



# 石油及煤製品製造業

## 產業用水最適化及 節水技術指引



# 目 錄

	頁次
第一章 產業概況說明	1
一、 產業特性	1
(一) 油氣探採產業	1
(二) 煉製產業	1
(三) 油氣銷售產業	1
二、 製程特性	2
三、 主要用水標的與用水情形	4
第二章 水利三法相關子法、辦法事宜	5
一、 用水計畫審核管理辦法	5
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	6
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值	7
第三章 用水最適化及回收再利用技術	11
一、 製程用水最適化及回收再利用技術	11
(一) 用水最適化	12
(二) 水回收技術	13
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術	16
(一) 用水最適化	16
(二) 水回收技術	20
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	27
(一) 用水最適化	27
(二) 水回收技術	29
四、 放流水回收再利用技術	31
(一) 水回收技術	31
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	45
(五) 成本效益分析	50
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	51
(四) 用水效率提升方案	53
(五) 成本效益分析	55
第五章 參考文獻	57

## 圖目錄

	頁次
圖 1 原油煉製簡易流程圖	2
圖 2 石油分餾圖	3
圖 3 石油及煤製品製造業用水結構分析	4
圖 4 石油及煤製品製造業製程廢水水質特性	11
圖 5 製程用水最適化及水回收技術	12
圖 6 原油蒸餾塔設備圖	13
圖 7 空氣冷卻處理系統設備結構與實體圖	14
圖 8 薄膜生物處理系統示意圖	15
圖 9 薄膜生物處理系統設備圖	15
圖 10 冷卻用水最適化及水回收技術	16
圖 11 濃縮倍數與排放損失關係圖	17
圖 12 冷卻水塔加藥示意圖	18
圖 13 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	19
圖 14 冷卻水塔蒸發回收系統圖	20
圖 15 消霧節水冷卻水塔示意圖	20
圖 16 旁流過濾處理示意圖	22
圖 17 煉油廠旁流過濾系統設備圖	22
圖 18 陶瓷球水處理理論圖	24
圖 19 陶瓷球水處理設備圖	24
圖 20 電透析薄膜處理系統原理示意圖	25
圖 21 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖	26
圖 22 鍋爐用水最適化及水回收技術	27
圖 23 開放式冷凝水回收系統原理示意圖	29
圖 24 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖	30
圖 25 放流水回收技術	31
圖 26 各種濾膜去除物質比較圖	32
圖 27 微過濾薄膜設備圖	32
圖 28 超過濾薄膜設備圖	33
圖 29 奈米過濾薄膜設備圖	33
圖 30 高雄某石化廠薄膜生物處理系統實場圖	35
圖 31 薄膜生物處理系統設備圖	35
圖 32 其他水回收技術	38
圖 33 雨水回收流程圖	39
圖 34 區域水資源整合型態示意圖	41
圖 35 監測連線傳輸設置圖	42
圖 36 案例 A 廠製造流程圖	45
圖 37 案例 A 廠用水平衡圖 ( 方案實施前 )	46



圖 38 案例 A 廠目前冷卻水操作圖	47
圖 39 案例 A 廠建議冷卻水操作圖	47
圖 40 案例 A 廠用水平衡圖 ( 方案實施後 )	49
圖 41 案例 B 廠用水平衡圖 ( 方案實施前 )	52
圖 42 案例 B 廠用水平衡圖 ( 方案實施後 )	54

# 表 目 錄

	頁次
表 1 石油及煤製品製造業類別及定義	2
表 2 產業園區用水管理作業原則摘要表	6
表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	7
表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表	8
表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值表	9
表 6 石油及煤製品某廠放流水水質特性	11
表 7 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	17
表 8 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	21
表 9 纖維過濾與傳統砂濾比較表	23
表 10 傳統砂濾與纖維過濾於旁流過濾節水量比較	23
表 11 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例	26
表 12 開放式及密閉式冷凝水回收原理比較表	30
表 13 各薄膜過濾特性比較分析表	33
表 14 奈米過濾薄膜及逆滲透薄膜系統經費分析	34
表 15 煉油石化業採用薄膜生物處理系統案例	36
表 16 薄膜生物處理系統與傳統處理比較分析	36
表 17 雨水處理設備與使用程度關係	40
表 18 雨水截流系統設計值	40
表 19 石油及煤製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整	43
表 20 改善方案經濟可行性評估	50
表 21 水回收方案實施前後水回收率變化	50
表 22 水回收設施經費分析	55
表 23 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	56
表 24 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)，石油及煤製品製造業為從事將原油及煤製成可用產品之行業，依行業標準分類別可細分如表 1 所示。另依經濟部統計處公告資料顯示，石油及煤製品製造業產值約為新台幣 9,905.5 億元 (經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)。

石油工業是透過原油及天然氣為進料所發展的工業，從前端的油氣探勘、鑽採、購運、輸儲至煉製、分銷都屬於石油工業範疇。由應用領域區分，石油工業所涵蓋的產業除石油化學工業基本原料，現代民生育樂等各方面皆與石油工業有密不可分的關連性(經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊-石油及煤製品製造業，2011)。

油氣產品生產製造屬於能源產業範疇，在本製造業的經營者大多為國際大型公司、國營公司或大型集團從事國際性經營，在該產業下又可分為以下三類：

### (一) 油氣探採產業

油氣探採為石油工業的前端工業，針對石油探採的有關技術、資金及探勘開發所需要的時間較為冗長，相對風險也大，但開發成功後，背後所蘊藏的利潤將十分可觀。

### (二) 煉製產業

現行煉製產業的各項煉製技術已發展十分成熟並且具有精煉度高的能力，但由於煉製作業的相關設備投資回收年限長，且產業關聯龐大及產品成本不易計算等特性，需要有良好的輸儲體系配合，也因為前述產業結構特性，加上相關法令規範日趨嚴謹，因此鮮少有小型煉油廠之經營。

### (三) 油氣銷售產業

我國由於天然資源匱乏，油氣原物料皆仰賴國外進口，所需的儲運與行銷業務經營需要龐大的資金，因此一般事業單位較不易進入本銷售產業，多數銷售產業是加盟競爭體系，獨立經營的銷售模式已逐漸消失。



表 1 石油及煤製品製造業類別及定義

分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	17	170	1700	<p>石油及煤製品製造業 從事將原油及煤製成可用產品之行業，包括以裂解、蒸餾等技術將原油分離出燃料氣、汽油、輕油（石油腦）、煤油、柴油等石油精煉產品，及生產半焦碳、焦炭、煤焦油等產品；製造生質汽（柴）油之行業亦歸入本類。</p> <p>不包括： 甲烷、乙烷、丙烷或丁烷等天然氣開採歸入 0500 細類「石油及天然氣礦業」。 非煉油廠從事乙烷、丙烷及丁烷等燃料氣製造歸入 1810 細類「化學原材料製造業」。 以購入瀝青、石油焦為原料，製造土木、建築材料及其他製品歸入 2399 細類「未分類其他非金屬礦物製品製造業」。</p>

（資料來源：行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016）

## 二、製程特性

由地底開採出的原油大多數都是帶有異臭的黑褐色液體，除燃燒外不具有任何實用價值，要經過一連串的加工製造過程，而這個過程就是「石油煉製」。有關原油煉製簡易流程如圖 1 所示。

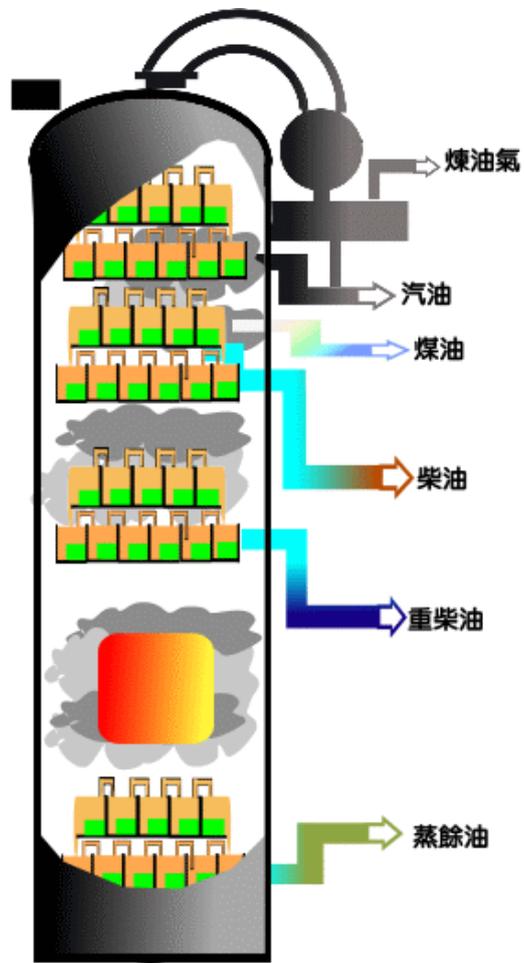


（資料來源：中油公司-桃園煉油廠）

圖 1 原油煉製簡易流程圖

原油透過各項前處理作業後，經由蒸餾方式於不同蒸餾溫度進行原油萃取，工業上先將石油加熱至 400~500℃ 之間，使其變成蒸氣後輸進分餾塔，有關分餾塔中各段分餾產物如圖 2 所示，於分餾塔內，位置愈高，溫度愈低。

在分餾塔中，石油蒸氣於上升途中會逐步液化、冷卻及凝結成液體餾份。分子較小、沸點較低的氣態餾份則慢慢地沿塔上升，在塔的高層凝結，例如燃料氣、液化石油氣、輕油及煤油等。分子較大、沸點較高的液態餾份在塔底凝結，例如柴油、潤滑油及蠟等。在塔底留下的黏滯殘餘物為瀝青及重油 ( Heavy Oil )，可作為焦化和製作瀝青的原料或作為鍋爐燃料。不同餾份在各層收集起來，經過導管運出分餾塔，這些分餾產物便是石油化學原料，將可再製成許多的化學品 ( 中油公司-桃園煉油廠 )。



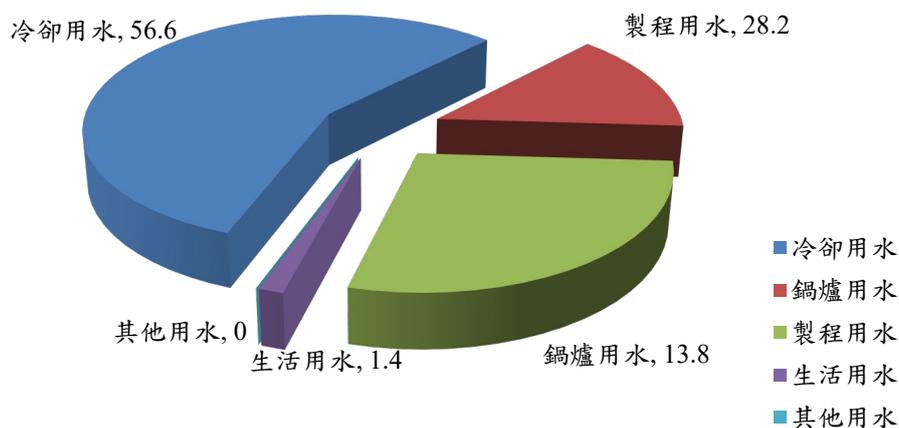
(資料來源：中油公司-桃園煉油廠)

圖 2 石油分餾圖



### 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，石油及煤製品製造業全國佔地面積為 1,422.53 公頃，其年用水量 64.21 百萬立方公尺，單位面積日用水量為 170 立方公尺/公頃/日（經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017）。另依據經濟部工業局之調查資料顯示，石油及煤製品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，由於石油及煤製品生產製造過程中，會產生高溫熱，因此以冷卻用水使用量占比可高達 56.6%，各項用水結構分析如圖 3 所示。



（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 3 石油及煤製品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表

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，各級用水建議值於表 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 <sub>5</sub> (mg/L)	-	-	最大限值 15 以下且連續 7 日平均限值 10 以下 (以生活污水為水源)
COD (mg/L)	-	30	
TOC (mg/L)	0.5		
總溶解固體物 (mg/L)	100	800	
電導度 (μS/cm)	250	-	
氨氮 (mg/L)	0.5	5	5
硝酸鹽氮 (mg/L)	15		
總硬度 (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	50	400	850
硝酸鹽類 (mg/L)	5		
氟化物 F <sup>-</sup> (mg/L)	0.5		
氯化物 Cl <sup>-</sup> (mg/L)	20		
二氧化矽 (mg/L)	3		
總三鹵甲烷 (mg/L)	0.08		
餘氯 (mg/L)	2	1	結合餘氯 : 0.4 自由餘氯 : 0.1
大腸桿菌群 (CFU/100mL)	不得檢出	10	
總菌落數 (CFU/100mL)	不得檢出		
硼 B (mg/L)	0.5		
鐵 Fe (mg/L)	0.04		
錳 Mn (mg/L)	0.05		
鈉 Na (mg/L)	20		
鋁 Al (mg/L)	0.1		
鋇 Ba (mg/L)	0.1		
鈣 Ca (mg/L)	4		
銅 Cu (mg/L)	0.05		
鋅 Zn (mg/L)	0.1		
銻 Sr (mg/L)	0.1		

(資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016)

「再生水資源發展條例」及「再生水水質標準及使用遵行辦法」已規範國內再生水基礎水質標準，且依再生水示範案推動經驗，國內再生水主要作為工業用水使用，而隨著產業使用用途不同，用水端對於水質項目及標準也有不同的需求，為縮短未來再生水經營業與需水端協商時程，儘速達成共識，似有訂定再生水供應各類工業用途水質建議值之必要，經多次開會協商後於 107 年 6 月 28 日經授水字第 10720208640 號公告如表 5 所示。

表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值表

項目	單位	建議最大容許量		
		製程用水	鍋爐用水	冷卻用水
pH	-	6.0~8.5	7.0~9.0	6.0~8.5
濁度	NTU		2	4
總有機碳 (TOC)	mg/L		5	10
總溶解固體 (TDS)	mg/L		150	500
導電度	μS/cm		250	800
總硬度	mg/L as CaCO <sub>3</sub>		50	400
氯鹽	mg/L	20		-
硫酸鹽	mg/L	50		250
氨氮	mg/L	2		10
硝酸鹽氮	mg/L	10		-
二氧化矽	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

於石油及煤製品製造業中，常見產物為燃料氣、汽油、焦炭、煤焦油等產物，由於生產產品不同，對於用水要求也有所差異，相關製程廢水水質特性如圖 4 所示，台灣某廠放流水水質為表 6 所列，廢水處理單元有廢水調整池、油脂分離槽、pH 值調整池、快慢混池、終沉池等。各項製程用水最適化及水回收技術如圖 5 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

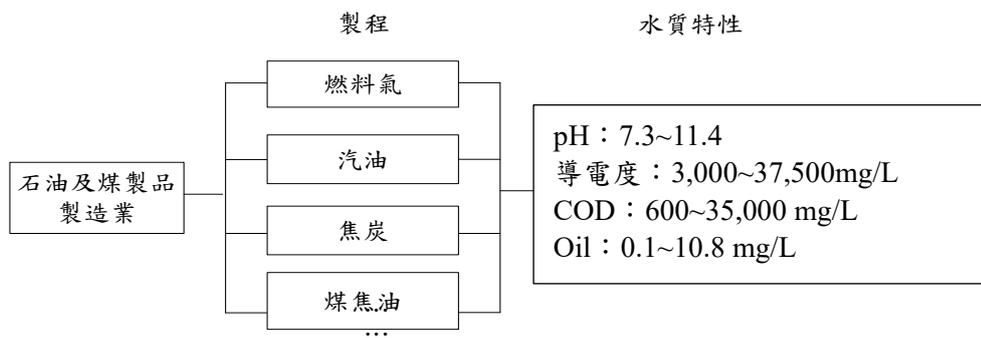


圖 4 石油及煤製品製造業製程廢水水質特性

表 6 石油及煤製品某廠放流水水質特性

檢驗項目	數值
懸浮固體 (mg/L)	7.2
溫度°C	24.8
真色色度 (ADMI 值)	<25
pH 值	8.2
硝酸鹽氮 (mg/L)	0.48
氨氣 (mg/L)	0.17
油脂 (mg/L)	<0.5
化學需氧量 (mg/L)	10.5



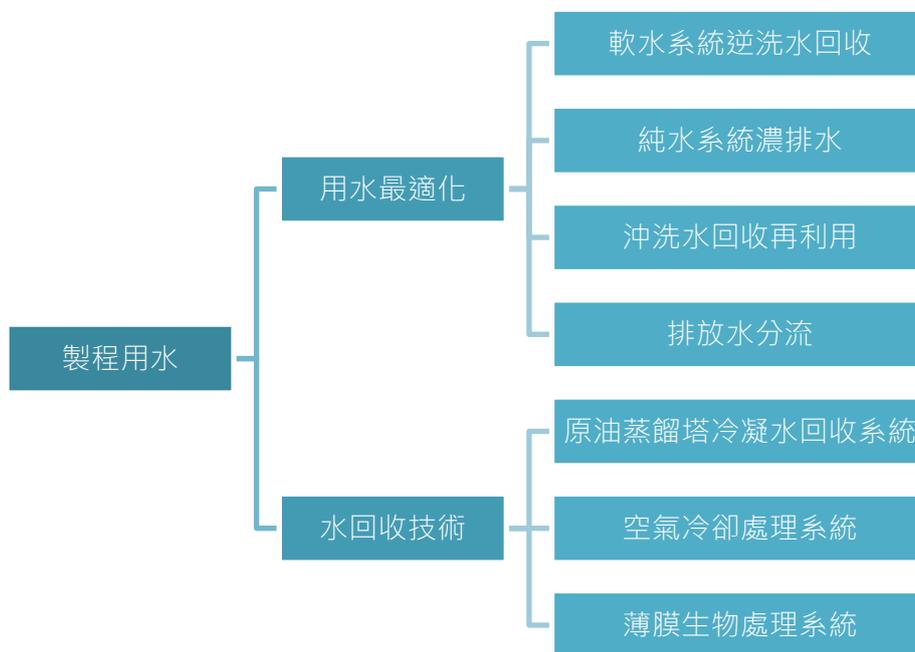


圖 5 製程用水最適化及水回收技術

### (一) 用水最適化

#### 1. 軟水系統逆洗水回收

軟水系統為注鹽再生，每日需再生一次，再生程序包含逆洗、靜置、注鹽、沉澱、順洗至可正常造水，除前段逆洗、注鹽及初期順洗程序因含大量雜質及導電度較高不適回收外，後段順洗程序因導電度已趨近自來水且雜質含量低，故可進行回收，此回收水導電度約等同自來水，惟因可能含少量雜質，如欲導入冷卻水塔使用可先經過簡單的小型砂濾或袋濾設備，亦可以考量混入自來水池重新分配使用。

#### 2. 純水系統濃排水

石化生產作業中，有部分作業單元對於製程用水品質有一定限制，因此進流水會透過薄膜過濾系統等進行前處理後再行使用，處理過程所產生濃排水唯導電度高，針對此股高導電度濃排水，可用於對於水質要求較不嚴苛之區段，如：清洗、冷卻及洗滌塔之使用。

### 3. 沖洗水回收再利用

針對製程作業中，沖洗作業廢水大致可分為有無添加藥劑，對於加藥廢水由於水中含有總溶解固體物及懸浮固體等物質，因此較不易經過簡易處理再使用；對於無添加藥劑的沖洗水，相對水質較為單純，可透過一、二級處理系統處理過後進行回收，該股水源可用於製程作業水質要求較不嚴苛等次級用水單元做使用。

### 4. 排放水分流

由於本產業生產作業複雜，因此作業後所產生的各項廢水亦不單純，部分工廠於前端製程作業後，相關廢水將進行分流蒐集，根據分流機制，概略分為有機性廢水及無機性，透過分流機制，可降低廢水處理的負荷，提升處理能力。

## (二) 水回收技術

### 1. 原油蒸餾塔冷凝水回收系統

原油蒸餾先將原油送入加熱爐加熱到不足以引起油品明顯裂化的最高溫度，使其盡量汽化，然後將處於平衡汽化的汽、液兩相從加熱爐引入塔內的進料空間，氣體向上，液體向下，在一個蒸餾塔內根據原油所含組分的沸點不同，使各組分從輕到重依次汽化，冷凝冷卻得到輕重不同的各種餾份，完成多組份的分離（馬宗寧，原油蒸餾過程的工藝計算及模擬，華東理工大學，2011）。

在原油蒸餾過程中，氯鹽受熱水解成氯化氫，上升至原油蒸餾塔頂部，溶入水蒸氣冷凝析出一股鹽酸水（俗稱酸水），該股酸水可做為充當脫鹽槽、煙道洗滌及蒸餾塔塔頂出口之高硫鹽類等管線清潔用水，原油蒸餾塔設備如圖 6 所示（陳兆泰，原油的脫鹽，科技大觀園，2014）。



（資料來源：經濟部水利署，節約用水績優單位及個人專輯，2006）

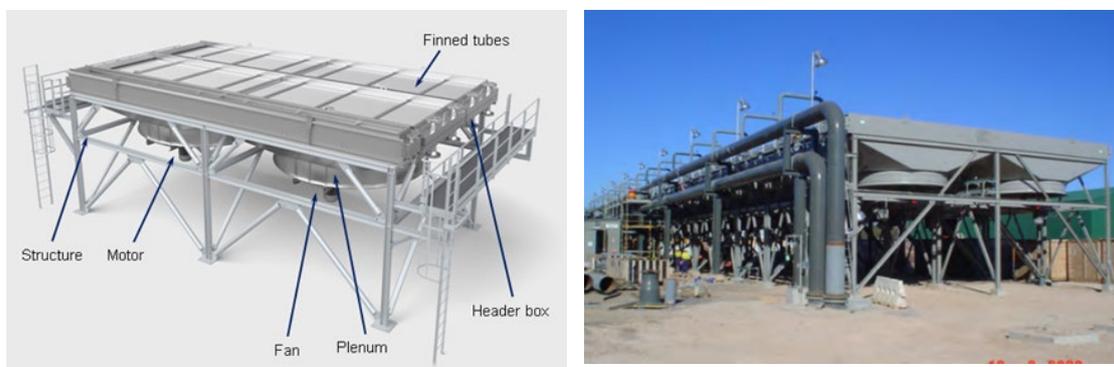
圖 6 原油蒸餾塔設備圖



## 2. 空氣冷卻處理系統

空氣冷卻處理系統 ( **Air Cooled Heat Exchanger** ) 是利用空氣冷卻熱流體的換熱器，管內的熱流體通過管壁和翅片與管外空氣進行換熱，所用的空氣通常由通風機供給，設備結構與實體示意圖如圖 7 所示。設備廣泛應用於：煉油、石油化工塔頂蒸氣的冷凝；回流油、塔底油的冷卻；各種反應生成物的冷卻；循環氣體的冷卻和電站汽輪機排氣的冷凝 ( 互動百科 )。

冷卻水塔增設空氣冷卻器，可降低冷卻水塔熱負荷，提升冷卻效率，降低蒸散損失。



( 資料來源：ALFA LAVAL )

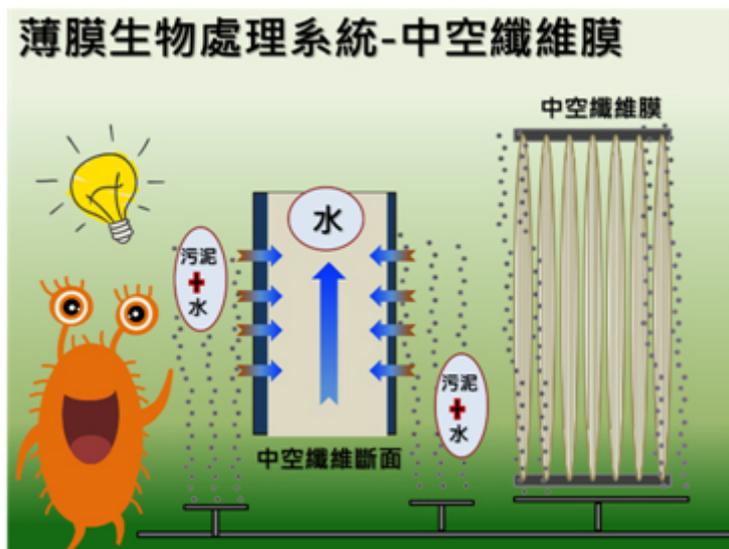
圖 7 空氣冷卻處理系統設備結構與實體圖

## 3. 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所結合衍伸的處理技術，如圖 8 及圖 9 所示，透過薄膜進行固液分離，主要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** )，其具備污泥齡長、產生污泥量少，佔地需求低等特色。

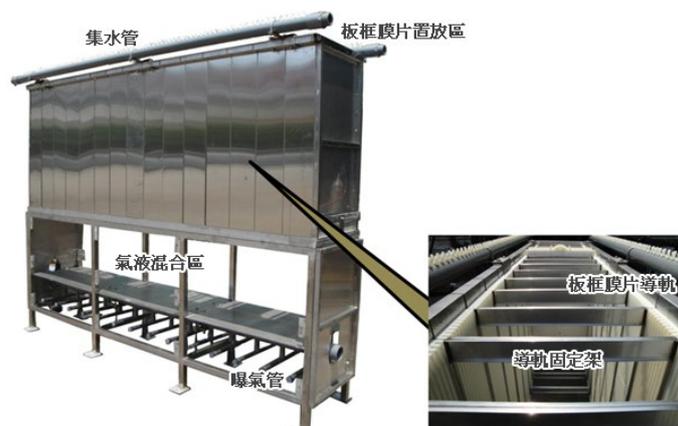
透過 **MBR** 系統處理，可高效進行固液分離，獲得穩定水質並提升後續用水單元處理效益，處理後之水體也可規劃作為公共次級用水如沖廁、洗地或澆灌等使用。

依照薄膜的位置可區分為(1)外部迴旋式或旁流式及(2)沉浸式或整合式兩類，旁流式 MBR 在 1970 年代發展，其薄膜位於生物反應槽後，以取代終沉池，主要是以去除懸浮固體為主。沉浸式為將薄膜置於生物反應槽中，其污泥會累積在薄膜表面形成生物膜，因此有較佳的出流水水質。



(資料來源：財團法人環境與發展基金會)

圖 8 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 9 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

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，因石油及煤製品製造屬於高溫高熱的生產製造，透過相關節水技術將可得到回收再利用之效益，相關冷卻水水質標準可參照第二章表 4 及表 5，圖 10 為石油及煤製品製造業常見之相關技術。

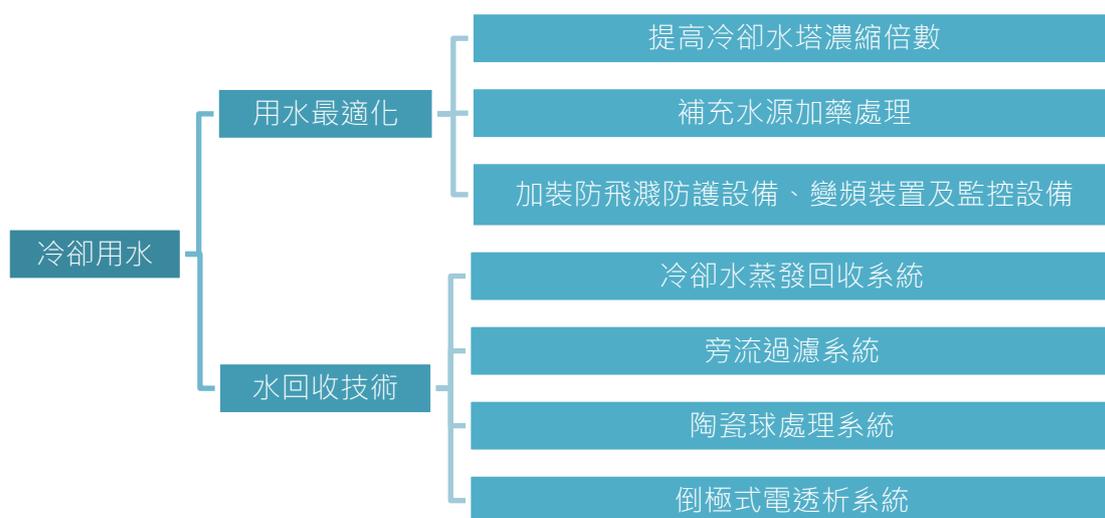


圖 10 冷卻用水最適化及水回收技術

### (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：

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

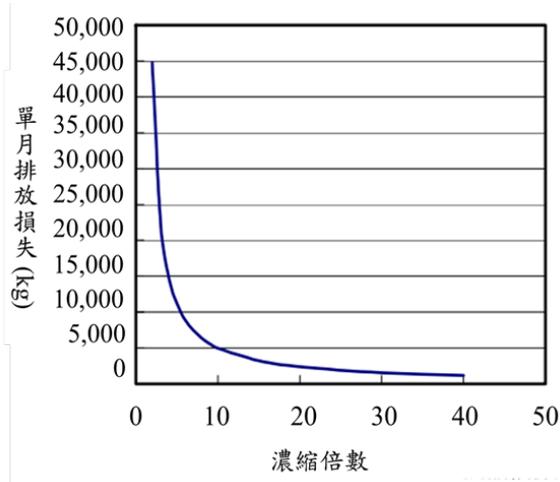
$$= EC_{out} \text{ ( 排放水導電度 ) } / EC_{in} \text{ ( 補充水導電度 )}$$

以節約用水觀點而言，提高濃縮倍數，可達到減少排水量、降低加藥量及能源損耗。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 11 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						
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
原濃縮倍數	1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%
	2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%
	2.5			10%	16%	20%	25%	28%
	3.0				7%	11%	17%	20%
	3.5					5%	11%	17%
	4.0						6%	11%
	5.0							4%

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)



(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

圖 11 濃縮倍數與排放損失關係圖



石油及煤製品製造業

用水最適化及回收再利用技術

## 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 12 所示。

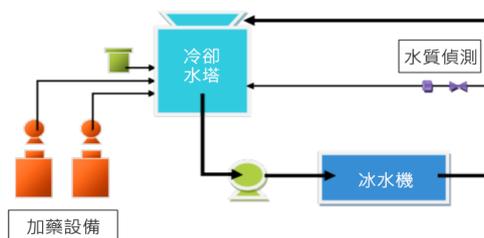
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index, 簡稱 LSI) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，計算過程所需參數包括：酸鹼值 (pH)、Ca 硬度、M 鹼度 (M<sub>alk</sub>) 及總溶解固體 (Total Dissolved Solids, 簡稱 TDS) 的數據值。首先經由理論公式： $pH_s = pCa (-\log[Ca^{2+}]) + pM_{alk} (-\log[M_{alk}]) + C_{scale}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

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

LSI > 0，水體中可能產生碳酸鈣沉澱，易形成水垢 (Scaling)；可添加抗垢劑如有機磷酸鹽及硫酸，將水中部份的重碳酸鈣 (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 轉換成溶解度較高之硫酸鈣。

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

若替代補充水中含藻類 (Algae) 或菌類 (Bacteria) 等時，將容易產生菌藻污塞，使得結垢及腐蝕問題更加惡化，產生冷卻水塔壓降及熱傳效率不良情形，處理方法為可選擇添加次氯酸鈉 (NaClO)、氯錠、二氧化氯 (ClO<sub>2</sub>) 等滅菌劑，抑制微生物及藻類之滋長，惟較適合水量小及水質結垢者。

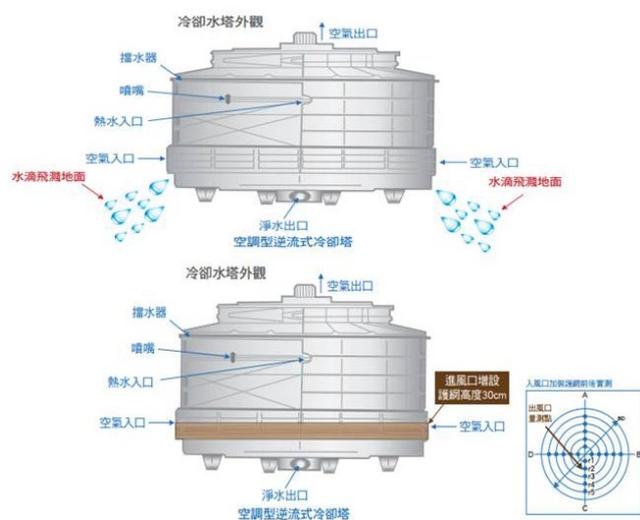


(資料來源：佺友股份有限公司)

圖 12 冷卻水塔加藥示意圖

### 3. 加裝防飛濺防護設備、變頻裝置及監控設備

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 13 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。除此之外，在冷卻水塔加裝監控設備，增設水錶、導電度計、pH 計、連續監測系統等，以定期檢視整體用水情況，避免鹽類濃度過高形成結垢或腐蝕，並藉由控制冷卻水塔濃縮倍數，以有效提升用水效率。



(資料來源：經濟部水利署，節水紀實，2012)

圖 13 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

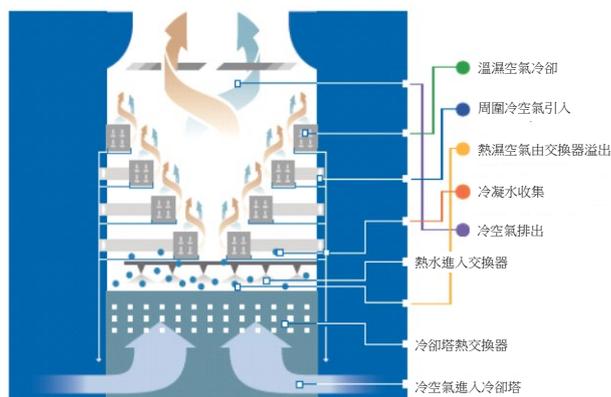


## (二) 水回收技術

### 1. 冷卻水蒸發回收系統

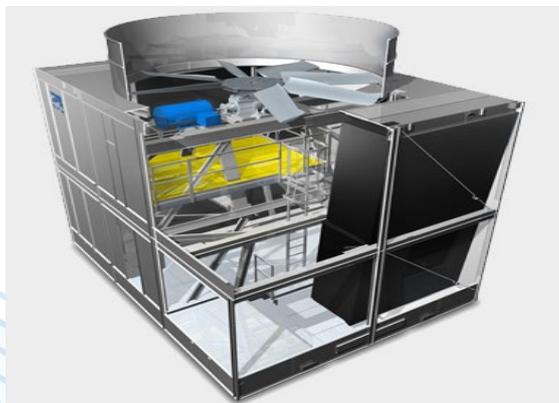
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點 ( 國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005 )。

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 14 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 15 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 14 冷卻水塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

圖 15 消霧節水冷卻水塔示意圖

表 8 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)

#### 冷卻水塔蒸發回收之成本分析

項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量 (11-4 月)	58,240 m³	0	58,240 m³
營運成本 (11-4 月)	1,100 千元	930 千元	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

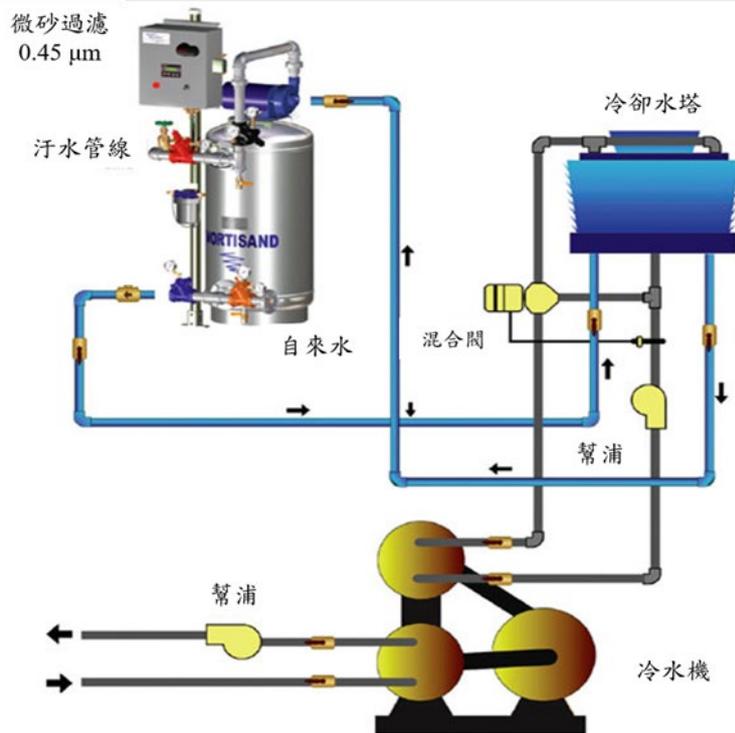
(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

## 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，旁流過濾系統處理如圖 16 所示，煉油廠旁流過濾實體設備如圖 17 所示。當水塔抽水模式若可由冷卻水塔中心抽出，將可提升取水率並有效降低結垢及污塞。



過去常見傳統旁流過濾設備多採砂濾，但砂濾具有反洗水量大、壓力易上升及易結塊等問題，以過濾量  $100 \text{ m}^3/\text{hr}$  為例，纖維過濾與傳統砂濾比較如表 9 所示，砂濾與纖維過濾於旁流過濾節水量比較如表 10 所示，每次可節省  $21 \text{ m}^3$  的反洗用水量。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 16 旁流過濾處理示意圖



(資料來源：經濟部工業局，用水效能提昇說明會，2014)

圖 17 煉油廠旁流過濾系統設備圖

表 9 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 <sup>2</sup> 佔用面積大 (LV=10 時)	一般：3.3 m <sup>2</sup> (LV=30 時) 高速：1.25 m <sup>2</sup> (LV=80 時)
反洗總耗水量 (如每天反洗一次)	36,500 m <sup>3</sup> /year	一般：13,140 m <sup>3</sup> /year 高速：5,110 m <sup>3</sup> /year
截污量	淺層過濾，截污量少，相對反洗頻率高	深層過濾，截污量多，相對反洗頻率低
過濾精度	10 μm 以上粒徑的顆粒方可濾除	10 μm 濾除 100% 2 μm 濾除 50%以上
濾材更換	1~3 年需更換一次，視污染情況而定	正常狀況下使用 10 年以上
對膠狀物質及鐵份處理	無法濾除膠體物質及鐵、錳	可濾除膠狀物質及鐵、錳
結塊問題	濾材會因微生物及污染物凝聚而結塊，過濾時造成短流	濾材用氣水清洗不結塊不影響過濾效果
油脂過濾	會受油污染而凝結	可過濾少量油脂
使用動力	需倍量水反洗及較高水頭損失，耗用能源大	比採水量小的反洗水及較低的水頭損失，耗用能源小
過濾水頭損失	初始壓力隨濾材粒徑而定，一般 0.5 kg/cm <sup>2</sup> ，壓差 0.5 kg/cm <sup>2</sup> 時需反洗	初始壓力為 0.2~0.4 kg/cm <sup>2</sup> 壓差 0.5~1.0 kg/cm <sup>2</sup> 時才需反洗
設備選擇性	設備單一無選擇性	設備多樣化

(資料來源：全澤股份有限公司)

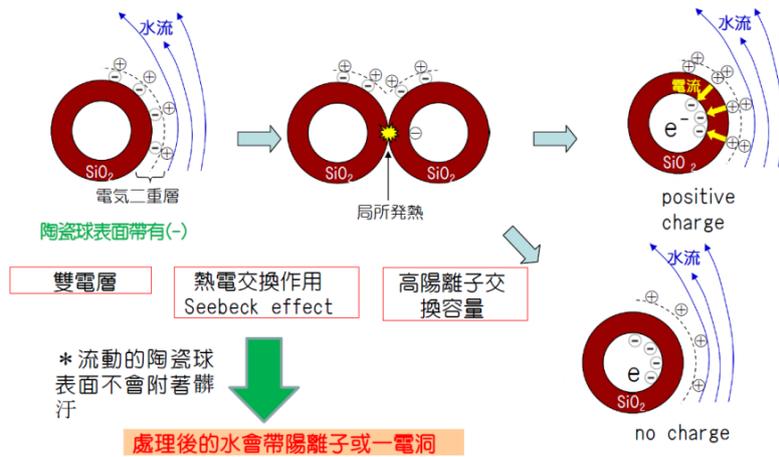
表 10 傳統砂濾與纖維過濾於旁流過濾節水量比較

項目	傳統砂濾	纖維過濾
過濾表面積	4m <sup>2</sup> (LV=25 m/hr)	1.33m <sup>2</sup> (LV=75 m/hr)
反洗水強度	14 L/m <sup>2</sup> .sec×4 m <sup>2</sup> ×3600sec=201.6 m <sup>3</sup> /hr	8 L/m <sup>2</sup> .sec×1.33 m <sup>2</sup> ×3600 sec=38.3 m <sup>3</sup> /hr
反洗用水量	26.88 m <sup>3</sup> /次 (8 分/次)	5.1 m <sup>3</sup> /次 (8 分/次)



### 3. 陶瓷球處理系統

循環水處理裝置中，冷卻水流經陶瓷球後帶陽離子， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 等二價陽離子與碳酸鹽等陰離子產生膠體化形成水垢，使得水垢沉積在水流流速低的冷卻水塔水盤中，因此水垢不會附著到管線及熱交換器的管壁上，以減緩管線的腐蝕，可大幅降低排水量來控制濃度，相關設備水處理理論及實體設備如圖 18 及圖 19 所示。



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

圖 18 陶瓷球水處理理論圖

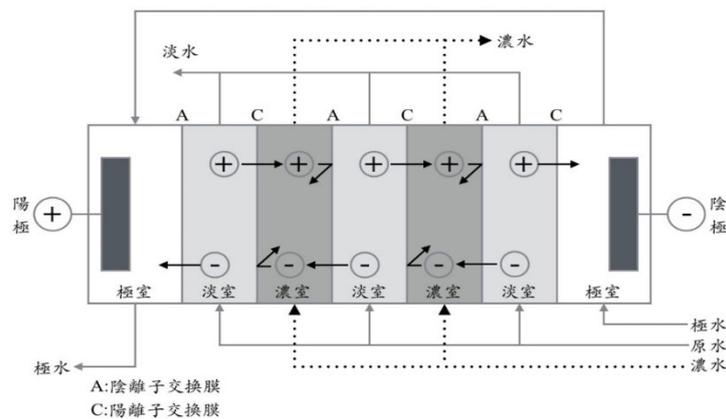
(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)



圖 19 陶瓷球水處理設備圖

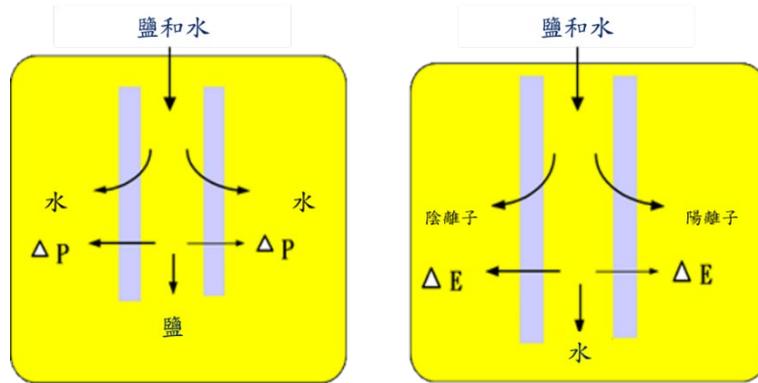
#### 4. 倒極式電透析系統

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 20 所示。利用陽離子只能穿透陽離子膜, 而陰離子只能穿透陰離子膜的特性, 在外加直流電場的作用下, 水中陰離子移向陽極, 陽離子移向陰極, 最後得到淡水及濃水, 達到淡化除鹽的目的, 並利用切換直流電正負極和內部導流的方式延長薄膜使用壽命。**EDR** 可處理導電度高達 **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<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** 或氯殺菌, 且容許原水污泥密度指數 ( **Silt Density Index** , 簡稱 **SDI** ) 限值 ( **SDI < 15** ), 較 **RO** 處理設備容許限值 ( **SDI : 3~5** ) 寬鬆, 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%**, **RO** 與 **EDR** 系統之脫鹽技術原理比較如圖 21 所示, 經由 **EDR** 系統處理後可以有效的淡化水或廢水中的離子, 降低水中的導電度及溶解性固體 ( **Total dissolved solids** , 簡稱 **TDS** ), 做為冷卻水塔補充水。



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

圖 20 電透析薄膜處理系統原理示意圖



RO分離機制：以壓力(20 bar)為驅動力 EDR分離機制：以電力為驅動力  
 (資料來源：梁德明，薄膜相關新技術應用於電導躡控制技術及處理成本分析，排放水電導躡控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003)

圖 21 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統之脫鹽技術原理比較圖

國內已有大用水工廠以 EDR 進行冷卻排放水 ( Blow Down ) 回收，此舉除可回收約 75%冷卻排放水外，亦可有效減少冷卻系統循環水之藥劑使用量。表 11 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 11 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 ( $\text{mg}/\text{L}$ as $\text{CaCO}_3$ )	鎂硬度 ( $\text{mg}/\text{L}$ as $\text{CaCO}_3$ )	Cl- ( $\text{mg}/\text{L}$ )	SO42- ( $\text{mg}/\text{L}$ )
排放水	8.0~8.5	1520±30	275±25	30±5	250±30	290±30
再生水	5.0~6.2	295~315	20~27	0.5~1.4	9~12	91~112

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

### 三、鍋爐用水最適化及回收再利用技術

鍋爐用水係指在鍋爐內進行汽化所需之用水，其蒸氣將用於工業生產及發電，由於蒸汽凝結水具有較佳水質，因此適合用於回收再利用，且鍋爐用水循環再利用，多於密閉系統下進行，較無微生物孳生之困擾，但會產生腐蝕及結垢現象，因此藉由除氧、調節 pH 值、添加螯合劑、利用電磁場及脫鹼等控制腐蝕結垢，使得設備得以正常操作並降低用水量，相關用水最適化及水回收技術如圖 22 所示，說明如下。

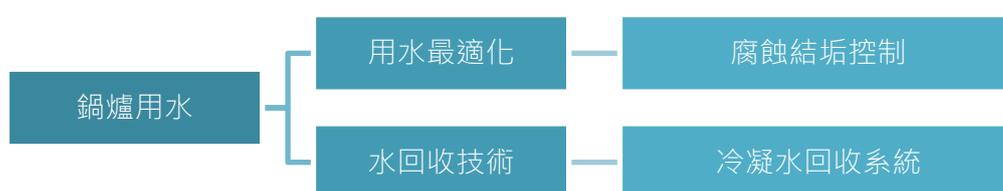


圖 22 鍋爐用水最適化及水回收技術

#### (一) 用水最適化

##### 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，是目前應用最多的一種除氧方法且普遍採用的成熟技術。

###### (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、有機胺中及二氧化碳以提高 pH 值。在高純度鍋爐給水中，pH 值需控制在 6.5 至 7 中，並加入強氧化劑形成保護膜防止金屬腐蝕。

###### (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

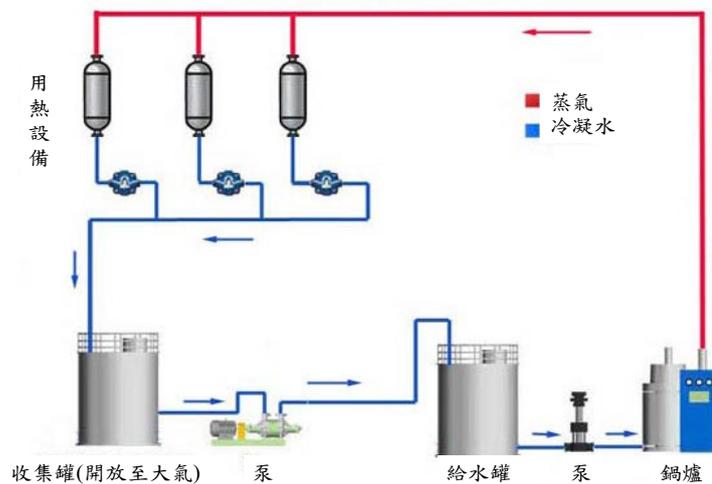
由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換（中壓鍋爐）後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

## (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 23 所示。此回收冷凝水將可做為鍋爐補充水或者其他製程用途，但由於冷凝水為直接排放到大氣常壓下，因此有較多的閃蒸汽直接排放到大氣中，冷凝水溫度不會高於 100°C。



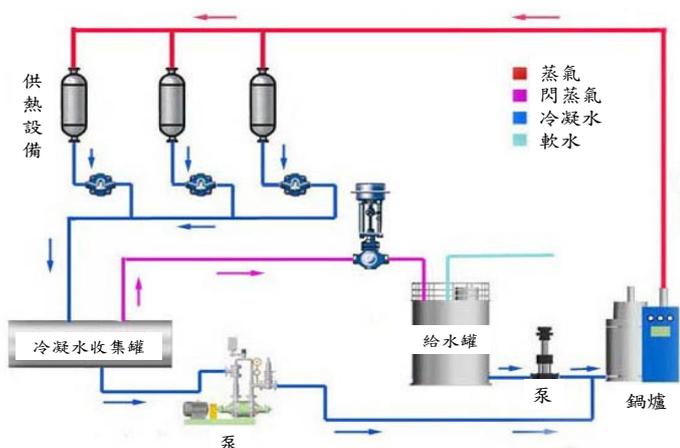
(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 23 開放式冷凝水回收系統原理示意圖



密閉式冷凝水回收系統是將冷凝水回收至密閉收集罐內，是一種高於常壓的回收方式，其回收原理如圖 24 所示。在此封閉迴路中，於集水罐回收之冷凝水，溫度可以遠高於 100°C。

開放式冷凝水回收系統配置較簡單，初期投資較低，但由於收集罐是開放至大氣的，當冷凝水發生閃蒸時，大量的熱量會釋放到空氣中；封閉式的系統的投資成本較高，在設計時也需要考慮較複雜的參數，例如調節閃蒸氣的專用閥等，但可回收的熱量比開放式系統來得高，相較開放式的冷凝水回收系統可節省更多能源，此兩者回收系統比較如表 12 所列。



(資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司)

圖 24 密閉式冷凝水回收系統原理示意圖

表 12 開放式及密閉式冷凝水回收原理比較表

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

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

#### 四、放流水回收再利用技術

放流水回收再利用，除可降低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放流水再利用、薄膜處理系統、薄膜生物處理系統及高級氧化處理系統等如圖 25 所示，分別說明如下：

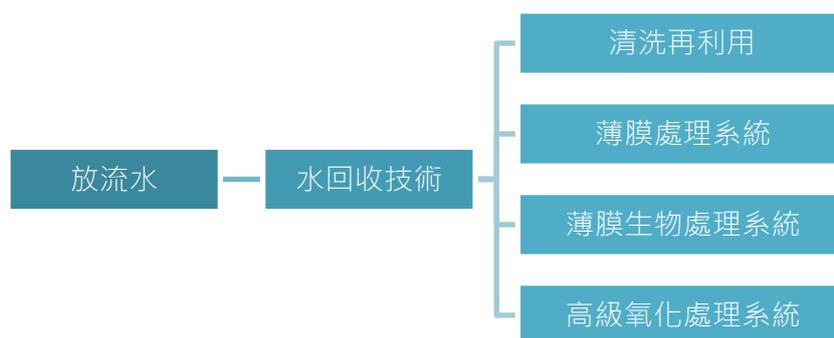


圖 25 放流水回收技術

##### (一) 水回收技術

###### 1. 清洗再利用

經廢水處理系統單元後之管末放流水，可應用於廠內較低水質要求的部分，如：油槽清洗試壓及設備清洗用水等，由於此類對於水質標準要求較低，因此放流水可不經過處理即可回用，但須考量廢水對碳鋼設備的腐蝕性及微生物數量，避免產生設備腐蝕情況（涂茂園等，台灣中油公司林園石化廠廢水回收系統介紹，2011）。

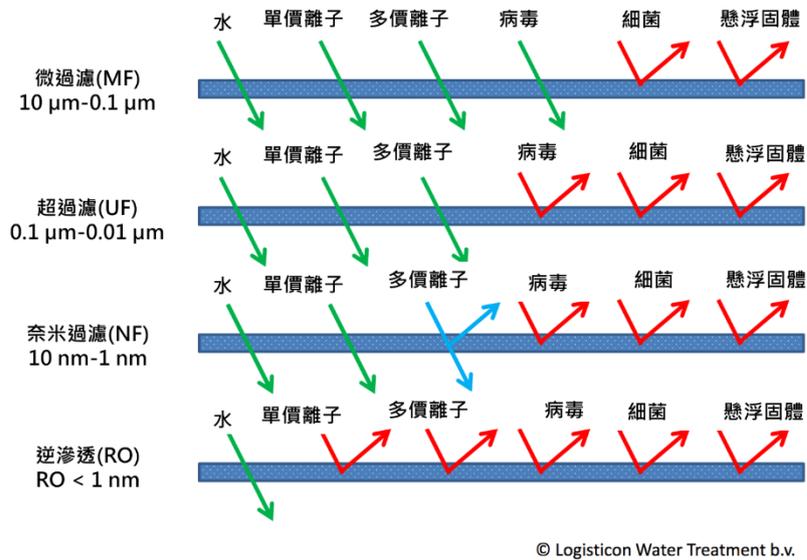
###### 2. 薄膜處理系統

當廢污水經廠內廢水系統處理後，水中污染物多能良好處理至符合放流水排放標準，因此本股水源若再經過相關處理程序即可將此股水源回收再利用。在薄膜過濾程序中，微過濾（**Microfiltration**，簡稱 **MF**）與超過濾（**Ultrafiltration**，簡稱 **UF**）是薄膜處理中運用最廣的技術，其分離機制是利用膜孔大小來篩選可通過的粒子與分子，比薄膜孔徑大的顆粒便會被阻擋於膜面（莊榮清等，薄膜科技的應用：流體中的最適守門員—微過濾與超過濾，科技大觀園，2008），如：懸浮物等可透過 **MF** 及 **UF** 達到良好去除效率；對於單/多價離子則需透過奈米過濾（**Nanofiltration**，簡稱 **NF**）及逆滲透系統（**Reverse Osmosis**，簡稱 **RO**），達到分離之效果，上述各類薄膜種類去除物質比較將如圖 26 所示，相關實體設備如圖 27 至圖 29。透過薄膜過濾將可去除水中膠體粒子、高分子等有機物及離子等粒子，常見模組選擇為板框式模組、圓管式模組、螺捲式模組及中空纖維模組等（中原大學薄膜技術研發中心，水處理用薄膜模組



及其應用)，處理後之廢水可供給為次級用水或製程回收使用。

### 濾膜技術比較



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

圖 26 各種濾膜去除物質比較圖



(資料來源：MGC Contractors, Inc.)

圖 27 微過濾薄膜設備圖



(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015)

圖 28 超過濾薄膜設備圖



### NANOFILTRATION SYSTEMS

(資料來源：Enviromatch, Inc.)

圖 29 奈米過濾薄膜設備圖

表 13 各薄膜過濾特性比較分析表

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



以本行業某廠商為例，因該廠排放廢水含有純水系統反洗再生廢水及空污防制設備排放水，故導電度高達 11,700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，總硬度達 647  $\text{mg}/\text{L}$  as  $\text{CaCO}_3$ ，回收此股廢水約略相同於海水淡化，建議先以 NF (奈濾) 去除硬度 (鈣、鎂離子)，再以 RO 去除其他殘餘離子，回收率設計為 50%，估計可回收管末放流水 1,012 CMD 作為冷卻水塔補充水，相關處理設備經費如表 14 所示。

表 14 奈米過濾薄膜及逆滲透薄膜系統經費分析

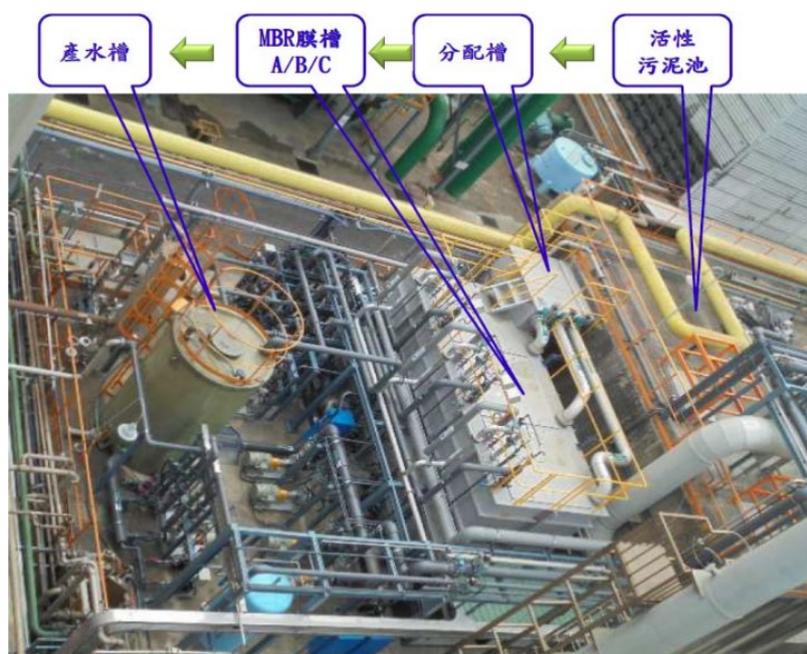
項目	NF+RO 系統
產水量 (CMD)	1,012
總建設成本 (元)	20,240,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	4.63
單位產水成本-營運 (元/噸)	20
單位產水總成本 (元/噸)	24.63
年營運成本 (元)	7,286,400
產水總成本 (元/月)	8,973,204

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. 建設費分析結果僅供參考，實際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，2015)

### 3. 薄膜生物處理系統

針對本行業管末廢水處理系統中，過去常見傳統可用方案為：油水分離-混凝溶解空氣浮除-活性污泥-沉澱-砂濾-壓力式超濾薄膜-逆滲透 (RO)，現今於本產業常見趨勢方案為：油水分離-混凝溶解空氣浮除-活性污泥-沉浸式生物薄膜 (UF MBR)-逆滲透 (RO)，壓力/沉浸式薄膜生物處理系統設備如圖 31 所示。根據相關資料顯示如表 15 所示，近年國內外煉油石化業多數已採行 MBR 進行廢水處理，高雄某公司 MBR 實廠如圖 30 所示。



(資料來源：邱啟順，石化廠節水及水回收案例分享【長春集團】，經濟部技術處水資源循環回收再利用研討會，2017)

圖 30 高雄某石化廠薄膜生物處理系統實場圖



(資料來源：涂茂園，石化廠廢水回收介紹，新生水水源開發推動研討會，2011)

圖 31 薄膜生物處理系統設備圖



表 15 煉油石化業採用薄膜生物處理系統案例

案例	廢水來源	Capa., CMD	薄膜 Maker	試車
Repar Refinery Brazil	煉油	10,800	Siemens	2012
Taneco Refinery, Russia	煉油	16,800	GE	TBC
寧波，大陸	石化	5,700	Sumitomo	2011
HPCL Mittal Refinery, India	煉油	12,000	GE	2010
REVAP Refinery Brazil	煉油	7,200	GE	2010
Lukoil Volgograd Refinery, Russia	煉油	15,000	GE	TBC
台化，Taiwan	石化-PTA	9,000	Toray	2010

(資料來源：涂茂園等，台灣中油公司林園石化廠廢水回收系統介紹，2011)

由於 MBR 沉浸式超濾薄膜單元具有節省用地、操作性能高等優勢，因此能替代傳統沉澱、砂濾、壓力式超濾薄膜單元，二項方案比較說明如表 16 所示。

表 16 薄膜生物處理系統與傳統處理比較分析

	傳統方案	業界趨勢方案
污泥濃度	MLSS：2,000~4,000 mg/L	MLSS：3,000~10,000 mg/L 高污泥濃度維持較低食微比，提高有機污染物去除效率，及較能忍受突發性負荷
污泥齡	SRT：10~20 days	SRT：15~60 days 污泥停留時間長，使生長緩慢的微生物能夠滯留增殖，有利於煉油石化難分解污染物的去除及氮氮的生物硝化作用，降低生物毒性
低污泥產率	0.25~0.30 kg MLSS/ kg COD 去除	0.15~0.20 kg MLSS/kg COD 去除，減少後續污泥焚化費用
操作維護	壓力式超濾薄膜阻塞後，清洗不易復原 (操作壓力 3~4 kg/cm <sup>2</sup> )	沉浸式超濾薄膜阻塞後，清洗容易復原，目前煉油石化案例，該薄膜壽命可達 5 年 (操作壓力~0.5 kg/cm <sup>2</sup> Abs.)

(資料來源：涂茂園等，台灣中油公司林園石化廠廢水回收系統介紹，2011)

#### 4. 高級氧化處理系統

高級氧化處理系統 ( **Advanced Oxidation Process** , 簡稱 **AOPs** ) , 為通過化學或物理化學的方法 , 使水中的污染物直接礦化為  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  及其他無機物 , 或將污染物轉化為低毒及生物易降解的小分子 , 利用其過程中產生化學活性極強的羥基自由基 (  $\cdot\text{OH}$  ) 將污染物氧化。高級氧化處理系統主要包括光化學催化氧化法、**Fenton** 試劑法、臭氧氧化法及電化學氧化法等。

**Fenton** 試劑法為 **Fenton** 試劑在酸性 (  $\text{pH}$  值為  $2.5\sim 3.5$  ) 條件下產生高活性的羥基自由基 (  $\cdot\text{OH}$  ) , 可和有機物發生去氫反應、親電加成、取代反應及電子轉移反應 , 使有機污染物產生降解。**Fenton** 法氧化技術具有設備簡單、反應條件溫和、操作方便及高效能等優點 , 在處理有毒害及難生物降解的有機廢水中極具潛力 , 但其缺點是  $\text{H}_2\text{O}_2$  的利用率不高 , 不能充分礦化有機物 , 且  $\text{H}_2\text{O}_2$  價格昂貴 , 所以 **Fenton** 法較少單獨使用。

臭氧氧化法為臭氧在氧化過程中產生  $\cdot\text{OH}$  和  $\cdot\text{O}$  自由基 , 能有效分解氨基酸、芳香族及腐殖質等有機物 , 臭氧氧化法具有反應速率快及無二次污染等特點 , 因此在廢水處理中亦被廣泛應用 , 其缺點為臭氧利用率低 , 氧化能力不足及臭氧含量低等。  
( 李中光等 , **Fenton** 氧化法在處理生物難降解有機廢水上之應用 , 萬能科技大學環境工程學系 )



## 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 32 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：

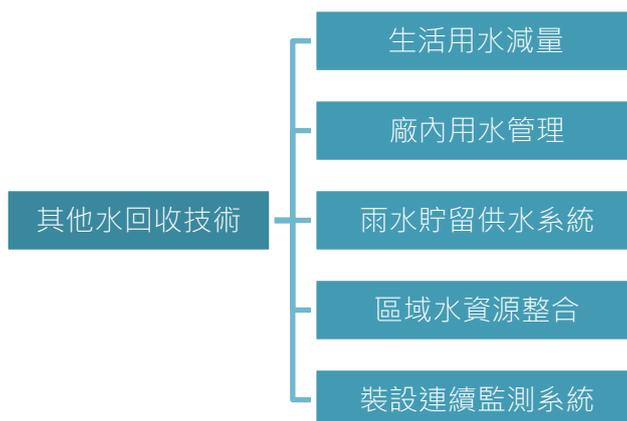


圖 32 其他水回收技術

### (一) 生活用水減量

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

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

### (二) 廠內用水管理

為使得廠內人員能清楚掌握廠內用水流向及用量大小，可於供水之主幹管，劃分為製程、民生、鍋爐、洗滌塔...等管線或用水量大之設備加裝水錶，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 33 所示。

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

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



設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 17 所示，雨水截流系統設計值計算如表 18 所示，根據中央氣象局氣候分區相關氣象資料顯示，預估平均雨量、降雨概率規劃雨水利用設計量。



表 17 雨水處理設備與使用程度關係

集水場所 \ 利用途徑	經常與身體接觸用途或緊急時飲用水	清掃浴室及室內地板	洗車、灑水、清洗戶外地板、消防用水	水景、植栽澆灌	冷卻水塔的補給用水	廁所馬桶衛生器具之沖洗
屋頂或頂樓樓板	經處理程序後加氯消毒	沉澱加碎石過濾處理後使用	自然沉澱及簡易處理流程後使用			簡單清除垃圾即可使用
公園綠地						
經透水處理之人工地盤		自然沉澱加過濾機處理	沉澱加碎石過濾處理後使用	自然沉澱及簡易處理流程後使用		
廣場、道路、人工鋪面、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 18 雨水截流系統設計值

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

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016)

#### (四) 區域水資源整合

對於有缺水風險工業區，依供水端廠商放流水水質水量，規劃其排放水回收再供給他廠利用，降低工業區內原水取水量。水資源整合推動的型態包括三種類型如圖 34 所示：

1. A 廠放流水提供 B 廠使用，有效減少 A 廠排水量及 B 廠之取水量。
2. 工業區相似性質之廢污水分類分流收集，並集中處理及回收，提供鄰近廠商使用；聯合污水廠做到外部處理而可因地制宜送至各別工廠時，由各別工廠時採內部處理。

在石油及煤製品製造業中，由於生產特性的因素，因此對於冷卻用水有較高的使用量，若周邊臨廠有食品製造等行業，即可將此放流水經 MBR 及紫外線 (Ultraviolet，簡稱 UV) 等處理後，供給本行業之冷卻單元做使用，供水端可降低廢污水排放量，用水端可減少自來水使用量及日後耗水費的相關費用繳納。

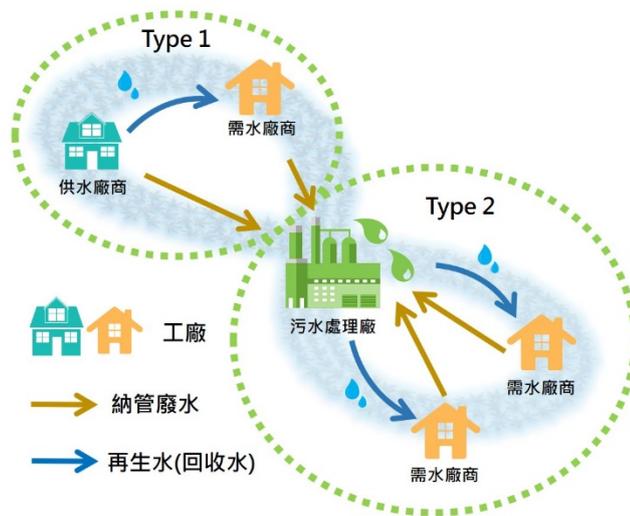
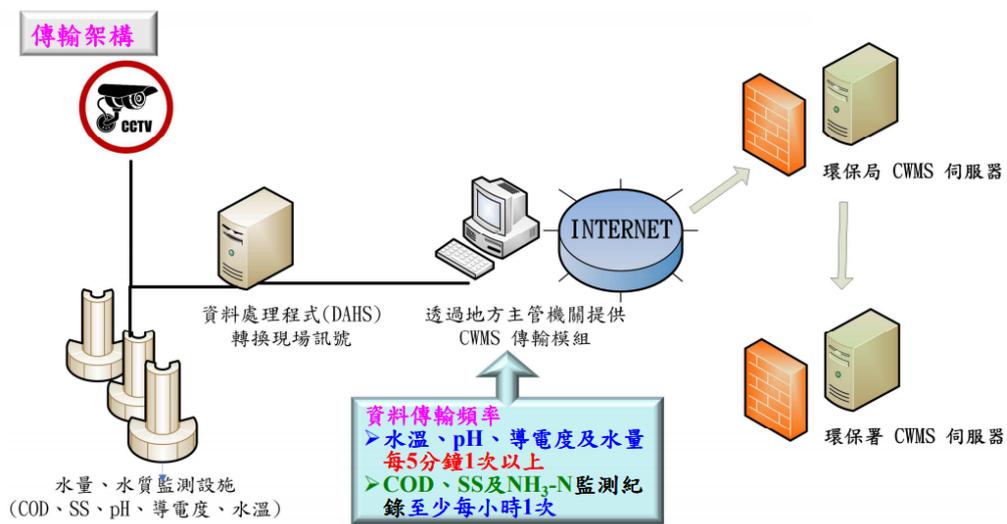


圖 34 區域水資源整合型態示意圖



(五) 裝設連續監測系統

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 35 所示。裝設廢水連續監測系統，以隨時掌握排放水質及水量狀況如 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 35 監測連線傳輸設置圖

## 六、小結

茲將石油及煤製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整如表 19。

表 19 石油及煤製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整

用水標的最適化管理與回收再利用技術		製程用水	冷卻用水	鍋爐用水	放流水
最適化管理技術	軟水系統逆洗水回收	√			
	純水系統濃排水	√			
	沖洗水回收再利用	√			
	排放水分流	√			
	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	原油蒸餾塔冷凝水回收系統	√			
	空氣冷卻處理系統	√			
	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		√		
	冷凝水回收系統			√	
	薄膜處理系統				√
	清洗再利用				√





## 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 廠位於高雄縣內，為電子級化學品之製造廠商。廠內製程主要係以乙醇、甲醇、甲基異丁基酮、乙酸乙酯、丁酮及乙二醇等原物料，反應生成異丙醇、丙酮、甲基異丁基酮、乙醛及乙酸乙酯等產品。

#### (二) 製程流程

A 廠所生產之甲基異丁基酮及醋酸乙酯化學製造流程如圖 36 所示。

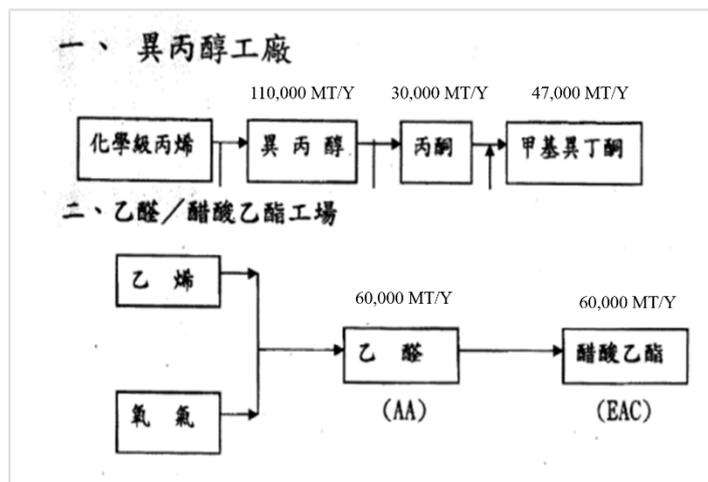


圖 36 案例 A 廠製造流程圖

#### (三) 廠內用水管理情形

目前全廠用水 2,430 CMD，主要用於製程用水 1,550 CMD (64%)，冷卻用水 850 CMD (35%) 及生活用水 30 CMD (1%)。廠內另有外購廠外蒸氣 668 CMD，其使用後冷凝水約 593 CMD 以回收再利用，作為冷卻水塔補充水。放流水排放量為 1,711 CMD。現有員工人數為 113 人。實際清查該廠總用水量及各標的用水量彙整如圖 37 所示。

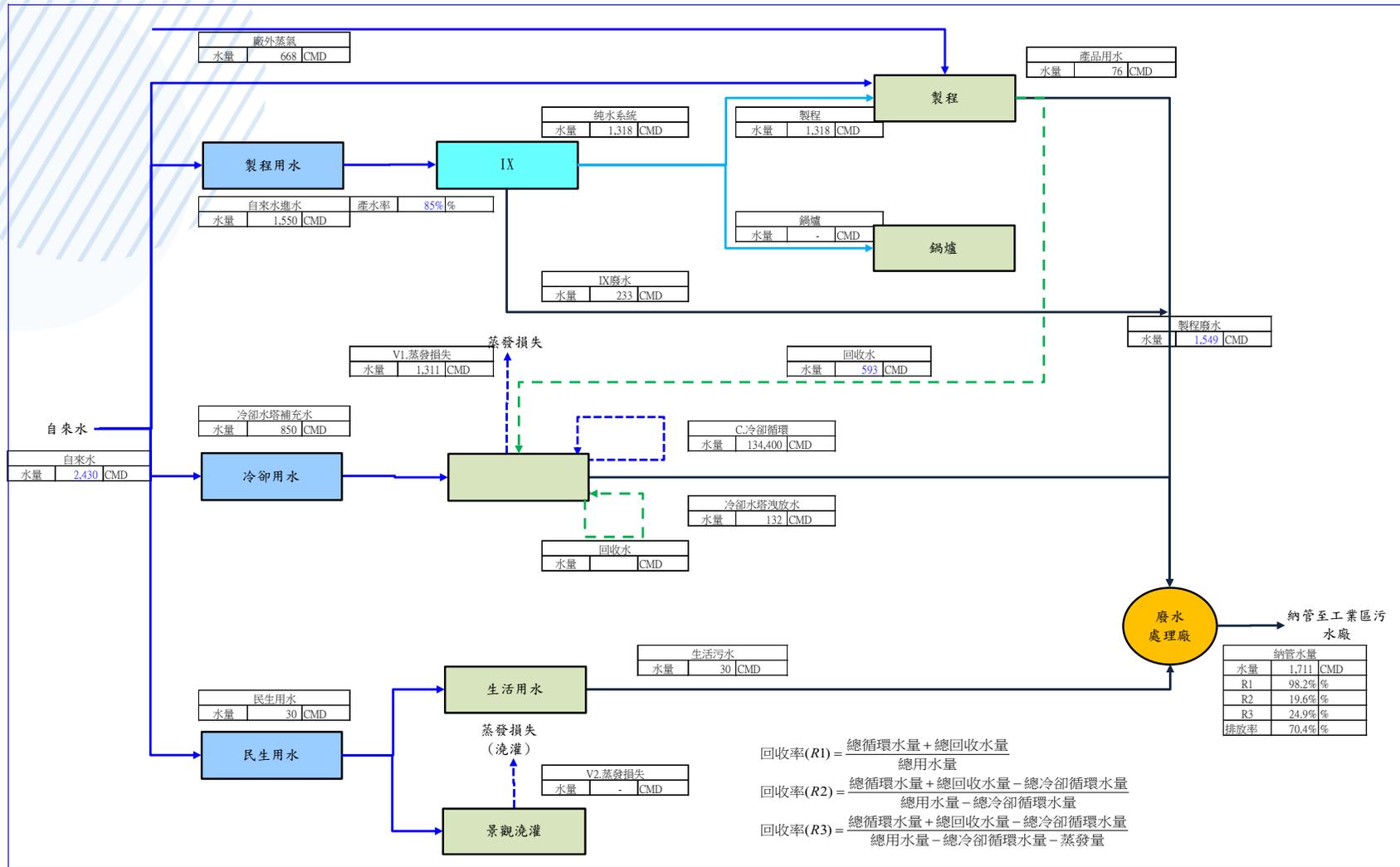


圖 37 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施前）

#### (四) 用水效率提升方案

依據圖 37 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，本輔導團隊可規劃下列水回收方案：

##### 方案一、冷卻水水質改善

冷卻水水質比導電度約 2,400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，pH 控制在 8.0，LSI 經試算約在 1.40，現場已添加防垢劑，但因部分補水使用蒸氣冷凝水，此股水質鈣、鎂離子低，因此冷卻水較不容易結垢，建議可提高濃縮倍數，同時降低 pH 條件，如將 pH 降至 7.5，導電度提高為 3,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，估計可節水約 32 CMD。冷卻水水質調整前後 LSI 估算如圖 38 及圖 39 所示：

飽和指數與穩定指數									
	Ca硬度 (ppm asCaCO <sub>3</sub> )	M <sub>alk</sub> (ppm as CaCO <sub>3</sub> )	TDS	pH	T(°C)	EC(導電度) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	補充水導電度	提高濃縮倍數對於省水率的試算	
自來水	705	221	1,410	8.00	32.0	2,350	363	6.5	CR1 (提高前的濃縮倍數)
	pCa	pM <sub>alk</sub>	C scale	pHs					
自來水	2.152	2.354	2.090	6.596					
	LSI	判定	RSI	判定					
自來水	1.40	傾向結垢，建議 添加結垢抑制劑 或加酸處理。	5.19	結垢傾向增加， 腐蝕傾向降低					

圖 38 案例 A 廠目前冷卻水操作圖

飽和指數與穩定指數									
	Ca硬度 (ppm asCaCO <sub>3</sub> )	M <sub>alk</sub> (ppm as CaCO <sub>3</sub> )	TDS	pH	T(°C)	EC(導電度) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	補充水導電度	提高濃縮倍數對於省水率的試算	
自來水	900	188	1,800	7.50	32.0	3,000	363	8.3	CR1 (提高前的濃縮倍數)
	pCa	pM <sub>alk</sub>	C scale	pHs					
自來水	2.046	2.426	2.101	6.573					
	LSI	判定	RSI	判定					
自來水	0.93	輕微的結垢狀態	5.65	結垢傾向增加， 腐蝕傾向降低					

圖 39 案例 A 廠建議冷卻水操作圖



## 方案二、廢水回收

該廠放流水排放量約為 **1,711 CMD**，其中含 **AA** 製程廢水約 **1,344 CMD**，此股廢水水質清澈，導電度低，約為 **430  $\mu\text{S}/\text{cm}$** ，雖含有生物抑制成分，如以高級氧化處理如 **AOP**、臭氧或 **FENTON** 進行分解，再經分離高濃度廢水與回收處理，可增加回收率與生物可分解性，初步估計以回收率 **40%**，約可回收 **250 CMD**。建議以 **RO** 為處理程序，並可降低排放水費。

## 方案三、建立全廠用水監控管理系統

由於水資源缺乏，未來水資源的成本將逐漸升高。因此制度化管理對於合理管控各類別用水/廢水產出量將有確實效益，進而檢討用水合理性(有無人員不正常使用水、管線洩漏及設備採水過量等)。

透過增設流量計之裝設與定期記錄，將可提昇用水效率，若發現用水異常情形，亦可及時採取補正措施，達到節約用水之目的。本計畫初步評估若監測位置適當，在正常的維護保養及正確記錄下，將可為該廠節省更多的資本支出。

## 方案四、生活用水減量

由於該廠員工為數不少，建議可提升生活用水效率，例如：教育員工節約用水或加裝節水設備等方法，提供幾項作法供該廠參考。

- (1) 檢討一般生活/宿舍區供水壓力之合理性，適切調降用水水壓、降低用水量。
- (2) 採用省水器材或配件，如加裝水龍頭節水器或馬桶加裝二段式沖水器等。
- (3) 用水器材定期巡查、維護及檢漏。
- (4) 實施員工節水教育宣導、舉辦相關獎勵活動。

以上方法可以讓生活用水更有效地被運用，改善不當用水情形，達到節水之目的。

本輔導所規劃之方案，初步估計可減少 **282 CMD** 之工業水用量，另污水排放量亦可減少 **532 CMD**，輔導後之水平衡圖如圖 40 所示。

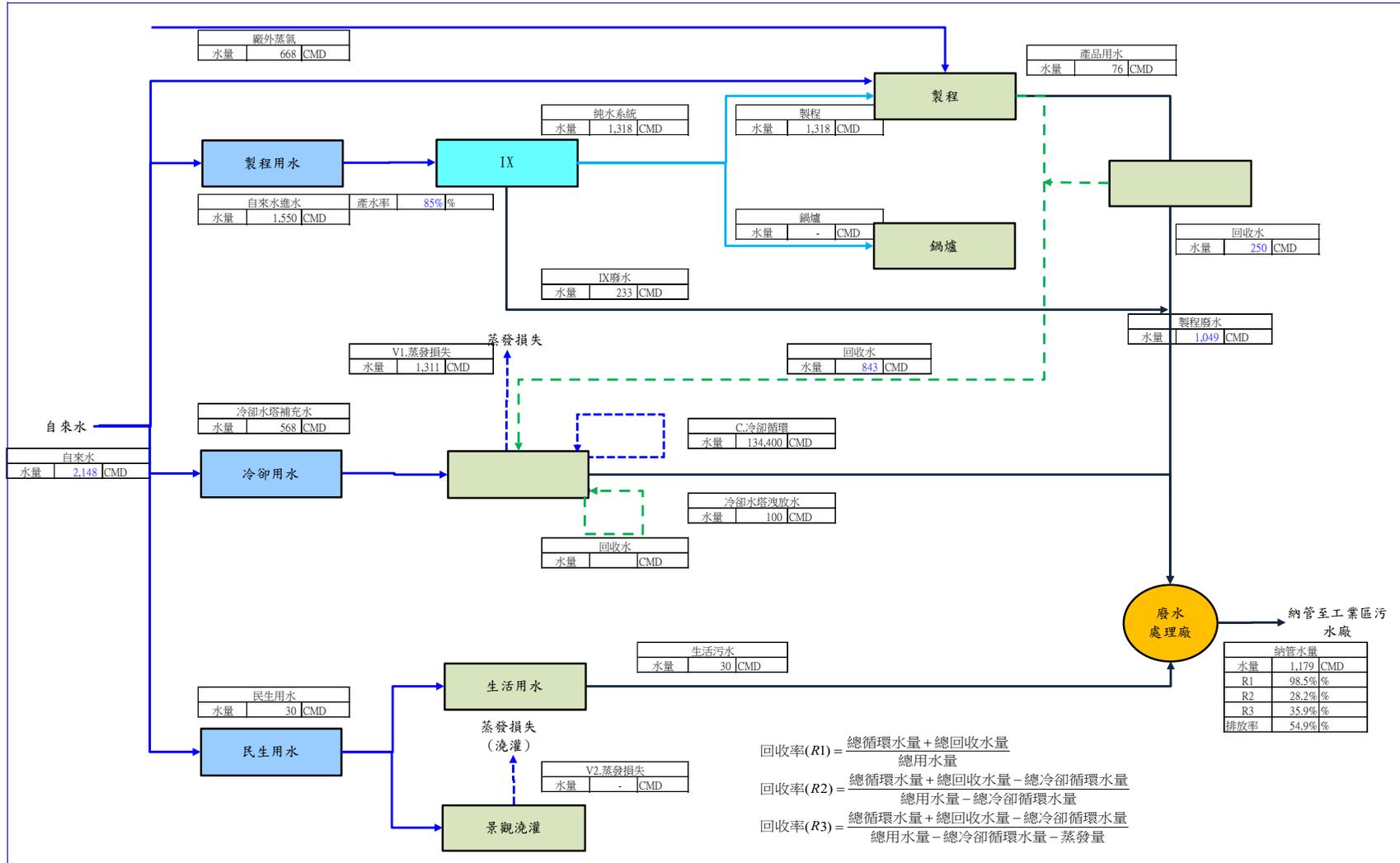


圖 40 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)



(五) 成本效益分析

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。經現場討論，提高冷卻水濃縮倍數及處理回收高級氧化+RO 回收 AA 廢水；詳細節水量及效益如表 20 所示。本輔導團隊之整體建議方案，整理列出改善後節水績效與回收率提升如表 21 所示。

表 20 改善方案經濟可行性評估

建議方案	改善策略/預估投資成本	節水量	節水效益
冷卻水提高濃縮倍數	利用現有操作管理提高冷卻水水質比導電度及添加酸劑，設置費用約 0 元，增加酸劑每噸產水成本約 0.5 元。	32 CMD	可節省自來水費用 32 噸/日×11.5 元/噸 =368 元/日 可節省污水納管費用 32 噸/日×2.56 元/噸=82 元/日
高級氧化+RO 回收 AA 廢水處理回收	增設「RO」+「高級氧化處理」程序設置費用約 3,400,000 元，以 10 年折舊計算（每年操作 365 天），每噸產水成本約 3.7 元。 增設「RO」+「高級氧化處理」程序操作維護費用（不含人事費）每年約 900,000 元（每年操作 365 天），折合每噸產水 10 元。	250 CMD	可節省自來水費用 250 噸/日×11.5 元/噸=2875 元/日 可節省污水納管費用 250 噸/日×2.56 元/噸=640 元/日

表 21 水回收方案實施前後水回收率變化

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$97.75\% = \frac{134,400+593}{2,430+668+134,400+593} \times 100\%$	$16.06\% = \frac{593}{2,430+668+593} \times 100\%$
實施後	$97.97\% = \frac{134,400+843+250}{2,148+668+134,400+843+250} \times 100\%$	$27.96\% = \frac{843+250}{2,148+668+843+250} \times 100\%$
註：	$\text{全廠回收率 (重複利用率, R1)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$ $\text{全廠回收率 (不含循環水量, R2)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$	

## 二、案例 B 廠簡介

### (一) 案例廠簡介

B 廠成立於民國 43 年，不僅是台灣最大的聚氯乙烯 ( Polyvinyl Chloride，簡稱 PVC ) 粉生產廠，也是世界上最大 PVC 粉生產廠之一，若含美國及大陸投資公司，年產能可達 320 萬公噸。其他塑膠原料製品包含 PVC 粉、VCM、液鹼、鹽酸、塑膠改質劑、高密度聚乙烯、聚乙烯醋酸乙酯、低密度聚乙烯及線性低密度聚乙烯等產品；此外，配合政府發展高附加價值及精密化學工業生產特用化學品，包括丙烯酸及其酯類、氟氯烴化物、丙烯、甲基丙烯酸甲酯、環氧氯丙烷及甲基第三丁基醚；電石產品方面包括電石、碳酸鈣、台鈣劑、優鈣劑、生石灰及輕膠鈣等。

### (二) 製程流程

B 廠包含公用廠、PE ( 聚乙烯 ) 廠、PP ( 聚丙烯 ) 廠、AE 廠及氯乙烯廠，公用廠目前管理廠內公用冷卻水塔及鍋爐，無相關製程。

### (三) 廠內用水管理情形

B 廠用水來自鳳山水庫，總計用水量為 16,373 CMD，水平衡圖如圖 41 所示。用水主要供給至水處理設備製成超純水作為鍋爐用水 6,096 CMD 及製程用水 3,089 CMD，其次為冷卻水塔補充水 5,022 CMD 及直接供給各廠使用之工業水 3,464 CMD，另有生活用水 12 CMD、綠地澆灌 8 CMD 及空污防制 ( FGD ) 設備 312 CMD；消耗用水包括冷卻水塔蒸發量 4,074 CMD，空污防制設備蒸散 441 CMD，鍋爐水封箱用水蒸發 30 CMD，綠地澆灌消耗 8 CMD，及供給其他廠使用之工業水、純水及蒸汽共 9,901 CMD，總計消耗 14,454 CMD。回收部分包含冷卻水塔排放水回收 984 CMD，純水系統反洗再生廢水 240 CMD，鍋爐蒸汽冷凝水回收 4,083 CMD 及鍋爐排放水回收 120 CMD，總計 5,427 CMD。另有純水系統反洗再生廢水、生活污水及空污防制設備排放水共 2,024 CMD，排放至塑膠廠廢水處理廠。



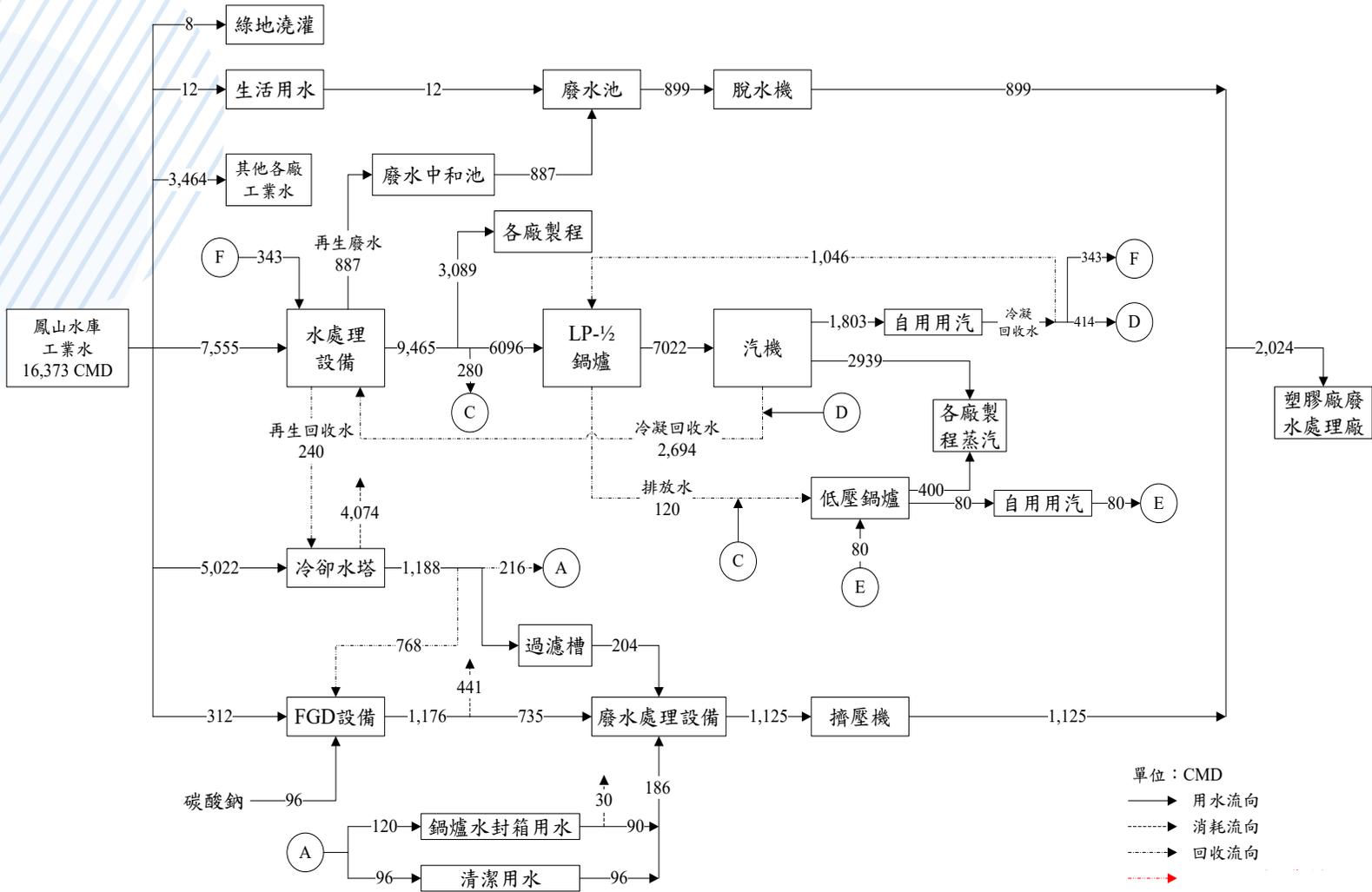


圖 41 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

#### (四) 用水效率提升方案

依據圖 41 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，本輔導團隊可規劃下列水回收方案：

##### 方案一、混床再生反洗廢水回收

目前純水系統活性炭反洗廢水及 2B3T 再生廢水已回收作為冷卻水塔補充水，建議將為回收之混床再生廢水加以回收，導電度小於  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$  者亦回收作為冷卻水塔補充水，依據現有純水系統為 7 套 120 CMH 之效能計算，回收量約為產水量之 1%，估計約有 134 CMD。

##### 方案二、管末放流水經 NF 去除硬度後再以 RO 回收作為冷卻水塔補充水

B 廠排放廢水因為含有純水系統反洗再生廢水及空污防制設備排放水，故導電度高達  $11,700 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，總硬度達  $647 \text{ mg/L as CaCO}_3$ ，回收此股廢水約略相同於海水淡化，建議先以 NF (奈濾) 去除硬度 (鈣、鎂離子)，再以 RO 去除其他殘餘離子，回收率設計為 50%，估計可回收管末放流水 1,012 CMD 作為冷卻水塔補充水。

綜合上述二回收方案，可再提升 1,146 CMD 回收量，促使廠內整體回收量達 6,573 CMD。

本輔導所規劃之方案，初步估計可減少 1,146 CMD 之工業水用量，另污水排放量亦可減少 1,146 CMD，輔導後之水平衡圖如圖 42。



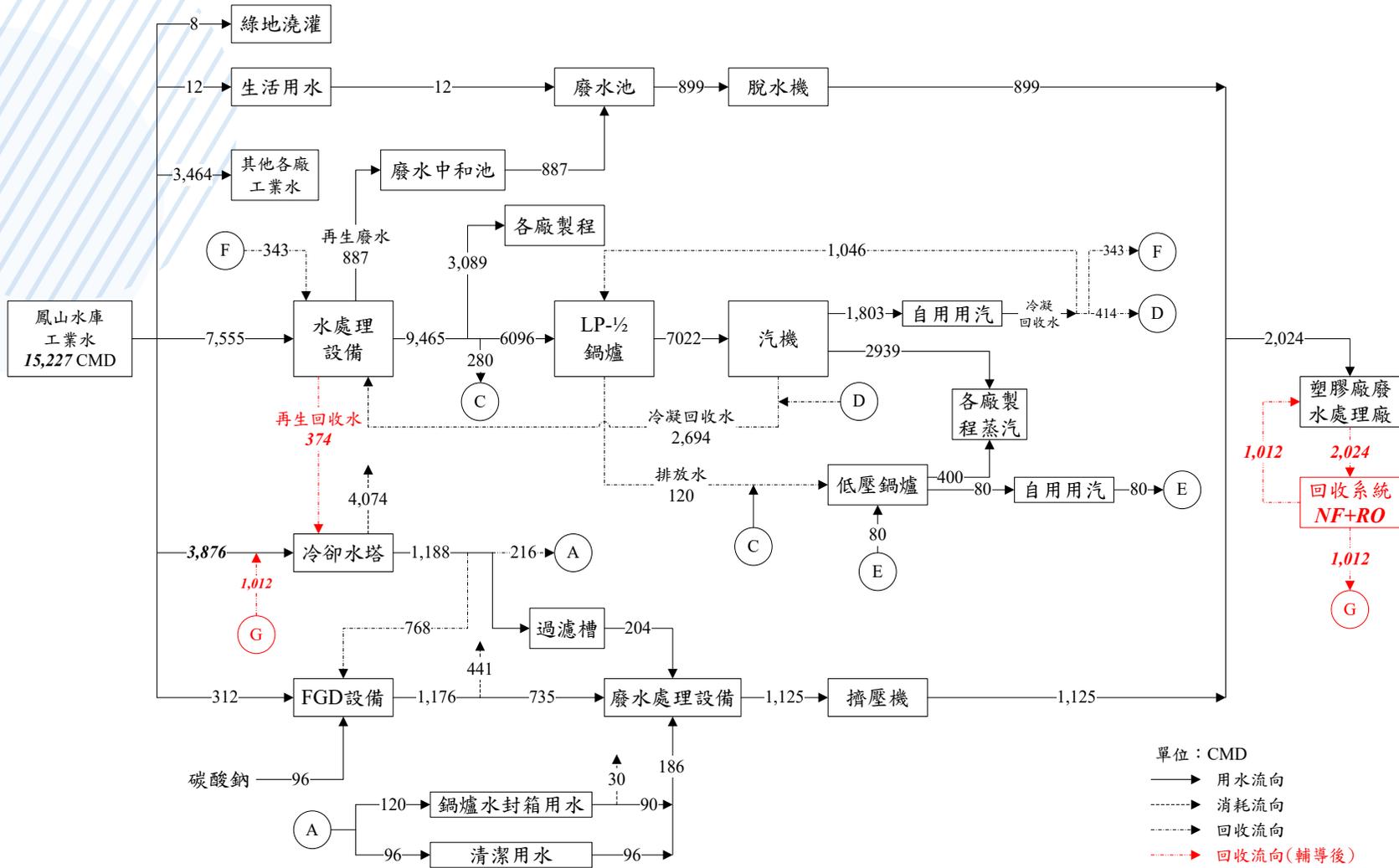


圖 42 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)

## (五) 成本效益分析

### 1. 方案產水成本分析

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。經現場討論，首先建議將純水系統混床再生廢水導電度低者回收作為冷卻水塔補充水，另外管末放流水先以 **NF** 去除硬度後再以 **RO** 回收作為冷卻水塔補充水；詳細所需費用如表 22 所示。

表 22 水回收設施經費分析

項目	方案內容	產水量 (CMD)	總建設成本 (元)	單位產水成本 (元/噸)		單位產水總成本 (元/噸)	年營運成本 (元/年)	產水總成本 (元/年)
				建設	營運			
方案一	配管	134	—	—	—	—	—	—
方案二	NF+RO	1,012	20,240,000	4.63	20	24.63	7,286,400	8,973,204

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.總建設成本含水管佈設費用

### 2. 經濟效益分析

廠內使用水源為鳳山水庫提供之工業水，供水價格為 12.5 元/噸，原工業水取水量為 16,373 CMD，排放量為 2,024 CMD，經由輔導改善後工業水取水量降低為 15,227 CMD，排放量下降為 1,012 CMD，COD 及 SS 濃度於輔導前後皆約為 200 mg/L 及 100 mg/L；林園工業區污水納管水量費用為 2.56 元/M<sup>3</sup>，COD 為 20.22 元/Kg，SS 為 47.14 元/Kg，但因公用廠廢水排放至塑膠廠廢水處理廠統一處理，其費用收取方式與工業區不同，估計約為 60~70 元/m<sup>3</sup>，但下表仍以工業區收費標準為計算基準；方案實施前後費用差異如表 23 所示。

表 23 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案實施前		方案實施後		節省費用 (元/月)	節省費用 (元/年)
	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	水量 (噸/月)	費用 (元/月)		
工業 水量 費	16,373×30 =491,190	491,190×12.5 =6,139,875	15,227×30 =456,810	456,810×12.5 =5,710,125	429,750	5,157,000
納管 水量 費	2,024×30 =60,720	60,720×2.56 =155,443	1,012×30 =30,360	30,360×2.56 =77,722	77,721	932,652
納管 COD 費	2,024×30 =60,72	0.2×60,720×20.22 =245,552	1,012×30 =30,360	0.2×30,360×20.22 =122,776	122,776	1,473,312
納管 SS 費	2,024×30 =60,72	0.1×60,720×47.14 =286,234	1,012×30 =30,360	0.1×30,360×47.14 =143,117	143,117	1,717,404
合計	—	6,827,104	—	6,053,740	773,364	9,280,368

註：1. 每月工作天以 30 天計。

2. 工業用水水價 12.5 元/噸，林園工業區污水納管水量費為 2.56 元/M3，COD 為 20.22 元/Kg，SS 為 47.14 元/Kg。

### 3. 水回收率提升分析

該廠原工業用水量為 16,373 CMD，排放量為 2,024 CMD，冷卻水塔蒸發量為 4,074 CMD，冷卻水塔循環水量估計約 407,400 CMD；廠商自主回收量為 5,427 CMD，預計經由前述建議之回收方案可將回收量提升至 6,573 CMD，工業水用量及排放量分別降低為 15,227 CMD 及 1,012 CMD，改善後全廠回收率 R1 及 R2 分別由 96.18% 提升至 96.45% 及 24.89% 提升至 30.15%，水回收計算結果如表 24 所示。

表 24 水回收方案實施前後水回收率變化

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$96.18\% = \left( \frac{5,427 + 407,400}{16,373 + 5,427 + 407,400} \right) \times 100\%$	$24.89\% = \left( \frac{5,427}{16,373 + 5,427} \right) \times 100\%$
實施後	$96.45\% = \left( \frac{6,573 + 407,400}{15,227 + 6,573 + 407,400} \right) \times 100\%$	$30.15\% = \left( \frac{6,573}{15,227 + 6,573} \right) \times 100\%$
註：	$\text{全廠回收率 (重複利用率, R1)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量 (含冷卻、製程及鍋爐循環)}} \times 100\%$ $\text{全廠回收率 (不含循環水量, R2)} = \frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$	

## 第五章 參考文獻

1. ALFA LAVAL · [www.alfalaval.tw](http://www.alfalaval.tw)
2. Enviromatch, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
3. MGC Contractors, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
4. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · [http://www.oasis-eng.com.my/products\\_ct4.asp](http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp)
5. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency 2009
6. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
7. Logisticon Water Treatment · <https://www.logisticon.com/en/technologies/membrane-filtration>
8. 中油公司-桃園煉油廠 · <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2006/dayou/ch03.htm>
9. 中油公司-桃園煉油廠 · [http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2006/dayou/ch03\\_2.htm](http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2006/dayou/ch03_2.htm)
10. 互動百科 · <http://www.baik.com/wiki/>
11. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com/new/fiber5.htm>
12. 佳友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
13. 群揚材料股份有限公司 · <http://www.efmi.com.tw/?a=index/entry&id=12>
14. 財團法人環境與發展基金會 · <http://www.edf.org.tw/guidance/index.asp>
15. 唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司 · [http://www.rebeng123.com/product\\_view.php?id=18](http://www.rebeng123.com/product_view.php?id=18)
16. 迪埃爾維 (上海) 流體控制商貿有限公司 · 冷凝水回收：開放式系統 Vs 封閉式系統 · <https://www.tlv.com/global/CN/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>
17. 涂茂園 · 石化廠廢水回收介紹 · 新生水水源開發推動研討會 · 2011
18. 涂茂園等 · 台灣中油公司林園石化廠廢水回收系統介紹 · 2011
19. 邱啟順 · 石化廠節水及水回收案例分享【長春集團】 · 經濟部技術處水資源循環回收



- 再利用研討會，2017
20. 馬宗寧，原油蒸餾過程的工藝計算及模擬，華東理工大學，2011
  21. 李中光等，Fenton 氧化法在處理生物難降解有機廢水上之應用，萬能科技大學，2012
  22. 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
  23. 張文榮，膜技術在廢水回收的應用，<http://www.dow.com/en-us/water-and-process-solutions>，2009
  24. 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
  25. 梁德明，薄膜相關新技術應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
  26. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
  27. 莊榮清等，薄膜科技的應用：流體中的最適守門員—微過濾與超過濾，科技大觀園，2008
  28. 陳兆泰，原油的脫鹽，科技大觀園，2014
  29. 經濟部工業局，用水效能提昇說明會，2014
  30. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
  31. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
  32. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
  33. 經濟部工業局，產業節水與水再生技術手冊-石油及煤製品製造業，2011
  34. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
  35. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017
  36. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
  37. 經濟部水利署，節水紀實，2012
  38. 經濟部水利署，節約用水績優單位及個人專輯，2006
  39. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
  40. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016
  41. 行政院環保署，廢（污）水自動監測（視）及連線傳輸設置程序，2014
  42. 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

# 石油及煤製品製造業產業用水最適化及節水技術指引

發行人：經濟部工業局

審查委員：歐陽嶠暉、張添晉、陳見財、台灣區石油化學工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘濤

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

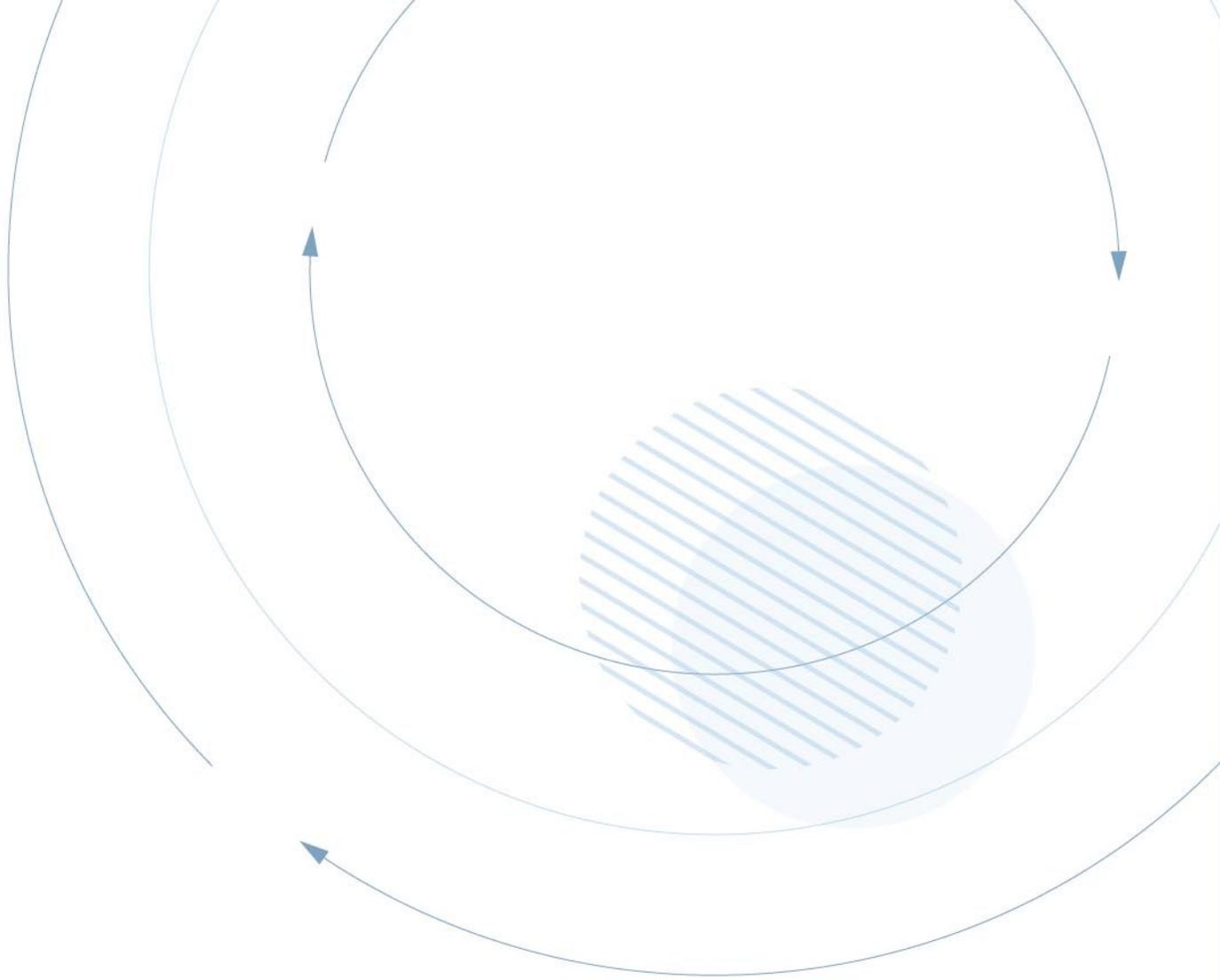


## 石油及煤製品製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

編號	內容格式錯誤處	頁數	修正後內容格式	頁數	說明

註：  
若有需修正內容格式，煩請填寫勘誤表寄至：  
財團法人環境與發展基金會  
新竹市東區光復路二段 321 號 2 館 507 室





經濟部工業局

INDUSTRIAL DEVELOPMENT  
BUREAU, MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS

