

## 汽電共生廠之水污染防治

李文光\*

### 摘 要

本文針對汽電共生廠由燃煤、燃油、燃氣三種燃料，搭配不同機組之特性，介紹對應之廢水排放情形、水污染防治措施及規劃，並討論各股廢水可能回收之方式。

對汽電廠各股廢水之回收可能性可以四種等級來區分：第一級鍋爐用水、第二級冷卻水塔補充及製程煙氣洗滌補充水、第三級洗車、煤倉灑水、底灰冷卻補充水、第四級廢水排放不適合回收。本文介紹將除礦水廠中再生反洗過程之低濃度廢水，可藉閘之切換區別高濃度廢水回收做第一級回收水規劃之回收方式。

#### 【關鍵字】

- 1.水污染防治措施及規劃
- 2.廢水回收

---

\*益鼎工程股份有限公司環工部副組長

## 一、前言

汽電共生廠之水污染防治基本上與火力電廠相類似，但在整體設計上，由於汽電共生廠蒸汽使用端製程之不同，對於其收集系統，乃至其可能回收之方式均有不同之考量。

同時，使用燃料之不同、機組差異，亦將影響整體污染防治之規劃。本文將由燃煤、燃油、燃氣三種燃料，搭配不同機組之特性，介紹對應之水污染防治措施及規劃，並討論各股廢水可能回收之方式。

## 二、汽電共生廠各股廢水排放情形

汽電共生廠其廢水排放大致可分為定期排水及非定期排水兩種，定期排水包括鍋爐排水、除礦水廠再生廢水；另系統中如設有冷卻水塔、濕式排煙脫硫系統、煙氣洗滌塔，選擇性觸媒還原脫硝設備，則各系統將分別產生不同特性之廢水；又鍋爐循環水系統中如設有活性碳過濾及冷凝水淨化等精製單元，則亦需考慮其反洗再生產生之廢水。

非定期排水主要包括鍋爐或設備酸洗廢水、空氣預熱器清洗廢水、集塵器清洗廢水等，此類廢水主要在維修保養時產生，其特點為水質較差、水量不定且間隔時間較長，因此此股廢水在設計時需特別注意如何保持廢水處理功能不受水量、水質突增之影響。

汽電廠另常見之廢水來源為變電站之逕流廢水，變壓器附近洩漏之機油如於暴雨時將產生逕流廢水，同時為防止大量油洩漏亦需有妥善之設計以避免污染環境。

除以上汽電廠常見之廢水來源外，若以燃料之不同來分，使用燃煤為燃料如採室外露天堆置則有暴雨逕流廢水之問題，如採室內煤倉則需考慮消防灑水產生之煤灰溶出水，此類廢水雖平時並不會產生，但仍需規劃收集處理之方式。另外燃煤在運煤過程之運煤車須經洗車池，產生洗車廢水，而鍋爐採濕式出灰系統則其灰渣廢水需收集處理。

若使用燃油為燃料，則特別需考慮由燃油處理區產生之含油廢水須收集處理，而油槽區亦需考慮含油逕流廢水之問題。

使用天然氣為燃料，所產生之廢水較使用燃煤及燃油機組產生之廢水為乾淨，值得注意的是，配合使用天然氣一般常採用氣渦輪機+廢熱鍋爐之機組，而氣渦輪機維修時，清洗葉輪產生之廢水水質較差需特別收集處理。有關汽電共生系統可能產生之排放源，如圖 1 所示。

### 三、水污染防治措施及規劃

以下分別介紹燃煤、燃油、燃氣三種不同燃料之汽電共生廠其水污染防治措施之規劃，雖然各汽電廠即使使用相同燃料及機組，其最佳之污染防治規劃可能均不相同，但主要之處置原則仍有共通之處。

#### 3.1 燃煤汽電共生廠之水污染防治

A 廠為一石油化學工廠，使用蒸汽較多，且連續生產，極具設置汽電共生系統之條件。為配合政府節約能源之政策，增進電源供應量，同時降低生產成本，免除限電造成之生產損失，特籌資利用現有廠地，設立一汽電共生廠，開拓汽電業務。估計 A 廠最大蒸汽需求為 150 噸/時，正常用量為 88 噸/時，依此規劃之機組容量，鍋爐為 350 噸/時，汽輪發電機組為 59,000 瓩，全年運轉時間為 8,194 小時。全年蒸汽最大產能為 1,229,100 噸，全年電力最大產能為 48,344 萬度，使用煤為燃料。

A 廠之製程蒸汽回收率原為 60%，亦即製程部份約 1,650 噸/日之廢水將予以排放，目前將以回收率為 75%為目標，如此可減少 618 噸/日之廢水排放。冷卻水塔排放水將規劃做為 FGD 之補充用水，估計最高將可節省 213 噸/日之用水量。另冷卻水塔排放水亦可回收做為運煤車清洗用水(約 22 噸/日)、澆灌用水(約 5 噸/日)，鍋爐排放水做為 FGD 之補充用水(回收 96 噸/日)，合計約可回收 336 噸/日之水量。

A 廠採室內煤場，已規劃有良好之通風設計，於正常情況並不需噴水，將不會有廢水之產生。

整個汽電廠之水平衡圖，如圖 2 所示。



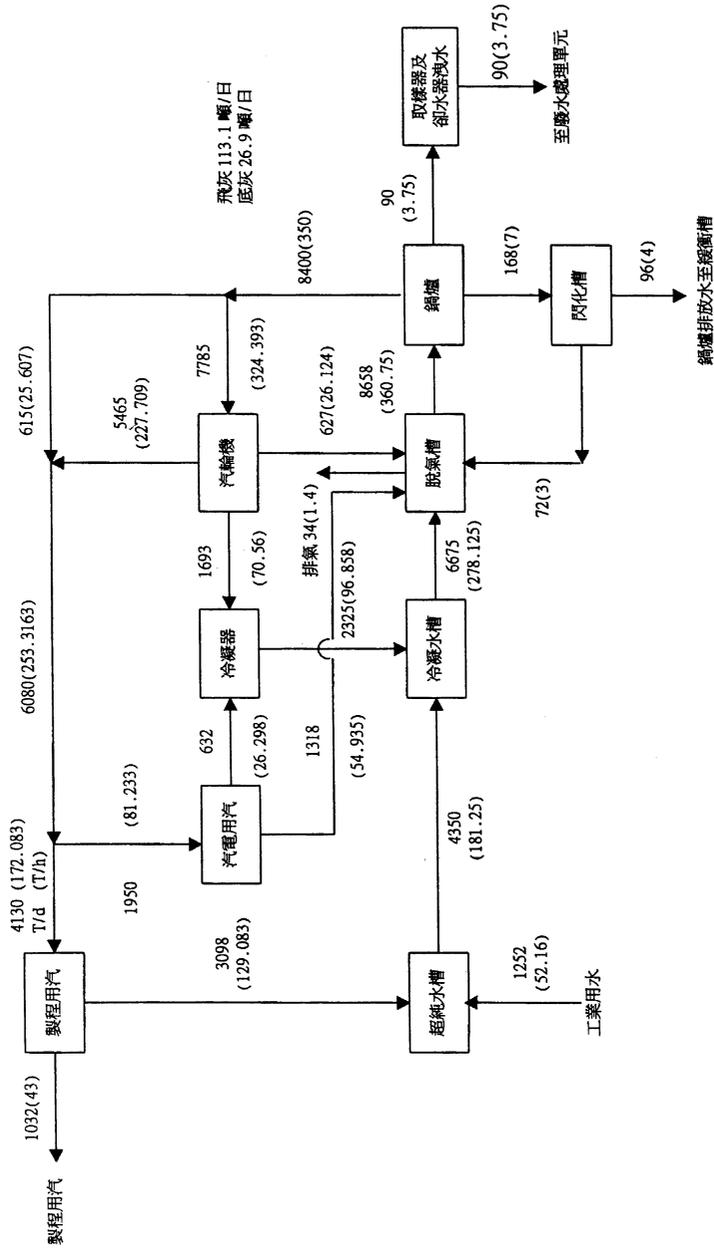


圖 2 汽電共生工場製程

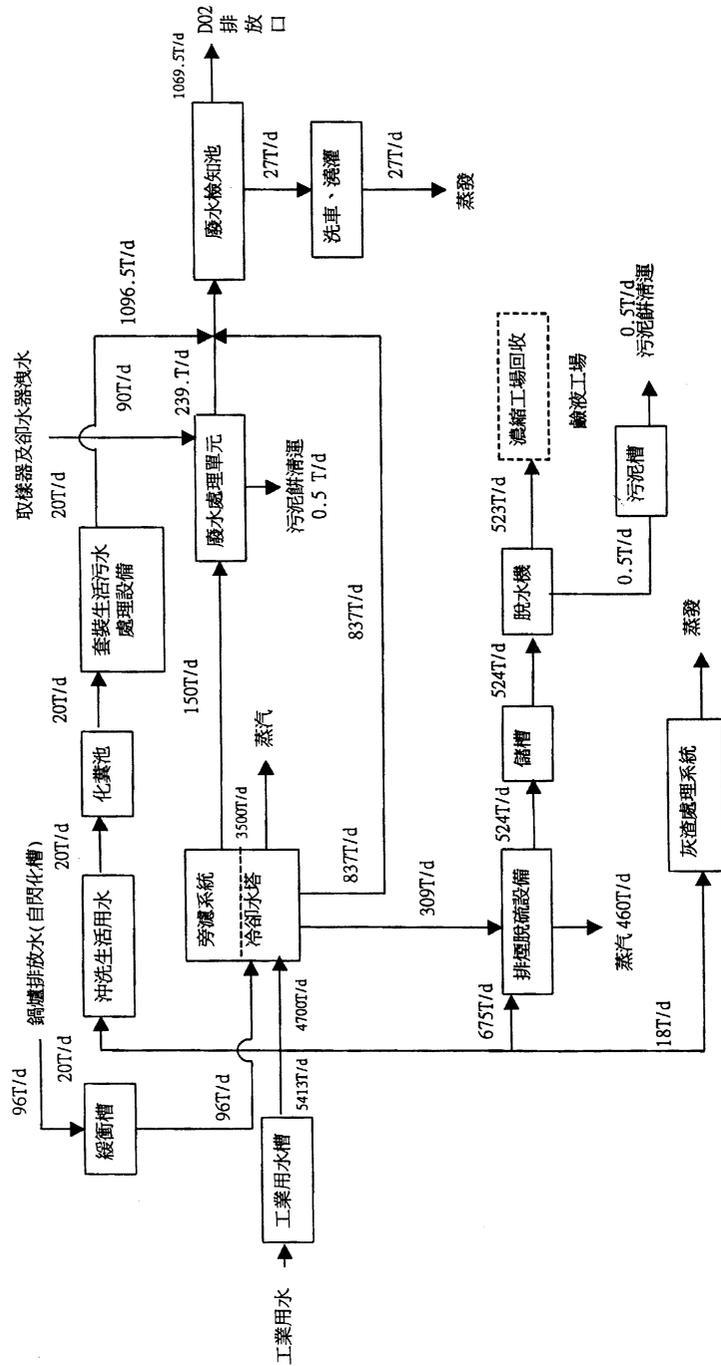


圖 2 汽電共生工場製程(續)

A 廠之汽電共生計畫所產生之廢水主要來自鍋爐之洩放水、冷卻水塔之洩放水及逆洗水等三種。其水質水量及處理方式分別說明如下：

#### 1.鍋爐之洩放水

鍋爐洩放水部分回收做冷卻水塔及 FGD 補充水，部分經廢水處理至放流水標準後，排入工業區之排水系統。

#### 2.冷卻水塔之洩放水

冷卻水塔洩放水之水量約 36 立方公尺/小時，其鋅含量 0.5~2.0mg/L，總磷酸鹽約 0.5~3.0mg/L，化學需氧量則低於 87 年放流水標準，因此將直接排入工業區之排水系統。

#### 3.冷卻水塔之逆洗水

冷卻水塔具旁濾系統其逆洗水為不定期排放，每次排放水量約 150 立方公尺，廢水中主要污染物為懸浮固體，將收集至廢水調勻槽中，再經廢水處理單元處理。

4.另鍋爐維修含油廢水將收集後，分批送至現有廢水處理廠處理。此外，對於室內煤場在緊急狀況下，大量使用消防水及藥劑造成之地表逕流，將予以收集至煤場旁之廢水收集坑經沈澱煤粉後才加以排放，避免煤隨溢流水外洩形成污染。

汽電共生廠內之廢水處理流程如圖 3 所示。

其中：

#### 1.調勻槽

由於原水以不定期的方式排放，其排放之水質及水量皆為變數，故必須先暫存於調勻槽作初步之混合，俟調勻槽達高液位時才藉由動力將廢水泵送至後續單元進行處理。

#### 2.pH 調整槽

將廢水之 pH 值調整至混凝效果最佳狀況。

#### 3.混凝槽

藉由混凝劑使廢水中溶解性雜質析出，成為不溶解性顆料。

#### 4.膠凝槽

將廢水中細小顆粒以及懸浮物質藉由膠凝聚合為大顆粒以利沈降。

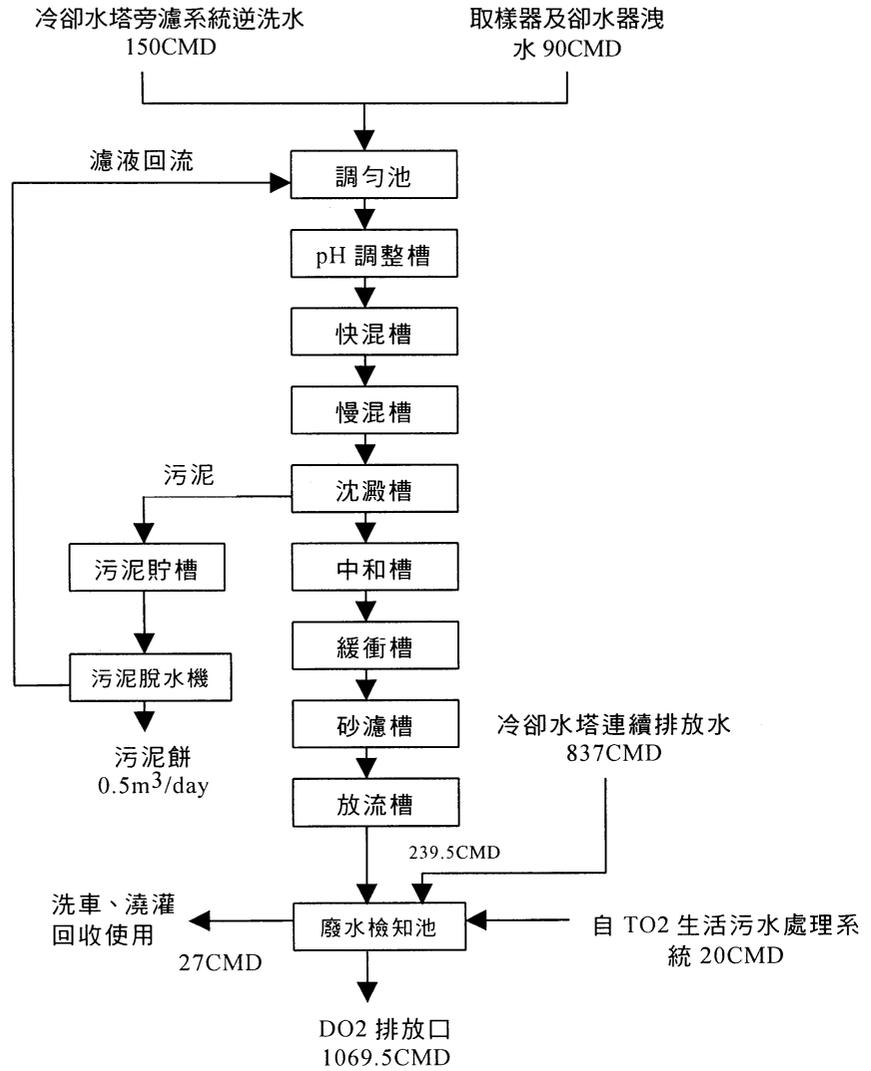


圖 3 廢水設施流程圖

#### 5.沈降槽

利用沈澱槽中有效比表面積作快速沈降，使固液分離。其中固體顆粒沈降至槽底並藉由刮泥機將底泥集中後排出，上澄液則藉重力排至後續處理單元。

#### 6.中和槽

將處理後水之 pH 值調整至符合放流水之標準。

#### 7.緩衝槽

過濾前之暫存，俟液位達高水位，即進行過濾處理。

#### 8.砂濾塔

經由濾材將水中殘餘之微細顆粒藉阻截作用去除，以提昇處理水水質。

#### 9.放流檢知槽

放流檢知槽監測水質，若處理水之 pH 值或懸浮固體不合標準時，即以泵浦送回調勻槽重新處理；若水質合於放流標準，則逕行放流。

#### 10.放流槽

處理後水經由放流槽測定流量後放流。

廢水處理廠之平面配置，如圖 4 所示。

### 3.2 燃油汽電共生廠之水污染防治

B 廠為廢棄物代處理業之廢輪胎裂解程序工廠，現新增建汽電共生系統，以 2 部各 40MW 之氣渦輪機組運轉發電，並產生蒸汽供工業區用戶使用。圖 5 為既有廢棄物代處理業之廢輪胎裂解製程水平衡圖。其燃料用量及產品產量分別為：

1.燃料用量：廢輪胎 36,135 公噸/年。

2.產品產量：裂解油(全年)18,250 公噸/年

碳黑(全年)3,066 公噸/年

圖 6 為新增汽電廠生產製程對應之水平衡圖。其燃料用量及產品產量分別為：

1.燃料用量：重油 156,950 公噸/年

水 1,538,840 公噸/年。

2.產品產量：電力(全年)52,560 萬度

蒸汽(全年)1,538,840 公噸/年。

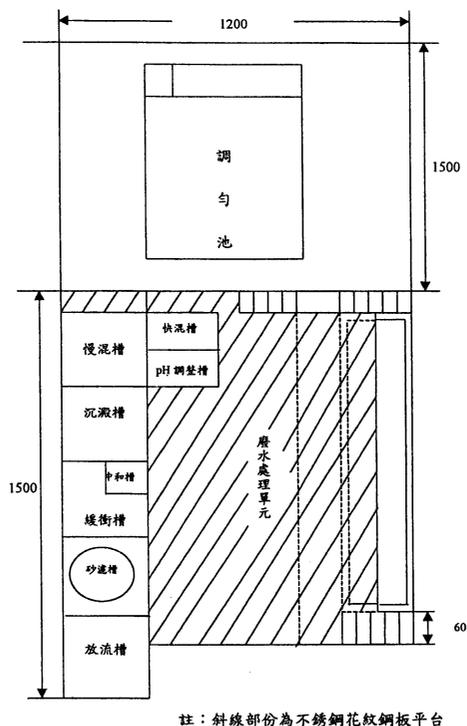


圖 4 汽電共生廢水處理廠平面配置

B 廠既有之廢輪胎裂解程序工廠，除生產製程中廢水產生外，另由於員工上班期間，均有生活污水之產生，排放來源主要為(1)製程廢水(2)生活廢水，如表 1 所示。

B 廠新增汽電廠主要廢水來源有汽電共生系統之燃油處理系統所產生之含油廢水，砂濾塔、離子交換樹脂塔再生廢水及氣渦輪機維修清洗所產生之一般廢水及操作人員生活所產生之生活廢水，其廢水水量及水質如表 2 所示。

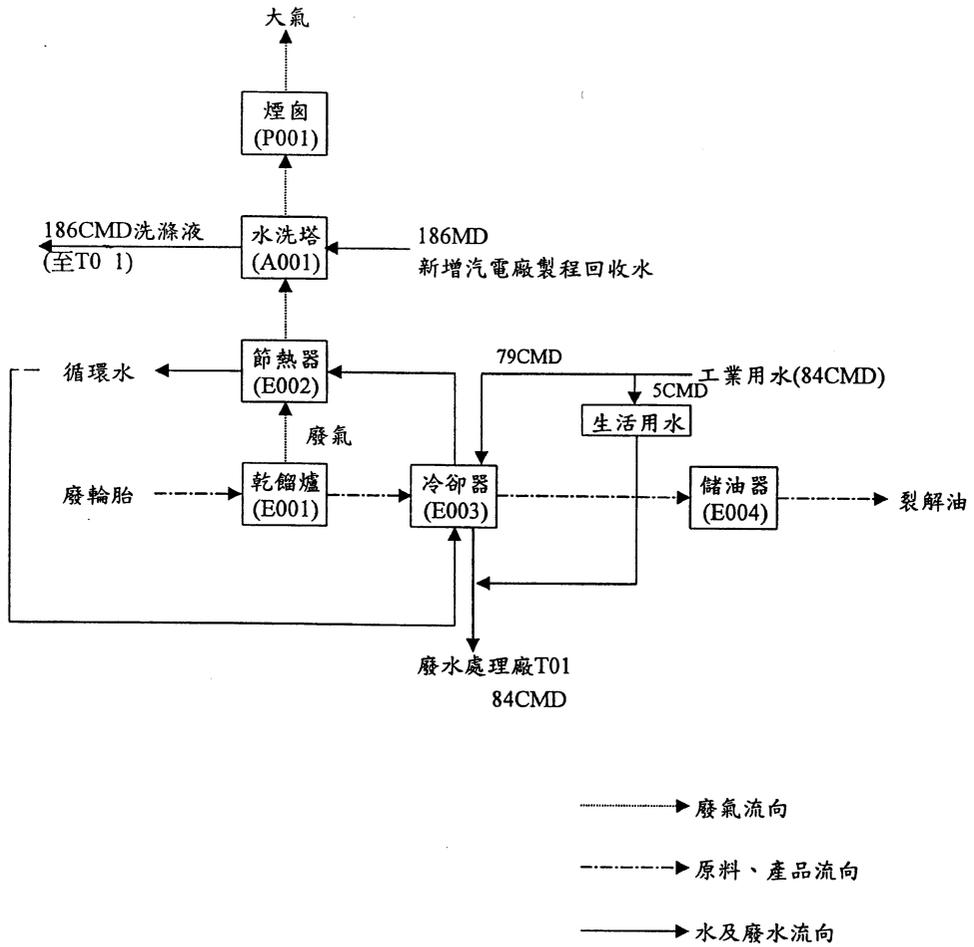


圖 5 廢棄物代處理業之廢輪胎裂解製程水平衡圖

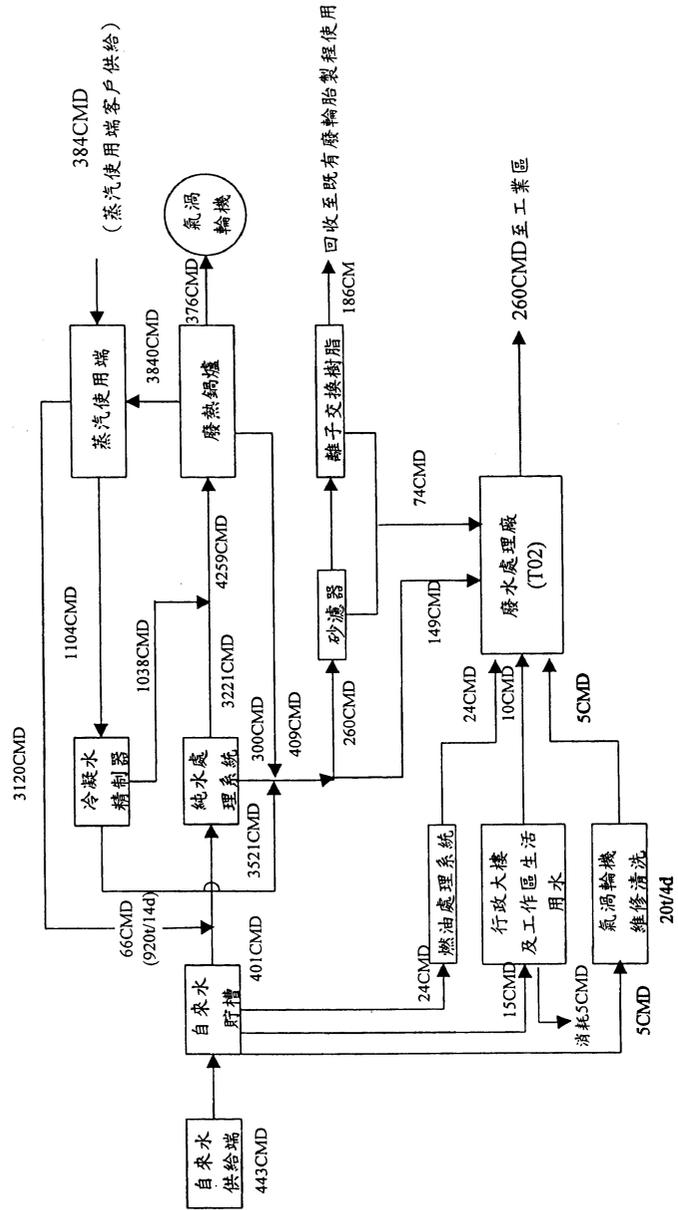


圖 6 汽電共生廠生產製程對應之水平衡圖

表 1 既有廢輪胎裂解廠廢水來源、水量及水質

水質	來源	製程及生活廢水
水量，噸/日		240
pH		3.9~4.5
水溫(°C)		29.8~31.2
SS，mg/L		102~110
COD，mg/L		182~210
大腸桿菌 mg/L		1,980~2,000
透視度 cm		15
油脂，mg/L		10~400

表 2 新設汽電廠廢水來源、水量及水質

水質	來源	含油廢水	一般廢水	生活廢水
水量，噸/日		24	226	10
pH		7~9	2~12	6~8
油脂，mg/L		4,000	5	5
SS，mg/L		600	200	230
COD，mg/L		200	200	460
BOD，mg/L		10	10	230

B 廠新增汽電共生系統所產生之含油廢水經油水分離處理及溶解空氣上浮槽後，流入廢水調勻池，與一般廢水及經套裝生活污水系統處理後之生活污水一同經 pH 調整槽、混凝槽、膠凝槽、沈澱槽及砂濾槽處理後，流入檢知槽，經檢測符合民國 87 年放流水標準後排放至工業區污水處理廠，其廢水及污泥處理流程如圖 7 廢水及污泥處理流程圖所示。

B 廠規劃上較特殊之處為多種含油廢水處理單元之選擇，同時該工業區有排放廢水量之限制，因此在廢水回收上將部分廢水處理後回收供既有廢輪胎裝設之洗滌塔使用，而為避免該工業區污水處理廠負荷過重，B 廠之放流水採較工業區污水廠

進流標準嚴格之 87 年放流水標準排放。

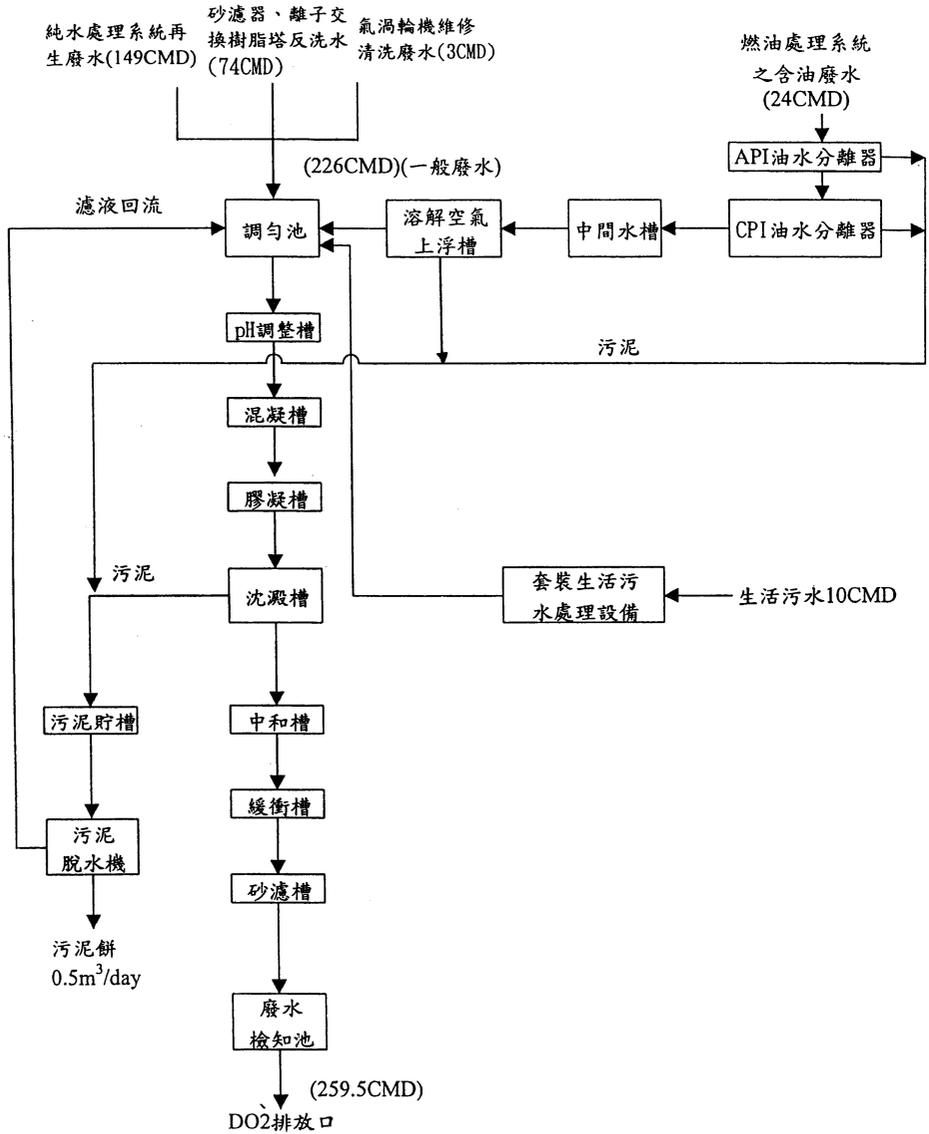


圖 7 汽電共生廠廢水及污泥處理流程圖

### 3.3 燃氣電廠之水污染防治

燃氣汽電共生廠與燃氣電廠之水污染防治規劃類似，現以某燃氣電廠為例說明如下：

C 廠為一使用天然氣為燃料之電廠，其機組為複循環機組(即氣渦輪機+汽渦輪機)，其製程水平衡圖如圖 8 所示。

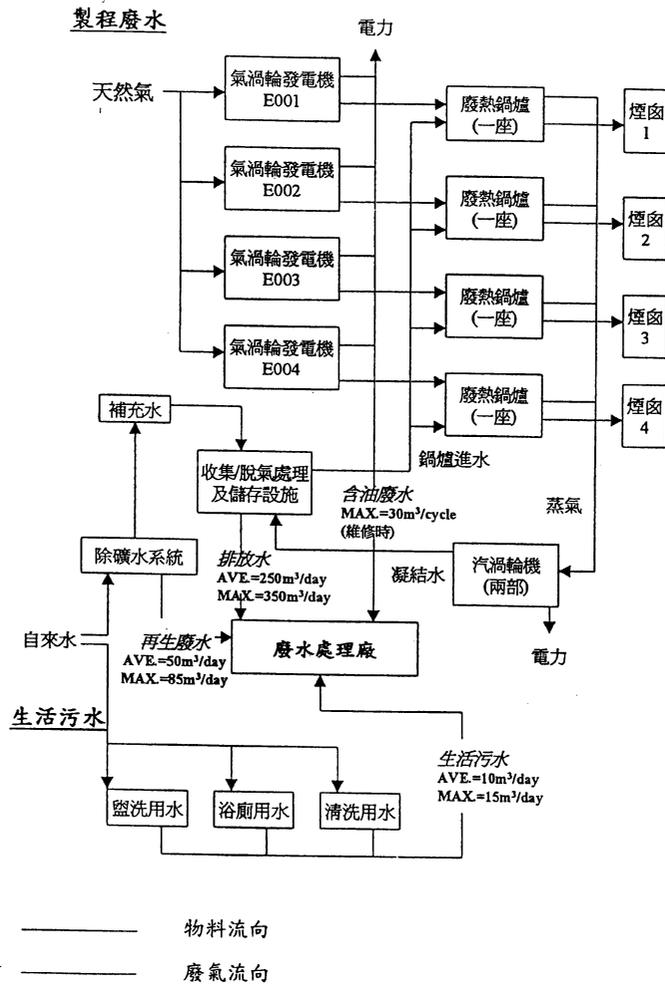


圖 8 製程水平衡圖

其主要廢水來源包括氣渦輪機維修時之含油廢水，鍋爐排放水及除礦水再生廢水之一般廢水、廠區生活污水，其廢水來源之水量及水質如表 3 所示。

C 廠之廢水處理設施流程圖如圖 9 所示，其流程類似 B 廠之流程，但實際在操作時，C 廠一般僅需做 pH 調整即可符合放流水標準，其他之油水分離槽、混凝/沈澱等單元均用於處理維修時產生之廢水。

表 3 廠內廢水來源之水質及水量表

項目		來源		
		氣渦輪機排放廢水	鍋爐排放廢水及除礦水系統再生廢水	生活污水
水質	pH	5~10	5~10	7~8.5
	TSS(mg/L)	15~500	30~300	~230
	COD(mg/L)	~120	190(維修時)	~460
	BOD(mg/L)	-	-	~230
	Oil(mg/L)	5~120	0~5	0~10
水量 (m <sup>3</sup> /day)		最大:120m <sup>3</sup> /hr 30m <sup>3</sup> /cycle	最大:450m <sup>3</sup> /hr	最大: 15m <sup>3</sup> /day

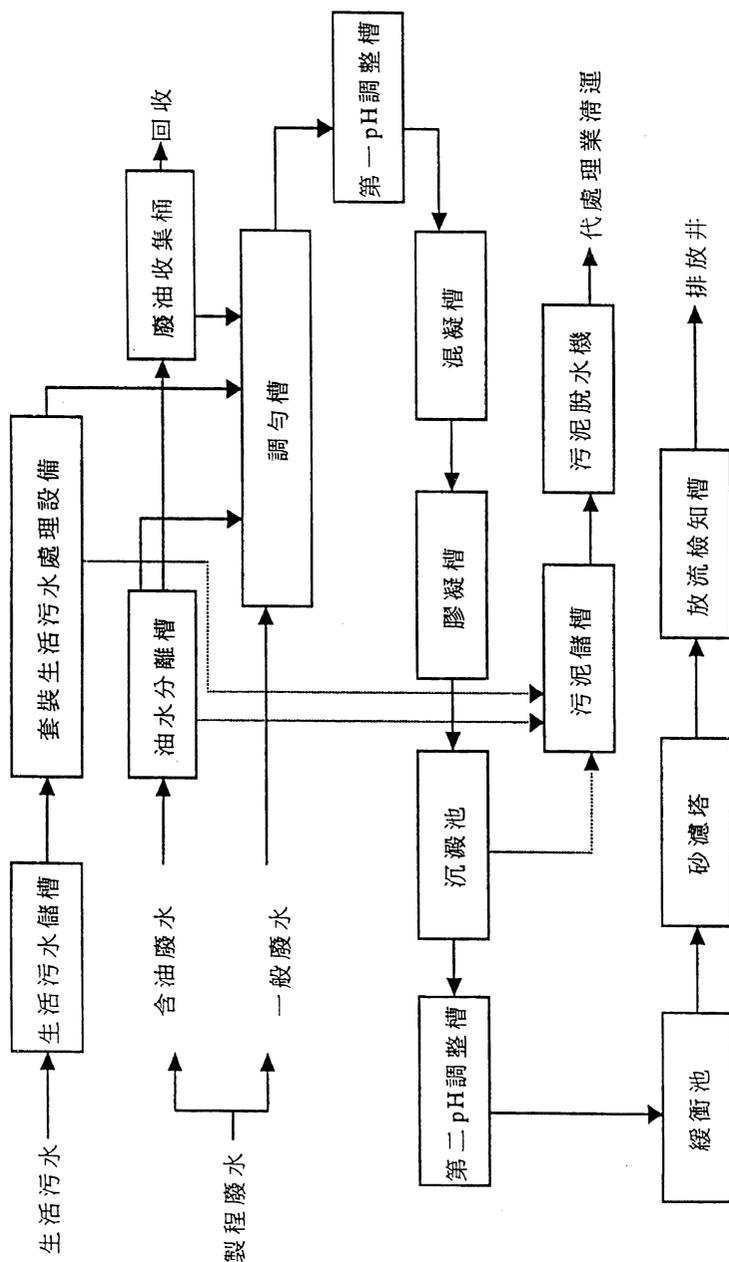


圖 9 廢水處理設施流程圖

## 四、汽電廠之廢水回收規劃方式

對汽電廠各股廢水之回收可能性可以四種等級來區分：第一級鍋爐用水、第二級冷卻水塔補充及製程煙氣洗滌補充水、第三級洗車、煤倉灑水、底灰冷卻補充水、第四級廢水排放不適合回收。各股廢水之回收規劃可參考前述 A 廠及 B 廠之全廠水平衡圖，可發現鍋爐排放水占整個汽電廠之比重相當大，且整個汽電廠主要用水設備亦是鍋爐系統，但就汽電廠之各股廢水中，鍋爐排放水由於添加許多化學藥劑，因此不適合回收做第一級鍋爐用水，僅可考慮用做第二級回收水，但如系統中無冷卻水塔及煙氣洗滌塔則回收之水量用途就不多，因此若要提升整個汽電廠之廢水回收率需提高可供用做第一級鍋爐用水之回收量，在其他各股廢水中，較有可能回收做第一級回收水為除礦水廠中再生反洗過程之低濃度廢水，可藉閥之切換區別高濃度廢水回收，以下為前述 B 廠針對此部份所規劃之回收方式：

B 廠在除礦水部份以陰、陽離子交換為主要處理系統，而回收部份，首先將陰、陽離子之再生廢水(高濃度)約 40M<sup>3</sup> 直接予以排放至廢水處理廠處理，剩餘之沖洗水及活性炭反沖洗水則合併予以中和後再行回收處理，回收系統之濃縮廢液則排放至廢水處理單元，總計排放至廢水處理場處理之廢水將不超過 120CMD 以達到整廠廢水排放之總限制值以內。

### 1. 設計水質、水量 之要求

設計處理平均量為： $150\text{M}^3/\text{hr}(\text{除礦水})+10\text{M}^3/\text{hr}(\text{回收水})$ 。

高濃度廢水排放至廢水處理廠之量為陰、陽離子交換再生高濃度廢水：  
50CMD。

回收水系統廢水 $(93\text{M}^3/\text{hr}\times 24\text{hrs}/\text{day})\times 25\%=56\text{CMD}$

砂濾反沖洗水：5CMD

故總廢水排放量為  $50+56+5=111\text{CMD}\pm 5\%$

表 4 為 B 廠除礦原水水質及處理後水質，表 5 為設計回收原水水質及目標處理後回收水質。

表 4 除礦原水水質及處理後水質(除礦水系統)

項目	原水水質	處理後純水水質
pH	7.7	7.0± 0.5
Temp. °C	25	—
M-A ppm as CaCO <sub>3</sub>	68.84	—
SiO <sub>2</sub> ppm	27.76	<0.1
DO ppm		<0.02
Fe ppm	0.01	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	50	—
Cl <sup>-</sup> ppm	5.04	—
導電度 $\mu$ s/cm	200	<5
T-H ppm as CaCO <sub>3</sub>	100.75	<1

表 5 設計回收原水水質及處理後水質(回收水系統)

項目	原水水質	處理後純水水質
pH		<300 $\mu$ s/cm
TDS ppm	2,500	<300 ppm

## 2. 處理流程說明

### (1) 除礦水系統

除礦水系統計分為 2 條交替操作，每條線之處理造水能力為 2,000M<sup>3</sup>/24hr/cycle。(所有操作動作以自動操作程序控制)

- a. 原水自原水貯水池抽送約 3kg/cm<sup>2</sup>、100M<sup>3</sup>/hr 至水處理廠活性碳吸附塔內將水中之有機物及雜質吸除後流入陽離子樹脂交換塔。本活性碳之反沖洗水約 35M<sup>3</sup> 則流入 120M<sup>3</sup> 回收水系統之原水槽。
- b. 經活性碳吸附塔後之水流入陽離子樹脂交換塔去除帶正電荷之離子如鈣、鎂、鋇、鋁、鐵、鈉.....等後流入陰離子樹脂交換塔。本陽離子樹脂之再生時

產生廢液約每條線 30 M<sup>3</sup>，其中約有 10 M<sup>3</sup> 之高濃度再生廢水則直接予以排入廢水處理廠處理。其餘 20 M<sup>3</sup> 之沖洗水則流入回收水系統之原水貯水槽處理。

- c. 陰離子樹脂交換塔則去除水中之帶負電荷離子如氯、硫酸根、硝酸根、碳酸根.....等離子後流入除礦水貯水槽使用。本陰離子樹脂之再生時產生之廢液約每條線 80 M<sup>3</sup>，其中約有 20 M<sup>3</sup> 之高濃度再生廢液則直接予以排作廢水處理場處理。其餘 80-20=60 M<sup>3</sup> 之沖洗水則流入回收水系統之原水貯水槽處理。

## (2) 廢水回收系統

- a. 由除礦水系統之活性炭吸附塔之反沖洗水約 35 M<sup>3</sup> 之廢水及陰、陽離子交換樹脂塔之沖洗廢液共約 115 M<sup>3</sup> 流入回收水貯水槽。
- b. 回收水貯水槽設有抽水揚水泵將廢水抽送至 8  $\mu$  之過濾器去除微細顆粒後流入 pH 調整池，pH 調整池設有 pH 攪拌機及自動酸鹼加藥系統，將 pH 調整至 7~8 左右後則流入中繼水池。
- c. 中繼水池設有低壓貯壓式泵將廢水抽送至經 1  $\mu$  袋濾精密過濾器後，再經高壓泵抽送進入 R.O 系統去除污染物後即可造出回收水。R.O 之濃縮液則流入廢水處理廠處理。

## 五、結 語

傳統汽電共生廠之水污染防治已成為一成熟之技術，然則由於近年來資源回收永續經營之觀念已漸成企業經營之理念，珍貴的水資源回收再循環使用已是 21 世紀所必須執行之課目，因此，如何提升汽電廠廢水回收之效率，仍有待各工程研究人員更進一步發展新的技術來達成。