# 提升半導體業冷卻水塔用水之水質穩定度實例介紹

林孟杰\*、楊昆龍\*、呂局校\*、盧彭潭\*\*、劉凱溢\*\*\*、陳奎麟\*\*\*\*

## 摘 要

水資源的有效利用是產業發展之重要因素,其對用水的需求隨著工業的持續發展而不斷增加,因此如何有效節省用水達成水資源使用最佳化,成為企業追求永續發展的重要目標之一。冷卻水塔(Cooling Tower)於工業應用上非常廣泛,特別於科技業量產過程中需要使用大量之冷卻用水,其一般皆以製程回收水作為主要水源。因台灣水資源豐富且用水成本較低,故冷卻水塔其供水品質易被業主所忽略;但當其供水品質未妥善管理時易使冷卻水塔產生結垢、腐蝕及熱傳導不佳等問題,增加其運轉成本。

本案例為半導體業之冷卻水塔用水於 96 年 7 月發生 pH 值異常降低,須以自來水取代製程回收水進行補水來增加水質鹼度,徒增自來水用量並降低廢水回收率。為改善異常狀況,本研究經由層別及 ANOVA(Analysis -of-Varinnce)分析現況後;以特性要因圖找出可能原因,佐以實驗計劃法(Design of Experiment, DOE)之反應曲面法-中心混成設計(Central Composite Design, CCD),找出異常真因並求得回收水源之操作方法與參數,成功的提升 Cooling Tower 水質穩定度,重新使用製程回收水做為冷卻水塔的補充水源,達成水資源回收再利用之目的。

## 【關鍵字】廢水回收、冷卻水塔、鹼度、實驗計劃法、中心混成設計

<sup>\*</sup>華邦電子 300mm 廠務處廢水課工程師

<sup>\*\*</sup>華邦電子 300mm 廠務處廢水課高級工程師

<sup>\*\*\*</sup>華邦電子 300mm 廠務處廢水課副理

<sup>\*\*\*\*</sup> 華邦電子 300mm 廠務處水氣化部經理

## 一、前 言

水資源的有效利用是產業發展之重要因素,產業對於用水的需求隨著工業的持續發展而不斷增加,因此如何有效節省水資源、達到工業用水的有效利用,便成為企業降低對水資源依賴及追求永續發展之重要指標。冷卻水塔(Cooling Tower)於工業應用上非常廣泛,尤其是科技業,其冷卻用水之用水比例甚高,不僅需要好好管理而且存有回收再利用的空間。雖然如此,因為台灣水價是相對便宜的,因此常常被業者所忽視,一旦管理不當易可能導致冷卻系統熱傳效率不佳、浪費能源及加藥費用遽增或者銹蝕穿孔污染產品等因擾。本廠冷卻水塔(Cooling Tower)循環水於 96 年 7 月開始出現 pH 異常偏低情形(如圖 1 所示),致使冷卻水系統傾向腐蝕。為處理異常情況,當冷卻循環水 pH 低於設定值時,進行添加片鹼提昇循環水之 pH,以符合水質需求,且須將原本以製程回收水補充水改用以自來水補水,不僅增加了片鹼及自來水的費用,亦大幅減少了廢水回收量。

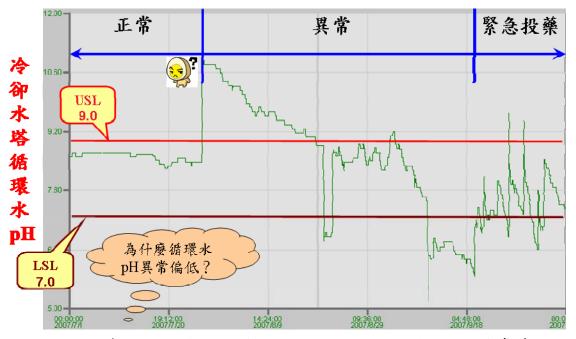


圖 1 96 年 7~9 月冷卻水塔(Cooling Tower)循環水 pH 異常情形

# 二、冷卻循環水系統現況簡介

### 1.冷卻循環水系統介紹

冷卻水塔補充水源有三種,分別為製程廢水回收水、自來水、純水之

廢水回收水,各水質之規格如下表所示(表1)。

农工 備九水水冰水貝 光布									
水源	рН	導電度(μs/cm)							
製程廢水回收水	6.3 ~ 8.7	< 380							
自來水	7 ~ 7.5	< 400							
純水之廢水回收水	6 ~ 7	< 330							

表 1 補充水水源水質規格

冷卻循環水系統如圖2所示,冷卻水塔由回收水儲存槽供應給冷卻水塔(Cooling Tower)使用;冷卻水塔的出口水為循環冷水,經管路輸送至冰水機熱交換器,熱交換器將冰水機所產生的熱,藉由循環冷水降將熱帶出變成為循環溫水,當循環溫水再進入冷卻水塔散熱,重覆濃縮使用。

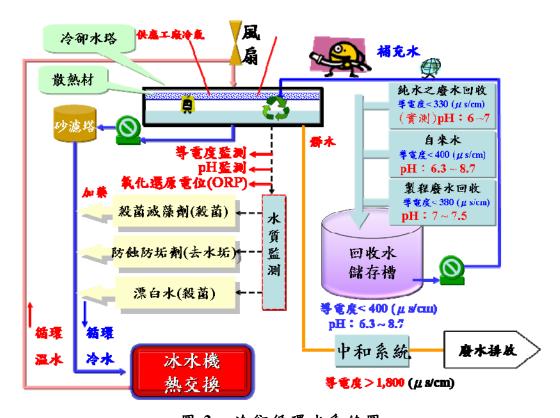


圖 2 冷卻循環水系統圖

整個冷卻循環水系統中,對於水質的On-line監測有導電度(Electrical conductivity, EC)、pH及氧化還原電位(Oxidation Reduction Potential, ORP),當循環水之導電度大於 $1,800\mu s/cm$ 時,即將循環水進行排放換水。當氧化還原電位(ORP)低於170mV時即進行添加漂白水殺菌;殺菌滅藻劑

及防蝕防垢劑均是依水質狀況定量添加。

## 2.冷卻循環水系統之診斷指標介紹

判斷冷卻水塔的腐蝕情況除藉由監測pH外,還會每週定期採水樣做細項水質分析,透過計算循環水水質腐蝕或結垢之診斷指標藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index,簡稱LSI),及Ryznar (1944) 發表萊氏穩定指數 (Ryznar Stability Index,簡稱RSI),來判定水中之 $CaCO_3$ (碳酸鈣)達過飽和程度時,將有固體 $CaCO_3$ 沉澱結垢傾向;反之,則有溶解碳酸鈣和腐蝕的傾向,用以判斷水質是否有易於形成水垢(Scaling)或腐蝕(Corrosive)的傾向,LSI及RSI計算結果說明如下表2所示。

<del>-</del>			
藍氏飽和指數 (LSI)	意義說明	萊氏穩定指數 (RSI)	意義說明
> 0	傾向結垢	< 7	傾向結垢
= 0	傾向平衡	= 7	傾向平衡
< 0	傾向腐蝕	> 7	傾向腐蝕

表 2 LSI及 RSI 指標區間意義表

如圖3所示為銅製冷凝管內壁之碳酸鈣沉積情形,亦即LSI>0及RSI<7;鐵製螺絲接縫中遭受腐蝕情形,亦即LSI<0及RSI>7。





圖 3 銅製冷凝管內壁之碳酸鈣沉積及銅鐵製螺絲接縫中遭受腐蝕情形

LSI及RSI之計算方式如下:

LSI = pH - pHs; RSI = 2(pHs) - pH

各參數代表意義:pH :冷卻水pH值;pHs :水中碳酸鈣飽和時的pH值:

※ pHs = (9.3 + A + B) - (C + D)A = (Log10 [TDS總溶解固體物]-1) / 10

B = -13.12 x Log10 (水溫 $^{\circ}$ C + 273) + 34.55

C = Log10 [鈣硬度(mg/L)] - 0.4

D = Log10 [M-鹼度 M-alkalinity (mg/L)]

TDS經驗式以0.6×導電度計算

就目前廠商建議之操作參數LSI: $0 \sim 2.7$ 而RSI < 7,傾向結垢讓銅管包覆一層薄膜,因此因子A TDS(總溶解固體物, Total dissolved solids)望小,因TDS經驗式以0.6×導電度計算,所以導電度望小;因子B 水溫要望大,但當溫度越大時將會影響冰水機的效率,所以無法提昇,不予以討論;因子C 為鈣硬度要望大:因子D 為M-鹼度要望大。

鹼度意義:其為水之鹼度與酸中和至某pH值的能力,可作為水中碳酸氫鹽、碳酸鹽、氫氧化物濃度的指標。其原理為水溶液經曝氣後會將空氣中的 $CO_2$ 溶於水中,而水溶液態的 $CO_2$ 會與 $H_2O$ 形成 $H_2CO_3$ (如a式),但水溶液中的 $H_2CO_3$ 會傾向再解離,造成水溶液中 $H^+$ 濃度增加,使得pH降低(如b式),而 $HCO_3$ -亦會解離成 $CO_3$ <sup>2</sup>-再增加H+濃度(如c式),故水只要接觸大氣中的 $CO_2$ ,原則上會傾向偏酸。適當鹼度,可避免水中 $H^+$ 濃度大量增加,維持pH穩定。

$$a.CO_2(aq) + H_2O(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq)$$

$$b.H_2CO_3(aq) \rightarrow HCO_3(aq) + H^+(aq)$$

$$c.HCO_3^-(aq) \rightarrow CO_3^-(aq) + H^+(aq)$$

## 3. 現況層別分析

依據冷卻循環水之水質指標,推斷出可能影響層別,層別分析摘要表如表3所示。

衣 一									
層別分析摘要表									
	現	況	現況摘要						
層別	已明	未明	(原明者直接寫下,未明者待分析後逐一寫下)						
補充水別		~	比較異常前後補充水pH是否有差異						
機台別		~	比較每一台冷卻水塔的間的pH差異						
水質別		~	比較定期採樣各指標數據是否有差異						
藥品別		~	比較加藥量是否有差異						
原水別		~	比較三水源對 LSI 及 RSI 重要因子的影響						
水量別		~	比較三水源比例是否有差異						
時間別		~	比較是否有特定時間發生異常						

表 3 層別分析摘要表

## 4. 現況結論

經由ANOVA(變異數分析, Analysis-of-Varinnce)找出層別表中之現況不明之處,將可釐清異常時各層別影響因素是否顯著,其中有顯著差異且與循環水pH相關性高,如表4所示,共找出三個改善方向如下。(1)避免冷卻水塔循環水pH異常降低以防止循環管路腐蝕;(2)水質別中M-鹼度對pH影響最大,需提昇鹼度避免pH異常降低。將針對水質之M-鹼度提升進行要因分析;(3)水量別中冷卻水來源因製程廢水回收水量增加、自來水水量減少,造成鹼度降低。

表 4 層別現況分析總表

	層別現況分析總表												
		:	現況	現況結論									
層別	已明	ANOVA分析結果 (p-value> 0.05表顯著差異)	與循環水pH相關性分析	原明者直接寫下,未明者符分析後逐一寫下									
補充水別	~	(1)冷卻水塔循環水pH異常前 後補充水之pH p-value=0.452 > 0.05	NA	異常前後補充水pH無顯著差異									
機台別	·	(1)每組冷卻水塔之pH p-value=0.723 > 0.05	NA	異常前後各冷卻水塔pH無顯著差異									
水質別	ř	(1)異常當時循環水鈣硬度 p-value=0.002 < 0.05 (2)異常當時循環水M-鹼度 p-value=0.000 < 0.05 (3)異常當時循環水導電度 p-value=0.000 < 0.05	(1)相關係數=0.48,呈弱相關 (2)相關係數=0.82,呈高度正相關 (3)相關係數=0.092,呈完全不相關	(1)異常前後循環水钙硬度有顯著差異 →循環水之鈣硬度影響循環水pH變化程度低 (2)異常前後循環水M-鹼度有顯著差異 →循環水之M-鹼度影響循環水pH變化程度高 (對pH影響最大,需提昇鹼度避免pH異常降低) (3)異常前後循環水導電度有顯著差異 →循環水之導電度影響循環水pH變化程度低									
藥品別	·	(1)異常當時循環水鈣硬度 p-value=0.378 > 0.05 (2)異常當時循環水M-鹼度 p-value=0.009 < 0.05 (3)異常當時循環水導電度 p-value=0.304 > 0.05	NA	<ul><li>(1)異常前後殺菌滅藻劑用量無顯著差異</li><li>(2)異常前後防蝕防垢劑用量有顯著差異</li><li>→原因為採取警急應變措施加片鹼所致</li><li>(3)異常前後漂白水用量無顯著差異</li></ul>									
原水別	v	NA	NA	純水再生廢水鹼度低(0 ppm CaCO <sub>3</sub> )									
水量別	v	NA	NA	製程廢水回收水量增加、自來水水量減少 ,造成鹼度降低									
時間別	v	NA	相關係數=-0.75,呈完全負相關	當純水系統再生時補充水pH瞬間會略微降低									

## 三、處理改善介紹

## 1.改善目標之設定

冷卻水塔(Cooling Tower)水質中pH為最重要的指標,因此目標設定冷 卻水塔循環水pH值由改善前平均6.5提升至異常發生前7.5,以改善水質pH 異常偏低,易造成冷卻水管腐蝕的現象。同時藉由水質的調整改善後以維 持回收水的供應量,而不利用自來水增加鹼度;將自來水補水量在提昇製 程廢水回收率後維持在0噸(如下圖4所示)。

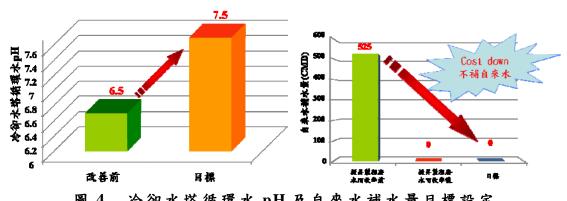


圖 4 冷卻水塔循環水pH及自來水補水量目標設定

## 2.原因分析

針對如何提昇冷卻水塔循環水鹼度問題,經由現況結論的改善方向, 如何提昇冷卻水塔循環水鹼度以特性要因圖(Cause & Effect Diagram)展開 共有兩項可能的原因,分別為:補充自來水及增加製程回收水鹼度,但在 法規及公司MBO的限制下,以不增加自來水使用量為最高原則,因此排除 補充自來水的要因。故將以"增加製程廢水回收水鹼度"進行改善(如圖5 所示);為瞭解提昇製程廢水回收水之鹼度,將針對現況進一步討論。

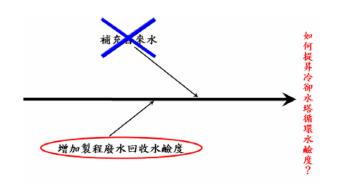


圖 5 提昇冷卻水塔循環水鹼度特性要因圖

#### 3. 現況深入討論

#### (1)廢水回收系統介紹

欲增加製程回收水鹼度就必需了解製程廢水回收系統處理流程,本 廠回收系統分為二大系統,分別為軟水回收系統及製程廢水回收系統 (如圖6所示)。軟水回收系統水源為機台洗滌塔設備廢水及空調設備冷 凝水。製程廢水回收系統來源有低濃度酸性廢水、低濃度鹼性廢水、化 學研磨廢水處理系統放流水及酸鹼排氣管路洗滌塔廢水。

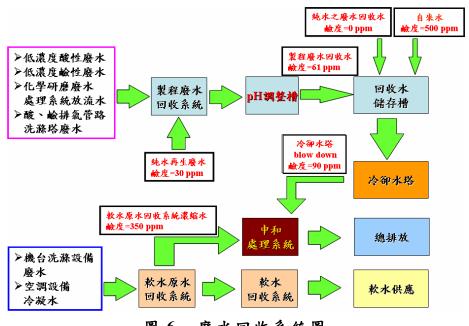


圖 6 廢水回收系統圖

#### (2)分析及尋找高鹼度且可回收水源

經由本團隊組員,藉著操作經驗及多次的討論,找尋出了其他系統中尚未回收且可能對製程廢水回收水鹼度有貢獻的水源,包括:冷卻水塔blow down廢水、純水再生廢水及軟水原水回收系統濃縮水,平均鹼度分別為90 ppm CaCO<sub>3</sub>、300 ppm CaCO<sub>3</sub>及350 ppm CaCO<sub>3</sub>。另外根據前述鹼度意義,適當的增加製程廢水回收水OH-濃度,即提升製程廢水回收水PH值,可有效的增加鹼度。

### 4.原因再探討

針對如何增加製程廢水回收水鹼度問題,於廢水回收系統圖進行檢視,我們發揮創意從垃圾裡找黃金,將原本排放掉但含有鹼度的濃縮廢水回收再利用,可行的方式如下:

(1)物料:回收冷卻水塔 blow down、回收純水再生廢水及回收軟水原水回收系統濃縮水(原本直接排放廢水)。

(2)方法:提升製程廢水回收水 pH 值(如圖 7),是否可行將以 DOE 實驗進行驗證。

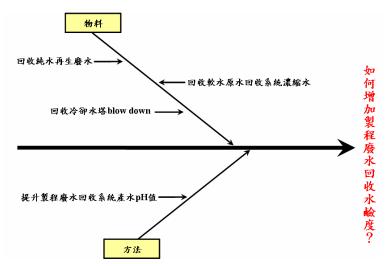


圖 7 增加製程廢水回收水鹼度特性要因圖

## 5.案例原因驗證

## (1)DOE 實驗因子篩選表

由依據前述要因再分析之特性要因圖,以實驗因子篩選表方式篩選出重要因子(如表5所示),其中冷卻水塔blow down直接回收,故不列入DOE中。

	衣 3 谷真 辙 囚 丁分 价 衣										
	層別	項次	要因	控制力 (母數)*1	技術力 (強)*2	因子代號					
	方法	1	製程廢水回收pH	Y	+	A					
		2	軟水原水回收系統濃縮水回收量	Y	+	В					
	物料	3	純水再生廢水近回收系統	Y	+	C					
		4	冷卻水塔blow down	¥	•						
Γ.	u 日 L	E1 44 x	1 I II I I I I I I I I I I I I I I I I								

表 5 各實驗因子分析表

## (2)DOE 反應變數篩選表

由實驗因子篩選表的結果進行製程因子分析。反應變數為「冷卻水塔循環水 pH」,達成之目標值為7.5,進而提升回收水質的鹼度,達成冷卻水塔(Cooling Tower)冷卻水質的穩定性,如表6反應變數篩選表所示。製程因子分別為『軟水原水回收系統濃縮水回收量、製程廢水回收

<sup>\*1.</sup>屬於母數之小要因為"Y"其餘為"X"

<sup>|\*2.</sup>技術力篩選符號:+(強)V(中)-(弱)

水pH及純水再生廢水進回收系統』,且對各因子皆設定二水準進行實驗分析,如表7實驗因子水準設定表所示。

表 6 反應變數篩選表

序號	反應變數 名稱	代號	反應變數 特性	是否為計 量值	是否可精 確衡量	是否與製 程因子有 關係	是否為物 理特性	是否為核 心之機能 品質	達成之 目標值
1	冷卻水塔 循環水 pH	рН	望目	V	V	V	V	V	7.5

表 7 實驗因子水準設定表

占贴	製程因子	代號	水準		
序號	<b>发程</b> 囚丁	代號	1	11	
1	軟水原水回收系統濃縮水回收量	A	8	16	
2	製程廢水回收水pH	В	7.5	8.5	
3	純水再生廢水近回收系統	C	無	有	

以三個因子、二個水準進行 $2^3$ 實驗設計配置8組run orders,實驗結果如表8 實驗設計配置直交表所示。

表 8 實驗設計配置直交表

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	製程廢水 回收水pH	軟水原水回收系統 濃縮水回收量(CMH)	純水再生廢水 進回收系統	冷卻水塔 循環水pH
5	1	1	1	7.5	8	有	6
8	2	1	1	8.5	16	有	7.3
3	3	1	1	7.5	16	無	6.7
7	4	1	1	7.5	16	有	6.5
6	5	1	1	8.5	8	有	7.1
4	6	1	1	8.5	16	無	7.9
1	7	1	1	7.5	8	無	6.5
2	8	1	1	8.5	8	無	7.6

進一步分析實驗結果數據,由柏拉圖顯示出『軟水原水回收系統濃縮水回收量、製程廢水回收水pH及純水再生廢水進回收系統』皆為主要影響因子,其中影響的程度依序為『製程廢水回收水pH>純水再生廢水進回收系統>軟水原水回收系統濃縮水回收量』;三因子影響顯著,其為真正原因(如圖8所示)。

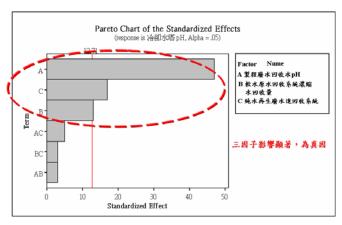


圖 8 DOE-柏拉圖

由因子效應常態機率圖(如圖9所示)突顯出其因子影響重要性依序為「製程廢水回收水pH>純水再生廢水進回收系統>軟水原水回收系統濃縮水回收量」。

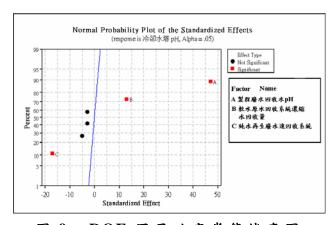


圖 9 DOE-因子效應常態機率圖

## 6.建立案例改善模式

由真因驗證中的主效果圖(如圖10所示)結果得知,主要影響冷卻水塔循環水pH(目標值pH=7.5)結果的因子期望值為:軟水原水回收系統濃縮水回收量望大(16 CMH)、製程廢水回收水pH 望大(pH=8.5)、純水再生廢水進回收系統望小。

綜合上述,為維持冷卻水塔循環水pH穩定,純水再生廢水不進回收系統。但①製程廢水回收水pH、②軟水原水回收系統濃縮水回收量,為求最佳化的操作條件,仍需進行第二階段DOE,採反應曲面法之中心混成設計(CCD; Central Composite Design)搜尋最佳化,反應變數為『冷卻水塔循環水 pH』,達成之目標值為7.5,進而提升回收水質的鹼度,達冷卻水塔(Cooling Tower)冷卻水質的穩定性,如表9反應變數篩選表所示。製程因

子分別為「軟水原水回收系統濃縮水回收量、製程廢水回收水pH及」,且對各因子皆設定二水準進行實驗分析,如表10實驗因子水準設定表所示。

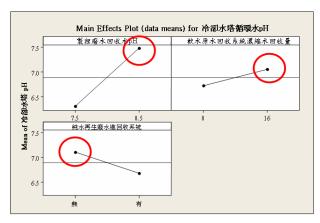


圖 10 DOE-主效果圖

以二個因子、二個水準進行反應曲面法之中心混成設計,配置13組run orders,實驗結果如表11實驗設計配置直交表所示。

表 9 反應變數篩選表

			, -		~ ~-				
序號	反應變數 名稱	代號	反應 變數 特性	是否為計量值	是 可 確 量	是與程子關	是否 海特性	是否之 機質	達成之目標值
1	冷卻水塔循環 水 pH	pН	望目	v	v	v	v	v	7.5

表 10 實驗因子水準設定表

+ n=	41 公田 7	in the	水準		
序號	製程因子	代號	-	1	
1	軟水原水回收系統濃縮水回收量	A	8	16	
2	製程廢水回收水 pH	В	7.5	8.5	

表 11 實驗設計配置直交表

7									
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	製程廢水 回收水pH	軟水原水回收系統 濃縮水回收量(CMH)	冷卻水塔 循環水pH			
9	1	0	1	8	12	7.5			
3	2	1	1	7.5	16	6.3			
11	3	0	1	8	12	7.6			
1	4	1	1	7.5	8	6.2			
10	5	0	1	8	12	7.4			
7	6	-1	1	8	6.3431	6.8			
4	7	1	1	8.5	16	7.9			
5	8	-1	1	7.29289	12	6			
12	9	0	1	8	12	7.3			
6	10	-1	1	8.70711	12	7.8			
2	11	1	1	8.5	8	7.3			
13	12	0	1	8	12	7.5			
8	13	-1	1	8	17.6569	7.5			

由適缺度檢定(如圖11所示) p-value=0.531> 0.05不顯著,其適配二次 曲面模式。再決定最佳因子基準值:依真因再驗證的結果以DOE反應曲面 法之中心混成設計(CCD; Central Composite Design)搜尋最佳化的操作條 件,並填入Response品質特性規格(望目、LSL=7、USL=8.5)及目標值 (Target=7.5)等參數,以minitab求解Response Optimazer。結果如圖12所示, 最佳化的操作條件為製程廢水回收水pH=7.9及軟水原水回收系統濃縮水 回收量14CMH。由實驗結果亦可得到等高線圖(如圖13)及反應曲面圖(如圖 14)所示,可作為日後調整控制參數參。

Analysis of Variance for 冷卻水塔循環水pH									
Source	DF Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P				
Regression	5 4.64528	4.64528	0.92906	76.07	0.000				
Linear	2 3.79651	3.79651	1.89826	155.43	0.000				
Square	2 0.78627	0.78627	0.39313	32.19	0.000				
Interaction	1 0.06250	0.06250	0.06250	5.12	0.058				
Residual Erro	r 7 0.08549	0.08549	0.01221						
Lack-of-Fit	3 0.03349	0.03349	0.01116	0.86	0.531				
Pure Error	4 0.05200	0.05200	0.01300						
Total	12 4.73077	7							

圖 11 二次曲面模式適缺度檢定

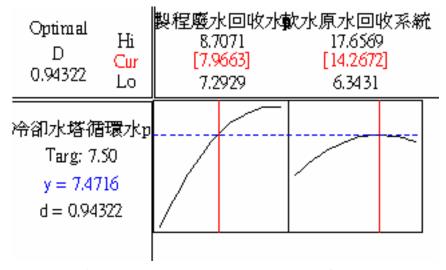


圖 12 實驗次序殘差散佈圖及 CCD 最佳化結果圖

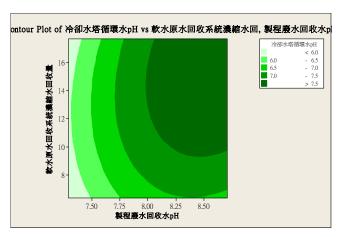


圖 13 CCD 等高線圖

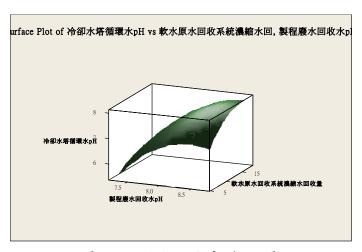


圖 14 CCD 反應曲面圖

依據反應曲面法之中心混成設計分析結果最佳化操作參數如下,以冷 卻水塔循環水pH值作為改善效果確認方式。操作參數,如下表12所示:

項目	改善前	改善後
軟水原水回收系統濃縮水	0	1.4.2
進流量(CMH)	U	14.2
純水再生廢水	回收	不回收
製程廢水回收系統產水 pH	7.5	7.9
冷卻水塔 blow down	不回收	直接回收至製程廢水回收
		系統原水

表 12 操作參數表

## 7.改善效果確認及維持狀況

## (1)冷卻水塔循環水 pH 變化情形

改善期間所蒐集之冷卻循環水pH值的相關資料,如圖15所示。圖中可看出當初冷卻循環水pH值於96年7月開始逐漸異常偏低,改善期間因冷卻循環水pH<6,於是採取緊急應變措施加入片鹼提升pH值,造成pH忽高忽低不穩定,經由改善後冷卻水塔循環水pH值趨於穩定度且提升至符合使用者水質規範需求,效果維持再現性良好。

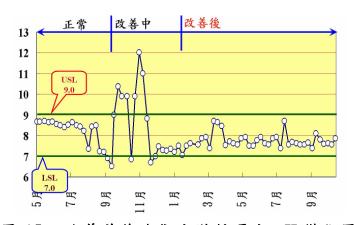


圖 15 改善前後冷卻水塔循環水 pH 變化圖

#### (2)達到冷卻水塔循環水 pH 值目標

冷卻水塔循環水pH值由平均6.5提升到超過目標值(7.5)到改善後的平均7.77,達成當初設定的目標,如圖16所示。

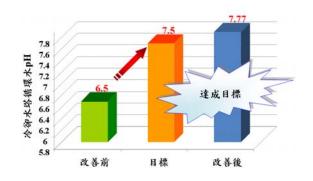


圖 16 改善前後冷卻水塔循環水平均 pH 值比較圖

## (3)達到冷卻水塔不補自來水目標

本案例另一個目標是是減少自來水使用量。由圖17可看出,改善前回收水儲存槽補水量525CMD,改善後自來水補水量是0 CMD,達成當初設定的目標,也達到Cost Down 的雙贏效果。

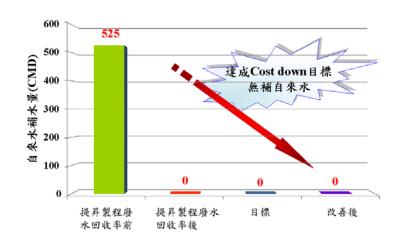


圖 17 改善前後回收水儲存槽自來水補水量比較圖

## 四、結論與建議

本案例回收水異常時原以自來水取代製程回收水進行補水來增加水質 鹼度,增加了自來水用量並降低廢水回收率,在現況分析過程及尋找最佳操 作模式過程可說是煞費苦心,最後將軟水原水回收系統濃縮水進流量提升至 14.2CMH、開始回收純水再生廢水、製程廢水回收系統產水 pH 由 7.5 調高 至 7.9 及冷卻水塔 blow down 開始回收等方法進行改善,經由統計手法找出 異常真因並求得回收水源之操作方法與參數(如表 12 所示)。 改善後雖成功的提升 Cooling Tower 水質穩定度,但未來仍有下列三點 須持續改善: (1)軟水原水回收系統濃縮水回收量會因季節改變而減少,冬 天時較不易控制;(2)純水之廢水回收水 pH 及鹼度偏低,因現行回收會影響 回收水儲存槽水質,故暫不予回收,但基於水資源再利用原則,未來預計修 改為可調整進回收水儲存槽流量,以維持回收水儲存槽水質;(3)冬天冷卻 水塔回收水用量小,所以製程廢水回收量相對減少,影響冷卻水塔循環水 pH 及鹼度都下降。

前述的分析及操作參數,期能提供業界相關冷卻水塔系統的改善及異常處理。地球只有一個,環保問題人人有責,需要每個人共同來維護珍貴之水資源,讓我們一起努力留一個乾淨的生活空間給後代子孫。

# 五、參考文獻

- 1. 蔡騰龍,工業水處理,正文書局,2001。
- 2. 駱尚廉,楊萬發,自來水工程,茂昌圖書有限公司,2000。
- 3.顏登通,高科技廠務,全華圖書股份有限公司,2006。
- 4. 唐麗瑛,實驗設計(DOE)講義,交通大學工業工程與管理學系/唐麗瑛教授編寫,2008。
- 5.王春和,工業實驗設計講義,中正理工學院/王春合 教授編寫,2008。
- 6.彭定國、吳鴻錚、鄭大興, MINITAB 統計分析與應用, 新文京開發出版(股) 公司, 2006。