



# 化學原材料製造業

## 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
(一) 化學原材料製造業	3
(二) 肥料及氮化合物製造業	4
(三) 塑膠及合成橡膠原料製造業	5
(四) 人造纖維製造業	7
三、 主要用水標的與用水情形	8
第二章 水利三法相關子法、辦法事宜	9
一、 用水計畫審核管理辦法	9
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	10
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值	11
第三章 用水最適化及回收再利用技術	15
一、 製程用水最適化及回收再利用技術	15
(一) 用水最適化	16
(二) 水回收技術	17
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術	21
(一) 用水最適化	21
(二) 水回收技術	25
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	32
(一) 用水最適化	32
(二) 水回收技術	34
四、 放流水回收再利用技術	36
(一) 水回收技術	37
五、 其他水回收技術	41
(一) 生活用水減量	41
(二) 廠內用水管理	41
(三) 雨水貯留供水系統	42
(四) 區域水資源整合	44
(五) 裝設連續監測系統	45
六、 小結	46

第四章 水回收再利用案例介紹	47
一、 案例 A 廠簡介	47
(一) 案例廠簡介	47
(二) 製程流程	47
(三) 廠內用水管理情形	52
(四) 用水效率提升方案	52
(五) 成本效益分析	54
二、 案例 B 廠簡介	57
(一) 案例廠簡介	57
(二) 製程流程	57
(三) 廠內用水管理情形	58
(四) 用水效率提升方案	59
(五) 成本效益分析	60
第五章 參考文獻	63

## 圖目錄

	頁次
圖 1 化學材料製造業生產價值百分比圖	2
圖 2 石化產業領域應用範圍	3
圖 3 合成樹脂製造流程圖	6
圖 4 螺縲製造流程圖	7
圖 5 化學材料製造業用水結構分析	8
圖 6 化學材料製造業製程廢水水質特性	15
圖 7 製程用水最適化及水回收技術	15
圖 8 砂濾處理系統之原理示意圖	17
圖 9 砂濾處理系統設備圖	17
圖 10 各種濾膜去除物質比較圖	18
圖 11 微過濾薄膜設備圖	18
圖 12 超過濾薄膜設備圖	19
圖 13 奈米過濾薄膜設備圖	19
圖 14 逆滲透薄膜設備圖	19
圖 15 冷卻用水最適化及水回收技術	21
圖 16 濃縮倍數與排放損失關係圖	22
圖 17 冷卻水塔加藥示意圖	23
圖 18 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	24
圖 19 冷卻水塔蒸發回收系統圖	25
圖 20 消霧節水冷卻水塔設備圖	26
圖 21 冷卻水塔旁流過濾設備圖	27
圖 22 旁流過濾處理系統示意圖	27
圖 23 陶瓷球水處理理論圖	29
圖 24 陶瓷球水處理設備圖	29
圖 25 電透析薄膜處理系統之原理示意圖	30
圖 26 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖	31
圖 27 鍋爐用水最適化及水回收技術	32
圖 28 開放式冷凝水回收系統原理示意圖	34
圖 29 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖	35
圖 30 放流水回收技術	36
圖 31 電混凝處理系統實廠模組	37



圖 32 離子交換樹脂設備	39
圖 33 倒極式電透析模組設備	40
圖 34 其他水回收技術	41
圖 35 雨水回收流程圖	42
圖 36 區域水資源整合型態示意圖	44
圖 37 監測連線傳輸設置圖	45
圖 38 案例 A 廠硫酸製造流程圖 ( M01 )	48
圖 39 案例 A 廠鍋爐汽電共生製造流程圖 ( M05 )	48
圖 40 案例 A 廠己內醯胺製造流程圖 ( M06 )	49
圖 41 案例 A 廠硫酸銨化學製造流程圖 ( M04 )	50
圖 42 案例 A 廠廢水 ( 液 ) 焚化處理製造流程圖 ( M07 )	51
圖 43 案例 A 廠氫氧製造流程圖 ( M08 )	51
圖 44 案例 A 廠用水平衡圖 ( 方案實施前 )	52
圖 45 案例 A 廠用水平衡圖 ( 方案實施後 )	54
圖 46 案例 B 廠製造流程圖	57
圖 47 案例 B 廠用水平衡圖 ( 方案實施前 )	58
圖 48 案例 B 廠用水平衡圖 ( 方案實施後 )	59

# 表 目 錄

	頁次
表 1 化學材料製造業類別及定義表	2
表 2 堆肥製造流程處理步驟	4
表 3 產業園區用水管理作業原則摘要	10
表 4 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	11
表 5 再生水用於工業用途分級水質建議值表	12
表 6 再生水用於工業用途水質基礎建議值	13
表 7 各薄膜過濾特性比較分析表	20
表 8 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	22
表 9 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	26
表 10 冷卻水塔蒸發回收之成本分析	26
表 11 纖維過濾與傳統砂濾比較表	28
表 12 冷卻排放水以倒極式電透析系統回收產水水質實例	31
表 13 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較表	35
表 14 離子交換塔、超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析	38
表 15 倒極式電透析系統經費分析	40
表 16 雨水處理設備與使用程度關係	43
表 17 雨水截流系統設計值	43
表 18 化學材料製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整	46
表 19 水回收設施經費分析	55
表 20 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	55
表 21 水回收方案實施前後水回收率變化	56
表 22 水回收設施經費分析	60
表 23 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	60
表 24 水回收方案實施前後水回收率變化	61





# 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 )，化學材料製造業為化學原材料、肥料、氮化合物、塑橡膠原料及人造纖維等之行業，依行業標準分類別可細分如表 1 所示。另依經濟部統計處公開資料，化學材料製造業產值約為新台幣 20,024 億元，以化學原材料製造業占比較高，約占化學材料製造業產值 61%，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 )。

化學材料製造業所運用範疇廣泛，不僅應用在化學工業本身，也應用於能源、生技醫藥、光電及資訊電子等高科技產業。尤其高科技產業中，要有突破性發展往往需要化學及化工的技術，因此化學材料業在工業上扮演了重要的角色。

有關於化學材料製造業之特色，依產業類別可區分為兩大項，以下將分別說明其特色：

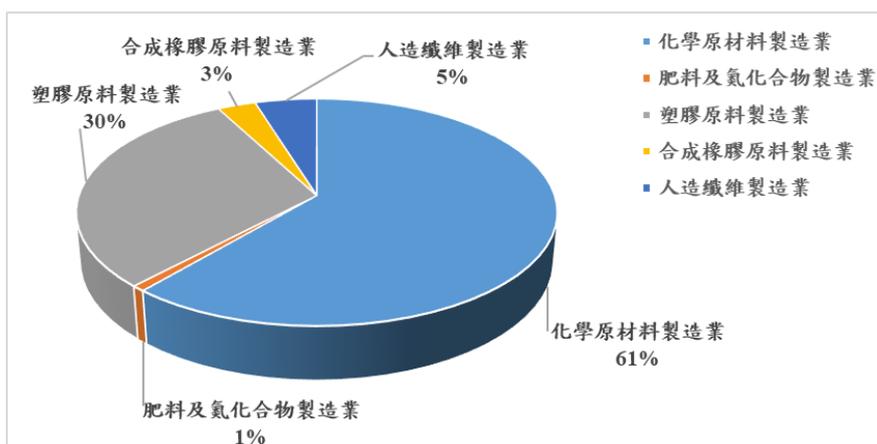
1. 石化產業中，由於資本技術密集，產品多樣化，且相關產業領域涵蓋廣泛，是重要基礎工業之一，與其他產業類別具有高度相關性，對於各產業鏈結構影響性大。
2. 基本化學製造產業，主要以基本原料製造、萃取及基本原料開發改善，應用範圍除基本工業外，也廣泛應用在農產、生物科技等領域，雖然應用範圍廣，但相對於其他製造產業，基本化學產業製造流程及商業運作模式較為單純。



表 1 化學材料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	18			化學材料製造業 從事化學原材料、肥料及氮化合物、塑膠及合成橡膠原料、人造纖維等製造之行業。
		181	1810	化學原材料製造業 從事以熱解、蒸餾等基本化學程序製造化學元素及化合物之行業，如工業或醫療用之液化或壓縮無機氣體、無機酸、無機鹼及其他無機化合物等製造；乙烯、丙烯、芳香烴等石油化工原料製造亦歸入本類。
		183	1830	肥料及氮化合物製造業 從事化學肥料及氮化合物製造之行業，如氮肥、磷肥、鉀肥、尿素、天然磷酸鹽、天然鉀鹽及氨水、硝酸鹽、硝酸鉀等氮相關產品之製造；土壤改良劑及有機肥料（堆肥除外）製造亦歸入本類。
		184		塑膠及合成橡膠原料製造業 從事塑膠及合成橡膠原料製造之行業。
			1841	塑膠原料製造業 從事塑膠原料製造之行業，如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚醋酸乙烯、酚醛樹脂、環氧樹脂、醇酸樹脂、聚酯樹脂、矽樹脂、離子交換樹脂等製造；纖維素及其化學衍生物製造亦歸入本類。
			1842	合成橡膠原料製造業 從事合成橡膠原料製造之行業，如橡膠乳液、氟橡膠、矽橡膠等製造。
		185	1850	人造纖維製造業 從事以化學方法製造合成或再生纖維之行業，如醋酸纖維、聚酯纖維、嫘縈纖維、硝化纖維、銅鈹纖維、尼龍纖維、酪素纖維、聚丙烯纖維、聚丙烯腈（亞克力）纖維及聚氨基甲酸酯纖維等製造。

（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 化學材料製造業生產價值百分比圖

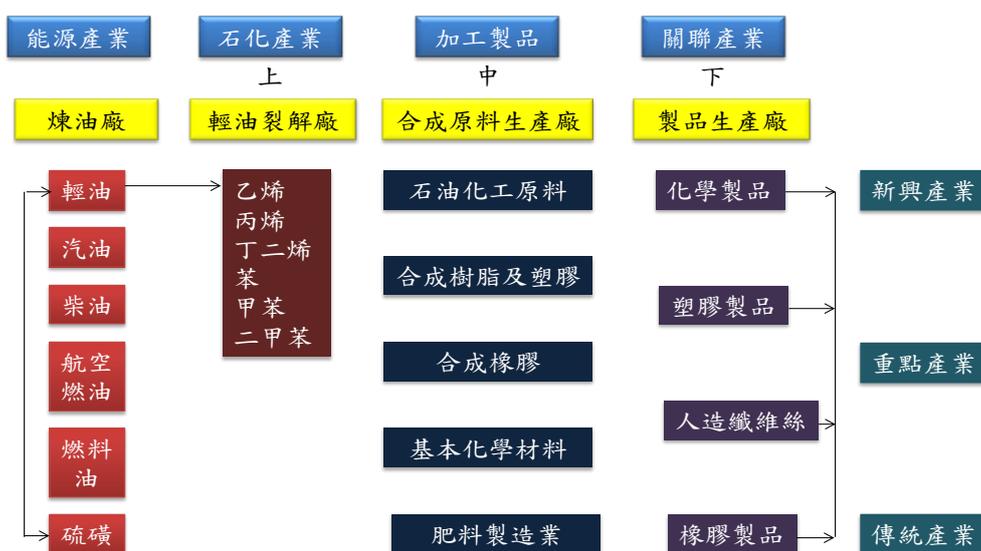
## 二、製程特性

本節針對化學材料製造業相關製造業別，包括化學原材料製造業、肥料及氮化合物製造業、塑膠及合成橡膠原料製造業及人造纖維製造業等，分別概述其製程特性。

### (一) 化學原材料製造業

根據 107 年化學材料製造業生產值統計量資料顯示，化學原材料製造業佔總生產價值達 61%，在化學原材料製造業中，生產物質如：甲醛、乙二醇 (Ethylene glycol，簡稱 EG)、純對苯二甲酸 (Pure terephthalic acid，簡稱 PTA)、丙烯酸酯及其他石油化工原料等多項產品，以下將針對石油化工原料做說明 (經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)。

由於石化產業之應用範疇廣泛，原油可透過煉油廠提煉出輕油、汽油、柴油、天然氣及重組油；透過裂解與芳香烴萃取可產生如：合成氣、乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯等原料；常用之石油化學品基本原料，透過輕油裂解廠，可進行基本原料再反應，轉化得到中間原料用化學品，並提供下游石化產品加工；下游石油化學品則是上中游原料所合成及加工之，石化產業應用範圍如圖 2 所示。由此可知，在石化產業領域應用範圍中，相關連接產業廣泛，包含傳統、新興等產業類別。



(資料來源：李世陽，新世紀的化學工程：臺灣石油化學工業，2016)

圖 2 石化產業領域應用範圍

## (二) 肥料及氮化合物製造業

肥料具有提供單或多種以上植物之營養元素、改善土壤性質、提高土壤肥力等特性，製造堆肥的流程處理步驟可區分為四大步驟如表 2 所示，由於肥料品種繁多，來源、性質、成分和肥效各不相同，通常可區分為無機肥料（化學肥料）、有機肥料（農家肥料）、有機無機肥料。

### 1. 無機肥料

簡稱化肥，通常無機肥料是指用化學合成方法生產的肥料，包括氮、磷、鉀、複合肥有機肥，是有機物製作的肥料，具有成分單純，含有效肥分高，易溶於水，分解快，易被根系吸收等特點，故稱「速效性肥料」，分大量元素肥料（N、P、K），中量元素肥料（Ca、Mg、Na、S）和微量元素肥料（Fe、Mn、Zn、Cu、Mo、B 和 Cl）。

### 2. 有機肥料

有機肥含有大量生物物質、動植物殘體、排泄物、生物廢物等物質，施用有機肥料不僅能為農作物提供全面營養，而且肥效時間長，可增加和更新土壤有機質，促進微生物繁殖，改善土壤的理化性質和生物活性，是綠色食品生產的主要養分來源。

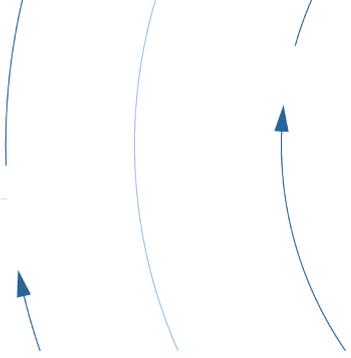
### 3. 有機無機肥及半有機肥料

是有機肥料與無機肥料通過機械混合或化學反應而成的肥料。

表 2 堆肥製造流程處理步驟

前處理	1. 調整養分 C/N、C/P
	2. 調整粒度
	3. 調整水分
	4. 調整 pH 值
	5. 接種微生物
	6. 混合均勻
一次發酵	7. 將易分解有機物快速分解
	8. 去除臭味
	9. 利用發酵高溫殺菌滅病原菌、害蟲、蟲卵和雜草種子
	10. 去除部分水分
二次發酵	11. 形成腐植質使有機物安定化
	12. 再去除水分
	13. 回復至室溫
後處理	14. 乾燥及篩分
	15. 調整肥料養分（依配方需求）
	16. 造粒後裝袋儲存或直接裝袋儲存

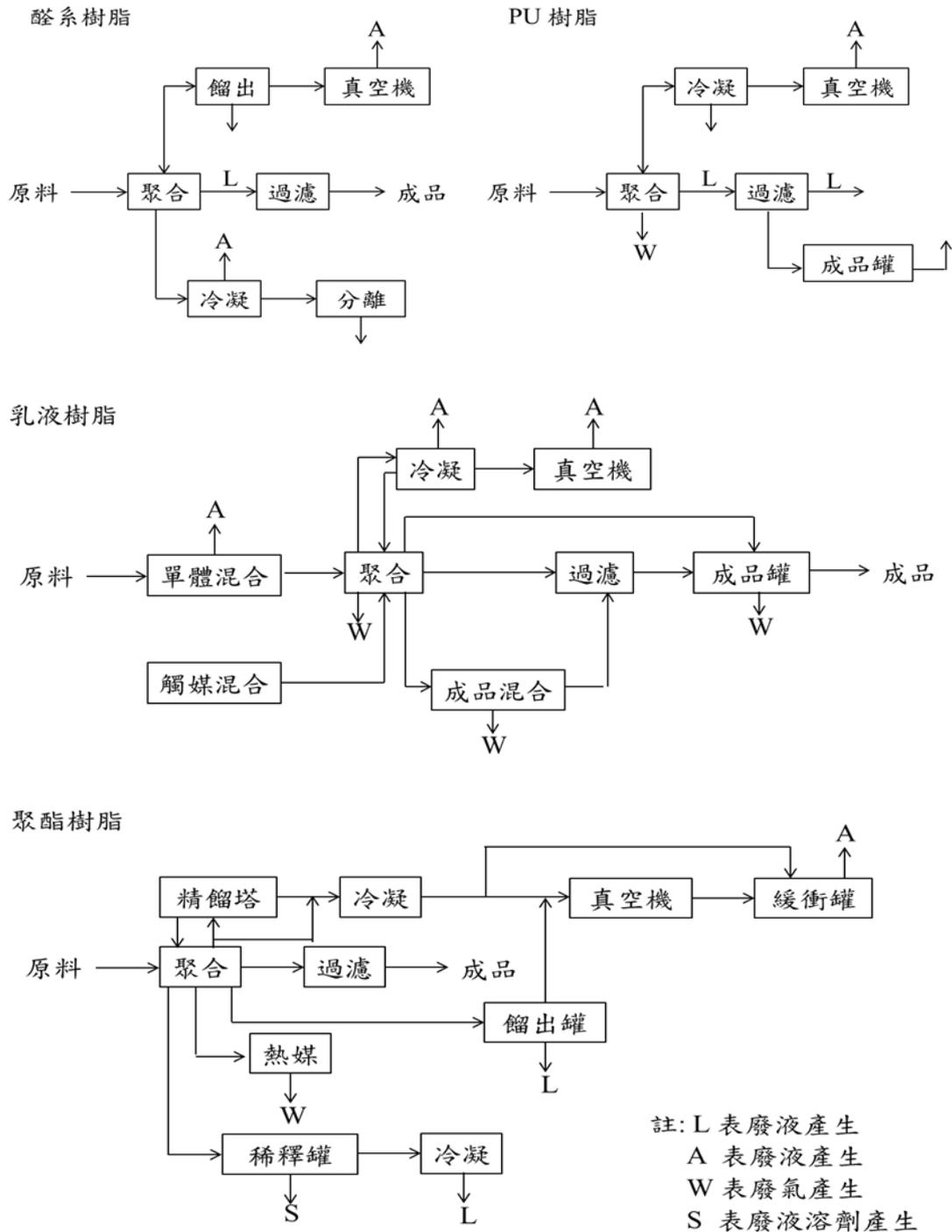
（資料來源：簡道南，台肥月刊-第四十四卷-第六期，2003）



### (三) 塑膠及合成橡膠原料製造業

塑膠以合成樹脂為基礎材料，加上染料、顏料及各種助劑等輔助材料，經過加工，即可製成特定的可塑材料。在溫度及壓力等條件下塑造成一定形狀，並稱在常溫下保持形狀不變的材料為塑膠，因此未經加工成型的聚合物，習慣稱為樹脂 ( Resin )。

合成樹脂 ( Synthetic Resin ) 是指由簡單有機物經化學合成或某些天然產物經化學反應而得到的高分子聚合物，其形態有固態或液態，其為製造塑膠、合成纖維、合成橡膠、高分子接著劑、高分子塗料和離子交換樹脂等的重要原料，是石油化工行業生產品種最多、產量最大，應用範圍最為廣泛的產品之一，全球已見報導的塑料品種有上萬種，較具代表性的合成樹脂製造流程如圖 3 所示 ( 經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術 - 合成樹脂業介紹，2008 )。



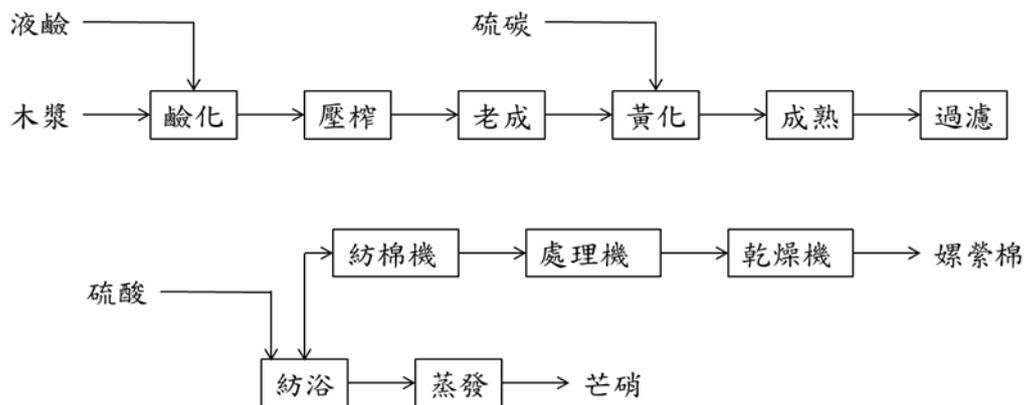
(資料來源：經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術－合成樹脂業介紹，2008)

圖 3 合成樹脂製造流程圖

#### (四) 人造纖維製造業

化學纖維是指用天然或合成的高分子聚合物為原料，經過化學和機械方法加工製造出來的紡織纖維。根據原料、加工方法和組成成分的不同，可以分為再生纖維(以天然聚合物為原料，經化學方法和機械加工製成)、醋酸纖維(以天然纖維素為原料，經化學方法，轉化成醋酸纖維素酯的纖維稱為醋酸纖維)、合成纖維(合成纖維是以石油、煤、天然氣及一些農副產品等低分子物作為原料製成單體後，經人工合成獲得的聚合物紡製成的化學纖維)及無機纖維(主要成分是無機物構成的纖維)。

於再生纖維製造中，以嫘縈具代表，製造流程如圖 4 所示，常見製造方法為黏膠法。所謂黏膠法係指將紙漿或木漿放在浸漬槽中，加入氫氧化鈉溶液及二氧化硫，纖維素和氫氧化鈉及二氧化碳反應成黃色黏膠狀液體即為纖維素黃酸鈉，再加入 1~5% 硫酸鋅及 7~10% 硫酸於紡絲浴中，中和氫氧化鈉，使得有機物質凝結，纖維素黃酸鈉進行分解即成為再生纖維的嫘縈(紡織用纖維之認識與製程概念)。



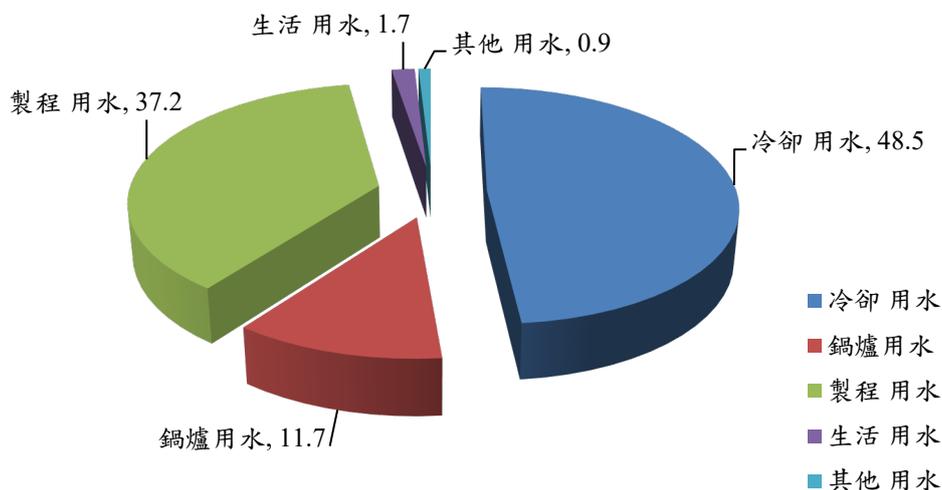
(資料來源：紡織用纖維之認識與製程概念)

圖 4 嫘縈製造流程圖



### 三、主要用水標的與用水情形

依據經濟部水利署 106 年工業用水量統計報告資料顯示，化學材料製造業於產業類別中屬於用水量戶，用水量占全國 26 類工業用水量中 18.42%，用水量約為 304.74 百萬立方公尺，為所有產業別用水量排名第一的產業（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，化學材料製造業依用途需求可分為五大用水標的，分別為：冷卻用水、鍋爐用水、製程用水、生活用水與其他用水。由於製程特性因素，化學材料製造業於生產作業過程中將產生高溫，因此冷卻用水佔比高達 48.5%，其用水分析結果如圖 5 所示（經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，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 化學材料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 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，各級用水建議值於表 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 <sub>5</sub> (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 <sub>3</sub> )	50	400	850
硝酸鹽類 (mg/L)	5		
氟化物 F <sup>-</sup> (mg/L)	0.5		
氯化物 Cl <sup>-</sup> (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 <sub>3</sub>	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		-
二氧化碳	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）。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

化工製程產品繁瑣，包括：乙二醇、丙烯酸酯、硫酸及氫氣等，對於製程用水品質有所要求及限制，相關製程廢水水質特性如圖 6 所示，各項製程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：

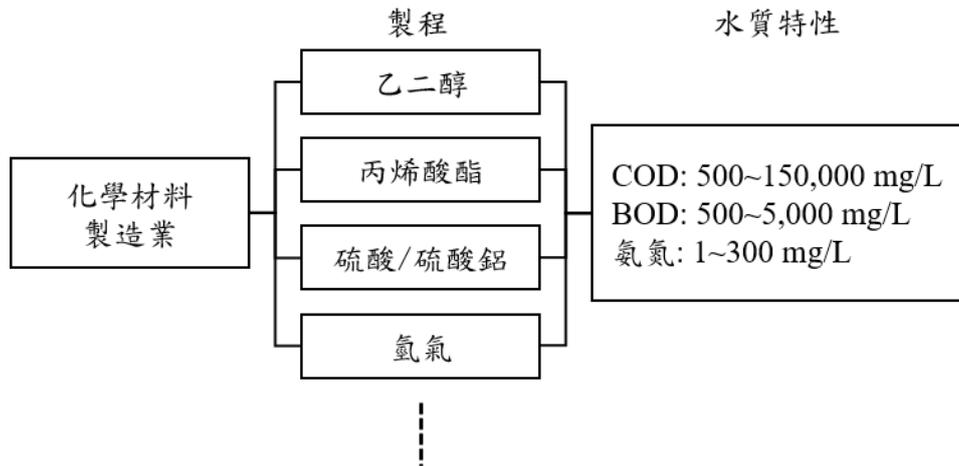


圖 6 化學材料製造業製程廢水水質特性

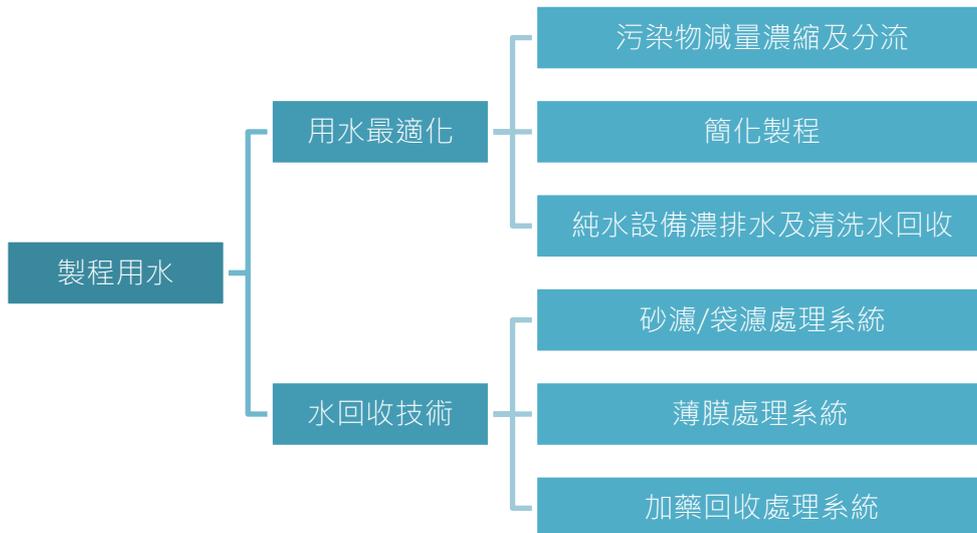


圖 7 製程用水最適化及水回收技術

## (一) 用水最適化

### 1. 污染物減量濃縮及分流

本方案主要目的是減少污染物產生，透過加藥操作或降低設備負荷等方式，增加回收再利用之可行性。對於製程中所產生之污染物，也可透過餘熱進行熱處理加以濃縮，回收高濃度物質，以降低處理負荷及操作成本。由於化學材料製造業原料中常含有大量雜質而需清洗，經化學反應所得之產品為使雜質分離之水洗作業，因其清洗或抽出作業用水及需求不同，可回收再使用。

### 2. 簡化製程

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，進行製程流程簡化如：降低清洗用水量、縮短清洗次數、回收再利用，可降低使用水量。

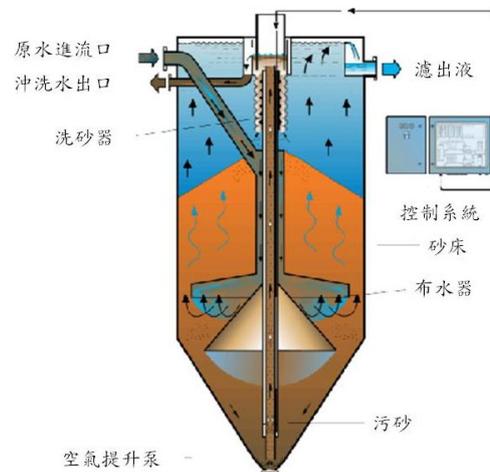
### 3. 純水設備濃排水及清洗水回收

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，恢復系統活性。而反沖洗頻率應以導電度作為根據，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及洗滌塔補充等次級用水使用。

## (二) 水回收技術

### 1. 砂濾/袋濾處理系統

部分製程降溫水由於未添加任何藥劑，僅在噴灑過程或接觸地面後沾染灰塵等雜質，因此具有高度回收價值，故可進行鋪設收集溝渠，將降溫污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沈澱作用，將懸浮物質自水中分離，其過程包括將懸浮物質移送至濾材表面以達到使其附著於濾材後分離之程序，常見砂濾處理系統原理如圖 8 所示，其實體設備如圖 9 所示，經處理後之用水可回收為冷卻水塔補充水或降溫水。



(資料來源：上海奧德水處理科技有限公司)

圖 8 砂濾處理系統之原理示意圖

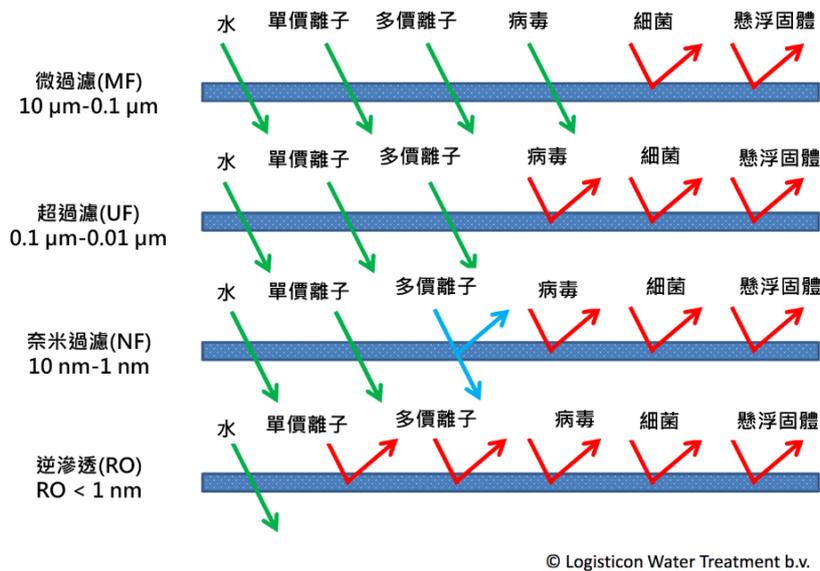


(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015)

圖 9 砂濾處理系統設備圖

## 2. 薄膜處理系統

微過濾 ( Microfiltration · 簡稱 MF ) 與超過濾 ( Ultrafiltration · 簡稱 UF ) 是薄膜處理系統中運用最廣的技術，其分離機制是利用薄膜孔徑大小來篩選可通過的粒子與分子，比膜孔大的顆粒便會被阻擋於膜面 ( 莊榮清等，薄膜科技的應用：流體中的最適守門員—微過濾與超過濾，科技大觀園，2008 )。如：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 ) 及逆滲透薄膜 ( Reverse Osmosis · 簡稱 RO )，以達到分離之效果，上述各類薄膜種類去除物質比較將如圖 10 所示，相關實體設備如圖 11 至圖 14 所示，各薄膜過濾處理特性如表 7 所示。



(資料來源：Logisticon Water Treatment，comparison membrane techniques)

圖 10 各種濾膜去除物質比較圖



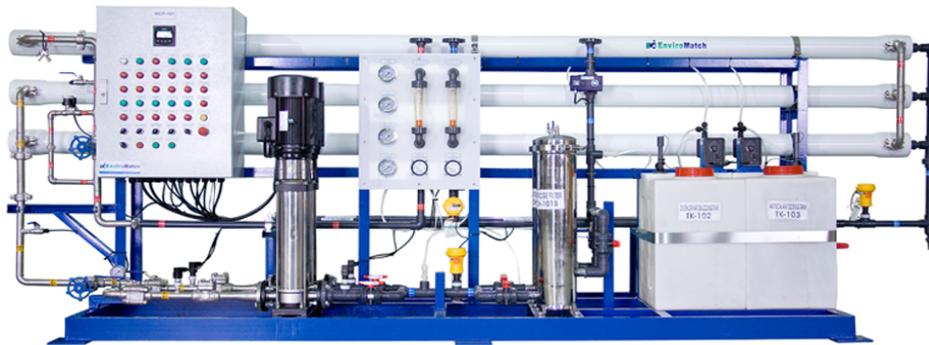
(資料來源：卓峰環境科技有限公司)

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：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

圖 14 逆滲透薄膜設備圖

○  
○  
○  
○  
○  
化學原材料製造業

用水最適化及回收再利用技術用水最適

表 7 各薄膜過濾特性比較分析表

薄膜處理名稱	微過濾 (Microfiltration)	超過濾 (Ultrafiltration)	奈米過濾 (Nanofiltration)	逆滲透 (Reverse Osmosis)
薄膜處理簡稱	MF	UF	NF	RO
膜過濾口徑	0.1 μm	10 nm	1 nm	0.1 nm
膜材質	聚丙烯	中空纖維、聚砒、陶瓷膜	聚醯胺	聚丙烯醯胺
膜類型	對稱膜	非對稱膜	非對稱膜	非對稱膜
操作原理	利用微濾膜的篩分機制，在壓力驅動下，截留顆粒物、微粒的一種膜分離過程。	使用壓力作為驅動力，根據物質大小的不同，利用篩分機制截留溶液中。	是一種介於超濾或逆滲透的膜分離程序。可截留重金屬或高價數的鹽類，也可截留小分子量有機物，達到有機物和無機物的分離及濃縮。	是滲透的逆向過程，以壓力作為驅動力，利用逆滲透膜只讓水分子或溶劑透過的特性，進行混合物液體的分離
主要功能	去除懸浮固體	去除有機物、懸浮固體、大分子染料	去除病毒、大分子無機離子、大分子有機物、小分子染料、兩價鹽類	完全去除有機物、溶解鹽類、濾過性病毒、細菌

### 3. 加藥回收處理系統

製程廢水中，若含有高分子聚合物，建議以高級氧化處理方式破壞其結構後回收。首先以砂濾系統去除水中懸浮固體，再以臭氧及紫外線產出氫氧自由基 (OH·)，自由基分解有機物質，降低廢水化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand，簡稱 COD) 及懸浮固體 (Suspended Solids，簡稱 SS) 濃度，或者透過水中加入微量聚合氯化鋁 (Polyaluminium Chloride，簡稱 PAC) 及液鹼，提昇細小顆粒物的凝聚確保精密型自動過濾器懸浮固體去除率，之後再於過濾水添加次氯酸鈉及溴化鈉氧化及殺菌並抑制生物膜產生，此股回收水可取代自來水與地下水配比使用，或作為製程清洗、冷卻水塔補充水等水質要求較低之次級用水。

## 二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水單元主要係指工業生產中，能夠轉移或吸收生產設備及產品之多餘熱量，使其以正常溫度下作業之用水，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提升回收再利用之效益，有關冷卻水水質標準可參照第二章表 5 及表 6，圖 15 為冷卻用水最適化及水回收常見之相關技術。

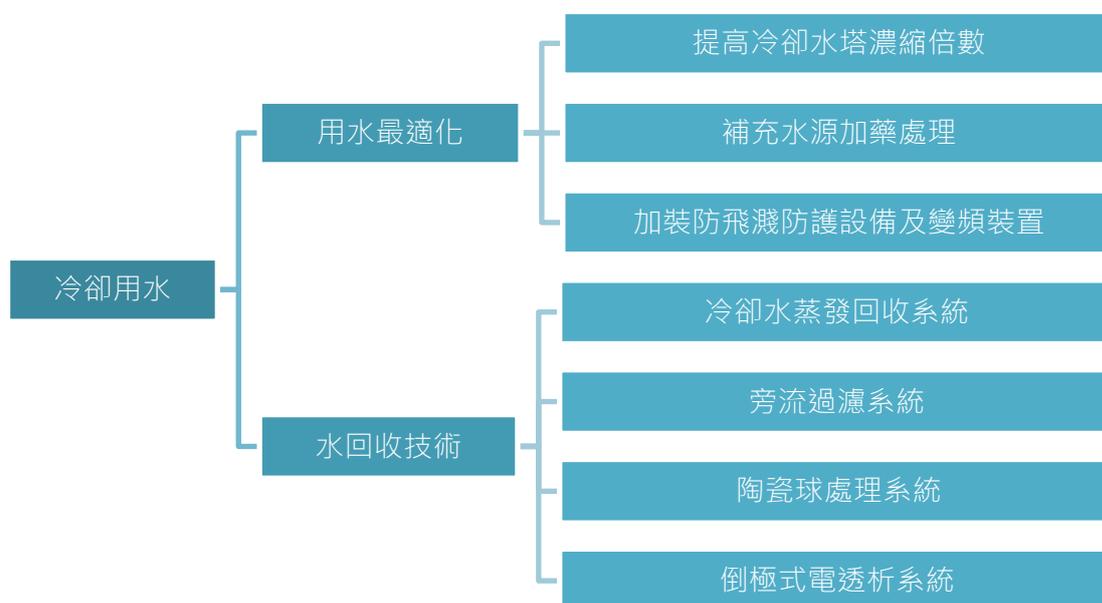


圖 15 冷卻用水最適化及水回收技術

### (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：

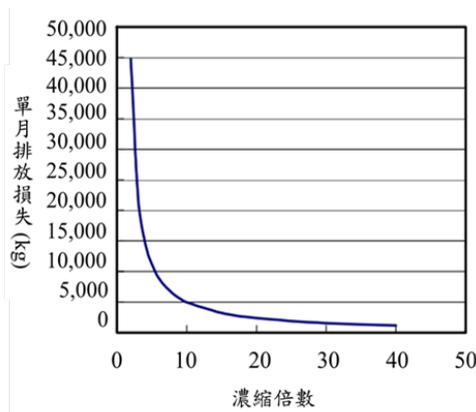
$$\begin{aligned} C &= M \text{ ( 補充水量 ) } / B \text{ ( 排水量 ) } \\ &= EC_{\text{out}} \text{ ( 排水水導電度 ) } / EC_{\text{in}} \text{ ( 補充水導電度 ) } \end{aligned}$$

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 8 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 8 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						
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
原濃縮倍數	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 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。

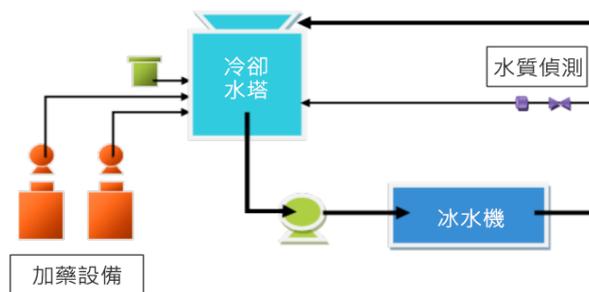
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index, 簡稱 LSI) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (pH)、Ca 硬度、M 鹼度 (M<sub>alk</sub>) 及總溶解固體 (Total Dissolved Solids, 簡稱 TDS) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}]) + C_{scale} (f(T, TDS))$  的計算，得到水中飽和時之 pH 值 (pH<sub>s</sub>)；再經由 pH 與 pH<sub>s</sub> 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(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 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<sub>2</sub>) 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。

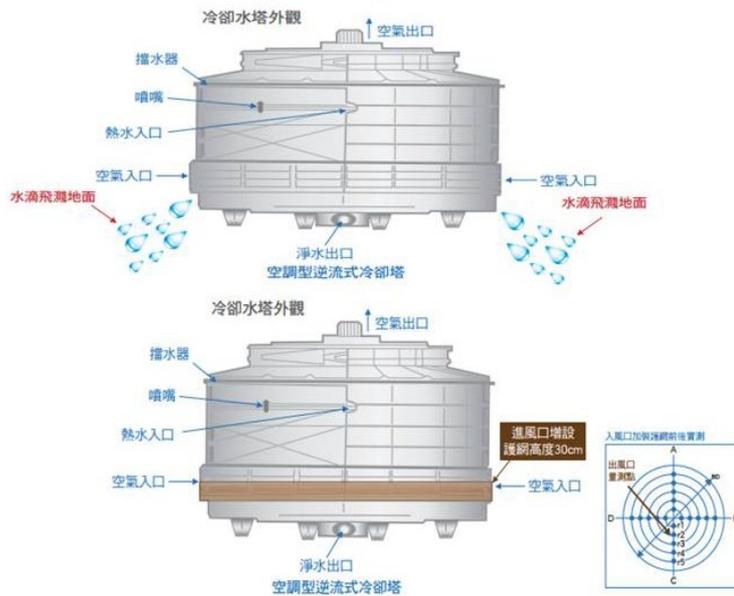


(資料來源：佺友股份有限公司)

圖 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)

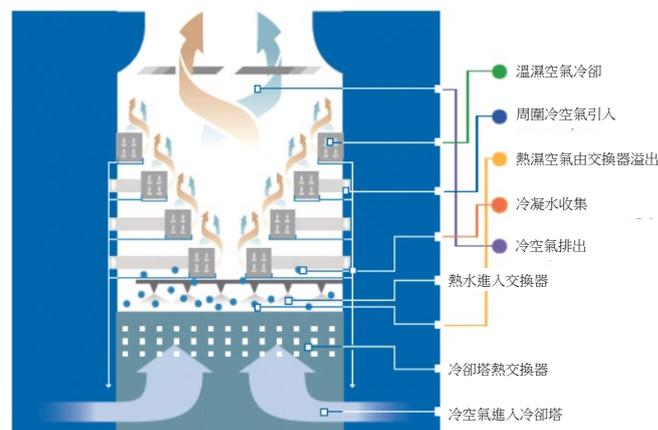
圖 18 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

## (二) 水回收技術

### 1. 冷卻水蒸發回收系統

石化業約有  $2/3$  的水消耗來自冷卻水塔的蒸發損失，由於冷卻水塔蒸散量大，蒸散比率高之主因為：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。透過高/低階熱能回收，減少冷卻水的使用即可避免蒸發消耗。（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）。

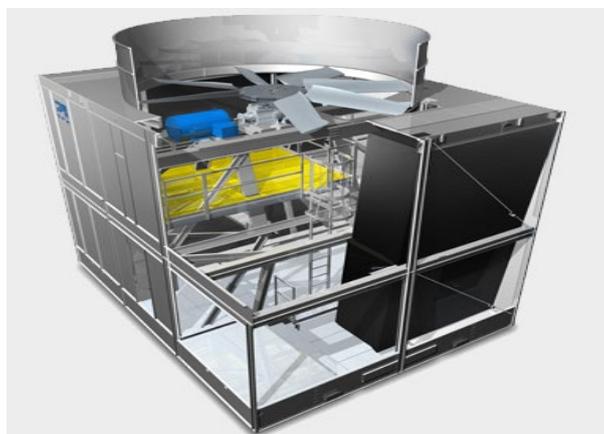
美國加州理工學院機械系之研究顯示，以簡單的纖維濾料 (Fiber Filter) 即可吸附 10% 的冷卻蒸發水量，達到減少蒸發的目的 (Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency · 2009)。針對冷卻水蒸發回收，國外研發 Air2Air™ 蒸發回收系統，以周圍較冷空氣進行蒸氣降溫，回收系統如圖 19 所示；Marley ClearSky™ 消霧節水冷卻水塔，採用冷凝模組在塔內凝結水分降低水霧排放，經估算可回收 15~22% 的冷卻水蒸發量，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 9 所示，其每年 11~4 月缺水期間運作之單位回收成本如表 10 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 9 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 <sup>3</sup> /h)	可回收量 (m <sup>3</sup> /h)	蒸發水量 (m <sup>3</sup> /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 m<sup>3</sup>/h

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

表 10 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 <sup>3</sup>	0	58,240 m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup> )			8.24
單位產水營運成本 (元/m <sup>3</sup> )			2.92
單位產水成本 (元/m <sup>3</sup> )			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

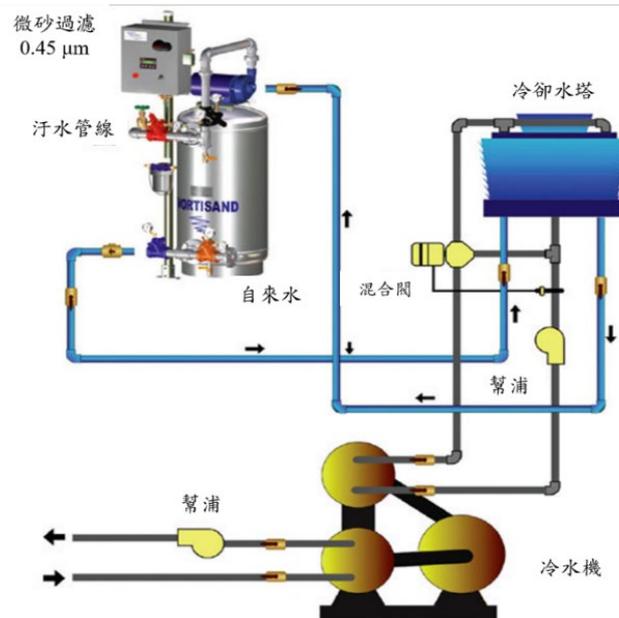
透過冷卻水塔加裝旁流過濾裝置，可達到去除水中絮狀物、灰塵及水中懸浮物質，此類雜質具有低溶解度特性，因此於冷卻系統管路上安裝過濾器去除雜質，可達到良好處理效果，旁流過濾實體如圖 21 所示，過濾系統處理如圖 22 所示。當水塔抽水模式若可由冷卻水塔中心抽出，將可提升取水率並有效降低結垢及污塞。

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 11 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：全澤股份有限公司，冷卻水塔旁濾設備應用及其節水成效，2014）

圖 21 冷卻水塔旁流過濾設備圖



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

圖 22 旁流過濾處理系統示意圖

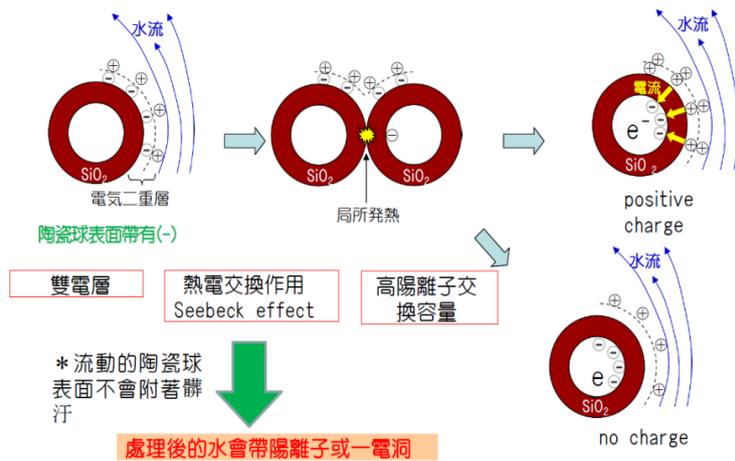
表 11 纖維過濾與傳統砂濾比較表

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 <sup>2</sup> 佔用面積大 (LV=10 時)	一般：3.3 m <sup>2</sup> (LV=30 時) 高速：1.25 m <sup>2</sup> (LV=80 時)
反洗總耗水量 (如每天反洗 一次)	36,500 m <sup>3</sup> /year	一般：13,140 m <sup>3</sup> /year 高速：5,110 m <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup> ，壓差 0.5 kg/cm <sup>2</sup> 時 需反洗	初始壓力為 0.2~0.4 kg/cm <sup>2</sup> 壓差 0.5~1.0 kg/cm <sup>2</sup> 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， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 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 23 與圖 24 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 23 陶瓷球水處理理論圖

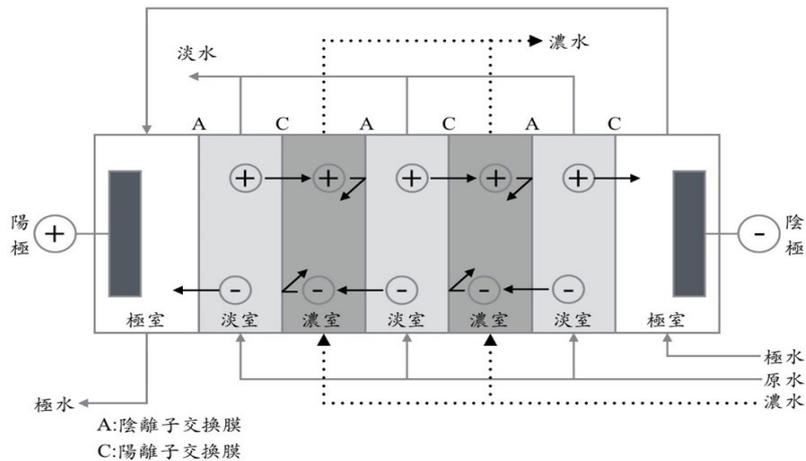


(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 24 陶瓷球水處理設備圖

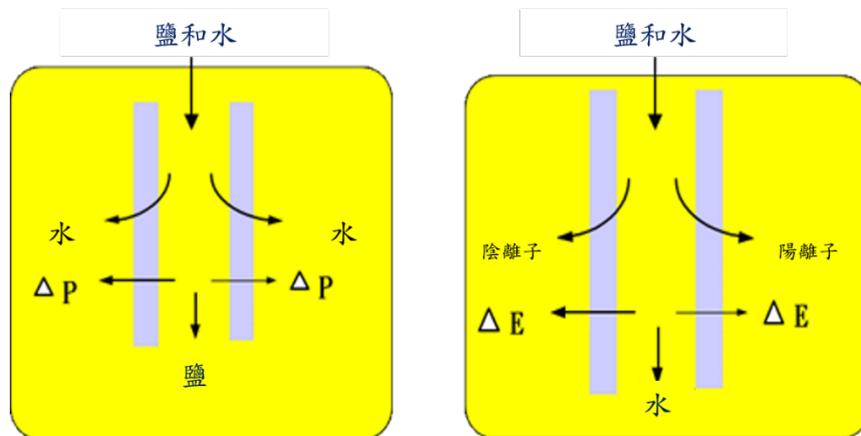
#### 4. 倒極式電透析系統

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 25 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 處理範圍介於 1~10 之間, 可用 3% HCl 清洗薄膜表面結垢或用  $\text{H}_2\text{O}_2$  或氯殺菌, 且對原水污泥密度指數 (Silt Density Index, 簡稱 SDI) 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 26 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溶解性固體 (Total dissolved solids, 簡稱 TDS), 處理後之水源可做為冷卻水塔補充水。需特別注意, 以 EDR 處理冷卻用水回收, 提高濃縮排水時導電度會偏高, 因此濃排水部分需要額外進行處理。



(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 25 電透析薄膜處理系統之原理示意圖



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 26 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 ( Blow Down ) 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 12 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 12 冷卻排放水以倒極式電透析系統回收產水水質實例

項目	pH	導電度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	鈣硬度 ( $\text{mg}/\text{L}$ as $\text{CaCO}_3$ )	鎂硬度 ( $\text{mg}/\text{L}$ as $\text{CaCO}_3$ )	Cl- ( $\text{mg}/\text{L}$ )	SO42- ( $\text{mg}/\text{L}$ )
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 27 所示，說明如下。

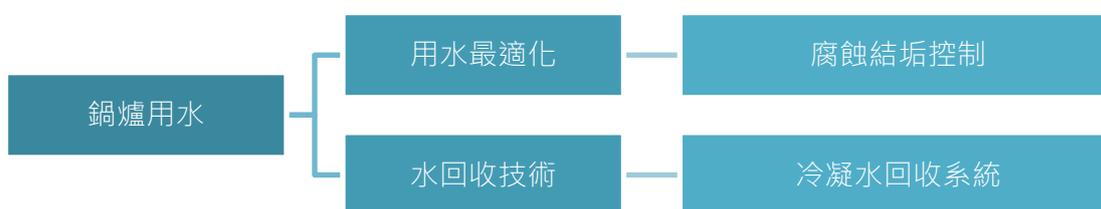


圖 27 鍋爐用水最適化及水回收技術

#### (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。

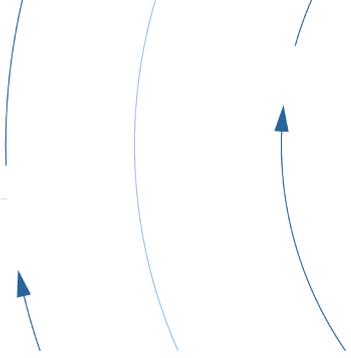
###### (2) 去除水中鹽類

利用離子交換法或脫鹽設備，去除水中鹽類或硬度物質，以避免腐蝕及結垢的現象，提升鍋爐用水循環次數，達到節水且可節省成本。

###### (3) 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，利用添加胺、有機胺中和二氧化碳以提高 pH 值。

###### (4) 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。

#### (5) 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。

#### (6) 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。

#### (7) 不同壓力鍋爐

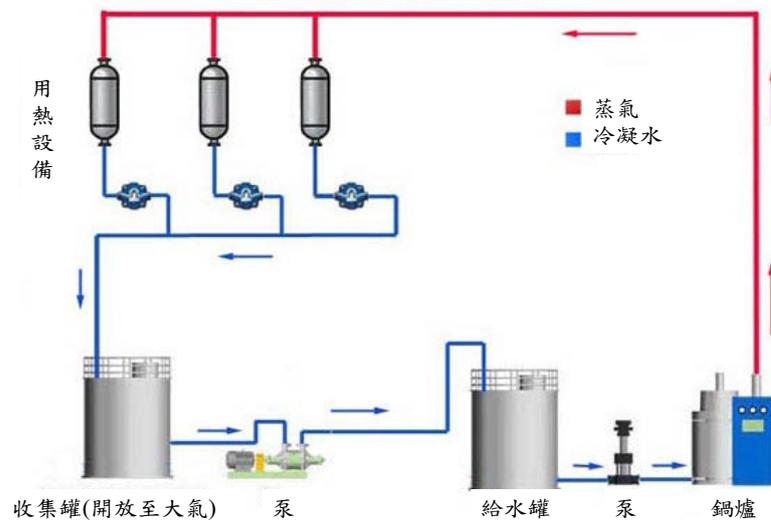
由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換(中壓鍋爐)後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

## (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 28 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。

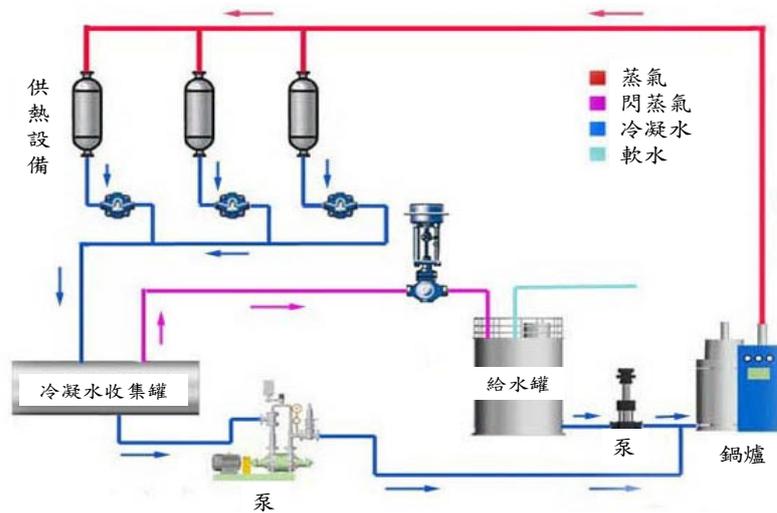


(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 28 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 29 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 13 所示。



(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 29 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖

表 13 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(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，除可降低水污費、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，減少用水成本。常見的放流水回收再利用技術包括電混凝、薄膜處理、離子交換、倒極式電透析系統等如圖 30 所示，分別說明如下：

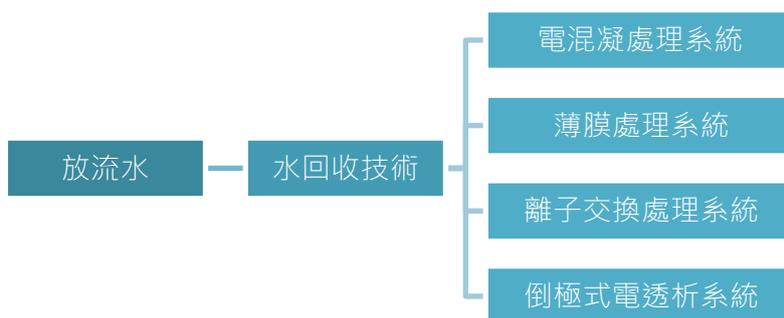


圖 30 放流水回收技術

## (一) 水回收技術

### 1. 電混凝處理系統

電混凝處理系統是利用電化學反應將無機/有機物進行氧化還原反應，透過混凝浮除作用將水中污染物進行分離並且去除，藉由可溶性金屬為極板，於電解槽中以直流電促使廢水中電解質的電子傳遞，產生氧化、還原、混凝、浮除等一系列作用，在這樣的一個處理程序中，所發生的物理及化學現象繁多且複雜，除了電混凝之外，還有電分層、電浮除、電芬頓等同時在系統中進行，因其設備簡單、操作簡易及產生污泥量少，處理技術不需要用任何化學藥劑，通常也不需要酸鹼中和，因此不會對環境造成二次污染，透過電混凝法處理後，可去除水中絕大部分的雜質，經處理後的廢水，若要進一步透過 RO 或超微濾網淨化，將可降低淨化處理難度、節省濾網費用，實體運作模組如圖 31 所示。

經電混凝系統處理以去除廢水中油脂、COD、SS、色度、氨氮、硝酸鹽類及微量重金屬等污染物，可將此股回收水回收做為次級用水之水源來源。



圖 31 電混凝處理系統實廠模組

## 2. 薄膜處理系統

薄膜處理可定義為利用非移動性質 ( Immobilized Material )，作為水中分子或離子成分由一相流向另一相的屏障，以達分離效果之處理程序，在放流水回收技術中，超濾膜、逆滲透膜及奈膜為常見之技術，根據水體粒子大小之差異，常見薄膜處理組合如：UF+RO 等處理方式，透過薄膜處理後之水體，可回用至其他對於水質要求較不嚴苛單元做為補充水源，如：洗滌塔用水等。

以某廠管末放流水特性為硬度及硫酸鹽偏高、鹼度略高，可透過離子交換塔+UF+RO 系統處理後，將此股水用於補充冷卻水塔，以回收產出 22 CMD 為例，相關費用估算分析如表 14 所示。

表 14 離子交換塔、超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析

項目	離子交換+UF+RO
產水量 (CMD)	22
總建設成本 (元)	770,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	8
單位產水成本-營運 (元/噸)	17
單位產水總成本 (元/噸)	25
年營運成本 (元)	136,510
產水總成本 (元/月)	16,500
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。 3.總建設成本不含水管佈設費用。	

(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. 離子交換處理系統

所謂離子交換法 ( Ion Exchange Process ) 是液相中的離子和固相中離子之間所進行的一種可逆性化學反應，實體設備如圖 32 所示。當液相中的某些離子的親和力高於離子交換固體的離子親和力，便會被離子交換固體吸附，為維持水溶液的電中性，所以離子交換固體必須釋出等價離子回溶液中。對於將納管之放流水，可透過離子交換設備處理後，與原水混合回用至製程單元，降低原水取水量。



(資料來源：誼鴻環保科技有限公司)

圖 32 離子交換樹脂設備



#### 4. 倒極式電透析系統

由於透過污水處理設備後，放流水中 **SS** 及 **COD** 可獲得良好處理效益，唯導電度偏高之時，廠內排水量大之用水單元可透過 **EDR** 系統回收至其他單元，搭配合適之前處理設備及 **EDR** 設備，以去除放流水的雜質、鹽類物質及降低導電度，使放流水中 **Ca<sup>2+</sup>**、**Cl** 濃度及導電度降低，便可降低補水量，其模組設備如圖 33 所示。處理後之回收水可至冷卻水塔作為補充水水源，增加水循環次數，以某廠回收管末放流水 **21 CMD**，相關建置費用估算如表 15 所示。



圖 33 倒極式電透析模組設備

表 15 倒極式電透析系統經費分析

項目	EDR
產水量 (CMD)	21
總建設成本 (元)	567,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	6.250
單位產水成本-營運 (元/噸)	13.5
單位產水總成本 (元/噸)	19.75
年營運成本 (元)	102,060
產水總成本 (元/月)	149,310

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：

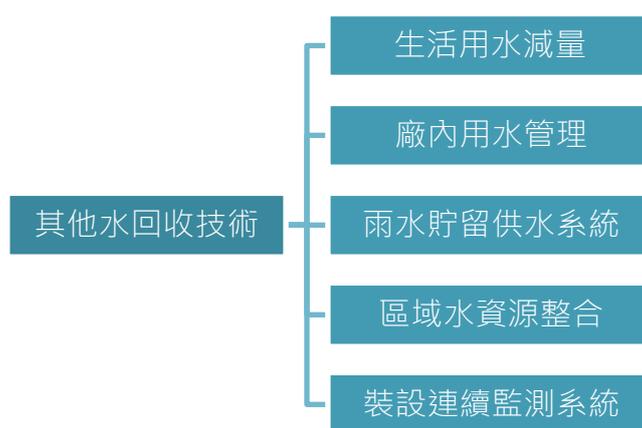


圖 34 其他水回收技術

### (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，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 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 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 16 所示，雨水截流系統設計值計算如表 17 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 16 雨水處理設備與使用程度關係

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

(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)

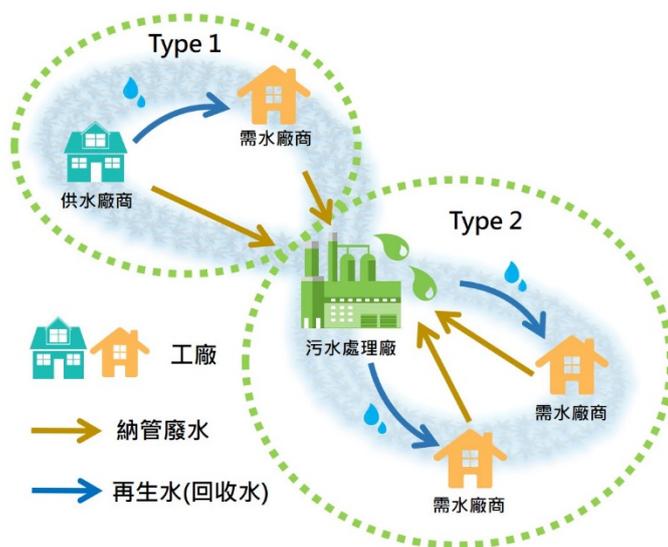


#### (四) 區域水資源整合

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 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；聯合污水廠做到外部處理而可因地制宜送至各別工廠時，由各別工廠時採內部處理。

在化學材料製造業中，由於冷卻用水為主要的用水單元，占比約 48.5%，因此在區域水資源整合中，本製造業可承接其他產業別（如：食品業）經處理後所排放之放流水，做為冷卻水塔補充水源，達到減少自來水用量及日後耗水費等相關費用繳納。

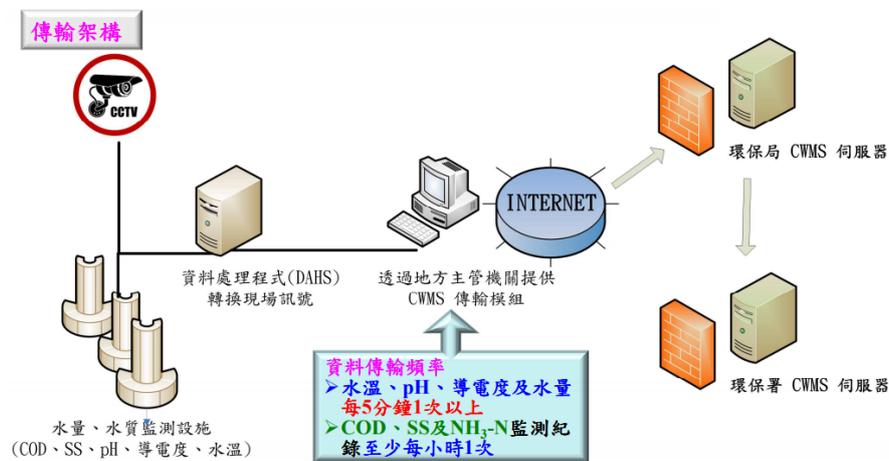


(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

圖 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

將化學材料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 18。

表 18 化學材料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	污染物減量及濃縮	√			
	簡化製程	√			
	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/袋濾過濾處理系統	√			
	薄膜處理系統	√			√
	加藥回收處理系統	√			
	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		√		√
	冷凝水回收處理系統			√	
	電混凝處理系統				√
	離子交換處理系統				√

## 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 廠成立於 1969 年，為國內樹脂、工程塑料及尼龍 6 纖維、聚丙烯腈纖維（亞克力棉）與聚酯纖維等三大化學纖維之上游原料製造供應商，主要產品為己內醯胺、丙烯腈、尼龍粒（Nylon Chip）及硫酸銨等，公司內銷比重占 8 成，產能方面、CPL 年產能約 40 萬噸、AN 年產能約 23 萬噸。

A 廠為台灣地區唯一己內醯胺生產製造廠家，為全球前五大尼龍 6 原料製造供應商。中石化為台灣地區兩大丙烯腈生產製造廠家之一，生產操作技術具世界領先地位，為全球前十大生產製造廠商。

#### (二) 製程流程

A 廠主要生產硫酸、環己酮肟、己內醯胺、硫酸銨等產品，其用水量主要用於製程、冷卻水塔及生活用水等，其各區域獨立製程流程如圖 38 至圖 43 所示。



M06 己內醯胺製造程序(M09)

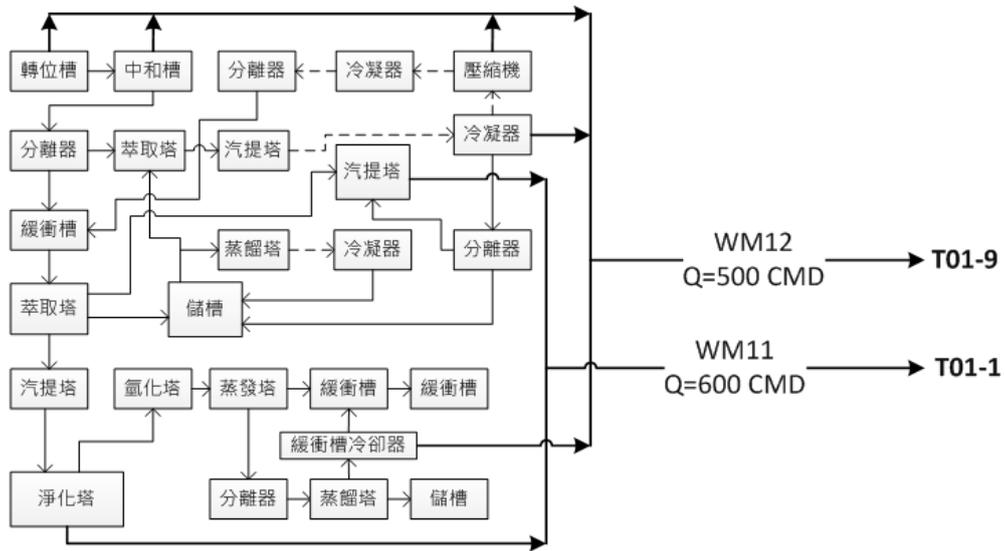
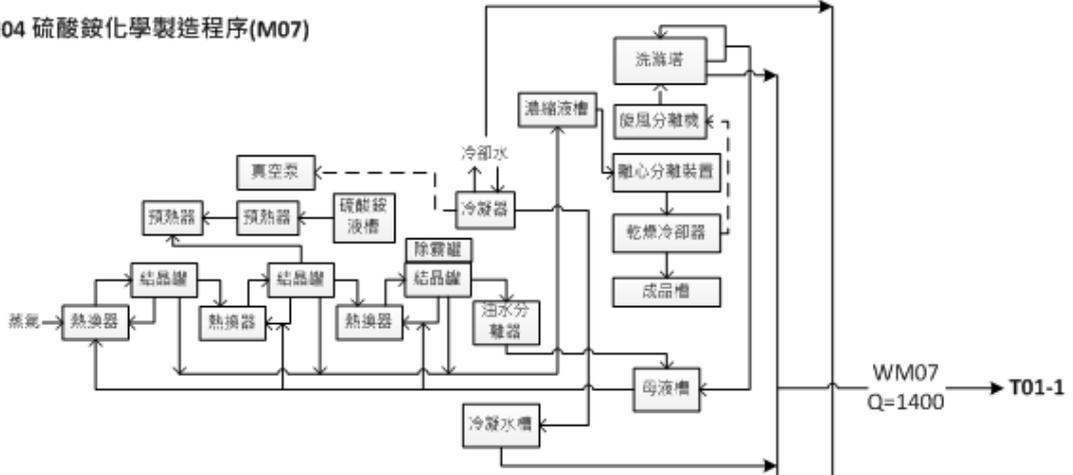


圖 40 案例 A 廠己內醯胺製造流程圖 (M06)



M04 硫酸銨化學製造程序(M07)



M04 硫酸銨化學製造程序(M10)

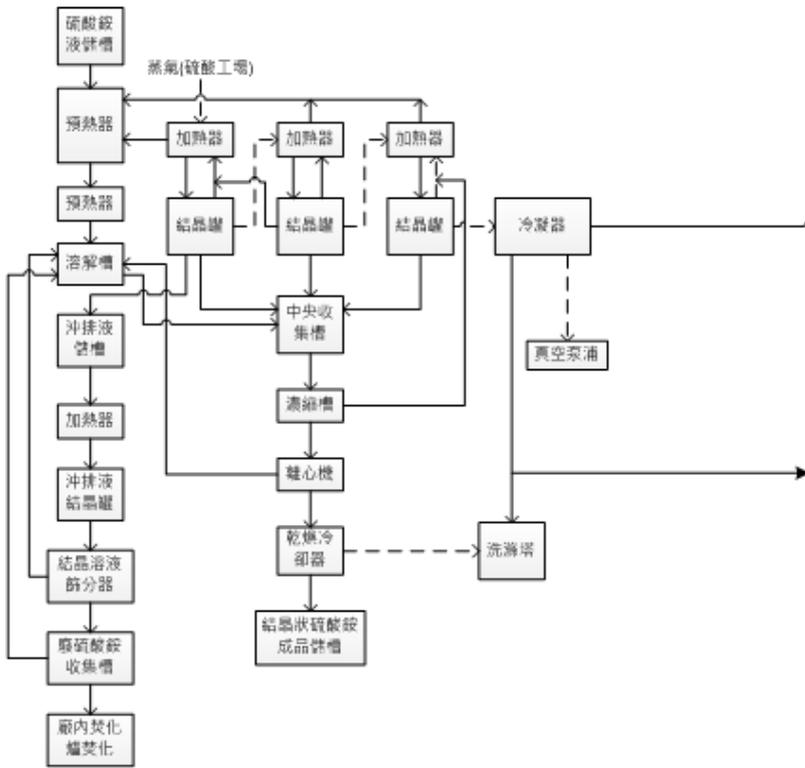


圖 41 案例 A 廠硫酸銨化學製造流程圖 (M04)

### M07 廢水(液)焚化處理製造程序(M12)

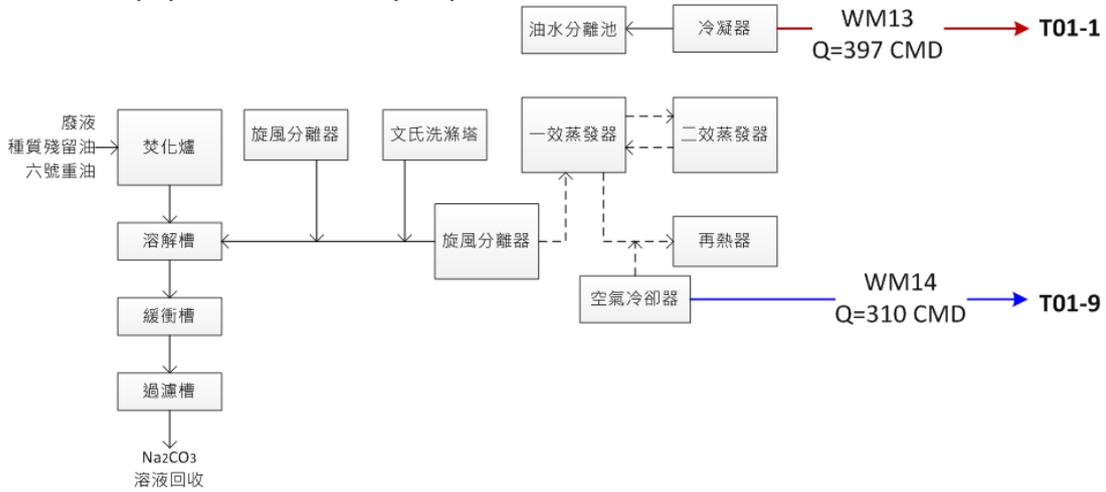


圖 42 案例 A 廠廢水(液)焚化處理製造流程圖 (M07)

### M08 氫氧製造程序(M14)

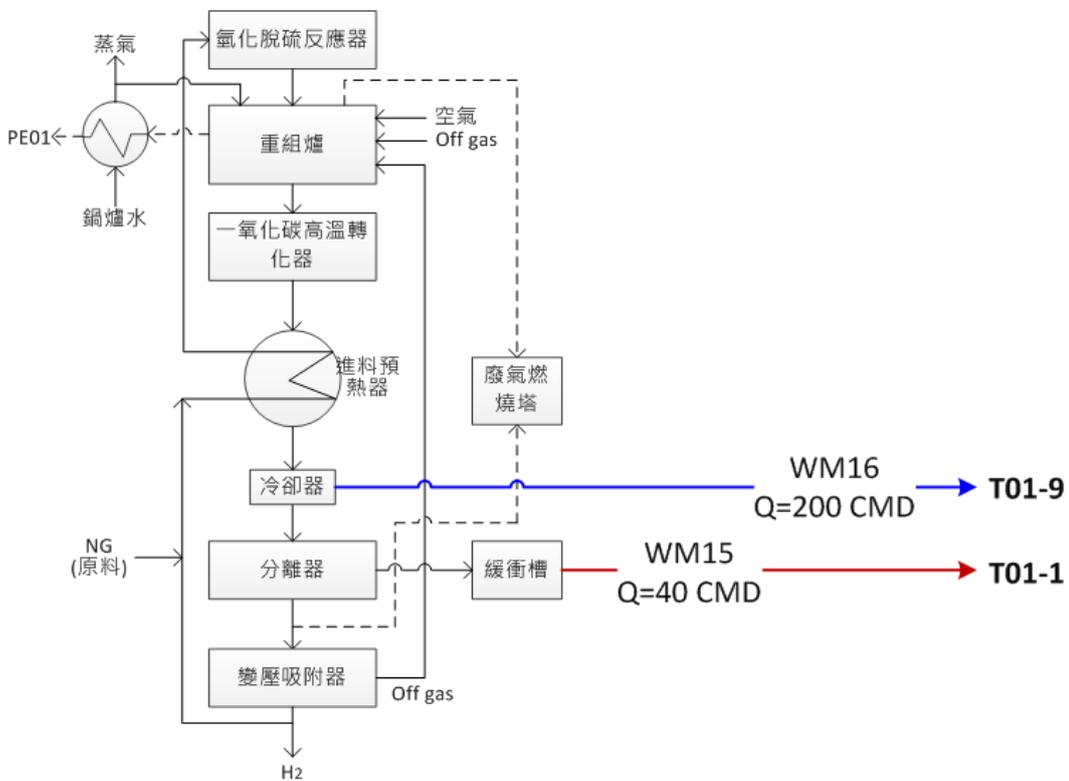


圖 43 案例 A 廠氫氧製造流程圖 (M08)

### (三) 廠內用水管理情形

該廠每日用水量約 **14,000 CMD**，所使用的主要水源為自來水，廠內水平衡圖如圖 44 所示。消耗水量為冷卻水塔及製程等共消耗 **13,978 CMD**，佔全廠用水量之 **99.8%**，剩餘水量 **22 CMD** 主要提供民生生活用水使用。

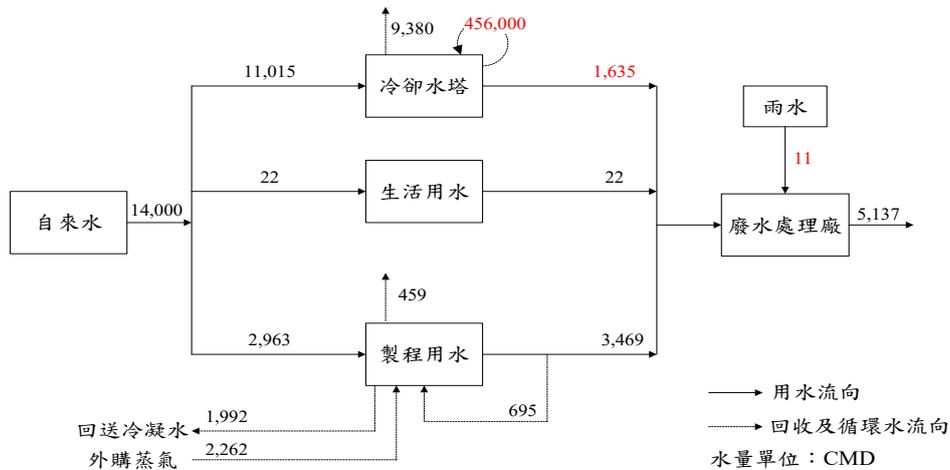


圖 44 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施前）

### (四) 用水效率提升方案

依據圖 44 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：

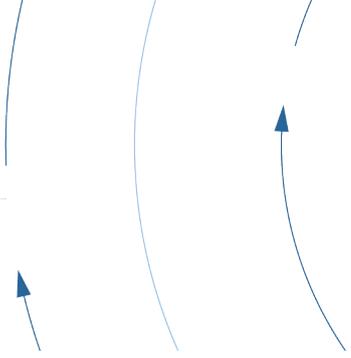
#### 方案一、冷卻水塔風扇採用多段式變頻裝置節省用水

安裝多段式變頻器於冷卻水塔，使冷卻風扇於滿載狀態下，依據冷卻水塔出水溫度與濕球溫度差異並參考冰水機運轉台數，就由以上依據，對於冷卻風扇轉速進行控制，預估可節省 **20%** 之冷卻水消耗，共可節水約 **2,203 CMD** 之冷卻用水。

#### 方案二、冷卻水塔增設防水濺防護設備減少飛濺耗水量

運轉中之冷卻水塔，冷卻水會經由散熱材流至水盤內，但少部分冷卻水會因為水管旋轉速度過快、散熱材堵塞、循環水量過大、擋水器失去效能等因素，造成冷卻水飛濺，不僅浪費水資源，更容易造成工安意外事故的發生。

因此，本方案將採行於冷卻水塔加設防護設備及遮板，其材質以耐隆纖維及酚醛樹脂所組成，其具有耐燃、透氣，且對酸、鹼抗蝕性強，該設備將裝設於冷卻水塔入風口處下緣。透過本方案之執行，預估可節省 **2%**，約 **220 CMD** 之冷卻用水。



### 方案三、廢水處理設施

**T01-6** 脫氮池的復用或利用工業除氮技術提升管末廢水回收，該廠將有機及無機廢水先行分流，在有機廢水方面，水量約 **2,727 CMD**，此股水先經由油水分離池、調勻池、**pH** 調整池、脫氮池、厭氧生物池等作前段處理，經前段處理流程處理後水質 **COD**：**3,125 mg/L**、**SS**：**5,000 mg/L**、氨氮：**600~700 mg NH<sub>3</sub>-N/L**，之後進入 **T01-6** 脫氮池，目前作為好氧生物池使用，建議將此脫氮池回復原有生物脫氮除氮功能之處理槽去除或降低水中氨氮濃度，亦或者，可利用 **Anammox**（厭氧氨氧化）、**A2O**（厭氧/無氧/好氧程序）、**EMMC**（固定生物處理程序）等除氮技術去除水中氨氮，最高氨氮硝化效率可達 **90%**，使廢水中氨氮濃度降至約 **60 mg NH<sub>3</sub>-N/L**。

### 方案四、前處理系統有機無機廢水分流管理

廠內廢水前處理流程部分，該廠雖有將有機及無機廢水先行分流，然而在納管前之放流水池 **T01-9** 將有機及無機廢水混合匯流；因此，建議將無機廢水全程持續與有機廢水分流處理，以利處理後之有機廢水達回收可用水質。

### 方案五、利用 **T01-10** 砂濾活性炭設備處理 **COD**，並結合 **UF/RO** 處理後回收至冷卻水塔使用

該廠於放流水池之後設有砂濾活性炭塔，目前以繞流 (**Bypass**) 方式直接放流納管。若重啟砂濾活性炭塔，可降低放流水中 **COD** 濃度含量，並節省污水處理之納管費用，該廠放流水池匯流廠內處理後廢水，結合 **T01-6** 脫氮池之氨氮處理技術及有機無機廢水分流措施（方案三、四），此時 **COD** 濃度預估為 **414 kg/d (42 mg/L)**，預估 **T01-10** 塔中約 **300,000 L** 之活性炭，約可去除 **120 kg/d (12 mg/L)** 之 **COD**，納管水質 **COD** 可由 **42 mg/L** 降至 **30 mg/L**。

此股管末水源結合 **UF+RO** 處理技術，處理後水質可利用於冷卻水塔作冷卻用水使用，預估可節水約 **2,671 CMD**。



方案六、廠內雨水貯留水量作為生活沖廁使用

A 廠內設有之雨水貯留措施預估約可提供廠內額外補充水源約 **11 CMD**，且若將此水源經由簡易砂濾設備處理後，作為生活沖廁用水，約可節約廠內自來水之耗用量 **11 CMD**。

所規劃的水回收方案包括冷卻系統節水(方案一、二)及管末廢水回收(方案三、四、五)，節水與回收水量共約 **5,094 CMD**，廠內總回收水量可由原有的 **695 CMD** 提升至 **3,366 CMD**，且因雨水貯留使廠內增加額外補充水源約 **11 CMD**；因此，原自來水用量為 **14,000 CMD**，經實施後取水量降低至 **8,895 CMD**，如圖 45 所示。

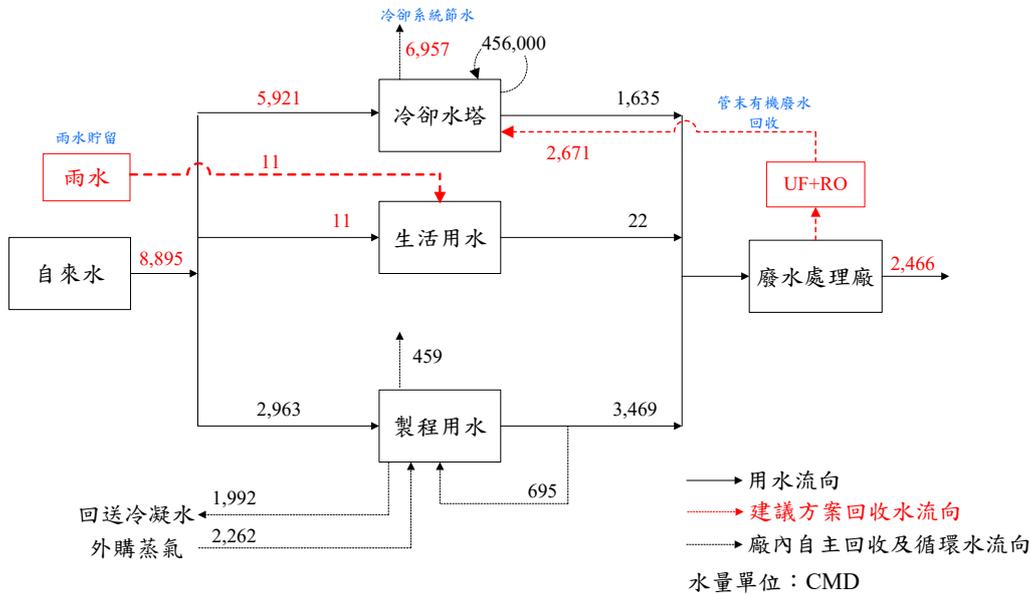


圖 45 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 產水成本分析

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。預計規劃冷卻水塔風扇改為變頻式風扇及加裝防水濺防護設備，共約可節水 **2,423 CMD**。另外預計管末除氮後之有機廢水經由 **UF+RO** 處理，預期回收水量達 **2,671 CMD**，其總建設費總計約 **31,200,000 元**，如表 19 所示。

表 19 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)
方案五 (管末回收)	UF+RO	2,671	31,200,000	2.7	12.0	14.7	11,538,720	14,138,724
	合計	2,671	31,200,000	2.7	12.0	14.7	11,538,720	14,138,724

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。

## 2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水，原自來水取水量為 14,000 CMD，經節水建議方案執行後約可節水 5,094 CMD 並額外增加雨水補充水源約 11 CMD，減少自來水之取水量，預期回收後取水量約可降至 8,895 CMD。依據該廠提供資料得知，該廠單位納管成本為約 15.5 元/噸，COD 納管費用為 5.49 元/噸，SS 納管費用為 1.98 元/噸，原納管量為 5,137 CMD，經由節水後納管量減少為 2,482 CMD。總計共能節省費用 4,030,818 元/月，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)
	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	水量 (噸/月)	費用 (元/月)		
自來水費用	14,000×30 =420,000	12.5×420,000 =5,250,000	8,895×30 =266,850	12.5×266,850 =3,335,625	1,914,375	22,972,500
納管費	5,137×30 =154,110	15.5×154,110 =2,388,705	2,466×30 =73,980	15.5×73,980 =1,124,496	1,264,209	15,170,508
COD 納管處理費用	5,137×30 =154,110	5.49×154,110 =846,064	2,466×30 =73,980	5.49×73,980 =406,150	439,914	5,278,968
SS 納管處理費用	5,137×30 =154,110	1.98×154,110 =305,138	2,466×30 =73,980	1.98×73,980 =146,480	158,658	1,903,896
合計	-	8,789,907	-	5,012,751	3,777,156	45,325,872

註：1. 每月工作天以 30 天計。  
2. 自來水水價以 12.5 元/噸計、放流水納管費約 15.5 元/噸、COD 納管費用為 5.49 元/噸，SS 納管費用為 1.98 元/噸。

### 3. 水回收率提升分析

該廠原自來水用水量約 14,000 CMD，廠內另有外購廠外蒸氣約 2,262 CMD，納管量約 5,137 CMD，廠內原有水回收約 695 CMD，冷卻循環 456,000 CMD。經冷卻水塔設備改善與管末回收，約可節水 5,094 CMD。另外廠商設置雨水貯留設施，預估可額外補充水源約 11 CMD。未來改善後全廠回收率 R1 由 96.56% 提升至 97.63%，R2 由 4.10% 提升至 23.16%，結果如表 21 所示。

表 21 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	$96.56\% = \left( \frac{695+456,000}{16,262+695+456,000} \right) \times 100\%$	$4.10\% = \left( \frac{695+0}{16,262+695+0} \right) \times 100\%$
實施後	$97.63\% = \left( \frac{3,366+456,000}{11,168+3,366+456,000} \right) \times 100\%$	$23.16\% = \left( \frac{3,366+0}{11,168+3,366+0} \right) \times 100\%$
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 1949 年，佔地 4 萬平方公尺，擁有員工近三百人，主要產品有 PBT 工程塑膠、PET、甲醛、美腊密樹脂成型粉、尿素樹脂成型粉、貼花樹脂、洗模劑、紙力乾溼強劑、塗料用樹脂、纖維加工樹脂、尿素樹脂接著劑、美腊密樹脂接著劑、夫喃樹脂等，主要用於餐具、飲料瓶、電子、汽車、家電、通信、塗料、土木、紙、鑄造及金屬等行業。

### (二) 製程流程

B 廠主要製程為 PBT 工程塑膠的製程，主要的廢水來源為冷卻水塔降溫熱交換，詳細製程流程如圖 46 所示。

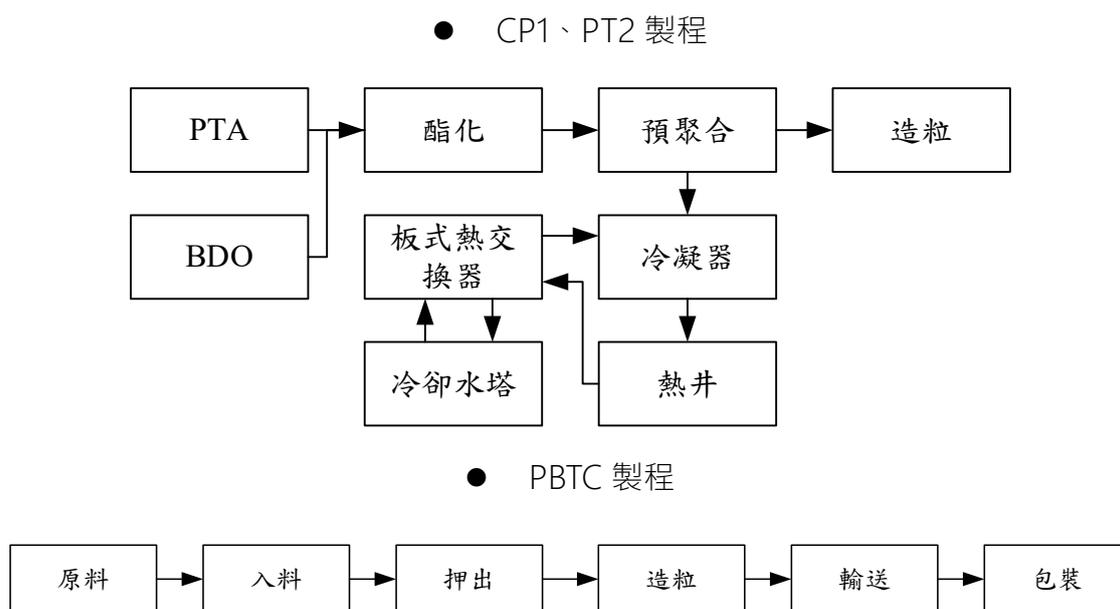


圖 46 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

依據 B 廠所提供資料及經水平衡圖修正後得知，取水來源為自來水 743 CMD、外購純水 100 CMD、外購蒸汽冷凝水 304 CMD 及雨水 15 CMD。製程用水佔總取水量 15.57%；冷卻水塔佔總取水量 67.82%；洗滌塔用水佔總取水量 4.73%；生活用水佔總取水量 11.88%，水平衡圖如圖 47 所示。

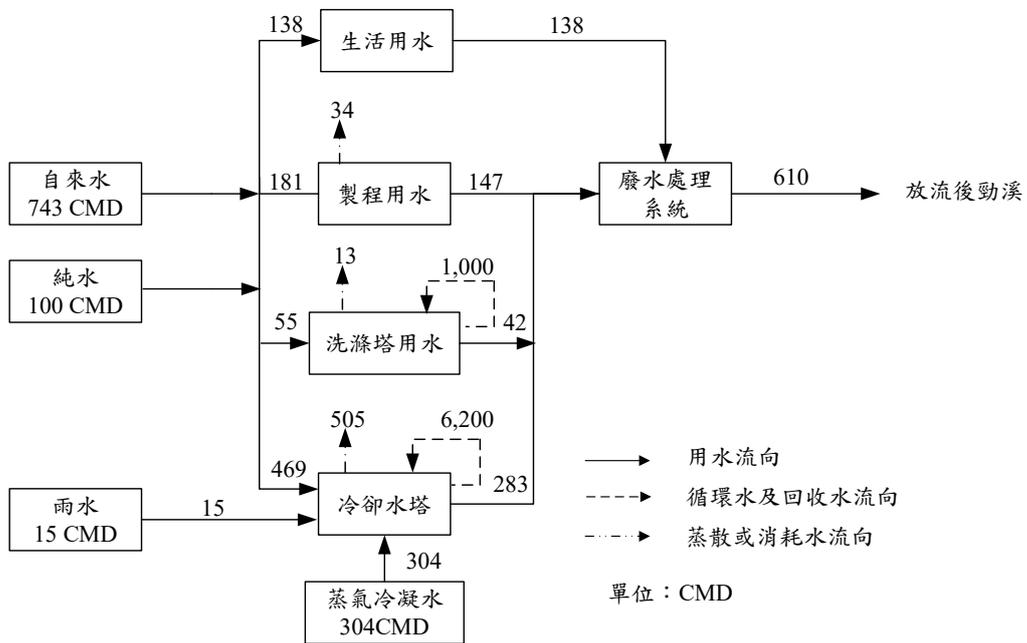


圖 47 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

#### (四) 用水效率提升方案

依據圖 47 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，可規劃方案如下：

##### 方案一、冷卻水塔排放水作為洗滌塔的補充水

冷卻水塔排放水每日排放約 283 CMD，排放水水質尚可，導電度約 2,600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。由於洗滌塔用水水質要求較低，規劃將冷卻水塔的部分排放水直接供給至洗滌塔使用，故可減少冷卻水塔的排放 50 CMD 及減少洗滌塔的自來水用量 50 CMD。

##### 方案二、放流水回收至冷卻水塔及製程用水

建議設置水回收處理設備(UF+RO+RO)，每日處理量 600 CMD 之系統，產水率約為 60%，預估可回收約 350 CMD 回收水，經 UF 及第一段 RO 可得純水 250 CMD 提供冷卻用水使用，而後再經二段 RO 可得超純水 100 CMD 提供給製程用水使用。

所規劃的水回收方案，可將該廠原水取水量由原來之 743 CMD 降至 343 CMD，同時也降低了該廠排放量，原排放水量為 610 CMD，實施後排放量降至 210 CMD，如圖 48 所示。

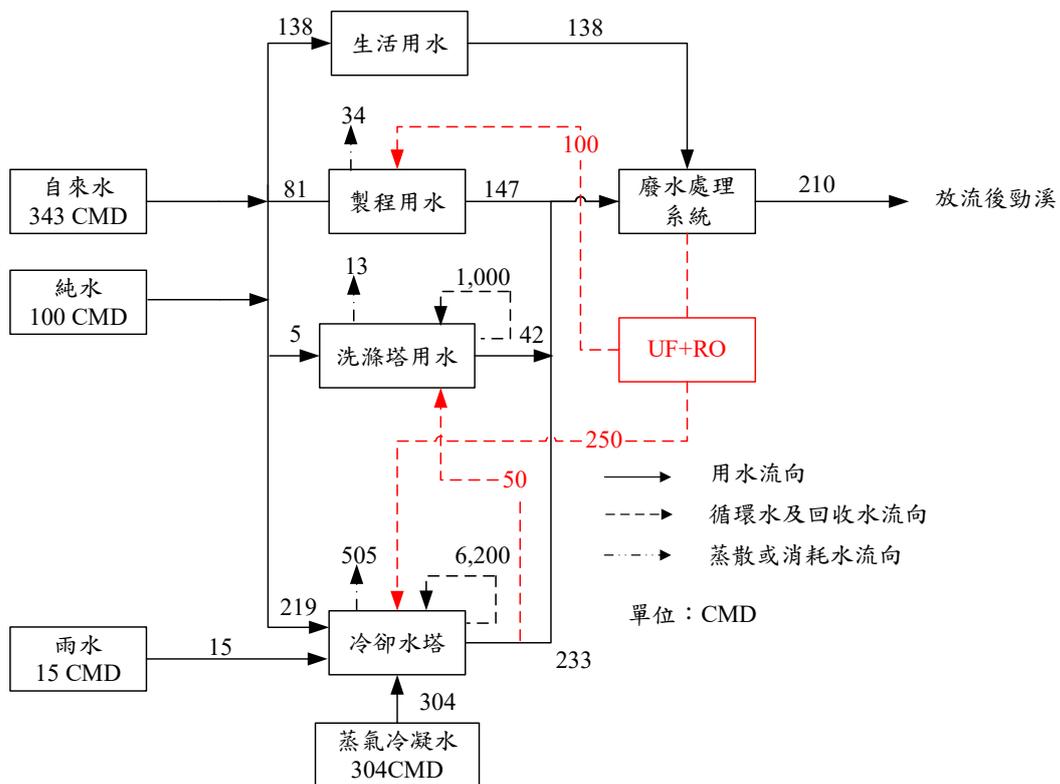


圖 48 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施後）

## (五) 成本效益分析

### 1. 產水成本分析

所建議之輔導水回收方案，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。水回收方案：方案一、冷卻水塔排放水作為洗滌塔的補充水；方案二、放流水回收至冷卻水塔及製程用水。詳細費用仍需依廠商實際執行狀況評估，其經費分析如表 22 所示。

表 22 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	冷卻水塔排水供洗滌塔用水	50	-	-	-	-	-	-
方案二	放流水回收至冷卻水塔及製程用水	350	5,250,000	5.8	15.0	20.8	1,368,750	1,898,000

註：1.單位建設成本以折舊年限 10 年估算。  
2.每月工作天以 30 天計。

### 2. 經濟效益分析

廠內使用水源自來水、外購純水、雨水及外購蒸氣的冷凝水，經執行上述評估方案後，以目前工業區的自來水價格為 12.5 元/噸、廢水處理設施處理費價格為 8 元/噸；輔導前取水量自來水為 743 CMD、排放水量為 610 CMD；經實施各項節水輔導後，預估自來水取水量可減少為 343 CMD、排放水量為 210 CMD，水回收方案實施前後費用變化如表 23 所示。

表 23 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)		
自來水量費	22,290	278,625	10,290	128,625	150,000	1,800,000
耗水費	-	56,870	-	20,870	36,000	432,000
污水處理費	18,300	146,400	16,800	134,400	12,000	144,000
自排水污費	18,300	-	6,300	-	-	-
合計	-	481,895	-	283,895	198,000	2,376,000

註：1.每月工作天以 30 天計。  
2.自來水水費約 12.5 元/噸。污水處理費約 8 元/噸。  
3. 耗水費徵收費率尚在規劃中，以目前規劃草案徵收量及徵收 1、2、3 元/度(月用水量三級距)估算，倘若廠方實施相關減增項目(如：工業局綠色工廠標章、清潔生產評估、綠建築標章水足跡認證等，合計最高可減增 60%之耗水費。

### 3. 水回收率提升分析

該廠原用水量約為 858 CMD，排放量約為 610 CMD，估計經由實施上述水回收方案，可使原水源取水量可降低為 458 CMD、排水量降低為 210 CMD，改善後全廠回收率 R1 由 89.74% 提高至 94.52%，R2 由 60.31% 提高至 78.82%，水回收計算結果如表 24 所示。

表 24 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	$89.74\% = \frac{304+7,200}{858+304+7,200} \times 100\%$	$60.31\% = \frac{304+1,000}{858+304+1,000} \times 100\%$
實施後	$94.52\% = \frac{704+7,200}{458+704+7,200} \times 100\%$	$78.82\% = \frac{704+1,000}{458+704+1,000} \times 100\%$
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](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. Logisticon Water Treatment · <https://www.logisticon.com/en/technologies/membrane-filtration>
5. 上海奧德水處理科技有限公司 · [http://www.odsh.net/odsh\\_Product\\_8947196.html](http://www.odsh.net/odsh_Product_8947196.html)
6. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
7. 卓峰環境科技有限公司 · <https://www.zhecheng.com.tw/product-detail-1025598.html>
8. 誼鴻環保科技有限公司 · [http://www.e-horng.com.tw/product\\_11.html](http://www.e-horng.com.tw/product_11.html)
9. 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](http://www.rebeng123.com/product_view.php?id=18)
10. 紡織用纖維之認識與製程概念 · [http://140.136.183.17/elearn/wu/ziye\\_ch1.htm](http://140.136.183.17/elearn/wu/ziye_ch1.htm)
11. 佺友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
12. 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>
13. 科技部新竹科學工業園區 · 園區廠商節水節能減碳輔導計畫-節水教育訓練 · 2011
14. 全澤股份有限公司 · 冷卻水塔旁濾設備應用及其節水成效 · 2014
15. 李世陽 · 新世紀的化學工程：臺灣石油化學工業 · 2016
16. 李雨霖 · 水處理用薄膜模組及其應用 · 中原大學薄膜技術研發中心

17. 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
18. 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
19. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
20. 經濟部工業局，化學材料製造業污染防制法規與處理技術手冊，2014
21. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
22. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
23. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
24. 經濟部工業局，行業製程減廢及污染防治技術 - 合成樹脂業介紹，2008
25. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
26. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
27. 經濟部水利署，節水紀實，2012
28. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
29. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016
30. 行政院環保署，廢（污）水自動監測（視）及連線傳輸設置程序，2014
31. 雷銜科技股份有限公司，各種純化方法及其水質上的比較，2017
32. 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
33. 簡道南，台肥月刊-第四十四卷-第六期，2003

# 化學材料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、台灣區塑膠原料工業同業公會

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](https://www.moeaidb.gov.tw)

出版日期：中華民國 108 年 12 月

版次：初版

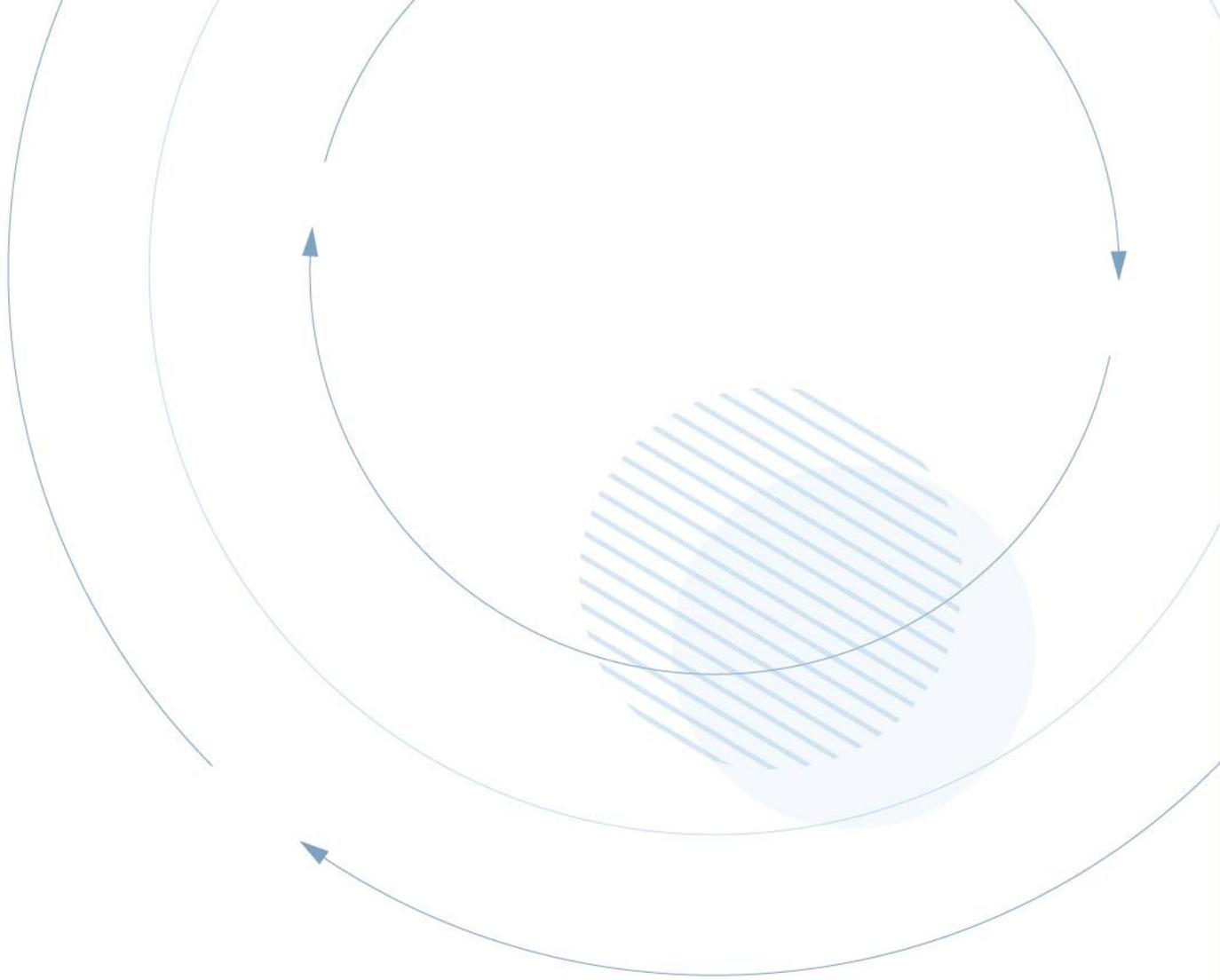




## 化學原材料製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

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

