



傑智環境科技



全方位空氣淨化與節能專業

空氣污染物的淨化處理技術及其節能設計概述

張 豐 堂

工學博士 / 交通大學兼任助理教授

高考專利師 / 高考冷凍空調技師及格

傑智環境科技股份有限公司 董事長兼總經理

Feng-Tang Chang Ph. D. / P. E. / Patent Attorney

Mobile: 0933147075 e-mail: fengtang-chang@jgok.net

交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,
其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

廢氣處理系統節能方向

研討內容

一、常用之轉輪搭配焚化法VOCs處理系統介紹

- VOCs廢氣特性(一高科技業為例)
- 沸石轉輪搭配直燃爐系統或蓄熱式焚化爐或觸媒式焚化爐
- 兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

二、廢氣處理系統節能方向(以轉輪搭配焚化法為例)

- 迷思:
 - (一) 25%LEL值在不同溫度的差異? 安全性?
 - (二) FID總碳氫化合物濃度量測值 vs. 真實VOCs濃度值? 質量流率?
 - (三) RTO自持濃度時的 low fire or flameless control? 安全性?
 - (四) RTO蓄熱熱回收效率?
 - (五) RTO燃燒溫度達到950°C以上可以嗎? => 衍生HCN and NO_x的問題。
- 沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整
- 燃燒爐運轉參數最佳化設計與調整(特別是蓄熱式焚化爐 最低瓦斯量low fire之調校設定)
- RTO爐VOCs燃燒熱熱回收(廢熱熱氣、廢熱熱水、廢熱蒸汽鍋爐、廢熱熱媒、廢熱冷氣)
- TO爐增設第三熱回收熱交換節能裝置
- 高沸點VOCs(特別是MEA聚合物)回收預處理及矽化物分流處理

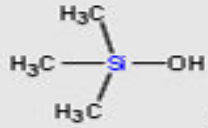
VOCs Features

晶圓廠與TFT-LCD面板廠之主要排放VOCs種類及其所佔廢氣有機成份比例

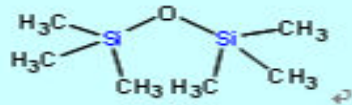
物種名稱	英文名稱	分子式	分子量	沸點(°C)	VOC莫爾濃度所佔比例		
					晶圓廠 (Wafer fab)	TFT-LCD 面板廠	
						Array 製程	C/F 製程
丙酮	Acetone	C ₃ H ₆ O	58	56.6	15~30%	10~30%	~2%
異丙醇	Isopropyl alcohol (IPA)	C ₃ H ₈ O	60	82	20~35%	30~70%	~3%
單甲基醚丙二醇	Propylene Glycol Methyl Ether (PGME)	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	120	10~25%	30~50%	~10%
單甲基醚丙二醇乙酸酯	Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate(PGMEA)	C ₆ H ₁₂ O ₃	132	146	10~20%	25~45%	5~20%
甲醇	Methanol	CH ₄ O	32	65	0~25%	~0%	~0%
環己酮	Cyclohexanone	C ₆ H ₁₀ O	98	155	~1%	~1%	70~90%
六甲基乙矽胺	Hexamethyldisilazane (HMDS)	C ₆ H ₁₉ NSi ₂	161	125	--	--	--
(水解為其他矽化物:如三甲基矽醇)							
乙醇胺	Ethanolamine (MEA)	C ₂ H ₇ NO	61	171	~2%	1~5%	--
二甲基亞砜	Dimethyl Sulfoxide (DMSO)	C ₂ H ₆ OS	78	189	~1%	1~2%	--
二乙醇單丁醚	Diethylene Glycol Monobutyl Ether (butoxydiglycol, BDG)	C ₈ H ₁₈ O ₃	162	231	--	~1%	--
苯乙烯	Styrene	C ₈ H ₈	104	146	~0.5%	~0.5%	~0.5%
三甲基矽烷	Silane, trimethyl-	C ₃ H ₁₀ Si	74	10	~0.5%	~0.5%	~0%
三甲基矽醇	Silanol, trimethyl	C ₃ H ₁₀ OSi	90	--	~1%	~1%	~0%
六甲基氧基二矽烷	Disiloxane, hexanethyl-	C ₆ H ₁₈ Osi ₂	162	--	~0.5%	~0.5%	~0%
三甲基乙基矽醚	Silane ethoxytrimethyl-	C ₅ H ₁₄ OSi	118	76	~0.5%	~0.5%	~0%
氟三甲基矽烷	Silane, fluorotrimethyl-	C ₃ H ₉ FSi	92	17	~1%	~1%	~0%
環戊酮	Cyclopentanone	C ₅ H ₈ O	84	131	~0.5%	~0.5%	~0.5%
乙酸第二丁酯	1-Methylpropyl acetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	116	112	~0.5%	~0.5%	~0.5%
2-庚酮	2-Heptanone	C ₇ H ₁₄ O	114	152	~0.5%	~0.5%	~0.5%
二甲基硫醚(惡臭)	DIMETHYL SULFIDE (DMS)	C ₂ H ₆ S	62	99	--	--	--
二甲基二硫醚(惡臭)	Dimethyl disulfide (DMDS)	C ₂ H ₆ S ₂	94	109.7	--	--	--
醋酸(惡臭)	Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	92	118	--	--	--

VOCs Features

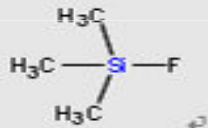
三甲基矽醇



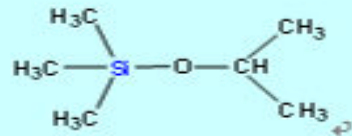
六甲基氧基二矽烷



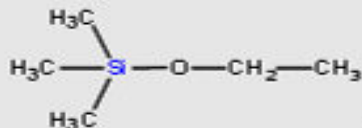
氟三甲基矽烷



三甲基矽烷



三甲基乙基矽醚



矽化物結構式示意圖

在矽化合物方面，由於六甲基乙矽銨(HMDS; $C_6H_{19}NSi_2$) 是用於基板廠的黃光區光阻製程中，因其特性而常用來塗附於晶圓或玻璃基板的表面上使其與表面上水蒸汽反應，以當作品圓或玻璃基板的表面脫水劑，同時改變晶圓或玻璃基板的表面特性由親水性變為親油性，以利光阻之塗佈及附著力。

然而HMDS極易水解反應，也就是說它與水汽之反應極高，因此，HMDS自上光阻機台由真空幫浦抽送至有機排管道(VOCs exhaust ducting)後，此時HMDS已與管道內水汽產生水解反應，同時也與其他溶劑反應而成其衍生物存在於管道內;例如三甲基矽醇(Silanol, trimethyl, $C_3H_{10}OSi$) 就是HMDS的主要衍生物，然後三甲基矽醇可能再有幾個反應，首先是兩分子三甲基矽醇脫水後，變成六甲基氧基二矽烷(Disiloxane, hexanethyl-, HMDSO, $C_6H_{18}Osi_2$)，至於氟三甲基矽烷(Silane, fluorotrimethyl-, C_3H_9FSi)的形成，可能的原因是三甲基矽醇或六甲基氧基二矽烷與氫氟酸結合後所形成，另外兩種矽化物分別是三甲基矽醇與異丙醇以及乙醇反應而成，因此產生三甲基矽烷(Silane, trimethyl-, $C_3H_{10}Si$)以及三甲基乙基矽醚(Silane ethoxytrimethyl-, $C_5H_{14}OSi$);以上矽化物結構式示意如左圖所示。

VOCs Treatment Technology

常見VOC處理系統--沸石轉輪+焚化爐

實績案例:

雙沸石轉輪搭配2T-RTO及廢熱蒸汽鍋爐

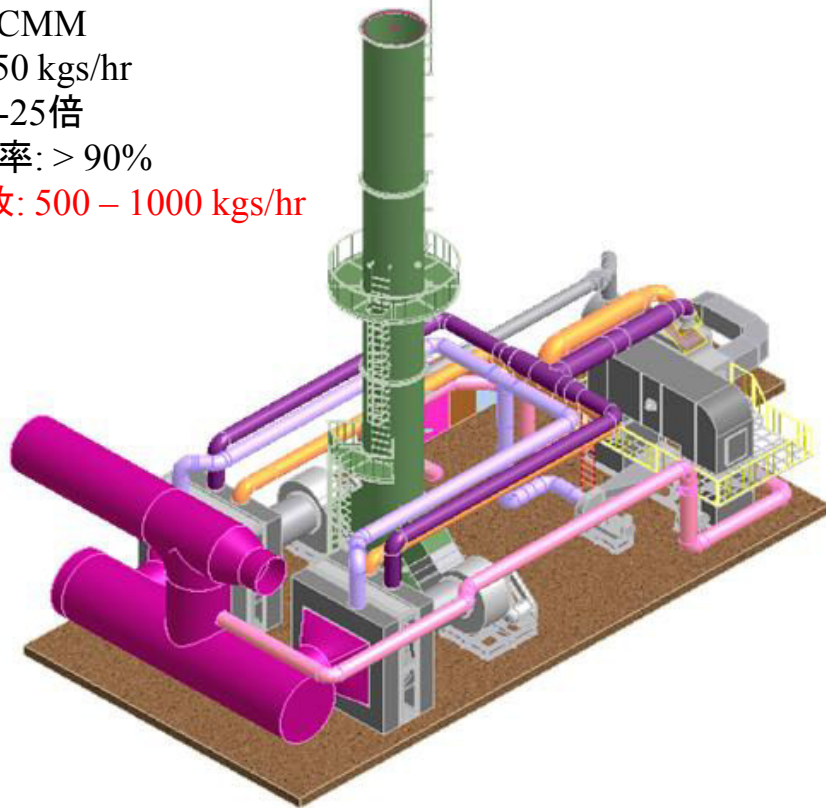
風量: 3000 NCMM

VOCs: 100-250 kgs/hr

濃縮倍率: 20-25倍

VOCs處理效率: > 90%

廢熱蒸汽回收: 500 - 1000 kgs/hr



交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

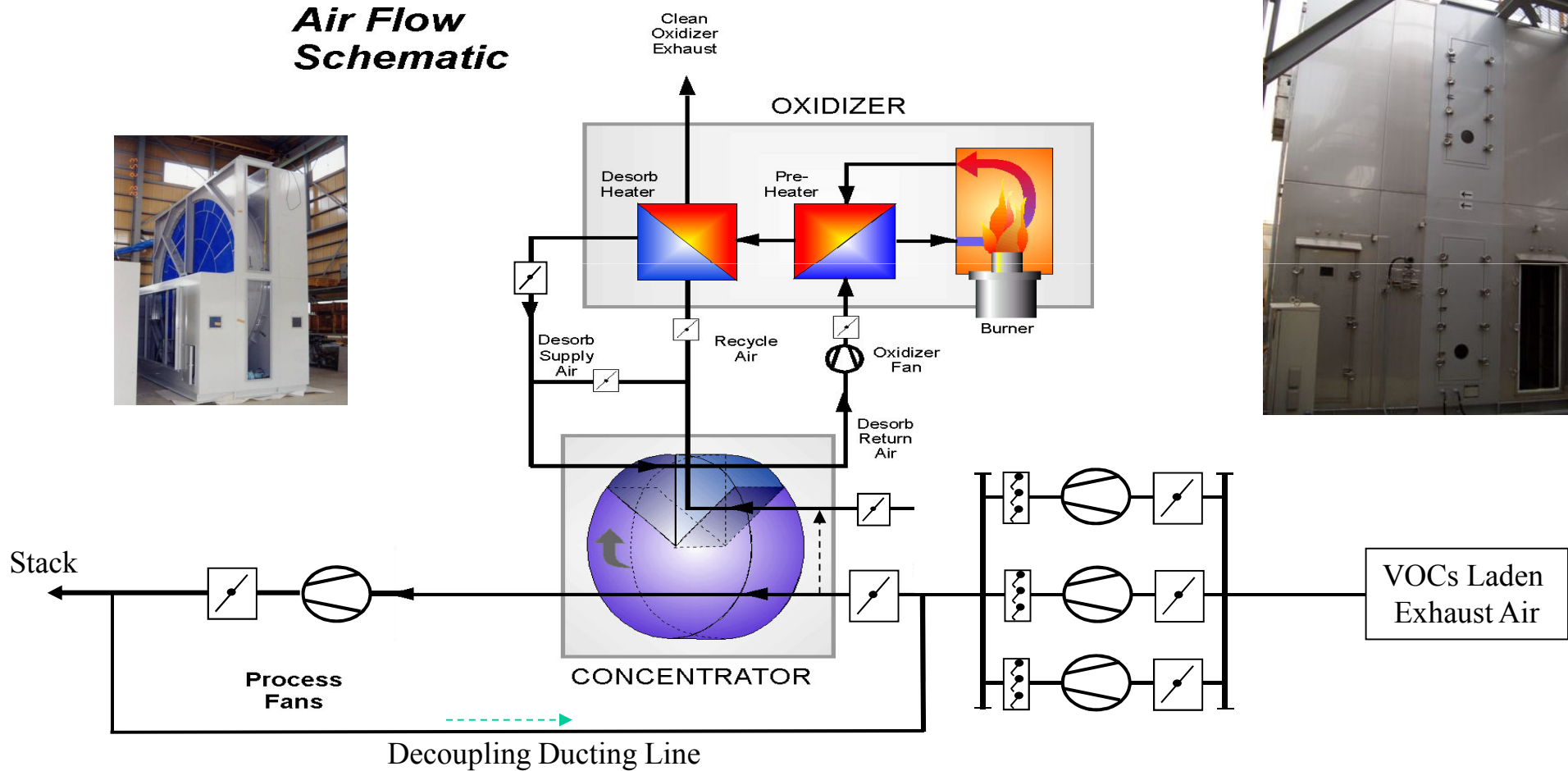
本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

VOCs Treatment Technology

高科技廠 常見VOC處理系統

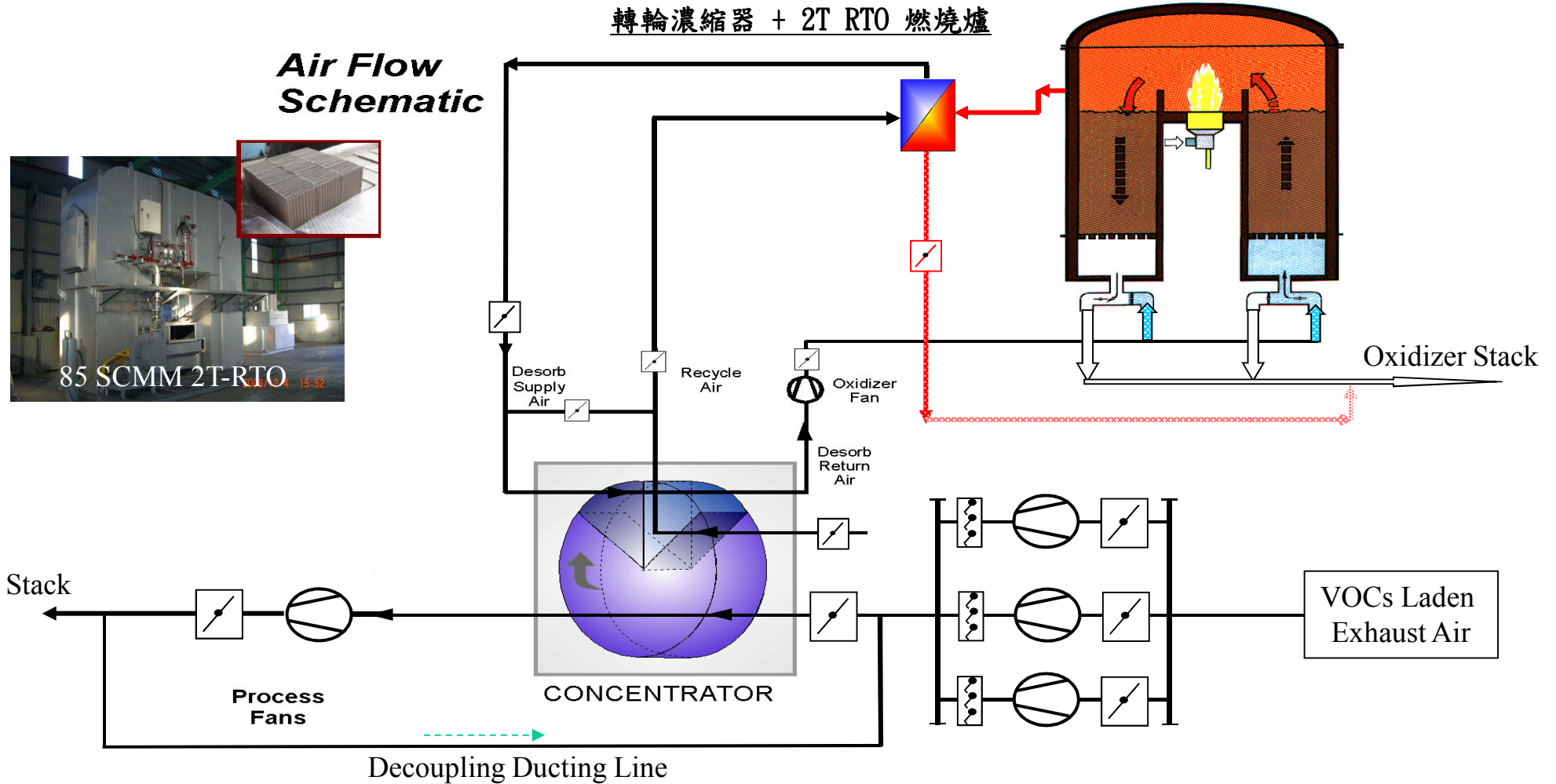
轉輪濃縮器 + TO 燃燒爐

Air Flow Schematic



VOCs Treatment Technology

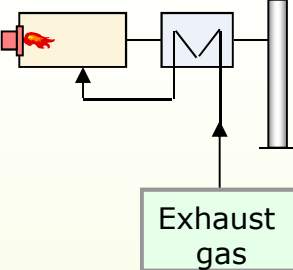
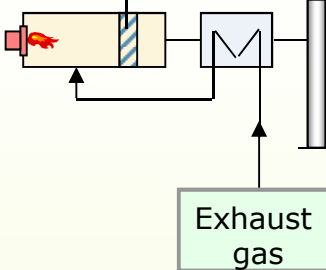
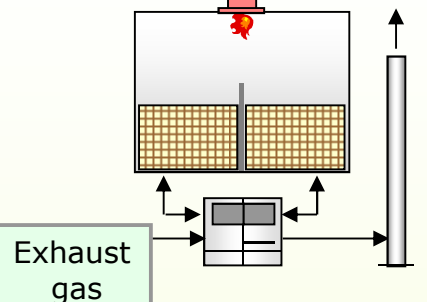
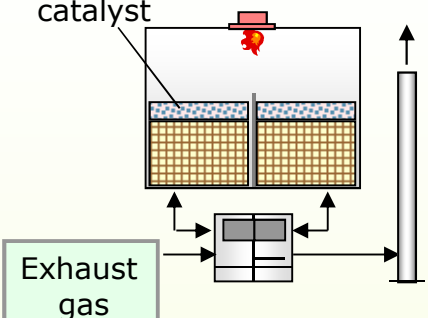
高科技廠 常見VOC處理系統



VOCs Treatment Technology

焚化爐型式

燃燒爐型式

	TO	CTO	RTO	RCO
System flow				
Operating Temp.	750 ~ 850 °C	300 ~ 350 °C	750 ~ 850°C	300 ~ 350°C
Heat Exchange Type	Recuperative	Recuperative	Regenerative	Regenerative
Thermal Recovery Eff.	60 ~ 70 %	60 ~ 70 %	95 %	95 %

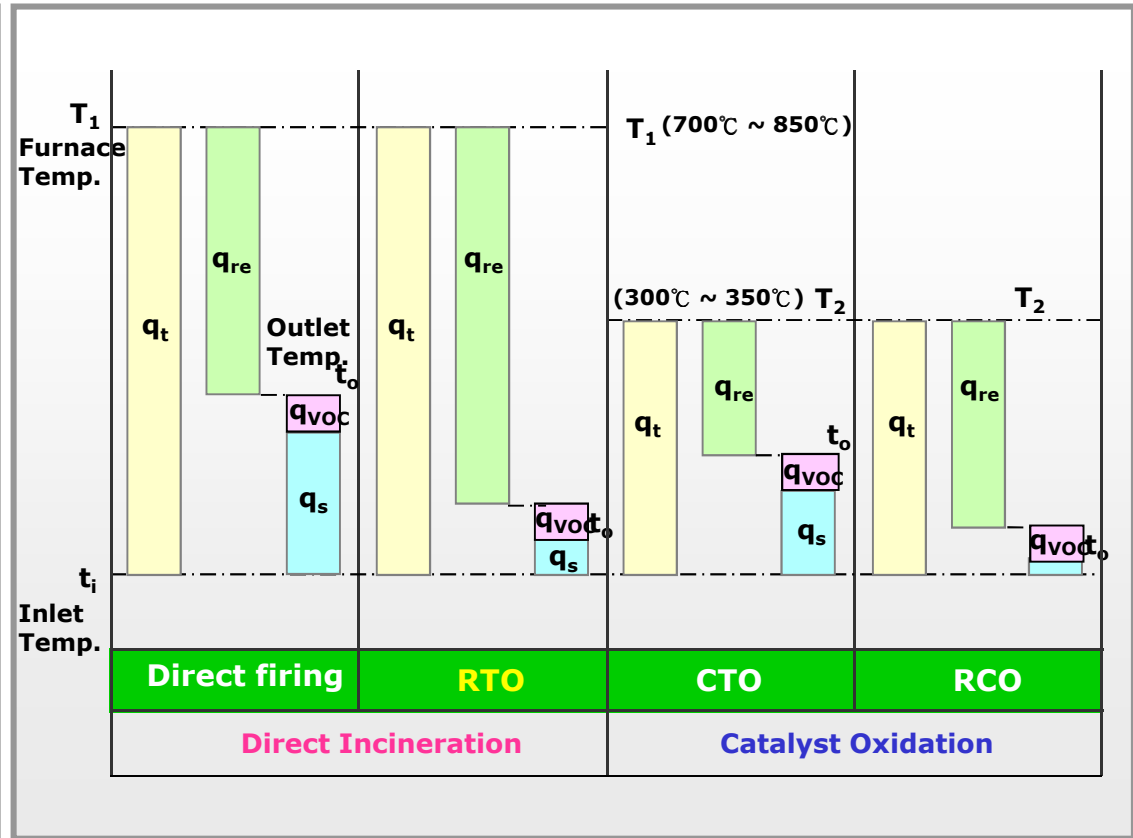
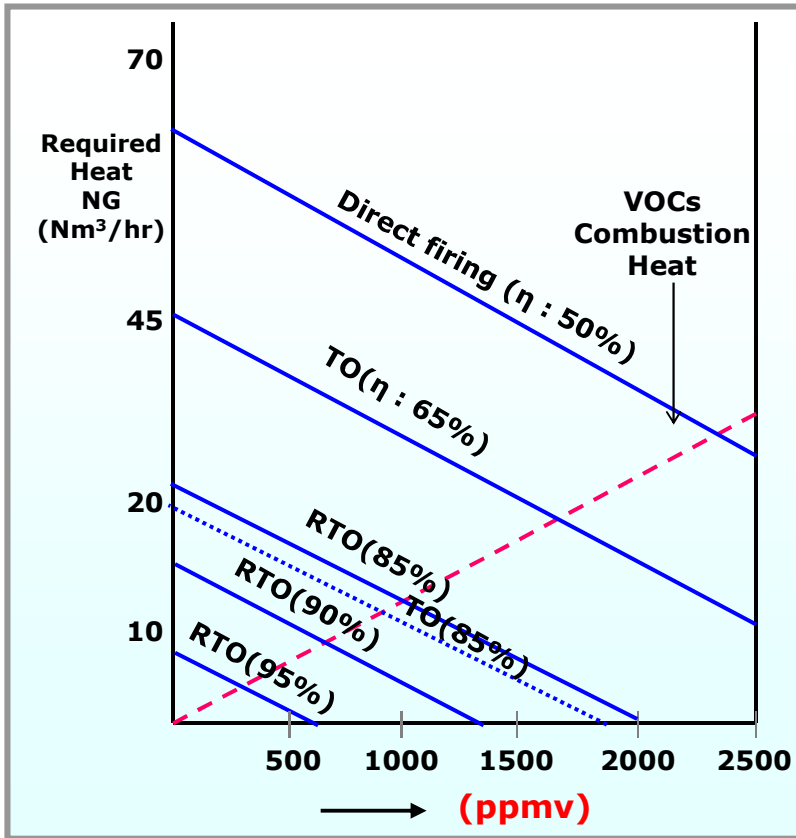
Low Fuel Consumption

Techwin

焚化爐型式(RTO type)

VOCs Treatment Technology

Running cost comparison



Remark :

- q_t Total Required Heat
- q_{re} Recovered Heat
- q_{voc} VOC Combustion Heat
- q_s Burner Supply Heat

Base on 100 NCMM Oxidizer & VOCs combustion heat 7000 kcal/kg

交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

蓄熱式焚化爐基本型式(RTO type)

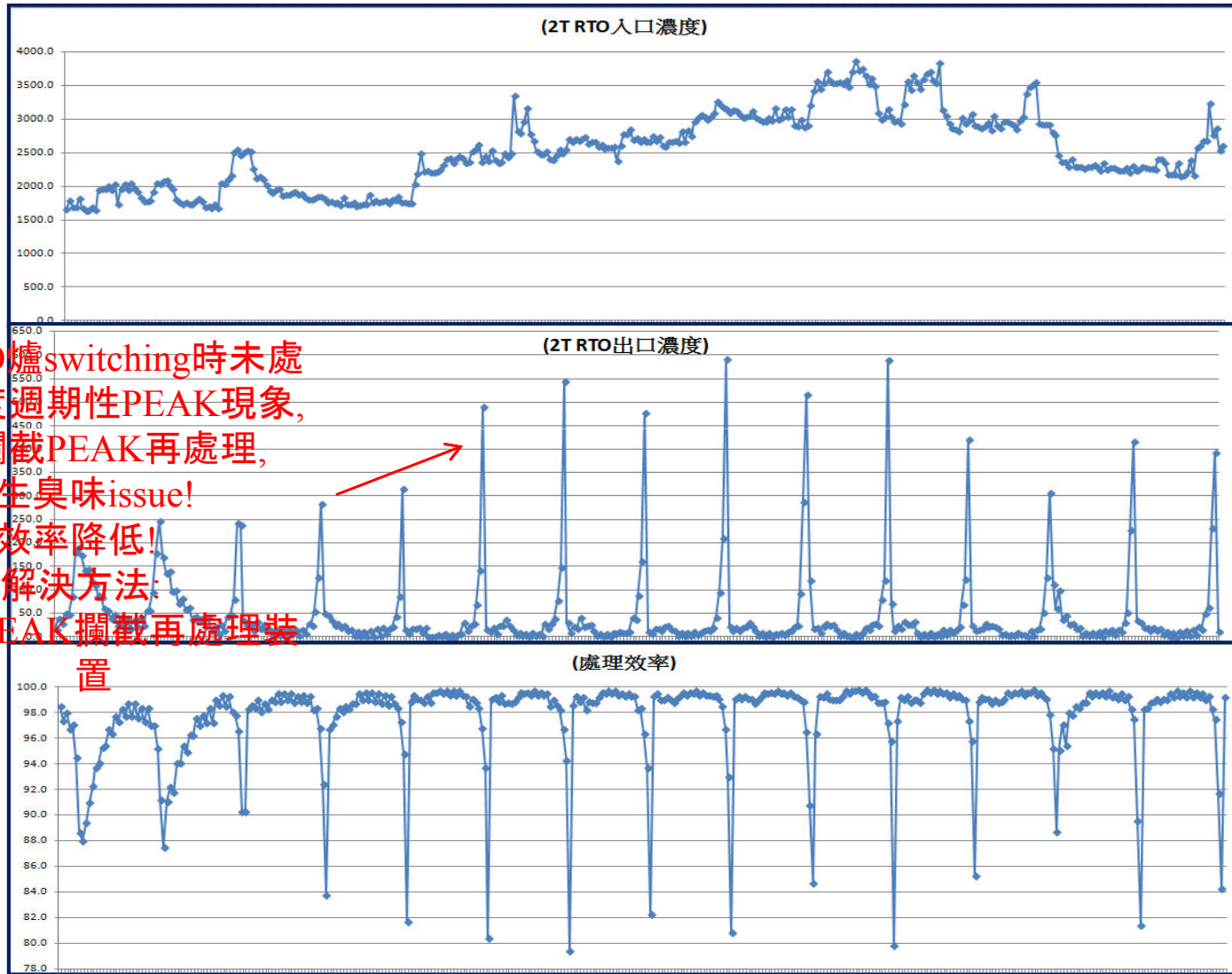
VOCs Treatment Technology

	兩槽式 2T-RTO	三槽式 3T-RTO	迴轉閥式 R-RTO
System flow	<p>注意衍生週期性peak臭味問題</p>	<p>Purge gas</p>	<p>Purge Air Motor</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Untreated gas emit when valve switch 	<ul style="list-style-type: none"> Prevention of untreated gas Emission 	<ul style="list-style-type: none"> ※須注意zone間隔板熱應變及固形物堵塞不易清除問題,迴轉閥元件故障不易維修且被料時間長;因此適合處理中低濃度的乾淨有機廢氣
	<ul style="list-style-type: none"> Pressure fluctuation when Valve switch But much cheaper 	<ul style="list-style-type: none"> Pressure fluctuation lower Many Numbers of valve 	<ul style="list-style-type: none"> Lower fluctuation of pressure Single valve (Rotary), 但是備料時長

兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology

雙槽式RTO爐switching時未處理尾氣濃度週期性PEAK現象,
※若未攔截PEAK再處理,
1. 衍生臭味issue!
2. 效率降低!
※解決方法:
增設尾氣PEAK攔截再處理裝置



兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology

化合物		勞委會容許 工作環境濃度 (ppm)	嗅覺閾值 (ppb)	嗅覺閾值 (ppm)	味道特徵
Acetone	丙酮	750	400-800000	0.4-800	薄荷/水果甜味
Dimethyl sulfide	二甲基硫(DMS)		1 - 63	0.001-0.063	強烈的刺激味(腐爛甘藍菜臭腐菜臭)
Toluene	甲苯	100	21-69000	0.021-69	甜味/刺激味
Isopropyl Alcohol	異丙醇(IPA)	400	442-610000	0.442-610	乙醇和丙酮混合味
Ethanol	乙醇	1000	340-40000	0.34-40	溫和,略帶欣愉味;類似酒類的味道
m/p-Xylene	間/對-二甲苯	100	41-21000	0.041-2.1	甜味
Benzene	苯	5	160-160000	0.16-160	芳香族的味道
2-Butanone	丁酮(MEK)	200	50-85000	0.05-85	薄荷味
o-Xylene	鄰-二甲苯	100	81-5400	0.081-5.4	甜味/芳香族的味道
Chloroform	三氯甲烷(氯仿)	10	600-1413000	0.6-1413	可接受的乙醚味,沒有刺激味道
DMF衍生物	二甲胺	-	470	0.047	類似於氨的臭味
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	1,2,4-三甲基苯	25	2.4-2400	0.0024-2.4	芳香味
PGME	丙二醇單甲基醚	100	3-10000	0.003-10	乙醚味
Methylene Chloride	二氯甲烷	50	1200-440000	1.2-440	甜味,令人愉快的味道
Styrene	苯乙烯	50	4.7-61000	0.0047-61	甜味/花香
Acetic acid, butyl ester	乙酸正丁酯(BA)	150	6.3-368000	0.0063-368	有強烈的水果味/香蕉味
PGMEA	丙二醇單甲基醚酯	100	25-1000	0.025-1	強烈之特殊味道
Cyclohexanone	環己酮		19-219000	0.019-219	類似薄荷及丙酮味
Acetic Acid	醋酸	10	10	0.01	強烈醋味 催淚味

嗅覺閾值：係指臭味的最低嗅覺濃度，一般會以嗅覺閾值為基準，來劃分臭味強度等級。

兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology

空氣污染物	排放標準		換算常數		施行日期		備註
	排放管道	周界	a ₁	a ₂	新污染源	既存污染源	
異味污染物	高度 h (公尺)	標準值	區域標準				一、異味污染物為無因次之數學運算值，故無單位。 二、工業區定義：工業用地之地區、零星工業區或都市計畫工業區。 三、農業區定義： 1. 都市計畫農業區，或依法劃定之分區，經都市計畫主管機關認定屬於農業經營之分區。 2. 依區域計畫法劃定之特定農業區、一般農業區、森林區及非屬上述分區之其他分區內使用地編定為農牧用地、養殖用地、林地用地及特定目的事業用地內作為農、牧業及其廢水處理設施等用途之土地。 3. 其他經中央主管機關會商中央農業主管機關認定之土地。 四、周界排放標準(2)適用對象為位於工業區或農業區內之新污染源。但位於農業區內既設畜牧場所更新且飼養規模未變更者，適用既存污染源之排放標準。 五、以採樣位置所屬區域別適用之標準為依據。 六、異味污染物排放標準適用對象，新污染源指九十六年九月十三日(含)後設立之污染源；既存污染源指九十六年九月十三日前設立之污染源。
	h ≤ 18 18 < h ≤ 50 h > 50	1000 2000 4000 高度100公尺以上之排放管道，以空氣品質模式推估符合受其影響區域周界標準之相對排放管道濃度值，報經中央主管機關核可者，得以該濃度為標準值。	工業區及農業區 (1)50 (2)30	工業區及農業區以外地區 (3)10	—	—	

固定污染源臭味加嚴標準

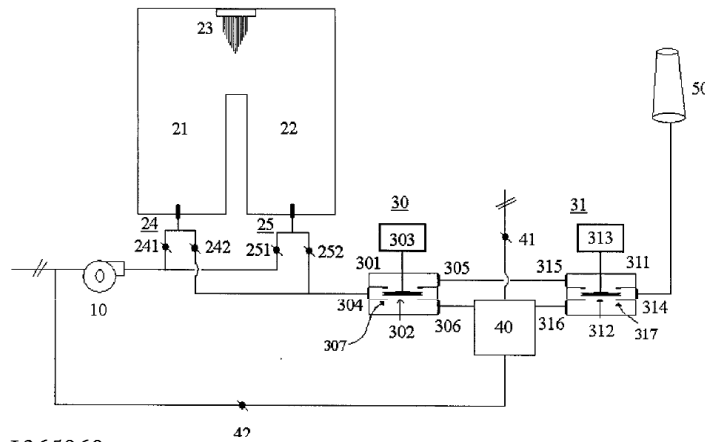
兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology

傑智蓄熱焚化爐尾氣攔截再處理相關發明專利:

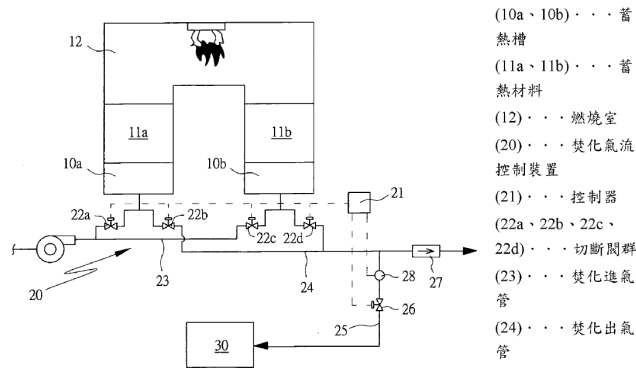
- 傑智(台灣)新型專利M323583 高效能蓄熱式廢氣焚化爐
- 傑智(台灣)發明專利I365960 蓄熱式焚化爐尾氣切換峰值淨化方法
- 傑智(台灣)新型專利M457849 蓄熱式焚化爐尾氣切換峰值淨化裝置

兩槽蓄熱式焚化爐處理揮發性有機物尾氣攔截潔淨 (purge) 示意說明



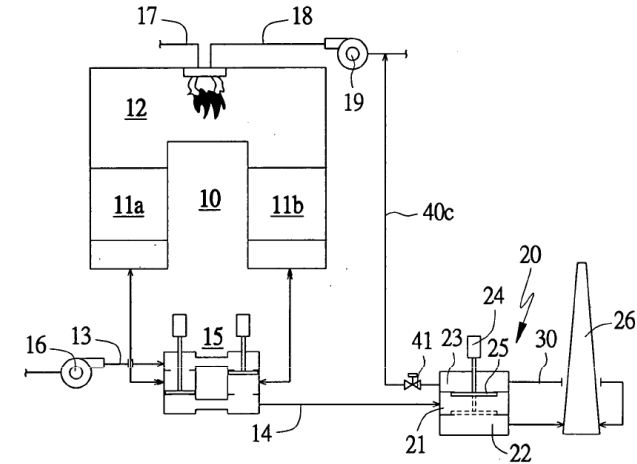
I365960

TW I365960B1



第二圖

- (10a、10b) ··· 蓄熱槽
- (11a、11b) ··· 蓄熱材料
- (12) ··· 燃燒室
- (20) ··· 焚化氣流控制裝置
- (21) ··· 控制器
- (22a、22b、22c、22d) ··· 切斷閥群
- (23) ··· 焚化進氣管
- (24) ··· 焚化出氣管
- (25) ··· 攔截管
- (26) ··· 暫閉閥
- (27) ··· 逆止閥



第三圖

交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology

新型專利技術報告

- 1、申請案號：096204930 e01
- 2、新型專利證書號數：M323583
 - a. 新型名稱：高效能蓄熱式廢氣焚化爐
 - b. 申請日：2007年3月27日
 - c. 優先權日：
 - d. 新型專利權人：

名稱：傑智環境科技股份有限公司
地址：桃園縣龍潭鄉馮望路616巷16號

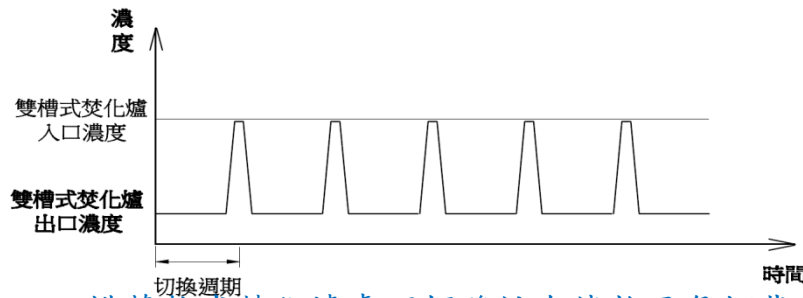
請求項 1-15

比對結果代碼：6

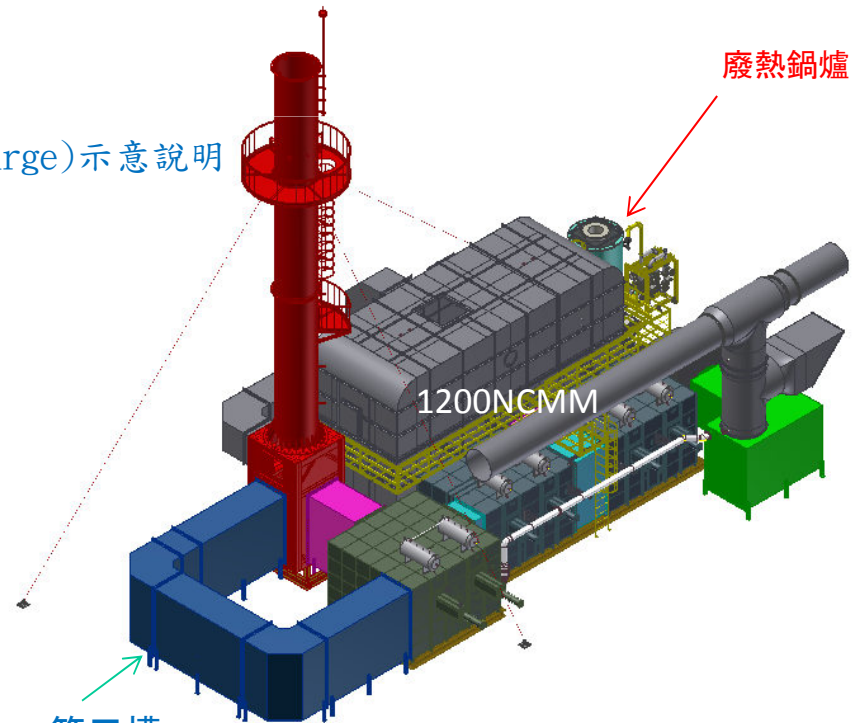
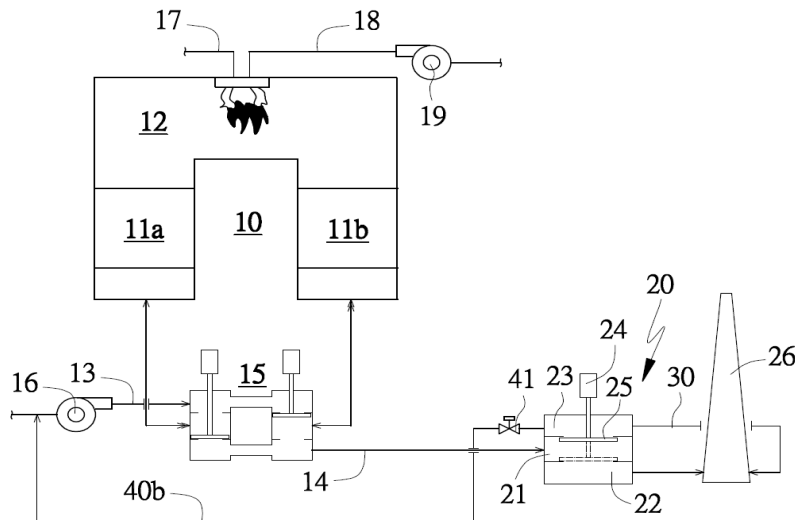
引用文獻：1、2及3(一般技術水準之參考文獻)

傑智蓄熱焚化爐尾氣攔截再處理相關發明專利:

- 傑智(台灣)新型專利M323583 高效能蓄熱式廢氣焚化爐
- 傑智(台灣)發明專利I365960 蓄熱式焚化爐尾氣切換峰值淨化方法
- 傑智(台灣)新型專利M457849 蓄熱式焚化爐尾氣切換峰值淨化裝置



兩槽蓄熱式焚化爐處理揮發性有機物尾氣攔截再潔淨(purge)示意說明



交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

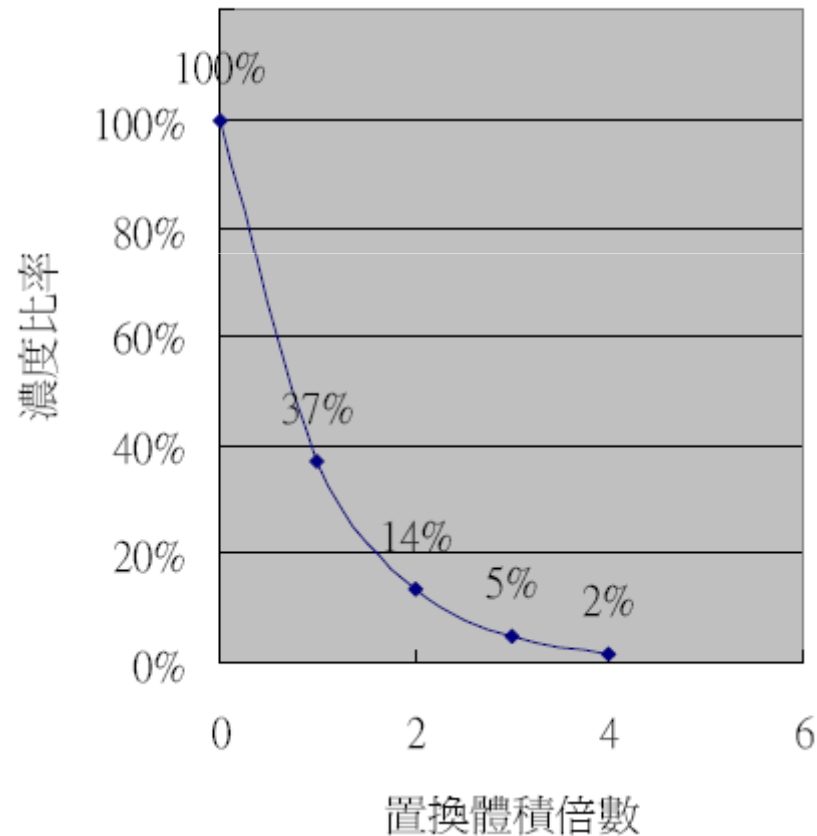
fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology

2T-RTO 尾氣凸波濃度緩衝管(桶)攔截稀釋再處理的體積置換率與濃度稀釋效果



假設

1. 槽內無液體殘留
 2. 槽內空氣與油氣可完全混合
- 由質量平衡，可導出

$$\ln(C_0/C) = v.t/V$$

其中 $v.t$ 為抽氣量

V 為槽的體積

C_0 為初始濃度

C 為最後濃度

在 90% 移除時, $C_0/C=10$, 可算得 $v.t/V = 2.3$

在 95% 移除時, $C_0/C=20$, 可算得 $v.t/V = 3$

在 98.2% 移除時, $C_0/C=54.6$, 可算得 $v.t/V = 4$

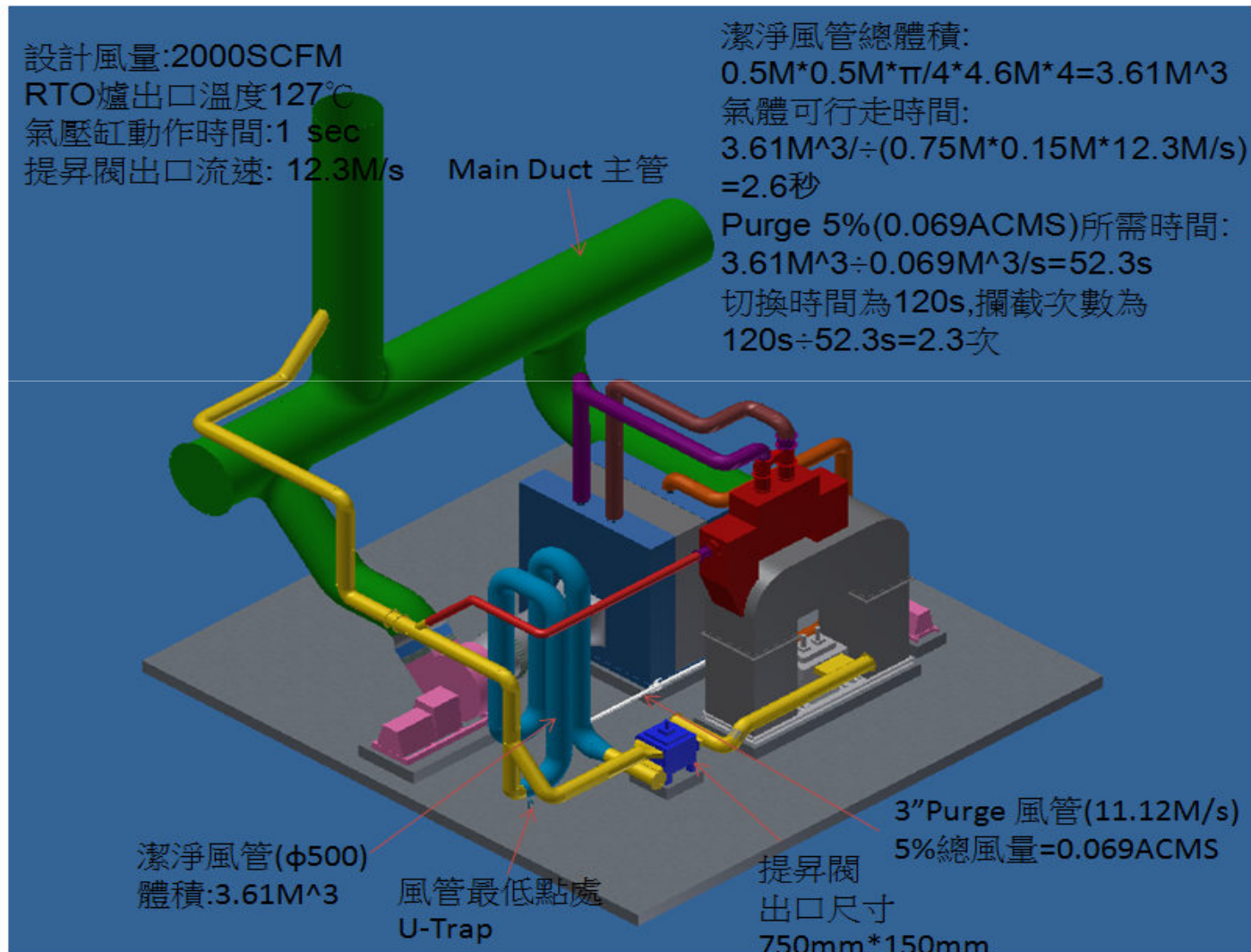
所以理論推算(假設完全混合)

抽 2.3 倍槽體積, 可排出 90% VOC (加州)

兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

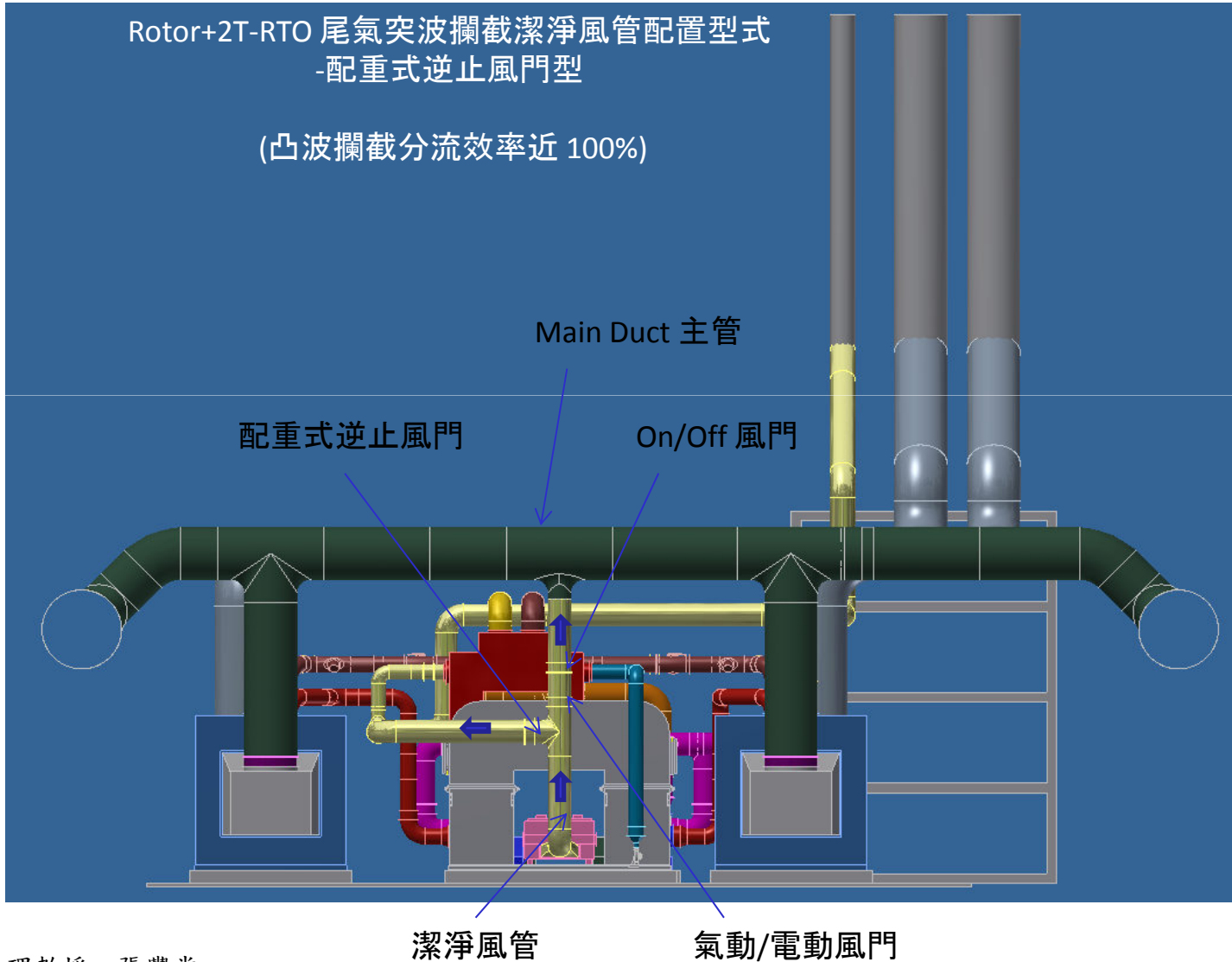
VOCs Treatment Technology

潔淨風管型式-緩衝風管型



兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

VOCs Treatment Technology



廢氣處理系統節能方向

研討內容

一、常用之轉輪搭配焚化法VOCs處理系統介紹

- VOCs廢氣特性(一高科技業為例)
- 沸石轉輪搭配直燃爐系統或蓄熱式焚化爐或觸媒式焚化爐
- 兩槽式蓄熱式焚化爐尾氣peak濃度改善方案

二、廢氣處理系統節能方向(以轉輪搭配焚化法為例)

- 迷思:
 - (一) 25%LEL值在不同溫度的差異? 安全性?
 - (二) FID總碳氫化合物濃度量測值 vs. 真實VOCs濃度值? 質量流率?
 - (三) RTO自持濃度時的 low fire or flameless control? 安全性?
 - (四) RTO蓄熱熱回收效率?
 - (五) RTO燃燒溫度達到950°C以上可以嗎? => 衍生HCN and NO_x的問題。
- 沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整
- 燃燒爐運轉參數最佳化設計與調整(特別是蓄熱式焚化爐 最低瓦斯量low fire之調校設定)
- RTO爐VOCs燃燒熱熱回收(廢熱熱氣、廢熱熱水、廢熱蒸汽鍋爐、廢熱熱媒、廢熱冷氣)
- TO爐增設第三熱回收熱交換節能裝置
- 高沸點VOCs(特別是MEA聚合物)回收預處理及矽化物分流處理

迷思(一) LEL值

➤ Explosive limit in air



$$LEL_i(\%) = 0.55 (100)/(4.7m + 1.19x + 1 - 2.38y)$$

$$UEL_i(\%) = 3.50 (100)/(4.76m + 1.19x + 1 - 2.38y)$$

$$LEL_{mixture}(\%) = 1 / \sum (y_i / LEL_i)$$

$$UEL_{mixture}(\%) = 1 / \sum (y_i / UEL_i)$$

y_i ≡ mole fraction of component i on a combustible basis.

Example: LELs of VOCs at 77°F(25°C)

Methane(CH₄)= LEL=5.0 vol.% ; UEL=15.0vol.%

Propane(C₃H₈) LEL=2.1 vol.% ; UEL=9.5 vol.%

Acetone(C₃H₆O) LEL=2.6 vol.% ; UEL=12.8 vol.%

IPA(C₃H₈O) LEL=2.0 vol.% ; UEL=12.0 vol.%

PGME(C₄H₁₀O₂) LEL=1.9 vol.% ; UEL=13.7 vol.%

PGMEA(C₆H₁₂O₃) LEL=1.7 vol.% ; UEL=12.7 vol.%

Toluene(C₇H₈) LEL=1.2 vol.% ; UEL=7.1 vol.%

迷思(一) LEL值

➤ Explosive limit in air

The LELs of VOCs are typically given in air at 77°F(25°C). However, **the LEL decreases with temperature** according to the following formula:

$$\text{LEL (at temp } t \text{ } ^\circ\text{C)} = \text{LEL (at } 25 \text{ } ^\circ\text{C)} \times (1 - 0.000784 \times (t-25))$$

Where t = actual temperature ($^\circ\text{C}$)

Example: LELs of VOCs at $t \text{ } ^\circ\text{C}$

IPA($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) LEL(25 $^\circ\text{C}$) = 2.0 vol. %

IPA($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) LEL(125 $^\circ\text{C}$) = 1.8 vol. %

IPA($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) LEL(250 $^\circ\text{C}$) = 1.6 vol. %

IPA($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) LEL(400 $^\circ\text{C}$) = 1.4 vol. %

高溫下的LEL值, 比我們所知的低許多!
燃燒爐在熱機下burner點火安全性?

Calculating:

$$\text{LEL (at } 250 \text{ } ^\circ\text{C)} = 2.0 \times (1 - 0.000784 \times (250 - 25)) = 1.6 \text{ vol. \% of IPA at } 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

迷思(二) FID濃度量測值與真實質流率的差異?

➤ FID總碳氫化合物濃度量測值 vs. 真實VOCs濃度值? 質量流率?

	2500 NCMH		2729 ACMM	
Sys. Air Volume	163729 CMH	150000 NCMH	160984 SCMH	
	96881 CFM	88757 NCFM	95257 SCFM	
VOCs Loading	181 ppmv@SolventGas	77.4 Kg/Hr@VOC Ave.M.W. =	63.7 M.W	
Concentration	以碳數理論推算當量THC值		以分子數換算當量 as CH4濃度值	
	569 ppmv@THC _{Carbon}	721 ppmv@CH ₄	317 ppmv as NMHC	現場GC-FID量測THC顯示值
實際與量測比	理論真實當量THC值 : 現場GC-FID量測THC顯示值		真實當量asCH4濃度值 : 現場GC-FID量測THC顯示值	
	1.80		2.27	
DA*	1.185 kgf/m ³	Temperature	25 °C	
DN	1.293 kgf/m ³	Pressure	1.0 atm	

96-04-11 午時 VOCs exhaust 工研院GC-Mass 採樣定性定量分析

Main Chemical Compounds	分子量 M.W.	沸點 (°C)	分子燃燒熱 (Kcal/kg)	濃度 (ppmv)	百分比(%)	加權 C 原子數	
Solvents	IPA (C ₃ H ₈ O)	60.00	82	7517	136.84	75.63%	3
	Acetone (C ₃ H ₆ O)	58.08	57	6965	23.93	13.22%	3
	PGMEA (C ₆ H ₁₂ O ₃)	131.00	146	5931	4.51	2.49%	6
	PGME (C ₆ H ₁₀ O ₂)	90.00	120	6611	12.82	7.09%	4
Thinners	Toluene (C ₇ H ₈)	92.14	111	9681	0.02	0.01%	7
	Acetic Acid (C ₂ H ₄ O ₂)	60.05	118	8176	0.01	0.01%	4
	Cyclohexanone (C ₆ H ₁₀ O)	98.00	155	8020	0.03	0.01%	6
Strippers	MEA (C ₂ H ₅ N)	61.00	77	1021	0.01	0.00%	2
	Acetic Acid (C ₂ H ₄ O ₂)	60.05	118	8176	0.01	0.00%	2
Others	乙醇(ETHANOL) C ₂ H ₆ O	46.07	78	1.70	0.94%	2	
	Benzene, methoxy- (C ₇ H ₈ O)	108.14	154	3136	0.50	0.28%	7
Silicides	三甲基矽醇(C ₃ H ₉ OSi)-HMDS衍生物及其他	90.00	~30	8857	0.59	0.33%	3
	平均 (Average)	63.75		7342	180.95	100.00%	3.15

※ 1 PPMv = 3.15 PPMv THC Value
(以各VOC之碳原子數 x 體積濃度百分比 來當量計算)

FID量測NMHC值與GC-MS定性定量分析對比, 差異近2.27倍 (1 : 2.27)? FID顯示as 甲烷的數據嚴重低估真實VOCs質量流率(kgs/hr)的狀況!

迷思(三) RTO flameless 後再點火?還是應該low fire?

A burner management system (BMS) shall approved by FM or UL or IRI.
Followed Standard => NFPA 85B / D / E / G

(重要規定) The burner must include a **flame scanner** that monitors the flame, the igniter, or both. **If loss of flame is detected, the fuel supply should be shut off immediately.**

所謂的 Flameless RTO :

RTO → Flameless Operation or Nature Gas Injection (NGI) means the fuel supplied by Supplemental Fuel Injection (SFI) in the inlet stream of RTO for increased fuel efficiency, **flameless thermal oxidation** and ultra low NOX emissions.

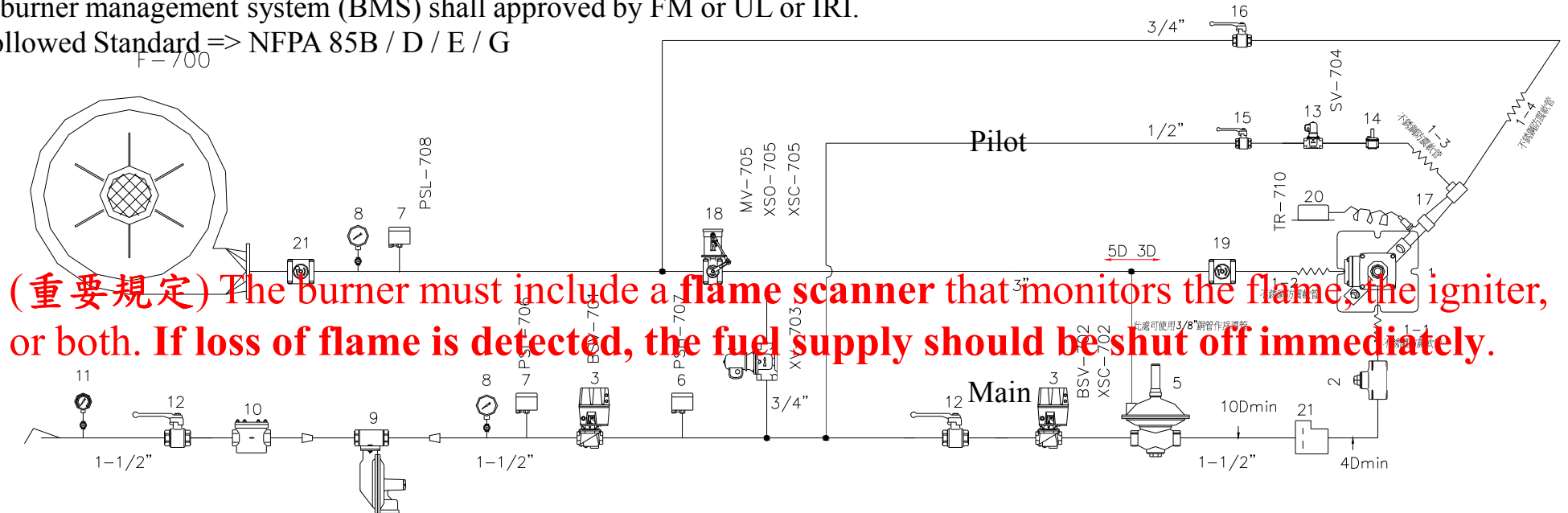
Benefits:

- Reduces combustion air flow, lowest fuel consumption.
- Lower pilot and low fire rate for burners.
- Lowest NOx emission.

SFI 供應燃料至RTO入口,進行flameless 操作, 之後即不再進行點火.

迷思(三) RTO flameless 後再點火?還是應該low fire?

A burner management system (BMS) shall approved by FM or UL or IRI.
Followed Standard => NFPA 85B / D / E / G



※燃燒爐產生爆炸的幾個狀況:

- Interruption of the fuel or air supply or ignition resulting in a momentary loss of flame, followed by restoration an delayed reignition of accumulated combustible gases.
- Fuel leakage into an idle thermal oxidizer an ignition of the fuel by a spark or other ignition source.
- Repeated unsuccessful attempts to light the burner without appropriate purging between attempts, resulting in the accumulation of an explosive mixture.
- Accumulation of an explosive mixture of fuel and air as a result of a flame-out, followed by ignition of accumulated fuel an air by a spark or other ignition source.

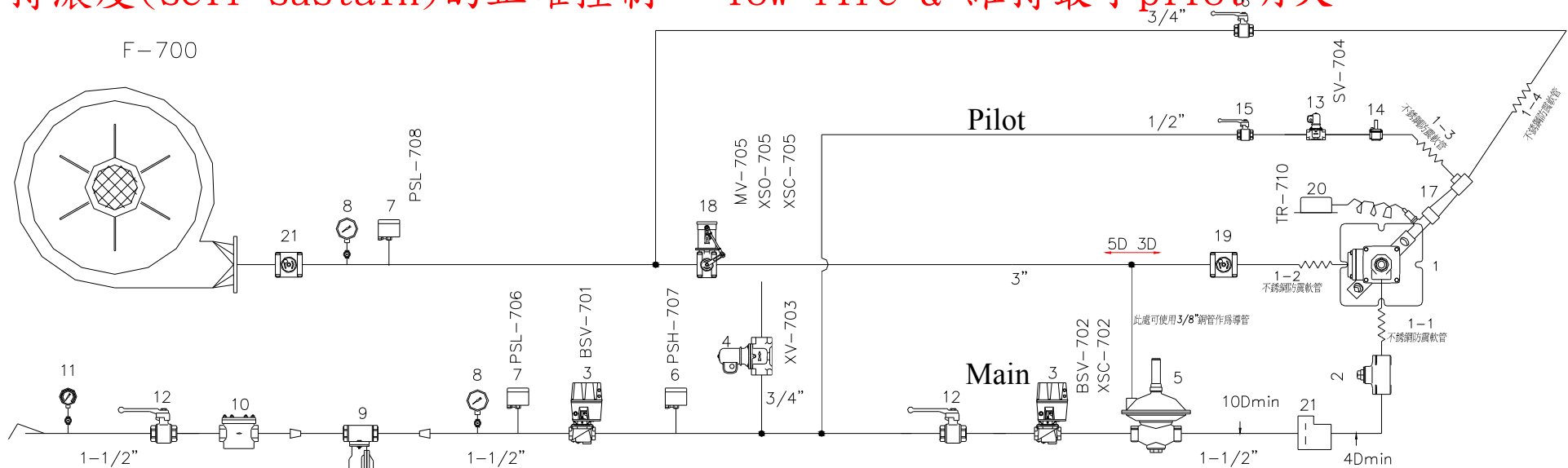
交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

迷思(三) RTO flameless 後再點火?還是應該low fire?

自持濃度(self sustain)的正確控制 - low fire & 維持最小pilot明火



※正確的選擇爐頭容量(最大(high fire)&最小(low fire))設計與達自持濃度時最小火燄low fire控制之最適化調整以及關閉主火保持母火(pilot)控制, 在高濃度之自持濃度時可兼顧環保、安全及最小耗能節能之考量!

交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂
 093947075 http://www.jgok.net

burner internals from furnace radiation. Good tile installation practice is important with any burner (see Supplements DF-M1 and -M2). It is critical with Milk Bottle tiles because

mittent pilots are sometimes used. These should be turned off in all applications. $1 \text{ ounce/in}^2 = 27.7 \text{ inwg} * 1/16 = 1.73 \text{ inwg}$

$16 \text{ osi} = 16 * 1.73 = 27.7 \text{ inwg}$

Burner designation	Combustion air capacities in scfh (for Btu/hr, multiply by 100)							Approx. flame lengths with 16 osi main air (in open furnace)
	Air pressure across the burner in osi							
	0.1	1	5	6	8	12	16	
4425-2	160	520	1 160	1 270	1 470	1 800	2 100	1'
4425-3	280	890	1 980	2 160	2 500	3 050	3 550	1 1/2'
4425-4	460	1 450	3 240	3 540	4 100	5 000	5 800	2'
4425-5	750	2 370	5 300	5 800	6 700	8 150	9 450	3'
4425-6	1180	3 700	8 300	9 100	10 500	12 900	14 800	3'
4425-7-A	2070	6 550	14 600	16 000	18 500	22 700	26 200	6'
4425-7-B	2550	8 150	18 200	19 900	23 000	28 200	32 600	6'
4425-8-A	3350	10 600	23 700	26 000	30 000	36 700	42 400	7'

迷思(四) RTO 蓄熱式熱回收效率的計算

蓄熱式焚化爐熱交換器效率定義

$$\eta = \frac{M_{\text{out}} (T_c - T_s)}{M_{\text{in}} (T_c - T_i)}$$

若RTO熱氣旁通16%，那熱回收效率(TE)還能為 95%嗎？

1. Fuel gas injection

(FGI Flameless RTO)

In this mode, the burner in the combustion chamber is used only to preheat the canisters during startup. Once the RTO is operating, the burner is turned off, and auxiliary fuel is added to the inlet air to raise the VOC content enough to keep the combustion chamber hot. (This is “auto-thermal operation.”)

The mass flow rate of exhaust gas leaving the RTO is equal to that of the VOC-laden air going into it. The thermal efficiency can be calculated directly from the inlet air temperature (T_i), the stack temperature (T_s), and combustion-chamber temperature (T_c):

※一般通稱為熱交換效率 TE

$$\eta = \frac{M_{\text{out}} (T_c - T_s)}{M_{\text{in}} (T_c - T_i)} = \frac{T_c - T_s}{T_c - T_i} \quad (1)$$

迷思(四) RTO 蓄熱式熱回收效率的計算

Oxidizer material (mass) and energy balance

FIRST LAW OF THERMODYNAMICS

The first law of thermodynamics is often called the law of conservation of energy. The following form of the first-law equation is valid only in the absence of a nuclear or chemical reaction.

Based on the first law or the law of conservation of energy for any system, open or closed, there is an energy balance as

$$\underline{\underline{[\text{Net amount of energy added to system}] = [\text{Net increase of stored energy in system}]}}$$

or

$$[\text{Energy in}] - [\text{Energy out}] = [\text{Increase of stored energy in system}]$$

$U \rightarrow$ 內能 (Internal Energy) 是物體內部動能和勢能的總和。理想氣體的內能是一個僅與其溫度有關的函數。

$$h(\text{比焓}) = \text{內能} = C_p \times T$$

Frequently, thermodynamic properties combine to form other properties. Enthalpy h is an important property that includes internal energy and flow work and is defined as

$$\underline{\underline{h \equiv u + pv}} \quad (4)$$

迷思(四) RTO 蓄熱式熱回收效率的計算

where \dot{M} denotes the mass flow rates (in kg/min or lb_m/min), and the subscripts refer to the streams identified in Figure 11.7. The steady-state enthalpy balance (other forms of energy are insignificant) is as follows:

$$0 = \dot{M}_{PA}h_{PA} + \dot{M}_G h_G + \dot{M}_{BA}h_{BA} - \dot{M}_E h_E + \dot{M}_G(-\Delta H_c)_G + \sum \dot{M}_{VOC_i}(-\Delta H_c)_{VOC_i} X_i - q_L$$

This item is require heat supply by fuel

$$h(\text{比焓}) = \text{內能} = C_p \times T$$

where

h = specific enthalpy, kJ/kg or Btu/lb_m

$-\Delta H_c$ = net heat of combustion (lower heating value), kJ/kg or Btu/lb_m

X_i = fractional conversion of VOC_{*i*}

q_L = rate of heat loss from the incinerator, kJ/min or Btu/min

In the simple analysis, we either ignore q_L or consider all losses to be represented as a simple percentage of the heat input. We assume all heat losses to occur at the front of the combustion chamber and assume the reaction to proceed isothermally at the outlet temperature. The heat effects of the VOC reactions are often ignored, but we will consider them. At a concentration of 1000 ppm, the heat released by VOC oxidation is roughly 10% of the heat supplied by the fuel. In the simple approach we will assume that the VOC oxidation is completed at the front end of the reactor. We can account for the heat losses by decreasing the rated heating value of the fuel gas.

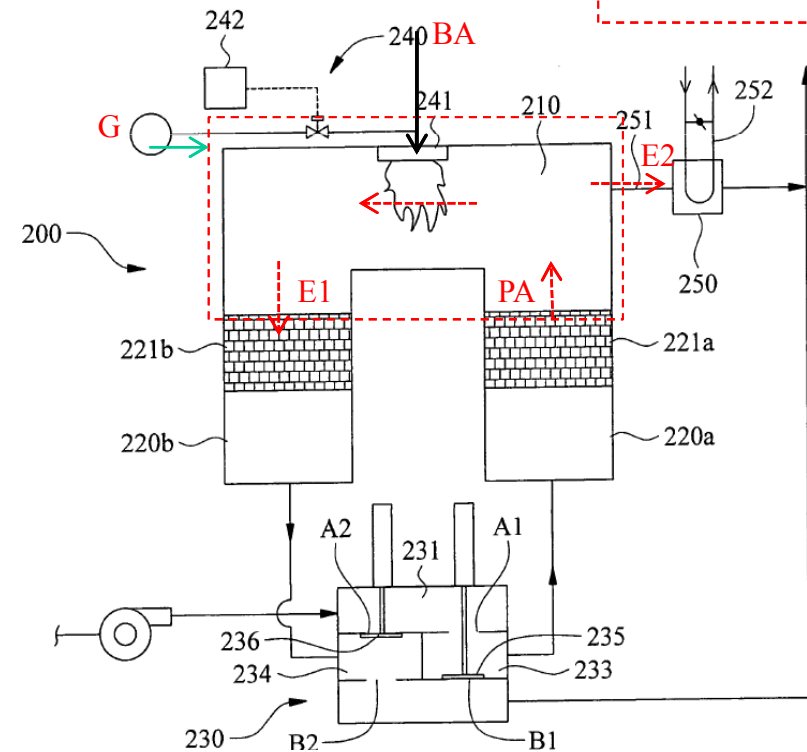
Source: Air Pollution Control

熱平衡推算：

The steady-state overall material balance reduces to

$$0 = \dot{M}_G + \dot{M}_{PA} + \dot{M}_{BA} - \dot{M}_E$$

邊界條件

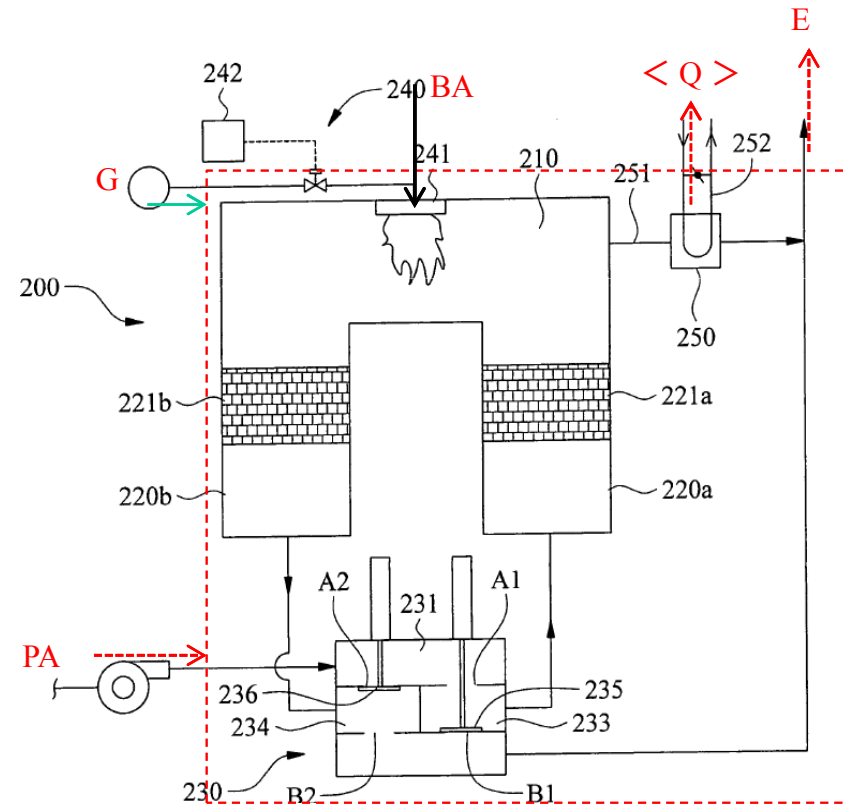
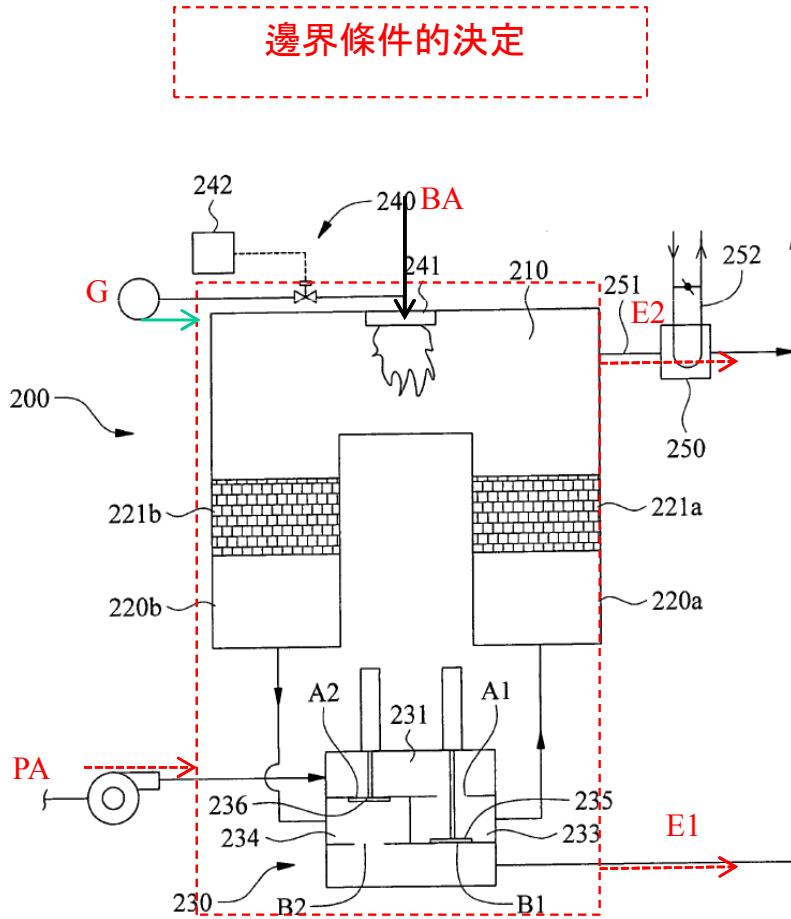


迷思(四) RTO 蓄熱式熱回收效率的計算

熱平衡推算：

$$h(\text{比焓}) = \text{內能} = C_p \times T$$

邊界條件的決定



迷思(四) RTO 蓄熱式熱回收效率的計算

Gas	T K	k W/m K	ρ kg/m ³	c_p J/kg K	$\mu \times 10^{6b}$ kg/m s	$\nu \times 10^{6b}$ m ² /s	Pr
Air (82 K BP)	150	0.0158	2.355	1017	10.64	4.52	0.69
	200	0.0197	1.767	1009	13.59	7.69	0.69
	250	0.0235	1.413	1009	16.14	11.42	0.69
	260	0.0242	1.360	1009	16.63	12.23	0.69
	270	0.0249	1.311	1009	17.12	13.06	0.69
	280	0.0255	1.265	1008	17.60	13.91	0.69
	290	0.0261	1.220	1007	18.02	14.77	0.69
	300	0.0267	1.177	1005	18.43	15.66	0.69
	310	0.0274	1.141	1005	18.87	16.54	0.69
	320	0.0281	1.106	1006	19.29	17.44	0.69
	330	0.0287	1.073	1006	19.71	18.37	0.69
	340	0.0294	1.042	1007	20.13	19.32	0.69
	350	0.0300	1.012	1007	20.54	20.30	0.69
	360	0.0306	0.983	1007	20.94	21.30	0.69
	370	0.0313	0.956	1008	21.34	22.32	0.69
	380	0.0319	0.931	1008	21.75	23.36	0.69
	390	0.0325	0.906	1009	22.12	24.42	0.69
	400	0.0331	0.883	1009	22.52	25.50	0.69
	500	0.0389	0.706	1017	26.33	37.30	0.69
	600	0.0447	0.589	1038	29.74	50.50	0.69
700	0.0503	0.507	1065	33.03	65.15	0.70	
800	0.0559	0.442	1089	35.89	81.20	0.70	
900	0.0616	0.392	1111	38.65	98.60	0.70	
1000	0.0672	0.354	1130	41.52	117.3	0.70	
1500	0.0926	0.235	1202	53.82	229.0	0.70	
2000	0.1149	0.176	1244	64.77	368.0	0.70	

27°C →

1 kcal/kg=4.186kj/kg

727°C →

迷思(五) 燃燒溫度高達950 °C 以上可以嗎?

高溫燃燒下衍生 HCN 與 NO_x 的預防!

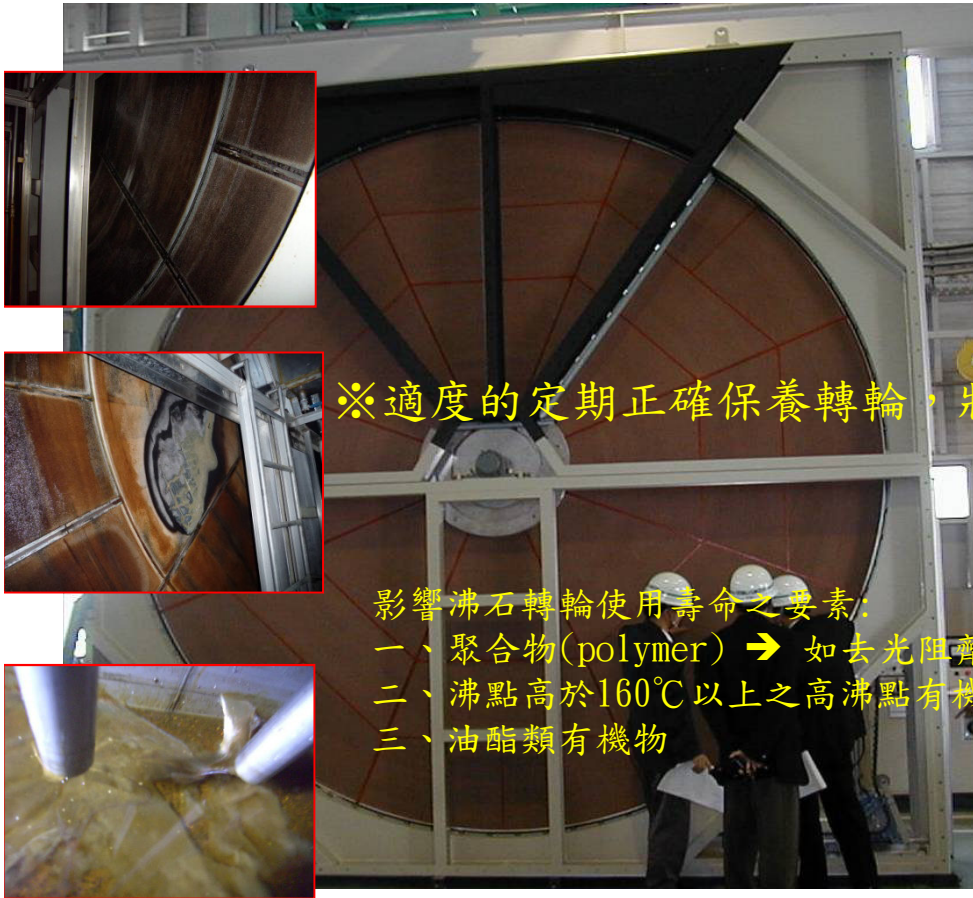
氰化氫，又稱氫氰酸，化學式HCN。標準狀態下為氣體，**劇毒且致命**，無色而苦，並有**杏仁氣味**，能否嗅出視乎個人基因。氰化氫是一種無色，有毒液體，它是一種弱酸，沸點26°C (79°F) 略高於室溫。氰化氫是一個線性分子，碳和氮之間具有三鍵。

- 有部份業者為了避免RTO過溫，而號稱該RTO燃燒溫度可運轉至 1050°C?
- 已有部份RTO燃燒爐係運轉在1050°C條件下，你相信嗎?
- 已有部份RTO燃燒爐燃燒溫度設定運轉在950°C以上，RTO煙囪出口被測量到含有大量No_x外，也有不少的HCN，你知道嗎?

氰化氫	
$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$	
	
IUPAC名 Hydrogen cyanide	
別名	氫氰酸
識別	
CAS號	74-90-8
RTECS	MW6825000
性質	
化學式	HCN
摩爾質量	27.03 g·mol ⁻¹
外觀	無色氣體或淡藍色易揮發液體
密度	(液) 0.687
熔點	-13.4°C (259.75 K, 7.88°F)
沸點	26°C (299.15 K, 78.8°F)
溶解性 (水)	易溶

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

沸石轉輪更換時機與判斷?



※適度的定期正確保養轉輪，將有利轉輪維持於最佳效能狀態下運轉!

影響沸石轉輪使用壽命之要素:

- 一、聚合物(polymer) → 如去光阻劑之乙醇氨(MEA) & 苯乙烯(styrene)
- 二、沸點高於160°C以上之高沸點有機物 → 如去光阻劑之乙醇氨(MEA) & 二甲基亞砜(DMSO)
- 三、油酯類有機物



轉輪更換 吊出中!



轉輪更換 吊入中!

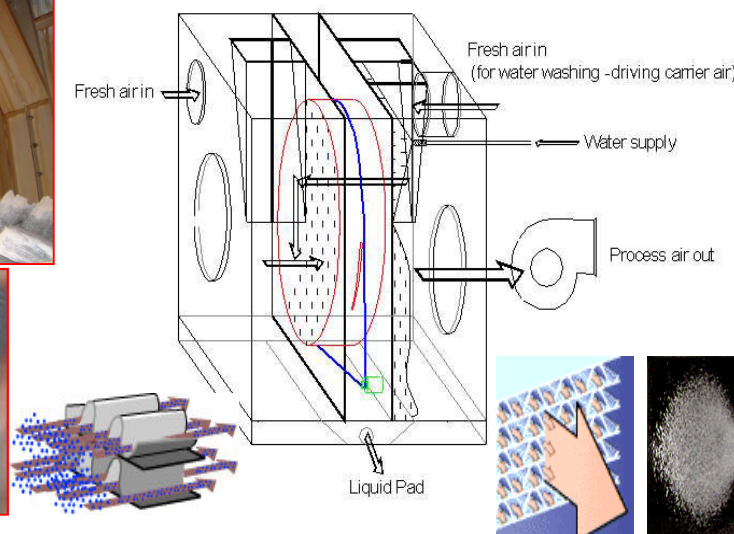
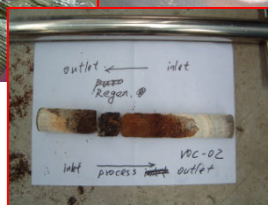
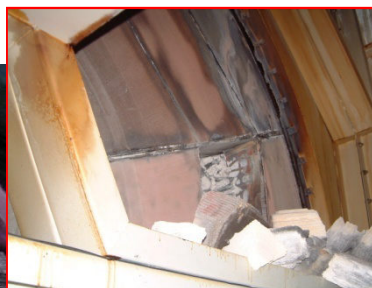
VOCs Treatment Technology

半導體晶圓廠及光電業TFT-LCD廠 常見VOC處理系統

轉輪濃縮器 受高沸點VOCs的影響



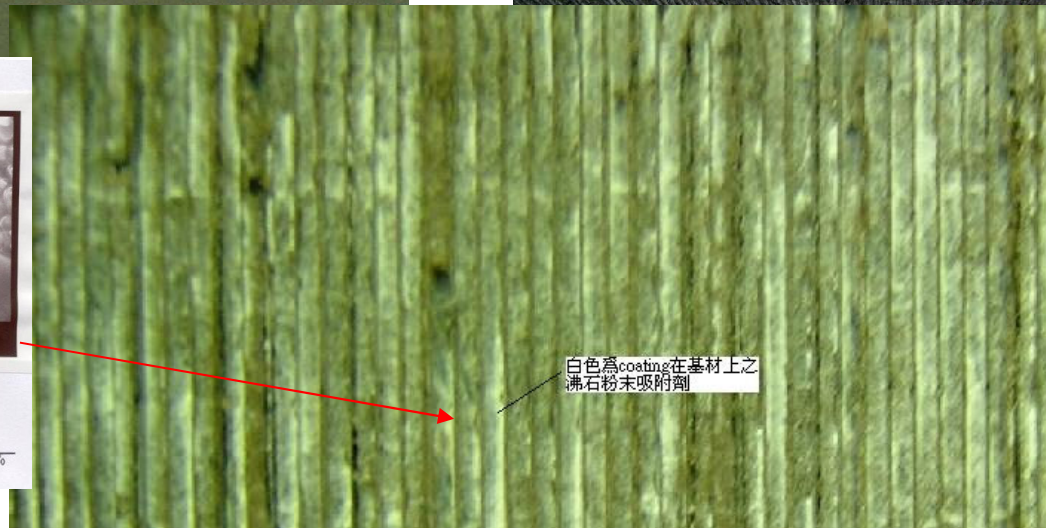
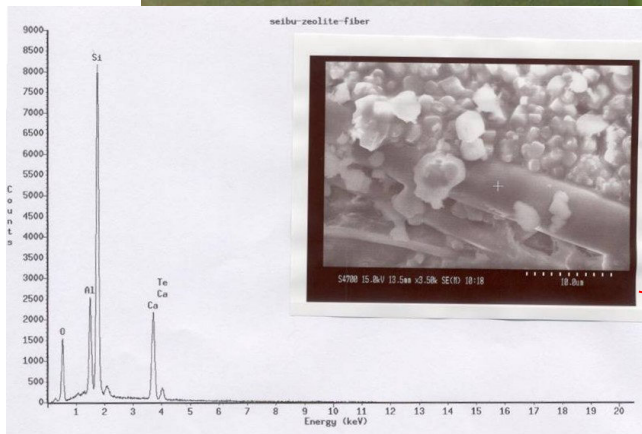
高沸點之VOCs必須先以前處理設備(例如:冷凝吸收除霧器)處理並分流, 以避免造成轉輪無法完全再生脫附之有機物累積效應, 減少了轉輪有效吸附長度而提早貫穿, 致使轉輪去除效率下降, 甚至造成反應性高之VOCs(含硫有機物:如去光阻劑TOK106或ACT690之DMSO)大量放熱後之連鎖悶燒放熱效應以及單乙醇氨(MEA)、Styrene等聚合物之聚合阻塞微孔作用而使轉輪吸附效能長期下降, 並進一步促使燃燒機耗能。



沸石轉輪水洗方式示意圖
(張豐堂 發明專利, 2002)

VOCs Treatment Technology

沸石轉輪特性

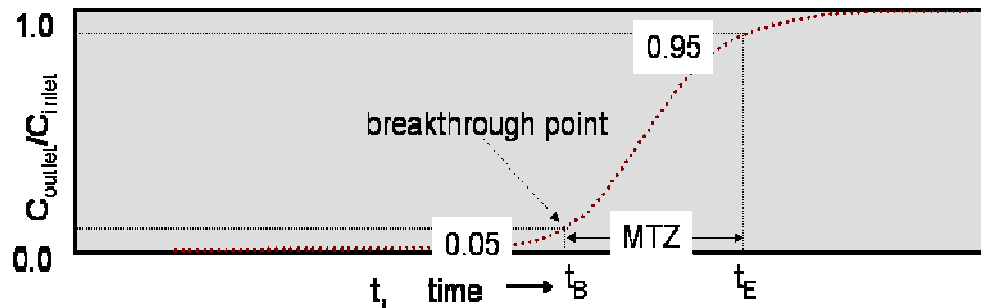
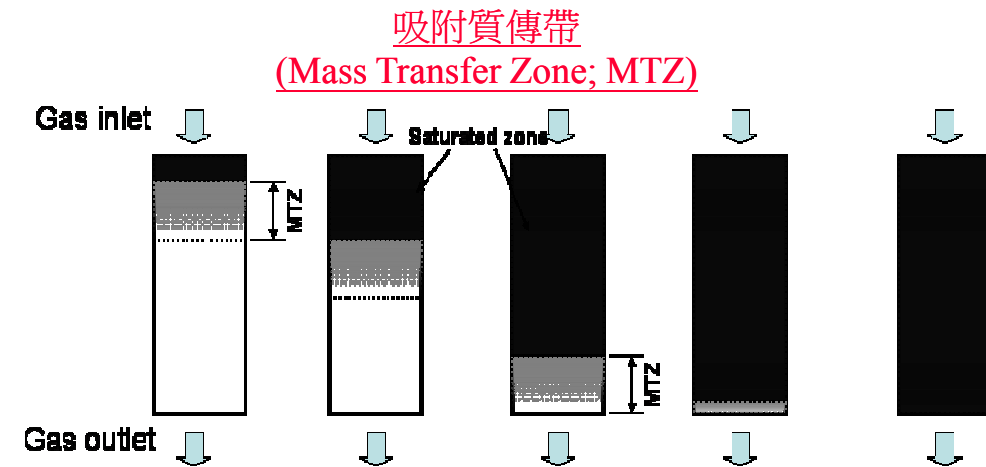


沸石轉輪特性

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

沸石轉輪樣品靜態吸附質傳測試

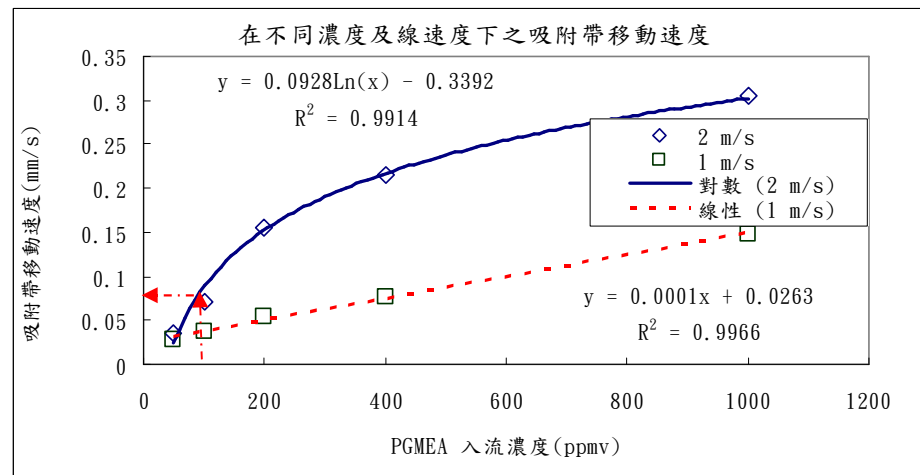
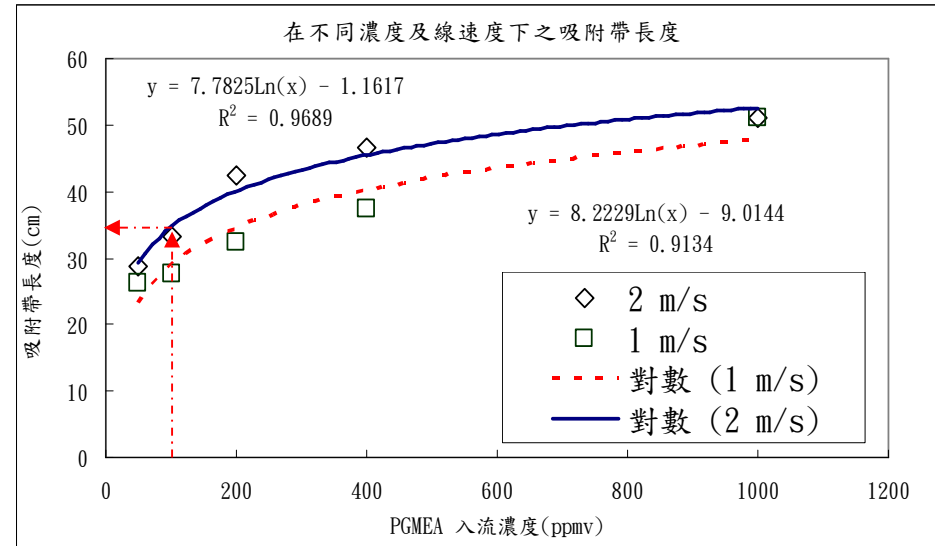
(一) 單一溶劑(PGMEA)吸附狀況



$$MTZ = \frac{1}{X_s} D \left(1 - \frac{C_B}{C_S} \right)$$

C_B : breakthrough capacity %
 C_S : saturation capacity %
 X_s : degree of saturation in the MTZ % (usually 50%)

交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂
fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

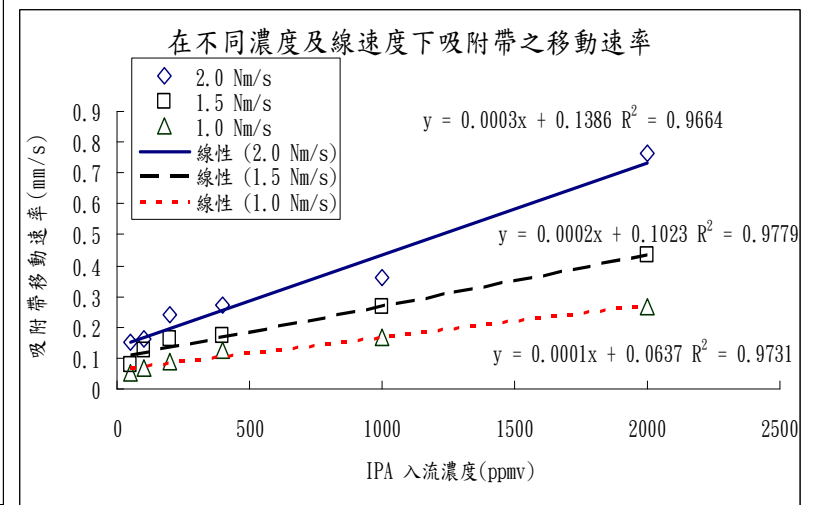
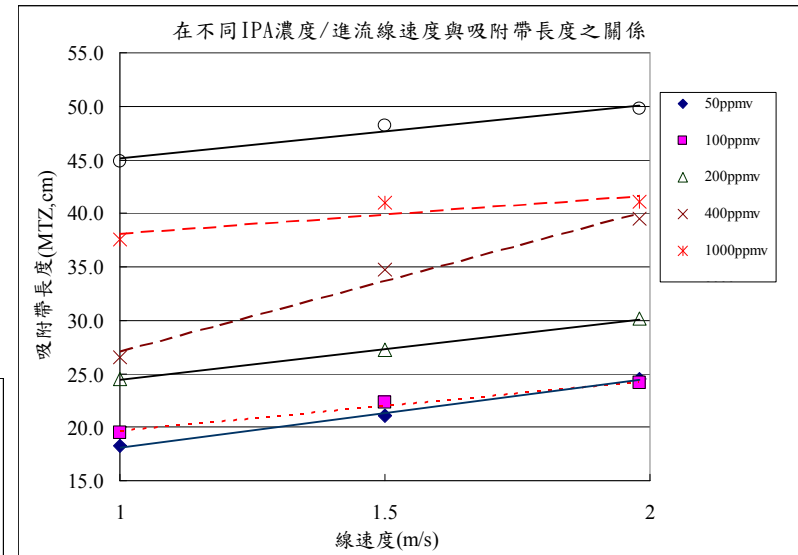
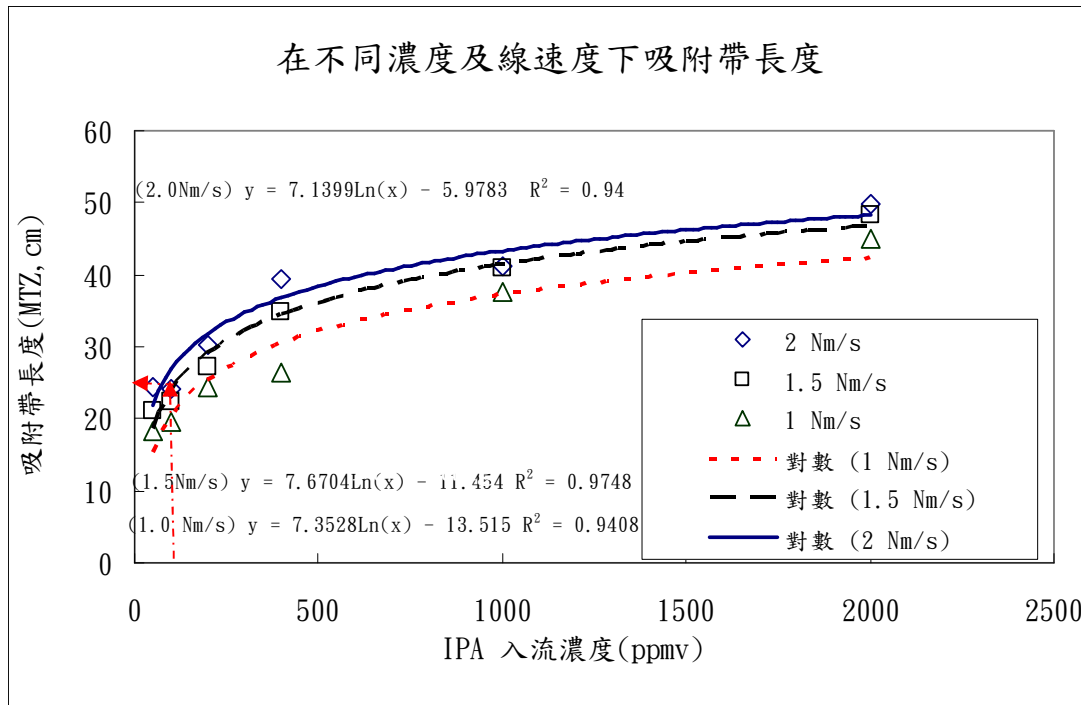


沸石轉輪特性

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

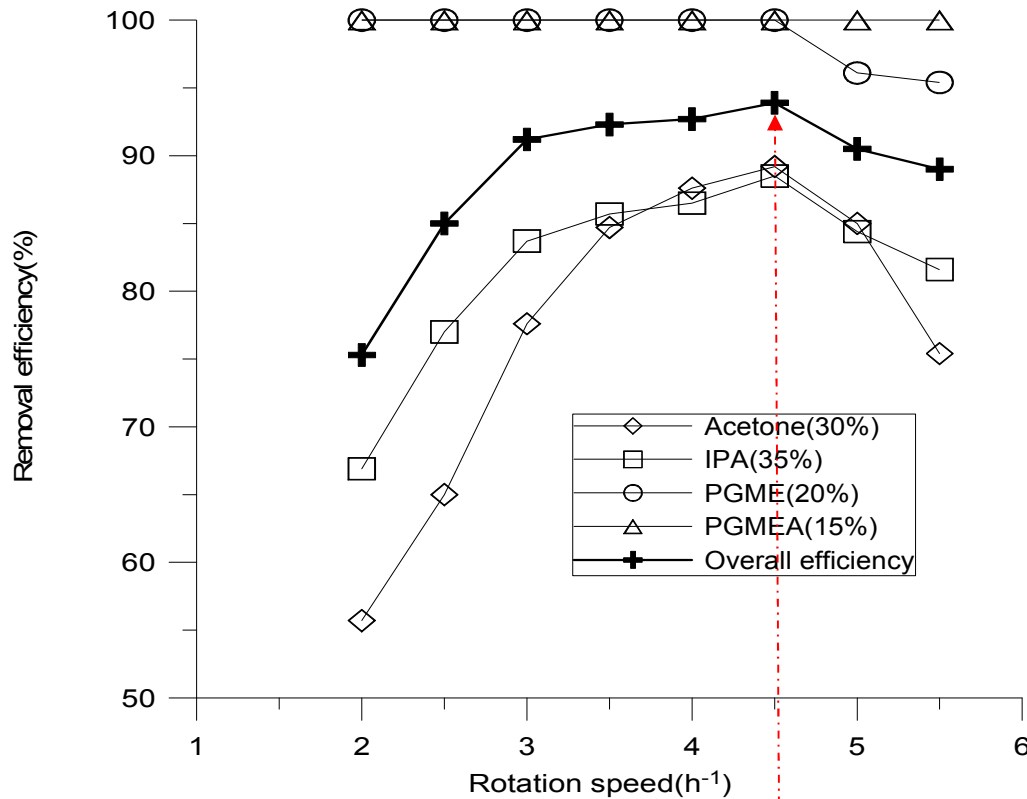
沸石轉輪樣品靜態吸附質傳測試

(二) 單一溶劑(IPA)吸附狀況

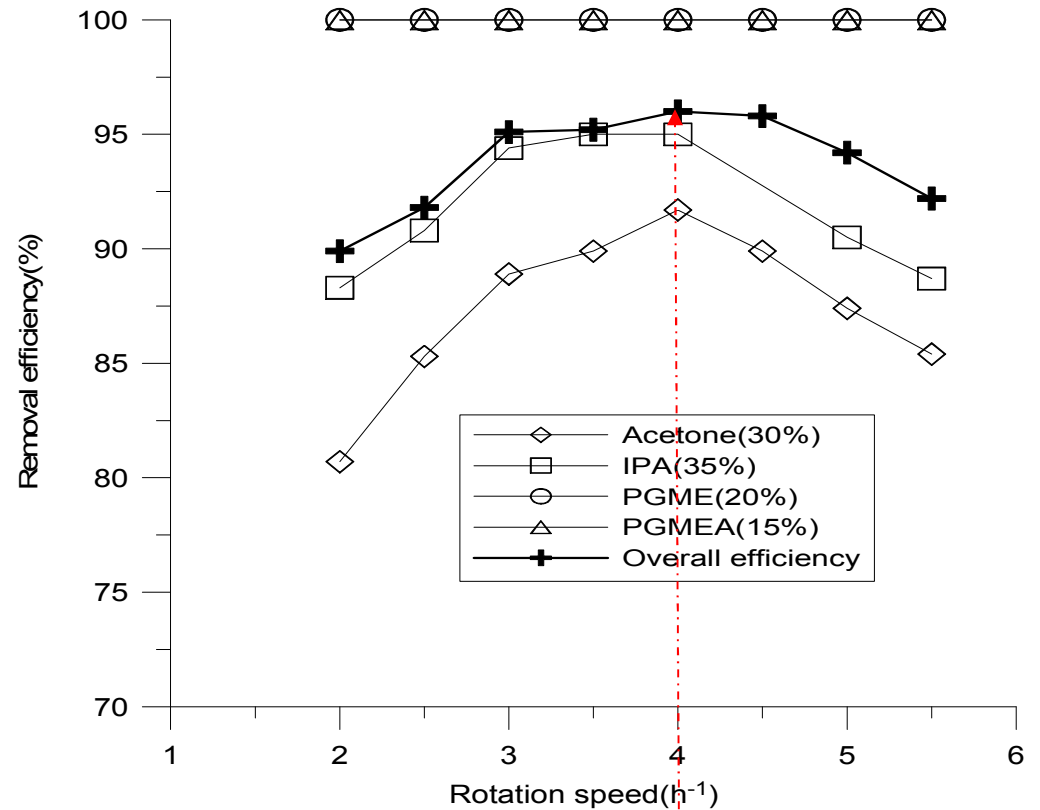


沸石轉輪特性

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整



(a) 250ppmv as solvent



(b) 100ppmv as solvent

※ 吸附入口處理濃度越低 → 最佳轉速越低!
 (轉輪轉速越低 → 脫附出口溫度將越高 → 越省能!)

沸石轉輪特性

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

Testing status:

Processing inlet air: 25°C/50%RH

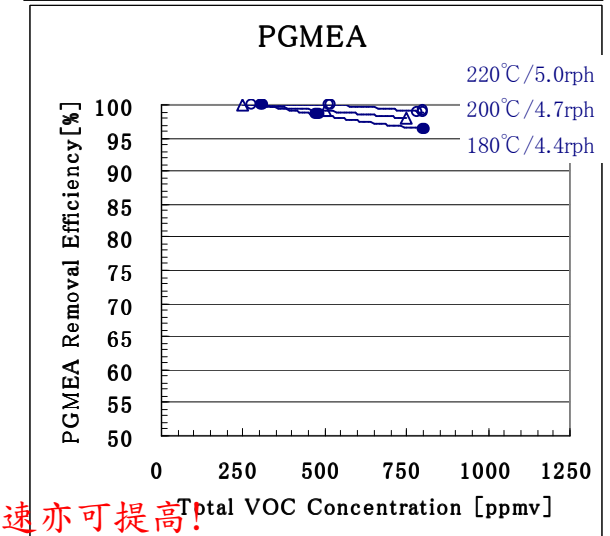
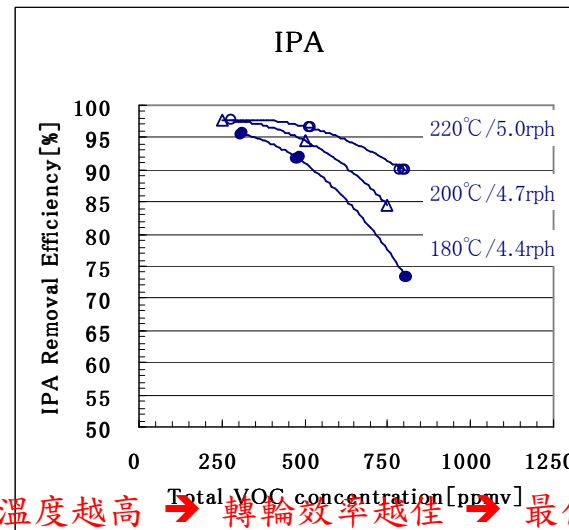
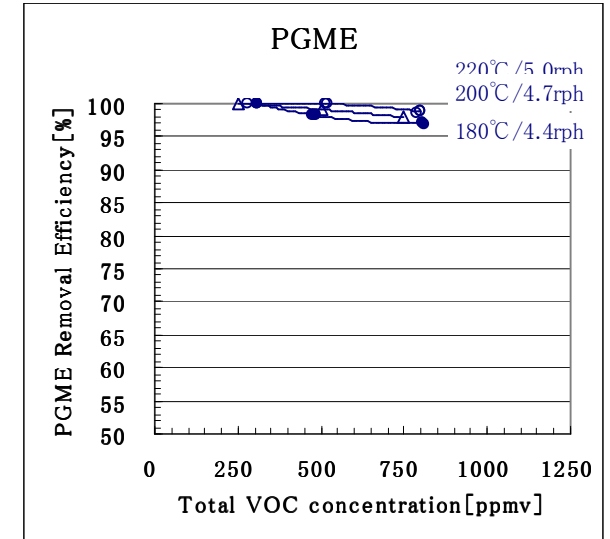
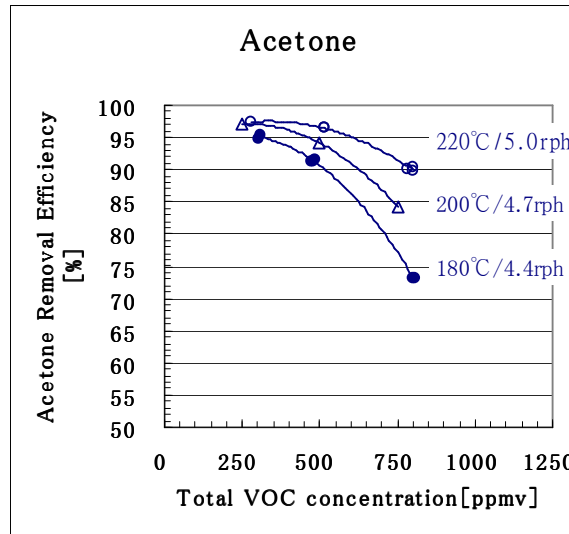
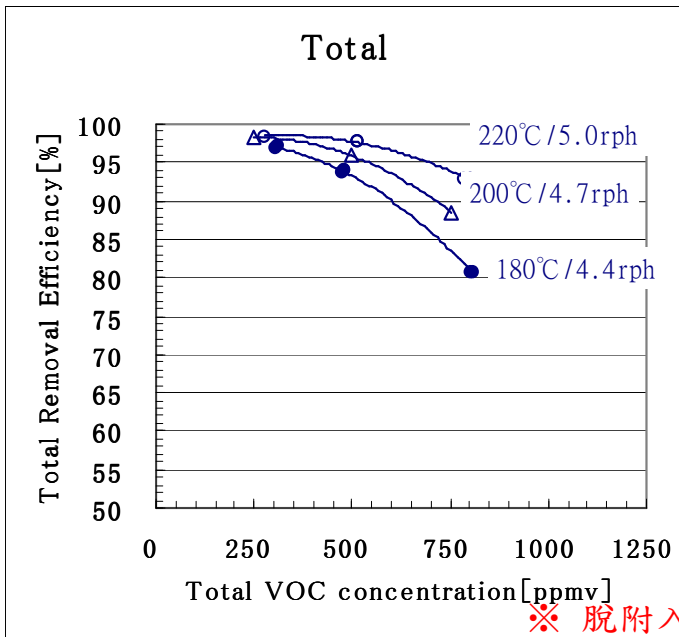
Superficial velocity: 1.5 Nm/s

Concentration times: 8 times

Process inlet VOCs compounds:

Acetone: 15% / IPA: 50%

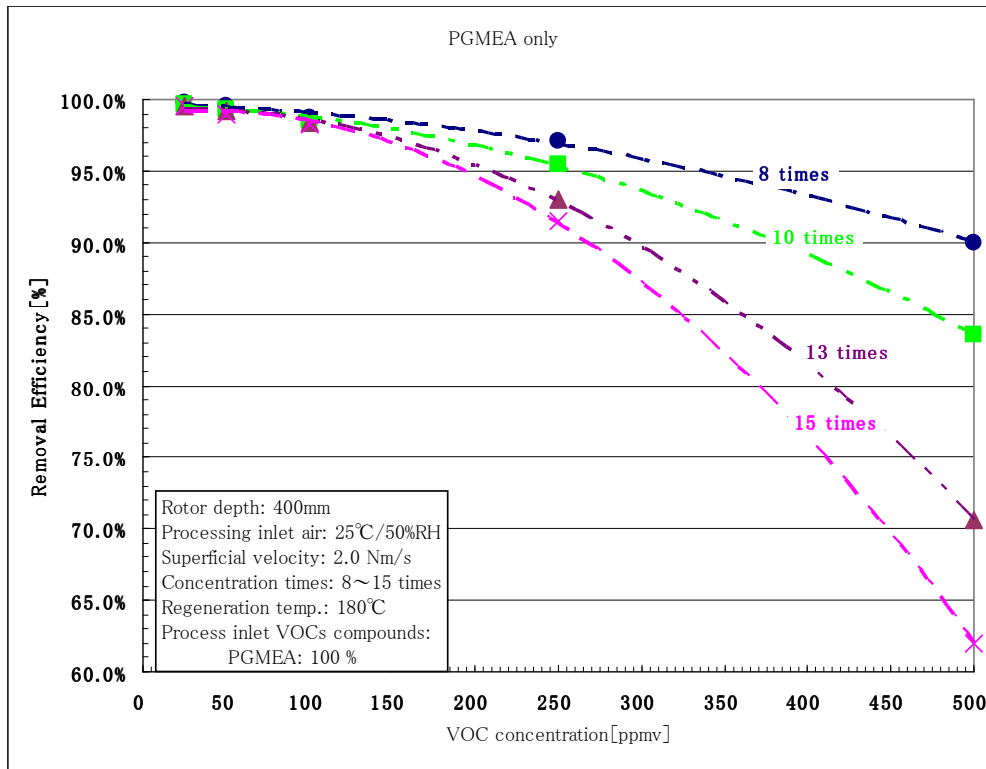
PGMEA: 15% / PGMEA: 20%



※ 脫附入口溫度越高 → 轉輪效率越佳 → 最佳轉速亦可提高!
 (脫附入口溫度越高 → 脫附出口溫度將越高 → 越省能!)

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

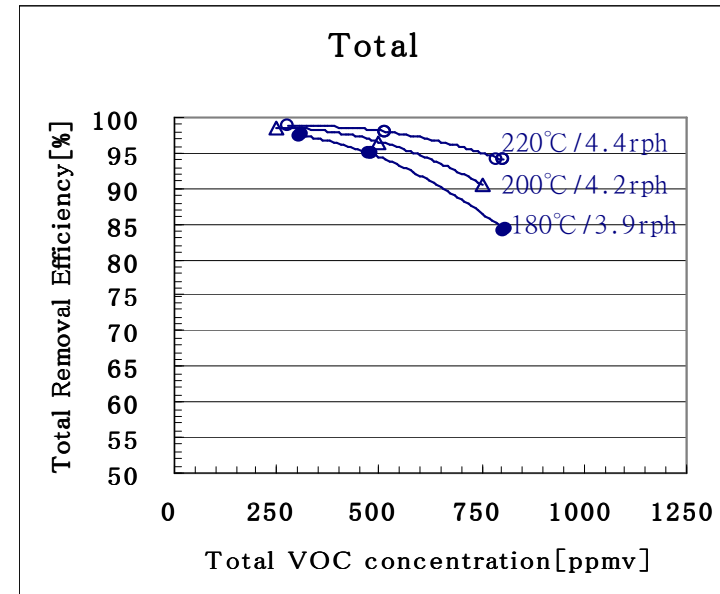
沸石轉輪特性



Process inlet VOCs compounds:

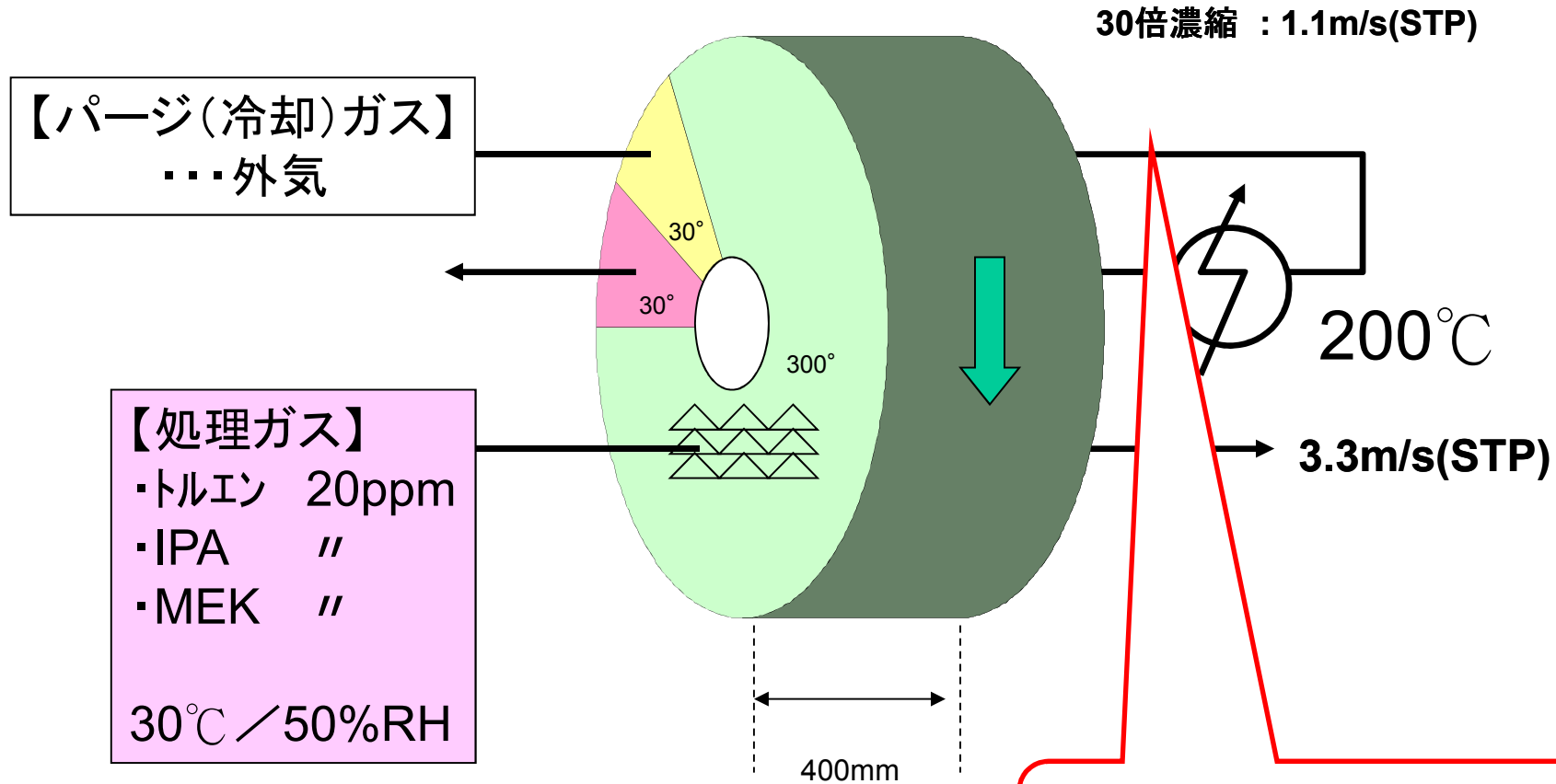
Acetone: 15% / IPA: 50%

PGMEA: 15% / PGMEA: 20%



沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

高濃縮倍率沸石轉輪

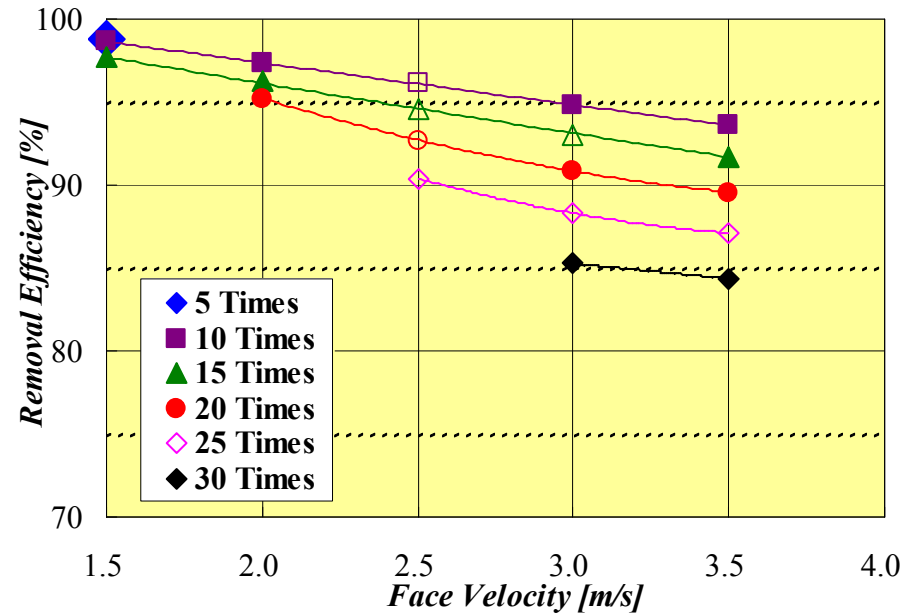
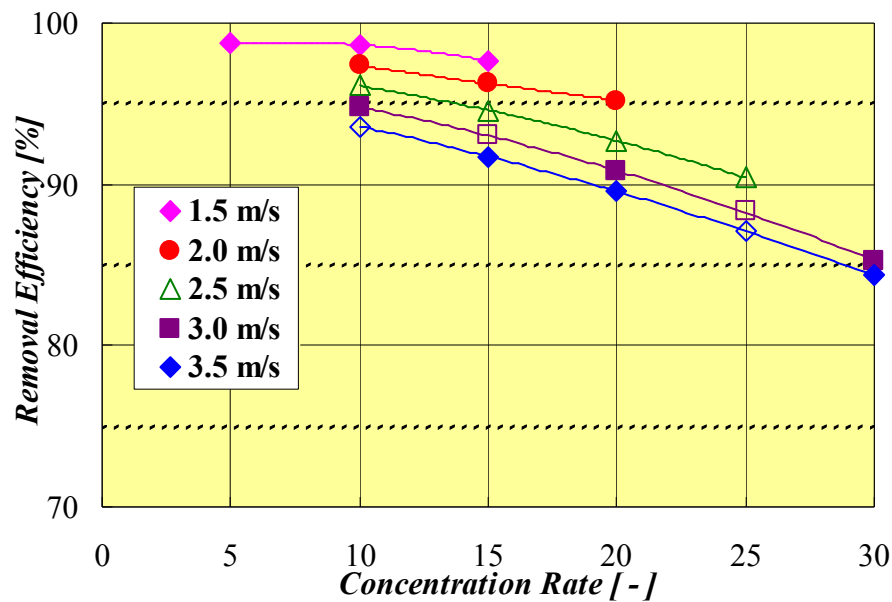


可達淨化率:
30倍濃縮: 90%以上

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

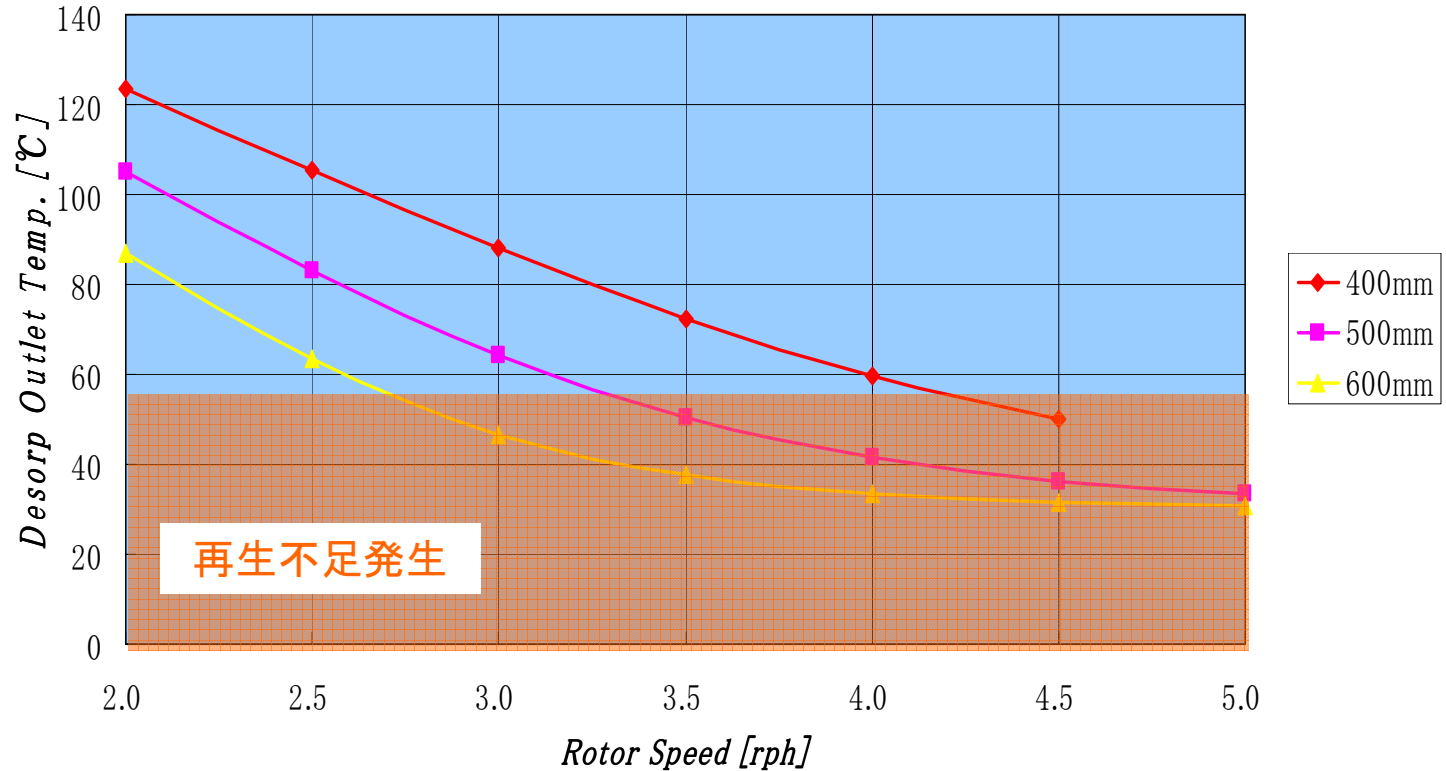
高濃縮倍率沸石轉輪

<Conditions>
Process: VOC 100ppm (Toluene 33, MEK 33, IPA 33)
Temp.30°C , Humidity 50%R.H.(13g/kg')
Desorp: Temp.200°C



沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

沸石轉輪厚度為何為400-450mm?



The deeper rotor is not effective when the process inlet concentration is higher. For the desorption, the rotor element is necessary for a sufficient energy.

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

※動動腦想一下※

- ① 沸石轉輪脫附出口溫度越高表示脫附越好?
- ② 沸石轉輪脫附出口溫度越高表示燃料爐越節能?
(在相同脫附風量下，若脫附出口溫度由35 °C 提升至75 °C，請計算一下RTO爐是否節省燃料耗能?)
- ③ 沸石轉輪冷卻(purge)出口溫度越高表示燃料爐越節能?
- ④ 那請比較看一下，貴廠既有不同廠牌的轉輪，其在相同脫附風量下，脫附出口溫度、冷卻(purge)出口溫度是否有大幅度差異?
- ⑤ 濃縮倍率越高(8 ~ 15倍 提升至 20 ~ 30倍)，也就是說脫附風量越低是不是可以更省能?

The factors affected to concentrator performance

沸石濃縮轉輪運轉參數轉速、脫附溫度、脫附風量最佳化調整

Items	Factors	Improvement
Adsorption Performance	<p>a) Contact Efficiency to VOC laden Air (Larger geometric surface Area)</p> <p>b) Adsorption Capacity</p> <p>c) Rotation Speed (Shorten the adsorption time = faster rotation)</p>	→ Review of Honeycomb cell structure
Desorption Performance	<p>d) Heat Capacity of rotor adsorbent (The fewer heat capacity is, the less heat transfer rate is. = Faster desorption)</p> <p>e) Desorption Airflow Volume (The more airflow volume is, the easier desorption is.)</p> <p>f) Rotation Speed (Keep longer desorption time.=Slow Rotation)</p>	→ Become light weight. (Lighter Density)
Pressure Drop	<p>g) Airflow Resistance (The larger the open frontal area is the lower the pressure drop is.)</p>	→ Review of Honeycomb cell structure

運轉參數最佳化設計與調整

多孔道蜂巢狀濃縮轉輪系統最佳化運轉控制裝置與方法

右圖中：

M: 脫附溫度控制風門作動器

VFD: 變頻器

Fp(i): 轉輪吸附側入口風量(風速)

Td(i): 轉輪脫附入口溫度

PPMp(i): 轉輪吸附側入口濃度

PPMp(o): 轉輪吸附側出口濃度

可以根據前面討論到之轉輪特性，在不同轉輪吸附側入口風量(風速 V_p) ($F_p(i)$) 及入口濃度 (PPMp(i)) 下，在設定之脫附溫度 ($T_d(i)$) 下，可得到最佳化之濃縮倍率 (r ; 吸附側風量: 脫附側風量比值) 以及轉輪轉速 (N)。(適用轉輪厚度 t : 0.2-0.5m)

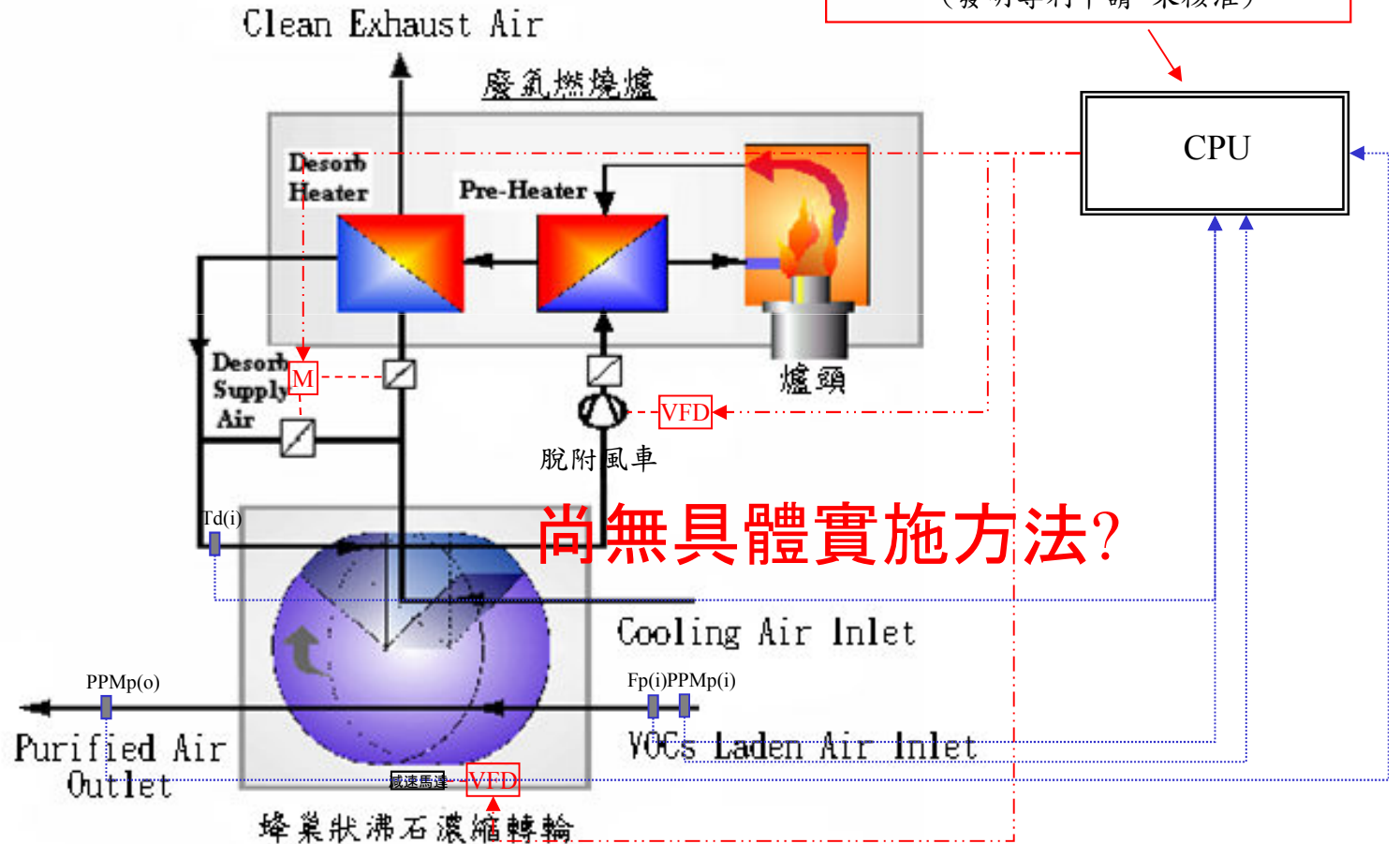
可協助沸石轉輪運轉效能以綜合碳稅概念而達到環保與節能最佳化控制系統配置，並依照各重要操作參數彙整一最佳操作係數關係式，冀以提供裝置沸石轉輪廠家線上自動監測控制，即時提昇效率、節省運作成本以及符合碳稅減量概念之最佳化運轉參考。

交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

$$N \times (t - c^*) \times (r)^a \times \left(\frac{T_d}{473}\right)^b \times C_{adi}^c \times V_p^d = \text{常數}$$

(發明專利申請 未核准)



燃燒爐運轉參數最佳化設計與調整

VOC Destruction Mechanism



More precisely: (where X is any one of halogen atoms (chlorine, fluorine, bromine, iodine))

Operating parameters for 99% Destruction

- Temperature : 700 ~ 850 °C
(300 ~ 350 °C. With Catalyst)
 - Residence time : 0.5 ~ 1 sec
 - Turbulence : $\text{Re} > 10,000$
 - O₂ Concentration : Over 12% at 800°C
- Turn down ratio 有考慮到了嗎?

燃燒爐運轉參數最佳化設計與調整

碳氫化合物破壞效率與燃燒溫度

DRE (%)	Degree Above AIT		Residence Time (s)
	°F	°C	
95%	300	149	0.5
98%	400	204	0.5
99%	475	246	0.75
99.9%	550	288	1.0
99.99%	650	343	2.0



在排放特性(成份)瞭解下，適宜的燃燒溫度設計可兼顧環保及節能之考量！

Autoignition (AIT) Temperatures of Common Organic Compounds

Compound	AIT (°F)	AIT (°C)	Chemical formula
Methane	999	537	CH ₄
Propane	874	468	C ₃ H ₈
Acetone	869	465	CH ₃ COCH ₃
IPA	750	399	(CH ₃) ₂ CHOH
MEK	960	516	C ₂ H ₅ COCH ₃
PGME	455	235	C ₄ H ₁₀ O ₂
PGMEA	715	379	C ₆ H ₁₂ O ₃
MEA	723	384	C ₂ H ₇ ON
DMSO	403	206	C ₂ H ₆ OS
Toluene	997	536	C ₆ H ₅ -CH ₃
Methylene Chloride	1224	662	CH ₂ Cl ₂
Dimethyl Sulfide	430	221	C ₂ H ₆ S

燃燒爐運轉參數最佳化設計與調整

碳氫化合物破壞效率與燃燒溫度之模式

τ 為滯留時間= 0.5 秒

溫度單位: °C

	Formula	Name	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	$T_{99.00(0.5)}$	$T_{99.90}$	$T_{99.99}$
Methane	CH ₄	Methane	1	0	0	0	999	1	0	4.00	0	0	-0.69	828.09	845.33	858.79
Toluene	C ₆ H ₅ -CH ₃	Toluene	7	1	1	0	1026	0	0	1.14	0	0	-0.69	779.81	791.29	800.53
醋酸乙酯 (EAC)	C ₄ H ₈ O ₂	Ethyl Acetate	4	0	0	0	800	2	0	2.00	0	0	-0.69	638.97	651.55	660.96
IPA	C ₃ H ₈ O	Isopropylalcohol	3	0	0	0	750	1	0	2.67	0	0	-0.69	672.80	685.37	694.95
Acetone	CH ₃ COCH ₃	Acetone	3	0	0	0	1000	1	0	2.00	0	0	-0.69	722.64	735.33	744.90
PGMEA	C ₆ H ₁₂ O ₃	2-Ethoxyethyl Acetate	6	0	0	0	715	3	0	2.00	0	0	-0.69	587.19	598.82	607.49
PGME	C ₄ H ₁₀ O ₂	1,2-Dimethoxyethane	4	0	0	0	455	2	0	2.50	0	0	-0.69	550.32	562.28	571.26
MEA	C ₂ H ₇ ON	Monoethanolamine	2	0	0	1	723	1	0	3.50	0	0	-0.69	749.35	768.14	782.42
DMSO	C ₂ H ₆ OS	Dimethyl Sulfoxide	2	0	0	0	403	1	1	3.00	0	0	-0.69	341.78	360.65	375.12
NMP	C ₅ H ₉ NO	N-Methyl-2-Pyrrolidone	5	0	0	1	655	1	0	1.80	0	0	-0.69	630.08	643.19	652.81
HMDS	C ₆ H ₁₅ NHSi ₂	Hexamethyldisilazane	6	0	0	1	646	0	0	3.17	0	0	-0.69	699.28	710.80	719.68

鋰電池業採用大量的純NMP, 適合焚化嗎? NOx? → 還是應該回收較正確? (每公司NMP約 NT\$200 !)

τ 為滯留時間= 1.0 秒

溫度單位: °C

	Formula	Name	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	$T_{99.00(1.0)}$	$T_{99.90}$	$T_{99.99}$
Methane	CH ₄	Methane	1	0	0	0	999	1	0	4.00	0	0	0.00	798.79	816.34	829.84
Toluene	C ₆ H ₅ -CH ₃	Toluene	7	1	1	0	1026	0	0	1.14	0	0	0.00	750.50	762.30	771.58
醋酸乙酯 (EAC)	C ₄ H ₈ O ₂	Ethyl Acetate	4	0	0	0	800	2	0	2.00	0	0	0.00	609.67	622.56	632.00
IPA	C ₃ H ₈ O	Isopropylalcohol	3	0	0	0	750	1	0	2.67	0	0	0.00	643.50	656.37	665.99
Acetone	CH ₃ COCH ₃	Acetone	3	0	0	0	1000	1	0	2.00	0	0	0.00	693.33	706.33	715.94
PGMEA	C ₆ H ₁₂ O ₃	2-Ethoxyethyl Acetate	6	0	0	0	715	3	0	2.00	0	0	0.00	557.88	569.82	578.53
PGME	C ₄ H ₁₀ O ₂	1,2-Dimethoxyethane	4	0	0	0	455	2	0	2.50	0	0	0.00	521.02	533.28	542.30
MEA	C ₂ H ₇ ON	Monoethanolamine	2	0	0	1	723	1	0	3.50	0	0	0.00	720.04	739.15	753.46
DMSO	C ₂ H ₆ OS	Dimethyl Sulfoxide	2	0	0	0	403	1	1	3.00	0	0	0.00	312.48	331.65	346.16
NMP	C ₅ H ₉ NO	N-Methyl-2-Pyrrolidone	5	0	0	1	655	1	0	1.80	0	0	0.00	600.77	614.19	623.85
HMDS	C ₆ H ₁₅ NHSi ₂	Hexamethyldisilazane	6	0	0	1	646	0	0	3.17	0	0	0.00	669.98	681.80	690.72

燃燒爐運轉參數最佳化設計與調整

VOCs oxidation heat release: (example 1 for printing case)

VOC	Formular	Mol. Wt. (kg/kg_mol)	배출량 (kg/hr)	배출농도 (ppmv)	단위 연소열 (kcal/kg)	연소열량 (kcal/hr)	LEL (%)
Toluene	C ₇ H ₈	92	51.5	329	9,823	505,873	1.1
Xylene	C ₈ H ₁₀	106	10.3	57	9,867	101,627	1.1
MEK	C ₄ H ₈ O	72	20.6	168	7,501	154,521	1.8
IPA	C ₃ H ₈ O	60	5.2	50	7,548	38,872	2.0
Ethyl Acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88	15.5	103	5,772	89,177	2.2
Total			103.0	708		890,070	

VOCs oxidation heat release: (example 1 for TFT-LCD case)

Main Chemical Compounds		分子量 M.W.	沸點 (°C)	分子燃燒熱(Kcal/kg)	濃度 (ppmv)	百分比(%)	加權 C 數
Solvents	IPA (C ₃ H ₈ O)	60.00	82	7517	61.24	53.52%	3
	Acetone (C ₃ H ₆ O)	58.08	57	6965	1.65	1.44%	3
Thinners	PGMEA (C ₆ H ₁₂ O ₃)	131.00	146	5931	12.81	11.20%	6
	PGME (C ₄ H ₁₀ O ₂)	90.00	120	6611	27.07	23.66%	4
	Toluene (C ₇ H ₈)	92.14	111	9681	0.52	0.45%	7
	Acetic acid (C ₂ H ₄ O ₂)	60.05	118	3136	2.18	1.91%	2
	Cyclohexanone (C ₆ H ₁₀ O)	98.00	155	8020	3.67	3.21%	6
Strippers	MEA (C ₂ H ₇ NO)	61.00	171	4821	0.00	0.00%	2
	DMSO (C ₂ H ₆ OS)	73.09	189	6823	0.00	0.00%	2
Others	Benzene, methoxy- (C ₇ H ₈ O)	108.14	154	9681	5.27	4.61%	7
Silicides	三甲基矽醇(C ₃ H ₉ OSi)-HMDS衍生物及其他	90.00	~30	8857	0.01	0.01%	3
	平均 (Average)	77.46		6798	114.43	100.00%	3.59

Total Vocs Emit Rate (kgs/hr): 32.70

Total VOC heat: 222299

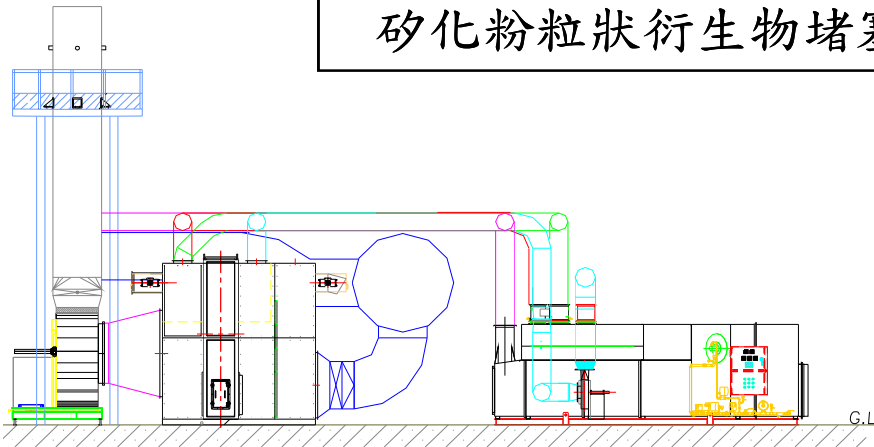
氮氮類(MEA)與含硫化合物 (DMSO;DMS) → 適合焚化嗎? NO_x ? SO_x?

VOCs Treatment Technology

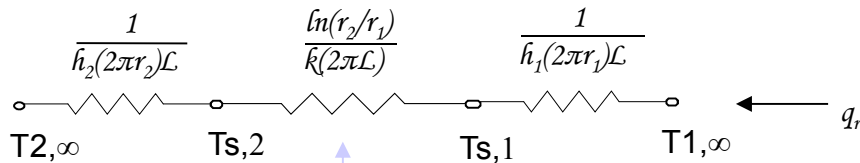
半導體晶圓廠及光電業TFT-LCD廠 常見VOC處理系統

轉輪濃縮器 + 燃燒爐

矽化粉粒狀衍生物堵塞直燃式焚化爐之熱回收熱交換器



SiO₂ powder將影響熱交換器之熱回收傳效率



$$q_r = -kA(dT/dr)$$

$$q_r \equiv UA \Delta T = \Delta T / (1/UA)$$

$$q_r = (T_{1,\infty} - T_{2,\infty}) / \sum R_t$$

SiO₂ fouling thickness effect:

tsio₂=0.1mm → U value 95% (5%↓)

tsio₂=0.5mm → U value 77% (23%↓)

tsio₂=1.0mm → U value 63% (37%↓)



熱交換單元之熱回收效率定義

熱交換器的有效性定義

因此最大可能熱傳遞表示為

$$q_{\max} = (\dot{m}c)_{\min} (T_{h\text{入口}} - T_{c\text{入口}}) \quad (10-16)$$

最小 $\dot{m}c$ 之流體可能是熱流體或冷流體，視質量流率與比熱而定，對平行流熱交換器：

$$\epsilon_h = \frac{\dot{m}_h c_h (T_{h1} - T_{h2})}{\dot{m}_h c_h (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c1}} \quad (10-17)$$

有效性符號之下標，表具有最小 $\dot{m}c$ 值之流體，對反向流熱交換器：

$$\epsilon_h = \frac{\dot{m}_h c_h (T_{h1} - T_{h2})}{\dot{m}_h c_h (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad (10-19)$$

$$\epsilon_c = \frac{\dot{m}_c c_c (T_{c1} - T_{c2})}{\dot{m}_c c_c (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad (10-20)$$

通常將有效性表示為

$$\epsilon = \frac{\Delta T (\text{最小值流體})}{\text{熱交換器內的最大溫差}} \quad (10-21)$$

※一般通稱為熱交換效率 TE

VOCs Treatment Technology

半導體晶圓廠及光電業TFT-LCD廠 常見VOC處理系統

轉輪濃縮器 + 燃燒爐

矽化粉粒狀衍生物堵塞蓄熱式焚化爐之熱回收蓄熱材

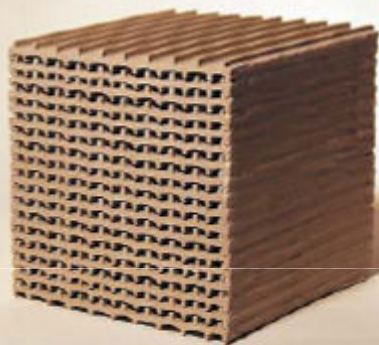
※ Silica powder – the form similar to fluff & silk



蓄熱式焚化爐爐熱回收效能提升

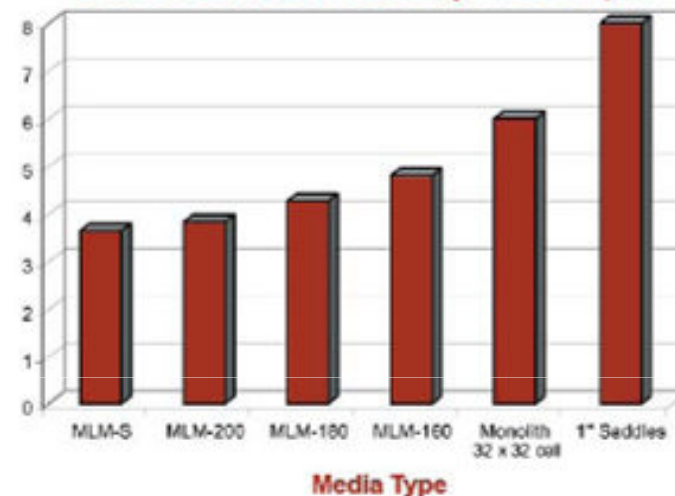
蓄熱材 更換 → 高TRE、低壓損、不易堵塞蓄熱材

Multi-Layer Media®



US Patent #6,071,593
Worldwide Patents Pending

Media Depth Required to Achieve 95% RTO Heat Recovery at 200 fpm



交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

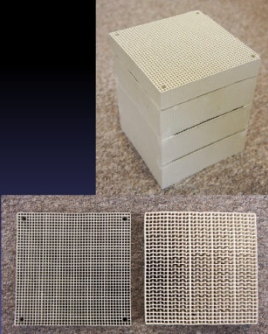
蓄熱式焚化爐爐熱回收效能提升

蓄熱材 更換 → 高TE、低壓損、不易堵塞蓄熱材

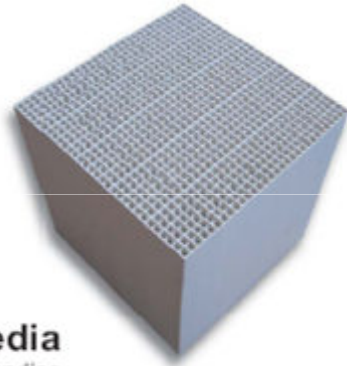
Introducing Lantec Segmented Media!

- 'Multi-Segmented Media'
- Segmented HoneyComb™
- Segmented LCH™

Isolated or Interconnected channels



The RTO Revolution has begun



LanteComb
New Heat Recovery Media
Worldwide Patents Pending

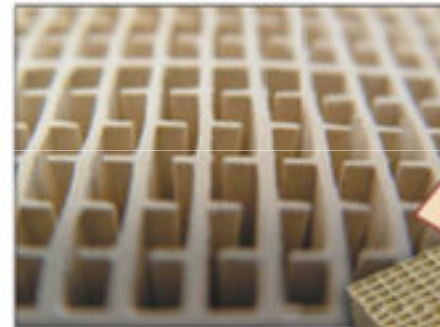
HEAT RECOVERY improvement

when using LanteComb in RTO Retrofits

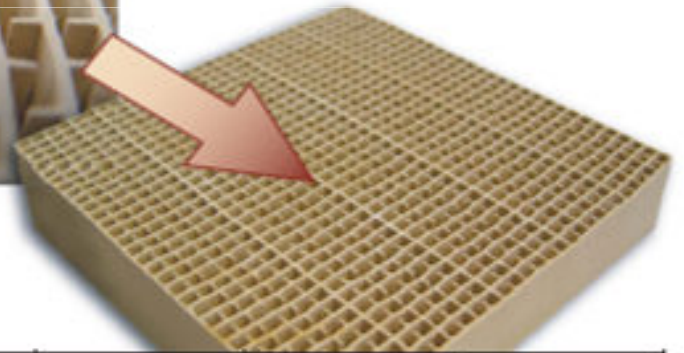
Replacing media with **LanteComb** will produce up to 3-8% rise in TER, leading to significant annual and user fuel cost savings*:

Achieving your heat recovery target:

Worldwide Patents Pending



LESS is more!



Examples for 95% TER (with fuel gas injection)

Superficial Velocity	150 scfm/ft ²	200 scfm/ft ²	300 scfm/ft ²	350 scfm/ft ²
40 Cell Media Depth	4 ft	4.2 ft	4.6 ft	4.7 ft
Pressure Drop	3.8 in-wc	5.7 in-wc	10.3 in-wc	12.7 in-wc
LanteComb Media Depth	2.1 ft	2.2 ft	2.4 ft	2.5 ft
Pressure Drop	2.3 in-wc	3.5 in-wc	6.2 in-wc	7.8 in-wc

VOCs Treatment Technology

沸石轉輪+焚化爐 廢熱回收

實績案例:

雙沸石轉輪搭配2T-RTO及廢熱蒸汽鍋爐

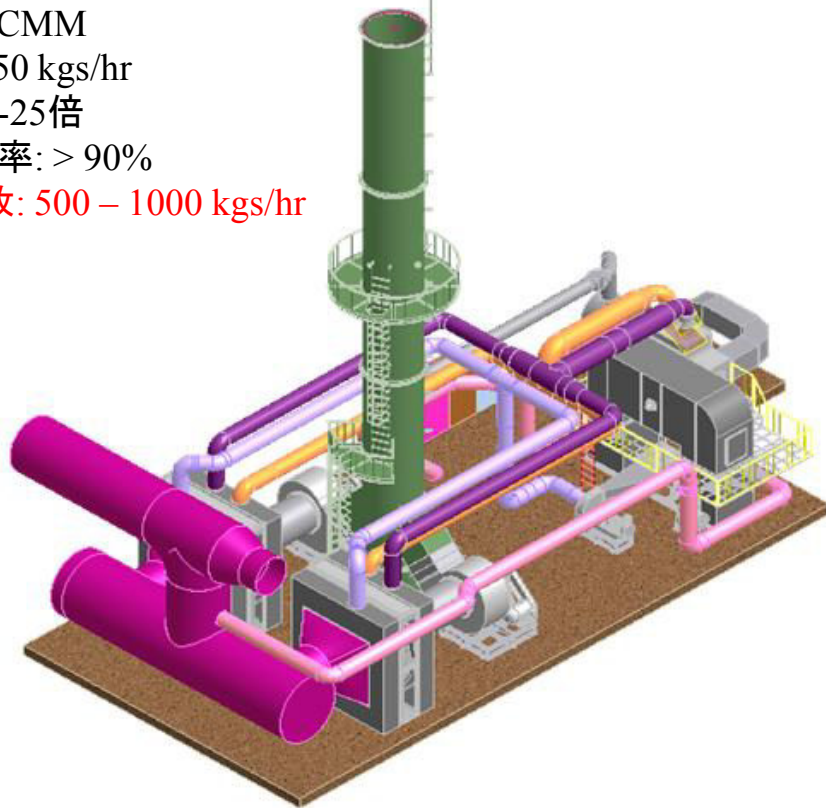
風量: 3000 NCMM

VOCs: 100-250 kgs/hr

濃縮倍率: 20-25倍

VOCs處理效率: > 90%

廢熱蒸汽回收: 500 – 1000 kgs/hr



交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

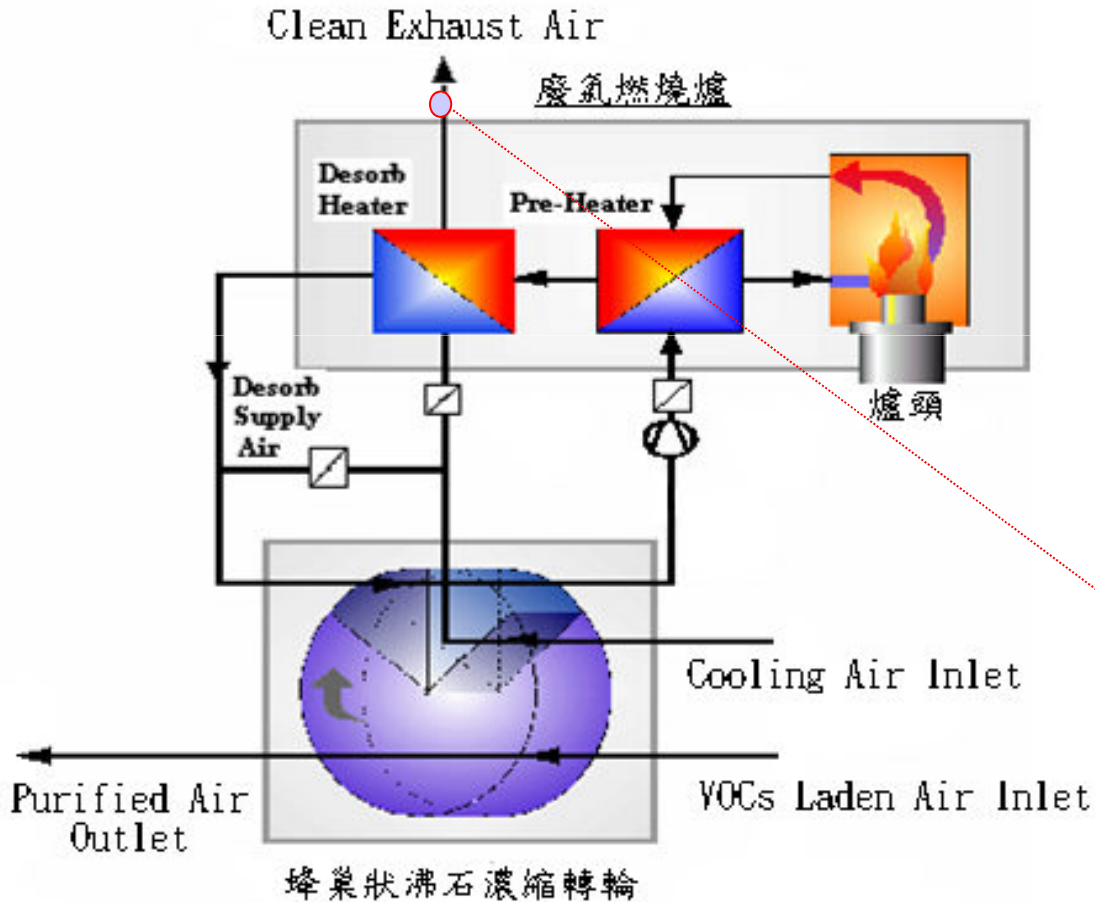
fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

燃燒爐熱回收效能提升及第三熱回收熱交換節能裝置

燃燒爐熱回收效能提升及第三熱回收熱交換節能裝置

T0 爐尾氣 熱回收 → 熱水



1. 設計基礎

脫附風車入口廢氣風量：6923 ACMH (6343NCMH)

燃燒機出口小煙囪廢氣風溫：248 °C

希望加熱水溫：60°C 提昇至65°C

2. 計算結果

目標假設可將鍋爐水提昇5°C

燃燒機廢熱提供之熱能：

$$6343 \text{ m}^3/\text{hr} * (248 - 150) * 0.25 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C} * 1.293 \text{ kg}/\text{m}^3 = 200,937 \text{ kcal}/\text{hr} (234 \text{ kw})$$

以此熱能將鍋爐熱水再提昇5°C：

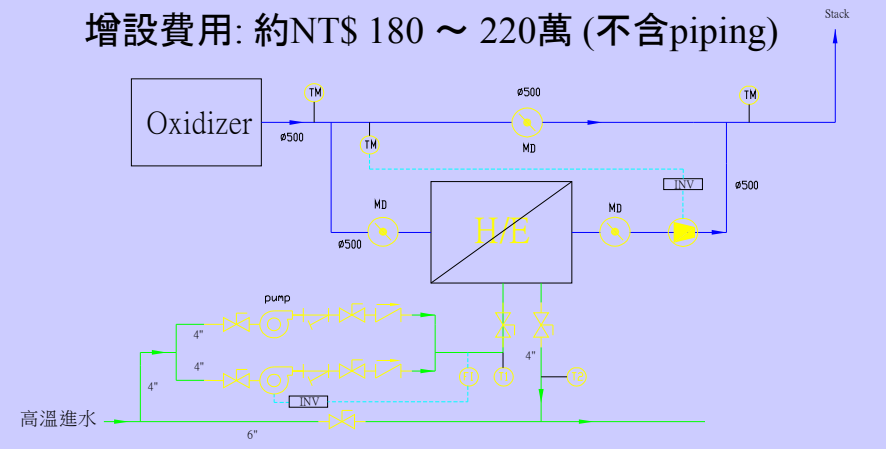
$$X * (65 - 60) * 1 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C} * 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 200,937 \text{ kcal}/\text{hr}$$

$$X = 40.18 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$= 40,187 \text{ Liters}/\text{hr}$$

預估增加脫附風車馬力約 2.6 hp for 2.5"WG↑

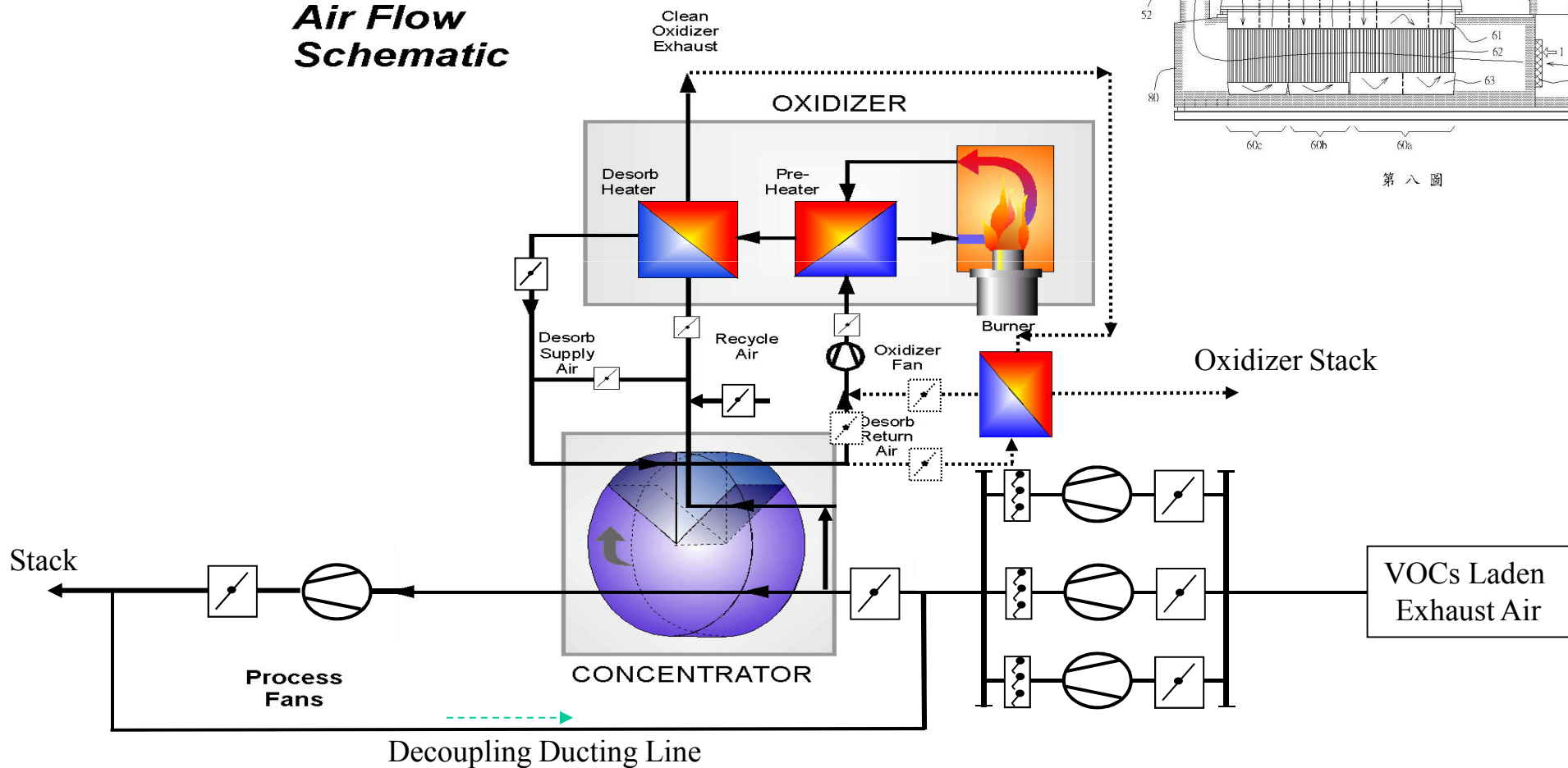
增設費用: 約NT\$ 180 ~ 220萬 (不含piping)



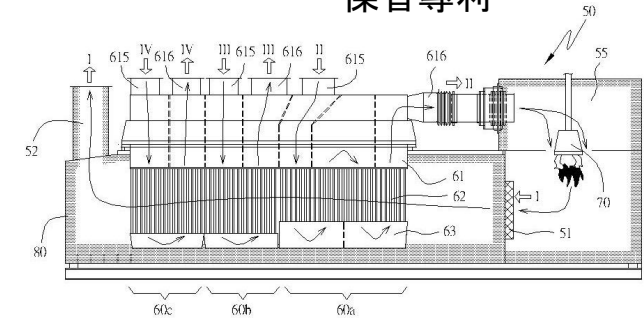
燃燒爐熱回收效能提升及第三熱回收熱交換節能裝置

轉輪濃縮器 + TO 燃燒爐

Air Flow Schematic



傑智專利

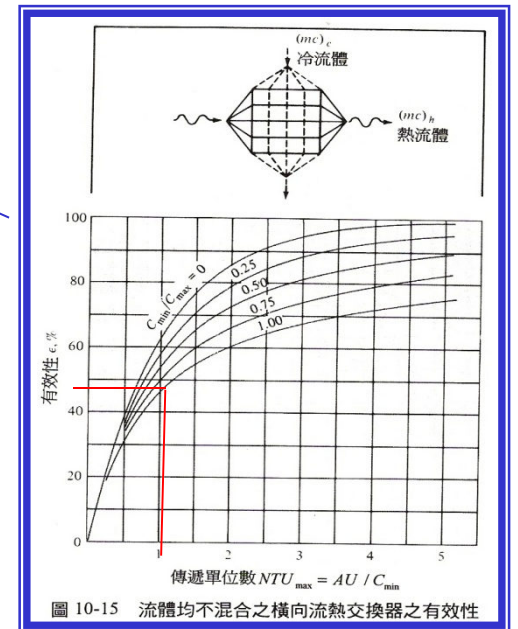
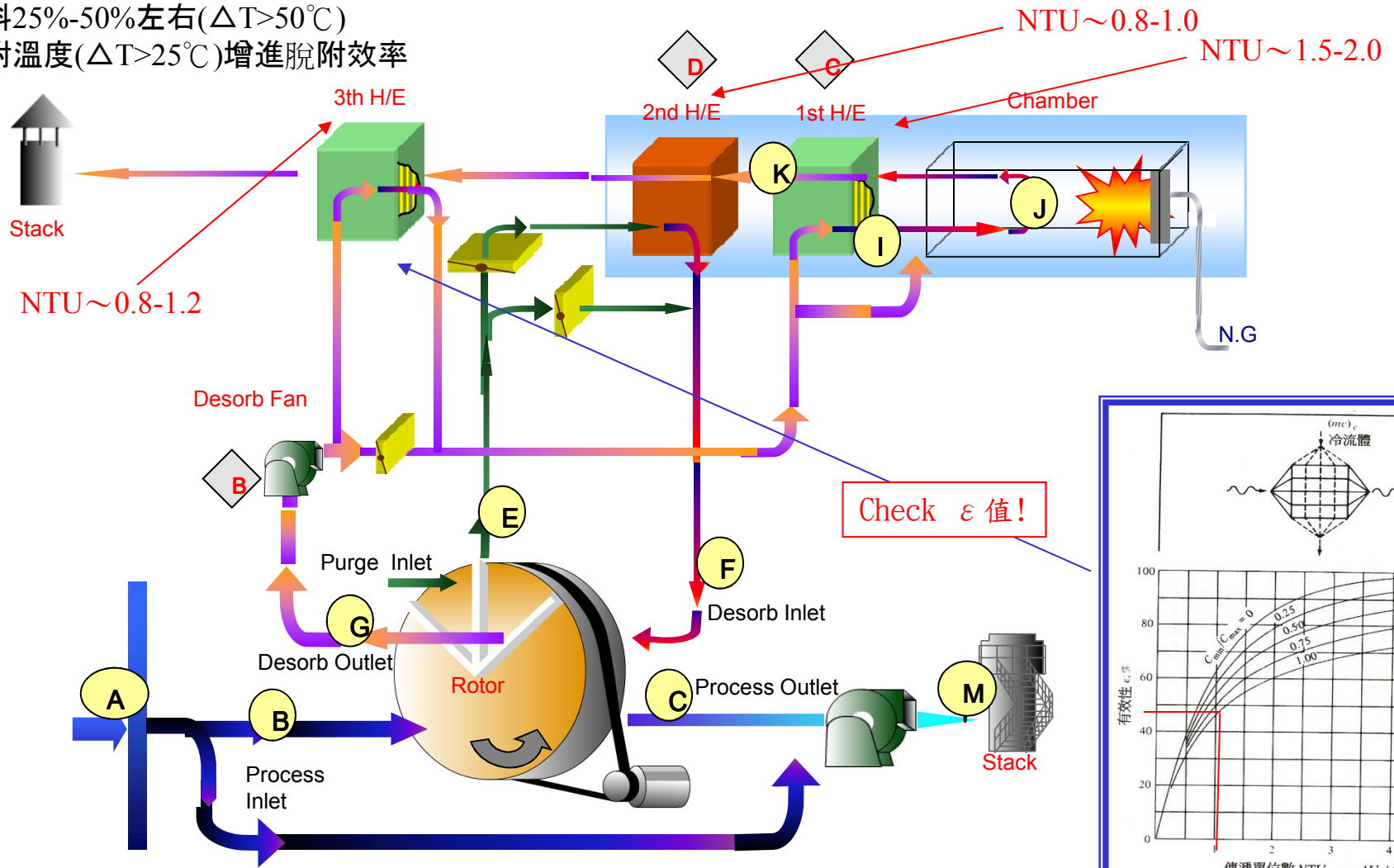


第八圖

燃燒爐熱回收效能提升及第三熱回收熱交換節能裝置

燃燒爐熱回收效能提升及第三熱回收熱交換節能裝置

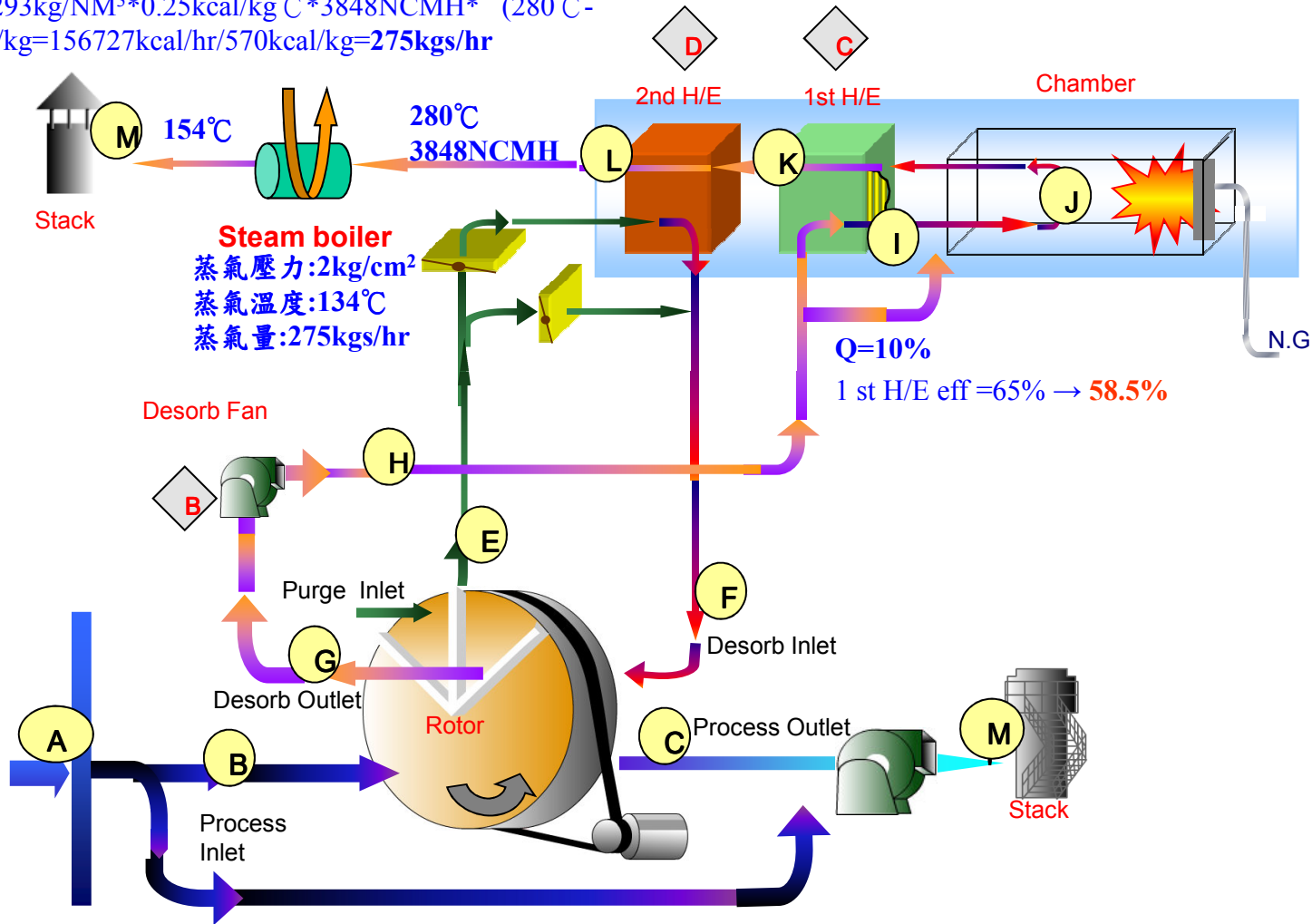
- 可節省燃料25%-50%左右($\Delta T > 50^\circ\text{C}$)
- 可提升脫附溫度($\Delta T > 25^\circ\text{C}$)增進脫附效率



燃燒爐第三熱回收熱交換節能裝置

恢復式燃燒爐 委氣熱回收節能裝置(廢熱蒸汽鍋爐)

產生蒸氣量=1.293kg/NM³*0.25kcal/kg°C*3848NCMH* (280°C-154°C) /570kcal/kg=156727kcal/hr/570kcal/kg=275kgs/hr



燃燒爐第三熱回收熱交換節能裝置

恢復式燃燒爐 委氣熱回收節能裝置(廢熱蒸汽鍋爐)

Table 3 Thermodynamic Properties of Water at Saturation (Continued)

Temp., °C <i>t</i>	Absolute Pressure, kPa <i>p</i>	Specific Volume, m ³ /kg (water)			Specific Enthalpy, kJ/kg (water)			Specific Entropy, kJ/(kg·K) (water)			Temp., °C <i>t</i>
		Sat. Liquid <i>v_f</i>	Evap. <i>v_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>v_g</i>	Sat. Liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>h_g</i>	Sat. Liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>s_g</i>	
100	101.419	0.001044	1.6708	1.6718	419.16	2256.28	2675.44	1.3072	6.0464	7.3536	100
101	105.092	0.001044	1.6161	1.6171	423.38	2253.64	2677.02	1.3185	6.0232	7.3416	101
102	108.875	0.001045	1.5635	1.5645	427.60	2250.99	2678.58	1.3297	6.0000	7.3298	102
103	112.770	0.001046	1.5129	1.5139	431.82	2248.33	2680.15	1.3410	5.9770	7.3180	103
104	116.779	0.001047	1.4642	1.4652	436.04	2245.66	2681.71	1.3522	5.9541	7.3062	104
105	120.906	0.001047	1.4174	1.4184	440.27	2242.99	2683.26	1.3634	5.9313	7.2946	105
106	125.152	0.001048	1.3723	1.3734	444.49	2240.31	2684.80	1.3745	5.9086	7.2830	106
107	129.520	0.001049	1.3290	1.3300	448.72	2237.63	2686.33	1.3856	5.8860	7.2716	107
108	134.012	0.001050	1.2872	1.2883	452.95	2234.93	2687.88	1.3967	5.8635	7.2601	108
109	138.633	0.001051	1.2470	1.2481	457.18	2232.23	2689.41	1.4078	5.8410	7.2488	109
110	143.384	0.001052	1.2083	1.2093	461.41	2229.52	2690.93	1.4188	5.8187	7.2375	110
111	148.267	0.001052	1.1710	1.1720	465.64	2226.81	2692.45	1.4298	5.7965	7.2263	111
112	153.287	0.001053	1.1350	1.1361	469.88	2224.09	2693.96	1.4408	5.7744	7.2152	112
113	158.445	0.001054	1.1004	1.1015	474.11	2221.35	2695.47	1.4518	5.7524	7.2042	113
114	163.745	0.001055	1.0670	1.0681	478.35	2218.62	2696.97	1.4627	5.7304	7.1931	114
115	169.190	0.001056	1.0348	1.0359	482.59	2215.87	2698.46	1.4737	5.7086	7.1822	115
116	174.782	0.001057	1.0038	1.0048	486.83	2213.12	2699.95	1.4846	5.6868	7.1714	116
117	180.525	0.001058	0.9739	0.9749	491.07	2210.35	2701.43	1.4954	5.6652	7.1606	117
118	186.420	0.001059	0.9450	0.9460	495.32	2207.58	2702.90	1.5063	5.6436	7.1499	118
119	192.473	0.001059	0.9171	0.9182	499.56	2204.80	2704.37	1.5171	5.6221	7.1392	119
120	198.685	0.001060	0.8902	0.8913	503.81	2202.02	2705.83	1.5279	5.6007	7.1286	120
122	211.601	0.001062	0.8391	0.8402	512.31	2196.42	2706.73	1.5494	5.5582	7.1076	122
124	225.194	0.001064	0.7916	0.7927	520.82	2190.78	2711.60	1.5709	5.5160	7.0869	124
126	239.490	0.001066	0.7472	0.7483	529.33	2185.11	2714.44	1.5922	5.4742	7.0664	126
128	254.515	0.001068	0.7057	0.7068	537.86	2179.40	2717.26	1.6135	5.4326	7.0461	128
130	270.298	0.001070	0.6670	0.6681	546.39	2173.66	2720.05	1.6347	5.3914	7.0261	130
132	286.866	0.001072	0.6308	0.6318	554.93	2167.87	2722.80	1.6557	5.3505	7.0063	132
134	304.247	0.001074	0.5969	0.5979	563.48	2162.05	2725.53	1.6767	5.3099	6.9867	134
136	322.470	0.001076	0.5651	0.5662	572.04	2156.18	2728.22	1.6977	5.2697	6.9673	136

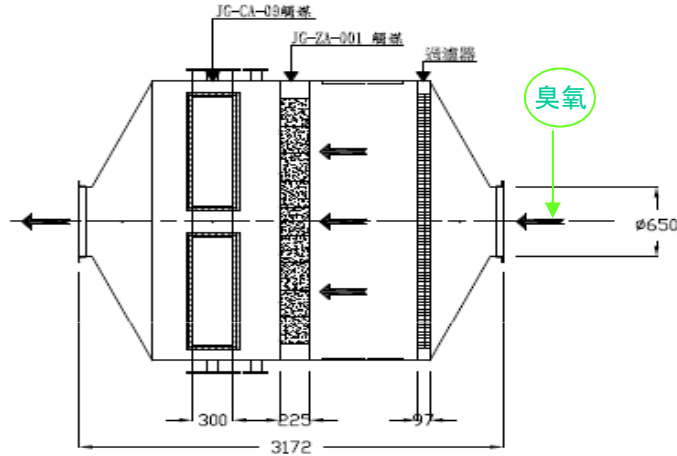
低濃度有機廢氣處理

高中低濃度有機廢氣分別分流處理

適合於低濃度有機排 --例如:

1. 機台週邊排氣
2. 實驗室短暫性排氣
3. 短暫性清洗機台

某光阻製造廠



最大處理風量：9000NCMH

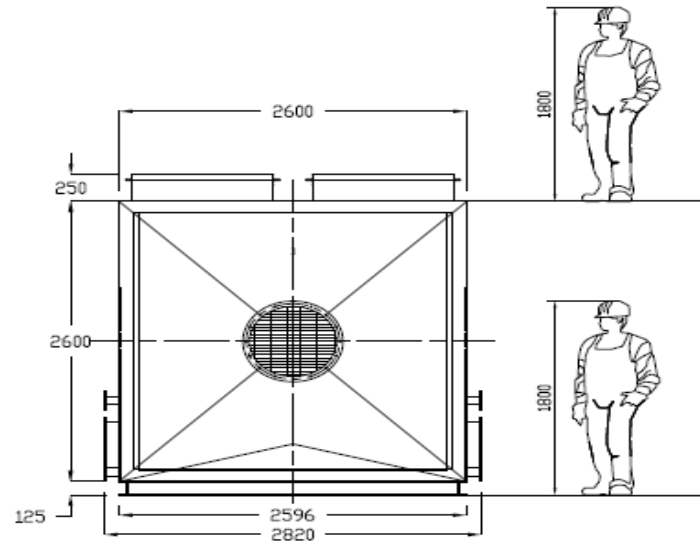
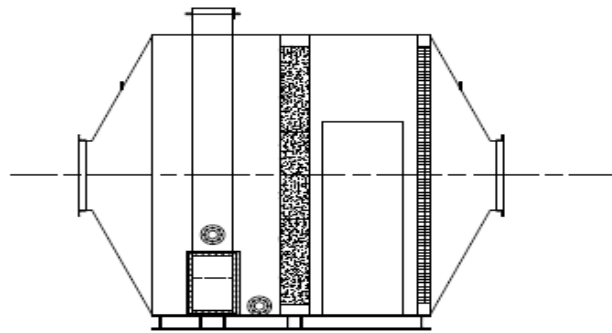
VOCs 濃度：0 ~ 30 ppmv as CH₄

需要業主提供之需求		提供至設備本體附近
電力需求	ϕ 3.4W 220V 60Hz 75A	
供水需求	size: 1" 壓力: 2~3kg/cm ²	
排水需求	size: 3"	
供乾燥空氣需求	size: 3/4" 壓力: 7kg/cm ²	

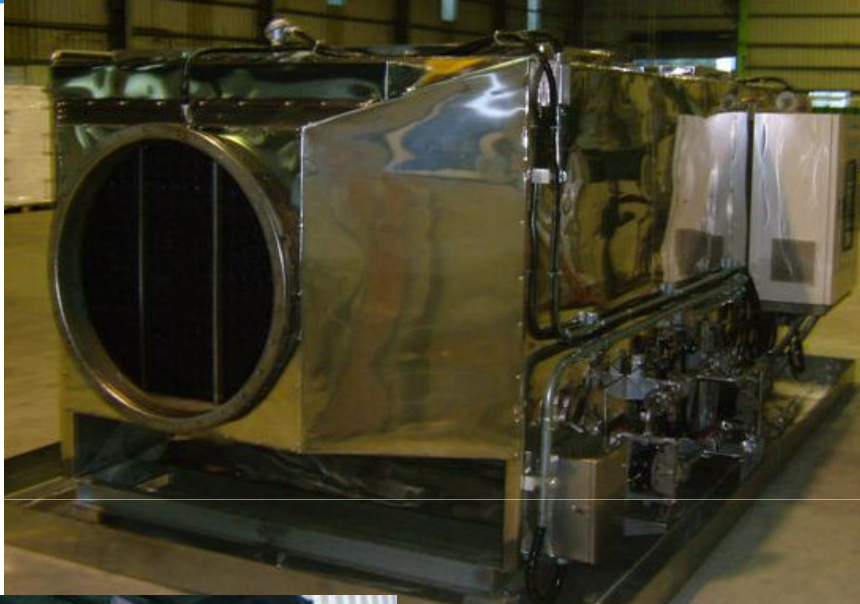
VOCs 處理效率 > 95%
 所需臭氧量: 150 g/hr
 臭氧產生總耗電: 0~2.25kw
 (臭氧產生單位耗電: 15w/g O₃)

何者省能?

※若採用 RTO 焚化法所需瓦斯耗能為:
 13.6 Nm³/hr



高沸點VOCs(特別是MEA聚合物)回收預處理



傑智 發明專利I314472 高效能冷凝吸收與高級氧化觸媒技術處理有機廢氣之淨化裝置與方法

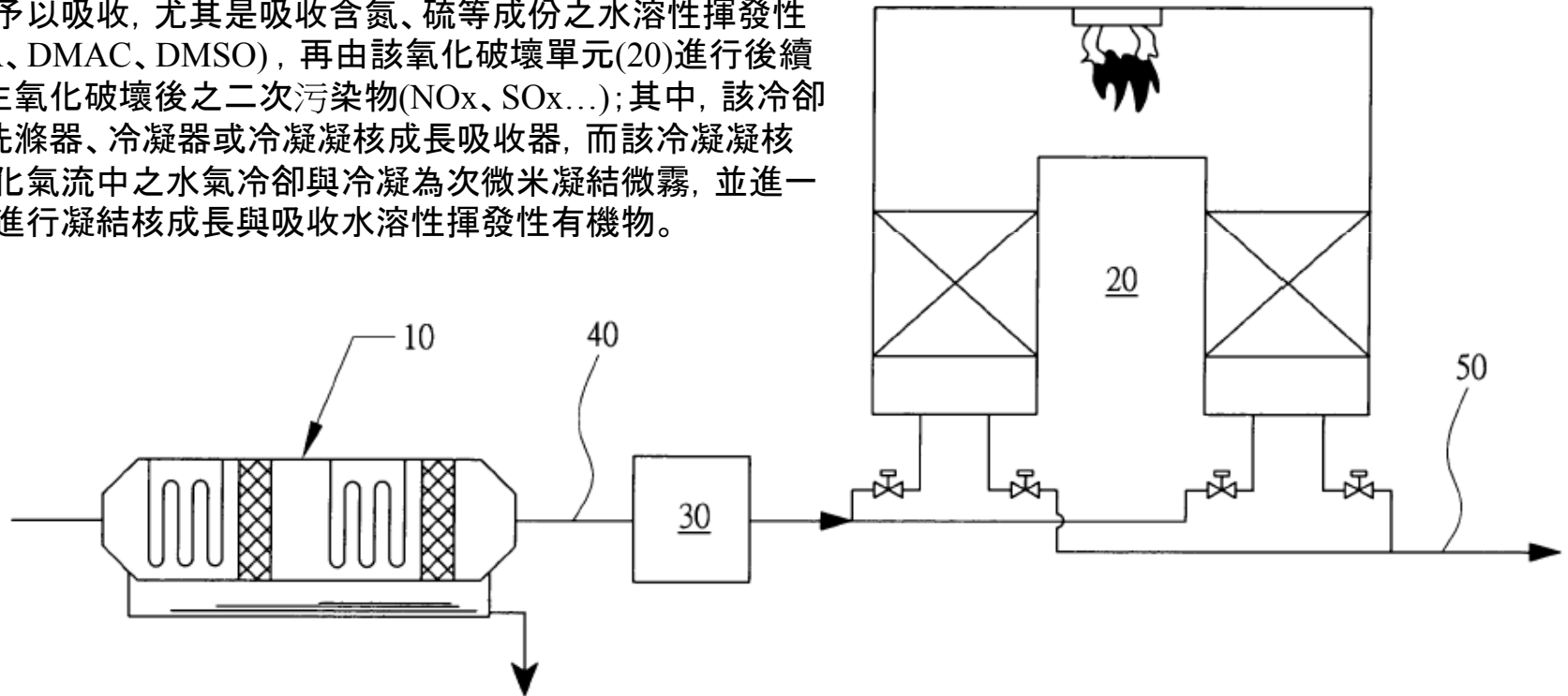
交通大學工學院兼任助理教授 張豐堂

fengtang-chang@jgok.net 0933147075 <http://www.jgok.net>

本人準備本講義時已盡力確認遵守著作權法相關規定,同時聲明本資料僅供教學或研討會技術討論用途,其智慧財產權非經原資料作者書面許可,不准複印,印製或轉變為其他商業形式使用

高沸點VOCs(特別是MEA聚合物)回收預處理

包括有：一氧化破壞單元(20)，連結有待淨化氣流輸入管(40)與淨化氣流輸出管(50)；以及一冷卻吸收單元(10)，設置於該待淨化氣流輸入管(40)而位於該氧化破壞單元(20)之上游；藉此，先利用該冷卻吸收單元(10)將待淨化氣流中水溶性揮發性有機物予以吸收，尤其是吸收含氮、硫等成份之水溶性揮發性有機物(如DMF、MEA、DMAC、DMSO)，再由該氧化破壞單元(20)進行後續之淨化處理，避免產生氧化破壞後之二次污染物(NO_x 、 SO_x ...)；其中，該冷卻吸收單元(10)為降溫洗滌器、冷凝器或冷凝凝核成長吸收器，而該冷凝凝核成長吸收器係將待淨化氣流中之水氣冷卻與冷凝為次微米凝結微霧，並進一步藉由該次微米微霧進行凝結核成長與吸收水溶性揮發性有機物。



傑智 發明專利 I423842 處理含水溶性揮發性有機物之淨化系統及方法

傑智 發明專利 I314472 高效能冷凝吸收與高級氧化觸媒技術處理有機廢氣之淨化裝置與方法

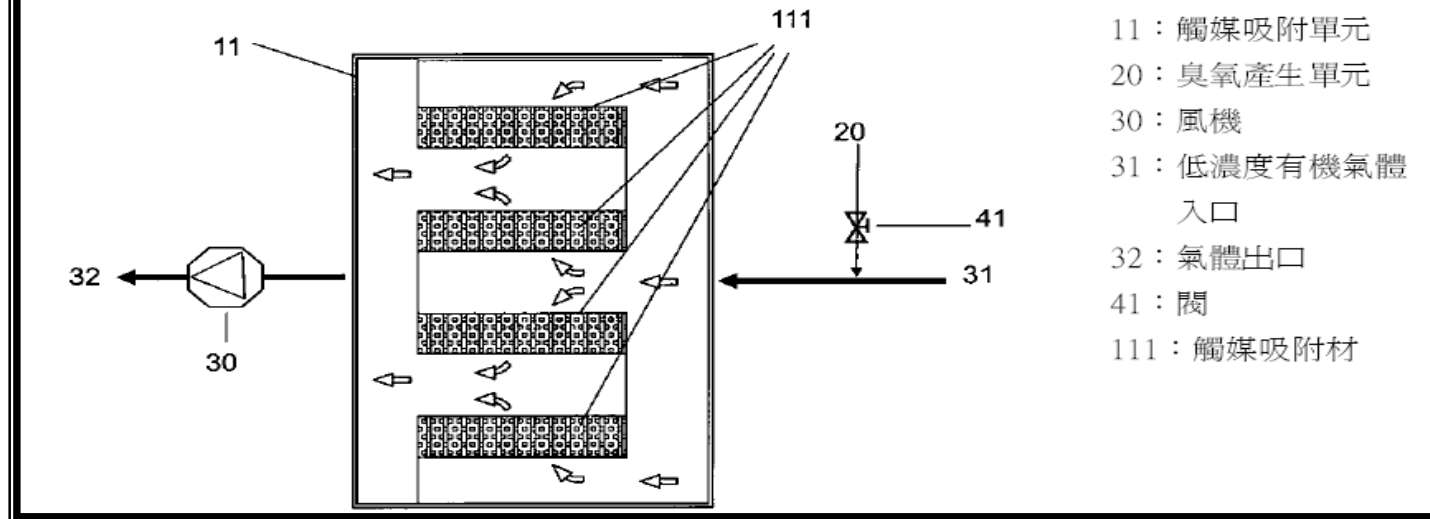
VOCs Treatment Technology

低濃度有機廢氣高效能常溫臭氧觸媒淨化

低濃度有機化合物之氣體淨化方法 (傑智環境發明專利I402100 & I361719 & M428794)

【57】發明摘要

本發明揭示一種用以處理低濃度有機化合物之氣體淨化方法，特別是關於一種針對包含以下惡臭化合物：如二甲基硫(DMS)、二甲基二硫(DMDS)、硫化氫(H₂S)等硫化物及甲醛、醋酸、異丙醇、丙酮等惡臭化合物之氣體淨化方法。該方法係包含：至少一個觸媒吸附單元，其以並聯及/或串聯設置；及/或一臭氧產生單元，其可提供臭氧於該觸媒吸附單元，作為加強觸媒吸附功能、低溫氧化還原或分解反應成較易處理或無害的成份，以大幅提升觸媒吸附材的處理效率及使用壽命之用。



Thank You!

謝謝!!

