

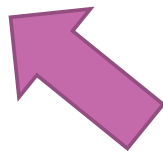
空氣污染防治及減量技術

沈克鵬

工研院綠能所環境與安全技術組

內容大綱

- 氮氧化物控制技術
- 硫氧化物控制技術
- PM 2.5(粒狀物)控制技術
- VOCs控制技術



污染物之成因
控制技術原理
案例簡介說明

氮氧化物(NO_x)--生成機制

□ 主要來自化石燃料的燃燒，其中NO > 90%

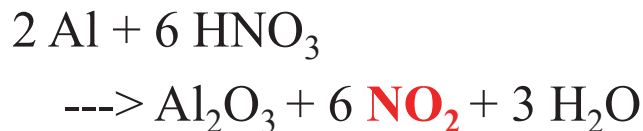
— 燃燒過程中NO_x的生成機制可分成：

✓ 熱式(thermal) NO_x：空氣中的氮在高溫下被氧化生成的NO_x，生成量與火焰結構和溫度有關。溫度越高，燃燒區氧氣的濃度越大，NO_x的生成量越大。

✓ 燃料型(fuel) NO_x：燃料中氮化物被氧化生成的NO_x。

✓ 瞬式(prompt) NO_x：

□ 少量來自金屬表面酸洗程序(使用硝酸)，主要為NO₂(黃褐色氣體)，例如



Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

DeNO_x技術--燃燒技術改進

□ 燃燒過程NO_x產生之關鍵因素

a. 溫度；b. 過剩空氣；c. 煙氣停留時間；d. 熱負荷。

□ 控制燃燒條件

如控制燃燒溫度、控制燃料和空氣的混合速度與時機等

□ 主要技術

- 低過量空氣法
- 分段燃燒法
- 排氣循環法
- 濃淡燃燒法
- 水或蒸汽注入法

DeNOx技術--乾式脫硝

- 主要為選擇性觸媒還原技術(SCR)、選擇性非觸媒還原技術(SNCR)、SNCR/SCR混合法等

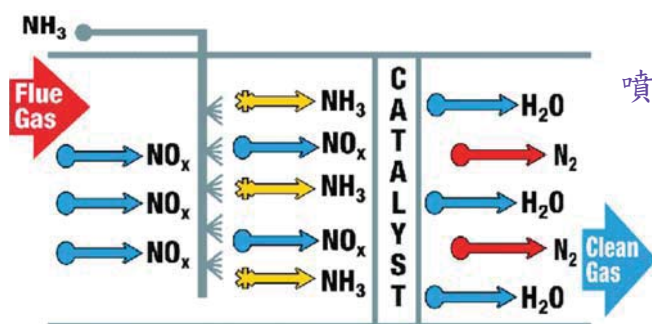


5

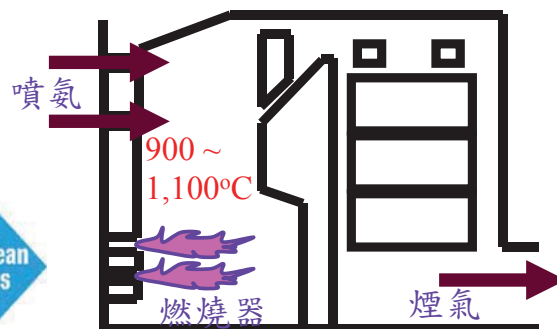
Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

DeNOx技術--SCR/SNCR

- SCR--觸媒的作用下，還原劑(NH_3)將煙氣中的 NO_x 還原為氮氣和水，反應溫度約在 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 之間，脫硝效率可達80~90%！
- SNCR--在高溫煙氣中噴射氨或尿素等還原劑與 NO_x 反應，將其轉化成氮氣及水，反應溫度在 $900 \sim 1,100^\circ\text{C}$ 之間，脫硝效率約25~40%！



SCR示意圖



SNCR示意圖

6

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

氮氧化物可行控制技術分析

廢氣溫度	室溫(<40℃)	中溫(200-400℃)	高溫(800-1000℃)
適合技術	洗滌技術	SCR技術	SNCR技術
處理效率	• 60 ~ 90%	• 60 ~ 90%	• 25 ~ 40%
藥劑需求	• 氧化劑 • 還原劑	• 還原劑	• 還原劑
	• 用量與濃度/去除效率有關		
共存之 其他酸性氣體	• 可同時去除	• 可能毒化觸媒 • 可能腐蝕設備	• 可能腐蝕設備
影響效能因素	• 洗滌藥劑配方	• 觸媒配方 • 還原劑噴注 • 溫度控制	• 還原劑噴注 • 溫度控制

7

硫氧化物(SO_x)--生成機制

- 任何含硫的燃料(物質)燃燒時會形成兩種硫氧化物--SO₂和SO₃。
- 其餘的硫氧化物排放，主要來自工業的燃料燃燒和工業製程(石油煉製、H₂SO₄生產和非鐵有色金屬的冶煉)。

8

硫氧化物(SO_x)控制技術

□ 控制SO_x排放的兩種基本方法：

- (1) 在燃料燃燒前，先將硫從燃料中去除，或是
- (2) 從排放之廢氣中除去SO_x。

□ 煙氣脫硫(flue gas desulfurization, FGD)

通常應用於SO₂濃度較稀薄(約2,000ppm)的氣流。

□ FGD可分類為：

- (1) 一次性(throwaway)或再生型(regenerative)；
- (2) 濕式或乾式。

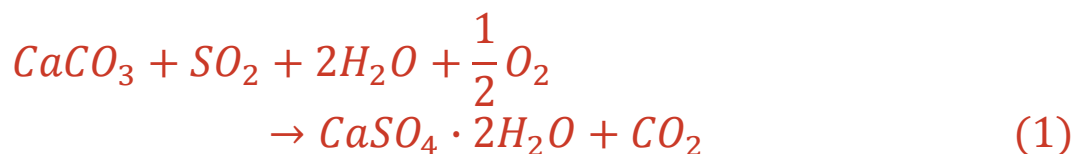
如果移除的硫是被丟棄的，屬於一次性(throwaway)程序。
如果硫以可使用的形式回收，可視為再生程序。

9

硫氧化物(SO_x)控制技術

□ 常見排煙脫硫吸收劑—鈣基、鎂基或鈉基

✓ 鈣基：石灰石(CaCO₃)/石灰(CaO)



✓ 鎂基：氫氧化鎂/氧化鎂



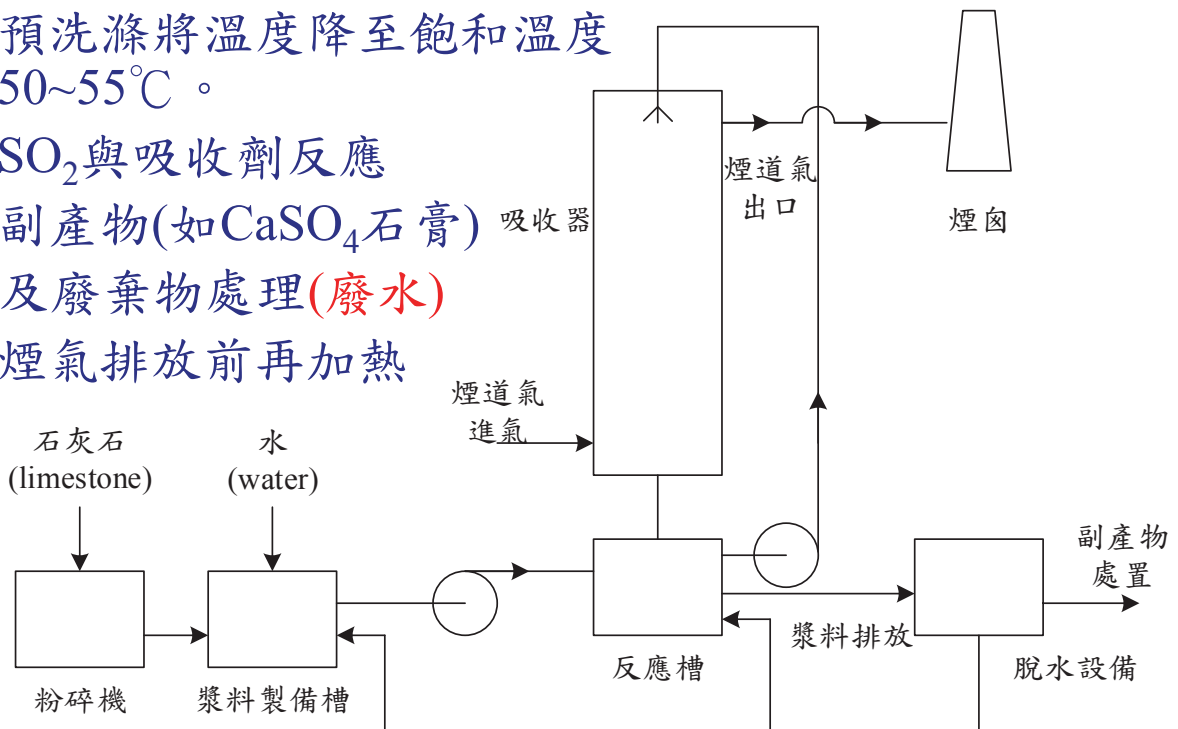
✓ 鈉基：液鹼除硫法



10

濕式排煙脫硫(FGD)示意圖

- 煙氣冷卻與洗滌
- 預洗滌將溫度降至飽和溫度 50~55°C。
- SO₂與吸收劑反應
- 副產物(如CaSO₄石膏)及廢棄物處理(廢水)
- 煙氣排放前再加熱



Srivastava, R. K. "Controlling SO₂ emissions: a review of technologies", EPA/600/R-00/093, USEPA, 2000. Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

11

影響排煙脫硫效率之因素

□ 吸收塔型式

- ✓ 噴霧塔：噴嘴層數及配置密度
- ✓ 篩板塔：篩板開孔率及層數
- ✓ 填充塔：填料種類與填充高度

□ 吸收液量與煙氣量比(L/G)

- ✓ L/G(L/m³)會影響吸收效率
 - 噴霧塔之 L/G 約 8~12
 - 篩板塔之 L/G 約 2~6
 - 填充塔之 L/G 約 2~6



12

影響排煙脫硫效率之因素

□ 吸收液 pH 值之控制

- ✓ 吸收劑為鹼性
- ✓ 需易溶解於酸性洗滌液，始能吸收 SO_2 ，理想之吸收液 pH 值：
 - 石灰石，因較不易解離，為 5.0 ~ 6.0。
 - 氫氧化鎂，較石灰石易解離，為 6.0 ~ 7.0。
 - 氫氧化鈉及碳酸鈉，易解離，亦為 6.0 ~ 7.0。

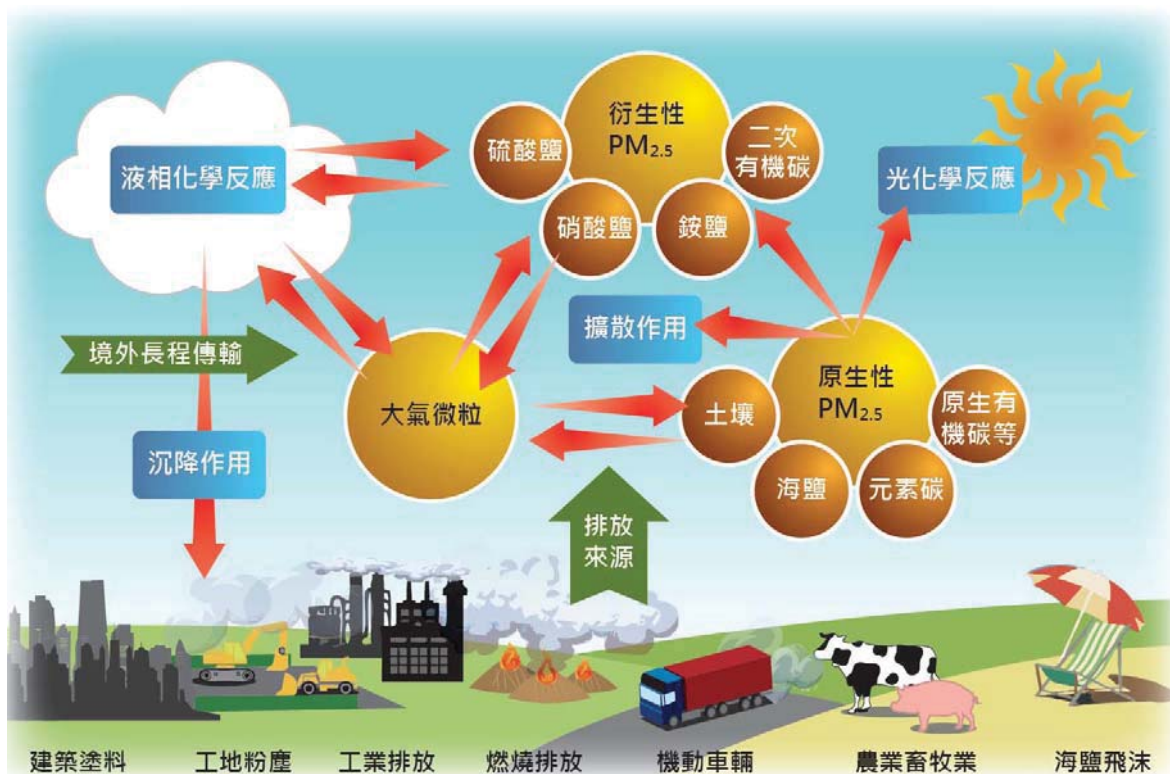
□ SO_2 的濃度

- ✓ 進氣濃度越高，效率越佳，但尾氣濃度可能仍偏高！

13

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

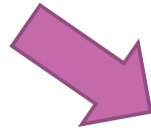
PM 2.5 (粒狀污染物)--生成機制



14

PM 2.5 (粒狀污染物)控制技術

- 旋風集塵器
- 濕式洗滌器(Venturi Scrubber, 文氏洗滌塔)
- 袋式集塵器(Fabric filter or baghouse)
- 靜電集塵器(Electrostatic precipitator)

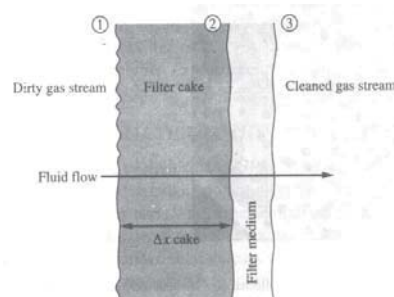
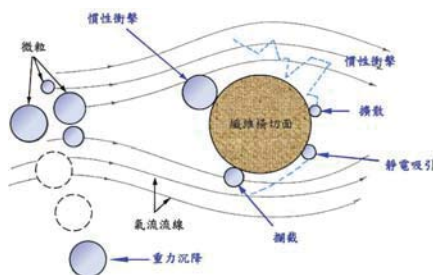


對細懸浮微粒(PM2.5或更小粒徑)去除效率較佳

15

袋式集塵器(baghouse)

- 含粉塵微粒氣流通過濾袋孔隙時，微粒會因攔截、慣性碰撞和擴散等作用而被捕集於濾袋表面！
 - 微粒“聚集”於織物纖維孔洞之四周，使孔洞逐漸縮小並形成一層濾餅，濾餅過濾為袋式集塵最主要之微粒收集機制



- 濾布表面上聚集之微粒需定期以物理方式(如，機械震盪、抖動)去除，以避免濾布壓損過大而降低氣體處理量！

16

袋式集塵器(baghouse)

使用時機：

- ✓ 要求高效率集塵
- ✓ 粉塵具回收效益
- ✓ 粉塵不具黏著性
- ✓ 廢氣溫度可降至 $< 200^{\circ}\text{C}$

優點：

- ✓ 具有高效率($> 99\%$)
- ✓ 性能穩定、操作簡單
- ✓ 壓損相對不高
- ✓ 模組化設計，可依風量大小採並聯操作

缺點：

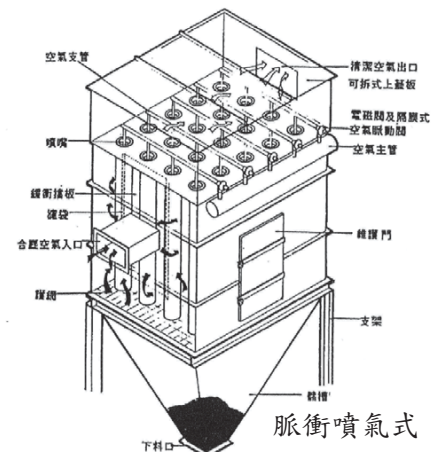
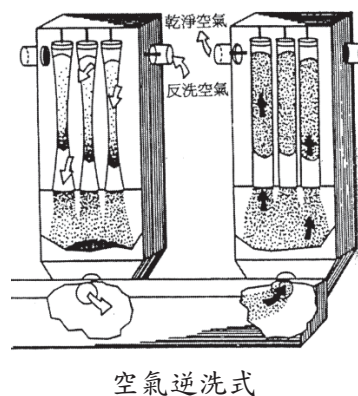
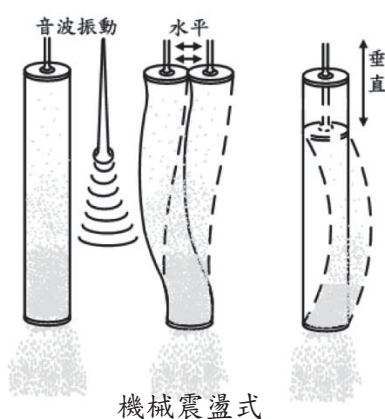
- ✓ 佔地面積相對較大
- ✓ 不適合處理高溫，或含腐蝕性成分之氣體
- ✓ 不適合處理高濕度廢氣
- ✓ 具有燃燒或爆炸之風險

17

袋式集塵器(baghouse)

效率影響因素：

- a. 塵粒負荷(塵粒濃度)
- b. 過濾速度：亦稱氣布比(air to cloth ratio, A/C)
 - ✓ 過濾速度提高，濾布面積變小，但壓損變大！
 - 此外，除塵效率隨過濾速度增加而下降！
 - ✓ 過濾速度與濾布材料種類和清灰方式有關



18

靜電集塵器

靜電集塵之處理程序包括：

- (1) 流經電極之間的污染氣體分子之離子化；
- (2) 污染物(粒狀物)的帶電，漂移，然後被收集在相反電性之集塵板上；
- (3) 由集塵板上移除粒狀物。

✓ 主要結構包含：放電電極與集塵板

- 放電電極：形成電場與空氣離子(air ion)供給；可為線狀、針尖或不規則之尖端。
- 集塵板(收集電極)：形成電場、離子電流之吸收、帶電微粒之捕集；可為平板狀或圓管狀。

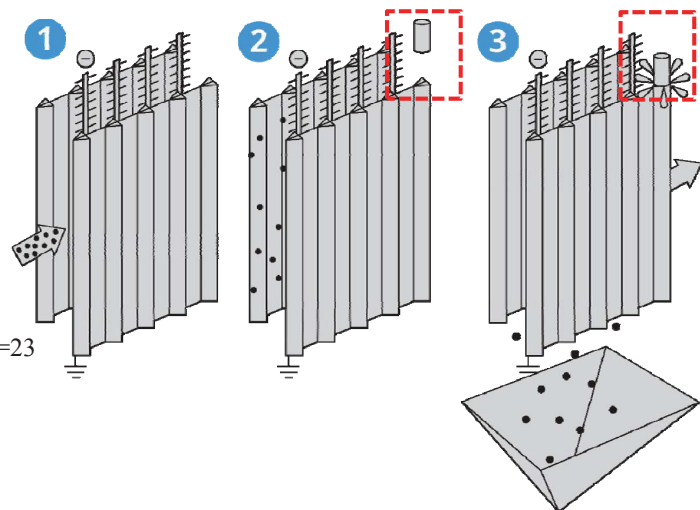
19

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

靜電集塵器



<http://nature-air.com.tw/product/showproduct.php?id=23>



<http://www.hamonusa.com/hrc/products/esp>

20

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

靜電集塵器

優點：	缺點：
1. 對小於 1μm 的粒狀物，仍有很高的處理效率。 2. 低壓損(即使廢氣流量非常大)、低能耗。 3. 可乾式回收高價物質，亦可濕式處理油霧或粉塵。 4. 廢氣溫度適用範圍大。 5. 除要求特別高的效率外，操作成本低。	1. 高初設成本。 2. 無法處理氣態污染物。 3. 操作彈性差；安裝後，操作條件改變空間低。 4. 需佔用較大空間。 5. 無法處理非常高電阻率(不易帶電)粒狀物(如奈米級微粒因荷電困難)。

21

揮發性有機廢氣(VOCs)--生成機制

◆ 物理、化學反應釋出VOCs

◆ 含有機溶劑原物料的使用

◆ 有機溶劑易揮發的特性

◆ 有機溶劑易燃、易爆的危險

◆ 部份溶劑蒸氣對健康的危害

如何
避免溶劑之使用；
減少溶劑使用量；
減少溶劑揮發量；
減少排(換)氣風量

⇒⇒ 排(換)氣，產生含VOCs之廢氣

22

VOCs廢氣減量途徑

◇源頭改善⇒製程變更

—考量因素—產品品質穩定不變；

生產速度 $\approx$ 或 $\geq$ 既有速度

⇒原物料替換(☞低揮發性、水性、無溶劑型)

⇒製程改變(生產條件、生產方式)

⇒設備修改(☞密閉、負壓)

⇒設備維護

⇒.....

⇒減少(防止)污染的產生

製程變更
涉及生產
相對難度較高

23

VOCs廢氣減量途徑

◇排放減量⇒管末處理

◇考量因素—有效處理，成本低廉；

高成本效益處理技術之選用

⇒”適當”處理技術的選擇與處理流程的規畫

⇒”正確”的硬體規格與”適切”的操作條件

⇒定期的保固維護

⇒減少污染的排放

相對於製程變更
成本效益低
不得不的手段

24

製程變更可考量方向

◆ 原物料替換

- ◆ 溶劑型改為無溶劑型
- ◆ 有機溶劑改為水性溶劑
- ◆ 高揮發性成份改為低揮發性成份

◆ 製程改變

- ◆ 操作溫度⇒低溫操作以減少有機溶劑蒸發速率
- ◆ 操作壓力⇒低壓、負壓操作以減少VOCs洩漏量
- ◆ 生產方式⇒連續製程取代批次製程，
減少加卸料頻率

參考來源：環保署環訓所--空氣污染防治專責人員訓練課程講義--臭味及有害空氣污染物控制

25

VOCs廢氣控制技術

- ◆ 熱焚化技術
- ◆ 濕式洗滌技術
- ◆ 冷凝技術
- ◆ 吸(脫)附技術

26

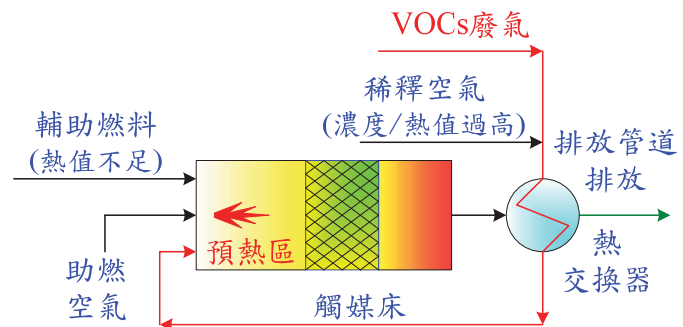
焚化技術

◆技術原理：

- 利用高溫燃燒之強烈氧化作用，使廢氣中之標的污染物，在焚化設備內被氧化破壞而自氣流中移除。
- 正確的焚化溫度設定以及紊流強度與停留時間之設計，可達到良好的去除效率(> 95%)

➤蓄熱式熱焚化

➤觸媒焚化



資料來源：

US EPA "Handbook : Control Technologies for Hazardous Air Pollutants" EPA/625/6-91/014.

27

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

焚化技術

◆技術選用暨硬體設計關鍵參數

A. 直燃熱焚化

1. 污染物特性(含氟、氯；含Si)
2. 焚化溫度 ($T_{com} > 720^{\circ}\text{C}$)
3. 停留時間 (> 0.5 sec)
4. 紊流強度
5. 閥門切換時程(for RTO)

B. 觸媒焚化

1. 污染物特性(含硫、氟、氯；含Si、Sn、As、P)
2. 不適於處理高濃度(熱值)廢氣
⇒低爆炸極限(LEL值)、觸媒過熱燒燬
3. 焚化溫度 ($T_{com} > 300^{\circ}\text{C}$)

28

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

濕式洗滌技術

◆技術原理：

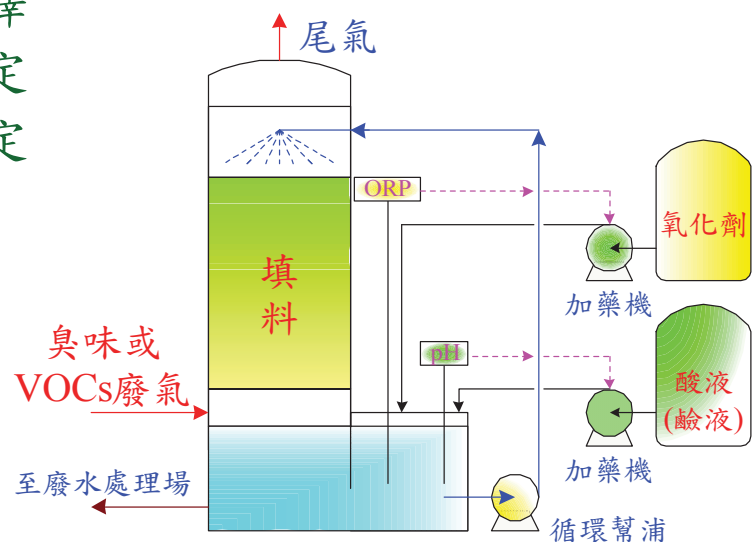
- ▶ 利用標的污染物相對較佳之溶解度，在廢氣與洗滌液接觸過程中，藉氣、液之間的擴散質傳(及化學反應)將污染物自氣流中移除。
- ▶ 正確的洗滌液配方選擇與接觸時間設計，配合適當的操作條件與足夠的洗滌液汰換率，可達到很好的去除效率(> 90%)

29

濕式洗滌技術

◆技術選用暨硬體設計與操作關鍵參數

1. 污染物氣液平衡(水溶性)
2. 硬體尺寸之設計
3. 反應藥劑的選擇
4. 循環水量的決定
5. 操作條件的設定
6. 循環水之汰換

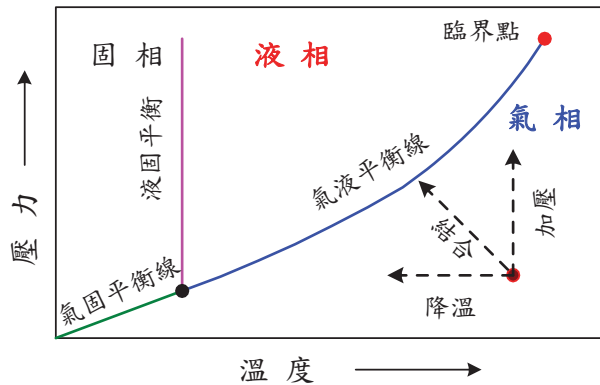


30

冷凝技術

◆技術原理：

- 利用標的污染物相對較高之沸點，在廢氣與低溫表面接觸過程中，使污染物因廢氣溫度下降達氣、液平衡而凝結、液化，自氣流中移除。



適用於
高沸點、高濃度
溶劑蒸氣的
控制，回收

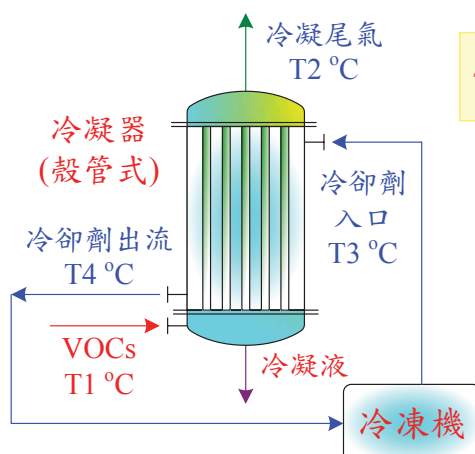
- 正確的冷凝溫度設定及接觸面積設計，可達到良好的去除效率(> 85%)

31

冷凝技術

◆技術選用暨硬體設計與操作關鍵參數

1. 污染物蒸氣壓與溫度關係
2. 冷卻劑入口溫度設定
3. 冷凝器尺寸(熱傳面積)
4. 冷凍能力需求(能源消耗)



$$\eta = (\text{inlet-outlet})/\text{inlet}$$

適於處理：

1. 純溶劑蒸氣
2. 高沸點物質
3. 高濃度(> 5,000 ppmv)

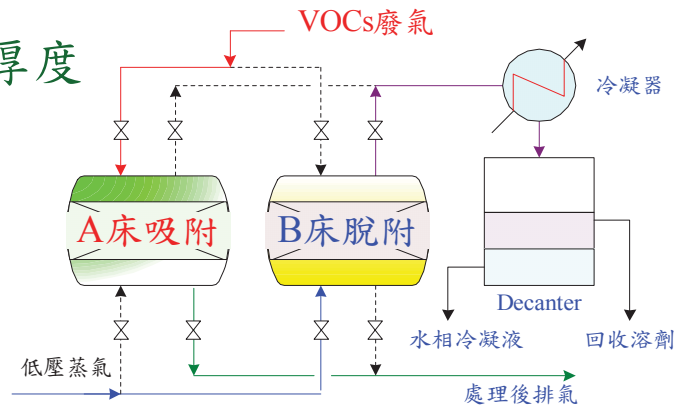
	Toluene	Styrene
溫度	ppmv	ppmv
40	77,582	18,780
35	61,377	14,337
30	48,109	10,833
25	37,341	8,098
20	28,684	5,986
15	21,793	4,372
10	16,366	3,153
5	12,139	2,245
0	8,886	1,576
-5	6,415	1,090
-10	4,563	742
-15	3,194	497
-20	2,199	327
-25	1,487	212

32

吸(脫)附技術

◆技術選用暨硬體設計與操作關鍵參數

1. 污染物是否適合吸(脫)附
 - (1) 高沸點物質(去光阻液)
 - (2) 低分子量物質(MW. < 40)
 - (3) 反應性成份(MEK)
2. 吸附劑的選擇
3. 廢氣特性
 - 溫度及相對濕度
4. 硬體尺寸之設計
 - 氣體流速及碳床厚度
5. 換碳時間



資料來源：

US EPA "Handbook : Control Technologies for Hazardous Air Pollutants" EPA/625/6-91/014.

33

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

吸(脫)附技術

◆硬體設計與操作關鍵參數

- 廢氣特性
 - ✓ 廢氣溫度越低越好，一般建議 $\leq 40^{\circ}\text{C}$
 - ✓ 廢氣相對濕度越低越好，一般 $< 40\sim 50\%\text{RH}$
- 硬體尺寸之設計
 - ✓ 空床氣體流速 $< 30\text{m/min.}$ (90 ~ 100 fpm)
 - ✓ 吸附劑床厚度 $> 15\text{ cm}$ (吸脫附 ~ 30")
- 換碳時機(換碳頻率)
 - ✓ 尾氣濃度超出標準，或處理效率低於標準
 - ✓ 不建議"定期"換碳 $\Rightarrow$ 廢氣濃度並非穩定

34

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

吸(脫)附技術

◆案例介紹--吸脫附溶劑回收系統

檢測項目		VOC小時平均 實測值 單位：ppm	
檢測日期： 93年12月21日		單位：ppm	
時間	檢測位置	控 制 設 施 前	控制設施 後
第 1 小 時		18426.02	103.97
第 2 小 時		20540.78	10.99
第 3 小 時		19269.26	74.41
第 4 小 時		18651.15	122.94
第 5 小 時		18788.59	8.76
第 6 小 時		18623.36	136.19
第 7 小 時		17926.16	70.70
第 8 小 時		19213.71	8.88
平 均 值		18929.88	67.11



平均處理效率
99.6%

35

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

結 論

❖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

❖管末處理技術選用應優先精確掌握排氣特性

- 污染物本身之物化特性(水溶性，吸附性，...)
- 廢氣濃度高低、變化及風量大小
- 製程特性(批次、批次之周期，連續)

36

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

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.

敬請
指教