

# 以 STELLA 系統動態模式模擬活性碳吸附實驗

許迪翔<sup>1</sup>、洪肇嘉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國立雲林科技大學環安系

## 摘要

吸附係利用吸附劑去除溶液之溶質或污染物，常用如粉及粒狀活性碳等，廣泛用於給水、廢水及有機性工業廢水處理，具有吸附多種無機物及有機物之功能而且經濟又實用。

本研究設計環工單元操作之活性碳吸附實驗之模式，因實驗操作複雜且時間冗長，學生對實驗原理及操作無法深入了解。本研究藉由 STELLA<sup>[1]</sup> 系統動態模式模擬實驗，使用 VENSIM<sup>[2]</sup> 來畫出其正負回饋圖，以協助了解原理、實驗設計及操作條件。模式也可探討吸附塔為單一、串聯或並聯時，模擬操作處理及效果；如串聯的總貫穿體積較單一吸附塔為多，活性碳使用的效率也較好；而並聯吸附塔是將一定流量分成兩個吸附塔同時來處理，所以在處理的時間上較單一吸附塔少。在吸附容量方面也做了酚、苯及氯苯的比較，最後得到酚對於活性碳的吸附容量為最大，其次為氯苯，最小則為苯。程式也設計多個控制鈕改變實驗參數，協助找出最佳的處理方式。

此程式可運用在單元操作課程來輔助教學，方便學生學習活性碳吸附之原理與實驗，未來可進一步應用於設計處理活性碳固定床吸附塔與廢水處理程序。

關鍵字：系統動態模式、教學輔助、活性碳吸附

## 一、前言

環工與化工的相關科系會使用單元操作的實習與程序；在環境工程方面主要應用在空污防治、廢水處理及廢棄物處理等製程。在化工方面主要應用在操作流體與固體輸送、準備反應物、分離與精製產物、能量傳遞等。在進行單元操作實驗前，需先研讀並了解相關原理，以訓練學生了解每一套單元操作實驗的意義，使學生能了解理論與實務之配合，也熟悉各種機械之裝置原理及操作情景，藉此培養學生實驗與實作之能力<sup>[3]</sup>。

由於單元操作實習是模擬工廠之實際操作單元，所以必須注意操作之確實步驟及安全，才能順利完成；亦即同學於實驗前，務必了解該套實驗之內容與目的，在實習時間內完成，也必須對該設備流程有一定程度的了解，操作變數與實驗才不至於手忙腳亂，無法達到實習目的，甚至可能造成安全危害，所以需配合實習

手冊以助學生了解實驗過程，使學生在實驗過程可以較為順利。

本研究主要為建立活性炭吸附單元之系統動態模式，並且模擬作控制鈕來改變參數，並可立即得到實驗結果，也可協助老師在課堂上能夠利用參數改變使學生更了解實驗的內容與目的。本研究中使用 STELLA 系統動態模式來輔助教學，利用控制鈕模擬實驗時的操作情形，並改變實驗參數，並且能夠立即得到實驗結果<sup>[4]</sup>。於上課時或實驗時可說明不同參數之影響，協助學生們在實習前能夠進一步了解實驗的內容與目的。也應用 VENSIM 來畫出各個實驗的正負回饋圖，有助於模式建立與設計原理的了解。

## 二、研究方法

### 2.1 活性炭吸附之系統動態模式：

#### (1) 建立活性炭吸附之因果關係圖

本研究利用系統動態學建立模式並進行模擬推估，主要以 STELLA 動態軟體建立活性炭吸附的模式，其建立模式的主要考量為吸附劑的濃度及吸附容量、溶液流量；吸附容量一般依據吸附劑的種類來決定，本模式的建立是以活性炭為吸附劑。活性炭吸附之正負回饋圖如圖 1 所示。

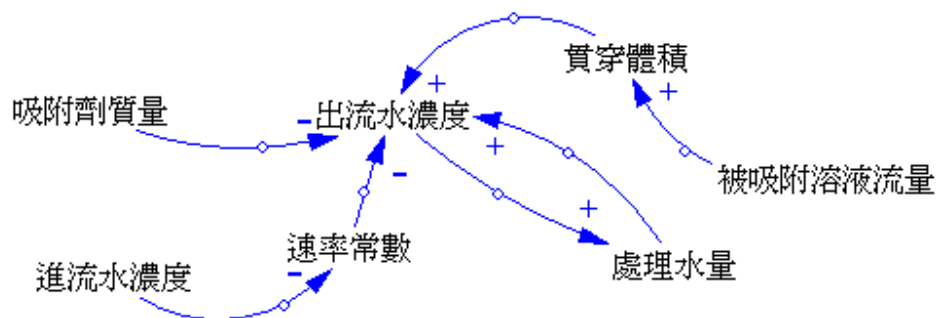


圖 1 活性炭吸附之正負回饋圖

#### (2) 建立系統動態模式

圖 2 的系統動態模式圖是以單一管柱的方式來做設計，當中的操作參數都可藉由圖 3 及圖 4 的設備配置圖來作一個對照。例如進流水濃度對照圖 3 的 A 藉由幫浦將進流水抽上來，使其流進吸附塔 C 的部份，吸附塔也就是用來控制吸附劑質量的地方，而流量的控制則對照 B 的部份，最後出流水是流到 D，出流水濃度會隨著時間改變而畫出其貫穿曲線。圖 4 為實驗時與程式操作鈕對照實體圖。

#### (3) 活性炭吸附模擬之操作數據

如圖 2 本模式參數假設流量  $Q$  為 6300(L/hr)；被吸附溶質在固相上的最大濃度  $q_0$  以酚為代表；活性炭質量  $M$  為 1550(kg)；進流水溶質濃度  $C_0$  為 0.2(g/L)；而出流濃度比為  $C = C_0/(1+e^{(xx)})$ ，在這當中  $xx =$

$k_1 \cdot (q_0 \cdot M - C_0 \cdot V\_Stock) / Q$  ;  $V\_Stock$  為累積的吸附劑貫穿體積，而流量  $V$  為每小時吸附劑貫穿的體積，當出流濃度比  $> 0.01$  時，表示吸附劑吸附功能降低，因此出流濃度用來判斷貫穿體積。如果出流濃度比小於  $0.01$  ，流量  $Vb\ rate$  將會持續累積流量  $Q$  於  $Vb\ Stock$  當中，所以  $Vb\ Stock$  為處理的總水量。

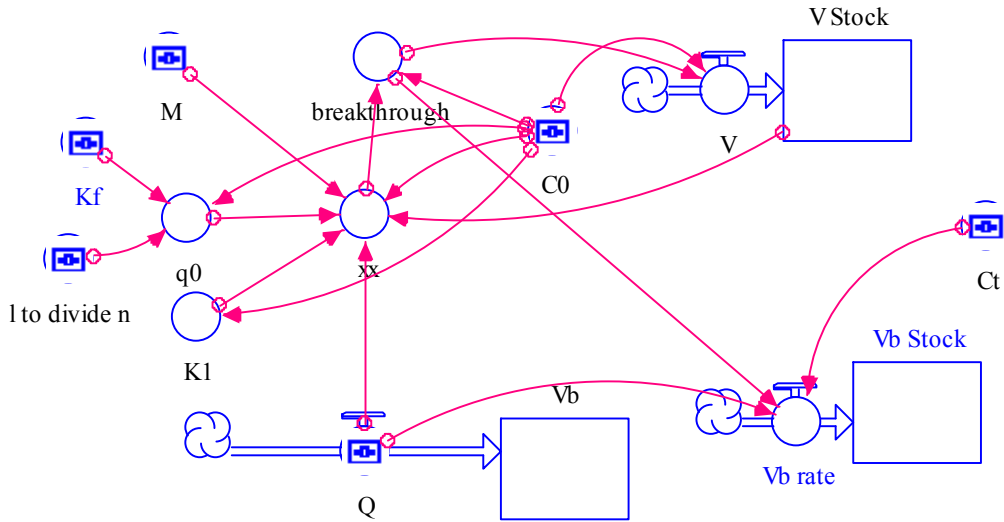


圖 2 單一管柱活性碳吸附系統動態模式圖

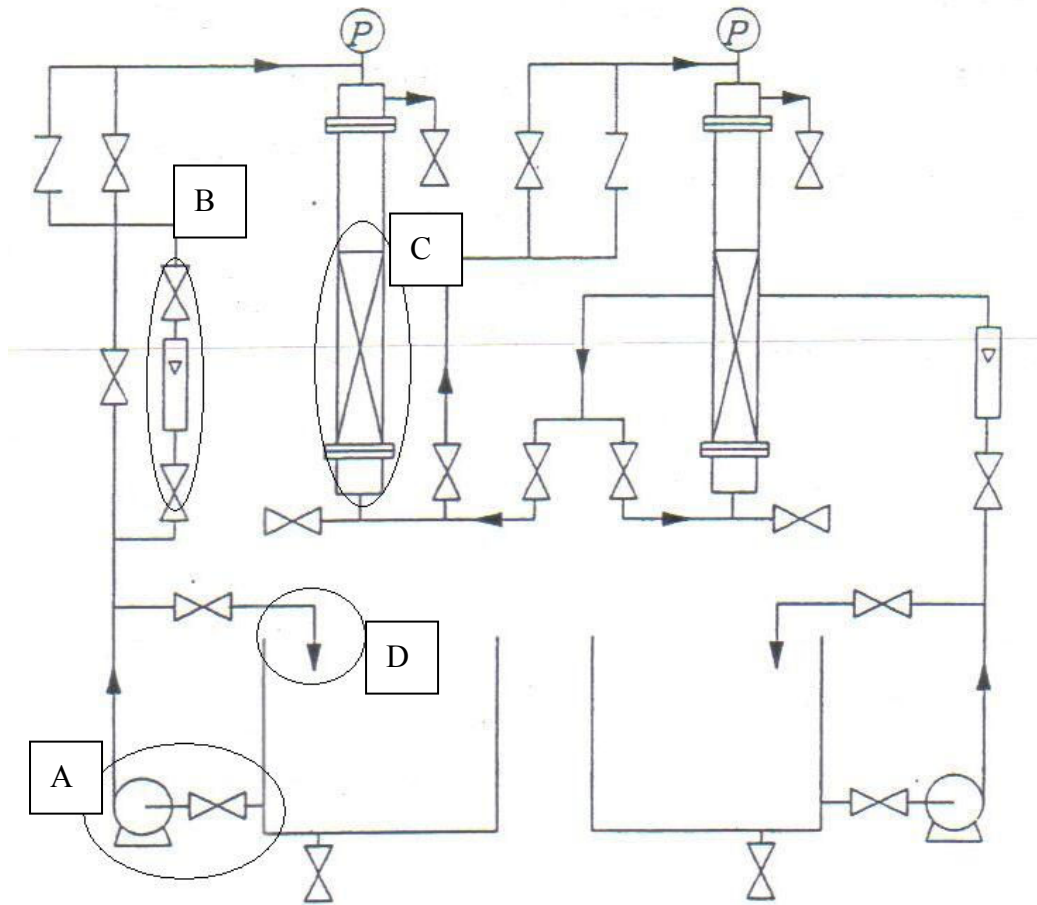


圖 3 設備配置及控制圖

## 2.2 操作條件

模擬活性炭實驗以酚、苯與氯苯  $K_f$  與  $1/n$  的不同，以作其吸附容量與貫穿時間的不同來比較；並且使用單一管柱、管柱串聯與並聯不同的處理方法，比較其處理的效果，各個管柱流的方式如圖 5 所示<sup>[5]</sup>。本模式各參考數據及控制鈕的參考範圍如表 1 所示。

表 1 活性炭吸附實驗操作條件的使用範圍與實驗值

操作條件		使用範圍	實驗值
進流水濃度 $C_0$		0.2~0.5 (g/L)	0.2
出流水濃度 $C_t$		0.01~0.1 (g/L)	0.01
吸附劑質量 $M$		1500~2000 (kg)	1500(單一管柱)、750*2(管柱串聯與並聯)
吸附容量 $q_0=K_f C^{1/n}$	$K_f$	1~630 (mg/g)(L/mg) <sup>1/n</sup>	21(酚)、1.0(苯)、91(氯苯)
	$1/n$	0.01~6.6	0.54(酚)、1.6(苯)、0.99(氯苯)
流量 $Q$		6000~7000 (L/hr)	6300
時間變化 $DT^*$		0.1~1 (hr)	1

註\*：模擬時間積分大小

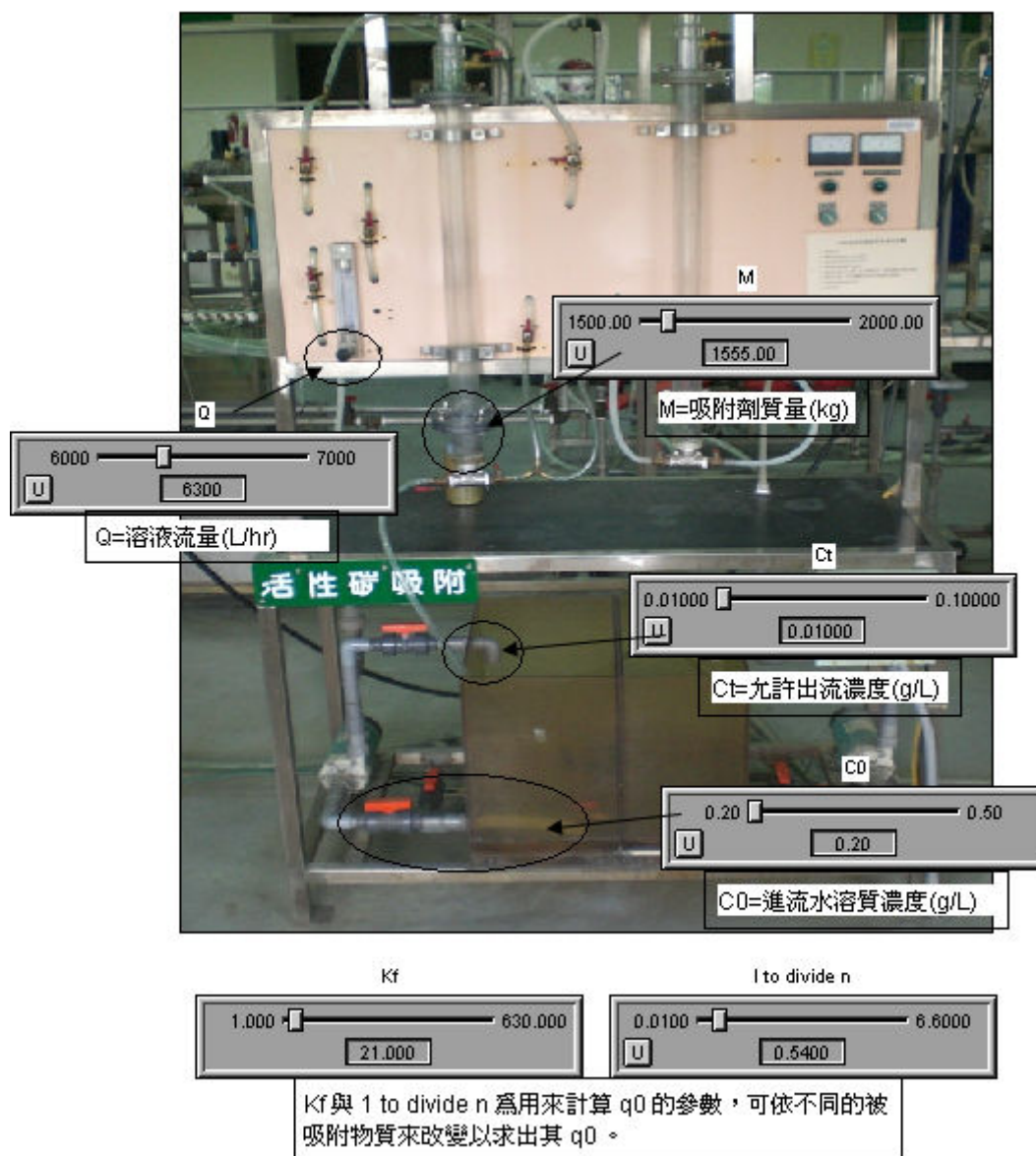


圖 4 操作介面與控制鈕

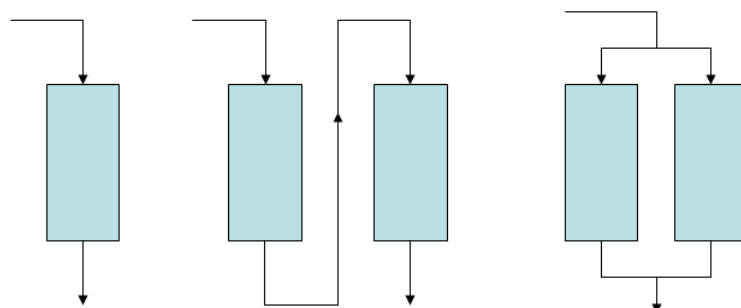


圖 5 由左而右分別為單一管柱、管柱串聯與並聯的吸附塔

### 2.3 操作介面

在本程式中對於吸附劑質量與溶液流量改變參數的方式都與實際操作一樣，只要在控制鈕調整其大小即可。在出流濃度的部份程式則是使用活性碳吸附動力學方程式<sup>[4]</sup>來求得，而實際實驗則需由分光光度計測出流甲基藍溶液的吸光值，再換算求出其濃度。在進流水濃度，只需調整控制鈕的大小即可，實際操作中，必須先測量水量與甲基藍濃度，再經由計算才能求得。另外，程式中的控制鈕也加入可改變  $K_f$  與  $1/n$  的值，模擬不同吸附質時，此公式為 Freundlich 等溫吸附方法計算吸附容量  $q_0$ <sup>[5]</sup>。

### 三、結果與討論

#### 3.1 STELLA 系統動態模式操作

一般在實驗前都必須準備實驗用的藥品，還要先檢查實驗儀器是否完善，了解實驗原理及步驟就必須花費相當多的時間，才能在實驗時較為順利的完成，就算實驗順利完成，可能在等待及實驗的過程也耗掉不少時間。而且在實驗過程中經常因為學生還無法深入了解實驗的過程，所以經常手忙腳亂浪費許多時間，也可能有實驗安全上的危害。

如果使用本程式模擬實驗不僅可以減少準備時間，還可以使用控制鈕改變參數，短時間內得到其結果，協助學生藉由參數變化，更進一步了解活性碳吸附實驗的原理與目的。而且使用程式操作實驗不需碰到任何藥品、使用的器皿與操作儀器，所以也較為安全。

#### 3.2 探討酚、苯、氯苯貫穿時間的不同

貫穿曲線在時間一開始時，出流水濃度為零如圖 6 所示，當濃度達到一允許極限值或折點，則流入停止或轉至另一新鮮吸附床，當吸附進行超過折點時，濃度驟升，此 S 型之曲線類似於內部濃度分佈曲線，若整個床與進料達平衡時，由質量平衡為曲線及  $C/C_0=1$  之線間的面積，與所吸附之總質量成正比，此面積表示實際之吸附總量<sup>[3]</sup>。

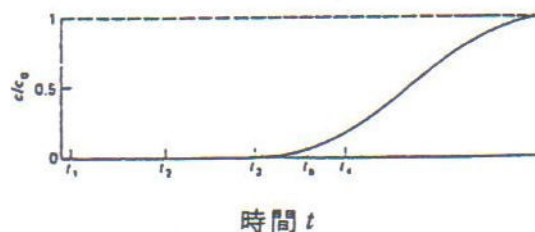


圖 6 單一管柱貫穿曲線

本程式模擬吸附酚、苯、氯苯之貫穿時間的不同，由圖 7 顯示苯貫穿的時間為最早，接著是氯苯，而酚則經過大約 150 個小時才貫穿。由此可知，酚對於活性碳的吸附容量為最大，其次為氯苯，最小則為苯。

在模擬操作時，只要以酚、苯、氯苯不同的  $K_f$  與  $1/n$  如表 1，並且作出其比

較圖，就可以看出其貫穿時間的不同，所花費的時間並不多，就能使學生更了解  $K_f$  跟  $1/n$  與吸附容量之間的關係。如果是在實驗室作探討不同吸附物對於活性碳的吸附容量，可能就要花費 3 倍實驗時間，對於學生了解  $K_f$  跟  $1/n$  與吸附容量之間的關係並無益處，只會減少學生對於探討實驗的興趣，本程式操作可增加學生對於活性碳吸附原理與目的深入了解的興趣。

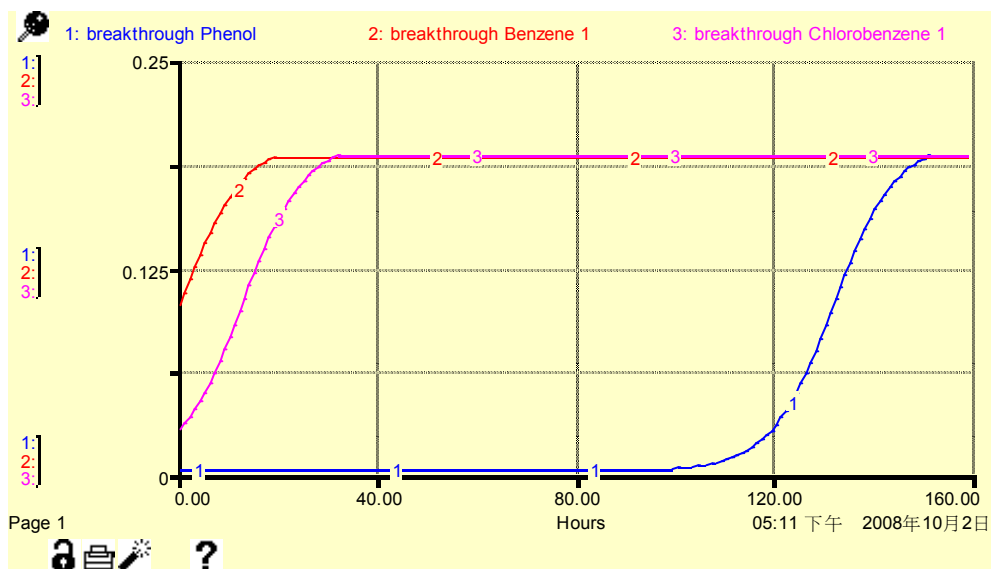


圖 7 酚、苯、氯苯在單一管柱的貫穿曲線

### 3.3 單一、串聯與並聯管柱的處理效果

連續流系統在固定床之濃度分佈隨時間及位置而變，首先大部分之吸附於接近入口處發生，隨著時間逐漸內移(如圖 8)，則在到達床之端點前，流體中吸附物濃度隨距離以指數方式降至零，此濃度分布如圖 8 之各時間曲線所示，當中  $C/C_0$  為吸附物在流體濃度與進流水之初始濃度的比值<sup>[3]</sup>。

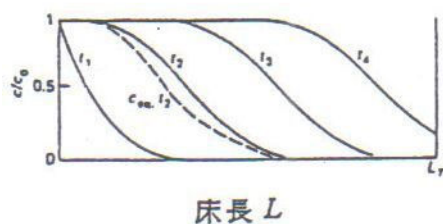


圖 8 濃度分部及貫穿曲線

串聯吸附塔常用於空間高度受限時，通常以兩支或更多的固定吸附塔串聯，來代替一支較大的塔，可以在不增加設備及操作的費用下而增加吸附塔的利用率及吸附能力<sup>[6]</sup>。

由圖 9 可看出當使用相同的吸附劑量時，使用串聯之固定床吸附塔的貫穿體積較單一與管柱並聯時多，單一及並聯管柱(吸附劑量相同)的總貫穿體積相同，其處理效果較好。吸附塔之串聯，可以圖 8 來解釋，當第一個吸附塔完全達到飽和

時，緊接著由第二個塔來繼續吸附，如此一來，如同增加吸附床的床長，床長越長表示吸附區的面積就越大，當吸附區面積越大其吸附的量就越多，因此使用管柱串聯的吸附塔其使用吸附劑的效率較佳。

貫穿體積累積圖

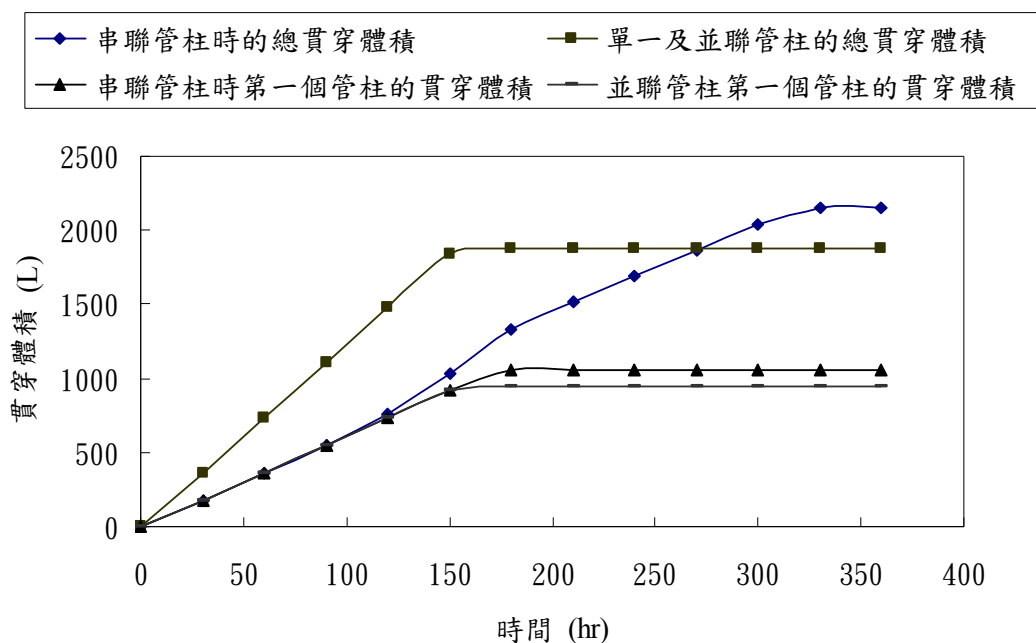


圖 9 貫穿體積累積圖

### 3.4 本模式未來發展包括

- (1) 本模是未來發展包括期望能加入能隨著時間改變的管柱內液液流動及吸附質變化的情形，以便學生在操作時印象加深。
- (2) 在模式裡期望能加入不同的吸附模式，就可運用於氣體吸附與重金屬吸附，以便在未來能更通宜不同吸附物質的比較。
- (3) 本模式應多讓學生試用，找出是否有其他問題。未來則更希望編輯成一套教材，讓老師於課堂上協助教學之用。

## 四、參考文獻

1. Isee System, Inc., Stella 9.0, Isee System, Inc., 2005.
2. Ventana System, Inc., Vensim 5.7a, Ventana System, Inc., 2002.
3. 國立雲林科技大學環境與安全工程系編，環工單元操作實習手冊，國立雲林科技大學環境與安全工程系，雲林(2003)。
4. 陶在樸，系統動態學，五南出版社，台北(1999)。
5. George Tchobanoglous and F. L. Burton and H. D. Stensel, Wastewater Engineering



- Treatment and Reuse, 4<sup>th</sup> ED, Mc Graw Hill, pp.1140-1161, Boston(2004).
6. T. D. Reynold and P. A. Richard, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2<sup>nd</sup> ED, PWS Publishing Company, pp.350-373, Boston(1996).

## **Using Stella System Dynamic Model to Simulate Activated Carbon Unit Operation Laboratory Test**

Di-Shiang Shiu<sup>1</sup>, and Jao-Jia Horng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Student, <sup>2</sup> Professor of Department of Safety, Health, and Environmental Engineering, National YunLin University of Science and Technology, Douliou, Yulin, Taiwan 640

### **Abstract**

The adsorption uses the absorbent to eliminate solutes or pollutants from solution, commonly uses like powder and granular activated carbon and so on. The application is widely uses in the water, wastewater and organic industrial waste treatment. The adsorption could remove many kinds of inorganic and organic matters as well as economic and practical in application.

This study designed an unit in the unit operation of activated carbon for adsorption experiment. Because of complication and time-consuming in experiment operation, students usually fail to understand the experimental theories and operation principles. This research applied STELLA<sup>[1]</sup>, a system dynamic modeling tool, as well as VENSIM<sup>[2]</sup>, for feedback charting to assist students in understanding the principles, the experimental design and operating conditions. The model may also use to discuss the arrangement of absorption column(s) for sole, in series or in parallel time and to simulate operation processing and treatment effects. As the columns were arranged in series, the overall breakthrough volume is larger than that of sole column. The efficiency of activated carbon is also better. The absorption columns in parallel divides the flow into two with shorter processing time. The tests of absorption capacity comparison used phenol, benzene and chlorobenzene with the larger capacities in the order of phenol, chlorobenzene and benzene. The program also designs many control switches to simulate the operation of experiment parameters in order to find the best treatment operation and alternatives.

This program may utilize in the class of unit operation to assist teaching. It is convenient for students in studying the principles and the experiments of the activated carbon adsorption. It should be develop to apply in design the treatment by activated

carbon fixed bed absorption column and the wastewater treatment process.

Keywords: system dynamic model, teaching aid, activated carbon adsorption