

公寓家用熱水器一氧化碳中毒模擬分析

學生：陳羿彰

指導教授：陳俊勳

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘要

本研究主要是探討瓦斯熱水器放置於陽台時，開窗位置、面積、熱水器型號以及雜物堆積對一氧化碳生成的影響。使用套裝模擬軟體 FDS(Fire Dynamics Simulator)建構一暫態、多物種的燃燒模型進行分析，並藉由模擬結果與全尺寸實驗進行驗證以確認模擬準確性。

模擬結果顯示，氧氣、一氧化碳及二氧化碳與實驗數據之趨勢十分接近，證實 FDS 不只能運用在火災模擬，在本研究探討範疇內也能有很好的表現。

由各情境分析面積 14m^3 之陽台的結果來看，本研究建議如下：

1. 空曠陽台在開窗寬度 0.2m (高度 0.5m)以上在 20 分鐘內可確保陽台安全。
2. 窗前掛晾衣物降低窗口排氣效率，使得開窗寬度必須在 0.25m 以上才能維持陽台安全。
3. 地板擺放雜物限制了熱水器吸取氧氣的範圍，使得 0.2m 的開窗寬度不再安全；若將雜物架高，可有助於熱水器底部吸取氧氣，使 0.2m 的開窗寬度能繼續維持陽台的安全。
4. 熱水器架設位置應避免架設高於窗口，也不應擺設在窗口正上、下方。
5. 使用強制排氣型熱水器能使陽台內部的一氧化碳濃度始終為零。

關鍵字：FDS(Fire Dynamics Simulator)、熱水器、強制排氣、一氧化碳中毒、中性帶

A Study on Carbon Monoxide Poisoning Simulation Analyses in a
Apartment by Using Household Gas Water Heater

Student : Yi-Wun Chen

Advisor : Chiun-Hsun Chen

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

This study numerically investigates the effects of window position 、 window area and aheap stuff on the formation of carbon monoxide in a balcony with gas water heater. Simulations are carried out with a transient and multicomponent combustion model, using Fire Dynamics Simulator (FDS). The model is validated by the comparison with experiment.

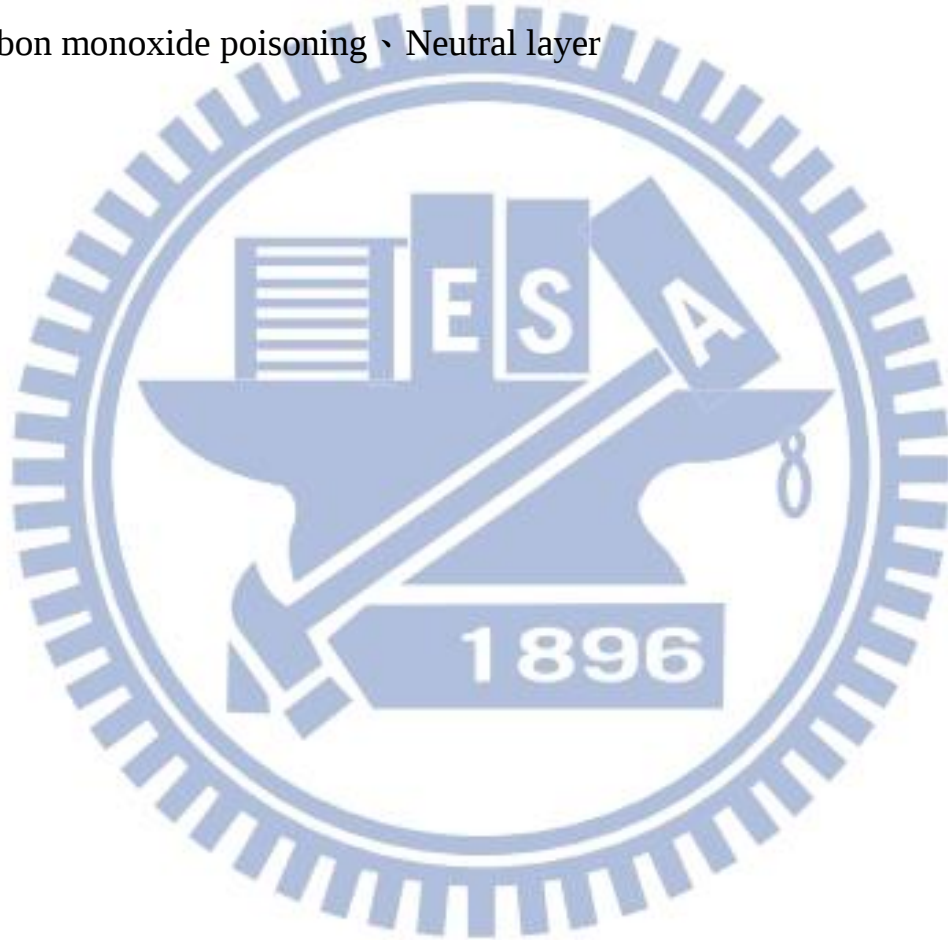
The simulated results show that a good agreement between predicted data of present model and the experimental results.

The following conclusions are obtained by this research:

1. The balcony is considered to be safe within 20 minutes if it's empty and the window-width is equal or more than to 0.2m.
2. Hanging clothes in front of the window will reduce exhaust-efficiency, therefore, the window have to open more widely than 0.25m to keep the balcony safe.
3. Heaping stuff on the floor restricts the region of oxygen water heater can absorb, which makes the balcony with window opened for 0.2m no more safe. Otherwise, to raise the stuff can help the water heater absorb oxygen and keep the balcony safe with the same window opened width 0.2m.

4. The water heater in balcony should not be higher than windows and the position should not be right above or right below the window.
5. Using water heater of forced exhaust can make carbon monoxide concentration to be zero in balcony within 20 minutes.

Key words : FDS(Fire Dynamics Simulator) 、 Water heater 、 Forced exhaust 、 Carbon monoxide poisoning 、 Neutral layer



致謝

時光荏苒，歲月如梭，碩士兩年就這樣結束了，準備邁入人生的另一階段，而現階段要感謝的人太多，首先感謝恩師陳俊勳教授的不離不棄，多次對我使出渾身解數只為教導我正確的邏輯觀念與態度，讓我擺脫過去那脫序的思維，且正所謂英雄不怕出身低，老師的訓練讓我對自己更加有信心，在此感謝恩師的栽培，獻上最深的謝意。

再來感謝交大土地公作為我這兩年的精神支柱，對如此脫線的學生照顧有加；也感謝事故調查及成災因素分析應用於風險評估和災害預防之整合研究計畫所提供的研究經費讓我生活不必煩惱也讓研究得以順利完成，更要感謝徐一量博士以及邱晨瑋學長，讓我的論文更加完整。而工作上特別感謝陳嘉勳大哥、消防署郭貞君小姐以及巨江楊介雄先生、林美琴小姐的幫助，幫我解決重重難關。

人說在家靠父母，出外靠朋友，有一群一起打拼的夥伴實在太過難仍可貴，實驗室的各位都是我人生中重要的亮點。首先感謝實驗室的大學長家維，在我有困難時不辭辛勞地替我解圍，也讓實驗室的大夥飽餐了好幾頓，更是大家眼中的開心果；學長宗翰、昶安以及長新的好邏輯以及想法也讓我的思緒不再侷限在小空間，而 FDS 的秉楷以及養豬場阿蓋還有越南小開 Austin 都是在碩士路上同甘共苦的好夥伴，在大家的相互加油打氣下順利完成學業；另外也感謝學弟亞樵、晨愷與惟翔的幫忙，讓我在喘不過氣的工作量中得以舒緩，還有畢業的學長季哥不時地關心我這個學妹，作為我工作上的強大靠山，能夠讓我放手胡搞瞎搞。此外，媽媽說做人絕對要飲水思源，所以 FDS 並列歷屆最強的詠翔以及金輝絕對不能忘，謝謝你們不吝嗇的傳授我們所有技能。最後，再次感謝實驗室的各位，我的人生有你們顯得特別精采。

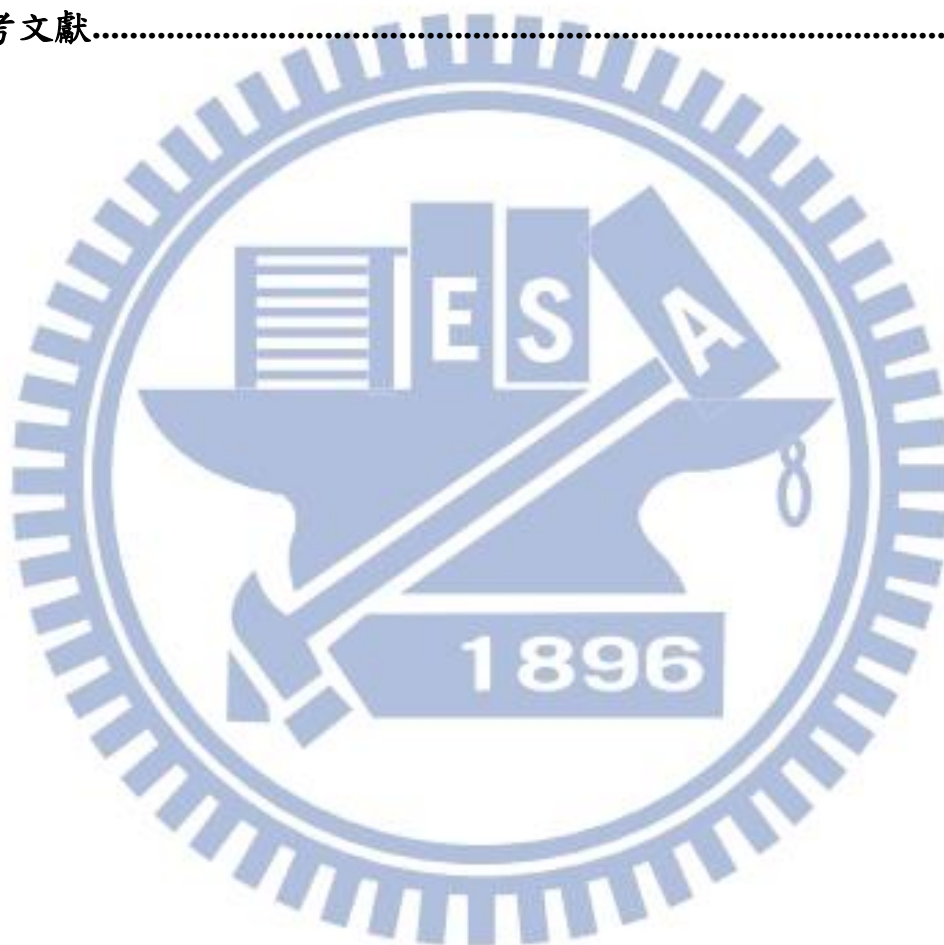
最後的最後感謝我的家人以及楷鈞，每每遇到困難總是陪我度過難關，再多抱怨也都全盤接受，吐完苦水後又是一尾活龍，讓我有繼續走下去的動力，在此獻上深深的感謝，也將這份榮耀雙手奉上。

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	III
目錄.....	V
表目錄.....	IX
圖目錄.....	XI
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究內容.....	6
第二章 一氧化碳與國內外中毒防範措施介紹	8
2.1 一氧化碳中毒特性	8
2.2 各國防範一氧化碳中毒措施	10
2.2.1 我國防範措施	10
2.2.2 美國防範措施	12
2.2.3 英國防範措施	15
第三章 模擬軟體介紹	17
3.1 火災模擬軟體(FDS).....	17

3.1.1 流體力學之統御方程式.....	17
3.1.2 差分方程式.....	21
3.1.3 燃燒模式.....	24
3.1.4 熱輻射之統御方程式.....	27
3.1.5 邊界條件.....	29
3.2 模型建立軟體 PyroSim.....	32
第四章 結果與討論	37
4.1 FDS 模擬參數定義.....	37
4.1.1 模擬範圍	37
4.1.2 火源設計及相關設定	40
4.2 既有實驗結果與 FDS 模擬結果驗證	44
4.3 陽台安全性分析.....	54
4.3.1 空曠陽台	54
4.3.1.1 標準案例開窗探討.....	54
4.3.1.2 熱水器自然以及強制排氣對於陽台安全之影響	60
4.3.1.3 熱水器出水量對於陽台安全之影響.....	63
4.3.1.4 改變熱水器以及窗戶位置對於陽台安全之影響	68
4.3.2 陽台堆積雜物	74
4.3.2.1 天花板下掛有衣物.....	74

4.3.2.2 地板上擺放箱子.....	78
4.3.2.3 天花板掛有衣物以及地板擺放箱子.....	78
4.4 不同燃料對模擬結果的影響.....	88
第五章 結論與建議.....	91
參考文獻.....	95



表目錄

表 2-1	一氧化碳濃度對於一般成人之影響.....	9
表 2-2	安裝燃氣熱水器相關法規.....	11
表 2-3	美國一氧化碳偵測器設置規範.....	12
表 4-1	格點測試.....	41
表 4-2	各項模擬參數列表.....	41
表 4-3	與既有實驗驗證之情境設定.....	44
表 4-4	改變熱水器以及窗戶位置之情境設定.....	68



圖目錄

圖 1-1	瓦斯熱水器一氧化碳中毒案例	2
圖 1-2	研究流程圖	7
圖 2-1	台灣家電用品認證標誌(a)CNS(b)TGAS	11
圖 2-2	BSI 英國標準協會認證標誌：Kitemark	16
圖 3-1	FDS 分析流程圖	35
圖 3-2	FDS 與 Smokeview 之組織架構與工作流程圖	36
圖 4-1	實驗空間示意圖	38
圖 4-2	模擬空間示意圖	38
圖 4-3	模擬空間窗戶示意圖	39
圖 4-4	實驗空間陽台外觀照片	39
圖 4-5	實驗空間陽台內部窗戶照片	40
圖 4-6	模擬空間熱水器外觀	42
圖 4-7	實驗瓦斯熱水器外觀及規格照片	42
圖 4-8	實際火源規格示意圖	43
圖 4-9	密閉陽台情境 O ₂ 濃度圖	47
圖 4-10	密閉陽台情境 CO 濃度圖	47
圖 4-11	密閉陽台情境 CO ₂ 濃度圖	48
圖 4-12	開啟室內窗情境 O ₂ 濃度圖	48

圖 4-13 開啟室內窗情境 CO 濃度圖	49
圖 4-14 強制進氣情境 O ₂ 濃度圖	49
圖 4-15 強制進氣情境 CO 濃度圖	50
圖 4-16 密閉陽台情境 CO 分佈圖 x-z 剖面	51
圖 4-17 開啟室內窗情境 CO 分佈圖 x-z 剖面	52
圖 4-18 開啟室內窗情境 CO 分佈圖 x-z 剖面	53
圖 4-19 標準案例開窗探討模型示意圖	56
圖 4-20 陽台內流場示意圖	56
圖 4-21 窗口中性帶示意圖	57
圖 4-22 標準案例開窗探討之 CO 濃度圖(陳躍仁).....	57
圖 4-23 標準案例開窗探討之 CO 濃度圖	58
圖 4-24 標準案例開窗探討之窗口前速度分佈圖	58
圖 4-25 標準案例開窗探討之窗前速度向量圖 x-z 剖面.....	59
圖 4-26 FE 型熱水器外觀示意圖	61
圖 4-27 FE 型熱水器流場示意圖	61
圖 4-28 FE 型熱水器 CO 濃度圖	62
圖 4-29 FE 型熱水器 CO 濃度圖	62
圖 4-30 熱水器型號 12L 之 CO 濃度分佈圖	64
圖 4-31 熱水器型號 12L 之速度分佈圖	64

圖 4-32 熱水器型號 16L 之 CO 濃度分佈圖	65
圖 4-33 熱水器型號 16L 之速度分佈圖	65
圖 4-34 熱水器型號 12L 之各開窗寬度窗前速度向量圖 x-z 剖面	66
圖 4-35 熱水器型號 16L 之各開窗寬度窗前速度向量圖 x-z 剖面	67
圖 4-36 窗口與熱水器位置示意圖	69
圖 4-37 情境一 CO 分佈圖	70
圖 4-38 情境二 CO 分佈圖	70
圖 4-39 情境一窗前速度分佈圖	71
圖 4-40 情境二窗口前速度分佈圖	71
圖 4-41 情境一向量圖 x-z 剖面	72
圖 4-42 情境二各窗口窗前速度向量圖 x-z 剖面	73
圖 4-43 陽台掛上衣物示意圖	75
圖 4-44 天花板下掛有衣物之 CO 濃度圖	76
圖 4-45 天花板下掛有衣物之窗前速度分佈圖	76
圖 4-46 陽台淨空以及天花板下掛有衣物之開窗寬度 0.2m 窗前速度 分佈圖	77
圖 4-47 天花板下掛有衣物之窗前速度向量圖 x-z 剖面	78
圖 4-48 地板擺放箱子示意圖(a)箱子貼平地板(b)架高箱子離地 10cm	80
圖 4-49 箱子內外圍 O ₂ 濃度圖	81

圖 4-50 箱子內外圍 O_2 濃度圖(有架高)	81
圖 4-51 有無架高箱子之 CO 濃度圖	82
圖 4-52 箱子圍住熱水器之 O_2 分佈圖 y-z 剖面	83
圖 4-53 箱子圍住熱水器之 O_2 分佈圖 y-z 剖面(有架高)	84
圖 4-54 綜合比較模型示意圖	86
圖 4-55 綜合比較 CO 濃度圖	86
圖 4-56 天花板掛有衣物以及地板擺放箱子之 Hrr 比較圖	87
圖 4-57 天花板掛有衣物以及地板擺放箱子之 CO 濃度圖	87
圖 4-58 不同燃料對模擬結果的影響之 O_2 濃度圖	89
圖 4-59 不同燃料對模擬結果的影響之 CO 濃度圖	89
圖 4-60 不同燃料對模擬結果的影響之 CO_2 濃度圖	90