



塑膠製品製造業

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	3
三、 主要用水標的與用水情形	5
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	8
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值	9
第三章 用水最適化及回收再利用技術	13
一、 製程用水最適化及回收再利用技術	13
(一) 用水最適化	14
(二) 水回收技術	14
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術	16
(一) 用水最適化	16
(二) 水回收技術	20
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	27
(一) 用水最適化	27
(二) 水回收技術	29
四、 放流水回收再利用技術	31
(一) 水回收技術	31
五、 其他水回收技術	33
(一) 生活用水減量	33
(二) 廠內用水管理	34
(三) 雨水貯留供水系統	34
(四) 區域水資源整合	35
(五) 裝設連續監測系統	36
六、 小結	37
第四章 水回收再利用案例介紹	39
一、 案例 A 廠簡介	39
(一) 案例廠簡介	39
(二) 製程流程	39

(三) 廠內用水管理情形	40
(四) 用水效率提升方案	40
(五) 成本效益分析	42
二、 案例 B 廠簡介	44
(一) 案例廠簡介	44
(二) 製程流程	44
(三) 廠內用水管理情形	44
(四) 用水效率提升方案	45
(五) 成本效益分析	46
第五章 參考文獻	49

圖目錄

	頁次
■ 圖 1 塑膠製品製造業生產價值百分比	3
■ 圖 2 塑膠皮製造流程圖	4
■ 圖 3 工業用塑膠製品製造流程圖	4
■ 圖 4 塑膠日用品製造流程圖	4
■ 圖 5 塑膠製品製造業用水結構分析	5
■ 圖 6 塑膠製品製造業製程廢水水質特性	13
■ 圖 7 製程用水最適化及水回收技術	13
■ 圖 8 薄膜生物處理系統示意圖	15
■ 圖 9 冷卻用水最適化及水回收技術	16
■ 圖 10 濃縮倍數與排放損失關係圖	17
■ 圖 11 冷卻水塔加藥示意圖	18
■ 圖 12 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	19
■ 圖 13 冷卻水塔蒸發回收系統圖	20
■ 圖 14 消霧節水冷卻水塔設備圖	21
■ 圖 15 旁流過濾處理示意圖	22
■ 圖 16 陶瓷球水處理理論圖	24
■ 圖 17 陶瓷球水處理設備圖	24
■ 圖 18 電透析薄膜處理系統原理示意圖	25
■ 圖 19 逆滲透薄膜與倒極式電透析之脫鹽技術比較	26
■ 圖 20 鍋爐用水最適化及水回收技術	27
■ 圖 21 開放式冷凝水回收系統原理示意圖	29
■ 圖 22 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖	30
■ 圖 23 放流水回收技術	31
■ 圖 24 薄膜生物處理系統示意圖	31
■ 圖 25 薄膜生物處理系統設備圖	31
■ 圖 26 其他水回收技術	33
■ 圖 27 用水管理模式及效益	34
■ 圖 28 雨水回收流程	35
■ 圖 29 雨水過濾設備圖	35
■ 圖 30 區域水資源整合型態示意圖	36
■ 圖 31 監測連線傳輸設置圖	36

■ 圖 32 案例 A 廠製造流程圖	39
■ 圖 33 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	40
■ 圖 34 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	41
■ 圖 35 案例 B 廠製造流程圖	44
■ 圖 36 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前)	45
■ 圖 37 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)	46

表 目 錄

	頁次
■ 表 1 塑膠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	8
■ 表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	9
■ 表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表	10
■ 表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值	11
■ 表 6 濃縮倍數與節省水耗消耗比較表	17
■ 表 7 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	21
■ 表 8 冷卻水塔蒸發回收之成本分析表	21
■ 表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較	23
■ 表 10 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例	26
■ 表 11 冷卻排放水以倒極式電透析回收之成本分析	26
■ 表 12 開放式及密閉式冷凝水回收系統差異分析表	30
■ 表 13 薄膜生物處理系統經費分析	32
■ 表 14 倒極式電透析系統成本分析	32
■ 表 15 塑膠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	37
■ 表 16 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	42
■ 表 17 水回收方案實施前後水回收率變化	43
■ 表 18 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	47
■ 表 19 水回收方案實施前後水回收率變化	47

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)，塑膠製品製造業為從事塑膠製品製造之行業，如塑膠布、塑膠保鮮膜、塑膠配件及塑膠碗、保麗龍等製品之製造行業，依行業標準分類別可細分為如表 1 所示。另依經濟部統計處統計，塑膠製品製造業產值約為新台幣 2,974 億元，其他塑膠製品類所涵蓋產品範圍多樣，因此其占比較高，合計約占塑膠製品製造業總產值 59%，生產價值百分比如圖 1 所示(經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)。

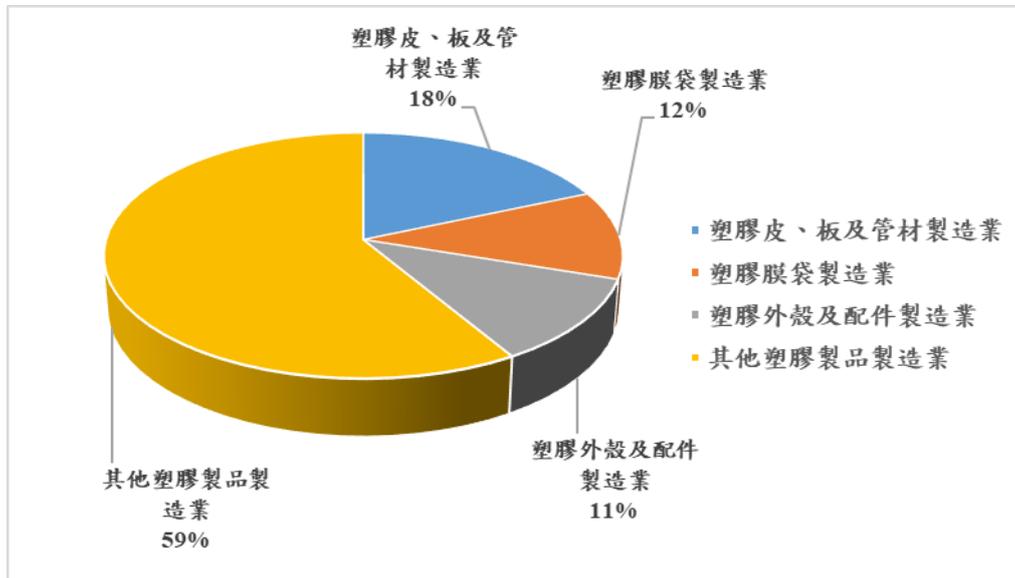
塑膠產業為石化工業中間原料之下游，透過此中間原料進行如：塑膠皮、塑膠布、各式包膜與包裝袋、電池蓋開關、耳機保護蓋等合成製品的生產，塑化產業衍生之產物廣泛應用於日常生活中，可視作民生產業之關聯行業，屬景氣循環產業，整體產業表現深受經濟景氣及國際油價的影響。於 2017 上半年，因國際油價下跌致使下游對塑化產品持觀望態度，因此本產品第二季的需求進而減少，而 2017 下半年，隨著石油輸出國家協議減產，油價將止跌回穩；且五大泛用樹脂市場受大陸環保督察影響，推估勢必會影響到大陸聚氯乙烯(Polyvinyl Chloride，簡稱 PVC)供應量，在此情況下，整體供應將轉為吃緊，因而報價全面走揚，加上其他產品也因季節性需求買盤釋出的帶動下，塑化上游產品價格也因而水漲船高(產業價值鏈資訊平台，石化及塑橡膠產業鏈簡介)。

隨著產業生產技術提升及轉型，我國塑膠製品製造業受到高成本、產業外移、低價市場競爭與環保意識抬頭等因素，在製造成本考量下，多移至中國及東南亞進行佈署以因應未來產業趨勢，但也造成國內勞工就業機會下降，為奠定加強本產業競爭優勢，未來將朝向機能性、高附加價值並且符合環保要求之商品開發，以符合市場需求(勞動部，行業指南目錄-塑膠製品製造業，2017)。

表 1 塑膠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	22	220		塑膠製品製造業 從事塑膠製品製造之行業。
			2201	塑膠皮、板及管材製造業 從事塑膠皮、板、管等基本材料製造之行業，如塑膠布、塑膠合成皮、塑膠板、塑膠管等製造。 不包括： 人造纖維梭織布製造歸入 1122 細類「人造纖維梭織布業」。 帆布篷縫製歸入 1151 細類「紡織製成品製造業」。
			2202	塑膠膜袋製造業 從事塑膠膜袋製造之行業，如塑膠多層膜袋、塑膠保鮮膜、塑膠捲撕袋、塑膠包裝袋、塑膠夾鏈袋等製造。 不包括： 縫製塑膠手提袋及購物袋歸入 1303 細類「行李箱及手提袋製造業」。
			2203	塑膠外殼及配件製造業 從事機械、資訊、家電等產品塑膠外殼及塑膠配件製造之行業；汽車塑膠配件製造亦歸入本類。 不包括： 汽車塑膠車體製造歸入 3020 細類「車體製造業」。 塑膠汽車保險桿製造歸入 3030 細類「汽車零件製造業」。
			2209	其他塑膠製品製造業 從事 2201 至 2203 細類以外塑膠製品製造之行業，如塑膠杯、塑膠碗及保麗龍製品等製造。 不包括： 塑膠帳篷、塑膠浴簾縫製歸入 1151 細類「紡織製成品製造業」。 塑膠繩及塑膠網編結歸入 1152 細類「繩、纜及網製造業」。 塑膠外衣、雨衣褲縫製歸入 1210 細類「成衣製造業」。 塑膠圍裙製造歸入 1230 細類「服飾品製造業」。 塑膠鞋製造歸入 1302 細類「鞋類製造業」。 塑膠行李箱製造歸入 1303 細類「行李箱及手提袋製造業」。 塑膠原料製造歸入 1841 細類「塑膠原料製造業」。 天然或合成橡膠製品製造歸入 210 小類「橡膠製品製造業」之適當細類。 塑膠製未載電配線器材製造歸入 2832 細類「配線器材製造業」。 塑膠家具製造歸入 3219 細類「其他非金屬家具製造業」。 塑膠體育用品製造歸入 3311 細類「體育用品製造業」。 塑膠遊戲用品及玩具製造歸入 3312 細類「玩具及遊戲機製造業」。 塑膠醫療用品製造歸入 332 小類「醫療器材及用品製造業」之適當細類。 塑膠安全帽及其他個人安全防護配備製造歸入 3399 細類「其他未分類製造業」。

(資料來源：行政院主計處，中華民國行業標準分類，2017)



(資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)

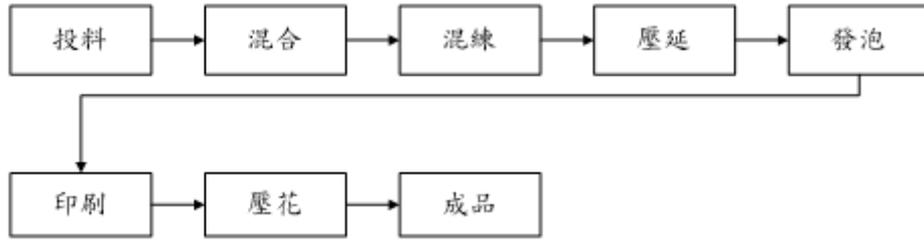
■ 圖 1 塑膠製品製造業生產價值百分比

二、製程特性

塑膠依用途可區分為通用塑膠 (**General Purpose Plastics**) 及高性能塑膠 (**High Performance Plastics**)。通用塑膠因加工容易、價格低廉，主要用於生產製造日用品；高性能塑膠因具有工程材料的特性，可取代其他工程材料達到輕量化、高強度、耐熱性，成型簡化且省能源等目的，因此又稱為工程塑膠 (**Engineering Plastics**)，本節針對塑膠製品製造業概述其製程特性。

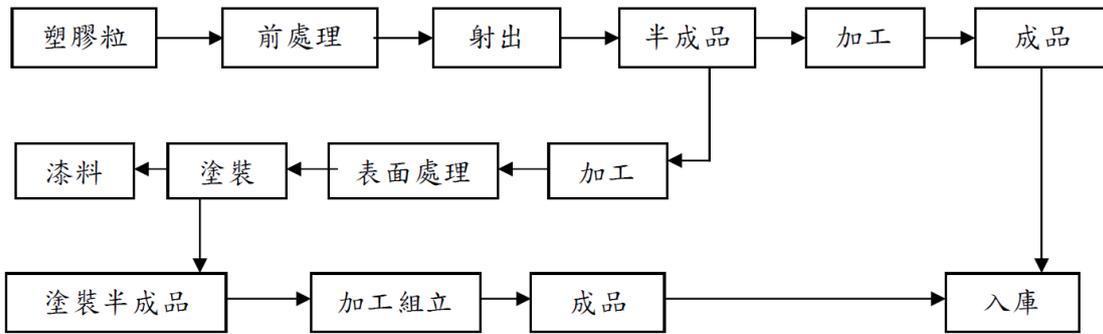
塑膠製品主要製造程序是由石油裂解而來的單體做為原材料，經聚合反應後形成高分子，之後將不同的高分子混煉，做成適合加工的塑膠粒，最後透過模造成為塑膠製品 (工業安全衛生協會，第九章-塑膠製品製造業，2010)，有關本行業相關製品如：塑膠皮、工業用塑膠製品及塑膠日用品之製造流程如圖 2 至圖 4 所示。

由下列製造流程可得知，塑膠製品生產程序可概分為物料混合、成型、冷卻及裁切組立，生產作業主要用水行為如：原料混合調配、冷卻等，其中以製程冷卻為主要用水程序，此用水使用後之廢水將透過廢水處理系統進行相關污染物之去除方得排放。



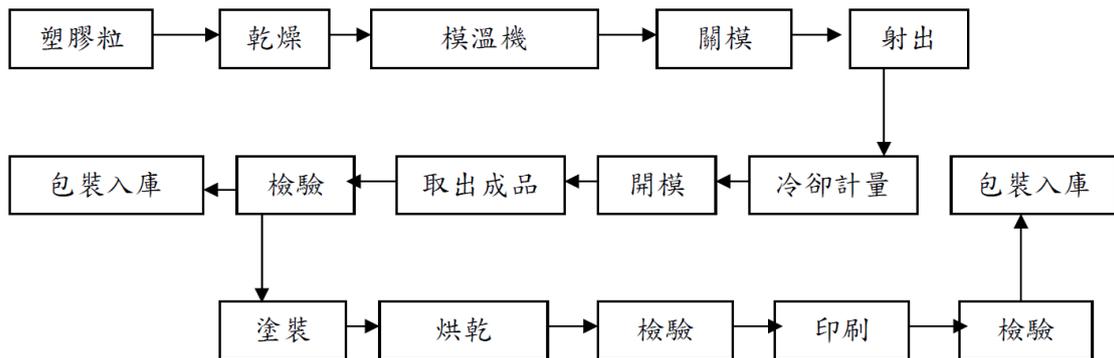
(資料來源：工業安全衛生協會，第九章-塑膠製品製造業，2010)

■ 圖 2 塑膠皮製造流程圖



(資料來源：工業安全衛生協會，第九章-塑膠製品製造業，2010)

■ 圖 3 工業用塑膠製品製造流程圖

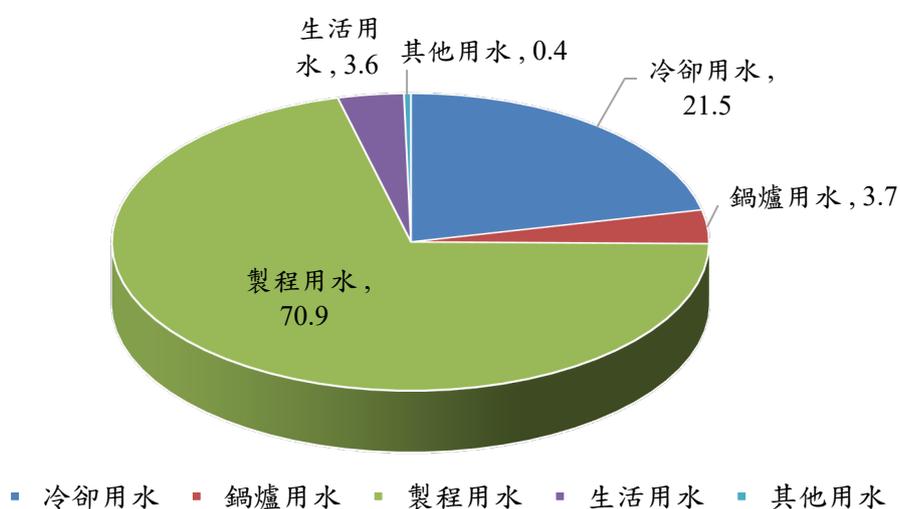


(資料來源：工業安全衛生協會，第九章-塑膠製品製造業，2010)

■ 圖 4 塑膠日用品製造流程圖

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，塑膠製品製造業全國占地面積為 4,309.65 公頃，其年用水量可達 256.63 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，塑膠製品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，由於塑膠製品製造作業中，脫脂、化成電鍍作業需要使用大量水源，因此製程單元係屬最大用水項目，其比例可高達 70.9%，用水結構分析如圖 5 所示（經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2017）。



（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2017）

■ 圖 5 塑膠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

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，水質建議值如表 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

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 CNS1023B1312 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

塑膠製品製造作業中，如塑膠再生粒料之前處理作業，聚乙烯 (Polyethylene，簡稱 PE)、聚丙烯 (Polypropylene，簡稱 PP) 產品成形等產物製造過程中，製程洗料程序具有高用水量，為塑膠製品業最大量用水來源，相關製程廢水特性如圖 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：

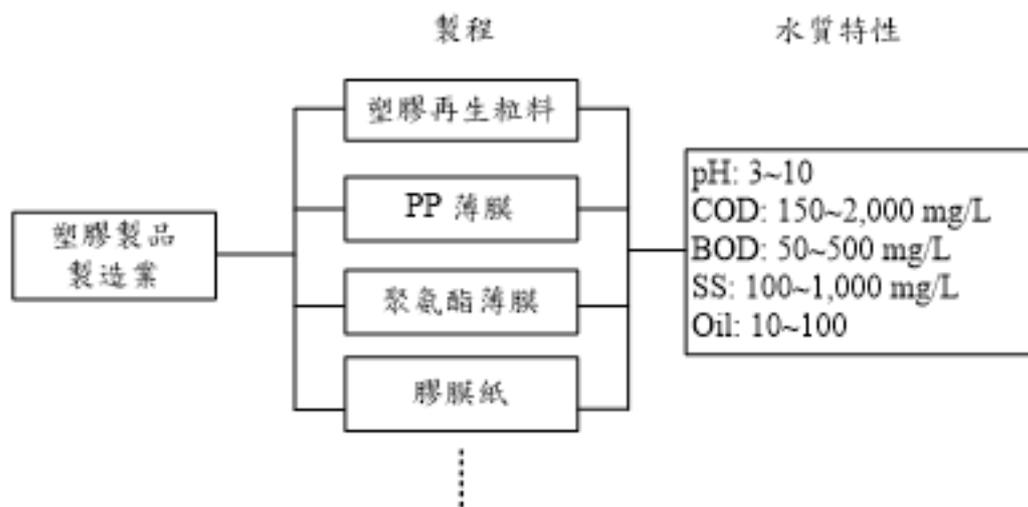


圖 6 塑膠製品製造業製程廢水水質特性

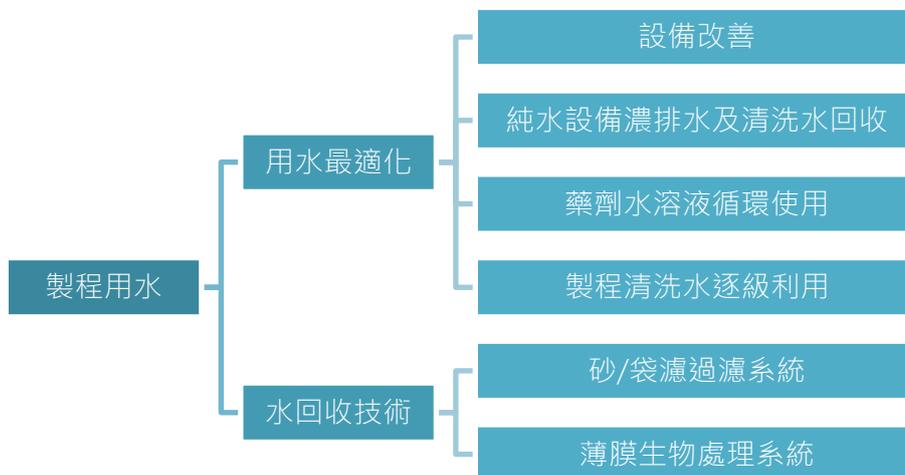


圖 7 製程用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 設備改善

塑膠製品業中，如：聚對苯二甲酸乙二酯 (**polyethylene terephthalate**，簡稱 **PET**) 的生產作業程序 (洗滌、粉碎、沖片等)，將需要大量清水進行洗滌作業，此作業為本行業別主要用水來源，若能將清洗模式進行合理化的調整，如噴淋時間、水壓修正等，可達到降低用水的效益。

2. 純水設備濃排水及清洗水回收

為因應不同作業性質的需求，部分製程作業用水需要去除水中硬度、電導度等，因此該股用水將依需求進行軟水或純水系統處理。軟水系統陰陽樹脂塔主要作為去除水中鈣鎂等離子，濾材不斷過濾後，產水效率將逐步降低，因此需透過再生反洗作業將可恢復產水效率，前段反洗因含有藥劑及污染物，因此不具回收價值，後端正洗作業之排水，由於水質清澈，因此可將該正洗水做為次級用水單元使用，將低原水源取用；針對純水系統濃縮水，由於水質尚佳唯導電度較高，因此可將此濃縮水作為次級用水單元 (冷卻水塔、洗滌塔等) 使用或將濃縮水與原水源混合後，再導入純水系統進行產水。

3. 藥劑水溶液循環使用

PET 容器再製過程中，會經過洗瓶、粉碎、藥劑清洗等過程，針對作業中的藥劑清洗可將此過程中的藥水直接進行循環使用或經簡易處理後再利用，可減少藥劑水溶液使用量，降低後端廢水處理負荷。

4. 製程清洗水逐級利用

塑膠製品作業中，主要耗水單元為製程用水，其製程用水又以清洗作業為重點用水單元，因此，若能於洗滌槽體設計「逆流」之方式，於同一道清洗程序後段清洗廢水逆送至前一道清洗製程，或將末端清洗廢水逆送為初始段使用，可達到清洗水循環減量之目的，並降低原水取用。

(二) 水回收技術

1. 砂/袋濾過濾系統

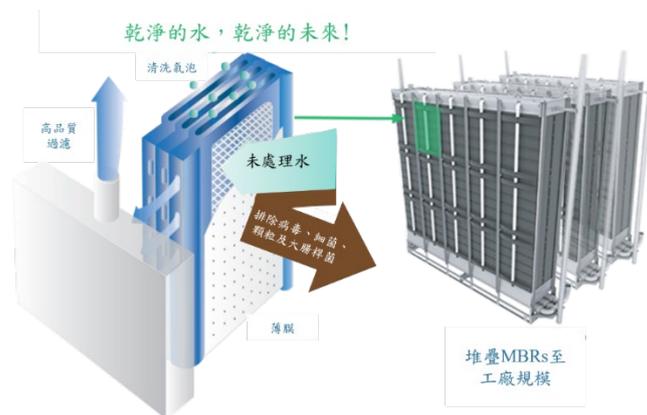
砂/袋濾系統主要是透過濾材或濾袋進行固體物過濾，砂濾系統常見濾材為石英砂，袋濾系統常見濾袋材料為聚丙烯、聚酯纖維、鐵氟龍及尼龍等材質。砂濾設備濾材使用後需進行沖洗或換砂，袋濾設備則無需清洗，更換一只新的濾袋即可再使用，因此針對二項過濾單元的選用仍需依實際現況進行選擇。

針對塑膠造粒作業中，產品造粒需透過水源進行產品中的溫度移除，由於該用水之目的僅置換產品中所產生的溫度，水質相對單純，唯可能含有切粒飛揚所產生的粉塵，因此該股降溫水可透過砂/袋濾簡易過濾處理後，依據實際使用需求再進行降溫或直接導回製程單元使用。

2. 薄膜生物處理系統

薄膜生物處理系統 (Membrane Bio-Reactor，簡稱 MBR) 用於廢水處理案例中，針對化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand，簡稱 COD) 及懸浮固體 (Suspended Solids，簡稱 SS) 等具有良好的去除效率，並降低 50~75% 生物污泥產生量。針對高濃度 COD 廢水，污染源具有生物分解性，採用 MBR 系統可替代傳統設備，不但可提高生物池的污泥濃度 (Mixed liquid suspended solids，簡稱 MLSS) 達 5,000~30,000 mg/L 生物池的設計體積縮小，且可使難沉降的生物污泥完全保留於生物池內，而不致有污泥沉降性不佳造成放流水 SS 太高的異常狀況發生；對於生物較難分解之化合物，更因為遭受薄膜阻擋而延長於生物池的停留時間，使得微生物有較長的時間針對此化合物進行分解 (第一環保能源科技有限公司，Membrane Bio-Reactor (MBR) 薄膜生物反應系統，2018)。

於塑膠製品業中，如 PET 瓶回收產業製程，需要視回收產物潔淨程度投入清水進行原料清洗，由於回收的原料多數會附著其他雜物，因此以洗瓶、洗片機等作業會產生較多廢水，且水中 COD 濃度通常偏高，若透過 MBR 系統可提昇水中 COD 去除率，經處理後之廢水可作為製程單元部分補充水源使用。



(資料來源：BI Pure Water，Turnkey Sewage Treatment with an MBR Plant，2018)

圖 8 薄膜生物處理系統示意圖

二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水主要功效為吸收轉移熱量，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，有關冷卻用水內部循環水質標準可參照第二章表 4 及表 5，圖 9 為冷卻用水最適化及水回收技術。

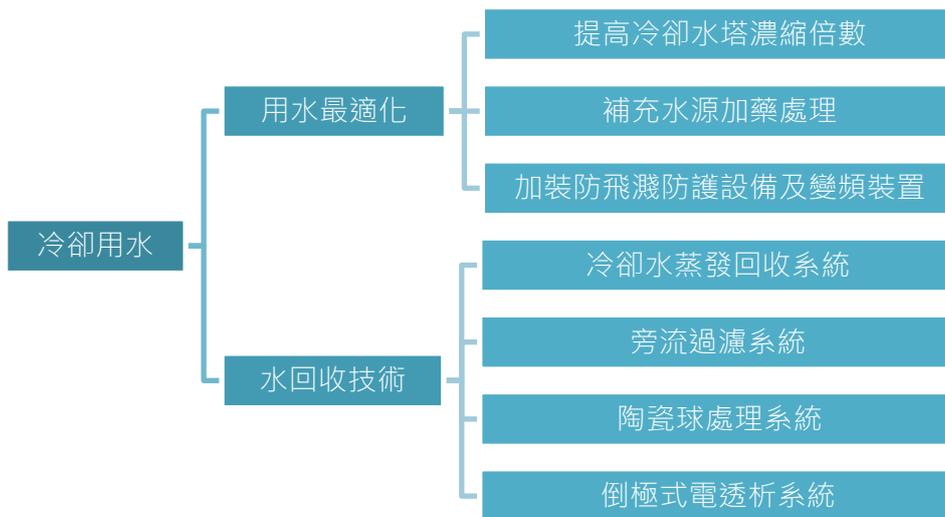


圖 9 冷卻用水最適化及水回收技術

(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。補充水量與排放水量間之關係可以濃縮倍數 (Cycles of Concentration) 來表示：

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

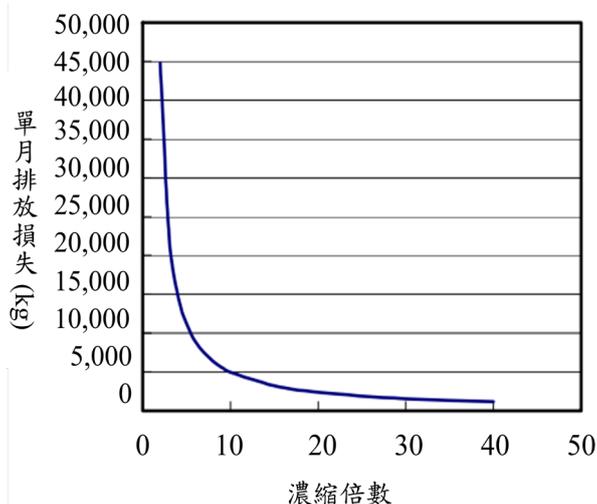
$$= EC_{out} \text{ (排放水導電度)} / EC_{in} \text{ (補充水導電度)}$$

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 10 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 濃縮倍數與節省水耗消耗比較表

		提高排放濃度上限後之濃縮倍數										
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10
原濃縮倍數	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 10 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 11 所示。

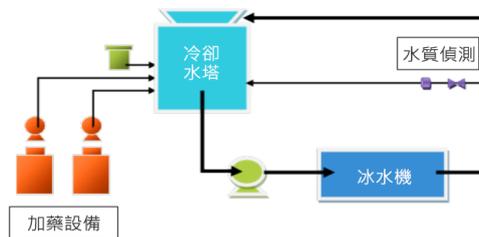
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (Langlier Saturation Index, 簡稱 LSI) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，飽和指數雖未考量硫酸鈣、氫氧化鎂、矽酸鹽、磷酸鈣等水中其他積垢成分數值，但其足以做為水體是否有積垢傾向的判定，是水體使用、維護管理之重要依據：

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 ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) 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 (ClO_2) 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。

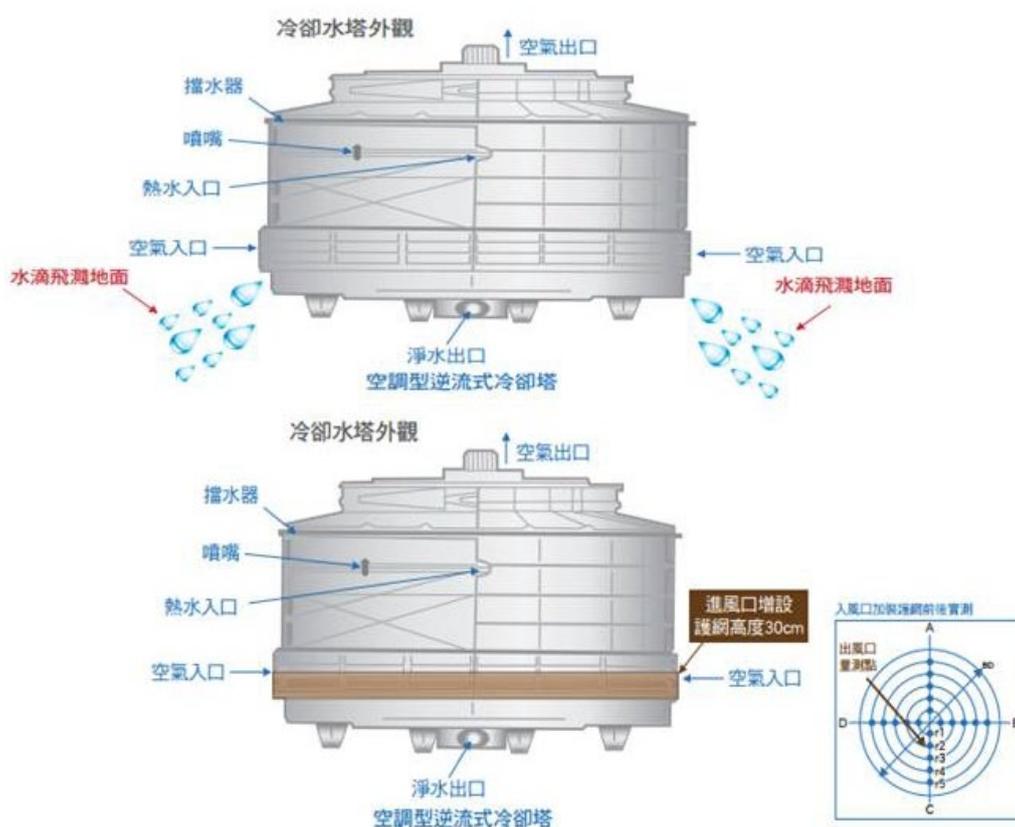


(資料來源：佺友股份有限公司)

圖 11 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 12 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 12 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

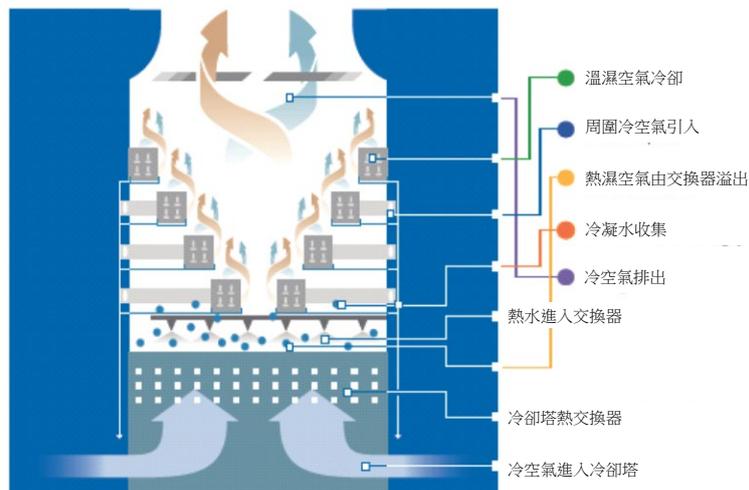


(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

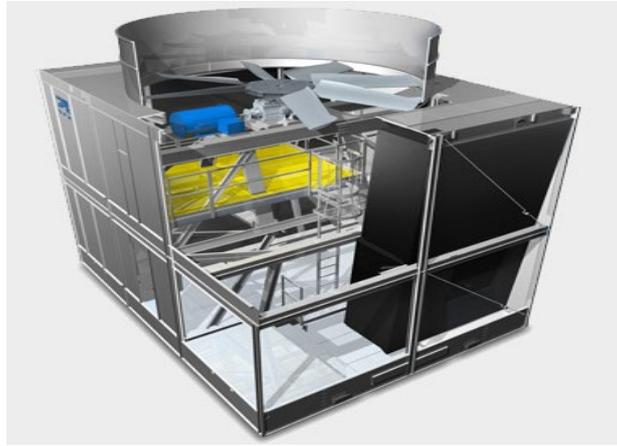
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點(國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005)。

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 14 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 13 冷卻水塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

■ 圖 14 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表

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

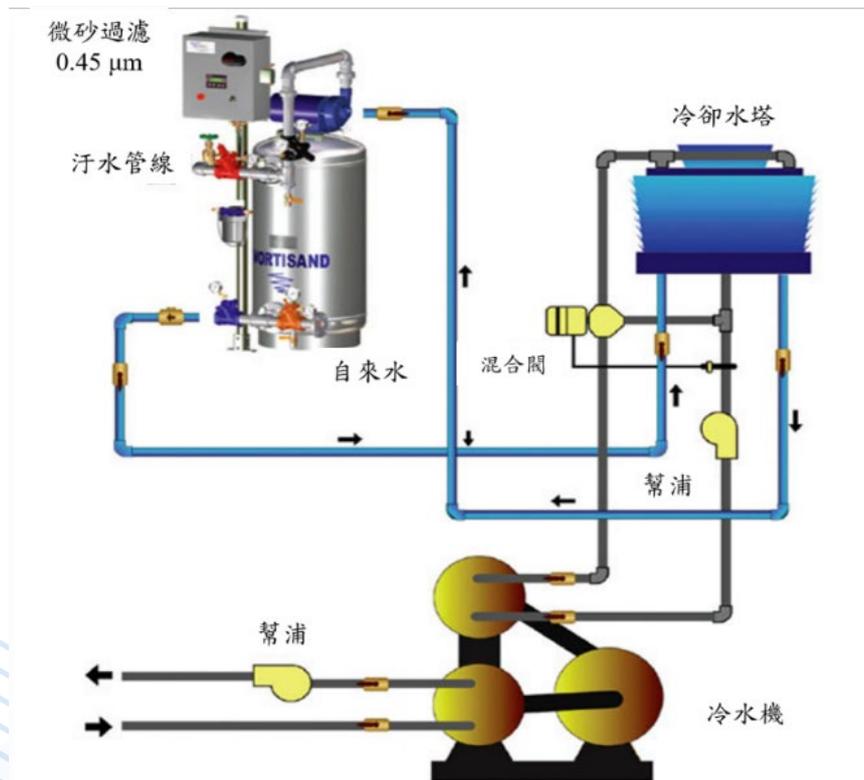
(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

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，由於此類雜質具有對水中溶解度低的特性，因此於系統管路上安裝過濾器達到良好效果，圖 15 為旁流過濾處理示意圖。此外亦建議水塔抽水模式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）。在有旁流處理設備下，可採：

- (1) 未經處理就再循環利用於其他用途。
- (2) 部分處理後，再循環利用於其他用途。
- (3) 處理後再循環做補充用水或原用途水源。



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

圖 15 旁流過濾處理示意圖

表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較

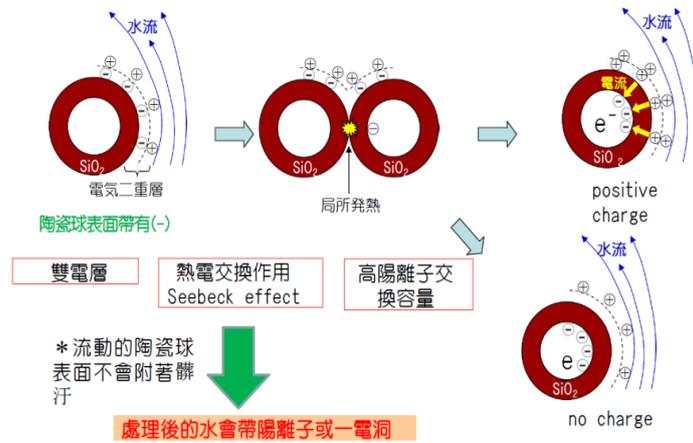
項目	傳統砂濾	纖維過濾
過濾速度 (LV 線性流速)	10 m/hr.	一般過濾 30 m/hr. 高速過濾 60~100 m/hr.
過濾表面積	10 m ² 佔用面積大 (LV=10 時)	一般：3.3 m ² (LV=30 時) 高速：1.25 m ² (LV=80 時)
反洗總耗水量 (如每天反洗一次)	36,500 m ³ /year	一般：13,140 m ³ /year 高速：5,110 m ³ /year
截污量	淺層過濾，截污量少，相對反洗頻率高	深層過濾，截污量多，相對反洗頻率低
過濾精度	10 μm 以上粒徑的顆粒方可濾除	10 μm 濾除 100% 2 μm 濾除 50%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 16 及圖 17 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 16 陶瓷球水處理理論圖

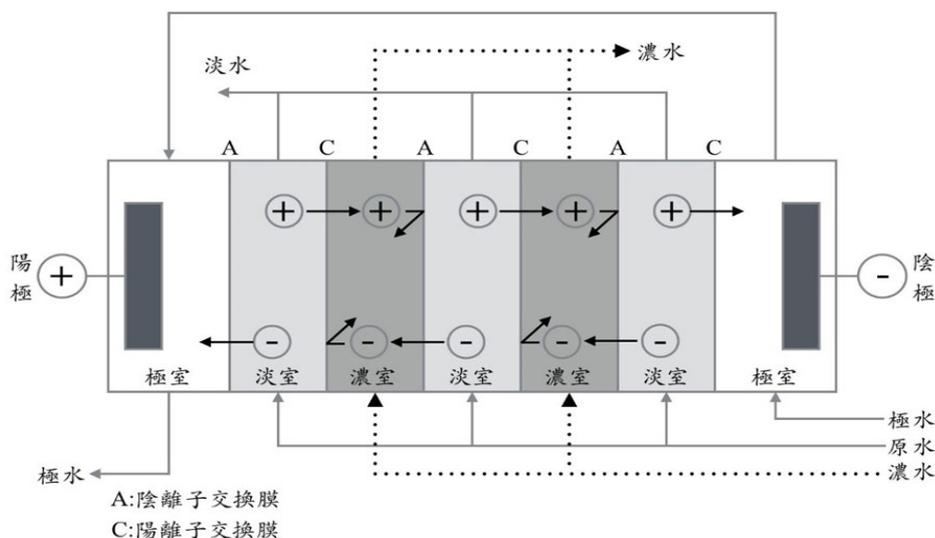


(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 17 陶瓷球水處理設備圖

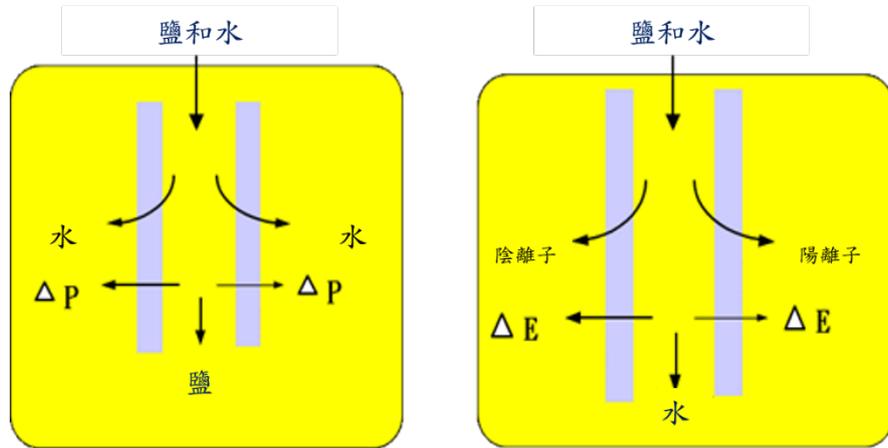
4. 倒極式電透析系統

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 18 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) 故在操作成本上較逆滲透薄膜系統 (Reverse Osmosis, 簡稱 RO) 低, 水回收率最高可達 90%, 氟離子濃度負荷可達 $1,500 \text{ mg}/\text{L}$, 去除效率約 80%。其 RO 與 EDR 脫鹽技術之比較如圖 19 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 18 電透析薄膜處理系統原理示意圖



RO分離機制：以壓力(20 bar)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 19 逆滲透薄膜與倒極式電透析之脫鹽技術比較

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 及表 11 為冷卻排放水以 EDR 回收後，產出優質再生水之案例及成本分析，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

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)

■ 表 11 冷卻排放水以倒極式電透析回收之成本分析

(元/立方公尺)

項目	電費	藥費	換/洗膜 費用	折舊費用	操作維修費用
費用	1.41	0.72	4.62	4.83	1.00
產水成本	12.58				

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，工業冷卻水循環再利用技術及效率之探討，2017)

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 20 所示，說明如下。



圖 20 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、有機胺或二氧化碳提高 pH 值。

(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

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、鎂離子處於高速運動的狀態，暫時性改變電荷，而無法形成水垢，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

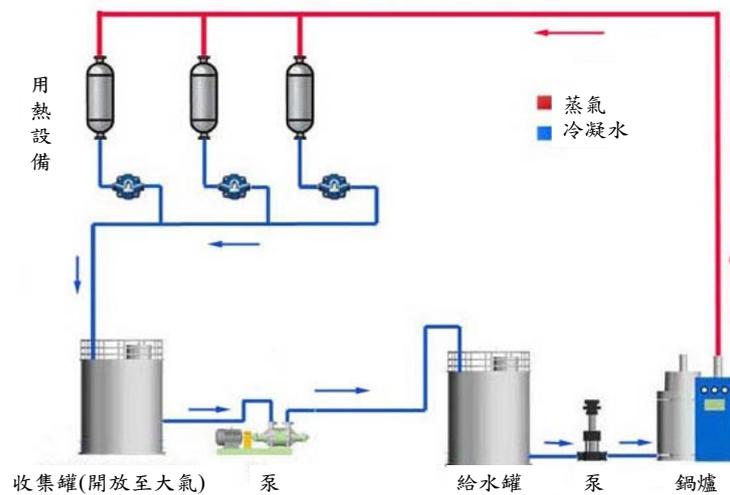
由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換（中壓鍋爐）後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

(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 21 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。

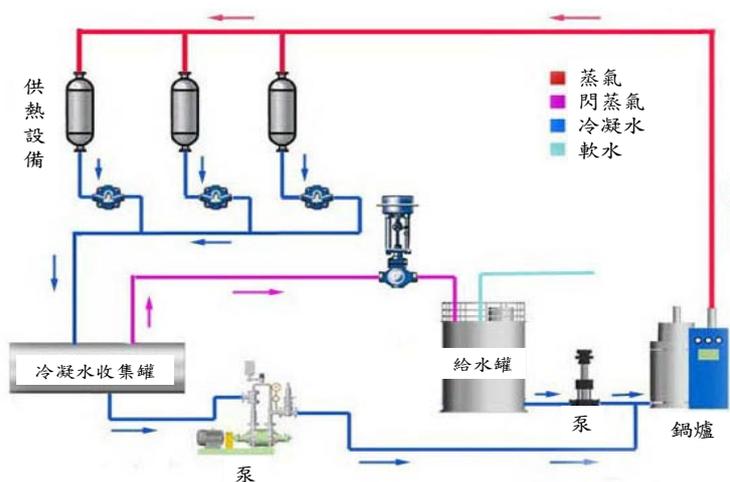


(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

■ 圖 21 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 22 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 12 所示。



(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 22 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差異分析表

	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。常見的放流水回收再利用技術如圖 23 所示，分別說明如下：

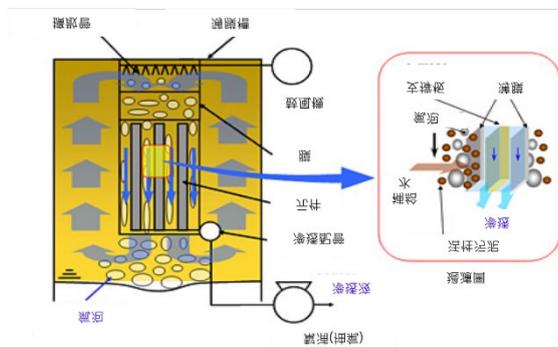


圖 23 放流水回收技術

(一) 水回收技術

1. 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，處理原理如圖 24 所示、實體設備如圖 25 所示，透過薄膜進行固液分離，將有機物中之微生物與分解後的水予以分離，是處理管末放流水，降低水中 COD 及 SS 之處理技術之一，其具備污泥齡長、產生污泥量少，占地需求低等特色。



(資料來源：Napier-Reid Ltd.)

圖 24 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 25 薄膜生物處理系統設備圖



透過 MBR 系統處理過後之管末廢水，由於降低水體 COD 及 SS，對於管末排水可降低廢水納管費，處理後之水體也可規劃作為公共次級用水如沖廁、洗地或澆灌等使用或針對製成用水需求相對並無特別要求之清洗段作為使用；以某廠建置 MBR 系統為例，其建置經費可參考表 13 所示。

表 13 薄膜生物處理系統經費分析

項目	MBR
產水量 (CMD)	227.5
總建設成本 (元)	4,420,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	6.5
單位產水成本-營運 (元/噸)	3.9
單位產水總成本 (元/噸)	9.4
年營運成本 (元)	266,175
產水總成本 (元/月)	709,800

註：1. 單位建設成本以折舊年限 10 年估算。
2. 每月工作天以 25 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，2012)

2. 倒極式電透析系統

放流水經廢水處理系統後，COD、SS 等物質獲得良好去除效率水質單純，唯謹導電度偏高時，透過 EDR 系統可達到良好脫鹽效率，該股放流水將可直接回用至次級用水單元或經過其他處理系統處理後，供應各單元使用，有關 EDR 系統詳細運作原理可參考前節所述。排放水以 EDR 回收之成本分析如表 14 所示。

表 14 倒極式電透析系統成本分析

項目	費用	單位
電費	1.41	元/立方公尺
藥費 (HCl)	0.66	
藥費 (NaOH)	0.06	
換膜費用	2.62	
洗膜費用	2.00	
折舊費用	4.83	
操作維修費用	1.00	
產水成本	12.58	

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 26 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：

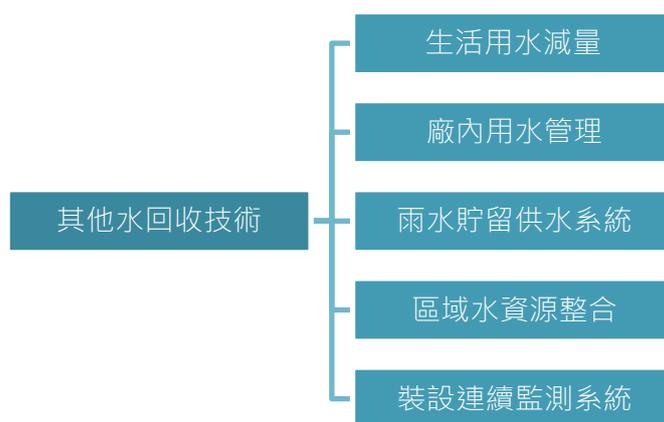


圖 26 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

據經濟部水利署公布之單位用水量計算參考，民生類用水量非住宿人員每日用水量 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. 裝設水量監控器材，並且定期巡查、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、洗滌塔等單元，針對各主要用水單元進行智慧水錶架設，將可無需透過人力抄表，便能擁有相關具體數據資料，達到加速管理廠內用水，瞭解廠內用水習性，並及早發覺廠內異常用水，執行模式如圖 27 所示；針對用水水質的部分，於回收水槽加裝自動水質檢測設備，確保回收水用量及用水品質。

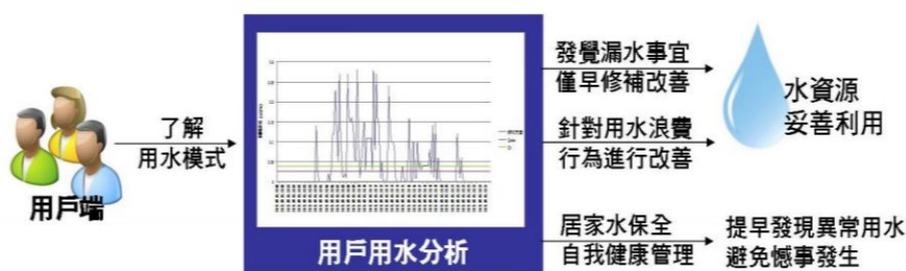


圖 27 用水管理模式及效益

(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 28 所示。

當台灣雨量雖然豐沛，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，槽內所設計之球形閘或電擊棒受到感應，會打開補給管的閘門，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）。

雨水透過重力流進入過濾器，因內部構造設計，使雨水旋轉產生離心力，並將乾淨雨水甩出至出水口，雨水過濾設備如圖 29 所示。



■ 圖 28 雨水回收流程



(資料來源：寶閥精密工業，2018)

■ 圖 29 雨水過濾設備圖

(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 30 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。

本製造業主要用水標的為製程及冷卻單元，若鄰近廠商排放水水質單純，唯部分水質項目偏高可將此水源經相關處理設備淨化後，再經由廠內製水系統處理則可供應各單元使用，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。

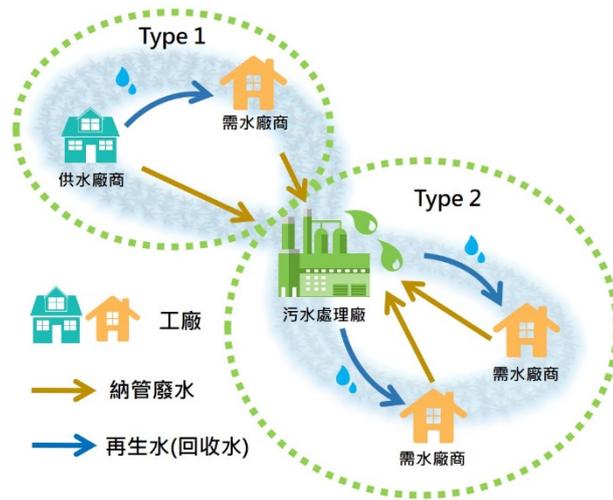
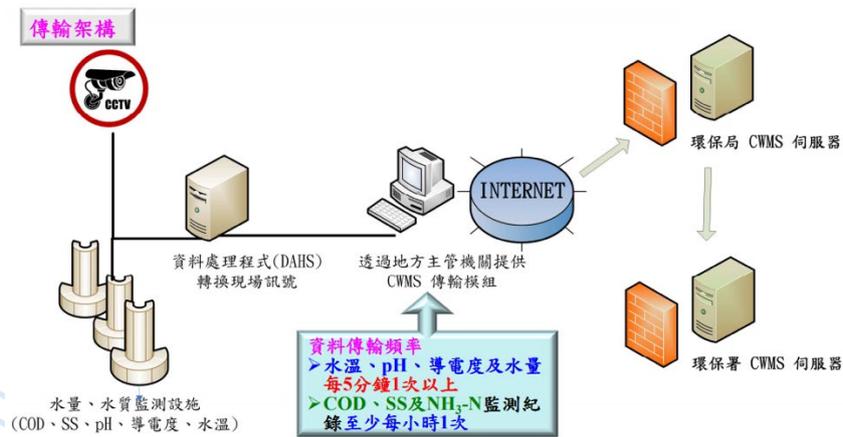


圖 30 區域水資源整合型態示意圖

(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 31 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 31 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將塑膠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 15。

表 15 塑膠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

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	設備改善		√			
	純水設備濃排水及清洗水回收		√			
	藥劑水溶液循環使用		√			
	製程清洗水逐級利用		√			
	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			√		
回收再利 用技術	腐蝕結垢控制				√	
	砂/袋濾過濾系統		√			√
	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				√	



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 公司位於桃園縣中壢工業區，占地約 11,804 平方公尺，主要為塑膠製品製造業及紙漿、紙及紙製品製造業，公司成立於 1977 年 11 月，生產產品主要為牛皮紙袋、鋁箔紙、及膠膜紙等軟性包裝材料設計、製造及行銷，專供食品業、電子業、醫藥業、石化業、日用化學品業及一般工業等產業應用

(二) 製程流程

全廠主要為軟性包裝材料設計、製造，因此於製程流程需使用鋁箔、PE 模及紙類等積層包裝(依需求不同而異)，製程用水量主要用於模板雕刻鍍鉻及研磨後清洗，另於進入廠區製程前需做衛生、消毒、無塵等程序，故有清洗用水，製程流程如圖 32 所示。

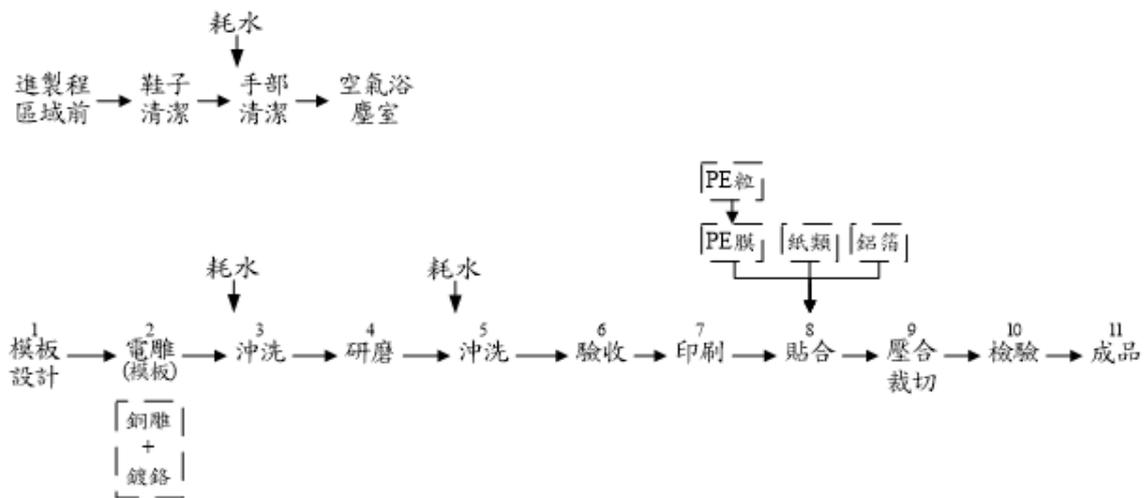
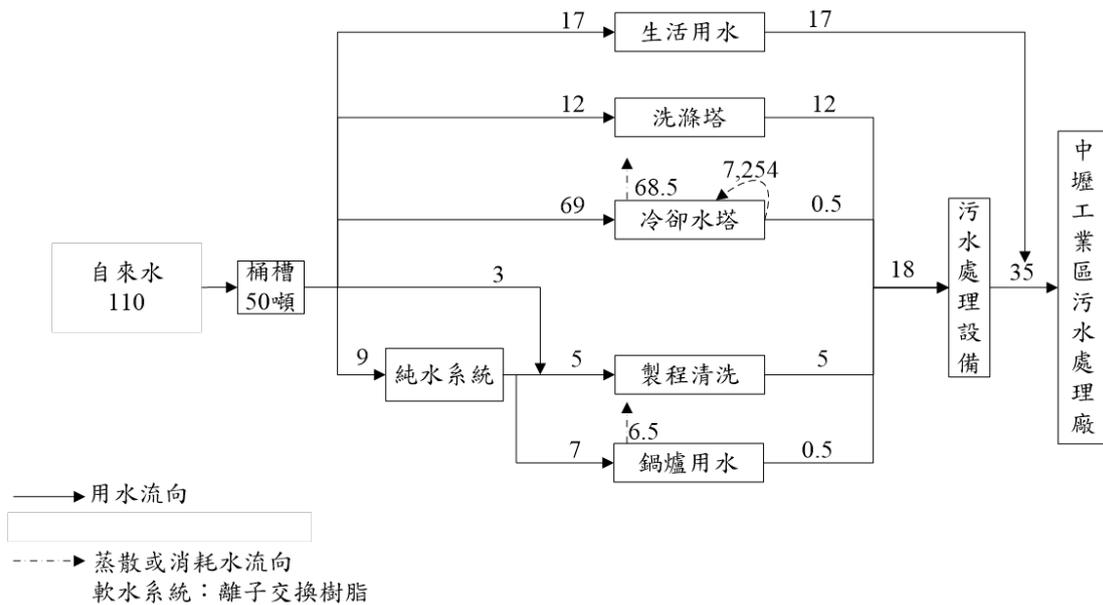


圖 32 案例 A 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

A 廠每日用水量約 110 CMD，所使用的主要水源為自來水，廠內水平衡圖如圖 33 所示。消耗水量為冷卻水塔飛濺蒸散及鍋爐蒸散等共消耗 75 CMD，剩餘水量主要提供民生、洗滌塔及製程用水等使用。



■ 圖 33 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 33 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，可規劃下列水回收方案，分述如下：

方案一、洗滌塔用水改用以循環用水

廠內洗滌塔主要將製程中之廢酸氣（乙酸乙酯）藉由淋洗動作調整 pH，全廠共約 6 座，由次採用不循環補水，故每座用水量約 2 CMD，共計約 12 CMD，建議可改為循環淋洗方式約可節水 5 CMD。另由於洗滌塔相較其他用水設備如冷卻水塔用水水質較低，可於廢水管末回收部分廢水（pH 通常為 7~9）進行回用，推估將可回收 1 CMD。

方案二、民生用水設備更換為省水裝備

廠內人員進入無塵室前需先經初步清潔，原廠內使用一般水龍頭作為手部清洗用，建議裝設省水龍頭，以省水率 45% 初估，約可節水 2 CMD。

方案三、廠內廢水納管改善建議

廠內民生及製程等廢水雖有分流，但僅製程廢水有經化混設備處理(民生直接排放)，建議廠方可於廠內規劃新設 MBR 系統處理有機廢水，使全廠有機、無機廢水得分流處理，不僅能降低廢水處理成本及廢水水質超標遭罰款之風險，且可檢視相關水源進行回收再利用之可行性。

上述規劃方案，A 廠原水用量為 110 CMD，回收水量為 0 CMD，經方案實施，後取水量降低至 103 CMD，如圖 34 所示。

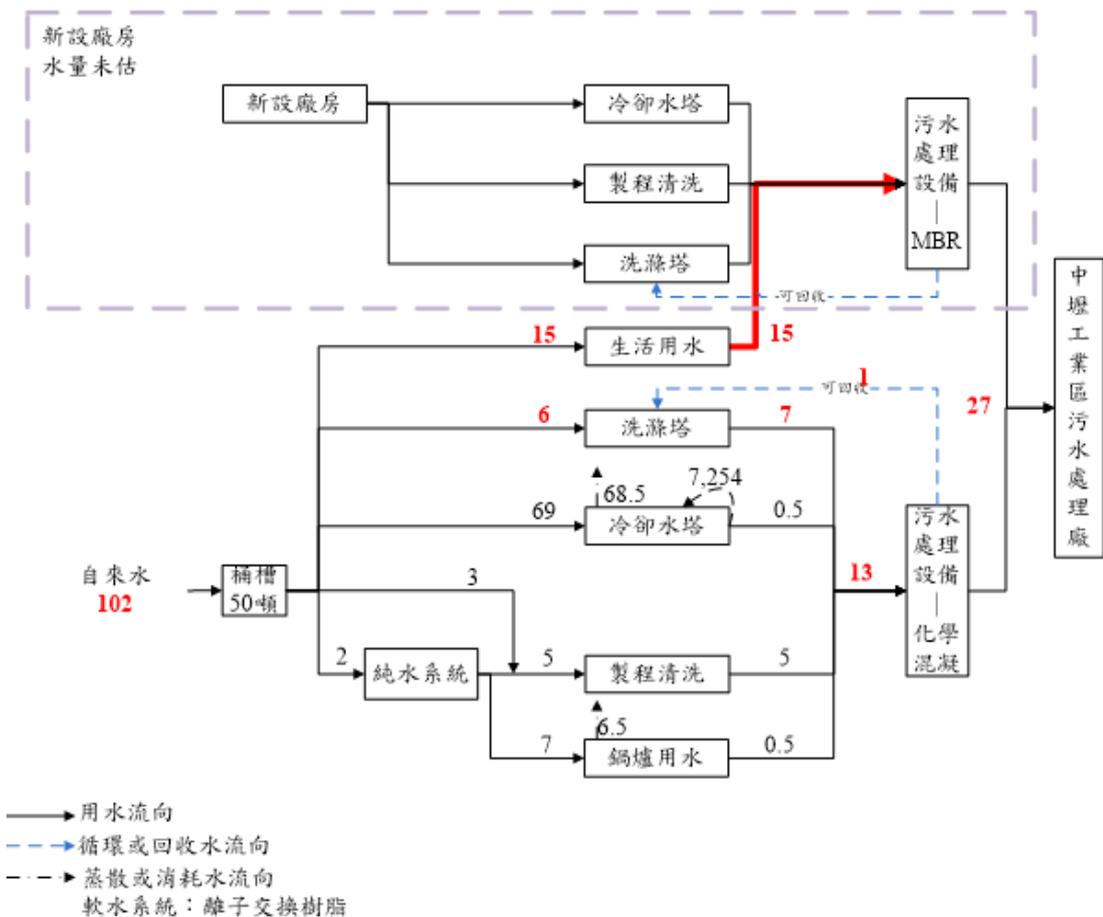


圖 34 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)

(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。考量廠內用水現況，預計民生用水設備更換為省水裝備及洗滌塔循環再利用，約可節水 **7 CMD**，管末回收 **1 CMD** 至洗滌塔。

2. 方案經濟效益分析

A 廠內使用水源為自來水，目前自來水價格約為 **12.68 元/噸**，原水自來水取水量 **110 CMD**；納管成本為約 **12.66 元/噸**，實際納管約 **35 CMD**，但收費採總用水量 **8 折** 計算故收費納管量為 **88 CMD**，經由方案建議後納管量估計降低至 **27 CMD**、納管量收費水量 **82 CMD**，如表 16 所示。

表 16 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)
	水量 (噸/月)	費用 (月/元)	水量 (噸/月)	費用 (月/元)	
自來水 費用	110×22 =2,420	12.68×2,420 =30,686	102×22 =2,244	12.68×2,244 =28,454	2,232
納管費 (總用水量 8 折)	88×22 =1,936	12.66×1,936 =24,510	82×22 =1,804	12.66×1,804 =22,839	1,671
合計	-	55,195	-	51,293	3,903

註：1. 每月工作天以 22 天計。

2. 自來水水價約 12.68 元/噸、納管費約 12.66 元/噸。

3. 水回收率提升分析

A 廠原用水量為 110 CMD，納管量為 88 CMD (採總用水量 8 折計算)，廠內無水回收，預計經由實施建議節水方案可節省用水量約 7 CMD，回收水量 1 CMD，而用水量降低為 102 CMD；排放量降低至 82 CMD (採總用水量 8 折計算)，改善後全廠回收率 R1 由 98.49% 提高至 98.60%；R1 由 0% 提高至 0.97%，水回收計算結果如表 17 所示。

表 17 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	$98.49\% = \frac{0+7,185}{110+0+7,185} \times 100\%$	$0.00\% = \frac{0+0}{110+0} \times 100\%$
實施後	$98.60\% = \frac{1+7,185}{102+1+7,185} \times 100\%$	$0.97\% = \frac{1+0}{102+0} \times 100\%$
註：	<p>全廠回收率 (重複利用率, R1) = $\frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$</p> <p>全廠回收率 (不含循環水量, R2) = $\frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$</p>	



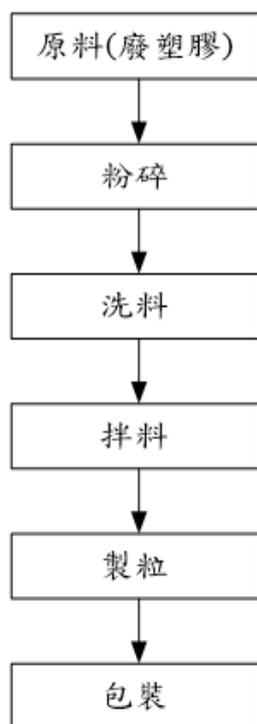
二、案例 B 廠簡介

(一) 案例廠簡介

B 公司為塑膠製品製造業，創立於 1980 年，塑膠回收年處理量四萬噸，已居該產業之領導地位，主要產品為聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚醯胺等塑膠再生粒料。

(二) 製程流程

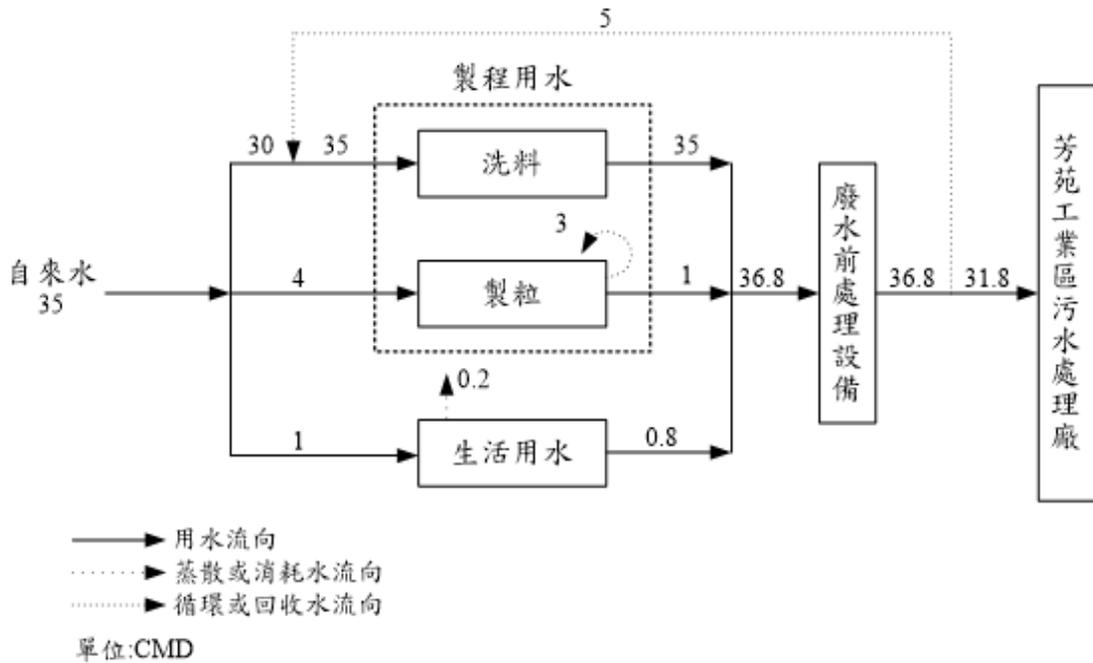
B 廠再生塑膠粒料製造程序主要為粉碎、洗料、拌料、製粒等步驟，生產流程圖如圖 35 所示。



■ 圖 35 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

B 廠總用水量約 35 CMD，取得水源為自來水，自來水主要用於製程用水及生活用水。納管量約為 31.8 CMD，其用水量約占全廠取水量之 90% 以上，而其他用水標的為民生用水等，廠內各用水單元用水平衡圖如圖 36 所示。



■ 圖 36 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 36 全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，針對廠內現行狀況規劃以下方案：

方案一、區域水資源整合

區域水資源整合，利用 A 廠放流水供給 B 廠使用，有效減少 A 廠排水量及 B 廠之取水量。該工業區內 B 廠關係企業廠內皆設有純水系統，其二甲純水系統濃縮水（Reverse osmosis reject，簡稱 ROR）建議可回收至 B 廠製程中洗料程序使用。預估回收水量為 20 CMD。根據所規劃的水回收方案，B 廠自來水取水量由原來 35 CMD 降至 15 CMD，如圖 37 所示。



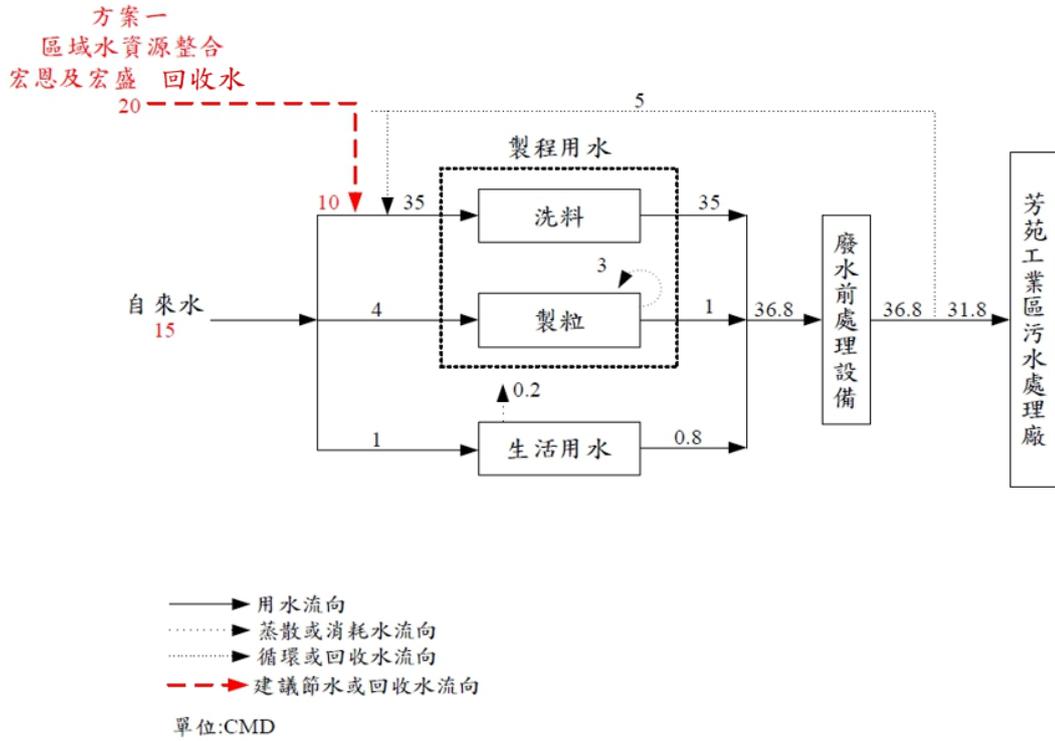


圖 37 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 產水成本分析

建議水回收方案，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，建議改善方案為區域水資源整合，預計可減少約 20 CMD 之自來水取水量。

2. 方案經濟效益分析

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，納管費用約為 10.4 元/噸，原自來水取水量為 35 CMD，納管量為 31.8 CMD，經方案實施後，自來水取水量為 15 CMD，節水方案實施前後費用變化如表 18 所示。

表 18 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)		
自來水費	35×24 =840	840×12.5 =10,500	15×24 =360	360×12.5 =4,500	6,000	72,000
合計	-	10,500	-	18,543	6,000	72,000

註：1.每月工作天以 24 天計。
2.工業用自來水單價以 12.5 元/噸估算。

3. 水回收率提升分析

B 廠原用水量約為 35 CMD，納管量約為 31.8 CMD，回收水量約為 5 CMD，若實施建議方案後，用水量降低為 15 CMD，回收水量 25 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 18.6% 提高至 65.12%，水回收計算結果如表 19 所示。

表 19 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	$18.60\% = \frac{5+3}{35+5+3} \times 100\%$	$18.60\% = \frac{5+3}{35+5+3} \times 100\%$
實施後	$65.12\% = \frac{25+3}{15+25+3} \times 100\%$	$65.12\% = \frac{25+3}{15+25+3} \times 100\%$
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. BI Pure Water · Turnkey Sewage Treatment with an MBR Plant · 2018
2. Napier-Reid Ltd. · <http://napier-reid.com/>
3. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
4. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency 2009
5. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
6. 工業安全衛生協會，第九章-塑膠製品製造業，2010
7. 全澤股份有限公司，<http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
8. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2017
9. 佳友股份有限公司，<http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
10. 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
11. 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>
12. 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
13. 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
14. 產業價值鏈資訊平台，石化及塑橡膠產業鏈簡介，
<http://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=N000>
15. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
16. 第一環保能源科技有限公司，Membrane Bio-Reactor (MBR) 薄膜生物反應系統，2018

17. 勞動部，行業指南目錄-塑膠製品製造業，2017
18. 經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017
19. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
20. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2017
21. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2012
22. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
23. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
24. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
25. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
26. 經濟部水利署，節水紀實，2012
27. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2017
28. 群揚材料股份有限公司，<http://www.efmi.com.tw/?a=index/entry&id=12>
29. 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

塑膠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、台灣區塑膠製品工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘灃

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

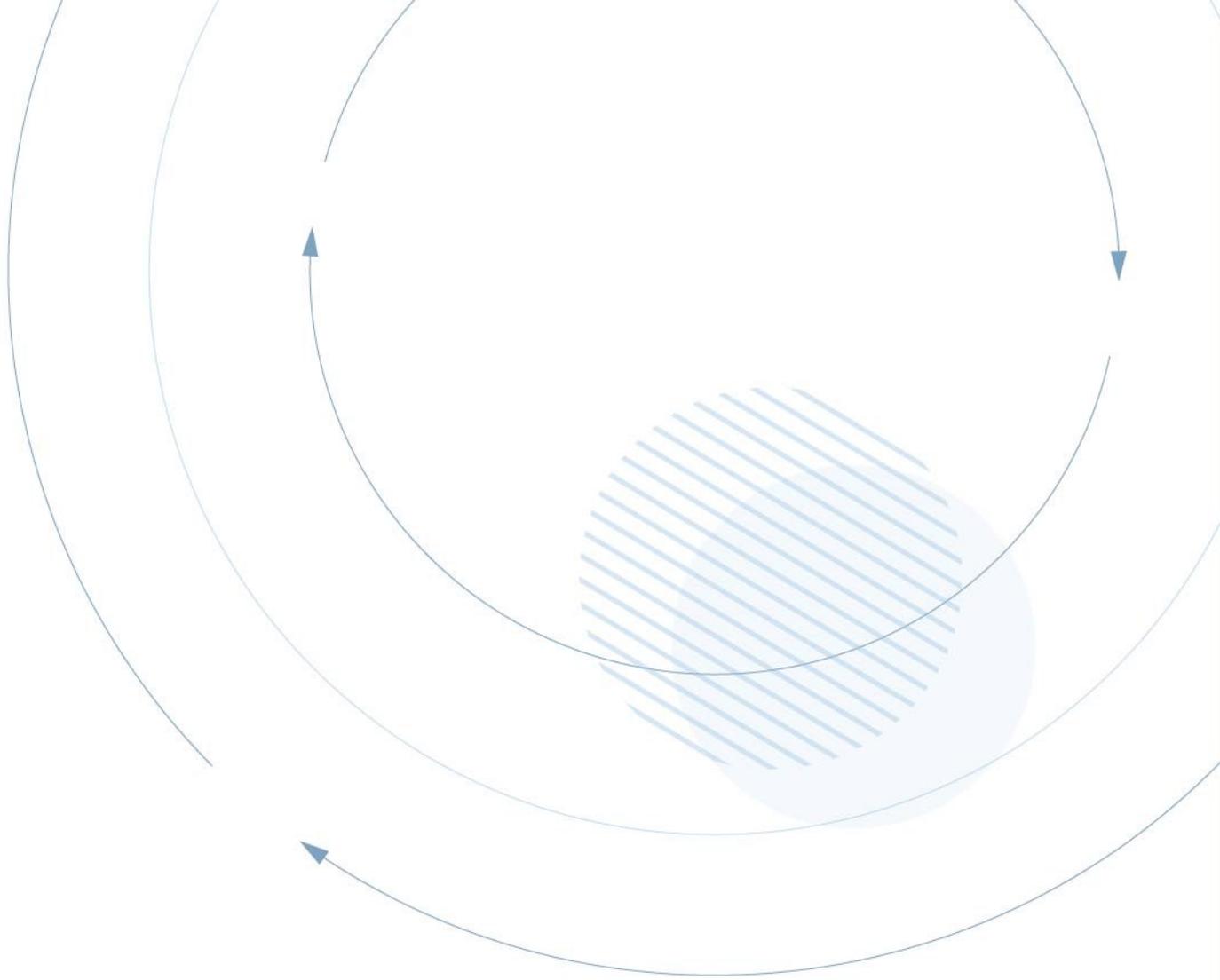
版次：初版



塑膠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
 新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號 52 館 512 室



經濟部工業局

INDUSTRIAL DEVELOPMENT
BUREAU, MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS