

# 建築火災與現場熱煙試驗 火源產生機制之建立

內政部建築研究所自行研究成果報告

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



# 建築火災與現場熱煙試驗 火源產生機制之建立

研究主持人： 蔡銘儒

研究 期程： 中華民國 107 年 3 月至 107 年 12 月

內政部建築研究所自行研究成果報告

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



MINISTRY OF THE INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

Establishment of Generation Mechanism  
of Fire Sources for Buildings Fire and Hot  
Smoke Tests

By  
Ming Ju Tsai

NOV, 2018









## 目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	VII
Abstract.....	X
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與目的.....	1
第二節 研究方法與步驟.....	2
第二章 火災模擬實驗火源探討.....	5
第一節 CNS 大尺度防火試驗火源.....	5
第二節 燃氣燃燒器特性.....	21
第三節 火災模擬實驗趨勢.....	35
第四節 熱煙試驗火源探討.....	62
第三章 熱煙試驗火源產生機制建立.....	78
第一節 火災模擬火源建立.....	78
第二節 熱煙試驗火源建立.....	85
第四章 結論與建議.....	94
第一節 結論.....	94
第二節 建議.....	94
附錄一 自行研究計畫審查會議.....	95
附錄二 期中審查會議.....	96
附錄三 期末審查會議.....	102
附錄四 經濟部智慧財產局新型專利公報.....	107
參考書目.....	110



## 表次

表 1-1 研究進度及預期完成之工作項目表 .....	4
表 2-1 燃燒盤規格 .....	18
表 2-2 承水盤規格 .....	19
表 2-3 建議燃料量 .....	20
表 2-4 簡單模式計算 .....	57
表 2-5 72°F (532°R) 的環境溫度氦氣百分比所代表之表觀溫度 .....	67
表 3-1 不同溫差值的分層高度 .....	87

## 圖次

圖 1-1 研究計畫流程圖.....	3
圖 2-1 CNS 15048 測試房間設備圖.....	6
圖 2-2 氣體燃燒器.....	7
圖 2-3 ISO 9705-1 附錄 A.2 替代火源.....	8
圖 2-4 CNS 15213-1 量測位置示意圖.....	9
圖 2-5 CNS 15213-2 試驗設備及試體示意圖.....	11
圖 2-6 CNS 15213-2 引燃源之燃料流率.....	11
圖 2-7 CNS 15213-2 測點位置分布圖.....	12
圖 2-8 CNS 15213-2 標準引燃源.....	13
圖 2-9 CNS 草制 1030440 測驗室燃燒器位置平面圖例.....	14
圖 2-10 CNS 草制 1030440 窗戶燃燒器平面圖與窗戶燃燒器位置立面圖例.....	16
圖 2-11 CNS 15937 試驗裝置圖例.....	17
圖 2-12 CNS 15937 燃燒盤構造圖例.....	18
圖 2-13 CNS 15937 承水盤構造圖例.....	19
圖 2-14 燃燒盤的配置圖例.....	20
圖 2-15 紅火式.....	22
圖 2-16 半本生式.....	23
圖 2-17 本生式.....	24
圖 2-18 全一次空氣式.....	25
圖 2-19 燃燒器的焰孔.....	26
圖 2-20 回火現象.....	27
圖 2-21 浮火現象.....	28
圖 2-22 黃端焰.....	29
圖 2-23 預混燃燒器.....	31
圖 2-24 噴嘴混合燃燒器.....	31
圖 2-25 工業燃燒器類型.....	32
圖 2-26 預混燃燒器混合燃燒機理.....	32
圖 2-27 噴嘴混合燃燒器混合燃燒機理.....	34
圖 2-28 以 25%樓地板面積移行火災與構件溫度時間歷程.....	36
圖 2-29 火災環境分為兩個場域.....	37
圖 2-30 火災移行與溫度.....	37
圖 2-31 火災移行近場與遠場溫度變化.....	38
圖 2-32 移行火災實驗.....	39
圖 2-33 標準的火災測試與真實火災中的時間 - 溫度關係相比較.....	48

圖 2-34	火災模擬器 .....	50
圖 2-35	消防署於新竹設立之火場訓練系統 .....	51
圖 2-36	貨櫃型式火災模擬器點火控制迴路圖 .....	51
圖 2-37	貨櫃型式火災模擬器火災模擬器 .....	52
圖 2-38	貨櫃型式火災模擬器人機控制台 .....	52
圖 2-39	貨櫃型式火災模擬器燃燒器 .....	53
圖 2-40	貨櫃型式火災模擬器點火控制迴路圖 .....	53
圖 2-41	貨櫃型式火災模擬器控制迴路圖 .....	54
圖 2-42	貨櫃型式火災模擬器電氣控制迴路圖 .....	55
圖 2-43	貨櫃型式火災模擬器測試 .....	55
圖 2-44	實驗設置 .....	56
圖 2-45	計算局部火災中水平分量輻射的理論模型 .....	57
圖 2-46	量測 NFRL 調試熱試驗的熱釋放率 .....	58
圖 2-47	燃氣燃燒器組件的詳圖 .....	59
圖 2-48	在測試設置中的燃燒器的照片 .....	59
圖 2-49	在反力地板上豎立測試裝置的示意圖 .....	60
圖 2-50	熱電偶及變位計位置 .....	60
圖 2-51	量測 HRR 及平均點載重(Py) .....	61
圖 2-52	試體在結構及熱荷載 .....	61
圖 2-53	試驗過程 .....	62
圖 2-54	熱煙測試設備示意圖 .....	66
圖 2-55	設備示意圖 .....	68
圖 2-56	小型燃氣燃燒器火源方式 .....	72
圖 2-57	煙霧測試系統配置 .....	72
圖 2-58	預混燃燒器 .....	73
圖 2-59	以 Izar 燃燒器為火源進行熱煙試驗 .....	75
圖 2-60	池火與設計火災比較 .....	76
圖 2-61	熱煙測試裝置預混燃燒器 .....	77
圖 3-1	燃燒器與燃燒器框架組合 .....	80
圖 3-2	燃燒器與燃燒器管路 .....	81
圖 3-3	燃燒器管路 .....	81
圖 3-4	小流量燃燒測試 .....	81
圖 3-5	全流量(300 LPM)燃燒測試 .....	82
圖 3-6	延燒試驗設備示意圖 .....	83
圖 3-7	延燒試驗設備 .....	83
圖 3-8	延燒試驗使用之平方火災燃燒器 .....	83
圖 3-9	無背板 EPS-18K 在 50kW 引燃條件下試驗歷程 .....	84
圖 3-10	無背板 EPS-18K 在 100kW 引燃條件下試驗歷程 .....	85

圖 3-11 熱煙測試可控煙流率與密度造煙系統.....	86
圖 3-12 發煙率校正實驗所有設備與儀器裝設完成後實驗之實況.....	86
圖 3-13 透浦式鼓風機.....	88
圖 3-14 擴散火焰-空氣量未達預混量.....	88
圖 3-15 火焰偏移.....	89
圖 3-16 預混火焰.....	89
圖 3-17 加設混合箱.....	90
圖 3-18 以壓縮空氣與蜂巢板模式.....	90
圖 3-19 以熱水器火排模式.....	91
圖 3-20 以壓縮空氣預混燃燒.....	91
圖 3-21 火排預混燃燒器.....	92
圖 3-22 預混燃燒情況.....	92
圖 3-23 新型專利審查核准.....	93

## 摘要

關鍵字：熱煙試驗、建築火災、火源

### 一、研究緣起

2016年公告之CNS 15937「煙控系統性能現場試驗法－熱煙試驗」，其熱煙之產生方式，乃以發煙器配合甲醇燃燒盤，由於甲醇具有一定的毒性，在使用中如果誤入口、眼，將對實驗人員造成嚴重傷害，燃燒時產生的甲醛及甲酸也對健康不利，同時甲醇燃燒過程如發生泄漏或傾覆意外情況，引發火勢蔓延，導致事故；此外，甲醇池火的功率主要由其面積決定，一定面積的池火對應一定的火源功率，火源功率無法連續可調，若需要多個不同功率的火源，則需要製作相應個數不同面積的甲醇燃燒盤，在使用、攜帶均不方便；燃燒過程也難以控制，若加入的燃料量較少，則可能難以保證足夠的燃燒時間，若加入過量，則在已達到試驗目的時又無法將其中途熄滅，在控制方面無法依所須之火災成長調整，在發生意外時無法及時滅火。

CNS 12514建築物構造構件耐火試驗法主要依據ISO 834調和修訂，基於ISO 834 標準時間－溫度曲線的防火測試源於20世紀初開發的，其中木材是基本燃料來源。實際上，現代建築使用熱塑材料、合成發泡材及織物，這些材料發熱量高，同時增加了火焰生長速度和熱釋放速率，在發生火災時，這些熱塑性材料中的一些會融化並流向地板，並以更高的熱量釋放速度燃燒，從而使火災嚴重程度超過標準火災曲線，導致比標準火災更嚴重的火災。這意味著用於測試建築構件的標準火災曲線並不能準確反映建築火災。

設計試驗火災具有挑戰性，因為如何進行局部火災來檢驗構件性能的指引有限。關於模擬區劃火災中結構的可用試驗數據，對於研究火災結構的性能很有價值，但對於設計可控及可量測的火災之實驗室試驗幾乎沒有提供任何資訊，因為之前的結構火災試驗很少量測最重要的火災參數－熱釋放率。本所近年進行實尺寸鋼構屋火災實驗係以木堆為火源，即以火載量概念，然而木堆燃燒易受木

材含水率以及材料非均質性影響，每次燃燒成長歷程皆不同，影響結構行為之研究與分析，且無法依設計火災成長控制，對於構件性能亦無法直接量測。本研究將試圖開發依設計火災情境控制火源成長歷程，供進行局部火災量測構架之構件性能量測，並可轉換以供熱煙試驗之兩用火源產生與控制機置。

## 二、研究方法

2017 年研究計畫「建築火災煙控性能設計現地排煙驗證精進計畫」，以風機產生可程控之流率(如  $t$  平方)，配合發煙機提供固定之煙密度以及適當熱源提供基本熱浮力方式，並於防火實驗中心大會議廳依據標準及風機產生捲吸流率方式之現地熱煙測試，比較結果風機產生捲吸流率方式可得到良好之重複性與再現性，研究成果以「熱煙測試可控煙流率與密度造煙系統」提出新型專利申請，已於 2018 年 7 月 4 日(107)智專一(四)05053 字第 10740963830 號核准，本研究為進一步提升熱煙試驗之可控性與安全性，將蒐集國際上熱煙試驗可控火源模式加以研析開發相對安全及可控火源。

此外，針對結構構件在標準耐火性測試與真實結構在實際火災之差異研究發展需求，參考美國 NIST 為考量使研究人員能夠：(1) 研究創新的火災 - 結構相互作用特徵量測技術；(2) 發展於實際火災和機械載重下結構組件和系統性能的實驗研究；(3) 確認用於預測結構耐火性的物理基礎計算模式 (4) 建立結構耐火性設計性能標準，(5) 促進設計和施工的創新，開發熱煙試驗與結構構件實際火災兩用可控火源。

## 三、重要發現

1. 以 NIST Technical Note 1983 燃燒器火源為基礎，完成 3 組(火源面積 45 cm × 60 cm/組)可移動式燃燒器，可依燃燒熱時間關係控制，最大熱釋放率可達 2MW，並已實際運用於研究實驗。
2. 熱煙試驗火源須以對流熱為主，以熱水器火排預混燃燒，已可達本研究每組流量控制器之最大流量 300LPM，即每組可控最大對流熱釋放率為約 490kW，3 組燃燒器可達 1.4MW 對流熱釋放率。



#### 四、主要建議事項

##### 建議一：

規劃結構構件實際火災研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關與機構：防火實驗中心

美國 NIST 為考量使研究人員能夠：(1) 研究創新的火災 - 結構相互作用特徵量測技術；(2) 發展於實際火災和機械載重下結構組件和系統性能的實驗研究；(3) 確認用於預測結構耐火性的物理基礎計算模式 (4) 建立結構耐火性設計性能標準，(5) 促進設計和施工的創新；運用反力樓板等結構實驗設施，並以燃氣燃燒器在可量測燃燒熱釋放率，模擬實際火災對建築結構條件下構件之耐火性與行為研究，本研究已建構可移動火災模擬燃氣燃燒器，可運用於防火實驗中心戶外實驗場中既有的實尺寸鋼構實驗屋，亦可於本所材料實驗中心或國震中心台南實驗室進行實際結構局部構件火害實驗或多重災害實驗。

##### 建議二：

建築煙控全尺度驗證納入規範：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關與機構：防火實驗中心

現行煙控避難性能設計，除地方消防機關或業主要求外，幾無驗證，為提高煙控避難性能設計之可靠度，驗證要求有必要納入規範，以使主管機關、業主及設計者有所遵循，在設計時會更加謹慎評估。

## **Abstract**

**Keywords:** hot smoke test, building fire, fuel

Based on the NIST Technical Note 1983 burner fire source, complete 3 sets (fire source area  $45\text{cm} \times 60\text{cm}$  / group) movable burner, which can be controlled according to the combustion heat time, the maximum heat release rate can reach 2MW and has actually been applied to research experiments.

The hot smoke test fire source shall be mainly convective heat, and the water heater fire pre-mixed combustion shall reach the maximum flow rate of 300 LPM of each group of flow controllers in this study, that is, the controllable maximum convective heat release rate of each group is about 490 kW. The three groups of burners can reach a convection heat release rate of 1.4 MW.





## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與目的

2016年公告之CNS 15937「煙控系統性能現場試驗法－熱煙試驗」，其熱煙之產生方式，乃以發煙器配合甲醇燃燒盤，由於甲醇具有一定的毒性，在使用中如果誤入口、眼，將對實驗人員造成嚴重傷害，燃燒時產生的甲醛及甲酸也對健康不利，同時甲醇燃燒過程如發生泄漏或傾覆意外情況，引發火勢蔓延，導致事故；此外，甲醇池火的功率主要由其面積決定，一定面積的池火對應一定的火源功率，火源功率無法連續可調，若需要多個不同功率的火源，則需要製作相應個數不同面積的甲醇燃燒盤，在使用、攜帶均不方便；燃燒過程也難以控制，若加入的燃料量較少，則可能難以保證足夠的燃燒時間，若加入過量，則在已達到試驗目的時又無法將其中途熄滅，在控制方面無法依所須之火災成長調整，在發生意外時無法及時滅火。

CNS 12514建築物構造構件耐火試驗法主要依據ISO 834調和修訂，基於ISO 834 標準時間－溫度曲線的防火測試源於20世紀初開發的，其中木材是基本燃料來源。實際上，現代建築使用熱塑材料、合成發泡材及織物，這些材料發熱量高，同時增加了火焰生長速度和熱釋放速率，在發生火災時，這些熱塑性材料中的一些會融化並流向地板，並以更高的熱量釋放速度燃燒，從而使火災嚴重程度超過標準火災曲線，導致比標準火災更嚴重的火災。這意味著用於測試建築構件的標準火災曲線並不能準確反映建築火災。

設計試驗火災具有挑戰性，因為如何進行局部火災來檢驗構件性能的指引有限。關於模擬區劃火災中結構的可用試驗數據，對於研究火災結構的性能很有價值，但對於設計可控及可量測的火災之實驗室試驗幾乎沒有提供任何資訊，因為之前的結構火災試驗很少量測最重要的火災參數－熱釋放率。本所近年進行實尺寸鋼構屋火災實驗係以木堆為火源，即以火載量概念，然而木堆燃燒易受木材

含水率以及材料非均質性影響，每次燃燒成長歷程皆不同，影響結構行為之研究與分析，且無法依設計火災成長控制，對於構件性能亦無法直接量測。本研究將試圖開發依設計火災情境控制火源成長歷程，供進行局部火災量測構架之構件性能量測，並可轉換以供熱煙試驗之兩用火源產生與控制機置。

## 第二節 研究方法與步驟

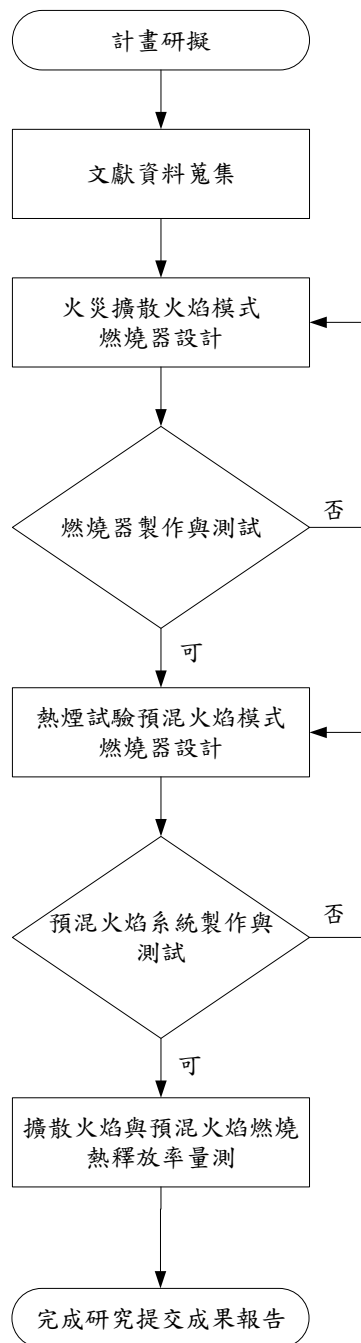
2017 年研究計畫「建築火災煙控性能設計現地排煙驗證精進計畫」，以風機產生可程控之流率(如  $t$  平方)，配合發煙機提供固定之煙密度以及適當熱源提供基本熱浮力方式，並於防火實驗中心大會議廳依據標準及風機產生捲吸流率方式之現地熱煙測試，比較結果風機產生捲吸流率方式可得到良好之重複性與再現性，研究成果以「熱煙測試可控煙流率與密度造煙系統」提出新型專利申請，並於 2018 年 7 月 4 日(107)智專一(四)05053 字第 10740963830 號核准，本研究為進一步提升熱煙試驗之可控性與安全性，將蒐集國際上熱煙試驗可控火源模式加以研析開發相對安全及可控火源。

此外，針對結構構件在標準耐火性測試與真實結構在實際火災之差異研究發展需求，參考美國 NIST-NFRL 新建實驗設施容許研究人員能夠：(1) 研究創新的火災 - 結構相互作用特徵量測技術；(2) 發展於實際火災和機械負載下結構構件和系統性能的實驗資料庫；(3) 驗證用於預測結構耐火性計算模式的物理基礎 (4) 建立結構耐火性設計性能標準，(5) 促進設計和施工的創新，開發熱煙試驗與結構構件實際火災兩用可控火源。

本計畫研究流程如圖 1-1，主要工作概述如下：

- (1) 蒐集火災模擬與熱煙試驗火源相關國內外標準及研究文獻，以研擬規劃火源設計參考。
- (2) 採火災模擬與熱煙試驗兩用火源方式，以同一燃料控制系統，依火災模擬之擴散火焰方式，設計火源控制系統及燃燒器。

(3) 於本所防火實驗中心 CNS 15048：2007 建築材料耐燃性試驗法-全尺度燃燒試驗法之量熱系統，量測燃燒器燃燒熱釋放率。



(資料來源：本研究整理)

圖 1-1 研究計畫流程圖

本研究執行進度及預期完成之工作項目如下：

表 1-1 研究進度及預期完成之工作項目表

月次 工作項目	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	備註
文獻資料蒐集	■	■	■	■	■						
火災擴散火焰模式 燃燒器設計		■	■	■	■						
燃燒器製作與測試			■	■	■						
期中簡報						■					
熱煙試驗預混火焰 模式燃燒器設計				■	■	■	■	■			
預混火焰系統製作 與測試					■	■	■	■			
擴散火焰與預混火 焰燃燒熱釋放率量 測							■	■			
期末簡報									■		
結案報告整理							■	■	■	■	
預定進度(累積數) %	5	10	30	40	50	70	80	90	95	100	

(資料來源：本研究整理)



## 第二章 火災模擬實驗火源探討

由 Lisa Choe 等人(2018)以鋼結構梁在局部火災加熱試驗，結果顯示，在每次試驗試體的加熱速率對所使用的規定熱釋放率與時間關係是敏感的，可見火災模擬實驗可控且具可重複性火源之必要性。

此外，2016年公告之CNS 15937「煙控系統性能現場試驗法－熱煙試驗」，是在建築結構完成甚至完成室內裝修狀況下，所進行之現地熱煙試驗，其熱煙之產生方式，乃以發煙器配合甲醇燃燒盤，由於甲醇具有一定的毒性，在使用中如果誤入口、眼，將對實驗人員造成嚴重傷害，燃燒時產生的甲醛及甲酸也對健康不利，同時甲醇燃燒過程如發生泄漏或傾覆意外情況，引發火勢蔓延，導致事故；此外，甲醇池火的功率主要由其面積決定，一定面積的池火對應一定的火源功率，火源功率無法連續可調，若需要多個不同功率的火源，則需要製作相應個數不同面積的甲醇燃燒盤，在使用、攜帶均不方便；燃燒過程也難以控制，若加入的燃料量較少，則可能難以保證足夠的燃燒時間，若加入過量，則在已達到試驗目的時又無法將其中途熄滅，在控制方面無法依所須之火災成長調整，在發生意外時無法及時滅火；因此，安全可控火源亦為必要的。

### 第一節 CNS 大尺度防火試驗火源

建築物應用之各種材料及設備規格，依建築技術規則總則編第四條規定，除中華民國國家標準有規定者從其規定外，應依本規則規定。

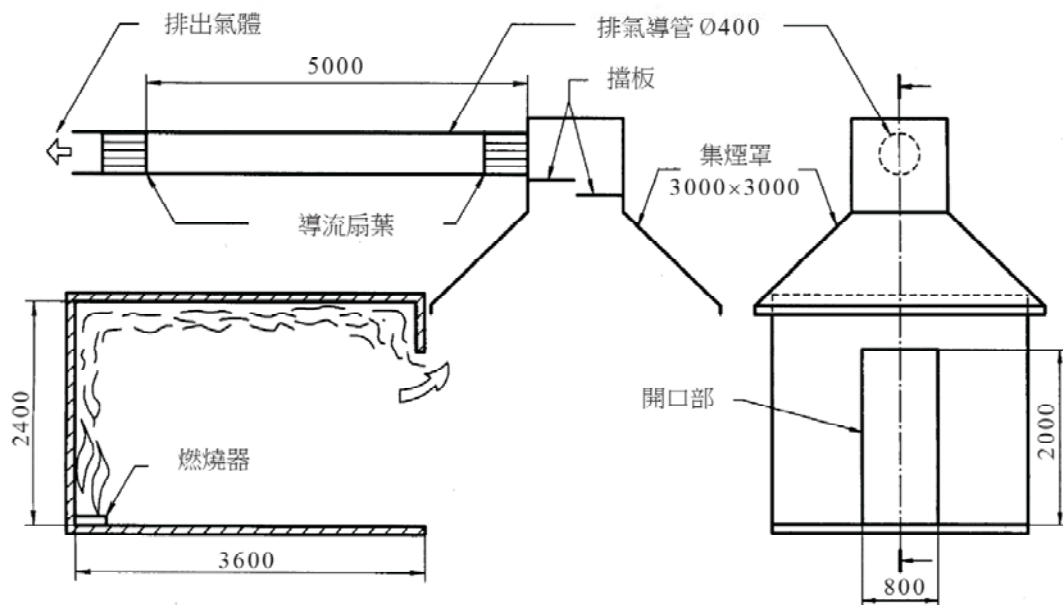
在消防方面，依各類場所消防安全設備設置標準第 3 條未定國家標準或國內無法檢驗之消防安全設備，應檢附國外標準、國外（內）檢驗報告及試驗合格證明或規格證明，經中央主管機關認可後，始准使用。

然而，建築技術規則與各類場所消防安全設備設置標準並未規定檢測驗證法，

且主要以國家標準為優先，以下就國家標準在大尺度火災模擬所使用之火源進行探討，以作為本研究火源建立之參考。

#### 一、CNS 15048 建築材料耐燃性試驗法—全尺度燃燒試驗法

本標準在規定建築材料曝露於單一燃燒火源時，其耐燃性能之試驗方法，試驗以具單一開口且通風條件良好之測試房間(圖2-1)，在其四週牆面、天花板安裝壁裝材料後並於房間角落施以火源加熱，以模擬牆角發生火災之全尺度建築材料耐燃性試驗法，以評估建築材料火害程度。



(資料來源：CNS 15048)

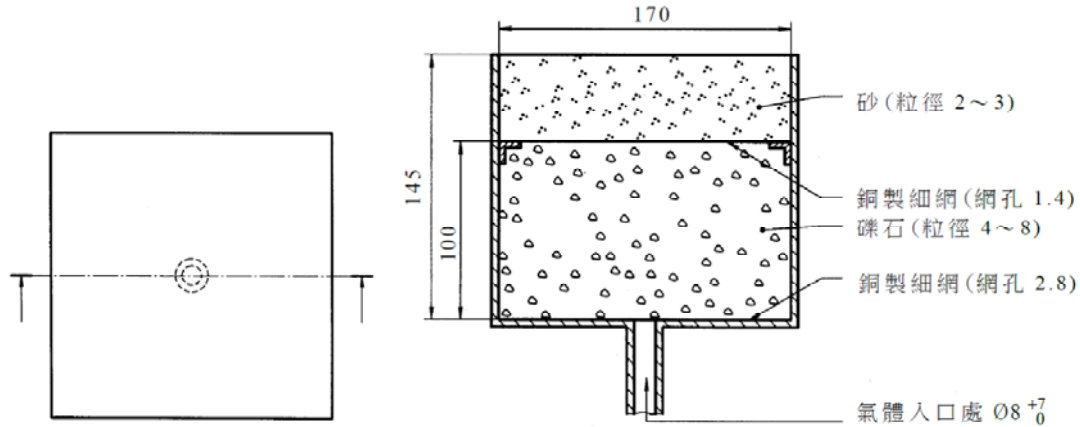
圖 2-1 CNS 15048 測試房間設備圖

單一燃燒火源燃燒器為長170 mm、寬170 mm、高145 mm 之丙烷氣體燃燒器(如圖2-2所示)，內部填滿粒徑4~ 8 mm 礫石及2~ 3 mm 砂石，使得丙烷氣能均勻覆蓋開口面，並於燃燒器內部中間及底部分別安置網孔1.4 mm 及2.8 mm銅製細網以穩固砂礫。

其熱輸出功率於點燃後，前10 分鐘為100 kW，接下來10 分鐘增加至300 kW，燃燒器應供應純度95%以上之丙烷氣體，氣體流率準確度為±3%，熱輸出功率誤差在規定值±5%之內，基於安全考量燃燒器具遙控引燃設計，並具丙烷氣體洩漏之

警報系統及火焰熄滅時能自動切斷氣體供應之閥體。

單位：mm



(資料來源：CNS 15048)

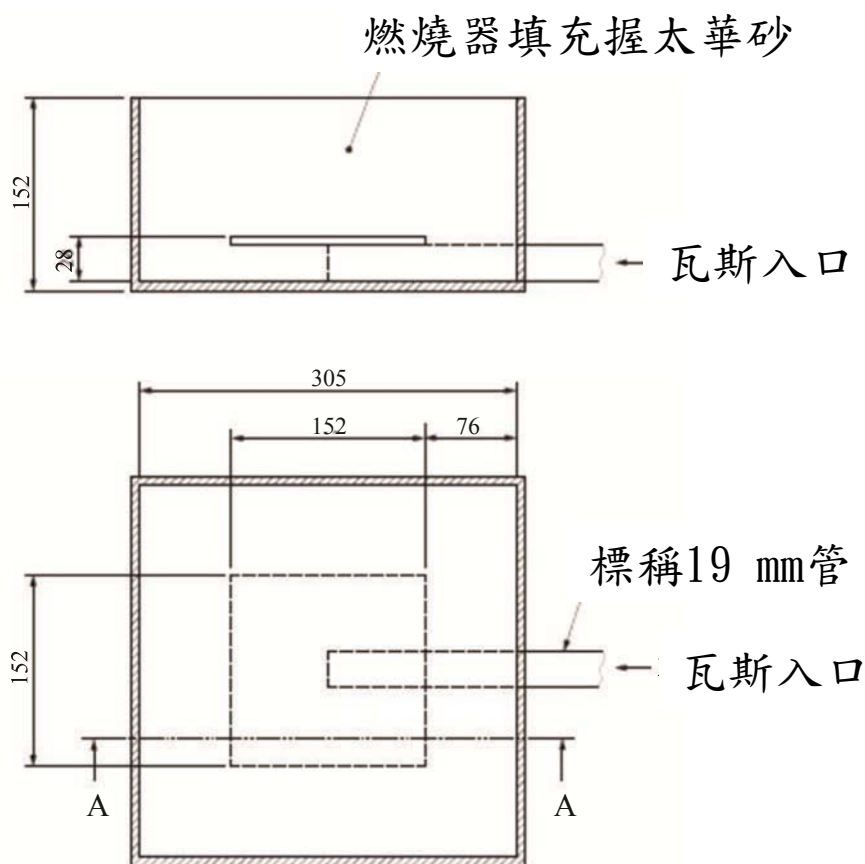
圖 2-2 氣體燃燒器

CNS 15048 主要依 ISO 9705：1993 於 2007 年制定，至今未再修訂，而 ISO 9705 於 2016 修訂改為 ISO 9705-1，其燃燒器略微修訂為為丙烷氣體燃燒器具標稱 170 mm x 170 mm 方形，頂部表面層為多孔、惰性材料，多孔材料頂部應為最小 45 mm 的砂，構造應能使燃氣氣流均勻達到整個開口面積。燃燒器應以遠端控制點火裝置點燃，例如引燃器或火花點火器，如果發生熄火或有燃氣洩漏，燃燒器應提供切斷供氣控制裝置。燃燒器以丙烷(95%純度)供給，氣體流到燃燒器將量測在整個測試期間精確度至少  $\pm 3\%$ ，熱輸出到燃燒器將控制介於  $\pm 5\%$  規定值，氣體流率將使用丙烷燃燒淨熱 46.4 MJ/kg 來計算。

除圖 2-2 燃燒器外，在其附錄 A.2 替代火源—燃燒器，其燃燒器為 0.31 m x 0.31 m 耐火材料多孔上，表面燃燒器上表面位於離地 0.3 m，氣體供給到燃燒器將產生最大熱輸出 (162 $\pm$ 4) kw (最大熱輸出 176kw)，量測整個測試期間瓦斯流率，燃燒器以最小 100 mm 砂層建構，提供所提供氣體水平表面通過(參見圖 2-3)，使用砂燃燒器比使用纖維板燃燒器較優，特別是針對滴水材料。點火後，熱輸出最大值之 25%，30 秒後增加至 50%，再 30 秒後其增加至 75%，再 30 秒後增加到最

大值。

單位：mm



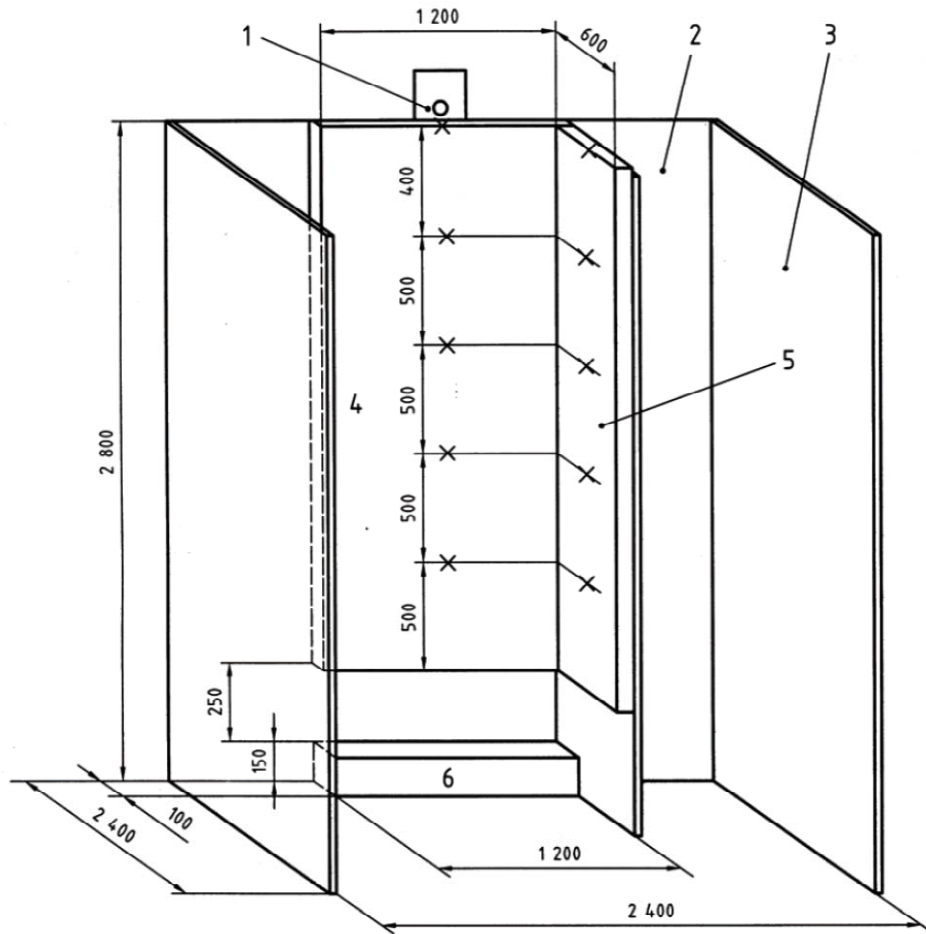
(資料來源：ISO 9705-1)

圖 2-3 ISO 9705-1 附錄 A.2 替代火源

## 二、CNS 15213-1 建築物外牆立面防火試驗法—中尺度試驗

本標準規定貼附於建築物外牆上中尺度非承重立面之防火試驗方法，其引燃源為 $1.2\text{ m}\times 0.1\text{ m}\times 0.15\text{ m}$ (長 $\times$ 寬 $\times$ 高)之槽狀容器(圖2-4)，其內填滿不燃之細材質(例如：砂)，使燃料能均勻由孔隙逸出，引燃源置於主立面試體下地板處，背部貼附於支撐背牆，燃料為純度95%以上之丙烷，流量之準確度為 $\pm 3\%$ ，熱釋放率為 $(100\pm 5)\text{ kW}$ ，熱釋放率計算方式為流量與燃燒熱 $(46.4\text{ kJ/g})$ 之乘積，引燃源引燃後，其熱輸出功率須於10秒內達 $100\text{ kW}$ 。

單位：mm



圖例：

- 1. 熱通量計位置
- 2. 支撐背牆
- 3. 支撐側牆
- 4. 主立面試體
- 5. 側立面試體
- 6. 引燃源：1.2 m 長、0.1 m 寬、0.15 m 高
- × 熱電偶位置

(資料來源：CNS 15213-1)

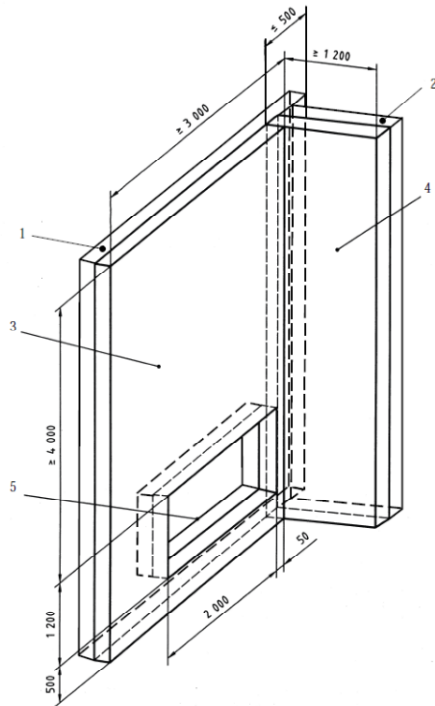
圖 2-4 CNS 15213-1 量測位置示意圖

### 三、CNS 15213-2 建築物外牆立面防火試驗法—大尺度試驗

本標準規定貼附於建築物外牆上大尺度非承重立面之防火試驗方法，其引燃源燃燒箱外觀應為方形，體積介於 $20\text{ m}^3 \sim 100\text{ m}^3$ ，燃燒箱開口部寬 $(2.0 \pm 0.1)\text{ m}$ ，高 $(1.2 \pm 0.1)\text{ m}$  並與主立面試體切齊，燃燒箱牆面及天花板以混凝土、磚石或其他複合材質構成，以提供燃燒箱於校正或試驗期間之完整性、抗熱性並防止產生裂縫，燃燒箱牆面及天花板，安裝耐高溫之阻熱材料(得使用密度 $100\text{ kg/m}^3$ ，厚度 $25\text{ mm}$  之陶瓷纖維)，標準燃料為丙烷，引燃源設置如圖2-5。

燃料條件依校正試驗之引燃源火勢於4分鐘～6分鐘內逐漸調升至全盛狀態(燃料流量如圖2-6所示)，然後維持火焰從開口竄出並接觸外部試體表面之全盛狀態15分鐘，然後於4分鐘～6分鐘內逐漸調降強度，總校正測試期間23分鐘～27分鐘。校正期間，引燃源火勢達全盛狀態後，燃燒箱開口上緣上方 $600\text{ mm}$ 處之總熱通量計(編號1、7及8)於15分鐘內之量測值平均值應達 $(55 \pm 5)\text{ kW/m}^2$ ，開口上緣上方 $1.6\text{ m}$ 處之總熱通量計(編號2)於15分鐘內之量測值平均值應達 $(35 \pm 5)\text{ kW/m}^2$ (如圖2-7所示)。開口上緣上方 $50\text{ mm}$ 處之3支熱電偶，於15分鐘內之溫度量測值平均值應達 $800^\circ\text{C}$ 以上，主立面試體上僅能設置一個使燃燒箱火焰竄出之開口部，但燃燒箱其他牆面得具備自然通風之通氣孔，以增加開口部之空氣量，達規定之熱通量及溫度。

單位：mm



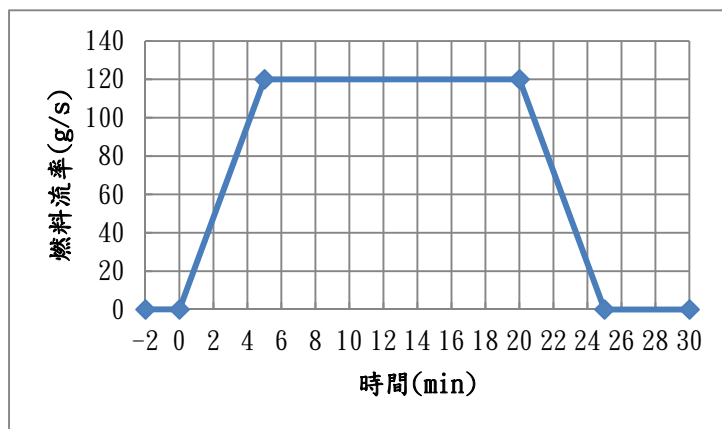
圖例：

1. 支撐背牆
2. 支撐側牆
3. 主立面試體
4. 側立面試體
5. 燃燒箱開口部

(燃燒箱緊貼在支撐背牆，其開口部與主立面試體切齊，參照圖2-8)

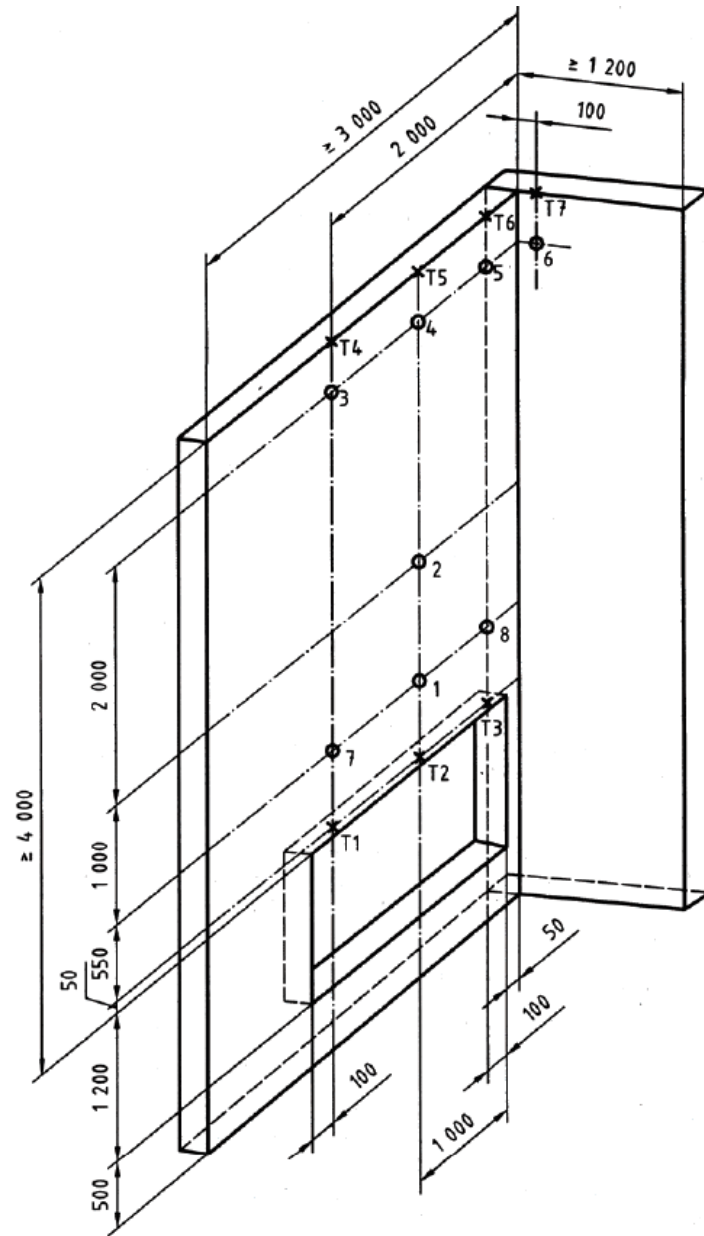
(資料來源：CNS 15213-2)

圖 2-5 CNS 15213-2 試驗設備及試體示意圖



(資料來源：CNS 15213-2)

圖 2-6 CNS 15213-2 引燃源之燃料流率



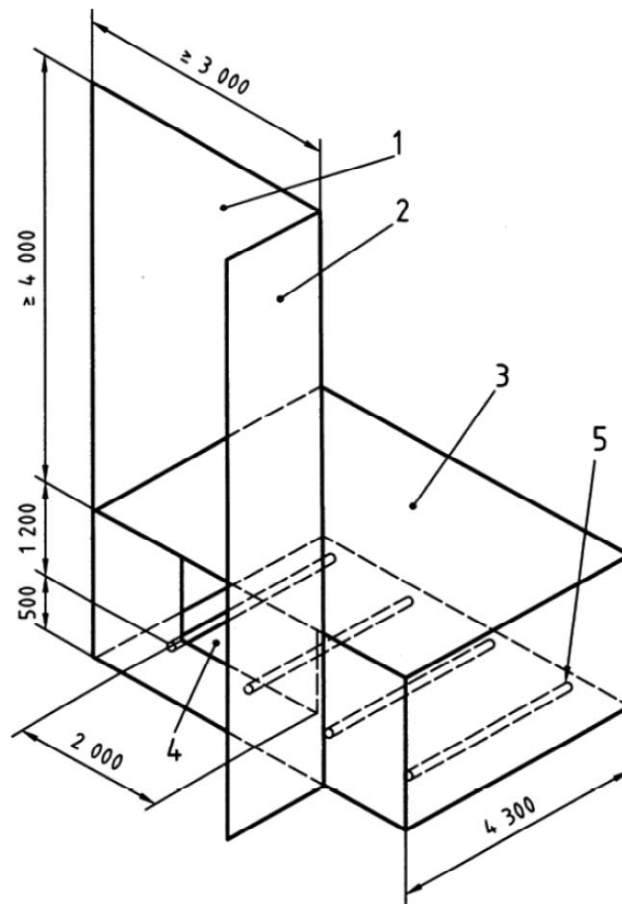
- 圖例：  
○ 總熱通量計(1~8)  
× 熱電偶(T1~T7)

(資料來源：CNS 15213-2)

圖 2-7 CNS 15213-2 測點位置分布圖



單位：mm



燃料：氣態丙烷

燃料流率：最大 120 g/s(參照圖2-6)

圖例：

1. 主立面試體

2. 側立面試體

3. 燃燒箱

4. 燃燒箱開口部

5. 引火源(4 個，直徑100 mm，長3700 mm，包覆25 mm 厚陶瓷纖維之穿孔銅管)

引燃源之燃料流率如圖2-6 所示，燃料流率取決於校正設備，每一實驗室可能均不相同，引火源管線位置可能不同。

(資料來源：CNS 15213-2)

圖 2-8 CNS 15213-2 標準引燃源

#### 四、CNS草制1030440周邊防火阻隔體採用中尺度、多樓層試驗裝置之耐火試驗法

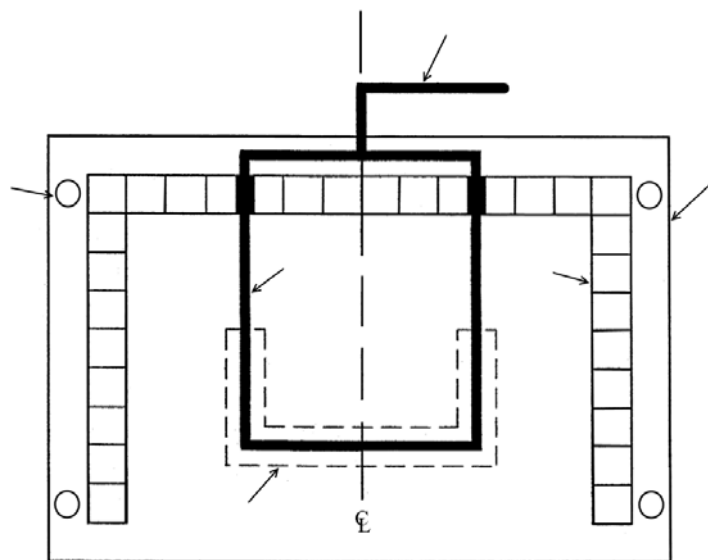
本標準適用於外牆組件與樓板組件撓曲變形期間，周邊防火阻隔體之性能及其維持密封防止火災延燒的能力，即抵抗來自室內區劃火災的曝火以及從窗戶下方燃燒器發出的火焰噴流能力。本試驗為量測

周邊防火阻隔體試驗時，在符合首要符合條件之前所經過的時間。所用曝火條件是在測驗室先依本試驗方法對前 30 min 的曝火條件，後續再依 CNS 12514-1 規定曲線進行。此試驗方法規定加熱條件、試驗方法，以及在樓板與外牆組件併置於接合部之周邊防火阻隔體，以維持耐火性能之評估基準。

本標準配備兩個燃氣燃燒器如下：

### 1. 測驗室燃燒器

測驗室燃燒器在測驗室內部妥適安排位置如圖 2-9。



說明

- 1 瓦斯供應管線
- 2 混凝土板(測驗室之第 1 層樓板)
- 3 牆
- 4 測驗室燃燒器
- 5 有孔的燃燒器區域
- 6 柱(代表性的)

(資料來源：CNS 草制 1030440)

圖 2-9 CNS 草制 1030440 測驗室燃燒器位置平面圖例

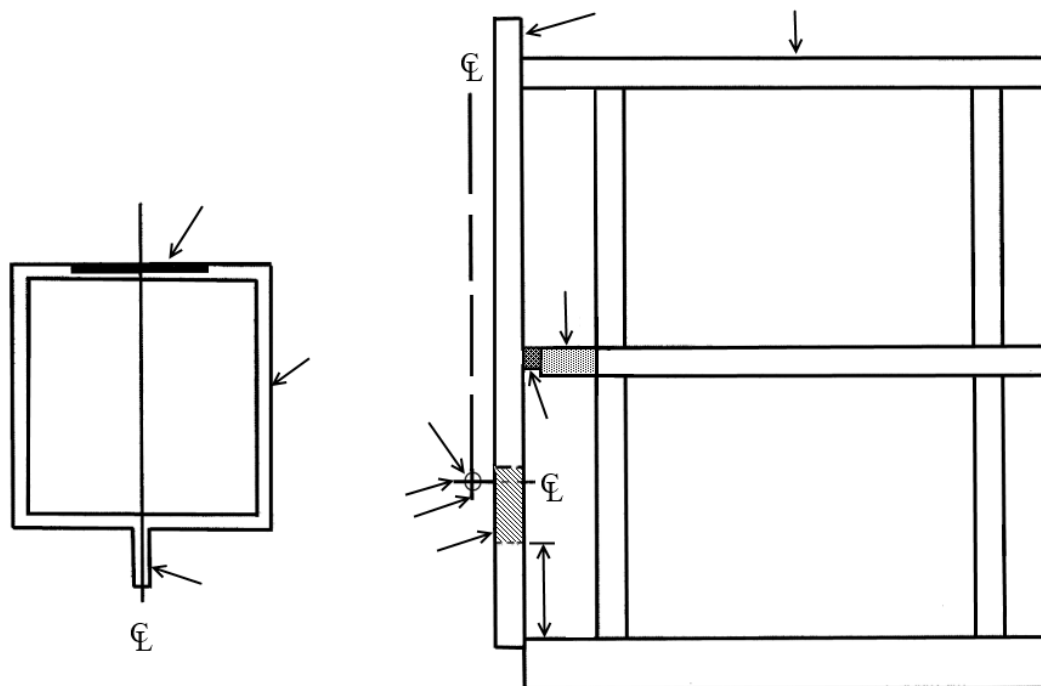
使用標稱外徑 51 mm 的鋼管，測驗室燃燒器必須是長方型的，其長寬不得少於 2,000 mm 及 1,524 mm。將測驗室燃燒器延伸進測驗室內(1,829±25) mm，在鋼管面朝上處鑽標稱直徑 3.2 mm 的孔，並將這

些孔安排在測驗室燃燒器前“U”型部分的位置。從瓦斯供應管線兩側距離背牆 1,066 mm 的位置開始鑽孔，然後繼續至前方的瓦斯供應管線。將標稱 25 mm 的孔放置在中心位置。支撐測驗室燃燒器並使呈水平，且其水平中心線位在測驗室樓板之上(762±25) mm 處，測驗室燃燒器置於測驗室內中心，使用位於試驗裝置外的瓦斯供應管線裝配測驗室燃燒器。使用單層標稱厚度為 25 mm，具最小密度 128 kg/m<sup>3</sup> 的陶瓷纖維毯將整個瓦斯供應管線系統包覆。

## 2. 窗戶燃燒器

窗戶燃燒器(圖 2-10)應是長方型，使用標稱外徑 51 mm 長(1,524±13) mm 鋼管供燃燒器前段之用，在鋼管頂面切出 1 條面朝上的溝槽口，其寬度與長度分別為(13±1.5) mm×(1,118±13) mm。使用標稱外徑 25 mm 的鋼管從窗戶燃燒器兩端供應瓦斯，及從窗戶燃燒器背後的“T”型接頭，提供穩定一致的瓦斯壓力給燃燒器溝槽口。使用一層標稱厚度 25 mm 最小密度 128 kg/m<sup>3</sup> 的陶瓷纖維毯包覆蓋溝槽口在內的窗戶燃燒器及整個瓦斯供應管線系統。

擺放窗戶燃燒器，以便溝槽口面向上並與外牆組件平行。把窗戶燃燒器溝槽口的水平中心與窗戶的水平中心線對齊。確定窗戶燃燒器水平中心線位於測驗室室外窗戶的上窗框表面之下(229±13) mm 處。將窗戶燃燒器的垂直中心線置於離外牆組件的室外面最多 152 mm 處。窗戶燃燒器與外牆組件室外面之確切距離應在校正程序中加以確定。



說明

- |             |                 |
|-------------|-----------------|
| 1 窗戶燃燒器     | 10 試驗期間窗戶燃燒器的位置 |
| 2 燃燒器槽溝     | 11 外牆組件或標準牆     |
| 3 瓦斯供應管線    | 12 試驗裝置 (ISMA)  |
| 4 周邊接合部保護系統 |                 |
| 5 窗戶        | 13 樓板組件         |
| 6 試驗裝置中的測驗室 | 14 觀察室樓板        |
| 7 測驗室中的觀察室  | 15 屋頂板          |
| 8 燃燒器的水平中心線 | 16 測驗室樓板        |
| 9 燃燒器的垂直中心線 | 17 窗台高度         |

(資料來源：CNS草制1030440)

圖 2-10 CNS 草制 1030440 窗戶燃燒器平面圖與窗戶燃燒器位置立面圖例

### 五、CNS 15937煙控系統性能現場試驗法－熱煙試驗

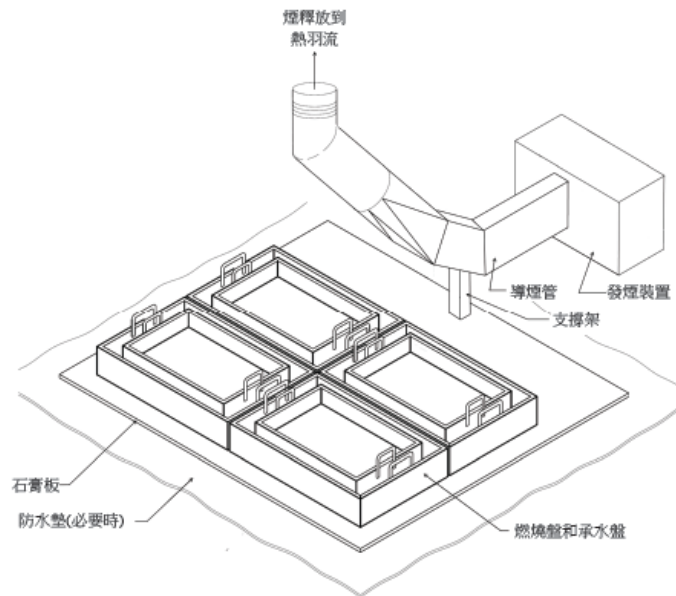
本標準規定在建築物內，於安全溫度內不造成建築物設施設備及室內裝修損壞條件下，產生指定煙量之煙控系統熱煙試驗法，所需的試驗裝置、試驗程序和安全防護要求，以及產生定量煙氣及確定熱煙試驗火源規模的方法。

本試驗法目的是作為建築煙控系統調試過程，以模擬火災情境下測試確認系統之運作，作為管理機關認可之工具。不是作為每個已安裝之煙控系統執行熱煙試驗之強制性要求。

以酒精(工業用)燃燒產生一個熱空氣羽流，然後填充示蹤煙氣。此羽流觸動

煙控制系統的性能監測，以與系統相比較供管理機關認可參考。

試驗裝置如圖2-11所示，基本上組成包括置於承水盤中的燃燒盤和緊靠燃燒盤的發煙裝置。承水盤和發煙裝置均置於不燃材料墊上。測溫點應緊貼天花板安裝在燃燒盤正上方的中心。

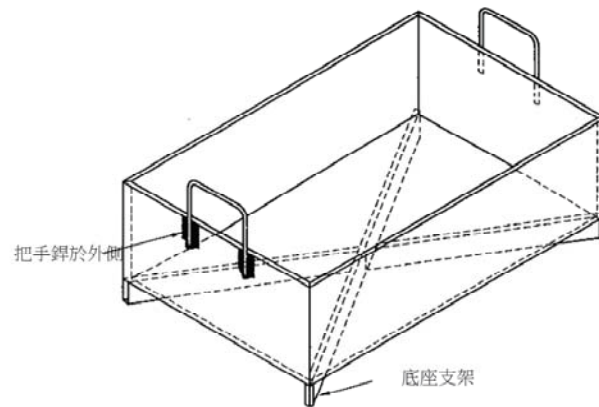


- 備考 1. 試驗裝置由建築物業主自行斟酌配置，進行測試時可能沒有設備。  
備考 2. 發煙裝置應使用不產生煙灰之燃料。

(資料來源：CNS 15937)

圖 2-11 CNS 15937 試驗裝置圖例

燃燒盤由厚1.6 mm 鋼板銲接而成(如圖2-12所示)。燃燒盤應密封不漏水。把手採用直徑10 mm 的圓鋼製成，銲接在燃燒盤的外壁。底座支架採用角鋼銲接在燃燒盤底部，在支架交叉處的銲道應為全滲透銲接。燃燒盤尺度如表2-1 所示。



備考：把手鐸接於燃燒盤的外側，以免影響熱羽流的幾何形狀。

(資料來源：CNS 15937)

圖 2-12 CNS 15937 燃燒盤構造圖例

表 2-1 燃燒盤規格

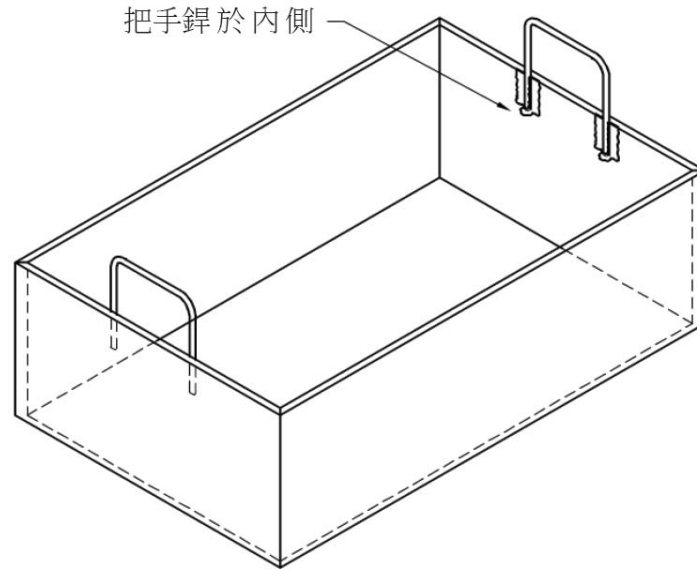
單位：mm

規格	把手寬度	把手高度	底座支架	內部高度	內部長度	內部寬度	盤面積 (m <sup>2</sup> )
A1	150	100	50×50×6EA	130	841	595	0.500
A2	150	100	40×40×5EA	90	594	420	0.250
A3	-	-	40×40×5EA	65	420	297	0.125
A4	-	-	30×30×3EA	45	297	210	0.062
A5	-	-	20×20×3EA	35	210	149	0.031

備考1. 燃燒盤尺度係參照CNS 5 紙張尺度。  
備考 2. 附錄A 中的數據是基於表中的燃燒盤尺度及表2 承水盤大小所產生。  
備考 3. “EA”表示“等角”。

(資料來源：CNS 15937)

承水盤由厚 1.6 mm 鍍鋅鋼板鐸接而成(如圖2-13 所示)。承水盤應密封不漏水。把手採用直徑10 mm 的圓鋼製成，鐸接在盤的內壁。承水盤尺度如表2-2 所示。



(資料來源：CNS 15937)

圖 2-13 CNS 15937 承水盤構造圖例

表 2-2 承水盤規格

單位：mm

規格	把手寬度	把手高度	內部高度	內部長度	內部寬度
B1	150	100	180	990	700
B2	150	100	130	700	495
B3	120	65	105	495	350
B4	120	65	75	350	250
B5	120	65	55	250	175

備考1. 燃燒盤尺度係參照CNS 5 紙張尺度。

備考 2. 附錄A 中的數據係由本表承水盤尺度及表1 燃燒盤尺度所決定。

(資料來源：CNS 15937)

燃燒盤中的燃料應採用符合 CNS 1397 規定之酒精(工業用)，穩定燃燒時間不低於10 min。對應表2-1規定之燃燒盤尺度，建議之燃料注入量及對應之燃燒熱釋放率如表2-3 所示。選用此種燃料係因符合效益及產生乾淨的燃燒產物，並

具低輻射輸出。最少燃燒時間為燃燒成長時間(約3 min)，及約10 min 穩態燃燒時間與約3min 衰減時間。

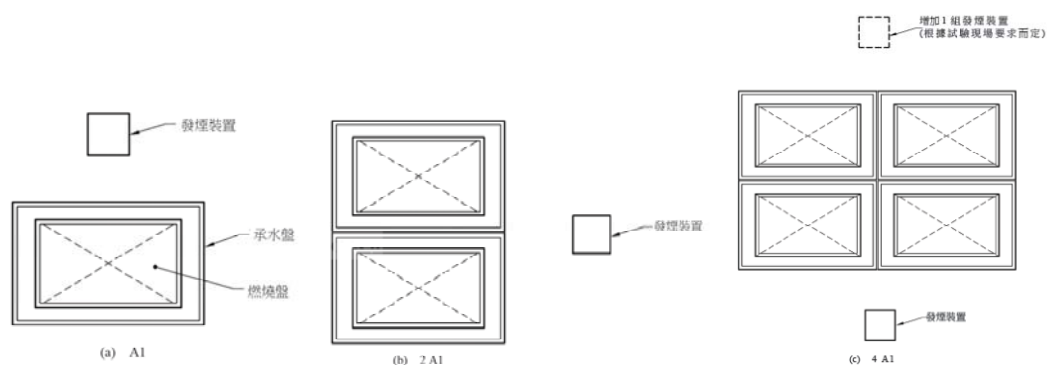
表 2-3 建議燃料量

規格	燃料注入量 L	約單位面積熱釋放率 kW/m <sup>2</sup>	約總熱釋放率 kW
4×A1	16.0×4	751	1,500
2×A1	15.0×2	696	700
A1	13.0	678	340
A2	5.5	566	140
A3	2.5	471	60
A4	1.0	412	26
A5	0.4	379	11

(資料來源：CNS 15937)

試驗火源規模應根據設計參數及天花板所能承受的最大安全上限溫度，作為試驗火源規模基準。

燃燒盤的配置應根據圖2-14 的方式放置燃燒盤。



(資料來源：CNS 15937)

圖 2-14 燃燒盤的配置圖例

試驗火源應放置在最小區劃空間之中間位置，在可能情況下應放置在試驗場



地具有代表性的位置，或由主管機關直接調整位置。在不規則形狀平面區劃空間試驗，試驗火源應集中放置在可代表整個區劃面積中間。

試驗時為維護點火人員安全，在點火棒端頭綁縛浸入燃料的綿紗，點火人員手持點火棒將點燃的綿紗伸入燃料盤中引燃燃料。點火棒長度不小於1.8 m，點火人員距離燃燒盤邊緣的水平距離不小於1.5 m。

燃料和發煙器是不需要藉助特殊事物影響就有可能發生爆炸，因此必須將其保存在一完全遮蔽而不受測試火源熱輻射影響的區域。

在每次試驗開始時，應向承水盤內注入冷卻水。水源可採用自來水供水管路等。當採用同一承水盤進行第二次試驗時，第一次試驗後承水盤內剩餘的所有熱水都應倒出，待承水盤冷卻到室溫，再注入冷卻水，在任何情況下都不要將燃料直接倒入未冷卻或置於熱水中的燃燒盤內，否則燃料蒸發可能會引起爆炸。

試驗火源控制，燃料與水相溶，如果火源的熱釋放率過大，導致天花板溫度超過最高安全溫度，或試驗結束時，宜採用有效方式快速滅火，然後向燃燒盤加水稀釋冷卻，減少燃料的蒸發。

燃料應在引燃之前才注入燃燒盤內，在燃燒盤內放置時間不宜超過3 min。在相對封閉的空間內，燃料長時間置於開放的燃燒盤內產生的蒸汽可能會引起爆炸。

## 第二節 燃氣燃燒器特性

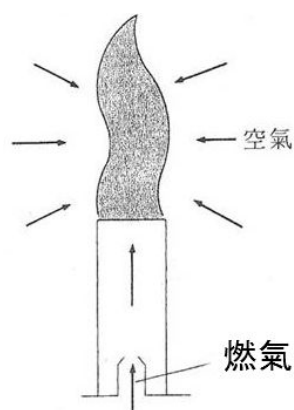
由第一節 CNS 大尺度火災模擬試驗所使用之火源探討，主要以燃氣為主，基本上燃氣較能達到控制、穩定即可重複性，本研究將以燃氣燃燒建立火災模擬與熱煙試驗之火源，在規劃設計之前必須對燃氣燃燒特性進行瞭解。

盧東岳在「瓦斯器具的基本知識」一文概述，燃氣的燃燒方式，通常依燃氣和空氣的混合方式與空氣量，大致可分紅火式、半本生式、本生式、全一次空氣式等四種。

## 一、紅火式

燃氣直接於大氣中噴出，而燃燒所需的必要空氣全部由火焰周邊取得的燃燒方式(圖 2-15)。主要特徵如下：

1. 火焰顏色：黃紅色、火焰長。
2. 火焰溫度：約 900℃。
3. 一次空氣量：0%。
4. 二次空氣量：100%。
5. 無回火現象。



(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

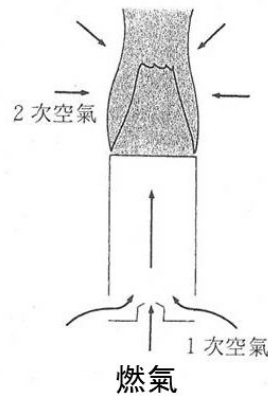
圖 2-15 紅火式

## 二、半本生式

是一種介於紅火式和本生式中間的燃燒方法，一次空氣率約 40% 以下，內焰和外焰較難明顯區分(圖 2-16)。這種燃燒方法現在使用較少，較常見於導火燃燒器，其主要特徵如下：

1. 火焰顏色：藍色，火焰稍長。
2. 火焰溫度：約 1000℃。
3. 一次空氣量：10~40%。

4. 二次空氣量：60~90%。
5. 不回火。



(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

圖 2-16 半本生式

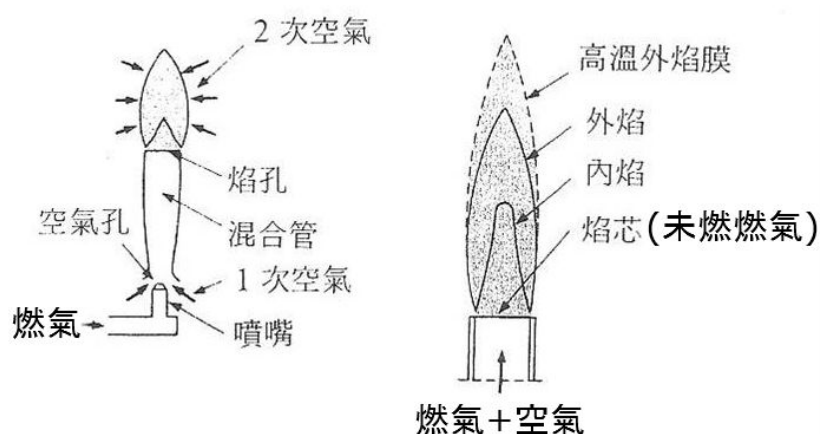
### 三、本生式

噴嘴的附近有空氣孔，燃燒時所需必要空氣約 50%由空氣孔以一次空氣吸引進入混合管與瓦斯混合的燃燒方法(圖 2-17)，由於能取得較高溫度，因此現在家用瓦斯器具大都使用此種燃燒方法，其主要特徵如下：

1. 火焰顏色：青藍色、火焰短。
2. 火焰溫度：最高約 1700℃。
3. 一次空氣量：40~70%。
4. 二次空氣量：30~60%。
5. 有回火線現象。

燃氣從噴嘴以一定的壓力噴出，由於燃氣「流動能」作用，從空氣孔吸入燃燒時必要空氣的一部分(1次空氣)，在混合管與燃氣混合，再由焰孔噴出而燃燒，此時再從火焰周圍獲取燃燒所需空氣，此時之空氣謂之二次空氣。

火焰分成內焰是淡藍色的圓錐狀，外側式外焰以及眼睛看不見的高溫外焰膜。內焰是瓦斯與一次空氣之混合氣體受到某程度之溫度熱能後，碳氫化合物還原分解為碳離子與氫離子，而形成複雜而不安定的中間生成物，此時稱之為燃燒初期反應。外焰是內焰產生中間生成物以及未燃的成分與二次空氣接觸，產生第二次反應，達到燃氣完全燃燒作用。



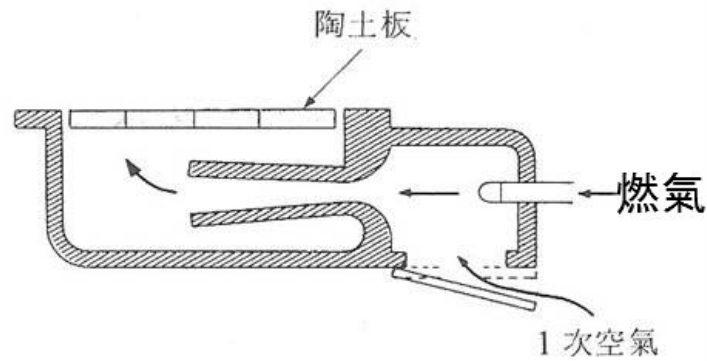
(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

圖 2-17 本生式

#### 四、全一次空氣式

燃燒時所需必要的空氣以一次空氣全部吸入的燃燒方法(圖 2-18)，由於燃燒器會產生直進性的高溫紅外線，因此瓦斯暖氣機大量採用，其主要特徵如下：

1. 火焰顏色：無火焰，在陶土板或金屬網的表面燃燒。
2. 火焰溫度：850~900℃。
3. 一次空氣量：100%。
4. 二次空氣量：0%。
5. 容易產生回火，但安裝方向較自由。



(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

圖 2-18 全一次空氣式

燃燒時的各種現象：

#### 一. 不完全燃燒

燃氣燃燒是一種氧化作用反應，這種氧化反應的進行，充分的氧氣供應及有一定溫度以上才能促使進行。如果無法滿足上述條件時，反應最後不能完結，碳氧反應的途中會產生中間生成物(如一氧化碳)，此種狀態的燃燒謂之不完全燃燒

不完全燃燒的原因：

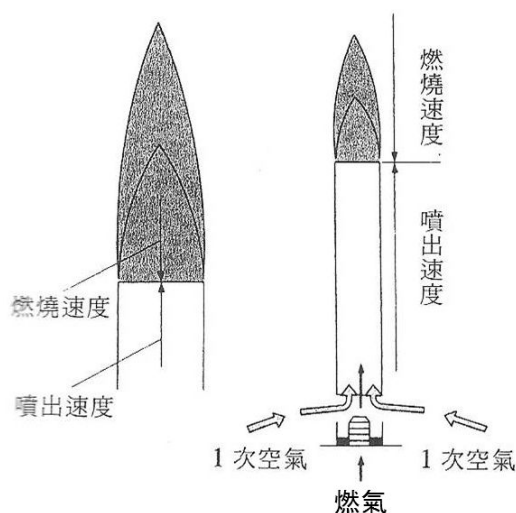
1. 與空氣接觸，混合不充分時。
2. 燃氣量過多時，或必要空氣量不足時。
3. 燃燒廢氣排出不良時。
4. 火焰與低溫器具接觸造成溫度降低時。

#### 二、回火

燃燒器的焰孔有燃氣噴出速度和燃燒度二種相反方向的作用。燃氣要安定的燃燒，則需噴出速度和燃燒速度達到平衡狀態(圖 2-19)，

因為燃燒器的腐蝕或空氣孔的堵塞而引起平衡狀態失調時，燃氣燃燒即會產生異常。

正常火焰：燃燒速度 $\approx$ 噴出速度



(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

圖 2-19 燃燒器的焰孔

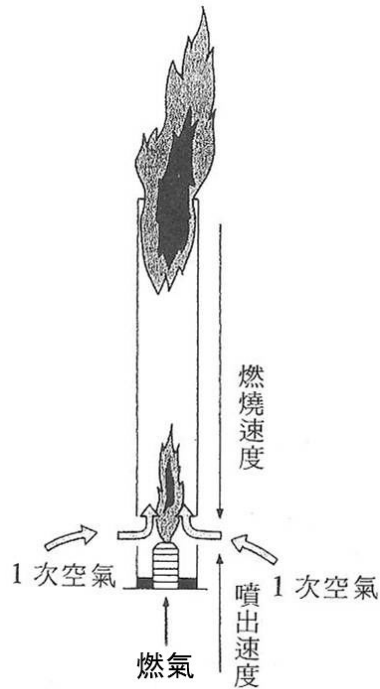
回火現象在本生式燃燒和全一次空氣燃燒因使用條件不妥時會有此現象，也就是燃氣和空氣的混合氣體的噴出速度相比較時，若燃燒速度比平衡點快時，火焰會從焰孔鑽進燃燒器的混合管內燃燒謂之回火現象(圖 2-20)。

回火現象：燃燒速度 $>$ 噴出速度。

回火原因：

1. 燃氣壓力異常下降或噴嘴、考克等被堵塞，燃氣量減少導致噴出速度降低。
2. 一次空氣調節器開度過大，過量吸入一次空氣，導致混合燃氣之燃燒速度增快。

3. 燃燒器部分受到高溫，造成經過此部分燃燒器的混合燃氣溫度提高導致燃燒速度增快。
4. 燃燒器使用太久因腐蝕造成焰孔過大導致噴出速度降低。



(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

圖 2-20 回火現象

### 三、浮火

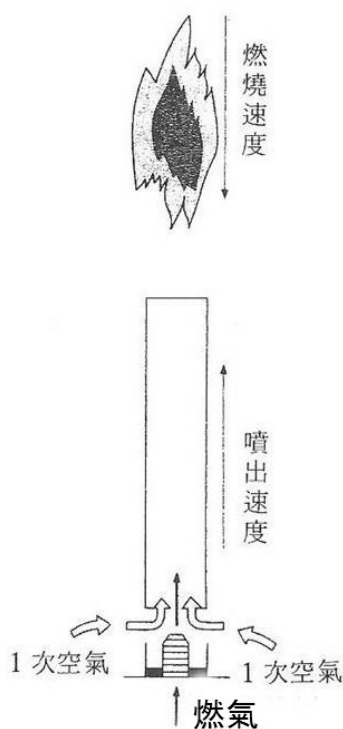
浮火與回火剛好相反，火焰在燃燒器焰孔的上方有些距離的空間燃燒的現象稱為浮火(圖 2-21)。

浮火現象：燃燒速度 < 噴出速度

浮火原因：

1. 燃燒器內部壓力過高，導致混合瓦斯噴出速度增加。
2. 一次空氣調節器開度過大，一次空氣吸入過量，導致混合瓦斯量增加過多使噴出速度上昇。

3. 燃燒器使用過久，焰孔造成阻塞，使焰孔面積縮小致使燃燒器內壓增高，導致噴出速度增快。
4. 燃燒室內給排氣不良，二次空氣供給極端減少，導致燃燒速度降低。



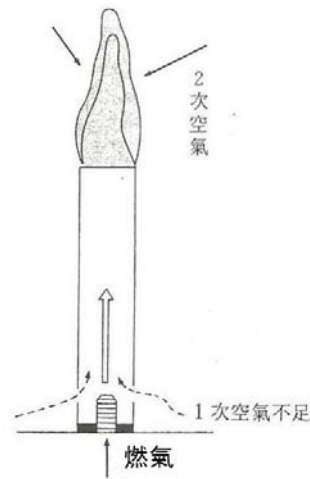
(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

圖 2-21 浮火現象

#### 四、黃端焰

火焰頂端形成黃紅色的燃燒現象謂之黃端焰，這是因為燃燒反應途中，碳氫化合物受熱分解出碳離子，碳離子未燃燒前受赤熱而呈現黃紅色的光輝，這表示燃燒反應速度緩慢，造成游離碳粒子過多引起不完全燃燒(圖 2-22)。這種現象在一次空氣不足時容易發生，黃端焰、回火、浮火都是不良的燃燒現象。





(資料來源：瓦斯器具的基本知識)

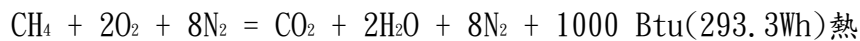
圖 2-22 黃端焰

由燃氣技術顧問線上訓練系統摘錄下列資料可供作本研究參考。

#### 一、燃燒基礎

燃燒是一種燃料的快速氧化，導致可用熱量的釋放及可見火焰的產生。

燃燒方程：



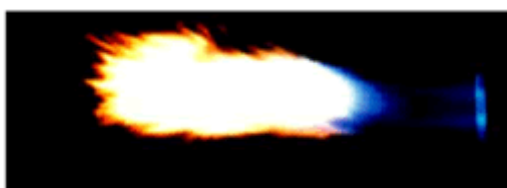
從燃燒方程可知，空氣/燃料比由 10 cf(ft<sup>3</sup>) 空氣和 1 cf 天然氣導致完美燃燒，可獲得 1000 Btus 的熱量，所需的氧氣以室內空氣或純氧的形式提供。室內空氣包含約 21% O<sub>2</sub>，其餘為 N<sub>2</sub> 與少量的水蒸氣、二氧化碳、氫、氫及其他元素。

當完全燃燒條件存在（沒有過剩的空氣及多餘的燃料），術語稱為理想配比的燃燒。要達到完全燃燒（空氣及天然氣）燃料包括總輸入量的 9.1%，每立方英尺的空氣輸入，釋放 100 BTU 的熱量；同時，這種情況產生的火焰和最小的排氣量。只要空氣/燃料混合物中燃料的百分比降到易燃限度之內，碳氫化合物燃料就會持續燃燒。

對於天然氣（含 95% 甲烷），下限約 4%（貧值），上限約 15%（富值），這些值也稱為爆炸下限及上限。天然氣的完全燃燒，在易燃性範圍之內其輸入比含有約 9% 的燃料量。當所提供的空氣量正好代表燃燒所需的空氣（或氧氣）的 100% 時，由產生最熱火焰的輸入比和最小排氣量或化學計量燃燒的最佳燃燒結果。當這種情況存在時，所有的燃料都將消耗殆盡，並且在排氣煙氣中不會發現任何可燃燃料或殘餘氧的痕跡。

#### 完全、比率、理想配比的燃燒

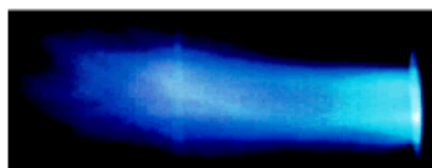
- 所有燃料燃燒
- 藍色接近燃燒器噴頭
- 黃色錐形火焰形狀
- 最高火焰溫度
- 最小排氣量



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

#### 貧燃

- 煙道產物氧化（游離  $O_2$ ）
- 淡藍色
- 形狀-更多錐形火焰
- 所有燃料燃燒
- 火焰溫度下降（加熱過量空氣）



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

#### 不完全燃燒

- 空氣不足或富燃料
- CO 及  $H_2$  形成
- 還原性大氣
- 主要黃色
- 形狀較少被限定
- 火焰溫度下降



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

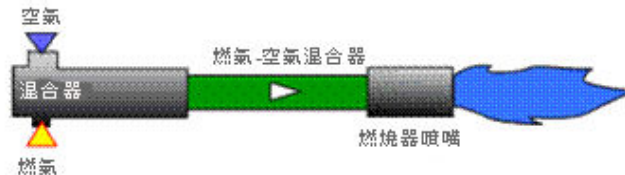
關於火焰溫度的重要注意事項是，火焰溫度上升時，傳熱速度或火焰的輻射功率增加。

## 二、燃燒器基礎知識-工業燃燒器（噴嘴和預混）

幾乎所有的工業燃氣燃燒器都是預混或噴嘴混合的兩種類型之一，不同之處在於氣體及空氣在燃燒前被彙集在一起的方式。

### (一)預混燃燒器

預混燃燒器系統(圖 2-23)有兩個主要組成部分-燃氣-空氣混合器和噴嘴。

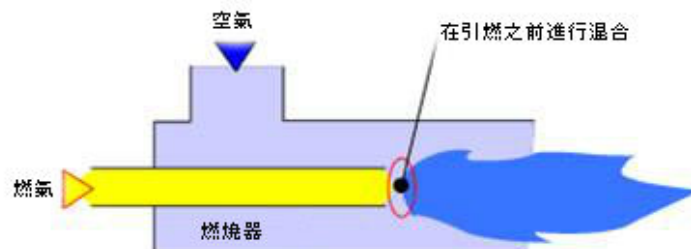


(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

圖 2-23 預混燃燒器

### (二)噴嘴混合燃燒器

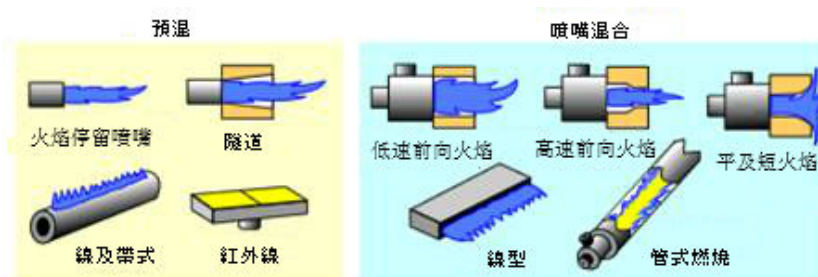
噴嘴混合燃燒器(圖 2-24)作為自己的攪拌機與燃氣和空氣混合之前引燃。



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

圖 2-24 噴嘴混合燃燒器

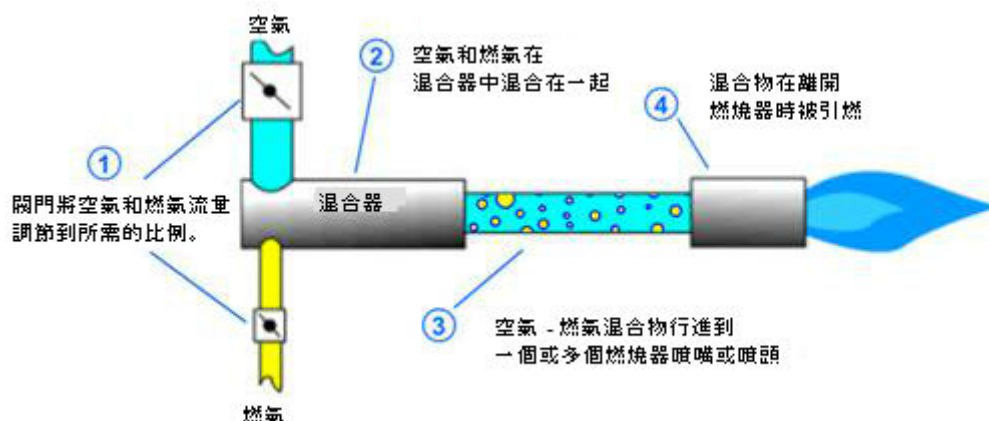
圖 2-25 左側分支是預混燃燒器的主要類型-火焰停留在噴嘴，如線及帶式燃燒器，隧道噴嘴及紅外線加熱器。在噴嘴混合分支中，主要類型為低、高速前向火焰燃燒器、線式、管式燃燒及平面短火焰燃燒器。



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

圖 2-25 工業燃燒器類型

在預混系統中，無論火焰型態，燃氣及空氣的比例流動都被帶到混合器 (#1)，在那裡混合成可燃混合物 (#2)。這種混合物是在壓力下，通過管道輸送到燃燒器噴嘴或頭部 (#3)，在那裡引燃及燃燒 (#4)(圖 2-26)。



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

圖 2-26 預混燃燒器混合燃燒機理

操作貧燃(沒有足夠的燃氣)的燃燒器具有隨著燃氣量的減少而變小略帶紫色火焰。當其變得極其稀薄時，就會產生一種不規則的、破碎的外觀，並且可能會有一種刺耳的嘶嘶聲。燃燒器操作在正確的比率有一個鮮明的、明亮的藍色、明顯邊界的火焰。操作富燃(燃氣過多)的燃燒器往往有黃色及橙色的火焰，隨著燃氣量增加，火焰會越來越長，如果燃氣量確實過多，火焰會產生黃色尖端並開始發煙，也會燃燒得如此緩慢，以至於會開始從燃燒器噴嘴上升離(浮火)。

預混燃燒器的問題是如果被調低到過低的燃燒速率，容易產生回火。當離開噴嘴的可燃混合物的速度太低以至於可以通過噴嘴向上游返回時，就會發生這種情況。有時，火焰會停在供氣管的某處，燃燒並產生熱點。其他時候，會一路回到混合器，產生響亮的爆炸。

如果混合物流量設置為高於噴嘴可以處理的量，則在適當調整的燃燒器上也會發生升離。混合物的速度非常高，以至於會將火焰從噴嘴推出到開放的空間，在那裡熄滅。

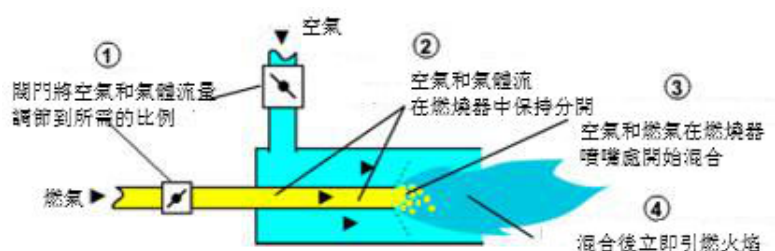
預混燃燒器往往具有緊密、劇烈的高溫火焰。混合物的流動可以通過大量鑽孔噴嘴端口分開，從而可以在相當大的區域上拉伸相對較小的火焰。管道結構簡單緊湊 - 只有一條混合管連接到燃燒器，並且具有合適的供應及控制設備，預混燃燒器可以使用非常低壓的燃氣。

在負面的情況下，其調整範圍（高和低燃燒速率之間的範圍）受到避免回火及升離的需要的限制。回火的可能性也限制了燃燒器的大小 - 1000 萬 Btu / hr(2, 933kW)大約是實際的限制。預混燃燒器難以產生特殊的火焰形狀，由於空氣和燃氣在到達燃燒器時已經混合；因此，傾向於與天然氣相關的特徵性矛狀火焰燃燒。最後，預混燃燒器在輸出前不能操作過多的空氣；因此，不像許多類型的噴嘴混合燃燒器那樣通過調節氣體 - 空氣比來控制溫度。

### **噴嘴混合燃燒器系統**

調節燃氣及空氣氣流通過獨自的管道進入燃燒器，在通過燃燒器噴嘴之前不會混合，直到通過燃燒器噴嘴連接並立即開始燃燒。這有許多好處，包括能夠在更廣泛的空氣-燃氣比率範圍內操作。大多數預混燃燒器只能操作在接近正確的空氣-天然氣比率，大約 10:1，才能令人滿意。如果過於富燃或過於貧燃，火焰特性

會惡化，最終火焰熄滅。在貧燃方面，預混燃燒器通常不能高於 15 份空氣比 1 份燃氣之比率。



(資料來源：GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM)

圖 2-27 噴嘴混合燃燒器混合燃燒機理

噴嘴混合燃燒器設計用於控制燃氣及空氣的混合，而不犧牲清潔燃燒或火焰穩定性。這使得某些模式可以以高於 5000 份空氣對 1 份燃氣比率的方式進行操作。所有未使用的過量空氣與燃燒產物混合以冷卻火焰，使得燃燒器適用於不允許高火焰溫度的應用。與比例火焰相比（溫度高於 3,000°F），在 5,000% 過量空氣下操作的燃燒器會排放比環境空氣溫度高 15°F 以上的溫暖氣流。這是噴嘴混合燃氣燃燒器的重要長處 - 能夠產生非常廣域的均勻、嚴密控制的溫度。

空氣和天然氣必須以接近 10 比 1 的比例燃燒，可以將部分空氣與氣體混合，直到氣體以正確的比例完全燃燒；然後，將未使用的冷卻空氣與超過 3,000°F 的燃燒氣體混合，生成暖空氣混合物，這被稱為分段混合。

噴嘴混合燃燒器提供了預混燃燒器所缺少的許多功能 - 火焰型態及空氣 - 燃氣比廣泛選擇。與預混燃燒器不同，一些噴嘴混合設計將接受預熱的燃燒空氣或富氧，有些可轉換為雙燃料（油及燃氣）操作。因為噴嘴混合燃燒器不像預混燃燒器那樣容易回火，所以尺寸不是限制。噴嘴混合燃燒器的容量超過 5 億 Btu/hr (146.65MW)。

這些優勢的權衡是更大的尺寸及複雜性。噴嘴混合燃燒器比相同燃燒速率的預混單元要大，並且每個燃燒器必須有兩條管道運轉- 一個用於燃氣，另一個用於空氣。在大面積上需要分配較少的熱量輸入時，噴嘴混合燃燒器也處於劣勢。

### 第三節 火災模擬實驗趨勢

Matthew(2018) 結構性能防火設計目前在全世界有不同的等級被採用，其中包含的項目通常取決於項目本身的複雜性、建築物的構造以及項目存在的法規環境。這項研究概述了現代加拿大建築的結構性能防火設計，該建築被評估為一系列實際設計火災，包括移行火災(travelling fires)，這是一種嚴重而且可能發生在現代結構的火災類型，但在加拿大很少受到研究關注。特別是，此文重點關注考慮整個復合鋼結構建築接頭的行為反應。這些真實火災情境中接頭會遇到非常大的軸向需求，在設計過程中必須考慮這些需求，這些軸向需求的大小和持續時間是不同的，很大程度上係取決於所考慮的火災(標準、參數和移行)類型。無論建築物的設計方法如何，理解並能夠量化接頭的火災行為情境的範圍，對於確保極端火災事件的彈性結構至關重要。

Jamie(2011) ，Guillermo(2011)傳統防火方法有侷限性：

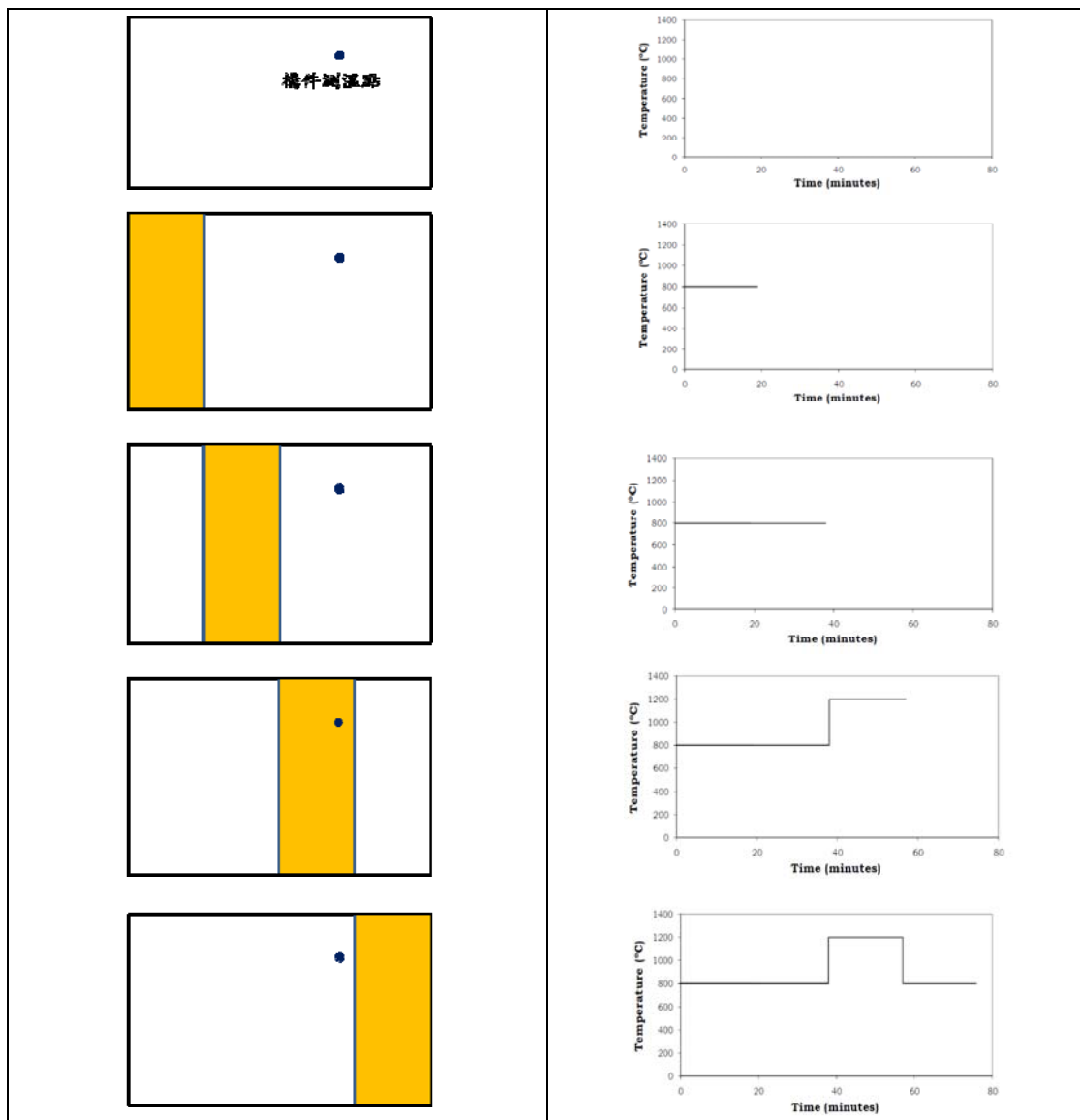
1. 有限區域 (<500m<sup>2</sup>) 和高度 (4m)
  2. 有限的熱內襯
  3. 假設整個封閉空間的溫度均勻
  4. 不考慮大多數建築的特徵，例如 大空間、中庭、挑空連接多個樓層等
  5. 根據小區劃的測試
  6. 近似矩形封閉區間
  7. 沒有天花板開口
- 19~20世紀建築物:66%在此侷限內

- 2008年建築物:8%在此侷限內

實驗數據顯示火災的移行(fire travel)，真實火災已觀察到移行，如：

- 世界貿易中心大樓(WTC Towers) 1, 2, and 7 (美國紐約 - 2001)
- Torre Windsor (西班牙馬德里 - 2005)
- Faculty of Architecture(荷蘭台夫特 - 2008)

Jamie(2011)移行火災，以25%樓地板面積移行為例如圖2-28圖示說明。

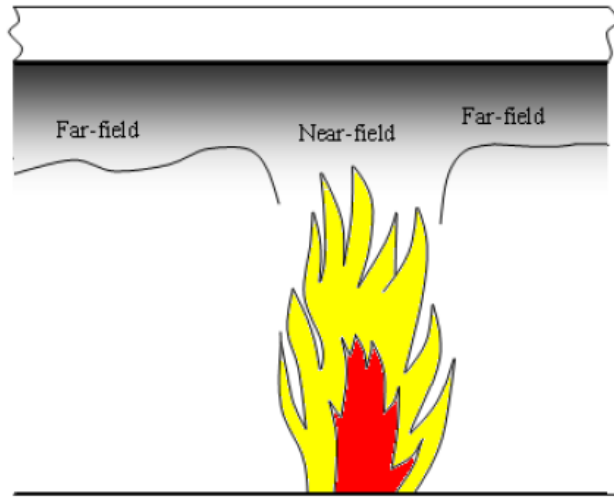


(資料來源：Comparison of Resulting Steel Temperatures from Travelling Fires and Traditional Design Methods: A Case Study of the Informatics Forum Building)

圖 2-28 以 25%樓地板面積移行火災與構件溫度時間歷程

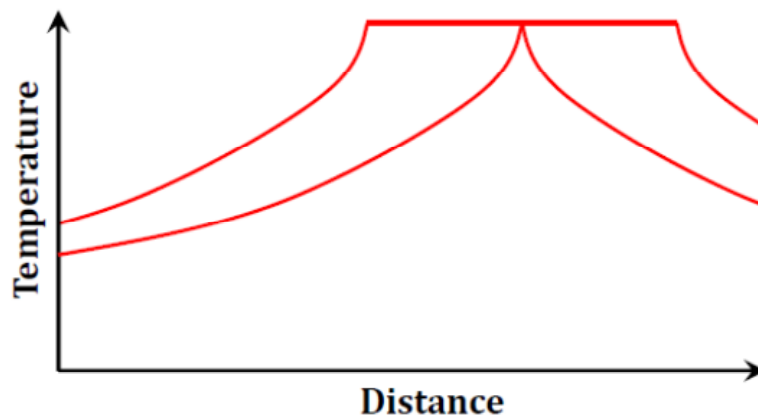


Guillermo(2011)在大區劃中，火災不會均勻燃燒，而是局部燃燒並擴散，火災環境分為兩個場域(Alper' s correlation)如圖2-29所示：近場 $\approx 1000-1200^{\circ}\text{C}$ 、遠場 $\approx 200-1200^{\circ}\text{C}$ ，總燃燒持續時間是火災面積的函數關係(圖2-30)，當火災移行時，每個結構構件都看到近場和遠場溫度的組合(圖2-31)，在大區劃中，不太可能發生閃燃，而是發生移行火災。



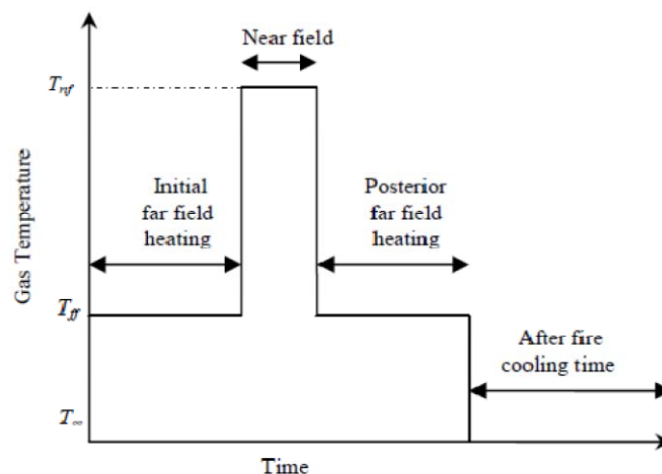
(資料來源：Travelling Fires in Structural Design)

圖 2-29 火災環境分為兩個場域



(資料來源：Travelling Fires in Structural Design)

圖 2-30 火災移行與溫度



(資料來源：Travelling Fires in Structural Design)

圖 2-31 火災移行近場與遠場溫度變化

Egle(2018)波蘭於2017年，在大型實際空間內以自然成長火災實驗探討火災蔓延特徵，該試驗在一開放式、高3.2 m、面積為380 m<sup>2</sup>的舊RC建築中進行。沿空間長向布置連續木框架作為燃料(圖2-32)，用熱電偶及紅外線相機測量空間溫度，火從一端點燃並讓其自然成長，由觀察和溫度量測表明火沿著空間長向快速延燒並在點火後25分鐘燒到遠端，未觀察到閃燃，火勢蔓延的速度並不穩定，但是正在速度逐漸增加，就開放式空間而言，x-ONE是迄今為止進行過最大的火災實驗。

實驗結果，說明傳統規範(標準)，火場溫度假設為均溫，但在大空間，溫度是連續擴散，且包含溫度下降段，火災延燒應採移行火災法(Travelling Fires Methodology ,TFM)來模擬。



(資料來源：x-ONE Fire Experiment in a Very Large and Open-Plan Compartment)

圖 2-32 移行火災實驗

Chao(2018) 在中國大陸已有很多性能式的防火設計，但多數僅用簡易火災模型來計算，未考慮結構受熱梯度的影響，在大型挑高建築空間裡，結構受高溫部位有可能僅限於下半部，(局部加熱情形)。在稍早的研究結果知，在標準測試數值模擬，構件呈整體挫曲破壞，在局部火災模擬下，呈局部挫曲破壞。

Anthony(2013) 最近的研究顯示，暴露於建築火災的建築構件的實際防火能力可能低於其規定的耐火等級 (Lennon和Moore，2003，Jones，2002，Nyman，2002和Abecassis-Empis等，2008)。傳統上，建築構件的防火等級是根據ISO 834中給出的標準防火時間 - 溫度曲線進行的防火測試來確定的。這個ISO 834曲線是在20世紀初開發的，其中木材是基本燃料來源。實際上，現代建築使用熱塑材料，合成泡沫和織物。這些材料發熱量高，同時增加了火焰生長速度和熱釋放速率，從而使火災嚴重程度超過標準火災曲線。

真實的建築物火災溫度曲線取決於表示可燃建築物內容物的燃料負荷，通風口和牆襯材料的熱性能；事實上，商業和住宅建築融合了傳統木製家具和現代物品，如坐墊/織物家具，床墊，織物塗層隔斷以及許多使用熱塑材料，合成發泡材和織物的其他物品。在現代商業和住宅建築中引入桌上型電腦，織物塗層乾牆系統和軟墊家具，熱塑性材料用量的增加顯而易見。此外，纖維素材料的發熱量僅為17 MJ / kg，而塑料的發熱量取決於其類型 (ECS，2002)，從25至35 MJ / kg

不等。在發生火災時，熱塑性材料會融化並流向地板並開始燃燒。這些火災的燃燒速度明顯加快，熱釋放率更高。Bwalya等人(2007)進行了室內防火測試，以評估新建築產品和系統對單戶住宅的消防安全的影響。為此，考慮使用由暴露的聚氨酯泡沫(PUF)和木格架構成的沙發組成的燃料包。沙發首先被點燃，而木格架則提供了剩餘的火災負荷。結果表明，火災發生期間溫升速率比ISO 834(1999)時間溫度曲線快。

最近Bwalya等人(2008)根據加拿大房地產網站的信息對家庭住宅進行了火載量調查，以量化和確定住宅中可燃物質的成分。所有房間內可燃物的成分分為三大類：木材和紙張(纖維素類)，合成塑料和紡織品(或織物)。從這些結果中可以明顯看出，木質材料在住宅中佔可燃物總量的很大一部分。儘管纖維素材料佔據了最高份額，但塑料佔據了近13至39重量百分比(kg)，並且貢獻了20至48%的火載量(MJ)。火載量百分比的增加是由於合成塑料的熱值比纖維素材料高。這顯示了合成塑料材料對住宅中火載量的重大貢獻。必須注意的是，當建立標準時間溫度曲線時塑料不存在。如上所述，這些現代合成材料既增加了火焰生長速度，又增加了放熱率峰值，因此比用於獲得FRR的標準火災曲線增加了火災嚴重性。因此，建築構件可能無法確保安全疏散，或為建築組裝技術手冊中指出的居住者和消防救援人員提供所需的生命安全。

對非標準時間 - 溫度閃燃後火災的評估發現，三個基本參數定義了區劃內的時間 - 溫度曲線，即內裝材料的燃料載量、通風和熱性能。設計火災曲線基於三個參數確定，即：燃料載量、通風開口及牆裝修材料的熱性能。這些燃料載量是一個重要的參數，因為它代表了區劃中的可燃物。它會影響區劃的燃燒持續時間和峰值溫度。

Anthony(2014)基於ISO 834標準時間 - 溫度曲線的防火測試源於近100年前應用木材燃燒爐。實際上，現代住宅和商業建築採用合成發泡材、織物和熱塑性材料。在發生火災時，這些熱塑性材料中的一些會融化並流向地板，並以更高的熱量釋放速度燃燒，導致比標準火災更嚴重的火災。這意味著用於測

試建築構件的標準火災曲線並不能準確反映建築火災。

LSF( light gauge steel frame)牆體的耐火性取決於許多因素，如火災嚴重程度、幾何形狀、牆體襯裡材料、支撐條件以及發生火災時的施加载荷。另外，建築物內的典型火災始於單一區劃，火災的嚴重程度取決於區劃的用途，燃料載量情況以及開口和區劃的大小。

熱塑性塑料是由塑料製成的聚合物，在高溫下具有延展性。一些聚合物在300-450°C的溫度下熔化。在發生火災時，它們會以更高的熱量釋放速度融化和燃燒，導致更嚴重的火災。

非標準設計火災分為兩個主要部分，即：閃燃前和閃燃後設計火災。閃燃後設計火災在建築消防安全系統的設計中非常重要，而閃燃前火災主要集中在建築物居住者的生命安全，特別是有毒氣體產生和建築物周圍的火災蔓延。閃燃前設計火災，許多研究是為了確定火災的增長率，最流行的是估算時間  $t$  (s) 的熱釋放率  $Q$  (MW) 的  $t$  平方法。

David(2002) ，目前建築規範對結構系統的耐火性的要求是基於試體與 ASTM E119、ISO 834 和 NFPA 251 等標準火災暴露的反應。這些標準是在 1920 年代開始建築規範應用確定 FRR 的基本依據。由於缺乏密切的建築物失效，這些標準已經產生了合理的安全程度，但是越來越多的證據顯示這些標準所使用的整個測試程序是不現實的。具體而言，標準使用的時間 - 溫度曲線與實際區劃火災的時間 - 溫度曲線沒有很好的相比，其結果是建築施工可能會不必要地昂貴。一些批評是：

1. 這些標準是基於特定的時間 - 溫度暴露不斷增加的，而真正的火災的時間 - 溫度關係已經定義了包含由成長、全盛和衰減週期部分組成。
2. 承載結構構件在與被測試構件的最大允許應力相對應的載重下進行測試。這是很重要的，因為建築物中的承重結構構件通常不是用來承受最大允許應力下的荷載，也不是建築物荷載均勻分佈在整個結構構件上。
3. 只有整個建築結構系統的一個組成部分才被測試，通過僅執行單一構件測試，

當系統的單一構件出現失效時，不可能考慮可能在整個支撐組件的其餘部分發生的負載分佈。

4. 該構件的耐火等級由其能夠承受標準火災暴露的時間長度來定義，同時滿足特定的性能標準，測試的成功部分是爐內氣體溫度的函數，氣體溫度是來自熱源的對流熱量和來自爐壁的輻射熱量的函數，輻射能是入射到結構構件上的總熱釋放率的主要成分，並且由於輻射通量的大小與溫度四次方成正比，所以輻射分量的影響可能是顯著的，爐壁結構的類型直接影響輻射能量的大小；因此，如果耐火爐的爐壁結構變化，那麼輻射的影響也可能不同。

還值得注意的是，ASTM E119 聲明如下：本標準應用於量測和描述受控條件下材料，產品或組件對熱和火焰的響應，不應用於描述或評估材料，產品或組件的火災危險或火災風險實際的火災情況；然而，測試結果可以用作火災危險評估或火災風險評估的要素，其中考慮了所有與評估特定最終用途的火災危險或火災風險有關的因素。

1908 年，美國測試材料協會（ASTM）發布了一種標準測試方法，該方法基於需要製定評估建築材料防火安全性的通用方法，1918 年，時間 - 溫度曲線作為標準的一部分，基於當時真實火災時的最高溫度，該曲線並非基於建築構件對真實火災的反應，而是基於作者所描述的火災期間預期的最壞時間 - 溫度關係。

這條曲線基本保持不變，並已被全球許多國家所採用，只有很小的變化，這個標準的時間 - 溫度曲線允許構造業根據結構構件或組件在爐內失效時間決定其耐火等級，試圖將這段時間與建築規範要求的失效關聯起來時，遇到了困難。為了解決這個問題，Ingberg 在 1928 年提出了“火載量概念”。這個概念提出，真實火災在火災區劃消耗所有可燃物質所需時間的總熱釋放率可以被認為是火災嚴重程度，火災嚴重程度等於實際火災曲線下的面積。這種火災的嚴重程度取決於防火區劃內的火載量。例如，典型辦公室的火災嚴重程度（辦公室內的實際火災所代表的曲線下方的區域）預計將低於工業廠房的火災嚴重程度（曲線下方的實際火災所代表的區域廠）。有人提出，典型區劃火災的火災嚴重程度可能與

標準火災測試所確定的耐火性有關，方法是將實際火災曲線下的面積等於基準線溫度與標準火災曲線下的面積。也就是說，標準火災曲線下面積等於真實火災曲線下面積的點將為所考慮的火災嚴重程度提供相同的耐火性；由此可知，如果區劃火載量已知，則可以確定特定區劃所需的耐火性。

以下為 David(2002)所提出標準試驗對試驗結果之影響：

### 1. 標準火災試驗時間溫度曲線的影響

Ingberg 的“火載量概念”試圖解決標準測試曲線與實際曲線的時間溫度關係上的差異。然而，簡化所依據的經驗數據是從近 100 年前建築物的全面防火測試中獲得的，這些測試可能不能反映現代建築中的火災特徵。現代建築包含更高程度的塑料材料，當其燃燒時會導致比木質產品更高的熱釋放率。另外，與獲得經驗數據時建造的建築物相比，現代建築中使用的建築技術較一般重木構造為輕。

此外，在某些情況下發現，根據爐壁的結構，測試爐內的實際氣體溫度與放置在測試室內的熱電偶測量的溫度之間的差異可高達 100°C。這很重要，因為熱電偶控制維持標準測試曲線所需的燃料供應。如果這些熱電偶不能反映準確的溫度讀數並提供更多的燃料，則能量傳輸的輻射分量的影響可能很大。此外，含有可燃物質的結構構件的測試可直接影響來自熱電偶的溫度讀數，因為它們可能被燃燒測試樣本的火焰包圍，而不僅僅量測標準規定的爐溫。據報告，根據英國兩個不同耐火爐的測試，這些特性導致相同測試樣本的指定 FRR 有 30% 的差異。

### 2. 結構構件在測試爐中之載重與束制之影響

通常，標準測試要求被測試的結構元件被加載到構件的最大允許應力。允許應力是建築物使用壽命期間結構構件預期的靜載重與活載重的組合。然而，按照現代設計理念，結構部件的尺寸通常大於服務負載所需的尺寸。其意義在於，發生火災時構件的實際負載可能與用於確定 FRR 的標準測試所用的實際負載不同。

因此，由於負載不同，實際構件在實際發生火災時可能無法按照預期進行測

試。建築規範要求給定建築物中的所有結構構件都得到相同的 FRR，而不管實際的服務負載如何，這一事實進一步複雜化。無論是建築規範還是分析單個建築構件的標準測試，都無法解釋單個結構構件發生失效時發生的載重重新分配問題。

標準測試還要求結構構件以與實際使用條件類似的方式限制在端部或側面。這一點很重要，因為端部限制在標準測試中的結構構件的性能中起著關鍵作用。例如，已經顯示，具有旋轉和位移端限制的梁具有比無限制梁更大的 FRR。在此的意見是，最終束制的類型很難從一個爐子測試控制到另一個，只有很少的實驗室能夠限定真實的最終束制程度。

由於在 ASTM E119 中對束制條件和無束制條件的要求沒有明確定義，因此在使用耐火爐測試設計解決方案時，由於無法適當調節現場實際應用的端部束制結構，所以更加值得關注。例如，現場可能使用不同的連接螺栓，或者焊接技術可能不一樣。這也是一個問題，因為被測試的組件僅用於一個端部束制條件，而這並不能解釋在現場可能會遇到的組裝技術的變化。因此，無法準確預測現場安裝組件的輕微變化對總體 FRR 的影響。

基於 Cardington 防火測試的結果以及英國 Broadgate Development 的火災。在布 Broadgate 的例子中，大火開始於部分完整的 14 層高建築物，包括外露的鋼結構和凝土地面結構。在 Cardington 測試中，一棟 8 層樓的建築物具有相似的特性並進行了一系列的防火測試。儘管某些鋼結構發生變形和彎曲，但這兩棟建築都沒有倒塌。對 Broadgate 火災和 Cardington 測試結果的調查證實，多層建築的鋼架作為一個系統，而不是一系列單一元素。事實上，由於某些結構由於溫度升高而被削弱，弱化構件承載的載重被轉移到結構系統的其他部分。

### 3. 材料性質的影響

對結構構件/組件進行標準耐火測試。通常這個樣品被測試一次或兩次。這意味著被測試的結構構件/組件合理地代表了現場安裝的組件。這通常不是這種情況，因為通常存在材料特性的廣泛變化。例如，由 Fe E 240 製成的鋼樑在室



溫下的特徵屈服應力為 240 MPa，而屈服應力在實際中可高達 300 MPa。增加的強度導致更高的 FRR（即標準測試中的失效時間，在此例中溫度高 750°C）。

應該指出，在上面的例子中，材料特性的差異是有益的。然而，這種  $\geq 20\%$  的差異值得關注，因為它顯示標準測試中的性能與實際中可能合理預期的性能之間缺乏一致性，因此應該對標準測試的結果產生懷疑。

#### 4. 耐火爐構造的影響

先前已經指出，由結構構件吸收的熱量是爐內對流和輻射熱釋放率的函數。這些組件的基本表達式如下：

對流

$$q_c'' = h_c \Delta T$$

輻射

$$q_r'' = \varepsilon \sigma \Delta T^4$$

顯然，與由  $T^4$  組分引起的對流熱相比，輻射對結構構件整體熱輸入的影響是顯著的。考慮到實際爐溫與熱電偶測得的溫度差可能高達 100°C，可能會出現顯著差異。在這種情況下，假定爐內的實際溫度為 500°C，但測得的溫度為 600°C，實際入射到構件上的輻射熱通量將是基於測量溫度預測的輻射熱通量的 60%。

前面的部分是為了說明標準防火測試的可變性，並且無差別地憑藉建築規範規定的這些測試的數據值得重新考慮。事實上，其他人對可用的實驗數據進行了有限的審查，發現在不同的耐火爐中使用 ASTM E119 或同等測試程序測試的鋼結構柱和結構構件混凝土柱的結果變化高達 27%。再加上這樣一個事實，即在現場難以準確地重複耐火爐測試構件的實際工藝和構造，使用和分析方法可能會消除這些問題中的一些。

SteelConstruction.info，名義上非常相似的耐火爐可以在測試中給出非常不同的結果。有許多的原因，首先是可以使用不同的控制機制，通過例如熱電偶量測溫度的耐火爐將對變化作出非常快速的響應，特別是在測試的早期階段，並且僅

需要每單位溫度變化的燃料輸入量的小幅增加。另一個極端是平板測溫計，這給耐火爐提供了一個大面積的反應比熱電偶慢得多；因此，為了使平板測溫計快速響應，需要向耐火爐中輸入比通過熱電偶控制所需的量更多的能量。因此，用較大，較重的熱電偶控制的耐火爐的試驗將比那些由較小的，響應性更好的熱電偶控制的耐火爐嚴格得多，儘管兩者名義上都遵循相同的時間溫度關係。

為什麼明顯相似的測試給出了非常不同的結果的第二個原因是使用的燃料，這通常是天然氣或汽油，燃氣爐通常產生一個清潔的環境，其中主要的傳熱機制是從爐壁到試樣的輻射，燃油爐可產生充滿白熾碳顆粒的環境，其在比壁更高的溫度下輻射到樣品上。因此，燃油燃燒爐將比燃氣等同物更為嚴重。

其中最明顯的是標準火災測試中時間 - 溫度關係的性質，與大多數真實火災中發生的事情幾乎沒有關係，可以看出（標準）火災中的溫度迅速上升，然後無限增加，實際上這幾乎肯定不會發生，在真正的火災中，一旦可燃材料（火災負荷）被消耗，火將衰變和/或移動。

區劃中火災的嚴重程度也與火載量和通風有關，在標準的防火測試中都不考慮，真正的火災是火載量或通風控制，具有低火載量的區劃中的火災不可能對結構完整性造成威脅；同樣的，如果火災發生在高火載量但通風量很低的區劃內，則不會威脅到其結構。但是，這兩種情況都可能對生命構成威脅。

通風會影響真實建築區劃中的火災通常不會在所有嚴重程度最嚴重的地方發生。相反，在火載量和通風平衡的情況下，火災會最嚴重地燃燒，使其有效地達到最佳效果，然後繼續前進。這意味著，在許多火災中，建築物的有限區域可能隨時受到全面的火災影響，然後才會受到限制。在具有水平（樓板）區劃的多層建築物中，火勢最有可能從起始點移動到最佳通風點（可能在窗戶附近），並且當燃料在這些地方被消耗時進入通風不足的地方。這就是說，當一段時間的火災消耗一個區劃時，區劃內部分的結構很可能在整個時間內不會受到最大程度的火災。最近的研究表明，移行火災通常可能不那麼嚴重，假設吞沒整個區劃的火災，但是在某些情況下，可能會在區劃樓板上產生不均勻的加熱，從而導致建築

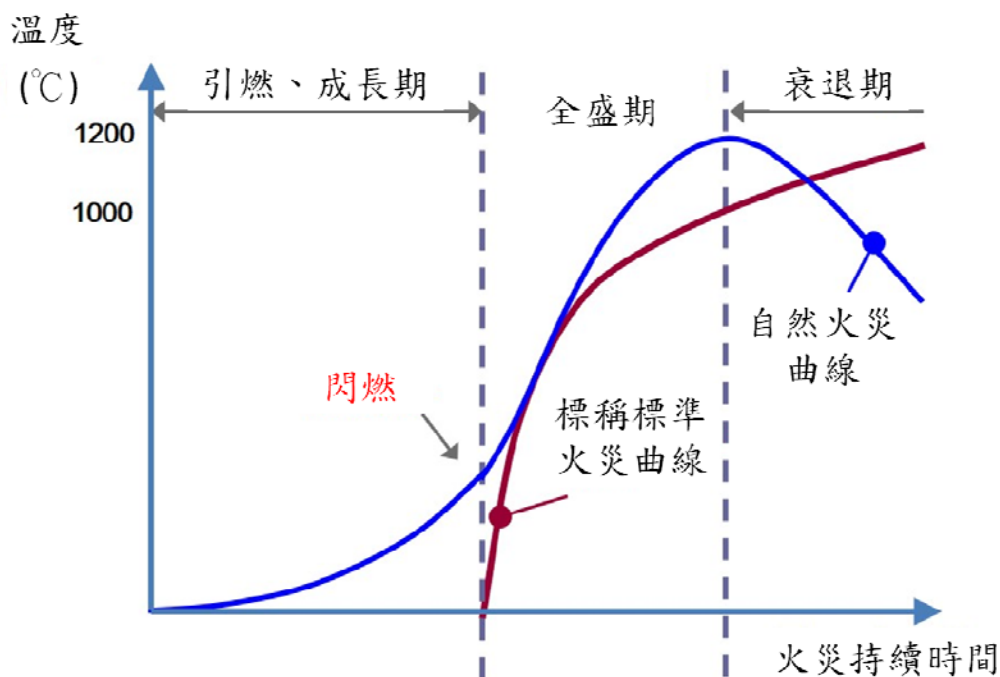
物內的失效機理，這可能不會發生如果均勻的溫度應用。

例外情況可能發生在建築物內有大而開放的通風良好和高火災的房間，例如一個單層建築用於儲存，火災可以以同樣嚴重的程度覆蓋整個房間。在真實火災中的牆裝修也對嚴重程度有重大影響，這在標準的防火測試中也沒有考慮到。重質、高密度的牆壁比低密度的牆壁可能吸收更多的能量，這將減少火災的嚴重程度。

但標準的防火測試與真實火災之間的最大區別可能在於連續性的影響。英國的標準防火測試通常是執行在個別，簡支承的結構元件上進行的。真正的建築物由連接組件組成，特別是現代複合鋼承板樓板結構是有效連續的。1990年在倫敦Broadgate第八期的複合鋼承板建築中，Cardington大尺度火災試驗和鋼結構研究所對此進行的一項調查（見SCI P113）表明，這種通用結構框架系統固有的耐火性遠遠大於使用標準防火測試所顯示的。特別是在Cardington大尺度的防火測試中，顯示出在不到20分鐘的時間內，在簡支承的標準防火測試中失效的未受保護的梁可以在嚴重的自然火災中存活一個小時以上的防火性能。這一發現是現代結構防火工程的基礎。

倫敦Broadgate 8期火災發生後，這座建築物只受到部分保護，根據各項元素測試的結果應該已經崩潰了。但是，並非如此，且表現出相當強勁。過去三十年來，世界各地都進行了大量的自然火災測試（即使用通常在建築物中可能發現的材料構成的火載量的測試），其中絕大多數是在鋼結構建築物。一些早期的大規模自然測試是在露天的停車場上進行的。結果顯示，這些建築物中的火災並沒有從汽車傳播到汽車，從而產生熱量和輻射程度，從而威脅到結構。作為這些測試的直接結果，在英國引入了15分鐘的結構防火要求。歐洲建築鋼結構公約對整個防火測試的細節進行了整理和發布。

František(2009)，標稱標準火災曲線優點和缺點：有局限性、不基於真實的火災數據(圖2-33)、試驗重複性困難、沒有冷卻階段、均勻加熱及使用氣體溫度“不公平”；但是，廣泛使用、可以用於粗略比較產品。



(資料來源：9-2. Fire behavior and thermal response)

圖 2-33 標準的火災測試與真實火災中的時間 - 溫度關係相比較

Babrauskas(2006)，可惜的是，不難發現火災調查人員通過查找手冊值來估計火焰溫度，從而證明為絕熱火焰溫度，然後根據比較火焰溫度與材料熔點等情況，說明一些材料是否可能熔化，軟化，喪失強度等。這篇簡短的論文的目的是指出這樣做的謬誤，並提出一些更合適的信息以進行更現實的評估。

首先，必須指出，高精度量測火焰溫度是相當困難的，許多燃燒研究科學家已經投入數十年來研究這項任務。困難來自兩個來源：(1)儀器的侵入性；和(2)由於量測的時變性質造成的解釋困難。非侵入式（例如光學雷射技術）方法是可用的，但是這些方法難以製造並且昂貴，並且通常不用於研究建築火災。在大多數情況下，熱電偶用於溫度測量，這些有許多潛在的錯誤，包括表面反應，輻射，逆行損失等等。對有害火災最感興趣的火焰是動蕩的，這段時間的波動給量測及解釋帶來了巨大的困難，這種火焰在小”封包”裡移動；因此，單個位置處的量測返回流過的數據封包的反應和未反應的複雜平均值。

即使對火災進行仔細的實驗室重建，也不能引入燃燒科學家進行基礎研究調

查所使用的那種詳盡的溫度量測技術。因此，必須記住，火災溫度在應用於建築物火災量測的情況下可能相當不精確，並且它們的錯誤沒有很好表徵。

在討論火焰溫度的細節之前，重要的是要區分一些主要的火焰類型。火焰可以分為4類：

- 層流，預混
- 層流，擴散
- 湍流，預混合
- 湍流，擴散

層流預混火焰的一個例子是本生燈火焰。層流意味著流線流暢，不會顯著周圍亂跳。幾秒鐘拍攝的兩張照片將顯示幾乎相同的圖像。預混合是指在燃燒區發生之前將燃料和氧化劑混合。

大多數湍流預混火焰來自工程燃燒系統：鍋爐，熔爐等。在這種系統中，空氣和燃料在某些燃燒器裝置中預先混合。由於火焰是動蕩的，所以兩張連續的照片顯示出明顯不同的火焰形狀和位置。

大部分不受歡迎的火災屬於湍流擴散火焰。由於不存在用於混合燃料和空氣的燃燒器或其他機械裝置，所以火焰是擴散型的。

當為“火焰溫度”討論燃燒教科書時，通常會發現絕熱火焰溫度的表格。“絕熱”意味著不失熱。因此，這些溫度將在沒有損失的（虛構）燃燒系統中實現。即使現實世界的燃燒系統不是絕熱的，為什麼這樣的表格很方便的原因是因為這些溫度可以從基本的熱化學考慮因素計算出來：火災試驗不是必需的。例如對於空氣中的甲烷燃燒，絕熱火焰溫度為 $1949^{\circ}\text{C}$ ，而丙烷則為 $1977^{\circ}\text{C}$ 。木材的值幾乎與丙烷相同。事實上，絕大多數在空氣中燃燒的有機物質的絕熱火焰溫度幾乎沒有區別。這些溫度遠高於插入建築物火災中的任何熱電偶的溫度！

為了方便起見，可以將湍流擴散火焰細分為兩種類型：開放式火焰和室內火災，首先會考慮明火。

討論這個話題的起點可以是已故博士麥卡弗里的工作，他在湍流擴散火焰中進行了大量的溫度量測。他用“池火”模式（即非預混合）使用燃氣燃燒器，並研究了這種火焰的各種特徵，他在這樣的火羽流中描述了三種不同的狀態：

1. 略高於火焰底部開始連續火焰區域，這裡溫度恆定，略低於 900°C。
2. 固體火焰區域上方是間歇火焰區域，在這裡，當羽流移動時，溫度不斷下降。

可見的火焰尖端對應於約 320°C 的溫度。

3. 最後，火焰尖端之外是熱羽流區域，在那裡不再有火焰可見，並且溫度隨著高度不斷下降。

通常發現調查人員認為與某一溫度火焰相鄰的物體也會具有相同的溫度，這當然是不真實的，如果火焰與最初處於室溫的物體交換熱量，則該物體需要一定的時間才能升至與火焰“接近”的溫度。

高崇洋(2008)，建立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。



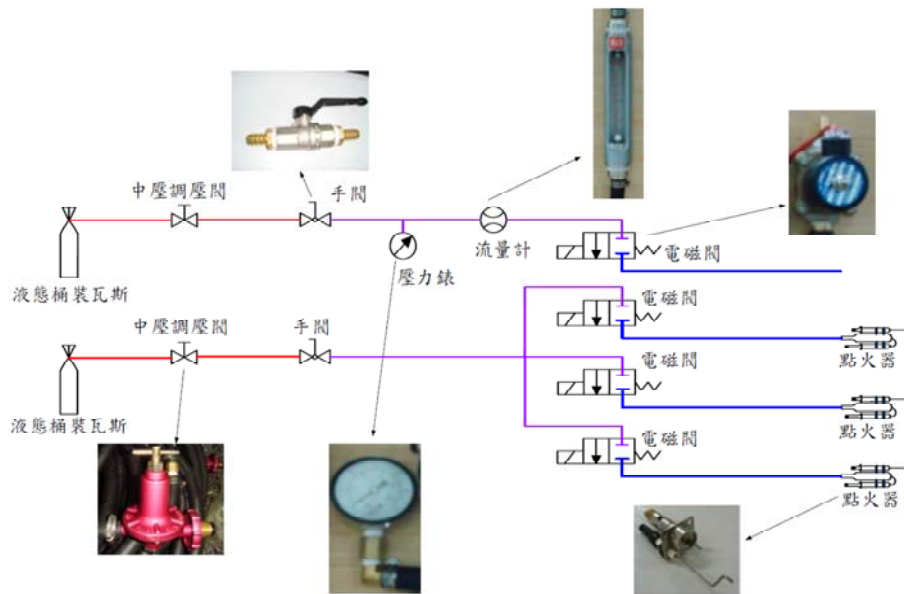
(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-34 火災模擬器



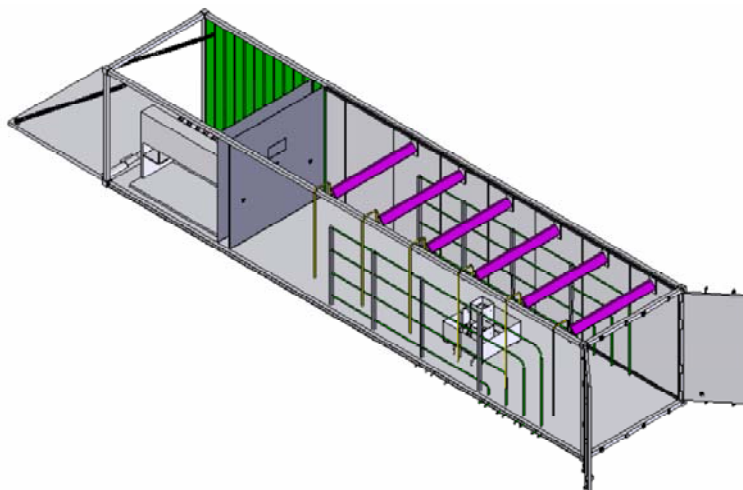
(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-35 消防署於新竹設立之火場訓練系統



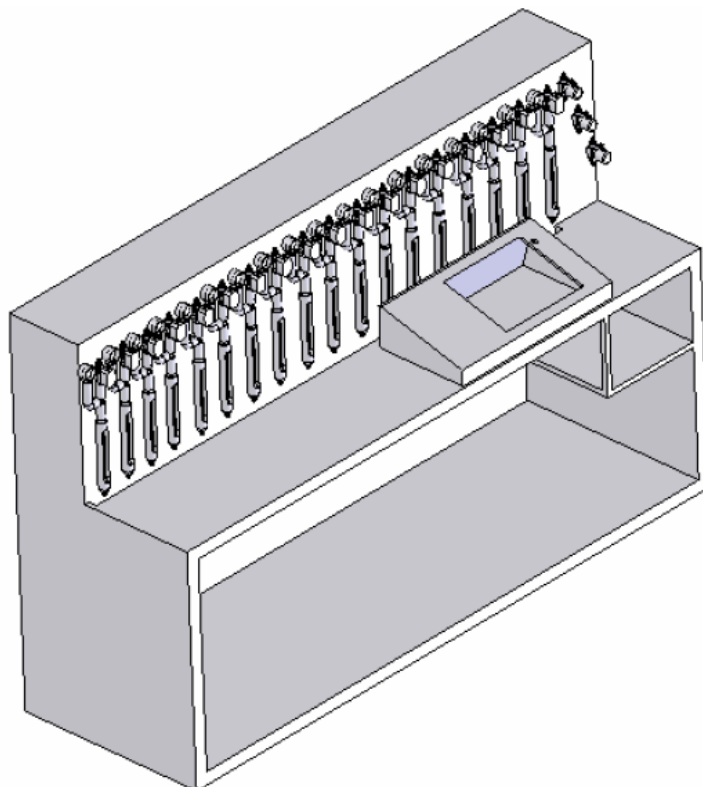
(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-36 貨櫃型式火災模擬器點火控制迴路圖



(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-37 貨櫃型式火災模擬器火災模擬器



(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-38 貨櫃型式火災模擬器人機控制台





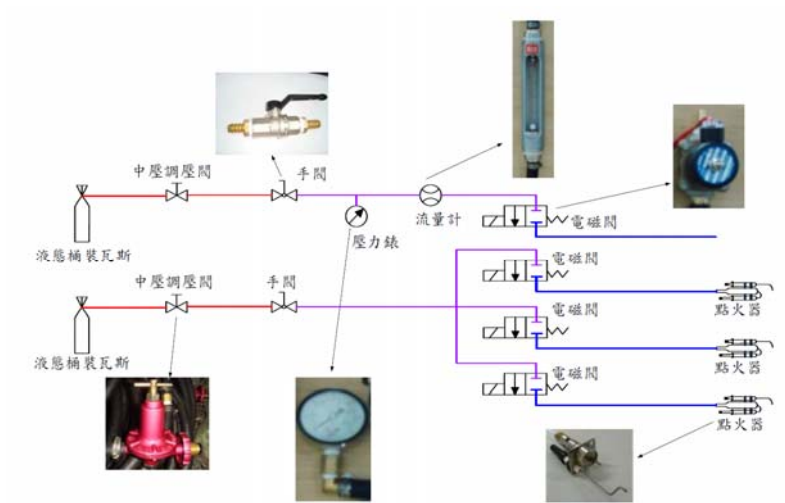
天花板燃燒管

左、右側燃燒管路

方型油槽

(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-39 貨櫃型式火災模擬器燃燒器



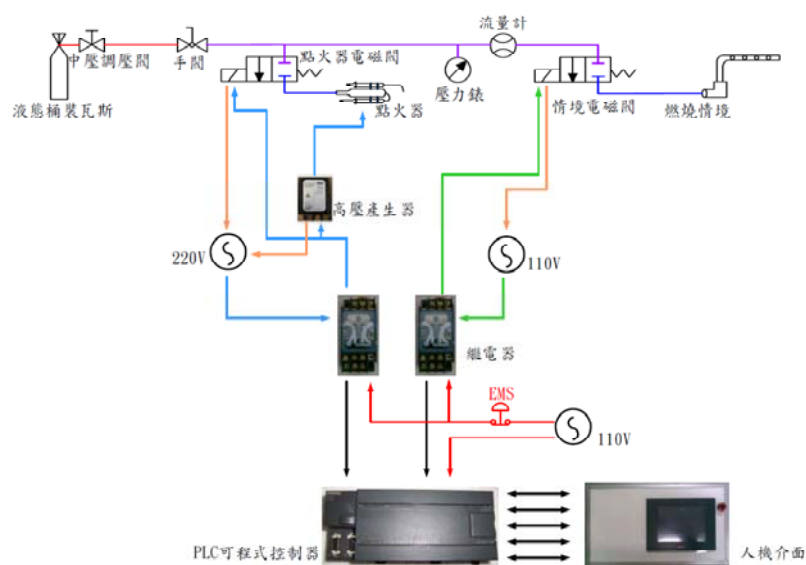
(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-40 貨櫃型式火災模擬器點火控制迴路圖



(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-41 貨櫃型式火災模擬器控制迴路圖



(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-42 貨櫃型式火災模擬器電氣控制迴路圖



方型油槽燃燒

天花板燃燒管燃燒



左右側管燃燒

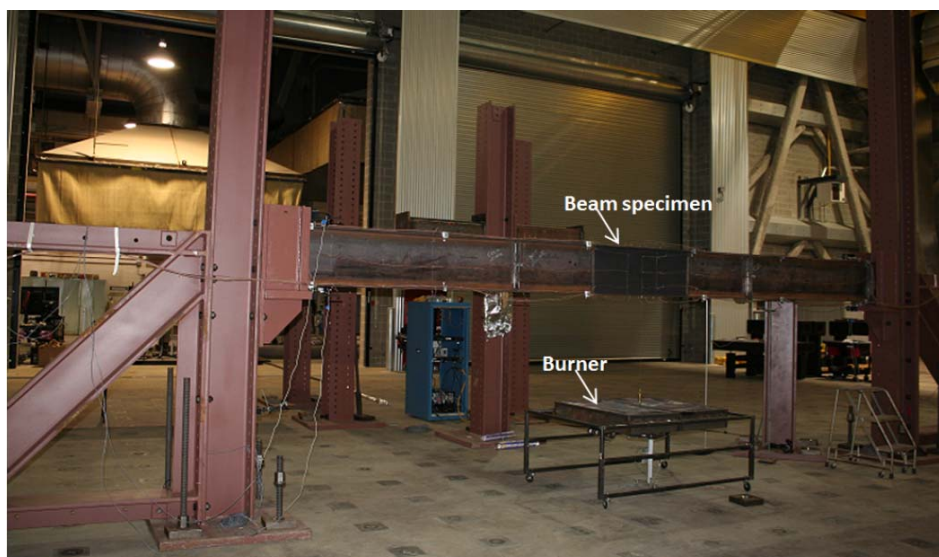
全部情境燃燒

(資料來源：火災模擬器商品化雛形設計與製作)

圖 2-43 貨櫃型式火災模擬器測試

Chao(2017) 設計試驗火災具有挑戰性，因為如何進行局部火災來檢驗鋼構件性能的指引有限。關於模擬區劃火災中結構的可用試驗數據，例如Kirby 和 Vassart et al.，對於研究火災結構的性能很有價值，但對於設計可控及可量測的火災之實驗室試驗幾乎沒有提供任何資訊，因為之前的結構火災試驗很少量測最重要的火災參數 - 熱釋放率。

設計容量為1MW的1m<sup>2</sup>的天然氣燃燒器位於梁試體的中心下方以施加火荷載(圖2-44)。可以調節熱釋放率及從燃燒器表面到梁試體的距離。在該試驗中，沒有施加結構載重，並且從燃燒器表面到梁試體的下翼板的距離約為1.2m。設計的目的是確定一個熱釋放率時間曲線，以使試體達到最高溫度500°C。



(資料來源：Engineering Approach for Designing a Thermal Test of Real-scale Steel Beam Exposed to Localized Fire)

圖 2-44 實驗設置

參考文獻中描述的理论模型，被用作一種簡單的方法來計算火源上方水平表面的熱輻射，如圖2-45所示。在這種方法中，火流柱體積由一個圓柱表示。圓柱體的直徑取火源的當量直徑，圓柱體的高度作為試體底部的高度，火焰和煙霧假設為灰色，並具有相同的放射係數， $\rho \kappa$ 。圓柱水平橫斷面的溫度假設為均勻的，並被視為根據參考文獻計算的火焰中心線溫度。根據該模型，試體底部接收到的熱輻射是

$$E(H) = \int_0^H E_z dz \quad (1)$$

在此

$$E_z(dz) = (1 - \alpha)F\varepsilon\sigma \times (T_g + 273)^4 \quad (2)$$

其中

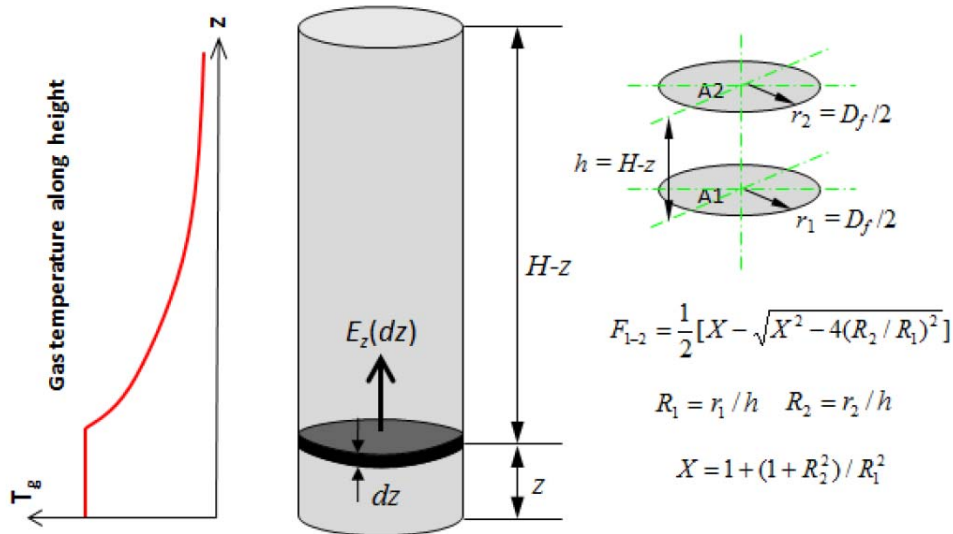
$$\alpha(H - z) = 1 - e^{-\rho \kappa(H-z)} \quad (3)$$

以及

$$\varepsilon(dz) = 1 - e^{-\rho \kappa dz} \quad (4)$$

其中  $(H - z)$  是高度為  $H - z$  的圓柱體積的吸收率； $\varepsilon(dz)$  是高度為  $dz$  的圓柱體積的放射率； $\sigma$  是史提芬-波茲曼常數，取為  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K}^4)$ ； $T_g$

為中心線氣體溫度；F為由圖2-45中的等式計算的兩個平行的圓形表面之間的視角因數。



(資料來源：Engineering Approach for Designing a Thermal Test of Real-scale Steel Beam Exposed to Localized Fire)

圖 2-45 計算局部火災中水平分量輻射的理論模型

根據方程1，試體底部暴露表面的有效黑體溫度可定義為：

$$T_{\text{beff}}(H) = \sqrt[4]{\frac{E(H)}{\sigma}} - 273 \quad (5)$$

暴露表面的溫度不能超過計算的有效黑體溫度

表 2-4 簡單模式計算

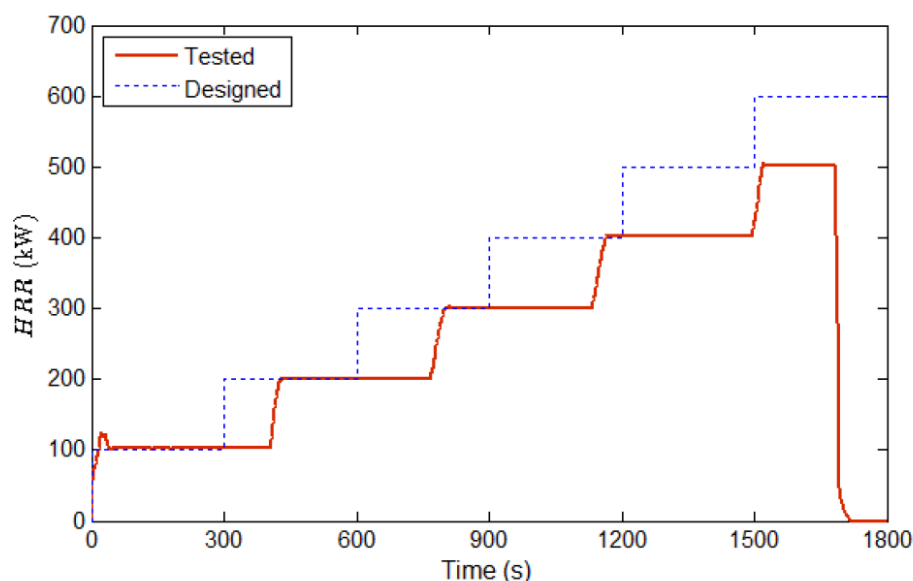
HRR(kW)	200	300	400	500	600	700	800	900
L <sub>f</sub> (m)	0.81	1.16	1.44	1.68	1.89	2.09	2.27	2.43
T <sub>g</sub> (1.2)(°C)	318	457	602	757	923	1101	1210	1210
T <sub>beff</sub> (1.2)(°C)	336	498	665	831	983	1099	1126	1126

(資料來源：Engineering Approach for Designing a Thermal Test of Real-scale Steel Beam Exposed to Localized Fire)

圖2-46顯示了熱試驗量的熱釋放率曲線，還提供了每5分鐘增量為100 kW的階梯式熱釋放率曲線供參考。在試驗中，燃燒器的氣體流量是手動控制的，測得的熱釋放率曲線沒有充分符合設計的階梯曲線。加熱試驗在點火後約1685秒停止，



當熱電偶測得的溫度達到約 $500^{\circ}\text{C}$ 時。當時，量測的熱釋放率約為 $500\text{kW}$ ，這與數值預測一致。



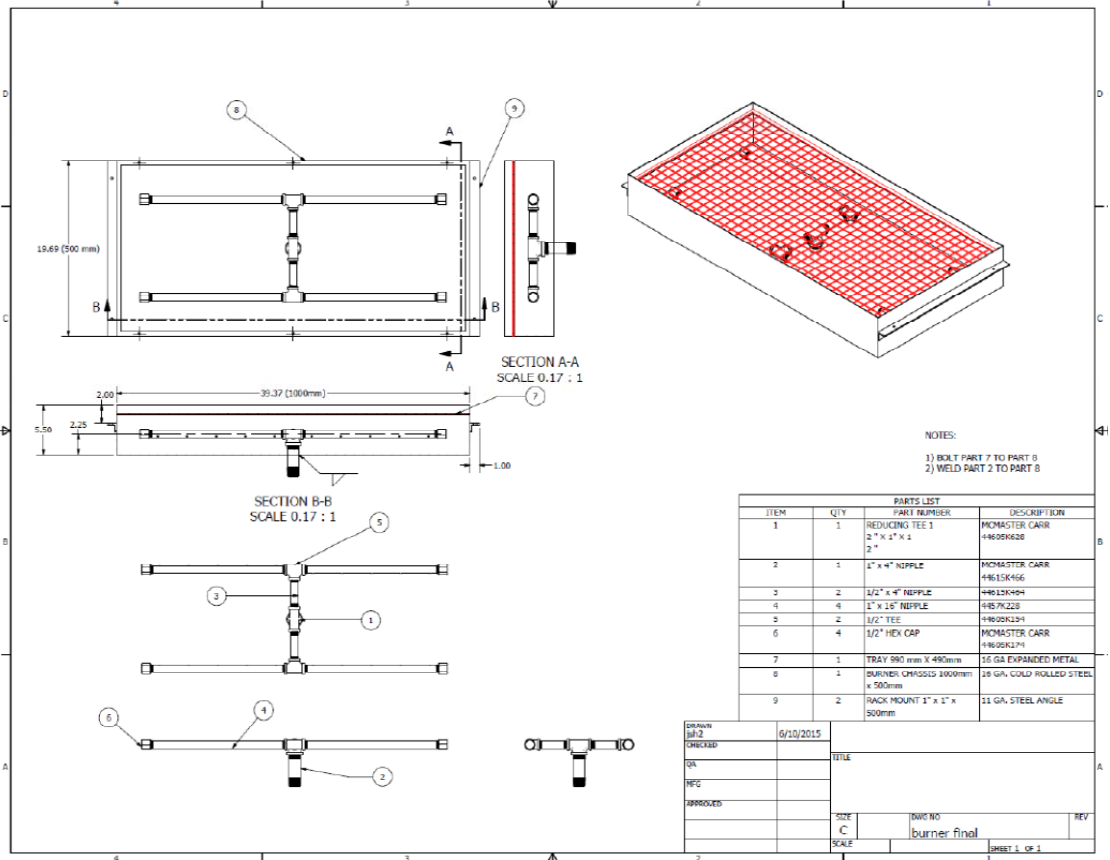
(資料來源：Engineering Approach for Designing a Thermal Test of Real-scale Steel Beam Exposed to Localized Fire)

圖 2-46 量測 NFRL 調試熱試驗的熱釋放率

Lisa(2018) 這個新製作的設施使研究人員能夠：(1) 探索創新的火災 - 結構相互作用特徵量測技術；(2) 發展於實際火災和機械荷重下結構組件和系統性能的實驗資料庫；(3) 確認用於預測結構耐火性的物理基礎計算模式 (4) 建立結構耐火性設計性能標準，(5) 促進設計和施工的創新。

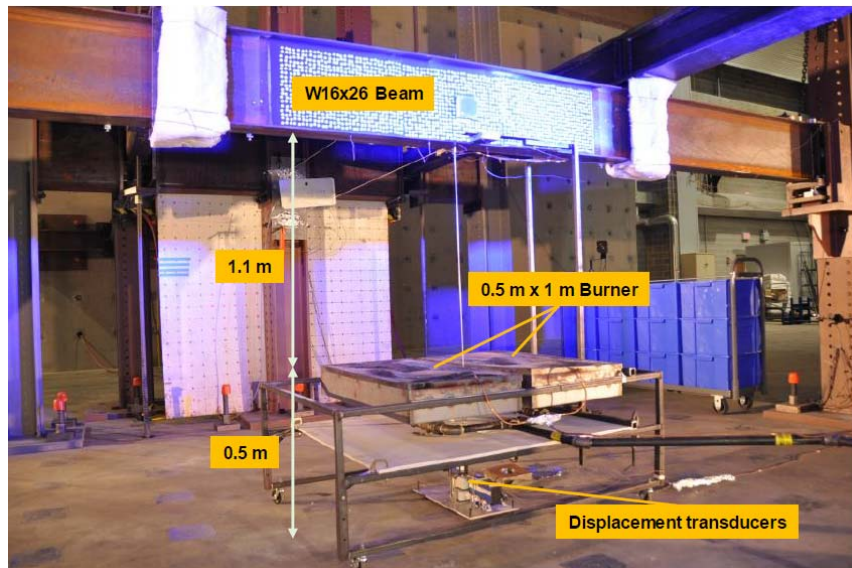
使用由天然氣燃料輸送系統提供的擴散燃燒器來控制火災，瓦斯流量由計算機控制器氣動閥控制，使用容積式旋轉流量計，壓力計和熱敏電阻量測瓦斯質量流率，天然氣的能量值是根據前幾年氣相色譜測量的氣體組成的歷史平均值確定的，沒有量測這些實驗的氣體組成。

燃燒器由兩個不銹鋼金屬盒製成，每個盒子的尺寸為 $0.5\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。燃料入口管位於燃燒器箱的底部，鋼絲網被用來保持毯子的位置，圖2-47顯示了燃燒器設計的詳細圖，燃燒器箱的組裝使得兩個箱之間有 $25\text{mm}$ 的間隙，以便為位移量測提供空間。



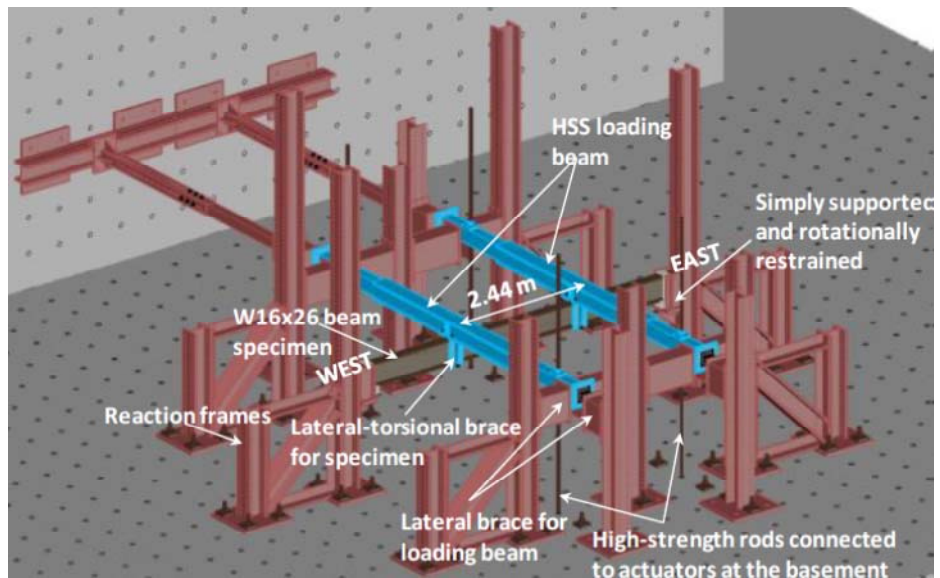
(資料來源：National Fire Research Laboratory Commissioning Project：Testing Steel Beams under Localized Fire Exposure)

圖 2-47 燃氣燃燒器組件的詳圖



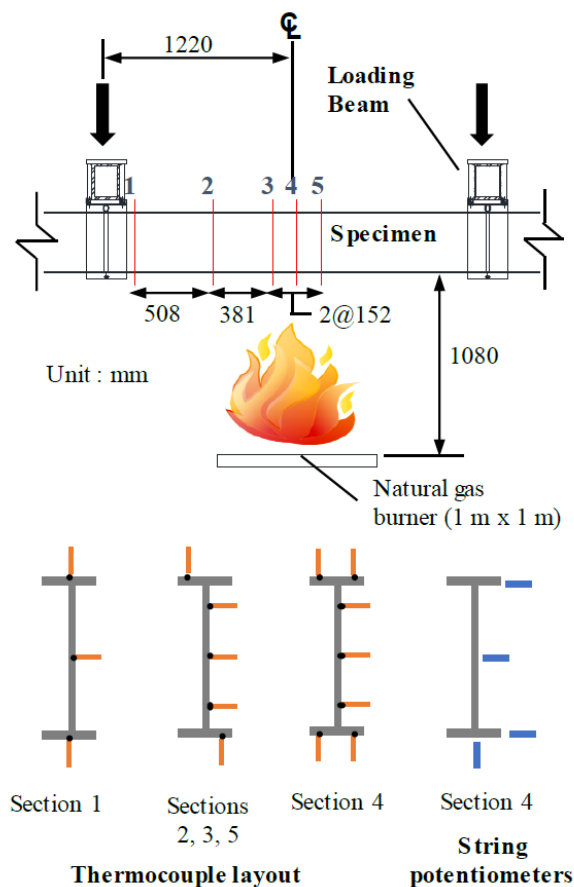
(資料來源：National Fire Research Laboratory Commissioning Project：Testing Steel Beams under Localized Fire Exposure)

圖 2-48 在測試設置中的燃燒器的照片



(資料來源：Localized fire tests on steel beams with different end restraints)

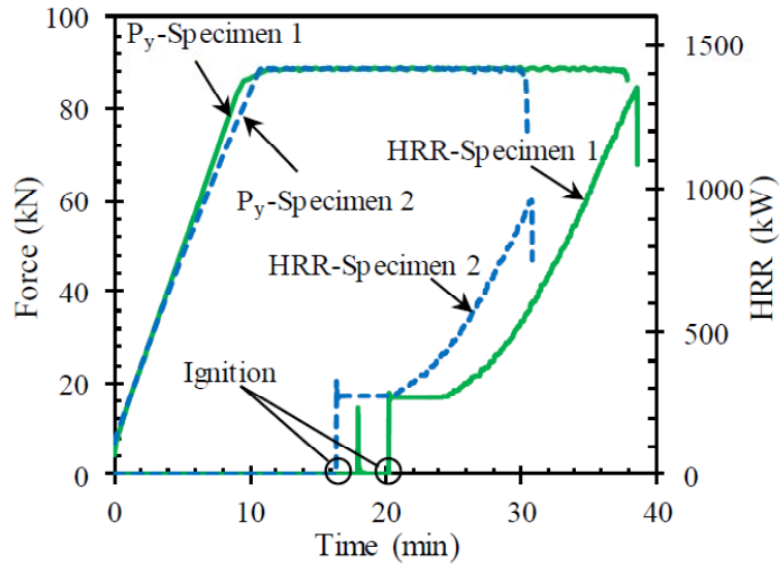
圖 2-49 在反力地板上豎立測試裝置的示意圖



(資料來源：Localized fire tests on steel beams with different end restraints)

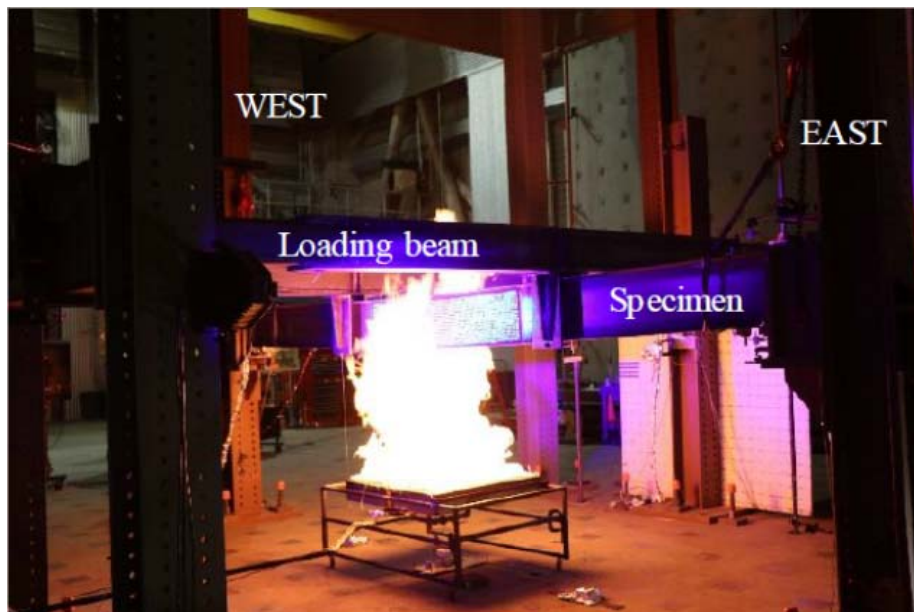
圖 2-50 熱電偶及變位計位置





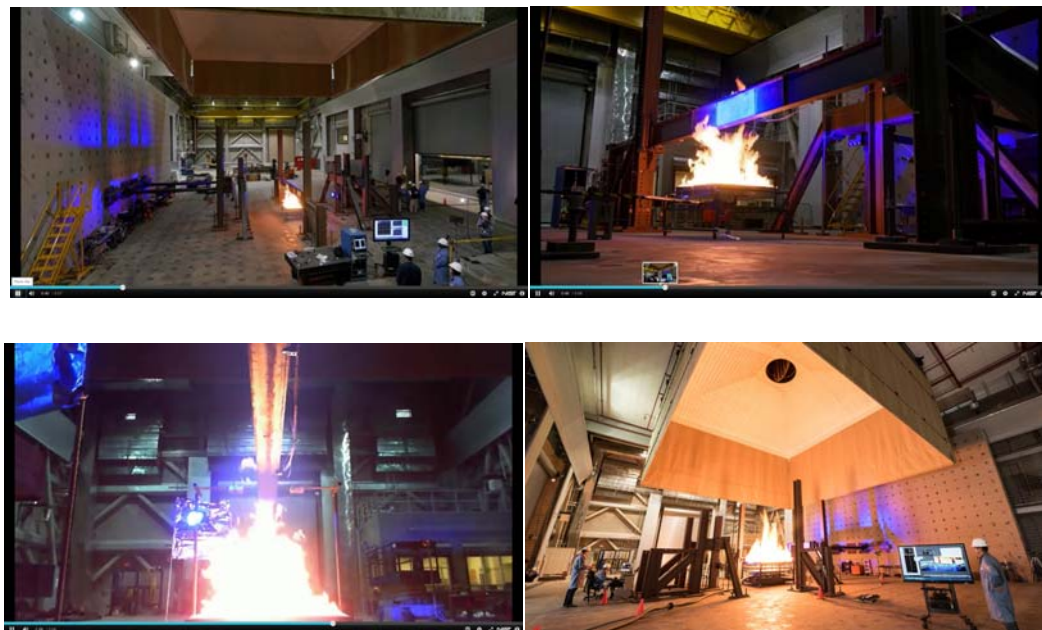
(資料來源：Localized fire tests on steel beams with different end restraints)

圖 2-51 量測 HRR 及平均點載重(Py)



(資料來源：Localized fire tests on steel beams with different end restraints)

圖 2-52 試體在結構及熱荷載



(資料來源：<https://www.nist.gov/topics/fire>)

圖 2-53 試驗過程

#### 第四節 熱煙試驗火源探討

建築火災中，煙氣是對人員危害最大的因素。據統計，火災中 75%~85% 的死亡人員是由煙氣造成的。因此，火災發生時，應盡快將煙氣排出，阻止火災和煙氣蔓延，這就需要建築的煙控系統能夠有效地對煙氣進行控制，以幫助人員安全逃生。

目前國際間最為廣泛使用之 AS 4391 (Smoke management systems- Hot smoke test) 測試規範，及我國於 2016 年 10 月所公告實施之 CNS 15937 (煙控系統性能現場驗證法-熱煙試驗法) 乃於進行現場熱煙試驗時，採取火場強度與熱煙分離(decouple)之方式。亦即，於進行 5 MW 之火源大小之熱煙實驗，並不須要真正以燃料燒出 5 MW 大小之火場強度，而只須要能產生出 5 MW 之相對等量之發煙量以進行煙控性能之測試即可。也因此，其實驗場所之火場強度與溫度、幅射強度等，皆得以大幅度降低對於試驗環境之影響。且因此可選取對環境無害之發煙系統為之，因而大大增強其實際應用之可行性。

鄧伊婷(2017)以國立海洋科技博物館為例，煙控性能涉及防火避難安全，而數值模擬驗證有使用上之限制；如 FDS 僅適合直線幾何圖形，特殊造型建築物可能有誤差，且外在環境因素也可能造成數值模擬產生誤差，因此建議部分建築物於竣工勘驗實施全尺寸驗證，如特殊構造面積達一定規模以上建築物、建築受東北季風等天氣因素影響或審議委員認為有必要進行全尺寸熱煙試驗之場所，確保防火避難之安全。

蔡銘儒(2013)整理依據 AS 4391 所近行之試驗，其火源主要遵循標準規範之甲醇為燃料，近年蘇崇輝(2017)國立海洋科技博物館及楊冠雄高雄衛武營藝術文化中心新建工程之火災全尺度煙霧測試，亦仍以甲醇燃料作為火源，祝實等(2008)進行熱煙測試的基本要求是不要對建築物造成損害，否則這種方法就難以採用，一般火災燃燒對建築物的損壞主要有兩種情況：一是火源本身對周圍的影響；二是熱煙氣的影響，姚斌等(2011) AS 4391 熱煙測試標準，模擬火源採用了甲醇作為燃料，在鋼製的燃料盤中燃燒，外包水浴保證燃燒的穩定性。在實際應用中，現有裝置在以下方面存在明顯缺陷：

- (1) 現有的裝置採用甲醇作為燃料，由於甲醇具有一定的毒性，在使用中如果誤入口、眼，將對實驗人員造成嚴重傷害，燃燒產生的甲醛和甲酸也對健康不利；同時，甲醇池火在應用過程中也可能出現洩漏、傾覆等意外情況，引發火勢蔓延，導致事故災難。
- (2) 甲醇池火的功率主要尤其面積決定，一定面積的池火對應一定的火源功率，火源功率無法連續可調。若需要多個不同功率的火源，則需要製作相應個數不同面積的甲醇池火盤，使用、攜帶均不方便；燃燒過程難以控制，若加入的燃料量較少，則可能難以保證足夠的燃燒時間，若加入過量，則再已達到試驗目的時又無法將其中途熄滅。

Guanchao(2012)，建築消防管理系統的調試方法之一是熱煙霧測試，其中燃燒液體燃料以產生與人造示踪劑煙霧混合的浮力煙霧來模擬火災煙霧。該方法成本高昂並且經常引起安全問題。

Guanchao(2014)，在 HST(Hot Smoke Test)中使用實際火災需要仔細控制火源和熱煙，以避免損壞建築結構。同時，安全評估和保險往往會提高 HST 成本。因此，建築物業主往往不贊成 HST，因此大多數建築規範並不強制要求 HST。

Pospisil(2014) 一個完全不適當的概念或系統可能會持續很長時間，因為從來沒有經過真正的測試。許多安全系統(例如隧道通風設備)就是這種情況，這些安全系統是為非常事件而設計的，這些事情可能永遠不會發生 事實上，1999 之前設計的大部分隧道通風系統都不適用於防火通風。

事故發生時，幾乎從未運作的安全系統中的缺陷首先會被察覺到的，但為時已晚 - 失敗會造成災難性後果。因此，應盡可能真實地測試安全系統的所有功能和運作狀態，但需要做出合理的嘗試。經驗表明，在測試過程中，很多事情會發生變化，需要修正。

應該針對簡單的技術概念。錯誤率隨著複雜度的增加而增加，整體安全性降低。最重要的是要明白，測試的目的不是要證明一切正常，而是要找到要消除的錯誤。沒有測試過的東西不能被認為是安全的。雖然測試成本相對較低，但由於任何項目最後階段的持續時間壓力和財務捷徑，測試往往被忽略。

測試程序的一個重要部分是逼真的煙霧測試。從煙，煙和熱的兩個主要影響來看，後者面臨顯著的結構性影響，如果沒有廣泛的，昂貴的保護措施就無法模擬。另一方面，煙霧殺死和傷害大多數人在火災事件中，並且它的傳播可以被相對容易地模擬和可視化。

應用於隧道安全設備測試的實際煙霧測試應滿足以下要求：

- 測試煙霧的物理特性，特別是光學密度應與真實車輛的情況類似。
- 產生的熱量不能使隧道內的結構和設備達到要求，但應引起熱浮力和煙霧層化。
- 對於毒性和可能的健康危害，測試煙霧必須是無害的。
- 測試煙霧不得有腐蝕性，不得在隧道中安裝的設備上留下任何沉積物，尤其是測量儀器和相機。

- 必須模擬隧道縱向空氣流動的邊界條件（流量，風力，浮力）。
- 煙霧檢測必須可靠地進行，即使在主動霧化抑制時也是如此。

應該簡單快速地進行測試，以執行許多不同場景的測試。

Tony (<http://www.fire-eng.co.za/Smoke%20stratification.pdf>)，火災事件的預警通常依賴於在火災發展初期發現燃燒產物。分層煙霧可能會影響提供火災事件預警的性能目標。隨著天花板高度的增加，需要更大尺寸的火源才能在相同的時間長度內啟動相同的探測器。鑑於此，火災探測系統的設計者要求火災探測器，應該考慮火災的大小以及在最終獲得探測之前可能允許發展的熱量釋放速率。當發生分層時，從火源傳輸的煙/熱可能無法到達安裝在火災上方特定高度的探測器。

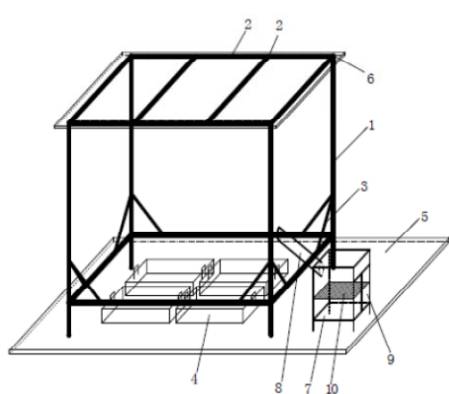
Chow(2011)，FDS 非常適用於防火安全工程；但是，還有很多事情要做，粗心應用這項技術會導致錯誤的結果，諸如美國核能管理委員會開始的那些工作的查證及確認研究很重要，全尺度燃燒試驗用於確認 CFD 火災場模式是必要的。

Chow(2009)，基於經驗公式或 CFD 設計排煙率存在不確定度，有必要在評估排煙系統的現場進行熱煙測試，設計指引中的經驗公式將經常被審查，建議通過系統的實驗研究來調整不規則高大中庭的參數，CFD 合理的具有太多可調參數，應通過更系統的實驗盡快開始查證與確認活動。請注意，大多數 CFD 預測僅適用於不是專門為此目的而設計的舊實驗。在這樣的現場測試中，總是會有關於確定煙霧或熱空氣層界面的爭論，特別是當觀察到的煙層非常接近商定的值時，目視觀察是最方便的方法。然而，對於不規則形狀的高大中庭，煙霧層不會那樣清晰，因此煙層高度的不確定度在 $\pm 0.5\text{m}$ 範圍內變化。推薦使用熱空氣（不是煙）層，以從熱電偶樹測量的垂直溫度分佈中推斷。這樣做時，熱空氣層界面用來確定具有形狀溫度變化的位置，當氣溫變化不明確時可能會出現問題。 $N\%$ 規則似乎非常合適，在評估安裝的排煙系統進行熱煙試驗之前， $N$ 值必須得到主管部門的同意。由於熱電偶間隔  $2\text{m}$ ，不確定度非常高，在未來的量測中，更多的熱電偶宜以更短間隔距離的間距。

Kashef(2003)，僅使用煙產生器並不代表火災，不考慮火災產生的熱量，這限制了火災現象的表示：

- 臨界速度取決於熱釋放率。
- 自然煙氣分層的穩定性，取決於溫度。

LI 等人(2017)，實驗中使用了火災模擬裝置作為火源(圖 2-54)，在這個測試中，燃料是 75%乙醇，此裝置為史聰靈等人(2013)大陸的發明專利，並納入大陸安全產業行業標準「城市軌道交通試運營前安全評價規範」附錄。



- 1- 保護性支柱人為構造；2 屏蔽橫向；3 屏蔽連接組件；4 油盤和水浴盤；  
5 防火板；6 鋼板；7 煙盒箱體；8 圓管；9 門；10 鋼絲網；

(資料來源：Experimental Study on Evaluating Smoke Control System Performance in a Transfer Station)

圖 2-54 熱煙測試設備示意圖

綜上，熱煙試驗火源產生的熱量必須安全，且不會破壞建築結構與裝修，但應引起熱浮力和煙霧層化，以及可達 NFPA 92B N%規則，以下除了 AS 4391 及 CNS 15937 規定之甲醇燃料為火源外，目前國際上使用替代池火火源分為漂浮氣體與燃氣燃燒器，分別整理概述如下。

#### 一、漂浮氣體

Eklund(1990)，氮氣的添加不僅提供了浮力，而且還提供了氣體膨脹的模擬，氮氣分壓與環境壓力之間的關係是氮氣與氮空氣混合物的體積之間的關係，在空氣中 50 體積%氮氣的混合物具有與加熱至 475°F (935°R) 的空氣相同的密度。

針對飛機應用開發並測試了一台漂浮的煙霧發生器，該裝置在 475°F 時以每分鐘 200 立方英尺的生產率模擬熱空氣羽流，這是一個與 2 加侖每小時燃油燃燒器的產量相當的來源，並且通過混合每分鐘 100 立方英尺的空氣和氦氣來實現。

Eklund(1991)，通過向其添加氦氣或其他比空氣輕的氣體，可以改變煙霧的密度以模擬任何期望的火災煙霧溫度，產生冷煙的煙霧發生器，具有火災產生的煙霧的漂浮特性，其發明是一種用於模擬在任何所需溫度下燃燒的火和燃燒產物而不釋放任何熱量的裝置和方法。

簡而言之，其發明是一種煙霧發生器，將氦氣或其它輕於空氣的氣體與由劇場煙霧發生器產生的環境空氣和煙霧混合，所得到的混合物的密度小於空氣的密度，因此混合物如同熱的那樣升高，增加混合氣中氦氣或其他氣體的數量會使其升高得更快，從而模擬更熱的火災，增加氦氣和空氣的總流量可模擬較大的火災。

氦 - 煙混合物的表觀溫度可以由下式計算：

$$H_e(\%) = 116[1 - T(\text{amb})/T(\text{app})]$$

T(amb)：進入模擬器的空氣溫度(°R)

T(app)：混合的表觀溫度(°R)

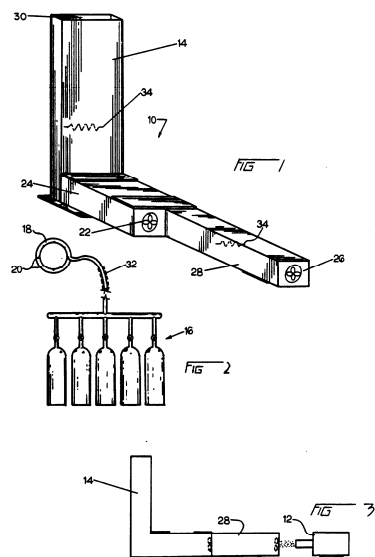
表 2-5 72°F (532°R) 的環境溫度氦氣百分比所代表之表觀溫度

He(%)	表觀溫度
37	325°F(785°R)(163°C)
44	400(860°R) (204°C)
50	475 (935°R) (246°C)
55	550 (1010°R) (288°C)
59	625 (1085°R) (329°C)

(資料來源：US4994092 Helium smoke generator)



U.S. Patent Feb. 19, 1991 Sheet 1 of 1 4,994,092



(資料來源：US4994092 Helium smoke generator)



(資料來源：Flight Deck Smoke Penetration Testing)

圖 2-55 設備示意圖

Guanchao(2012)，建築消防管理系統的調試方法之一是熱煙霧測試，其中燃燒液體燃料以產生與人造示踪劑煙霧混合的浮力煙霧來模擬火災煙霧，該方法成本高昂並且經常引起安全問題。

為了更好地驗證氦氣煙霧測試的理論模型和FDS模型，在1：26.5的縮尺建築模型中進行了實驗，雷射光片光學器件照射煙霧，然後記錄清晰的煙霧層高度，通過氦分析儀測量氦氣濃度，發現氦煙測試可以很好地預測各種火災大小的相應熱煙測試的煙層高度，在加拿大國家研究委員會建築研究所（NRC-IRC）的一個全尺寸建築測試設施和一條小規模公路隧道中進行的模擬演示證實了氦氣煙霧測試的應用。

純氦氣提供了浮力，但在氦氣羽流中不考慮空氣夾帶，在氦氣羽流中添加或不添加空氣仍然是一個問題，因為模擬煙霧羽流受到池火測試中的氣體溫度的影響。由於局限性，目前的研究主要集中在建模方法和定量分析，未來需要進行更多的理論研究，包括羽流溫度，空氣夾帶和動量效應。



通過研究熱煙霧測試和氦氣煙霧測試中的煙層高度，可以發現純氦煙表示煙霧填充過程以及熱煙霧測試中的良好結果；但是，應該重新檢查確定無煙層的方法。傳統上，火災實驗中的煙層是由兩個測量位置之間的溫度急劇變化確定的，當煙羽溫度不夠高或測量位置不夠時，發現該方法有其局限性，全尺寸實驗中的視覺檢查不實際，並產生不可預知的不確定性。

煙霧光密度被認為是煙霧遮蔽的實際測量，在我們的CFD模擬中，繪製煙霧光密度以顯示煙霧移動和清晰的煙霧層，但是在實際的實驗中，模擬使用的示踪煙霧總是很難再現；換句話說，實驗中使用的示踪劑煙霧在CFD模擬中也很難模擬。

熱煙測試具有一些局限性，包括保險和保護的高成本，氦氣煙霧測試為調試煙霧管理系統提供了更安全的方法，但是由於進行全尺寸測試時氦氣價格昂貴，氦煙測試的消耗和總成本不可忽略；因此，氦氣煙霧測試可能仍然限於實驗室規模或中等規模，在未來的研究中，諸如加熱氦氣煙霧測試等，開發新的氦氣供應設備和實驗方法需要做更多的工作。

Guanchao(2014)，在 HST(Hot Smoke Test)中使用實際火災需要仔細控制火源和熱煙，以避免損壞建築結構。同時，安全評估和保險往往會提高 HST 成本。因此，建築物業主往往不贊成 HST，因而大多數建築規範並不強制要求 HST。在過去的十年中，一些研究人員開始使用氦氣作為產生浮力羽流的替代方式，預計該羽流與實際的火焰煙霧類似。美國聯邦航空管理局 (FAA) 開發了一種標準測試程序，使用氦氣和空氣以相等的體積比混合，以便認證飛機艙內的煙霧探測系統。還發明了氦氣煙霧發生器來混合氦氣，空氣和戲劇煙霧，形成所需的浮力羽流，由於不需要火源，氦煙測試 (HeST) 方法比飛機機艙內的 HST 更安全，更方便，類似的方法也被應用於隧道通風，對於實驗室規模的隧道火災研究，討論了一個以羽流的浮力通量為中心的標度定律，通過對流熱釋放率 (HRR)，靠近天花板的煙氣溫度以及氦氣和空氣的密度差來確定保持與 HST 相同的浮力通量所需的氦氣和空氣的混合比例。然而，發現限制條件是氦氣和空氣混合物所需的總供

應流量不切實際，並且不能用於全面的設施。因此該方法僅適用於實驗室規模的測試。

在高度超過 20 米的中庭中，捲吸的空氣可能很重要，不應忽視。應該使用純氦氣作為與捲吸空氣混合的供給，並在 HeST 中實現所需的羽流。為了模擬 HST 中的 t 平方火災，可以使用混合箱在相應的 HeST 中生成類似的 t 平方曲線。在沒有混合箱的情況下直接釋放氦氣和人造煙霧混合物將導致恆定的氦氣流速，這可能與真實的火災情況不一致。總體而言，我們發現 HeST 能夠重現所研究的中庭中 HST 的煙氣填充過程。

Richard 等人(2014)，對真實火源的產物流進行模擬而無需再現與真實火源相關的熱環境的方法及和裝置，包括釋放具有密度小於空氣的適合密度的氣體或氣體混合物，以對來自真實火源的煙霧運動進行模擬。在一些實施方式中，飄浮氣體與人造煙霧例如示蹤氣體或惰性染料(例如微粒)結合來提供從釋放裝置釋放的替代煙霧的位置和流動特性的可視化表示。在另一實施方式中，顯示氣體密度差的光學技術用於將漂浮氣體的運行可視化，釋放裝置包括控制系統，其遵循規定的基於時間的流速，以對不同火源配置和生長速率進行模擬。

控制來自釋放裝置的加壓漂浮氣體的釋放，使得所述漂浮氣體的速度分佈與所述真實火源的速度分佈基本相同，由此，將所述漂浮氣體用作真實火源的燃燒產物流的替代物。

目前，在消防安全領域，需要對建築煙霧控制系統是否能夠如所設計地那樣發揮作用進行測試，由於使用大火源來測試這些系統並不實際，所以希望有用於測試上述系統的其他方法。目前，使用煙霧彈或其他類似發煙裝置來對煙霧管理系統進行測試，但這些技術缺乏真實感，所以在建築內部沒有產生可導致環境損害或破壞的顯著能量釋放的情況下，很難準確地再現驅動真實火源中的實際煙霧運動的浮力。

與煙霧管理系統的設計和安裝相關的標準需要驗收測試來測量所安裝的系統是否能夠符合特定性能設計標準。根據歷史情況，煙霧管理系統的驗收測試使

用從”煙霧彈”到真實火源範圍的多種火源/煙源。由於”煙霧彈”不能產生與真實火源產生的燃燒產物相同的浮力壓力差，所以使用從其生成的人造煙霧並不是實際可行的替代物。在驗收測試中使用真實火源具有明顯的安全性和財產保護問題，使得他們的使用不安全且不實際。因此，這些明顯限制不允許對所有的特定性能設計標準進行測試。

Littlewood 等人(2016)，由於熱氣體之間的密度差異，浮力會影響煙霧的移動煙霧和周圍空氣，以及由火災產生的熱量產生的空氣膨脹力。Van den Brink 通過實驗發現，在一分鐘的火災引燃期間，在 3.6m×2.4m×2.4m（長×寬×高）的峰值壓力達到 172Pa 的試驗室尺寸內。Van den Brink 也得出結論：在實際的建築火災情況下，壓力將超過 64 Pa。

用電加熱器或丙烷加熱器加熱煙霧的替代方案可以是使用與市售煙霧發生器混合的惰性氦氣，這可以產生浮力，因為氦氣對空氣密度較低，因此不需要使用加熱裝置。採用氦氣的方法已被用於測試飛機的排氣系統，並模擬火災應急情況下駕駛艙內的能見度。

已經通過建模對氦氣測試進行了多隔室建築配置的評估，結果顯示氦氣煙霧測試達到了與熱煙霧測試類似的煙霧層高度，但是氦氣煙霧流動速度比沒有氦氣熱煙霧更快地移動到上層。

使用氦氣煙霧法的主要缺點是氦氣的成本很高。然而，與熱煙或加熱煙霧測試相比，由於測試的安全性，此成本可能是合理的，加熱氦氣在與冷煙和空氣混合之前是降低空氣/煙氣混合物中氦氣比率的一種方法，同時產生具有與真實建築物火災中相同的表觀溫度的漂浮煙霧，其中混合物中氦氣的比率較高。

## 二、燃氣燃燒器

Rodler(2014)，為了盡量減少站台頂部和導電軌處的溫度，在火災現場實現了低放熱率 (<1 MW)。由於幾個小型燃氣燃燒器位於軌道正上方，因此可能在較低的溫度下產生相對大量的煙氣（圖 2-56）。來自所有燃燒器的煙氣的體積流量大致對應於 5MW 火的體積流量。

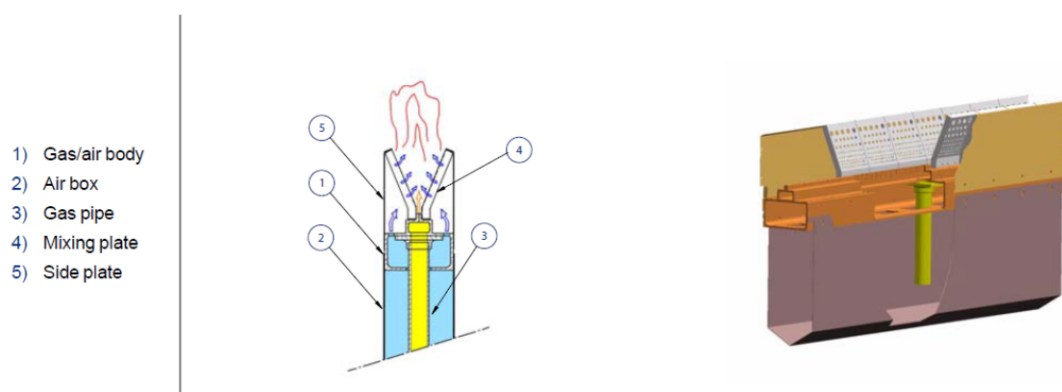


(資料來源：ANALYSIS OF A 10 MW FIRE IN AN UNDERGROUND RAILWAY STATION USING FULL SCALE TESTS AND CFD)

圖 2-56 小型燃氣燃燒器火源方式

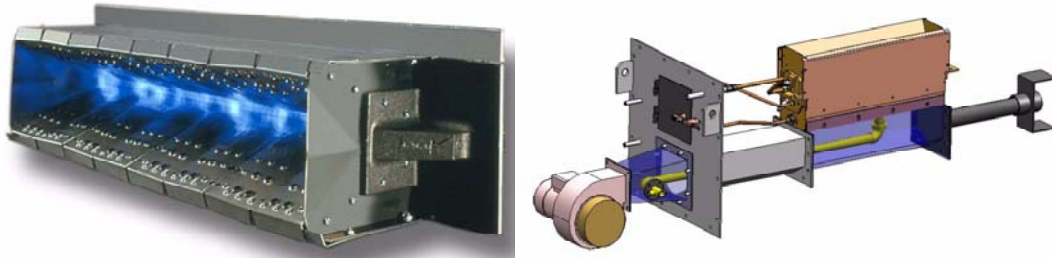
Juan(2014)，使用預混合丙烷火焰作為火源(圖 2-57)。預混合火焰以高效方式燃燒，由於這種高燃燒效率，火焰長度減小。因此，燃燒器正上方的天花板的局部溫度較低，在防火測試中，這可以降低燃燒器上方的結構保護等級。此外，火焰的輻射急劇減少，熱量幾乎完全釋放為對流熱量。

設備設計允許用戶實時控制設備的熱釋放率。可以復制預定義的“火災”曲線來研究檢測系統的反應或評估煙霧填充時間。燃料和空氣是預先混合的，以增強交叉流的燃燒。燃料在底部供應，空氣通過 V 型板供應。



(資料來源：New Generation of Smoke Tests)

圖 2-57 煙霧測試系統配置



(資料來源：Nozzle-mix line burner)

圖 2-58 預混燃燒器

一個燃燒器單元（燃燒區域）長 1.22m，寬 0.17m（出口區域的尺寸）和 1m 高，該燃燒器的最大容量為 1.2MW，系統產生乾淨的羽流。氣體供應系統由 8 個丙烷瓶和一個蒸發器組成，這些蒸發器需要在燃燒器中產生合適的氣體量，這些丙烷瓶是標準的，可以很容易地在許多國家採購，一個標準的丙烷氣瓶包含大約 10 公斤，這意味著該系統可以在全功率下運行約 46 分鐘（考慮到效率為 90 %）。該系統配有數字控制系統，可以復制火災曲線、線性、 $t^2$  和用戶可控火災增長率，如果需要的話，火災的衰減階段也是如此。該煙霧測試系統使用矩形火源。因此，產生的羽流不是軸對稱的，而是橢圓形的：有一個優先的空氣夾帶方向。

FDS 不是用來直接模擬預混合燃燒，因此必須找到一種替代解決方案，預混合丙烷燃燒的性質是已知的，並且在文獻中很好地表徵，其在絕對理想條件下的絕熱火焰溫度為  $2194^{\circ}\text{C}$ 。考慮到這一點，燃燒器已被建模為在高於  $2000^{\circ}\text{C}$  的溫度下從燃燒器噴出的熱氣流。丙烷燃燒熱可以在文獻中找到，它的數值約為  $46 \text{ MJ} / \text{kg}$ 。

預混火焰呈現非常低的輻射分數，因此較大的部分作為對流熱釋放，已知燃燒效率越高，火焰輻射分數越低，因為產生更少的煙灰並且火焰變得透明，作為對流熱釋放的熱量的部分可以使用產品中  $\text{CO}_2$  和水蒸氣的分壓來計算，使用化學平衡，計算摩爾量並且這些值對應於分壓（環境壓力，環境壓力，1atm）。

$$\text{CO}_2: p_{\text{CO}_2} = 3 / (3 + 4 + 18.8) = 0.116 \text{ atm}$$

水蒸氣:  $p_{H_2O} = 4 / (3 + 4 + 18.8) = 0.155 \text{ atm}$

因此，作為對流熱傳遞給氣體的熱分量是：

$$R = 1.7 \times 10^{-6} (p_{CO_2} + 0.18p_{H_2O}) T^2 = 0.978$$

剩餘部分，大約 2%，是輻射分數。

羽流是一種浮力流體，因此速度場主要由溫度場所決定，選擇通用池火來比較燃燒器。這些火災由 Heskestad 方程，方程 (6) 和方程 (7)，表示：

$$\Delta T = 9.1 \left( \frac{T_\infty}{g C_p \rho_\infty^2} \right) \dot{Q}_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \quad (6)$$

$$z_0 = 0.083 \dot{Q}_c^{3/5} - 1.02D \quad (7)$$

在自然（擴散火焰）火焰中，根據火災情況，輻射分數通常保持在 30% 和 40% 之間。因此只有 60% 或 70% 的火災動力傳遞給煙羽流，取自然火災的典型值（對流分數為 65%，輻射分數為 35%），並考慮在其最大功率下對來自預混火焰的輻射（98% 作為對流熱傳遞的熱量）的早期計算，燃燒器將產生與 1.8 MW 自然火災相同的對流熱量：

自然火災 →  $1.8 \text{ MW} \times 0.65 = 1.17 \text{ MW}$ （對流熱）

預混火災 →  $1.2 \text{ MW} \times 0.98 = 1.176 \text{ MW}$ （對流熱）

該系統提供的許多好處之一是複製指定的火災增長曲線、 $t_2$  曲線；被廣泛用於定義設計火災，這種火災可以由該系統複製。此外，該系統可以複製任何其他火災增長曲線，這些功能使該系統成為測試和演示火災檢測系統以及通風系統功能的理想選擇。檢測系統的目標是在成長階段盡快發現火災；因此，快速增長的池火和恆定的 HRR 燃燒器對於檢測系統來說是不好的測試，提出的煙霧測試系統可以程控為提供逼真的火災曲線，從而測試檢測系統的功能。

這裡介紹的煙霧測試系統提供了使用預混燃氣燃燒器進行相當於 1.8 MW 火災的煙霧測試的可能性，該系統與當前的熱煙和水池防火測試相比具有許多優點，包括：

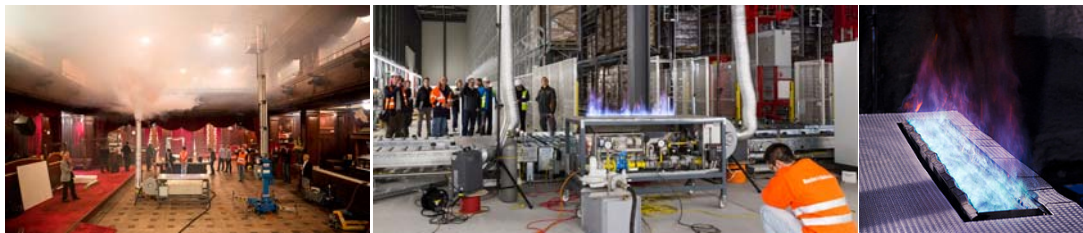
- 實時完全控制 HRR，允許複製任何火災曲線。
- 乾淨煙霧，這大大減少了測試後的清潔活動。

- 測試可以達到 1.8MW，長達 46 分鐘（依瓦斯瓶數而定）。
- 易於使用和快速重複性。

Juan(2015)，現在越來越多的奇特建築構造，這種趨勢可以在購物中心、機場或住宅樓觀察到。然而，這些現代化的建築必須符合最高的安全標準，將煙氣管理作為關鍵因素。這些建築物的煙氣管理系統的設計是一項要求很高的活動，需要富有想像力的工程方法，這些方法可能包含在基於性能的設計中。這些系統的主要目的是保證出口並減少受影響區劃的後果。必須對安全解決方案進行測試，以獲得當局的一致性，並定期檢查建築物使用壽命期間煙氣管理系統的維護狀態。

目前的煙霧測試方法有不同的相關問題來正確評估這些煙霧管理系統的性能。一方面，冷煙產生器不能產生代表火災情境的浮力煙柱；另一方面，諸如池火之類的熱煙霧測試系統釋放恆定的功率，這使得不可能研究疏散的重要階段，例如火災的成長階段。最現實的選擇是全尺度的測試，但是由於經濟原因和可能產生這些高能量測試的損害，通常不可能進行這種測試。

Izar的煙霧測試系統是一款便攜式，易於使用的系統，能夠測試和復制每個燃燒單元50kW至1,800kW的火焰，並在長時間內復制不同的火焰成長曲線。它利用預混火焰的特性來產生熱源：火焰很短，避免火焰衝擊在天花板上，煙霧無煙，避免了試驗後清潔的活動。



(資料來源：Real fire testing with Izar)

圖 2-59 以 Izar 燃燒器為火源進行熱煙試驗

自然火焰釋放，考慮標準值，約2/3的能量通過對流和1/3的輻射，這個比值可以通過預混合火焰計算，作為燃燒產物分壓的函數，燃燒方程和燃料性質，丙

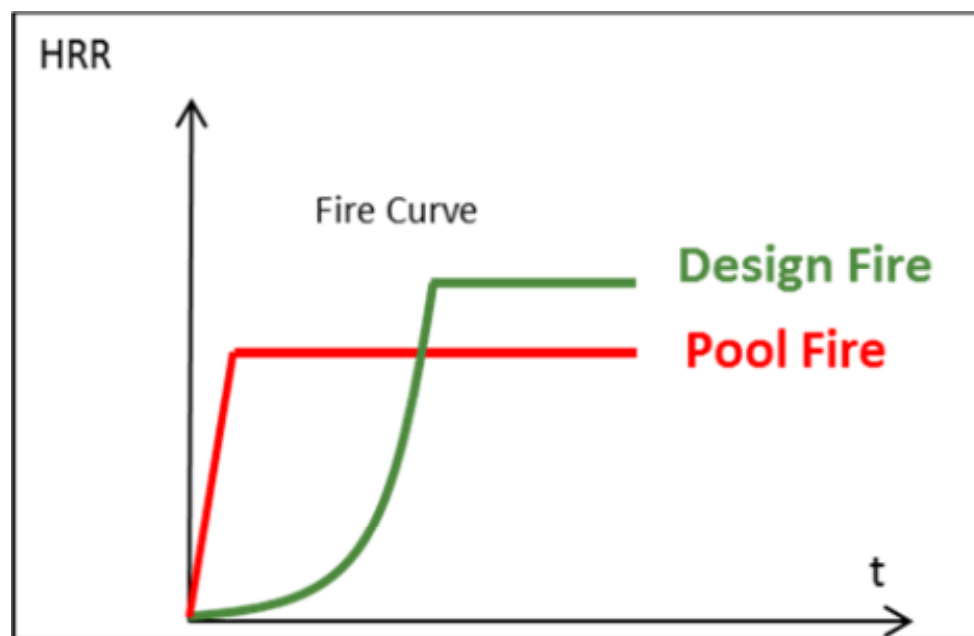


烷都是眾所周知的，可以在文獻中找到。

計算結果證實，只有約3%的一部分輻射到周邊地區，這個結果對於理解煙霧測試系統的行為非常重要，能量主要通過對流傳遞，可以忽略輻射來簡化微積分，該燃燒器被認為是對流熱源，並且與對流和輻射熱釋放的2/3和1/3比率之後的擴散火焰相關聯。

這種計算和來自擴散火焰的對流 - 輻射比是將測試與預混火焰和自然火相關聯的基礎：預混火焰的輻射被忽略，預混火焰必須產生與天然火相同的對流熱。考慮到前面提到的標準值的一個例子是：1,500kW的自然火災釋放大約1,000kW的對流熱量和500kW的輻射熱量，預混火焰系統必須產生1,000kW的功率才能生成相同的煙層。

澳洲標準定義了煙霧試驗期間在天花板撒水頭作動溫度以下10度上限的最高溫度，這是一個妥協的價值來設置測試火災測試的最大HRR，但也是一個約束和“轉移”的設計火災代表的實際測試火災。但是，可以遵循火災曲線，直到這個最大HRR值使測試更接近現實(圖2-60)。



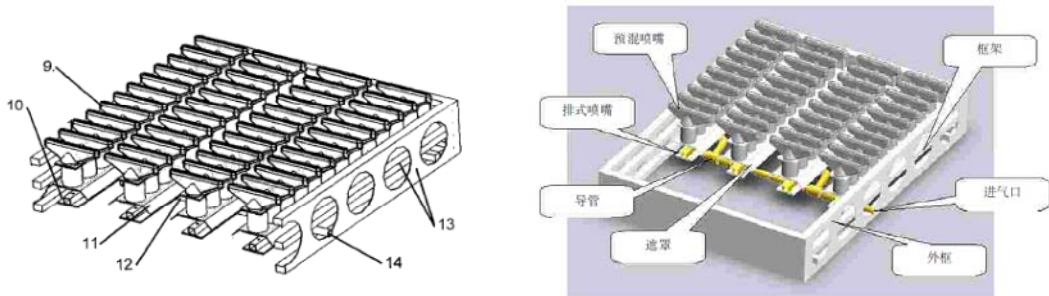
(資料來源：Izar, an innovative smoke testing system by using premixed flames for a new smoke testing strategy)

圖 2-60 池火與設計火災比較



新的建築項目對其居住者的安全構成挑戰，煙霧管理系統必須提供足夠的時間以安全的方式完成大樓撤離，並減少火災後果。其中一些煙霧管理概念不是標準設計規範中考慮的標準概念；它們是基於性能原理開發的創新解決方案，需要在調試之前進行驗證，目前的標準測試方法不適合測試那些創新的解決方案，基於性能的解決方案應該使用基於性能的測試而不是標準測試來測試。

姚斌等人(2011)，燃燒器的進氣口壓力為4300Pa時，燃氣的輸入速率為 $1.8\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $4.5\text{kg}/\text{h}$ ，折算功率約為 $53.5\text{kW}$ ，單個燃燒器約為 $0.4\text{m}\times 0.7\text{m}$ ，氣體燃燒器單位面積的熱釋放率約為甲醇池火的 $1/3$ ，單個燃燒器單元的自重為 $5\text{kg}$ 左右(圖2-61)。



(資料來源：熱煙測試裝置)

(資料來源：地鐵車站消防系統驗收評定規程)

圖 2-61 熱煙測試裝置預混燃燒器

此燃燒器並被納入深圳市標準化指導性技術文件檔「地鐵車站消防系統驗收評定規程」，規範性附錄附錄 B 熱煙測試操作方法說明。

## 第三章 熱煙試驗火源產生機制建立

### 第一節 火災模擬火源建立

基於火災移行、實際火災火場溫度非均勻性、木格架受木材特性及火場通風條件等變數考量，以及火源可控性與未來研究發展需求，本研究在火災模擬火源主要參考 NIST 燃氣燃燒器為藍本進行建置，但為能更靈活火源配置以及經費限制，將 NIST 2 組(500 mm×1000 mm/組)改為 3 組進行建立。

本燃燒器係用於火災模擬實驗，燃燒器至少能提供總熱量 2MW(含)以上所需加熱規模之穩定均勻可計量的燃燒火焰。本設備所用燃料為 LPG，燃料管路可接 LPG 氣槽及鋼瓶方式，以方便移動至本所防火實驗中心以外場所進行實驗，主要設備性能如下。

#### 1. 燃燒器本體

- (1) 數量：燃燒器單體3組，可達到2MW總熱量(以LPG熱值計算)。
- (2) 燃燒器單體型式：3組燃燒器置放在向上燃燒面開口450mm × 600mm框架內以提供穩定、均勻的火焰。可由人力移動，可切換使用本所防火實驗中心 LPG 管路或桶裝。留設預混供氣，可加裝供氣設備以切換火焰型態(黃色擴散火焰或藍色預混火焰)。
- (3) 設計與製造條件如下：
  - (a) 燃料流量：300LPM以上
  - (b) 燃料：LPG
  - (c) 燃燒器材質：SUS310
  - (d) 控制方式：全自動質量流量計調節控制
  - (e) 附屬材料：需安裝球閥類管件及滅焰器避免回火，每一燃燒器主體與質量流量控制器之連接管為不鏽鋼高壓瓦斯軟管，長度5 m。

2. 質量流量控制器(mass flow controllers)：3只，可達到2MW總熱量(以LPG熱值計算)，並可經由操作面板或通訊RS-485控制設定流量值並即時顯示流量及總量值。

3只質量流量控制器(mass flow controllers)安裝在可移動的儀器箱體內，入出口安裝球閥及可強制關閉質量流量控制器之緊急開關。

- (a) 量測範圍：0~300LPM
- (b) 精確度：誤差3%以下
- (c) 量測種類：LPG
- (d) 接續口：3/4" NPT F
- (e) 輸出訊號：0~5Vdc 或 4~20mA 或 RS485
- (f) 附原廠追溯 NIST 測試報告及操作光碟

3. 桶裝瓦斯推車及閥件與管路

每台瓦斯推車加裝不鏽鋼管(硬管)及球閥。至少有一台推車需加裝調壓閥，可調節瓦斯壓力。推車與推車之間可連接，連接管的材質為不鏽鋼高壓軟管，長度1 m。連接瓦斯推車與瓦斯質量流量控制器之不鏽鋼高壓軟管2條，每條長度10 m並附連接頭，串聯可達20m以使控制系統可遠離火場。不鏽鋼高壓軟管管徑可同時提供3組(含)以上燃燒器可達到2MW總熱量之尺寸。

- (a) 桶裝瓦斯容量為50 kg
- (b) 推車數量：6台

液化石油氣(LPG)為丙烷及丁烷之混合物，其比例依每批貨源而有所不同。

以下計算以丁烷數值進行。

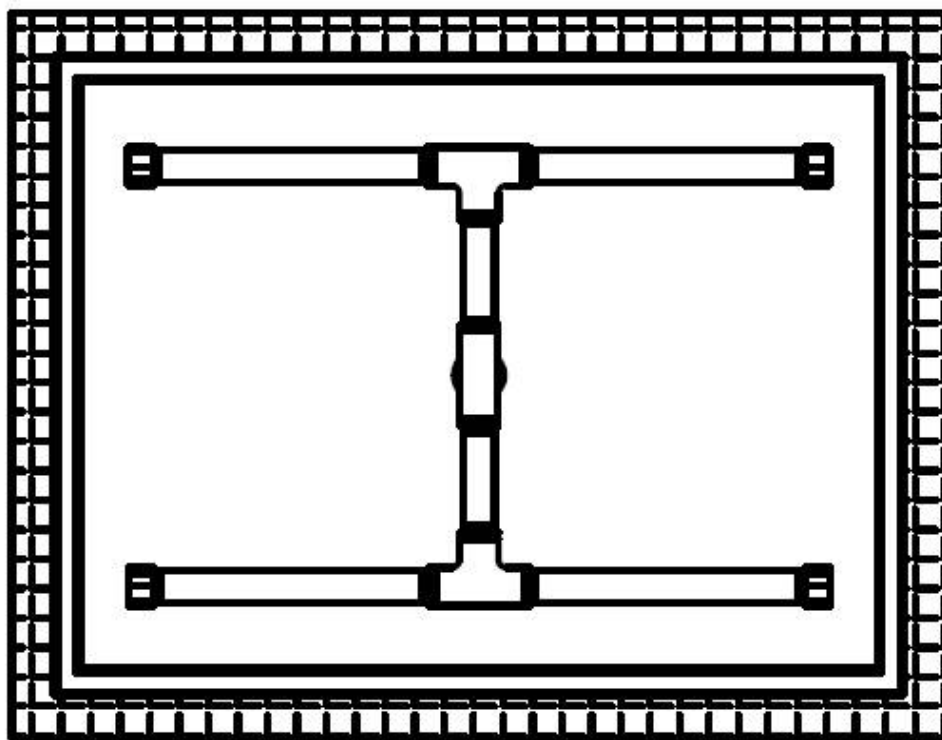
熱值 49.5 MJ/kg

([https://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_of\\_combustion](https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion))

密度 2.703 kg/m<sup>3</sup> 或 0.002703 kg/L @ STP

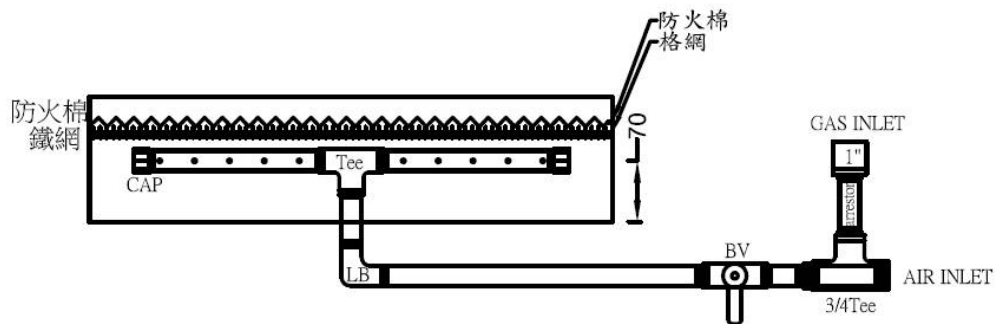
(<https://encyclopedia.airliquide.com/butane>)

燃燒器 3 台，每台供氣量 300 LPM，總供氣量(每分鐘所需瓦斯”升”數)為  $300 \times 3 = 900$  LPM (L/min)，經單位轉換可得體積流率(每秒所需瓦斯”升”數) 15 L/s，體積流率乘以密度  $0.002703 \times 15$  可得質量流率(即每秒所需瓦斯”公斤”數) 0.040545 kg/s，質量流率 0.040545 kg/s 乘以熱值 49.5 MJ/kg 可得每秒供熱約 2.007 MW，2.007 約等於目標供熱 2MW。



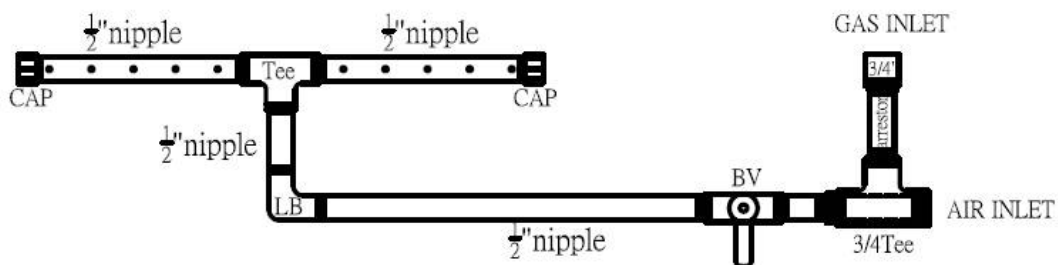
(資料來源：本研究)

圖 3-1 燃燒器與燃燒器框架組合



(資料來源：本研究)

圖 3-2 燃燒器與燃燒器管路



(資料來源：本研究)

圖 3-3 燃燒器管路



(資料來源：本研究)

圖 3-4 小流量燃燒測試



(資料來源：本研究)

圖 3-5 全流量(300 LPM)燃燒測試

● 實驗研究應用

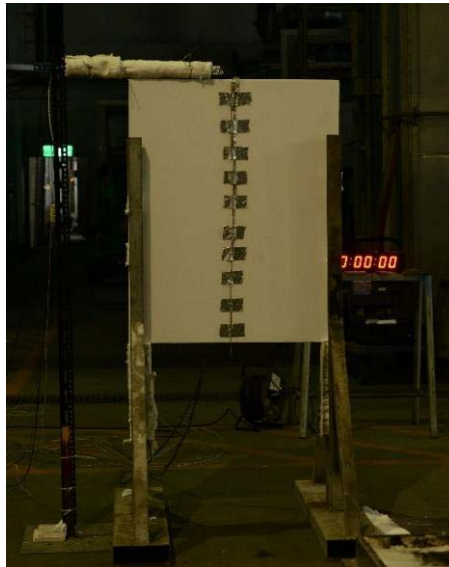
本所 107 年度協同研究「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」，實際應用。

圖 3-6 為該研究規劃的試驗方式；兩側支架固定試體，試體大小為 0.8mx1m(寬 x 高)，試體厚度與耐燃性試驗的厚度相同，支架中間為試驗使用之平方火災燃燒器，圖 3-7 為試體固定在支架上，並將熱電偶以耐熱膠帶固定在試體表面。延燒試驗的引燃火源，分為單點火源引燃、線性火源引燃、燃燒器引燃。單點火源引燃的方式，是以噴燈火焰直接在試體正下方單點引燃，當試體引燃之後噴燈火焰會立即移開試體；線性火源引燃的方式，會先用石膏板遮蔽在試體引燃位置的上方，此石膏板主要用來防止試體尚未完全線性引燃時，阻擋先行引燃向上延燒的火焰，當試體完成線性引燃，便立即將石膏板移開，之後可觀察整體延燒的現象。燃燒器引燃的方式，主要是調整不同熱釋放率的氣態燃燒器火焰進行引燃的行為，如圖 3-8 所示。



(資料來源：建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究)

圖 3-6 延燒試驗設備示意圖



(資料來源：建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究)

圖 3-7 延燒試驗設備

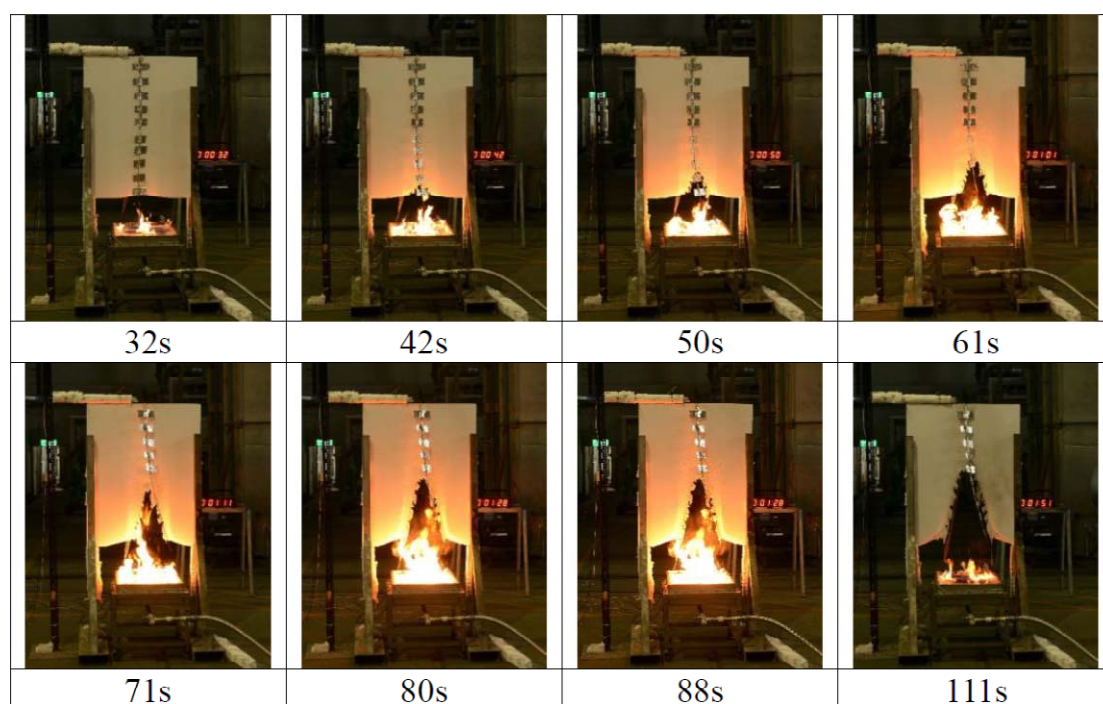


(資料來源：建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究)

圖 3-8 延燒試驗使用之平方火災燃燒器



圖 3-9 為 EPS-18K 在使用平方火災燃燒器作為引燃源之試驗歷程；試驗計時開始時，先以點火器引燃燃燒器，在 32 秒時燃燒器完全引燃，EPS-18K 試體底部受到燃燒器加熱後會開始熔解，熔解後的 EPS-18K 會滴落至燃燒器上方並且引燃，此時燃燒器的火焰會變得更旺盛。在試驗過程可觀察到 EPS-18K 在引燃之前會先因為熔解而向下滴落，因此 EPS-18K 試體本身較無火焰直接延燒的現象；隨著試驗時間的增加，熔解的 EPS-18K 也累積在燃燒器的平面，因此燃燒器的火焰也會隨著時間而增加。在 88 秒時，可觀察到燃燒器火焰已經成長至穩定的高度，並且 EPS-18K 試體的熔解區域不再向上延伸。試驗結果顯示 EPS-18K 的熔解區域為三角形的形狀，此現象表示試體受到燃燒器火焰加熱的過程，試體中心線受到較高的溫度影響，因此熔解速度會高於試體的兩側。



(資料來源：建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究)

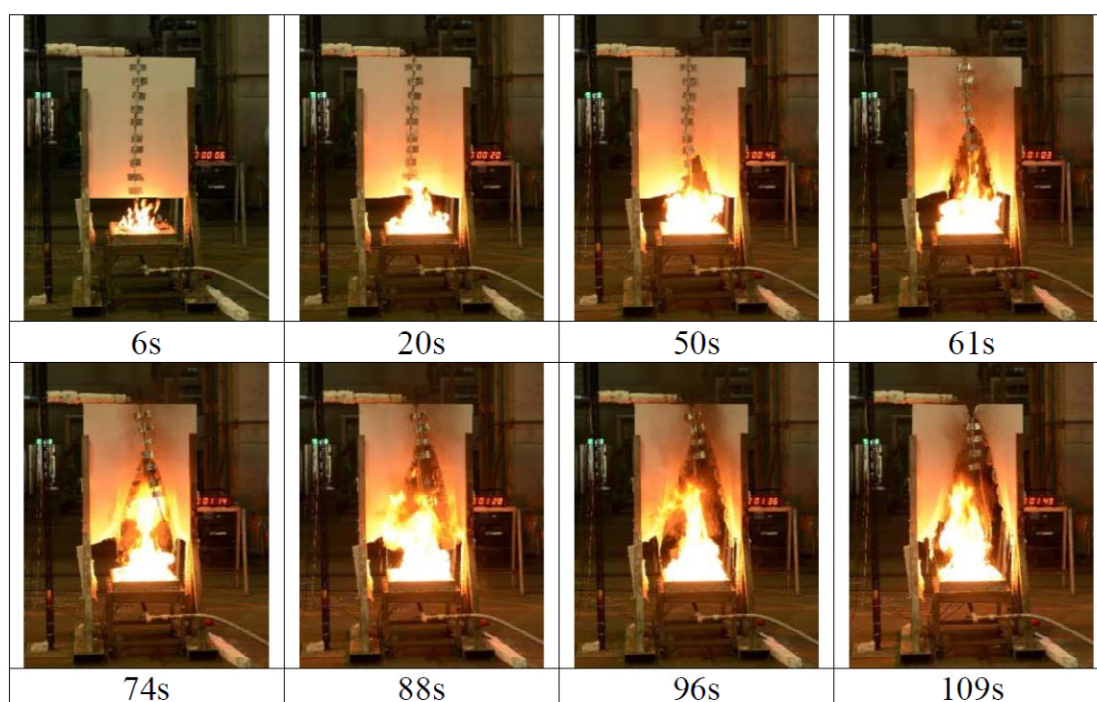
圖 3-9 無背板 EPS-18K 在 50kW 引燃條件下試驗歷程

圖 3-10 為燃燒器在 100kW 的試驗結果。EPS-18K 同樣先熔解向下滴落至燃燒器，並使得燃燒器火焰變得更旺盛。本試驗由於增加燃燒器的熱釋放率，因此 EPS-18K 在試驗結束後的熔解的區域會較增加。根據燃燒器兩種不同熱釋放率的



試驗條件，可以觀察到，EPS-18K 會先受熱之後熔解滴落至燃燒器，並使得燃燒器的火焰變大，但在整體試驗過程，EPS-18K 的試體本身較無火焰直接延燒的現象。

推論在實際火災發生時，若是較低樓層火勢已經成長旺盛，高樓層的 EPS 外飾材受到低樓層的火焰引響，會融解並且向下滴落，造成火勢加劇，並且使火勢向下延燒。



(資料來源：建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究)

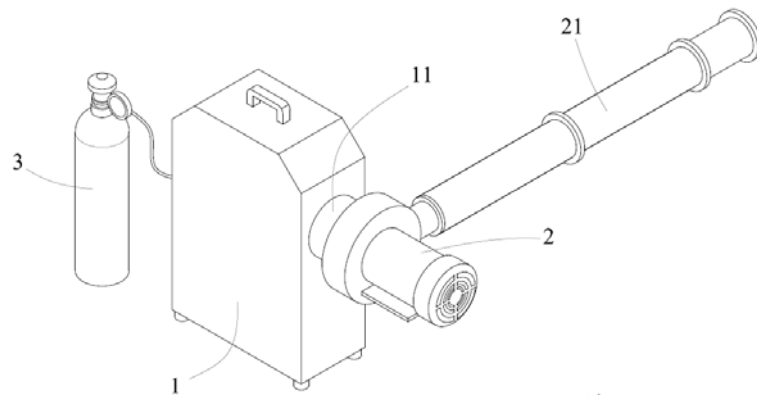
圖 3-10 無背板 EPS-18K 在 100kW 引燃條件下試驗歷程

## 第二節 熱煙試驗火源建立

蔡銘儒(2017)開發「熱煙測試可控煙流率與密度造煙系統」，已於 2018 年 7 月取得新型專利(圖 3-11)，楊冠雄(2018)以 ISO 16735：2006 發煙率計算公式計算 14.5MW 發煙率，並以此專利系統(圖 3-12)及 NFPA 92B 之 N%煙層判定方式比對，驗證此系統發煙率供應遠大於標準計算之發煙率，由造煙系統已可依計算或設計產生所需之發煙率，但為維持分層仍須有溫差，祁曉霞(2001)整理不同溫

## 建築火災與現場熱煙試驗火源產生機制之建立

差值的分層高度(表 3-1)，以及 NFPA 92(2018) Annex E Stratification of Smoke，可依煙霧分層高度、溫差計算所須火源對流熱釋放率，作為熱煙試驗火源設計之參考。



(資料來源：(107)智專一(四)05053 字第 10740963830 號，經濟部智慧財產局新型專利形式審查核准處分書)

圖 3-11 熱煙測試可控煙流率與密度造煙系統



(資料來源：大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究)

圖 3-12 發煙率校正實驗所有設備與儀器裝設完成後實驗之實況

表 3-1 不同溫差值的分層高度

熱釋放量	著火點到中庭頂部環境溫度的溫差 T (°C)				
	2°C	5°C	10°C	15°C	20°C
模擬火場 (1MW)	162 m	93.5 m	61.7 m	48.4 m	40.7 m
模擬火場 (500kW)	123 m	70.9 m	46.7 m	36.7 m	30.8 m
模擬火場 (200kW)	85 m	49.1 m	32.4 m	25.4 m	21.4 m
發煙機 (10kW)	25 m	14.8 m	9.8 m	7.7 m	6.4 m
發煙機 (5kW)	19 m	11.2 m	7.4 m	5.8 m	4.9 m

(資料來源：利用發煙機進行煙氣試驗中存在的問題)

火災模擬火源建立時已預留可接空氣供應(圖 3-3)，轉為預混火焰型式(圖 2-26)，再加裝鼓風機(圖 3-13)，馬力： $\leq 1\text{HP}$ 、電壓：3 相 220V、頻率：50HZ/60HZ、風量： $\geq 10 \text{ m}^3/\text{min}$ ，經測試火焰不均且偏移一側，且因耐火棉密度較大造成壓力過大而將耐火棉噴離。

將耐火棉改換為網孔： $\leq 5\text{mm}$  之蜂巢板，經測試鼓風機已全開，LPG 供應大於 14 LPM 時仍為擴散火焰型態(圖 3-14)，調降至 14LPM 時火焰偏離一側(圖 3-15)，再調降至 11 LPM 火焰才達預混效果(圖 3-16)，經研判因進氣管徑及噴孔小，以致空氣量並無法有效供應預混，相對 LPG 供應量無法提高。



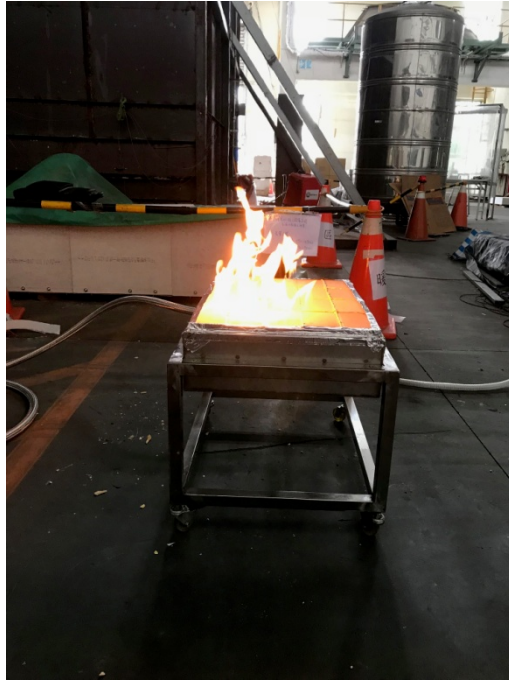
(資料來源：本研究)

圖 3-13 透浦式鼓風機



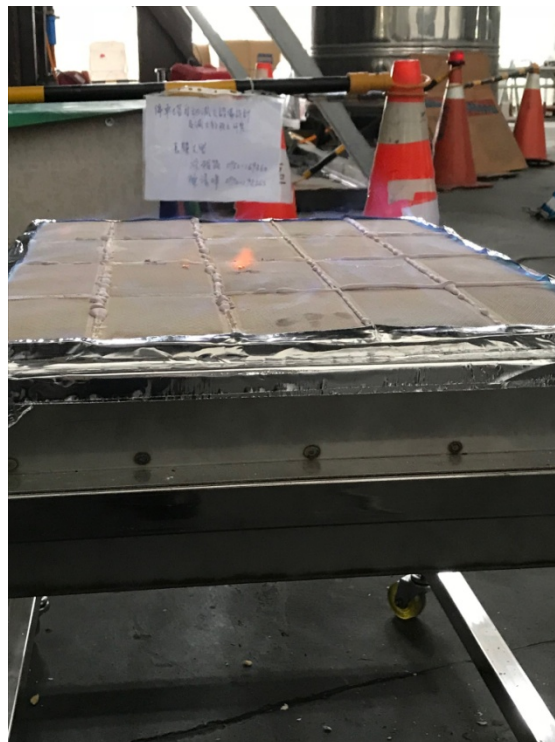
(資料來源：本研究)

圖 3-14 擴散火焰-空氣量未達預混量



(資料來源：本研究)

圖 3-15 火焰偏移

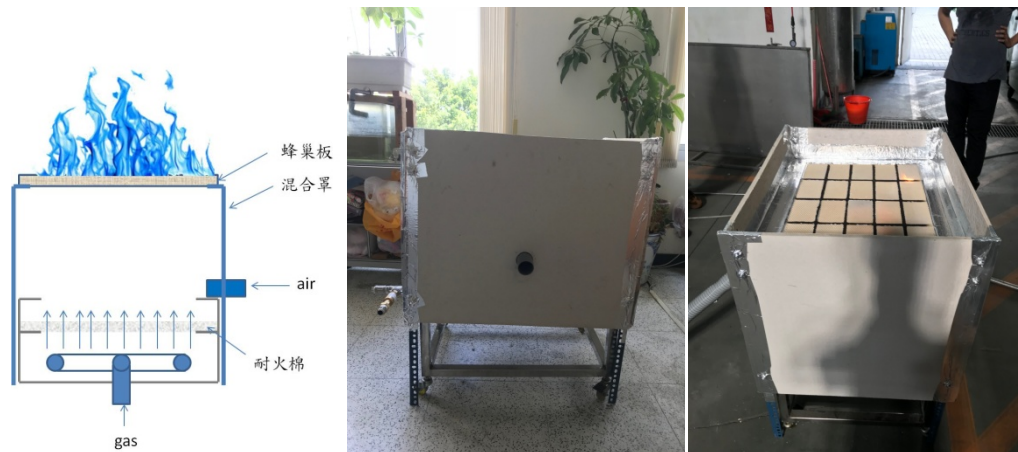


(資料來源：本研究)

圖 3-16 預混火焰



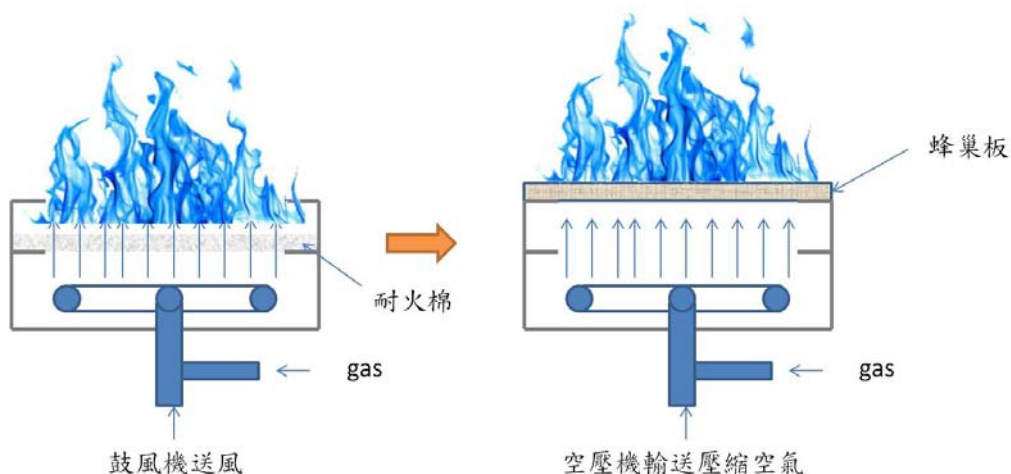
改變設計加裝一混合箱(圖 3-17)，經測試僅提昇至 40 LPM，經檢討如要至原燃氣最大供量 300LPM(約 700kW/min)，或許鼓風機需加大，或改換為空壓機方式。



(資料來源：本研究)

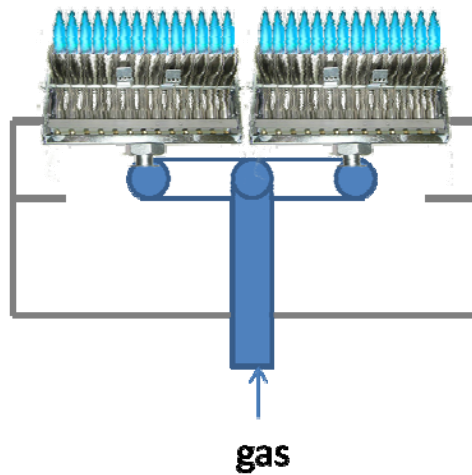
圖 3-17 加設混合箱

改變設計以壓縮空氣接原先預混入口方式預混，噴嘴以蜂巢板取代，或以熱水器火排方式進行(圖 3-18 及圖 3-19)。



(資料來源：本研究)

圖 3-18 以壓縮空氣與蜂巢板模式



(資料來源：本研究)

圖 3-19 以熱水器火排模式

以壓縮空氣接原先預混入口方式預混，噴嘴以蜂巢板取代方式，經測試結果如圖 3-20，因壓縮空氣量僅能與 12 LPM 燃氣達到預混燃燒效果。



圖 3-20 以壓縮空氣預混燃燒

改以熱水器火排方式如圖 3-21，初步以 8 排火排測試，為使 8 排火排可引燃，經測試燃氣須達 70LPM 才可引燃，引燃後可依流量供應控制到流量控制器最大 300LPM 如圖 3-22；據此，只要於每一火排設置一開關，將可控制至最小燃氣供應量至 10LPM 以下，兩用燃燒器系統裝置已完成開發，並已取得經濟部智慧財產局新型專利如圖 3-23 及附錄四，且已實際運用於研究實驗。



圖 3-21 火排預混燃燒器



圖 3-22 預混燃燒情況





# 中華民國專利證書

新型第 M573234 號

新型名稱：建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置

專利權人：內政部建築研究所

新型創作人：蔡銘儒、蔡綽芳

專利權期間：自2019年1月21日至2028年10月17日止

上開新型業依專利法規定通過形式審查取得專利權  
行使專利權如未提示新型專利技術報告不得進行警告

經濟部智慧財產局 局長

洪淑敏

中華民國 108 年 1 月 21 日



注意：專利權人未依法繳納年費者，其專利權自原繳費期限屆滿後消滅。

圖 3-23 新型專利

## 第四章 結論與建議

### 第一節 結論

1. 因應現代建築，現行構件耐火試驗標準有必要依實際火災情境進行研究與檢討，如現代建築火災時間溫度歷程、移行火災、構件局部受火行為等。
2. 建築火災與熱煙試驗火源應以可重複性與安全性為考量。
3. 為確保建築煙控系統之有效性，全尺度熱煙試驗有其必要性，考量熱煙試驗在安全性上之顧慮，安全、乾淨、便利之替代火源或替代試驗方法建立，將有助於煙控系統有效驗證之普及被接受進行。
4. 以 NIST Technical Note 1983 燃燒器火源為基礎，完成 3 組(火源面積 45 cm × 60 cm/組)可移動式燃燒器，可依燃燒熱時間關係控制，最大熱釋放率可達 2MW，並已實際運用於研究實驗。
5. 熱煙試驗火源須以對流熱為主，以熱水器火排預混燃燒，已可達本研究每組流量控制器之最大流量 300LPM，即每組可控最大對流熱釋放率為約 490kW，3 組燃燒器可達 1.4MW 對流熱釋放率。

### 第二節 建議

1. 對現代建築實際火災行為與構件耐火性等之研究進行規劃與進行。
2. 建築煙控全尺度驗證納入規範，以提高建築防火避難安全。

## 附錄一 自行研究計畫審查會議

### 內政部建築研究所107年度第2次研究業務協調會議紀錄

一、時間：107年2月13日(星期二)下午2時

二、地點：本所簡報室

三、主席：王代理所長安強

記錄：陳佳玲

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究案主持人簡報：(略)

七、發言要點：

(四)「建築火災與現場熱煙試驗火源產生機制之建立」案：

本案發展可程式控制之火源產生機制，對充實防火實驗之量化研究能量，及提升實驗之準確性與再現性有所助益；且能產出專利對於科技計畫績效有實質效益，請依計畫內容執行。

八、會議結論：

請參考與會同仁之寶貴意見，並請納入研究內容參採修正，使研究成果更為豐富完整。

九、散會：(下午4時整)

序號	審查意見	意見回覆	備註
1	本案發展可程式控制之火源產生機制，對充實防火實驗之量化研究能量，及提升實驗之準確性與再現性有所助益；且能產出專利對於科技計畫績效有實質效益，請依計畫內容執行。	1. 遵示辦理	

## 附錄二 期中審查會議

本所 107 年度自行研究「既有長照機構消防安全設備設置改善之調查研究」、「建築火災與現場熱煙試驗火源產生機制之建立」及「全尺度框組壁式木構造承重牆加熱加載驗證及相關規範研修」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：107 年 8 月 8 日（星期三）下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）

三、主持人：蔡組長綽芳

記錄：蘇鴻奇、雷明遠、蔡銘儒

四、出席人員：如簽到簿

五、主席致詞：（略）

六、承辦單位報告：（略）

七、研究計畫簡報：（略）

八、出席人員審查意見：（依簽到簿順序排列）

### （二）「建築火災與現場熱煙試驗火源產生機制之建立」案

#### 李教授訓谷

1. 本案改善既有酒精盤、木堆燃燒之缺點，重現現代建築火災之真實成長曲線，以作為相關測試之基礎。
2. 本案具有補足現有 CNS15937 不足之處。

#### 楊教授德新

本研究提出創新的可移動火災模擬燃氣燃燒器，並提出現況火場溫度曲線與標準曲線不同，若未來以此進行時可否提供其二者相關性，此與標準有關宜審慎評估。

#### 王科長鵬智

1. 火源的設計對現場的驗證十分重要，因此需能反映大規模空間，大火載量空間的火源需求。

2. 請說明與 CNS12514-1 燃燒曲線之不同，未來有無規劃修正 CNS12514-1 等標準之火源之曲線。

#### **吳科長明郎**

1. 本案對未來建築物煙控全尺度模擬試驗，如何結合煙及熱的現地模擬，對國內現代化之建築公安提升將有相當大的助益。
2. 建議就上開如何應用於現場煙熱模擬，提供簡要可行之執行作法範例，供實務執行面參考。

#### **張建築師尚文**

1. 報告書立論、敘述，符合科學邏輯且完整，相當佩服。
2. 瓦斯已經比木架火源及酒精盤火源穩定太多了，相當好。
3. 同一桶瓦斯，丙丁烷除了考慮混合比計算發熱量，是否需考慮混合比的時間因素？

#### **曾榮譽理事長順正**

是否能將本試驗為煙控試驗之主要方法。

#### **中華民國全國建築師公會（謝建築師國璋）**

1. 本期中報告沒有意見。
2. 期中報告內未附期初報告審查意見的內容，不知執行情形如何？

#### **主席**

本研究建立之火源產生機制可否申請專利。

#### **計畫主持人回應(蔡主任銘儒)**

1. 由文獻中國際上有針對熱煙試驗火源之專利，本研究將火災與熱煙試驗之火源整合，評估具有申請專利之可行性，將於完成建立後提出申請。
2. 火災試驗火源之建立，主要因應近年國際上針對真實火災研究，先行建立實驗工具以供後續研究規劃使用，由安全、可控制性及具重複性之火源，實驗所得之真實火災結構耐火行為與性能，較能務實回饋標準與規範制修訂。

3. 熱煙試驗火源建立後將可結合本所專利「熱煙測試可控煙流率與密度造煙系統」運用，性能設計之煙捲吸流率由造煙系統產生同量捲吸流率及特定煙密度，而煙之分層可依 NFPA 92B 計算所須之火源大小，此火源大小則由本研究建立之火源產生。
4. 現場煙熱模擬執行作法，將配合今年度本所協辦案「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究」納入。
5. CNS12514-1 燃燒曲線係與 ISO 834-1 調合，其修訂依 ISO 834-1 而定，但不同火災條件之時間溫度曲線，於今年度本所協助經濟部標準檢驗局主持審議之標準草案，建築物非承重構件耐火試驗法—第 3 部：帷幕牆—完全構形(完整組裝件)與第 4 部：部分構形，已納入其附錄供參考選用。
6. 本研究火源之燃料供應，在實驗中心則由 LPG 氣槽經汽化器後提供，在實驗中心以外地方則可以純丙烷氣瓶供應，以提高燃燒熱之穩定性。
7. 本所自辦案係以研究業務協調會作為期初簡報審查，其回應詳報告第 90 頁。
8. 感謝委員之肯定上述為回覆之寶貴意見將逐一檢討納入參考。

#### 九、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過。請詳實記載與會審查委員、出席機關代表及書面意見，並請計畫主持人參採，於期末審查時作適當回應。
- (二) 請計畫主持人掌握研究時程，並請留意成果報告格式，以符規定。

#### 十、散會(下午 4 時 45 分)

序號	審查意見	意見回覆	備註
1	本案改善既有酒精盤、木堆燃燒之缺點，重現現代建築火災之真實成長曲線，以作為相關測試之基礎。	感謝認同	
2	本案具有補足現有 CNS15937	感謝肯定	

	不足之處。		
3	本研究提出創新的可移動火災模擬燃氣燃燒器，並提出現況火場溫度曲線與標準曲線不同，若未來以此進行時可否提供其二者相關性，此與標準有關宜審慎評估。	所謂標準曲線主要係於耐火爐進行之耐火構件試驗之控制條件，實際現況係以燃料量及熱釋放率為主，國內外標準部分以燃料量及燃燒熱為控制條件，如 ASTM E2307、ISO 13785-1、ISO 13785-2，而熱煙試驗標準(CNS 15937、AS 4391)之火源亦以熱釋放率為依據，可符合標準規定。	
4	火源的設計對現場的驗證十分重要，因此需能反映大規模空間，大火載量空間的火源需求。	火災模擬燃燒器，現階段係以局部火災研究或供標準以燃燒器之實驗(如 ASTM E2307、ISO 13785-1、ISO 13785-2)，至於熱煙試驗重點在於煙量、煙流與浮力，此法之火源僅在提供浮力與煙層高度，且是於建築物已完成甚至以完成室內裝修，故其火源必須在安全條件下達到前述要求即可。	
5	請說明與 CNS12514-1 燃燒曲線之不同，未來有無規劃修正 CNS12514-1 等標準之火源之曲線。	因 CNS 係與 ISO 調和，CNS12514-1 等標準仍依國際標準進行研修訂。	
6	本案對未來建築物煙控全尺度模擬試驗，如何結合煙及熱的現地模擬，對國內現代化之建築公安提升將有相當大的助	本所已完成可依建築性能設計之煙流率造煙，本案則以熱煙試驗火源，原以酒精液態燃料，改以燃氣方式，除	

	益。	維持其無煙燃燒方式外，並可控制火源(如t平方)以及提高試驗安全性與便利性。	
7	建議就上開如何應用於現場煙熱模擬，提供簡要可行之執行作法範例，供實務執行面參考。	本所今(107)年度由楊冠雄教授協同主持之「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究」，將可提供實務執行面參考。	
8	報告書立論、敘述，符合科學邏輯且完整，相當佩服。	感謝委員肯定	
9	瓦斯已經比木架火源及酒精盤火源穩定太多了，相當好。	感謝委員肯定，以瓦斯燃燒替代木架火源及酒精盤火源，以提高可重複性及安全性，為本研究之目的。	
10	同一桶瓦斯，丙丁烷除了考慮混合比計算發熱量，是否需考慮混合比的時間因素？	為避免委員所顧慮之問題，在實驗室係以瓦斯氣槽為主，桶裝為輔，在現地將以桶裝為主，為使燃燒熱之穩定，將以丙烷(95%以上)為主，以降低發熱量之變化。	
11	是否能將本試驗為煙控試驗之主要方法。	目前性能設計並為要求實測驗證，係由地方消防主管機關各自要求，本研究亦期望性能設計案皆能有實測驗證以確保可達到其設計目的。	
12	本期中報告沒有意見。	感謝委員	
13	期中報告內未附期初報告審查意見的內容，不知執行情形如何？	本所自行研究案之期初為本所年初之研究業務協調會議審查，執行情形詳附錄一。	



14	本研究建立之火源產生機制可否申請專利。	已於是107年10月18日提出新型式專利申請。	
----	---------------------	-------------------------	--

### 附錄三 期末審查會議

本所 107 年度自行研究「應用日本都市公園指定經營管理制度強化我國防災公園開設及管理機制之可行性研究」、「建築火災與現場熱煙試驗火源產生機制之建立」及「全尺度框組壁式木構造承重牆加熱加載驗證及相關規範研修」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：107 年 11 月 28 日（星期三）下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）

三、主席：蔡組長綽芳

記錄：白櫻芳、蘇鴻奇

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：（略）

六、執行團隊報告：（略）

七、出（列）席人員發言要點（依簽到表順序）：

（二）「建築火災與現場熱煙試驗火源產生機制之建立」案

李教授訓谷：

1. 計畫內容符合預期成果。
2. 以乾淨、安全的燃料作為熱煙測試的火源，確實能解決當前試驗法之缺失。

樂副組長中丕：

本案文獻蒐集完整，並提出建築煙控全尺度驗證機制，以確保煙控避難性能的可靠度，甚具實用效益。建議補充下列事項：

1. 本案火源產生機制，是否符合國家標準？如有差異如何處理。
2. 有關建議一稱，建構可移動火災模擬燃氣燃燒器，可運用於戶外實驗場，惟如使用於戶外時，相關環境條件（例如風、雨…）如何控制？
3. 建築煙控全尺度驗證部分，建議未來可與 NIST 的 FDS 模擬進行比較。

**張建築師尚文：**

1. 本研究發明具有可控制之實驗（試驗）火源，優於目前國內外之火源規範，後續可以考慮將研究成果提供給國際規範訂定機構參考，發展為 ISO 規範，或者申請國際專利。
2. 解決全尺寸以木架火源時，火源不穩定之問題，具有創新創見性。原本是火源及可燃物二者都不穩定，本研究發明之設備使火源可控制成長曲線，對於未來防火研究數據之收斂有革命性的進步。予以肯定。

**曾榮譽理事長順正：**

1. 本研究案對現在所謂奇特高挑的空間有很大的助益，值得肯定。
2. 如有廢棄或待整修的實體，能做真實燃燒與本研究測試方法做比對會更有說服力。
3. 有無規定甲、丙、丁烷的比例？

**主席 蔡組長綽芳：**

關於「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究」，期末審查會議委員所提此標準法之限制性請納入考量。

**計畫主持人回應（蔡主任銘儒）：**

1. 對於驗證程序將於「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究」，手冊編修時提供參考及參與。
2. 火災時火源部分可符合研究中所提 CNS 標準所用火源規定，唯一差異為 CNS 15937 熱煙試驗之火源為液態酒精燃料，本研究為氣態瓦斯燃料，不過在其對流熱釋放率可相符合，且在歐洲及大陸已有案例，尤其大陸同樣訂有標準（亦以液態酒精燃料為火源），亦有地方驗證規範採用氣態瓦斯燃料為火源，故與標準並無違合。
3. 本研究開發之燃燒器可於戶外鋼構屋取代木架燃料，實驗時是在晴天狀態下進行，風的影響部分是納入開口因素考量。
4. 建築煙控全尺度驗證部分，以觀摩衛武營驗證實驗，即以其性能設計所用 FDS

模擬之 19 個情境逐一比較驗證。

5. 火源所用之瓦斯燃料原則上可不用規定其燃料成分比率，可運用 CNS 15048(等同 ISO 9705)實測其流量與燃燒對流熱釋放率為準據。
6. 熱煙試驗標準法是驗證火災初期之煙控避難階段是否可達到設計目標，因係以示蹤為主故有其限制性，本研究開發依模擬或計算所得煙捲吸流率相同流率，在提供所形成煙層高度之基本熱源，可突破示蹤之限制，而可量化驗證。
7. 後續研究將依委員之肯定與期許，如發展為 ISO 規範，或者申請國際專利以及做真實燃燒與本研究測試方法做比對，盡更大努力。

#### 八、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期末報告，經審查結果原則通過。
- (二) 請詳細記錄與會審查委員及出席代表之意見，並請計畫主持人參採及確依本部規定格式修正成果報告，注意文字圖表之智慧財產權，如有引述相關資料，應註明資料來源，對於成果報告之結論與建議事項內容，須考量應為具體可行，並適時將研究成果投稿建築相關學報或期刊。

#### 九、散會（下午 5 時 10 分）

序號	審查意見	意見回覆	備註
1	計畫內容符合預期成果。	感謝委員肯定。	
2	以乾淨、安全的燃料作為熱煙測試的火源，確實能解決當前試驗法之缺失。	感謝委員肯定。	
3	本案文獻蒐集完整，並提出建築煙控全尺度驗證機制，以確保煙控避難性能的可靠度，甚具實用效益。建議補充下列事項： 本案火源產生機制，是否符合國家標準？如有差異如何處理。	感謝委員肯定。 火災時火源部分可符合研究中所提 CNS 標準所用火源規定，唯一差異為 CNS 15937 熱煙試驗之火源為液態酒精燃料，本研究為氣態瓦斯燃料，不過在其對流熱釋放率可相符合，且在歐洲及大陸已有案例，尤其大陸同樣訂有標準	

		(亦以液態酒精燃料為火源)，亦有地方驗證規範採用氣態瓦斯燃料為火源，故與標準並無違合。	
4	有關建議一稱，建構可移動火災模擬燃氣燃燒器，可運用於戶外實驗場，惟如使用於戶外時，相關環境條件（例如風、雨…）如何控制？	本研究開發之燃燒器可於戶外鋼構屋取代木架燃料，實驗時是在晴天狀態下進行，風的影響部分是納入開口因素考量。	
5	建築煙控全尺度驗證部分，建議未來可與NIST的FDS模擬進行比較。	建築煙控全尺度驗證部分，以觀摩衛武營驗證實驗，即以其性能設計所用FDS模擬之19個情境逐一比較驗證，106年度研究亦曾於本所防火實中心會議廳先進行FDS模擬再進行熱煙試驗比對。	
6	本研究發明具有可控制之實驗（試驗）火源，優於目前國內外之火源規範，後續可以考慮將研究成果提供給國際規範訂定機構參考，發展為 ISO 規範，或者申請國際專利。	感謝委員肯定，後續研究將依委員之肯定與期許，如發展為ISO規範，或者申請國際專利以及做真實燃燒與本研究測試方法做比對，盡更大努力。	
7	解決全尺寸以木架火源時，火源不穩定之問題，具有創新創見性。原本是火源及可燃物二者都不穩定，本研究發明之設備使火源可控制成長曲線，對於未來防火研究數據之收斂有革命性的進步。予以肯定。	感謝委員肯定。	
8	本研究案對現在所謂奇特高挑	感謝委員肯定	

	的空間有很大的助益，值得肯定。		
9	如有廢棄或待整修的實體，能做真實燃燒與本研究測試方法做比對會更有說服力。	感謝委員的建議，納入後續研究參考，若有機會將進行實證。	
10	有無規定甲、丙、丁烷的比例？	所用燃料，在實驗室係以瓦斯氣槽為主，桶裝為輔，在現地將以桶裝為主，為使燃燒熱之穩定，將以丙烷(95%以上)為主，以降低發熱量之變化，並可先於實驗室以CNS 15048「建築材料耐燃性試驗法-全尺度燃燒試驗法」，量測其熱釋放率。	
11	關於「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究」，期末審查會議委員所提此標準法之限制性請納入考量。	熱煙試驗標準法是驗證火災初期之煙控避難階段是否可達到設計目標，因係以示蹤為主故有其限制性，本研究開發依模擬或計算所得煙捲吸流率相同流率，在提供所形成煙層高度之基本熱源，可突破示蹤之限制，而可量化驗證，關於標準法之限制性將參與「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊」編修考量。	

## 附錄四 經濟部智慧財產局新型專利公報

【19】中華民國                      【12】專利公報 (U)

【11】證書號數：M573234

【45】公告日：中華民國 108 (2019) 年 01 月 21 日

【51】Int. Cl. :                      A62C37/50 (2006.01)                      A62C37/36 (2006.01)  
    G05B23/02 (2006.01)

新型                      全 3 頁

---

【54】名    稱： 建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置

【21】申請案號： 107214092                      【22】申請日： 中華民國 107 (2018) 年 10 月 18 日

【72】新型創作人： 蔡銘儒 (TW)；蔡緯芳 (TW)

【71】申請人： 內政部建築研究所  
    新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

【74】代理人： 陳豐裕

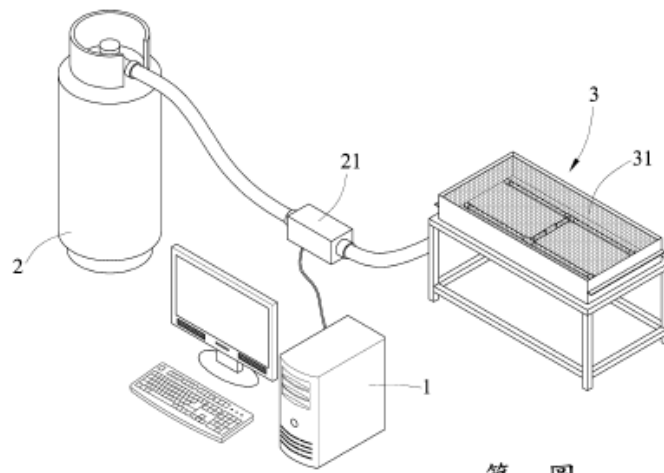
【57】申請專利範圍

1. 一種建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置，其主要係包括有操控裝置、瓦斯供應裝置及燃燒器；其中：該操控裝置，其供操作人員進行相關操作；該瓦斯供應裝置，其輸出供給瓦斯，於該瓦斯供應裝置之輸出端連接有瓦斯流量控制器，該瓦斯流量控制器與該操控裝置進行連線，經由該操控裝置操控該瓦斯流量控制器之瓦斯輸出流量；該燃燒器，其與該瓦斯供應裝置之該瓦斯流量控制器相連接，以讓該瓦斯供應裝置經由該瓦斯流量控制器供給該燃燒器燃燒時所需的瓦斯流量。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置，其中，該操控裝置係為電腦。
3. 如申請專利範圍第 1 項所述建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置，其中，該操控裝置係為行動裝置。
4. 如申請專利範圍第 1 項所述建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置，其中，該燃燒器係為擴散型燃燒器。
5. 如申請專利範圍第 1 項所述建築之火災與現場熱煙試驗的火源產生裝置，其中，該燃燒器係為預混型燃燒器。

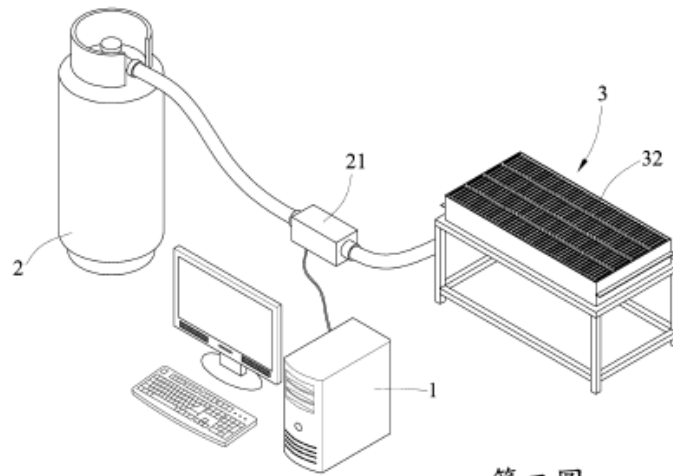
圖式簡單說明

- 第一圖：本創作之立體結構示意圖
- 第二圖：本創作之另一實施例立體結構示意圖
- 第三圖：本創作之使用狀態結構示意圖
- 第四圖：本創作之另一實施例使用狀態結構示意圖

(2)

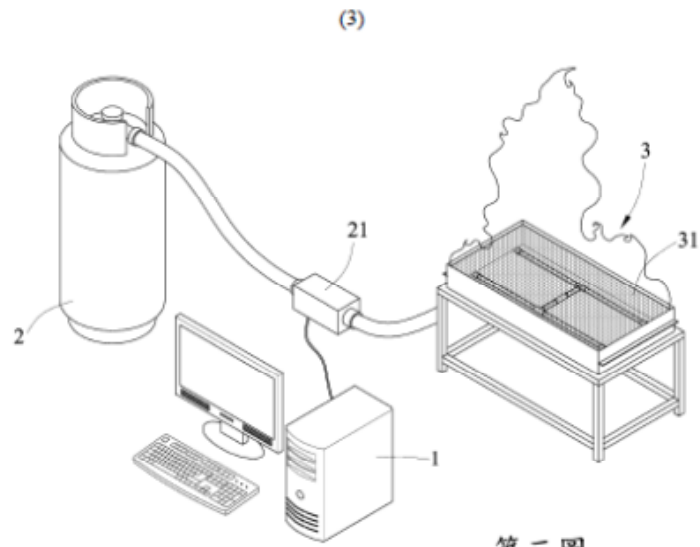


第一圖

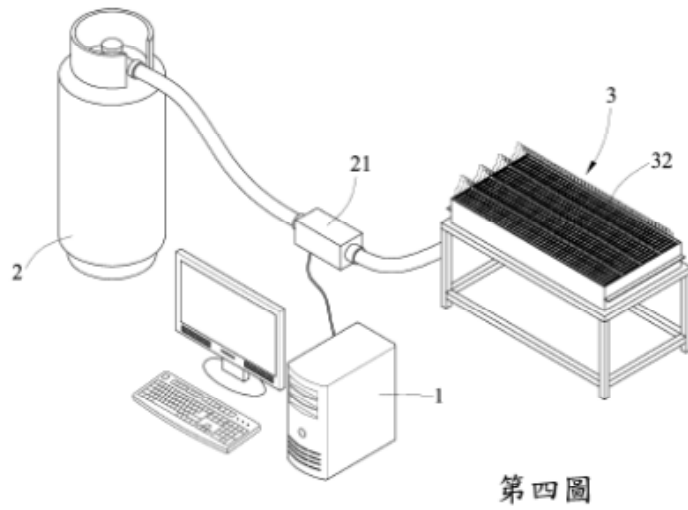


第二圖





第三圖



第四圖

## 參考書目

1. Lisa Choe, Selvarajah Ramesh, Matthew Hoehler, Mina Seif, John Gross, Chao Zhang, and Matthew Bundy, National Fire Research Laboratory Commissioning Project: Testing Steel Beams under Localized Fire Exposure, NIST Technical Note 1983, 2018。
2. CNS 15048：2007 建築材料耐燃性試驗法-全尺度燃燒試驗法。
3. CNS 15213-1：2008 建築物外牆立面防火試驗法—中尺度試驗。
4. CNS 15213-2：2008 建築物外牆立面防火試驗法—大尺度試驗。
5. CNS16071：2018 建築物非承重構件耐火試驗法-採用中尺度、多樓層試驗裝置。
6. CNS 15937：2016 煙控系統性能現場試驗法-熱煙試驗。
7. 盧東岳，” 瓦斯器具的基本知識”， 台灣區瓦斯器材工業同業公會，[http://www.ton-lin.net/news\\_view.asp?ID=94](http://www.ton-lin.net/news_view.asp?ID=94)。
8. GAS TECHNOLOGY ADVISOR™ ONLINE TRAINING SYSTEM，[http://gta.gastechnology.org/combustion/cm\\_dm\\_a](http://gta.gastechnology.org/combustion/cm_dm_a)。
9. Matthew Smith, John Gales,” CONNECTION BEHAVIOUR IN CONTEMPORARY CANADIAN BUILDINGS SUBJECTED TO REAL FIRES”, The SFPE 12<sup>th</sup> International Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods,2018.
10. Jamie Stern-Gottfried, Ann Jonsdottir, Guillermo Rein,” Comparison of Resulting Steel Temperatures from Travelling Fires and Traditional Design Methods: A Case Study of the Informatics Forum Building”, Steel in Fire Forum, 12 April 2011.
11. Guillermo Rein,” Travelling Fires in Structural Design”, 7th Int Conf Fire Safety

- Eng APICI Madrid, Feb 2011.
12. Egle Rackauskaite , Nieves Fernandez Anez ,” x-ONE Fire Experiment in a Very Large and Open-Plan Compartment “, The SFPE 12<sup>th</sup> International Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods,2018.
  13. Chao Zhang, Hong-Xia You, Lisa Choe” Fire Dynamics Simulations for Performance-Based Fire Safety Design of Steel Structures in Large Enclosures “, The SFPE 12<sup>th</sup> International Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods,2018.
  14. Anthony D. Ariyanayagam, Mahen Mahendran,” Fire Safety of Buildings Based on Realistic Fire Time-Temperature Curves”, *Proceedings of the 19th International CIB World Building Congress*, pp. 1-13,2013.
  15. Anthony Deloge, Ariyanayagam, Mahen Mahendran,” Development of Realistic Design Fire Time-Temperature Curves for the Testing of Cold-formed Steel Wall Systems”, *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, Volume 8, Issue 4, pp 427–447,2014.
  16. David Parkinson,” Performance Based Design of Structural Steel for Fire Conditions”, *Worcester Polytechnic Institute Department of Fire Protection Engineering thesis of Master Degree*,2002.
  17. [https://www.steelconstruction.info/Fire\\_testing](https://www.steelconstruction.info/Fire_testing).
  18. František Wald,” 9-2. Fire behavior and thermal response”, E-LEARNING A OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ V OBORU OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ,ELECTRONIC QUALITY ASSURED STEEL TRAINING AND ASSESSMENT,2009.
  19. Vytenis Babrauskas,” Temperatures in flames and fires”, Fire Science and Technology Inc., <https://www.doctorfire.com/flametmp.html>,2006.
  20. 高崇洋，” 火災模擬器商品化雛形設計與製作” ， 行政院勞工委員會勞工

安全衛生研究所，2008。

21. Chao Zhang, Lisa Choe, John Gross, Selvarajah Ramesh, Matthew Bundy,” Engineering Approach for Designing a Thermal Test of Real-scale Steel Beam Exposed to Localized Fire”, *Fire Technology*, Volume 53, [Issue 4](#), pp 1535–1554,2017.
22. Lisa Choe, Selvarajah Ramesh, Matthew Hoehler, Mina Seif, John Gross, Chao Zhang, and Matthew Bundy,” National Fire Research Laboratory Commissioning Project : Testing Steel Beams under Localized Fire Exposure”,,National Institute of Standards and Technology,2018.
23. Selvarajah Ramesh, Mina Seif, and Lisa Choe,” Localized fire tests on steel beams with different end restraints”, *9th International Symposium on Steel Structures, November 1-4, 2017*.
24. 鄧伊婷，” 臺灣建築防火避難性能審議現況分析-以國立海洋科技博物館為例”， 中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2017。
25. 蔡銘儒，「建築火災煙控系統驗證現場熱煙試驗法建立之研究」，內政部建築研究所自行研究計畫成果報告，2013。
26. 祝實，霍然，胡隆華，陳志斌，「熱煙測試方法的若干工程應用及討論」，*消防科學與技術*，Vol 27，No8，2008。
27. 蘇崇輝，王煊丞，楊咏璋，蘇培森，黃雨濤，蔣岳霖，” 以全尺度熱煙測試進行排煙系統驗證-以K海洋博物館為例”， *燃燒季刊*，Vol. 26, No. 4，2017。
28. 姚斌、李元洲、毛少华、王浩波、祝实、纪杰、胡隆华、霍然，CN 101474467B 發明專利，「熱煙測試裝置」，中華人民共和國國家知識產權局，2011。
29. Guanchao Zhao,” STUDY OF FIRE SMOKE FILLING IN BUILDINGS BY HELIUM SMOKE TESTS”, Master of Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montreal, Quebec, Canada,2012.
30. Guanchao Zhao , Liangzhu (Leon)Wang,” Using helium smoke as a surrogate of

- fire smoke for the study of atrium smoke filling”, Journal of Fire Sciences, Vol. 32(5) 431–447, 2014.
31. Petr Pospisil, Ludwig Ilg,” CLEAR AIR, CLEAR CONSCIENCE”, VENTILATION REGIONAL FOCUS, Tunnels , www. tunnelonline. Info, 2014.
  32. Tony Botha,”The Stratification of smoke”, <http://www.fire-eng.co.za/Smoke%20stratification.pdf>.
  33. W.K.Chow,C. L. Chow, S. S. Li,” Simulating Smoke Filling in Big Halls by Computational Fluid Dynamics”, Modelling and Simulation in Engineering Volume 2011.
  34. W.K. Chow, “Determination of the Smoke Layer Interface Height for Hot Smoke Tests in Big Halls”, JOURNAL OF FIRE SCIENCES, VOL. 27 , 2009.
  35. Kashef, A.; Bénichou, N.; Loughheed, G. D.,”Numerical Modelling of Movement and Behaviour of Smoke Produced from Fires in the Ville-Marie and L.-H.-La Fontaine Tunnels: Literature Review”, IRC-RR-141,2003.
  36. Xue-Jin LI, Yan-Feng LI, Jin ZHANG,Hong-Yi WANG,” Experimental Study on Evaluating Smoke Control System Performance in a Transfer Station”, 2017 Joint International Conference on Materials Science and Engineering Application (ICMSEA 2017) and International Conference on Mechanics, Civil Engineering and Building Materials (MCEBM 2017),2017.
  37. 史聰靈、鐘茂華、竺維彬、符泰然、何理、馮國冠、石傑紅、汪良旗、吳劉遠見、溫曉虎、傅常慶，CN 102162375B 發明專利，「地鐵車站及區間隧道現場熱煙測試設備及方法」，中華人民共和國國家知識產權局，2013。
  38. AQ 8007 「城市軌道交通試運營前安全評價規範」，中華人民共和國安全產業行業標準，2013。
  39. Eklund, TI. Generation of a buoyant plume of artificial smoke for airplane tests. Atlantic City, New Jersey: Federal Aviation Administration, Technical Center1990.

40. Thor I. Eklund, James E. Demaree, William E. Neese, "Helium smoke generator", United States Patent, US4994092, 1991.
41. "Flight Deck Smoke Penetration Testing", Robert Morrison, FAA Technical Center Fire Safety, 2014.
42. Richard J. Roby, Douglas J. Carpenter, "用於真實火源模擬的漂浮氣體的使用", 發明專利CN 102460537, 中華人民共和國國家知識產權局, 2014。
43. Littlewood, J. R., Alam, M., Goodhew, S., "A new methodology for the selective measurement of building performance and safety", 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY.
44. J. Rodler, A. Bassler, E. Schnell, "ANALYSIS OF A 10 MW FIRE IN AN UNDERGROUND RAILWAY STATION USING FULL SCALE TESTS AND CFD", 7th International Conference 'Tunnel Safety and Ventilation' 2014.
45. Juan Jose Blond, Mario Venturini, Andreas Kanitz, Ricky Carvel, "New Generation of Smoke Tests", Sixth International Symposium on Tunnel Safety and Security, PP 345-354, 2014.
46. Juan Jose Blond Hernandez, Izar, "an innovative smoke testing system by using premixed flames for a new smoke testing strategy", 4th Magdeburg Day of Fire and Explosion Safety, 2015.
47. "Nozzle-mix line burner", <http://www.techrite.com.au/pdfs/Techrite-Maxon-maxon-Apx-Nozzle-Mix-Line-Burner-2013050711.pdf>, 2009.
48. SZDB/Z 74, 「地鐵車站消防系統驗收評定規程」, 深圳市標準化指導性技術文件, 2013。
49. 蔡銘儒, 「建築火災煙控性能設計現地排煙驗證精進計畫」, 內政部建築研究所自行研究計畫成果報告, 2017。

50. 107年7月4日，(107)智專一(四)05053字第10740963830號，經濟部智慧財產局新型專利形式審查核准處分書。
51. 楊冠雄，「大空間建築全尺度熱煙試驗定量化分析及技術手冊編修研究」，內政部建築研究所協同研究計畫期中報告，2018。
52. 祁曉霞，「利用發煙機進行煙氣試驗中存在的問題」，消防科學與技術, 2001。
53. 林大惠，「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」，內政部建築研究所協同研究計畫期末報告，2018。
54. NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems, 2018.