



# 逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

蒸餾塔之回授控制系統研究

作者：劉懿萱、詹惠婷、張紋綺、洪惠娟、吳孟儒

系級：化工三甲

學號：D9463572、D9463484、D9463406、D9463703、D9360108

開課老師：陳奇中教授

課程名稱：程序控制

開課系所：化學工程學系

開課學年：96 學年度 第一 學期

## 中文摘要

蒸餾塔的功用是將多成份系的原料經過加熱後，由塔中央的下面適當位置做為進料層，以進行蒸餾或精餾為目的。而蒸餾液組成、蒸餾液流率、塔頂壓力...等等變因都會影響輸出的結果，本報告以流量控制、溫度控制、液位控制、壓力控制分別討論對蒸餾塔系統輸出之影響。



**關鍵字：** 回授控制系統、流量控制、溫度控制、液位控制

## 目 次

一、蒸餾塔基本構造.....	6
二、蒸餾塔使用原理.....	6
三、蒸餾塔功能.....	7
四、蒸餾塔之基本流程.....	8
五、蒸餾塔之設計.....	9
六、蒸餾塔之模擬實例.....	13
七、結語.....	19



## 圖 目 錄

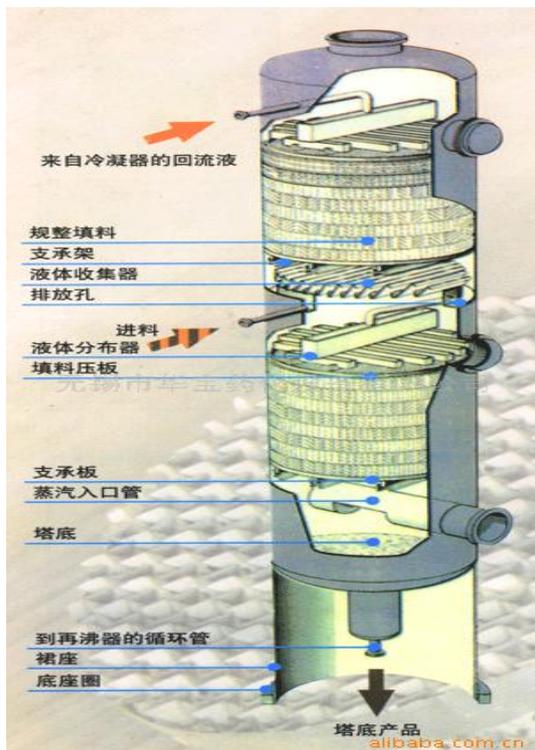
圖一 蒸餾塔構造圖.....	06
圖二 蒸餾塔之基本流程裝置圖.....	08
圖三 典型之蒸餾塔.....	09
圖四 典型之蒸餾塔控制情況.....	10
圖五 進料流率之控制情況.....	12
圖六 溫度控制環之塊解圖.....	13
圖七 模擬 MPC 之架構圖.....	14
圖八 圖控軟體及蒸餾塔連結圖.....	16
圖九 蒸餾塔流程與控制系統.....	16
圖十 CV1、CV2 與 CV3 之應答圖.....	18

## 表目錄

表一 MATLAB 軟體識別出程序之模式.....	18
---------------------------	----



## 一、蒸餾塔基本構造【1】



圖一 蒸餾塔構造圖【2】

蒸餾塔的內部設有盤架，盤架的附屬機件（如罩蓋、溢流堰、封鍋蓋、排送管、分散器、擋板、除霧器）等，在塔壁裝有各種管接頭、人員進出孔、以及安裝各種測量儀器等。盤架的形態有船型、泡鐘型、多孔板、摺曲式、波紋型、壓載型等。

## 二、蒸餾塔使用原理

蒸餾塔主要目的，是將含有多種成份的液體，作逐一分離。其主要是利用各物質之特有物理性質—蒸氣壓而進行分離。蒸氣壓愈高，揮發度較高之物質容易先被分離出來，而且通常蒸氣壓較高的物質，其揮發度也高，但是其沸點較低，易被加熱而發生沸騰。

※蒸餾的理論基礎有二種：勞特定律與道耳吞分壓定律，以下將逐一作介紹。

### 1. 勞特定律【3】

混合液中成份 A 之平衡蒸氣壓  $P_A$ ，應為該成份在液相中之莫耳

分率  $X_A$ ，與在同溫下純 A 的平衡蒸氣壓  $P_A^0$  之乘積。

$$P_A = X_A P_A^0 \quad ; \quad \text{總壓力 } P_t = P_A + P_B = P_B^0 + (P_A^0 - P_B^0) X_A$$

(1) 在同溫下，濃度不同的兩溶液，其總蒸氣壓亦不相同。

(2) 符合勞特定律的溶液，稱為理想溶液。例如：甲苯與苯。

## 2. 道耳吞分壓定律【3】

混合氣體中，成份 A 之分壓  $P_A$ ，為  $P_t$  與該成份莫耳分率  $y_A$  之乘積。

$$P_A = y_A P_t$$

where,  $y_A$  : 氣相中成分 A 的莫耳分率

引用勞特定律公式和道耳吞分壓定律公式可得到公式：

$$X_A = \frac{P_A}{P_A^0 - P_B^0}$$

## 三、蒸餾塔功能

利用混合物的各成分沸點的不同，將混合物導入塔中之後，控制溫度使其分成氣、液兩相。沸點較低的物質會汽化往塔頂方向流出，沸點較高的物質則以液體狀態於塔底排出，以達到混合物物質分離的效果。

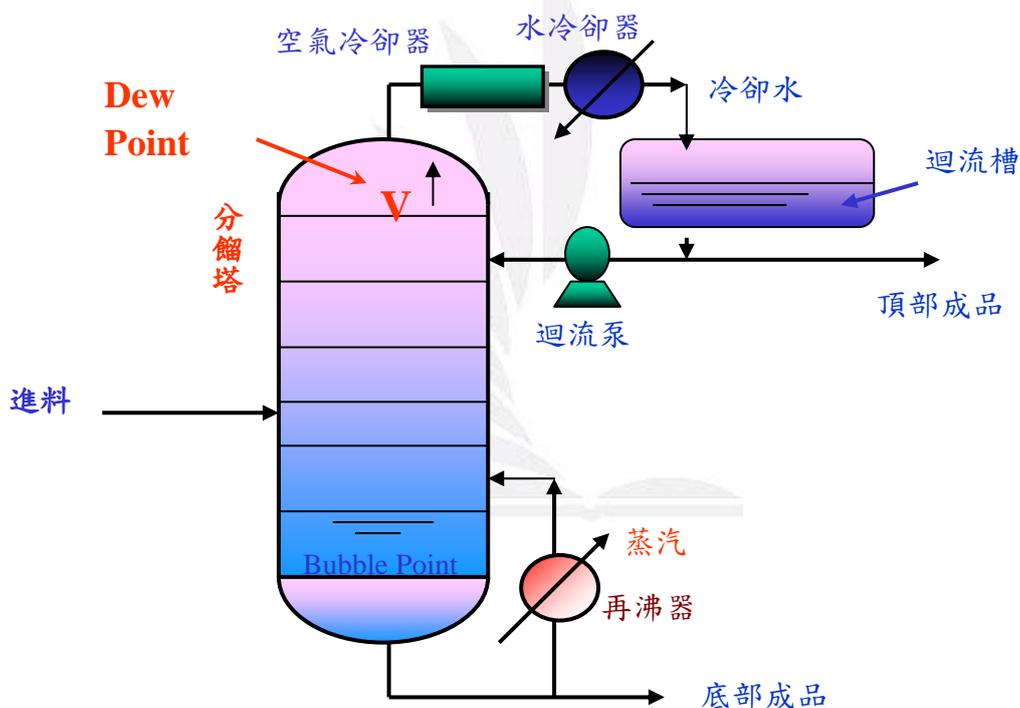
### ※注意：【4】

物質達共沸點時，液相之組成與氣相之組成相同，故無法繼續蒸餾出純度更高的純物質，此時必須再加入另一成分，使得餾液其中一

物質能與其相結合重新產生共沸，然後再次作蒸餾動作，便能得到更高純度的物質，此步驟稱為共沸蒸餾。

以酒精為例，酒精在蒸餾塔能餾出的最高純度是 95%，純度到了 95%時，水和酒精便會產生共沸，若欲得到更高的純度，就必須再加入苯，水與苯互溶之後，便會與酒精分離，且此時酒精沸點較低，於是較高純度的酒精便能從塔底取得。

#### 四、蒸餾塔之基本流程

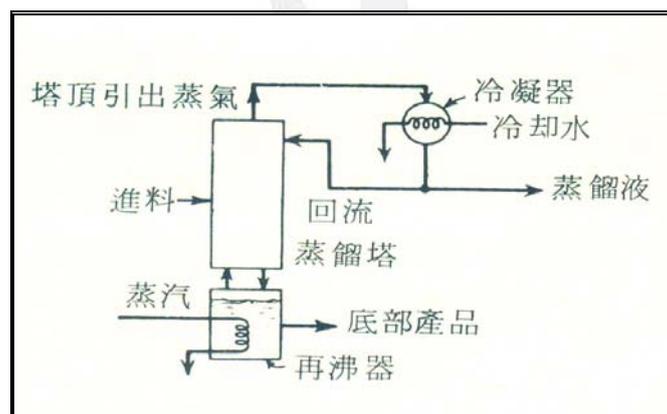


圖二 蒸餾塔之基本流程裝置圖【5】

原料進口處在蒸餾塔中央稍下方處，經加熱達預定的溫度後，進入蒸餾塔內部。此時因加熱的作用可能會有大於 10%的原料會產生氣體，因此塔中的原料氣體自塔底往上升，然後經過上層泡罩而與盤架

上液體混合。且與該液體同沸點的成份即在該層中液化，經過溢流管流落至下層盤架。而不能液化的低沸點成份物質即以氣體形態再由塔中上升，同樣經過上層泡罩而於盤架上與溶液接觸，如此一再重覆使液體與氣體相互接觸，使一部份液化，並降落至塔之下層的盤架，於是沸點最低的成份即以氣態直達塔頂。而且，可在塔之最上部及二、三層位置將該處液化之液體送回當作回流，提高塔內之熱度平衡及提高其精餾效果。

### 五、蒸餾塔之設計【6】



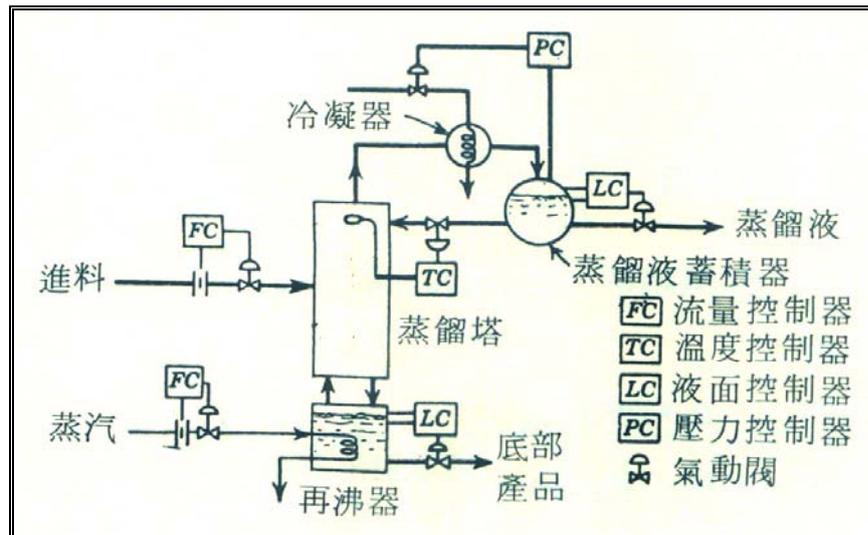
圖三 典型之蒸餾塔【6】

如圖三所示，典型之蒸餾塔控制，大多固定進料的流率與組成，並且於蒸餾塔中加入再沸器(Reboiler)，則穩態下之蒸餾液及底部產品的流率與組成，及塔頂壓力皆為固定，故可將輸入及輸出變數分列如下：

※輸入變數：

1. 進料流率(設進料溫度為一定)

2. 進料成分
3. 蒸氣流率(設在一定之飽和溫度下)
4. 冷卻水流率(設水溫一定)
5. 回流比



圖四 典型之蒸餾塔控制情況【6】

※輸出變數：

1. 蒸餾液組成
2. 蒸餾液流率
3. 底部產品組成
4. 底部產品流率
5. 塔頂壓力

輸入變數與輸出變數之數目一般不必相等。理論上，每個輸入變數與輸出變數之間皆有一轉移函數，以上述來說，總共有 25 個轉移

函數。通常為了簡化計算，會做許多假設。例如：研究回流比變化時，回流比變化對蒸餾液組成之影響較為直接，僅考慮此二者間之轉移函數即可。

對一個蒸餾塔而言，通常以蒸餾液組成(及純度)之控制為最重要，再假設較次要之底部產品組成所發生之微量變化。蒸餾塔之主要控制器如下：

### (1) 流量控制器

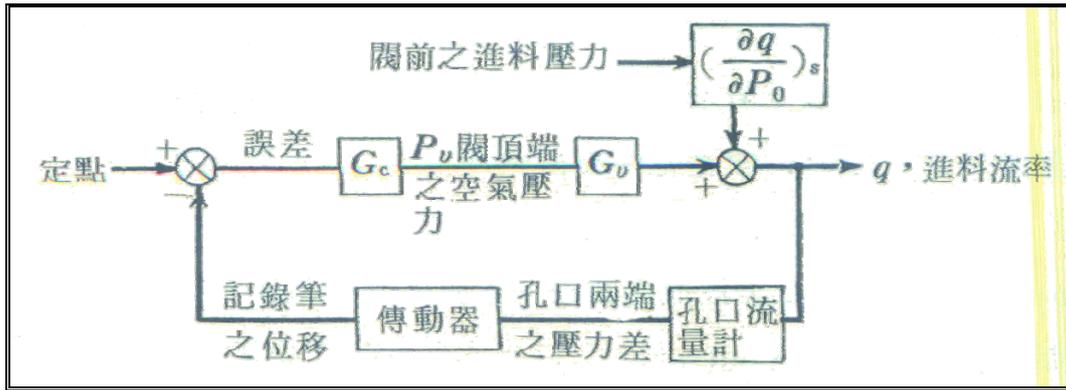
由圖四可知，五種輸入變數中任何一個發生變化皆會影響蒸餾液組成。若再進料及蒸氣輸入處各添置一流速控制器 FC，則可消除進料流率及蒸氣流率之變化。

圖五為動作原理塊解圖：在進料管線上加裝一孔口流量計 (Orifice Meter) 以測量流量，測出兩邊之壓差，經過一傳動器 (Transducer) 傳至控制器，在與定點比較後，控制器輸出一空氣信號至閥之頂端。通過閥之流率，同時受此空氣信號及閥的上游處進料壓力之影響。圖中  $(dq/dP_v)s$  與施於閥頂端空氣壓力間關係之轉移函數，可藉下式表示：

$$G_v(s) = (dq/dP_v)s / \tau_v s + 1 = K_v / 1 + \tau_v s$$

；其中  $P_v$  為所施之氣壓。

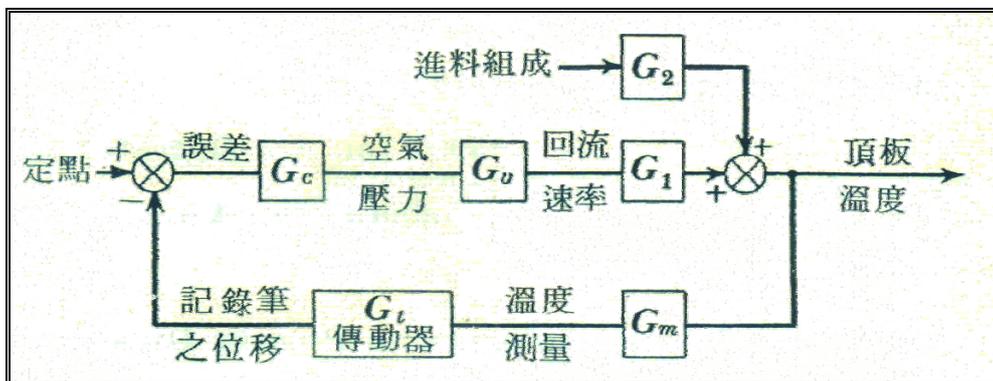
由於流率與壓差之平方跟成正比，且孔口流量計乃一非線性裝置，故必須使用液面控制系統處理方法將平方根關係線性化。



圖五 進料流率之控制情況【6】

(2)溫度控制器

若塔頂壓力保持一定，則塔內頂板(Top Plate)處液體之溫度及沸點可作為蒸餾塔純度之基準，而蒸餾液組成可藉由調整塔中之回流比來控制：回流比增加時，蒸餾液純度增加；反之，回流比減少時，蒸餾液純度亦減少。如圖四所示，在蒸餾液蓄積器(Accumulator)與蒸餾塔間添置一溫度控制器(TC)，可達成控制蒸餾液純度之目的。例如：若頂板溫度增加，顯示沸點較高，蒸餾液純度低，此信號立即傳至溫度控制器，則溫度控制器將增大回流速率以提高蒸餾液之純度。圖六表示此溫度控制環之塊解圖，在此以進料組成作為負載變數。



圖六 溫度控制環之塊解圖【6】

### (3) 液位控制器

為便於增加或減少回流比及蒸餾液之輸出，在蒸餾液蓄積器上添置一液面控制器(LC)，使蓄積器中蒸餾液之液面保持一定，以調節蒸餾液流率；同理，在塔底之再沸器上裝置一液面控制器(LC)，使再沸器內液面維持一定，以調節底部產品流率。

### (4) 壓力控制器

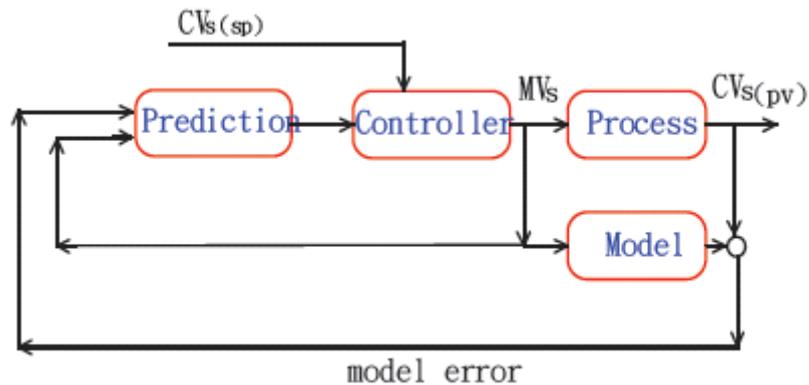
蒸餾塔之塔頂壓可藉調節供給冷凝器之冷卻水流率來控制。如圖四所示，在冷凝器與蓄積器間裝置一壓力控制器(PC)即可達控制之目的。塔頂壓力高時，PC 使冷卻水控制閥大開，增加冷卻水流率，使壓力降低；反之，減少冷卻水流率即可使壓力提高。

## 六、蒸餾塔之模擬實例【7】

本篇報告模擬實例採用模式預測器在隔牆式蒸餾塔之操作，利用蒸餾塔三個不同位置之溫度同時控制塔頂產品、側流產品與塔底產品之組成。

### 1. 基本架構:

模擬一個系統具有  $m$  個 Input(含操作變數 MV 及干擾變數 DV)、 $n$  個 Output(被控制變數)的系統，MPC 必須利用辨識方法建立  $n \times m$  個程序模式，模式採用 FIR Model，模擬 MPC 之架構如圖所示：



圖七 模擬MPC之架構圖【7】

其中，**Prediction**: predict future trajectory of all CVs

**Controller**: determine optimal MVs to bring CVs to setpoints by using SQP algorithm

**Model**: FIR model

**Process**: plant or rigorous model

## 2. 假設 MPC 控制結構

(1) 選定 Input(含操作變數 MV 及干擾變數 DV)及 Output(被控制變數、限制變數 CV)

(2) 決定 CV 類型

(3) 決定 MV 的限制條件

(4) 決定 MV、CV 之 priority

(5) 參數設定:

a. 控制長度 CH: 設定 CH 值來參考軌跡的路徑, CH 值設定大時控制動作會減慢; CH 值若減小控制動作會增快, 對模式誤差的靈敏度增高。

$$CH = 4 \times (\tau_1 \times K_1 + \dots + \tau_n K_n) / (K_1 + \dots + K_n)$$

$\tau_1 \dots \tau_n$  : 時間常數

本文設定:  $K_1 \dots K_n$  : 增益 (Gain)

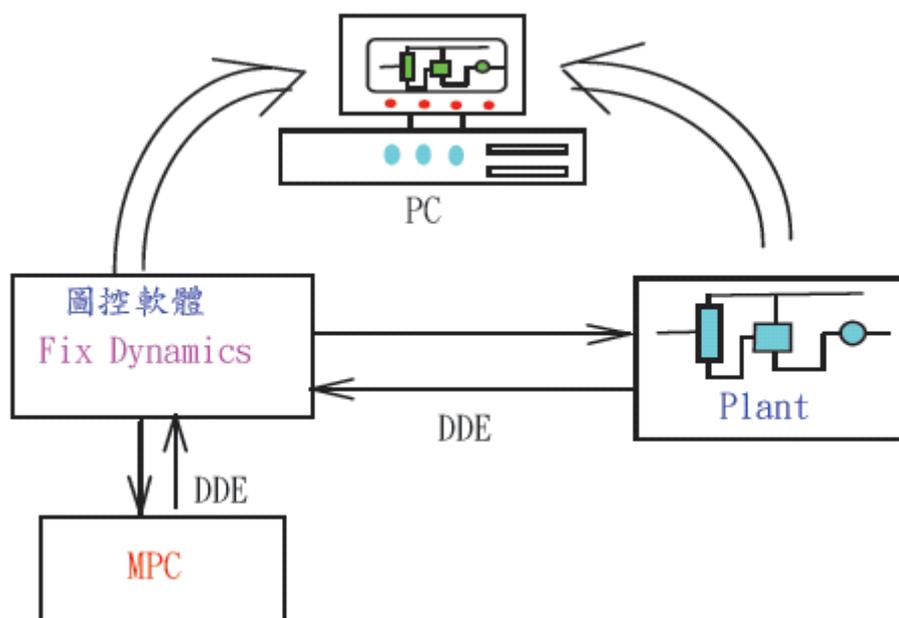
- b. 控制週期: 定為主要模式之時間常數的 1/10
- c. 預測長度 (PH) 與比較點數
- d. 權重與優先順序

### 3. 模式預測器在隔牆式蒸餾塔實際測試結果

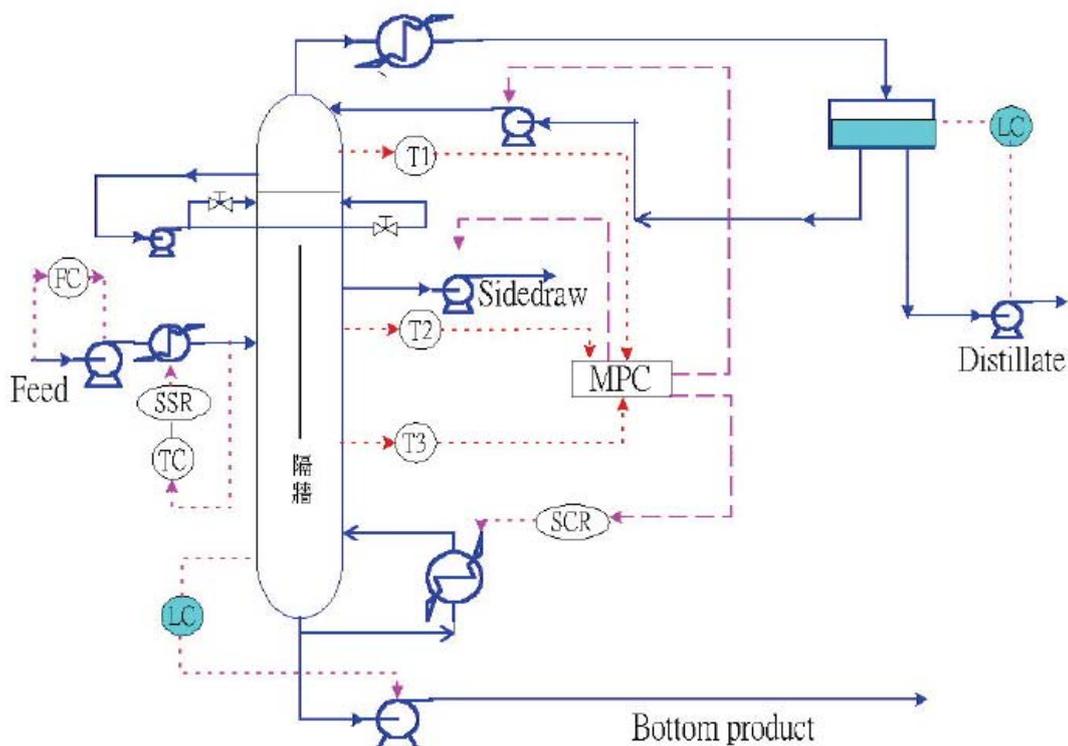
測試 MPC 控制性能，我們利用小型隔牆式蒸餾器測試:

(1) 實驗設備: 蒸餾塔、冷凝器、再沸器、回流槽、計量泵、溫度計、  
液位計

※圖控軟體及蒸餾塔連結圖如下:



圖八 圖控軟體及蒸餾塔連結圖【7】



圖九 蒸餾塔流程與控制系統【7】

**(2) CV, MV 與 DV 之說明:**

**a. CV(被控制變數)有三個:**

第二個填充床位置的溫度(CV1)、第四個填充床位置的溫度(CV2)以及第七個填充床位置的溫度(CV3) ,

**b. MV(操作變數)有三個:**

即回流量(MV1)、測流量(MV2)、再沸器加熱量(MV3) ,

**c. DV(干擾變數)有兩個:**

即進料流量(DV1)與進料溫度(DV2)

**(3)控制流程 :**

a.進料流量是由 PC 經控制介面送出 4 ~ 20mA 信號給進料泵,直接

- 控制流量。
- b. 進料溫度係由 PID 控制器送出控制信號至 SSR 調節加熱帶之加熱量來控制。
  - c. 外回流量係由 MPC 計算出結果經控制介面送出 4 ~20mA 信號至外回流泵來控制。
  - d. 側流量(MV2) 係由 MPC 計算出結果，經控制介面送出 4 ~ 20mA 信號至側流泵來控制。
  - e. 再沸器加熱量之控制，是由 MPC 計算出結果經控制介面送出 4 ~ 20mA 信號至功率轉換器 (SCR) 換算出電功率 (MV3 ) 給加熱棒。
  - f. 內回流由內回流泵來控制，隔牆兩邊之內回流流量分別由閥控制，維持兩邊之流量相同。
  - g. 回流槽液位由液位控制器(LC)送出 4 ~20mA 信號至塔頂產品泵來控制。
  - h. 再沸器液位由液位控制器送出 4 ~20mA 信號至塔底產品泵來控制。

#### (4)模式的識別

在開環路下，分別將 MV1 、MV2 、MV3 、DVI 給予 Positive and Negative Step Change，收集 CV1、CV2、CV3 之應答數據利用

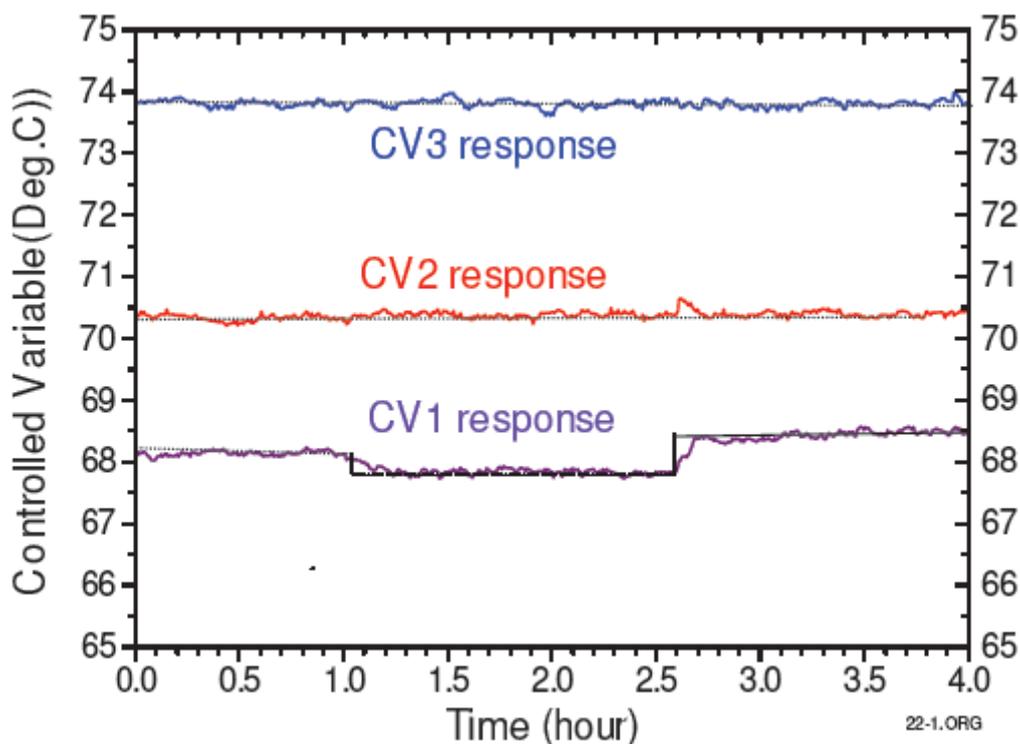
MATLAB 軟體識別出程序之模式。如下圖所示：

$\frac{-0.0368}{220s+1}e^{-20s}$	$\frac{0.001}{150s+1}e^{-10s}$	$\frac{0.0891}{230s+1}e^{-10s}$	$\frac{-0.0155}{300s+1}e^{-20s}$
$\frac{-0.0422}{200s+1}e^{-20s}$	$\frac{0.0103}{120s+1}e^{-20s}$	$\frac{0.1004}{210s+1}e^{-10s}$	$\frac{-0.0151}{270s+1}e^{-20s}$
$\frac{-0.0447}{200s+1}e^{-20s}$	$\frac{0.03}{150s+1}e^{-20s}$	$\frac{0.0838}{250s+1}e^{-10s}$	$\frac{-0.0216}{330s+1}e^{-20s}$

表一 MATLAB 軟體識別出程序之模式【7】

### (5)MPC 之實驗測試結果

CV1 設定點在 1.04 小時由 68.1°C 階梯變化至 67.8°C，在 2.6 小時階梯變化 68.5°C；CV2 設定點維持 70.4°C，CV3 設定點維持 73.8°C 之情況下，CV1、CV2 與 CV3 之應答如圖所示。



圖十 CV1、CV2 與 CV3 之應答圖【7】

## 七、結語

每個程序的環節都是緊密相連的，所以在設計程序上需相當謹慎！為了使系統之輸出變數保持一定的數值，或以預定之方式改變，故系統的回授控制系統就顯得相當重要。它能即時的修正原料的進出與各個閥調節的開度，使得系統對外來的雜訊干擾及內部參數的變動變得較不敏感，增進系統控制的準確度，提高產品的產率，進而得到最大的獲益。



## 參考文獻

**【1】**

**<http://www.che.yuntech.edu.tw/processlab/Distillation%20column.htm>**

**【2】**

**[www.uvn.cn/.../archive act index c 555044.jhtml](http://www.uvn.cn/.../archive_act_index_c_555044.jhtml)**

**【3】**

**[http://content.edu.tw/vocation/chemical engineering/tp\\_ss/content-wa/wchm2/wpage2-1.htm](http://content.edu.tw/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm2/wpage2-1.htm)**

**【4】**

**<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1405120300509>**

**【5】**

**[che.cycu.edu.tw/course/petroleum/distillation3.ppt2](http://che.cycu.edu.tw/course/petroleum/distillation3.ppt2)**

**【6】**程序控制，鄧禮堂著，P.199~203，高立圖書有限公司(1996)

**【7】**中華民國九十四年石油季刊 第41卷 第3期 P.03~07

## 自評

### 寫作情況

- 抄襲 (抄襲  
自 \_\_\_\_\_)
- 自行創作撰寫

### 文章類別

- 控制元件等相關報導
- 工廠控制實務
- 控制技術與理論
- 程序控制與人生
- 其他與程序控制相關主題

### 自評成績

- 極優 (內容充實、言之有物、能與上課主題產生關連、排版美工用心)
- 優 (內容充實、言之有物、能與上課主題產生關連)
- 佳 (內容充實、言之有物)
- 普通 (內容尚可)
- 有待改進 (沒有用心寫)
- 不用批改 (抄襲等情事)

能力及工作	劉懿萱	詹惠婷	張紋綺	洪惠娟	吳孟儒
簡報製作	★			★	
資料蒐集	★	★	★	★	★
創新思考	★	★	★	★	★
歸納整理	★	★	★	★	
溝通能力	★	★	★	★	★
團隊合作	★	★	★	★	★
工程倫理	★	★	★	★	★
時勢議題	★	★	★	★	★
專業發展	★	★	★	★	★
未來趨勢	★	★	★	★	★