

濕式填充洗滌塔觸媒洗滌液吸收揮發性有機物效率之研究

顏有利¹、張百成²

¹國立聯合大學環境與安全衛生工程學系副教授

²國立聯合大學環境與安全衛生工程學系碩士班學生

摘要

目前國內空氣中揮發性有機物(VOC)之處理技術中,吸收法屬處理氣態污染物常見方法,其原理為氣態污染物於廢氣與洗滌液接觸時,藉由分子擴散、紊流等質量傳送及化學反應等現象傳入洗滌液,使污染物質分離而去除,以達到淨化空氣的效果。運用吸收法之設備如:噴霧塔、填充式洗滌塔及板狀式洗滌塔等。基於經濟性與效率的考量,以填充式洗滌塔最常為業者所應用。其吸收的原理可分為物理吸收與化學吸收兩種,化學吸收主要是利用吸收劑與氣體污染物產生反應而予以去除;而物理吸收主要是藉由氣體在液體中的溶解度,而達到去除空氣污染物的目的。

目前對於各產業污染源控制技術方面,較少有設計洗滌塔所需要詳細標準,且依據國內相關學者之研究及環保署公告之揮發性有機物處理技術顯示,濕式洗滌法之處理效率一般只介於 10%~40%之間,但是經由添加觸媒於洗滌液中,可有效增加洗滌液吸收揮發性有機物之能力。研究中,空氣採樣袋內污染物經純水吸收後去除效率平均為:苯, 50.1%、甲苯, 65.4%、乙苯, 58.7%、二甲苯, 67.3%、丙酮, 99.7%、丁酮, 98.3%。經振盪去除效率之平均為:苯, 73.3%、甲苯, 82.2%、乙苯, 75.1%、二甲苯, 84.3%、丙酮, 99.7%、丁酮, 98.9%。經添加觸媒液去除效率平均為:苯, 87.6%、甲苯, 91.6%、乙苯, 85.5%、二甲苯, 89.4%、丙酮, 99.6%、丁酮, 94.0%。苯純物質,在 3800ppm 的採樣袋經過水洗測試後再添加觸媒,可處理至 483ppm,總效率高達 87.29%,比單純水振盪吸收 1026ppm 之 73% 高出 14.29%。

本研究以杯瓶研究觸媒液之物化性質,以實場針對觸媒液吸收揮發性有機物之能力長期間運轉,探討觸媒液吸收揮發性有機物之轉換能力,降低吸收藥劑更換頻率之成效。

關鍵字:揮發性有機物、濕式洗滌、填充式洗滌塔、觸媒吸收液

Efficiency of the Wetting Packed Scrubber Absorption of Volatile Organic Compounds by Fluid Catalytic

Yeou-Lih Yan¹, Bai-Cheng Chang²

^{1,2} Department of Safety, Health and Environmental Engineering, National United University, Miaoli, 360, Taiwan ROC

abstract

Currently, absorption is the major processing technology of volatile organic compounds(VOC) in the exhaust air treatment. The principle of absorption is the gaseous pollutants in the exhaust gas in contact with washing liquids, by molecular diffusion, turbulent flow and other mass transfer and chemical reaction phenomena incoming wash liquid. The separation and removal of pollutants from the exhaust air achieve the purification of the air.

Major absorption method equipments include such as: Spray tower, filling board position scrubber and scrubber tower. Based on economy and efficiency of the test volume, wetting packed scrubber tower is the most commonly applied for the industry. The principle of absorption can be divided into two parts the physical absorption and chemical absorption. Chemical absorption is mainly using absorbent to react with gaseous pollutants and remove the pollutants; the physical absorption is mainly controlled by the gas solubility in liquids, to achieve the purpose of removing air pollutants.

Currently for the industrial pollution control technology, there exist only few detailed design of the wetting packed scrubber tower standards. Basing on relevant domestic academic research and EPA announcement of VOC treatment technology shows that the processing efficiency of wetting packed scrubber method is between 10% and 40% generally. However, by adding catalysts in the washing solution, washing liquid can effectively increase the ability to absorb volatile organic compounds. In this study, air pollutants in the sampling bag absorbed by water have the average removal efficiency: Benzene 50.1%, toluene 65.4%, ethylbenzene 58.7%, xylene 67.3%, acetone 99.7%, methyl ethyl ketone 98.3%. The removal efficiency of the average after thermal oscillation are: Benzene 73.3%, toluene 82.2%, ethylbenzene 75.1%, xylene 84.3%, acetone 99.7%, methyl ethyl ketone , 98.9%. Removal efficiency of gas pollutants by adding liquid catalyst have average of: Benzene 87.6%, toluene 91.6%, ethylbenzene 85.5%, xylene 89.4%, acetone 99.6%, methyl ethyl ketone 94.0%. Benzene with 3800 ppm is put in the sampling bags and then add the catalyst after washing test, the final concentration decrease to 483 ppm with a total efficiency of up to 87.29%. Adding catalysts can achieve a higher absorption efficiency of 73% , which is 14.29% higher than the case without catalysts only absorbing 1026 ppm.

In this study, glass bottles of physical and chemical properties of the catalyst solution are studied and applied to the real field of volatile organic compounds for the catalyst's ability to absorb liquid during the long run, the absorption of fluid catalytic conversion of volatile organic compounds are studied, to reduce the catalysts replacement frequency of the absorption agents.

Keywords: volatile organic compounds, wet washing, filling scrubbers, packed tower, absorption of liquid catalyst

一、緒言

目前國內空氣中揮發性有機物(VOC)之處理技術可分物理、化學及生物三大類，其中物化方法又有：吸附法、直燃式焚化法、觸媒式焚化法、冷凝法及吸收法[1]。吸收法為氣態污染物於廢氣與洗滌液接觸時，藉由分子擴散、紊流等質量傳送及化學反應等現象傳入洗滌液，使污染物質分離而去除，以達到淨氣的效果，屬於操作簡單且設備建構費用較低之種類[2]。吸收法又稱洗滌法，技術上有運用吸收法之設備有噴霧塔、填充式洗滌塔及板狀式洗滌塔等，一般業者基於經濟性與效率的考量，以填充式洗滌塔最常為業者所應用。吸收的原理可探討物理吸收與化學吸收兩種，化學吸收主要是利用吸收劑與氣體污染物產生反應而予以去除；而物理吸收主要是藉由氣體在液體中的溶解度，而達到去除空氣污染物的目的。

濕式洗滌塔一般採用填充式洗滌塔，洗滌塔之構造簡單大體分為：洗滌塔本體(shell)、填充物(packing material)、噴霧器(spray nozzle)、填充物料阻流器(packing restrainers)、除霧裝置(demist)、填充物料支撐器(packing supports)循環水系統及加藥系統，市面上設計的設備略有不同但操作原理大同小異，經由適當之設計及安裝才能使工廠排放符合污染管制法規之要求 [3][4]。

本研究擬由基本之物理化學著手，先行探討觸媒洗滌液對揮發性有機物之吸收能力，然後利用觸媒洗滌模型場，實際長期間運轉，探討觸媒洗滌液吸收揮發性有機物後，觸媒洗滌轉化能力，並探討揮發性有機物是否會再揮發出來。研究以標準排放量與去除效率標準做為參考基準，設置揮發性有機物標準品抽取設備，研究對濕式填充式洗滌塔之去除效率進行探討，期望能利用理論公式推估歸納整理出濕式填充式洗滌塔對揮發性有機物之去除效率狀況、最大溶解量，最小用水量，最小通風量，而提出改善濕式洗滌塔效率及節能之方法。

本計畫依照理論數據，找出觸媒洗滌液對不同揮發性有機物種類的吸收能力，吸收之物理化學機制。針對洗滌亦對長時間操作後之洗滌液吸收能力進行評估研究，並配合現場檢測數據，以提升現有技術對揮發性有機物之處理效率。

二、材料及實驗方法

本實驗為洗滌塔配置觸媒液吸收揮發性有機物之分析，選定之揮發性有機物包括：苯、甲苯、乙苯、二甲苯、丙酮及丁酮等六種。計畫進行主要以下三大步驟實驗，包括：

- 1.洗滌液物化性質：含單一物種吸收能力分析與多種有機物競爭分析。
- 2.模型場吸收實驗：包括模型場製作及修改與觸媒液洗滌效率評估。
- 3.觸媒處理能力評估：含有機物再揮發評估與觸媒處理能力及效率評估。

分析設備

- 1.總揮發性有機物採樣儀 THERMO TVA-1000-B。

2. 氣相層析/質譜儀 (Aglient GC 6890/5973 Network MSD)。

3. 熱線式風速計(TSI 8330)。

4. Dengyng迴轉式振盪儀(max 300rpm)。

5. 流量計 MAX 300L/min (HC-50-L4)。

1. 洗滌液物化性質：

杯瓶實驗以 500ml 錐形瓶盛滿水，以排水集氣法置入 340ml 之 3.75%、3.125%、2.5%、1.875%、1.25%、0.625% 比例的揮發性有機物氣體配至 200ml，利用迴轉式振盪機混合 30 分鐘，並執行以下實驗：

● 單一物種吸收能力分析：

於錐形瓶中只放置一種有機物，進行杯瓶實驗。

● 多種有機物競爭分析：

於錐形瓶中只放置多種有機物，振盪後抽取瓶中空氣 6 cc 於 canister 並稀釋濃度一千倍，灌入 6000 cc 氮氣，進行 GC-MSD 儀器分析觀察氣體濃度探討不同物種間之競爭。

所使用之污染物種化學性質及實驗步驟示意圖分別列於(表 1)及(圖 1)中。

● 標準有機物選用：

表 1 污染物種化學性質表

順序	中文名稱	英文名稱	化學式	比重 水 = 1	(g/mole) 分子量	亨利常數	沸點°C	TWA(ppm)	STEL(ppm)	配置濃度 (ppm)	限 值 濃 度
1	苯	Benzene	C ₆ H ₆	0.8765	78.11	0.0055	80.1	1	3	1	0.5
2	甲苯	Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃	0.8636	92.13	0.0064201	110.6	200	500	200	0.5
3	乙苯	Ethyl benzene	C ₂ H ₅ C ₆ H ₅	0.8665	106.16	0.00644	136	100	125	100	0.5
4	二甲苯	Xylene	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	0.864	106.16	0.0074341	145	100	150	100	0.5
5	丙酮	Acetone	C ₃ H ₆ O	0.8	58.08	0.000025	56.53	750	1000	750	0.5
6	丁酮	Methyl Ethyl Ketone(MEK)	C ₄ H ₈ O	0.8050	72.12	0.000254	115.8	200	300	200	0.5

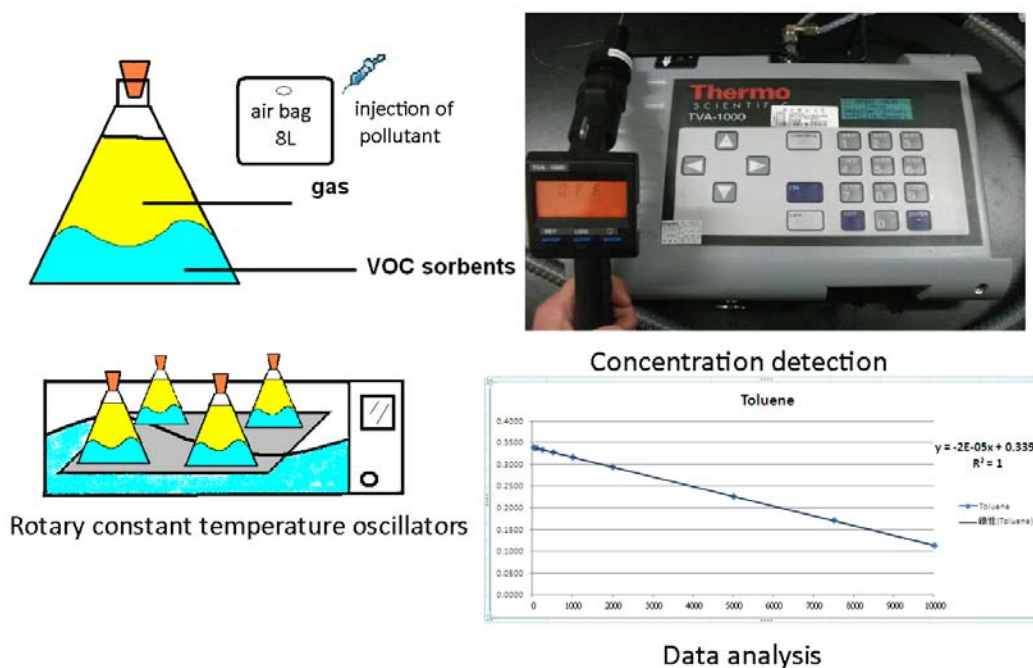


圖 1 洗滌液之杯瓶實驗振盪示意圖

實驗步驟如下：

✚ 採樣袋配製：

- I. 挑選 20 個採樣袋，首先配製污染物種氣袋，灌入 8L 氣體於袋內，利用 10 cc 體積針筒打入 1 cc 實驗物種，放入烘箱設定 75°C 時間 2 小時，確定污染物均揮發成氣體。
- II. 將污染物氣袋依照實驗比例，配製成六個不同濃度，先將採氣袋清洗乾淨，利用儀器 A4600 串聯流量計灌入 7950、7900、7850、7800、7750、7700 cc，再取出烘箱內污染物氣袋利用 50 cc 針筒抽取 50、100、150、200、250、300 cc 分別灌入依序採樣袋中。
- III. 輕拍袋子周圍使氣體均勻混合約三分鐘，利用 TVA 測量各濃度，須等待一分鐘以上使數值趨於緩和。
- IV. 記錄下來的數據利用儀器附上之 TVA Relative Response Factor 表格作校正，再計算其線性範圍，須達 $R \geq 0.995$ 。

✚ 杯瓶吸收實驗：

- I. 產生的揮發性有機物利用實驗專用空瓶裝滿純水，以排水集氣法灌入瓶中，當標線至 300 cc 時將採樣袋閥關緊，將一段石蠟薄膜拉緊蓋住瓶口密封。
- II. 配置一組不振盪與一組振盪做測量，將振盪組放入迴轉振盪機，轉速 250rpm 振盪 30 分鐘。
- III. 以 TVA 插入瓶內測量其濃度，讀取最後平穩的最高值。
- IV. 多種有機物競爭分析必須配置三套採樣袋，兩種物種之間濃度也須先做確認，假若是做甲苯與丙酮之試驗，先配置甲苯 300 cc/8000 cc 之採樣袋與丙酮 1000 cc/8000 cc 之採樣袋，確定先前檢量線無誤，各抽 150cc 配於最後的採樣袋，其袋子打入 300 cc 於滿水的實驗瓶中。

V. 吸收效率分析：利用迴轉式振盪機振盪 30 分鐘，以 TVA 插入瓶內測量其濃度。

2. 模型場吸收實驗：

本實驗進行中，為實際瞭解觸媒洗滌系統之處理效率，將進行模型場分析。(圖 2)所示為本計畫使用洗滌塔示意圖並與實際外觀對照。選用揮發性有機氣體經由適當之稀釋後，由本系統底端進入，觸媒洗滌液由洗滌塔頂端經由噴水器均勻地自上噴下；氣體和液體於填充塔中進行氣液交換而達到吸收之目的。於填充塔適當位置採樣位置：洗滌塔進風口、洗滌塔填充層（每段）、和洗滌塔設備末段分別進行取樣分析。進行連續式氣體吸收實驗，配置電控盤，馬達，水流計，風速浮子流量計，壓差表，溫度監視表等基本管理元件。

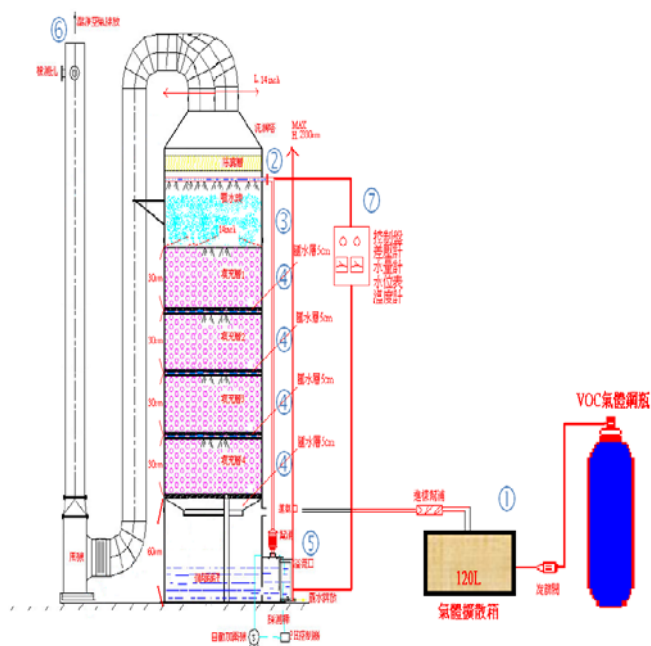


圖 2. 洗滌塔示意圖及實驗塔外觀(正面)

大型濕式洗滌塔：

- 填充層：方體長60公分，寬60公分，單層面積=0.36m²，高50公分，體積約=0.18m³，共2層=0.36m³。
- 蓄水層：方體長60公分，寬60公分，高80公分，體積約=0.288 m³。
- 除霧層：方體長60公分，寬60公分，高30公分，體積約=0.108 m³。
- 總體積=約0.936 m³，平均風量(Q) =36.105(m³/min)，循環水量170L/MIN，風速為1.88(m/s)，空塔停留時間(EBRT)=0.16秒，水流速(V_L)為0.0078(m/s)，330V電動式鼓風機，一層兩顆固定式螺紋噴頭。

- 蓄水層操作：運用循環式幫浦將系統整個驅動並且在每日使用前做調節，試運轉半小時去除雜物質，全系統每小時逸散5.0~7.0L/hr，測量水量150~142L，每小時一次測量水高度、變化與用水量誤差達95%平衡，每小時補充水量。
- 填充層操作：(表 3)內裝填充物 51mm*45m(1 in'')Hacketten，密度達3560Pcs/stage，比表面積 $156\text{m}^2/\text{m}^3$ ，孔隙率93%，共3層，不定期更換。
- 風車動力：洗滌塔之(表 2) 頻率對風量的影響、(圖 3) 平均風量線性關係，進氣端設置抽風機排除廢氣，330V電動式鼓風機1/2馬力，轉速3400rpm，再測量入口處最大風速為17.08(m/s)，出口端風速為1.85 (m/s)，管徑20cm，填充層分別為2.15、2.10、2.05、2.99 (m/s)。
- 水循環動力：330V電動式馬達，水幫浦動力1馬力，3395rpm，標準流量200.0(L/min)，最大流量204.0(L/min)，測量水量170(L/min)，標準揚程6M，最高揚程10M。

具可調風量：

表 2 頻率對風量紀錄表

頻率(Hz)	入口風速(米/秒)	出口風速(米/秒)	平均風量(立方米/分)
60	14.93	1.43	29.02
50	12.40	1.20	24.40
40	10.11	1.01	20.55
30	8.14	0.75	15.62

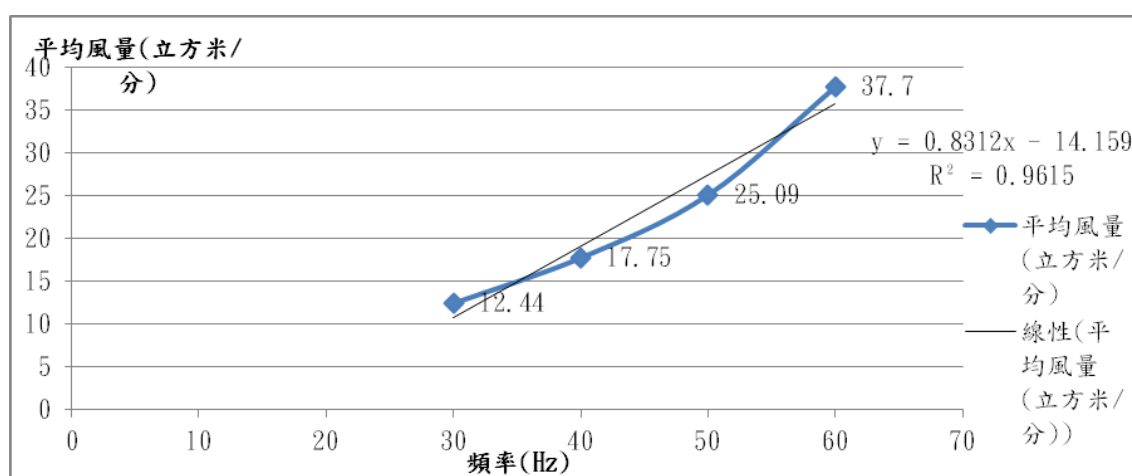






圖 3 平均風量線性關係

表 3 本研究使用填充物之外觀與物理特性

雙星球型 1''		雙星球型 2''		小梅花 1''(內環)		小梅花 1''(外環)	
							
大小(mm)	32*28	大小(mm)	51*45	大小(mm)	45*18	大小(mm)	50*18
重量(kg/m ³)	90	重量(kg/m ³)	66	重量(kg/m ³)	62	重量(kg/m ³)	68
比表面積(m ² /m ³)	274	比表面積(m ² /m ³)	155	比表面積(m ² /m ³)	185	比表面積(m ² /m ³)	186
孔隙率%	90	孔隙率%	93	孔隙率%	93	孔隙率%	93
填充個數(Pcs/m ³)	74000	填充個數(Pcs/m ³)	12000	填充個數(Pcs/m ³)	34500	填充個數(Pcs/m ³)	25000

3. 觸媒處理能力評估

檢測風速計、流量計、pH 儀、電子溫度計、液體加藥設備使否為正常操作條件，運用實塔試驗，評估是否能有良好穩定性，固定每次試驗抽取氣體濃度與液體樣品做分析。於洗滌塔進風口和洗滌塔設備末段分別進行取樣分析定時取樣分析，探討前後濃度差異，評估觸媒洗滌塔之處理效率。

以生物濾膜塔為例，其中止工作後三天，重新啟用時會因生物膜失去活性而造成剝落，使設備失去效用，考研究觀察蓄水層泡沫狀態，連續觀察三天、休止三天後重新啟動，觀察其觸媒液是否還有吸收功效。測量洗滌塔進風口、洗滌塔填充層（每段）、和洗滌塔設備末段分別進行取樣分析定時取樣分析，探討前後濃度差異，評估觸媒洗滌塔之處理效率。觸媒洗滌液氧化能力將決定處理效率之好壞，計算進入的污染物濃度量探討是否吸收入洗滌塔觸媒液中，檢測高濃度有機物揮發出來之量，進行物質質量平衡計算，評估觸媒液之氧化能力。

三、結果及討論

3.1 洗滌液物化性質：

3.1.1 單一物種吸收能力分析：

實驗中數據每次採樣袋配製的濃度不同，則利用採樣袋濃度檢量線的差距做比例上調整，使得杯瓶數據在一開始的吸收濃度上能一致，而未振盪吸收與振盪再吸收實驗都經線性比較，為可靠數據。採樣袋經過兩次以上配製，均得良好線性關係，杯瓶實驗一組數據做三瓶，量取平均，前後兩組數據，共六瓶，而做出六種不同濃度，為 36 瓶，實驗數據不良處，重新實驗校正，做出同樣濃度 100、200、500、1000、2000、3000(ppm)下，利用杯瓶實驗振盪吸收，估算吸收後濃度

及吸收效率於(表 4)。表 5 為六種污染物添加觸媒液吸收效率，總實驗共做大於 430 個樣品數據。

純水振盪實驗，並與採樣袋濃度標定基準推算：

表 4 杯瓶實驗校準數據濃度推算

原始濃度(ppm)	苯				甲苯				乙苯			
	震盪前濃度	吸收效率	振盪後濃度	吸收效率	震盪前濃度	吸收效率	振盪後濃度	吸收效率	震盪前濃度	吸收效率	振盪後濃度	吸收效率
100	49.2	50.8%	24.6	75.4%	33.5	66.5%	16.7	83.3%	41.9	58.1%	30.3	69.7%
200	91.6	54.2%	48.4	75.8%	66.3	66.9%	32.9	83.6%	92.0	54.0%	56.6	71.7%
500	243.4	51.3%	130.2	74.0%	178.3	64.3%	87.3	82.5%	201.7	59.7%	120.9	75.8%
1000	551.6	44.8%	294.0	70.6%	367.2	63.3%	190.4	81.0%	395.9	60.4%	227.6	77.2%
2000	1019.6	49.0%	585.1	70.7%	684.7	65.8%	378.0	81.1%	782.2	60.9%	439.5	78.0%
3000	1492.1	50.3%	810.0	73.0%	1023.8	65.9%	542.1	81.9%	1225.9	59.1%	660.8	78.0%
吸收效率	未震盪	平均效率	震盪	平均效率	未震盪	平均效率	震盪	平均效率	未震盪	平均效率	震盪	平均效率
可靠度 R ²	0.994	50.1%	0.994	73.3%	0.998	65.4%	0.997	82.2%	0.997	58.7%	0.998	75.1%
原始濃度(ppm)	丙酮				丁酮				二甲苯			
	震盪前濃度	吸收效率	振盪後濃度	吸收效率	震盪前濃度	吸收效率	振盪後濃度	吸收效率	震盪前濃度	吸收效率	振盪後濃度	吸收效率
100	0.4	99.6%	0.3	99.7%	2.1	97.9%	1.6	98.4%	34.0	66.0%	18.2	81.8%
200	0.6	99.7%	0.5	99.7%	3.8	98.1%	2.4	98.8%	65.4	67.3%	29.7	85.2%
500	1.5	99.7%	1.2	99.8%	7.7	98.5%	5.3	98.9%	159.6	68.1%	80.1	84.0%
1000	2.9	99.7%	2.3	99.8%	15.3	98.5%	9.7	99.0%	325.2	67.5%	162.3	83.8%
2000					31.4	98.4%	18.2	99.1%	642.9	67.9%	298.9	85.1%
3000					46.5	98.5%	25.2	99.2%	986.3	67.1%	421.4	86.0%
吸收效率	未震盪	平均效率	震盪	平均效率	未震盪	平均效率	震盪	平均效率	未震盪	平均效率	震盪	平均效率
可靠度 R ²	0.985	99.7%	0.995	99.7%	0.994	98.3%	0.992	98.9%	0.996	67.3%	0.993	84.3%

由以上數據可知酮類以純水吸收效果最好，空氣採樣袋經純水吸收後去除效率平均為：苯，50.1%、甲苯，65.4%、乙苯，58.7%、二甲苯，67.3%、丙酮，99.7%、丁酮，98.3%。經吸收與振盪後去除效率之平均為：苯，73.3%、甲苯，82.2%、乙苯，75.1%、二甲苯，84.3%、丙酮，99.7%、丁酮，98.9%。

(圖 4)假定污染物種均為同種濃度以下，去除效率不變，以水吸收後並振盪測得之濃度值計算，以配製同樣固定濃度污染物空氣袋，去除平均效率後將各污染物可測得其吸收效果及線性關係，以乙苯做指數關係圖最接近回歸線， $R^2=0.9942$ 。其他五項物種：苯=0.9826、甲苯=0.9852、乙苯=0.9942、二甲苯=0.9822、丙酮=0.9855、丁酮=0.9885。圖形代表採樣袋濃度去除平均吸收濃度推算：(苯系物)

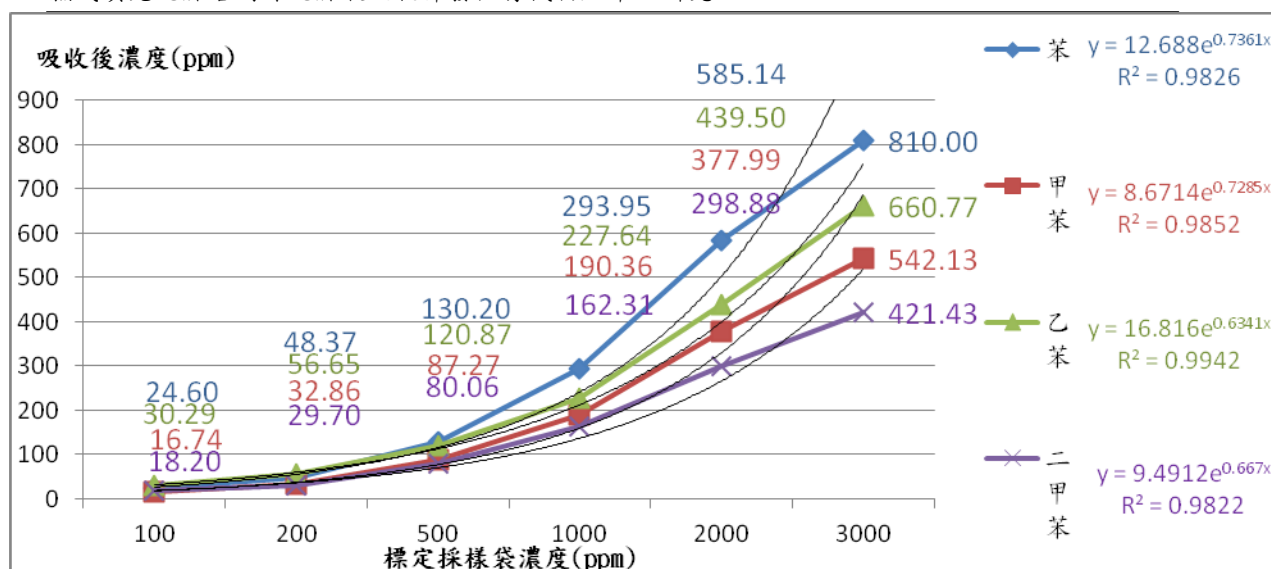


圖 4 揮發性有機物純水吸收比較，苯、甲苯、乙苯、二甲苯

(表 5)假定污染物種均為同種濃度以下，去除效率不變，計算觸媒液去除平均效率：苯，87.6%、甲苯，91.6%、乙苯，85.5%、二甲苯，89.4%、丙酮，99.6%、丁酮，94.0%。並做圖於(圖 5)，圖形代表各污染物以觸媒液吸收可測得其吸收效果及線性關係，以乙苯做為指數關係圖最接近回歸線， $R^2=0.9942$ 。觸媒液振盪實驗，並與採樣袋濃度標定基準推算：

表 5 杯瓶濃度做校準數據與採樣袋原始濃度不同做推算

原始濃度(ppm)	苯		甲苯		乙苯	
	觸媒液吸收	吸收效率	觸媒液吸收	吸收效率	觸媒液吸收	吸收效率
100	12.6	87.4%	11.2	88.8%	18.2	81.8%
200	22.6	88.7%	17.0	91.5%	32.7	83.7%
500	61.5	87.7%	41.8	91.6%	69.6	86.1%
1000	129.9	87.0%	79.6	92.0%	123.6	87.6%
2000	254.5	87.3%	152.3	92.4%	264.6	86.8%
3000	381.3	87.3%	212.1	92.9%	382.6	87.2%
實驗吸收效率	可靠度 R^2	平均效率%	可靠度 R^2	平均效率%	可靠度 R^2	平均效率%
線性可靠度 R^2	0.993	87.6%	0.997	91.6%	0.994	85.5%
原始濃度(ppm)	丙酮		丁酮		二甲苯	
	觸媒液吸收	吸收效率	觸媒液吸收	吸收效率	觸媒液吸收	吸收效率
100	0.6	99.4%	12.1	87.9%	13.4	86.6%
200	0.8	99.6%	13.8	93.1%	22.1	88.9%
500	1.6	99.7%	26.2	94.8%	53.9	89.2%
1000	2.9	99.7%	45.1	95.5%	99.7	90.0%
2000			78.0	96.1%	178.6	91.1%

3000			104.7	96.5%	286.0	90.5%
實驗吸收效率	可靠度 R ²	平均效率%	可靠度 R ²	平均效率%	可靠度 R ²	平均效率%
線性可靠度 R ²	0.992	99.6%	0.994	94.0%	0.993	89.4%

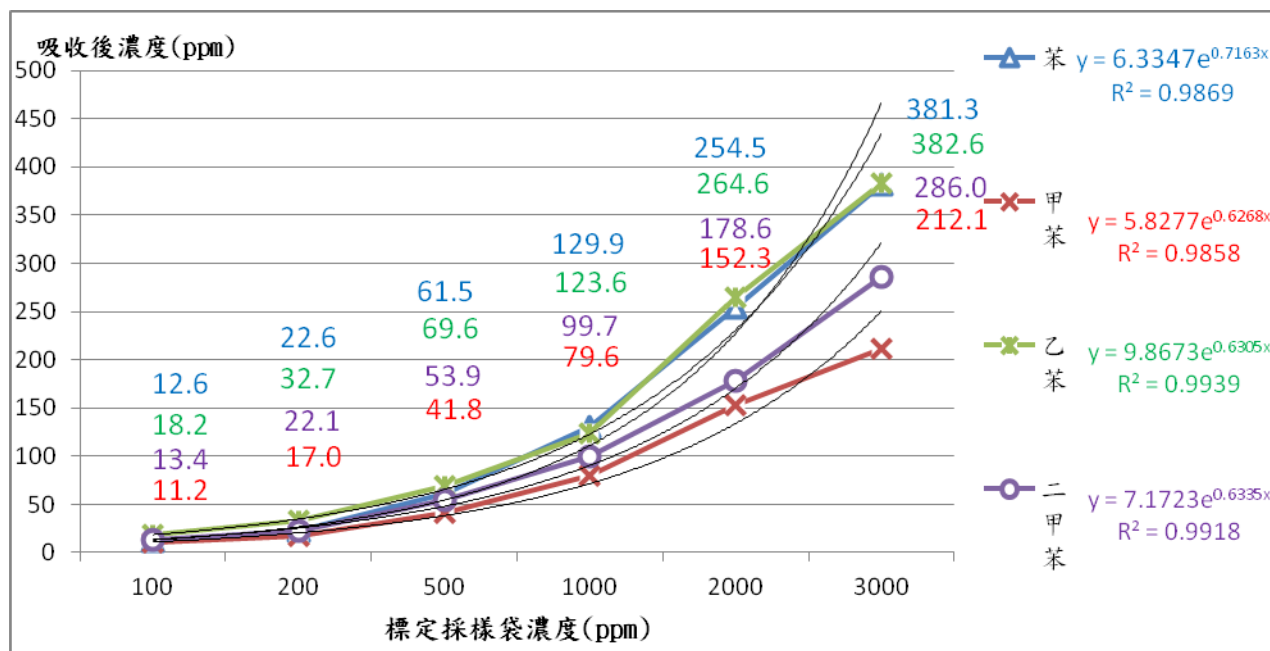


圖 5 揮發性有機物觸媒液吸收比較，苯、甲苯、乙苯、二甲苯

3.1.2 多種有機物競爭分析：

甲苯與二甲苯競爭關係：

原本於空氣中甲苯與二甲苯感度為 483984671:153069382(3.162:1)的關係，於加水後為 393780750:104515357(3.778:1)，加水振盪後甲苯與二甲苯為 57772996:8530819(6.77:1)，甲苯下降 336007754，二甲苯降低 95984538，甲苯吸收明顯比較少，添加觸媒液後為 21137351:2812884(7.514:1)的關係。GC-MS 圖譜顯示於(圖 6)。

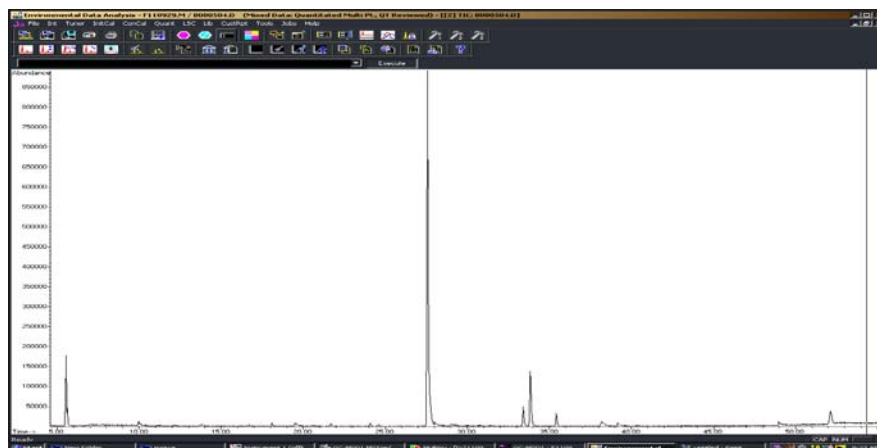


圖 6 多種有機物競爭分析-甲苯與二甲苯競爭關係圖

3.2 模型場吸收實驗：

六項實驗物種中以苯為例，進料過程濃度跳動在 241~195ppm 之間，觀察 60 分鐘後利用水洗處理同時測量吸收效率得到結果一開始最高為 20.1%，最後降至 19.7%，平均進量濃度 219.1ppm，吸收後平均排放濃度 176.8ppm，平均吸收效率 19.3%，做圖線性 K 值為-0.003， $R^2=0.2413$ 。

其中苯的進料過程利用 500 cc 燒杯裝取，藉氣動幫浦推動污染物，考克閥控制流量開度 $45^\circ\sim 70^\circ$ ，可使濃度穩定於 200ppm 左右，未抽水及抽水兩實驗先加滿至 500ml，實驗時間一小時，最後剩餘 200ml，平均每小時揮發 300ml。

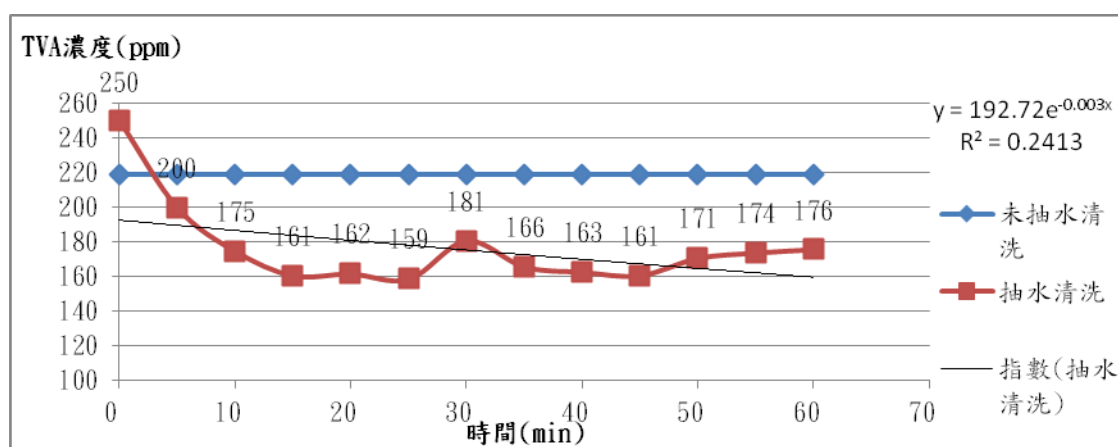


圖 6 洗滌塔實驗模擬-苯吸收量測，0~60 分鐘結果

吸收結果：甲苯平均 9.3%、乙苯平均 13.1%、二甲苯平均 19.0%、丙酮平均 37.9%。

3.3 觸媒處理能力評估：

以甲苯作為排放污染物，進入洗滌塔後，連續觀察 180 分鐘吸收處理效果如(表 4-28)，以輸入平均濃度 367.8ppm 的甲苯污染物，經過水洗吸收後平均排出為 333.6ppm，洗滌液吸收處理後平均濃度為 349.7ppm 及 358.7ppm 共實驗兩組數據，其純水吸收佔 9.3%，觸媒液吸收佔 2.2%，處理效率有待再次驗證，做圖於(圖 4-14)、(圖 4-15)其結果純水吸收效果大於觸媒液，觸媒液是否能真實吸收揮發性有機物之性質應有待考驗。

表 4-28 觸媒處理測量數據紀錄表，實驗物種-甲苯

洗滌塔觸媒液量測吸收結果						
吸收物種: 甲苯						
時間	未抽水清洗	抽水清洗	觸媒液清洗	觸媒液清洗	清水吸收效	觸媒液吸收效

(min)	出口測量 (ppm)	出口測量 (ppm)	出口測量 (ppm)	出口測量 II(ppm)	率	率
平均濃度	367.8	333.6	349.6	358.6	9.3%	2.2%

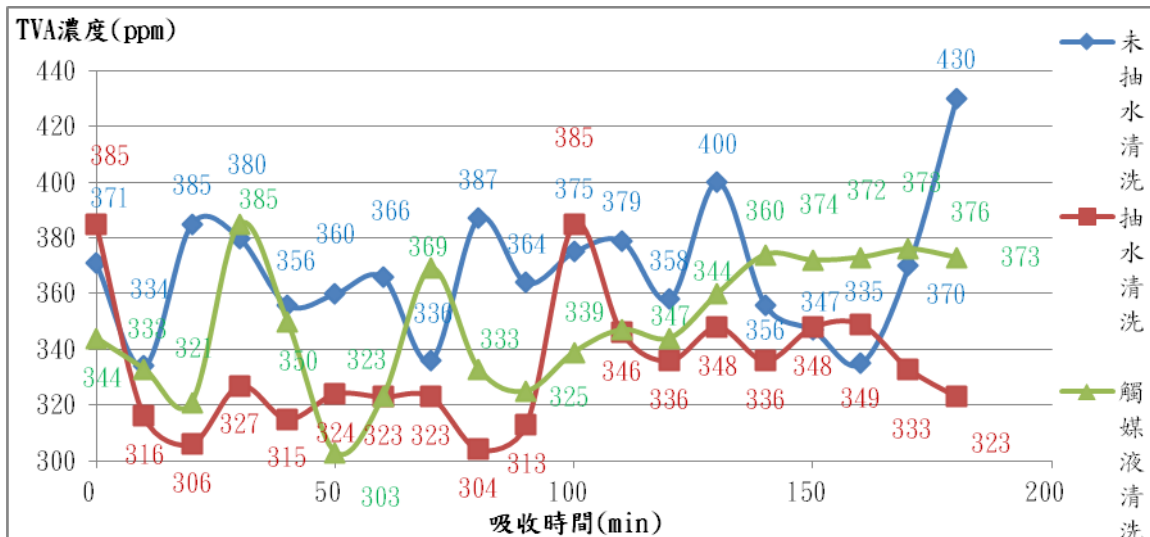


圖 4-14 觸媒液吸收數據作圖，實驗物種-甲苯

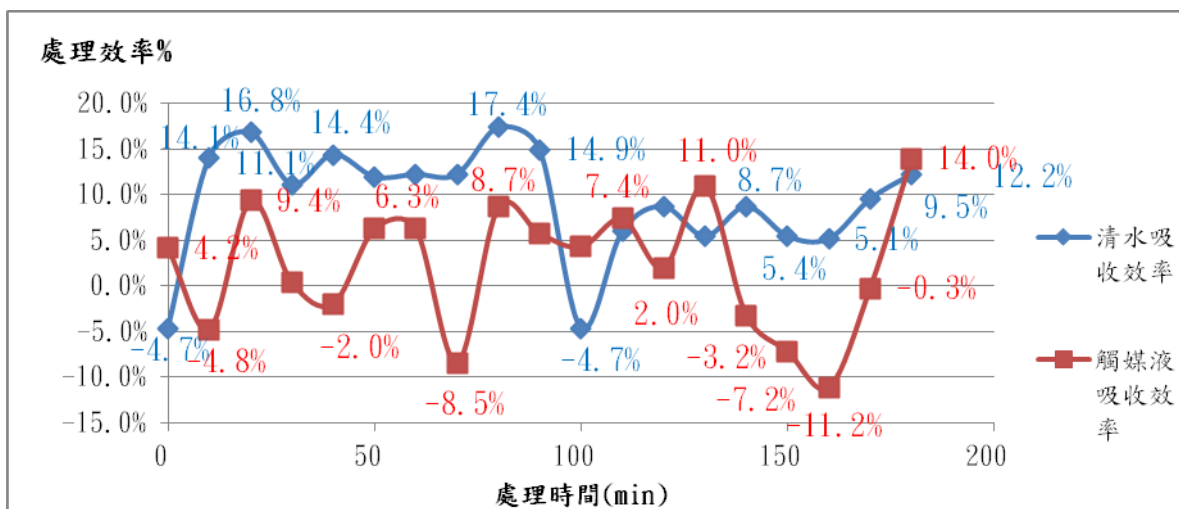


圖 4-15 觸媒液處理效率數據作圖，實驗物種-甲苯

四、結論

水洗塔必須控制在一定濃度範圍測量的數據才具有可靠性，為了更準確測量洗滌塔每個填充層處理的效果，必須在每個採樣點同時間檢測濃度，所耗費的技術及儀器資金是非常可觀的，目前國內使用的煙道採樣器是專門針對排放煙口做檢測用，不具同時測量兩點以上功能。

此實驗有待觀察觸媒液吸收情形，及水洗方式是否有需變化風速或水流速之變化做研究，但是以不同濃度污染物在固定的處理設備上做處理，要具科學的數據需要穩定的輸入值與輸出值，但實際工廠上，客觀的數據顯示濃度總是時時刻刻做變化，只要排放濃度遠小於法定標準，則不會違反法規受到罰款或停工，在控制工程的技術當中，本研究之學生認為在處理吸收液做廣泛式吸收可提升更多有效率的處理，利用同種觸媒液處理苯系物，另一種處理酮醛醚類，並分段填充層做處理。

參考文獻

- [1] 產業製程清潔生產與綠色技術資訊網，VOCs 處理技術
<http://proj.moeaidb.gov.tw/eta/tech/techKnow.asp>
- [2] 林正鑒、蔡俊宏、陳立德，半導體業廢氣洗滌塔操作實務與探討，2002
- [3] Cooper, C.D.; Alley, F.C. Air Pollution Control: A Design Approach, 2nd Ed., Chapter 13, Waveland Press, America, 1998
- [4] 葉明吉，實務設計氣體洗滌塔估算質量傳遞速率的技術研究，2009 資源與環境學術研討會，p 53.
- [5] 黃俊超，高科技產業無機酸鹼廢氣組成與填充式濕式洗滌塔控制效率之研究 國立交通大學，環境工程所，碩士論文，2003
- [6] 林秀銘，以濕式洗滌塔處理印刷電路板產業中乾膜及印刷製程揮發性有機物效率之探討，國立中央大學，環境工程研究所，碩士論文，2007
- [7] 蕭吉良，以氨水溶液於填充塔中去除二氧化碳之研究，國立成功大學，環境工程學系碩博士班，碩士論文，2005
- [8] Pierre-François Biard, Annabelle Couvert Christophe Renner, Jean-Pierre Levasseur, Assessment and optimisation of VOC mass transfer enhancement by advanced oxidation process in a compact wet scrubber, 2009
- [9] 經濟部工業污染防治，製程 VOC 回收與控制技術，Vol.28，No.2，中華民國九十八年七月
- [10] 白曠綾，酸鹼性氣體洗滌塔操作績效自我評估管理制度手冊，2003
- [11] M Jaroniec，Adsorption on heterogeneous surfaces: the exponential equation for the overall adsorption isotherm，Surface Science，1975
- [12] Perry, R. H. and Green, D.: Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th ed., McGraw-Hill, Inc., New York, USA, 2007.