



紙漿、紙及紙製品製造業

產業用水最適化及
節水技術指引



目 錄

	頁次
第一章 產業概況說明 _____	1
一、 產業特性 _____	1
(一) 上游-紙漿製造業 _____	1
(二) 中游-紙漿加工製造 _____	1
(三) 下游-紙業進出口業務與銷售 _____	2
二、 製程特性 _____	3
(一) 機械製漿法 _____	4
(二) 化學製漿法 _____	4
(三) 化學紙漿 _____	4
三、 主要用水標的與用水情形 _____	6
第二章 水利三法相關子法、辦法事宜 _____	7
一、 用水計畫審核管理辦法 _____	7
二、 工業區用水管理機制-經濟部工業局產業園區用水管理作業原則 _____	7
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值 _____	8
第三章 用水最適化及回收再利用技術 _____	11
一、 製程用水最適化及回收再利用技術 _____	11
(一) 用水最適化 _____	12
(二) 水回收技術 _____	13
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術 _____	19
(一) 用水最適化 _____	19
(二) 水回收技術 _____	23
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術 _____	30
(一) 用水最適化 _____	30
(二) 水回收技術 _____	32
四、 放流水回收再利用技術 _____	34
(一) 水回收技術 _____	34
五、 其他水回收技術 _____	37
(一) 生活用水減量 _____	37
(二) 廠內用水管理 _____	37
(三) 雨水貯留供水系統 _____	38
(四) 區域水資源整合 _____	40



(五) 裝設連續監測系統	41
六、 小結	42
第四章 水回收再利用案例介紹	43
一、 案例 A 廠簡介	43
(一) 案例廠簡介	43
(二) 製程流程	43
(三) 廠內用水管理情形	44
(四) 用水效率提升方案	44
(五) 成本效益分析	47
二、 案例 B 廠簡介	49
(一) 案例廠簡介	49
(二) 製程流程	49
(三) 廠內用水管理情形	50
(四) 用水效率提升方案	50
(五) 成本效益分析	52
第五章 參考文獻	55

圖目錄

	頁次
圖 1 紙漿、紙及紙製品製造業生產價值百分比例	3
圖 2 製漿製造流程圖	3
圖 3 造紙製造流程圖	5
圖 4 抄紙製造流程圖	5
圖 5 紙漿、紙及紙製品製造業用水結構分析	6
圖 6 紙製品業製程廢水水質特性	11
圖 7 製程用水最適化及水回收技術	11
圖 8 高速纖維過濾器操作原理示意圖	13
圖 9 傳統砂濾機與高速纖維過濾器實體比較圖	14
圖 10 多圓盤過濾設備圖	14
圖 11 微過濾薄膜設備圖	15
圖 12 超過濾薄膜設備圖	16
圖 13 奈米過濾薄膜設備圖	16
圖 14 逆滲透薄膜設備圖	16
圖 15 薄膜生物處理系統示意圖	18
圖 16 薄膜生物處理系統設備圖	18
圖 17 薄膜生物流體化床處理示意圖	18
圖 18 冷卻用水最適化及水回收技術	19
圖 19 濃縮倍數與排放損失關係圖	20
圖 20 冷卻水塔加藥示意圖	21
圖 21 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	22
圖 22 冷卻水塔蒸發回收系統圖	23
圖 23 消霧節水冷卻水塔設備圖	24
圖 24 旁流過濾處理系統示意圖	25
圖 25 陶瓷球水處理理論圖	27
圖 26 陶瓷球水處理系統設備圖	27
圖 27 電透析薄膜處理系統原理示意圖	28
圖 28 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖	29
圖 29 鍋爐用水最適化及水回收技術	30
圖 30 開放式冷凝水回收系統原理示意圖	32
圖 31 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖	33



圖 32 放流水回收技術	34
圖 33 各種濾膜去除物質比較圖	35
圖 34 其他水回收技術	37
圖 35 雨水回收流程圖	38
圖 36 區域水資源整合型態示意圖	40
圖 37 監測連線傳輸設置圖	41
圖 38 案例 A 廠製造流程圖	43
圖 39 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	44
圖 40 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	46
圖 41 案例 B 廠製造流程圖	49
圖 42 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前)	50
圖 43 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)	51

表 目 錄

	頁次
表 1 紙漿、紙及紙製品製造業類別及定義表	2
表 2 產業園區用水管理作業原則摘要表	8
表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	8
表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表	9
表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值表	10
表 6 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	20
表 7 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	24
表 8 冷卻水塔蒸發回收之成本分析	24
表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較表	26
表 10 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例表	29
表 11 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較表	33
表 12 雨水處理設備與使用程度關係表	39
表 13 雨水截流系統設計值表	39
表 14 紙漿、紙及紙製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整表	42
表 15 案例 A 放流廢水水質表	45
表 16 水回收設施經費分析表	47
表 17 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	48
表 18 水回收方案實施前後水回收率變化表	48
表 19 水回收設施經費分析表	52
表 20 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	53
表 21 水回收方案實施前後水回收率變化表	53



第一章 產業概況說明

一、產業特性

根據行政院主計處所公告之「中華民國行業標準分類」(105年1月)，紙漿、紙及紙製品製造業為從事紙漿、紙張、紙板及其製品製造之行業，製造業類別如表 1 所示(行政院主計總處，行業標準分類，2016)。另依經濟部統計處公開資料顯示，紙漿、紙及紙製品製造業產值約為新台幣 1,814 億餘元，以瓦楞紙板及紙容器製造業及紙板製造業產值占比較高，合計約占紙漿、紙及紙製品製造業產值 65%，本產業生產價值百分比例如圖 1 所示(經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)。

造紙是以木材為主要原料，主要進行生產紙漿、紙、紙板及其他纖維基體產品，為民生基本工業之一，亦為國民經濟提供重要基礎材料工業；依照產品特性分析，可將本產業簡易區分為：上、中、下游三大類，以下將分別敘述(經濟部工業局，造紙業環保工安整合性技術手冊，2000)。

(一) 上游-紙漿製造業

造紙業的上游為紙漿製造業，其主要原料為紙漿與廢紙、木質纖維、蔗渣、木片等；經過備漿與散漿系統後製成紙漿或廢紙漿。目前國內紙漿生產廠商全國僅剩少數，扣除自用後，供給國內市場的量僅有三成，進口紙漿佔國內紙漿市場比例約七成，數量將近 80 萬噸，來自於智利、加拿大、巴西、印尼、美國等國，造成國內紙業行情與營運成本與國際紙漿、廢紙價格的連動性高(何振隆等，臺灣造紙產業之介紹，林業研究專訊，2015)。

(二) 中游-紙漿加工製造

造紙業的中游為紙漿加工，可製為文化用紙、工業用紙、家庭用紙、包裝用紙及特殊用紙等紙張與紙板產業。文化用紙包括銅板紙、道林紙、模造紙、證券紙、印刷紙、圖書紙、聖經紙、新聞紙、非碳複寫紙、電腦列印紙及其他文化用紙等；工業用紙包括牛皮紙板、瓦楞紙、包裝紙、灰紙板塗佈與非塗佈白紙板、紗管紙等；家庭用紙則包括衛生紙、衛生棉、紙尿褲、面紙、餐巾紙、紙巾、廚房用紙及醫療用紙等；特殊用紙則包括棉紙、宣紙、絕緣紙、機能紙、敬神紙及果袋紙等(產業價值鏈資訊平台，造紙產業鏈簡介)。



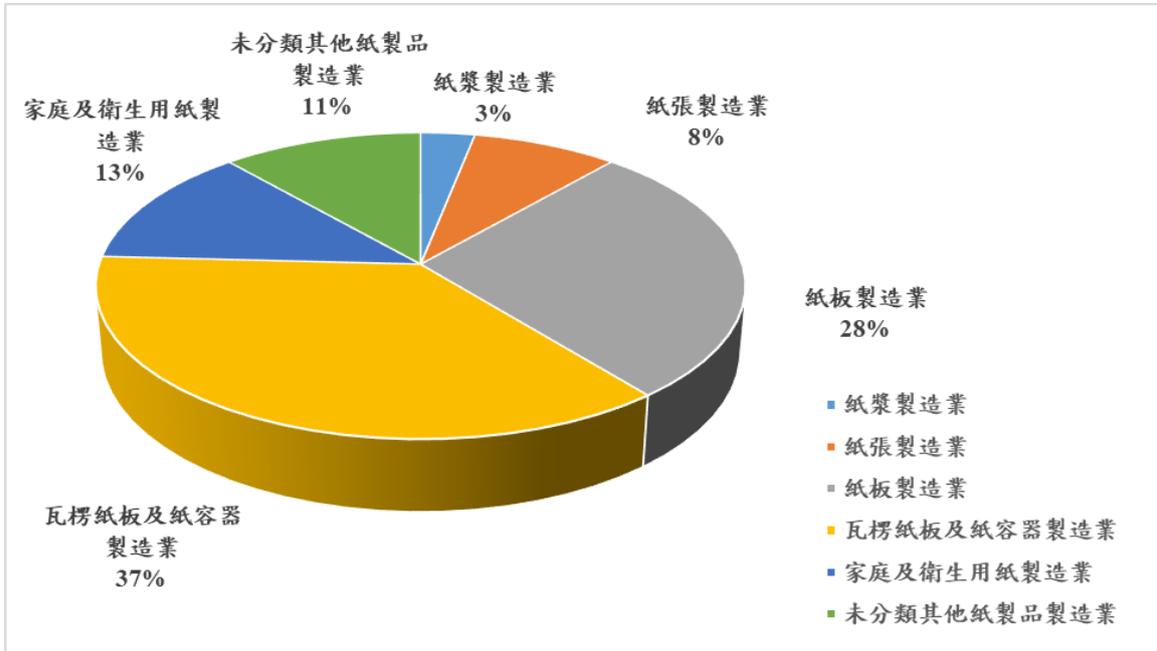
(三) 下游-紙業進出口業務與銷售

造紙業的下游則為紙業進出口業務與銷售，國內自 2002 年加入世界貿易組織 (World Trade Organization，簡稱 WTO) 後，紙漿進口降為零關稅，但出口仍有 5% 至 7% 關稅障礙，雖然國內紙張與紙板進口量明顯成長，但國內造紙業為營運需求，不得不把部分產量設法外銷，且隨著下游產業的外移，因此造紙廠也進而跟隨客戶進行海外設廠作為因應，逐漸外移至大陸與越南 (產業價值鏈資訊平台，造紙產業鏈簡介)。

表 1 紙漿、紙及紙製品製造業類別及定義表

分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	15			紙漿、紙及紙製品製造業 從事紙漿、紙張、紙板及其製品製造之行業。
		151		紙漿、紙及紙板製造業 從事以木材、竹、草、蔗渣、廢布、廢紙、下腳棉花及其他植物纖維製造紙漿，及以紙漿為原料製造紙張及紙板之行業。
			1511	紙漿製造業 從事以木材、竹、草、蔗渣、廢布、廢紙、下腳棉花及其他植物纖維製造紙漿之行業。
			1512	紙張製造業 從事以紙漿為原料製造紙張之行業，如銅版紙、道林紙、模造紙、新聞紙等製造。
			1513	紙板製造業 從事以紙漿為原料製造紙板之行業，如黃紙板、白紙板、瓦楞芯紙、牛皮紙板等製造。 不包括： 瓦楞紙板製造歸入 1520 細類「瓦楞紙板及紙容器製造業」。
		152	1520	瓦楞紙板及紙容器製造業 從事瓦楞紙板製造，及以紙板、瓦楞紙板、浸蠟紙、強力紙等製造之容器、紙袋或紙棧板之行業，如紙杯、紙盒、紙袋、紙板箱、瓦楞紙箱等製造。 不包括： 信封及紙漿模塑包裝製品製造歸入 1599 細類「未分類其他紙製品製造業」。
		159		其他紙製品製造業 從事 151 及 152 小類以外紙製品製造之行業。
			1591	家庭及衛生用紙製造業 從事家庭及衛生用紙製造之行業，如面紙、餐巾紙、衛生紙等製造；衛生棉及紙尿褲等製造亦歸入本類。 不包括： 不織布紙巾製造歸入 1130 細類「不織布業」。
			1599	未分類其他紙製品製造業 從事 1591 細類以外其他紙製品製造之行業，如電腦報表紙、複寫紙、信封、壁紙、神紙 (冥紙) 等。 不包括： 感光紙製造歸入 1990 細類「未分類其他化學製品製造業」。 砂紙製造歸入 2391 細類「研磨材料製造業」。 紙牌及紙製玩具製造歸入 3312 細類「玩具及遊戲機製造業」。

(資料來源：行政院主計處，行業標準分類，2016)



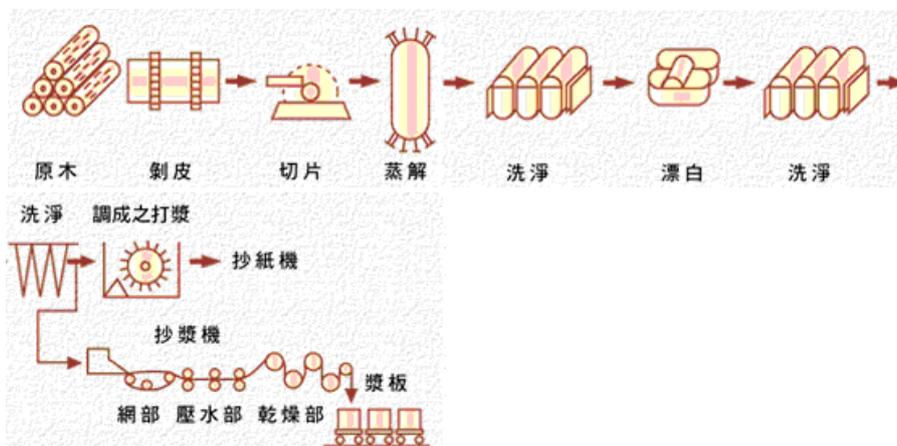
(資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)

圖 1 紙漿、紙及紙製品製造業生產價值百分比例

二、製程特性

本小節將針對紙漿、紙及紙製品製造業分項中，紙漿、紙及紙板製造業、瓦楞紙板及紙容器製造業等，分別概述其製程特性。

製漿為造紙的第一步，一般將木材轉變成紙漿的方法有機械製漿法、半化學製漿法及化學製漿法等三種，製造過程如圖 2 所示(中華紙漿公司，現代蔡倫-製漿過程)。



(資料來源：中華紙漿公司，現代蔡倫-製漿過程)

圖 2 製漿製造流程圖

(一) 機械製漿法

所謂機械製漿法是利用磨木機將木材磨碎成紙漿。因木材組織堅硬，在磨木過程中會將木材纖維磨斷，故此種紙漿生產之紙張紙力較弱。此外，此種紙漿含有不利於紙張保存之木質素，故紙張性質不穩定，遇光容易變色，常見的新聞紙主要是由此種紙漿製造而成。

(二) 化學製漿法

半化學紙漿是木材先經輕度化學藥品處理，使木材組織部分軟化後，再利用機械磨成紙漿，此類紙漿一般做為紙板原料。

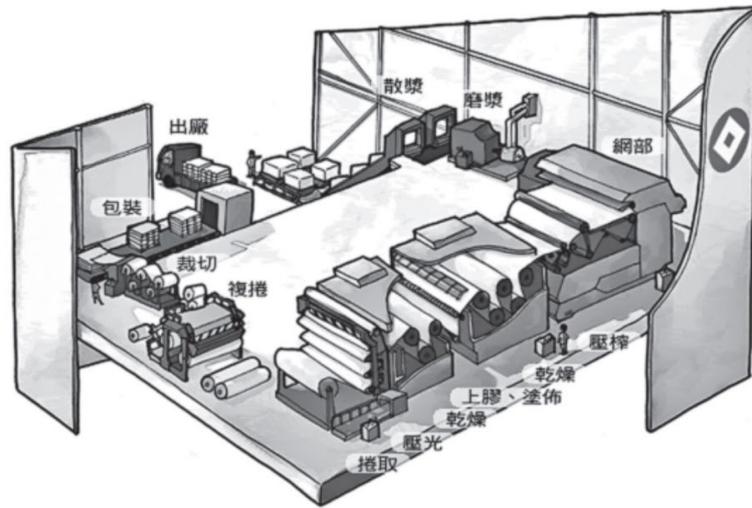
(三) 化學紙漿

利用化學藥品將木材中大部分木質素進行溶除，使纖維各自分離成紙漿，此種紙漿纖維形態完整，可溶解除去大部分木質素及樹脂等不純物質，故紙漿品質較佳，適合製造高級紙張。

當木材纖維已經製造成為紙漿，抄紙部門將進行紙漿均勻的交織和脫水，最後透過乾燥、壓光、捲紙、裁切、選別及包裝等程序，完成造紙作業，造紙流程如圖 3 所示 (陳忠輝，造紙產業永續經營與地球資源善用之探討，印刷科技，2015)。

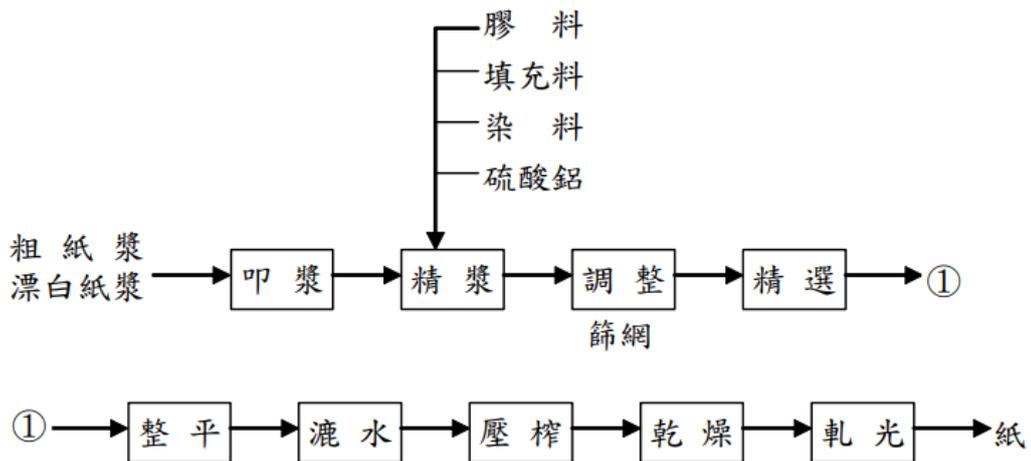
在整個造紙生產作業中，製漿及抄紙作業為主要的製程耗水單元，製漿作業中，除渣、洗漿、漂洗等過程中，往往產生大量的洗滌廢水，主要來源為備料室廢水、蒸煮廢液、篩選室及漂白廠廢水，其中以蒸煮廢液污染度最高，根據廢紙來源和生產的差別，洗滌廢水的特性有所不同；抄紙過程由製紙機械室排出之廢水常含有各種填充料，如白土或漂白纖維，故稱為白水，抄紙的製造流程如圖 4 所示 (經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術 - 造紙業介紹，2013)。

以上生產製造所產生之污染物質，則可分為懸浮性固體物、溶解性有機物及溶解性無機物等三大類。



(資料來源：陳忠輝，造紙產業永續經營與地球資源善用之探討，印刷科技，2015)

圖 3 造紙製造流程圖



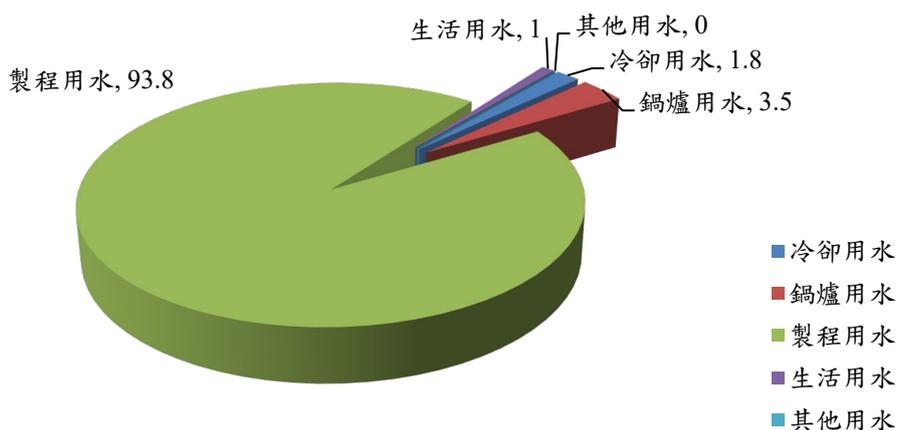
(資料來源：經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術－造紙業介紹，2013)

圖 4 抄紙製造流程圖



三、主要用水標的與用水情形

根據經濟部水利署 106 年工業用水量統計報告資料顯示，紙漿、紙及紙製品製造業占全國面積為 894.46 公頃，年用水量為 241.98 百萬立方公尺，單位面積日用水量為 1,030 立方公尺/公頃/日（經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017）。另依據經濟部工業局調查資料顯示，紙漿、紙及紙製品製造業用水結構可分為製程用水、間接冷卻用水、鍋爐用水、生活用水及其他用水，根據統計資料顯示，由於紙漿、紙及紙製品製造業於製程作業中，製漿及抄紙作業需使用大量用水，用水結構分析如圖 5 所示，顯示製程用水比例可高達 93.8%（經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）。



（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

圖 5 紙漿、紙及紙製品製造業用水結構分析

第二章 水利三法相關子法、辦法事宜

節水三法包括再生水資源發展條例（以下稱再生水條例）、水利法，及自來水法等，陸續於 104 年訂定或 105 年修正並完成公告，相關子法修正包括用水計畫審核管理辦法中規定工業區需補提用水計畫及「再生水用於工業用途水質基礎建議值」訂定等法令，對產業影響較大，因此，茲就上述相關水利法令及工業區研擬之用水管理機制進行說明。

一、用水計畫審核管理辦法

依據水利法第 54-3 條第 6 項規定，除農業用水外，經目的事業主管機關核定之開發行為實際用水量達一定規模，且未提出用水計畫者，中央主管機關得令開發單位或用水人限期提出用水計畫。「用水計畫審核管理辦法」業經多次協商，經濟部 107 年 6 月 28 日公告修正完成。

主要依水利法第 54 條之 3 第 6 項規定，開發行為前一年度實際用水量達 3,000 CMD (Cubic Meter per Day，簡稱 CMD) 以上之園區型態開發行為，如現況存續之原開發單位不具用水管理權責者，以達一定規模 (300 CMD 以上) 之區內用水人共同委託原開發單位，且與其並列為開發單位之模式共 23 座工業區分階段提出用水計畫；已完成或提送中工業區包括雲林科技工業區、台南科技工業區、彰濱工業區共 3 座工業區；另用水量未達 3,000 CMD 或已達 3,000 CMD 以下工業區共 29 座，暫不需補提工業區用水計畫。

應辦理補提之工業區，依用水量大小分 3 階段進行提送，各階段辦理期程如下說明：

1. 第 1 階段 (108.06)：用水量達 30,000 CMD 以上工業區，雲林離島式、觀音、新竹、中壢、林園、臨海及龍德等 7 座工業區。
2. 第 2 階段 (108.12)：用水量達 10,000~30,000 CMD 工業區，共 9 座工業區。
3. 第 3 階段 (109.06)：用水量達 3,000~10,000 CMD 工業區，共 7 座工業區。

二、工業區用水管理機制-經濟部工業局產業園區用水管理作業原則

為有效管理區內用水人之用水暨合理調度水資源，管理機構應檢視用水人需求與水資源供給能相互配合且符合節約用水政策，並針對核定之用水計畫實際用水進行管理，以達《用水總量管制目標》。依據《用水計畫審核管理辦法》第六條「用水計畫經核定後，開發單位應於用水計畫之各年度計畫用水量範圍內，依總量

管制原則自行調度分配及管理區內個別用水人之用水...」。因此，針對園區內已有/補提用水計畫之工業區，研擬產業園區用水管理機制，希冀後續能準確掌握園區用水情形，達到用水彈性調配，並符合多元化之用水需求。

本原則參考本部水利署訂定之《用水計畫審核管理辦法》制定，全文共計 13 點，各點訂定原則摘要如表 2 所示，本原則主要規範對象為新設或既設用水人，其計畫用水量或增加用水量達 100 CMD 以上，且針對受規範之用水人，除於條文中明訂每年 3 月 1 日及 9 月 1 日，依管理機構指定之申報方式，申報上半年現況用水情形外，對於後續之查核機制、供水調度及裁罰機制等亦詳列於條文中，希冀透過本原則之擬訂，可強化區內穩定供水之目標。

表 2 產業園區用水管理作業原則摘要表

經濟部工業局產業園區用水管理作業原則摘要	
(第一點)	本要點訂定主旨
(第二點、第三點)	管理對象及用水計畫提送流程
(第四點、第六點及第七點)	管理機構調度分配及管理區內用水人事項
(第五點、第九點及第十點)	審核用水計畫之相關作業規範
(第八點、第十一點、第十二點)	用水人用水狀況查核申報之相關作業規範
(第十三點)	用水人未依規定辦理之處理方式

本原則業於 20190515 依經濟部工業局令（工地字第 10800465112 號）正式公告，本（108）年將針對已有全區用水計畫之工業區（彰濱、雲科工、台南科技）辦理園區用水管理，後續將根據各工業區用水計畫核定時程進行區內用水管理，以利後續園區用水總量管制。

三、再生水用於工業用途水質基礎建議值

再生水水質標準之訂定乃考量產業工業製程及各類用途相異，需求之水質標準不一，為找尋一平衡點，依照工業用途將再生水水質分為 Class A, B, C 三級，依照用水單元評估用水水質所需要增設之水再生設施與處理單元，分級方向及應用方向建議參考表 3，各級用水建議值於表 4 所示。

表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表

項目	再生水品質	標的用途	建議處理程序	水質規格
Class A	最高	高階工業用水 鍋爐給水	過濾+微濾/超濾+逆滲透+消毒程序	幾可達飲用水標準及工業高階用水品質程度
Class B	次之	工業冷卻水系統之系統水	過濾+微濾/超濾+消毒程序	可達工業冷卻用水品質程度
Class C	再次之	工業用水	過濾+消毒程序	

（資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016）

表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表

水質參數	Class A	Class B	Class C
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度 (NTU)	2	2	2
色度	5	10	10
臭味/外觀	無不舒適感	無不舒適感	無不舒適感
BOD ₅ (mg/L)	-	-	最大限值 15 以下且 連續 7 日平均限值 10 以下 (以生活污水 為水源)
COD (mg/L)	-	30	
TOC (mg/L)	0.5		
總溶解固體物 (mg/L)	100	800	
電導度 (μS/cm)	250	-	
氨氮 (mg/L)	0.5	5	5
硝酸鹽氮 (mg/L)	15		
總硬度 (mg/L as CaCO ₃)	50	400	850
硝酸鹽類 (mg/L)	5		
氟化物 F ⁻ (mg/L)	0.5		
氯化物 Cl ⁻ (mg/L)	20		
二氧化矽 (mg/L)	3		
總三鹵甲烷 (mg/L)	0.08		
餘氯 (mg/L)	2	1	結合餘氯：0.4 自由餘氯：0.1
大腸桿菌群 (CFU/100mL)	不得檢出	10	
總菌落數 (CFU/100mL)	不得檢出		
硼 B (mg/L)	0.5		
鐵 Fe (mg/L)	0.04		
錳 Mn (mg/L)	0.05		
鈉 Na (mg/L)	20		
鋁 Al (mg/L)	0.1		
鋇 Ba (mg/L)	0.1		
鈣 Ca (mg/L)	4		
銅 Cu (mg/L)	0.05		
鋅 Zn (mg/L)	0.1		
銻 Sr (mg/L)	0.1		

(資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016)



「再生水資源發展條例」及「再生水水質標準及使用遵行辦法」已規範國內再生水基礎水質標準，且依再生水示範案推動經驗，國內再生水主要作為工業用水使用，而隨著產業使用用途不同，用水端對於水質項目及標準也有不同的需求，為縮短未來再生水經營業與需水端協商時程，儘速達成共識，似有訂定再生水供應各類工業用途水質建議值之必要，經多次開會協商後於 107 年 6 月 28 日經授水字第 10720208640 號公告如表 5 所示。

表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值表

項目	單位	建議最大容許量		
		製程用水	鍋爐用水	冷卻用水
pH	-	6.0~8.5	7.0~9.0	6.0~8.5
濁度	NTU	2		4
總有機碳 (TOC)	mg/L	5		10
總溶解固體 (TDS)	mg/L	150		500
導電度	μS/cm	250		800
總硬度	mg/L as CaCO ₃	50		400
氯鹽	mg/L	20		-
硫酸鹽	mg/L	50		250
氨氮	mg/L	2		10
硝酸鹽氮	mg/L	10		-
二氧化矽	mg/L	-		25

備註：

1. 本基礎建議值之擬訂，係以供製程及鍋爐用水之原水，並近似自來水水質為原則。
2. 本建議值所列水質項目與數值僅作為再生水供需媒合協商之參考基礎，不限於此，若使用者另有特殊處理程序、水質項目與數值之需求，應另行協商制定之。
3. 本基礎建議值所指各類工業用水用途，其定義係參照經濟部經授水字第 10620211140 號令，「用水計畫書件內容及格式」之附件四、用水平衡圖繪製說明，說明如下：
 - (1) 製程用水：指作為原料的水或製造過程中原料或半成品進行化學反應或物理作用所需的水。同時亦包括作為原料、半成品與成品、機具、設備等與生產有關之清洗用水等，均可歸納為製程用水。
 - (2) 鍋爐用水：指提供生產、加熱或發電所需蒸氣，在鍋爐內進行汽化所使用的水稱之，包括鍋爐給水與鍋爐水處理用水等。
 - (3) 冷卻用水：指吸收或轉移生產設備、製品多餘熱量，或維持正常溫度下工作所用之水。可區分為：直接冷卻用水係指被冷卻物表面直接與水接觸達到冷卻效果；間接冷卻用水係指經過熱交換器而間接達到冷卻效果。另外空調用水係指工作場所或製程中所需溫、濕度控制調節之用水，亦歸類為間接冷卻用水的一種。
4. 本建議值僅作為各項工業用水用途之原水水質參考，使用者取得此原水後，應依據各類用水單元水質需求，另行預處理之，如製程用水可再經純化處理，鍋爐用水則需經軟化處理，並符合 CNS10231B1312 鍋爐規章（鍋爐給水與鍋爐水水質標準）。
5. 再生水用於冷卻水用途，若冷卻水塔採開放式系統且可能產生飛濺噴沫者，建議可增加大腸桿菌群或總菌落數等水質項目，其基礎值可參考「再生水水質標準及使用遵行辦法」。

第三章 用水最適化及回收再利用技術

本節依據產業用水特性，分別針對製程用水、冷卻用水、鍋爐用水及放流水最適化及回收再利用技術，及其他回收或用水減量方案等，摘要說明如下：

一、製程用水最適化及回收再利用技術

紙漿、紙及紙製品製造業中如：銅板紙、牛皮紙、紙盒、衛生紙及宣紙等，從原料的紙漿調和到紙張抄紙作業，皆屬製程用水最大耗水項目，為紙漿、紙及紙製品製造業最大量用水單元，相關製程廢水水質特性如圖 6 所示，各項用水最適化及水回收技術如圖 7 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

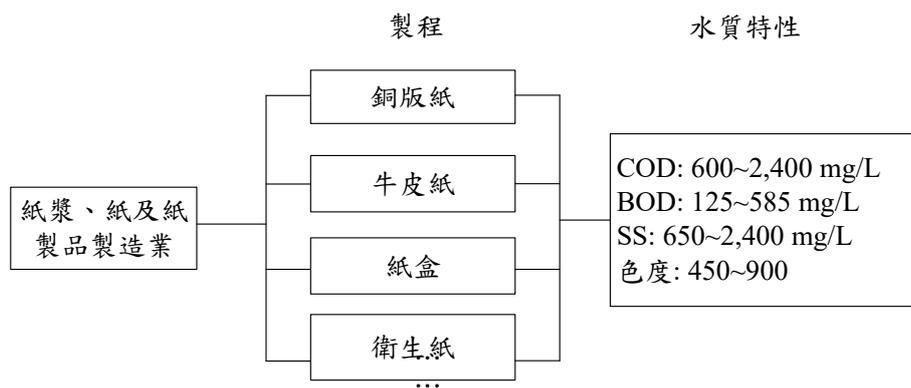


圖 6 紙製品業製程廢水水質特性

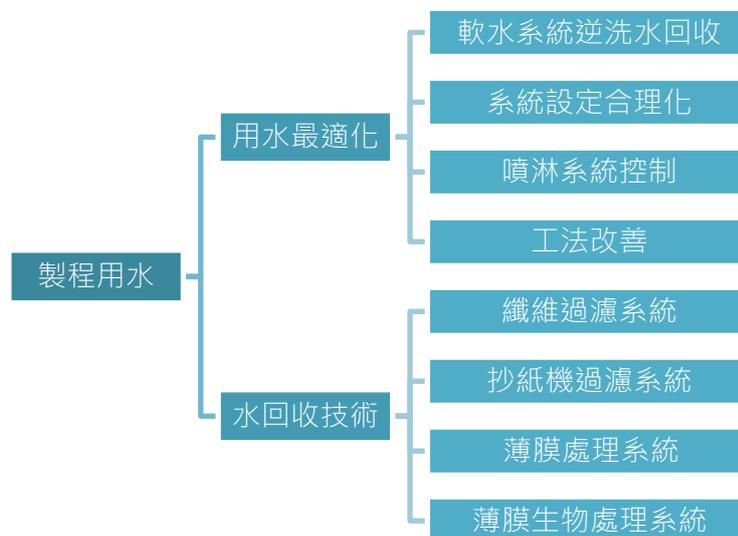


圖 7 製程用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 軟水系統逆洗水回收

紙漿製漿過程中，水中溶解物及金屬離子會產生吸附機能，會影響後端生產的成品紙品質，目前國內尚有部分造紙行業用水源自地下水，因此軟水系統（顧名思義即降低水硬度的設備），可達到去除水中的鈣離子、鎂離子、活化水質、殺菌滅藻及防垢除垢等功效（彭振洋，造紙工業用水之水量、水質需求及廢污水處理再生利用，水利產業研討會，2006）。

當該系統使用達飽和階段後，需進行相關再生程序如：逆洗、靜置、注鹽、沉澱及順洗等，以恢復正常造水，雖然前段逆洗、注鹽及初期順洗程序因含大量雜質及高導電度不適合回收，後段順洗程序因導電度已趨近自來水，且雜質含量低，故可進行回收，此回收水導電度約等同自來水，惟因可能含少量雜質，如欲導入冷卻水塔使用可先經過簡單的小型砂濾或袋濾設備，亦量混入自來水池重新分配使用，以重複使用水資源。

2. 系統設定合理化

抄紙機之損紙系統設計是否合理，會嚴重影響到白水系統、漿料調成系統、紙機運轉性及纖維流失量等作業。在一般操作時，低水量的噴淋管及小型汞即可符合需求，但若發生斷紙時，需啟動高水量的噴淋管來協助散漿。損紙散漿機之濃度建議管控在**3.5%**以上，損紙漿儲槽的容積可用**3.5%**損紙漿濃度來計算，經計算後之儲槽容量須達到處理斷紙**1**小時所產生之斷紙量。

3. 噴淋系統控制

由於清洗毛毯的用水量跟生產的紙張面積成正比，因此建議可採用先進設計的紙機毛毯設備做清洗，紙面毛毯使用低壓噴淋管，水壓在**5~7 kg/cm²**。其反面則使用摺動噴淋管，連續式的水壓在**15~25 kg/cm²**；間歇式的水壓在**30~50 kg/cm²**，其頻率在**1 hr/cycle**（彭元興，紙廠用水的合理化管理，2013）。

傳統長網機大概有**40**多處需要噴淋管清洗，因此用水量相當高，一噸紙約需**20~25**噸清水。其可降低用水量的措施如下：

- (1) 減少噴淋點
- (2) 白水回收機回收纖維所產生為清白水，可代替清水的位置，應儘量使用清白水
- (3) 採用新型噴嘴，用較少的水量獲得較佳的噴淋效果、採用適宜的噴淋壓力

4. 工法改善

- (1) 木材剝皮方法之改進：採用濕法製漿時，廢水應設法循環再用；改用乾法時，樹皮可用於燃燒機
- (2) 漂白系統之改良：採用氧/鹼、臭氧漂白；採用多段式清洗法，以有效清洗
- (3) 用水合理化：廢水分級使用或處理水回收再用；漿料保持適當濃度，避免過量稀釋

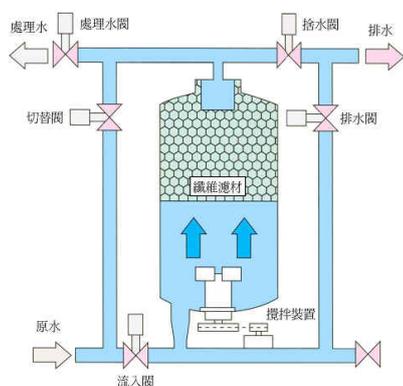
(二) 水回收技術

1. 纖維過濾系統

纖維過濾系統依內部構造及採水方式分為三大類型，分別為囊式過濾、浮動板式及調節板式。囊式過濾器內置水囊一個或數個，可調整囊的充水壓力，以控制纖維密度得到較高精度的水質；浮動板式為纖維上放置浮動板，浮動板隨水力上浮或下沉，有良好的過濾精度及污容量；調節板式其纖維固定板可調整在適當位置，可適度攔截水中固形物，產生高截污的功效（全澤股份有限公司）。

高速纖維過濾器是以旋翼式纖維濾料為技術核心，此濾料具有顆粒濾料反沖洗洗淨度高、反沖洗及初濾水耗水量少、纖維過濾料比表面積大、過濾精度高、截污量大、濾床空隙率高等優點；同時還具有適應不同介質能力強、反沖洗效果好、濾床利用率大的特點，特別適合於中水回用系統中固體懸浮物過濾，其操作原理如圖 8 所示（百度百科·纖維過濾器）。

對於造紙作業製程廢水中，通過纖維過濾物理處理的手段，除去水體中固體顆粒物，減少出水懸浮物。相較於典型的砂濾過濾的方式，除上述優點外，更具有節省用地及安裝費用的優勢，沙濾設備跟高速纖維過濾設備實際體積比較如圖 9 所示。



形狀：片狀纖維上浮濾材
材質：PP
空隙率：92%
真比重：0.8~0.92
濾材壽命：5年以上

（資料來源：鼎暉國際股份有限公司）

圖 8 高速纖維過濾器操作原理示意圖



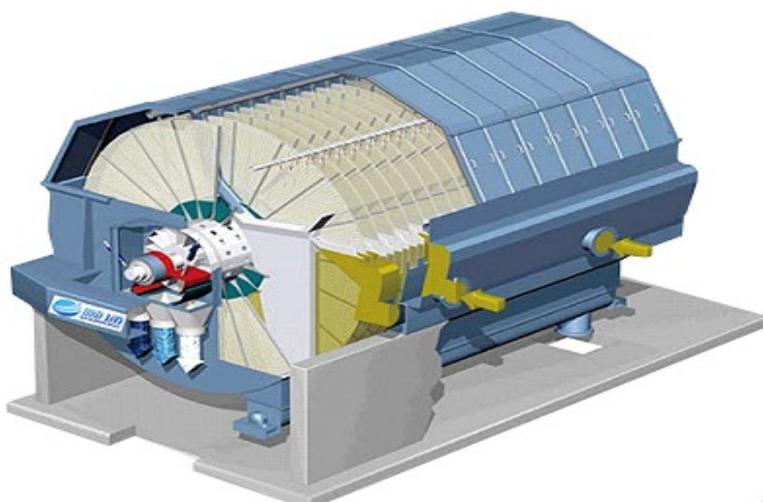


(資料來源：鼎暉國際股份有限公司)

圖 9 傳統砂濾機與高速纖維過濾器實體比較圖

2. 抄紙機過濾系統

造紙作業中，抄紙機毛毯經過壓平作業時，毛毯內多餘的紙漿清洗水會因壓平作業而擠出，其清洗水經過濾、儲存後可回收做為抄紙機使用。利用過濾及重力沉澱等機制，使回收水及沉降紙漿回用至散漿槽體，以降低原水及原物料的成本，造紙業常見紙機過濾設備如圖 10 所示。



(資料來源：山東順通科技有限公司)

圖 10 多圓盤過濾設備圖

3. 薄膜處理系統

為使廢水中污染物質達到分離效果，薄膜就是介於兩流體間阻隔的界面，具有限制或調節某些物質通過的功能。薄膜就像是多孔性的一面牆，只允許較小的水分子（稱為濾液）通過孔洞到達膜的另一側，而體積較大的分子被薄膜阻擋滯留在原來的一側，藉此達到分離純化的目的。

薄膜分離技術，如微過濾(Microfiltration，簡稱 MF)、超過濾(Ultrafiltration，簡稱 UF)、奈米過濾(Nanofiltration，簡稱 NF)和逆滲透薄膜系統(Reverse Osmosis，簡稱 RO)等應用於造紙工業廢水的處理，實現廢水的高層次回用，相關設備實體如圖 11 至圖 14 所示，根據 Jonsson 和 Wimmerstedt 所發表內容顯示，採用超濾技術可將紙機白水中 99% 的懸浮物分離出來，經超濾後的清水不但可用於洗網，而且可用於洗毛布，從而達到白水全部回用 (Jonsson A S，Wimmerstedt R，The Influence of A Low-molecular Hydrophobic Solute on the Flux of Polysuphone Ultrafiltration Membranes with Different Cut-off [J]，J MembrSci，2007，106：9-16)。另根據相關工程應用實例資料顯示，膜分離具有良好的去除懸浮物、(Chemical Oxygen Demand，簡稱 COD) 及鹽分的效果，但一次性投資所需經費較高，因此使用情況尚未普及 (劉俊華等，造紙工業廢水深度處理技術的研究，2014)。



(資料來源：MGC Contractors, Inc.)

圖 11 微過濾薄膜設備圖





(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015)

圖 12 超過濾薄膜設備圖



NANOFILTRATION SYSTEMS

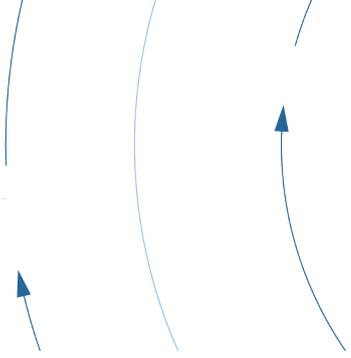
(資料來源：Enviromatch, Inc.)

圖 13 奈米過濾薄膜設備圖



(資料來源：廣源造紙股份有限公司，RO 逆滲透系統)

圖 14 逆滲透薄膜設備圖



4. 薄膜生物處理系統

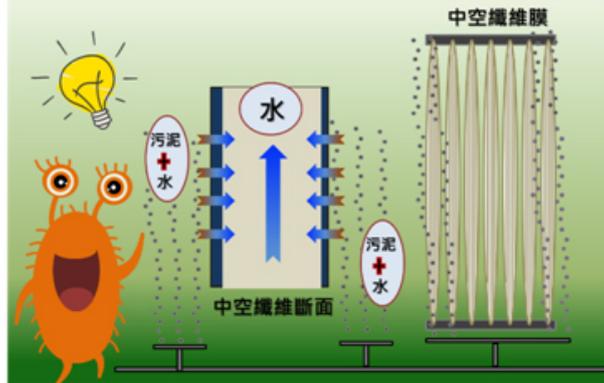
薄膜生物處理系統 (Membrane Bio-Reactor, 簡稱 MBR) 是透過薄膜分離及生物反應兩者技術結合所衍伸的處理系統, 透過薄膜進行固液分離, 為廢水管末處理技術, 主要降低水中 COD 及懸浮固體 (Suspended Solids, 簡稱 SS)。利用膜分離裝置將生化反應池中的活性污泥和大分子有機物質有效截留, 替代二沉池, 大大提高生化反應池中的活性污泥濃度 (生物量); 分別控制水力停留時間 (Hydraulic Retention Time, 簡稱 HRT) 和污泥停留時間 (Sludge Residence Time, 簡稱 SRT) 的, 難降解的大分子有機物質被截留在反應池中, 不斷反應、降解。與傳統的生物處理系統相比, 具有生化效率高、抗負荷衝擊能力強、出水水質好且穩定、占地面積小、排泥週期長及易自動控制等優點, 生物薄膜處理系統如圖 15 所示, 設備實體圖如圖 16 所示。相對於活性污泥系統而言, 生物膜系統具有如下顯著優點: 高容積負荷、更強的抗毒能力和耐負荷衝擊能力且無須回流污泥 (劉俊華等, 造紙工業廢水深度處理技術的研究, 2014)。此處理系統雖具有良好的處理效益, 但由於薄膜易受污染, 薄膜壽命短而提高造水成本, 限制薄膜生物處理系統在水處理的應用 (Wang X M, Li X Y, Huang X. Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (SMBR): Characterisation of the sludge cake and its high filtration resistance. Separation and Purification Technology, 2007 ; Khongnakorn W, Wisniewski C, Pottier L, et al. Physical properties of activated sludge in a submerged membrane bioreactor and relation with membrane fouling. Separation and Purification Technology, 2007)。

有鑑於此, 目前針對 MBR 系統為基礎, 加上某種功能性載體來改善混合液性質, 以減輕薄膜污染之薄膜生物流體化床 (Membrane Biological Fluidized Bed, 簡稱 MBFB), 是以粉末碳 (Powdered Activated Carbon, 簡稱 PAC) 為載體, 結合薄膜生物處理系統的固液分離技術, 處理系統及活性碳的物理吸附、微生物降解及膜的高效分離作用為一體, 使水體中難以降解的小分子有機物與在曝氣條件下處於流體化狀態的活性碳粉末進行充分地質傳、混合並且被吸附匯集在活性碳表面, 使活性碳表面形成局部污染物濃縮區域, 設備作業處理流程示意如圖 17 所示, 圖 17 中之厭氧池主要是要降解有機物, 若要進行脫硝, 則需改為缺氧池 (清晏環保科技有限公司, MBFB 膜生物流體化床工藝, 2015)。

根據相關研究顯示, 相較於 MBR 系統, MBFB 延長薄膜過濾週期、減緩游離細菌對膜孔的阻塞及污染及提高過濾性能 (郭楊等, 膜生物流體化床的膜污染控制特性, 南京大學學報, 2009), 經過 MBFB 系統處理後的出水, 回用率可達 80%。同時 MBFB 技術也可作為逆滲透作業的前處理設施, 可直接進入反滲透膜進行脫鹽, 而不必經過複雜的處理程序 (劉定平, 廣州宇津環境科技有限公司, 2014), 該股處理後的水源除作為次級用水單元使用, 亦可導入製程單元與原水混合再利用, 降低原水源取水使用量。



薄膜生物處理系統-中空纖維膜



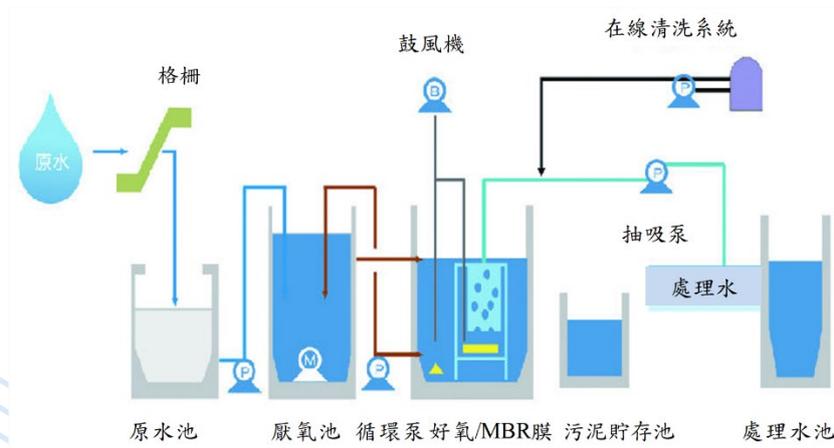
(資料來源：財團法人環境與發展基金會)

圖 15 薄膜生物處理系統示意圖



(資料來源：群揚材料股份有限公司)

圖 16 薄膜生物處理系統設備圖



(資料來源：華安潤邦環境科技有限公司)

圖 17 薄膜生物流體化床處理示意圖

二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水單元主要作用為降低設備溫度、轉移熱源及避免機械設備過熱等，在紙漿、紙及紙製品製造業中，因製程模式多數為原料攪拌混合抄紙烘乾即可得到相關產品，多數皆於常溫壓下作業，因此對於製程使用冷卻水塔進行降溫需求僅佔少數，冷卻水中的鹼度、硫酸根離子及總溶解固體等，皆會影響到冷卻水的濃縮倍數，因此相關冷卻水水質標準可參照第二章表 4 及表 5，各項冷卻用水最適化及水回收相關技術如圖 18 所示。

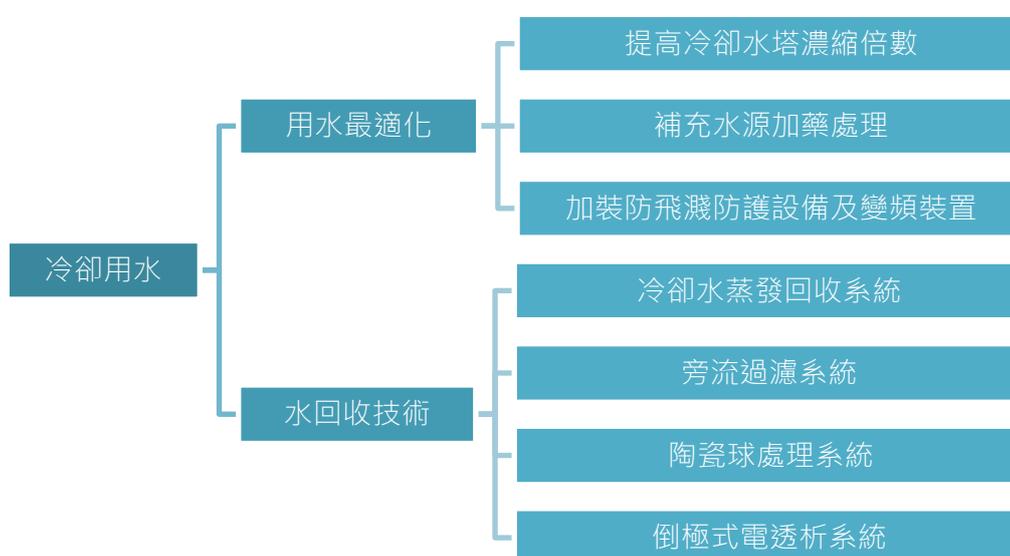


圖 18 冷卻用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 提高冷卻水塔濃縮倍數

冷卻水塔循環水透過換熱器交換熱量或直接接觸換熱方式來交換介質熱量後達到降溫之目的，之後進入冷卻水塔中循環使用，以降低用水量。但循環過程中，會因蒸發、飛散與濺灑、排放等作用而必須補充水源。蒸發作用係藉由一部分水蒸發，使得循環水溫度下降，可達到冷卻的功能；飛散與濺灑作用則因水滴噴濺或側風吹散，造成水滴逸散或被風扇吸出塔外損失；當冷卻水蒸發損失，持續重複循環利用，水中雜質將累積於水池中，加入補充水亦含有有溶解固體，長時間累積及飽和濃度上升，固體物沉積管壁逐漸增厚，將可能造成管路阻塞問題，故須部分排放。補充水量與排水量間之關係可以濃縮倍數 (Cycles of Concentration) 來表示：

$$C = M (\text{補充水量}) / B (\text{排放水量}) \\ = EC_{out} (\text{排放水導電度}) / EC_{in} (\text{補充水導電度})$$

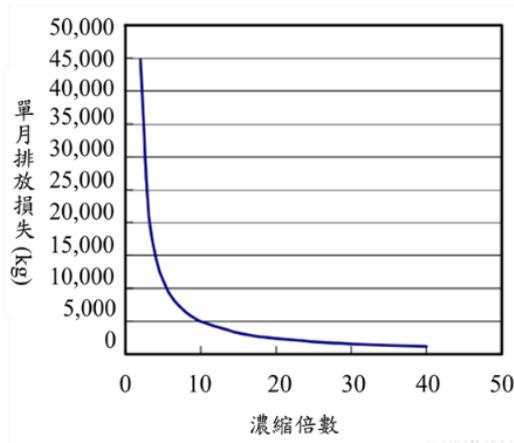


以節約用水觀點而言，提高濃縮倍數，可達到減少排水量、降低加藥量及能源損耗。濃縮倍數節省冷卻用水量之情形如表 6 所示，但過高濃縮倍數將可能造成水質問題，依操作經驗濃縮倍數以 5~6 倍時效益最佳。以 100 噸冷卻水塔與濃縮倍數與排放量的關係為例，其濃縮倍數與排放損失關係如圖 19 所示，當濃縮倍數高於 20，對於節水百分比效益已逐漸趨緩，持續濃縮除了增加藥品之費用開銷外，亦會導致設備產生副作用及環境污染。

表 6 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表

		提高排放濃度上限後之濃縮倍數						
原濃縮倍數		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
	1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%
	2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%
	2.5			10%	16%	20%	25%	28%
	3.0				7%	11%	17%	20%
	3.5					5%	11%	17%
	4.0						6%	11%
	5.0							4%

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)



(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

圖 19 濃縮倍數與排放損失關係圖

2. 補充水源化學加藥處理

為降低冷卻水塔補充之自來水量，一般可將廠內污染程度較低之排放水、製程生成水或蒸氣冷凝水等，經過簡易加藥處理作為冷卻水塔補充水，以降低自來水消耗量，處理模式如圖 20 所示。

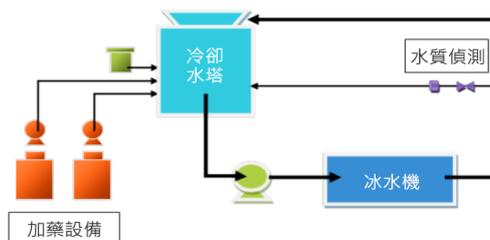
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index, 簡稱 LSI) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (pH)、Ca 硬度、M 鹼度 (M_{alk}) 及總溶解固體 (Total Dissolved Solids, 簡稱 TDS) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}]) + C_{scale} (f(T, TDS))$ 的計算，得到水中飽和時之 pH 值 (pH_s)；再經由 pH 與 pH_s 間的相減，其代表的意義可以顯示出碳酸鈣於此冷卻循環系統中呈現沉積或是溶解的傾向。飽和指數雖未考量硫酸鈣、氫氧化鎂、矽酸鹽、磷酸鈣等水中其他積垢成分數值，但其足以做為水體是否有積垢傾向的判定，是水體使用、維護管理之重要依據：

LSI < 0，碳酸鈣會溶於水中不易形成水垢，但管路易有腐蝕趨勢 (Corrosion)；可添加腐蝕抑制劑如磷酸鹽、矽酸鹽、亞硝酸鹽及鉬酸鹽等，以抑制腐蝕或於金屬表面形成一種保護膜。

LSI > 0，水體中可能產生碳酸鈣沉澱，易形成水垢 (Scaling)；可添加抗垢劑如有機磷酸鹽及硫酸，將水中部份的重碳酸鈣 (Ca(HCO₃)₂) 轉換成溶解度較高之硫酸鈣。

LSI = 0，處於平衡狀態水質穩定，無結垢傾向，但 LSI 指數可能因溫度或水質變化產生影響。

若替代補充水中含藻類 (Algae) 或菌類 (Bacteria) 等時，將容易產生菌藻污塞，使得結垢及腐蝕問題更加惡化，產生冷卻水塔壓降及熱傳效率不良情形，處理方法為可選擇添加次氯酸鈉 (NaClO)、氯錠、二氧化氯 (ClO₂) 等滅菌劑，抑制微生物及藻類之滋長，惟較適合水量小及水質結垢者。



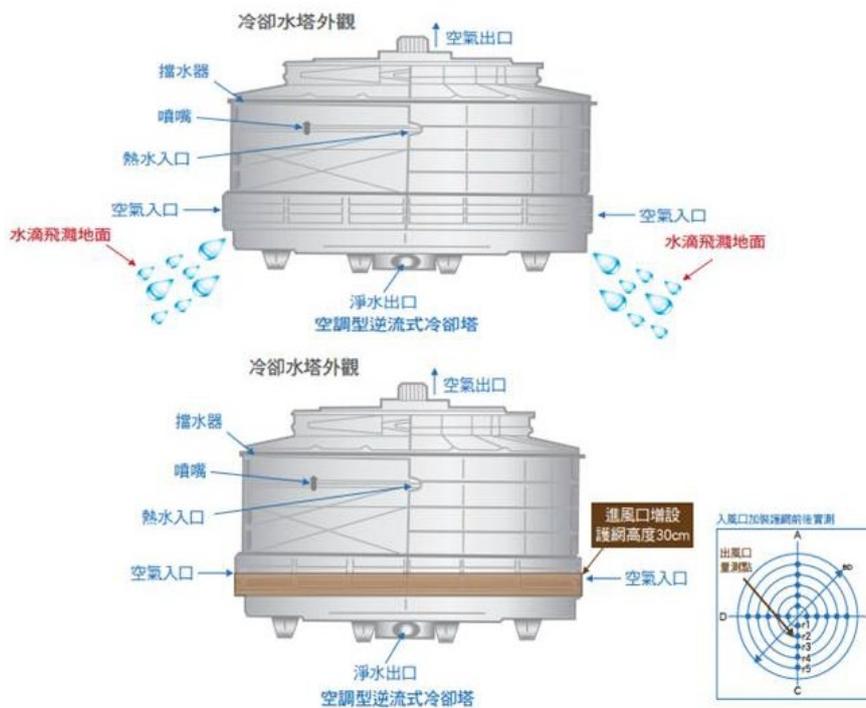
(資料來源：佺友股份有限公司)

圖 20 冷卻水塔加藥示意圖



3. 加裝防飛濺防護設備及變頻裝置

減少冷卻水塔之補充用水量，增設防飛濺防護設備減少飛濺耗水量及加裝變頻裝置等均為常見之用法。冷卻水塔運轉時，當轉速過快及水量過大，會產生冷卻水逸散的現象，透過耐隆纖維及酚醛樹脂所組成之防飛濺裝置，可有效降低逸散發生，防飛濺防護設備如圖 21 所示。此外，冷卻水塔風扇安裝多式變頻器進行調速運轉，以大氣濕球溫度及出水需求控制水溫，進行風扇馬達變頻或兩段式設計，並參考冰水主機運轉台數，控制冷卻風扇轉速，可有效減少冷卻塔蒸發水量，估計約可節省 10% 之冷卻水蒸發逸散量，同時也可節省風扇所需的用電量。



(資料來源：經濟部水利署，節水紀實，2012)

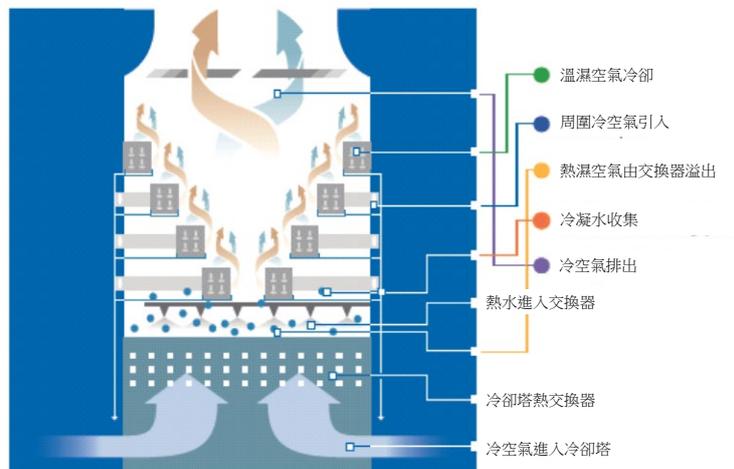
圖 21 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

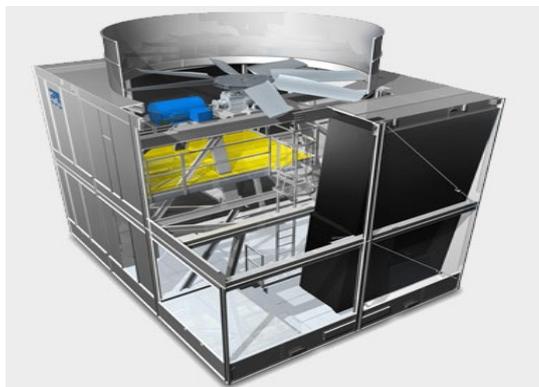
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點 (國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005)。

美國加州理工學院機械系之研究顯示，以簡單的纖維濾料 (Fiber Filter) 即可吸附 10% 的冷卻蒸發水量，達到減少蒸發的目的 (Research Paper of California Institute of Technology，Kim, C.S.，Increasing Cooling Tower Water Efficiency，2009)。針對冷卻水蒸發回收，國外研發 Air2Air™ 蒸發回收系統，以周圍較冷空氣進行蒸氣降溫，回收系統如圖 22 所示；Marley ClearSky™ 消霧節水冷卻水塔，採用冷凝模組在塔內凝結水分降低水霧排放，經估算可回收 15 ~ 22% 的冷卻水蒸發量，冷卻水塔設備如圖 23 所示；以 150 HP 冷卻水塔於缺水時期使用為例，蒸發回收分析如表 7 所示，其每年 11~4 月缺水期間運作之單位回收成本如表 8 所示。



(資料來源：賴建宇，冷卻用水效率提升，產業用水效率提升輔導說明會，2016)

圖 22 冷卻水塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

圖 23 消霧節水冷卻水塔設備圖

表 7 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表

月份	濕球溫度 (°C)	乾球溫度 (°C)	原蒸發量 (m ³ /h)	可回收量 (m ³ /h)	蒸發水量 (m ³ /h)	風門開度 (%)	水回收率 (%)
1	13.9	16.6	11.5	2.5	9.0	100	21.6
2	14.8	17.3	11.5	2.5	9.0	100	21.6
3	16.9	19.6	12.0	2.5	9.5	100	20.8
4	20.3	23.1	12.2	2.3	9.9	100	18.5
5	22.9	26.0	12.7	1.8	10.8	45	14.3
6	24.6	27.6	12.7	0.0	12.7	0	0
7	25.1	28.6	12.9	0.0	12.9	0	0
8	25.1	28.3	12.9	0.0	12.9	0	0
9	24.0	27.4	12.7	0.0	12.7	0	0
10	21.6	25.2	12.7	1.8	10.8	70	14.3
11	18.5	21.9	12.2	2.3	9.9	100	18.5
12	15.0	18.1	11.8	2.5	9.3	100	21.2

註：計算基準：150 馬力風扇，降溫 37.5~32°C，冷卻循環水量 1,576 m³/h

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

表 8 冷卻水塔蒸發回收之成本分析

項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量 (11-4 月)	58,240 m ³	0	58,240 m ³
營運成本 (11-4 月)	1,100 千元	930 千元	22,000 千元
單位產水建造成本 (25 年折舊) (元/m ³)			8.24
單位產水營運成本 (元/m ³)			2.92
單位產水成本 (元/m ³)			11.16

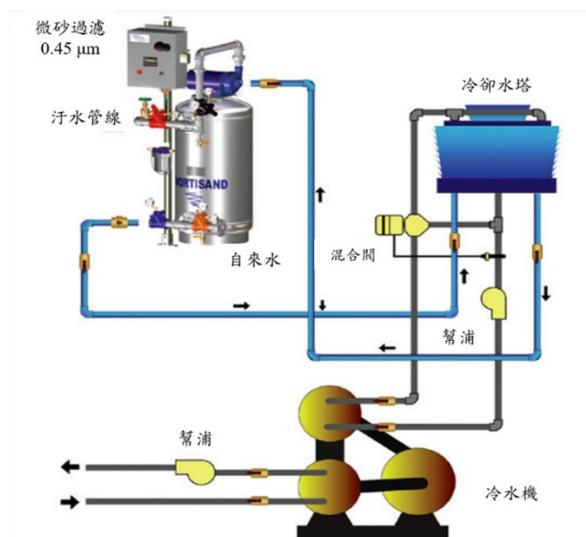
註：計算基準：建造成本折舊年限 25 年，電費 2.5 元/度

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

2. 旁流過濾處理系統

透過冷卻水塔加裝旁流過濾裝置，可達到去除水中絮狀物、灰塵及水中懸浮物質，此類雜質具有低溶解度特性，因此於冷卻系統管路上安裝過濾器去除雜質，可達到良好處理效果，旁流過濾處理系統如圖 24 所示。當水塔抽水模式若可由冷卻水塔中心抽出，將可提升取水率並有效降低結垢及污塞。

過去常見傳統旁流過濾設備多採砂濾，但砂濾具有反洗水量大、壓力易上升及易結塊等問題，以過濾量 $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ 為例，纖維過濾與傳統砂濾比較如表 9 所示，纖維過濾除反洗水量較少外，同時可有效濾除膠狀物質及鐵、錳物質及過濾精度高等多項優點，可有效解決傳統沙濾問題（冷卻水塔旁濾設備應用及其節水成效，全澤股份有限公司）。



(資料來源：Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd)

圖 24 旁流過濾處理系統示意圖

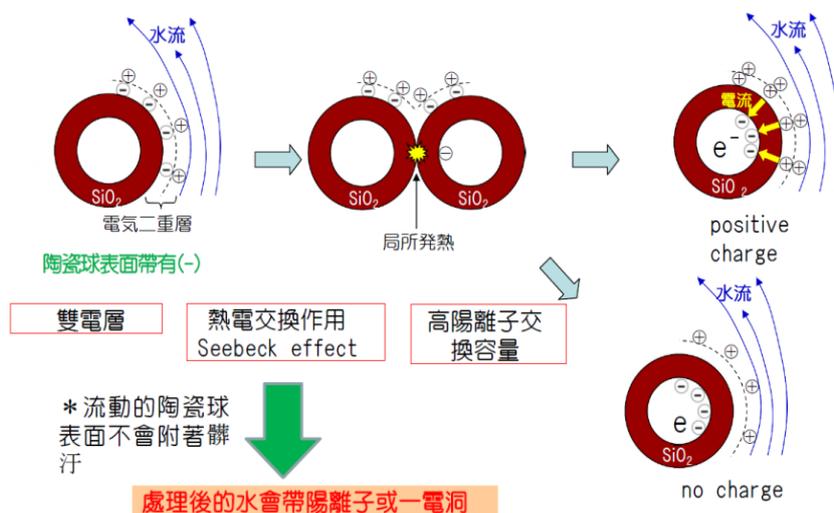
表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較表

	傳統砂濾	纖維過濾
過濾速度 (LV 線性流速)	10 m/hr.	一般過濾 30 m/hr. 高速過濾 60~100 m/hr.
過濾表面積	10 m ² 佔用面積大 (LV=10 時)	一般：3.3 m ² (LV=30 時) 高速：1.25 m ² (LV=80 時)
反洗總耗水量 (如每天反洗一次)	36,500 m ³ /year	一般：13,140 m ³ /year 高速：5,110 m ³ /year
截污量	淺層過濾，截污量少，相對反洗頻率高	深層過濾，截污量多，相對反洗頻率低
過濾精度	10 μm 以上粒徑的顆粒方可濾除	10 μm 濾除 100% 2 μm 濾除 50%以上
濾材更換	1~3 年需更換一次，視污染情況而定	正常狀況下使用 10 年以上
對膠狀物質及鐵份處理	無法濾除膠體物質及鐵、錳	可濾除膠狀物質及鐵、錳
結塊問題	濾材會因微生物及污染物凝聚而結塊，過濾時造成短流	濾材用氣水清洗不結塊不影響過濾效果
油脂過濾	會受油污染而凝結	可過濾少量油脂
使用動力	需倍量水反洗及較高水頭損失，耗用能源大	比採水量小的反洗水及較低的水頭損失，耗用能源小
過濾水頭損失	初始壓力隨濾材粒徑而定，一般 0.5 kg/cm ² ，壓差 0.5 kg/cm ² 時需反洗	初始壓力為 0.2~0.4 kg/cm ² 壓差 0.5~1.0 kg/cm ² 時才需反洗
設備選擇性	設備單一無選擇性	設備多樣化

(資料來源：全澤股份有限公司)

3. 陶瓷球處理系統

在循環水處理裝置中，冷卻水流經陶瓷球後帶陽離子， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價陽離子與碳酸鹽等陰離子產生膠體化形成水垢，使得水垢沉積在水流流速低的冷卻水塔水盤中，因此水垢不會附著到管線及熱交換器的管壁上，以減緩管線的腐蝕，可大幅降低排水量來控制濃度，相關設備水處理理論及實體設備如圖 25 及圖 26 所示。



(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 25 陶瓷球水處理理論圖



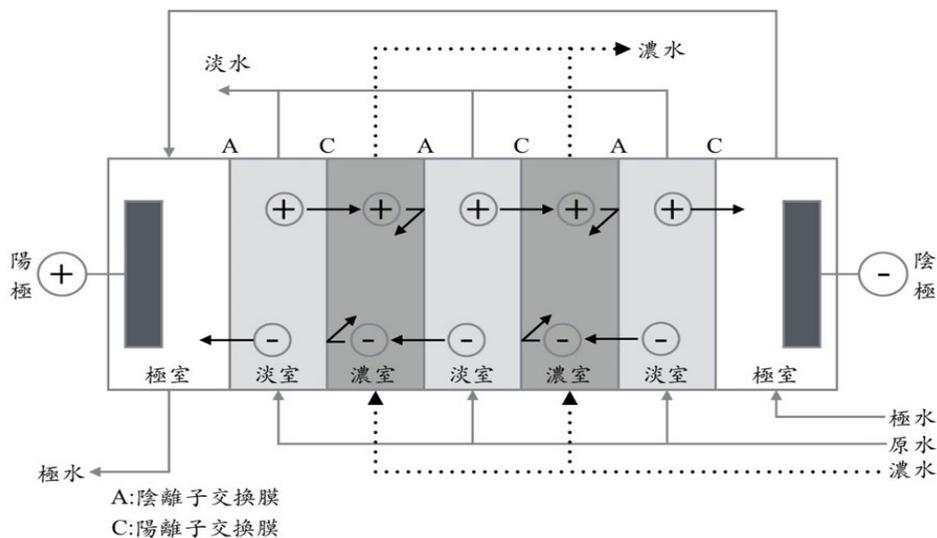
(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 26 陶瓷球水處理系統設備圖



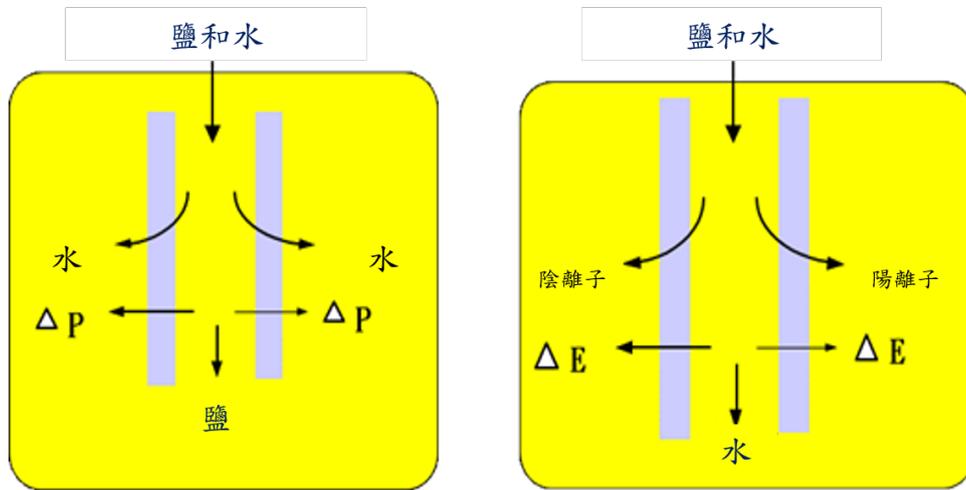
4. 倒極式電透析系統

倒極式電透析系統 (**Electrodialysis Reversal** , 簡稱 **EDR**) 主要是利用異相型離子交換膜組成, 電透析薄膜處理系統原理如圖 27 所示。利用陽離子只能穿透陽離子膜, 而陰離子只能穿透陰離子膜的特性, 在外加直流電場的作用下, 水中陰離子移向陽極, 陽離子移向陰極, 最後得到淡水及濃水, 達到淡化除鹽的目的, 並利用切換直流電正負極和內部導流的方式延長薄膜使用壽命。EDR 可處理導電度高達 **8,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , 化學耐受性高, pH 值處理範圍介於 **1~10** 之間, 可用 **3% HCl** 清洗薄膜表面結垢或用 **H₂O₂** 或氯殺菌, 且容許原水污泥密度指數 (**Silt Density Index** , 簡稱 **SDI**) 限值 (**SDI < 15**) , 較 RO 處理設備容許限值 (**SDI : 3~5**) 寬鬆, 清洗維修週期長, 動能消耗低 (**45~90 psi** 操作) , 故在操作成本上較 RO 低, 水回收率最高可達 **90%** , 氟離子濃度負荷可達 **1,500 mg/L** , 去除效率約 **80%** , RO 與 EDR 系統之脫鹽技術原理比較如圖 28 所示, 經由 EDR 系統處理後可以有效的淡化水或廢水中的離子, 降低水中的導電度及 TDS , 處理後之水源可做為冷卻水塔補充水。



(資料來源：梁德明，薄膜相關新技術用於電導躡控制技術及處理成本分析，排放水電導躡控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003)

圖 27 電透析薄膜處理系統原理示意圖



RO分離機制：以壓力(20 bar)為驅動力

EDR分離機制：以電力為驅動力

(資料來源：梁德明，薄膜相關新技術用於電導躡控制技術及處理成本分析，排放水電導躡控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003)

圖 28 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖

國內已有大用水工廠以 EDR 進行冷卻排放水回收，此舉除可回收約 75%冷卻排放水外，亦可有效減少冷卻系統循環水之藥劑使用量。表 10 為冷卻排放水以 EDR 回收後，產出優質再生水之案例，生產之再生水水質較自來水佳，更適合作為冷卻水塔補充水。

表 10 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例表

項目	pH	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	鈣硬度 (mg/L as CaCO_3)	鎂硬度 (mg/L as CaCO_3)	Cl- (mg/L)	SO42- (mg/L)
排放水	8.0~8.5	1520±30	275±25	30±5	250±30	290±30
再生水	5.0~6.2	295~315	20~27	0.5~1.4	9~12	91~112

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)



三、鍋爐用水最適化及回收再利用技術

鍋爐用水係指在鍋爐內進行汽化所需之用水，其蒸氣將用於工業生產及發電，由於蒸汽凝結水具有較佳水質，因此適合用於回收再利用，且鍋爐用水循環再利用，多於密閉系統下進行，較無微生物孳生之困擾，但會產生腐蝕及結垢現象，因此藉由除氧、調節 pH 值、添加螯合劑、利用電磁場及脫鹼等控制腐蝕結垢，使得設備得以正常操作並降低用水量，相關用水最適化及水回收技術如圖 29 所示，說明如下。



圖 29 鍋爐用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 腐蝕結垢控制

在鍋爐腐蝕預防控制技術中，預防結垢之方式如下：

(1) 除氧

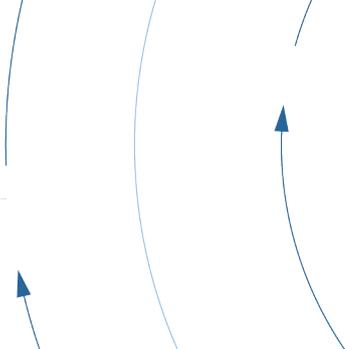
對於鍋爐進水水質進行除氧，相關常見技術如化學除氧及熱力除氧。在化學除氧中，利用化學反應來除去水中溶解氧氣量，常用的有鋼屑除氧法、亞硫酸鈉除氧等方法；熱力除氧技術中，一般有大氣式熱力除氧和噴射式熱力除氧，原理是將鍋爐給水加熱至沸點，使氧溶解度減小，水中氧不斷逸出，再將水面上產生的氧氣連同水蒸汽一道排除，是目前應用最多的一種除氧方法且普遍採用的成熟技術。

(2) pH 值控制

由於鍋爐材質為金屬材料，預防鍋爐腐蝕，對於進水應調高 pH 值，常用方式是以添加胺、有機胺中及二氧化碳以提高 pH 值。在高純度鍋爐給水中，pH 值需控制在 6.5 至 7 中，並加入強氧化劑形成保護膜防止金屬腐蝕。

(3) 螯合劑處理

於鍋爐水中，添加乙二胺四乙酸 (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid，簡稱 EDTA)，使其於水中鐵離子形成鐵螯合物，避免金屬腐蝕。



(4) 電磁場處理

係利用電磁感應產生的電磁場作用於流體，在電磁場的作用下，水中的鈣、鎂離子會處於高速運動的狀態，暫時性改變電荷，因此讓鈣、鎂離子無法形成水垢，達到防阻水垢生成的目的。

(5) 脫鹼處理

當鍋爐水質鹼度偏高時，可能會引起水冷壁管的鹼性腐蝕和應力腐蝕破裂，還可能使鍋爐水產生泡沫而影響蒸氣品質，對於鉚接或脹接鍋爐，鹼度過高也可能引起苛性脆化，因此利用脫鹼軟化水質，若排放異常即進行校正。

(6) 不同壓力鍋爐

由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換（中壓鍋爐）後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

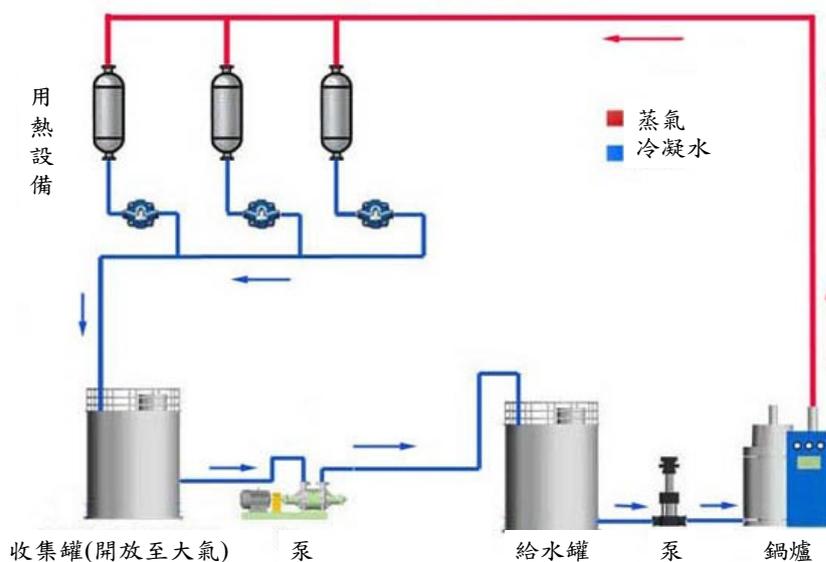


(二) 水回收技術

1. 冷凝水回收系統

冷凝水來源是透過收集所有間接蒸汽使用端的冷凝水，應作適當餘熱回收，減少閃沸蒸汽排放損失，以達最大節能效益。在鍋爐冷凝水回收系統中，提高鍋爐給水溫度及品質，不僅可降低用水量，同時也可減少鍋爐負荷及處理成本。鍋爐冷凝水回收系統可區分為開放式及封閉式，以下將分別說明兩者的原理。

開放式冷凝水回收系統是透過疏水閥將冷凝水回收至開放式之收集罐內，其回收原理如圖 30 所示。此回收冷凝水將可做為鍋爐補充水或者其他製程用途，但由於冷凝水為直接排放到大氣常壓下，因此有較多的閃蒸汽直接排放到大氣中，冷凝水溫度不會高於 100°C。

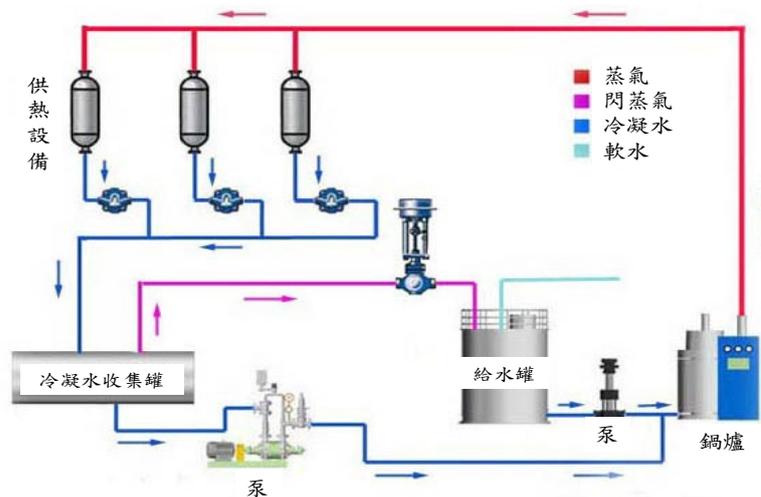


(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 30 開放式冷凝水回收系統原理示意圖

密閉式冷凝水回收系統是將冷凝水回收至密閉收集罐內，是一種高於常壓的回收方式，其回收原理如圖 31 所示。在此封閉迴路中，於集水罐回收之冷凝水，溫度可以遠高於 100°C。

開放式冷凝水回收系統配置較簡單，初期投資較低，但由於收集罐是開放至大氣的，當冷凝水發生閃蒸時，大量的熱量會釋放到空氣中；封閉式的系統的投資成本較高，在設計時也需要考慮較複雜的參數，例如調節閃蒸氣的專用閥等，但可回收的熱量比開放式系統來得高，相較開放式的冷凝水回收系統可節省更多能源，此兩者回收系統比較如表 11 所示。



(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 31 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖

表 11 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較表

	開放式回收	密閉式回收
冷凝水回收溫度	最高 100°C	最高 180°C
系統參數	簡單	複雜
初期投資	較低	較高
管道侵蝕	顯著 (冷凝水和空氣接觸)	輕微 (冷凝水不和空氣接觸)
水霧	大量	少量
回收工藝	鍋爐給水、預熱及清洗用水	回收到鍋爐中或閃蒸氣回收工藝中

(資料來源：迪埃爾維流體控制商貿有限公司，冷凝水回收：開放式系統 vs 封閉式系統)



四、放流水回收再利用技術

放流水回收再利用，除可降低廢水納管所衍生之費用、降低水污費外，亦可回收作為原水補充或其他次級用水使用，降低原水取水量，若能再經由如：活性炭吸附、薄膜處理（亦可用於回收製程排放水）、活性污泥濾膜法、電解混凝及 Fenton 化學氧化法等方法如圖 32 所示，均可獲得與原水源類似的良好水質，降低原水取用量，以減少整體用水成本。以下將針對相關處理技術進行說明（Chen W and Horan N.J., The treatment of a high strength pulp and paper mill effluent for wastewater re-use, III） Tertiary treatment options for pulp and paper mill wastewater to achieve effluent recycle, Environmental technology, 1997）。

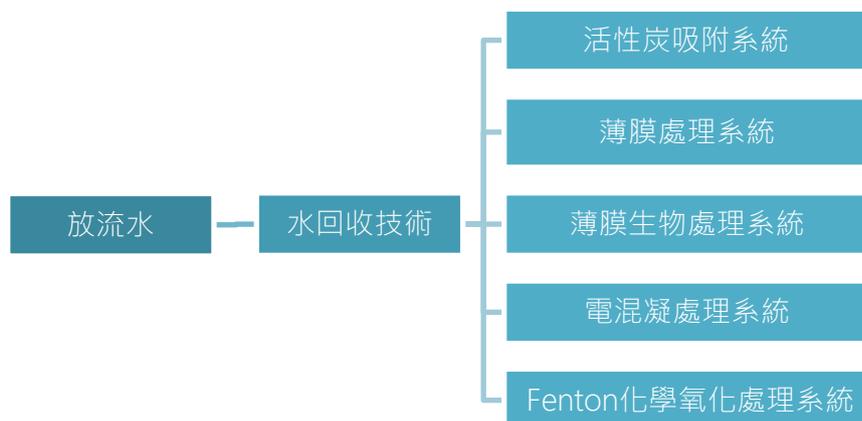


圖 32 放流水回收技術

(一) 水回收技術

1. 活性炭吸附系統

活性炭吸附系統應用在廢水處理上逐漸普及，它主要利用活性炭的吸附作用去除溶解狀之有機物（如色度、酚類、清潔劑或具毒性或生物無法分解之物質），或是做為主要之物化處理單元，以去除廢水中一般溶解狀之有機物（經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術-造紙業介紹，2008），由於活性炭吸附能力強，依使用功能不同，區分為粉狀活性炭（Powdered Activated Carbon，簡稱 PAC）、粒狀活性炭（Granular Activated Carbon，簡稱 GAC）及生物活性炭（Biological Activated Carbon，簡稱 BAC）（林澤閔，生物活性炭濾床去除民生放流水有機物，中山大學碩士論文，2012），當放流水透過此回收技術處理，使得水中 COD 及 SS 能有效控制，此股水源將可作為次級用水單元做使用。

2. 薄膜處理系統

針對廢水處理單元處理過後之管末水，為使達到分離效果，能讓部分物質快速通過，而其他物質則無法通過，薄膜須具備高度選擇性及滲透性，針對懸浮物等可透過 MF 及 UF 達到良好去除效率；對於單/多價離子則需透過奈米過濾(Nanofiltration，簡稱 NF) 及 RO 系統 (Reverse Osmosis，簡稱 RO)，達到分離之效果，上述各類薄膜種類去除物質比較將如圖 33 所示，經處理過後水體將可做為次級用水單元或製程使用。

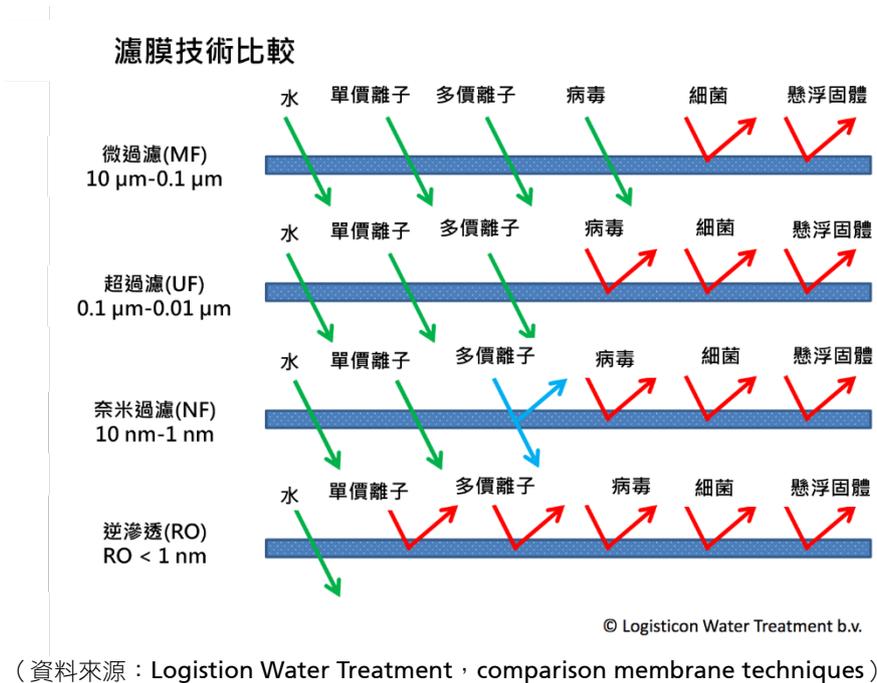


圖 33 各種濾膜去除物質比較圖



3. 薄膜生物處理系統

薄膜生物處理系統是透過生物技術與薄膜分離技術有機結合的一種現代新型廢水生物處理技術，薄膜生物處理系統結合活性污泥程序與薄膜科技，為近年新興的廢水處理及回收技術。其原理請參閱本章第二節製程用水最適化及回收再利用技術 (P.16)。

4. 電混凝處理系統

電混凝處理 (**Electro-Coagulation** ，簡稱 **EC**) 是利用供電來產生混凝劑再進行混凝作用以去除污染物的技術，其與傳統化學混凝法機制作用相似。電混凝主要包含三個過程。

- (1) 犧牲電極產生陽離子，形成混凝劑。
- (2) 形成的混凝劑破壞污染物表面電性，去除其穩定性的狀態。
- (3) 污染物質去穩定後聚集成膠羽。

電解混凝程序不但包含電解及混凝，亦包含電場作用，使帶電顆粒濃縮聚集，具有電解層析 (**electro-decantation**) 的效果 (柯宏杰，以電解混凝法處理化學機械研磨廢水-影響因子及反應機制，交通大學碩士論文，2004)

5. Fenton 化學氧化處理系統

Fenton 化學氧化處理系統是利用過氧化氫(H_2O_2)作為氧化劑，亞鐵離子(Fe^{2+})作為催化劑，進行的一系列反應，以產生氫氧自由基 (**Hydroxyl radical** ， $\cdot OH$)。氫氧自由基可將有機物氧化成二氧化碳及水，並降低水中的 **COD** 值。其特點有占地空間小、操作簡便及操作彈性大等，適用於 **COD** 濃度高的廢水 (萬年青環境工程有限股份公司)。

五、其他水回收技術

其他水回收技術包括生活用水減量、廠內用水管理、雨水貯留供水系統、區域水資源整合及裝設連續監測系統等如圖 34 所示，以達到水回收再利用，並減少原水取水量之效益，說明如下：

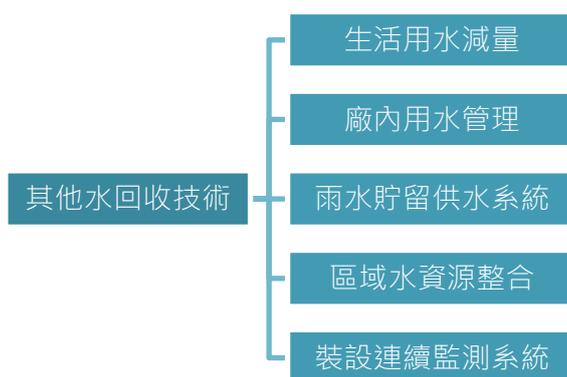


圖 34 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

據經濟部水利署公布，平均工廠人員每人每日用水量以 50 L，住宿人員則約以 250 L/天做計算，若能經由省水器材加裝及正確的節水觀念，方可減少使用水量及避免水資源的浪費，可施行之節水方案如下：

1. 檢討辦公室或宿舍供水壓力之合理性，適切調降用水水壓，降低用水量。
2. 採用省水器材或配件，如加裝省水/感應式水龍頭、二段式馬桶沖水器。
3. 用/控水器材定期巡查、維護、檢漏。
4. 實施員工節水教育宣導。

(二) 廠內用水管理

為使得廠內人員能清楚掌握廠內用水流向及用量大小，可於供水之主幹管，劃分為製程、民生、鍋爐、洗滌塔...等管線或用水量大之設備加裝水錶，以了解水源流向，並能作為漏水檢視，避免水源浪費，且透過回收水槽加裝水錶及自動水質檢測設備，確保回收水用量及用水品質。



(三) 雨水貯留供水系統

雨水貯留供水系統是將雨水以天然地形或人工方法截取貯存，做為替代性補充水源。一般可藉由廠區之建物屋頂或頂樓樓板、公園綠地、停車場、廣場道路鋪面等進行雨水收集，經雨水處理系統（初步沉澱、過濾、消毒）後，流入貯水槽，以做為雜用水如沖廁、澆灌、補充空調用水或景觀池及生態池之補充水源，其回收處理流程如圖 35 所示。

台灣雨量雖然豐沛，但降雨分布不均及降雨延時短，容易產生極端降雨的情形。雨水貯留供水系統可在降雨量大時，將雨量收集起來做為原水補充，有效利用雨水資源，不僅能減少自來水的耗用，更可有效降低暴雨時期都市洪峰負荷。

一般較大規模雨水貯流槽會設置雨水-自來水自動切換系統，在缺水時使用自來水補給，以確保貯留槽有足夠水量。當雨水貯留槽內水位過低時，槽內所設計之球形閥或電擊棒受到感應，會打開補給管的閥門，自動補給自來水（雨水利用之設計要點，工研院能資所節水服務團）。



圖 35 雨水回收流程圖

設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 12 所示，雨水截流系統設計值計算如表 13 所示，根據中央氣象局氣候分區相關氣象資料顯示，預估平均雨量、降雨概率規劃雨水利用設計量。

表 12 雨水處理設備與使用程度關係表

集水場所	利用途徑	經常與身體接觸用途或緊急時飲用水	清掃浴室及室內地板	洗車、灑水、清洗戶外地板、消防用水	水景、植栽澆灌	冷卻水塔的補給用水	廁所馬桶衛生器具之沖洗
屋頂或頂樓樓板	經透水處理之人工地盤	經處理程序後加氯消毒	沉澱加碎石過濾處理後使用	自然沉澱及簡易處理流程後使用			簡單清除垃圾即可使用
公園綠地				自然沉澱加碎石過濾機處理	沉澱加碎石過濾處理後使用	自然沉澱及簡易處理流程後使用	
廣場、道路、人工鋪面、停車場			自然沉澱及簡易處理流程後使用				

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

表 13 雨水截流系統設計值表

項目	公式
地區日集雨量	$\text{日平均降雨量} \times \text{集雨面積} \times \text{日降雨概率} = \text{日集雨量}$ 日平均降雨量：每日平均的降雨量（毫米/日） 集雨面積：單位長度和寬度下集結雨水面的大小（平方公尺） 日降雨概率：降雨可能性的指標（無單位） 日集雨量：平均單日集雨量（立方公尺/日）
雨水利用設計量	補充部分原水供應（CMD）
儲水槽容量	$\text{預備 3 天蓄水量} + \text{日集雨量} - \text{雨水利用設計量} = Z$ （噸） $Z \times 1.1$ （加 10% 安全係數）=（噸）

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)



(四) 區域水資源整合

對於有缺水風險工業區，依供水端廠商放流水水質水量，規劃其排放水回收再供給他廠利用，降低工業區內原水取水量，水資源整合推動的型態包括以下類型如圖 36 所示：

1. A 廠放流水提供 B 廠使用，有效減少 A 廠排水量及 B 廠之取水量。
2. 工業區相似性質之廢污水分類分流收集，並集中處理及回收，提供鄰近廠商使用。

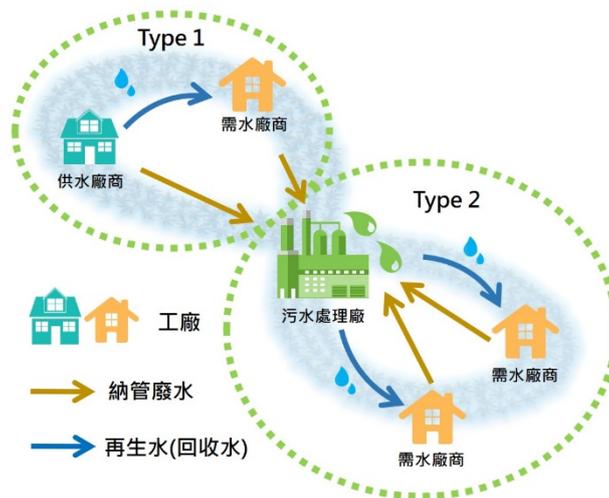
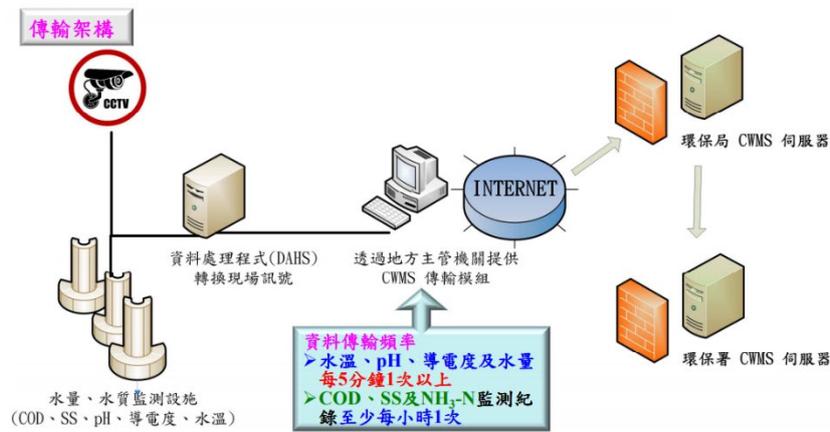


圖 36 區域水資源整合型態示意圖

(五) 裝設連續監測系統

若工廠與工業區排放量達行政院環境署之規定，須依據「水污染防治措施及檢測申報管理辦法規定」裝設廢污水自動監測設施。監測傳輸設置裝置如圖 37 所示。裝設廢水連續監測系統，以隨時掌握排放水質及水量狀況如 COD、SS、pH、導電度及水溫等，透過資料處理程式轉換現場訊號，有助於廢水水質監控預警，亦能檢討評估廢水處理操作成效。



(資料來源：行政院環保署，廢水自動監測及連線傳輸設置程序，2014)

圖 37 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將紙漿、紙及紙製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整如表 14。

表 14 紙漿、紙及紙製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整表

最適化管理 與回收再利用技術		用水標的			
		製程用水	冷卻用水	鍋爐用水	放流水
最適化管理 技術	軟水系統逆洗水回收	√			
	系統設定合理化	√			
	噴淋系統控制	√			
	工法改善	√			
	提高冷卻水塔濃縮倍數		√		
	補充水源加藥處理		√		
	加裝防飛濺防護設備及變頻裝置		√		
	腐蝕結垢控制			√	
回收再利 用技術	纖維過濾系統	√			
	抄紙過濾系統	√			
	薄膜生物處理系統	√			√
	冷卻水蒸發回收系統		√		
	旁流過濾系統		√		
	陶瓷球處理系統		√		
	倒極式電透析系統		√		
	冷凝水回收系統			√	
	活性炭吸附系統				√

第四章 水回收再利用案例介紹

一、案例 A 廠簡介

(一) 案例廠簡介

A 有限公司 (以下簡稱 A 廠)，創立於民國 102 年，以生產公共場所所使用之大捲衛生紙為主，秉持著「用真誠的心，打造最溫軟的紙」經營理念，追求企業永續經營成長，每月平均生產 350 噸衛生紙，平均單位產品用水量為 0.29 噸水/噸。

(二) 製程流程

A 廠製程以便當盒下腳料作為原料，原料先浸泡軟後，次級原料先經前處理程序：漿槽、一段處理 (洗漿)、二極處理 (異物浮選)、震動篩及洗漿機後再連同較佳原料一併經備漿 (漂洗後的纖維原料成散漿)、抄紙機及烘乾後即產生成品，其中以抄紙機為主要耗水程序；製程總用水量佔全廠用水量 90% 以上，製程機器為 24 小時運作，假日採輪班制，其製造流程如圖 38 所示。

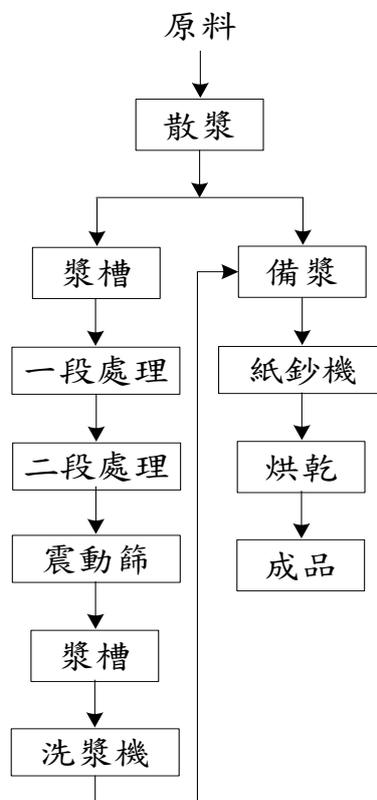


圖 38 案例 A 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

從 A 廠所提供的資料得知，廠內總用水量約 100 CMD，取得水源為自來水，主要供應製程、鍋爐、生活用水及其他單元使用。A 廠廢水總排放量約為 92 CMD，廢水種類包含製程、鍋爐、洗滌塔及生活所排放之廢(污)水，水平衡圖如圖 39 所示。

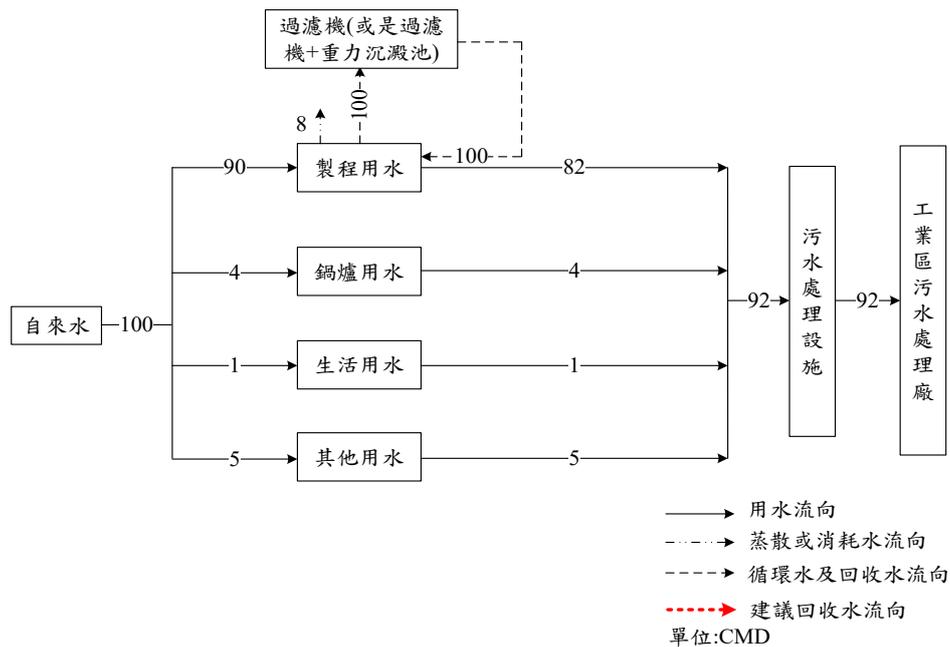


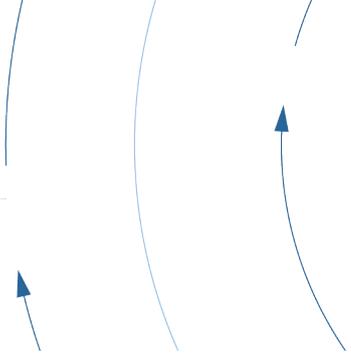
圖 39 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)

(四) 用水效率提升方案

依據圖 39 之 A 廠用水平衡圖，考量廠內製程為主要耗水單元及廠方具管末廢水回收再利用意願或是水媒合計畫，現階段節水方案可為：

方案一、提升廢水處理設施處理效能

目前廠房廢水水質為表 15 所列。廠方已自主定期監測活性污泥槽之 SV30 (平均約 960 ml/L) 與 MLSS (平均約 5,000 mg/L)，平均 SVI (Sludge volume index) 為 192 mL/g，污泥有輕微膨化現象，膨化原因有兩種，為曝氣槽有較多絲狀菌或是形成污泥塊之細菌細胞結合水較多所致；一般標準活性污泥操作條件：SVI：50~150 mL/g；F/M(Food-to-Microorganism Ratio)：0.2~0.4 kg BOD/kg MLSS-day；HRT：6~8 hr；SRT：3~6 day 及污泥迴流比：0.2~0.5 等，建議可再增加定期監測項目如 BOD 容積負荷量、HRT 及 SRT 值以確保活性污泥活性保持最適狀態，並可藉由改善操作條件以減緩污泥輕微膨脹情形，改善措施可為：



1. 增加曝氣量

使曝氣槽 DO 介於 1.0~2.0 mg/L，因膠羽菌喜好 DO>0.5 mg/L 環境，而真菌及絲狀菌（常造成污泥膨化之菌種）喜好 DO<0.1 mg/L 環境。

2. pH 值控制於 7~8

因真菌喜好在 pH 值約 4~6 條件下生長，建議將曝氣槽 pH 值控制於 7~8，以避免真菌大量生長。

3. 提升活性污泥比重

可於迴流污泥中添加消化污泥（熟污泥），將其曝氣後迴流至曝氣槽或是添加消石灰或黏土等無機物改善之。

4. 終沉池操作條件改變

可將終沉池 HRT 縮短、SRT 縮短或增加排泥速度，可達到排除增殖相較緩慢的絲狀菌目的。

希望藉由上述措施，增加活性污泥活性以提升微生物降解速率，並降低放流水中的 COD 及 SS，以增加管末水回收潛勢。

表 15 案例 A 放流廢水水質表

項目	測值
溫度 (°C)	30.6
氫離子濃度指數 (pH)	7.4
懸浮固體 (mg/L)	98
化學需氧量 (mg/L)	356
氯離子試劑估算法 (mg/L)	500



方案二、廢水處理設施後端加裝快濾、MF 及消毒設備

由於廠方先前曾經規劃管末廢水回收設施並請多家工程公司評估裝設 MBR 設施費用，但因建設費用高及高薄膜阻塞率，較高的操作成本導致該規劃暫時停滯。

本團隊建議若廠內空間允許，可將 MBR 設施以終沉池後端加裝快濾、MF 及消毒設備（如加氯錠或是臭氧）作為替代，透過快濾及 MF 設備去除或降低廢水中大於 10 μm 顆粒、小於 10 μm 膠體、SS 及 BOD 濃度，並透過消毒機制去除廢水中細菌及病毒，以提升放流水質間接提高管末廢水回收率。

方案二進水處理量，建議先取終沉池後端排放水 53 CMD，待後續快濾+MF+消毒系統操作穩定，再逐步提高進水處理量，估計快濾+MF+消毒系統產水率約 85%，產水量約 45 CMD。估計方案二實施後，廢水水質之 COD 及 SS 去除率分別為 65% 及 40%，使 COD<300 mg/L 及 SS<240 mg/L，將其回收做為製程補注用水，與自來水作充分混和後（體積比約 9:11）一併作為製程用水，預計可節省自來水量 45 CMD。惟本回收措施廠方需自主定期監測活性污泥槽操作條件及管末放流水質，並將其監測記錄電子化，以確保回收水質穩定及促進廠內水資源永續管理。

所規劃的水回收方案，可將該廠自來水取水量由原來之 100 CMD 降至 55 CMD、回收水量由 100 CMD 提升至 145 CMD 及納管水量由原排放量 92 CMD 降至 47 CMD，方案實施後的 A 廠用水平衡圖如圖 40 所示。

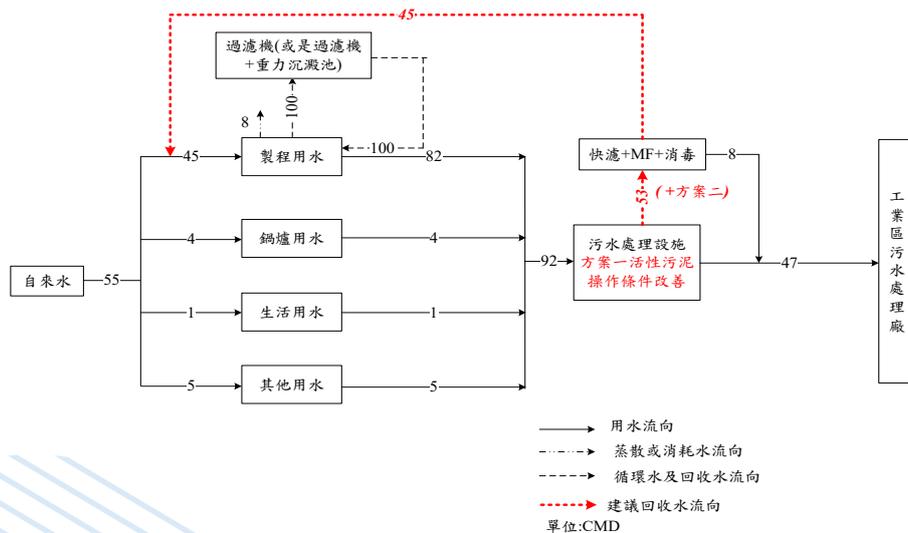


圖 40 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

建議之水回收方案，為符合經濟效益以廠商現有之設備與條件規劃與改善，水回收方案一改善活性污泥槽操作條件，方案二建議於終沉池後端加裝快濾、MF 及消毒系統，初步方案二建設及操作費用如表 16 所示，實際工程費用以工程公司現場評估為主。

表 16 水回收設施經費分析表

項目	方案內容	產水量 (CMD)	總建設 成本 (元)	單位產水成本 (元/噸)		單位產水 總成本 (元/噸)	年營運成本 (元/年)	產水總成本 (元/年)
				建設	營運			
方案一	改善活性污泥槽 操作條件	0	-	-	-	-	-	-
方案二	終沉池後端加裝 快濾、MF 及消 毒系統以利管末 廢水回收	45	1,500,000	93	15	108	243,000	1,743,000
合計		45	1,500,000	93	15	108	243,000	1,743,000

- 註：1.單位建設成本以折舊年限 1 年估算。
2.每月工作天以 30 天計。
3.經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。

2. 方案經濟效益分析

A 廠使用水源為自來水，目前工業區的自來水價格為 12.5 元/噸與納管水量價格平均為 33 元/噸，原自來水取水量為 100 CMD 與排放量為 92 CMD，經執行節水輔導後，自來水取水量可降低為 55 CMD 與排放量為 47 CMD，回收前後費用變化如表 17 所示；由表 16 方案二建設費用及表 17 一年節水用水費用，估計快濾+MF+消毒系統可於 2.5 年內即可回本。

表 17 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案實施前		方案實施後		節省費用 (元/年)
	水量 (噸/年)	費用 (元/年)	水量 (噸/年)	費用 (元/年)	
自來水量費	36,000	450,000	19,800	247,500	202,500
地下水費	-	-	-	-	-
污水處理費	33,120	264,960	16,920	135,360	129,600
納管水量費	33,120	1,092,960	16,920	558,360	534,600
合計	102,240	1,807,920	53,640	941,220	866,700

註：1. 每年工作天數為 360 天。

2. 水費計算：工業用水價 12.5 元/噸、污水處理費 8 元/噸及納管水費以 33 元/噸計算。

3. 水回收效益分析

該廠原用水量約為 100 CMD，排放量約為 92 CMD，預計經由實施本回收方案，約可增加 45 CMD 回收水量，用水量降低為 55 CMD，而排放量降低為 47 CMD，改善後全廠回收率 R1 及 R2 由 50.0% 提高至 72.5%，水回收方案實施前後水回收率變化如表 18 所示。

表 18 水回收方案實施前後水回收率變化表

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$50\% = \left(\frac{100+0}{100+100+0} \right) \times 100\%$	$50\% = \left(\frac{100+0}{100+100+0} \right) \times 100\%$
實施後	$72.5\% = \left(\frac{145+0}{55+145+0} \right) \times 100\%$	$72.5\% = \left(\frac{145+0}{55+145+0} \right) \times 100\%$
註：	$\text{全廠回收率 (重複利用率, R1)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$ $\text{全廠回收率 (不含循環水量, R2)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$	

二、案例 B 廠簡介

(一) 案例廠簡介

B 公司於民國八十六年成立，為國內第五大紙廠。經營階層深具造紙機械背景，並致力於技術革新與製程改良，品質與口碑上深獲使用者信賴。其主要從事文化用紙生產，如道林紙、銅版紙、雷射印刷用紙、發票用紙等；在應用面上諸如高級書刊、目錄、廣告海報、教科書參考書等。

(二) 製程流程

該主要進行文化用紙製造所需的程序，可分為進料、散漿解離、網部脫水、毯部壓榨、乾燥、塗佈、乾燥、壓光、捲取等步驟，相關主要產品之製程流程如圖 41 所示。

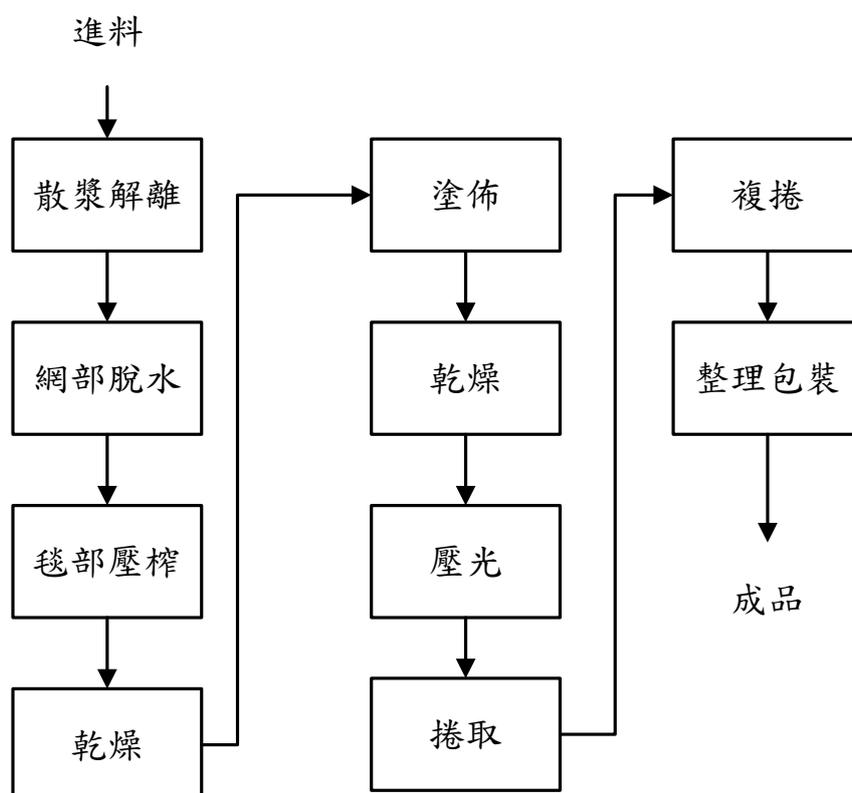


圖 41 案例 B 廠製造流程圖



(三) 廠內用水管理情形

該廠使用自來水量約 98 CMD，依用水類別可分為冷卻用水及生活用水兩類，製程用水部分，平均用水量約為 3,735 CMD，大部分製程用水在進入製程前經軟水系統處理後再進入製程使用，主要用水製程程序為散漿解離。廠內有一座鍋爐，平均鍋爐用水量約為 65 CMD，B 廠用水平衡圖如圖 42 所示。

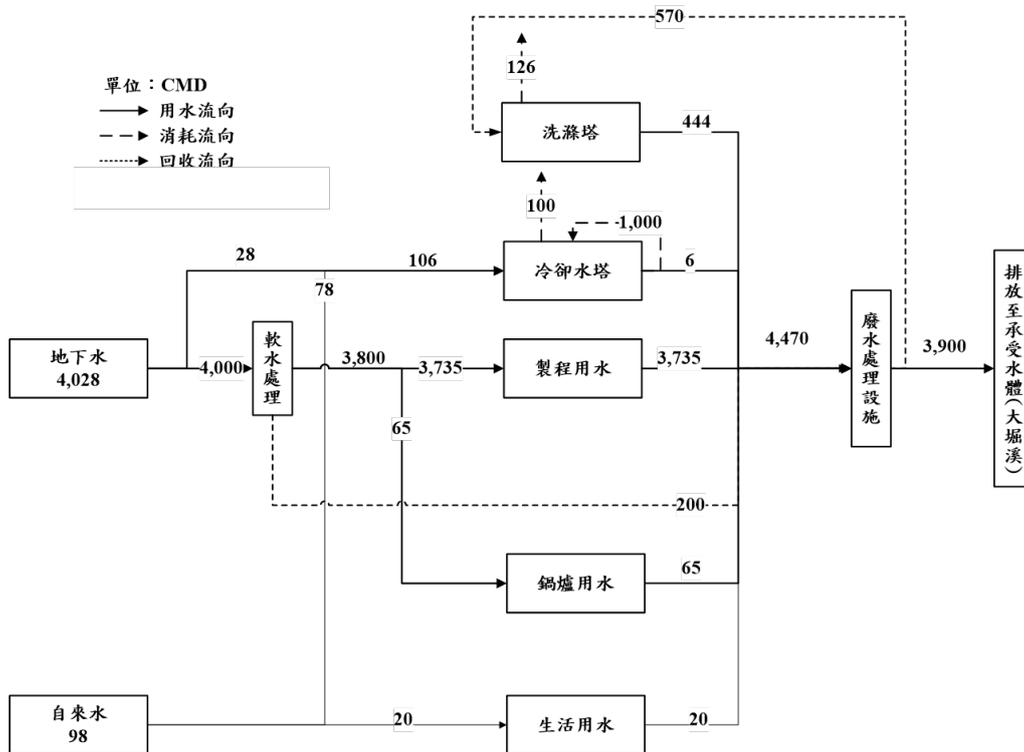


圖 42 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

依據圖 42 之 B 廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，可規劃方案如下：

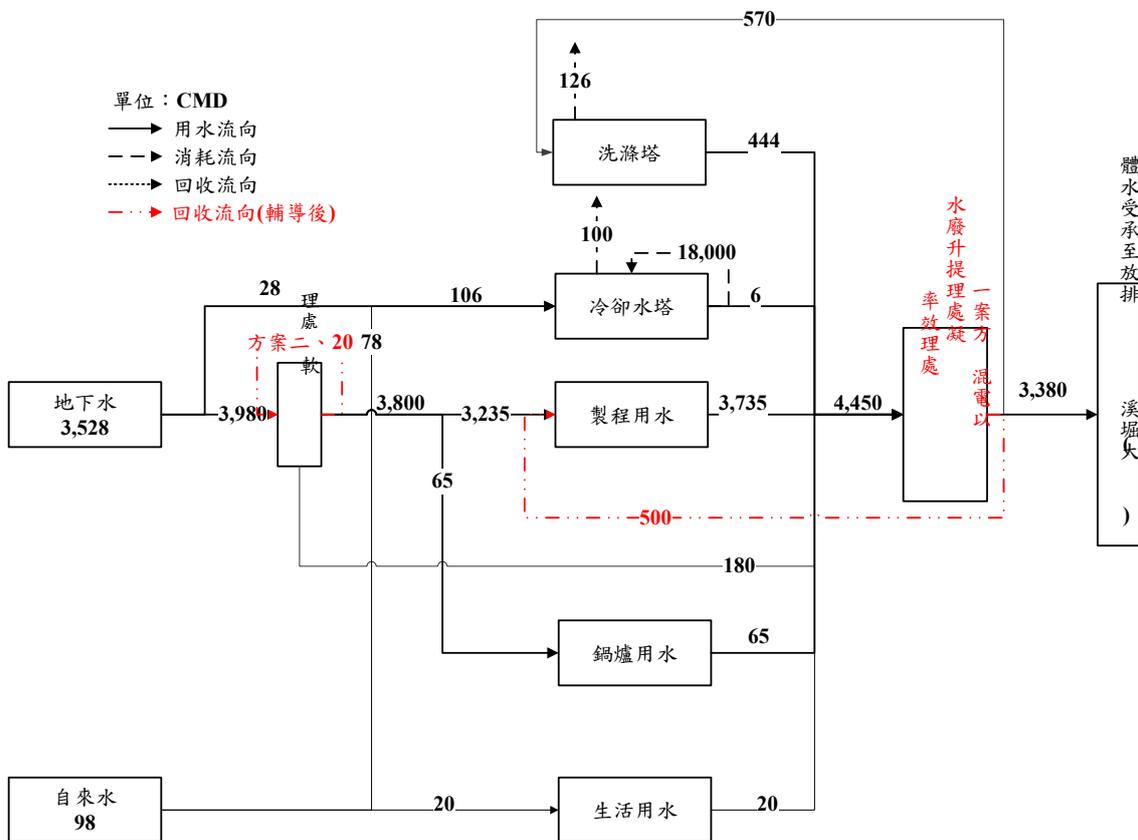
方案一、管末放流水回收-電混凝系統回收

廠內管末廢水可規劃以電混凝系統回收管末放流水，此系統對於重金屬(銅、鋅及鎳等具有 99.75%、99.90%及 99.96%去除率)、硬度(鈣、鎂及矽等具有 98.40%與 99.66%去除率)、BOD(98.67%去除率)、COD(70%去除率)以及 TSS(99.49%)具有高去除率。運用此系統降低管末廢水中的微量重金屬、導電度、有機物及總懸浮固體物後，水回收再利用於製程用水，規劃電混凝水回收率約 70%，進水量約 750 CMD，約可產生 500 CMD 回收水

方案二、軟水系統再生後段正洗水循環回到系統前端

目前廠內使用樹脂系統製造軟水，並會產生逆洗再生廢水約 200 CMD，其中約 20 CMD 之後段清洗水水質佳具回收價值，建議可直接導入軟水系統前端混合地下水後製作軟水，可減少自來水用量及逆洗再生水量，估計可節省 20 CMD 之用水量。

所規劃的水回收方案，預計可回收水量為 520 CMD。原地下水用量為 4,028 CMD，輔導後取水量降至 3,528 CMD，同時，也降低了本廠放流量，由原排放水量為 1,470 CMD，輔導改善後排放量降至 945 CMD，輔導後如圖 43 所示。



(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

水回收方案預計以廠商現有之設備與條件進行修正與改善，以符合經濟效益之狀況進行規劃。藉由軟水再生及電混凝系統回收。初步估計總建設費為**7,500,000**元，單位產水成本的建設費以**12**年計算，如表**19**所示。

表 19 水回收設施經費分析表

項目	方案內容	產水量 (CMD)	總建設成本(元)	單位產水成本 (元/噸)		單位產水總成本 (元/噸)	年營運成本 (元/年)	產水總成本 (元/年)
				建設	營運			
方案一	管末放流水回收-電混凝系統回收	500	7,500,000	14.3	4.0	18.3	700,000	3,202,500
方案二	軟水系統再生後段正洗水循環回到系統前端	20	-	-	-	-	-	-
合計		520	7,500,000	13.8	4.0	17.59615385	700,000	3,202,500

註：1.單位建設成本以折舊年限**3**年估算。

2.每年工作天以**350**天計。

3.管佈設費以**2,000**元/噸及電混凝設備以**7,500,000**元預估，但經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。

2. 方案經濟效益分析

廠內使用水源為自來水及地下水，目前工業區的自來水價格為**12.5**元/噸、地下水價格為**2.5**元/噸，另，依日皓造紙觀音廠提供資料並經計算後，原自來水取水量為**98** CMD，地下水取水量為**4,028** CMD，排放量為**3,900** CMD，經輔導後，自來水取水量為**98** CMD，地下水取水量為**3,528** CMD，排放量為**3,850** CMD，回收前後費用變化如表**20**所示。

表 20 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案實施前		方案實施後		節省費用 (元/月)	節省費用 (元/年)
	數量	費用 (元/月)	數量	費用 (元/月)		
自來水量費	2,842	35,525	2,842	35,525	-	-
地下水水量費	116,812	292,030	101,732	254,330	37,700	452,400
地面水量費	-	-	-	-	-	-
耗水費	-	117,549	-	102,469	15,080	180,960
污水處理費	129,630	1,037,040	129,050	1,032,400	4,640	55,680
納管費	-	-	-	-	-	-
自排水污費	113,100	-	98,020	-	-	-
合計		1,482,144		1,424,724	57,420	689,040

註：1.每月工作天以 28 天計。

2.用水費用估算：工業用水水價 12.5 元/噸，地下水水價 2.5 元/噸，日皓造紙觀音廠自行排放故無納管費用。

3. 水回收效益分析

該廠原用水量約為 4,126 CMD，排放量約為 3,900 CMD，冷卻循環水量約為 18,000 CMD，管末系統回收水量約 570 CMD，預計經由實施本輔導團隊的回收方案，約可增加回收水量 525 CMD，可將回用水量提升為 1,070 CMD，總取水量降低為 3,606 CMD，而排放量降低為 3,850 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 35.34% 提高至 43.49%，水回收計算結果如表 21 所示。

表 21 水回收方案實施前後水回收率變化表

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$83.08\% = \left(\frac{570+19,685}{4,126+570+19,685} \right) \times 100\%$	$35.34\% = \left(\frac{570+1,685}{4,126+570+1,685} \right) \times 100\%$
實施後	$85.21\% = \left(\frac{1,070+19,705}{3,606+1,070+19,705} \right) \times 100\%$	$43.49\% = \left(\frac{1,070+1,705}{3,606+1,070+1,705} \right) \times 100\%$
註:	$\text{全廠回收率 (重複利用率, R1)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$ $\text{全廠回收率 (不含循環水量, R2)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$	

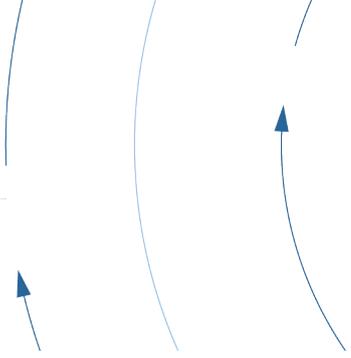




第五章 參考文獻

1. Chen W and Horan N.J., The treatment of a high strength pulp and paper mill effluent for wastewater re-use, III) Tertiary treatment options for pulp and paper mill wastewater to achieve effluent recycle, Environmental technology, 1997
2. Enviromatch, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
3. Jonsson A S · Wimmerstedt R · The Influence of A Low-molecular Hydrophobic Solute on the Flux of Polysuphone Ultrafiltration Membranes with Different Cut-off [J] · J MembrSci · 2007 · 106 : 9-16
4. Khongnakorn W, Wisniewski C, Pottier L, et al. Physical properties of activated sludge in a submerged membrane bioreactor and relation with membrane fouling. Separation and Purification Technology, 2007
5. MGC Contractors, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
6. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
7. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency 2009
8. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
9. Wang X M, Li X Y, Huang X. Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (SMBR): Characterisation of the sludge cake and its high filtration resistance. Separation and Purification Technology, 2007
10. 山東順通科技有限公司 · http://www.chinashuntong.com/products_detail/productId=44.html
11. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
12. 百度百科 · 纖維過濾器 · <https://baike.baidu.com/item/>
13. 佺友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
14. 現代蔡倫-製漿過程 · 中華紙漿公司 · <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2003/c0333970327/m5-1.htm>

15. 產業價值鏈資訊平台，造紙產業鏈簡介，
<http://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=2000>
16. 財團法人環境與發展基金會，<http://www.edf.org.tw/guidance/index.asp>
17. 唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司，
http://www.rebeng123.com/product_view.php?id=18
18. 全澤股份有限公司，<http://www.molykem.com.tw/fiber2.htm>
19. 迪埃爾維（上海）流體控制商貿有限公司，冷凝水回收：開放式系統 Vs 封閉式系統，
<https://www.tlv.com/global/CN/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>
20. 華安潤邦環境科技有限公司，<http://www.huaanrunbang.com/channels/97.html>
21. 群揚材料股份有限公司，<http://www.efmi.com.tw/?a=index/entry&id=12>
22. 鼎暉國際股份有限公司，<http://www.ding-hui.com.tw/FW.htm>
23. 萬年青環境工程有限股份公司，<http://www.everclear.com.tw/capability/detail-7>
24. 廣源造紙股份有限公司，<http://www.kyp.com.tw/tw/business-group.html>
25. 張文榮，膜技術在廢水回收的應用，<http://www.dow.com/en-us/water-and-process-solutions>，2009
26. 劉定平，<https://www.douban.com/note/427703943/>，廣州宇津環境科技有限公司，2014
27. 林澤閔，生物活性碳濾床去除民生放流水有機物，中山大學碩士論文，2012
28. 柯宏杰，以電解混凝法處理化學機械研磨廢水—影響因子及反應機制，交通大學碩士論文，2004
29. 國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005
30. 何振隆等，臺灣造紙產業之介紹，林業研究專訊，2015
31. 梁德明，薄膜相關新技術用於電導度控制技術及處理成本分析，排放水電導度控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003

- 
32. 清晏環保科技有限公司，MBFB 膜生物流化床工藝，2015
 33. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
 34. 郭楊等，膜生物流化床的膜污染控制特性，南京大學學報，2009
 35. 陳忠輝，造紙產業永續經營與地球資源善用之探討，印刷科技，2015
 36. 彭元興，紙廠用水的合理化管理，2013
 37. 彭振洋，造紙工業用水之水量、水質需求及廢污水處理再生利用，水利產業研討會，2006
 38. 經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術-造紙業介紹，2008
 39. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
 40. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
 41. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
 42. 經濟部工業局，造紙業環保工安整合性技術手冊，2000
 43. 經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術 - 造紙業介紹，2013
 44. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
 45. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
 46. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
 47. 經濟部水利署，節水紀實，2012
 48. 行政院主計總處，行業標準分類，2016
 49. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
 50. 行政院環保署，廢（污）水自動監測（視）及連線傳輸設置程序，2014
 51. 中央氣象局，台灣各測站測站十年之年降雨統計表（1991-2000年），建築物雨水貯留利用設計技術規範修正規定
 52. 劉俊華等，造紙工業廢水深度處理技術的研究，2014
 53. 賴建宇，冷卻用水效率提升，產業用水效率提升輔導說明會，2016



紙漿、紙及紙製品製造業產業用水最適化及節水技術指引

發行人：經濟部工業局

審查委員：歐陽嶠暉、張添晉、陳見財、台灣區造紙工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘漣

出版所：經濟部工業局台北市信義路三段 41-3 號
TEL : (02) 2754-1255 FAX : (02) 2704-3753
<https://www.moeaidb.gov.tw>

出版日期：中華民國 108 年 12 月

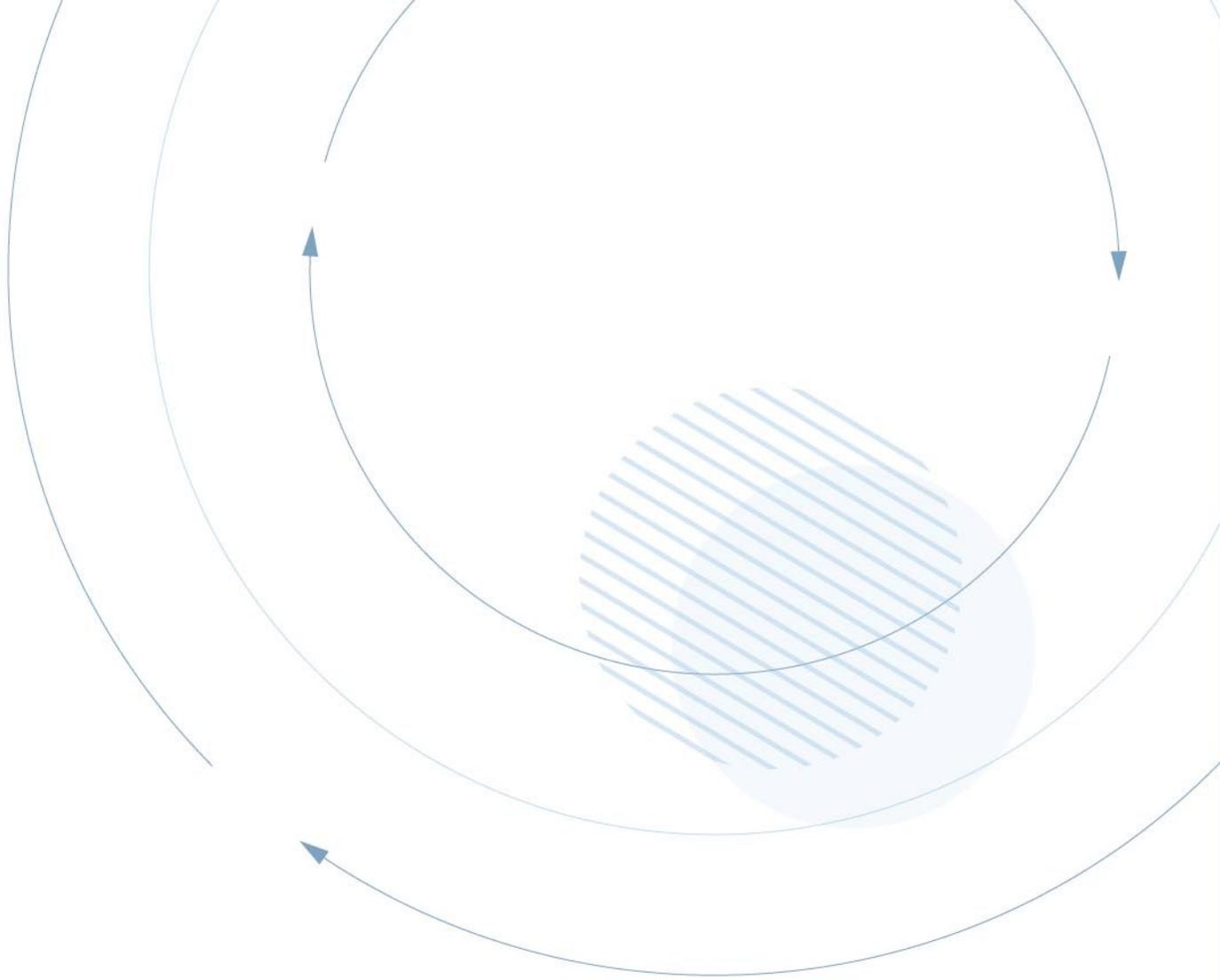
版次：初版

紙漿、紙及紙製品製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

編號	內容格式錯誤處	頁數	修正後內容格式	頁數	說明

註：
若有需修正內容格式，煩請填寫勘誤表寄至：
財團法人環境與發展基金會
新竹市東區光復路二段 321 號 2 館 507 室





經濟部工業局

INDUSTRIAL DEVELOPMENT
BUREAU, MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS