

機械設備製造業

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	6
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	20
(一) 用水最適化	20
(二) 水回收技術	24
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	31
(一) 用水最佳化	31
(二) 水回收技術	33
四、 放流水回收再利用技術	35
(一) 水回收技術	35
五、 其他水回收技術	39
(一) 生活用水減量	39
(二) 廠內用水管理	40
(三) 雨水貯留供水系統	40
(四) 區域水資源整合	42
(五) 裝設連續監控系統	43
六、 小結	44
第四章 水回收再利用案例介紹	45
一、 案例 A 廠簡介	45
(一) 案例廠簡介	45
(二) 製程流程	45
(三) 廠內用水管理情形	45



(四) 用水效率提升方案	46
(五) 成本效益分析	47
二、 案例 B 廠簡介	49
(一) 案例廠簡介	49
(二) 製程流程	49
(三) 廠內用水管理情形	50
(四) 用水效率提升方案	51
(五) 成本效益分析	52
第五章 參考文獻	53

圖 目 錄

	頁次
圖 1 機械設備製造業生產價值百分比	5
圖 2 機械設備製造修配業製造流程圖	7
圖 3 機械設備製造業用水結構分析	8
圖 4 機械設備製造業製程廢水水質特性	15
圖 5 製程用水最適化及水回收技術	15
圖 6 研削屑固化系統簡易流程圖	16
圖 7 砂濾過濾系統設備圖	17
圖 8 電混凝處理系統之原理示意圖	18
圖 9 電混凝處理系統設備圖	18
圖 10 離子交換樹脂系統原理示意圖	19
圖 11 冷卻用水最適化及水回收技術	20
圖 12 濃縮倍數與排放損失關係圖	21
圖 13 冷卻水塔加藥示意圖	22
圖 14 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	23
圖 15 冷卻塔蒸發回收系統圖	24
圖 16 消霧節水冷卻水塔設備圖	25
圖 17 旁流過濾系統處理原理示意圖	26
圖 18 陶瓷球處理系統理論圖	28
圖 19 陶瓷球處理系統設備圖	28
圖 20 電透析薄膜處理系統原理示意圖	29
圖 21 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖	30
圖 22 鍋爐用水最適化及水回收技術	31
圖 23 開放式冷凝水回收系統原理示意圖	33
圖 24 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖	34
圖 25 放流水回收技術圖	35
圖 26 各種濾膜去除物質比較	36
圖 27 微過濾處理系統設備圖	36
圖 28 超過濾處理系統設備圖	37
圖 29 奈米過濾處理系統設備圖	37
圖 30 逆滲透處理系統設備圖	37
圖 31 其他水回收技術	39
圖 32 用水管理模式及效益	40

圖 33 雨水回收流程	41
圖 34 區域水資源整合型態示意圖	42
圖 35 監測連線傳輸設置圖	43
圖 36 案例 A 廠製程流程圖	45
圖 37 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	46
圖 38 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	47
圖 39 案例 B 廠製造流程圖	49
圖 40 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前)	50
圖 41 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)	51

表 目 錄

	頁次
表 1 機械設備製造業業類別及定義	2
表 2 產業園區用水管理作業原則摘要	10
表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	11
表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表	12
表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值	13
表 6 濃縮倍數與節省水耗消耗比較表	21
表 7 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	25
表 8 冷卻水塔蒸發回收之成本分析	25
表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較表	27
表 10 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例	30
表 11 倒極式電透析系統回收冷卻排放水之成本分析	30
表 12 開放式及密閉式冷凝水回收系統差異分析	34
表 13 各薄膜過濾特性比較分析表	38
表 14 雨水處理設備與使用程度關係	41
表 15 雨水截流系統設計值	41
表 16 機械設備製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整	44
表 17 水回收設施經費分析	47
表 18 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	48
表 19 水回收方案實施前後水回收率變化	48
表 20 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	52
表 21 水回收方案實施前後水回收率變化	52



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)，機械設備製造業為從事產業專用及通用機械設備製造之行業，如金屬加工用機械、通用機械設備及其他專用機械設備製造業等之行業，依行業標準分類別可細分如表 1 所示。另依經濟部統計處資料顯示，機械設備製造業產值約為新台幣 7,231 億元，由於本行業別分類項目多樣，因此占總產值前三大項目分別為：其他通用機械設備製造業 17.03%、電子及半導體生產用機械設備製造業 15.41%以及金屬切削工具機製造業 15.76%，合計約占機械設備製造業產值 48.2%，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)。

依產業特性而言，本製造業具有以下特性：與其他產業的關聯度高、工程程序複雜、產業融合度高、資本密集度高形成進入障礙、技術密集度高、投資回收較慢、高度依賴專業人才、產品生命週期漸趨縮短、具有垂直及水平體系關係、工業化程度發展的指標等特性 (經濟部中小企業處，培育育成專業人才計畫-產業分析參考用書，2010)。

另依產值規模、國際競爭力及發展潛力等觀點來看，鍋爐及原動機製造修配業、金屬加工用機械製造修配業、專用生產機械製造修配業及通用機械設備製造修配業皆為我國機械設備業的代表性產業 (經濟部工業局，機械設備製造修配業安全衛生自主管理實務手冊，2004)。且我國機械設備製造修配業體系為中下游的企業，因此大多由中小企業組成的產業聚落，上下游的分工完整，創造出舉世聞名的經營彈性與效率，成為其他開發中國家想發展該國機械工業效法的對象。但也因業者未能在產銷上有所突破，或是擴大研發能量的投資，當前正面臨產品同質性太高，彼此在國際市場殺價競爭的產業危機 (產業價值鏈資訊平台)。



表 1 機械設備製造業類別及定義

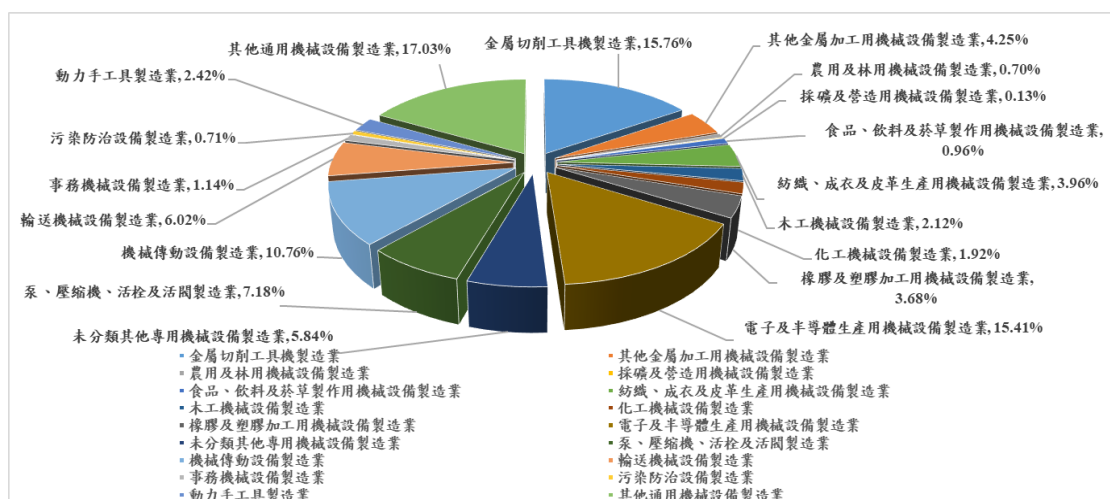
分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	29			機械設備製造業 從事產業專用及通用機械設備製造之行業；機械設備專用之主要零組件製造原則上亦歸入本類。 不包括： 機械設備之維修及安裝歸入 3400 細類「產業用機械設備維修及安裝業」。
		291		金屬加工用機械設備製造業 從事冶金機械、金屬切削工具機及其他金屬加工用機械設備製造之行業；用於硬橡膠、硬塑膠、冷玻璃等材料之加工機械設備製造亦歸入本類。 不包括： 裝配於金屬加工用機械之可更換工具製造歸入 2511 細類「金屬刀具及手工工具製造業」。 金屬加工用機械設備之維修及安裝歸入 3400 細類「產業用機械設備維修及安裝業」。
			2911	冶金機械製造業 從事冶金機械製造之行業，如金屬冶煉設備、鑄造機、壓鑄機、軋壓機等製造。 不包括： 鑄造模具製造歸入 2512 細類「金屬模具製造業」。 伸線機製造歸入 2919 細類「其他金屬加工用機械設備製造業」。
			2912	金屬切削工具機製造業 從事金屬切削用工具機製造之行業，如金屬磨床、鑽床、插床、刨床、車床、搪床、銑床、磨光機、拋光機等製造。 不包括： 鑄造模具製造歸入 2512 細類「金屬模具製造業」。 動力手工工具製造歸入 2938 細類「動力手工工具製造業」。
			2919	其他金屬加工用機械設備製造業 從事 2911 及 2912 細類以外金屬加工用機械設備製造之行業，如伸線機、鍛造機、沖床、熱處理機、電鍍機等製造。 不包括： 鑄造模具製造歸入 2512 細類「金屬模具製造業」。 動力手工工具製造歸入 2938 細類「動力手工工具製造業」。
		292		其他專用機械設備製造業 從事農業、林業、礦業、土石採取業、營建工程業、製造業等專用機械設備製造之行業。 不包括： 金屬加工專用機械設備製造歸入 291 小類「金屬加工用機械設備製造業」之適當細類。 輸送設備製造歸入 2935 細類「輸送機械設備製造業」。 專用機械設備之維修及安裝歸入 3400 細類「產業用機械設備維修及安裝業」。
			2921	農用及林用機械設備製造業 從事農業及林業專用機械設備製造之行業，如曳引機、除草機、分級機等製造。 不包括： 非動力農用手工具製造歸入 2511 細類「金屬刀具及手工工具製造業」。 營造用曳引機製造歸入 2922 細類「採礦及營造用機械設備製造業」。 供生產食品、飲料用之種子、穀物等之清洗、分類或分級之機械、奶油分離器製造歸入 2923 細類「食品、飲料及菸草製作用機械設備製造業」。 農用輸送機械製造歸入 2935 細類「輸送機械設備製造業」。 動力手工工具製造歸入 2938 細類「動力手工工具製造業」。
			2922	採礦及營造用機械設備製造業 從事礦業、土石採取業及營建工程業專用機械設備製造之行業，如採鑽

分類編號			行業名稱及定義
			機、鑿井機、選礦機、碾礦機、混凝土攪拌機、挖土機、推土機、打樁機等製造。 不包括： 農業或林業用曳引機製造歸入 2921 細類「農用及林用機械設備製造業」。 起重機製造歸入 2935 細類「輸送機械設備製造業」。 預拌混凝土車製造歸入 3010 細類「汽車製造業」。
		2923	食品、飲料及菸草製作用機械設備製造業 從事食品、飲料及菸草製作用機械設備製造之行業，如肉類加工機、鮮乳殺菌機、磨米機、碾米機、水果壓碎及榨汁機、製茶機、製菸機等製造。 不包括： 包裝機、打包機、秤重機械及產業用冷凍或冷藏設備製造歸入 2939 細類「其他通用機械設備製造業」。
		2924	紡織、成衣及皮革生產用機械設備製造業 從事紡織、成衣及皮革生產專用機械設備製造之行業，如軋棉機、清棉機、紡紗機、織布機、編織機、織帶機、印花機、上膠機、搖紗機、裁剪機、燙壓機、縫紉機、熟皮鞣製機、熟皮整理機等製造；產業用洗衣設備製造亦歸入本類。 不包括： 家用洗衣機及乾衣機製造歸入 2859 細類「其他家用電器製造業」。 印刷機械製造歸入 2929 細類「未分類其他專用機械設備製造業」。
		2925	木工機械設備製造業 從事木工專用機械設備製造之行業，如接榫機、刨皮機、刨木機、鋸木機、木板磨平機等製造。 不包括： 鋸類手工工具製造歸入 2511 細類「金屬刀具及手工工具製造業」。 動力手工工具製造歸入 2938 細類「動力手工工具製造業」。
		2926	化工機械設備製造業 從事化工專用機械設備製造之行業，如捏合機、製藥機械、遠心分離機、油漆製造機、同位素分離器等製造。 不包括： 石油精煉廠、化學工廠及酒廠之蒸餾或精餾設備製造歸入 2939 細類「其他通用機械設備製造業」。
		2927	橡膠及塑膠加工用機械設備製造業 從事塑膠及橡膠加工專用機械設備製造之行業，如擠型機、押出機、射出成型機、輪胎製造機等製造。
		2928	電子及半導體生產用機械設備製造業 從事電子及半導體生產專用機械設備製造之行業，如電子生產設備、半導體生產設備、印刷電路板生產設備、液晶顯示器生產設備等製造。 不包括： 半導體測試儀器製造歸入 2751 細類「量測、導航及控制設備製造業」。
		2929	未分類其他專用機械設備製造業 從事 2921 至 2928 細類以外其他專用機械設備製造之行業，如紙張加工機、紙製品製造機、製版機、排版機、印刷機、裝訂機、製磚機、陶瓷製造機、玻璃吹製機、燈泡製造機等製造。 不包括： 家用電器製造歸入 285 小類「家用電器製造業」之適當細類。 影印機製造歸入 2936 細類「事務機械設備製造業」。
	293		通用機械設備製造業 從事原動機、流體傳動設備、泵、壓縮機、活栓、活閥、機械傳動設備、輸送機械設備、事務機械設備、污染防治設備、動力手工工具等廣泛用於產業之通用機械設備製造之行業；機械設備通用零件製造亦歸入本類。 不包括：

分類編號			行業名稱及定義
			通用機械設備之維修及安裝歸入 3400 細類「產業用機械設備維修及安裝業」。
		2931	原動機製造業 從事原動機製造之行業，如引擎、內燃機、蒸汽渦輪機、水力渦輪機、鍋爐渦輪機組、渦輪發電機組等製造；內燃機之活塞、活塞環、汽化器、進氣及排氣閥等製造亦歸入本類。 不包括： 發電機（渦輪發電機組除外）製造歸入 2810 細類「發電、輸電及配電機械製造業」。 內燃機之電力設備及其組件製造歸入 2890 細類「其他電力設備及配備製造業」。 汽車、機車及飛機引擎製造分別歸入 3010 細類「汽車製造業」、3121 細類「機車製造業」及 3190 細類「未分類其他運輸工具及其零件製造業」。
		2932	流體傳動設備製造業 從事流體傳動設備製造之行業，如液壓與氣動泵、液壓與氣動馬達、液壓與氣壓缸、液壓與氣壓閥等製造。 不包括： 壓縮機、非液壓與非氣壓（或非氣動）之泵或閥製造歸入 2933 細類「泵、壓縮機、活栓及活閥製造業」。 機械傳動設備製造歸入 2934 細類「機械傳動設備製造業」。
		2933	泵、壓縮機、活栓及活閥製造業 從事泵、壓縮機、活栓及活閥製造之行業，如液體用泵、真空泵、氣體壓縮機、工業用活栓及活閥、衛浴設備用活栓及活閥、加熱設備用活栓及活閥等製造。 不包括： 內燃機之進氣及排氣閥製造歸入 2931 細類「原動機製造業」。 液壓與氣壓泵或閥等流體傳動設備製造歸入 2932 細類「流體傳動設備製造業」。
		2934	機械傳動設備製造業 從事機械傳動裝置及其零配件製造之行業，如滾珠、軸承、齒輪、變速機、離合器、聯軸節、飛輪、滑輪、傳動鏈等製造。 不包括： 鋼鐵鏈製造歸入 2592 細類「金屬彈簧及線製品製造業」。 汽車用離合器及傳動系統製造歸入 3030 細類「汽車零件製造業」。 機車用離合器及傳動組製造歸入 3122 細類「機車零件製造業」。
		2935	輸送機械設備製造業 從事物品輸送及搬運設備製造之行業，如吊車、滑車、電梯、絞車、輸送機、托板車、起重機、升降機、堆高機等製造。 不包括： 鏟土機、推土機及用於地面下連續運轉之升降機與輸送機製造歸入 2922 細類「採礦及營造用機械設備製造業」。 起重船製造歸入 3110 細類「船舶及浮動設施製造業」。 購物車製造歸入 3190 細類「未分類其他運輸工具及其零件製造業」。 電梯及升降機安裝歸入 4331 細類「機電、電信及電路設備安裝業」。
		2936	事務機械設備製造業 從事事務機械設備製造之行業，如影印機、打孔機、碎紙機、打字機、收銀機、支票機、數鈔機、封信機、地址機等製造。 不包括： 電腦及其週邊設備製造歸入 271 小類「電腦及其週邊設備製造業」之適當細類。 結合列印、傳真、掃描及影印等多功能事務機械製造歸入 2719 細類「其他電腦週邊設備製造業」。 傳真機製造歸入 2729 細類「其他通訊傳播設備製造業」。
		2937	污染防治設備製造業 從事污染防治設備製造之行業，如噪音防制設備、空氣污染防制設備、廢

分類編號			行業名稱及定義
			水處理設備、污水處理設備等製造。
		2938	動力手工具製造業 從事動力手工具製造之行業，如手提之電鋸、電鑽、電動磨輪機、電動拋光機、氣動剪、氣動打釘機等製造。 不包括： 非動力手工具及裝配於動力手工具之可更換工具製造歸入 2511 細類「金屬刀具及手工具製造業」。 電動熔接及焊接設備製造歸入 2890 細類「其他電力設備及配備製造業」； 非電動熔接及焊接設備製造歸入 2939 細類「其他通用機械設備製造業」。
		2939	其他通用機械設備製造業 從事 2931 至 2938 細類以外通用機械設備製造之行業，如產業用冷凍空調設備、液體過濾或淨化設備、蒸餾或精餾設備、非電動熔接及焊接設備、磅秤、地磅、噴槍、滅火器、噴砂機、蒸氣清潔機、包裝機、打包機、工業用電扇、工業用烘爐、熱交換器、氣體產生器、自動販賣機、產業通用機器人等製造。 不包括： 鍋爐、鍋爐附屬之散熱器裝置製造歸入 2531 細類「鍋爐、金屬貯槽及壓力容器製造業」；汽車專用散熱器製造歸入 3030 細類「汽車零件製造業」。 高敏感度（實驗室用）天平製造歸入 2751 細類「量測、導航及控制設備製造業」。 家用冷氣機製造歸入 2851 細類「家用空調器具製造業」。 家用冷凍或冷藏設備、家用電扇、家用飲水設備、家用服務型機器人製造歸入 2859 細類「其他家用電器製造業」。 電動熔接及焊接設備製造歸入 2890 細類「其他電力設備及配備製造業」。 農業專用噴霧機械製造歸入 2921 細類「農用及林用機械設備製造業」。 污染防治設備製造歸入 2937 細類「污染防治設備製造業」。

（資料來源：行政院主計處，中華民國行業標準分類，2017）



（資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018）

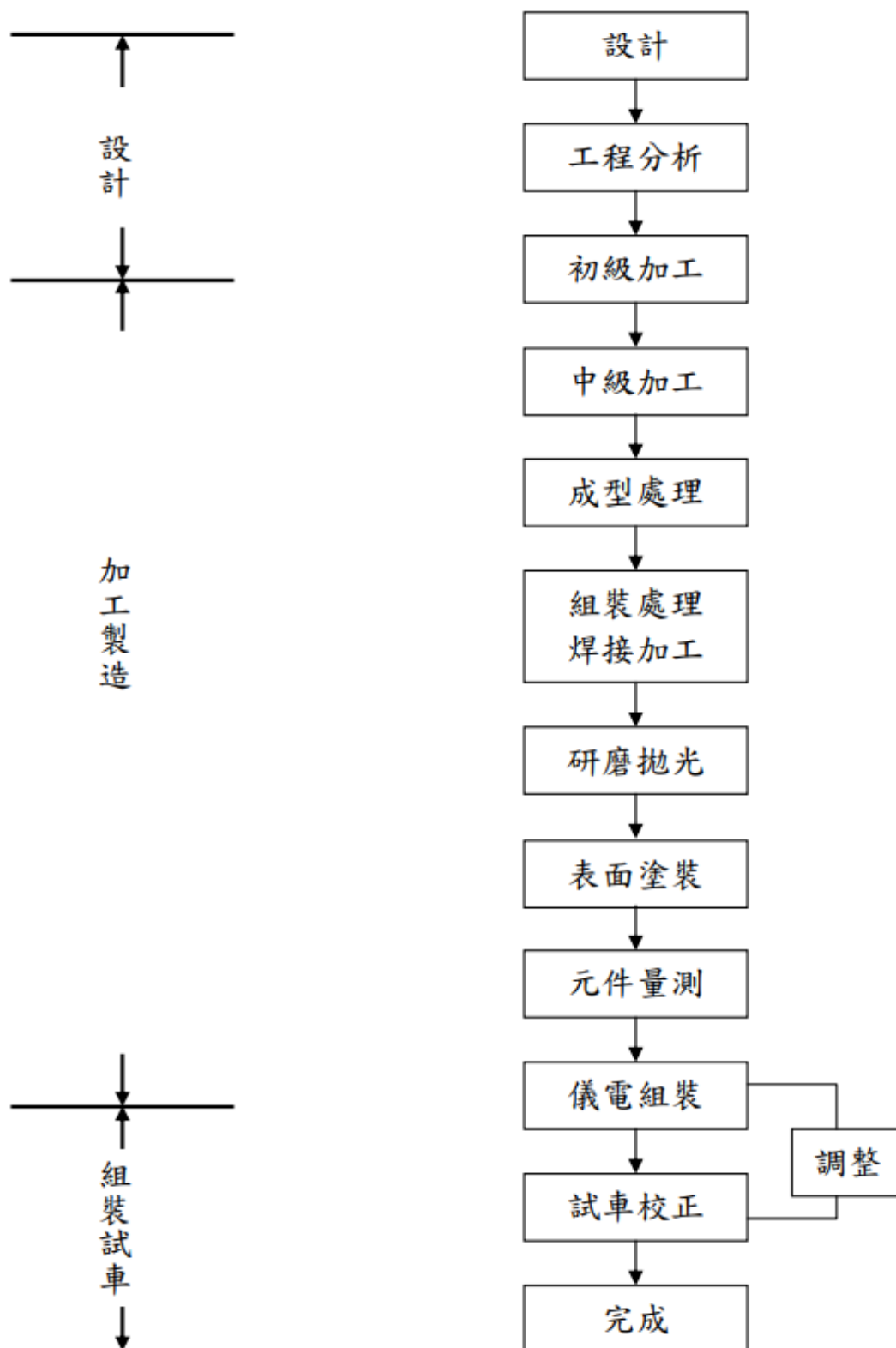
圖 1 機械設備製造業生產價值百分比

二、製程特性

機械設備的組成係由若干個別元件組合而成，而每個元件都有其特殊功能，依照組成用途以及使用端的需求性，進而發展出若干種類設備，雖然設備種類性質有所差異，但結構工具機械結構皆具備以下特性（謝志誠，機械製造第 13 章工具機概述）：

1. 架構的堅固性必須足夠。
2. 必須易於操作。
3. 必須易於補充零件。
4. 必須易於將切下的金屬屑片除去。
5. 必須維持足夠的安全性。
6. 必須維持足夠的抗變性（以確保加工工件尺寸的精度）。

由於機械設備製造所含蓋的範圍甚大，生產流程將依據不同功能需求而有所差異，但總體而言可概分為三大類，分別為：設計、選材、生產計畫、製造加工，有關機械設備製造業廠商主要製造流程如圖 2 所示。



（資料來源：勞動部，行業指南目錄-機械設備製造業，2017）

圖 2 機械設備製造修配業製造流程圖

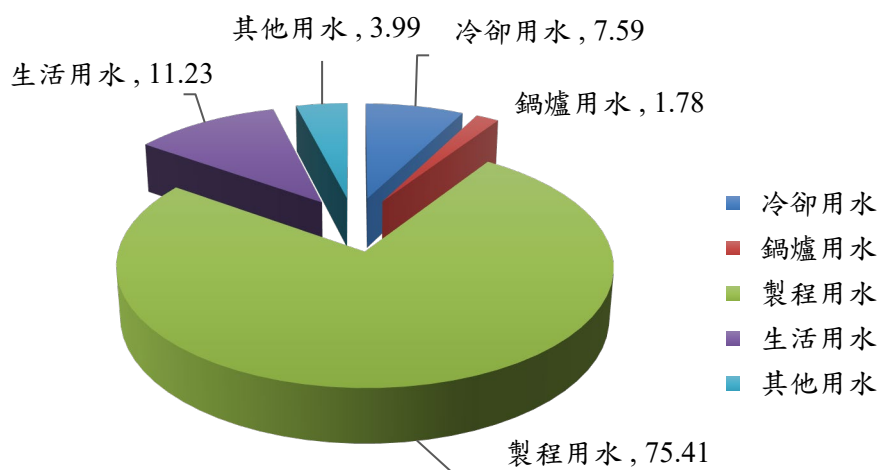


機械設備製造業

產業概況說明

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，機械設備製造業全國占地面積為 1,885.43 公頃，其年用水量可達 27.11 百萬立方公尺（經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017）。機械設備製造業用水結構可分為五大類，分別為製程用水、冷卻用水、鍋爐用水、生活用水以及其他用水等。根據統計資料顯示，由於機械設備製造業於製程作業中，需要使用大量水源，其中又以沖壓研磨製程為最大用水項目，因此製程用水比例可高達 75.41%，用水結構分析如圖 3 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 3 機械設備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 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」。



機械設備製造業

水利三法相關子法、辦法事宜

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

機械設備製造作業中，加工機械、金屬磨床、曳引機等設備生產製造過程中，機械沖壓以及研磨等作業具有高用水量，為機械設備製造作業最大量用水來源，相關製程廢水特性如圖 4 所示，製程用水最適化及水回收技術如圖 5 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

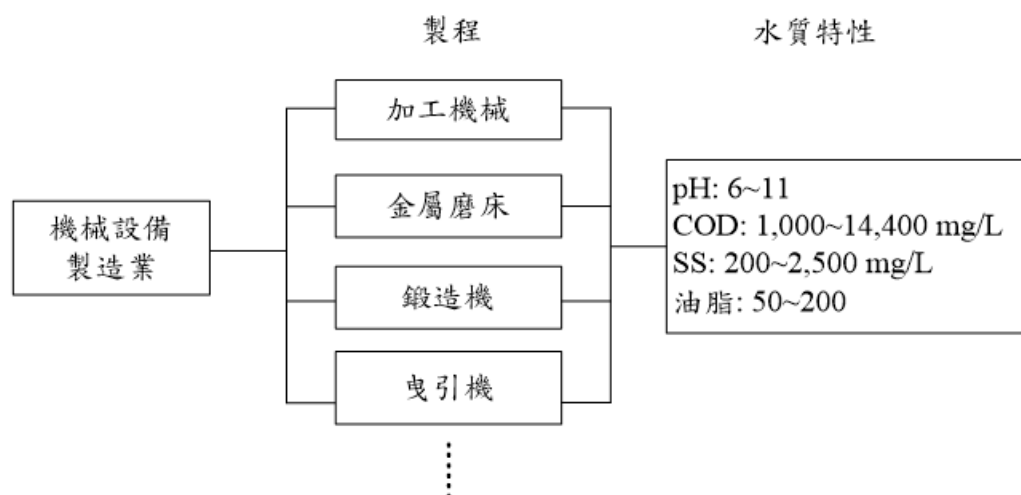


圖 4 機械設備製造業製程廢水水質特性

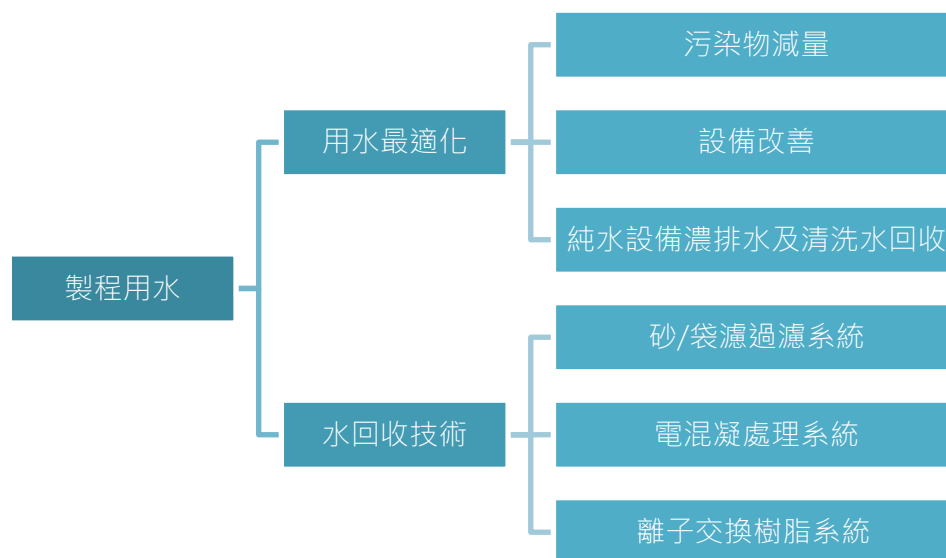


圖 5 製程用水最適化及水回收技術

(二) 水回收技術

1. 砂/袋濾過濾系統

因產業的生產作業特性，在本行業進行拋光研磨所產生的廢水，水中往往含有作業產生之懸浮微粒，此時透過砂/袋濾過濾系統在一定的壓力下，使水源通過該介質進行吸附、截留去除雜質，從而達到過濾的目的。其內裝的填料一般為：石英砂、無煙煤、顆粒多孔陶瓷、錳砂等，使用者可根據實際情況選擇使用，其過濾精度在 $0.005\sim0.01\text{ m}$ 之間，可有效去除膠體微粒及高分子有機物，常見砂過濾設備如圖 7 所示。

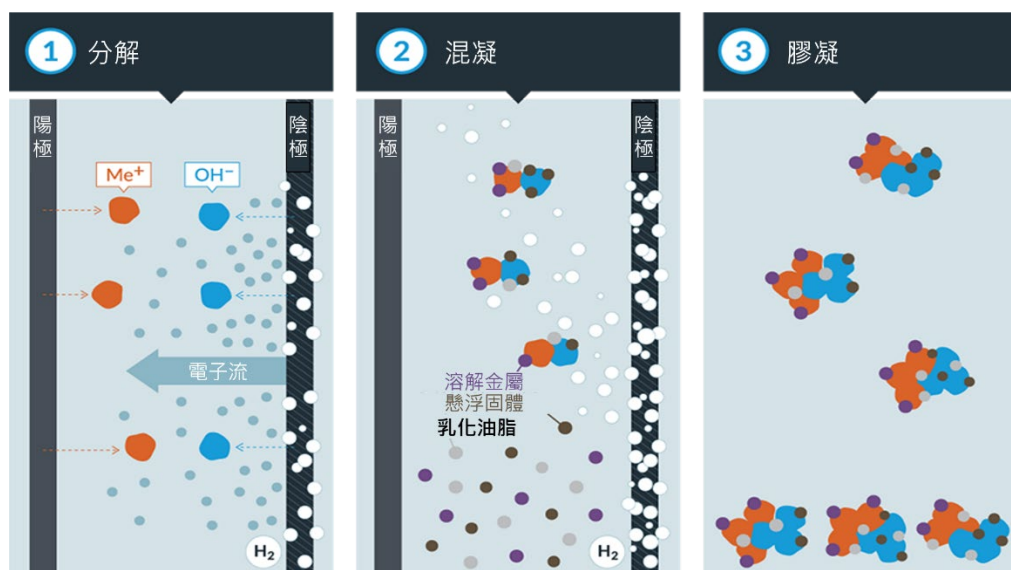


(資料來源：自動逆洗砂濾器，富爾特有限公司)

圖 7 砂濾過濾系統設備圖

2. 電混凝處理系統

電混凝處理系統 (**Electric-coagulation**，簡稱 **EC**) 是一種包含電解、混凝及電場作用，使帶電顆粒濃縮聚集，達到電解層析的效果 (**Electro-decantation**) (邱顯盛，以電化學法處理化學機械研磨廢水，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，2002)，處理原理是透過電解槽中陽極高價金屬離子金屬板，陰極則屬於鈍性金屬板，透過陽極釋放金屬離子於極板及水體中，形成膠羽並與廢水中帶反向電性之顆粒或離子產生吸附或結合的效果，藉此達到攔截顆粒或離子 (Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J. R. and Cocke, D. L., **Electrocoagulation (EC) -science and application**, *Journal of Hazardous Materials*, (B84), pp.29-41)，此技術是一種廣泛用於去除水中總懸浮固體 (**Total Suspended Solids**，簡稱 **TSS**)、重金屬、乳化油、細菌等其他污染物，有關其處理原理如圖 8 所示，實廠運行系統如圖 9 所示。且本技術處理過程通常不需要添加其他化學藥劑，因而較無二次污染物質產生 (柯宏杰，以電解混凝法處理化學機械研磨廢水-影響因子及反應機制，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，2004)，且產生的污泥量少，脫水性佳。



(資料來源：WaterTectonics，What is Electrocoagulation)

圖 8 電混凝處理系統之原理示意圖

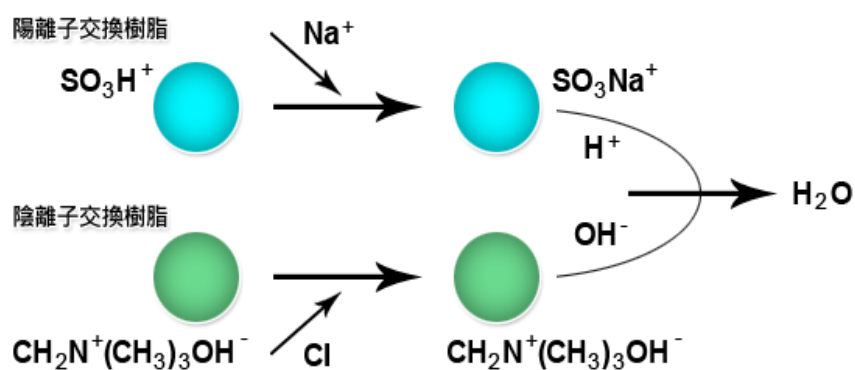


(資料來源：Terawet Green Technologies, Inc.，Electrocoagulation - Using electricity as the electromotive force to drive chemical reactions in a solution for water treatment and TDS)

圖 9 電混凝處理系統設備圖

3. 離子交換樹脂系統

機械設備的生產中，有部分產品的生產（如：發電機設備）作業會進行外殼噴塗工藝，在此作業過程中，由於噴塗作業所產生的廢水多呈酸性且含有多種金屬離子和非金屬離子，經由相關處理程序後，針對水中金屬離子如：金、銀、鉑、汞、鉻、鋅、銅等，透過離子交換樹脂法將原水中的各種無機鹽電離生成的陽（鈣、鎂、銅、鈉等金屬離子）、陰離子（碳酸根、硝酸根、硫酸根等非金屬離子），經過陽、陰樹脂層（離子交換柱內的交換離子劑）時，跟樹脂上的氫離子和氫氧根離子發生置換反應，而被樹脂吸附。從樹脂上置換下來的氫離子和氫氧根離子結合成了水分子（ H_2O ），從而達到去除水中無機鹽類及金屬（每日頭條，離子交換的工作原理），有關此作業原理如圖 10 所示。



（資料來源：雷鈹科技股份有限公司）

圖 10 離子交換樹脂系統原理示意圖



二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水單元主要作用為吸收及轉移熱量，使用水溫度維持作業需求，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 11 為冷卻用水最適化及水回收常見之相關技術。

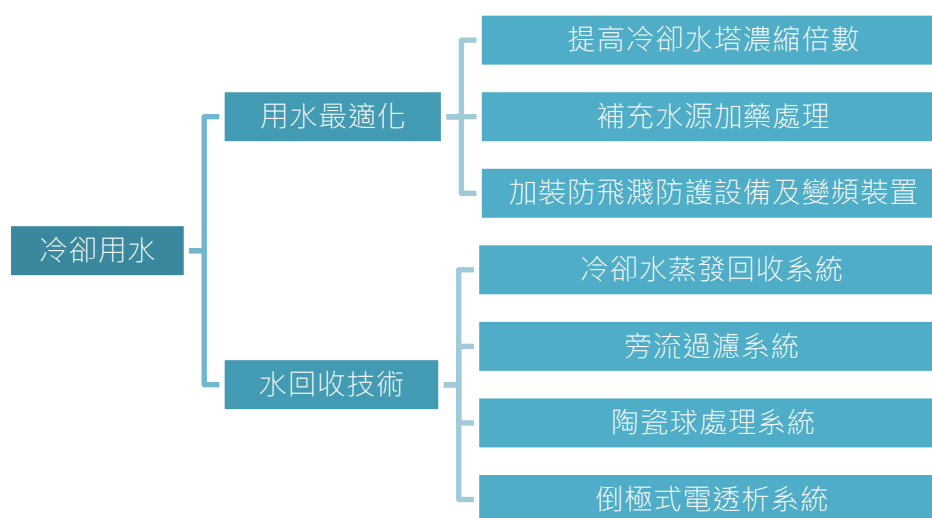


圖 11 冷卻用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 提高冷卻水塔濃縮倍數

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

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

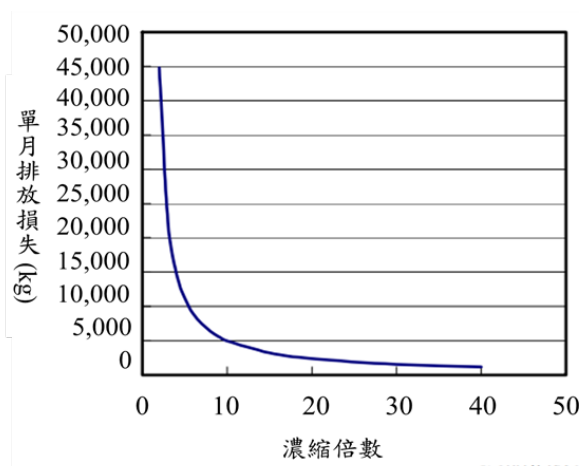
$$= EC_{out} \text{ (排放水導電度)} / EC_{in} \text{ (補充水導電度)}$$

以節約用水觀點而言，提高濃縮倍數，可達到減少排水量、降低加藥量及能源損耗。濃縮倍數節省冷卻用水量之情形如表 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 12 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												
原濃縮倍數	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10	
	1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%	61%	62%	63%	64%
	2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%	42%	43%	44%	45%
	2.5			10%	16%	20%	25%	28%	30%	31%	33%	34%
	3.0				7%	11%	17%	20%	22%	24%	25%	26%
	3.5					5%	11%	17%	17%	18%	20%	21%
	4.0						6%	11%	13%	14%	16%	17%
	5.0							4%	7%	9%	10%	11%
	6.0								3%	5%	6%	7%

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）



（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

圖 12 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 13 所示。

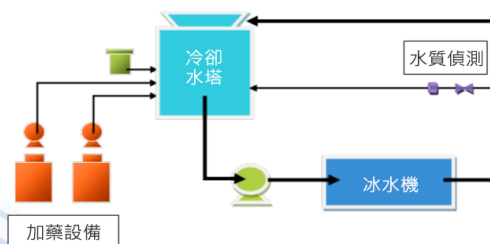
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (**Langelier Saturation Index**，簡稱 **LSI**) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (**pH**)、**Ca** 硬度、**M** 鹼度 (**Malk**) 及總溶解固體 (**Total Dissolved Solids**，簡稱 **TDS**) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}])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

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

LSI>0，水體中可能產生碳酸鈣沉澱，易形成水垢 (**Scaling**)；可添加抗垢劑如有機磷酸鹽及硫酸，將水中部份的重碳酸鈣 ($Ca(HCO_3)_2$) 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。

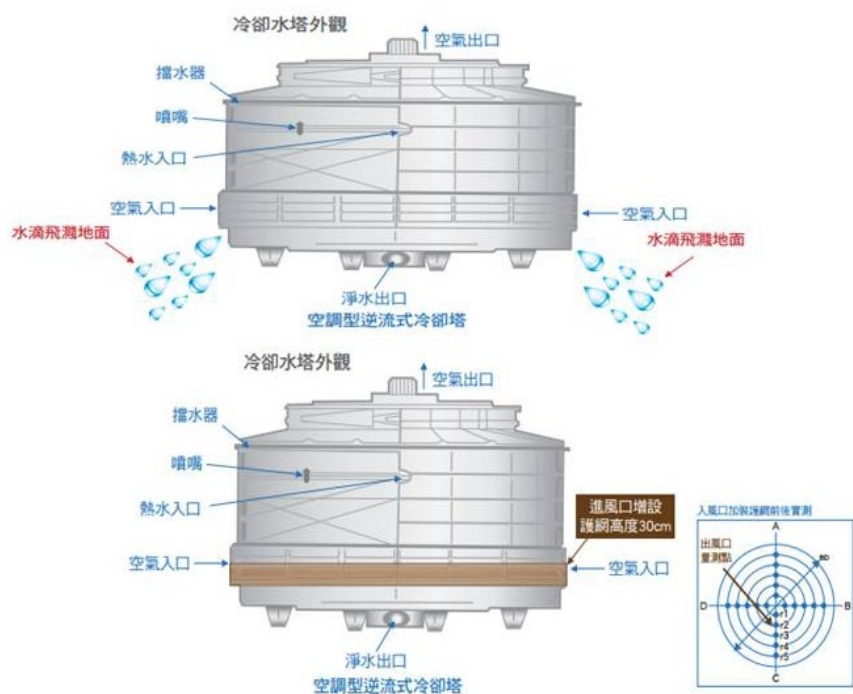


(資料來源：佺友股份有限公司)

圖 13 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 14 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)

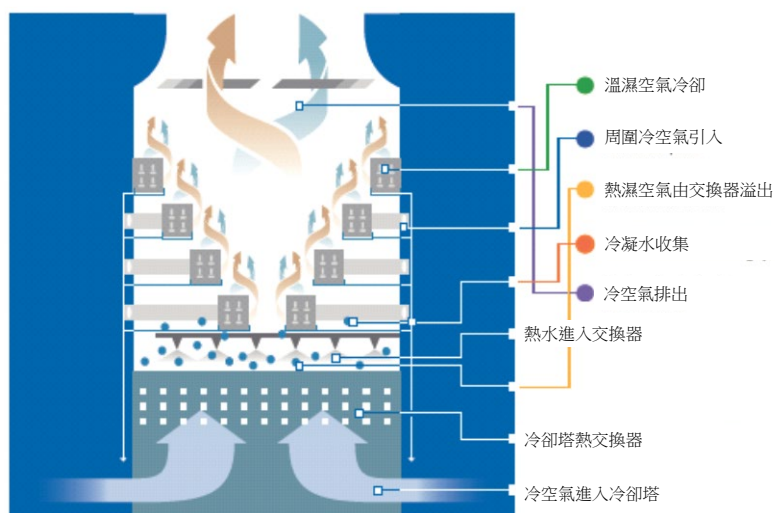
圖 14 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

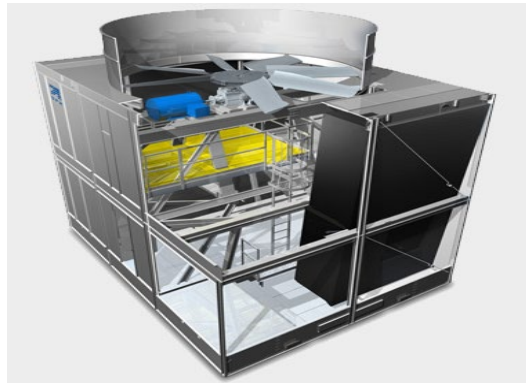
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點（國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005）。

美國加州理工學院機械系之研究顯示，以簡單的纖維濾料（Fiber Filter）即可吸附 10% 的冷卻蒸發水量，達到減少蒸發的目的（Research Paper of California Institute of Technology，Kim, C.S.，Increasing Cooling Tower Water Efficiency，2009）。針對冷卻水蒸發回收，國外研發 Air2Air™ 蒸發回收系統，以周圍較冷空氣進行蒸氣降溫，回收系統如圖 15 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 16 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 15 冷卻塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

圖 16 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 (m³/h)	可回收量 (m³/h)	蒸發水量 (m³/h)	風門開度 (%)	水回收率 (%)
1	13.9	16.6	11.5	2.5	9.0	100	21.6
2	14.8	17.3	11.5	2.5	9.0	100	21.6
3	16.9	19.6	12.0	2.5	9.5	100	20.8
4	20.3	23.1	12.2	2.3	9.9	100	18.5
5	22.9	26.0	12.7	1.8	10.8	45	14.3
6	24.6	27.6	12.7	0.0	12.7	0	0
7	25.1	28.6	12.9	0.0	12.9	0	0
8	25.1	28.3	12.9	0.0	12.9	0	0
9	24.0	27.4	12.7	0.0	12.7	0	0
10	21.6	25.2	12.7	1.8	10.8	70	14.3
11	18.5	21.9	12.2	2.3	9.9	100	18.5
12	15.0	18.1	11.8	2.5	9.3	100	21.2

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

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

表 8 冷卻水塔蒸發回收之成本分析

項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量 (11-4 月)	58,240 m³	0	58,240 m³
營運成本 (11-4 月)	1,100 千元	930 千元	170 千元
單位產水建造成本 (25 年折舊) (元/m³)			8.24
單位產水營運成本 (元/m³)			2.92
單位產水成本 (元/m³)			11.16
註:計算基準:建造成本折舊年限 25 年，電費 2.5 元/度			

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

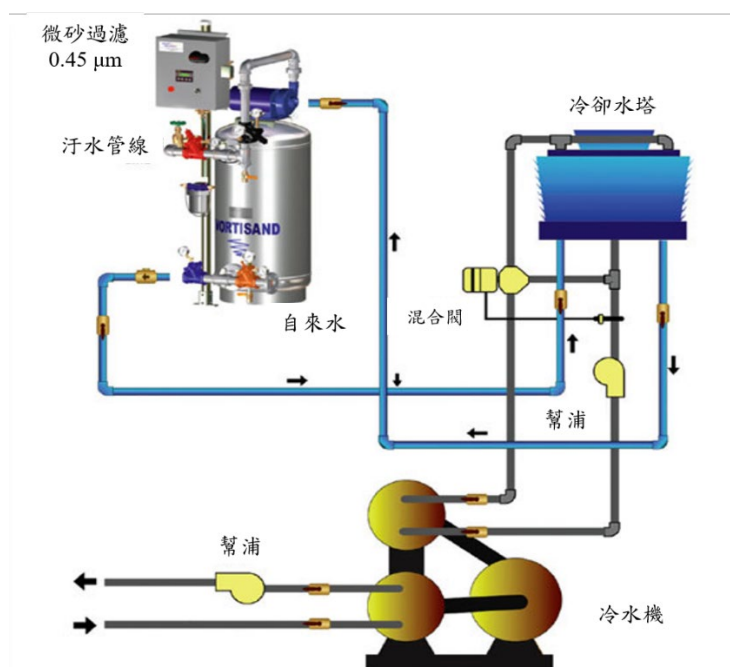
2. 旁流過濾系統

透過冷卻水塔加裝旁流過濾裝置，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 17 所示。當水塔抽水模式若可由冷卻水塔中心抽出，將可提升取水率並有效降低結垢及污塞。

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

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 17 旁流過濾系統處理原理示意圖

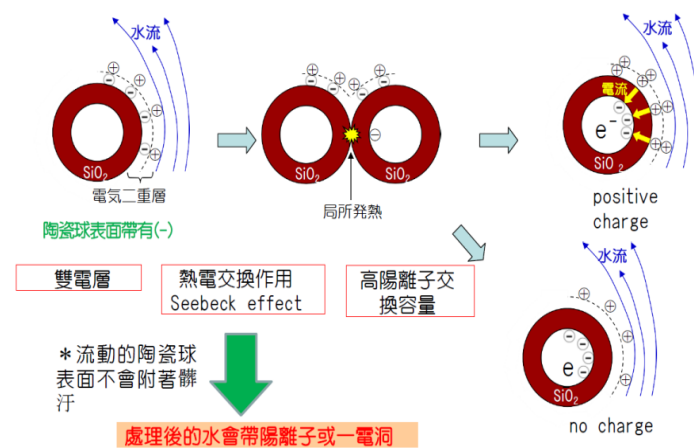
表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較表

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

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 18 以及圖 19 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 18 陶瓷球處理系統理論圖

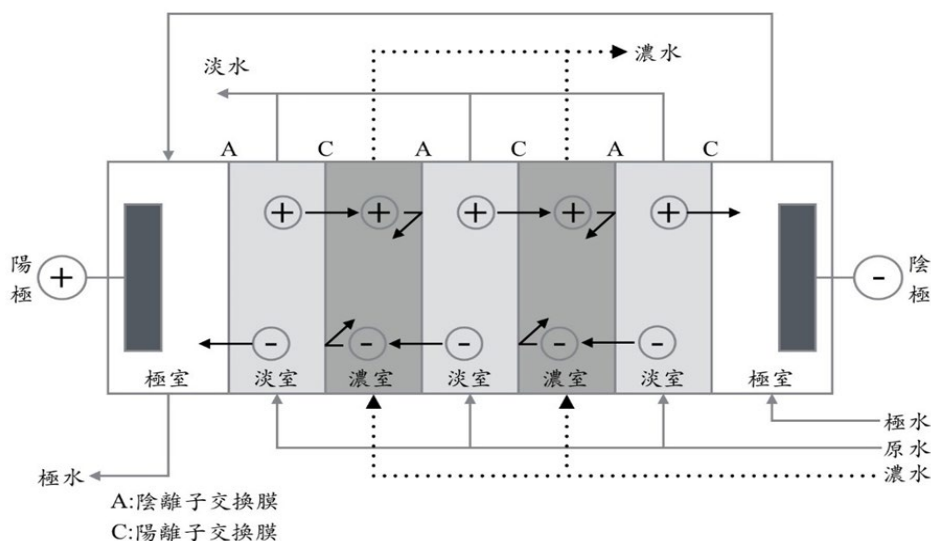


(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 19 陶瓷球處理系統設備圖

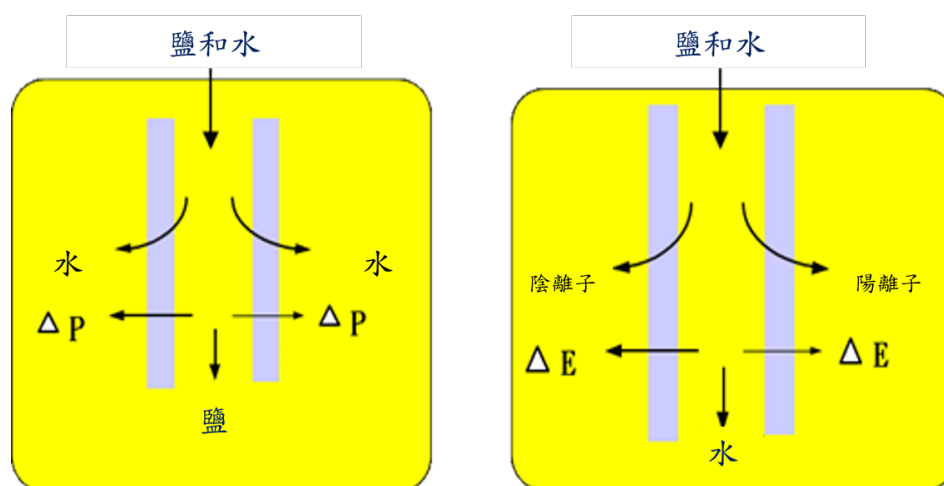
4. 倒極式電透析系統

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 20 所示。利用陽離子只能穿透陽離子膜, 而陰離子只能穿透陰離子膜的特性, 在外加直流電場的作用下, 水中陰離子移向陽極, 陽離子移向陰極, 最後得到淡水及濃水, 達到淡化除鹽的目的, 並利用切換直流電正負極和內部導流的方式延長薄膜使用壽命。EDR 可處理之導電度高達 $8,000 \mu\text{S}/\text{cm}$, 化學耐受性高, pH 值處理範圍介於 1~10 之間, 可用 3% HCl 清洗薄膜表面結垢或用 H_2O_2 或氯殺菌, 且對原水污泥密度指數 (Silt Density Index, 簡稱 SDI) 限值小於 15, 清洗維修週期長, 動能消耗低 (45~90 psi 操作) 故在操作成本上較 RO 低, 水回收率最高可達 90%, 氟離子濃度負荷可達 $1,500 \text{ mg/L}$, 去除效率約 80%。其 RO 與 EDR 脫鹽技術之比較如圖 21 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 20 電透析薄膜處理系統原理示意圖



RO分離機制：以壓力 (20 bar) 為驅動力 EDR分離機制：以電力為驅動力

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

圖 21 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** 系統進行冷卻排放水 (**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 10 及表 11 為冷卻排放水以 **EDR** 系統回收後，產出優質再生水之實際案例以及成本分析，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，工業污染防治，第 141 期，2017)

表 11 倒極式電透析系統回收冷卻排放水之成本分析

(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 22 所示，說明如下。

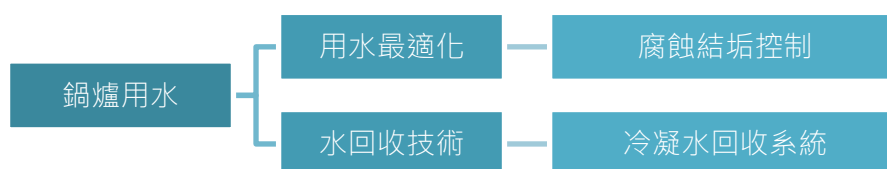


圖 22 鍋爐用水最適化及水回收技術

(一) 用水最佳化

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。



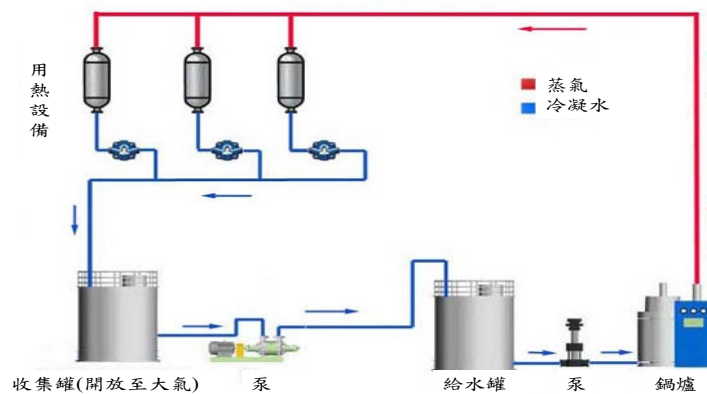
- (3) 螯合劑處理：於鍋爐水中，添加乙二胺四乙酸 (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid，簡稱 EDTA)，使其於水中鐵離子形成鐵螯合物，避免金屬腐蝕。
- (4) 電磁場處理：電磁場處理係利用電磁感應產生的電磁場作用於流體，在電磁場的作用下，水中的鈣、鎂離子處於高速運動的狀態，暫時性改變電荷，讓鍋爐內無法形成水垢，達到防阻水垢生成的目的。
- (5) 脫鹼處理：當鍋爐水質鹼度偏高時，可能會引起水冷壁管的鹼性腐蝕和應力腐蝕破裂，還可能使鍋爐水產生泡沫而影響蒸氣品質，對於鉚接或脹接鍋爐，鹼度過高也可能引起苛性脆化，因此利用脫鹼軟化水質，若排放異常即進行校正。
- (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 23 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 。

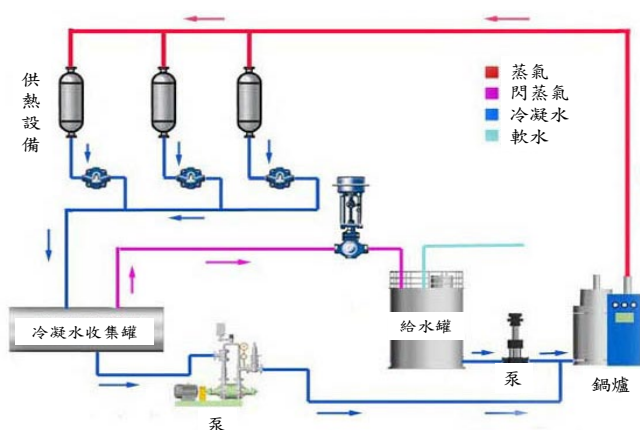


（資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司）

圖 23 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 24 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 24 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

	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

經由廢污水處理系統後之管末廢水，若再透過相關處理設備進行水體優化，不僅可降低廢污水納管所延伸之相關費用，亦可回收作為其他次級用水單元水源補充，減少原水源之取用。於本製造業中，常見管末放流水回收再利用處理技術包含倒極式電透析系統、薄膜處理系統等如圖 25 所示，分別說明如下：



圖 25 放流水回收技術圖

(一) 水回收技術

1. 倒極式電透析系統

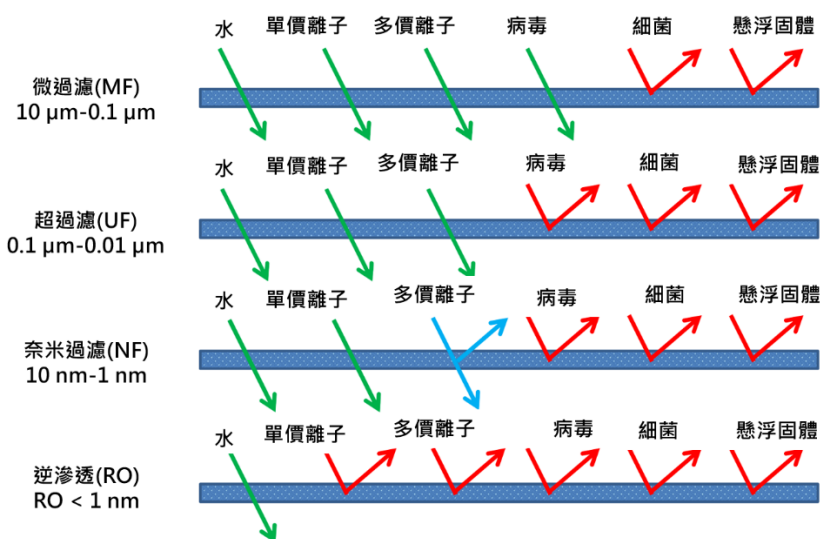
關於倒極式電透析 (**Electrodialysis reversal**，簡稱 **EDR**) 系統詳細操作原理已於前節進行相關敘述，經處理後管末放流水，若水中污染物多數已獲得良好處理，唯導電度偏高時，透過 **EDR** 系統可有效透析水中鹽類，此股回收水可視廠內製程需求，直接用於其他用水標的或導入暨有產水系統處理後，作為製程補充水源，相關技術詳細原理可參照前節說明。

2. 薄膜處理系統

薄膜系統於水處理系統中，主要功能為達到水中物質分離的效果，其具有限制或調節某些物質通過的功效，如同一多孔性的牆面，只允許較小的水分子 (稱為滲液) 通過孔洞，來到牆面的另一側，體積較大的分子則被薄膜滯留，藉此達到分離純化的目的。

微過濾 (**Microfiltration**，簡稱 **MF**) 與超過濾 (**Ultrafiltration**，簡稱 **UF**) 是薄膜處理中運用最廣的技術，其分離機制是利用膜孔大小來篩選可通過的粒子與分子，比薄膜孔徑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 **RO** 系統 (**Reverse Osmosis**，簡稱 **RO**)，達到分離之效果，上述各類薄膜種類去除物質比較將如圖 26 所示，相關實體設備如圖 27 至圖 30。各薄膜特性比較分析如表 13 所示。

濾膜技術比較



© Logisticon Water Treatment b.v.

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

圖 26 各種濾膜去除物質比較



(資料來源：MGC Contractors, Inc.)

圖 27 微過濾處理系統設備圖



(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 28 超過濾處理系統設備圖



NANOFILTRATION SYSTEMS

(資料來源：Enviromatch, Inc.)

圖 29 奈米過濾處理系統設備圖



(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 30 逆滲透處理系統設備圖



機械設備製造業

用水最適化及回收利用技術

表 13 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、聚砵、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

由於管末放流水已透過廢水處理單元進行污染物的處理，水中污染物多數以達到良好去除率，該水源再經薄膜系統（如：UF + RO），以 UF 作為 RO 前處理，確保廢水 SDI 值小於 5 以減少 RO 負荷量，達到去除細懸浮微粒、總溶解固體物及鹽分，以降低放流水導電度，處理後水源可回用至純水系統再製，作為製程單元使用。

五、其他水回收技術

其他水回收技術方案包括生活用水減量、廠內用水管理、雨水貯留供水系統、區域水資源整合及裝設連續監測系統等如圖 31 所示，亦可以達到水回收再利用，並減少原水取水量之效益，說明如下：

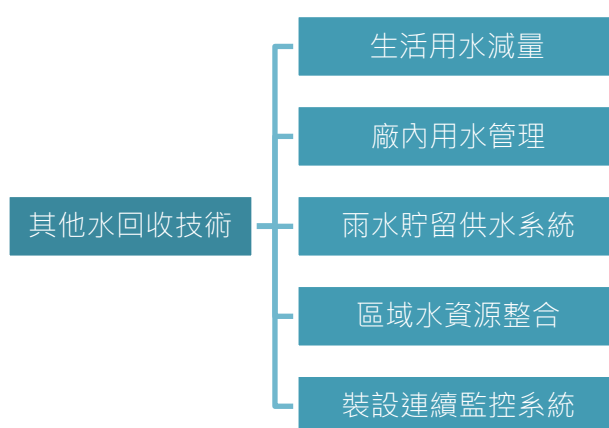


圖 31 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

據經濟部水利署公布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. 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、用量大小以及水質監控，可於主要供水/排水管路或用水量大之設備加裝水錶、導電度計、pH 計等，以了解水源流向，作為漏水檢視，除可避免水源浪費外，同時有助於水質監控預警，亦能檢討評估廢水處理操作成效。

另針對各主要用水單元進行則可進行智慧水錶架設，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 32 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。

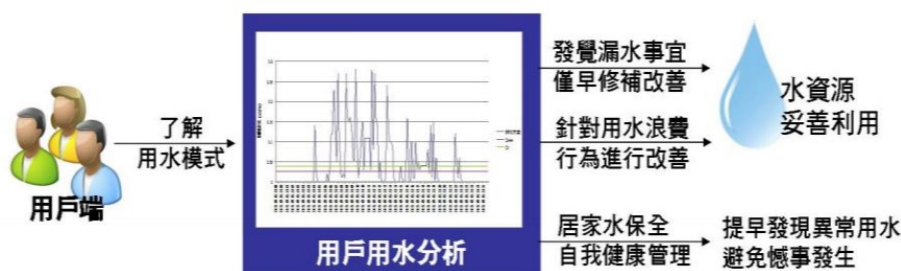


圖 32 用水管理模式及效益

(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 33 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）。

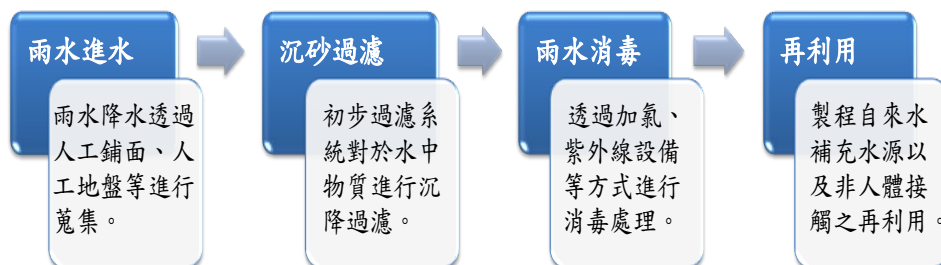


圖 33 雨水回收流程

設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 14 所示，雨水截流系統設計值計算如表 15 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 14 雨水處理設備與使用程度關係

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

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

表 15 雨水截流系統設計值

項目	公式
地區日集雨量	$\text{降雨概率} \times \text{日平均降雨量} \times \text{集雨面積} \div 1000$ 日集雨量：平均單日集雨量（立方公尺/日） 降雨概率：降雨可能性的指標（無單位） 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）
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兩種類型如圖 34 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。

於本製造業中，主要用水標的為製程單元，其中以製程清洗為較大宗的用水行為，若鄰近廠商有食品飲料業，由於該產業廢水相對單純，經相關處理程序後，可將該股放流水供應給本製造業作為製程單元清洗使用，供水端可降低廢污水排放量，用水端可減少自來水使用量以及日後耗水費的相關費用繳納。

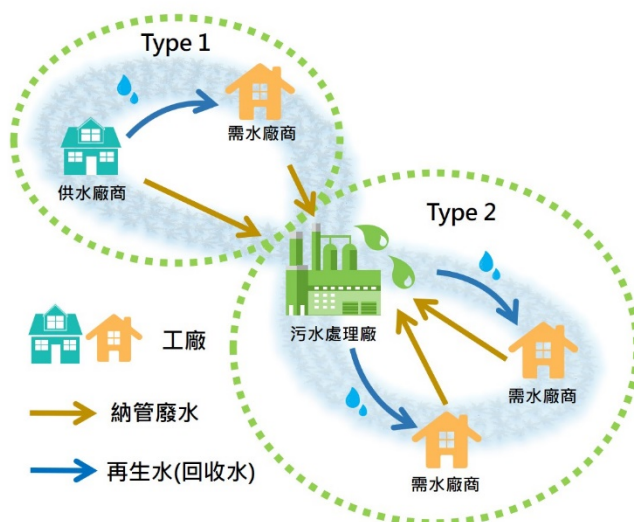
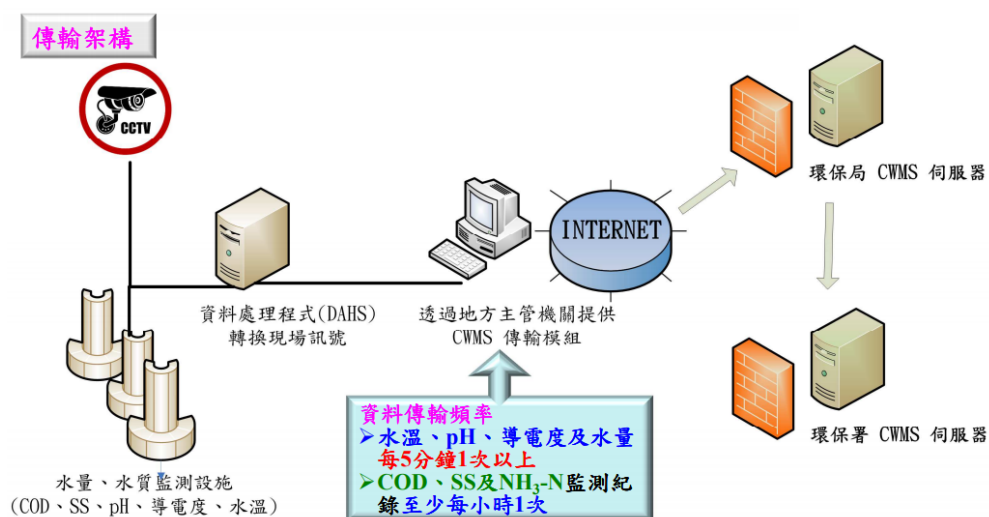


圖 34 區域水資源整合型態示意圖

(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 35 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化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand，簡稱 COD)、懸浮固體 (Suspended Solids，簡稱 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 35 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將機械設備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 16。

表 16 機械設備製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整

用水標的		製程用水	冷卻用水	鍋爐用水	放流水
最適化管理 與回收再利用技術					
最適化管理	污染物減量	✓			
	設備改善	✓			
	純水設備濃排水及清洗水回收	✓			
	提高冷卻水塔濃縮倍數		✓		
	補充水源加藥處理		✓		
	加裝防飛濺防護設備及變頻裝置		✓		
	腐蝕結垢控制			✓	
回收再利用	砂/袋濾過濾系統	✓			
	電混凝處理系統	✓			
	離子交換樹脂系統	✓			
	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			✓	
	薄膜處理系統				✓

第四章 水回收再利用案例介紹

一、案例 A 廠簡介

(一) 案例廠簡介

A 公司為全世界傳動控制產品與系統科技產品的專業製造者，注重研發及品牌耕耘，有長期的世界級競爭力，連年名列「全國研發專利百大」，遠遠領先國內機械相關領域之法人、企業與大學。此外，公司連年獲得台灣精品獎之金銀質獎、國家產品形象獎之金質獎、國家發明獎之產業貢獻獎及金牌獎....等殊榮。

為提昇全球競爭力及與全球技術接軌，A 公司在日本、德國、俄羅斯設有海外研發中心，網羅世界級專家進行研發，並在德國、美國、日本、瑞士、捷克、以色列、法國、莫斯科成立海外廠及子公司，並自有品牌揚名國際。

(二) 製程流程

A 公司為機械設備製造業，主要產品為精密傳動元件、滾珠螺桿、線性滑軌、工業機器人、線性軸承等機械設備，廠內製造流程如圖 36 所示。

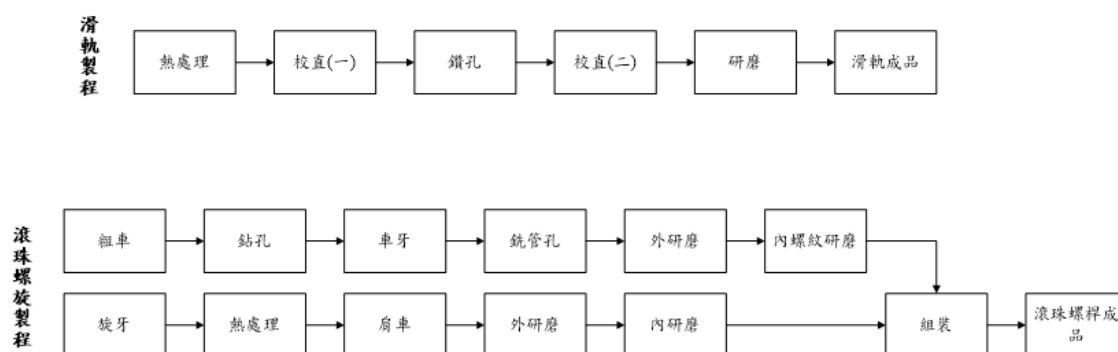


圖 36 案例 A 廠製程流程圖

(三) 廠內用水管理情形

A 公司廠內總用水量約 362 CMD，水源來源為自來水，主要用水量為冷卻用水共約 244 CMD，約占全廠用水量之 67%，其餘用水為生活、洗滌、製程及澆灌用水，排放量約為 105 CMD，此廢水經廠內廢水前處理後，再排入工業區內廢水處理廠納管處理，有關廠內用水平衡圖如圖 37 所示。



經現場勘查、瞭解廠內用水現況、參觀廠內設施、清查用水資料以及與廠商討論後，具有下列節水或水再生規劃之機會：

由於該廠用水量最大宗者為冷卻用水，故規劃由此處回收較有經濟效益，建議以 EDR 處理該股廢水並回收至冷卻水補充水。此方案預估 EDR 產水 70%，可回收水量 30 CMD。回收做為冷卻用水補充水。

廠內生活廢水經簡單處理後(砂濾+消毒),可導入澆灌用水使用,預計可回收約 6 CMD。

本輔導所規劃之水回收方案預估可回收水量共約 **36 CMD**，輔導後自來水用量由 **362 CMD** 降低至 **326 CMD**，全廠方案實施後之用水平衡圖如圖 38 所示。

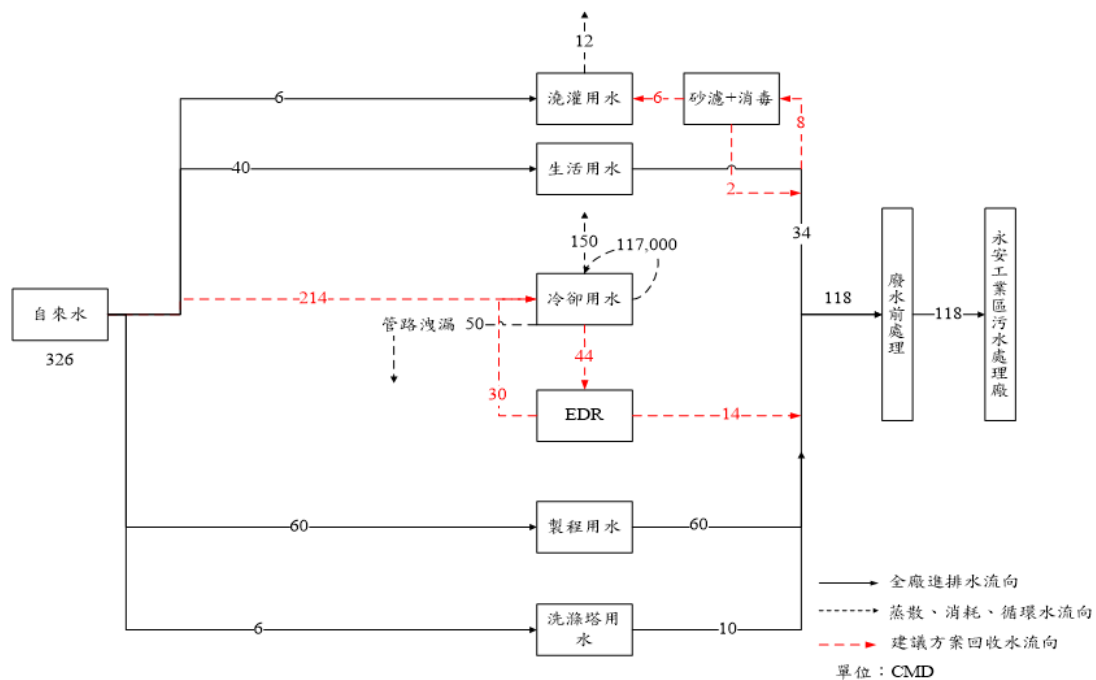


圖 38 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

所建議之節水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。預計冷卻排水 EDR 處理及生活廢水處理（砂濾+消毒）共可增加回收水量 36 CMD。執行上需增加 EDR 處理設備及砂濾設備，初估總建設成本費用需 1,126,000 元，單位產水成本的建設費以 12 年攤提計算，有關水回收設施經費分析如表 17 所示。

表 17 水回收設施經費分析

項目	方案內容	進水量 (CMD)	產水量 (CMD)	總建設 成本(元)	單位產水成本(元/噸)			年營運成本 (元/年)	產水 總成本 (元/年)
					建設	營運	合計		
方案一	EDR 處理 冷卻排水	44	30	1,110,000	5.79	12.5	18.29	91,714	289,714
方案二	生活廢水處理 (砂濾+ 消毒)	8	6	16,000	3.7	1	4.7	2,880	13,536
合計			36	1,126,000	4.75	6.75	11.50	94,594	303,250

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

A 廠用水源為自來水，據廠內人員資料提供，目前廠內自來水價格約為 12.5 元/噸，原自來水取水量為 362 CMD，經節水建議方案執行後共可節水 36 CMD，因此自來水之取水量減至 326 CMD，廢水納管量由 154 CMD 減少為 118 CMD，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/年)
	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	
自來水 費用	362×30 =10,860	$10,860 \times 12.5$ =135,750	326×30 =9,780	$9,780 \times 12.5$ =122,250	162,000
納管 水量費用	154×30 =4,620	$4,620 \times 17.45$ =80,619	118×30 =3,540	$3,540 \times 17.45$ =61,773	226,152
納管 COD 費用	154×30 =4,620	$0.1 \times 4,620 \times 79.13$ =36,558	118×30 =3,540	$0.1 \times 3,540 \times 79.13$ =28,012	102,552
納管 SS 費用	154×30 =4,620	$0.025 \times 4,620 \times 76.28$ =8,810	118×30 =3,540	$0.025 \times 3,540 \times 76.28$ =6,751	24,708
合計	—	261,737	—	218,786	515,412

註：1.每月工作天以 30 天計。

2.自來水水價以 12.5 元/噸計，A 廠放流水納管費約 17.45 元/噸、COD 納管費用為 79.13 元/kg，SS 納管費用為 76.28 元/kg。

3. 水回收率提升分析

A 廠原用水量約 362 CMD，納管量約 154 CMD。規劃建議之節水方案，約可節水 36 CMD。未來改善後全廠回收率 R1 維持 99.69%，及 R2 由 0.00% 提升至 9.94%，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	$99.69\% = \frac{0+117,000}{362+0+117,000} \times 100\%$	$0.00\% = \frac{0+0}{362+0+0} \times 100\%$
實施後	$99.69\% = \frac{36+117,000}{326+36+117,000} \times 100\%$	$9.94\% = \frac{36+0}{326+36+0} \times 100\%$
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

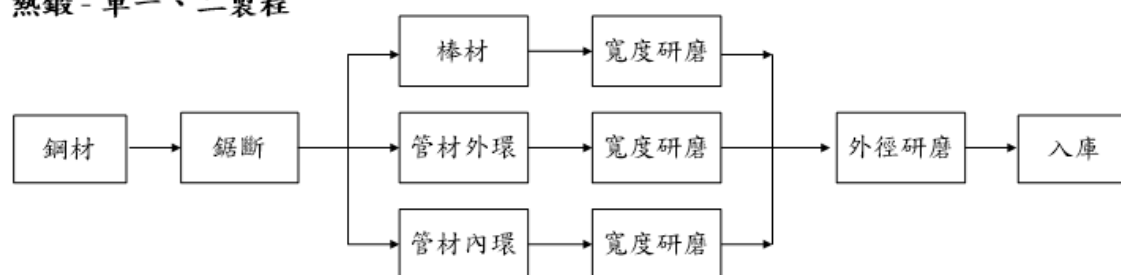
(一) 案例廠簡介

B 廠創立於民國 55 年，以專業生產和開發精密滾珠軸承和其相關組件產品為主，是國內第一大軸承專業製造廠，國內市場占有率達百分之五十以上，產品內、外銷各占 50%，外銷遍及亞洲、歐洲、美洲、大洋洲等 38 國，產品應用領域包括汽車產業，機車產業，工業及特殊馬達產業，家電產業，自行車及運動器材產業，3C 產業等，商品供應全世界各地知名大廠。

(二) 製程流程

該廠製程主要屬滾珠軸承生產製程製造，其製程分為熱鍛製程與鋼珠製程，製程流程圖如圖 39 所示。

熱鍛 - 車一、二製程



鋼珠製程

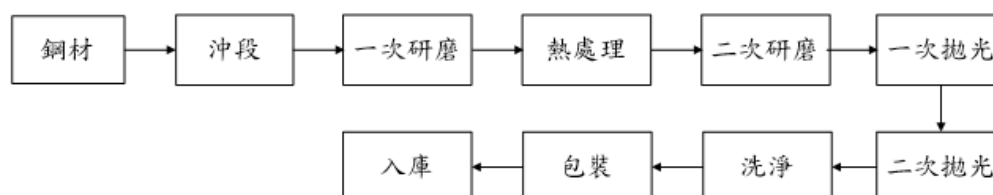


圖 39 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

B 廠用水水源取自於自來水公司提供之自來水，夏季最大用水量 250 CMD，冬季用水量則為夏季之 50%，因此平均每日用水量約 186 CMD。自來水水源經由前處理系統砂濾、活性炭、離子交換樹脂及 RO 處理後供應至製程使用，製程用水量為 40 CMD，民生飲用及生活用水共計 24 CMD，冷卻水塔自然蒸散為廠內主要用水段，取水約 112 CMD、消耗損失約 110 CMD，有關廠內用水平衡圖詳如圖 40 所示。

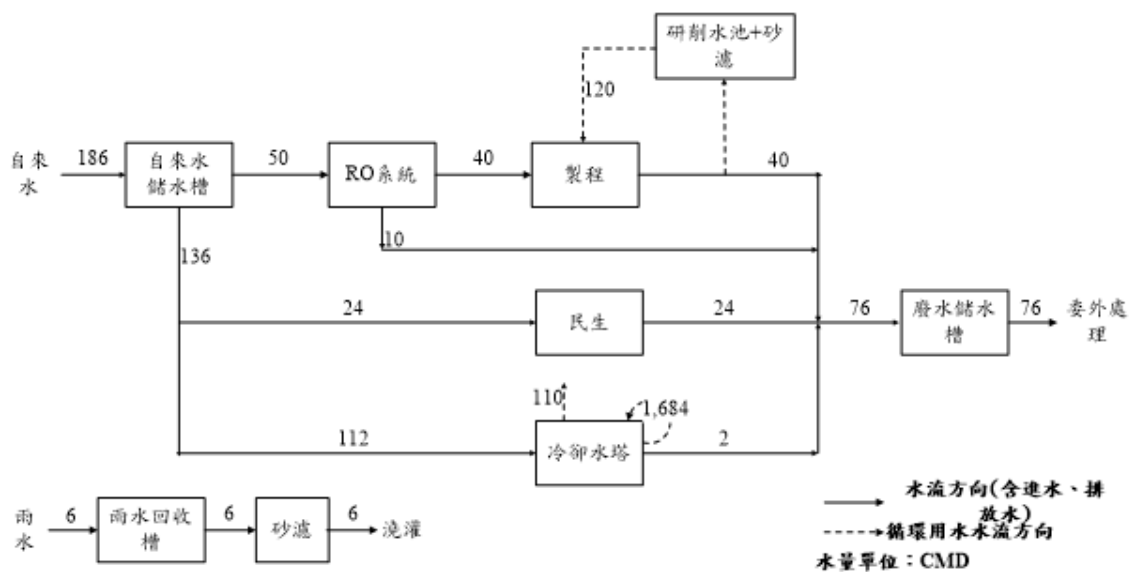


圖 40 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

經現場勘查、瞭解廠內用水現況、參觀廠內設施、清查用水資料以及與廠商討論後，B 廠除本身已設有雨水貯留措施增加廠內額外 6 CMD 之水源外，尚具有下列節水或水再生規劃之機會：

方案一、RO 濃縮水回收至冷卻用水

B 廠 RO 系統每日進水量為 50 CMD，除 80% 之純水產出外，RO 濃縮水排放量為 10 CMD，且排至廢水儲水槽後委外處理，建議可將此水源回收至冷卻水塔使用，每日可節水約 10 CMD 之原水取水量。

所規劃的水回收方案，預計可節省水量為 10 CMD。原自來水用量為 186 CMD，輔導後取水量降至 176 CMD，而原排放水量為 76 CMD，方案實施後排放水量降至 66 CMD，如圖 41 所示。

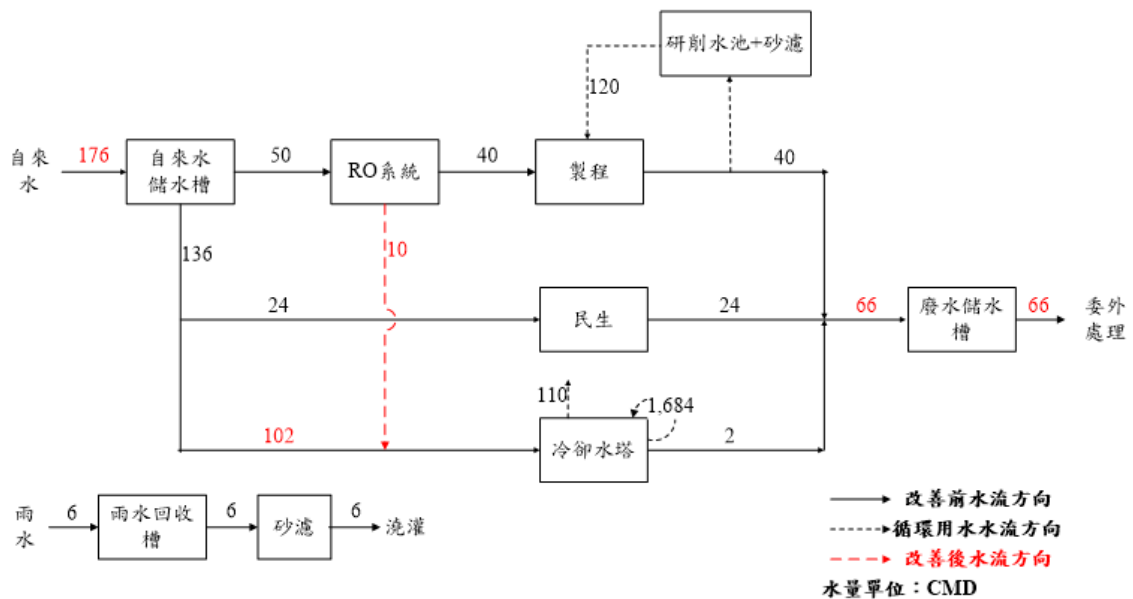


圖 41 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 產水成本分析

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。預計藉由 RO 濃縮水回收至冷卻用水，可節水 10 CMD 之用水量。此水回收方案並無需建設處理設備，故無需額外付設備運轉及營運費用。

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，原取水量為 186 CMD，經輔導改善取水量降低為 176 CMD；排放水量由原來 76 CMD，輔導改善後排放水量降至 66 CMD，回收前後費用變化如表 20 所示。

表 20 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案實施前		方案實施後		節省費用 (元/月)
	水量 (噸/月)	費用 (月/元)	水量 (噸/月)	費用 (月/元)	
自來水 費用	186×30 =5,580	12.5×5,580 =69,750	176×30 =5,280	12.5×5,280 =66,000	3,750
納管費用	76×30 =2,280	7.63×2,280 =17,605	66×30 =1,980	7.63×1,980 =15,107	2,498
合計	-	87,355	-	81,107	6,248

註：1.每月工作天以 30 天計。

2.工業用水水價 12.5 元/噸，B 廠納管費用以 7.63 元/噸估算。

3. 水回收效益分析

廠內現行用水量為 186 CMD，排放量為 76 CMD，預計經由實施建議節水方案可回收水量約 10 CMD，且廠內已自主執行回收措施，已有增加雨水水源 6 CMD，改善後全廠回收率 R2 提高至 5.38%，相關水回收計算結果如表 21 所示。

表 21 水回收方案實施前後水回收率變化

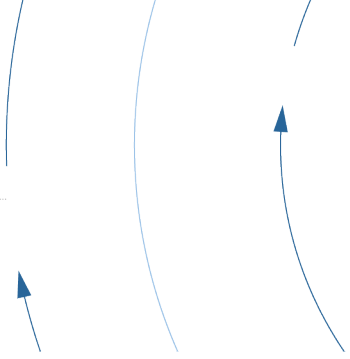
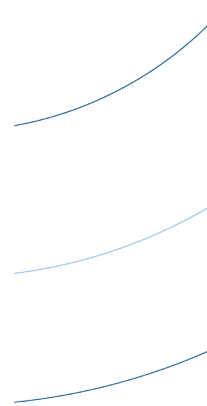
項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$90.05\% = \frac{0+1,684}{186+0+1,684} \times 100\%$	$0.00\% = \frac{0+0}{186+0+0} \times 100\%$
實施後	$90.59\% = \frac{10+1,684}{176+10+1,684} \times 100\%$	$5.38\% = \frac{10+0}{176+10+10} \times 100\%$
註：		
全廠回收率（重複利用率，R1）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}} \times 100\%$		
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. MGC Contractors, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
3. Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J. R. and Cocke, D. L., Electrocoagulation (EC) -science and application, Journal of Hazardous Materials, (B84) , pp.29-41
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. Terawet Green Technologies, Inc. · Electrocoagulation - Using electricity as the electromotive force to drive chemical reactions in a solution for water treatment and TDS · <https://www.environmental-expert.com>
8. WaterTectonics · What is Electrocoagulation (EC) ? · <http://www.watertectonics.com/electrocoagulation/>
9. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
10. 自動逆洗砂濾器 · <http://www.kmate.com.tw/product.php?id=46> · 富爾特有限公司
11. 行政院主計處 · 中華民國行業標準分類 · 2017
12. 每日頭條 · 離子交換的工作原理 · <https://kknews.cc/zh-tw/news/p8pmjn8.html>
13. 佳友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
14. 邱顯盛 · 以電化學法處理化學機械研磨廢水 · 國立交通大學環境工程研究所碩士論文 · 2002
15. 柯宏杰 · 以電解混凝法處理化學機械研磨廢水-影響因子及反應機制 · 國立交通大學環境工程研究所碩士論文 · 2004
16. 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

17. Logistion Water Treatment · comparison membrane techniques ·
<https://www.logisticon.com/en/technologies/membrane-filtration/>
18. 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
19. 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
20. 產業價值鏈資訊平台，
http://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=P000&stk_code=1504
21. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
22. 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
23. 勞動部，行業指南目錄-機械設備製造業，2017
24. 經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017
25. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
26. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2017
27. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
28. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
29. 經濟部工業局，機械設備製造修配業安全衛生自主管理實務手冊，2004
30. 經濟部中小企業處，培育育成專業人才計畫-產業分析參考用書，2010
31. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
32. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
33. 經濟部水利署，節水紀實，2012
34. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
35. 雷銚科技股份有限公司，<http://www.lasers.com.tw/?f=Methods-Water-Quite>

- 
36. 電混凝雜質去除率，<http://www.airglobalenergy.com/water-treatment-electrocoagulation/>
37. 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
38. 謝志誠，機械製造 第 13 章工具機概述，
<http://www.taiwan921.lib.ntu.edu.tw/lecture.htm>
- 



機械設備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、台灣區機械工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘漚

出版所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

TEL : (02) 2754-1255 FAX : (02) 2704-3753

<https://www.moeaidb.gov.tw>

出版日期：中華民國 108 年 12 月

版次：初版

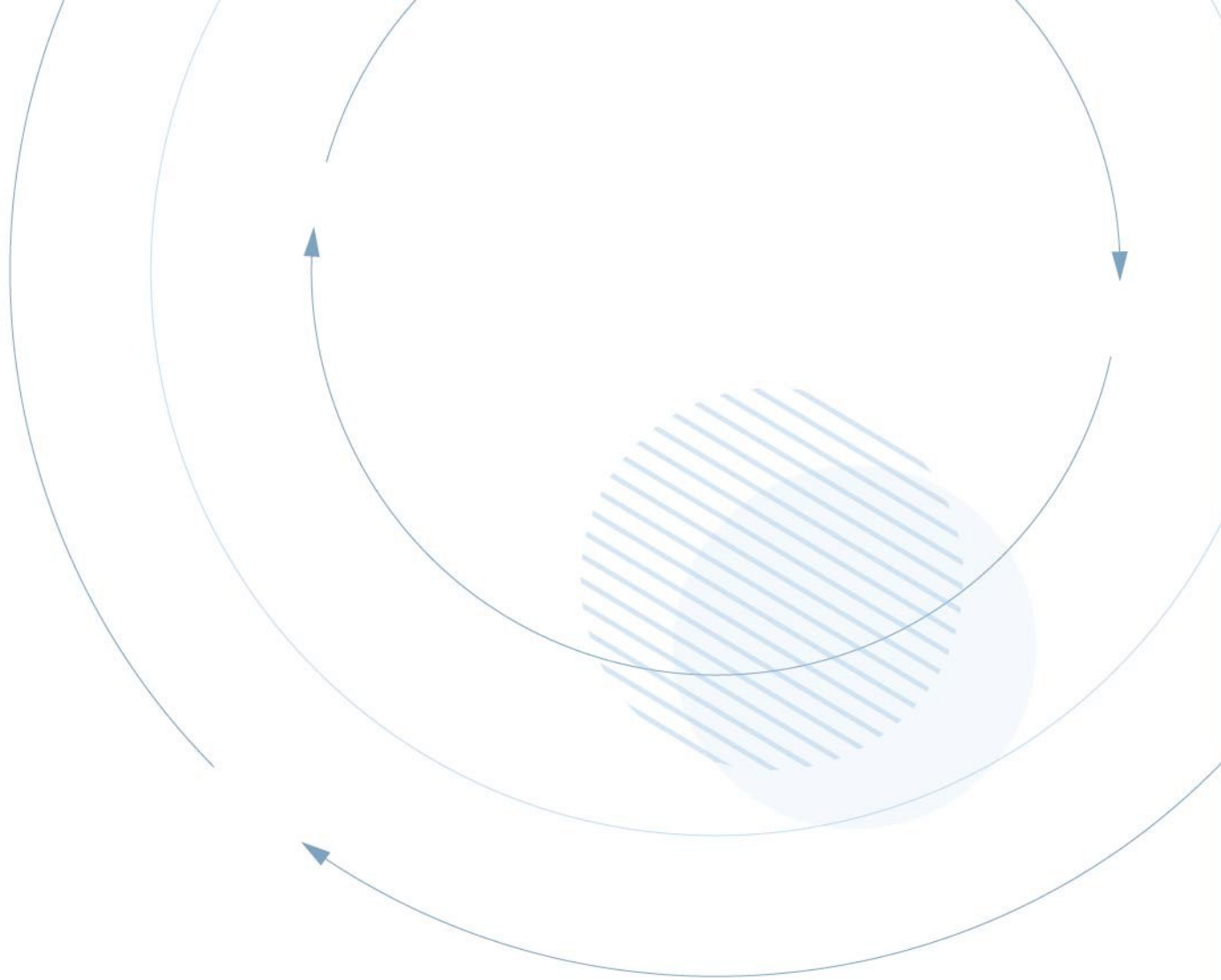


機械設備製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

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

