

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

旋轉窯焚化爐中廢輪胎熱裂解反應動力參數分析及流場模擬之研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-002-033-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物產業機電工程學系暨研究所

計畫主持人：吳中興

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 28 日

※ 旋轉窯焚化爐中廢輪胎熱裂解反應動力參數分 析 ※

※ 及流場模擬之研究(1/3)

計畫類別： ☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2211-E-002-033

執行期間： 91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計畫主持人：吳中興

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學生物產業機電工程學系暨研究所

中 華 民 國 92 年 5 月 15 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

旋轉窯焚化爐中廢輪胎熱裂解反應動力參數分析 及流場模擬之研究(1/3)

The Kinetic Parameters Analyses and Flow Field Simulations on Pyrolysis of Waste Tire Using a Rotary Kiln (1/3)

計畫編號：NSC 91-2211-E-002-033

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 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暨研究所

一、中文摘要

由環境保護的觀點來看，廢輪胎不容易腐化，為不好處理之廢棄物。從能源的觀點來看，廢輪胎具有高熱值，可以做為燃料使用。因此，我們可以說廢輪胎同時具備廢棄物與燃料的性質。本研究以廢輪胎的性質，及旋轉窯焚化爐的操作特性，進行旋轉窯焚化爐處理廢輪胎的數值模擬。本研究的數值方法為有限體積法，燃燒模式為渦流消散模式，紊流模式則採用標準 $k-\epsilon$ 紊流模式。本研究模擬的結果，旋轉窯焚化爐的最高溫度為 1633K，最低溫度為 368K，平均溫度為 933K。本研究分別在爐體的上方與爐體的軸心建立直線，以便觀察沿著軸線溫度與物種濃度的變化情形，結果顯示，溫度與濃度沿著軸線的變化，有愈來愈趨近一致的特性，表示爐內的熱傳與質傳的效果良好。在旋轉爐體出口處，平均焚化效率為 94.0%，表示氣體燃燒尚未完全，因此旋轉窯焚化爐必須加掛二次燃燒室，繼續處理剩餘的可燃氣體，以提高其焚化效率。

關鍵詞：廢輪胎、旋轉窯焚化爐、有限體積法，渦流消散模式，標準 $k-\epsilon$ 紊流模式

Abstract

Chemically concerned, waste tires are not biodegradable. Even so, waste tires are commonly recycled and used as combustion fuel on account of its high combustion calorific value. This research used Finite Volume Method (FVM) and simulates the combustion condition of waste tires in a rotary kiln incinerator. When base on the properties of waste tires and the manipulation models in the incinerator, eddy-dissipation-model and standard turbulent $k-\epsilon$ model are also introduced. In order to determine the temperature variation along the axis of the rotary kiln, two parallel straight lines along the axial direction are constructed on the upper and middle position. Simulation data showed that the overall combustion efficiency is 94.0% in area near exhaust outlet, and the corresponding average temperature in the rotary kiln incinerator is 933K, whereas the lowest and highest ones are 368K and 1633K. Temperature and density profiles along the axial line approach in the long run indicated the excellent performance of mass and heat transfer in kiln, the low combustion efficiency still

showed the fact of incomplete combustion condition inside the incinerator and a secondary combustion chamber is essential for the waste-tire rotary kiln incinerator.

Keywords: waste tires, a rotary kiln incinerator, finite volume method, eddy-dissipation method, standard k- ϵ turbulent method

二、計劃緣由與目的

廢輪胎的主要成分為橡膠，不易腐化，加上其產生量逐年地增加，因此囤積問題日益嚴重。由於廢輪胎的壓縮比低，比容積大，若是直接掩埋，則會減少掩埋場之使用年限。若是隨意棄置，則會因其內部容易蓄水，滋生病媒蚊，而危害附近居民健康。並且，廢輪胎為具有高熱值之廢棄物，大量地堆置，有引發火災的潛在危機。廢輪胎含有豐富的能量，其高位發熱量高達 8720kcal/kg [1]，大於煙煤，因此廢輪胎是廢棄物也是能源。廢輪胎可以整胎或破碎方式做為輔助燃料。以整胎的方式做為水泥窯的輔助燃料，國外已有成熟的技術[2]，因為廢輪胎中的硫份，與水泥窯中的石灰石(CaCO_3)結合成硫酸鈣(CaSO_4)，所以沒有硫氧化物(SO_x)污染的問題。若是以破碎的方式將廢輪胎製成衍生燃料(Tire-Derived Fuel)，則可供應工業小型鍋爐的使用[3]。

旋轉窯焚化爐又稱為滾筒式焚化爐，係屬於活動式爐床之焚化爐。其旋轉爐體主要為一內襯耐火磚的鋼製圓筒，當廢棄物被送進旋轉爐體時，由於略為傾斜的爐體旋轉，而使廢棄物一面燃燒一面往下推移。旋轉爐體的轉動，除了可造成廢棄物的輸送外，更使得爐

內的廢棄物得到良好的混合，以提高焚化效率。旋轉爐體可分為四個區段，分別是：乾燥區、熱裂解區、燃燒區，及後燃區等，當廢棄物經過此四個區段後，灰渣由底部排出，廢氣經由過渡區域導引至二次燃燒室，繼續以高溫處理燃燒未完全的有機成分。

旋轉窯焚化爐為事業廢棄物焚化處理之主要設備之一，國外歐美、日本等先進國家，已普遍地應用旋轉窯焚化爐處理有害事業廢棄物，然而國內目前可見的應用實例並不多。旋轉窯焚化爐屬於混燒式焚化爐，其主要的優點為對於廢棄物具有良好的適應性，可以處理固態、液態與半固態等各種不同型態之廢棄物。本研究以廢輪胎的性質及旋轉窯的操作條件為基礎，進行旋轉窯焚化爐處理廢輪胎的模擬分析，以合理的假設條件，建立適當的焚化流場模擬模型。本研究的主要目的為提昇國內旋轉窯焚化爐對廢輪胎的處理能力，並希望能夠藉此提昇本土化之焚化技術與國內事業廢棄物之處理能力，以符合「減量化」、「安定化」、「無害化」、「資源化」的廢棄物處理目標。

三、結果與討論

本研究以有限體積法 (Finite Volume Method) 模擬旋轉窯焚化爐處理廢輪胎。一般而言，當廢棄物熱值達到 2778kcal/kg (5000BTU/lb) 時，則廢棄物著火後可以續燃。本研究中，廢輪胎的高位發熱量為 8720kcal/kg，遠超過廢棄物續燃的標準，因此當起爐達到穩定燃燒(Steady State)後，則不需要再供給輔助燃油。如圖 1 所示，燃燒空氣由左方輸送進入爐體，而爐床所產生的氣體，為廢輪胎熱裂解的可燃氣體(假設為甲烷)。燃燒空氣與可燃氣體混合達到一定

程度後，才會產生燃燒反應，燃燒的情況是而燃燒系統與氣體紊流程度所控制，因此本研究的燃燒火焰屬於擴散焰 (Diffusion Flame)。本研究所使用的燃燒模式為渦流擴散模式 (Eddy Dissipation Method)[4]，流場紊流模式採用標準 $k-\varepsilon$ 模式[5]。由於本研究假設流場為穩態流場，因此系統屬於對流－擴散之問題 (Convection Diffusion Problem)，此類問題流場統馭方程式的通式可以表示為：

$$\text{div}(r u j) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } j) + S_j$$

其中， j 代表流體之一般變數， Γ 為 j 之擴散係數， S_j 為 j 之源項。

圖 2 為旋轉窯爐內的溫度分布圖，本研究所使用的 135326 格點中，有 49.32% 的格點溫度達到 931K，最小溫度 368K 的格點為 1.45%，最大溫度 1633K 的格點為 0.04%。旋轉窯焚化爐內之平均溫度為 933K。

圖 3 為旋轉窯爐體內的溫度比較，Line01 為沿著燃燒空氣入口；Line02 為沿著旋轉窯爐體軸心。Line01 的最高溫度 1578K，為火焰熾熱的位置，透過能量的傳輸，Line01 與 Line02 的溫度逐漸趨於一致，約為 1000K。Line01 位於爐體的上方，而 Line02 位於爐體的中心，兩者溫度趨於一致，為同向式旋轉窯焚化爐的操作特性。

圖 4 為 Line01 與 Line02 的 CO_2 、CO 濃度的比較。Line01 與 Line02 上的 CO_2 濃度分布，雖然 Line01 略高於 Line02，但是有愈來愈趨於一致的現象，CO 濃度分布亦有趨於一致的現象。在本研究中，CO 是中間產物， CO_2 才是最終產物，由圖 4 可知，CO 的濃度極低，其較高的部分，在於火焰位置，這是由於燃燒變化過於劇烈，部分

的 CO 來不及氧化為 CO_2 。

焚化效率為判斷焚化爐處理效果良窳的指標，根據不同的目的，焚化效率的定義方法稍有不同，本研究所採用焚化效率之定義為：

$$\text{CE} = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}] + [\text{CO}_2]} \times 100\%$$

其中， $[\text{CO}_2]$ 為二氧化碳之莫耳濃度， $[\text{CO}]$ 為一氧化碳之莫耳濃度。本研究模擬的結果，旋轉窯爐體出口處的平均焚化效率為 94.0%，因此需要將煙氣導入二次燃燒室，繼續以高溫處理。旋轉窯爐體的主要功能為提供一個高溫的環境，使廢輪胎中的有機成分汽化，以及進行固定碳的燃燒，而氣體燃燒反應主要是在二次燃燒室進行，因此旋轉窯焚化爐必須加掛二次燃燒室，以提高焚化效率。

四、計劃成果自評

數值模擬可以彌補實驗數據的不足，提供流場的細部資料，使我們能夠具體地瞭解流場的結構特性。以數值模擬進行研究，必須透過一些基本假設，以簡化問題的複雜性，然而過度地簡化，將會使得模擬結果無法掌握到真實流場的特性。就本研究而言，雖然對流場的「特性」有很合理的描述，但是對於流場的「物理量」方面，缺乏足夠的實驗數據佐證。這個問題是不容易避免的，蓋數值方法的使用，正是因為實驗數據的取得困難，甚至數值模擬分析應用在焚化爐設計的階段，更是缺乏實驗數據進行比對。以巨觀的觀點分析，本研究的數值模擬結果，與此旋轉窯焚化爐之質能平衡一致，因此本研究的結果仍具有頗高的正確性與參考價值。

五、參考文獻

- [1] Kim, J. R., J. S. Lee and S. D. Kim. 1994. Combustion Characteristics of Shredded Waste Tires in a Fluidized Bed Combustor. *Energy* 19(8): 845-854.
- [2] Nakajima, Y. and Matsuyuki, M. 1981. Utilization of Waste Tires as Fuel for Cement Production. *Conservation and Recycling* 4(3): 145-151.
- [3] 楊金鐘。1991。廢輪胎的有效利用方式：「胎得福」(TDF)燃料。能源季刊 21(1)：114-131。
- [4] Magnussen, B. F. and B. H. Hjectager. 1976. On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. Sixteenth Symposium (International) on Combustion. 719-729. The Combustion Institute.
- [5] Launder, B. E. and D. B. Spalding. 1974. The Numerical Computation of Turbulent Flows. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 3: 269-289.

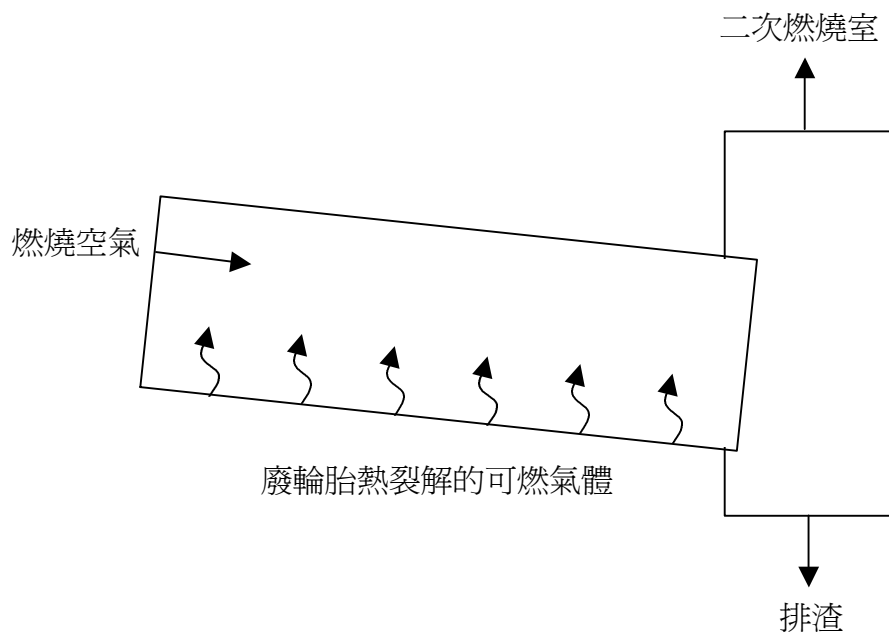


圖 1. 旋轉窯焚化爐處理廢輪胎示意圖

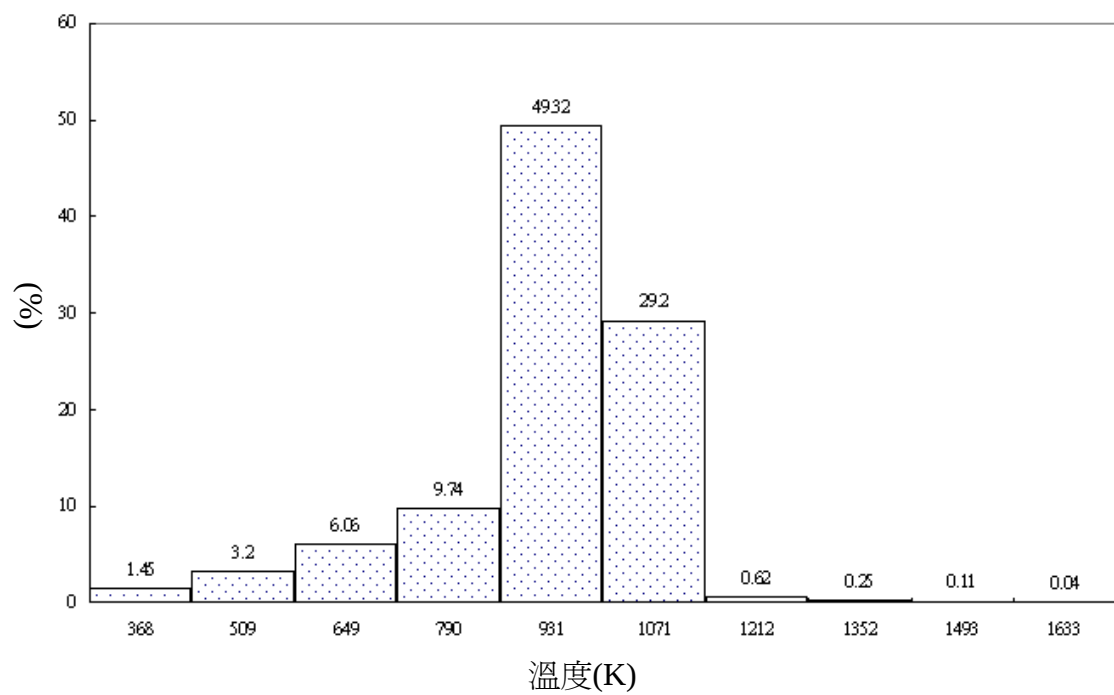


圖 2. 旋轉窯爐內之溫度分布(過剩空氣=100 %)

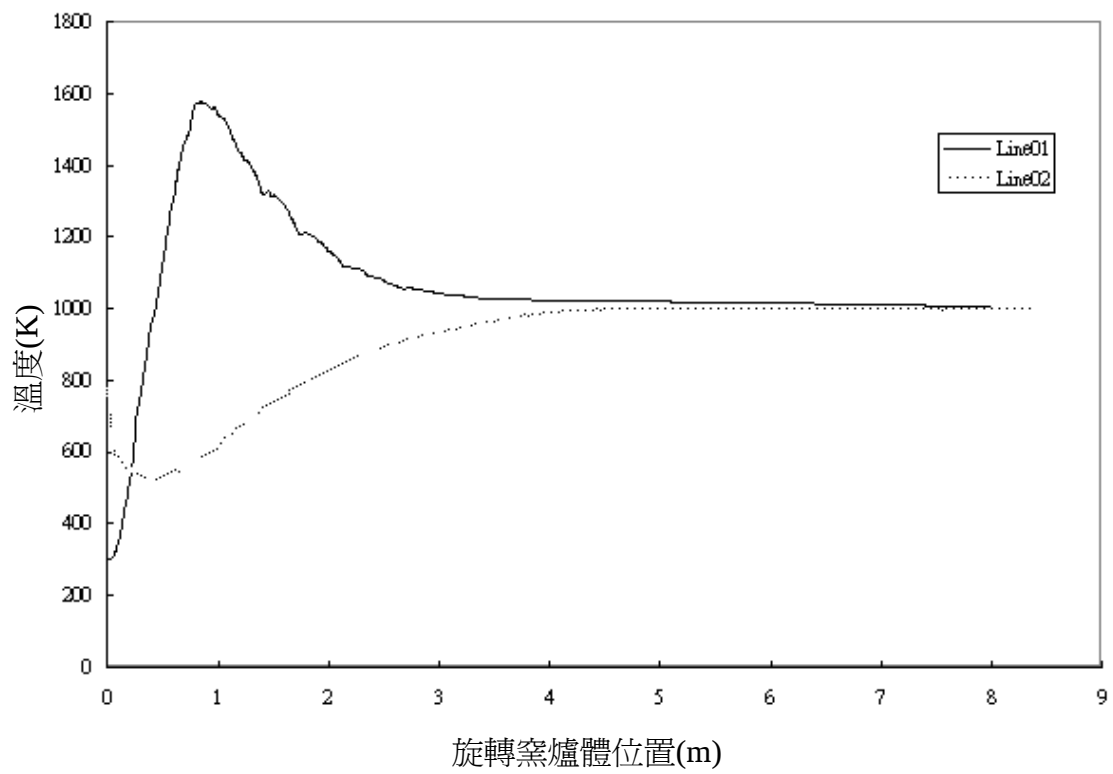


圖 3. 旋轉窯爐體內的溫度比較

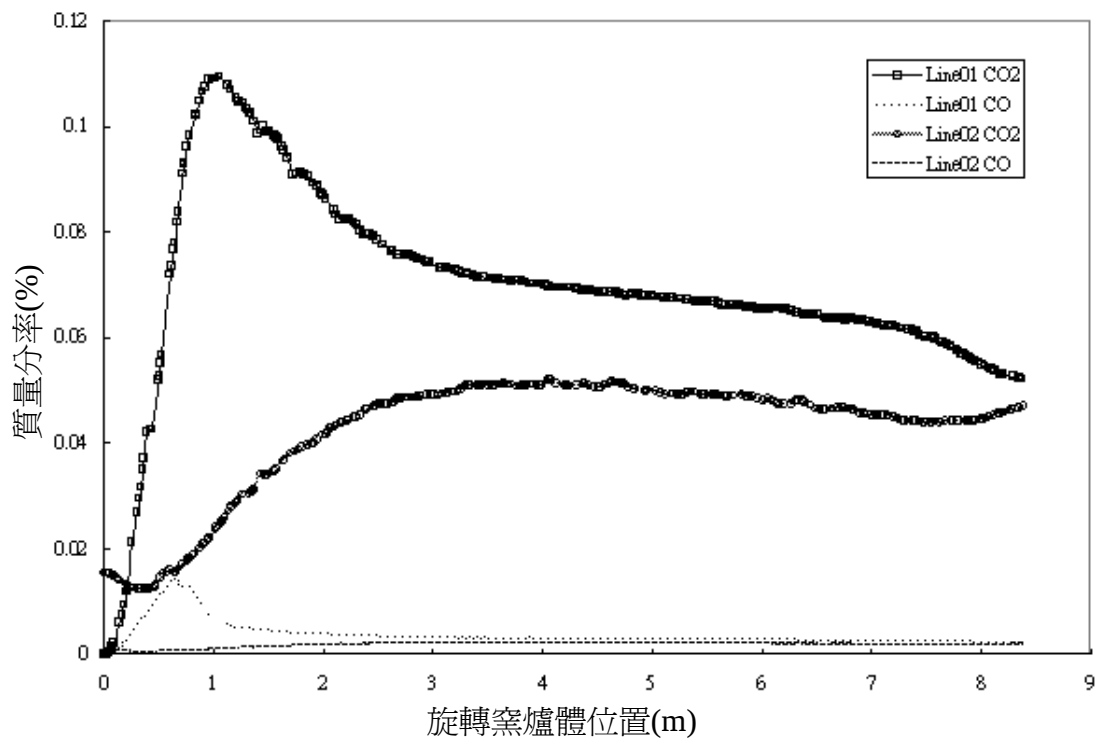


圖 4. 旋轉窯爐體內的物種濃度比較

