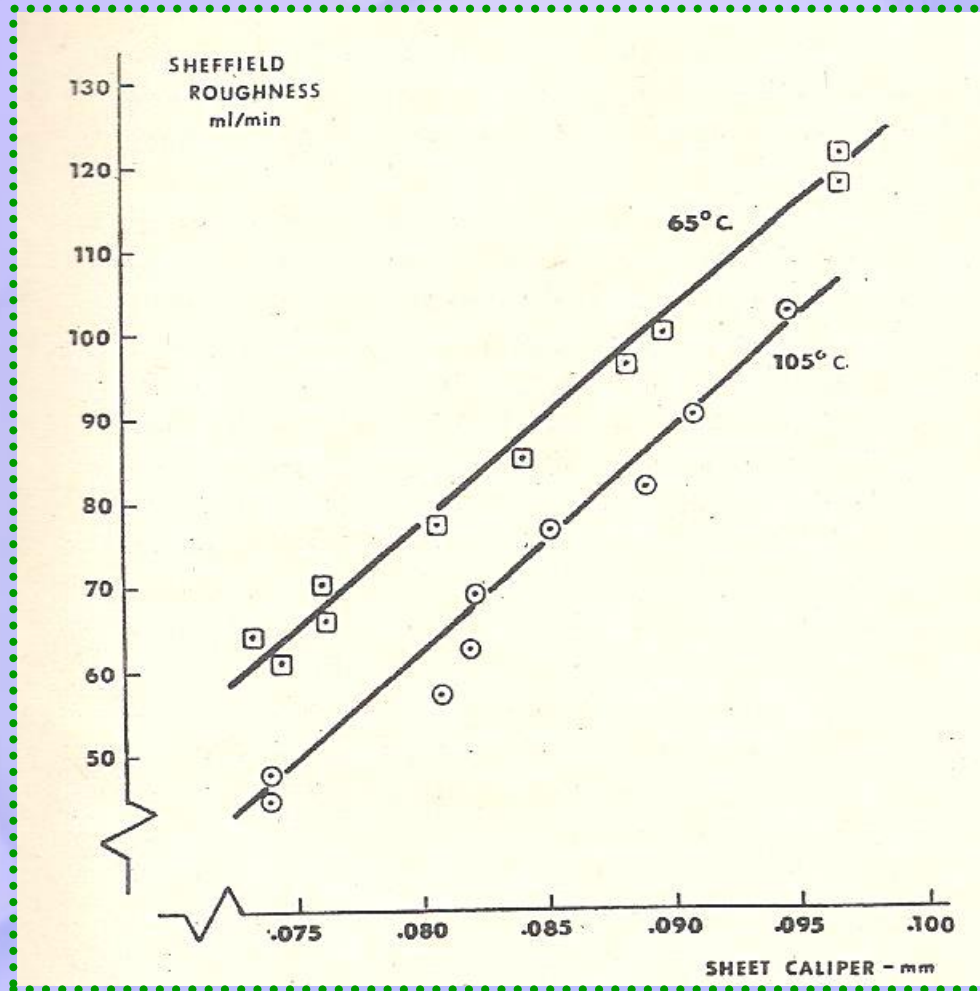
紙匹變數及壓光變數的相互影響



輻徑對捏縫壓力分佈的影響



捏縫溫度對厚度及平滑度的影響



三、捲紙

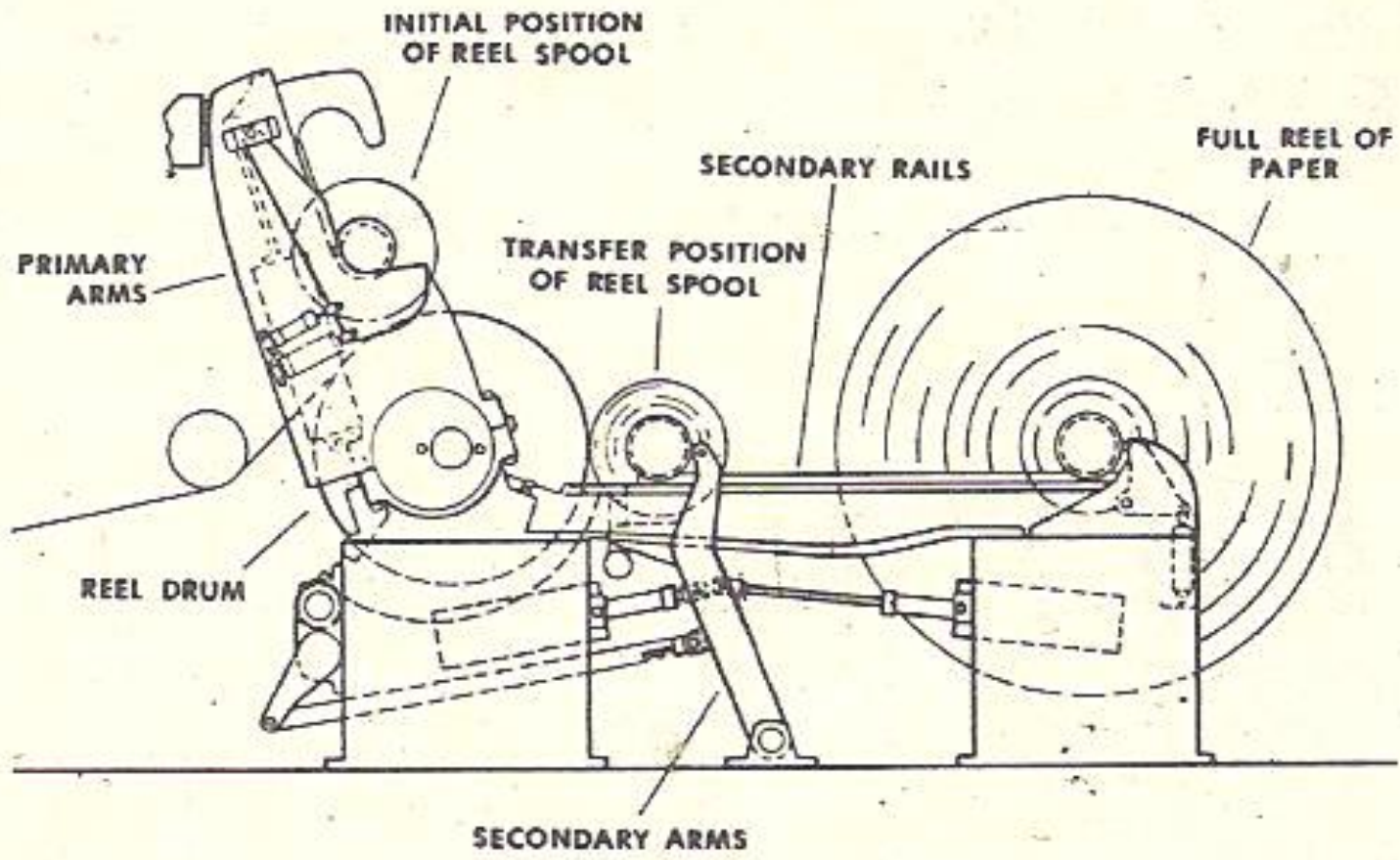
- 在乾燥部及壓光部作業後，紙匹必須以簡便的方式收集整理，以作為下一步加工用。
- 大部份的紙機配置有初捲機設備來收集紙匹。
- 在紙捲形成過程中，任何明顯厚度或密度的橫向變化，當看紙工用手或木棒敲打紙面時，很容易觀察得到。

→ 矯正措施

- 調整唇板。
- 變化壓水輥中高。
- 去除壓水毛毯的條痕。
- 乾燥部的水份分佈調整。
- 最直接的變化壓光輥的冷空氣量。

→ 目前捲紙分佈的檢測儀器，可以顯示濕度、基重、厚度及紙捲硬度分佈，可以直接明確的協助操作員研判不均勻分佈的來源，進而迅速進行矯正行動。

初捲機示意圖 (Beloit Corp.)

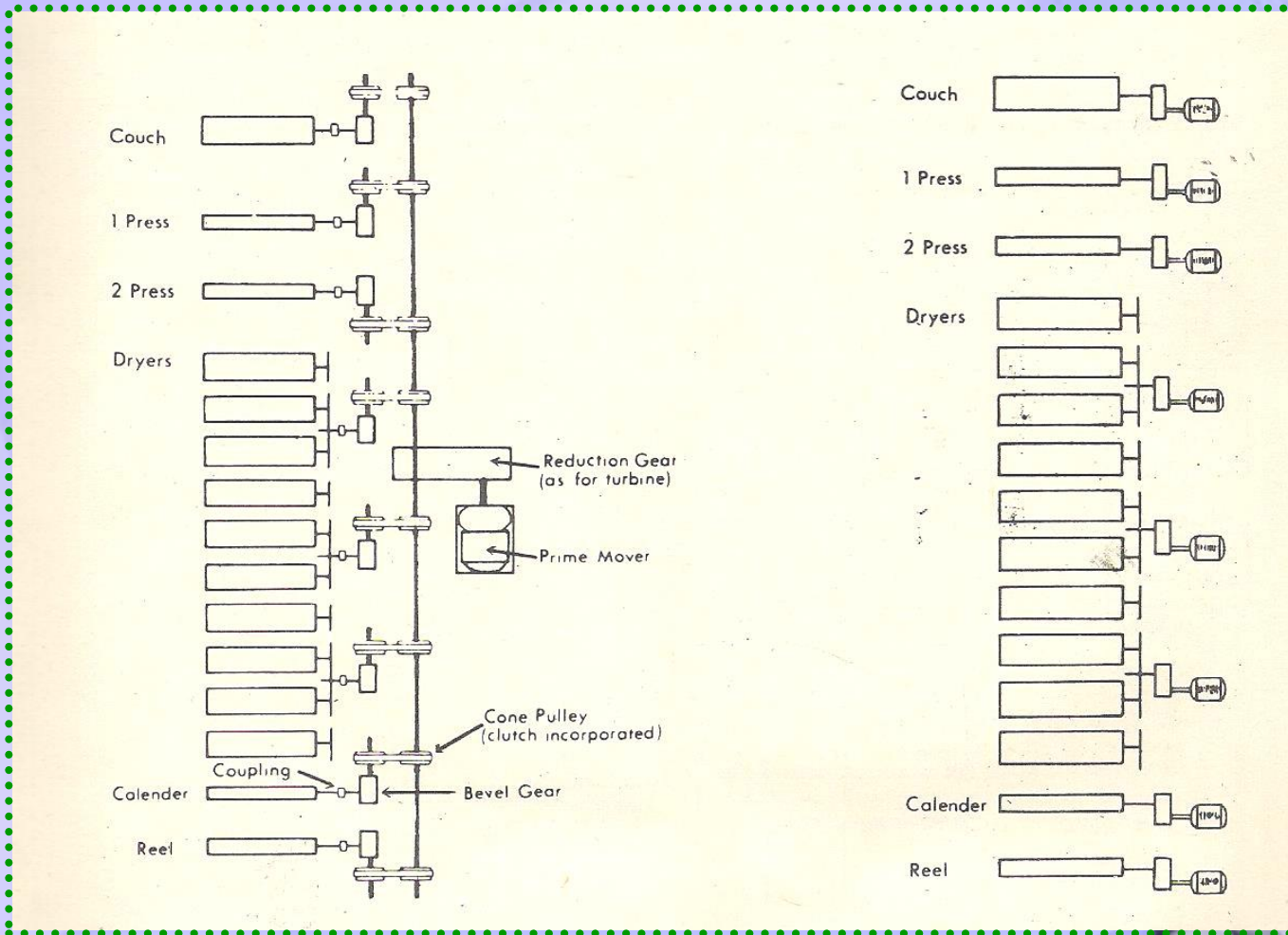


四、紙機傳動

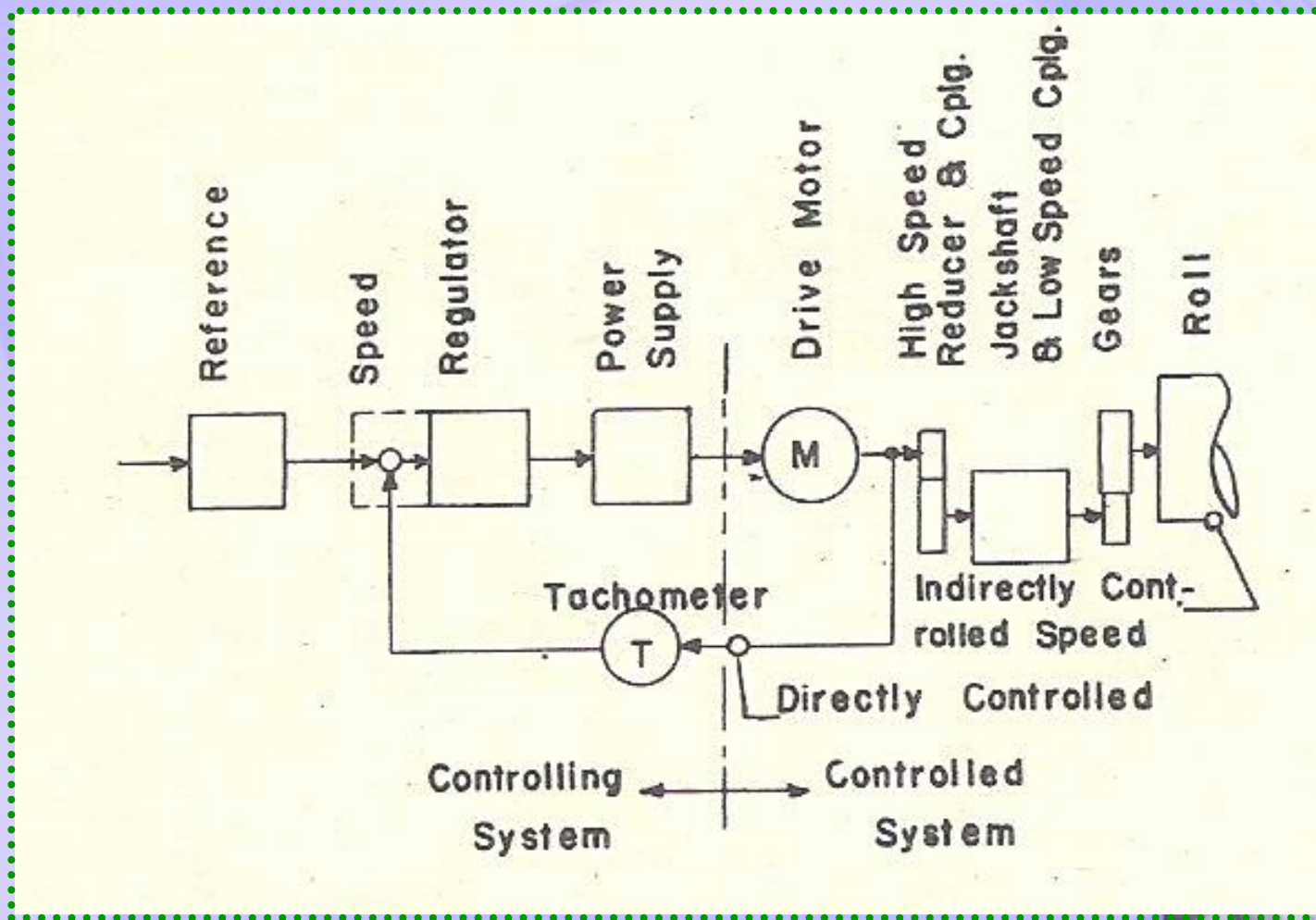
- ➔ 紙機傳動系統必須有能力各別控制各段的速度在極大的速度範圍及在很窄的控制範圍。
- ➔ 在紙匹通紙時，必須施加部份程度的張力來拉紙。假如不能適時修正各段的速度，將會把紙匹拉斷及產生積紙。

- 機械式傳動系統全紙機利用單一馬達或是汽渦輪，由線軸帶動。各段的內傳動則利用機械方式來調整速度。在固定比例傳動，線軸通過齒輪單元，因此各段的速度調整則利用齒輪結合。在汽渦輪系統，低壓排放蒸汽可以利用在烘缸。
- 各段式電子傳動系統，通常由一系列的DC馬達，各段可以獨立操作在需求的速度。各段基本的控制單元有馬達電源(例如閘流子，Thyristor)，速度回饋速度計及調整器。

機械式傳動及分段式電子傳動



典型傳動系統





謝謝



指導

