

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 建築物內火災延燒及動力學之數值模擬研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-032-018-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：張正興

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 建築物內火災延燒及動力學數值模擬研究

### Numerical Simulation of Fire and Building Aerodynamics

計畫主持人：張正興 助理教授 淡江大學土木工程學系

國科會編號：NSC 94/2211-E-032-018

計畫起迄日：2005/8/1 至 2006/7/31

#### 一、中文摘要：

本研究希望能透過火災模式程式 (Fire Dynamic Simulation) 進行環工實驗室通風性、煙控設計、模擬煙霧粒子，在火災初期其煙霧粒子的運動軌跡的瞭解及速度、火源對於溫度場變化和裝置於天花板高度的灑水器的影響。模擬結果發現：有效地控制實驗室的門關閉會比裝設灑水系統更能達到最佳控制火災蔓延的效果。

另一個研究主要模擬隧道內火災溫度與一氧化碳濃度的變化。對於模擬的結果進行分析與討論。

**關鍵詞：**火災模擬、計算流體力學、環工實驗室、隧道火災

#### Abstract:

The objective of this study is to evaluate the fire simulation capability for Fire Dynamics Simulator (FDS) by the National Institute of Standards and Technology (NIST). FDS has been aimed at solving practical fire problems in fire protection engineering. FDS can be used to model the low speed transport of heat and combustion products from fire, flame spread and fire growth, sprinkler, heat detector, and smoke detector activation. Environmental laboratory at TKU and road tunnel were selected to valid the transport of heat and smoke from a fire inside the structures. The results were discussed.

**Keywords:** FDS、CFD、Environmental Lab、tunnel fires

#### 二、緣由與目的：

一個成功的煙控設計是使建築物內的人員於火災發生後，有足夠的時間能讓人安全地離開火災現場，將是相當重要的議題[1]。

於2000年時，NIST/BFRL (美國國家標準暨技術協會火災實驗室) 發展出來一套CFD 火災模擬軟體FDS。其最新的版本為：FDS 4.0.7 and Smokeview version 4.0.8 (10/5/2006) [2]。

Chow[3] 於 1997 年應用 CFD (Computational Fluid Dynamics) 的套裝軟體PHOENICS 於香港新機場的航廈大廳之火災模擬預測其旅客與工作人員防火之安全逃生設施是否達到防火的標準。

1998年，McGrattan, Baum, Rehm [4] 等人，以LES (Large Eddy simulations) 利用不同的方法來進行三維動態的火災模擬預測 (利用工作站來模擬較大空間，其模擬網格數超過100萬) 最後結果發現：較傳統性經驗公式的準確性來的高。不管模擬大尺度或是小尺度與實驗數據比較之下其相關性與準確性都相當高。

1999年，Rho 與 Ryou [5]使用自行研發CFD code來模擬大空間的數值火災模擬情形，其模擬程式主要考慮紊流 - 模式與可壓縮流。進一步地比較區

域模式 (CFAST)、場模式 (NIST)、作者自行研發預測模擬結果發現：場模式模擬結果，對於煙霧產生、煙柱與天花板相互作用、煙柱噴流與牆壁之間得關係都可以清楚描述出來。

2000年，Soonil [6]利用數值模式 (REFLEQS)探討在無塵室的環境中其火災發生的煙流情形，主要利用CO<sub>2</sub>濃度分佈來表示煙霧濃度分佈，以取代傳統溫度場的變化。

2002年，Hua et al. [7]針對不同灑水系統進行模擬比較發現：實體 (solid) 灑水設施優於中空 (hollow) 設施；較小灑水孔徑的效率會優於較大的灑水孔徑；較大的灑水孔徑或是更多流量的設計，其效果都不是相當明顯的增加，反而水資源的浪費，相對地成本的增加；較小灑水器孔徑設計，可以增加水的蒸發率增加、有效地降低火焰與煙柱的溫度並降低煙柱之浮升的高度。

### 三、結果與討論：

#### (1) 環工實驗火災模擬分析：

將現有實驗室的設備來進行通風設備之模擬分析，當發生火災事故時，如何有效地控制火災的蔓延，以增加人員的逃生時間將傷害降到最低。

環工實驗室長為19.1m、寬20m、高4m，如圖1所示。環工實驗室主要包括：4間學生研究室、大學生與研究生實驗室、一間放置精密儀器的精密實驗室、三處逃生走道、兩扇窗戶、以及三台冷氣、白色部分為實驗室所放置的桌子。

主要針對三種不同的狀況進行模擬分析，如表1所示。

由圖2可知：在30秒以前，Case2並未把門打開，因此溫度變化趨勢與Case1相同，而測點road center的溫度皆比測點student4的溫度來得低，主要的原因測點road center距離火源較遠。在30秒過後，Case2假設把實驗室的門關閉，Case2中

測點road center也就是在逃生走道上溫度很明顯的降低，而Case2中測點student4由於門已關閉因此實驗室裡的溫度較高，有此可知，當火災發生時，將實驗室的門關閉是可以有效地降低逃生走道的溫度與煙霧的產生，且效果是較佳的。

Case3為假設增加灑水系統，當溫度高於74 時系統將自動灑水，由圖3中，可知增加灑水系統在火災發生時，對溫度的降低並沒有任何改變，因此，增加灑水系統對於延遲火災的蔓延並無明顯的效果。此結果與由文獻中Hua [7]，亦提及到模擬灑水系統對於延遲火災的蔓延效果與準確度並不是很好，因為在模擬過程中必須還要考慮到水滴粒徑、水滴流量、灑水器出水的角度以及水的成本 等因素存在，因此可能造成本模擬效果不佳的原因。

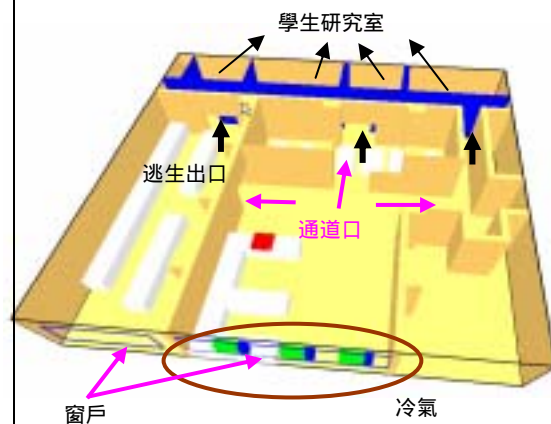


圖1 實驗室配置

表 1 模擬案例

模式	假設條件	設定值
Case1	實驗室有三處火源	
Case2	實驗室有三處火源 30 秒會將實驗門關上	
Case3	實驗室有三處火源 增加自動灑水系統	(k-11)

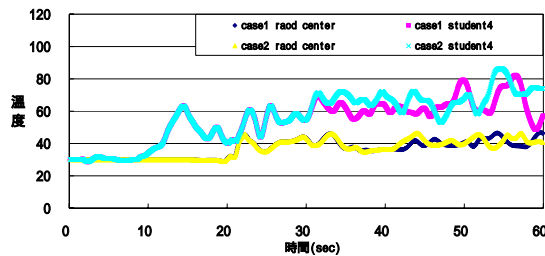


圖2 實驗室模擬結果

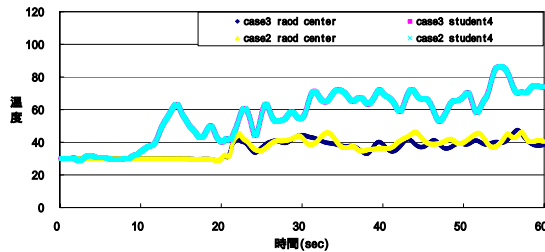


圖3 實驗室模擬結果

## (2) 隧道內火災模擬分析：

Hua et al [7]主要進行隧道內火災數值模擬分析與實際量測溫度的變化，結果發現：利用FDS可以準確地模擬出隧道內的火災的情境。作者只針對溫度變化做出詳細的討論，然而對於火焰燃燒可能產生的污染物，並沒有做進一步的研究與探討。

吾人將以台灣東部一隧道進行模擬分析。幾何形狀如圖4所示：真正的隧道的形狀應該為下凹拋物線或是彈形，但受制於軟體在幾何形狀輸出會些微的出入（模擬是以施工實際的尺寸輸入）。

模擬邊界條件如圖5所示，隧道內主要包括：黃色為汽車、黑色為火源的位置、綠色為排氣設施（outflow）、藍色為進氣設施（inflow）、隧道出入口設定為自然開放（opening）。

此次模擬主要針對三種不同的模式進行模擬分析。如圖6所示，火源位置分別放置排氣設施右邊、進氣設施的左邊、最後放置在排進氣的中間。

case 1模擬的結果，如圖7所示：當模擬時間不斷地增加時，其溫度也隨之

增加。火源的左側為排氣的設施，使得大部分的熱能會因排氣設施給予去除；因此火源所產生的熱能主要聚集於火源的左側而且易形成高溫的現象。

case 2模擬的結果，如圖8所示：火源的右側為進氣的設施，使得大部分的熱能無法因排氣設施而給予去除；反而是利用進氣較低的溫度慢慢地去降低火源所產生的熱能。從等溫度圖中，火源右側的溫度會較低於左側的溫度。從時間與溫度的變化可以清楚地看出，溫度比case1高出許多，此結果是相當不利於火災之安全逃生。

三種不同模式的分析如表2的整理，當火源介於排氣與進氣中間時，其隧道內的污染物與熱量是較容易被排除與控制的；相反地，若是發生case2的事件時，將是最壞的狀況。

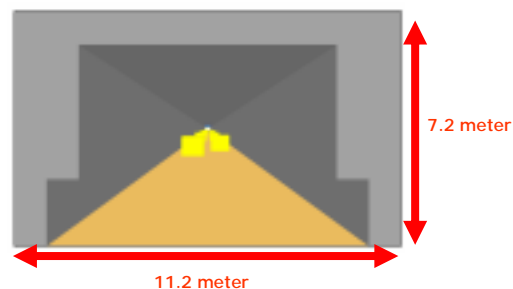


圖4 隧道幾何形狀



圖5 隧道邊界條件

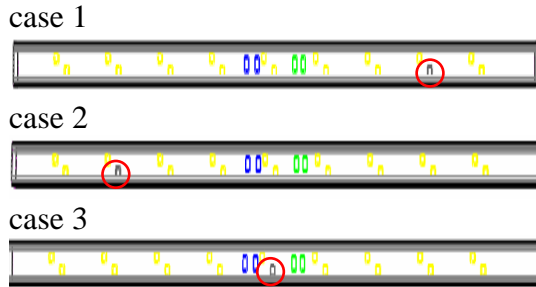


圖6 不同火源位置進行模擬分析

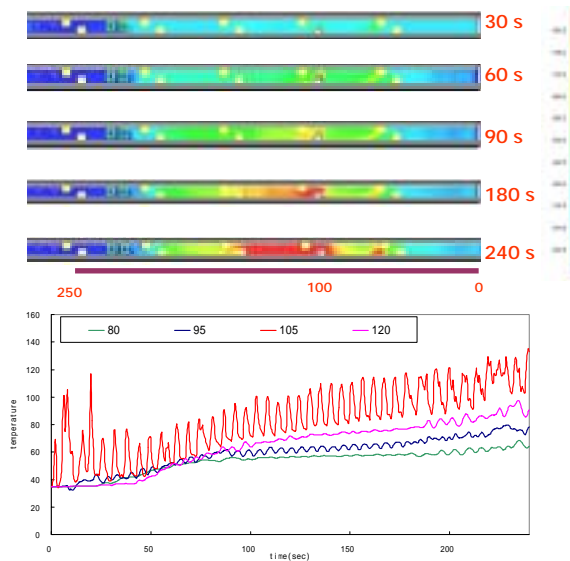


圖7 case1溫度場變化 (contour)

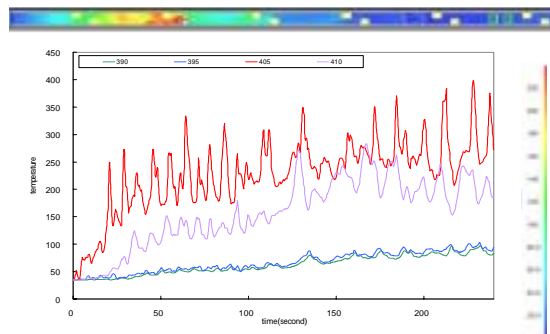


圖8 case2溫度場變化 (contour)

表2 模擬結果與分析

	case1	case2	case3
average temperature	90	200	36
average CO (PPM)	40	65	25

#### 四、結論：

環工實驗室數值模擬分析的結果可知：當火災發生時，具有障礙物阻擋的作用效果最佳，也就是把實驗室的門關閉，會達到最佳控制火災蔓延的效果。當模擬加設灑水器時，其效果是不佳的，可能原因為火災模擬程式之灑水模式必須再加以修正並考慮其他因素，如：水滴粒徑、水滴流量、灑水器出水的角度 等。

隧道內不同模式的模擬結果發現：當火源介於排氣與進氣中間時，其隧道內的污染物與熱量是較容易被排除與控制的 (case3)；當火源遠離排氣設施且火源的流場受制於進氣設施時，其隧道內的污染物與熱量是不容易被移除，因此會產生最壞的狀況 (case2)。此次隧道火災模擬所產生的CO的濃度都有偏高的現象，此現象仍需要實驗的驗證。

#### 五、參考文獻：

- [1]W.K. Chow, C.L Chow. Evacuation with smoke control for atria in green and sustainable buildings. Building and Environment. 40(2005):195-200
- [2] <http://fire.nist.gov/fds/>
- [3] W.K. Chow. One the "Cabin" fire safety design concept in the new Hong Kong airport terminal building. Journal of Fire Science. 15(1997):404-423
- [4]K.B. McGrattan, H.R. Baum, R.G. Rehm. Large eddy simulations of smoke movement. Journal of Fire Safety. 30(1998):161-178
- [5]J.S. Rho, H.S Ryou. A numerical study of atrium fires using deterministic models. Journal of Fire Safety. 33(1999):213-229
- [6]N. Soonil. Numerical simulation of smoke movement in clean room environments. Journal of Fire Safety. 34(2000):169-189
- [7]J. Hua, K. Kumar, B.C Khoo. A numerical study of the interaction of water spray with a fire plume. Journal of Fire Safety. 37(2002):631-657