

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

旋轉窯焚化廠之操作參數變方分析 及電腦輔助工程系統之建立

Analysis of variance on operational parameters and the establishment of the CAE system for a rotary kiln incinerator plant

計畫編號：NSC 90-2211-E-002-045

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：吳中興 國立台灣大學生物產業機電工程學系

一、中文摘要

旋轉窯焚化爐廣泛地應用於事業廢棄物的焚化處理。一個正在運作當中的旋轉窯焚化爐，爐體內部是無法接近的。由於這一個限制，使得我們無法藉由焚化試驗充分地瞭解旋轉窯焚化爐的操作特性。近年來，電腦科技迅速地發展，使得其計算能力大幅地提昇，因此利用數值分析的方法可以解決許多工程上複雜的問題。本研究使用計算流體力學軟體，模擬旋轉窯焚化爐的燃燒流場，利用計算的結果，預測旋轉窯焚化爐內部燃燒流場的速度分布、溫度分布，與燃燒產物的濃度分布。並且，數值模擬的結果可以與現場量測值比較，評估數值模擬模型的正確性，進而以數值模擬的方法，瞭解整體旋轉窯焚化爐的操作特性。

關鍵詞：旋轉窯焚化爐、計算流體力學

Abstract

Rotary kiln incinerators are widely used for the heat treatments of many kinds of industrial wastes. Almost all locations inside a full-scale rotary kiln incinerator are inaccessible when the

rotary kiln incinerator is operating. Because of this restriction, it is difficult to sufficiently understand the characteristics and the performance of the full-scale rotary kiln incinerator by experiment. Recent improvements in computer science and rapidly growing computational capacity have resulted in wide use of numerical analysis. This study utilizes a commercial CFD code to simulate a full-scale rotary kiln incinerator. The results predict the velocity distribution, temperature distribution and species concentration distributions inside a rotary kiln incinerator. The model is validated by comparison with measured temperatures. Correlation with experiment validates the simulation and demonstrates its ability to evaluate the performance of the rotary kiln incinerator.

Keywords: Rotary kiln incinerators, CFD

二、計劃緣由與目的

旋轉窯焚化爐是屬於混燒式焚化爐，可以處理任何種類之廢棄物。一般而言，旋轉窯焚化爐大多應用於有害事

業廢棄物之焚化，可適用於固體廢棄物、污泥、桶裝廢棄物及液體廢棄物之燃燒，特別適合於工業生產所產出之有毒固體或液體廢棄物之焚化處理。旋轉窯焚化爐和其他類型的焚化爐一樣，包括進料/排渣系統、焚化系統、熱回收/冷卻系統、空氣污染防治系統、儀控系統及與煙氣監測系統等，其中最重要的為焚化系統與空氣污染防治系統。因此，本研究的重點，著重於旋轉窯焚化爐的焚化系統與空氣污染防治系統。一方面，以數值方法模擬分析旋轉窯焚化爐的燃燒流場；另一方面，進行旋轉窯焚化爐之焚化試驗，包括：溫度量測及採氣分析。

本計劃所研究的對象是同向流動灰渣式旋轉窯焚化爐。所謂同向流動是指廢棄物在爐內的移動方向，與爐內煙道廢氣的流動方向相同。灰渣式旋轉窯是相對於熔渣式旋轉窯，兩者主要的差別為操作溫度的不同，灰渣式旋轉窯焚化爐的操作溫度為 650~980℃；而熔渣式旋轉窯焚化爐的操作溫度為 1200~1430℃。旋轉爐體是由一稍微傾斜且可滾動之長金屬圓桶所構成，焚化爐內壁鑲有耐火材料，旋轉爐體與水平面的傾斜度可以調整，一般都保持在 1~6 度之間。旋轉窯焚化爐之旋轉爐體的轉動，除了可造成廢棄物的輸送外，更可使廢棄物得到良好的混合攪拌，並控制固體廢棄物及氣體在爐內之滯留時間，符合溫度(Temperature)、滯留時間(Time)、空氣與固體混合程度(Turbulence)等 3T 之焚化原理，能使其焚化效率提高。

焚化系統根據燃燒的原理，提供高溫、滯留時間、混合攪拌，及燃燒空氣，藉以適當的設計與操作將有害的有機成分燃燒，轉換成二氧化碳及水蒸氣，及一些安定的惰性灰渣物質。然而若是

不適當的設計或操作，將會產生一些有害物質，污染環境及為害人體的健康。焚化系統必須在一個合理的設計及適當的操作之下，配合空氣污染防治系統之除塵、除酸諸項設備的運用，才能有效地焚化處理廢棄物。本研究計劃分別利用數值模擬與試驗分析的方法，討論焚化系統及空氣污染防治系統之各項操作變因，以達到合理且有效率地操作旋轉窯焚化爐，更能提昇國內焚化處理設備的設計能力。

三、結果與討論

本研究計劃焚化試驗的進行，選定高雄大發工業區的某一旋轉窯焚化廠，該旋轉窯焚化廠各項設備的相關配置，如圖 1 所示。焚化系統包括：旋轉窯爐體本身與二次燃燒室；空氣污染防治系統包括：旋風分離機、水洗塔、填充塔，及袋濾集塵設備等。本研究使用 K-type 熱電耦溫度感測棒及 21X Datalog 進行溫度的量測，實驗的結果如圖 2 所示。我們可以看出，相對於空氣污染防治系統，焚化系統溫度的變方比較大，主要的原因是由於廢棄物組成差異所致。二次燃燒室溫度比旋轉窯爐體內溫度高，這是由於旋轉窯爐體內的廢棄物是固體燃燒，需經過乾燥、熱裂解、燃燒，後燃等程序；而二次燃燒室主要是繼續處理未燃燒完全的有機氣體，所以二次燃燒室的平均溫度較高，溫度分布也比較穩定。

圖 3.與圖 4.是旋轉窯焚化爐的速度分布圖，圖 3.是正視圖；圖 4.是側視圖。根據數值模擬的結果，旋轉窯爐內的平均速度為 3.17m/s，由於爐體的轉動及熱浮力的影響，在旋轉窯爐尾端的速度場呈現出分層化的現象。表 1.為採氣分析的結果，使用的儀器為 ECOM 煙道

氣分析儀，五次採氣分析的平均的結果，氧氣為 14.92%，一氧化碳為 3.2ppm，一氧化氮為 65.2ppm，二氧化氮為 0.2ppm，二氧化硫為 0ppm，二氧化碳為 4%。由以上的數據可以推算出此旋轉窯焚化爐的燃燒效率，其值為 99.99%，所以可知此旋轉窯焚化爐有良好的焚化效果。

四、計劃成果自評

目前社會大眾對於「焚化技術」還抱著相當大地懷疑態度，並且只要提到「興建焚化爐」，立即遭受到部分環保人士嚴厲的批評。誠然，焚化廢棄物不是一個最好的處理方式，然而卻是一個乾淨、快速，也有效率的處理方式。尤其是在地小人稠且工商業發達的台灣，「如何安全地、有效率地處理大量的廢棄物？」便成爲一個重要的課題，因此本研究計劃是以「提高國內的焚化技術」爲主要目標，希望能藉由研究的成果提高國內的焚化技術。本研究計劃使用數值模擬的方式，研究旋轉窯焚化爐的燃燒流場，是屬於電腦輔助工程系統在焚化爐上的應用，有助於對於旋轉窯焚化爐燃燒流場的瞭解。數值模擬的結果，在於「量」的分析上，是還有許多尚待努力的空間，其主要原因是爲實際的旋轉窯焚化爐的操作，存在著許多無法控制的變數；然而在「性質」的分析上，可得到令人相當滿意的結果。這也就是說，雖然我們無法確切知道爐內某一點的速度、溫度變化，但是我們知道爐內速度、溫度的分布情形，包括速度、溫度的分層化現象。整體旋轉窯焚化廠的運作，需要各系統的配合，由於時間與經費的限制，本研究僅著重比較重要的焚化系統，及部分的空氣污染防治系統，因此將來的後續研究，應該加

入旋轉窯焚化爐各子系統，及控制方法等，進行更完整的研究工作。

五、參考文獻

- [1] Yang, Y.; Reuter, M.A.; Voncken, J.H.L.; Verwoerd, J. 2002. Understanding of Hazardous Waste Incineration through Computational Fluid Dynamics Simulation. *Journal of Environmental Science and Health-Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 37(4): 693-705.
- [2] Li, S.Q.; Chi, Y.; Li, R.D.; Yan, J.H.; Cen, K.F. 2002. Axial Transport and Residence Time of MSW in Rotary Kilns: Part II. Theoretical and Optimal Analyses. *Powder Technology*. 126(3): 228-240.
- [3] Yan, J.H.; Li, R.D.; Chi, Y.; Cen, K.F. Li, S.Q. 2002. Axial Transport and Residence Time of MSW in Rotary Kilns: Part I. Experimental. *Powder Technology*. 126(3): 217-227.
- [4] Wainwright, P.J.; Cresswell, D.J.F. 2001. Synthetic Aggregates from Combustion Ashes Using an Innovative Rotary Kiln. *Waste Management*. 21(3): 241-246.
- [5] Roh, S.D.; Kim, S.W.; Cho, W.S. 2001. The Numerical Modeling and Process Simulation for the Fault Diagnosis of Rotary Kiln Incinerator. *Waste Management and Research*. 19(5): 403-412.
- [6] Rovaglio, M.; Manca, D.; Biardi, G. 1998. Dynamic Modeling of Waste Incineration Plants with Rotary Kiln:

Comparisons between Experimental and Simulation Data. *Chemical Engineering Science*. 53(15): 2727-2742.

[7] Boateng, A.A.; Barr, P.V. 1996. A

Thermal Model for the Rotary Kiln Including Heat Transfer within the Bed. *International Journal of Heat Mass Transfer*. 39(10): 2131-2147.

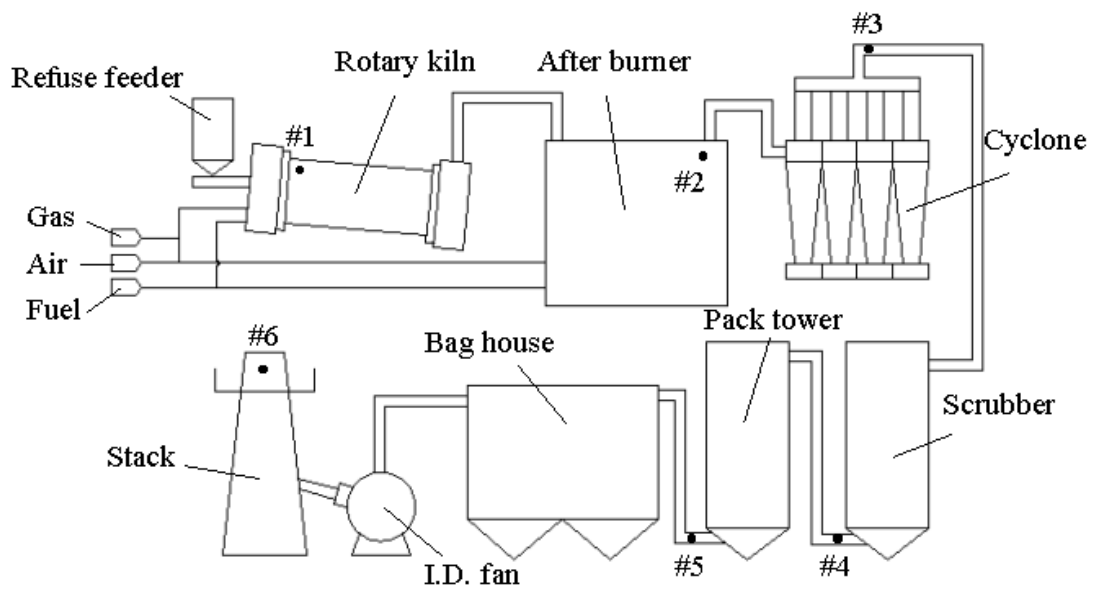


圖 1. 旋轉窯焚化廠設備配置圖

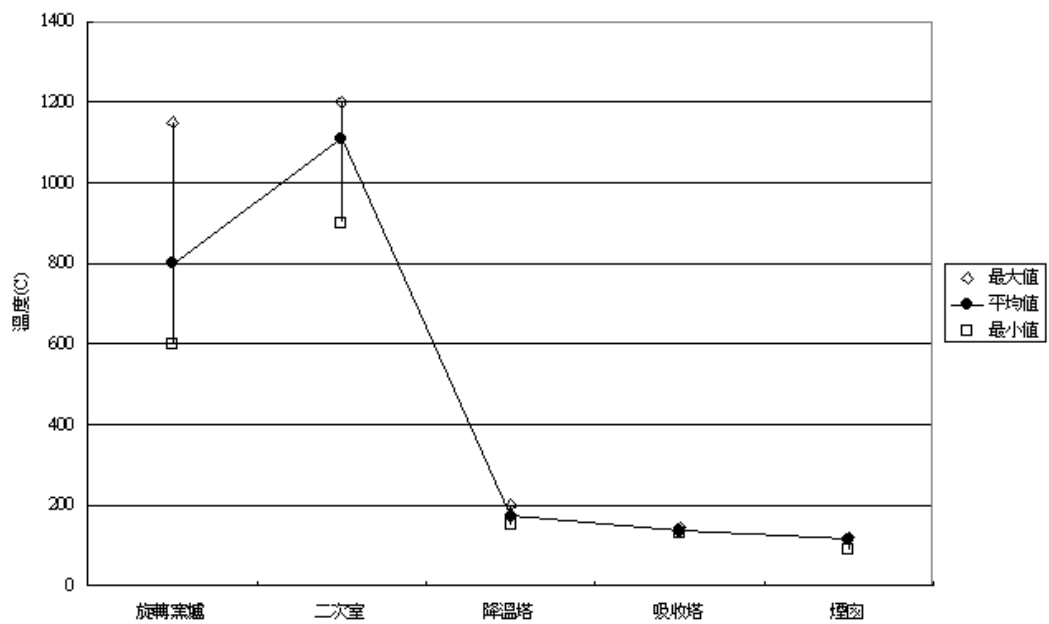


圖 2. 旋轉窯焚化廠各項設備的溫度量測結果

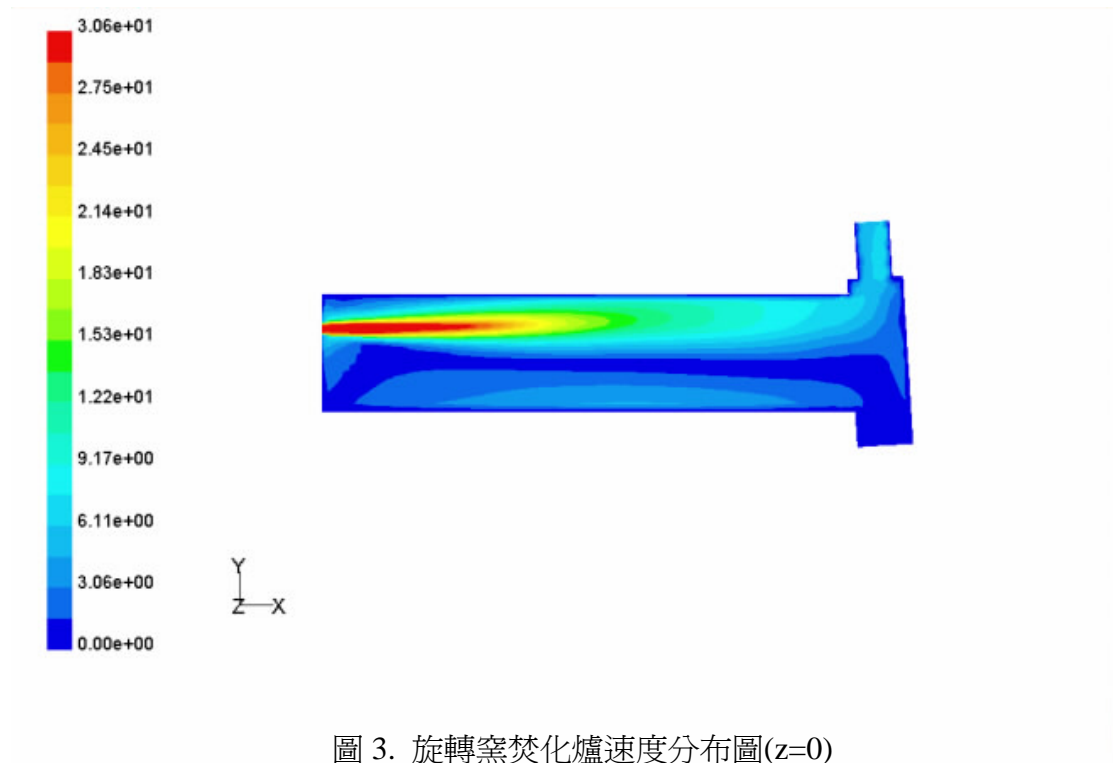


圖 3. 旋轉窯焚化爐速度分布圖($z=0$)

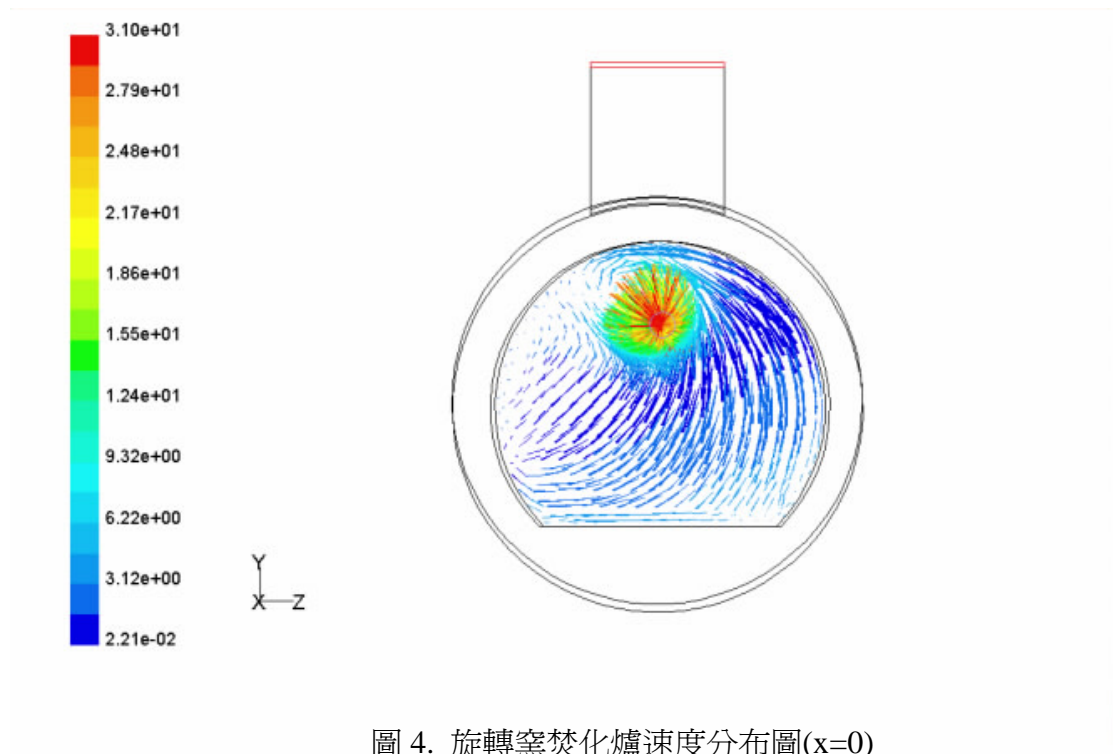


圖 4. 旋轉窯焚化爐速度分布圖($x=0$)

表 1. 煙道廢氣採樣分析(採樣點：煙囪)

採樣次數 分析項目	X1	X2	X3	X4	X5	平均
面板溫度(°C)	22	17	17	21	20	20
廢氣溫度(°C)	87	90	89	89	89	89
氧氣(%)	15.8	12.8	12.6	16.2	17.2	14.92
一氧化碳(ppm)	2	0	5	7	2	3.2
一氧化氮(ppm)	46	69	64	76	71	65.2
二氧化氮(ppm)	0	1	0	0	0	0.2
二氧化硫(ppm)	0	0	0	0	0	0
二氧化碳(%)	3.8	6	3.9	3.5	2.8	4