

性能式防火設計基準全尺寸驗證研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 95 年 12 月

PG9502-0562

性能式防火設計基準全尺寸驗證研究

受委託者：財團法人成大研究發展基金會

研究主持人：林大惠

共同主持人：蔡匡忠、賴啟銘

研究助理：林俊雄、王孝中

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 95 年 12 月

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 防火性能設計之火源燃燒特性研究....	2
第三節 水噴霧滅火相關文獻回顧.....	4
第四節 水對木框架火焰的抑制效應.....	11
第二章 研究方法及實驗規劃.....	15
第一節 10MW大尺度燃燒分析裝置.....	15
第二節 熱釋放率分析.....	17
第三節 多功能辦公室空間實驗模型和小型滅火 性能測試裝置的設計構想.....	18
第四節 研究步驟流程.....	19
第三章 多功能辦公室空間實驗.....	21
第一節 實驗場整體架構.....	22
第二節 撒水系統.....	24
第三節 量測系統.....	27
第四節 火源.....	28
第五節 實驗參數與流程.....	29
第四章 撒水頭作動實驗.....	33

第一節	火源：100kW 丙烷 LPG 燃燒器.....	33
第二節	火源：170kW 油盤.....	55
第五章	含撒水系統之全尺寸辦公室火災實驗.....	63
第一節	實驗儀器配置位置.....	63
第二節	火災歷程和熱釋放率變化.....	65
第三節	火場溫度及量測氣體之濃度變化.....	70
第六章	小型滅火性能測試裝置實驗.....	79
第一節	研究方法.....	79
第二節	實驗設備與儀器.....	80
第三節	實驗步驟.....	82
第四節	實驗結果.....	83
第七章	結論與建議.....	85
第一節	結論.....	85
第二節	建議.....	86
附錄	89
參考書目	97

表次

表4-1	LPG火源撒水管路充氣實驗	35
表4-2	LPG火源，撒水管路充水實驗	39
表4-3	火源為油盤之實驗資料	56
表5-1	全尺寸辦公室火災實驗儀器配置	65
表5-2	全尺寸辦公室火災實驗之火災歷程	66

圖次

圖1-1	辦公室空間實驗模型的空間規劃和實驗儀器配置....	3
圖1-2	單一分佈噴霧條件下，液滴平均粒徑與液滴數量和總 表面積對應之關係	6
圖1-3	各種顆粒尺寸的分佈情形及其對應的物理型態.....	7
圖1-4	各種滅火用噴嘴型態及其操作原理	8
圖1-5	利用體積累積率區分細水霧	9
圖1-6	質量預焚百分比10%下噴水，15層木框架的質量 變化	12
圖1-7	質量預焚百分比10%下噴水，15層木框架的對流放熱 率變化	13
圖1-8	質量預焚百分比10%下噴水，15層木框架的輻射放熱 率變化	13
圖2-1	大尺度燃燒分析裝置實際設備圖	16
圖2-2	廢氣處理系統	16
圖2-3	多功能辦公室空間實驗模型的設計構想圖	18
圖2-4	燃燒承架和錐形漏斗設計圖	19
圖2-5	研究步驟流程圖	20
圖3-1	多功能辦公室空間實驗場實體架構圖	21
圖3-2	實驗場重新建置之圖面	23
圖3-3	實驗場西南向透視圖	23
圖3-4	天花板元件示意	24
圖3-5	撒水頭位置	26
圖3-6	撒水頭管路及壓力表	26
圖3-7	撒水頭外觀	26
圖3-8	(a)整體熱電偶樹配置圖及(b)單組熱電偶樹配置圖...	27
圖3-9	壓力表	28

圖3-10	丙烷燃燒器	29
圖3-11	火源位置圖	30
圖4-1	LPG-M ₁ -A溫度圖	36
圖4-2	LPG-M ₁ -A-1 之等溫線圖	37
圖4-3	LPG-M ₁ 、W ₁ 、W ₂ 、W ₃ -W 溫度曲線	40
圖4-4	LPG-C ₁ 、X ₁ 、X ₂ 、X ₃ -W 溫度曲線	40
圖4-5	LPG-Y ₁ 、Y ₂ 、Z ₁ 、Z ₂ -W 溫度曲線	41
圖4-6	LPG-M ₁ -W之等溫線圖	42
圖4-7	LPG-W ₁ -W之等溫線圖	43
圖4-8	LPG-W ₂ -W之等溫線圖	44
圖4-9	LPG-W ₃ -W之等溫線圖	45
圖4-10	LPG-C ₁ -W之等溫線圖	46
圖4-11	LPG-X ₁ -W之等溫線圖	47
圖4-12	LPG-X ₂ -W之等溫線圖	48
圖4-13	LPG-X ₃ -W之等溫線圖	49
圖4-14	LPG-Y ₁ -W之等溫線圖	50
圖4-15	LPG-Y ₂ -W之等溫線圖	51
圖4-16	LPG-Z ₁ -W之等溫線圖	52
圖4-17	LPG-Z ₂ -W之等溫線圖	53
圖4-18	火源為油盤之溫度曲線圖	56
圖4-19	油盤火焰相片圖	58
圖4-20	OIL-M ₁ -A之等溫線圖	59
圖4-21	OIL-M ₁ -W之等溫線圖	60
圖4-22	OIL-W ₁ -W之等溫線圖	61
圖4-23	OIL-C ₁ -W之等溫線圖	62
圖5-1(a)	全尺寸辦公室火災實驗配置圖	64
圖5-1(b)	由東南開口觀察辦公室內部點火前的狀況 (中間為西 牆防火窗)	65

圖5-1(c)	矮櫃及高櫃擺設之情形 (右邊為東北開口)	66
圖5-2	全尺寸辦公室火災之熱釋放率變化圖	68
圖5-3	全尺寸辦公室火災歷程照片	69
圖5-4(a)	全尺寸辦公室火災角落熱偶樹溫度變化圖 (TCC ₁ ~TCC ₄)	71
圖5-4(b)	全尺寸辦公室火災牆邊熱偶樹溫度變化圖 (TCW ₁ ~TCW ₄)	72
圖5-4(c)	全尺寸辦公室火災中央撒水頭下熱偶樹溫度變化圖 (TCS ₁ ~TCS ₄)	73
圖5-4(d)	全尺寸辦公室火災中央熱偶樹溫度變化圖(TCM ₁) . . .	74
圖5-5	全尺寸辦公室火災之房間西北邊牆面與玻璃面之熱 電偶溫度變化情形	75
圖5-6	全尺寸辦公室火災之實驗屋內氣體濃度	76
圖5-7	全尺寸辦公室火災所抽煙氣之流場及濃度變化	77
圖6-1	研究方法	80
圖6-2	實驗設備圖	81
圖6-3	15層木框架的熱釋放率	84
圖6-4	15層木框架燃燒質量損失	84

摘要

關鍵詞：性能法規、全尺寸火災實驗、辦公室火災、滅火性能

一、研究緣起

配合性能法規推動，內政部建築研究所 94 年度已針對性能法規設計的實際需求和自主發展，結合相關專業研究人力，共同建立辦公室空間實驗模型；透過全尺寸火災實驗，驗證性能法規的防火性能，同時經由火災歷程，探討並界定性能法規的防火性能的主控參數。

二、研究方法及過程

本年度之研究主要針對全尺寸火災的滅火性能進行實驗，利用已建立的辦公室空間實驗模型，配合由前期研究獲知的火災歷程，施予不同的滅火手法，驗證性能法規的火災控制性能，探討並界定滅火性能的主控參數。針對全尺寸火災實驗，必須建置一多功能實驗模型和建立一系列的實驗規劃與程序，經過實際滅火性能實驗，可以建立完整的全尺寸火災滅火的火場資料庫。

同時為瞭解建築火災其空間的整體滅火性能，有必要先行分析個別火載量的滅火需求，如：最小噴水量、最佳水霧粒徑、最遲噴水時間等主控參數，需規劃建立小型滅火性能測試裝置，配合房間試驗裝置或單一物件測試裝置，來分析個別火載量的滅火需求。

三、重要發現

大體而言，撒水頭作動時間受火源位置及撒水頭熱傳導之影響。當火源越靠近撒水頭，越接近角落或是牆壁，則撒水頭作動的時間越快。而因撒水頭不能瞬間到達環境溫度，須待熱傳來加溫，所以不能以環境溫度達到設定溫度來判定作動。在本實驗中，所使用之撒水頭標示溫度雖為 68°C，但經過一連串實驗後發現，當撒水頭周圍溫度到達 100°C 以

上時，才能驅動撒水頭，因此可以知道環境溫度要高於設定溫度至少約 30°C，撒水頭才會作動。

全尺寸辦公室火災實驗結果發現，本撒水系統之配置可以有效地抑制辦公室火災閃燃的發生，即使實驗中策略性地使三個撒水頭撒水失效，但是剩餘的一顆撒水頭仍然可以控制火的延燒，半小時內抑制了閃燃的發生，雖然無法完全撲滅火場，但是卻可以增加逃生的時間。然而在 30 分鐘關閉撒水頭後，整個火場火勢又快速成長。

至於小型滅火性能測試裝置實驗方面，可以得到以下幾點結論：(a) 噴水率的大小對於木框架燃燒之影響程度：對流放熱率 > 質量燃燒率 > 輻射放熱率。(b) 木框架層數愈多，其所需之 RDD (required delivered density, 抑制火燄之臨界噴水率，單位: $\text{g}/\text{m}^2\text{s}$) 隨之變大。而固定木框架層數下，質量預焚百分比 50% 以下，質量預焚百分比愈大，則所需之 RDD 亦隨之變大。(c) 當噴水後，燃料之放熱率迅速下降，而且使得未燃部份因熱量供應不足放熱率無法再次增高。

四、重要建議事項

建議一

立即可行建議

主辦機關: 內政部建築研究所

協辦機關: 內政部消防署

根據全尺寸辦公室火災實驗結果發現，整個火場溫度受限於撒水頭的影響，經過半個小時的延燒，整個屋內溫度可以完全抑制在 800°C 以下。不過經過隔天現場探勘之後發現，即使天花板因為使用 CNS 6532 所規範之耐燃 1 級材料能承受火場的破壞，但是所支撐之輕鋼架卻因為變形擠壓，造成天花板的破損而使得火焰延燒到天花板頂部內，因此如果在更嚴重的火災環境，則會受到更大的破壞，這項結果值得相關單位注意。由於現在很多通風管路、電纜線等等都經由天花板內部相互連接，如果真的火焰延燒至天花板頂部，那麼相當的防火措施則必須要事

先預防，或是在鋼架變形量上進行耐火的措施。

建議二

立即可行之建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部消防署

根據最近研究案發現，性能式法規之驗證實驗的確有其重要的參考價值，但由於實驗都是屬於大尺度的規劃，因此往往需要耗費相當大的人力與金錢，加上實驗後之重複性驗證可行性較差，因此希望建議建研所能藉由這些實驗所彙整得到之數據，訓練相關之研究人員，開發出屬於國內可行之 FDS 模擬系統，如此可以得到更有效的火災模擬工具，以供相關機關參考，並作為性能法規訂定依據。

建議三

中長期建議-探討特殊建築案例之性能防火設計

主辦機關:內政部營建署

協辦機關:內政部消防署

本研究案實驗模型屋中配置相關之建築物件（如撒水頭、開口部等），其成果應可用於性能防火法規驗證之用。未來對於特殊建築案例應建立性能防火設計基準要領（考量排煙、入口風壓、撒水等），並將案例逐步回饋建立修正性能防火法規，使其更趨完備。

建議四

中長期建議-探討撒水頭配置

主辦機關:內政部消防署

協辦機關:內政部營建署、內政部建築研究所

根據「各類場所消防安全設備設置標準」計算得知，本辦公空間所需使用之撒水頭之數量為四顆，但是根據本實驗結果發現，即使在最糟

糕的火場環境之下，一顆撒水頭雖然無法完全撲滅火災，但是仍然可以抑制閃燃的發生，延長逃生的時間。因此在基於性能法規的精神之下，建議在類似於本辦公空間（火載量 $\sim 400\text{MJ/m}^2$ ）之配置下，所需要之撒水頭不需要到四個，反而以維持噴水量更為重要，若起始噴水太多，當水量用罄，火場可能再次著火。

ABSTRACT

Keywords: Performance-Based Code, Full-Scale Fire Tests, Office Fires, Fire Suppression Characteristics

In the last year, full-scale tests of office fires by using the 10MW large-scale fire calorimeter were performed to evaluate the fireproof performance based on the Performance-Based Code. Evaluation of the performance of fireproof design in conjunction with the Performance-Based Code and comparison of the results with the traditional design through the full-scale tests were discussed. Based on the experimental results, the major control parameters for the fireproof performance associated with the Performance-Based Code were identified, and therefore being used to develop appropriate empirical correlations or analytical models.

In this report, we continue to study the fire suppression characteristics of office fires by using the office model built before with additional modifications. Various kinds of fire-fighting methods particularly with water sprays will be considered to determine the major control parameters for fire suppression, and to further evaluate the fire suppression performances of building designs based on the Performance-Based Code. In the study, a multi-function office model for full-scale fire suppression tests will be built incorporated with a standard operation procedure. Full-scale fire suppression tests will result in several complete sets of experimental data for future comparisons.

In the study, an experimental apparatus will be developed for evaluation on the fire suppression characteristics of a single fire load. The fire suppression characteristics for a single item can be identified by the minimum water supply rate, the optimum water drop size, and the best timing for water spray injection, etc. Finally, the fire suppression characteristics for a wood-crib fire will be examined.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

由於現階段建築設計、技術和建築材料的日新月異，過去建築物防火設計所依據的傳統規格化法規(Prescriptive Code)顯得綁手綁腳，窒礙難行。近年來，防火工程技術漸趨成熟、防火實驗資料大量建立、預測火災特性與災害危險度評估的電腦模擬程式逐漸被開發出來，因此在防火工程方面採用性能式法規(Performance-Based Code)設計已成為全世界的發展趨勢。相較於規格化法規雖易於執行但缺乏彈性，其條文目標不明確且規定複雜；而性能式法規則具有明確的意旨、彈性的設計方法以及更經濟的建造成本，實為我國必須邁入性能式法規的要因，同時採用性能式法規更是降低貿易障礙的重要措施。

新近大力推動的性能法規，希望以科學的方法來解決現有的法規或標準僵化的短處，對於不斷創新、改進的材料或技術，避免產生不合理的限制或拘束，並使得有限的防火資源達到使用最佳化。固然，性能法規設計可以脫離傳統規格化法規或標準的一體化限制，但其展現的防火性能仍需適當的加以驗證。配合性能法規推動，內政部建築研究所 94 年度已針對性能法規設計的實際需求和自主發展，結合相關專業研究人力，共同建立辦公室空間實驗模型；透過全尺寸火災實驗，驗證性能法規的防火性能，同時經由火災歷程，探討並界定性能法規的防火性能的主控參數。

本研究案將繼續進行全尺寸火災的滅火性能實驗，利用已建立的辦公室空間實驗模型，配合由前期研究獲知的火災歷程，施予不同的滅火手法，驗證性能法規的火災控制性能，探討並界定滅火性能的主控參數。針對全尺寸火災實驗，必須建置一多功能實驗模型和建立一系列的實驗規劃與程序，經過實際滅火性能實驗，預期能建立完整的全尺寸火災滅火的火場資料庫。同時為瞭解建築火災其空間的整體滅火性能，有必要

先行分析個別火載量的滅火需求，如：最小噴水量、最佳水霧粒徑、最遲噴水時間等主控參數，需規劃建立小型滅火性能測試裝置，配合房間試驗裝置或單一物件測試裝置，來分析個別火載量的滅火需求。

為了說明本研究案的整體規劃及全程發展，我們首先簡述 94 年度研究成果【1】，接著針對水噴霧滅火相關研究進行文獻回顧，最後介紹水對木框架火焰的抑制效應。

第二節 防火性能設計之火源燃燒特性研究【1】

94 年度研究係以內政部建築研究所台南歸仁防火實驗室一樓辦公室的空間擺設為火災模擬對象，建立辦公室空間實驗模型，藉由全尺寸火災實驗，探討分析從引燃、成長、完全發展到衰退整個火災歷程的實際現象，同時和經驗公式所估算得到之結果相比對。辦公室平面尺寸為 6m×5m，高度為 2.4m，牆壁由厚度 0.2m 不可燃 ALC (aerated lightweight concrete)板所構成。整個配置主要依照實際辦公室的空間擺設，如圖 1-1 所示，包含辦公椅（六張）、屏風（六組）、桌板（六組）、高木櫃（三組、辦公室北邊）以及矮活動鐵櫃（三組、辦公室東邊）。

辦公室東北邊及東南邊各有一個門，門的尺寸為 1.8m×0.6m；東北邊的開口主要用來供應新鮮空氣，東南邊開口則是用來排放廢氣。辦公室南邊上方為 10MW 大尺度燃燒分析裝置的大型抽煙罩，主要用來吸引廢氣，並由氣體分析儀分析廢氣組成，同時估算熱釋放率。兩組開口分別配置三組雙向速度儀以及熱電偶(BDP/TC)，其裝設位置分別位於門框上下各 20cm 以及門中間位置，用來測量吸入空氣以及排出廢氣之溫度和質量流率。圖上虛線的圓形符號代表引火源的位置，引火源以標準天然氣燃燒器提供 50kW 之熱源加熱 200 秒為主，其安裝位置有兩個不同地方，主要比較不同引火源的引燃情形。TC 代表熱電偶位置，整個辦公室空間裝置六組熱電偶樹，由地面算起至天花板處，平均每 30cm 放置一點，熱電偶種類為 K 型式。R1~R5 皆為熱輻射計，R1 面向東方、R2 面向南方、

R3 置於地面面向上方，用來量測辦公室內部上層煙氣的輻射熱通量；R4 和 R5 主要面向西方，用來量測整個火場的輻射熱通量。V 則是表示含內視鏡的氣冷式攝影機位置，用來觀看整個火災歷程。

全尺寸辦公室火災實驗共執行五次，分別為木框架模擬實驗(ORT0)、雙開口部實驗(ORT1)、家具組延燒實驗(ORT2)、單開口部挑高空間實驗(ORT3)以及雙開口部挑高空間實驗(ORT4)。我們首先利用木框架模擬實驗檢視實驗儀器配置的適當性，同時測試各項儀器操作功能是否正常。開放空間下的家具組延燒實驗提供火焰延燒的基本資訊，可以作為點火源設計的參考。ORT1、ORT3 和 ORT4 三組實驗則用來探討通風效應、空間挑高效應、點火源位置和火焰延燒模式對於整個火災歷程的影響，其中尤重於閃燃時間的判定。

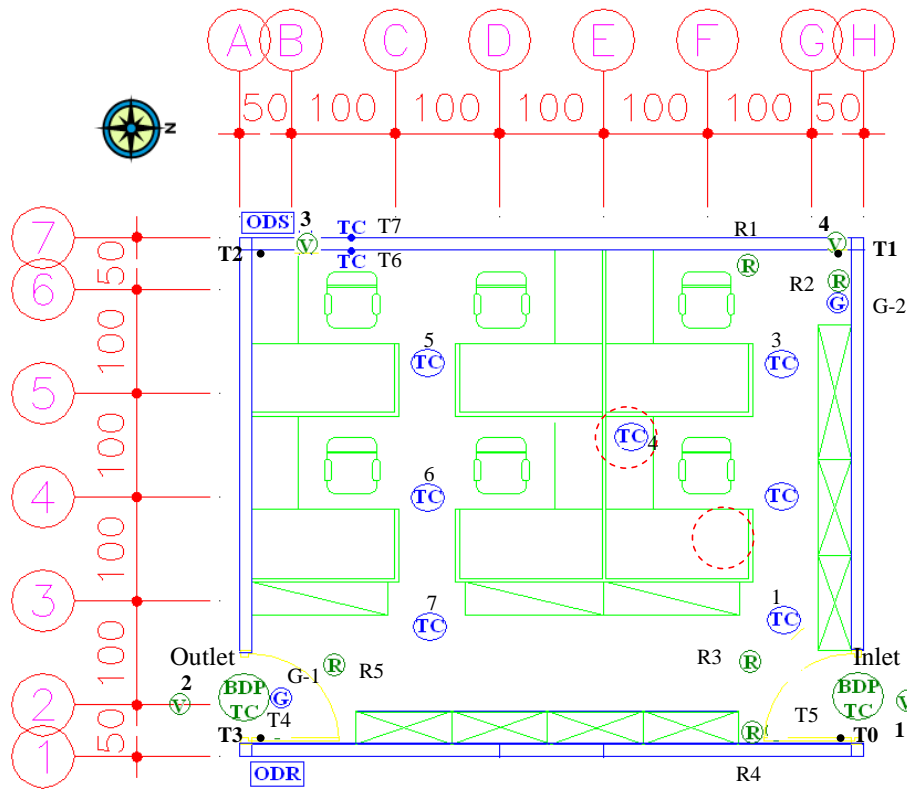


圖 1-1 辦公室空間實驗模型的空间規劃和實驗儀器配置

(資料來源: 參考書目 1)

由實驗數據顯示，閃燃發生時機確實如文獻所言，上層煙氣溫度達到 600°C 或是到達地面的熱輻射通量達 20kW/m²。從實驗結果亦可得知，

閃燃發生的主控參數是熱釋放率，而熱釋放率則受火源位置、火源附近可燃物的延燒特性及其熱釋放率所影響。研究中，藉由文獻針對建築空間火災用來判定閃燃發生與否的相關經驗公式，計算閃燃時間並與實驗結果做比較，發現兩者的差異性大。

有鑑於全尺寸火災實驗所花費的人力與物力皆相當可觀，必須善加利用本研究辛苦建立的火場資料庫；因此，建研所將規劃使用 FDS 電腦模擬程式，藉著電腦的快速計算能力和龐大的記憶容量，進行火災行為預測，並與本研究所建立火場資料庫的實驗數據相互驗證。建研所也持續彙整與建築空間火災相關的經驗公式，未來將編撰火災歷程中預測火災行為的簡易技術準則。能夠和實驗數據相互驗證的 FDS 電腦模擬程式，以及簡易估算的經驗公式，將有助於建構本土化的防火性能法規設計基準。

第三節 水噴霧滅火相關文獻回顧

水具有絕佳的滅火性能，因此水成為最廣泛使用的滅火劑。水的熱特性(thermal characteristics)可將熱量不論是直接從火焰、從燃燒高溫產物或是從燃料表面來迅速移除，此熱特性使其適於作為大部分火災的滅火劑。火場中，水經由液體變為蒸氣（汽）的相變化過程，吸收蒸發潛熱可以有效的攫取熱量，同時大量產生的水蒸氣可以降低週遭環境的氧氣濃度（在密閉空間內使用時尤具功效），進而達到滅火的目的【2】。

火災依可燃物質之不同，可區分為普通火災、油類火災、電氣火災和金屬火災四大類，雷同於歐美法規的 A、B、C 和 D 四種分類【3, 4】。普通火災（A 類）係指普通可燃物引起的火災，如木材、紙類、纖維、棉、布、合成樹脂、橡膠、塑膠等。通常建築物火災即屬此類。油類火災（B 類）則為可燃性液體（如石油製品）以及可燃性油脂（如塗料）等引起的火災。一般可燃性氣體引起的火災，如天然瓦斯、乙炔氣、液化石油瓦斯等，也歸於此類。電氣火災（C 類）涉及通電中的電氣設備

引起的火災，如電器、變壓器、電線、配電盤等。金屬火災（D 類）則是活性金屬，如鎂、鉀、鋰、鋅、鈦等，或其他禁水性物質燃燒引起的火災。一般來說，普通火災是日常生活中最為常見，而將水以噴流(jet)或是噴霧(spray)方式來滅火，是此類火災最為有效的撲滅方式。美國防火協會(NFPA)將 A 類火災定義為：「藉水或含水溶液的冷卻作用，足以發生最大滅火效果的普通可燃物火災。」【4】

普通火災的滅火機制，主要來自三種效應：(1)燃料表面的冷卻效應，如此可降低燃料的裂解(pyrolysis)速率，減緩燃料供應至火焰區的速率，進而降低熱釋放率，也同時降低火焰熱輻射至燃料表面。(2)火焰區的直接冷卻效應，除了中斷燃燒進行的化學反應外，也可藉由水的吸熱與蒸發，將化學反應區所需的熱量移除。(3)氧化物（氧氣）所佔空間的取代效應，主要透過在燃燒環境中水蒸氣的大量生成，來取代原先氧氣含量，此即所謂的火焰悶燒(flame smothering)現象。此外，將燃燒火焰的鄰近區域預先淋濕，可以有效的控制火焰的延燒並延遲引燃時間。最近，為了保護人身財產安全，水霧吸收輻射熱的能力也被用來當做非直接(indirect)的滅火指標。實際上，水的吸熱效率常取決於水的噴灑技術，當水無法到達火災根源或基部時，將無法達到最好的滅火功效【5】。一般典型的滅火噴霧，只有一小部分略大的水滴可經由氣化來吸收火災的熱量，絕大部分的大水滴沒有完全氣化，因維持液態而流失，對滅火並沒有幫助。相反地，假如為了促進快速氣化而以相當細小的水滴來滅火，則水滴將因所具備的動量太小而無法穿透至火焰區，在火焰前以氣化結束，對於滅火同樣沒有功效。

由此可知，在討論滅火噴霧的熱傳特性時必須考慮噴霧粒徑的定量描述，此一描述也是一般噴霧的基本特性。舉例來說，液滴的動能與其質量成正比，也就是與液滴直徑的三次方成正比；同樣地，運動中液滴所受到的空氣阻力也與直徑成正比；因此，噴霧的穿透力的確和液滴的粒徑分佈直接相關。圖 1-2 顯示使用一公升的水在單一分佈(monodisperse)

噴霧條件下，液滴平均粒徑與液滴數量和總表面積的對應關係【6】。結果顯示，欲增加液滴總表面積，必須具備有效霧化才能達成。

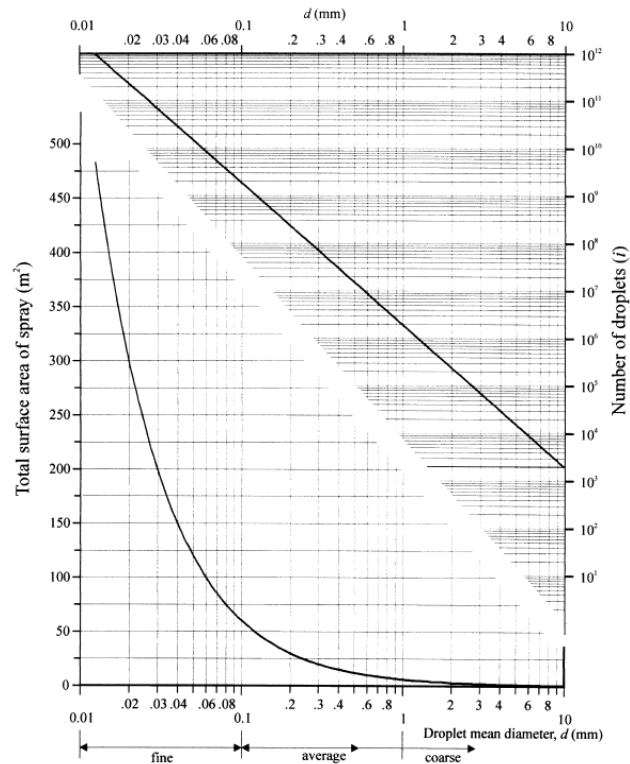


圖 1-2 單一分佈噴霧條件下，液滴平均粒徑與液滴數量和總表面積對應之關係

(資料來源: 參考書目 6)

在實際應用上，一般噴霧不易形成單一粒徑大小的單一分佈，大部分噴霧都呈現多元分佈(polydisperse)，包含各種粒徑大小的液滴。關於多元分佈噴霧的實驗研究已發展有年，主要著重於分析粒徑大小和粒徑分佈與噴霧系統主要參數的關聯性。液體的表面張力、黏滯性和密度直接影響到粒徑大小，至於噴入氣態環境的噴霧，則需考慮氣體密度、液體和氣體速度場、以及噴嘴幾何形狀。Fraser 和 Eisenklam【7】指出液體黏滯性是影響粒徑大小的最重要特性，當液體黏滯性較小時，會形成具較小液滴且較均勻的噴霧。上述各項參數對於噴霧特性的影響可以參考相關文獻【6-8】的詳細說明。針對水噴霧的滅火效能而言，瞭解水滴粒徑分布是相當重要的；除此之外，瞭解水霧由噴嘴噴出後的灑佈現象，包

括：噴霧錐角(spray angle)、貫穿距離(penetration depth)以及噴霧密度(spray density)等，也是同等重要【6, 9】。

Grant 等人【2】曾歸納各種顆粒尺寸的分佈情形及其對應的物理型態，如圖 1-3 所示【6, 8, 10】。一般滅火所使用的噴霧粒徑大約位於平均尺寸(average, 100 ~ 1000 μm)範圍。圖中所顯示的微細噴霧(fine sprays)區，大約介於氣霧劑(aerosols)、噴嘴(nozzle)和撒水頭(sprinklers)間，至於噴霧和細水霧(mists)間的界定則是有點模糊。

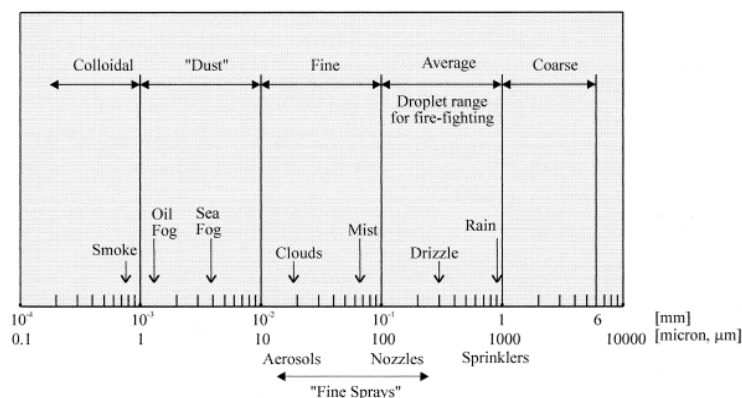


圖 1-3 各種顆粒尺寸的分佈情形及其對應的物理型態

(資料來源：參考書目 6, 8, 10)

基本上，霧化噴嘴(spray nozzle)的功能則是用來加速和霧化液體，再以液滴型態來散播。一般滅火使用的霧化噴嘴可區分為【6】：(1)壓力噴霧器(pressure atomizer)，水在噴嘴內流動，而環境空氣是靜止的；(2)氣體噴霧器(gaseous atomizer)，水基本上是靜止的，霧化氣體則在噴嘴內快速流動；(3)膛線噴嘴(rifling nozzles)，噴嘴給予水向前和旋轉運動時可維持不動，當水霧噴出後，液體前端展開而形成中空噴霧(hollow cone)，其展開角度可以張開或是縮小。圖 1-4 顯示各種滅火用噴流(jet)和噴霧的噴嘴型態及其操作原理【6】。一般選擇滅火噴嘴需要考慮：(1)使用不乾淨的消防用水時，噴嘴孔口不可太小，避免造成堵塞；(2)供水壓力應該維持至少 5bar，且噴嘴依照所接管路大小需有不同的流率標準，小管路的出口流率為 100l/min，大管路的出口流率則為 400l/min；(3)操作壓力 5bar 下，液滴平均粒徑在 500 ~ 1500 μm 間；(4)有效能的的噴嘴設計可以降低

霧化所需能量，同時確保操作壓力 5bar 下的適當噴射距離。

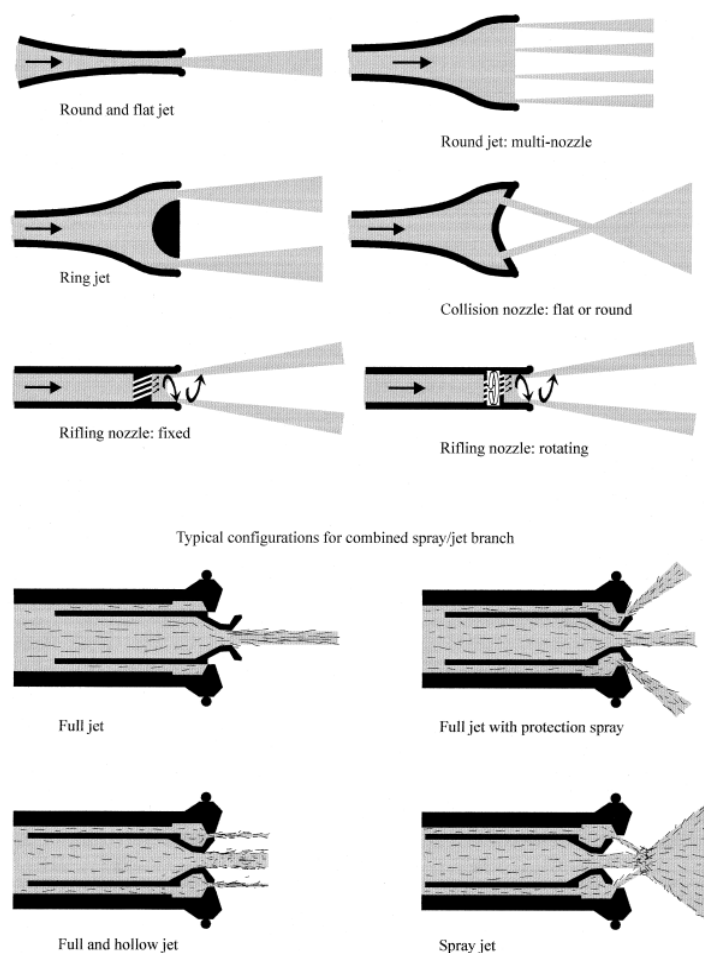


圖 1-4 各種滅火用噴嘴型態及其操作原理

(資料來源: 參考書目 6)

近幾年來，細水霧(water mist)的興起逐漸地取代一般水霧系統。NFPA 750【11】對於細水霧的定義說明如下：在最小設計壓力下，於噴嘴出口前一公尺處之平面量測水噴霧最濃處(the coarsest part)的粒徑，其 D_{V99} 值 (99% volume diameter) 不得超過 $1000\mu\text{m}$ 。與傳統的撒水頭相比，撒水頭的 D_{V99} 值約在 $5000\mu\text{m}$ 量級【12】。有些建議認為，NFPA 的細水霧定義太過寬鬆，因為其定義和傳統噴霧所得到的結果並沒有什麼差異。因此有些替代定義【13】被提出來加以改進：細水霧所含細微液滴的平均直徑為 $80 \sim 200\mu\text{m}$ ，且 D_{V99} 值應該要小於或等於 $500\mu\text{m}$ 。這個定義可以確保很小的平均液滴粒徑，以防止一般製造商僅稍微修正傳統水霧系統

而將其視為細水霧系統。Mawhinney 和 Solomon 【14】利用體積累積率 (cumulative percent volume) 來區分較粗(coarser)水霧以及較細(finier)水霧，如圖 1-5 所示。

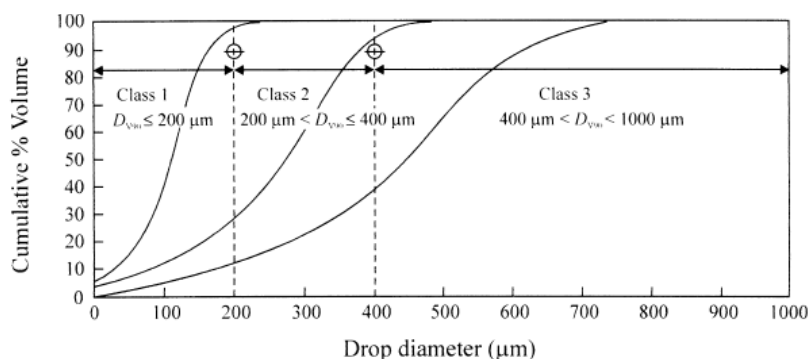


圖 1-5 利用體積累積率區分細水霧

(資料來源: 參考書目 14)

長久以來一直認定，水有吸收輻射熱的能力【6】，此項特性習用於保護可燃材料被引燃，而且也用來降低熱應力對消防隊員的影響。Rasbash 研究【15】指出當液滴大到足以吸收大部分的入射熱輻射而且絕少反射和散射時，輻射熱傳遞至消防水霧主要與火焰的溫度和放射率(flame emissivity)有關。假設火焰放射率和其厚度有關，考慮約 1m 厚的火焰，其溫度達 1000°C，若以黑體輻射，可得熱傳率約 150kW/m²。與以水噴霧估算的對流熱傳率（約 1.7 ~ 2.5MW/m²）相較，其值甚小，因此輻射熱傳對水噴霧滅火的貢獻是可忽略的。

既然知道液滴粒徑是滅火噴霧的重要特性，因此在實際應用上，值得去尋找最佳液滴粒徑是否存在。面對這個問題前，我們需了解水滅火的三個效應：冷卻火焰、冷卻燃料和取代氧氣，同時考慮水吸收輻射熱的好處：限制火焰傳播和改善火場熱應力對消防隊員的影響。如果上述因素只有一個較重要，我們則容易尋得最佳液滴粒徑。舉例來說，假如冷卻火焰是單一的重要因素，那麼可選擇微細噴霧(fine spray)，它具有大的表面積/體積比，可以促進有效熱傳和水滴蒸發，以致於加速撲滅火災。相反的，假如冷卻燃料是主要目的，那麼粗噴霧(coarser spray)則是較好

的選擇，它能確保液滴能夠穿透火羽流(fire plume)的對流流動。不過，針對此例使用微細噴霧也是另外一個考量，因為它可以保護消防隊員抵抗強烈的熱輻射。至於深層(deep-seated)的成長火災，一般建議使用所謂的強力噴射(hard jets)來滅火【6】，因為它具有高動能及較佳的穿透性能。

在實際火災發生時，總是無法明確掌握火災中哪個是最重要的滅火因素，而且也有可能當滅火過程進行中，滅火因素的重要性會相互改變。因此當牽涉到複雜的火災動力學以及物理和化學的交互作用時，或許單一液滴粒徑反而是個最佳選擇。儘管有這麼多的顧慮，仍然不斷有文獻提出最佳液滴粒徑的構想。Herterich【6】建議最佳平均粒徑約為 350 μm 。Güttler【16】提出使用高壓（約 30bar）霧氣來形成很小的高速液滴，其粒徑和速度分別約為 70 μm 和 0.8m/s。此一設計可容許水噴霧在火焰區產生急劇的減速效應，以確保在火焰區有足夠的停滯時間，水噴霧經由完全氣化來達到最大冷卻效能。另外有理論分析【17】考慮單一分佈噴霧和高溫爆炸火焰的熱傳關係，推論得到一最佳液滴粒徑在 75 μm 左右。Kaleta【18】以數值計算尋得液滴粒徑在 300~900 μm 間會有最好的滅火性能，至於最佳液滴粒徑則和火焰區與噴嘴間的距離以及主要的熱環境有關。

當需要冷卻燃料時，主要需考慮的問題將是水可否到達火災的根源或基部【19】。文獻建議，粒徑小於約 1000 μm 的液滴，無法有效的預先澆濕或是撲滅大於約 250kW 的火災；主要因為它們會受到火羽流的整體偏移，而無法達到冷卻燃料。相反的，粒徑超過 2000 μm 的液滴可以有效地穿透火羽流，且在穿透過程中僅有小部分的蒸發，因此這些較大液滴比較能夠到達熱的燃料表面。

至於液滴大小對於撲滅侷限(confined)和非侷限(unconfined)火災的影響，Hayes【20】經由文獻回顧，討論火焰熄滅的機制和滅火的技術，並發現不同的火場現況需要有不同的滅火策略。一般而言，房間火災(room fire)的主要滅火策略應該是冷卻燃料，而不是取代氧氣來悶熄(smother)

火焰；因此，噴霧液滴能夠穿透且抵達燃料表面是最重要的考量。針對侷限區域的強烈火災而言，一般建議由低層開口往火焰上方空間進行噴灑，如此可將水大部分轉變成水蒸氣，水蒸氣吸收熱量同時取代黑煙將使得能見度增加，因而容易接近火災的根源或基部。此類火災在滅火過程通常處於通風不佳狀況，由於空氣的吸入可能導致復燃現象，需要加以注意。

整體來說，文獻並沒有針對撲滅火災提出單一的最佳液滴粒徑，正常操作下，有用的液滴粒徑範圍大概介於 300 ~ 2000 μm 間。若為了保護作用而需要有效的吸收熱輻射，最佳的液滴粒徑將落於 1 ~ 100 μm 間。滅火策略需要具彈性是很重要的，因此選擇使用可調整式的噴嘴將具有策略上的優點。至於固定式的滅火系統，人的生理因素將不相干，最佳的噴霧特性將由環境參數所控制，包括：危害等級、隔間幾何形狀以及通風設備等。

第四節 水對木框架火焰的抑制效應【21】

民國 76 年，成大機械系經由國科會經費補助【21】，並借助於美國 FM 公司孔祥徵博士的技術協助，建立 1MW 大尺度燃燒分析裝置，以研究自動撒水系統對於火災的預防效應。實驗主要採用具有簡單三維結構的木框架為燃料，來模擬可燃傢俱的燃燒過程；由重量平台量測木框架的質量燃燒率及預焚百分比，輻射熱量計測量其輻射熱釋放率變化過程。同時建立一燃燒產物收集器來量測其對流熱釋放率及總熱釋放率變化過程。燃燒產物及環境空氣被吸入燃燒產物收集器內，經由同心圓板作用，使混合流體流至量測段時，形成均勻的溫度、速度及濃度分佈。因此，可利用 K 型熱電偶及雙向速度儀單點量測其溫度及速度，進而計算得對流熱釋放率；並抽取混合流體至氣體分析儀，量測其氧氣、CO 及 CO₂ 質量分率，再計算得總熱釋放率。木框架火焰實驗於開放空間進行，以不同的噴水率，在不同質量預焚百分比下，直接噴水在不同層數的木

框架上，用以分析其火焰抑制現象。在噴水狀況下，木框架燃燒所產生的熱釋放率，由噴水率、質量預焚百分比和木框架層數來修正。

在固定木框架層數及噴水率時，發現儘管不同測試的木框架起始質量不同，但噴水前其質量燃燒率幾乎相等；隨預焚百分比增加，噴水後其質量燃燒率亦隨之變大，對流放熱率則降幅變小，再次成長增大的能力變大。輻射放熱則隨預焚百分比增大，噴水後其輻射放熱率亦隨之變大。固定木框架層數及預焚百分比下，噴水率變大，其質量燃燒率變小，如圖 1-6 所示。在剛噴水時，其對流放熱率立即下降，隨噴水率增加，其對流放熱率降得更低，再次成長增大的能力變小，如圖 1-7 所示。而且隨噴水率增加，其輻射放熱率變小，如圖 1-8 所示。進一步的分析發現，質量燃燒率於噴水時的瞬間改變，噴水後實際對流放熱量比和實際輻射放熱量比值，皆與無因次噴水率成半對數線性關係。且固定質量預焚百分比下，木框架層數愈多，其所需的 RDD 隨之變大；固定木框架層數下，質量預焚百分比愈大，則所需的 RDD 隨之變大。

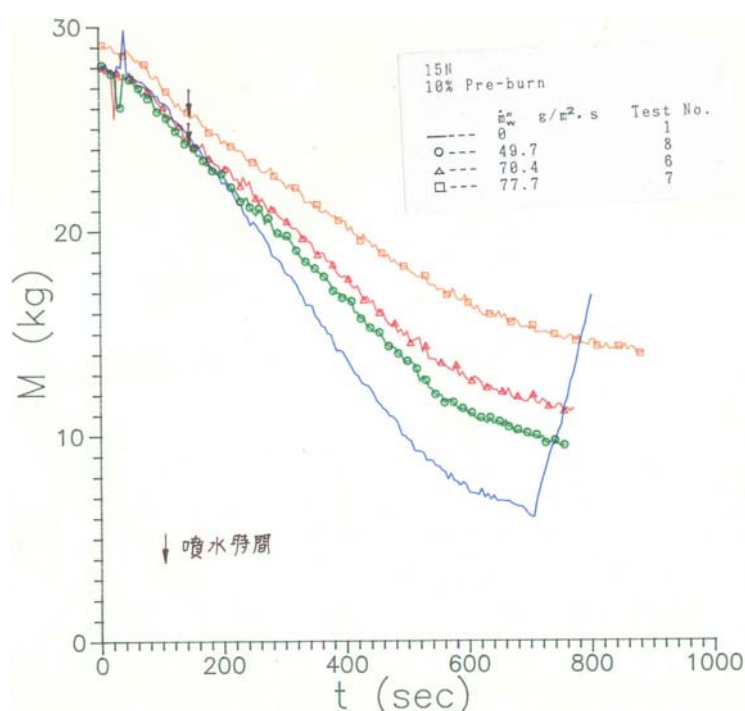


圖 1-6 質量預焚百分比 10% 下噴水，15 層木框架的質量變化

(資料來源：參考書目 21)

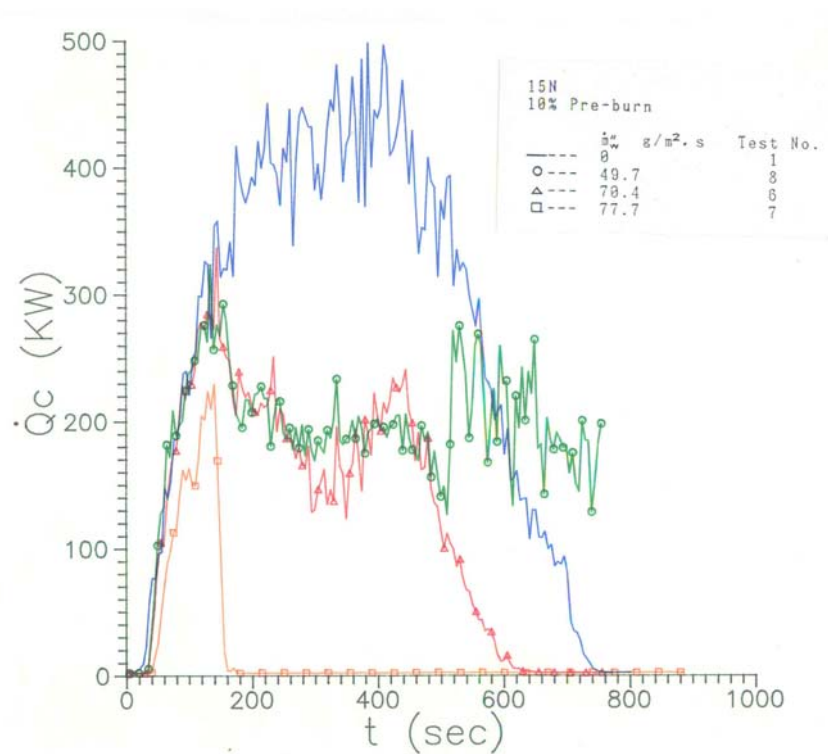


圖 1-7 質量預焚百分比 10% 下噴水，15 層木框架的對流放熱率變化

(資料來源: 參考書目 21)

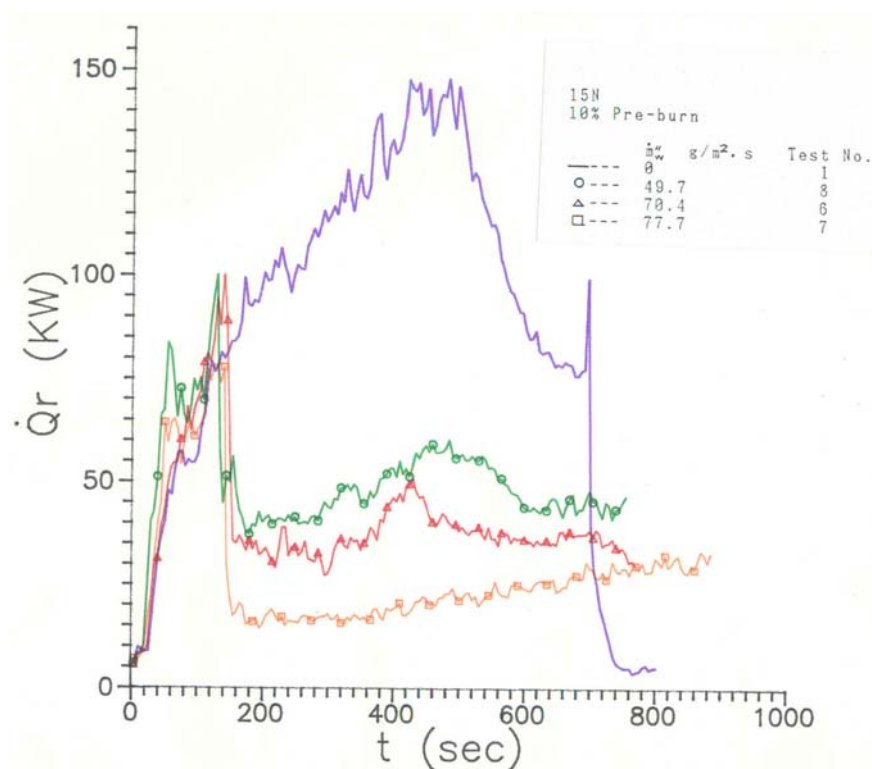


圖 1-8 質量預焚百分比 10% 下噴水，15 層木框架的輻射放熱率變化

(資料來源: 參考書目 21)

第二章 研究方法及實驗規劃

本年度之研究主要針對全尺寸火災的滅火性能進行實驗，利用已建立的辦公室空間實驗模型，配合由前期研究獲知的火災歷程，施予不同的滅火手法，驗證性能法規的火災控制性能，探討並界定滅火性能的主控參數。針對全尺寸火災實驗，必須建置一多功能實驗模型和建立一系列的實驗規劃與程序，經過實際滅火性能實驗，預期能建立完整的全尺寸火災滅火的火場資料庫。同時為瞭解建築火災其空間的整體滅火性能，有必要先行分析個別火載量的滅火需求，如：最小噴水量、最佳水霧粒徑、最遲噴水時間等主控參數，需規劃建立小型滅火性能測試裝置，配合房間試驗裝置或單一物件測試裝置，來分析個別火載量的滅火需求。

此章節將首先介紹全尺寸火災實驗所使用的 10MW 大尺度燃燒分析裝置以及熱釋放率分析方法，接著簡介多功能辦公室空間實驗模型和小型滅火性能測試裝置的設計構想，最後以流程圖來表示研究步驟。

第一節 10MW 大尺度燃燒分析裝置

本研究將利用 10MW 大尺度燃燒分析裝置和燃燒氣體排放連續線上分析系統進行實尺寸火災實驗，此裝置設置於內政部建築研究所防火實驗群（國立成功大學歸仁校區）之綜合實驗室南端，鄰近部材防火實驗場。其基本功能在於量測分析大型物件或結構體於開放空間燃燒過程之引燃特性、熱釋放率、質量損失率、有效發熱量、發煙特性、及毒氣分析等。與本裝置相關之主體基本設計、量測儀器配置及分析計算原理，可參考小型圓錐量熱儀設備標準，如：ASTM E1354 和 ISO 5660-1，以及全尺寸房間火災試驗標準，如：ISO 9705。

10MW 大尺度燃燒分析裝置係由集煙罩、集煙彎管、混合管、量測段、排氣彎管、與排氣管所組成，整體設備如圖 2-1 所示。大型物件或結構體可置於升降平台上進行燃燒試驗，試驗區之燃燒煙氣由集煙罩收集

後垂直向上流動，經由集煙彎管轉成水平流入混合管，經過量測段，再由排氣彎管及排氣管排出。量測段設置於綜合實驗室東邊五樓工作室，排氣管尾端穿出綜合實驗室南牆，再外接防火實驗群廢氣處理系統（圖 2-2 所示）。防火實驗群廢氣處理系統之大型抽風機，可提供本裝置之最大煙氣流率為 $30\text{m}^3/\text{s}$ 。



圖 2-1 大尺度燃燒分析裝置實際設備圖

(資料來源: 本實驗)



圖 2-2 廢氣處理系統

(資料來源: 本實驗)

燃燒氣體排放連續線上分析系統具備氣體組成、光學密度、流率/溫度之量測功能，以及訊號輸出與數據處理之分析功能；藉此系統，可以線上連續分析燃燒排氣之溫度與體積流率，以及大型物件或結構體於燃

燒過程之熱釋放率、發煙特性、及毒氣分析等。其主要設備包括：(1)氣體分析系統(含 O₂、CO、CO₂、NO_x、HC 分析儀和氣體採樣/校正系統)、(2)光學密度分析儀、(3)流率/溫度監測儀以及(4)數據處理系統等；所有設備需安置於穩固箱體，可以方便移動或懸吊至不同實驗區域，搭配各式燃燒實驗設施進行量測分析。

第二節 熱釋放率分析

利用燃燒產物分析來計算熱釋放率的方法有：(a)氧氣消耗法、(b)CO 及 CO₂ 生成法、(3)熱對流升溫法。前面兩者係量測燃燒前後煙氣中氣體濃度的消耗及生成量，藉由其單位質量變化所釋放的固定燃燒熱來求得熱釋放率，故可稱作氣體燃燒熱法。熱對流升溫法則是利用燃燒後煙氣之熱對流效應，藉由量測混合氣前後焓差來求取其熱釋放率。本研究之熱釋放率計算主要以氧氣消耗法為主，同時以熱對流升溫法搭配熱輻射分析作為比較。

(1) 氧氣消耗法(Oxygen Consumption, OC)

氧氣消耗法係藉由量測大氣與煙氣中氧氣濃度之差值，利用每單位質量氧氣產生固定熱量之原理來計算整體燃燒形成的熱釋放率，其整體熱釋放率表示式如下：

$$\dot{Q}_o = \Delta H_{O_2} (\dot{m}_{O_2}^o - \dot{m}_{O_2}) \quad (1)$$

根據 Thornton 【22】及 Huggett 【23】研究發現，有機物在完全燃燒後，每單位質量氧氣的熱釋放趨近一個定值；同時後者也在文中指出，經由實驗結果顯示烷類、烯類、炔類或含有苯環之碳氫化合物，其同類之單位質量氧氣燃燒熱在某一固定值左右。由於氣體分析儀量測得到的數據為體積分率，且受限於分析儀偵測原理上的限制，必須將燃燒後產物中含有的水氣濾除，且燃燒反應後引起的氣體膨脹效應也勢必改變燃燒前後儀器量測之體積分率；為了對熱釋放率有較精確之估算，吾人以 Parker 【24】及 Janssens 【25】在文獻中提到的氣體濃度與實際濃度間之

修正方程式作為本實驗氣體濃度修正之計算式。

(2) 熱對流升溫法(Gas Temperature Rise, GTR)

$$\dot{Q}_T = \dot{m}_e C_p (T_e - T_o) \quad (2)$$

式(2)中 \dot{m}_e 為進入量測段的煙氣總質量流率， C_p 值取空氣 300K 時的比熱 1.0035 kJ/(kg-K)， T_e 為熱電偶量得的燃燒反應後經過量測段煙氣溫度， T_o 為未燃燒前所測得之大氣平均溫度。對熱釋放率在 1MW 以下之大型黃色火焰而言，本方式只能代表約 50~60% 之熱釋放率，尚有約 30~40% 熱輻射及 1~5% 熱傳導必須經由其他儀器測得。

第三節 多功能辦公室空間實驗模型和小型滅火性能 測試裝置的設計構想

利用已建立的辦公室空間實驗模型，擴充建置具備多功能的防火與滅火實驗模型，其設計構想示於圖 2-3，實驗模型必須具備撒水系統、洩水系統（地板坡度和洩水溝）、可動式屋頂、大面積觀測視窗（防火玻璃）等。撒水系統必須可精確控制和調節水壓和水流率，且可於不同的位置安置不同型式的水霧噴嘴。去年度實驗模型的缺失，例如：屋頂受熱變形、接縫氣密不佳和集煙性能不完全等，將一併改善。

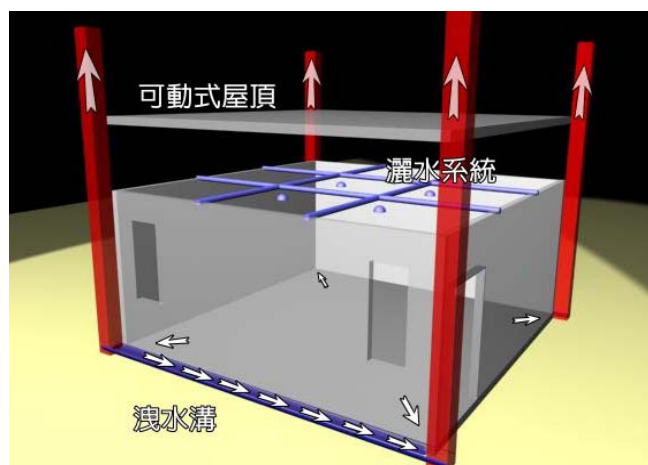


圖 2-3 多功能辦公室空間實驗模型的設計構想圖

(資料來源：本實驗)

小型滅火性能測試裝置將仿照水對木框架火焰的抑制效應【21】研究所使用的燃燒承架（如圖 2-4 所示）進行修改設計，實驗時待測物置於燃燒承架的冷卻鋼管上，再將整體置於重量平台上，以保護重量平台。燃燒承架上的冷卻鋼管通以連續流動的冷卻水。於冷卻鋼管下放置一錐形漏斗，錐形漏斗下再放置一圓形承盤。燃燒實驗時脫落的高溫殘塊或餘燼和噴嘴噴出的水經由錐形漏斗，再由圓形承盤承接。於待測物被引燃前先置少許水量於承盤中，以保護重量平台，不致於受高溫影響其準確性；且於不噴水的狀況時，燃燒脫落的高溫殘塊或餘燼可由此先予冷卻。整體燃燒承架上方再配置一集氣罩，集氣罩外接 ISO9705 和 SBI 的排氣管線，燃燒氣體可經由排氣管線進行量測分析後排出。

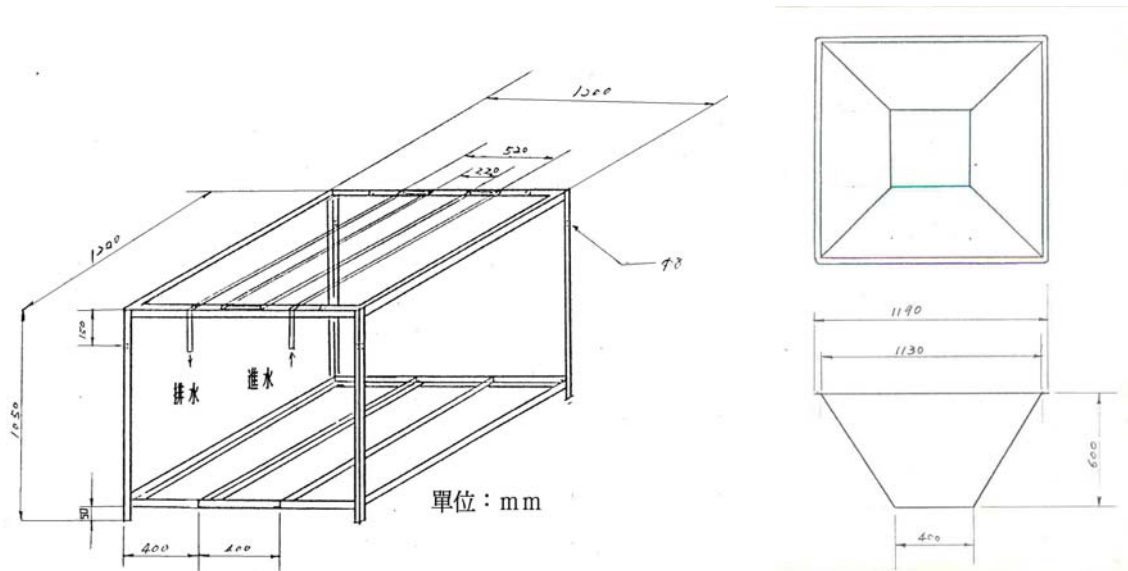


圖 2-4 燃燒承架和錐形漏斗設計圖

(資料來源: 本實驗)

第四節 研究步驟流程

本研究案將繼續進行全尺寸火災的滅火性能實驗，利用已建立的辦公室空間實驗模型，配合由前期研究獲知的火災歷程，施予不同的滅火手法，驗證性能法規的火災控制性能，探討並界定滅火性能的主控參數。研究步驟的流程圖如圖 2-5 所示。

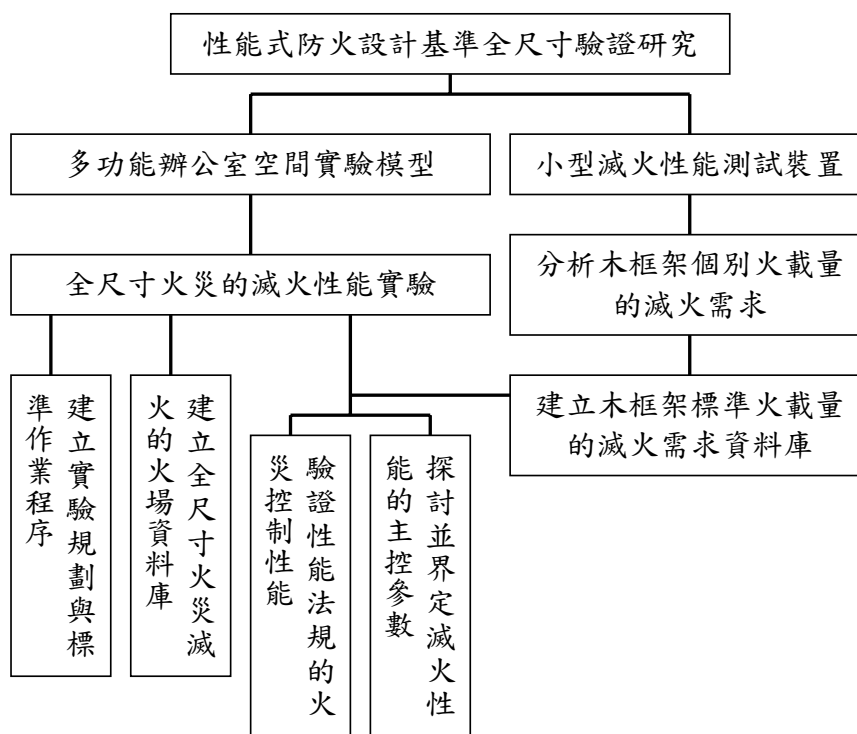


圖 2-5 研究步驟流程圖

(資料來源: 本實驗)

第三章 多功能辦公室空間實驗設備及實驗步驟

多功能辦公室空間實驗場已建構完成，現況如圖 3-1 所示，本案維持過去已建立的辦公室空間實驗場之架構，進行重新設計，建置一個多功能且具多案整合機能的防火與滅火辦公室實驗模型。新增設備有：活動天花板、窺視窗、撒水系統等構造與設施，並針對去年度的實尺寸實驗設計的缺失作改進，包括屋頂板受熱變形，牆構件接縫氣密不佳，燃燒分析裝置集煙性能不完全等問題，都一併改善。新建實驗場以下依三個項目來加以說明：(1)實驗場架構 (2)撒水系統 (3)量測系統。



(a)實驗場北牆



(b)實驗場南牆

圖 3-1 多功能辦公室空間實驗場實體架構圖

(資料來源：本實驗)

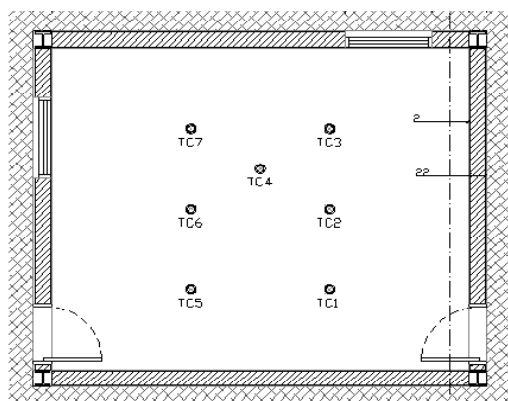
第一節 實驗場整體架構

為了與已完成的實驗條件與結果相互驗證，模型的平面尺寸，依照以往尺度，仍然維持 $6\text{m}\times 5\text{m}$ (牆心線)；牆壁部分94年度使用的是厚度 0.2m 的ALC (aerated lightweight concrete) 板來構築，而此次為求更真實的牆面熱流狀況，採用了砌磚的方式來建構牆面，牆面厚度設計為 0.26m 、並使用加強磚造工法；另外，同樣參照先前實驗，新規劃模型的東北側與東南側各有一個 $2.1\text{m}\times 0.9\text{m}$ 之單開門作為房間開口，可依實驗需求自由開啟或關閉，實驗場平面圖如圖3-2(a)所示。

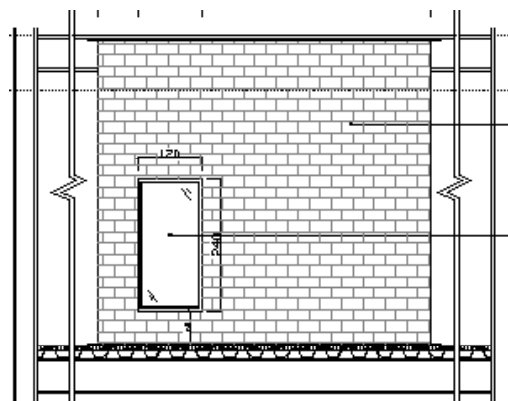
今年度實驗將進入滅火階段，為能更直接地觀測火場內撒水頭撒水情形與水對火焰的仰制情況，另外增設了窺視窗的設計；分別於西牆北側與南牆西側配置了兩個大面積窺視窗，材質為防火玻璃，尺寸皆是 $2.4\text{m}\times 1.2\text{m}$ ，窗體距地面高度則為 0.6m ，西向與南向立面圖如圖3-2(b)與3-2(c)所示，整體3D意象如圖3-2(d)所示。

先前實驗中，煙氣逸散造成實驗數據誤差也是一個待解決之問題，因燃燒分析裝置的大型抽煙罩其抽風機之抽氣量已是目前技術上的極限，因此，直接在實驗場上設置防漏煙措施為較可行之方法。

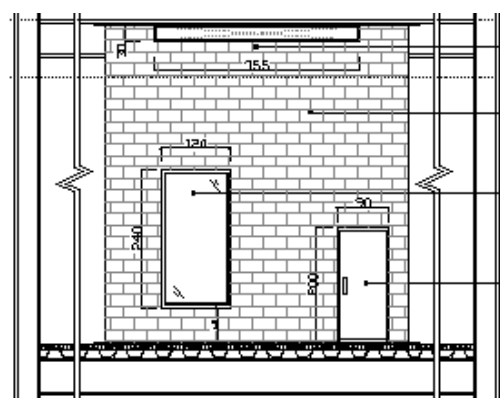
10MW燃燒分析裝置的抽氣影響，實驗體整體空氣走向皆為東北開口入，東南開口出，煙氣都自東南開口排放而進入10MW，先前實驗漏煙情形大多為煙氣自牆面之縫隙、天花板與牆面之間的縫隙露出，為解決此問題，此次牆面以加強磚造工法來建構，牆面氣密勢必能得到改善；磚牆也將直接砌至結構框架體頂部，與其屋頂密合，並在南面設置一 $3.55\text{m}\times 0.3\text{m}$ 的排煙開口，如圖3-3 所示，就算有煙氣自實驗場的天花板溢出，將會積存於實驗模型與結構框架之間，再由排煙開口排出，讓10MW抽走，達到防漏煙之目的；另外，結構框架體之屋頂四周還會增設導煙板，形成導煙通道，與10MW抽氣煙罩連結，作為防漏煙之用。



(a) 實驗場平面圖



(b) 實驗場西向立面圖



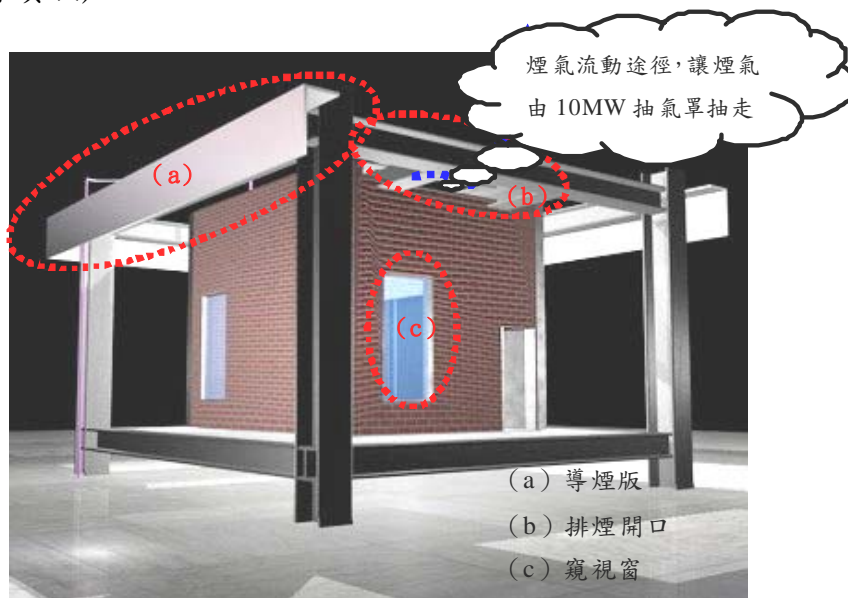
(c) 實驗場南向立面



(d) 實驗場重新設置後3D意象

圖3-2 實驗場重新建置之圖面

(資料來源: 本實驗)



- (a) 導煙版
- (b) 排煙開口
- (c) 窺視窗

圖3-3 實驗場西南向透視圖

(資料來源: 本實驗)

為配合實驗所需，天花板採活動式設計，如圖3-4所示；天花鋼板由四條鐵鍊懸吊在實驗模型外之結構鋼樑上，由馬達捲動或由實驗場天車拖吊來改變高度；天花鋼板下再加掛輕鋼架天花，以便真實模擬實際建築結構之天花板與裝修面關係。

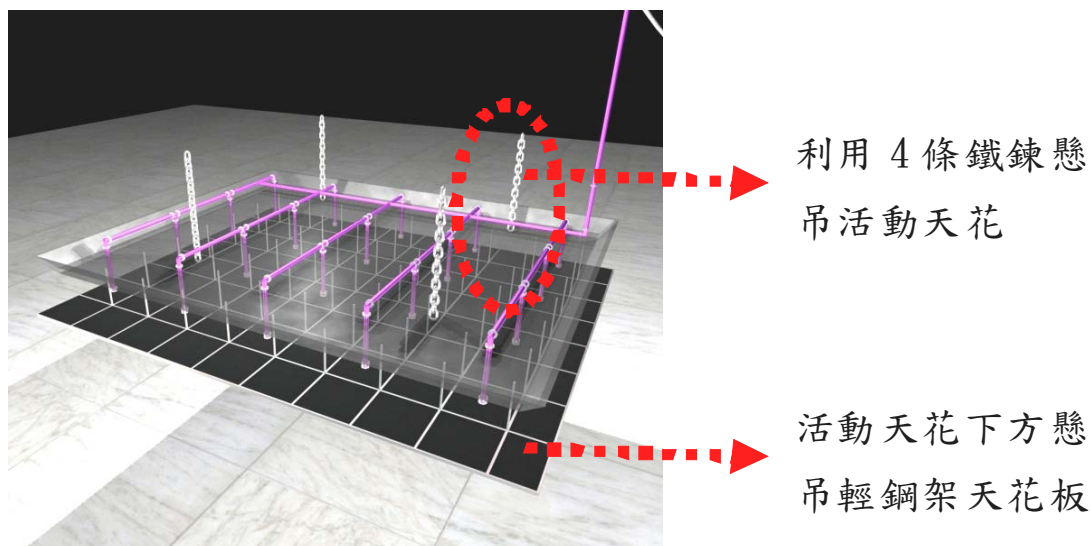


圖3-4 天花板元件示意

(資料來源：本實驗)

第二節 撒水系統

(a) 撒水系統種類概述

撒水系統種類繁多，依照規定及建築需求需裝設不同的撒水系統。法規上提及較常見的撒水系統有以下四種：

1. 密閉濕式：平時管內貯滿高壓水，撒水頭動作時即撒水。
2. 密閉乾式：平時管內貯滿高壓空氣，撒水頭動作時先排空氣，繼即撒水。
3. 開放式：平時管內無水，啟動一齊開放閥，使水流入管內撒水。
4. 預動式：平時管內貯滿低壓空氣，以感知裝置啟動流水檢知裝置，撒水頭動作時即撒水。

另外，若有上述四種之外的設計，只要有經過中央消防主管機關認可的設計，也都能被接受採用。市面上的撒水頭，依不同的分類方法有不同的類型；依感熱元件可分為「玻璃球型」、「熱融零件型」以及無感熱元件的「開放式撒水頭」；依感熱元件反應速度可分為「一般反應型」、「快速反應型」；依安裝方向可分為「向上型」、「向下型」、「側壁型」、「上下兩用型」...更多撒水頭的相關資料可以參考消防規則書或消防事業網站。

(b) 撒水頭作動原理概述

火災為一種「燃燒放熱現象」，一般自動撒水系統中的撒水頭，是透過感熱元件，感受火災時所產生的熱而啟動；而在火場中，熱透過輻射、對流與傳導三種方式傳遞；過去研究顯示，影響撒水頭啟動（密閉式撒水頭）最主要的熱傳遞方式，是火場中以空氣為介質的「熱對流」傳遞方式。建築空間內發生火災時，火源上方的空氣受火源影響，會產生上浮力，形成上升氣流，上升氣流到達天花板，便會四處逸散，形成天花板氣體噴流。

天花板氣體噴流層大約是火源與天花板距離的 5~12%，而溫度最熱、流速最大的區域大約是在火源與天花板距離的 1% 左右，而此溫度層所傳遞的熱也是啟動撒水頭的主要因素；現行消防法規規定，撒水頭必須設置在天花板下三十公分內，便是為了能讓撒水頭能有最佳的反應條件，避免撒水頭過早或太晚作動；不過，也不能夠距離天花板過近，免得撒水頭處於天花板下方空氣流動不佳的死角。

(c) 實驗場撒水設備

為了模擬真實建築，符合法規規定，撒水頭數量則選用四顆；若將模型房間假定為辦公室，依消防法，辦公大樓等防火構造建築物的撒水頭數量最低需求，由每一個撒水頭有效防護面積計算，撒水頭防護半徑為 2.3m，則每一個撒水頭最大有效防護面積為 $=10.56 \text{ m}^2$ ；因此，撒水

頭數量 $=5 \times 6 / 10.56 = 3$ 個。而實際設計時，因有整齊配置等美觀因素之考量，需長寬均衡設置，故實際設置時會依： $(r=2.3\text{m}$ 時， $S=\sqrt{2}r=3.25\text{m}=\text{撒水頭間距})$ 長： $6/3.25=2$ ，寬： $5/3.25=2$ 。所以實際撒水頭數量為 4 個。

撒水系統由四根獨立的管路組成，水管出口接撒水頭以進行實驗；水管出口分別位於模型房間四個平面的中心點，每個水管末端皆接上壓力計及快速接頭，可依實驗需要獨立進行壓力觀測及水源或空氣充填等工作，整體配置如圖 3-5~圖 3-7 所示。圖 3-5 主要顯示撒水頭分佈位置；圖 3-6 則是代表四個撒水頭外接管路以及壓力表配置之情形，分別獨立銜接到圖 3-5 中四顆撒水頭之接口，至於圖 3-7 則是代表撒水頭之照相圖。

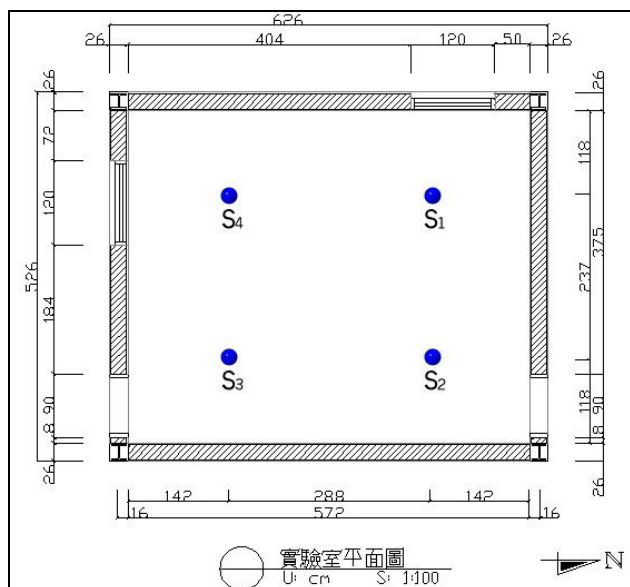


圖 3-5 撒水頭位置

(資料來源：本實驗)



圖 3-6 撒水頭管路及壓力表

(資料來源：本實驗)



圖 3-7 撒水頭外觀

(資料來源：本實驗)

(b) 壓力表

在四組獨立的撒水系統管路末端，各自接了壓力表，可以藉由壓力表指針的驟降來確定撒水頭的作動，壓力表配置如圖 3-9 所示。



圖 3-9 壓力表

(資料來源: 本實驗)

(c) 影像記錄

實驗進行的同時，以攝影機透過模型房間的防火窺視窗對室內進行攝影，記錄實驗過程；另外也以相機拍攝房間內的火場狀況。

(d) 數據擷取系統

透過 Data log 將實驗過程中熱電偶、壓差計、流量計所得到的電子數據轉換為數位數據，再傳送至電腦進行記錄；總計同時記錄 135 筆不同的數據資料。

第四節 火源

本實驗主要使用丙烷燃燒器以及油盤作為實驗的火源，分別敘述如下：

(a) 丙烷燃燒器 (LPG)

實驗使用丙烷燃燒器，以流量計控制丙烷的流量；丙烷燃燒器為 18cm×18cm 的矩形燃燒器，中間鋪有小石頭整流，使火焰均勻分布，如

圖 3-10 所示。原先之實驗規劃主要以熱釋放率 40kW 的火源進行實驗，但在正式實驗前的幾次測試中發現，40kW 的火源強度在經過十分鐘後並無法驅動天花板之撒水頭，因此顧及實驗成果及時間經濟性，決定以熱釋放率 100KW 的火源進行實驗。



圖 3-10 丙烷燃燒器

(資料來源: 本實驗)

(b) 油盤

油盤為一直徑 40cm 的鐵盆，實驗前先裝 15cm 高的水，再添入 1200c.c. 的 92 無鉛汽油，熱釋放率為 170kW。

第五節 實驗參數與流程

(a) 實驗規劃

實尺寸房間的設計是為了模擬實際的建築火災狀況，所以一般實際建築火災中，起火點可能位於房間的任何一個角落。因此本研究則是想要針對火源位於房間中不同的位置時，可能產生的各種燃燒狀況對於撒水頭驅動之影響，尤其以房間中間、牆壁邊緣與房間角落等等位置，更是研究的重點。

因此，本研究則針對此辦公室模型進行實驗規劃，訂定出許多不同的火源位置，包含角落、壁面及房間的中心點；為了方便記憶及實驗進行，依照位置特性對其進行編號。為了了解火源位於壁面時所造成的 Wall

effect，選定房間四面牆壁的中心點作為實驗火源，編號 W1~W3；為了解火源位於房間角落時所造成的 Corner effect，選定房間西北方角落作為火源，編號 C1；選定房間中心點作為標準實驗的火源位置，編號為 M1；其他則在房間中的對稱線以及對角線中取數點編號 X1~X3、Y1~Y2、Z1~Z2，整體配置如圖 3-11 所示。另外，為方便描述，房間牆面、防火窗及開口都加以編號；以平面圖為基準，西牆設為 1 號牆，再以順時針方向編號，北牆為 2 號牆，東牆為 3 號牆，南牆為 4 號牆；防火窗及開口依隨牆面編號，西北窗為 1 號防火窗，西南窗為 4 號窗，北開口編為 2 號門，南開口編為 4 號門。

因為對稱性的關係，目前主要以右半部實驗為主，未來視所搜集的資料充足程度，將會再決定是否進行另一半的實驗。管中充氣，火源位於房間中央的實驗，目前共進行了五組；管中充水，火源隨不同位置變動的實驗目前共進行了十二組。

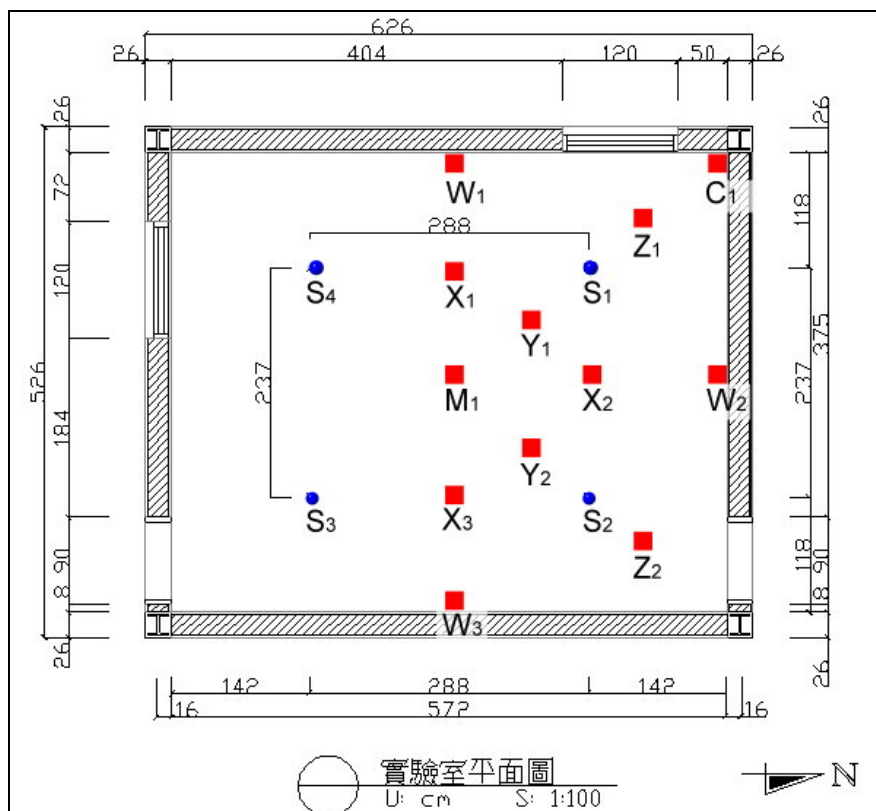


圖 3-11 火源位置圖

(資料來源: 本實驗)

(b) 實驗流程

為了了解房間氣流效應對於撒水頭作動之影響，因此在實驗初期為則將撒水頭管路通入空氣取代水，一方面避免含水之撒水頭所噴出來的水降低室內溫度而造成實驗誤差失敗，另一方面可以方便觀察四個撒水頭的作動情形。之後，則針對其他壁面效應及角落效應等實驗，在管路中充水以模擬實際的撒水狀況。將管路充氣（充水）後，實驗由火源引燃後開始計時，同步記錄火場溫度以及撒水頭作動時間，並同步進行攝影；當撒水頭的玻璃球達到作動溫度爆破時，管內壓力會驟降，經壓力表我們可精確的判斷撒水頭作動與否，並記錄時間；撒水管路充填高壓氣實驗的進行待四顆撒水頭全部作動後實驗終止，而撒水管路充填高壓水實驗則是在第一顆撒水頭作動後便終止。

第四章 撒水頭作動實驗

由第三章撒水系統分類中可知，高壓撒水管路可分為充水及充氣兩類；充氣者，撒水管路填入壓力約 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 之高壓空氣，充水者則填入壓力約 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 之高壓水。火源則使用 LPG 燃燒器及油盤兩種，LPG 燃燒器主要放置在十一個不同位置，而油盤則僅放置在中間、壁面以及房間角落為主，以下討論不同實驗參數組合。

第一節 火源：100kW 丙烷 LPG 燃燒器

■ 撒水管路充填高壓氣

由於本實驗初期僅針對撒水頭之驅動進行研究，但不涉及滅火，故撒水管路僅充入高壓氣，在撒水頭作動後，不會有水噴出，故實驗中在第一顆作動後，不做關閉火源之動作，持續燃燒直到其他三顆撒水頭亦作動，其目的在觀察上層煙氣之移動狀況與撒水頭作動時間之對應，並同時了解不同撒水頭作動條件之差異度。

本次實驗之火源位置位於房間中間，因此以 M_1 作為代號，整組實驗共重複五次，實驗細節如表 4-1 所示，表中之驅動時間指的是撒水頭之玻璃球破裂的時間。實驗結束之後，為了方便數據分析以及物理現象的了解，因此取各實驗 $T_1\sim T_4$ 之熱偶樹最上方的熱電偶（位於撒水頭旁的熱電偶）數據繪製成圖 4-1。當火場溫度達到撒水頭作動溫度時，作動瞬間會噴出高壓空氣，管路壓力表所顯示的壓力會驟降；另外，因為高壓氣之噴出，冷卻撒水頭旁熱電偶的空氣溫度，使得熱電偶讀到的溫度會瞬間降低，所以可由驟降的曲線看出作動的時間及溫度。

比較各實驗的溫度曲線圖，由圖 4-1 可以得知，環境溫度在 70 秒就已經超過 68°C ，但是撒水頭尚未被作動。根據驅動溫度之差異可推論，環境溫度並非判定撒水頭是否作動的唯一標準。依熱傳導原理判斷，在

環境溫度超過撒水頭設定的作動溫度後，仍需一段熱傳的時間，撒水頭才會上升到設定的作動溫度，環境溫度越高則熱傳越快。所以影響撒水頭作動時間的因素為環境溫度上升到撒水頭設定溫度之速度以及環境溫度與設定溫度之差值。圖中溫度線的陡降點是撒水頭作動的時間點。

撒水頭管路充填高壓氣的實驗中，燃燒器皆位於房間正中央，理論上對空間中四個平均分布的撒水頭所造成的影響應該一致，因此理論上撒水頭作動的順序應該是隨機亂數決定，不會有一致性；而實驗結果也大致符合這個推論；然而五次實驗中仍是有某些趨勢存在，位於東北方向開口（2號門）的撒水頭 S_2 ，都是最後一個才作動；位於房間西南角的撒水頭 S_4 總是最快作動的（五次實驗占了四次）；而 S_3 與 S_1 的反應速度則是居中， S_3 比 S_1 早反應的狀況也較多（五次實驗占了四次）。

圖 4-2 為房間內水平截面的等溫線圖。其中 (a_1) 到 (a_3) 為天花板下 10cm，每隔 30 秒之等溫線， (a_4) 為第一顆撒水頭作動時天花板下 10cm 的等溫線。而 (b_1) 到 (b_4) 分別代表第一顆撒水頭作動時，天花板下 20，30，40，50cm 之等溫線。

由平面溫度剖面等高線圖 4-2 來看，可以解釋上述的趨勢。由平面圖可知，五次實驗溫度的房間溫度場，南半部房間的溫度會比北半部的溫度要高一些的趨勢；由實驗現場推測，可能丙烷燃燒器受了房間中心之熱電偶樹的影響，垂直掛設之熱電偶樹影響了火焰的方向，抑制了北面的火焰成長，使其偏向南方，導致有南北不同的溫度差；除此之外，由溫度平面圖也可得知，東北方向開口的溫度都要比東南開口的溫度較低；推斷房間的空氣由東北開口進入的量要比東南開口要大的多，因此由開口進入房間的冷空氣，也是影響撒水頭 S_2 總是最晚反應的因素。

比較溫度線圖也可得知，雖然實驗地點、火源、開口條件，當時溫度... 等等因素都相同，但全程實驗的時間卻不盡相同；同一天所進行的實驗，最先進行的實驗會比稍後進行的實驗時間要長得多，由各實驗的溫度曲線斜率推斷，雖然在兩次緊鄰的實驗之間皆以風扇進行房間散熱

工作，但累積於磚牆與天花板中的熱量可能還是無法完全去除，導致燃燒器在後段之實驗只需要花費較短的時間，便能讓房間達到同樣的撒水頭作動條件。因此根據後面幾次實驗四個撒水頭作動時間間隔較短的情況推斷，撒水頭可能也受天花板或壁面的熱輻射影響。

表 4-1 主要說明五次實驗的各項細節，比較表中撒水頭作動時最接近撒水頭的熱電偶溫度，溫度範圍大致在 90~100°C 之間，些許誤差則顯示出撒水頭的狀況品質大致上趨近一致且性能良好。

表 4-1 LPG 火源撒水管路充氣實驗

100KW 丙烷(LPG)燃燒器，撒水管路充高壓氣					
編號	燃燒器位置	被驅動撒水頭	驅動時間 (s)	驅動溫度(°C)	日期
LPG-M ₁ -A-1	M ₁	S ₄	135	86.7	09/27/2006
		S ₃	150	96.0	
		S ₁	173	107.0	
		S ₂	218	83.7	
LPG-M ₁ -A-2	M ₁	S ₃	114	90.6	09/27/2006
		S ₁	121	101.2	
		S ₄	127	100.0	
		S ₂	159	91.7	
LPG-M ₁ -A-3	M ₁	S ₄	127	104.7	10/04/2006
		S ₁	156	94.2	
		S ₃	162	104.8	
		S ₂	253	100.0	
LPG-M ₁ -A-4	M ₁	S ₄	135	105.4	10/04/2006
		S ₃	146	101.4	
		S ₂	165	97.2	
		S ₁	172	95.2	
LPG-M ₁ -A-5	M ₁	S ₄	99	102.9	10/04/2006
		S ₃	128	102.1	
		S ₁	132	102.3	
		S ₂	141	98.6	

(資料來源：本實驗)

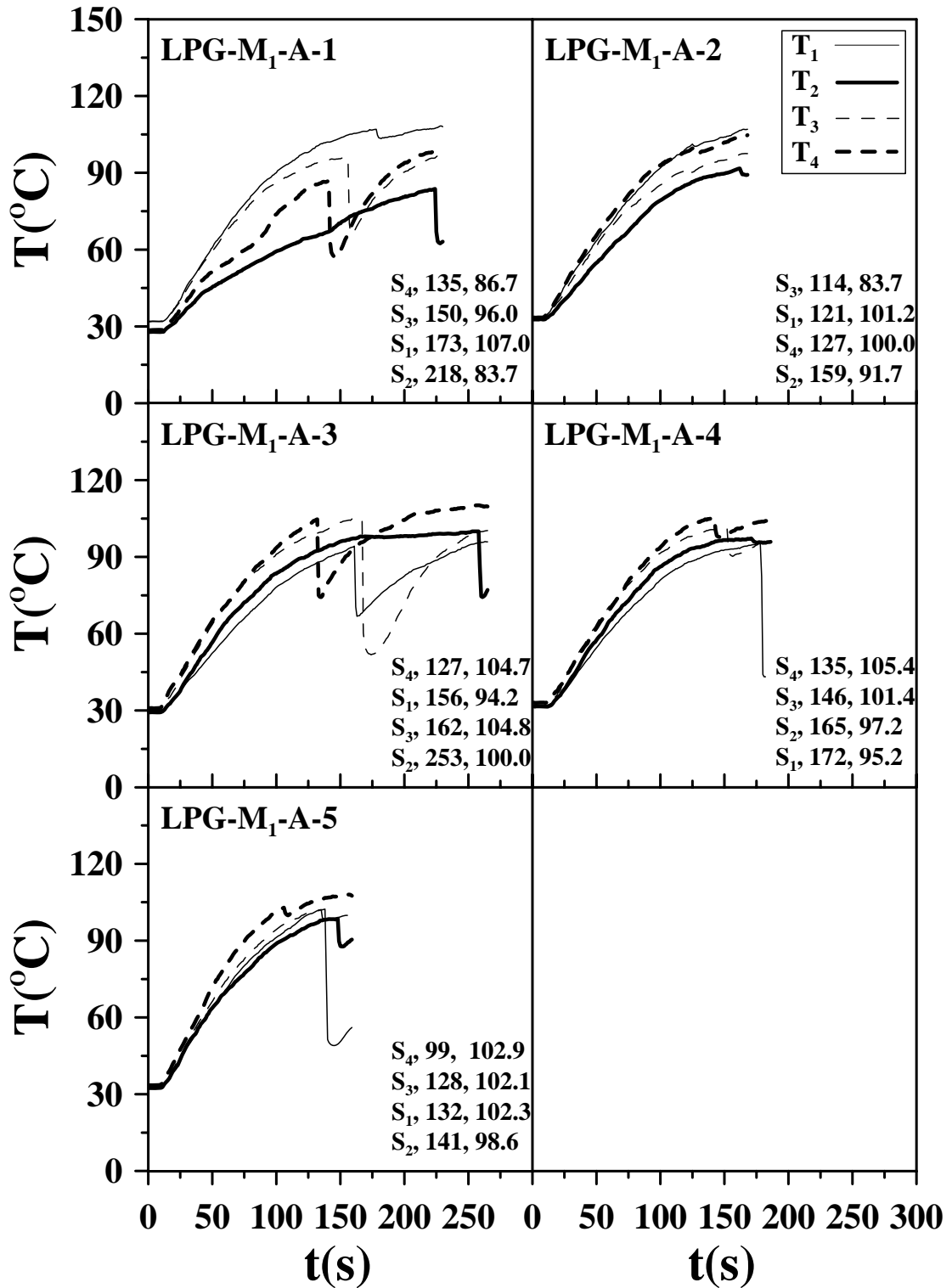


圖 4-1 LPG-M₁-A 溫度圖

(資料來源: 本實驗)

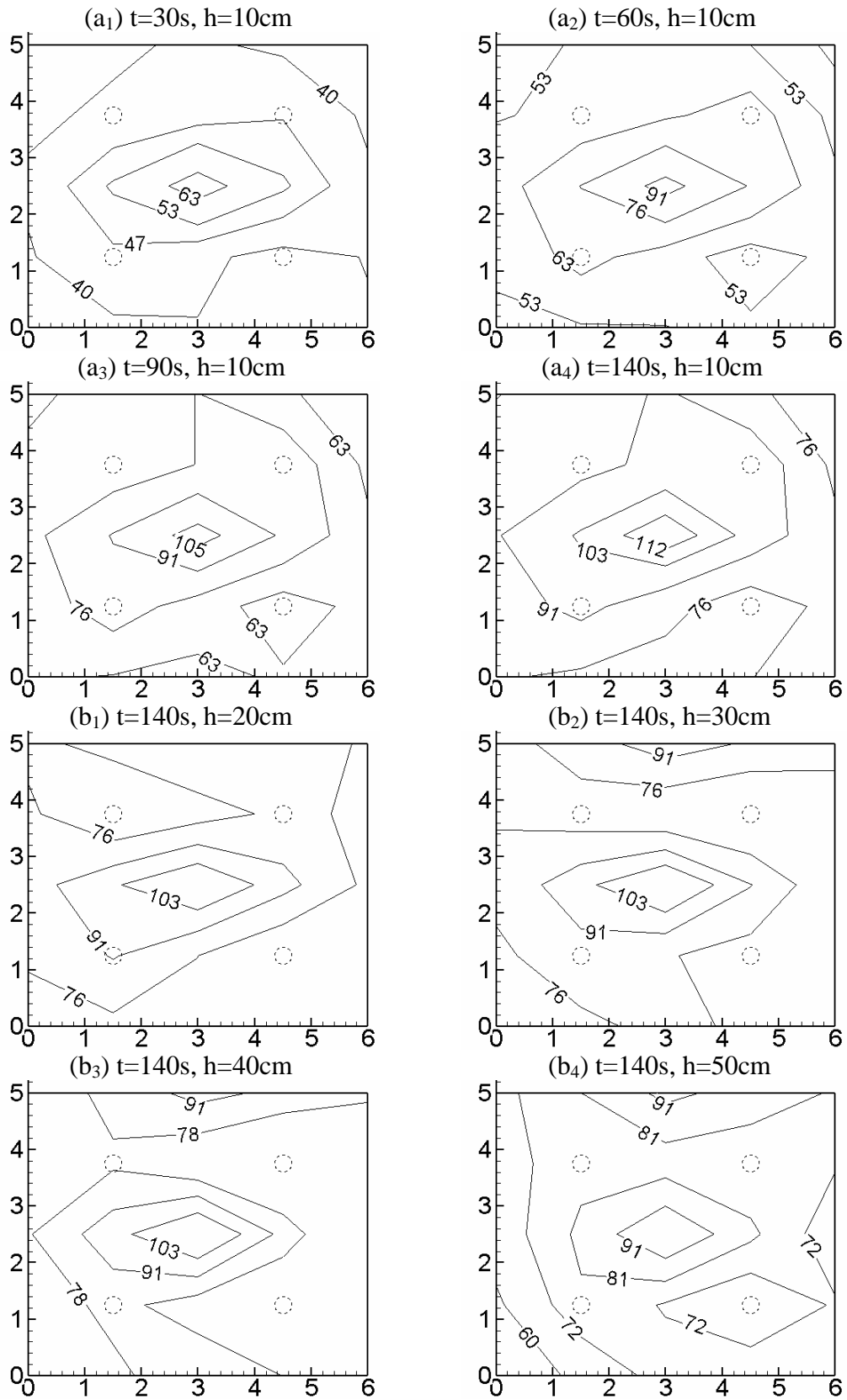


圖 4-2 LPG-M₁-A-1 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

■ 撒水管路充填高壓水

在完成撒水管入充填空氣之實驗後，本次實驗則改以高壓水充填，火源同樣使用 100KW 之丙烷燃燒器，並根據不同的火源位置總共進行 12 次實驗，整個結果如表 4-2 所示，同時將得到之結果繪圖。圖 4-3~4-5 表示各實驗中四個撒水頭溫度上昇的曲線；而圖 4-6~4-17 為各個實驗中水平截面的等溫線圖。

(a) 火源位於實驗場中央

根據圖 4-3 左上角及表 4-2 之 LPG-M₁-W 溫度曲線結果可知，T₄ 之上升情形與 LPG-M₁-A 相近，而其作動時間為 142 秒，比撒水管路中充填高壓氣之例慢了一些，乃因撒水頭含水時熱容量變大之故。由圖 4-6 之等溫線圖可以看出 S₁ 與 S₄ 之溫度略高於 S₂ 及 S₃，因為靠近門口附近會有氣流引入，造成溫度降低。

(b) 火源位於實驗場壁面

火源位於壁面的實驗共進行了三次，分別在屋內的西牆、北牆和東牆進行，實驗依火源位置編號為 W₁、W₂、W₃。當火源位於壁面時，火焰高度比一般非位於壁面時高。圖 4-3 右上，左下及右下分別繪出此三次實驗的溫度曲線。由於壁面效應之影響，熱氣被引導向上流動的機會要比向四週來的大，故上煙層累積較快，可以觀察到撒水頭平均作動的時間約為 100 秒，比火源置於 M₁ 者要快了約 40 秒。而在水平面等溫線之結果來看（圖 4-7~圖 4-9），實驗的溫度場都以火源為中心由牆壁向外擴散，分佈相當平均。

(c) 火源位於 1 號角落，實驗編號：LGP-C₁-W

火源位於角落之實驗目前進行一次，為實驗模型的西牆與北牆之角落，實驗編號 C₁。其溫度曲線如圖 4-4 左上所示，在 75 秒時，S₁ 即被作動，顯示角落之火源其熱氣流相當集中，且穩定地上升。在圖 4-10 等溫線中，可看出氣流由 1 號角落向外擴散。

(d) 火源位於其他自由空間位置

實驗編號 X、Y、Z 系列的實驗，共作了七次，其中與撒水距離最遠的是 X₁、X₂、X₃，而 Y₁、Y₂，Z₁、Z₂ 距離撒水頭較近，其中 X 系列的時間較長，Y₁、Z₁ 時間較短，因熱量較集中且距撒水頭較近。

因 Y 與 Z 系列距撒水頭比 X 系列近，所以驅動時間明顯看出 Y 與 Z 系列快於 X 系列，而 Y₁ 與 Z₁ 因為在 1 號角落熱量較集中，而 Y₂ 與 Z₂ 在 1 號門旁有冷卻效果，所以也很明顯看出 Y₁ 與 Z₁ 火源驅動撒水頭的時間短於 Y₂ 與 Z₂

由圖 4-11、4-12、4-13、可看出，火源在 X₁ 及 X₂ 時，上層煙氣有受到壁面些許影響而有高溫的趨勢；當火源在 X₃ 時，因有兩個門的作用，等溫線呈現較亂的結果。由圖 4-14 及 4-16，可明顯看出 1 號角落集中熱量的效果，溫度場由 1 號角落最高溫向外擴散，另外根據圖 4-15 及圖 4-17 的結果同樣發現，火源在 Y₂ 及 Z₂ 位置時受 1 號門氣流影響，溫度較低且溫度線也較亂。

表 4-2 LPG 火源，撒水管路充水實驗

100KW 燃燒器(LPG),撒水管路充高壓水					
編號	燃燒器位置	被驅動撒水頭	驅動時間 (s)	驅動溫度 (°C)	日期
LPG-M ₁ -W	M ₁	S ₄	142	102.7	09/27/2006
LPG-W ₁ -W	W ₁	S ₄	97	102.7	10/02/2006
LPG-W ₂ -W	W ₂	S ₂	91	99.0	10/02/2006
LPG-W ₃ -W	W ₃	S ₃	109	104.3	10/02/2006
LPG-C ₁ -W	C ₁	S ₁	75	106.9	10/02/2006
LPG-X ₁ -W	X ₁	S ₄	141	102.7	10/03/2006
LPG-X ₂ -W	X ₂	S ₁	123	104.8	10/03/2006
LPG-X ₃ -W	X ₃	S ₄	130	99.6	10/03/2006
LPG-Y ₁ -W	Y ₁	S ₁	61	83.4	10/03/2006
LPG-Y ₂ -W	Y ₂	S ₂	96	102.7	10/03/2006
LPG-Z ₁ -W	Z ₁	S ₁	73	99.0	10/03/2006
LPG-Z ₂ -W	Z ₂	S ₂	92	83.7	10/03/2006

(資料來源: 本實驗)

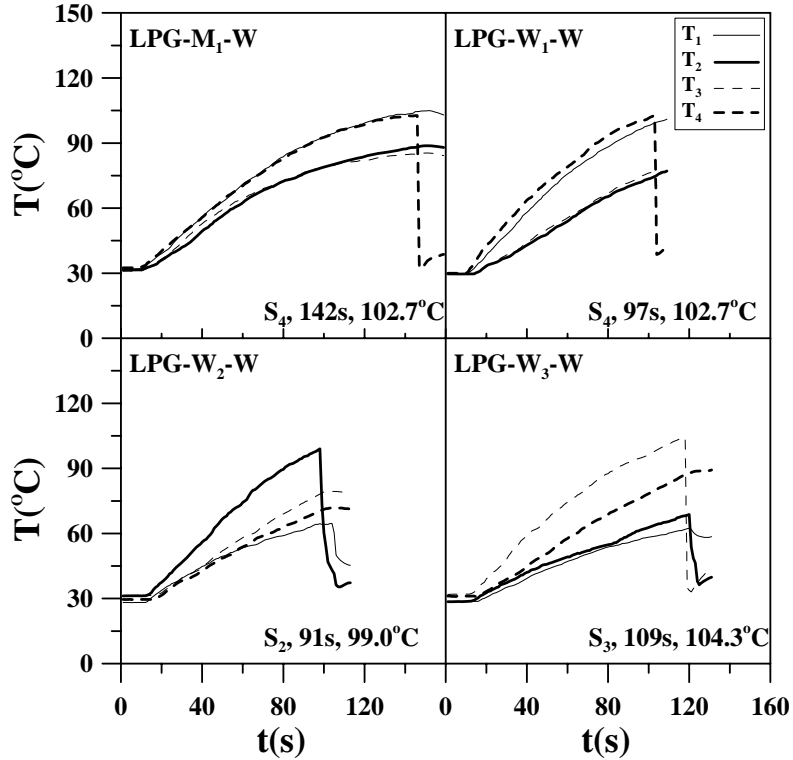


圖 4-3 LPG-M₁、W₁、W₂、W₃-W 溫度曲線
(資料來源: 本實驗)

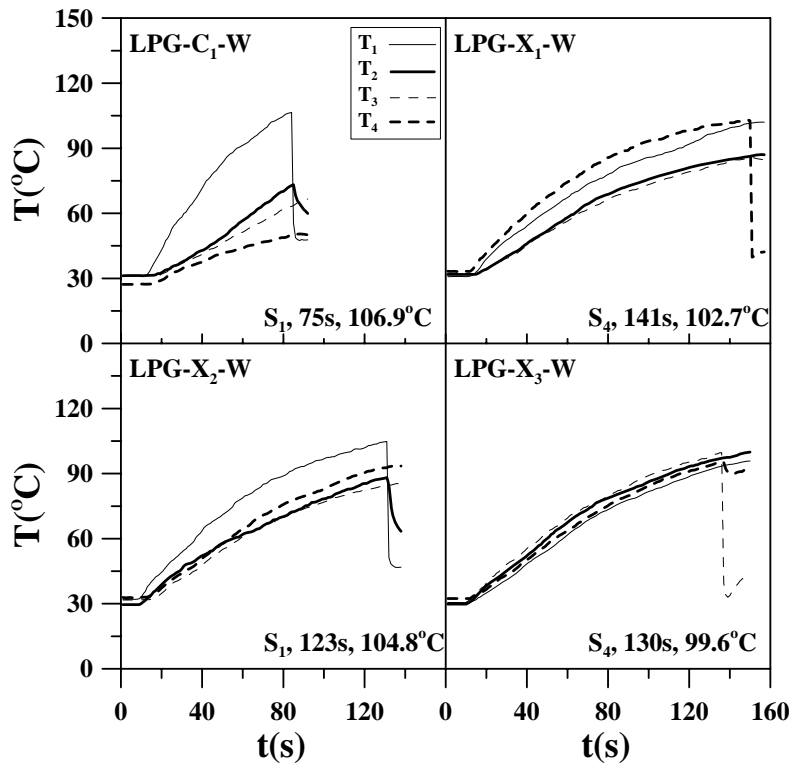


圖 4-4 LPG-C₁、X₁、X₂、X₃-W 溫度曲線

(資料來源: 本實驗)

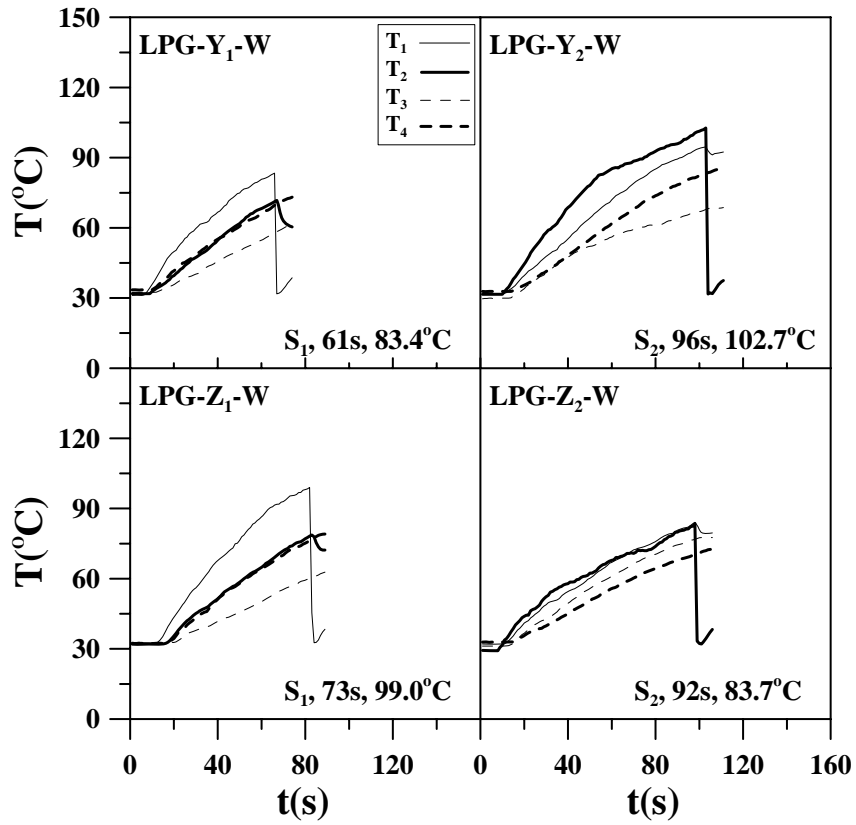


圖 4-5 LPG-Y₁、Y₂、Z₁、Z₂-W 溫度曲線

(資料來源: 本實驗)

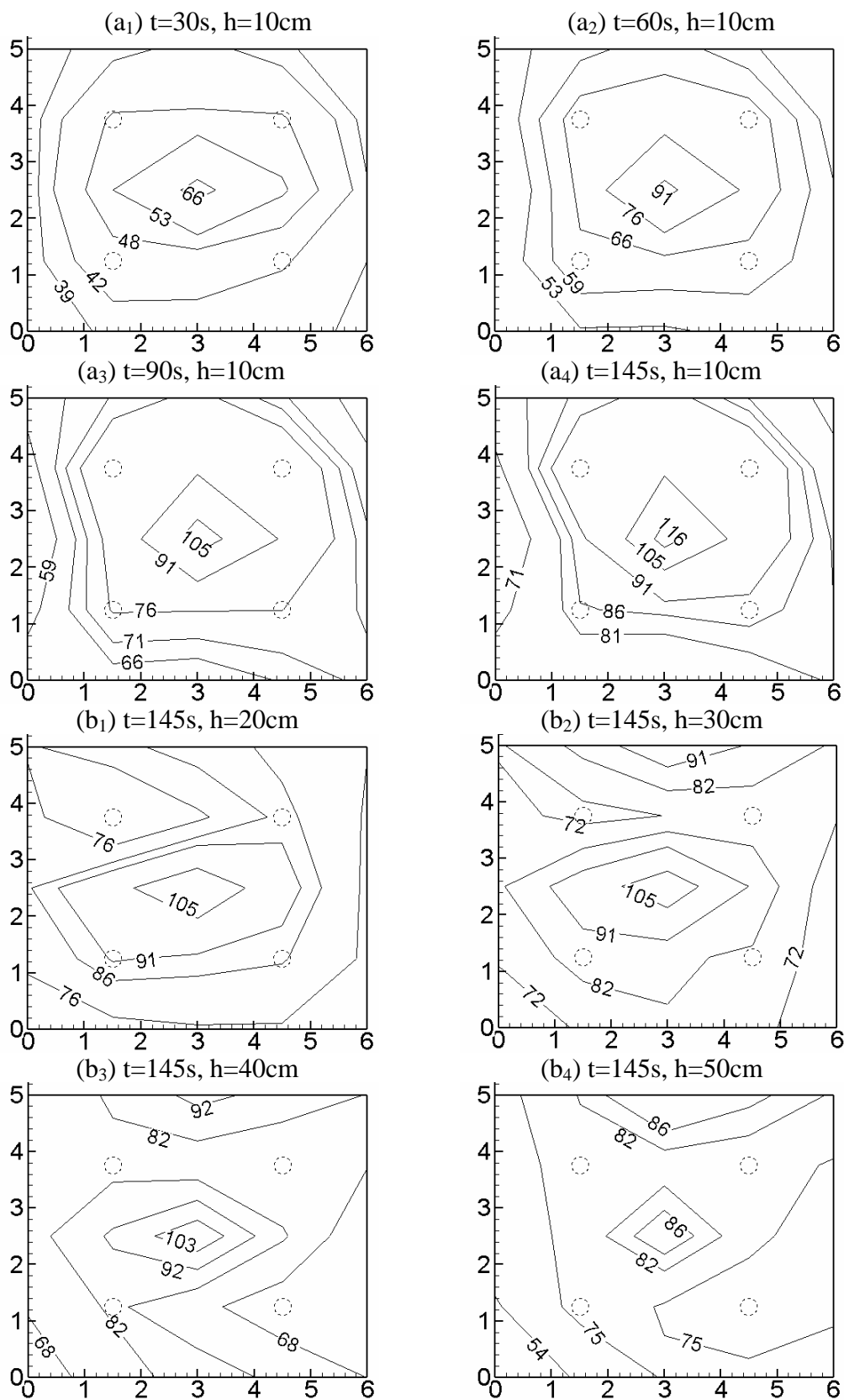


圖 4-6 LPG-M₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

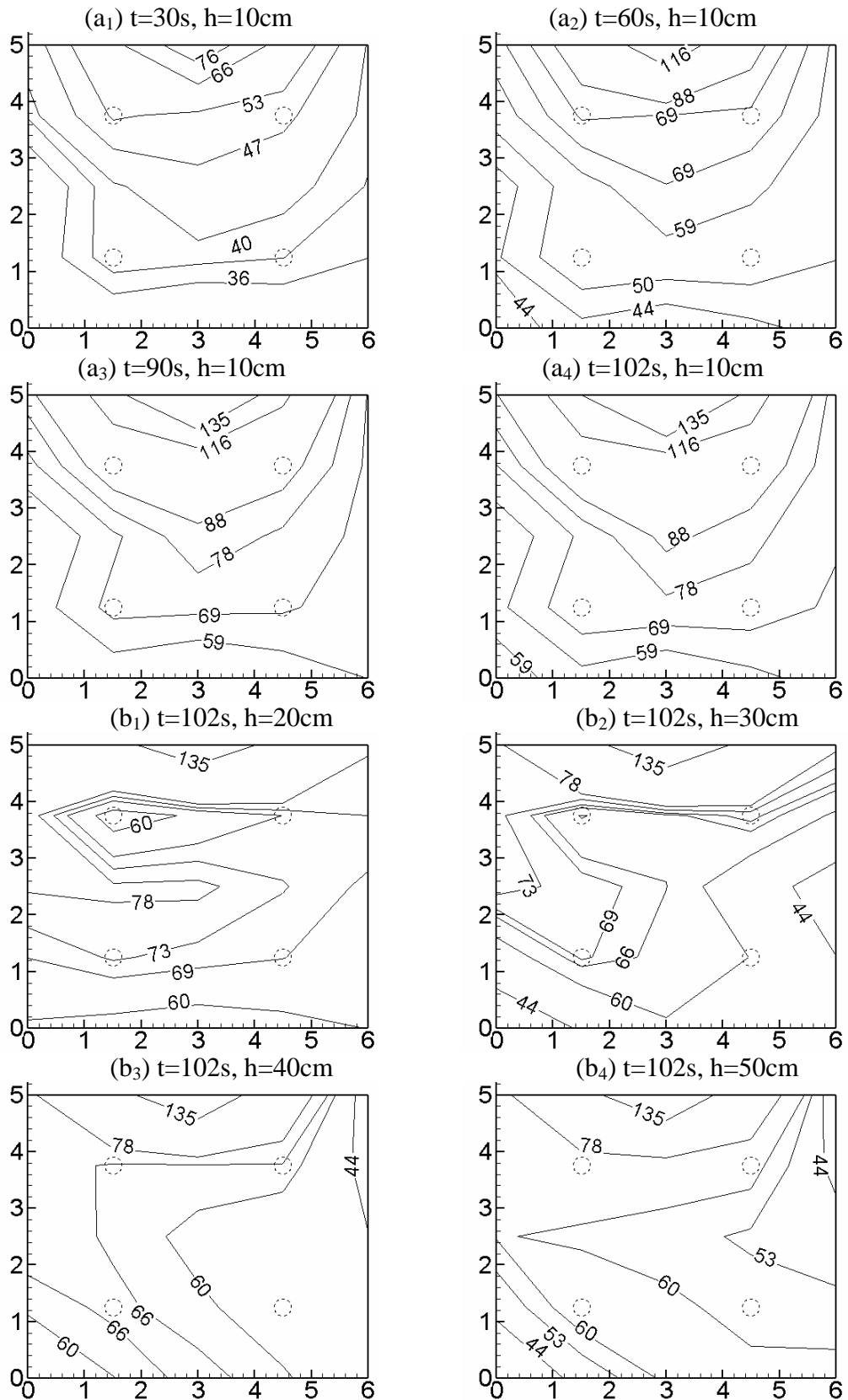


圖 4-7 LPG-W₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

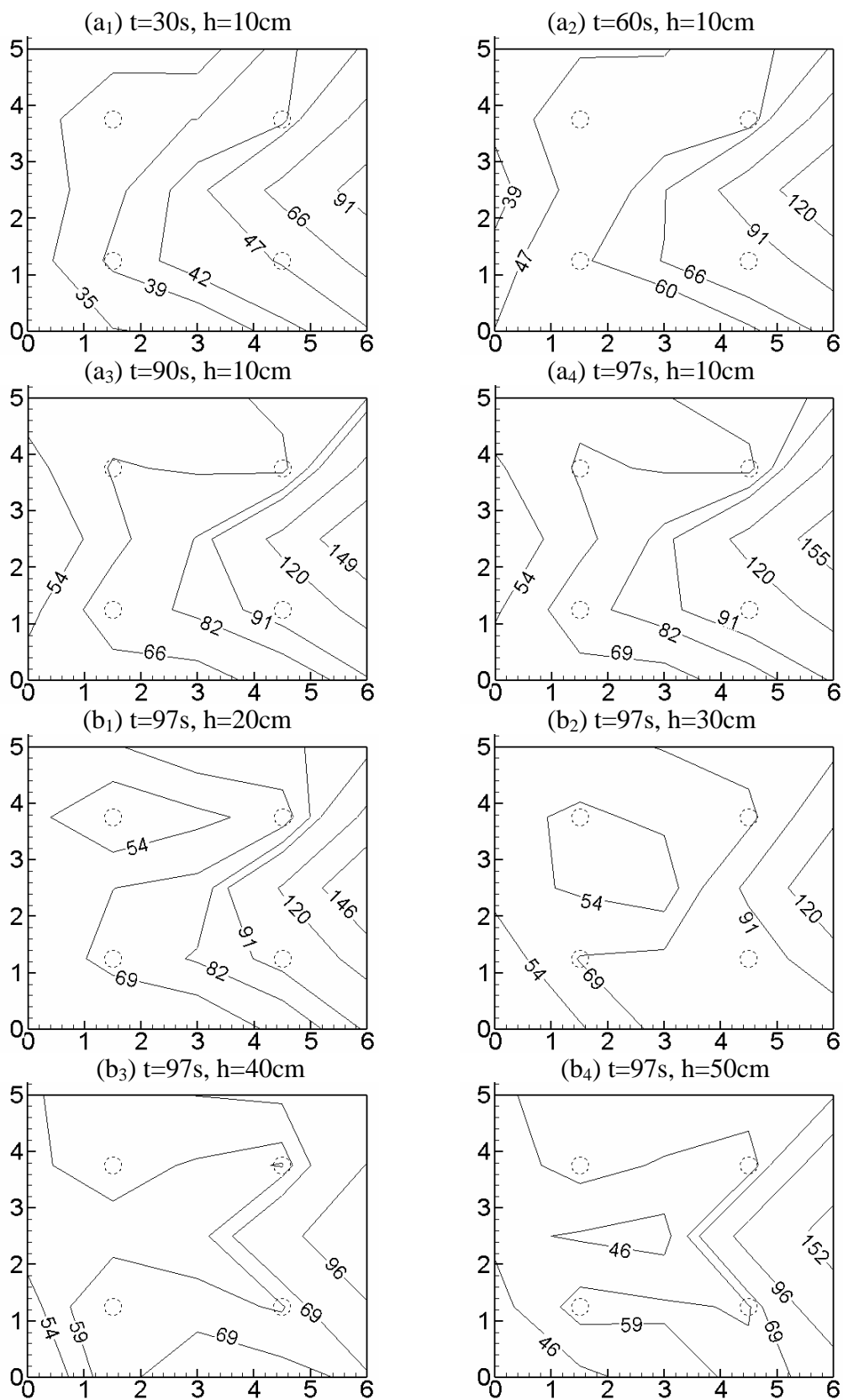


圖 4-8 LPG-W₂-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

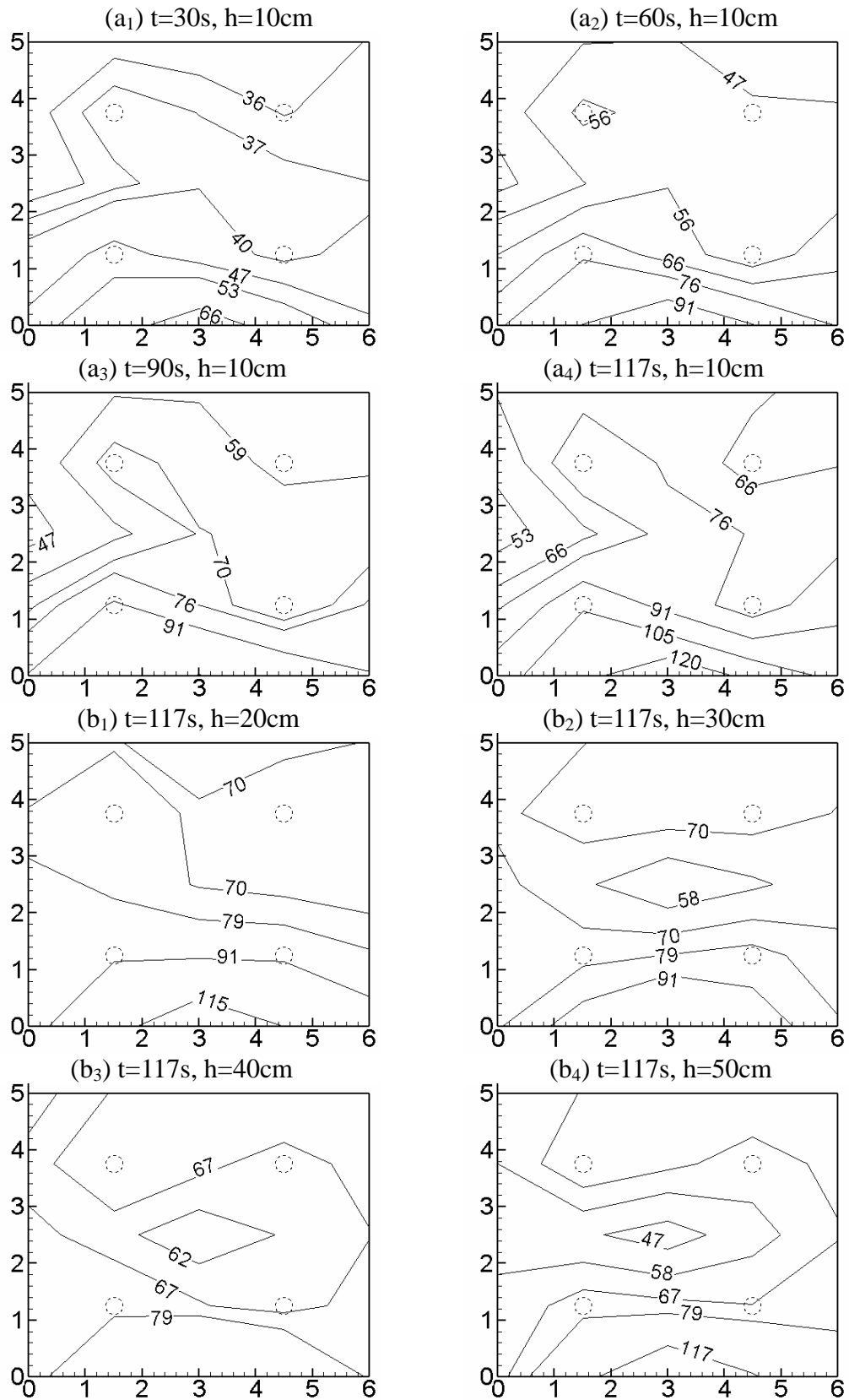


圖 4-9 LPG-W₃-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

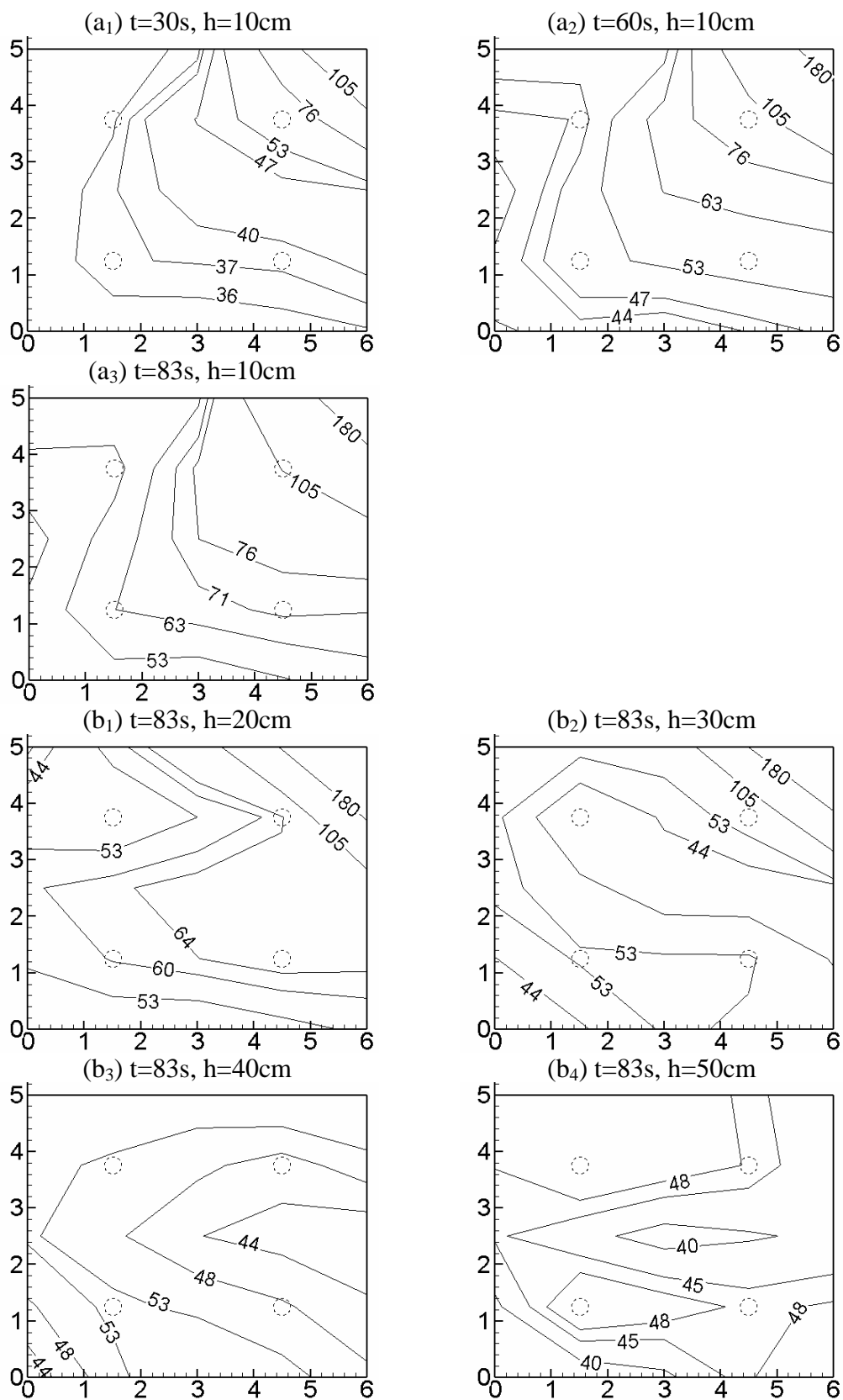


圖 4-10 LPG-C₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

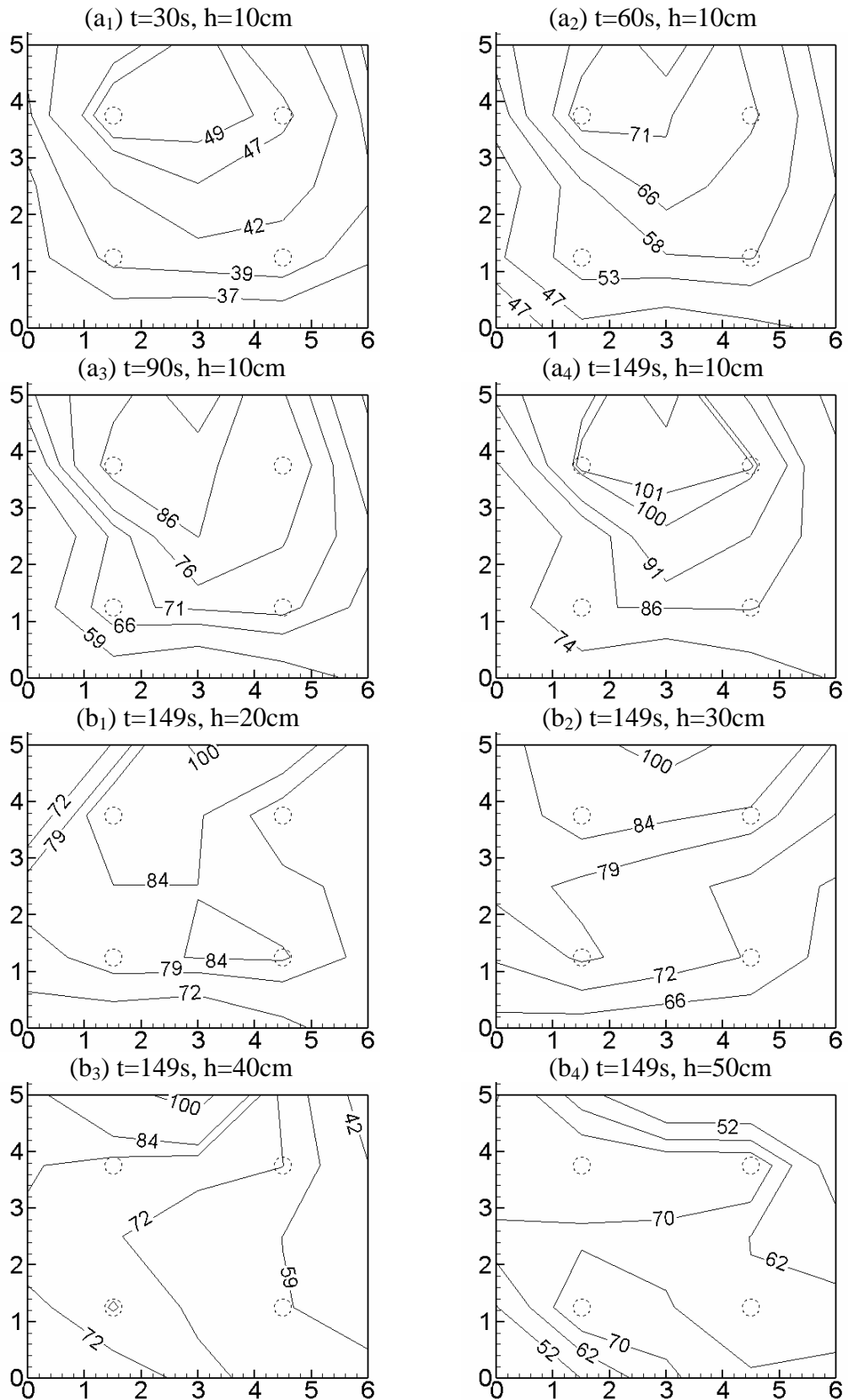


圖 4-11 LPG-X₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

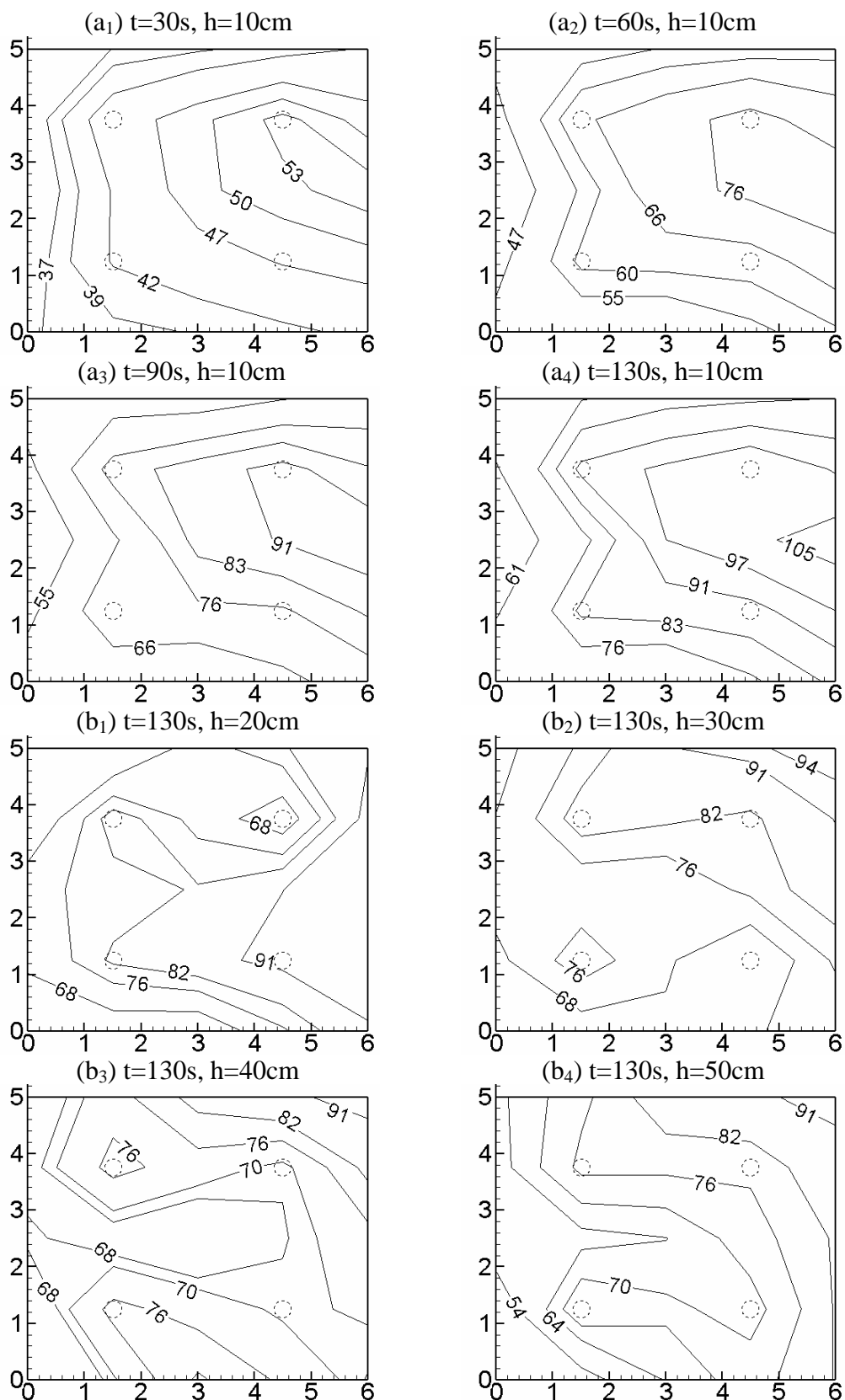


圖 4-12 LPG-X₂-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

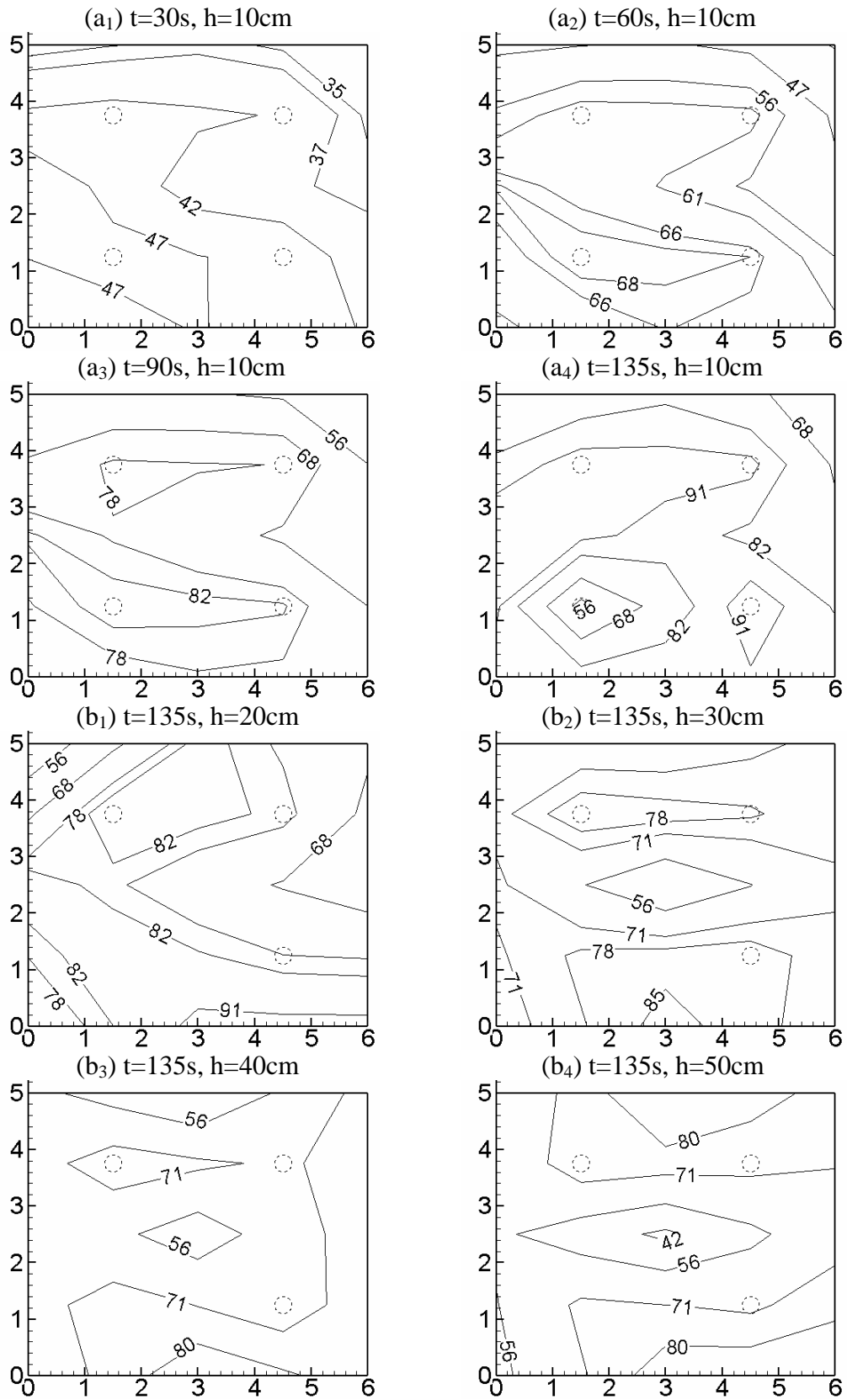


圖 4-13 LPG-X₃-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

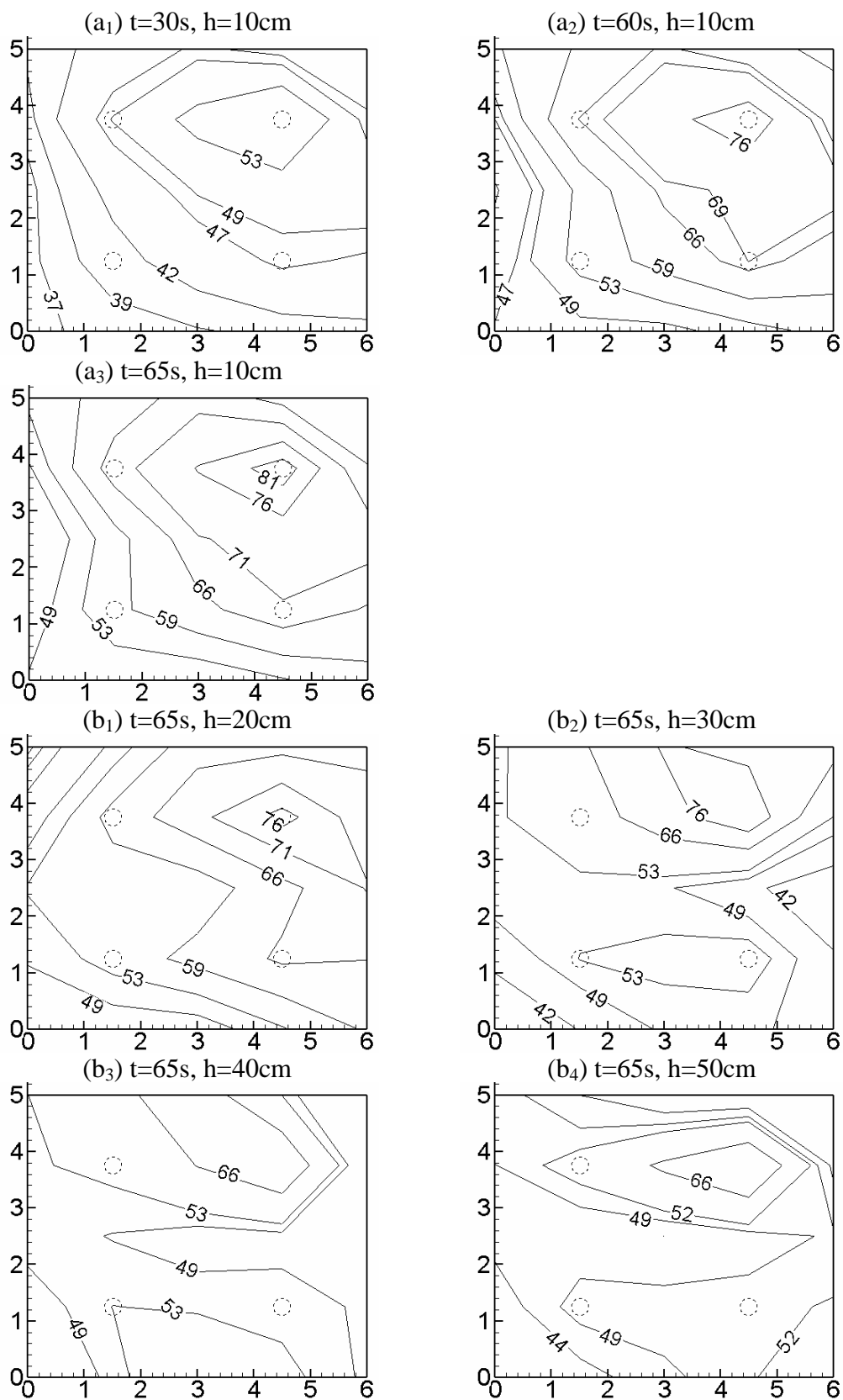


圖 4-14 LPG-Y₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

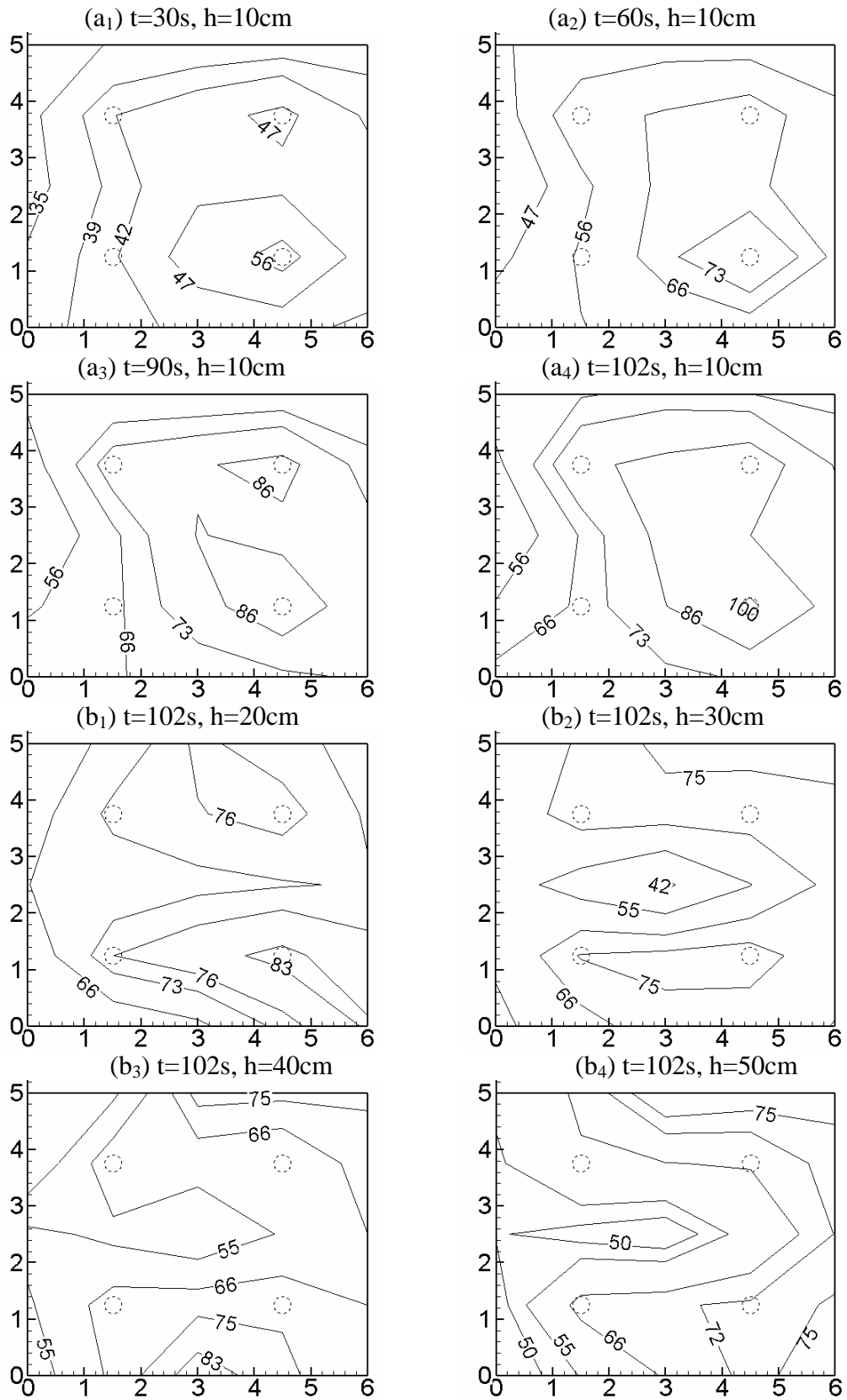


圖 4-15 LPG-Y₂-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

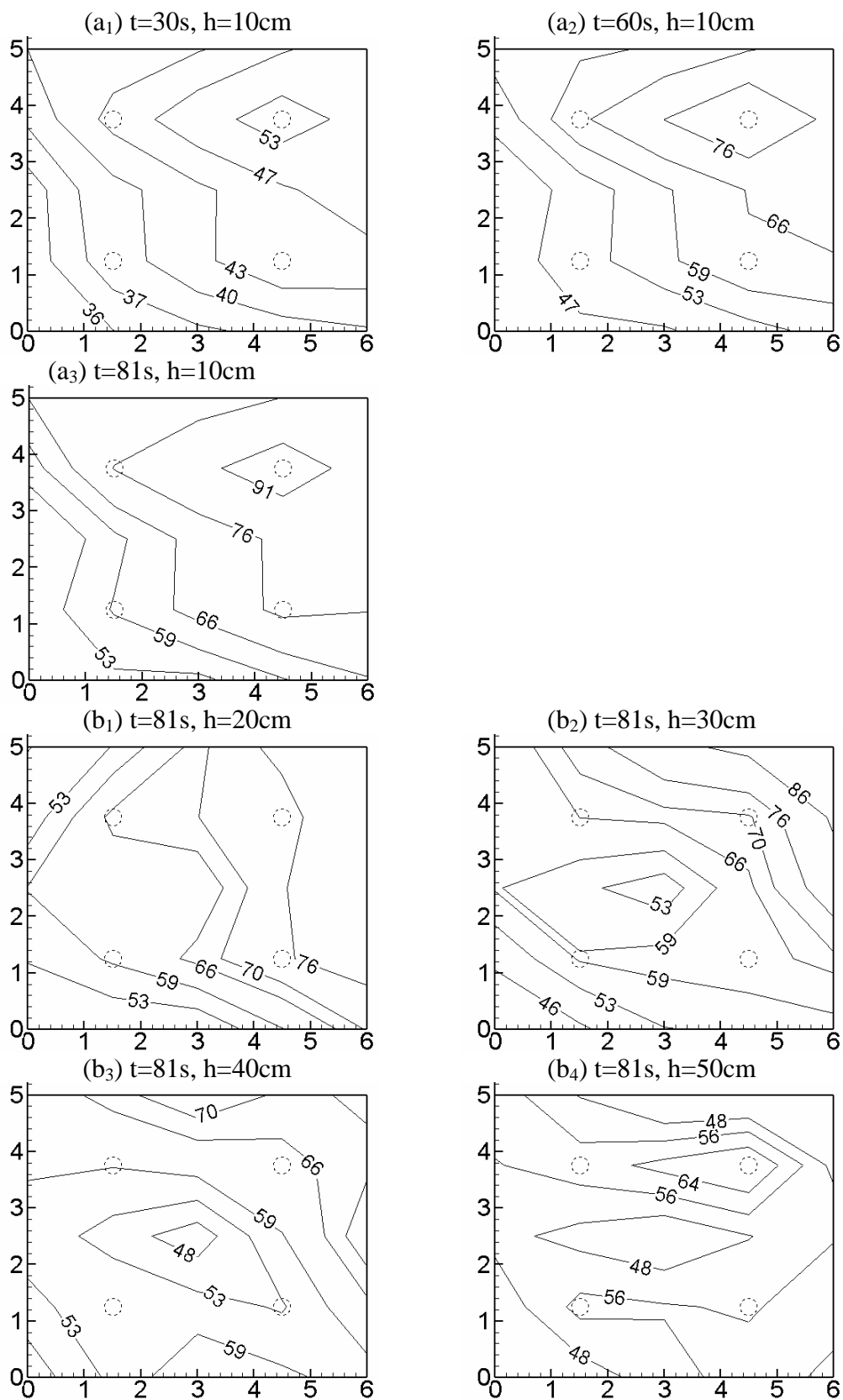


圖 4-16 LPG-Z₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

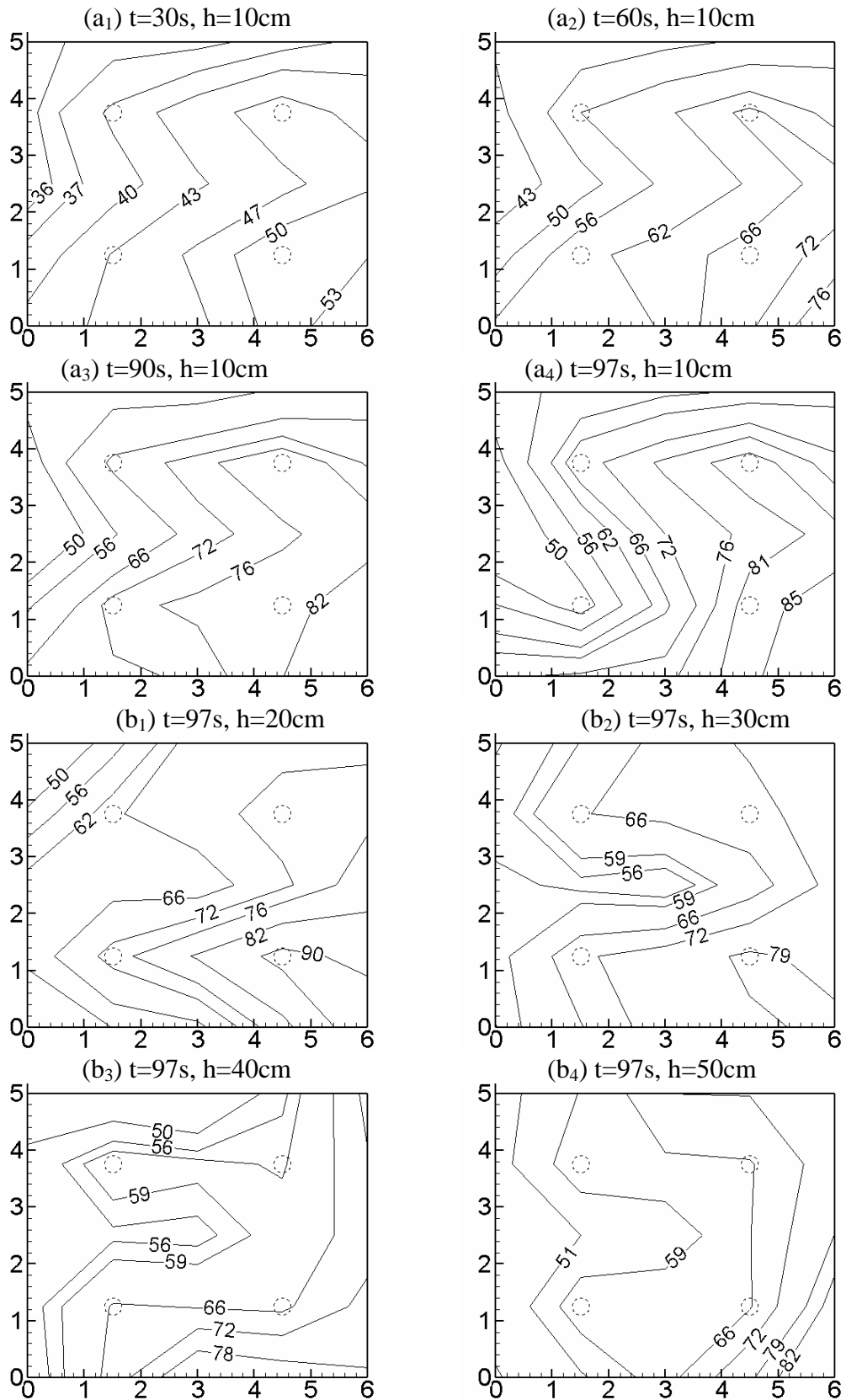


圖 4-17 LPG-Z₂-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

(e) 作動時間比較

在了解火源位置對於溫度場之影響後，接著取 $(M_1、X_1、W_1)$ 、 $(M_1、X_2、W_2)$ 、 $(M_1、X_3、W_3)$ 三組實驗數據進行探討比較，可以應證壁面效應的理論；火源在房間中心(M)的實驗中，其撒水頭作動的時間與各壁面位置(W)之結果互相比較，大約為 1.44 倍左右；實驗 X 組與實驗 W 組相比之時間平均值約為 1.33 倍左右；實驗 W、X 與實驗 W 相比之平均值為 1.39，與文獻中所提及，當火源位於壁面時，上方煙層溫度會是一般煙層溫度的 1.3 倍之理論頗為符合；也就是說，當火源位於壁面時，所造成較高溫度的煙層會直接影響縮短撒水頭的反應時間；以 X 系列和 W 系列之撒水頭作動時間來看，距離撒水頭較近的 X 系列實驗，反而還比距離撒水頭較遠的 W 系列實驗作動的時間還久，可見壁面效應之影響相當的大。

取 M、 Y_1 、 Z_1 、 C_1 軸向的實驗，比較其溫度曲線與房間平面溫度等高線，可得知當火源位於角落時，火源附近的溫度成長速度較快，符合角落效應的理論，但撒水頭的反應時間（讓撒水頭附近的空氣達到推論作動溫度的時間）並沒有特別短，比較平面溫度等高線原因應是火源與撒水頭的距離所造成的，顯示火源與撒水頭的距離也是影響撒水頭作動時間的要素之一。所以，根據以上結論可得到，影響撒水頭作動時間的因子有兩個：火源與撒水頭的距離以及壁面效應；Y 系列實驗皆快於 X 系列實驗乃是受火源與撒水頭距離的因素；W 系列實驗皆快於 X 系列實驗乃是受壁面效應的影響。整體來說， M_1 屬於撒水頭最慢反應的位置。

比較撒水頭的反應溫度，發現其溫度範圍大致在 99~105°C 左右，就此推斷，一般狀況下，當撒水頭附近的空氣溫度到達 100°C 時，則可能是撒水頭作動的時機。比較兩不同溫度之實驗 Y_1 及 Z_2 ，推斷 Y_1 實驗應該是撒水頭故障所造成，（取 Y_1 實驗之 T_1 溫度曲線與火源與撒水頭距離相似的 Z_1 實驗 T_1 溫度曲線相比，發現溫度曲線類似，對於撒水頭的影響應該類似）， Z_2 實驗則是因位置接近東北開口，空氣溫度受到進風冷卻，導致使撒水頭作動之熱傳完成時，空氣溫度仍然較低的緣故。另外，水管

中充水之實驗與水管中充空氣之實驗的推論作動溫度（90~100°C）要稍稍較高，或許應證了水的吸熱影響。

第二節 火源：170kW 油盤

本節主要將原先 LPG 火源改以油盤替代，一共做了四次實驗，詳細資料列於表 4-3，其中編號 OIL-M₁-A 代表撒水頭管路充入高壓氣，其他三次則都充入高壓水。四次實驗皆以圓形油盤(直徑約 40cm)，加入 1200 cc 汽油，下方置水 15cm 高。而四次實驗平均歷時約 225±10 秒，根據 92 無鉛汽油熱值為 42739kJ/kg，密度為 740kg/m³，所計算得之熱釋放率 176.5~165.9kW。

■ 撒水管路充高壓氣

觀察圖 4-18 左上角火源點 OIL-M₁-A 圖形，即熱源點為實驗場中心，管內裝高壓空氣，可以發現所有熱電偶均從 30°C 開始升溫，以 4 號熱電偶升溫為最快，顯示有較多的熱氣流往 4 號移動，其餘三組熱電偶溫度成長幅度均類似。在實驗開始後 116 秒時，1 號及 3 號撒水頭同時驅動，驅動溫度可從表 4-3 得知為 98.4 及 100.1°C，而從圖形上可以觀察出溫度曲線因撒水頭作動後，管內高壓氣體瞬間由撒水頭衝出，使得周圍熱電偶溫度受到管內未加溫氣體影響而迅速下降，其中因本次實驗管內為空氣，和其他三次實驗通水為不同，所以溫度下降的幅度較小。4 號及 2 號撒水頭分別作動的時間為 130 秒及 138 秒，溫度分別為 111.1 及 100.8°C。由等溫線圖 4-20 中(a₄)可看出高溫氣流流向 S₄，可能是 1 號門之氣流影響。

■ 撒水管路充高壓水

(a) 火源在房間中央

圖 4-18 右上角火源點 OIL-M₁-W 之圖形，代表火源位於實驗場中心，管內充填高壓水。由結果可以觀察四組熱電偶升溫曲線模式極為接近，表 4-3 可以發現 1、3 及 4 號撒水頭驅動時間相當接近，分別為 101、101

及 108 秒，而 2 號撒水頭則在本次實驗無驅動，而本次的火焰高度約為 1.5 公尺，如圖 4-19(a)所示。在等溫線圖 4-21(a₄)可見氣流傾向 S₄。

表 4-3 火源為油盤之實驗資料

油盤, D=40cm, \dot{Q}_{ave} =176.5~165.9KW, 92無鉛汽油					
編號	燃燒器位置	被驅動撒水頭	驅動時間(s)	驅動溫度(°C)	日期
OIL-M ₁ -A	M ₁	S ₁	116	98.4	10/12/2006
		S ₃	116	100.1	
		S ₄	130	111.1	
		S ₂	138	100.8	
OIL-M ₁ -W	M ₁	S ₄	101	106.0	10/16/2006
		S ₃	101	104.7	
		S ₁	108	99.1	
		--	--	--	
OIL-W ₁ -W	W ₁	S ₄	81	108.6	10/18/2006
		S ₁	163	115.7	
		--	--	--	
		--	--	--	
OIL-C ₁ -W	C ₁	S ₁	65	107.1	10/18/2006
		S ₄	97	104.8	
		S ₂	97	104.8	
		--	--	--	

(資料來源: 本實驗)

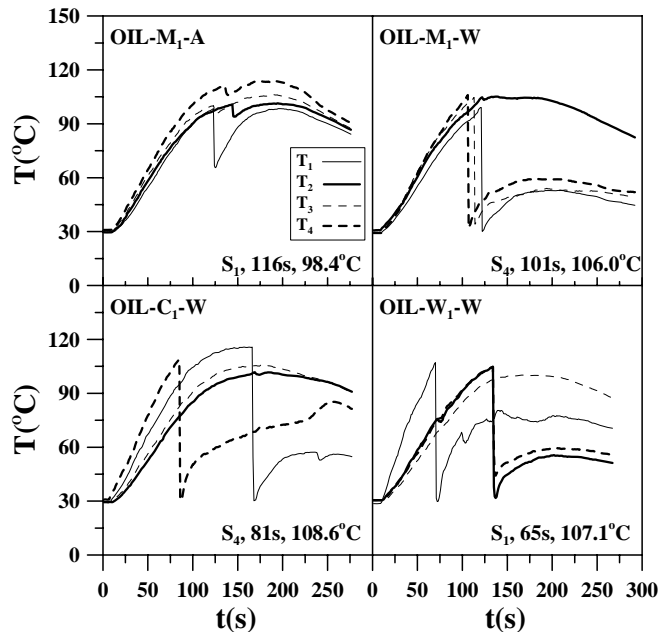


圖 4-18 火源為油盤之溫度曲線圖

(資料來源: 本實驗)

(b)火源在壁面

圖 4-18 之左下角 OIL-W₁-W 則是代表火源靠牆壁，火焰高度較中心火源高，約為 1.6 公尺，如圖 4-19(b)所示。根據等溫線圖 4-22 中(a₃)上顯示實驗場高溫氣流向 S₄，故 4 號撒水頭溫度上升較快也較 1 號撒水頭提早驅動，驅動時間分別為 81 及 163 秒。4 號及 1 號幾何位置相同，驅動時間不同可能是因為實驗場外部北方較南方空曠，所以從北方引入空氣量較南方為多，溫度因此降低。

(c)火源在角落

圖 4-18 右下角火源點 OIL-C₁-W 圖可發現，1 號熱電偶溫度升溫最快，因其位置最靠近火源處，故第一顆驅動的撒水頭為 1 號，驅動時間較火源點為中心處早為 65 秒，溫度為 107.1°C。也可觀察出其火焰因受到角落效應影響，火焰高度最高，約為 2.8 公尺，如圖 4-19(c)所示。而在等溫線圖 4-23，可驗證 1 號角落高溫氣流流向 S₁，顯示熱氣是由室內角落向中心延伸，而 3 號撒水頭未驅動，因為溫度只有 60-70°C。

(d)作動時間比較與討論

比較撒水頭驅動時間，在角落 OIL-C₁-W 快於在牆邊或在自由空處，是由於熱量及高溫氣集中於牆角，提早驅動撒水頭。

與 LPG 燃燒器比較，LPG 為 100kW，而 OIL 約為 170kW，熱量雖增加 0.7 倍，但時間並未增快，在相同火源位置，作動時間幾乎相同，起因於因為使用油盤較燃燒器火焰面積增加，熱量較為分散，故作動時間幾乎相同。



(a)房間中央



(b)靠牆



(c)角落

圖 4-19 油盤火焰相片圖

(資料來源: 本實驗)

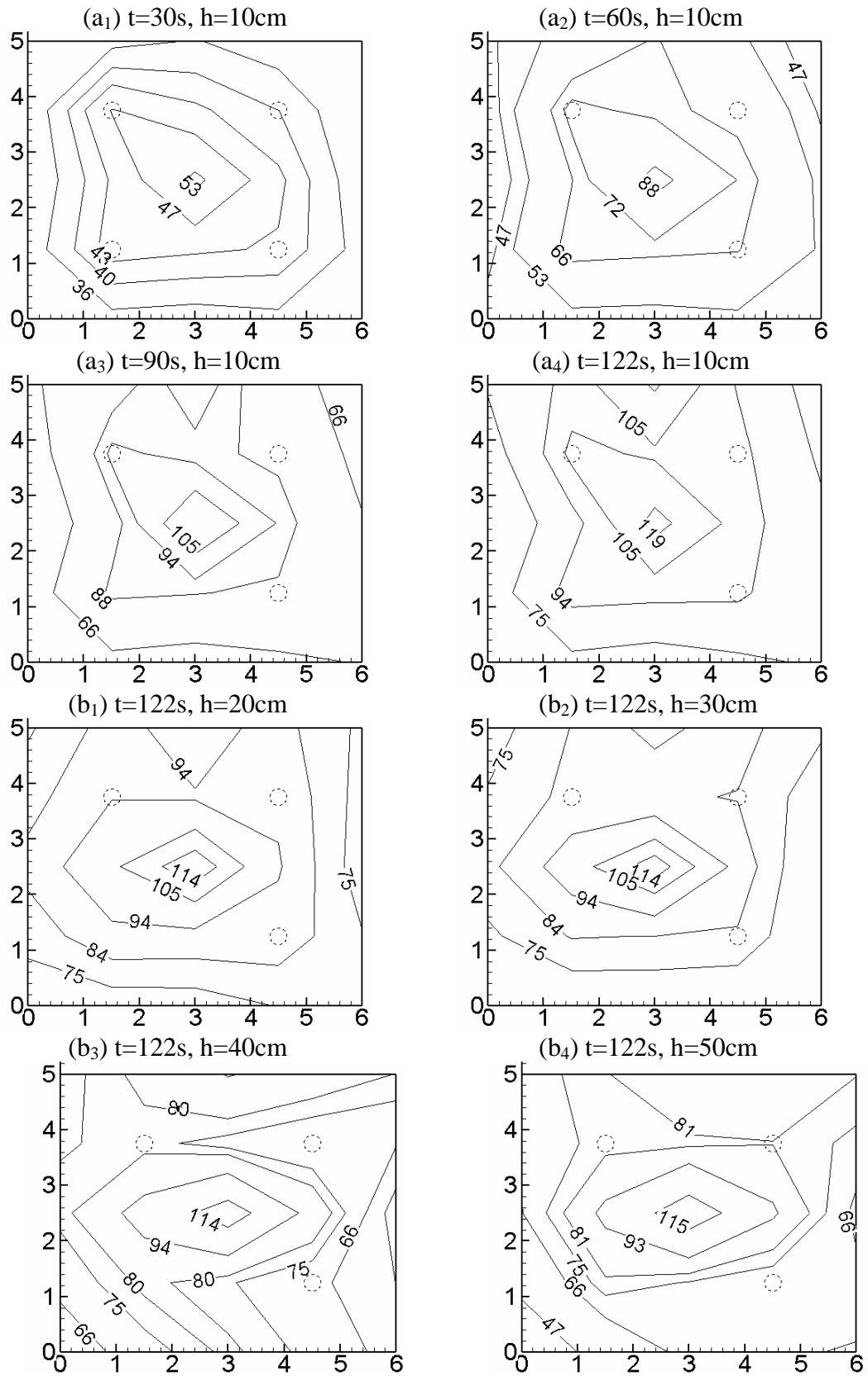


圖 4-20 OIL-M₁-A 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

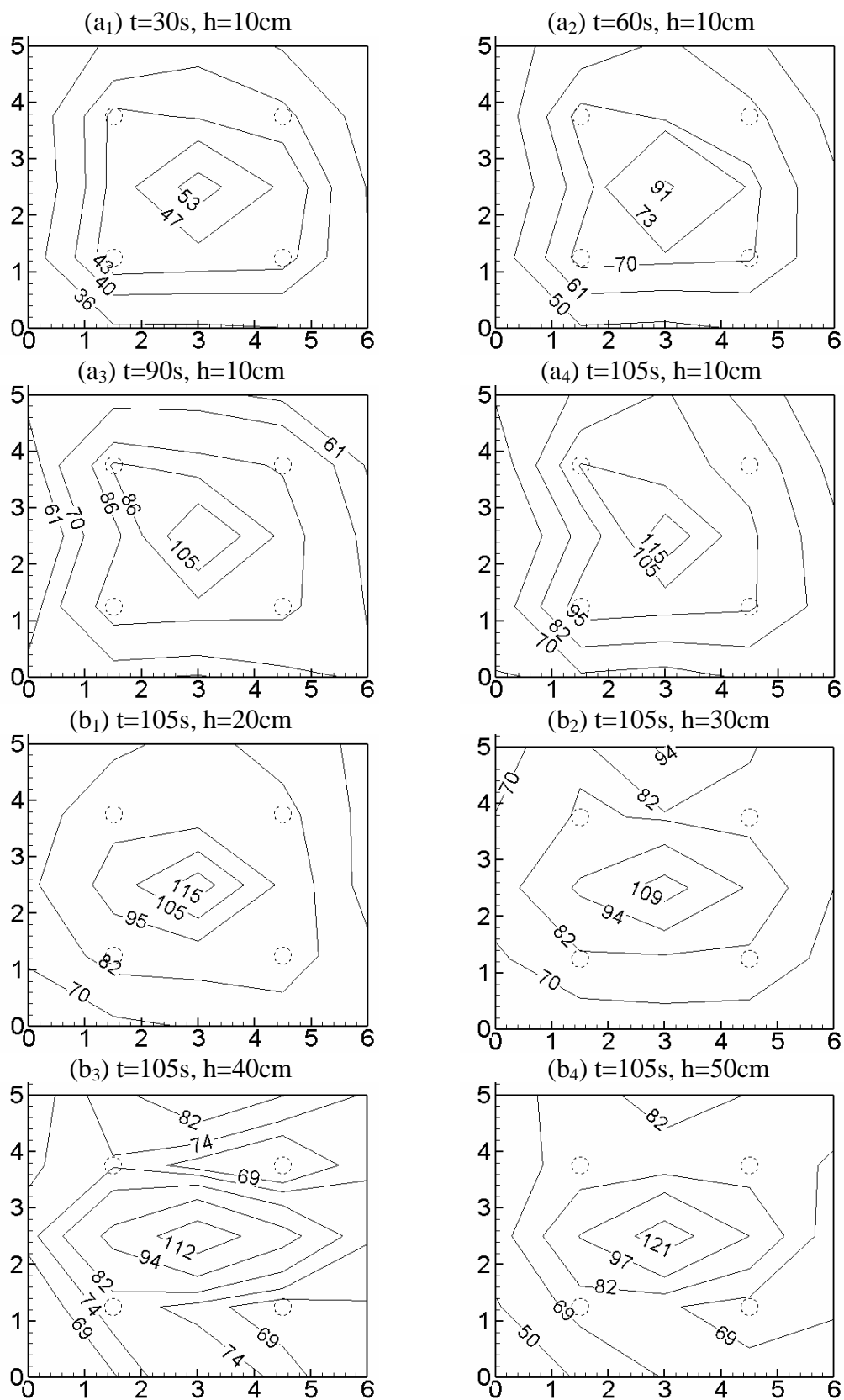


圖 4-21 OIL-M₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

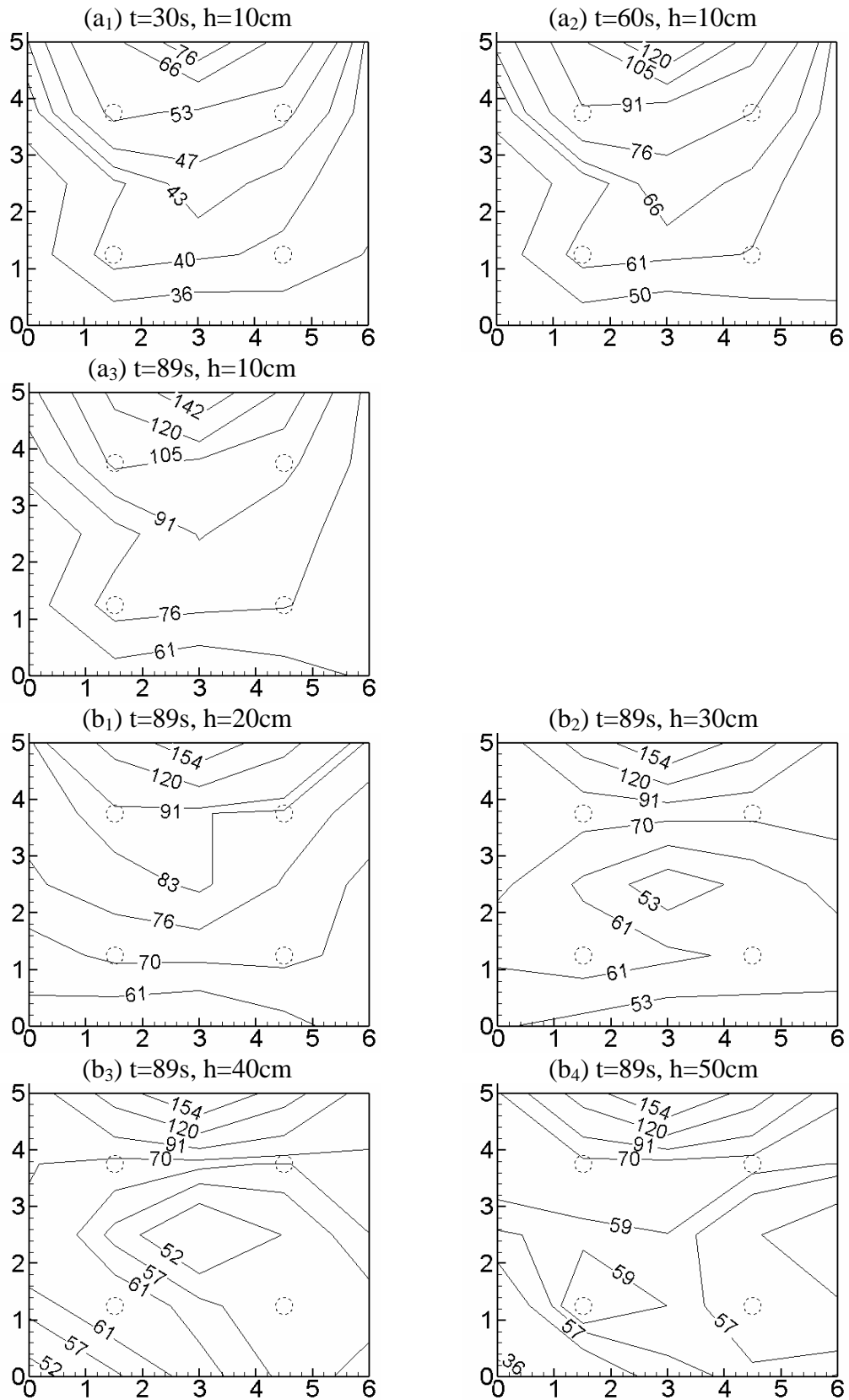


圖 4-22 OIL-W₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

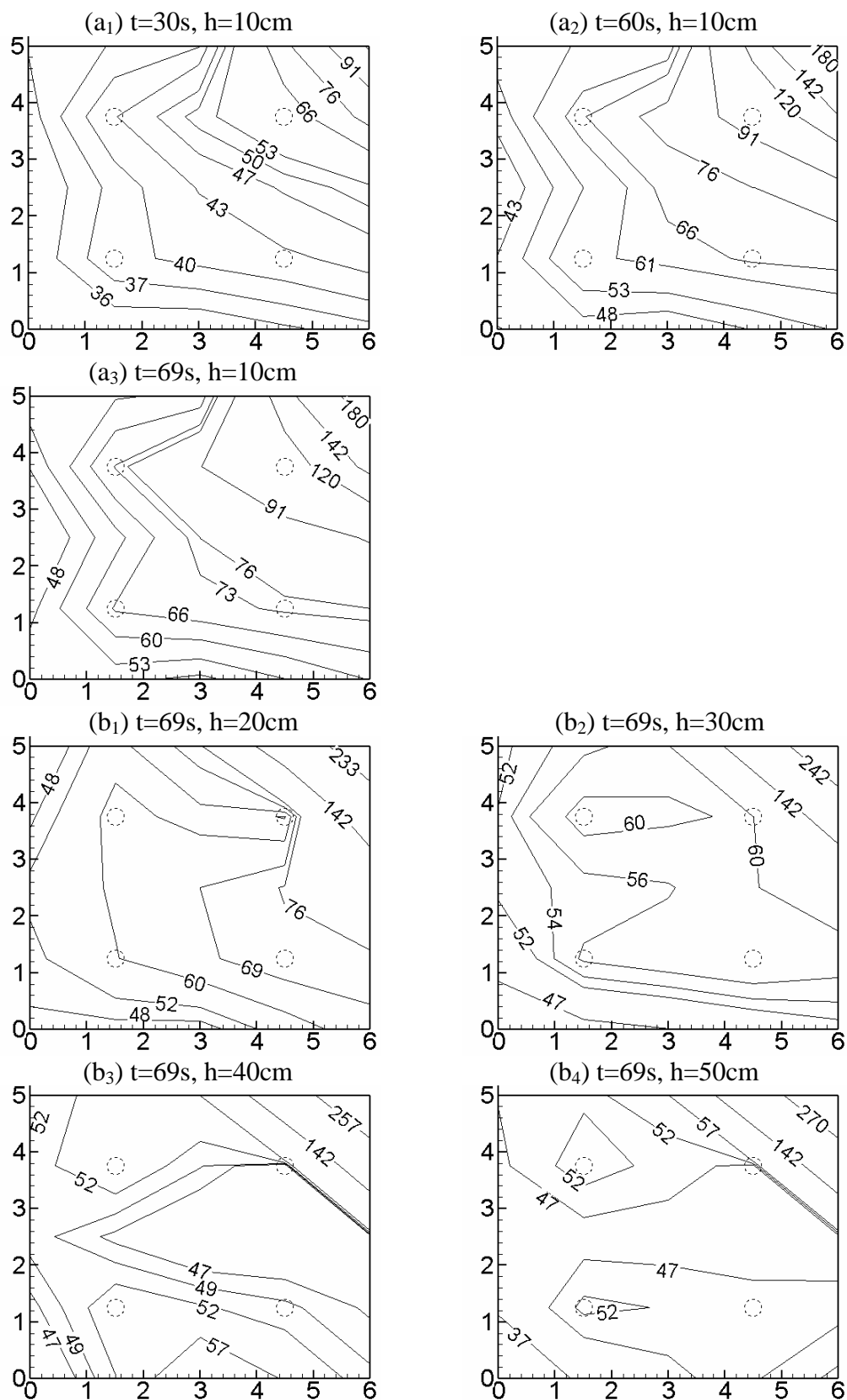


圖 4-23 OIL-C₁-W 之等溫線圖

(資料來源: 本實驗)

第五章 含撒水系統之全尺寸辦公室火災實驗

本次實驗主要以內政部建築研究所台南歸仁防火實驗室一樓辦公室之空間擺設為基準，進行火災模擬實驗。整個實驗目的主要探討在火源附近部分撒水頭失效之後，整個火場延燒之情形，並探討原先設計之撒水頭配置對於火場本身地抑制效果是否能降低閃燃發生的機率。

第一節 實驗儀器配置位置

本次實驗實施時間為 95 年 11 月 30 日，圖 5-1(a)為本次實驗燃燒儀器配置圖，空間尺寸為 6m×5m 之平面，高度為 2.4m，牆壁採用砌磚的方式來建構，牆面厚度為 0.26m。在辦公室天花為輕鋼架與石膏板，並且設置一個 40cm 寬東西向之隔煙屏障，整個配置依照實際辦公室內容為主，如圖 5-1(a)所示，包含辦公椅（六張）、屏風（六組）、桌板（六組）、高木櫃（三組、辦公室北邊，靠北牆）、中木櫃（四組、辦公室東邊，靠東牆）以及矮木櫃（三組、辦公室東邊，靠隔版），引火前辦公室內擺設照片，如圖 5-1(b)、5-1(c)所示。

辦公室西牆北側與南牆西側配置了兩個大面積窺視窗，材質為防火玻璃，尺寸皆是 2.1m×1.2m，窗體距地面高度則為 0.6m，可直接觀測火場內撒水頭撒水情形與水對火焰的抑制情況。辦公室東北邊及東南邊各有一個開口，尺寸為 2.1m×0.9m，本次實驗東南開口部為上半開，東北開口部為下半開。東北邊的開口主要作為新鮮空氣之供應，東南邊開口則是作為廢氣排放。辦公室南邊上方為 10MW 大尺度燃燒分析裝置之大型抽煙罩，主要用來吸引廢氣，並由氣體分析儀分析廢氣組成，同時估算熱釋放率。圖 5-1 (a)上之圓形虛線符號代表引火源的位置，以垃圾桶加上 0.5kg 紙張為引火源。另外加上一組電腦設備、以及 20kg 的報紙，並將報紙散置於辦公室四周，模擬實際辦公室引火燃燒之狀況。整個辦公室空間規劃十三組熱電偶樹，和八個熱電偶，熱電偶之種類為 K-type 形

式。另有壓差計、撒水頭、氣體分析儀，其數量、位置及高度如表 5-1 所述。在本實驗中，主要模擬現實狀況中，若是火源附近之撒水頭失效時，剩餘之撒水頭能否抑制火災的蔓延。因此本次撒水頭共有四個，其中 1 號、2 號、3 號三個撒水頭，作動後不持續供水，僅 4 號撒水頭作動後持續供水 30 分鐘，水壓持續維持在 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

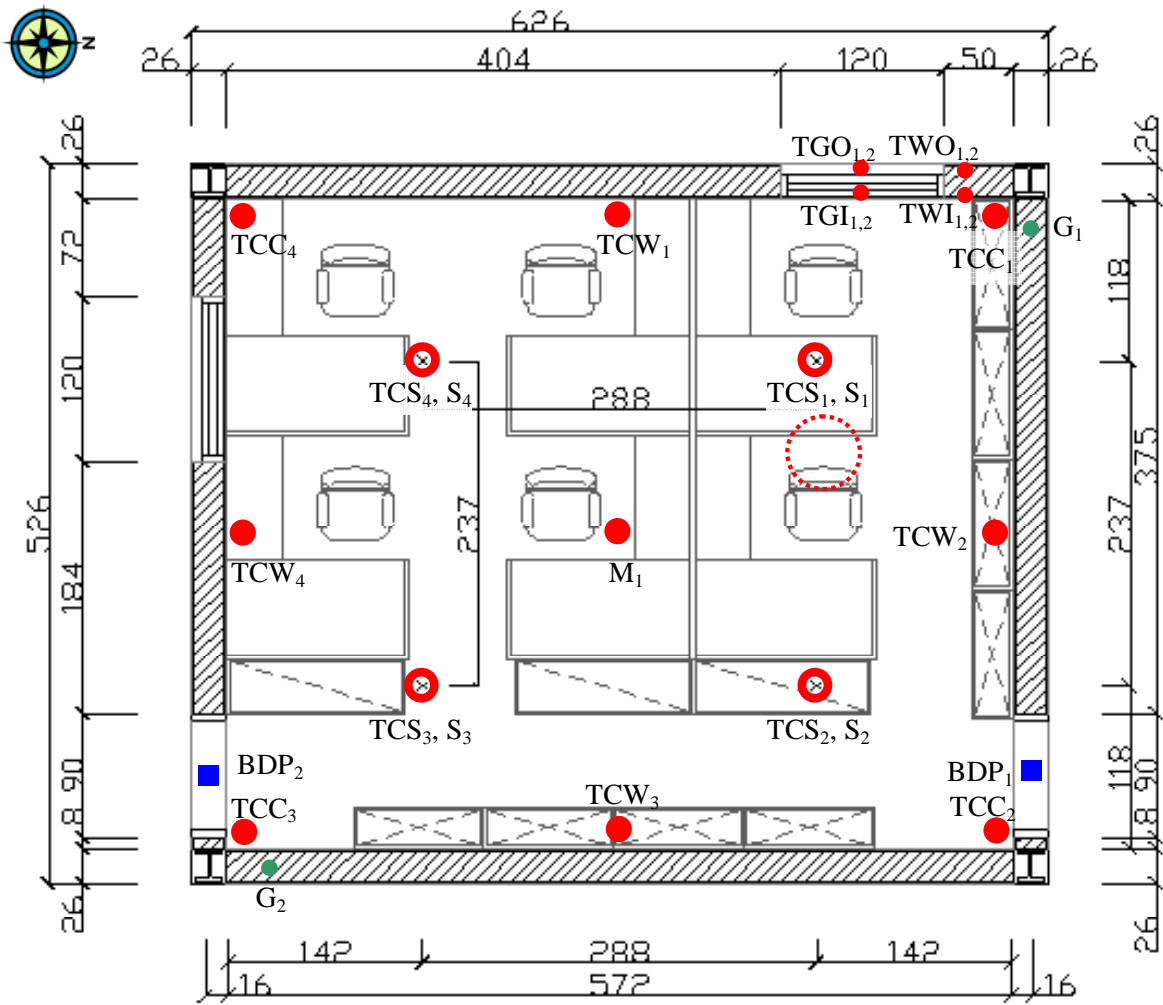


圖 5-1(a) 全尺寸辦公室火災實驗配置圖

(資料來源: 本實驗)

表 5-1 全尺寸辦公室火災實驗儀器配置

儀器名稱	數量	位置及代號	距地高度	說明
熱偶樹	13 個	TCC ₁ 、TCC ₂ 、TCC ₃ TCC ₄ 、TCW ₁ 、TC ₂ TCW ₃ 、TCW ₄ 、TCS ₁ TCS ₂ 、TCS ₃ 、TCS ₄ TCM ₁ 、	註 1	
熱電偶	8 個	TGO ₁ 、TGO ₂ 、TGI ₁ 、TGI ₂ TWO ₁ 、TWO ₂ 、TWI ₁ 、 TWI ₂	TGO ₁ 、TGI ₁ ：240cm TGO ₂ 、TGI ₂ ：160cm TWO ₁ 、TWI ₁ ：240cm TWO ₂ 、TWI ₂ ：160cm	內外窺視窗(防火玻璃)及內外牆
壓差計	2 個	BDP ₁ 、BDP ₂	BDP ₁ ：50cm BDP ₂ ：150cm	BDP ₁ ：東北向 BDP ₂ ：東南向
撒水頭	4 顆	S ₁ 、S ₂ 、S ₃ 、S ₄		
氣體分析儀	2 組	G ₁ 、G ₂	G ₁ ：180cm G ₂ ：180cm	G ₁ ：北向 G ₂ ：東南向

註 1：單組熱電偶樹的垂直方向分配為，自天花板下 50 公分內每 10 公分分配一點，共分配五點；天花板下 50 公分後，每 50 公分分配一點，亦分配 5 點。

(資料來源：本實驗)



圖 5-1(b) 由東南開口觀察辦公室內部點火前的狀況(中間為西牆防火窗)

(資料來源：本實驗)



圖 5-1(c) 矮櫃及高櫃擺設之情形（右邊為東北開口）

（資料來源：本實驗）

第二節 火災歷程和熱釋放率變化

本次實驗共歷時約 3720 秒。而點燃後約在 110~120 秒時，撒水頭 $S_1 \sim S_3$ 三顆幾乎同時啟動，但是為了模擬撒水頭失效的狀況，因此這三顆則不繼續供水；直到 131 秒時，第四顆撒水頭（ S_4 ）也跟著啟動，整個撒水過程約 30 分鐘，並且在這段期間成功地抑制火災的成長，使得曾經發生閃燃的情形也沒有出現。而表 5-2 則是將整個火災中幾個比較重要的歷程加以詳細記錄，並以圖 5-2 熱釋放率變化情形來描述整個延燒之情形。

表 5-2 全尺寸辦公室火災實驗之火災歷程

時間歷程(t)	發生現象	參考
100 秒	引火源附近四周報紙全部引燃	圖 5-2(a)
118 秒	引火源四周隔板上報紙引燃	
135 秒	引火源之隔板部分引燃	
188 秒	引火源座位附近全面引燃	圖 5-3 (b)
275 秒	引燃至座位前東面矮櫃	約為圖 5-2
330 秒	從引火源底下竄燒至西面座位	圖 5-3 (a)

341 秒	從引火源底下竄燒至西面座位桌上	
360 秒	從引火源底下竄燒至西面座位椅子	
1335 秒	火焰從東面矮櫃竄出	
1431 秒	東面中櫃上報紙引燃	圖 5-3 (d)
1465 秒	東面中櫃引燃	約為 圖 5-2
1920 秒	關閉撒水頭水源	
1950 秒	矮櫃坍塌	
2445 秒	東面中櫃火勢增強	
2701 秒	東面中櫃坍塌	
2715 秒	火勢逐漸加大	圖 5-3(e)
2835 秒	隔板坍塌	
3045 秒	煙層明顯下降至進口部	約為 圖 5-2
3543 秒	天花板坍塌	
3580 秒	北面高櫃全部引燃	圖 5-3(f)
3615 秒	全面竄出黑煙	約為 圖 5-2
3720 秒	實驗中止	

(資料來源: 本實驗)

圖 5-2 主要表示總熱釋放率變化之情形。圖上 \dot{Q}_0 代表氧氣消耗法所求得之總熱釋放率，THR 代表由 \dot{Q}_0 對時間積分所得之總熱釋放量， \dot{Q}_T 代表以抽氣氣流溫度計算之顯熱所對應的對流熱釋放率。因抽氣量不足有漏煙狀況，故在 3600 秒左右加大抽風量，將 30Hz（抽氣馬達變頻器）增加到 40Hz，最高 \dot{Q}_0 在 3600 秒達到 3.2MW，隨後漸降。 \dot{Q}_T 在 3600 秒達到 0.8MW。在這裡需特別注意的是以往 \dot{Q}_T 的值大約是 \dot{Q}_0 的 50%，但在此次實驗中，因為有撒水使得氣流溫度降低，導致使用氣流升溫法算出的值較以往小很多，僅有 25% 左右。而 THR 總累積量在 3600 秒達到 4000MJ。實驗初期辦公室引火源四周報紙全部引燃後，約在 110 秒時撒水頭陸續作動，約在 200 秒時總熱釋放率急劇上升到 1.5MW，此時引火源周圍全面引燃，火焰竄燒至西面辦公椅與東面的矮櫃，因此 200-400

秒這段期間的總熱釋放率維持一個穩態，如圖 5-2 A 處。在 400 秒後受到持續撒水的影響，總熱釋放率逐漸下降，直到火焰又從矮櫃延燒到東牆的中櫃，約在 1600 秒時總熱釋放率達到 1MW，如圖 5-2 B 處。隨後火勢逐漸變小，實驗依照法令規定火災時緊急電源可供維持 30 分鐘，因此實驗在 1920 秒時關閉了撒水頭水源停止供水，這時因傢俱潮濕的影響所以總熱釋放率降至 0.5MW 以下。一直到 2400 秒時傢俱水份減少總熱釋放率才開始逐漸上升，此時因為東牆的中櫃復燃導致火勢逐漸加大，在約 3000 秒時總熱釋放率達到 1.5MW，如圖 5-2 C 處。約在 3500 秒時北面高櫃引燃，總熱釋放率上升到 3.2MW，此時總熱釋放率為實驗的最高值，如圖 5-2 D 處。

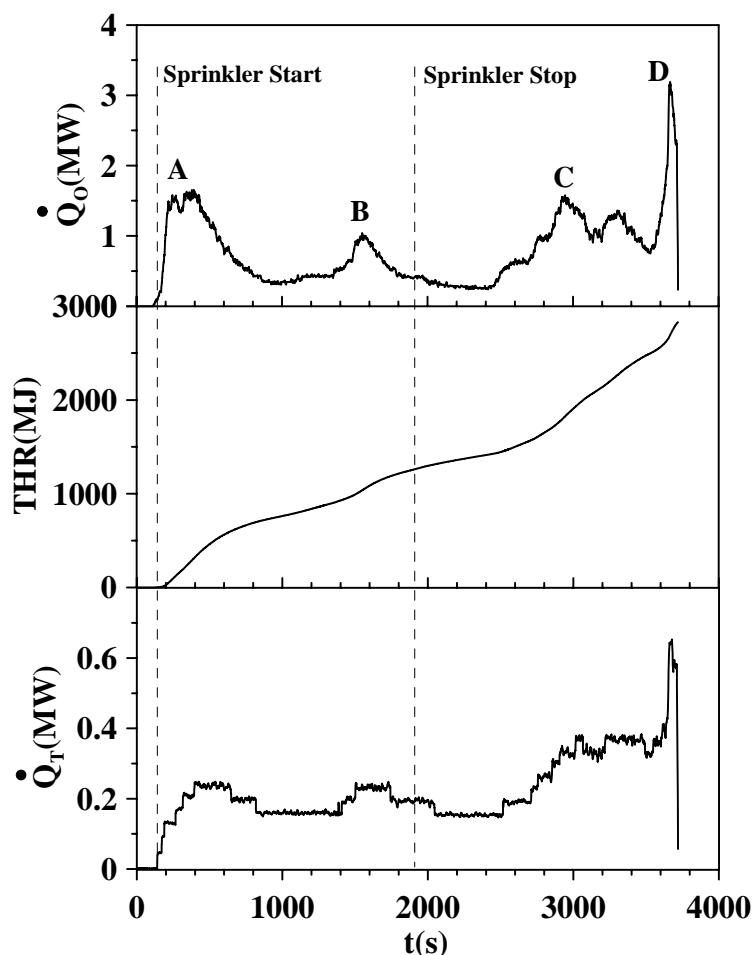


圖 5-2 全尺寸辦公室火災之熱釋放率變化圖

(資料來源: 本實驗)



a(南面)



b(南面)



c(北面)



d(北面)



e(南面)



f(西面)

圖 5-3 全尺寸辦公室火災歷程照片

(資料來源: 本實驗)

第三節 火場溫度及量測氣體之濃度變化

在了解辦公室火災之熱釋放率變化情形之後，接著針對火場溫度加以探討，整個結果如圖 5-4(a)~圖 5-4(d)所示。圖中分別代表不同位置的熱偶樹之溫度變化（圖上某些位置的熱偶樹代碼沒標示出來，顯示已壞掉）。首先我們觀察圖 5-4 (a)，即四個角落的溫度變化， TCC_1 ~ TCC_4 皆在前 100 秒溫度急劇上升，接下來撒水頭全數作動，但因為只有四號撒水頭持續噴水，燃燒煙氣在 4 號角落被冷卻下來，因此 TCC_4 明顯地比其他三個角落低。在撒水頭關閉之前 ($t < 1960s$)， TCC_4 皆在 $200^{\circ}C$ 左右而已。而在火源附近的區域則持續燃燒，火焰緩慢成長，以 TCC_2 溫度最高，最高可達 $400^{\circ}C$ ， TCC_3 雖位於煙氣出口處，但因混合了撒水頭之蒸汽，故其溫度反而低於 TCC_1 。

接下來我們觀察圖 5-4(b)，即四個牆邊的熱電偶樹的溫度變化，在火災中前期上層溫度除 TCW_1 因隔煙屏障蓄積大量濃煙，溫度上升起伏大，其餘上層溫度皆維持在 $600^{\circ}C$ 以下，且極為相似。 TCW_4 因為受撒水頭蒸汽隔絕，溫度最低，以 TCW_2 例，上層溫度在 200 秒時急劇上升到 $500^{\circ}C$ ，而後灑水頭作動，溫度慢慢下降，1400 秒時東面中矮櫃引燃，溫度上升到 $300^{\circ}C$ 上下後，火勢漸小至矮櫃坍塌；在 1920 秒時關閉灑水頭水源，在 2400 秒時東面中櫃火勢漸強，溫度上升到 $400^{\circ}C$ 上下；3580 秒時北面高櫃全部引燃，溫度上升到 $700^{\circ}C$ 上下。 TCW_2 下層溫度在 TCW_{2-5} 、 TCW_{2-6} 因靠近上層，因此溫度與上層極似， TCW_{2-7} 、 TCW_{2-8} 、 TCW_{2-9} 在高櫃後方，因此在 3580 秒北面高櫃全部引燃後，才與上層溫度相似。

其次觀察圖 5-4(c)，即四個撒水頭正下方之熱偶樹， TCS_4 在 4 號撒水頭噴水後，溫度迅速下降；至 1960 秒撒水頭關閉後才在上升， TCS_2 溫度最高，因 4 號撒水頭最遠，不受水氣影響。最後為圖 5-4(d)，為中央熱電偶樹溫度圖，上層 50 公分不會被水噴到故溫度仍可維持在 $350^{\circ}C$ 左右，但下層受噴水波及，溫度無法上升。

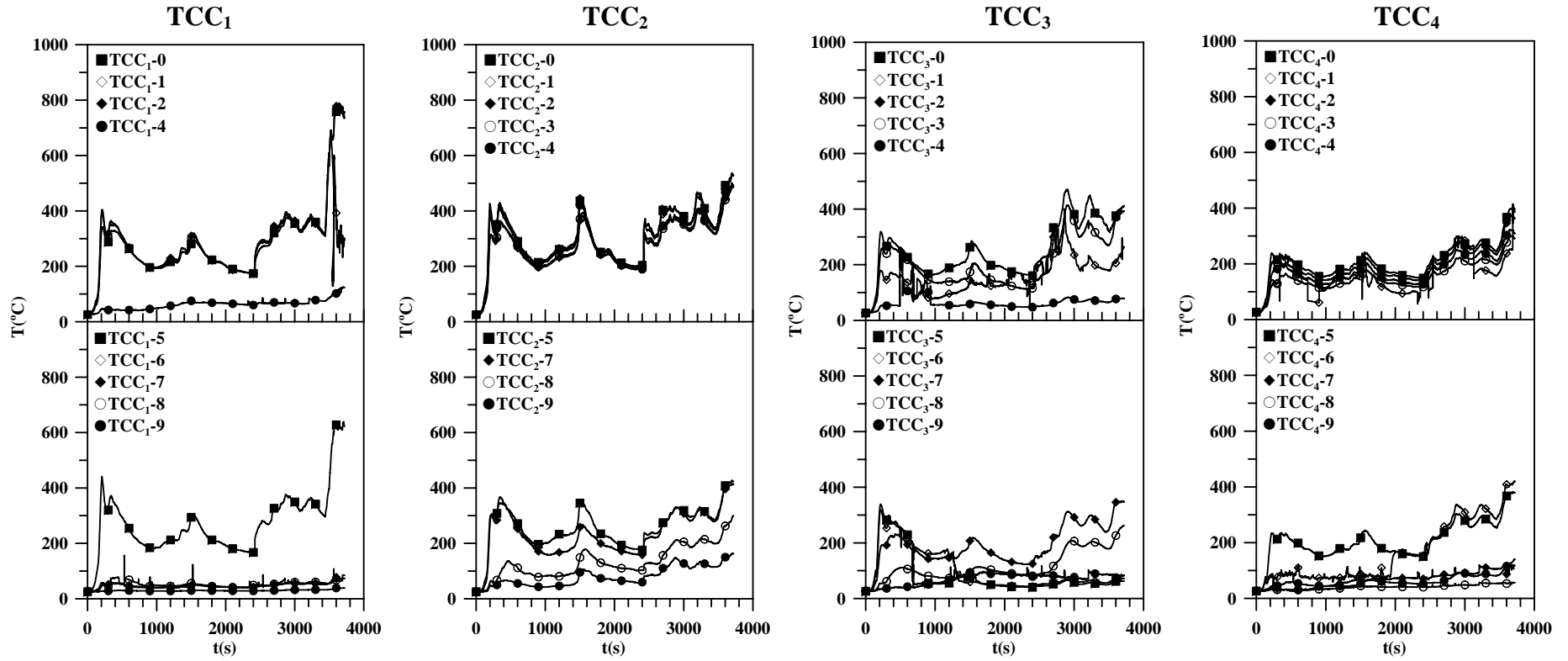


圖 5-4 (a) 全尺寸辦公室火災角落熱偶樹溫度變化圖(TCC₁~TCC₄)

(資料來源: 本實驗)

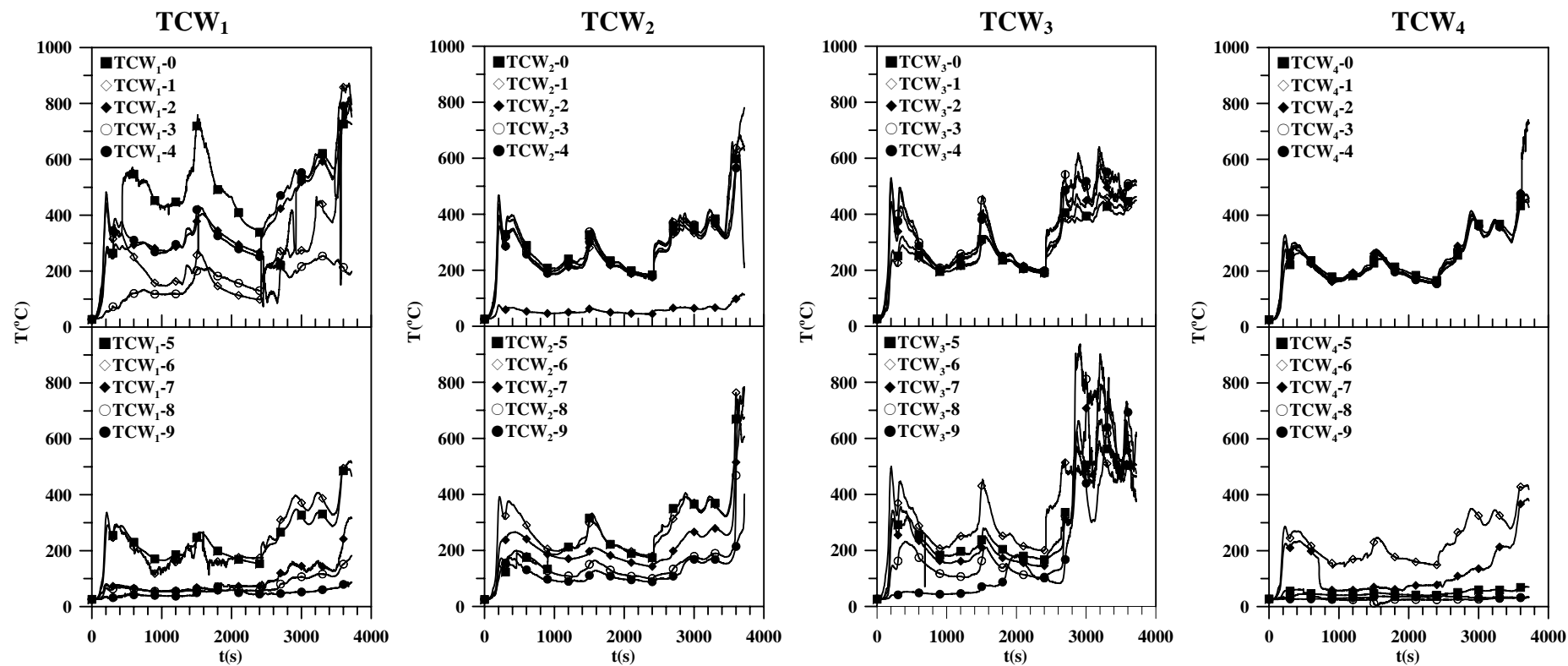


圖 5-4 (b) 全尺寸辦公室火災牆邊熱偶樹溫度變化圖(TCW₁~TCW₄)

(資料來源: 本實驗)

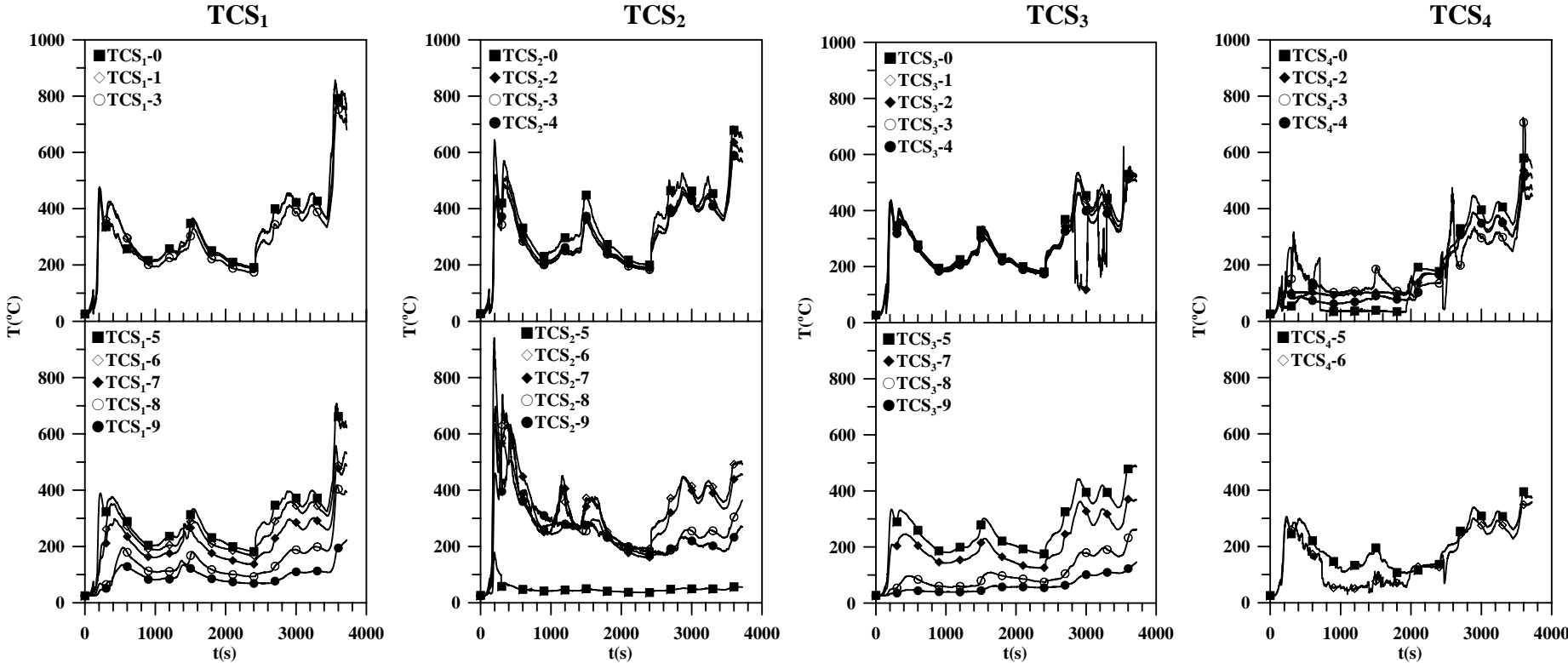


圖 5-4(c) 全尺寸辦公室火災中央撒水頭下熱偶樹溫度變化圖(TCS₁~TCS₄)

(資料來源: 本實驗)

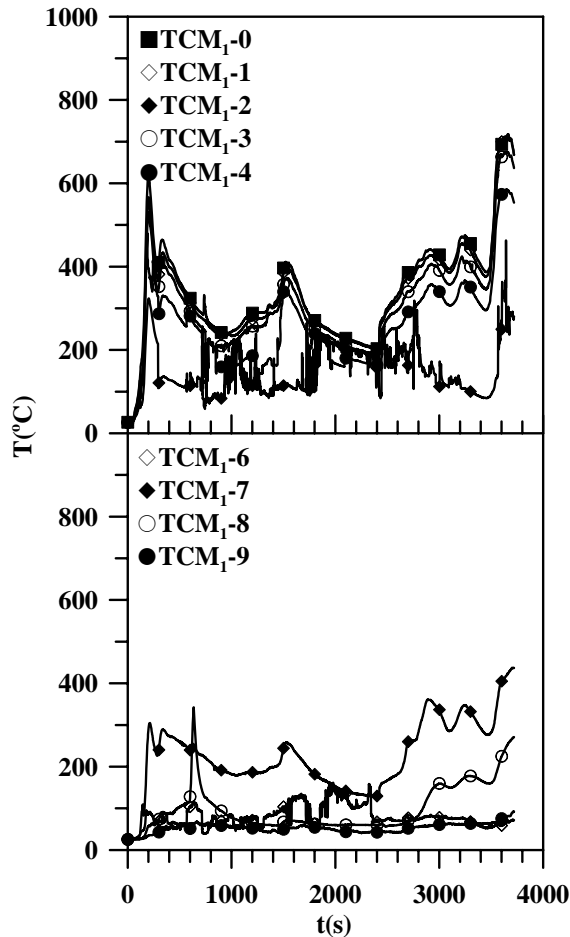


圖 5-4 (d) 全尺寸辦公室火災中央熱偶樹溫度變化圖(TCM₁)

(資料來源: 本實驗)

圖 5-5 主要探討火場熱輻射對於玻璃以及牆壁的影響。牆面顯示的溫度變化可知，內牆的溫度在 400 秒時已達到最高點 150°C，後續受到撒水頭作動影響，北方高櫃未引燃，因此牆面溫度也未受火焰影響而緩慢下降，直到約 1500 秒時 TWI₂ 處辦公桌復燃，溫度又持續上升。而到 3580 秒時緊貼牆壁面的北方高櫃全面引燃，因此溫度急劇陡升。而牆外的溫度始終都保持在常溫，由此可知磚牆仍有相當的隔熱性。整體而言，內牆下層溫度高於上層溫度。在玻璃面的溫度變化，受到煙層蓄積的影響，除了 500 秒時內側 TGI₁ 的溫度與 TWI₁ 同樣受到撒水頭作動影響，加上北方高櫃未引燃，因此內牆溫度也未受火焰影響而緩慢下降，到 2400 秒時才又急劇上升，但整體而言上層溫度皆高於下層溫度。

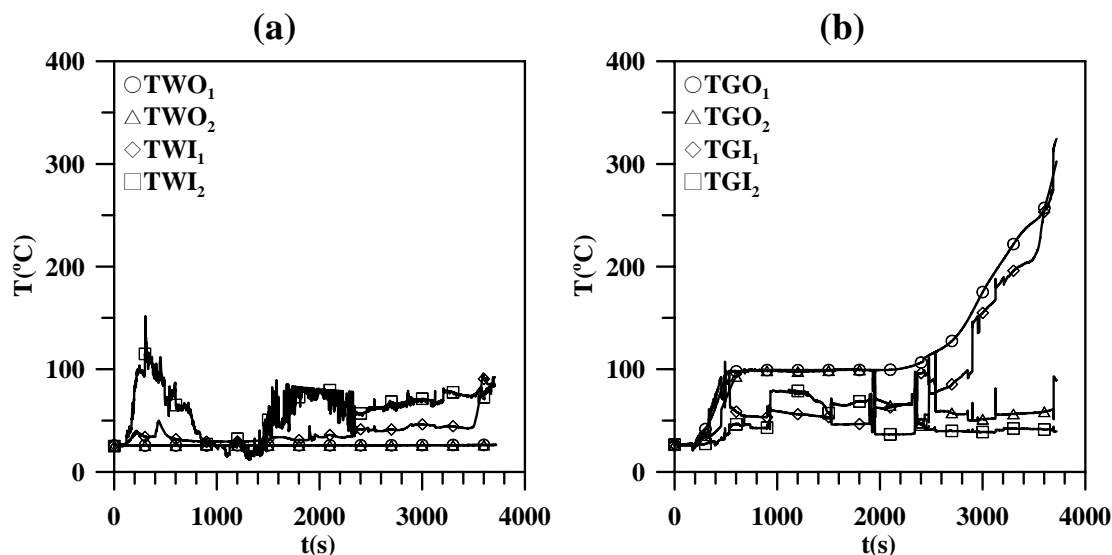


圖 5-5 全尺寸辦公室火災之房間西北邊牆面與玻璃面
之熱電偶溫度變化情形

(資料來源: 本實驗)

圖 5-6 主要代表房間內 O_2 及 CO 的變化。由實驗結果可以發現， CO 在初期火災引燃後上升很快，但當撤水頭作動時隨時下降並穩定在 0.18% 左右。在實驗後期撤水頭供水關閉後，火勢又增大，所以 CO 濃度又開始上升。因為儀器僅能測得 0.5% 以下 CO 濃度，因此在超出 0.5% 的濃度數據不是很齊全，導致繪出曲線不是很平滑。由 O_2 曲線可看出，氧氣濃度在火燄初期下降很快不過在撤水頭作動後火勢變小，氧氣濃度隨即增多。在後期因為撤水頭供水關閉，導致火勢增大，氧氣消耗迅速，可由圖中觀察出在熱釋放率最大值時，也就是 3600 秒左右，氧氣濃度有極小值近乎 0。

圖 5-7 主要表示所抽得之煙氣流場及濃度變化，在流場變化圖中，Opacity 隨著火勢的改變而變化，因為不透光率越高，代表實驗的廢氣中黑煙濃度越多火勢越大，因此不透光率的圖形與總熱釋放率的趨勢是一致的。而在圖 5-7 (a) 中的 T 代表煙道中收集氣體溫度，可代表燃燒對流熱的變化情況，溫度變化一樣與熱釋放率的趨勢相同，尖峰值發生的位置也都一樣，因為煙道離火場已有一段距離，因此蒐集到的溫度不如火

場中的那麼高，最高也僅有 50°C 左右。

由於流速 $V(\text{m/s})$ 之計算為平均 10 秒間之壓差換算後而得，不會像皮托管量測之初使值每秒劇烈震盪，曲線較平滑。而流速的大小則取決於抽風機所使用的頻率，本實驗中抽風機的頻率為 30Hz，利用壓差與空氣密度計算後可得到流速。質量流量 $m(\text{kg/s})$ 則利用平均流速乘上量測段截面積及當時溫度下之氣體密度計算而來。圖 5-7 (b) CO_2 與 O_2 的變化可看出為一種互補關係，而 O_2 的波形與氧氣消耗法計算出的總熱釋放率是符合的，氧氣濃度下降越多，表示火勢旺盛。CO 為未完全燃燒氣體，經由觀察，發現圖形中的四個峰值，與 CO_2 、熱釋放率的峰值時間點都一致，可推估其原因為火勢越旺，家具的熱裂解越多，產生的可燃氣體也就越多，但因無法完全燃燒，所以會以 CO 的形式排出。

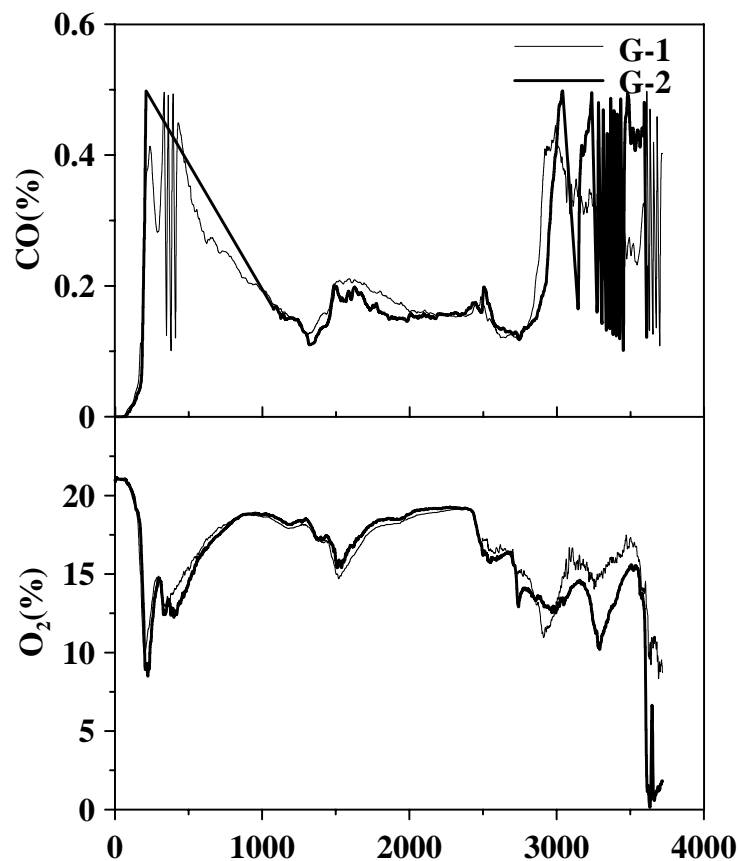
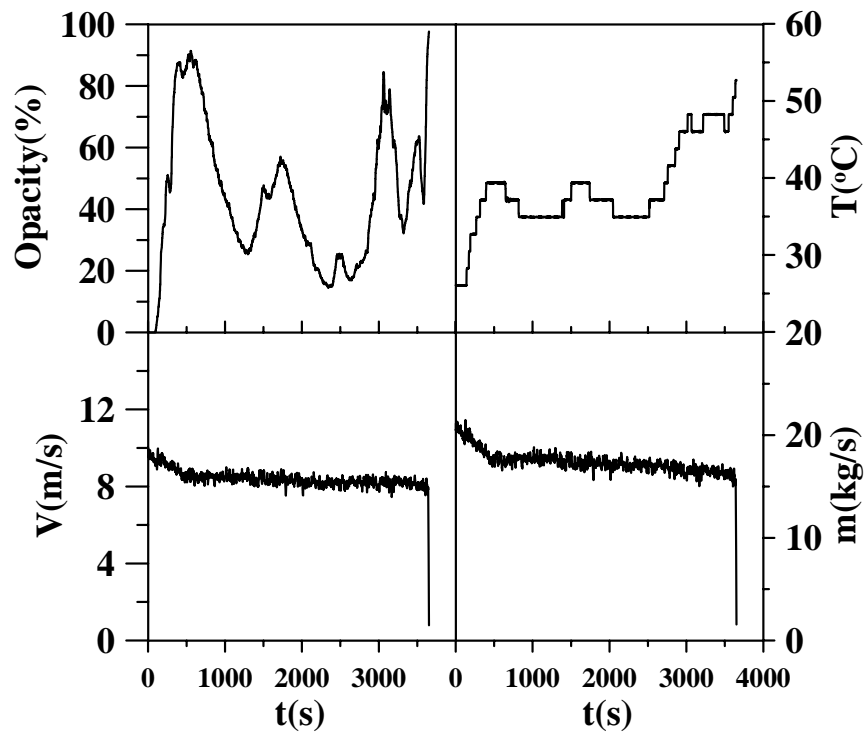
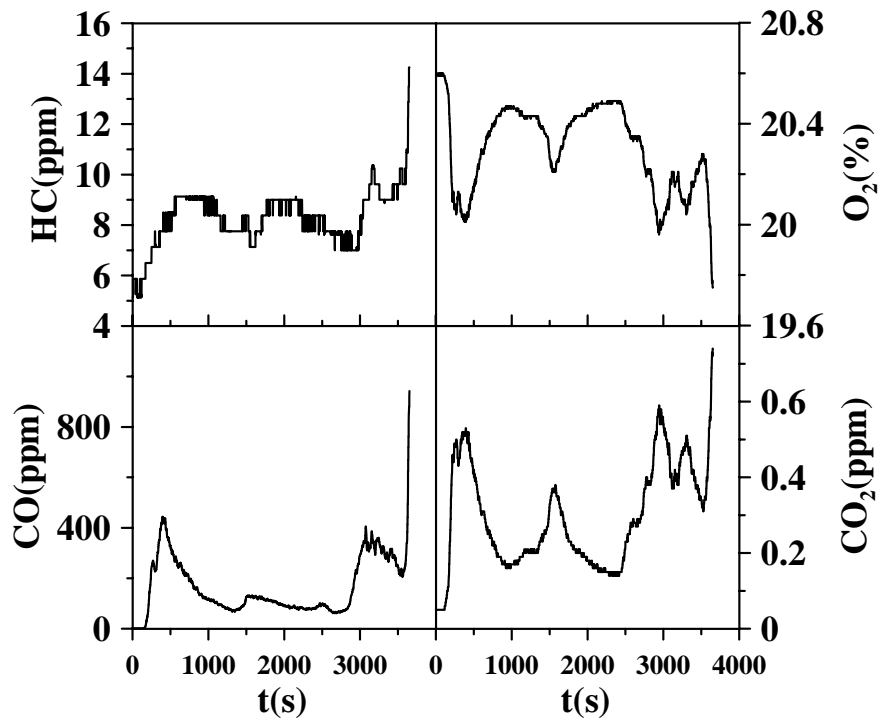


圖 5-6 全尺寸辦公室火災之實驗屋內氣體濃度

(資料來源：本實驗)



(a)流場變化



(b)廢氣濃度變化

圖 5-7 全尺寸辦公室火災所抽煙氣之流場及濃度變化

(資料來源: 本實驗)

第六章 小型滅火性能測試裝置實驗

水具有絕佳的滅火性能，因此水成為最廣泛使用的滅火劑。水的熱特性(thermal characteristics)可迅速移除從火焰、從燃燒高溫產物或是從燃料表面來之熱量，此熱特性使其適於作為大部分火災的滅火劑。火場中，水經由液體變為蒸氣（汽）的相變化過程，吸收蒸發潛熱可以有效的攫取熱量，同時大量產生的水蒸氣可以降低週遭環境的氧氣濃度（在密閉空間內使用時尤具功效），進而達到滅火的目的。

為增進水滅火之效能，先前多項研究已針對最小噴水量、最佳水霧粒徑、最遲噴水時間等對火的抑制影響進行探討，進而得知抑制火燄之臨界噴水率(RDD, required delivered density)，來分析個別火載量的滅火需求，但各項研究注重單一變因對滅火效能之探討，未以整合之方法探討水之滅火效能？此外亦未從性能設計方式探討。

本研究除瞭解木框架之燃燒特性外，將針對防火工程中以水滅火之燃燒抑制特性，及對水滅火效能之機制、主控參數等包括預焚百分比、水霧粒徑、撒佈量進行探討。

第一節 研究方法

本研究主要探討水滅火時整合性防火效能的關係。整個研究步驟如圖 6-1 所示。首先，進行相關文獻的搜集研究；實驗主要在開放空間中，以不同層數之木框架來模擬不同火載量之火源；撒水部分則是設計不同的噴水率，在不同質量預焚百分比下，直接噴水在木框架上，分析其火焰抑制效應。整個實驗主要在 ISO 9705 全尺寸房間外之氣罩下進行，同時可以得到熱釋放率、CO₂ 及 CO 濃度及質量損失率。數據可進行主控變因之評估分析，並以整合性方法歸納出水滅火效能的關係式。

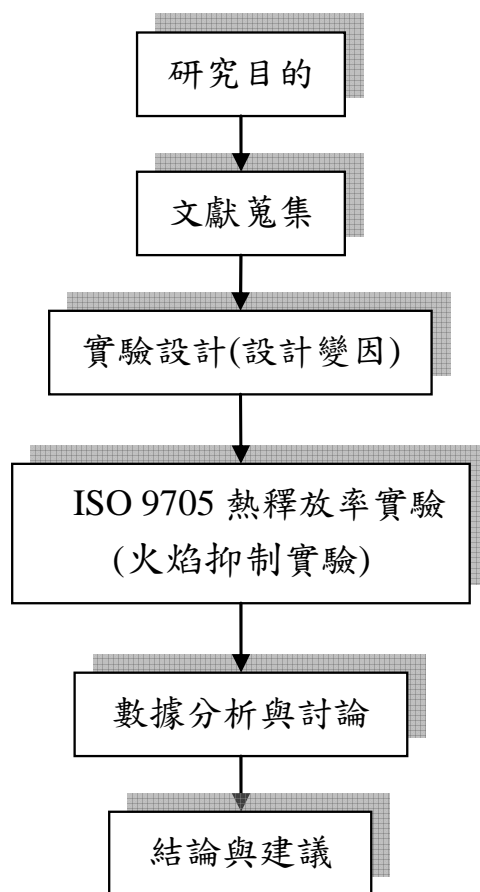


圖 6-1 研究方法

(資料來源: 本實驗)

第二節 實驗設備與儀器

實驗於內政部建築研究所台南歸仁防火實驗室進行，相關設備包括 ISO 9705 全尺寸房間、集煙罩及排氣導管、氣體分析儀、熱電偶、重量平台、資料擷取器及相關實驗設備等。

(1) 集煙罩及排氣導管 (Hood and exhaust duct)：

排氣系統主要包含集煙罩、排氣導管及可讓氣體混合均勻的擾流片。集煙罩設置於分析房間開口上方，收集從房間開口部所流出之燃燒產物並經由排氣導管抽至氣體分析儀中進行分析。

(2) 氣體分析儀 (Gas Analyzers)：

O₂ 氣體分析儀採用順磁性 (Paramagnetic) 氣體分析儀，測量範圍 0~21% vol. O₂。CO/CO₂ 採用非散射性紅外線 (NDIR) 氣體分析儀，測量範圍為 0~1% CO 及 0~10% CO₂，同時藉以氧氣消耗法測量房間內之熱釋放率 (heat release rate) 及總熱釋放率 (total heat release)；燃料煙濃度以光學系統量測之。

(3) 資料擷取器 DATA logger DA100、DS600：

接收熱通量計及熱電偶所轉換之電壓及溫度。

(4) 木框架試體承架：

如圖 6-2 所示，整個說明如下。1. 煙罩、2. 撒水頭、3. 撒水承架、4. 木條、5. 燃燒承架、6. 油盤、7. 承水盤、8. 重量平台、9. 逕流水道。

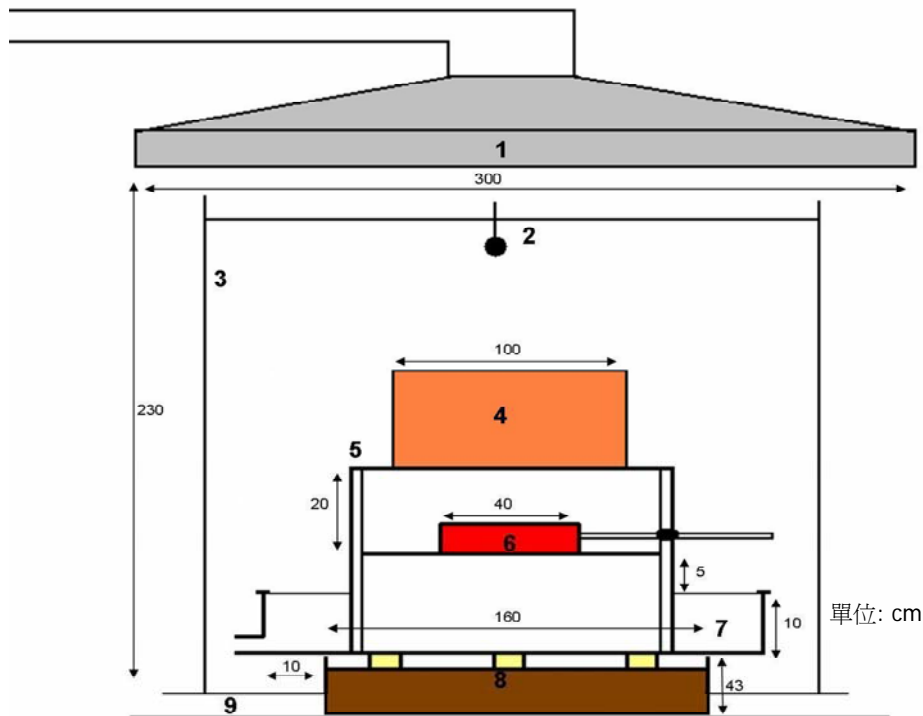


圖 6-2 實驗設備圖

(資料來源：本實驗)

第三節 實驗步驟

1. 燃燒承架置於承水盤上固定平穩，並將承水盤放置於重量平台上凹槽內固定平穩。
2. 噴水器定位測試於置於噴水器承架之承水盤上，啟動高壓幫浦，並於調好噴水率後停止(以頂面面積去計算水量)。
3. 記錄木框架尺寸及木條層數、環境溫度、撒水率、噴嘴編號及預設預焚質量百分比。
4. 檢查重量平台設備。
5. 啟動抽風機並校正。
6. 記錄燃燒承架和承水盤及油盤的總重，再放置木框架至定位，紀錄木框架燃燒前質量並歸零。
7. 檢查電腦線路，並輸入實驗初值。
8. 此時應確定相關燃燒設備以放置在重量平台上(汽油尚未加入)。
9. 將重量平台歸零後再將油盤，倒入汽油，點燃與電腦和 DV 錄影機同步啟動並以攝影方式隨時拍攝。
10. 啟動高壓幫浦，並複查噴水率。
11. 記錄汽油火苗熄滅時間，並在熄滅後馬上移開油盤並蓋上(此時木條應起火燃燒)。
12. 並觀察重量平台的質量損失，達預設之預焚質量百分比時，迅速移動噴水器 至定位對正燃燒之木框架噴水。
13. 直到火滅或停止燃燒時，才停止撒水和相關測量儀器的關閉。
14. 待木框架燒垮，大量高溫木炭落至承水盤後結束實驗，並以大水量熄滅殘餘的木框架及承水盤內之高溫木炭。

木框架火焰實驗在開放空間進行，然後以不同的噴水率，在不同的質量預焚百分比下直接噴水在不同層數的木框架上，用以分析其火燄抑制效應。

第四節 實驗結果

圖 6-3、6-4 為 15 層木框架， $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 壓力下，預焚百分比分別為 10%、30%、50% 及無撒水的燃燒熱釋放率及質量損失圖，而木框架之燃燒為一非穩態之燃燒，最大熱釋放率發生於質量損失 30% 時。

$1\text{kg}/\text{cm}^2$ 為法規規定之最小壓力，由圖可見，撒水頭於的壓力所噴出的水量，對於 15 層木框架、預焚百分比 10%、30%、50% 的燃燒僅能稍微抑制，使質量損失減緩，但熱釋放率則影響不大。本試驗雖為撒水能力較差情境，但符合法規，由此可突顯規格式法規是無法確認其滅火性能的，甚至無法滅火，因此性能式法規有其必要性！

預焚百分比 10%、30%、50% 及無撒水之試驗結果可看出預焚百分比越小時撒水，其減緩燃燒之效應越強，因此，滅火時須搶得先機，一旦擴大將增加滅火難度。

木框架 15 層預焚百分比 10%、30%、50% 於燃燒末期時，重量無立即下降主要之因素為燃燒後木炭受到水影響而形成潮濕和因撒水使燃燒承盤造成些微水的聚積。

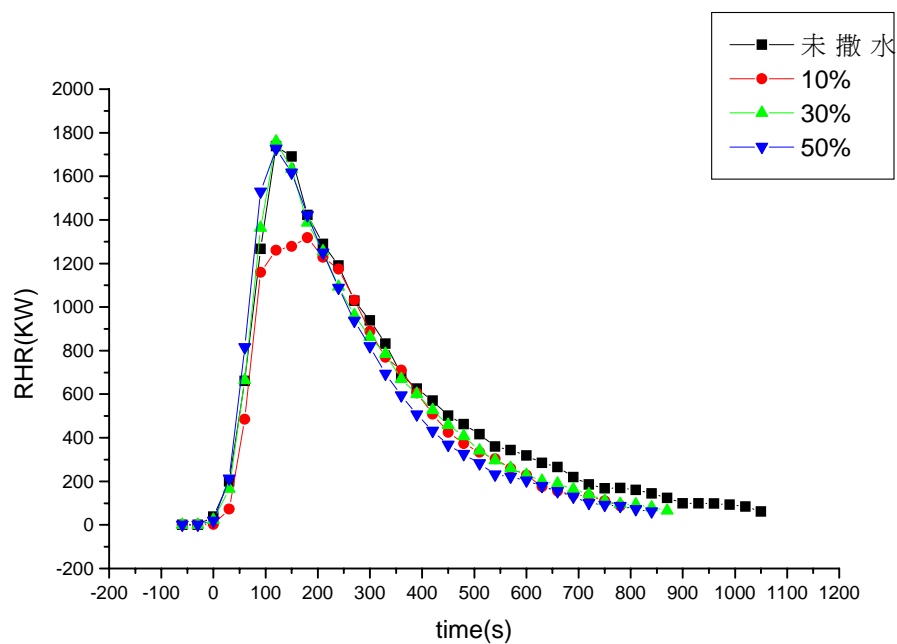


圖 6-3 15 層木框架的熱釋放率

(資料來源: 本實驗)

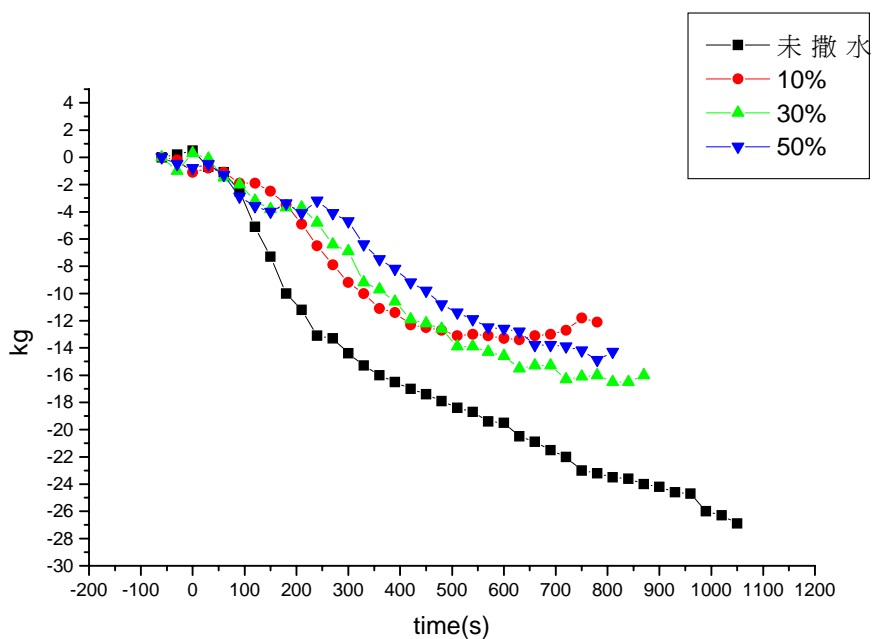


圖 6-4 15 層木框架燃燒質量損失

(資料來源: 本實驗)

第七章 結論與建議

第一節 結論

本年度（95年）將延續去年（94年）辦公室火災之研究，進行全尺寸火災的滅火性能實驗，利用已建立的辦公室空間實驗模型，配合由前期研究獲知的火災歷程，施予不同的滅火手法，驗證性能法規的火災控制性能，探討並界定滅火性能的主控參數。本期末報告總結如下：

1. 已完成多功能辦公室空間實驗場重建及撒水系統。
2. 已完成火源位置和火源種類與撒水頭作動關係之實驗。實驗結果發現，撒水頭作動時間受火源位置及撒水頭熱傳導之影響。當火源越靠近撒水頭，越接近角落或是牆壁，則撒水頭作動的時間越快。而因撒水頭不能瞬間到達環境溫度，須待熱傳來加溫，所以不能以環境溫度達到設定溫度來判定作動。在本實驗中，所使用之撒水頭標示溫度雖為 68°C ，但經過一連串實驗後發現，當撒水頭周圍溫度到達 100°C 以上時，才能驅動撒水頭，因此可以知道環境溫度要高於設定溫度至少約 30°C ，撒水頭才會作動。
3. 本研究業已完成含撒水系統之全尺寸辦公室火災實驗。實驗結果發現，本撒水系統之配置可以有效地抑制辦公室火災閃燃的發生，即使實驗中策略性地使三個撒水頭撒水失效，但是剩餘的一顆撒水頭仍然可以控制火的延燒，半小時內抑制了閃燃的發生，雖然無法完全撲滅火場，但是卻可以增加逃生的時間。然而在 30 分鐘關閉撒水頭後，整個火場火勢又快速成長。根據「各類場所消防安全設備設置標準」計算得知，本辦公空間所需使用之撒水頭之數量為四顆，但是根據本實驗結果發現，即使是最糟糕的火場環境之下，一顆撒水頭雖然無法完全撲滅火災，但是仍然可以抑制閃燃的發生，延長逃生的時間。因此在基於性能法規的精神之下，在本辦公空間（火載量 $\sim 400\text{MJ}/\text{m}^2$ ）配置

之下，所需要之撒水頭不需要到四個，反而以維持噴水量更為重要，若起始噴水太多，當水量用罄，火場可能再次著火。

4. 小型滅火性能測試裝置實驗方面得到以下幾點結論：(a)噴水率的大小對於木框架燃燒之影響程度：對流放熱率 > 質量燃燒率 > 輻射放熱率。(b)木框架層數愈多，其所需之 RDD (required delivered density, 抑制火燄之臨界噴水率，單位: $\text{g/m}^2 \text{ s}$) 隨之變大。而固定木框架層數下，質量預焚百分比 50% 以下，質量預焚百分比愈大，則所需之 RDD 亦隨之變大。(c)當噴水後，燃料之放熱率迅速下降，而且使得未燃部份因熱量供應不足放熱率無法再次增高。

第二節 建議

建議一

實尺寸辦公室火災天花板的影響: 立即可行建議

主辦機關: 內政部建築研究所

協辦機關: 內政部消防署

根據全尺寸辦公室火災實驗結果發現，整個火場溫度受限於撒水頭的影響，經過半個小時的延燒，整個屋內溫度可以完全抑制在 800°C 以下。不過經過隔天現場探勘之後發現，即使天花板因為使用 CNS 6532 所規範之耐燃 1 級材料能承受火場的破壞，但是所支撐之輕鋼架卻因為變形擠壓，造成天花板的破損而使得火焰延燒到天花板頂部內，因此如果在更嚴重的火災環境，則會受到更大的破壞，這項結果值得相關單位注意。由於現在很多通風管路、電纜線等等都經由天花板內部相互連接，如果真的要火焰延燒至天花板頂部，那麼相當的防火措施則必須要事先預防，或是在鋼架變形量上進行耐火的措施。

建議二

探討特殊建築案例之性能防火設計:中長期建議

主辦機關:內政部營建署

協辦機關:內政部消防署

本研究案實驗模型屋中配置相關之建築物件(如撒水頭、開口部等),其成果應可用於性能防火法規驗證之用。未來對於特殊建築案例應建立性能防火設計基準要領(考量排煙、入口風壓、撒水等),並將案例逐步回饋建立修正性能防火法規,使其更趨完備。

建議三

FDS 模擬之建立:立即可行之建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部消防署

根據最近研究案發現,性能式法規之驗證實驗的確有其重要的參考價值,但由於實驗都是屬於大尺度的規劃,因此往往需要耗費相當大的人力與金錢,加上實驗後之重複性驗證可行性較差,因此希望建議建研所能藉由這些實驗所彙整得到之數據,訓練相關之研究人員,開發出屬於國內可行之 FDS 模擬系統,如此可以得到更有效的火災模擬工具,以供相關機關參考,並作為性能法規訂定依據。

建議四

探討撒水頭配置:中長期建議

主辦機關:內政部消防署

協辦機關:內政部營建署、內政部建築研究所

根據「各類場所消防安全設備設置標準」計算得知，本辦公空間所需使用之撒水頭之數量為四顆，但是根據本實驗結果發現，即使是最糟糕的火場環境之下，一顆撒水頭雖然無法完全撲滅火災，但是仍然可以抑制閃燃的發生，延長逃生的時間。因此在基於性能法規的精神之下，建議在類似於本辦公空間（火載量 $\sim 400\text{MJ/m}^2$ ）配置之下，所需要之撒水頭不需要到四個，反而以維持噴水量更為重要，若起始噴水太多，當水量用罄，火場可能再次著火。

附錄

期初審查意見	審查意見回覆
<ol style="list-style-type: none"> 1. 能否利用滅火性能之驗證，達到防止火勢蔓延而間接達到防火區劃防火性能之效果。 2. 防火性能法規設計基準希望能有實務上之具體效果，例如增加滅火設計可否減緩建築防火時效、防火區劃之規定。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 於期末時會以實際辦公室空間模擬。 2. 未來會針對此項目加以考量。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 火災初期的熱釋放率如何量測？請加以說明。 2. 火盛期的熱釋放率大小為何？與 $5.5A\sqrt{H}$ 的燃燒速度的比較是否相似？ 3. 實驗設定是通風控制型或燃燒控制型？ 4. 本實驗所採 $5m*5m$ 的面積規模與 $1000m^2$ 的面積規模相比，其差異性如何？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 如果是以 burner 或是油盤進行初步實驗，則可以得到實際熱釋放率，如果是辦公室火災，則只能以 10MW 來得到整體平均熱釋放率。 2. 未來會加以比較。 3. 未來會加以確定。 4. 如果是相同的火載量，基本上面積大者火場強度相對會比較弱。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究主要委託目的為撒水系統之滅火性能，具有實務上之意義。 2. 本計劃所用之參數如最遲撒水時間，所研究之成果對噴水頭、RTI 之選擇可提供指引。 3. 本計劃可以不同火場劇本之 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教。 2. 得到之結果應該會有所幫助。 3. 會詳加考量。 4. 會詳加考量

<p>理念來歸納研究成果，如每單位面積之熱釋放率等參數。</p> <p>4. 滅火之效果可呈現在 fire decay 之模擬計算公式中之參數，如有足夠證據，可列入參考。</p>	
<p>1. 全尺寸滅火性能驗證如何應用於性能防火設計，請在計畫書補充說明。</p> <p>2. 預焚率（pre-burn）如何在實驗中控制？</p> <p>3. 本案利用細水霧系統進行滅火或火災控制性能化研究，目的何在？應與現行消防法規自動滅火設備規定之滅火效能進行比較分析。</p> <p>4. 小型滅火性能測試裝置與國際消防標準 NFPA/UL 測試裝置之相關性比對，如有高度相關性，則可轉為建研所實驗標準。</p>	<p>1. 會再加以補充。</p> <p>2. 會搭配天秤加以評估。</p> <p>3. 會再加以比較分析。</p> <p>4. 會詳加考量。</p>
<p>1. 居室(辦公室)木堆實驗與實驗配置在火災延燒過程有何差異？</p> <p>2. FDS 請先數值模擬，以研究其參數及結果，以便與實驗場火災比較。惟本研究所提為「水噴霧」及「水噴流」與一般撒</p>	<p>1. 一般在全尺度實驗中，木堆燃燒特性和一般傢俱類似，因此會以木堆先進行模擬實驗，再來檢討相關問題。</p> <p>2. 會先以 FDS 了解其流場相關問題。</p> <p>3. 會廣集意見。</p>

<p>水系統不同，能否在 FDS 下模擬？</p> <p>3. 請增加建築專業或研究人員參與，對空間型態、建築用途、量測參數及量測位置提供意見。</p> <p>4. 實驗會議宜事先訂期，並於所視訊會議能招開情形下辦理，俾掌握實驗與研究進度。</p> <p>5. 請將細水霧之實驗廠試驗的 SOP 訂出來，並做單價與工料分析。</p> <p>6. 所設「永久性設施」應能移動，俾進行其他實驗。該永久性實驗設施能符合建築使用之情境分析。能否考量是否蓋於戶外實驗場。</p> <p>7. 有關滅火設施設置的高度、密度，本所垂直煙控塔已有建置，請做為配置考量。</p>	<p>4. 會按照時程進行規劃。</p> <p>5. 會按照意見考量。</p> <p>6. 目前為了搭配 10MW 進行量測熱釋放率，所以辦公室空間只能置於戶內，未來更大型之實驗則可以考慮往戶外發展。</p> <p>7. 會加以考量。</p>
--	---

期中審查意見	審查意見回覆
<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案成果已達預期進度。 2. 本研究在滅火性能之研究方面，與 FDS 電腦模擬程式之關連性較不明確。 3. 滅火性能之參數為何？亦應予以明確說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指教。 2. FDS 模擬非本研究之主題，而是以辦公室模型採用實尺寸火災實驗驗證。 3. 之後會加以說明。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議將辦公室改名為「實驗室」與中標局 CNS 一致化。 2. 建議納入對於防火材料如何驗證或驗收之必要條件。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 會加以考量。 2. 各種材料之特性與量測所得之流場溫度都將儲存於資料庫中，供後續採用。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關辦公室燃燒共設計幾種不同之火載量？相對應之滅火系統是否依據法規標準設置，請於文內加以說明，以為後續法規修正之參考。 2. 有關本案試驗及分析數量頗多，是否能如期於期末完成結案，請研究團隊詳加規劃安排後續試驗之進行。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將依現行法規撤水頭設置位置、配置數量安裝滅火系統，以明瞭該系統與實際火災之相互影響為何。 2. 會詳細規劃實驗時程。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關賴教授是否為研究團隊一員，因與原計畫所呈報之人員編制不同，倘須加以變更，請另行函報。 2. 廢氣處理系統尾端設計排風量能量原達 $75\text{m}^3/\text{sec}$，何以 10MW Cone 實驗最大能量僅達 30 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 會遵照辦理。 2. 10MW Cone 實驗最大能量僅能達 $30\text{m}^3/\text{sec}$，是因該廢氣系統尚須提供有其他設備需求(如 SNI，ISO9705 房間試驗等)。 3. 實驗規劃會有進口與開口，原則上盡量和實際狀況相符。

<p>m³/sec。</p> <p>3. 目前規劃之辦公室火災實驗並無其他開口(僅設出入工作通道),其性狀是否與現狀相符,於未來應用之時是否能存有疑慮。</p> <p>4. 試驗中所建立之程序及相關控制參數,其如何應用及相互印證。</p> <p>5. 對於加強磚造構造之定義,請參考建築技術規則相關章節之規定。</p>	<p>4. 閃燃驗證狀況可分為二種現象,分別為低能與高能閃燃,以煙層溫度達 600°C 或樓板熱通量達 20KW/m²是可以接受的。</p> <p>5. 會請專業人員針對法規加以定義。</p>
<p>1. 目前加強磚造構造厚度達約 40cm 厚,已將該樓板(deck)壓至變形下沉,恐有安全之虞請另行研商應映設置對策。</p>	<p>1. 已請廠商加以強化強度。</p>

期末審查意見	審查意見回覆
<ol style="list-style-type: none"> 1. 此為重要且有極大貢獻之研究。 2. 建議 FDS 使用上需注意與實驗之比對，例如邊界條件、網格等。 3. 建議考慮將實驗結果轉為可供業界使用之表格；但因所需之數據極大，故此意見僅供參考。 4. 建議將實驗結果儘快加入法規，以加強目前法規中有關防火之完整性。 5. 鼓勵此研究應持續進行。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指教。 2. 會遵照意見加以改善。 3. 會加以評估。 4. 會將實驗結果評估後和相關單位討論。 5. 感謝指教。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗與理論分析結果如何有效轉換應用至防火性能法規上，應加以詳細考量。 2. 本研究案實驗模型屋中配置相關之建築物件（如撒水頭、開口部等），其成果應可用於性能防火法規驗證之用。 3. 對於特殊建築案例應建立性能防火設計基準要領(考量排煙、入口風壓、撒水等)，並將案例逐步回饋建立修正性能防火法規，使其更趨完備。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案主要研究係提供一實驗系統(包含滅火)，並以數據資料庫回饋分析結果(如 FDS)。 2. 會將實驗結果評估並和相關單位研究。 3. 會將所提供之意見進行討論。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究迄今仍有部份實驗尚未完成，請研究團隊儘快加速趕進度。 2. 本案研究成果如何應用於防火性能法規上，請提供具體之方案。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 會在時程內進行完成。 2. 可以根據在各個火源條件下，了解撒水頭作動情形，如此可以作為撒水頭配置的參考依據，同時

<p>3. 本計劃成果應用對象為何？是否一體適用或須加以限制？請加以說明。</p> <p>4. 資料庫數據比對常因蒐集建置不完整，導致應用時缺乏足夠之比對資料，故應建立確切詳細之試驗基準(如測點位置)，才能供後續研究參採。</p>	<p>藉由小型滅火系統來評估各個火載量所需要的液滴粒徑、水量等因素，提供往後不同建築空間擺設之下，撒水頭選用的基本概念。</p> <p>3. 基本上本研究成果可以針對各種住宅空間提供相關撒水頭配置等資料，評估其火載量以及可能之引火源分佈，以搭配合適的撒水頭位置以及種類。</p> <p>4. 已逐步將實驗成果回饋至分析中(如延遲時間)等，並嘗試比對既有之經驗公式及建立參數化公式，以供設計者更簡易應用之方法。。</p>
<p>1. 整體滅火性能之主控參數，如最小噴水量，最遲噴水時間等，請針對不同火載量研擬其滅火性能需求。</p> <p>2. 壁面效應對於本實驗中撒水頭反應時間影響頗大，請針對該定義加以詳述。</p>	<p>1. 會在實驗後將結果進行整合，以分析不同火載量之滅火需求。</p> <p>2. 所謂壁面效應主要在於火源四周圍有一側以上之空間被固體物阻擋，造成煙流會往其他方向移動，同時火勢會增強，因此會加速撒水頭作動的時間，所以一般易燃物如果規劃放置於壁面附近，撒水頭則需要考慮放置在比較靠近的地方。</p>

參考書目

1. 「防火性能設計之火源燃燒特性研究」，內政部建築研究所委託研究報告，094-30 107000-G1009，民國 94 年。
2. Grant, G., Brenton, J., and Drysdale, D., Fire Suppression by Water Sprays, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 26, pp.79-130, 2000.
3. BS EN 2, Classification of Fires, British Standards Institution, 1992.
4. NFPA 10, Standard for Portable Fire Extinguishers, 1990 edition.
5. Fristrom, R.M., Combustion Suppression, Fire Research Abstracts and Reviews, Vol. 9, pp.125-160, 1967.
6. Herterich, O., Water as an Extinguishing Agent, Alfred Hüthig Publishing Company, Heidelberg, 1960.
7. Fraser, R.P., and Eisenklam, P., Liquid Atomization and the Drop Size of Sprays, Trans. IChemE, Vol. 34, pp.294-319, 1956.
8. Lefebvre, A.H., Atomization and Sprays, Hemisphere, New York, 1989.
9. Goodfellow, D.G., A Statistical Model for Analysis of Sprinkler Water-Spray Distributions, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, August, 1985.
10. Jones, A., and Nolan, P.F., Discussions on the Use of Fine Water Sprays or Mists for Fire Suppression, J. Loss Prev. Process Ind., Vol. 8(1), pp.17-22, 1995.
11. NFPA 750, Standard on the Installation of Water Mist Fire Protection Systems, National Fire Protection Association, 1996.
12. Back, G.G., Progress Report: Water Mist Fire Suppression System Technologies, SFPE Bull, Fall: 11-8, 1995.
13. Ramsden, N., Water Mist - a Status Update, Fire Prevention, Vol. 287,

pp.16-20, 1996.

14. Mawhinney, J.R., and Solomon, R., Water Mist Fire Suppression Systems, Fire Protection Handbook, 18th ed., Sect.6/chap.15, MA: National Fire Protection Association, Quincy, pp. 6/216–6/248, 1997.
15. Rasbash, D.J., Heat Transfer between Water Sprays and Flames of Freely Burning Fires, Proceedings of the Symposium on the Interaction of Fluids and Particles, Institution of Chemical Engineers, pp. 217-223, June, 1962.
16. Güttler, E., Normal Pressure vs. High Pressure: a Comparison, Fire Int., Vol. 37, pp.94-101, 1972.
17. Grin, G.V., and Sergeev, V.S., Heat Transfer between a High-Temperature Flame and Sprayed Water, High Temperature-USSR, Vol. 22(4), pp. 609-612, 1984.
18. Kaleta, A., Effect of Drop Size on Extinguishing Effectiveness of a Water Spray, Archivum Combustionis, Vol. 6(3-4), pp. 201-212, 1986.
19. Beyler, C.L., The Interaction of Fire and Sprinklers, Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland, 1977.
20. Hayes, W.D. Jr., Literature Survey on Drop Size Data, Measuring Equipment, and a Discussion of the Significance of Drop Size in Fire Extinguishment, NBSIR 85-3100-1, National Bureau of Standards, 1985.
21. 「水對固態燃料組列的火焰抑制研究」，國科會專題研究報告，NSC78-0401-E-006 -08，民國 79 年。
22. Thornton, W., The Relation of Oxygen to the Heat of Combustion of Organic Compounds, Philosophical Magazine and J. of Science, Vol. 33, No. 196, 1917.
23. Huggett, C., Estimation of Heat Release by Means of Oxygen Consumption

- Measurement, J. of Fire and Materials, Vol. 12, pp. 61-65, 1980.
24. Parker, W., Calculation of the Heat Release Rate by Oxygen Consumption for Various Applications, NBSIR 81-2427, 1982.
25. Janssens, M., Measuring Rate of Heat Release by Oxygen Consumption, Fire Technology, Vol. 27, pp. 234-249, 1991.

