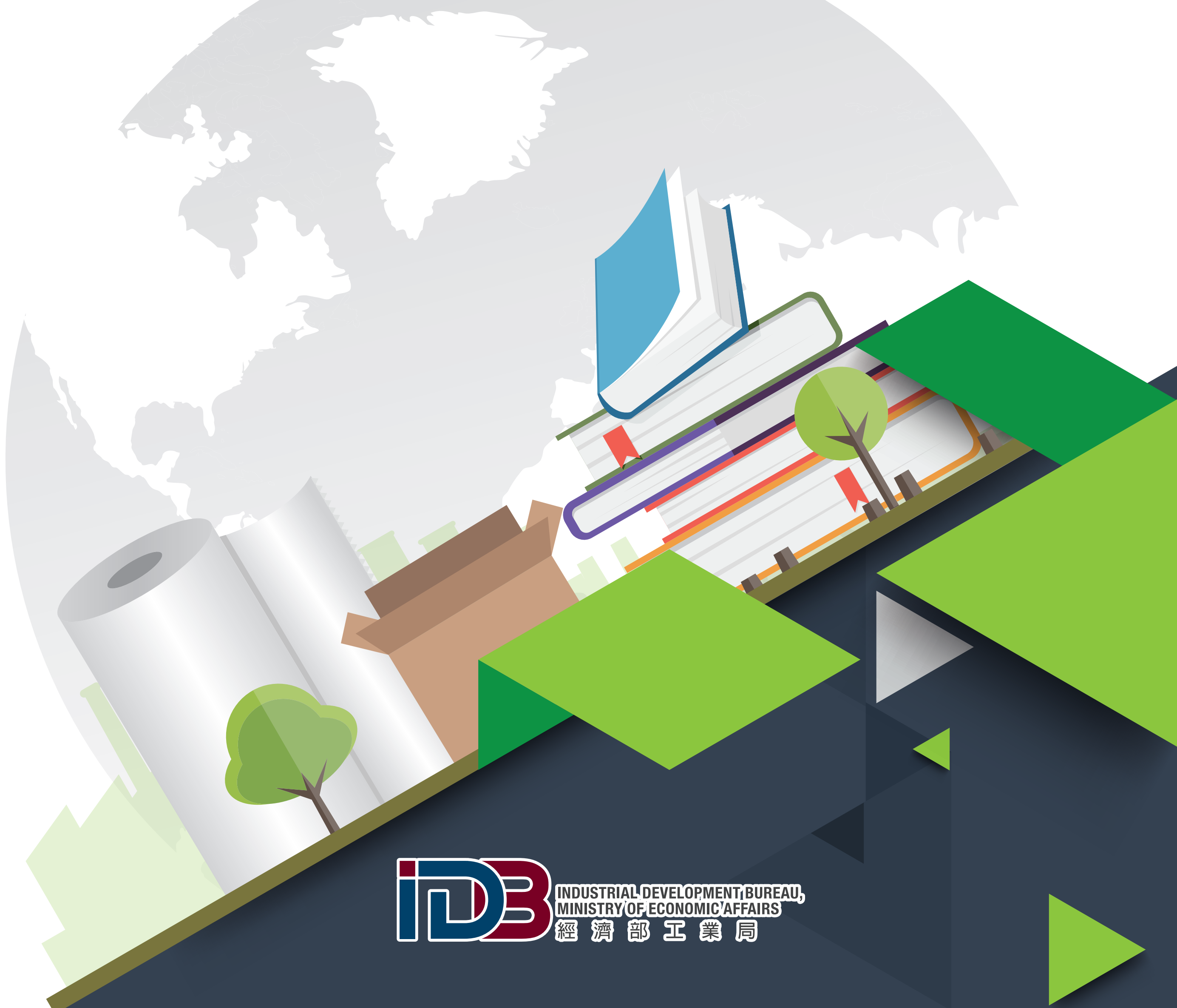
經濟部

造紙業
低碳製程技術彙編



INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經濟部工業局

造紙業
低碳製程技術彙編

經濟部工業局 編印

中華民國一〇九年十一月

圖目錄

表目錄

造紙業 低碳製程技術彙編

一、前言

一、前言

《溫室氣體減量及管理法》已於民國 104 年 7 月 1 日總統令公布施行，明定「國家溫室氣體長期減量目標為民國 139 年溫室氣體排放量降為民國 94 年溫室氣體排放量百分之五十以下。」及以 5 年為一期的階段管制目標。同年，行政院核定我國「國家自定預期貢獻」（Intended Nationally Determined Contribution, INDC）書，揭示我國 INDC 設定民國 119 年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境（Business as Usual, BAU）減量 50%，該目標相當於民國 94 年排放量再減 20%，亦為前述溫管法要求的階段性目標「在民國 139 年降至民國 94 年排放量 50% 以下」之重要參考。依據行政院環境保護署「2019 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」顯示，在民國 79 至 106 年間，工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量已增加 40.62%，年平均成長率 1.27%，顯示製造部門之溫室氣體排放量有逐年成長趨勢，預期未來所面臨減碳要求及壓力亦將與日俱增。

經濟部工業局為協助產業落實減碳工作，輔導企業低碳升級轉型與永續發展，期能協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，以確保產業競爭力。由於製程技術或設備導入須考量之因素眾多，為協助工廠順利進行低碳製程新技術或設備導入之前期規劃，遂著手辦理「低碳製程技術彙編」，藉由各產業專家所建議低碳製程技術設備之技術介紹及實務案例，以協助企業排除技術篩選之困擾與障礙，順利導入低碳生產製程技術。

本彙編針對造紙產業鏈中造成溫室氣體排放量比重高之製程，彙集收錄相關低碳技術及實務案例，皆為產業先進經實際應用所得出之寶貴經驗，惟參採時仍須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面及工程層面上，選用時宜多加評估各方面之可行性。

二、產業特性與發展趨勢

二、產業特性與發展趨勢

2.1 產業簡介

1. 造紙產業概況

造紙業是循環利用自然資源的綠色產業，也是民生不可或缺的基礎工業。台灣造紙業的發展，自台灣區造紙工業同業公會 1947 年成立時的 20 家會員廠，至最興盛時期達到 168 家會員廠，近年來則受到全球環境變遷與國內經營環境變遷、產業結構調整之影響，會員廠數持續下滑，到 2020 年 6 月時會員數為 72 廠 (以公司計則為 62 家)。

造紙業公司規模懸殊很大，大多屬中小型企業。72 家會員紙廠大部分集中於台灣西部的桃園、苗栗、彰化以及台中，計有 35 家廠；其次為台南、高雄及南投等縣市的 22 家；東部地區宜蘭、花蓮及台東縣則有 4 家；其餘 11 家則分散於台灣各縣市，僅澎湖縣無紙廠的設立。產品則包括紙漿、文化用紙、家庭用紙、紙箱用紙、白紙板、灰紙板、包裝用紙、紙袋、棉宣紙與敬神紙等。

2. 產銷情形

(1)紙與紙板產銷

2019 年造紙業紙與紙板總生產量為 424.9 萬公噸，如表 2.1-1 所示，較 2018 年減少 0.1%。整體造紙業仍維持前一年度生產量能，其中紙張生產量 80.3 萬公噸，較前一年度生產量減少 8.9%；紙板年產量為 344.6 萬公噸，較前一年度增加 2.2%。

從產量結構來看，紙張與紙板差距趨勢逐年顯著。2019 年紙張生產佔總生產量 18.9%，首度跌到二成以下。反觀紙板生產佔總生產量 81.1%，產量與佔比雙雙創下歷史新高。

2019 年紙張與紙板總銷售量 425.9 萬公噸，比 2018 年增加 0.4%。內

銷量為 275.5 萬公噸，減少 1.5%，外銷量 150.4 萬公噸，增加 4%。以紙種來看，紙張內外銷與前一年相比分別降減 9.3% 及 0.4%，反之紙板市場動能活絡，內外銷與 2018 年相比各增加 0.9% 及 4.8%。至於外銷地區，紙張和紙板最大出口國皆是中國大陸。

綜括 2019 年台灣紙張與紙板總消費量為 429.2 萬公噸，比 2018 年減少 1.2%。其中紙張 161.9 萬公噸，減少 7.9%，紙板 267.3 萬公噸，增加 3.3%。每人年平均用紙量下降至 181.2 公斤。

表 2.1-1 造紙產業 1970-2019 年產銷統計表

單位：公噸

年度	生產量	外銷量	進口量	消費量 *
'70	410,227	19,775	34,282	424,734
'80	1,479,296	154,347	89,445	1,414,394
'90	3,336,814	552,148	587,795	3,372,461
'10	4,069,074	1,202,393	1,505,121	4,371,802
'11	4,138,505	1,262,841	1,548,095	4,423,759
'12	4,229,391	1,368,739	1,543,896	4,404,548
'13	4,155,831	1,358,023	1,531,498	4,329,306
'14	4,178,449	1,342,342	1,541,572	4,377,679
'15	3,857,639	1,088,135	1,497,364	4,266,868
'16	3,937,591	1,253,320	1,524,118	4,208,389
'17	4,024,251	1,415,782	1,553,294	4,161,763
'18	4,253,598	1,446,479	1,536,871	4,343,990
'19	4,248,510	1,504,254	1,547,305	4,291,561

* 消費量 = 生產量 - 外銷量 + 進口量

資料來源：台灣區造紙工業同業公會，台灣造紙工業統計，2020 年

(2)原料產銷

2019 年台灣原生紙漿消費量為 93 萬公噸，其中國內生產量為 23 萬公噸，進口量 70.5 萬公噸，出口量則為 0.58 萬公噸。回收紙 2019 年消費量達 404.1 萬公噸，其中 67.3% 也就是 272 萬公噸來自國內回收紙，其餘 132.1 萬公噸則仰賴進口。相關統計如表 2.1-2 所示。

表 2.1-2 1990-2019 年回收紙消費量統計表

單位：公噸

年度	進口				國內收集量	出口	消費量
	美洲	日本	其他地區	合計			
'90	1,209,025	197	110,521	1,319,743	2,083,000		3,402,743
'10	290,305	123,375	148,727	562,407	2,921,000	63,674	3,483,407
'11	294,053	181,069	125,921	601,043	2,941,000	65,511	3,542,043
'12	317,924	241,758	271,194	830,876	2,890,000	71,230	3,720,876
'13	301,733	292,811	176,414	770,958	2,970,000	65,786	3,740,958
'14	302,129	319,596	140,695	762,420	3,010,000	81,884	3,772,420
'15	253,022	218,558	77,883	549,463	2,930,000	106,417	3,479,463
'16	275,145	239,979	193,685	708,809	2,880,000	116,997	3,588,809
'17	354,557	372,353	396,680	1,123,590	2,410,000	135,645	3,533,590
'18	681,962	198,396	384,457	1,264,815	2,690,000	168,103	3,954,815
'19	785,466	291,530	243,613	1,320,609	2,720,000	121,469	4,040,609

註：1. 消費量 = 進口量 + 國內收集量
2. 回收紙進口量係依據造紙公會會員廠進口回收紙放行統計
3. 國內回收紙收集量係以會員廠購入國內回收紙之統計量
4. 出口量係依據海關之出口統計

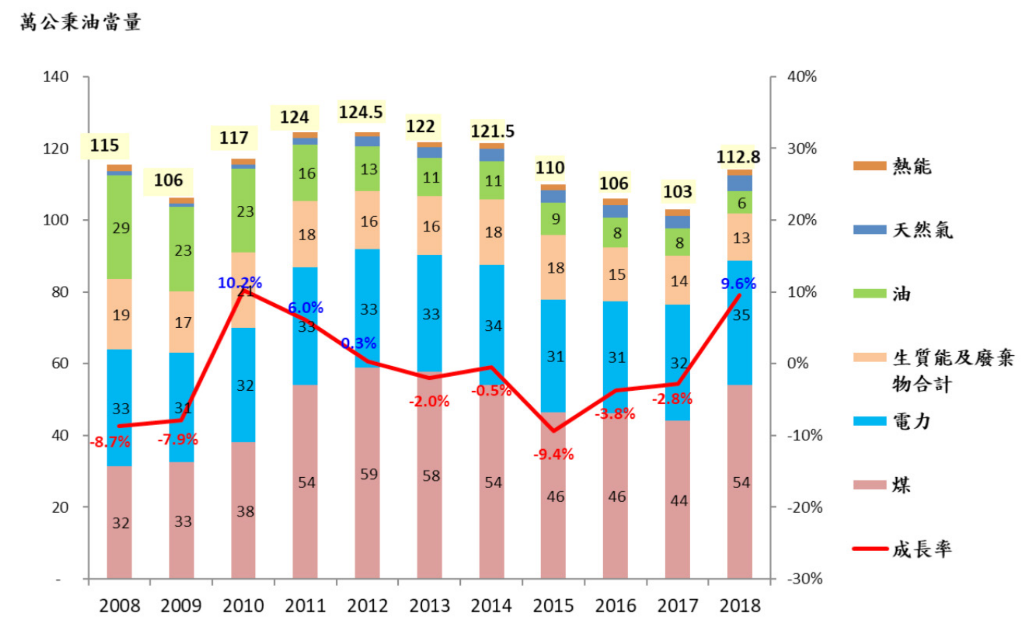
資料來源：台灣區造紙工業同業公會，台灣造紙工業統計，2020 年

造紙回收原料正確分類攸關製程餘料(廢棄物)處理費用及產程能耗管理，為提升國內回收紙分類品質並積極將廢棄物從源頭減量，造紙公會協同會員廠積極落實回收紙驗收分類標準，特別是環保署公告應回收項目之紙容器，由於多有塗佈塑膠淋膜，送至紙廠將成為廢棄物，應交由專責之回收、處理業者，才是正確的回收做法。

台灣回收紙回收率為 66.2%、利用率則為 78.1%，如以國際算法之利用率(回收紙消費量 / 紙與紙板生產量)計算則為 95.1%，全球排名名列前茅。台灣造紙業持續努力善用回收紙再生，轉化廢棄物為資源，對於友善環境帶來了極大貢獻。

3. 產業能源結構及能源效率

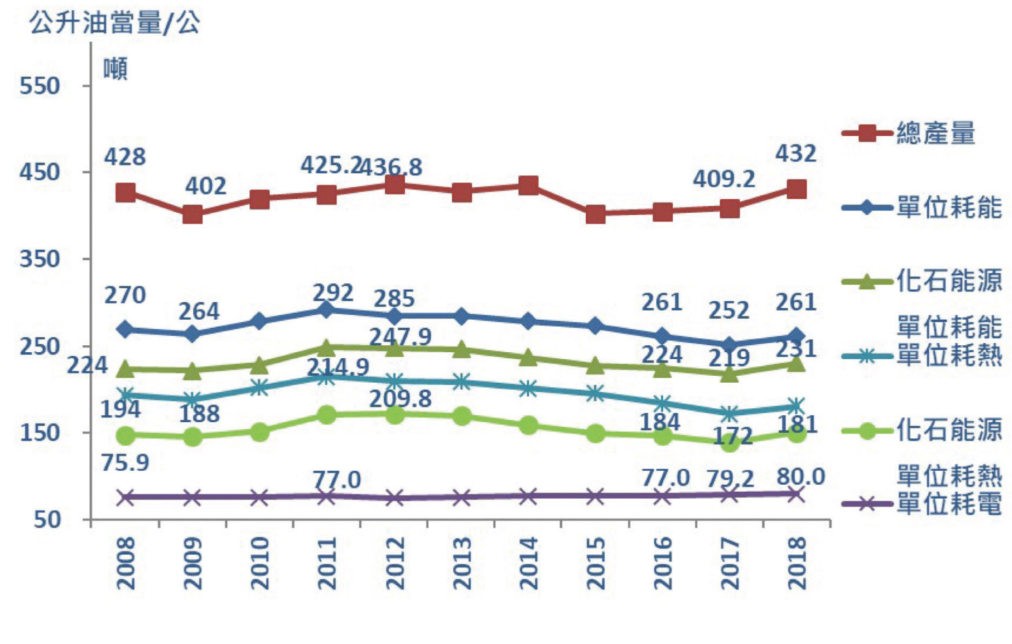
依工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫 108 年度執行報告統計分析，2018 年造紙業能源消費量為 112.8 萬公秉油當量，較 2017 年增加 9.6%。近五年 (2013-2018) 能源消費量逐年減少，年均減少 1.6%；其中 2015 年因產量大幅減少 7.5%，及在廠商致力節能下，能源消費量減少幅度擴大至 9.4%，2016 年及 2017 年分別減少 3.8% 及 2.8%，2018 年隨著經濟成長產量增加 5.5% 及新機與汽電共生廠試運轉能源消費增加 9.6%，詳如圖 2.1-1 所示。



資料來源：經濟部能源局，108 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，2020 年

圖 2.1-1 造紙業能源消費趨勢圖

以紙業整體單位產品耗能來看，近 10 年單位產品耗能從 2008 年 270 公升油當量 / 公噸下降至 2018 年 261 公升油當量 / 公噸，區間單耗降幅為 3%，複合年均降幅僅為 0.3%。若將單位產品耗能區分為單位產品耗電及單位耗熱來觀察，單位噸紙耗電從 2008 年每噸 75.9 公升油當量，增加至 2018 年每噸 80 公升油當量，此因為新紙機設備增加靴式壓水設備會增加電力，但更節省熱能。單位耗熱從 2008 年每噸 193.6 公升油當量，下降至 2018 年每噸 181.4 公升油當量。由此可見我國紙業單位耗能下降主要受到單位耗熱的減少，此與國際紙業節能技術主要在熱能節約有關。近年來廠商因應 104-108 年平均需達節電 1% 政策，致力於節電及熱能投資，然而造紙業的節電空間有限，使得近年來單位產品耗能降幅減少，造紙業整體單位產品耗能變化如圖 2.1-2 所示。

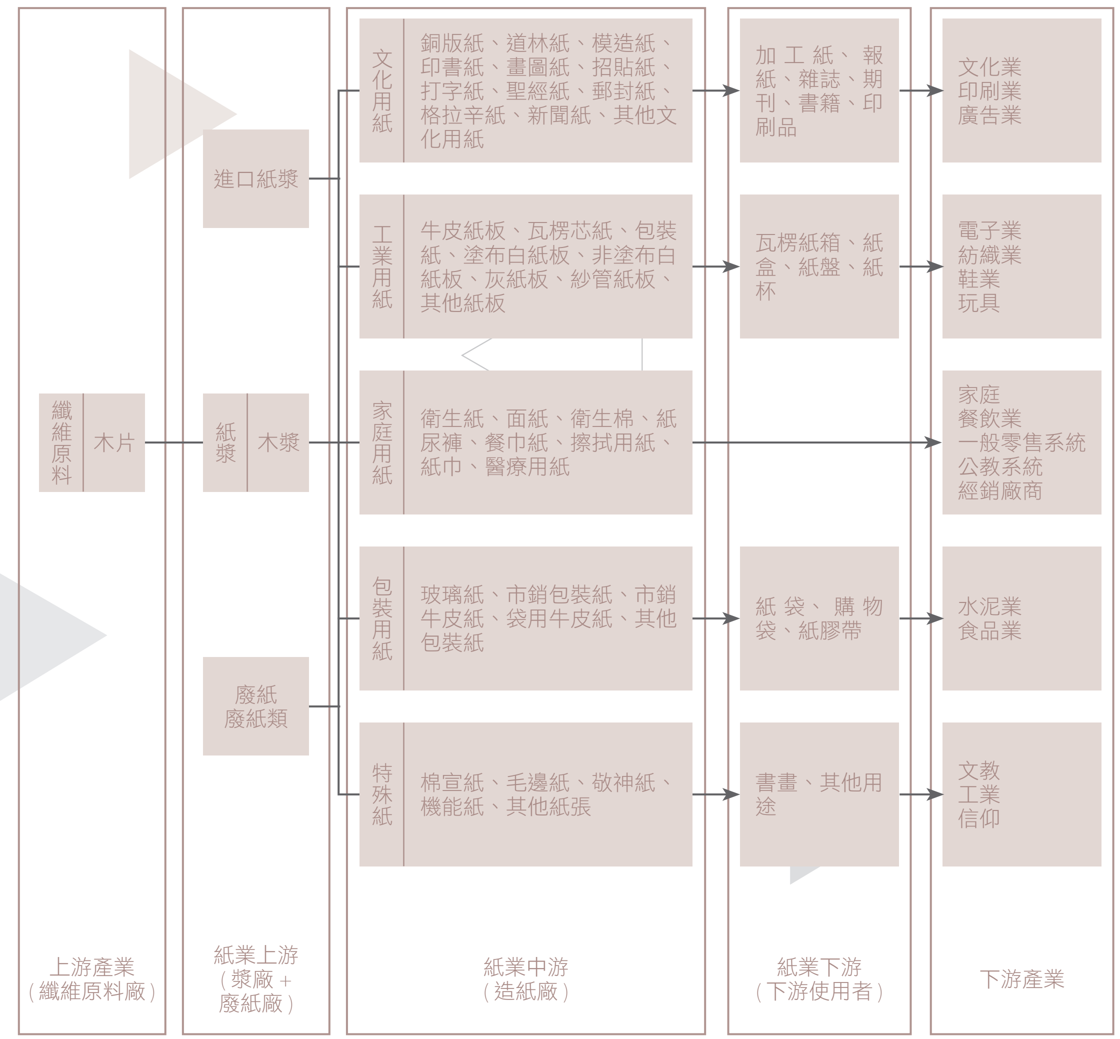


資料來源：經濟部能源局，108 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，2020 年

圖 2.1-2 造紙業整體單位產品耗能變化趨勢圖

2.2 主要製程特性

造紙業可依其產品特性分為上游製漿業，中游造紙業，下游之紙品印刷或加工業，如圖 2.2-1 所示。上游紙漿業係將木材原料或回收紙製成紙漿，以供中游之原料所需。中游造紙業依紙張之用途分文化用紙、工業用紙、家庭用紙、包裝用紙及特種紙，以前三項紙種為大宗，占整體生產量 95% 以上。文化用紙以銅版紙、道林紙為主，由下游業者印製為雜誌、書籍與期刊等，供應給文化、廣告等產業。工業用紙主要可分為裱面紙板、瓦楞芯紙、白紙板及灰紙板，後續加工成為瓦楞紙箱、紙盒等產品。家庭用紙則以衛生紙、家庭廚紙為主，並透過經銷體系直接與一般消費者接觸，較其他紙種有所不同。包裝用紙主要為牛皮包裝紙，加工成為紙袋，提供食品、水泥等產業使用。特殊紙則包含棉宣紙、敬神紙與離型紙等。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會

圖 2.2-1 台灣造紙產業結構圖

造紙業之製紙程序主要為：原生紙漿 / 再生紙漿→散漿→淨漿→離解→篩選→磨漿→脫水成型→壓榨→乾燥→壓光→捲紙整理。造紙流程可分為備漿及抄紙流程如圖 2.2-2 所示。

資料來源：台灣區造紙工業同業公會官網，2020 年

圖 2.2-2 造紙流程圖

2.3 未來發展方向及面臨問題

1. 未來發展方向

以造紙業產銷情形而言，因電子產品進一步普及大幅降低文紙用量，且在電商網購熱潮影響下帶動紙板用量，未來台灣紙業發展以紙板為主將成為長期趨勢。而由此亦可推斷，以回收紙為原料的包裝用紙(尤其是工業用紙)，未來將有較大的發展空間。

原料產銷部分，因中國大陸禁廢牽動國際回收紙市場，國內紙廠因應自需或外銷提高回收漿板生產等情況，仍待持續觀察和因應。而國內廢紙供應鏈在大環境驅動下，廢紙品質逐漸提升，產業朝正向循環發展。

能源結構部分，近年來政府積極推動循環經濟與再生能源政策，造紙業累積嫻熟鍋爐操作經驗，已能穩定並且符合空污規範對廢棄胎片、污泥、製程排渣(廢紙混合物)、廢棄物衍生燃料等項目實踐廢棄物資源化(燃料化)，並結合汽電共生設備、廢熱回收再利用、沼氣發電、綠能風力發電、黑液發電等達成能源多元化，更導入能源管理系統進行能源績效提升，逐步減少產業對化石燃料的依賴。

2. 產業面臨的挑戰

面對區域市場的崛起，包括中國大陸、越南的成長和競爭，牽動台灣造紙產業發展。而目前在溫室氣體減量、再生能源、空污等國家相關綠色目標及環保法規日趨嚴格下，產業持續提高投資成本並投入相關應用技術來因應，成為產業未來面臨之挑戰。

循環經濟是國家重大政策，造紙業在循環經濟推動上扮演舉足輕重之角色，在持續推動生質能及廢棄物資源化的目標下，將朝替代燃料多元化、固態與廢棄物衍生燃料規格化、以及加強混燒煤灰跨產業鏈結應用等面向精進。而未來如混燒煤灰再利用用途之運作、再生能源在廢棄物發電採級距化認定等相關法規務實放寬情況，成為廠商關注的重點。

三、低碳製程技術及設備

三、低碳製程技術及設備

3.1 備漿製程應用技術

3.1.1 高效率散漿機技術

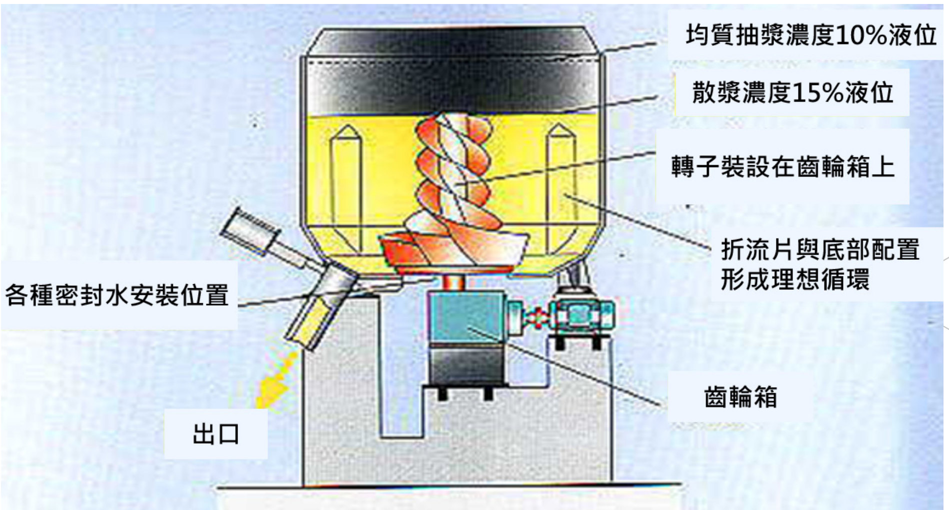
3.1.1.1 高濃度散漿機技術

以廢紙作為造紙原料進行再生處理時，散漿工程將廢紙還原成紙漿纖維之作業，目前的備漿製程依原料濃度來篩選適用之散漿處理技術。高濃度散漿機技術主要為處理漿料濃度在 10% 以上，利用高濃度纖維與纖維間存在的水分較少， 旋 轉子提供攪拌 促使紙漿纖維間相互磨擦產生磨擦 ，進而將攪拌 變換成纖維間的揉漿之作用，可防止雜物之擊碎，並提高油墨粒子、塑料之剝離分散及纖維離解之效果。

1. 技術應用原理

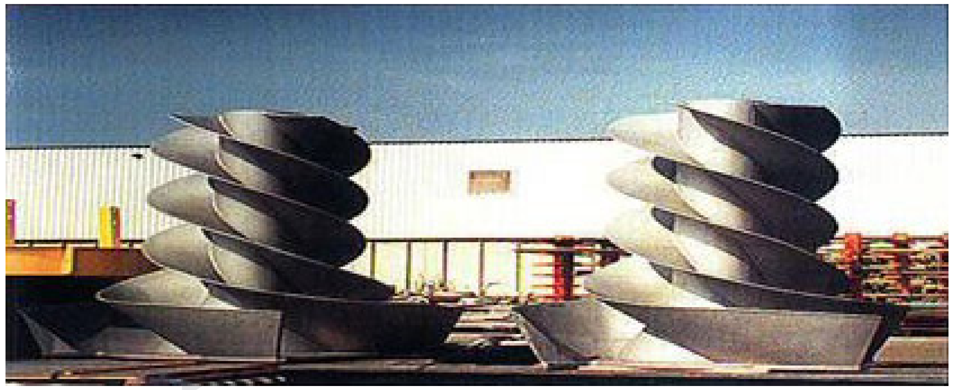
傳統低濃度散漿機需要高剪力才能提升離解作用及散漿效率，但高濃度散漿除了高剪力需求外，更要求良好的攪拌，故轉子的設計需要有適當的表面積以利攪動漿料。因應此項要求以螺旋狀轉子為設計，綜合利用漿料與轉子間高差速以獲致較佳的散漿率，並以低差速獲致較佳的攪拌，依兩種不同功能所設計出的高濃度散漿機，一般採用圓筒狀縱型散漿槽（Vat） 與軸式轉子（Shaft Rotor） 組合而成，其軸轉子之尖端（Projecting Upper Part）可對原料有部分離解作用，葉片則可幫助原料進入散漿機底部增加其潤濕，並與底部轉子迅速接觸而離解。

此型散漿機在高濃度漿料完全潤濕前，其流向為切線方向流動，然後再以徑向流動；因此在散漿槽中，不同纖維經由攪拌而混合均勻，進而完成了高濃度散漿。高濃度散漿機及其轉子如圖 3.1.1.1-1 及圖 3.1.1.1-2 所示。



資料來源：江口正和，DIP パルパーの基本コンセプト（1），2009 ;Herbert H.,2006

圖 3.1.1.1-1 高濃度散漿機技術示意圖



資料來源：江口正和，DIP パルパーの基本コンセプト（1），2009;Herbert H.,2006

圖 3.1.1.1-2 高濃度散漿機轉子示意圖

2. 技術特點與優勢

高濃度散漿機技術有下特點：

(1) 漿料濃度高（約為 12%~18%），纖維間磨擦力大，油墨、塑料易與纖維分離；

(2) 設備佔地面積較小；

(3) 用水量較少；

(4) 因轉速低故能耗較低；

(5) 藥品使用量減少；

(6) 熱熔膠片等雜質不易被打散，有利提升漿料之乾淨度。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 縱型高濃度散漿機無法連續操作，製程重覆批次操作使操作步驟較複雜。

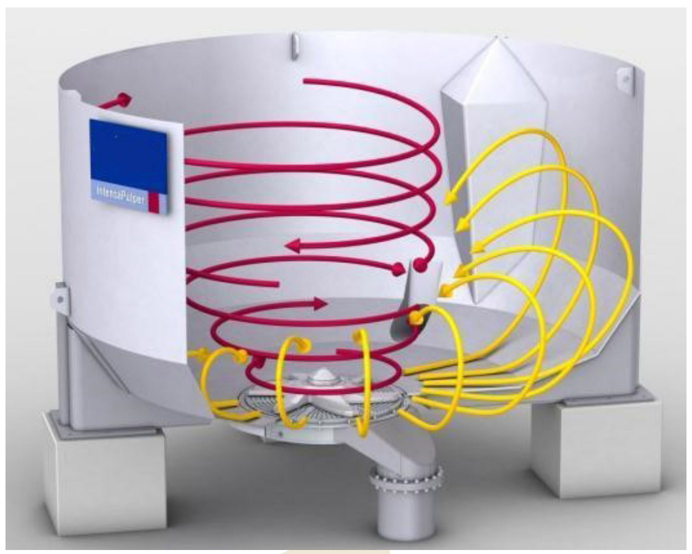
(2) 配合紙漿處理量必須準備儲漿槽、或白水槽等週邊機器，進而提高相關附屬設備成本。

3.1.1.2 低濃度散漿機技術

低濃度散漿機主要為處理漿料濃度在 3%~6% 以下之技術，依據統計各紙種製造成本中平均能源總成本約占造紙成本的 15%~20%，為了節省能耗，備漿系統的散漿機逐步進行優化，從早期的無擾流板的單純混合，之後添加擾流板提供高湍流（Turbulences），至現今的偏心散漿機（Intensa Pulper）可有效降低能耗且提高產量，後續內文以偏心散漿機做為低濃度散漿機之技術說明範例。

1. 技術應用原理

以偏心散漿機處理低濃度漿料之技術，其偏心轉子的特殊設計會因速差產生兩種水力流態，進而加速漿料混合翻轉交換，提升散漿效率。水力流態示意如圖 3.1.1.2-1 所示，包含轉子附近以 10 m/s 高流速的水流進行漿料離解之旋渦碎解區，及漿料流速較慢、進行漿料翻轉混合之緩衝混合區。



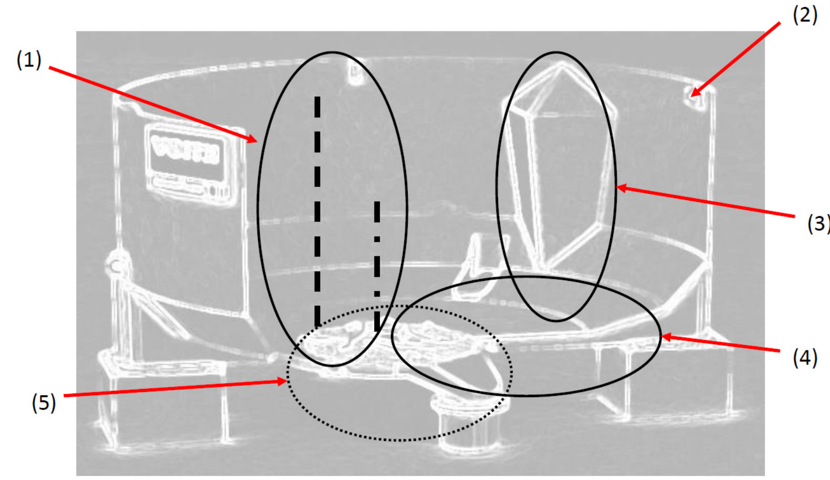
資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.1.2-1 水力流態示意圖

2. 技術特點與優勢

以偏心散漿機處理低濃度漿料之技術包含以下特點（如圖 3.1.1.2-2 所示意）：

(1) 轉子偏心：產生較大的解離漩渦；
(2) 對稱設計槽體：低阻力導流、低衝擊、低震動；
(3) 擾流板：產生擾流，增加離解效率；
(4) 桶底和槽體間錐度設計：漿料流動翻轉順暢；
(5) 良漿室：由小而大，良漿流動更順暢。

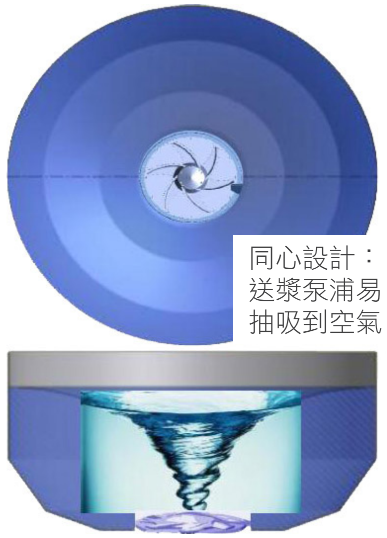
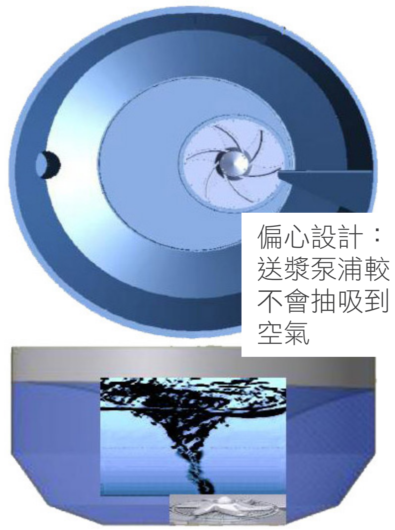
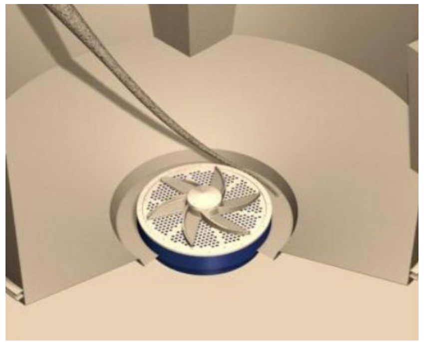
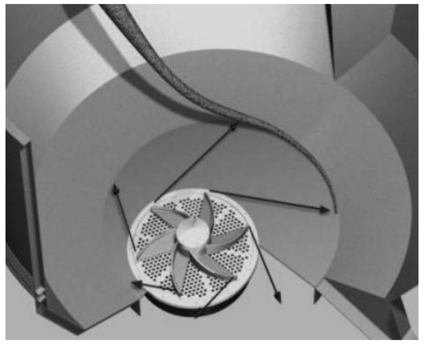
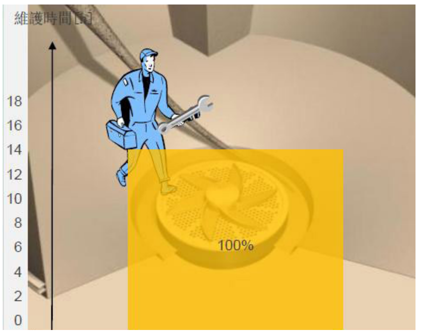
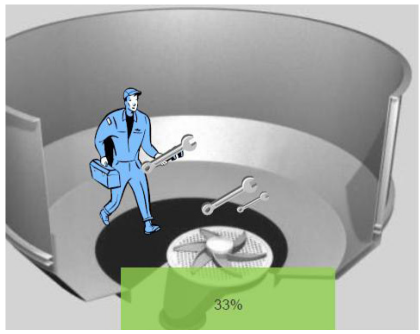


資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.1.2-2 低濃度散漿機特點示意圖

偏心散漿機技術之優勢如圖 3.1.1.2-3 所示意，包含：

(1) 因漿料擾流離解效果佳，可節省運轉動力約 20%~25%；
(2) 可避免廢紙粒直接碰撞，保護轉子及減速機；
(3) 良漿送漿泵浦較不會抽吸到空氣，抽送更為穩定，且因空氣含量較少，後段高濃度淨漿機較不會產生震動；
(4) 除繩器（Ragger）遠離刀盤，較不易被切斷；
(5) 槽底平底空間較大，人員維修作業較方便且安全。

差異項目	傳統散漿機	偏心散漿機
良漿送漿泵		
運轉時除繩器位置		
人員維修空間及時間		

資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.1.2-3 傳統與偏心散漿機之差異示意圖

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 漿料濃度：製程運作時需調整適當之漿料濃度，以維持最佳處理效益；

(2) 用水量：與高濃度散漿機相比，因處理漿料濃度較低，用水量較多，需注意水系統之優化以節省用水量。

3.1.1.3 鼓式散漿機技術

現代造紙工業中廢紙散漿技術的變革，以較低的能耗及較高的漿料品質為改善趨勢，雜質儘可能減少細碎化，在近原狀的狀態下排除以減少後段流程去除的負擔，並達到能耗降低的效益。為獲得更佳的漿料質量，有效的提高碎漿濃度、連續且穩定的供漿，有助於紙機連續抄造。

1. 技術應用原理

鼓式散漿機將碎漿、篩選集中於同一套設備中，減輕了後面處理程序的負擔。鼓式散漿機示意圖如 3.1.1.3-1 所示，運作方式說明如下：

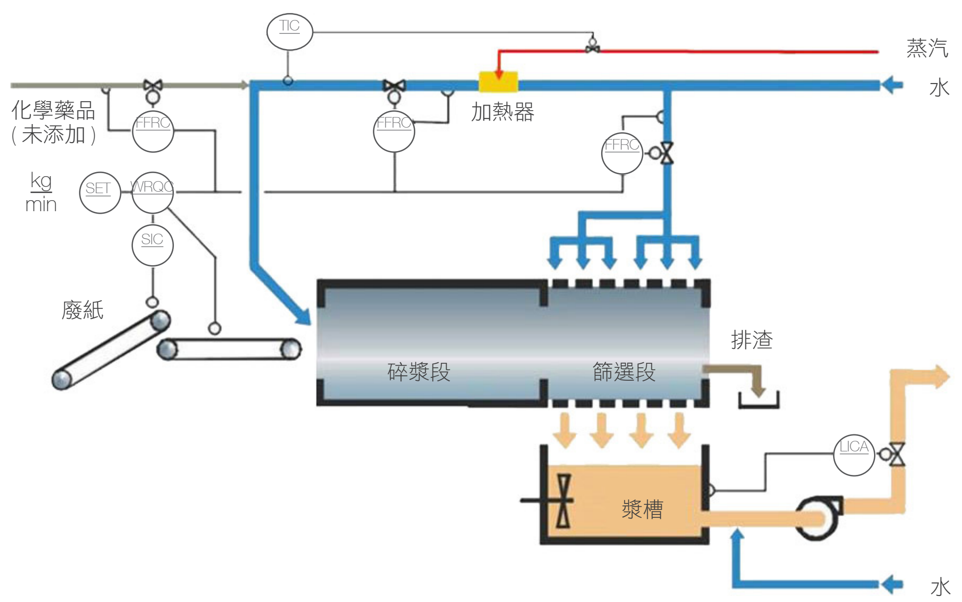
(1) 廢紙經由輸送機送入緩慢定速轉動的碎漿區，並依需求調整漿料濃度約 18%~25%，必要時透過汽水混合器提高溫度；

(2) 廢紙及碎漿水隨著轉鼓轉動，被內壁的提升板帶到頂部後掉落，通過反覆的摔打作用，使漿料混合物在進入篩選段前能有效分散；

(3) 透過多個分隔板區隔，使漿料在碎漿區有足夠的停留時間；

(4) 由於進料端與排渣端有 1 度的傾角，漿料混合物從碎漿區緩慢的流動到篩選區。

(5) 在篩選區沖洗水的作用下，分散的纖維與雜質分離，而已稀釋至 3%~5% 的漿料，通過篩孔進入下方漿槽，較大的雜質從排渣端排出。



資料來源：正隆股份有限公司

圖 3.1.1.3-1 鼓式散漿機技術示意圖

2. 技術特點與優勢

鼓式散漿機技術有下特點：

(1) 單一的操作流程：鼓式散漿機包含碎漿區與篩選區，可同時完成碎漿和篩選，達到高濃度狀態下的連續碎漿，與同時篩除粗大雜質。由於機械作用力較溫和，雜質破壞性較低，免設置二次碎漿除渣設備，可簡化控制程序。

(2) 較佳的漿料質量：漿水混合物進入篩選區後，以沖洗水調整紙漿濃度，使疏解過程延續至所有纖維束完成疏散為止。紙漿慢速通過篩孔，進而減少廢雜物經篩孔進入漿池的可能性，並於轉鼓轉動過程由沖淋水將堵塞篩孔之廢雜物重新沖回轉鼓內部，最後再從排渣端排出且無需進一步纖維回收。

(3) 顯著的節能效果：鼓式散漿機無需設置二次散漿機系統，能耗僅消耗於轉鼓的旋轉上，因此每噸漿僅耗電 20~25 kWh。

(4) 較低的維修成本：設備結構相對簡單與穩固，僅有少量的易損件，且沒有二次散漿機系統及排渣系統的設置，不會因其設備異常而影響散漿機供漿能力，故節省備件需求及較低之維修費用。

3. 應考慮因素與限制

鼓式散漿機規劃設計應考慮因素包括：

(1) 較高的投資成本：鼓式散漿機因機體大，所需佔地面積相對也較大，且由於機體多為一體式設計，導致增加運輸成本及困難度。

(2) 適用原料注意前提：回收之廢紙原料須加強留意，盡量避免大型重質物、紡紗等有害雜物進入轉鼓內。若廢紙中夾雜大量重型廢棄物一同進入轉鼓內，將造成轉鼓凹陷損傷；若紡紗混入轉鼓內，與長條狀雜質、鐵絲等雜物糾結成團不斷變大，將造成排渣出口阻塞需進一步停車處理。

(3) 較差的漿料得率：鼓式散漿機的疏解作用較溫和，若處理結合力較強之廢紙，其疏解效果差漿料纖維得率低。打包廢紙進入鼓式散漿機前須充分散離，以免影響輸送帶運行及疏解效果，增加排渣含纖量。而混合廢紙若含長條雜質，易在碎漿過程中產生絞繩頭且不易排出轉鼓，需優化或增設內部排絞繩頭機制才能連續穩定供漿。

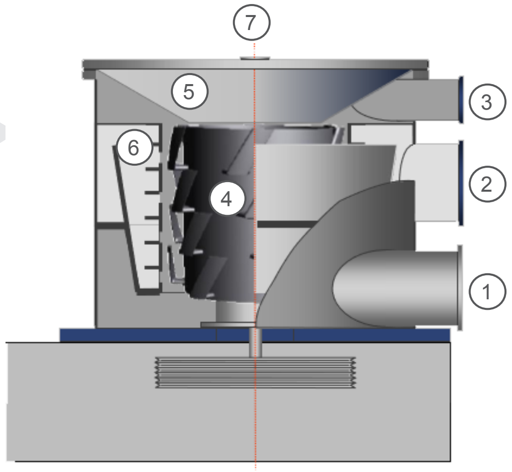
(4) 較多的安全隱憂：相對水力式散漿機設計，鼓式散漿機有較多的安全隱憂，如機體高低落差大易產生飛落與墜落的風險、支撐輪面與大齒圈的潤滑點週邊可能導致滑倒、轉鼓運轉產生之噪音及振動安全危害、轉鼓機體及液壓聯軸器內部油溫之高溫燙傷等危害風險。

3.1.2 高效率篩選機技術

造紙行業以往舊思維下屬於高耗能行業，但隨著科技日新月異，造紙備漿設備亦有所突破；應用高效率篩選機技術，不但可降低能耗亦可提升產能及增加漿料潔淨度。

1. 技術應用原理

於篩選系統開發新型篩選機技術時，以獨特設計增加篩選效率，示意如圖 3.1.2-1 所示。



資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.2-1 高效率篩選機技術示意圖

2. 技術特點與優勢

高效率篩選機技術有以下特點，各項特點如圖 3.1.2-2 所示意：

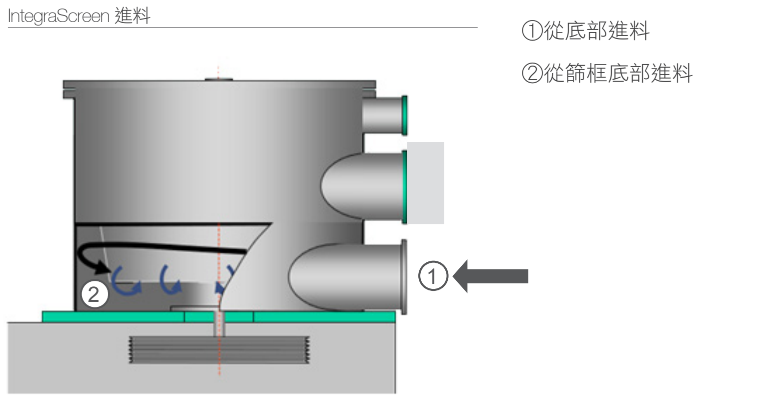
(1) 優化的進料：為升流式設計，漿料由底部進料。

(2) 優化篩框漿流模型：良漿室為錐體設計，可將良漿順暢導流至良漿出口管，且漿料通過篩網的流量和壓力上下均一，良漿潔淨度佳且較省能。

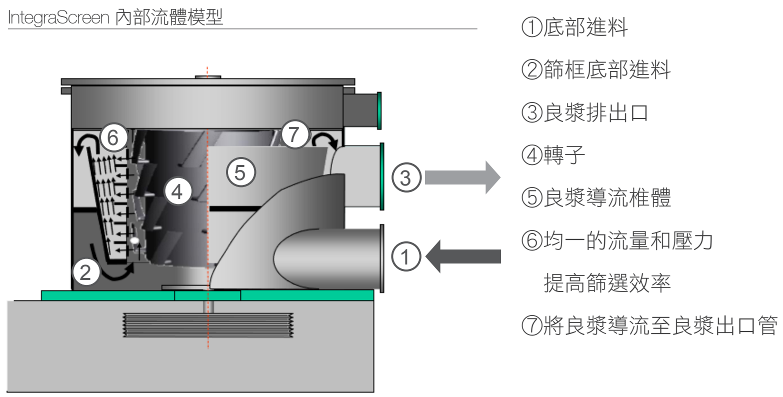
(3) 優化排渣：為升流式設計，由上方排渣可將輕渣順暢排出；排渣口為倒錐導流板設計，減小了排渣空間，輕雜質在導流板的導流下順暢進入排渣管。

(4) 降低纖維流失（基於排渣稀釋和迴流）：上方排渣處有稀釋水設計，排渣濃度降低且有排渣迴流設計，減少排渣中的纖維流失；無獨立輕渣排渣管，不會阻塞。

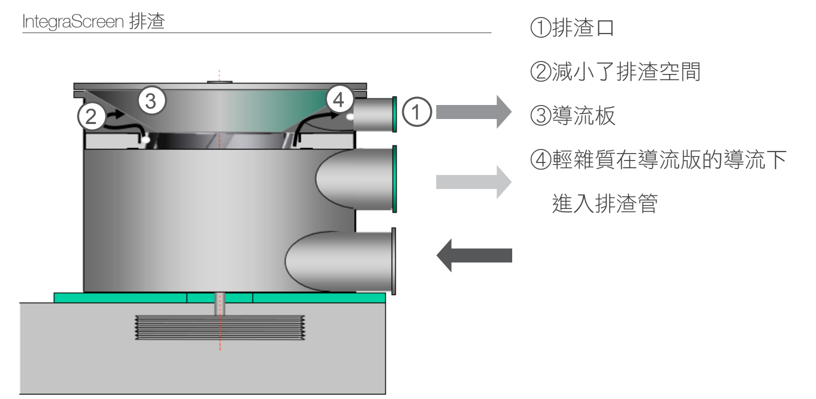
進料方式



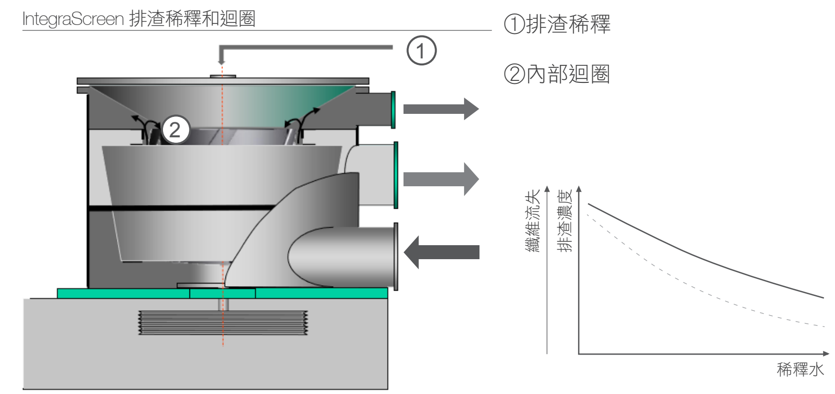
內部流體模型



排渣方式



排渣稀釋和迴流



資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.2-2 高效率篩選機技術特點示意圖

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 運轉調適性：高效率篩選機入口漿料容許未離解漿塊含量 12%。

(2) 纏繞阻塞情形：為避免纏繞阻塞情形發生，高效率篩選機可搭配使用轉子 Step Rotor，有離解分散效果。轉子示意如圖 3.1.2-3 所示。

(3) 良漿潔淨度需求：高效率篩選機可搭配使用 C-bar Herculex 鍍鉻（雙股螺旋），profile 角度 15 度，擾流較小，且轉子及篩網間隙 12.5 mm，可使脈衝較小，良漿潔淨度較佳。篩網示意如圖 3.1.2-4 所示。

資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.2-3 高效率篩選機轉子

資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.1.2-4 高效率篩選機篩網

3.1.3 錐形磨漿機技術

磨漿（Refining）或打漿（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。而使用錐形磨漿機相較於盤式磨漿機更為節能，在製程上也更能保留紙漿的纖維，進而增加紙張強度。

1. 技術應用原理

磨漿的主要目的，使纖維的內部帚化及外部帚化，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，以調整纖維的帚化程度（Degree of Fibrillation）及纖維可壓潰（Collapseability） 的性質，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。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) 刀棒式樣；

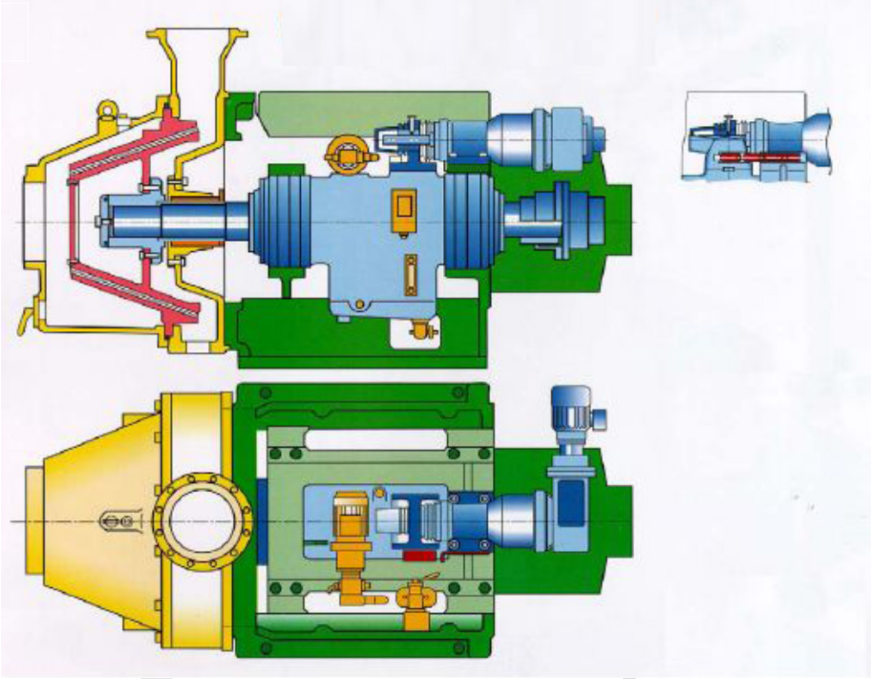
(6) 刀棒交叉角度；

(7) 刀盤的轉速周圍速度。

磨漿設備形式主要以盤式為主，隨著錐形磨漿機技術的改良，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。錐形磨漿機如圖 3.1.3-1 所示意，磨漿動力比較如下：

⑴降低無負荷動力：錐形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，可使與纖維磨漿無關的無負荷動力大幅降低。

⑵磨漿動力的降低：具有寬的磨漿區（Refining zone），可以獲得較高的切斷長度（Cut edge length, CEL, km/rev），即磨漿達到同一游離度下只需較低的單位耗能（kWh/t）。



資料來源：彭元興教授，備漿系統總論簡報，2010

圖 3.1.3-1 錐形磨漿機示意圖

2. 技術特點與優勢

相較於盤式磨漿機，錐形磨漿機可以有較長的磨漿距離及動力較節省的優勢，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，並有效的進行刀盤間隙（Gap）的調整，符合磨漿需求。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括設備磨耗，錐形磨漿機之刀盤更換次數可能較盤式磨漿機高。以一般負載程度而言，盤式磨漿機大約使用 3~5 年需更換其刀盤，而錐形磨漿機約使用 2~3 年則需更換其刀盤。

3.2 抄紙製程應用技術

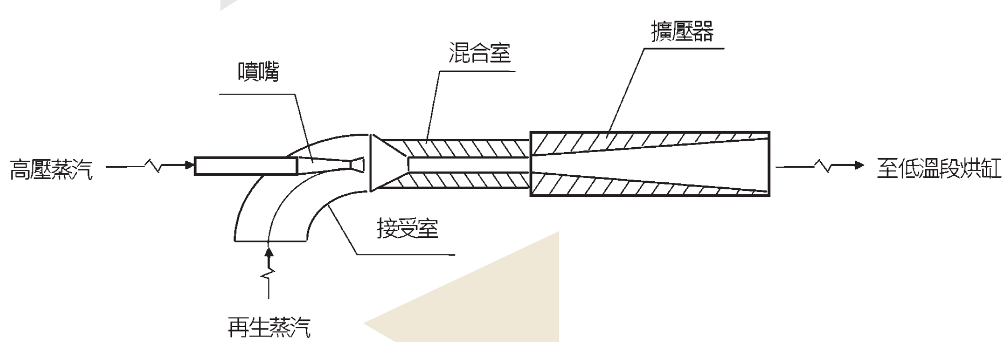
3.2.1 紙機蒸汽與冷凝水系統效能提升技術

就造紙製程而言，乾燥部主要是利用熱能將產品及其中的水分蒸發出去，一般而言，紙匹過了壓水部之後，乾度約為 40%~50%，而經過烘缸乾燥之後，乾度可達到 90%~95%，這部分紙機都是利用蒸汽通入烘缸，利用熱能經烘缸外層傳導出的高溫導入產品，進行乾度之控制。

造紙業被列入四大重能源消耗的行業，在節能減碳意識抬頭的現今，引起了人們的重視及關切，因此提升能源效率及降低能源消耗量，是當今非常重要的課題，提升紙機蒸汽與冷凝水系統之效能，可使能源更有效益的使用。

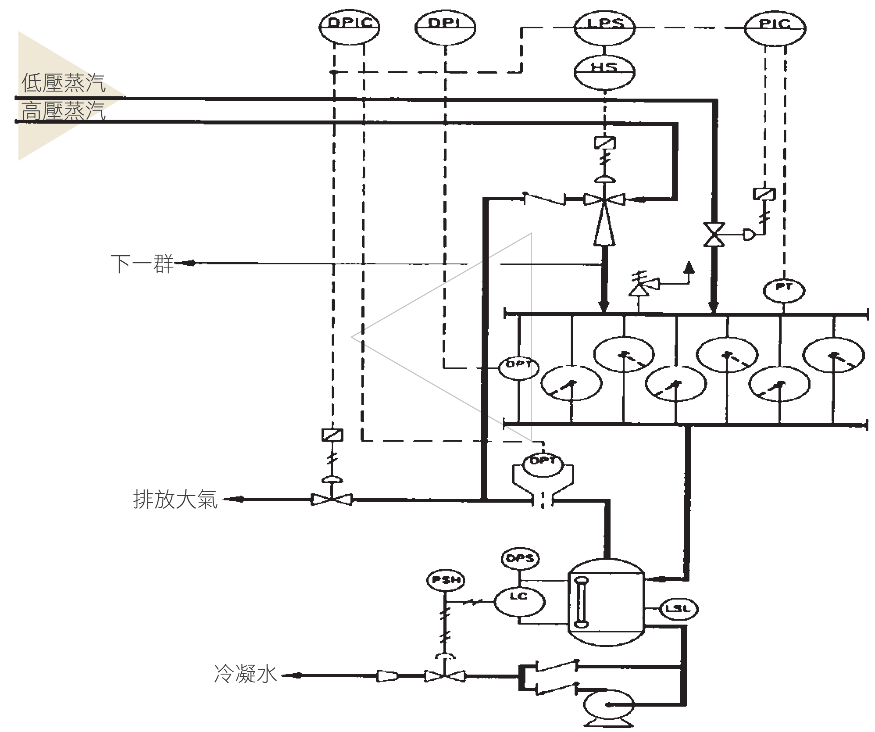
1. 技術應用原理

熱壓縮機系統（Thermocompressor System）可利用較高壓力蒸汽的能量為動力，將無法直接利用的低壓力蒸汽提高壓力後，一併提供給熱用戶使用。系統中的熱壓機由噴嘴、接受室、混合室及擴壓器組成（如圖 3.2.1-1 所示），運行時工作流體以高速通過噴嘴進入接受室，把壓力較低的流體吸走，在混合室中工作流體和引射流體兩股流體進行速度均衡和壓力提升。採用熱壓機替代節流式減壓，利用蒸汽減壓前後能量差使其工作蒸汽在減壓過程中，將蒸汽冷凝水閃沸桶中產生的再生二次蒸汽提高壓力後再送至低溫段烘缸加熱用。熱壓縮機系統如圖 3.2.1-2 所示意。



資料來源：經濟部中小企業處，造紙業節能減碳技術手冊與案例彙編，2017 年

圖 3.2.1-1 熱壓機示意圖



資料來源：經濟部中小企業處，造紙業節能減碳技術手冊與案例彙編，2017 年

圖 3.2.1-2 熱壓縮機系統示意圖

2. 技術優勢

熱壓縮機系統主要有以下幾項優勢：

(1) 各烘缸群可單獨依據需求進行調整，紙張基重可控制的範圍較為彈性；
(2) 當乾燥能力超出需求時，可調整操作在最低壓力，減少關閉烘缸頻率；
(3) 乾燥能力不足時，可調整操作，使所有烘缸群工作於最高工作壓力，使得乾燥能力最大化；
(4) 操作簡單，可完全實現自動化。

3. 應考慮因素

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 需要相對高壓蒸汽進行熱壓機驅動，需求動力蒸汽至少是烘缸操作的最高壓力的 1.5 倍；

(2) 熱壓機需要在自動條件下運行，才可達到最佳化，因此對於儀表的要求較高，必須確認儀表的準確度，並建立完善的 DCS 或 PLC 系統；

(3) 當熱壓機的動力高壓蒸汽壓力不足時，會造成熱壓機工作能力下降，導致外排蒸汽；

(4) 比傳統串級系統（Cascade System）投資費用高，高出約 30%。

3.2.2 壓水部效能提升技術

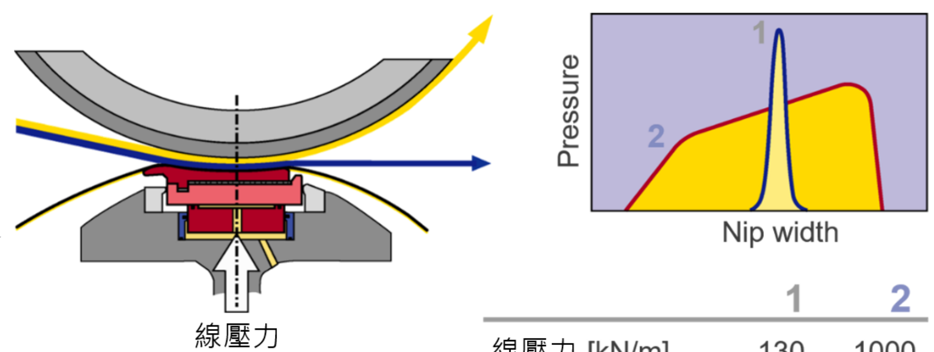
在現代造紙機械中廣泛應用靴壓進行壓榨脫水，其工作線壓是傳統壓榨的 4~10 倍，達到 1,000~1,500 kN/m，脫水能力強，因此靴壓成為現代造紙機的首選壓榨技術。

1. 技術應用原理

靴式壓榨（Shoe press）是一種寬壓區壓榨，透過增加壓區寬度以提高壓榨衝量，大幅提高了脫水效率，確保出壓榨部濕紙幅乾度，達到現代高車速紙機的穩定運行。各參數關聯性如以下公式所示。

壓榨衝量 = 壓力 × 壓區停留時間 = 線壓力 / 紙機車速

與傳統機械壓榨相比，經過靴式壓榨的紙頁，其緊度降低，即得到相同乾度紙幅時，紙幅嵩厚度較大；若達到相同的嵩厚度，靴式壓榨的紙幅乾度較大。一般而言，經靴式壓榨後，紙幅的乾度較傳統機械壓榨提升 5%~7%，在乾燥能力相同的情況下，可以增加產量。以靴式壓榨技術達到壓水部效能提升如圖 3.2.2-1 所示。



	1	2
線壓力 [kN/m]	130	1000
壓區寬度 [mm]	40	270

資料來源：正隆股份有限公司應用之設備廠商

圖 3.2.2-1 壓水部效能提升技術示意圖

2. 技術特點與優勢

壓水部效能提升技術有下特點：

(1) 除水性提高：靴式壓榨輥較傳統的壓榨輥可除去較多的水分，提升紙張的強度，且增加 5%~7% 的乾度。

(2) 產能提升：產能較傳統的壓榨輥增加 25%~30% 的噸量，通過靴式壓榨輥的紙匹較乾，在同樣的蒸汽消耗量下，可增加紙機 25% 的速度。

(3) 耗能降低：靴式壓榨輥與傳統壓榨輥比較起來節省了 20% 或更多的蒸汽消耗量，通過壓榨部後每增加 1% 的乾燥度，可減少 3%~4% 的烘缸蒸汽需要量，相當於在烘缸部時，每噸紙減少 20%~25% 的能源消耗。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 設備安裝空間：壓水部設備機體較大，所需佔地面積相對也較大，設備安裝時應考慮設置空間及其施工區域需求。

(2) 施工停車影響生產時間：因施工期長導致紙機無法運轉，將造成產能下降。

(3) 應用靴式壓榨技術時會造成紙面平滑度降低、印刷性較差。

3.2.3 鋼製烘缸技術

烘缸是造紙產業紙張乾燥的關鍵，利用烘缸通熱蒸汽可將紙匹中的水分去除。造紙烘缸原大多是鑄鐵材料，而鋼製烘缸有著重量輕、傳熱效果佳等優點，可應用在取代家庭用紙的揚基烘缸，達到節能減碳之效益。

1. 技術應用原理

乾燥部的水分蒸發一般採用蒸汽烘缸，將紙漿捲在烘缸上，以接觸加熱的方式乾燥為最被廣泛的加熱方式。濕紙匹進入烘缸後，經過預熱過程，再將纖維間的自由水以一定速度蒸發，最後再將纖維間或纖毛間的毛細管系統的水分自紙匹上移除。

濕紙匹通過壓水部其水分約為 48%~55%，通過一連串的蒸汽加熱烘缸，將承載在帆布上的紙匹水分蒸發，再由通風空氣帶走。在烘缸群出口處的紙張（板）含水率，一般薄紙約為 4%~6%，紙板則為 7%~8%。

鋼製烘缸的工作原理與鑄鐵烘缸相同，烘缸在運轉中，內通蒸汽將輸送的紙張烘乾。鋼製烘缸主要優勢為重量較鑄鐵烘缸輕、傳熱能力高，可降減烘缸傳動耗電量及提升紙張乾燥效益。鋼製烘缸如圖 3.2.3-1 所示意。

資料來源：中國造紙學報，紙機烘缸的研究進展，2012 年

圖 3.2.3-1 鋼製烘缸示意圖

2. 技術特點與優勢

與鑄鐵烘缸相比，鋼製烘缸有下特點：

(1) 鋼製烘缸重量較鑄鐵烘缸輕，可降減烘缸傳動耗電量；

(2) 經過表面處理的鋼製烘缸不僅解決了表面易腐蝕生銹的問題，改善了表面耐磨性，而且提高了表面光澤度；

(3) 鋼製缸面光澤度更高、缸壁更薄，其熱傳導係數優於鑄鐵烘缸，比相同尺寸的鑄鐵烘缸傳熱能力高，亦可提高紙張邊緣的乾燥能力；

(4) 乾燥能力有效提升，並降減用汽量，且在設計壽命期內，沒有鑄鐵烘缸出現的蒸汽壓力隨著使用年限的增加而減壓運行的問題；

(5) 由於鋼製烘缸的端蓋可以設計成平蓋的，和相同幅寬的傳統鑄鐵烘缸相比，鋼製烘缸可以乾燥更寬的紙張。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃應考慮因素包括：

(1) 以既設舊紙機進行改造時，需注意各項系統整合細節及程式控制；

(2) 需嚴謹評估紙機構造承載力、相關設備位置及規格、烘缸之安裝空間需求等規劃；

(3) 低於 600 m/min 之慢速不適用於鋼製烘缸；

(4) 鋼製烘鋼刮刀磨損速度快；

(5) 衛生紙皺折率不易控制；

(6) 鋼製烘鋼表面硬化磨損造成研磨頻率增加。

3.2.4 紙機真空系統優化技術

紙機的真空系統應用主要在壓榨部，其次為網部及乾燥部。真空系統對紙機的操作效率有密切的關係，它所耗用的動力約占紙機總動力之 20%~40% 不等，愈先進的新紙機，真空系統所需之動力比率愈高，操作成本愈為可觀。因此，提高真空系統的效率，避免不必要的浪費以降低生產成本，是改善產品競爭力不可忽視的一項重要工作。

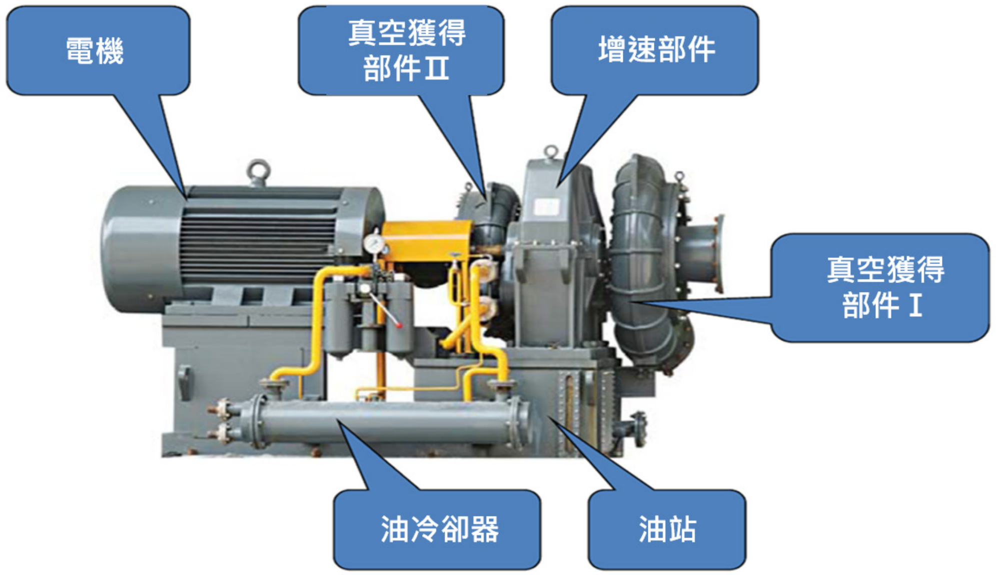
1. 技術應用原理

透平真空泵為較低耗能之真空設備，其原理是利用葉片與氣體之相互作用，高速旋轉時直接對氣體做功，大大提升功率。透平真空泵示意圖如 3.2.4-1 所示，運行方式如下說明：

(1) 真空泵葉片在 8,000 rpm 至 30,000 rpm 高速旋轉下，受旋轉離心力的作用，在吸入口形成真空，從而實現氣體的連續不斷的抽取，獲得所需真空。

(2) 氣體經過高速旋轉的葉輪做功後壓力、溫度、速度都提高，為了利用動能和把氣流彙集起來導出透平真空泵，後設有擴壓器和蝸殼。

(3) 潤滑系統採用集裝式並與主機共用底座，由油箱、油泵、油冷卻器、油篩檢程式、溢流閥、電加熱器及單向閥等組成，其中油冷卻器以水冷方式透過調節冷卻水量確保軸承進油溫度。氣體在透平真空泵內的流速很高，由於摩擦和壓縮均產生熱能，往往需要增加冷卻裝置。



資料來源：榮成紙業股份有限公司

圖 3.2.4-1 透平真空泵示意圖

2. 技術特點與優勢

相較於一般真空系統使用之水環真空泵，透平真空泵有下特點：

(1) 節電：透平真空泵比水環真空泵節電在 25% 以上；

(2) 餘熱利用：設備耗能的 80% 可回收利用；

(3) 杜絕了水環真空泵結垢腐蝕現象：透平真空泵工作時不需要密封水，而水環真空泵工作時需要大量密封水，若水質硬度高極易形成垢，若水質偏酸性如漿料裏加硫酸鋁，極易腐蝕葉輪等過流部件，影響抽氣量；

(4) 能節省 90% 的水；

(5) 透平真空泵在運行過程中，除了齒面外，軸承及高速軸無接觸；在設備的長期運行中，維修保養主要是常規檢查和巡檢。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 比傳統水環真空泵投資費用高，若有狀況不易修復需要一台備用；

(2) 安裝環境需考量散熱，若散熱不良易造成跳機，影響生產；

(3) 汽水分離效果較為講究，若效果不佳葉片易損壞；

(4) 高速運轉情況下，搭配之潤滑、冷卻系統需求規格較高；

(5) 設備轉速快需要妥善監控。

造紙業 低碳製程技術彙編

四、低碳製程技術及設備實務應用案例

四、低碳製程技術及設備實務應用案例

4.1 高濃度散漿機技術案例

4.1.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

案例廠製程為處理表面淋膜紙張（紙杯、餐盒）加工之邊材回收再利用，淋膜紙張主要由紙張與表面塑料結合而成的複合材料，其紙張特性為纖維品質佳、不含填料。案例廠製程流程及其設備如圖 4.1.1-1 及圖 4.1.1-2 所示。

散漿 → 淨漿 → 篩選 → 脫水

資料來源：案例廠提供

圖 4.1.1-1 淋膜紙處理製程流程

資料來源：案例廠提供

圖 4.1.1-2 淋膜紙處理製程流程設備

2. 技術概要

高濃度散漿機技術以螺旋狀的轉子提供的攪拌力促使紙漿纖維間磨擦，而轉子與邊緣之固定力不致帶有機械性的打散機制，達到抑制夾雜異物細分化；利用散漿水剪力、機械力與紙張間之摩擦力，進而滲水浸潤達到塑紙分離以得到造紙生產所需之纖維。

4.1.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

案例廠主要生產家庭用紙，產品包含原生漿與環保系列，近年來環保產品推廣使用再生原料需求日增，因應原料成分調整需求，僅利用原有設備將導致高能耗且產能無法符合現有之供需。改善前使用低濃度散漿機，每單位耗電為 159 kWh/t。

2. 單元改善後情境說明

依需求重新規劃處理製程，將原先低濃度散漿機更換為高濃度散漿機，並將後段排渣改為連續式排放並更新淨漿篩選設備，改善後每單位耗電由 159 kWh/t 降至 95 kWh/t。

4.1.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入高濃度散漿機技術之節能量

改善後之節能量如表 4.1.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.1.3-1 所示。

表 4.1.3-1 高濃度散漿機技術之節能量

項目	設備	散漿容積 (m^3)	額定功率 (kW)	額定電流 (A)	運轉電流 (A)	批次處理量 (kg)	濃度 (%)	排渣含纖率 (%)	散漿時間 (min)	單位能耗 (kWh/t)
改善前	低濃度散漿機	20	140	227	200	900	4.5	12.5	70	159.9
改善後	高濃度散漿機	15	300	470	400	2,700	18	8	60	94.6

資料來源：案例廠提供

資料來源：案例廠提供

圖 4.1.3-1 高濃度散漿機技術圖片

2. 投資效益

案例廠高濃度散漿機技術之改善（節能單以主設備增設計算，不包含其他效益）

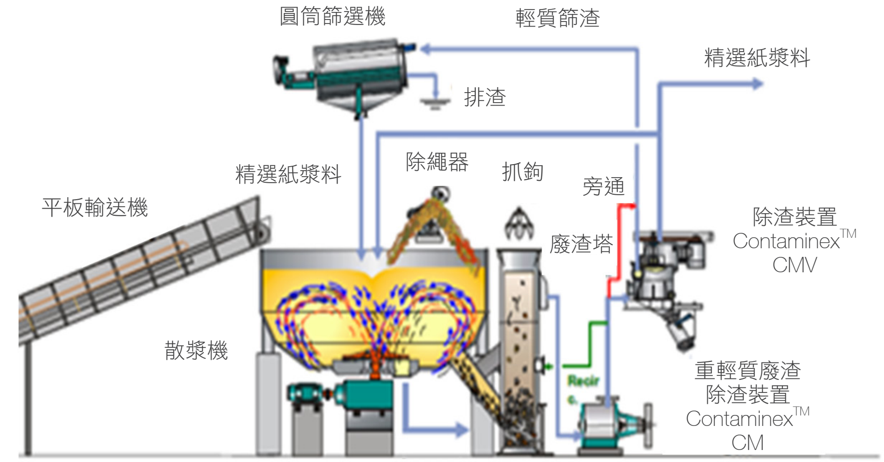
- 完工時間：2018 年。
- 投資金額：約 2,700 萬元。
  （高濃度散漿機設備約 1,300 萬元，輸送帶、抽漿設備、儲槽及安裝工程等約 1,400 萬元）
- 每年節電量：1,140,480 kWh。
  （以年運轉時數 6,600 小時 / 年、處理量 2.7 噸 / 小時計算）
- 節電率：約 40.8%。
- 節能績效：約 285 萬元 / 年。
- 減碳量：608 公噸 CO_2e/ 年。
- 回收年限：約 9.5 年。
  （1 kWh= 2.5 元計，以經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.2 低濃度散漿機技術案例

4.2.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

廢紙散漿目的是將廢紙以水分散、解離，並將廢紙內較大的異物如金屬、石頭、塑膠等去除。散漿系統以散漿機為主體，依其處理漿料濃度可分為低濃與高濃散漿機，另按照其運轉作動方式又可分為連續式及批次兩種。除散漿機外尚有平板輸送機、圓筒篩選機、抓斗等多項週邊設備組成一系列的散漿流程，詳細流程如圖 4.2.1-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.2.1-1 散漿系統製程流程

2. 技術概要

以低濃度偏心散漿機取代傳統式低濃度散漿機，進行廢紙散漿作業，因偏心轉子的特點，可有效改善噸紙能耗、廢紙離解率、設備保養週期等問題。

4.2.2 改善方案執行過程

1. 傳統散漿機使用情形

因傳統低濃度散漿機運轉每單位耗電為 23 kWh/t 較高，建廠時新紙機規劃即設立低耗能設備，以降低運轉成本並提高能源使用效率。

2. 偏心散漿機使用情形

以偏心低濃度散漿機取代傳統式低濃度散漿機，經過試運轉、正式投產後，每單位耗電約為 20 kWh/t。

4.2.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入低濃度散漿機技術之節能量

傳統低濃度散漿機與偏心低濃度散漿機差異之節能量如表 4.2.3-1 所示。

表 4.2.3-1 低濃度散漿機技術之節能量

項目	傳統散漿機	偏心散漿機	節電率
單位能耗	23 kWh/t	20 kWh/t	約 13%

資料來源：案例廠提供

2. 投資效益

案例廠低濃度散漿機技術之應用（以低濃度偏心散漿機取代傳統式低濃度散漿機之節能差異進行計算）

- 完工時間：2011 年。
- 投資金額：約 1,743 萬元。
- 每年節電量：約 693,000 kWh。
  （以年運轉日數 330 日 / 年、日產量 700 公噸計算）
- 節電率：約 13%。
- 節能績效：約 173 萬元 / 年。
- 減碳量：369 公噸 CO_2e/ 年。
  （1 kWh= 2.5 元計，以經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.3 鼓式散漿機技術案例

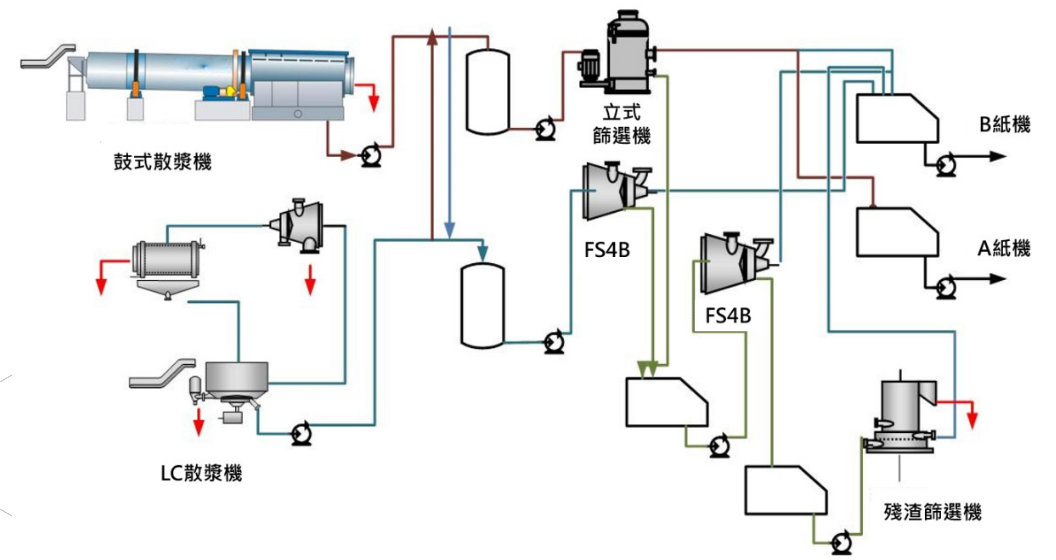
4.3.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

廢紙散漿的目的是將廢紙分散成漿泥狀，並將廢紙內較大的雜質去除。散漿系統即以散漿機為中心，配合多項輔助的週邊設備，例如進料輸送機、取繩器、二次散漿（去渣機、鼓篩機）及輕、重質殘渣分離處理設備等組合而成的一系列製程，將廢紙轉變成可於管路中輸送的漿料，並儘可能及早將雜質去除。

2. 技術概要

以鼓式散漿機技術取代傳統水力式散漿機，進行廢紙碎漿作業，有效簡化散漿流程，去除二次散漿等週邊設備。鼓式散漿機流程設備單一，無需控制二次散漿機，有效避免因二次散漿處理異常，而影響抄紙機生產。搭配立式篩選機，有效降低能耗，提高漿料清潔度及較佳的漿料質量。鼓式散漿機技術流程圖如 4.3.1-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.3.1-1 鼓式散漿機技術流程圖

4.3.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

改善前 A 紙機抄造裱面紙板，須提升紙面清潔度，以增加產品競爭力；B 紙機改抄造芯紙，但佔地空間不足，無法設置散漿系統；C 紙機抄造紙管紙，配合增設鼓式散漿機系統，將無散漿作業場所。A、B、C 三部紙機日產能 1,100 噸，噸紙耗能為 290 kWh/t，產品別包括裱面紙板、芯紙、紙管紙等。

2. 單元改善後情境說明

設置日散漿量為 700 噸的鼓式散漿機，與原留用之立式散漿機合計日供漿量為 1,100 噸。A 紙機散漿段停用一台立式散漿機系統，且因原 A 紙機粗篩段處理量能不足，增設立式篩選機以降低能耗。B、C 紙機不設置粗篩段設備，由 A 紙機供應粗篩後良漿。

改善後散漿段能耗 34 kWh/t 及粗篩段能耗 31 kWh/t，噸紙耗能合計為 65 kWh/t。

4.3.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入鼓式散漿機技術之節能量

改善後之節能量如表 4.3.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.3.3-1 所示。

表 4.3.3-1 鼓式散漿機技術之節能量

三台紙機散漿段及粗篩段均各自獨立

項目	產量 (t)	散漿段 (kWh/t)	粗篩段 (kWh/t)	合計 (kWh/t)
A 紙機	600	43	72	290
B 紙機	400	46	44	
C 紙機	100	44	41	

三台紙機散漿段及粗篩段均合併

項目	產量 (t)	散漿段 (kWh/t)	粗篩段 (kWh/t)	合計 (kWh/t)
A 紙機	600	34	31	65
B 紙機	400			
C 紙機	100			

資料來源：案例廠提供

改善前：共 27,150,000 kWh/ 年

A 紙機：600 t/ 日 ×(43+72)kWh/t× 200 日 / 年 =13,800,000 kWh/ 年

B 紙機：400 t/ 日 ×(46+44)kWh/t×300 日 / 年 =10,800,000 kWh/ 年

C 紙機：100 t/ 日 ×(44+41)kWh/t×300 日 / 年 =2,550,000 kWh/ 年

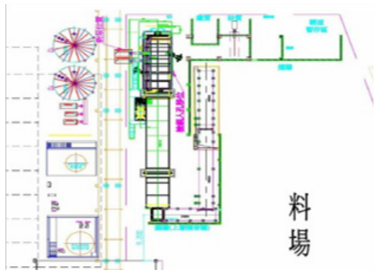
改善後：共 17,550,000 kWh/ 年

A 紙機：600 t/ 日 × 65 kWh/t× 200 日 / 年 =7,800,000 kWh/ 年

B 紙機：400 t/ 日 × 65 kWh/t×300 日 / 年 =7,800,000 kWh/ 年

C 紙機：100 t/ 日 × 65 kWh/t×300 日 / 年 =1,950,000 kWh/ 年

節電量：9,600,000 kWh/ 年



安裝位置


機體吊裝


篩選段內部


傳動齒輪


尾段排渣


渣繩及石頭

資料來源：案例廠提供

圖 4.3.3-1 鼓式散漿機圖片

2. 投資效益

案例廠鼓式散漿機技術之改善

- 完工時間：2016 年。
- 投資金額：約 20,000 萬元。

  （鼓式散漿機設備約 5,500 萬元，其餘包含桶槽、淨漿機、篩選機、殘渣處理、輸送帶等週邊設備及安裝工程約 14,500 萬元）

- 每年節電量：約 9,600,000 kWh。

  （以年運轉日數 A 紙機 200 日 / 年及 B、C 紙機 300 日 / 年計）

- 節電率：約 35%。
- 節能績效：約 2,400 萬元 / 年。
- 減碳量：5,116.8 公噸 CO_2e/ 年。
- 回收年限：約 8.3 年。

  （1 kWh= 2.5 元計，以經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.4 高效率篩選機技術案例

4.4.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

漿料製造流程係以廢紙原料經由散漿機、篩選機、磨漿機等設備進行漿料備製，確保漿料品質後進入紙機抄造成型。本應用製程案例為紙機備漿粗篩系統改善，以提升產能及漿料潔淨度。

2. 技術概要

高效率篩選機技術以獨特設計增加篩選效率，不但可提升產能及漿料潔淨度，更可顯著降低能耗使用。

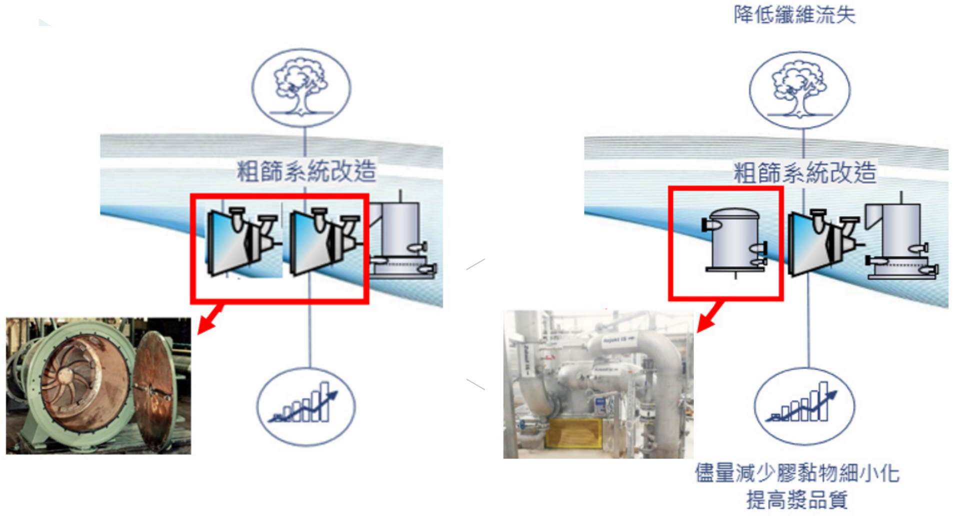
4.4.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

原粗篩系統漿料僅考慮採用離解效果佳之 Fibersorter 單元，但對於現今高產能、低能耗造紙業並無多大助益，產能提升及漿料潔淨度有限；改善前紙機備漿粗篩系統使用 2 台 Fibersorter 並聯。

2. 單元改善後情境說明

規劃以 2 台高效率篩選機搭配 Fibersorter （備用），不但提高產能、能耗顯著降低，且提高漿料潔淨度、降低纖維流失。改善前後之情境如圖 4.4.2-1 所示。



改善前
2 台 Fibersorter 並聯

改善後
2 台高效率篩選機搭配 Fibersorter (備用)

資料來源：案例廠提供

圖 4.4.2-1 案例廠篩選機系統改善前後示意圖

4.4.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入高效率篩選機技術之節能量

改善後之節能量如表 4.4.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.4.3-1 所示。

表 4.4.3-1 高效率篩選機技術之節能量

項目	改善前	改善後
安裝功率 (kW)	250	90
運轉能耗 (kW)	200	62
最大處理量 (公噸 / 日)	350	450
節省費用 (元)	12,000	3,720

資料來源：案例廠提供

改善前 -Fibersorter　　改善後 - 高效率篩選機

資料來源：案例廠提供

圖 4.4.3-1 高效率篩選機技術圖片

2. 投資效益

高效率篩選機技術之改善

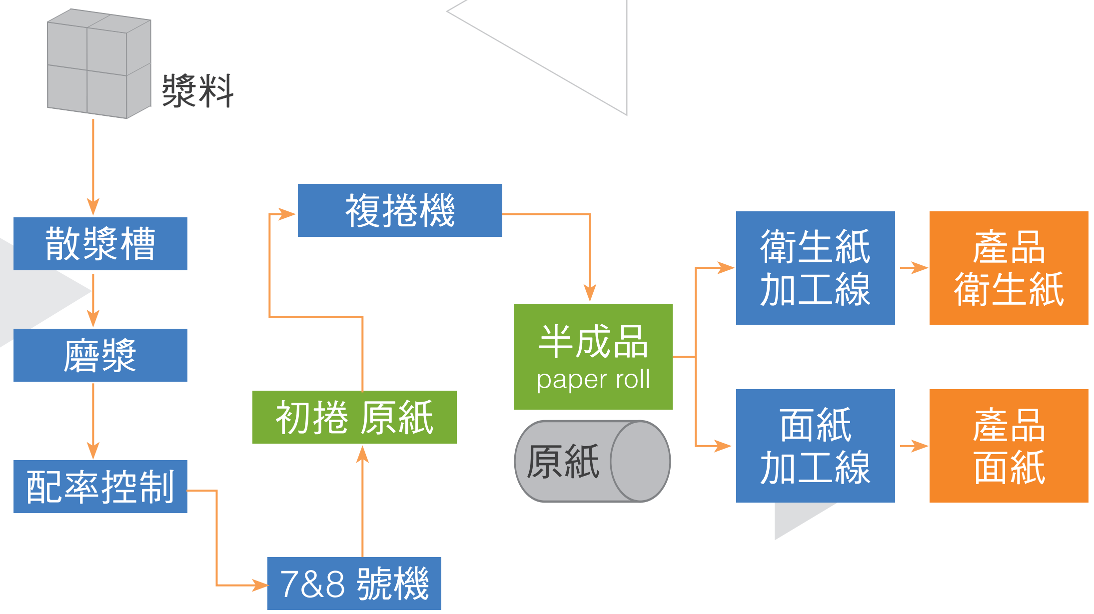
- 完工時間：2017 年。
- 投資金額：約 1,362 萬元。
  （2 台高效率篩選機設備約 1,100 萬元，管材、控制閥、土木基礎及安裝工程等約 262 萬元）
- 每年節電量：約 1,092,960 kWh。
  （以年運轉時數 7,920 小時 / 年計算）
- 節電率：約 69%。
- 節能績效：約 273.2 萬元 / 年。
- 減碳量：582.5 公噸 CO_2e/ 年。
- 回收年限：約 4.99 年。
  （1 kWh= 2.5 元計，以經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.5 錐形磨漿機技術案例

4.5.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

案例廠主要產品為家庭用紙，品類包含平板衛生紙、抽取式衛生紙，製程流程如圖 4.5.1-1 所示。

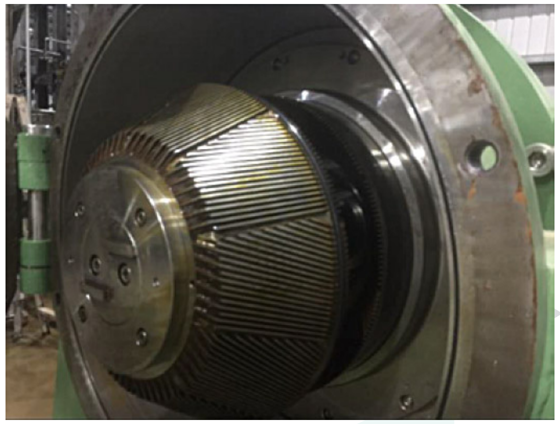


資料來源：案例廠提供

圖 4.5.1-1 案例廠製程流程

2. 技術概要

盤式磨漿機滿載容易切斷纖維，造成游離度太低抄造上有困難度，且空載電流高、能耗較大。應用錐形磨漿機技術可降低纖維所接受的動力、延長在機體內的滯留時間；細長的錐形刀棒，可以有效的進行刀盤間隙（Gap）的調整，符合磨漿需求。相較於盤式磨漿機，錐形磨漿機可以有較長的磨漿距離及動力較節省的優勢，可達到良好之紙漿品質及較低之能源耗用。錐形磨漿機刀盤如圖 4.5.1-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.5.1-2 錐形磨漿機刀盤示意圖

4.5.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

紙張製造過程中須先將紙漿放入磨漿機中調成。因抄造吸水紙時磨漿能力不足，兩台盤磨滿載容易切斷纖維，造成游離度太低抄造上有困難度，盤式磨漿機空載電流高，能耗也較大，

2. 單元改善後情境說明

以單台錐形磨漿機取代兩台盤式磨漿機，改善前後之設備規格形式如表 4.5.2-1 所示。

表 4.5.2-1 錐形磨漿機設備規格形式

磨漿方式	磨漿機編號	磨盤型式	磨盤規格
混合	M108	盤式	磨盤直徑 20 英吋 規格：2.2× 2.6 ~ 4.0× 7.0 mm
混合	M109	盤式	磨盤直徑 20 英吋 規格：2.9× 2.9 ~ 4.1× 5.0 mm
混合	E107	錐形	磨盤直徑 20 英吋 規格：3.0× 4.5 mm

資料來源：案例廠提供

4.5.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入錐形磨漿機技術之節能量

原雙刀盤磨漿機負載 100 kW，改錐型磨漿機負載降至 65 kW，節省負載 35 kW；且提生車速 50 mpm，提生產量 47.5 噸 / 月 ×2，降低固定製造成本 96 元 / 噸。改善後之照片如圖 4.5.3-1 所示。

資料來源：案例廠提供

圖 4.5.3-1 錐形磨漿機技術圖片

2. 投資效益

案例廠錐形磨漿機技術之改善

- 完工時間：2016 年。
- 投資金額：約 580 萬元。
  （錐形磨漿機設備約 500 萬元，安裝工程約 80 萬元）
- 每年節電量：約 420,000 kWh。
  （以年運轉時數 6,000 小時 / 年計算）
- 節電率：約 22%。

- 節能績效：約 96.6 萬元 / 年。
- 減碳量：223.9 公噸 CO_2e/ 年。
- 回收年限：約 5 年。

（1 kWh= 2.3 元計，以經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.6 紙機蒸汽與冷凝水系統效能提升技術案例

4.6.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

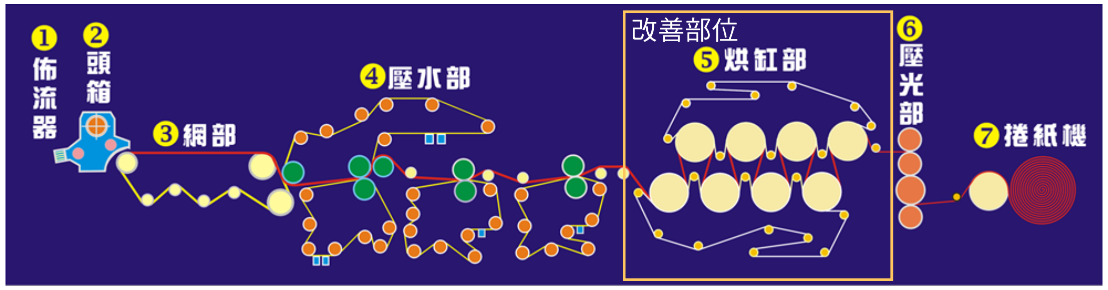
抄紙機大致可分為網部、壓榨部、烘乾部及初捲部，其流程如圖 4.6.1-1 所示，各部説明如下：

(1) 網部：負責紙匹的濾水及成型的第一步驟。網部主要功能為將漿料中的水分利用重力及真空抽吸的方式濾掉，並讓紙匹成型。

(2) 壓榨部：利用機械擠壓的方法去除濕紙水分，提高紙幅進入烘缸的乾度，同時增加紙中纖維的氫結合力，提高紙的緊度和強度。

(3) 烘乾部：利用蒸汽將紙匹中的水分去除。

(4) 初捲部：捲紙機位於抄紙機的末端，藉由捲紙缸（Reel Drum）靠接觸加壓產生磨擦力帶動捲紙轆（Spool Roll），將紙匹捲取於轆體上。

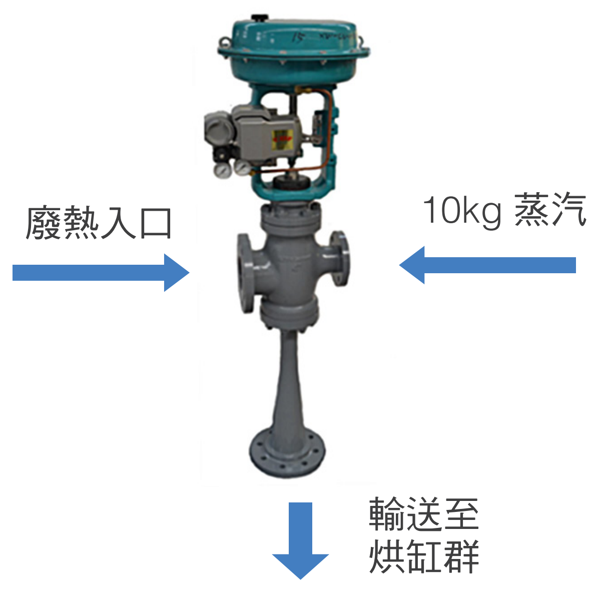


資料來源：案例廠提供

圖 4.6.1-1 抄紙機製程流程

2. 技術概要

蒸汽做功後，排至汽水分離桶之閃沸蒸汽，利用熱壓機將高壓蒸汽（10K）吹貫至烘缸，將閃沸蒸汽抽出循環充分再利用。應用熱壓縮機系統可以將烘缸段多餘之閃沸蒸汽回到原烘缸段再次利用，不排放至大氣中，可以減少蒸汽的使用，如圖 4.6.1-2 熱壓機工作示意圖。



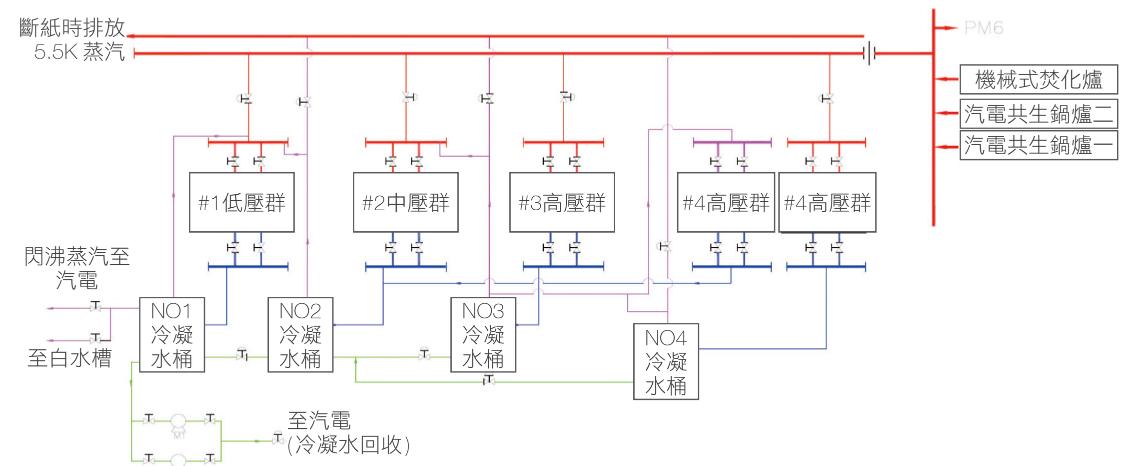
資料來源：案例廠提供

圖 4.6.1-2 熱壓機工作示意圖

4.6.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

專案實施前，烘缸作業區（60 個烘缸）使用 5K 蒸汽（蒸汽來源為廠內汽電共生鍋爐、機械式焚化爐），透過壓差控制方式，進行紙批之乾燥。烘缸作業區中設有冷凝水分離槽，經過乾燥製程利用後剩餘之閃沸蒸汽及冷凝水由各階段（不同壓力之乾燥群）之冷凝器排至大氣，產生熱散失。而乾燥製程尾端冷凝水回收槽排放之冷凝水（蒸汽）部分回收予廠內汽電共生鍋爐作為飼水預熱用，剩餘之熱能則排至白水槽或大氣中。改善前蒸汽串級控制流程如圖 4.6.2-1 所示。

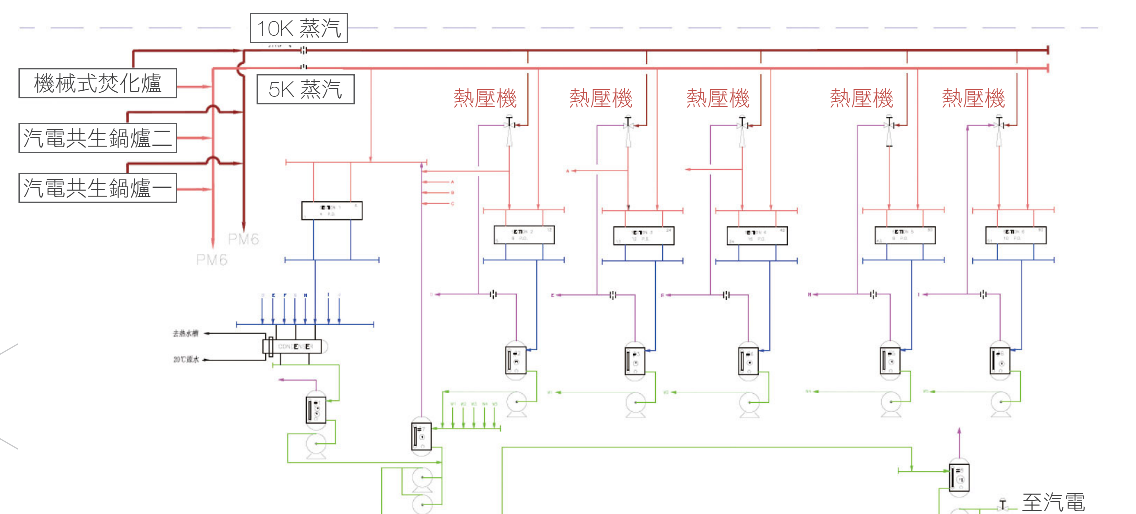


資料來源：案例廠提供

圖 4.6.2-1 改善前蒸汽串級控制流程

2. 單元改善後情境說明

專案實施後，乾燥製程增設熱壓機，利用 10K 高壓蒸汽提升各階段回收蒸汽之壓力，維持乾燥系統內蒸汽熱焓。並更新冷凝水分離槽、冷凝器及相關配管改善，達到蒸汽零排放，有效提高製程蒸汽使用效率。改善後蒸汽熱壓縮機系統控制流程如圖 4.6.2-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.6.2-2 改善後蒸汽熱壓縮機系統控制流程

4.6.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入紙機蒸汽與冷凝水系統效能提升技術之節能量

改善後之節能量如表 4.6.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.6.3-1 所示。

表 4.6.3-1 紙機蒸汽與冷凝水系統效能提升技術之節能量

項目	改善前	改善後	減降效果
單位產品蒸汽耗用（蒸汽 t/ 產品 t）	1.6~1.9	1.2~1.5	0.4

資料來源：案例廠提供

資料來源：案例廠提供

圖 4.6.3-1 紙機蒸汽與冷凝水系統效能提升技術圖片

2. 投資效益

案例廠紙機蒸汽與冷凝水系統效能提升技術之改善

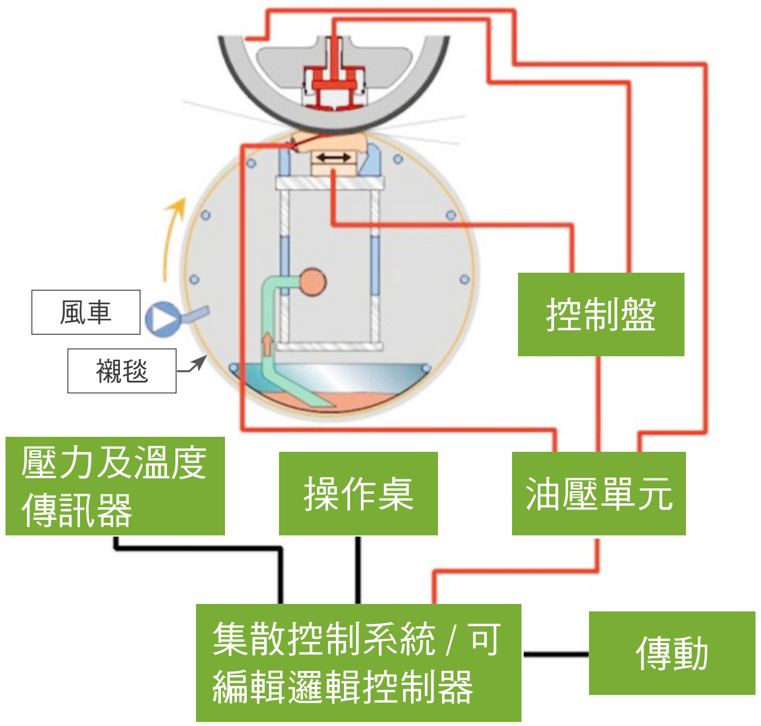
- 完工時間：2018 年。
- 投資金額：約 18,000 萬元。
  （蒸汽熱壓縮機系統包含設備本體、汽水分離桶、計量表等約 930 萬元，系統附屬設備及管道配置安裝工程約 17,070 萬元）
- 每年節省：用煤量約 6,300 公噸。
  （以節省蒸汽約 52,800 公噸 / 年、年運轉時數 7,920 小時 / 年計算推估）
- 節能率：燃煤約節省 23%（蒸汽約節省 24%）。
- 節能績效：約 2,520 萬元 / 年。
  （1 噸煤 = 4,000 元計，燃煤平均熱值為 5,623 kcal/kg）
- 減碳量：12,978 公噸 CO_2e/ 年。
  （以每噸蒸汽 660 Mcal 計算，換算為煤碳量，約可節省 6,300 噸煤炭，再以自廠係數計算）
- 回收年限：約 7 年。

4.7 壓水部效能提升技術案例

4.7.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

濕紙匹藉由揭紙轆自網部引紙進入 LNP Press（1P），而 LNP Press 至曲靴壓榨設備（2P）及 2P 至烘缸部皆為開放式（Open Draw）引紙。油壓中心則供應靴壓設備之油壓來源及轆內冷卻，其它附屬設備則為動作及控制機構，控制流程如圖 4.7.1-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.7.1-1 案例製程控制流程

2. 技術概要

靴式壓榨（Shoe press）本質上是可控制中高轆（Control crown roll, CCR）作用於可撓性的外殼及凹面的曲靴，這種可撓性外殼是一層薄的 PU 襯毯，類似轆膠環繞於轆體，當經過捏縫（Nip）時會於曲靴及 CCR 間受到彎曲力。

襯毯內部係使用潤滑油潤滑，當其經過曲靴時是以油膜方式潤滑，故曲靴和襯毯間並未接觸而造成表面磨損。曲靴凹面基本寬度 250 mm 為傳統壓水轆捏縫之 4~10 倍，利用此種寬捏縫，線壓可高達 1,000~1,500 kN/m 也不致造成紙匹或毛毯損壞的危險。和傳統壓水轆比較，此種寬捏縫產生長且足夠的線壓時間，並因而提高 5%~7% 的乾度，可減少烘缸蒸汽需要量。

4.7.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

改善前為 2 台壓榨設備串聯，包含 Sym Press（1P 及 2P，該設備為 3 個轆体 2 個壓區）及 LNP Press（3P），改善前單位蒸汽耗用為 1.52 公噸蒸汽 / 噸紙。

2. 單元改善後情境說明

將原 Sym Press 移除並增設靴式壓榨設備（Symbelt Shoe Press），改善後為 2 台壓榨設備串聯且產能不變，包含 LNP Press（1P）及 Symbelt Shoe Press（2P），其最大線壓 1,200 kN/m。改善後單位蒸汽耗用由 1.52 公噸蒸汽 / 噸紙降至 1.44 公噸蒸汽 / 噸紙。

4.7.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入壓水部效能提升技術之節能量

改善後之節能量如表 4.7.3-1 所示。

表 4.7.3-1 壓水部效能提升技術之節能量

改造前	00.1	00.2	00.3	00.4	00.5	00.6	00.7	00.8	00.9	00.10			平均
蒸汽 t/ 紙 t	1.48	1.63	1.48	1.46	1.42	1.54	1.55	1.64	1.47	1.53			1.52
改造後	00.11	00.12	01.1	01.2	01.3	01.4	01.5	01.6	01.7	01.8	01.9	01.10	平均
蒸汽 t/ 紙 t	1.33	1.42	1.43	1.46	1.52	1.48	1.53	1.45	1.43	1.36	1.44	1.38	1.44

資料來源：案例廠提供

2. 投資效益

案例廠壓水部效能提升技術之改善

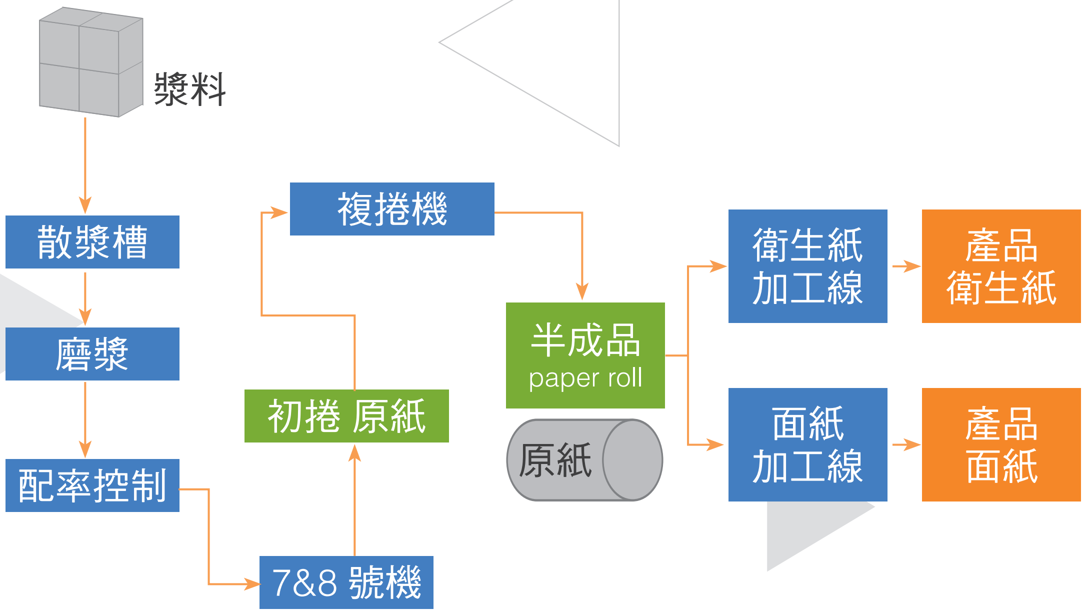
- 完工時間：2001 年。
- 投資金額：約 12,220 萬元。
  （靴式壓榨設備約 8,485 萬元，其餘包含 LNP 移設及設備修改、管路電控及油壓控制單元設備、土木基礎工程、安裝工程等約 3,735 萬元）
- 每年節省蒸汽量：約 15,200 公噸。
  （以年運轉時數 7,920 小時 / 年計算）
- 節能率：約 5%。
  （本案因原料、毛毯脫水率等因素影響脫水效率）
- 節能績效：約 942 萬元 / 年。
  （以每噸蒸汽 620 元計算）
- 減碳量：3,993 公噸 CO_2e/ 年。
  （以每噸蒸汽 660 Mcal 換算為煤碳量，燃煤平均熱值為 5,433 kcal/kg，約可節省 1,846 噸煤炭，再以自廠係數計算）
- 回收年限：約 13 年。

4.8 鋼製烘缸技術案例

4.8.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

案例廠主要產品為家庭用紙，品類包含平板衛生紙、抽取式衛生紙，製程流程如圖 4.8.1-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.8.1-1 案例廠製程流程

2. 技術概要

鋼製烘缸材質為不銹鋼具有較佳熱傳導係數，重量較鑄鐵烘缸輕可降減烘缸傳動耗電，而殼內部由原本平面式僅有對稱 2 支虹吸管改為溝槽設計採用 6 組多管虹吸設計，蒸汽壓力提升 2.5 bar 增加熱效率。新烘缸加大汽液分離桶容量與熱壓縮機，回收蒸汽流量增加 40%，因此大幅提升整體乾燥能力。

而在維持紙機產量狀況下，使用保溫抽風氣罩及廢熱水回收預熱風空氣，不僅減少使用原生蒸汽熱交換循環空氣，並將原循環風機改為排風機，降減耗電只需要原來的 1/10，節能效果顯著。

4.8.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

改善案例紙機之烘缸直徑 12 呎為鑄鐵材質，鑄鐵烘缸重量重、傳熱效果差，需要耗費很大的電力才會使鑄鐵烘缸轉動。改善前其蒸汽壓力為 7.0 bar，殼內部為平面式僅有對稱 2 支虹吸管，循環風機設計為 277 kW。

2. 單元改善後情境說明

本案例改善範圍包含更換鋼製烘缸，停用烘罩熱交換器、送風機，及改造烘缸罩系統。

直徑 12 呎鋼製烘缸，烘缸主體採用鋼板捲焊，軸頭採用螺栓連接，其重量減少鑄鐵烘缸 15%，材質為不銹鋼，具有較佳熱傳導係數，效率較佳。其設計操作蒸汽壓力由 7.0 bar 提升至 9.5 bar，烘缸殼內部由原平面式僅有對稱 2 支虹吸管改為溝槽設計採用 6 組多管虹吸設計。為減少烘缸內部水膜殘留，加大汽液分離桶容量與熱壓縮機回收流量增加 40%，因此大幅提升整體乾燥能力。另使用保溫抽風氣罩及廢熱水回收預熱風空氣，不僅減少使用原生蒸汽熱交換循環空氣，將原設計 277 kW 的循環風機改為 22 kW 排風機，為降低耗電主要利基。改善前後如圖 4.8.2-1 所示。

改善前烘缸內部

改善後烘缸內部

改善前汽液分離桶

改善後汽液分離桶

改善前循環風機 277 kW

改善後排風機 22 kW

資料來源：案例廠提供

圖 4.8.2-1 改善前後圖片

4.8.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入鋼製烘缸技術之節能量

改善後之節能量如表 4.8.3-1 所示。改善進行之照片如圖 4.8.3-1 所示。

表 4.8.3-1 鋼製烘缸技術之節能量

項目	紙機單耗		
	耗電量 (kWh/ 噸)	耗汽量 (噸 / 噸)	紙機單耗 (Mcal/ 噸)
改善前	743	2.9	3,598
改善後	719	2.47	3,238
降減	3.2%	14.8%	10.0%

資料來源：案例廠提供

資料來源：案例廠提供

圖 4.8.3-1 鋼製烘缸汰換工程圖片

2. 投資效益

案例廠鋼製烘缸技術之改善

- 完工時間：2016 年。
- 投資金額：約 3,020 萬元。
  (鋼製烘缸設備約 2,800 萬元、安裝工程約 220 萬元)
- 每年節省：用煤量約 85 公噸、電量約 1,520,000 kWh。
  (以年運轉時數 5,960 小時 / 年計算)
- 節能率：蒸汽約節省 14.8%、電力約節省 3.2%。
- 節能績效：約 366 萬元 / 年。
- 減碳量：1,026 公噸 CO_2e/ 年。
- 回收年限：約 7.66 年。
  (1 噸煤 = 1,899 元、1 kWh= 2.3 元計，燃煤平均熱值為 5,197 kcal/kg，排放係數以燃煤 2.535 公噸 -CO_2e/ 公噸煤、經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計)

4.9 紙機真空系統優化案例

4.9.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

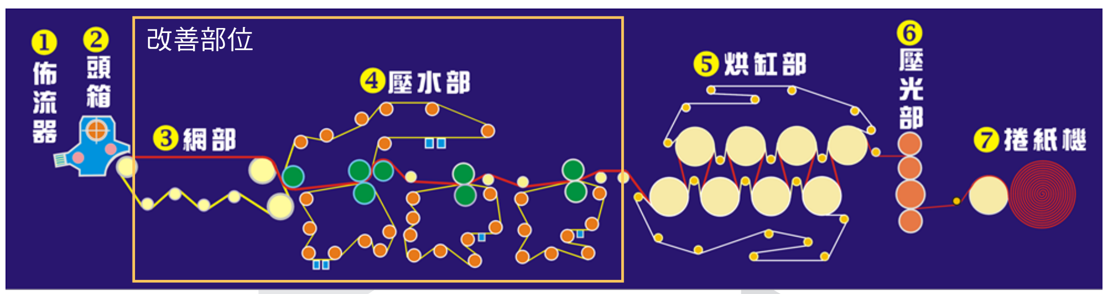
抄紙機大致可分為網部、壓榨部、烘乾部及初捲部，其流程如圖 4.9.1-1 所示，各部說明如下：

(1) 網部：負責紙匹的濾水及成型的第一步驟。網部主要功能為將漿料中的水分利用重力及真空抽吸的方式濾掉，並讓紙匹成型。

(2) 壓榨部：利用機械擠壓的方法去除濕紙水分，提高紙幅進入烘缸的乾度，同時增加紙中纖維的氫結合力，提高紙的緊度和強度。

(3) 烘乾部：利用蒸汽將紙匹中的水分去除。

(4) 初捲部：捲紙機位於抄紙機的末端，藉由捲紙缸（Reel Drum）靠接觸加壓產生磨擦力帶動捲紙轆（Spool Roll），將紙匹捲取於轆體上。



資料來源：案例廠提供

圖 4.9.1-1 抄紙機製程流程

2. 技術概要

一臺紙機上有多個真空度要求不相同的真空元件需要連接到真空系統，如果選用水環真空泵組建真空系統，往往把一些真空度相近點合併後，根據不同的真空度選用多臺水環真空泵來組建真空系統。而選用透平真空泵組建真空系統，其數量僅需一臺或兩三臺則可以供應大型紙機的真空系統。

上述兩者能耗差異並非機械效率差，是因為造紙真空系統抽吸屬濕空氣，水環真空泵溫度較高的濕空氣進入到水環真空泵內會被泵內的水冷凝而體積減小影響能耗。透平真空泵為離心式設計，以高速旋轉的葉輪直接對氣體做功，效率較水環真空泵高。

4.9.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

改善前使用水環真空泵，其葉輪與泵體呈偏心配置，旋轉時靠離心力作用沿泵體內壁形成水環，前半轉容積逐漸擴大，氣體從外界吸入；後半轉容積逐漸縮小，氣體被壓縮後排出外界。完成吸氣、壓縮、排氣三個工作階段。

2. 單元改善後情境說明

改善後使用透平真空泵，其利用葉片和氣體的相互作用，葉輪高速轉動時，直接對氣體做功，因此效率較水環泵提升 25%~30%。

4.9.3 成效分析與節能減碳效益

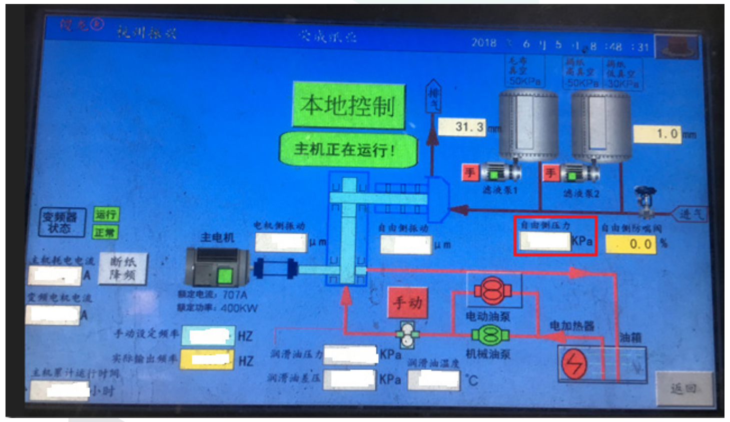
1. 導入紙機真空系統優化之節能量

改善後之節能量如表 4.9.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.9.3-1 所示。

表 4.9.3-1 紙機真空系統優化之節能量

項目	改善前 - 水環真空泵	改善後 - 透平真空泵
額定電量（kWh）	500~700	300~500

資料來源：案例廠提供



資料來源：案例廠提供

圖 4.9.3-1 紙機真空系統優化圖片

2. 投資效益

案例廠紙機真空系統優化之改善

- 完工時間：2017 年。
- 投資金額：約 600 萬元。
  （透平真空泵設備約 530 萬元、管道配置及安裝工程約 70 萬元）
- 每年節電量：約 1,718,600 kWh。
  （以年運轉時數 7,920 小時 / 年計算）
- 節電率：約 25%~30%。
- 節能績效：約 429 萬元 / 年。
- 減碳量：916 公噸 CO_2e/ 年。
- 回收年限：約 1.4 年。
  （1 kWh= 2.5 元計，以經濟部能源局公告 107 年電力排碳係數 0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

造紙業低碳製程技術彙編

參考文獻

參考文獻

[01] 台灣區造紙工業同業公會官網，https://www.paper.org.tw/

[02] 台灣區造紙工業同業公會，台灣造紙工業統計，2020 年。

[03] 台灣經濟研究院產經資料庫，2020 年我國造紙業產業分析，2020 年。

[04] 經濟部能源局，108 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，2020 年。

[05] 經濟部中小企業處，造紙業節能減碳技術手冊與案例彙編， 2017 年。

[06] 經濟部工業局，工業技術人才培訓 - 抄紙之設備培訓，2009 年。

[07] 蘇裕昌，脫墨漿製造用省能散漿機的基礎及其發展趨勢，VOL,15 No.2 漿紙技術，2011 年。

[08] 蘇裕昌，脫墨漿製造工程上的省能設備與省能操作技術，VOL,15 NO2 製漿技術，2011 年。

[09] 蘇裕昌，磨漿的基本理論及低強度磨漿技術， VOL,14 No.4 漿紙技術，2010 年。

[10] 彭元興等人，漿紙技術 - 乾燥部節約能源實務，2010 年。

[11] 陳首挺，造紙真空系統中兩種常見的真空發生設備 - 水環真空泵和透平風機的綜合比較，2013 年。

[12] 江口正和，DIP パルパーの基本コンセプト(1)，紙パ技協誌 63(5)：539-545.，2009 年。

[13] Herbert H., Handbook of Paper and Board.,WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA,Weinheim Pp.153-161.,2006。

[14] 彭元興，抄紙機械概論簡報，2017 年。

[15] 彭元興，備漿系統總論簡報，2010 年。

[16] 彭元興，抄紙機概論 - 壓水部，2005 年。

[17] 蘇裕昌，抄紙的基礎簡報。

[18] 彭元興，中國大陸「禁廢令」對臺灣廢紙供應鏈的影響，2019 年。

[19] 林俊良，偏心式散漿機 VOITH 設備商教育訓練教材，2011 年。

[20] 中國造紙學報，紙機烘缸的研究進展，2012 年。

[21] 杭州振興，杭州振興透平泵技術文件，2017 年。

[22] 上海愛地，佳德納熱壓縮系統技術文本，2014 年。

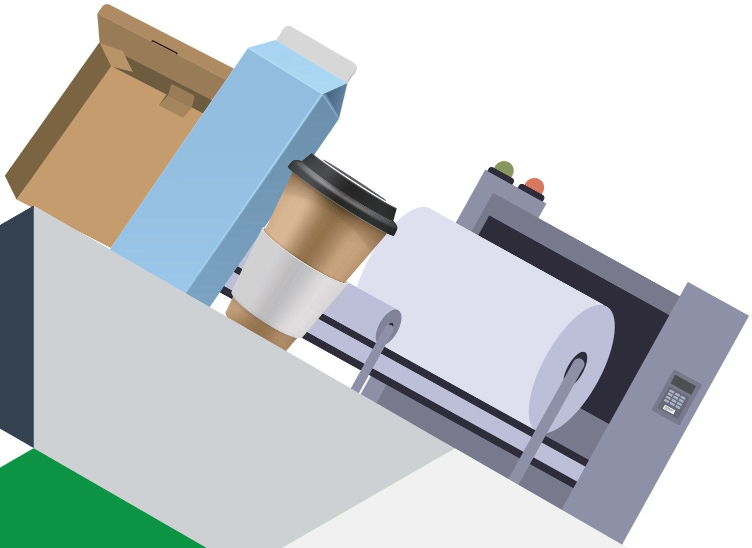
[23] 中國紙業網：http://www.chinapaper.net/

[24] VALMET：http://www.valmet.com/

[25] IntegraScreen Energy-efficient screening in stock preparation
https://voith.com/us-en/papermaking/integrascreen.html

NOTE

NOTE



INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經 濟 部 工 業 局

106臺北市信義路三段41-3號
電話：(02)2754-1255
傳真：(02)2703-0160
網址：http://www.moeaidb.gov.tw