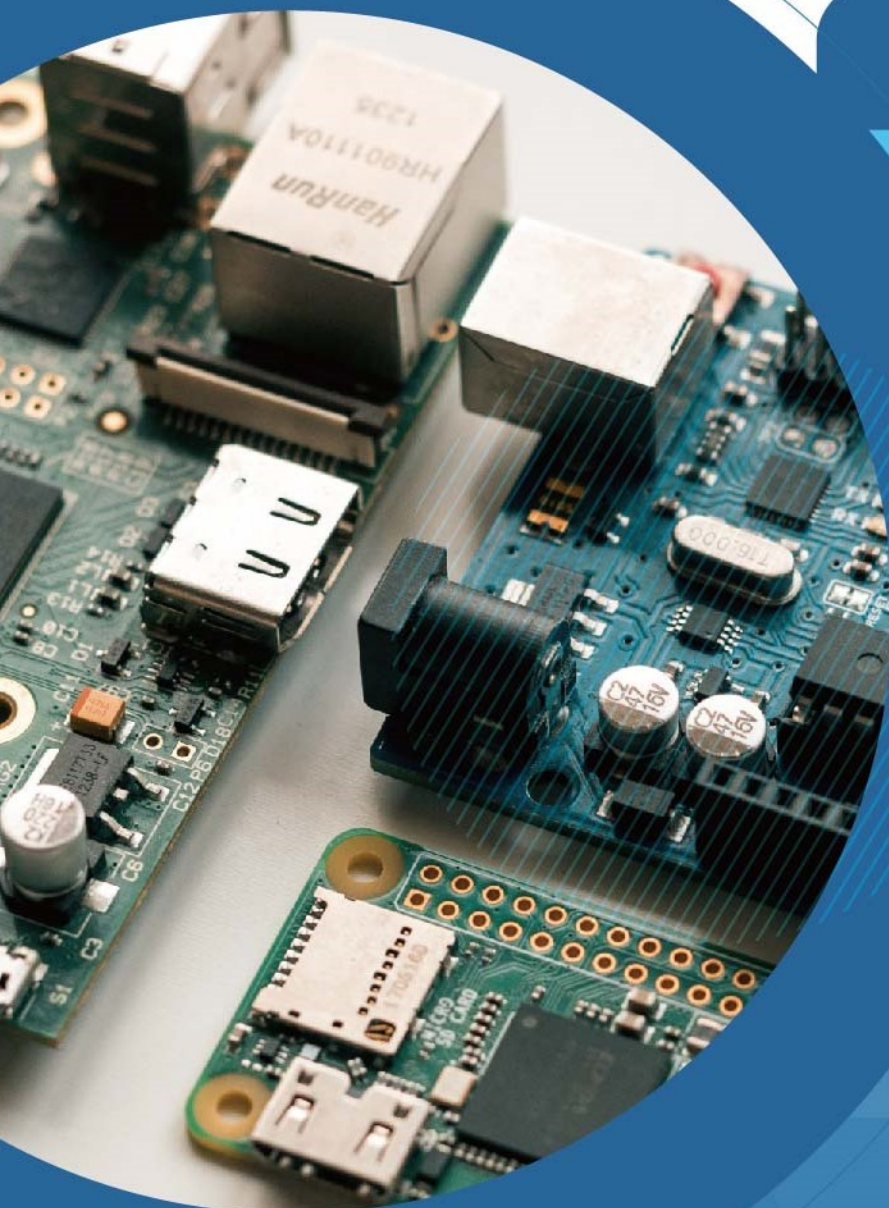




電子零組件製造業

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	4
(一) 半導體製造業	4
(二) 被動電子元件製造業	6
(三) 印刷電路板製造業	7
(四) 光電材料及元件製造業	9
三、 主要用水標的與用水情形	13
第二章 水利三法相關子法、辦法事宜	15
一、 用水計畫審核管理辦法	15
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	16
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值	17
第三章 用水最適化及回收再利用技術	21
一、 製程用水最適化及回收再利用技術	21
(一) 用水最適化	22
(二) 水回收技術	23
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術	30
(一) 用水最適化	30
(二) 水回收技術	34
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	39
四、 放流水回收再利用技術	39
(一) 水回收技術	40
五、 其他水回收技術	46
(一) 生活用水減量	46
(二) 廠內用水管理	46
(三) 雨水貯留供水系統	47
(五) 裝設連續監測系統	49
六、 小結	50
第四章 水回收再利用案例介紹	51
一、 案例 A 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	51
(四) 用水效率提升方案	52
(五) 成本效益分析	57
二、 案例 B 廠簡介	60
(一) 案例廠簡介	60
(二) 製程流程	60
(三) 廠內用水管理情形	61
(四) 用水效率提升方案	61
(五) 成本效益分析	64
第五章 參考文獻	67

圖 目 錄

	頁次
■ 圖 1 電子零組件製造業生產價值百分比例	3
■ 圖 2 晶圓製造流程圖	4
■ 圖 3 簡易積體電路製造流程圖	5
■ 圖 4 被動電子元件相關產業鏈	6
■ 圖 5 單面板製造流程圖	7
■ 圖 6 雙面板與多層板製造流程圖	8
■ 圖 7 印刷電路板製造流程圖	9
■ 圖 8 發光二極體磊晶製造流程圖	10
■ 圖 9 薄膜製造流程圖	11
■ 圖 10 面板工程製造流程圖	11
■ 圖 11 模組工程製造流程圖	11
■ 圖 12 電子零組件製造業常見廢水來源分類	12
■ 圖 13 電子零組件製造業用水結構分析	13
■ 圖 14 電子零組件製程廢水水質特性	21
■ 圖 15 製程用水最適化及水回收技術	21
■ 圖 16 電混凝處理系統之原理示意圖	23
■ 圖 17 電混凝處理系統設備圖	24
■ 圖 18 電透析薄膜處理系統原理示意圖	25
■ 圖 19 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖	25
■ 圖 20 超過濾加逆滲透薄膜系統模組	27
■ 圖 21 薄膜蒸餾系統氨氮分離/濃縮機制示意圖	28
■ 圖 22 電容去離子處理技術基本操作概念	29
■ 圖 23 冷卻用水最適化及水回收技術	30
■ 圖 24 濃縮倍數與排放損失關係圖	31
■ 圖 25 冷卻水塔加藥示意圖	32
■ 圖 26 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	33
■ 圖 27 冷卻水塔蒸發回收系統圖	34
■ 圖 28 消霧節水冷卻水塔設備圖	35
■ 圖 29 旁流過濾處理系統原理示意圖	36
■ 圖 30 陶瓷球處理系統理論	38
■ 圖 31 陶瓷球處理系統設備圖	38

■ 圖 32 放流水回收技術	39
■ 圖 33 電混凝處理系統實廠模組示意圖	40
■ 圖 34 流體化床結晶系統處理流程示意圖	42
■ 圖 35 流體化床結晶處理設備圖	42
■ 圖 36 薄膜生物處理系統示意圖	44
■ 圖 37 薄膜生物處理系統設備圖	44
■ 圖 38 其他水回收技術	46
■ 圖 39 雨水回收流程圖	47
■ 圖 40 區域水資源整合型態示意圖	49
■ 圖 41 監測連線傳輸設置圖	49
■ 圖 42 案例 A 廠製造流程圖	51
■ 圖 43 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	52
■ 圖 44 雨水收集區域示意圖	54
■ 圖 45 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	56
■ 圖 46 案例 B 廠製造流程圖	60
■ 圖 47 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前)	61
■ 圖 48 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)	63

表 目 錄

	頁次
■ 表 1 電子零組件製造業類別及定義	2
■ 表 2 產業園區用水管理作業原則摘要	16
■ 表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	17
■ 表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表	17
■ 表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值	19
■ 表 6 砂濾處理及倒極式電透析系統經費分析	25
■ 表 7 活性碳、樹脂及微過濾系統經費分析	26
■ 表 8 超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析	27
■ 表 9 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	31
■ 表 10 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	35
■ 表 11 冷卻水塔蒸發回收之成本分析	35
■ 表 12 纖維過濾與傳統砂濾比較表	37
■ 表 13 冷卻排放水以倒極式電透析系統回收產水水質實例	39
■ 表 14 電凝處理系統經費分析	40
■ 表 15 離子交換、超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析	41
■ 表 16 流體化床結晶系統與逆滲透薄膜系統經費分析	43
■ 表 17 倒極式電透析系統經費分析	43
■ 表 18 薄膜生物處理系統經費分析	45
■ 表 19 雨水處理設備與使用程度關係	48
■ 表 20 雨水截流系統設計值	48
■ 表 21 電子零組件製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整	50
■ 表 22 各工業區之降雨量估算參考依據	53
■ 表 23 雨水截流系統設計值	54
■ 表 24 案例 A 廠放流水水質現況及經處理後水質預估值	55
■ 表 25 水回收設施經費分析	57
■ 表 26 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	58
■ 表 27 水回收方案實施前後水回收率變化	59
■ 表 28 水回收設施經費分析	64
■ 表 29 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	65
■ 表 30 水回收方案實施前後水回收率變化	65

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)，電子零組件製造業為從事半導體、被動電子元件、印刷電路板、光電材料及元件等電子零組件製造之行業，依行業標準分類別可細分如表 1 所示。另依經濟部統計處公告資料如圖 1 所示，電子零組件製造業產值約為新台幣 37,917.4 億元，以積體電路製造業及液晶面板及其組件製造業產值占比較高，合計約占電子零組件製造業產值 63% (經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)。

電子零組件製造業對於製造電腦、通訊、資訊及家用電子設備等具有舉足輕重之角色，依產品特性可分為半導體製造、被動電子元件製造、印刷電路板製造及其他電子零組件製造等 4 類。其中，半導體產業之晶圓、電晶體、記憶體、積體電路 (Integrated Circuit，簡稱 IC)、二極體等為各類電子資訊設備中核心零組件，對於電子產業影響甚大。

2016 年臺灣 IC 設計產業在中高階智慧型手機主晶片市場面板驅動 IC 市占仍超過 50%，及 NAND FLASH 控制器獲得國際大廠採用之優勢，雖然台灣 IC 設計表現不如全球，但 2016 年臺灣 IC 設計產業仍有近兩位數成長 (產業價值鏈資訊平台)。

因日系廠商退出中高階被動元件市場，及中國大陸手機品牌之興起，2016 年臺灣被動元件廠商整體表現逆勢成長，於 2017 年臺灣被動元件廠商積極開發高階應用和新產品研發，並切進利基市場，產業再度出現較積極的擴產態勢 (產業價值鏈資訊平台)。

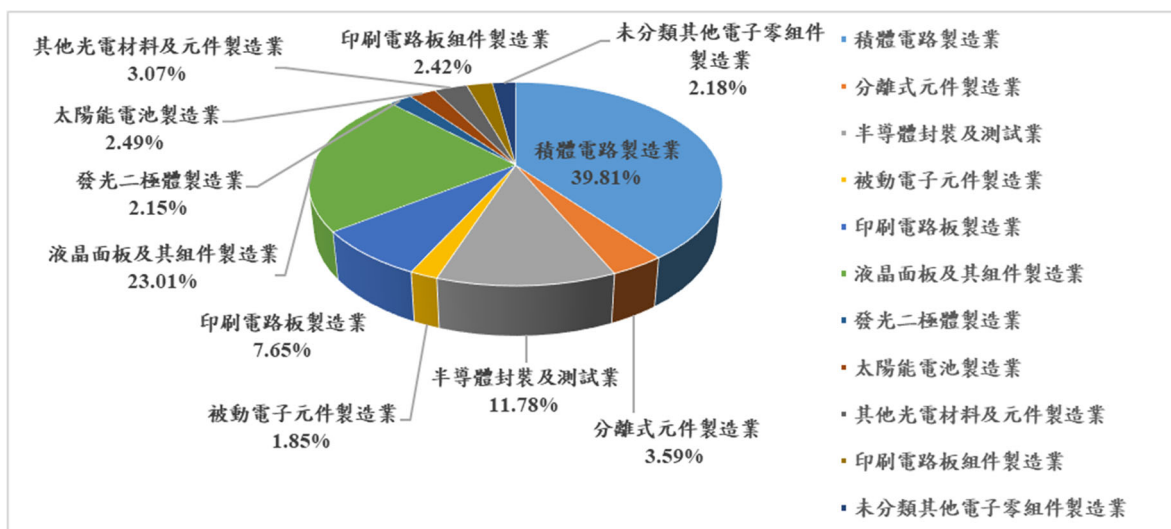
我國印刷電路板產業，因市場需求下滑及中國大陸業者以併購與低價等策略，持續威脅臺灣相關業者之訂單，2016 年臺灣產業產值成長率出現負成長，但現今產業為使得終端產品能達到薄型化趨勢並符合環保法律規範、對於高密度連接板 (High Density Interconnect，簡稱 HDI)及任意層高密度連接板(Any-layer HDI)之研發及相關技術克服值得期待 (產業價值鏈資訊平台)。

■ 表 1 電子零組件製造業類別及定義

分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	26			電子零組件製造業 從事半導體、被動電子元件、印刷電路板、光電材料及元件等電子零組件製造之行業。 不包括： 智慧卡印刷歸入 1601 細類「印刷業」。 顯示器製造歸入 2712 細類「顯示器及終端機製造業」。 數據機製造歸入 2729 細類「其他通訊傳播設備製造業」。 X 射線管及類似輻射裝置製造歸入 2760 細類「輻射及電子醫學設備製造業」。 照明用安定器及電力用繼電器製造歸入 2810 細類「發電、輸電及配電機械製造業」。
		261		半導體製造業 從事半導體製造之行業，如積體電路（IC）及分離式元件製造；半導體封裝及測試亦歸入本類。
			2611	積體電路製造業 從事晶圓、光罩、記憶體及其他積體電路製造之行業。
			2612	分離式元件製造業 從事分離式元件製造之行業，如二極體、電晶體、閘流體、積體電路引腳架、二極體及電晶體專用導線架等製造。
			2613	半導體封裝及測試業 從事半導體封裝及測試之行業。
		262	2620	被動電子元件製造業 從事被動電子元件製造之行業，如電子用之電容器、繼電器、電感器、電阻裝置等製造。
		263	2630	印刷電路板製造業 從事印刷電路板製造之行業；印刷電路銅箔基板製造亦歸入本類。 不包括： 印刷電路板組件製造歸入 2691 細類「印刷電路板組件製造業」。
		264		光電材料及元件製造業 從事光電材料及元件製造之行業，如液晶面板及其組件、發光二極體、太陽能電池、電漿面板及其組件等製造。
			2641	液晶面板及其組件製造業從事液晶面板及其組件製造之行業，如液晶面板、背光模組、彩色濾光片等製造。 不包括： 液晶小分子製造歸入 1810 細類「化學原材料製造業」。 液晶高分子製造歸入 1841 細類「塑膠原料製造業」。 玻璃基板製造歸入 2311 細類「平板玻璃及其製品製造業」。 液晶顯示器用驅動積體電路（IC）製造歸入 2611 細類「積體電路製造業」。 偏光板製造歸入 2649 細類「其他光電材料及元件製造業」。 液晶顯示器製造歸入 2712 細類「顯示器及終端機製造業」。
			2642	發光二極體製造業 從事發光二極體（LED）製造之行業。 不包括： 雷射二極體（LD）製造歸入 2649 細類「其他光電材料及元件製造業」。
			2643	太陽能電池製造業 從事太陽能電池及其模組製造之行業。
			2649	其他光電材料及元件製造業 從事 2641 至 2643 細類以外光電材料及元件製造之行業，如電漿面板及其組件等製造。
		269		其他電子零組件製造業

分類編號				行業名稱及定義
				從事 261 至 264 小類以外電子零組件製造之行業。
		2691		印刷電路板組件製造業 從事印刷電路板組件製造之行業，如主機卡、音效卡、網路卡、視訊卡、控制卡及其他印刷電路板組件製造。 不包括： 數據機製造歸入 2729 細類「其他通訊傳播設備製造業」。
		2699		未分類其他電子零組件製造業 從事 2691 細類以外其他電子零組件製造之行業，如電子連接器、濾波器、轉換器、電磁閥、石英振盪器、通訊微波元件、電子管等製造。 不包括： 數據機、橋接器、路由器、閘道器，及網路用集線器及交換器等製造歸入 2729 細類「其他通訊傳播設備製造業」。

(資料來源：行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016)



(資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)

圖 1 電子零組件製造業生產價值百分比例

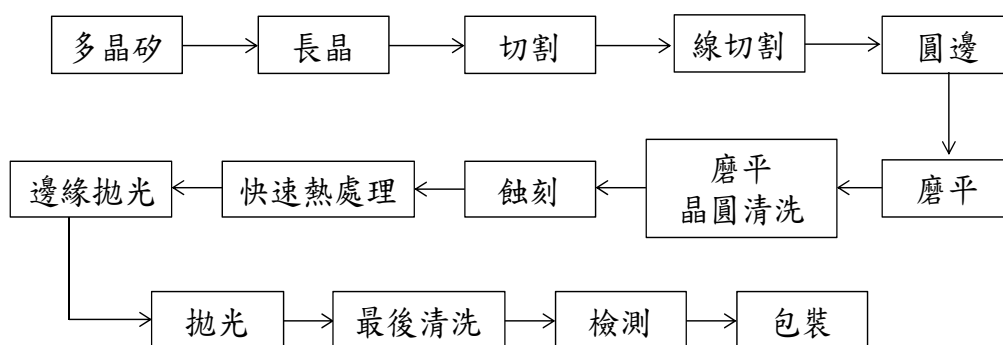
二、製程特性

本節針對電子零組件製造業中包括半導體製造業、被動電子元件製造業、印刷電路板製造業、光電材料及元件製造業等，分別概述其製程特性。

(一) 半導體製造業

1. 晶圓製造

半導體元件製造過程可概分為晶圓處理製程 (Wafer Fabrication，簡稱 Wafer Fab)、晶圓針測製程 (Wafer Probe)、構裝 (Packaging)、測試製程 (Initial Test and Final Test) 等幾個步驟。一般稱晶圓處理製程與晶圓針測製程為前段 (Front End) 製程，構裝、測試製程為後段 (Back End) 製程，其製造流程如圖 2 所示。



(資料來源：匯豐中華投信-陳泳潭，2000)

■ 圖 2 晶圓製造流程圖

2. 積體電路製程

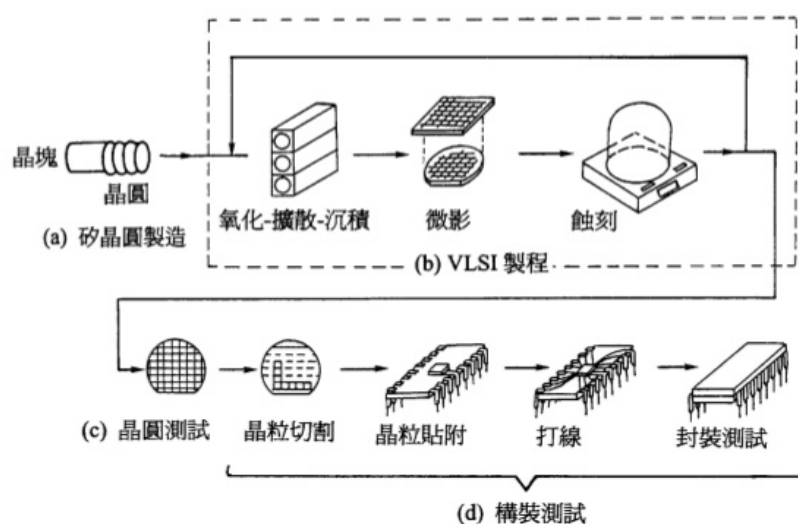
積體電路 (IC) 製程是把光罩上的電路圖轉移到晶圓上，其製造步驟簡單分成金屬濺鍍、塗佈光阻、蝕刻技術及光阻去除，雖然實際製造時，製造的步驟會有差異，使用的材料也有所不同，但是大體上皆採用類似的原理，以下將分別介紹各階段流程：

- (1) 金屬濺鍍：將欲使用的金屬材料均勻灑在晶圓片上，形成薄膜。
- (2) 塗佈光阻：先將光阻材料放在晶圓片上，透過光罩，將光束打在不要的部分上，破壞光阻材料結構，再以化學藥劑將被破壞的材料洗去。
- (3) 蝕刻技術：將沒有受光阻保護的矽晶圓，以離子束蝕刻。
- (4) 光阻去除：使用去光阻液將剩下的光阻溶解掉，如此便完成一次流程。

最後將會在一整片晶圓上完成很多 IC 晶片，接下來只要將完成的方形 IC 晶片剪下，便可送到封裝廠做封裝（封裝的流程大致如下：切割→黏貼→銲接→模封）、測試，便可完成成品製造，簡易製造流程示意如圖 3 所示（製程及原理概述）。

IC Fabrication Flow

• 電路設計 IC 製造 封裝 測試



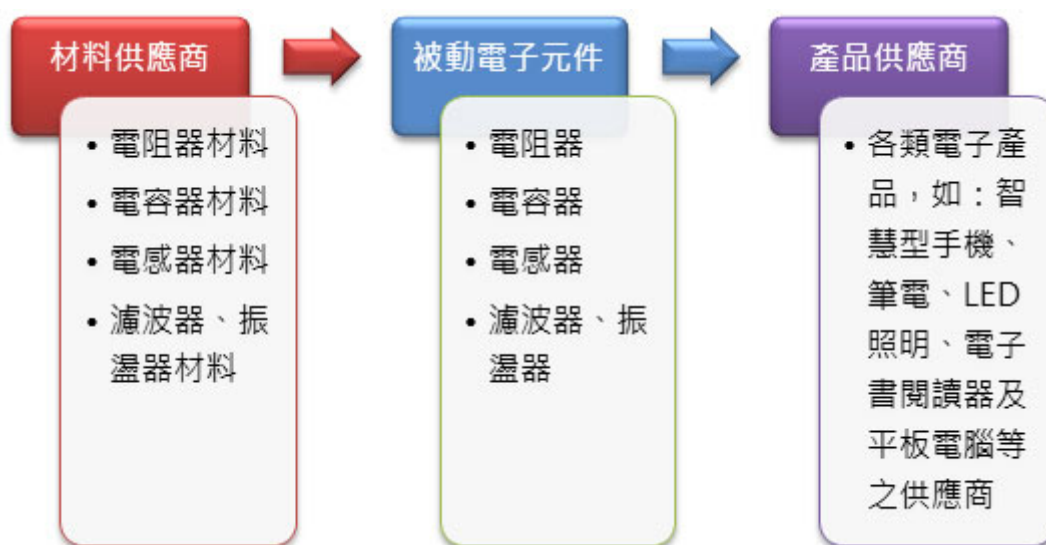
（資料來源：半導體原理及應用（II），2011）

■ 圖 3 簡易積體電路製造流程圖

(二) 被動電子元件製造業

所謂「被動元件」，其扮演之角色為保護主動元件，當一項電子產品進行電流或電壓的改變時，「被動元件」的作用就是透過低電壓、過濾雜訊等方式，達到保護「主動元件」的目的。依據不同作用模式，可分為電容器(**Capacitor**)、電阻器(**Resistor**)與電感器(**Inductor**)三大類；「電容器」就是以靜電的方式蘊容電荷，並在預定的時間釋放出來作為調節過濾電波；而「電阻器」就是以阻擋的方式達到降低電壓電流的功用，「電感器」則是因電流改變而感應而生，作為過濾雜訊與電磁波的功用，目前台灣廠商生產主力主要集中於積層陶瓷電容器(**MLCC**)和晶片電阻產品(中華徵信所)。

而零組件之品質穩定性將直接影響下游各類電子產品之製造品質及壽命，於工業產品、消費電子、資訊通訊等設備皆有使用此元件，有關於被動電子元件製造產業之相關產業鏈如下圖 4 所示：



(資料來源：陳欣瑜，產業分析：被動電子元件製造業發展趨勢，2012)

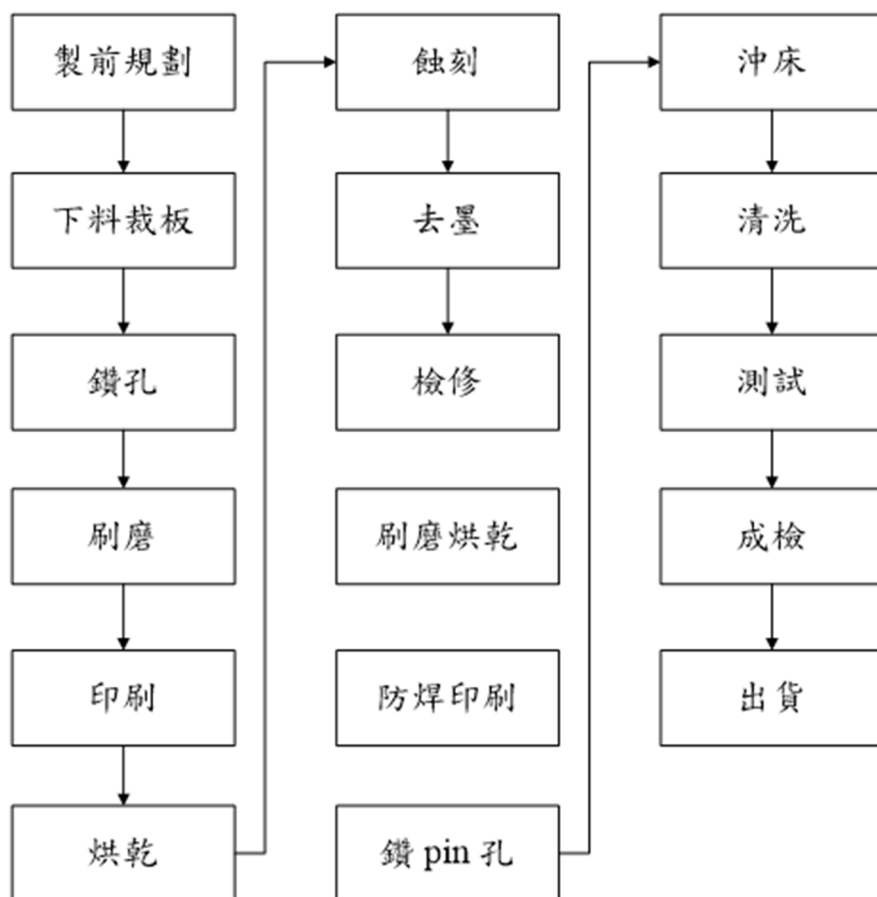
■ 圖 4 被動電子元件相關產業鏈

(三) 印刷電路板製造業

印刷電路板 (Printed Circuit Board , 簡稱 PCB) 是重要的電子部件，是電子元件的支撐體及電子元器件線路連接的提供者，其製程是依據電路設計，將連接電路零件的電氣佈線繪製成佈線圖形，然後再以設計所指定的機械加工、表面處理等方式，在絕緣體上使電氣導體重現所構成的電路板，此為傳統的電路板製程，又稱為印刷線路板；由於電子產品不斷微形化及精細化，目前大多數的電路板都是採用貼附蝕刻阻劑 (壓膜或塗佈)，經過曝光顯影後，再以蝕刻做出電路板 (京亮電子公司)。根據電路配置的情形可概分為三類：

1. 單面板

零件集中在其中一面，導線則集中在另一面上，因此稱此 PCB 叫作單面板 (Single-sided)，此為早期電路板配置方法，製程流程如圖 5 所示。



(資料來源：中山大學)

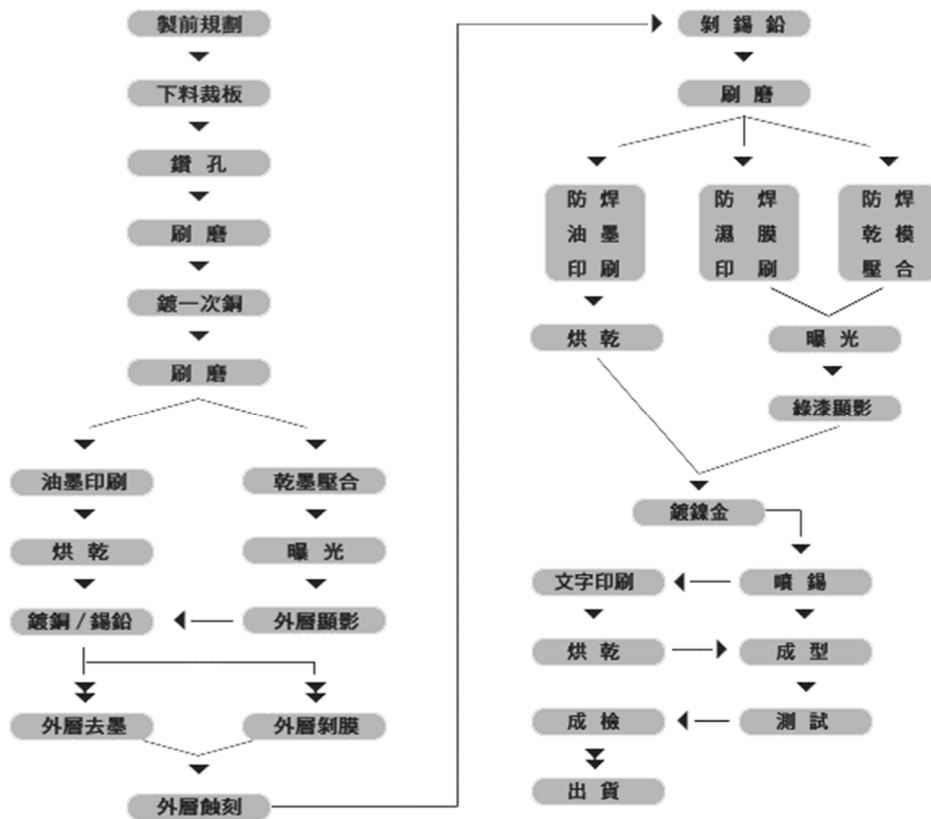
■ 圖 5 單面板製造流程圖

2. 雙面板

电路板的兩面都有佈線，但要用上兩面的導線，兩面之間需要有適當的導孔(via) 連接才得以使用，導孔是在 PCB 上，充滿或塗上金屬的小洞，使得兩面導線相連接。因佈線可以互相交錯更適合使用於複雜的電路上，其製程如圖 6 所示。

3. 多層板

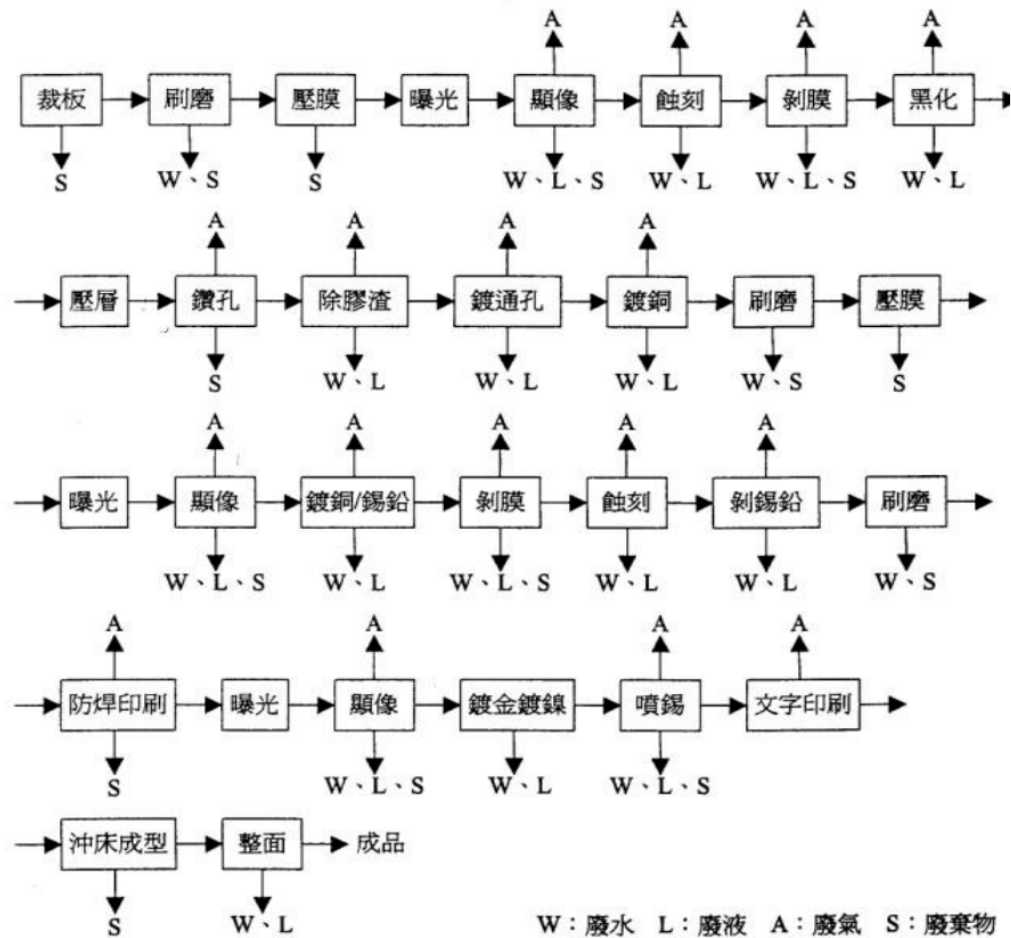
顧名思義使用數片雙面板，並在每層板間放進一層絕緣層後黏牢（壓合），板子的層數就代表了有幾層獨立的佈線層，其製程如圖 6 所示，大型的超級電腦大多使用相當多層的主機板（中山大學）。



（資料來源：中山大學）

圖 6 雙面板與多層板製造流程圖

由於印刷電路板於加工過程中須耗用大量清洗水以除去前次加工程序所殘留之化學藥劑，故其製程用水需求甚大，且使用後之廢水，屬高污染性質。因此，針對製程廢水處理，除源頭管理及分流處理外，亦可運用技術以降低污染，印刷電路板製造流程如圖 7 所示。(莊連春，印刷電路板廢水處理技術介紹，2014)。



(資料來源：黃賢銘，工業污染防治，第 136 期，2016)

圖 7 印刷電路板製造流程圖

(四) 光電材料及元件製造業

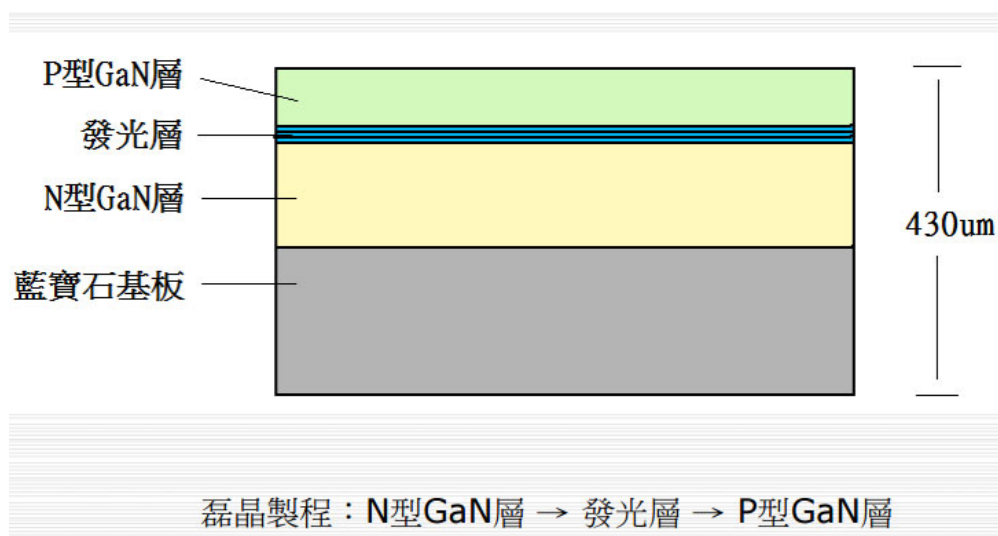
根據分類定義，光電材料及元件製造業係指液晶面板及其組件、發光二極體、太陽能電池、電漿面板及其組件等製造。

發光二極體是透過晶粒發光，以氮化鎵發光二極體 (Light-Emitting Diode，簡稱 LED) 為例，其晶粒的製作方法如下所示：

發光二極體以半導體材料，進行磊晶成長，獲得 P、N 型半導體，氮化鎵 LED 多成長在藍寶石基板上，以有機金屬化學氣相沉積法 (Metal Organic Chemical -

Vapor Deposition，簡稱 **MOCVD**) 為主要使用方法。**MOCVD** 為薄膜沉積技術，包括介電材料 (絕緣體)、導體或半導體等薄膜，發生化學氣相沉積時，於基板表面形成一層固態薄膜。

完成氮化鎵磊晶片後，藉由晶粒製程，把磊晶片製成發光二極體晶粒供下游封裝，簡易的磊晶製程如圖 8 所示。

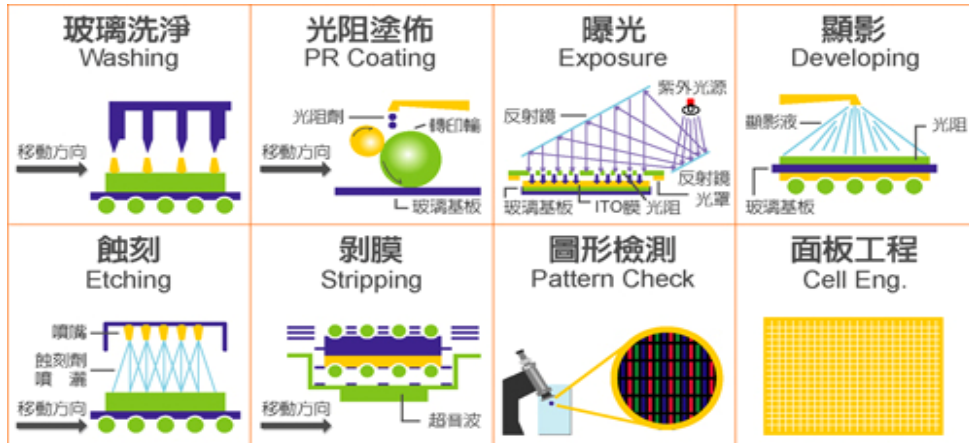


(參考資料：鑫盛源科技股份有限公司，藍光 LED 晶粒製程簡介)

■ 圖 8 發光二極體磊晶製造流程圖

薄膜電晶體液晶顯示面板 (**Thin Film Transistor Liquid Crystal Display**，簡稱 **TFT-LCD**) 是於上下透明電極間灌入厚度約 $3\sim 4\mu\text{m}$ 的液晶層，加入像素 (**Pixel**) 電極電壓的方式來控制液晶夾層電場大小及透光之強度，使其得以產生全亮與全暗之間的灰階畫面 (**Gray level**)。其組成方式主要由彩色濾光片 (**Color Filter**，簡稱 **CF**)、**TFT** 陣列 (**TFT Array**) 基板和背光模組 (**Backlight**) (友達光電)。

在薄膜製程 (**Array Engineering**) 中，透過洗淨、光阻、曝光、顯影及蝕刻等流程，完成第一階段之生產，薄膜製程如圖 9 所示；面板工程 (**Cell Engineering**) 中，配向、框膠印刷、組立封著及液晶注入等程序為本階段流程，面板工程說明如圖 10 所示；最後至模組工程 (**Module Engineering**) 為 **TFT-LCD** 最後一到製程組裝，即可完成產品製造，模組工程製程說明如圖 11 所示。



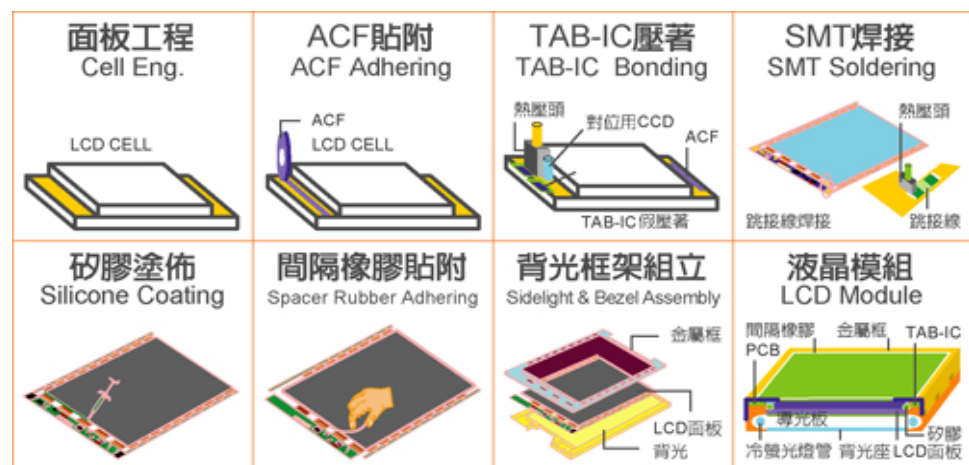
(資料來源：中華映管，產業知識)

■ 圖 9 薄膜製造流程圖



(資料來源：中華映管，產業知識)

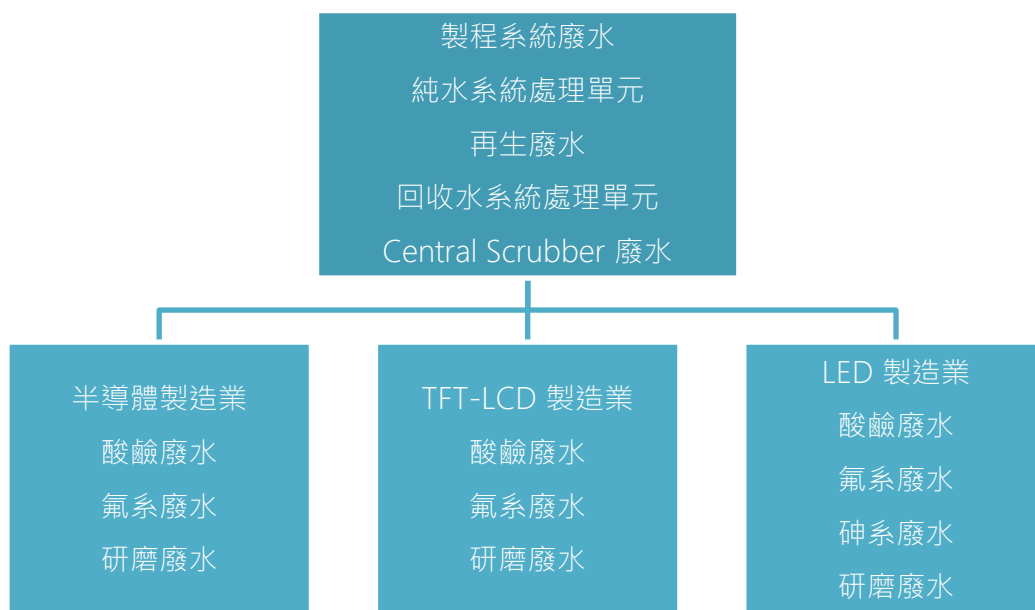
■ 圖 10 面板工程製造流程圖



(資料來源：中華映管，產業知識)

■ 圖 11 模組工程製造流程圖

透過以上製程作業概述可得知，有關於半導體及光電業對於有機溶劑的使用十分頻繁，因此其廢水來源主要以使用多種酸鹼溶液所產生的酸鹼廢水及氟系廢水，圖 12 為電子零組件製造業常見廢水來源之分類，可瞭解該製造業於各製程單元所產生之廢水特性。

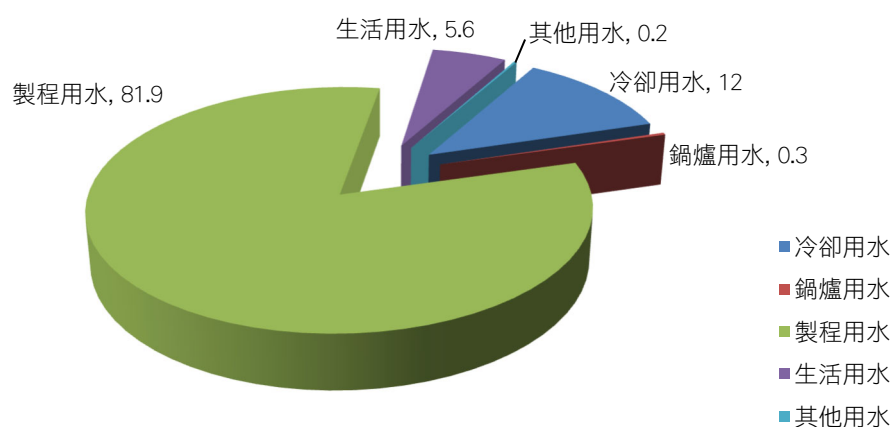


（資料來源：周珊珊，工業技術研究院-半導體及光電廢水處理技術概論，2009）

■ 圖 12 電子零組件製造業常見廢水來源分類

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，電子零組件製造業全國佔地面積為 1969.61 公頃，其年用水量 96.10 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，電子零組件製造業用水可分為五大類，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，電子零組件製造業於製程作業中，基板之清洗、蝕刻等作業需大量用水，電子零組件製造業用水結構分析如圖 13 所示，顯示其製程用水比例可高達 81.9%（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 13 電子零組件製造業用水結構分析

第二章 水利三法相關子法、辦法事宜

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

一、用水計畫審核管理辦法

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

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

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

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

二、工業區用水管理機制-經濟部工業局產業園區用水管理作業原則

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

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

表 2 產業園區用水管理作業原則摘要

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

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

三、再生水用於工業用途水質基礎建議值

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

■ 表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表

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

（資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016）

■ 表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表

水質參數	Class A	Class B	Class C
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度(NTU)	2	2	2
色度	5	10	10
臭味/外觀	無不舒適感	無不舒適感	無不舒適感
BOD ₅ (mg/L)	-	-	最大值 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

水質參數	Class A	Class B	Class C
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		
鉍 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：				
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。				
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。				
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：				
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。				
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。				
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。				
本建議值僅作為各項工業用水用途之原水水質參考，使用者取得此原水後，應依據各類用水單元水質需求，另行預處理之，如製程用水可再經純化處理，鍋爐用水則需經軟化處理，並符合 CNS10231B1312 鍋爐規章（鍋爐給水與鍋爐水水質標準）。				
再生水用於冷卻水用途，若冷卻水塔採開放式系統且可能產生飛濺噴沫者，建議可增加大腸桿菌群或總菌落數等水質項目，其基礎值可參考「再生水水質標準及使用遵行辦法」。				

第三章 用水最適化及回收再利用技術

本節依據產業用水特性，分別針對製程用水、冷卻用水、鍋爐用水及放流水最適化及回收再利用技術，及其他回收或用水減量方案等，摘要說明如下：

一、製程用水最適化及回收再利用技術

電子零組件製造業中，製造產物舉凡積體電路 (IC)、印刷電路板、液晶面板、太陽能電池等，由於製程需進行多次清洗，為電子零組件製造業最大量用水來源，相關製程廢水水質特性如圖 14 所示，製程用水最適化及水回收技術如圖 15 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

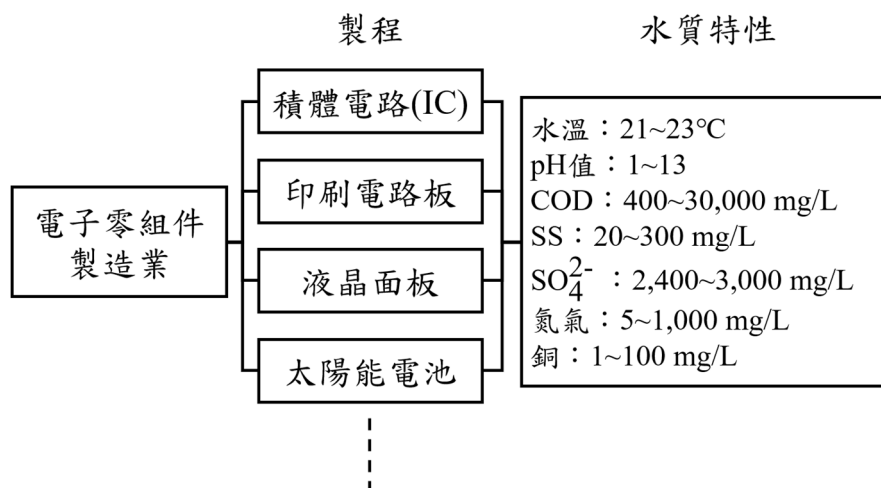


圖 14 電子零組件製程廢水水質特性

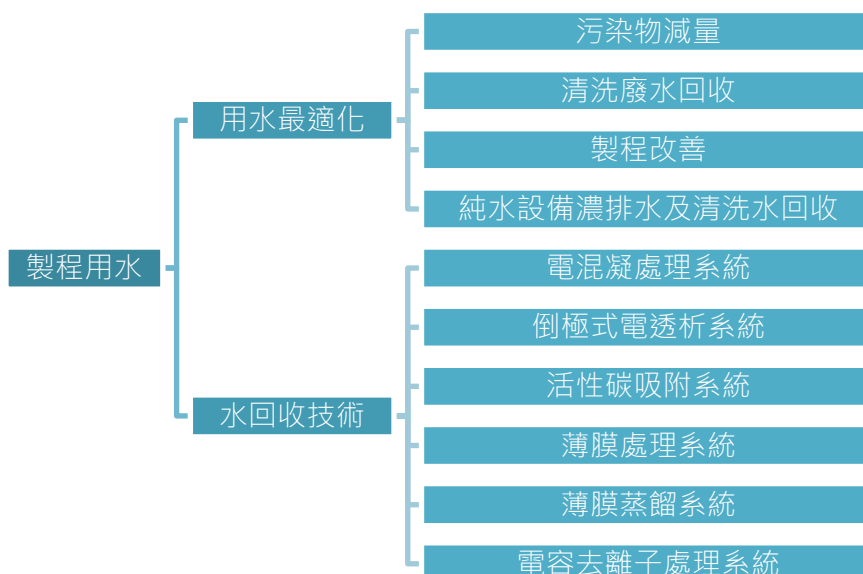


圖 15 製程用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 污染物減量

於不干擾製程產質的情況下，將製程清洗水由酸鹼藥液改以 DI 水作為替代，使用後之水源回用可使得設備用水量降低，達到節水機制。

2. 清洗廢水回收

印刷電路板的製造中，於刷磨過程需使用大量清水作為洗淨，每部刷磨機耗水量約為 $5\sim7\text{ m}^3/\text{hr}$ ，若能將此區段之清洗水透過板框式脫水設備回收水中銅粉，將廢水導回產線再利用，預估節水量可達 10%。

於蝕刻清洗過程中，將氫氟酸廢水分流收集，低濃度氫氟酸廢水可混合洗滌塔廢液，除調整氫氟酸濃度外，將混合廢液經過砂濾、或活性碳等設備處理後，再進入逆滲透薄膜系統 (Reverse Osmosis，簡稱 RO) 系統進行產水，此股水源可回用至製程單元。

3. 製程改善

製程程序的簡化，例如改變製程清洗模式 (如：清洗機台清洗方式由水柱噴射狀改由水槽溢流方式與增設自動水槽液位、時間控制補水設計)、洗滌出水量等，及合理的製程設計，包括採用多段逆流水洗、管控清洗水進出流方式避免短流、設置加壓噴洗及控制進水閥的清洗水量，及設置流量計、依照污染特性調整用水量等合理用水管理等措施，可達到降低水量使用及後端廢水處理之負荷，達到提升節水效益。

4. 純水設備濃排水及清洗水回收

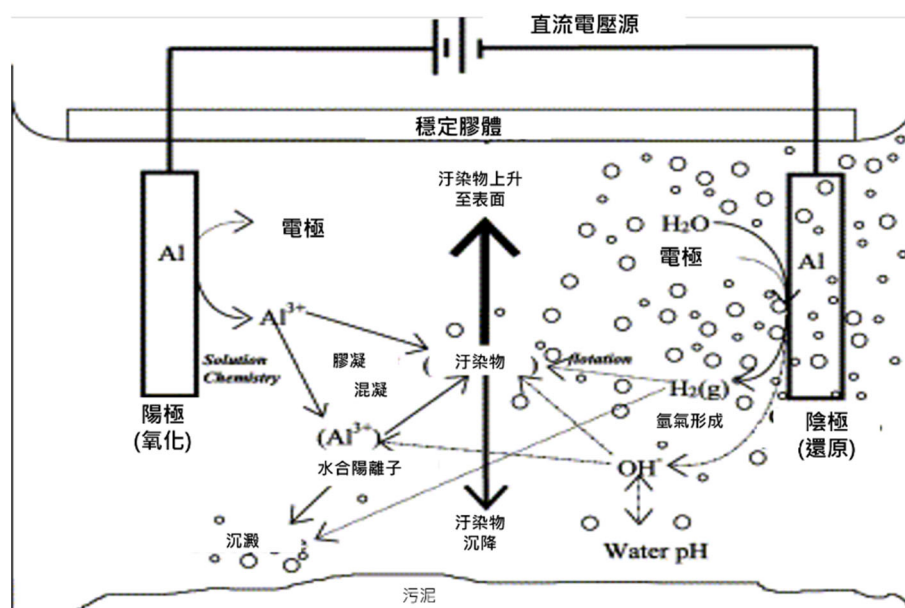
製程中對於用水的品質有一定限制，故在進入製程前，大都會先經過純水系統或軟水系統處理後再進入製程使用。故在進水系統之 RO 純水設備的濃排水水質尚佳，可未經處理直接用於水質要求較不嚴苛之冷卻水塔或洗滌塔等次級用水使用，或者導回純水系統前端與自來水混和後再進入純水系統產水；在軟水系統的部分，持續生產作業一段時間後，系統逐漸飽和，造成產水效率逐步降低。因此，使用化學藥劑進行再生，恢復系統活性。而反沖洗頻率一般以導電度作為依據，相較於以通過水量視為反沖洗次數評估，導電度評估將更為精確，且可避免過度反洗。當反沖洗作業進行中，經過多次反洗後，其反沖洗水之水質將逐漸提升，後段正洗水質已趨近於自來水，通常水質清澈，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. 電混凝處理系統

電混凝 (**Electro-Coagulation** , 簡稱 **EC**) 處理系統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 , 懸浮到水中去除。電混凝處理原理如圖 16 所示 , 透過在水中放入兩片金屬板 (鋁或鐵) , 電極接上直流電即可進行混凝 , 600 GPM (加侖/分鐘) 電混凝處理設備如圖 17 所示。

本處理技術不需任何化學藥劑 , 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 , 可去除水中絕大部分的雜質 , 經處理後的廢水 , 若進一步透過 **RO** 或超微濾網淨化 , 將可降低淨化處理難度、節省濾網費用。



(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 16 電混凝處理系統之原理示意圖

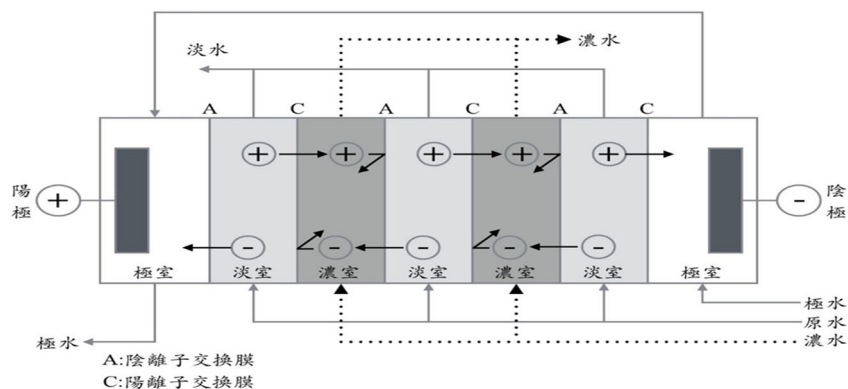


(資料來源：Powell Water Systems, Inc.)

■ 圖 17 電凝處理系統設備圖

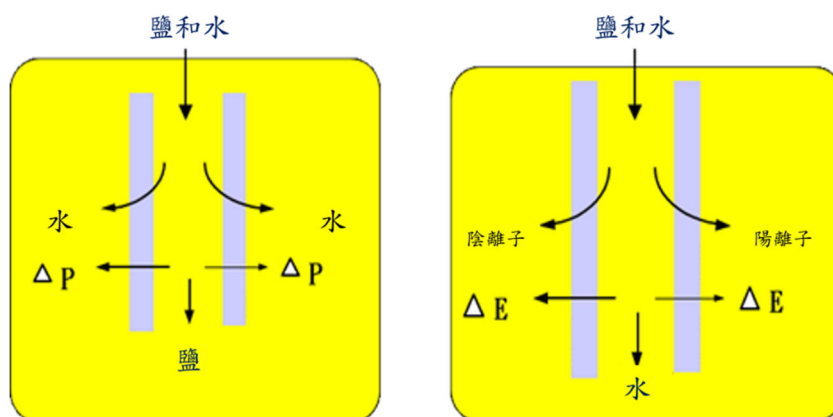
2. 倒極式電透析系統

電子零組件製造業中，製程廢水往往含有氟離子，可透過倒極式電透析系統 (**Electrodialysis Reversal**，簡稱 **EDR**) 進行處理，**EDR** 主要是利用異相型離子交換膜組成，電透析薄膜處理系統原理如圖 18 所示。利用陽離子只能穿透陽離子膜，而陰離子只能穿透陰離子膜的特性，在外加直流電場的作用下，水中陰離子移向陽極，陽離子移向陰極，最後得到淡水及濃水，達到淡化除鹽的目的，並利用切換直流電正負極和內部導流的方式延長薄膜使用壽命。**EDR** 可處理導電度高達 $8,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，化學耐受性高， pH 值處理範圍介於 $1\sim 10$ 之間，可用 $3\%\text{HCl}$ 清洗薄膜表面結垢或用 H_2O_2 或氯殺菌，且容許原水污泥密度指數 (**Silt Density Index**，簡稱 **SDI**) 限值小於 15 ，較 **RO** 處理設備容許限值 (**SDI**: $3\sim 5$) 寬鬆，清洗維修週期長，動能消耗低 ($45\sim 90 \text{ psi}$ 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 $1,500 \text{ mg}/\text{L}$ ，去除效率約 80% ，**RO** 與 **EDR** 系統之脫鹽技術原理比較如圖 19 所示，經由 **EDR** 系統處理後可以有效的淡化水或廢水中的離子，降低水中的導電度及 **TDS**，做為冷卻水塔補充水。以某廠執行此方案為例，投入之廢水可再生率約為八成，相關水回收設施經費如表 6 所示。



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

■ 圖 18 電透析薄膜處理系統原理示意圖



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

■ 圖 19 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖

■ 表 6 砂濾處理及倒極式電透析系統經費分析

項目	砂濾+EDR 系統
產水量 (CMD)	674
總建設成本 (元)	16,850,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	5.79
單位產水成本-營運 (元/噸)	12.5
單位產水總成本 (元/噸)	18.3
年營運成本 (元)	3,033,000
產水總成本 (元/月)	4,437,168

註：1. 單位建設成本以折舊年限 12 年估算。
2. 每月工作天以 30 天計。

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2014)

3. 活性炭吸附（活性炭+樹脂+微過濾）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 1,000 m² 的表面積，對分子量 500 ~ 1,000 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）。

製程作業中，其製程清洗水含有重金屬及低導電度，透過活性炭+樹脂+微過濾系統，可降低廢水導電度及重金屬，此股水源可做為製程補充用水，降低原水取用量，以某廠設置產水量為 50 CMD 活性炭吸附系統為例，相關建設費用預估金額如表 7 所示。

表 7 活性炭、樹脂及微過濾系統經費分析

項目	活性炭+樹脂+微過濾系統
產水量 (CMD)	50
總建設成本 (元)	1,400,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	6.48
單位產水成本-營運 (元/噸)	6.00
單位產水總成本 (元/噸)	12.48
年營運成本 (元)	108,000
產水總成本 (元/月)	18,722

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，2014）

4. 薄膜處理系統

為使廢水中污染物質達到分離效果，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）通過孔洞到達膜的另一側，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。

薄膜型式主要分成兩種型式，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）。

製程作業中，由於前端水體相對管末單純，可降低水處理難度，若能將廢水於前端進行分流及回收，一般較具有經濟效益。於電子零組件製程作業中，製程廢水大部分為水洗水、高酸廢水、高鹼廢水，UF+RO 系統如圖 20 所示。可去除水中膠體粒子、高分子等有機物及離子等污染物質，常見 UF 模組選擇為板框式模組、圓管式模組、螺捲式模組為主，RO 模組選擇為螺捲式模組、中空纖維模組為主（資料來源：李雨霖，水處理用薄膜模組及其應用，中原大學薄膜技術研發中心）。

處理後之回收水可供給冷卻水塔補充水使用，某廠以 UF+RO 系統進行水回收，概估設施經費如表 8 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 20 超過濾加逆滲透薄膜系統模組

■ 表 8 超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析

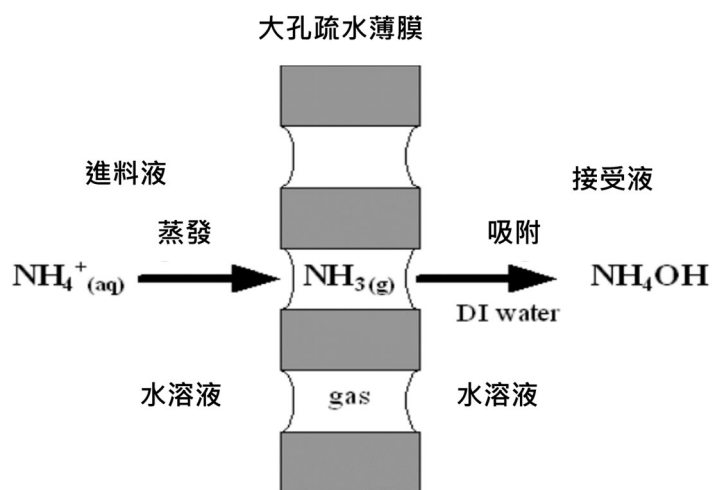
項目	UF+RO 系統
產水量 (CMD)	13.2
總建設成本 (元)	330,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	5.8
單位產水成本-營運 (元/噸)	15.0
單位產水總成本 (元/噸)	20.8
年營運成本 (元)	71,280
產水總成本 (元/月)	98,784

註：1. 單位建設成本以折舊年限 12 年估算。
2. 每月工作天以 30 天計。

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015）

5. 薄膜蒸餾系統

薄膜蒸餾系統(Membrane Distillation, 簡稱 MD)主要是處理積體電路(IC)及印刷電路板等製程產生的氨氮廢水,相較於其他氨氮廢水處理與回收技術,其最大優勢在於佔地面積較小,處理方式是添加液鹼使 pH 值提高,讓離子態氨氮形成分子態氨氮後通過疏水性薄膜,達到分離及濃縮效果。在高 pH 值下,分子態的氨氮由液態中脫出,通過薄膜到另一端,再利用酸或水將其吸收,用酸吸收形成硫酸銨、氯化銨或磷酸銨等,用水吸收則形成氨水,其操作機制示意圖如圖 21 所示(張冠甫等,氨氮廢水處理與回收技術及案例,經濟部工業局產業資訊網)。



(資料來源：張冠甫等，氨氮廢水處理與回收技術及案例，經濟部工業局產業資訊網)

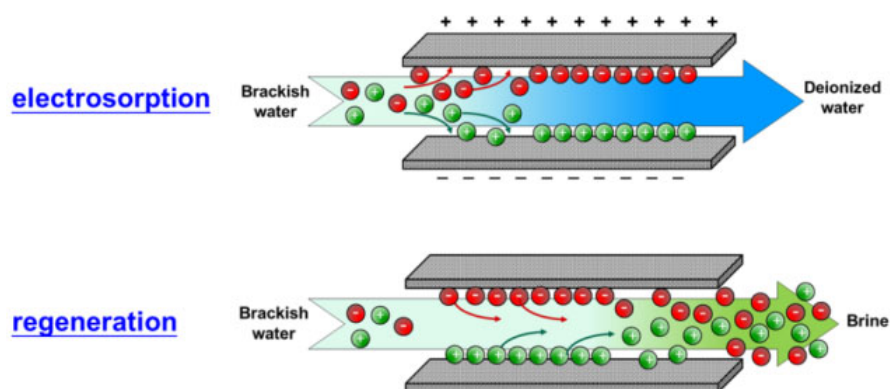
■ 圖 21 薄膜蒸餾系統氨氮分離/濃縮機制示意圖

有關薄膜蒸餾系統目前已應用國內相關產業,某廠將廢水(水量 2,000 CMD; 氨氮濃度 25 mg/L)利用 RO 濃縮後(水量 480 CMD; 氨氮濃度 200 mg/L)導入 MD 去除氨氮(水量 480 CMD),處理後可有效降低放流水氨氮濃度至 10~15 mg/L。

6. 電容去離子處理系統

去離子處理技術又稱脫鹽處理技術,常見技術包括逆滲透(RO)、電透析(ED)及倒極式電透析(EDR)等脫鹽處理技術;電容去離子處理技術(Capacitive Deionization Technology, 簡稱 CDI)則是透過電化學原理與吸附原理相結合的新穎技術,在低電壓下產生正極和負極,水中的陽離子會被靜電力(electrostatic force)吸引到負極,相對的水中陰離子就會被吸引到正極,以電雙層吸附(electrosorption)的機制得到去離子水(創新水科技研發服務)。

而使用過的電極可以利用斷路（或倒極），使原本吸附在電極上面的離子脫附而再生（**regeneration**）產生濃鹽水，如此電吸附/脫附交替的操作，就可以達到脫鹽之目的（F.A. AlMarzooqi, et al., *Desalination* 342（2014）3-15.）。CDI 基本操作概念示如圖 22 所示。



（資料來源：創新水科技研發服務）

■ 圖 22 電容去離子處理技術基本操作概念

有別於傳統的逆滲透（RO）及電透析（ED）高耗能的薄膜脫鹽技術，在半鹽水的操作範圍內，電容去離子處理技術能耗約在 $0.1\sim0.6\text{ kWh/m}^3$ 之間，水回收率可達 65~75%傳統 RO 能耗在 $1.5\sim1.85\text{ kWh/m}^3$ ，水回收率最高僅 40~50%，這種具有水淡化脫鹽及儲能能力的技術，被認為是下世代的創新脫鹽技術。

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 23 為冷卻用水最適化及水回收常見之相關技術。

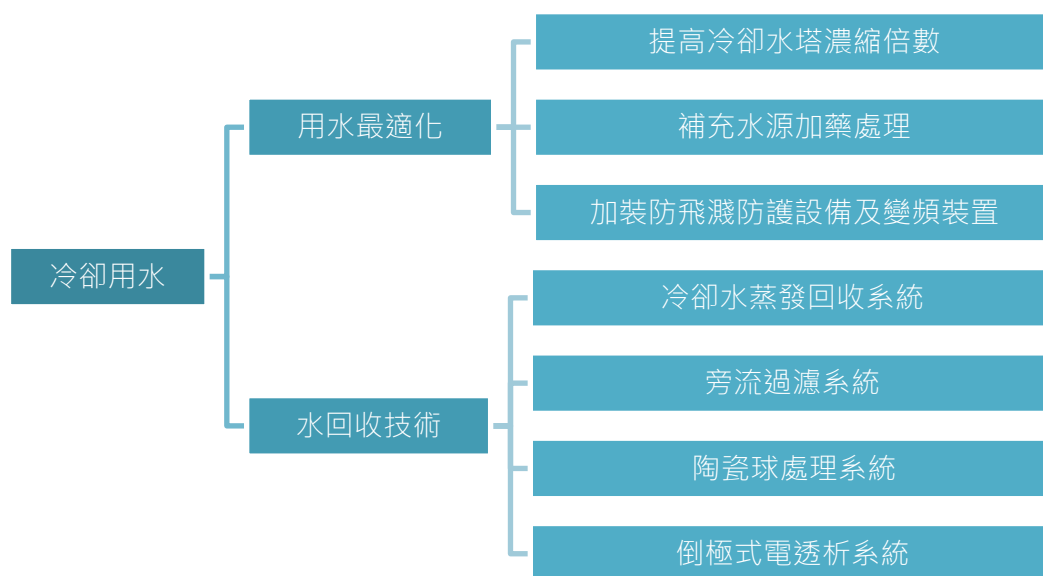


圖 23 冷卻用水最適化及水回收技術

(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：

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

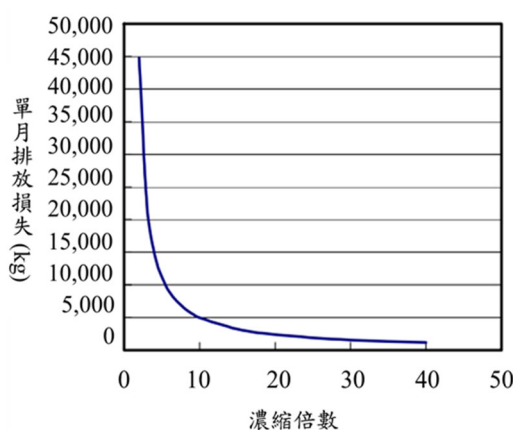
$$= EC_{out} / EC_{in} \quad (\text{排水導電度}) / (\text{補充水導電度})$$

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 9 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 24 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 9 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 24 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 25 所示。

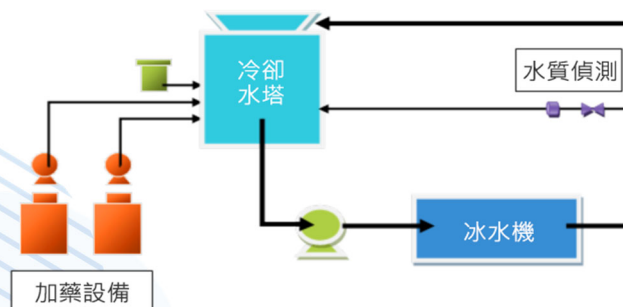
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (**Langelier Saturation Index**，簡稱 **LSI**) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (**pH**)、**Ca** 硬度、**M** 鹼度 (**Malk**) 及總溶解固體 (**Total Dissolved Solids**，簡稱 **TDS**) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}])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

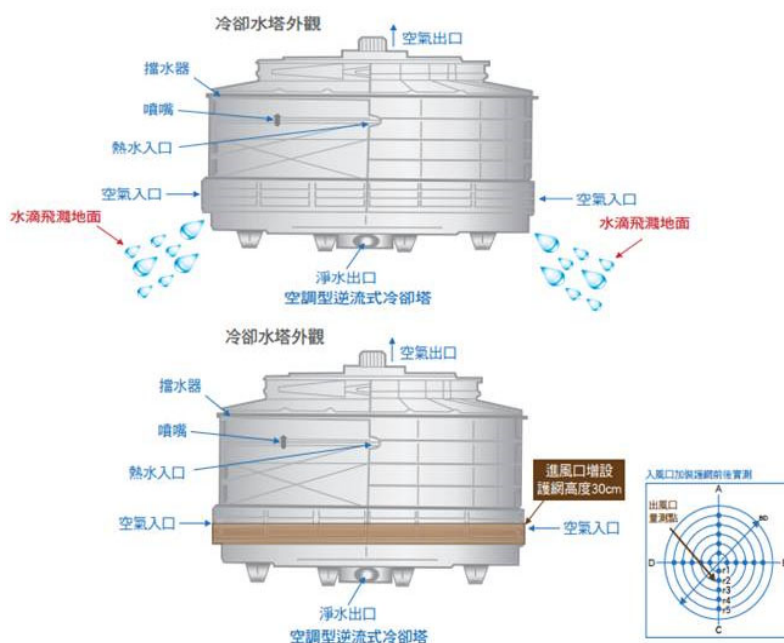


(資料來源：佳友股份有限公司)

圖 25 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 26 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)

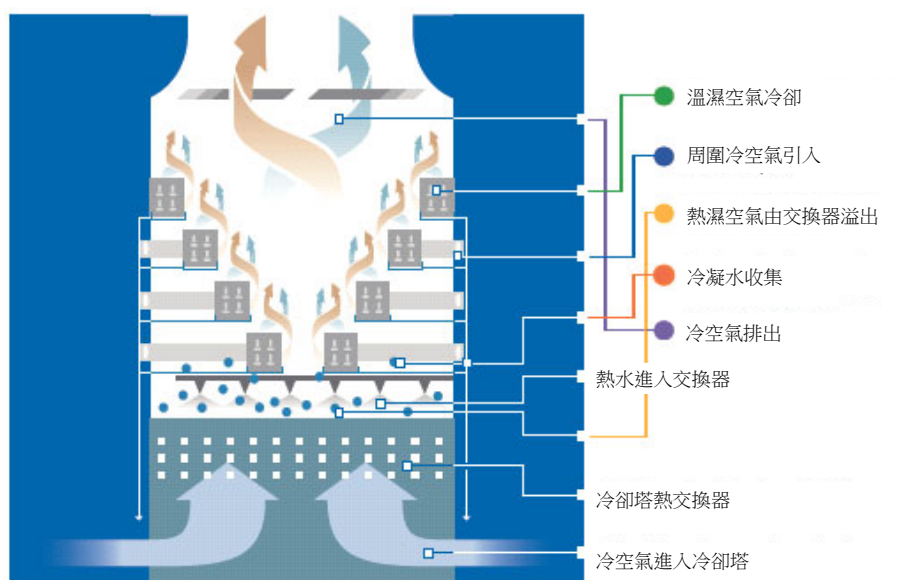
圖 26 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

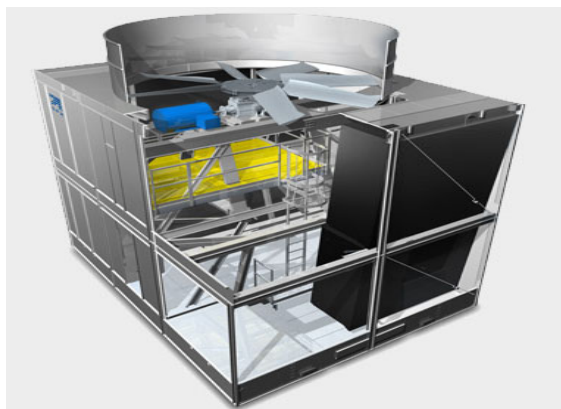
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點（國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005）。

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 27 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 28 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 10 所示，其每年 11～4 月缺水期間運作之單位回收成本如表 11 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 27 冷卻水塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

■ 圖 28 消霧節水冷卻水塔設備圖

■ 表 10 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 11 冷卻水塔蒸發回收之成本分析

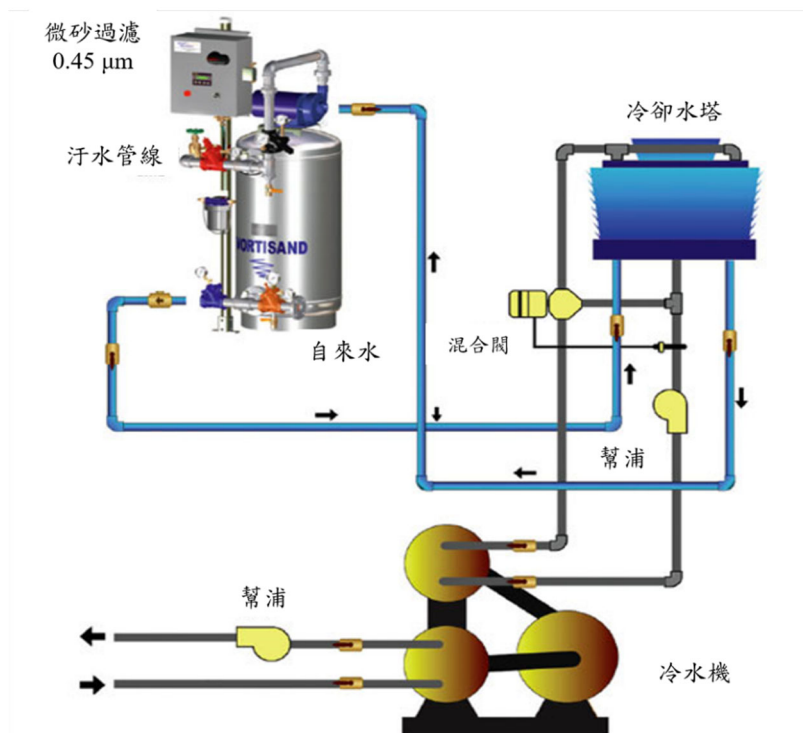
項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發 回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量	58,240 m³	0	58,240 m³
營運成本	1,100 千元	930 千元	22,000 千元
單位產水建造成本 (25 年折舊) (元/m³)			8.24
單位產水營運成本 (元/m³)			2.92
單位產水成本 (元/m³)			11.16
註:計算基準:建造成本折舊年限 25 年，電費 2.5 元/度			

(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 29 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 12 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 29 旁流過濾處理系統原理示意圖

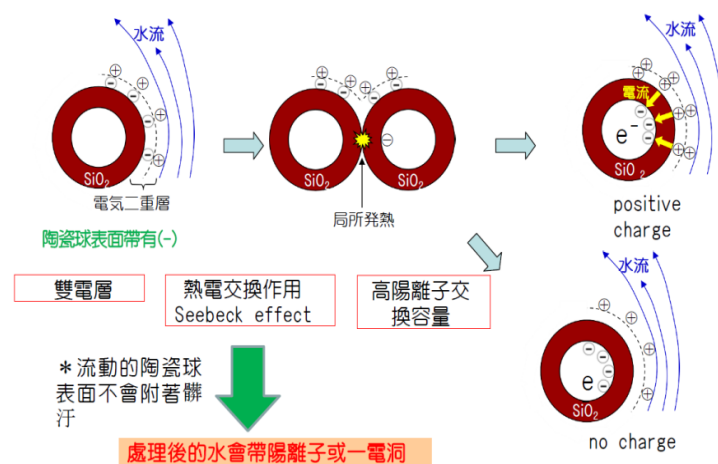
■ 表 12 纖維過濾與傳統砂濾比較表

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 30 及圖 31 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 30 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 31 陶瓷球處理系統設備圖

4. 倒極式電透析系統

倒極式電透析系統原理在前節製程用水最適化及回收再利用已詳細說明，當前國內已有大用水工廠以 **EDR** 進行冷卻排放水 (**Blow Down**) 回收，此舉除可回收約 **75%** 冷卻排放水 (**Blow Down**) 外，亦可有效減少冷卻系統循環水之藥劑使用量。表 13 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 13 冷卻排放水以倒極式電透析系統回收產水水質實例

項目	pH	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	鈣硬度 (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

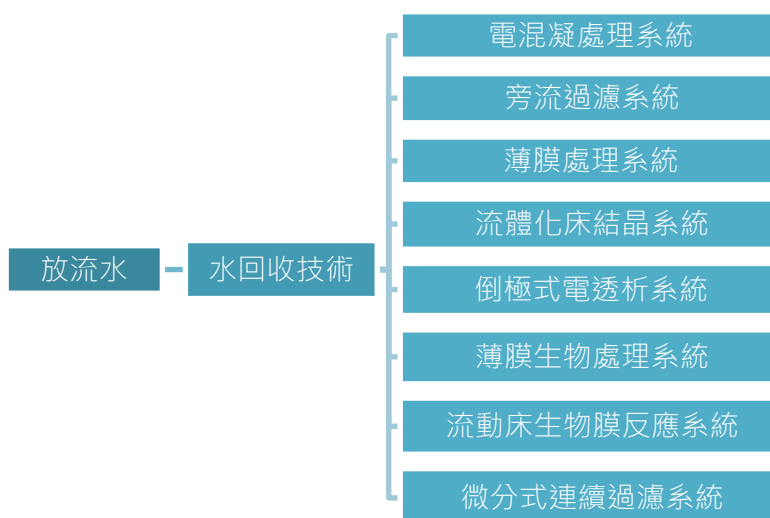
(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

三、鍋爐用水最適化及回收再利用技術

在電子零組件製造業中，產品製造幾乎不需要使用鍋爐，因此本節將不深入探討鍋爐用水回收再利用技術。若於本製造單元有使用鍋爐，常見節水方案為預防鍋爐用水結垢，使其有較佳之熱傳效率。

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如電混凝、旁流過濾、薄膜處理、薄膜生物處理等系統如圖 32 所示，分別說明如下：



■ 圖 32 放流水回收技術

(一) 水回收技術

1. 電混凝處理系統

電混凝處理系統，是一種電化學處理方法，運用犧牲性陽極提供鐵離子或鋁離子作為混凝劑，不須額外添加額外混凝劑，以電場誘導與流道設計，破壞污染物粒子穩定性，使其碰撞凝聚成膠羽，再藉由浮除作用而加以去除。電混凝處理系統實廠模組如圖 33 所示，電混凝處理系統對於硬度（如：鈣、鎂）、磷酸及硝酸鹽濃度、低濃度重金屬、BOD、COD 具有高效率之去除，氨、氯鹽約具有 60.41% 之去除率，硫酸鹽類則尚具有 34.61% 之去除效率，管末放流水透過電混凝機制可使其廢水回收做為冷卻補注用水、次級用水，或是沖廁澆灌之使用。以某廠設置電混凝處理設備產水 225 CMD 為例，其估算所需之經費分析如表 14 所示。



圖 33 電混凝處理系統實廠模組示意圖

表 14 電混凝處理系統經費分析

項目	電混凝
產水量 (CMD)	225
總建設成本 (元)	3,375,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	6.0
單位產水成本-營運 (元/噸)	5.0
單位產水總成本 (元/噸)	11.0
年營運成本 (元)	405,000
產水總成本 (元/月)	887,143

註：1. 電混凝經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。
2. 每月工作天以 30 天計。

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016）

2. 旁流過濾系統

為避免回收水堵塞，透過旁流過濾設備對管末放流水進行水中除絮狀物、灰塵及水中懸浮物質之過濾可作為洗滌塔補水，若為酸洗塔的話，則可調整先做 pH 值調整，使其偏鹼性得以將酸氣洗下。

3. 薄膜處理系統

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

以某廠管末放流水特性為硬度及硫酸鹽偏高、鹼度略高，可透過離子交換塔+UF+RO 系統處理後，將此股水用於補充冷卻水塔，以回收產出 22 CMD 為例，相關費用估算分析如表 15 所示。

表 15 離子交換、超過濾及逆滲透薄膜系統經費分析

項目	離子交換+UF+RO
產水量 (CMD)	22
總建設成本 (元)	770,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	8
單位產水成本-營運 (元/噸)	17
單位產水總成本 (元/噸)	25
年營運成本 (元)	136,510
產水總成本 (元/月)	16,500
註：1.單位建設成本以折舊年限 12 年估算 2.每月工作天以 30 天計。 3.總建設成本不含水管佈設費用。	

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015)

4. 流體化床結晶系統

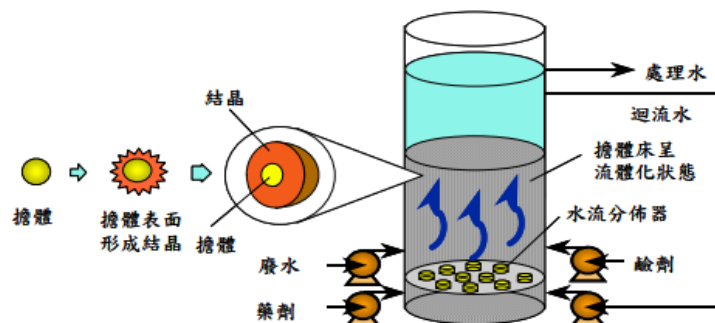
流體化床結晶系統 (Fluidized Bed Crystallization，簡稱 FBC)，其廢水處理原理是透過 0.2~0.5 mm 矽砂擔體在結晶槽中作為結晶核種，處理進流水及藥劑由反應槽底部加入，之後向上流動，於反應槽體外有一回流水迴路，其目的是調整進流水飽和度並達到擔體上流速度，當晶體粒徑達 1~2 mm 後，排出槽外進行回收再利用或達廢棄物減量之目的，流體化床結晶系統處理流程如圖 34 所示，實體設備如圖 35 所示 (工研院-廢水處理技術)。

FBC 處理技術對於含氟廢水、含砷廢水、水質軟化、氮磷廢水及重金屬廢水皆有相關處理實例，對於本行業製造作業中所產生之含氟廢水是較常見處理方式，與傳統

混凝沉澱法相比，其具有污泥產生量較少、加藥量較低及佔地面積較小等優勢。

「晶圓製造及半導體製造業放流水標準」共計二十八種管制項目，其中氟離子的放流標準為 15 mg/L ，以往欲達到放流標準常以過量加藥的方式以致產生大量的氟化鈣污泥，利用 FBC 處理含氟廢水則可因大幅降低加藥量而減少污泥的產生；以本行業常見之氟系廢水而言，其特性為高濃度廢水氟離子約為 $10,000 \text{ mg/L}$ 或以上，低濃度則在 $100\sim500 \text{ mg/L}$ ，pH 值偏酸性約在 $2\sim5$ ，利用 FBC 處理時需考量進流濃度 (mg/L) 或氟負荷 (kg F/d)、pH 值及鈣氟比 (Ca/F) 等，依實廠操作經驗，參數控制之範圍包括進流氟濃度 $800\sim1,000 \text{ mg/L}$ 、pH 值調整至 8 左右、鈣氟比 >0.5 、停留時間 (HRT) 約 $5\sim8$ 分鐘，另外，為避免共同存在之陰離子可能產生的干擾，進流水中含硫酸根濃度建議應低於 500 mg/L 、磷酸根濃度應小於 5 mg/L 。

FBC 槽體建議為圓柱形 ($D:H=1:4\sim6$)，為維持結晶床呈流體化狀態，應控制上流速度在 $80\sim120 \text{ m/hr}$ ，操作時亦避免出現短流之情形。當晶體成長之粒徑過大時 ($>3 \text{ mm}$) 應進行排晶，以免因晶體與廢水接觸之表面積而影響結晶速度，降低氟離子去除效率，顆粒狀結晶體易於固液分離且含水率低 (10% 以下)，晶體純度高、易於儲存及運送，可大幅降低污泥產生量。



(資料來源：廢水處理技術，工業技術研究院)

■ 圖 34 流體化床結晶系統處理流程示意圖



(資料來源：創新水科技研發服務網)

■ 圖 35 流體化床結晶處理設備圖

當本製造業之管末廢水若具有上述之特性，可透過 FBC 進行處理後，將處理水體再加上 RO 處理設備後，此股水體可回用至廠內次級用水設備（如冷卻水塔、洗滌塔、民生沖廁）做為首先回收考量對象，以某廠先行以廢水處理設施進行前處理後，透過流體化床結晶系統與逆滲透薄膜系統(FBC+RO)處理流程進行管末回收，當產水為 117 CMD 時，相關設施經費可參考表 16 之估算。

表 16 流體化床結晶系統與逆滲透薄膜系統經費分析

項目	FBC+RO 系統
產水量 (CMD)	117
總建設成本 (元)	900,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	2.2
單位產水成本-營運 (元/噸)	14.0
單位產水總成本 (元/噸)	16.2
年營運成本 (元)	471,744
產水總成本 (元/月)	546,744

註：1. 單位建設成本以折舊年限 12 年估算。
2. 每月工作天以 24 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）

5. 倒極式電透析系統

當管末廢水經處理系統處理後，其 COD 及 SS 有良好的去除效果時，唯鹽類及其他溶解性無機物偏高之時，可透過旁流過濾設備先去除雜質及懸浮物後，以倒極式電透析系統 (Electrodialysis Reversal，簡稱 EDR) 可有效地透過透析原理去除水中鹽類，此股回收水可導入既有的軟水系統與純水系統，以作為製程補注水源，以本製造業之某廠案例為例，透過旁流過濾+EDR 系統進行 320 CMD 之管末回收設置經費如表 17 所示。

表 17 倒極式電透析系統經費分析

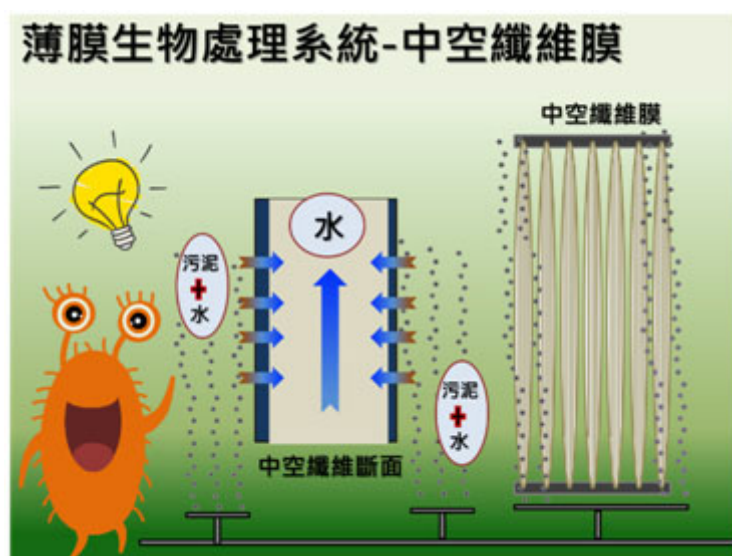
項目	旁流過濾+EDR 系統
產水量 (CMD)	320
總建設成本 (元)	8,000,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	5.8
單位產水成本-營運 (元/噸)	13.0
單位產水總成本 (元/噸)	18.8
年營運成本 (元)	1,497,600
產水總成本 (元/月)	2,164,272

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）

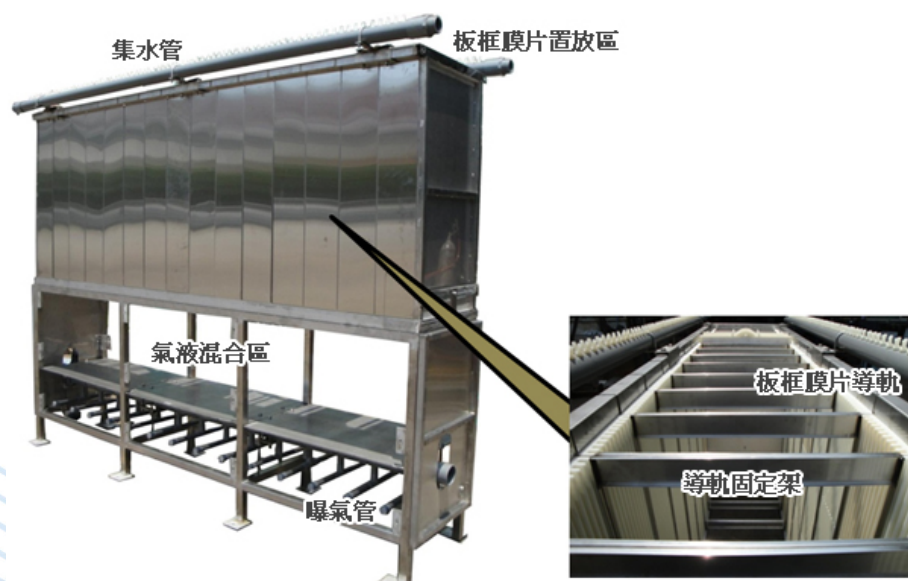
6. 薄膜生物處理系統

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生的處理技術，系統處理及設備實體分別如圖 36 及圖 37 所示，透過薄膜進行固液分離，將有機物中之微生物與分解後的水予以分離，為廢水管末處理技術之一，主要降低水中 COD 及 SS，其具備污泥齡長、產生污泥量少，佔地需求低等特色。



(資料來源：財團法人環境與發展基金會)

■ 圖 36 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 37 薄膜生物處理系統設備圖

透過 MBR 系統處理過後之管末廢水，由於降低水體 COD 及 SS，對於管末排水可降低廢水納管費，處理後之水體也可規劃作為公共次級用水如沖廁、洗地或澆灌等使用，以某廠建置 MBR 系統為例，期建置經費可參考表 18 所示。

■ 表 18 薄膜生物處理系統經費分析

項目	MBR 系統
產水量 (CMD)	54
總建設成本 (元)	3,000,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	15.43
單位產水成本-營運 (元/噸)	1.20
單位產水總成本 (元/噸)	16.63
年營運成本 (元)	19,440
產水總成本 (元/月)	22,453

註：1. 單位建設成本以折舊年限 12 年估算。
2. 每月工作天以 25 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，2014)

7. 流動床生物膜處理系統

流動床生物膜處理系統 (Moving Bed Biofilm Reactor，簡稱 MBBR) 是在廢水/污水生物處理系統的曝氣池中，填入特殊幾何形狀的生物擔體，這些生物擔體有極高的比表面積可供微生物附著並形成生物膜，且 MBBR 生物擔體有著適當大小及接近水的密度，若提供適當攪拌或曝氣即可均勻懸浮在水體內。因為擔體呈現持續移動的狀態，擔體上的生物膜可以均勻的接觸水體，達到良好的直傳效果。其特點為：

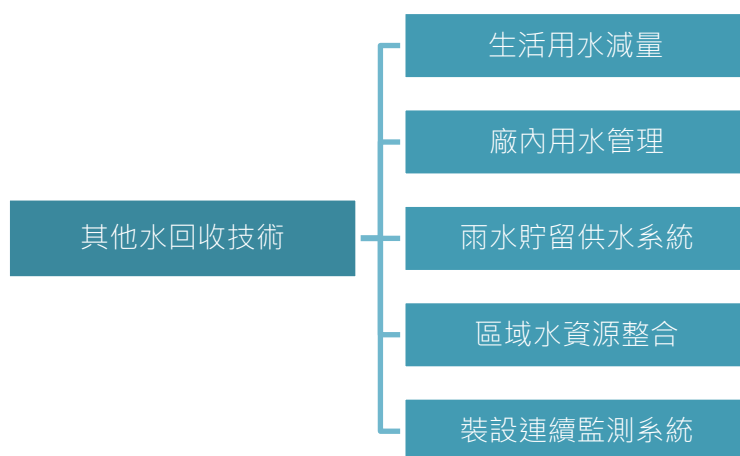
- (1) MBBR 反應槽的 BOD 體積負荷約為活性污泥法的 1.7~5 倍，可大幅降低生物處理反應槽的所需體積。
- (2) MBBR 在低負荷操作時可達到低污泥產量，且不會發生污泥膨化。
- (3) 對水體環境變化及水體中的抑制性物質耐受性較強，出流水質較穩定 (斯貝夫股份有限公司)。

8. 微分式連續過濾系統

微分式連續過濾系統係將單一過濾槽區分成數個獨立過濾區，每一過濾區均可獨立注入原水過濾產製澄清液，當其進行過濾作業時可任取一過濾區進行濾料逆洗作業，而其他作業區仍可進濾原水過濾產製澄清液，並以此澄清液作為逆洗作業之反沖洗水源，如此可使原水過濾作業持續進行不需要停機，免除反沖洗水池之設置，並可隨時保持濾料清淨使濾速維持穩定 (佳耘工業有限公司)。

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 38 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 38 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

據經濟部水利署公布，工廠人員平均每人每日用水量以 **50 L** 估算，住宿人員則約以 **250 L/天** 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，以了解水源流向及用水量，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 39 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 39 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 19 所示，雨水截流系統設計值計算如表 20 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 19 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 20 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以下類型如圖 40 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。

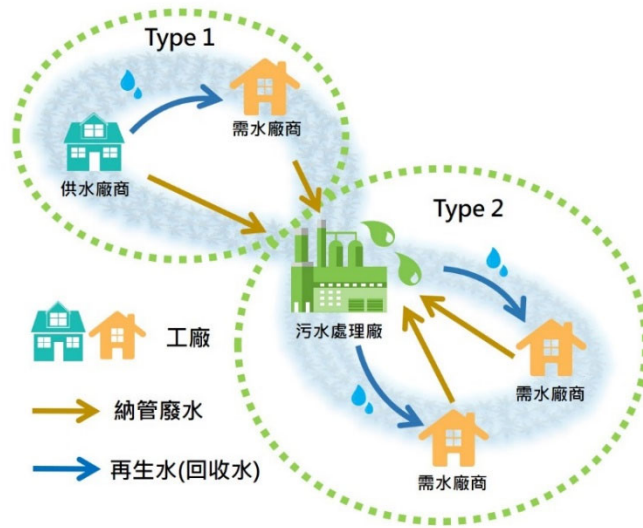
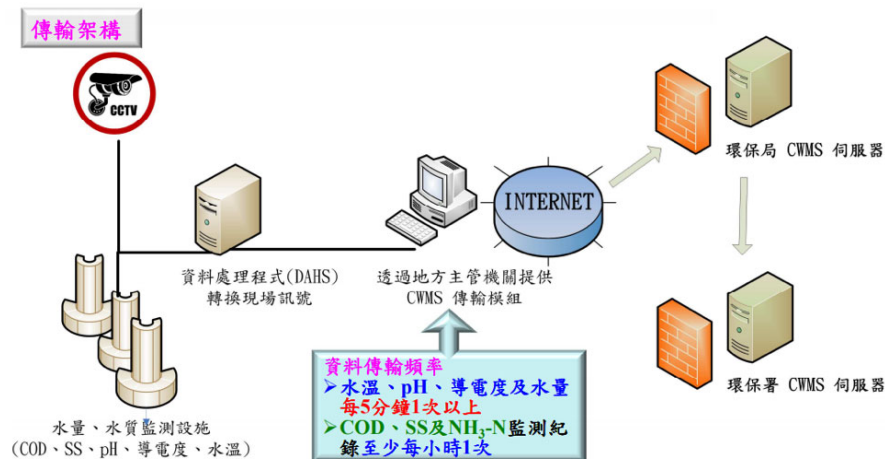


圖 40 區域水資源整合型態示意圖

(五) 裝設連續監測系統

若工廠與工業區排放量達行政院環境署之規定，須依據「水污染防治措施及檢測申報管理辦法規定」裝設廢污水自動監測設施，監測傳輸設置裝置如圖 41 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 41 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將電子零組件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 21 所示。

表 21 電子零組件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		✓			
	清洗廢水回收		✓			
	製程改善		✓			
	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			✓		
回收再利用 技術	電混凝處理系統		✓			✓
	活性炭吸附系統		✓			
	薄膜處理系統		✓			✓
	薄膜蒸餾系統		✓			
	電容去離子系統		✓			
	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		✓	✓		✓
	流體化床結晶系統					✓
	薄膜生物處理系統					✓
	流動床生物膜處理系統					✓
	微分式連續過濾系統					✓

第四章 水回收再利用案例介紹

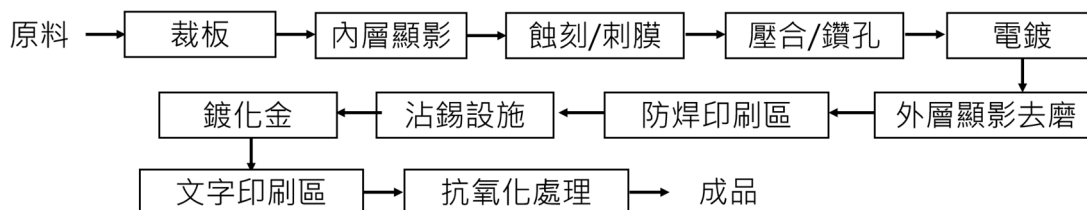
一、案例 A 廠簡介

(一) 案例廠簡介

A 廠為一多層印刷電路板專業製造廠，目前在台灣共有三座工廠，該廠除了主要生產與銷售多層 PCB 外，其他產品有筆記型電腦、手持電子產品、伺服器及通訊網路設備，銷售地區包括歐洲、北美洲、中國、亞洲及台灣，平均每月量產多層 PCB 板 20 萬 3 千平方呎，平均單位產品用水量為 0.6 噸水/平方公呎。

(二) 製程流程

多層印刷電路板主要製造程序如圖 42 所示，其中刷磨、顯影、電鍍及蝕刻程序為主要耗水程序。



■ 圖 42 案例 A 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

依廠方人員所提供之資料並加以研討計算後，得知水平衡圖如圖 43 所示，該廠每日用水量約 6,392 CMD，水源取自於地下水、地面水及自來水，在各用水單元中以製程用水為主要用水單元，其用水量約佔全廠總取水量之 62.6%，而其他用水單元為冷卻水塔、其他用水及生活用水等。

請增加說明廠商既有執行回收方案??

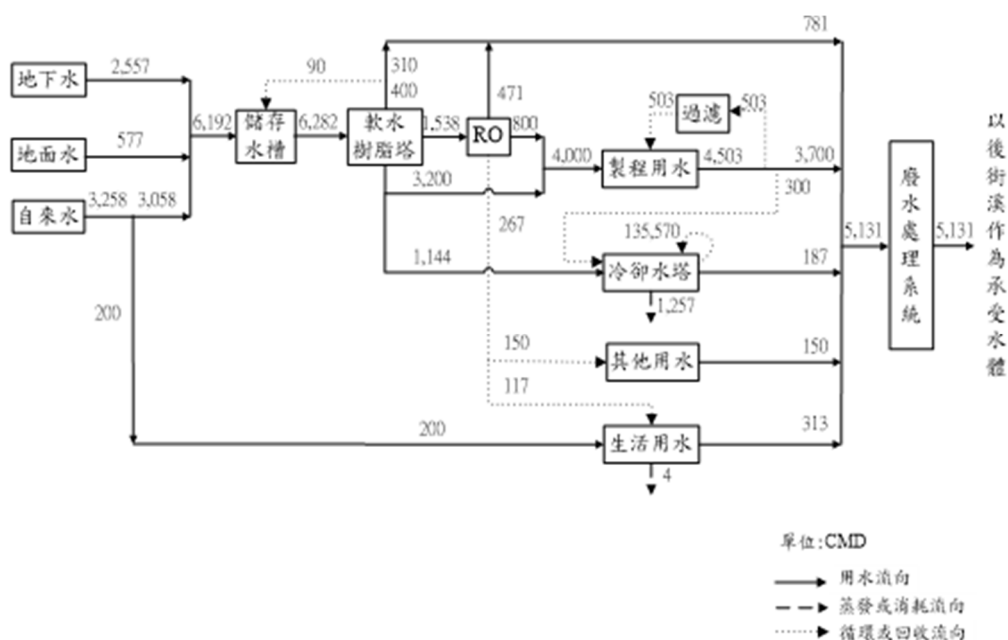


圖 43 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

依據圖 43 之全廠用水平衡圖，考量廠方有意願規劃雨水回收措施與管末廢水經廢水處理後水質尚佳，規劃水回收方案如下所述：

方案一、新增雨水源作為原水源補充水

為因應桃園為多雨地區，建議可利用綜合大樓樓頂面積收集雨水以作為原水源補充水，關於雨水處理設備與使用程度關係可參考第三張第五節雨水貯留如表 19 所示，估計有效樓頂收集面積為 200 m²，並從表 22 參考中壢工業區之降雨量估算，合計可收集約 0.4 CMD 雨水作為原水源補充水，樓頂面積收集雨水區域如圖 44 之紅框區域所示，需另設置 1 只約 1.4 噸儲存桶槽以足以儲存 3 天雨水量。

表 22 各工業區之降雨量估算參考依據

工業局管轄工業區（共 61 處）	測站	年平均雨量 (mm)	日平均雨量 (mm)	降雨 概率
南港軟體園區、大武崙工業區 瑞芳工業區	基隆	3833.3	10.50	0.575
新北產業園區、五股工業區	淡水	2422.0	6.64	0.432
土城工業區	竹子湖	4575.1	12.53	0.567
林口工二工業區、中壢工業區 林口工三工業區、大園工業區 桃園幼獅工業區、平鎮工業區 龜山工業區、觀音工業區 樹林工業區、新竹工業區	新竹	2005.2	5.49	0.342
利澤工業區	宜蘭	2982.8	8.17	0.558
龍德工業區、和平工業區	蘇澳	4599.7	12.60	0.630
竹南工業區、頭份工業區 銅鑼工業區	梧棲	1528.6	4.19	0.282
大甲幼獅工業區、田中工業區 中港關連工業區、台中工業區 大里工業區、南崗工業區 全興工業區、彰濱工業區 福興工業區、芳苑工業區 埤頭工業區、	臺中	2227.3	6.10	0.349
竹山工業區	日月潭	2778.3	7.61	0.435
斗六工業區、雲林科技工業區 朴子工業區、豐田工業區 義竹工業區、元長工業區 民雄工業區、嘉太工業區 頭橋工業區	嘉義	2144.0	5.87	0.318
官田工業區、永康工業區 南科工業區、安平工業區 新營工業區	臺南	1897.6	5.20	0.243
鳳山工業區、臨海工業區 永安工業區、大社工業區 仁武工業區、林園工業區 大發工業區	高雄	2175.6	5.96	0.252
屏東工業區、內埔工業區 屏東工業區	恆春	2236.5	6.13	0.311
美崙工業區、光華工業區	花蓮	2248.2	6.16	0.454
豐樂工業區	臺東	1858.0	5.09	0.383
參考資料：中央氣象局，2004-2015 年“每月氣象資料”； 工業區之參考測站依據內政部營建署 101.06.27 發佈「建築物雨水貯留利用設計技術規範修正規定」之氣候分區劃分。				

項目	公式
日集雨量	$\text{平均日降雨量 (mm)} \times \text{集雨面積} \times (\text{m}^2) \times \text{平均日降雨概率}$ $= 5.49 \times 200 \times 0.342$ $= 375.5 \text{ L/天} \approx 0.4 \text{ CMD}$
雨水利用設計量	補充部份自來水原水源=0.4 CMD
儲水槽容量	$\text{預備 3 天蓄水量} + \text{日集雨量} - \text{雨水利用設計量}$ $= 0.4 \times 3 + 0.4 - 0.4$ $= 1.2 \text{ 噸} \times 1.1 \text{ (加 10\% 安全係數)}$ $= 1.32 \text{ 噸} \approx 1.4 \text{ 噸}$
集雨面積估算為 200 平方公尺 (概估值)	



方案二、管末廢水以電混凝 (Electro-Coagulation) 處理後回收利用

根據廠內管末廢水水質如表 24 所示，現階段其水質尚稱良好，如欲使該股放流水回收再利用於公用系統（如冷卻水塔），建議以電混凝系統處理該股廢水以確保水質穩定度，其系統對於低濃度重金屬（銅、鉛及鎳等具有 99.75%、99.46% 及 99.96% 去除率）、BOD（98.67% 去除率）及 COD（70% 去除率）具有高去除率再將該股廢水回收使用於冷卻補注用水，規劃電混凝水設備回收率約 80%，規劃廢水進水量 600 CMD，約可產生 480 CMD 回收水。

電混凝技術為電化學水處理方法，運用犧牲性陽極提供鐵離子或鋁離子作為混凝劑，不須額外添加額外混凝劑，以電場誘導與流道設計，破壞污染物粒子穩定性，使其碰撞凝聚成膠羽，再藉由浮除作用而加以去除。

■ 表 24 案例 A 廠放流水水質現況及經處理後水質預估值

項次	檢驗項目	廠方自行檢測水質結果			經處理後各項污染物削減量與水質變化	
		104/12/14	105/03/28	單位	污染物削減量 (%)	水質預估值
1	pH	7.4	6.8	-	-	-
2	溫度	22.5	22.8	℃	-	-
3	SS	N.D. (MDL=1.5)	8.9	mg/L	99.49	0.045
4	COD	30.3	79.9	mg/L	70	16.53
5	BOD	10.1	28.3	mg/L	98.67	0.26
6	銅	0.3	0.33	mg/L	98.75	3.9*10 ⁻³
7	鎳	0.06	N.D. (MDL=0.04)	mg/L	99.96	N.D.
8	鉛	N.D. (MDL=0.04)	0.05	mg/L	99.46	N.D.
9	CN-	N.D. (MDL=0.007)	N.D. (MDL=0.008)	mg/L	-	N.D.
10	溶解性錳(S-Mn)	N.D. (MDL=0.04)	N.D. (MDL=0.04)	mg/L	-	N.D.
11	大腸桿菌群	1.2*10 ²	2.2*10 ³	CFU/10 0mL	99.99	0.116

方案三、外氣空調系統冷凝水回收作為原水源補充水

該空調系統以軟水與製程低濃度酸鹼回收水混合後作為該系統用水水源，其水質建議廠方自我評估，若水質良好，建議將可除濕盤管之冷凝水回收作為原水源補充之一，估計可回收 **20 CMD** 冷凝水。

所規劃的水回收方案，可將該廠原水源取水量由原來之 **6,392 CMD** 降低至 **5,891.6 CMD**，放流水排放量由原來之 **5,131 CMD** 降低至 **4,651 CMD**，如圖 45 所示。

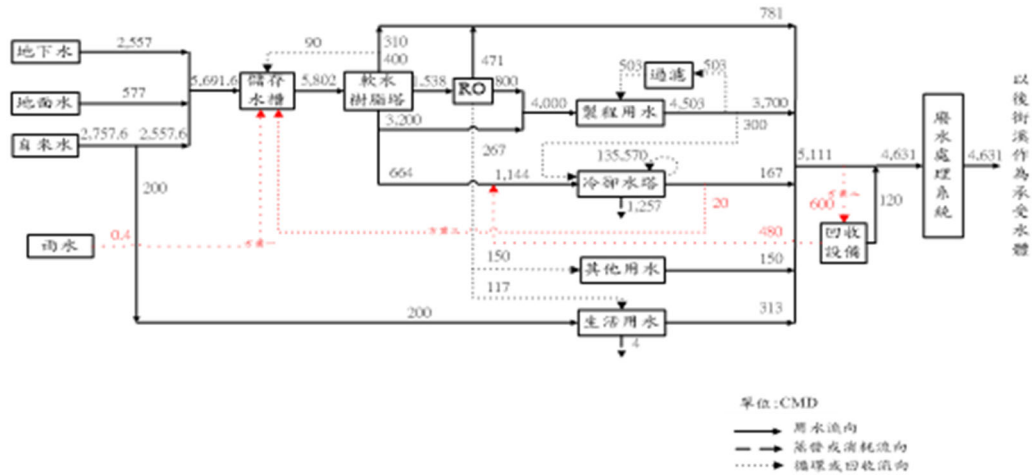


圖 45 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

為符合經濟效益將以廠商現有之設備與條件進行修正與改善，建議水回收方案，為新增雨水源及將管末放流水經電凝系統處理後回收再使用，其設備費用分析如表 25 所示。

■ 表 25 水回收設施經費分析

項目	方案內容	產水量 (CMD)	總建設成本 (元)	單位產水成本 (元/噸)		單位產水 總成本 (元/噸)	年營運成本 (元/年)	產水總成本 (元/年)
				建設	營運			
方案二 放流水經電 凝處理	電凝	480	7,200,000	6.0	5.0	11.0	864,000	1,892,571
合計		480	7,200,000	6.0	5.0	11.0	864,000	1,892,571

註：1.電凝經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。

2.單位建設成本以折舊年限 7 年估算。

3.每月工作天以 30 天計。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為地下水、地面水及自來水，目前廠內的地下水價格為 4.0 元/噸、地面水價格為 7.0 元/噸及自來水價格為 12.5 元/噸，管末放流水則屬於自排，繳交水污染防治費，原地下水取水量為 2,557 CMD、地面水取水量為 577 CMD、自來水取水量為 3,258 CMD 及放流量為 5,131 CMD，經由節水輔導後地下水取水量維持 2,557 CMD、地面水取水量維持 577 CMD、自來水取水量降低為 2,757.6 CMD 及放流量降低為 4,651 CMD，回收前後費用變化如表 26 所示。

若實施建議之水回收方案，根據表 25 得之再生水產水總成本為 4,320,000 元/年，又依據表 26 使用再生水，1 年可節省 3,613,488 元之原水源費與水污費用，再生水產生可使貴廠 1 年節省 706,512 元。

表 26 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)		
地下水費	$2,557 \times 30 = 76,710$	$76,710 \times 2.5 = 191,775$	$2,557 \times 30 = 76,710$	$76,710 \times 2.5 = 191,775$	0	0
地面水費	$577 \times 30 = 17,310$	$17,310 \times 7.0 = 121,170$	$577 \times 30 = 17,310$	$17,310 \times 7.0 = 121,170$	0	0
自來水費	$3,258 \times 30 = 97,740$	$97,740 \times 12.5 = 1,221,750$	$2,757.6 \times 30 = 82,728$	$82,728 \times 12.5 = 1,034,100$	187,650	2,251,800
廢水處理費	$5,131 \times 30 = 153,930$	$153,930 \times 8 = 1,231,440$	$4,631 \times 30 = 138,930$	$138,930 \times 8 = 1,111,440$	120,000	1,440,000
水污染 防治費	SS	$0.62 \times 4.45 \times 0.001 \times 153,930 = 425$		$0.62 \times 0.045 \times 0.001 \times 138,930 = 4$	421	5,052
	COD	$12.5 \times 55.1 \times 0.001 \times 153,930 = 106,020$		$12.5 \times 16.53 \times 0.001 \times 138,930 = 28,707$	77,313	927,756
	鉛	$625 \times 0.025 \times 0.001 \times 153,930 = 2,406$	$4,631 \times 30 = 138,930$	$625 \times 0 \times 0.001 \times 138,930 = 0$	2,406	28,872
	鎳	$625 \times 0.03 \times 0.001 \times 153,930 = 2,887$		$625 \times 0 \times 0.001 \times 138,930 = 0$	2,887	34,644
	銅	$625 \times 0.32 \times 0.001 \times 153,930 = 30,786$		$625 \times 3.9 \times 10^{-3} \times 0.001 \times 138,930 = 339$	30,447	365,364
合計	-	3,023,724	-	2,602,600	385,384	4,624,608

註：1.每月工作天以 30 天計。

2.工業用水地下水價格為 2.5 元/噸、地面水價格為 7.0 元/噸及自來水水價 12.5 元/噸，

3.廢水處理費以 8 元/噸估算、水污費 COD 費率為 12.5 元/kg、SS 費率為 0.62 元/kg、鉛費率為 652 元/kg、鎳費率為 625 元/kg 及銅費率為 625 元/kg

3. 水回收率提升分析

該廠原水源取水量約為 6,392 CMD，放流量約為 5,131 CMD，冷卻循環約為 135,570 CMD，回收水量約為 1,160 CMD，預計經由實施本輔導團隊的回收方案，約可增加 500.4 CMD 回收水量，總計回收水量提升至 1,660.4 CMD，原水源取水量降低為 5,891.6 CMD，放流量降低為 4,631 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 15.36% 提高至 21.99%，水回收計算結果如表 27 所示。

表 27 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	$95.53\% = \frac{1,160 + 135,570}{6,392 + 1,160 + 135,570} \times 100\%$	$15.36\% = \frac{1,160}{6,392 + 1,160} \times 100\%$
實施後	$95.88\% = \frac{1,660.4 + 135,570}{5,891.6 + 1,660.4 + 135,570} \times 100\%$	$21.99\% = \frac{1,660.4}{5,891.6 + 1,660.4} \times 100\%$
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 廠成立於 1973 年 8 月。為台灣早期第一家響應政府發展高科技策略工業政策的印刷電路板 (Printed Circuit Board，簡稱 PCB) 專業製造公司，成立初期以生產單、雙面印刷電路板為主，經由不斷的技术研發，於 1983 年開始量產 6 層以上電腦用印刷電路板，帶領台灣印刷電路板產業朝向多層板發展。

(二) 製程流程

B 廠以生產印刷電路板為主，印刷電路板為各項電子產品中的關鍵零組件，其用途為承載各電子元件及元件間訊息傳遞之媒介 (Interconnection)，B 廠主要的業務範圍包含一般多層電路板、高密度電路板 (HDI)、高層次板 (HLC)、軟板 (FPC) 與軟硬板 (Rigid-Flex PCB) 等產品的生產製造，目前主要營收來自核心的印刷電路板製造業務，製程流程如圖 46 所示。

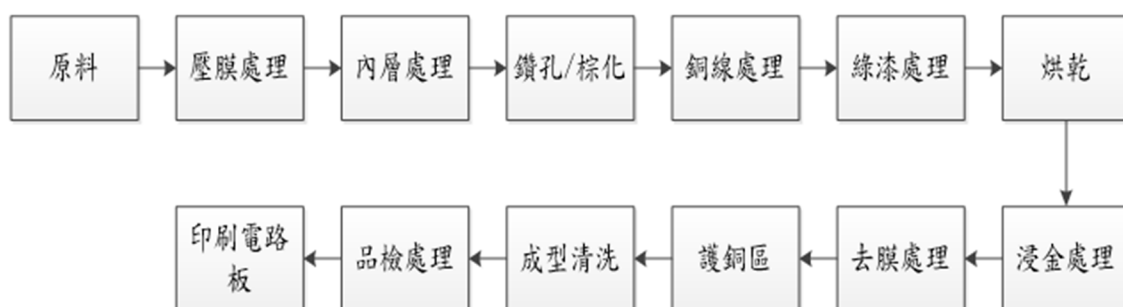
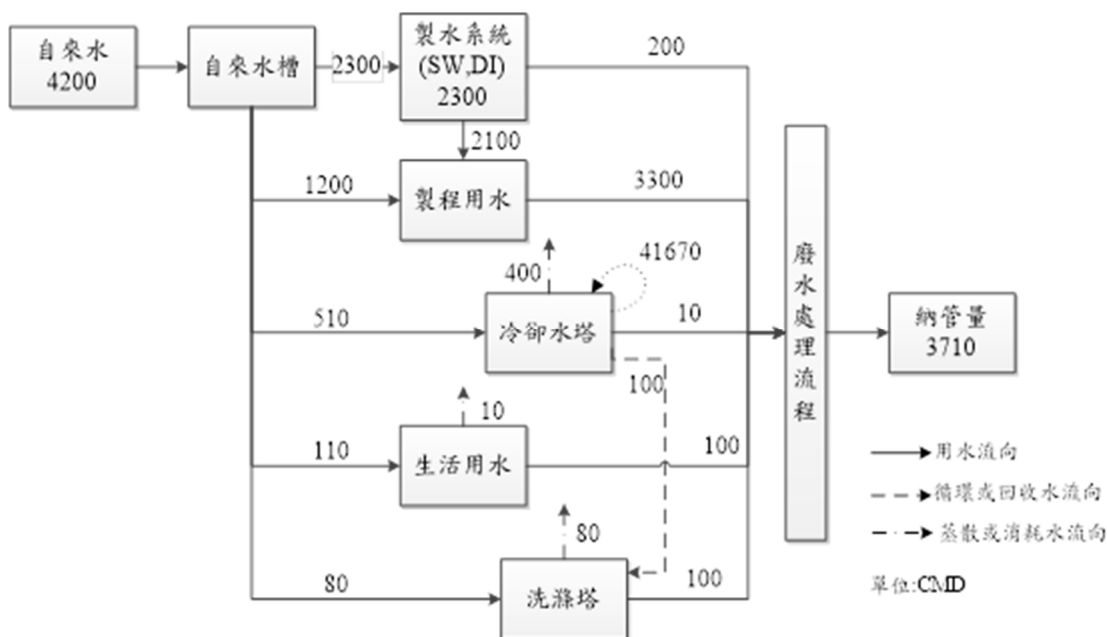


圖 46 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

該廠每日用水量共 **4,200 CMD**，所使用水源為自來水(台灣自來水公司所提供)。廠內水平衡圖如圖 47 所示，主要提供製程、冷卻、洗滌塔及民生用水。



■ 圖 47 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

依據圖 47 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，可規劃水回收方案如下：

方案一、冷卻水塔加裝 EDR 循環利用

該廠冷卻水塔排水再利用回收 **100 CMD** 至洗滌塔使用，本團隊建議加裝旁流過濾及 **EDR** 設備，去除冷卻排水的雜質及降低導電度，將原本冷卻排水重新回收至冷卻水塔增加循環次數，便可降低補水量。預計回收 **100 CMD**，排放 **10 CMD** 的冷卻濃排水，建議於冷卻水塔加裝導電度監測儀器及液位控制器，以避免導電度過高造成冷卻水塔結垢。

方案二、軟水及樹脂再生水回收回收

該廠軟水為獨立產水系統，再生程序為逆洗、靜置、注鹽、沉澱順洗直至可正常造水，其軟水再生須添加氯化鈉並需大量清水沖洗，建議將軟水再生的中後段回收。預計軟水進水量為 **1,000 CMD**，可再生水可回收量為軟水進水量 **1,000 CMD** 的 **3%** 約 **30 CMD**。

而離子交換樹脂再生程序須經由分層、再生注入酸液及鹼液)、清洗(使塔內 pH 值達中性)、混合、沖洗(導電度達該廠標準)，前段為酸洗或鹼洗，故清洗水含有酸鹼故不建議回收，但沖洗階段為清水大量清洗樹脂顆粒使導電度達到該廠設定標準，若無法符合標準即再次進行再生。預計離子交換樹脂進水量為 **1,300 CMD**，預估每次沖洗時間約 **120 分鐘**，再生水量約為進水量的 **8%** 約 **104 CMD**，沖洗水量為再生水量的 **30%** 約 **31 CMD**，預計可回收 **31 CMD** 的離子交換樹脂再生水，總計軟水及樹脂再生水可回收 **61 CMD**。

方案三、製程節水(已自主執行)

經由節水診斷，發現該廠對於細部的用水量不甚明白，為幫助該廠人員了解用水流向及用量大小，建議於供水之主幹管，可劃分為製程、民生、冷卻水塔...等管線或用水量大之設備加裝水錶，以了解用水狀況並避免漏水，藉此可適度的調解廠內用水情形。此外，建議於回收水槽加裝水錶外，亦可增設簡易的自動水質檢測設備，確保回收水用量及用水品質。

該廠已檢視廠內製程用水量，針對用水量及人員操作進行控管，於製程用水由原本的 **3,300 CMD** 下降至 **2,800 CMD**，節省水量約 **500 CMD**。

方案四、管末放流水回收至洗滌塔

該廠洗滌塔使用自來水及冷卻排水作為補水，建議可回收管末放流水約 **120 CMD** 至洗滌塔，若為洗酸塔的話，則可調整 pH 值偏鹼性以便將酸氣洗下來，若考量阻塞問題可加裝側濾系統(FF)過濾洗滌塔循環水，另需額外補充 **60 CMD** 的自來水以避免洗滌塔阻塞。

由於廠內員工人數約 **1,200** 人及住宿 **350** 人，每人每日於上班時段之生活用水量為 **110 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：

- 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 **15 CMD**。

Figure 1 is a water balance diagram for the production process. It illustrates the flow of water from the source (自來水, 3504) through various stages of use and treatment. The diagram includes the following components and flows:

- 自來水 (Tap Water):** 3504 CMD
- 自來水槽 (Tap Water Tank):** 2239 CMD
- 製水系統 (SW,DI) 2300:** 139 CMD
- 製程用水 (Process Water):** 2800 CMD
- 冷卻水塔 (Cooling Tower):** 410 CMD
- 測濾 + EDR (Filtration + EDR):** 100 CMD
- 生活用水 (Living Water):** 95 CMD
- 洗滌塔 (Washing Tower):** 80 CMD
- 廢水處理流程 (Wastewater Treatment Process):** 120 CMD
- 納管量 (Discharge):** 3014 CMD

The diagram uses different arrow types to represent different types of water flow:

- 用水流向 (Water Use Flow):** Solid black arrow
- 循環或回收水流向 (Circulation or Recovery Flow):** Dashed black arrow
- 蒸散或消耗水流向 (Evaporation or Consumption Flow):** Dashed red arrow

單位: CMD

圖 48 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

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，藉由利用旁流過濾+EDR 設備回收冷卻水塔放流水。本團隊所建議的方案需配管，其配管經費未包含於成本分析，將以設備增設價格作成本評估如表 28 所示。

■ 表 28 水回收設施經費分析

項目	方案設備	進水量 (CMD)	產水量 (CMD)	總建設成本 (元)	年營運成本 (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)	產水總成本 (元/月)
方案一	旁流過濾+EDR	100	100	2,700,000	486,000	6.25	13.50	19.75	59,250

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. 方案經濟效益分析

廠內使用水源為自來水 4,200 CMD，目前工業區的自來水價格為 12.5 元/噸；原排放量為 3,710 CMD，工業區納管收費標準，水量單價 9.59 元/噸、COD：19.41 元/Kg、SS：68.51 元/Kg，依據納管繳費單（103/03 及 103/06）顯示，COD 平均濃度為 58 mg/L 及 SS 平均濃度為 11 mg/L。而經由節水方案實施後，自來水量降為 3,504 CMD，排放量降為 3,014 CMD，因廢水排放量減少，導致污染物濃度變高約 1.23 倍（放流量比例 3710/3014），COD 濃度將提升為 71 mg/L 及 SS 平均濃度為 14 mg/L。於節水方案實施前需花費約 285 萬元/月，經由實施改善後約 239 萬元/月，每月即可節省約 46 萬元左右，詳細估算如表 29 所示。

表 29 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	4,200×30 =12,600	12.5×12,600 =1,575,000	3,504×30 =105,120	12.5×105,120 =1,314,000	261,000
納管 水量費	3,710×30 =111,300	9.59×111,300 =1,067,367	3,014×30 =90,420	9.59×90,420 =867,128	200,239
納管 COD 費	3,710×30 =111,300	19.41×111,300×0.058 =125,299	3,014×30 =90,420	19.41×90,420×0.071 =124,609	691
納管 SS 費	3,710×30 =111,300	68.51×111,300×0.011 =83,877	3,014×30 =90,420	68.51×90,420×0.014 =86,725	2,849
合計	-	2,851,543	-	2,392,462	459,081

註：1. 每月工作天以 30 天計。

3. 水回收效益分析

該廠原用水量為 4,200 CMD，排放量為 3,710 CMD。若經由改善建議實施方案，預計可使用水量與排放量各降低為 3,504 CMD 與 3,014 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 2.33% 提高至 7.42%，水回收計算結果如表 30 所示。

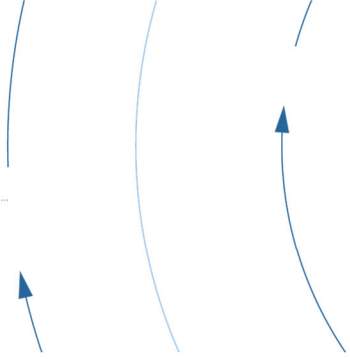
表 30 水回收方案實施前後水回收率變化

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$90.86\% = \frac{100+41,670}{4,200+100+41,670} \times 100\%$	$2.33\% = \frac{100}{4,200+100} \times 100\%$
實施後	$92.29\% = \frac{281+41,670}{3,504+281+41,670} \times 100\%$	$7.42\% = \frac{281}{3,504+281} \times 100\%$
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. AlMarzooqi, F. A., Al Ghaferi, A. A., Saadat, I., & Hilal, N. (2014). Application of capacitive deionisation in water desalination: a review. *Desalination*, 342, 3-15.
2. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency · 2009
3. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
4. Powell Water Systems, Inc · <http://powellwater.com/products/>
5. SPX Cooling Technologies, Inc · <https://spxcooling.com/cooling-towers/marley-nc-everest/>
6. 工研院-廢水處理技術 · <https://www.itriwater.org.tw/Technology/More?id=59>
7. 中山大學 · <http://www2.nsysu.edu.tw/IEE/lou/elec/web/process/pcb.htm>
8. 中山大學 · <http://www2.nsysu.edu.tw/IEE/lou/elec/web/process/pcb.htm>
9. 中華映管 · 產業知識 · <http://www.cptt.com.tw/cptclub/0412.htm>
10. 中華徵信所 · [https :
//www.credit.com.tw/creditonline/Epaper/IndustrialSubjectContent.aspx?sn=176
&unit=380](https://www.credit.com.tw/creditonline/Epaper/IndustrialSubjectContent.aspx?sn=176&unit=380)
11. 友達光電 · <https://www.auo.com/zh-TW>
12. 半導體原理及應用 (II) · <https://www.slideshare.net/zhchenwin/ss-10071879> · 2011
13. 全澤股份有限公司 · <https://www.molykem.com.tw/fiber5.htm>
14. 帝亮電子公司有限公司 · [http://www.yu-
tech.com.tw/edcontent.php?lang=tw&tb=5&id=5](http://www.yu-tech.com.tw/edcontent.php?lang=tw&tb=5&id=5)
15. 佳友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
16. 群揚材料股份有限公司 · <http://www.efmi.com.tw/index.php?a=index/entry&id=12>

17. 斯貝夫股份有限公司，<https://www.sbef.com.tw/mbbr.html>
18. 佳耘工業有限公司，<http://www.bubfilter.com.tw/a3-5-1.htm>
19. 財團法人環境與發展基金會，<http://www.edf.org.tw/guidance/index.asp>
20. 鑫盛源科技股份有限公司，
<http://een.ctu.edu.tw/ezfiles/16/1016/img/833/LED21.pdf>
21. 匯豐中華投信，陳泳潭，
<https://www.moneydj.com/kmdj/report/reportviewer.aspx?a=5b405c00-795b-11d4-a1a3-00e018b00aed>
22. 製程及原理概述，<https://slidesplayer.com/slide/16426016/>
23. 創新水科技研發服務，<http://www.itriwater.org.tw/Technology/More?id=75>
24. 產業價值鏈資訊平台，<https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=D000>
25. 雨水利用之設計要點，工研院能資所節水服務團
26. 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
27. 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
28. 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
29. 周珊珊，工業技術研究院-半導體及光電廢水處理技術概論，2009
30. 張冠甫等，氨氮廢水處理與回收技術及案例，經濟部工業局產業資訊網
31. 李雨霖，水處理用薄膜模組及其應用，中原大學薄膜技術研發中心
32. 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
33. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
34. 莊連春，印刷電路板廢水處理技術介紹，2014
35. 陳欣瑜，產業分析：被動電子元件製造業發展趨勢，2012
36. 黃賢銘，工業污染防治第136期，2016

- 
37. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016
 38. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
 39. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2014
 40. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
 41. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
 42. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
 43. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2015
 44. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
 45. 經濟部水利署，節水紀實，2012
 46. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
 47. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
 48. 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
 49. 徐翊馨，冷卻水塔旁濾設備應用及其節水成效，產業用水效率提升輔導說明會，2014



電子零組件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、台灣半導體產業協會 (TSIA)

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



電子零組件製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

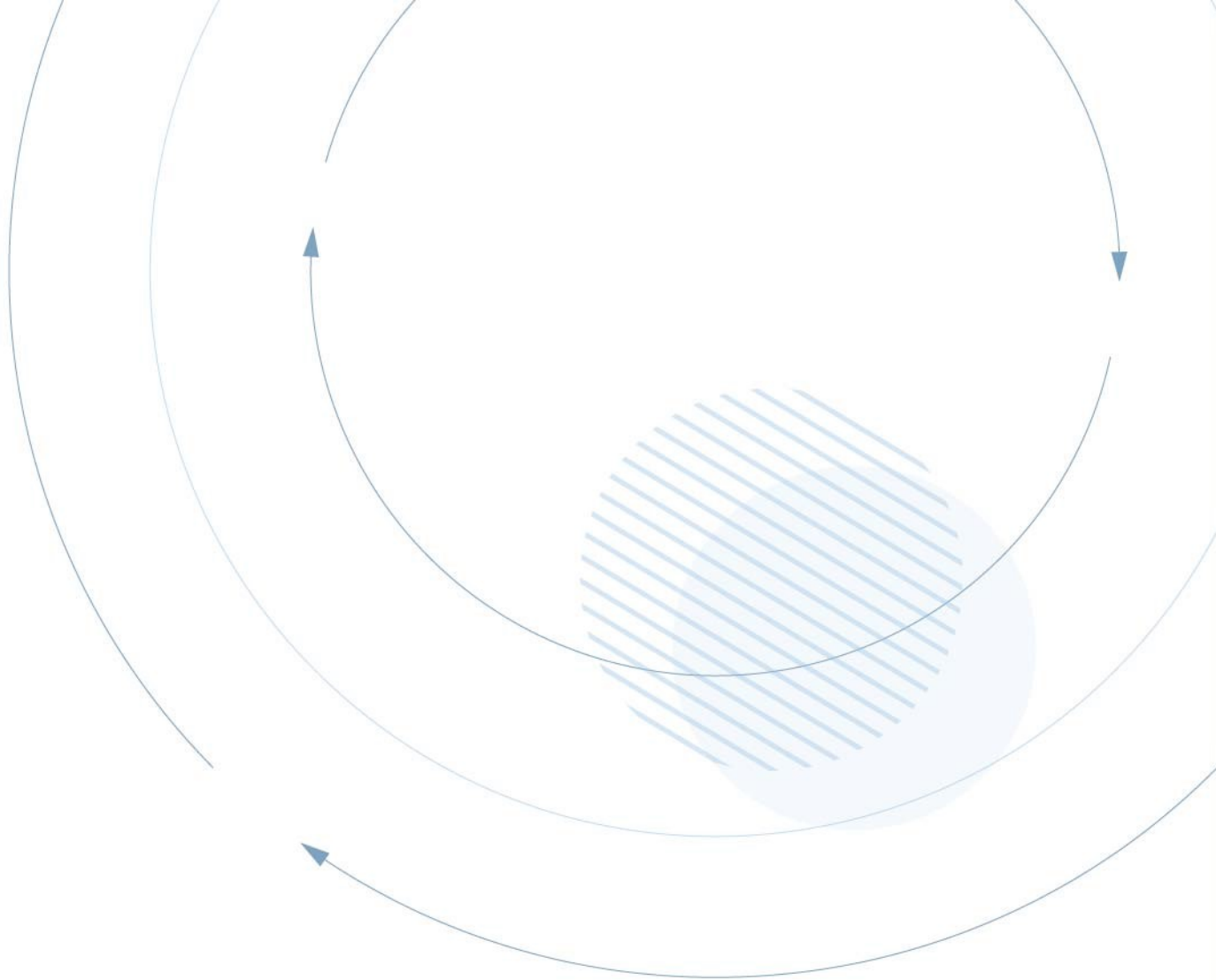
編號	內容格式錯誤處	頁數	修正後內容格式	頁數	說明

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

