



其他化學製品製造業

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
(一) 農藥及環境用藥製造業	3
(二) 塗料、染料及顏料製造業	4
(三) 清潔用品及化粧品製造業	5
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	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	34
(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	43
(一) 生活用水減量	43
(二) 廠內用水管理	44
(三) 雨水貯留供水系統	44
(四) 區域水資源整合	46
(五) 裝設連續監控系統	47
六、 小結	48
第四章 水回收再利用案例介紹	49

一、 案例 A 廠簡介	49
(一) 案例廠簡介	49
(二) 製程流程	49
(三) 廠內用水管理情形	50
(四) 用水效率提升方案	51
(五) 成本效益分析	53
二、 案例 B 廠簡介	55
(一) 案例廠簡介	55
(二) 製程流程	55
(三) 廠內用水管理情形	55
(四) 用水效率提升方案	56
(五) 成本效益分析	58
第五章 參考文獻	61

圖目錄

	頁次
■ 圖 1 其他化學製品製造業生產價值百分比	2
■ 圖 2 農藥及環境衛生用藥製造流程圖	3
■ 圖 3 塗料業製造流程圖	4
■ 圖 4 複合無機顏料製造流程圖	5
■ 圖 5 乳液和面霜之製造流程圖	7
■ 圖 6 其他化學製品製造業用水結構分析圖	8
■ 圖 7 化學製品製造業製程廢水水質特性	15
■ 圖 8 製程用水最適化及水回收技術	15
■ 圖 9 各類薄膜過濾特性	18
■ 圖 10 微過濾薄膜設備圖	18
■ 圖 11 超濾膜薄膜設備圖	19
■ 圖 12 奈米過濾薄膜設備圖	19
■ 圖 13 逆滲透薄膜系統原理示意圖	20
■ 圖 14 薄膜孔徑與物質尺寸對照圖	21
■ 圖 15 冷卻用水最適化以及水回收技術	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	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脫鹽技術原理比較圖	32
■ 圖 26 鍋爐用水最適化以及水回收技術	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 電混凝處理技術之原理示意圖	38
■ 圖 31 電混凝處理系統設備圖	38

■ 圖 32 離子交換系統設備圖	42
■ 圖 33 其他水回收技術	43
■ 圖 34 雨水回收流程圖	44
■ 圖 35 區域水資源整合型態示意圖	46
■ 圖 36 監測連線傳輸設置圖	47
■ 圖 37 案例 A 廠製造流程圖	49
■ 圖 38 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	50
■ 圖 39 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	52
■ 圖 40 案例 B 廠製造流程圖	55
■ 圖 41 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前)	56
■ 圖 42 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)	57

表 目 錄

	頁次
■ 表 1 化學製品製造業類別及定義	2
■ 表 2 化粧品範圍及種類表	6
■ 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 各類膜分離去除特性	21
■ 表 8 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	23
■ 表 9 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	27
■ 表 10 冷卻水塔蒸發回收之成本分析	27
■ 表 11 纖維過濾與傳統砂濾比較表	29
■ 表 12 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例	32
■ 表 13 開放式及密閉式冷凝水比較表	36
■ 表 14 電混凝處理系統水溶液污染物去除率 (60 秒)	39
■ 表 15 電混凝處理系統經費分析	40
■ 表 16 超過濾加逆滲透薄膜系統經費分析	41
■ 表 17 雨水處理設備與使用程度關係	45
■ 表 18 雨水截流系統設計值	45
■ 表 19 化學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	48
■ 表 20 案例 A 廠放流水水質數據表	51
■ 表 21 水回收設施經費分析	53
■ 表 22 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	54
■ 表 23 水回收方案實施前後水回收率變化	54
■ 表 24 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	58
■ 表 25 水回收方案實施前後水回收率變化	59



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)，化學製品製造業為從事農藥及環境用藥、塗料染料及顏料、清潔用品及化粧品等製造之行業，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，化學製品製造業產值約為新台幣 2,841.9 餘億元，以未分類及其他化學製品製造業占比較高，合計約 60%，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)。

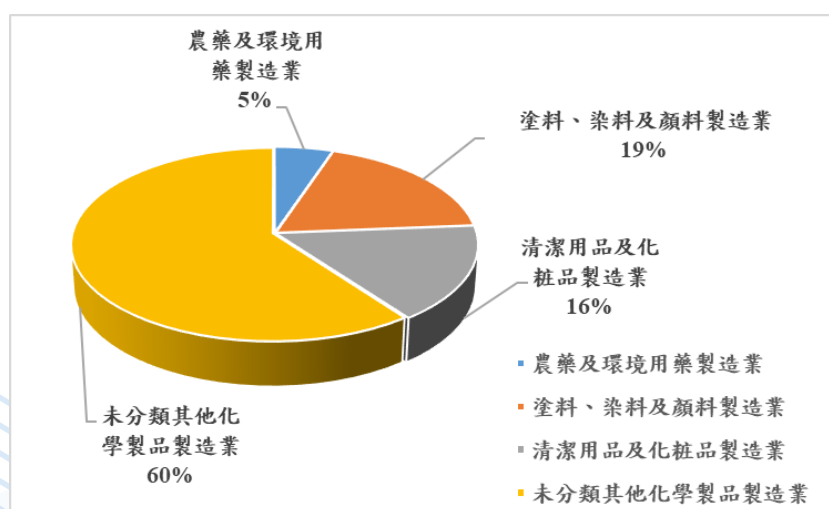
化學產品製造業之相關產物，不僅存在於一般工業領域中，對於現代人生活影響極為深廣，且隨著工藝技術的成長，亦同時支持其他產業的發展。有關化學製品製造業開發產品包含如：農藥、環境用藥、清潔用品、化粧品等，由此可見民生對於本製造業之需求。



表 1 化學製品製造業類別及定義

分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	19			化學製品製造業 從事農藥及環境用藥、塗料染料及顏料、清潔用品及化粧品等製造之行業。
		191	1910	農藥及環境用藥製造業 從事農業及環境用藥製造之行業，如殺蟲劑、殺蟎劑、殺鼠劑、殺菌劑、除草劑、發芽抑制劑、植物生長調節劑、消毒劑、污染防治用藥、環境用藥微生物製劑等製造。 不包括： 化學肥料及氮化合物製造歸入 1830 細類「肥料及氮化合物製造業」。
		192	1920	塗料、染料及顏料製造業 從事塗料、染料及顏料製造之行業；瓷釉及印刷油墨製造亦歸入本類。
		193	1930	清潔用品及化粧品製造業 從事清潔洗濯用品、芳香劑及化粧品調劑製造之行業，如表面活性劑、肥皂、天然甘油、洗衣粉、洗碟劑、衣物柔軟劑、牙膏、口腔衛生清潔劑、香水、化粧水、面霜、唇膏、染髮劑、指甲油、洗髮劑、脫毛劑等製造；化粧品香料之製造或萃取亦歸入本類。 不包括： 硝化甘油及合成甘油製造歸入 1810 細類「化學原材料製造業」。 精油製造歸入 1990 細類「未分類其他化學製品製造業」。
		199	1990	未分類其他化學製品製造業 從事 191 至 193 小類以外其他化學製品製造之行業，如火柴、火藥、炸藥、膠水、抗震劑、閃光劑、墨水及墨汁等製造；橡膠生膠之混煉亦歸入本類。不包括： 印刷油墨製造歸入 1920 細類「塗料、染料及顏料製造業」。 以所購瀝青為原料從事膠黏劑及瀝青製品製造歸入 2399 細類「未分類其他非金屬礦物製品製造業」。

(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 其他化學製品製造業生產價值百分比

二、製程特性

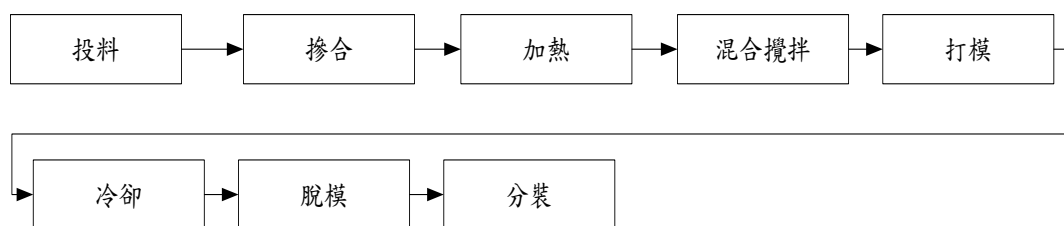
本節將針對化學製品製造業中，農藥及環境用藥製造業、塗料、染料及顏料製造業及清潔用品及化粧品製造業，分別概述其製程特性。

(一) 農藥及環境用藥製造業

根據農藥管理法第五條規定，農藥係指用於防除農林作物或其產物之病蟲鼠害、雜草者，或用於調節農林作物生長，影響其生理作用者（行政院農業委員會，農藥管理法，2015）。大部分農藥由於其作用為殺蟲、殺菌或除草等特性，或多或少對人體、動物或環境會造成某種程度的風險或危害。但同樣的農藥可防治有害病蟲或雜草，提高農作生產。國際上依農藥之防治對象分類為殺菌劑、殺蟲劑、除草劑、殺蟎劑、殺鼠劑、殺線蟲劑、植物生長調節劑、除螺劑、除藻劑等（蔡文珊，農藥毒理特性與管理，行政院農業委員會-農政與農情，第113期，2001）。根據動物防疫局統計資料顯示，國內共計核准登記農藥共 537 種，單劑農藥共 369 種（行政院農業委員會動植物防疫檢疫局，農藥資訊服務網，2017）。

依環境用藥管理法規定，環境用藥可分區分為 3 類，包含環境衛生用藥、污染防治用藥及環境用藥微生物製劑。另依照使用方式以及產品濃度的不同，又可分為一般環境用藥、特殊環境用藥及環境用藥原體（行政院環境保護署毒物及化學物質局，環境用藥簡介及管理）。

有關上述環境用藥與農藥製造的製程流程大致相同如圖 2 所示，目前國內較少進行合成作業，多半為進口原料進行摻配混合反應再加以分裝販售（經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊-化學製品製造業，2011）。



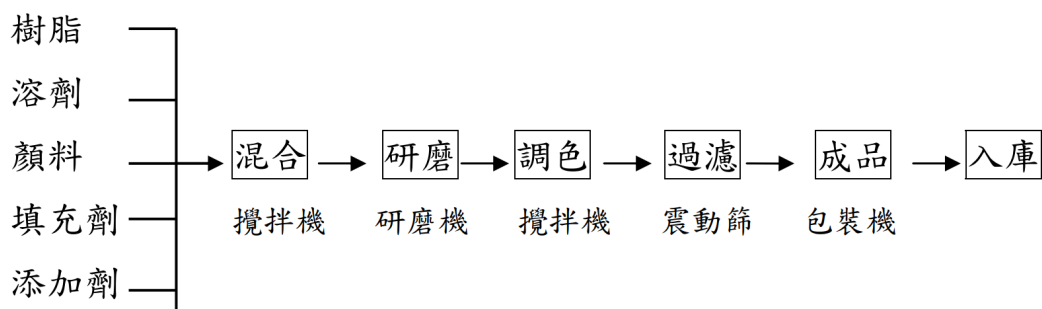
（資料來源：行政院環境保護署，化學製品製造業特定行業別事業廢棄物清理計畫書填報及審查參考手冊，2013）

■ 圖 2 農藥及環境衛生用藥製造流程圖

(二) 塗料、染料及顏料製造業

塗料所使用的有機溶劑種類多樣，因用途及特性等差異，所使用的配方比例也將有所不同，但主要組成物質為樹脂、顏料、有機溶劑（或稱稀釋劑）、填充劑及添加劑等物質所合成。

生產作業中，主要生產流程包含配料混合（依產品特性需求，進行原物料稱重調配）、攪拌（過攪拌機攪拌混合）、研磨（將混合後之原物料進一步研磨細碎）、調色（針對不同產品需求進行顏色調配）、過濾（以過濾篩去除顆粒大雜質）、成品（進行裝罐作業），以上製程流程如圖 3 所示。

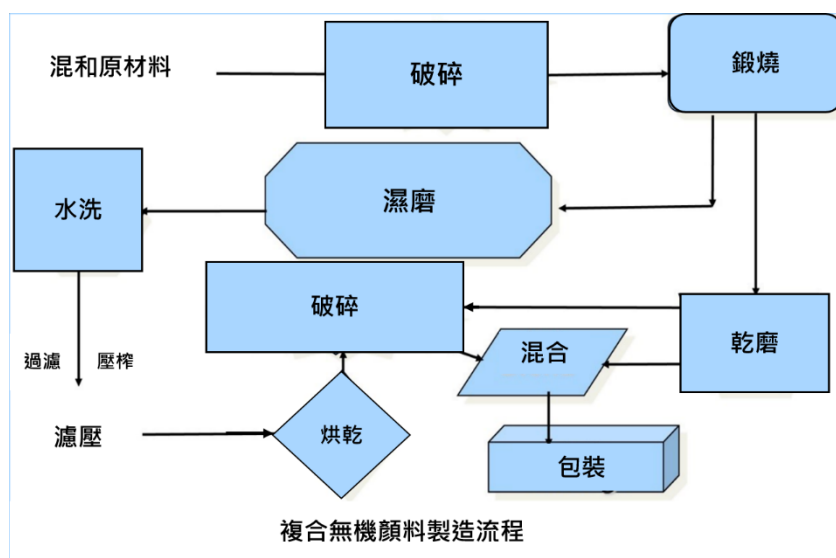


（資料來源：中華民國工業安全衛生協會，塗料製造業作業危害及預防對策）

■ 圖 3 塗料業製造流程圖

染料與顏料具有獨特的機能與色彩，其產品種類很多，變化也大，生產技術幾乎涵蓋所有的合成有機化學反應製程單元與技術，且涉及成品的分子結構設計與多重的化學反應控制，為技術層次較高的特用化學品工業之一。

有關染料及顏料的差異性係指：能溶解於水或有機溶劑之有色有機化合物，與纖維、紙類、皮革等被染物以化學鍵結合染著稱之為染料；不溶於水或有機溶劑之化合物，其本身並沒有和被著色物質發生反應染著之能力，必需藉由載體或展色劑或固色劑等來使顏料微細的粒子均勻分散，以附著的形式固著在被染物上，此稱之為顏料（財經知識庫），以複合無機顏料為例，顏料製造流程如圖 4 所示。



（資料來源：複合無機顏料）

■ 圖 4 複合無機顏料製造流程圖

(三) 清潔用品及化粧品製造業

凡能由物體的表面，將附著於其上無用或有害的物質除去，而無損於物體表面的物質統稱為清潔劑。家庭常用的清潔劑有肥皂、洗潔精、洗衣粉、洗髮精等；工業上用在纖維的精練、清潔，金屬的脫脂、除污的物質亦稱為清潔劑（謝貞雄，中華百科全書，2004）。

根據我國化粧品衛生管理條例第三條規定，所謂化粧品係使用於人體外部，用以潤澤髮膚、刺激嗅覺、掩蓋體臭或修飾容貌的物品（衛生福利部食品藥物管理署，化粧品衛生管理條例，2016）。另根據衛生福利部公告修正之「化粧品範圍及種類表」，可將化粧品依其用途區分為 13 類別，有關其區分種類如表 2 所示（衛生福利部食品藥物管理署，化粧品範圍及種類表，2017）。以上 13 類產物製程，以乳液和面霜之製造流程為例，製程步驟將透過乳化、冷卻等步驟完成產物製程，詳細步驟詳如圖 5 所示。

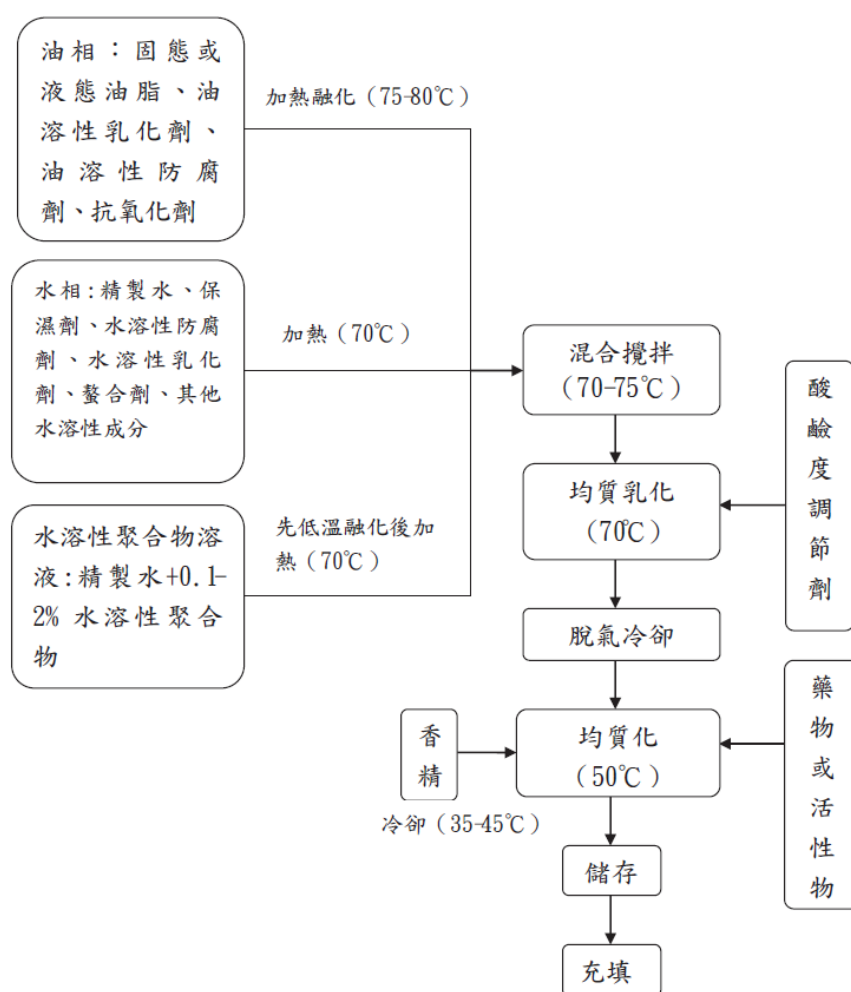


表 2 化粧品範圍及種類表

種類	品目範圍
一、洗髮用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 洗髮精、洗髮乳、洗髮霜、洗髮凝膠、洗髮粉 2. 其他
二、洗臉卸粧用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 洗面乳、洗面霜、洗面凝膠、洗面泡沫、洗面粉 2. 卸粧油、卸粧乳、卸粧液 3. 其他
三、沐浴用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 沐浴油、沐浴乳、沐浴凝膠、沐浴泡沫、沐浴粉 2. 浴鹽 3. 其他
四、香皂類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 香皂 2. 其他
五、頭髮用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 頭髮滋養液、護髮乳、護髮霜、護髮凝膠、護髮油 2. 造型噴霧、定型髮霜、髮膠、髮蠟、髮油 3. 潤髮劑 4. 髮表著色劑 5. 染髮劑 6. 脫色、脫染劑 7. 燙髮劑 8. 其他
六、化粧水/油/面霜乳液類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 化粧水、化粧用油 2. 保養皮膚用乳液、乳霜、凝膠、油 3. 剃鬚水、剃鬚膏、剃鬚泡沫 4. 剃鬚後化粧水、剃鬚後面霜 5. 護手乳、護手霜、護手凝膠、護手油 6. 助曬乳、助曬霜、助曬凝膠、助曬油 7. 防曬乳、防曬霜、防曬凝膠、防曬油 8. 糊狀（泥膏狀）面膜 9. 面膜 10. 其他
七、香氛用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 香水、香膏、香粉 2. 爽身粉 3. 腋臭防止劑 4. 其他
八、止汗制臭劑類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 止汗劑 2. 制臭劑 3. 其他
九、唇用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 唇膏 2. 唇蜜、唇油 3. 唇膜 4. 其他
十、覆敷用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粉底液、粉底霜 2. 粉膏、粉餅 3. 蜜粉 4. 臉部（不包含眼部）用彩粧品 5. 定粧定色粉、劑 6. 其他
十一、眼部用化粧品類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 眼霜、眼膠 2. 眼影 3. 眼線 4. 眼部用卸粧油、眼部用卸粧乳 5. 眼膜 6. 睫毛膏 7. 眉筆、眉粉、眉膏、眉膠

種類	品目範圍
	8. 其他
十二、指甲用化粧品類	1. 指甲油 2. 指甲油卸除液 3. 指甲用乳、指甲用霜 4. 其他
十三、美白牙齒類	1. 牙齒美白劑 2. 牙齒美白牙膏

(資料來源：衛生福利部食品藥物管理署，化粧品範圍及種類表，2017)



(資料來源：財政部南區國稅局，105 年度化妝品業之製造業原物料耗用通常水準調查報告，2016)

圖 5 乳液和面霜之製造流程圖

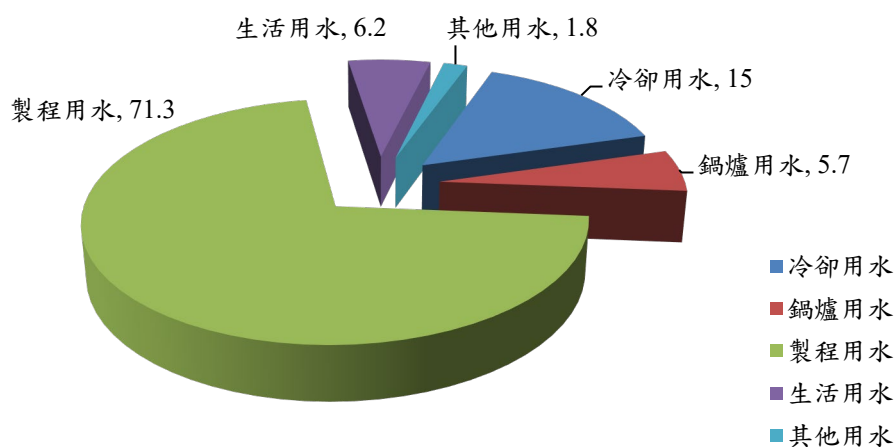


其他化學製品製造業

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，其他化學製品製造業全國佔地面積為 672.59 公頃，其年用水量 41.40 百萬立方公尺（經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017）。

另依據經濟部工業局之調查資料顯示，化學製品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。由於化學製品製造業是將化學材料加工成各項產品，因此以製程用水用水量較大，此用水占比率可達 71.3%，分析結果如圖 6 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 6 其他化學製品製造業用水結構分析圖

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、供水調度以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		
銀 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，以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

化學製品製造業中，殺蟲劑、除草劑、印刷油墨、表面活性劑、染髮劑等產物製造過程中，由於國內有多數廠商生產作業為進口原料，依產品所需進行調配作業，製程後產品將儲存於桶槽或透過槽車運送至使用端，因此多數用水為製程作業原料調配以及桶槽清洗為製程用水為最大耗水項目，相關製程廢水水質特性如圖 7 所示，各項製程用水最適化及水回收技術如圖 8 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

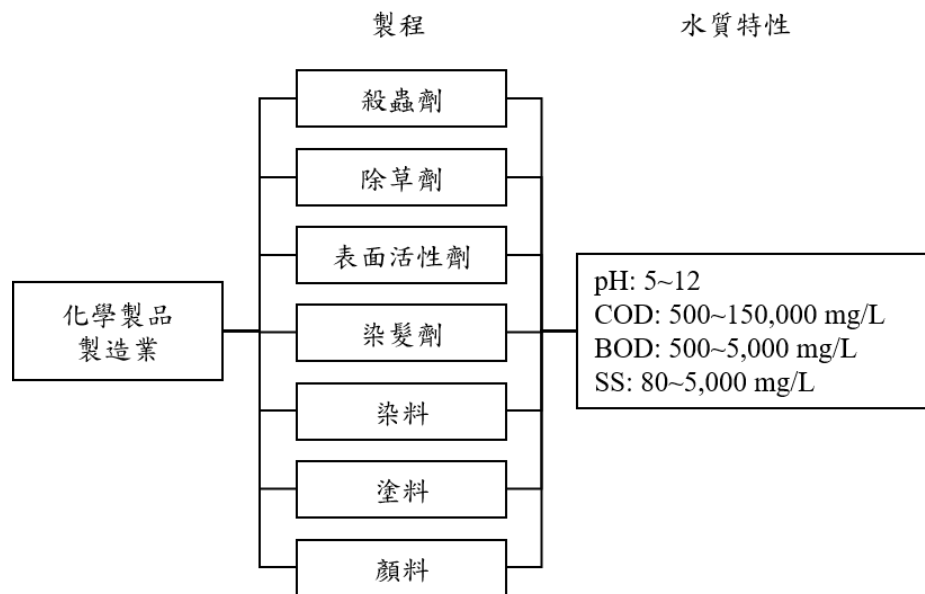


圖 7 化學製品製造業製程廢水水質特性

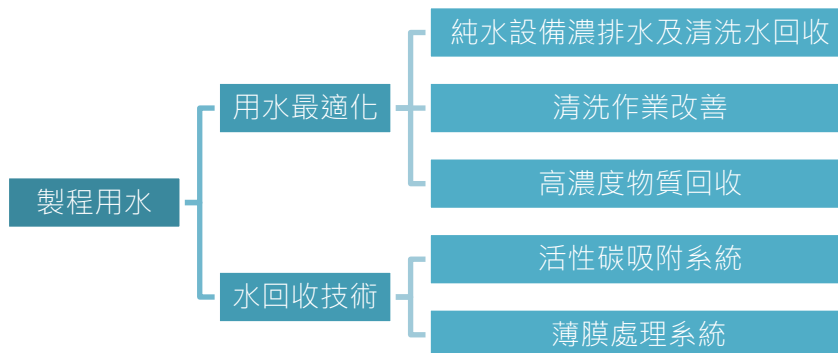


圖 8 製程用水最適化及水回收技術



其他化學製品製造業

用水最適化及回收再利用技術

(一) 用水最適化

1. 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等進行前處理後再行使用，處理過程所產生濃排水唯導電度高水質尚佳，可未經處理直接用於對於水質要求較不嚴苛之冷卻水塔及洗滌塔等次級用水使用，或者導回純水系統前端與自來水混和後再進入純水系統產水；軟化水設備，顧名思義即降低水硬度的設備，主要去除水中的鈣、鎂離子、活化水質、殺菌滅藻、防垢除垢等。系統使用達飽和階段後，需進行相關再生程序如：逆洗、靜置、注鹽、沉澱、順洗等，將得以恢復正常造水，前段逆洗、注鹽及初期順洗程序因含大量雜質及導電度較高不適回收外，後段順洗程序因導電度已趨近自來水且雜質含量低，故可進行回收，此回收水導電度約等同自來水，惟因可能含少量雜質，如欲導入冷卻水塔使用可先經過簡單的小型砂濾或袋濾設備，亦可以考量混入自來水池重新分配使用，達到水資源多次使用的理想目標。

2. 清洗作業改善

本製程作業中，常見作業方式為原物料調和攪拌，生產作業完成後，需進行作業槽體或盛裝化學品容器清洗作業，若能將清洗器材及工法進行變更，如：透過高壓水柱、變更桶槽清洗噴頭等方案，將可減少原水取水量。

3. 高濃度物質回收

製程作業中所產生之高濃度廢水，如：重金屬、有機物等污染物時，若能於進入污水處理設施前進行處理，將可降低污水處理廠處理負荷，達到減少操作成本。



(二) 水回收技術

1. 活性炭吸附系統

活性炭是一種多孔性物質，其中由微孔（孔徑小於 2 nm）構成的內表面積約佔總面積的 95% 以上，中孔洞和大孔洞則僅佔 5% 左右，由於具有許多綿密發達的微細孔洞，1 克的活性炭可能擁有超過 1000 m² 的表面積，對分子量 500 至 1000 範圍內的有機物具有較強的吸附能力，同時對於去除水中的針對化學需氧量（**Chemical Oxygen Demand**，簡稱 **COD**）、生化需氧量（**Biochemical oxygen demand**，簡稱 **BOD**）、有機氯、有機汞及芳香族化合物等物質亦有良好效果（李中光等，淺談生物活性炭在廢水處理中之應用，環保簡訊，2015）。

針對本業別製造產品中，如：染髮劑、農藥製造及化妝品生產中，廢水所產生之污染物，可透過活性炭吸附處理，將此股水源作為次級用水。

2. 薄膜處理系統

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

主要分成兩種形式，一是平板膜，另一是管式薄膜。平板膜如同一張紙，製作程序較簡單，使用上也較方便。管式薄膜就像水管一樣，因為有較大表面積的優點，在工業上的應用較平板膜廣泛，但製作過程較繁雜，必須組裝成模組式才可進行過濾，透過讓物質通過膜的驅動力有壓力差、濃度差、溫度差及電位差，藉此進行分離方法，依薄膜孔洞由大到小可分為微過濾（**Microfiltration**，簡稱 **MF**）、超過濾（**Ultrafiltration**，簡稱 **UF**）、奈米過濾（**Nanofiltration**，簡稱 **NF**）及逆滲透薄膜（**Reverse Osmosis**，簡稱 **RO**），不同孔徑薄膜過濾之特性如圖 9 所示（鄭東文、林智偉，科技大觀園，生活處處皆過濾：薄膜過濾家族，2014）。





(資料來源：鄭東文、林智偉，薄膜過濾家族，科學發展，2014)

■ 圖 9 各類薄膜過濾特性

微濾膜之膜孔介於 $0.05\sim 10\ \mu\text{m}$ 之間，主要是截留可藉顯微鏡直接觀測之物質，一般去除懸浮物質、部分膠狀質以及細菌等，常見模組選擇為板框式模組、管式模組、褶層濾蕊式模組等，實體設備如圖 10 所示。



(資料來源：MGC Contractors, Inc.)

■ 圖 10 微過濾薄膜設備圖

超濾膜是介於微濾膜及逆滲透之間，因其可處理各種分子量之水溶液，常見模組選擇為板框式膜組、圓管式膜組、螺捲式膜組，實體設備如圖 11 所示。



(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 11 超濾膜薄膜設備圖

奈米過濾膜是介於超過濾和逆滲透之間的薄膜，可有效阻擋二價鈣、鎂離子通過，而對於更小的一價鈉、鉀離子的阻擋率較不足，必須配合逆滲透系統才能得到超純水，實體設備如圖 12 所示。(鄭東文、林智偉，薄膜過濾家族，科學發展，2014)



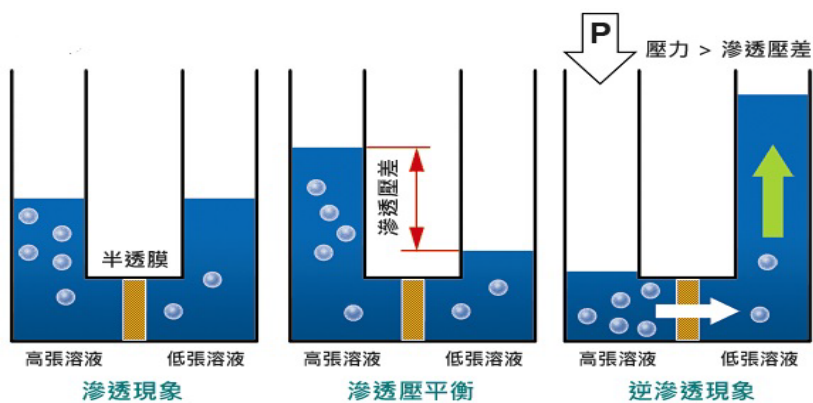
NANOFILTRATION SYSTEMS

(資料來源：Enviromatch, Inc.)

■ 圖 12 奈米過濾薄膜設備圖



逆滲透膜能針對總溶解固體(Total Dissolved Solids ，簡稱 TDS)、離子(Ions) 等進行過濾移除，其系統原理如圖 13 所示，常見模組選擇為螺卷式模組、中空纖維模組 (中原大學薄膜技術研發中心，水處理用薄膜模組及其應用)。



(資料來源：雷鈞科技股份有限公司，各種純化方法及其水質上的比較，2017)

圖 13 逆滲透薄膜系統原理示意圖

薄膜系統處理以去除水中鹽類、COD、無機離子等，各種薄膜去除特性如表 7 所示，對於不同大小尺寸之粒子，選用合適孔徑大小薄膜，搭配不同薄膜過濾串聯結合（如：MF+UF+RO、UF+RO 等），方可達到有效過濾、減緩薄膜積垢阻塞之問題，對於不同孔徑薄膜處理之粒子大小如圖 14 表示，對於處理後之水體，可做為其他用水單元補充水及降低自來水補充水源。

表 7 各類膜分離去除特性

項目/膜種類	MF	UF	RO
濁躑	○	○	○
色躑	△	△	○
臭躑	×	×	○
SS	○	○	○
TDS	×	×	○
發泡成分	×	×	○
菌類	○	○	○
病原菌	×	○	○
N	×	×	○
P	×	×	○
TOC	×	×	○
BOD	△	△	○
COD	△	△	○

註：「○」表可分離去除，「△」表部分分離去除，「×」表無法分離去除。

（資料來源：經濟部工業局，化學材料製造業污染防治法規與處理技術手冊，2014）

離子 分子	Ionics		Molecular		Macro- Molecular	Micro- Particle	Macro- Particle			
	100	200	1,000	10,000	20,000	100,000	500,000			
尺寸 μm	0.001		0.01		0.1	1.0	10	100	1000	
物質 名稱	Aqueous salts			Humic acid 腐植酸		Clays 黏土		Sand 砂		
	Metal ions		Virus 病毒			Bacteria 細菌			Algae 藻類	
高級 水處理 方式	RO 逆滲透、ED/EDR				傳統過濾程序					
	NF 奈米過濾									
	UF 超過濾									
	MF 微過濾									

（資料來源：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）

圖 14 薄膜孔徑與物質尺寸對照圖



二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻水在製程工業中，最大功用為吸收轉移設備所產生之熱源，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 所示，圖 15 為冷卻用水最適化及水回收常見之相關技術。

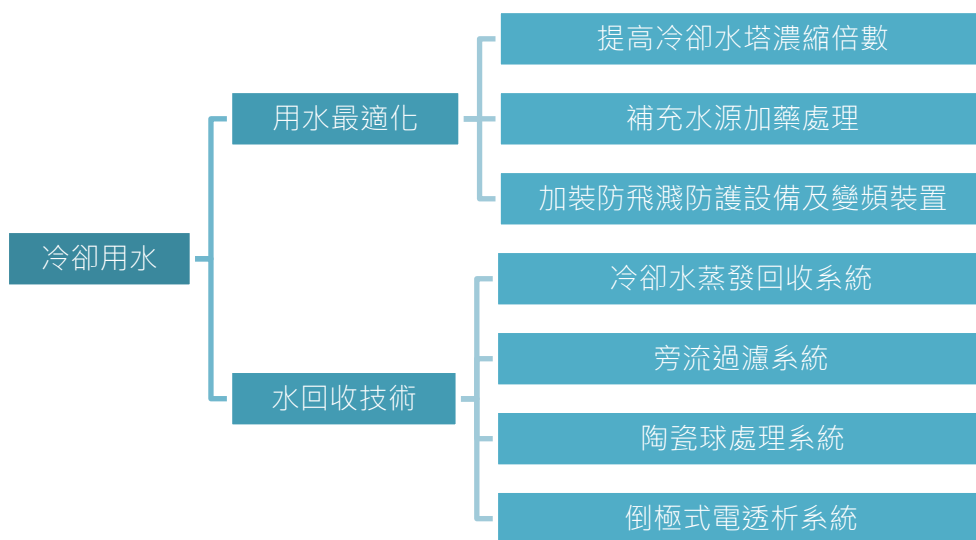


圖 15 冷卻用水最適化以及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 提高冷卻水塔濃縮倍數

冷卻水塔循環水通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，爾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：係藉由蒸發一部分水，使得循環水溫度下降，可達到冷卻的功能；飛散與濺灑：因水滴噴濺或側風吹散，造成水滴逸散或被風扇吸出塔外；排放：因冷卻水蒸散型態為純水蒸發損失，當重複循環利用，水中雜質將存於水池，加入補充水亦具有溶解固形物，經過時間累積，雜質將可能造成管路阻塞，故須部分排放。補充水量與排放水間之關係可以濃縮倍數 (**Cycles of Concentration**) 來表示：

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

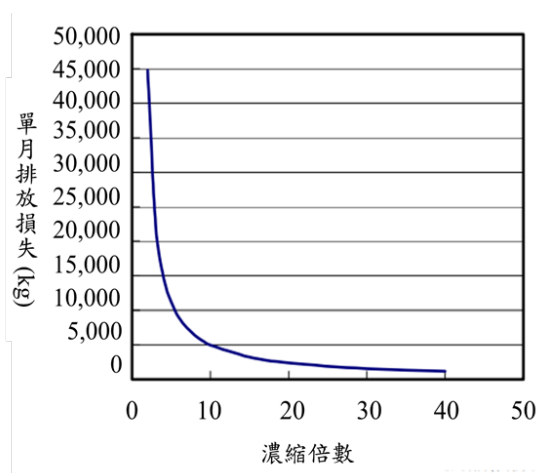
$$= EC_{out} (\text{排放水導電度}) / EC_{in} (\text{補充水導電度})$$

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、減少能源損耗。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，因此 5~6 倍為最佳濃縮倍數效益。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，持續濃縮除了會增加藥品之費用開銷外，對於設備之副作用以及環境污染更是關切之項目。

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						
原濃縮倍數		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
	1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%
	2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%
	2.5			10%	16%	20%	25%	28%
	3.0				7%	11%	17%	20%
	3.5					5%	11%	17%
	4.0						6%	11%
	5.0							4%

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)



(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

圖 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，經過簡易加藥處理如圖 17 所示，作為冷卻水塔補充水，以降低自來水消耗量。

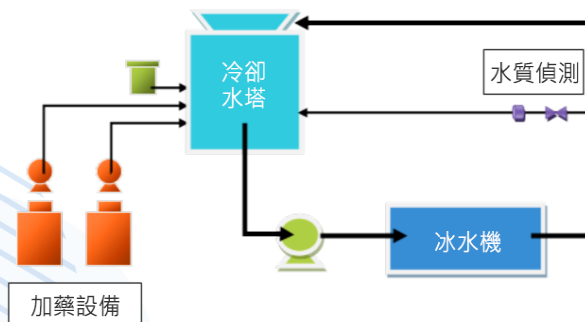
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index, 簡稱 LSI) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (pH)、Ca 硬度、M 鹼度 (M_{alk}) 及總溶解固體 (Total Dissolved Solids, 簡稱 TDS) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}]) + C_{scale} (f(T,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

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

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

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

若替代水中含藻類或菌類等時，將容易產生菌藻污塞，使得結垢及腐蝕問題更加惡化，造成冷卻水塔壓降以及熱傳效率不良，本問題之處理方法可選擇添加如次氯酸鈉、氯錠、二氧化氯等滅菌，達到抑制微生物及藻類之滋長，該方法適合水量小及水質結垢者為主。

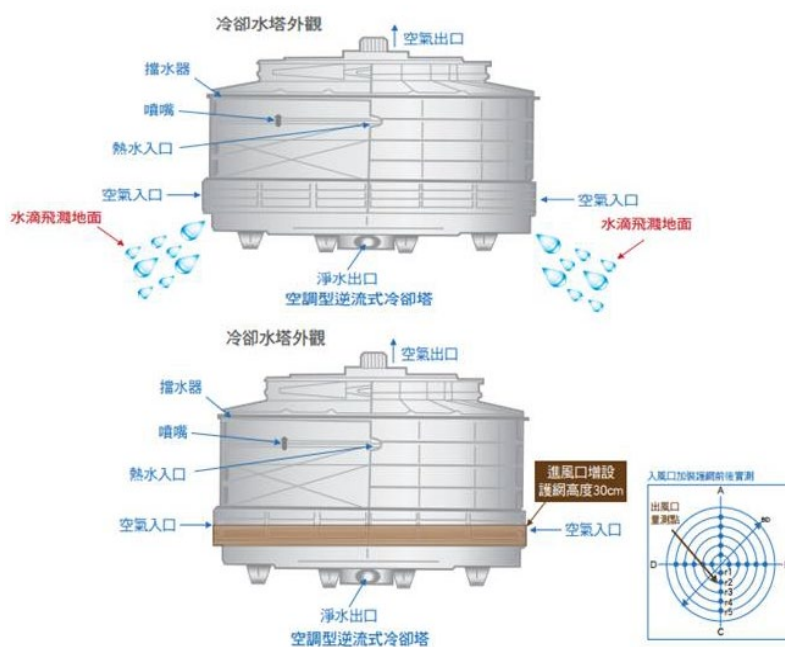


(資料來源：佺友股份有限公司)

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，增設防飛濺防護設備減少飛濺耗水量以及加裝變頻裝置為常用方法。冷卻水塔之運行作業中，當轉速過快、水量過大時，會造成冷卻水逸散現象，透過耐隆纖維及酚醛樹脂所組成之防飛濺裝置，示意如圖 18 所示，可有效降低逸散發生。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水溫控制，進行風扇馬達變頻或兩段式設計，再參考冰水主機運轉台數，作為冷卻風扇轉速之控制，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

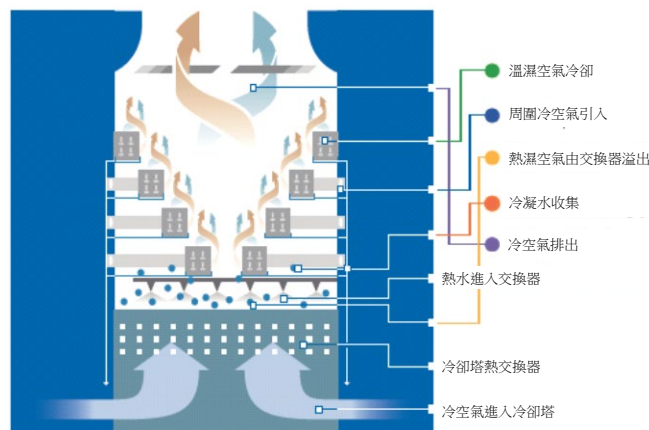


(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

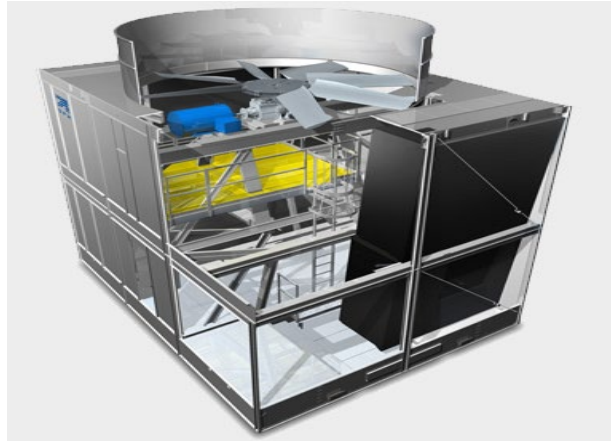
由於冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之主因為：工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。根據研究分析，典型開放式冷卻水塔耗水量之大小依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。從節水的觀點來看，減少不必要的蒸發損失具有最大節省空間(國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005)。

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 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 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 10 冷卻水塔蒸發回收之成本分析

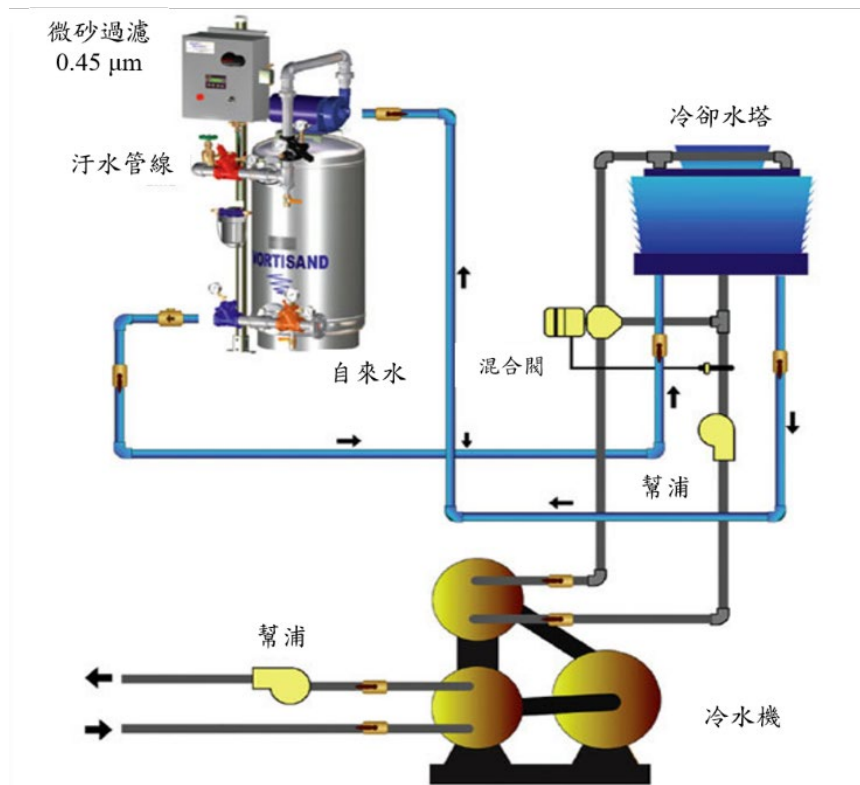
項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量 (11-4 月)	58,240 m ³	0	58,240 m ³
營運成本 (11-4 月)	1,100 千元	930 千元	22,000 千元
單位產水建造成本 (25 年折舊) (元/m ³)			8.24
單位產水營運成本 (元/m ³)			2.92
單位產水成本 (元/m ³)			11.16
註:計算基準:建造成本折舊年限 25 年，電費 2.5 元/度			

(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，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 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：Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd.)

■ 圖 21 旁流過濾處理系統原理示意圖

表 11 纖維過濾與傳統砂濾比較表

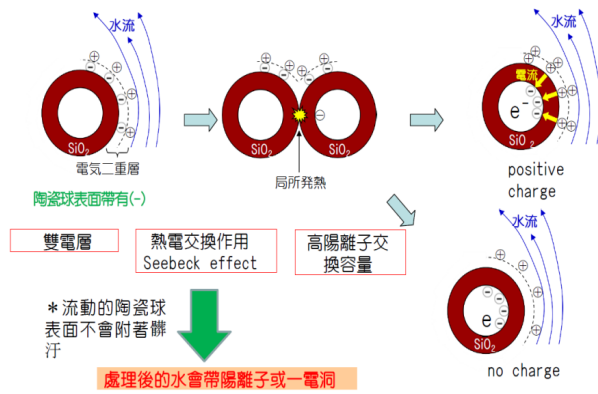
項目	傳統砂濾	纖維過濾
過濾速度 (LV 線性流速)	10 m/hr.	一般過濾 30 m/hr. 高速過濾 60~100 m/hr.
過濾表面積	10 m ² 佔用面積大 (LV=10 時)	一般：3.3 m ² (LV=30 時) 高速：1.25 m ² (LV=80 時)
反洗總耗水量 (如每天反洗 一次)	36,500 m ³ /year	一般：13,140 m ³ /year 高速：5,110 m ³ /year
截污量	淺層過濾，截污量少，相對反洗 頻率高	深層過濾，截污量多，相對反洗頻率低
過濾精度	10 μm 以上粒徑的顆粒方可濾除	10 μm 濾除 100% 2 μm 濾除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

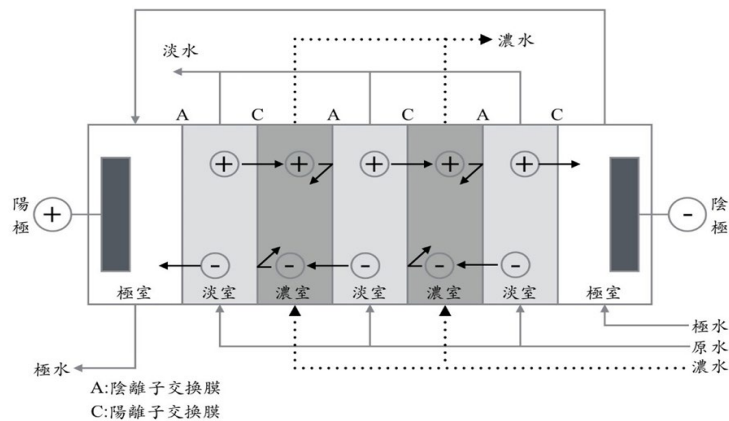


(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 23 陶瓷球處理系統設備圖

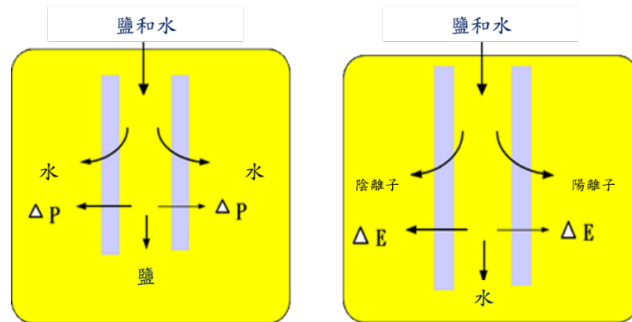
4. 倒極式電透析系統

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**) 較低 (**$\text{SDI}<15$**) , 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 **1500 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 **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 24 電透析薄膜處理系統原理示意圖



RO分離機制：以壓力為驅動力
操作壓力≈20bar

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 25 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統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 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)	SO42- (mg/L)
排放水	8.0~8.5	1520±30	275±25	30±5	250±30	290±30
再生水	5.0~6.2	295~315	20~27	0.5~1.4	9~12	91~112

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

三、鍋爐用水最適化及回收再利用技術

鍋爐用水係指在鍋爐內進行汽化所需之用水，其蒸氣將用於工業生產及發電，由於蒸汽凝結水具有較佳水質，因此適合用於回收再利用，且鍋爐用水循環再利用，多於密閉系統下進行，較無微生物孳生之困擾，但會產生腐蝕及結垢現象，因此藉由除氧、調節 pH 值、添加螯合劑、利用電磁場及脫鹼等控制腐蝕結垢，使得設備得以正常操作並降低用水量，相關用水最適化及水回收技術如圖 26 所示，說明如下。



圖 26 鍋爐用水最適化以及水回收技術



(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，為預防鍋爐腐蝕，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。

(3) 螯合劑處理

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

(4) 電磁場處理

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

(5) 脫鹼處理

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

(6) 不同壓力鍋爐

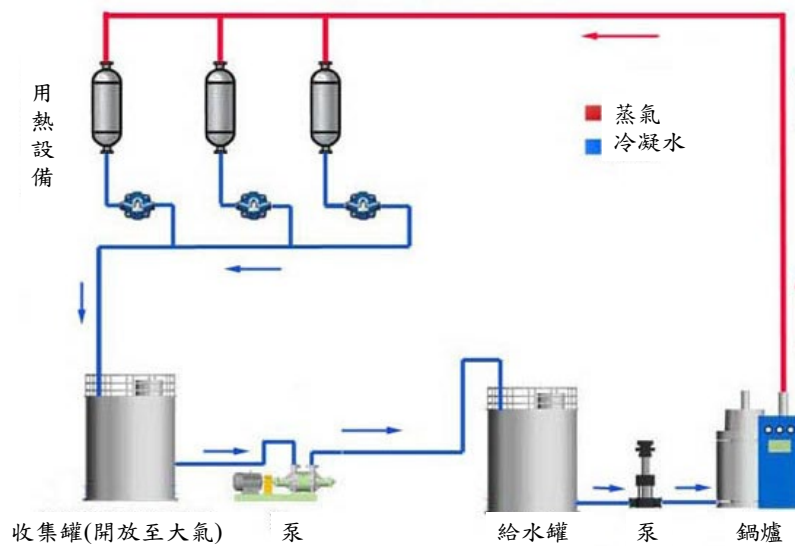
由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換(中壓鍋爐)後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

(二) 水回收技術

1. 冷凝水回收系統

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

開放式冷凝水回收系統是透過疏水閥將冷凝水回收至開放式之收集罐內，其回收原理如圖 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。

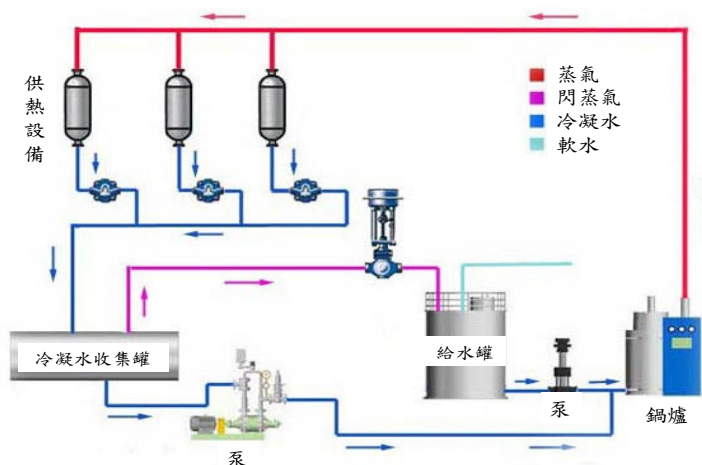


(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

■ 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如圖 28 所示，是一種高於常壓的回收方式。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 28 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比較表

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

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

四、放流水回收再利用技術

放流水回收再利用，除可降低廢水納管所衍生之費用外，亦可降低水污費。而回收作為原水補充或其他次級用水使用，可降低原水取水量，以減少用水成本。常見的放流水回收再利用技術包括電混凝處理系統、薄膜處理系統、離子交換系統、Fenton 氧化系統及生物網膜處理系統等如圖 29 所示，分別說明如下：

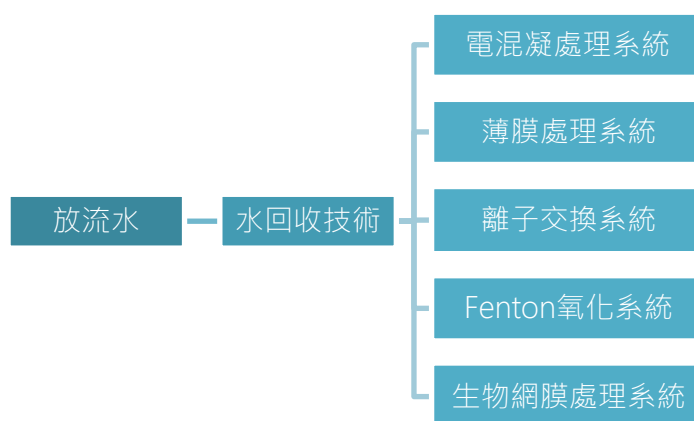


圖 29 放流水回收技術

(一) 水回收技術

1. 電混凝處理系統

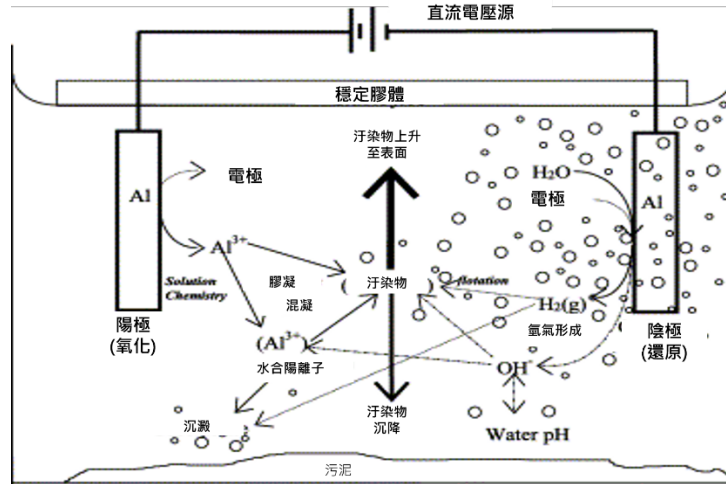
電混凝處理系統 (**Electro-coagulation**，簡稱 **EC**) 是一種電化學水處理方式，俗稱電明礬，可以將絕大部分的雜質凝聚成大顆粒，懸浮到水面上，然後去除。其原理示意如圖 30 所示，實體運作模組如圖 31 所示，處理流程是透過在水中放入兩片金屬板 (鋁 **Al** 或鐵 **Fe**)，電極接上直流電源 (電池)，即可開始進行過濾。

本處理系統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，且透過電混凝法處理後，可去除廢水中油脂、**COD**、懸浮固體 (**Suspended Solids**，簡稱 **SS**)、色度、氨氮、硝酸鹽類以及微量重金屬等水中絕大部分的污染物，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。

以表 14 電混凝處理水溶液 60 秒後雜質去除率顯示，多數物質透過電混凝系統皆可達到良好去除效果，但對於易與水混合的液體 (如：酒精、乙二醇、碳原子數五個以下的碳氫化合物) 或是溶解度太高無法產生不溶解沈澱物質 (如：鈉鹽、鉀鹽或糖)，電混凝用在 1% 以下水溶液效果最好，如果借助絮凝劑，可處理 5% 的溶液 (高家傑，電明礬水處理，2014)。



以電混凝產水 12,000 CMD 為例，相關設施概估經費如表 15 所列：



(資料來源：李光中等，電混凝技術在廢水處理中之應用，桃園大學校院產業環保技術服務團，第 39 期環保簡訊)

圖 30 電混凝處理技術之原理示意圖



圖 31 電混凝處理系統設備圖

表 14 電混凝處理系統水溶液污染物去除率 (60 秒)

污染物	處理前 (mg/L)	處理後 (mg/L)	去除率 (%)
Aluminum 鋁	224.0000	0.6900	99.69
Ammonia 氨	49.0000	19.4000	60.41
Arsenic 砷	0.0760	<0.0022	97.12
Barium 鋇	0.0145	<0.0010	93.10
Benzene 苯	90.1000	0.3590	99.60
BOD 生物需氧量	1050.0000	14.0000	98.67
Boron 硼	4.8600	1.4100	70.98
Cadmium 鎘	0.1252	<0.0040	96.81
Calcium 鈣	1,321.0000	21.4000	98.40
Chromium 鉻	139.0000	<0.1000	99.92
Cobalt 鈷	0.1238	0.0214	82.71
Copper 銅	0.7984	<0.0020	99.75
氰化物 (Free)	723.0000	<0.0200	99.99
Ethyl Benzene 乙基苯	428.0000	0.3720	99.91
Fluoride 氟化物	1.1000	0.4150	62.27
Gold 金	5.7200	1.3800	75.87
Iron 鐵	68.3400	0.1939	99.72
Lead 鉛	0.5900	0.0032	99.46
Magnesium 鎂	13.1500	0.0444	99.66
Manganese 錳	1.0610	0.0184	98.27
Mercury 水銀	0.7200	<0.0031	98.45
Molybdenum 鉬	0.3500	0.0290	91.71
MP-Xylene 二甲苯	41.6000	0.0570	99.86
MTBE	21.5800	0.0462	99.79
Nickel 鎳	183.0000	0.0700	99.96
Nitrate 硝酸鹽	11.7000	2.6000	77.78



污染物	處理前 (mg/L)	處理後 (mg/L)	去除率 (%)
Nitrite 亞硝酸鹽	21.0000	12.0000	42.86
Nitrogen TKN 氮	1,118.8800	59.0800	94.72
NTU	35.3800	0.3200	99.10
O-Xylene 二甲苯	191.0000	0.4160	99.78
Phosphate 磷酸鹽	28.0000	0.2000	99.28
Platinum 白金	4.4000	0.6800	84.55
Potassium 鉀	200.0000	110.0000	45.00
Selenium 硒	68.0000	38.0000	44.00
Silicon 矽	21.0700	0.1000	99.50
Sulfate 硫酸鹽	104.0000	68.0000	34.61
Silver 銀	0.0081	0.0006	92.59
Tin 錫	0.2130	<0.0200	90.61
Toluene	28,480.0000	0.2270	99.99
TSS	1,560.0000	8.0000	99.49

(資料來源：電明礬水處理，高家傑，2014)

表 15 電混凝處理系統經費分析

項目	電混凝系統
產水量 (CMD)	1,200
總建設成本 (元)	18,000,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	6
單位產水成本-營運 (元/噸)	5
單位產水總成本 (元/噸)	11
年營運成本 (元)	2,160,000
產水總成本 (元/月)	4,731,432

註：1. 單位建設成本以折舊年限 7 年估算。
 2. 每年工作天以 300 天計。
 3. 管佈設費以 2,000 元/噸及電混凝設備以 18,000,000 元預估，但經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。

(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)

2. 薄膜處理系統

薄膜處理系統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，微過濾 (MF)、超濾膜 (UF)、奈膜 (NF)、逆滲透膜 (RO) 為常見之技術，依據不同過濾用途進行各項薄膜濾材組合，經由處理後之水源，於不影響製程條件下，可回用做為製程補水或作為次級用水單元補充水。

以某廠放流水為例，水中 SS 及 COD 平均值分別為 22.8 及 64.2 mg/L，故建議可回收此股廢水再以 UF+RO 處理後供給洗滌塔使用。以產水率 50% 計算，預估由管末廢水回收之水量約為 48 CMD，可供給洗滌塔水量為 24 CMD 相關費用估算分析如表 16 所示。

表 16 超過濾加逆滲透薄膜系統經費分析

項目	UF+RO 系統
產水量 (CMD)	24
總建設成本 (元)	600,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	5.8
單位產水成本-營運 (元/噸)	15.0
單位產水總成本 (元/噸)	20.8
年營運成本 (元)	129,600
產水總成本 (元/月)	179,604

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. 離子交換系統

所謂離子交換系統 (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較離子交換固體的離子親和力高，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 離子交換系統設備圖

4. Fenton 氧化系統

Fenton 試劑氧化系統又稱 $\text{Fe}^{2+}\text{-H}_2\text{O}_2$ 法，兼有氧化和混凝的作用，它利用 Fe^{2+} 和 H_2O_2 之間反應催化生成的自由基。如：於化妝品生產作業中所產生廢水可能含有各種毒性和難降解有機物，透過 Fenton 氧化可提高廢水可生化性 (百度文庫·化妝品廢水處理)。

5. 生物網膜系統

生物網膜系統 (BioNET) 是以多孔性生物擔體為核心之新型生物處理系統，採用多孔性擔體作為為反應槽之介質，提高懸浮固體物攔截之機會，因提供廣大表面積作為微生物附著、增殖之介質，可累積大量及特定族群之生物膜微生物，有助於達到去除各種污染物之目的。反應槽採用浮動床方式操作，具有高效率、高穩定性及操作簡易等特點，尤其適合處理低負荷，高流量之操作，切合目前之環保需求 (張王冠，BioNET 水與廢水處理技術，2003)。

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、區域水資源整合及廢水自動監控系統等如圖 33 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：

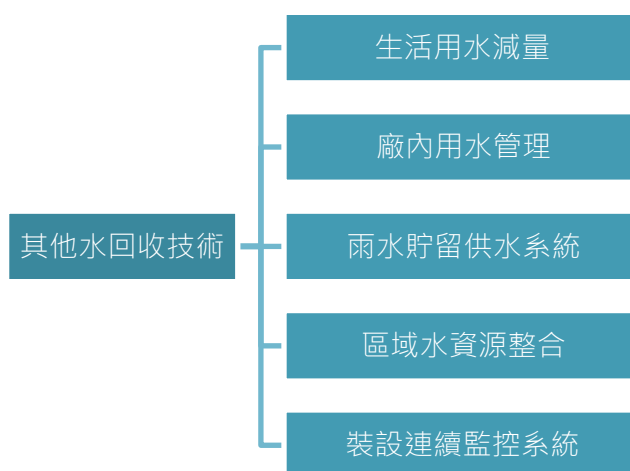


圖 33 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

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

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



(二) 廠內用水管理

為使得廠內人員能清楚掌握廠內用水流向及用量大小，可於供水之主幹管，劃分為製程、民生、鍋爐、洗滌塔...等管線或用水量之設備加裝水錶，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 34 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）。

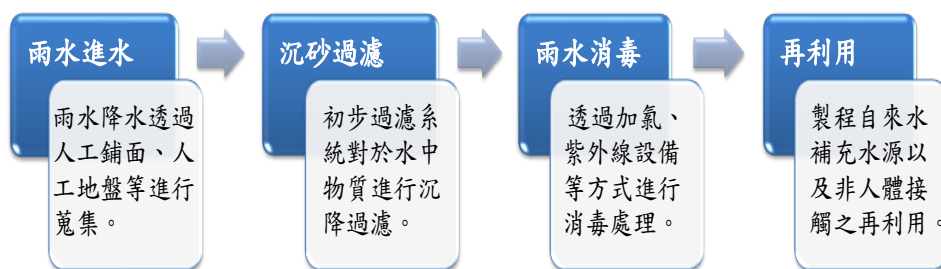


圖 34 雨水回收流程圖

設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 17 所示，雨水截流系統設計值計算如表 18 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 17 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	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、人工舖面、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 18 雨水截流系統設計值

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

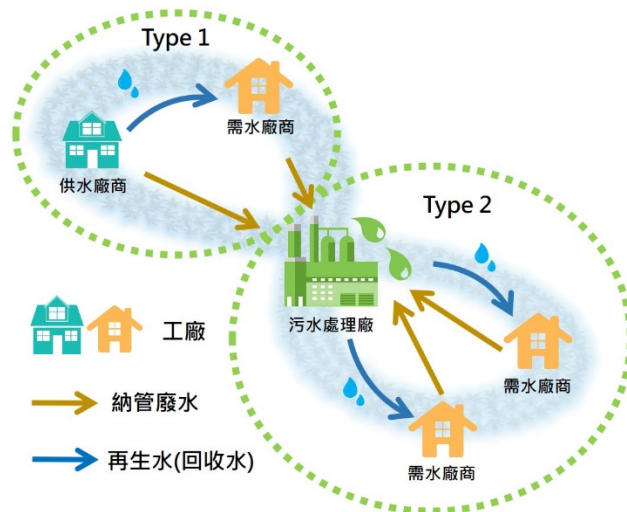
(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

(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 35 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。

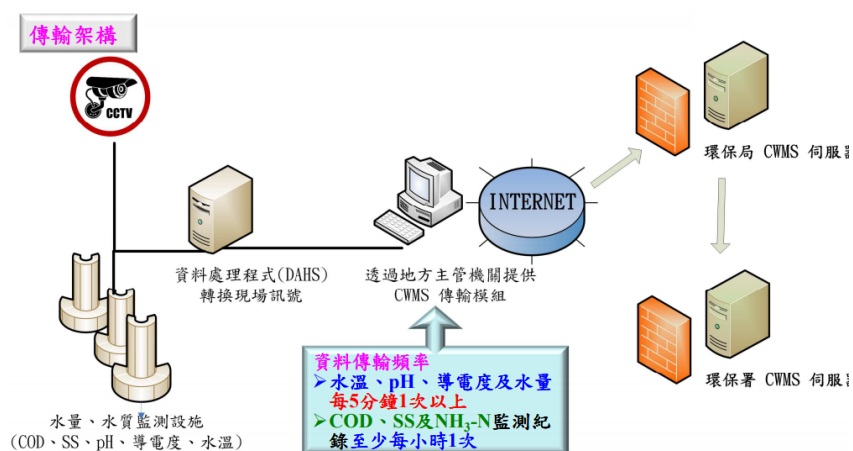


(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

圖 35 區域水資源整合型態示意圖

(五) 裝設連續監控系統

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 36 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 36 監測連線傳輸設置圖



六、小結

茲將化學製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整如表 19。

表 19 化學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	純水設備濃排水及清洗水回收	√			
	清洗作業改善	√			
	高濃度物質回收	√			
	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	活性碳吸附系統	√			
	薄膜處理系統	√			√
	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			√	
	電凝處理系統				√
	離子交換系統				√
Fenton 氧化系統				√	

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 集團自 1965 年創設起即以提高生活品質為目的，於石化工業原料領域經營已經超過 40 年，強化企業競爭力、邁向全球化與跨國經營。產能分別為 (1) .兩套聚丙烯生產線年產能約 360,000 公噸、(2) .製粉工場生產聚丙烯粉，可供複合材料工場生產聚丙烯複合材料年產能約 7,000 公噸、(3) .製粒工場生產之成品聚丙烯塑膠粒，可供纖維工場生產聚丙烯纖維年產能約 16,000 公噸。

(二) 製程流程

聚丙烯製程主要原料為丙烯，經過蒸氣裂化形成聚丙烯物質，後段再添加安定劑，廠內製程工廠分為聚丙烯廠 (製粉工場、製粒工場)、複合材料工場、纖維工場及鍋爐工場等。其製程流程如圖 37 所示。

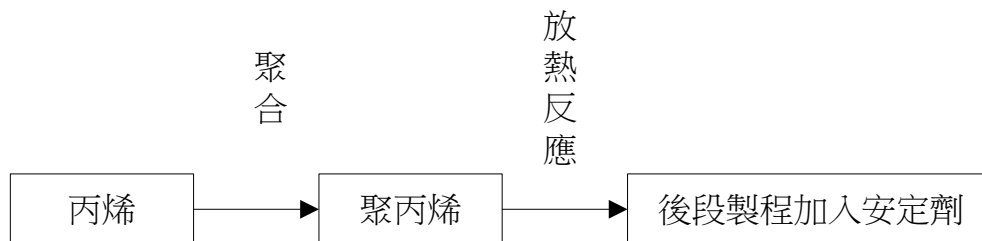


圖 37 案例 A 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

目前廠內使用自來水量約 1,800 CMD，其廠內水平衡圖如圖 38 所示，主要提供製程使用與冷卻水塔使用。

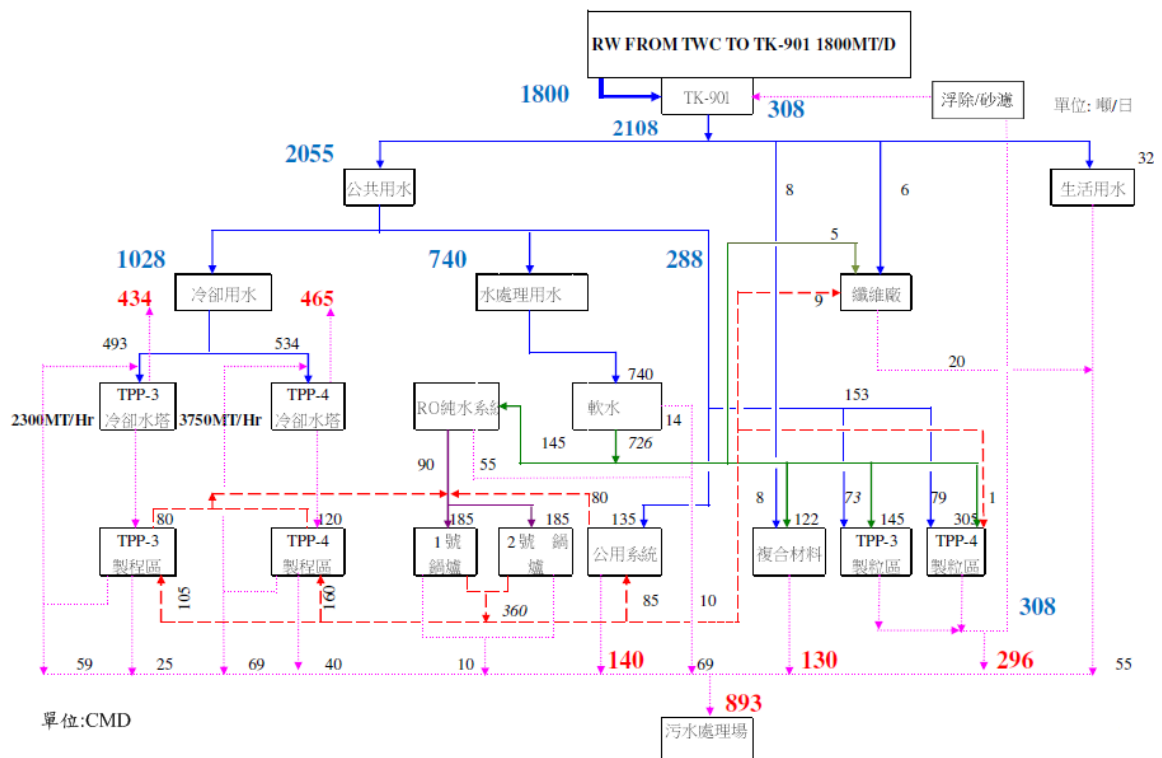


圖 38 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)

(四) 用水效率提升方案

依據圖 38 之全廠用水平衡圖，經節水診斷之結果，可規劃之水回收方案：

方案一、利用 BioNET/砂濾系統以及 UF/RO 系統回收管末廢水

依據分析該廠放流水數據如表 20，建議末端廢水流經生物網膜 (BioNET) 處理系統，並經砂濾系統去除部分 COD 以及確保水質穩定，再經由 UF/RO 系統處理，其中以 UF 作為 RO 前處理，確保 SDI 值小於 5 以減少 RO 負荷量，預估 RO 產水的導電度值可降低至 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以內；預計回收系統具有 50% 產水率與導電度去除率 90% 以上，其可回收水量約 446 CMD，可將此股回收水導入冷卻水塔作為補注水源。

■ 表 20 案例 A 廠放流水水質數據表

項目編號			混合水樣	備註
	分析項目	單位		
1	氯鹽	mg Cl ⁻ /L	158	
2	硝酸鹽	mg NO ₃ ⁻ /L	1213	
3	硫酸鹽	mg SO ₄ ⁻² /L	N.D.	MDL=0.2
4	磷酸鹽	mg PO ₄ ⁻³ /L	8.7	
5	矽酸鹽	mg SiO ₂ /L	0.10	
6	氨氮	mg N/L	1.47	
7	導電度	ms/cm	1.88	
以下空白				

(資料來源：104/04/15 廠內放流水分析數據 - 委託元培醫事科技大學環境工程衛生所分析)



所規劃的水回收方案，預計可回收水量為 446 CMD。原自來水用量為 1,800 CMD，方案實施後取水量降至 1,354 CMD；而原排放水量為 893 CMD，改善後排放水量降至 447 CMD，如圖 39 所示。

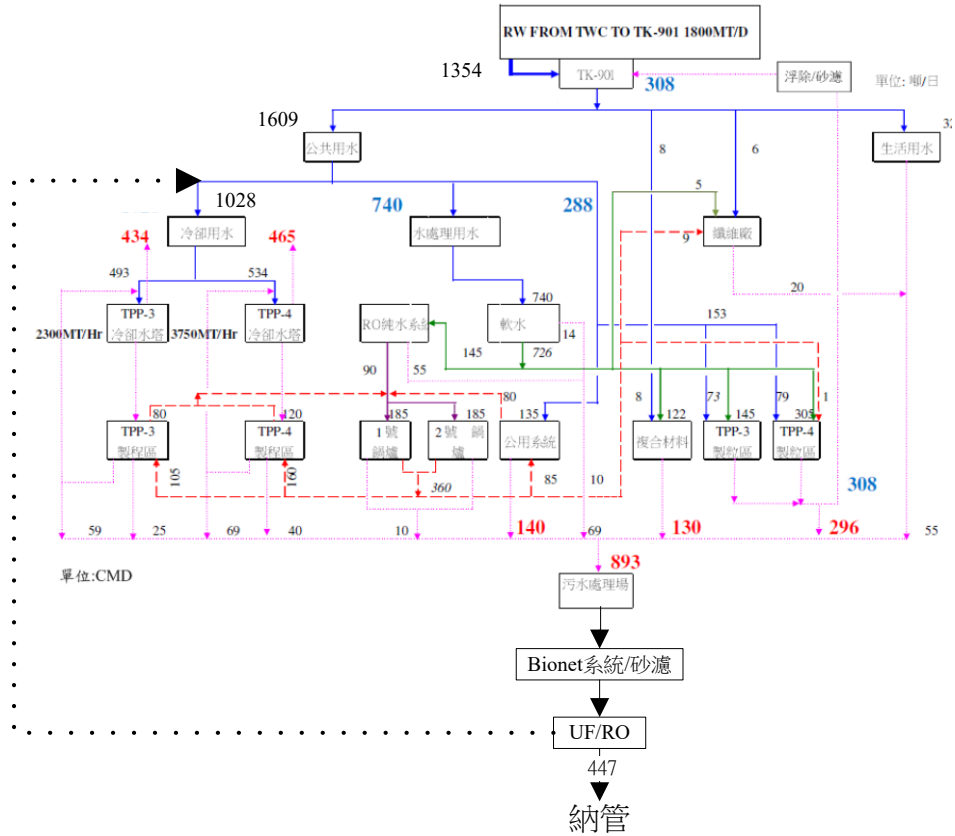


圖 39 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 產水成本分析

輔導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。本團隊建議之節水措施為利用 **BioNET/砂濾** 系統以及 **UF/RO** 系統回收管末廢水，其管線修改費用請廠內自行評估，因需新增節水設備，因此水回收設施經費分析如表 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)
方案一	BioNET/砂濾	893	9,823,000	2.5	2.3	4.8	749,674	1,564,536
	UF/RO	446	11,150,000	5.8	15	20.8	2,441,850	3,386,032
合計	-	-	20,973,000	3.6	6.53	10.13	3,191,524	4,950,568

*設備折抵年限 12 年。

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，原取水量為 1,800 CMD，經由方案實施，取水量降低為 1,354 CMD；大社工業區納管收費為基本水量約 7 元/噸、COD 為 16.5 元/Kg、SS 為 25 元/Kg，原排放量為 893 CMD，經由執行各項水回收方案，排放量降為 447 CMD，而放流水質預估 SS 約 20 mg/L、COD 約 70 mg/L。經由節水方案實施後，每月可節省自來水費約 167,250 元及污水納管費約 115,804 元的開銷，其經濟效益為 3,396,647 元/年，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 水量費	1,800*30 =54,000	54,000*12.5 =675,000	1,354*30 =40,620	40,620*12.5 =507,750	2,007,000
納管 水量費	893*30 =26,790	26,790*7 =187,530	447*30 =13,410	13,410*7 =93,870	1,123,920
納管 COD 費	893*30 =26,790	26,790*0.07*16.5 =30,942	447*30 =13,410	13,410*0.07*16.5 =15,489	185,448
納管 SS 費	893*30 =26,790	26,790*0.02*25 =13,395	447*30 =13,410	13,410*0.02*25 =6,705	80,280
合計	-	906,867	-	623,814	3,396,648

註:1.每月工作天以 30 天計

2.大社工業區放流水納管收費水量為 7 元/噸、COD 為 16.5 元/公斤、SS 為 25 元/公斤。

3. 水回收率提升分析

目前自來水取水量為 1,800 CMD，排放量為 893 CMD，經由方案實施後，估計回收水量為 446 CMD，自來水取水量可由每日 1,800 噸下降至 1,354 噸。改善後全廠回收率 R2 可由 34.5% 提升至 50.73%，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	$98.78\% = \left(\frac{948 + 145,200}{1,800 + 948 + 145,200} \right) \times 100\%$	$34.5\% = \left(\frac{948 + 0}{1,800 + 948} \right) \times 100\%$
實施後	$99.08\% = \left(\frac{1,394 + 145,200}{1,354 + 1,394 + 145,200} \right) \times 100\%$	$50.73\% = \left(\frac{1,394 + 0}{1,354 + 1,394} \right) \times 100\%$
註:	$\text{全廠回收率 (重複利用率, R1)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$ $\text{全廠回收率 (不含循環水量, R2)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$	

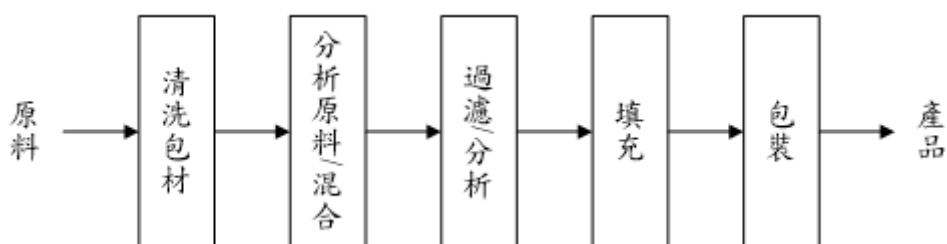
二、案例 B 廠簡介

(一) 案例廠簡介

B 公司成立於 2003 年 6 月，2004 年併入日本某化學株式會社電子化學品部門全球銷售體系之中，2012 年正式成為日本某化學之子公司。B 公司提供半導體及光電相關產業製程所需之高純度電子化學品，並與日本公司技術合作，設置具備先進無塵室生產、分析與研發設施之高純度電子化學品工廠。

(二) 製程流程

B 公司製程包含化學藥劑製造及包材清洗，生產流程如圖 40 所示。製程主要用水在包材清洗，並有一部分作為原料消耗於產品中。



■ 圖 40 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

依廠商人員提供資料並加以研討計算後，得知水平衡圖如圖 41 所示，該廠用水量包含 18 CMD 自來水及 312 CMD 工業用水，冷卻用水及製程用水為主要用水單元，且製程用水需經純水系統後使用，廠內原有回收系統但礙於工業區污水下水道導電度限值，故暫停使用。



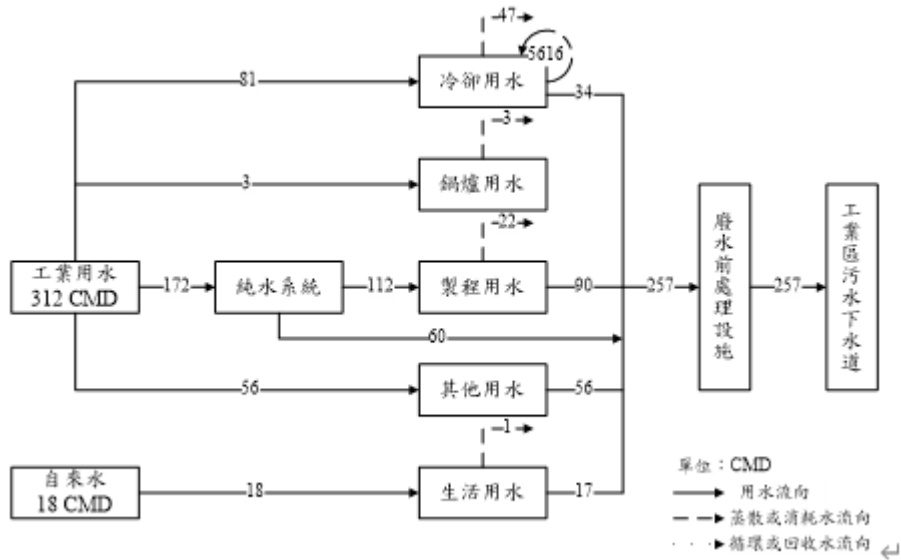


圖 41 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

依據圖 41 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、製程槽車清洗用水回收再利用

製程上有大量清水用於槽車清洗，且估計每月有 10 台清槽車進廠，清洗用水為 50 噸/台，故每月槽車清洗水共 500 噸，此股水全使用純水，排放水質十分優良，建議可統一收集至桶槽，作為冷卻水塔或洗滌塔補充水，回收量約 17 CMD。

方案二、製程桶槽清洗用水循環使用

因 B 廠提供半導體廠各式化學藥品，因此舊桶槽回收清洗用水占廠內大宗，且為顧及化學藥品品質必須經多段清洗。考量品質及節水兩項因素，建議廠商將最後一段相對潔淨的清洗水收集，回用作為第一段沖洗之用，初步估計可節省 9 CMD 用水量。

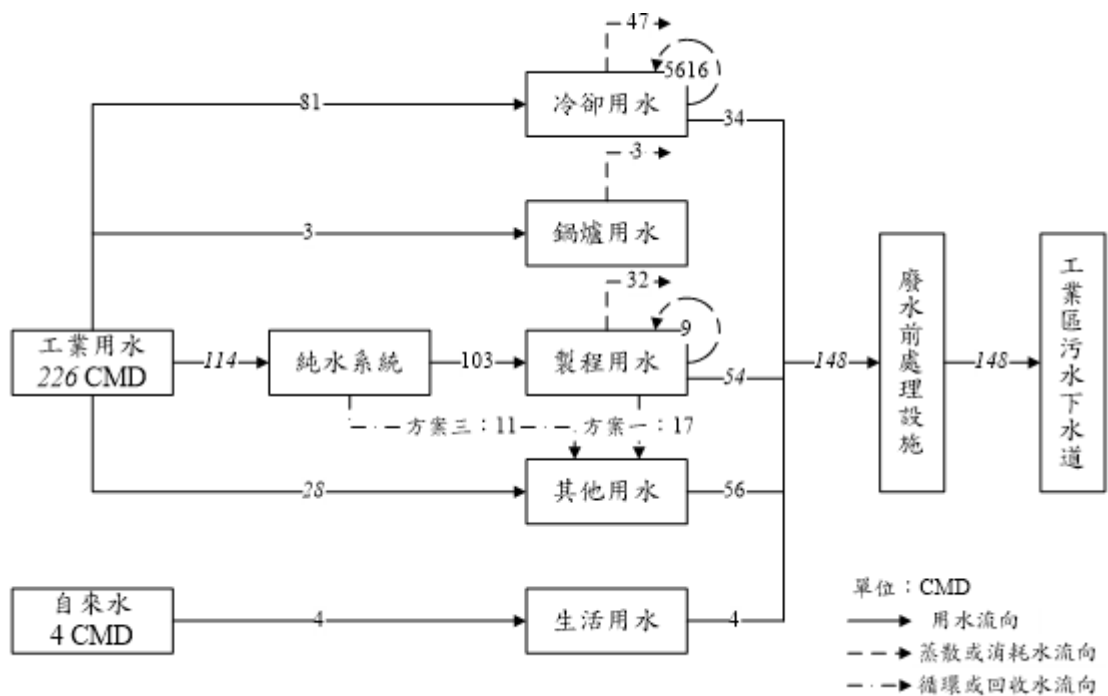
方案三、改善純水系統，回收 RO 濃縮水

目前廠內純水系統無前處理設備，至使 RO 濃縮水無法回收，全部排入廢水處理廠，故廠內人員規劃於今年度改善純水系統，增設 2B3T 系統作為前處理，提高 RO 系統入水水質，並將 RO 濃縮水回收作為冷卻用水或洗滌塔用水，除此之外，亦建議在 2B3T 系統興建時將正洗水回收納入，預先配置管線及寫入電控介面。經計算，維持製程用水量，增設 2B3T 系統可將 RO 回收率提高至 90%，不僅降低工業用水量使用量也減少污水排放量，估計工業用水量可降低至 114 CMD，RO 濃縮水量可全數回收再使用，回收量達 11 CMD。

方案四、生活用水減量

廠內員工總計 81 人，如以水利署每人每日一般辦公用水量 50 L 計算，生活用水量估計約 4 CMD，與現有 18 CMD 有相當大落差，建議重新檢視生活用水量，確保管線無滲漏，及掌控用水量避免有浪費之虞。如確實掌握生活用水量至 4 CMD，則節水量可達 14 CMD。

所規劃的水回收方案，可將工業用水量由 312 CMD 降至 226 CMD，自來水量由 18 CMD 降至 4 CMD，同時納管水量由 257 CMD 降至 148 CMD，節水量提升至 51 CMD。改善後水平衡圖如圖 42 所示。



■ 圖 42 案例 B 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

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，本團隊建議之節水措施，包含製程清洗水回收再利用及純水系統改善並回收 RO 濃縮水，三項改善措施除 2B3T 系統興建（廠內已完成規劃及發包）外，其餘皆為配管費用。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為工業用水及自來水，兩項水源收費皆為 12.5 元/噸，依提供資料計算後，納管水價為 36.2 元/噸，原工業用水及自來水取水量共計 330 CMD，納管水量為 257 CMD，經節水診斷改善後，工業用水及自來水取水量可下降至 230 CMD，納管水量下降至 148 CMD，改善前後用水費變化如表 24 所示。

表 24 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)		
工業用水費	312×30 =9,360	9,360×12.5 =117,000	226×30 =6,780	6,780×12.5 =84,750	32,250	387,000
自來水量費	18×30 =540	540×12.5 =6,750	4×30 =120	120×12.5 =1,500	5,250	63,000
廢水處理費	257×30 =7,710	7,710×8 =61,680	148×30 =4,440	4,440×8 =35,520	26,160	313,920
納管水量費	257×30 =7,710	7,710×36.2 =279,102	148×30 =4,440	4,440×36.2 =160,728	118,374	1,420,488
合計	—	433,692	—	264,738	168,954	2,027,448

註：1.每月工作天以 30 天計。

2.以工業用水水價 12.5 元/噸，自來水價 12.5 元/噸，廢水處理費以 8 元/噸，納管費用 32.2 元/噸估算。

3. 水回收率提升分析

該廠用水量（工業用水及自來水）原為 330 CMD，排放量為 257 CMD，冷卻循環用水量為 5616 CMD，無回收水量。預計經過節水診斷改善後，節水量及回收量分別提高至 23 CMD 及 28 CMD，用水量及排放量各降低為 230 CMD 及 148 CMD，全廠回收率 R2 由 0% 提高至 13.86%，有關水回收方案實施前後水回收率變化如表 25 所示。

表 25 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	$94.45\% = \left(\frac{0+5,616}{330+0+5,616} \right) \times 100\%$	$0\% = \left(\frac{0+0}{330+0+0} \right) \times 100\%$
實施後	$96.09\% = \left(\frac{37+5,616}{230+37+5,616} \right) \times 100\%$	$13.86\% = \left(\frac{37+0}{230+37+0} \right) \times 100\%$
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）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$		





第五章 參考文獻

1. Enviromatch, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
2. Fenton 氧化 ·
<https://wenku.baidu.com/view/8342b70d90c69ec3d4bb7502.html> · 2017
3. MGC Contractors, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
4. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
5. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency 2009
6. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
7. 中原大學薄膜技術研發中心 · 水處理用薄膜模組及其應用
http://setsg.ev.ncu.edu.tw/Portals/0/workshop/20100421_%E6%B0%B4%E8%99%95%E7%90%86%E7%94%A8%E8%96%84%E8%86%9C%E6%A8%A1%E7%B5%84%E5%8F%8A%E5%85%B6%E6%87%89%E7%94%A8.pdf
8. 中華民國工業安全衛生協會 · 塗料製造業作業危害及預防對策 ·
<http://www.isha.org.tw/wordpress/wp-content/uploads/2016/06/44.pdf>
9. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
10. 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>
11. 行政院主計處 · 中華民國行業標準分類 · 2016
12. 行政院農業委員會 · 農藥管理法 · 2015
13. 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局 · 農藥資訊服務網 ·
https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_3.aspx · 2017
14. 行政院環境保護署 · 化學製品製造業特定行業別事業廢棄物清理計畫書填報及審查參考手冊 · 2013

15. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，環境用藥簡介及管理，
<https://www.tcsb.gov.tw/cp-107-360-14bbe-1.html>，2017
16. 李中光等，淺談生物活性碳在廢水處理中之應用，環保簡訊，2015
17. 李光中等，電混凝技術在廢水處理中之應用，桃園大學校院產業環保技術服務團，第39期環保簡訊
18. 佺友股份有限公司，<http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
19. 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
20. 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
21. 財政部南區國稅局，105年度化妝品業之製造業原物料耗用通常水準調查報告，2016
22. 財經知識庫，
<https://www.moneydj.com/KMDJ/wiki/wikiViewer.aspx?keyid=15774b5b-cfd8-4723-81dd-6fc7cbde54cc>
23. 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
24. 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
25. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
26. 經濟部工業局，化學材料製造業污染防治法規與處理技術手冊，2014
27. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
28. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
29. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
30. 經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊-化學製品製造業，2011
31. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
32. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2015
33. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004

- 
34. 經濟部水利署，節水紀實，2012
 35. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
 36. 雷鈹科技股份有限公司，各種純化方法及其水質上的比較，2017
 37. 電混凝雜質去除率，<http://www.airglobalenergy.com/water-treatment-electrocoagulation/>
 38. 蔡文珊，農藥毒理特性與管理，行政院農業委員會-農政與農情，第 113 期，2001
 39. 衛生福利部食品藥物管理署，化粧品範圍及種類表，2017
 40. 衛生福利部食品藥物管理署，化粧品衛生管理條例，2016
 41. 複合無機顏料，
<https://baike.baidu.com/item/%E5%A4%8D%E5%90%88%E6%97%A0%E6%9C%BA%E9%A2%9C%E6%96%99>
 42. 誼鴻環保科技有限公司，http://www.e-horng.com.tw/product_11.html
 43. 鄭東文、林智偉，科技大觀園，生活處處皆過濾：薄膜過濾家族，2014
 44. 鄭東文、林智偉，薄膜過濾家族，科學發展，2014
 45. 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
 46. 謝貞雄，中華百科全書，2004
 47. 張王冠，高效率生物網膜 (BioNET®)，水與廢水回收再利用實務技術講習班，2003



其他化學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、台灣染料顏料工業同業公會

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>

出版日期：中華民國 108 年 12 月

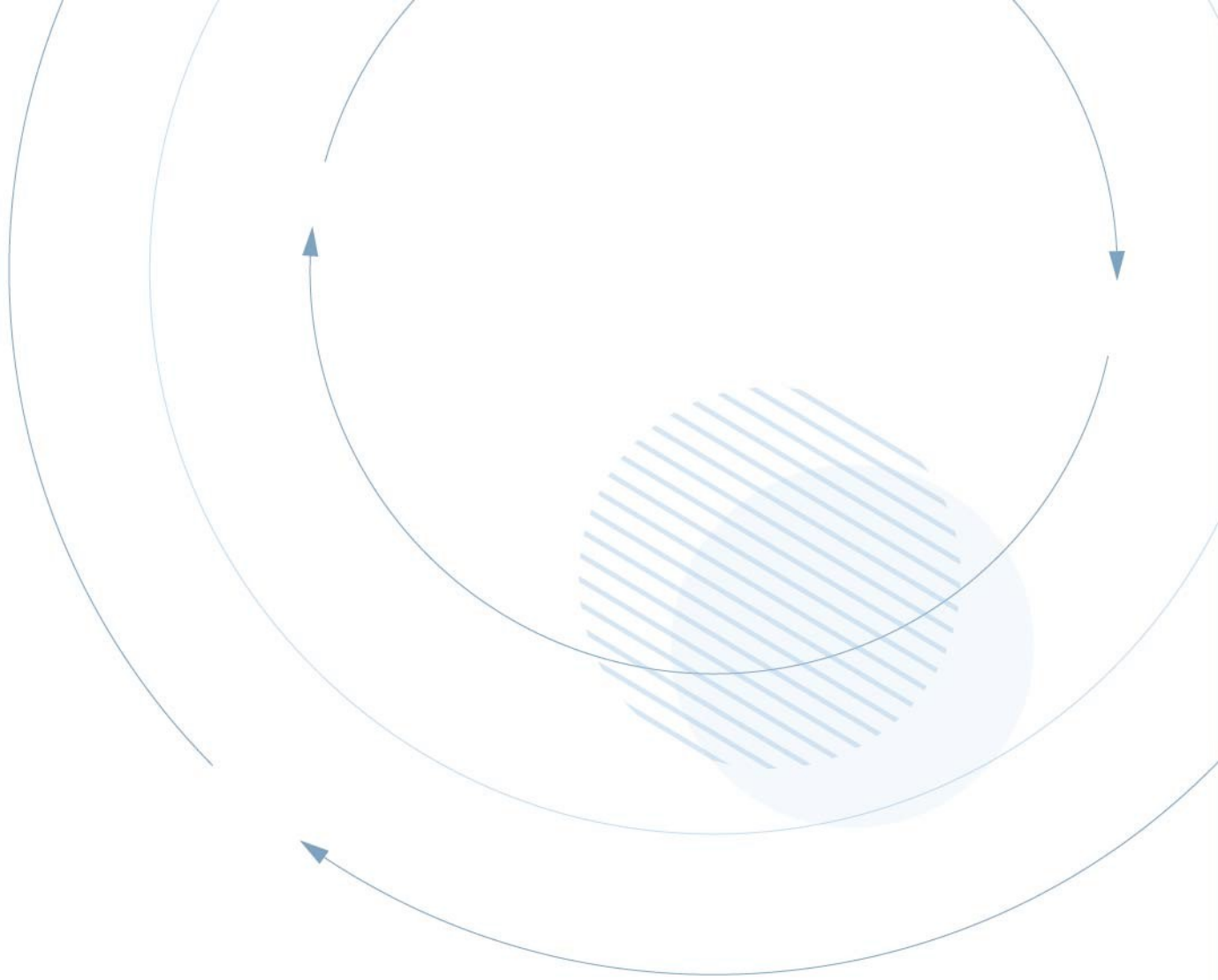
版次：初版



其他化學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

