

國立交通大學

工學院專班永續環境科技學程

碩士論文

以田口方法探討光電廠去光阻劑回收系統運轉之最佳化



The Optimization of Stripper Recycle System by Taguchi Method

研究生：陳寵文

指導教授：白曠綾教授

中華民國九十六年一月

以田口方法探討光電廠去光阻劑回收系統運轉之最佳化

The Optimization of Stripper Recycle System by Taguchi Method

研 究 生：陳 寵 文

Student : Chung-Wen Chen

指 導 教 授：白 曠 綾

Advisor : Hsunling Bai

國 立 交 通 大 學

工學院專班永續環境科技組



Submitted to Degree Program of Environmental Technology for Sustainability
College of Engineering

National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in

Degree Program of Environmental Technology for Sustainability

January 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 六 年 一 月

以田口方法探討光電廠去光阻劑回收系統運轉之最佳化

學生:陳寵文

指導教授:白曠綾

國立交通大學工學院專班永續環境科技學程碩士班

摘要

本研究應用田口方法(Taguchi Method)，探討影響光電廠去光阻劑回收系統薄膜蒸發器單元效能的主要控制因子，並推估其最佳化操作條件，而後進行田口方法與全因子實驗差異比較及此兩種方法之成本效益分析，以評估是否可考慮直接應用田口方法於去光阻劑回收系統最佳化之調整。

本研究選用進料量、蒸氣壓力、轉速，作為田口法的控制因子(Control Factor)，並以薄膜蒸發器蒸發率作為品質特性(Quality Characteristics)，應用田口法 $L18(2^1 \times 3^7)$ 直交表規劃 18 組實驗，所得結果再以田口方法及全因子實驗法找出最佳化操作條件，並實際應用於某光電廠。本研究結果顯示，控制因子影響程度由大至小依序為轉速 > 蒸氣壓力 > 進料量。若以全因子實驗結果而言，最佳化操作條件為進料量 160L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm^2 、轉速 50rpm，若應用於該光電廠，可提昇去光阻劑回收系統之回收率 1.55%，並可減少廢液排放量 19.46 公噸/年，節省去光阻劑使用費用新台幣 1,322.6 仟元。而若以田口方法結果而言，則最佳化操作條件為進料量 180L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm^2 、轉速 50rpm，若應用於該光電廠，可提昇去光阻劑回收系統之回收率 1.46%，並可減少廢液排放量 17.65 公噸/年，節省去光阻劑使用費用新台幣 1,199.5 仟元。故全因子實驗與田口方法應用於該光電廠之去光阻劑回收系統參數調整，所得到的效益差異並不大，若考量人力、物力、時間等條件，應可考慮使用田口方法於光電廠去光阻劑回收系統最佳化之調整。

關鍵字:田口方法、去光阻劑回收系統、薄膜蒸發器、資源回收再利用

The Optimization of Stripper Recycle System by Taguchi Method

Student : Chung-Wen Chen

Advisor : Dr. Hsunling Bai

Degree Program of Environmental Technology for Sustainability
College of Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The purpose of this research is to find out the major controllable factors for the Stripper Recycle System of an opto-electronic fab by the Taguchi Method. The result of the full factorial experiments and the Taguchi Method are compared in regard to the optimal operation values of the major controllable factors as well as the cost-effectiveness of the two methods.

The results showed that flow rate of feed, steam pressure, rotation speed are the major controllable factors. Results of the eighteen groups of experiments based on L18($2^1 \times 3^7$) orthogonal array indicated that the significance of influence is in the order of rotation speed > steam pressure > feed flow . For the full factorial experiment, the optimal values of controllable factors are feed flow kept at 160 L/hr, steam pressure kept at 5 kg/cm² and rotation speed kept at 50rpm. It has the cost-effectiveness of increasing stripper recycle rate by 1.55%, decreasing waste production rate by 19.46 ton/yr and saving the stripper purchase cost of NTD\$1,322,600. On the other hand, for the results of Taguchi Method, the optimal values of controllable factors are feed flow kept at 180 L/hr, steam pressure kept at 5 kg/cm² and rotation speed kept at 50rpm. It has the cost-effectiveness of increasing stripper recycle rate by 1.46%, decreasing waste production rate by 17.65 ton/yr and saving the stripper purchase cost of NTD\$1,199,520. Since the results obtained from Taguchi Method and full factorial experiment is not significantly different from each other, Taguchi Method can be used as a reliable valuation method to optimize the Stripper Recycle System.

Keywords: Taguchi Method 、 Stripper Waste Recycle System 、 Thin Film Evaporator

誌 謝

本論文能夠順利完成，首先由衷的感謝指導教授白曠綾老師，在我研究的過程，不斷的告知我錯誤的地方，並細心的教導灌輸我正確的研究觀念。另外還要感謝口試委員袁如馨老師、鄭光煒老師及楊奉儒老師，在最後論文修正階段與以寶貴的意見，使我的論文得以順利完成，從他們身上我學到了也體會到做研究的嚴謹觀念，以及絲毫不馬虎並力求完美的態度，這使我原本在工作上力求快速有效的做事態度與方法，融入了嚴謹的特質。

另外也感謝公司長官博文、國崙的支持及同事智勇、盛尉、賢泯、俊星的協助，論文的實驗才能順利完成與驗證，在這兩年半的在職求學生涯，有你們的包容與幫忙，我才能在工作與學業的天平上力求平衡，順利完成學業，謝謝你們!

在職生的求學生涯是辛苦的，工作後拖著疲累的身心，在夜深人靜時獨自投入書本內彷彿無窮盡的世界裡，曾經想就此放棄，心中卻有另一種聲音告訴自己：「堅持下去吧!勝利的果實屬於堅持到最後的人。」，而這支持聲音的動力來源就是我的老婆與女兒，僅以此論文，獻給我最摯愛的兩人。

目 錄

	頁次
中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
符號說明	viii
一、	
前言	1
1.1 研究動機與背景	1
1.2 研究目的	1
二、	
文獻回顧	3
2.1 TFT-LCD 產業說明	3
2.1.1 TFT-LCD 製程概述	4
2.1.2 Array 製程概述	6
2.1.3 TFT-LCD 廢棄物概述	8
2.1.4 去光阻劑供應及回收流程	10
2.2 薄膜蒸發器介紹	17
2.2.1 薄膜蒸發器簡介	17
2.2.2 蒸發器熱傳原理	21
2.2.3 影響薄膜蒸發器效能因素	27
2.3 田口方法	28
2.3.1 複因子多水準實驗方法簡介	29
2.3.2 S/N 比的概念	31
2.3.3 變異數分析	34
2.3.4 田口方法的執行及應用	36
三、	
研究方法	38
3.1 研究流程	38
3.2 去光阻劑回收系統介紹	41
3.2.1 去光阻劑回收系統原理及流程	41
3.2.2 去光阻劑回收系統回收率說明	44
3.3 薄膜蒸發器單元介紹	47
3.3.1 薄膜蒸發器構造及原理	47
3.3.2 薄膜蒸發器效能說明	47
3.4 影響蒸發率之因子	51

3.4.1	可控因子之篩選.....	51
3.4.2	調整及量測設備.....	54
3.5	因子水準設定.....	59
3.6	直交表的選用.....	61
3.7	實驗執行與記錄.....	61
3.8	資料分析.....	64
3.9	確認實驗.....	70
四、	實驗結果與討論.....	72
4.1	全因子實驗結果.....	72
4.2	田口實驗結果.....	80
4.3	效益預估及驗證.....	86
五、	結論與建議.....	90
5.1	結論.....	90
5.2	建議.....	91
參考文獻	92



表 目 錄

		頁次
表 2-1	TFT-LCD 製造業主要廢棄物與清理現況.....	11
表 2-2	94 年光電顯示器製造業各類製程再利用情形.....	12
表 2-3	各世代製程去光阻劑消耗量.....	12
表 2-4	國內 TFT-LCD 製造廠之 SRS 使用現況.....	15
表 2-5	熱傳模式說明.....	23
表 2-6	L18($2^1 \times 3^7$) 直交表展開示意表.....	32
表 3-1	TOK-106 之組成物及特性.....	42
表 3-2	SRS 質量平衡表.....	46
表 3-3	本研究光電廠去光阻劑回收廢液成分表.....	53
表 3-4	本研究實驗調整及量測設備說明.....	56
表 3-5	減速馬達刻度轉速對照表.....	57
表 3-6	轉速因子初步實驗數據表.....	60
表 3-7	因子水準設定表.....	62
表 3-8	本研究因子水準實驗配置表.....	62
表 3-9	實驗數據表.....	63
表 3-10	實驗結果及 S/N 比計算表.....	66
表 3-11	回應值計算表.....	68
表 3-12	變異數分析表.....	68
表 4-1	實驗數據表.....	73
表 4-2	實驗結果及 S/N 比計算表.....	81
表 4-3	回應值計算表.....	82
表 4-4a	變異數分析表.....	85
表 4-4b	變異數分析表(併入誤差).....	85
表 4-5	確認實驗數據表.....	87
表 4-6	本研究案例之光電廠薄膜蒸發器參數調整前後效益 分析比較表.....	87

圖 目 錄

		頁次
圖 2-1	TFT-LCD 製程流程圖.....	5
圖 2-2	TFT-LCD Array 製程流程圖.....	7
圖 2-3	TFT-LCD 製程及污染源.....	9
圖 2-4	去光阻劑供應及回收流程圖.....	16
圖 2-5	刮膜式蒸發器的組成構造簡圖.....	18
圖 2-6	分子蒸餾基本原理示意圖.....	18
圖 2-7	管壁內熱傳導溫度變化圖.....	23
圖 2-8	熱對流熱傳示意圖.....	24
圖 2-9	熱交換器兩側熱傳示意圖.....	24
圖 2-10	偏差平方和組成示意圖.....	36
圖 3-1	研究流程圖.....	40
圖 3-2	本研究案例之光電廠去光阻劑回收系統流程圖....	42
圖 3-3	本研究光電廠 SRS 質量平衡示意圖.....	46
圖 3-4	本研究光電廠薄膜蒸發器構造圖.....	48
圖 3-5	本研究光電廠薄膜蒸發器單元質量平衡示意圖....	50
圖 3-6	本研究案例光電廠薄膜蒸發器轉動馬達.....	57
圖 3-7	本研究案例光電廠用進料流量計.....	58
圖 3-8	本研究案例光電廠用蒸氣壓力調整閥.....	58
圖 3-9	初步實驗轉速與蒸發率關係圖.....	60
圖 4-1a	進料量 160 L/hr 時蒸發率表現圖.....	76
圖 4-1b	進料量 180 L/hr 時蒸發率表現圖.....	76
圖 4-1c	進料量 200 L/hr 時蒸發率表現圖.....	77
圖 4-2a	轉速 40rpm 時蒸發率表現圖.....	77
圖 4-2b	轉速 50rpm 時蒸發率表現圖.....	78
圖 4-2c	轉速 58rpm 時蒸發率表現圖.....	78
圖 4-3a	蒸氣壓力 4.2kg/cm ² 時蒸發率表現圖.....	79
圖 4-3b	蒸氣壓力 5kg/cm ² 時蒸發率表現圖.....	79
圖 4-4	三因子(蒸氣壓力、轉速、進料量)回應圖.....	82

符 號 說 明

A	: 熱交換面積(heat exchange area)
h	: 對流熱傳係數(heat transfer coefficient)
k	: 熱傳導係數(thermal conductivity)
p	: 壓力(Pressure)
Q	: 熱傳量
Q_{s1}	: 去光阻劑進入回收系統之進料量
Q_{s2}	: 回收系統濃縮桶槽排出廢液量
Q_{s3}	: 回收系統蒸餾塔單元排液
Q_{s4}	: 回收系統真空泵浦氣態損失量
Q_{s5}	: 去光阻劑經回收系統回收之回收量
Q_{s6}	: 回收系統精餾塔回流量
Q_{s7}	: 薄膜蒸發器蒸發量
q	: 熱通量(heat flux)
q_x	: x 方向熱通量
S	: 偏差平方和
S'	: 純偏差平方和
T	: 溫度(Temperature)
T_b	: 流體中心平均溫度
T_c	: 冷側溫度
T_h	: 熱側溫度
T_w	: 管壁溫度
ΔT	: 溫度梯度(Temperature gradient)
U	: 總熱傳係數
V	: 不偏變異數
η	: S/N 比
Φ	: 自由度
ρ	: 貢獻率

一、前言

1.1 研究動機與背景

去光阻劑(Stripper)又稱為剝離液，為TFT-LCD廠前段製程中使用量僅次於顯影液之化學品，大多由國外進口，單價極高，而使用後之廢去光阻劑僅含少量不純物，極具回收純化價值，故目前國內部份TFT-LCD廠商委外回收處理，部分則自行設置去光阻劑回收系統(Stripper Recycle System，簡稱SRS)進行純化回收。

本研究探討之光電廠屬自行設置去光阻劑回收系統者，其回收效益每年高達數千萬元。然依據該光電廠2005年度資料顯示，去光阻劑回收系統設備回收率僅約86%，回收系統產生之二次廢液達170噸/年，且其中將近一半為去光阻劑，亦即每年約有80噸去光阻劑損失，損失金額高達新台幣數百萬元，而主要損失來自於去光阻劑回收系統回收薄膜蒸發器單元，故欲提升去光阻劑回收系統薄膜蒸發器單元蒸發效率，以降低去光阻劑使用成本並減少去光阻劑廢液產出量，則是本研究的動機。

1.2 研究目的

為提昇去光阻劑回收系統薄膜蒸發器單元蒸發效率，本研究擬利用田口方法(Taguchi Method)，完成下列研究目的：

1. 找出影響本研究探討之光電廠去光阻劑回收系統薄膜蒸發器單元效能之可控制因子，並分析其影響程度大小。
2. 針對本研究探討之光電廠各可控制因子與其各水準之參數組合進行實驗分析，以找出去光阻劑回收系統之最佳操作參數組配，並探討將田口方法實驗結果及全因子實驗結果應用於實廠去光阻劑回收系統，回收系統所提升之回收率、所預估暨達成之成本效益以及所因之減少之廢液廢棄物產生量。
3. 比較田口方法及全因子實驗法實驗結果差異性，並分析探討實際應用於實廠後，回收系統所提升之回收率、所預估暨達成之成本效益以及所因之減少之廢液廢棄物產生量差異，以利評估爾後是否可考慮直接應用田口方法於光電廠去光阻劑回收系統最佳化之調整。

二、文獻回顧

2.1 TFT-LCD產業說明

過去幾年來，台灣平面顯示器產業累計投資額超過 9000 億元，這項產業已成為台灣投資規模最大產業，也是支撐製造業等成長的重要力量。目前產業發展以友達、奇美、華映、瀚宇彩晶、群創及元太等 6 家 TFT-LCD 面板廠為核心，相關零組件等周邊產業價值鏈也很完整。根據統計，2005 年台灣平面顯示器產值為 9720 億元。工研院產業經濟與趨勢研究中心(IEK) 統計顯示，2006 年 1 至 10 月平面顯示器產值已達 1 兆 894 億元，預估 2006 全年產值可達 1 兆 2845 億元，較 2005 年成長 32.1%，其中包括大、中小尺寸 TFT-LCD 面板、TN/STN 面板、OLED(有機電激發光顯示器)等面板產值佔 9250 億元，較 2005 年成長 31%；面板關鍵零組件產值約 3595 億元，較 2005 年成長 35%。IEK 估計，自 2005 年至 2010 年間，台灣平面顯示器產值可望由 9721 億元成長至 2 兆 240 億元；在大尺寸(10 吋以上) TFT-LCD 面板方面，2006 年台灣出貨量預計可達 1 億 4000 萬片(全球市占率 50%)，領先韓國的 1 億 900 萬片(全球市占率 39%)，位居世界第一。產值方面，台灣 2006 年可達 240 億美元(全球市占率 46%)，也超越韓國 208 億美元(全球市占率 40%)，故今年台灣大尺寸面板出貨量與產值均可超越韓國，成為名符其實的世界第一〔1〕。

2.1.1 TFT-LCD 製程概述

TFT-LCD 是Thin-Film Transistor Liquid-Crystal Display的縮寫(薄膜電晶體液晶顯示器)，而其原理簡單的說TFT-LCD面板可視為兩片玻璃基板中間夾著一層液晶，上層的玻璃基板是與彩色濾光片 (Color Filter)貼合，而下層的玻璃則有電晶體鑲嵌於上。當電流通過電晶體產生電場變化，造成液晶分子偏轉，藉以改變光線的偏極性，再利用偏光片決定畫素(Pixel)的明暗狀態。此外，上層玻璃因與彩色濾光片貼合，形成每個畫素(Pixel)各包含紅藍綠三顏色，這些發出紅藍綠色彩的畫素便構成了面板上的影像畫面。圖2-1為TFT-LCD製程流程圖〔2〕，由流程圖可知TFT-LCD製程可分為三大部分：第一部分為電極圖案 (pattern) 形成製程 (Array製程)；第二部分為面板組裝製程 (cell製程)；第三部分則為模組製程 (module製程)。以下就主要製程三大部分進行說明〔3〕：

1.Array 製程:

Array 製程流程與半導體製程相似，但不同的是將薄膜電晶體製作於玻璃上，而非矽晶圓上，玻璃基板經過清洗機台洗淨後經薄膜長晶製程、光阻塗佈、曝光、黃光微影製程、乾濕蝕刻製程，最後進行去光阻製程，TFT-LCD 製程所使用之化學原料幾乎皆集中於此階段使用，本研究案例之光電廠回收之去光阻劑(Stripper)即用於最後之去光阻製程。

2.Cell 製程:

Cell 製程乃將 Array 製程製造完成之 TFT 基板與彩色濾光片(color filter,簡稱 CF)基板進行配向處理，將二面基板組裝後進行液晶注入及封止，並貼上偏光片。

3.Module 製程:

Module 製程是將 Cell 製程後的玻璃與其他如背光板、電路、外框等多種零組件組裝的生產作業。

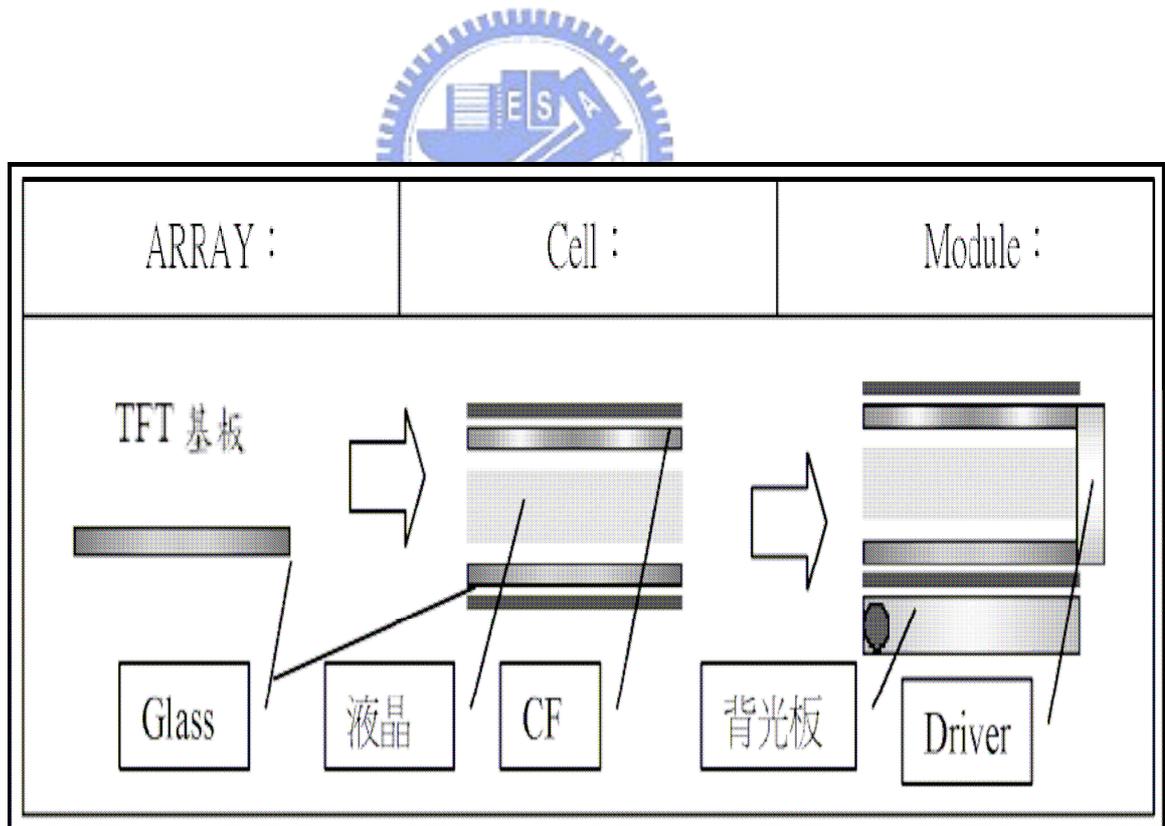


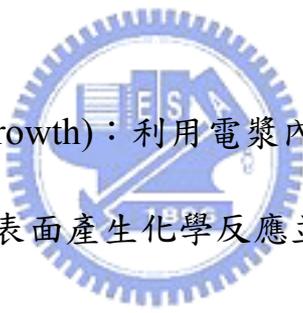
圖 2-1 TFT-LCD 製程流程圖

資料來源:奈米通訊〔2〕

2.1.2.Array 製程概述

Array 製程概分為九個步驟，其流程及使用之化學品如圖 2-2〔2〕。

各步驟簡述如下：

- 1.玻璃基板(Glass substrate)：外購之玻璃基板經拆封(unpacking)後，使用去離子水(DI water)及清潔劑(detergent)進行初步清洗後，投入 Array 製程。
- 2.清洗(Cleaning)：Array 製程需對玻璃基板進行細部清洗，以去除前一製程殘留之不純物。
- 3.薄膜長晶(Thin film growth)：利用電漿內高能量的電子，撞擊製程之氣體分子，於加熱的基板表面產生化學反應並形成固態沈積。
- 4.光阻塗布(Photoresist coating)：以旋轉基板的方式，在基板上均勻塗布光阻。
- 5.曝光(Exposure)：基板以步進(stepper)方式進行曝光，利用紫外光照射，將光罩圖案複製在已塗布光阻之基板上。
- 6.顯影(Development)：用顯影液將曝光過的光阻去除。
- 7.蝕刻(Etching)：將沒有被光阻覆蓋及保護的部分以物理作用或是化學反應的方式去除，分為乾蝕刻及濕蝕刻二種。

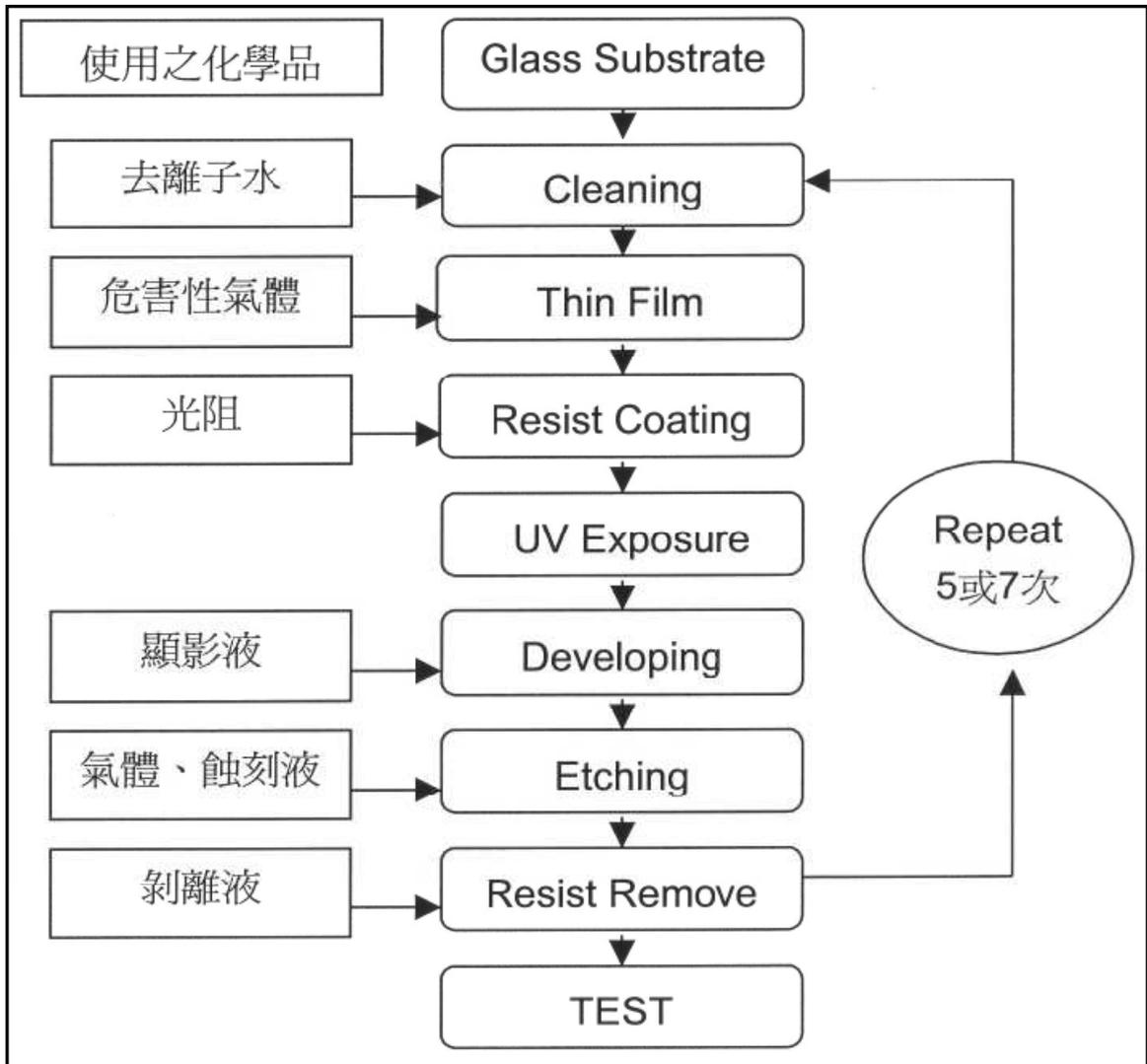


圖 2-2 TFT-LCD Array 製程流程圖

資料來源:奈米通訊〔2〕

8.光阻去除(Photoresist remove)：用去光阻劑 (又稱為剝離液)將完成蝕刻之基板上的光阻去除。

9.測試(Test)：顯影後需檢查蝕刻後的圖樣，並作薄膜電性量測以及 TFT 特性量測。

因 TFT 之製造需重複五或七次上文所述之程序，故上述步驟中，於完成第 8 項之光阻去除(Photoresist remove)後，視需要必須回復至第 2 項之清洗(Cleaning)製程。TFT-LCD 製程所使用之化學原料幾乎皆集中於此階段使用，本研究回收之去光阻劑即用於最後之去光阻製程。

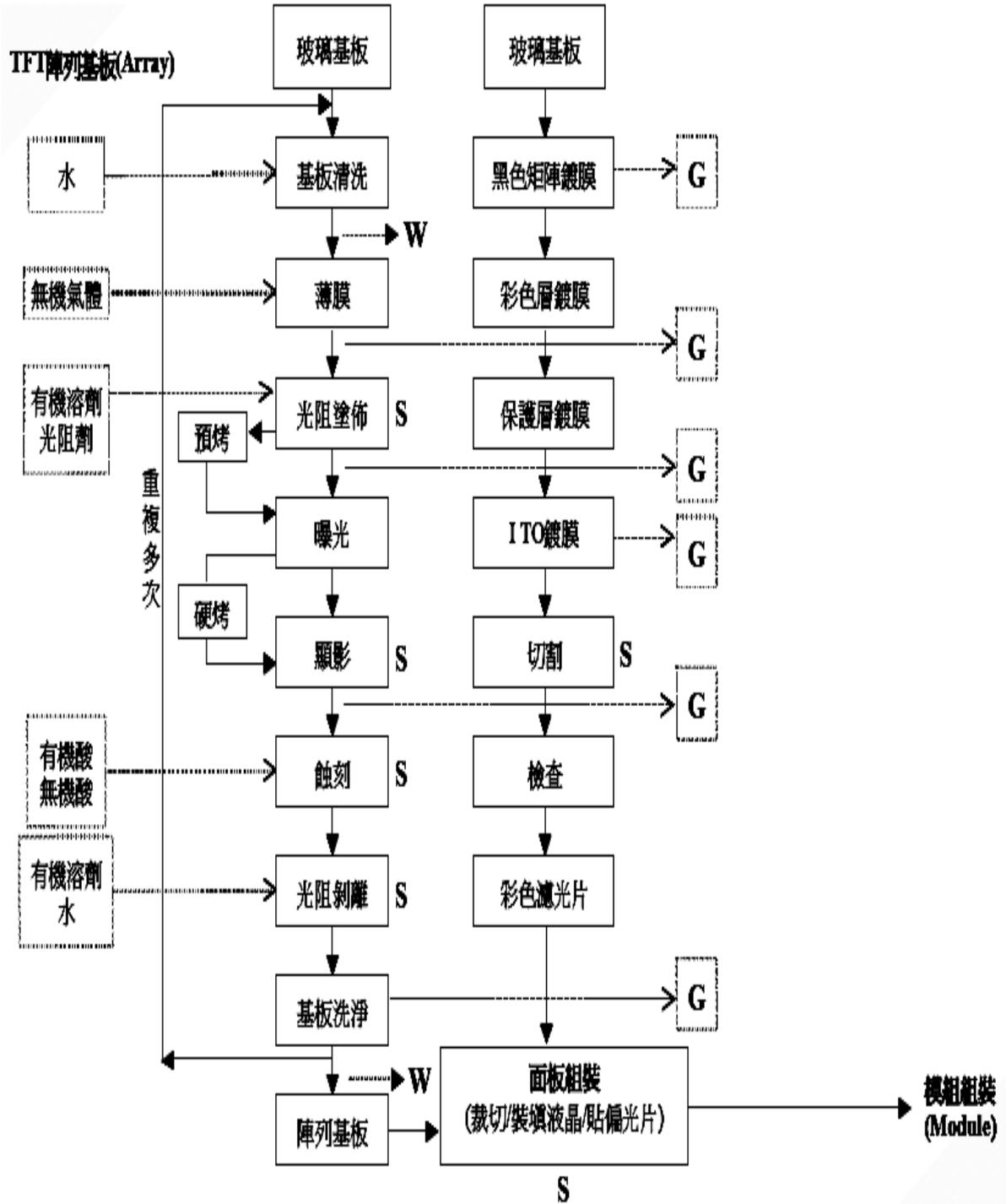
2.1.3 TFT-LCD 廢棄物概述



TFT-LCD 其廢棄物主要來自製程不良品、邊料及相關廢棄物，圖 2-3

[4] 為 TFT-LCD 製程流程及各製程產生之污染源，主要計有以下種類：

1. 顯影階段產生之廢顯影液。
2. 製程清洗產生大量廢異丙醇及丙酮。
3. 光阻剝離階段產生之廢去光阻劑。
4. 蝕刻階段產生廢蝕刻液。
5. 製程品管淘汰之面板玻璃。
6. 製程廢水處理產生之污泥等。



S: 代表廢棄物, W: 代表廢水, G: 代表廢氣

圖 2-3 TFT-LCD 製程及污染源

資料來源: 經濟部資源化產業資訊 [4]

國內 TFT-LCD 產業投資額均在數百億以上，廢棄物處理與污染防制設施之費用，約佔投資總額的 1~3% 左右。在廢棄物處理方面，除符合廢棄物清理法外，亦積極導入回收再利用之技術，降低廢棄物之清除處理成本與提升企業環保形象，TFT-LCD 製造業其主要廢棄物種類與清理現況如表 2-1 所示〔4〕。

而回收再利用部分，依據科學園區管理局統計〔5〕，94 年 TFT-LCD 製造業事業廢棄物產生量為 18267.8 公噸/年，再利用率為 65.8%。各類製程 94 年度再利用統計彙整如表 2-2。其中前三大廢棄物產生者為 C-0301(廢液閃火點小於 60°C)、D-0901(有機性污泥)及 C-0202(pH 值小於等於 2.0)，其總產生量合計為 13,902.6 公噸/年，佔光電產業廢棄物總量 61.7%，其再利用率 66.3%，主要以純化及輔助燃料方式進行再利用。而本研究探討之光電廠即利用回收系統回收光阻剝離階段產生之廢去光阻劑，可減少廢液產生量達 85% 以上。

2.1.4 去光阻劑供應及回收流程

TFT-LCD 製程世代交替，玻璃基板面積亦隨之變大，相對各項化學品之耗量亦增加，本研究探討之去光阻劑亦同，表 2-3〔2〕為各世代製程去光阻劑消耗量，從表知 TFT-LCD 製程從 3 代廠至 7 代廠，去光阻劑用量已大量增加約 6 倍。為減低製造成本與提高競爭力，目前各製造廠均朝

表2-1 TFT-LCD 製造業主要廢棄物與清理現況

廢棄物種類		清理現況
特殊化學品類	廢稀釋劑	多數廢棄物產生廠商採取逆向回收再利用方式，並依法*申請通案或個案再利用
	廢正乙酸丁酯	多數廢棄物產生廠商採取逆向回收再利用方式，並依法*申請通案或個案再利用
	廢剝離液	多數廢棄物產生廠商採取逆向回收再利用方式，並依法*申請通案或個案再利用
廢丙酮或異丙醇		委託合格代處理業處理或依法*或**焚化或再利用處理
廢酸類	廢鋁蝕刻液	依法*申請通案或個案再利用處理
	廢鉻蝕刻液	依法*申請通案或個案再利用處理
廢面板玻璃	廢素玻璃	依公告再利用方式***逕行再利用
	廢黑玻璃	大部分廢棄物產生廠商採取委託合法清理機構清除處理
	廢液晶玻璃	大部分廢棄物產生廠商採取委託合法清理機構清除處理
廢印刷電路板		大部分廢棄物產生廠商採取委託合法清理機構清除處理
廢水處理處理後之衍生污泥		多數廢棄物產生廠商依法*申請通案或個案再利用處理
一般廢棄物及垃圾		部分廢棄物依公告再利用方式***逕行再利用；非可再利用者採取委託合法清理機構清除處理
註：*「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」 **「水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則」 ***「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」		

資料來源：參考經濟部資源化產業資訊〔4〕自行製作

表2-2 94年光電顯示器製造業各類製程再利用情形

製程	產生量 (公噸/年)	再利用量 (公噸/年)	再利用率(%)
液晶顯示器製程(TFT-LCD)	18,267.80	12,018.90	65.8
發光二極體製程(LED)	506.8	247.6	48.9
其他	3,768.70	682.5	18.1
合計	22,543.30	12,949.10	57.4

資料來源:科學工業園區管理局 園區事業廢棄物再利用資訊網 [5]



表2-3 各世代製程去光阻劑消耗量

	G3	G4	G5	G6	G7
玻璃基板尺寸 (mm X mm)	550 X 650	680 X 880	1120 X 1250	1500 X 1850	2000 X 2100
去光阻劑消耗量 (L/pcs)	0.8	1.5	2.5	3.5	5
產能60k耗量 (L/day)	1600	3000	5000	7000	10000

資料來源:奈米通訊 [2]

降低使用量及引進去光阻劑回收系統(Stripper Recycle System ,簡稱 SRS)設置，設置現況說明如表 2-4 [6]，其一方面將可利用之資源重複利用，另一方面降低廢棄物產生，對環境保護亦是一項貢獻。

TFT-LCD 實廠去光阻劑化學品，一般皆使用自動供應設備直接由去光阻劑桶槽供應至製程機台，製程機台使用後排出之廢液分為二類：一類為高濃度去光阻劑廢液，經統一收集後進行回收；一類為經過超純水洗淨後之低濃度去光阻劑廢水，進入廠區廢水廠進行處理，符合排放標準後，再放流至廠外，其整廠供應及回收流程如圖 2-4 所示，說明如下 [2]：

a. 製程機台(Stripper Machine)：



玻璃基板經過清洗基台洗淨後經薄膜長晶製程、光阻塗佈、曝光、黃光微影製程、乾濕蝕刻製程，最後需將表層之光阻清除。Strip 製程即是將前段製程使用之光阻進行剝離。

b. 去光阻劑供應系統(Stripper Supply System)：

去光阻劑供應系統待製程設備發出需求訊，驅動供應系統之動力源(泵及氮氣)，將化學品輸送至製程機台。

c. 去光阻劑新液(New Stripper)：

去光阻劑新液由供應商以槽車(lorry)運送到廠區，將新液輸送到去光阻劑新液儲槽。

d. 去光阻劑回收儲槽(Waste Recycle Tank)：

收集製程設備排下之高濃度廢液，儲存後回收或委外清運。

e. 去光阻劑回收系統(Stripper Recycle System)：

製程使用後回收之去光阻劑組成含有光阻、不純物(impurity)、水份(moisture)及雜質顆粒(particle)等，去光阻劑回收系統(Stripper Recycle System，簡稱 SRS)之目的即為將使用後回收之去光阻劑中光阻、不純物(impurity)、水份(moisture)及雜質顆粒(particle)分離去除。因去光阻劑於製程設備使用後，其組成比率已與新液不同，故需使用濃度調整系統(Stripper Mixing System)，將回收液之組成調整與新液一致。

f. 去光阻劑濃度調整系統(Stripper Mixing System)：

調整回收去光阻劑之濃度比率，使其達到製程需求規格。例如本研究探討之光電廠去光阻劑之濃度需求規格為 MEA(2-Aminoethanol):70%±3%，DMSO(Dimethyl Sulfoxide):30%±3%。符合規格之化學品輸送至供應系統，完成循環。

g. 廢液儲槽(Waste tank)：

儲存回收設備排放出之廢液，此廢液再回收之經濟效益不高，通常均為委外清運(waste lorry system)作為燃料。

h. 濃度微調化學品供應系統(Mixing Chemical System)：

供應去光阻劑濃度調整系統於濃度微調時所需之化學品。

表2-4 國內TFT-LCD 製造廠之SRS使用現況

Company		Location	Generation	Capacity of SRS (L/hr)
中華映管	FAB I	桃園	3.0	無
	FAB II	桃園	4.0	無
	FAB III	龍潭	5.0	無
友達光電	AU-5	新竹	3.5	150
	AU-6	龍潭	4.0	180
	AU-8	龍潭	5.0	440
	AU-10	台中	6.0	1000
瀚宇彩晶	HannStar-1	楊梅	3.0	180
	HannStar-2	楊梅	3.0	
	HannStar-3	台南	5.0	500
奇美光電	CMO-1	台南	3.5	180
	CMO-2	台南	4.0	無
	CMO-3	台南	5.0	無
	CMO-4	台南	5.5	1000
元太光電	Prime View	竹南	2.0	無
廣輝電子	QDI-1	林口	3.5	無
	QDI-2	林口	4.0	無
	QDI-3	林口	5.0	無
群創光電	Innolux	竹南	5.0	250
統寶光電	Toppoly	竹南	3.5	250

資料來源：光電平面面板顯示器基本概論〔6〕

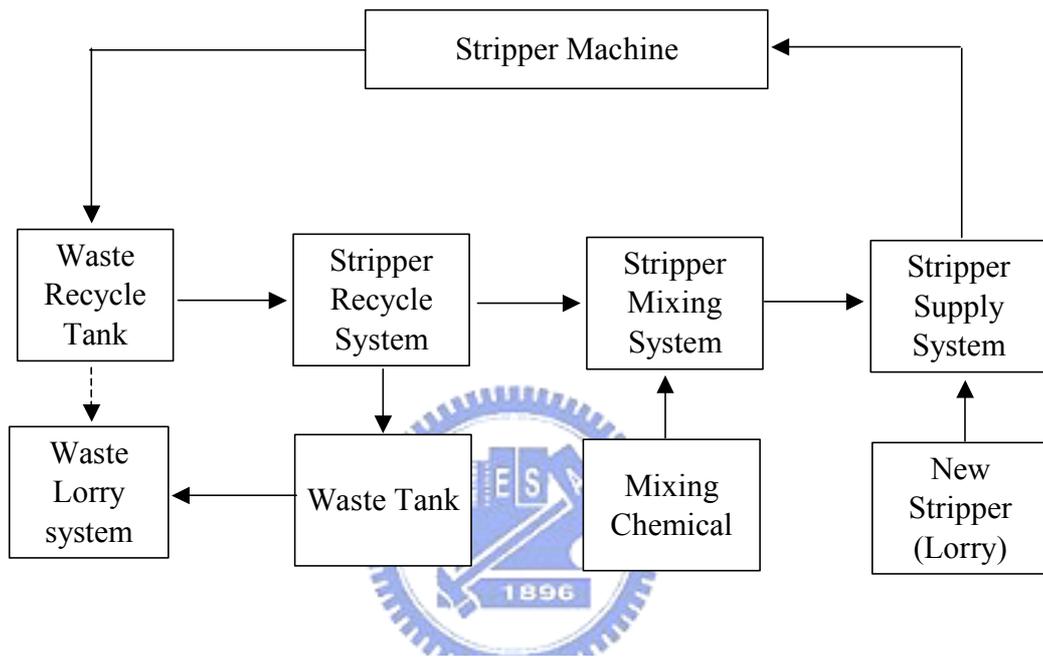


圖 2-4 去光阻劑供應及回收流程圖

資料來源:參考奈米通訊 [2] 自行繪製

2.2 薄膜蒸發器介紹

2.2.1 薄膜蒸發器簡介

本研究所探討之薄膜蒸發器(Thin Film Evaporator, 簡稱TFE)主要結合刮膜式蒸發器及落膜式分子蒸餾器兩大系統[7]。

1. 刮膜式蒸發器:

刮膜式蒸發器常作為化工製程中，處理因受限於熱質傳過小的高黏度、高分子物質，並且具有非常短的滯留時間特性，可避免在處理過程中產生熱裂解的現象，刮膜式蒸發器的組成元件及原理，如圖2-5。其組成元件包括[8][9]:



- (1). 提供熱源(大部分為蒸氣)的熱夾套。
- (2). 具分散盤之罐體，分散盤之目的為均勻的使進料沿罐體管壁流下。
- (3). 馬達轉動設備。
- (4). 與軸心成一適當角度的刮板

其操作原理為利用蒸氣提供熱量，馬達帶動刮板推動流體，並將器壁上的液體刮成薄膜以增加熱質傳的效果，於是熱側熱量即通過管壁傳遞給冷側流體以提供其蒸發所需之熱量。

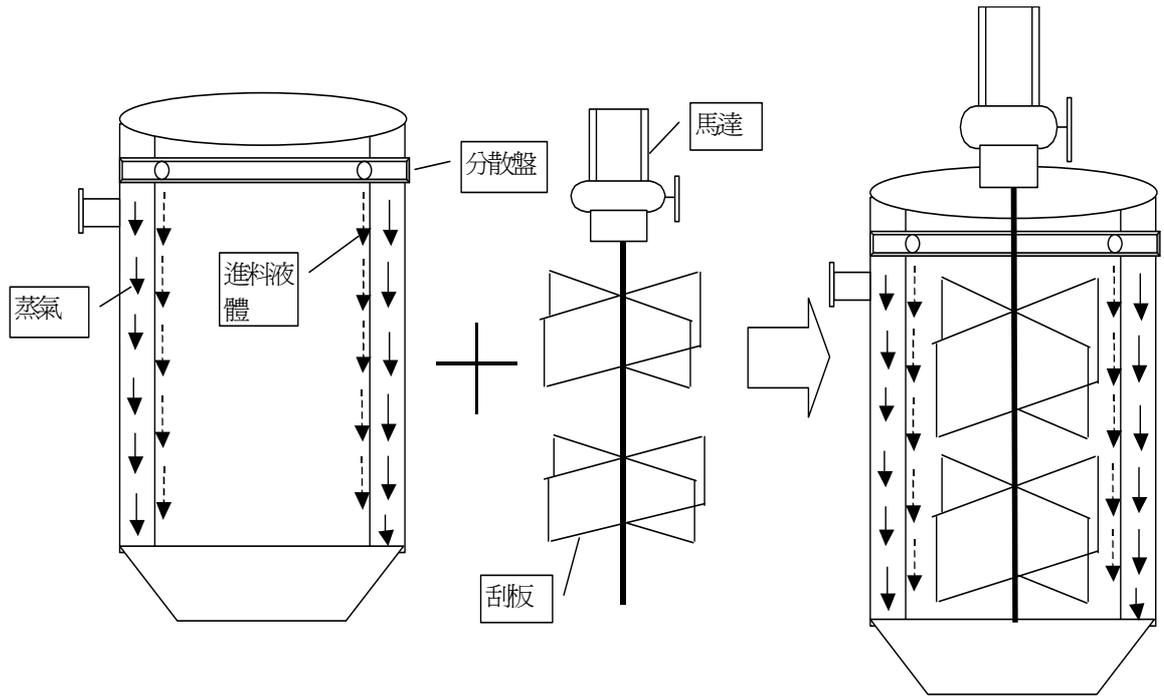


圖 2-5 刮膜式蒸發器的組成構造簡圖

資料來源:參考文獻黃國華〔7〕自行繪製

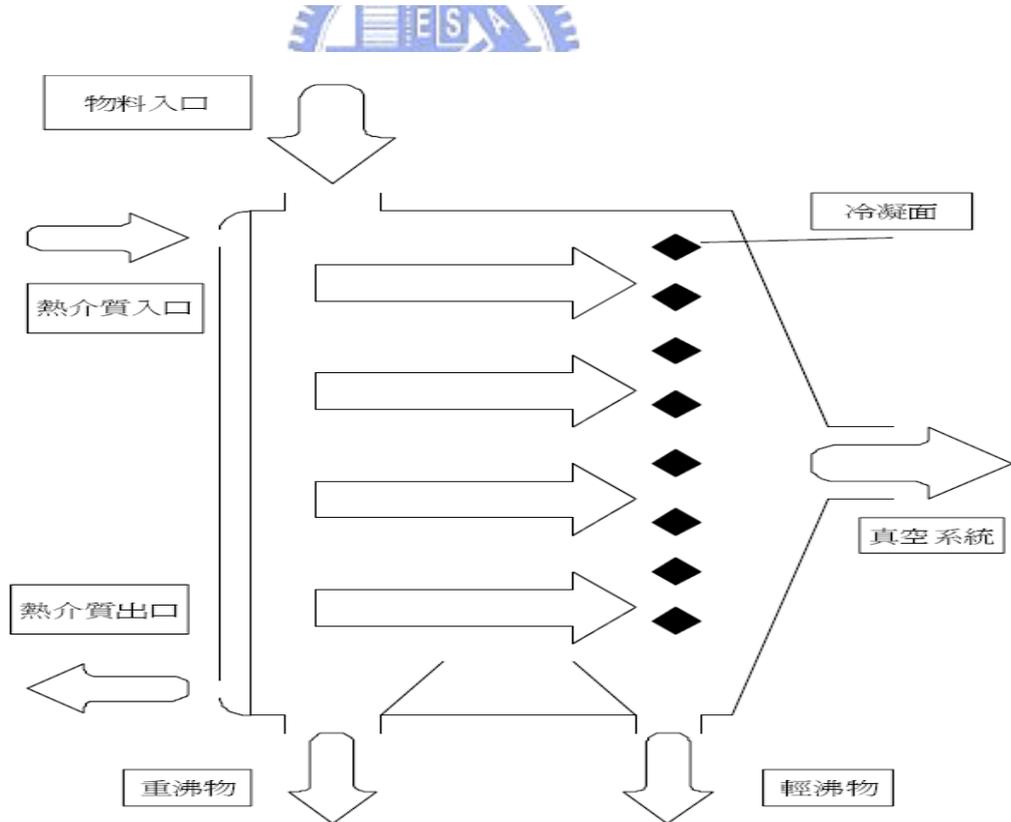


圖 2-6 分子蒸餾基本原理示意圖

資料來源:黃國華〔7〕

2. 落膜式分子蒸餾:

刮膜式蒸發器主要是利用液氣平衡時，進行質量的傳遞，而分離物質最終會趨近於平衡濃度，無法達到將物質完全分離的作用，因此將系統抽高真空以達分子蒸餾的程度便可克服上述缺點。分子蒸餾是進行液-液分離與純化的重要單元操作，是為一種對高沸點、熱敏性物料進行有效的分離手段[10]。分子蒸餾的原理為不同種類的分子，由於其分子有效直徑不同，其平均自由程也不相同，換句話說，不同種類的分子逸出液面後不與其他分子碰撞的飛行距離是不相同的，輕分子的平均自由程大，重分子的平均自由程小，若在離液面小於輕分子的平均自由程而大於重分子平均自由程處設置一冷凝面，使得輕分子落在冷凝面上被冷凝，而重分子因達不到冷凝面而返回原來液面，達到分離之效果[11]，其原理示意可參考圖 2-6 [7]，故分子蒸餾技術能使液體在遠低於其沸點的溫度下將其分離，特別適用於高沸點、熱敏性及易氧化物系的分離。由於其具有蒸餾溫度低於物料的沸點、蒸餾壓力低、受熱時間短、分離程度高等特點，因而能大大降低高沸點物料的分離成本。

分子蒸餾系統通常包括真空排氣系統、脫氣裝置及分子蒸餾器本體三部分，分子蒸餾器為主要的核心裝置，除了需具有密閉、不透氣的特性外，對於不同的目標產物，亦有不同的分子蒸餾器可選擇[12]。大致上可分為

落膜式與離心式等兩種方式，本研究探討之光電廠薄膜蒸發器所使用者即為前者。落膜式分子蒸餾其藉由重力的作用，物料連續進入由加熱壁上形成薄膜流下，物料滯流在蒸發器的時間比靜止式分子蒸餾的時間縮短許多，但因液體無法完全均勻分佈在加熱壁上形成厚度大小均一的薄膜，再者物料流動時常有翻動的現象，造成飛濺至冷凝面上。因此需結合刮膜式蒸發器以轉動刮板強制將下流的液體進料刮成厚度大小相同的薄膜，這樣便可保證液體覆蓋的均勻性，又可使液體充分的攪動而達到混合的效果，進而增加熱質傳的效率。



2.2.2 蒸發器熱傳原理

蒸發乃是溶液受熱，當溫度高於沸點溫度時由液相轉變成氣相的一種現象。蒸發的目的在化學工廠中，常作為物料的濃縮或物質的純化，而其操作基本上之要素為連續供給熱能和不斷的去蒸氣，這其實是一種熱交換，故蒸發器其實就是一種熱交換器，提供熱能使物質產生相變化由液相轉變為氣相。

熱交換器的主要用途乃藉由溫差進行能量的交換(此處的能量以熱量為主)，在無外力控制下，熱量乃由溫度較高的工作流體傳至溫度較低的工作流體，而熱量傳遞的方式可歸納為傳導(conduction)、對流(convection)與輻射(radiation)，這幾種熱傳模式又各自有不同的基本定律，詳見表 2-5 之說明 [13] 。

熱傳導(conduction)可視為分子間相互碰撞，較活潑之分子會將能量傳遞給較不活潑之分子，利用傅立葉定律(Fourier's Law)可以量化熱傳遞的過程，其可表示為

$$q_x = k \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2-1)$$

其中 $q_x(\text{W}/\text{m}^2)$ 為熱通量，表示在 x 方向每單位垂直熱傳方向面積的熱傳率，且與 x 方向的溫度梯度成正比， $k(\text{W}/\text{m} \cdot \text{K})$ 為熱傳導係數(thermal conductivity)，此比例常數通常僅為材料特性值，可假設與距離 x 及溫度 T 無關，而熱必由高溫傳至低溫，圖 2-7 為在穩態情況下，管壁內熱傳導溫

度變化圖。

熱對流(convection)為流體整體或巨觀的移動，亦即在任意瞬間，大量分子同時移動，在溫度梯度存在下，這種運動將造成能量傳遞，牛頓冷卻定律(Newton's cooling Law)可以量化熱傳遞的過程，其可表示為

$$Q = qA = hA\Delta T \quad (2-2)$$

其中 $Q(W)$ 為熱傳量， $q(W/m^2)$ 為熱通量與界面及流體間的溫度差成正比， $h(W/m^2 \cdot K)$ 為對流熱傳係數(heat transfer coefficient)，此比例常數與邊界層的狀況有關，而受到諸如表面形狀、流體運動狀況與流體熱力學及輸送性質因數影響而非定值〔14〕，圖 2-8 為熱對流熱傳示意圖。

以熱交換器而言，熱傳之模式通常包含熱側與冷側兩種工作流體的熱對流與熱交換器本體的熱傳導，圖 2-9 即為簡單熱交換器兩側熱傳示意圖，考量如圖 2-9 所示，熱通量可表示如下：

$$q_1 = h_1(T_h - T_{w1}) \quad (2-3)$$

$$q_w = k \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta X} \quad (2-4)$$

$$q_2 = h_2(T_{w2} - T_c) \quad (2-5)$$

表2-5 熱傳模式說明

熱傳模式	熱傳機制	基本定律
傳導	分子在短距離碰撞	Fourier Law
對流	流體本身運動	Newton's cooling Law
輻射	光子傳遞	Stefan-Boltzmann Law

資料來源：王啟川，熱交換器設計(I)〔13〕

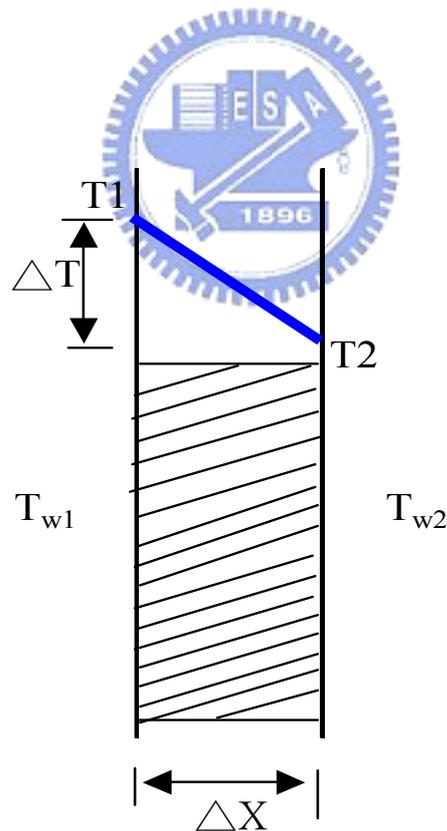


圖2-7 管壁內熱傳導溫度變化圖

資料來源：王啟川，熱交換器設計(I)〔13〕

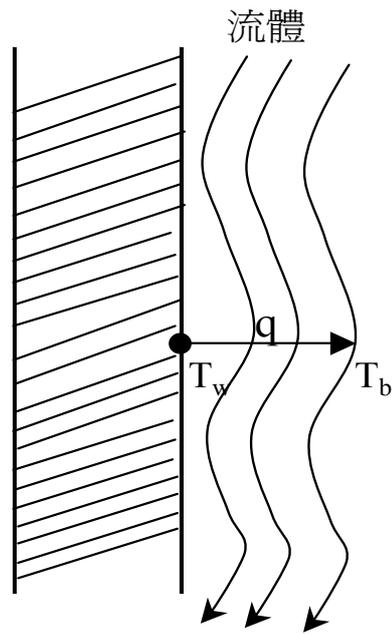


圖2-8 熱對流熱傳示意圖

資料來源：王啟川，熱交換器設計(I)〔13〕

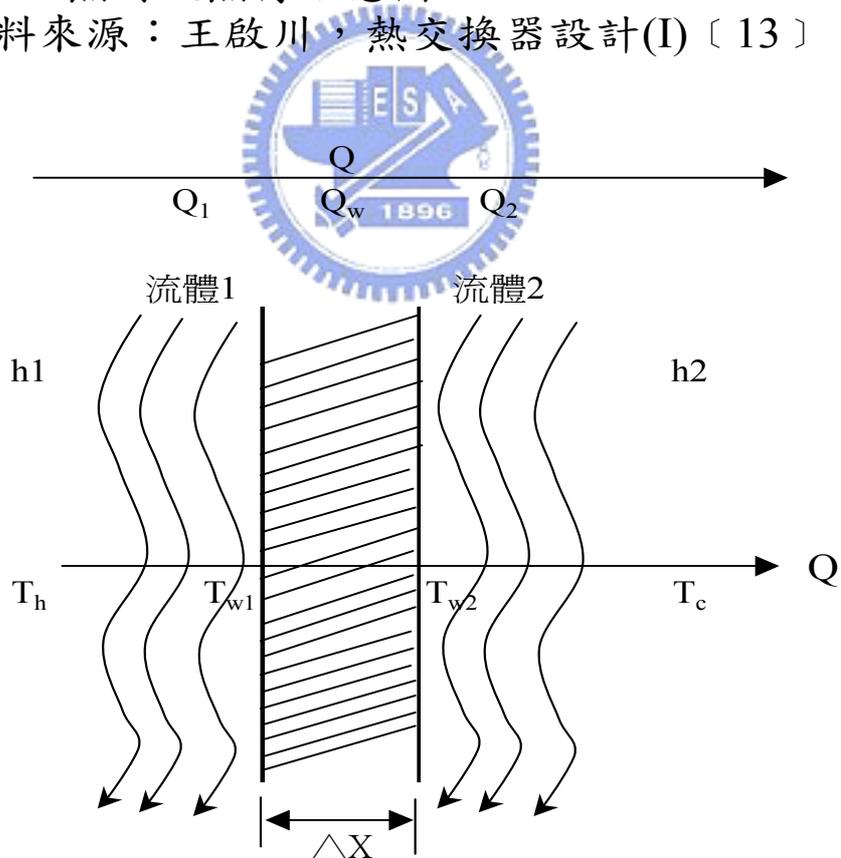


圖2-9 熱交換器兩側熱傳示意圖

資料來源：王啟川，熱交換器設計(I)〔13〕

所以在流體1、交換器本體、流體2三區的热傳量 Q_1 、 Q_w 、 Q_2 分別為:

$$Q_1 = q_1 A_{w1} = h_1 A_{w1} (T_h - T_{w1}) \quad (2-6)$$

$$Q_w = q_w A = kA \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta X} \quad (2-7)$$

$$Q_2 = q_2 A_{w2} = h_2 A_{w2} (T_{w2} - T_c) \quad (2-8)$$

在穩定狀態下熱傳量是平衡的，其符合表面能量守恆，故

$$Q_1 = Q_w = Q_2 = Q \quad (2-9)$$

改寫式(2-9)如下:



$$Q = h_1 A_{w1} (T_h - T_{w1}) \longrightarrow \frac{Q}{h_1 A_{w1}} = (T_h - T_{w1}) \quad (2-10)$$

$$Q = kA \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta X} \longrightarrow \frac{Q}{kA/\Delta X} = (T_{w1} - T_{w2}) \quad (2-11)$$

$$Q = h_2 A_{w2} (T_{w2} - T_c) \longrightarrow \frac{Q}{h_2 A_{w2}} = (T_{w2} - T_c) \quad (2-12)$$

將式2-10、2-11、2-12加總可得

$$\left[\frac{1}{h_1 A_{w1}} + \frac{1}{kA/\Delta X} + \frac{1}{h_2 A_{w2}} \right] Q = (T_h - T_c) \quad (2-13)$$

$$Q = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_1 A_{w1}} + \frac{1}{kA/\Delta x} + \frac{1}{h_2 A_{w2}} \right]} (T_h - T_c) \quad (2-14)$$

UA

其中U一般習稱為總熱傳係數，A為參考面積，所以

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_1 A_{w1}} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A_{w2}} \quad (2-15)$$

由於本研究之蒸發器參考面積 $A = A_{w1} = A_{w2}$ ，故式2-15又可簡化為

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2} \quad (2-16)$$

由式2-14知，冷熱兩側流體溫差將影響熱傳量，亦即溫差越大則可由熱側流體傳遞至冷側流體之熱傳量則越大。另由式2-16知，影響蒸發器之總熱傳係數因子為冷熱兩側流體對流熱傳係數(heat transfer coefficient)及蒸發器本體厚度及熱傳導係數(thermal conductivity)。

2.2.3 影響薄膜蒸發器效能因素

薄膜蒸發器常使用於高黏度流體，Biesenberger and Sebastian [15] 在文章中曾提到薄膜蒸發器黏度的適用範圍可由1 poise 至 10^5 poise。但若處理過高黏度物質時，將降低質傳效率，使消耗功率增加，造成操作成本提高。

Mckenna [16] 曾在假設液體薄膜厚度為固定條件下，以質傳觀念探討不同轉速、進料量、進料濃度、刮板數、罐體高度與內徑比等，而發展出攪拌式薄膜蒸發器(Agitated Thin Film Evaporator，簡稱ATFE)之設計模式。



蔡明錫 [17] 在蒸發器最適化設計上，提出具回流效應的系統數學模式，探討回流效應影響分離效率的大小。並比較串聯與並聯式多效蒸發罐最適化問題。最後探討抽真空下熱敏性物質分子蒸餾的溫度效應，並於附錄建立高黏度分子蒸餾數學模式，以供未來研究高黏度分子蒸餾系統分析。

而黃國華 [7] 亦曾以Mckenna [16] 及蔡明錫 [17] 理論模式當基礎探討改變刮板傾斜角度、罐體高度與內徑比，對分離效率與消耗功率的影響。發現當刮板傾斜角度愈大時，分離效率愈高，但消耗功率亦相對地提高。當高度與內徑比愈大時，可獲得較高純度的物質，但所消耗功率恰

與出口濃度的結果相反，即比例愈大，消耗功率愈低。

井長慧 等〔18〕指出影響攪拌式薄膜蒸發器(Agitated Thin Film Evaporator，簡稱ATFE)之性能因子為滯留時間、熱傳性能及質傳性能，並以實驗測試整理出設計方程式。

2.3 田口方法(Taguchi Method)

田口方法(Taguchi Method，或稱田口式品質工程)是田口玄一(Taguchi Genichi)博士於1950年代所開發倡導。利用簡單的直交表實驗設計與簡潔的變異數分析，以少量的實驗數據進行分析，可有效提昇產品品質，遂於日本工業界迅速普及，稱之為品質工程(Quality Engineering)，歐美一般稱之為田口方法(Taguchi Method)。田口方法有新、舊之分，新方法在日本名為『田口品質工程』，在美國則名為『田口方法』，在台灣則沿用日本的命名法。舊方法則一致被稱之為『實驗計劃法』(Design of Experiments，簡稱DOE)。在實驗結果數據方面，新方法以S/N比取代舊方法的直接處理數據，並不需要進行變異數分析，而舊方法需要進行變異數分析。另舊方法(DOE)會考慮交互作用，而新方法則不需考慮交互作用。

田口方法(Taguchi Method)其是較近似於工程的方法，又稱為穩健性設計(Robust Design)，除了各因子的主效應外，乃在尋求各因子間交互作用對輸出回應的最佳化，為一工程最佳化的策略，其應用在一產品/製程設計的

初期階段最有效用，而其最大的特點在於以較少的實驗組合，取得有用的資訊。雖不如全因子法真正找出確切的最佳化位置，但能以少數實驗便能指出最佳化趨勢，可行性遠大於全因子法。

2.3.1 複因子多水準實驗方法簡介

實驗中通常會有多個因子(factor，如製程參數)，每個因子可設定之參數值我們稱之為水準，例如:當我們進行實驗探討蒸氣壓力(4.2 kg/cm^2 、 5.0 kg/cm^2)、轉速(40rpm、50rpm、58rpm)及進料量(160L/hr、180L/hr、200L/hr)對薄膜蒸發器熱質傳性能之影響時，我們稱此實驗具三因子多水準共 $2^1 \times 3^2=18$ 組實驗組合，一般複因子多水準實驗方法有以下四種，分述如下:

1. 最佳猜測途徑:

根據這一次實驗的結果而在下一次的實驗中改變一個(或二個)因子的水準，稱之最佳猜測途徑(best-guess approach)或散彈槍的方式(shot gun approach)，為傳統上大部分科學家和工程師採用的實驗策略，缺點為可能進行很長一段時間沒有任何結果、可接受的結果不能保證是最佳的、且完全沒有學習 [19]。

2. 單因子實驗法:

另一個為實務界大量使用的實驗方法為單因子實驗法(single factor experiment，One-factor-at-a-time)，其方法為實驗的進行一次改變一個因子(如因子A)的水準，而固定其他因子，由所得結果決定因子A的最佳

水準(設為A2)，其次將因子A固定於A2，變換B因子(或C因子、D因子...)之各水準(B1, B2, B3, ...), 餘此類推，這種實驗的主要缺點為未能考慮介於因子間的任何可能之交互作用(interaction)，故將造成實驗結論的再現性差；所謂交互作用指的是一個因子無法在另一個因子的不同水準對回應變數產生相同的效果時，當因子間存在著交互作用時，即各因子的效果非加法性質，容易造成錯誤的結果。

3. 全因子法:

所有因子水準的組合均在實驗中出現，因子或水準愈多，所需的實驗愈多，花費的時間、精力或成本也愈多，可行性愈低。

4. 田口直交表:

田口直交表以 $L_a(b^c \times d^e)$ 表示，代表共有a組實驗，其中最多可容納b個水準的因子c個，d個水準的因子e個，而L取自拉丁方格之英文第一個字母Latin〔20〕〔21〕，例如常用的 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 即代表共有18組實驗，其中最多可容納2個水準的因子1個，3個水準的因子7個(在全因子試驗中需有 $2^1 \times 3^7 = 4,374$ 組實驗)，舉表2-6來說明 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表內代表之意義。由表可知行數為7，故最多可容納之因子個數為7個編號A~G，但選用直交表時並非每一行皆需使用，若可控制因子不多時無法填滿行數時，可留空不用作為誤差項分析使用。例如列表於2-6僅有三個控制因子分別為a(蒸氣壓力)、b(轉速)、c(進料量)，可選擇列於編號A~C三

行，其餘行數D~G則留空不用作為誤差項，為避免直交表因子編號A~G與控制因子a、b、c混淆，通常將控制因子a、b、c稱為”成分”。

2.3.2 S/N比的概念

田口方法又稱為穩健性設計(Robust Design)。穩健性為穩健性設計的中心目標，田口博士認為信號/誤差比(Signal-to-Noise，S/N比)為穩健性唯一的評估標準，S/N比愈高，品質愈好。所謂S/N比，原是通訊中經常使用的用語，即信號雜訊比(Signal to Noise Ratio)。在田口式實驗設計中，S/N比是用來當作特性值的解析，探討特性的變異(誤差)大小，用以衡量品質的穩定性。利用不同實驗水準組合，探討其實驗結果之特性值的平均與變異，使品質特性變異小，以達品質改善之效，並依據需求選擇適當之品質特性作為目標標準，進而找出最佳操作條件。品質特性一般可分為望大特性、望小特性、望目特性等。S/N比分析計算方法如下〔22〕：

1. 望大特性(The -Larger-The-Better)

望大特性是指非負數值且值越大越好的特性；亦即，當平均值越大，變異越小的傾向。在本研究中蒸發率即為越大越好的特性。

$$S/N = \eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (2-17)$$

其中，n 為重複實驗數；y_i 為實驗結果值。

表2-6 L18(2¹×3⁷)直交表展開示意

	因子						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3
5	1	2	2	2	3	3	1
6	1	2	3	3	1	1	2
7	1	3	1	2	1	3	3
8	1	3	2	3	2	1	1
9	1	3	3	1	3	2	2
10	2	1	1	3	3	2	1
11	2	1	2	1	1	3	2
12	2	1	3	2	2	1	3
13	2	2	1	2	3	1	2
14	2	2	2	3	1	2	3
15	2	2	3	1	2	3	1
16	2	3	1	3	2	3	2
17	2	3	2	1	3	1	3
18	2	3	3	2	1	2	1
	a 蒸氣壓力	b 轉速	c 進料量	不用	不用	不用	不用

本行代表最大可容納因子數

代表水準

成分

本列代表實驗組數

代表因子a 代表因子b 代表因子c

2. 望小特性(The -Smaller-The-Better)

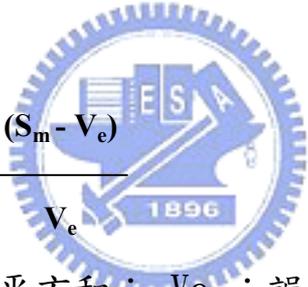
望小特性是指非負數值且值越小越好的特性；亦即，當平均值越小，變異越小的傾向。

$$S/N = \eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (2-18)$$

其中， n 為重複實驗數； y_i 為實驗結果值。

3. 望目特性(The -Nominal-The-Better)

以有限的目標值為最適當，不希望在任何地方發生變異的特性值，稱之為望目特性。


$$S/N = \eta = 10 \log \frac{1}{n} \frac{(S_m - V_e)}{V_e} \quad (2-19)$$

其中， S_m ：平均偏差平方和； V_e ：誤差變異數。

2.3.3 變異數分析〔23〕

用直交表來作實驗最大的好處就是可減少實驗次數，其奧妙之處在於將各種因子的影響都擠壓在同一個樣本上，但實驗之後的數據就必須使用變異數分析法（Analysis of Variance，簡稱ANOVA）再還原成各因子本來的面目。變異數分析是奠基在偏差平方和的理論基礎上。長久以來，統計學家就證實了當一元配置時：

$$S_T = S_A + S_e$$

S_T : 總偏差平方和

S_A : A 因子各水準之偏差平方和

S_e : 誤差平方和



這種統計理論可以圖2-10表示。透過圖2-10的幫助可更容易明白，當任何一組數據在未被分解之前，其 S_T 就已經存在了，故分解之目的主要就是希望能看出到底 S_T 主要是由 S_A 造成的？還是由 S_e 造成的？如果 S_T 主要是由 S_A 造成的，那麼基本上可以認為：A因子對最後結果有相當大的影響，反之，A因子對結果的影響則不顯著了。

以上這種邏輯雖然是ANOVA的基礎，但是卻並非ANOVA的全貌，若回到偏差平方和的原點，偏差平方和 S 應為：

$$S = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (2-20)$$

因此可以得知若樣本（n）愈多， S 一定會增加，因此，若只從 S_A 或 S_e 來判

斷A因子是否顯著，而不問樣本大小(n)之影響，則有失其公允性，統計學家因此又導出不偏變異數的理論，其公式如下：

$$V_A = S_A / \Phi_A \quad (2-21)$$

V_A : A因子的不偏變異數(所謂不偏變異數，就是指不受到樣本大小影響之變異數)

S_A : A因子之偏差平方和

Φ_A : A因子之自由度(通常是A因子的水準數減1)

同理：

$$V_e = S_e / \Phi_e \quad (2-22)$$

由於 V_A 及 V_e 都分別過濾掉了“n”的膨脹效應，因此，可以作出更公平的比較。此一比較可表示如下：

$$F_A = V_A / V_e \quad (2-23)$$

以上之 F_A 愈大就表示A因子影響愈顯著，若設定冒險率(通常取5%或1%)，那麼查F分配表就可以獲得F值，只要 F_A 大於F值那就表示A因子對結果有顯著影響。以上這種推理過程就是ANOVA的基本想法。



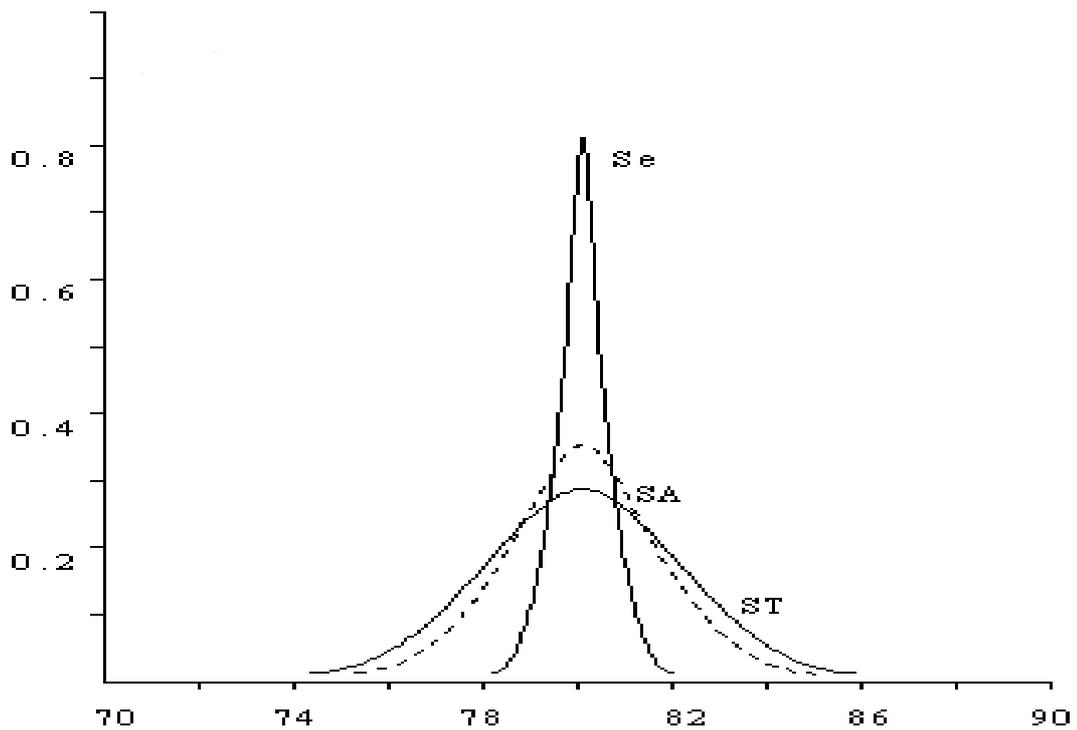


圖 2-10 偏差平方和組成示意圖

資料來源：尋智顧問有限公司網站〔23〕



2.3.4 田口方法的執行及應用

田口方法的實施步驟可分為下列十項〔24〕〔25〕〔26〕：

1. 選定品質特性。
2. 判定品質特性之理想機能。
3. 列出所有影響此品質特性的因子。
4. 定出信號因子的水準。
5. 定出控制因子的水準。
6. 定出干擾因子的水準，必要的話，進行干擾實驗。

7. 選定適當的直交表，並安排完整的實驗計劃。
8. 執行實驗，記錄實驗數據。
9. 資料分析。
10. 確認實驗。

重覆以上步驟，直到達到最佳的品質及性能為止。

田口方法的優點是用部分實驗來代替全因子、多水準的全組合方案試驗，可取得同樣或相似的效果，從而可以大大節省人力、財力、物力和時間。目前已廣泛被應用，如：陳弘哲〔27〕曾以田口方法探討鑽頭研磨參數對鑽削性能與鑽孔品質之影響。郭信川等人〔28〕就採用L18($2^1 \times 3^7$)直交表對船口角隅形狀之參數進行最適化，並同時檢討直交表之使用。



三、研究方法

3.1 研究流程

本研究之研究流程如圖3-1所示，本研究應用田口方法之直交表進行光電廠去光阻劑回收系統中薄膜蒸發器單元之參數調整，並利用田口方法進行實驗資料分析，並比較田口方法與全因子實驗法之差異，最後進行實廠改善效益追蹤，茲將本研究流程條例說明如下：

1. 首先收集有關TFT-LCD產業、去光阻劑供應及回收及田口方法應用相關文獻。
2. 收集本研究案例之光電廠去光阻劑回收系統現況相關資料。
3. 選擇薄膜蒸發器效能之評估指標。
4. 依據文獻列舉出影響蒸發率所有因子並依現況篩選可控因子。
5. 從本研究案例之光電廠實際設備，說明可控因子之設定值調整範圍及調整方式，並進行初步實驗以決定可控因子之設定值調整方向。
6. 選定可控因子及水準，並選擇 $L18(2^1 \times 3^7)$ 直交表進行實驗組合配置。
7. 依據 $L18(2^1 \times 3^7)$ 直交表進行實驗組合配置，改變可控因子及水準，進行實驗並記錄。
8. 依據實驗結果進行S/N比計算、回應值計算、回應圖繪製及變異數分析，以求得最佳操作條件。

9. 利用最佳操作條件進行確認實驗，並計算實際值與理論值誤差，誤差率若小於5%，則表示確認實驗成功，亦即本研究因子水準選定並無偏差。
10. 最後進行田口方法與全因子實驗法所得結果之差異分析，並進行本研究案例之光電廠實廠改善效益說明。



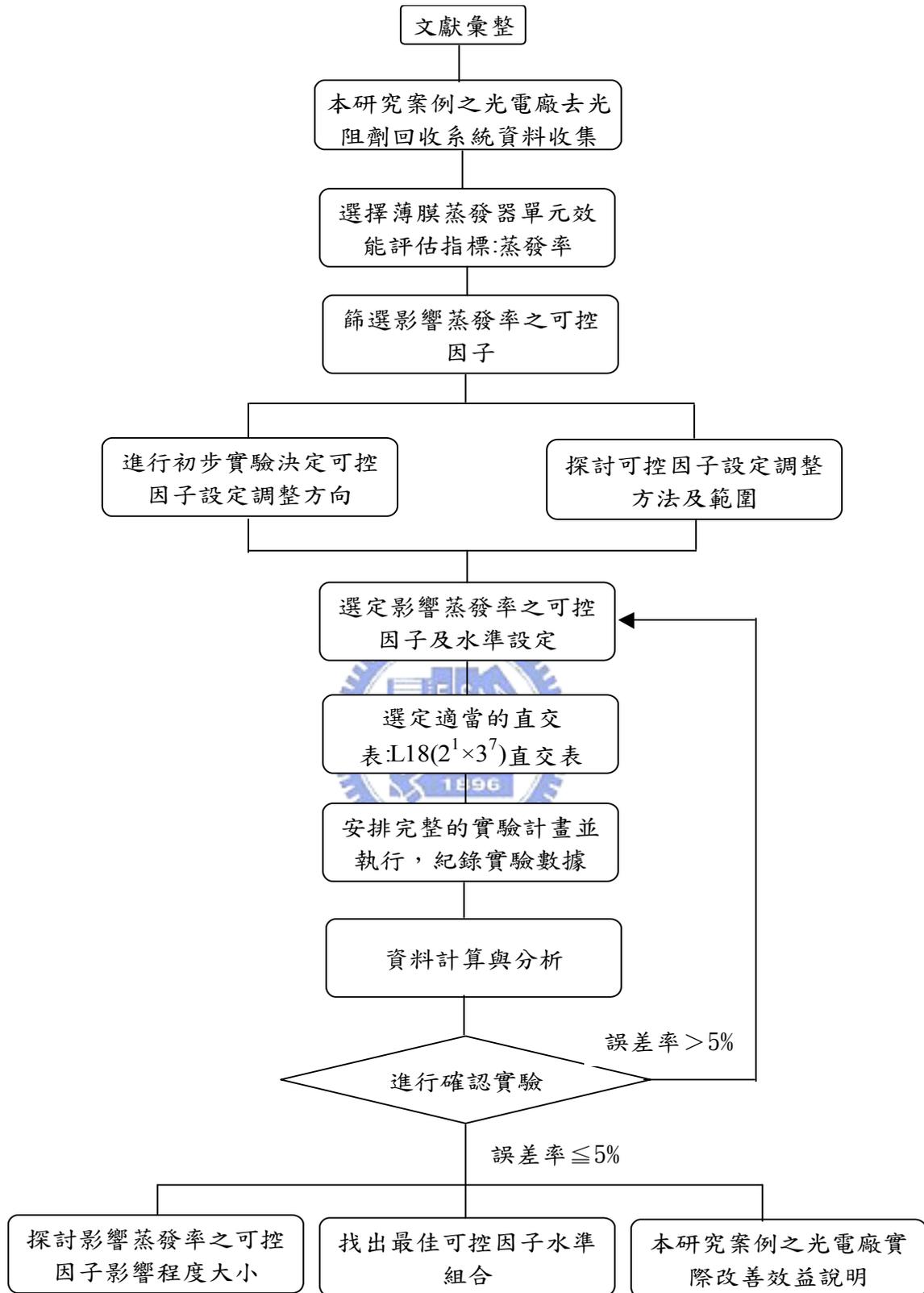


圖 3-1 研究流程圖

3.2 去光阻劑回收系統介紹

3.2.1 去光阻劑回收系統原理及流程

本研究光電廠所使用之去光阻劑為 TOK-106，組成為 70%MEA (2-Aminoethanol) + 30%DMSO (Dimethyl Sulfoxide)，表 3-1 為其物性相關資料，由表可知去光阻劑在常壓下之沸點大於 170°C，該值遠較水 100°C 為高，屬高沸點物質，本研究案例之光電廠去光阻劑回收系統原理即為設定該化學品之沸點，利用真空方式蒸餾將其蒸餾並冷凝取出。其採真空方式乃為利用降低壓力以降低去光阻劑之沸點，Katsumi et al. [29] 曾利用實驗推導出 MEA 及 DMSO 之溫度-飽和蒸氣壓關係函數，利用此函數可推估 MEA 及 DMSO 在可控制固定壓力下之沸點，應用於去光阻回收系統設計及操作設定，其函數為：

$$\log_{10} P_{\text{MEA}}(\text{kPa}) = 7.38081 - \frac{2081.5}{T_{\text{MEA}}(\text{K}) - 55.79} \quad (3-1)$$

$$\log_{10} P_{\text{DMSO}}(\text{kPa}) = 6.66676 - \frac{1952.13}{T_{\text{DMSO}}(\text{K}) - 45.3} \quad (3-2)$$

表3-1 TOK-106 之組成物及特性

組成物	分子量 g/mole	沸點 °C	密度 g/cm ³	閃點 °C	溶於水之溶解度
MEA	61.08	170.95	1.0174	93	∞
DMSO	78.13	189.00	1.1	95	∞

資料來源: 奈米通訊 [2]

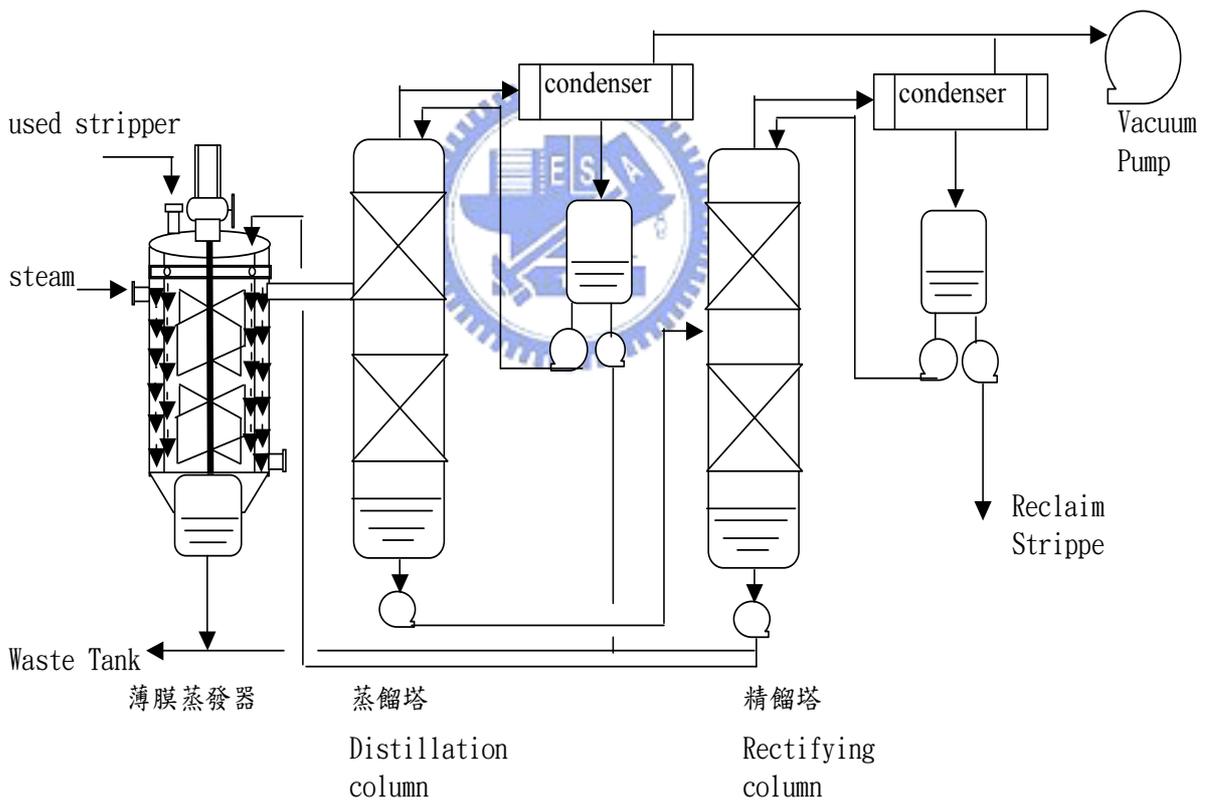


圖 3-2 本研究案例之光電廠去光阻劑回收系統流程圖

去光阻劑經過製程機台使用後回收之成份，主要分為三類：可回收利用之去光阻劑、水、光阻及其他高溫加熱產生之分解及縮合物等，去光阻劑回收系統之目的即為將使用後回收之去光阻劑中不純物分離去除，主要由薄膜蒸發器(Thin Film Evaporator)、蒸餾塔(Distillation column)、精餾塔(Rectifying column) 三大部分所串聯組成。圖 3-2 為本研究光電廠去光阻劑回收系統之流程，茲說明如下：

1. 薄膜蒸發器(Thin Film Evaporator)單元：

製程設備排下之廢去光阻劑由暫存桶槽進入回收系統之薄膜蒸發器單元(Thin Film Evaporator)，在此單元光阻沸點較去光阻劑及水分高，故並不蒸發而落至底部桶槽收集後排放至廢液桶槽，而去光阻劑及水分沸點較光阻低屬輕沸物於此單元吸收熱能而蒸發進入蒸餾塔(Distillation column)，故薄膜蒸發器單元在此主要功用為去除回收液中之光阻成分。

2. 蒸餾塔(Distillation column)單元：

去光阻劑及水分吸收熱能而蒸發進入蒸餾塔，在本單元水分之沸點低於去光阻劑故往上蒸發，並經冷凝器(condenser)冷凝收集至桶槽後排至廢液桶槽，而去光阻劑沸點較水分高於此單元並不蒸發，仍以液態形式存於塔底，並利用泵浦(Pump)輸送至精餾塔精餾，故蒸餾塔(Distillation column)單元在此主要功用為去除回收液中之水分。

3. 精餾塔(Rectifying column) 單元:

經入此單元之去光阻劑已於前單元去除光阻及水分，但在高溫處理過程去光阻劑可能因高溫加熱產生分解物及縮合物，故於本單元內去光阻劑經加熱蒸發以氣態形式往塔頂流動並經冷凝器(condenser)冷凝收集至桶槽後輸送至濃度調整系統(Stripper Mixing System)調整濃度至規格內，而塔底利用為泵浦(Pump)定量回流至薄膜蒸發器或定量排至廢液桶槽以控制高溫加熱產生之分解物及縮合物濃縮比。

4. 真空泵浦(Vacuum Pump)單元:

薄膜蒸發器(Thin Film Evaporator)、蒸餾塔(Distillation column)、精餾塔(Rectifying column)運轉時需控制真空度，所依靠者為一台真空泵浦(Vacuum Pump)。



3.2.2 去光阻劑回收系統回收率說明

去光阻劑回收系統之運轉效能評估是以回收率作為指標，圖3-3為本研究案例之光電廠去光阻劑回收系統質量平衡示意圖，已使用之去光阻劑進入回收系統，除於薄膜蒸發器單元排出廢液(主要含光阻及去光阻劑)及蒸餾塔單元排水(含微量去光阻劑)外，會存在因冷凝器(condenser)未冷凝完全遭真空泵浦(Vacuum pump)抽取之氣態損失，扣除以上三者所得即為去光阻劑成品回收量。而回收率之計算公式為式子3-3所示:

$$\text{Recycle Ratio} = \frac{Q_{s5}}{Q_{s1}} \times 100\% \quad (3-3)$$

其中， Q_{s5} :去光阻劑經回收系統回收之回收量。

Q_{s1} :去光阻劑進入回收系統之進料量。

表3-2為本研究案例之光電廠去光阻劑回收系統質量平衡表，由表中可知進料量為180kg/hr(去光阻劑密度以 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 計算)，回收之廢去光阻劑含水量約為5%，光阻(photoresist, PR)含量約為1%，依據式子3-3計算回收系統之回收率為86%。而又從表3-2內容可知薄膜蒸發器廢液排放量為12.5kg/hr，約佔進料量180kg/hr之7%，且廢液中仍有10kg/hr之去光阻劑，佔總廢液量12.5kg/hr之80%，這也是本研究為何選定薄膜蒸發器單元進行改善的原因。



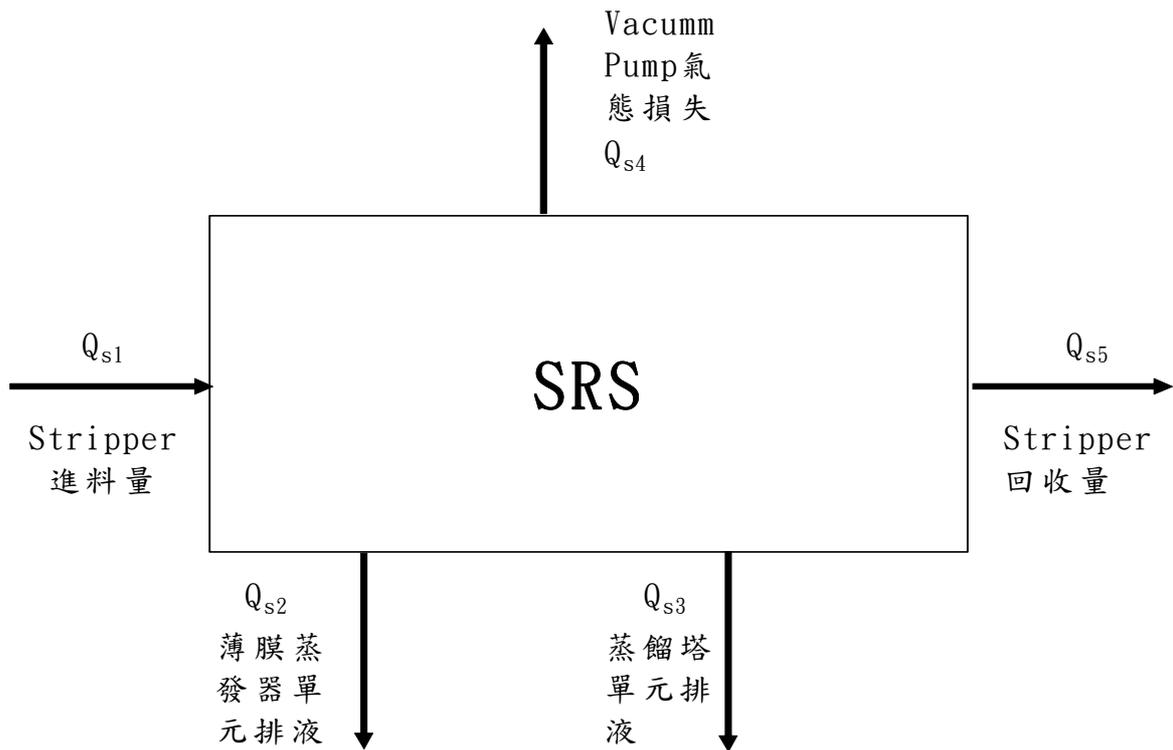


圖 3-3 本研究光電廠 SRS 質量平衡示意圖



表3-2 SRS質量平衡表

Item	Used stripper		Waste solvent		Waste water		Reclaim stripper		Vacumm Pump	
	kg/hr	%	kg/hr	%	kg/hr	%	kg/hr	%	kg/hr	%
Stripper	169.2	94%	10	80%	0.375	5%	154.69	99.8%	-	-
H ₂ O	9	5%	0	0%	7.125	95%	0.31	0.2%	-	-
PR	1.8	1%	2.5	20%	0	0%	0	0.0%	-	-
Total	180	100%	12.5	100%	7.5	100%	155	100%	5	100%
排液單元	-		薄膜蒸發器		蒸餾塔單元		-		氣態損失	

3.3 薄膜蒸發器單元介紹

3.3.1 薄膜蒸發器構造及原理

本研究光電廠去光阻劑回收系統中所使用之薄膜蒸發器為攪拌式薄膜蒸發器，是一種在真空條件下利用攪拌機帶動刮板，將流體於罐體管壁形成一薄膜，並利用熱源提供能量使流體蒸發之裝置。圖3-4為其構造圖，回收液由原液進口送入，通過由馬達帶動迴轉中的分散板將其分散到圓筒狀的加熱面上，由於重力作用液體會向下流動，同時迴轉中的刮板（Brush）將液體均勻的分散在加熱面上，從而在加熱面上形成一個液狀薄膜。液狀薄膜中的輕沸點物質（去光阻劑、水）因被加熱而快速蒸發，高沸點之光阻沿著管壁流下(稱為濃縮液)並收集至一桶槽，此桶槽稱為濃縮液桶槽，而濃縮液排液機制則藉由桶槽上之液位計感應液位，當桶槽液位達高液位設定點Hi時，將利用高壓氮氣為動力源進行排液直至低液位設定點Lo。

3.3.2 薄膜蒸發器效能說明

薄膜蒸發器主要之功用為去除去光阻回收廢液中之光阻，依表3-2 SRS 質量平衡表所示，去光阻回收廢液中之光阻濃度為1%，故薄膜蒸發器最高效率應為99%。但由表3-2又可知薄膜蒸發器所排廢液除光阻外，尚包含去光阻劑，故其效能除考量光阻去除量外，尚需考量未被蒸發之去光阻劑量，

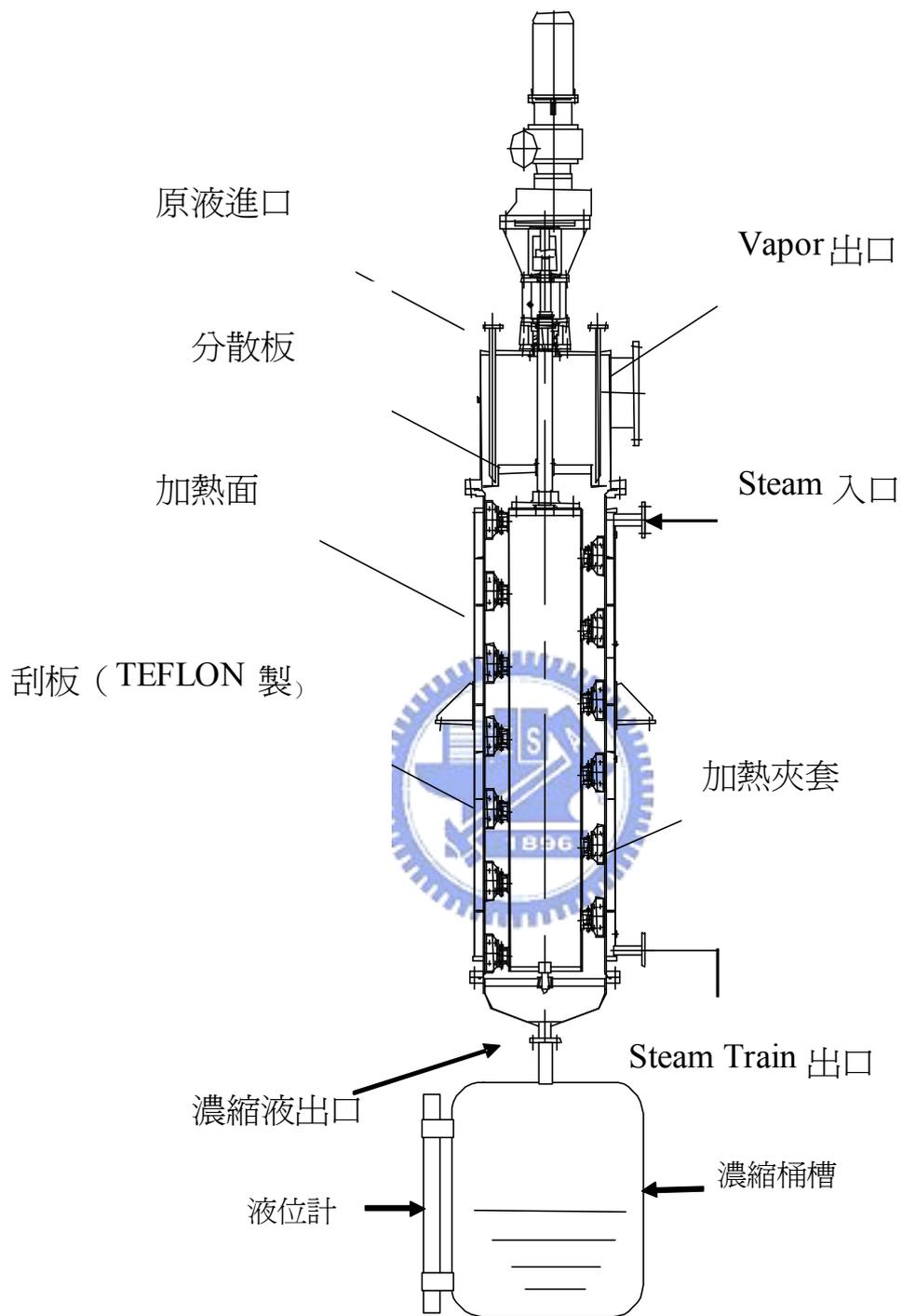


圖 3-4 本研究光電廠薄膜蒸發器構造圖

故本研究選擇以蒸發率作為薄膜蒸發器效能之評估指標。圖3-5為本研究光電廠薄膜蒸發器單元質量平衡示意圖，除已使用之去光阻劑進入薄膜蒸發器內外，另有一股由精餾塔回流之回流液，兩者相加為總進料量，扣除由濃縮桶槽排出之廢液(主要含光阻及去光阻劑)則為蒸發量。薄膜蒸發器之蒸發率為蒸發量除以總進料量，其計算公式為式子3-4所示：

$$\text{蒸發率} = \frac{Q_{s7}}{(Q_{s1} + Q_{s6})} \times 100\% = \frac{(Q_{s1} + Q_{s6} - Q_{s2})}{(Q_{s1} + Q_{s6})} \times 100\% \quad (3-4)$$

故我們只要可以得知去光阻劑進料量 Q_{s1} 、精餾塔回流量 Q_{s6} 及濃縮桶槽排出之廢液量 Q_{s2} 即可求得蒸發量，本研究光電廠現況為進料量為180kg/hr，精餾塔回流量為30kg/hr，而平均每小時濃縮桶槽排出之廢液量為12.5kg.L/hr，依據式子3-4計算蒸發率為94%，低於原設計值95%。

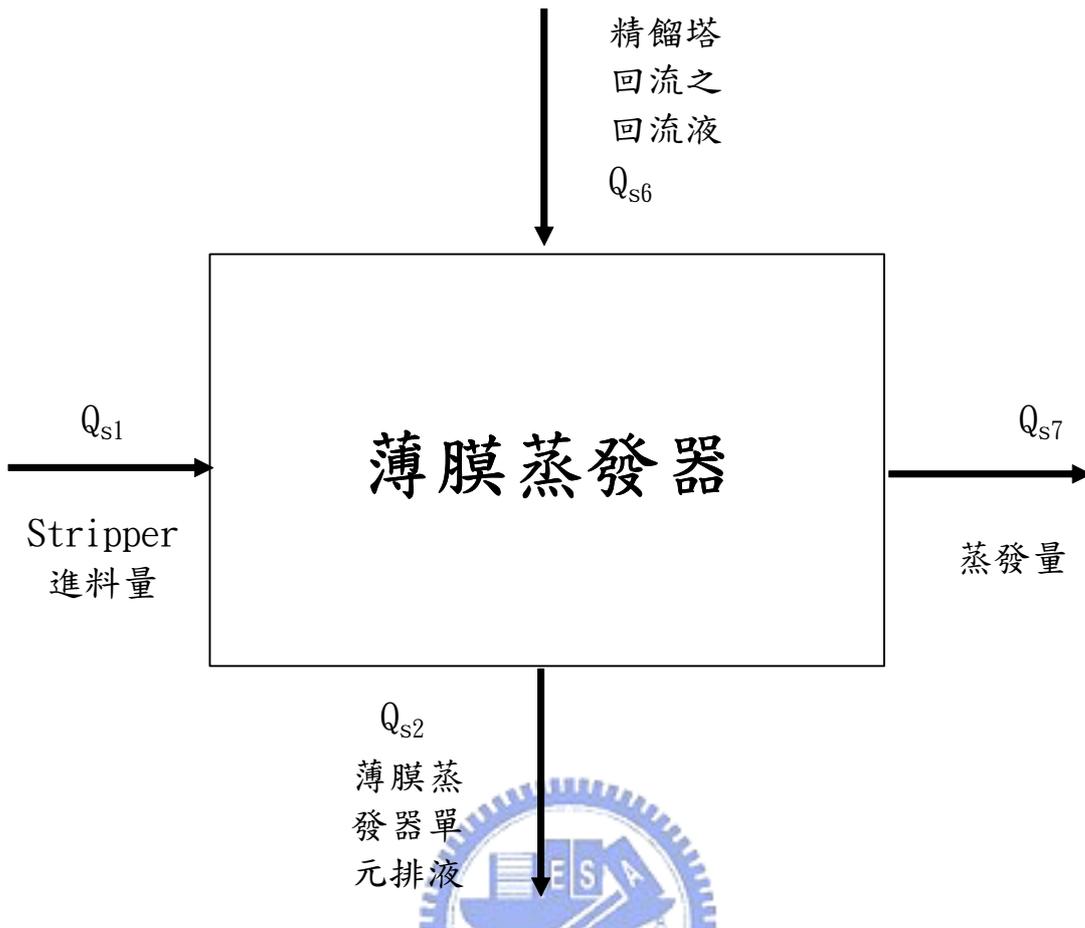


圖 3-5 本研究光電廠薄膜蒸發器單元質量平衡示意圖

3.4 影響蒸發率之因子

3.4.1 可控因子之篩選

由井長慧等人文獻〔18〕得知影響攪拌式薄膜蒸發器(agitated thin film evaporator, ATFE)之性能因子為滯留時間、熱傳效果及質傳效果，滯留時間為攪拌機轉速、動黏滯係數、靜黏滯係數、攪拌葉片直徑、流體密度、蒸發器塔高之函數，而影響熱傳效率者為溫度差、攪拌機轉速、攪拌葉片直徑、流體比熱、流體密度、進料流速、靜黏滯係數、蒸發器塔高，而質傳係數為攪拌機轉速、攪拌葉片直徑、流體密度、靜黏滯係數、膜厚及擴散係數之函數。綜合以上可知影響攪拌式薄膜蒸發器性能之變數因子為：

- a. 攪拌機轉速
- b. 進料流量
- c. 流體靜黏滯係數
- d. 攪拌葉片直徑
- e. 流體密度
- f. 流體比熱
- g. 蒸發器塔高
- h. 薄膜厚度
- i. 進料濃度

j. 溫度差

表 3-3 為本研究光電廠使用後去光阻劑回收廢液分析數據，由分析數據得知使用後回收之去光阻劑中，光阻平均濃度為 0.77%，小於原廠設計值 1%，水分平均濃度為 5.08%，與原廠設計值 5%相當，故回收廢液中扣除不純物(光阻+水分)後之平均去光阻劑濃度高達 94.15%。另本研究案例光電廠為維持進料流體之組成份濃度及性質穩定，設有一個 15 噸之回收廢液儲槽，故可將組成份濃度變化對去光阻劑回收系統之影響減至最低。綜合以上，由於回收廢液中之不純物濃度皆符合原廠設計且本研究案例光電廠並無法控制進料流體之組成份濃度而是以 15 噸之回收廢液儲槽進行緩衝，為使本研究單純化，故本研究後續之程序皆在以下之假設條件內進行，

- a. 進料流體組成濃度不變。
- b. 進料流體靜黏滯係數不變。
- c. 進料流體密度不變。
- d. 進料流體比熱不變。
- e. 薄膜蒸發器內薄膜厚度不變。

以上假設可於後續確認實驗程序中驗證是否成立，若確認實驗實驗結果為誤差率 $\leq 5\%$ ，代表實驗再現性佳，亦即本實驗無存在干擾因子或干擾因子影響極小，則以上假設即成立。

表3-3 本研究光電廠去光阻劑回收廢液成分表

採樣編號	水分濃度(%)	光阻濃度(%)	Stripper濃度(%)
1	6.23	0.69	93.08
2	4.61	0.88	94.51
3	6.42	0.95	92.63
4	5.74	0.76	93.5
5	5.41	0.74	93.85
6	4.74	0.85	94.41
7	3.84	0.65	95.51
8	4.88	0.77	94.35
9	4.81	0.73	94.46
10	5.53	0.8	93.67
11	6.15	1.08	92.77
12	5.08	0.79	94.13
13	3.82	0.76	95.42
14	4.59	0.88	94.53
15	4.92	0.56	94.52
16	4.67	0.72	94.61
17	4.92	0.56	94.52
18	4.99	0.66	94.35
19	5.23	0.78	93.99
20	5.01	0.81	94.18
平均	5.08	0.77	94.15

綜合以上，影響本研究光電廠之薄膜蒸發器性能之可控制因子可選定為進料流量、攪拌機轉速及溫度差，而溫度差將取決於蒸氣之壓力，故本研究選定進料流量、攪拌機轉速及蒸氣壓力作為可控制因子探討。

3.4.2 調整及量測設備

表 3-4 為本研究實驗有關調整及量測設備說明，分述如下：

1. 轉速：

利用薄膜蒸發器減速馬達進行調整(如圖 3-6)，調整方式為旋轉減速馬達變速桿，變速桿上刻有刻度，目前刻度值為 4，經量測轉速為 58rpm，表 3-5 為刻度值與轉速對照表，由表可知，每當轉動變速桿上改變 1 個刻度，則轉速約增減 10rpm，例如刻度 2 時，轉速為 40rpm；刻度 3 時，轉速為 50rpm；而刻度 5 時，轉速則提升為 68rpm。而調整後仍需實際使用碼表量測，每分鐘旋轉轉數，其精確度可達 ± 1 rpm。

2. 進料量：

進料量可由回收系統控制盤直接設定流量後，由流量控制閥控制，流量計表頭可直接顯示流量值(如圖 3-7)，目前設定值為 180 L/hr，設定值之改變最小單位為 1 L，依原廠資料顯示其精確度為 $\pm 1\%$ 。

3. 蒸氣壓力：

蒸氣壓力可由蒸氣壓力調整閥(如圖 3-8)進行調整，利用旋轉螺絲可改變蒸

氣壓力，而其量測則使用一壓力表進行觀察，其精確度為 $\pm 0.2 \text{ kg/cm}^2$ ，目前設定為 4.2 kg/cm^2 ，而本研究案例之光電廠薄膜蒸發器原廠設計最高容許蒸氣壓力為 5.0 kg/cm^2 ，回收系統最低容許蒸氣壓力為 4.0 kg/cm^2 ，故本研究後續蒸氣壓力之調整將落於 $4.0 \text{ kg/cm}^2 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$ 。

4. 廢液排出量:

薄膜蒸發器之效能是以蒸發率作為評估指標，而蒸發率又與進料量、精餾塔回流量及濃縮桶槽排出之廢液量有關，本研究濃縮桶槽排出之廢液量計算為：每批排出之廢液量則以磁力式液位計設定高點(Hi)~設定低點(Lo)，可求得排液乙次為50L。而另從監控電腦可監控得知排液乙批的時間，精確度可至0.01hr，故可計算每日排液次數，兩者相乘即可得知濃縮桶槽排出之廢液量。



表3-4 本研究實驗調整及量測設備說明

調整/量測項目	設備名稱	廠牌	型號	目前設定值	備註
調整/轉速	薄膜蒸發器轉動馬達	TSUBAKIMO	DK022FT 10VDF1-W	58rpm	轉速調整 20~120rpm
量測/轉速	碼表	-	-	-	精確度 ±1 rpm
調整/進料量	進料流量計	YOKOGAWA	AE115SC-AK1- LZJ- D1DH/JF3/G11	180L/hr	流量調整 0~600L/Hr
量測/進料量	進料流量計	-	-	-	精確度 ± 1%
調整/蒸氣壓力	蒸氣壓力調整閥	Yoshitake	GP-1000SS	4.2kg/cm ²	壓力調整 3~5kg/cm ²
量測/蒸氣壓力	壓力表	-	-	-	精確度 ± 0.2 kg/cm ²
調整/廢液排出量	濃縮桶槽液位計	TOKYO KEISO	FM-1237-9	設定高點(Hi)- 設定低點(Lo) = 50L	液位計高度 L=630mm
量測/廢液排出乙 批時間	監控電腦	-	-	-	精確度 ±0.01 hr

表 3-5 減速馬達刻度轉速對照表

刻度值	轉速 (rpm)
0	23
1	32
2	40
3	50
4	58
5	68
6	79
7	90
8	102
9	114
10	126



圖 3-6 本研究案例光電廠薄膜蒸發器轉動馬達



圖 3-7 本研究案例光電廠用進料流量計



圖 3-8 本研究案例光電廠用蒸氣壓力調整閥

3.5 因子水準設定

在前章節本研究已選定進料流量、攪拌機轉速及蒸氣壓力作為控制因子探討，在進料流量設定上，本研究案例之光電廠目前設定為 180 L/hr，由於去光阻劑回收廢液量受製程產能影響，本研究案例之光電廠視產能大小調整進料量，若去光阻劑回收廢液量小，則設定進料量為 160 L/hr，若去光阻劑回收廢液量大，則設定進料量為 200 L/hr，故進料量因子可選用 160 L/hr、180 L/hr、200 L/hr 作為水準設定。

另在蒸氣壓力因子方面，目前設定為 4.2 kg/cm^2 ，而本研究案例之光電廠薄膜蒸發器原廠設計最高容許蒸氣壓力為 5.0 kg/cm^2 ，回收系統最低容許蒸氣壓力為 4.0 kg/cm^2 ，故本研究蒸氣壓力因子可選擇蒸氣壓力 4.2 kg/cm^2 及 5.0 kg/cm^2 作為水準設定。

在水準選定上較棘手的是轉速因子，目前設定為 58rpm，為避免於後續田口實驗時造成水準選用錯誤，本研究先行針對轉速因子進行初步實驗，以目前設定值 58rpm 往上調整，如表 3-5 所示轉速應為 68rpm，往下調整轉速應為 50rpm，初步實驗結果如表 3-6 所示，由表中所知進料量與蒸氣壓力並不改變仍為原設定值 180 L/hr 及 4.2 kg/cm^2 ，轉速由 58rpm 調升為 68rpm 時，蒸發率會由原 94.05% 降至 93.20%，轉速由 58rpm 調降為 50rpm 時，蒸發率會由原 94.05% 升至 95.24%。圖 3-9 為初步實驗轉速與蒸發率關係圖，由圖可知轉速降低則蒸發率有上升趨勢，故本研究為求得最佳蒸發率，在

表3-6 轉速因子初步實驗數據表

ITEM	進料量 (L/hr)	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 rpm	精餾塔回流量 (L/hr)	每日進料量 (L/day)	濃縮液排放量 (L/day)	蒸發率%
1	180	4.2	50	30	5040	240.00	95.24%
2	180	4.2	58	30	5040	300.00	94.05%
3	180	4.2	68	30	5040	342.86	93.20%

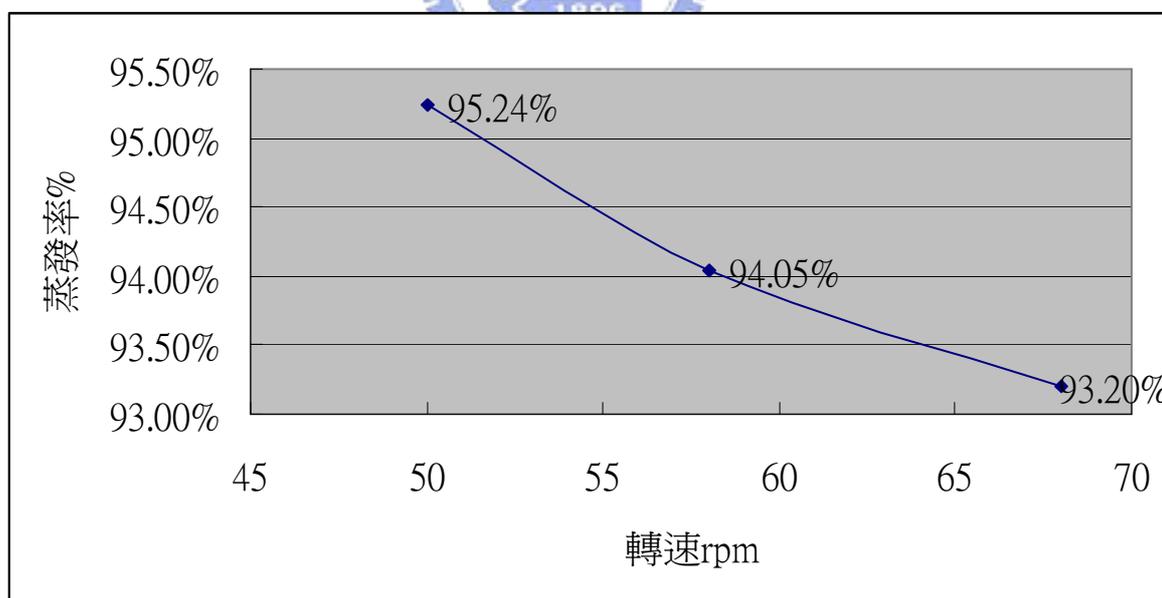


圖 3-9 初步實驗轉速與蒸發率關係圖

後續田口實驗轉速水準選定時，可由原設定值往下調降轉速，依據表 3-5 選定減速馬達刻度值 3 之 50rpm 轉速及刻度值 2 之 40rpm 轉速作為水準探討，而非原先之 50rpm、58rpm 及 68rpm。綜合以上，各因子之水準設定整理如表 3-7 所示。

3.6 直交表的選用

在上章節，本研究已選定進料流量、轉速三水準及蒸氣壓力二水準進行實驗，若以全因子實驗而言，需 $2^1 \times 3^2 = 18$ 組實驗，由於本研究希望比較田口方法及全因子實驗法實驗結果差異性，故選用同樣 18 組實驗之 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表進行實驗配置， $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表最多可容納之因子個數為 7 個，但我們僅有三個控制因子分別為 a(代表蒸氣壓力)、b(代表攪拌機轉速)、c(代表進料量)，分別使用前三行，其餘四行則留空不用。本研究之因子水準實驗組數配置如表 3-8 所示。

3.7 實驗執行與記錄

為盡量減低組成份濃度變化對去光阻劑回收系統之影響，本研究實驗前儘量將已使用後之去光阻劑回收儲存於 15 噸之回收廢液儲槽內，以盡量將進料組成性質變化縮至最小。前章節曾說明蒸發率之計算取決於進料量、精餾塔回流量及濃縮桶槽排出之廢液量，本研究實驗約每六小時可得到一筆數據，每天約可量得四筆數據，由於改變控制因子致使蒸發率變化

表3-7 因子水準設定表

控制因子		水準		
		1	2	3
a	蒸氣壓力(kg/cm ²)	4.2	5	-
b	轉速(rpm)	40	50	58
c	進料量(L/hr)	160	180	200

表3-8 本研究因子水準實驗配置表

實驗組別	因子		
	蒸氣壓力(kg/cm ²)	轉速(rpm)	進料量(L/hr)
1	4.2	40	160
2	4.2	40	180
3	4.2	40	200
4	4.2	50	160
5	4.2	50	180
6	4.2	50	200
7	4.2	58	160
8	4.2	58	180
9	4.2	58	200
10	5.0	40	160
11	5.0	40	180
12	5.0	40	200
13	5.0	50	160
14	5.0	50	180
15	5.0	50	200
16	5.0	58	160
17	5.0	58	180
18	5.0	58	200

表3-9 實驗數據表

實驗組別	參數設定值			觀察量測值			計算值				
	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 rpm	進料量 (L/hr)	精餾塔 回流量 (L/hr)	濃縮液排液時間 (hr/次)		總進料量 (L/day)	濃縮液排放量 (L/day)		蒸發率%	
					1	2		1	2	1	2
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											

有其時間延遲性，為使實驗數據更加具參考性，本實驗每日進行一組實驗共需 18 天進行，而實驗數據僅取每日最後二筆數據，其原因為改變參數後連續運轉越久則薄膜蒸發器熱交換將趨於越穩定。而後根據 L18(2¹×3⁷) 直交表的配置及上述實驗方法進行實驗，實驗所得數據將其記錄於紀錄表，紀錄表格式如表 3-9 所示，表中之蒸發率計算係利用式子 3-14 計算得知，表中其餘相關計算說明如下：

$$\text{總進料量(L/day)} = (\text{進料量} + \text{精餾塔回流量})(\text{L/hr}) \times 24(\text{hr/day})$$

$$\text{濃縮液排放量(L/day)} = \frac{24(\text{hr/day})}{\text{濃縮液排液時間(hr/次)}} \times 50(\text{L/次})$$

3.8 資料分析

田口方法資料分析包含依據實驗結果進行 S/N 比計算、回應值計算、回應圖繪製及變異數分析，以下就其詳細說明：

1.S/N 比計算：

S/N 比是量測平均值與變異程度的指標，蒸發率屬望大特性，望大特性是指非負數值且值越大越好的特性；可使用前章式子 2-17 將實驗結果進行 S/N 比計算並填入表 3-10 實驗結果及 S/N 比計算表內。

$$S/N = \eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (2-17)$$

其中，n 為重複實驗數； y_i 為實驗結果值。

表 3-10 中實驗結果表示為 y_{1-i} 及 y_{2-i} ，其中 i 代表實驗組數，1 及 2 分別代表第一筆數據及第二筆數據。

2. 回應值(Response value)計算

所謂回應值指的是 S/N 比之平均值，回應值(Response value)計算式舉例如下：

由表 3-10 實驗結果及 S/N 比計算表知，符合 A 因子水準一之 S/N 值為 SN1、SN2、SN3、SN4、SN5、SN6、SN7、SN8、SN9，故 A 因子水準一之特性值和為 $A_1=(SN1+SN2+SN3+SN4+SN5+SN6+SN7+SN8+SN9)$ ，而平均回應值為 $\overline{A_1} = \frac{A_1}{9}$ 。同理符合 A 因子水準二之 S/N 值為 SN10~SN18，故 A 因子水準二之特性值和為 $A_2=(SN10+SN11 \cdots +SN18)$ ，而平均回應值為 $\overline{A_2} = \frac{A_2}{9}$ ，其餘如 B2 即為 B 因子水準二之特性值和 $= (SN4+SN5+SN6+SN13+SN14+SN15)$ ，而平均回應值為 $\overline{B_2} = \frac{B_2}{6}$ ，以此類推。

由 S/N 比進行回應值(Response value)計算後，並將其製作成如表 3-11 S/N 比平均回應值計算表。

表3-10 實驗結果及S/N比計算表

實驗組別	因子			實驗結果		S/N比
	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 (rpm)	進料量 (L/hr)	Y _{1-i} *	Y _{2-i} *	
1	4.2	40	160	y ₁₋₁	y ₂₋₁	SN1
2	4.2	40	180	y ₁₋₂	y ₂₋₂	SN2
3	4.2	40	200	y ₁₋₃	y ₂₋₃	SN3
4	4.2	50	160	y ₁₋₄	y ₂₋₄	SN4
5	4.2	50	180	y ₁₋₅	y ₂₋₅	SN5
6	4.2	50	200	y ₁₋₆	y ₂₋₆	SN6
7	4.2	58	160	y ₁₋₇	y ₂₋₇	SN7
8	4.2	58	180	y ₁₋₈	y ₂₋₈	SN8
9	4.2	58	200	y ₁₋₉	y ₂₋₉	SN9
10	5.0	40	160	y ₁₋₁₀	y ₂₋₁₀	SN10
11	5.0	40	180	y ₁₋₁₁	y ₂₋₁₁	SN11
12	5.0	40	200	y ₁₋₁₂	y ₂₋₁₂	SN12
13	5.0	50	160	y ₁₋₁₃	y ₂₋₁₃	SN13
14	5.0	50	180	y ₁₋₁₄	y ₂₋₁₄	SN14
15	5.0	50	200	y ₁₋₁₅	y ₂₋₁₅	SN15
16	5.0	58	160	y ₁₋₁₆	y ₂₋₁₆	SN16
17	5.0	58	180	y ₁₋₁₇	y ₂₋₁₇	SN17
18	5.0	58	200	y ₁₋₁₈	y ₂₋₁₈	SN18

*備註:實驗結果表示為y_{1-i}及y_{2-i}，其中i代表實驗組數，1及2分別代表第一筆數據及第二筆數據。

3. 回應圖繪製

根據回應值最大者以及回應圖中變化斜率，決定出最佳因子與水準，並推估出最佳操作條件，其判斷方法為回應值越大則代表此水準對蒸發率而言是較佳的，而回應圖中變化斜率越大則代表此因子對蒸發率之影響越大。

4. 變異數分析(ANOVA)

為進行後續確認實驗，必須先找出顯著因子，而顯著因子選擇方式有二：

- a. 二分法：因子影響程度由大至小排序，選取一半控制因子。
- b. 變異數分析：進行變異數分析並利用F檢定表判定。

本研究選擇使用變異數分析計算各因子之貢獻率尋找顯著因子，本研究係採無目標值之實驗分析，由直交表配比結果，就幾個所必須進行的變異數分析計算加以說明，再將變異數分析結果整理如表 3-12 所示。變異數分析計算步驟說明如下：

- (1) 計算總偏差平方和 S_T

$$S_T = SN_1^2 + SN_2^2 + SN_3^2 + \dots + SN_n^2 - CF$$

$$\text{修正因子 } CF = \frac{(SN_1 + SN_2 + \dots + SN_n)^2}{n}, \quad n \text{ 為實驗數據個數。}$$

- (2) 計算各因子偏差平方和

表3-11 回應值計算表

水準數	回應值		
	A因子	B因子	C因子
	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 (rpm)	進料量 (L/hr)
1	— A ₁	— B ₁	— C ₁
2	— A ₂	— B ₂	— C ₂
3	— A ₃	— B ₃	— C ₃



表3-12 變異數分析表

實驗因子	自由度 Φ	偏差平方和 S	變異數 V	F值	純偏差平方和 S'	貢獻率 ρ
A	Φ_A	S_A	V_A	F_A	S'_A	ρ_A
B	Φ_B	S_B	V_B	F_B	S'_B	ρ_B
C	Φ_C	S_C	V_C	F_C	S'_C	ρ_C
e	Φ_e	S_e	V_e	F_e	S'_e	ρ_e
Total		S_T				

$$S_A = \frac{(A_1 \text{測定值總合})^2}{A_1 \text{測定值個數}} + \frac{(A_2 \text{測定值總合})^2}{A_2 \text{測定值個數}} + \dots - CF$$

$$S_B = \frac{(B_1 \text{測定值總合})^2}{B_1 \text{測定值個數}} + \frac{(B_2 \text{測定值總合})^2}{B_2 \text{測定值個數}} + \dots - CF$$

變動 S_C 以此類推。

(3) 計算誤差平方和 S_e

$$S_e = S_T - (S_A + S_B + S_C)$$

(4) 計算不偏變異數 V

所謂不偏變異數，就是指不受到樣本大小影響之變異數，其計算方式如下：



$$V_A = S_A / \Phi_A \quad V_B = S_B / \Phi_B \quad V_C = S_C / \Phi_C \quad V_e = S_e / \Phi_e$$

其中 Φ 代表自由度，每個因子自由度為水準數減1，總自由度為所有測量值個數減1，誤差自由度為總自由度減去每個因子自由度之和。

(5) 計算F值

比較 V_A 、 V_B 、 V_C 三項，最小者須併入誤差項計算。

$$F_A = V_A / V_e \quad F_B = V_B / V_e \quad F_C = V_C / V_e$$

(6) 進行F檢定

在進行貢獻率計算之前，須先考慮實驗因子是否具有明顯變異，故需

使用F檢定表判斷。F檢定表中的界限值係以幾乎不可能的程度來說明，有機率5% 及機率1% 兩種，此機率可稱為冒險率(α)。F檢定表的利用方式，係以誤差項的自由度為分母(ν_2)，各實驗因子的自由度為分子(ν_1)，查得F值，可表示為 F_{α, ν_1, ν_2} 。當各實驗因子的變異數分析所求得之F值較查表所得之 $F(0.05)$ 值大時，則稱為此因子為顯著因子，求得之F值較查表所得之 $F(0.01)$ 值大時，則稱為此因子為極顯著因子，一般僅針對顯著因子進行貢獻率計算。

(7) 計算純偏差平方和 S'

$$S'_A = S_A - f_A \times V_e$$

$$S'_B = S_B - f_B \times V_e$$

$$S'_C = S_C - f_C \times V_e$$

$$S'_e = S_e + f_e \times V_e$$

(8) 計算貢獻率 ρ (%)

$$\rho_A = \frac{S'_A}{S_T} \times 100\%$$

$$\rho_B = \frac{S'_B}{S_T} \times 100\%$$

$$\rho_C = \frac{S'_C}{S_T} \times 100\%$$

貢獻率大小代表此因子顯著程度亦即影響蒸發率程度大小。

3.9 確認實驗

配合變異數分析結果，決定出顯著因子及水準，利用最佳操作條件進行確認實驗，並計算S/N比實際值與理論值誤差，誤差率若小於5%，則表示確認實驗成功，亦即本研究因子水準選定並無偏差，實驗再現性良好。最

佳操作條件下之S/N理論值計算公式如下：

S/N比理論推估值 $\eta =$ 實驗結果SN平均值+(顯著因子1之最大回應值-實驗結果SN平均值)+(顯著因子2之最大回應值-實驗結果SN平均值)+……

然後以最佳操作條件進行實驗，並依實驗結果計算S/N比，並比較實驗值S/N比與理論推估S/N比之差異，計算誤差率，誤差率計算公式如下：

$$\text{誤差率}(\%) = \frac{(\text{實驗值S/N比} - \text{理論推估S/N比})}{\text{理論推估S/N比}} \times 100 \%$$



四、實驗結果與討論

本研究使用田口方法依照 L18($2^1 \times 3^7$)直交表內的因子水準排列組配，選用進料量(水準 160L/hr、180L/hr、200L/hr)、攪拌機轉速(水準 40rpm、50rpm、58rpm)及蒸氣壓力(水準 4.2kg/cm²、5kg/cm²)作為控制因子，進行實廠去光阻劑回收系統中之薄膜蒸發器單元可控制參數調整，並進行薄膜蒸發器濃縮液排出量量測求得蒸發率，以此作為評估薄膜蒸發器效能之指標。L18($2^1 \times 3^7$)直交表進行 18 組實驗，也等於是全因子實驗組數 $2^1 \times 3^2 = 18$ 組進行。故本章節將分別針對全因子實驗法及田口實驗方法所得之蒸發率結果、顯著影響因子及最佳控制因子水準組配進行討論，分析兩者之差異；最後並進行應用全因子實驗法及田口實驗方法改善實廠去光阻劑回收系統中之薄膜蒸發器單元效率後之效益分析。

4.1 全因子實驗結果

本研究選用進料量(水準 160L/hr、180L/hr、200L/hr)、攪拌機轉速(水準 40rpm、50rpm、58rpm)及蒸氣壓力(水準 4.2kg/cm²、5kg/cm²)作為控制因子進行全因子共 $2^1 \times 3^2 = 18$ 組實驗。當改變控制因子及水準進行實驗，並進行薄膜蒸發器濃縮液排出量量測後，可依據前一章式子 3-4 公式求得蒸發率，實驗結果如表 4-1 所示。

表4-1 實驗數據表

實驗組別	參數設定值			觀察量測值			計算值						
	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 rpm	進料量 (L/hr)	精餾塔 回流量 (L/hr)	濃縮液排液時間 (hr/次)		總進料量 (L/day)	濃縮液排放量 (L/day)		蒸發率%			
					1	2		1	2	1	2	平均	平均值誤差範圍
1	4.2	40	160	30	4.33	4.17	4560	277.14	287.77	93.92%	93.69%	93.81%	93.81%±0.12%
2	4.2	40	180	30	4.17	4.33	5040	287.77	277.14	94.29%	94.50%	94.40%	94.40%±0.11%
3	4.2	40	200	30	3.50	3.50	5520	342.86	342.86	93.79%	93.79%	93.79%	93.79%±0.00%
4	4.2	50	160	30	5.50	5.33	4560	218.18	225.14	95.22%	95.06%	95.14%	95.14%±0.08%
5	4.2	50	180	30	5.00	5.00	5040	240.00	240.00	95.24%	95.24%	95.24%	95.24%±0.00%
6	4.2	50	200	30	4.50	4.33	5520	266.67	277.14	95.17%	94.98%	95.07%	95.07%±0.09%
7	4.2	58	160	30	4.50	4.50	4560	266.67	266.67	94.15%	94.15%	94.15%	94.15%±0.00%
8	4.2	58	180	30	4.00	4.17	5040	300.00	287.77	94.05%	94.29%	94.17%	94.17%±0.12%
9	4.2	58	200	30	3.50	3.50	5520	342.86	342.86	93.79%	93.79%	93.79%	93.79%±0.00%
10	5.0	40	160	30	4.83	4.67	4560	248.45	256.96	94.55%	94.36%	94.46%	94.46%±0.09%
11	5.0	40	180	30	4.50	4.33	5040	266.67	277.14	94.71%	94.50%	94.61%	94.61%±0.10%
12	5.0	40	200	30	3.67	3.67	5520	326.98	326.98	94.08%	94.08%	94.08%	94.08%±0.00%
13	5.0	50	160	30	6.00	5.83	4560	200.00	205.83	95.61%	95.49%	95.55%	95.55%±0.06%
14	5.0	50	180	30	5.17	5.33	5040	232.11	225.14	95.39%	95.53%	95.46%	95.46%±0.07%
15	5.0	50	200	30	4.67	4.67	5520	256.96	256.96	95.34%	95.34%	95.34%	95.34%±0.00%
16	5.0	58	160	30	5.00	4.83	4560	240.00	248.45	94.74%	94.55%	94.64%	94.46%±0.09%
17	5.0	58	180	30	4.33	4.50	5040	277.14	266.67	94.50%	94.71%	94.61%	94.61%±0.10%
18	5.0	58	200	30	3.83	3.83	5520	313.32	313.32	94.32%	94.32%	94.32%	94.32%±0.00%

由表 4-1 可知在所有實驗組別內以實驗組別 13 之平均蒸發率 95.55% 最高，實驗組別 13 之因子水準組合為：進料量 160L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm，故以全因子實驗觀點而言，進料量 160L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm 為最佳的參數組配。

另圖 4-1~4-3 為探討因子各水準變化對蒸發率之影響圖示，其中圖 4-1a、4-1b、4-1c 分別為進料量 160L/hr、180L/hr、200L/hr 時，轉速與蒸氣壓力各水準之蒸發率表現，由圖可知，不管進料量如何，蒸氣壓力 5kg/cm² 的蒸發率表現總優於蒸氣壓力 4.2kg/cm²，而轉速 50rpm 的蒸發率表現又優於 40rpm 及 58rpm；圖 4-2a、4-2b、4-2c 分別為轉速 40rpm、50rpm、58rpm 時，進料量與蒸氣壓力各水準之蒸發率表現，由圖可知，蒸氣壓力 5kg/cm² 的蒸發率表現總優於蒸氣壓力 4.2kg/cm²，此部分結果與圖 4-1 吻合，而進料量的改變對蒸發率之影響似乎不大(其蒸發率變化呈較水平)；圖 4-3a、4-3b 分別為蒸氣壓力 4.2kg/cm²、蒸氣壓力 5kg/cm² 時，進料量與轉速各水準之蒸發率表現，由圖可知轉速 50rpm 的蒸發率表現優於 40rpm 及 58rpm(此部分結果與圖 4-1 吻合)，而且水準的改變對於蒸發率之影響是最大的，因為只有轉速設定在 50rpm 時，蒸發率的表現方達到本研究實廠原廠設計值 95%，另進料量的改變對蒸發率之影響似乎不大(其蒸發率變化呈較水平)亦與圖 4-2 結論吻合。

綜合以上，我們可以從全因子實驗結果中知道：

1. 以全因子實驗結果而言，進料量 160L/hr、蒸氣壓力 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 、轉速 50rpm 為最佳的參數組配。
2. 蒸氣壓力 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 的蒸發率表現優於蒸氣壓力 $4.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 。
3. 轉速 50rpm 的蒸發率表現優於 40rpm 及 58rpm，而且對於蒸發率之影響是最大的，也只有轉速設定在 50rpm 時，蒸發率的表現方可達到本研究實廠原廠設計值 95%。推究其原因為過快的轉速將造成去光阻回收廢液在薄膜蒸發器內時因切線力而噴濺落至塔底，而非沿管壁受熱蒸發。而轉速過慢卻又造成去光阻劑回收廢液於薄膜蒸發器內尚未蒸發即已沿管壁流至濃縮槽內。故我們得知當轉速小於 50rpm 時，蒸發效率受去光阻劑回收廢液性質影響，而轉速大於 50rpm 時，則受攪拌機切線速度影響。
4. 進料量的改變對蒸發率之影響似乎並不明顯。

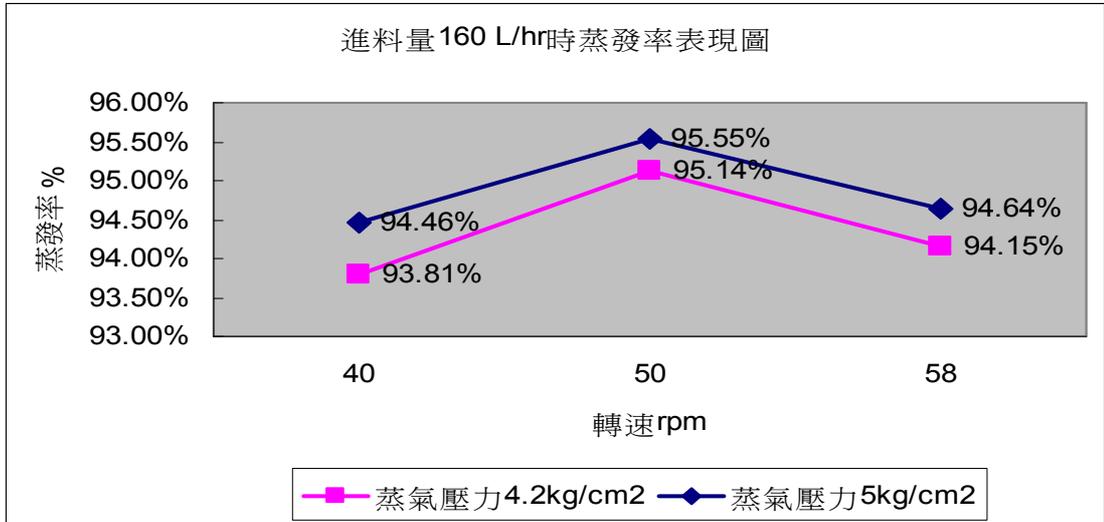


圖 4-1a 進料量 160 L/hr 時蒸發率表現圖

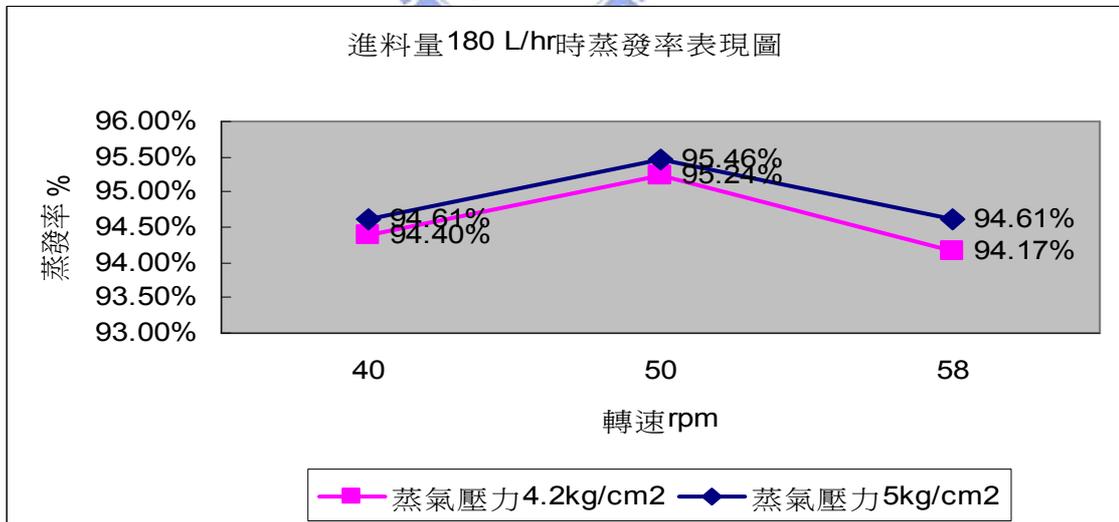


圖 4-1b 進料量 180 L/hr 時蒸發率表現圖

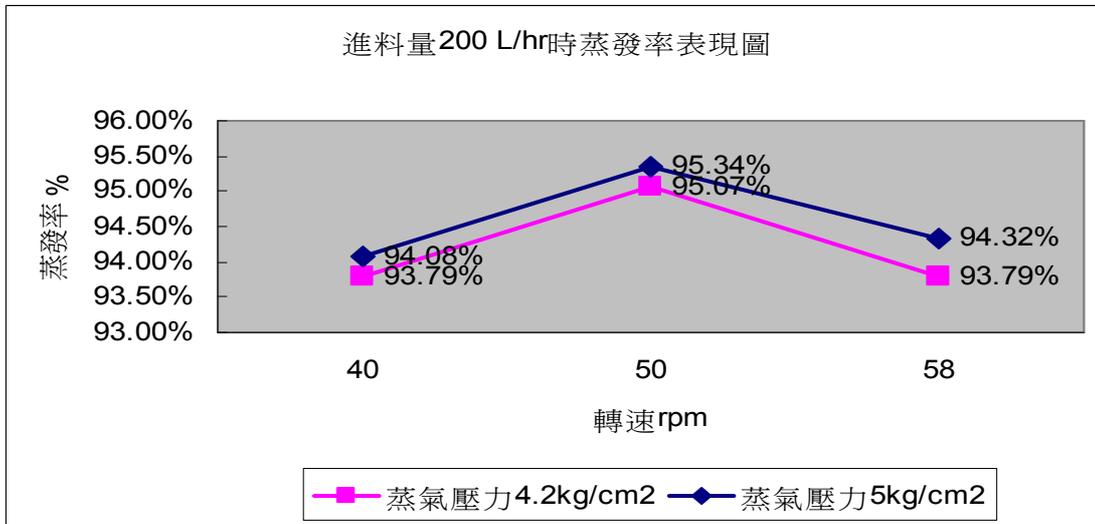


圖 4-1c 進料量 200 L/hr 時蒸發率表現圖

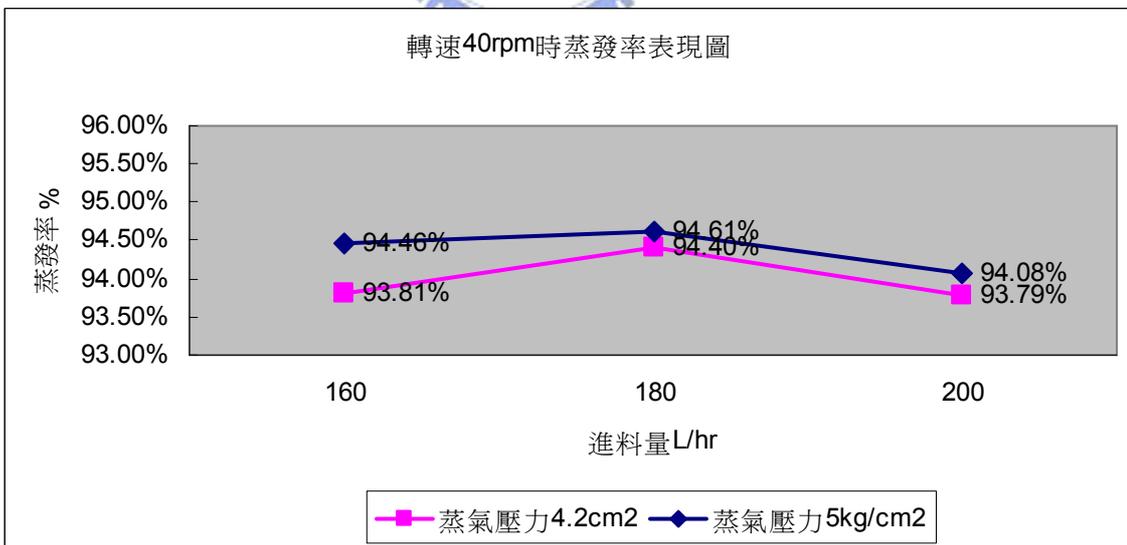


圖 4-2a 轉速 40rpm 時蒸發率表現圖

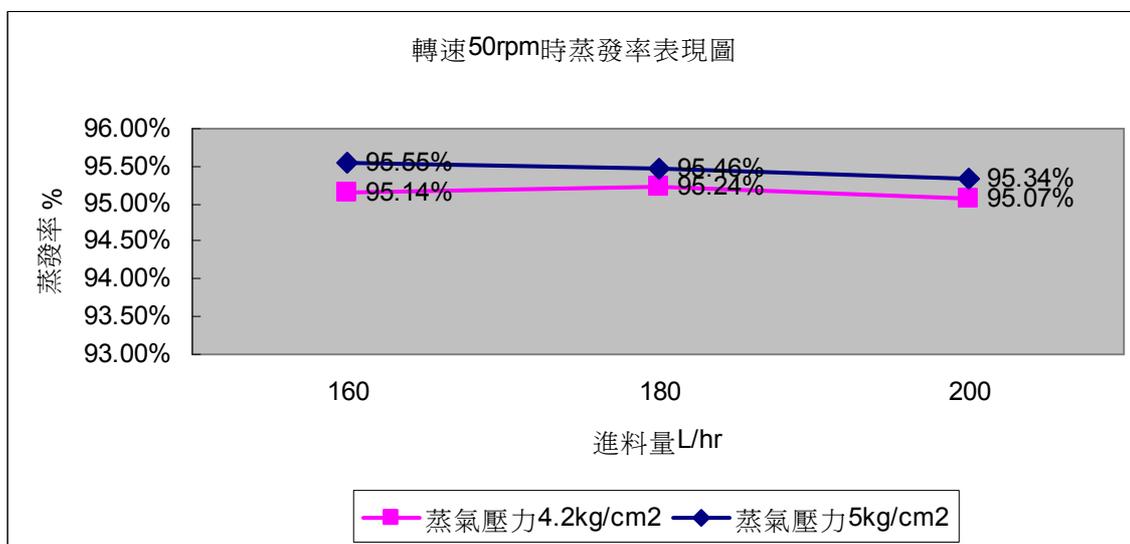


圖 4-2b 轉速 50rpm 時蒸發率表現圖

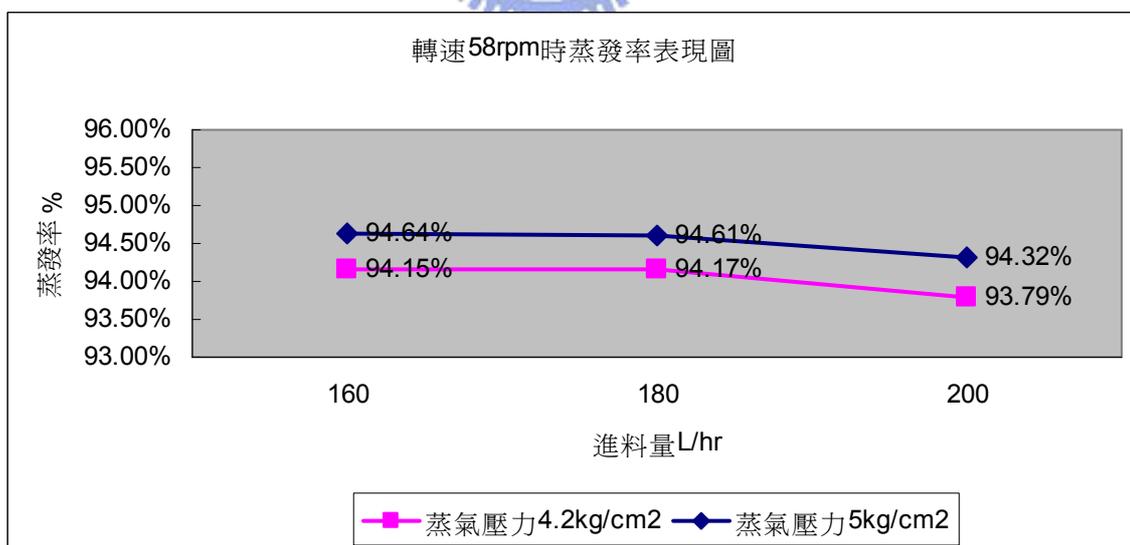


圖 4-2c 轉速 58rpm 時蒸發率表現圖

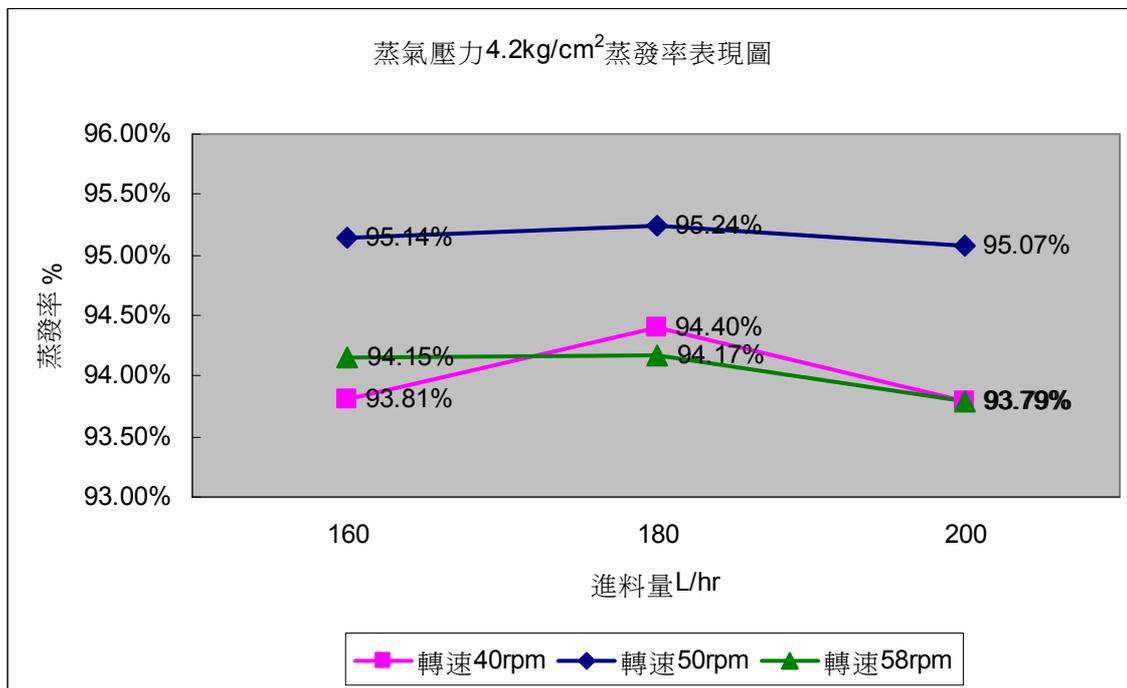


圖 4-3a 蒸氣壓力 $4.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 時蒸發率表現圖

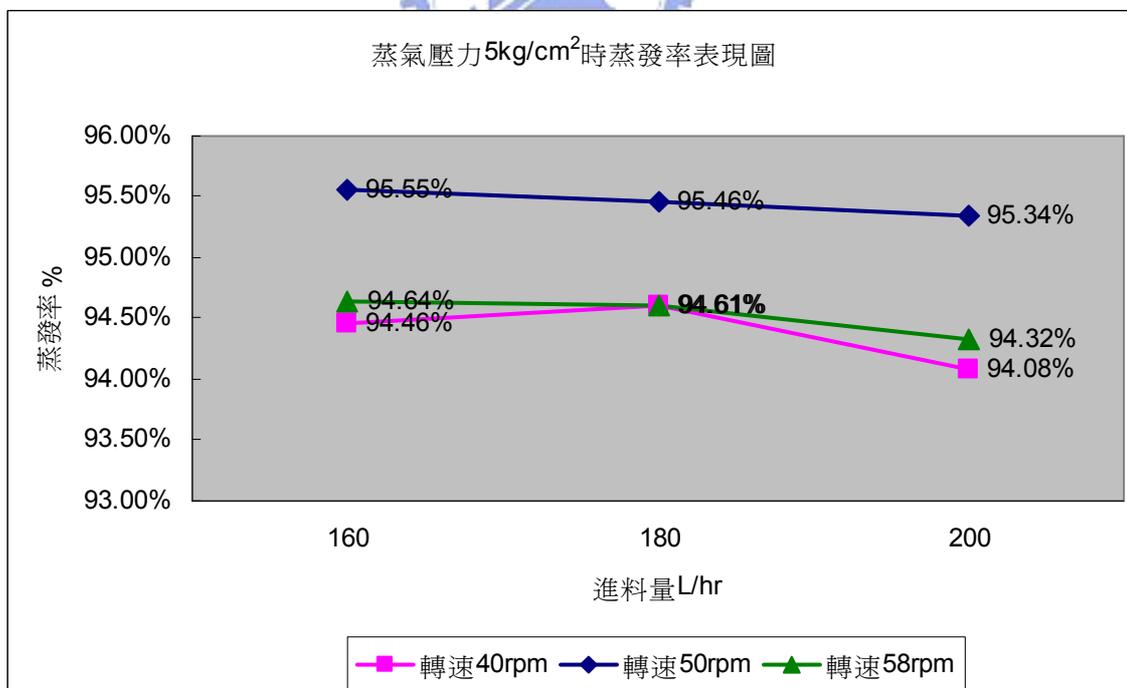


圖 4-3b 蒸氣壓力 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 時蒸發率表現圖

4.2 田口實驗結果

在第三章曾提過田口實驗資料分析包括S/N比計算、回應值(即S/N比平均值)計算及回應圖繪製，並利用變異數分析找出顯著因子，最後並進行確認實驗以驗證實驗之再現性是否良好，以下分別進行說明：

1. S/N比計算：

將表4-1中之各因子水準組合之薄膜蒸發器蒸發率結果列入表4-2實驗結果欄中，並使用望大特性(The -Larger-The-Better)計算S/N比，結果如表4-2。

2. 回應值(Response value)計算

利用S/N比可計算求得回應值(Response value)，計算結果如表4-3，回應值(Response value)是各因子水準組合下之S/N比平均值，回應值越大代表此水準對蒸發率而言較佳，故由表4-3可知，蒸氣壓力以水準二(5 kg/cm²)優於水準一(4.2 kg/cm²)，轉速以水準二(50 rpm)優於水準三(58 rpm)，水準三(58 rpm)又優於水準一(40 rpm)，進料量以水準二(180 L/hr)優於水準一(160 L/hr)，水準一(160 L/hr)又優於水準三(200 L/hr)。

而表中所謂Delta是指各因子的回應值範圍(Delta=最大回應值-最小回應值)，Delta越大，代表的意義為此因子影響越顯著，表的最後一列(Rank)標示各水準之Delta的大小次序，亦即因子影響蒸發率之程度大小次序，故由表4-3中可知各因子對於蒸發率影響程度由大至小依序為

表4-2 實驗結果及S/N比計算表

實驗組別	因子			實驗結果		S/N比
	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 (rpm)	進料量 (L/hr)	Y _{1-i} (%)	Y _{2-i} (%)	
1	4.2	40	160	93.92	93.69	39.445
2	4.2	40	180	94.29	94.50	39.499
3	4.2	40	200	93.79	93.79	39.443
4	4.2	50	160	95.22	95.06	39.567
5	4.2	50	180	95.24	95.24	39.576
6	4.2	50	200	95.17	94.98	39.561
7	4.2	58	160	94.15	94.15	39.476
8	4.2	58	180	94.05	94.29	39.478
9	4.2	58	200	93.79	93.79	39.443
10	5.0	40	160	94.55	94.36	39.505
11	5.0	40	180	94.71	94.50	39.518
12	5.0	40	200	94.08	94.08	39.470
13	5.0	50	160	95.61	95.49	39.605
14	5.0	50	180	95.39	95.53	39.596
15	5.0	50	200	95.34	95.34	39.586
16	5.0	58	160	94.74	94.55	39.522
17	5.0	58	180	94.50	94.71	39.518
18	5.0	58	200	94.32	94.32	39.492
					平均	39.517

表4-3 回應值計算表

水準數	回應值		
	因子A	因子B	因子C
	蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 (rpm)	進料量 (L/hr)
1	39.499	39.480	39.520
2	39.535	39.582	39.531
3	-	39.488	39.499
Delta	0.036	0.102	0.032
Rank	2	1	3

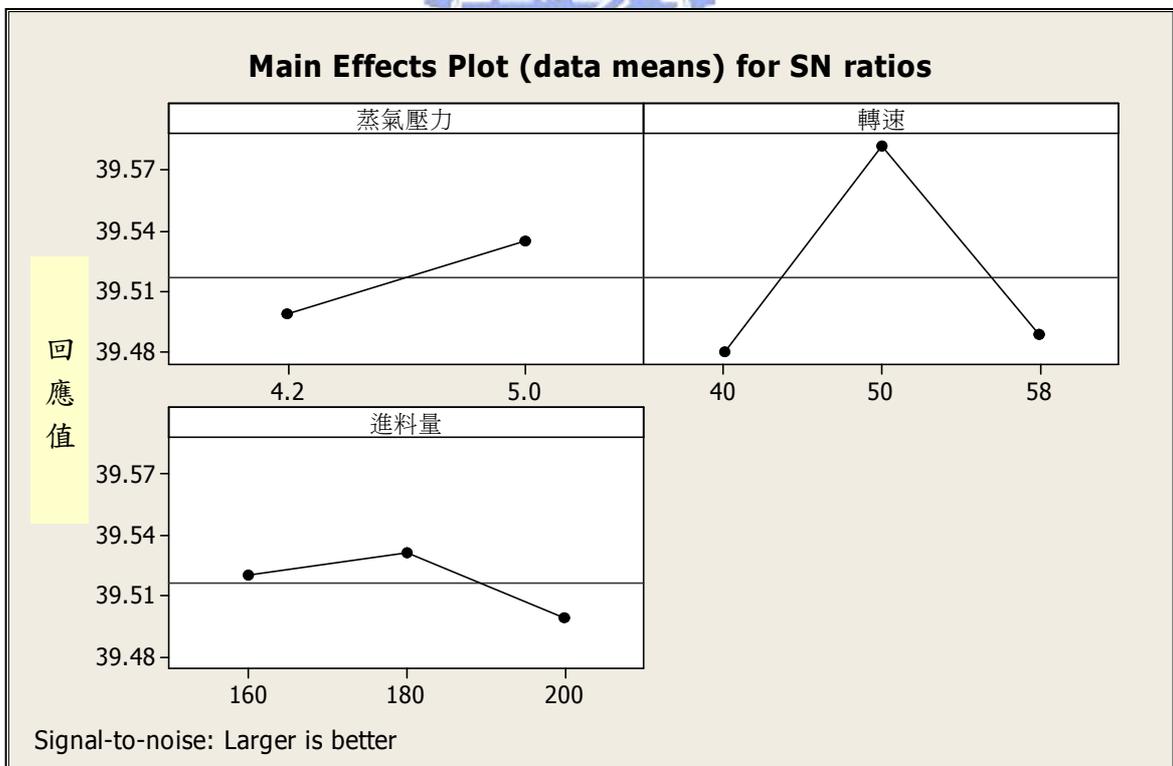


圖 4-4 三因子(蒸氣壓力、轉速、進料量)回應圖

轉速、蒸氣壓力、進料量。

3. 回應圖繪製:

接著利用表4-3繪出回應圖，圖4-4為三個因子(蒸氣壓力、轉速、進料量)之回應圖。由於回應值(Response value)越大代表此水準對於實驗結果影響力越大，故由圖4-4可知，對蒸發率而言，蒸氣壓力以水準二(5 kg/cm²)為較佳設定；轉速以水準二(50 rpm)為較佳設定；進料量以水準二(180 L/hr)為較佳設定，故進料量180 L/hr、蒸氣壓力5kg/cm²、轉速50 rpm為較佳的因子水準組合。

另外從各因子的回應圖直線的斜率亦可判斷此因子對蒸發率影響之大小，斜率越高，表示該因子對蒸發率的影響愈大。故由圖4-4之斜率變化得知對於蒸發率影響程度由大至小依序為轉速、蒸氣壓力、進料量，其結果與上述Delta值相同。

4. 變異數分析

表4-4a為計算所得之變異數分析表，表中貢獻率大小代表此因子顯著程度亦即影響蒸發率程度大小，由表我們可知對於蒸發率影響程度由大至小依序為轉速(貢獻率77.28%)>蒸氣壓力(貢獻率11.35%)>進料量(貢獻率5.71%)，此結果與上述從回應圖直線斜率判斷所得結果相同。另表中因子C(進料量)變異數V最小，且其貢獻率(5.71%)與誤差之貢獻率(5.66%)接近，故需將C因子併入誤差項再次進行分析，併入後所

得之變異數分析表如表4-4b，表中因子A(蒸氣壓力)之F值為15.77大於F檢定表 $F_{0.05}$ 值4.6及 $F_{0.01}$ 值8.86，而因子B(轉速)之F值為52.6亦大於F檢定表 $F_{0.05}$ 值3.74及 $F_{0.01}$ 值6.51，代表蒸氣壓力及轉速兩因子皆為極顯著因子。因子B(轉速)之貢獻率為76.46%大於因子A(蒸氣壓力)之貢獻率10.94%，代表轉速因子為本研究實驗影響蒸發率最顯著之因子。

5. 確認實驗

我們選用顯著因子最佳操作條件轉速50rpm及蒸氣壓力5kg/cm²進行確認實驗，確認實驗之S/N比理論推估值 η 為：

$$\eta = \text{實驗結果SN平均值} + (\text{顯著因子1之最大回應值} - \text{實驗結果SN平均值}) + (\text{顯著因子2之最大回應值} - \text{實驗結果SN平均值}) + \dots$$

由前面表 4-2 得知總 SN 平均值為 39.517，表 4-3 可得知轉速因子最大回應值查為 39.582，蒸氣壓力最大回應值為 39.535，故計算得知 S/N 比理論推估值為：

$$\eta = 39.517 + (39.582 - 39.517) + (39.535 - 39.517) = 39.600$$

表 4-5 為實際以轉速 50rpm 及蒸氣壓力 5kg/cm² 進行實驗之數據，兩筆結果顯示蒸發率皆為 95.53%。將實驗結果帶入公式求出實際實驗 S/N 比為 39.603，高於理論推估值 39.600，其誤差率為：

$$\text{誤差率}(\%) = \frac{(39.603 - 39.600)}{39.600} \times 100\% = 0.01\% < 5\%$$

由於誤差率為 0.01% 小於本研究所預設之 5%，故我們可稱本實驗再現

表4-4a 變異數分析表

實驗因子	自由度 Φ	偏差平方和S	變異數V	F值	純偏差平方和S'	貢獻率 ρ
A(蒸氣壓力)	1	0.0058	0.0058	35.09	0.0056	11.35%
B(轉速)	2	0.0385	0.0192	117.08	0.0382	77.28%
C(進料量)	2	0.0031	0.0016	9.58	0.0028	5.71%
e(誤差)	12	0.0020	0.0002	-	-	5.66%
Total	17	0.0494				



表4-4b 變異數分析表(併入誤差)

實驗因子	自由度 Φ	偏差平方和S	變異數V	F值	純偏差平方和S'	貢獻率 ρ	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
A(蒸氣壓力)	1	0.0058	0.0058	15.77	0.0054	10.94%	4.60	8.86
B(轉速)	2	0.0385	0.0192	52.60	0.0377	76.46%	3.74	6.51
e*(併入誤差)	14	0.0051	0.0004			12.60%		
Total	17	0.0494						

*註:併入誤差指的是將因子C(進料量)當作誤差併入原先之誤差項內

性良好，而本研究之因子水準選用正確。

4.3 效益預估及驗證

本研究案例之光電廠自 2006 年 10 月起，依據全因子實驗最佳參數設定：進料量 160L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm 進行薄膜蒸發器實際運轉驗證，表 4-6 為本研究案例之光電廠薄膜蒸發器分別應用田口方法與全因子實驗法進行可控因子調整前後所得結果之差異比較，以下分別說明：

1. 最佳參數設定：

未調整前薄膜蒸發器運轉參數為進料量 180L/hr、蒸氣壓力 4.2kg/cm²、轉速 58rpm；全因子實驗最佳參數設定為進料量 160L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm；而田口方法最佳參數設定為進料量 180L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm。

2. 薄膜蒸發器蒸發率：

未調整前薄膜蒸發器蒸發率為 94%，若以全因子實驗結果最佳參數設定進行調整，預估可得到 95.55% 的蒸發率，而實際穩定持續運轉更高達 95.61%，較未調整前提高 1.61%；若使用田口方法實驗結果最佳參數設定進行調整，則可得到 95.46% 的蒸發率，較未調整前提高 1.46%。

3. 回收系統設備回收率：

未調整前去光阻劑回收系統設備回收率 86%，若以全因子實驗結果最

表4-5 確認實驗數據表

蒸氣壓力 (kg/cm ²)	轉速 rpm	進料量 (L/hr)	蒸發率%		S/N比實際實驗值	S/N比理論推估值
			1	2		
5	50	180	95.53%	95.53%	39.603	39.600

表4-6 本研究案例之光電廠薄膜蒸發器參數調整前後效益分析比較表

	調整前	調整後 (全因子實驗)	調整後 (田口方法)
蒸氣壓力設定(kg/cm ²)	4.2	5	5
轉速設定(rpm)	58	50	50
進料量設定(L/hr)	180	160	180
蒸發率(%)	94	95.55	95.46
廢液量(公噸/年)	169.22	149.76	151.57
預估設備回收率(%)	86.00	87.55	87.46
實際設備回收率(%)	86.00	87.61	87.46(預估)
回收系統回收產量 (公噸/年)	1038.88	1058.33	1056.52
預估節省費用 (新台幣 元/年)	-	1,322,600	1,199,520

佳參數設定進行調整，預估可得到 87.55%的設備回收率，而實際穩定持續運轉更高達 87.61%，較未調整前提高 1.61%；若使用田口方法實驗結果最佳參數設定進行調整，則可得到 87.46%的設備回收率，較未調整前提高 1.46%。

4. 廢液產生量:

未調整前去光阻劑回收系統設備每年排放 169.22 公噸廢液(以本研究光電廠 2005 年總進料量 1208 公噸計算)；若以全因子實驗結果最佳參數設定進行調整，每年排放量將降低至 149.76 公噸，廢液量較未調整前每年減少 19.46 公噸；若使用田口方法實驗結果最佳參數設定進行調整，每年排放量將降低至 151.57 公噸，廢液量較未調整前每年減少 17.65 公噸。

5. 經濟效益:

未調整前去光阻劑回收系統設備回收率 86%，依據本研究案例之光電廠 2005 年總進料量 1208 公噸計算，可產出 1038.88 公噸之回收液；若以全因子實驗結果最佳參數設定進行調整，實際穩定運轉之設備回收率為 87.61%，可產出 1058.33 公噸之回收液，以去光阻劑每公升 68 元計算，較未調整前，每年可節省新液使用費用新台幣 1,322,600 元；若使用田口方法實驗結果最佳參數設定進行調整，則可得到 87.46%的設備回收率，可產出 1056.52 公噸之回收液，以去光阻劑每公升 68 元計

算，較未調整前，每年可節省新液使用費用新台幣 1,199,520 元。另考量調整前後操作成本差異，蒸氣壓力由 $4.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 調整為 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，由於本研究探討光電廠係由鍋爐提供 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 蒸氣至去光阻劑回收系統現場經壓力調整閥減壓，故以蒸氣壓力而言，操作成本並無差異。另轉速由原設定 58rpm 調整為 50rpm，每年可節省 274 度用電，以每度電費 1.6 元計算，僅差異 439 元/年，可忽略不計，故調整前後操作成本幾無差異，在此不予計算。



五、結論與建議

5.1 結論

1. 本研究案例之光電廠薄膜蒸發器單元控制因子，對蒸發率影響程度由大至小依序為轉速 > 蒸氣壓力 > 進料量。
2. 本研究案例之光電廠薄膜蒸發器單元控制因子參數設定，若以全因子實驗進行最佳化調整，則以進料量 160L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm 為最佳的參數組配，可得到 95.55%的蒸發率，較未調整前提昇 1.55%。
3. 本研究案例之光電廠薄膜蒸發器單元操作控制因子參數設定，若以田口方法進行最佳化調整，則以進料量 180L/hr、蒸氣壓力 5kg/cm²、轉速 50rpm 為較佳的因子水準組合，可得到 95.46%的蒸發率，較未調整前提昇 1.46%。
4. 若以全因子實驗最佳參數設定進行薄膜蒸發器單元調整，每年廢液排放量將較未調整前減少 19.46 公噸；若使用田口方法實驗最佳參數設定進行調整，每年廢液排放量將較未調整前減少 17.65 公噸。
5. 若以全因子實驗結果最佳參數設定進行薄膜蒸發器單元調整，每年可節省新液使用費用新台幣 1,322,600 元；若使用田口方法實驗結果最佳參數設定進行調整，每年可節省新液使用費用新台幣 1,199,520 元。

5.2 建議

1. 本研究案例顯示，全因子實驗與田口方法應用於光電廠之薄膜蒸發器參數調整，所得到的效益差異並不大，若考量進行測試時之人力、物力、時間等條件，建議實廠可以考慮應用田口方法來進行去光阻劑回收系統薄膜蒸發器運轉最佳化調整。
2. 本研究所探討之薄膜蒸發器控制因子，受限於實廠去光阻回收系統需維持在穩定運轉狀態，故僅選用進料量、轉速、及蒸氣壓力三個可控因子進行調整，其餘可能影響薄膜蒸發器效能的不可控因子如：真空度、不純物(光阻、水分)濃度僅能固定皆無法進行測試，若有可能，應將此二因子納入實驗因子進行實驗。



參考文獻

1. 財團法人塑膠工業技術發展中心，塑膠 e 學苑，塑膠商情新聞 2006.12.05，網址：<http://www.pidc.org.tw/default.aspx>。2006.12.29
2. 陳溢瀟等，「廢溶劑回收系統於 TFT-LCD 製造廠之應用」，奈米通訊，第十二卷第二期，P.52~57，2005。
3. 友達光電股份有限公司，「TFT-LCD 製程介紹」，網址：<http://www.auo.com>，2006.06.15。
4. 鄭智和，「TFT-LCD 製造業廢棄物處理現況探討」，經濟部資源化產業資訊，第 11 期，2004 年 3 月。
5. 園區事業廢棄物再利用資訊網，「各類廢棄物再利用量能統計」，網址 <http://5d14.tgpf.org.tw/opt03-0202.asp>，2007.01.02。
6. 張德安、樊雨心、周宜衡、顧鴻壽、周本達、陳密，光電平面面板顯示器基本概論，p.20，2002。
7. 黃國華，「刮模式分子蒸餾程序分析」，國立中正大學化學工程研究所碩士論文，2000。
8. 吳瀧川、魏正琪，單元操作，四版，高立書局，1989。
9. 陳振揚，化工機械，四版，三民書局，1993。
10. 馮武文，「分子蒸餾:一項特殊的液-液分離技術」，上海化工，第三期，P5~7，1999。
11. 馮武文、楊村、于宏奇，「分子蒸餾技術及其應用」，化工進展，第 17 卷第 6 期，1998。
12. 劉文宗，「分子蒸餾的原理與應用」，化工技術，第四卷，第七十三期，p.174~179，1999。

- 13.王啟川，熱交換器設計(I)，五南圖書，2003。
- 14.Incropera，DeWitt 原著，熱傳遞，張仲卿等譯，四版，高立書局。
- 15.Biesenberger,J.A. and Sebastian ,D.H., ”Principles of Polymerization Engineering”,P.653.Wiley,New York,1983,。
- 16.Mckenna,T.H, ”Design Model of A Wiped Film Evaporator Applications to The Devolatilisation of Polymer Melts ”，Chemical Engineer Science，453~467,vol.50 No.3,1995。
- 17.蔡明錫，「刮膜式蒸發系統分析與設計」，國立中正大學化學工程研究所碩士論文，1999。
- 18.井長慧等，「攪拌式薄膜蒸發性能研究」，觸媒與製程，Vol.7 No.4，82~89 頁，1999。
19. 丁志華、戴寶通，「田口實驗計畫法簡介 (I)」，毫微米通訊，第八卷，第三期，p.7~11，2002。
- 20.李輝煌，田口方法：品質設計的原理與實務，高立圖書，2000。
- 21.劉克琪，實驗設計與田口式品質工程，初版，華泰書局，1994。
- 22.蔡秀惠，「利用外加電場掃流微過濾程序處理化學機械研磨廢水之研究」國立中山大學環境工程研究所碩士論文，2001。
- 23.尋智顧問有限公司，DOE 專頁，「變異數分析的認識與應用」，網址：<http://www.eurekacp.com.tw/index.htm>，2006.12.28。
- 24.陳耀茂 譯，田口實驗計畫法，滄海書局，台中市，1997。
- 25.蘇朝墩，產品穩健設計-田口品質工程方法的介紹和應用，中華民國品質學會，台北市，1999。
- 26.鍾朝嵩 譯，工廠實驗計畫法，先鋒企業管理發展中心，桃園縣，1990。

- 27.陳弘哲，「以田口方法探討鑽頭研磨參數對鑽削性能與鑽孔品質之影響」，私立中原大學機械工程研究所碩士論文，2003。
- 28.郭信川、張建仁、吳任仕，「田口式直交表之實驗設計法於艙口角隅形狀參數最適設計」，第一屆台灣作業研究學會學術研討會暨 2004 年科技與管理學術研討會，674~679 頁，2004。
- 29.Katsumi Tochigi, Kentarou Akimoto, Kenji Ochi, Fangyhi Liu and Yasuhito Kawase, "Isothermal Vapor-Liquid Equilibria for Water + 2-Aminoethanol + Dimethyl Sulfoxide and Its Constituent Three Binary Systems", JOURNAL OF CHEMICAL & ENGINEERING DATA, Vol.44 No.3,P588-590, 1999。

