

廠務技術研討會-資源再生/減廢組

DOE實驗設計法應用於 VOC效率提升之實務

聯華電子股份有限公司
12A廠務工程一部

沈俞伯

2019.11.19



簡報大綱

VOC系統簡介

問題背景說明

改善對策

實驗歷程

結論與驗證

CSR
企業社會責任

核心競爭力

CS
企業永續



簡報大綱



VOC系統簡介

問題背景說明

改善對策

實驗歷程

結論與驗證



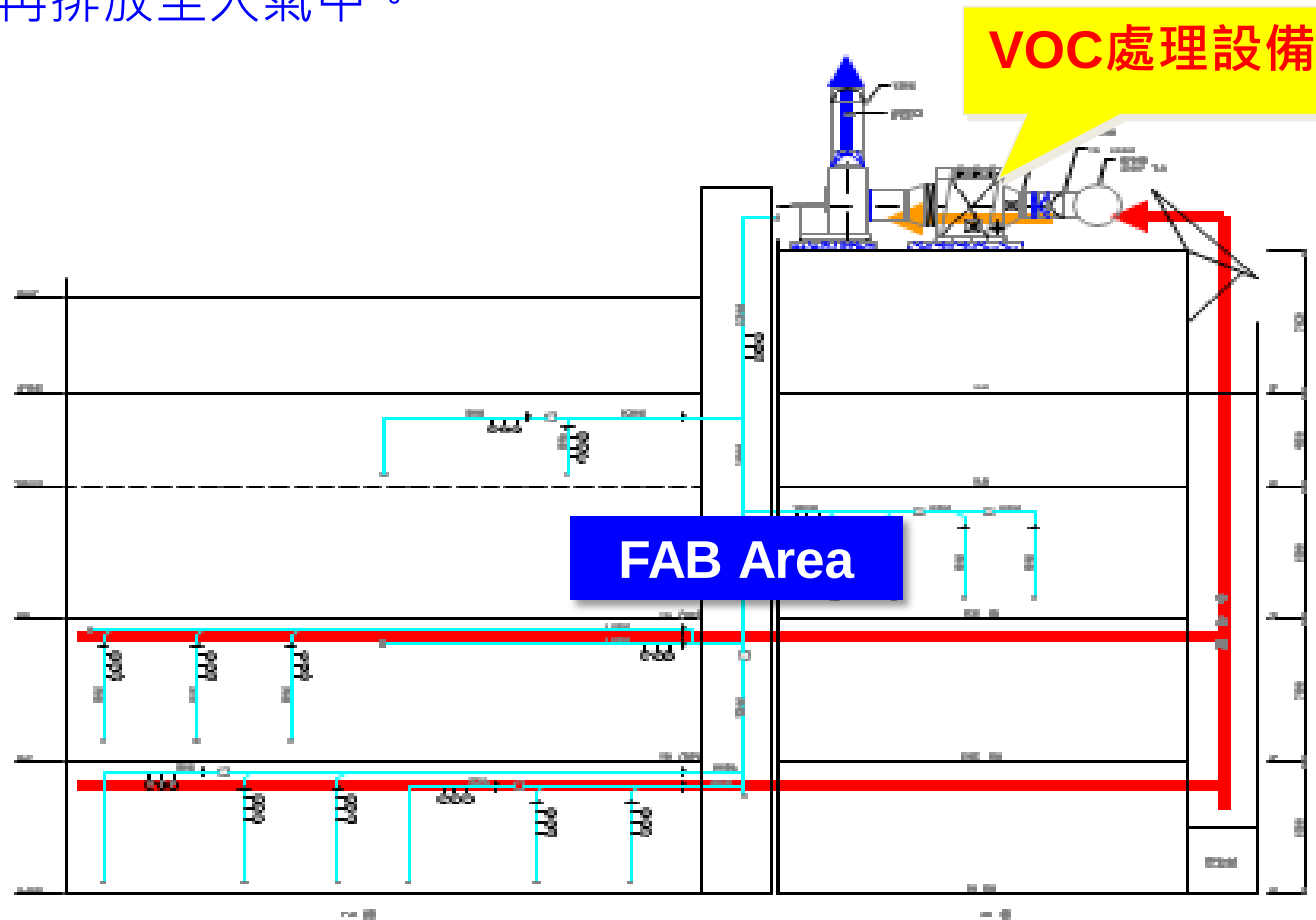
半導體廠製程廢氣成分與說明

排氣種類	污染來源	污染成分	廢氣處理設備
酸性(Acid)氣體	氧化、光罩、蝕刻、反應爐、擴散爐之清洗	硫酸、氫氟酸、鹽酸、磷酸、硝酸、氯氣	Central Scrubber
鹼性(Alkali)氣體		氨氣	
一般排氣 (General)	機台熱源散熱使用	NA	NA
揮發性有機溶劑 氣體(VOC)	光阻覆蓋、顯影、晶圓之清洗。	揮發性有機物、氮氧化物、硫氧化物、粒狀污染物	VOC沸石轉輪

VOC製程排氣系統說明

◆ VOC系統處理流程：

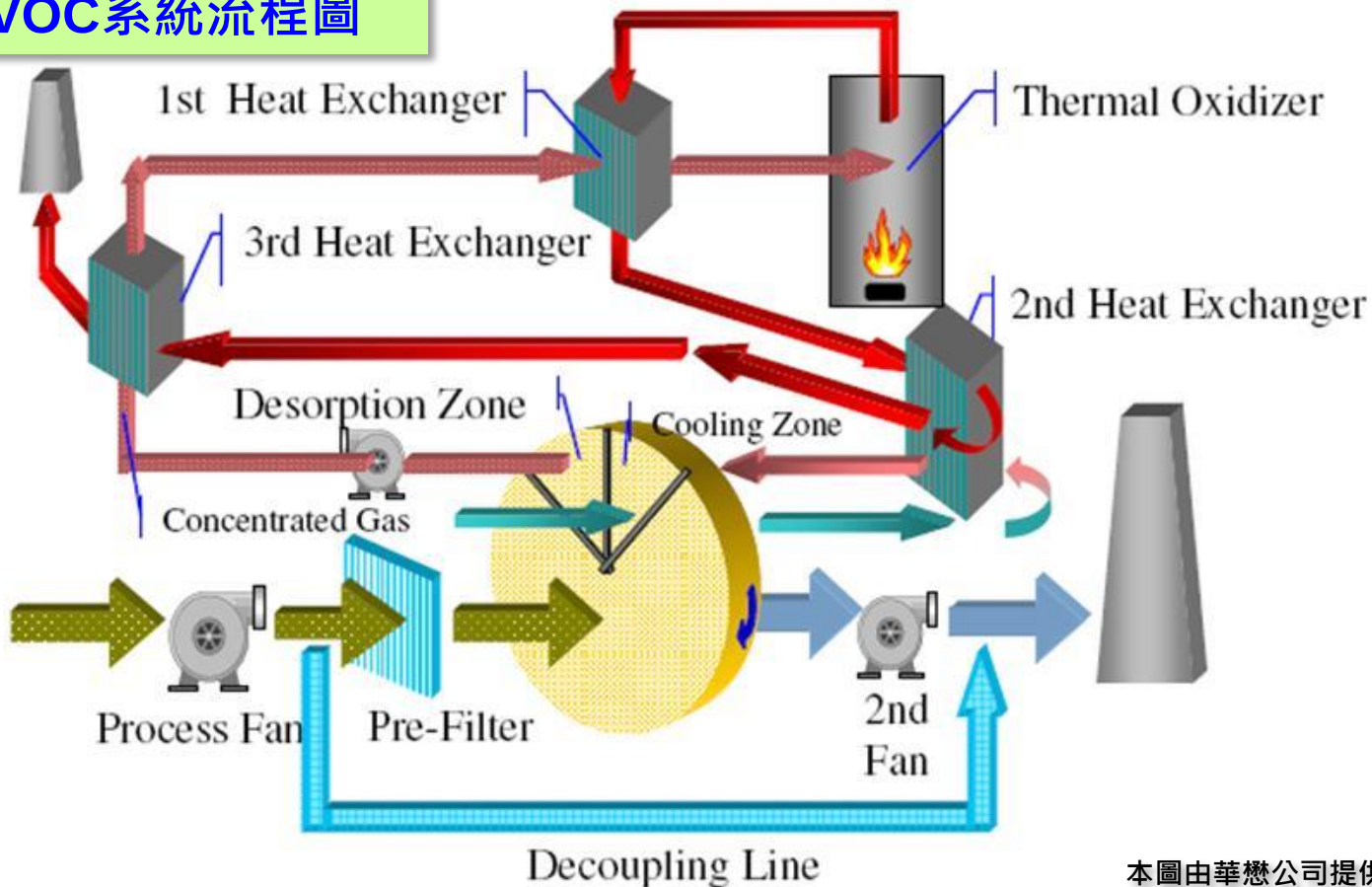
利用抽氣風車構成管線負壓將設備產生之廢氣抽出，經由VOC處理設備，再排放至大氣中。



VOCs系統原理說明

- 沸石轉輪焚化系統(TO爐原理說明)：
 - ✓ 有機廢氣排至沸石轉輪吸附後，排入大氣。
 - ✓ 沸石轉輪濃縮吸附後之有機廢氣，以高溫脫附後燃燒處理後，再排入大氣

VOC系統流程圖



- ◆ 運轉參數因子
 - ✓ 轉輪轉速
 - ✓ 脫附溫度
 - ✓ 脫附風量

簡報大綱



VOC系統簡介

問題背景說明

改善對策

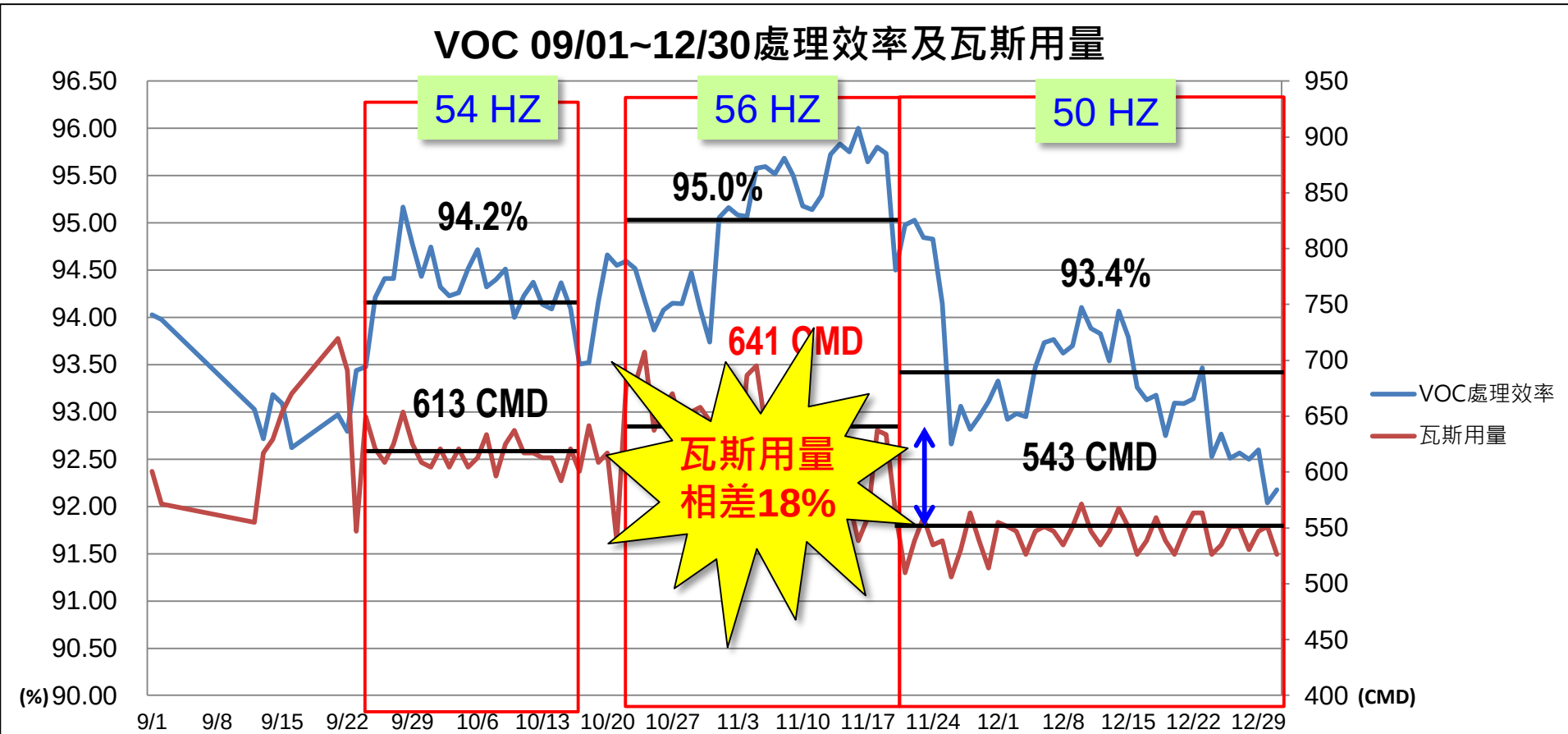
實驗歷程

結論與驗證



VOC處理效率問題說明

- VOC設備於效率Trend down時，會提高脫附風車運轉頻率，以提升處理效率。
- 當脫附風車以高頻率運轉時，瓦斯用量高達641 CMD。



VOC進出口取樣分析

ID	化合物名稱		分析結果(ppm)		分子量 (g/mol)
	英文	中文	P016入口	P016出口	
1	1-Methoxy-2-propyl acetate	丙二醇單甲基醚酯(PGMEA)	14.64	0.85	132
2	2-Heptanone	2-庚酮(MAK)	0.70	0.01	114
3	2-Propanol, 1-methoxy-	丙二醇單甲基醚(PGME)	45.34	3.21	90
4	Acetone	丙酮	0.03	0.03	58
5	Cyclohexanone	環己酮	0.19	0.01	98
6	Cyclopentanone	環戊酮	4.91	0.59	84
7	Isopropyl Alcohol	異丙醇(IPA)	33.84	21.27	60
8	Silane, fluorotrimethyl-	氟三甲基矽烷(FSiMe3)	0.00	0.02	92
9	Silane, trimethylpropoxy-	丙氧基三甲基矽烷	0.06	0.03	132
10	Silanol, trimethyl-	三甲基矽醇(HMDS衍生物)	0.67	0.36	90
11	Toluene	甲苯	0.01	<0.01	92
12	Monoethanolamine	乙醇胺(MEA)	0.82	<0.06	61
13	N-Methylpyrrolidone	N-甲基吡咯酮(NMP)	0.47	<0.24	99
14	Butyl diglycol	二乙二醇單丁醚(BDG)	1.93	<0.13	162
14	Dimethylsulfoxide	二甲亞碸(DMSO)	<0.32	<0.32	78

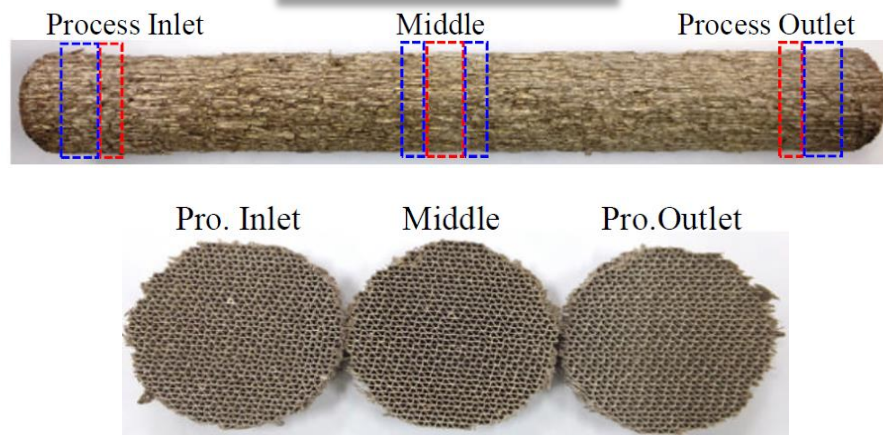
低沸點物質(IPA)處理
效果下降至37%



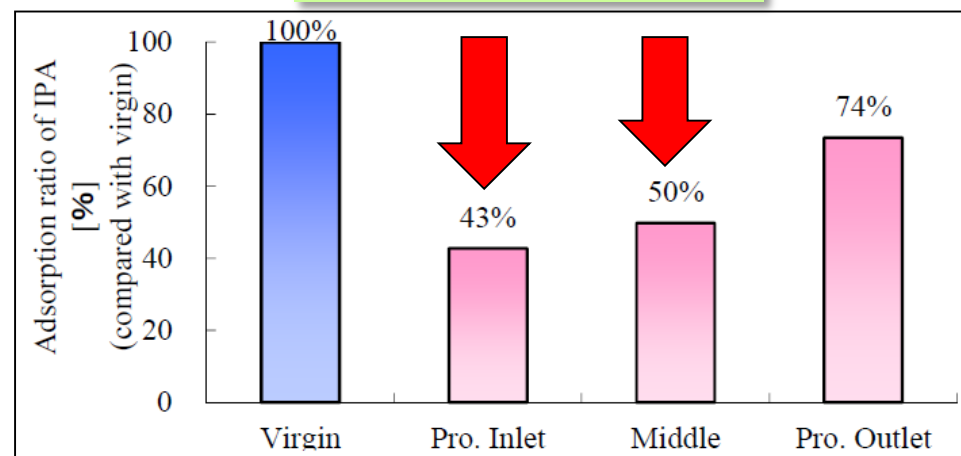
問題分析-轉輪取樣

□ 熱重分析 > 7%需更換轉輪，分析結果約5.2%=>轉輪堵塞

轉輪取樣



吸附能力測試結果



西部 Avg. 5.2%

熱重分析

Weight loss of sample

Weight loss fraction [wt%]	
Virgin	1.9
Pro. Inlet	7.2
Middle	5.6
Pro. Outlet	3.0
Average	5.2

西部分析中，以15°C/min速率記錄200°C~700°C

UMC © 2013



簡報大綱



VOC系統簡介

問題背景說明

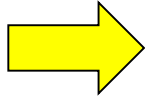
改善對策

實驗歷程

結論與驗證



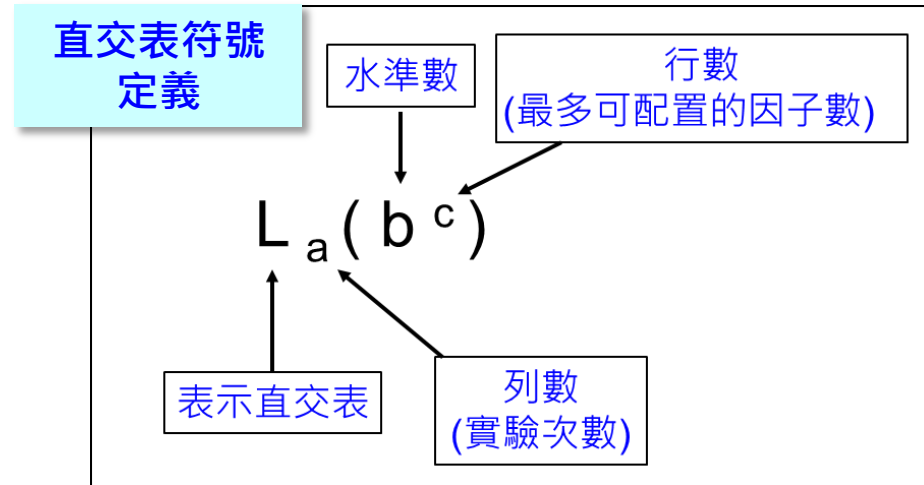
效率提升改善對策

- 經轉輪採樣分析發現轉輪已有阻塞現象
 - 原廠建議執行以下對策改善去除效率不佳
 - ✓ 轉輪轉速調降
 - ✓ 脫附溫度調高
 - ✓ 脫附風量加大
- 
- ◆ UMC無轉輪轉速調降之相關運轉經驗**
- 提出以DOE(Design of Experiment)之實驗設計法進行統計分析
 - ◆ 產品與系統優化技術的穩健性設計手法
 - ✓ 全因子實驗(full factorial experiment)
 - ✓ 部分因子實驗(fractional factorial experiment)
 - ✓ 試誤法(trial and error method)
 - ✓ 田口實驗設計(Taguchi Method)

田口穩健設計法

- 田口穩健設計法：優化產品設計和技術條件的穩健性設計手法
- 田口式直交表：提升實驗效率、降低實驗次數的一種方法

Array	Number of Factors	Number of Levels
$L_4(2^3)$	3	2
$L_8(2^7)$	7	2
$L_{12}(2^{11})$	11	2
$L_{16}(2^{15})$	15	2
$L_{32}(2^{31})$	31	2
$L_9(3^4)$	4	3
$L_{18}(2^1, 3^7)$	1 and 7	2 and 3
$L_{27}(3^{13})$	13	3
$L_{16}(4^5)$	5	4
$L_{32}(2^1, 4^9)$	1 and 9	2 and 4
$L_{36}(2^3, 3^{13})$	3 and 13	2 and 3
$L_{64}(4^{21})$	21	4



田口玄一, 1924-2012

1950開始，創造了田口方法 (Taguchi Method)，為品質工程的奠基者

VOC DOE實驗排程

- 實驗因子：
 - ✓ 轉輪轉速 → ✓ 2.7、2.9、3.1
 - ✓ 脫附溫度 → ✓ 185、195、205
 - ✓ 脫附風車頻率 → ✓ 50、53、56
- 本實驗僅有3個因子，因此參考 $L_9(3^4)$ 直交表，改為 $L_9(3^3)$ 直交表

$L_9(3^4)$ 直交表

		Colum(因子)			
Exp. NO.		A	B	C	D
實驗次數	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2
	3	1	3	3	3
	4	2	1	2	3
	5	2	2	3	1
	6	2	3	1	2
	7	3	1	3	2
	8	3	2	1	3
	9	3	3	2	1

VOC處理效率 $L_9(3^3)$ 直交表

Item	轉輪轉數(rph)	T3脫附溫度(°C)	脫附風車頻率(HZ)
1	2.7	1	185
2	2.7	1	195
3	2.7	1	205
4	2.9	2	205
5	2.9	2	195
6	2.9	2	185
7	3.1	3	185
8	3.1	3	195
9	3.1	3	205

簡報大綱



VOC系統簡介

問題背景說明

改善對策

實驗歷程

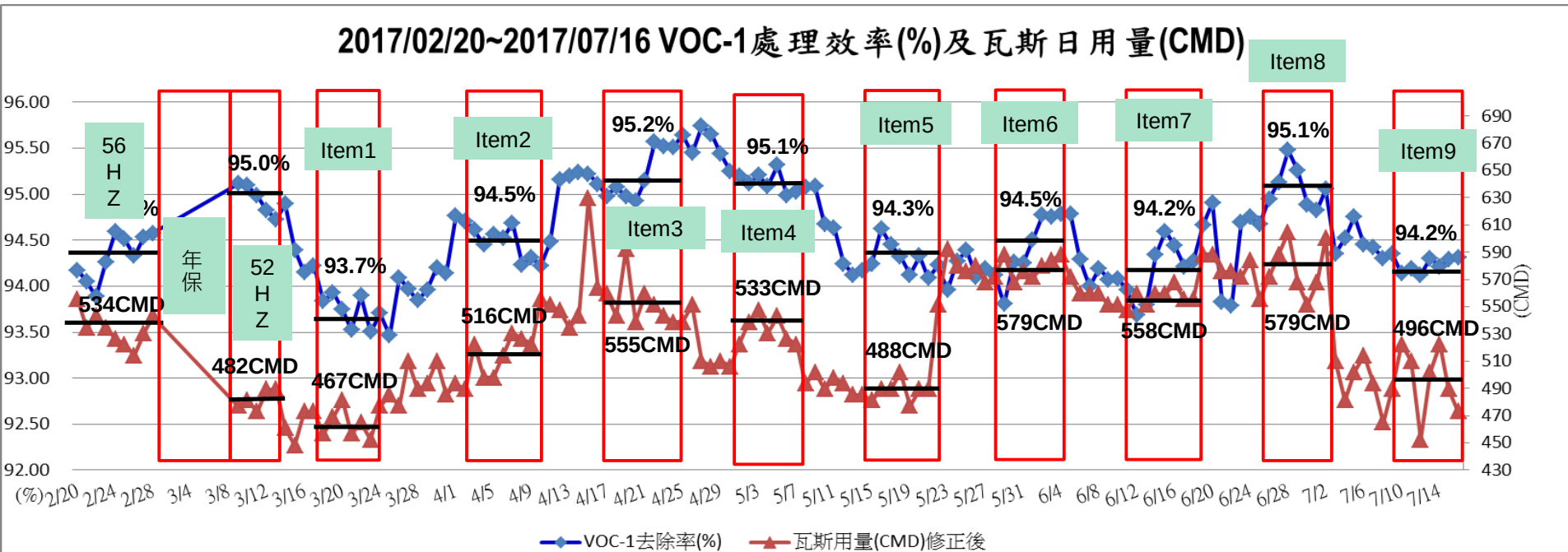
結論與驗證



VOC DOE參數設計實驗

- 本實驗為期進行4個多月之歷程，將觀察日期之處理效率及瓦斯用量進行平均數計算

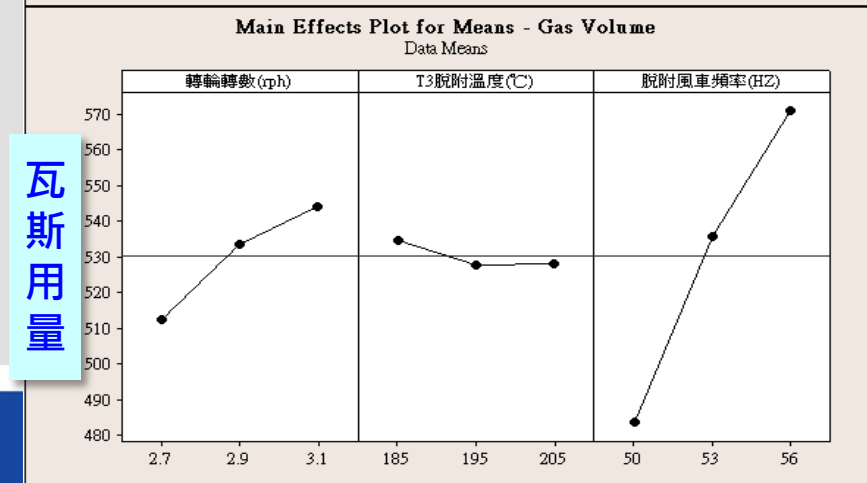
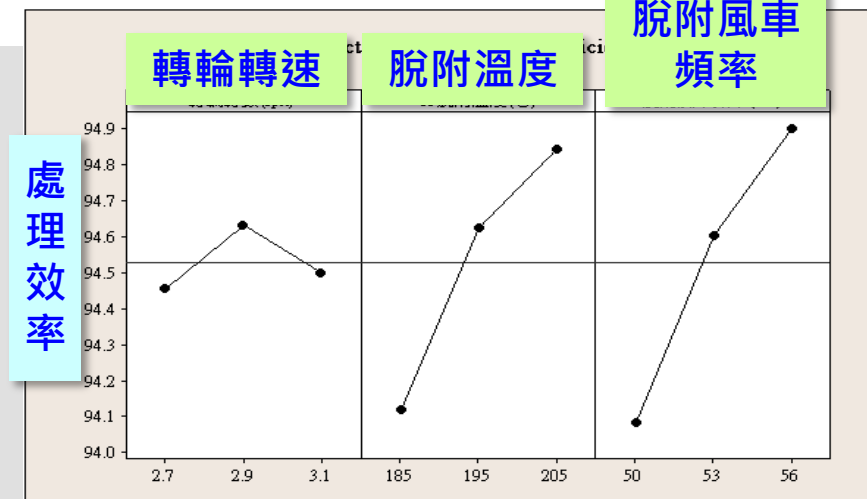
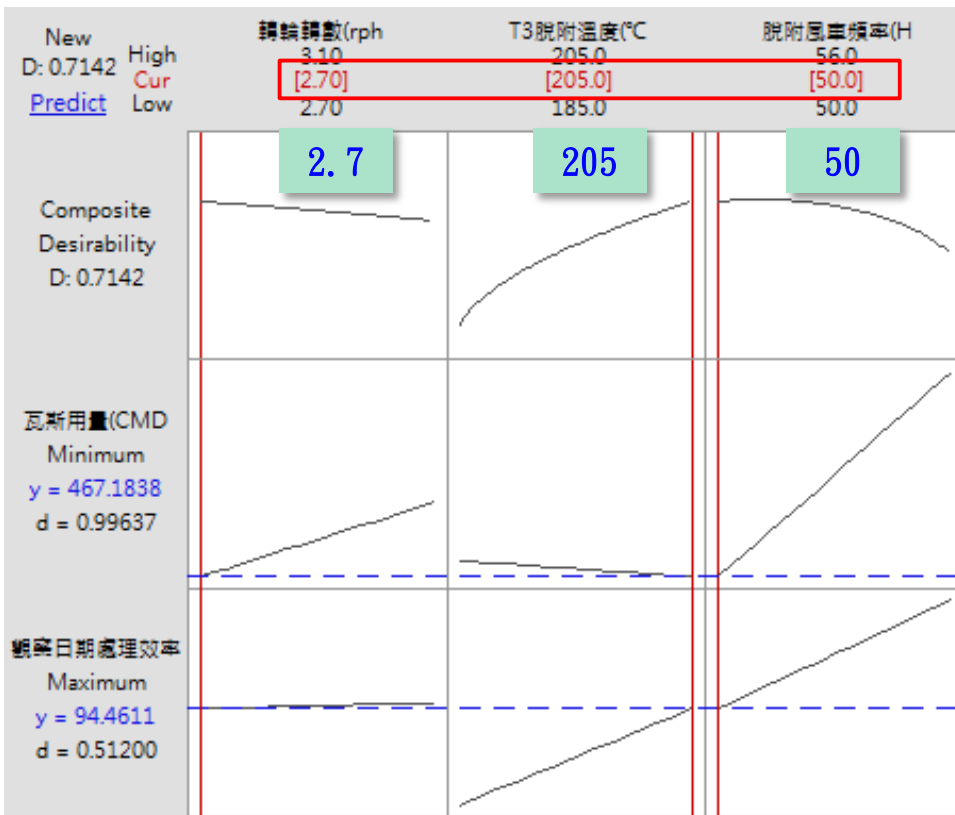
VOC處理效率 $L_0(3^3)$ 直交表								
Item	轉輪轉數(rph)	脫附溫度(°C)	脫附風車頻率(HZ)	調整日期	觀察日期	觀察日期處理效率(%)	瓦斯用量(CMD)	觀察天數
1	2.7	185	50	3/14~3/18	3/19~3/24	93.7	467	6
2	2.7	195	53	3/25~4/2	4/3~4/9	94.5	516	7
3	2.7	205	56	4/10~4/16	4/17~4/23	95.2	555	7
4	2.9	205	53	4/24~4/30	5/1~5/7	95.1	533	7
5	2.9	195	50	無效數據	有效數據	94.3	488	7
6	2.9	185	56	5/22~5/28	5/29~6/4	94.5	579	7
7	3.1	185	53	6/5~6/11	6/12~6/18	94.2	558	7
8	3.1	195	56	6/19~6/25	6/26~7/2	95.1	579	7
9	3.1	205	50	7/3~7/9	7/10~7/16	94.2	496	7



Minitab選用最佳化參數

- 綜合處理效率及瓦斯用量使用Minitab程式選用最佳參數
- 最佳化參數設定Target：處理效率望大、瓦斯用量望小

轉輪轉速(RPH)	脫附溫度(°C)	脫附風車頻率(HZ)
2.7	205	50

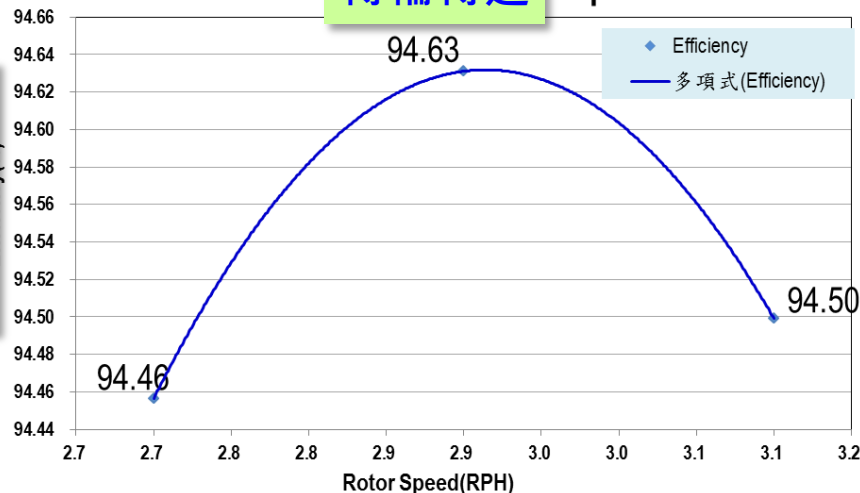


DOE實驗設計平均數計算說明

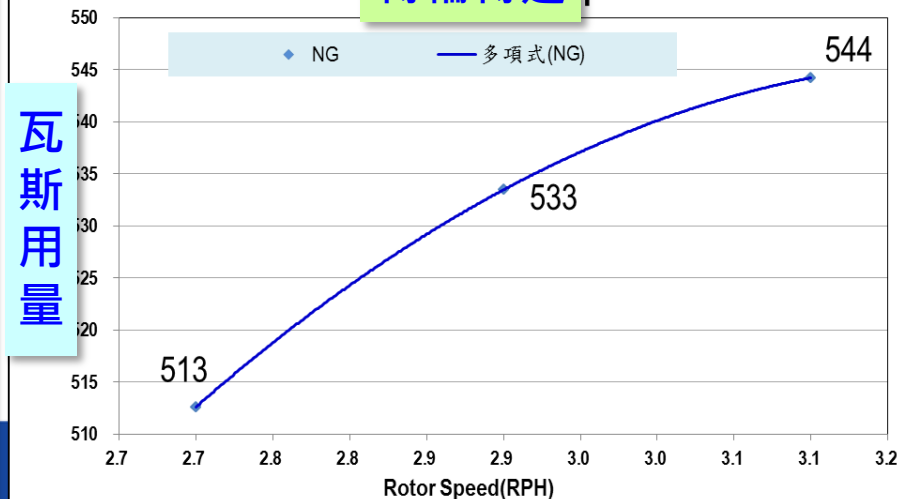
VOC處理效率 $L_9(3^3)$ 直交表

Item	轉輪轉數(rph)	T3脫附溫度(°C)	脫附風車頻率(HZ)	觀察日期處理效率(%)	瓦斯用量(CMD)	觀察天數
1	2.7	185	50	93.7	467	6
2	2.7	195	53	94.46	513	7
3	2.7	205	56	95.2	555	7
4	2.9	205	53	95.1	533	7
5	2.9	195	50	94.63	533	7
6	2.9	185	56	94.5	579	7
7	3.1	185	53	94.2	558	7
8	3.1	195	56	94.50	544	7
9	3.1	205	50	94.2	496	7

VOC-1 Efficiency vs Rotor Speed



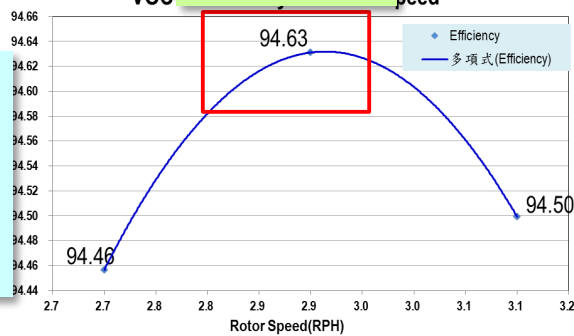
VOC-1 Gas Consumption vs Rotor Speed



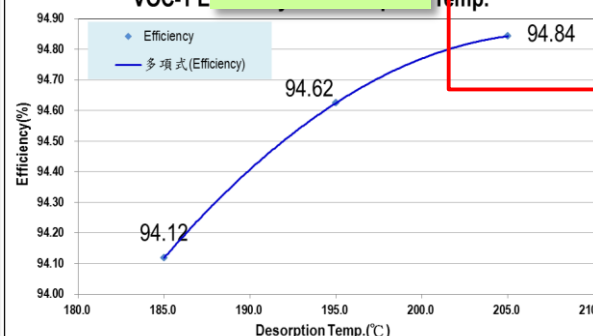
自行選用最佳化參數

轉輪轉速(RPH)	脫附溫度(°C)	脫附風車頻率(HZ)
2.9	205	50

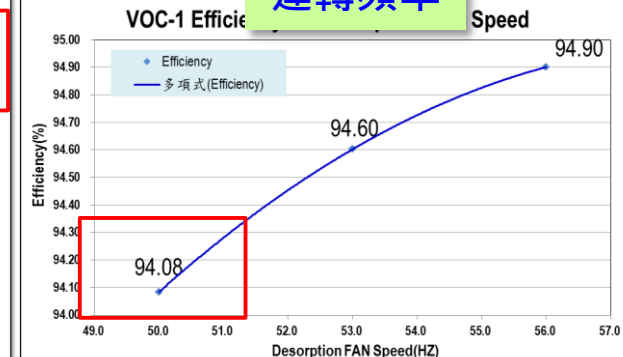
轉輪轉速



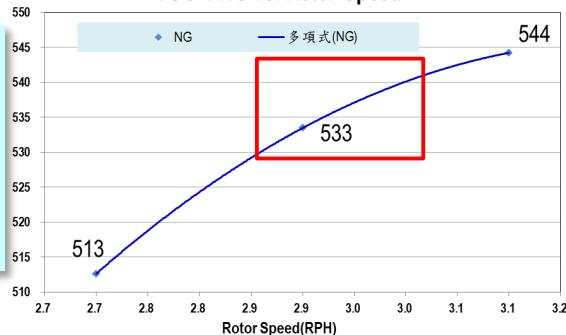
脫附溫度



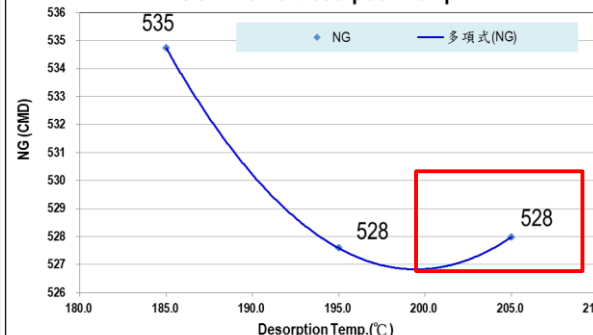
脫附風車
運轉頻率



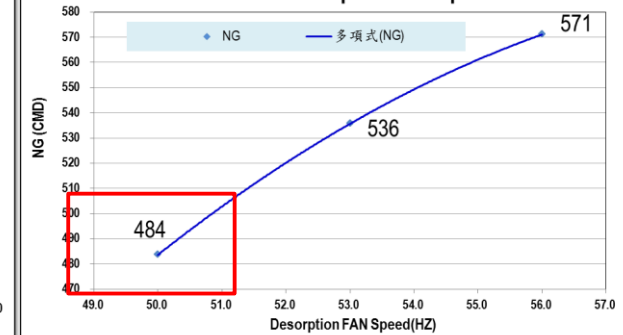
VOC-1 NG vs. Rotor Speed



VOC-1 NG vs. Desorption Temp.



VOC-1 NG vs. Desorption FAN Speed



簡報大綱



VOC系統簡介

問題背景說明

改善對策

實驗歷程

結論與驗證



實驗驗證

➤ 以Minitab及自選參數各進行為期4週實驗驗證：

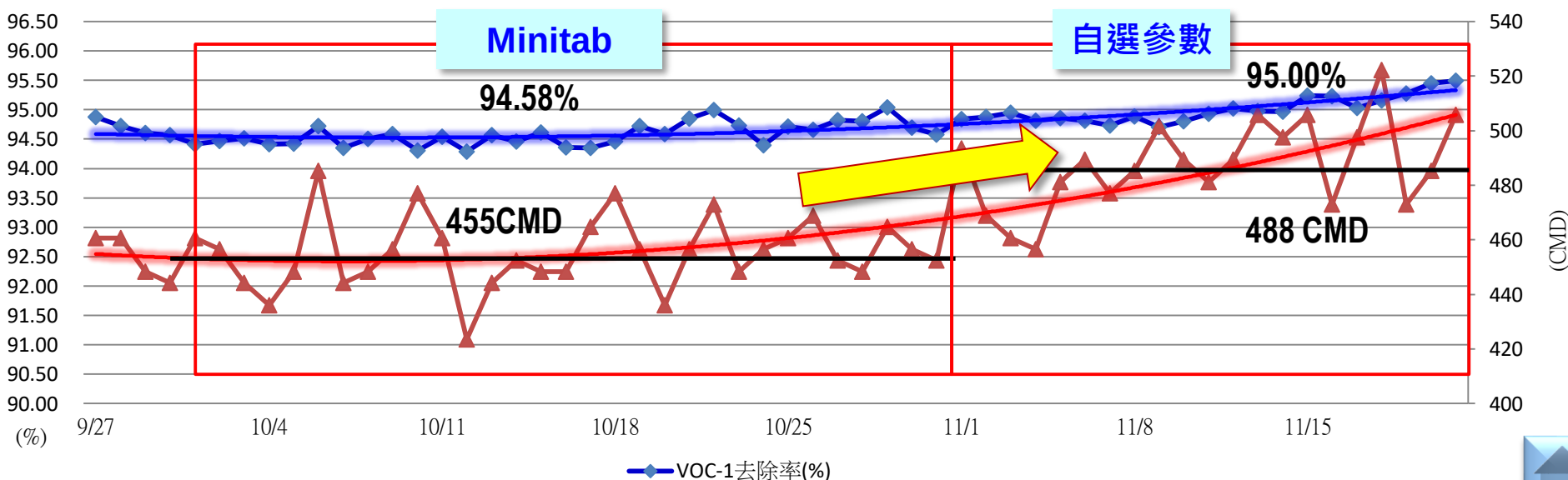
- ✓ Minitab瓦斯用量較為節能=>符合預期
- ✓ 自選參數有較好之處理效率=>符合預期



VOC最佳化參數設計

	轉輪轉速 (Rph)	脫附溫度 (°C)	脫附風車頻率 (HZ)	處理效率 (%)	瓦斯用量 (CMD)
Minitab計算	2.7	205	50	94.58	455
自行選用	2.9	205	50	95.00	488

平衡模式實驗-VOC處理效率及瓦斯日用量

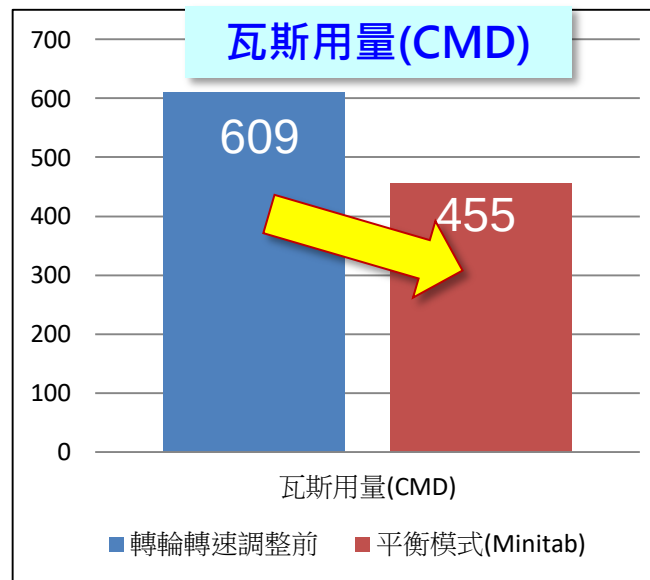
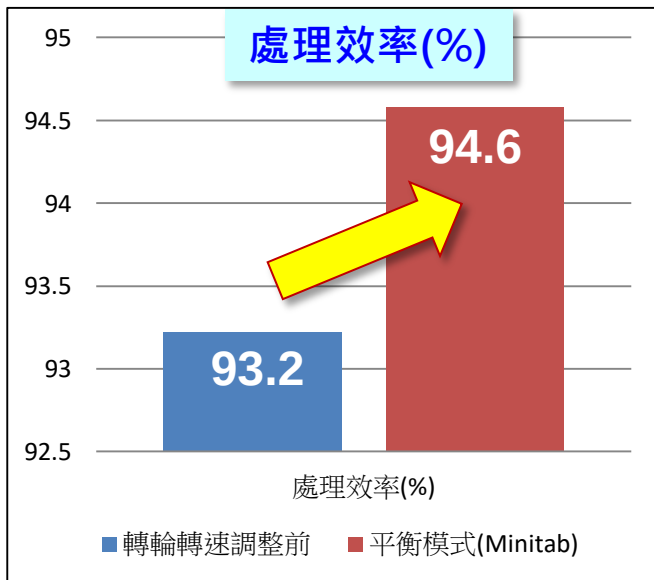


結論與建議

- DOE實驗手法確實可精準且快速得到最適化組合參數
 - ✓ 使用DOE手法直交表概念由全因子法27種實驗次數簡化至9種組合
 - ✓ 實驗結果使VOC設備有效達到提升處理效率及降低瓦斯用量
- 以此研究成果提供業界先進參考，達到節能與環保之目標!!

VOC最佳參數設計結果

Item	實驗項目	轉輪轉速(RPH)	脫附溫度(°C)	脫附風車頻率(HZ)	處理效率(%)	瓦斯用量(CMD)	效率提升(%)	節能效益(%)
1	轉輪轉速調整前	3.5	199	56	93.2	609	-	-
2	最佳化參數	2.7	205	50	94.6	455	1.36%	25.3%





Thanks for Your Attention

聯電以『客戶、股東、員工、環境、社會』為核心，致力於創造『以人為本、與環境共生、與社會共榮的全球性友善生態新價值』。



田口穩健設計法(補充)

田口法實驗執行步驟

