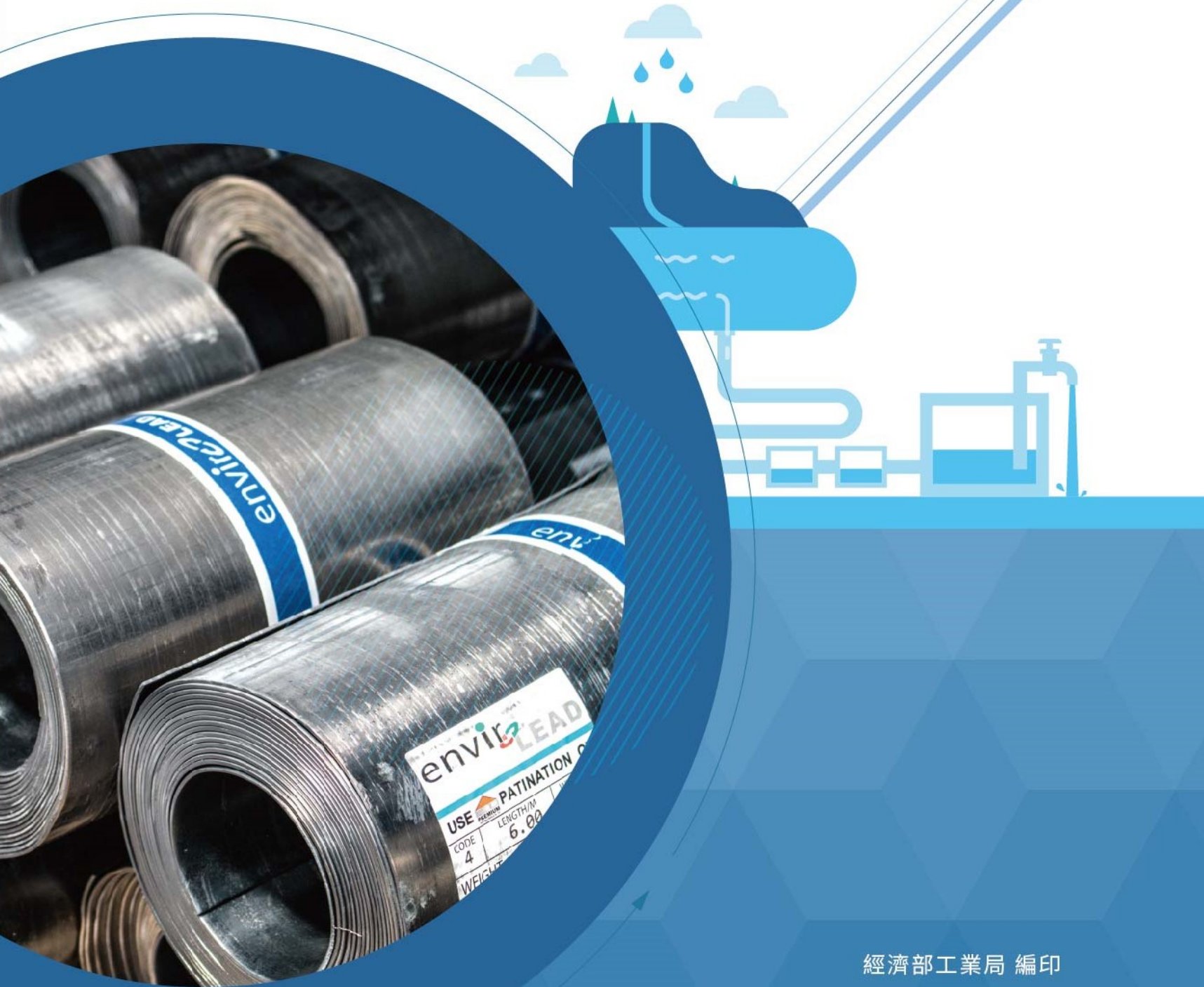




基本金屬製造業

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) 鋼鐵製造業 _____ | 3 |
| (二) 鋁製造業 _____ | 4 |
| (三) 銅製造業 _____ | 6 |
| 三、 主要用水標的與用水情形 _____ | 7 |
| 第二章 水利三法相關子法、用水事宜 _____ | 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 _____ | 10 |
| 第三章 用水最適化及回收再利用技術 _____ | 13 |
| 一、 製程用水最適化及回收再利用技術 _____ | 13 |
| (一) 用水最適化 _____ | 14 |
| (二) 水回收技術 _____ | 15 |
| 二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術 _____ | 18 |
| (一) 用水最適化 _____ | 18 |
| (二) 水回收技術 _____ | 22 |
| 三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術 _____ | 28 |
| (一) 用水最適化 _____ | 28 |
| (二) 水回收技術- _____ | 30 |
| 四、 放流水回收再利用技術 _____ | 32 |
| (一) 水回收技術 _____ | 33 |
| 五、 其他水回收技術 _____ | 38 |
| (一) 生活用水減量 _____ | 38 |
| (二) 廠內用水管理 _____ | 38 |
| (三) 雨水貯留供水系統 _____ | 39 |
| (四) 區域水資源整合 _____ | 41 |
| (五) 裝設連續監測系統 _____ | 42 |
| 六、 小結 _____ | 43 |
| 第四章 水回收再利用案例介紹 _____ | 45 |
| 一、 案例 A 廠簡介 _____ | 45 |

| | |
|--------------|----|
| (一) 案例廠簡介 | 45 |
| (二) 製程流程 | 45 |
| (三) 廠內用水管理情形 | 46 |
| (四) 用水效率提升方案 | 47 |
| (五) 成本效益分析 | 49 |
| 二、 案例 B 廠簡介 | 51 |
| (一) 案例廠簡介 | 51 |
| (二) 製程流程 | 51 |
| (三) 廠內用水管理情形 | 52 |
| (四) 用水效率提升方案 | 53 |
| (五) 成本效益分析 | 54 |
| 第五章 參考文獻 | 57 |

圖目錄

| | 頁次 |
|---------------------------------|----|
| ■ 圖 1 基本金屬製造業生產價值百分比例 | 2 |
| ■ 圖 2 鋼鐵生產流程圖 | 3 |
| ■ 圖 3 金屬鋁製造流程圖 | 4 |
| ■ 圖 4 氧化鋁製造流程圖 | 5 |
| ■ 圖 5 火法煉銅製造流程圖 | 6 |
| ■ 圖 6 濕法煉銅製造流程圖 | 7 |
| ■ 圖 7 基本金屬製造業用水結構分析 | 7 |
| ■ 圖 8 基本金屬製造業製程廢水水質特性 | 13 |
| ■ 圖 9 製程用水最適化及水回收技術 | 13 |
| ■ 圖 10 流體化床結晶系統原理示意圖 | 15 |
| ■ 圖 11 流體化床結晶處理系統設備圖 | 15 |
| ■ 圖 12 薄膜生物處理系統示意圖 | 17 |
| ■ 圖 13 薄膜生物處理系統設備圖 | 17 |
| ■ 圖 14 冷卻用水最適化及水回收技術 | 18 |
| ■ 圖 15 濃縮倍數與排放損失關係圖 | 19 |
| ■ 圖 16 冷卻水塔加藥示意圖 | 20 |
| ■ 圖 17 冷卻水塔防飛濺防護設備圖 | 21 |
| ■ 圖 18 冷卻水塔蒸發回收系統圖 | 22 |
| ■ 圖 19 消霧節水冷卻水塔設備圖 | 22 |
| ■ 圖 20 旁流過濾處理系統示意圖 | 23 |
| ■ 圖 21 陶瓷球水處理理論圖 | 25 |
| ■ 圖 22 陶瓷球水處理設備圖 | 25 |
| ■ 圖 23 電透析薄膜處理系統原理示意圖 | 26 |
| ■ 圖 24 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖 | 27 |
| ■ 圖 25 鍋爐用水最適化及水回收技術 | 28 |
| ■ 圖 26 開放式冷凝水回收系統示意圖 | 30 |
| ■ 圖 27 密閉式冷凝水回收系統示意圖 | 31 |
| ■ 圖 28 放流水回收技術圖 | 32 |
| ■ 圖 29 電凝系統實廠模組 | 33 |
| ■ 圖 30 超過濾加逆滲透薄膜過濾系統模組 | 36 |
| ■ 圖 31 其他水回收技術 | 38 |
| ■ 圖 32 雨水回收流程圖 | 39 |

| | |
|------------------------------|----|
| ■ 圖 33 區域水資源整合型態示意圖 | 41 |
| ■ 圖 34 監測連線傳輸設置圖 | 42 |
| ■ 圖 35 案例 A 廠製造流程圖 | 45 |
| ■ 圖 36 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前) | 46 |
| ■ 圖 37 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後) | 48 |
| ■ 圖 38 案例 B 廠製造流程圖 | 51 |
| ■ 圖 39 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前) | 52 |
| ■ 圖 40 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後) | 53 |

表 目 錄

| | 頁次 |
|-------------------------------------|----|
| ■ 表 1 基本金屬製造業類別及定義 | 1 |
| ■ 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 | 11 |
| ■ 表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值 | 12 |
| ■ 表 6 流體化床結晶水回收設施經費分析 | 16 |
| ■ 表 7 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表 | 19 |
| ■ 表 8 纖維過濾與傳統砂濾比較表 | 24 |
| ■ 表 9 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例 | 27 |
| ■ 表 10 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較表 | 31 |
| ■ 表 11 電凝 60 秒後水溶液污染物處理去除率 | 34 |
| ■ 表 12 電凝水回收設施經費分析 | 35 |
| ■ 表 13 微過濾、超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析 | 37 |
| ■ 表 14 活性碳吸附系統經費分析 | 37 |
| ■ 表 15 雨水處理設備與使用程度關係 | 40 |
| ■ 表 16 雨水截流系統設計值 | 40 |
| ■ 表 17 基本金屬製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整 | 43 |
| ■ 表 18 案例 A 廠放流水水質 | 47 |
| ■ 表 19 水回收方案實施前後用水量及費用比較表 | 49 |
| ■ 表 20 水回收方案實施前後水回收率變化 | 50 |
| ■ 表 21 水回收設施經費分析 | 54 |
| ■ 表 22 水回收方案實施前後用水量及費用比較表 | 55 |
| ■ 表 23 水回收方案實施前後水回收率變化 | 56 |



第一章 產業概況說明

一、產業特性

根據行政院主計處所公告之「中華民國行業標準分類」(105年1月)，基本金屬製造業為從事以冶煉、鑄造、軋延、擠型及伸線等方式製造金屬板、條、棒、管、線等基本金屬製品之行業，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，基本金屬製造業產值約為新台幣 15,081.2 億元。生產價值百分比如圖 1 所示，以鋼鐵軋延及擠型業所占之生產價值比例最高，約占基本金屬製造業產值 50% (經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)。

基本金屬製造業大致可分為鋼鐵、鋁、銅及其他基本金屬等材料製造；冶煉是利用活性大的物質當作還原劑，將礦物中的金屬還原出來的方法，冶煉的礦物常為金屬的氧化物，若不是金屬的氧化物，則必須先經過高溫將礦物煅燒成氧化物，再以還原法治煉出金屬；鑄造則是指其在室溫中為液態，但不久後將固化的物質倒入特定形狀的鑄模，待其凝固成形的加工方式，是獲得機械產品毛胚的主要方法之一，常見的鑄模材料可以是沙、金屬甚至陶瓷 (金屬中心-ITIS 計畫，我國鑄造品應用產業發展及技術需求，2012)。

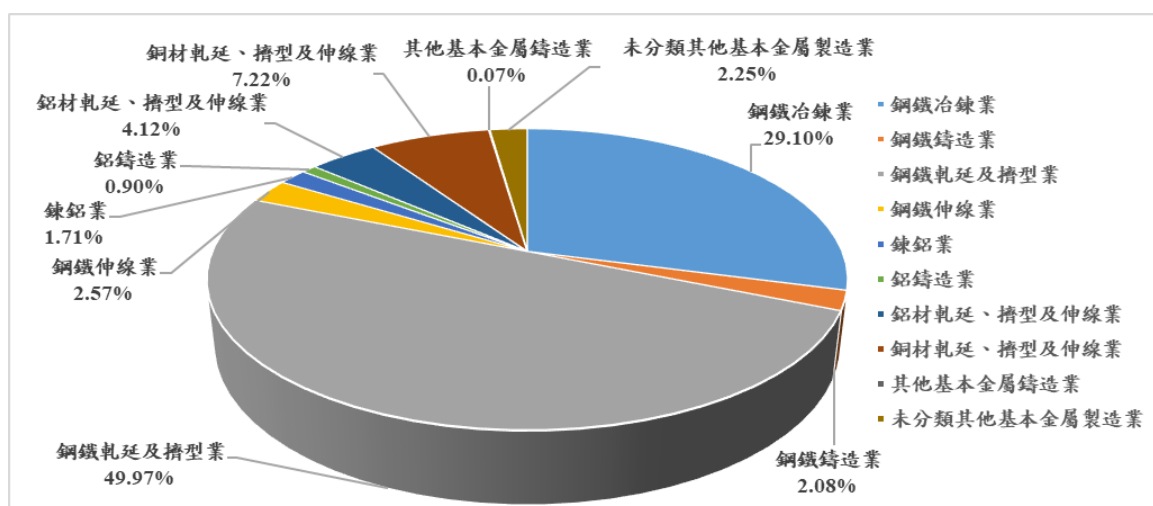
表 1 基本金屬製造業類別及定義

| 分類編號 | | | | 行業名稱及定義 |
|------|----|-----|------|--|
| 大類 | 中類 | 小類 | 細類 | |
| C | 24 | | | 基本金屬製造業 從事以冶煉、鑄造、軋延、擠型、伸線等方式製造金屬板、條、棒、管、線等基本金屬製品之行業。 |
| | | 241 | | 鋼鐵製造業 從事鋼鐵冶煉、鑄造、軋延、擠型及伸線等之行業。 |
| | | | 2411 | 鋼鐵冶煉業 從事礦砂之冶煉以生產生鐵、合金鐵及直接還原鐵 (如海綿鐵、熱鐵塊)，或再以生鐵、直接還原鐵、廢鋼或鑄鋼錠精鍊成碳素鋼、合金鋼等行業。 |
| | | | 2412 | 鋼鐵鑄造業 從事以生鐵、廢鐵與合金原料熔融之金屬液澆注至特定鑄模中製成鋼鐵元件之行業。 |
| | | | 2413 | 鋼鐵軋延及擠型業 從事以熱軋、冷軋、擠型等方式產製鋼鐵或鋼鐵合金粗製品或基本鋼鐵件之行業，如盤元、鋼筋、鋼軌、型鋼、棒鋼、鋼管、鋼板、鋼捲、鋼帶、鋼片等製造。 |
| | | | 2414 | 鋼鐵伸線業 從事以伸線方式產製鋼鐵或鋼鐵合金粗製品或基本鋼鐵件之行業，如鋼線、鋼纜等製造。 |
| | | 242 | | 鋁製造業 從事鋁金屬冶煉、鑄造、軋延、擠型及伸線等之行業。 |
| | | | 2421 | 鍊鋁業 從事以鋁礬土鍊製成鋁、純鋁精鍊成高純度鋁或鍊製鋁合金之行業。 |



| 分類編號 | 行業名稱及定義 |
|------|--|
| 2422 | 鋁鑄造業 從事以初生鋁或再生鋁與合金原料熔融之金屬液澆注至特定鑄模中製成鋁元件之行業。 |
| 2423 | 鋁材軋延、擠型及伸線業 從事以軋延、擠型、伸線等方式產製鋁或鋁合金粗製品或基本鋁件之行業，如鋁線、鋁管、鋁條棒、鋁板、鋁片、鋁箔等製造；鋁粉、鋁漿、鋁膠等製造亦歸入本類。 |
| 243 | 銅製造業 從事銅金屬冶鍊、鑄造、軋延、擠型及伸線等之行業。 |
| 2431 | 鍊銅業 從事以銅礦或廢銅料鍊製成銅錠或精製電解銅及銅合金之行業。 |
| 2432 | 銅鑄造業 從事以銅或銅合金熔融之金屬液澆注至特定鑄模中製成銅元件之行業。 |
| 2433 | 銅材軋延、擠型及伸線業 從事以軋延、擠型、伸線等方式產製銅或銅合金粗製品或基本銅件之行業，如銅線、銅板、銅片、銅箔、銅管、銅棒等製造；銅粉、銅漿、銅膠等製造亦歸入本類。 |
| 249 | 其他基本金屬製造業 從事 241 至 243 小類以外基本金屬冶鍊、鑄造、軋延、擠型及伸線等之行業。 |
| 2491 | 其他基本金屬鑄造業 從事以熔融之金屬液（鋼鐵、鋁、銅除外）澆注至特定鑄模中製成金屬元件之行業。 |
| 2499 | 未分類其他基本金屬製造業 從事 2491 細類以外其他基本金屬冶鍊、軋延、擠型、伸線等，以製造其他基本金屬片、板、箔、管、條、棒及線材等基本製品之行業。 |

(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)

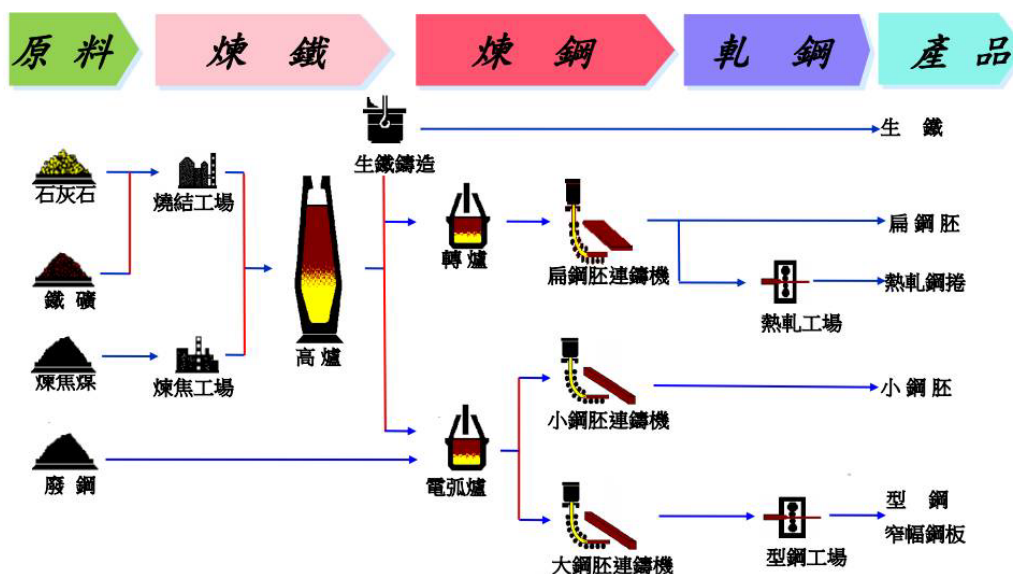
圖 1 基本金屬製造業生產價值百分比例

二、製程特性

本節針對基本金屬製造業分項中之鋼鐵製造業、鋁製造業及銅製造業等，分別概述其製程特性。

(一) 鋼鐵製造業

在鋼品生產流程中，生產流程主要分為原料、冶煉、煉鋼、軋鋼及製成產品，簡易生產流程如圖 2 所示。如今國內鋼鐵作業大多數為一貫作業，而所謂一貫作業係指，從原料、煉鐵、煉鋼皆在同一場址進行，如此能減少運送浪費、能源損耗、品質控制及大量生產的優勢。



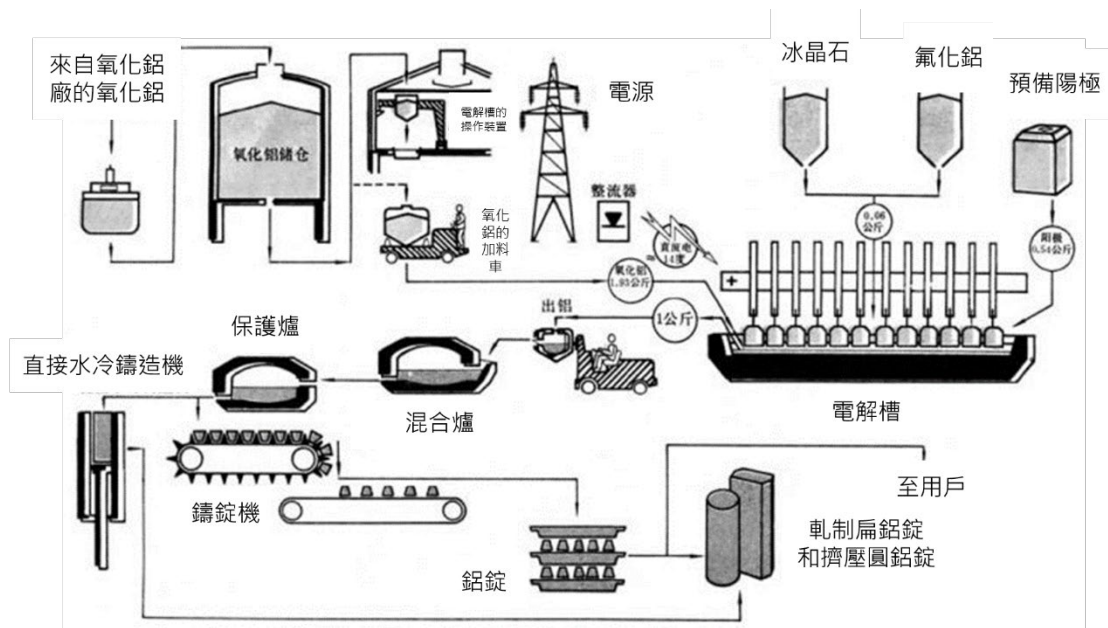
(資料來源：中龍鋼鐵股份有限公司，公用設施處能源調度工場，W51 節水作法分享，2015)

圖 2 鋼鐵生產流程圖

原料進入高爐後，再由爐下部鼓風嘴，鼓入高溫熱風，產生還原氣體，還原鐵礦石，產生熔融鐵水與熔渣之煉鐵製程；之後進入煉鋼過程，相關煉鋼方法有：平爐法 (Open-hearth process)、轉爐法 (Converter process)、電爐法 (Electric furnace process) 及坩堝法 (Crucible process)，其中的坩堝法目前已被淘汰，現行之一貫作業法則多以轉爐法為之；冶煉完成並增碳至預定組成後的鋼液開始出爐、鑄錠稱為軋鋼作業；最後製成不同用途之鋼料製品。

(二) 鋁製造業

製造鋁的生產工序主要分為三大項，首先為原料開採、氧化鋁之精煉、最後提取氧化鋁轉換成金屬鋁稱之為煉製，其製造流程如圖 3 所示。

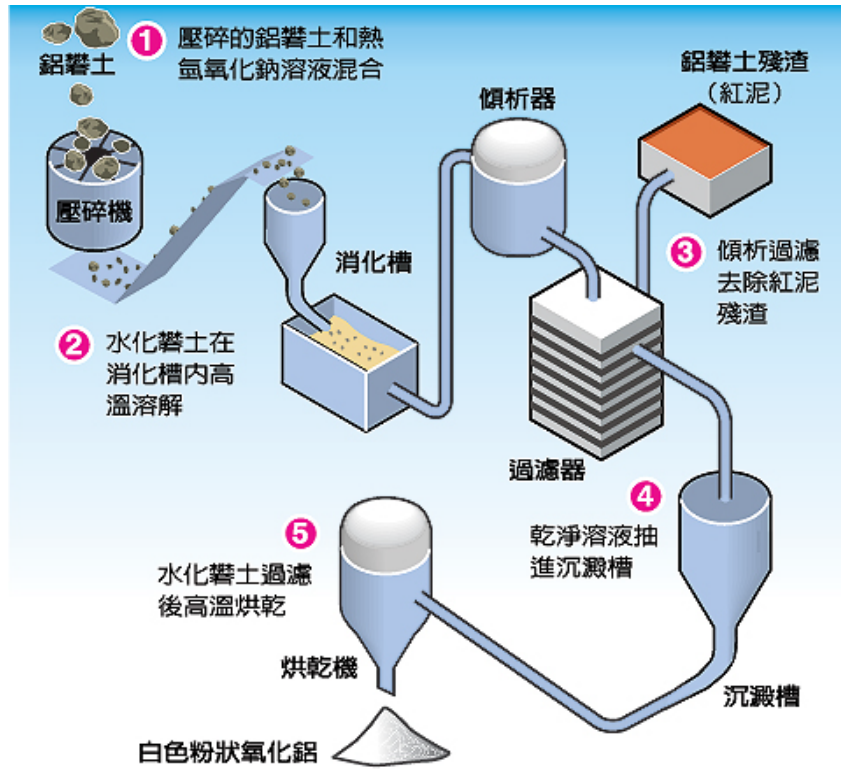


(資料來源：鋁礦石煉鋁)

圖 3 金屬鋁製造流程圖

鋁之製程原料為開採而來的原礦-鋁礬土，其成分含有大量鋁礦物的沉積岩，形成方式為透過自然風化作用，其為製造煉鋁所需之氧化鋁原料。透過化學精煉程序，將鋁礬土精煉成氧化鋁，首先進行細磨，然後與高溫苛性鈉溶液混合，使得氧化鋁溶於溶液中，倒入濃縮槽，固態的雜質會在槽底形成細小的紅色泥狀沉澱物，經過清洗後丟棄，再將三水酸鋁溶液進行過濾，使其更純淨。接續進行溶液冷卻、濃縮，然後存放於無蓋槽中，直至形成結晶，再加入純氧化鋁形成氫氧化鋁晶體；最後將三水酸鋁結晶清洗、過濾，然後在溫度超過 $1,000^{\circ}\text{C}$ 的加熱窯中受熱，以去除水分子，完成氧化鋁粉末，製造流程如圖 4 所示。

提取氧化鋁粉末，以石墨為內襯的大型鋼鐵爐(亦稱還原槽進行煉製，此作業為金屬鋁製程中的末項步驟，其方法是將氧化鋁投入槽中，使其溶解在熔融冰晶石中(可溶解氧化鋁，並於 970°C 時具有導電性，將電流透過陽極材料-碳塊導入槽內，槽體內壁之石墨做為陰極，不斷循環，電流使得氧化鋁和陽極產生反應，形成鋁和二氧化碳，最後液態鋁將會沉降至槽底，透過虹吸管原理將其抽出至保溫爐，澆鑄成產品(元一鋁業-鋁的生產:))。



(資料來源：聯合報，鋁污泥外洩－毒殺環境大浩劫，2010)

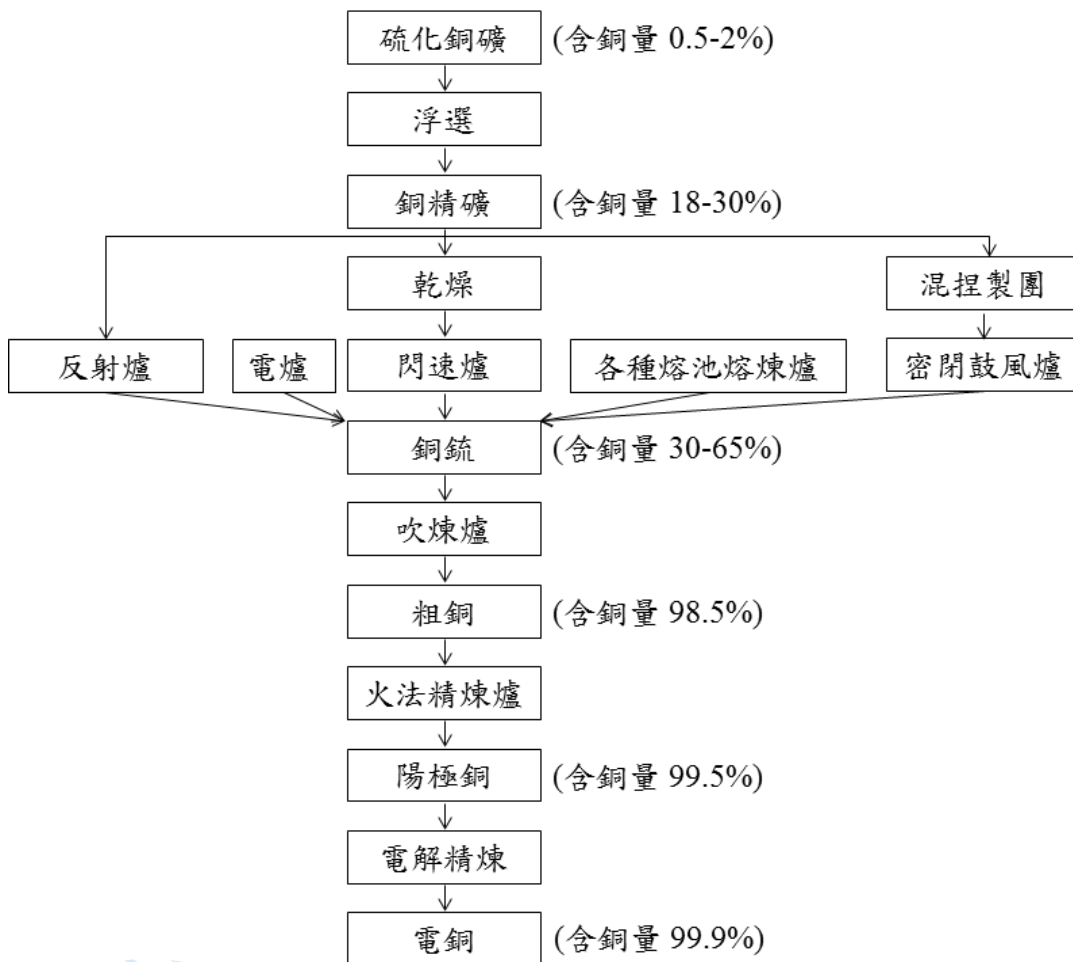
■ 圖 4 氧化鋁製造流程圖



(三) 銅製造業

銅原料之來源為開採銅礦石，將含銅量較高的銅精礦或銅礦砂經過冶煉提成獲得精銅及銅製品，常見冶煉技術有火法煉銅法、濕法煉銅法等冶煉方式。

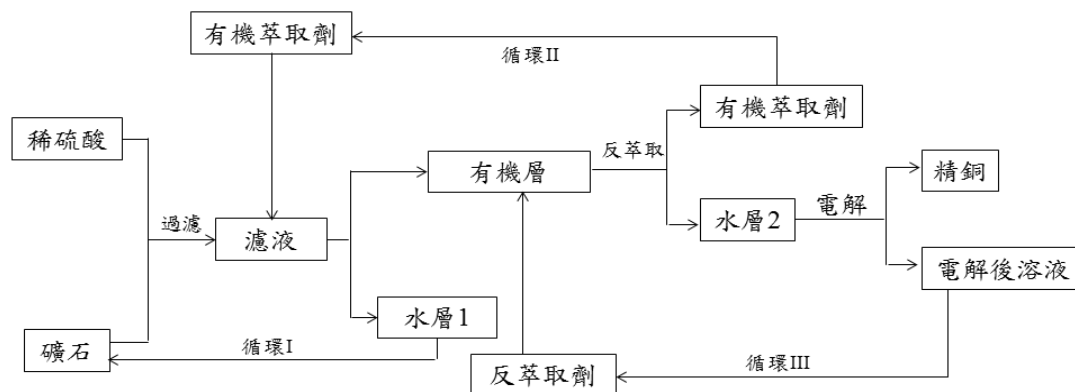
火法煉銅是透過熔爐冶煉和電解質精火煉產出電解銅，在密閉鼓風爐、反射爐、電爐或閃速爐進行熔煉產出熔銻（冰銅），進入轉爐吹煉成粗銅，於反射爐內經氧化精煉脫去雜質，或鑄成陽極板進行電解得電解銅，其具有流程簡短、高回收率之特性，冶煉流程如圖 5 所示。



(資料來源：金屬百科-銅的冶煉及分類)

■ 圖 5 火法煉銅製造流程圖

濕法煉銅流程如圖 6 所示，其所生產之精銅為電積銅，現代濕法治煉有硫酸化焙燒-浸出-電積，浸出-萃取-電積，細菌浸出等方法。

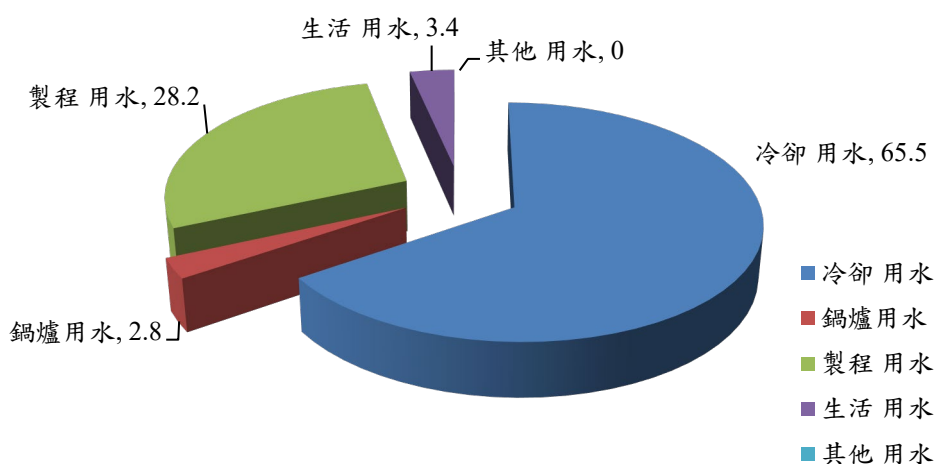


(資料來源：金屬百科-銅的冶煉及分類)

■ 圖 6 濕法煉銅製造流程圖

三、主要用水標的與用水情形

根據經濟部水利署 106 年工業用水統計報告中提出，基本金屬製造業全國佔地面積為 2,291.30 公頃，其年用水量 80.42 百萬立方公尺 (經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017)。依據用水結構分析中，基本金屬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、生活用水及其他用水等。根據統計資料顯示，金屬冶煉製程會產生高溫，因此以冷卻用水使用量占比為最大用水項目，比例可高達 65.5%，用水結構分析如圖 7 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 7 基本金屬製造業用水結構分析

第二章 水利三法相關子法、用水事宜

節水三法包括再生水資源發展條例（以下稱再生水條例）、水利法，及自來水法等，陸續於 104 年訂定或 105 年修正並完成公告，相關子法修正包括用水計畫審核管理辦法中規定工業區需補提用水計畫及「再生水用於工業用途水質基礎建議值」訂定等法令，對產業影響較大，因此，茲就上述相關水利法令及工業區研擬之用水管理機制進行說明。

一、用水計畫審核管理辦法

依據水利法第 54-3 條第 6 項規定，除農業用水外，經目的事業主管機關核定之開發行為實際用水量達一定規模，且未提出用水計畫者，中央主管機關得令開發單位或用水人限期提出用水計畫。「用水計畫審核管理辦法」業經多次協商，經濟部 107 年 6 月 28 日公告修正完成。

主要依水利法第 54 條之 3 第 6 項規定，開發行為前一年度實際用水量達 3,000 CMD (Cubic Meter per Day，簡稱 CMD) 以上之園區型態開發行為，如現況存續之原開發單位不具用水管理權責者，以達一定規模 (300 CMD 以上) 之區內用水人共同委託原開發單位，且與其並列為開發單位之模式共 23 座工業區分階段提出用水計畫；已完成或提送中工業區包括雲林科技工業區、台南科技工業區、彰濱工業區共 3 座工業區；另用水量未達 3,000 CMD 或已達 3,000 CMD 以下工業區共 29 座，暫不需補提工業區用水計畫。

應辦理補提之工業區，依用水量大小分 3 階段進行提送，各階段辦理期程如下說明：

1. 第 1 階段 (108.06)：用水量達 30,000 CMD 以上工業區，雲林離島式、觀音、新竹、中壢、林園、臨海及龍德等 7 座工業區。
2. 第 2 階段 (108.12)：用水量達 10,000~30,000 CMD 工業區，共 9 座工業區。
3. 第 3 階段 (109.06)：用水量達 3,000~10,000 CMD 工業區，共 7 座工業區。



二、工業區用水管理機制-經濟部工業局產業園區用水管理作業原則

為有效管理區內用水人之用水暨合理調度水資源，管理機構應檢視用水人需求與水資源供給能相互配合且符合節約用水政策，並針對核定之用水計畫實際用水進行管理，以達《用水總量管制目標》。依據《用水計畫審核管理辦法》第六條「用水計畫經核定後，開發單位應於用水計畫之各年度計畫用水量範圍內，依總量管制原則自行調度分配及管理區內個別用水人之用水...」。因此，針對園區內已有/補提用水計畫之工業區，研擬產業園區用水管理機制，希冀後續能準確掌握園區用水情形，達到用水彈性調配，並符合多元化之用水需求。

本原則參考本部水利署訂定之《用水計畫審核管理辦法》制定，全文共計 13 點，各點訂定原則摘要如表 2 所示，本原則主要規範對象為新設或既設用水人，其計畫用水量或增加用水量達 100 CMD 以上，且針對受規範之用水人，除於條文中明訂每年 3 月 1 日及 9 月 1 日，依管理機構指定之申報方式，申報上半年現況用水情形外，對於後續之查核機制、供水調度及裁罰機制等亦詳列於條文中，希冀透過本原則之擬訂，可強化區內穩定供水之目標。

表 2 產業園區用水管理作業原則摘要

| 經濟部工業局產業園區用水管理作業原則摘要 |
|------------------------------------|
| (第一點) 本要點訂定主旨 |
| (第二點、第三點) 管理對象及用水計畫提送流程 |
| (第四點、第六點及第七點) 管理機構調度分配及管理區內用水人事項 |
| (第五點、第九點及第十點) 審核用水計畫之相關作業規範 |
| (第八點、第十一點、第十二點) 用水人用水狀況查核申報之相關作業規範 |
| (第十三點) 用水人未依規定辦理之處理方式 |

本原則業於 20190515 依經濟部工業局令 (工地字第 10800465112 號) 正式公告，本 (108 年) 將針對已有全區用水計畫之工業區 (彰濱、雲科工、台南科技辦理園區用水管理，後續將根據各工業區用水計畫核定時程進行區內用水管理，以利後續園區用水總量管制。

三、再生水用於工業用途水質基礎建議值

再生水水質標準之訂定乃考量產業工業製程及各類用途相異，需求之水質標準不一，為找尋一平衡點，依照工業用途將再生水水質分為 Class A, B, C 三級，依照用水單元評估用水水質所需要增設之水再生設施與處理單元，分級方向及應用方向建議參考表 3，水質建議值如表 4 所示

表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表

| 項目 | 再生水品質 | 標的用途 | 建議處理程序 | 水質規格 |
|---------|-------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| Class A | 最高 | 高階工業用水 鍋爐給水 | 過濾+微濾/超濾+逆滲透+ 消毒程序 | 幾可達飲用水標準及工業高 階用水品質程度 |
| Class B | 次之 | 工業冷卻水系 統之系統水 | 過濾+微濾/超濾+消毒程序 | 可達工業冷卻用水品質程度 |
| Class C | 再次之 | 工業用水 | 過濾+消毒程序 | |

(資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016)

表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表

| 水質參數 | Class A | Class B | Class C |
|-------------------------------------|---------|---------|---|
| pH | 6.0~8.5 | 6.0~8.5 | 6.0~8.5 |
| 濁度(NTU) | 2 | 2 | 2 |
| 色度 | 5 | 10 | 10 |
| 臭味/外觀 | 無不舒適感 | 無不舒適感 | 無不舒適感 |
| BOD5(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」。

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

製程用水為製造過程中原料或半成品進行反應生成所需求之用水，此區段用水若要進行回收再利用，需經相關程序進行處理，可進行回收再利用，相關製程廢水水質特性如圖 8 所示，各項製程用水最適化及水回收技術如圖 9 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

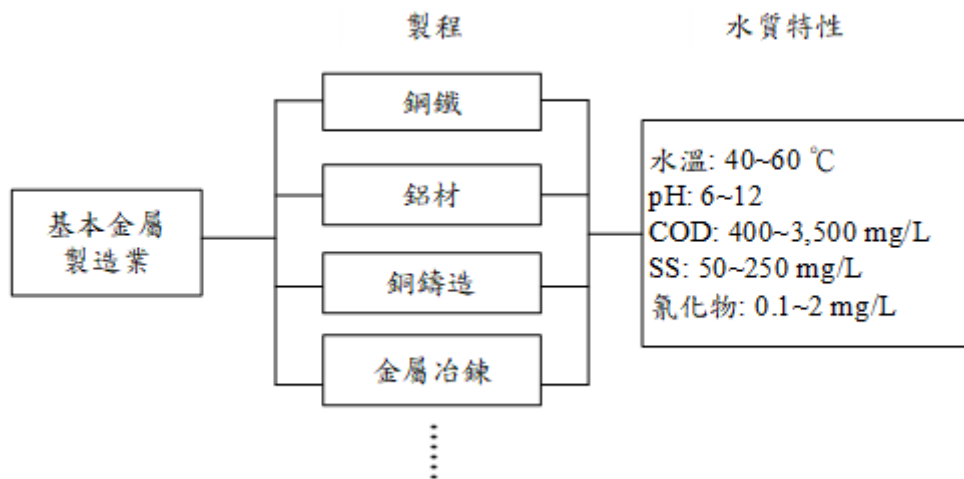


圖 8 基本金屬製造業製程廢水水質特性

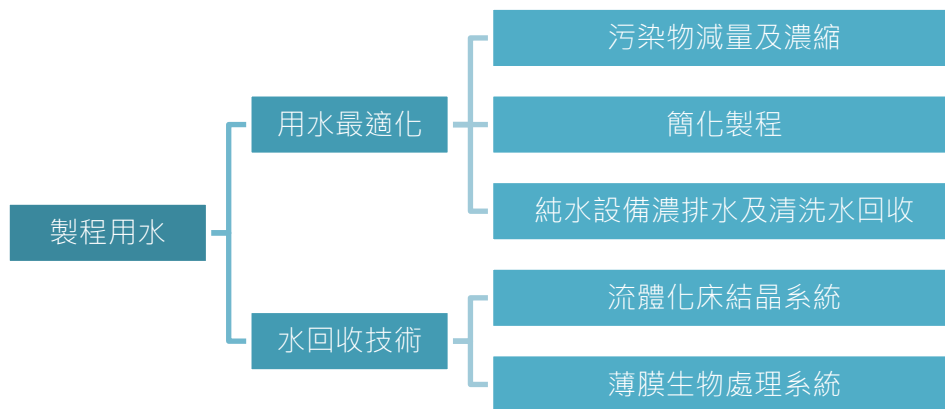


圖 9 製程用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 污染物減量及濃縮

藉由加藥操作或降低設備負荷等方式，減少污染物的產生，降低處理困難度，增加回收再利用之機會。例如重金屬回收，不僅可提昇水質，同時也減輕後端處理負擔。

2. 簡化製程

於不影響製程品質的情況下，製造程序簡化，或者改變洗滌出水模式，如改以高壓出水或噴嘴洗滌的方式，亦可使設備用水量降低，達到節水目的。

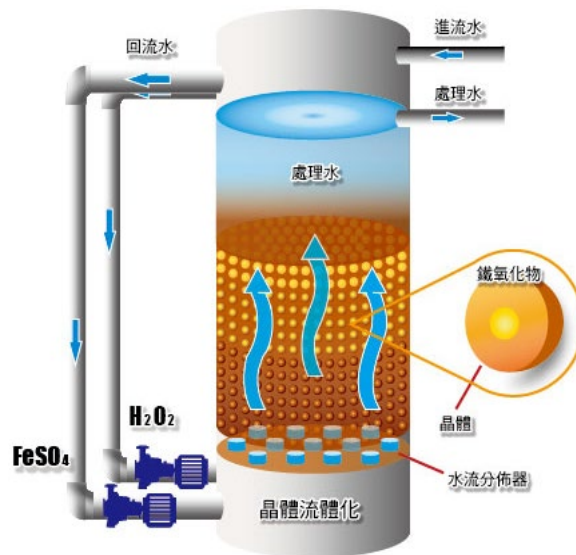
3. 純水設備濃排水及清洗水回收

製程中對於用水的品質有一定限制，在進入製程前，會先經過純水系統或軟水系統處理後再行使用。在逆滲透薄膜系統 (Reverse Osmosis，簡稱 RO) 純水設備的部分，其濃排水水質尚佳，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；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。而反沖洗頻率一般以導電度作為依據，相較於以通過水量視為反沖洗次數評估，導電度評估將更為精確，且可避免過度反洗。當反沖洗作業進行中，經過多次反洗後，其反沖洗水之水質將逐漸提升，後段正洗水質已趨近於自來水，通常水質清澈，具回收再用價值，因此可將該股正洗水回收作為冷卻水塔或洗滌塔補充等次級用水使用。

(二) 水回收技術

1. 流體化床結晶系統

流體化床結晶系統 (Fluidized Bed Crystallization, 簡稱 FBC) 係利用直徑 0.2~0.5 mm 矽砂擔體在結晶槽中作為結晶核種, 待處理廢水加藥後從反應槽底部向上流動, 外部接上水迴路, 做為調整進流水飽和度及達到擔體上流速度。當結晶粒徑達 1~2 mm 後, 則排出進行回收再利用, 處理原理如圖 10 所示, 其設備實體如圖 11 所示。



(資料來源: GREENTEC 公司)

■ 圖 10 流體化床結晶系統原理示意圖



(資料來源: 創新水科技研發服務網)

■ 圖 11 流體化床結晶處理系統設備圖



鋼鐵製造產線中，其連續鍍鋅線（CGL）及圈鐵準備線（CPL）將使用去離子水作為清洗使用，此清洗水具有導電度低之特性，但廢水中含有氯離子及 pH 值偏低之現象，為去除水中氯離子，可透過流體化床結晶產生二氯化鈣沉澱物以去除廢水中的氯離子，處理後之回收水可回流至軟水系統處理，做為冷卻水塔使用。

以某廠進流清洗水 35 CMD 為例，相關生成水量及建置經費估算將如表 6 所示。

表 6 流體化床結晶水回收設施經費分析

| 項目 | 流體化床結晶 |
|-----------------|---------|
| 產水量 (CMD) | 35 |
| 總建設成本 (元) | 210,000 |
| 單位產水成本-建設 (元/噸) | 3.85 |
| 單位產水成本-營運 (元/噸) | 2.6 |
| 單位產水總成本 (元/噸) | 6.45 |
| 年營運成本 (元) | 28,392 |
| 產水總成本 (元/月) | 5,866 |

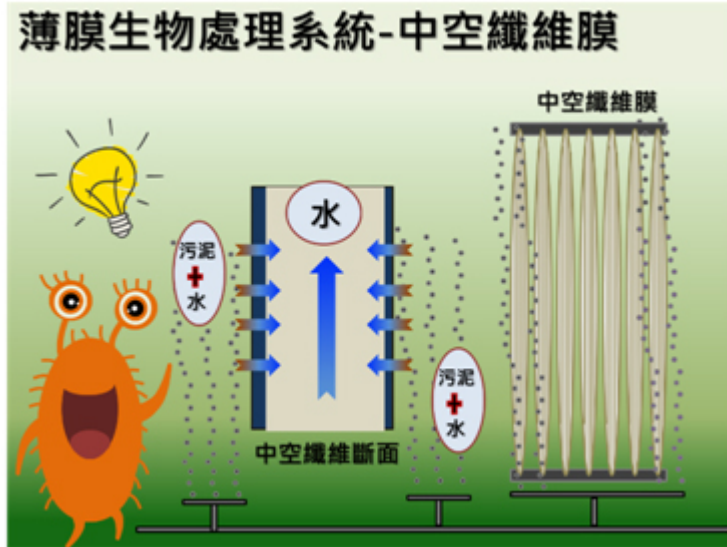
註：1. 單位建設成本以折舊年限 5 年估算。
2. 每月工作天以 26 天計。

（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，2014）

1. 薄膜生物處理系統

薄膜生物處理系統（Membrane Bio-Reactor，簡稱 MBR）是透過薄膜分離及生物反應兩者技術結合所衍伸的處理技術如圖 12 及圖 13 所示，透過薄膜進行固液分離，是降低水中化學需氧量（Chemical Oxygen Demand，簡稱 COD）及懸浮固體（Suspended Solids，簡稱 SS）之處理技術之一，其具備污泥齡長、產生污泥量少，佔地需求低等特色。

透過 MBR 系統處理過後之煉焦廢水，可使得整體 COD 去除率提升，同時也提升後續處理單元處理效益，處理後之水體也可規劃作為公共次級用水如沖廁、洗地或澆灌等使用。



(資料來源：財團法人環境與發展基金會)

■ 圖 12 薄膜生物處理系統示意圖



(資料來源：群揚材料股份有限公司)

■ 圖 13 薄膜生物處理系統設備圖



二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水單元在製程工業中所扮演之最大功效為吸收轉移設備過多的熱量，使得生產作業得以維持作業所需溫度，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 4 及表 5 所示，圖 14 為冷卻用水最適化及水回收常見之相關技術。

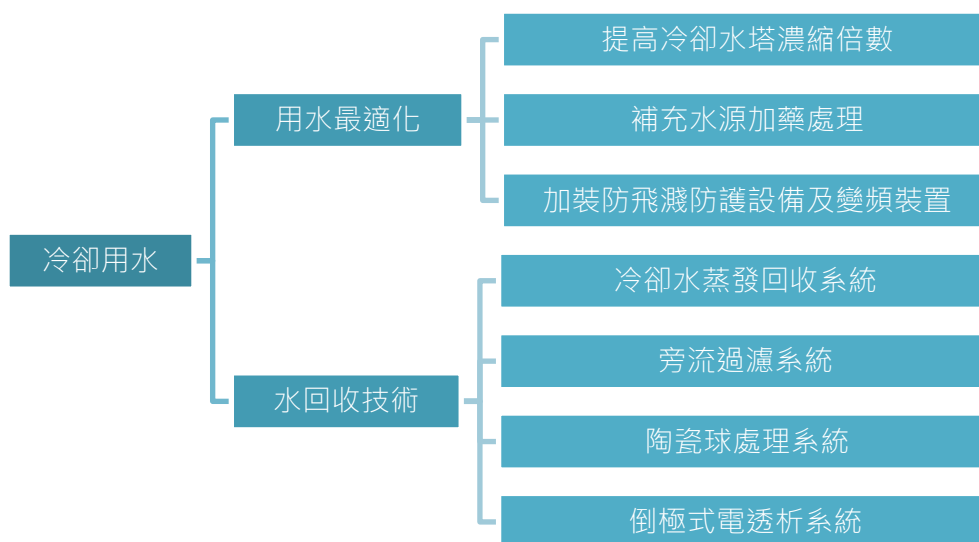


圖 14 冷卻用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 提高冷卻水塔濃縮倍數

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

$$C = M / B$$

$$= EC_{out} / EC_{in}$$

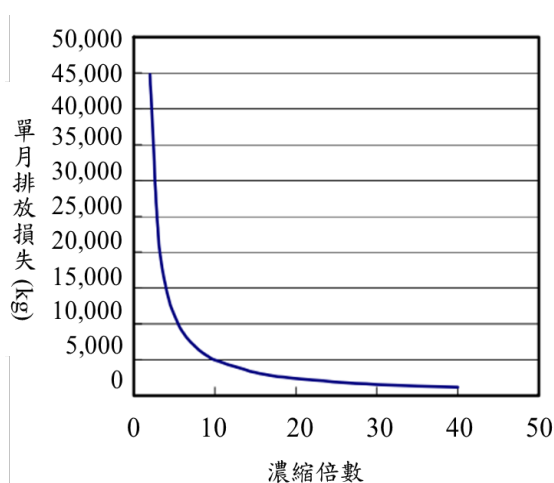
(M 為補充水量，B 為排放水量)
 (EC_{out} 為排放水導電度，EC_{in} 為補充水導電度)

以節約用水觀點而言，提高濃縮倍數，可達到減少排水量、降低加藥量及能源損耗。濃縮倍數節省冷卻用水量之情形如表 7 所示，但過高濃縮倍數將可能造成水質問題，依操作經驗濃縮倍數以 5~6 倍時效益最佳。以 100 噸冷卻水塔與濃縮倍數與排放量的關係為例，其濃縮倍數與排放損失關係如圖 15 所示，當濃縮倍數高於 20，對於節水百分比效益已逐漸趨緩，持續濃縮除了增加藥品之費用開銷外，亦會導致設備產生副作用及環境污染。

表 7 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表

| | | 提高排放濃度上限後之濃縮倍數 | | | | | | |
|-------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 原濃縮倍數 | | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
| | 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 15 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 16 所示。

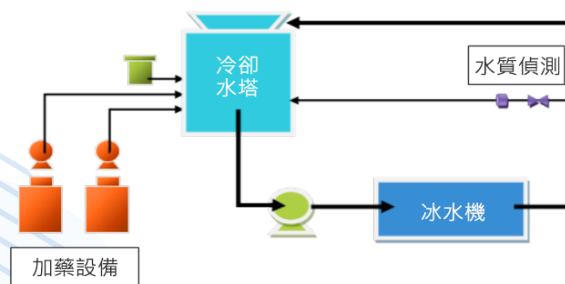
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index, 簡稱 LSI) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (pH)、Ca 硬度、M 鹼度 (M_{alk}) 及總溶解固體 (Total Dissolved Solids, 簡稱 TDS) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}]) + C_{scale} (f(T,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

若替代補充水中含藻類 (Algae) 或菌類 (Bacteria) 等時，將容易產生菌藻污塞，使得結垢及腐蝕問題更加惡化，產生冷卻水塔壓降及熱傳效率不良情形，處理方法為可選擇添加次氯酸鈉 (NaClO)、氯錠、二氧化氯 (ClO₂) 等滅菌劑，抑制微生物及藻類之滋長，惟較適合水量小及水質結垢者。

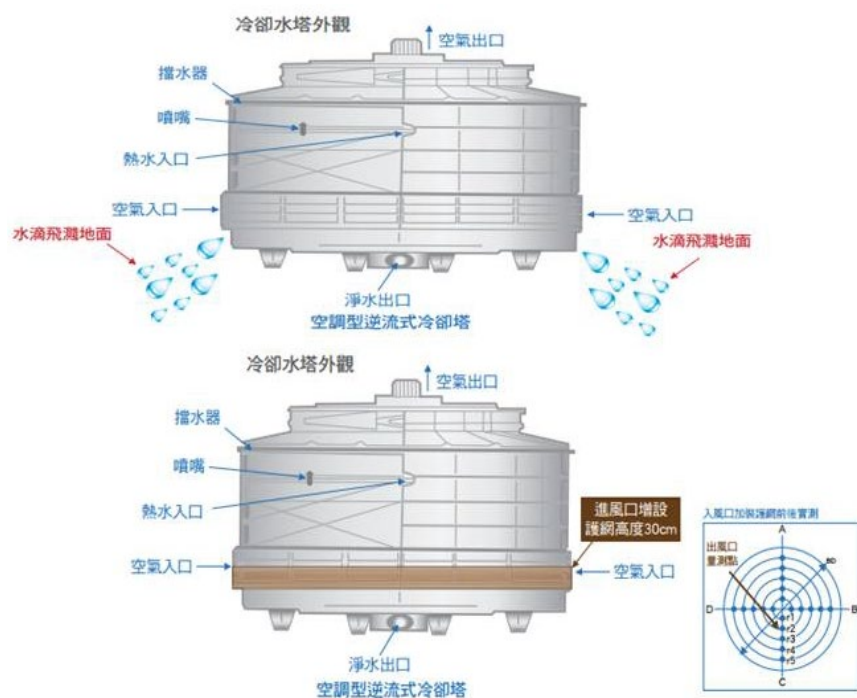


(資料來源：佺友股份有限公司)

圖 16 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 17 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 17 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

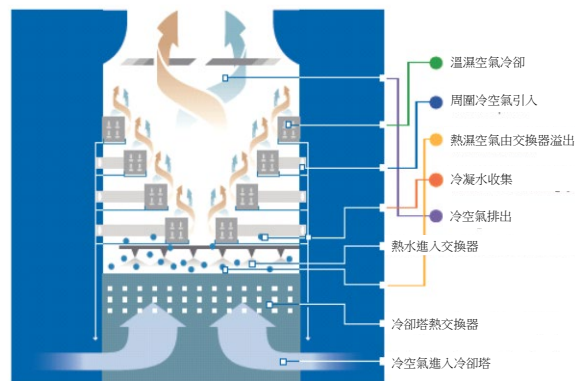


(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

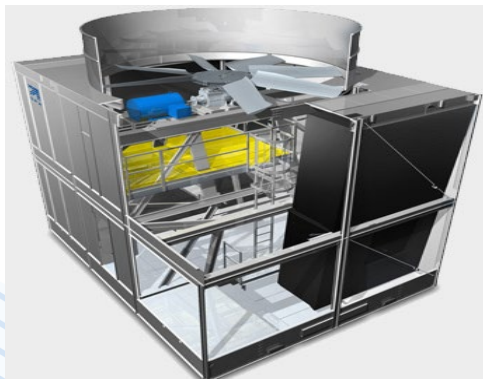
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點 (國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005)。

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 18 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 19 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 18 冷卻水塔蒸發回收系統圖



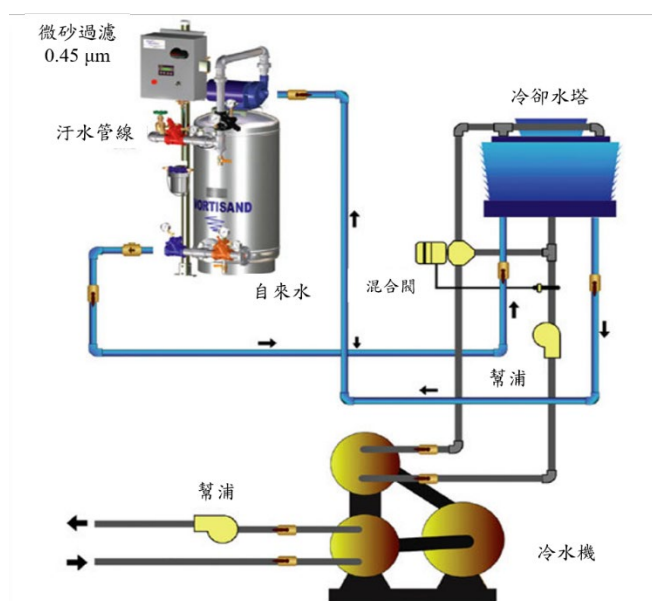
(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

■ 圖 19 消霧節水冷卻水塔設備圖

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，旁流過濾系統處理如圖 20 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 8 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 20 旁流過濾處理系統示意圖

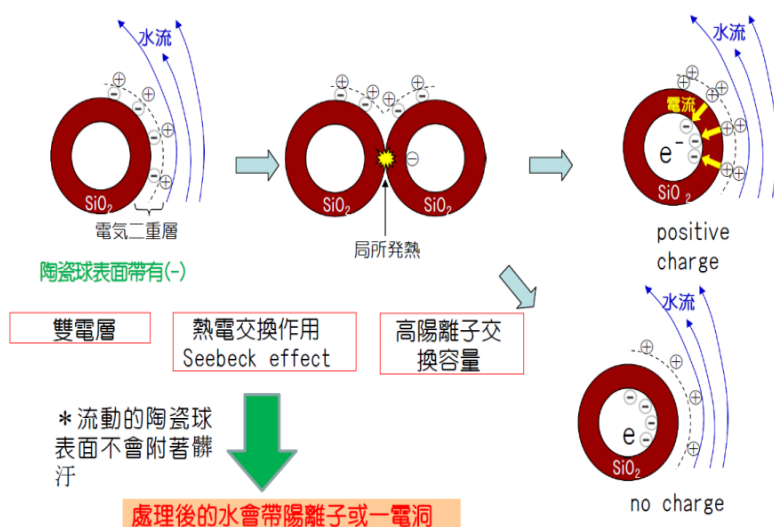
表 8 纖維過濾與傳統砂濾比較表

| | 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 21 及圖 22 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 21 陶瓷球水處理理論圖



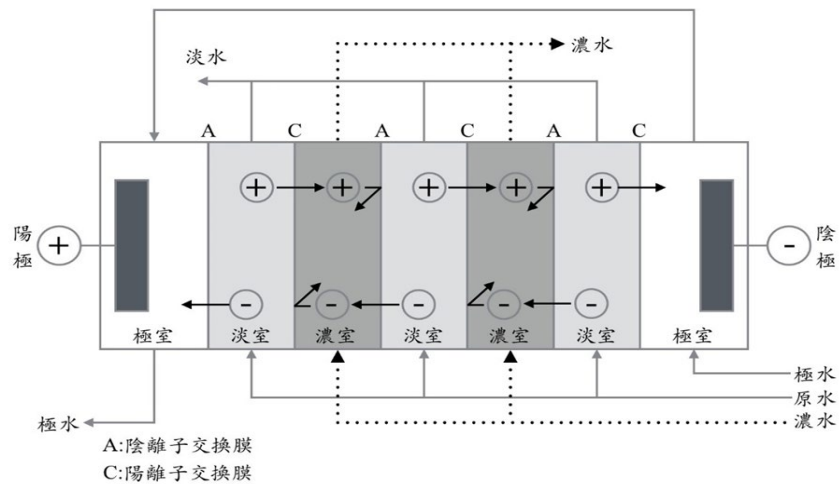
(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 22 陶瓷球水處理設備圖



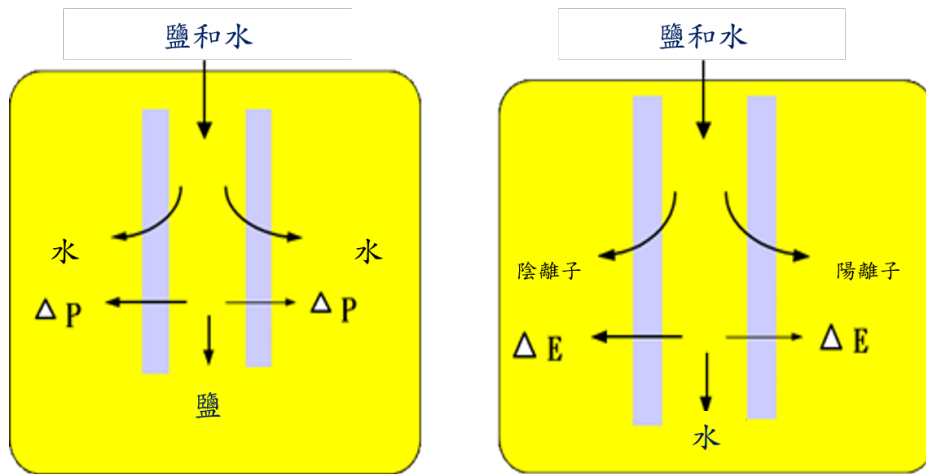
4. 倒極式電透析系統

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 23 所示。利用陽離子只能穿透陽離子膜, 而陰離子只能穿透陰離子膜的特性, 在外加直流電場的作用下, 水中陰離子移向陽極, 陽離子移向陰極, 最後得到淡水及濃水, 達到淡化除鹽的目的, 並利用切換直流電正負極和內部導流的方式延長薄膜使用壽命。EDR 可處理之導電度高達 $8,000 \mu\text{S}/\text{cm}$, 化學耐受性高, pH 值處理範圍介於 1~10 之間, 可用 3% HCl 清洗薄膜表面結垢或用 H_2O_2 或氯殺菌, 且對原水污泥密度指數 (Silt Density Index, 簡稱 SDI) 限值小於 15, 清洗維修週期長, 動能消耗低 (45~90 psi 操作) 故在操作成本上較 RO 低, 水回收率最高可達 90%, 氟離子濃度負荷可達 1,500 mg/L, 去除效率約 80%。其 RO 與 EDR 脫鹽技術之比較如圖 24 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，薄膜相關新技術應用於電導躡控制及處理成本分析，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 23 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，薄膜相關新技術應用於電導躡控制及處理成本分析，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 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖

國內已有大用水工廠以 EDR 進行冷卻排放水回收，此舉除可回收約 75% 冷卻排放水外，亦可有效減少冷卻系統循環水之藥劑使用量。表 9 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 9 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例

| 項目 | pH | 導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 鈣硬度 (mg/L as CaCO_3) | 鎂硬度 (mg/L as CaCO_3) | Cl^- (mg/L) | SO_4^{2-} (mg/L) |
|-----|---------|------------------------------------|---|---|--|--|
| 排放水 | 8.0~8.5 | 1520±30 | 275±25 | 30±5 | 250±30 | 290±30 |
| 再生水 | 5.0~6.2 | 295~315 | 20~27 | 0.5~1.4 | 9~12 | 91~112 |

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

三、鍋爐用水最適化及回收再利用技術

鍋爐用水係指在鍋爐內進行汽化所需之用水，其蒸氣將用於工業生產及發電，由於蒸汽凝結水具有較佳水質，因此適合用於回收再利用，且鍋爐用水循環再利用，多於密閉系統下進行，較無微生物孳生之困擾，但會產生腐蝕及結垢現象，因此藉由除氧、調節 pH 值、添加螯合劑、利用電磁場及脫鹼等控制腐蝕結垢，使得設備得以正常操作並降低用水量，相關用水最適化及水回收技術如圖 25 所示，說明如下。



圖 25 鍋爐用水最適化及水回收技術

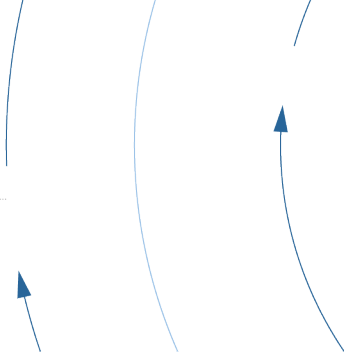
(一) 用水最適化

1. 腐蝕結垢控制

在鍋爐腐蝕預防控制技術中，預防結垢之方式如下：

(1) 除氧

對於鍋爐進水水質進行除氧，相關常見技術如化學除氧及熱力除氧。在化學除氧中，利用化學反應來除去水中溶解氧氣量，常用的有鋼屑除氧法、亞硫酸鈉除氧等方法；熱力除氧技術中，一般有大氣式熱力除氧和噴射式熱力除氧，原理是將鍋爐給水加熱至沸點，使氧溶解度減小，水中氧不斷逸出，再將水面上產生的氧氣連同水蒸汽一道排除，是目前應用最多且發展最成熟的一種除氧方法。



(2) pH 值控制

由於鍋爐材質為金屬材料，預防鍋爐腐蝕，對於進水應調高 pH 值，常用方式是以添加胺、有機胺中和二氧化碳以提高 pH 值。

(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。

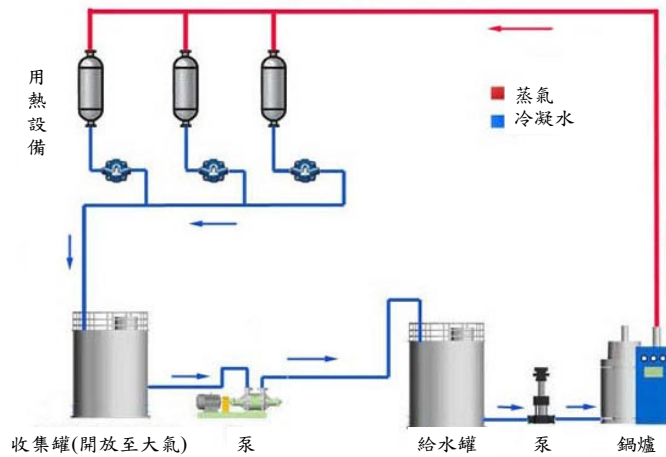


(二) 水回收技術-

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 26 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。

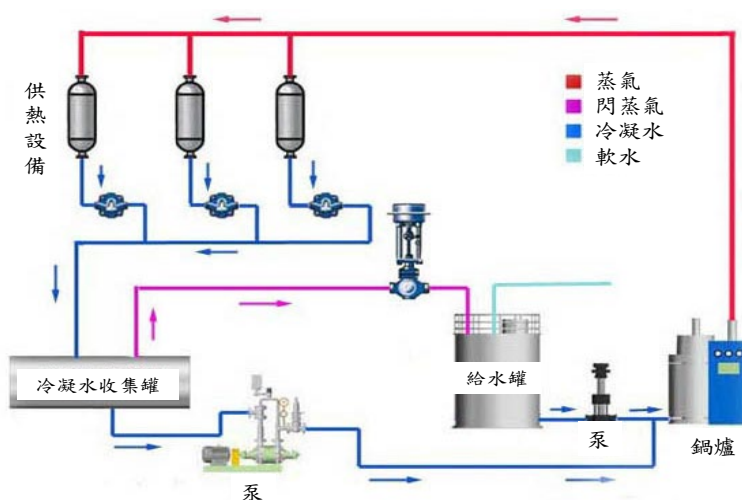


(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

■ 圖 26 開放式冷凝水回收系統示意圖

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 27 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 10 所示。



(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 27 密閉式冷凝水回收系統示意圖

表 10 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：迪埃爾維流體控制商貿有限公司，冷凝水回收：開放式系統 vs 封閉式系統)



四、放流水回收再利用技術

放流水回收再利用，除可降低廢水納管所衍生之費用外，亦可回收作為原水補充或其他次級用水使用，降低原水取水量。常見的放流水回收再利用技術包括電混凝、薄膜處理、活性炭吸附等如圖 28 所示，分別說明如下：

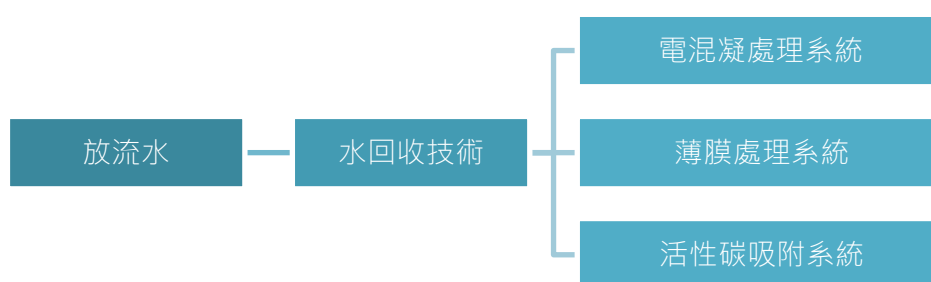
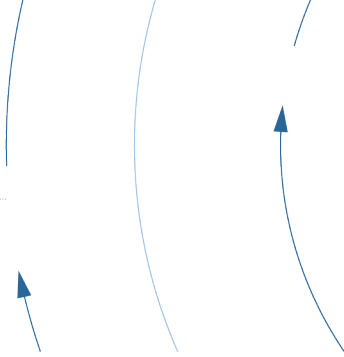


圖 28 放流水回收技術圖



(一) 水回收技術

1. 電混凝處理系統

電混凝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，藉由可溶解性金屬為極板，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、混凝及浮除等一系列作用，在處理系統中，會發生複雜的物化現象，除了電混凝之外，還有電分層、電浮除及電芬頓等同時在系統中進行，此設備簡單、操作簡易，產生污泥量少，可做為取代傳統之化學混凝回收法，達到良好之回收效益。

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，可去除水中油脂、COD、SS、色度、氨氮、硝酸鹽類及微量重金屬等污染物，經處理後的廢水，可將此股回收水做為次級用水，系統實廠模組如圖 29 所示。

以表 11 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 12 所示：



圖 29 電混凝系統實廠模組

表 11 電混凝 60 秒後水溶液污染物處理去除率

| 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 |
| 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 |

| 污染物 | 處理前 (mg/L) | 處理後 (mg/L) | 去除率 (%) |
|-------------|-------------|------------|---------|
| 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 12 電混凝水回收設施經費分析

| 項目 | 電混凝 |
|-----------------|------------|
| 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

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。平板膜就如同一張紙，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**）。

當放流廢水水質乾淨，具低**COD**（約為**80 mg/L**以內），且少量之**SS**情況下，透過加設**NF+UF+RO**於廢水前處理設備放流槽前，可有效回收管末放流水，首先以**NF+UF**進行過濾，可減少雜質造成**RO**使用效率及壽命，其回收水可做為冷卻水塔補充水亦或者回用至製程單元使用，實體設備（**UF+RO**）如圖 31 所示。

以**RO**產水率約為**50%**為例，某廠進流**464 CMD**放流水，所獲得之產水量及相關建設成本如表 13 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，2014）

■ 圖 30 超過濾加逆滲透薄膜過濾系統模組

表 13 微過濾、超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析

| 項目 | NF+UF+RO |
|-----------------|------------|
| 產水量 (CMD) | 232 |
| 總建設成本 (元) | 11,600,000 |
| 單位產水成本-建設 (元/噸) | 16.03 |
| 單位產水成本-營運 (元/噸) | 15 |
| 單位產水總成本 (元/噸) | 31.03 |
| 年營運成本 (元) | 2,171,520 |
| 產水總成本 (元/月) | 374,293 |

註：1.單位建設成本以折舊年限 5 年估算。
2.每月工作天以 26 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，2014)

3. 活性碳吸附系統

由於活性碳具有很強的吸附能力，依使用功能不同，區分為粉狀活性碳 (Powdered Activated Carbon，簡稱 PAC)、粒狀活性碳 (Granular Activated Carbon，簡稱 GAC) 及生物活性碳 (Biological Activated Carbon，簡稱 BAC) (林澤閔，生物活性碳濾床去除民生放流水有機物，中山大學碩士論文，2012)。透過活性碳機制，能有效地去除廢水中的 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，當金屬製造之放流水透過此回收技術處理，使得水中 COD 及 SS 能控制於小於 50 mg/L，惟導電度較高的情況下，建議可將管末放流水回收，透過活性碳並加氯消毒後，可以作為水質要求較低的清洗水使用。

以某廠回收 10 CMD 管末放流水為例，砂過濾系統初步估計總建設費為 20,000 元，單位產水成本的建設費以 12 年攤提計算，如表 14 所示。

表 14 活性碳吸附系統經費分析

| 項目 | 活性碳吸附系統 |
|-----------------|---------|
| 產水量 (CMD) | 10 |
| 總建設成本 (元) | 20,000 |
| 單位產水成本-建設 (元/噸) | 0.46 |
| 單位產水成本-營運 (元/噸) | 1 |
| 單位產水總成本 (元/噸) | 1.46 |
| 年營運成本 (元) | 36,000 |
| 產水總成本 (元/月) | 438 |

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. 總建設成本已含水管佈設費用

(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，2013)



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 31 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：

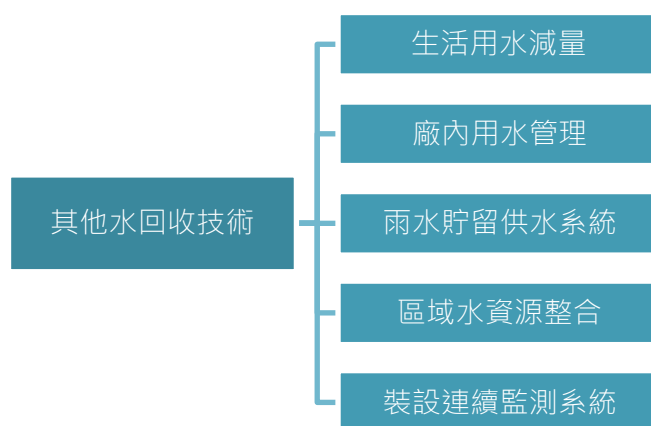


圖 31 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

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

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

(二) 廠內用水管理

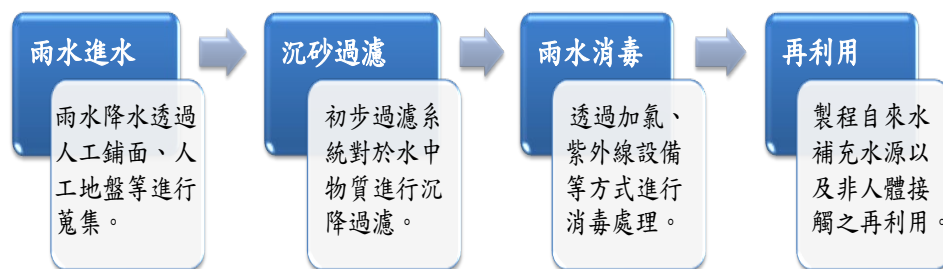
為使得廠內人員能清楚掌握廠內用水流向及用量大小，可於供水之主幹管，可劃分為製程、民生、鍋爐、洗滌塔...等管線或用水量大之設備加裝水錶，以了解水源流向，並能作為漏水檢視，避免水源浪費，且透過回收水槽加裝水錶及自動水質檢測設備，確保回收水用量及用水品質。

(三) 雨水貯留供水系統

雨水貯留供水系統是將雨水以天然地形或人工方法截取貯存，做為替代性補充水源。一般可藉由廠區之建物屋頂或頂樓樓板、公園綠地、停車場、廣場道路鋪面等進行雨水收集，經雨水處理系統（初步沉澱、過濾、消毒）後，流入貯水槽，以做為雜用水如沖廁、澆灌、補充空調用水或景觀池及生態池之補充水源，其回收處理流程如圖 32 所示。

台灣雨量雖然豐沛，但降雨分布不均及降雨延時短，容易產生極端降雨的情形。雨水貯留供水系統可在降雨量大時，將雨量收集起來做為原水補充，有效利用雨水資源，不僅能減少自來水的耗用，更可有效降低暴雨時期都市洪峰負荷。

一般較大規模雨水貯留槽會設置雨水-自來水自動切換系統，在缺水時使用自來水補給，以確保貯留槽有足夠水量。當雨水貯留槽內水位過低時，槽內所設計之球形閘或電擊棒受到感應，會打開補給管的閥門，自動補給自來水（雨水利用之設計要點，工研院能資所節水服務團）。



■ 圖 32 雨水回收流程圖

設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 15 所示，雨水截流系統設計值計算如表 16 所示，根據中央氣象局氣候分區相關氣象資料顯示，預估平均雨量、降雨概率規劃雨水利用設計量。

表 15 雨水處理設備與使用程度關係

| 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、人工鋪面、停車場 | | | | | | | |

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

表 16 雨水載流系統設計值

| 項目 | 公式 |
|---------|---|
| 地區日集雨量 | $\text{日平均降雨量} \times \text{集雨面積} \times \text{日降雨概率} = \text{日集雨量}$ <p>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）</p> |
| 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以下類型如圖 33 所示：

- (1) A 廠放流水提供 B 廠使用，有效減少 A 廠排水量及 B 廠之取水量。
- (2) 工業區相似性質之廢污水分類分流收集，並集中處理及回收，提供鄰近廠商使用。

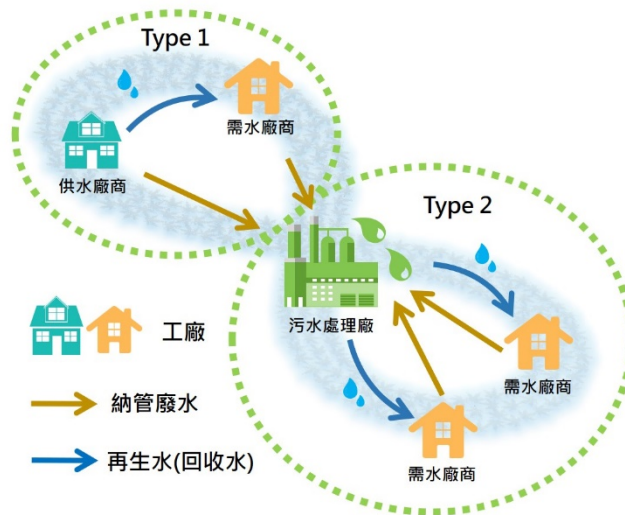
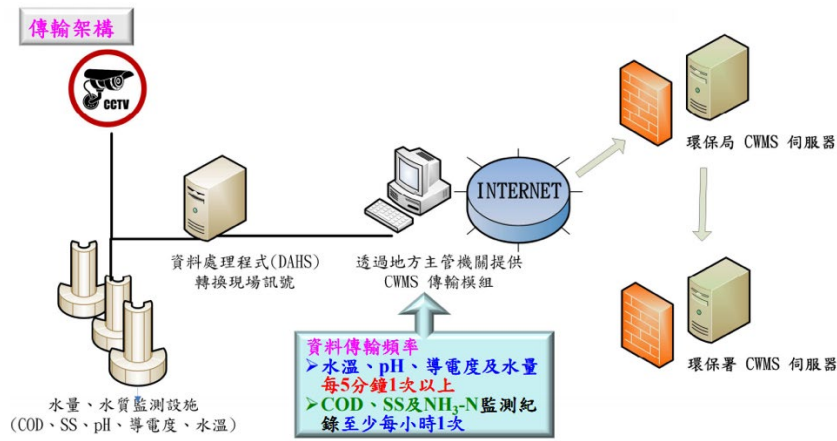


圖 33 區域水資源整合型態示意圖

(五) 裝設連續監測系統

若工廠與工業區排放量達行政院環境署之規定，須依據「水污染防治措施及檢測申報管理辦法規定」裝設廢汙水自動監測設施，監測傳輸設置裝置如圖 34 所示。裝設廢水連續監測系統，以隨時掌握排放水質及水量狀況如 COD、SS、pH、導電度及水溫等，透過資料處理程式轉換現場訊號，有助於廢水水質監控預警，亦能檢討評估廢水處理操作成效。



(資料來源：行政院環保署，廢水自動監測及連線傳輸設置程序，2014)

圖 34 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將基本金屬製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整如表 17。

表 17 基本金屬製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整

| 最適化管理 與回收再利用技術 | | 用水標的 | | | |
|-------------------|----------------|------|------|------|-----|
| | | 製程用水 | 冷卻用水 | 鍋爐用水 | 放流水 |
| 最 適 化 管 理 技 術 | 污染物減量及濃縮 | √ | | | |
| | 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 | 流體化床結晶系統 | √ | | | |
| | 薄膜生物處理系統 | √ | | | |
| | 冷卻水蒸發回收系統 | | √ | | |
| | 旁流過濾系統 | | √ | | |
| | 陶瓷球處理系統 | | √ | | |
| | 倒極式電透析系統 | | √ | | |
| | 冷凝水回收處理系統 | | | √ | |
| | 電混凝處理系統 | | | | √ |
| | 薄膜處理系統 | | | | √ |
| | 活性炭吸附系統 | | | | √ |



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 廠為日商來台投資之企業，並提供生產設備與技術，為台灣第一家專業之印刷電路板用電解銅箔廠，主要產品為印刷電路板用電解銅箔，厚度 1/4 OZ 以上，及背膠（樹脂）銅箔（RCC），厚度 1/4 OZ 以上。

(二) 製程流程

全廠主要生產印刷電路板用電解銅箔，主要用水部分為廠內製程加工中電解及表面處理單元，產品製造流程如圖 35 所示。

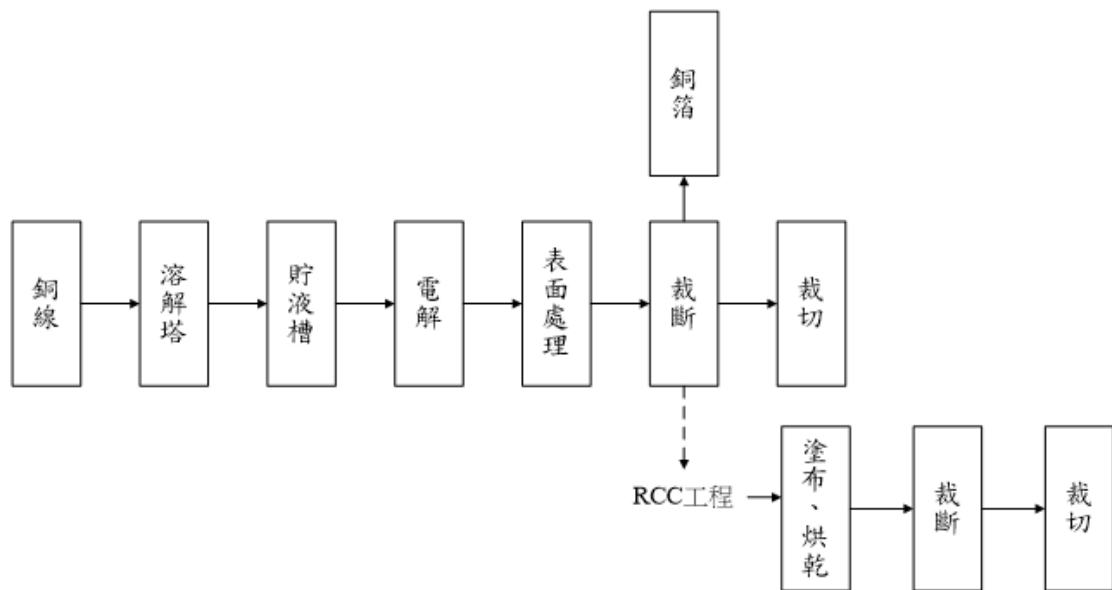


圖 35 案例 A 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

A 廠水源分為自來水、地下水及廠內回收水，全廠自來水用量約 1,204 CMD，地下水用水量約 348 CMD，回收水量約 3,486 CMD，廠內用水平衡圖如圖 36 所示。自來水主要供給製程用水、冷卻用水及生活用水，地下水主要供給製程用水及鍋爐用水，廠內回收水與地下水混合後供給純水系統使用。全廠製程表面處理單元為主要用水大宗，其用水量約佔全廠取水量之 73.3% 以上，而其他水源則供應冷卻、鍋爐及民生用水等部份。

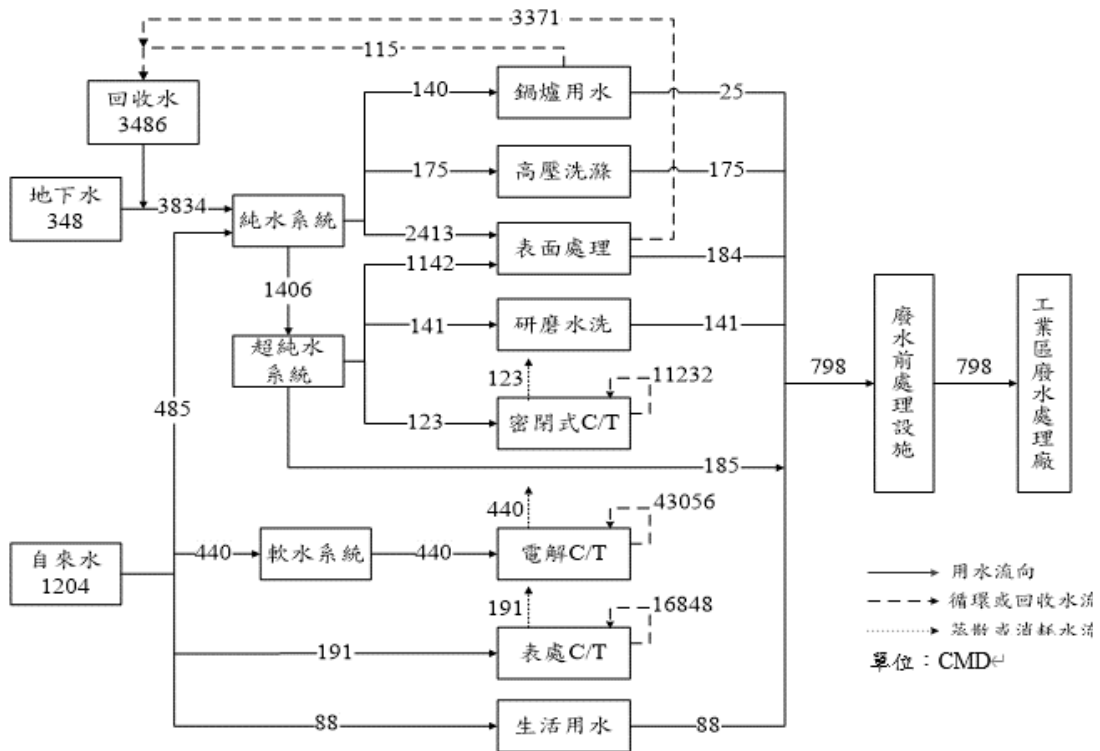


圖 36 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

A 案例廠排放水之污染物相關數值如表 18 所列。

表 18 案例 A 廠放流水水質

| 項目 | 檢驗值 |
|--------------|-------|
| 氫離子濃度指數 | 7.2 |
| 水溫 (°C) | 23.5 |
| 懸浮固體 (mg/L) | 8.3 |
| 化學需氧量 (mg/L) | 22.0 |
| 六價鉻 (mg/L) | <0.02 |
| 汞 (mg/L) | ND |
| 砷 (mg/L) | ND |
| 銅 (mg/L) | 0.30 |
| 總鉻 (mg/L) | <0.10 |
| 鎘 (mg/L) | ND |
| 鉛 (mg/L) | ND |
| 鋅 (mg/L) | <0.05 |
| 鎳 (mg/L) | ND |

經現場勘查、瞭解廠內用水現況、參觀廢水前處理設施、清查用水資料及與廠商討論後，規劃下列水回收方案：

方案一、純水系統樹脂塔後段逆洗水回收至純水系統使用

依廠商提供的資料，廠內有樹脂塔兩座，樹脂塔清洗水量約 185 CMD，又清洗水分為前段清洗水及後段清洗水，後段清洗水水質等級優於前段清洗水水質，因此建議將後段清洗水收集後與地下水混合回收至純水系統使用。後段清洗水量約占總反洗水量的 33%，平均每日可回收水量約 61 CMD。

方案二、冷卻水塔風扇採用多段式變頻裝置以節省用水

建議冷卻水塔風扇安裝多式變頻器進行改變轉速，依據冷卻水塔出水溫度與濕球溫度之溫差，再參考冰水主機運轉台數，作為冷卻風扇轉速之控制，此方式保守估計約可節省 10% 之冷卻水蒸發逸散量，預估可節水約 75 CMD 的原水取水源。

方案三、生活用水減量

由於廠內員工人數約 364 人，工廠為三班制 24 小時營運，依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 計算，其合理用水量約為 55 CMD，而廠內生活用水量約為 88 CMD，若能經由簡易地設備加裝及正確的節水觀念，方可使用水量減少及避免水資源的浪費，建議以下方式進行節水：

- (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。

以上方法可以讓生活用水更有效地被運用，能使不當用水的情形獲得改善，達到節水之目的，預計約可節水 33 CMD。

所規劃的水回收方案，可將該廠自來水取水量由原來之 1,204 CMD 降至 850 CMD，同時也降低了該廠納管水量，由原排放量為 798 CMD，改善後排放量降至 704 CMD，如圖 37 所示。

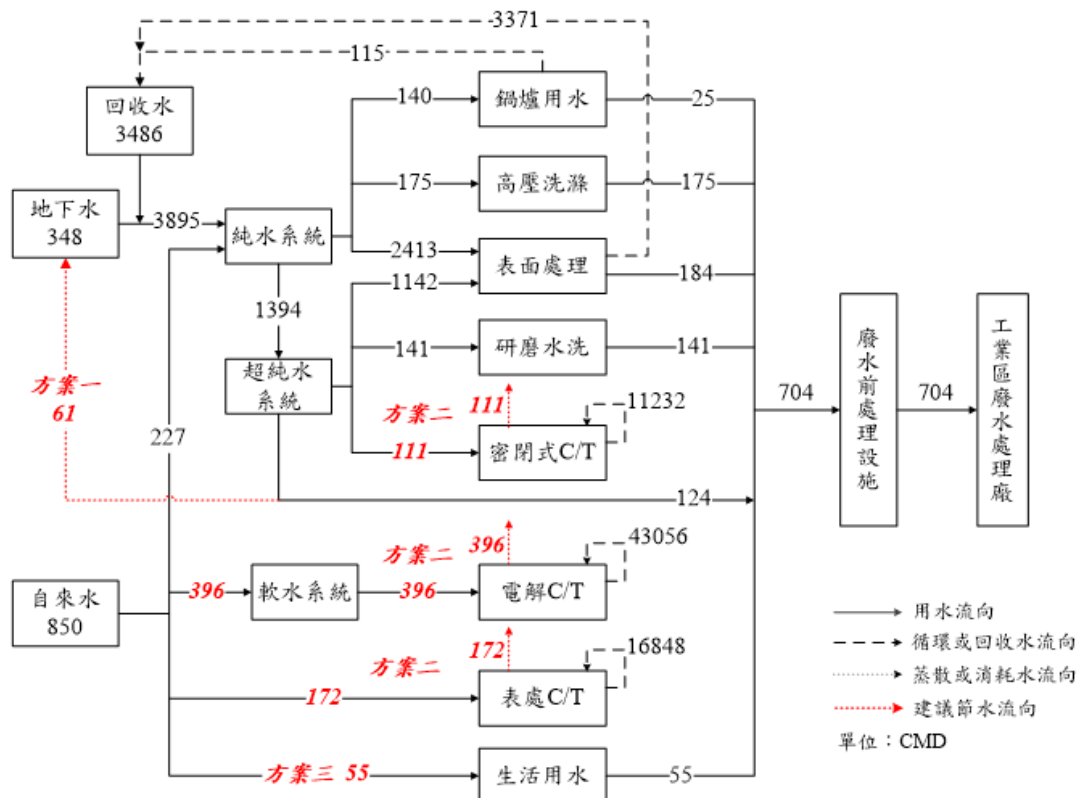


圖 37 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

水回收方案預計以廠商現有之設備與條件進行修正與建議，以符合經濟效益之狀況進行規劃。經現場討論，方案一、二、三為樹脂塔逆洗水回收、冷卻水塔加裝變頻裝置及生活用水減量，配管即變頻裝置等經費無法估算，金額以實際報價為主。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水及地下水，原自來水取水量為 1,204 CMD，改善後為 850 CMD，預計可節省 354 CMD；原排放量为 798 CMD，改善後排放量為 704 CMD，預計可節省 94 CMD 納管量。目前工業區內之自來水費為 12.5 元/噸，地下水之抽水機電費約為 2.5 元/噸，南崗工業區納管收費標準為 18.2 元/噸。於節水方案實施前需花費 1,104,828 元/月，經由實施改善後為 898,194 元/月，每年即可節省 2,479,608 元左右，水回收方案實施前後用水量及費用比較如表 19 所示。

表 19 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

| 項目 | 方案實施前 | | 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） | |
| 自來水量費 | 1,204×30 =36,120 | 36,120×12.5 =451,500 | 850×30 =25,500 | 25,500×12.5 =318,750 | 1,593,000 |
| 地下水水量費 | 348×30 =10,440 | 10,440×2.5 =26,100 | 348×30 =10,440 | 10,440×2.5 =26,100 | 0 |
| 納管水量費 | 798×30 =23,940 | 23,940×18.2 =435,708 | 704×30 =21,120 | 21,120×18.2 =384,384 | 615,888 |
| 廢水處理費 | 798×30 =23,940 | 23,940×8 =191,520 | 704×30 =21,120 | 21,120×8 =168,960 | 270,720 |
| 合計 | - | 1,104,828 | - | 898,194 | 2,479,608 |

註：1.每月工作天以 30 天計。

2.自來水水費 12.5 元/噸，地下水抽水機電費 2.5 元/噸，廢水處理費 8 元/噸，工業區納管費用以 18.2 元/噸估算。

3. 水回收率提升分析

A 廠原用水量為 2,305 CMD，排放量為 2,302 CMD，冷卻水塔蒸發量為 1 CMD，冷卻水塔循環量約 112 CMD，製程用水循環量為 350 CMD，鍋爐用水循環量為 5 CMD，洗滌塔用水循環量為 206 CMD。節水措施方面，預計經由實施節水方案可將回收水提升 1,157 CMD，而全廠地下水用水量與排放量各降低為 1,146 CMD 與 1,143 CMD，改善後全廠回收 R2 由 69.19% 提高至 74.75%，水回收計算結果如表 20 所示。

表 20 水回收方案實施前後水回收率變化

| 項目 | 全廠水回收率 (R1) | 全廠水回收率 (R2) |
|---|---|---|
| 實施前 | $97.96\% = \left(\frac{3,486+71,136}{1,552+3,486+71,136} \right) \times 100\%$ | $69.19\% = \left(\frac{3,486}{1,552+3,486} \right) \times 100\%$ |
| 實施後 | $98.42\% = \left(\frac{3,547+71,136}{1,198+3,547+71,136} \right) \times 100\%$ | $74.75\% = \left(\frac{3,547}{1,198+3,547} \right) \times 100\%$ |
| 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 公司占地約 122,844 平方公尺，屬未分類其他基本金屬製造業。公司於 1973 年 5 月設立，主要產品為各類冷軋鋼捲（如鍍 55% 鋁鋅鋼捲、鍍鋅鋼捲、鍍 5% 鋁鋅鋼捲）及烤漆產品。

(二) 製程流程

全廠主要處理各類冷軋鋼捲，製程主要經酸洗後進入軋延、鍍鋅、塗裝、精整、包裝等程序，其用水量主要用於製程（熱浸鍍鋅、烤漆、洗滌塔）、冷卻水塔及生活用水，流程如圖 38 所示。

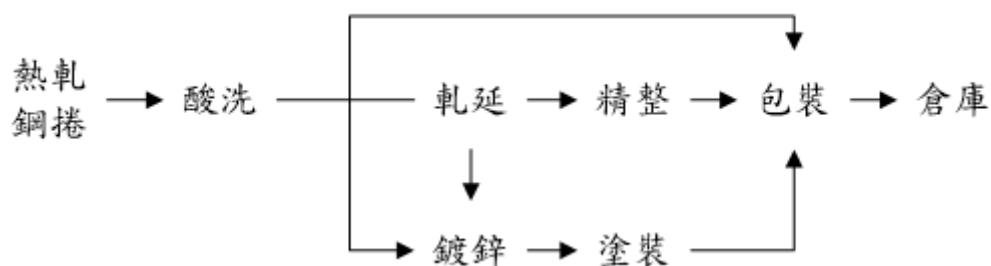


圖 38 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

全廠每日用水量約 1,310 CMD，所使用的主要水源為自來水，廠內水平衡圖如圖 39 所示。消耗水量為冷卻水塔、民生飲用及製程等共消耗 689.5 CMD，剩餘水量主要提供製程及冷卻用水使用。

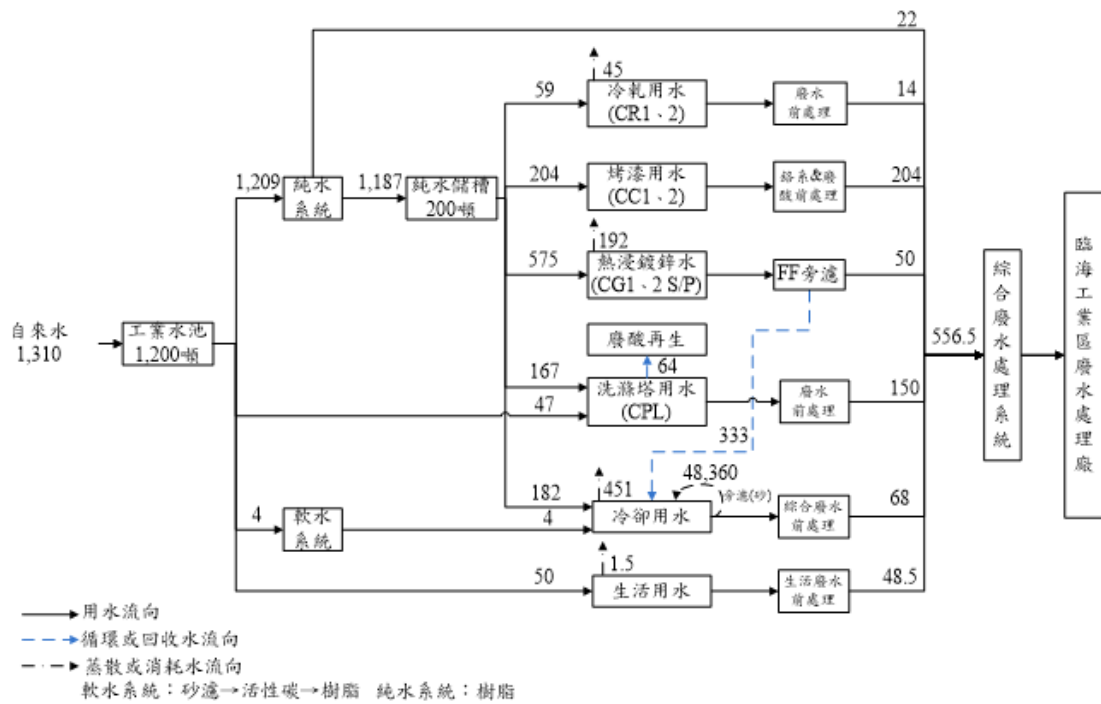


圖 39 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

依據圖 39 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，本輔導團隊針對現況規劃之水回收方案：

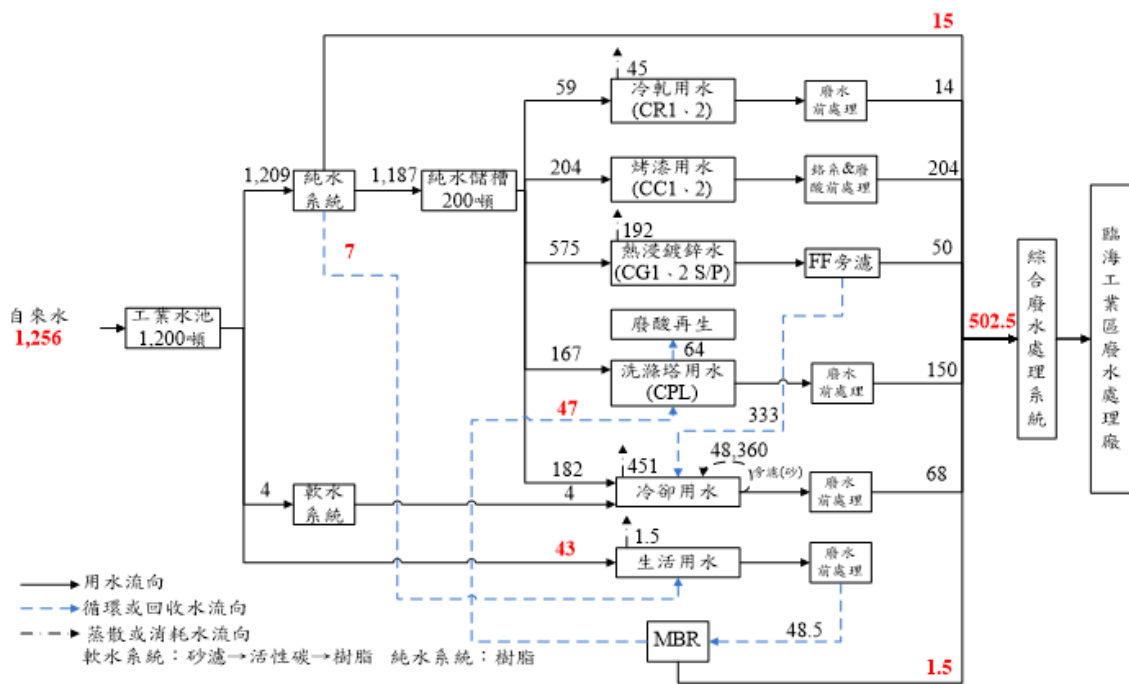
方案一、設置薄膜生物處理系統 (MBR) 處理生活污水，作為洗滌塔補注水

廠內原生活污水設置厭好氧生物處理，經本會採集處理後水樣進行分析，分析結果 pH 約 7.52、導電度約 743 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，水質尚屬良好，若藉由設置 MBR 系統，更能够有效處理生活污水，並作為洗滌塔補注水，約可回收 47 CMD。

方案二、純水逆洗水回收，作為民生沖廁洗地

廠內純水為樹脂系統，其樹脂飽和後通常需經酸液處理，然後再用鈉鹽活化逆洗水回收，其前段通常是濃度較高及較多 SS 部分，建議可於後段清洗水進行回收，並作為民生沖廁洗地或澆灌使用，約可回收 7 CMD。

所規劃的水回收方案，回收水量可由 397 CMD 提升至 451 CMD。原自來水量由 1,310 CMD 降低至 1,256 CMD，如圖 40 所示。



(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

所建議之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。預計於生活廢水端設置 **MBR** 系統並規劃作為洗滌塔用水，約可回收 **47 CMD**，另純水逆洗水部分作為民生沖廁洗地或澆灌使用，約可回收 **7 CMD**。其總建設費總計約 **3,072,000** 元，如表 21 所示。

■ 表 21 水回收設施經費分析

| 項目 | 方案設備 | 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/月) |
|-----|--------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| 方案一 | MBR 系統 | 47 | 3,000,000 | 14.8 | 1.2 | 16.0 | 20,304 | 22,525 |
| 方案二 | 純水逆洗水回收 (儲桶 5 噸*2) | 7 | 72,000 | 2.4 | 0.0 | 2.4 | 0 | 500 |
| | 合計 | 54 | 3,072,000 | 17.16 | 1.20 | 18.36 | 20,304 | 23,025 |

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。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水，目前自來水價格約為 12.93 元/噸，原取水量為 1,310 CMD，經現況瞭解後，可於生活廢水設置 MBR 系統，增加廢水處理效率，並回收用於洗滌塔以減少廢水納管費，亦可規劃純水逆洗水部分作為民生沖廁洗地或澆灌使用，共計約可回收 54 CMD。該廠單位納管成本為約 11.63 元/噸，原納管量為 556.5 CMD，改善後納管量估計降低至 502.5 CMD，如表 22 所示。

表 22 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

| 項目 | 方案實施前 | | 方案實施後 | | 節省費用 (元/月) |
|-----------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| | 水量 (噸/月) | 費用 (月/元) | 水量 (噸/月) | 費用 (月/元) | |
| 自來水 費用 | 1,310×30 =39,300 | 12.93×39,300 =508,149 | 1,256×30 =37,680 | 12.93×37,680 =487,202 | 20,947 |
| 納管費 | 556.5×30 =16,695 | 11.63×16,695 =194,163 | 502.5×30 =15,075 | 11.63×15,075 =175,322 | 18,841 |
| 代辦費 | - | 6,766 | - | 6,766 | 0 |
| 合計 | - | 709,078 | - | 669,290 | 39,787 |

註：1. 每月工作天以 30 天計。

2. 自來水水價約 12.93 元/噸、B 公司放流水納管費約 11.63 元/噸。



3. 水回收效益分析

全廠原用水量為 1,310 CMD，納管量為 556.5 CMD，廠原有水回收 397 CMD，經現況調查瞭解，可於生活廢水管末設置 MBR 系統，增加廢水處理效率，並回收用於洗滌塔以減少廢水納管費，亦可規劃純水逆洗水部分作為民生沖廁洗地或澆灌使用，共計約可回收 54 CMD，而使用水量由 1,310 CMD 降低為 1,256 CMD；納管量由 556.5 CMD 降低至 502.5 CMD。未來改善後全廠回收率 R1 由 97.38% 提升至 97.49%，增加 0.11%，R2 由 23.26% 提升至 26.42%，增加 3.16%，水回收方案實施前後水回收率變化結果如表 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 | $97.38\% = \left(\frac{397+48,360}{1,310+397+48,360} \right) \times 100\%$ | $23.26\% = \left(\frac{397+0}{1,310+397+0} \right) \times 100\%$ |
| 實施後 | $97.49\% = \left(\frac{451+48,360}{1,256+451+48,360} \right) \times 100\%$ | $26.42\% = \left(\frac{451+0}{1,256+451+0} \right) \times 100\%$ |
| 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. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
2. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency 2009
3. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
4. 元一鋁業-鋁的生產：
http://www.yuangee.com.tw/technology/index.php?parent_id=77
5. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
6. GREENTEC 公司 · <http://www.biogreentec.com.tw/pages/tw/theory.html>
7. 佳友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
8. 金屬百科-銅的冶煉及分類：<http://baike.asianmetal.cn/metal/cu/extraction.shtml>
9. 美淼環保科技有限公司 · <http://www.maymuse.com/reclaimed/>
10. 唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司 ·
http://www.rebeng123.com/product_view.php?id=18
11. 群揚材料股份有限公司 · <http://www.efmi.com.tw/?a=index/entry&id=12>
12. 電混凝雜質去除率 · <http://www.airglobalenergy.com/water-treatment-electrocoagulation/>
13. 鋁礬石煉鋁 · http://www.dianliwenmi.com/postimg_7524393_3.html
14. 創新水科技研發服務網 · <http://www.itriwater.org.tw/Technology/More?id=59>
15. 聯合報 · 鋁污泥外洩 毒殺環境大浩劫：
http://mail1.ctsh.mlc.edu.tw/~ctsh_h/cthchem/psweb/newspaper/aluminum_dre gs.html · 2010

17. 中龍鋼鐵股份有限公司，公用設施處能源調度工場 (W51) 節水作法分享，2015
18. 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
19. 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
20. 林澤閔，生物活性碳濾床去除民生放流水有機物，中山大學碩士論文，2012
21. 梁德明，薄膜相關新技術應用於電導度控制及處理成本分析，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
22. 金屬中心-ITIS 計畫，我國鑄造品應用產業發展及技術需求，2012
23. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
24. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
25. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2013
26. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2014
27. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
28. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
29. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
30. 經濟部水利署，節水紀實，2012
31. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
32. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
33. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016
34. 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

基本金屬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、台灣鋼鐵工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘漣

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



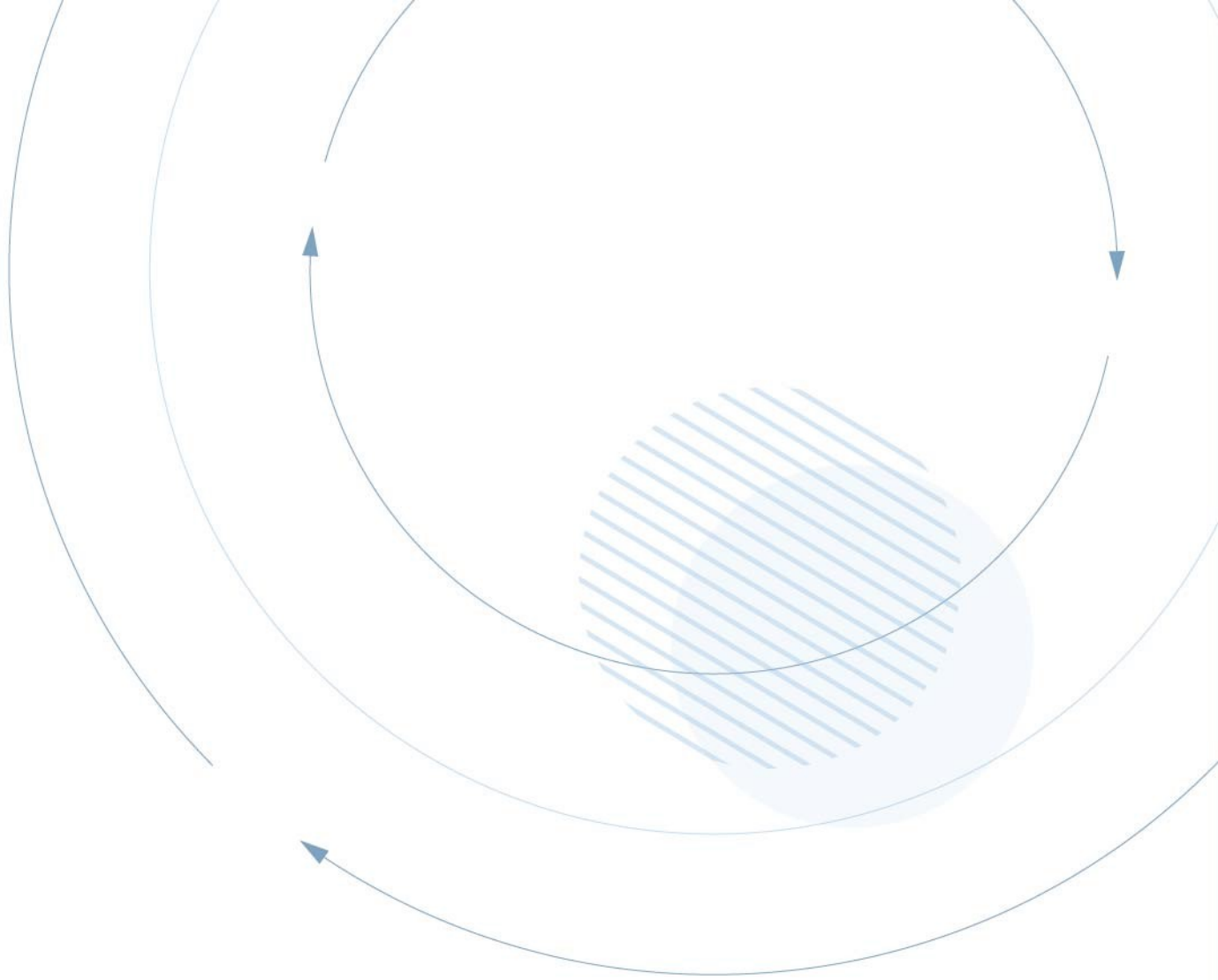


基本金屬製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

| 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

