



**ITRI**

Industrial Technology  
Research Institute

# 揮發性有機物空氣污染 控制技術

工業技術研究院 綠能與環境研究所

張寶額 博士

電話：03 573-2660、0939 012-982

Email：paulchang@itri.org.tw

# VOC排放控制的問題、原因

- 集氣問題：
  - 異味污染物逸散，沒有收集做後續的處理
  - 雖有集氣設備，但效率不佳：
  - 管理疏失
- 防制設備問題：
  - 沒有防制設備
  - 防制設備不適用
  - 防制設備的處理量不足
  - 防制設備失效 → 故障、操作維護
- 排放問題：
  - 管道的設計不利於擴散(衍生異味污染問題)
- 其他

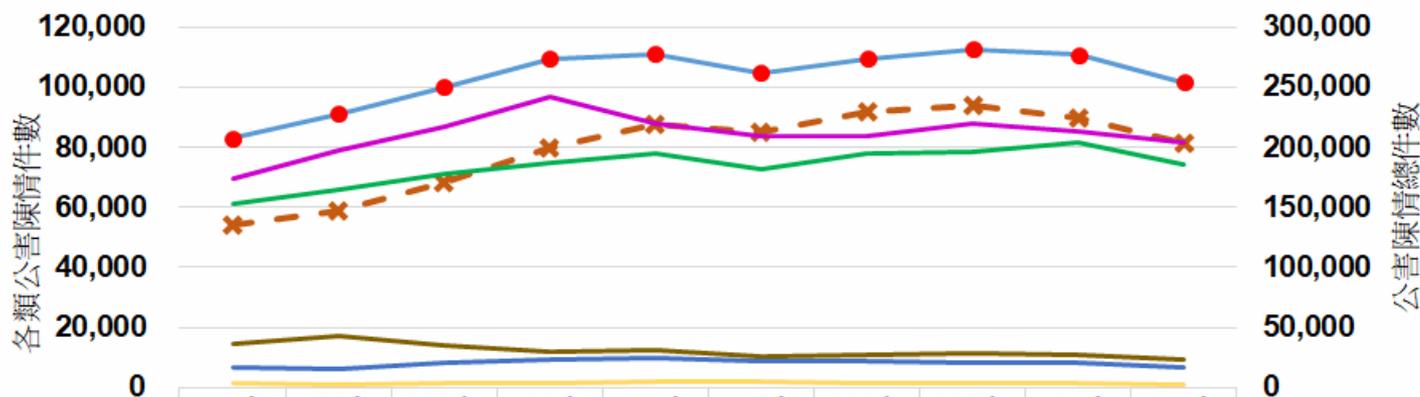
# 表面塗裝業的空氣污染防制設備

行業別/家數		空氣污染物防制設備							管制標準	
		無	活性碳	水洗塔	水洗塔+活性碳	濕式靜電+水洗塔	活性碳吸脫附	觸媒氧化爐		RTO
金屬/塑膠製品表面塗裝	10	1	6	2	1					
機車表面塗裝	2				2					
印刷業	5	1	1	1	1			1		
PVC壁紙	2					2				
PU合成皮	7	1	1	3					2	有
膠帶業	1						1			有
漆包線	1			1				1		

# 異味污染問題 – 1

- ◆ 「異味污染物」所致陳情案有逐年攀升趨勢；
- ◆ 自98至108年的10年之間，異味污染物陳情的件數由每年54,480件急速增加到108年的89,927件，相當於每年增加3500多件

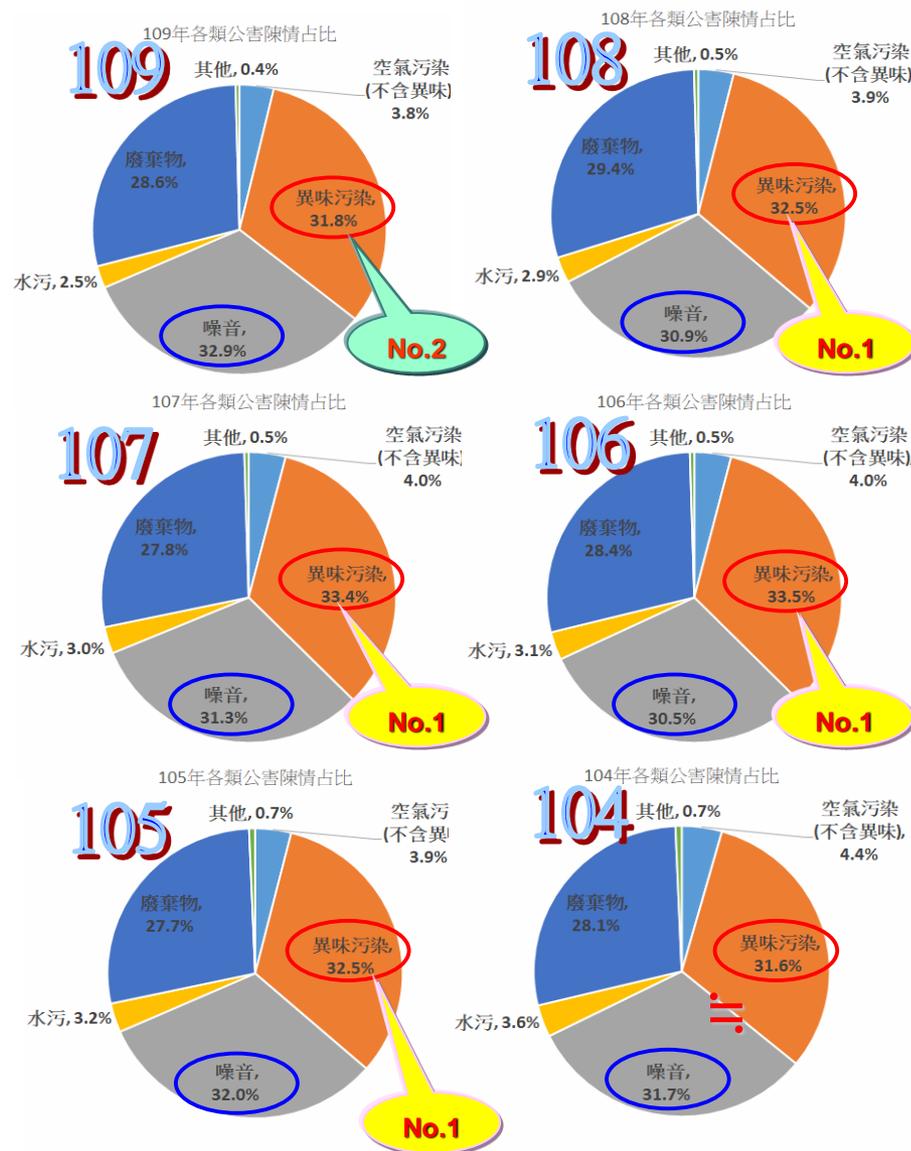
100~109年各類公害陳情件數



	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年
— 加總 - 空氣污染(不含異味)	14320	16878	14134	11726	12169	10311	11039	11377	10738	9502
-x- 加總 - 異味污染	54221	58546	68345	79631	87595	84949	91768	94005	89927	81281
— 加總 - 噪音	69449	78985	86800	96739	87906	83749	83449	87995	85457	81569
— 加總 - 水污	6662	6378	8089	9148	9903	8499	8560	8378	8043	6458
— 加總 - 廢棄物	61326	66011	71033	74860	77942	72427	77727	78247	81488	74100
— 加總 - 其他	1427	1117	1383	1480	1877	1721	1306	1300	1280	1046
● 加總 - 公害陳情總件數	207405	227915	249784	273584	277392	261656	273849	281302	276933	253956

# 異味污染問題 - 2

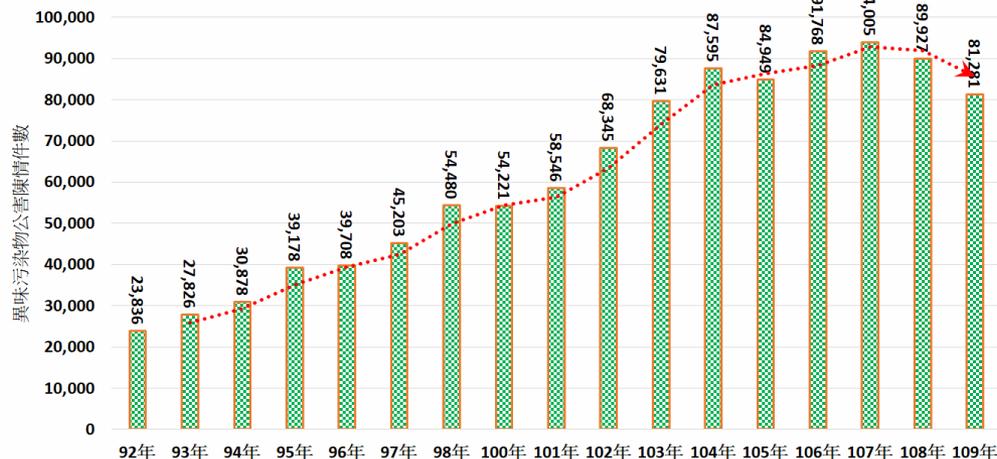
- ◆ 自民國 105 至 108 年，異味污染超越噪音躍居第一大陳情類別，成為國內公害陳情中最为迫切的空氣污染問題。
- ◆ 109年的異味污染統計數字已有下降的趨勢，再度名列於噪音之後，成為第二大公害陳情類別



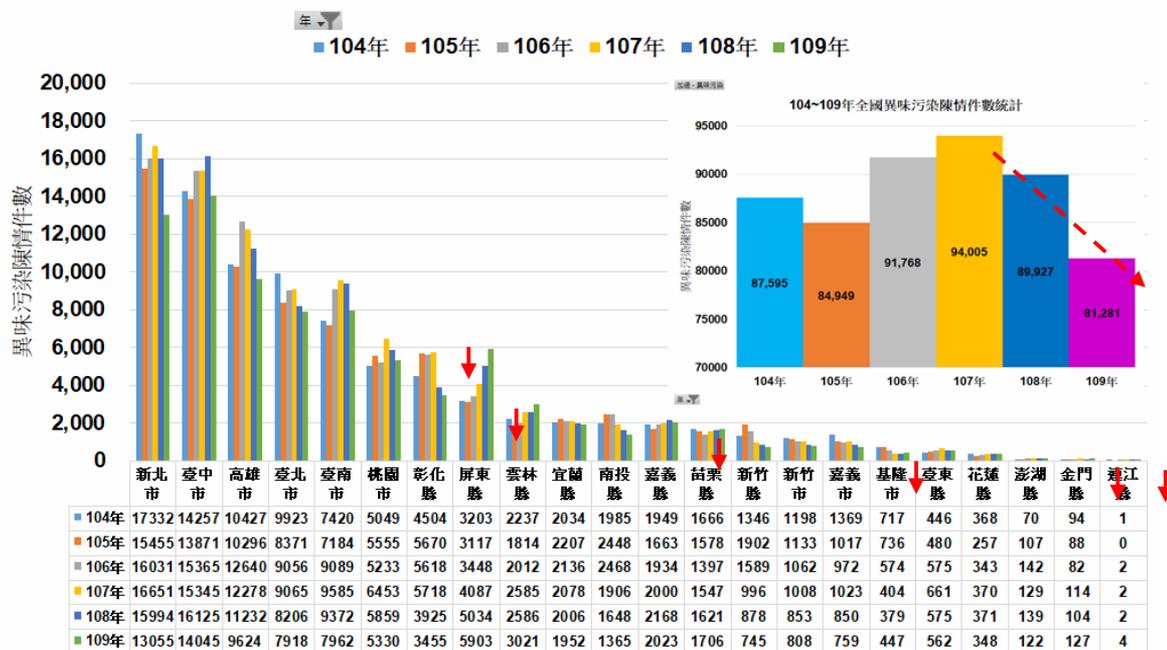
# 異味污染問題

- ◆ 近四年內全國異味污染陳情件數，半數縣市都是以異味污染物為大宗
- ◆ 除了屏東、雲林、苗栗、基隆、金門和連江縣之外，其他縣市在109年的異味陳情件數都比前一年下降
- ◆ 全國有超過四分之一的縣市仍持續有異味陳情案件的發生
- ◆ 彰化縣在109年的異味陳情數降幅達31.5%最大，其次是嘉義市16.9%，新竹市下降15.4%列居第三

92~109年全國異味污染陳情數量統計



104~109年各縣市異味污染陳情件數



# 異味污染現況、來源與管制

## 異味污染的現況及背景

- 異味污染現況
  1. 自民國105至108年，「異味污染」為第一大公害陳情類別
  2. 每年增加3500「異味污染」
  3. 108年上半年統計：主要陳情對象為：燃燒行為、油煙(餐飲業)、製程(工業)、有機氣體、動物異味合計超過87%
- 異味管制現況與困難處
  1. 固定污染源空氣污染物排放與管制標準(管道及周界標準)
  2. 管道：主觀的官能測定方法
  3. 周界：持續時間短而難以掌握調查時效、主觀量測方法

## 異味污染源及對應法規

- 異味污染主要類別
  1. 燃燒行為：主要來自露天燃燒(空氣污染防制法)
  2. 油煙：餐飲業為主要貢獻源(餐飲業空氣污染防制設施管理辦法)
  3. 製程：石化業(揮發性有機物空氣污染管制及排放標準)
  4. 有機氣體：歷年調查結果，表面塗裝的VOC溶劑為主要問題(行業別標準：膠帶業、聚氨基甲酸酯合成皮業、汽車製造業表面塗裝)
  5. 動物異味：主要來自畜牧業(無管理辦法)

## 異味污染問題

### 異味污染源

逸散源  
燃燒行為：露天燃燒、火災事故

製程逸散：包括石化煉油製程設備源建逸散、塗裝作業溶劑逸散(收集效率不佳)

點源  
1. 無防制設備  
2. 防制設備控制效率不佳  
• 操作條件參數  
• 防制設備不適用  
3. 排放管道設計影響擴散

### 影響範圍

控制技術/方法  
➤ 影響範圍最大  
➤ 無空污法

➤ 影響範圍在廠區周界數百公尺內  
➤ 加強設備元件管理、管制  
➤ 收集效率

➤ 依排放管道高度，影響範圍可達廠區外數公里  
➤ 製程排氣診斷以深入評估問題根源  
➤ 防制設備操作條件、參數優化  
➤ 最佳可行性控制技術

# 異味污染現況、來源與管制

## 異味污染的溯源問題

### ▶ 異味污染源調查的困難點：

1. 異味發生的持續時間短，難以確認異味污染成分和來源
2. 主觀的氣味感受
3. 氣味的描述有限
4. 採樣、分析時間較長，無法反映即時的氣味
5. 無法得知異味成分

## 調查量測方法比較

### Dynamic olfactometry (動態稀釋)

1. 歐盟：UNI EN 13725: 2004 Technical Standard
2. 美國：ASTM E679-04 2011 Standard
3. 澳洲/紐西蘭：AS/NZS4323：2001 Standard



### Triangular Odor Bag Method (三點式嗅袋法)

1. 日本、中國、台灣、東南亞國家



### 三點式聞臭法

稀釋倍數	10	30	100	
對數值	1.00	1.48	2.00	
嗅覺判定員	A	○	○	○
	B	○	○	X
	C	○	X	X
	D	○	○	X
	E	○	X	X
	F	○	○	○
測定總次數	6	12	12	
正解數	6	7	4	

### Field dilution-to-threshold, D/T (直接稀釋法)

1. 美國：科羅拉多州、康乃狄克州、德拉瓦州、伊利諾州、肯塔基州、密蘇里州、內華達州、北達克達州、西維吉尼亞州和懷俄明州



# 量測結果的應用

- 標準方法、認證實驗室分析
- 量測結果透漏的訊息

# 範例1：橡膠業表面塗裝

污染源		主要原(物)料	最大使用量		其他特殊規定
編號	名稱				
M01		橡膠溶劑	365224.26	公斤/年	---
		天然橡膠		公噸/年	
		水溶性防黏液		公斤/年	---
		合成橡膠		公噸/年	---
		加工油		公噸/年	---
		加工助劑		公噸/年	---

Eaaa	混練機滾輪 壓片	粒狀污染 物 揮發性有 機物	密閉收 集	脈動式袋式集塵器 A024 UV-C反應器 A037			
Ebbb	混練機滾輪 壓片		氣罩收 集	脈動式袋式集塵器 A010 UV-C反應器 A037			

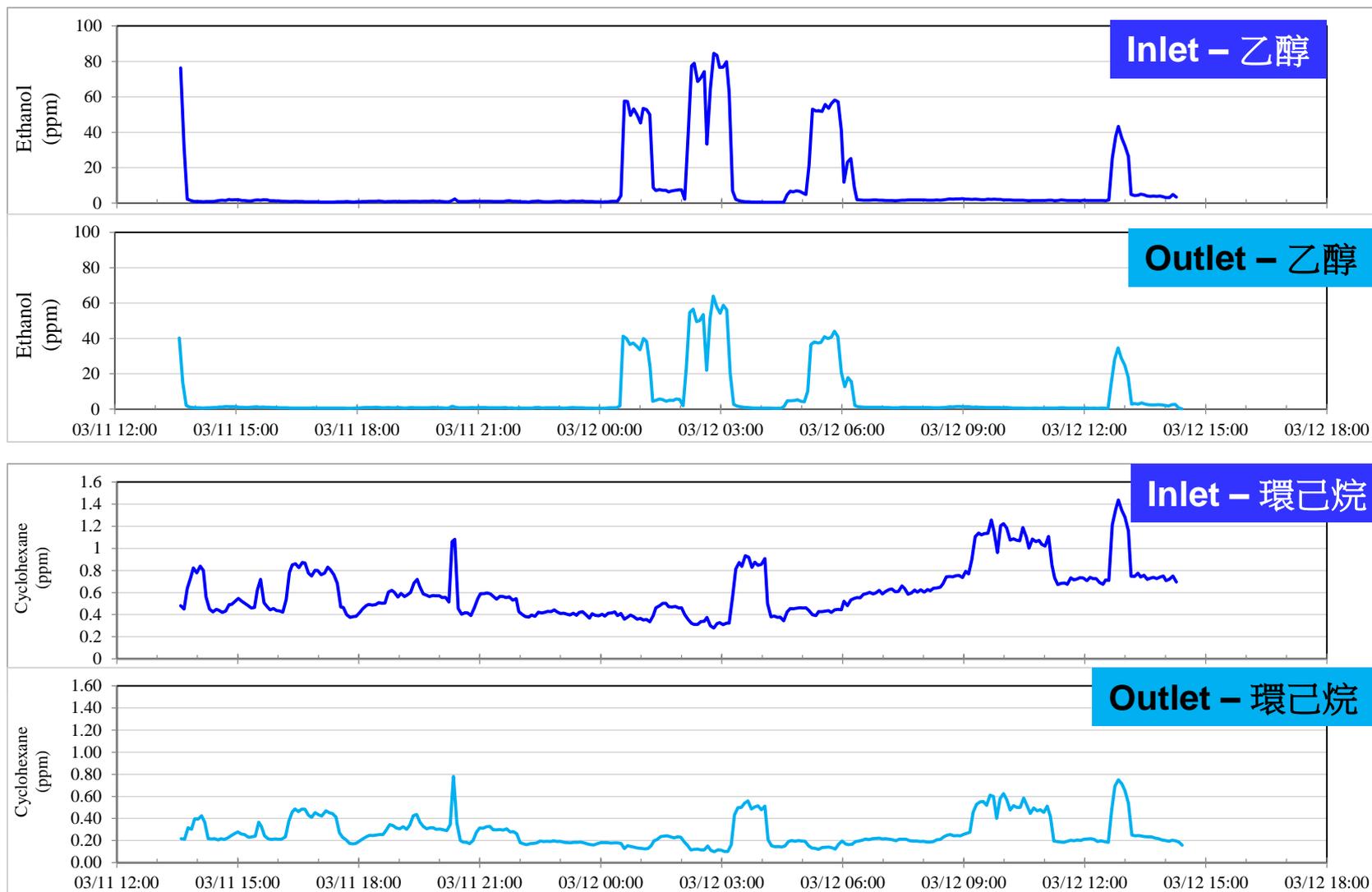
# 防制設備控制效率

化合物	最大濃度(ppm)		平均濃度 (ppm)		平均去除效率	出現頻率	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
乙醇	84.59	63883	9106	6464	29.0%	100.00%	100.00%
二硫化碳	1.69	1518	68	58	14.9%	6.71%	9.36%
環己烷	1.44	781	616	272	55.8%	100.00%	100.00%
異丙醇	1.00	658	32	17	45.7%	4.79%	3.34%

## □ 平均控制效率：

- 空氣污染防制設備為UV-C；
- 乙醇、二硫化碳、環己烷、異丙醇平均去除效率分別為**29.0%**、**14.9%**、**55.8%**、**45.7%**
- 二硫化碳、環己烷、異丙醇的平均濃度較低，平均去除效率沒有特別意義。

# A037前後端趨勢變化



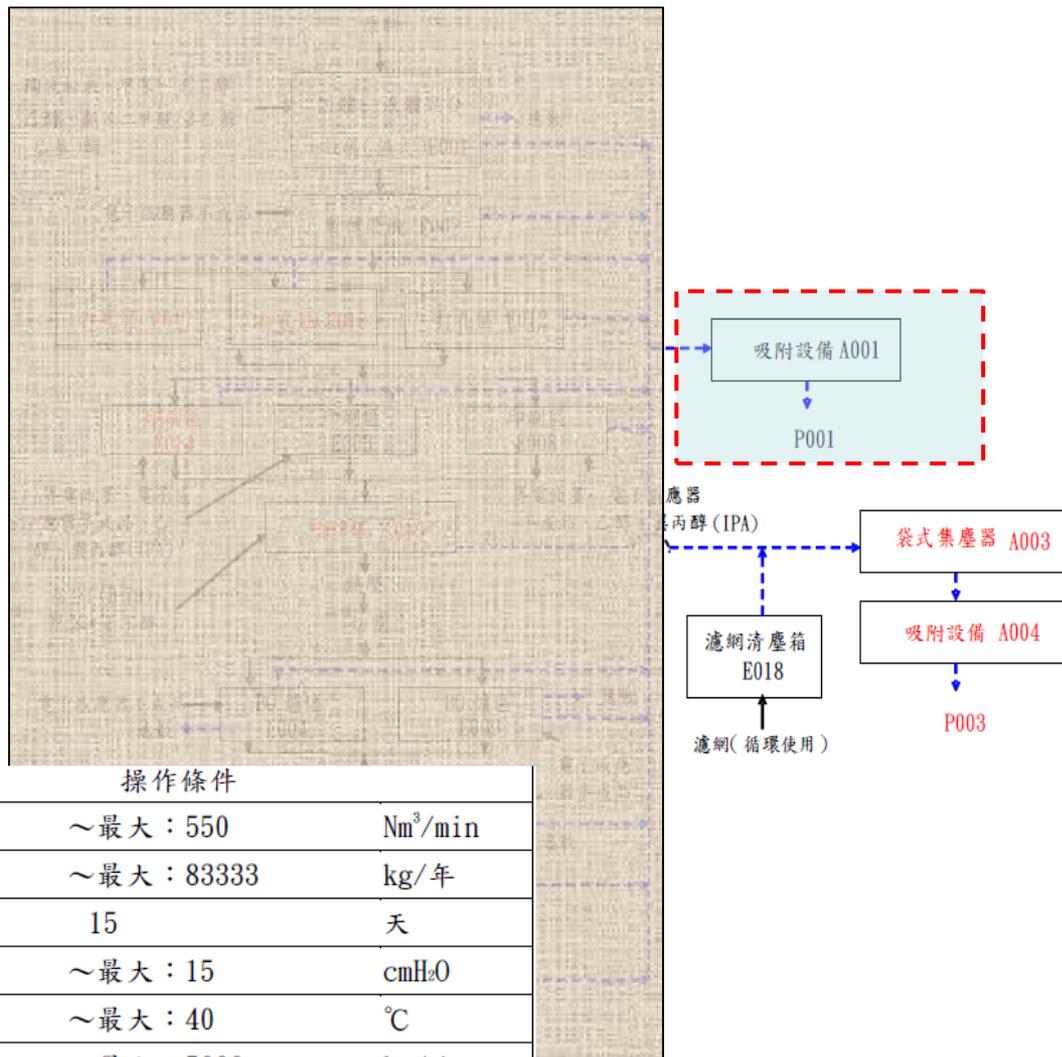
# VOC的排放量：許可 vs. 檢測結果

化合物	平均去除效率	平均濃度 (mg/m <sup>3</sup> )		平均排放量 (kg/yr)	
		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
乙醇	29.00%	17.4	12.3	1703.6	1209.2
環己烷	55.80%	2.1	0.9	210.4	92.9
異丙醇	45.70%	0.1	0.0	7.7	4.2
<b>total VOC</b>	<b>30.4%</b>			<b>1934.7</b>	<b>1320.7</b>
<b>THC (as CH<sub>4</sub>)</b>	<b>36.2%</b>			<b>4705.9</b>	<b>3003.0</b>

污染源		主要原(物)料	最大使用量		其他特殊規定
編號	名稱				
M01		橡膠溶劑	365224.26	公斤/年	---
		天然橡膠		公噸/年	
		水溶性防黏液		公斤/年	---
		合成橡膠		公噸/年	---
		加工油		公噸/年	---
		加工助劑		公噸/年	---

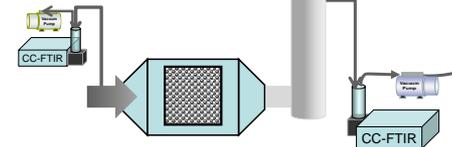
# 範例 2：活性炭吸附設備(操作費用、效率)

- ❑ 調查目標工廠空氣污染防治設備前後端
- ❑ 防制設備為吸附設備
- ❑ 原物料：甲苯、正丁醇、乙醇、異丙醇
- ❑ 製程操作時間：24小時/日、260日/年
- ❑ 活性炭用量及更換頻率：
  - ❑ 81667 ~ 83333公斤/年
  - ❑ 15天(4900 ~ 5000公斤/次)



1  
(編號：A001)  
吸附設備

項目	操作條件		
廢氣處理量	最小：350	～最大：550	Nm <sup>3</sup> /min
活性炭	最小：81667	～最大：83333	kg/年
更換週期	15		天
壓差	最小：3	～最大：15	cmH <sub>2</sub> O
廢氣入口溫度	最小：10	～最大：40	°C
活性炭更換量	最小：4900	～最大：5000	kg/次
處理效率	應大於 75%(甲苯)62%(揮發性有機物)		



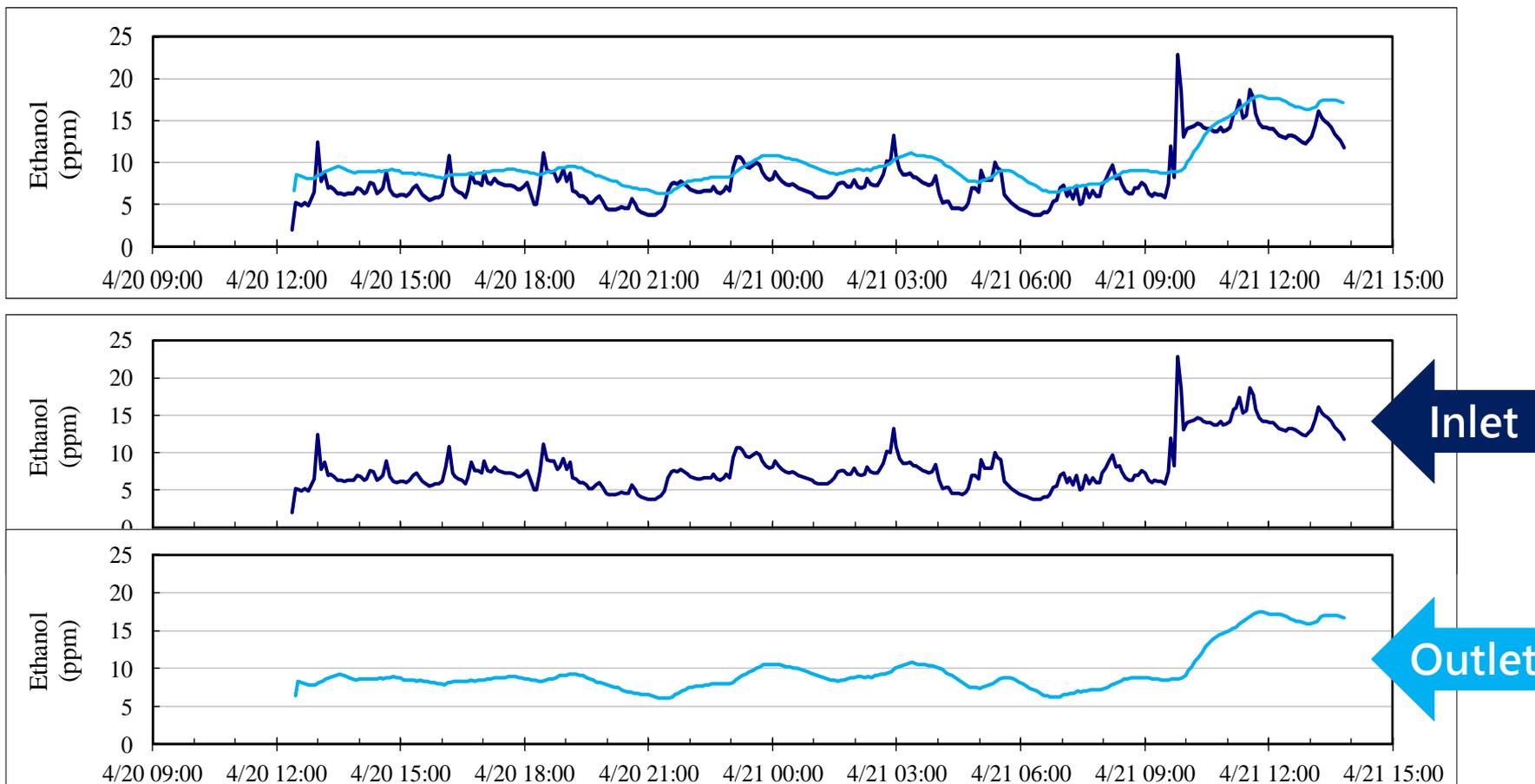
# 控制效率量測

化合物	平均濃度 (ppm)		平均控制效率	出現頻率	
	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
Ethanol 乙醇	8.053	9.499	-18.0%	100.00%	100.00%
1-Butanol 正丁醇	8.179	9.460	-15.7%	100.00%	100.00%
Toluene 甲苯	7.130	2.342	67.2%	100.00%	100.00%
Isopropanol 異丙醇	0.871	0.710	18.5%	100.00%	100.00%

□ 平均控制效率 =  $(\text{平均濃度}_{(\text{inlet})} - \text{平均濃度}_{(\text{outlet})}) / (\text{平均濃度}_{(\text{inlet})}) \times 100\%$  :

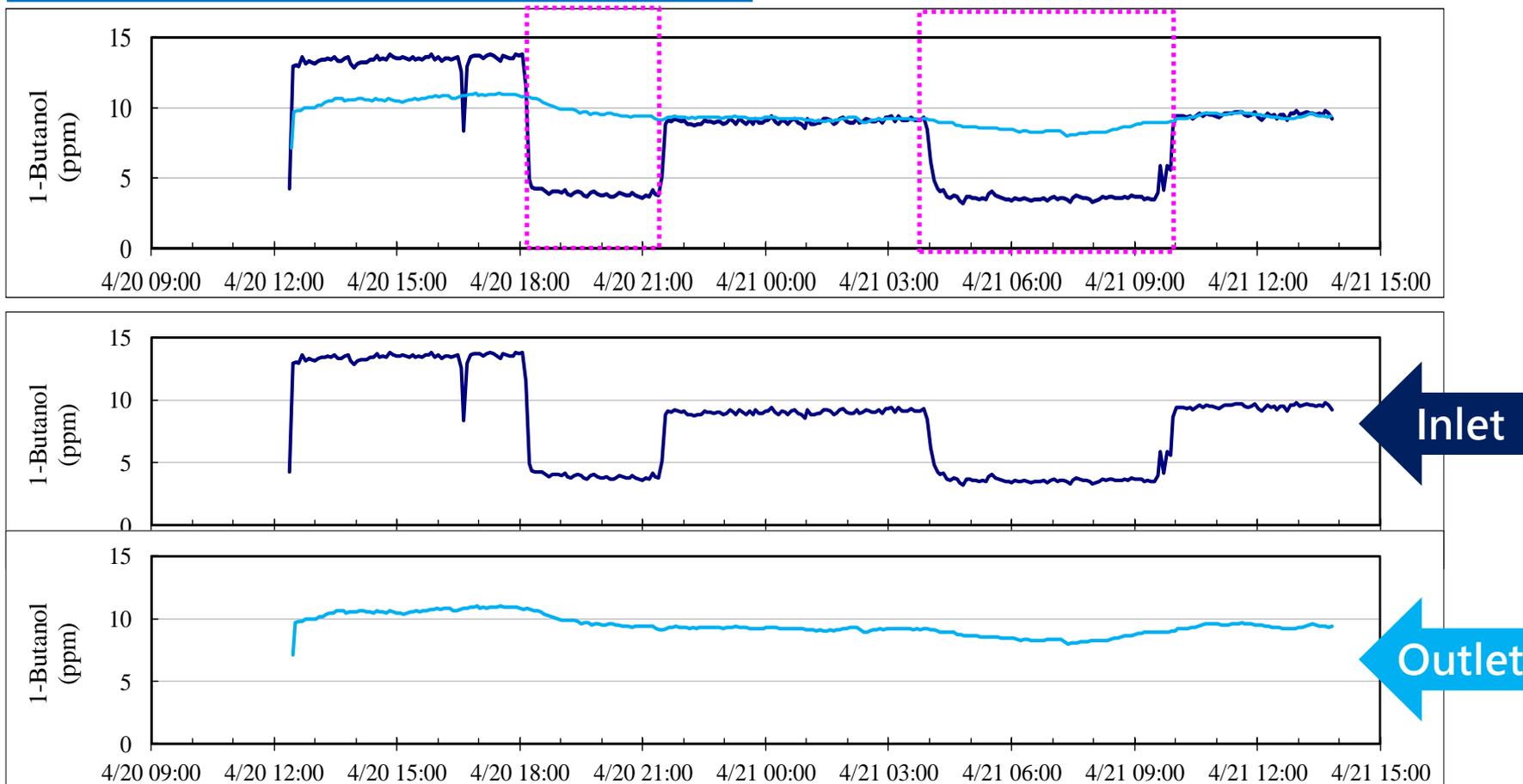
- 乙醇、正丁醇的出口濃度高於防制設備入口
- 甲苯的平均控制效率 = 67.2%，是入口廢氣中唯一有顯著控制效率的製程污染物；
- 異丙醇平均控制效率 = 18.5%；
- 量測結果顯示活性碳對製程VOC的平均去除效率約為9%；

# 平均去除效率 – 乙醇



- 由防制設備前後端同步量測的濃度趨勢分析顯示，管道中的乙醇濃度大部分時間高於防制設備入口，說明吸附設備(活性炭)對於乙醇並沒有控制效率。

# 平均去除效率 – 正丁醇



- 由防制設備前後端同步量測的濃度趨勢分析顯示，在低濃度時，活性碳對於正丁醇沒有控制效率。

# 活性碳換碳頻率

	化合物	Inlet	Outlet	平均控制效率	入口產生量 (kg/hr)	排放量 (kg/hr)
VOC專案	乙醇	8.05	9.499	-18.00%	0.361	0.425
	正丁醇	8.18	9.460	-15.70%	0.589	0.682
	甲苯	7.13	2.342	67.20%	0.639	0.210
	異丙醇	0.87	0.710	18.50%	0.051	0.041
	<b>TVOC</b>	<b>24.233</b>	<b>22.011</b>	<b>9.2%</b>	1.644	1.364
定檢	NMHC	151	59	62.0%		1.00
	甲苯	20.1	5.12	75%		0.50

## □ 查核問題：

1. 防制設備適用性：處理效率(NMHC定檢62.0% vs. 專案9.2%)
2. 設備操作費用：依據許可資料，製程操作時間為24小時/260天/年，每次更換4900 ~ 5000 kg，更換頻率為15天 → 4950 kg × 60~100 元/kg = 297,000 ~ 495,000 元/15天 ~ 6,700,000 元/年?
3. 活性碳更換頻率為15天，但本次量測的VOC去除效率僅9.2%，且防制設備出口的乙醇和正丁醇濃度高於入口。

# 揮發性有機物 控制技術的選擇

1. 增設空氣污染防制設備，就如同人“生病了 - 找醫生治療”
2. 診斷出病因才能對症下藥 → 根治

# 處理設備的選擇考量

- 處理設備的目的
  - 法規面(符合排放標準)或環境面(臭味控制)？
- 廢氣的特性
  - 欲處理的污染物種類
  - 處理的風量和濃度
  - 單一種類廢氣或不同性質的混合廢氣
- 製程操作特性
  - 連續操作
  - 批次作業
- 成本
  - 設備的成本
  - 操作成本

# 空氣污染防制設備的選用要點

## □ 空氣污染防制設備的選用：

### 1. 需求：處理效率、排放量、異味強度

- 製程特性 → 連續操作（作業時間）？批次操作？
- 廢氣的特性(風量、污染物成分、濃度、異味強度、濕度、溫度、粒狀物)

### 2. 空間(荷重)

### 3. 燃料(如果選擇熱氧化設備時)

### 4. 操作、維護方便性、穩定性

### 5. 設備費用

### 6. 操作、維護費用

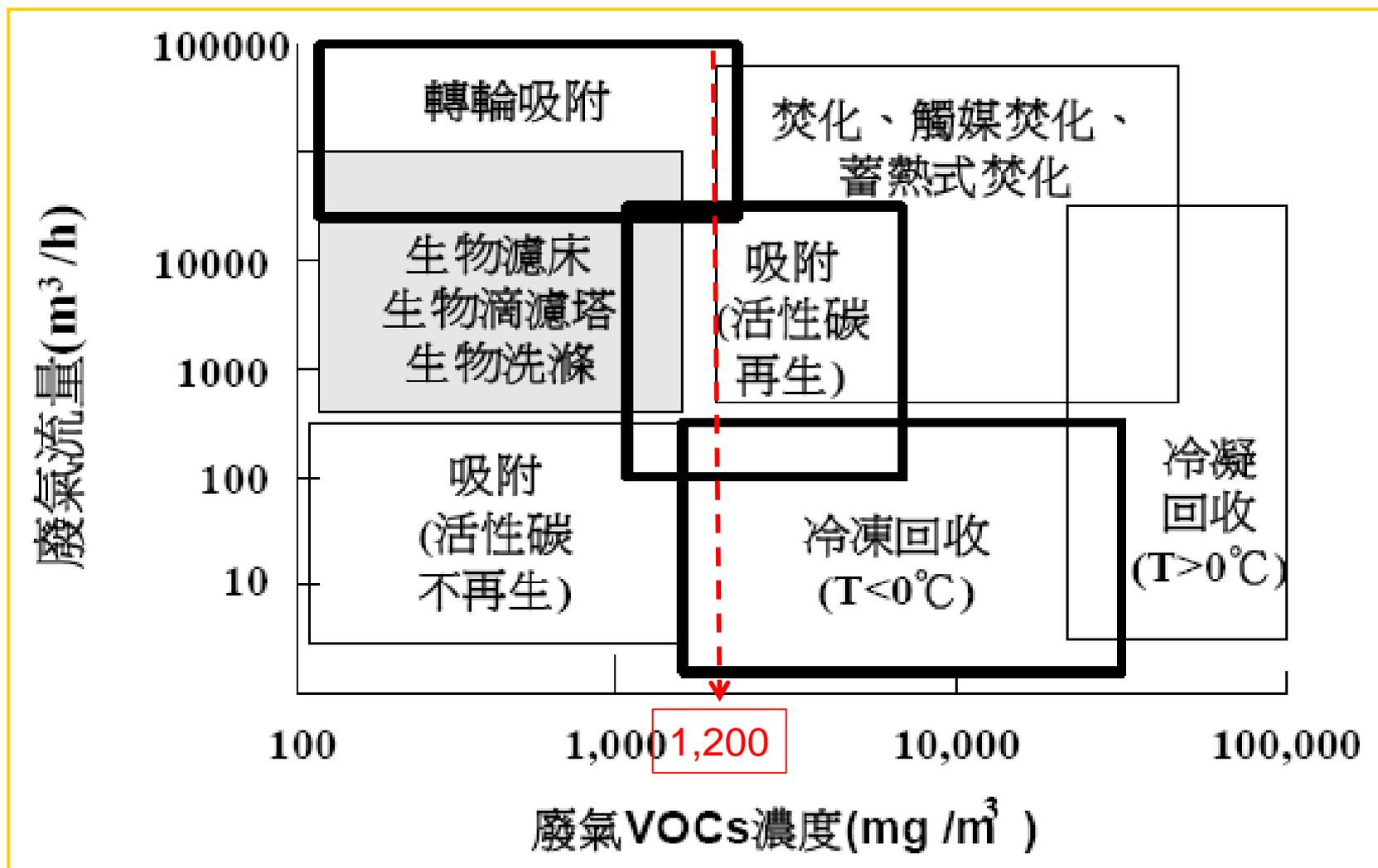
□ 將需求列出清單，請空氣污染防制設備廠商提出計畫書

□ 針對不同的設備商提出的方案進行評估分析

□ 選定最適合的設備

□ 擬定驗收的條件和執行方式

# VOC防制設備的選擇

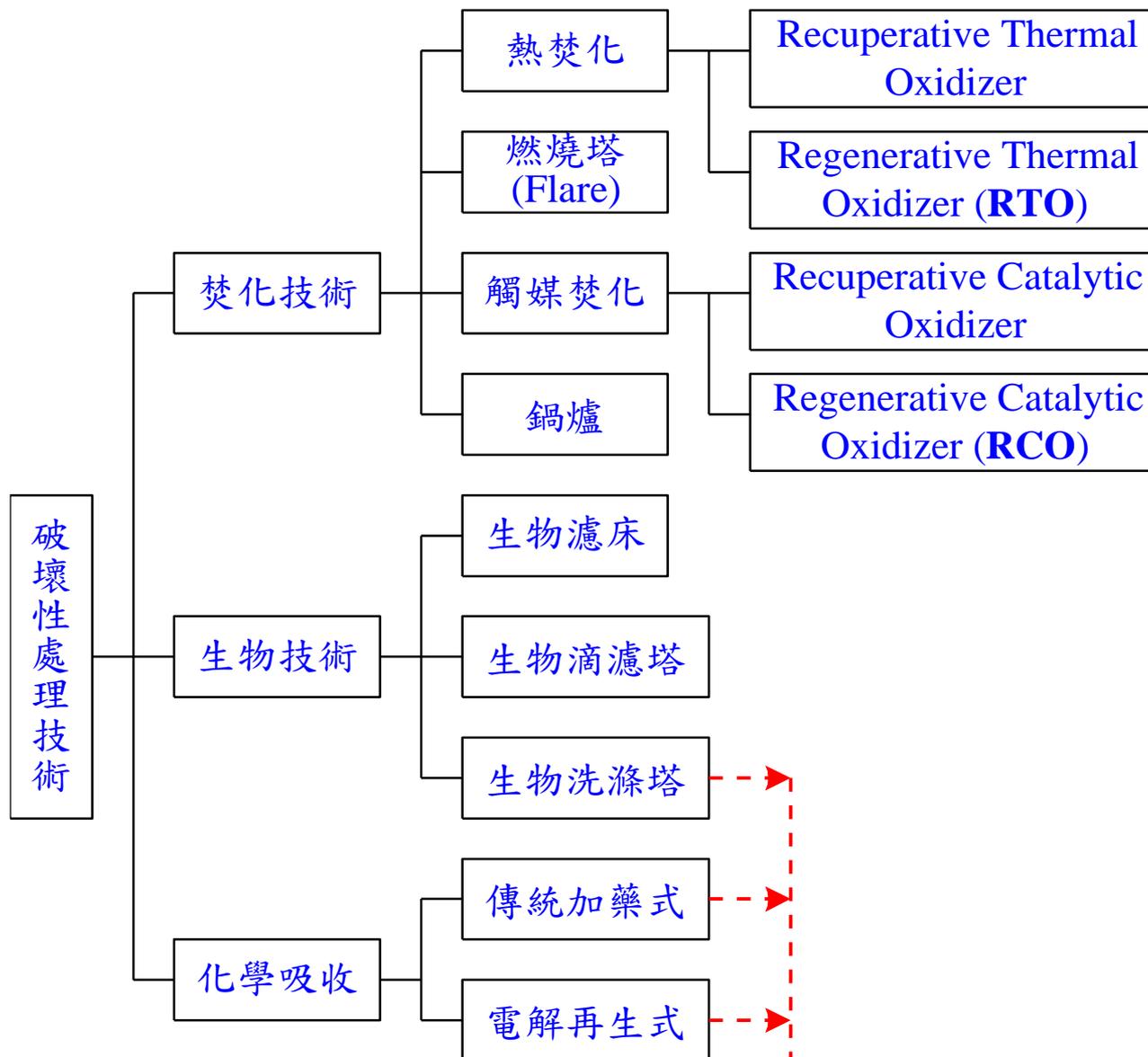


# 各種空氣污染之防制設備

控制技術	污染物	Comments
RTO (蓄熱式氧化爐)	<b>VOCs</b>	由於常常轉換氣室而容易產生靜壓不穩。
沸石濃縮轉輪+熱交換氧化爐	<b>VOCs</b>	沸石的種類和吸附能力多樣，因此必須依據進氣組成而選擇適當的沸石以達最佳的破壞/去除效率。
聚合吸附流體化床/ 熱交換氧化爐，或 熱氮氣再生	<b>VOCs</b>	不佳的脫附效率增加流體化床火災的風險。使用再生法時，產生的廢棄物可離廠燃燒以回收熱。
蒸汽活化活性炭吸 附床	<b>VOCs</b>	酮類化合物致使活性炭床火災的風險。產生的廢棄物可離廠燃燒以回收熱。
熱氮氣脫附之活性 碳流體化床	<b>VOCs</b>	酮類化合物致使活性炭床火災的風險。產生的廢棄物可離廠燃燒以回收熱。

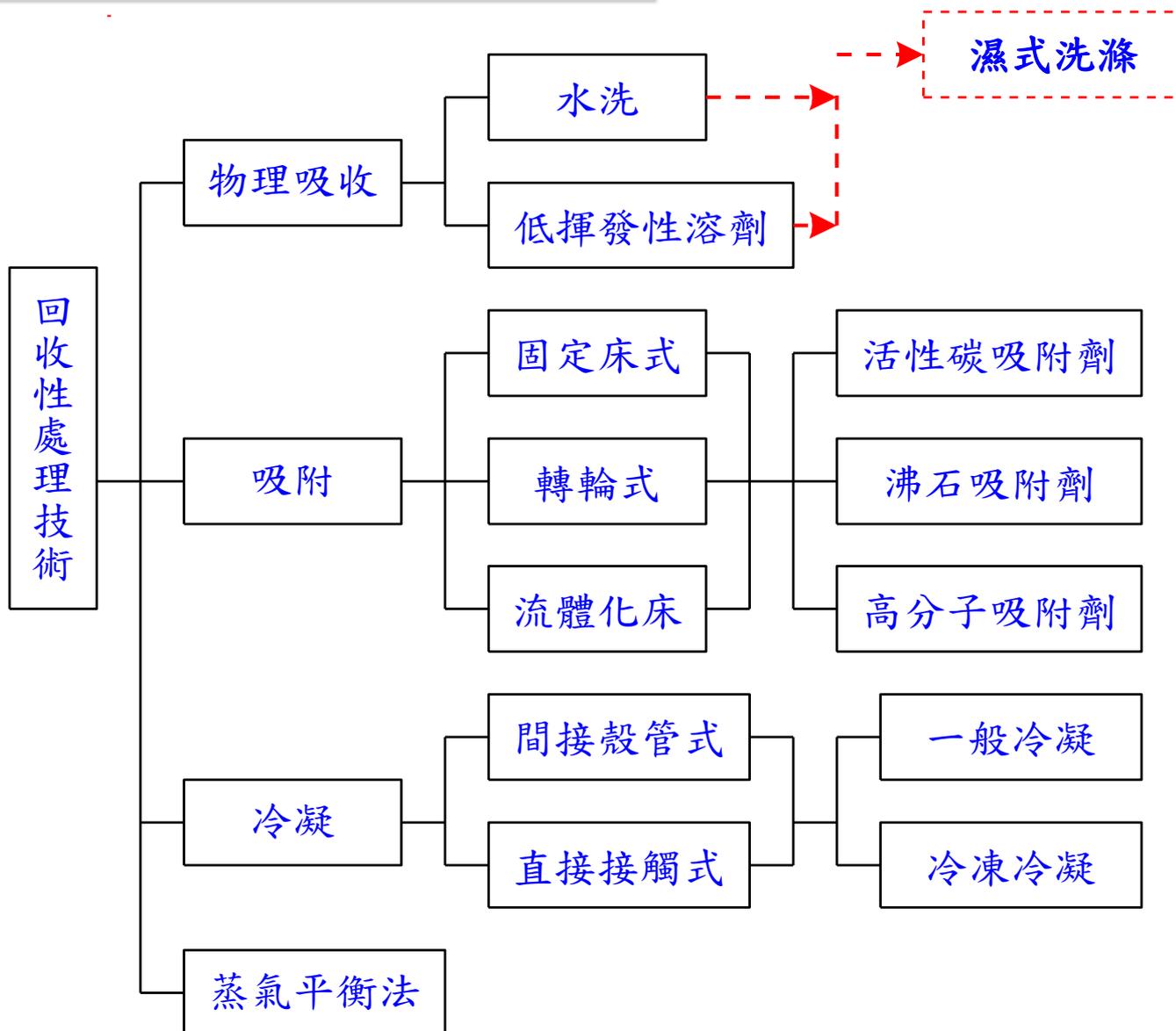
# 異味/VOCs處理技術概論

## 處理技術分類



# 異味/VOCs處理技術概論

## 臭味 VOCs 處理技術分類



# 防制設備適用範圍

防制技術	廢氣流量 (scfm)	VOC/HAP濃度 (ppmv)
熱氧化 (Thermal Oxidation)	<10000 (直燃式)	<b>60% of LEL*</b>
	250-100000 (熱交換式)	25% of LEL
	2000-500000 (蓄熱式)	10% of LEL
觸媒氧化 (Catalytic Oxidation)	<75000	25% LEL
吸附 (Adsorption)	無限制	100-5000
體積濃縮 (Volume Concentrator)	>10000	<100
吸收 (Absorption)	<100000	>200
冷凝 (Condensation)	<3000	>1000
生物濾床 (Biofiltration)	<100000	<1000
薄膜分離 (Membrane Separation)	<500	>5000

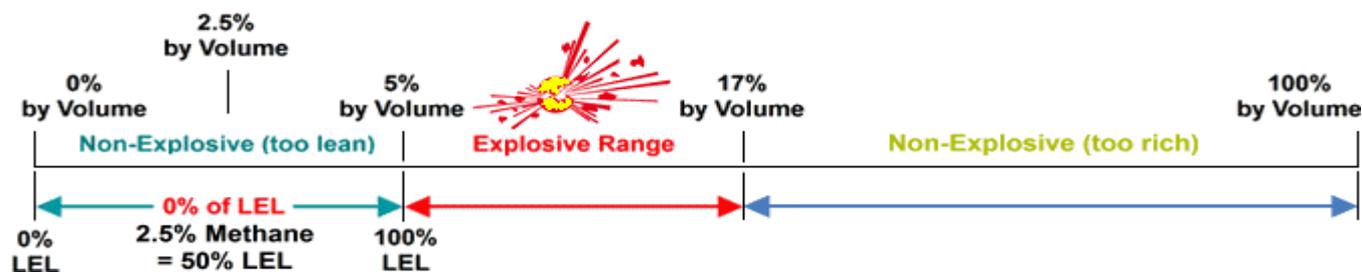
\*：當廢氣濃度 $\geq$ LEL的25%時，必須要採取特別的安全考量和設計  
 流量單位：100scfm = 2.782 CMM

# VOCs防制技術適用範圍

VOC控制技術	處理風量	適用濃度	溫度範圍	VOC成分	去除效率	設備成本	操作費用	維護費用
吸附	大	低	常溫	碳氫化合物有機溶劑	90-99%	高	中	中
冷凝	小	高	低溫(露點以下)	碳氫化合物有機溶劑	50-95%	中	中	低
生物處理	大	低	常溫	惡臭物質、碳氫化合物有機溶劑	70-80%	低	低	低
直接燃燒	大	高	700~800°C	惡臭物質、碳氫化合物有機溶劑	95-99%	高	高	高
蓄熱式氧化	大	高	800~1000°C	惡臭物質、碳氫化合物有機溶劑	95-99%	中	高	高
觸媒氧化	大	高	300~400°C	碳氫化合物有機溶劑	90-95%	高	高	高

資料來源：高金磊，麒翰科技，<http://www.chihan.tw>

# 常見有機溶劑的最低爆炸下限(LEL)



溶劑成分		LEL (%)	UEL (%)
甲烷	Methane	5	17
己烷	Hexane	1.2	7.4
環己烷	Cyclohexane	1.3	7.8
丙酮	Acetone	2.6	13
丁酮	Methyl Ethyl Ketone	1.9	10
甲醇	Methanol	6.7	36
乙醇	Ethanol	3.3	19
異丙醇	Isopropanol	2.2	
正丁醇	n-Butanol	1.7	12
乙酸乙酯	Ethyl Acetate	2.2	11
乙酸丁酯	Butyl Acetate	1.4	8
甲苯	Toluene	1.2	7.1
二甲苯	Xylene	1.1	6.6

# 防制設備的前處理考量

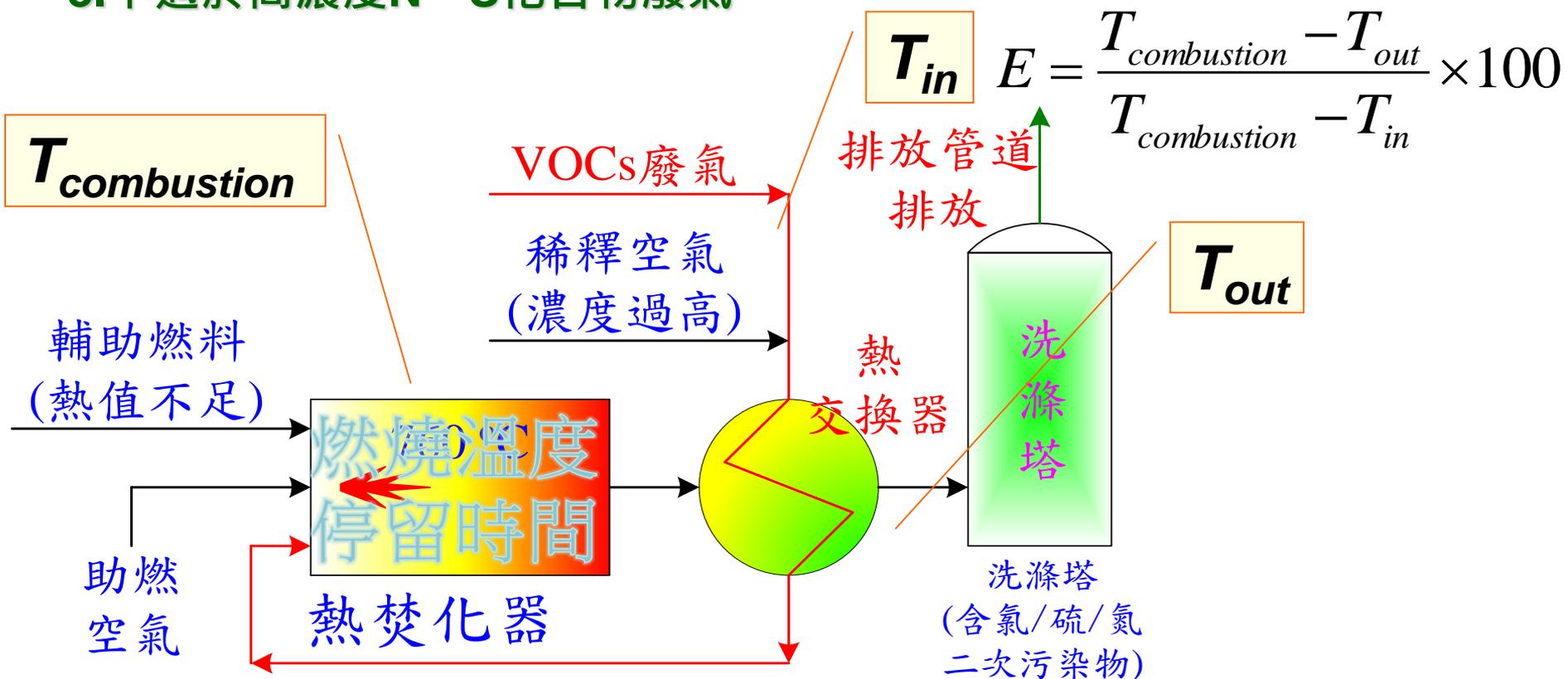
VOC/HAP防制技術	廢氣前處理考量
熱氧化	稀釋/預熱
觸媒氧化	稀釋/預熱/粒狀物去除
吸附/濃縮	冷卻/除濕/稀釋/粒狀物去除
吸收	冷卻/粒狀物去除
冷凝	除濕
生物濾床	加濕/冷卻/粒狀物去除
薄膜分離	粒狀物去除

# 揮發性有機物控制技術 – 熱焚化設備

- ▶ **熱焚化系統應符合下列要件：**
  - ▶ 足夠大之燃燒室，使氧化反應完成 → 停留時間 ( Time )
  - ▶ 充足紊流條件使熱焚化產物、被熱焚化物質與空氣有良好混合 → 輔助空氣 ( Turbulence )
  - ▶ 足夠高之操作溫度以發生完全氧化反應 → 燃燒溫度 ( Temperature )
  
- ▶ 在熱焚化爐中，進流廢氣和燃燒空氣在預混室內充份混合(預熱)，然後入燃燒室。大部份廢氣在 700°C至1000°C爐溫及0.5至1.0秒滯留時間之條件下，VOC去除率可達98%以上。

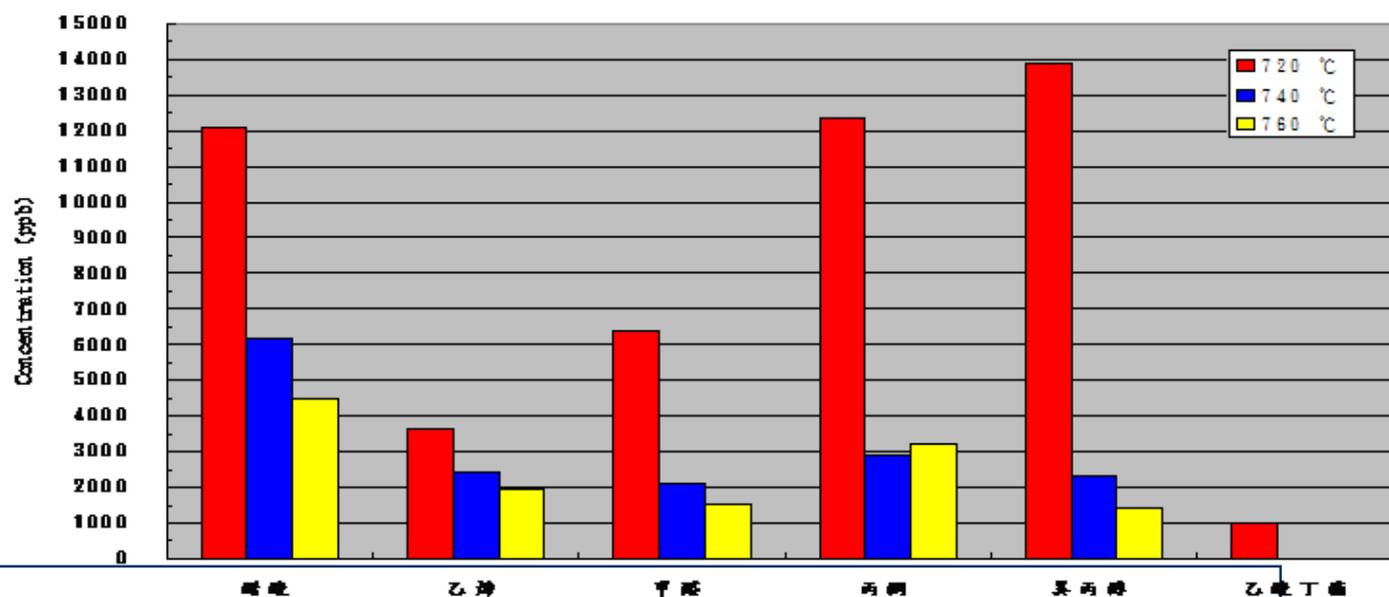
# 焚化技術 - 熱交換式熱焚化

1. 低濃度廢氣，燃料成本高
2. 高濃度、流量不穩定污染源，  
有回火或爆炸危險(低爆炸極限LEL值) **熱回收效率：50~70%**
3. 不適用於高濃度N、S化合物廢氣

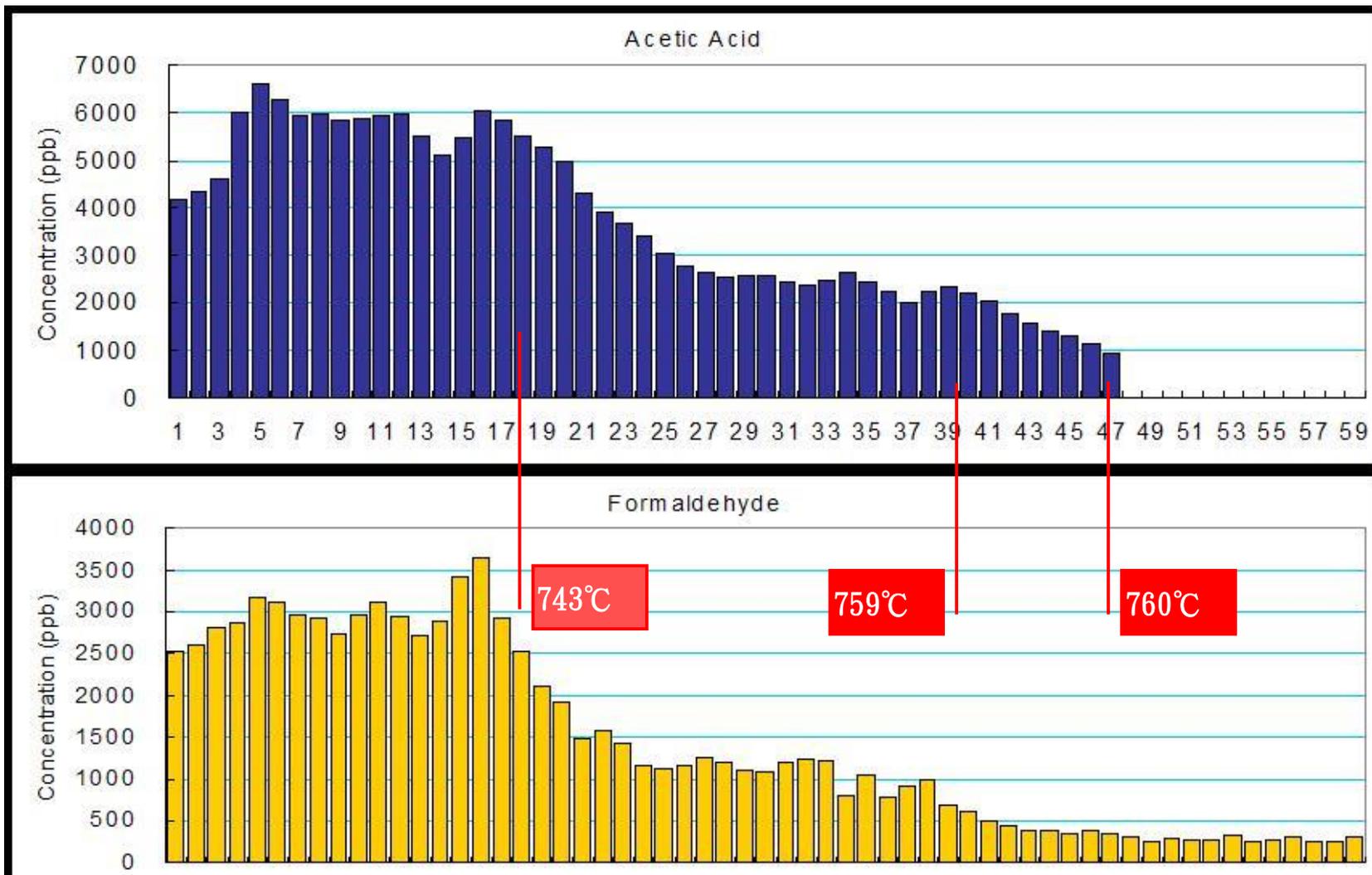


# 燃燒溫度、時間和污染物的變化

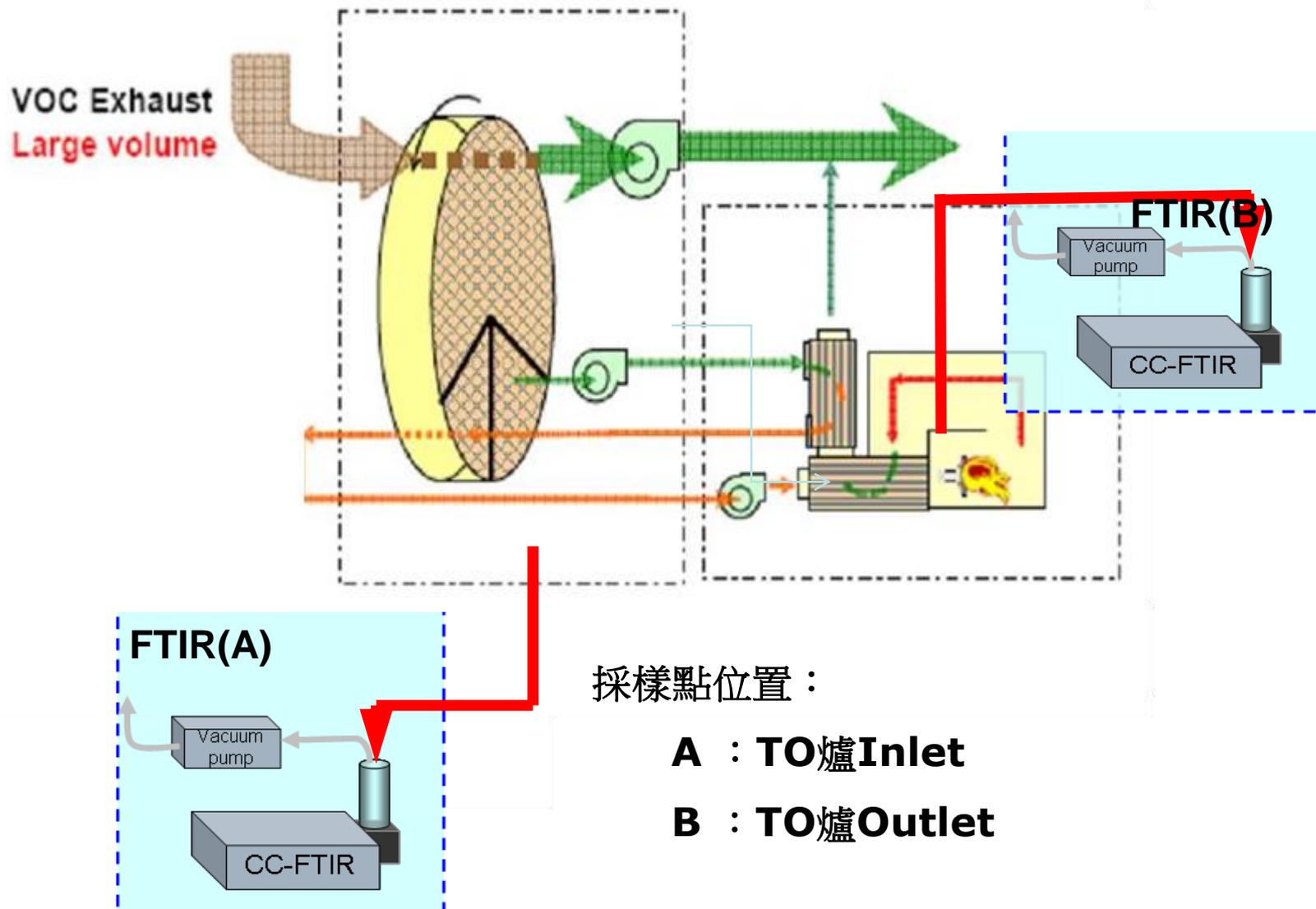
化合物		濃度 (ppb)		
		720 °C	740 °C	760 °C
Acetic Acid	醋酸	12113.8	6170.4	4478.2
Ethylene	乙烯	3616.4	2441.4	1962.5
Formaldehyde	甲醛	6369.1	2129.7	1518.9
Acetone	丙酮	12339.2	2901.4	3206.6
Isopropanol	異丙醇	13908.6	2308.2	1430.8
n-Butyl Acetate	乙酸丁酯	1009.6	0.0	0.0



# 醋酸/甲醛濃度 vs. TO溫度



# 效率 vs. 燃燒溫度



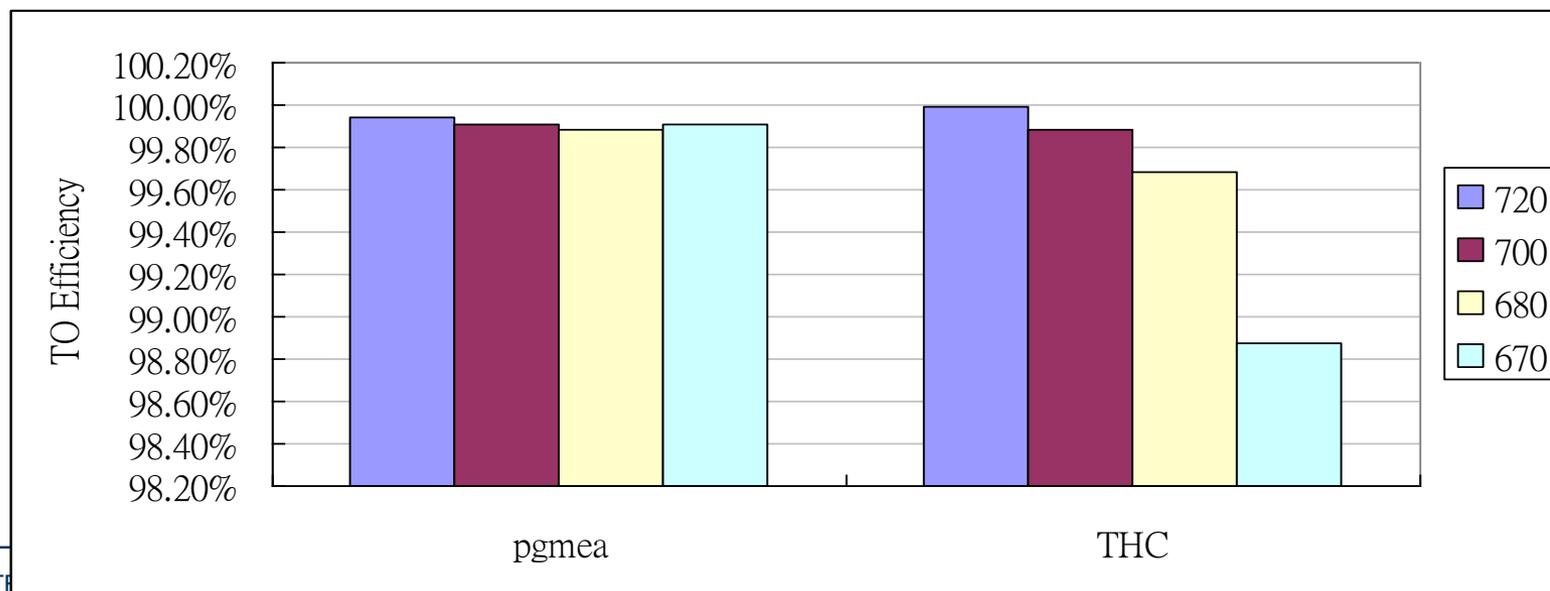
# Results – TO Oxidation Efficiency

化合物	最大濃度(ppm)		平均濃度 (ppm)		非 0 值數據比例	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
丙二醇甲醚酯	59.86	0.26	30.522	0.020	100.0%	77.9%
異丙醇	72.73	<0.14	46.691	ND	100.0%	ND
丙二醇甲醚	239.56	<0.07	163.802	ND	100.0%	ND
THC (TVOC)	368.15	3.85	241.236	0.427	100.0%	79.3%
一氧化碳	0.410	75.85	0.034	0.065	26.3%	100.0%
乙烯	<0.33	2.38	ND	0.301	ND	31.0%
甲烷	<0.48	3.06	ND	0.100	ND	15.9%
二氧化氮	<2.99	17.38	ND	15.326	ND	100.0%

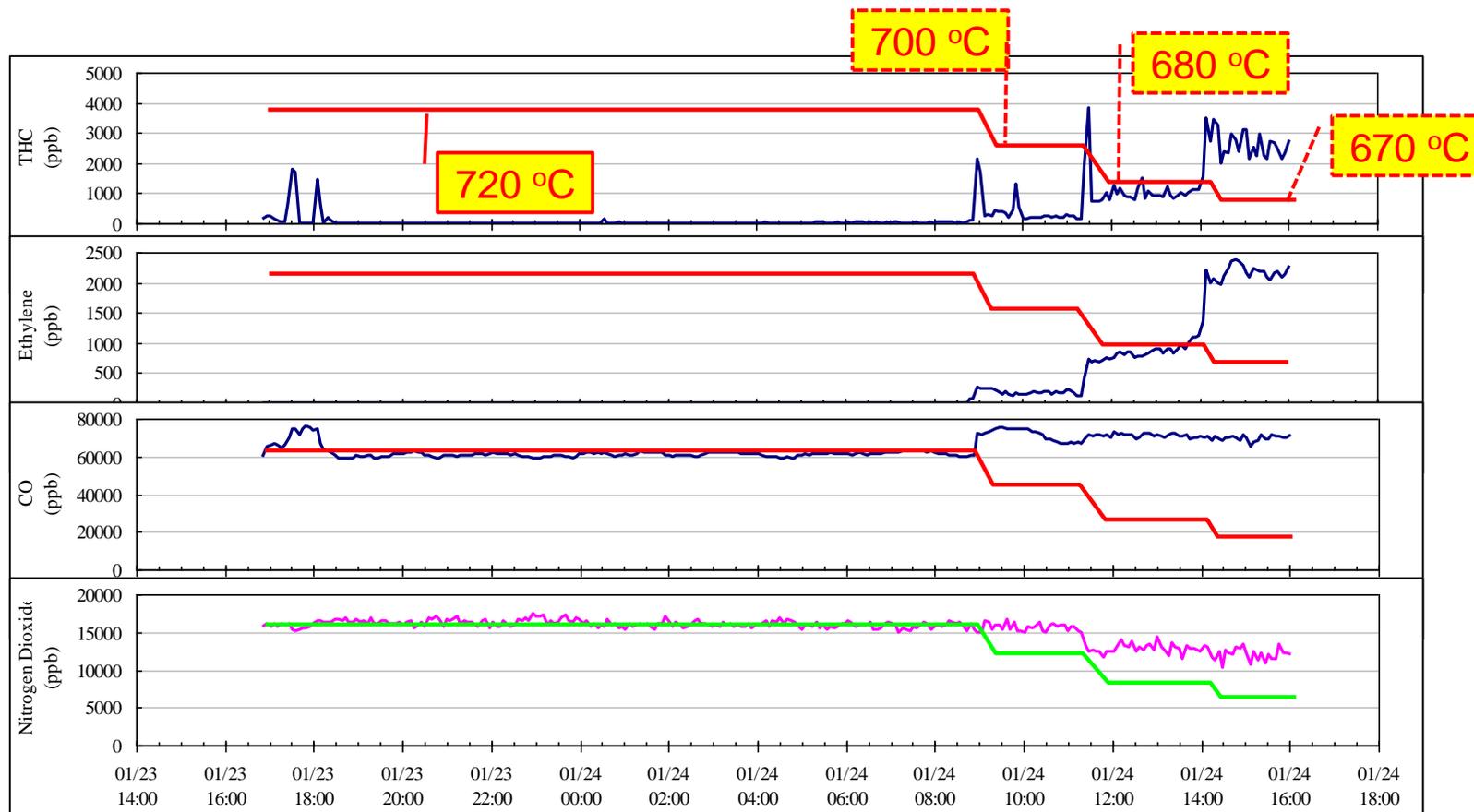
- TO爐Inlet/Outlet的量測結果顯示，乙烯、甲烷、亞硝酸和NO<sub>2</sub>只有出現在Outlet，顯示這幾種成份為燃燒的副產物。
- 在TO爐Outlet並沒有量測到IPA和PGME(<偵測極限)，顯示這兩種成份幾乎完全被去除。

# 控制效率和燃燒溫度 (停留時間>1.0 秒)

Temperature		PGMEA (ppmv)			THC (TVOC+CH4)		
		Inlet	Outlet	Efficiency	Inlet	Outlet	Efficiency
720	Avg	28.687	0.017	99.94%	203.545	0.019	99.99%
	Max	33.648	0.030		241.111	0.129	
700	Avg	30.511	0.028	99.91%	264.092	0.314	99.88%
	Max	34.098	0.050		308.850	1.332	
680	Avg	31.633	0.037	99.88%	305.014	0.958	99.69%
	Max	33.278	0.061		320.608	1.514	
670	Avg	27.892	0.027	99.90%	231.371	2.598	98.88%
	Max	29.651	0.047		275.748	3.505	



# 防制設備出口濃度和燃燒溫度時序變化



# 金屬表面塗裝乾燥廢氣處理 – 日本範例

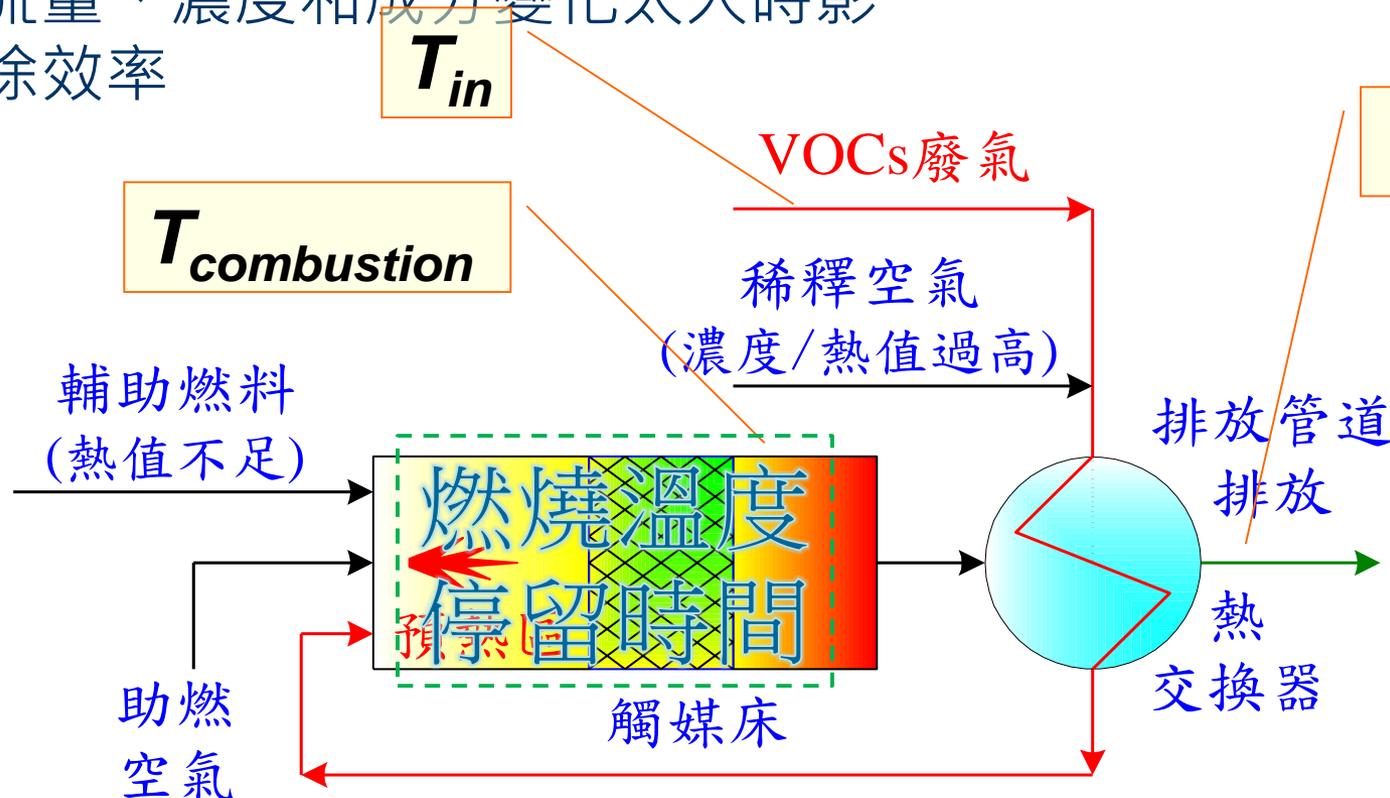
化合物	Concentration (ppm)		Removal Rate (%)	Operating Condition
	Inlet	Outlet		
Formaldehyde (甲醛)	79	30	62	廢氣量40 m <sup>3</sup> /min 燃燒爐： 燃燒溫度 = 750 °C 停留時間 ≥ 0.7 sec
Acetaldehyde (乙醛)	0.27	0.085	68.5	
Propionaldehyde (丙醛)	0.11	0.03	72.7	
iso-Butyraldehyde (異丁醛)	0.041	0.006	85.4	
n-Butyraldehyde (正丁醛)	0.013	0.004	69.2	
iso-Valeraldehyde (異戊醛)	0.003	<0.001	66.7	
n-Valeraldehyde (正戊醛)	0.013	0.003	76.9	
Isobutanol (異丁醇)	6.1	1	83.6	
n-Butanol (正丁醇)	0.2	0.09	55	
Toluene (甲苯)	0.14	0.065	53.6	
Ethyl Benzene (乙苯)	0.37	0.065	82.4	
Xylene (二甲苯)	0.57	0.075	86.8	
<b>Odor Concentration</b>	<b>1100</b>	<b>640</b>	<b>41.8</b>	
Odor Index	30	28	6.7	

# 焚化技術 - 觸媒焚化

1. 觸媒毒素(S/Cl/P/As/Si/Sn/...)
2. 廢氣必須先預熱不適用於處理高濃度(熱值)廢氣(<5-15% LEL值) ⇒ 觸媒過熱燒燬
3. 廢氣流量、濃度和成分變化太大時影響去除效率

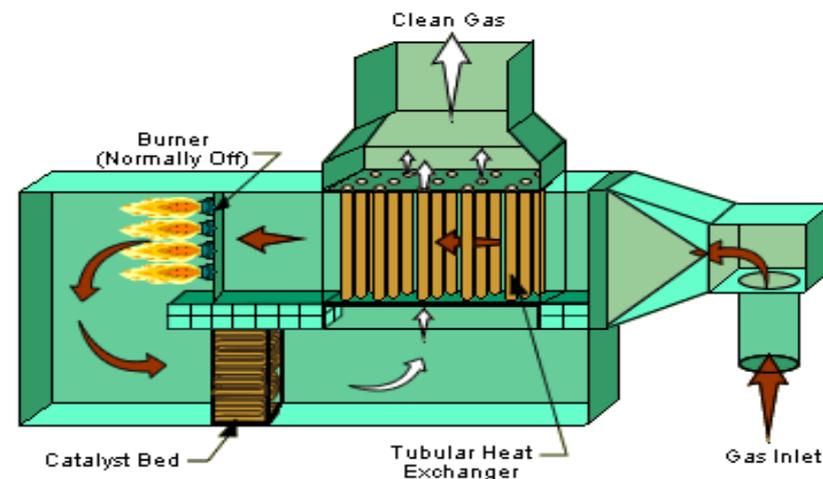
熱回收效率：50~70%

$$E = \frac{T_{combustion} - T_{out}}{T_{combustion} - T_{in}} \times 100$$



# 觸媒焚化操作條件參數

- 高流率：1.8m<sup>3</sup>/sec
- 停留時間：> 0.12 sec
- VOCs削減率：> 95%
- 入口溫度：200 °C ~ 250 °C
- 觸媒溫度：350~450°C
- 壓降：60mm 水柱
- 空間流速(gas hourly space velocity)
- 典型觸媒床的長度/直徑比約0.5，為了達到90~95%的去除率，每1000 scfm的進廢氣(廢氣+輔助燃料的燃燒產物) 需有1.5~2.0 ft<sup>3</sup>體積的觸媒(國家教育研究院)



# 觸媒焚化的優缺點

## □ 優點(Advantages)

- 作成本低
- 操作簡單
- 建物結構要求低
- 操作溫度較低(300 ~ 400°C)，節省燃料費用。

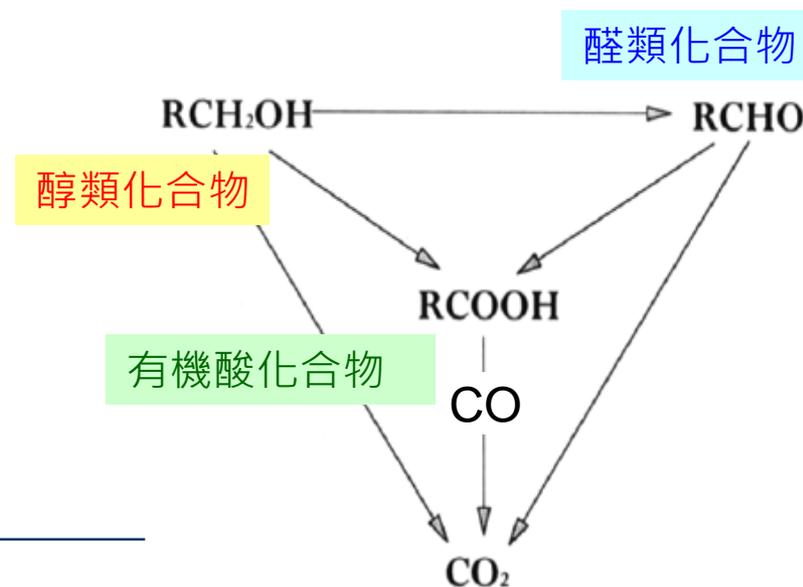
## □ 缺點(Disadvantages)

- 觸媒成本很高
- 污穢或遮蔽物質(粒狀污染物，如Silica等)，會造成觸媒處理能力降低
- 高溫會造成觸媒的劣化
- 熱效率易受操作條件影響而變動
- 觸媒易被氯、硫及重金屬(如鉛、砷、磷)等物質所毒化。如半導體產業製程中經常使用的有機溶劑DMSO及HMDS，易造成觸媒中毒

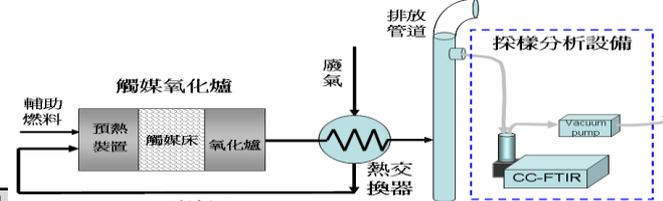
資料來源：高金磊，麒翰科技，<http://www.chihan.tw>

# 觸媒氧化的問題

- 有機溶劑經熱氧化處理時，當燃燒溫度低、停留時間不足時，低異味的有機溶劑可能轉化成高異味的污染物；
- 範例：印刷廠製程之有機溶劑經觸媒焚化爐處理後，出口端的量測結果顯示，廢氣中含多種含有機成分廢氣之不完全燃燒的副產物，一氧化碳、丙醛、甲醛、乙醛、甲酸、乙烯和醋酸；其中醛類、有機酸、烯類均為不完全燃燒的副產物。



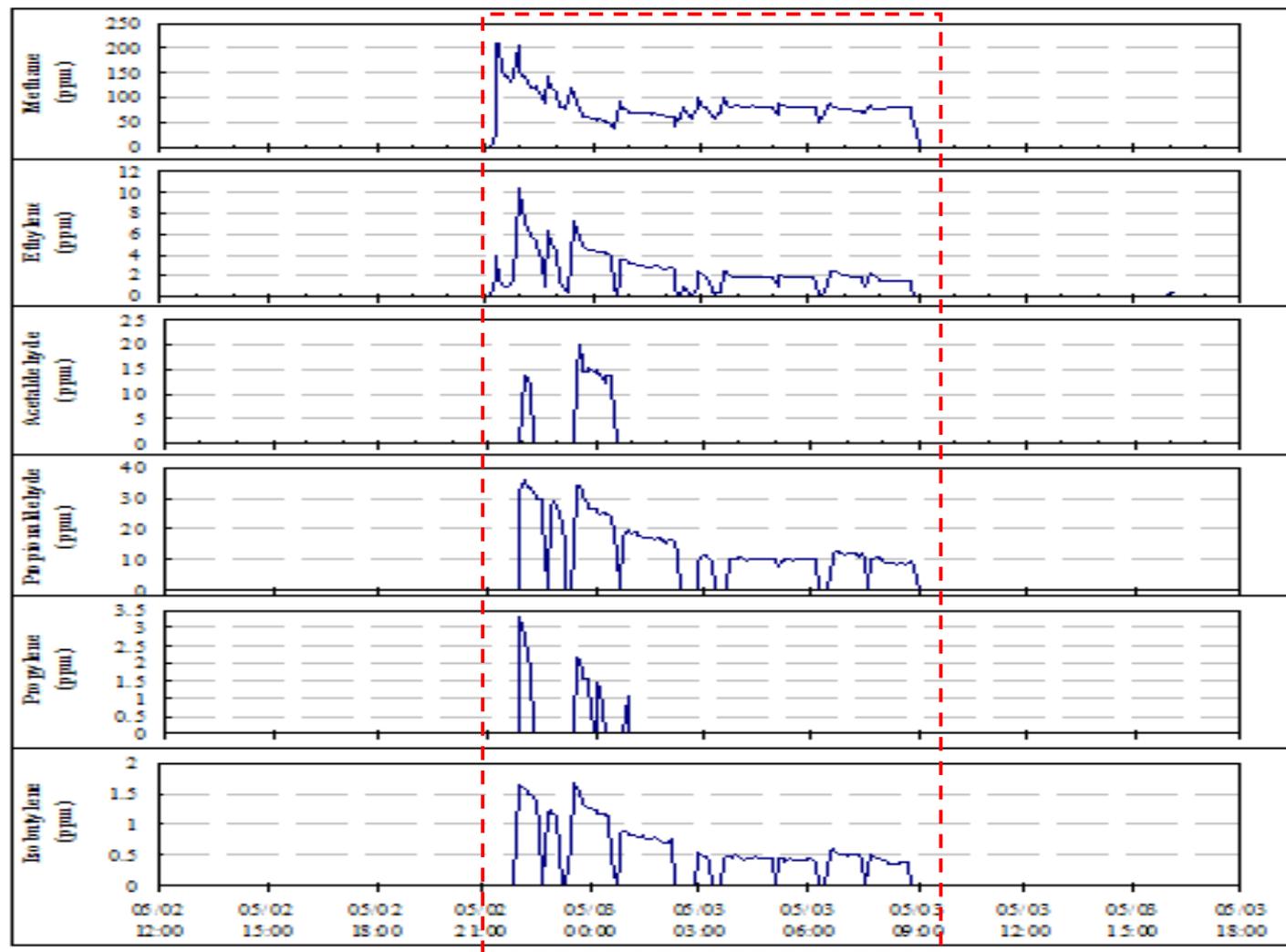
# 觸媒氧化爐 – 防制設備後端



化合物	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	出現頻率	嗅覺閾 (ppm)	氣味特徵
甲烷	211.1	40.67	48.53%	--	無味
煤油	43.4	11.58	75.57%	0.1	煤油味
丙醛	35.4	6.17	38.44%	0.001	窒息味
甲醛	26.0	11.43	76.87%	0.027	刺激性氣味
丙酮	21.1	3.57	32.25%	0.4	薄荷/水果甜味
乙醛	20.3	0.79	5.54%	0.0028	刺激味/水果味
甲醇	15.2	5.73	99.35%	3.3	酒味
甲酸	11.7	2.37	73.94%	1.5	尖銳的氣味
乙烯	10.5	1.20	46.91%	17	甜味
醋酸	6.2	1.36	46.58%	0.01	強烈食用醋的味道
丙烯	3.3	0.09	4.56%	10	芳香味
異丁烯	1.7	0.28	38.11%	--	--

□ 印刷製程，使用醇類、酮類和酯類有機溶劑

# 不完全燃燒副產物 – 觸媒氧化爐



# 結論 - 1

溶劑	入口溫度(°C)	觸媒上升溫度(°C)	轉換率(%)	溶劑	入口濃度(ppm)	觸媒上升溫度(°C)	轉換率(%)
丁酮	200	--	91	丁酮	660	65	98
	295	45	--		1660	215	98.5
	310	50	99	丙酮	810	70	98
丙酮	310	45	98		2020	120	99
乙酸乙酯	340	35	99	乙酸乙酯	610	55	94
甲苯	330	45	96	甲苯	1520	100	98
					420	130	98
					1400	165	99.5

資料來源：S.G. Abbott and M.F. Denton, Int. J. Adhesion and Adhesives, July 1992

- 依據文獻資料，常用的有機溶劑在經觸媒床後，溫度達**355°C**以上，才能達到**98%**以上的破壞效率；乙酸乙酯和甲苯甚至需要更高的溫度
- 入口濃度越高，則觸媒床增溫的幅度需要更高才能達到一定的破壞效率

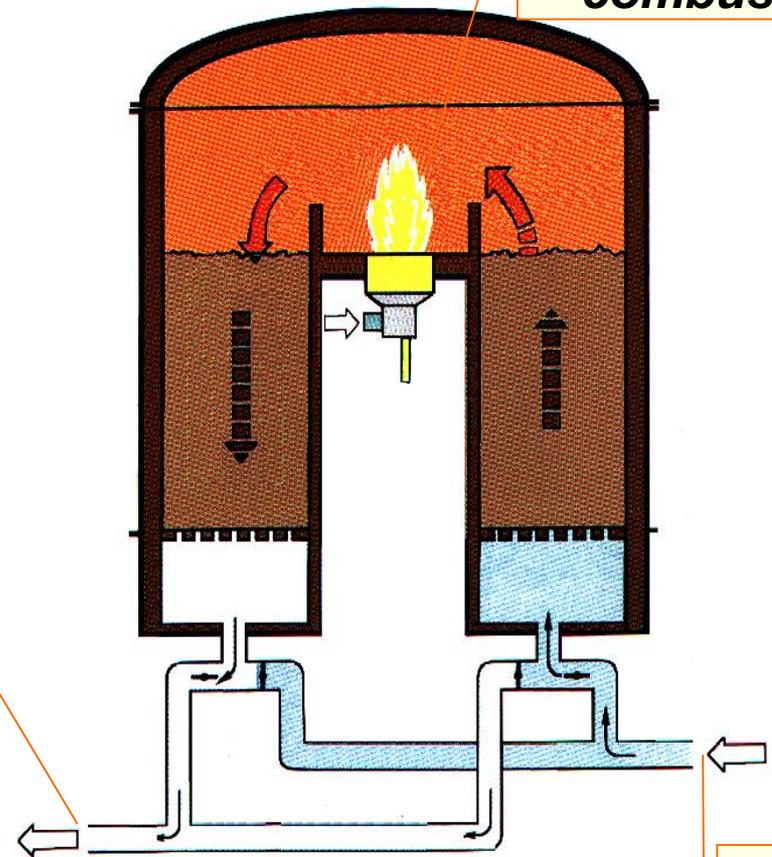
# 焚化技術 - 蓄熱式熱焚化(RTO)

1. 高沸點物質⇒易閃燃，火災危險
2. 粒狀物先質(Si)
3. 腐蝕性成份及其先質
4. 濃度(熱值)，廢熱回收移除
5. 入口VOC濃度0~25% LEL

熱回收效率：80~95%

$$E = \frac{T_{combustion} - T_{out}}{T_{combustion} - T_{in}} \times 100$$

$T_{out}$



$T_{in}$

# 蓄熱焚化的優缺點

## □ 優點(Advantages)

- 設備成本較低
- 操作簡單
- 熱回收效率較高 (65~97%)
- VOC去除效率，可達99%+以上
- 進口廢氣溫度可以較高溫(大於50°C)

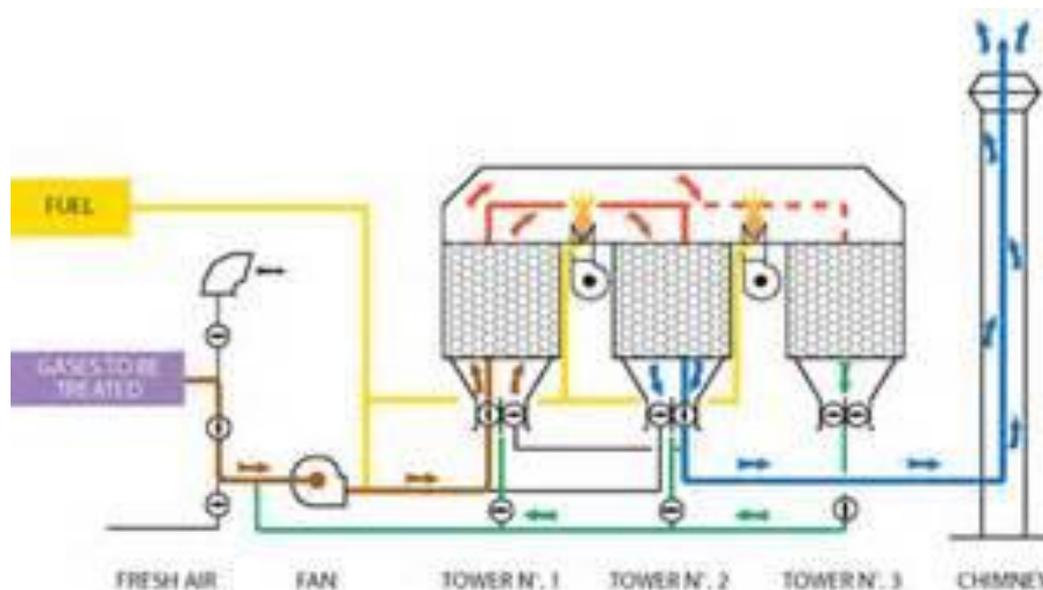
## □ 缺點(Disadvantages)

- 燃料費用很高，VOCs濃度愈低，燃料費用愈高
- 陶瓷(ceramic)床的壓損大 (12" ~20" w.c.)，風車電力消耗較大
- 設備重且需要較大空間
- 陶瓷(ceramic)床易為粒狀污染物(如Silica)所阻塞；RTO的陶瓷材為鞍座(saddles)，阻塞尤其嚴重；若是蜂巢狀(structures block)的陶瓷材，則阻塞情況可大幅改善

資料來源：高金磊，麒翰科技，<http://www.chihan.tw>

# 3-BED RTO System

- 多槽式蓄熱焚化爐主要在於
  - 解決雙槽式RTO在切換時製程廢氣未經燃燒處理而直接排放到大氣中
  - 提升去除效率



# 凹版印刷製程廢氣 – 日本範例

Compound	Concentration (ppm)		Removal Rate (%)	Operating Condition
	Inlet	Outlet		
Toluene (甲苯)	320	6	98.1	雙槽式RTO 廢氣量 = 800 m <sup>3</sup> / min
Ethyl Acetate (乙酸乙酯)	240	5	97.9	
n-Butyl Acetate (乙酸正丁酯)	79	2	97.5	
Isobutanol (異丁醇)	27	<1.0	>96.3	
<b>Odor Concentration</b>	<b>13000</b>	<b>230</b>	<b>98.2</b>	
Odor Index	41	24	41.5	

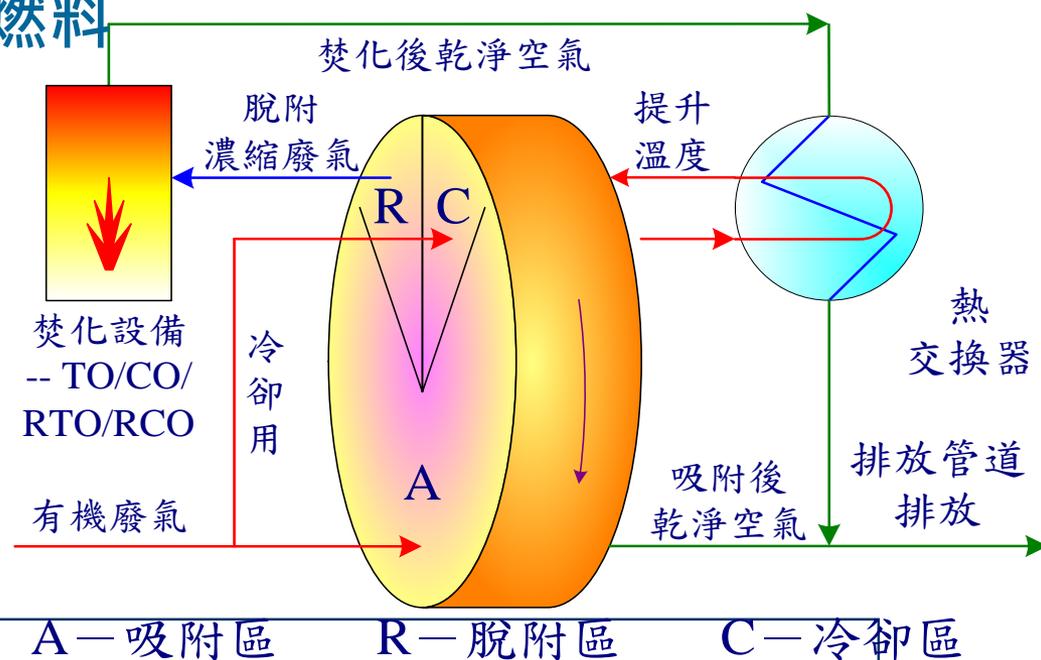
## 蓄熱焚化的特別注意事項 -

- 為了保護蓄熱磚，通常在VOC濃度可能超過LEL(爆炸下限)的5%，因此系統中增設熱旁通。熱旁通不會增加RTO流量。
- 當高濃度的VOC通過RTO時，燃燒室中的溫度將升高，並在預設溫度下打開熱旁通(或熱強排)，以使一部分燃燒的熱產物直接通過排氣口而沒有通過蓄熱介質，從而確保介質保持穩定的溫度。



# 焚化技術 - 轉輪濃縮 + 焚化

1. 使用吸脫附技術，針對低濃度廢氣將行濃縮，以提高熱氧化爐的進氣濃度，降低燃料的費用
2. 一般濃縮倍數可達10倍以上
3. 高沸點物質(去光阻液) ⇒ 火災危險/清洗廢水
4. 通常在吸脫附設備前端增設一道初級率網，過濾高沸點物質或粒狀物
5. 必要時，可使用多段吸脫附(兩套沸石轉輪串聯)，以提升進廢氣的濃度 → 不需燃料
6. 熱能回收

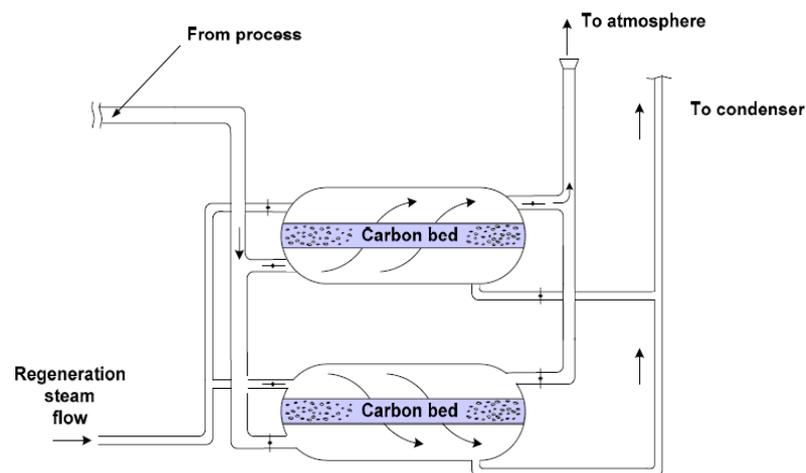
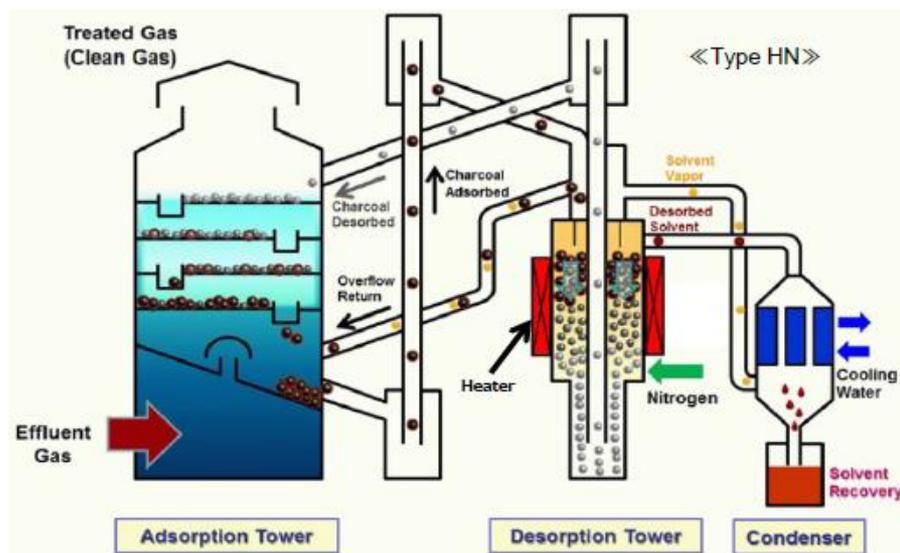


# 活性炭吸(脫)附技術

## □ 原理：

- 利用VOCs與空氣成份對吸附劑附著性 (凡得瓦爾力)的差異，將VOCs從排氣中去除
- 適當的吸附劑及接觸時間，可達到非常高的去除效率
- 適用於揮發性溶劑蒸氣的控制、回收

## □ 常用技術：流體化床式、活性炭槽



source : <http://www.kurekan.co.jp/>

# 溶劑回收 – 活性炭流體化床



噴漆塗裝2332 CMM風量

PU合成皮業



# 活性炭吸(脫)附技術

## 吸附床種類：

- 固定床
  - 耗竭更換；
  - 濃縮減量⇒回收或破壞處理
- 流體化床
  - 濃縮減量⇒回收或破壞處理
- 轉輪
  - 濃縮減量⇒回收或破壞處理
- 非最終處理技術(方式)

1. 高沸點物質(去光阻液)
  - 難脫附，火災危險
2. 反應性成份(酮類)
  - 火災危險
3. 高RH，競爭性吸附
4. 低濃度⇒吸附量低
5. 廢氣溫度過高影響吸附效率
6. 適用於分子量40~150 g/mole，  
沸點38~260°C化合物
7. 醇類化合物的吸附較差

1. 搭配冷凝⇒回收再利用
2. 搭配熱焚化⇒破壞處理

# 流體化床的優點與使用限制

## ■ 優點：

- ✓ 不會蓄積熱量造成工安事件
- ✓ 活性碳在浮動飄移狀態將吸附熱散發至常溫狀態
- ✓ 無氧狀態脫附VOCs，不會造成自燃
- ✓ 連續式吸脫附可設多段溫度脫附VOCs，不會起燃
- ✓ 可回收混合中、高沸點溶劑與高反應溶劑(MEK)
- ✓ 減少微粒與碳排放量
- ✓ **可以克服尖峰濃度排放**

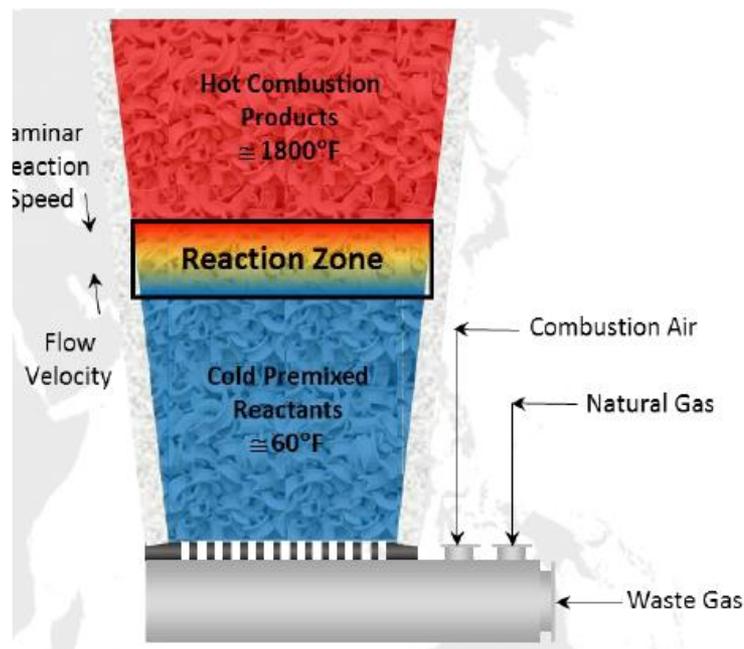
## □ 使用限制：

- ✗ 對於排氣風量的變化，只能承受較低的變動範圍。
- ✗ 對於成份複雜的排氣，不適合做為溶劑回收的系統
- ✗ 粘性物質會造成活性碳流動性，與吸附性問題。

# FLAMELESS RTO

## □ 無焰氧化的設計原理是：

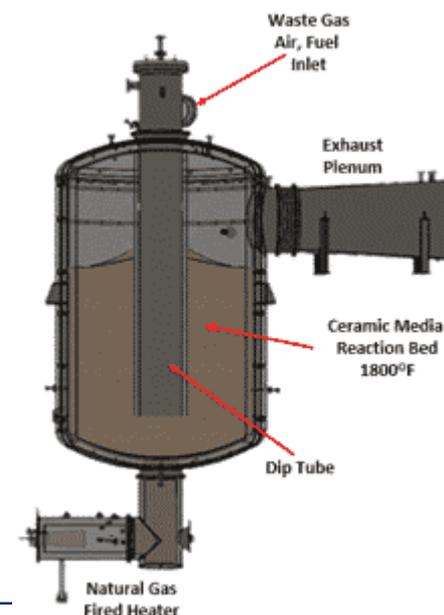
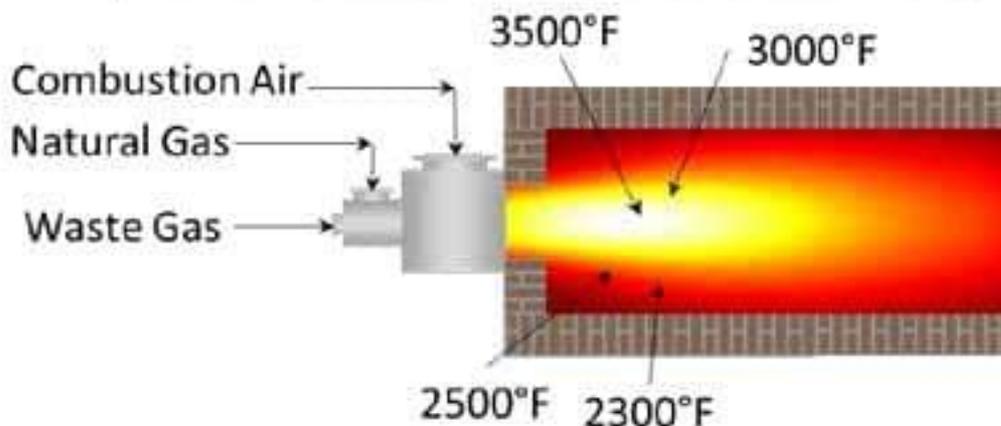
- 廢氣、燃料和空氣(氧氣)混合物在通過預熱的陶瓷熱傳導介質前，預先混合廢氣、環境空氣和輔助燃料的熱處理。通過將熱量從介質傳遞到氣體混合物中，氣體中的有機化合物被氧化成無害的副產品，即二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 和水
- 無焰氧化之所以不會在介質中產生火焰，是因為根據存在的每個有機物種的百分比，氣體混合物始終低於可燃性下限。



# Flameless RTO

- 該裝置由一個充滿陶瓷介質的單一傳熱導床組成。增壓室位於熱傳導床的上方和下方，為製程空氣或清潔空氣提供服務。氣動閥門控制氣流方向風機。風門週期性地切換位置以反向氣流並允許床的熱再生。含有 VOC 的製程空氣通過多孔陶瓷熱交換介質。當溶劑通過床的入口側時，它們變得足夠熱以進行徹底的氧化成水蒸氣和二氧化碳。床出口側的陶瓷介質回收能量清潔的氣流，其中包括溶劑氧化過程中釋放的熱能。
- 無焰是熱氧化技術適用於處理中低濃度溶劑的製程廢氣，包括包裝印刷、表面塗裝、去除異味以及汽車行業。

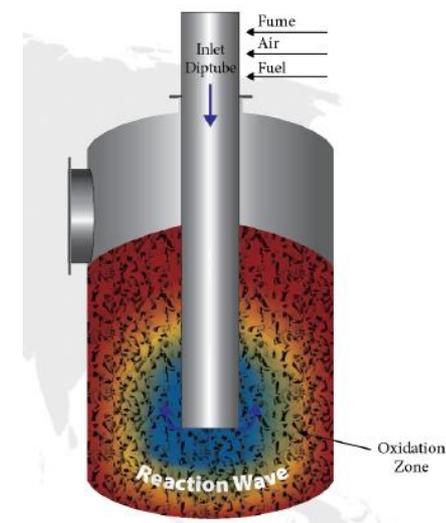
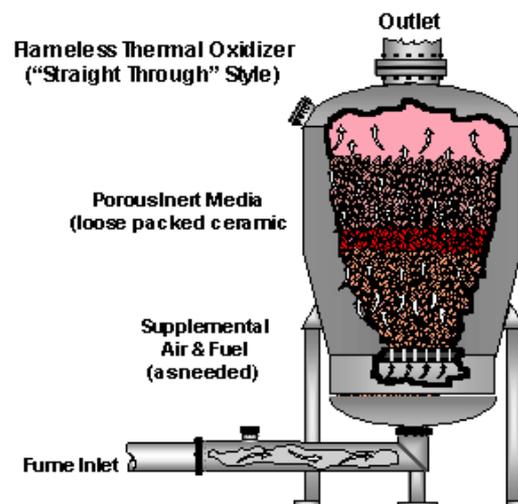
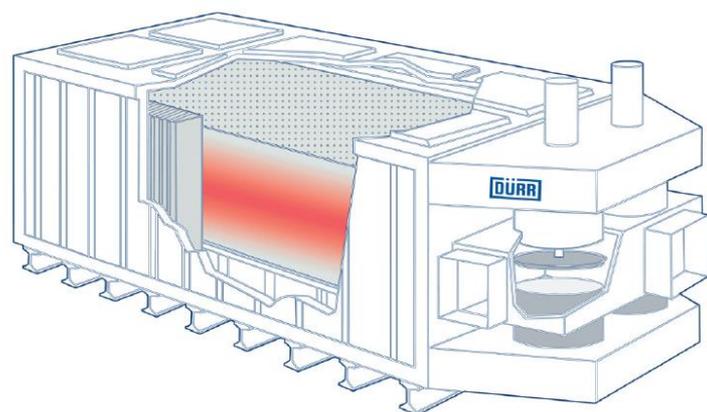
**Thermal Oxidizer Flame Temperature Profile**



# Flameless RTO

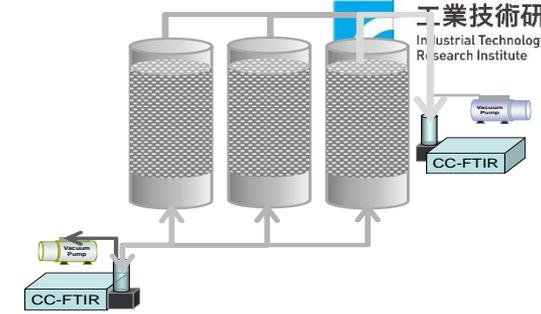
## □ 技術特點：

- 製程廢氣、燃料和空氣(氧氣)在進入高溫氧化前預先混合
- 陶瓷熱傳導床的操作溫度 ~ 1800 °F (~982 °C) (1500 kJ/Nm<sup>3</sup>)
- 過量氧氣 (~ 12%)
- 較長的高溫滯留時間 (數秒鐘)
- VOC去除效率可達>99.0%
- 燃燒氮氧化物濃度可低至1 ppm



## 技術優點

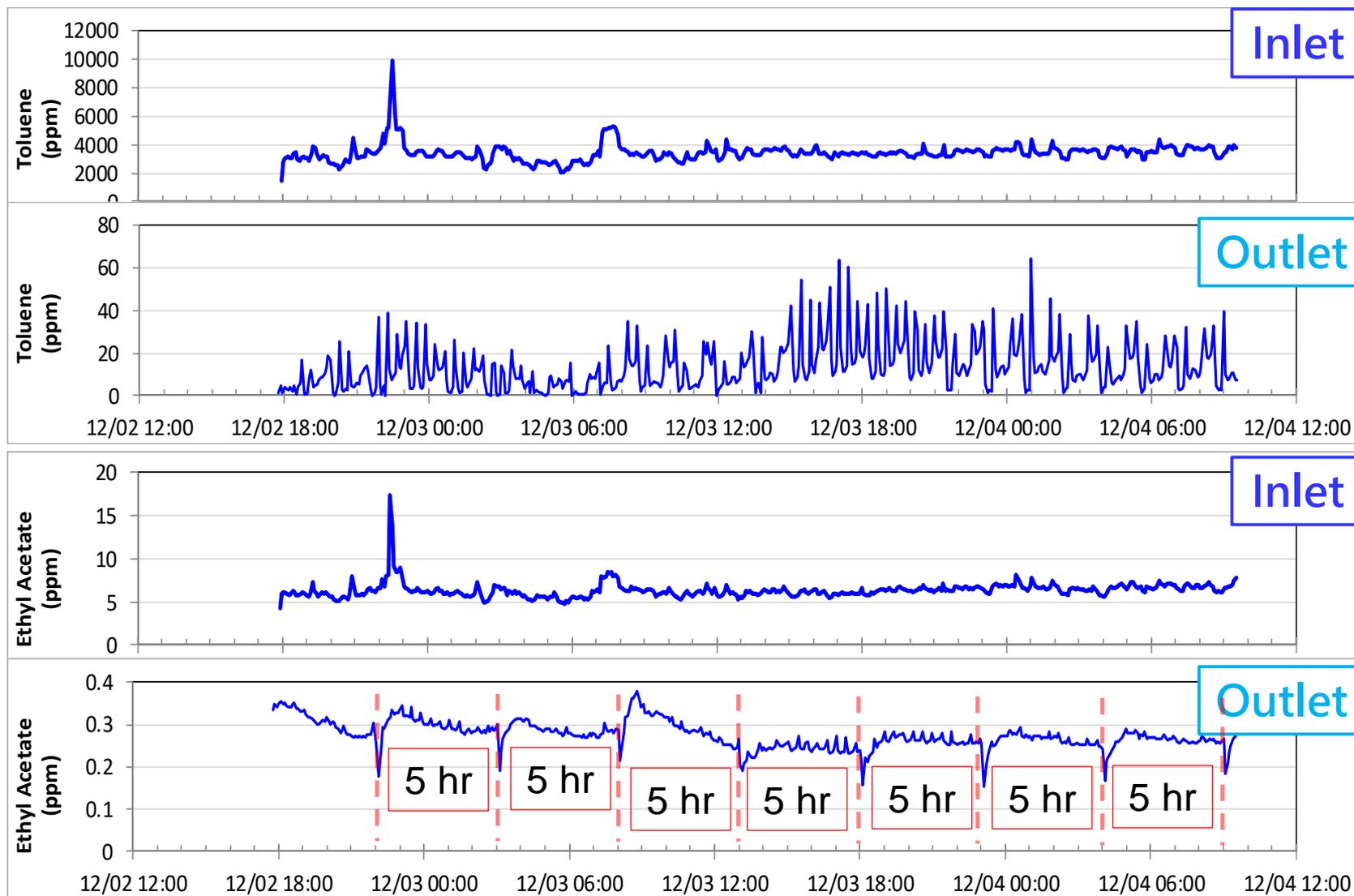
- 破壞去除效率高達 99.9%。
- 熱 NOx 排放量低於 1 ppmv。
- 對低至 10 BTU/scf 的廢氣仍然可以有效處理而不需燃料
- 陶瓷介質床穩定且能適應溫度波動。
- 廢氣進流為前饋控制可確保設備穩定性並防止不必要的停機。



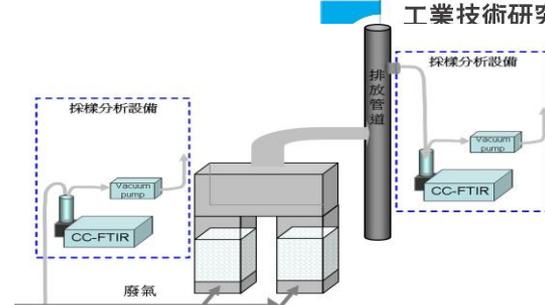
# 1. 膠帶業(活性碳吸脫附)

化合物	最大濃度(ppm)		平均濃度 (ppm)		平均控制效率	出現頻率	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		Inlet	Outlet
甲苯	9934.39	63.99	3416.707	13.135	99.6%	100.00%	100.00%
乙酸乙酯	17.39	0.38	6.345	0.276	95.7%	100.00%	100.00%
甲基丙烯酸甲酯	13.17	0.17	4.222	0.010	99.8%	100.00%	32.94%
丁酮	61.55	0.32	26.508	0.017	99.9%	100.00%	24.01%
甲醇	18.89	0.88	8.148	0.226	97.2%	100.00%	100.00%
乙酸正丁酯	0.99	ND	0.002	ND	ND	0.21%	ND

# 1. 膠帶業(活性碳吸脫附)

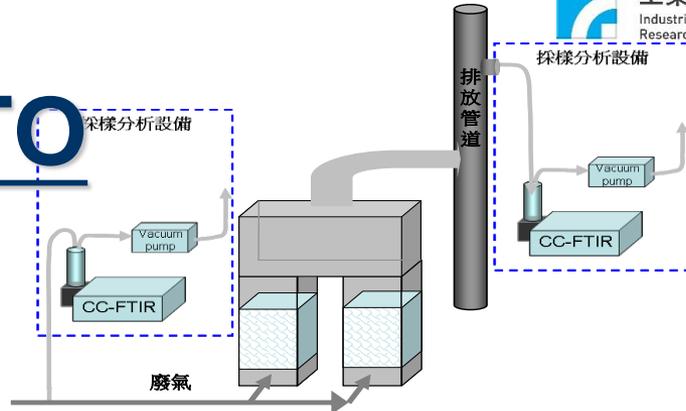


# 2. 印刷業 – RTO

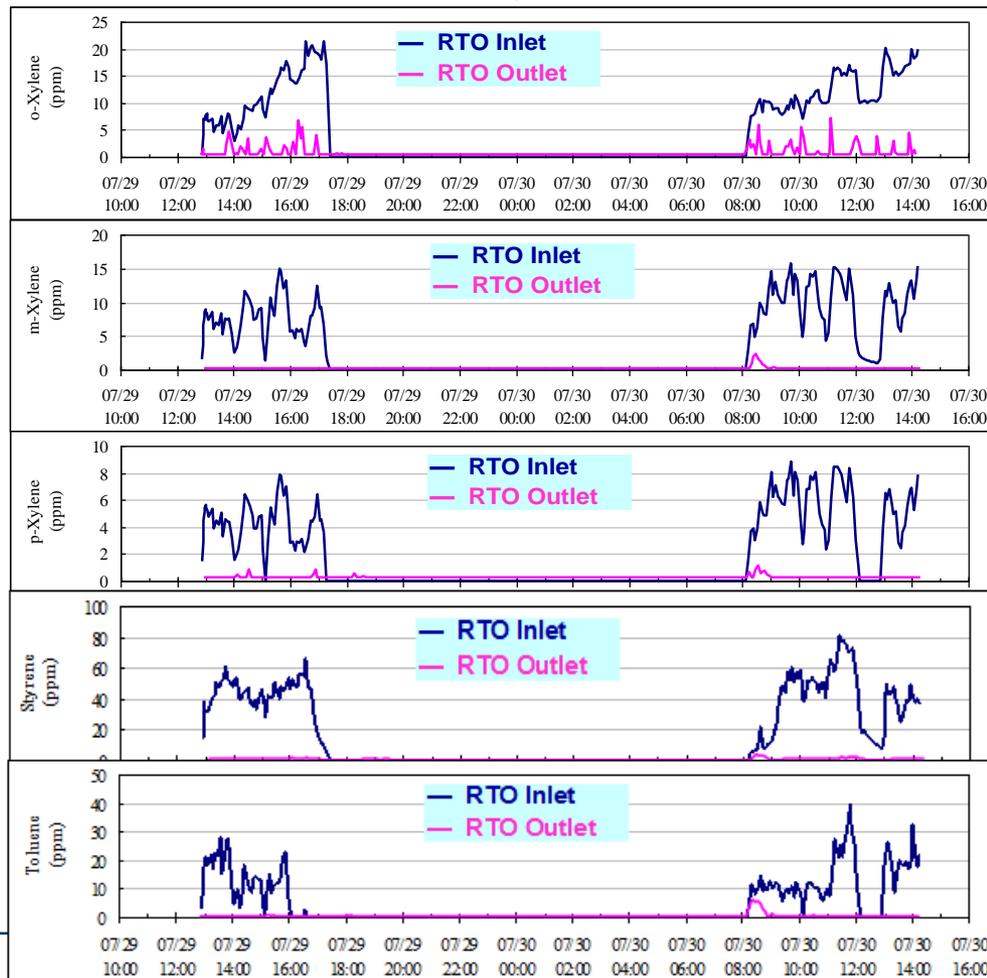


化合物	FY102(第一年)			FY104(第三年)		
	Inlet (ppm)	Outlet (ppm)	Efficiency	Inlet (ppm)	Outlet (ppm)	Efficiency
異丙醇	26.36	ND	>99.0%	11.96	ND	>99.0%
甲醛	3.9	0.17	95.7%	0.62	0.26	58.1%
乙醛	1.64	ND	>99.0%	0.00	ND	>99.0%
甲醇	32.3	0.23	99.3%	12.06	ND	>99.0%
甲酸	0.58	ND	>99.0%	1.06	ND	>99.0%
乙烯	4.91	0.20	95.8%	2.08	0.35	83.2%
丙烯	0.08	ND	>99.0%	0.00	ND	>99.0%
煤油	87.07	3.36	96.1%	70.51	ND	>99.0%
甲烷	268.87	3.33	98.8%	570.6	2.89	99.5%
乙烷	43.55	ND	>99.0%	48.96	ND	>99.0%
一氧化碳	70.69	10.71	84.8%	131.16	15.57	88.1%
THC (不含CO)	1531.51	44.45	97.1%	1570.56	3.85	99.8%

# 3. 木製品表面塗裝 – RTO



化合物	平均濃度 (ppmv)		平均效率
	Inlet	Outlet	
Acetone	53.79	2.99	94.40%
Styrene	17.21	0.45	97.40%
Ethyl Acetate	14.07	0.21	98.50%
2-Butanone	9.45	0.56	94.10%
Toluene	5.21	0.12	97.70%
o-Xylene	5.03	1.38	99.20%
m-Xylene	3.64	0.03	99.20%
p-Xylene	1.99	0.03	99.00%
Methanol	0.96	0.28	70.80%
TVOC	111.35	5.44	95.10%



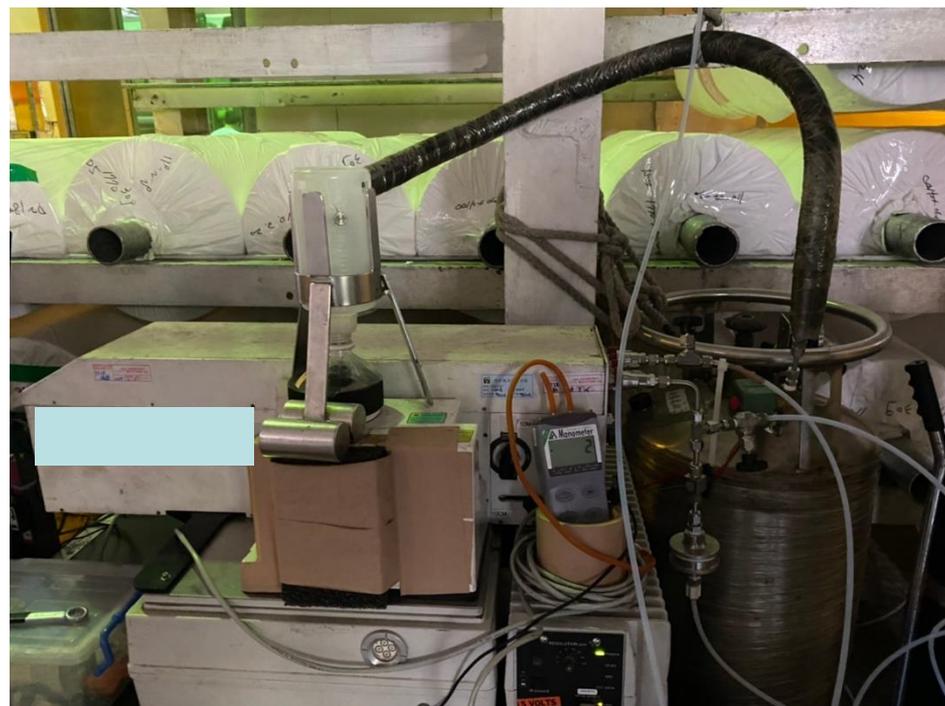
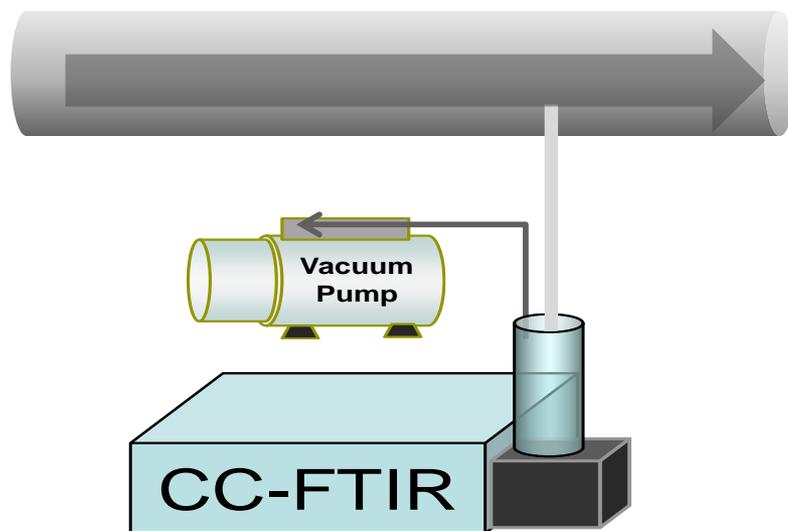
# 熱氧化設備副產物

RTO Inlet			RTO Outlet		
化合物	平均濃度(ppm)	非0值數據比例	化合物2	平均濃度(ppm)2	非0值數據比例2
			一氧化氮	0.47	11.01%
一氧化碳	0.09	3.34%	一氧化碳	1.77	35.53%
			乙炔	0.01	5.03%
			乙烯	0.29	9.75%
乙酸乙酯	14.07	43.77%	乙酸乙酯	0.21	44.34%
丁酮	9.45	42.55%	丁酮	0.56	3.14%
丙酮	53.79	47.42%	丙酮	2.99	50.00%
甲苯	5.21	34.65%	甲苯	0.12	5.03%
甲烷	0.51	17.93%	甲烷	2.17	56.92%
			甲酸	0.02	2.20%
甲醇	0.96	43.16%	甲醇	0.28	38.36%
			甲醛	0.42	8.18%
苯乙烯	17.21	43.47%	苯乙烯	0.45	43.08%
間-二甲苯	3.64	43.16%	間-二甲苯	0.03	2.52%
對-二甲苯	1.99	39.21%	對-二甲苯	0.02	4.40%
鄰-二甲苯	5.03	43.16%	鄰-二甲苯	0.4	15.72%

# 選擇防制設備前的評估分析 – 範例

- 一家印刷廠使用大量的有機溶劑，以水洗塔處理印刷作業的VOC廢氣，因效率不佳導致附近居民陳情異味；環保局稽查採樣後發現異味超標而開立罰單，並限期改善
- 工廠參考環保局的建議，規劃以蓄熱式焚化爐(RTO)取代洗滌塔處理製程產生的VOC；環保局同時邀請專家學者協助工廠診斷評估製程VOC的收集和處理技術
- 專家學者建議工廠先針對製程廢氣的特性進行調查，作為防制設備選用的參考依據

# 量測規劃



# 管道量測結果

化合物	最小濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	出現頻率	嗅覺閾值 (ppm)	最大異味強度	氣味特徵
甲苯 Toluene	14.926	274.88	94.795	100.00%	0.021	13089	酸焦味/強力膠味
異丙醇 Isopropanol	1.866	175.23	60.819	100.00%	1	175	擦拭酒精味
乙酸乙酯 Ethyl Acetate	2.502	64.08	23.052	100.00%	0.17	377	去指甲油味
鄰-二甲苯 o-Xylene	10.423	58.50	29.963	100.00%	0.18	325	甜味
間-二甲苯 m-Xylene	0.264	7.78	2.474	100.00%	0.081	96	甜味
對-二甲苯 p-Xylene	0.167	4.95	1.614	100.00%	0.12	41	芳香味

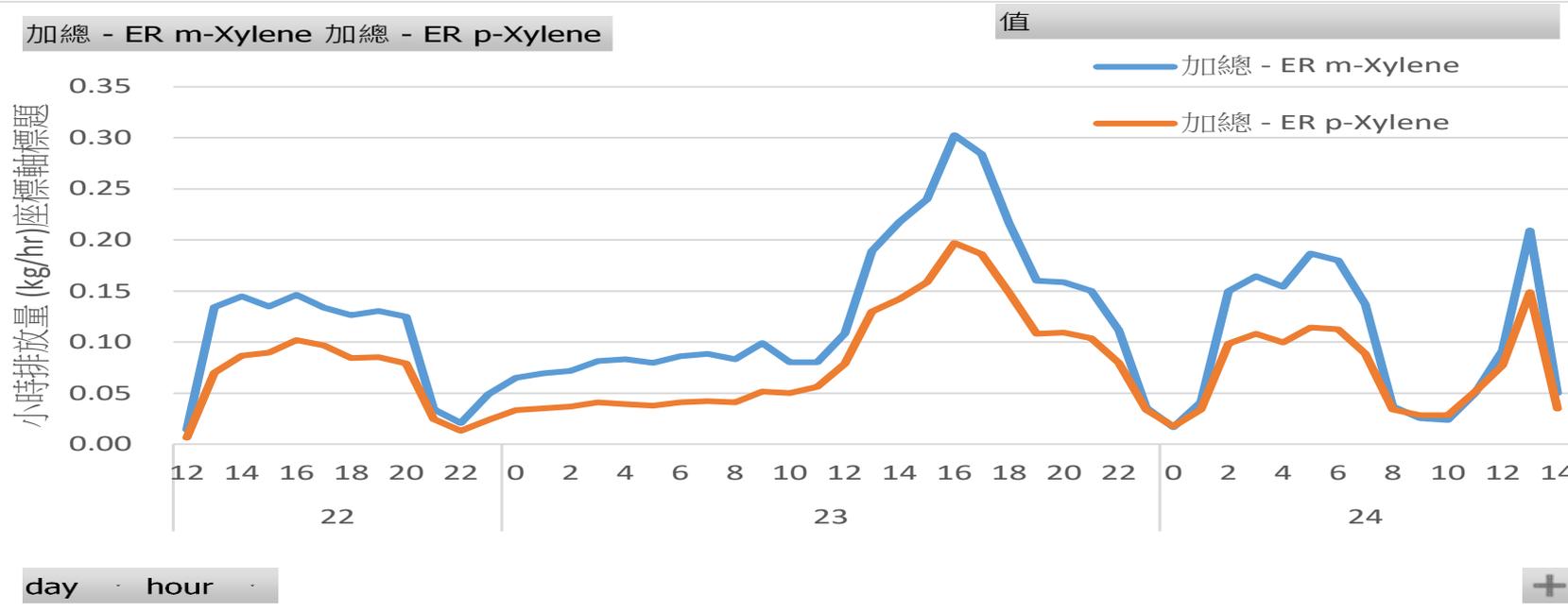
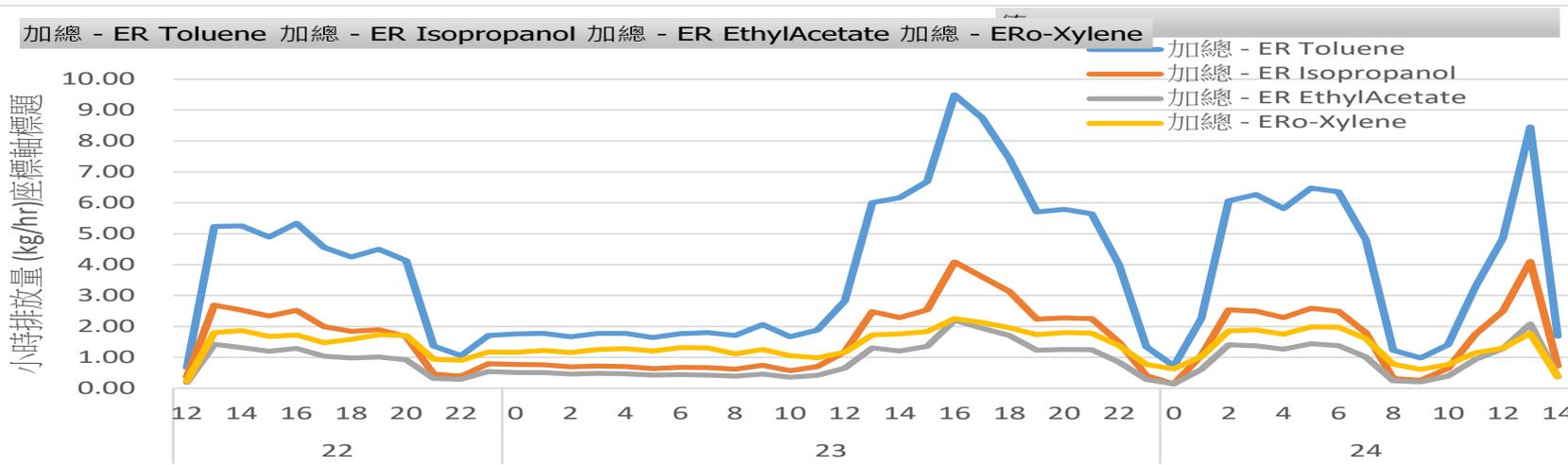
- 管道中除了CO<sub>2</sub>之外，主要的有機溶劑成分包括甲苯、異丙醇、乙酸乙酯、鄰-二甲苯、間-二甲苯和對-二甲苯；
- 49.5小時的量測期間，管道中隨時都有甲苯、異丙醇、乙酸乙酯、鄰-、間-、對-二甲苯。

# 量測結果 – 濃度

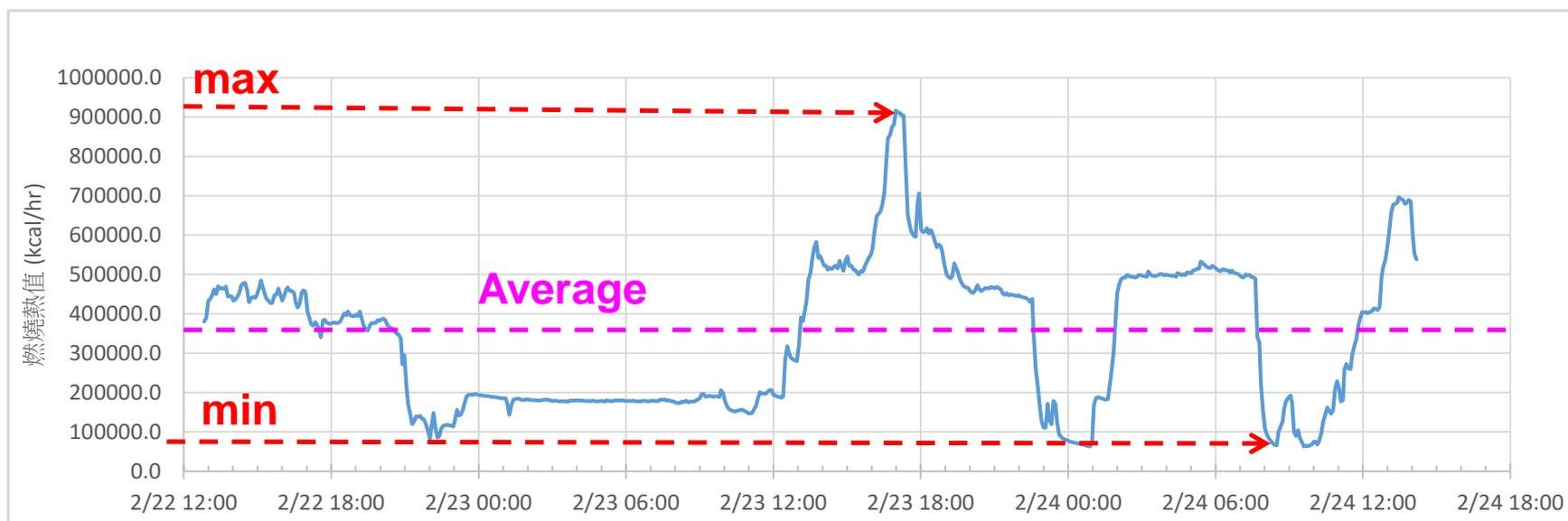
化合物	分子量 (g/mole)	最小濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	最小濃度 (g/m <sup>3</sup> )	最大濃度 (g/m <sup>3</sup> )	平均濃度 (g/m <sup>3</sup> )
甲苯	92.141	14.93	274.88	94.795	0.067	1.050	0.362
異丙醇	60.096	1.87	175.23	60.819	0.005	0.437	0.152
乙酸乙酯	88.106	2.50	64.08	23.052	0.009	0.234	0.084
鄰-二甲苯	106.168	10.42	58.50	29.963	0.046	0.258	0.132
間-二甲苯	106.168	0.26	7.78	2.474	0.001	0.034	0.011
對-二甲苯	106.168	0.17	4.95	1.614	0.001	0.022	0.007

- 管道中除了CO<sub>2</sub>之外，主要的有機溶劑成分包括甲苯、異丙醇、乙酸乙酯、鄰-二甲苯、間-二甲苯和對-二甲苯；
- 49.5小時的量測期間，管道中隨時都有甲苯、異丙醇、乙酸乙酯、鄰-、間-、對-二甲苯。

# 小時排放量 (kg/hr)



# 逐時燃燒熱值



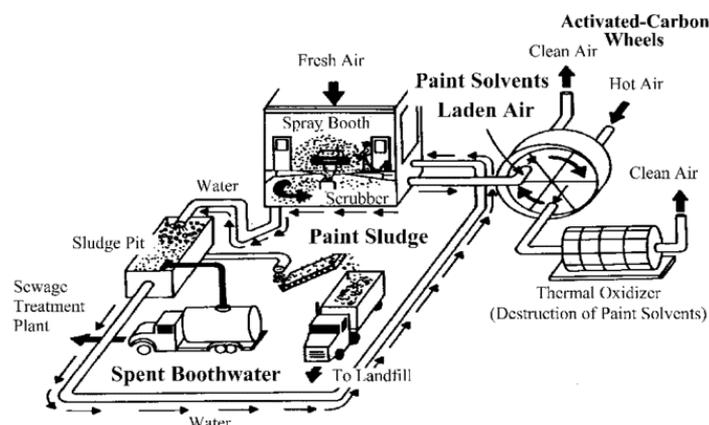
- 管道中主成分的逐時燃燒熱值起伏變化
- 最小燃燒熱值為62,955 kcal/hr，最大燃燒熱值為916,337 kcal/hr，平均熱值為338,955 kcal/hr

## 防制設備選用及安裝前的問題

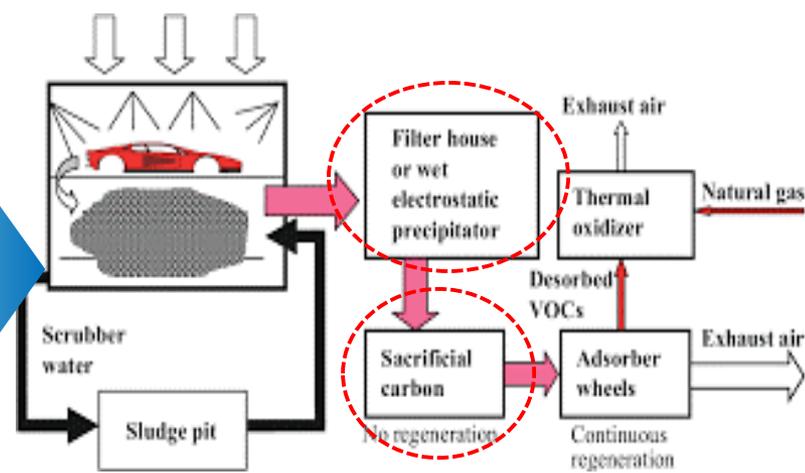
- 管道中的VOC濃度變化大，TVOC濃度在0.129 ~ 2.035 g/m<sup>3</sup>，最大濃度為最小濃度的16倍；因此防制設備的選用必須考量濃度上的起伏變化
- 如果選用前濃縮+熱氧化技術 → 濃縮倍數的選擇？
- 印刷製程的廢氣特性為濃度起伏的大幅度變化，因此在VOC防制設備的選擇，除了設備的設置成本之外，更重要的是後續的操作(電費、燃料費)、維護(耗材)成本，及設備的安全性、穩定性、方便性及廠商的技術支援等等因素都必須要審慎地考量

# 汽車噴塗作業的VOC處理技術

- 傳統上，噴塗作業的廢氣含漆渣和有機溶劑，因此以水簾幕先去除漆渣，有機溶劑則以沸石濃縮轉輪降低廢氣風量並提高廢氣中的VOC濃度，再以熱氧化(焚化爐、蓄熱式焚化爐或觸媒焚化)處理含高濃度VOC的廢氣
- 但水簾幕對漆渣的去除效果？



進化版的漆渣去除設備



# 水簾幕 → 濾網



水簾幕

EPA 744-F-08-001

[www.epa.gov/dfe](http://www.epa.gov/dfe)



棕櫚纖維濾網

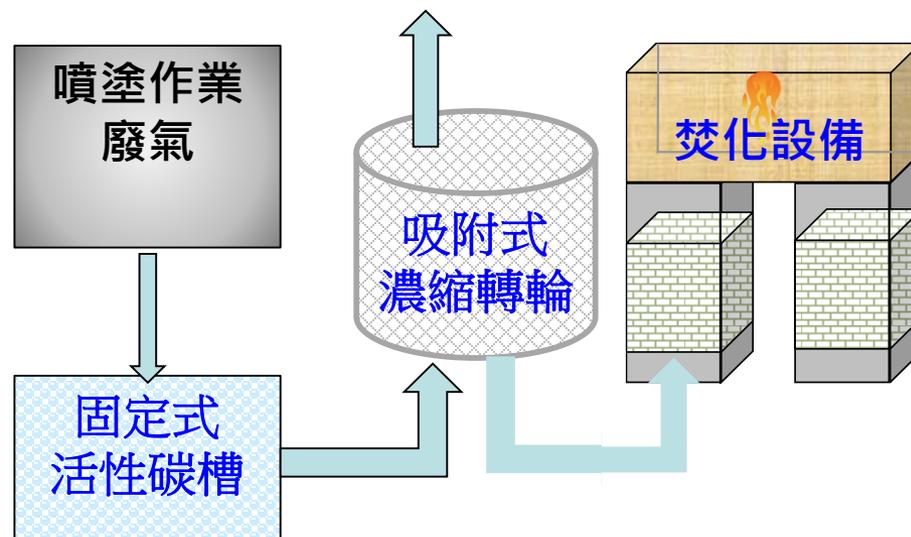
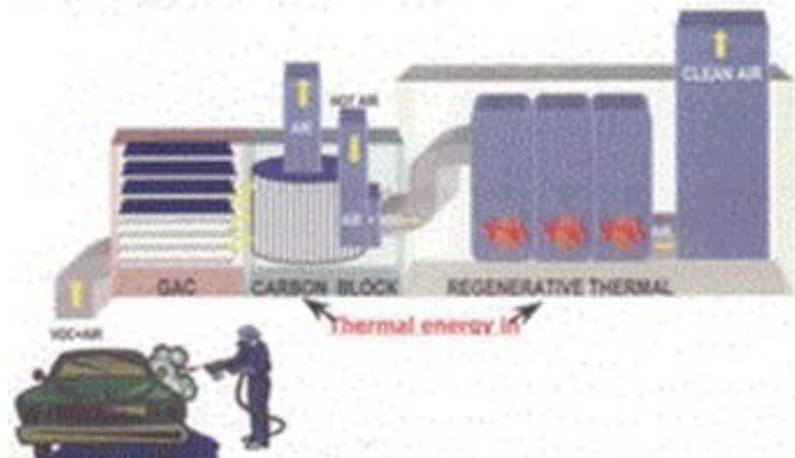


水簾幕



source : [www.epa.gov/dfe](http://www.epa.gov/dfe), EPA 744-F-08-001

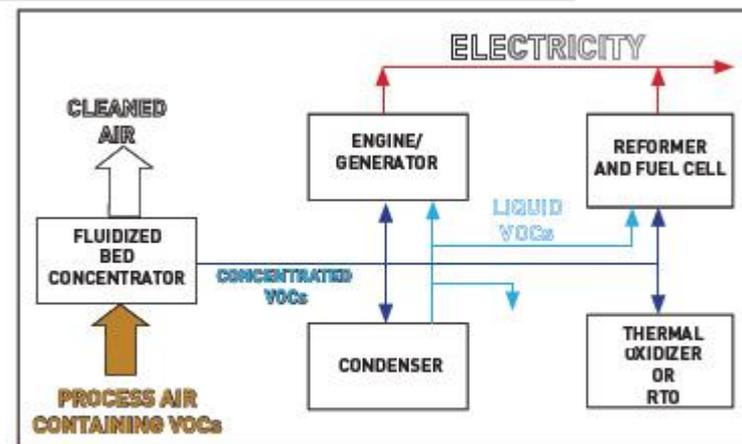
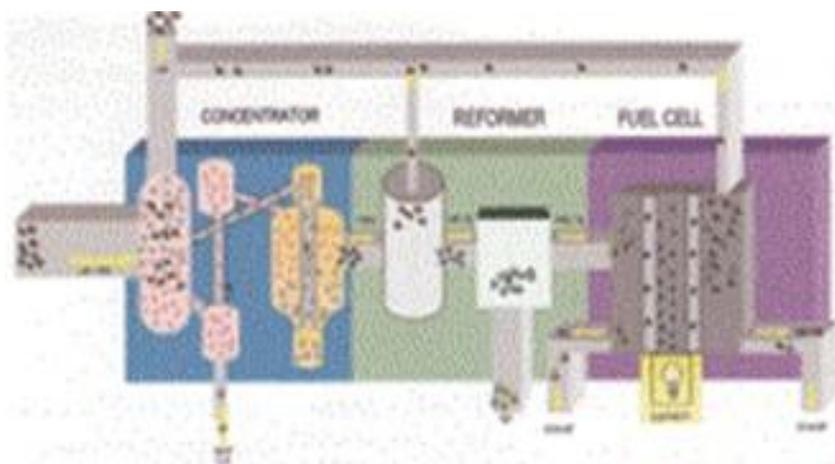
# 福特汽車的改善方式



- 傳統上，噴塗作業的VOC控制設備為「收集、焚化」方法；收集的VOC廢氣通常直接焚化處理或經過濃縮後再焚化處理；
- 廢氣濃縮設備包含一個固定式吸附槽作為前過濾設備，接續轉輪式濃縮設備(通常是沸石濃縮轉輪)；
- 因為受到後端高溫氧化設備的安全性限制，濃縮倍數通常10：1或更低；
- 濃縮後的低風量、高VOC濃度的廢氣再導入焚化設備(RTO、TO)，在700 ~ 900 °C的高溫下裂解氧化成二氧化碳和水；

Source : M. R. Wherrett and P. A. Ryan, 2004, Metal Powder Report

# 福特汽車的替代方法 – 廢氣轉為燃料發電



Fumes-to-fuel process (Climate Technologies Corporation)

- ❑ 廢氣到燃料(Fumes-to-Fuel)。福特的煙氣燃料技術是該公司正在研究的另一種方法，旨在降低噴漆作業和環境成本。
- ❑ 行業別的標準控制方法：收集並焚燒含有 VOC 的溶劑廢氣 — 此過程每年消耗數億立方英尺的天然氣，並導致燃燒產物的排放例如(CO<sub>2</sub>)。
- ❑ 由福特和底特律愛迪生公司共同開發(2004年，已申請專利)，煙氣燃料系統從塗裝車間收集煙氣，將它們冷凝，然後使用冷凝回收的高濃度VOC廢氣作為燃料發電，然後再使用在油漆車間。
- ❑ 關鍵技術在於使用活性碳流體化床(Fluidized Bed Adsorber)取代傳統的沸石濃縮轉輪作為噴塗廢氣的濃縮器，將沸石濃縮轉輪濃縮倍數由10:1提升到的濃度排出 VOC。

# 噴塗作業VOC廢氣處理技術比較

	Units	蓄熱式焚化爐 (RTO)	傳統濃縮轉輪 +RTO	電力產生系統(福特 汽車煙氣-燃料系統)
熱能需求	MBTU/hr	7.5	2	0.08
電力需求	kW	188 kW	41 kW	產生36 kW
NOx排放量	tons/year	4.7	1.3	0.2
CO <sub>2</sub> 排放量	tons/year	4250	1480	430
VOC 排放量	tons/year	8.1	6.8	4

<http://climatetechnologies.com/wp-content/uploads/2017/03/Fumes-to-Fuel-Overview.pdf>

# 結論與建議

- 最適化控制技術(BACT)的意義
  - 製程變更，源頭改善 → 最具成本效益
  - 管末處理，排放減量 → 不得不的選擇
- 評估空氣污染防制設備，必須先確認裝設的目的和問題的根源
  - 防制設備或集氣效率，或兩者
  - 排放管道的設計
- VOC/異味污染控制技術的選用，必須要先經過詳細的評估，包含：
  - 廢氣的流量、廢氣的特性(溫度、水氣含量、粒狀物)
  - 廢氣的成分及濃度、各化合物的物理/化學特性
  - 製程的操作運轉情形
  - 空間、可用資源(水及廢水處理、電力、瓦斯)
  - 各種控制方法的適用範圍
  - 設備的操作維護及管理

## 結論與建議 – 2

- 確定選用防制設備後，最重要的是如何確認設備的效率是否符合需求
- 驗收的條件
  - ◆ 污染物或異味控制效率？(90%、95%)
  - ◆ 操作成本(燃料、用水、耗電量、壽命)
  - ◆ 如何驗收 → 檢測結果(控制效率：污染物濃度、異味強度)、檢測方式或方法

# 聲 明

- 本文件作者已盡力確保資料的準確性，惟任何未經授權擅自使用本資料所造成的損害，作者及工研院均不負賠償責任。
- This document is prepared with utmost care by the speaker. However, neither the speaker nor ITRI shall be liable for any loss or damage arising out of unauthorized use or access to the contents hereof.



**ITRI**

Industrial Technology  
Research Institute

# 附件：異味污染改善 工廠排放符合相關法規標準

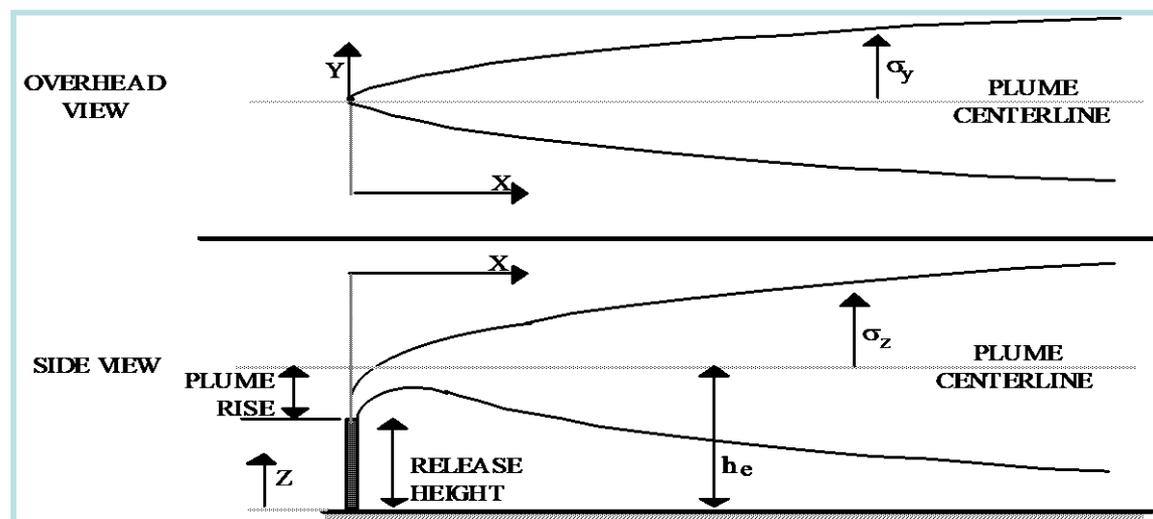
- 加裝防制設備以外的選擇
- 加高煙囪以增加大氣擴散效應
- 煙囪移位以降低污染物蓄積在附近民宅的機率
- 先決條件：污染物的排放符合法規規範

# 為何要加高煙囪

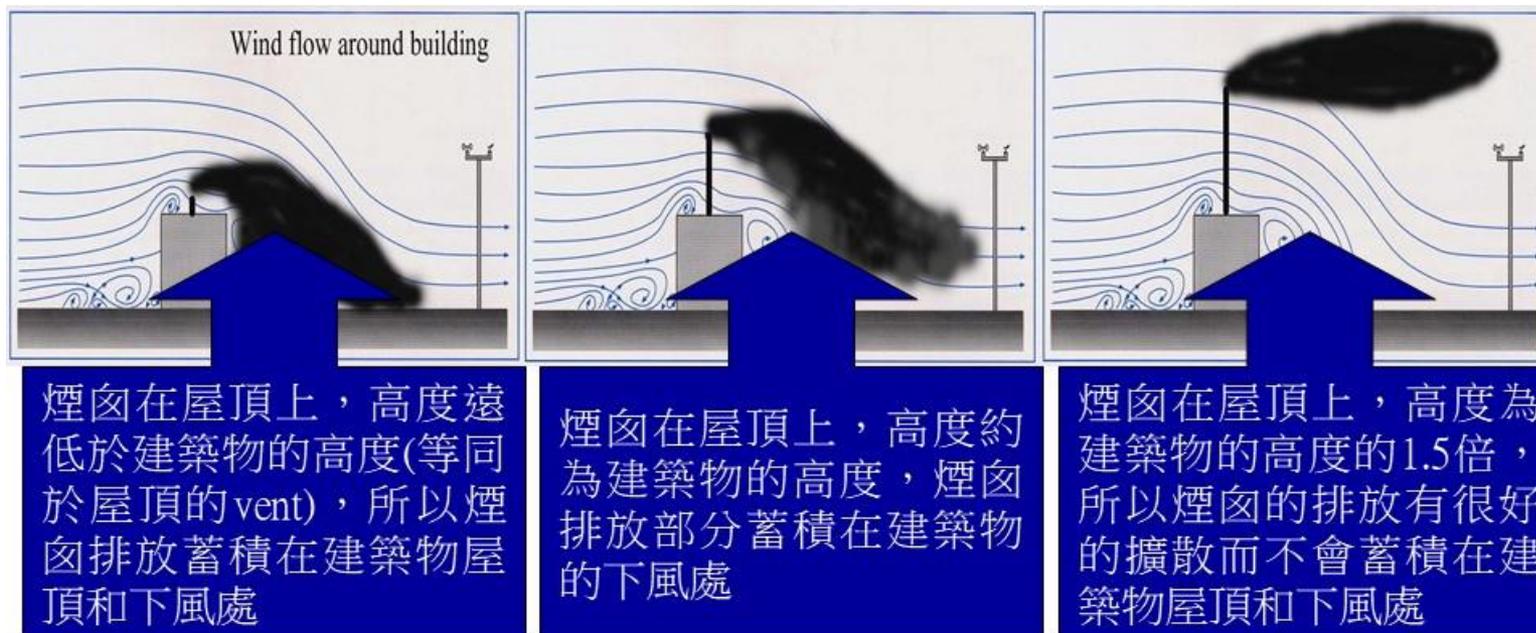
$$C = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(h_s + \Delta h)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

因為高斯擴散模式告訴我們，當氣象條件不變時：

- 排放量降低50%，下風濃度也降低50%，但
  - 有效煙囪高度增加50%時，下風濃度降低70%。
- 有效煙囪高度  $h_e = h_s + \Delta h$



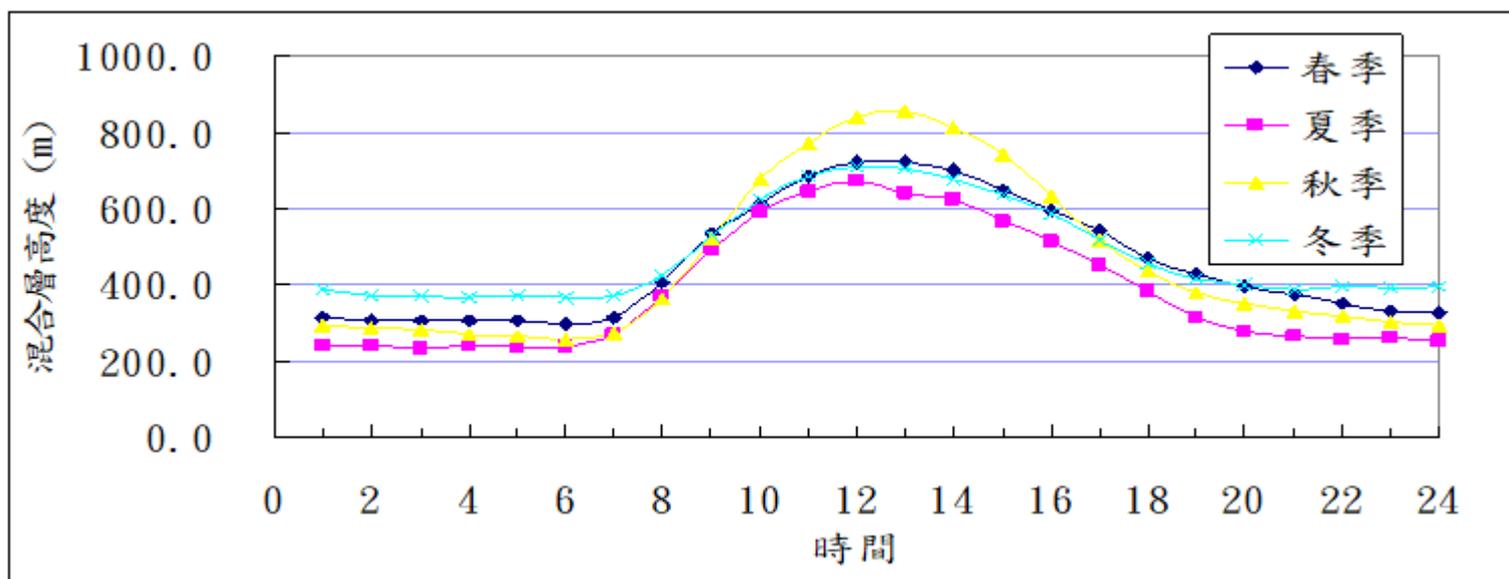
# 增高煙囪高度



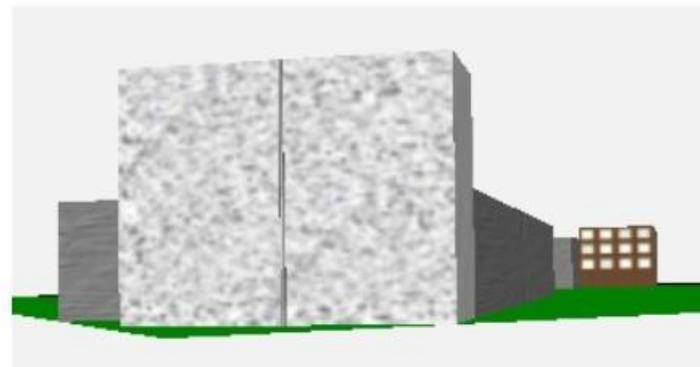
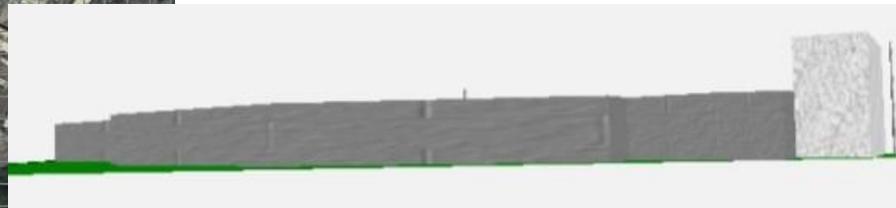
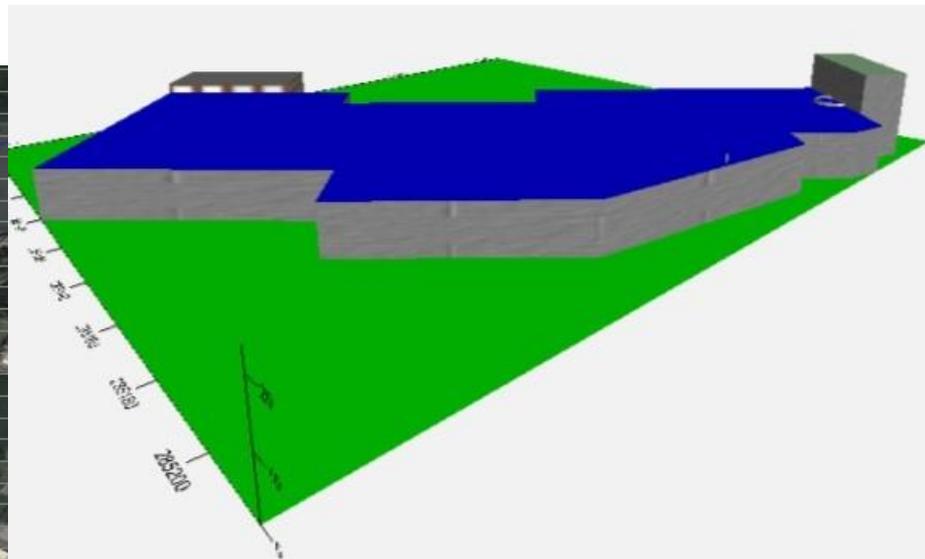
- 1、有效煙囪高度(煙囪高度 + 煙流上衝高度)增加一倍，則下風最大濃度下降為原來的1/7。
- 2、如遇天候不良，大氣擴散能力較差，仍無法排除異味問題。

# 混合層高度 Mixing height

- 於熱力圖中，利用當日之地面最高溫沿乾絕熱線上升與探空曲線相交之點，為當日最高之混合層高度；在混合層內污染物隨著紊流而被均勻的混合，混合高度愈高，表示對流愈旺盛，污染物被往上传送而稀釋的機會愈大。
- 混合層高度隨季節、時間而變；依季節變化，混合層高度為秋季>春季~冬季>夏季；日變化則以早上8點之後升高到中午12~14點時達最高，然後再往下遞減。所以一般發生污染物蓄積的情形大部分在夜間或清晨時，也就是氣壓較低的時候。以南科半導體廠區的經驗，只要是低氣壓時，廠區附近較容易有異味污染。



# 廠區建築及模擬範圍



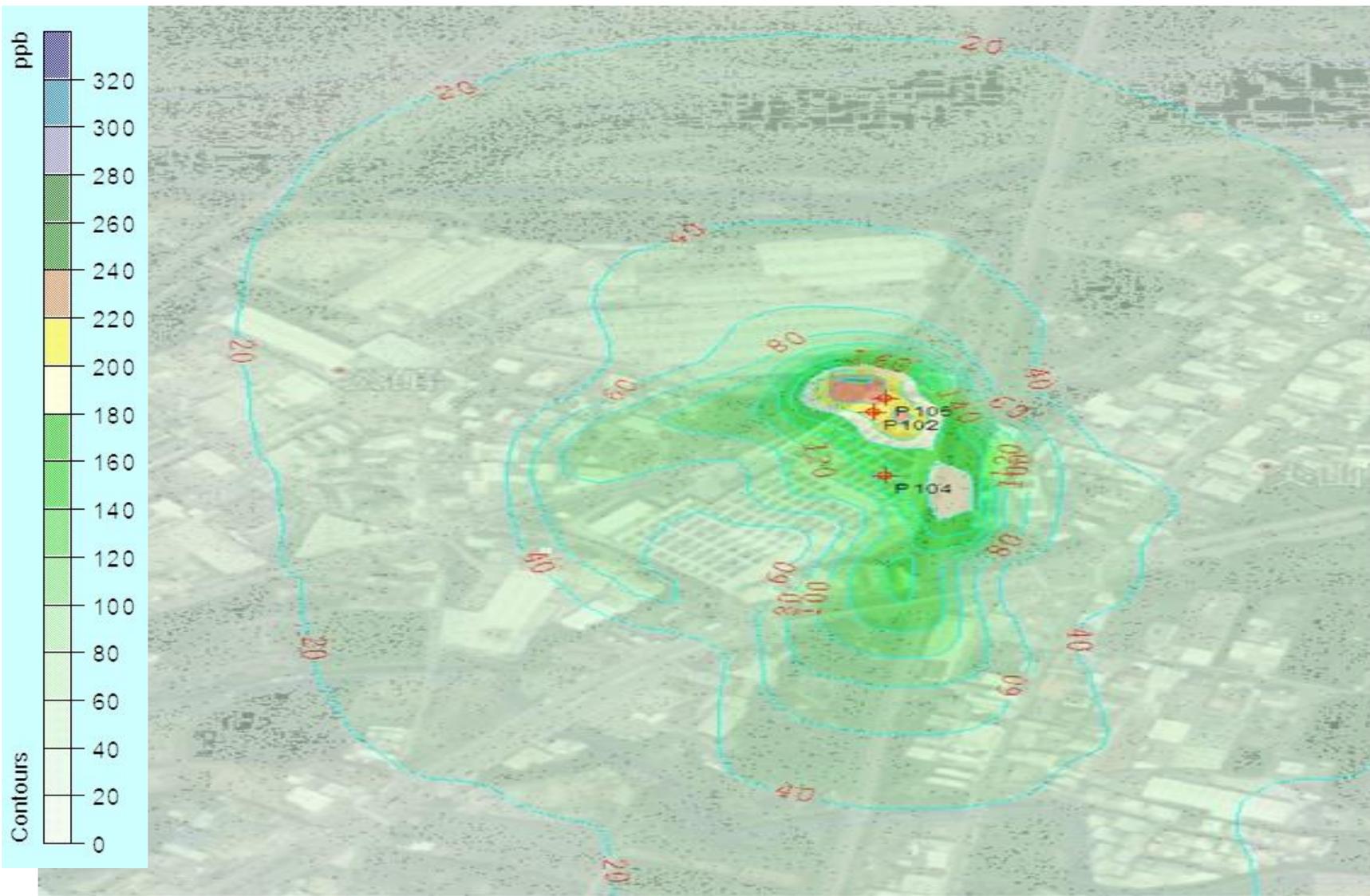
# 排放管道資料

管道編號	高度(m)	口徑(m)	出口速度 (m/s)	廢氣溫度(°K)	THC排放率(g/s)
P105	23	0.54	13.14 (0.001)	311.8	0.03056
P104	14.5	0.9(0.7)	12.55 (20.75)	307	0.12222
P102	13.48	1.15(1.0)	17.87 (23.63)	313.7	0.06667

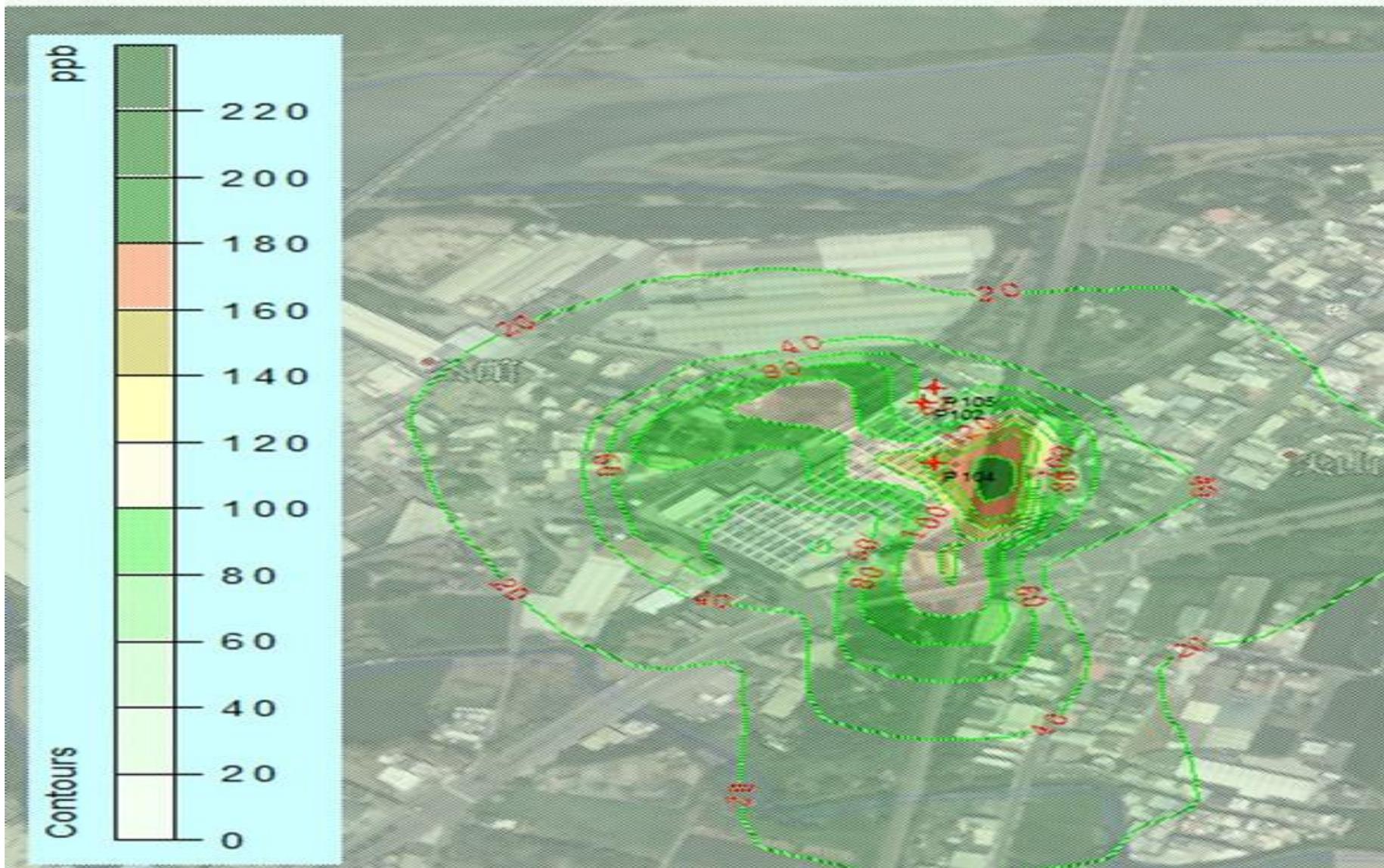


- 有效煙囪排放高度 (he) = 煙囪高度(hs) + 廢氣上衝高度 ( $\Delta h$ )
- 既有的煙囪設計，廢氣無法往上排放，因此無法藉由煙囪出口的排氣速度而增加排放高度

# 所有管道模擬結果(THC)



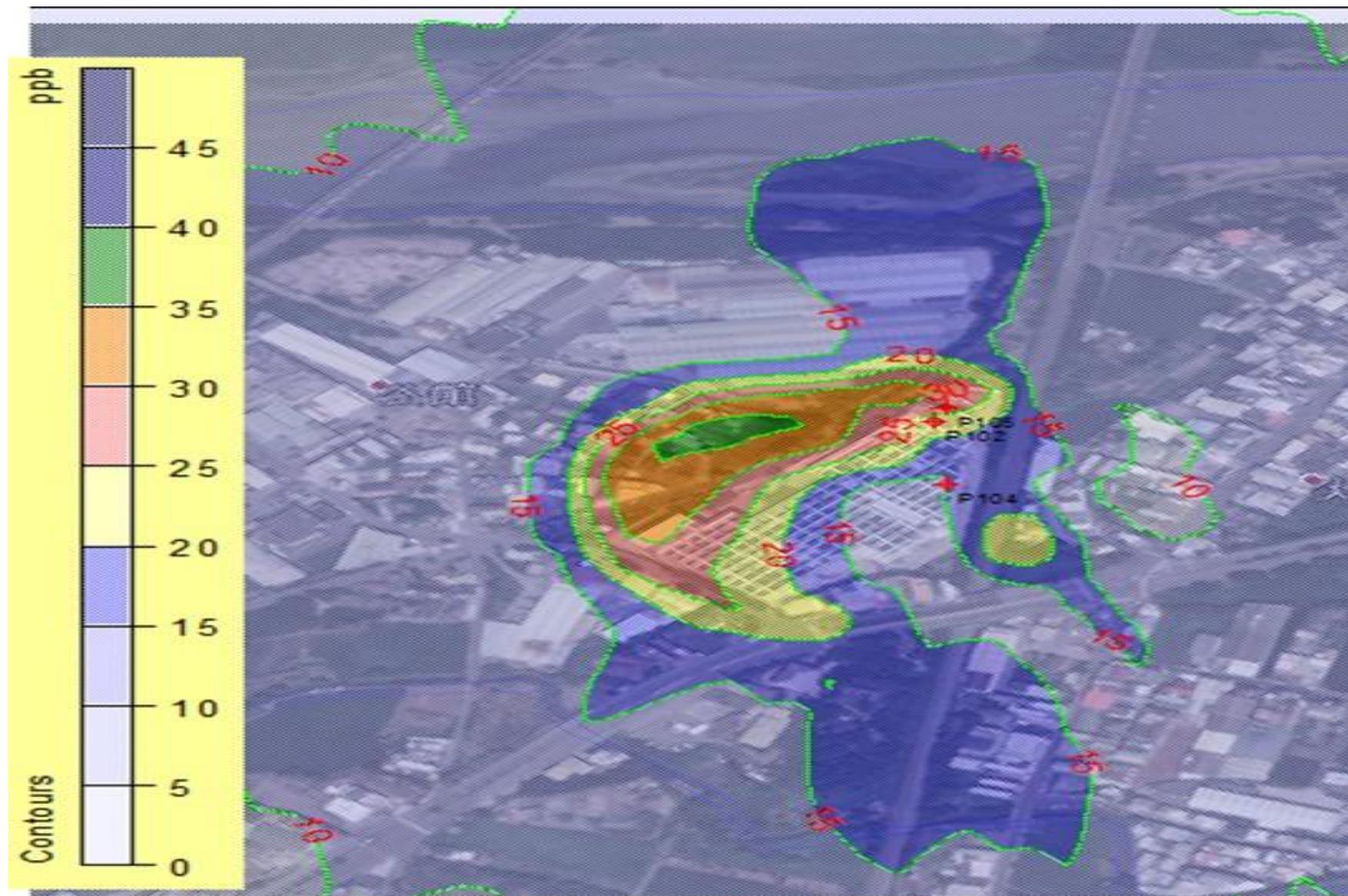
# P104模擬結果(THC)



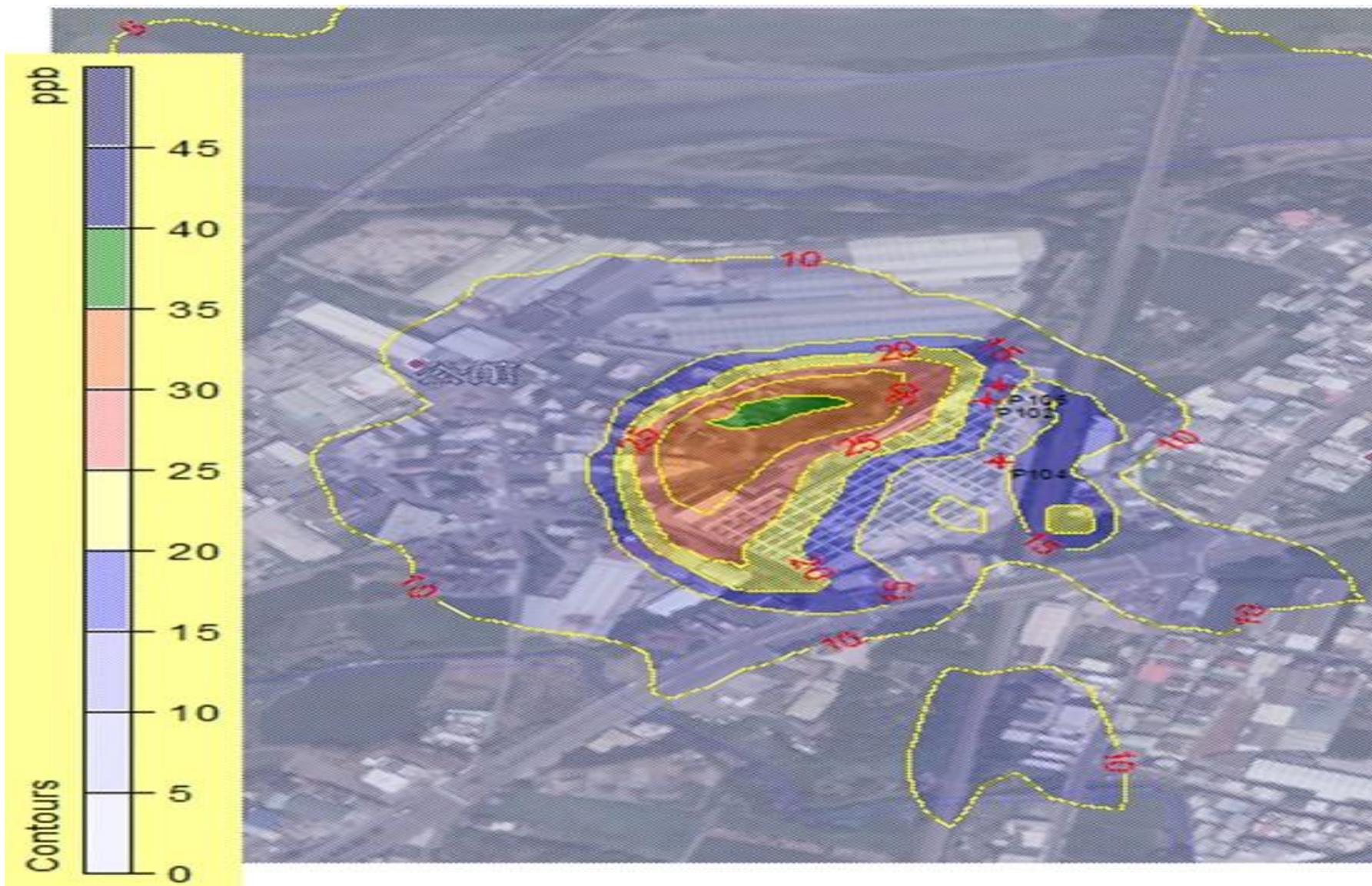
# 結論與建議 – 1

- 煙囪出口的設計，導致污染物經煙囪排放時，無法“往上”衝高，藉由大氣的稀釋作用而擴散到離廠區較遠的位置；
- 模擬結果顯示，P102、P104和P105煙囪排放的VOC都蓄積在廠區附近；
- P104煙囪對附近環境的影響最大，尤其是廠區右側的民宅。
- 建議可以將煙囪的出口改為“往上”排放，且移除P102的散熱器，以增加排氣的擴散效應。

# 所有煙囪 – 出口向上



# P104 – 出口向上

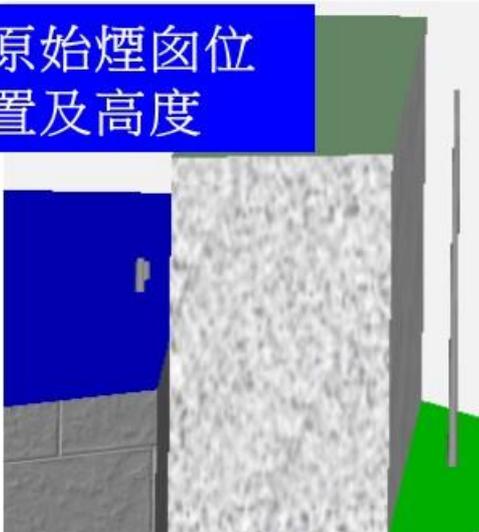


## 結論與建議 – 2

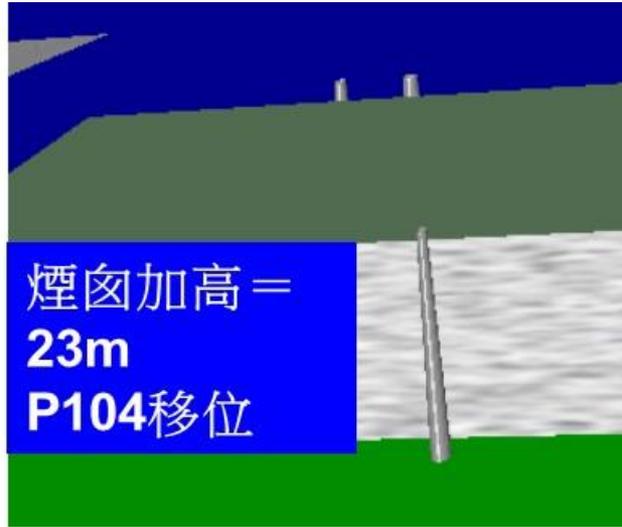
- 將煙囪的出口改為“往上”排放，且移除P102的散熱器後，以同樣的煙囪設計和排放條件模擬；
- 結果顯示，所有煙囪的排放在廠區附近的最大著地濃度由320 ppb降為45 ppb；
- 污染物的沉降位置由廠區煙囪所在位置(北邊和右側)，轉移到廠區西半邊到西邊民宅，但濃度大幅下降。
  
- 目前的模擬條件為既有的煙囪高度、口徑、排放量、風量，建議可以將煙囪加高，以進一步增加大氣的稀釋擴散效應。

# 煙囪加高、縮口、移位

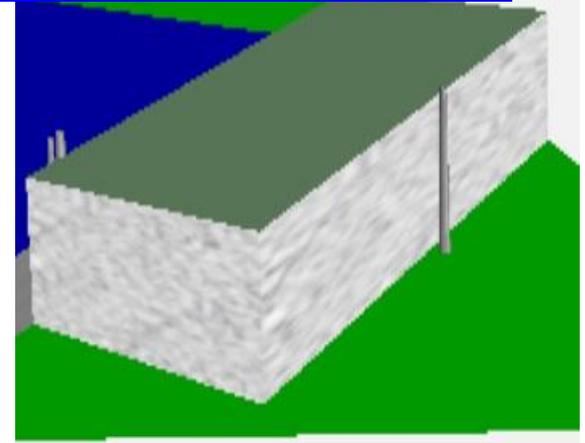
原始煙囪位  
置及高度



煙囪加高 =  
23m  
P104移位



1. 煙囪加高 = 26 m
2. P104移位
3. P104、P105縮口



管道編號	高度(m)	口徑(m)	出口速度(m/s)	廢氣溫度(°K)	THC排放率(g/s)
P102	26(23)	0.54	13.14 (0.001)	311.8	0.03056
P104	26(14.5)	0.9(0.7)	12.55 (20.75)	307	0.12222
P105	26(13.48)	1.15(1.0)	17.87 (23.63)	313.7	0.06667

# 所有煙囪



- 所有煙囪的擴散後，最大著地濃度 = 17 ppb
- 東邊社區的地面擴散濃度在7 ~11 ppb 之間。

# P104



- P104移位，加高到26m，口徑縮小為0.7m
- P104煙囪的擴散後，最大著地濃度 = 11 ppb
- 東邊社區的地面擴散濃度在5 ~ 8 ppb之間。

## 擴散結論

- 煙囪位置和高度不變，但出口全部改為向上並移除氣罩時
  - 最大濃度落在西至西南邊社區，最大濃度達45 ppb以上
  - 東邊社區的濃度範圍5 ~ 20 ppb之間，濃度減少80%
  - 西至西南邊社區的濃度範圍10 ~ 45 ppb之間，濃度減少50%
  - 西北邊工廠的濃度範圍10 ~ 35 ppb之間，濃度減少75%
  
- P104煙囪移到P105出口旁邊(高廠房中間位置)，全部煙囪高度增加3公尺
  - 最大濃度落在民景廠房的西北角，濃度達24 ppb
  - 工廠東邊社區的濃度範圍8 ~ 14 ppb，濃度最多可再降低30%
  - 工廠西至西南邊社區的濃度範圍12 ~ 14 ppb，濃度最多可再降低60%
  - 西北邊工廠的濃度範圍8 ~14 ppb，濃度最多可再降低60%