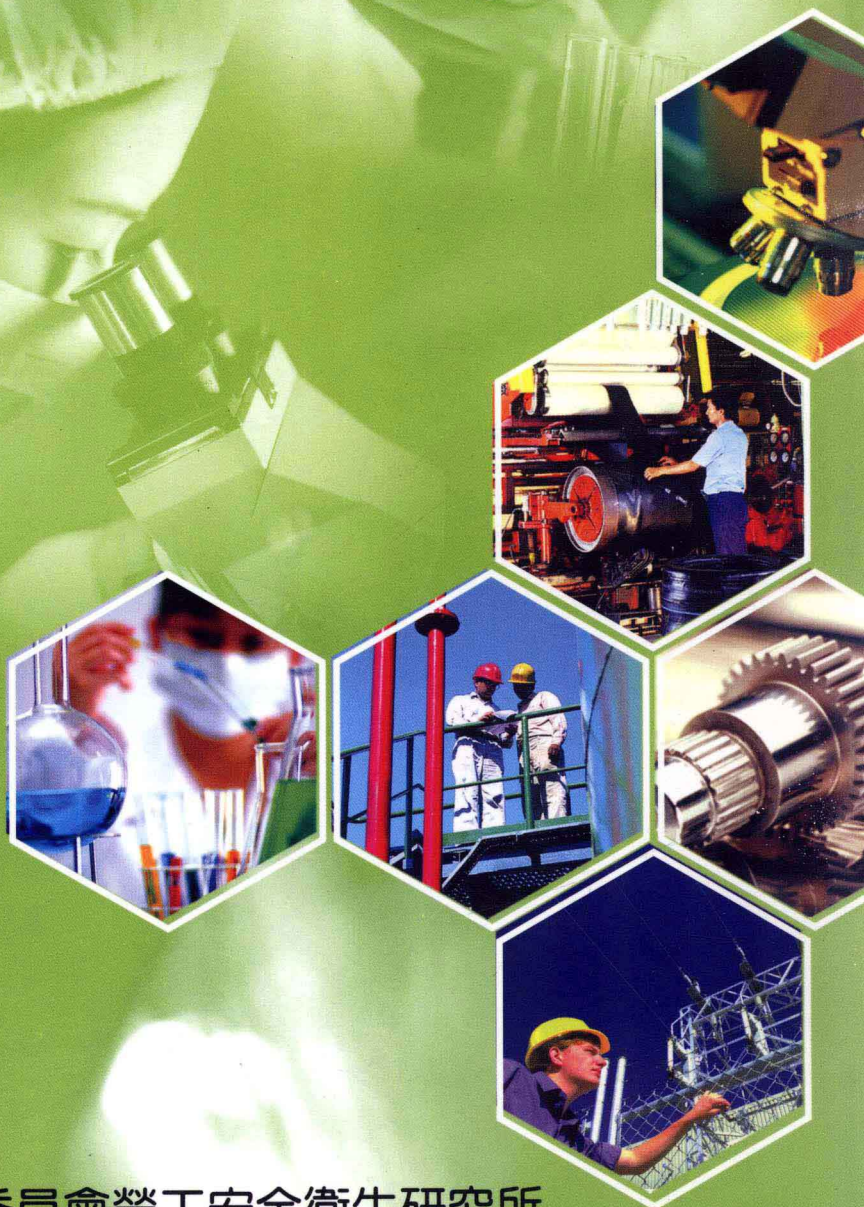




勞工安全衛生研究報告

火災模擬器試用評估 Appraise for Fire Simulator on Probation



火災模擬器試用評估

Appraise for Fire Simulator on Probation

研究主持人：高崇洋、劉國青

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 97 年 4 月 01 日至 97 年 12 月 31 日

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

中華民國 98 年 3 月

火災模擬器試用評估

著（編、譯）者：高崇洋、劉國青

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 98 年 3 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：270 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009800448

摘 要

本計畫係延續所研發之「火災模擬器」，在一個實體堅固的燃燒室，運用邏輯可程式控制器，控制燃燒所需要的空氣量、瓦斯量等，在預先設定的情境下，進行實際火場的模擬測試；因此，可作為火災預防訓練及火場研究之試驗平台。

在火災模擬器試用評估上，計有：科學園區火災預防訓練及火場閃燃抑制研究；在火災預防巡迴展示上，藉由變換各種不同火災情境，如由兩側壁延燒至天花板、方型油槽燃燒、閃燃等現象，供勞工了解火災之多變與危害性，另進一步教導勞工如何使用消防栓，進行隔絕輻射熱的體驗與抑制閃燃發生的方法。在火場閃燃抑制研究上，以不同火場情境下，利用消防水霧、水柱進行抑制閃燃發生的試驗；依試驗結果建議救災人員對於預防閃燃措施，可採用水霧系統代替水柱的運用，採用順風進行噴灑於火源上，使水霧能有效到達火源根部，達到整體空間之降溫及抑制閃燃發生機率。

經過火災模擬器的試用評估，不論是試驗平台或是火災預防訓練展示活動，均獲得使用上的肯定；建議未來應在試驗平台上可再持續相關研究，在防災模擬器上可持續開發如煙霧體驗等產品，同時加強防災的推廣教育。

關鍵詞：火災模擬器、監控系統、火場分析

Abstract

This project developed by the Department of the continuation of "Fire Simulator", in a solid combustion chamber, we can use programmable logic controller, the control of combustion air required, gas, etc., in the pre-set contexts, the actual fire simulation tests. Therefore, it can be used as fire prevention training and study the scene of the fire test platform.

To assess the fire simulator are: Science-Based Industrial Park fire prevention training and the fire suppression flashover studies; in fire prevention display on the tour, by changing the different fire scenarios, such as the spread from both sides of the wall to ceiling, rectangular tank combustion, such as the phenomenon of flashover for workers to understand the dangers of fire and the ever-changing, and the other to further educate the workers how to use the fire hydrant, the isolation of experience with radiant heat suppression methods flashover occurred. Flashover in the fire suppression research, the scene of the fire in different contexts, using water mist fire, water to suppress the occurrence of flashover test; test results in accordance with the proposed rescue workers flashover prevention measures, to be used in water mist system to replace the water column use, using the wind to carry out spraying in the fire source, so that mist can effectively reach the fire source roots, to the overall space cooling and inhibit the occurrence probability of flashover. After the fire simulator to assess the trial, whether or test platform for the exhibition of fire prevention training, which have received the use of affirmative; suggested that future research should be continued relevance and the promotion of disaster prevention education.

In assessing through the trial of fire simulator, no matter the experimental platform or the display of training that the fire prevents, the study is all affirmation used. We propose that we should go on relevant research on the experimental platform, develop sustainably in taking disaster simulator such as the smog is experienced, etc. And strengthen the popularization education taking precautions against natural calamities simultaneously.

Keywords: Fire simulator, remote control, fire analysis

目 錄

摘 要.....	i
Abstract.....	ii
目 錄.....	iii
圖 目 錄.....	v
表 目 錄	x
第一章 計畫概述	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	6
第二章 本體結構改善	7
第一節 火災模擬器之硬體結構設計與製作.....	7
第二節 火災模擬器外觀彩繪.....	11
第三節 火災模擬器之安全監控系統製作.....	13
第四節 小型火災模擬器之改良製作.....	16
第三章 火災模擬器使用評估.....	18
第一節 前言.....	18
第二節 文獻探討.....	18
第三節 模擬情境測試規劃.....	21
第四章 巡迴展示	55
第一節 展示概況.....	55
第二節 前置作業.....	55
第三節 實際演練.....	62
第四節 小結.....	65
第五章 中型火災模擬器實驗	66
第一節 前言.....	66

第二節 實驗小結.....92

第六章 結論與建議93

 第一節 結論.....93

 第二節 建議.....94

誌謝.....95

參考文獻.....96

附錄一 期中審查意見答覆97

附錄二 溫度變化曲線圖98

附錄三 實際演練照片100

附錄四 教育訓練手冊102

附錄五 教育訓練影片分鏡腳本135

附錄六 火災模擬器展示操作標準作業程序及安全檢核表150

圖目錄

圖1 聖誕樹結構火災模擬器	1
圖2 中型燃燒爐機構實體改善圖	2
圖3 燃燒爐系統配置	3
圖4 燃燒爐情境燃燒圖	4
圖5 灑水系統(I)	7
圖6 灑水系統(II)	7
圖7 灑水系統(III)	8
圖8 焊點脫落	8
圖9 焊點強化	8
圖10 焊點強化	9
圖11 側邊支撐架彎曲	9
圖12 左邊更換側邊支撐架	9
圖13 右邊更換側邊支撐架	10
圖14 燃燒碳化位置	10
圖15 清除碳化位置	10
圖16 火災模擬器外觀彩繪設計意念圖	11
圖17 火災模擬器外型彩繪構想圖	12
圖18 火災模擬器外觀彩繪側面實體圖	13
圖19 火災模擬器外觀彩繪背面實體圖	13
圖20 現有系統之電氣控制迴路圖	14
圖21 控制系統架構圖	14
圖22 PC BASE的人機介面操作模式	15
圖23 小型火災模擬器(聖誕樹結構)之改良製作圖	16
圖24 小型火災模擬器(聖誕樹結構)之燃燒實體圖	17
圖25 輻射熱-暴露時間關係圖	19
圖26 輻射熱通量計現場設置情況	23
圖27 輻射熱通量計實際量測情況	23

圖28 實驗替代平台設置.....24

圖29 副瞄子手指揮放水手放水.....25

圖30 利用水霧覆蓋開口面，以隔絕輻射熱.....26

圖31 兩側燃燒－10LPM27

圖32 輻射熱通量變化曲線－兩側燃燒10LPM27

圖33 兩側燃燒－20LPM28

圖34 輻射熱通量變化曲線－兩側燃燒20LPM29

圖35 兩側燃燒－30LPM29

圖36 輻射熱通量變化曲線－兩側燃燒30LPM30

圖37 兩側燃燒－40LPM30

圖38 輻射熱通量變化曲線－兩側燃燒40LPM31

圖39 輻射熱通量變化曲線－兩側燃燒綜合比較.....32

圖40 方形油槽燃燒－10LPM32

圖41 輻射熱通量變化曲線－方形油槽10LPM33

圖42 方形油槽燃燒－20LPM34

圖43 輻射熱通量變化曲線－方形油槽20LPM34

圖44 方形油槽燃燒－30LPM35

圖45 輻射熱通量變化曲線－方形油槽30LPM35

圖46 方形油槽燃燒－40LPM36

圖47 輻射熱通量變化曲線－方形油槽40LPM36

圖48 輻射熱通量變化曲線－方形油槽燃燒綜合比較.....37

圖49 天花板燃燒－30LPM38

圖50 輻射熱通量變化曲線－天花板30LPM38

圖51 天花板燃燒－40LPM39

圖52 輻射熱通量變化曲線－天花板40LPM39

圖53 輻射熱通量變化曲線-天花板燃燒綜合比較40

圖54 方形油槽燃燒+天花板燃燒-各30LPM41

圖55 輻射熱通量變化曲線－方形油槽30LPM +天花板30LPM.....41

圖56 方形油槽燃燒+天花板燃燒-各40LPM42

圖57 輻射熱通量變化曲線－方形油槽40LPM +天花板40LPM·····	43
圖58 方形油槽30LPM +天花板40LPM·····	44
圖59 輻射熱通量變化曲線－方形油槽30LPM +天花板40LPM·····	44
圖60 輻射熱通量變化曲線－方形油槽+天花板不同流量下綜合比較 ·····	45
圖61 方形油槽40 LPM +天花板40 LPM +兩側20 LPM·····	46
圖62 輻射熱通量變化曲線－方形油槽40 LPM +天花板40 LPM +兩側20 LPM·····	46
圖63 方形油槽40 LPM +天花板40 LPM +兩側30 LPM·····	47
圖64 輻射熱通量變化曲線－方形油槽40 LPM +天花板40 LPM +兩側30 LPM·····	47
圖65 方形油槽40 LPM +天花板40 LPM +兩側40 LPM·····	48
圖66 輻射熱通量變化曲線－方形油槽40 LPM +天花板40 LPM +兩側40 LPM·····	48
圖67 輻射熱通量變化曲線－天花板+方形油槽+兩側不同流量下綜合比較·····	49
圖68 安全距離規劃示意圖·····	50
圖69 設置示意圖·····	51
圖70 移動式火災模擬器簡介·····	53
圖71 體驗操作程序圖示·····	53
圖72 火災模擬器實作訓練DM·····	54
圖73 現場平台架設圖·····	55
圖74 現場配置圖·····	55
圖75 與消防隊測試前溝通·····	57
圖76 消防隊進行前測(I) ·····	57
圖77 消防隊進行前測(II)·····	58
圖78 行前講解示範·····	59
圖79 穿戴消防衣·····	59
圖80 學習操作直線噴霧兩用瞄子·····	60
圖81 隔絕輻射熱體驗(I) ·····	60
圖82 隔絕輻射熱體驗(II)·····	61
圖83 隔絕輻射熱體驗(III) ·····	61
圖84 隔絕輻射熱體驗(IV)·····	62
圖85 熱電偶樹俯視圖·····	64

圖86 熱通量計配置圖.....65

圖87 單組熱電偶樹配置圖.....65

圖88 天花板燃燒.....67

圖89 兩側燃燒.....67

圖90 油槽燃燒.....67

圖91 天花板與兩側燃燒.....67

圖92 油槽與兩側燃燒.....68

圖93 油槽、天花板與兩側燃燒.....68

圖94 閃燃情境內部溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)68

圖95 紙團產生自燃.....68

圖96 噴頭開口面中間.....69

圖97 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)一噴頭開口面中間70

圖98 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)一噴頭開口面中間70

圖99 噴頭開口面左側.....71

圖100 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)一噴頭開口面左側.....71

圖101 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)一噴頭開口面左側.....72

圖102 噴頭開口面右側72

圖103 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)一噴頭開口面右側.....73

圖104 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)一噴頭開口面右側.....73

圖105 噴頭對角左側74

圖106 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)一噴頭對角左側.....74

圖107 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)一噴頭對角左側.....75

圖108 噴頭對角右側75

圖109 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)一噴頭對角右側.....76

圖110 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)一噴頭對角右側.....76

圖111 噴頭開口面左側77

圖112 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)一噴頭開口面左側.....77

圖113 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)一噴頭開口面左側.....78

圖114 噴頭對角左側79

圖115 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭對角左側·····	79
圖116 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭對角左側·····	79
圖117 噴頭對角右側 ·····	80
圖118 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭對角右側·····	80
圖119 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭對角右側·····	81
圖120 噴頭：開口面中間 ·····	81
圖121 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭開口面中間·····	82
圖122 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭開口面中間·····	82
圖123 噴頭開口面左側 ·····	83
圖124 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭開口面左側·····	83
圖125 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭開口面左側·····	84
圖126 噴頭開口面右側 ·····	84
圖127 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭開口面右側·····	85
圖128 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭開口面右側·····	85
圖129 噴頭對角左側 ·····	86
圖130 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭對角左側·····	86
圖131 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭對角左·····	87
圖132 噴頭對角右側 ·····	87
圖133 溫度分佈俯視圖(天花板下20 cm)－噴頭對角右側·····	88
圖134 溫度分佈側視圖(中間排TC4~TC6)－噴頭對角右側·····	88

表目錄

表1 本計畫所發展之聖誕樹結構火災模擬器與國外知名廠商之比較.....4

表2 本計畫所發展之貨櫃式火災模擬器與國外知名廠商之比較.....4

表3 實驗情境規劃表22

表4 項目檢核表範例55

表5 實驗儀器配62

表6 細水霧噴頭設置規格65

表7 水柱噴頭設置規格65

表8 各次情境之對地板輻射熱通量68

第一章 計畫概述

第一節 前言

火災給人的印象一向是毫無預警的，因此事先的預防一向是一門極為重要的學問；在國外，運用當今電腦強大的運算能力來模擬在各種情境下火災所能造成的損害及釋放出的能量大小，進一步去做有效的預防計畫、或災後現場重建，已行之有年。特別是近年來國內工廠發生火災的次數及單次火災所造成的損害有向上攀升的趨勢，站在維護工安及勞工安全的立場上，如何了解火場的實際狀況，並能以最快的時間消弭災害，也成為勞工安全研究很重要的一環。

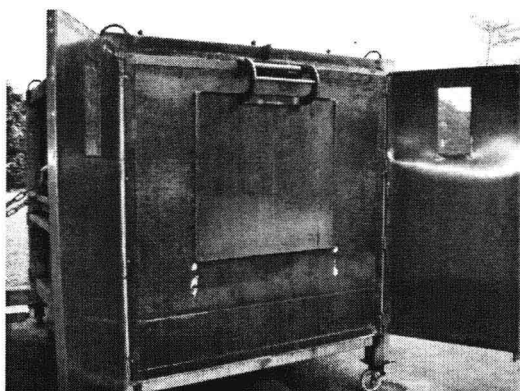
本研究團隊於 96 年度執行勞研所計畫時，已完成火災模擬器聖誕樹結構之硬體結構設計與製作同時也完成中型火災模擬器的本體結構改良設計、大型燃燒爐之機構設計，並進行試燒，試燒效果良好。完成的工作有[1]：

1. 為了達到能與國外 SYMTRON 公司所做的聖誕樹結構火災模擬器性能相近，不斷修改與測試，終於成功的製作出一套屬於我們自己的聖誕樹結構火災模擬器。而 SYMTRON 公司所提供的資料顯示，其模擬器可燃燒到 2 呎的高度，但礙於技術上與加工方式的不同，本研究燃燒情形不穩定，加上受限於風的影響，有時無法順利的燃燒到每一部位，如果場地附近的風較小的話，本研究所做的聖誕樹結構火災模擬器即可順利的燒出火焰外型，因此如何克服外在環境因素，將是未來研究重點。但相對的，本研究也成功的做出一套能夠旋轉展示的聖誕樹火災練習器，對於國內火災模擬器之製作以累積一定程度之技術。尤其對於國內有關工業管路之火災預防更具有一定程度之助益。(如圖 1 所示)

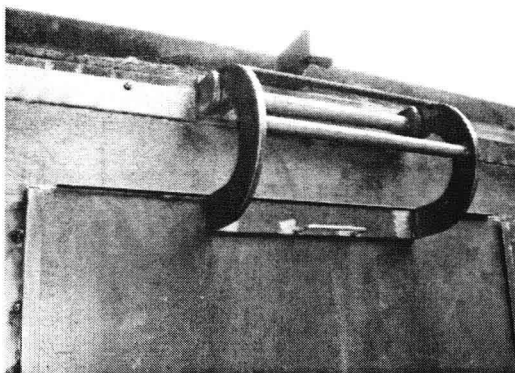


圖 1 聖誕樹結構火災模擬器

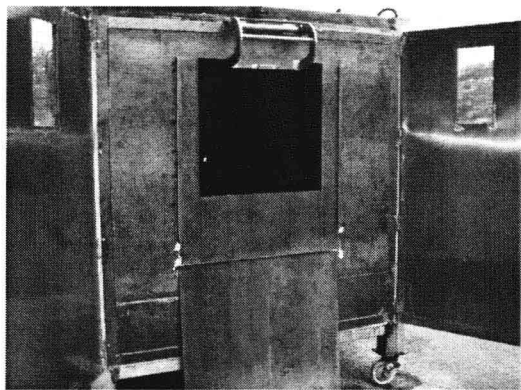
2. 完成中型火災模擬器本體機構製作，為配合中型火災模擬器能具有轟燃效果，將去年完成之中型燃燒器進行新型式的改良施工。同時本計畫亦使用 FDS 軟體進行火場模擬，藉由 Fire Dynamics Simulation (FDS) 我們可以模擬並觀察計算結果以了解其現象，像是溫度、濃度場的變化，向量場的改變方向以及燃燒時煙粒子的分布情形。以體積為 $1.5 \times 1.5 \times 2.5 \text{m}^3$ 之燃燒爐為例，燃燒爐由底部盤體部分開始點火，在 16 秒後此封閉空間內的氧氣幾乎被耗盡了，而火燄因為氧氣開始匱乏而逐漸變小甚至熄滅。而丙烷(瓦斯)濃度則持續增加中。20 秒時將燃燒爐壁面之窗口打開後，即可看到外部的溫度瞬間上升，這是因為燃燒爐內有足夠的瓦斯濃度，窗口開啓時瓦斯與外界的氧氣混和達到可燃濃度，再藉內部高溫點燃，即造成爆燃。(如圖 2)



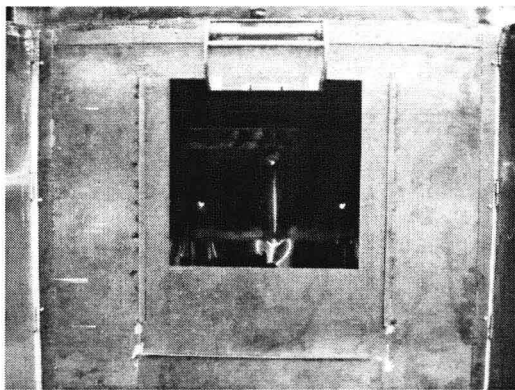
(a) 滑板組件



(b) 鎖扣機構



(c) 滑板滑下



(d) 正視圖

圖 2 中型燃燒爐機構實體改善圖

3. 完成貨櫃型式火災模擬器之硬體結構設計與製作及火災模擬器之安全控制系統及 CCD 監看系統之製作，並進行實地的燃燒測試。本體機構設計外型為 40 呎貨櫃、高 8 呎半之外型，整體設計主要為觀測需求及情境模擬兩大設計方向。外型設計上

有前門、後門、45×25 公分觀測窗、及上方散熱區，而在觀測部份，主要提供後門爲正向觀測窗，讓操作者一方面可以操作也可立即觀查到火焰燃燒情形。整個貨櫃在情境模擬下的設計，主要有模擬頂部延燒、兩面側邊延燒和一個類似方型油槽燃燒。貨櫃之結構設計採用模組化的設計，將整個貨櫃燃燒分爲 5 大區域，分別爲點火區域、方型油槽區域、左側延燒、右側延燒、及天花板延燒。各由桶裝瓦斯負責供應氣體。而爲了估算每桶瓦斯在每單位面積內所能釋放出的熱能(kW/m^2)有多少，並在每桶瓦斯桶管線的上面都有裝設浮子流量計，來顯示瓦斯的流量，另外也設置壓力錶，來顯示啓動之後的壓力變化。燃燒爐控制系統總共分爲左側燃燒管、右側燃燒管、天花板燃燒管、方型油槽及三組高壓點火器，共計 21（左側 × 4、右側 × 4、中間 × 4、上方天花板 × 6、點火器 × 3）組輸出，瓦斯先經由手閥做爲主要開關，再經由流量計和壓力錶做壓力、流量之量測，最後再以常閉型（Normally closed）電磁閥作爲瓦斯管線之電控開關。電控系統是以西門子 PLC 可程式控制器爲主，以其 I/O 訊號及內部繼電器做爲控制電磁閥開關控制及點火控制，考量實驗中之安全，在迴路圖中設置急停按鈕(EMS)，可在發生危險時按下可斷電並停止所有動作及瓦斯的輸出，爲了避免接點過載，造成 PLC 輸出接點損壞，因此由 PLC 輸出訊號切動 4P 之 110V AC 繼電器，由繼電器輸出接點做電磁閥 ON/OFF 切換及亮燈顯示，若接點有所損壞只需更換繼電器即可；並配合常閉型（Normally closed）電磁閥，於電源失效時，能自動切斷瓦斯管線。主控制面板採用人機介面製作，設計有手動單一輸出控制、手動模組控制、自動情境控制三種模式，在各模式中有電磁閥 ON/OFF 控制按鈕、點火開關按鈕、緊急停止按鈕、復歸按鈕，各按鈕皆以單向觸控爲 ON 再次觸控爲 OFF 模式，按鈕旁並安裝有顯示燈以顯示其 ON/OFF 狀態。(如圖 3~4 所示)



圖 3 燃燒爐系統配置

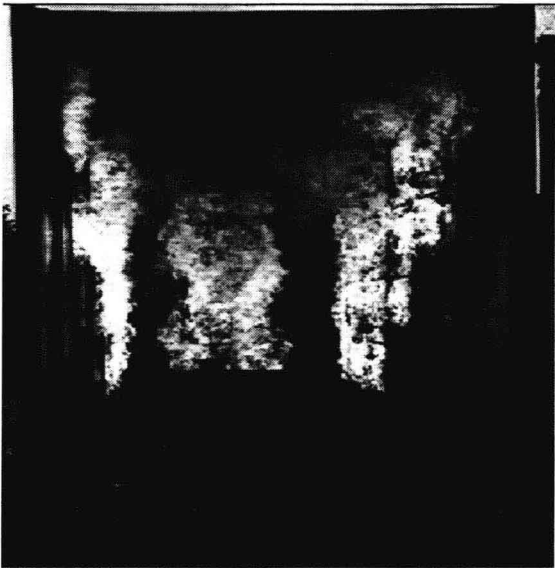


圖 4 燃燒爐情境燃燒圖

至於本計畫所發展之聖誕樹結構火災模擬器與國外知名廠商之比較如表1：

表1 本計畫所發展之聖誕樹結構火災模擬器與國外知名廠商之比較

項 目 \ 廠 商	SYMPTRON	本研究之平台
結構	固定聖誕樹結構	聖誕樹結構但可旋轉，且旋轉速度可調整
模擬情境	工業管路燃燒	工業管路燃燒
供氣來源	固定油槽(壓力未明)	液態桶裝瓦斯
移動性	固定	更於巡迴展示
成本		便宜，約國外廠商價格十分之一

至於本計畫所發展之貨櫃式火災模擬器與國外知名廠商之比較則如表2：

表2 本計畫所發展之貨櫃式火災模擬器與國外知名廠商之比較

項 目 \ 廠 商	Dräger	本研究之平台
結構	40呎貨櫃	40呎貨櫃
模擬情境	閃燃、轟燃、延燒(但廠商目錄未有實際燃燒之照	閃燃、轟燃、延燒