

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

有害事業廢棄物旋轉窯焚化廠 電腦輔助工程系統之建立與分析研究

Establishment of a Computer-aided Engineering System for a Rotary Kiln Incinerator treating Hazardous Waste

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-098

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：吳中興 國立台灣大學農業機械工程學系

一、中英文摘要

為了提昇國內焚化爐的設計與操作能力，本研究利用電腦模擬，進行旋轉窯焚化爐之燃燒流場分析。近年來由於電腦迅速地發展，使得許多複雜的工程的問題可藉由電腦模擬分析來解決，這就是所謂的電腦輔助工程(CAE)，而本研究即是使用電腦模擬，進行旋轉窯焚化爐燃燒流場之分析。本研究主要包括兩部分，旋轉窯焚化爐實場的溫度量測與電腦數值模擬的流場分析。本研究以高雄大發工業區的一座旋轉窯焚化爐為研究對象，以工業污泥為有害事業廢棄物的代表。旋轉窯焚化爐的進料量為 1 公噸/小時，過剩空氣料為 100%，旋轉窯的旋轉速率為 0.2~0.8rpm。焚化試驗的溫度量測點包括：旋轉爐體、二次室、旋風分離機、水洗塔、填充塔，及煙囪等位置。由於溫度量測點的限制，實驗數據無法充分地提供旋轉窯焚化爐的燃燒流場特性，因為只能提供某一點的溫度，無法知道整個燃燒流場的溫度分布，因此利用電腦模擬來彌補實驗數據的不足。另外，量測點的溫度可以與電腦模擬結果相互驗證，做為模擬模型修正的依據。本研究的電腦模擬與實驗的結果分布相當的一致，表示電腦模擬結果的正確性，可以提供旋轉窯焚化爐設計與操作的參考。

關鍵詞：旋轉窯焚化爐、有害事業廢棄物、電腦輔助工程

Abstract

To raise the domestic combustion technology as well as the abilities on incinerator design, this research utilized computer simulation to analyze the flow field inside a rotary kiln incinerator. The computer science developed so rapidly that many complex engineering problems can be solved by means of computer simulation. The way that utilizes computer to enhance the analyses of engineering problem is called computer-aided engineering (CAE). This research includes experiments and numerical simulations to aiming at the rotary kiln in DA-FA industrial park using sludge to stand for the hazardous industrial waste. The feeding rate of the kiln is one tone per hour

with the revolution speed between 0.2 and 0.8 rpm using 100 percent excess air. The temperature sensing locations include kiln, secondary combustion chamber, cyclone, scrubber, packing tower, and stack. Owing to the acquisitive data are not enough to reveal the characteristics of the combustive flow field, the simulated results were used to make up this insufficiency. By the way, the acquisitive data can be used to compare and then improve the CAD technique. In this research, both results are pretty match, so it means the CAE technique can provide a good reference for the design and the operation of the rotary kiln.

Keywords: rotary kiln incinerator, hazardous industrial waste, computer-aided engineering

二、緣由與目的

近年來台灣已從開發中國家進入已開發國家之列，工業生產所衍生的事業廢棄物處理問題，已受到生產事業、環保單位及社會大眾等各界的高度重視。雖然以焚化方式處理廢棄物不一定是最好的方式，但卻是最直接、最有效的方法。旋轉窯焚化爐是常見的焚化爐，一般用來處理事業廢棄物，其特性為可以處理不同狀態(固態、液態及污泥)之有害事業廢棄物，如：廢印刷電路板、廢液及工業污泥等。旋轉窯爐體的構造，為一個略為傾斜的圓筒爐體，廢棄物由前端進料口進入爐體後，隨著爐體的轉動，慢慢地滾到後端，中間經過了乾燥、熱裂解、燃燒、後燃等程序後，完成焚化處理。廢棄物在爐體類的滯留時間可由爐體的旋轉速度來控制，而且爐體的旋轉，可以使廢棄物均勻受熱，而燃燒反應完全。

能否有效地處理有害事業廢棄物，決定於溫度(Temperature)、滯留時間(Time)、擾動(Turbulence)，和足夠的氧氣(O)，這就是所謂的 3T+O。旋轉窯內燃燒反應流體非常地複雜，本研究採用計算流體力學軟體模擬旋轉窯內之燃燒流場，模型包括紊流流場(k-model)、燃燒反應、熱傳導與熱對流，藉由數值模擬的結果，可以彌補實驗數據擷取困難之缺點。本研究亦進行實場溫度測量之研究工作，局部擷取之溫度數據，可與數值模擬之結果相互驗

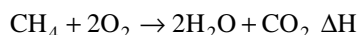
證。

三、結果與討論

本研究計劃的結果可包括：旋轉窯焚化廠實場溫度量測與數值模擬計算兩部分。在旋轉窯焚化廠實場部分，研究成員選定了高雄大發工業區的某旋轉窯焚化廠進行實場溫度量測之研究工作，本研究使用 K-type 熱電耦溫度感測棒及 21X Datalog 擷取溫度數據，某些位置的溫度資料由廠方提供，量測位置包括：旋轉窯爐體前端位置、二次燃燒室、旋風集塵器、水洗塔、填充塔及煙囪等位置。實驗所焚化的有害事業廢棄物為工業污泥，進料量為 1 公噸/小時，過剩空氣料為 100%，旋轉窯的旋轉速率為 0.2~0.8rpm。

圖 1. 為各位置的溫度分布情形，旋轉爐體前端、二次室、旋風分離機、水洗塔、填充塔、煙囪等平均溫度分別約為 920、1000、480、180、150、100。旋轉爐體前端的量測位置，為輔助燃料噴嘴附近，接近噴出火焰之位置，藉由此高溫使投入之廢棄物乾燥，因為前端也是廢棄物的投料位置，所以溫度變化大，650~1360。圖 2. 為旋轉爐體與二次燃燒室隨時間變化之溫度分布情形，由分布圖可以明顯地看出，一次燃燒室溫度分布的變異性很大；而二次室溫度分布非常地均勻，其原因是一次燃燒室為廢棄物的燃燒，二次室為廢氣中有機成分的燃燒，所以二次室溫度分布之變化比較穩定。

圖 3. 為旋轉爐體數值模擬之溫度分布結果，前視圖(xy 平面, z=0)，本研究假設輔助燃油的成分



為 CH_4 ，燃燒反應式為：

其中 H 表示化學反應的形成熱。圖形左方為廢棄物進料與輔助燃油進口；右方為旋轉爐體與二次室之間的過度區域，燃燒廢氣由上端引導至二次室繼續燃燒，灰渣由下端排出。本研究假設廢棄物占爐體十分之一的體積，輔助燃油由左方噴嘴噴入後，藉由紊流之擴散而燃燒反應，釋放出的熱量使得溫度上升達到 1000 以上，在爐床上，左方為乾燥區，所以溫度較低，接著為熱裂解區、燃燒區、後燃區等，溫度漸漸地升高。圖 4. 為旋轉窯焚化爐流場之速度向量圖，側視圖(yz 平面, x=1.905)，此位置為旋轉爐體長度四分之一的截面，流場的平均速度為 3.17 公尺/秒，由圖中可明顯地看出，隨著旋轉爐體的轉動，爐內流體也會有旋轉的現象，氣流旋轉有助於廢棄物揮發的有機成分與空氣中的氧氣均勻地混合，使燃燒反應能夠順利地進行。

四、計劃成果自評

焚化處理方式是目前國內主裡廢棄物的主要方法。若是處理不當的話，對於環境所造成的衝擊及國人的健康，均為莫大的傷害，所以提高國內的焚化處理技術為一重要的課題。提昇焚化爐的設計與操作能力為提高焚化處理技術最具體的做法，而且也是一項富有挑戰性的研究工作，比方說：廢棄

物及燃油的成分複雜，廢棄物進料與排渣影對於流場與溫度場的影響，此等皆為研究分析工作的困難處。在旋轉窯焚化爐內溫度的擷取也是一件非常困難的工作，因此只能在限制的位置量測溫度的變化情形；在流場模擬上必須合理地假設紊流模式、燃燒反應模式與熱傳模式。本研究完成旋轉窯焚化爐溫度的量測與流場數值模擬分析，利用數值模擬的結果彌補實驗的不足；而實驗的結果可與數值結果驗證，提高數值結果的可信度。數值模擬的研究方式是屬於電腦輔助工程分析的一種方法，由於近年來電腦科技的進步，使得工程上許多需要繁雜計算的工作，得以利用電腦計算解決。本研究已完成了一個初步的成果，在後續的研究工作上有的建議：(1)對於燃油與廢棄物成分的假設，本研究為了簡化模型做了均質的假設。(2)對於廢棄物的進料與排渣，本研究簡化其為穩態，即是假設其與時間無關。(3)旋轉窯焚化爐的熱傳模型部分，在本研究中僅考慮到熱對流與熱傳導，忽略了熱輻射的影響。(4)化學的燃燒反應，本研究假設為簡單的甲烷的燃燒反應。旋轉窯焚化爐內的焚化現象是如此地複雜，需要投入更多的心力進行後續的研究，以提昇國內旋轉窯焚化爐處理有害事業廢棄物的能力。

五、參考文獻

- [1] Jakway, Allen L.; Sterling, Arthur M.; Cundy, Vic A.; Cook, Charles A.; Montestruc, Alfred N. 1995. In Situ Velocity Measurements from an Industrial Rotary Kiln Incinerator. *Journal of Air & Waste Management Association*. 45:877-885.
- [2] Leger, C. B.; Cundy, V. A.; Sterling, A. M. 1992. A Three-Dimensional Detailed Numerical Model of a Field-Scale Rotary Kiln Incinerator. *Environ. Sci. Technol.* 27: 677-690
- [3] Hhan, J. A.; Pal, D.; Morse, J. S. 1993. Numerical modeling of a rotary kiln incinerator. *Hazard Waste Hazard Mater.* 10(1): 81-95.
- [4] 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.
- [5] Yang, L.; Faroul, B. 1997. Modeling of Solid Particle Flow and Heat Transfer in Rotary Kiln Calciners. *Journal of Air & Waste Management Association*. 47:1189-1196.
- [6] Wardenier, K.; Van Den Bulk E. 1997. Steady-State Waste Combustion and Air Flow Optimization a Field Scale Rotary Kiln. *Environmental Engineering Science*. 14(1): 43-54.
- [7] Veranth, John M.; Silcox, Geoffery D.; Pershing David W. 1997. Numerical Modeling of the Temperature Distribution in a Commercial Hazardous Waste Slagging rotary kiln. *Environmental Science & Technology*. 37(9): 2534-2539.
- [8] 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.
- [9] Park, S.I.; Kyong, N.H.; Park, Y.J.; Lee, S.K. 1994. Numerical Simulation to Control Rotary-Kiln Incineration of Municipal Solid Waste. *Energy*. 19(2): 179-186.

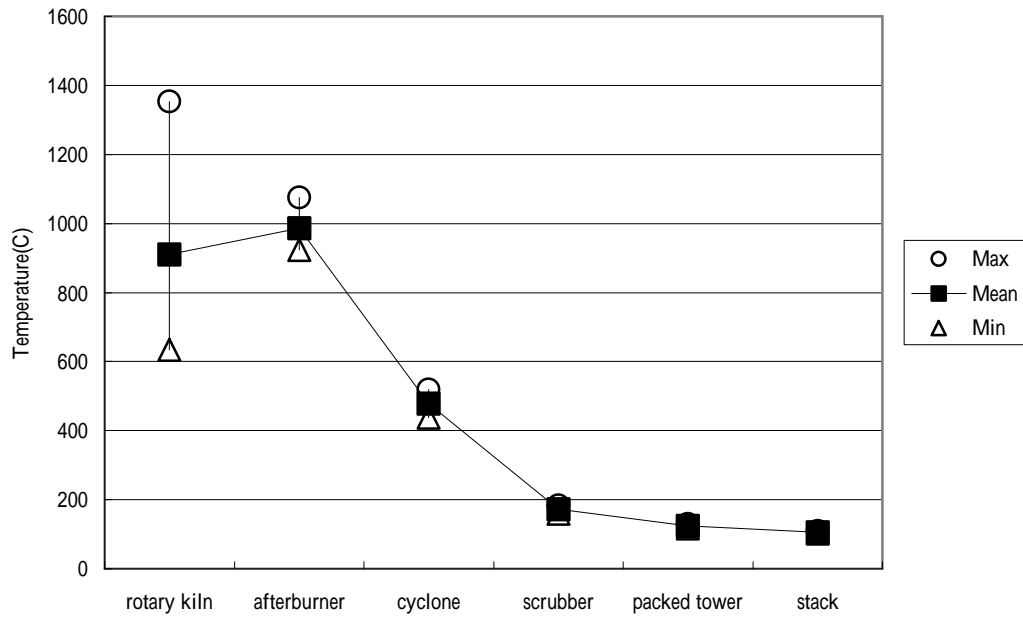


圖 1. 旋轉窯焚化爐不同設備的溫度分布

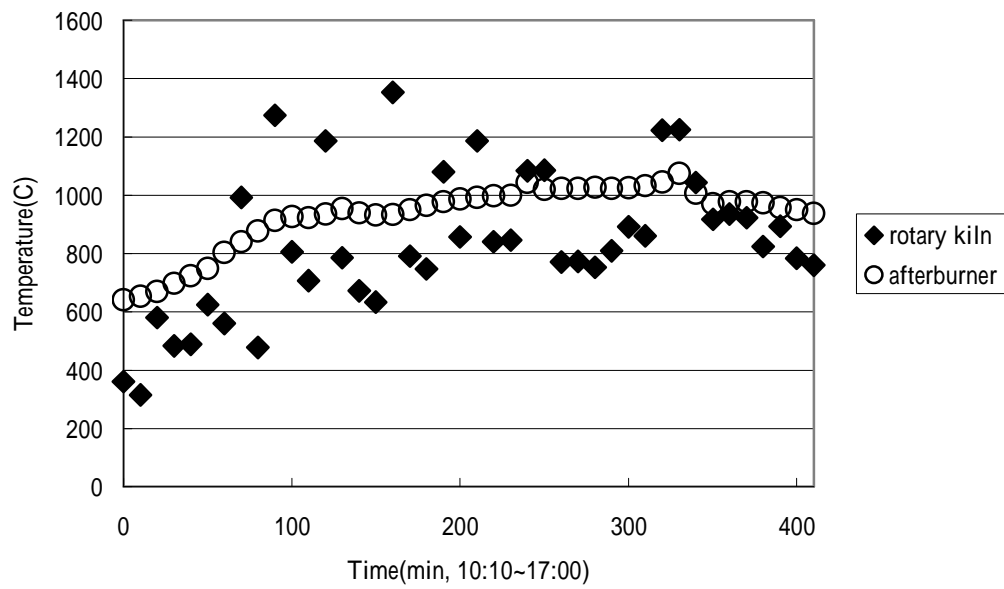


圖 2. 旋轉爐體與二次室溫度變化