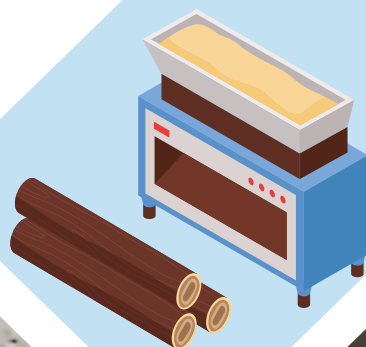
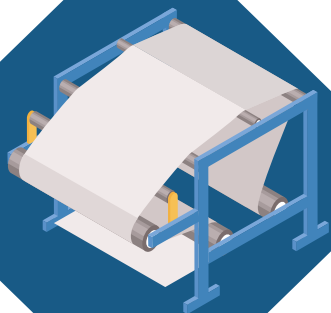


114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編





114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

中華民國114年12月

目 錄

摘要	9
1.緒言	11
2.產業特性與發展趨勢	13
2.1 產業簡介	14
2.2 主要製程特性	22
2.3 未來發展方向及面臨問題與建議	25
3.減碳生產技術設備	30
3.1 備漿製程應用技術	31
3.1.1 多盤式過濾機	31
3.1.2 熱分散系統	34
3.2 抄紙製程應用技術	38
3.2.1 稀釋水頭箱	38
3.2.2 多烘缸的烘缸罩通風系統	41
3.2.3 揚基烘缸的烘缸罩通風系統	43
3.2.4 紙機傳動系統	46
3.2.5 靴壓在衛生紙機的應用	48
3.2.6 磁懸浮透平真空泵	53
3.2.7 槽底式/薄膜式上膠輥	56
3.3 公用系統應用技術	59
3.3.1 鍋爐燃料轉換	59
3.3.1.1 固體再生燃料/生質燃料鍋爐/汽電共生系統	59
3.3.1.2 燃煤鍋爐更換為天然氣鍋爐	62
3.3.2 廢水厭氧單元沼氣發電再利用	64
3.3.3 熱交換器在造紙製程熱回收的應用	68

4.減碳生產技術設備應用與實務案例	73
4.1 多盤式過濾機技術案例	74
4.1.1 應用製程簡介及技術概要	74
4.1.2 改善方案執行過程	75
4.1.3 成效分析與節能減碳效益	77
4.2 熱分散技術案例	78
4.2.1 應用製程簡介及技術概要	78
4.2.2 改善方案執行過程	79
4.2.3 成效分析與節能減碳效益	81
4.3 稀釋水頭箱技術案例	82
4.3.1 應用製程簡介及技術概要	82
4.3.2 改善方案執行過程	83
4.3.3 成效分析與節能減碳效益	84
4.4 多烘缸的烘缸罩通風系統案例	85
4.4.1 應用製程簡介及技術概要	85
4.4.2 改善方案執行過程	86
4.4.3 成效分析與節能減碳效益	89
4.5 揚基烘缸的烘缸罩通風系統案例	90
4.5.1 應用製程簡介及技術概要	90
4.5.2 改善方案執行過程	90
4.5.3 成效分析與節能減碳效益	91
4.6 紙機傳動系統案例	92
4.6.1 應用製程簡介及技術概要	92
4.6.2 改善方案執行過程	93
4.6.3 成效分析與節能減碳效益	96

4.7 靴壓在衛生紙機的應用案例	99
4.7.1 應用製程簡介及技術概要	99
4.7.2 改善方案執行過程	101
4.7.3 成效分析與節能減碳效益	105
4.8 磁懸浮透平真空泵的應用案例	106
4.8.1 文化用紙廠的應用案例	106
4.8.1.1 應用製程簡介及技術概要	106
4.8.1.2 改善方案執行過程	107
4.8.1.3 成效分析與節能減碳效益	110
4.8.2 工業用紙廠的應用案例	111
4.8.2.1 應用製程簡介及技術概要	111
4.8.2.2 改善方案執行過程	111
4.8.2.3 成效分析與節能減碳效益	113
4.9 槽底式/薄膜式上膠輥的應用案例	114
4.9.1 應用製程簡介及技術概要	114
4.9.2 改善方案執行過程	114
4.9.3 成效分析與節能減碳效益	115
4.10 固體再生燃料/生質燃料鍋爐/汽電共生系統案例	116
4.10.1 鍋爐SRF替代燃料	116
4.10.1.1 應用製程簡介及技術概要	116
4.10.1.2 改善方案執行過程	117
4.10.1.3 成效分析與節能減碳效益	118
4.10.2 SRF汽電共生系統	119
4.10.2.1 應用製程簡介及技術概要	119
4.10.2.2 改善方案執行過程	120
4.10.2.3 成效分析與節能減碳效益	121

4.10.3 SRF汽電共生系統-木屑投料口改造	122
4.10.3.1 應用製程簡介及技術概要	122
4.10.3.2 改善方案執行過程	122
4.10.3.3 成效分析與節能減碳效益	123
4.11 燃煤鍋爐更換為天然氣鍋爐案例	124
4.11.1 應用製程簡介及技術概要	124
4.11.2 改善方案執行過程	126
4.11.3 成效分析與節能減碳效益	126
4.12 廢水厭氧單元沼氣再利用發電案例	127
4.12.1 應用製程簡介及技術概要	127
4.12.2 改善方案執行過程	127
4.12.3 成效分析與節能減碳效益	132
4.13 熱交換器在造紙製程熱回收的應用案例	135
4.13.1 應用製程簡介及技術概要	135
4.13.2 改善方案執行過程	136
4.13.3 成效分析與節能減碳效益	137
結語	138
參考文獻	140
延伸閱讀	144

圖 目 錄

圖2.1.2-1 2005至2024年紙張及紙板年產量趨勢圖	15
圖2.1.3-1 2005至2024年造紙業能源消費量趨勢圖	18
圖2.1.3-2 2005至2024年造紙業能源消費量比例趨勢圖	18
圖2.1.3-3 2005至2024年造紙業整體單位產品耗能變化趨勢圖	19
圖2.1.3-4 造紙業2015至2023年第一/二批排放源之溫室氣體排放量趨勢圖	20
圖2.1.3-5 造紙業2005至2024年年生產量、能源消費量、溫室氣體排放量、 排放強度、單位耗能趨勢圖	21
圖2.1.3-6 造紙業2005至2024年溫室氣體排放量燃料源比例趨勢圖	22
圖2.2-1 台灣造紙業結構圖	23
圖2.2-2 造紙流程圖	24
圖2.3-1 造紙業2030年減碳目標及路徑圖	25
圖2.3-2 2023年生質物廢棄物流向分析	28
圖3.1.1-1 多盤式過濾機結構圖	32
圖3.1.1-2 多盤式過濾機工作原理	33
圖3.1.1-3 多盤式過濾機的白水回收流程圖	33
圖3.1.2-1 熱分散系統示意圖	35
圖3.1.2-2 回收紙經熱分散系統處理前後的手抄紙樣品	37
圖3.2.1-1 稀釋水頭箱照片及示意圖	39
圖3.2.3-1 衛生紙機乾燥部示意圖	43
圖3.2.3-2 蒸汽烘缸氣罩熱風系統圖	45
圖3.2.5-1 靴式壓榨輥照片	48
圖3.2.5-2 靴壓輥內部結構圖	49
圖3.2.5-3 傳統壓水輥與靴壓輥的線壓與壓區寬度比較圖	50
圖3.2.5-4 衛生紙機靴壓輥主要結構示意圖	50
圖3.2.5-5 靴壓壓區寬度與線壓關係圖	51
圖3.2.7-1 典型槽底式上膠輥的三種配置示意圖	55
圖3.2.7-2 典型薄膜式上膠輥的配置示意圖	57
圖3.3.3-1 板式熱交換器冷熱流體運作示意圖	69
圖3.3.3-2 板式熱交換器的寬間隙型板片示意圖	69
圖3.3.3-3 各類熱交換器適用範圍	71
圖3.3.3-4 造紙業常用三大熱交換器的抗結垢性與投資成本比較圖	72
圖4.1.2-1 案例廠多盤過濾機照片	76
圖4.1.2-2 案例廠多盤過濾機DCS控制圖	76
圖4.2.2-1 案例廠熱分散系統照片	80

圖4.2.2-2 案例廠熱分散系統DCS控制圖	80
圖4.3.1-1 案例廠紙機稀釋水頭箱改造工程照片	82
圖4.3.1-2 稀釋水會藉由小孔進入頭箱與漿料混和噴出	83
圖4.4.2-1 案例廠烘缸罩照片	88
圖4.4.2-2 案例廠烘缸罩DCS控制圖	88
圖4.6.2-1 案例廠年久的直流馬達面臨的維修保養問題	93
圖4.6.2-2 案例廠傳統的郵筒式操作桌面臨的維修保養問題	94
圖4.6.2-3 案例廠控制系統由左至右依序為PS、PLC (安川CT-317M)、 通訊模組、I/O模組	95
圖4.6.2-4 案例廠立柱式斜面設計操作桌	96
圖4.7.1-1 Valmet公司的Advantage ViscoNip靴壓	99
圖4.7.2-1 案例廠衛生紙機改造為ViscoNip靴壓	101
圖4.7.2-2 案例廠改造前後，橫向紙匹乾度分布圖	102
圖4.7.2-3 案例廠最大捏縫壓力對乾度的影響(上)；紙匹乾度對烘缸罩天然氣 流量的影響(下)	103
圖4.7.2-4 案例廠紙匹乾度對嵩厚度的影響(上)；紙匹乾度對抗張強度的影響(下)	104
圖4.8.1.1-1 案例廠#1紙機真空系統改善規劃流程圖	106
圖4.8.1.1-2 案例廠#2紙機真空系統改善規劃流程圖	106
圖4.8.1.2-1 案例廠改善前#1紙機使用的8台水環式真空泵照片	108
圖4.8.1.2-2 案例廠改善前#2紙機使用的8台水環式真空泵照片	108
圖4.8.1.2-3 案例廠改善後#1紙機3台磁懸浮透平機照片	109
圖4.8.1.2-4 案例廠改善後#2紙機3台磁懸浮透平機照片	110
圖4.8.2.2-1 案例廠改善前紙機使用的水環式真空泵照片	112
圖4.8.2.2-2 案例廠改善後紙機使用的磁懸浮透平真空泵照片	112
圖4.10.1.1-1 典型SRF處理流程圖	116
圖4.11.2-1 案例廠天然氣鍋爐照片	125
圖4.12.2-1 案例廠沼氣發電機設備流程圖	128
圖4.12.2-2 案例廠沼氣純化系統THIOPAQ®洗滌塔	129
圖4.12.2-3 案例廠沼氣調理系統	131
圖4.12.2-4 案例廠沼氣發電系統	131
圖4.12.3-1 案例廠沼氣發電機本體	133
圖4.12.3-2 案例廠綠能鍋爐流程圖	133
圖4.13.1-1 案例廠氣提處理污凝結水流程圖	135
圖4.13.2-1 案例廠四邊側板可拆卸的Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器	136

表 目 錄

表2.1.2-1 1990-2024年回收紙消費量統計表	16
表3.2.7-1 槽底式上膠輥與薄膜式上膠輥的特性比較	58
表3.3.3-1 造紙業常用板式熱交換器技術特點比較表	70
表4.4.2-1 不同烘缸罩型式的建議典型操作參數	86
表4.6.2-1 案例廠紙機的傳動系統高效率交流(AC)馬達及變頻器規格表	95
表4.6.3-1 傳動系統改造前後五年的故障原因整理表	96
表4.8.1.2-1 案例廠改善前#1紙機使用的8台水環式真空泵規格	107
表4.8.1.2-2 案例廠改善前#2紙機使用的8台水環式真空泵規格	108
表4.8.1.2-3 案例廠#1紙機改善後3台磁懸浮透平機規格	109
表4.8.1.2-4 案例廠#2紙機改善後使用的3台磁懸浮透平機規格	109
表4.10.1.2-1 案例廠改善前鍋爐煤炭熱值及使用量	117
表4.10.1.2-2 案例廠改善後鍋爐混合燃料使用量	118
表4.10.2.2-1 案例廠改善前鍋爐煤炭使用量	118
表4.10.2.2-2 案例廠改善後鍋爐混合燃料使用量	120
表4.11.3-1 案例廠天然氣與燃煤鍋爐成本比較表	126
表4.12.2-1 沼氣純化系統設計參數	130
表4.12.2-2 經生物洗滌塔後處理效能參數	130
表4.12.2-3 案例廠沼氣發電機供應商型錄資料	132

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

摘 要



摘要

本彙編延續 2020 年版本，針對造紙業鏈中造成溫室氣體排放量比重高之製程，彙集相關低碳技術及實務案例，期能提供業界參考，進而順利導入減碳製程。

本彙編彙整近 20 年（2005 至 2024 年）產業特性與發展趨勢，含紙張及紙板生產量、能源消費趨勢、單位產品耗能、溫室氣體排放量、排放強度等統計數據。並針對這些數據評估，研提對造紙業未來發展方向的建議包括：

1. 改善經營模式，健全供應鏈，提高利潤，維持優勢
2. 提升能源效率，提高投資額度
3. 能源結構調整 – 遠離化石燃料
4. 參與能源市場
5. 新興及突破性技術之研究發展

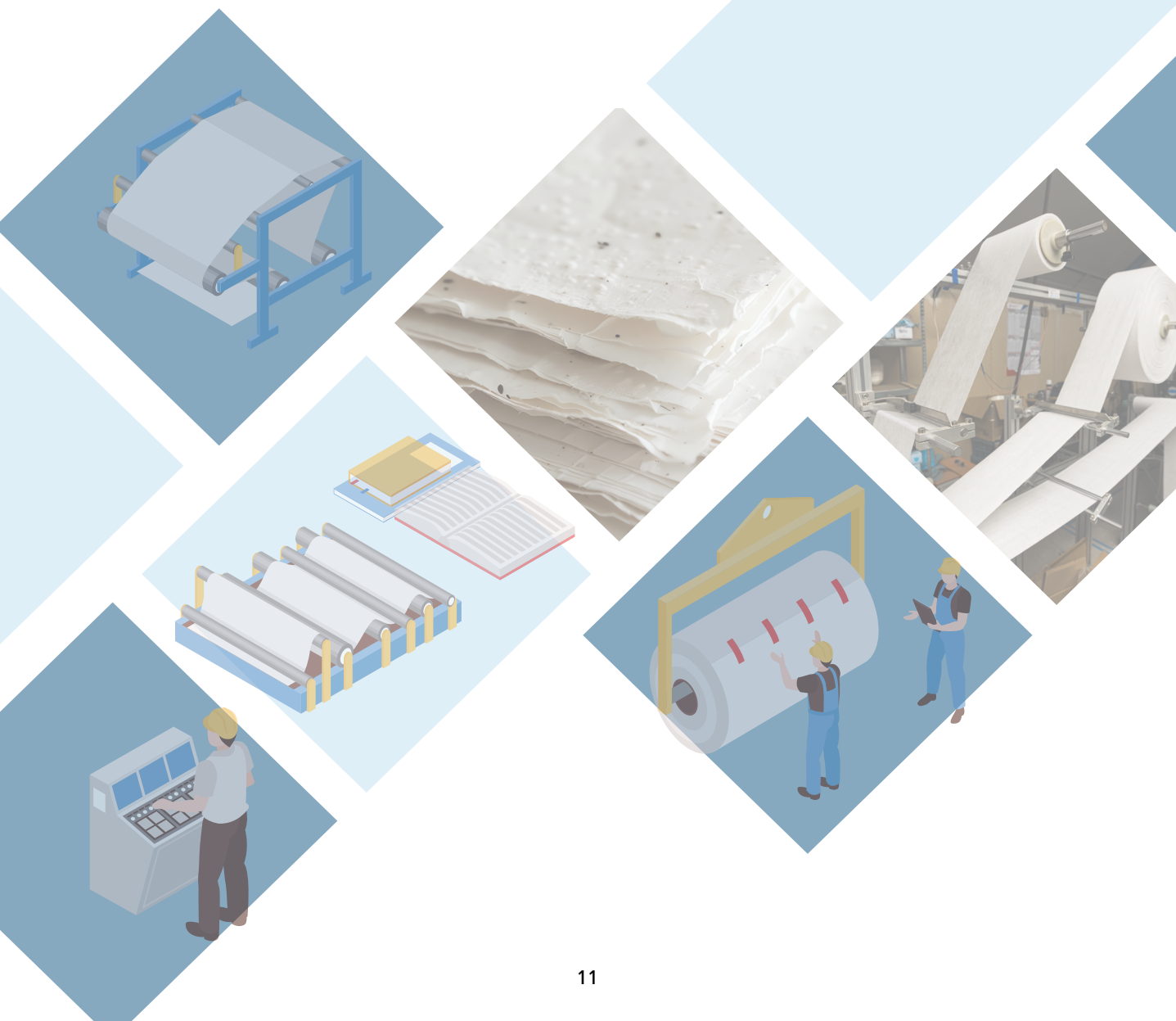
減碳生產技術設備蒐集目前國內造紙業使用較新之 13 項節能實務及減碳技術包含：

1. 備漿製程應用技術：多盤式過濾機、熱分散系統。
2. 抄紙製程應用技術：稀釋水頭箱、多烘缸的烘缸罩通風系統、揚基烘缸的烘缸罩通風系統、紙機傳動系統、靴壓在衛生紙機的應用、磁懸浮透平真空泵、槽底式 / 薄膜式上膠輥。
3. 公用系統應用技術：鍋爐燃料轉換、廢水厭氧單元沼氣發電再利用、熱交換器在造紙製程熱回收的應用等。

每種減碳技術均分別介紹：技術應用原理、技術特點、優勢、應考慮因素及限制等。並納入各減碳技術應用與實務案例：應用製程簡介及技術概要、改善方案執行過程、成效分析與節能減碳效益。期能提供造紙業界理論與實務上的參考，進而順利導入減碳製程。

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

1.緒言



1.緒言

行政院為配合《巴黎協定》之氣候目標，隨氣候危機越來越嚴重，世界各國紛紛更新法律，以具體規範淨零排放的實踐路徑，行政院與朝野黨團於諮詢專家及民間團體後，於 2023 年大幅修法 2015 年公告的《溫室氣體減量與管理法》（簡稱溫管法）。2023 年 1 月 10 日《氣候變遷因應法》（簡稱氣候法）三讀通過，同年 2 月 15 日正式生效，為台灣氣候治理主要法源，目的是為強化國內減碳目標與政策工具。《氣候法》共 63 條，涵蓋淨零目標、碳費徵收、氣候調適、排放管制、公正轉型等多項重點條文，希望透過立法推動社會各界參與減碳行動。

《氣候法》第 4 條明確訂下 2050 年達到淨零排放目標，訂定符合國家目標之碳中和路線，保持國際競爭力。此規範亦推動企業採取行動，制定具體之減碳計畫，以 5 年為一期方式擬訂階段管制目標來逐步落實。同法第 28 條亦規範將分階段徵收碳費，這是為鼓勵企業透過技術創新、提高能源效率來減少碳排放。

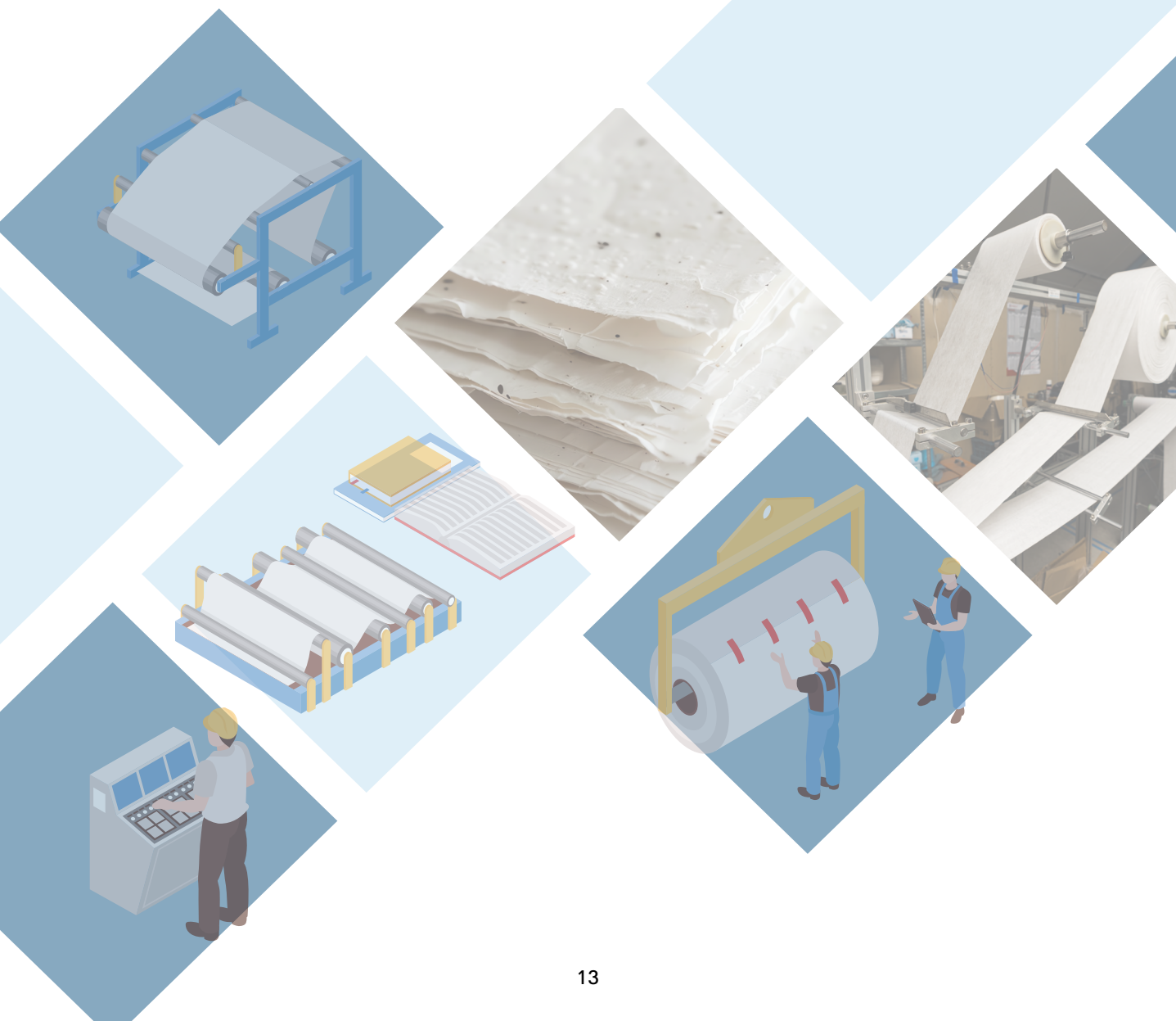
環境部於 2024 年 8 月 29 日發布「碳費收費辦法」及「自主減量計畫管理辦法」，並公告「碳費徵收對象溫室氣體減量指定目標」，完成碳費制度三項配套子法，同時宣佈我國正式邁入碳定價時代。為讓碳費徵收對象有足夠的時間評估及規劃至 2030 年可達成減量目標，提出自主減量計畫。我國碳費自 2025 年起開徵，收費對象依據 2025 年排放量及適用的費率進行繳費，2025 年排放量正式納入碳費徵收計算。

經濟部產業發展署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，遂特別編撰產業之「減碳技術案例彙編」，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，順利導入減碳生產製程技術。

本彙編延續 2020 年版本，針對造紙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。

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

2. 產業特性與發展趨勢



2.1 產業簡介

2.1.1 造紙業概況

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，於 2025 年 6 月時會員數為 66 廠。

造紙業公司規模懸殊很大，大多屬中小型企業，66 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 34 家廠；其次為台南、高雄及南投等縣市的 13 家；東部地區宜蘭、花蓮及台東縣則有 4 家；其餘 15 家則分散於台灣各縣市，僅台北市、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。

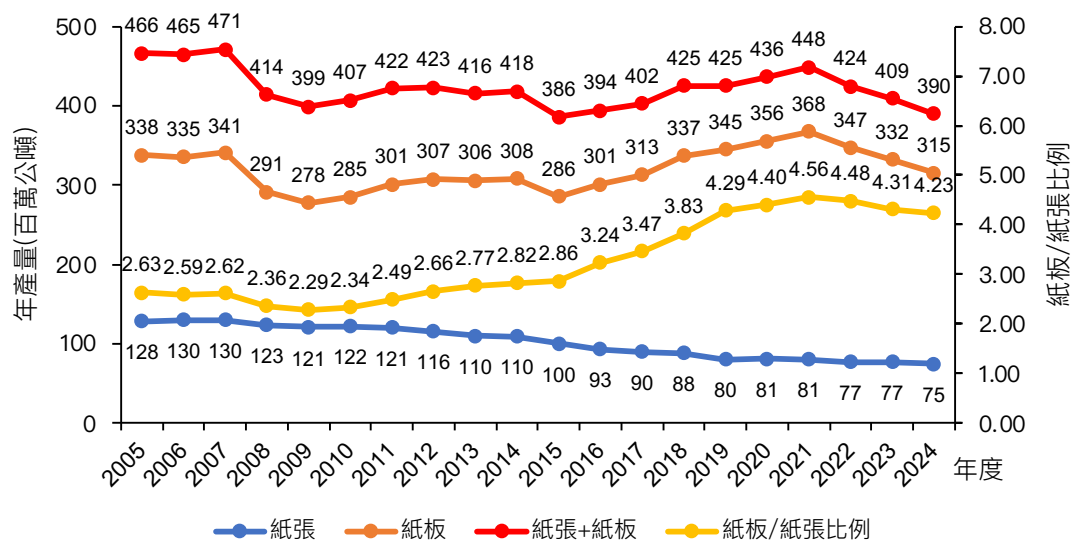
2.1.2 造紙業概況

1. 紙與紙板產銷

2005 至 2024 年紙張及紙板生產量統計說明如圖 2.1.2-1。從圖 2.1.2-1 中顯示，造紙業隨著市場的變動、進口紙的影響等等因素，紙張類年產量逐年下降。於 2015 開始紙張類年產量已低於百萬公噸，至 2024 年更是進一步減至約 75 萬公噸。以 2005 年為基準，2024 年的年產量衰退 41.4%（從 128 至 75 萬公噸）；以 2018 年為基準，2024 年的年產量衰退 14.8%（從 88 至 75 萬公噸）。

反觀紙板類，因有回收紙再利用技術、能資源整合系統等具國際競爭力的優勢，從 2015 年開始，年產量逐年成長，於 2021 年達歷史新高點，2024 年的年產量衰退 6.8%（從 338 至 315 萬公噸）；以 2018 年為基準，2024 年的年產量衰退 6.5%（從 337 至 315 萬公噸）。

綜合上述紙張類及紙板類之趨勢，造紙業整體年產量雖然受到紙張類衰退的影響，但還是逐年成長，2007 年達到歷史高點 471 萬公噸，2008 至 2014 年穩定在 399 至 423 萬公噸，但在 2015 及 2016 年受到全球金融市場震盪之影響，年產量衰退至 400 萬公噸以下 (386 及 394 萬公噸)，其餘年份仍維持逐年上升，於 2021 年達到高點 448 萬公噸，因市場因素逐年下降，至 2024 年則降至 390 萬公噸。但是紙板類 / 紙張類的比例差距趨勢逐年顯著，從 2005 年的 2.6 倍 (338/128) 到 2021 年的 4.6 倍 (368/81)，再到 2024 年的 4.2 倍 (315/75)。以 2005 年為基準，2024 年的年產量下降 16.3% (從 466 至 390 萬公噸)；以 2018 年為基準，2024 年的年產量衰退 8.2% (從 425 至 390 萬公噸)。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會，台灣造紙工業統計，2025 年

圖2.1.2-1 2005至2024年紙張及紙板年產量趨勢圖

2.原料產銷

原料供需方面，2024 年國內紙漿生產 22.9 萬公噸，較 2023 年減少 10%，進口紙漿 65.9 萬公噸，比 2023 年增加 2.3%，占國內總消費量的 74.8%。

由於紙板產量下滑，整體回收紙消費需求也隨之減少，相關統計說明如表 2.1.2-1。從表 2.1.2-1 中顯示，2024 年回收紙總消費量 365.4 萬公噸，比前一年減少 5.7%。其中國內回收紙為 274.2 萬公噸，比 2023 年增加 1.3%，占總消費量 75%；進口回收紙 91.2 萬公噸，較 2023 年減少 21.8%，占總消費量 25%。國內各廠基於成本考量仍優先使用國內回收紙，並持續落實回收紙的雜紙、雜物容許率驗收。我國回收紙回收率全球排名名列前茅，2024 年回收紙回收率為 70.9%，利用率為 93.8%。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、循環經濟帶來極大貢獻。

表2.1.2-1 1990-2024年回收紙消費量統計表

單位：公噸

年度	進 口				國內 收集量	出口量	消費量
	美洲	日本	其他地區	合計			
1990	1,209,025	197	110,521	1,319,743	2,083,000		3,402,743
2010	290,305	123,375	148,727	562,407	2,921,000	63,674	3,483,407
2011	294,053	181,069	125,921	601,043	2,941,000	65,511	3,542,043
2012	317,924	241,758	271,194	830,876	2,890,000	71,230	3,720,876
2013	301,733	292,811	176,414	770,958	2,970,000	65,786	3,740,958
2014	302,129	319,596	140,695	762,420	3,010,000	81,884	3,772,420
2015	253,022	218,558	77,883	549,463	2,930,000	106,417	3,479,463
2016	275,145	239,979	193,685	708,809	2,880,000	116,997	3,588,809
2017	354,557	372,353	396,680	1,123,590	2,410,000	135,645	3,533,590
2018	681,962	198,396	384,457	1,264,815	2,690,000	168,103	3,954,815
2019	785,466	291,530	243,613	1,320,609	2,720,000	121,469	4,040,609
2020	798,236	397,428	141,372	1,337,036	2,795,000	109,796	4,132,036
2021	857,702	572,565	72,550	1,502,817	2,886,000	173,566	4,388,817
2022	656,341	417,038	69,408	1,142,787	2,897,000	109,687	4,039,787
2023	611,417	452,216	103,700	1,167,333	2,708,000	105,210	3,875,333
2024	342,016	476,321	94,028	912,365	2,742,000	105,209	3,654,365

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

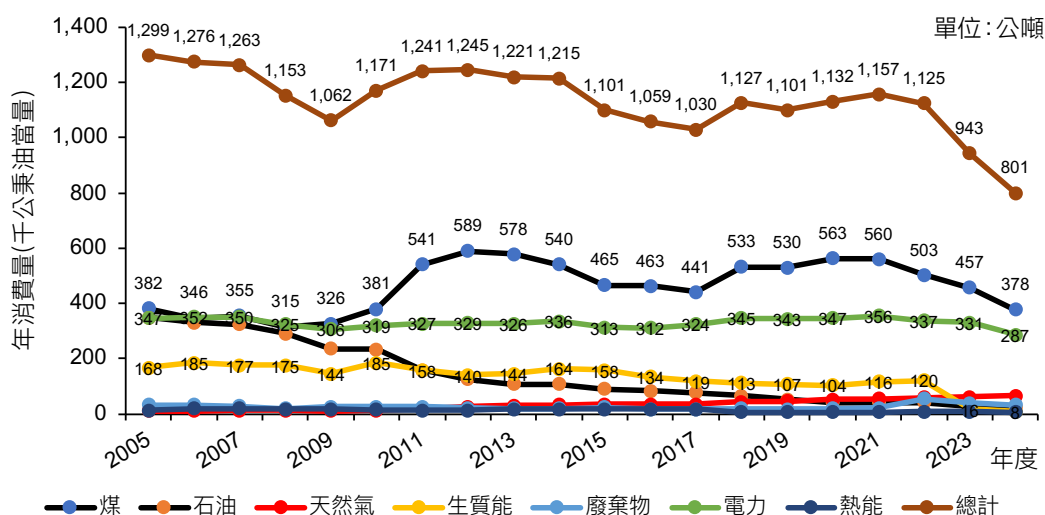
2.1.3 產業能源結構及能源效率

依據經濟部能源署統計資料，造紙業 2005 至 2024 年能源消費趨勢說明如圖 2.1.3-1，能源消費量比例趨勢說明如圖 2.1.3-2。從圖 2.1.3-1 及圖 2.1.3-2 中顯示，總能源消費量跟年產量息息相關，造紙業為善盡友善環境的社會責任，提高能源利用效率、強化節約能源的推動，2005 至 2009 及 2011 至 2017 年，總能源消費量逐年下降，成效顯著。但是從 2018 年開始因為各廠新紙機的陸續投產，所以總能源消費量逐年成長，到 2021 年達到高點 115.7 萬 kLOE（公秉油當量），而後因市場因素生產量逐年驟減，下降至 2024 年的 80.1 萬 kLOE。若以 2005 年為基準，至 2024 年衰退 38.3%（從 129.9 至 80.1 萬 kLOE）；而以 2018 年為基準，至 2024 年則衰退 28.9%（從 112.7 至 80.1 萬 kLOE）。

從能源結構來看，2024 年造紙業能源別依序為：燃煤 37.8 萬 kLOE（47.3%）、電力 28.7 萬 kLOE（35.9%）、天然氣 6.5 萬 kLOE（8.1%）、生質能及廢棄物 4.1 萬 kLOE（5.2%）、燃油 2.3 萬 kLOE（2.9%）；而 2023 年則為燃煤 45.7 萬 kLOE（48.5%）、電力 33.1 萬 kLOE（35.2%）、天然氣 6.1 萬 kLOE（6.5%）、生質能及廢棄物 5.5 萬 kLOE（5.9%）、燃油 2.9 萬 kLOE（3.0%）。比較 2024 年及 2023 年數據顯示，造紙業的能源結構類似，雖然近年來各廠很努力逐步進行能源轉換，如利用固體再生燃料（SRF）、農林剩餘資材等，但在沒有重大投資下，能源結構調整相當不易。在淨零排放的總目標下，值得各廠評估進一步增強投資來深化調整能源結構。

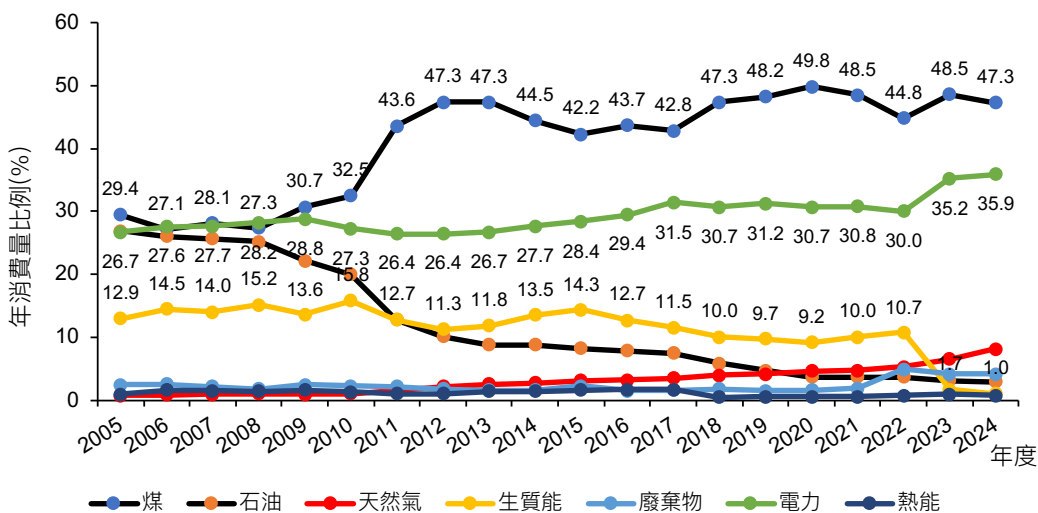
從圖 2.1.3-1 及圖 2.1.3-2 中的能源消費趨勢顯示，隨著三大廠（正隆、永豐餘（含華紙）、榮成的紙機規模化，達到汽電共生廠的經濟規模，均以能源（用電、蒸汽）自給自足為原則。造紙業的汽電共生廠所使用的燃料，以煤及煤產品為主，廢棄物（造紙廠排渣、污泥及 SRF 等）為輔。若以煤及煤產品消費量統計，從 2005 年的 29.4%（38.2 萬 kLOE），逐年成長到 2012 年達到最大量 47.3%（58.9 萬 kLOE），2023 年及 2024 年分別為 48.5% 及 47.2%。以 2005 年為基準，至 2024 年減少 1.0%（從 38.2 至 37.8 萬 kLOE），而以 2018 年為基準，則減少 29.1%（從 53.3 至 37.8 萬 kLOE）。

不具裝置汽電共生設備的中小規模造紙廠則向台電購買電力為主，所以外購電力的逐年趨勢變化不顯著，外購電力的消費量比例從 2005 年的 26.7% (34.7 萬 kLOE) 及 2018 年的 30.7% (34.5 萬 kLOE)，逐年微幅衰退到 2022 年 30.0% (33.7 萬 kLOE)，但 2023 年及 2024 年則成長至 35.2% (33.1 萬 kLOE) 及 35.9% (28.7 萬 kLOE)。以 2005 年為基準，外購電力至 2024 年減少 17.3% (從 34.7 至 28.7 萬 kLOE)，以 2018 年為基準，外購電力則減少 16.8% (從 34.5 至 28.7 萬 kLOE)。



資料來源：工研院綠能所造紙業能源申報資料庫，2025 年

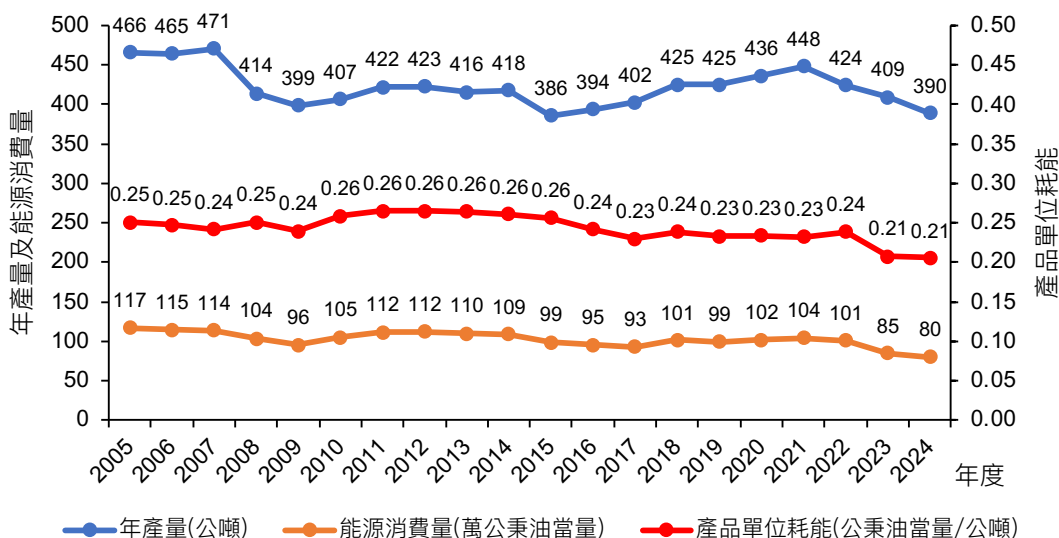
圖2.1.3-1 2005至2024年造紙業能源消費量趨勢圖



資料來源：工研院綠能所能源申報資料庫，2025 年

圖2.1.3-2 2005至2024年造紙業能源消費量比例趨勢圖

參考經濟部能源署長期調查主要產品的單位耗能，以瞭解產業節能改善與能源使用效率。造紙業 2005 至 2024 年平均產品單位耗能趨勢說明如圖 2.1.3-3。從圖 2.1.3-3 中顯示，造紙業平均產品單位耗能於 2011 年及 2012 年達到歷史高點 0.265 kLOE/ 公噸。2018 至 2022 年產品單位耗能持平，在 0.232 到 0.239 kLOE/ 公噸範圍，似乎造紙業歷經 40 餘年持續節約能源的努力，達到了瓶頸階段。因為能源成本占製造成本的 15-20%，所以各廠無不設法提高能源利用效率、強化節能設備的投資及落實推動節約能源。造紙業在節能減碳的趨勢下，從 2023 年開始，雖然生產量下降，但產品單位耗能明顯下降至 0.208 kLOE/ 公噸，至 2024 年更下降至歷史低點 0.206 kLOE/ 公噸。這顯示近年來造紙業對於強化節能設備的重大投資（如靴壓、透平真空泵、蒸汽系統改為熱壓縮機，烘缸罩改造、錐式磨漿機、高效散漿機，高效篩選機等等）已逐漸顯現效益。平均產品單位耗能以 2005 年為基準，至 2024 年下降 17.9%（從 0.251 到 0.206 kLOE/ 公噸），而以 2018 年為基準，則下降 13.4%（從 0.238 到 0.206 kLOE/ 公噸）。



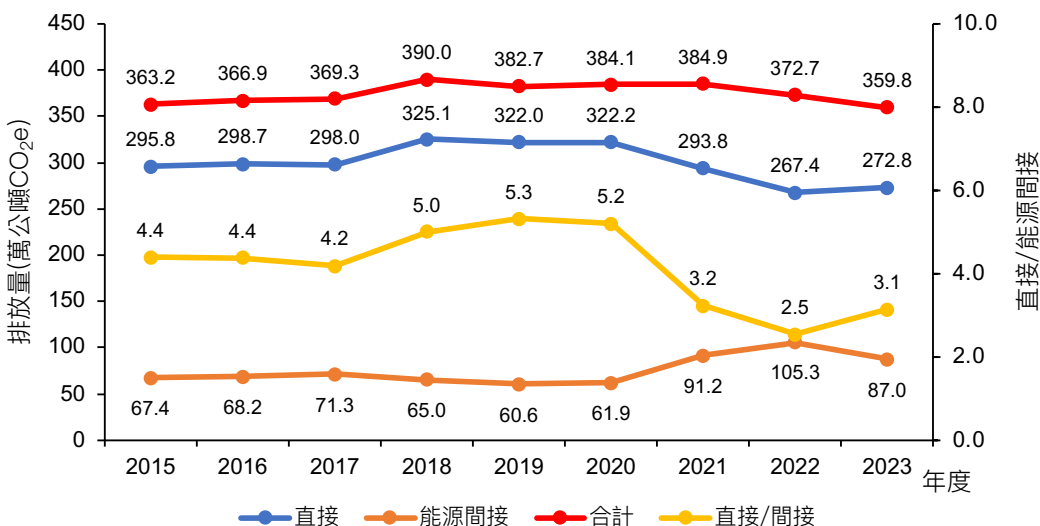
資料來源：工研院綠能所能源申報資料庫，2025 年

圖2.1.3-3 2005至2024年造紙業整體單位產品耗能變化趨勢圖

2. 溫室氣體排放量

依據國家溫室氣體登錄平臺，2015 至 2023 年造紙業（含製漿業）的第一 / 二批排放源 18 家的溫室氣體排放量趨勢說明如圖 2.1.3-4。溫室氣體排放量分為直接排放（範疇 1）及能源間接排放（範疇 2）。從圖 2.1.3-4 中顯示，溫室氣體排放總量從 2015 年（363.2 萬公噸 CO₂e）逐年成長至 2018 年達到高點（390.0 萬公噸 CO₂e）；2019 至 2021 年溫室氣體排放總量持平，在 382.7 至 384.9 萬公噸 CO₂e 範圍；2023 年明顯下降至 359.8 萬公噸 CO₂e。

2018 至 2020 年（322.0–325.1 萬公噸 CO₂e）的直接排放量遠高於 2015–2017 年（295.8–298.0 萬公噸 CO₂e），這表示新建汽電共生廠陸續投產，所以直接排放量同步上升；但是能源間接排放趨勢自 2017 年（71.3 萬公噸 CO₂e）起逐年下降，於 2019 年降至低點（60.6 萬公噸 CO₂e），隨後逐步回升，至 2022 年達到高點（105.3 萬公噸 CO₂e），並於 2023 年再次下降至 87.0 萬公噸 CO₂e，除因國家電力係數逐年下降外，造紙業外購電力亦有逐年減少的趨勢。從溫室氣體排放量的直接排放 / 能源間接排放比例來看，2015 至 2017 年分別為 4.39、4.38、4.18；2018 至 2020 年分別為 5.00、5.31、5.20；但是 2021 至 2023 年分別為 3.22、2.54、3.13。直接排放 / 能源間接排放比例的改變，顯示造紙業的自發電的比例亦逐步調整。

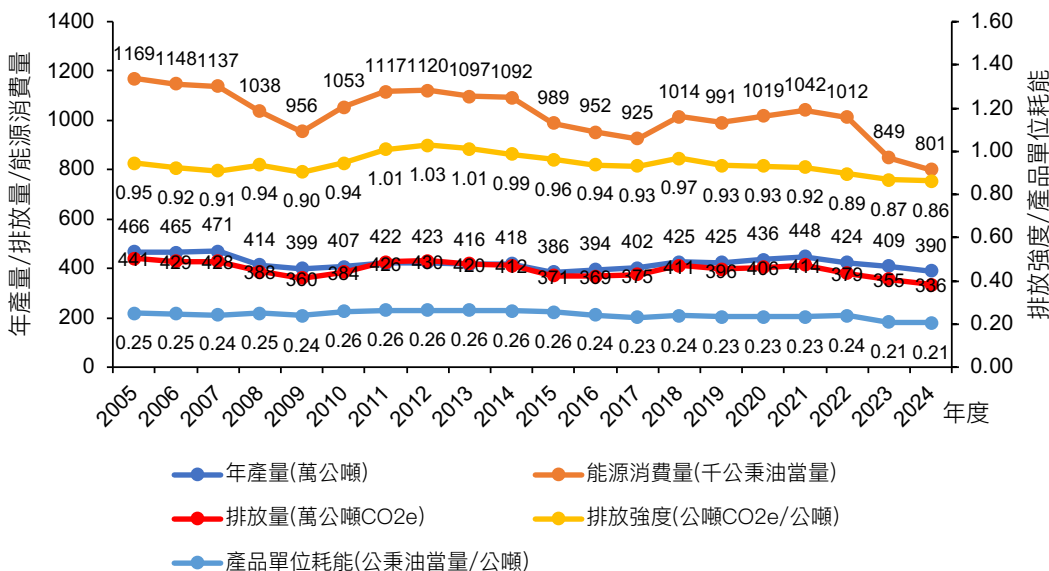


資料來源：國家溫室氣體登錄平臺

圖2.1.3-4 造紙業2015至2023年第一/二批排放源之溫室氣體排放量趨勢圖

本彙編依據能源署公告各能源的排放係數來估算造紙業的整體溫室氣體排放量。造紙業 2005 至 2024 年能源消費趨勢圖說明如圖 2.1.3-1，整體溫室氣體排放量及單位排放量趨勢圖說明如圖 2.1.3-5。從圖 2.1.3-5 中顯示，溫室氣體排放量（萬公噸 CO₂e）趨勢幾乎與年生產量（百萬公噸）同步，從 2005 年的歷史高點 441 萬公噸 CO₂e，逐年下降到 2009 年的歷史低點 360 萬公噸 CO₂e，再穩定上升到 2012 年的高點 430 萬公噸 CO₂e，隨後下滑到 2016 年的低點 369 萬公噸 CO₂e，隨著生產量的提升，再逐漸回升到 2021 年的 414 萬公噸 CO₂e。近年來，隨著造紙業界的大量資本投入改造，溫室氣體排放量持續下降，到 2024 年則明顯下降至 336 萬公噸 CO₂e。這表示業界多年的努力，逐漸顯現出成果。

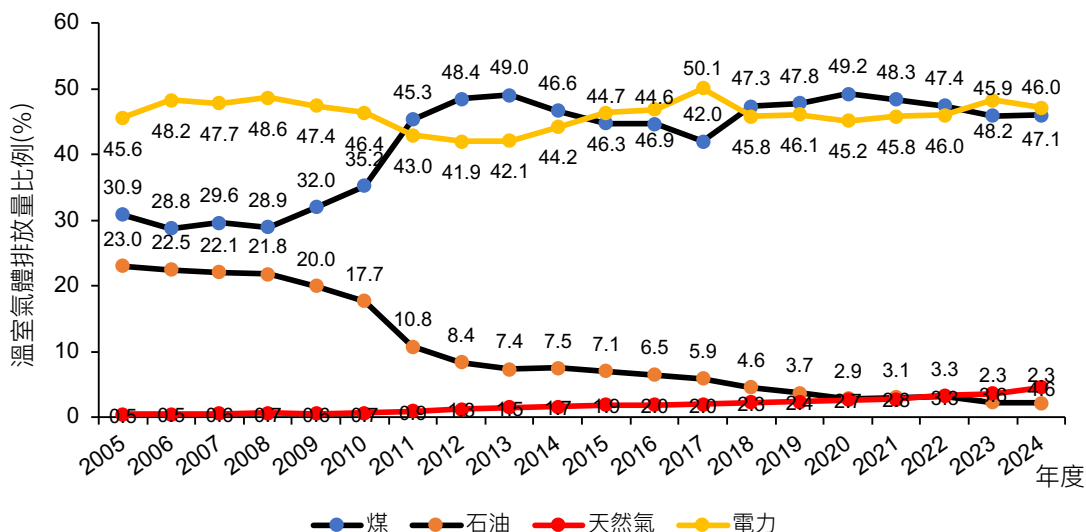
從圖 2.1.3-5 中顯示，排放強度從 2005 年的 0.946 公噸 CO₂e/公噸，逐年下降到 2009 年的歷史低點 0.903 公噸 CO₂e/公噸，再回升到 2012 年的歷史高點 1.026 公噸 CO₂e/公噸後，再持續下降到 2017 年的低點 0.931 公噸 CO₂e/公噸。2018 年驟升至 0.966 公噸 CO₂e/公噸，再逐步下降至 2024 年的 0.86 公噸 CO₂e/公噸，這顯現業界多年的努力成果。



資料來源：本彙編參考經濟部能源署資料自行估算

圖2.1.3-5 造紙業2005至2024年年生產量、能源消費量、溫室氣體排放量、排放強度、單位耗能趨勢圖

造紙業 2005 至 2024 年溫室氣體排放量燃料源比例趨勢圖說明如圖 2.1.3-6。以 2024 年為例，溫室氣體排放量為 336 萬公噸 CO₂e，其中煤及煤產品占 46.0% (154.6 萬公噸 CO₂e)、電力占 47.1% (158.6 萬公噸 CO₂e)、原油 (石油) 產品占 2.3% (7.7 萬公噸 CO₂e) 及天然氣占 4.6% (15.5 萬公噸 CO₂e)。



資料來源：本彙編參考經濟部能源署資料自行估算。

圖2.1.3-6 造紙業2005至2024年溫室氣體排放量燃料源比例趨勢圖

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，說明如圖 2.2-1。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、面紙為主，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。造紙流程可分為兩大階段：備漿流程與抄紙流程，說明如圖 2.2-2。備漿流程主要為：原生紙漿 / 回收紙漿製備、散漿、淨漿、離解、篩選與磨漿等步驟，主要目的為去除雜質、調整漿料濃度及提高漿料品質；抄紙流程涵蓋：脫水成型、壓榨、乾燥、壓光及捲紙整理等步驟，將紙漿轉化為具有特定厚度、強度與特性之紙張成品。

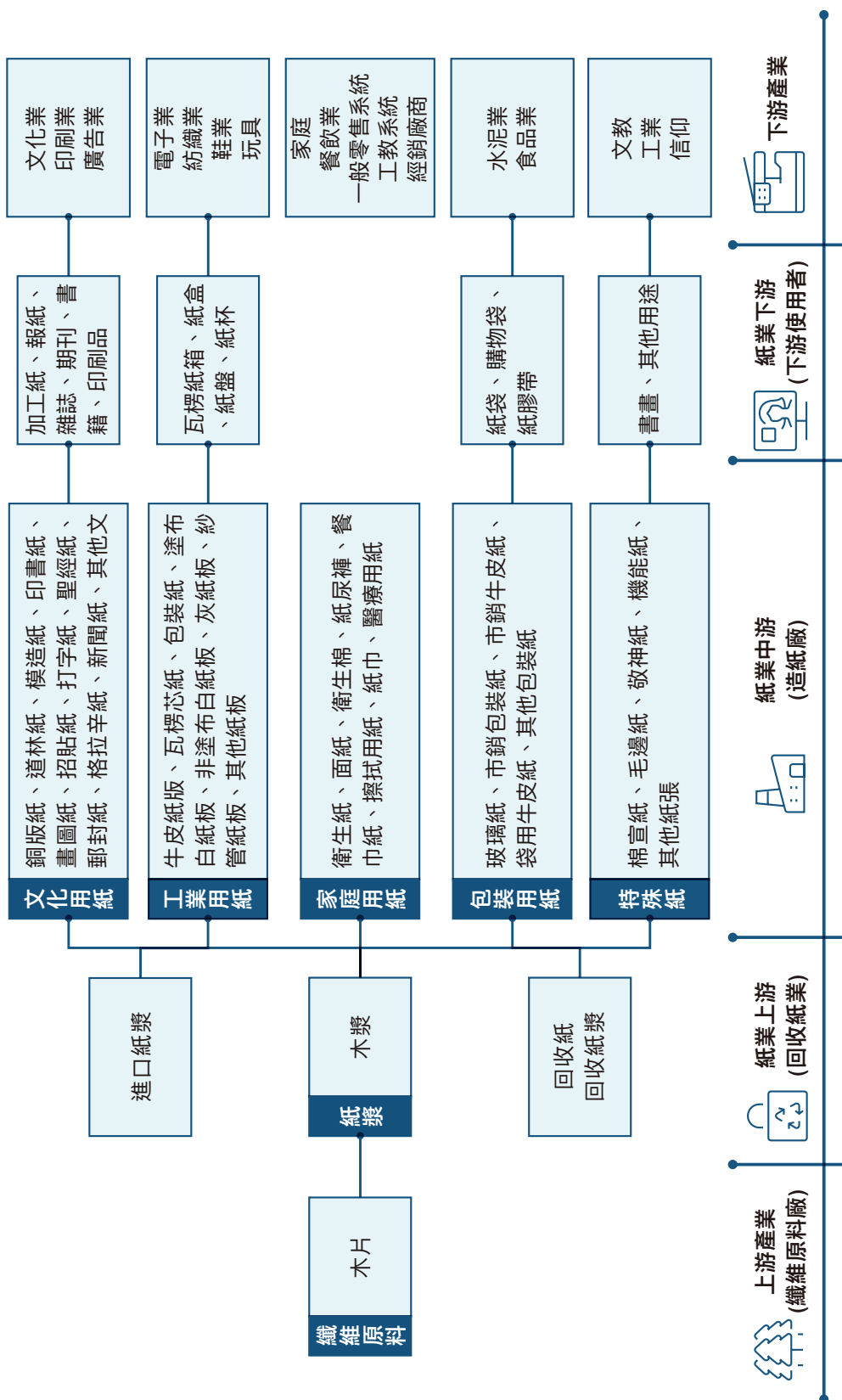
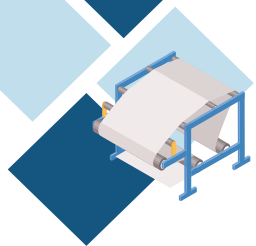


圖 2.2-1 台灣造紙業結構圖

資料來源：台灣區造紙工業同業公會，本彙編改編



114
年度

造紙業

減碳技術案例彙編

2. 產業特性與發展趨勢

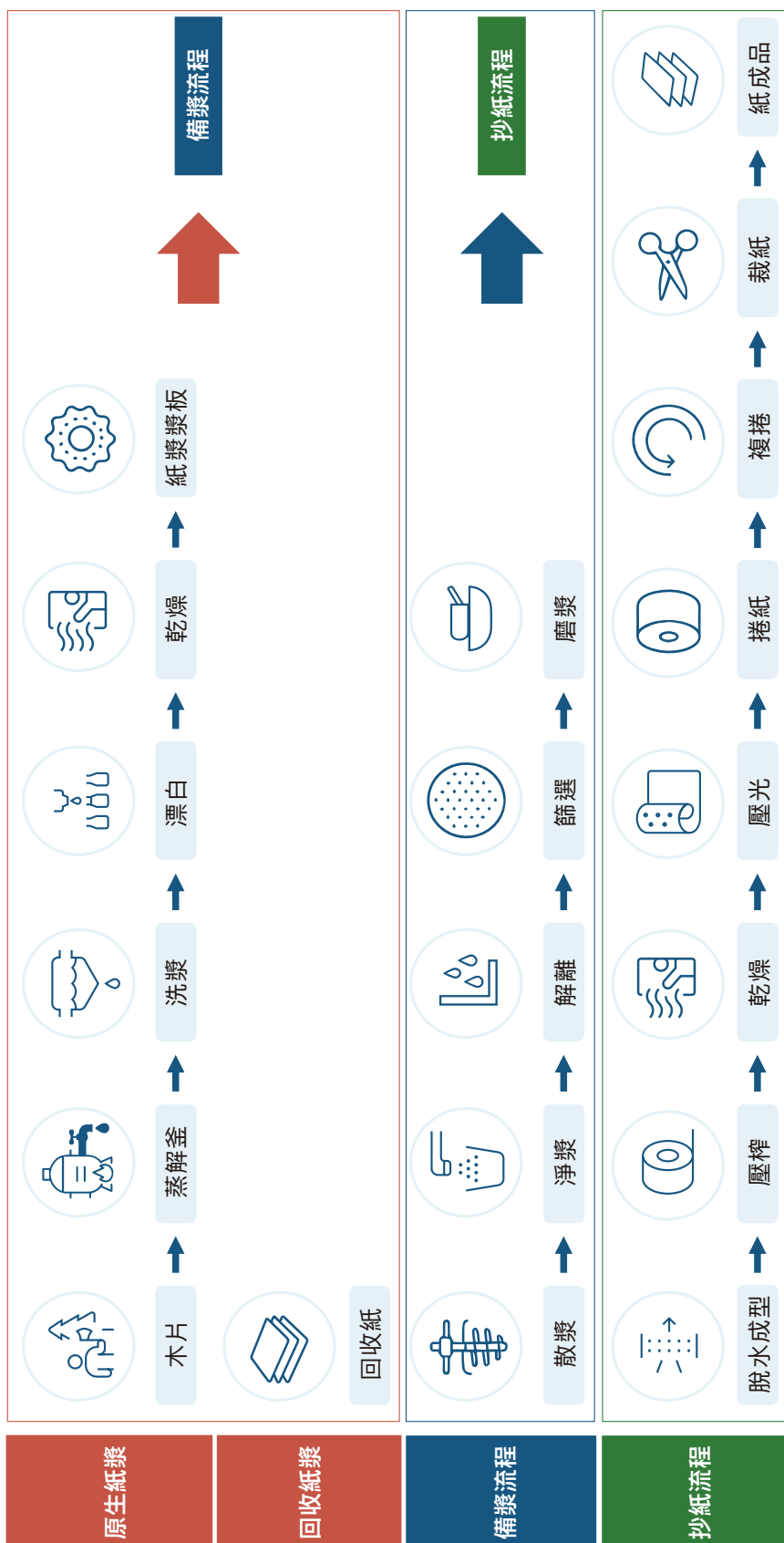
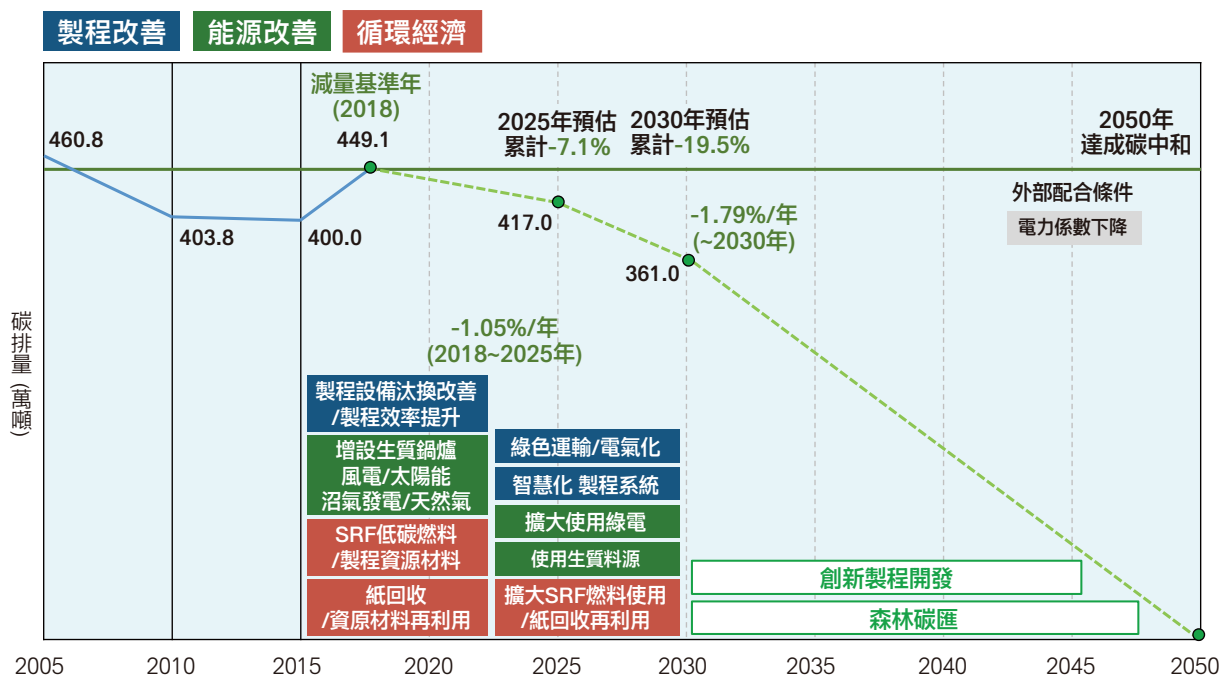


圖2.2-2 造紙流程圖

資料來源：台灣區造紙工業同業公會官網，本彙編改繪

2.3 未來發展方向及面臨問題與建議

造紙業為國內循環經濟的代表產業之一，台灣區造紙工業同業公會已於 2024 年提出造紙業 2030 年減碳目標及路徑，透過製程改善、能源轉換、循環經濟等策略，預期在 2050 年達到碳中和的目標，減碳規劃說明如圖 2.3-1。從圖 2.3-1 中顯示，以 2018 年為減量基準年，碳排放量為 449.1 萬公噸 CO₂e；於 2025 年累計減量 7.1% (2018 至 2025 年，年平均減量為 1.05%)，碳排放量降為 417.0 萬公噸 CO₂e；到 2030 年累計減量 19.5% (2018 至 2030 年，年平均減量為 1.79%)，碳排放量降為 361.0 萬公噸 CO₂e；期望到 2050 年透過創新製程技術的開發與推動森林碳匯，以及外部配合條件 (電力係數下降) 等，達到碳中和的目標。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會

圖2.3-1 造紙業2030年減碳目標及路徑圖

對於提升造紙業綠色韌性的建議策略，說明如下：

1. 改善經營模式，健全供應鏈，提高利潤，維持優勢

重新定義產業經濟規模與國際布局，投資具競爭力紙種至具經濟規模量，跨足海外投資，以強化企業國際競爭力，相關紙種說明如下：

- 工業用紙：裱面紙板、瓦楞芯紙等。
 - 家庭用紙：衛生紙、廚房紙巾等。
 - 不具競爭力紙種：斷然處理，如文化用紙、塗布白紙板等。
- (1) **強化組織彈性與經營穩定性**：適時調整企業組織與文化，以因應市場挑戰，建構具彈性機動與活性化、效率化之組織與產銷體系。同時，促進國內業界合作、維持供需平衡與市場的合理健康，以維持穩定獲利率，健全財務基礎，奠定海內外發展與互補之體質。
 - (2) **提升原料掌握與回收紙利用效率**：以回收紙為主要原料的工紙廠，與回收紙商建構良性的互動，來確保國內回收紙的品質及數量：
 - 強化料源開拓及充分掌握原料情勢，調控國內回收紙與進口回收紙的平衡點。
 - 善用高濃度散漿設備、磨漿設備以及熱分散設備來提升回收紙的強度性質。
 - (3) **優化原生紙漿應用與產品品質**：以原生紙漿 (Virgin Pulp) 為主要原料的文化用紙廠、家庭用紙廠，可深入瞭解包含原生紙漿纖維型態、強度性質、磨漿特性等全球漿料資料庫，進行多元應用，以生產高品質的產品及降低原生漿成本，提升競爭力。
 - (4) **精進產品與行銷策略**：持續精進產品品質，拓展高端的國際市場通路。開發高附加價值、差異化產品，強化行銷利基產品，滿足客戶需求。
 - (5) **導入智慧化與資訊化管理**：善用 AI 技術強化客戶服務、運籌管理、資訊掌握及資源整合，以提昇競爭力，如 ERP (Enterprise Resource Planning)、工業 4.0、大宗原物料管理、VMI (Vendor Managed Inventory) 作業管理、全球運籌交貨管理等。
 - (6) **技術傳承及人才培育**：推動技術經驗傳承機制及專業人員培訓，確保技術持續發展與知識延續。

2. 提升能源效率，提高投資額度

- (1) 加強省能源、省資源、符合環保生態之設備及技術之應用開發。
- (2) 依聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 建議「製漿造紙廠最佳可行技術 (Best Available Techniques, BAT) 結論」，進行全廠優化管理、製程改進，包含：採用 BAT 節能設備、製程最適化、工業 4.0 生產智慧化等，並強化對先進的生產技術的投資。
- (3) 適時淘汰能源效率較低、紙幅較窄不具競爭力的紙機。

3. 能源結構調整-遠離化石燃料

- (1) **建構生質燃料供應鏈體系**：建構農林漁牧、加工製造及民生生活等領域之剩餘資材的收集、運送、儲存、SRF 處理廠、燃料鍋爐等完整生質物燃料上、中、下游應用市場。依據《綠色國民所得帳－農業廢棄物排放帳》、事業廢棄物申報及管理資訊系統 (IWR&MS) 及生活廢棄物質管理資訊系統 (HWMS)，2022 年生質物廢棄物流向分析說明如圖 2.3-2。
 - 農林漁物剩餘資材有 505.2 萬公噸 / 年，包括：農業生產 (207.3 萬公噸)、木竹類 (46.1 萬公噸)、漁業生產廢棄物 (11.7 萬公噸)、禽畜生產廢棄物 (240.1 萬公噸) 等；
 - 加工製造剩餘資材有 528.3 萬公噸 / 年，包括：動植物殘渣 (41.3 萬公噸)、木質紙類廢棄物 (46.1 萬公噸)、加工污泥及其他 (62.2 萬公噸)、事業餐廚廢棄物 (41.6 萬公噸) 等；
 - 民生生活剩餘資材有 355.0 萬公噸 / 年，包括：一般餐廚廢棄物 (122.0 萬公噸)、樹枝及落葉類 (20.0 萬公噸)、一般紙類廢棄物 (169.5 萬公噸)、下水污泥 (6.9 萬公噸) 等。

可善加應用建構合法、具競爭力的農林漁牧、加工製造、民生生活等剩餘資材的能源應用的供應鏈 (如同回收紙回收供應鏈的建構)，提供穩定的生質物燃料源。

- (2) **工紙廠的能資源整合**：有效應用製程排渣、廢水廠污泥等，轉化為可再利用之能源資源，以降低化石燃料的使用，達到有機廢棄物零排放的目標。



註：112 年度另增納執行機關回收之紙類、紙容器、食用油量能。

資料來源：綠色國民所得帳；事業廢棄物申報及管理資訊系統 (IWR&MS)；生活廢棄物質管理資訊系統 (HWMS)

圖2.3-2 2023年生質物廢棄物流向分析

4. 參與能源市場

就造紙業而言，特別是工紙廠，於廠內即可處理本身所產生的廢棄物，再加工製成 SRF，應用在汽電共生鍋爐或專用鍋爐進行混燒，已有多年的經驗。可善加利用其現場汽電共生（熱電聯產）設備，參與能源市場，強化及調整其能源採購，以控制在低價範圍，特別是間歇性可再生能源的農林剩餘資材。不僅可以有效降低溫室氣體排放，還可以進一步提升造紙業的營收。

5. 研究發展-新興及突破性技術

預處理技術	化學漿微波預處理、機械漿生物預處理、機械漿草酸 (Oxalic Acid) 化學預處理。
製漿技術	綠液直接應用製漿、薄膜濃縮黑液、回收鍋爐雙壓力再熱、硼酸鹽 (Borate) 自動苛化、蒸汽循環洗漿、回收漿分級、新浮選脫墨、介面活性劑噴淋脫墨、脈衝能量技術來去除回收漿雜質。
造紙技術	分層頭箱的水層 (Aq-Vane) 技術、高濃度成型、乾式成型、置換式壓榨、新纖維填料、超音波雷射剛挺度檢知器。
紙張乾燥技術	瓦斯燃燒烘缸、增壓烘缸 (Boost Dryer)、鋼帶壓榨 (Condebelt) 乾燥、微波乾燥。
副產品 / 生質物 / 廢棄物熱利用技術	黑液氣化、生質物氣化、化學漿製漿前半纖維素萃取、木質素萃取製程 (LignoBoost)、整合生質煉油廠 (Biorefinery)、殘餘物做為水泥應用、薄膜輸送冷凝器。
碳補捉及儲存技術	BLGCC (Black Liquor Gasification Combined Cycle) 燃燒前碳補捉、生質物轉化燃燒前碳補捉、氧燃料燃燒技術、應用化學吸附燃燒後碳補捉、生物技術碳補捉、循環礦物填料固存 CO ₂ 。

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

3.減碳生產技術設備



本彙編針對造紙業中，造成溫室氣體排放量比重高之製程，蒐集目前國內造紙業使用較新之節能實務及減碳技術，期能提供業界參考，進而順利導入減碳製程。惟參採技術時須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面及工程層面等，選用時宜多加評估各方面之可行性。

3.1 備漿製程應用技術

3.1.1 多盤式過濾機

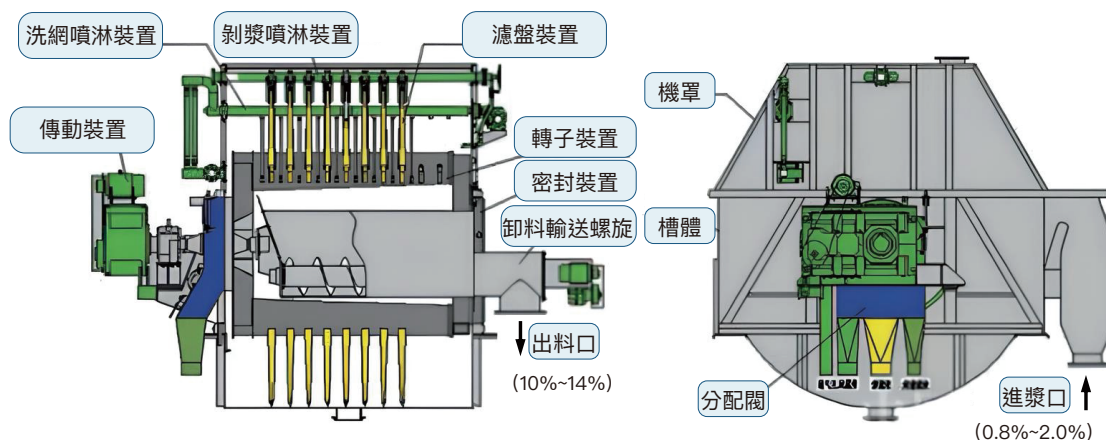
多盤式過濾機 (Poly Disk Filter, PDF) 主要應用於紙機白水回收系統，不僅可從白水中回收纖維 (Recovered Fiber)，而且其濾液可分為超清白水 (Super Clear Filtrate)、清白水 (Clear Filtrate) 及濁白水 (Cloudy Filtrate)，使白水系統能夠密閉循環使用，進而降低單位耗水量，減少白水排放的污染負荷；此外亦可用於漿料濃縮。多盤式過濾機的優點說明如下：

- (1) 結構緊湊、佔地面積小、處理能量大，採用波紋式扇形板，大幅提高有效過濾面積。
- (2) 自動化程度高，操作簡便可靠。
- (3) 濾液澄清度高，可循環使用，節約水資源。
- (4) 能耗低，纖維回收率高。

多盤式過濾機目前已成為白水密閉循環系統中不可或缺的單元，通過合理的平衡計算，設備布置及管道布置，可以充分發揮其用水管理的重要作用，同時確保白水回收系統經濟可靠的穩定操作。

技術應用原理

多盤式過濾機由進漿箱、濾槽、芯軸、扇形濾板、分配閥等部建構，說明如圖 3.1.1-1。從圖 3.1.1-1 中顯示，工作原理為由水腿管 (Drop Leg) 所產生的真空作為過濾動力。

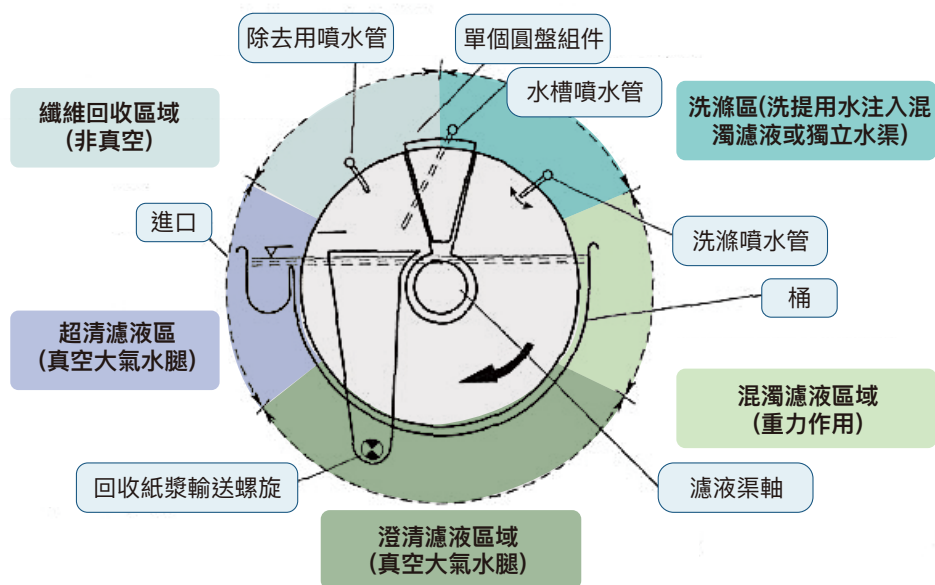
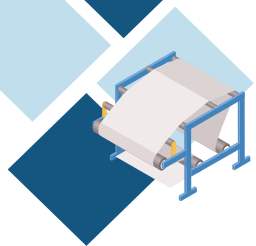


資料來源：白雲銳。2022。多圓盤過濾機在製漿造紙工程設計中的應用。中國造紙，41(2):127-131。

圖3.1.1-1 多盤式過濾機結構圖

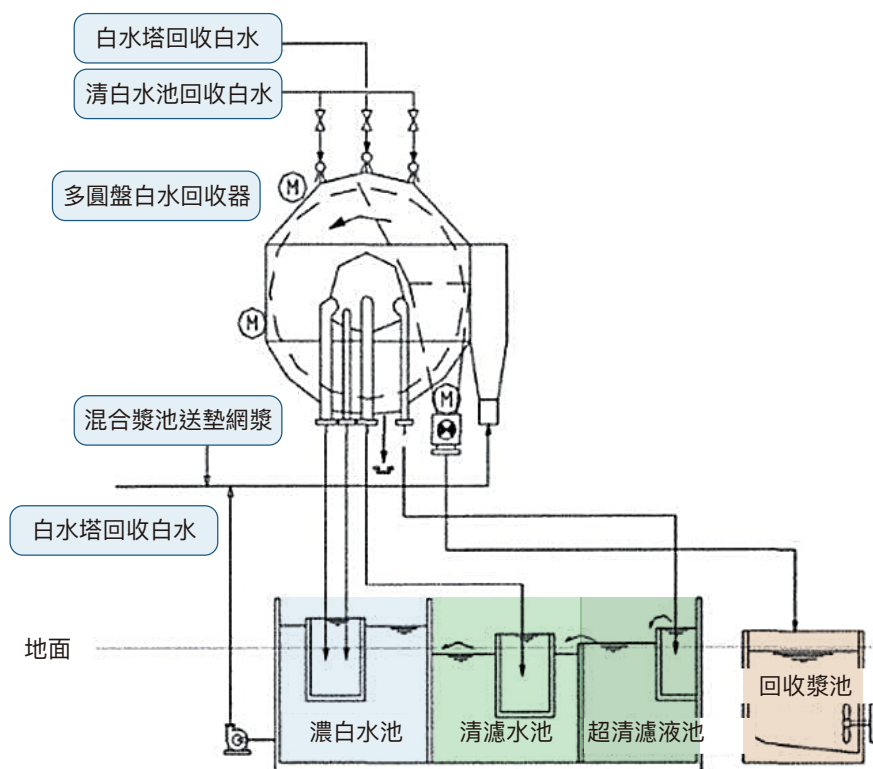
多盤式過濾機的工作原理主要利用濾液水腿管產生的真空作為過濾推動力進行工作，水腿管淨高一般為 7 公尺，說明如圖 3.1.1-2。從圖 3.1.1-2 中顯示，當多盤運轉時，圓盤上各扇形處於不同的工作狀態，當某扇片被帶入液面，進入自然過濾區，槽內液體在靜壓差的作用下過濾，排出濁白水，扇片上的纖維層達到一定厚度，形成纖維墊層。隨後轉入真空過濾區，在纖維墊層的過濾作用下，穿過扇形片的固形分大大降低，形成清白水；當扇片轉出液面時，濾餅乾度進一步增加，濾液固形物進一步降低，形成超清白水。扇片繼續轉動，真空消失，進入大氣區，壓力噴淋水將扇片上的濾餅沖落到接漿斗中，沖水稀釋後用螺旋輸送機輸送或直接落入回收漿池中。其中，濁白水、清白水和超清水的比例可依據各種紙與紙板不同的白水性質和生產條件用分配閥的開度來控制。

多盤式過濾機系統的白水回收流程說明如圖 3.1.1-3。從圖 3.1.1-3 中顯示，白水塔或網下白水池的混和白水混入部分漿料（形成墊層），進入白水多圓盤進行處理，通過多盤式過濾機的靜壓差和真空過濾作用，產生濃白水、清白水和超清白水。其中，濁白水進入濁白水池後仍被泵送回多盤再次利用；清白水用於多盤噴淋水和泵送至白水塔中，用於漿料濃調和各機下散漿機的稀釋白水；超清白水則主要用於網部及壓水部的各種噴淋用水；回收漿用泵送到混和漿池進行配漿回收利用。



資料來源：白雲銳。2022。多圓盤過濾機在製漿造紙工程設計中的應用。中國造紙，41(2):127-131。

圖3.1.1-2 多盤式過濾機工作原理



資料來源：白雲銳。2022。多圓盤過濾機在製漿造紙工程設計中的應用。中國造紙，41(2):127-131。

圖3.1.1-3 多盤式過濾機的白水回收流程圖

技術特點與優勢

技術特點

- 漿料通過進漿箱進入濾槽，扇形濾板旋轉過程吸附纖維形成濾餅。
- 濾液依次形成濃白水、清白水和超清白水三階段，實現漸進式過濾。
- 吸附纖維的濾盤經刮刀剝離濾餅，送入漿料輸送器完成漿料回收。

優勢

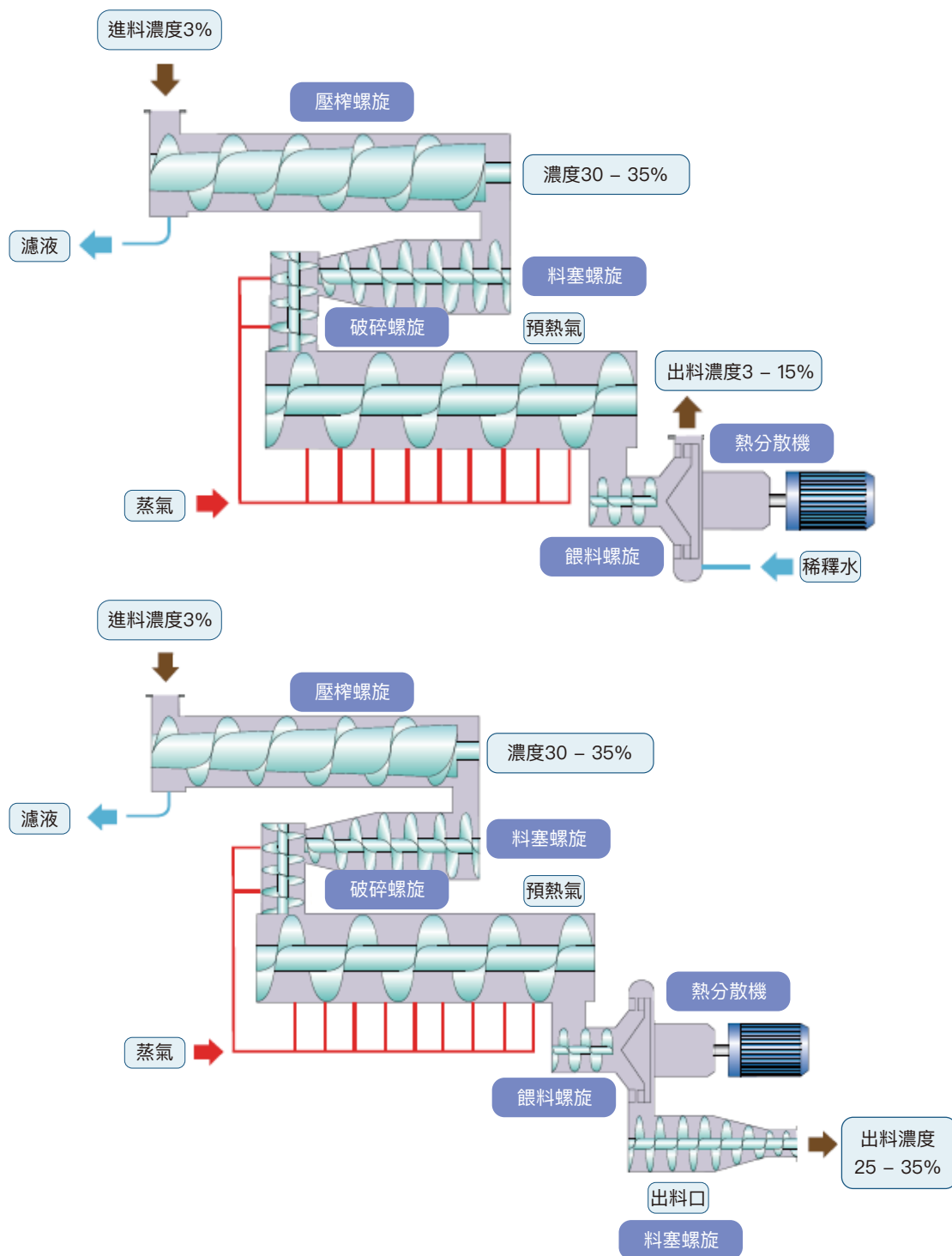
- **白水回收：**回收紙機白水中的纖維及填料，使清水循環利用率達 90% 以上，且對含低固形物 (< 1%) 白水也能有效回收纖維與填料。
- **漿料濃縮：**適用於化學漿、機械漿、回收紙漿等漿料的脫水濃縮，且多盤式過濾機結構簡單，以驅動、真空的能耗為主，製程能耗較低。
- **環保減排：**處理白水時，濾液可分級回用，可降低排放污染負荷並實踐節水。

應考慮因素及限制

- 墊網漿 (Sweetener) 需要廠內游離度最高的漿料。
- 對黏度敏感，白水含高填料、糊液、膠黏物等均會影響操作。
- 處理量必須經過合理計算，避免超負荷運轉造成系統不穩定。

3.1.2 熱分散系統

熱分散系統 (Hot Dispersing System) 典型應用在回收紙漿線，主要目的是將回收紙漿中的雜質 (如蠟質、油墨等) 分散成不可見的微小顆粒，以提高紙張的品質及強度，提升紙機操作性。熱分散系統包含脫水區 (Dewatering Zone)、加熱區 (Heating Zone)、熱分散區 (Dispersion Zone) 等，說明如圖 3.1.2-1。熱分散不僅能提高紙張的視覺外觀，還能增強纖維強度，提升紙漿品質，降低生產成本。



資料來源：Cellwood Machinery. 2025. Krima hot disperser system. www.cellwood.sw.

圖3.1.2-1 熱分散系統示意圖

技術應用原理

脫水區

紙漿首先通過一段螺旋壓榨脫水機 (Screwpress Dewatering)，將濃度低於 10% 的紙漿提高到 30% 以上，較高的濃度有益於在加熱區快速和經濟的加熱紙漿，以及完成最佳的分散效果都至關重要。螺旋壓榨機採用常壓卸料口，可以較方便的取樣和靈活的進行安裝。

加熱區

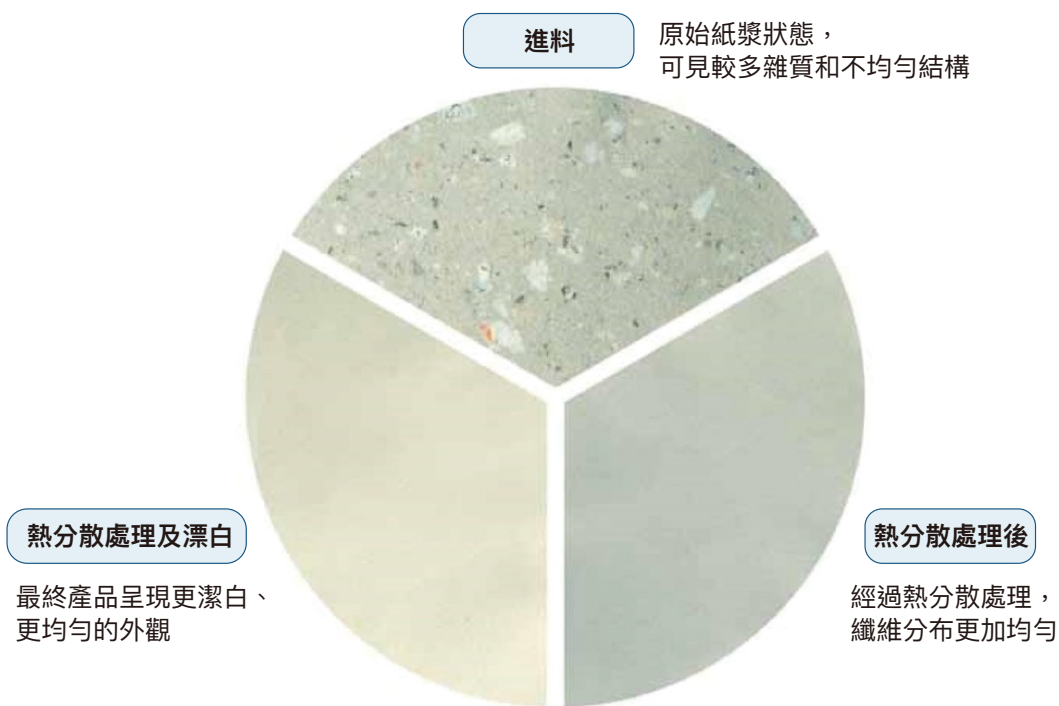
為封閉式壓力容器設計，由料塞螺旋 (Plugscrew) 進行密封，可以保持較低的蒸汽消耗並可靈活調控操作溫度，最高操作溫度可達 120°C。料塞螺旋產生的摩擦力，可以產生預分散的效果。隨後破碎螺旋將漿料分解開，以確保紙漿均勻和有效的加熱，可以使所有的雜質和纖維達到熱分散所需要的溫度。由於溫度較高，加熱區也可以作為漂白反應器使用，或僅作為化學品混合器使用。

熱分散區

確保纖維在高濃度條件下被柔和的處理。能耗低至 35 kWh / 公噸漿。熱分散磨片有不同的齒形選擇，以達到最佳的分散效果。磨片的間隙調節精度可以達到 0.01 mm。熱分散的排放濃度可以在 3 至 35% 之間靈活調節。

技術特點與優勢

- 熱分散系統可以有效分散雜質：蠟、熱熔膠、瀝青、膠合劑、油墨、顏料、濕強紙等。經熱分散處理前後的手抄紙樣品說明如圖 3.1.2-2。
- 最終產品可以提高品質。
- 可以使用更多種類的原料。
- 可以增強纖維性質。
- 能源耗用很低，整個系統僅消耗電能 60 kWh / 公噸漿。
- 熱分散系統可以做為線上漂白系統來使用。
- 減少細篩處理的必要性。
- 減少細菌芽孢。
- 改善紙機的操作性。



資料來源：Cellwood Machinery. 2025. Krima hot disperser system. www.cellwood.sw.

圖3.1.2-2 回收紙經熱分散系統處理前後的手抄紙樣品

應考慮因素及限制

- 紙漿濃度必須高於 25%，最好在 30% 以上。
- 高溫系統必須耗用蒸汽約 0.1 至 0.5 公噸蒸汽/公噸漿。

3.2 抄紙製程應用技術

3.2.1 稀釋水頭箱

客戶對提高紙張品質的要求，意味著造紙廠需要生產紙張的全紙幅具有更小的基重分布變化，以及改善的纖維排列均勻性。傳統的頭箱通過唇板 (Slice) 中上放漿唇閘 (Top Lip) 與唇布 (Apron) 的彎曲進行橫向 (Cross Direction, CD) 分布控制，已經無法滿足這些要求。機械條件限制基重分布控制的精度，而唇板彎曲會導致局部流速、噴漿速度和噴漿方向發生變化，進而導致 CD 纖維排列不均勻。BTF™ 稀釋控制系統可以提供更好的 CD 基重控制，而無需與纖維排列角度相互作用。

技術應用原理

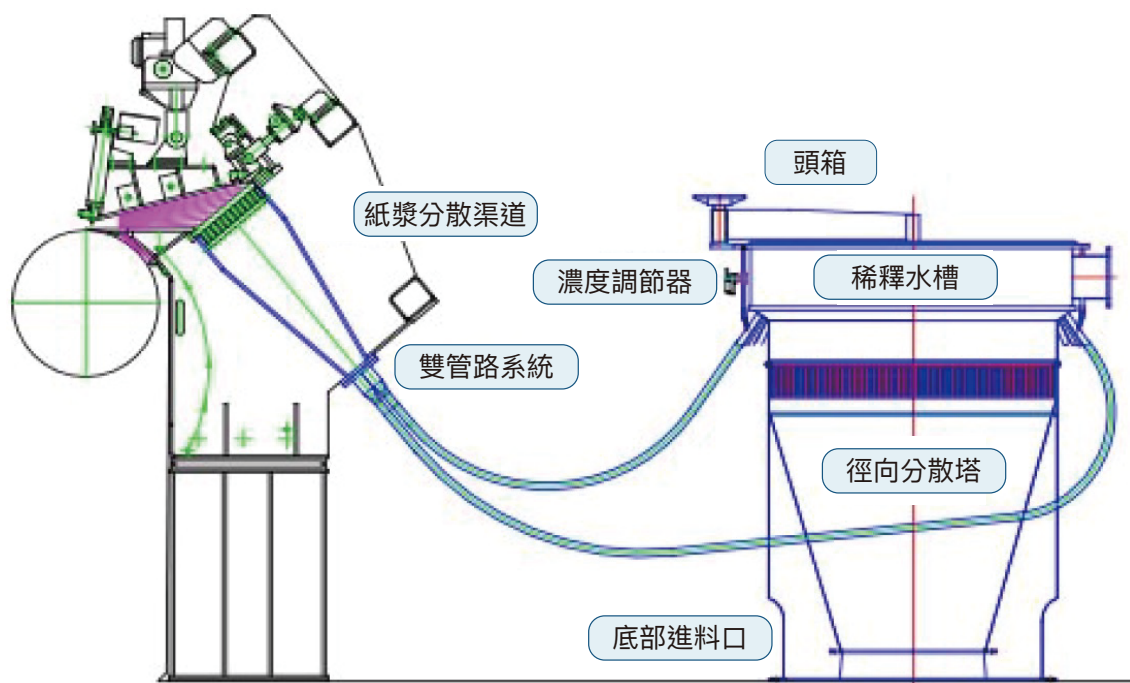
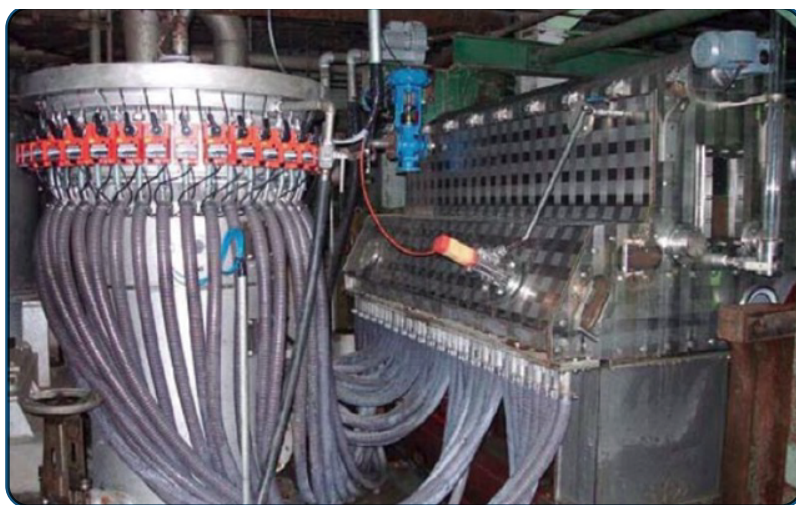
稀釋水頭箱 (Dilution Control Headbox) 是紙機近年來成功發展的系統，用於控制紙張在橫向的基重分布及改善纖維排列，提高紙張品質，說明如圖 3.2.1-1。

控制紙漿濃度

噴嘴箱中的稀釋水閥門會根據紙張的橫向濃度讀數，精確地控制在特定區域加入多少稀釋水。

實現自動化控制

紙張在乾燥部後的讀數會被掃描儀讀取，並回傳給噴嘴箱的系統，由系統啟動相應的稀釋閥門，自動調整各區域的稀釋水量，以達到均勻的濃度分布。



資料來源：Doyle J. 2005. Flatten your CD profile with headbox dilution profiling and a radial header, TAPPI.

圖3.2.1-1 稀釋水頭箱照片及示意圖

技術特點與優勢

稀釋水頭箱系統是一種稀釋控制技術，可有效改善 CD 基重分布及提高紙張品質。稀釋水頭箱系統利用中央分配器和稀釋水系統取代錐形歧管 (Taped Manifold) 和唇板的功能，中央分配器管理流入流漿箱漿料的濃度及溫度，稀釋水系統控制頭箱 CD 不同點的添加水量，稀釋水頭箱的優點如下：

- **改進橫向基重分布：**減少紙張 CD 基重的變化。
- **提升纖維交織與結構穩定性：**使紙張產生更均勻的紙張結構，減少條紋和斑點等問題。
- **調控纖維排列：**可以更好地控制纖維在紙張中的排列方式，從而改善紙張性能。
- **改造容易：**可於現有機械式頭箱上直接改裝，無需全面更換設備。
- **提高生產率：**可以提高紙機車速並減少停機時間。

從整體而言，稀釋水頭箱系統是一種優化頭箱性能以提高紙張品質和紙機效率的有效方案。

應考慮因素及限制

- 改造成本高。
- 稀釋水頭箱的改造工程通常需停工相當時日，對營運造成一定程度的影響與不便。

3.2.2 多烘缸的烘缸罩通風系統

乾燥部是紙機中熱能耗用的最大的單元，多烘缸的烘缸罩 (Hood) 通風系統的功能為最大限度的回收熱量，並確保回收之熱量品質穩定。烘缸罩通風系統包含供氣系統、排氣系統及熱回收系統。供氣系統提供足夠乾燥且高溫的空氣流；烘缸罩及排氣系統則將紙匹乾燥所蒸發的水汽與水分熱量抽出，導入熱回收系統進行能量的再利用，以提升乾燥效率並降低蒸汽耗量。

技術應用原理

烘缸罩通風系統主要設計為高濕度高保溫的密閉式烘缸罩，目的為改善紙機運轉性、提高熱效率及調控紙張品質。主要功能說明如下：

- **水汽捕集與熱能回收：**從乾燥部烘缸罩中捕集及移除水汽，將其熱量進行回收後排出廠房，使乾燥能力及紙機產量最大化。
- **可控乾燥環境與汽袋通風性能優化：**提供可控的乾燥環境，優化汽袋通風 (Pocket Ventilation) 性能。汽袋通風系統與烘缸罩協同操作，可控制乾燥環境，將汽袋濕度控制到很低，而且均一，可提高紙機的乾燥能力，降低 CD 水分分布的波動。
- **高濕度高保溫密閉式設計：**高濕度高保溫的密閉式烘缸罩，設計的排汽濕度約為 0.14 至 0.17 kg H₂O/kg dry air，蒸發 1 公斤水約消耗 7 公斤空氣。典型的排氣溫度為 85°C 乾球溫度及 62°C 濕球溫度。
- **氣流分布調控與紙幅穩定：**調整烘缸罩內部的氣流分布，穩定紙幅，提高紙機效率及車速。乾燥部內紙幅穩定運行，是紙機高效率、高車速的重要條件。紙幅穩定器及烘缸罩協同操作，妥善處理好烘缸罩內的氣流，才能使紙匹穩定的運行。

技術特點與優勢

烘缸罩設計之排氣溫度設定為 85°C 乾球溫度、62°C 濕球溫度，烘缸罩排氣的濕球溫度越高，系統越節能。傳統長網多烘缸，普遍使用不超過 5 至 8 kgf/cm² 蒸汽壓力之烘缸，實務上使用壓力多在 3.5 至 6.0 kgf/cm²。蒸汽壓力對應的溫度為 138 至 143°C，烘缸外水的蒸發溫度為 100°C，由於水和紙的紙匹進烘缸罩時約 40°C 上下，紙匹進入後吸收熱量，溫度沒有達到 100°C，就已經開始蒸發。蒸發相變需吸收大量的熱量，因此烘缸內供給的熱量來不及足夠升溫，紙匹即開始大量蒸發。實際紙匹的溫度尚只能維持於 80 至 90°C 左右。這時烘缸罩溫度一般設定在 85°C 為較好的節能狀態，到後乾燥部時，一般紙匹溫度會有所上升。

烘缸罩露點溫度控制於 62°C；85°C 之飽和溫度每公斤空氣含水量可達到 838 公克，故相對濕度為 20% ($170/838 = 20\%$)。分析原因說明如下：

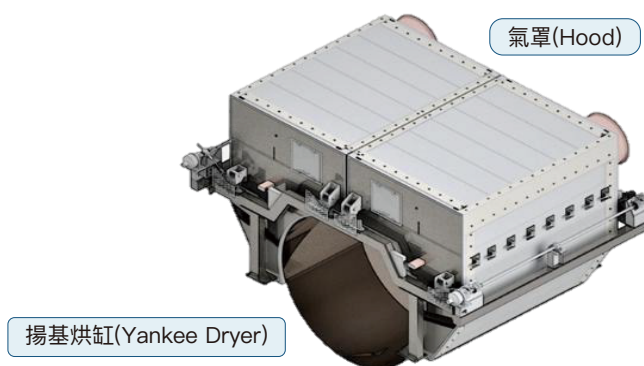
- 熱傳的影響，烘缸罩內空氣溫度為 85°C，但烘缸罩的表面溫度，由於烘缸罩的熱橋因素，烘缸罩外表面的空氣溫度約為 15 至 35°C（跟室溫高低有關），而內表面溫度基本上就是 62 至 65°C。
- 空氣的相對濕度在 20% 這一區域，於乾燥時，水分蒸發到空氣，在理想曲線最高點附近，因此相關技術資料建議汽袋濕度最佳為 0.250 kg H₂O/kg dry air，以利於紙匹乾燥。

應考慮因素及限制

- 烘缸罩必須引入足夠的空氣來避免水氣凝結，汽袋內控制在低濕度以維持高蒸發速率。排放空氣流必須避免水氣在紙機房內噴濺。
- 先進紙機設計中，最佳的等位點 (Zero Level) 高度在 1.8 至 2.2 公尺處。等位點高度不適合傾斜平面的等位點，對於乾燥容量會有負面影響。
- 精確量測相關數據（空氣溫度或乾球溫度、相對濕度或濕球溫度、每一汽袋空氣移動量）來量化汽袋條件，對於分析績效及評估下一步改善，是相當重要的。
- 許多先進紙機的高濕度烘缸罩，往往在供氣及排氣系統配置變速馬達，在排氣系統裝設溫度、濕度、壓力等感測器 / 傳感器，提供工具給操作員來控制排氣條件，以維持汽袋內高濕度條件，來節約乾燥能源及改善紙機操作性。

3.2.3 揚基烘缸的烘缸罩通風系統

衛生紙機的熱能乾燥分為揚基烘缸 (Yankee Dryer) 本體加熱以及氣罩 (Hood) 熱風吹氣乾燥兩個部分，說明如圖 3.2.3-1，其中，氣罩系統的蒸汽消耗量遠高於揚基烘缸本體。因此，優化氣罩與其外部循環系統，是節省蒸汽使用、提升能源利用效率的關鍵。



資料來源：Airtherm Corp. 2025.

<https://airthermcorp.com/yankee-air-hood/>

圖3.2.3-1 衛生紙機乾燥部示意圖

技術應用原理

揚基烘缸氣罩系統為對流式乾燥：氣罩內的吹風箱以高溫高速氣流對紙匹進行射流式加熱，高速氣流噴射打破紙匹表面的空氣層，產生高效熱交換。氣罩系統中影響熱交換效率的因子有：

- 熱空氣溫度
- 熱空氣噴射速度 (Impingement Velocity)
- 氣罩熱空氣的濕度
- 烘缸罩與烘缸表面的距離

烘缸氣罩熱空氣的加熱方式可分為瓦斯燃燒加熱與蒸汽加熱二種，可依能源成本考量選擇。一般情況下，蒸汽熱風氣罩 (Steam Hood) 的能源成本較低，但是隨之而來的木質纖維粉塵所造成的問題比較多，容易造成紙張品質及工安問題。瓦斯氣罩 (Gas Hood) 因為是以瓦斯燃燒後的熱空氣直接應用於乾燥，通常熱風溫度可達到 400–500°C，加熱效率高，而且木質纖維粉塵會被完全燃燒。但是，相對的對廠房粉塵管理的要求比較高以避免引起火警。目前國內因瓦斯價格較高，所以衛生紙機揚基烘缸熱風氣罩的主流是以蒸汽加熱。

技術特點與優勢

高效能熱風設計

- 吹風箱與烘缸距離控制於 15 至 20 mm，可維持最高熱傳效率。
- 吹風孔採 5 至 8 mm 圓形設計並以三角形布局，利於熱氣均勻分布。
- 吹風噴射速度可達 50 至 90 m/s，提升射流衝擊力與穿透力。

雙段式氣罩與獨立循環設計

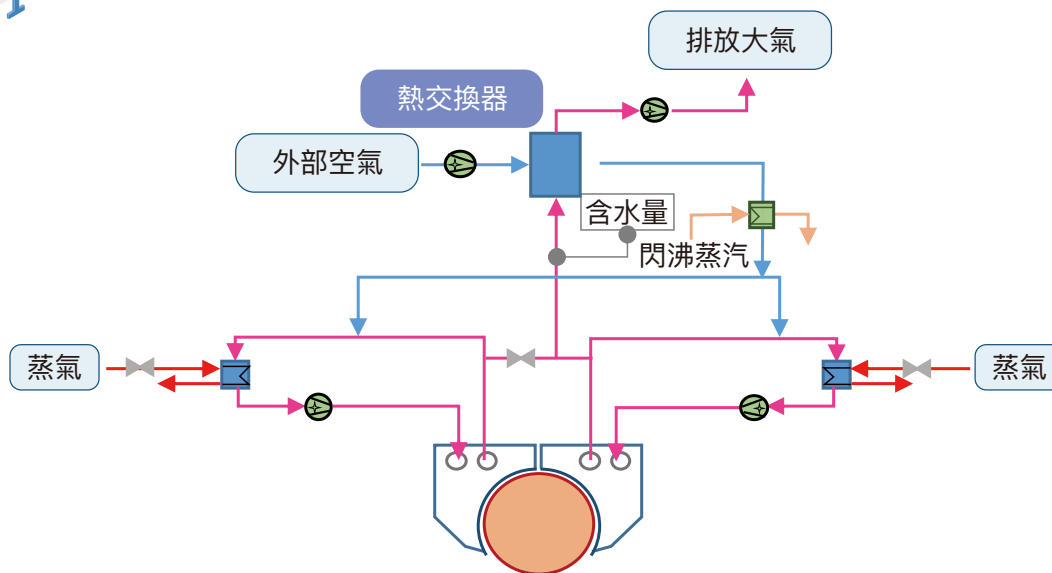
- 氣罩分為乾端與濕端，依紙匹含水率調整熱風溫度。
- 各端設有獨立風機與熱交換器，確保溫度控制穩定，提升乾燥精度與效率。

能量回收整合應用

- 利用烘缸的冷凝水與排氣進行進風預熱，可達 60 至 70℃。烘缸氣罩熱風系統說明如圖 3.2.3-2。
- 若系統搭配透平真空泵 (Turbo Blower)，亦可回收其 90 至 110℃之排風熱源。

烘缸氣罩熱風系統排氣濕度控制

- 在熱風循環系統排放位置裝設濕度計，便於對排放空氣進行管理，以避免熱空氣含水量過高而影響紙匹乾燥，也要避免熱空氣濕度過低損失熱能。
- 結構設計考量熱膨脹與氣密性，確保內部表面乾燥、無結露現象。



資料來源：永豐餘消費品實業股份有限公司提供

圖3.2.3-2 蒸汽烘缸氣罩熱風系統圖

應考慮因素及限制

吹風寬度與紙幅匹配問題

- **吹風寬度過寬：**易造成紙邊過乾、產生斷紙或紙匹外側塗層過硬，發生貼 / 脫缸劑 (Creping Adhesive/Release Agents) 堆積問題。
- **吹風寬度過窄：**紙邊偏濕導致刮刀磨損加劇，可能導致紙邊破損。

循環系統的回流與濕氣平衡

- 濕端排氣若含水率過高，應全部排出；僅紙匹乾度較高時，得以部分回流。
- 系統設有氣動平衡閥與濕端氣流調節裝置，維持熱風濕度穩定性。

能源整合與熱源穩定性要求

- 熱風系統過度依賴蒸汽與冷凝水，須確保其壓力與流量穩定。
- 熱風系統若失衡，可能導致乾燥不均、產能波動或設備效率下降。
- 揚基烘缸熱風氣罩系統與揚基烘缸蒸汽系統緊密結合，充分利用烘缸蒸汽系統餘汽回收到熱風氣罩系統，加熱氣罩的補充空氣以降低能源耗用。

3.2.4 紙機傳動系統

紙機傳動 (Paper Machine Drive) 系統是紙機重要組成單元，也是紙機最大耗電量單元。傳動系統是指紙機中，用於傳遞動力並驅動各個部件運動的系統；確保紙機各個分部（如驅動輥、驅動缸等）的精確、同步和協調運轉，以達到不同原料、車速和紙張品項的生產需求。

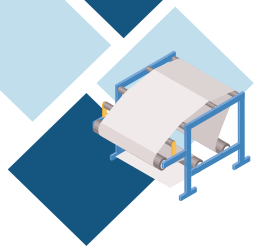
紙機傳動系統負責驅動紙機各個單元運轉，主要包括網部、壓水部、乾燥部、捲取部等，部分紙機還會有上膠部、塗布部、切紙部等。當紙機操作時，由備漿系統傳送來的紙漿，經由頭箱到網部，經過壓水部脫水，乾燥部進行烘乾，最後由捲取部完成初捲。紙漿經由紙機的各個傳動分部形成紙張，這期間由於紙張的伸縮度不同，傳動各分部之間的速度也不一樣，通常稱為速差 (Draw Ratio, %)。為了保持傳動分部間的紙張伸縮度和傳動部件間的速度一致，就要進行分部的速差控制，使各個部件間嚴格保持一個相對的速度穩定。不同的紙機，控制的速差也不一樣，一般低速紙機約為 0.1% 左右，高速紙機約為 0.05 至 0.01% 左右。

紙機的傳動方式主要分為總軸傳動 (Line Shaft System) 和分部傳動 (Distributed Drive System)。由於總軸傳動方式已不能滿足高速紙機發展的需要，現在的紙機都為分部傳動方式。而傳動系統的核心——馬達系統，也由以前的模擬可控調速轉變為現在已大量使用數位化的交流變頻調速系統和公共直流母線 (Common DC Bus) 系統。

技術應用原理

紙機傳動系統的主要功能包括：

- **傳遞動力**：將馬達的動力傳遞給紙機的各個部件。
- **速度控制**：精確控制各個驅動馬達的速度，確保紙機在不同速度下的穩定運行。
- **同步運轉**：確保各部件的運動協調一致，避免紙張拉斷或品質問題。
- **變速聯動**：根據生產需求，實現紙機各部件的變速和聯動，以適應不同的紙張品項和生產製程。



傳動系統的組成部分通常包括：

- **驅動馬達**：提供動力源。
- **減速機**：調整轉速和扭矩。
- **皮帶、齒輪等傳動機構**：傳遞動力和實現速度調整。
- **控制系統**：負責速度控制、同步控制和變速聯動等功能。

技術特點與優勢

- 紙機傳動系統是造紙機正常運行的核心部件，其性能直接影響著紙機的生產效率、產品品質和穩定性。
- 紙機傳動系統是控制整個造紙製程的關鍵部件，它負責協調各個驅動馬達，確保紙機在不同速度和負載條件下都能穩定運行，並精確控制紙張的生產。

應考慮因素及限制

- **改造成本高**：需評估投資回收期。
- **驅動壓水、乾燥和捲取**：確保紙機的壓水、乾燥和捲取等主要部件能穩定、均勻地運轉。
- **控制紙張速度和張力**：通過精確控制各部件的轉速，維持紙張在生產過程中的穩定速度和張力，保證紙張的品質。
- **確保同步運轉**：許多部件需要同步運轉，傳動系統通過齒輪、同步帶等設計，確保所有部分協同工作，避免因不同步造成的紙張損壞。

3.2.5 靴壓在衛生紙機的應用

衛生紙機的壓榨脫水是壓水輥直接由下往上加壓在揚基烘缸上，常用的壓榨脫水方式有抽吸壓水輥 (Suction Press Roll, SPR) 與靴式壓榨輥 (Shoe Press Roll) 二種。靴式壓榨輥脫水是利用高線壓提高紙匹乾度，達到降低能源耗用的目的，說明如圖 3.2.5-1。

靴壓是將抽吸壓榨輥窄壓區動態脫水，改為較寬壓區靜態脫水，與傳統抽吸壓榨輥相比，靴壓的壓區為傳統壓區的數倍。一般 SPR 線壓為 90 kN/m，而靴式壓榨輥線壓則在 110 至 120 kN/m。相同車速條件下，靴式壓榨輥所產生脫水時間較長，因此經靴式壓榨輥後，紙幅的乾度可以較抽吸壓水輥增加 5 至 6%，並保有更佳的紙張嵩厚度。同時紙幅中含水量減少，也大幅節省紙張乾燥蒸汽消耗。靴式壓榨輥脫水技術特別適合高速衛生紙機，可有效提升紙機效能，降低烘乾能源需求及縮小烘缸乾燥部位的設備尺寸。

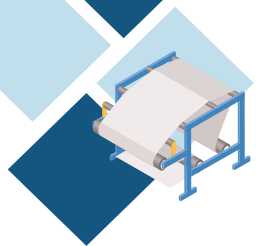


資料來源：永豐餘消費品實業股份有限公司提供

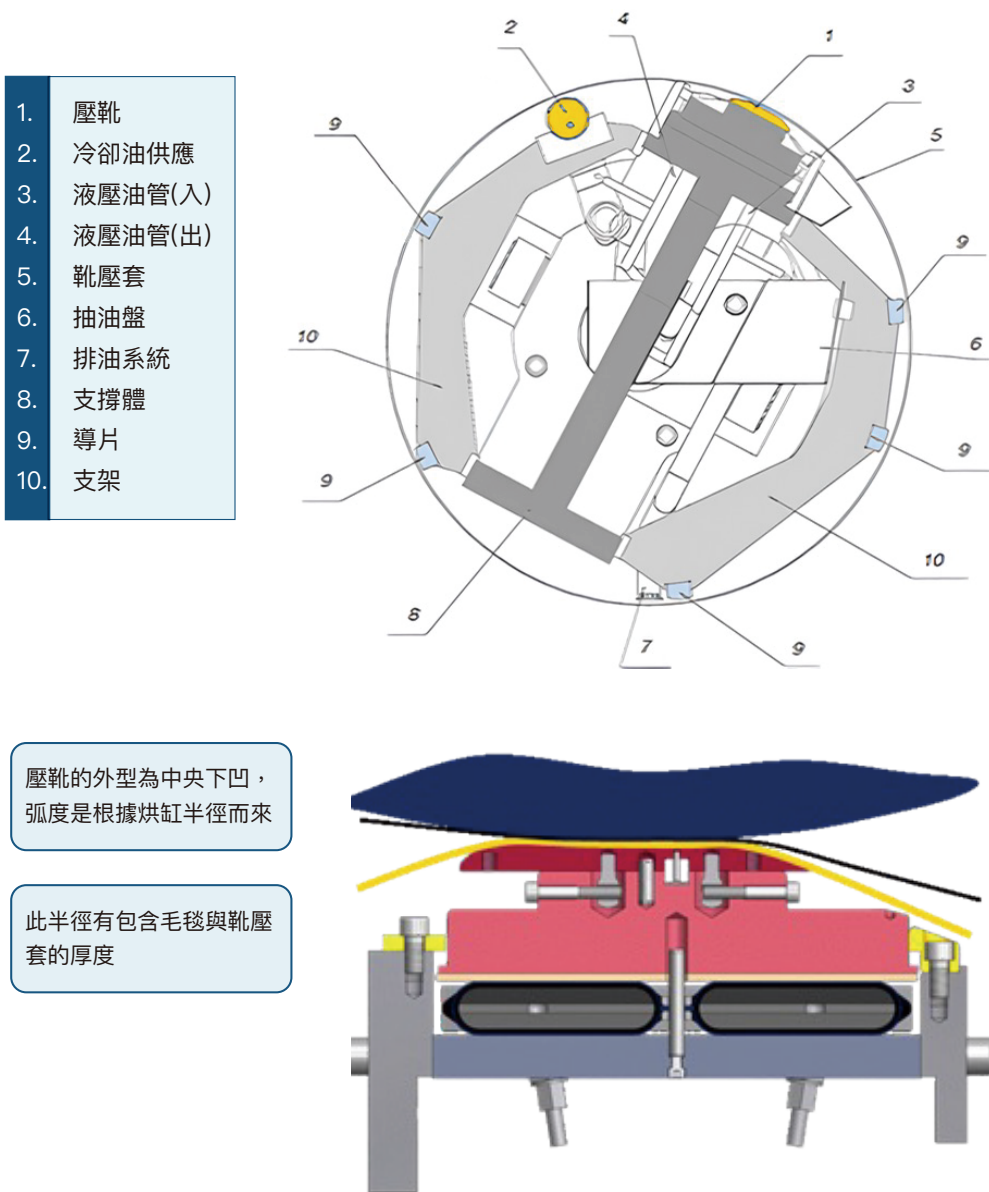
圖3.2.5-1 靴式壓榨輥照片

技術應用原理

傳統衛生紙機使用抽吸壓水輥將毛毯上的紙匹壓上烘缸表面，並利用真空抽吸把紙匹上的含水抽吸至毛毯，於壓榨時高速轉動而離心脫水。而靴式壓榨輥則是設計在抽吸輥之後，毛毯紙匹經真空抽吸輥抽吸離心脫水後，紙匹再由靴壓壓上烘缸面。紙匹水分於靴板加壓時滲入靴套表面溝紋。

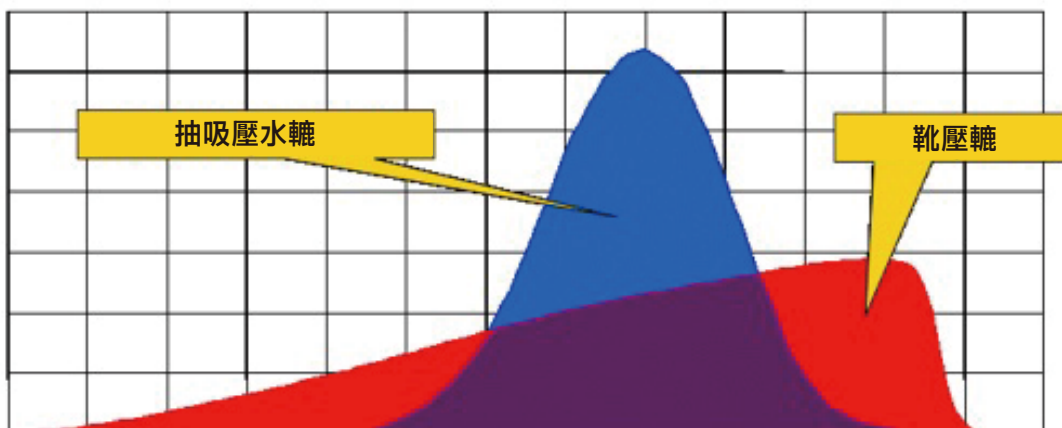


靴壓輥的內部結構包含加壓油囊、靴板(Pressure Shoe) 靴壓套(Press Sleeve)，作用方式為以油壓驅動靴板與襯毯向揚基烘缸施力，形成高壓區對位於兩者之間的毛毯與紙匹加壓，說明如圖 3.2.5-2。靴板的外型為中央下凹，其弧度考量烘缸包含毛毯與靴壓套的弧度，以創造出一個寬廣而均勻的壓區。其線壓及壓區寬度與傳統抽吸壓水輥比較說明如圖 3.2.5-3。



資料來源：正隆股份有限公司提供

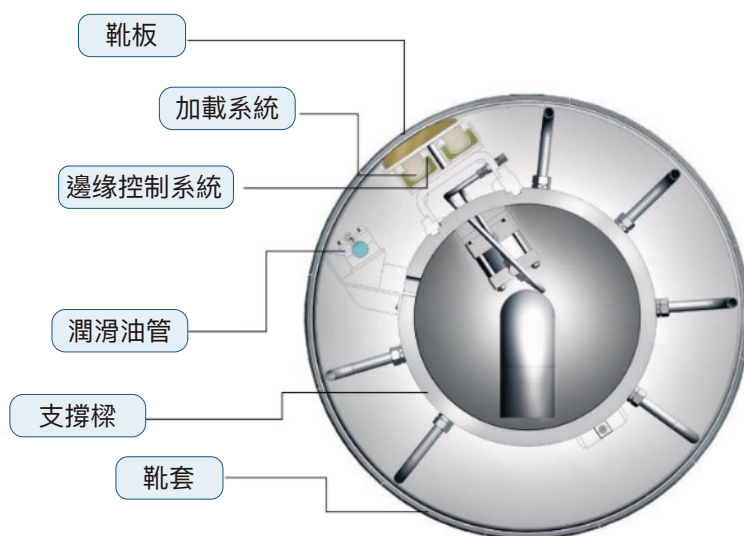
圖3.2.5-2 靴壓輥內部結構圖



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖3.2.5-3 傳統壓水輥與靴壓輥的線壓與壓區寬度比較圖

衛生紙機靴壓輥包括支撐樑、潤滑油管、靴板、控制系統，外部襯有溝槽設計的靴套，再由靴壓輥兩端加載系統將靴套上的毛毯貼近烘缸面，說明如圖 3.2.5-4。而加壓至烘缸面上則是由靴板的加壓油壓缸來控制，其控制方式有線壓壓力或靴板傾斜角度，這些設計都是要讓紙匹上烘缸時，橫向含水率更均勻。

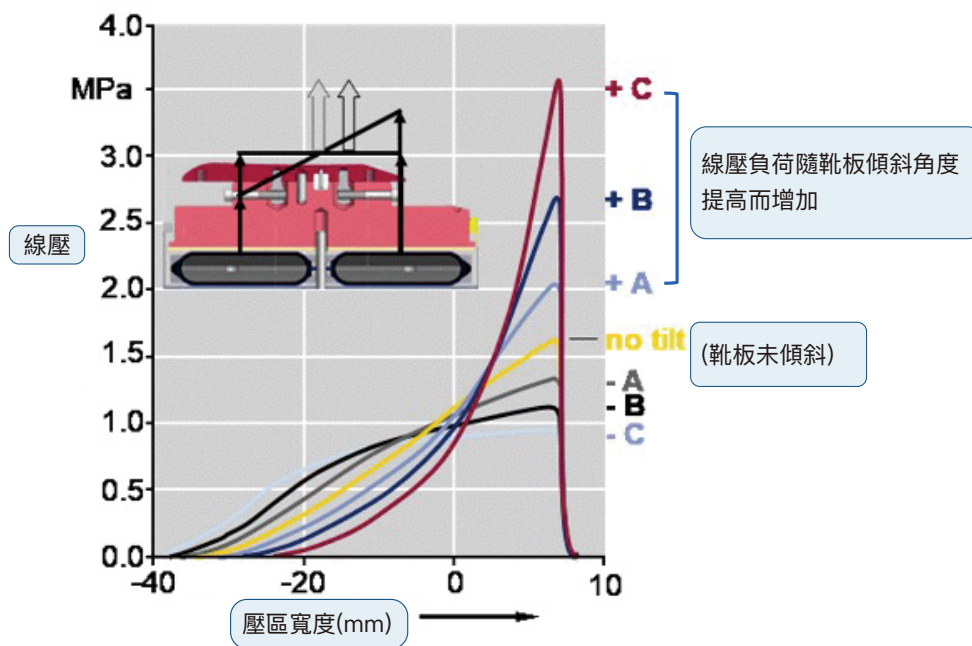


資料來源：永豐餘消費品實業股份有限公司提供

圖3.2.5-4 衛生紙機靴壓輥主要結構示意圖

一般靴壓的加壓油囊會設計成前後兩段，透過調整前後加壓油囊的油壓差異達到靴板傾斜角度調整，進而改變壓區寬度，可以根據品質要
 嵩厚柔軟或乾度提升節能的需求做調整，黃色線段代表靴板在未傾斜狀態下的線壓分佈，而位於黃色線段以上的曲線（如：+A、+B、+C 等），則顯示隨傾斜角度增加，線壓負荷的變化趨勢。

使用靴壓可以讓紙匹上烘缸面時，達到 45% 乾度，較一般使用抽
 吸壓水輥壓上烘缸面紙匹乾度 40%，可以減少烘缸的蒸汽耗量。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖3.2.5-5 靴壓壓區寬度與線壓關係圖

技術特點與優勢

靴壓設計是可以隨烘缸加壓加熱變形自動調整曲線配合，因此橫向水分分布比較均一。另外，因為靴板角度可調，在前後相同加壓油囊壓力加大壓區寬度時，可生產較嵩厚的產品。在加大後段加壓油囊壓力靴板最大傾斜時，可以獲得最大壓力而提升乾度達到節能目標。

- 靴壓線壓可以較抽吸壓榨輥線壓高約 0 至 40 kN/m
- 提高紙匹出壓區的乾度，與抽吸壓水輥比較，可提升 4 至 6% 乾度。
- 因乾度提升，乾燥段耗能可節省蒸汽用量 15 至 25%。
- 更高乾度代表在相同紙機乾燥能力下，可以提升紙機 15 至 25% 車速。
- 可以提升紙匹嵩厚度。
- 靈活性提升：紙匹乾度與嵩厚度間，可在紙機運轉即時調整。

應考慮因素及限制

- 靴式壓水輥系統初期設備與安裝成本高。
- **紙機結構需配套設計：**需有足夠空間與剛性設計來承載長壓區與液壓元件。
- 靴壓系統因為壓力比較高，相對的烘缸必須承受比較大的壓力，烘缸的結構是否能承受靴壓的壓力必須一併考量。
- **維護技術要求較高：**靴壓的靴套壓更換、靴壓輥內部零件檢查更新、靴壓板更換、液壓系統、潤滑冷卻油的冷卻系統等的保養安全及技術要求較高。
- 靴壓為高壓脫水，進入壓區前紙匹水分不能過高，否則紙匹會有壓潰現象，因此在靴壓前需設置抽吸輥降低紙匹含水量。
- 靴套是消耗材料，大約半年至一年視磨損狀況進行汰換。靴壓系統需使用潤滑油，耗材及靴壓等維護費用較抽吸壓榨輥的膠面研磨或重新包膠費用來得高。

3.2.6 磁懸浮透平真空泵

一般紙機的真空系統目前有水環式真空泵 (Water Ring Vacuum Pump)、透平真空泵 (Turbo Blower) 及磁懸浮真空泵 (Magnetic Levitation Vacuum Pump) 等。紙機傳統使用水環式真空泵，工作模式為利用容積變化吸氣、壓縮與排氣。優點為設備結構簡單、價格低、穩定性佳且維修方便。缺點為：(1) 整體效率低，相較目前技術能耗較高；(2) 易發生氣蝕與磨損；(3) 真空抽吸能力無法主動調節；(4) 隨時間推移密封性、抽氣量與真空度均下降。

近十餘年來，透平真空泵隨著技術成熟，因其有效降低單位能耗，已逐步取代水環式真空泵。透平真空泵的工作模式為利用高速旋轉的離心力甩出氣體並造成壓差，達到負壓側的吸入效果。優點為運作效率高、耗水量低、排氣可進行熱回收。缺點為設備結構複雜、對震動值較敏感，衍伸故障率高、維修難度高；轉速高、噪音大；因轉速調整範圍小，僅能小範圍調整抽吸能力。

透平真空泵依傳動方式可分類為：齒輪增速、高速直驅、磁懸浮三類。高速直驅式係採用高速永磁同步馬達，馬達轉子式永磁體，定子繞組通過三相電流產生磁場，轉子跟著磁場旋轉。相比普通馬達節能 10 至 38%。不需要齒輪箱、體積小、噪音低，轉速可達 15,000 rpm，效率達 97% 以上。

磁懸浮馬達是一種不接觸的軸承技術，通過磁力場來支撐和定位轉子，使轉子可以在空氣中自由旋轉。每秒超過 10,000 次的信號採集和即時校正，精確控制轉子軸心位置，軸心偏移控制在 μm 量級內，採用自平衡技術，振動量比傳統軸承小一個量級。

磁懸浮透平真空泵的工作形式為離心型，靠高速旋轉的葉輪甩出氣體時部分動能轉化，達到提高氣體壓力，實現吸入側負壓的效果。優點為設備穩定性高，故障率低。機械結構簡單，無易損件，全生命周期無需潤滑也無需更換軸承，免機械維護；振動值超低 (0.3 mm/s 以下) 且動平衡可控，100% 解決高速旋轉機械因葉輪磨損、結垢引起的振動過大、故障率高的問題。磁懸浮軸承無摩擦損耗，馬達轉速高可直連葉輪，無傳動損耗，通過變頻器驅動後能實現葉輪無級調速，可完美適應紙機真空脫水元件真空度及抽氣量的變化。此外還有設備整合化程度高，噪音低等優點，但投資成本較高。

若將磁懸浮透平真空泵與高速永磁同步直驅透平真空泵進行比較，前者在技術層面上具有以下優勢：

- 優點為採用磁懸浮軸承，無接觸，無摩擦，免日常維護。
- 控制精度要求高，自動化要求高，維修保養水準要求高。
- 排氣溫度相對高 5 至 10°C，餘熱效益高。
- 基本上無耗材。
- 實際使用節能率高於高速永磁同步直驅透平真空泵 1 至 2%。

技術應用原理

磁懸浮軸承設計轉速可達 15,000 rpm，且不需要潤滑油。利用磁場實現無接觸運轉，消除滾珠軸承的摩擦損失，從而減少能量消耗，具有更高的運轉穩定性和效率，能在較低的功率消耗下提供所需的真空水準。這不僅提高整體製程的能源使用效率，也降低系統運行中的機械磨損，延長設備的使用壽命。除此之外還導入高速直驅傳動與半開放式葉片設計：高速直驅傳動可減少機械間隙與震動，提高運行穩定性，並與變頻技術結合，提供更精準的轉速控制，滿足不同抄造條件需求，且動能直接傳遞到葉輪上，可減少傳動損耗。而半開放式葉片可減少氣體流動阻力，能提升效率，並能適應變動負載，在變化的流量與壓力條件下能提供較穩定的性能。

相較於全封閉葉輪，半開放式葉片的結構更輕，減輕整體設備重量，並能降低啟動慣性，提升動態響應；此外，選用永磁同步馬達，比一般的異步馬達效率更高，具更加的控制性能，有助於在高速運行下保持穩定的能效輸出。

傳統水環式真空系統採用固定轉速運轉，無法因應調整真空度的需求。透平真空泵可藉由導入變頻控制，根據真空泵的需求來調整轉速，達到所需之真空度，以因應不同紙種（如薄紙、厚紙、牛皮紙等）之基重改抄需求，調節真空抽吸強度，實現高效的脫水操作，避免過度或不足的抽吸，造成蒸汽的浪費。

技術特點與優勢

- **真空度調節：**通過變頻控制，根據不同紙種的基重調整真空度，確保紙匹脫水乾度達到設計值。
- **節能運行：**當需求降低時，系統可自動減少泵的運行功率，避免能源浪費。
- **多點供應：**同一系統可以同時滿足不同製程點的需求，根據優先順序進行分配。
- **系統監測：**可監控壓力、流量、溫度等運行參數，確保安全穩定。
- **磁懸浮有自我保護：**斷電時，藉由透平機自轉就能短暫發電，將懸浮軸心緩慢歸位，避免軸心損壞。
- **餘熱回收整合：**可同步規劃排氣餘熱回收系統，進一步提升能源利用率。

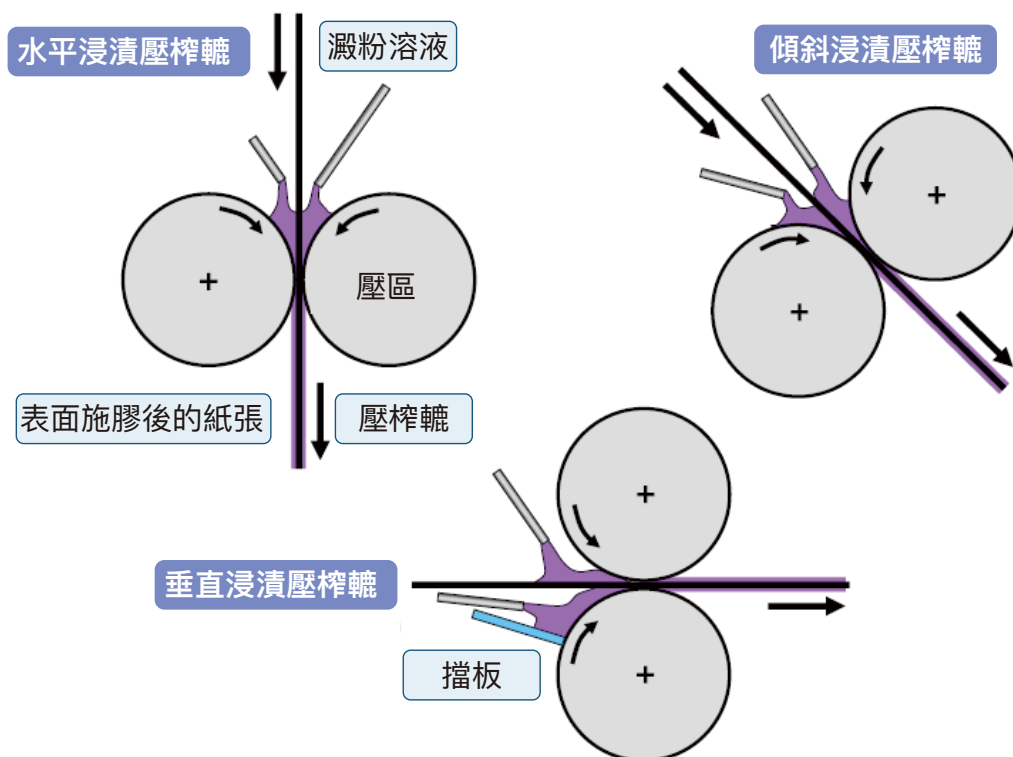
應考慮因素及限制

- **電力品質：**磁懸浮的效果會跟紙廠的電力品質密切相關，如果紙廠電壓不穩定，磁懸浮的效果容易發生故障，進而影響生產。
- **高昂的初始成本：**磁懸浮軸承技術複雜，設備的購置和安裝費用相對較高。
- **電力功耗大：**雖然運行時有節能效果，但產生懸浮磁場需要消耗較多電力，需在整體能效中進行權衡。
- **控制系統複雜：**磁懸浮軸承屬不穩定系統，需要複雜的電子控制系統來維持轉子的穩定懸浮和精確位置。
- **維護成本高：**儘管日常維護減少，但一旦發生故障，其維修的專業性和複雜性也相對較高。

3.2.7 槽底式/薄膜式上膠輥

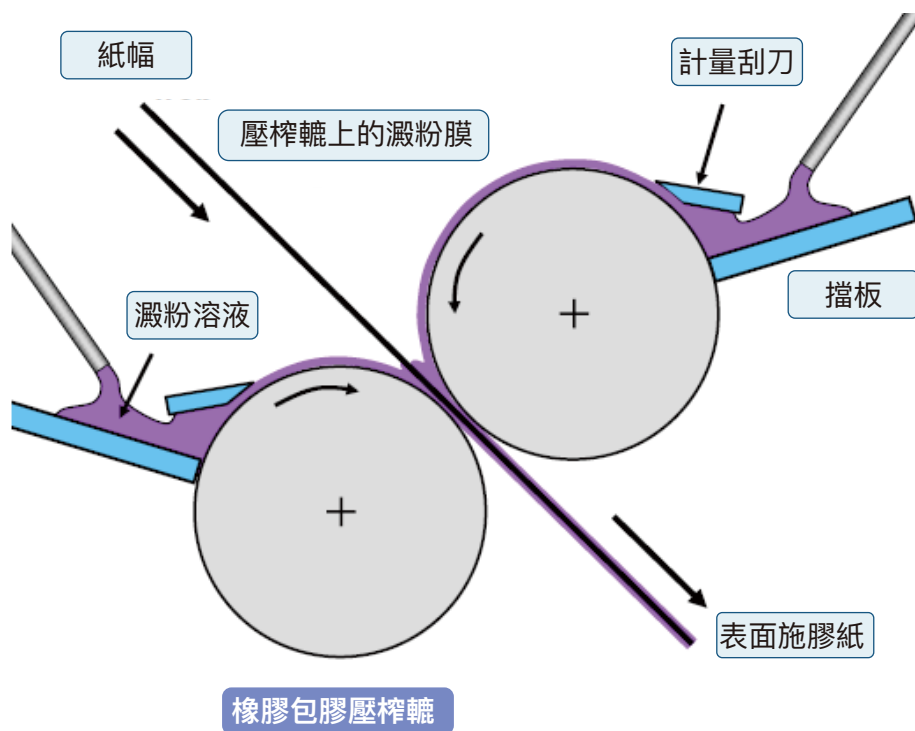
紙機的上膠輥用於將聚合物溶液（通常是澱粉）塗布在紙匹表面，進而提高產品的剛挺度、表面強度和印刷品質。上膠輥主要有槽底式 (Pond Type) 及薄膜式 (Film Type) 二類。槽底式上膠輥在輥之間形成一個上膠溶液“池塘”，使聚合物溶液得以充分吸收和滲透到紙張中。薄膜式上膠輥將聚合物溶液作為薄膜塗覆，最大限度地減少溶液量並達到更高的車速。

槽底式上膠輥的運作方式為在上膠機的輥與輥之間形成一個聚合物溶液（通常是澱粉）池，說明如圖 3.2.7-1。紙匹穿過這個“池塘”，吸收溶液。優勢為由於接觸時間增加，聚合物溶液的吸收率更高。可以調整以控制上膠劑的用量。適用於特種紙、重型印刷紙以及需要全面上膠時；缺點為塗布後會導致紙張中的水分含量較高，可能導致紙張強度下降，進而發生斷紙情形，不適合高速生產。



資料來源：Hubbe MA. 2024. Size press practices and formulations affecting paper properties and process efficiency: A review. BioResources 19(1):1925-2002.

圖3.2.7-1 典型槽底式上膠輥的三種配置示意圖



資料來源：Hubbe MA. 2024. Size press practices and formulations affecting paper properties and process efficiency: A review. BioResources 19(1):1925-2002.

圖3.2.7-2 典型薄膜式上膠輥的配置示意圖

薄膜式上膠輥的運作方式為聚合物溶液以薄膜的形式塗布紙匹上，紙匹穿過該薄膜，吸取一定量，說明如圖 3.7.2-2。優勢為紙機允許更高的速度和可能更低的能耗，可精確直觀控制上膠應用，減少聚合物溶液的使用量，並可能降低因過度潤濕而導致紙匹斷紙的風險；缺點為可能無法達到與槽底式上膠輥相同的滲透水準，可能會對可塗布的大小量有所限制。

槽底式上膠輥與薄膜式上膠輥的特性比較，說明如表 3.7.2-1。

表3.2.7-1 槽底式上膠輥與薄膜式上膠輥的特性比較

特 性	槽底式上膠輥	薄膜式上膠輥
上膠應用	淹沒的捏縫，溶液的“池塘”	塗覆在輥上的薄膜
車速	較低的速度	較高的速度
吸取量	較高吸取量	較低吸取量(但更可控)
含水量	上膠後水分含量較高	上膠後水分含量較低
滲透	良好的滲透性	可能無法達到與槽底式相同的滲透性
適合應用	慢速車，如特種紙、重磅紙、紙板等	高速車，如裱面紙板、印刷書寫用紙等

資料來源：本彙編整理

技術應用原理

薄膜式上膠輥是利用一對壓緊的上膠輥，將膠液（如澱粉膠、塗布液等）以薄膜形式均勻轉移到紙匹表面。紙匹通過兩輥間的壓區時，膠液薄膜在壓力與表面張力作用下均勻塗布於紙張，改善表面強度、印刷適性與耐磨性等。其核心原理為間接轉移上膠，透過膠液薄膜厚度與接觸時間來控制塗布量。

技術特點與優勢

- **雙面上膠：**面層與底層糊液濃度可分開進行控制減降澱粉成本。
- **膠液用量精準控制：**減少過量上膠，降低烘乾能耗與膠液浪費。
- **適用多種膠液配方：**可依產品需求靈活調整黏度、固含量。

應考慮因素及限制

- **膠液性質：**黏度、固含量、pH 需在設備適用範圍內，否則易造成上膠不均或飛濺。
- **設備清潔維護：**膠液易在輥表面乾固，需定期清潔避免表面缺陷。
- **壓區壓力與速度匹配：**壓力過高會壓傷紙匹，過低膠液量轉移不足。
- **對原紙要求高：**原紙表面平滑度與含水率需穩定，否則影響塗布均勻性。
- **初期投資較高：**相較傳統上膠方式，設備成本與維修要求較高。

3.3 公用系統應用技術

3.3.1 鍋爐燃料轉換

3.3.1.1 固體再生燃料/生質燃料鍋爐/汽電共生系統

固體再生燃料 (Solid Recovered Fuel, 以下稱 SRF) 或生質燃料汽電共生系統是指利用經過處理的生質物或廢棄物，如廢塑膠、廢橡膠等，製成 SRF，再將其作為燃料使用於鍋爐或汽電共生系統中，達到提供熱能及發電的目的。這種方式一方面可以減少對傳統化石燃料的依賴、降低溫室氣體排放，另一方面也能有效處理廢棄物，實現資源再利用的循環經濟。

固體生質燃料可分為初級固體生質燃料與固體再生燃料 (SRF) 兩類。初級固體生質燃料根據國際上之定義可分為木顆粒、棕櫚殼、木片、農林資材等，其來源為未經化學處理之天然生質物，為碳中性燃料，亦為再生能源發展條例認定之再生能源。目前初級生質燃料已廣泛用以取代化石燃料以減少碳排放。標檢局已參考 ISO 17225 制定的 CNS 17225-1、CNS 17225-2 及 CNS 17225-6 等初級固體生質燃料相關國家標準。

SRF 指使用非有害適燃性固體廢棄物，包含一般事業廢棄物或生活垃圾，利用分選技術去除不適燃物後製成之替代燃料。SRF 主要以回收紙、廢塑膠或廢木料等適燃性物質所組成，其閃火點低、揮發分高、燃燒迅速，其形態可為顆粒狀 (Pellets)、錠狀 (Briquettes)、薄片 (Flakes)、碎片 (Chips)、粉末 (Powder)、蓬鬆狀 (Fluff) 等。SRF 雖含有廢塑膠之原物料，但其組成中亦含有回收紙纖維、木材、橡膠等生質物，依其配比，若其碳排放係數較燃煤低，應用取代燃煤可降低溫室氣體之排放。SRF 可用於現有燃煤鍋爐或燃燒設施（如水泥窯）直接使用或與燃煤進行混燒以降低燃煤之使用量。

環境部為推動國內廢棄物能源化，已訂定事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引及固體再生燃料 (SRF) 相關管理方式，使廠商在使用 SRF 之過程中能有所依據。

技術應用原理

固體生質燃料的定義和特性

- 固體生質燃料可分為初級固體生質燃料與固體再生燃料。
- 初級固體生質燃料根據國際上之定義可分為木顆粒、棕櫚殼、木片、農林資材等。
- SRF 須以無害廢棄物製成的燃料，經過分類、破碎等處理程序後，使其具有高燃燒效率和穩定的物理特性。
- SRF 的主要原料包括廢塑膠、回收紙、廢橡膠、廢木材等，經過處理後，可替代部分煤炭等化石燃料，用於工業鍋爐、水泥窯、發電廠等。

汽電共生系統的原理

- 汽電共生系統是指同時產生電能和熱能的能源整合系統。
- 在汽電共生系統中，燃料燃燒產生的熱能用來產生蒸汽以推動汽輪機發電，同時高溫蒸汽也可用於工業製程或提供暖氣等。
- SRF 作為燃料使用於汽電共生系統中，可以提高能源利用效率，達到節能減排的效果。

技術特點與優勢

固體生質燃料汽電共生的優點

- **減少廢棄物：**SRF 的使用可以有效減少廢棄物處理的壓力，並降低焚燒所造成的環境負擔。
- **替代能源：**SRF 可以作為傳統化石燃料的替代能源，有助於減少對進口化石燃料的依賴。
- **能源效率高：**汽電共生系統的能源利用效率通常高於傳統發電方式，SRF 的應用進一步提升了能源利用率。
- **降低成本：**相較於傳統能源，SRF 的成本可能較低，有助於降低企業的能源成本。

應考慮因素及限制

- **燃料儲存空間投入：**由於固體生質燃料的熱值較低，通常需要較大的燃料儲存空間和更多的燃料來產生與燃油或燃氣鍋爐相同的熱量。代表初始安裝成本可能較高，且需要設置適當的燃料存儲設施。
- **鍋爐維護需求：**固體生質燃料鍋爐需要定期清理和維護，以防止燃燒殘留物積聚影響鍋爐效率。
- **品質不穩定：**SRF 的原料來源廣泛，成分和品質可能不穩定，需要嚴格的原料篩選和前處理程序。
- **環境影響：**SRF 的燃燒可能產生空氣污染物，需要嚴格的排放標準和監測機制。
- **初期投資：**建立 SRF 汽電共生系統需要較高的初期投資，包括廢棄物處理設備、鍋爐改造等。
- **法規問題：**以 SRF 作為燃料需要符合相關環保法規，並確保符合能源政策。

3.3.1.2 燃煤鍋爐更換為天然氣鍋爐

天然氣鍋爐和燃煤鍋爐在燃料、排放、效率和成本等方面存在顯著差異。天然氣鍋爐通常被認為更環保，排放較少污染物，且作業環境也較燃煤鍋爐乾淨，空污排放防制設備也較簡易；但天然氣鍋爐燃料成本較高。天然氣鍋爐和燃煤鍋爐在節能減碳方面，天然氣鍋爐具有較佳的優勢，天然氣在燃燒過程中產生的二氧化碳等溫室氣體較煤炭燃燒的碳排較少，能有效減少空氣污染物的排放。因此，天然氣鍋爐被視為一種更環保、更具節能減碳潛力的選項。

技術應用原理

天然氣主要成分為甲烷，依 IPCC 公告 2006 年 CO₂ 排放係數為 56,100 kgCO₂/TJ；而燃料煤之 CO₂ 排放係數為 94,600 kgCO₂/TJ，以固定熱值比較碳排放量，天然氣較燃料煤減少二氧化碳排放量約 40%。

而天然氣鍋爐以燃燒器直接燃燒天然氣，在操作控制上相較於煤鍋爐簡易及穩定，且天然氣大部分採用管道輸送方式，沒有燃料儲存空間與輸送揚塵問題，設備裝置需求面積及污染防制設備都較燃煤鍋爐為少。雖然天然氣鍋爐燃燒效率優於燃煤鍋爐，但是目前天然氣鍋爐的燃料成本較高，且天然氣供應來源可能會因地理位置而受限。但從長遠來看，其減少空氣污染和維護成本的優勢使其成為更具吸引力的選擇。然而，具體選擇哪種鍋爐還需考慮企業的具體需求、成本效益、以及當地環保政策等因素。

技術特點與優勢

天然氣鍋爐

優點

- 燃燒更乾淨，排放的污染物如硫氧化物、氮氧化物和粒狀物較少。
- 燃燒效率較高（約 90%），能更有效地利用燃料。
- 維護成本相對較低，因為燃料和燃燒過程更清潔。
- 可減少碳排放，有助於實現碳中和目標。

缺點

- 燃料成本可能較高。
- 需要額外的天然氣管線和供應基礎設施。

燃煤鍋爐

優點

- 燃料成本可能較低。
- 在某些地區，煤炭資源豐富，容易取得。

缺點

- 燃燒產生大量污染物，如硫氧化物、氮氧化物和粒狀物，對空氣品質影響大。
- 燃燒效率較低（約 70 至 80%），需要更多的煤炭才能產生相同的熱能。
- 維護成本較高，因為煤炭燃燒會產生灰燼和積碳，需要頻繁的清潔和維護。
- 可能受到環保法規的限制。

應考慮因素及限制

企業在選擇鍋爐時，應綜合考慮以下因素，並尋求專業的建議，以找到最適合自身需求的方案。

- **法規要求：**許多地區對燃煤鍋爐有嚴格的排放標準，可能需要額外的設備來符合要求。
- **能源轉型：**隨著全球對環境保護的重視，許多國家正在推動能源轉型，鼓勵使用更清潔的能源，如天然氣。
- **技術發展：**生質物燃料鍋爐和電鍋爐等新興技術也在不斷發展中，為企業提供更多選擇。

3.3.2 廢水厭氧單元沼氣發電再利用

隨著全球對環境保護的日益重視，造紙業在廢水處理行業也在不斷尋求更環保、更高效的解決方案。傳統的造紙廢水處理方式往往存在能耗高、污染物排放量大等問題。廢水厭氧處理技術作為一種高效的廢水處理方法，不僅能有效去除廢水中的有機污染物，還能產生沼氣。沼氣是一種可燃氣體，主要成分為甲烷和二氧化碳，可以作為能源進行再利用，從而實現能源回收和環境保護的雙重效益。這種做法不僅能減少溫室氣體排放，還能提供可再生能源，降低能源成本。

技術應用原理

廢水厭氧單元的沼氣可再利用供熱或發電。其中沼氣發電流程主要包含以下幾個步驟：厭氧消化、沼氣處理（脫硫、脫水、儲存）、以及發電。首先，有機廢棄物在厭氧環境下被微生物分解，產生沼氣。接著，沼氣經過脫硫、脫水等單元處理，去除雜質和水分，確保發電品質。最後，處理後的沼氣被送入沼氣發電機組，產生電力。各步驟關鍵設備應用原理說明如下：

厭氧消化

厭氧消化階段是沼氣產生的來源，利用微生物在缺氧環境下將有機物分解轉化成沼氣，於造紙業廢水處理中，厭氧消化可去除 70–85% 之有機質與懸浮固體，顯示厭氧消化對於廢水處理之重要性。厭氧消化單元典型反應器採用內循環反應器 (Internal Circulation Reactor, IC)，以提高沼氣收集率，提升沼氣再利用比率。

沼氣處理

- 脫硫設備

脫硫設備的目的為除去沼氣中的硫化氫 (H_2S)，以降低沼氣發電機及沼氣再利用設備的腐蝕損壞，延長設備使用壽命，因此脫硫程序非常重要。沼氣發電機對硫化氫濃度的容許上限需低於 200 ppm，脫硫製程依吸附材不同，可分為固體、液體或生物吸收等方式。脫硫製程目前主要使用生物吸收式，其原理為硫氧化菌可將硫化氫轉化為單質硫，從沼氣中移除硫化氫。生物脫硫優點為生物處理環保且無額外廢棄物產生，但脫硫效果受溫度影響大。

- 脫水設備

由於沼氣自厭氣槽中生成，因此富含水分，再加上厭氧發酵過程中會產生熱，使得沼氣溫度高於室溫，夾帶更多水氣；若未進行脫水，水氣將造成點火失敗與燃燒不完全，導致發電機產生震動及效能下降。一般常見脫水方法為：冷媒加壓冷卻法與乾燥劑吸附法。目前脫水設備主要採用冷媒加壓冷卻法的冷凝方式將沼氣中的水分去除。

- 儲氣設備

各型發電機對於燃料供應壓力皆有要求，當壓力不穩定時發電機會產生劇烈震動、輸出功率不足等問題；當沼氣壓力低於壓力下限，發電機將會自動停機，容易導致引擎磨損。儲氣設備的目的在於儲存沼氣，並提供發電機穩定壓力的氣源，可依照空間狀況與發電機需求，採用高壓鋼瓶或高分子膠皮袋進行儲氣。

沼氣發電機

沼氣發電機可簡單分為：引擎、發電機、控制系統、排氣系統、燃氣系統、散熱系統等單元。沼氣發電機為燃氣引擎，與燃油的汽車引擎類似，僅燃料供給系統不同。常見的沼氣發電機屬於內燃式引擎，內燃式引擎之燃燒行為在汽缸內進行，利用燃燒時產生的爆發力推動活塞而產生機械能。活塞於汽缸內往復上下移動，活塞帶動曲桿產生旋轉動能，驅動發電機轉子轉動從而產生電能。

技術特點與優勢

能源回收

沼氣可以被用來發電、供熱、作為燃料使用，甚至經過提純後作為生物甲烷替代天然氣，實現能源的循環利用，減少對傳統化石燃料的依賴。

減少溫室氣體排放

沼氣中的甲烷(CH_4)是一種溫室氣體，如果未經收集利用而直接排放到大氣中，會加劇氣候變遷。透過沼氣再利用，可以有效減少溫室氣體排放，達到減緩氣候變遷的目的。

降低能源成本

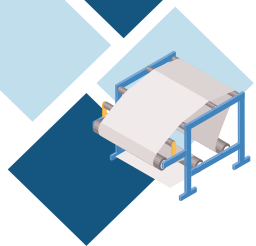
沼氣再利用可以降低企業的能源成本，提高經濟效益。特別是對於造紙製程產生大量有機廢水產業，沼氣再利用更是具有顯著經濟優勢。

應考慮因素及限制

沼氣發電主要考量因素包括沼氣來源的穩定性、沼氣成分、發電設備的選擇、以及環境影響等。相關限制則包括技術成本、沼氣的儲存與運輸、以及環境法規等。

考慮因素

- **沼氣來源與穩定性：**沼氣的產生量與有機廢棄物的種類、數量、處理方式等密切相關。確保沼氣來源的穩定性是沼氣發電成功的關鍵。
- **沼氣成分：**沼氣主要成分為甲烷和二氧化碳，其中甲烷是可燃氣體。沼氣中還可能含有少量硫化氫等雜質，需要考慮其對發電設備的影響。



114
年度

- **發電設備：**沼氣發電可採用內燃機、燃氣輪機、燃料電池等不同技術，選擇適合的發電設備需要考慮沼氣的特性、發電規模、以及成本效益等因素。
- **環境影響：**沼氣發電可以減少溫室氣體排放，但同時也可能產生空氣污染和噪音等問題，需要進行環境影響評估，並採取相應的環保措施。
- **成本效益：**沼氣發電的成本包括設備投資、營運維護、以及沼氣收集處理等費用。需要評估沼氣發電的成本效益，並尋找合適的投資模式。

相關限制

- **技術成本：**沼氣發電技術的初期投資成本相對較高，包括生物脫硫設備、發電設備、以及沼氣調理設備等。
- **沼氣儲存與運輸：**沼氣具有易燃易爆的特性，需要特殊的儲存和運輸設備，增加沼氣利用的難度。
- **環境法規：**沼氣發電需要符合相關的環境法規，包括廢棄物處理、空氣污染防治等，增加沼氣發電的合規成本。
- **沼氣純化：**沼氣中的雜質會影響發電效率和設備壽命，需要進行純化處理，增加沼氣發電的成本和複雜性。

3.3.3 熱交換器在造紙製程熱回收的應用

造紙業能源以電力及熱能為主，其中熱能約占總能源的 40 至 60%。如何高效使用熱源成為造紙業競爭力的重要指標。如何選用合適的高效熱交換器來滿足既有製程需求外，而且對製程中的高中低溫廢熱可以有效回收再利用，使全廠達到能源使用效率最佳化、節約營運成本、降低對環境的負面衝擊，成為邁向淨零的助力。

技術應用原理

熱傳送 (Heat Transfer) 意即讓兩種不同溫度的物質相靠近，以便將熱能由較熱的一側，傳至較冷的一側。因此，善用系統內既有且已經產生成本的熱能，將之移轉給其他製程使用，而不需額外生產或購買熱能，可謂是最符合經濟與永續效益的做法。換言之，工業場景中俯拾即是各種形式的加熱、製冷應用，若皆能將存在於系統中的能量，做最大化循環使用，可立即得到顯著的減碳成效。

板式熱交換器

以熱傳技術為核心，熱交換設備的發展，一般可分為體積較大的傳統殼管式熱交換器 (Shell And Tube Heat Exchanger)，以及效率高、設計精巧、應用廣泛的板式熱交換器 (Plate Heat Exchanger)。板式熱交換器進一步細分，尚有墊片式 (Gasketed)、螺旋式 (Spiral)、半焊式 (Semi-Welded)、銅焊式 (Brazed)、全焊可拆式 (Welded Plate-And-Block)、擴散焊全不鏽鋼式 (Fusion-Boned) 等多種板式熱交換器。

板式熱交換器運作原理

板式熱交換器由一組波紋形且厚度很薄的金屬板片所組成，說明如圖 3.3.3-1。板片上有四個開孔，供兩種流體通過，視流經板片的流體性質，利用墊片或是焊接板片（或兩者併用的方式）結合在一起。

板片組依序緊密排列在堅固的前後端板內，並用迫緊螺栓夾緊，形成平流狀的流體通道。藉由板片上的墊片將流體通道密封，引導流體交替流動，使一側的流體流經單數通道，另一側流體流經偶數通道，形成熱交換。而流體的流量、物理性質、溫度差等，決定板片所需的數量和尺寸。波紋型板片則提高擾流 (Turbulence) 程度，並形成許多支撐點，以承受流體輸送的壓力。

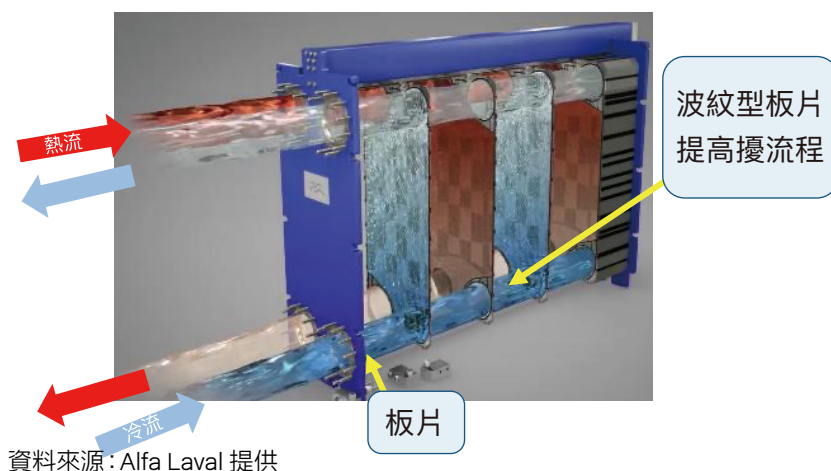


圖3.3.3-1 板式熱交換器冷熱流體運作示意圖

值得一提的是，在造紙業應用條件中，流經板式熱交換器的流體常含有纖維或是粗顆粒，建議可採用寬間隙型 (Wide-Gap) 板片，說明如圖 3.3.3-2。不僅流體通道可寬達 22 mm 且無接觸點，避免阻塞發生，亦可視應用需求，配置寬 / 寬或寬 / 窄通道設計的板片，以達最佳效果。

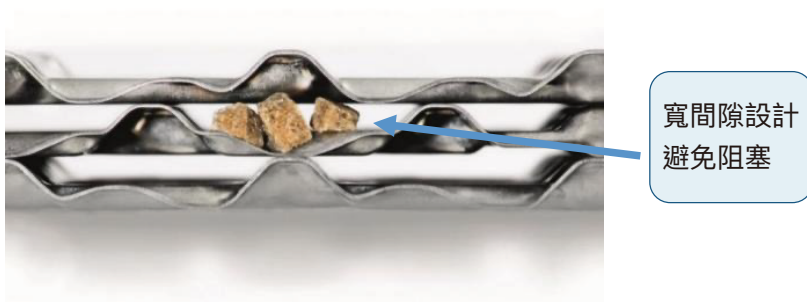


圖3.3.3-2 板式熱交換器的寬間隙型板片示意圖

技術特點與優勢

以常應用於造紙業案例廠的三大板式熱交換器：墊片式板式熱交換器、Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器、螺旋式板式熱交換器為例，其技術特點與優勢說明如表 3.3.3-1。

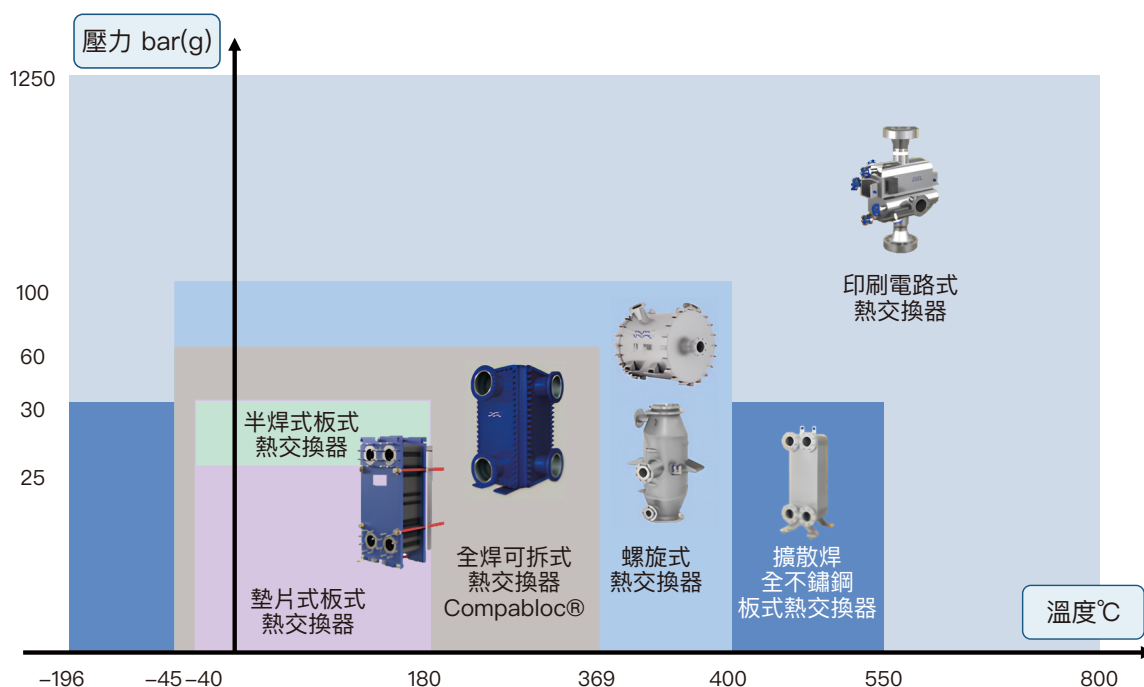
表3.3.3-1 造紙業常用板式熱交換器技術特點比較表

型式	墊片式板式熱交換器	Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器	螺旋式板式熱交換器
特點	以密封墊片和波紋板片間形成冷、熱流通道，將熱能從熱流體傳遞給冷流體，廣泛應用於供熱、製冷等場景。	體積小，可垂直或水平安裝，極適合空間有限的廠房。耐高溫高壓，抗腐蝕。	圓柱形結構內含兩個同心的螺旋通道，各有一種流體以反向方式流動，不相互汙染且可達到高效的熱傳效果。
通道設計	OmegaPort™ 非圓形出入口設計	XCore™ 高壓工況的先進設計	Single Channel 單通道設計
	非圓形的出入口設計減少壓降，促進板片表面積利用率。	耐高壓、耐清洗的板片紋路設計，可提升機械強度與熱傳性能，延長運轉週期。	單通道設計較管殼式熱交換器效率更高，操作簡便，可開蓋徹底清潔。
結垢/防腐蝕	CurveFlow™ 最佳化介質流動	C-weld™ 卓越的清潔與耐用性	SelfClean™ 高擾流設計實現自清潔效果
	妥善運用板片分流區域，達到介質流動最佳化，降低結垢風險。	板片採用點對點雷射焊接技術，確保清潔維護的便利性，亦具絕佳防腐蝕效果。	連續彎曲的單通道設計產生高擾流，剪切力增加25%以上，結垢機率顯著降低。
	FlexFlow™ 絕佳的熱傳導效能	SmartClean™ 快速高效的除垢設計	RollWeld™ 可靠的密封通道設計
	專利非對稱通道設計可最佳化壓降，增加擾流，提高效率。	暢通無阻地清洗板片通道，確保高效地去除結垢髒污。	自動化通道邊緣折彎製程與密封焊接，確保通道的絕對封閉與設備抗腐蝕性能。
量身訂做	OpenChannel™ 寬間隙板片	ALOnsite™ 在地技術支援	HighPT™ 高壓工況的客製化方案
	確保含有纖維與顆粒的流體，依然能順利流通不阻塞，實現長時間可靠運作。	Alfa Laval技術服務中心遍及全球，隨時準備好為您提供高品質技術支援服務。	單通道設計較管殼式熱交換器效率更高，操作簡便，可開蓋徹底清潔。

資料來源：Alfa Laval，2025 年

應考慮因素及限制

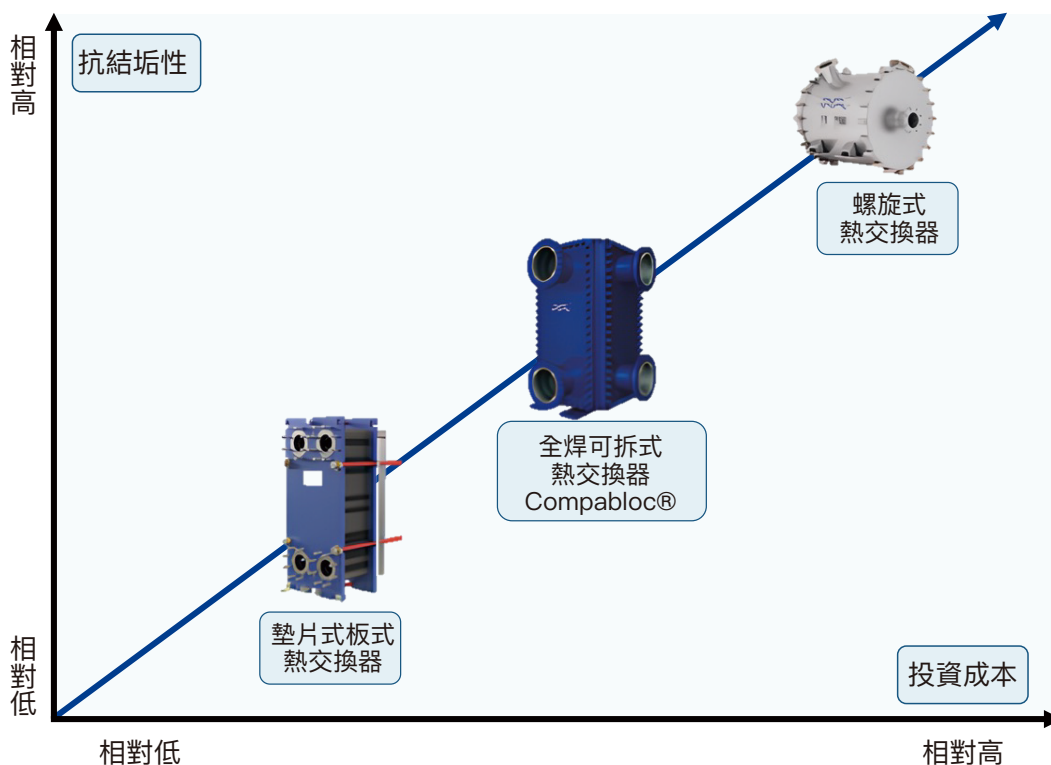
各類板式熱交換器無絕對優劣之分，應視其產業應用、工況需求、可靠度、熱傳效能、投資成本、維修保養便捷性與經濟性等因素，綜合評估後選擇最適設備，說明如圖 3.3.3-3。簡要來看，可先依該熱交換器應用場景的溫度與壓力需求做初步篩選。以案例廠全焊可拆式板式熱交換器 Compabloc™ 為例，該設備可耐液壓高達 60 bar(g)，最高可耐受 369°C。



資料來源：Alfa Laval 提供

圖3.3.3-3 各類熱交換器適用範圍

另一方面，設備投資成本與抗結垢性亦是常見的評估因素。以案例廠螺旋式板式熱交換器為例，設備投資成本相對高，但由於其單通道與定距釘設計，可產生較高的擾流，剪切力增加 25% 以上，可將正在形成的沉積物自然地沖走，從而降低結垢機率。換言之，由於其具備較高的抗結垢性，所以螺旋式板式熱交換器的維護保養頻率與成本相對低，說明如圖 3.3.3-4。



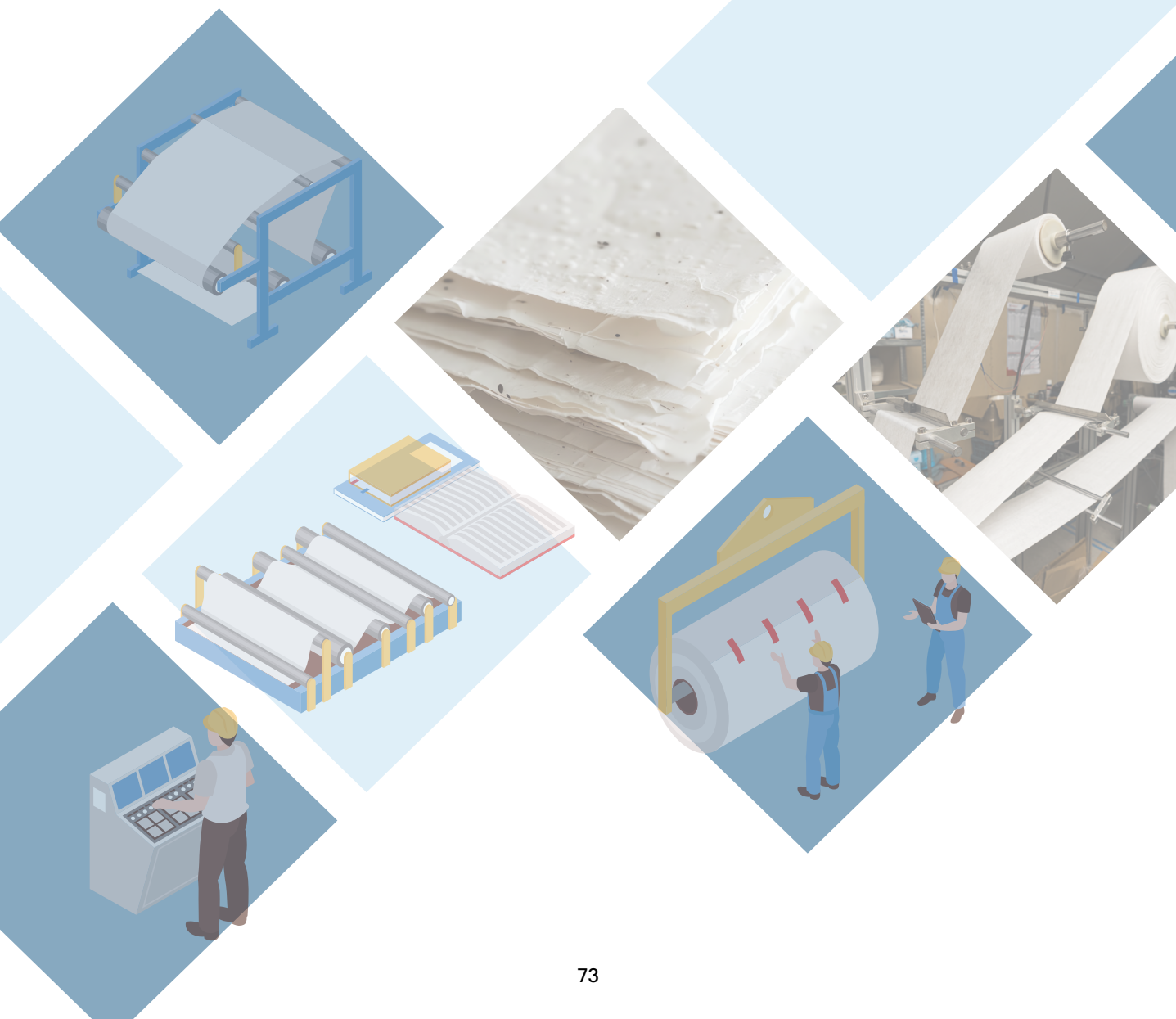
資料來源：Alfa Laval 提供

圖3.3.3-4 造紙業常用三大熱交換器的抗結垢性與投資成本比較圖

板式熱交換器的選擇沒有絕對的最佳，只有因應製程應用需求的最適，且是各項影響因素綜合評估後的結果。在淨零永續浪潮下，如何高效回收製程廢餘熱再加以利用、如何減少廢棄物與廢污水等減碳、減廢考量，成為選擇最適設備的另一關鍵決策因素。

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

4.減碳生產技術設備應用與實務案例



本章節所列的減碳生產技術設備之類別、應用產業與實務案例，為節能減碳效果佳或多數廠商可仿效之成功案例，其他產業有相同或類似製程、設備者，亦可斟酌參考與應用，以下進行造紙業節能技術設備與實務案例介紹。

4.1 多盤式過濾機技術案例

4.1.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

多盤式過濾機主要應用於造紙廢水、白水回收及製程中含高濃度懸浮微粒水體的固液分離的製程配置，是一種連續運轉的重力與低真空（或落差虹吸）過濾設備。多盤式過濾機以中空轉軸上固定以扇形濾片組成數個可旋轉濾盤，半浸於含纖維的漿料白水中運轉，白水透過濾布進入濾片內收集，濾布外側則因真空或壓力差吸附固形物，這些含有纖維與細小填料的固形物在濾布上形成濾餅，濾餅轉出水面後氣固分離，再以刮刀或反沖洗收集濾餅。

技術概要

設備構成

主要為安裝於水平轉軸上的多組圓形濾盤（通常 12 至 30 片）。

- **進漿箱：**多盤式過濾機回收之白水來源於白水塔或網下白水池，纖維、填料等固形物約 0.2 至 1.0%。
- **濾槽：**白水進入槽內需維持穩定液位，配合操作需求可設有檔板，以控制濾盤浸沒角度與停留時間，且避免曝氣與產生渦流。
- **芯軸：**為中空轉軸，圓形濾盤在浸沒白水時靠液面落差等低真空狀況穿過濾布形成濾餅，在圓形濾盤離開液面後，氣體穿透濾餅促進脫水。

- **圓形濾盤：**以不鏽鋼骨架與可更換濾布組成，濾盤內以集液管接至芯軸。濾餅形成後以刮刀或反沖洗方式集中於接漿斗中，以螺旋輸送機輸送或直接送至回收漿池。
- **分配閥：**以不同的開度來控制濁白水、清白水和超清白水的比例。

運行方式

圓盤部分浸入待處理液中，旋轉時由真空或壓差將固體吸附在濾布上，並在離開液面後由刮刀或反沖洗清除濾餅。

特點

連續運轉、佔地面積小、能處理大流量，適合高濃度懸浮液濃縮與纖維回收。

4.1.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

案例廠的主要產品為裱面紙板，車速 440 m/min、紙幅 4,300 mm、基重範圍 150 至 340 g/m²、產量 380 公噸 / 天。白水回收系統使用真空過濾機及斜網脫水機來回收纖維及再利用白水，因為回收白水無法有效澄清回收再利用，導致單位用水量高達 6.5 公噸水 / 公噸紙。目前面臨的困擾說明如下：

- 白水中可回收纖維未有效回收，造成紙漿損失及廢水 COD 偏高。
- 厭氧及好氧污泥因 COD 高，導致產出量高，造成污泥處理費用上升。
- 設備佔地大、維護頻繁，停機時間長，影響系統穩定性。

單元改善後情境說明

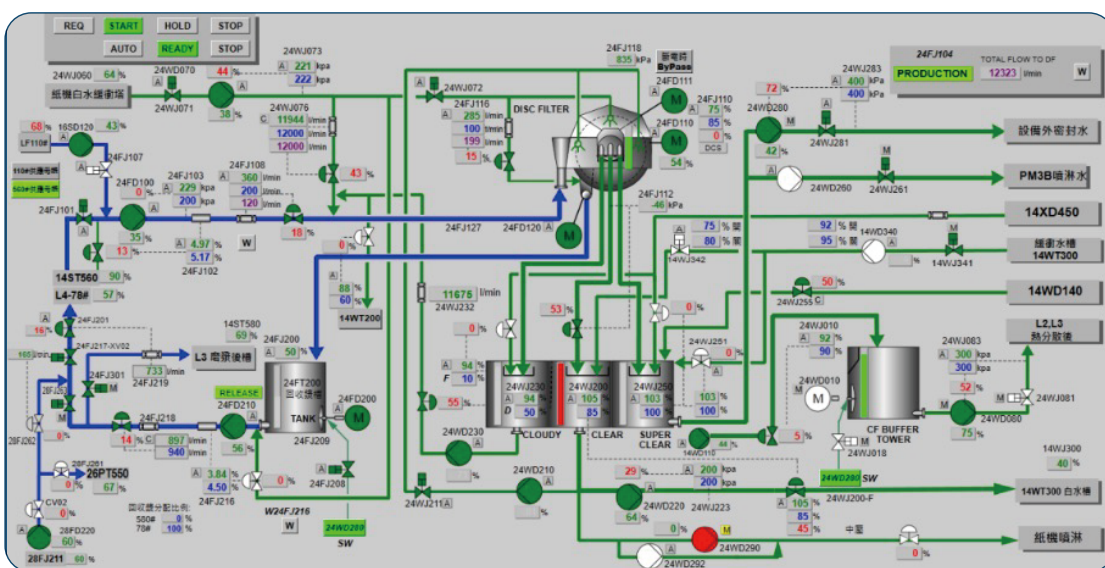
備漿系統改造時，增設多盤式過濾機來回收漿料及白水，規格：Voith-DF520-11/12，說明如圖 4.1.2-1，分散式控制系統 (Distributed Control System, DCS) 控制圖說明如圖 4.1.2-2。改造後的效益說明如下：

- 增設真空系統與自動反沖洗裝置，確保濾布清潔與長期穩定運行。
- 白水回收部分，將可回收纖維直接返回紙機漿料系統，增加纖維得率，降低單位用水量從 6.5 公噸水 / 公噸紙降至 4.3 公噸水 / 公噸紙。
- 廢水 COD 下降，厭氧及好氧污泥產出量低，污泥處理費亦同步下降。



資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

圖4.1.2-1 案例廠多盤過濾機照片



資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

圖4.1.2-2 案例廠多盤過濾機DCS控制圖

4.1.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- **減少脫水機能耗：**污泥含水率降低，後端板框或螺旋脫水機運行時間縮短，電耗降低 15 至 25%。
- **減少烘乾或焚化能耗：**固形物含量提高，若後續需乾燥或焚燒，可節省熱能 20 至 30%。
- **減少廢水處理負荷：**白水纖維回收率可提升至 80 至 90%，COD 負荷下降 15 至 20%。
- **減碳效益：**每年單台可減少 50,000 至 70,000 kWh（以 24 小時運轉計算），年減碳可達 23 至 33 tCO₂e（視各廠操作狀況而定）。

投資效益

初期投資

約 800 萬元至 1,500 萬元（依規格與流量而定）。

年節省成本

- 原料纖維回收價值 300 萬元至 400 萬元 / 年。
- 電費 15 萬元至 21 萬元 / 年（以 1 度電 3 元來估算）。
- 減少停機與維護：約 100 至 200 萬元 / 年。
- 綜合節能效益：約 415 至 621 萬元 / 年。

投資回收期

約 1.3 至 3.6 年。

附加效益

降低單位用水量、減少污泥外運量與處理費、減少設備維護人力。

4.2 熱分散技術案例

4.2.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

熱分散系統主要應用於回收紙漿處理流程，用來去除膠黏物、塑料、瀝青顆粒等難以機械去除的雜質。其原理是將漿料加熱至高溫並在高剪切力下分散雜質，使其細化至不影響紙品外觀與性能的粒徑，並防止雜質在抄紙過程中聚集成斑點。常用於新聞紙、文化紙及塗布紙生產線的脫墨漿 (Deinked Pulp, DIP) 或回收漿處理段。

技術概要

設備構成

包括高濃儲漿塔、螺旋進料器、加熱器（蒸汽或熱水）、熱分散機（高剪切盤式或齒輪式）、稀釋與後處理系統。

運行條件

漿料濃度 25 至 30%，加熱至 80 至 120°C，經高剪切力分散 0.1 至 0.3 秒。

核心機理

透過高溫軟化雜質，配合強力剪切將其打散成微細顆粒，均勻分布於漿料中，降低對紙面品質的影響。

4.2.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

案例廠的主要產品為裱面紙板，車速 440 m/min、紙幅 4,300 mm、基重範圍 150 至 340 g/m²、產量 380 公噸 / 天。改善前備漿系統無配置熱分散系統，造成紙機操作性的障礙，說明如下：

- 回收紙漿雜質含量高，特別是熱熔膠、瀝青斑點，在抄紙後造成紙面亮點、斑點缺陷。
- 傳統低溫分散效果不佳，需多次過濾與清理，耗能與原料損耗高。
- 部分雜質黏附於網部、壓水部及烘缸表面，增加停機清理頻率。

單元改善後情境說明

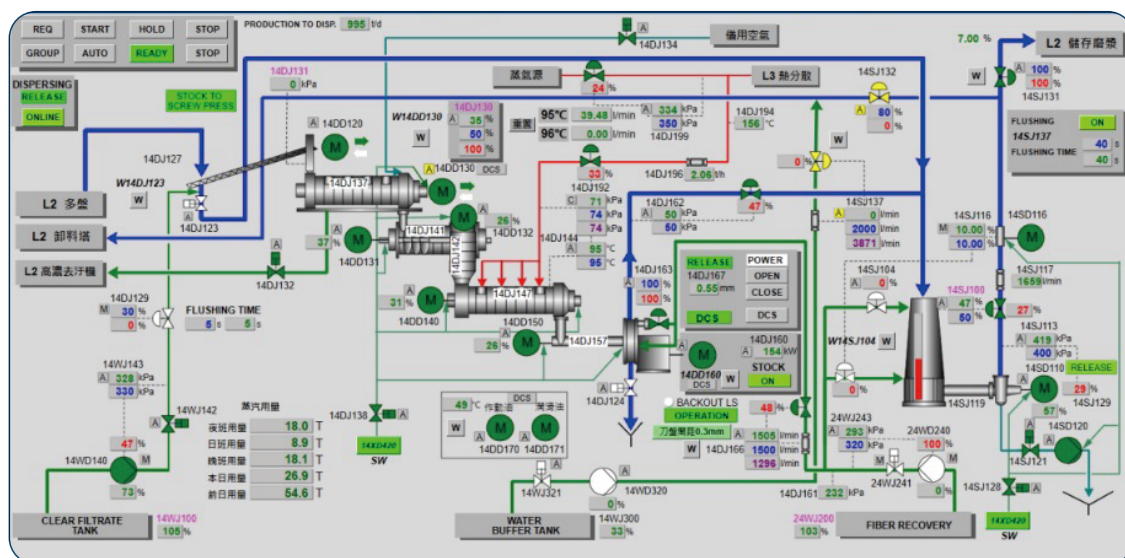
案例廠在備漿系統增設熱分散系統，規格為 Cellwood KD/KR710，處理量 50 至 300 公噸 / 天、入口濃度 30 至 35%、出口濃度 3 至 35%、馬力數 160 至 800 kW，現場照片說明如圖 4.2.2-1，DCS 控制圖說明如圖 4.2.2-2。

- 在備漿系統加入高濃熱分散段，先利用高濃儲漿塔預熱漿料至 80 至 120℃。
- 通過熱分散機進行高速剪切與分散，將膠黏物細化至 < 100 μm。
- 分散後漿料稀釋並送至染色或精製段，確保紙面品質穩定。
- 搭配在線溫控與壓力監測，優化蒸汽用量與運轉效率。



資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

圖4.2.2-1 案例廠熱分散系統照片



資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

圖4.2.2-2 案例廠熱分散系統DCS控制圖

4.2.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- 降低化學藥劑使用：**熱分散系統可有效的分散油墨等雜質；而傳統去除雜質的方法需要額外加過氧化氫、氯酸鹽類、表面活性劑等化學藥劑，或額外進行漿料漂白去污。
效益：降低化學藥品製造與使用的碳排放，也減少廢水處理。
- 減少纖維流失：**傳統的過濾方法去除雜質時容易把纖維一起過濾，而熱分散系統則是分散雜質，因此纖維不會被排掉造成損失。
效益：減少纖維流失，提升纖維再利用率，整體減少原生紙漿使用需求。
- 熱能回收應用：**熱分散系統需要蒸汽加熱，配合良好的熱交換器或回收鍋爐，可有效優化蒸汽用量與運轉效率。
效益：優化熱分散系統運轉效率，可以降低蒸汽耗用，減少碳排。
- 確保紙面品質穩定：**分散後的雜質墨點顆粒細小，抄造後紙面品質穩定，避免墨點、斑紋造成後段加工、印刷困難。穩定的品質減少不良品或斷紙的可能。
效益：減少再抄造或不良紙品，達到降低能耗的效益。

投資效益

初期投資

約 1,500 至 3,000 萬元（依處理量與配置而定）。

年節省成本

- 減少報廢損失：約 500 至 800 萬元 / 年。
- 減少停機與維護：約 200 至 300 萬元 / 年。
- 綜合節能效益：約 700 至 1,100 萬元 / 年。

投資回收期

約 1.4 至 4.3 年。

附加效益

提升產品外觀品質，有助於拓展高附加價值市場。

4.3 稀釋水頭箱技術案例

4.3.1 應用製程簡介及技術概要

案例廠紙機的產品為影印紙與電腦報表紙等。在後段加工與客戶使用時要求更為嚴格的纖維分布品質，傳統機械式頭箱已無法滿足此需求。故將機械式頭箱改造為稀釋水頭箱，來控制纖維分布，提升紙張的尺寸安定性。

應用製程簡介

案例廠紙機從水力式頭箱改造為稀釋水頭箱的改造工程照片說明如圖 4.3.1-1。圖 4.3.1-1 中說明改造中稀釋水頭箱的安裝過程。

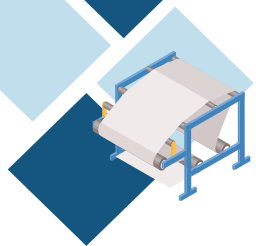


資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.3.1-1 案例廠紙機稀釋水頭箱改造工程照片

技術概要

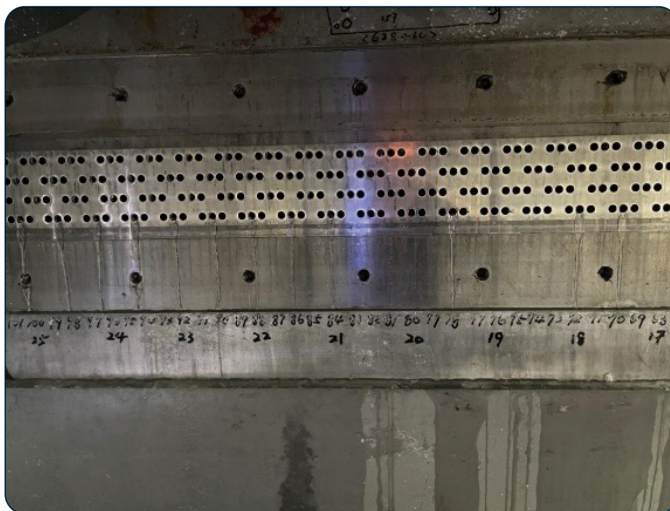
稀釋水頭箱通常會有多個分區，每個分區可以獨立控制稀釋水的流量。這使得操作人員可以非常細微地調整紙幅不同位置的基重。稀釋水會藉由小孔進入頭箱與漿料混和噴出說明如圖 4.3.1-2，可藉由後段控制系統檢測須調整區域，並自動調整稀釋水開度，以達到紙漿濃度等均衡而改善紙張纖維排列品質。



114
年度

造紙業

減碳技術案例彙編



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.3.1-2 稀釋水會藉由小孔進入頭箱與漿料混和噴出

4.3.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

機械式頭箱調整唇板開度以達到噴漿需求，調整區域較大無法做細微調整，對於纖維排列及縱橫向紙力比要求較高的加工用紙來說，若要達到其條件需要較長時間，且有可能標的仍無法達成。

單元改善後情境說明

改造後唇板數量為 27 支，稀釋水數量為唇板 $\times 4$ 共 108 支，可調整區間更為精細，且可利用後段橫向基重掃描檢測自動調整控制，比人為操控時間更短及更為準確，並可抄造品質要求更為嚴苛的紙種，轉型擴大生產方向。

4.3.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

因此改善專案包含壓榨部與毛毯部改造同時進行，總經費約 2.64 億元，其中稀釋水頭箱約 5,868.4 萬元。

投資效益

- 提升產品尺寸安定性，可轉型增加抄造紙種。
- 有效提升抄紙機運轉性，降低單位能源耗用。
- 減少改抄時間。
- 避免機械頻繁調整形變損壞，減少頭箱本體修繕成本。

4.4 多烘缸的烘缸罩通風系統案例

4.4.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

多烘缸的烘缸罩通風系統主要應用於紙機乾燥段，用於提升烘缸乾燥效率、降低蒸汽消耗及改善操作環境。透過在烘缸外部設置密閉或半密閉的烘缸罩，並配置送風與排濕系統，使烘缸表面保持高溫低濕的環境，促進紙幅水分蒸發並快速排出濕熱空氣。系統特別適合在烘缸數量多、乾燥段較長的紙機進行節能改造。

技術概要

設備構成

烘缸罩（密閉式或半密閉式）、新風送風系統、排濕系統、熱回收裝置、風量與溫濕度自動控制系統。

運行方式

烘缸罩（密閉式或半密閉式）、新風送風系統、排濕系統、熱回收裝置、風量與溫濕度自動控制系統。

- **送風：**將經熱回收加熱的新鮮空氣送入烘缸罩內，保持罩內溫度 80 至 120℃。主要提供足夠熱能以加速紙匹水分蒸發。
- **排濕：**持續抽排含濕空氣，控制罩內相對濕度於 20 至 30%RH。避免罩內相對濕度過高。
- **熱回收：**排出的濕熱空氣通過熱交換器，回收熱能以加熱新鮮空氣或製程用水，降低蒸汽消耗。
- **核心機理：**提升烘缸表面與紙幅之間的蒸發驅動力，減少蒸汽消耗與烘乾時間。

特點

- 排出的熱風經熱交換器回收，能降低 10 至 20% 蒸汽用量。
- 烘缸罩內部濕熱空氣均勻分布，可避免局部冷凝導致紙幅水斑。
- 熱交換器回收之熱能可降低加熱進氣的蒸汽需求。
- 穩定紙匹的乾燥環境，避免乾燥不均。

4.4.2 改善方案執行過程

不同烘缸罩型式的建議典型操作參數說明如表 4.4.2-1。高濕度烘缸罩的汽袋通風需求明顯較低，在 6 至 7 kg air/kg 蒸發水，而開放式烘缸罩在 20 至 30 kg air/kg 蒸發水。對於高濕度烘缸罩系統，抄紙機烘缸罩的地下一樓也必須是完全密閉。

表4.4.2-1 不同烘缸罩型式的建議典型操作參數

空氣流	條件	烘缸罩型式		
		開放式	中密閉式	高密閉式
供氣	濕度範圍(g water/g dry air)	0.01-0.012	0.01	0.012
	熱交換後溫度(°C)	30-40	55-65	60-65
	烘缸罩內溫度(°C)	40-60	90-100	90-100
	質量流量(%排氣)	30-50	50-70	70-80
排氣	濕度範圍(g water/g dry air)	0.04-0.07	0.12-0.14	0.16-0.18
	溫度(°C)	50-60	80-90	80-90
	露點溫度(°C)	37-46	53-57	61-63
	質量流量(kg air/kg蒸發水)	20-30	9-12	6-7

資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

單元改善前情境說明

案例廠的主要產品為裱面紙板，車速 440 m/min、紙幅 4,300 mm、基重範圍 150 至 340 g/m²、產量 380 公噸 / 天。抄紙機乾燥部為開放式烘缸罩，熱空氣直接散失至車間，烘缸表面與紙匹間溫差不足，導致乾燥效率低、產品的尺寸安定性差。

- 蒸汽消耗量高，每公噸紙烘乾段需 1.8 至 2.2 公噸蒸汽。
- 車間溫濕度高 (溫度 > 40°C，濕度 > 80%RH)，影響作業環境與設備壽命。
- 無熱回收利用，排氣能量直接損失。

單元改善後情境說明

案例廠由開放式烘缸罩改造為密閉式烘缸罩，現場照片說明如圖 4.4.2-1，DCS 控制圖說明如圖 4.4.2-2。

(1) 密閉式烘缸罩規格說明如下：

- 前段氣罩範圍：長 34 公尺 × 寬 8 公尺 × 高 7.1 公尺
- 施膠開式罩範圍：長 2 公尺 × 寬 8 公尺 × 高 4 公尺
- 後段氣罩範圍：長 23 公尺 × 寬 8 公尺 × 高 7.1 公尺
- 板式熱交換器及加熱器 ×3 組，鋁鰭片，耐壓等級 10 kgf/cm²
- 離心式風機 ×7 台，風量 600 至 1,800 m³/min
- 進氣濾網 ×3 套
- 氣罩設計圖 1 式

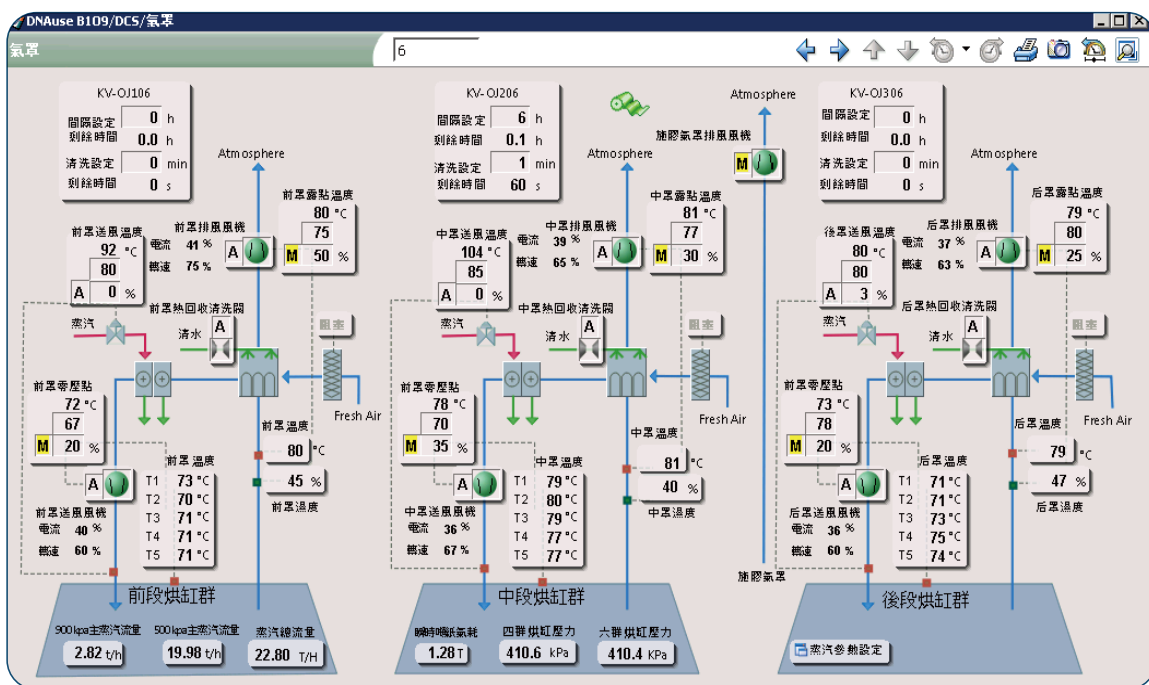
(2) 改造後密閉式烘缸罩的特性說明如下：

- 安裝密閉式烘缸罩與變頻送風、排濕系統，配置溫濕度感測與自動調節控制。
- 增設排氣熱回收換熱器，將餘熱用於新風預熱或製程熱水加溫。
- 優化烘缸蒸汽壓力分配，使前段烘缸高溫高效蒸發，後段低溫保濕整平。



資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

圖4.4.2-1 案例廠烘缸罩照片



資料來源：榮成紙業股份有限公司提供

圖4.4.2-2 案例廠烘缸罩DCS控制圖

4.4.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- **蒸汽節省：**蒸汽單耗降低 8 至 12%，以年產 10 萬公噸紙計算，每年可節省蒸汽約 15,000 至 20,000 公噸。
- **熱回收效益：**餘熱回收可提供新風預熱，節省蒸汽或熱水加熱能耗約 1,500 至 2,000 公噸蒸汽當量 / 年。
- **綜合節能率：**合計節能 10 至 14%，相當於每年節省能源費用 1,980 至 2,640 萬元（以 1,200 元 / 公噸蒸汽計算）。
- **碳減排：**依蒸汽排放係數 0.27 公噸 CO₂e / 公噸計算，年減碳 4,500 至 6,000 公噸 CO₂e。
- **改善作業環境：**車間溫度降低 5 至 10℃，相對濕度下降至 60 至 70%，提升操作安全與舒適度。

投資效益

初期投資

約 2,000 至 3,500 萬元（依罩體長度、系統配置與熱回收規模而定）。

年節省成本

能源節省 1,980 至 2,640 萬元 / 年。

投資回收期

約 0.8 至 1.8 年。

附加效益

延長設備壽命、降低維修率、提升產品品質穩定性。

4.5 揚基烘缸的烘缸罩通風系統案例

4.5.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

揚基烘缸氣罩系統設計使用揚基烘缸二次蒸汽冷凝熱水，閃蒸 (Flash Evaporation) 再利用進行熱回收。

技術概要

氣罩系統的熱源改造為應用烘缸過熱冷凝水，使用蒸汽閃蒸桶及氣罩多組熱交換器，可以有效進行熱回收。氣罩系統加熱就不需再使用原生蒸汽。

4.5.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

案例廠的主要產品為家庭用紙，車速 1,250 m/min、紙幅 2,400 mm、基重範圍 12.0 至 25.0 g/m²、產量 50 公噸 / 天。氣罩熱風系統設計 2 台 300 kW 的循環風機及 1 台 25 kW 排風機，使用原生蒸汽進行熱交換加熱。

單元改善後情境說明

改造後氣罩熱風系統保留 1 台 300 kW 的循環風機及排風機改用 55 kW，提高濕氣排風，使用烘缸二次蒸汽冷凝水，經閃蒸進行熱交換加熱。

4.5.3 成效分析與節能減碳效益

改造後氣罩熱風系統，減少氣罩熱風系統 1 台循環風機用電量，增加排風機用電量 50 kW，兩者相抵仍減少 100 kW（設計 300 kW 循環風機，改造前實際運轉都只有 180 kW – 改造後單台循環風機會提高 50 kW – 排風機增加 (55–25) kW = 100 kW）。氣罩熱風系統熱交換器減少使用原生蒸汽，每公噸紙降減約 20 至 30% 耗汽量。

節能減碳效益

改造後氣罩系統的每公噸紙可減少耗電量約 48 kWh，減少耗汽量約 0.3 公噸。每公噸紙可降減碳排放約 0.1 公噸 CO₂e。

投資效益

總投資金額

2,000 萬元。

年效益

600 萬元。

回收年限

2,000 萬元 / 600 萬元 = 3.33 年。

4.6 紙機傳動系統案例

4.6.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

案例廠主要產品為灰底白紙板，車速 144 m/min、紙幅 2,500 mm、基重範圍 220 至 450 g/m²、產量 168 公噸 / 天。傳動系統的改造原則為：生產效率升級、改善產品品質、降低能源消耗、降低維護成本，分別說明如下：

- **生產效率升級：**採用高效率交流馬達、變頻器，優化馬達自動控制系統，提高設備速度，大幅提升產能，確保設備性能穩定可靠，減少故障率。
- **改善產品品質：**精準控制各製程參數，實現生產製程的精準控制，提升產品良率，確保紙張品質穩定。
- **降低能源消耗：**採用節能元件，優化控制策略，降低設備能耗，節省成本。深入研究各製程的能耗特性。
- **降低維護成本：**提高設備可靠性，減少故障率，延長設備壽命，能源損耗也大幅降低，符合減碳趨勢。

技術概要

傳動方式由直流 (DC) 馬達改為高效率交流 (AC) 馬達。AC 馬達為全密閉式構造，具有結構簡單，耐用性高；維護成本較低，適合長時間運作；適用於大功率與高扭矩需求等優勢。而且交流馬達無碳粉塵污染、噪音低及電磁相容性 (EMC) 和電磁干擾 (EMI) 問題，因無火花，使用環境無限制等特點。

運用變頻器進行節能減碳的調控。在變頻器應用上，體認其真正優勢在於能效優化和精細的資源管理。此技術能根據需要自動調整能源消耗，實現高效能運行。在專注於經濟效益與減碳成效的同時，還能確保工業設備的最佳性能。變頻調速是變頻器的核心節能技術，有效配合工業設備的負載變化，通過調整電機轉速，從而減少不必要的能量損耗，達到節約電力的目的。此機制不僅提升系統的整體運作效率，也帶來了經濟效益。

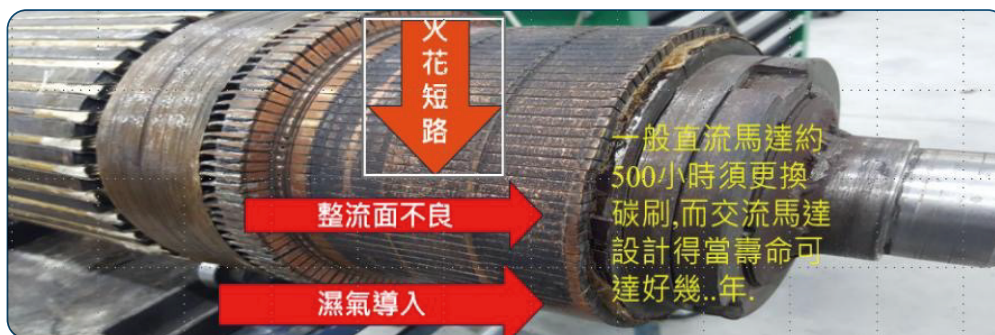
控制系統改造為可程式化邏輯控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 模組控制、節省線路佈線、由網路串起通訊減少線路不良、所造成停車及反覆啟停設備、造成不必要的損耗電力、進而達成節能效果。

操作桌採立柱式斜面設計，含人機介面及實體開關。立柱式操作桌可針對現場潮濕環境、人機介面、整合所有儀表類表頭及控制，提升操作便利性與安全性。

4.6.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

案例廠紙機的傳動系統已使用 30 餘年，驅動馬達總共 31 組 DC 馬達。因 DC 馬達運轉 30 餘年，除造成效率下降外，更經常造成維修保養的困擾，例如：有刷 DC 馬達碳刷磨損快，需頻繁更換，如遇潮濕環境有短路風險；電子控制部分較為複雜，保養麻煩；整流面積碳、火花大、負載高、形成電力耗損大、維修成本高等，說明如圖 4.6.2-1。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.6.2-1 案例廠年久的直流馬達面臨的維修保養問題

操作盤為傳統的郵筒式操作桌，容易有濕氣導入、線路生鏽、操作異常等，造成現場設備損壞，說明如圖 4.6.2-2。不僅查修困難，而且故障率高。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.6.2-2 案例廠傳統的郵筒式操作桌面臨的維修保養問題

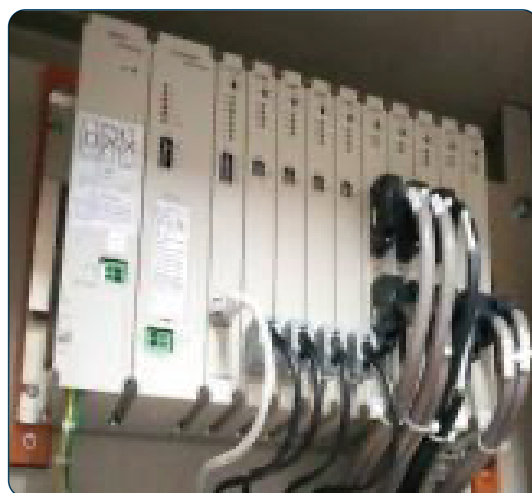
單元改善後情境說明

案例廠紙機的傳動系統改造專案，將原有 31 組 DC 驅動馬達全面更換為高效率 AC 馬達及變頻器，相關規格說明如表 4.6.2-1。控制系統改造為 PLC 模組控制，節省線路佈線。並透過網路進行通訊整合，降低因線路老化或接觸不良所造成之停車與反覆啟停的問題，降低不必要的損耗電力，進而達成節能效果，說明如圖 4.6.2-3。8 個操作桌採立柱式斜面設計，含人機介面及實體開關，說明如圖 4.6.2-4。

表4.6.2-1 案例廠紙機的傳動系統高效率交流(AC)馬達及變頻器規格表

項次	名稱	馬達規格						變頻器規格			
		功率 (kW)	框號	電壓 (V)	電流 (A)	轉速 (rpm)	轉矩 (kgm)	型號	功率 (kW)	電流 (A)	容量 (kVA)
1	M01 毛布驅動輪	18.5	1180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
2	M02 毛布壓水輥	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
3	M03 吸引轉向伏輥	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
4	M04 一段上副壓水輥	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
5	M05 二段下副壓水輥	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
6	M06 二段上副壓水輥	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
7	M07 一段吸引壓水輥	37	200LC	440	59.8	1780	20.2	CIMR-AA4A0103	45	91	69
8	M08 一段吸引下壓水輥	30	180LC	440	48.9	1775	16.4	CIMR-AA4A0088	37	75	57
9	M09 二段上吸引壓水輥	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
10	M10 二段下壓水輥	15	160L	440	24.6	1765	8.3	CIMR-AA4A0058	22	45	34
11	M11 三段下壓水輥	30	180LC	440	48.9	1775	16.4	CIMR-AA4A0088	37	75	57
12	M12 四段下壓水輥	30	180LC	440	48.9	1775	16.4	CIMR-AA4A0088	37	75	57
13	M13 一群烘缸	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
14	M14 二群烘缸	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
15	M15 三群烘缸	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
16	M16 四群烘缸	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
17	M17 一段壓光機	30	180LC	440	48.9	1775	16.4	CIMR-AA4A0088	37	75	57
18	M18 二段壓光機	30	180LC	440	48.9	1775	16.4	CIMR-AA4A0088	37	75	57
19	M19 一段光澤機	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
20	M20 一段押付輥	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
21	M21 二段光澤機	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
22	M22 二段押付輥	18.5	180MC	440	31.2	1775	10.1	CIMR-AA4A0058	22	45	34
23	M23 冷卻烘缸	15	160L	440	24.6	1765	8.3	CIMR-AA4A0058	22	45	34
24	M26 捲紙機	15	160L	440	24.6	1765	8.3	CIMR-AA4A0058	22	45	34
25	M53 押紙輪	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
26	M54 導紙輪	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
27	M55 三段押抵輥	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
28	M51-1 一段塗佈棒	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
29	M52-1 一段押抵輥	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
30	M51-2 二段塗佈棒	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3
31	M52-2 二段押抵輥	7.5	132M	440	12.9	1765	4.1	CIMR-AA4A0031	11	24	18.3

資料來源：正隆股份有限公司提供



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.6.2-3 案例廠控制系統由左至右依序為PS、PLC (安川CT-317M)、通訊模組、I/O模組



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.6.2-4 案例廠立柱式斜面設計操作桌

4.6.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

1. 維修保養效益：

從表 4.6.3-1 中顯示改造前五年（2015 年至 2019 年）的故障次數為 47 次，而改造後五年（2020 年至 2024 年）的故障次數降為 3 次。

表4.6.3-1 傳動系統改造前後五年的故障原因整理表

項次	故障原因	改造前五年 (2015-2019)	改造後五年 (2020-2024)
1	換向片故障	15	0
2	火花異常	16	0
3	控制異常	11	0
4	機械異常	5	3
合計		47	3

資料來源：正隆股份有限公司提供

(1) 維修成本：387,000 元。

- 廠商更換馬達費用 $15,000 \text{ 元} / \text{次} \times 5 \text{ 次} = 75,000 \text{ 元}$
- 馬達維修費用 $36,000 \text{ 元} / \text{次} \times 5 \text{ 次} = 180,000 \text{ 元}$
- 控制板維修費用 $20,000 \text{ 元} / \text{次} \times 3 \text{ 次} = 60,000 \text{ 元}$
- 電儀課維修工時 $600 \text{ 元} / \text{次} \times 3 \text{ 人} \times 5 \text{ 小時} / \text{人} \times 8 \text{ 次} = 72,000 \text{ 元}$

(2) 紙機停車損失：3,866,461 元。

- 損失工時費用 $265 \text{ 元} / \text{小時} \times 6 \text{ 人} \times 23 \text{ 小時} = 36,570 \text{ 元}$
- 損失產能 $25,618 \text{ 元} / \text{公噸} \times 6.5 \text{ 公噸} / \text{小時} \times 23 \text{ 小時} = 3,829,891 \text{ 元}$

(3) 以 2015–2019 五年間之平均值計算，每年可節省 4,253,461 元

2. 節能減碳效益：

(1) 紙機傳動系統合計為 540 kW，DC 馬達效率為 85%，年運轉天數 330 天，平均電價以 4.2 元 /kWh 計算。

- $540 \text{ kW} / 0.85 \times 24 \text{ 小時} \times 330 \text{ 天} / \text{年} = 5,031,529 \text{ kWh} / \text{年}$
- $5,031,529 \text{ kWh} / \text{年} \times 4.2 \text{ 元} / \text{kWh} = 21,132,422 \text{ 元} / \text{年}$

(2) 紙機傳動系統合計為 540 kW，AC 馬達效率為 95%，年運轉天數 330 天，平均電價以 4.2 元 /kWh 計算。

- $540 \text{ kW} / 0.95 \times 24 \text{ hr} \times 330 \text{ 天} / \text{年} = 4,501,895 \text{ kWh} / \text{年}$
- $4,501,895 \text{ kWh} / \text{年} \times 4.2 \text{ 元} / \text{kWh} = 18,907,959 \text{ 元} / \text{年}$

(3) 改造後紙機傳動系統電力可節省 67 kW。

- 節省電力： $5,031,529 \text{ kWh} / \text{年} - 4,501,895 \text{ kWh} / \text{年} = 529,634 \text{ kWh} / \text{年}$
- 節省電費： $21,132,422 \text{ 元} / \text{年} - 18,907,959 \text{ 元} / \text{年} = 2,224,463 \text{ 元} / \text{年}$
- 減碳效益： $529,634 \text{ kWh} / \text{年} \times 0.474 \text{ kgCO}_2\text{e} / \text{kWh} = 251,047 \text{ kgCO}_2\text{e} / \text{年}$

投資效益

總投資金額 1,550 萬元。

年效益 $2,224,463 + 4,253,461 = 6,477,924$ 元 / 年。

回收年限 $15,500,000 \text{ 元} / 6,477,924 \text{ 元} = 2.4 \text{ 年}。$

4.7 靴壓在衛生紙機的應用案例

4.7.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

Valmet 公司的 Advantage ViscoNip 靴壓是家庭用紙改善產品性能的靈活工具，說明如圖 4.7.1-1。隨著全球多數揚基式衛生紙機導入此項技術，Advantage ViscoNip 靴壓已逐漸成為取代傳統乾式起皺濕壓系統的新標準。依各衛生紙廠的運轉經驗，一致認為具有改善均勻性、大幅節能、提高產品靈活性及品質，並可經由節省纖維來降低成本。

節能

憑藉 Valmet 的優勢，ViscoNip 靴壓可顯著節省超過 20% 的能源，並提高壓水部的乾度。

均勻性

紙機橫向的完美壓區輪廓和軟負載元件，非常適合揚基衛生紙的條件，可生產許多品質良好的產品和生產衍生效應，例如品質和效率。

靈活性

擴大客戶組合開發的可能性。壓區壓力曲線可以在很短的時間內改變，以滿足不同的需求。



資料來源：Valmet. 2025.
<https://www.valmet.com/tissue/services-for-tissue/field-services/advantage-visconip-press-services/>

圖4.7.1-1 Valmet公司的Advantage ViscoNip靴壓

技術概要

改變負載而不出現中高問題，在需要的地方施加壓力

靈活的液體填充靴壓本體使 Advantage ViscoNip 靴壓具有適應揚基烘缸外殼的獨特能力，使得壓區負載在廣泛的線性負載範圍內均勻。通常乾式起縐紙機使用 90 至 150 kN/m 的壓榨壓力。壓力分布的形狀在操作過程中很容易調整，取決於產品要求。與線性負載和負載比無關，靴壓本體遵循揚基烘缸外殼表面的形狀，在橫向上產生均勻的壓力負載。與其他壓榨技術相反，Advantage ViscoNip 靴壓允許改變負載而不會遇到中高 (Crown) 問題。

乾燥能耗減少 25%，顯著節省能源

當生產基重 14 至 15 g/m² 衛生紙時，在抽吸壓水輥的乾度通常約為 40%。Advantage ViscoNip 靴壓可以在相同條件下達到 47% 以上的壓榨乾度範圍內操作，可將壓榨乾度提高 7%，乾燥能耗可降低 25%，可以節省大量能源成本。

產品靈活性和纖維節省的可能性

衛生紙廠越來越多地被要求能夠生產從標準到優質產品的各種產品，尤其特定產品對於紙張品質和成本效益生產之要求更高。Advantage ViscoNip 靴壓具有均勻的橫向負載，可在廣泛的線性負載範圍內操作。在低線性負載下操作可提供優質產品所需的最高嵩厚度和柔軟度，還可以節省纖維。在高線性負載下運行有助於提高能源效率，還可提高標準產品柔軟度。

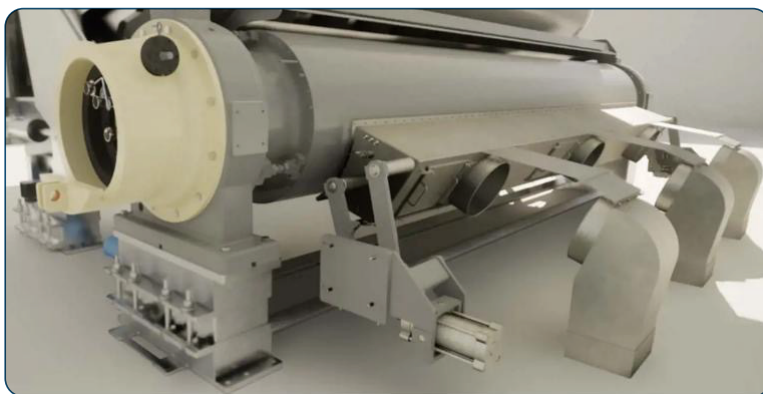
4.7.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

Sofidel 公司為實現低碳經濟策略，針對衛生紙機之節能及生產效率改善。在了解 Advantage ViscoNip 靴壓和 Advantage ReDry 的技術潛力後，決定啟動兩個改造專案，一個在英國 Sofidel Baglan 廠及一個在瑞典 Sofidel Kisa 廠，期能提高產品品質、提高靈活性和紙機操作的優勢，同時降低能源消耗。

單元改善後情境說明

衛生紙機改造為 ViscoNip 靴壓，設備說明如圖 4.7.2-1。衛生紙機可於均勻橫向以及廣泛的線性負載範圍內穩定運行。在低線性負載條件下，能提供最大化的柔軟度；而在高線性負載可降低能源和提高生產效率。隨著靈活性的提高，線性負載和負載比在操作過程中很容易改變，但不會影響紙機的操作性能。

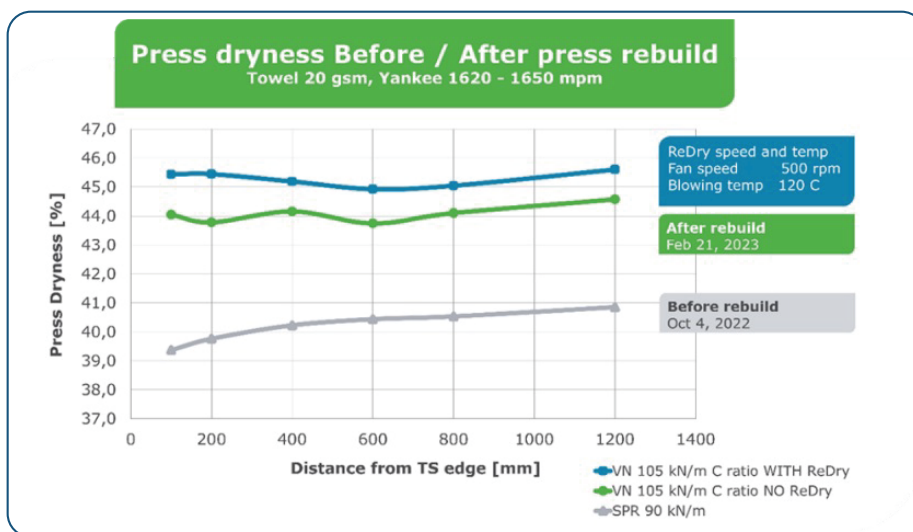


資料來源：Valmet. 2025.

<https://www.valmet.com/tissue/machine-sections/pressingsection/>

圖4.7.2-1 案例廠衛生紙機改造為ViscoNip靴壓

改造前後，橫向紙匹乾度分布圖說明如圖 4.7.2-2。安裝 ViscoNip 後，與單吸壓榨輥相比，乾度提高 3.5 至 4%，如綠線與灰線。藍線顯示搭配 Advantage ReDry 後乾燥度更進一步提升，兩系統間產生正面的協同作用。ReDry 利用烘缸罩的排氣和濕度來加熱紙匹，進一步增加壓水部的乾度。



資料來源：Valmet. 2025.

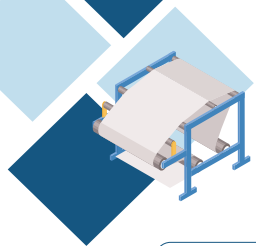
<https://www.valmet.com/tissue/machine-sections/pressingsection/>

圖4.7.2-2 案例廠改造前後，橫向紙匹乾度分布圖

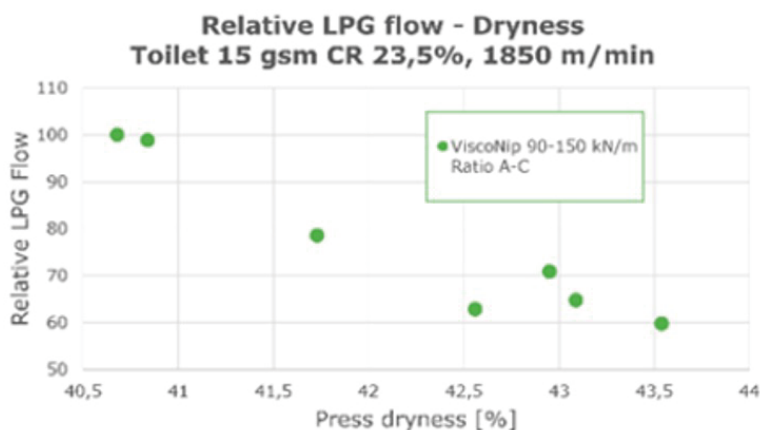
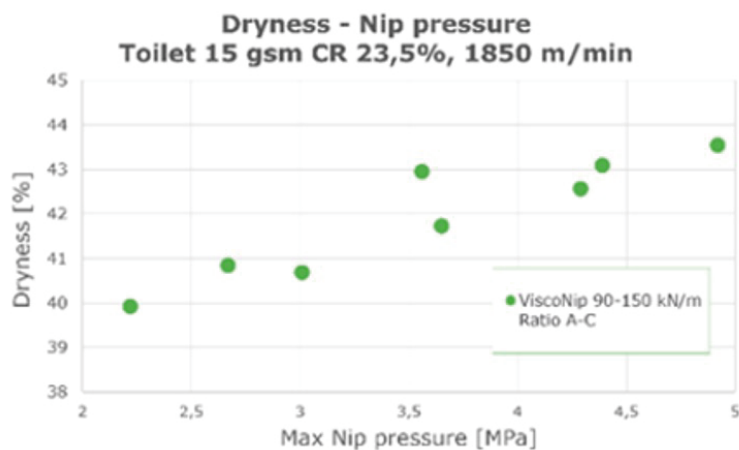
在 Baglan 廠改善同時，瑞典 Sofidel Kisa 廠也進行 ViscoNip 靴壓改造，同樣顯示出良好的操作性和水分分佈，在調整基重從最大值更改為最小值方面亦具有靈活性。

以 Kisa 廠為例，同時發現毛毯和大部分皮帶壽命改善，顯示 ViscoNip 靴壓對皮帶更溫和，改善後操作 7 個月，紙機使用相同的啟動皮帶運行，尚無磨損跡象，故亦降低維護成本。

最大捏縫壓力對乾度的影響及紙匹乾度對烘缸罩 LPG 流量的影響說明如圖 4.7.2-3。從圖 4.7.2-3 中顯示紙匹乾度隨靴壓最大捏縫壓力呈線性上升，而紙匹乾度提高會同步降低烘缸罩 LPG 流量。



114
年度

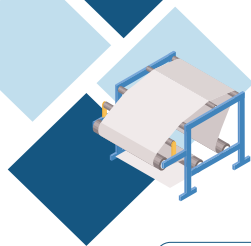


資料來源: Valmet. 2025.

<https://www.valmet.com/tissue/machine-sections/pressingsection/>

圖4.7.2-3 案例廠最大捏縫壓力對乾度的影響(上)；
紙匹乾度對烘缸罩天然氣流量的影響(下)

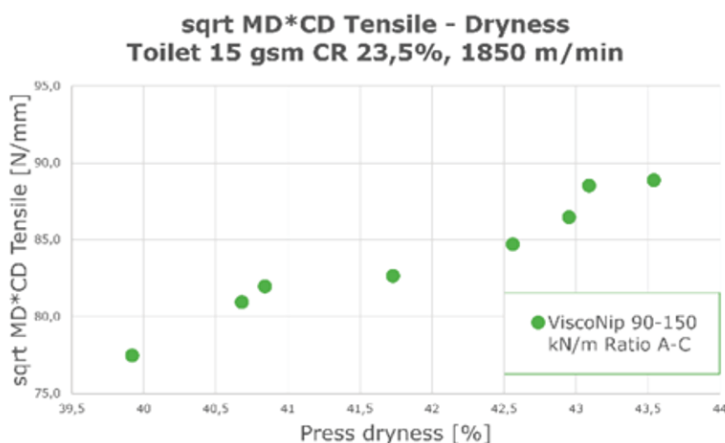
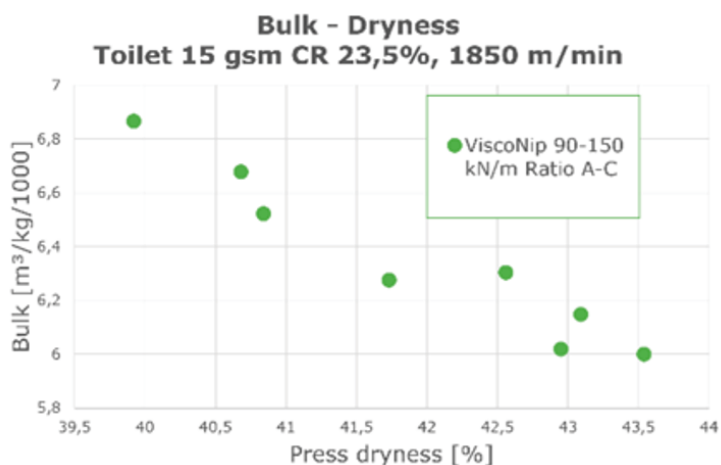
紙匹乾度對嵩厚度的影響及紙匹乾度對抗張強度的影響說明如圖 4.7.2-4。可於示意圖觀察發現，嵩厚度隨紙匹乾度呈線性下降；而抗張強度則隨著紙匹乾度而線性上升。由此可見，操作人員可藉由調整比率與線性負載，在嵩厚度與抗張強度間取得最佳平衡，達到符合不同產品規格的理想狀態。



114
年度

造紙業

減碳技術案例彙編



資料來源: Valmet. 2025.

<https://www.valmet.com/tissue/machine-sections/pressingsection/>

圖4.7.2-4 案例廠紙匹乾度對嵩厚度的影響(上) ;
紙匹乾度對抗張強度的影響(下)

4.7.3 成效分析與節能減碳效益

Sofidel 總結二廠的改造效益：透過這些改造，不僅乾燥能耗節省，紙機產量提高外，現在可以非常輕鬆地改變配料比率和靴壓線性負載來調控產品的高厚度和抗張強度。

節能減碳效益

- 壓榨乾度提高 7%，乾燥能耗減少 25%。
- 改善後產品碳排放強度較改善前減少 15.7%。

投資效益

(1) 投資效益：

總投資金額 6,375 萬元（以紙幅 5,600 mm 為例）。

年效益 2,125–2,550 萬元。

回收年限 2.5–3 年。

(2) 營運效益：

- 改善壓水乾度：提高出壓區的乾度，與抽吸壓水輥比較，可以提升 7% 的乾度。
- 降低能耗：因乾度提升，乾燥段耗能可節省蒸汽用量 25%。
- 增加紙機車速：更高乾度代表在相同的紙機乾燥能力下，可以提升紙機 15 至 25% 車速。
- 減少斷紙。
- 提高開發最終產品的靈活性。
- 改善的可運行性。
- 最終產品的靈活性更高。
- 易於操作。

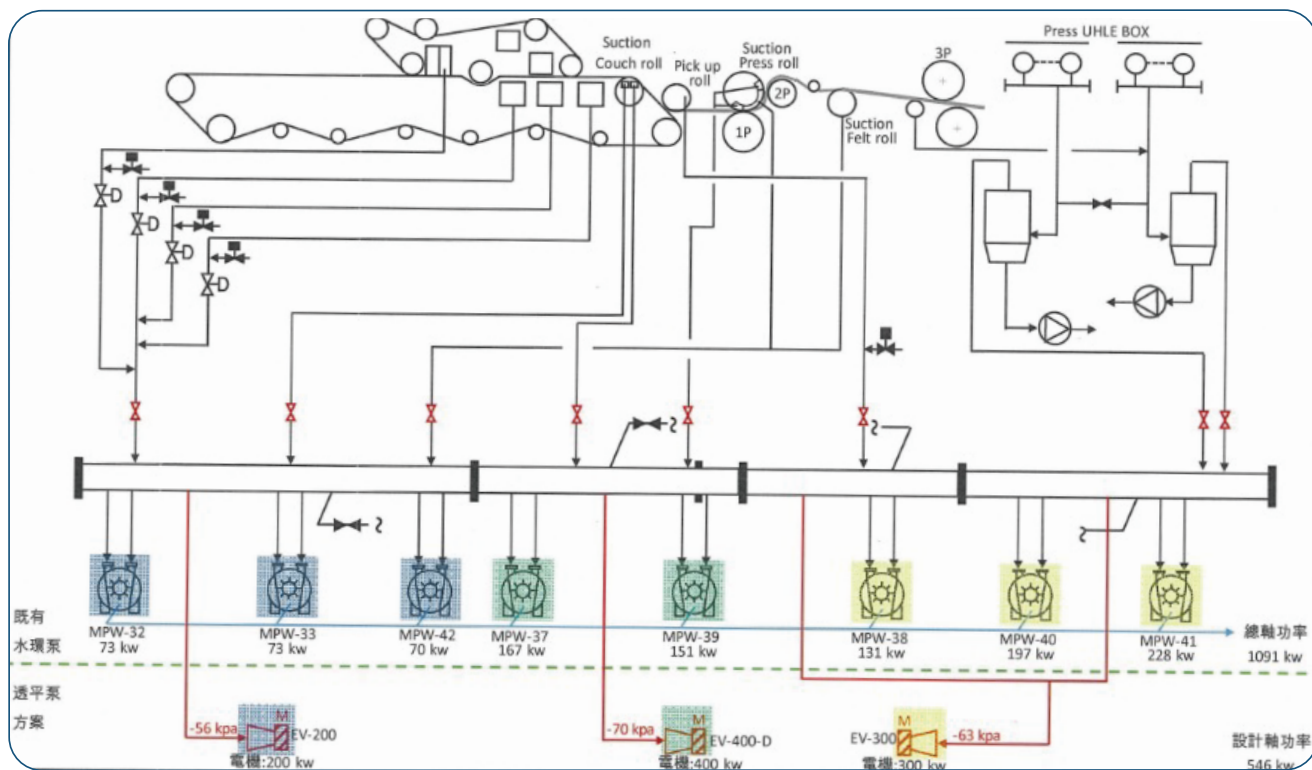
4.8 磁懸浮透平真空泵的應用案例

4.8.1 文化用紙廠的應用案例

4.8.1.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

案例廠有兩部紙機同時改造，各紙機依網部、壓水部及真空系統之不同真空度要求，將原 8 台水環式真空泵改為 3 台對應真空度的磁懸浮變頻透平真空泵。2 台紙機的真空製程設計規劃說明如圖 4.8.1.1-1 與圖 4.8.1.1-2。



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.8.1.1-2 案例廠#2紙機真空系統改善規劃流程圖

技術概要

磁懸浮軸承設計

減少摩擦損失，提升機械效率，降低能耗和維護成本。

高速直驅傳動與半開放式葉片設計

動能直接傳遞到葉片上，並透過半開放式葉片減少氣體流動阻力，有效功率可達 82%。

變頻設計

依紙種差異彈性調整真空度，使壓水部脫水後維持原水環式真空設備的操作乾度。

4.8.1.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

案例廠 #1 紙機主要產品為文化用紙，車速 700 m/min、紙幅 3,320 mm、基重範圍 40 至 150 g/m²、產量 185 公噸 / 天。網部及壓水部使用 8 台水環式真空泵，說明如表 4.8.1.2-1 及圖 4.8.1.2-1，總馬力數經過量測為 1,347 kW。

表4.8.1.2-1 案例廠改善前#1紙機使用的8台水環式真空泵規格

現場編號	馬力	型式	抽氣流體	抽氣風量(m ³ /min)	真空度(mmHg)	真空度(Kpa)	實際運轉電流(A)
VP-003	40HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	21	-150 mmHg	26.7	51
VP-004-1	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	126	-500 mmHg	66.7	42.5
VP-004-2	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	126	-500 mmHg	66.7	45
VP-005	200HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	98	-500 mmHg	66.7	32
VP007-1	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	148	-380 mmHg	50.7	45
VP007-2	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	148	-380 mmHg	50.7	42.5
VP-008	175HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	102	-250 mmHg	33.3	27
VP-009	125HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	38.5	-250 mmHg	33.3	18

資料來源：中華紙漿股份有限公司提供



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

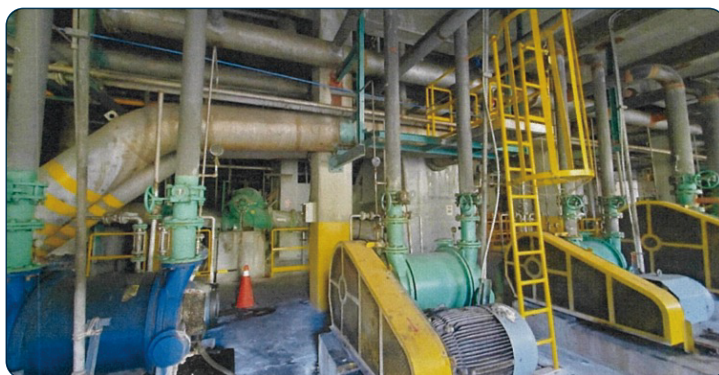
圖4.8.1.2-1 案例廠改善前#1紙機使用的8台水環式真空泵照片

案例廠 #2 紙機主要產品為文化用紙，車速 800 m/min、紙幅 3,320 mm、基重範圍 40 至 120 g/m²、產量 170 公噸 / 天。網部及壓水部使用 8 台水環式真空泵，說明如表 4.8.1.2-2 及圖 4.8.1.2-2，總馬力數經量測為 1,091 kW。

表4.8.1.2-2 案例廠改善前#2紙機使用的8台水環式真空泵規格

現場編號	馬力	型式	抽氣流體	抽氣風量 (m ³ /min)	真空度(mmHg)	真空度(Kpa)	實際運轉 電流(A)
VP-003	40HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	21	-150 mmHg	26.7	51
VP-004-1	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	126	-500 mmHg	66.7	42.5
VP-004-2	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	126	-500 mmHg	66.7	45
VP-005	200HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	98	-500 mmHg	66.7	32
VP007-1	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	148	-380 mmHg	50.7	45
VP007-2	300HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	148	-380 mmHg	50.7	42.5
VP-008	175HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	102	-250 mmHg	33.3	27
VP-009	125HP6P	液環式	空氣、飽和水蒸汽	38.5	-250 mmHg	33.3	18

資料來源：中華紙漿股份有限公司提供



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.8.1.2-2 案例廠改善前#2紙機使用的8台水環式真空泵照片

單元改善後情境說明

案例廠 #1 紙機 8 台水環式真空泵改造為 3 台磁懸浮透平機，磁懸浮真空泵的規格說明如表 4.8.1.2-3 及圖 4.8.1.2-3。

表4.8.1.2-3 案例廠#1紙機改善後3台磁懸浮透平機規格

PM1設備	抽吸點	最大抽吸風量	最高真空	電機功率
透平真空泵#1 (EV-200)	Blowing Box, Couch Roll, 1P Roll, Suction Felt Roll(Low), 1P Suction Roll, Transfer Box	200 m ³ /min	56 kPa	200 kW
透平真空泵#2 (EV-400-D)	Couch Roll, 1P Roll, Suction Felt Roll(High), Pick up Roll	350 m ³ /min	70 kPa	400 kW
透平真空泵#3 (EV-200)	1P/3P Uhle Box,	200 m ³ /min	56 kPa	200 kW

資料來源：中華紙漿股份有限公司提供



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

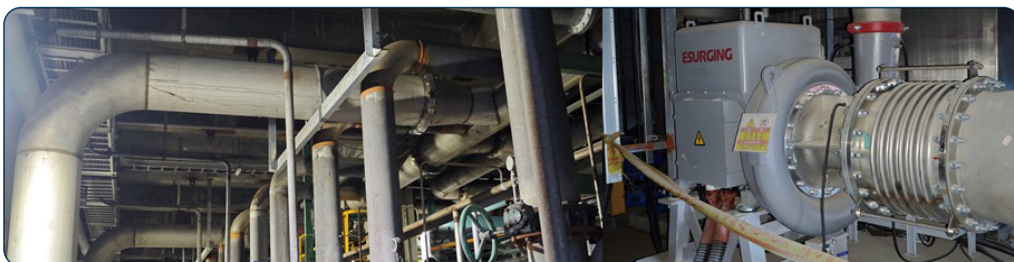
圖4.8.1.2-3 案例廠改善後#1紙機3台磁懸浮透平機照片

案例廠 #2 紙機 8 台水環式真空泵改造為 3 台磁懸浮透平機，磁懸浮真空泵的規格說明如表 4.8.1.2-4 及圖 4.8.1.2-4。

表4.8.1.2-4 案例廠#2紙機改善後使用的3台磁懸浮透平機規格

PM2設備	抽吸點	抽吸風量	真空	電機功率
透平真空泵#1 (EV-200)	Top Shoe, Transfer Box, Couch Roll(Low), 1P Roll, Suction Felt roll	200 m ³ /min	56 kPa	200 kW
透平真空泵#2 (EV-400-D)	Couch Roll(High), 1P Roll(High), Pick Up Roll	350 m ³ /min	70 kPa	400 kW
透平真空泵#3 (EV-300)	PU, 1P, 3P, U-Box, Blowing Box	260 m ³ /min	63 kPa	300 kW

資料來源：中華紙漿股份有限公司提供



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.8.1.2-4 案例廠改善後#2紙機3台磁懸浮透平機照片

4.8.1.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- **改善前：**2 台紙機共 16 台水環式泵真空泵運轉馬力數 2,438 kW (1,347 kW+1,091 kW)。
- **改善後：**6 台磁懸浮透平機運轉馬力數 963 kW (417 kW+546 kW)，節能量 1,475 kW。
- **節能率：** $(2,438 - 963) / 2,438 \times 100\% = 60.5\%$ 。
- **年節電：** $(2,438 - 963) \text{ kW} \times 8,000 \text{ 小時} / \text{年} = 11,800,000 \text{ 度} / \text{年}$ 。
- **減碳量：** $(2,438 - 963) \text{ kW} \times 8,000 \text{ 小時} / \text{年} \times 0.474 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh} = 5,593.2 \text{ 公噸 CO}_2\text{e} / \text{年}$ (2024 年電力排碳係數 0.474 kgCO₂e/ 度)。

投資效益

投資費用

設備採購 3,420 萬元，機械工程 576 萬元，電氣工程 2,756 萬元，儀錶工程 249 萬元，土建工程 696 萬元，合計總投資金額 7,697 萬元。

節電效益

$11,800,000 \text{ 度} \times 3.4518 \text{ 元} / \text{度} = 4,073 \text{ 萬元} / \text{年}$ (114 台電整體平均電價 3.4518 元 / 度)。

回收年限

$7,697 \text{ 萬元} / 4,073 \text{ 萬元} = 1.89 \text{ 年}$ 。

4.8.2 工業用紙廠的應用案例

4.8.2.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

案例廠為裱面紙板廠，網部及壓水部真空系統使用水環式真空泵，為有效移除紙匹 / 毛毯中的自由水分，降低真空系統能耗，擬改造為磁懸浮透平機。

技術概要

磁懸浮軸承設計

減少摩擦損失，提升機械效率，降低能耗和維護成本。

高速直驅傳動與半開放式葉片設計

動能直接傳遞到葉片上，並透過半開放式葉片減少氣體流動阻力，提升效率。

變頻設計

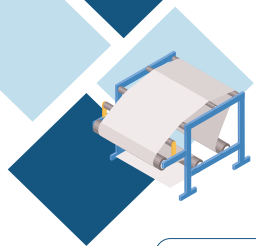
彈性調整真空度。

依紙種差異，靈活調整真空度，使壓水部脫水後乾度達 52%

4.8.2.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

案例廠紙機主要產品為裱面紙板，車速 700 m/min、紙幅 4,650 mm、基重範圍 130 至 340 g/m²、產量 800 公噸 / 天。網部及壓水部使用 10 台水環式真空泵，說明如圖 4.8.2.2-1，總馬力數為 2,250 kW。



114
年度

造紙業 減碳技術案例彙編

4. 減碳生產技術設備應用與實務案例



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.8.2.2-1 案例廠改善前紙機使用的水環式真空泵照片

單元改善後情境說明

為有效降低紙機單位能耗，案例廠將 10 台水環式真空泵改造為 4 台磁懸浮透平機，說明如圖 4.8.2.2-2，總馬力數為 1,700 kW。磁懸浮真空泵的規格，說明如下：

- 磁懸浮傳動效率 $\geq 98\%$ 。
- 真空度 ≤ 70 kPa。
- 磁懸浮透平真空泵 425 kW。



資料來源：中華紙漿股份有限公司提供

圖4.8.2.2-2 案例廠改善後紙機使用的磁懸浮透平真空泵照片

4.8.2.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- 改善前：水環式真空泵運轉馬力數 2,250 kW。
- 改善後：磁懸浮透平真空泵運轉馬力數 1,700 kW。
- 節能率： $(2,250 - 1,700) / 2,250 \times 100\% = 24.4\%$ 。
- 年節電： $550 \text{ kW} \times 8,000 \text{ h/年} = 4,400,000 \text{ 度/年}$ 。
- 減碳量：2024 年電力排碳係數基準為 $0.474 \text{ kgCO}_2\text{e/度}$
 $550 \text{ kW} \times 8,000 \text{ h/年} \times 0.474 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh} = 2,086 \text{ tCO}_2\text{e/年}$ 。

投資效益

投資費用

設備費用 3,000 萬，機電工程 3,000 萬，土建工程 1,000 萬，合計總投資金額 7,000 萬。

節電效益

$4,400,000 \text{ 度/年} \times 3.4518 \text{ 元/度} = 1,519 \text{ 萬元/年}$
 (114 台電整體平均電價 3.4518 元/度)。

回收年限

$7,000 \text{ 萬元} / 1,519 \text{ 萬元} = 4.61 \text{ 年}$ 。

4.9 槽底式/薄膜式上膠輥的應用案例

4.9.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

案例廠 PM3B、PM7 為新設立的高速紙機，PM3B 為裱面紙板機，車速 800 m/min、紙幅 6,600 mm、基重範圍 85 至 260 g/m²、產量 995 公噸 / 天。PM7 為瓦楞芯紙機，車速 700 m/min、紙幅 6,600 mm、基重範圍 85 至 160 g/m²、產量 750 公噸 / 天。為因應車速的提高，由槽底式上膠機改造為薄膜式上膠機進行紙張表面塗布，使上膠量更穩定，並減少烘缸段的乾燥負荷。

技術概要

設備配置

薄膜式上膠輥主要透過兩根對壓膠輥，配合以劑量控制之供膠系統，在紙匹表面塗布一層薄且均勻的膠液。

運轉條件

兩組上膠輥之線壓、膠液黏度、膠液溫度、轉速比。

控制方式

透過計量輥間隙控制塗布量。

4.9.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

- 原系統為槽底式上膠，膠液上膠量波動 $\pm 10\%$ ，紙匹水分差異使烘缸能耗高，且紙匹表面品質不穩定。
- 膠液浪費率高，需頻繁調整膠液配方。

單元改善後情境說明

- 安裝薄膜式上膠輥（含劑量控制與供膠系統），優化膠液循環與過濾，減少膠液耗損。
- 穩定控制最佳化線壓與轉速比，確保膠液轉移均勻，以控制施膠後紙匹品質穩定。
- 建立膠液溫控與黏度監控機制，減少膠液批次差異。

4.9.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- **提高車速：**由 700 m/min 提高至 750 m/min。
- **提升紙張強度：**相比於未上膠之紙匹，經上膠之紙匹強度、上膠度高，可減少原生纖維或化學藥劑用量，間接減碳。
- **降低乾燥能耗：**薄膜式上膠設備可精確控制膠量與水分，減少紙匹乾燥時所需蒸汽（由 1.078 公噸蒸汽 / 公噸紙下降至 1.002 公噸蒸汽 / 公噸紙）。
- **減少不良率：**紙匹上膠均勻且水分穩定的狀況下，斷紙率減少耗能降低。

投資效益

初期投資

約 2,000 至 3,500 萬元（依紙機寬度、速度及自動化程度而定）。

節省成本

約 650 至 800 萬元。

- **蒸汽節省：**由於膠液添加水分少，乾燥能耗較槽底式上膠低，約可省 550 至 650 萬元 / 年。
- **化學藥品節省：**上膠提升紙張之表面強度與品質，可能減少化學藥品需求，約 100 至 150 萬元 / 年。

投資回收期

2,000 至 3,500 萬元 / 650 至 800 萬元 = 2.5 至 5.4 年。

附加效益

- 提升紙匹表面均勻性、印刷適性，減少不良品。
- 減少乾燥段負荷，延長烘缸與通風系統壽命。
- 適合高速紙機，提高產能與穩定性。
- 降低碳排放，符合節能減碳趨勢。

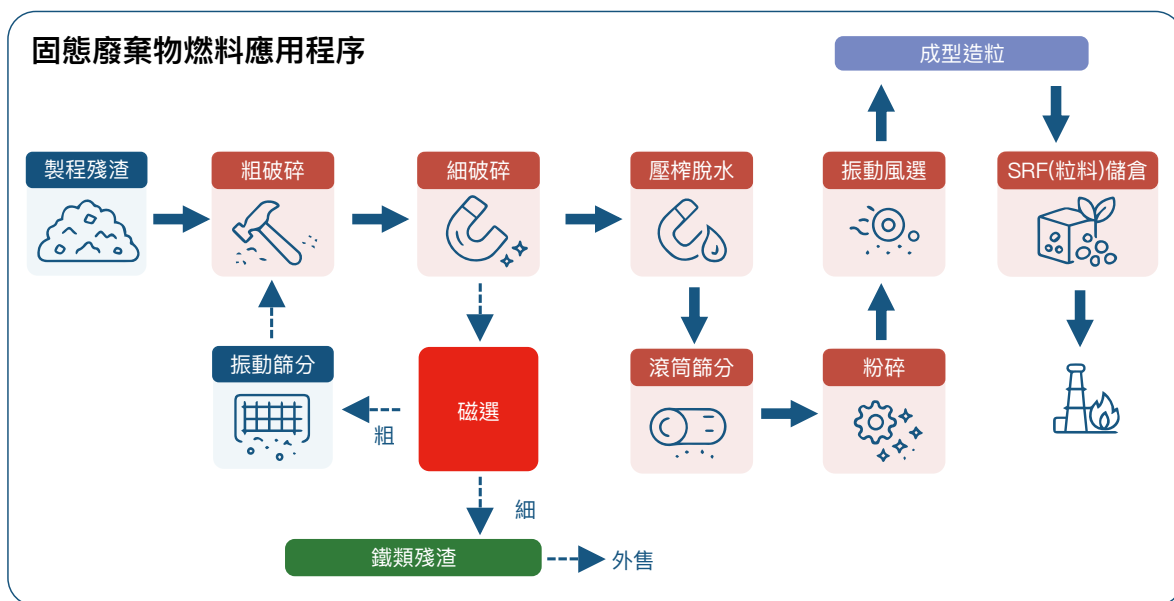
4.10 固體再生燃料/生質燃料鍋爐/汽電共生系統案例

4.10.1 鍋爐SRF替代燃料

4.10.1.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

SRF 係指使用非有害適燃性固體廢棄物包含一般事業廢棄物或生活垃圾，利用分選技術去除不適燃物後製成之替代燃料。SRF 主要以回收紙、廢塑膠或廢木料等適燃性物質所組成，其處理程序說明如圖 4.10.1.1-1。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.10.1.1-1 典型SRF 處理流程圖

前處理製程 (SRF 製造程序)

製程殘渣經過粗破碎機、細破碎機的撕裂破碎後，經過壓榨脫水、滾筒篩分，再經粉碎機粉碎成細片，最後再通過振動風選，將可燃物更均質分離出後，投入成型造粒機，以提升能量密度。

SRF 使用端製程（鍋爐生產程序）

混合燃料（煤炭 + SRF）進入循環流體化床鍋爐，以 850 至 950°C 的床溫將投入的燃料進行高溫熱裂解後，經過爐內脫硫、脫硝裝置、旋風分離器、省煤器等，再經過袋式除塵器與脫硫裝置後，最後將符合空污排放標準之煙氣排放至大氣中。

技術概要

案例廠的前處理製程主要使用機械處理技術 (Mechanical Treatment, MT)，經過破碎、分選、均質化及造粒成形，符合鍋爐設計熱值後，提供給鍋爐使用。

鍋爐型式選用循環流體化床，以 850°C 以上之穩定運轉溫度，將混合之燃料，進行熱裂解與熱能回收，產生高溫蒸汽，提供給生產線使用。

4.10.1.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

未設置 SRF 造粒設備前，鍋爐主要燃料為煤炭，年用量為 43,675 公噸，說明如表 4.10.1.2-1。

表 4.10.1.2-1 案例廠改善前鍋爐煤炭熱值及使用量

燃料別	小時使用量 (t/h)	日用量 (t/d)	年用量 (t/y)	熱值 (kcal/kg)	碳排放係數 (tCO ₂ e/t)
煤炭	6.066	145.584	43,675	5,649	2.237

單元改善後情境說明

設置 SRF 造粒設備後，替代煤炭使用量，以 SRF 為主要燃料，說明如表 4.10.1.2-2。

表4.10.1.2-2 案例廠改善後鍋爐混合燃料使用量

燃料別	熱值 (kcal/kg)	碳排放係數 (tCO ₂ e/t)	年用量 (t/y)
煤炭	5,649	2.237	8,735
SRF(粒狀)	5,000	1.871	39,475

4.10.1.3 成效分析與節能減碳效益

減碳效益

階段	燃料	年用量 (公噸/年)	碳排放係數 (tCO ₂ e/t)	年碳排放量 (tCO ₂ e/年)
改善前	煤炭	43,675	2.237	97,701
改善後	煤炭	8,735	2.237	19,540
	SRF	39,475	1.871	73,858
年減碳排放量				4,303

投資效益

總投資金額 17,000 萬元。

年效益

依案例廠購置煤炭單價：3,703 元；SRF 單價：2,050 元
 $3,703 \times 43,675 - (3,703 \times 8,735 + 2,050 \times 39,475) = 48,459,070 \text{ 元} = 4,846 \text{ 萬元}。$

回收年限

$17,000 / 4,846 = 3.5 \text{ 年}。$

4.10.2 SRF 汽電共生系統

4.10.2.1 應用製程簡介及技術概要

鍋爐製程可分為五大系統：

燃料系統

鍋爐主要燃料為 SRF、漿紙污泥、生質燃料、煤炭，四個專屬投料口分別投料至鍋爐燃燒室內。

水處理系統

純水系統設計採用除鐵錳砂槽、UF 過濾、RO 逆滲透和 EDI 電解離子去離子等技術，有效去除原水中雜質，降低導電度，並產出符合鍋爐製程需求的超純水。

給水系統

鍋爐給水經由輸水泵輸送至除氧器中除氧，再由鍋爐給水泵輸送經省煤器至鍋爐維持鍋爐汽鼓水位，鍋爐水 pH 值經由磷酸二鈉、磷酸三鈉注藥做調整，控制 pH 9.0 至 10.0。

通風系統

一次風、二次風、引風機，燃燒用空氣由送風機送入爐內，燃燒後之高溫煙氣，經由煙道與鍋爐水牆管排熱交換經吸熱後之煙氣送選擇性觸媒還原脫硝 (SCR) 處理 NO_x，在經布袋除塵器收集粒狀物後，由引風機送至吸收塔處理 SO_x，再由煙囪排放至大氣中。

蒸汽供應系統

鍋爐加熱鍋爐水產生蒸汽，經汽鼓、一次過熱器、二次過熱器加熱至 60 bar，445 °C 送至汽輪機轉動發電機，同時蒸汽供給至分汽缸送給製程使用。

4.10.2.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

未設置 SRF 造粒設備前，鍋爐主要燃料為煤炭，年用量為 43,675 公噸，說明如表 4.10.2.2-1。

表4.10.2.2-1 案例廠改善前鍋爐煤炭使用量

燃料別	小時使用量 (t/h)	日用量 (t/d)	年用量 (t/y)
煤炭	6.066	145.584	43,675

單元改善後情境說明

設置 SRF 造粒設備後，替代燃料使用量，以 SRF 為主要燃料，說明如表 4.10.2.2-2。

表4.10.2.2-2 案例廠改善後鍋爐混合燃料使用量

燃料別	小時使用量 (t/h)	日用量 (t/d)	年用量 (t/y)
煤炭	1.213	29.117	8,735
SRF(粒狀)	5.095	64.008	39,475

4.10.2.3 成效分析與節能減碳效益

減碳效益

階段	燃料	碳排放係數 (tCO ₂ e/公噸)	燃料成本 (元/噸)	年用量 (公噸/年)	年碳排放量 (tCO ₂ e/年)
改善前	煤炭	2.237	5,800	43,675	97,701
改善後	煤炭	2.237	5,800	8,735	19,540
	SRF	1.871	1,000	39,475	73,858
年減碳排放量					4,303

- 年減碳排放量：4,303 tCO₂e。
- 目前碳費訂價 300 元 / tCO₂e (依 113 年環境部公告碳費徵收費率之「一般費率」計算) 節省碳費：300 元 × 4,303 = 1,290,900 元 / 年。
- 煤炭單價：5,800 元；煤炭年節省量：34,940 公噸。
- 煤炭年節省成本：：依案例廠購置煤炭單價 5,800 元 / 公噸 × 34,940 公噸 / 年 = 202,652,000 元 / 年。
- 合計：1,290,900 + 202,652,000 = 203,942,900 元 / 年。

投資效益

總投資金額

270,000 萬元。

利息 4% 成本

270,000 萬元 × 4% = 10,800 萬元 / 年。

SRF 燃料成本

依案例廠購置 SRF 單價 1,000 公噸 / 元 × 39,475 公噸 / 年 = 3,948 萬元 / 年。

年效益

減碳效益 (20,394 萬元) - 利息 4% (10,800 萬元) - 燃料成本 (3,948 萬元) = 5,646 萬元。

回收年限

270,000 萬元 / 5,646 萬元 = 47.8 年。

4.10.3 SRF 汽電共生系統-木屑投料口改造

4.10.3.1 應用製程簡介及技術概要

- 鍋爐設計四個專屬投料口，可分別投入 SRF、漿紙污泥、生質燃料、煤炭，多元燃料提升能源效率。
- 鍋爐設計爐膛與旋風分離器全耐火泥披覆，確保爐膛內煙氣溫度穩定維持 $> 850^{\circ}\text{C}$ 、煙氣停留時間 $> 2\text{ s}$ 。
- 空煙道設計避免積灰結渣，堆焊處理增加鍋爐壽命。
- INTREX 過熱器特殊設計，有效防止含氯煙氣造成高溫腐蝕。

4.10.3.2 改善方案執行過程

最初鍋爐投料系統沒有設計木屑投料口，因此利用生質燃料投料系統轉用木屑燃料來投料，木屑輸送過程中經常出現堵料問題，影響輸送效率並增加維護成本。

單元改善前情境說明

輸送過程中，會因木屑其形狀、大小、水份因素，發生堵料、架橋的情況，造成輸送設備異常，影響輸送效率、增加人力排除工時，甚至可能引發安全疑慮。

單元改善後情境說明

修改入料斗安息角及加裝架橋破壞器。料斗出口改造，可依燃料狀況調整出口檔板開度，避免料斗出口處堵料。

4.10.3.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- 案例廠檢測煤炭 (6,800 kcal/kg) 與木屑 (2,392 kcal/kg) 熱值比約為 2.84 : 1，木屑平均使用量 1,800 公噸 / 月，1,800 公噸的木屑 ÷ 2.84 (熱值比) = 每月節省 633 公噸的煤炭。
- 煤炭單價：5,800 元。煤炭節省成本：5,800 元 / 公噸 × 633 公噸 / 月 × 12 月 / 年 = 44,056,800 元 / 年。
- 煤炭碳排放係數 2.693 tCO₂e。年減碳排放量：2.693 × 633 公噸 / 月 × 12 月 / 年 = 20,456 tCO₂e / 年。
- 目前碳費訂價 300 元 / tCO₂e (依 113 年環境部公告碳費徵收費率之「一般費率」計算)。節省碳費：300 元 / tCO₂e × 20,456 tCO₂e = 6,136,800 元 / 年。
- 合計：44,056,800 元 / 年 + 6,136,800 元 / 年 = 50,193,600 元 / 年。

投資效益

總投資金額 30 萬元。

燃料成本

木屑單價：350 元 (依案例廠購置木屑單價)。
350 元 / 公噸 × 1,800 公噸 / 月 × 12 月 / 年 = 7,560,000 元 / 年。

年效益

節能減碳效益 (5,019 萬元) - 木屑 (756 萬元) = 4,263 萬元。

回收年限

30 萬元 / 4,263 萬元 = 0.007 年。

4.11 燃煤鍋爐更換為天然氣鍋爐案例

4.11.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

天然氣鍋爐可供應蒸汽壓力10至25 kgf/cm²，蒸發量10至40公噸/小時，常運用在家庭用紙廠或紙器廠。日產100公噸家庭用紙紙機，每天需求蒸汽約300公噸，1台40公噸/小時天然氣鍋爐可滿足3台日產百公噸的家庭用紙紙機蒸汽需求。

技術概要

天然氣鍋爐主要組成單元有水管式鍋爐，燃燒機，給水系統，給水預熱器，空氣預熱器，蒸汽分配缸，脫氧槽，爐水排放系統，煙囪及操作控制系統。

天然氣鍋爐是以天然氣為燃料（也可用液化石油氣為燃料），採用“水管式”設計，水或蒸汽流通於管內，火焰與熱氣在管外流通，達到熱交換效果而產生蒸汽。而透過餘熱回收系統，可將燃燒尾氣排放煙囪前，和給水與空氣預熱，達到最佳燃燒效率94%。

4.11.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

原有燃煤流體化床鍋爐，因受限環保政策要求減煤，燃料改用SRF或廢木材與煤炭混燒，但SRF燃料組成多樣，熱值變化大，床溫過高時床砂與灰渣熔融形成結渣。且管排間積灰速度增加，鍋爐管道無法維持負壓，需經常停爐排除結渣與積灰，間接影響抄紙機生產用汽穩定性。

單元改善後情境說明

增設天然氣鍋爐，取代原有燃煤鍋爐，供汽壓力與蒸汽量都非常穩定，也改善抄紙機因蒸汽供壓不足或停爐的生產損失，說明如圖 4.11.2-1。

1. 天然氣鍋爐優點：

- 設備佔地面積小，約燃煤鍋爐的三分之一。
- 燃料天然氣為埋管加壓直送，無需燃料儲存與輸送設備，工作環境乾淨。
- 操作簡便好控制，操作人力為煤炭鍋爐的一半。
- 燃燒排放污染少，無需污染制設備。
- 燃燒效率高，碳排放量低。
- 設備維護簡易，維護費用較低。

2. 天然氣鍋爐缺點：

- 天然氣燃料價格高，每公噸產汽成本約為煤炭的 2 至 3 倍。
- 天然氣管道設置費用高，高壓管每公尺約 2.5 萬元，且須配合天然氣供應量是否充足。



資料來源：永豐餘消費品實業股份有限公司提供

圖4.11.2-1 案例廠天然氣鍋爐照片

4.11.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

天然氣每仟卡碳排放量為 0.2349 g CO₂/kcal；煤炭每仟卡碳排放量為 0.3961 g CO₂/kcal，以固定熱值比較碳排放量，天然氣較煤炭減少約 40.7%。

投資效益

天然氣鍋爐設備投資（含天然氣管道）費用不會較燃煤鍋爐高，但天然氣燃料成本較高。由於案例目前仍於規劃中，暫無設備投資成本等資料，經濟效益若以燃料價格比較，案例廠 2025 年的天然氣價格 15.5 元 / m³ 及煤炭單價 3,000 元 / 公噸計算，天然氣鍋爐的產汽燃料成本幾乎是燃煤鍋爐的 4 倍以上（計算說明如表 4.11.3-1）。對於廠商投資天然氣鍋爐效益目前主要是以減碳效益、環境效益及提升公司或產品品牌形象為主。

表4.11.3-1 案例廠天然氣與燃煤鍋爐成本比較表

燃料	熱值	單位	單價	單位	單位熱值單價 (元/kcal)
天然氣	8,000	kcal/m ³	15.5	元/m ³	0.0019375
煤炭	6,800	kcal/kg	3,000	元/t	0.0004412
倍數					4.39

4.12 廢水厭氧單元沼氣再利用發電案例

4.12.1 應用製程簡介及技術概要

應用製程簡介

二級水處理中的厭氧處理是一種利用厭氧菌在無氧環境下分解有機污染物，將其轉化為甲烷、二氧化碳及生物細胞的廢水處理方法。這種方法具有節能、高效率、占地面積小、產生的污泥量少等優點，並可將產生的沼氣再利用於供熱和發電。

技術概要

造紙業廢水處理系統由以往僅採用好氧處理的一段式流程，演進到結合厭氧與好氧的二段式處理系統。二段式處理中的厭氧消化反應過程中會產生沼氣，沼氣主要成分 80% 以上是甲烷（也是家用天然瓦斯的主要成分）。本案改善前是將沼氣視為廢棄物直接燃燒（如同以前的石化廠），隨著節能減碳政策推動與 ESG 永續及循環經濟概念崛起，現今廠區透過妥善的規劃將現有的能資源（包括沼氣）作為可再生能源進行有效的利用。

4.12.2 改善方案執行過程

單元改善前情境說明

改善前：沼氣經沼氣鍋爐燃燒產汽（節能）

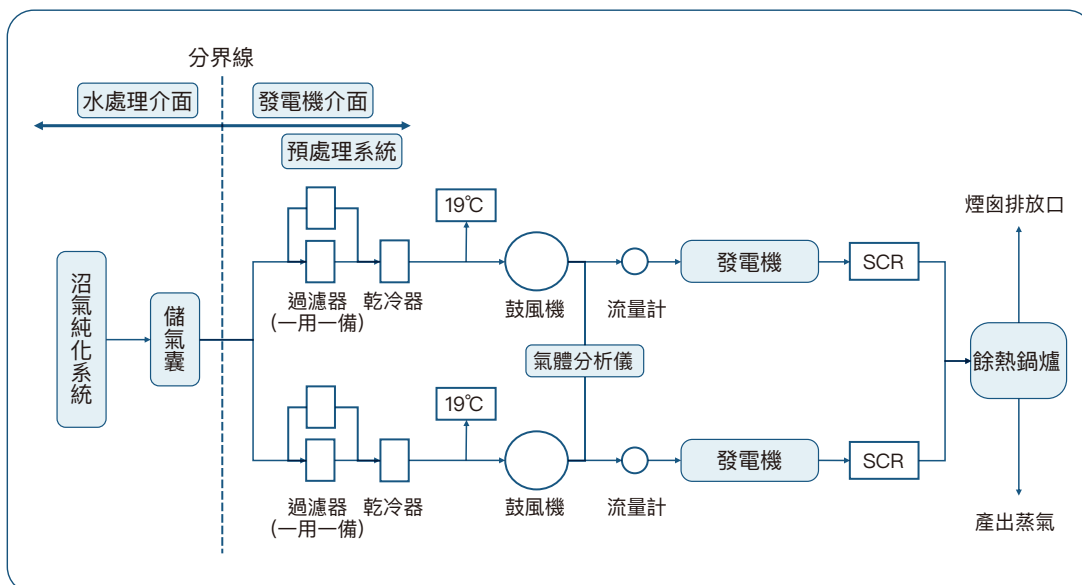
本案例廠改善前將厭氧處理產生之沼氣，再利用為沼氣鍋爐的燃料，通過燃燒產生熱能，加熱純水產生蒸汽供製程使用。沼氣鍋爐具有節能、資源化、減少污染等特點。使用沼氣鍋爐可以降低能源成本，提高能源利用效率，亦可以將有機廢棄物轉化為有用的能源，實現資源的循環利用，降低空氣污染和碳排放。然而，隨著近年來政府鼓勵推動再生能源，透過躉購費率鼓勵業者投資再生能源發電，加上使用沼氣鍋爐仍有硫化氫腐蝕和氣味問題，因此廠方決定再進一步，以沼氣發電作為改善策略。

單元改善後情境說明

改善後：從沼氣燃燒（節能）→ 沼氣發電（綠能）。

造紙廢水中存在有少量硫酸根（來源為原料、製程用藥等），水中硫酸根經厭氧處理後轉化為硫化氫混雜於沼氣中，由於硫化氫為具有毒性與腐蝕性之氣體，為避免後段發電機系統受硫化氫影響，因此須於沼氣再利用前進行脫硫處理，將硫化氫降至 < 100 ppm；再經過沼氣調理系統達到發電機的入口條件。

本案的廢水厭氧單元沼氣再利用於發電流程分為沼氣純化系統、沼氣調理系統及沼氣發電系統，說明如圖 4.12.2-1。

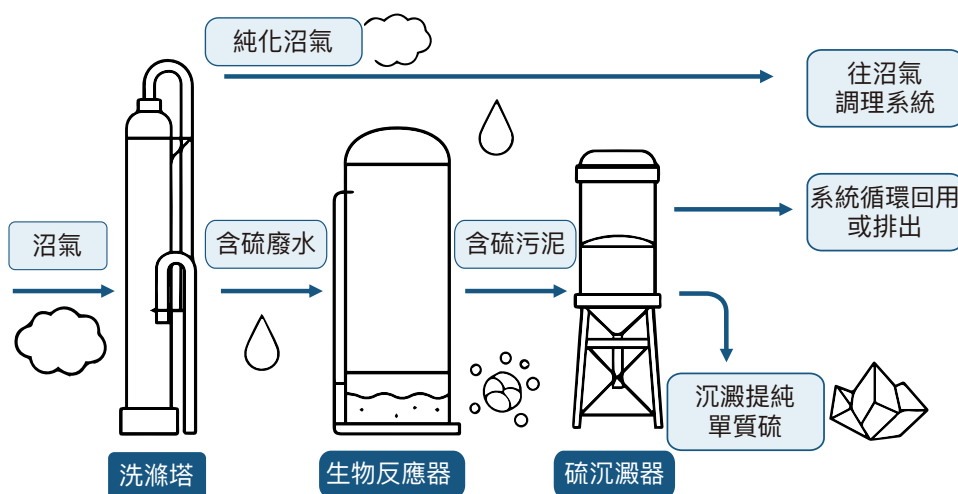


資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.12.2-1 案例廠沼氣發電機設備流程圖

1. 沼氣純化系統

本案例廠的沼氣純化系統設置 THIOPAQ® 洗滌塔說明如圖 4.12.2-2，改善目標是達到沼氣中硫化氫降至 <100 ppm。其處理流程首先是將含硫化氫沼氣導入洗滌塔，該洗滌塔為一填料塔，透過加填料以增加氣液接觸面積，讓塔內的硫化氫被洗滌液吸收，純化的沼氣排出洗滌塔，進入後續沼氣調理系統。洗滌塔的清液流至塔底，進入生物反應器。反應器底部有空氣管佈管，供給氧氣使硫桿菌將溶解的硫化物轉化為單質硫。隨後，這些生成的單質硫於沉澱槽中分離，從生物反應器出來的混合液循環迴流到洗滌塔，以去除沼氣中的硫化氫。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.12.2-2 案例廠沼氣純化系統THIOPAQ®洗滌塔

本案設定沼氣純化系統設計參數及處理效能參數分別說明如表 4.12.2-1 及表 4.12.2-2。經生物洗滌塔後的硫化氫濃度可降至 100 ppm 以下。

表4.12.2-1 沼氣純化系統設計參數

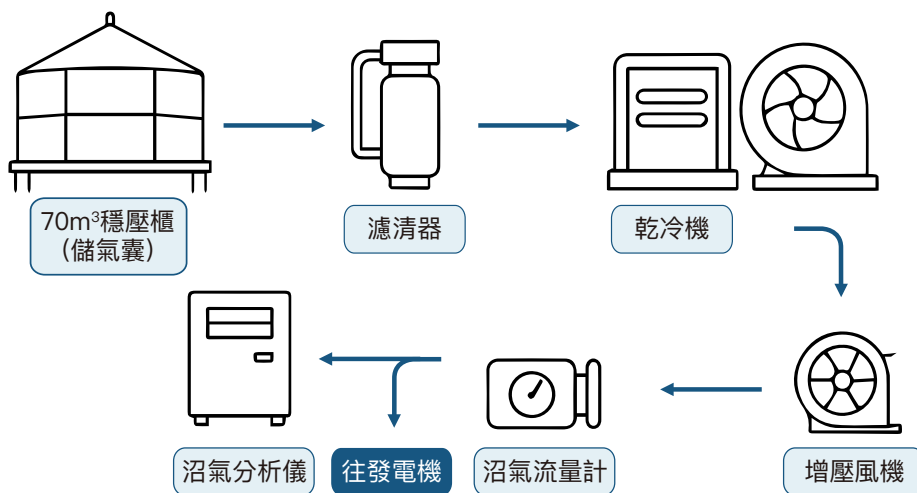
項目	單位	數值
沼氣流量	Nm ³ /h	< 900
硫負荷	kg/d	< 864
甲烷	%(v/v)	70至82
二氧化碳	%(v/v)	15至28
溫度	°C	30至40
壓力	kPa	2至4
硫化氫濃度	ppm	< 28,000

表4.12.2-2 經生物洗滌塔後處理效能參數

項目	系統入口	系統出口
甲烷(%v/v)	70至82	70至83
二氧化碳(%v/v)	15至28	14至27
硫化氫(ppmv)	< 28,000	< 100
溫度(°C)	30至40	30至40
相對濕度(%RH)	100 (飽和)	100 (飽和)
壓差	NA	< 2 kPa

2. 沼氣調理系統

沼氣調理系統說明如圖 4.12.2-3。經過沼氣調理系統功能，由穩壓櫃、濾清器、乾冷機、增壓風機等預處理，去除不可燃燒物質（水分、雜質），並達到沼氣發電機的燃氣要求。流量計、沼氣分析儀則記錄分析沼氣成分參數，作為往後沼氣發電運轉最佳化的參考數據。

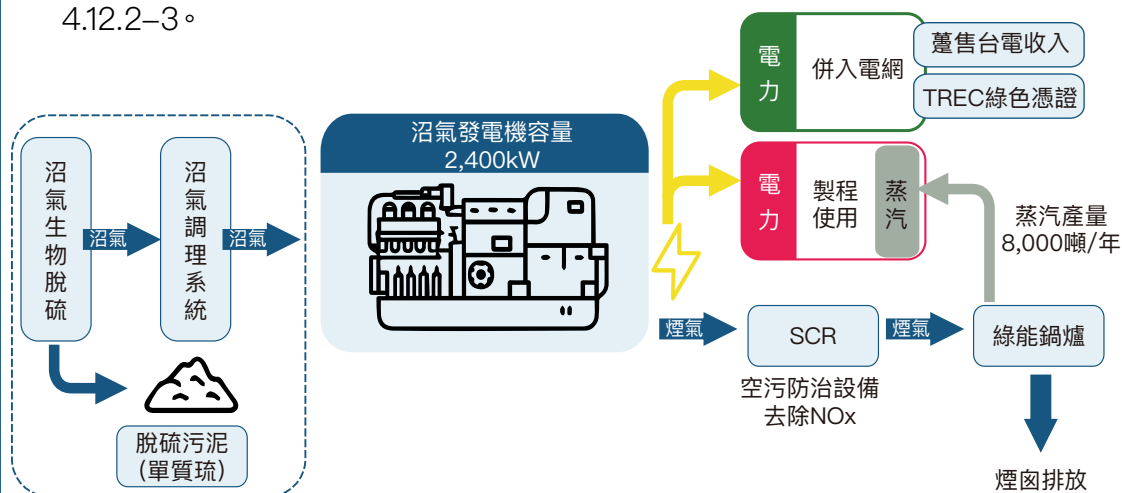


資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.12.2-3 案例廠沼氣調理系統

3. 沼氣發電系統

沼氣發電系統說明如圖 4.12.2-4。本案設置沼氣發電機機組，並將產生沼氣充分使用，使平均發電量達到 1,614 kWh 以上。設置後沼氣利用率 95% 以上；發電效率 40% 以上。沼氣發電機供應商型錄資料說明如表 4.12.2-3。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.12.2-4 案例廠沼氣發電系統

表4.12.2-3 案例廠沼氣發電機供應商型錄資料

發動機 設備滿 載運轉	廠牌/製造地/型號/材質	—	Caterpillar/德國 /CG170-12/鑄鐵
	扭力	Nm	7,919
	汽缸數	缸	12
	缸徑/衝程/活塞排氣量	mm/mm/dm ³	170 / 195 / 53
	壓縮比	—	14
	轉速	rpm	1,500
	煙氣排氣量	m ³ /hr	13,279
	煙氣溫	°C	407
	缸套水溫度	°C	93
發電機 設備	廠牌/製造地/型號	—	MarelliBotori /義大利/ MJH 500 LA4
	發電量	kWh/Hz	1,200 / 60
	轉速	rpm	1,800
	發電機額定功率	kVA	1,487
	輸出電壓	kV	11.4
沼氣發 電機組	外型尺寸(不含集裝箱)長×寬×高/重量	m/ton	7.3 × 1.8 × 2.2 / 15.9
	滿載發電效率	%	42.2

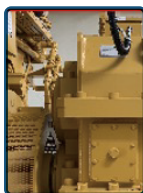
4.12.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

1. 沼氣發電機

沼氣發電機本體說明如圖 4.12.3-1。本案選擇沼氣發電機是由 V12 的燃氣引擎經由變速箱帶動永磁式發電機發電，年發電量達到 1,250 萬度，減碳量達 10,300 tCO₂e（案例廠 113 年外購電力排放係數 0.824 公噸 CO₂e/ 千度）。電力部份可併入電網躉售給台電，或者供給製程使用並取得 TREC 綠色憑證。本案規劃發電量 12,556 千度 / 年，減碳量 10,346 公噸 CO₂e/ 年。

燃氣混合器：提供最佳空燃比
原動機：12缸活塞式引擎
發電機：60 Hz, 11.4 kV永磁式發電機

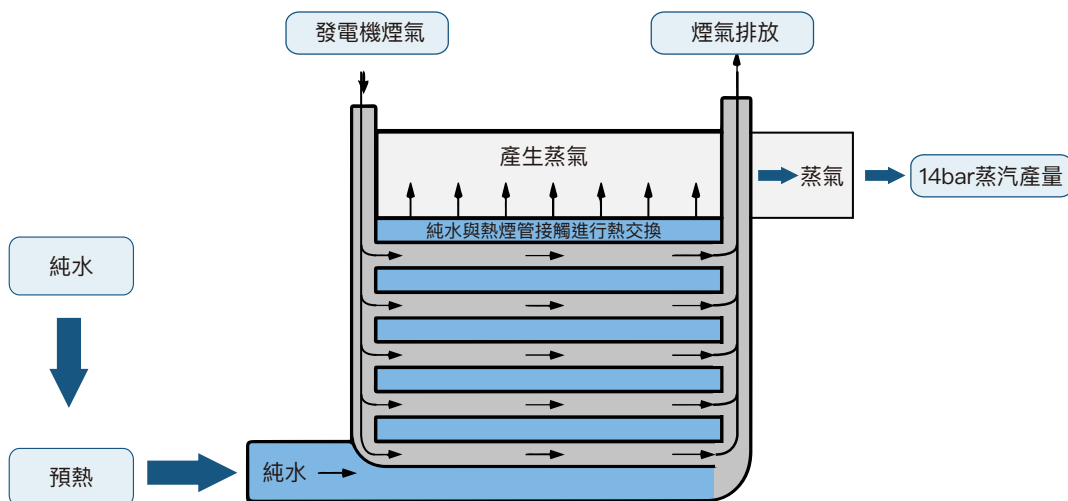


資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.12.3-1 案例廠沼氣發電機本體

2. 綠能鍋爐

綠能鍋爐流程說明如圖 4.12.3-2。回收尾氣熱能的綠能鍋爐熱回收效率達 92%。綠能鍋爐產生的綠蒸汽 (Green Steam) 可作為綠色能源供給製程使用，年減碳 2,064 公噸 CO_2e (綠能鍋爐年產蒸汽 8,000 噸，案例廠 113 年外購蒸汽排碳係數 0.258 公噸 CO_2e /公噸)。



資料來源：正隆股份有限公司提供

圖4.12.3-2 案例廠綠能鍋爐流程圖

投資效益

總投資金額

案例廠二級水處理厭氧單元設置沼氣發電機投資金額約 16,000 萬元。

減碳量

10,346 tCO₂e/ 年 (減少外購電力) + 2,064 tCO₂e/ 年 (減少外購蒸汽) = 12,410 tCO₂e/ 年。

年效益

12,556 千度 / 年 × 5,180 元 / 千度 = 6,504 萬元 / 年 (售電)，扣除沼氣發電設備維護費用 1,500 萬元 / 年 = 5,004 萬元 / 年。

回收年限

16,000 萬元 / 5,004 萬元 = 3.2 年。

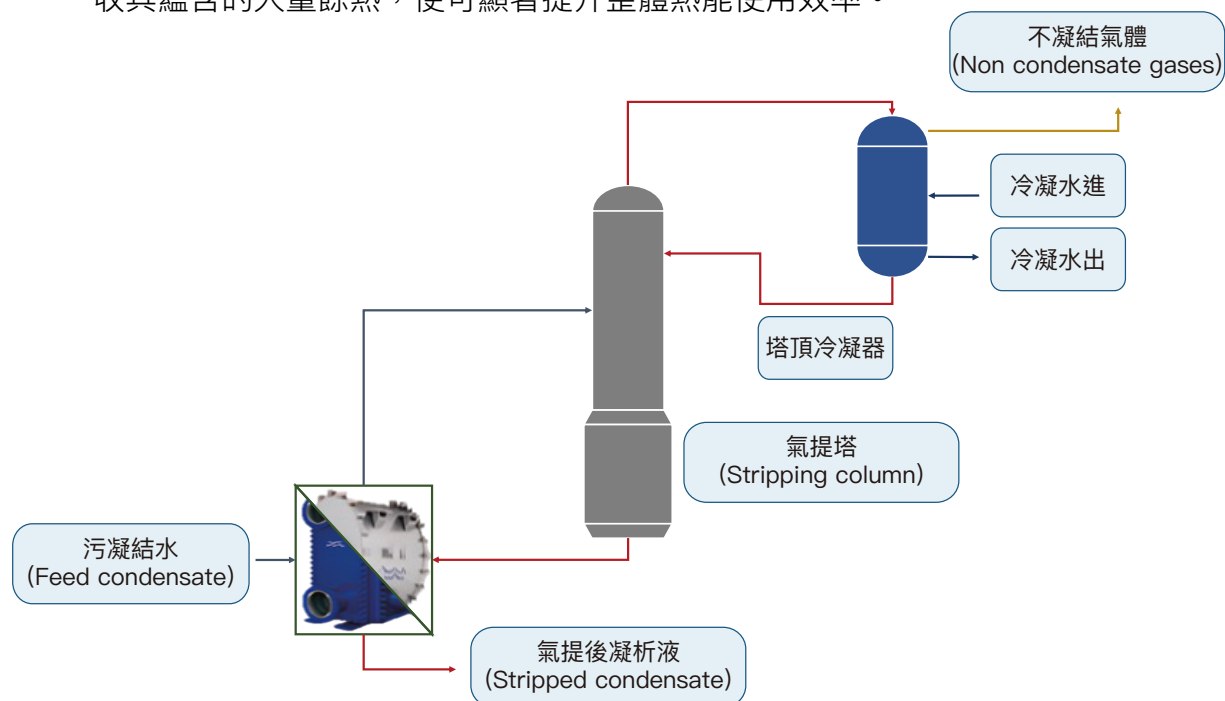
4.13 熱交換器在造紙製程熱回收的應用案例

4.13.1 應用製程簡介及技術概要

製漿造紙業在東南亞地區迅速成長，然而位於印尼的一家大型紙漿廠卻面臨嚴峻挑戰。該紙漿廠以原木生產人造絲和其他纖維素基產品。近年來，不僅設備老化、能源成本高、環保標準不斷加嚴，而且製程效率難以再提升，種種壓力讓紙漿廠的營運備受考驗。

各項挑戰中，以現用的傳統管殼式熱交換器頻繁出現結垢、洩漏與堵塞等問題最為困擾，不僅導致頻繁的停機維修與產能損失，嚴重影響生產進度。期透過提高能效、減少碳排，以滿足日益嚴謹的環保規範。

此改善計畫的重點即在於蒸煮與黑液蒸發這個製漿過程中的關鍵製程。該工序段會產生含有機揮發物與含硫化合物的污凝結水（Feed Condensate），這些污水必須進行處理並符合相關標準後，才可回收利用或排放，說明如圖 4.13.1-1。若在氣提處理污凝結水的過程中，能有效回收其蘊含的大量餘熱，便可顯著提升整體熱能使用效率。



資料來源：Alfa Laval 公司提供

圖4.13.1-1 案例廠氣提處理污凝結水流程圖

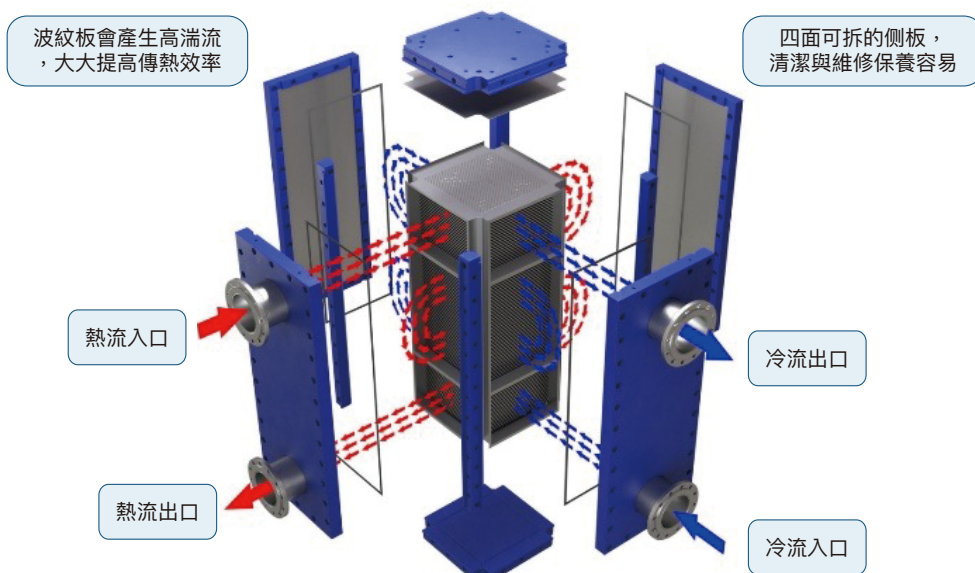
單元改善前情境說明

現有廠房內，設置氣提塔污凝結水預熱器的空間極為有限。若採用具足夠熱傳效率的傳統管殼式熱交換器，則空間不足；反之，滿足佔地面積條件的較小型管殼式熱交換器，但熱傳性能不夠。因此，尋求其他高效熱交換器作為預熱器乃是勢在必行。

此外，既有系統採用的化學清洗效果不佳，結垢問題反覆發生，使得熱交換器無法長期穩定運行。紙漿廠明確要求新設備必須具備完全的機械可清潔性，不再因結垢、洩漏、阻塞等問題而影響生產。

單元改善後情境說明

綜合前述，該廠希望為既有產線升級，以達到提升連續運轉可靠度，減少設備維修保養頻率，以及降低碳排放等效益。經技術團隊與紙漿廠人員多次探討評估後，案例廠提出以 Compabloc™ 全焊可拆式板式熱交換器作為污凝結水預熱器的解決方案，說明如圖 4.13.2-1。



資料來源：Alfa Laval 公司提供

圖4.13.2-1 案例廠四邊側板可拆卸的Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器

相較於管殼式熱交換器，Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器的體積較小，可水平或垂直安裝，成為既有廠房設備升級的首選。此外，Compabloc™耐高溫高壓、耐清洗；SmartClean™設計與四面可拆的側板，清潔與維修保養容易；加上熱傳效率佳，可顯著回收製程餘熱供後段工序使用，大幅提升系統能效。

目前 Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器於全球累計裝置量超過 35,000 台，廣泛應用於工業環境。相較於傳統管殼式熱交換器，平均可提升三至五倍的效率，並可在 60 bar(g) 的壓力下穩定運作。因此，雖然 Compabloc™全焊可拆式板式熱交換器的初期投資成本高於傳統方案，但其在降低意外停機風險、縮減維護成本、提升能源使用效率及減碳效益等面向上，均能有效降低設備生命週期的總擁有成本（Total Cost of Ownership, TCO），因此成為紙漿廠在進行能效升級與永續投資決策時的最佳選擇。

4.13.3 成效分析與節能減碳效益

節能減碳效益

- 能源年節省量：197,760 MWh。
- 減碳量：35,597 tCO₂e（註：印尼案例廠電力排放係數 0.180 kgCO₂e/kWh）。

投資及營運效

投資費用

約 400 萬歐元（約 14,200 萬元新台幣）。

年營運成本

節省：7,910,300 歐元（約 28,113 萬元新台幣）。

回收年限

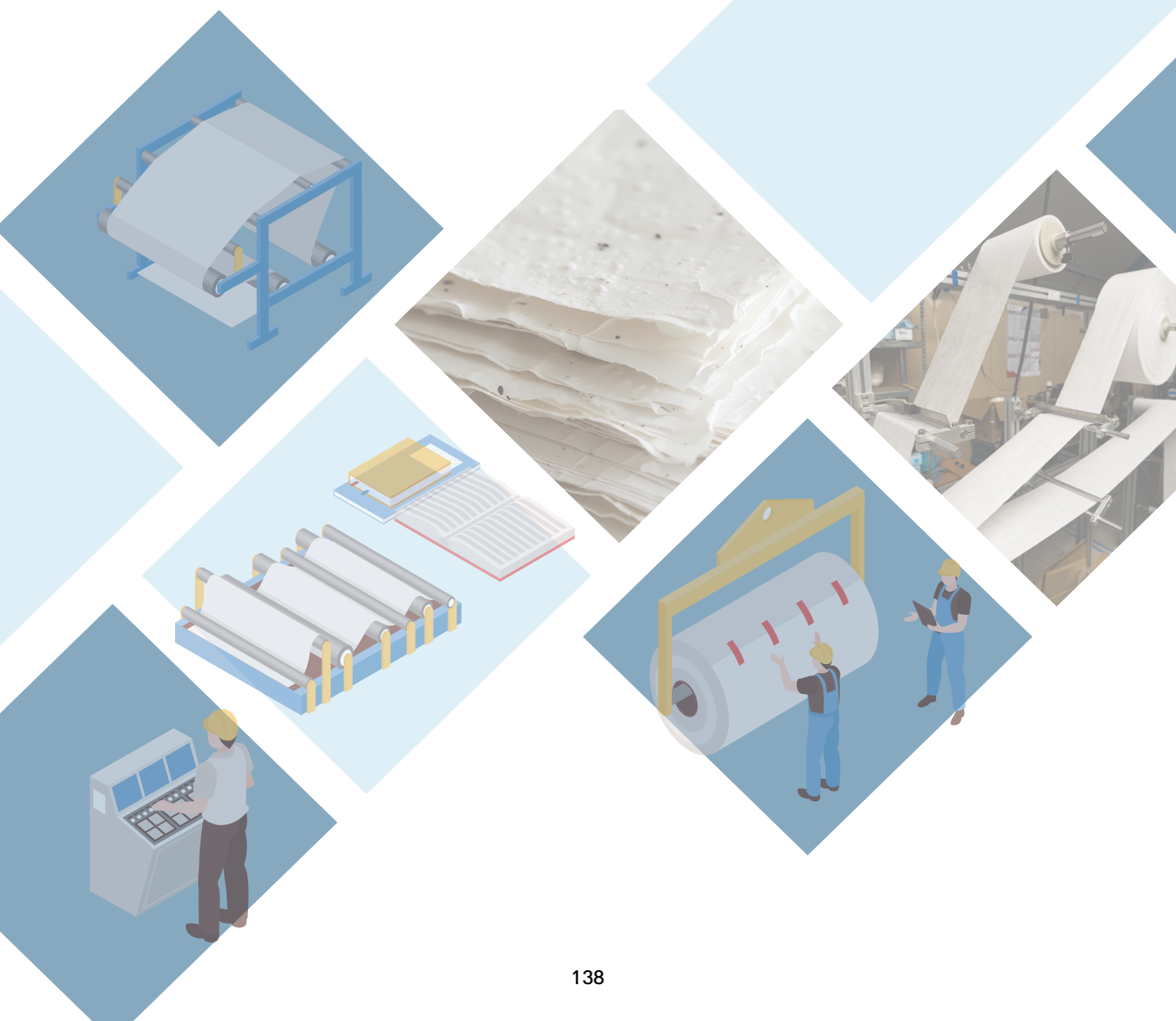
400 萬歐元 / 791 萬歐元 = 0.51 年。

營運效益

- 佔地面積小，安裝彈性佳，可依生產需求增減設備。
- 穩定可靠，顯著降低無預警停機機率。
- 可徹底清潔，維護保養簡便。
- 熱傳效率佳，實現高效製程廢餘熱回收再利用。

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

結 語



結 語

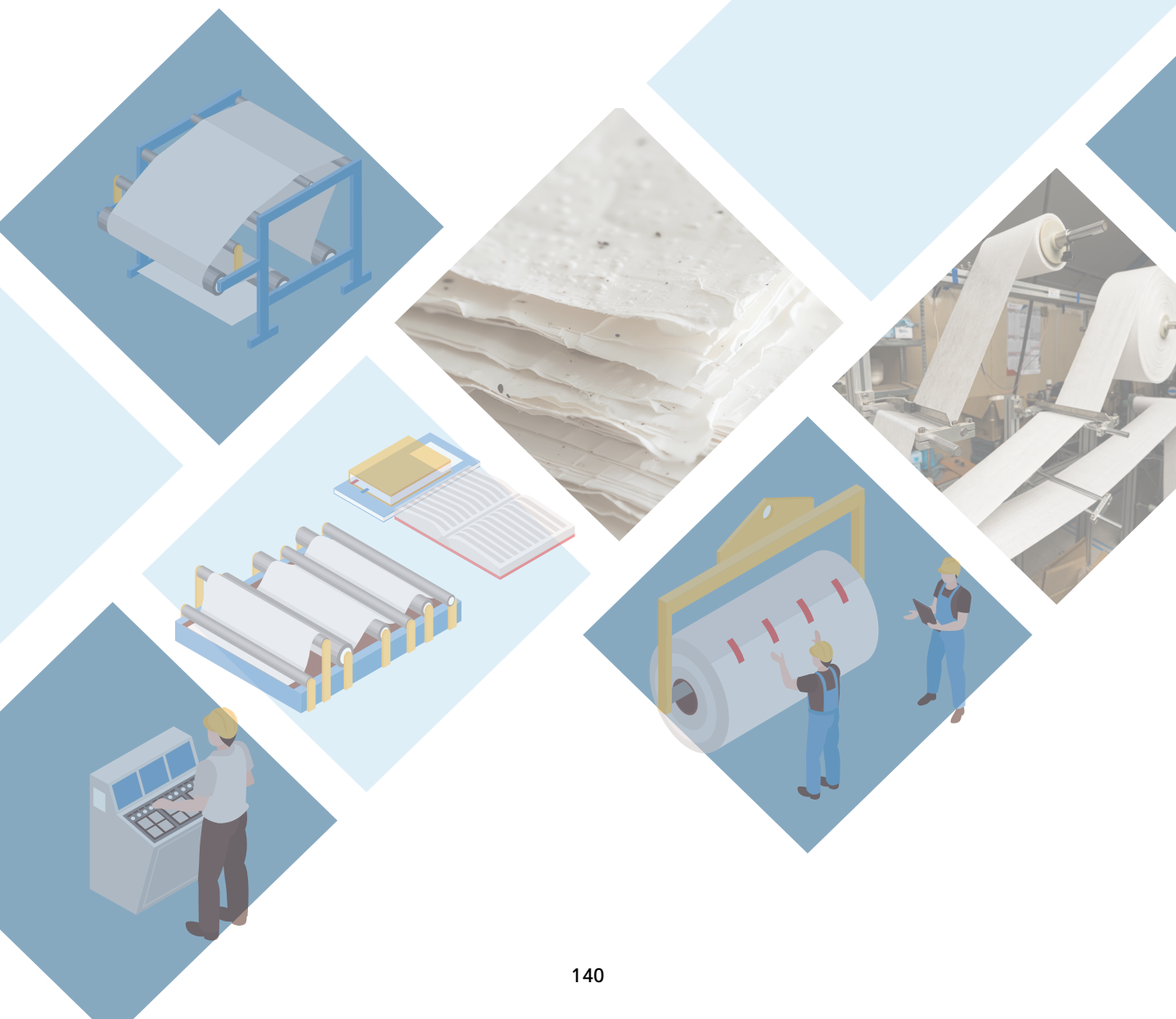
本彙編所收錄之各項減碳技術與實務案例，可廣泛應用於造紙產業鏈中之各製程環節，各項技術如：備漿製程應用技術、抄紙製程應用技術、公用系統應用技術等，不僅可單獨運用，亦可搭配應用在製程其他系統，惟參採時仍須考量個案適用性，依廠內現有設備運轉情形及製程需求等條件，進行經濟面、技術面、工程面及現場操作條件之改善規劃與效益評估。

各耗能設備或系統可應用之節能技術相當廣泛，本彙編收錄及分析較完整之節能應用案例，期能對造紙業鏈或相關技術領域之從業人員有參考與應用價值，並有助於國內推動產業減碳生產工作。

在碳有價化及外部成本內部化的國內外趨勢下，未來企業在面對減碳措施之投資規劃時，應將碳排放相關費用（例如：碳邊境稅、碳費、碳稅等），納入改善方案投資效益回收年限評估中，才能真實反映碳資產價值，在碳有價化的時代，企業進行低碳甚至零碳轉型才能實現永續營運目標。

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

參考文獻



參考文獻

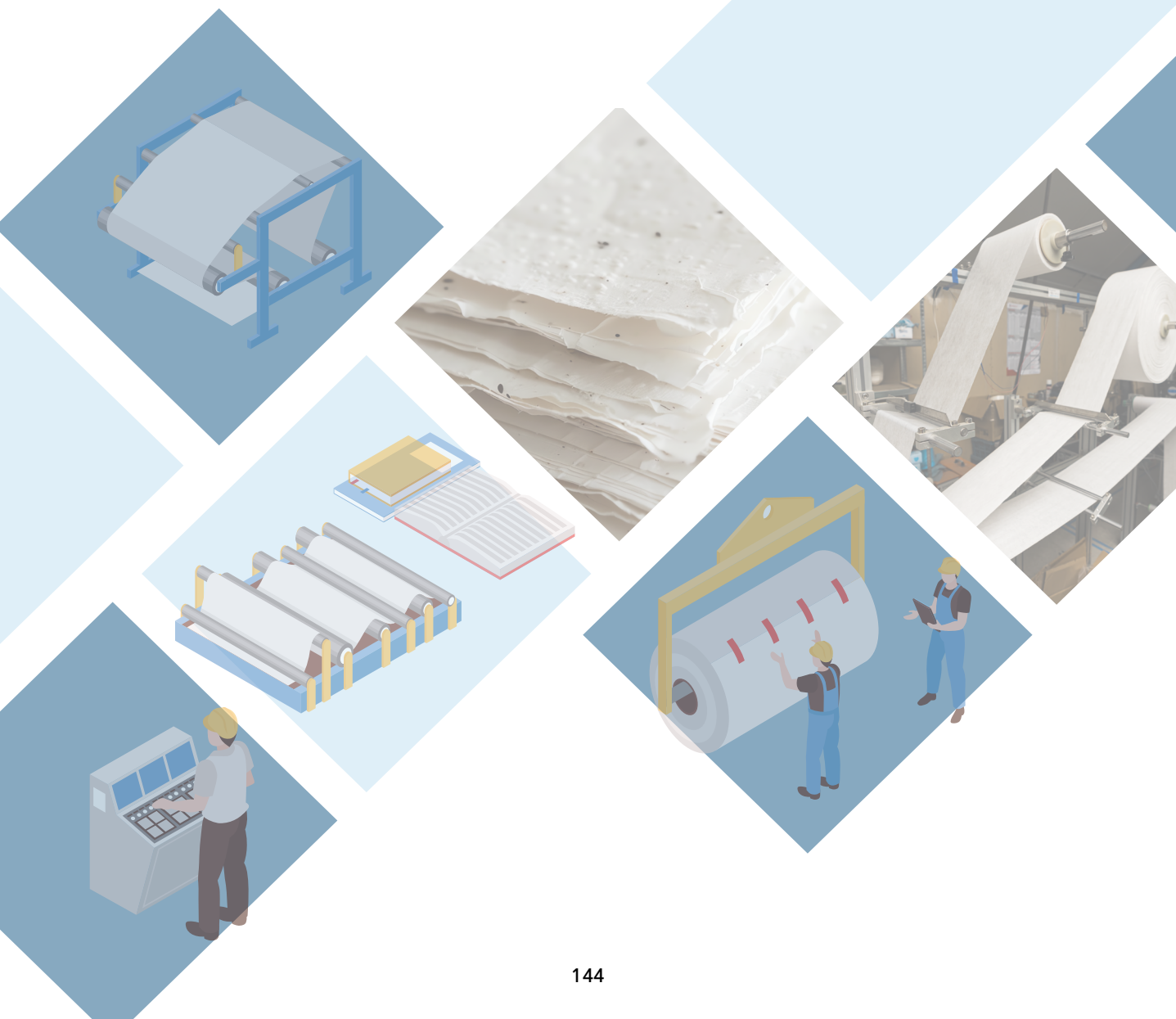
1. 環境部氣候變遷署，氣候變遷因應法，2023 年 2 月。
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0020098>
2. 環境部氣候變遷署，2024 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，2024 年 8 月。
3. 台灣區造紙工業同業公會
<https://www.paper.org.tw/>
4. 事業溫室氣體排放量資訊平台
https://ghgregistry.moenv.gov.tw/epa_ghg/
5. IEA, Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021 年 7 月。
6. 國家發展委員會，淨零轉型之階段目標及行動，2022 年。
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=733396F648BE2845
7. 經濟部產業發展署，製造部門 2030 年淨零轉型路徑報告，2022 年。
8. Carbon Border Adjustment Mechanism，歐盟碳邊境調整機制 - 背景說明與摘要，2023 年 5 月。
https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
9. 產業節能減碳資訊網，產業節能減碳資訊網，2017 年低碳製程技術研討會。
https://ghg.tgpf.org.tw/Resources/lecture_more?id=d1a24f183be240c3883c27c429bfc255
10. 經濟部能源署，2023 年度電力排碳係數。https://www.moeaea.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=26391

11. 經濟部能源署申報資料庫。
12. 生活廢棄物質管理資訊系統 (HWMS)
<https://hwms.moenv.gov.tw/dispPageBox/pubweb/pubwebHP.aspx?ddsPageID=EPATW1>
13. 綠色國民所得帳。
<https://www.stat.gov.tw/cl.aspx?n=2685>
14. 事業廢棄物申報及管理資訊系統 (IWR&MS)。
<https://waste.moenv.gov.tw/RWD/>
15. 尹勇軍, 李博倫, ZHAO JRH, 汪濱, 沈林, Chen S, 王双飛。2025。紙機乾燥通風系統現狀及研究展望, 第 1 部分: 裝備與技術。中國造紙, 44(02):132-141。
16. 白雯銳。2022。多圓盤過濾機在製漿造紙工程設計中的應用。中國造紙, 41(2):127-131。
17. 朱光雲。2016。高速衛生紙機靴式壓榨系統簡。中國造紙, 35(10):70-72。
18. 張靜, 王熙峰。2025。紙機傳動系統動態特性分析及優化設計。造紙裝備及材料, 54(238):4-6。
19. 彭元興。2020。靴壓及毛毯相互影響的探討。漿紙技術, 24(3):17-28。
20. 彭元興。2022。抄紙機烘缸汽袋通風系統。漿紙技術, 26(2):45-49。
21. 彭元興。2020。從設計、材料及操作改善靴壓的效能。漿紙技術, 24(2):45-55。
22. 彭元興。2019。乾燥部基礎 - 理論及應用實務。漿紙技術, 23(3):29-55。
23. 彭元興。2017。抄紙機真空系統設計實務。漿紙技術, 21(2):17-24。

24. 楊雅斐, 高啟帆, 湯偉, 張誠, 費旭勇, 鄭曉虎, 李欣雨。2025。紙機乾燥部能耗優化研究進展。中國造紙, 44(02):142-149。
26. Airtherm Corp. 2025. <https://airthermcorp.com/yankee-air-hood/>.
Cellwood Machinery. 2025. Krma hot disperser system. www.cellwood.sw.
27. Doyle J. 2005. Flatten your CD profile with headbox dilution profiling and a radial header, TAPPI.
28. Foulger MF. 2009. Dilution control technology for new or existing headboxes. IPPTA J. 21(1):81-83
29. Hubbe MA. 2024. Size press practices and formulations affecting paper properties and process efficiency: A review. BioResources 19(1):1925-2002.
30. Nakazato S. 2006. Operating experience of headbox with dilution control system. Japan TAPPI J. 60(8):1129-1132.
31. Suhr M, Klein G, Kourti I, Gonzalo MR, Santonja GG, Roudier S, Sancho LD. 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control).
32. Valmet, 2025. <https://www.valmet.com/tissue/services-for-tissue/field-services/advantage-visconip-press-services/>
33. Valmet. 2025. <https://www.valmet.com/tissue/machine-sections/pressingsection/>

114
年度 **造紙業**
減碳技術案例彙編

延伸閱讀



延伸閱讀

- 低碳生產技術彙編 - 紡織業低碳生產技術彙編 (2024 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 (2023 年)
- 低碳生產技術彙編 - 石化業低碳生產技術彙編 (2023 年)
- 低碳生產技術彙編 - 製程動力系統節能技術應用篇 (2022 年)
- 低碳生產技術彙編 - 製程冷卻系統節能技術應用篇 (2021 年)
- 低碳生產技術彙編 - 製程餘熱回收技術應用篇 (2021 年)
- 造紙業減碳技術案例彙編 (2020 年)
- 光電業減碳技術案例彙編 (2020 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 紡織業 (2020 年)
- 紡織業減碳技術案例彙編 (2018 年)





114
年度

114 年度 造紙業

減碳技術案例彙編

[illegible]



經濟部產業發展署
Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs

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.ida.gov.tw>