報告題名：

蒸餾塔之回授控制系統研究

作者：劉懿萱、詹惠婷、張紋釩、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】

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。

圖一 蒸餾塔構造圖【2】

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PA，應為該成份在液相中之摩耳
分率 $X_A$，與在同溫下純 $A$ 的平衡蒸氣壓 $P_A^\circ$ 之乘積。

$$P_A = X_A P_A^\circ$$；總壓力 $P_t = P_A + P_B = P_B^\circ + (P_A^\circ - P_B^\circ) X_A$

(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：

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

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
蒸餾塔之迴授控制系統研究

物質能與其相結合重新產生存沸，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，酒精在蒸餾塔能蒸餾出的最高純度是 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

![蒸餾塔之基本流程裝置圖](image)

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】

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

※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數目皆有一轉移函數，以上述來說，總共有25個轉移函數。
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
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量控制器 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 \( \frac{dq}{dP} \) 與施於閥頂端空氣壓力間關係之轉移函
數，可藉下式表示:

\[ G_v(s) = \frac{dq}{dP_v} s/\tau_v s + 1 = K_v/1 + \tau_v s \]

；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

若頂板壓力保持一定，則頂板(Top Plate)處液體之溫度及沸點可作為蒸餾液純度之基準，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図，在此以進料組成作為負載變數。

圖六 溫度控制環之塊解図【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

蒸餾塔之塔頂壓力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 必需利用辨識方法建立 nxm 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，對模型誤差的靈敏度增高。
蒸餾塔之迴授控制系統研究

\[ CH = 4 \times (\tau_1 \times K_1 + \cdots + \tau_n K_n) / (K_1 + \cdots + K_n) \]
\[ \tau_1 \cdots \tau_n: \text{時間常數} \]
\[ K_1 \cdots K_n: \text{增益（Gain）} \]

本文設定:

b. 控制週期: 定為主要模式之間常數的 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、計量汞、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】](image)
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
蒸餾塔之迴授控制系統研究

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
蒸餾塔之迴授控制系統研究

MATLAB 軟體識別出程序之模式。如下圖所示:

表一  MATLAB 軟體識別出程序之模式【7】

<table>
<thead>
<tr>
<th>系數</th>
<th>表達式</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>-0.0368</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>0.001</td>
<td>$e^{-10s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>0.0891</td>
<td>$e^{-10s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>-0.0155</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>$\frac{1}{220s+1}$</td>
<td>$\frac{1}{150s+1}$</td>
</tr>
<tr>
<td>-0.0422</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>0.0103</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>0.0104</td>
<td>$e^{-10s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>-0.0151</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>$\frac{1}{200s+1}$</td>
<td>$\frac{1}{120s+1}$</td>
</tr>
<tr>
<td>-0.0447</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>0.031</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>0.0838</td>
<td>$e^{-10s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>-0.0216</td>
<td>$e^{-20s}$</td>
</tr>
<tr>
<td>$\frac{1}{200s+1}$</td>
<td>$\frac{1}{150s+1}$</td>
</tr>
</tbody>
</table>

(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

【3】
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

【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）

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