



非金屬礦物製品製造業

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
二、 製程特性	5
(一) 玻璃及其製品製造業	5
(二) 耐火/黏土建材及其他陶瓷製品製造業	7
(三) 水泥及其製品製造業	10
(四) 石材製品製造業	11
三、 主要用水標的與用水情形	12
第二章 水利三法相關子法、辦法事宜	13
一、 用水計畫審核管理辦法	13
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	14
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值	15
第三章 用水最適化及回收再利用技術	19
一、 製程用水最適化及回收再利用技術	19
(一) 用水最適化	20
(二) 水回收技術	21
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術	22
(一) 用水最適化	22
(二) 水回收技術	26
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	33
(一) 用水最適化	33
(二) 水回收技術	35
四、 放流水回收再利用技術	37
(一) 水回收技術	37
五、 其他水回收技術	39
(一) 生活用水減量	39
(二) 廠內用水管理	39
(三) 雨水貯留供水系統	40
(四) 區域水資源整合	42
(五) 裝設連續監測系統	43
六、 小結	44

第四章	水回收再利用案例介紹	45
一、	案例 A 廠簡介	45
(一)	案例廠簡介	45
(二)	製程流程	45
(三)	廠內用水管理情形	46
(四)	用水效率提升方案	47
(五)	成本效益分析	48
二、	案例 B 廠簡介	51
(一)	案例廠簡介	51
(二)	製程流程	51
(三)	廠內用水管理情形	52
(四)	用水效率提升方案	53
(五)	成本效益分析	55
第五章	參考文獻	57

圖 目 錄

	頁次
圖 1 非金屬製造業生產價值百分比例	4
圖 2 玻璃製造流程圖	5
圖 3 浮法生產製造流程圖	6
圖 4 玻璃纖維織布製造流程圖	6
圖 5 耐火材料之主要型式	7
圖 6 磁磚製造流程圖	8
圖 7 真空射出磚製造流程圖	9
圖 8 水泥製造流程圖	10
圖 9 石材加工廠一次及二次加工製造流程圖	11
圖 10 非金屬礦物製品製造業用水結構分析	12
圖 11 非金屬製造業製程廢水水質特性	19
圖 12 製程用水最適化及水回收技術	19
圖 13 砂濾處理系統原理示意圖	21
圖 14 砂濾處理系統設備圖	21
圖 15 冷卻用水最適化及水回收技術	22
圖 16 濃縮倍數與排放損失關係圖	23
圖 17 冷卻水塔加藥示意圖	24
圖 18 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	25
圖 19 冷卻水塔蒸發回收系統圖	26
圖 20 消霧節水冷卻水塔設備圖	27
圖 21 旁流過濾處理系統原理示意圖	28
圖 22 陶瓷球處理系統理論圖	30
圖 23 陶瓷球處理系統設備圖	30
圖 24 電透析薄膜處理系統原理示意圖	31
圖 25 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖	32
圖 26 鍋爐用水最適化及水回收技術	33
圖 27 開放式冷凝水回收系統原理示意圖	35
圖 28 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖	36
圖 29 放流水回收技術	37
圖 30 超濾膜加逆滲透過濾系統模組	38
圖 31 其他水回收技術	39
圖 32 雨水回收流程圖	40

圖 33 區域水資源整合型態示意圖	42
圖 34 監測連線傳輸設置圖	43
圖 35 案例 A 廠製程流程圖	45
圖 36 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	46
圖 37 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	48
圖 38 案例 B 廠製程流程圖	51
圖 39 案例 B 公司 A 廠區用水平衡圖 (方案實施前)	52
圖 40 案例 B 公司 C 廠區用水平衡圖 (方案實施前)	53
圖 41 案例 B 公司 A 廠區用水平衡圖 (方案實施後)	54
圖 42 案例 B 公司 C 廠區用水平衡圖 (方案實施後)	55

表 目 錄

	頁次
表 1 非金屬製造業類別及定義	2
表 2 市面常見水泥的種類	11
表 3 產業園區用水管理作業原則摘要	14
表 4 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	15
表 5 再生水用於工業用途分級水質建議值表	16
表 6 再生水用於工業用途水質基礎建議值	17
表 7 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	23
表 8 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	27
表 9 冷卻水塔蒸發回收之成本分析	27
表 10 纖維過濾與傳統砂濾比較表	29
表 11 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例	32
表 12 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較	36
表 13 薄膜生物處理\加逆滲透薄膜處理系統經費分析	37
表 14 超濾膜加逆滲透薄膜處理系統經費分析	38
表 15 雨水處理設備與使用程度關係	41
表 16 雨水截流系統設計值	41
表 17 非金屬製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整	44
表 18 水回收設施經費分析	48
表 19 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	49
表 20 水回收方案實施前後水回收率變化	50
表 21 水回收設施經費分析	55
表 22 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	56
表 23 水回收方案實施前後水回收率變化	56

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)，非金屬製造業為從事石油及煤以外非金屬礦物製品製造之行業，如：玻璃及其製品、耐火、黏土建材、水泥及其製品等之行業，依行業標準分類別可細分如表 1 所示。另依經濟部統計處資料顯示，非金屬礦物製品製造業產值約為新台幣 2,001 億，以水泥製造業、預拌混凝土製造業及水泥及混凝土製品製造業之相關業產值占比較高，合計約占非金屬製造業產值 49%，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)。

非金屬材料是由非金屬元素或化合物構成的材料，隨著生產和科學技術的進步，人類以天然的礦物、植物、石油等為原料，製造和合成了許多新型非金屬材料，一般分為傳統及新型的無機非金屬材料兩大類。涵蓋項目包含玻璃及其製品製造、耐火/黏土建材及其他陶瓷製品製造、水泥及其製品製造、石材製品製造等類別(非金屬材料)。

於玻璃及其製品業製造中，玻璃用途已從早期切割、裝飾等基本用途，隨著時代的演進，在工業時代被大量應用在光學、理化器材及工業用途上，進入資訊通訊紀元後，玻璃更加廣泛的被應用到電子產品中，相對造就了全球對玻璃龐大的需求。全球的玻璃工業，已成為年產值達到美金 530 億元以上的重要產業(康智強，入 TPP 對我玻璃工業成長利多，中華徵信所，2015)。

關於石材製造業中，臺灣的石材資源大多數仰賴國外進口，其中花崗石原石 100%來自國外，大理石原石也有 70%從國外進口，由於天然石材缺乏，故原石以進口為主，且產品以內銷市場為主(石材加工業資源化應用技術手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會，2005)。

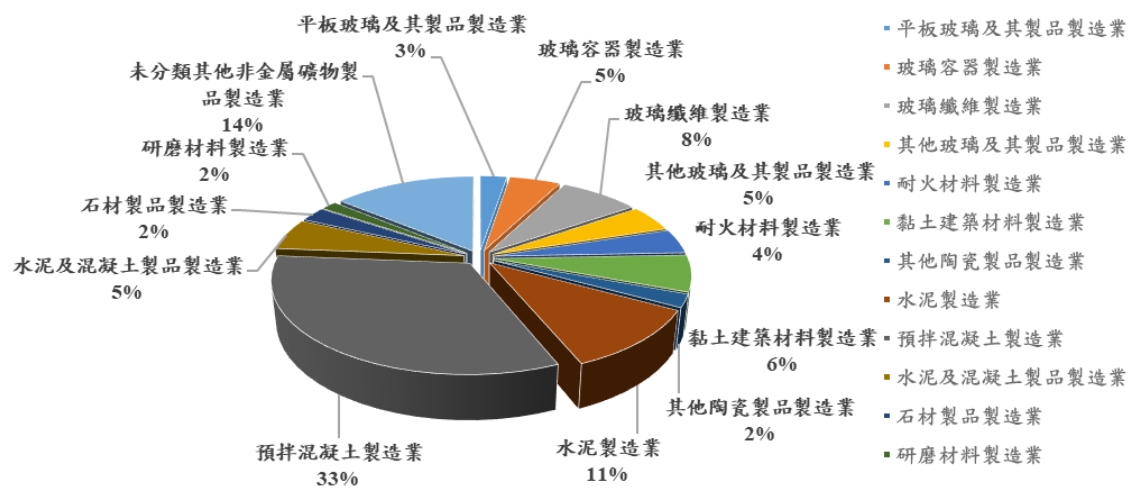


表 1 非金屬製造業類別及定義

分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	23			非金屬礦物製品製造業 從事石油及煤以外非金屬礦物製品製造之行業。
			231	玻璃及其製品製造業 從事玻璃、玻璃纖維及玻璃製品製造之行業；科學或工業用玻璃器皿及玻璃熟料之製造亦歸入本類。
			2311	平板玻璃及其製品製造業 從事以矽砂等原料製造板狀玻璃之行業；平板玻璃加工製品製造亦歸入本類。 不包括： 經光學加工之光學元件（如顯微鏡鏡片）製造歸入 2779 細類「其他光學儀器及設備製造業」。 眼鏡製造歸入 3321 細類「眼鏡製造業」。
			2312	玻璃容器製造業 從事以矽砂等原料製造玻璃容器之行業，如玻璃杯、玻璃瓶、玻璃罐、玻璃試管等製造；實驗室、醫療或醫藥用玻璃器皿製造亦歸入本類。 不包括： 注射器製造歸入 3329 細類「其他醫療器材及用品製造業」。
			2313	玻璃纖維製造業 從事以矽砂等原料製造玻璃纖維之行業；玻璃纖維絲、玻璃纖維紗及玻璃纖維紗束等製造亦歸入本類。 不包括： 玻璃纖維布疋織造歸入 1123 細類「玻璃纖維梭織布業」。 光纖及光纖製造歸入 2831 細類「電線及電纜製造業」。
			2319	其他玻璃及其製品製造業 從事 2311 至 2313 細類以外玻璃及其製品製造之行業，如玻璃磚、玻璃馬賽克、玻璃棒或管、電器玻璃（含電燈玻璃外罩）、玻璃擺飾品、鐘錶玻璃、未經光學加工之光學玻璃及光學元件等製造。 不包括： 光學玻璃製品製造歸入 2779 細類「其他光學儀器及設備製造業」。 玻璃玩具製造歸入 3312 細類「玩具及遊戲機製造業」。 眼鏡製造歸入 3321 細類「眼鏡製造業」。 注射器製造歸入 3329 細類「其他醫療器材及用品製造業」。
			232	耐火、黏土建材及其他陶瓷製品製造業 從事耐火材料、黏土建築材料及其他陶瓷製品製造之行業。
			2321	耐火材料製造業 從事耐火材料製造之行業，如耐火泥、耐火磚、坩堝等製造；含有菱鎂礦、白雲石、鉻鐵礦等成分之耐火材料製造亦歸入本類。
			2322	黏土建築材料製造業 從事黏土建築材料製造之行業，如陶瓷磚、塊、瓦、煙囪罩、黏土導管等製造；陶瓷衛浴設備燒製亦歸入本類。 不包括： 強化塑膠浴缸製造歸入 2209 細類「其他塑膠製品製造業」。 耐火材料製造歸入 2321 細類「耐火材料製造業」。 黏土料製造歸入 2399 細類「未分類其他非金屬礦物製品製造業」。 金屬浴缸、臉盆製造歸入 2599 細類「未分類其他金屬製品製造業」。
			2329	其他陶瓷製品製造業 從事 2321 及 2322 細類以外陶瓷製品製造之行業，如陶瓷餐具、陶瓷雕像、陶瓷裝飾品、科學或工業用陶瓷製品、陶瓷家具等製造。 不包括： 耐火陶瓷製品製造歸入 2321 細類「耐火材料製造業」。 陶瓷建築材料製造、陶瓷衛浴設備燒製歸入 2322 細類「黏土建築材料製造業」。 陶瓷玩具製造歸入 3312 細類「玩具及遊戲機製造業」。 假牙製造歸入 3329 細類「其他醫療器材及用品製造業」。

分類編號			行業名稱及定義
	233		水泥及其製品製造業 從事水泥、預拌混凝土及其製品製造之行業。
		2331	水泥製造業 從事水泥或水泥熟料製造之行業，如卜特蘭水泥、水硬性水泥等製造。 不包括： 耐火泥製造歸入 2321 細類「耐火材料製造業」。 水泥製品製造歸入 2333 細類「水泥及混凝土製品製造業」。 牙科用黏固粉製造歸入 3329 細類「其他醫療器材及用品製造業」。
		2332	預拌混凝土製造業從事將水泥、混凝土粒料及摻料，以水充分拌合後供運至工地澆鑄用之行業。 不包括： 耐火混凝土製造歸入 2321 細類「耐火材料製造業」。 混凝土製品製造歸入 2333 細類「水泥及混凝土製品製造業」。
		2333	水泥及混凝土製品製造業 從事水泥、混凝土製品製造之行業，如水泥磚、水泥瓦、混凝土磚、混凝土管、預力混凝土基樁等製造。 不包括： 耐火泥、耐火混凝土製造歸入 2321 細類「耐火材料製造業」。
	234	2340	石材製品製造業 從事將石材切割、成型及修飾為石材製品之行業，如石碑、石材建築材料、鋪地石板、石材家具等製造。 不包括： 塑膠人造石製造歸入 2209 細類「其他塑膠製品製造業」。 研磨材料製造歸入 2391 細類「研磨材料製造業」。 非塑膠人造石製造歸入 2399 細類「未分類其他非金屬礦物製品製造業」。 鑲嵌石材家具製造歸入 32 中類「家具製造業」之適當類別。 石材雕刻藝術創作歸入 9010 細類「創作業」
		239	其他非金屬礦物製品製造業 從事 231 至 234 小類以外非金屬礦物製品製造之行業，如研磨材料、石灰、石膏及其他非金屬礦物製品製造。
		2391	研磨材料製造業 從事研磨材料製造之行業，如砂紙、砂布、砂輪等製造。
		2399	未分類其他非金屬礦物製品製造業 從事 2391 細類以外其他非金屬礦物製品製造之行業，如石灰及石膏製品、滑石粉、石英粉、黏土料、石墨磚、矽酸鈣絕熱材料、石棉製品等製造；以瀝青、石油焦等石油副產品製造土木、建築材料及其他製品亦歸入本類。 不包括： 耐火石灰製造歸入 2321 細類「耐火材料製造業」。 碳或石墨之墊片製造歸入 2939 細類「其他通用機械設備製造業」。

（資料來源：行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016）



(資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)

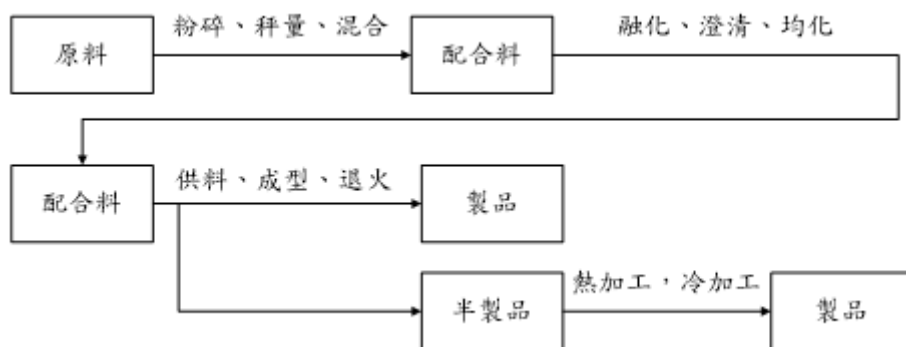
圖 1 非金屬製造業生產價值百分比例

二、製程特性

本小節針對非金屬製造業相關製造業，包括玻璃及其製品製造業、耐火/黏土建材及其他陶瓷製品製造業、水泥及其製品製造業及石材製品製造業等，分別概述其製程特性。

(一) 玻璃及其製品製造業

玻璃產品的製造，根據不同的需求特性，所添加之生產原料及製造工法將會有所差異，但主要生產原料以酸性、鹼金屬、鹼土金屬氧化物為主要原料製程玻璃和玻璃製品所使用之原料，多數玻璃製造流程如圖 2 所示（中國百科網）；依據不同用途可大略區分為平板玻璃、超薄玻璃、光電玻璃、玻璃纖維及玻璃器皿。

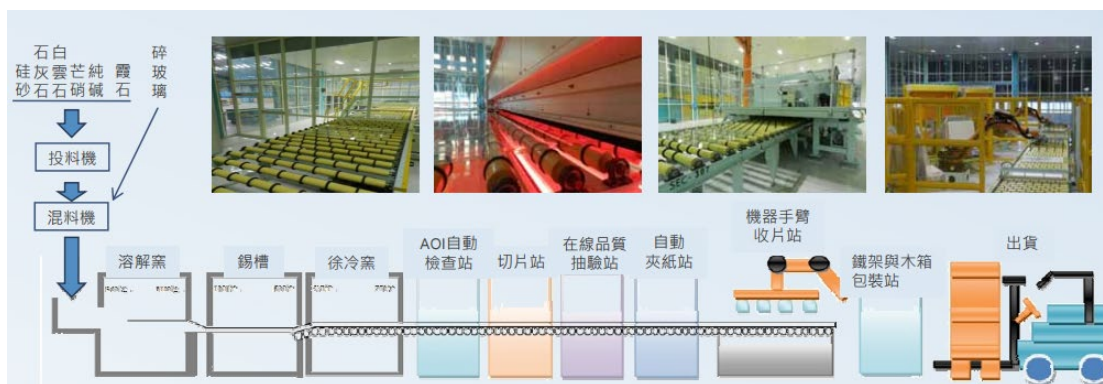


（資料來源：中國百科網）

圖 2 玻璃製造流程圖

平板玻璃也稱白片玻璃或淨片玻璃，根據表面狀態可分為普通平板玻璃、壓花玻璃、磨光玻璃、浮法玻璃等，其具有高化學穩定性，對酸、鹼、鹽及化學試劑及氣體有較強的抵抗能力，但長期遭受侵蝕介質的作用也能導致質變和破壞，如玻璃的風化和發黴都會導致外觀的破壞和透光能力的降低（中文百科在線網）。

超薄玻璃主要應用對象為科技產品如：平板數位 X 光偵測器、CMOS 影像感應器、半導體製程載具等；目前產業製程能力可達到供應厚度 1.1~0.33 mm，透光率達 9 成之產品。製程流程如圖 3 所示，以浮法生產，透過玻璃膏經控制閘門進入錫槽（1,000℃），由於地心引力作用，利用比重差異使玻璃浮於熔融錫表面上，再進入徐冷槽（500℃），使玻璃兩面平滑均勻（台玻集團產品介紹）。

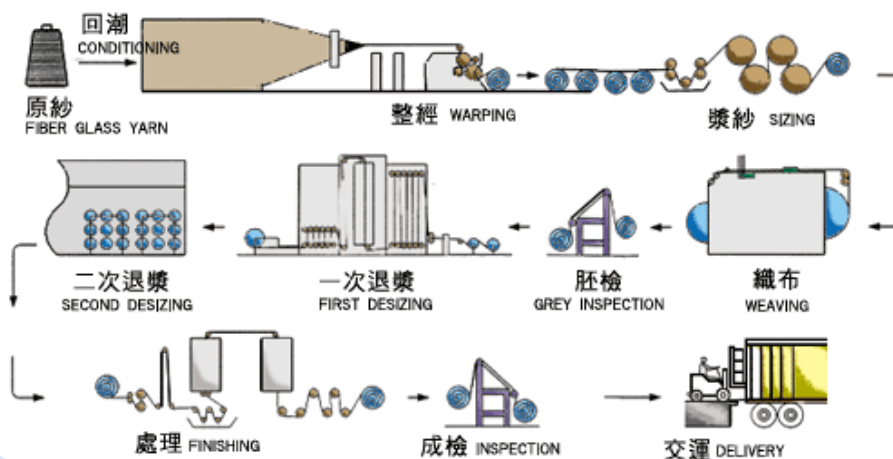


(資料來源：台玻集團產品介紹)

圖 3 浮法生產製造流程圖

光電玻璃主要應用範圍為光伏蓋板玻璃及各類太陽能發電鏡。光伏蓋板玻璃可根據不同太陽能板尺寸而進行裁切，常見透光率可達 **9 成**，厚度為 **3~4 mm**；太陽能發電鏡常見可分為 **3 類型態**(槽式太陽能鏡、塔式太陽能鏡及菲涅爾式太陽能鏡)，上述玻璃製造採用先進的全鋼化玻璃技術和設備製造，抗衝擊強度是普通玻璃鏡的 **5~10 倍** (台玻集團產品介紹)。

玻璃纖維製程常見方法為透過玻璃球或廢舊玻璃為原料以高溫熔解、拉絲、絡紗、織布等方式，製程各類產品。單根纖維絲直徑可由幾微米到 **20 幾米個微米**，可做為複合材料中增強材料，電絕緣材料和絕熱保溫材料等用途；以玻璃纖維織布為例，常見製造流程如圖 4 所示 (玻璃纖維)。



(資料來源：南亞塑膠工業股份有限公司)

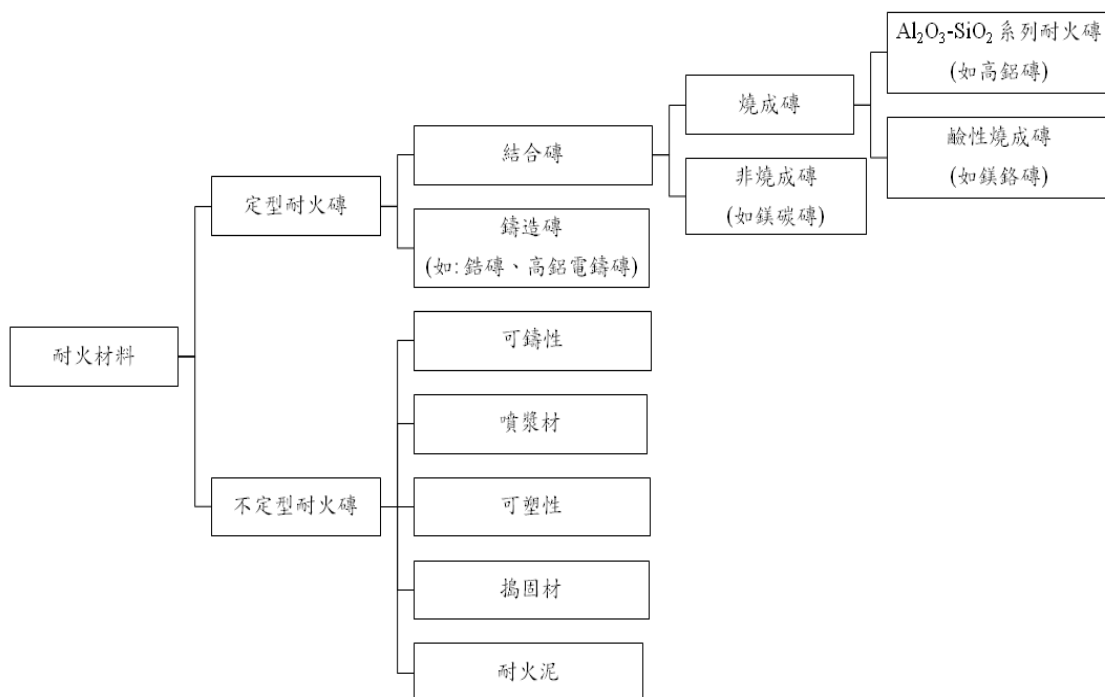
圖 4 玻璃纖維織布製造流程圖

玻璃容器製造依產品功能性可分類為容器、食器、廚器、實驗室/醫療/醫藥用玻璃器皿製造等產品。目前市面上已逐步採用輕量瓶作為玻璃容器未來使用之趨勢，不但可減輕客戶的生產成本，且因之節省的原料與能源，也能促進對環境保護的貢獻（台玻集團產品介紹）。

(二) 耐火/黏土建材及其他陶瓷製品製造業

耐火材料製品包含耐火泥、耐火磚、坩堝等製造，根據國際標準（ISO）規定，耐火材料是指耐火度至少為 $1,500^{\circ}\text{C}$ 的無機非金屬材料。依照耐火度高低，可分為普通耐火材料（ $1,580\sim 1,770^{\circ}\text{C}$ ）、高級耐火材料（ $1,770\sim 2,000^{\circ}\text{C}$ ）和特級耐火材料（ $2,000^{\circ}\text{C}$ 以上）；按化學特性分為酸性耐火材料、中性耐火材料和鹼性耐火材料（財經百科，耐火材料）。

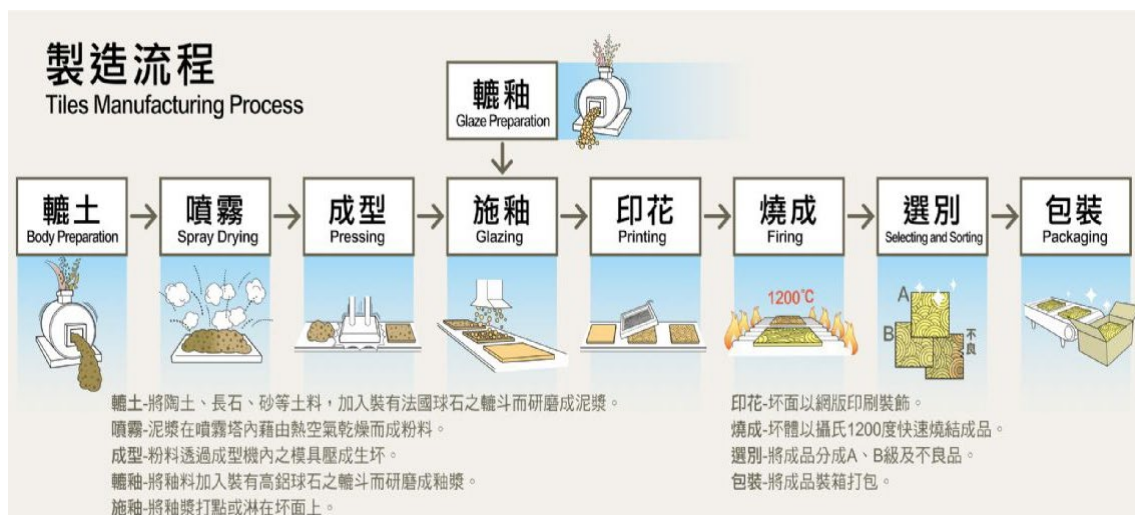
現代耐火材料的生產，多數使用合成材料結合礦物原料應用於其生產過程中，製成定型耐火磚及不定型耐火材料，有關耐火材料的主要型式如圖 5 所示。



（資料來源：中華民國工業安全衛生協會，第十五章、耐火材料業）

圖 5 耐火材料之主要型式

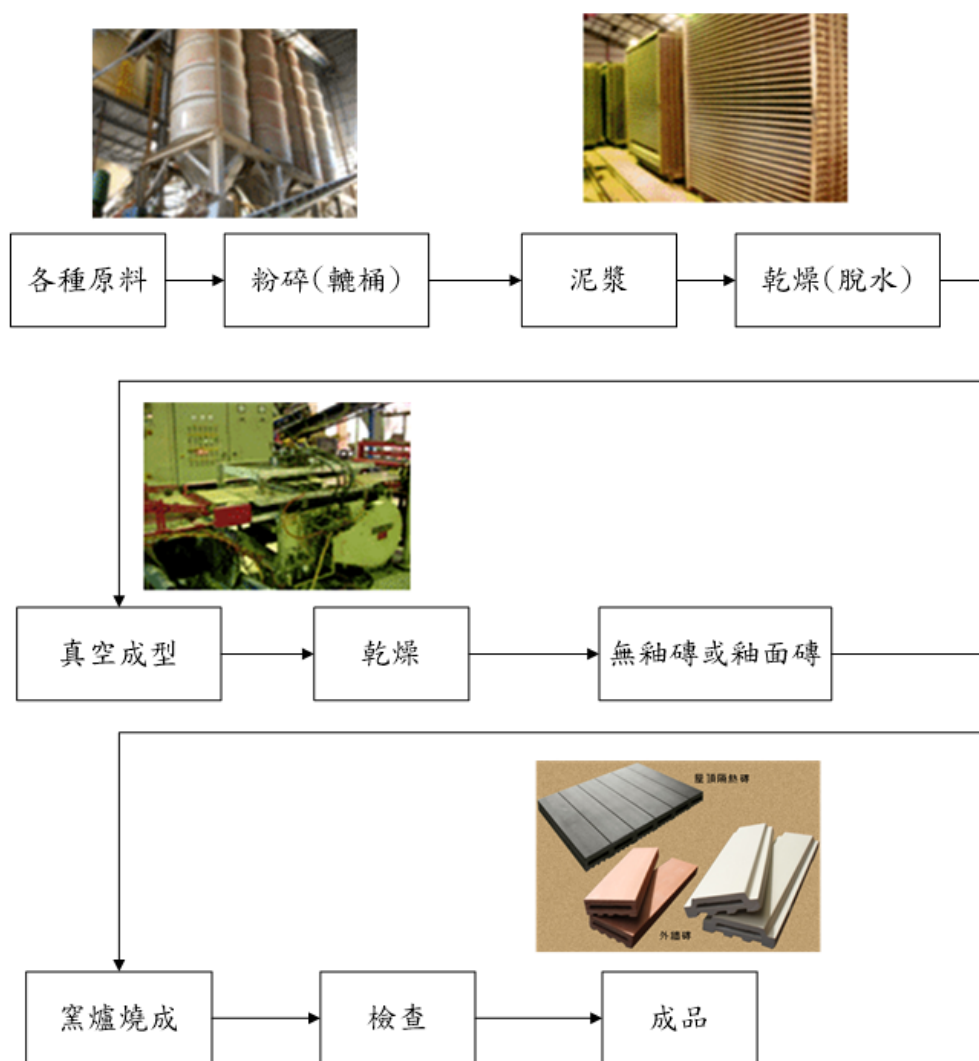
黏土建築材料製造中，國內磁磚廠所生產之產品主要分為地磚、壁磚、馬賽克及石英磚等。製程主要原料土為黏土、長石及矽砂，根據不同用途分別調整其配方及燒成溫度，上述一般典型磁磚製造流程如圖 6 所示(經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊，2011)。



(資料來源：宏洲磁磚觀光工廠)

圖 6 磁磚製造流程圖

除上述一般典型磁磚外，真空射出磚是指把土壤空氣徹底抽出，並且使它以最精密的機械擠出成型的一種磁磚。因此產品於製程作業中，原料已經徹底真空，內部不含氣泡，再加上擠壓，因此質地堅硬無比，非一般傳統磁磚所能比。真空射出磚另一特性即背面均具槽狀倒勾，它有著極強大的附著力，尤其在地處地震地帶之區域，其更適合使用，有關真空射出磚製造流程如圖 7 所示（光明開發建材有限公司）。



（資料來源：光明開發建材有限公司）

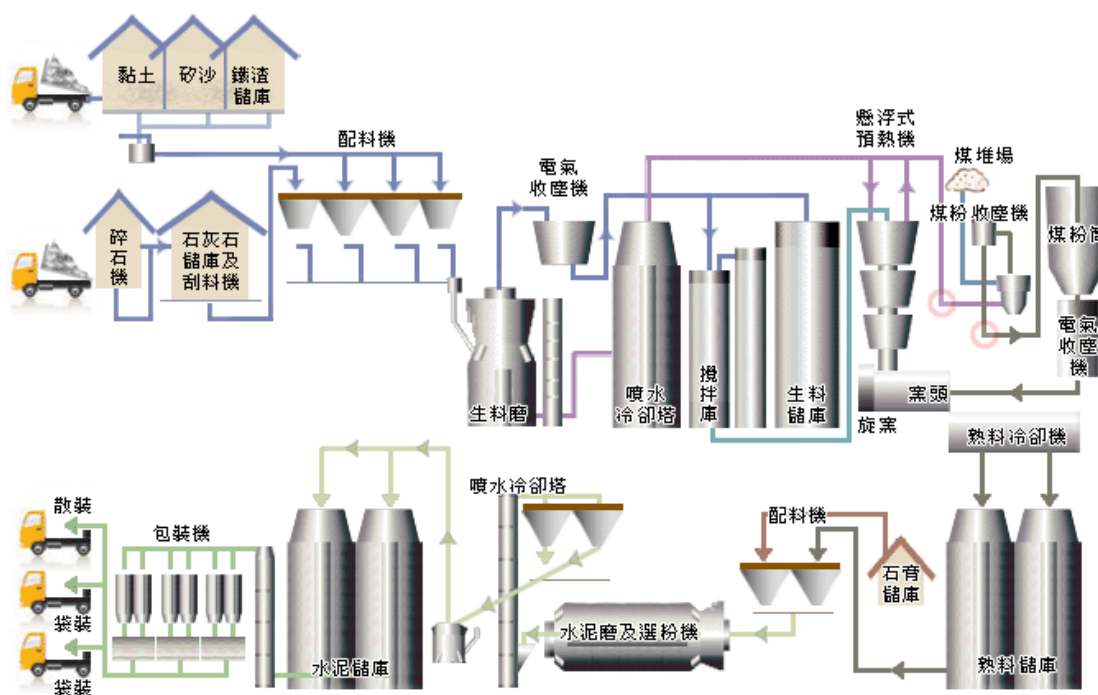
圖 7 真空射出磚製造流程圖



(三) 水泥及其製品製造業

一般水泥製造工序可分為生料磨製、煅燒和水泥製成。生料磨製即石灰石和黏土等原料，進行磨機磨細的工序；煅燒即把已加工之原料放入窯；燒完後再經過研磨等過程而製成之粉體，經過包裝，即成為市面上所見之水泥產物，其製造流程如圖 8 所示（蔡政博，水泥製造學，益群出版社，1993）。

根據不同用途，所發展出的水泥類別不勝其數，國內有產製的水泥為卜特蘭水泥，分別有：卜特蘭第 1 型水泥、卜特蘭第 2 型水泥、卜特蘭第 1 型低鹼水泥；混合水泥有高爐水泥等，以上相關特徵及用途如表 2 所示。其中以卜特蘭第 1 型水泥為主要之產銷品，約占市場需求量的 90% 以上，混合水泥僅視客戶特殊需求而訂量生產（陳聖元等，水泥的故事，南台科技大學-知識分享平台，2010）。



（資料來源：東南水泥）

圖 8 水泥製造流程圖

表 2 市面常見水泥的種類

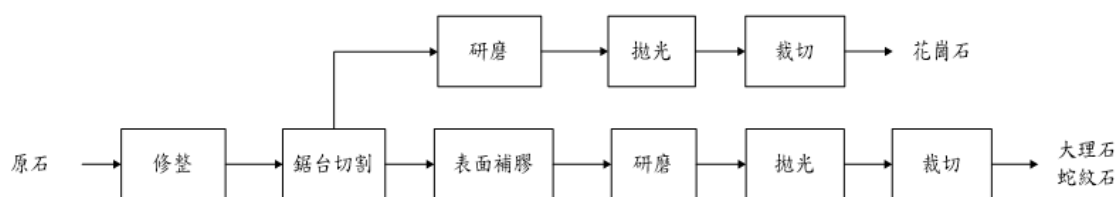
種類	特徵	用途
卜特蘭 1 型水泥	1.為最主要之水泥產品。 2.不具他種水泥特性。	一般建築、工程用
卜特蘭 2 型水泥	1.具備中度抗硫酸鹽侵蝕及中度水合熱特性 2.早期強度比 1 型水泥低，但 90 天後長期強度較高。 3.乾燥收縮小，耐久性佳。	水壩工事、巨積混凝土鋪設道路、碼頭濱海建築等
高爐水泥	1.長期強度大。 2.水和熱小。 3.對污水及海水之抗蝕性高。 4.水密性大。	水壩、河川、港灣等之上木工事、建築工事、道路橋樑、高樓建築
卜特蘭 1 型低鹼水泥	1.含鹼量小於 0.6%。 2.長期不易腐蝕骨材，尤其是鋼筋。 3.降低在潮濕地方發生膨脹破裂	高速鐵路、高雄捷運土木工事

(資料來源：東南水泥，水泥的種類)

(四) 石材製品製造業

「石材加工業」係指自然岩石經由切割、雕刻或研磨等加工過程，使原石成為石材成品或半成品之工業。主要製程產品於市場分為四類：1. 生產板材 2. 民用建築 3. 風景點和普通建築 4. 雕塑、公園景物、室內裝飾和工藝品。

根據其加工型態，石材加工業可分為一次加工業，利用十字剪、鋼砂拉鋸、鑽石拉鋸及磨台等生產地磚、光板為主；二次加工業則以生產特殊規格品為主及手工藝品業，製造流程如圖 9 所示 (中華民國工業安全衛生協會，第十三章、石材製品製造業)。

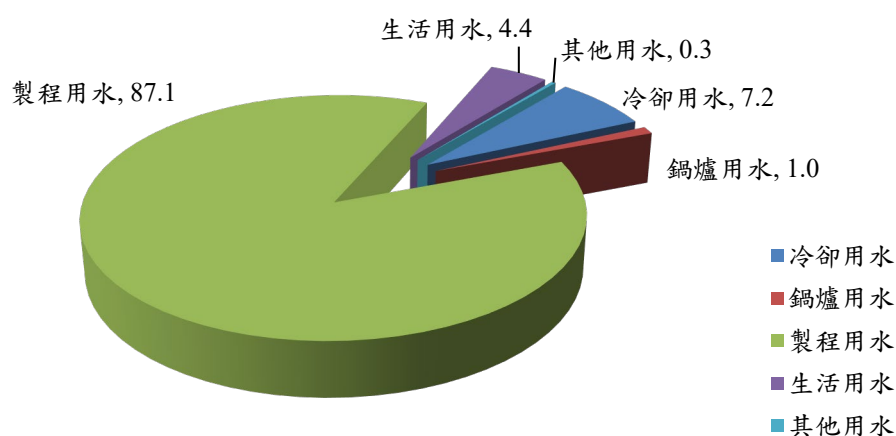


(資料來源：財團法人台灣綠色生產力基金會，石材加工業資源化應用技術手冊，2005)

圖 9 石材加工廠一次及二次加工製造流程圖

三、主要用水標的與用水情形

根據經濟部水利署 106 年工業用水統計報告中提出，非金屬礦物製品製造業全國佔地面積為 2164.96 公頃，其年用水量 61.94 百萬立方公尺（經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017）。依據用水結構分析中，非金屬製造業可分為五大類，分別為製程用水、冷卻用水、鍋爐用水、生活用水及其他用水等。根據統計資料顯示，由於非金屬製造業於製程作業中，洩漿、攪拌及研磨等過程，將需要大量用水，因此製程用水比例高達 87.1%，用水結構分析如圖 10 所示。（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 10 非金屬礦物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、彰濱工業區共三座工業區；另用水量未達或已達 3,000 CMD 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 3 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 3 產業園區用水管理作業原則摘要

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如表 4 所示，水質建議值如表 5 所示。

表 4 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 5 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 6 所示。

表 6 再生水用於工業用途水質基礎建議值

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

非金屬製造業中，常見產物為玻璃、預拌混凝土、耐火磚等產物，由於生產產品不同，對於用水要求也有所差異，相關製程廢水水質特性如圖 11 所示，各項用水最適化及水回收技術如圖 12 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

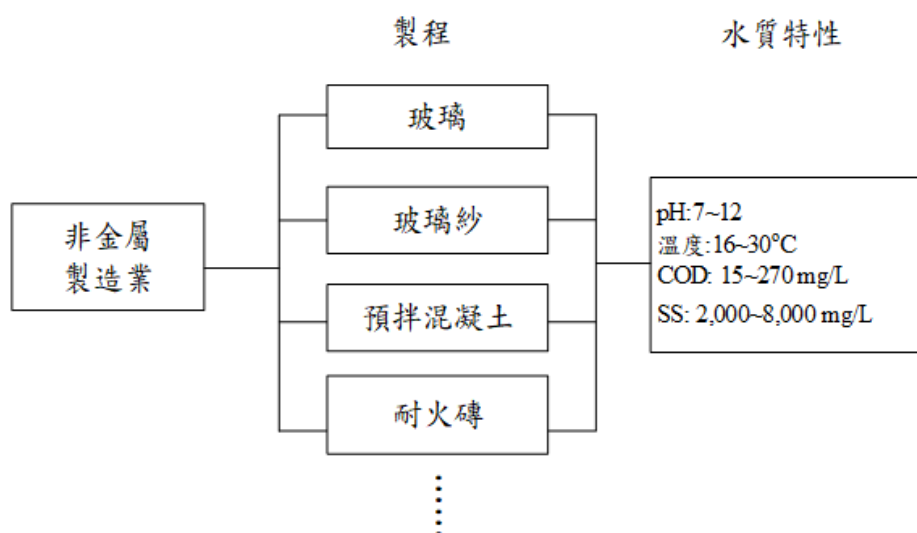


圖 11 非金屬製造業製程廢水水質特性

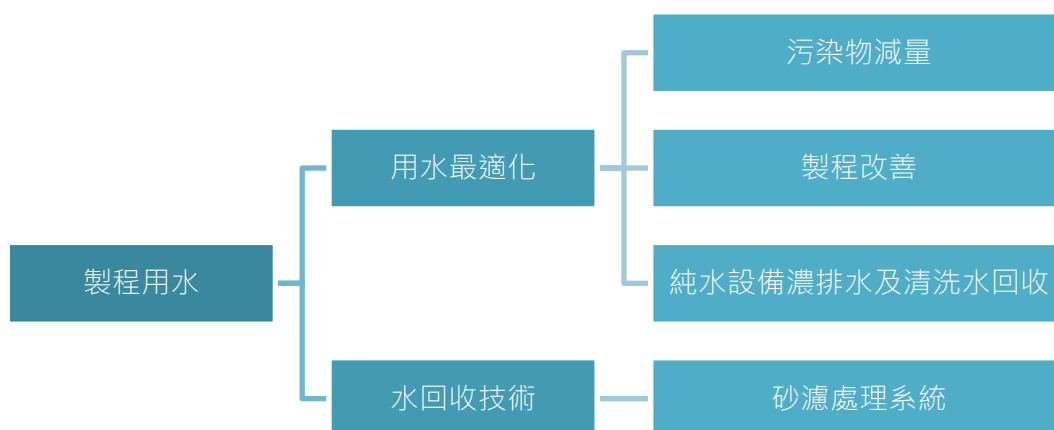


圖 12 製程用水最適化及水回收技術



(一) 用水最適化

1. 污染物減量

本方案主要目的是減少污染物產生，以石材作業為例，製程中所產生之污染物，將採用混凝及膠凝的方式，透過重力沉降使得上層液得以再利用，達到節省用水量之目的。

2. 製程改善

針對現有製程程序在不影響製程生產良率及操作安全的原則下，進行製程程序或機台設備變更如：部分磁磚製造業於坯料製備採用袋式壓濾、真空過濾、離心脫水法濾出廢水，雖然此股廢水可回收再利用，對於坯料品質並不會損害，但若改採噴霧乾燥法作業，將可達到無廢水產生之效益（經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊，2011）。

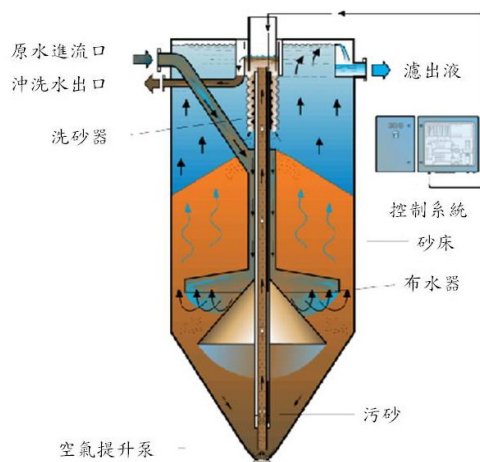
3. 純水設備濃排水及清洗水回收

由於製程作業中，對於製程用水品質有一定限制，因此進流水會透過薄膜過濾系統或者軟水系統進行前處理後再行使用，處理過程所產生濃排水（如：RO 濃排水，導電度約為 800~950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）或再生廢水可用於對於水質要求較不嚴苛之其他區段，如：清洗、冷卻及洗滌塔補充水之使用；在軟水系統的部分，持續生產作業一段時間後，系統逐漸飽和，造成產水效率逐步降低。因此，使用化學藥劑進行再生，以恢復系統活性。而反沖洗頻率一般以導電度作為依據，相較於以通過水量視為反沖洗次數評估，導電度評估將更為精確，且可避免過度反洗。當反沖洗作業進行中，經過多次反洗後，其反沖洗水之水質將逐漸提升，後段正洗水質已趨近於自來水，通常水質清澈，具回收再用價值，因此可將該股正洗水回收作為冷卻水塔或洗滌塔補充等次級用水使用。

(二) 水回收技術

1. 砂濾處理系統

於非金屬製造業中，洗滌研磨機、貯桶、篩網、噴霧乾燥器、樓地板等，主要污染項目為懸浮固體，經過適當處理具有高度回收價值，可進行鋪設收集溝渠，將降溫廢水收集至回收水桶再以袋濾或砂濾藉由物理性的阻留作用及沉澱作用，將懸浮物質自水中分離，故建議裝設砂濾進行過濾後再循環使用，以減少自來水用量，砂濾處理系統原理如圖 13 所示，經處理後之去除雜質製程用水水源可作為次級用水、回收作為冷卻水塔補充水，抑或製程作業重複再利用，其設備圖如圖 14 所示。



(資料來源：上海奧德水處理科技有限公司)

圖 13 砂濾處理系統原理示意圖



(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 14 砂濾處理系統設備圖



二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水係指工業生產中，能夠轉移或吸收生產設備及產品之多餘熱量，使得用水溫度維持於作業需求，因冷卻用水具有量體大、消耗少及污染低之特性，因此透過相關節水技術將可得到回收再利用之效益，有關冷卻水水質標準可參照第二章表 5 及表 6，圖 15 為常見之相關技術。

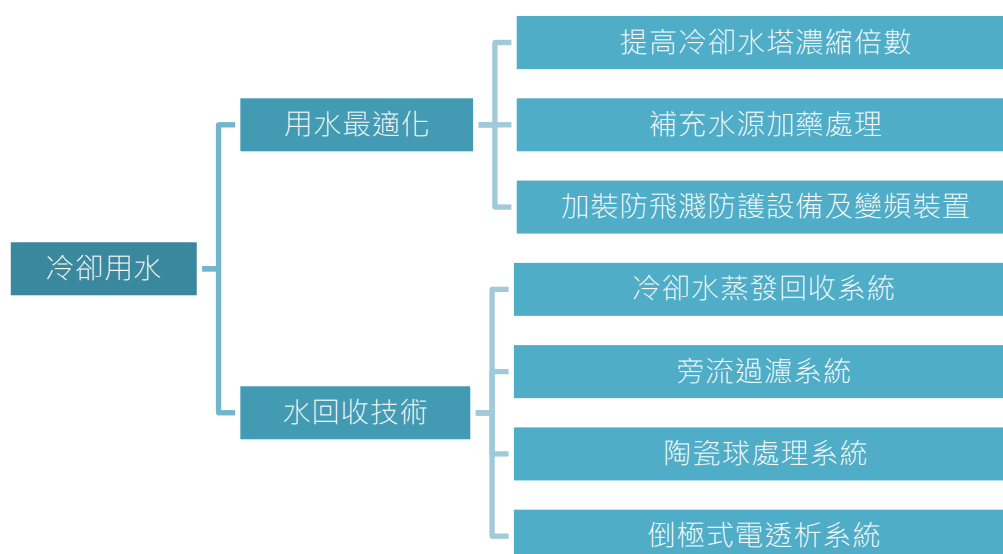


圖 15 冷卻用水最適化及水回收技術

(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：

$$C = M \text{ (補充水量)} / B \text{ (排水量)}$$

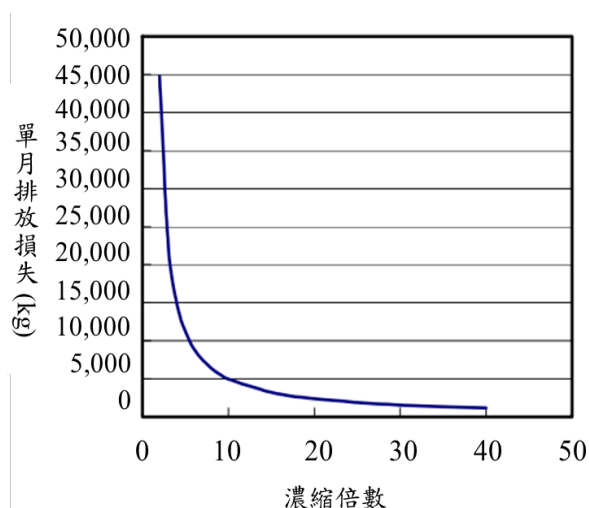
$$= EC_{out} \text{ (排放水導電度)} / EC_{in} \text{ (補充水導電度)}$$

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 7 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 16 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 7 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	7.0	8.0	9.0	10
	1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%	61%	62%	63%	64%
	2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%	42%	43%	44%	45%
	2.5			10%	16%	20%	25%	28%	30%	31%	33%	34%
	3.0				7%	11%	17%	20%	22%	24%	25%	26%
	3.5					5%	11%	17%	17%	18%	20%	21%
	4.0						6%	11%	13%	14%	16%	17%
	5.0							4%	7%	9%	10%	11%
	6.0								3%	5%	6%	7%

（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 16 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 17 所示。

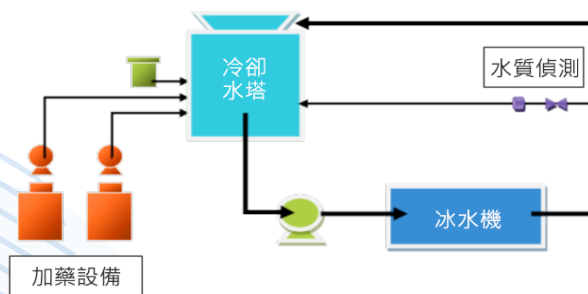
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (**Langelier Saturation Index**，簡稱 **LSI**) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (**pH**)、**Ca** 硬度、**M** 鹼度 (**Malk**) 及總溶解固體 (**Total Dissolved Solids**，簡稱 **TDS**) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}]) + C_{scale} (f (T, TDS))$ 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。

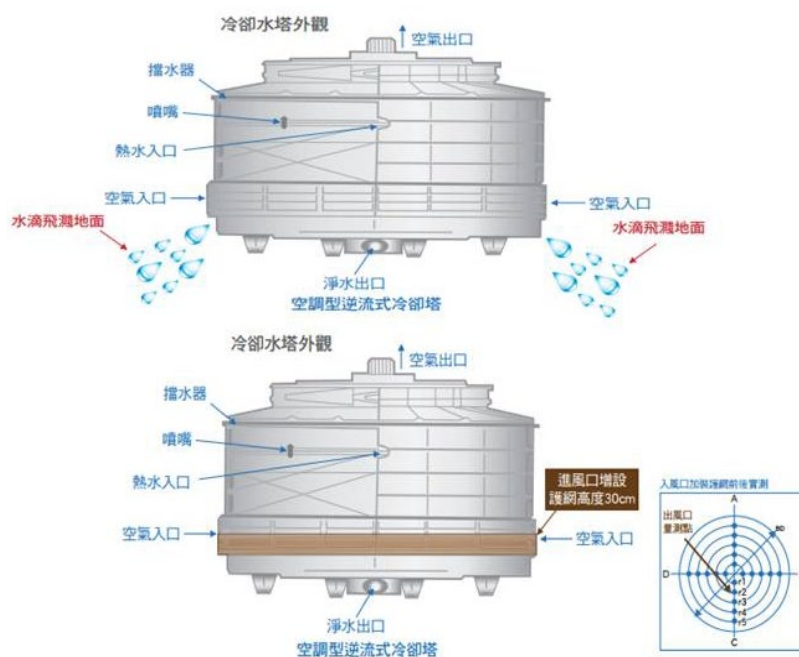


(資料來源：仝友股份有限公司)

圖 17 冷卻水塔加藥示意圖

3. 加裝防飛濺防護設備及變頻裝置

為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 18 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)

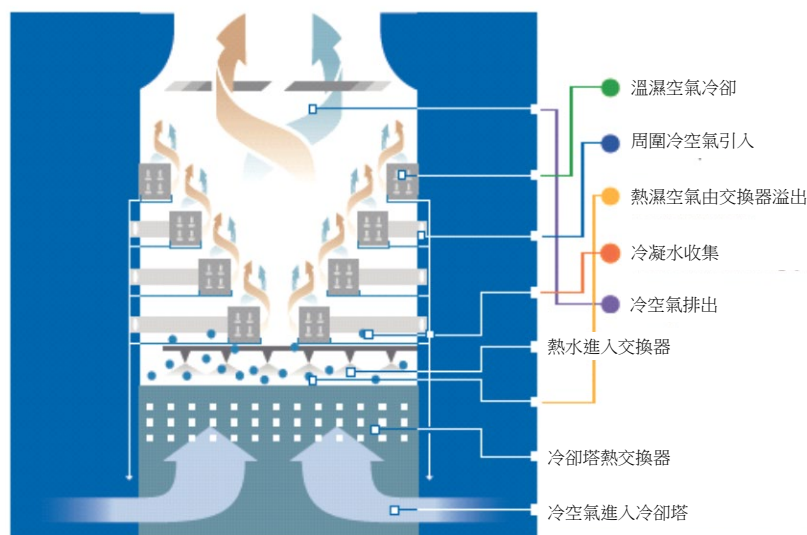
圖 18 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

(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 19 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，節水冷卻水塔設備如圖 20 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 8 所示，其每年 11~4 月缺水期間運作之單位回收成本如表 9 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 19 冷卻水塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

圖 20 消霧節水冷卻水塔設備圖

表 8 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 (m³/h)	可回收量 (m³/h)	蒸發水量 (m³/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 9 冷卻水塔蒸發回收之成本分析

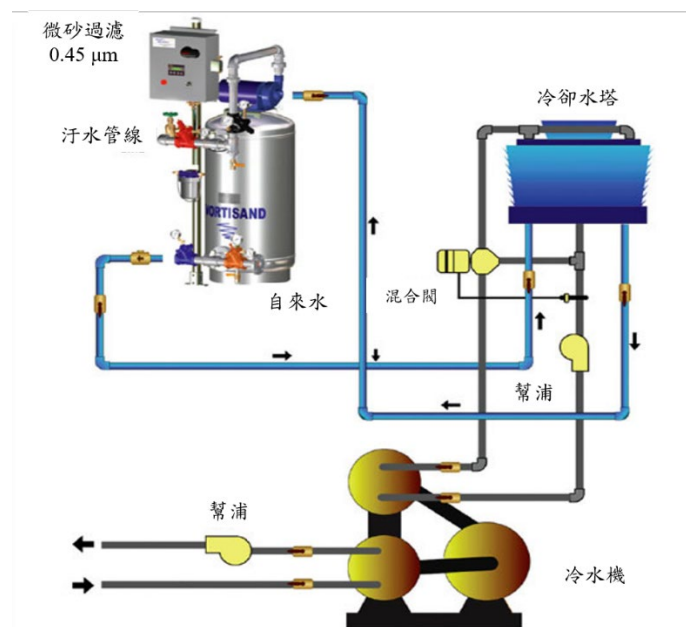
項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量 (11-4 月)	58,240 m³	0	58,240 m³
營運成本 (11-4 月)	1,100 千元	930 千元	22,000 千元
單位產水建造成本 (25 年折舊) (元/m³)			8.24
單位產水營運成本 (元/m³)			2.92
單位產水成本 (元/m³)			11.16
註:計算基準:建造成本折舊年限 25 年，電費 2.5 元/度			

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

2. 旁流過濾系統

透過冷卻水塔加裝旁流過濾系統，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，旁流過濾系統如圖 21 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 10 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 21 旁流過濾處理系統原理示意圖

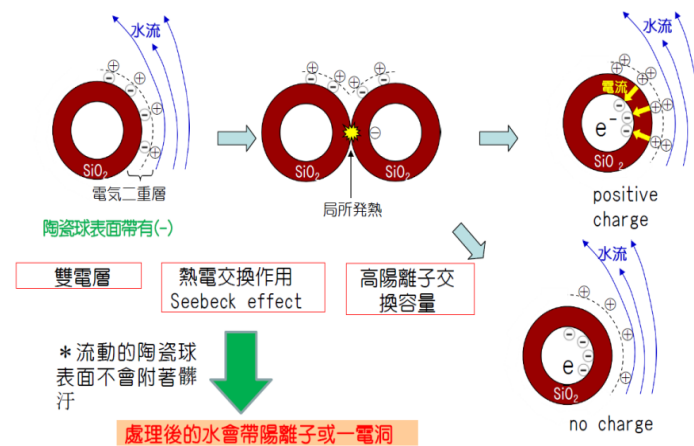
表 10 纖維過濾與傳統砂濾比較表

項目	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 22 及圖 23 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 22 陶瓷球處理系統理論圖

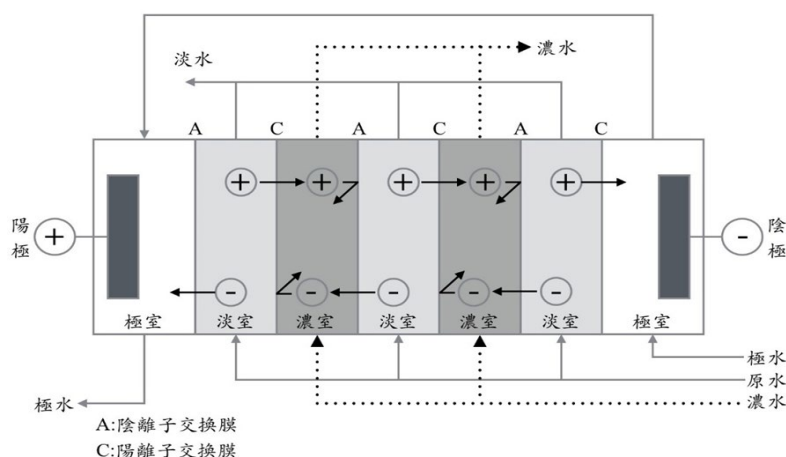


(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 23 陶瓷球處理系統設備圖

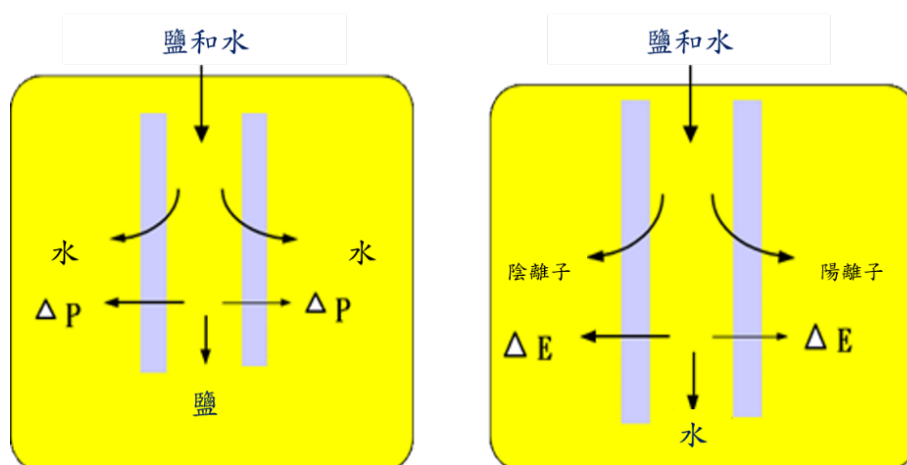
4. 倒極式電透析系統

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 **EDR** 模組如圖 24 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** 可處理之導電度高達 $8,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，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 H_2O_2 或氯殺菌，且對原水污泥密度指數 (**Silt Density Index** , 簡稱 **SDI**) 限值小於 15，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%。其 **RO** 與 **EDR** 脫鹽技術之比較如圖 25 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總溶解固體 (**Total Dissolved Solids** , 簡稱 **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控制技術及處理成本分析，排放水電導控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003)

圖 24 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)

圖 25 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 11 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 11 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例

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)	SO_4^{2-} (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 26 所示，說明如下。



圖 26 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，是目前應用最多且發展最成熟的一種除氧方法。



(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、有機胺中和二氧化碳以提高 pH 值。而在高純度鍋爐給水中之 pH 值須控制在 6.5~7.5 之間，並加入強氧化劑已形成保護膜防止腐蝕之中性高純水處理等，以提升其腐蝕結垢之控制。

(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) 鹼度控制

鍋爐水中若能維持足夠的鹼度，可促使鈣、鎂離子形成疏鬆且無附著性之鹼性水渣，經由排污閥排出系統，通常添加氫氧化鈉及碳酸鈉提高鹼度，或是利用離子交換器進行脫鹼處理以控制鹼度。

(6) 不同壓力鍋爐

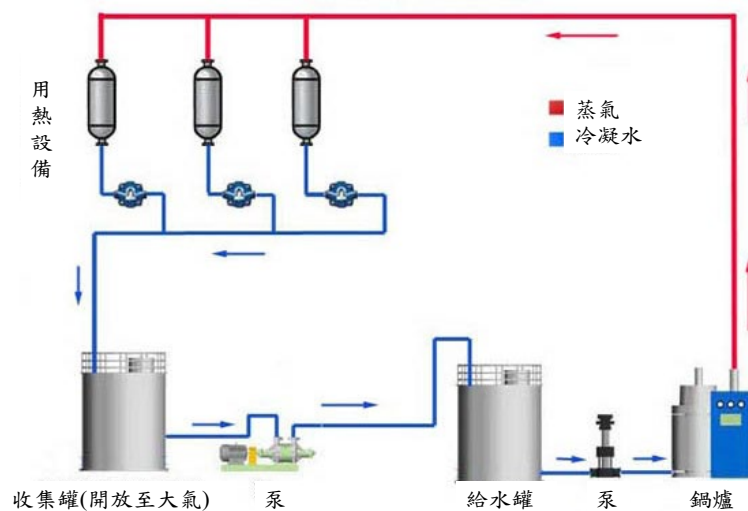
由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換(中壓鍋爐)後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

(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 27 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 。

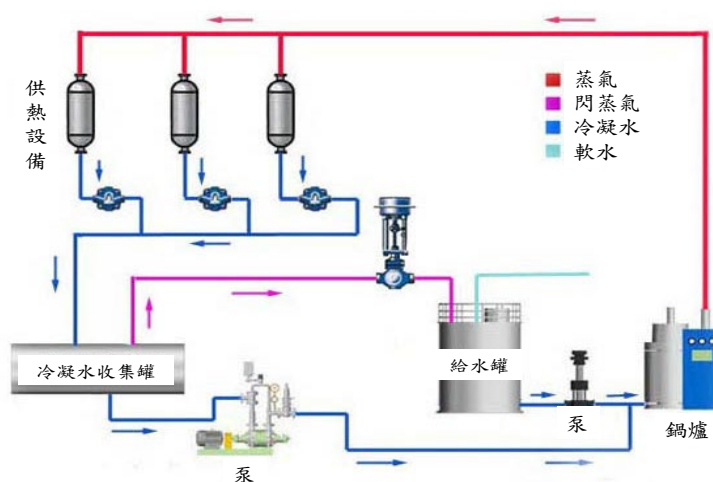


（資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司）

圖 27 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 28 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℃。

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 12 所示。



（資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司）

圖 28 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖

表 12 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較

項目	開放式回收	密閉式回收
冷凝水回收溫度	最高 100℃	最高 180℃
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（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）

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、污水費外，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，以達到降低用水成本。常見的放流水回收再利用技術包括管末廢水回用、排放水分流回收及薄膜處理系統等如圖 29 所示，分別說明如下：

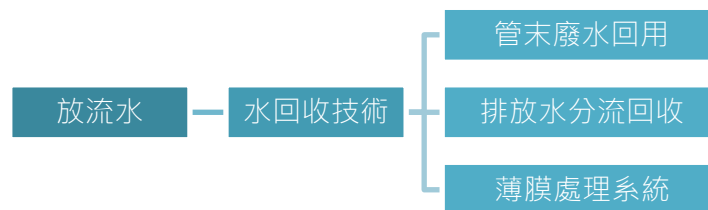


圖 29 放流水回收技術

(一) 水回收技術

1. 管末廢水回用

於預拌混凝土作業中，所產生之管末廢水為生活廢水及預拌車沖洗用水，若能將此二股廢水分流，預拌車沖洗用水經過簡易沉澱後，上澄液及泥水皆可回收至製程做拌和，將大幅降低管末廢水量體。

2. 排放水分流回收

若能有效分流收集用水標的廢水，依照不同特性廢污水進行相關處理程序，不僅能提升處理效益，同時降低廢水處理單元之負荷。當管末具有大量廢水產生情況下，某廠進行廢水分類並於管末增設生物處理系統，如 **MBR+RO**，則處理廠內管末廢水 **3,090.9 CMD**，預估可回收 **2,694 CMD**；處理後水質可將總有機碳（**Total Organic Carbon**，簡稱 **TOC**）降至 **100 mg/L** 以下，懸浮固體（**Suspended Solids**，簡稱 **SS**）降至 **5 mg/L** 以下，其水回收設施經費分析可參照表 13，此水源將可再利用於製程單元或其他次級用水單元使用。

表 13 薄膜生物處理\加逆滲透薄膜處理系統經費分析

項目	MBR+RO 系統
產水量（CMD）	4,644.8
總建設成本（元）	20,280,000
單位產水成本-建設（元/噸）	1.01
單位產水成本-營運（元/噸）	12.00
單位產水總成本（元/噸）	13.01
年營運成本（元）	20,065,536
產水總成本（元/月）	21,755,532
註：1. 單位建設成本以折舊年限 12 年估算 2. 每月工作天以 30 天計。	

（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）

3. 薄膜處理系統

當管末放流水經廢水處理廠處理後之水質已符合放流水標準，且化學需氧量（**Chemical Oxygen Demand**，簡稱 **COD**）及 **SS** 濃度低，唯導電度偏高的情況下，若能經適當再生處理降低導電度，將能作為輔助水源，直接供給冷卻水塔使用。

薄膜過濾（**UF + RO**）處理系統如圖 29 所示，可降低放流水導電度，提升放流水再生利用之價值，回收流程先以 **UF** 作為 **RO** 前處理，確保 **SDI** 值小於 5，以 **RO** 去除高導電度，預估 **RO** 產水導電度值可低於自來水導電度值。以某廠回收系統設計進水量為 1,060 MD，回收率為 50%，可獲得回收水量為 530 CMD，相關水回收設施經費分析可參照表 14。



（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，2014）

圖 30 超濾膜加逆滲透過濾系統模組

表 14 超濾膜加逆滲透薄膜處理系統經費分析

項目	UF+RO 系統
產水量（CMD）	530
總建設成本（元）	9,010,000
單位產水成本-建設（元/噸）	3.9
單位產水成本-營運（元/噸）	15.0
單位產水總成本（元/噸）	18.9
年營運成本（元）	2,862,000
產水總成本（元/月）	3,612,828

註：1. 單位建設成本以折舊年限 12 年估算
2. 每月工作天以 30 天計。

（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）

五、其他水回收技術

其他水回收技術方案包括生活用水減量、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 31 所示，亦可以達到水回收再利用，並減少原水取水量之效益，說明如下：

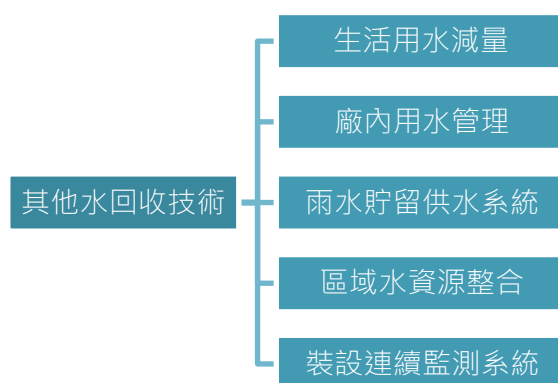


圖 31 其他水回收技術

(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，可劃分為製程、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 32 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留槽會設置雨水-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）。

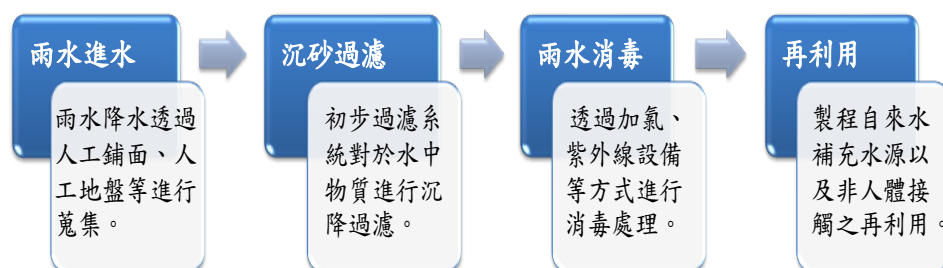


圖 32 雨水回收流程圖

設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 15 所示，雨水截流系統設計值計算如表 16 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 15 雨水處理設備與使用程度關係

利用途徑 集水場所	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						
經透水處理之人工地盤		自然沉澱加過濾機處理	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						

（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 16 雨水截流系統設計值

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	$\text{預備 3 天蓄水量} + \text{日集雨量} \cdot \text{雨水利用設計量} = Z \text{（噸）}$ $Z \times 1.1 \text{（加 10\% 安全係數）} = \text{（噸）}$

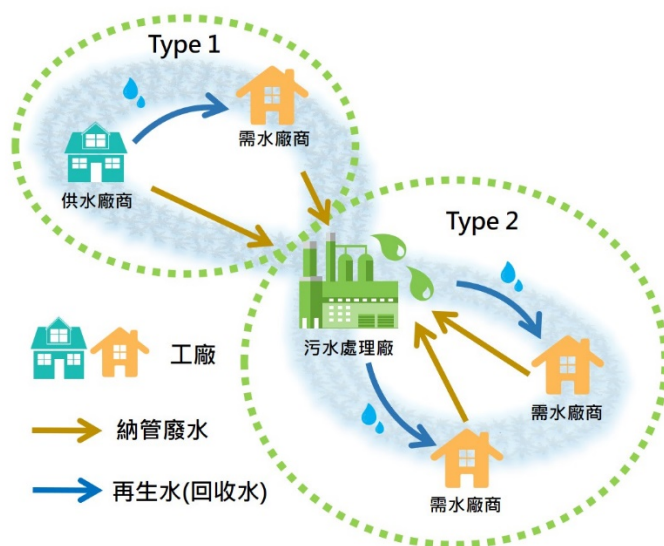
（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

(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三種類型如圖 33 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；聯合污水廠做到外部處理而可因地制宜送至各別工廠時，由各別工廠採內部處理。

以非金屬製造業之預拌混凝土作業為例，由於預拌混凝土作業對於用水水質要求較不嚴苛，若於該廠周邊鄰近有其他放流水排水量大，如：污水處理廠等，將可做為預拌混凝土作業用水媒合之對象，供水端可降低廢污水排放量，用水端可減少自來水使用量及日後耗水費的相關費用繳納。

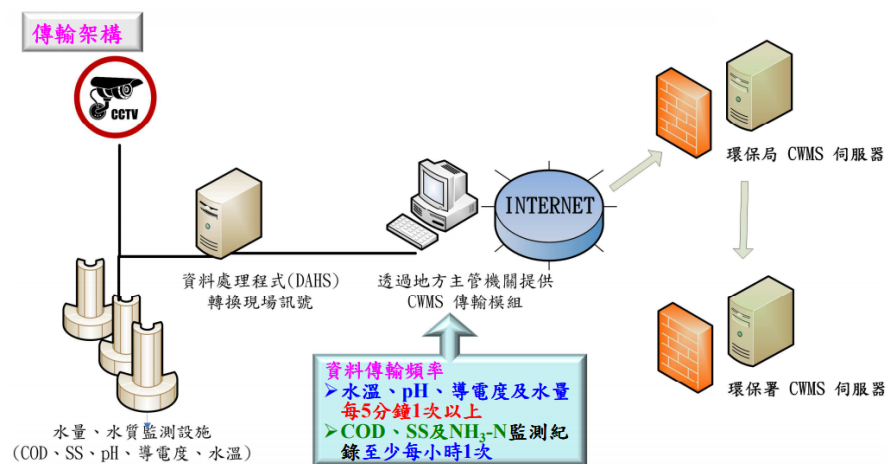


(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

圖 33 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」裝設廢汙水自動監測設施。監測傳輸設置裝置如圖 34 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 34 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將非金屬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 17。

表 17 非金屬製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整

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	污染物減量		✓			
	製程改善		✓			
	純水設備濃排水及清洗水回收		✓			
	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	砂濾處理系統		✓			
	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				✓	
	管末廢水回用-重力沉澱					✓
	薄膜生物處理系統					✓
	薄膜處理系統					✓

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 公司以生產電子級/工業級玻璃纖維等產品為主，於 1988 年成立，專門生產電子級玻璃纖維絲，供應下游製造印刷電路基板(PCB)，為世界級日資企業集團旗下之高科技原料製造廠。

(二) 製程流程

A 公司主要以生產玻璃纖維絲為主，製程分為原料、貯存、密閉混合、貯料、熔爐、拉絲、捻線等流程。其中以熔爐、拉絲及捻線作業為用水量較大的製程，；玻璃纖維製造流程如圖 35 所示。

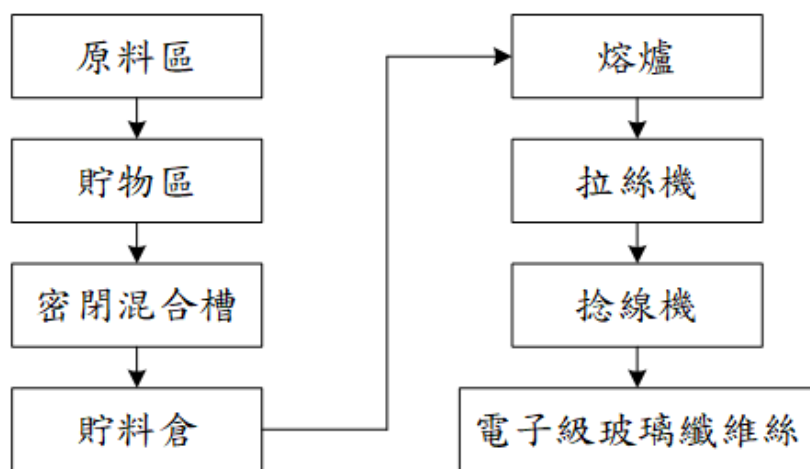


圖 35 案例 A 廠製程流程圖

(三) 廠內用水管理情形

目前廠內總取水量約 **979 CMD**，取得水源皆為自來水，各用水標的之用水比例分別為製程用水(**51%**)、冷卻用水(**33%**)、民生用水(**10%**)、鍋爐用水(**6%**)，另有半乾式除酸塔用水單元(全數取用管末廢水)。該廠主要用於製程用水單元為主，該廠設有軟水處理系統，水源取自於自來水，其產水率約 **91%**，分別提供給製程與鍋爐使用，軟水系統再生作業排放水約 **89 CMD**，亦設有純水系統，水源取自於軟水，其產水率約 **39%**，僅提供於製程使用，純水系統再生作業排放水約 **11 CMD**，廢水排放總量約為 **494 CMD**，廠內水平衡圖如圖 36 所示。

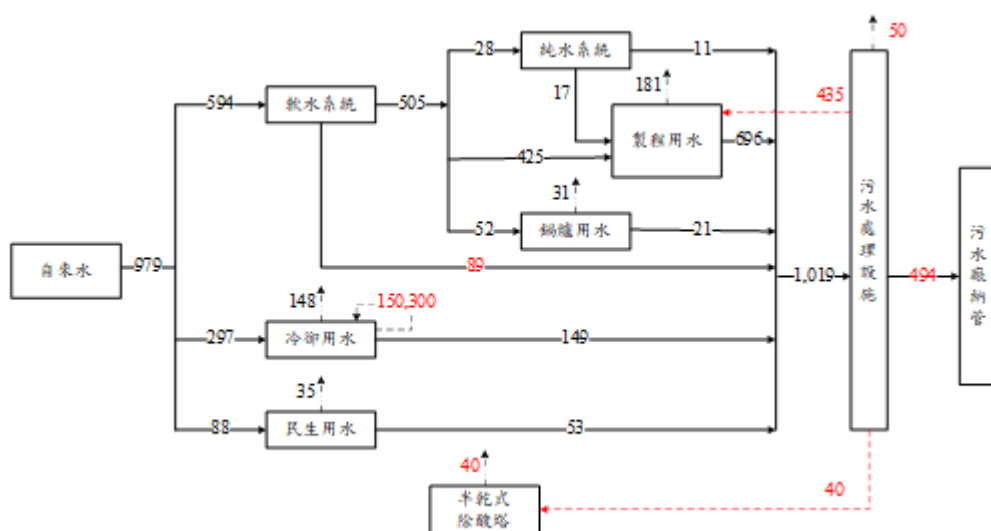
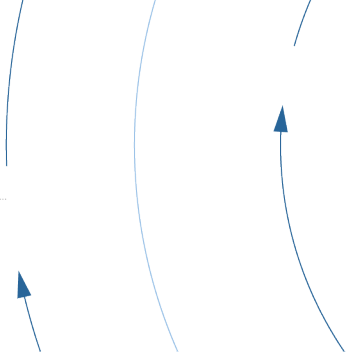


圖 36 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施前）



(四) 用水效率提升方案

依據圖 36 之全廠用水平衡圖，經節水診斷之結果，可規劃三種水回收方案：

方案一、軟水系統再生水回收供冷卻水塔使用

該廠軟水系統進水量約為 **594 CMD**，經離子交換樹脂產生製程與鍋爐用水，離子交換樹脂再生程序須經由分層、再生(注入酸液及鹼液)、清洗(使塔內 pH 值達中性)、混合、沖洗，前段為酸洗或鹼洗，因清洗水含有酸鹼故不建議回收，但沖洗階段為清水大量清洗樹脂顆粒使導電度達到設定標準，若無法符合標準即再次進行再生，總再生水量約為進水量 **594 CMD** 的 **10%** 約 **59 CMD**，而沖洗水量又佔總再生水量的 **30%** 約 **18 CMD**，建議將其回收供冷卻水塔使用，預計可增加回收水量 **18 CMD**。

方案二、管末廢水回收處理後供製程使用

該廠製程廢水經 **MBR** 處理後，多數回收至製程捻線作業進行再利用，並部分回收至半乾式除酸塔進行再利用，經推估經 **MBR** 處理後之水量尚餘 **260 CMD**，其水質尚屬良好，建議設置 **ACF+RO** 系統，針對此 **MBR** 處理後之尚餘排放量進行回收再利用，提供給製程使用；抑或將經 **MBR** 處理後之排放水全數先透過 **ACF**，接著經廠內原有的軟水系統，最後透過 **RO** 系統，提供給鍋爐與製程使用，以提高這兩單元的用水水質。**ACF** 為利用其吸附劑多孔性固體之比表面積吸附廢水中的非極性有機分子，**RO 逆滲透(Reverse Osmosis)**則主要去除細菌、病毒、化學污染物質、重金屬等，經由處理後之管末水可具有回收效益，可回用於製程端使用，預計可增加回收水量 **200 CMD**。

方案三、提高冷卻水塔循環濃縮倍數

該廠冷卻水塔排水導電度設定為 **1,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$** ，其冷卻循環水濃縮倍數約 **3 倍**，建議可提高排水導電度設定值約 **2,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$** ，提高濃縮倍數至 **5 倍**，以減少其排水量，其濃縮倍數節省之排放量比率約 **17%**，預估可回收約 **25 CMD**

所規劃的水回收方案，預計可將自來水之取水量由原來 **195 CMD** 降至 **178 CMD**，以及納管水量由原排放量 **144 CMD** 降至 **131 CMD**，修改後的用水平衡圖如圖 37 所示。



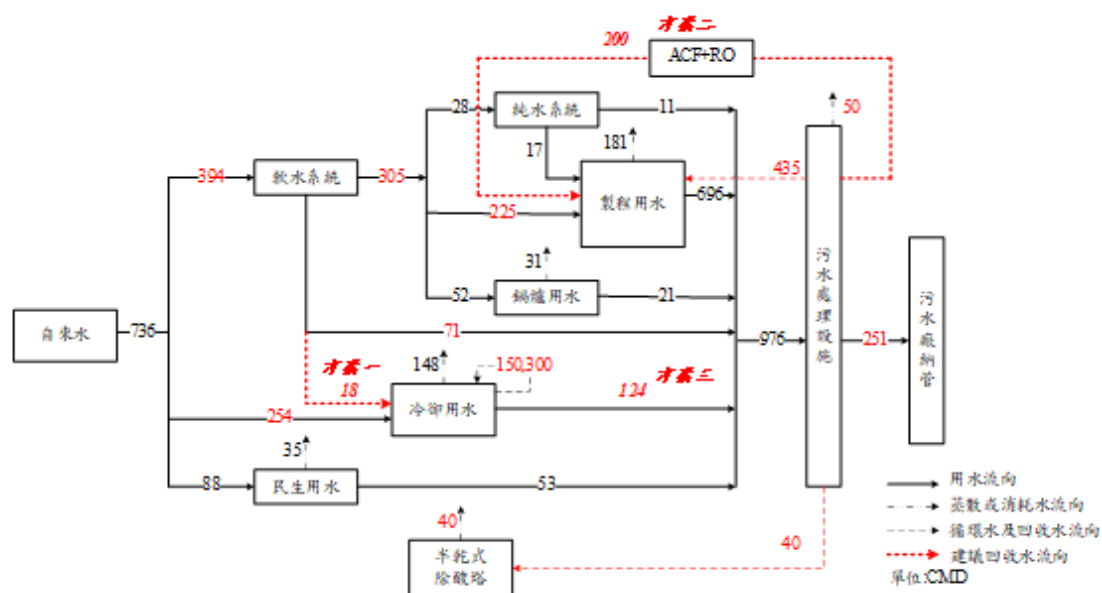


圖 37 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

水回收方案以廠商既有之設備與條件進行修正與改善，以符合經濟效益；方案一與方案三為僅需修改操作方式、設備材料，管線配置及規劃管理，故詳細費用需依廠商實際執行狀況評估，方案二建議管末廢水回收處理後供製程使用，需建置 ACF+RO 系統，單位建設成本以折舊年限 5 年估算；水回收設施成本分析如表 18 所示。

表 18 水回收設施經費分析

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	軟水系統再生水回收供冷卻水塔使用	18	—	—	—	—	—	—
方案二	管末廢水回收處理後供製程使用	200	3,000,000	8.2	15	23.2	1,095,000	1,693,600
方案三	提高冷卻水塔循環濃縮倍數	25	—	—	—	—	—	—
合計		243	3,000,000	6.7	15	19.1	1,095,000	1,693,600

註：1.單位建設成本以折舊年限 5 年估算。

2.每月工作天以 30 天計。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水，目前工業區的自來水價格為 12.5 元/噸，另依該廠提供資料並經計算後，納管水量價格約為 15.1 元/噸，原自來水取水量為 979 CMD，經節水輔導後，自來水取水量降為 736 CMD。於耗水費預估部分，依該廠目前用水量初步估算，每月需徵收約 78,110 元，經輔導方案實施後，估算每月耗水費僅需約 56,240 元，每月可節省約 21,870 元的耗水費。如該廠用水回收率達標、使用一定比率系統再生水、水足跡盤查認證、獲頒水利署節水績優等符合減徵項目，其耗水費可降低，水回收方案實施前後費用比較如表 19 所示。

表 19 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案施實前		方案施實後		節省費用 (元/年)
	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	
自來水 量費	$979 \times 30 = 29,370$	$29,370 \times 12.5 = 367,125$	$36 \times 30 = 22,080$	$22,080 \times 12.5 = 276,000$	1,093,500
耗水費	-	78,110	-	56,240	262,440
污水處 理費	$1,019 \times 30 = 30,570$	$30,570 \times 8 = 244,560$	$976 \times 30 = 29,280$	$29,280 \times 8 = 234,240$	123,840
納管水 量費	$494 \times 30 = 14,820$	$14,820 \times 15.1 = 223,782$	$251 \times 30 = 7,530$	$7,530 \times 15.1 = 113,703$	1,320,948
合計	-	913,577	-	680,183	2,800,728

註：1. 每月工作天以 30 天計

2. 工業區放流水納管收費水量為 6 元/噸。

3. 水回收率提升分析

該廠原用水量約為 979 CMD，排放量約為 494 CMD，冷卻循環水約為 150,300 CMD，管末系統回收水約 475 CMD，預計經由實施本輔導團隊的回收方案，增加 218 CMD 回收水量，減少 25 CMD 排水量，用水量降低為 736 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 32.67% 提高至 48.50%，水回收方案實施前後水回收率變化如表 20 所示。

表 20 水回收方案實施前後水回收率變化

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$99.35\% = \left(\frac{475+150,300}{979+475+150,300} \right) \times 100\%$	$32.67\% = \left(\frac{475+0}{979+475+0} \right) \times 100\%$
實施後	$99.51\% = \left(\frac{475+150,300}{736+693+150,300} \right) \times 100\%$	$48.50\% = \left(\frac{693+0}{736+693+0} \right) \times 100\%$
註： 全廠回收率（重複利用率，R1）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}} \times 100\%$ 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 公司成立於 1907 年，現已成為世界頂尖的各项玻璃產品製造商，並持續成長中。B 集團自西元 2000 年，於雲林縣設立顯示玻璃製造據點開始，便以此為基地，主要生產顯示器用玻璃基板，供應世界各大面板廠，位居世界前二大顯示器用玻璃基板製造商。

(二) 製程流程

整個玻璃基板的製程中，主要技術包括進料、薄板成型及後段加工三部分，而薄板成型技術則攸關尺寸精度、表面性質和是否需進一步加工研磨，以達成特殊的物理、化學特性要求，後段加工則包含玻璃之分割、斷面研磨、洗淨等製程。製造過程如圖 38 所示。

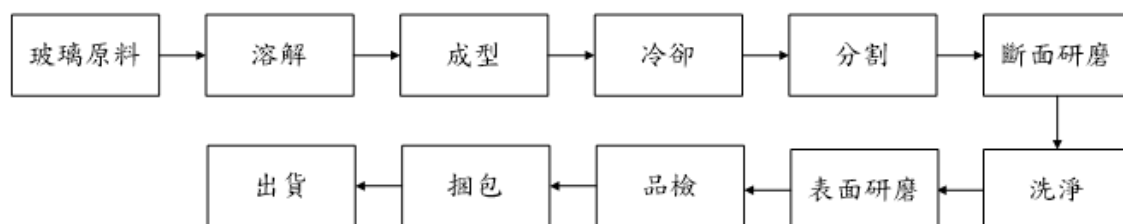


圖 38 案例 B 廠製程流程圖



(三) 廠內用水管理情形

B 公司 A 廠區用水量為 2,458.7 CMD，所使用水源為自來水公司提供之自來水，全廠水平衡圖如圖 39 所示。用水主要供給製程、草地灑水、冷卻水塔及民生生活用水使用；消耗水量包含灑水、冷卻水塔蒸散量約 200.2 CMD；排入工業區污水下水道之廢水納管量為 2491.8 CMD。

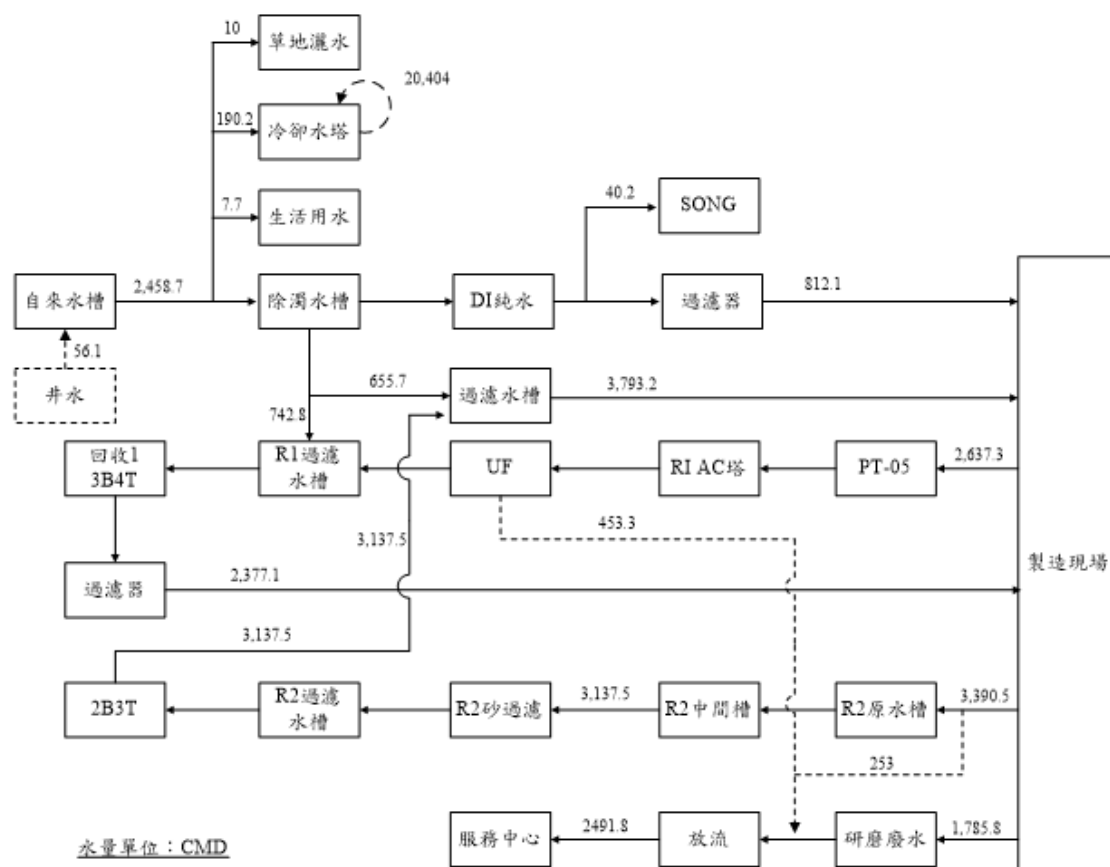


圖 39 案例 B 公司 A 廠區用水平衡圖（方案實施前）

B 公司 C 廠區用水量則為 2,257 CMD，所使用水源仍取自自來水，全廠水平衡圖如圖 40 所示。消耗水量包含灑水、冷卻水塔蒸散量約 200.2 CMD；排入工業區污水下水道之廢水納管量為 2,153 CMD。

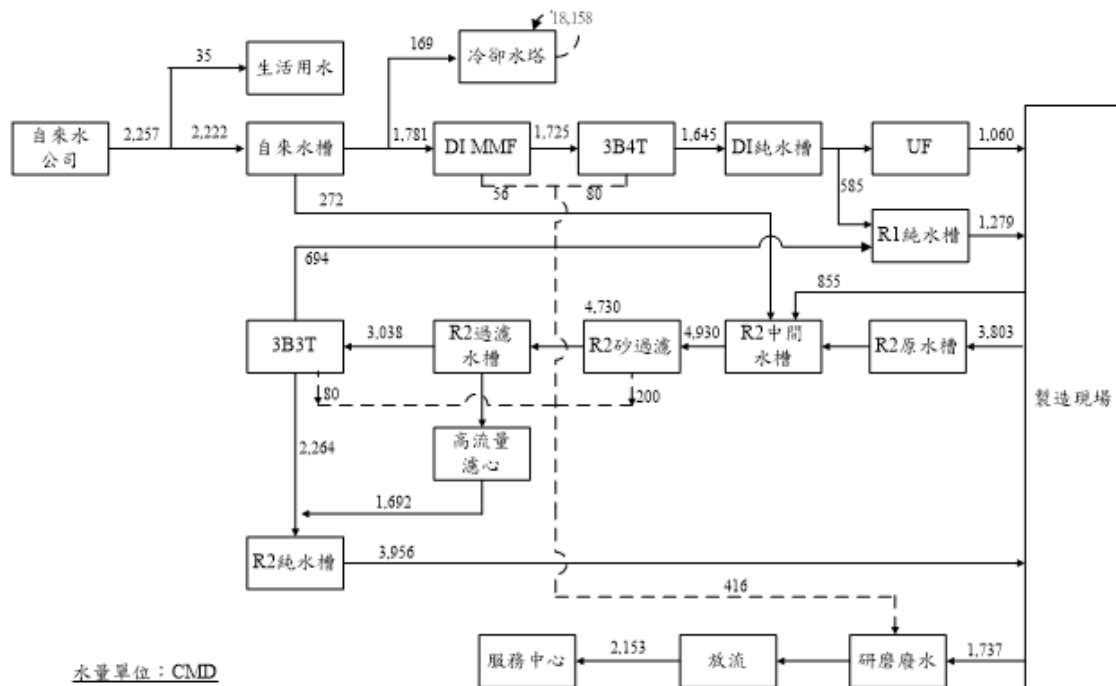


圖 40 案例 B 公司 C 廠區用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

經現場勘查、瞭解廠內用水現況、參觀廢水前處理設施、清查用水資料及與廠商討論後，具有下列節水或水再生規劃之可能性：

方案一、冷卻水塔風扇變頻節能

冷卻水塔風扇安裝變頻器進行調速運轉，將冷卻風扇滿載運轉狀態，依據冷卻水塔出水溫度與濕球溫度之溫差，再參考冰水主機運轉台數，作為冷卻風扇轉速之控制，此方式約可節省冷卻水消耗，預估該廠冷卻用水共可節水約 71.8 CMD。

方案二、冷卻水塔防水濺防護設備

冷卻水塔啟動運轉時，由散熱材流下的水大部分會流到水盤內，少部份的水會因為各種因素（1.分水管旋轉速度過快；2.散熱材堵塞；3.循環水量過大；4.擋水器失去效能）等影響，而飛濺到水盤周圍地面，造成地面潮濕，不但浪費水資源，且易造成人員滑倒，導致工安事故。

本改善方案主要讓冷卻水不落地，避免造成浪費水資源及工安問題，將冷卻水塔加裝防護設備及遮板並選定適當材質，如選定耐隆纖維及酚醛樹脂組成的護網，裝設於冷卻水塔入風口處下緣，此材質具有耐燃、透氣，且對酸、鹼抗蝕性強。本方案約可節省廠內使冷卻系統用水約 **2%**，約為 **7.2 CMD**。

方案三、廠內排放水依有機及無機廢水分類回收

該廠區內多有過濾、UF、MF、3B3T、3B4T 等水處理設備，能有效處理無機廢水，另本團隊建議，若於管末增設生物處理系統，如 **MBR+RO**，則處理廠內管末廢水 **3,090.9 CMD**，預估可回收 **2,694 CMD**；處理後水質可將 **TOC** 降至 **100 mg/L** 以下，**SS** 降至 **5 mg/L** 以下。

本輔導所規劃之方案，估計 **A、C** 兩廠區可節省冷卻水用量共約 **79 CMD**；管末水回收約 **2,693 CMD**，輔導後水平衡圖如圖 41 及圖 42 所示。

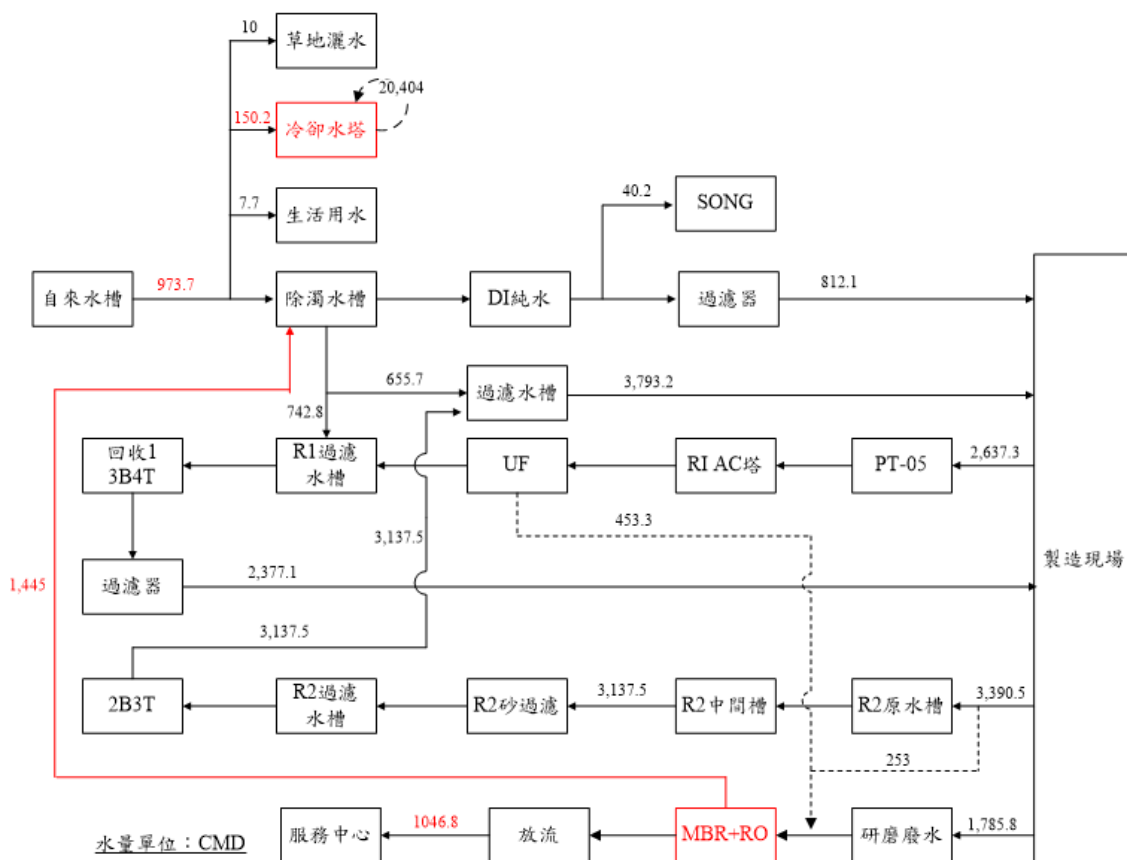


圖 41 案例 B 公司 A 廠區用水平衡圖（方案實施後）

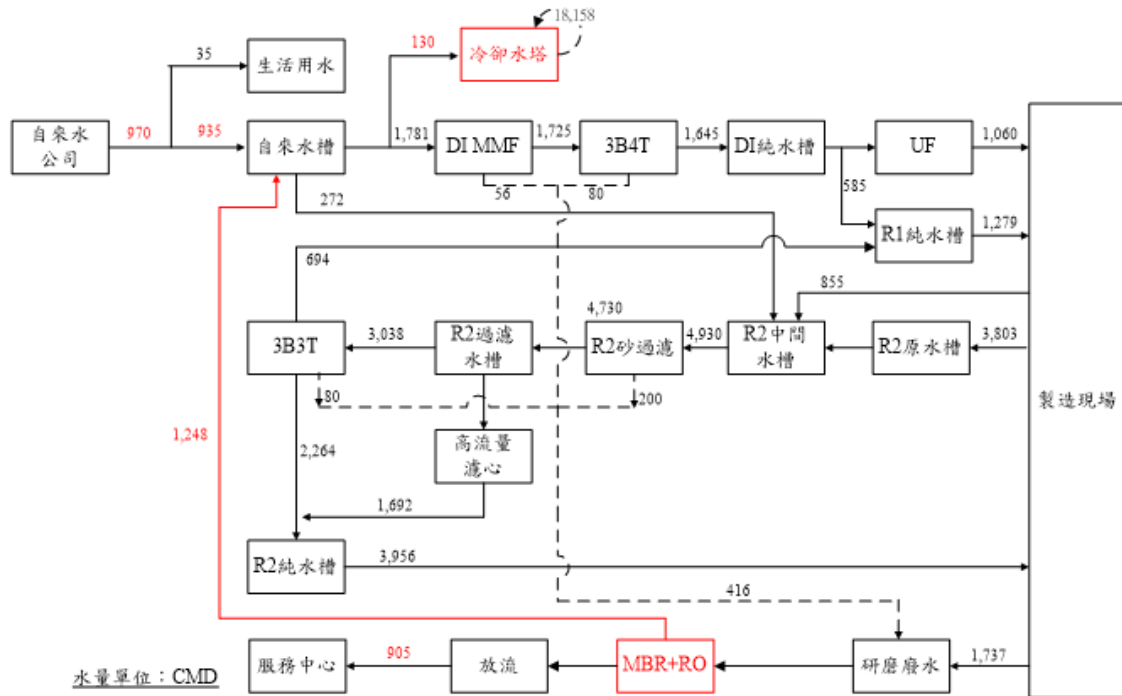


圖 42 案例 B 公司 C 廠區用水平衡圖（方案實施後）

（五）成本效益分析

1. 方案產水成本分析

水回收方案預計以廠商現有之設備與條件進行修正與建議，以符合經濟效益之狀況進行規劃。建議該冷卻用水節水及增設有機廢水處理系統，以提升廠內回收率；詳細所需費用如表 21 所示。

表 21 水回收設施經費分析

項目	方案內容	產水量 (CMD)	總建設成本 (元)	單位產水成本-建設 (元/噸)	單位產水成本-營運 (元/噸)	單位產水總成本 (元/噸)	年營運成本 (元)	產水總成本 (元/年)
方案三	MBR+RO 及配管費用	4,644.8	20,280,000	1.01	12.00	13.01	20,065,536	21,755,532
	合計	4,644.8	20,280,000	1.01	12.00	13.01	20,065,536	21,755,532

註：1.單位建設成本以折舊年限 12 年估算。

2.每月工作天以天計。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水，預估該廠自來水單價為 12.5 元/噸，原取水量為 4,715.7 CMD，經輔導改善取水量降低為 1,943.7 CMD；依資料查詢得知雲林科技工業區廢水量單價約為 17.5 元/噸，原放流排放量為 4,644.8 CMD，經改善後放流量降至 1,951.8 CMD，水回收方案實施後自來水費及納管水費差異如表 22 所示。

表 22 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)
	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	水量 (噸/月)	費用 (元/月)		
自來水 水量費	4715.7×30 =141,471	$141,471 \times 12.5$ =1,768,387.5	$1,943.7 \times 30$ =58,311	$58,311 \times 12.5$ =728,887.5	1,039,500	12,474,000
納管 水量費	$4,644.8 \times 30$ =139,344	$92,727 \times 17.5$ =2,438,520	$1,951.8 \times 30$ =58,554	$38,958 \times 17.5$ =1,024,695	1,413,825	16,965,900
合計	280,815	4,206,907.5	116,865	1,753,582.5	2,453,325	29,439,900

註：1. 每月工作天以 30 天計。

2. 自來水水價 12.5 元/噸，納管水量及處理收費預估單價為 17.5 元/噸。

3. 水回收率提升分析

本公司 A、C 兩廠區原用水量共為 4,715.7 CMD (A 廠區取水量 2,458.7 CMD、C 廠區取水量 2,257 CMD)，排放量為 4,644.8 CMD (A 廠區排放量 2491.8 CMD、C 廠區排放量 2,153 CMD)，草地灑水及冷卻水塔蒸發量合計為 369.2 CMD，冷卻水塔循環量共約 38,562 CMD (A 廠區冷卻循環水量約為 20,404 CMD、C 廠為 18,158 CMD)；回收措施方面，預計經由實施回收方案可將回收水提升 2,693 CMD，而全廠用水量與排放量各降低約 1,943.7 CMD 與 1,951.8 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 68.31% 提高至 86.87%，水回收方案實施前後水回收率變化如表 23 所示。

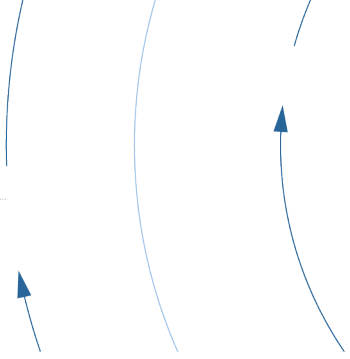
表 23 水回收方案實施前後水回收率變化

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$91.18\% = \left(\frac{10,164.6 + 38,562}{4,715.7 + 10,164.6 + 38,562} \right) \times 100\%$	$68.31\% = \left(\frac{10,164.6 + 0}{4,715.7 + 10,164.6 + 0} \right) \times 100\%$
實施後	$97.04\% = \left(\frac{12,857.6 + 38,562}{1,943.7 + 12,857.6 + 38,562} \right) \times 100\%$	$86.87\% = \left(\frac{12,857.9 + 0}{1,943.7 + 12,857.6 + 0} \right) \times 100\%$
註： $\text{全廠回收率 (重複利用率, R1)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$ $\text{全廠回收率 (不含循環水量, R2)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$		

第五章 參考文獻

1. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
2. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency 2009
3. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
4. 上海奧德水處理科技有限公司 · http://www.odsh.net/odsh_Product_8947196.html
5. 中文百科在線網 · http://www.zwbk.org/zh-tw/Lemma_Show/318144.aspx
6. 中國百科網 ·
<http://www.chinabaike.com/article/baike/wli/2008/200801101127751.html>
7. 中華民國工業安全衛生協會，第十三章、石材製品製造業，<http://www.isha.org.tw>
8. 中華民國工業安全衛生協會，第十五章、耐火材料業，<http://www.isha.org.tw>
9. 台玻集團產品介紹，<http://www.taiwanglass.com>
10. 石材加工業資源化應用技術手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會，2005
11. 光明開發建材有限公司，<http://www.kmtiles.com/info/main.php>
12. 全澤股份有限公司，<http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
13. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016
14. 宏洲磁磚觀光工廠，<http://www.hjtilemuseum.com.tw/>)
15. 佳友股份有限公司，<http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
16. 東南水泥，<http://www.southeastcement.com.tw/index.php?q=node/27>
17. 東南水泥，水泥的種類，
<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2006/aikuo/2html/2-2.ht>
18. 非金屬材料，
<http://www.twword.com/wiki/%E9%9D%9E%E9%87%91%E5%B1%AC%E6%9D%90%E6%96%99>

19. 南亞塑膠工業股份有限公司，<http://www1.npc.com.tw>
20. 玻璃纖維，
<http://www.twword.com/wiki/%E7%8E%BB%E7%92%83%E7%BA%96%E7%B6%AD>
21. 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
22. 財經百科，耐火材料，
<https://www.moneydj.com/KMDJ/wiki/wikiViewer.aspx?keyid=e32109b6-f49a-4f44-8e64-078ea81370d5>
23. 財團法人台灣綠色生產力基金會，石材加工業資源化應用技術手冊，2005
24. 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
25. 康智強，入 TPP 對我玻璃工業成長利多，中華徵信所，2015
26. 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
27. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
28. 陳聖元等，水泥的故事，南台科技大學-知識分享平台，2010
29. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
30. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2014
31. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
32. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
33. 經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊，2011
34. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2015
35. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
36. 經濟部水利署，節水紀實，2012
37. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018

- 
38. 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
 39. 蔡政博，水泥製造學，益群出版社，1993
 40. 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



非金屬礦物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、台灣區玻璃工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘漚

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

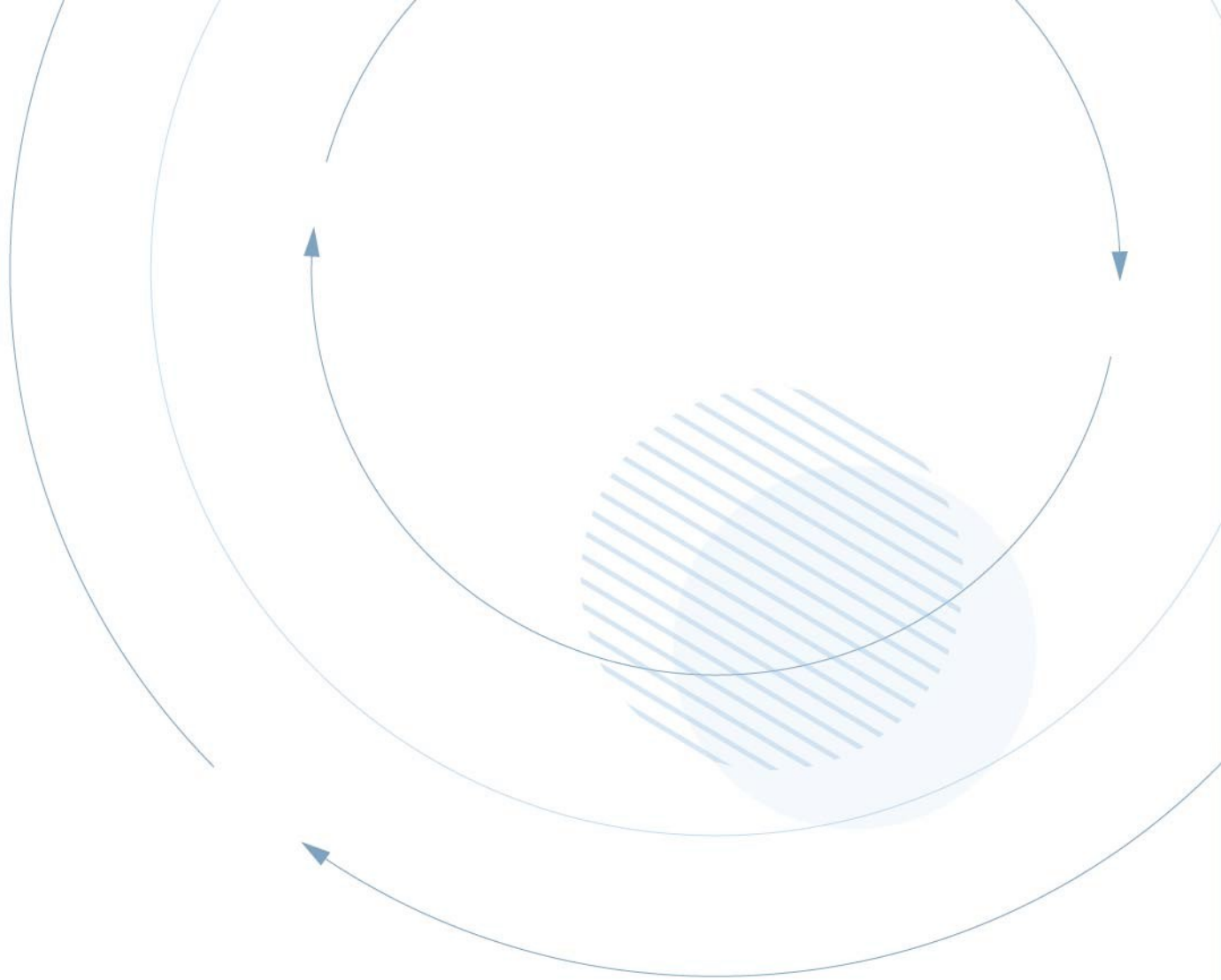


非金屬礦物製品製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

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