

防火性能設計之建材性質
測試標準 CNS 化研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 98 年 12 月

098-301070000G2-019

防火性能設計之建材性質 測試標準 CNS 化研究

研究主持人：蔡銘儒

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 98 年 12 月

目次

目次	I
圖次	III
表次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究內容	1
第三節 研究方法與流程	3
第二章 建築材料燃燒性質	5
第一節 防火材料性質研究國際趨勢	5
第二節 火災可燃材料燃燒特性	5
第三節 防火性能設計之建材性質	10
第三章 建築材料性質標準試驗項目與內容	39
第一節 火焰散佈參數	39
第二節 密度	87
第三節 裂解熱	100
第四節 比熱	107
第五節 熱傳導	117
第六節 熱慣性	166
第四章 結論與建議	167
第一節 結論	167
第二節 建議	168
參考書目	169
附錄	175

圖次

圖 1-1 研究流程圖	4
圖 2-1 雙組分兩階段反應表現動力學模型	9
圖 2-2 木材熱解與著火過程中形變幾何模型示意圖	9
圖 2-3 木材熱解與著火綜合模型示意圖	10
圖 2-4 木材比熱與溫度關係	11
圖 2-5 木材熱傳導係數與溫度關係	12
圖 2-6 每層 3 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對	12
圖 2-7 每層 9 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對	13
圖 2-8 全尺度火災模擬與實驗熱釋放率歷程比對	13
圖 2-9 全尺度火災模擬與實驗總熱釋放歷程比對	14
圖 3-1 試驗示意圖	42
圖 3-2 在試體上之常態熱通量	43
圖 3-3 引燃性試驗之引燃裝配	43
圖 3-4 測試裝置示意圖	45
圖 3-5 典型試體固定方式	48
圖 3-6 火焰前端抵達時間觀測法示意圖	49
圖 3-7 典型試體夾具結構	50
圖 3-9 引燃火源、燃燒器及瓦斯/空氣管線示意圖	52
圖 3-10 校正板示意圖	54
圖 3-11 輻射熱板與試體相對位置	60
圖 3-12 引燃時間為外部輻照度函數	62
圖 3-13 試驗裝置正視與上視圖	71
圖 3-14 試驗裝置側視圖	72
圖 3-15 試驗裝置 A-A 剖面圖	73
圖 3-16 試驗裝置 B-B 剖面圖	74
圖 3-17 試驗原則透視圖	75
圖 3-18 通風控制板上進氣口之典型位置	76
圖 3-19 進氣口配置與矽酸鈣板緊故在試體托盤盤邊	77
圖 3-21 火焰燃燒器	79
圖 3-22 火焰燃燒器在試體上引燃期間之配置	80
圖 3-23 熱通量分佈曲線	83
圖 3-24 熱通量分佈曲線	84
圖 3-25 質量增長熱重曲線範例	92
圖 3-26 單一階段質量減損熱重曲線範例	93
圖 3-27 多階段質量減損熱重曲線範例	94
圖 3-28 多階段(兩反應階段間之質量非恆定)質量減損熱重曲線範例	95
圖 3-29 試體膨脹與溫度	99
圖 3-30 特徵溫度測定例	101
圖 3-31 轉換焓之測定	107

圖 3-32 DSC 曲線比熱容測量 (空白, 校準和標本運行) 調整後的基準線典型的示意圖.....	109
圖 3-33 連續掃描 DSC 曲線示意	114
圖 3-34 逐步掃描 DSC 曲線示意	115
圖 3-35 熱傳導量測方法分類	118
圖 3-36 裝置圖示	120
圖 3-37 熱線設置樣本	122
圖 3-38 閃光法示意圖.....	129
圖 3-39 閃光法特性溫度曲線圖	129
圖 3-40 閃光系統的方塊圖.....	131
圖 3-41 無因次溫度響應曲線與數學模型的比較.....	135
圖 3-42 標準化後表面溫升: 數學模型(不具有限脈衝時間效應)與具有有限脈衝時間的實驗值比較.....	135
圖 3-43 標準化後表面溫升: 數學模型(無熱損失)與具有輻射熱損失的實驗值比較.....	136
圖 3-44 雷射脈衝波形	137
圖 3-45 一個熱通量轉換器與一試體之裝置.....	143
圖 3-46 一個熱通量轉換器與兩試體之裝置.....	145
圖 3-47 兩個熱通量轉換器與一試體之裝置.....	146
圖 3-49 加防護的熱板裝置內熱流之圖示.....	151

表次

表 2-1 FDS5.0 材料性質參數.....	15
表 2-2 ASTM E1591 材料性質參數.....	36
表 2-2 ASTM E1591 材料性質參數(續).....	37
表 3-1 垂直側向延燒測試標準比較.....	40
表 3-2 垂直向下延燒測試標準比較.....	40
表 3-3 地坪水平延燒測試標準比較.....	41
表 3-4 沿著校正板的熱量值.....	60
表 3-5 試驗材料表.....	67
表 3-6 側向引燃與延燒性試驗.....	68
表 3-7 校正板上所須之總熱通量分佈.....	83
表 3-8 校正板上所須之總熱通量分佈.....	84
表 3-9 ISO 9239-1 地坪材料輻射熱板試驗.....	87
表 3-10 熱重分析法及膨脹計分析相關標準.....	88
表 3-11 轉換或熔化溫度和熔化焓各種參考材料.....	103
表 3-12 純 A-氧化鋁在 120K 至 780K 溫度區域的比熱容.....	116
表 3-13 0.508 MM 熱線 ^A 所使用最高電流量(A).....	125
表 3-14 不同溫升百分比下的 K_V	134
表 3-15 理論模型標準化的溫度對時間值.....	134
表 3-16 有限脈衝時間因子.....	137

摘要

關鍵詞：防火、性能設計、建材性質、CNS

一、研究緣起

室內火災燃燒過程是一種複雜的物理、化學的綜合過程，而影響燃燒因素並非一成不變是隨機發生的，也因此造成火災燃燒過程及火災溫度的隨機性，且因大尺度火災模擬實驗，所需人力、物力、經費與時間龐大，在有限條件下以及火災變因複雜等因素，為利於研究分析，實驗往往所能採用之模型及態樣有限，實驗所得結果必然無法確切斷定火災成長因素影響性，有鑑於此，國際上陸續發展出數種火災模擬程式，透過程式之模擬再選擇必要之實驗驗證，將可提高研究或設計效能。

二、研究方法與過程

本研究首先蒐集材料熱解與燃燒機理研究文獻，探討防火性能設計與模擬所必須之材料性質，再由這些材料性質，蒐集 ISO、ASTM、CNS 等標準，比較與檢討 CNS 須建立或須修訂之項目，最後將建築防火性能設計與模擬所必須之基本建材性質測試法，加以建立為 CNS 標準草案或修訂建議。

三、重要發現

1. 火災模擬 19 項材料性質參數測試法蒐集與分析，其中空氣/燃料比、對流熱傳遞係數、逸入係數及火焰撲滅係數，無相關測試標準。
2. 材料性質參數中之燃燒效率、燃燒熱、氣化熱、熱釋放率、引燃溫度、質量損失率、物種產生率及熱慣性，可由圓錐量熱儀與房間火災模擬試驗測得，此二試驗法已訂有 CNS 14705 及 CNS 15048，並已與國際調合。
3. 在火焰散佈參數方面主要以 ASTM E1321 訂有試驗法與計算方式，ISO 方面為 ISO 5658-2，惟其測試以平均持續燃燒熱及熄滅臨界

熱通量為主。

4. 火焰散佈參數方面除結論 3 係以側向延燒外，尚有垂直向下延燒，標準有 ASTM E162、ASTM D3675 及 CNS 14819，測試火焰擴散因素、火焰擴散指數及放熱因素，以及地坪熱輻射水平延燒，測試標準有 ASTM E648、ISO 9239-1 及 ISO 9239-2，ASTM E648、ISO 9239-1 測法相同(最大輻射熱通量為 11kW)，ISO 9239-2 則以最大輻射熱通量 25kW 測試，測試熄滅臨界輻射熱通量，除垂直向下延燒已有 CNS 標準，垂直側向與地坪水平延燒尚未制訂 CNS 標準。
5. 材料於燃燒過程或高溫下之密度係隨溫度而變，由於無直接量測溫度與密度關係測試法，但由於密度為質量與體積關係，質量與溫度關係變化可由熱重分析測得，體積與溫度關係變化可由熱膨脹係數測試各向隨溫度變化熱膨脹係數得到。
6. 裂解熱、裂解溫度與比熱可由示差分析法獲得。
7. 熱傳導部分因有多種測試方法，各方法間有其適用範圍，由於無各測試方法之完整比較文獻，本所亦無完整設備可進行比較分析；因此，本研究僅就 ASTM 及 ISO 相關標準予以蒐集，完成各法之測試法架構與內容研擬，但不同測試法可交互比對取得可靠性較高之熱傳導係數。
8. 熱慣性方面可由密度、比熱及熱傳導係數個別測試後計算而得，亦可由圓錐量熱儀法參考 SFPE Handbook, Section 3, Chapter 4 量測而得。

四、主要建議事項

建議一

立即可行建議——訂定火災模擬材料性質參數測試法等標準。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準檢驗局、內政部營建署

本研究參考 ASTM、ISO 等相關標準研訂火焰散佈參數、密度、熱裂解、裂解溫度、比熱、熱傳導等測試法標準架構與內容，可進一步依標準提案格式撰擬，提供標準制訂機關進行制訂法制程序，在此之前以火災模擬程式進行模擬及作為防火性能設計者，應先將所設計使用之材料經測試取得正確之參數，再以此參數作為模擬參數設定，謂之查證，完成查證後再就整體設計進行功能目標作確認，才算完成設計與驗證，並確保設計可符合安全要求；依申請避難安全性能驗證

作業事項第九點審查作業注意事項，應送審文件包括試驗或分析文件、火災模式相關參數輸入與輸出資料列表，據此評定機構應就此部分要求送審者提出實際之試驗或分析文件，如使用火災模式則須審查其相關參數輸入資料是否經過試驗查證。

建議二

中長期建議-建置火災模式輸入材料性質參數實驗設備與參數資料庫
主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準檢驗局

在相關文獻曾以固相燃燒模擬及驗證結果顯示，如能掌握材料參數，其模擬是可符合常態性之燃燒結果；據此，本所及相關檢測機關如能建立完整之設備，並將測試資料建置參數資料庫，將有助進一步火災安全研究，亦有助於設計者進行防火性能設計，以及建築防火安全主管機關審核。

Abstract

Keywords: CNS, Performance design, material property

1. Origin of this study

Indoor fires burning process is a complex physical, chemical synthesis process, the factors affecting the combustion is not invariably occurs randomly, and thus causing a fire burning process and the randomness of fire temperature and fire due to large-scale simulation experiment, the required manpower and material resources, funding and time a huge fire in the limited conditions, as well as the changes due to complex factors such as research and analysis for the benefit of the experiment is often best to use the model and state of samples is limited, experimental results are certainly not known with certainty the fire growth factors nature of this reason, the international community gradually developed several kinds of fire simulation programs, through a program of the simulation and then select the necessary experimental verification will be able to enhance the performance of research or design.

2. Research method and process

First, this study was to collect materials, pyrolysis and combustion mechanism of the research literature to explore the fire performance-based design and simulation of material properties that must be, and then from the nature of these materials, collecting ISO, ASTM, CNS standards, comparison and review of CNS to be established or to be revised the project, and finally building fire performance-based design and simulation of basic building materials are essential to the nature of testing methods, to be established as CNS draft standard or the proposed amendment.

3. Important findings

1. Fire simulation parameters of material properties of 19 Test collection and analysis, including air / fuel ratio, convective heat transfer coefficient, entrainment coefficient and flame extinction coefficient, non-relevant test standards.
2. Material property parameters of the combustion efficiency, heat of combustion, heat of gasification, rate of heat release, ignition temperature, mass loss rate, production rate of species and thermal inertia, may be cone calorimeter and the room test measured, the two

test France have already set a CNS 14705 and CNS 15048, and has been with the international blending.

3. In the flame spread parameters laid down mainly in ASTM E1321 test method and calculation method, ISO in the ISO 5658-2, although its average heat for sustained burning and the critical heat flux at extinguishment.
4. The flame spread parameters in addition to the Department of conclusions 3 to lateral spread, there are spread vertically downward, standards ASTM E162, ASTM D3675, and CNS 14819, test the flame spread factor, the radiant panel index and heat evolution factors, as well as thermal radiation level of the floor spread, the test standards ASTM E648, ISO 9239-1 and ISO 9239-2, ASTM E648, ISO 9239-1 test method the same (maximum radiant heat flux of 11kW), ISO 9239-2 maximum radiation heat flux 25kW test, Test out the critical heat flux at extinguishment, in addition to the vertical spread down the CNS has been the standard, vertical and ground floor level of the lateral spread has not yet developed CNS standards.
5. Materials under high temperature in the combustion process or the density of the Department with the temperature change, because no direct measurements of temperature and density in testing methods, but because of the relationship between the density of mass and volume, quality and the relationship between changes in temperature measured by thermal gravimetric analysis, size and to changes in temperature can be testing the coefficient of linear thermal expansion with temperature changes in the coefficient of linear thermal expansion to be.
6. Heat of pyrolysis, pyrolysis temperature and specific heat by Differential Scanning Calorimetry.
7. Heat conduction in part by a variety of test methods, each method has its own between the scope of application, the absence of a complete comparison of all test methods literature, this by no device can be a complete comparative analysis; so far as this study, ASTM and ISO standards should be collected to complete the structure of each method of testing methods and content to develop, but the interaction of different testing method can be higher than the right to obtain the reliability coefficient of thermal conductivity.
8. Aspects of thermal inertia by the density, specific heat and thermal conductivity calculated from the individual tests or by the cone calorimeter method reference SFPE Handbook, Section 3, Chapter 4 measurements derived.

4. Main suggestions

For immediate strategies:

In this study refer to ASTM, ISO standards and other related research provides the flame spread parameter, density, heat of pyrolysis, pyrolysis temperature, specific heat, thermal conductivity testing method such standard architecture and content, can be further in accordance with the standard format for drafting and amending the proposal to provide standard-setting bodies to develop the rule of law program, in which prior to the fire simulation program to simulate the performance and as a designer of fire protection should be designed first to use the materials tested to obtain the correct parameters, then this parameter as a simulation parameter settings to verify that the complete verification before on the overall goal of the design features to make sure, be considered to complete the design and verification, and to ensure design compliance with safety requirements; to apply for asylum in accordance with the safety performance verification operational matters ninth point of the review work notes, documents should be submitted for examination, including tests or analysis of documents, fire Model parameters input and output data list, whereby rating agencies should be required to trial those who made this part of the test or analysis of the actual documents, such as the use of fire models to examine the relevant parameters of its input data is tested to verify.

For long-term strategies:

In the relevant literature as stated by the solid-phase combustion simulation and verification results show that if they can master the material parameters, the simulation is be able to meet the norm of the combustion results; Accordingly, the reach of the relevant inspection agencies, such as able to establish the integrity of equipment, and test Build a database of information parameters, will help to further fire safety research will also help designers to fire performance, design, and building fire safety audits competent authority.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

室內火災燃燒過程是一種複雜的物理、化學的綜合過程，而影響燃燒因素並非一成不變是隨機發生的，也因此造成火災燃燒過程及火災溫度的隨機性，且因大尺度火災模擬實驗，所需人力、物力、經費與時間龐大，在有限條件下以及火災變因複雜等因素，為利於研究分析，實驗往往所能採用之模型及態樣有限，實驗所得結果必然無法確切斷定火災成長因素影響性，有鑑於此，國際上陸續發展出數種火災模擬程式，透過程式之模擬再選擇必要之實驗驗證，將可提高研究或設計效能。

蔡銘儒(2008)以材料之熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、反應能(E_A)、熱解熱(ΔH_p)以及碳化層熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)、密度(ρ_c)等 9 項為實驗設計參數，進行 FDS 模擬，經函數分析與變異分析，獲得主要影響模擬結果之參數，在此研究條件下以固相燃燒模擬及驗證結果顯示，如能掌握材料參數，其模擬是可符合常態性之燃燒結果，據此如能研訂材料各項參數特性實驗或推估標準，並建立材料參數資料庫，將有助進一步火災安全研究，亦有助於設計者進行防火性能設計，以及建築防火安全主管機關審核。

第二節 研究內容

性能法規在施行過程中，主管官署有時候會碰到一個難題，也

就是用什麼方法來驗證這種設計符合「性能式」法規(王鵬智,1999),性能法規尚在萌芽階段而且隨著知識的進化發展,仍有許多障礙尚待克服。其中一項最主要的缺點是如何證明它能遵照其設定的目標發展,難以評估是否符合其設立的目標(丁育群,1999)。

陳俊勳(1999)以 HAZARD I 等著名火災模式,這些都非我國自行研發,完全引用一定會有適應不良的情形產生。最主要的是材料不同,再加上使用的習性不同以及氣候不同等因素可能會造成計算結果預測的偏差,

本研究主要依據ASTM E1591標準為促使與模擬輸入數據的品質高度相關的火災模式計算的準確度增加,重點是房間火災的區域模式,但其他類型的數學火災模式也需許多相同的輸入變數,提供數學火災模式需作為輸入值的材料性質,提供各項輸入變數如下所列:空氣/燃料比、燃燒效率、對流熱量轉移係數、密度、發射率、逸入係數火焰撲滅係數、火焰散佈參數、燃燒熱、氣化熱、熱解熱、熱量釋出速度、起火溫度、質量流失速度、物種產生速度、熱解溫度、比熱、導熱性、及熱慣性。再由Chris(2006)以材料熱解模式以FDS模擬材料表面溫度及質量損失率歷程,提出具熱裂解性質材料如木材,模擬所須木材熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、反應能(E_A)、熱解熱(ΔH_p)以及碳化層熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)、密度(ρ_c)等8項材料性質資料。以及FDS5使用手冊材料性質參數,進行綜整研析防火性能設計與模擬,對於材料之特性須求,即材料之熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、反應能(E),隨著火災歷程中受溫度之升高其性質之變化,對於火勢成

長之模擬有明顯之影響，則將此類須求作為性能防火設計基本材料性質測試標準，並予以CNS化。

第三節 研究方法與流程

一、研究方法

- (一)文獻探討：蒐集材料熱解與燃燒機理研究文獻，作為本研究研擬標準之參考。
- (二)標準蒐集：蒐集 ISO、ASTM、CNS 等標準，建立或研修訂材料基本性質測試 CNS 標準草案。
- (三)材料基本性質 CNS 化。

二、研究流程

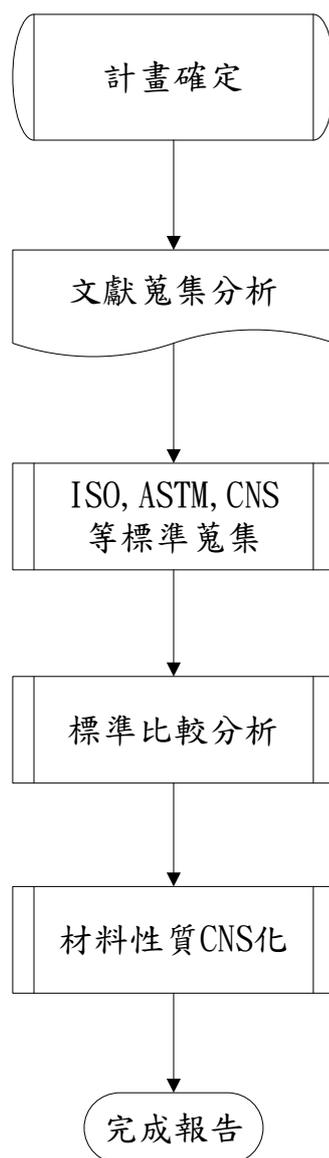


圖 1- 1 研究流程圖

三、預期成果

- (一) 完成性能設計與火災模擬材料參數所須性質項目資料蒐集與分析。
- (二) 完成防火性能設計與火災模擬所須材料性質測試標準草案研訂。

第二章 建築材料燃燒性質

第一節 防火材料性質研究國際趨勢

在國際組織方面FORUM(國際防火研究領導人論壇)在新的合作計畫之一「科學基礎之合理化試驗法」,CIB W014(國際建築營建研發創新聯盟)當前工作計畫目標之一將在鑑別火載量特性及其統計分布、轉換為熱釋放率及產出率、及適用在法規上適當大小之設計火災基準提供必要之協助,英國BRE(建築研究所)防火研究火災研究計畫之一設計火災資料庫,日本BRI(建築研究所)2004年度完成之研究課題可燃物實況配置與火災室溫度上昇預測及建築材料燃燒性試驗法相關研究,NIST(美國國家標準暨技術研究院)之創新防火量測科學之減低火災延燒風險研究重點之一「材料燃燒性(新防火及材料行為模式)」,NRIFD(日本總務省消防廳消防研究中心)2008年研究計畫,在過度密集都市空間對火災安全之確保研究項目之一「燃燒實驗數據庫之建立」(雷明遠,2009),國際標準化組織(ISO)火災安全技術委員會(TC92)分委員會(SC4),在2002年的年會上提出火災安全工程(Fire Safety Engineering),其中分組(WG4)負責研擬火災安全工程所需數據[6],由以上國際趨勢皆顯示出對於材料性質測試之須要性。

第二節 火災可燃材料燃燒特性

火災發生、成長及衰減是一個隨時間變化的複雜的物理化學過程,其中包括多種可燃物的燃燒、氣體的複雜流動以及各種形式的熱

傳過程。建築物火災依 CNS 3658 火災分類為 A 類：指建築物、家具等的木材、紙張、棉織物、纖維物、裝飾物品、塑膠、橡膠等之固體可燃物質火災。

依據火災可燃物的熱解著火行為之不同，一般來說可以將固體可燃物分成碳化型(charring)及非碳化型(non-charring)兩大類，碳化型材料受熱後在加熱方向上存在由外到內的溫梯度，並由表面開始產生熱解，且其熱解是分層進行的，當其熱解揮發分達到一定量值時，若有氧化劑的存在，足夠高的溫度下將產生著火，隨著熱解與燃燒的進行，此類材料之表面會有大量的焦碳覆蓋，焦碳層的形成會使表面熱阻增大，使得材料表面溫度上升，並在材料內部形成更大的溫度梯度，進而影響材料之熱解與燃燒速率，此類材料大都是天然的，其中木材就是這類材料的典型代表。

非碳化型材料受熱後短時間內即軟化流動，其熱解和著火類似於液態燃料，能完全熱解燃燒，一般不會有殘留物存在，這類材料大都是人工合成的塑料製品，其中以 PMMA 為典型代表。

依據俞自濤(2005)引述據火災資料統計，世界各國火災事故中建築物火災造成的損失占首要位置，而其中約 21%與木材、織物等固體可燃物有關，損失巨大的住宅建築火災中，約有 70%與建築物室內裝修用的木質材料有直接關係。由此建築火災之主要可燃物種類及燃燒特性，本研究將以木材進行探討，再由主要影響燃燒過程之材料性質加以界定，並研擬所須之試驗標準，以供性能設計與模擬之須。

碳化型材料(如木材)之熱解與著火過程是一個及其複雜的物理與化學變化的過程，在外界熱輻射作用下，構成木材之纖維素等天然有機高分子在熱解反應作用下發生了一系列複雜的斷鍵、解聚、分解與重組的過程，生成了固態的焦炭、焦油及液態水，同時析出大量的揮發分氣體，一旦到達著火極限，在試體的表面產生明火。另一類在低輻射加熱下或是氧氣含量不足的情況下可燃物發生了一種自加熱式的著火(燃燒)方式被稱為熾熱化著火(陰燃)，這類燃燒方式只可能發生在多孔的可燃物(如香煙等)(沈德魁，2007)。

丁昭義(1990)，據 Gohlieb 之分析結果，不論什麼樹種的木材，其元素組成分為：C：50%、H：6%，由此推定木材之分析實驗式為 $C_{1.5}H_{2.1}O_{1.0}$ ，木材之含氮量在 0.5% 以下，灰分之含量依樹種而異，溫帶樹種之灰分含量約為 1% 以下，因邊材含有蛋白質，所以邊材之含氮量較心材高。木材之元素組成雖不論何種樹種皆類同，但是其木材之化學組成分，不但在樹種之間有差異，同時在同一樹幹上因部位不同亦生差異。木材之化學組成分呈不均一分佈於各部位，且組成分為相當複雜之物質。其組成分可分類如下：

- (1) 碳水化合物：木材之 2/3-3/4 為多醣類(纖維素(Cellulose)、半纖維素(Hemicellulose)等，兩者合稱為全纖維素(Holocellulose))。
- (2) 酚類化合物：佔有木材成分之 20~30%，其中以木質素(Lignin)為主，木質素以外成分有單寧(Tannin)、色素(Pigment)、類木質素(Lignan)等。
- (3) 萜類(Terpenes)：包括精油及樹脂。

- (4) 脂肪酸(Aliphatic acid)：以高級脂肪酸或酯(Ester)之形式存在於木材中
- (5) 蛋白質(Proteins)：正在成長之年輕組織內含有多量的蛋白質，成熟之木材中含量較少，約有 1% 存量。
- (6) 無機質(Inorganic constituents)：溫帶樹之灰分含量低於 0.5 %。有些熱帶樹種之含量常在 1-5% 之間。

木材之主成分為纖維素、半纖維素、木質素，副成分為油脂、樹脂、萜類、單寧、色素以及氮化合物。沈德魁(2007)整理出木材三種主成分之熱解溫度區間，半纖維素在 200~260°C，纖維素在 240~350°C 之間，而木質素在 280~500°C 之間。木材之熱解歷程如下，當溫度到達 100°C 之後，其內部的水分就開始發生蒸發，隨著溫度的進一步升高，緩慢的熱解反應釋放出少量的揮發份，材料的重量開始發生變化，當溫度處在 200°C 到 280°C 之間時，熱解反應較為緩慢且被認為是吸熱的(主要是半纖維素的熱解過程)，此時反應主要產生了二氧化碳、乙酸以及水蒸氣，熱解反應的加速階段時在溫度達到 280°C 到 500°C 之間，如果此時的環境氣氛是惰性的，當溫度高過 500°C 材料的重量變化不大，但是如果環境中有氧氣存在，溫度達到 280°C 到 500°C 之間時的熱解反應是強烈的放熱反應(主要是纖維素及木質素的熱解過程)，而且高過 500°C 後由於碳化部分之緩慢燃燒，使得材料的重量逐漸減少。根據空氣氣氛下木材熱解(燃燒)失重過程的兩個階段特性，利用”雙組分兩階段”反應表現動力學模型來描述該過程如下。

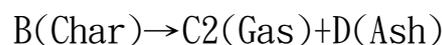
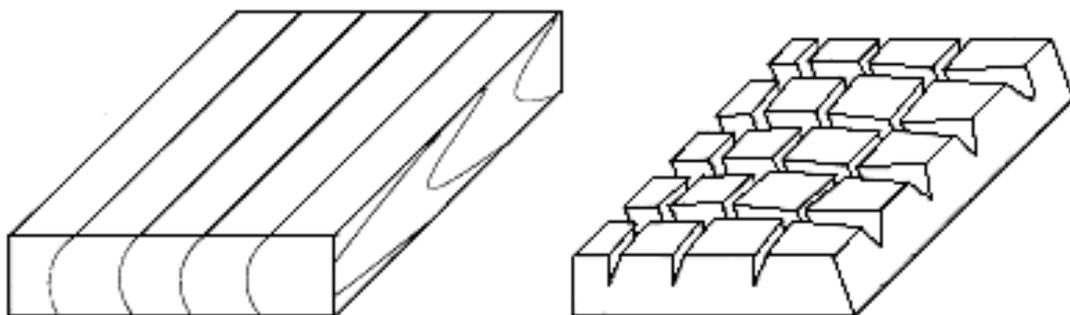


圖 2-1 雙組分兩階段反應表現動力學模型

在木材熱解與著火過程中幾何結構的變化方面，當表面溫度達到 300°C 以上時，其碳化層就要發生收縮並在表面出現裂紋，這些裂紋的出現會使得熱解產生的揮發份更加容易析出，且隨著碳化層的變厚，裂紋的深度及寬度變大，這樣表面碳化層出現體積收縮及開裂的主要原因，由於水分蒸發，揮發份的析出，以及木材內部大分子機構重整使得其表層發生了收縮，又由於碳分子的重新結合以及空隙之間的引力作用使得碳化層開始發生開裂，並隨著碳化層的加深裂紋也越來越大、越深，如圖 2-2 所示的木材熱解與著火過程中形變幾何模型示意圖，及圖 2-3 木材熱解與著火綜合模型示意圖。



(a) 木材原幾何模型

(b) 木材形變後幾何模型

圖 2-2 木材熱解與著火過程中形變幾何模型示意圖[9]

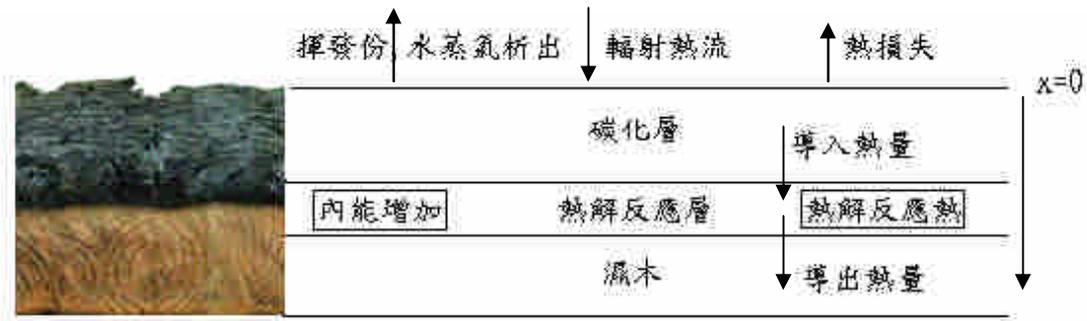


圖 2-3 木材熱解與著火綜合模型示意圖

第三節 防火性能設計之建材性質

性能法規在施行過程中，主管官署有時候會碰到一個難題，也就是用什麼方法來驗證這種設計符合「性能式」法規(王鵬智, 1999)，因此，要加速性能化規範的制訂和實施進程，總結國內外的經驗，應著力解決好以下幾個問題：對建築物的防火安全程度進行量化、正確處理性能化設計中的不確定性、對性能化設計的驗證、性能化文件的編制、各環節間的連續性(劉靜, 2006)，「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」中，就申請避難安全性能驗證作業事項九、審查作業注意事項(一)審查者應要求相關計算、試驗或分析文件、圖說的副本，同時確認這些資料是依據避難安全性能規定進行性能驗證，且須通過計算、試驗或分析中所規定之內容。(二)審查者應要求完整的分析文件，包括火災模式的描述、相關參數輸入與輸出資料表、使用者所進行的假設以及相關限制的敘述。係參考ASTM E1895-97判定決定性火災模式之用途與限制之標準指引Chaper 7.2，就電腦模式驗證方面在Jason(2000)及Piotr(2006)曾就FDS的驗證與確認進行研究，在NIST由Kevin(2007)正在制訂FDS的驗證與確認規範，已完成驗證規範草案，此外美國NRC(Nuclear Regulatory Commission Office of

Nuclear Regulatory Research)由Najafi(2007)等進行一系列的電腦模式與實驗的驗證與確認報告，Chris(2006)以材料熱解模式以FDS模擬材料表面溫度及質量損失率歷程，提出具熱裂解性質材料如木材，模擬所須木材熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、反應能(E_A)、熱解熱(ΔH_p)以及碳化層熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)、密度(ρ_c)等8項材料性質資料，蔡銘儒(2008)使用FDS以蔡銘儒、謝煒東(2006)於ISO 9705房間內進行木堆量化燃燒實驗及林大惠(2007)於6m×6m房間火災模實驗進行電腦模擬，參考Clancy(2002)木材比熱與熱傳導係數與溫度關係(如圖2-4、圖2-5)，在適當之材料性質參數設定下，模擬結果符合實驗常態性結果(如圖2-6~圖2-9)。

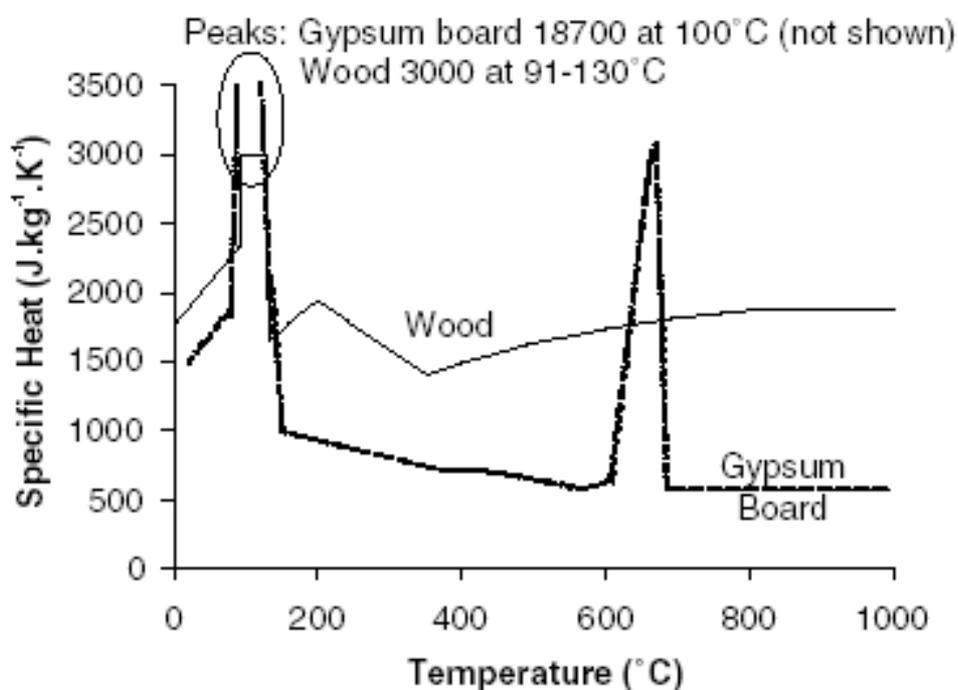


圖 2-4 木材比熱與溫度關係(Clancy, 2002)

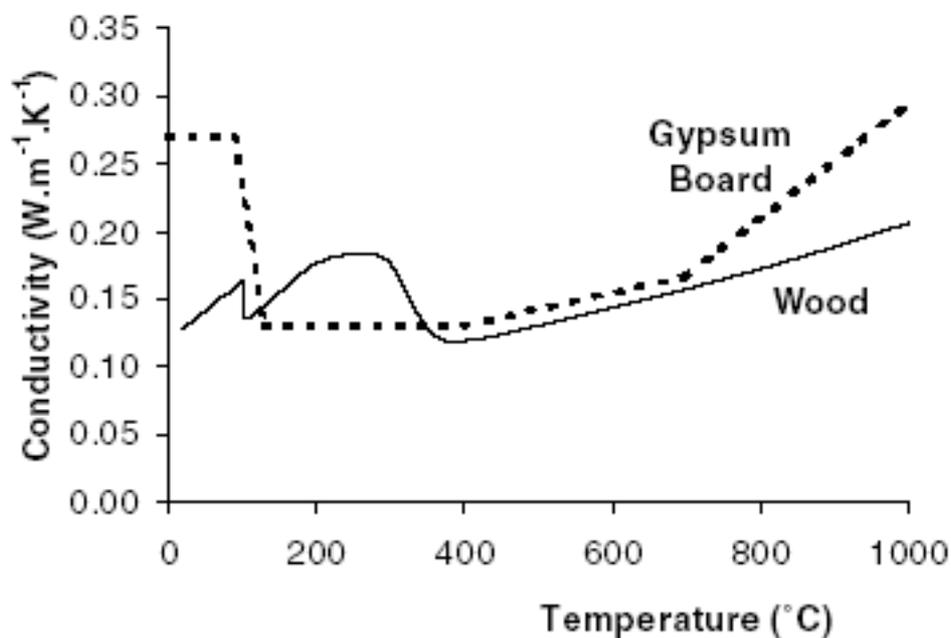


圖 2-5 木材熱傳導係數與溫度關係(Clancy, 2002)

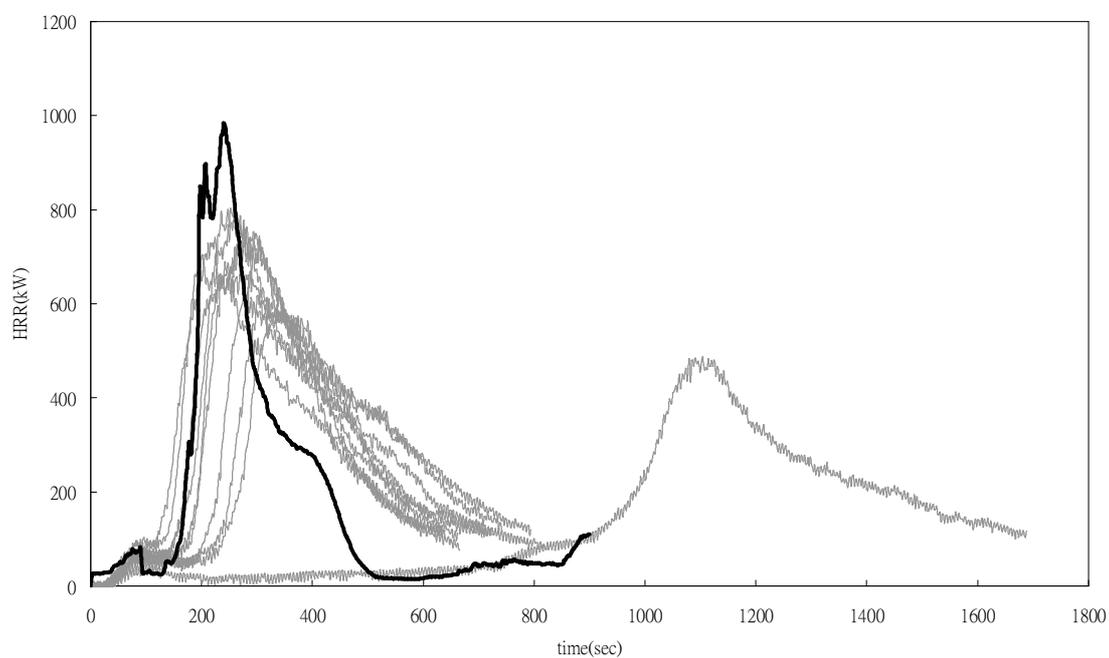


圖 2-6 每層 3 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對(蔡銘儒, 2008)

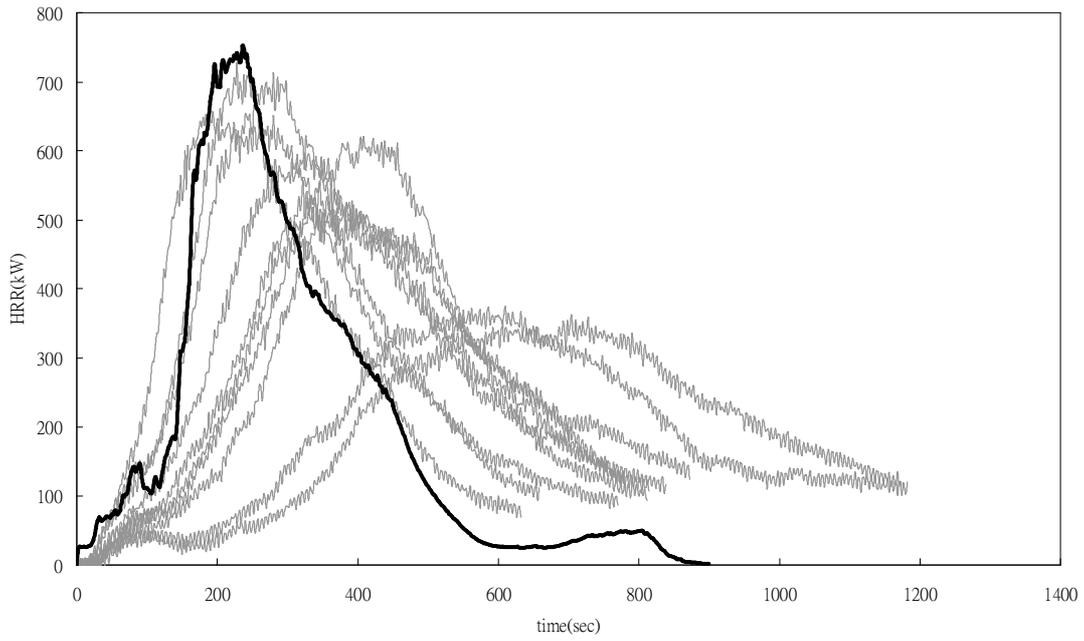


圖 2-7 每層 9 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對(蔡銘儒，2008)

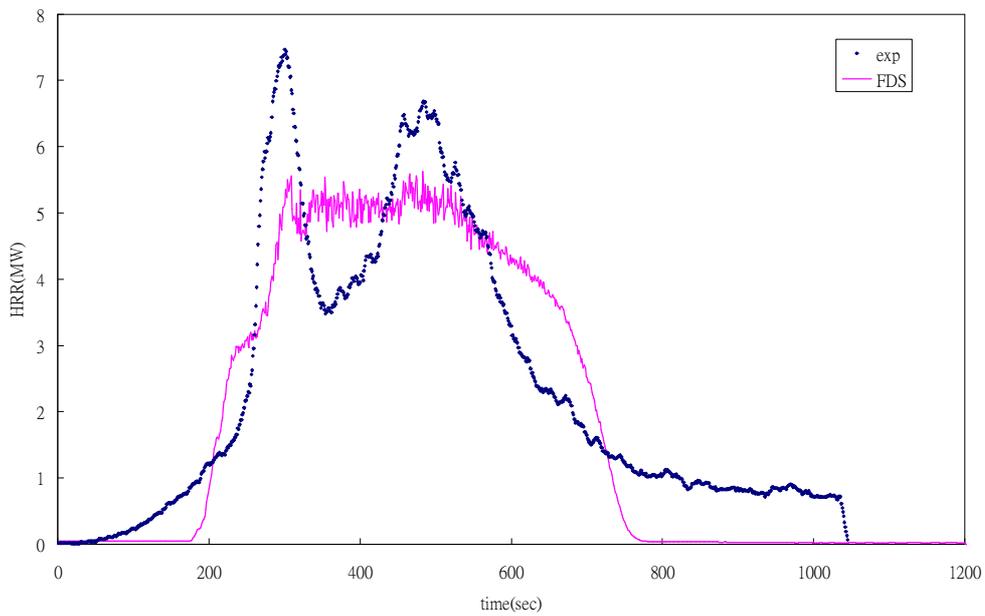


圖 2-8 全尺度火災模擬與實驗熱釋放率歷程比對(蔡銘儒，2008)

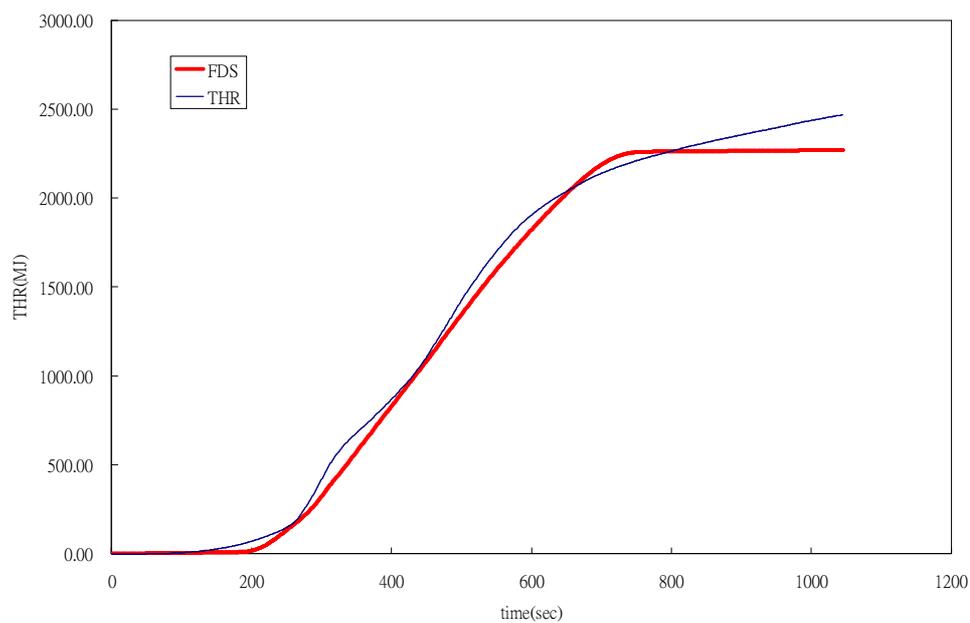


圖 2-9 全尺度火災模擬與實驗總熱釋放歷程比對(蔡銘儒，2008)

FDS 模擬所須設定之材料性質可由 FDS5.0 User Guide 第 13.10 節如表 2-1 所示。

表 2-1 FDS5.0 材料性質參數

MATL(Material Properties)				
A	Real	Pre-exponential factor	1/s	1E13
ABSORPTION_COEFFICIENT	Real	Absorption Coefficient	1/m	50000.
BOILING_TEMPERATURE	Real	Boiling temperature	°C	5000.
CONDUCTIVITY	Real	Thermal conductivity	W/m/K	0.1
CONDUCTIVITY_RAMP	Character	Ramp ID for conductivity		
DENSITY	Real	Solid mass per unit volume	kg/m ³	500.
E	Real	Activation energy	kJ/kmol	
EMISSIVITY	Real	Emissivity		0.9
FYI	Character	Comment String (has no effect)		
HEAT_OF_COMBUSTION	Real	Heat of combustion	kJ/kg	
HEAT_OF_REACTION	Real	Heat of reaction	kJ/kg	0.
ID	Character	IDentifier		
THRESHOLD_TEMPERATURE	Real	Threshold temperature	°C	-273.15
N_REACTIONS	Character	Number of Reactions		0
N_S	Real	Exponent of mass fraction		1.
N_T	Real	Exponent of temperature		0.
NU_FUEL	Real	Fuel Yield	kg/kg	0.
NU_RESIDUE	Real	Residue Yield	kg/kg	0.
NU_WATER	Real	Steam Yield	kg/kg	0.
REFERENCE_RATE	Real	Reaction rate at ref. temp.	s ⁻¹	0.10
REFERENCE_TEMPERATURE	Real	Reference temperature	°C	
RESIDUE	Character	ID of residue MATL		
SPECIFIC_HEAT	Real	Specific heat	kJ/kg/ K	1.0
SPECIFIC_HEAT_RAMP	Character	Ramp ID for specific heat		

在標準方面 ASTM E1591-07 為促使與模擬輸入數據的品質高度相關的火災模式計算的準確度增加，重點是房間火災的區域模式，但其他類型的數學火災模式也需許多相同的輸入變數，提供數學火災模式需作為輸入值的材料性質，提供各項輸入變數如下所列：空氣/燃料比(air/fuel ratio)、燃燒效率(combustion efficiency)、對流熱傳遞係數(convective heat transfer coefficient)、密度(density)、放射率(emissivity)、逸入係數(entrainment coefficient)、火焰撲滅係數(flame

extinction coefficient)、火焰散佈參數(flame spread parameter)、燃燒熱(heat of combustion)、氣化熱(heat of gasification)、裂解熱(heat of pyrolysis)、熱釋放率(rate of heat release)、引燃溫度(ignition temperature)、質量損失率(mass loss rate)、物種產生速度(production rate of species)、裂解溫度(pyrolysis temperature)、比熱(specific heat)、熱傳導(thermal conductivity)、及熱慣性(thermal inertia)。

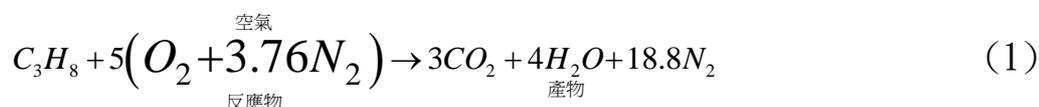
以下將其標準所列材料性質與測試法摘述如下：

1. 空氣/燃料比

大多數火災氧化劑的來源，是一般空氣中所含的氧氣。如火焰接獲不足的氧氣，而無法使存在的燃料蒸汽全部燃燒時，此火焰視為「氧氣受限」或「氧氣缺乏」。化學計量燃燒係指燃燒區域可用的氧氣量，剛好等於完全燃燒所需量的情況。燃料受限的火焰，是可用的氧氣量高於可用燃料蒸汽完全燃燒所需量的一種火焰。

燃料的空氣/燃料比，是每單位燃料質量燃燒所需空氣質量的量值。於一些數學火災模式中所需的有效空氣/燃料比，高於或等於化學計量空氣/燃料比，因其反映有過多的空氣逸入自由燃燒火焰內。空氣/燃料比用於火災模式，是計算質量燃燒速度，所以是熱量釋出速度。每種燃料的空氣/燃料比是不同的，且是無單位的(亦即質量/質量)。

取得空氣/燃料比的程序：如前所述，化學計量空氣/燃料比可輕易的從描述燃料於正常空氣中完全燃燒的化學平衡方程式中衍生所得。舉例來說，考量丙烷氣體於空氣中的燃燒。在此，空氣描述為只含氧氣與氮氣。



空氣對燃料的質量比為 $686.4/44 = 15.6$ 。所以丙烷的化學計量空氣對燃料比 γ_s 為 15.6。一些模式使用有效空氣/燃料比的主要目的，是避免完全運用來自較低層的氧氣。但此類方法通常並未被接受及確認。避免氧氣完全運用的物理性正確方法，需納入氧氣質量於一組模式守恆方程式中的平衡。這種情況下只需化學計量空氣/燃料比，但燃燒子模式需考慮污染及缺氧的影響。

決定化學計量空氣/燃料比，並無需使用裝置的直接需求。此比值可從燃燒反應的化學計量來計算，但因燃料的元素組成通常未知所以經常不可行。於實際火災或實驗中，決定化學計量空氣/燃料比最常用的方法，是計算每質量單位的空氣完全耗用氧氣燃燒所釋出的能量，與燃燒熱量的比值。前者幾近等於廣泛的材料範圍，且等於 3 MJ/kg 空氣 $\pm 5\%$ 。

2. 燃燒效率

火災時燃燒的有效熱量，因燃料蒸汽的不完全燃燒，所以低於燃燒的淨熱量。燃燒效率 x 考慮不完全燃燒。

燃燒的有效熱量與燃燒的淨熱量的比值為燃燒效率，所以

$$x = \frac{\Delta h_{c,eff}}{\Delta h_{c,net}} \quad (2)$$

其中：

$\Delta h_{c,eff}$ 代表=燃燒的有效熱量，單位為 kJ/kg

$\Delta h_{c,net}$ 代表燃燒的淨熱量，單位為 kJ/kg

大多數碳氫化合物的燃燒效率為0.4至0.9。

燃燒的淨熱量 $\Delta h_{c,net}$ 的測試方法可參考ASTM D5865。

燃燒的有效熱量的測試方法可參考圓錐量熱儀法(ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705)、ICAL裝置(ASTM E 1623)、或火勢增長裝置(ASTM E 2058)。

3. 對流熱傳遞係數

對流熱熱傳遞是指熱量(能量)在固態表面，與接觸的流體間，因兩者溫度差的移動。對流熱熱傳遞的模式需使用對流熱傳遞係數，通常是以h代表，其定義如下：

$$h \equiv \frac{q''}{\Delta T} \quad (3)$$

其中：

q'' = 每單位面積轉移的能量，單位為 W/m^2

ΔT = 表面與移動之流體間的溫度差，單位為絕對溫度K

對流熱傳遞係數的SI單位為 $W/m^2 \cdot K$ ，是流體性質(導熱率、密度與黏稠度)、流體流動的性質(速度與紊流)、及固態表面幾何學的函數。

對流熱傳遞係數係數的評估方法：

一般方法：

(1) 選擇正確的熱量傳遞係數係數是困難的，因為需納入許多變

數，即使在數學火災模式中會碰到相對較少的實際情況。

- (2) 希望取得熱量傳遞係數係數值者，通常會搜尋先前最佳實施於某問題或情況下的值。當流體為空氣時，情況可進一步簡化。大多數火災模式假設煙霧有類似的行為，且有與空氣類似的物理特徵。
- (3) 舉例來說，混亂氣流與垂直平面間交換的對流熱量傳遞係數係數，可近似如下：

$$h = 0.95(\Delta T)^{1/3} \dots\dots\dots(4)$$

其中：

$h = \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。

$\Delta T =$ 垂直表面與空氣之間的溫度差，單位為絕對溫度K。

一些現有火災模式的內定值：

- (1) 一些目前的模式具有固定的熱量傳遞係數係數，無論熱層內的條件為何，均將係數設定為約等於 $10 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 的常數。
- (2) 其他模式，例如CFC V 與FIRST使用較為複雜的方法，將熱量轉移係數表示為熱層溫度的函數。在此方法中將下限選為 $5 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，及上限為 $50 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。此方法計算 h 表示如下：

$$h = \min[50 \text{ W/m}^2 \text{K} , 5 + 0.45(T_1 - T_w)] \dots\dots\dots(5)$$

其中：

$T_1 =$ 層的溫度，單位為絕對溫度K

$T_w =$ 牆壁溫度，單位為絕對溫度K

- (3) 有些模式使用更複雜的方法，熱量傳遞係數係數是用為Grashof Number(Gr)及Prandtl Number(Pr)函數的Nusselt

Number(Nu)來計算，其公式類似：

$$Nu \equiv \frac{hl}{k} = C_1 (Gr Pr)^y \dots\dots\dots(6)$$

其中

h = 對流熱量轉移係數，單位為W/m²·K,

l =表面的特徵長度，單位為m。

k =流體的導熱率，單位為W/m·K,

C₁ =常數

y =常數

(4) 此方程式暗指熱量傳遞係數是由自然對流所支配，這在所有房間火災中並非永遠是對的。舉例來說，熱柱會產生驅動熱量轉移的重要速度。因為此速度是於熱量傳遞係數過程的外部產生，所以牆壁或物體與這些流動間的對流熱量傳遞係數是強迫而非自然的。對於強迫對流，Grashof Number(Gr)及Prandtl Number(Pr)函數的Nusselt Number(Nu)的方程式如下：

$$Nu \equiv \frac{hl}{k} = C_2 Re^x Pr^y \dots\dots\dots(7)$$

其中：

C₂ =常數

x = 常數

除非在特定情況需有熱量傳遞係數，否則由圖表數據與公式中選定一個量值，應能提供足夠的準確度。如需實驗數據，所需的裝置會依欲探討的問題而有很大的差異。

4. 密度

材料的密度是每單位體積的質量。在火災模式中，密度通常是以 kg/m^3 為單位。材料加熱時密度會改變有兩個原因：揮發物可能會流失，及尺寸會改變。雖然可得到溫度依賴度的相關性，但許多模式是使用固定(房間)的溫度值。

材料的密度是用測量樣本的質量與體積來決定。特定類型的建築材料，中華民國國家標準制訂有詳細的標準，舉例來說，ASTM D2395、CNS 451。

當密度隨溫度變化時，質量隨溫度的變化可以熱重分析來決定，而體積隨溫度的改變，可用膨脹計分析來決定。

5. 放射率

材料的放射率是其表面單位面積輻射出的能量，與相同溫度下黑體輻射出的能量的比值。材料的放射率代表其在所有波長的熱輻射行為。放射率無單位，且其上限為整個黑體。取得放射率的方法—可參考CNS 12066或ASTM C835、ASTM E408。

6. 逸入係數

火焰與熱柱的質量流速，在房間區域火災模式中，通常是經由衍生自逸入理論的實驗方程式計算。後者是依據空氣以一定高度逸入火焰或熱柱的量，與其在該高度時的速度成比例的假定為基礎。逸入係數界定為兩個速度或流速間的比例常數。此係數沒有單位，目前尚

無測量逸入係數的標準化裝置，但已有許多實驗裝置已用來分析擴散的火焰與熱柱。

7. 火焰撲滅係數

火焰撲滅係數與整個波長光譜的放射率、火焰強度及溫度等平均輻射參數有關。是以下列方程式來計算火焰的發射能量：

$$E = A\sigma_f^A(1 - e^{-kl}) \dots\dots\dots(8)$$

其中：

E = 火焰的放射能量，單位為W

A = 火焰的包含區域，單位為m²

σ = 波茲曼常數，等於 $5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m²·K⁴

T_f = 火焰溫度，單位為絕對溫度K

k = 火焰撲滅係數，單位為m⁻¹

l = 路徑長度，單位為m

k也稱為吸收係數、吸收排放係數或有效排放係數。

係數k可用測量放射率 ϵ 與路徑長度l來估算，假設發射率可表示為 $\epsilon = 1 - e^{-kl}$ 。撲滅係數是以測量方程式中除k以外的其他各種火焰參數來決定。

8. 火焰散佈參數

沿表面相對流動的火焰散佈速度，可經由deRis最早創立的方程式來預測：

$$V_p = \frac{\phi}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2} \dots\dots\dots(9)$$

其中

V_p = 火焰運行速度，單位為m/s

φ = 火焰散佈參數，單位為 W^2/m^3

k = 熱傳導係數，單位為 $W/m \cdot K$

ρ = 密度，單位為 kg/m^3

c = 熱容，單位為 $J/kg \cdot K$

T_{ig} = 表面引燃溫度，單位為絕對溫度K

T_s = 表面在火焰到達前的溫度，單位為絕對溫度K.

火焰延燒參數 f ，在特定方向及標準空氣環境下，是熱量從火焰轉移至燃料的特徵之一，也是材料的特性之一，單位為 W^2/m^3 。火焰延燒參數可從對流火焰延燒數據，亦即火焰在發光程度(或表面溫度)範圍內的延燒速度取得。此測試方法於 ASTM E1321 測試方法中描述。要強調的是此方程式 V_p 是高度實驗性的，是以火焰運行速度、熱傳導係數 k 、密度 ρ 、熱容 c 與表面引燃溫度 T_{ig} 需以首尾一致的方式決定。

9. 燃燒熱

所有的燃燒反應均會產生能量。燃燒熱界定為一單位數量的燃料完全氧化時產生的熱量。燃燒熱的SI單位為kJ/kg。燃燒熱是以燃燒彈卡計(CNS 10835, ASTM D 5865)測量。方法是將已知質量的燃料置於含純氧的隔熱裝置內完全燃燒。此方法可產生燃燒的總熱量。燃燒的淨熱量可用燃燒的總熱量減去蒸氣的潛在熱量(水為2.26kJ/kg)來決定。

有效的燃燒熱也可從以氧氣熱量計進行的其他測試取得。舉例來說，圓錐量熱儀法(ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705)測量質量流失速度與熱量釋出速度。此環境會發生不完全燃燒。有效的燃燒熱 $\Delta h_{c,eff}$ 是熱量釋出速度與質量流失速度的比值。

$$\Delta h_{c,eff} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}} \dots\dots\dots(10)$$

其中

\dot{q} =熱釋率，單位為kW

\dot{m} =樣本的質量損失率，單位為kg/s

此外，如ICAL裝置(ASTM E1623)、房間/角落火災模擬(ASTM E2257、ISO 9705、CNS 15048)、傢俱熱量計(ASTM E1537)等為較大尺度之燃燒熱量方法。

10. 氣化熱

材料的氣化熱等於需經由其暴露表面供應，將一個質量單位轉換成氣體揮發物的熱量。

$$\Delta h_g = \frac{\dot{q}_{net}''}{\dot{m}''} \dots\dots\dots(11)$$

其中

\dot{q}_{net}'' =流入材料的淨熱量，單位為kW/m²

\dot{m}'' =材料的質量流失速度，單位為kg/m²·s

Δh_g 的單位為kJ/kg。

對燃燒中的樣本，進入材料的淨熱通量，等於來自火焰與外部

熱通量的輻射與對流熱的總和，減去從表面流失的輻射熱量。火焰通量與熱損依表面溫度而定，是以很難測量。圓錐量熱儀法(CNS 14705 測試方法)已配合表面溫度量值來決定木材產品與PMMA的氣化熱 Δh_g 。

有些材料的表面溫度相當地固定，且與暴露條件無關，許多材料的表面溫度則非固定的，尤其是會碳化的材料，及會產生大量煙霧的材料。測試法可使用如：圓錐量熱儀法(ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705)、ICAL裝置 (ASTM E1623)、火災增長裝置(ASTM E 2058)。

11. 裂解熱(反應熱)

化學反應通常包含能量的產生或吸收。裂解熱是材料於裂解時排放或減少的能量，也可界定為原材料與產物間焓的差。在計算反應的熱量時，產物是假定在裂解溫度，而原材料是假定在周邊溫度。裂解熱的SI單位為J/kg，有時在模式中也以 J/m^3 或 $J/s \cdot m^3$ 為單位。裂解熱或對應的焓的變化，通常是進行裂解的固態材料的能量平衡方程式的輸入參數。裂解熱通常存在於計算固態材料內的溫度數據的模式內。內能的產生可以數種不同的方式代表，依模式而定。一種常用的方法是將裂解熱 $Q(kJ/kg)$ ，乘以局部分解速度 $(kg/m^3 \cdot s)$ ，來取得能量產生量。另一種替代方法是以 $dE/dt(kW/m^3)$ 來代表產生的能量。

測量裂解熱最常用的實驗程序是示差掃描熱量計(DSC)。將數毫克的少量樣本置於裝置上。裂解是以使用特定的時間溫度暴露來取得。將熱量加至樣本與惰性參考化合物內，使兩種材料維持在相同溫度。將加入的熱量記錄，並假設吸熱與放熱反應會有相同的能量減少

或獲得。DSC的結果會受顆粒大小與加熱速度等因子影響。因為這些因子，可論斷少數樣本的DSC結果不能代表材料的行為。DSC程序也可用來測量蒸發等物理過程相關的焓的獲得或流失，及材料的熱容。亦可由示差熱量分析(DTA)測試，此法是測量樣本與參考材料的溫度差，作為溫度的函數。裂解熱的量化結果可從DTA 結果計算而得。熱重量計(TGA)可用來測量質量的流失作為溫度的函數，也可用測量反應熱，以加入產物的焓，並將其從原材料的焓減去，來計算裂解熱的估算值。惟上述方法並不適用於分層的組合材料。DSC的測試方法ASTM E 537與ASTM E 793，設備之校正方法ASTM E967與ASTM E 968。

12. 熱釋放率

火災影響的實際計算需了解燃燒速率。燃燒速率可表示為燃料揮發物的質量產生速率，或熱量釋出速率 \dot{q} 。熱釋放率的單位是W或kW。熱釋放率無法從材料特性的基本量值來預測，其是熱環境、燃料揮發與揮發物燃燒效率的函數。熱釋放率與質量損失率與下列方程式有關：

$$\dot{q} = \dot{m}x\Delta h_{c,net} \dots\dots\dots(12)$$

其中：

$\Delta h_{c,eff}$ =揮發物燃燒的淨熱量，單位為kJ/kg

x =燃燒效率

\dot{m} =燃料的質量損失率，單位為kg/s

熱釋放率也可用假設只由H₂O與CO₂反應，及O₂耗盡及產生CO時所

產生的熱量來估算。熱量釋出速度可用下列方程式算出：

$$\dot{q}'' = k_{O_2} \dot{D}_{O_2}'' \dots\dots\dots(13)$$

與

$$\dot{q}'' = \frac{\Delta h_{c,net}}{k_{CO_2}} G_{CO_2}'' + \frac{\Delta h_{c,net} - \Delta h_{CO}}{k_{CO}} G_{CO}'' \dots\dots\dots(14)$$

其中：

\dot{q}'' = 每單位面積的熱量釋出速度，單位為kW/m²

$\Delta h_{c,net}$ = 材料完全燃燒的淨熱量，單位為kJ/kg

Δh_{CO} = CO燃燒的熱量，單位為kJ/kg

\dot{D}_{O_2}'' = 每單位表面積的氧氣耗盡速度，單位為kg/m²·s

k_{O_2} = 氧對燃料的質量化學計量比，單位為kg/kg

k_{CO_2} = CO₂的最大可能產量，單位為kg/kg

k_{CO} = CO的最大可能產量，單位為kg/kg

G_{CO_2}'' = CO₂的產生率，單位為kg/m²·s

G_{CO}'' = CO的產生率，單位為kg/m²·s

熱釋放率測量目前是使用氧氣熱量計原理，一如圓錐量熱儀法 (ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705)採用的原理。大尺度量測可以ICAL裝置 (ASTM E1623)、傢俱熱量儀、房間/角落測試 (ASTM E2257、ISO 9705、CNS 15048)，這些大尺度測試通常是在過度通風下進行。當將此數據用於房間火災模式時，需考慮通風限制、上煙層及牆壁之熱回饋。

13. 引燃溫度

固態燃料的引燃是界定為初始氣相火焰燃燒。當固態材料暴露於外部熱量時，有些點會開始熱裂解，燃料蒸汽會在邊界層與空氣混合，不久後熱裂解速度足以達到可燃的下限值，此混合物在特定情況下將被引燃。引燃方式有下列2種形式：

- (1)引燃器引燃-初期在混合可燃氣由點火器下可被引燃燃燒，此點火器可為燃氣火焰、電氣火花或灼熱電熱線。在引燃器週邊產生足夠高的溫度，開始產生燃燒反應。
- (2)非引燃器引燃-如果無引燃器引燃，則固態燃料表面必須達到足夠高的溫度，才會引起燃燒反應。

固態燃料暴露於特定熱通量是否會起火的預測，是個非常困難的問題。需考量慮固相與氣相的熱量與質量的轉移及氣相中的流體流動與混合。其在無引燃器引燃之溫度是高於有引燃器引燃之溫度。對各種引燃模式，引燃溫度是材料的一個特徵，且在熱通量上不會有差異。

引燃溫度可以兩種方式取得。第一種是於引燃測試時實際測量表面溫度，第二種是將一些起火理論應用在一組起火測試結果上。此類數據可以將試體暴露於熱通量範圍內的任何裝置取得，例如ASTM E 906、ASTM E 1321、ISO 5660 或CNS 14705測試方法。

14. 質量損失率

大多數參與火災燃燒的燃料都是氣相的燃料。此種燃料的質量

損失率，等於燃料氣化的速度。質量損失率的SI 單位為kg/s，有時也以kg/m²·s表示。縮尺測試是測量暴露於完整描述的熱條件下的試體的質量損失率。數值房間火災模式可於明確點預測熱環境。當有暴露及縮尺測試的數據，模式便可決定涉及材料的質量損失率。

取得質量損失率的程序：

- (1) 大表面的燃燒與物體的燃燒需加以區分。當火焰於表面的延燒能正確計算時，數學模式只能預測大表面的質量損失率。常用的程序是將表面分成小的區塊，使每個區塊的熱通量能一致考量。
- (2) 數學模式也需考慮燃料的方向，此可經由暴露只在受火焰回流的主要影響方向，及隨後在固態/氣態界面的暴露來達成。

大表面

- (1) 模式使用的程序是依據熱量計於發光程度範圍所取得的縮尺質量損失數據。材料某區塊或樣本的質量流失速度可表示如下：

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{q}_e'' + \dot{q}_f'' - \dot{q}_l''}{\Delta h_g} \dots\dots\dots(15)$$

其中：

\dot{m}'' = 每單位面積的質量損失率，單位為kg/s·m²

\dot{q}_e'' = 外部發光或暴露，單位為kW/m²

\dot{q}_f'' = 來自火焰的熱量流，單位為kW/m²

\dot{q}_l'' = 表面流失的熱量，單位為kW/m²

Δh_g = 氣化熱，單位為kJ/kg

- (2) 一些不會碳化材料的燃燒行為，或多或少像液態燃料(例如PMMA)。燃燒材料的表面溫度是固定的，且穩定態的 \dot{m}'' ，當材料夠厚時，可依常數 \dot{q}_e'' 取得。對於此種材料，可在一定放射照度範圍內縮尺量熱計測試出數值，在常數 $\dot{q}_f'' - \dot{q}_i''$ 及 Δh_g 可由 \dot{m}'' 與 \dot{q}_e'' 關係圖形，經由內插及斜率獲得，許多材料並不這些材料的行為，但由 \dot{m}'' 與 $\dot{q}_f'' - \dot{q}_i''$ 及 Δh_g 之近似值仍然可接受。
- (3) 火焰輻射是氧氣濃度的線性函數，所以可用對發光程度範圍取得的質量損失數據及氧氣濃度將 \dot{q}_f'' 與 \dot{q}_i'' 區隔。
- (4) 碳化性材料例如木材並沒有 $\dot{q}_f'' - \dot{q}_i''$ 及 Δh_g 之常數，雖然 \dot{q}_e'' 是常數。在這情況下，單位面積質量損失率計算可利用小型熱量計，於固定幅照度下進行一系列曝火下質量損失率，並將其內插繪制歷時曲線，其時間軸並且須要其刻度，例如使用總質量損失。

假如考慮通風限制及由上層與延伸到天花板的回饋，模式能直接由傢俱量熱儀引用質量損失率曲線獲得，如果這樣的曲線不是可用的，此項目可能被看作一次表面的收集。其他技術有時對根據縮尺數據估計一個燃燒的項目的質量損失率是可用的。

大表面的縮尺測試法如圓錐量熱儀法(ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705)、火災增長裝置(ASTM E 2058)，大尺度測試法如ICAL裝置 (ASTM E 1623)、傢俱熱量儀、房間/角落測試(ASTM E2257、ISO 9705、CNS 15048)。

15. 物種產生率

物種一詞是指化學物種，亦即燃燒過程的產物。在某些情況下，物種也用來指火災與煙霧層保持能力有關的產物。因為火災涉及複雜的化學變化過程，所以無法以主要的原理來預測物種產生率。所以需仰賴實驗數據來預測物種產生率。物種產生率的SI單位，與質量損失率同樣是kg/s，有時也可以kg/m²表示。

一些實驗裝置可記錄物種的產生。如圓錐量熱儀(ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705)、火災增長裝置 (ASTM E 2058)、ICAL裝置 (ASTM E 1623)、傢俱熱量儀、房間/角落測試(ASTM E2257、ISO 9705、CNS 15048)可以特定的氣體測計來測量一些物種。於這些火災實驗所記錄的氣體濃度通常包括氧氣、二氧化碳、一氧化碳及碳氫化合物。

使用實驗量值，及物種產生率與燃料質量損失成直接比例的假設，可以下列關係式取得每個物種的比例常數：

$$Y_j = \frac{\int_0^t \dot{G}_j'' dt}{\int_0^t \dot{G}_f'' dt} \dots\dots\dots(16)$$

其中：

Y_j = 物種的產量，j，單位為kg/kg,

\dot{G}_f'' (t) = 每單位表面積的燃料蒸汽的質量產生率，單位為kg/m²·s(註：等於燃料質量損失率 \dot{m}'')

\dot{G}_j'' (t) = 每單位表面積的物種j的質量產生速度，單位為kg/

$$\dot{m} \cdot s.$$

在取得物種產量後，可用來模式化預測物種的產生：

$$\dot{G}_j''(t) = Y_j \dot{G}_f''(t) = Y_j \dot{m}'' \dots \dots \dots (17)$$

Y_j 的值會隨時間而改變，依燃燒條件而定。在此種情況下， Y_j 需界定為時間的函數，而非先前提供的時間平均值。在此種情況下， Y_j 於時間 t^* 時的瞬間值為：

$$Y_j(t^*) = \frac{\dot{G}_j''(t^*)}{\dot{G}_f''(t^*)} \dots \dots \dots (18)$$

上述的處理過度簡化問題，在取得數據所使用的實驗方法需特別小心。一些變數會影響物種產生率，包括燃料的類型、燃料的幾何學、輻射回饋至燃料表面。物種產生率也是火災房間內通風的一個強的函數，在低度通風與過度通風的情況下，強度等級會有很大的差異。

16. 裂解溫度

當固態材料暴露於外部熱量時，一些點會開始裂解。裂解界定為無氧時的熱分解。特定類型的塑膠(例如PMMA)的燃燒，或多或少類似液體的燃燒。表面會發生相(液態到氣態)的改變，且無固態殘餘物。木材等其他材料不會完全蒸發，但也會產生碳化。碳化層會隨時

間變厚，深層的裂解會比表面為快。

對於這兩類材料，熱解通常模式化為Arrhenius型化學反應的燃燒：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \sum_{i=1}^{i=j} A_i (\rho_i - \rho_{ic})^{n_i} \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right) \dots\dots\dots (19)$$

其中：

ρ = 密度，單位為 kg/m^3

t = 時間，單位為 s

ρ_i = 成分 i 的密度，單位為 kg/m^3

ρ_{ic} = 成分 i 的最後(碳)密度，單位為 kg/m^3

n_i = 成分 i 的反應級數

A_i = 成分 i 的前指數係數

E_i = 成分 i 的活化能，單位為 J/mole

R = 通用氣體常數，單位為 J/mole ·

T = 絕對溫度，單位為 K

當被典型火災情境加熱評價時，很多建築材料開始熱解的那個溫度以下，其熱解是可以忽略，這溫度被活化能控制。熱解在相對狹窄的溫度範圍內完成，這因為，在熱解的開始之後，對於一個只幾度的溫度增加來說增加比率非常急劇。在此同時，燃料被耗盡，密度迅速接近零。

有些材料裂解溫度可由一些研究報告取得，如無相關研究資料可得時，也可以熱重分析評估裂解溫度值，熱重分析是以少量材料量

測其質量損失率(或一個別成分在受熱下其穩定率)，Arrhenius方程式是用來關聯起這些資料。如上所述，裂解是在一個小的溫度範圍內完成。點火引燃的 T_{ig} 值是可以用來評估裂解溫度值的。在測量裂解溫度上並無標準的火災測試法，如上所述可由TGA評估而得，也有可能還要取決由簡化的裂解模式到質量損失率或以圓錐量熱儀測試所得之熱釋放率。

17. 比熱

某材料的比熱量是指使1kg材料升高絕對溫度1K所需的熱量。對於在某些溫度物化性質會改變的材料，其比熱可界定為使1kg材料升高絕對溫度1K所需的反應熱。材料會隨物化性質改變的熱反應，在一些火災模式中，是將比熱與其他相關的潛熱區隔來特徵化；在一個模式中要非常謹慎確定何種形式的比熱是須要的。初期火勢成長模式需房間內襯材料比熱的數據。另一方面，預測建築材料抗火的模式需有比熱上與溫度相關的數據。比熱量測通常是以示差掃描熱量計對大的溫度範圍量測。

18. 熱傳導：

熱傳導是指熱(能量)從高溫向低溫部分穿過材料轉移的過程，以溫度梯度來表示。熱傳導轉移模式(暫態或穩態)必需了解材料的熱傳導率。通常熱傳導率以 k 來表示，其單位為 $W/m \cdot K$ 以及其定義如下：

$$k = \frac{-\dot{q}''}{\left(\frac{dT}{dx}\right)} \dots\dots\dots(20)$$

其中：

q'' = 每單位面積於x軸方向導熱轉移率，單位為 W/m^2 ， and

dT/dx = x軸方向的溫度梯度

熱傳導與水分含量、溫度、多孔性、密度及材料的微結構有關。有些模式忽略此相關性，而以常數值來代替。有兩種方法可測量固體的熱傳導率，穩態與暫態方法。穩態技術是使用熱量來源使試體維持在穩定的溫度梯度，測得的熱傳導率是引用熱面與冷面溫度的平均值。此技術很慢，需數天才能決定少數溫度下的熱傳導率。

暫態法測試固體熱傳導率通常稱為”熱線法”，其測試法是量測沿試體長度方向埋設在試體中線形熱源在一定時間內的溫升。透過焊接在熱線中點的熱電偶測量熱線溫度隨時間的變化。該線的溫度變化即是被測材料熱傳導系數，此法較穩態法快。

使用的測試法有平板比較法(ASTM C177、CNS 7332)、平板直接法(ASTM C 518、CNS 7333)。

19. 熱慣性

材料的熱慣性 $k\rho c$ ，是由熱傳導 k 、密度 ρ 及比熱 c 之乘積，其單位為 $J^2/s \cdot m^4 \cdot K^2$ 。模式中所稱熱慣性包含固體之暫態熱傳導，一個固體含有越高之熱慣性，當將其置於液態流體中時，趨於該液態溫度所需之時間將更長。熱慣性可應用熱傳導、密度及比熱量測結果得到。

在建立分析模式時，尤其當固體承受快速的熱衰減，例如發生火焰散佈該表面時，引用有效熱慣性是非常有用的，有效熱慣性可經由分析曝露在輻射熱源下之火花引燃實驗來決定 (ASTM E 1321、ASTM E1354、CNS 14705、ASTM E 1623)。

表 2-2 ASTM E1591 材料性質參數

材料性質	測試方法
空氣/燃料比	無
燃燒效率	ASTM E1354、ASTM E 1623、ASTM E 2058、ISO 5660、CNS 14705
對流熱傳遞係數	無
密度	ASTM D2395、CNS 451、熱重分析、膨脹計
放射率	ASTM C835、ASTM E408、CNS 12066
逸入係數	無
火焰撲滅係數	無
火焰散佈參數	ASTM E1321

表 2-2 ASTM E1591 材料性質參數(續)

材料性質	測試方法
燃燒熱	ASTM D 5865、ASTM E1354、ASTM E1623、ASTM E2257、ASTM E1537、ISO 5660、ISO 9705、CNS 10835、CNS 14705、CNS 15048
氣化熱	ASTM E1354、ASTM E1623、ASTM E 2058、ISO 5660、CNS 14705、
裂解熱	ASTM E 537、ASTM E 793
熱釋放率	ASTM E1354、ISO 5660、CNS 14705、ASTM E1623、ASTM E1537、ASTM E2257、ISO 9705、CNS 15048
引燃溫度	ASTM E 906、ASTM E 1321、ISO 5660、CNS 14705
質量損失率	ASTM E1354、ASTM E 2058、ASTM E 1623、ASTM E2257、ISO 5660、ISO 9705、CNS 14705、CNS 15048
物種產生速度	ASTM E1354、ASTM E 2058、ASTM E 1623、ASTM E2257、ISO 5660、ISO 9705、CNS 14705、CNS 15048
裂解溫度	熱重分析、引燃溫度
比熱	示差掃描熱量計
熱傳導	ASTM C177、ASTM C 518、CNS 7332、CNS 7333
熱慣性	ASTM E 1321、ASTM E1354、ASTM E 1623、CNS 14705

(本研究整理)

第三章 建築材料性質標準試驗項目與內容

據火災資料統計，世界各國火災事故中建築物火災造成的損失占首要位置，而其中約 21% 與木材、織物等固體可燃物有關，損失巨大的住宅建築火災中，約有 70% 與建築物室內裝修用的木質材料有直接關係。因此，建築物火災主要為固體燃料，且碳化型與非碳化型兼具。

綜整建築材料燃燒性質，大部分已具有標準試驗法，其中尚未訂有中華民國標準(CNS)為火焰散佈參數、裂解熱、比熱、反應熱。此外，密度部分雖有參考標準試驗法，惟其方法主要為木材在常溫下之密度量測，當受熱時密度係隨溫度變化，質量亦隨溫度產生變化。熱傳導部分之 CNS 標準測試法，最高溫僅可量測至 200°C 穩態，然火災過程係為暫態且高溫，如圖 2-5 顯示熱傳導係數隨著溫度變化，溫度至 1000°C 仍有所變化。

本研究將就上述建築材料性質，蒐集 ISO、ASTM 標準研析 CNS 化，以作為火災模擬所須材料參數設定測試值，相關防火詞彙依 CNS 14651、CNS 14652 及 CNS 14996。

第一節 火焰散佈參數

火焰散佈速度(m/s) $V_p = \frac{\phi}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2}$ ，垂直側向延燒可由 ISO 5658、ASTM E1321 試驗法實驗而得，垂直向下延燒可由 CNS 14819、ASTM E162、ASTM D3675 試驗法實驗而得，地坪水平延燒可由 ASTM E648

試驗法實驗而得，表3-1至表3-3分別就垂直側向延燒、垂直向下延燒及地坪水平延燒測試標準之比較，在垂直向下延燒已訂有CNS 14819，由表3-2顯示此標準係參考ASTM所制訂，因此本研究將以垂直側向延燒及地坪水平延燒進行測試法探討及其CNS化。

表 3-1 垂直側向延燒測試標準比較

測試標準	ISO 5658 part2	ASTM E1321
試片	800mm長×155mm寬試片3片	
試片位置	直立於試片夾中	
熱源	瓦斯燃氣輻射熱板	
測試持續時間	30 min或 火焰鋒面停止或 火焰延燒至試片末端	火焰延燒至試片末端或 自熄因而停止延試片延燒
結論	平均持續燃燒熱* 熄滅臨界熱通量	最小表面引燃熱通量、溫度 及側向散佈 有效熱慣性 側向火焰散佈之火焰加熱 參數 引燃時間 側向火焰散佈速度

* 持續燃燒熱=試驗開始時間 ×實際火焰鋒面之公稱熱通量，單位是MJ/m²。

表 3-2 垂直向下延燒測試標準比較

測試標準	CNS 14819	ASTM E162	ASTM D3675
試片	460mm長×150mm寬4片		
試片位置	傾斜於試片夾中		
熱源	瓦斯燃氣輻射熱板		
測試持續時間	當火焰到達380mm處或 暴露期間達15min		
結論	火焰擴散因素 放熱因素 火焰擴散指數		

表 3-3 地坪水平延燒測試標準比較

測試標準	ASTM E648	ISO 9239-1	ISO 9239-2
試片	1050mm長×230mm寬		
	每一曝露面試片3片		
試片位置	水平於試片夾中		
熱源	瓦斯燃氣輻射熱板		
	最大熱通量為 10kW/m ² 下降至試 片末端為1kW/m ²	最大熱通量為 11kW/m ² 下降至試 片末端為1kW/m ²	最大熱通量為 25kW/m ² 下降至試 片末端為2.6kW/ m ²
測試持續時間	點火5分鐘未延燒 或延燒直到火焰熄 滅	30 min或委測者要求更長時間	
結論	熄滅的臨界輻射熱通量		

一、垂直側向延燒測試

經由表 3-1 比較 ISO 5658 及 ASTM E1321，ISO 5658 測試所得平均持續燃燒熱、熄滅臨界熱通量，但由此二標準之發展，由陳俊勳 (1994) 所作之比較，原 ISO 5658 (1991) 分為兩部分，part1 與 ASTM E1317 相同(即不需作引燃試驗)；part2 與 ASTM E1321 同，必需作引燃試驗；但 1993 年修訂板，part2 也修改成不需作引燃試驗，且以測試持續燃燒熱與熄滅臨界熱通量為主，較傾向產品性質測試，part1 修改為火焰延燒指引。ASTM E1321 所測得引燃、側向火焰延燒、有效熱慣性，皆為火災模擬之材料燃燒參數設定所須測試值，另由 ISO 17025.9.1(C) 使用相同或不同方重複試驗，以監控所進行試驗結果之正確性，在火災模擬之材料性質中熱慣性為一重要性質，因此能藉由相同或不同方重複試驗，將能確保測試結果之正確性，而其延燒測試結果主要用於推導火焰散佈參數，較符模擬之材料參數所須，基於此本研究將嘗試將 ASTM E1321 與 ISO 5658 part2 綜合 CNS 化，以下就綜整測試標準化基本資訊簡述如下。

1. 適用範圍：

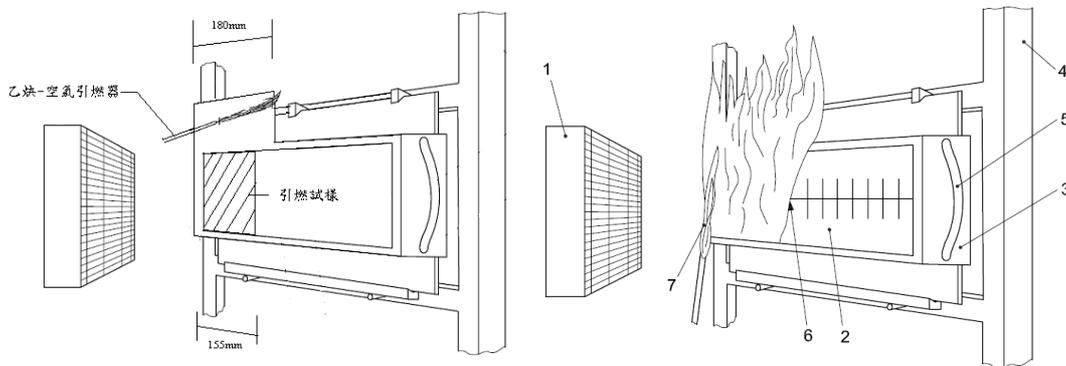
本項試驗是以輻射熱源測量沿垂直樣品表面之側向引燃、火焰散佈與延燒特性，所提供的數據適用於比較表面基本平整材料的性能，如用於牆壁暴露表面的單一材料、複合材料和組件。

- 備考 1. 本試驗用來量測及描述材料、產品或組件在條件控制下的熱及火焰的反應，不能用來描述或評估材料、產品或組件的真實著火情形下的火災和著火風險。然而對特殊終端用途所需火災及著火風險的各種因素評估，本試驗結果可列入火災及著火風險評估因素。
2. 本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。
3. 本試驗法中 {} 內係英制。

2. 試驗方法摘要

2.1 本試驗法包含兩個測試程序；一為量測引燃，另一量測側向火焰延燒。以一與試體傾斜 15° 之配有瓦斯及空氣的直立輻射熱源，加熱在垂直安裝之試體(如圖3-1)。

2.1.1 引燃試驗，由一系列 $150+0, -5\text{mm}\times 150+0, -5\text{mm}$ 之試體(如圖3-1(a))，暴露在一接近均勻的輻照度(如圖3-2)，並且以附屬火焰引燃(如圖3-3)，用以決定引燃性。



圖例

- 1 與試體成 15° 角之垂直輻射熱板
- 2 試體
- 3 試片夾具
- 4 試片夾具支承框架
- 5 把手
- 6 焰鋒
- 7 引火火焰

(a) 引燃與火焰散佈試驗

(b) 延燒性試驗

圖 3-1 試驗示意圖

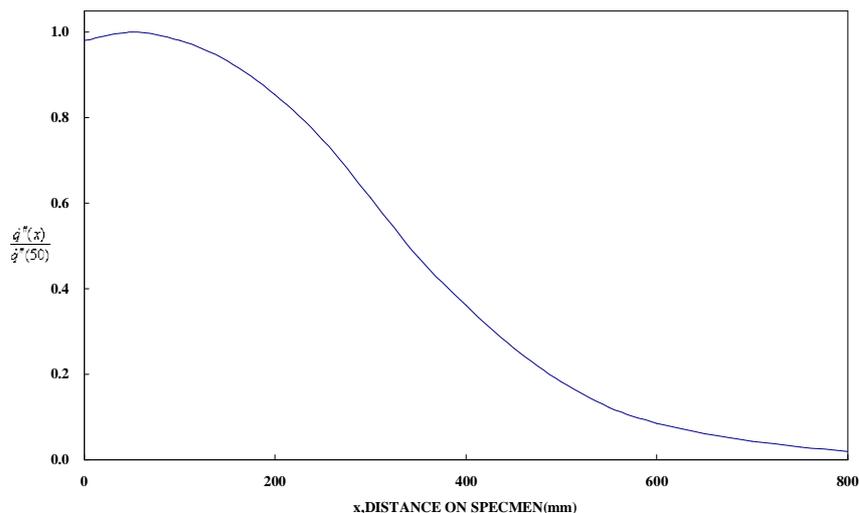


圖 3-2 在試體上之常態熱通量

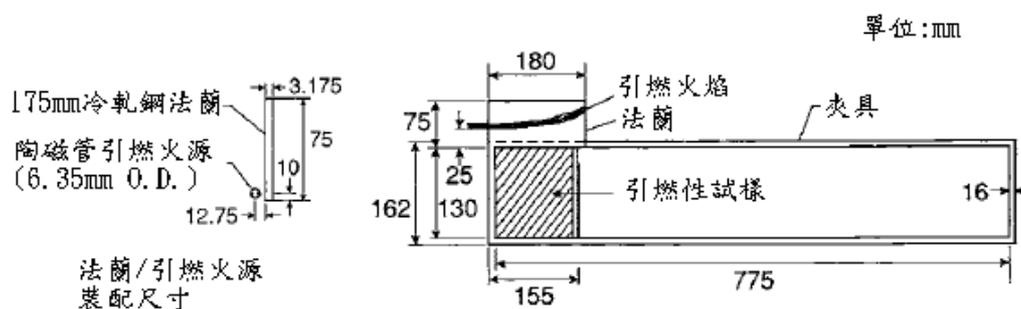


圖 3-3 引燃性試驗之引燃裝配

2.1.2 火焰散佈與延燒性質試驗，由 $-150+0$ ， $-5\text{mm}\times 800+0$ ， -5mm 之試體(如圖3-1(a)(b))，暴露在由一燃氣提供輻射熱通量梯度之輻射板(如圖3-2)前；將引燃火源置於試體較熱的一端以引燃由表面釋出的揮發性氣體。此試驗提供觀查延燒速度、火焰熄滅狀況、煙道燃氣溫度成長、持續燃燒熱、火焰熄滅臨界通量、試體燃燒期間熱釋放。

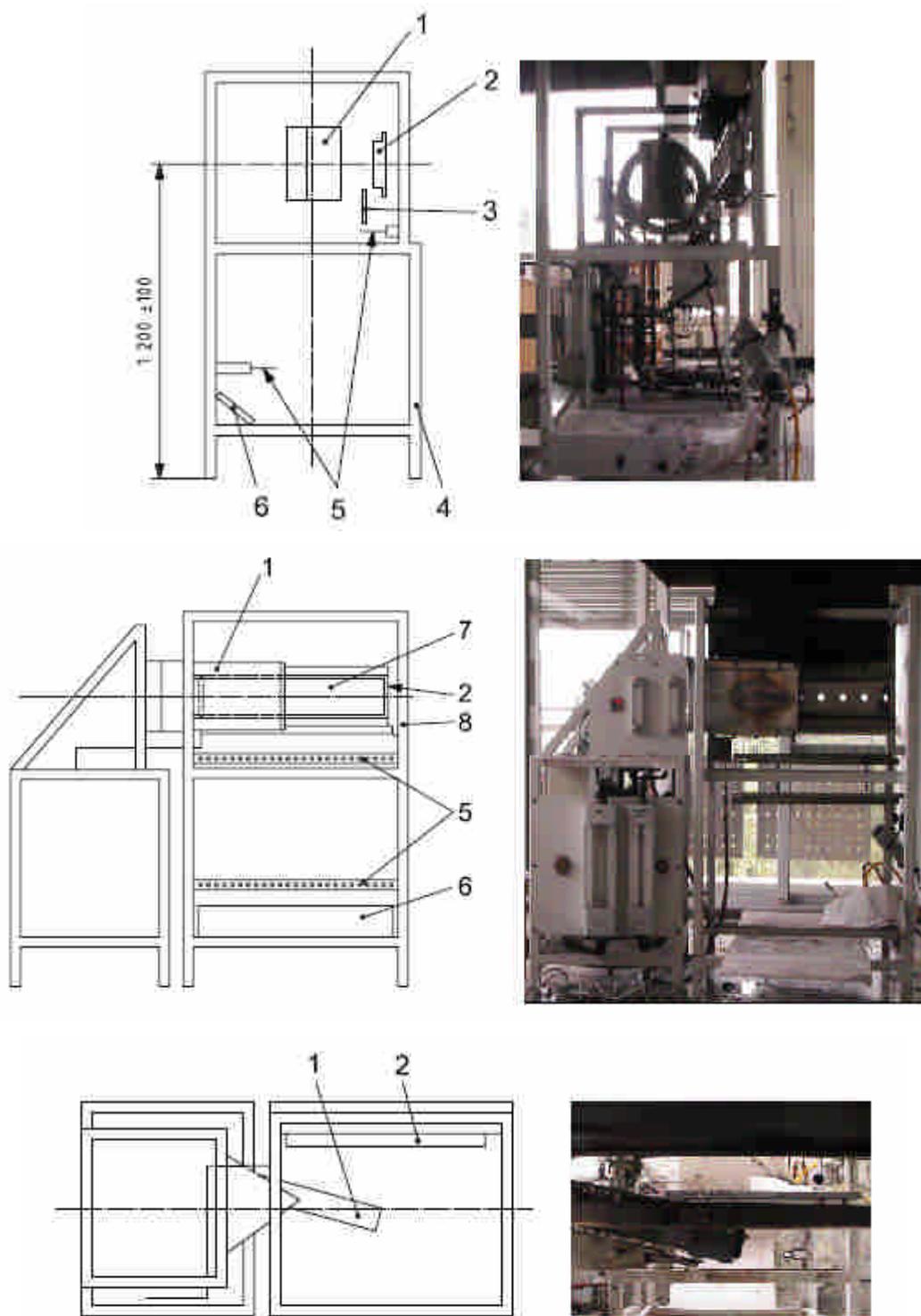
3. 用語釋義：

- 3.1 平均持續燃燒熱(Q_{sb})：量測數個特定位置之持續燃燒熱值之平均，單位(MJ/m^2)。
- 3.2 背板：與試體相同長度與寬度之不燃性絕緣板，於試驗期間裝置於試體後面，以滿足理論分析假設無穿透試體之熱損。
- 3.3 臨界熄滅熱通量(CFE)：沿著試體表面中心線，火焰延燒停止，然後熄滅之位置，此位置所對應之熱通量，即是臨界熄滅熱

通量，單位(kW/m^2)，熱通量值以不燃性校正板所量測為準。

- 3.4 暴露表面：試驗條件下試體之受熱面。
 - 3.5 火焰前端：延著試體長度方向，持續火焰所延伸最遠位置。
 - 3.6 閃火：在試體表面持續時間小於1sec的火焰。
 - 3.7 持續燃燒熱：從試體開始暴露到火焰前到達一特定位置的時間，乘以該位置之熱通量，即是持續燃燒熱，單位(MJ/m^2)。熱通量值以不燃性校正板所量測為準。
 - 3.8 輻照度：(表面上之一點)照射到表面一點處的微元上的輻射熱通量除以該微元面積。
 - 3.9 輻射熱通量：以輻射形式所進行放射、傳輸及接收的功率。
 - 3.10 延燒火焰：在外加輻射熱通量影響下，火焰前端在試體表面上傳播。
 - 3.11 持續燃燒火焰：在試體表面持續時間大於4sec的火焰。
 - 3.12 暫時燃燒火焰：在試體表面持續時間在1~4sec之間的火焰。
 - 3.13 火焰測向延燒：火焰前端在試體側面方向上燃燒的長度。
4. 儀器及裝備

測試裝置(參閱圖3-4)包含4個主要部份：輻射加熱面板支撐框架、試體支撐框架、試體架及引燃火源。其中輻射加熱面板支撐框架與試體支撐框架相互連結，以便將測試試體插入與輻射加熱面板相對配置之需求位置。



圖例

- | | |
|------------|-----------|
| 1. 輻射加熱面板 | 5. 鏡測桿 |
| 2. 試樣夾具 | 6. 鏡測鏡 |
| 3. 引燃火源 | 7. 試樣 |
| 4. 矩形空心鋼框架 | 8. 試樣支撐框架 |

圖 3-4 測試裝置示意圖

4.1 輻射加熱面板支撐框架

此框架用於支撐輻射加熱面板與必要的瓦斯與空氣管道、安全設施、調整器及流量計。

4.1.1 鋼管框架

如圖3-4所示由40mm×40mm方形鋼管組成，將輻射加熱面板垂直撐起，其面板中心約離地板 1.2 ± 0.1 m。輻射面的表面和支撐框架前緣間的角度為 $15\pm 3^\circ$ 。

4.1.2 輻射加熱面板

輻射加熱面板是由一組多孔耐火陶瓷組成，裝配在不銹鋼氣壓室前面，提供約為480mm×280mm的平整發熱輻射表面。氣壓室應包含擋板及擴散器，將瓦斯與空氣均勻混合分佈於輻射加熱面板表面。輻射加熱面板前應佈置一層金屬絲網，以增加輻照度。

4.1.3 氣體和空氣的供應

燃燒用瓦斯和空氣藉由適當的壓力及流量調節器，安全裝備和流量控制系統等，傳送至發熱輻射加熱面板。

適當的供給系統包括如下：

- (1) 至少以1.0 l/s的流量供應天然瓦斯、甲烷或丙烷，壓力應能克服經過之管線、調節器、控制閥、流量計、輻射加熱面板等的壓力損耗。
- (2) 至少以9 l/s的流量供應空氣，壓力應能克服經過之管線、調節器、控制閥、流量計、輻射加熱面板等的壓力損耗。
- (3) 瓦斯及空氣獨立分離的氣閥。
- (4) 瓦斯供給管線應裝有止回閥及壓力調節器。
- (5) 以電磁閥控制，以便於電路故障、氣壓不足或燃燒表面溫度

減少時，自動切斷瓦斯來源。

- (6)空氣供給管線上應有特殊的過濾器及流量控制器。
- (7)天然瓦斯、甲烷或丙烷使用的流量計，適用範圍為環境氣溫壓力下0.5 l/s至1.5 l/s的流量，解析度為1%或更好(校正並不是絕對需要)。
- (8)空氣流量控制使用的流量計，適用範圍為環境氣溫壓力下5 l/s至15 l/s的流量，解析度為1%或更好(校正並不是絕對需要)。

4.2 試體支撐框架

此框架包括導軌、引燃火源、觀測鏡及觀測桿，其中導軌支撐試體夾具，並將試體夾具放置至試驗所需之位置。

4.2.1 鋼管框架

如圖3-4所示的鋼架，應由40mm×40mm的方形鋼管組成，並且經由可調節固定螺栓與間隔管與輻射加熱面板的支撐框架連結。它必須能調整輻射加熱面板與試體前緣的角度，由 12° ~ 18° 。

4.2.2 試體夾具導軌

如圖3-5所示的導軌，應該提供以固定試體夾具的最頂點與最下端。並須能夠在多次測試中，可抗高溫與耐腐蝕的鋼材製成。較低的導軌應該要有700mm長，並且必須在較窄的面向上裝置一凹槽。試體夾具的頂端必須以一個或數個夾子固定住。導軌應該藉由鋼釘與固定螺栓的長度，由鋼管框架的一邊裝上，使其位置能隨著支撐框架的相對位置關係而調整。

4.2.3 觀測鏡

一長750mm，寬120mm的鏡面，裝置在支撐框架底側旋轉樞軸上，與支撐試體夾具相對。其方位與角度，必須能在輻射加熱面板下方由鏡中觀測試體。並與觀測桿一起(參閱4.2.4)

，橫過試體的表面上(參閱圖3-6)

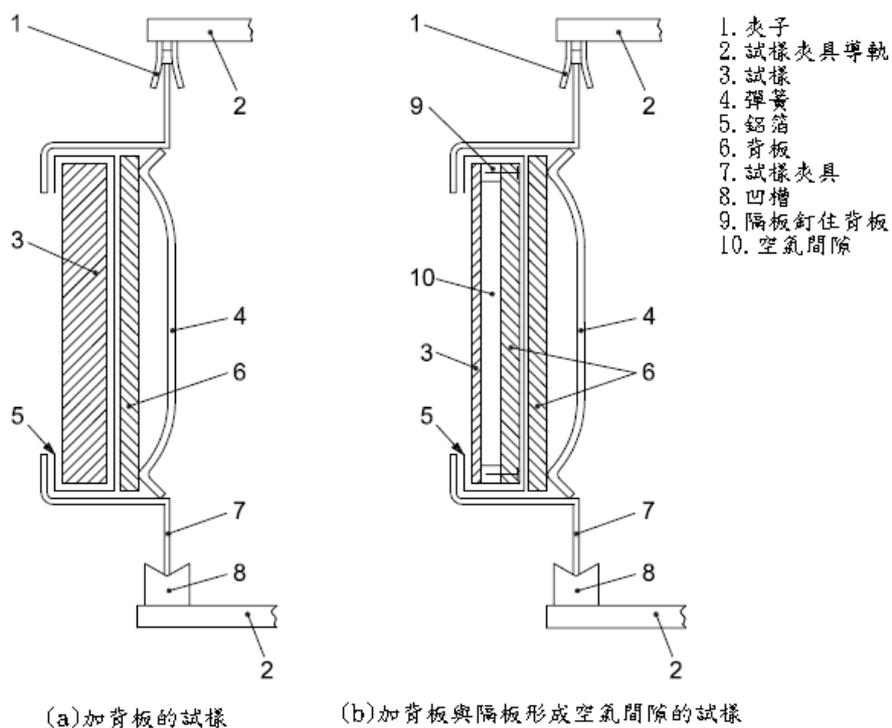


圖 3-5 典型試體固定方式

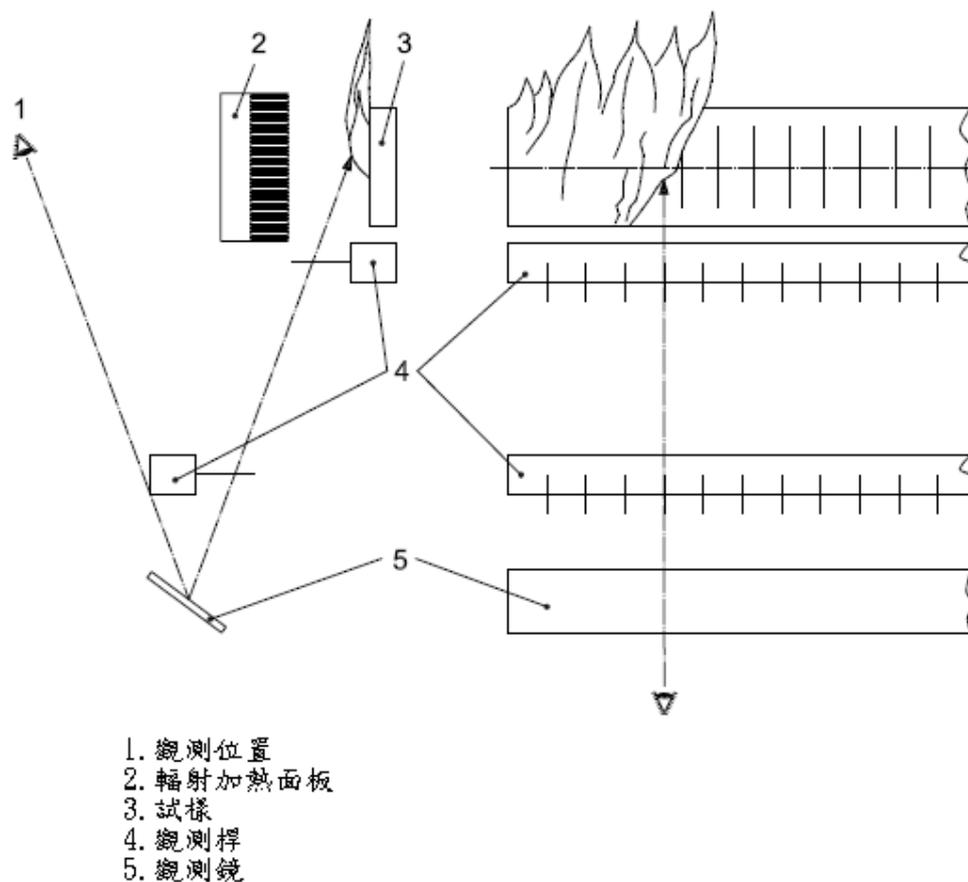


圖 3-6 火焰前端抵達時間觀測法示意圖

4.2.4 觀測桿

觀測桿是被使用來增加精確觀測沿試體延燒之火焰前端到達時間。

應由700mm長耐熱鋼材製造，並且沿著其中一邊，每隔50mm以100mm的長鋼釘固定，並固定在試體夾具導軌底端，以使得鋼釘在測試試體的前方，水平排列而開。

4.3 試體夾具

由3mm厚度以上的不銹鋼材製成(參閱圖3-7)。另外還必須提供快速鉗夾將測試試體固定至定位，並推至前緣處。

前緣處應該要有鋸齒邊緣，和每隔50mm V形標記，以方便觀察火焰的延燒。零的記號應該對應於鄰近輻射加熱面板的試體底端垂

直的邊緣。

試體夾具所需要的數目，將取決於受測項目的數量，但是除了用於支撐暫置試體的一具以外，建議最低數目為3具。

4.4 引燃火源

引燃火源應為200mm長的雙噴嘴陶瓷管，陶瓷管直徑6mm，貫穿陶瓷管的長孔直徑為1.5mm。

必須裝置於試體支撐框架鋼管上之托架(參閱4.2.1)，使其相對於試體面的位置，能如圖3-8所示。引燃火源經由適當的控制及調節閥，與流量表等由丙烷與空氣混合氣體的供給(參閱圖3-9)

。

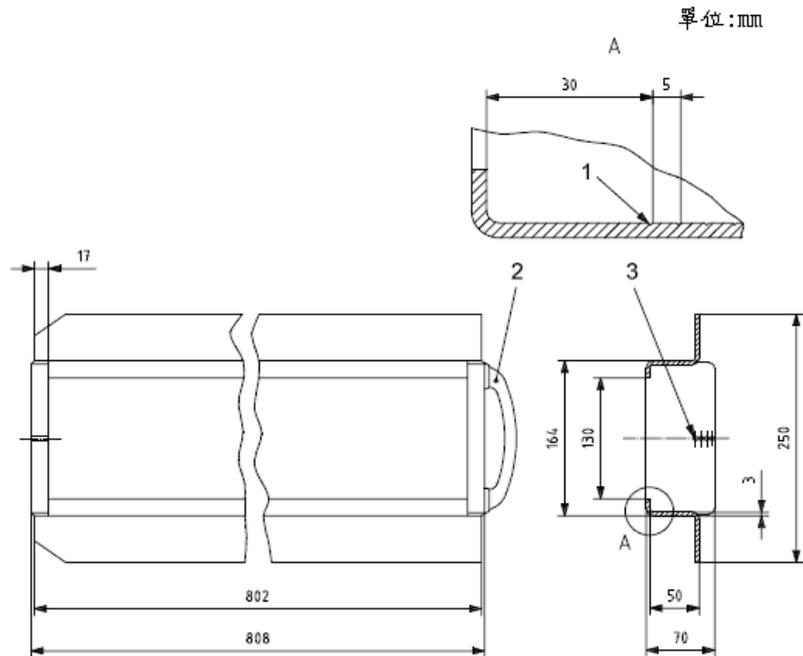


圖 3-7 典型試體夾具結構

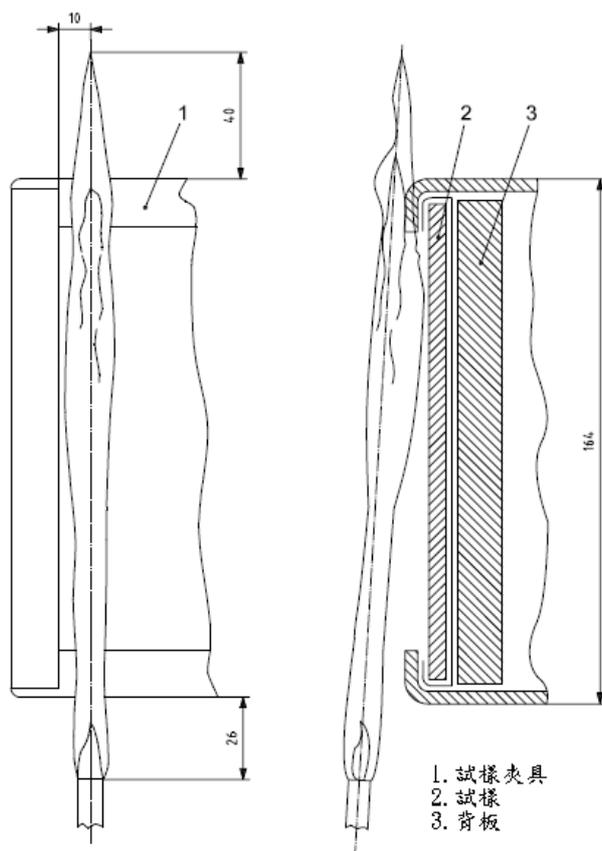


圖3-8 引燃火源與衝擊性引燃火源位置圖

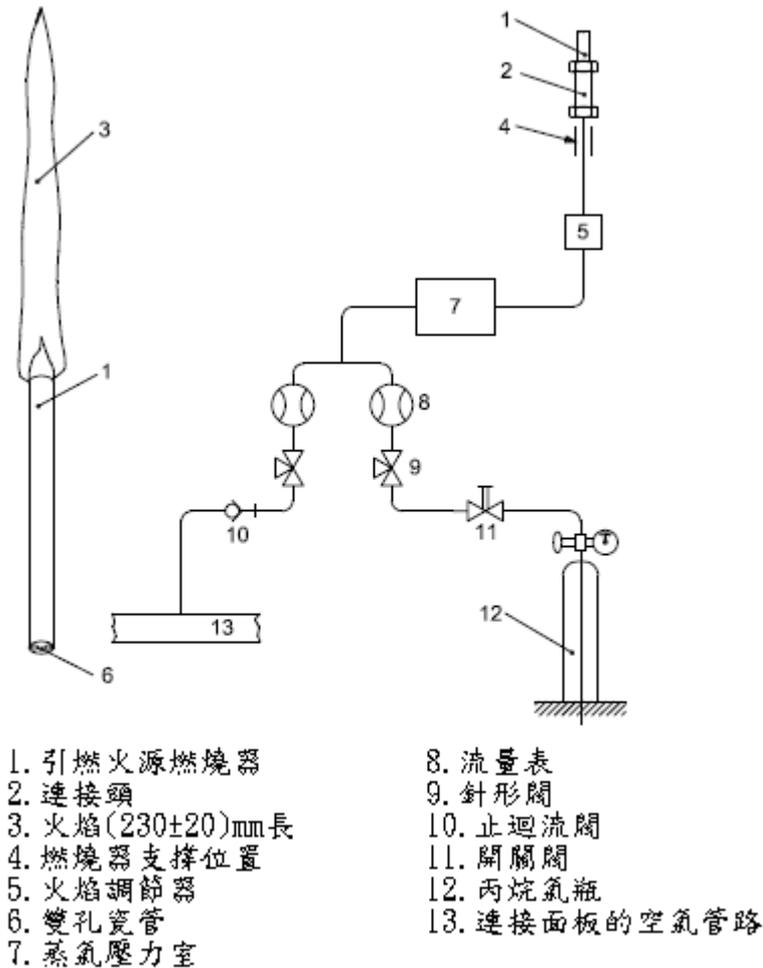


圖 3-9 引燃火源、燃燒器及瓦斯/空氣管線示意圖

5. 附屬設備和儀器

5.1 熱通量計

至少必須提供三組熱電堆(thermopile)型式的熱通量計，其正常功率為 $0\sim 50\text{kW}/\text{m}^2$ ，一組用於測試量測，另外兩組保留作為校正用參考標準件。

輻射熱感應表面應平整，佔用面積直徑不超過 10mm ，並應覆蓋有耐久無光澤的黑色塗料。它應包含在水冷式的機構中，其正面應平整，圓形，直徑至少 25mm 並且與平面感應表面一致。整個前面的水冷機構應高度拋光。輻射不得通過一個窗口才到達感應物表

面。冷卻水溫度應受控制，使熱通量計主體溫能保持在室溫範圍之內。

如果使用直徑小於25mm的熱通量計，則必須嵌入到一外徑25mm銅套筒內，使套筒和水冷式熱通量計主體之間，能維持良好的熱接觸。套筒前面和熱通量計接收面，必須在同一平面上。

熱通量計必須堅固，易於設置和使用與持續性的校正。他們應具有準確度 $\pm 5\%$ ，精密度 $\pm 0.5\%$ ，時間常數不超過290ms(對應於到達最終輸出的95%，時間不鈔過1s)。量測熱通量計應每兩個月與另兩組參考標準熱通量計比對(參閱附錄C)，這兩組參考標準熱通量計應妥善保存，並且不得用於任何其他用途。

5.2 整體輻射高溫計

感應波長為 1μ 與 9μ 間的高溫計。此裝備必須裝置於試體支撐框架上，以便能觀測面板中心大約 $150\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的區域。

5.3 記錄器

由輻射高溫計和熱通量計輸出的資料，應該以適當的方式記錄。

5.4 計時裝置

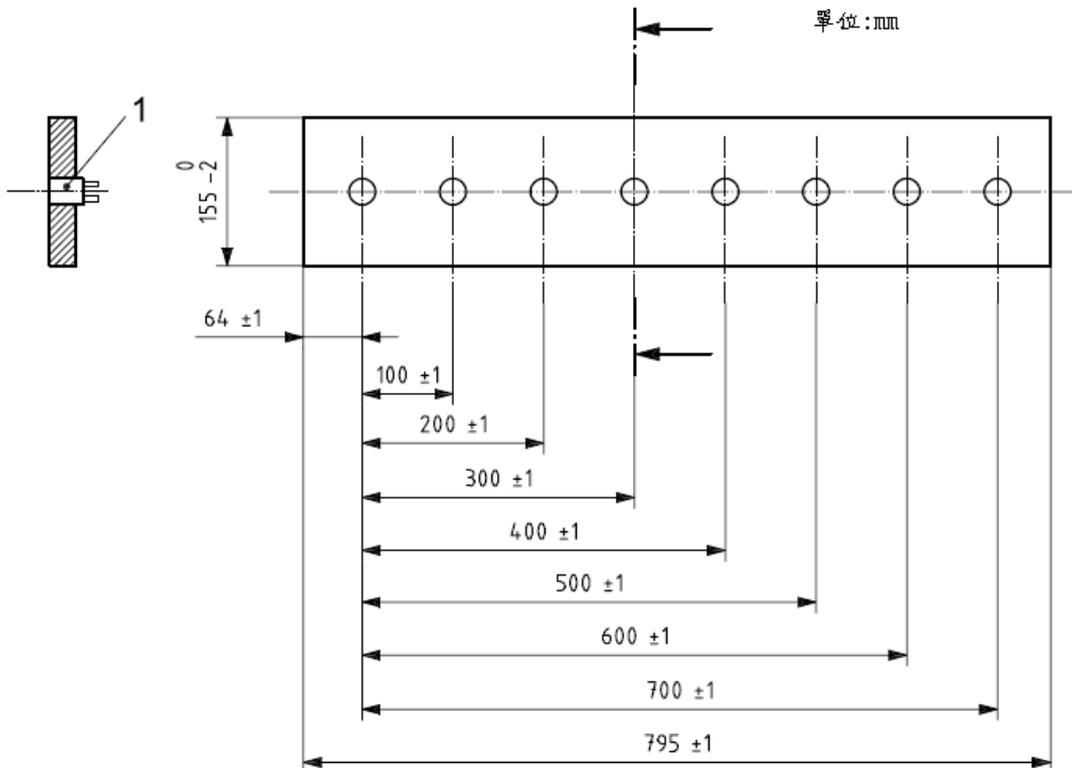
提供用來測量引燃和火焰前端前進時間。

5.5 暫置試體

暫置試體為烘乾密度 $950\pm 100\text{kg}/\text{m}^3$ 的不燃板製成(例如矽酸鈣板)，長度為800mm、寬155mm和 $25\pm 2\text{mm}$ 厚。如以較薄但同密度的不燃板結合成 $25\pm 2\text{mm}$ 厚無空隙亦可使用作暫置試體。其必須在裝置操作時保持於試體的位置，並且在測試試體要置入時始可移除。

5.6 校正板

校正板必須由烘乾密度 $950\pm 100\text{kg/m}^3$ ， $25\pm 2\text{mm}$ 厚的不燃板製成(例如矽酸鈣板)，如以較薄但同密度的不燃板結合成 $25\pm 2\text{mm}$ 厚無空隙亦可。它必須要有八個位於如圖3-10所示位置的 25mm 直徑的孔，以便熱通量計可測量受測試體曝熱表面相對應角度的輻射熱。無論使用單一的熱通量計，輪流由每一圓孔插入，或是使用數個熱通量計，未插入熱通量計之圓孔，應填進與校正板相同材質可移除之塞子。熱通量計的接受面，應該與校正板暴露表面相同的角度上。



1. 熱通量計插入直徑 25mm 圓孔內

圖 3-10 校正板示意圖

5.7 背板與隔絕板

背板應由和暫置試體相同側面尺寸，烘乾密度 $950\pm 100\text{kg/m}^3$ ，厚度 $12.5\pm 3\text{mm}$ 的不燃性板上切割下來(例如矽酸鈣板)。用於製造空氣間隙的隔絕板，必須由與背板相同的材質製成，並切割成

25±2mm寬的長條，附著於背板的邊緣上。

背板和隔絕板可以重複使用，只要未受到污染。不過在立即重複使用之前，必須依7.4.1所列舉的方式，在空氣中置放至少24小時。如果對背板或隔絕板的情況有任何疑問，必須將其放入溫度大約250°C通風烘箱內連續2小時，以便去除任何揮發性殘餘物。如果仍有疑問則應該加以丟棄。

6. 測試環境

- 6.1 如果試驗房間足夠大的話，它的尺寸無限定。試驗證明，一個45m³，天花板高度不低於2.5m，並設有一個適當的煙氣排放系統。煙氣排放系統應該安裝在天花板上，並應該至少具備0.5m³/s的容積。朝向煙氣排放系統的天花板格子應該用耐火纖維簾圍著，懸掛的耐火纖維簾應自天花板上呈方形13m×13m，垂至地板上(1.7±0.1)m。樣品支撐架和輻射板應該位於該簾幕的下面，使所有的燃燒煙塵都從房間排出。
- 6.2 裝備應設置於實際上遠離空氣調節裝置以外的環境中，裝備與試驗房間牆壁之間應至少1m的距離。天花板、地板和牆壁上的材料具有易燃性材料者，必須距離輻射熱源2m範圍外。
- 6.3 取代由排煙系統排放的煙氣的外部空氣供給，應能使其周遭的空氣溫度維持在20°C至30°C合理穩定範圍內。
- 6.4 當排煙系統在運作，但輻射板和空氣供給應該關閉時，應量測暫置試體附近的空氣流速。當距試體100mm外距離量測時，垂直於試體較低的一端、和在試體中央地帶的空氣速率，不論是何方向應該不超過0.2m/s。

7. 測試試體的準備

7.1 暴露面

試體之材料與組成，須與實際所使用者相同，以正常暴露面測試

，並考慮以下因素。

- (1)如果試體任何一個或兩個表面在使用的時候都是暴露的，如其芯材是不對襯的，則兩個面都要進行測試。
- (2)如果試體的表面有不規則的區域，具有特定的方向性，如起皺、起粒或機械加工導致的方向性，則經向與緯向都要進行測試。
- (3)如果暴露面具有一個明顯的區域，如表面加工或組成，則每一區域取適當數量試體進行測試。
- (4)紡織品材料需要在經向和緯向兩個方向上進行測試。
- (5)如果是一個明亮的金屬表面的試體，則於測試之前需要塗以薄薄的黑色或是膠狀的石墨。

7.2 試體數目及尺寸

7.2.1 試體數目

- 7.2.1.1 引燃性試驗：必須提供6至12件試體。
- 7.2.1.2 火焰散佈試驗：每一不同暴露表面必須測試3件。
- 7.2.1.3 延燒性質試驗：必須提供6件試體，3件試體必須以個別不同暴露表面測試。

7.2.2 試體尺寸

- 7.2.2.1 引燃性試驗：試體必須是 $155(+0, -5)\text{mm} \times 155(+0, -5)\text{mm}$ ，並且足以代表該產品。
- 7.2.2.2 火焰散佈試驗：試體必須是 $800(+0, -5)\text{mm} \times 155(+0, -5)\text{mm}$ ，並且足以代表該產品。
- 7.2.2.3 延燒性質試驗：試體必須是 $800(+0, -5)\text{mm} \times 155(+0, -5)\text{mm}$ ，並且足以代表該產品。

7.2.3 試體厚度

不規則表面產品試體的厚度(參閱 7.1)，必須由試體品表面最高點測得。厚度為 50 mm 或更是少於 50 mm 的產品，必須以其完整厚度測試。當試體厚度大於 70 mm 時，應對非暴露面進行切削，使其減薄至 $70\text{mm}(+0, -3\text{mm})$ 。對於厚度在 50 mm 至 70 mm 之間的試體，必須

在試體支架後方使用延伸夾或是固定器(參閱圖 3-5)。

7.3 試體結構

7.3.1 對於較薄材料或複合材料組零件來說，空氣或空氣間隙的存在，亦或是底層的結構，均可能顯著影響暴露表面的特性。因此底層的影響應先行瞭解，並加以留意，以確保在任何組零件獲得的測試結果與實際使用上相關。

7.3.2 當產品加上表面塗裝，則必須運用所推薦使用的方式，和其選擇的底板上。

7.3.3 當產品為單一材料或複合材料時，通常都要在其上附加一個底板，當使用推薦的固定技術來附加上的底板和試體一起進行測試時，需要使用一個適當的粘合劑或用機械方法將底板固著在試體上。將試體固定於底板上的程序，應清楚陳述於測試報告中。

7.3.4 部分測試試體可能會根據最終使用定向接合狀況，以不同的方式接合。如果產品組構是以水平方式接合，則其接縫應置於測試試體橫向水平中心線。如果產品組構是以垂直方式接合，則其垂直接縫應置於測試試體熱端100mm處。接合方式應儘可能與最終使用應用狀況相同。

7.4 前置處理

7.4.1 所有試體在試驗前，應在溫度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 $50\pm 5\%$ 下調節至恆重。即於前述條件下 24 小時間隔兩次連續稱重的質量差小於試體質量的 0.1%。

7.4.2 背板與隔板在使用前，需要在 7.2.5.1 所描述的環境中保持至少 12 小時。

7.5 試體製備

7.5.1 參考線

沿著每一試體的長度方向中心標記一條線，沿線每隔 25mm 畫一垂直記號，零的記號應該對應於試體暴露區域的開端(參閱 4.3)。小心避免線條影響試體性質的可能，例如破壞試體表面或增加其吸收性。

注意：有些材料會退色或燒壞，以致於線條記號模糊不清。在試體表面上方大約 10mm 處使用不銹鋼格，便能確定火焰前端位置。

7.5.2 無空氣間隙的產品

產品通常使用於其後無空氣間隙時，以7.4所述前置處理後，試體的邊緣及後方都應包含在一個單獨的矩形，厚度0.02至0.003mm，長 $(175+2a)$ mm×寬 $(820+2a)$ mm的鋁箔內。在此”a”是試體的厚度。所以大約有10mm的鋁箔平均覆蓋在試體前方的邊緣上。鋁箔必須要壓平的試體的前緣上(參閱圖3-5(a))。包含在鋁箔中的試體，接著要放置在背板上，並將兩者插入試體夾具中(參閱圖3-7)。

7.5.3 有空氣間隙的產品

產品通常用於其後有著空氣間隙時，以7.4前置處理後，試體將被放置在處理過之隔板上(參閱圖3-5(b))，並且靠在板上，以使試體未暴熱的面與背板間，有 25 ± 2 mm的空氣間隙(參閱5.7)。整體組件的後緣接著應包含在一個單獨的矩形，厚度0.02至0.003mm，長 $(175+2b)$ mm×寬 $(820+2b)$ mm的鋁箔內。在此”b”是試體組裝品、隔板及背板的整體的厚度，所以大約會有10mm的鋁箔平均覆蓋在試體前方的邊緣上。鋁箔必須要壓平的試體的前緣上(參閱圖3-5(b))。包含在鋁箔中的試體組裝品，接著要放置在背板上，並將兩者插入試體夾具中(參閱圖3-7)。

7.5.4 試體的儲存

如7.5.2及7.5.3所述的試體、背板及隔板的組合物，包覆好後應置於如7.4.1所述環境條件中，直到開始進行測試。

8. 試驗前設定與校正過程

8.1 設定

大多數試驗裝置組成部分的調整，都可以在冷卻的狀態下進行。須要進行試驗條件下的初始調整和周期性調整，以確保試體表面的熱輻射通量控制在標準狀態下。須要注意的是，周圍熱氣流的上升對熱通量計的讀數有微小的影響，因為它可以使校正板變熱。熱通量的測量是通過安裝在校正板上的熱通量計來進行的(參閱圖3-10)。輻射熱板耐火表面的初始位置相對於待測物的直徑位置參閱圖3-11。

設定試驗條件首先要遵循以下步驟。

- (1) 設定輻射熱板的空氣流量約 8 l/s。打開氣體來源，點燃輻射熱面板，並且使其與裝置在前的暫置試體達到熱平衡。
- (2) 調整氣體流量，直倒裝置於校正板上的水冷式熱通量計，所測得的熱通量對應於表 3-4 上的值。如果有必要，可以在流量比例上作些許的變更，使輻射熱板的表面不致於有過大的火焰。作完每項調整後，必須讓該刻度板達到溫度穩定，才能夠測量熱通量。
注意：可能須要在試體位置較長的一端上作如圖 3-11 的些微變動。
- (3) 熱通量對距離的相對值，可以畫出經過各點的平滑曲線，並且由間隔 50 mm 的各個標準距離上讀出熱量。
注意：在處理測試的結果時，可以假設在實際測試試體上，各個指定位上的熱量，等於以校正板在相同位置上所測量的值。
- (4) 如果在試體軸的位置改變，為符合熱通量在 50 mm 和 350 mm 位置上的須求時，必須以調整連結兩個框架的螺絲來完成，以便引燃火源和試體間的關係距離維持不變。
注意：試體上的調節螺絲可以轉動，以配合熱通量的須要，引燃火源的位置可能也須要調整，以便保持引燃火源火焰的間距為 10 ± 2 mm。
- (5) 一旦到達運作的情況時，所有輻射熱面板的操作，將以空氣與瓦斯流量調整來達到所須的熱通量，如果以整體輻射高溫計來監控輻射熱面板的操作，則應架設於試體支撐框架上，能測試面板表面中央部位面積大約 150 mm×300 mm 區域。並須將完整校正過程與量測訊號進行記錄

8.2 查證

- (1) 設備初次安裝
- (2) 持續性測試則至少每個月查證校正板上的熱量分佈一次。
- (3) 兩次測試間隔一個月以上，則每次測試前應查證校正板上的熱量分佈。
- (4) 每日查證。在距離暴熱端 50 mm 及 350 mm 的位置上，量測熱通量。
- (5) 每月查證。在距離 50 mm、150 mm、250 mm、350 mm、450 mm、550 mm、650 mm、750 mm 量測熱通量。

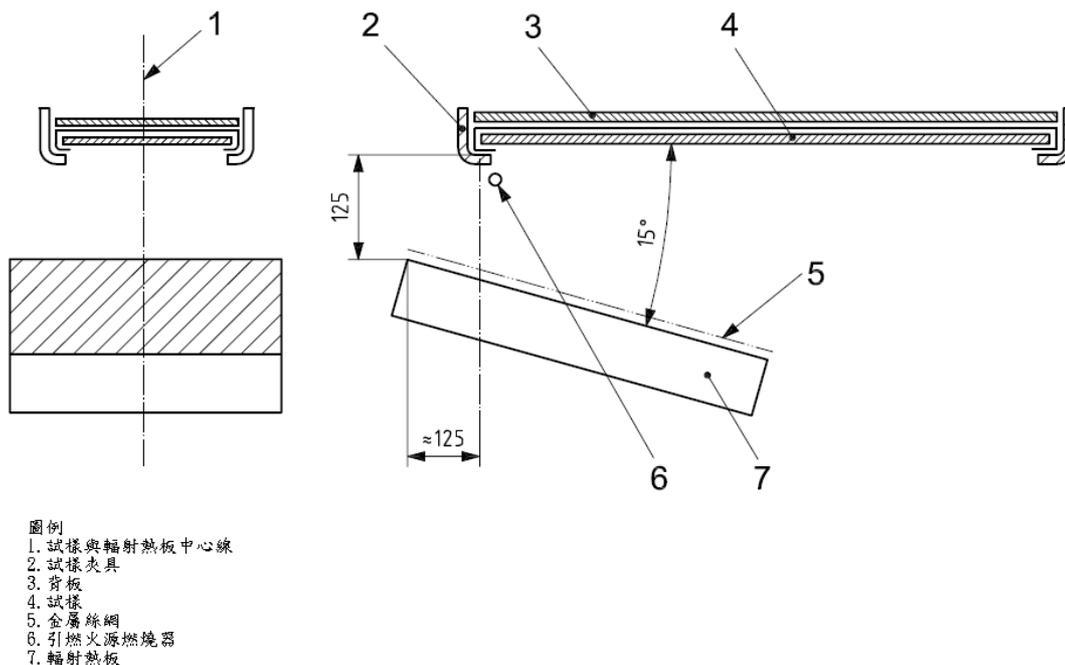


圖 3-11 輻射熱板與試體相對位置

表 3-4 沿著校正板的熱量值

位置 mm	熱通量 kW · m	容許誤差 kW · m
0	49.5	b
50	50.5	±0.5
100	49.5	b
150	47.1	±2.4
200	43.1	b
250	37.8	±1.9
300	30.9	b
350	23.9	±0.2
400	18.2	b
450	13.2	±0.7
500	9.2	b
550	6.2	±0.3
600	4.3	b
650	3.1	±0.2
700	2.2	b
750	1.5	±0.1

b: 當設備在最初設立時，這些位置上的熱通量值能助於產生較平順的熱量/距離間的關係曲線，熱量計也可以藉由試體支架的縮回50mm，安裝於這些位置。

9. 試驗步驟

9.1 輻射熱板設定

- 9.1.1 將校正板置入試體框架內，再置於面對輻射熱板的位置上，啟動排氣系統。
- 9.1.2 開啟空氣調節閥供應至輻射熱板。
- 9.1.3 定位點火器在輻射熱板表面前方大約2cm。
- 9.1.4 開啟瓦斯供應引燃輻射熱板。
- 9.1.5 參考校正板上50mm位置之輻射熱計量測值，或整體輻射高溫計監測輻射熱板表面，或兩者監測值，調節空氣/瓦斯流量，藉由首先調整空氣供應以進行調節輻射熱板輸出，然後，如有必要，才調整瓦斯供應。允許至少15分鐘以讓輻射熱板達到平衡。
- 9.1.6 如果使用熱通量計調整，則在熱通量計置於校正板50mm處之前，須將供應熱通量計之冷卻水開啟，該冷卻水在室溫 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以內，另外亦須使用一塊校正板裝配以調節在50mm處之熱通量計。

9.2 引燃性試驗

- 9.2.1 調整到達試體表面 50 mm位置之外部輻照度 $\{ \dot{q}_e''(x) \}$ $30\text{kW}/\text{m}^2$ 。
- 9.2.2 點燃引燃火源；調節空氣/丙烷控制閥使得一淺藍色火焰能縱向通過位於試體夾具頂部之鄰近壁邊緣(參閱圖 3-3)，其長度擴展大約為 180 mm。
- 9.2.3 檢查，如果有須要，重新調整儀器至適當的熱操作程度，允許儀器到達穩定至少 3 分鐘。
- 9.2.4 記錄整體輻射高溫計的輸出以達到在測試期間監測輻射熱板操作程度之目的。
- 9.2.5 當位於 50 mm處之熱通量計的輸出決定後，記錄輸出輻照度 $\{ \dot{q}_e''(x) \}$ 。
- 9.2.6 記錄周遭環境溫度， T_{∞} 。
- 9.2.7 從校正板移開熱通量計。
- 9.2.8 在 10 秒鐘時間，將校正板移出，插入試體。使用適當記錄裝置，記錄試體整個置於測試位置時之時間(t_1)，及火

焰開始發生於試體表面的時間(t_2)，引燃時間(t_{ig})是定義在試體插入後到火焰附著於試體表面的時間(t_2-t_1)，如果引燃在 20 分鐘內沒有發生，則認定測試完成。

9.2.9 記錄引燃時間， t_{ig} 。

9.2.10 如果引燃發生，以大約 $5\text{kW}/\text{m}^2$ 幅度向下調降位於 50 mm 處的輸出輻照度 $\{q_e''(x)\}$ ，且不斷重覆測試(使用新的試體)直到無任何引燃現象發生已被確認的輻照度。如果引燃沒有發生，重新以大約 $5\text{kW}/\text{m}^2$ 幅度向上調高位於 50 mm 處的輸出輻照度 $\{q_e''(x)\}$ ，且不斷重覆測試直到引燃現象發生已被確認的一個最小輻照度。

9.2.11 以 ± 2 (含) kW/m^2 之內之引燃/未引燃，決定引燃最小輻照度 $\{q_{o,ig}''\}$ 。

9.2.12 重複 9.2.1 至 9.2.9，調高位於 50 mm 處的輸出輻照度 $\{q_e''(x)\}$ (使用大約 $10\text{ kW}/\text{m}^2$ 增加量)，直到一條引燃時間輻照度曲線(參閱圖 3-12)已被決定對於在引燃最小輻照度 $\{q_{o,ig}''\}$ 與 $65\text{ kW}/\text{m}^2$ 之間的輻照度 $\{q_e''(50)\}$ 。依引燃最小輻照度之測試數目，可能須要 8 至 12 次之測試。

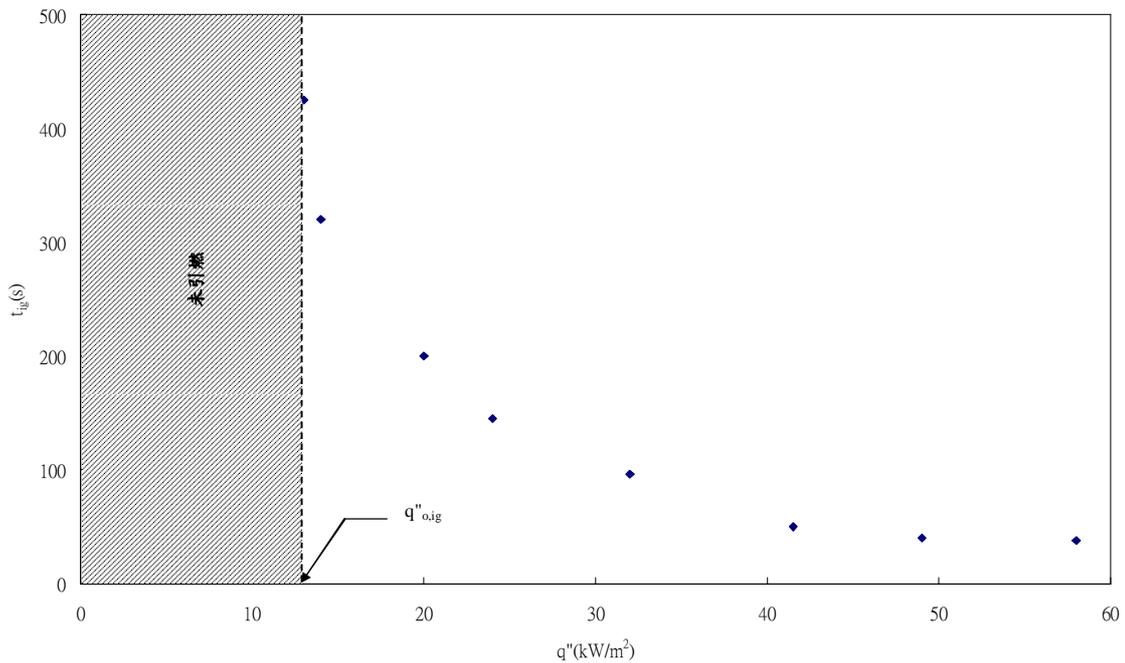


圖 3-12 引燃時間為外部輻照度函數

9.3 火焰散佈試驗

9.3.1 移開引燃火源使得該火焰無法接觸到由受熱試體所釋出

的可燃氣體。

- 9.3.2 將暫置試體置入試體夾具內，再置於面對輻射熱板的位置上，調節輻射在試體表面之熱操作程度，距熱端 50 mm 處之輻照度比起引燃所須之最小輻照度 $\{ \dot{q}_{o,ig}'' \}$ 高出大約 5 kW/m^2 ，容許儀器進行 3 分鐘的穩定。
- 9.3.3 記錄入射於試體表面 50 mm 處的外部輻照度 $\{ \dot{q}_e''(x) \}$ 。
- 9.3.4 在 10 秒時間內，將暫置試體移出並插入測試試體，立即啟動計時器。
- 9.3.5 當測試試體是整個置於測試位置後開始記錄時間。
- 9.3.6 允許試體預熱一段時間 t^* (來自引燃試驗相關數據)，及放回引燃火焰於圖 3-3 位置，如果試體位引燃，一個重新試驗(新的試體)，進行一修正引燃源，依照 9.3.1 至 9.3.5 允許試體預熱一段時間 t^* ，且藉著以手移動引燃火源，向減少輻照度的方向，沿著試體底部表面引燃試體。
- 9.3.7 記錄引燃時間(t_{ig})。
- 9.3.8 藉使用觀測鏡、觀測桿，或在試體上標記參考線或複合上述方式，觀測火焰前端沿著試體側向中心前進情形。記錄火焰前端前進 25 mm 之到達時間。對於引燃後延燒火焰會快速延燒的材料，則可利用如視聽器材等適當設備記錄火焰前端每個行進到達時間。
- 9.3.9 如果火焰延燒到達試體終端或火焰自行熄滅而中止沿試體延燒時，測試結束。
- 9.3.10 記錄火焰前端中止沿試體前進延燒時之時間， $t(\text{sec})$ 及位置， $x(\text{mm})$ 。
- 9.3.11 觀察-除了記錄實驗數據，並記錄觀察試體一般行為，包括灼熱、碳化、熔化、火焰微滴、分解等等。
- 9.3.12 重覆 9.3.1 至 9.3.11 步驟，進行測試另外二件試體。

9.4 火焰延燒程度試驗

- 9.4.1 將暫置試體置入試體夾具內，再置於面對輻射熱板的位置上，啟動排煙系統。
- 9.4.2 調整丙烷及空氣流率大約 0.4 l/min 及 1.0 l/min ，以提供垂直火焰，火焰長度大約 $(230 \pm 20) \text{ mm}$ ，在黑暗的實驗室內觀察時，火焰能延伸至垂直試體夾具上 40 mm 的長度(參閱圖 3-8)。記錄引燃火源燃燒器之丙烷及空氣流率。
調整衝擊區火焰，在暫置試體上移動燃燒器管朝向或離開暫置試體暴露表面之平面。在夾具上轉動引燃火源燃燒器管直

到火焰衝擊超過暴露試體高度上半部(參閱圖 3-8)。

引燃火源火焰應每天進行檢查，並在必要時按照以上指應的要求也每天進行調節，而根據試體性質的須要，應經常進行調節。

- 9.4.3 操作輻射熱板達到表 3-4 之測試狀況。
- 9.4.4 當輻射熱板達到熱平衡時，點燃引燃火源，設定其正常的燃料與空氣流率，檢查火焰的長度並且在必要時，調整燃料與空氣的流率。
- 9.4.5 將前置處理過的試體包裹在鋁箔中，置於如 7.5.2 或 7.5.3 所列舉的背板上，再置入遠離輻射熱板熱源之冷卻試體夾具內，然後嵌進鉗夾將試體壓入前緣夾緊。
- 9.4.6 在 15 秒時間內，將暫置試體移開，迅速將試體放置於測試位置上，並立刻啟動計時器。
- 9.4.7 記錄試體的引燃時間和火焰前端開始到達試體某些部位並開始快速燃燒的時間。記錄每個火焰前端到達試體側向軸心位置以及到達兩個相應觀測桿的時間。以手記方式記錄這些時間數值。記錄火焰前端延燒到每 50mm 間隔所經歷的時間，直至最大延燒距離和相對應的時間。
一旦試體表面的參考線被火焰灼燒得模糊不清時，則試驗者需要憑藉肉眼判斷試體的中心。
- 9.4.8 在試體暴露全程，不要作改變輻射熱板燃料供應率之改變，以補償操作程度上之變異。
- 9.4.9 試驗終止
試驗因下列原因得以終止。
 - (1) 試體在暴露 10 分鐘後仍未點燃。
 - (2) 火焰停止沿試體延燒，並且熄滅，也沒有任何進一步的火焰型態在之後 10 分鐘內發生。
 - (3) 火焰到達試體末端。
 - (4) 試體僅能在一個位置引燃，並且在試意開始 30 分鐘內，火焰前端不會由引燃處延燒。
- 9.4.10 測試終止後，移開試體，插入暫置試體。
- 9.4.11 重複 9.4.5 至 9.4.10 步驟進行下一試體試驗，並且在每次試驗之前，先讓輻射熱面板達到溫度平衡。
 - (1) 如果試體暴露面無不同方向性，則以相同方式進行另外兩個試體試驗。
 - (2) 如果試體暴露面有不同方向性，則首先以垂直於原測向進行另一試體試驗，並應在此方向重複 4 次試驗，以測試其最低熄滅輻射熱通量。

9.4.12 重新試驗條件

- (1) 如果三件試體中的一件試體未引燃，則進一步測試一件試體。
- (2) 在首次設定試驗條件下，如果有二或三件試體，在暴露 10 分鐘之後未引燃，則進一步測試一件試體，如果此件試體引燃，則加測二件試體。在此案例，其試驗報告應明確說明未得到可能重複引燃。
- (3) 如果在測試期間，試體有大量的不完全燃燒材料損耗，以大約 0.3 mm 直徑、25 mm 網目之金屬網將試體束制於試驗框上，至少另外測試一件。使用金屬網試驗所得數據，應個別報告。

9.4.13 如果試體顯示，如此暴露表面無法用於火焰延燒量測之行為，此種試驗方法被視為不適用的方法，例如：

- (1) 任何軟化、熔解或材料分解，而導致試體由試體夾具上下垂。
 - (2) 覆面物由基板上分離。
- 不過在(1)、(2)所述行為發生前，暴露表面發生引燃，此試驗法是適用的。

9.4.14 在測試期間，必須仔細觀察產品的特性，並對以下現象作特別的註記：

- (1) 閃火
- (2) 暫時燃燒火焰(不穩定的火焰前端)

另外也必須觀察其他的現象，例如試體上掉落的碎片，和其是否燃燒(持續或暫時)，膨脹或是試體的變形，分離、剝落、龜裂或爆裂、引起火花、熔化、改變型式等。

10. 計算

10.1 引燃性試驗計算

10.1.1 繪製試驗數據 $\dot{q}_{o,ig}'' / \dot{q}_e''$ 與 \sqrt{t} 結果圖。

10.1.2 由 10.1.1 結果圖直線擬合。

10.1.3 由這些數據繪製斜線與 $F(t)=1=\dot{q}_{o,ig}'' / \dot{q}_e''$ 線間之截距，依下式決定引燃參數 b 及 t^* 。

$$\frac{\dot{q}_{o,ig}''}{\dot{q}_e''} = F(t) = \begin{cases} b\sqrt{t}, & t \leq t^* \\ 1, & t \geq t^* \end{cases}$$

10.1.4 使用引燃所須最小輻照度 $\dot{q}_{o,ig}''$ ，決定表面引燃溫度(T_{ig})。

$$\dot{q}_{o,ig}'' = h_c(T - T_\infty) + \sigma(T^4 - T_\infty^4) \equiv h(T_{ig} - T_\infty)$$

在此 $h_c = 0.015 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmann 常數} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

10.1.5 由下列方程式決定有效熱貫性 $k\rho c$ 。

$$k\rho c = \frac{4}{\pi} \left(\frac{h}{b} \right)^2$$

在此 h =引燃熱傳係數，方程式如下：

$$h = \frac{\dot{q}_{o,ig}''}{T_{ig} - T_{\infty}}$$

10.2 火焰散佈試驗計算

10.2.1 使用表 3-4 的熱通量分佈值，計算在 x 位置相對應火焰前端到達時間的 $F(x)$ ：

$$F(x) = \frac{\dot{q}_e''(x)}{\dot{q}_e''(50)}$$

10.2.2 從 9.3.3 步驟記錄的熱通量 $\dot{q}_e''(50)$ ，計算在測得的火焰前端位置的表面熱通量。

$$\dot{q}_e''(x) = F(x) \times \dot{q}_e''(50)$$

10.2.3 利用 3 點最小平方和測得的火焰前端位置-時間(x, t)數據，計算火焰前端速率。

$$V = \frac{\sum tx - \frac{\sum t \sum x}{3}}{\sum t^2 - \frac{(\sum t)^2}{3}}$$

10.2.4 依 $V-1$ 與 $\dot{q}_e''(x)F(t)$ 之火焰延燒數據關係繪圖。

$$\text{在此 } F(t) = \begin{cases} b\sqrt{t}, & t \leq t^* \\ 1, & t \geq t^* \end{cases}$$

10.2.5 由 10.2.4 結果圖直線擬合。

10.2.6 求出下列參數。

C ：火焰延燒參數(直線斜率)

$\dot{q}_{o,ig}''$ ：臨界引燃熱量直限交叉於 x 軸的位置。

T_{ig} ：引燃表面溫度，從 $\dot{q}_{o,ig}''$ 和表面溫度的理論曲線。

$T_{a,min}$ ：熄滅表面溫度，從 $\dot{q}_{o,ig}''$ 推算獲得。

10.2.7 計算火焰延燒參數， Φ 。

$$\Phi = \frac{\frac{4}{\pi}}{(Cb)^2}$$

10.3 火焰延燒程度試驗計算

10.3.1 平均持續燃燒熱(Q_{sb}):以 150mm 當平均持續燃燒的第一計算點,每 50mm 遞增,直到 400 mm 位置(或如果在到達 400 mm 之前試驗終止的最終計算位置)的平均值。

10.3.2 臨界熄滅熱通量(CFE):當試體沒有引燃,這些試體將被視為 CFE 為 50 kW/m²。

在試體所有方向測試計算其 Q_{sb} 及 CFE。

- (1) 在每個引燃產生且無異向性試體,則計算三個測試試體之平均。
- (2) 在一些未引燃產生且無異向性試體,則以所有測試試體為計算平均基礎。當計算平均 Q_{sb} 時排除未引燃的或火焰延燒低於 150 mm 者。
- (3) 對於異向性試體之測試,則從相同方向的方向之五個試體測試結果為一組,計算其平均值,在執行此一計算時,在每個參數的兩個極端(最高及最低)值。

由雷明遠(1997)針對本法所作之試驗結果整理如表 3-5 及表 3-6:

表 3-5 試驗材料表

試驗材料	厚度 (mm)	密度 (g/cm ³)
1. 矽酸鈣板 A	12.7	0.82
2. 矽酸鈣板 A+壁布(0.6 mm)	----	----
3. 矽酸鈣板 A+壁紙(PVC, 0.5 mm, 250g/m ²)	----	-----
4. 矽酸鈣板 A+壁紙(FR-PVC, 0.5 mm, 215g/m ²)	----	-----
5. 紙面石膏板 A	11.9	0.77
6. 紙面石膏板 A+壁布(0.6 mm)	----	-----
7. 紙面石膏板 A+壁紙(PVC, 0.5 mm, 250g/m ²)	----	-----
8. 紙面石膏板 A+壁紙(FR-PVC, 0.5 mm, 215g/m ²)	----	-----
9. 鎂板+壁紙(FR-PVC, 0.5 mm, 215g/m ²)	----	-----
10. 耐燃合板	----	-----
11. 耐燃合板+壁布(0.6 mm)	12	0.56
12. 耐燃合板+壁紙(PVC, 0.5 mm, 250g/m ²)	----	-----
13. 耐燃合板+壁紙(FR-PVC, 0.5 mm, 215g/m ²)	----	-----
14. 木粒片水泥板	11.9	1.33
15. 麗光板	2.9	0.69

表 3-6 側向引燃與延燒性試驗

試驗材料	ISO 5658 part2 火焰延燒程度						ASTM E1321					
							引燃性試驗			火焰散佈試驗		
	引燃時間 (sec)	火焰熄滅位置 (mm)	火焰熄滅時間 (sec)	引燃熱 (MJ/m ²)	持續燃燒熱 (MJ/m ²)	臨界熄滅熱通量 CFE (kW/m ²)	引燃臨界熱通量 $\dot{q}_{o,ig}''$ (kW/m ²)	引燃溫度 T _{ig} (°C)	有效熱慣性 K _{ρc} ((kW/m ² K) ² ·sec)	延燒臨界熱通量 $\dot{q}_{o,s}''$ ((kW/m ²)	延燒最小溫度 T _{s,min} (°C)	火焰延燒參數 Φ ((kW) ² /m ³)
1	N. I.	----	-----	----	----	----	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.
2	104.95	273	204.60	5.474	5.871	34.45	35.7	565.4	1.210	28.76	514.84	21.59
3	28.12	265	125.80	1.868	2.173	35.91	25.0	483.4	0.398	N. I.	N. I.	N. I.
4	N. I.	----	-----	----	----	----	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.
5	45.28	441	281.60	2.324	2.763	14.58	35.0	560.7	0.658	13.99	364.12	48.59
6	69.45	398	338.10	3.347	3.629	18.53	30.3	526.8	0.870	19.90	434.36	35.69
7	17.38	312	93.60	0.876	0.985	28.82	22.4	459.4	0.326	16.0	390.09	8.29
8	31.0	336	161.3	1.731	2.269	25.65	32.6	543.9	0.529	25.98	491.9	6.63
9	N. I.	----	-----	----	----	----	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.
10	800.5	256	1800.0	43.873	49.377	36.57	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.
11	54.02	358	237.5	2.788	3.121	23.0	25.7	489.5	0.93	19.73	432.57	25.77
12	12.32	288	44.8	893.76	992.60	32.10	20.0	435.4	0.305	19.29	427.89	7.20
13	872.3	268	2100.0	53.495	61.005	34.26	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.	N. I.
14	800.0	225	1168.9	40.424	41.127	42.05	46.6	631.7	8.564	N. I.	N. I.	N. I.
15	39.90	551	694.50	2.230	3.108	7.28	19.0	424.8	0.627	6.08	225.85	39.10

二、地坪水平延燒測試

本項試驗法評估 ASTM E 648 與 ISO 9239-1、ISO 9239-2 在試驗法上差異不大，惟 ISO 9239-2 係以閃燃後(Post-flashover)為要件，因此，係以 25kW/m²熱通量加熱於地板覆蓋材料，測試其延燒性，故本研究考量調合，將以 ISO 9239-1、ISO 9239-2 為主，綜整並予以 CNS 化，以下為綜整後試驗法之概述。

1. 適用範圍

本試驗法適用於以燃燒器點火的試驗箱中，測試模擬火災室閃燃前(最大熱通量 11kW/m²為熱源)或閃燃後(最大熱通量 25kW/m²為熱源)鄰近走廊水平方向安置之地板覆蓋物曝露在輻射熱源下的火焰擴散行為。

備考：本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

- 2.1 試驗係將試體置於已知的輻射熱通量場，量測火焰的傳播速率及火焰熄滅的位置。
- 2.2 試體置於傾斜 30 度，以瓦斯燒熱的輻射盤下方的平面上，並接受已知總量之熱通量的照射。
- 2.3 點火後，記錄任何引發的火焰前端，並且記錄火焰沿試體長度方向前進的速度（即火焰前進至各位置所需的時間）。
- 2.4 試驗結果為火焰擴散距離與時間的關係、熄滅時的臨界熱通量以及平均持續燃燒熱量。

3. 用語釋義：

- 3.1 平均持續燃燒熱：量測數個特定位置之持續燃燒熱值之平均，單位(MJ/m²)。
- 3.2 臨界熄滅熱通量(CFE)：沿著試體表面中心線，火焰延燒停止，然後熄滅之位置，此位置所對應之熱通量，即是臨界熄滅熱通量，單位(kW/m²)，熱通量值以不燃性校正板所量測為準。
- 3.3 熱通量：單位面積、單位時間內釋放、傳遞或吸收之熱能。單位為 kW/m²。
- 3.4 X 分鐘之熱通量(HF-X)：在試驗後的 X 分鐘於試體上火焰最遠擴散距離處接收的總熱通量。
- 3.5 臨界熱通量：臨界熄滅熱通量或試驗 30 分鐘後的熱通量 (HF-30)，兩者最低值，(即在 30 分鐘內火焰延燒最遠程度對應的通量)。
- 3.6 閃火：試體表面出現之火焰，其維持時間在 1 秒之內者。
- 3.7 暫時燃燒火焰：在試體表面維持時間介於 1 秒至 4 秒之間的火焰。
- 3.8 持續燃燒火焰：在試體上方或表面維持 4 秒以上的火焰。
- 3.9 火焰前端：向試體長度方向中心延展之燃燒火焰延燒的最前端界線。
- 3.10 曝露面：測試中，處於加熱狀態下的試體表面。
- 3.11 持續燃燒熱量：試體於某一標準位置開始曝露於火焰前端後所經歷時間與以校正板測得該位置總熱通量的乘積。
- 3.12 輻射熱通量(Radiant heat flux)：以輻射形式發射、傳遞與接受的熱量。
註：通量分佈係以總熱通量計量測，以包括輻射熱通量及對

流熱通量。

4. 儀器及裝備

4.1 試驗箱

4.1.1 試驗箱場所

試驗裝置應置於房間，與牆壁及天花板至少淨空距離 0.4m。

4.1.2 箱體結構

試驗裝置尺寸應如圖 3-13 至圖 3-164 所示。試驗箱由厚 $13\pm 1\text{mm}$ ，密度 $650\text{kg}/\text{m}^3$ 以上的矽酸鈣板做成，其前方裝置 $110\pm 10\text{mm}\times 1100\pm 100\text{mm}$ 的防火玻璃，使試驗中試體全長均可察見。觀測窗下有一密閉門，可供試體平台進出，並有一刻度 10mm 的水平尺固定在試驗箱或試體平台後方，在固定時間（如 15 分鐘）量測火焰前端位置，並求得火焰前端延燒前進之速度。

4.1.3 箱體通風

試驗箱底部應由可滑動能固定試體夾具之試體平台構成如圖 3-17，在箱體與試驗試體夾具之間的總空氣進入面積有 $0.06\pm 0.02\text{ m}^2$ ，且進氣在箱底曝露試體較熱末端。以 $13\pm 1\text{mm}$ 厚，標稱密度 $650\text{kg}/\text{m}^3$ 之矽酸鈣板由箱體插入，作為通風控制板，如圖 3-18。其他材料，如 1mm 毫米厚的鋼板也被證明是適合作為通風控制板。

另一種適合進氣口方式，是固定矽酸鈣板在試體托盤旁邊（如圖 3-19）。這種配置可便利輻射高溫計在其正常位置量測輻射面板的黑體溫度。

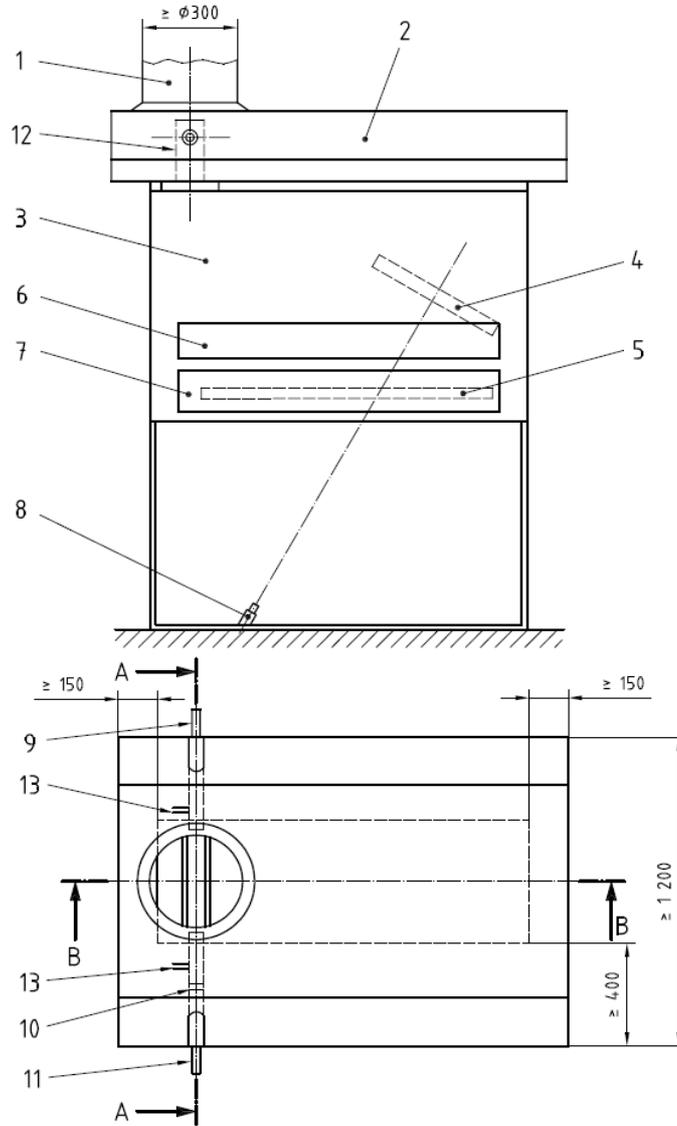
4.2 輻射板

輻射熱源係一多孔耐火物質，輻射面積為 $300\pm 10\text{mm}\times 450\pm 10\text{mm}$ 。輻射熱板須能承受 900°C 以上的溫度，使用氣體燃料/空氣混合系統，配合適當的儀器，以確保穩定，可重複操作。

輻射熱板應裝置於試驗箱內與水平面長向距離呈 $30\pm 1^\circ$ 如圖 3-16。

丙烷/空氣混合已被證明是合適的，但其他氣體燃料/空氣混合同樣可以使用。

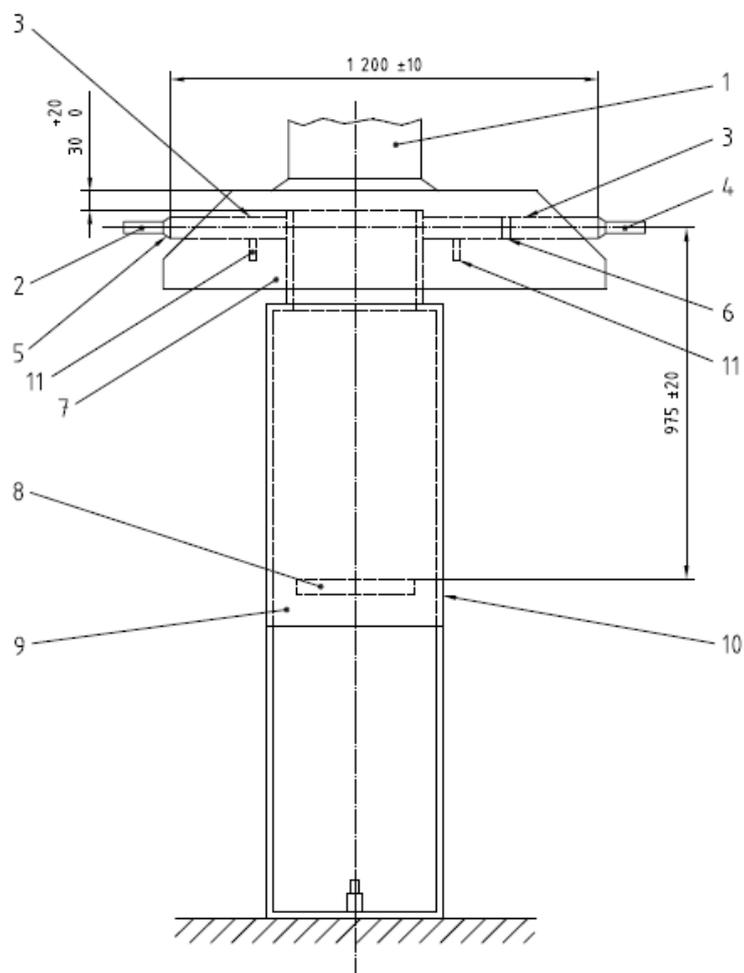
單位：mm



- | | | |
|------------|--------------|--------------|
| 1. 排氣煙道 | 6. 觀視窗 | 11. 受光器(可選用) |
| 2. 排氣煙罩 | 7. 試體進出門 | 12. 排氣煙函 |
| 3. 試驗箱 | 8. 高溫計 | 13. 淨化空氣供應管 |
| 4. 燃氣輻射板 | 9. 光源裝置(可選用) | |
| 5. 試體夾具與試體 | 10. 校正濾光片插槽 | |

圖 3-13 試驗裝置正視與上視圖

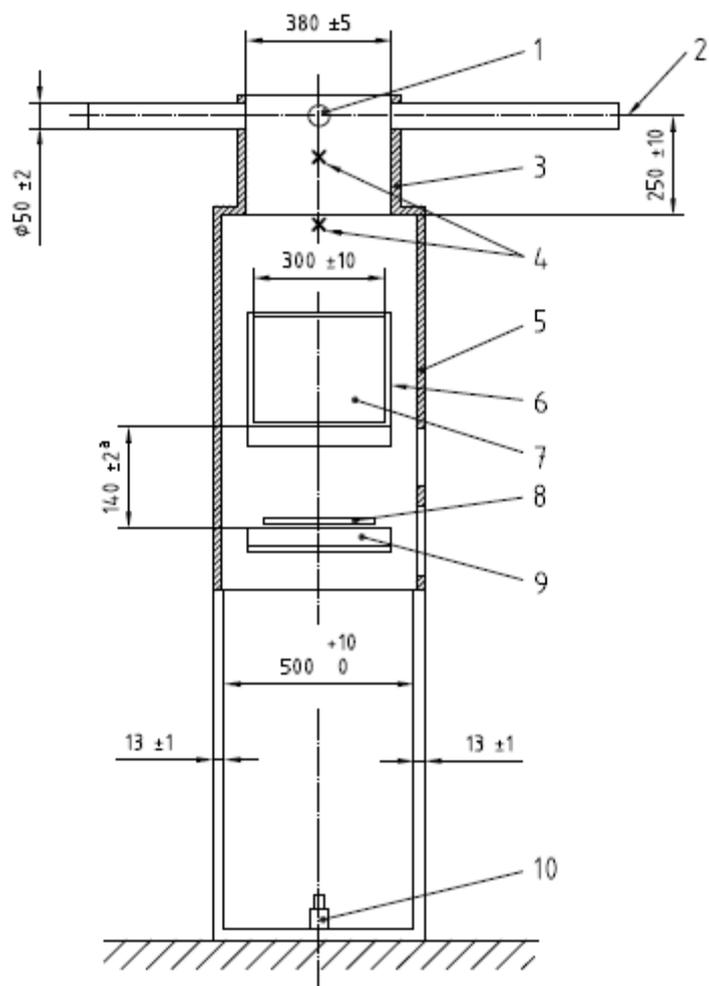
單位：mm



- | | |
|------------------|-------------|
| 1. 排氣煙道 | 7. 排氣煙罩觀視窗 |
| 2. 光源裝置(可選用) | 8. 試體夾具與試體 |
| 3. 光量測定裝置鋼管(可選用) | 9. 試驗箱 |
| 4. 受光器(可選用) | 10. 試體進出門 |
| 5. 頸圈或橡膠圈 | 11. 淨化空氣供應管 |
| 6. 校正濾光片插槽 | |

圖 3-14 試驗裝置側視圖

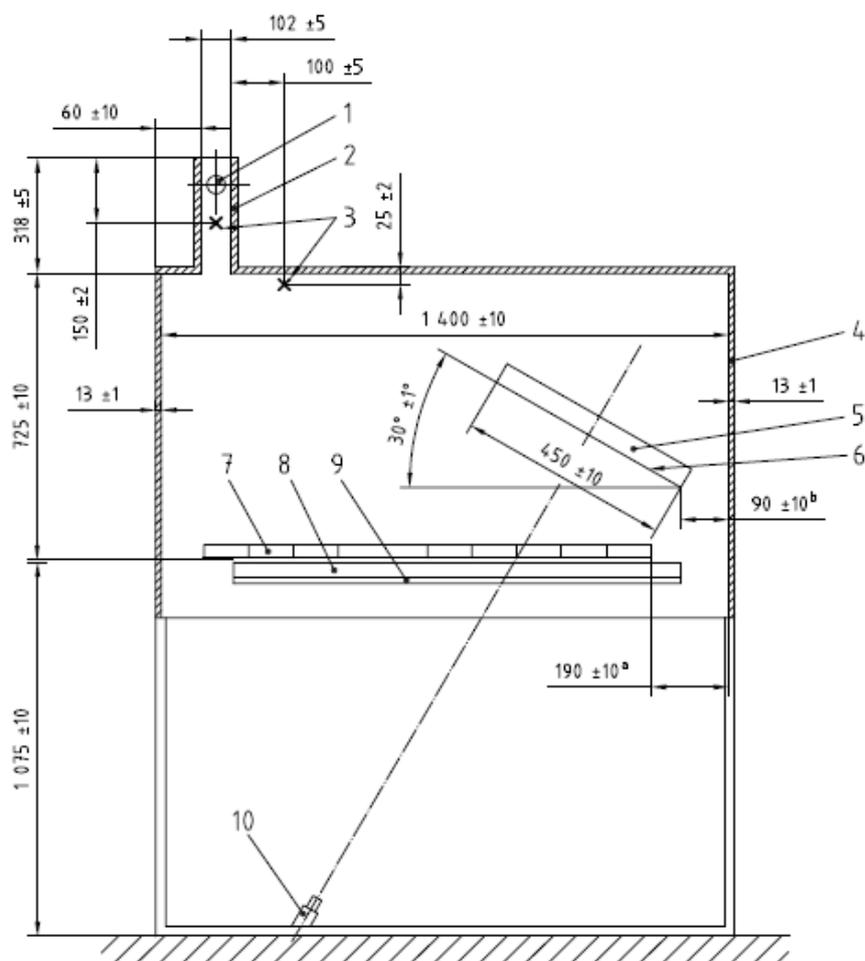
單位：mm



- | | |
|----------------|------------|
| 1. 風速計 | 6. 燃氣輻射板 |
| 2. 光量測定裝置(可選用) | 7. 輻射表面 |
| 3. 排氣煙囪 | 8. 引燃火焰燃燒器 |
| 4. 熱電偶 | 9. 試體夾具與試體 |
| 5. 試驗箱 | 10. 高溫計 |
- a 由試體曝露表面至輻射板底部邊緣之量測距離

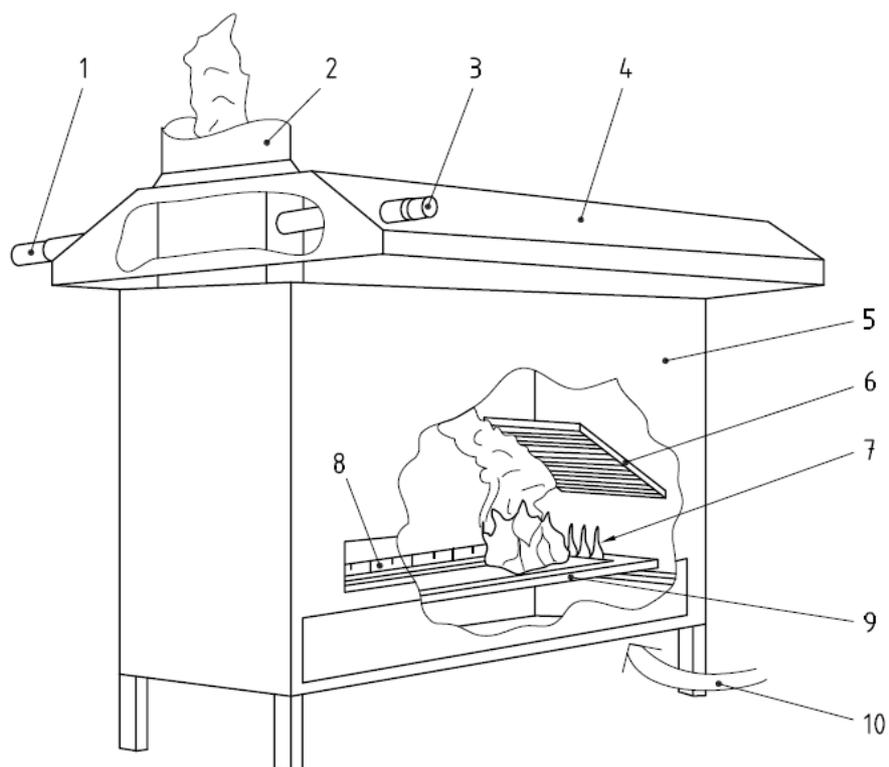
圖 3-15 試驗裝置 A-A 剖面圖

單位：mm



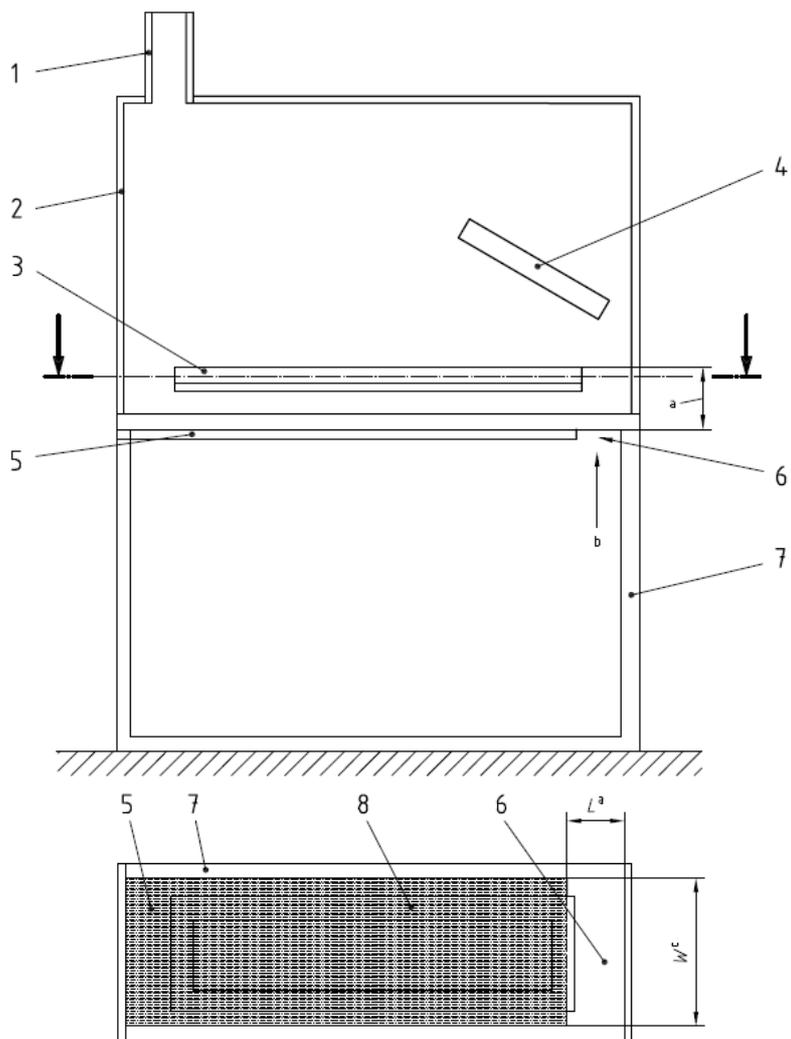
- | | |
|----------------|-------------|
| 1. 光量測定裝置(可選用) | 6. 輻射表面 |
| 2. 排氣煙窗 | 7. 引燃火焰線燃燒器 |
| 3. 熱電偶 | 8. 試體夾具與試體 |
| 4. 試驗箱 | 9. 試體運送系統 |
| 5. 燃氣輻射板 | 10. 高溫計 |
- a 由零點(試體夾具內測邊緣)至箱壁內側表面之量測距離
 b 由輻射板底部邊緣至箱壁內側表面之量測距離

圖 3-16 試驗裝置 B-B 剖面圖



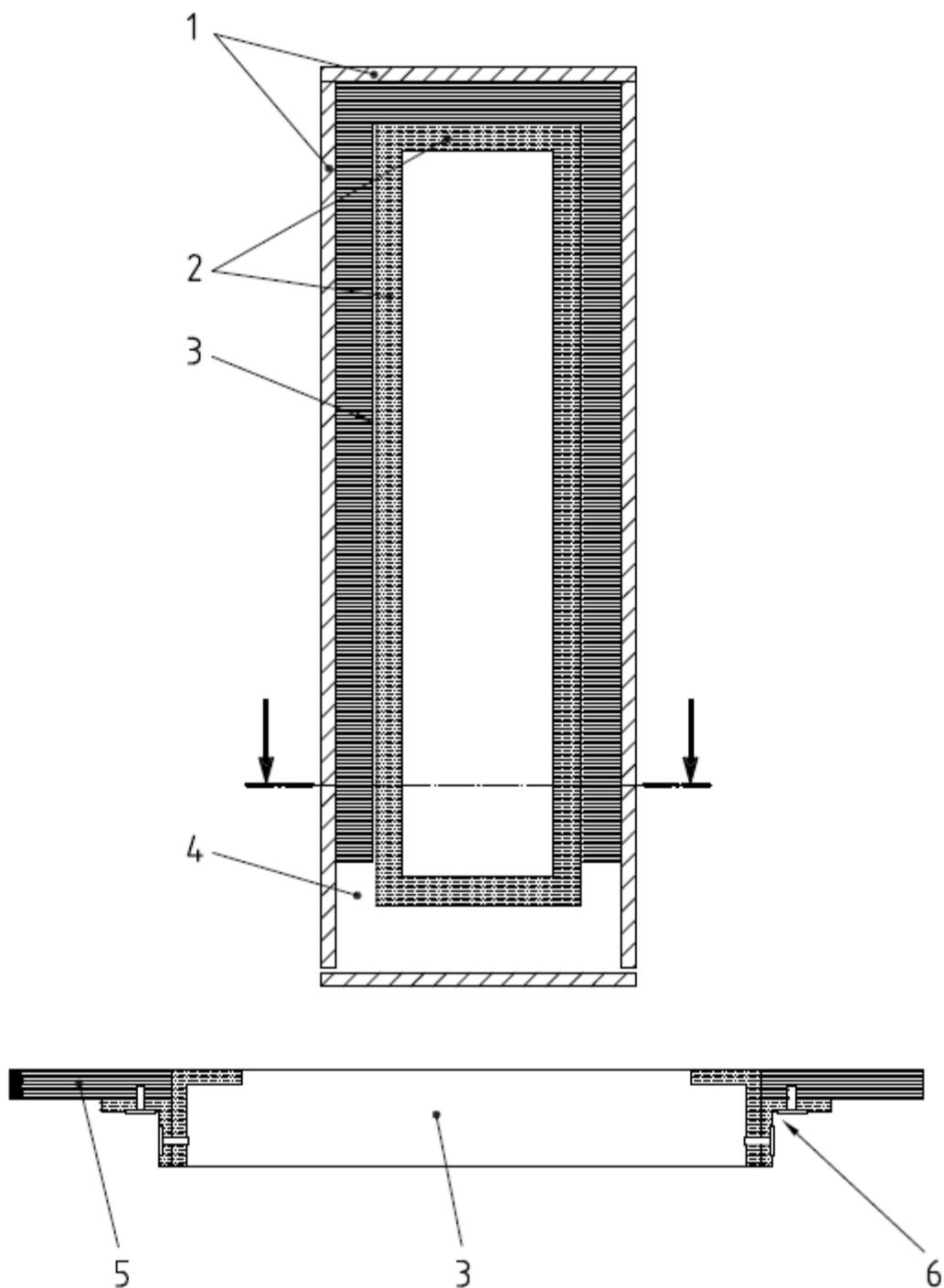
- | | |
|----------------|------------------|
| 1. 光量測定裝置(可選用) | 6. 燃氣輻射板 |
| 2. 排氣煙道 | 7. 引燃火焰線狀燃燒器 |
| 3. 受光器(可選用) | 8. 刻度 |
| 4. 排氣煙罩 | 9. 試體夾具與試體及滑動平台 |
| 5. 試驗箱 | 10. 進氣口在箱底試體較熱末端 |

圖 3-17 試驗原則透視圖



- | | |
|---------|-------------------|
| 1. 排氣煙囪 | 5. 通風空制板附加在支撐框架下側 |
| 2. 試驗箱 | 6. 進氣 |
| 3. 試體夾具 | 7. 支撐框架 |
| 4. 輻設板 | 8. 試體夾具位置 |
- a 尺寸大約 170 mm
 b 空氣
 c L 及 W 尺寸依試驗裝置構造而定， $W \times L = 0.06 \text{ m}^2 \pm 0.01 \text{ m}^2$

圖 3-18 通風控制板上進氣口之典型位置



- | | |
|---------------|---------------------------|
| 10. 試驗箱壁體 | 4. 近氣 0.06 m ² |
| 11. 填充板(截斷空氣) | 5. 填充板，厚度與密度同試驗箱壁體 |
| 12. 滑動試體托盤 | 6. 以角鋼及固定件將填充板固定在試體托盤 |

圖 3-19 進氣口配置與矽酸鈣板緊靠在試體托盤盤邊

4.3 試體夾具

試體夾具應由厚度 $2.0\pm 0.1\text{mm}$ 耐熱性 L 型不銹鋼製成(如圖 3-20)，試體之曝露面為 $200\pm 3\text{ mm}\times 1015\pm 10\text{ mm}$ ，試體應能穩固固定在試體夾具上，且試體夾具能以兩個螺絲在兩端固定在滑動鋼製平台上。

試體夾具整體厚度是 $22\pm 2\text{ mm}$ 。

一個 10 mm 的鋼尺寸標記，從試驗夾具內側邊緣開始每隔 50 mm 裝置於試體兩側。

4.4 火焰燃燒器

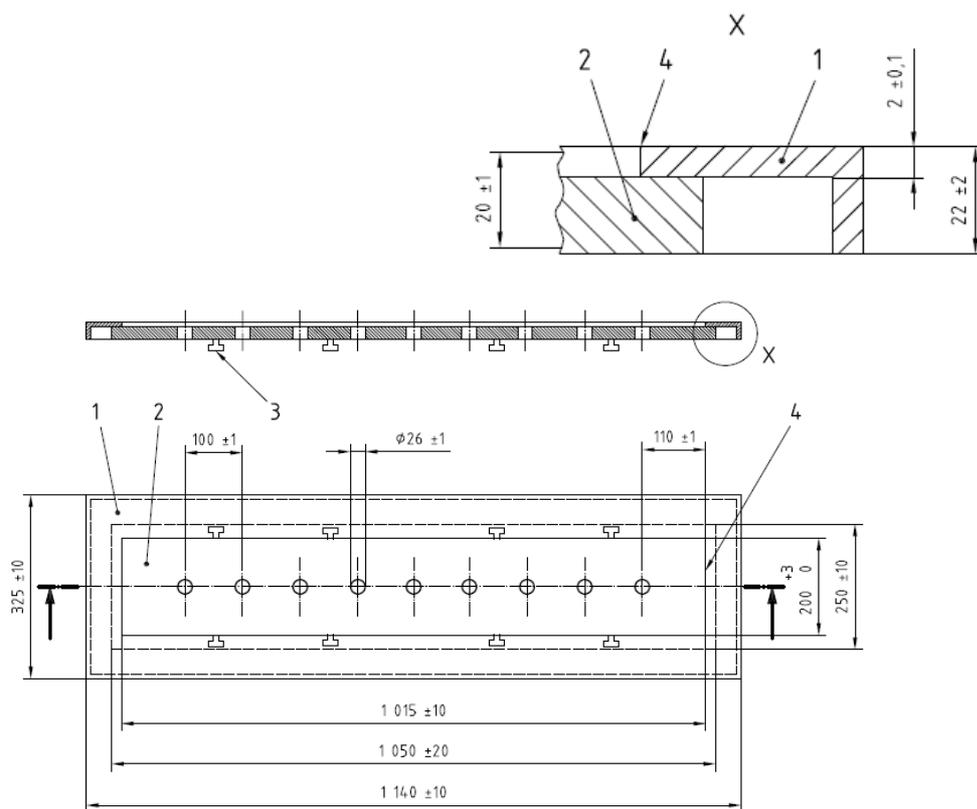
用來引燃試體的 T 型火焰燃燒器，由內徑 6mm 之不銹鋼管製成，沿中心線具 19 個等距且直徑為 0.7mm 的小孔，沿中心線以下 60° 處則具 16 個等距且直徑為 0.7mm 的小孔(如圖 3-21)。應保持小孔通暢，軟鋼絲刷適合去除表面的污染物，鎳鉻合金或不銹鋼絲，外徑 0.5 毫米 ，是適用於疏通小孔。操作時，丙烷的流量率應控制在 $0.026\pm 0.002\text{ l/s}$ 。

火焰燃燒器應被定位在由低線小孔產生的火焰衝擊試體 $10\pm 2\text{ mm}$ 處(自零點起算)，如圖 3-22。當燃燒器位於引燃位置時，其距離試體夾具邊緣之上 3 mm 。試驗所用的丙烷濃度最少 95% ，其熱焓應大約為 83.1MJ/m^3 ，火焰燃燒器未用於引燃試體時，應能移動到離試體零點位置至少 50mm 處，隨著丙烷流控制得當，且火焰燃燒器置於試驗位置，則燃燒器整個寬度之火焰高度將從大約 60 mm 至 120 mm 左右變化(如圖 3-22)。

4.5 排氣系統

使用獨立於煙囪之外的排氣口收集燃燒產物。將輻射盤關閉且暫置試體置於定位，流經煙囪的空氣流量率應為 $2.5\pm 0.2\text{ m/s}$ 。

單位：mm



5. 試體夾具
6. 暫置試體
7. 固定夾
8. 零點

圖 3-20 試體夾具與暫置試體

單位：mm

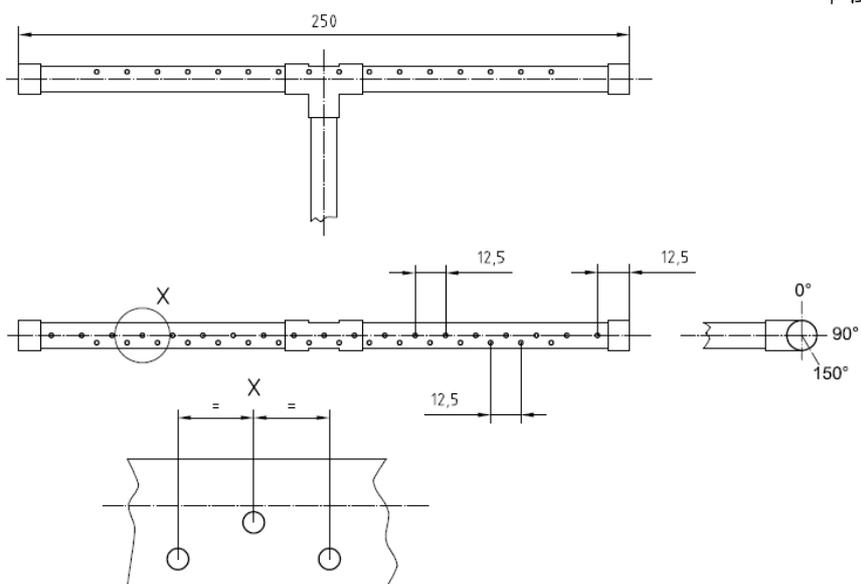
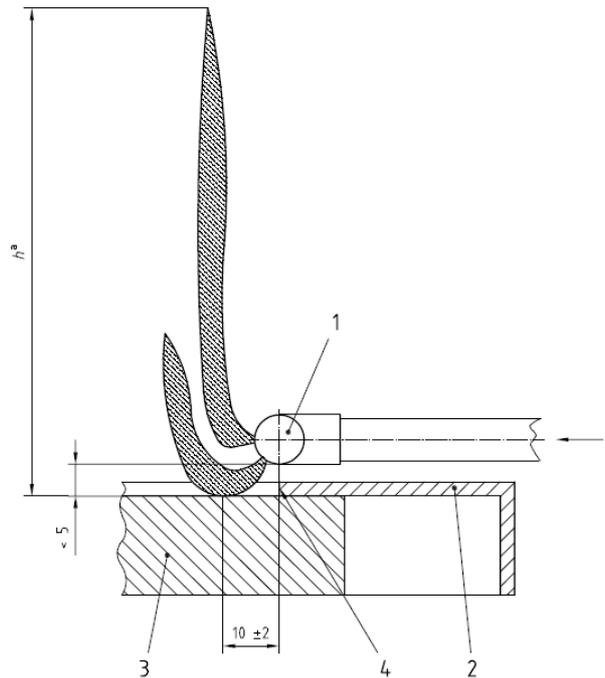


圖 3-21 火焰燃燒器

單位：mm



1. 火焰燃燒器
 2. 試體夾具
 3. 試體
 4. 零點
- a h 是火焰高度
b 瓦斯流向

圖 3-22 火焰燃燒器在試體上引燃期間之配置

4.6 風速計

風速計量測範圍須達 3.0m/s 以上，精確度為 ± 0.1 m/s。其位置應在排氣煙囪內，且其中心線與煙囪的中心線重合(如圖 3-15)。

4.7 輻射熱高溫計

為了控制熱輸出的輻射板，應使用量測範圍介於 480°C 至 900°C(黑體溫度)且精確度為 ± 5 °C 的高溫計，且靈敏度在波長 1 μ m 與 9 μ m 之間，並可於約 1.4m 的距離外察看盤面中央面積約為直徑 250 mm。

4.8 熱電偶

試驗箱內中央垂直面上應放置 3.2mm 的不銹鋼護層接地鎳鉻合金-鎳基熱電偶合金熱電偶，其位置為頂端以下 25mm，試驗箱煙囪內面後方的 100mm 處(如圖 3-15 及圖 3-16)。

第二組熱電偶可以插入排氣煙囪的中央，至煙囪頂端以下的 150mm 處。熱電偶應保持清潔，俾能得到準確的讀數。

4.9 熱通量計

使用 Schmidt-Boelter 型，無窗口和直徑 25 毫米，量測範圍應為 0 kW/m^2 至 50 kW/m^2 ，精確度為 $\pm 3\%$ ，並應在操作範圍 1 kW/m^2 至 30 kW/m^2 進行校正。須提供溫度範圍為 15°C 至 25°C 冷卻水。

4.10 暫置試體

用於校正的模擬試體應以長 $1050 \pm 20 \text{ mm}$ ，寬 $250 \pm 10 \text{ mm}$ 厚 $20 \pm 1 \text{ mm}$ ，密度 $850 \pm 100 \text{ kg/m}^3$ 的矽酸鈣板製成。中心線由試樣零點起算的 110、210、...、910mm 處各有一個直徑 $26 \pm 1 \text{ mm}$ 的孔洞。

5. 試體

5.1 試體應地板覆蓋材料的性質，並且應儘可能地的模擬試體的實際應用場所狀況，特別是粘合劑和基材。

5.2 試體長 $1050 \pm 5 \text{ mm}$ ，寬 $230 \pm 5 \text{ mm}$ ，每一不同的曝露面須有 3 個試體。

備考：如果試體厚度大於 19 mm，則長度可減少為 $1025 \pm 5 \text{ mm}$ 。

5.3 曝露面

試體的受測面應為正常狀況下實際受熱的一面，並考量下列因素：

- (1) 若任一面或兩面均可能為曝露面，則雙面均須受測。
- (2) 若產品表面的凹凸具有特定的方向性，如水平走向或垂直走向的溝槽等，則水平與垂直方向均須受測。
- (3) 若曝露面包含不同塗裝或紋路的表面，則必須就不同塗裝或紋路分別製作試體。
- (4) 布料材質必須在經緯方向個別作火焰擴散試驗。

5.4 試體的構造

5.4.1 地板覆蓋系統應安裝於一個能模擬實際應用場合的地板的底層上。

5.4.2 試體所用的黏劑應與實際應用所使用者相。若實際應用所用的黏劑有數種，則應就各種黏劑各準備三個試體受測，使用底墊(或夾層)的地板覆蓋系統在試驗時亦應使用相同的底墊(或夾層)。

5.4.3 試體製備時，若其因實際尺寸而需拼接時(如磁磚)，則在第一個接線應距零點 250mm，若試體無法黏貼，則接線的邊緣應以機械方法(夾具或螺絲)固定於底板上。

5.5 試體前置處理

試驗前，試體應先置於 $21\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 $50\pm 5\%$ 的環境下，以水平或垂直的方式擺在具有適當空氣流通的開放式架子至少 48 小時，若試體粘結於一個模擬實際應用場合的地板之底層上，則至少要擺放 72 小時以上。

6. 校正程序

以下的校正程序，應確定各重要儀器的變化，或至少每月一次。如果在隨後的校正沒有變化，其校正時間間隔可以延長至 6 個月。

6.1 最大熱通量 $11\text{kW}/\text{m}^2$ 為熱源

6.1.1 將裝置暫置試體之試體承盤放入試驗箱內，開啟排氣門，關閉試驗箱門，然後量測空氣流量率，待調整至 $2.5\pm 0.2\text{m}/\text{s}$ 。點燃輻射熱板，使之加熱 60 分鐘以上，直到箱內溫度穩定(詳 7.1)。此時燃燒器應保持關閉。

6.1.2 以經過校正的熱通量計量測 410mm 處的熱通量，將熱通量計插入暫置試體之孔洞內，使其偵測板位於模擬試體上方約 2mm~3mm 的平行平面上，30 秒後讀取讀數，若其熱通量達 $5.1\pm 0.2\text{kW}/\text{m}^2$ ，開始記錄通量分佈情形。否則，即須調整輻射盤燃料流量。

熱通量計量測時須確保量測表面維持水平，因為小的水平變化將導致量測變異。

6.1.3 依上述的操作程序依序插入 110mm 至 910mm 處的孔洞中以量測其熱通量，並保持熱通量計的偵測面與量測時間在 6.1.2 所述的條件。要判定校正過程中通量大小有無變動，則重複 410mm 與 910mm 處的量測。

6.1.4 記錄延試體平面之距離與輻射熱通量之函數，繪出試體平

面上各點的總熱通量資料，並畫出通過各資料點的平滑曲線(如圖 3-23)。

若該曲線在表 3-7 所列的容許誤差之內，則該設備校正完成。否則，小心地調整燃料流量率，等候 10 分鐘直到箱內溫度穩定，再重複上述程序，直到結果符合表 3-7 為止。

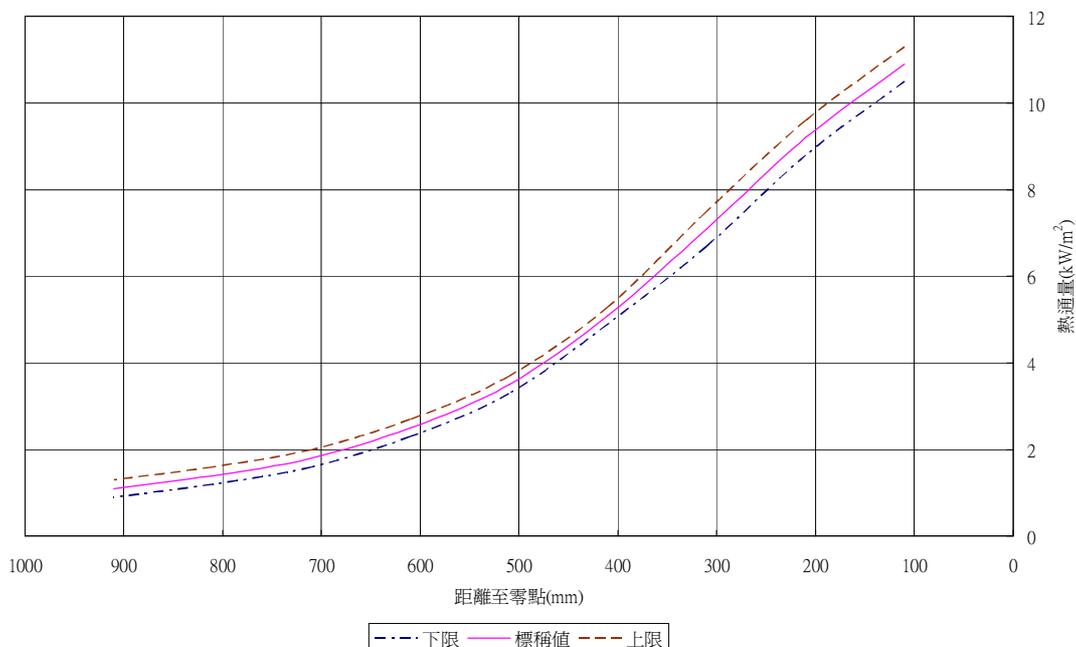


圖 3-23 熱通量分佈曲線

表 3-7 校正板上所須之總熱通量分佈

位置(至試體零點之距離) mm	總熱通量 kW/m ²	容許誤差 kW/m ²
110	10.9	±0.4
210	9.2	±0.4
310	7.1	±0.4
410	5.1	±0.2
510	3.5	±0.2
610	2.5	±0.2
710	1.8	±0.2
810	1.4	±0.2
910	1.1	±0.2

6.1.5 移開暫置試體關上箱門，5 分鐘後以輻射高溫計量測輻射面板黑體溫度以及箱體溫度，記錄校正結果數值。

6.1.6 一些設計的通風控制板無法使用高溫計量測輻射面板黑體溫度。對於這類型的設備，在暫置試體之 110 mm 及 410 mm 之熱通量應每天測試前量測。

6.2 最大熱通量 25kW/m^2 為熱源

除 6.1.2 以經過校正的熱通量計量測 410mm 處的熱通量應達 $12 \pm 0.6\text{kW/m}^2$ 、熱通量分佈如 3-24，及校正板上所須之總熱通量分佈依表 3-8 外，其校正程序依 6.1 所有步驟與規定。

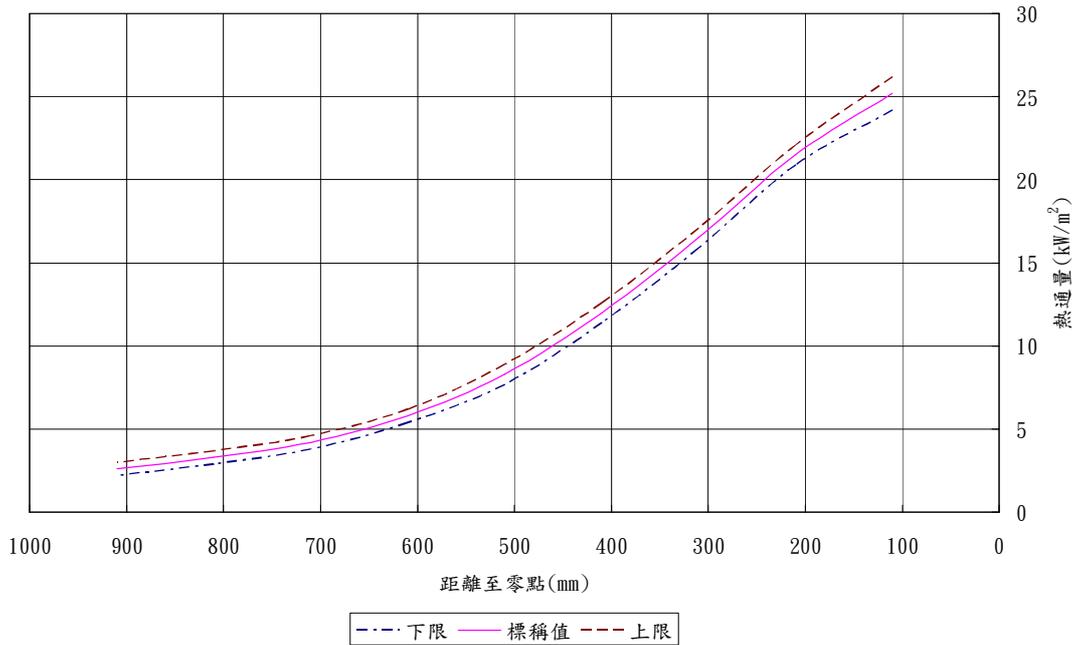


圖 3-24 熱通量分佈曲線

表 3-8 校正板上所須之總熱通量分佈

位置(至試體零點之距離) mm	總熱通量 kW/m^2	容許誤差 kW/m^2
110	25.2	± 1.0
210	21.5	± 0.6
310	16.5	± 0.6
410	12.0	± 0.6
510	8.3	± 0.6
610	5.8	± 0.4
710	4.2	± 0.4
810	3.3	± 0.4
910	2.6	± 0.4

7. 試驗程序

7.1 最大熱通量 $11\text{kW}/\text{m}^2$ 為熱源

7.1.1 依據 6.1.1 設定排氣煙囪空氣流率，將裝置暫置試體移開，關閉試驗箱門，點燃輻射熱板，使之加熱 60 分鐘以上，直到箱內溫度穩定，量測輻射面板黑體溫度，測得之黑體溫度應在 6.1.5 量測值之 $\pm 5^\circ\text{C}$ 範圍內、箱體溫度應在 6.1.5 量測值之 $\pm 10^\circ\text{C}$ 範圍內。

如果黑體溫度或箱體溫度超過限制值，調整輻射盤燃料/空氣流量，穩定 15 分鐘再量測，當溫度值在規定之限制值範圍內時，該設備已準備好可使用。如果設備無法使用高溫計量測輻射面板黑體溫度(詳 6.1.6)，應每天測試前進行 110 mm 及 410 mm 處之熱通量量測。

如果須要，調整煙濃度量測系統使其輸出值為 100%，並在測試前確認量測系統是穩定的，如果不是，則進一步調整。檢查清潔光源及受光器，必要時進行調整。

7.1.2 將試體(包括任何底墊與底層)裝置於試體承盤中，旋緊螺絲或施以其他的固定設備，以吸塵器清潔試驗面，並將試體裝置於試體平台上。

點燃火焰燃燒器，使其距試體至少 50mm，並將試體移入試體箱內，立即關閉試驗箱門，開始計時與記錄。

此時燃燒器遠離試體零點位置至少 50 mm，預熱 2 分鐘後，使火焰燃燒器火焰與試體 10 mm 處接觸，如 4.4 之描述，10 分鐘後，移開火焰燃燒器距試體至少 50mm，並熄滅火焰燃燒器的火焰，在測試過程中輻射熱板之瓦斯與空氣流量保持不變。

7.1.3 從試驗開始和在火焰離開時間，每隔 10 分鐘，量測火焰前端與距零點約 10 mm 之間之距離，觀察及記錄任何重要之現象，如融化、起泡、灼熱燃燒火焰後的時間和位置，火焰滲透通達基板，閃火或暫時燃燒火焰等。

注意火焰前端到達每 50 mm 標記之時間及到達最遠點量測精確至 10 mm。

試驗時間最長為 30 分鐘，除非委託者須要測試更長時間。

7.1.4 先測試一個試體在一個方向，與另一個試體為垂直方向。得出 CFE 較低值和/或 HF - 30 值，再重複兩個試體在這個方向之試驗。因此，在所有地板共須測試四次。

在進行下一次試驗前，應等到黑體溫度及箱體溫度達到 6.1.5 規定，試驗夾具應冷卻至室溫才可裝置下一個試體。

7.2 最大熱通量 $25\text{kW}/\text{m}^2$ 為熱源

除無須 7.1.2 過程中預熱 2 分鐘外，餘試驗程序同 7.1.1 至 7.1.4。

8. 結果表達

8.1 最大熱通量 $11\text{kW}/\text{m}^2$ 為熱源

8.1.1 從熱通量距離曲線，轉換觀測火焰延燒到 kW/m^2 距離和確定臨界熱通量，讀取以 $0.2\text{ kW}/\text{m}^2$ 進位的最接近數值。試體未備引燃或火焰延燒距離小於 110 mm ，其臨界熱通量 $\geq 11\text{ kW}/\text{m}^2$ 。試驗試體火焰延燒距離超過 910 mm ，其臨界熱通量 $\leq 1.1\text{ kW}/\text{m}^2$ 。該試體是 30 分鐘後由操作者熄滅，因而無 CFE 的值，但只有 HF-30 的值。

8.1.2 由 7.1.4 的四個測試的 CFE 和/或結果 HF-30 值，與適當的方向說明載於報告中。從測試數據計算同向方向的 3 個試體的臨界通量、CFE 及 HF-30 平均值。

8.1.3 對於測試持續時間超過 30 分鐘的，則記錄火焰熄滅時間、火焰延燒最遠距離和轉換為 CFE。

8.1.4 報告中記載火焰到達每一 50 mm 標記的時間，火焰延燒在每 10 分鐘間隔距離如 7.1.3 所述，以便需要時定 HF-X 值，例如 HF-10、HF-20、HF-30。並記錄熄火時間及最終最大的火焰延燒距離。

8.1.5 如果有必要時記錄煙濃度量測結果。

8.2 最大熱通量 $25\text{kW}/\text{m}^2$ 為熱源

8.2.1 從熱通量距離曲線，轉換觀測火焰延燒到 kW/m^2 距離和確定臨界熱通量，讀取以 $0.2\text{ kW}/\text{m}^2$ 進位的最接近數值。試體未備引燃或火焰延燒距離小於 110 mm ，其臨界熱通量 $\geq 25\text{ kW}/\text{m}^2$ 。試驗試體火焰延燒距離超過 910 mm ，其臨界熱通量 $\leq 2\text{ kW}/\text{m}^2$ 。該試體是 30 分鐘後由操作者熄滅，因而無 CFE 的值，但只有 HF-30 的值。

8.2.2 其餘項目同 8.1.2 至 8.1.5。

9. 導出火災特性

9.1 平均持續燃燒熱(Q_{sb})：以 150 mm 當平均持續燃燒的第一計算點，每 50 mm 遞增，直到 400 mm 位置(或如果在到達 400 mm 之前試驗終止的最終計算位置)的平均值。

9.2 x 分鐘的輻射熱通量(HF-X)：對於每一受測試體，列出其 10 分鐘、20 分鐘以及 30 分鐘的 HF-X，並計算每一 HF-X 的平均值。

9.3 臨界熄滅熱通量(CFE)：對於每一受測試體，列出此一特性的每一數值，並計算三個試體臨界熄滅熱通量資料的平均值、標準差及變異數如下。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\text{且 } v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

其中

S=標準差

x_i =單一觀察的數值

n=觀察的次數

\bar{x} =觀察組之算數平均值

v=變異數

由雷明遠(1997)針對本法最大熱通量 11kW/m^2 為熱源所作之試驗結果整理如表 3-9。

表 3-9 ISO 9239-1 地坪材料輻射熱板試驗

試驗材料	厚度 (mm)	引燃加熱 時間(min)	CFE (kW/m^2)	火焰延燒 距離(mm)	總燃燒時間 (sec)
塑膠地磚	1.7	10	12.3	100	600
橡膠地磚	4.5	10	12.3	100	600
地毯	6.4	10	10.7	98	761.7
木質地板	---	10	6.2	376	1475
防焰木質地板	---	10	9.8	100	600

第二節 密度

任何商品材料皆有其性能標準，在許多檢測項亦須量測其密度，作為其基本品管控制要件，例如經濟部標準檢驗局 98 年 7 月 10 日經標二字第 09820010121 號，訂定之「耐燃建材辦理商品驗證登錄型式試驗作業規定」，列有 16 種主要型式之試驗項目，其中之岩棉裝飾吸音板等 12 種，密度(或比重)為其試驗項目之一，這些建材之密度試驗標準如 CNS 2215、CNS 9907、CNS 9909、CNS 9911、CNS 10994、CNS 11701 及 CNS 14272 等，而木材方面則有 CNS 451 木材密度試驗法，亦如 ASTM D2395 木材及木質材料之比重試驗法，上述之密度試驗主要於室溫下試驗所得，由於火災過程中是一種快速溫度升高

變化加熱於材料表面，材料在受到高溫加熱過程中，會產生水分散失、鍵結之變化、裂解等行為，使得材料重量減少，有些材料會產生體積的變化，因此，其密度亦隨著溫度而產生改變。

由於目前之標準並無直接隨溫度改變進行密度試驗法，依據 ASTM E1591 對於密度隨溫度變化時，質量隨溫度的變化可以熱重分析來決定，而體積隨溫度的改變，可用膨脹計分析來決定，查詢國家標準(CNS)檢索系統，查詢此兩種分析法，在 CNS 方面並未訂定有試驗標準，查詢 ISO 與 ASTM 標準，得有表 3-10 之相關標準。

ISO 11358 為塑膠類聚合物熱重分析之一般原則，主要規範有設備、試樣、校正、試驗程序、結果表達及試驗報告內容，ASTM E 1131 為以熱重分析進行組成分析的標準測試方法，ASTM D 3850 則為以熱重分析進行固態電氣絕緣材料快速熱降解測試法；因此，以 ISO 11358 較符合密度與溫度關係之質量隨溫度變化之所須。

表 3-10 熱重分析法及膨脹計分析相關標準

試驗法	相關標準
熱重分析	ISO 11358, ASTM E 1131, ASTM D 3850
膨脹計	ASTM E 831, ASTM D 3386, ASTM D 696

一、熱重分析 TGA (Thermogravimetry)

1. 適用範圍：本試驗法適用於材料置於受程式控制的昇溫速率及氣氛條件下加熱，觀察樣品之質量變化，以時間或溫度為變數的函數記錄。

備考：本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

- 2.1 此熱重分析(TGA)記錄試樣暴露在加熱速率受控制的特定環境下時，質量對溫度的損失。
- 2.2 記錄下來的是熱重分析曲線，以初始質量百分率為縱軸，溫度為橫軸。
- 2.3 使用訊號擷取裝置，測量並記錄特定的質量損失點的溫度(即為TGA曲線)。

3. 試驗裝置

- 3.1 微天秤，零位型，靈敏度0.001 mg。
- 3.2 加熱爐，可在特定範圍內定速控溫，一般是25°C至1000°C。
- 3.3 程式溫度控制器，可以預設線性爐溫昇溫速率(通常為5 °C/min)，誤差±0.1 °C/min。
- 3.4 合適的訊號擷取裝置。
- 3.5 燃氣清除供應裝置(通常為氮氣或露點低於-10°C的氣體)。

4. 試體

- 4.1 依材料測試法準備試體。
- 4.2 一般來說，試樣2mg至20mg即可，取決於測試設備及組態設定。因熱平衡及擴散效應，結果會受試體形狀大小影響。
- 4.3 除非另有規定，測量前試樣應調節在23°C±°C和(50 ± 5) %，相對濕度，或在有關各方之間以任何其他方式指定的協議。

5. 校正

5.1 質量校正

沒有任何氣流通過微天秤(以防止任何干擾，通過浮力和/或對流的影響)，微天秤校正如下，使用校正質量範圍取決於測試設備及組態設定：

微天秤空載重零點校正，之後將校正用砝碼放置在微天秤，量測相對應之質量變化。如果需要，調整微天秤，使測得的質量等於校正砝碼質量。

5.2 溫度校正

溫度量測通常是熱電偶，以提供最精確量測試樣的溫度。其設置之位置依不同測試設備而不同。

使用相同的氣氛、氣體流率及昇溫速率進行溫度校正，這一點被用於實際的測定。

如果微天秤是單獨使用，使用下面的過程：

- (1) 從一組五個標準 GM761 組成中選擇兩個或兩個以上標準的參考物質，選擇參考物質的居里溫度附近的溫度範圍內進行查驗，如果可能，以這樣的方式，選擇介於居里溫度前後之兩參考物質進行查驗。
 - (2) 開始加熱，在與實際測定相同昇溫速率及進行開始溫度 T_A 、中點溫度 T_C 與終點溫度 T_B ，越過居里溫度之校正基礎。
- 注意：GM761 是由國際熱分析聯盟 (ICTA) 及美國國家標準暨技術研究院 (NIST) 指定為一個範圍的居里 (磁性轉變) 溫度標準。

99, 99% 的鎳或更高純度也可用於校正。

如果微天秤結合了差示分析 (DSC) 或熱差分析 (DTA) 測試器，則建議使用美國國家標準暨技術研究院或國際熱分析聯盟為 DSC 或 DTA 校正發展的標準的參考物質，進行微天秤溫度校正。

注意：

- (1) 標準參考物質的熔點之定義是外推基線和在吸熱曲線反曲點切線斜率之截距 (即所謂的起始溫度)。
- (2) 校正是獲得可靠的熱重數據最關鍵的階段；溫度量測器、試樣幾何形狀和氣氛類型之間的關係，包括氣體流率，將影響測量系統校正。
- (3) 質量損失率是取決於測試樣本之氧化率，因此相依部分取決於暴露之氣氛和氣體流率。所以使用與實際測試相同的氣氛和氣流率進行校正是重要的。

6. 試驗程序

此程序必須適應使用的儀器和測試條件。兩種模式可以使用：溫度掃描 (詳 6.1) 和等溫 (詳 6.2)。

注意：當氣體流率之操作將在微天秤產生浮力的改變和對流。即使沒有實際質量的改變，一個明顯質量的變化是可被察覺和質量測量精度是降低的。建議初步進行沒有試樣情況下，在同一升溫速率和氣體流率進行實際測試，以觀察質量明顯變化。沒有比此測試獲得更好的，精確的質量量測。

6.1 溫度掃描模式

6.1.1 量測試體重量。

6.1.2 微天秤歸零。

6.1.3 放置含有試體的樣品架於微天秤。選擇的氣體流率，啟動氣體流率並記錄初始質量，除非符合下段適用：

對於在一種確實地惰性氣氛之下的調查，在記錄質量之前撤出與真空泵的微天秤然後用惰性氣體填裝或長時間注滿以高流率的惰性氣體。

6.1.4 設定溫度程式，如適用應盡可能由參考標準指定。

該溫度程式應包括初始和最終溫度，等溫階段這些溫度，加熱率的溫度之間的程式。

6.1.5 啟動溫度程式及記錄熱重曲線。

注意：在測定期間氣體的改變是可能的。在這種情況下，就必須使用相同的流率。此外，建議有類似氣體密度的使用，以獲得相同的浮力作用。如果類似的氣體密度不能使用，可能需要作出調整浮力。

6.2 等溫模式

進行 6.1.1、6.1.2 和 6.1.3 程序。然後啟動測試設備，使用測試設備的最高升溫速率（例如 100°C/min 或更高），以盡快達到設定的溫度。

注意：在測定期間氣體的改變是可能的。在這種情況下，就必須使用相同的流率。此外，建議有類似氣體密度的使用，以獲得相同的浮力作用。如果類似的氣體密度不能使用，可能需要作出調整浮力。

7. 結果表達

7.1 圖形表示

以質量變化或質量百分比的變化與時間或溫度曲線形式，表達獲得熱重數據。從熱重曲線使用下列程序確定個別的溫度和質量：

7.2 質量增加之測定

從熱重曲線測定最大質量(如圖 3-25)，計算質量增長 M_G ，以百分比表示，計算式如下：

$$M_G = \frac{m_{\max} - m_s}{m_s} \times 100$$

在此

m_{\max} ：最大質量(mg)

m_s ：加熱前質量(mg)

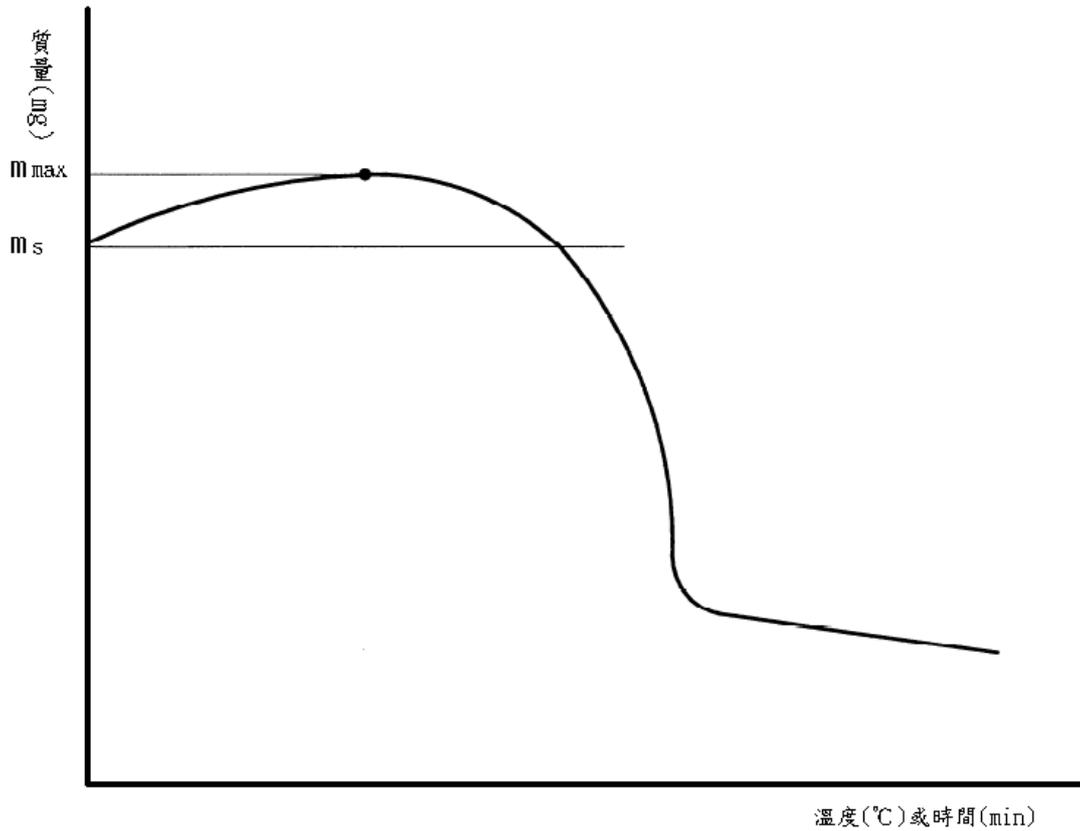


圖 3-25 質量增長熱重曲線範例

7.3 單一階段質量減損之測定

由熱重曲線測定點 A、B 及 C (如圖 3-26)。

在此

A 點表示啟始點：此點為啟始質量線與熱重曲線最大梯度點切線交叉點。

B 點表示終點：此點為最終質量線與熱重曲線最大梯度點切線交叉點。

C 點表示中點：此點為 X 軸上 A、B 及兩點間之中點繪製平行線與熱重曲線之交叉點。

測定質量 m_s 及 m_f 與溫度 T_A 、 T_B 及 T_C 相對應之 A、B 及 C 點。

計算質量損失 M_L ，以百分比表示，計算公式如下：

$$M_L = \frac{m_s - m_f}{m_s} \times 100$$

在此

m_f ：在最後溫度之質量(mg)

m_s ：加熱前之質量(mg)

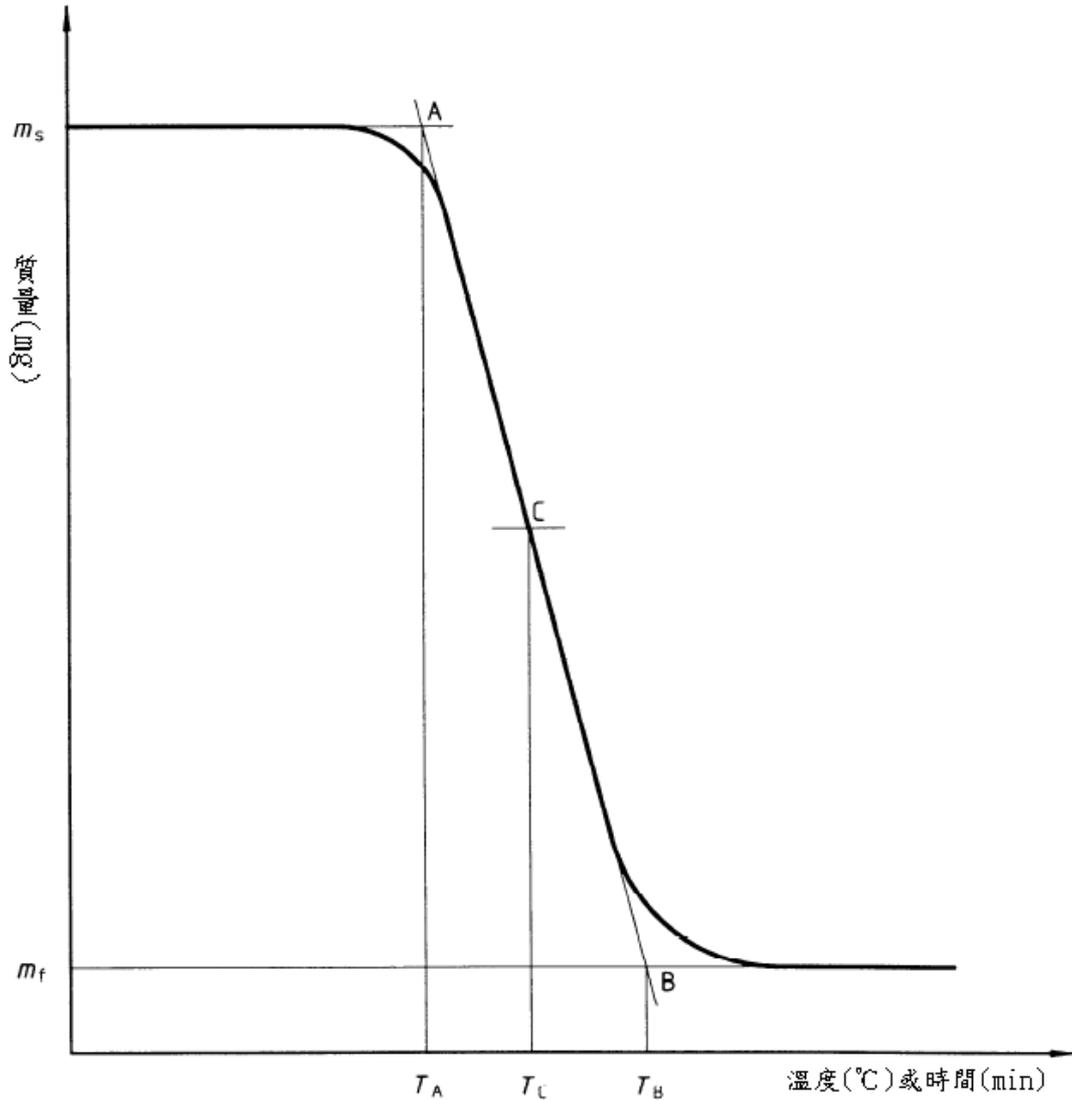


圖 3-26 單一階段質量減損熱重曲線範例

7.4 多階段質量減損之測定

如 7.3 所述測定點 A_1 、 B_1 、 C_1 、 A_2 、 B_2 、 C_2 等(如果有多於兩階段)(如圖 3-27)。

測定質量 m_s 、 m_i 及 m_f 與溫度 T_{A1} 、 T_{B1} 、 T_{C1} 、 T_{A2} 、 T_{B2} 、 T_{C2} 相對應之點。

如果熱重曲線在第一階段與第二階段之間質量非恆定(如圖 3-28)，由此部分曲線之最小梯度切線與第一階段最大梯度切線之交叉點為第一階段終點 B_1 ，延續此部分之最小梯度切線與第二階段最大梯度切線之交叉點為啟始點 A_2 ，其起始質量 m_i 由 m_{B1} 與 m_{A2} 之中點取得。

計算第一階段質量損失 M_{L1} ，以百分比表示，計算公式如下：

$$M_{L1} = \frac{m_s - m_i}{m_s} \times 100$$

在此

m_i ：在第一階段最後溫度之質量(mg)

m_s ：加熱前之質量(mg)

計算第二階段質量損失 M_{L2} ，以百分比表示，計算公式如下：

$$M_{L2} = \frac{m_i - m_f}{m_s} \times 100$$

在此

m_i ：在第二階段起始溫度之質量(mg)

m_f ：在第二階段最後溫度之質量(mg)

m_s ：加熱前之質量(mg)

以同樣方式計算任何進一步的質量損失。

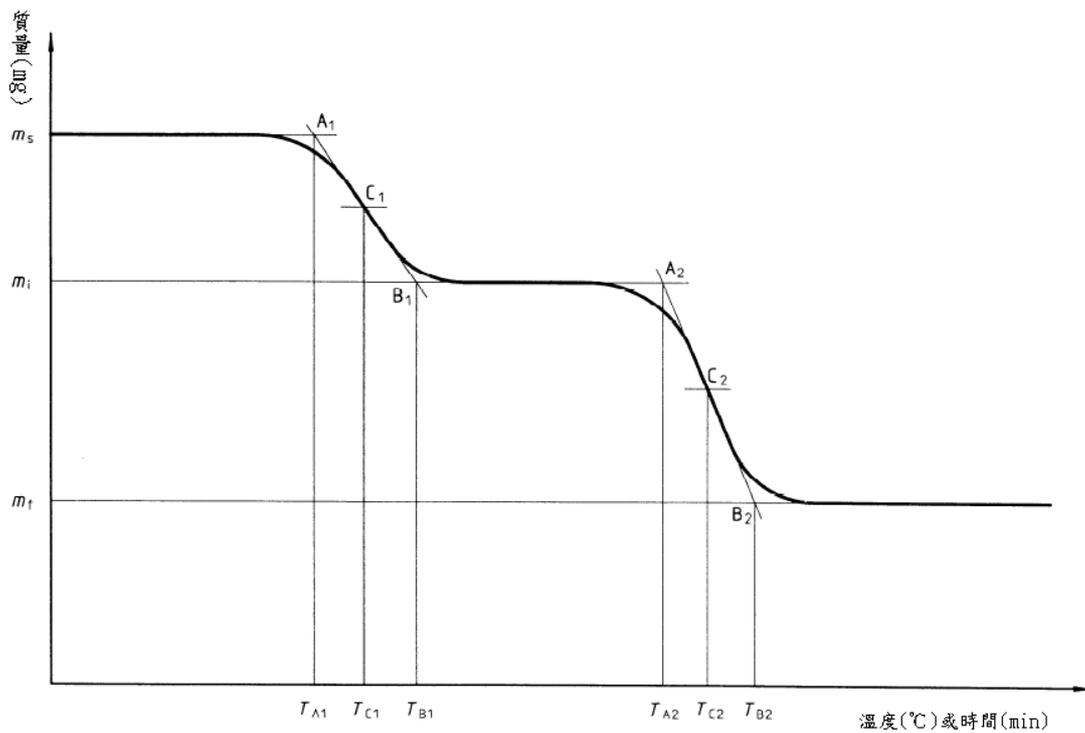


圖 3-27 多階段質量減損熱重曲線範例

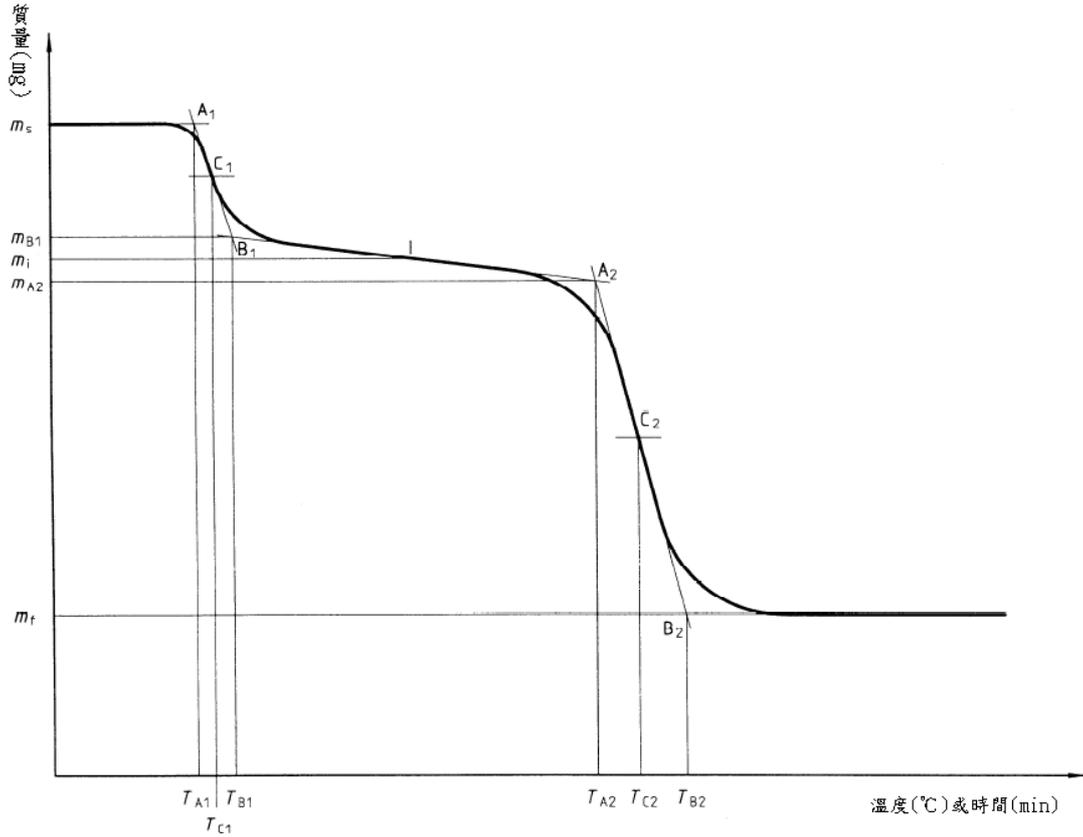


圖 3-28 多階段(兩反應階段間之質量非恆定)質量減損熱重曲線範例

7.5 殘餘質量測定

計算殘餘質量 R，以百分比表示，計算公式如下：

$$R = \frac{m_f}{m_s} \times 100$$

在此

m_f ：在最後溫度之質量(mg)

m_s ：加熱前之質量(mg)

二、熱膨脹分析 DIL (Dilatometry)

DIL 為將樣品置於控制的溫度及氣氛條件下，測量樣品的長度變化。可測量固體、液體、粉體、熔融金屬等。目前被廣泛的應用於高分子、塗料、陶瓷、金屬、複合材料等各種材料之測量。

在相關標準有 ASTM E 831、ASTM D 3386 及 ASTM D 696，ASTM E 831 主要針對固體材料，ASTM D 3386 主要針對電氣絕緣材料，而 ASTM D 696 針對(-30°C 至 30°C)塑膠材料之熱膨脹性測試。

由上述各標準之適用性而言，由於建築材料大多為固體，因此以 ASTM E 831 較符須求，而 ASTM D 3386 及 ASTM D 696 以測試高分子材料為主，而建築物中高分子材料亦是不可或缺，本研究將嘗試整合作為 CNS 標準之藍本。

1. 適用範圍：本試驗法主要針對固體材料的線性熱膨脹之標準測試方法。

備考：本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

2.1 測試方法在於使用一個熱力學分析儀或相似的設備，測定一個受到固定加熱速率之固體材料的線性熱膨脹。

2.2 試樣長度的變化將以電子化的方式被記錄為溫度的函數。線性熱膨脹系數可以從這些記錄的數據中被計算。

3. 試驗裝置

3.1 熱力學分析儀(TMA) - 必要的使用儀器須要為該測試方法提供極小的熱力學分析或是熱膨脹性能。其中包括：

3.1.1 固定試體架，惰性且低膨脹的材料($\leq 0.5 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$)，其用途在於將試體置於加熱爐的中央，並且將試體固定於機械的場合。

3.1.2 固定式膨脹探測器，惰性且低膨脹材料($\leq 0.5 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$)，其用途在於將試體與應用的壓縮力相接觸。

3.1.3 傳感元件，線性在最小範圍 2mm，其用途在於經由試體長度的變化，來測量固定式膨脹探測器的移動，其結果約有 $\pm 50 \text{ nm}$ 。

3.1.4 重量或力量轉換裝置，經由應用於固定式膨脹探測器的試體，以產生 1 至 100mN (0.1 至 10g)的恆定力量。

3.1.5 加熱爐，當適用的溫度範圍在室溫和 1000°C 之間，其用途在於有效控制試體的受熱，使其達到固定的溫度，或是達到每分鐘 2°C 和 10°C 之間的固定速率。

3.1.6 溫度控制器，其功用在於經由操作加熱爐來執行特定的溫度程式。並且選擇在 2 °C/min 至 10°C/min 溫度變化率之溫度範圍，並將溫度固定在 $\pm 0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 之內，或是等溫並將溫度固定在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 之內。

3.1.7 溫度感測器，可以將其安裝與試體接觸或是將其安置在靠近試體的位置，使溫度顯示在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

3.1.8 用 10mL/min 至 50mL/min 的淨化氣體速率，維持試體在

惰性氣體的周圍環境中的工具。

注意：通常，當在空氣中有氧化作用影響時，可使用大於 99%純度的氮氣、氫或氦氣。除非濕度的影響是研究目的，建議使用乾燥淨化氣體。

3.1.9 記錄裝置，其功用在於記錄及顯示試體尺寸信號的每一部分(TMA 曲線)，包括干擾，在 Y 軸上，與溫度信號的每一部分，包括干擾，在 X 軸上。

3.2 冷卻功能，其用途在於在於將樣本維持在低溫狀態(如果低溫測量已經完成)或將試體從高溫冷卻下來。

3.3 測微計，或其他長度量測設備，其測試體尺度範圍在 10mm 以上，精確度在 $\pm 25 \mu\text{m}$ 。

4. 試體

4.1 試體長度在 2 mm與 10mm 之間，而且在 $\pm 25 \mu\text{m}$ 的範圍內，兩端應平坦且平行。側面的尺寸不超過 10mm。其它長度皆可使用，但是必須在報告當中註明。

注意：已經發現某些材料無法達到平坦與平行的程度。而無法達成相關需求的試體將導致不精確的增加。

4.2 當試體能被接受，通常都會被測量。而試體在試驗前經過熱處理或機械處理，應在報告中註明。

注意：一些材料，特別是複合材料，可能需要在試體試驗前進行熱處理來調節解應力或扭曲。有關熱處理必須在報告中註明。

5. 試驗程序

5.1 在 20 至 25°C 的環境溫度之內，量測試體在測試膨脹方向之初始長度，量測精確度至 $\pm 25 \mu\text{m}$ 。

注意：直接使用分析器感應元件零點位置讀出及試體長度，擁有足夠的範圍且被公認是長度確定的最佳方法。

5.2 將試體放置在探測器下方的試體架裡面。將試體溫度感測器與試體接觸，或是盡可能靠近試體。

5.3 移動加熱爐並把試體架圍起來。如果低溫測量已經完成，將溫度冷卻至 20°C，且低於關心的最低溫度。被用於冷卻的冷凍劑不可直接與試體接觸。

5.4 對感應探測器使用合適的負載力，確認與試體接觸。憑藉於試體的壓縮性與溫度範圍的被調查，介於 1 與 100mN 之間(0.1 至 10g)的力量是最適當的。關於實際增加的力量、質量或是應力，凡是需要與零力接觸的，應當被註明在報告裡面。

5.5 從圖示當中選擇適當的縱座標與橫座標的敏感度範圍。

注意：正常來說，在圖 3-29 的圖表當中顯示膨脹增加且伴隨著溫度的增長。膨脹曲線的傾斜度的突然改變指明了從某種形態到另一種形態的材料轉換。

5.6 在超過所渴望的溫度範圍的情況下，以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的固定加熱速率來加熱試體，並且以小數的形式記錄試體長度及溫度的改變。其它加熱速率可以被使用，但是務必在報告之中註明。

注意：為了得到最好的結果，試體溫度的升降率應該偏小。高加熱速率、大型試體尺寸及低的試體熱傳導，將會導致試體溫度升降率增高。試體溫度升降率的影響主要是透過正確的尋找和使用適當的參考材料而獲得補償，而在尺寸和熱傳導方面都很接近測試試體。

注意：實驗室比對試驗指出，如果只有一個參數有所改變，針對長度 2 至 10mm、加熱速率從每分鐘 2 至 10°C 、以及熱傳導 0.2 至 $400\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 的試體所作的觀察，發現不精確的情況並沒有明顯的增加。

5.7 測量儀器基準線的測量方式乃是經由重複 5.3 至 5.6，使用相同的測試參數但是不需要任何測試試體，簡單來說，就是將探測器與試體架相互連接。針對試體所測量的「長度改變」(ΔL)應當依儀器基準線作修正，尤其是針對低膨脹性能的試體。

5.8 至少測試三個有相同原料的試體。而試體的重新測試只有在參考的情況下才會進行，並且不可將其當作新試體的單獨測試來處理。

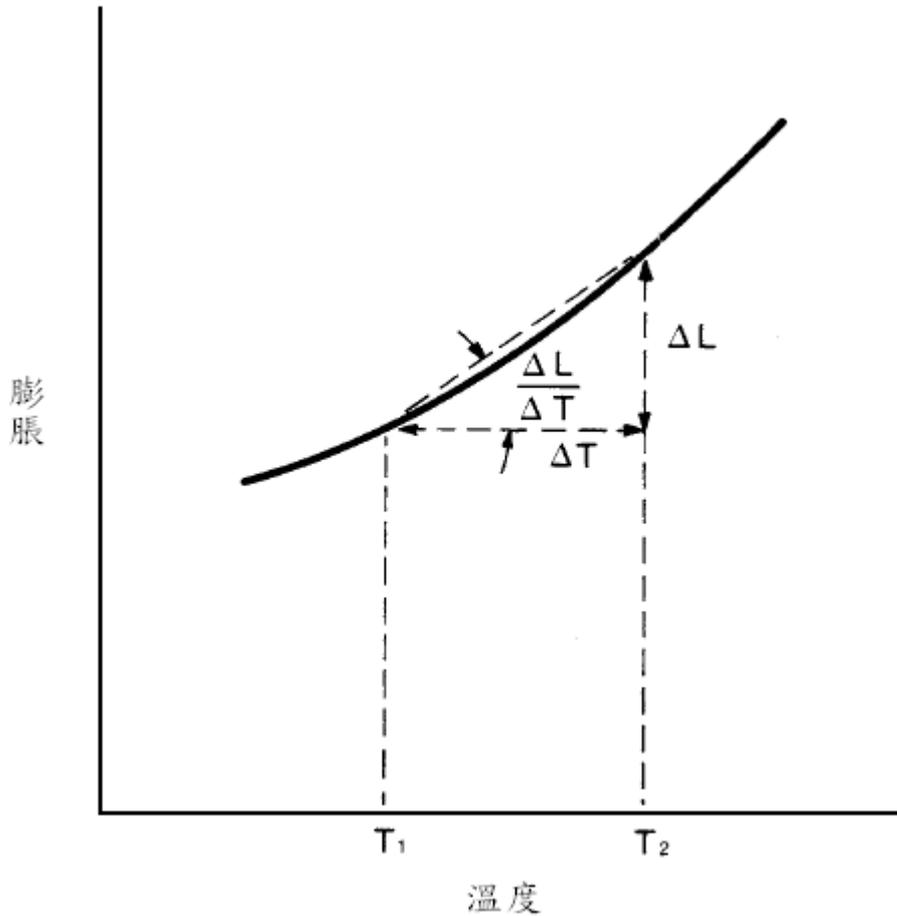


圖 3-29 試體膨脹與溫度

6. 計算

6.1 計算線性熱膨脹的平均係數，並且求至 $0.1 \mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ，其目的在於獲得一個合適的溫度範圍：

$$\alpha_m = \frac{\Delta L_{sp} \times k}{L \times \Delta T}$$

$$k = \frac{\alpha_{ref} \times L_{ref} \times \Delta T_{ref}}{\Delta L_{ref}}$$

$\alpha_m (T)$: 線性熱膨脹的平均係數 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$

α_{ref} : 針對參考物質所計算的線性熱膨脹的平均係數 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$

k : 校正係數

L : 室溫之試體長度, m

ΔL_{ref} : 因加热的緣故而導致參考物質長度的改變, μm

L_{ref} : 室溫之參考物質長度, m

ΔL_{sp} : 試體長度的改變, μm

ΔT_{ref} : 在測量參考物質長度的改變之後所產生的溫度差

異， $^{\circ}\text{C}$ ，一般來說是 100°C

ΔT : 在測量試體長度的改變之後所產生的溫度差異， $^{\circ}\text{C}$

T : 溫度範圍 ΔT 的中間溫度

注意：針對低膨脹試體， ΔL 應該為了經由試體而被移動的試體架的膨脹而被修正。

$$DL_{sp} \text{ (或 } \Delta L_{ref} \text{)} = \Delta L_{obs} + L \Delta T \alpha_{holder} - \Delta L_{blank}$$

ΔL_{obs} : 測量長度的改變， μm

α_{holder} : 針對試體架的線性熱膨脹的平均係數， $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$

ΔL_{blank} : 因加熱的緣故而導致基準線的改變 μm

如果試體架是由石英玻璃所構成， $\alpha_{holder} = 0.52 \pm 0.02 \mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 從 20 至 700°C 。

6.2 在合適的溫度範圍，且勻稱的圍繞在重要的溫度四周之熱曲線的平滑部分選擇一個 ΔT ；然後獲得一個在圖 3-29 當中所描述的 ΔL 。 α_{m} 不應該從一個轉換點顯著的溫度範圍計算。

注意：一般來說， ΔT 數值的範圍是在 50 與 100°C 之間。當數值少於 50°C 可能導致精確度差；當數值大於 100°C 可能掩蓋膨脹係數之中的小變化。

第三節 裂解熱

化學反應通常包含能量的產生或吸收。裂解熱是材料於裂解時排放或減少的能量，也可界定為原材料與產物間焓的差。裂解熱或對應的焓的變化，通常是進行裂解的固態材料的能量平衡方程式的輸入參數。裂解熱通常存在於計算固態材料內的溫度數據的模式內。測量裂解熱最常用的實驗程序是示差掃描熱分析儀(DSC)。

DSC 的測試方法 ISO11357-3、ASTM E 537 與 ASTM E 793，設備之校正方法 ASTM E967 與 ASTM E 968。

1. 適用範圍

- 1.1 此測試法使用示差掃描熱分析儀(DSC)，測定熔化(熔融)焓(熱)及結晶焓(熱)。
- 1.2 此測試法可使用於固態、液態或漿體試體。但須注意試體的質量及形態及其他實驗條件都會影響結果。
- 1.3 正常的操作溫度是室溫到至少 600°C 。依使用設備不同可延伸溫度範圍。
- 1.4 本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準

前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

此測試法控制測試環境，控制升降溫速率加熱(或冷卻)試體通過熔化或結晶溫度區。針對熔化吸熱過程(結晶放熱過程)，記錄與熔化(及結晶)有關的熱流並對時間積分，可得到熔化焓的絕對值(及結晶焓)，或相關比較用值。

3. 用語釋義

3.1 熔化：完全或部分結晶固體狀態轉變為液態前先變動為粘質之過渡階段。

3.2 結晶：非晶液態轉變為完全或部分結晶固體狀態。

3.3 熔解焓：在固定壓力下熔化一個材料所須要之熱量，計量單位 kJ/kg。

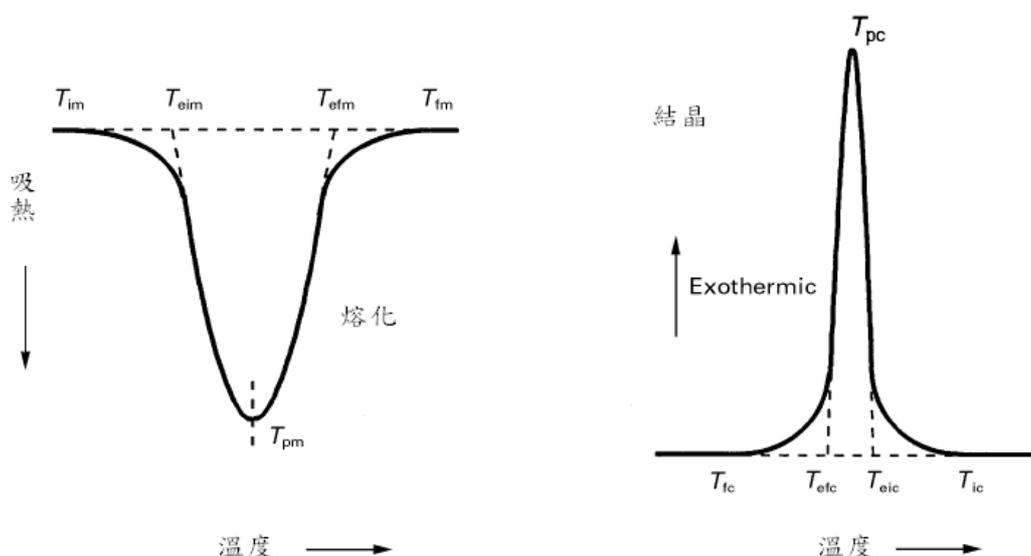
3.4 結晶焓：在固定壓力下一個材料的結晶之熱釋放，計量單位 kJ/kg。

3.5 特徵溫度：以下溫度(如圖 3-30)

(1) 外推起始溫度 T_{ei}

(2) 溫度峰值 T_p

(3) 最終溫度之推算 T_{ef}



註：下標 m 表示熔化現象，c 表示結晶現象

圖 3-30 特徵溫度測定例

4. 試驗裝置

4.1 示差掃描熱分析儀：主要功能如下

- (1)能產生恆量加熱及冷卻速率在 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 至 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之間；
- (2)能保持測試溫度恆定變化量在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 之內最少60分鐘；
- (3)能執行階段加熱或其他加熱模式；
- (4)一個氣體流率在 $10\text{ml}/\text{min}$ 至 $50\text{ml}/\text{min}$ ，可控制到 $\pm 10\%$ ；
- (5)溫度訊號解析度 0.1°C ，雜訊在 0.5°C 以下；
- (6)設備使用的校正和測試試體的最小質量為 1mg (或特殊應用須要使用較小量)；
- (7)一個記錄裝置，能自動記錄 DSC 曲線，並積分該曲線和一個虛擬基準線之面積，誤差小於 2%；
- (8)一個試體夾具組件可裝置一個或更多試體容器夾具。

4.2 試體容器：承裝試體及參考試體，所有容器皆以相同材質與相同質量製成，且在測試條件下對於試體與測試氣氛，不會產生物理及化學反應。

試體容器最好以具有高導熱性的材料製成。且能裝上蓋子和密封，使其在測試期間能承受可能產生的超壓。

- ##### 4.3 天平：能夠量測試體質量，精度為 $\pm 0.01\text{mg}$ 。
- ##### 4.4 標準參考物質(詳表 3-11)。
- ##### 4.5 氣體供應：分析級。

5. 試體

測試試體可能是液體或固體狀態，如果是固體狀態，可能是粉狀、丸狀或粒狀或取自樣品部分。測試試體應具代表性之樣本，並應小心檢查、準備及處理。如果試體切取自樣品部分，應注意防止加熱，聚合物調整或其它任何影響，可能改變性質。操作研磨，可能導致加熱或調整，因此應避免可能改變樣本的熱歷程。當粒料或粉末是涉及兩個或兩個以上應採取樣本。該取樣方法和試體製備應陳述於測試報告。

6. 試驗條件與試體條件

- ##### 6.1 試驗條件：在任何測試之前，開關設備至少一小時，以使電子的溫度達到平衡。
- ##### 6.2 試體條件：依相關材料標準或彼此同意之方法。

表 3-11 轉換或熔化溫度和熔化焓各種參考材料

參考物質	轉變或熔點 (平衡溫度) °C	熔化焓 J/g	NIST 參考編號
環己烷(轉換)	-83 ¹⁾		NIST GM757
汞(熔化)	-38.9	11.47	NIST SRM2225
1,2-二氯乙烷(熔 化)	-32 ¹⁾ 7 ¹⁾		NIST GM757 NIST GM 757
環己烷(熔化)	30 ¹⁾		NIST GM757
苯基醚(熔化)	58 ¹⁾		NIST GM757
鄰三聯苯(熔化)	69.2	120.2	NIST SRM2222
聯苯(熔化)	127.7		NIST GM758
硝酸鉀(轉換)	157	28.42	NIST GM 758
銦(熔化)	299.5		NIST GM 758, GM759
高氯酸鉀(轉換)	231.9	60.22	NIST SRM2220, GM758
錫(熔化)	327.5	23.16	
鉛(熔化)	419.6	107.38	NIST SRM2221a
鋅(熔化)	430		NIST GM758, GM759
硫酸銀(轉換)	573		NIST GM759, GM760
石英(轉換)	583		NIST GM759, GM760
硫酸鉀(轉換)	665		NIST GM759, GM760
鉻酸鉀(轉換)	810		NIST GM760
碳酸鋇(轉換)	925		NIST GM760
碳酸鋁(轉換)			
1)溫度峰值			

7. 校正

7.1 通則

量熱儀器之能量及溫度量測設備之校正，最少應依據儀器製造商的建議進行。

注意 1：校正函數 $K(7)$ (詳 7.3) 因為隨溫度變化，因此不能以一個簡單的比例因素來表示。因此，每個參數，如溫度和能量，必須至少以兩個標準參考物質進行校正。大多數建議的標準參考物質如表 3-11，可用於溫度和能量校正。

注意 2：校正是受下列所影響

- 使用量熱計型式
- 使用之氣體及其流率
- 使用試體容器之型式，在試體夾具內之尺寸與位置。
- 試體的質量
- 加熱與冷卻速率

-使用之冷卻系統型式

計算機系統與 DSC 設備可能會自動修正某些參數，因此最好是盡可能準確的確定實際條件和使用相同的條件進行校正。

注意 3：最好是定期進行校正。使用標準的參考物質，以接近熔點溫度範圍內的材料進行分析，檢查溫度和能量測量設備，這被認為是好的做法。

7.2 溫度校正

以下列方式進行溫度校正：

- 至少選擇兩種標準參考物質，有一個轉變溫度內或附近的溫度範圍內進行查檢；
- 確定轉變溫度的標準參考物質，在同等條件下那些用作測試試體，其中標準參考物質的轉變溫度是定義為外推基準線和在最大梯度點（即外推起始溫度）之轉變峰的最主要側面切線的截距；
- 由標稱值與記錄值比對決定溫度校正函數，除非由連線之電腦系統自動獲得標稱值與記錄值比對結果。

由於沒有冷卻模式用的標準參考物質，溫度校正僅能進行在加熱模式下，並應在每次進行測試條件改變時。更頻繁檢查可根據需要進行。溫度校正重複性應小於 2%。

7.3 能量或熱功率校正

DSC 設備之校正關於能量(J)或功率(W)方面，允許一個校正函數 $K(T)$ 或設備對溫度之靈敏度測定，靈敏度通常以 mW/mV 表示，有關於公稱設備電子訊號 $E(T)$ ，在溫度 T 通過試體的功率 $P(T)$ ，關係式如下：

$$P(T) = K(T) \times E(T)$$

或積分表達式：

$$\int_{t_1}^{t_2} P(T) dt = \int_{t_1}^{t_2} K(T) \times E(T) dt$$

依據 DSC 設備型式與查驗溫度範圍，校正可二者擇一進行直接量測或比對，由公稱設備讀取關於標準參考物質之熔化焓或熱容之實際值。

注意：選擇的校正方法，最好是參照設備製造商之操作文件。

依下列執行校正：

- 選擇兩個或兩個以上標準參考物質，使得在進行接近查驗的溫度範圍內有適當的熱容量和熔點；
- 在測試試體時之相同條件下查驗標準物質。
- 為熱轉換或熱容繪製 E 對溫度圖
- 由標稱值與記錄值比對決定能量或熱功率校正函數，除非由

連線之電腦系統自動獲得標稱值與記錄值比對結果。
能量校正查對應定期進行，其重複性應小於2%。

8. 試驗程序

8.1 設備設定

- 8.1.1 開啟設備至少30分鐘以達到平衡。
- 8.1.2 使用校正設備時相同之淨化氣體流率，在氣體流律改變或氣體須再校正時。通常，使用氮氣(分析級)流率在50ml/min $\pm 10\%$ ，使用其他惰性氣體及其流率依委測雙方之協議。

8.2 置入試體至容器內

- 8.2.1 選擇乾淨且適當容積之容器。
- 8.2.2 使用兩個相同容器，一個裝試體，另一個(空的或無)作為參考試體。
- 8.2.3 連同容器蓋秤取容器重量至0.01mg。
- 8.2.4 置入試體至試體容器內。
- 8.2.5 如果須要將容器與蓋密封。
- 8.2.6 再秤取試體容器重量。
- 8.2.7 除非特殊材料須求協議外，不然使用測試的試體質量為5mg至10mg，其重量精確至0.1mg。
- 8.2.8 確保容器底部是平的，良好的容器與試體夾具之間的接觸，是獲得良好數據之關鍵。
- 8.2.9 不得直接以手拿取試體或容器，要使用鑷子或戴上手套。

8.3 放入容器到設備內

使用鑷子或適合的工具，將容器置入試體夾具內，確保試體與容氣及容器與試夾具間有良好接觸，關上試體夾具組件罩子。

8.4 溫度掃描

- 8.4.1 開始加熱週期前5min以氮氣先行淨化。
- 8.4.2 執行及記錄初步的加熱週期速率在20°C/min，加熱測試腔至一足夠高的溫度去覆蓋先前材料測試的加熱歷程，通常大於外推最終熔化溫度(T_{efm}) 30°C以上。
- 8.4.3 保持此溫度5min。
- 8.4.4 執行及記錄初步的冷卻週期速率在20°C/min，大約低於外推結晶溫度(T_{efc})50°C以下。

注意1：其他加熱或冷卻速率在委測雙方協議下也可使用。特別是，高掃描速率導致更高記錄轉換的靈敏度。另一方面，低的掃描速率，提供更好的解析度，以及適當的密切重疊轉換之解析度。

注意 2：由於過冷，結晶不會發生，直到足夠的溫度梯度可獲得的，通常明顯地低於熔化溫度。

- 8.4.5 保持此溫度 5min。
- 8.4.6 執行及記錄第二次的加熱週期速率在 20°C/min(見 8.4.4 注意 1)，大約高於外推最終熔化溫度(T_{efm})30°C。
- 8.4.7 如果容器變形或試體溢流產生，則停止設備環境溫度及移出容器確定。
- 8.4.8 重新秤取容器及測試試體重量至±0.1mg 以內。
- 8.4.9 如果任何重量損失產生，可能是一個化學變化，打開容器及檢查試體，如果試體有退化，捨去此測試結果及重新試驗，選擇一個較低的最高溫度。
出現另一量測退化徵象，則不要重複使用同一容器。
如果測試試體在量測過程中溢流，則依設備製造商的設備說明進行試體夾具組件之清潔，並以至少一種溫度及焓的參考標準，確認校正仍然有效。
- 8.4.10 根據儀器製造商之設備說明處理數據。
- 8.4.11 由使用者決定是否重複試驗。

9. 結果表達

9.1 轉換溫度測定

繪圖尺度以致峰含蓋全尺度至少 25%，建構峰之基準線以連結峰的兩個點(吸熱峰為熔化、放熱峰為結晶)，開始從比較基準線偏離，如圖 3-30，如果有多個峰存在，畫出每一個基準線。對於熔化轉換曲線，量測及報告如下每個峰：

- 外推的開始熔化溫度 T_{eim}
- 熔化溫度峰值 T_{pm}
- 外推終點熔化溫度 T_{efm}

對於結晶轉換曲線，量測及報告如下每個峰：

- 外推的開始結晶溫度 T_{eic}
- 結晶溫度峰值 T_{pc}
- 外推終點結晶溫度 T_{efc}

9.2 焓值測定

如圖 3-31，量測 9.1 建構之基準線與峰包圍的面積。

計算熔化焓 ΔH_f (結晶焓 ΔH_c)，單位 kJ/kg，以下列公式計算：

$$\Delta H = \frac{ABT}{W} \times \frac{\Delta H_s W_s}{A_s B_s T_s}$$

此處

ΔH = 試體之熔化焓或結晶焓(kJ/kg)；

ΔH_s = 標準熔化焓或結晶焓(kJ/kg)；

- A = 試體峰包圍面積(mm^2)
- As = 標準峰包圍面積(mm^2)
- W = 試體質量(mg)
- Ws = 標準質量(mg)
- T = 試體的 y 軸靈敏度(mW/mm)
- Ts = 標準的 y 軸靈敏度(mW/mm)
- B = 試體的 x 軸靈敏度(時間基礎)(s/mm)
- Bs = 標準的 x 軸靈敏度(時間基礎)(s/mm)

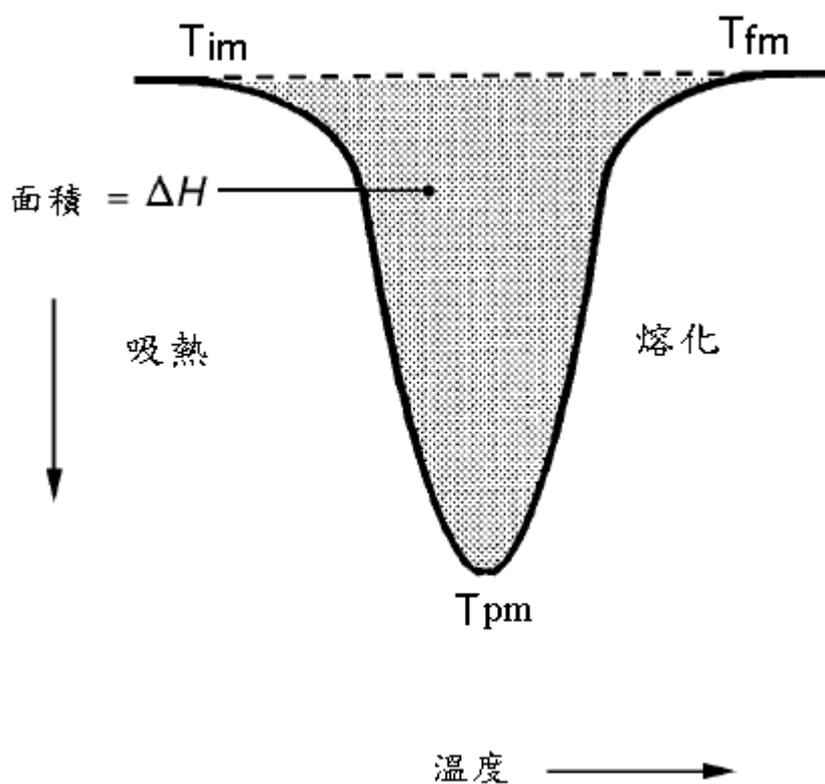


圖 3-31 轉換焓之測定

第四節 比熱

由示差掃描熱分析儀/熱差分析儀 DSC / DTA (Differential Scanning Calorimetry/Differential Thermal Analysis), 可同時測得比熱及裂解熱(反應熱)。DSC/DTA 試驗為將樣品置於控制的溫度

及氣氛條件下，測量樣品與空白樣品相較於溫度或時間的熱流差。目前被廣泛的應用於高分子、塗料、食品、醫藥、陶瓷、金屬、複合材料等各種材料之測量。

測試方法以 ISO 11357-4 為主，說明如下：

1. 適用範圍：以示差掃描熱分析法測試材料之比熱容。

2. 用語釋義

2.1 校正材料：已知比熱容之材料。

2.2 比熱容(在固定壓力) C_p ：在固定壓力下提高單位質量材料 1K 所須之熱量。

注意 1：由以下公式所得：

$$c_p = m^{-1}C_p = m^{-1}(dQ/dT)_p$$

在此

m =材料質量

C_p =熱容

dQ =使材料升高 dT 溫度所須的熱量

下標 p =表示等壓過程

c_p =kJ/kg · K 或 J/g · K

這個方程是有效的溫度範圍內在沒有一階相變的材料顯示。

$(dQ/dT)=(dt/dT) \times (dQ/dt)=(\text{加熱率})^{-1} \times (\text{熱流率})$

注意 2：在相變，在此熱容有一的間斷性。部分的熱被消耗產生一個較高能量材料狀態，並沒有全部用於提高溫度。為此，比熱只能在相變之外的區域被適當地確定。

3. 原理

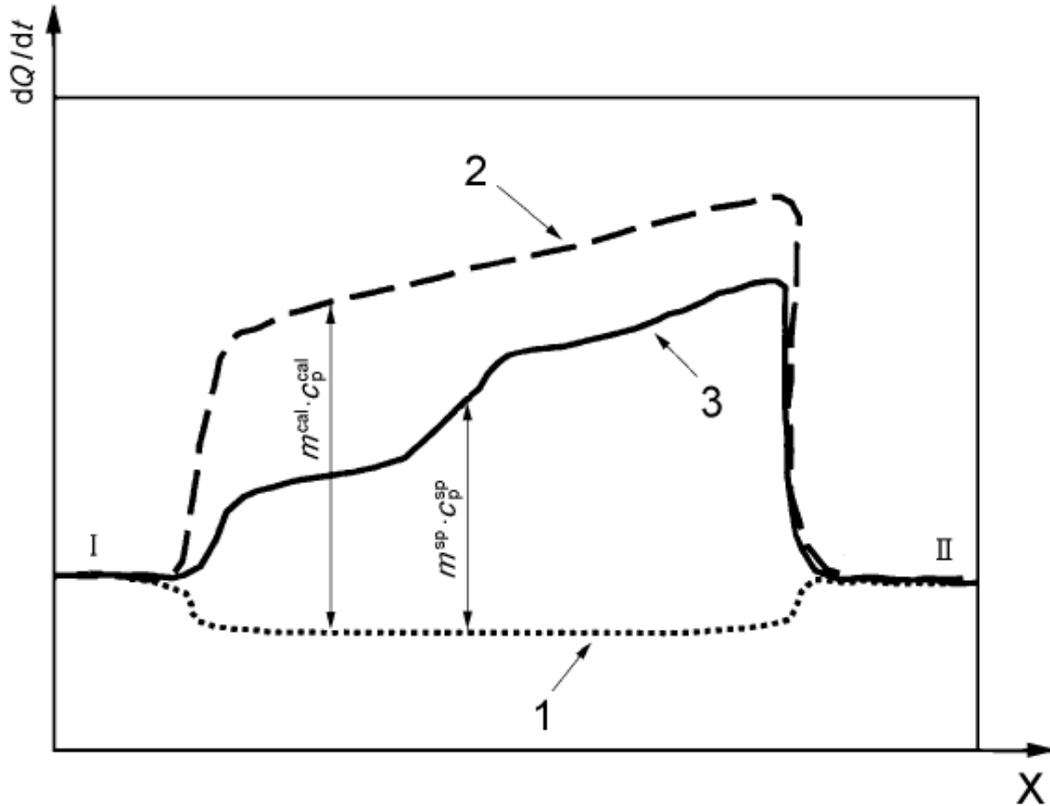
3.1 通則

每次量測由三個執行在相同掃描速率組成(詳圖 3-32)。

(1) 空白執行(空容器在試體及參考夾具)

(2) 校正執行(校正材料在試體夾具容器內及空容器在參考夾具內)

(3) 試體執行(試體在試體夾具容器內及空容器在參考夾具內)



X 溫度 T 或時間 t

1 空白執行

2 校正執行

3 試體執行

I 等溫基準線在啟始溫度 T_s

II 等溫基準線在終點溫度 T_f

圖 3-32 DSC 曲線比熱容測量 (空白, 校準和標本運行) 調整後的基準線典型的示意圖

3.2 連續掃描法

根據 DSC 原理及 2.2 之定義, 可以得到下列的關係式:

$$m^{sp} \cdot c_p^{sp} \propto P_{\text{試體執行}} - P_{\text{空白執行}}$$

$$m^{cal} \cdot c_p^{cal} \propto P_{\text{校正執行}} - P_{\text{空白執行}}$$

P = 熱流率 (dQ/dt)

上標 sp 及 cal 分別代表試體及校正材料 (詳圖 3-32)

當 $P_{\text{試體執行}}$ 、 $P_{\text{校正執行}}$ 及 $P_{\text{空白執行}}$ 是被量測, c_p^{sp} 可使用公式 (2) 計算得到, 因為 c_p^{cal} 、 m^{sp} 及 m^{cal} 值已知:

$$\frac{m^{sp} \cdot c_p^{sp}}{m^{cal} \cdot c_p^{cal}} = \frac{P_{\text{試體執行}} - P_{\text{空白執行}}}{P_{\text{校正執行}} - P_{\text{空白執行}}} \quad (1)$$

$$c_p^{sp} = c_p^{cal} \cdot \frac{m^{cal} (P_{\text{試體執行}} - P_{\text{空白執行}})}{m^{sp} (P_{\text{校正執行}} - P_{\text{空白執行}})} \quad (2)$$

3.3 逐步掃描法

在逐步掃描法，將被掃描的全面溫度範圍劃分成小區隔，並且將 3.1 所提及之三個執行，組成完整測定是為每個溫度區隔進行，在熱流率曲線積分之上，在此區隔之總熱 ΔQ 消耗可被獲得。將 ΔQ 除以溫度區隔 ΔT 及材料質量，產生比熱。

$$m^{sp} \cdot c_p^{sp} \propto \left[\frac{\Delta Q^{sp}}{\Delta T} \right]_p - \left[\frac{\Delta Q^{blank}}{\Delta T} \right]_p \quad (3)$$

$$m^{cal} \cdot c_p^{cal} \propto \left[\frac{\Delta Q^{cal}}{\Delta T} \right]_p - \left[\frac{\Delta Q^{blank}}{\Delta T} \right]_p \quad (4)$$

保持溫度區隔 ΔT 固定，結合公式(3)及(4)結果：

$$c_p^{sp} = c_p^{cal} \cdot \frac{m^{cal}}{m^{sp}} \cdot \frac{\Delta Q^{sp} - \Delta Q^{blank}}{\Delta Q^{cal} - \Delta Q^{blank}} \quad (5)$$

4. 試驗裝置

4.1 示差掃描熱分析儀：主要功能如下

- (1)能產生恆量加熱及冷卻速率在 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 至 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之間；
- (2)能保持測試溫度恆定變化量在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 之內最少60分鐘；
- (3)能執行階段加熱或其他加熱模式；
- (4)一個氣體流率在 $10\text{ml}/\text{min}$ 至 $50\text{ml}/\text{min}$ ，可控制到 $\pm 10\%$ ；
- (5)溫度訊號解析度 0.1°C ，雜訊在 0.5°C 以下；
- (6)設備使用的校正和測試試體的最小質量為 1mg (或特殊應用須要使用較小量)；
- (7)一個記錄裝置，能自動記錄 DSC 曲線，並積分該曲線和一個虛擬基準線之面積，誤差小於 2%；
- (8)一個試體夾具組件可裝置一個或更多試體容器夾具。

4.2 試體容器：

承裝試體及參考試體(校正材料)之容器，材質與形狀應相同製成，且在測試條件下對於試體與測試氣氛，不會產生物理及化學反應，各容器質量相差應小於 0.1mg 。

試體容器最好以具有高導熱性的材料製成。且能裝上蓋子和密封，使其在測試期間能承受可能產生的超壓。

4.3 天平：能夠量測試體質量，精度為 $\pm 0.01\text{mg}$ 。

5. 試體

測試試體可能是液體或固體狀態，如果是固體狀態，可能是粉狀、丸狀或粒狀或切自樣品部分。測試試體應具代表性之樣本，

並應小心檢查、準備及處理。如果試體切取自樣品部分，應注意防止加熱，聚合物調整或其它任何影響，可能改變性質。操作研磨，可能導致加熱或調整，因此應避免可能改變樣本的熱歷程。當粒料或粉末是涉及兩個或兩個以上應採取樣本。該取樣方法和試體製備應陳述於測試報告。

6. 試驗條件與試體條件

6.1 試驗條件：在任何測試之前，開關設備至少一小時，以使電子的溫度達到平衡。

6.2 試體條件：依相關材料標準或彼此同意之方法。

7. 校正

7.1 通則

量熱儀器之能量及溫度量測設備之校正，最少應依據儀器製造商的建議進行。

注意 1：校正函數 $K(7)$ (詳 7.3) 因為隨溫度變化，因此不能以一個簡單的比例因素來表示。因此，每個參數，如溫度和能量，必須至少以兩個標準參考物質進行校正。大多數建議的標準參考物質如表 3-11，可用於溫度和能量校正。

注意 2：校正是受下列所影響

- 使用量熱計型式
- 使用之氣體及其流率
- 使用試體容器之型式，在試體夾具內之尺寸與位置。
- 試體的質量
- 加熱與冷卻速率
- 使用之冷卻系統型式

計算機系統與 DSC 設備可能會自動修正某些參數，因此最好是盡可能準確的確定實際條件和使用相同的條件進行校正。

注意 3：最好是定期進行校正。使用標準的參考物質，以接近熔點溫度範圍內的材料進行分析，檢查溫度和能量測量設備，這被認為是好的做法。

7.2 溫度校正

以下列方式進行溫度校正：

- 至少選擇兩種標準參考物質，有一個轉變溫度內或附近的溫度範圍內進行查檢；
- 確定轉變溫度的標準參考物質，在同等條件下那些用作測試試體，其中標準參考物質的轉變溫度是定義為外推基準線和在最大梯度點（即外推起始溫度）之轉變峰的最主要側面切線的截距；
- 由標稱值與記錄值比對決定溫度校正函數，除非由連線之電腦

系統自動獲得標稱值與記錄值比對結果。

由於沒有冷卻模式用的標準參考物質，溫度校正僅能進行在加熱模式下，並應在每次進行測試條件改變時。更頻繁檢查可根據需要進行。溫度校正重複性應小於 2%。

7.3 能量或熱功率校正

DSC 設備之校正關於能量(J)或功率(W)方面，允許一個校正函數 $K(T)$ 或設備對溫度之靈敏度測定，靈敏度通常以 mW/mV 表示，有關於公稱設備電子訊號 $E(T)$ ，在溫度 T 通過試體的功率 $P(T)$ ，關係式如下：

$$P(T)=K(T)\times E(T)$$

或積分表達式：

$$\int_{t_1}^{t_2} P(T)dt = \int_{t_1}^{t_2} K(T)\times E(T)dt$$

依據 DSC 設備型式與查驗溫度範圍，校正可二者擇一進行直接量測或比對，由公稱設備讀取關於標準參考物質之熔化焓或熱容之實際值。

注意：選擇的校正方法，最好是參照設備製造商之操作文件。

依下列執行校正：

- 選擇兩個或兩個以上標準參考物質，使得在進行接近查驗的溫度範圍內有適當的熱容量和熔點；
- 在測試試體時之相同條件下查驗標準物質。
- 為熱轉換或熱容繪製 E 對溫度圖
- 由標稱值與記錄值比對決定能量或熱功率校正函數，除非由連線之電腦系統自動獲得標稱值與記錄值比對結果。

能量校正查對應定期進行，其重複性應小於 2%。

8. 試驗程序

8.1 選擇容器

預備 3 個容器(含蓋)並秤重，3 個容器總質量相差應小於 0.1mg，在其他方面，如材質、大小、容器型式(開訪或密封)，應一致。

8.2 儀器設定及等溫基準線調整

8.2.1 放一對空容器(含蓋)在 DSC 試體及參考夾具。

8.2.2 如果使用連續掃描編程

- (1)設定開始與結束溫度(T_s 及 T_f)，此開始溫度 T_s 應至少低於首先須要數據 30K。

注意：當在一個寬的溫度範圍以上須要更精確結果，則整體範圍可以每 50K 到 100K 寬，分為兩個(或更多)

較小範圍內。第二範圍之開始溫度 T_s 應低於第一範圍結束溫度 T_f 30K，以確保有足夠得重疊區間。

- (2) 設定掃描速率。
- (3) 設定等溫階段 I 及 II 之間的時間間隔(如圖 3-32)，並允許個別等溫基準線至穩定，此一間隔通常介於 2min 至 10min 之間。

8.2.3 如果使用逐步掃描編程

當試體的比熱容與溫度並不是顯著相關時，此逐步掃描法可以使用在小溫度區隔以上熱流積分，產生一組經過考慮的時間間隔個別比熱值。並應注意下列幾點：

- (1) 介於等溫階的時間間隔，應足夠長去獲得一個穩定的基準線。
- (2) 此法不得使用在首階相轉換之溫度範圍以上。

此逐步掃描施行如下：

- (1) 設定開始及結束溫度(T_s 及 T_f)。
- (2) 設定溫度增量最好在 5K 至 10K。
- (3) 設定溫度掃描速率在 $5K \cdot \text{min}^{-1}$ 或 $10 K \cdot \text{min}^{-1}$ 。
- (4) 設定等溫階之間的時間間隔，應介於 2min 至 10min。

8.2.4 設定熱流率靈敏度，目的是去獲得一個縱座標量程至少在全刻度之 80%(如圖 3-32)。

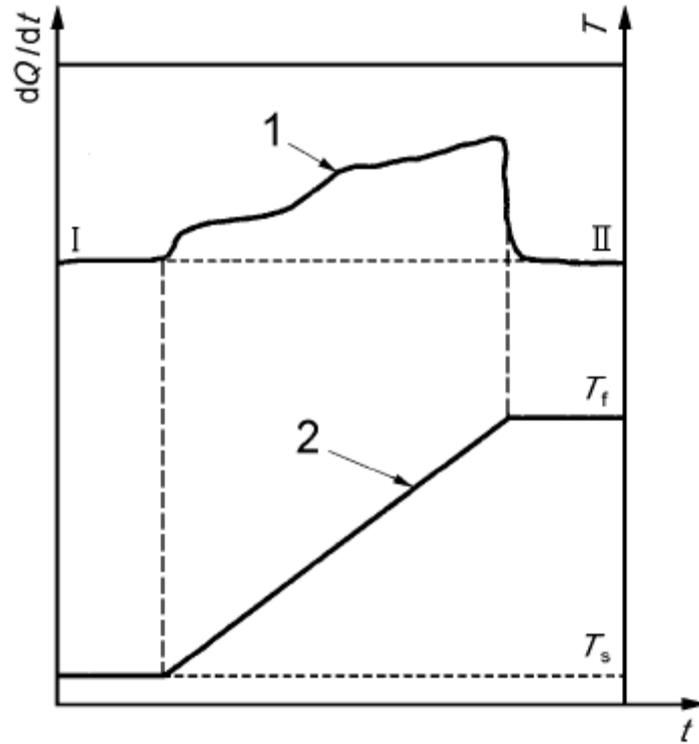
8.2.5 調整設備使等溫基準線之前及之後的加熱階段是同一縱座標層次。

如果使用微電腦處理系統，其等溫基準線可以被調整至相同縱座標層次後，那個數據已經被取得。無論如何，強烈建議在基準線調整完成前，任何量測是為了提高結果的準確度。

檢查調整個自的 DSC 曲線結果在同一縱座標層次，如果基準線再現性差，重新調整設備及重複測定。

注意：其他基準線再現性差的理由，可能會是試體容器的污染、容器蓋的位置、淨化氣流率的穩定性、試體分解、試體蒸發、試體及容器之間產生化學反應等等。

8.2.6 進行如在 8.2.2 或 8.2.3 所描述的溫度編程設定，圖 3-33 顯示一個獲自連續掃描模式的典型 DSC 曲線，而圖 3-34 顯示獲自逐步掃描模式的典型 DSC 曲線。



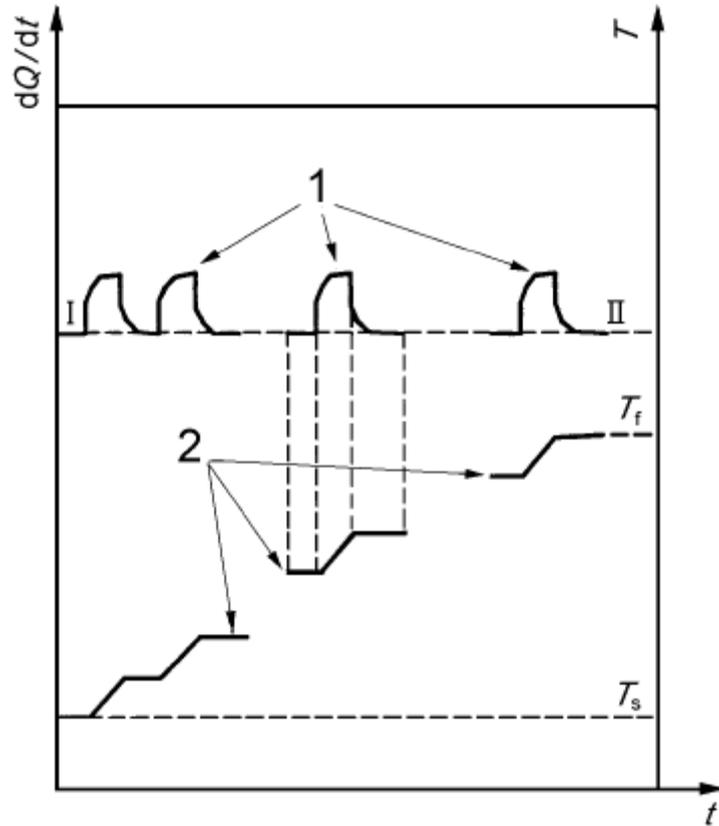
1 DSC 曲線

2 溫度曲線

I 等溫基準線開始溫度 T_s

II 等溫基準線結束溫度 T_f

圖 3-33 連續掃描 DSC 曲線示意



1 DSC 曲線

2 溫度曲線

I 等溫基準線開始溫度 T_s

II 等溫基準線結束溫度 T_f

圖 3-34 逐步掃描 DSC 曲線示意

8.3 校正材料比熱容量測

使用分析天平，稱取一個校正材料，如 99.9% 或更高純度的 α -氧化鋁(合成藍寶石)，放入 8.1 所準備其中一個容器內，置入含校正試體蓋上蓋子的容器在試體夾具上，施行 DSC 量測。

對於空白執行，使用 8.1 準備的另一空容器，施行 8.2 所述相同量測， α -氧化鋁在不同溫度的公稱比熱值如表 3-12。

表 3-12 純 α -氧化鋁在 120K 至 780K 溫度區域的比熱容

溫度		比熱容 $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$	溫度		比熱容 $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$
K	$^{\circ}C$		K	$^{\circ}C$	
120.00	-153.15	0.1969	520.00	246.85	1.0556
130.00	-143.15	0.2350	530.00	256.85	1.0626
140.00	-133.15	0.2470	540.00	266.85	1.0692
150.00	-123.15	0.3133	550.00	276.85	1.0756
160.00	-113.15	0.3525	560.00	286.85	1.0816
170.00	-103.15	0.3913	570.00	296.85	1.0875
180.00	-93.15	0.4291	580.00	306.85	1.0931
190.00	-83.15	0.4659	590.00	316.85	1.0986
200.00	-73.15	0.5014	600.00	326.85	1.1038
210.00	-63.15	0.5355	610.00	336.85	1.1088
220.00	-53.15	0.5682	620.00	346.85	1.1136
230.00	-43.15	0.5994	630.00	356.85	1.1182
240.00	-33.15	0.6292	640.00	366.85	1.1227
250.00	-23.15	0.6576	650.00	376.85	1.1270
260.00	-13.15	0.6845	660.00	386.85	1.1130
270.00	-3.15	0.7101	670.00	396.85	1.1353
280.00	6.85	0.7342	680.00	406.85	1.1392
290.00	16.85	0.7571	690.00	416.85	1.1430
300.00	26.85	0.7788	700.00	426.85	1.1467
310.00	36.85	0.7994	720.00	446.85	1.1537
320.00	46.85	0.8186	740.00	466.85	1.1604
330.00	56.85	0.8372	760.00	486.85	1.1667
340.00	66.85	0.8548	780.00	506.85	1.1726
350.00	76.85	0.8713	800.00	526.85	1.1783
360.00	86.85	0.8871	820.00	546.85	1.1837
370.00	96.85	0.9020	840.00	566.85	1.1888
380.00	106.85	0.9161	860.00	586.85	1.1937
390.00	116.85	0.9295	880.00	606.85	1.1985
400.00	126.85	0.9423	900.00	626.85	1.2030
410.00	136.85	0.9544	920.00	646.85	1.2074
420.00	146.85	0.9660	940.00	666.85	1.2117
430.00	156.85	0.9770	960.00	686.85	1.2159
440.00	166.85	0.9875	980.00	706.85	1.2198
450.00	176.85	0.9975	1000.00	726.85	1.2237
460.00	186.85	1.0070	1020.00	746.85	1.2275
470.00	196.85	1.0160	1040.00	766.85	1.2312
480.00	206.85	1.0247	1060.00	786.85	1.2348
490.00	216.85	1.0330	1080.00	806.85	1.2383
500.00	226.85	1.0408	1100.00	826.85	1.2417
510.00	236.85	1.0484			

8.4 試體執行

稱取測試試體放入相同的容器，置入含測試試體蓋上蓋子的容器在試體夾具上，施行 DSC 量測作為校正材料。建議取一較大質量的試體。

同樣用於 8.3 校正執行的空白執行，也可用於測試體執行。

9. 比熱容測定

計算 c_p^{sp} ($J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$)

連續掃描法使用下列公式：

$$c_p^{sp} = c_p^{cal} \cdot \frac{m^{cal} (P_{\text{試體執行}} - P_{\text{空白執行}})}{m^{sp} (P_{\text{校正執行}} - P_{\text{空白執行}})}$$

逐步掃描法使用下列公式：

$$c_p^{sp} = c_p^{cal} \cdot \frac{m^{cal}}{m^{sp}} \cdot \frac{\Delta Q^{sp} - \Delta Q^{blank}}{\Delta Q^{cal} - \Delta Q^{blank}}$$

比熱的量測也可參考 CNS 在 1997 年公佈 CNS 13974「精密陶瓷依雷射閃光法之熱擴散率、比熱容量、熱傳導率試驗法」，此法主要適用範圍在於精密陶瓷，可量測比熱容量為自室溫至 1000K(726.85 °C)。

第五節 熱傳導

由文獻(危時秀, 2003)所整理熱傳導量測方法如下及圖 3-35 所示：

1. 依試體加熱形式區分

有間接加熱法和直接加熱法兩大類。不同的加熱方法即具特有的邊界條件和初始條件；從外部將試體間接加熱而得溫度分佈的方法稱為間接加熱法；對於有電傳導性的固體試體，直接通電加熱的方法稱為直接加熱法。直接加熱法可快速量測高溫域的熱傳導係數。

2. 依導熱過程的巨觀機理區分

有穩態法和非穩態法兩類。穩態法是指待測試體上的溫度分佈達到穩定後進行量測實驗，利用穩態的傳導微分方程分析，直接測得熱傳導係數。此法的特點為實驗公式簡單；實驗時間長；需要測量熱流量(直接或間接)和若干點的溫度。非穩態法是指待測試體的溫度在

實驗量測時隨時間變化，利用不穩定(或稱為暫態)熱傳導微分方程分析，通常只能測得溫度變化，間接推算熱傳導係數。此法的特點是實驗公式常不如穩態法簡單且直接；實驗的時間較短；需要量測試體上若干點的溫度隨時間變化情形；一般不需測量熱流量。

3. 依試體上傳導熱流的流向區分

在圓柱試體按熱流是沿軸向或徑向，就區分為軸向熱流法和徑向熱流法。

4. 依試體的形狀區分

有平板法、圓柱(圓筒)法、圓球法、同心圓球法；矩形桿狀法等。

5. 依量測熱流量方式區分

在穩態法中直接量測熱流量者稱為絕對法；若量測通過參考樣品的溫度梯度間接推定熱流量者稱為比較法。

6. 依熱流與時間的函數關係區分

在非穩態法的類別範圍內，依加熱的過程有週期加熱法、階段狀加熱法(stepwise heating method)、脈衝加熱法(pulse wise heating method)、任意加熱法等。

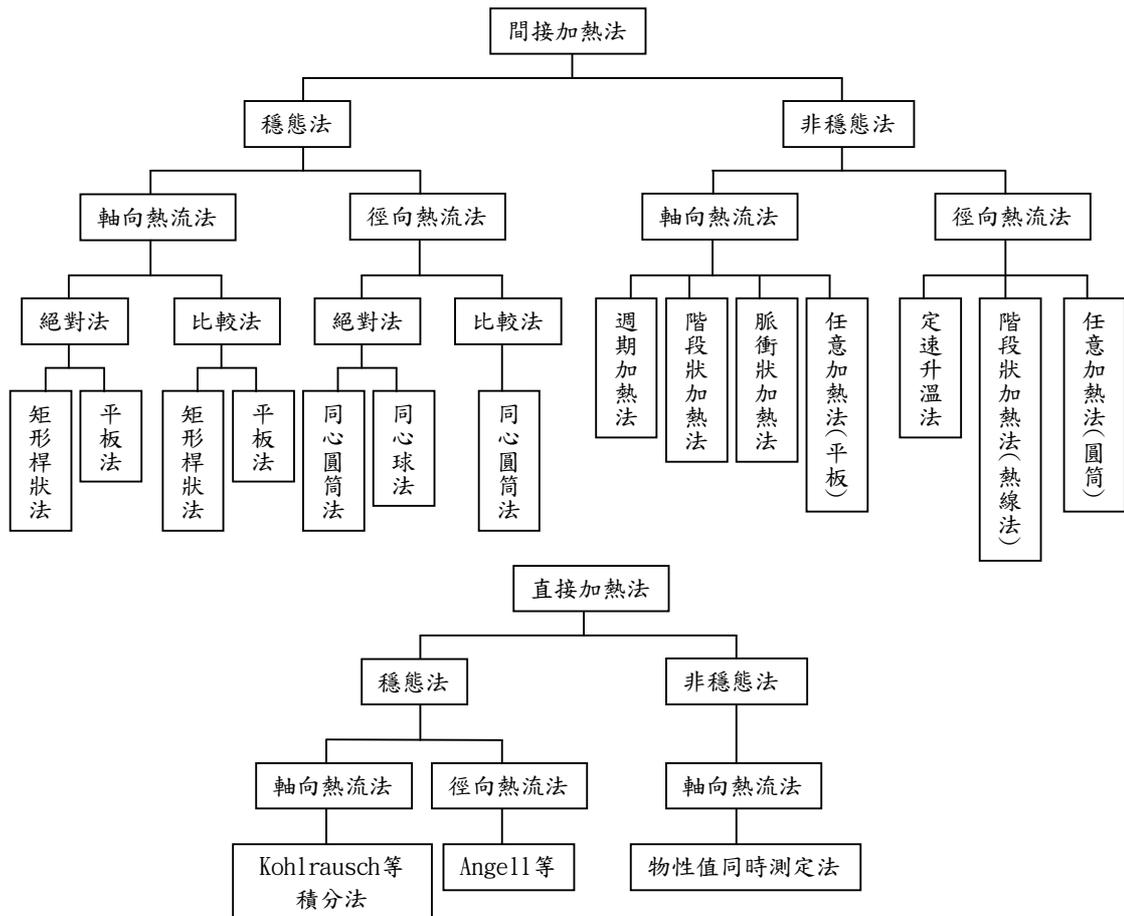


圖3-35 熱傳導量測方法分類(危時秀，2003)

由英國國家物理實驗室(National Physical Laboratory, NPL), 參與ISO TC61/SC5/WG8委員會塑料熱傳導標準制定資料, 此委員會負責DSC、熱重分析(TG)及熱傳導標準的發展, 其中熱傳導有ISO 22007 Part1一般原理、Part2瞬態平面熱源(熱盤)法、Part3溫度波動分析法及Part4雷射閃光法, ISO 8894-1、ISO 8894-2熱線法, ASTM D5930-1瞬態線源法, ISO 8302保護熱板法, 以及ISO 8301與ASTM E1530-4保護熱流計法。

本研究將以熱線法、瞬態線源法、雷射閃光法、保護熱板法以及保護熱流計法, 說明如下:

一、熱線法(Hot Wire Method)

熱線法熱傳導測試, 係在兩片樣品間設置熱線及熱電偶, 測量熱線加熱後隨時間之溫度變化來求得樣品之熱傳導係數。標準有 ISO 8894-1、ISO 8894-2 及 ASTM C 1113, 以下為本試驗法之明。

耐火材料熱傳導係數熱線測定法(鉑電阻溫度計試驗方法)

1. 適用範圍:

- 1.1 此試驗方法包含非碳基、介電性耐火材料的導熱性的檢測。
- 1.2 試驗所應用耐火材料包含: 耐火磚、可鑄性耐火材料、塑性耐火材料、可鍛性耐火材料、粉狀材料、粒狀材料、和耐火纖維。
- 1.3 熱傳導係數K值可在室內溫度至1500°C之間被測出、或在耐火材料最大極限、和耐火材料完全無法介電的溫度時得出。
- 1.4 此試驗方法適用於K值小於15 W/m·K之耐火材料。
- 1.5 異向性材料很難精確被測量, 尤其是含有纖維的材料; 而此試驗中使用的材料, 必須試驗相關各方都同意。
- 1.6 單位—國際單位制。
- 1.7 本試驗法不會詳述所有安全考量, 本試驗使用者在使用此標準前, 必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

用持續的電流通過放在兩塊磚中間的純鉑金屬線上。鉑金屬線加熱的速率, 取決於金屬線上的熱度以何種速度流至耐火磚上。金屬線溫度升高的速率, 只能用鉑電阻溫度計的方式, 來測量金屬線的電阻而得知。依照金屬線溫度增加和電力輸入的速率, 使用傅立葉方程式計算k值。

3. 用語釋義

3.1 符號

- 3.1.1 R_T —發生在任何溫度的熱線電阻(Ω)。
- 3.1.2 R_0 —發生在 0°C 的熱線電阻(Ω)。
- 3.1.3 L —熱線長度(cm)。
- 3.1.4 T —試驗溫度($^\circ\text{C}$)。
- 3.1.5 V —熱線的平均壓降(V)。
- 3.1.6 V_s —標準電阻器的平均壓降(V)。
- 3.1.7 R_s —標準電阻器的平均電阻(Ω)。
- 3.1.8 I —通過熱線的平均電流(V_s/R_s)(A)。
- 3.1.9 Q —試驗中，熱線的平均電力輸入($I \times V \times 100/L$)(W/min)。
- 3.1.10 t —時間(min)。
- 3.1.11 B —在 RT 對 $\ln(t)$ 圖中，線性區的斜率。
- 3.1.12 k —導熱性(W/m·K)。
- 3.1.13 a, b, c —熱線電阻和溫度的二次方程式係數。
- 3.1.14 $V, I, 0$ 在 RT 對 $\ln(t)$ 圖中的線性區中測量，以求最高的數據精確性。

4. 試驗裝置

4.1 較為建議的試驗裝置在下方圖 3-36 的方塊圖中說明。儀器的細節如下：

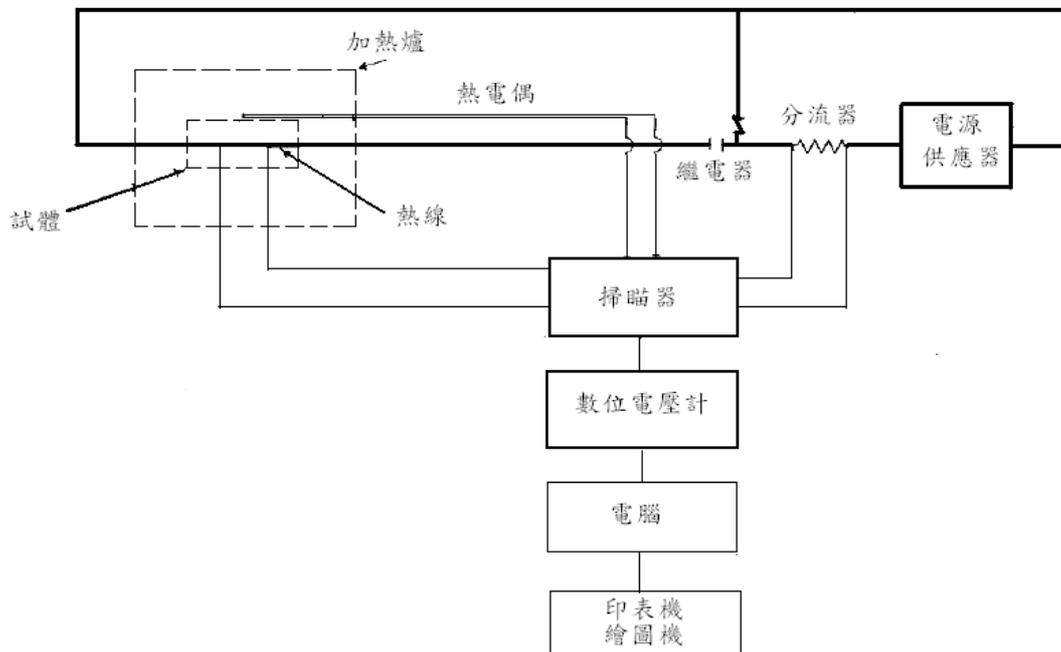


圖 3-36 裝置圖示

4.1.1 加熱爐，和可容納 228-mm 矩形磚的加熱室；加熱爐溫度可用定點控制器手動控制、可程式控制器或以電腦控制。若使用可程式控制器操控加熱爐，而電腦操控熱線電力，則加熱爐溫度程式必須和電腦程式同步，以得到試驗數據。

加熱爐溫度應精準維持在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 並將誤差維持在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 才能將時間變異降低。此試驗方法並不需要溫度穩定度，因為小量的溫度時間變異很難測量，也仰賴熱電偶的配置(在空氣中、防護套管中、或是在試體裡)。但若在加熱爐平衡化後(在熱線試驗之前)，試體溫度的量度維持平衡三十分鐘，最大最小差異質最好少於 1°C 。此外，若線性迴歸分析是根據平均溫度對時間數據完成，溫度改變率每分鐘應小於 0.05°C 。為了鉑電壓和電流引線，加熱爐窯壁上應有四個洞和氧化鋁防護套管；為降低溫度升高時的導電性，這四個洞應盡量挖大。

- 4.1.2 熱電偶：測量試體溫度。
- 4.1.3 可程式電源供應器：能持續控制 0 到 10A(0 到 50 V)的電流。在長達 10 分鐘的試驗期間，電流穩定度應為 ± 0.002 A。依照期望的金屬導線直徑和試驗的材質，來衡量電源供應器的大小；高安培(5 - 10 A)電流供應器建議使用在直徑較大的金屬線，或用在測試高傳導性的材質上；相對，較低安培數的電流供應器，較好控制低傳導材質的低電流，也較適合直徑較小的金屬導線。
- 4.1.4 分流器：在 15A 時，電阻為 0.1Ω 。
- 4.1.5 可程式掃描器：可將不同電壓輸入連接至數位電壓計。也用來啟動電驛，進而開啟或關閉試驗迴路。
- 4.1.6 電驛：乘載電流約 25A 到 24V。
- 4.1.7 可程式數位電壓計：有自動修正、自動校正及 $6 \frac{1}{2}$ 解析度。
- 4.1.8 電腦：控制電源、掃描器、及數位電壓計。電腦必須能夠蒐集並分析試驗結果；使用者可用商業上可取得的數據擷取(有 IEEE 設備和隨附檔案編號功能)和分析(巨集功能的試算表)軟體；無須使用定製軟體。
- 4.1.9 印表機/繪圖機：記錄原始數據及不同計算值。繪圖機功能在於將電阻對時間的關係描繪下來，此作法能直接看到是否試驗得到線性關係，並掌握線性區的位置。
- 4.2 可重複使用的試驗導線：包含至少 30 cm 長的截面、內有兩條約 15 cm 的垂直電壓引線，分兩邊放置在中間圖 3-37。為了避免熱電偶影響電壓誤差，試驗導線和完整的電壓引線都使用純鉑金屬線；鉑合金金屬線只能使用在電流引線自加熱爐外面通向試驗導線截面本體時。鉑電壓導線可置於絕緣終端箱裏，並放置在加熱爐旁邊，以連接低溫導線，也可一路繞回數位電壓計終端。導線主體直徑應介於 0.330 到 0.508mm；電壓引線和導線

主體尺寸可相同，不過還是建議電壓引線比導線主體短至少 0.330mm，如此電壓引線所佔空間將會小於導線主體所佔空間的一半；連接導線主體的電流引線應至少和導線主體本身尺寸相同。導線主體用可調式噴火槍、電弧衝擊鎔接器，將電壓引線對頭接上牢固的主金屬線，或以電弧焊接將導線銲成銲珠。若銲珠用電弧焊接作成，盡可能讓銲珠體積小巧，並小心將銲珠跟和主導線垂直的電壓引線接成 T 型接頭。

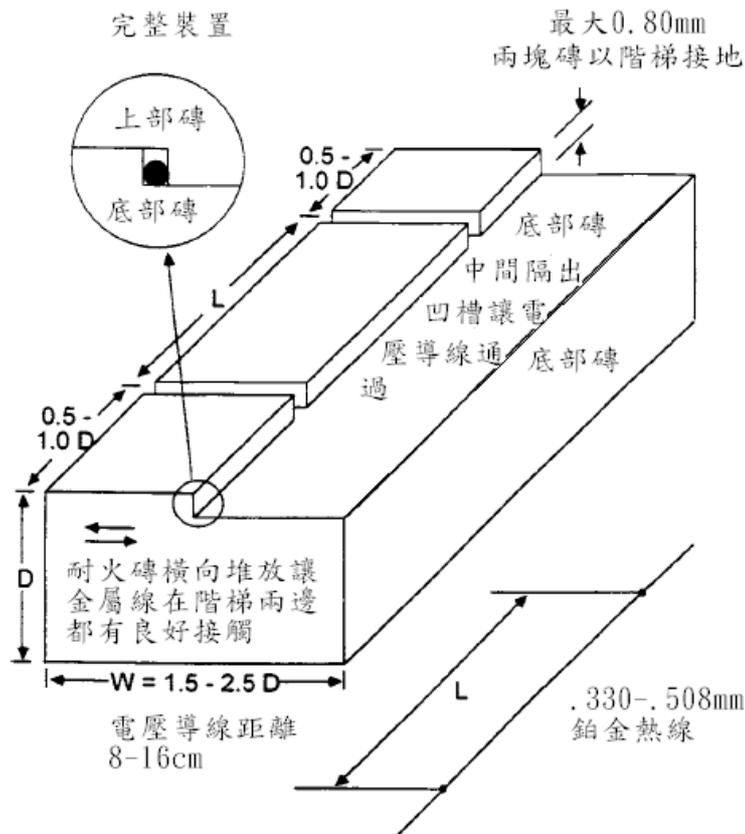


圖 3-37 熱線設置樣本

5. 試體與前置處理

- 5.1 試體包含兩個 228mm 矩形磚或等量物，選擇結構和堆積密度皆有均勻性的試體。
- 5.2 導線束放置在兩個磚型試體的中央，將梯形試體置入配合面、將試體圍繞住導線束、或將軟試體變形，以讓導線束緊密的接觸兩塊磚頭。圖 3-37 說明階梯如何讓兩半邊的樣本裝置能緊密的橫向接觸。
 - 5.2.1 耐火磚—階梯深度最高應達到 0.8mm，即使較小深度可用於直徑小於 0.508mm 的導線。為確定試體不搖晃，兩個階梯和彼此接觸的平均深度應在 0.1mm 以內；此外，階梯的配合面應該平坦，依照以下程序測量時應少於 0.1mm。

階梯接地後，磚塊應和階梯放置一起，以確定兩磚塊之間不會劇烈搖晃，其間不能有肉眼可見之動搖；通常使用中心有高點的磨輪會導致搖晃，並讓其中較小階梯深度比和其他配合面比起來更靠近階梯本身。調整磨輪，讓輪子平穩，或讓形成階梯外緣面增高，都能得到理想結果。確定階梯高度和配合面都沒問題之後，電壓引線凹槽應直接穿過磚塊中的階梯高處，為了將鉸珠放置在主導線和電壓引線的接合處，可用槌子和中心衝在這裡的磚塊中挖出小空隙。

- 5.2.2 可鑄性耐火材料—可鑄性耐火材料試體可切成磚塊狀，並如 7.2.1 方式準備，有 0.8mm 間距的特別鑄模也可用來準備磚狀物。其中一塊磚裡面的兩條細凹槽，應切開放置橫向電壓引線，導線束也可放置在相同地方。
 - 5.2.3 塑性耐火材料、可鍛性耐火材料—製成磚型後，將導線束壓在兩塊高 228mm 的矩形磚中間；在乾燥過程中，導線束上應持續施壓，讓導線和磚塊兩者接觸非常近。
 - 5.2.4 低強度材料—用鋒利的刀子在磚塊之一上面畫出凹槽，作為按壓導線束的空間。
 - 5.2.5 可壓縮耐火纖維毯—製作加重的毯子，好在試驗中壓縮並維持樣本的理想厚度(和總體密度)，纖維毯和兩邊必須有間隔。
 - 5.2.6 粉狀、粒狀材料—耐火容器必須能容納粉狀和粒狀材料，此容器可由上下兩部分組成，每一部分都要和 228mm 的矩形磚一樣大小；下半部要有四個面和一個底，上半部只須有四個面。一體成形的容器在這裡也可使用，此容器要有兩塊 228mm 磚塊的容量。記錄使用的重量和內容量，以便清楚算出試驗材料的總體密度。
6. 校正
- 6.1 算出每個試驗導線在 0°C 的電阻(R_0)是很有必要的；可將導線束放在有碎冰的塑膠盤上，並用測量升溫電阻的四線方法，來測量這裡的電阻。另一種方法就是測量導線束在室溫的電阻並用 $R_T/R_0=(a+bxT+cxT^2)$ 的方式求出 R_0 值，這裡的方程式係數是由先前導線捲的實驗所得出。若使用導線電阻對溫度測量方法，導線束就不須在 0°C 時校正。
7. 設定程序
- 7.1 測量熱線長度(L)到 0.025cm，電壓引線間距離也應相同。
 - 7.2 耐火磚—將導線束放在磚塊凹槽中，將另一塊磚頭放上來，調整磚塊讓導線被鎖在中心並和兩個磚塊都有接觸。
 - 7.3 低強度材料—將導線按壓在磚頭上刻出的凹槽裡。
 - 7.4 可壓縮耐火纖維毯—將導線束放在纖維樣本中間，若是較薄試

體必須多蓋幾層纖維毯。

- 7.5 粉狀、粒狀材料—若使用兩部分組成的容器，將下半部用試驗材料填滿，將導線束放在下半部的頂端中央；將上半部容器放好，並用更多試驗材料填滿上半部。若使用單一成形容器，用試驗材料把容器填滿至一半，把導線束放進容器裡鑽好的小洞，再把容器填滿。不管使用兩種容器中哪一種，設置完成後都須測重，並清楚計算總體密度。
- 7.6 將組裝好的試體放進有兩支支架的加熱爐中，確保加熱平均，並將電壓和電流引線焊接到相對應的熱線上。將軟纖維試體壓縮在加重的外層上以得到理想的厚度和總體密度。將熱電偶放在試體上方；將多餘的電壓引線拉出加熱爐外，以避免爐內導線長度在加熱超過 1000°C 以後發出交流電聲響。

8. 試驗程序

- 8.1 將電腦、加熱爐控制器設定到期望的試驗溫度和均熱時間，建議對各種材料，加熱率皆低於 $180^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ 以避免熱衝擊損壞加熱爐和試體。 $55^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ 的加熱率建議用在可鑄耐火物。若加熱爐分開控制，一旦達到期望的溫度，就開始均熱四小時；若在較低溫度，則須均熱八小時，尤其是低傳導性材料。若控制溫度穩定性的電腦同時也控制加熱爐，就不需設定最低均熱時間。最少四種試驗溫度(如:室溫和其他三種溫度)應用來取得曲線配置的需要數據；針對整塊的(未燃燒的)材料，測試試體僅在最初加熱循環中即可，以得到曲線數據；其他材料可用加熱或冷卻試點作試驗。
- 8.2 在各個試驗溫度下，用低電力輸入，測量熱線電阻力到接近 $1.0 \times 10^{-6} \Omega$ ；最好的做法是將試驗單位電源設置到 $0.1 - 0.2\text{A}$ 輸出，用電壓降和標準電阻器交錯以精確的測量電流。在所有溫度下都應用一樣的方法測量電阻。
- 8.3 將熱線以最大溫度上升率 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}(\text{dT}/\text{dt})$ 的方式加熱，對每種材料和溫度的組合，加熱程度都可用電腦計算或預設。表 3-13 將說明預設的試驗電流量。在室溫的最大電流 8A 和 6W 的最大電力輸入、或大約 $0.5 \text{ W}/\text{cm}$ 的導線相等。關閉迴路，將電流操作 5 (高傳導材質)到 10 (低傳導材質)分鐘的時間，時間間隔為低於 3 秒，用電腦記錄電阻對時間的結果。在實驗時間最後，打開迴路，中斷數據記載，並讓試體溫度再平衡。
- 8.4 最少等候一小時，讓試體溫度平衡，再重新開始電力試驗，每個試驗溫度最少重複作三次；每次的重複試驗不需使用相同的電流量，可依不同使用軟體而有所變動。在室溫下，即使電源已關閉，加熱爐溫度還是可能持續上升，所以這種狀況

下，等候時間超過一小時較為理想。

8.5 等所有升溫試驗都完成後，計算最後結果，讓所有溫度範圍中得出的 R_T 值能作曲線配製。

表 3-13 0.508 mm 熱線^A所使用最高電流量(A)

密度 kg/m ³	典型的材料	溫度(°C)			
		25	400	800	1200
120	纖維毯	0.4	0.6	0.8	1
300	纖維板	1	0.8	0.8	0.8
370	絕緣座	1	0.8	0.8	0.8
480	2000 絕緣磚	1.2	0.8	0.6	0.6
640	2300 絕緣磚	1.4	1	0.8	0.6
800	2600 絕緣磚	1.6	1.2	1	1
960	2800 絕緣磚	1.6	1.4	1.2	1
1000	氧化鋁粉	1.4	1	0.8	0.8
1200	絕緣可鑄物	2	1.4	1.2	1.2
1300	發泡氧化鋁磚	3.6	2	1.6	1.4
1500	鑄砂(鬆散)	1.6	1.2	1.2	1.2
1500	鑄砂(粘結)	2.8	1.6	1.4	1.2
1700	熔融石英	3.2	2	1.8	1.6
2100	耐火磚	3.6	2.4	1.8	1.6
2400	耐火磚	4	2.4	2	1.8
2500	碳化矽單石	6	4	3.2	反應 ^B
2600	碳化矽磚	8 ^C	6	5	反應 ^B
2700	60 %氧化鋁低碳可鑄物	5	2.8	2.4	2
2900	電熔鋁剛玉或80%氧化鋁	5	3.2	2.4	2
>3000	>95 %氧化鋁	8	4	3.2	2.8
>3000	>95 %方鎂石	8 ^C	5	4	3.6
>3200	鎂鉻磚/方鎂石磚	6	5	3.2	2.8
>3200	熔融鋁剛玉	5	3.2	2.8	2.4
>3200	鋁土磚	3.2	2	1.8	1.6

A 若使用0.406-mm導線，將以上數字乘以0.8就能得到相同溫升，使用0.330-mm導線，則乘以0.65。

B 鉑導線再高溫時才能和碳化矽產生作用，若在540°C以上條件試驗碳化矽成品可能造成損壞。

C 高傳導材質會有較低 R 對 $\ln(t)$ 斜率，若 k 值超過15 W/m·K，將無法持續得到相同試驗結果。

9. 計算

9.1 回歸係數—用多項式迴歸分析將低電阻或將電阻率(R_T/R_0)對溫度數據的結果作曲線配製，或用四個試驗溫度下得出的數據，來形成 $a + bxT + cxT^2$ 之多項方程式(如室溫和另外三個高溫)。

- 9.1.1 標準方法是使用 R_T/R_0 （電阻/在 0°C 的電阻）值作計算，其中 R_0 的值一定是測量或計算後的結果。既然 R_0 會因導線的延長、或冷加工，或同時出現兩者而變動， R_0 必須用 0°C 的冰浴漿體週期性的重複測量，亦或用室溫測量方法重新計算並得出多項式回歸係數，以符合 $R_T/R_0 = a + b \times T + c \times T^2$ 的關係。採用值的好處是回歸係數都歸一化，可和其他來源的數值直接比較（譬如：相同導線的不同操作、或不同長度或直徑之導線所得出的數值）。
- 9.1.2 另外的可行方法是只用電阻和溫度數值作出曲線配製，此方法的好處是所有數值都是樣本安置妥當的情況下所得，不需要測量 R_0 的冰浴方法，也排除操作中對電阻作用產生的影響；於是這個方法通常都在例行試驗中使用。但缺點是測驗電阻/溫度回歸係數就必須將試驗溫度升高，而且係數會因為導線長度和直徑而改變。
- 9.2 斜率計算—用適當的線性回歸分析，從每次試驗的線性區中計算 R_T 對 $\ln(t)$ 的斜率(B)。我們可用電腦軟體分析算出線性區，或用肉眼檢視 R_T 對 $\ln(t)$ 的繪圖。為了避免 R_T 對 $\ln(t)$ 的繪圖上半部有誤差，比較建議數值用同一個時間間隔 $\ln(t)$ 來分析；這其中包含了在作回歸分析之前，先在增長的時間期限內取得數值，或將一致的取樣率中取得的數值全部作出平均。若找不到線性區，原因可能為試驗材料不合宜或操控錯誤，這時試驗必須重新開始。
- 9.3 k值計算—在每個高電力試驗中，用電阻對時間算出的斜率(B)，來計算熱傳導係數(k)，並利用方程式7和方程式8，得出11.1的多項方程式係數：

計算熱流的傅立葉方程式如下：

$$k = \frac{Qd \ln(t)}{4\pi dT} \quad (1)$$

如果

$$\frac{R_T}{R_0} = a + bT + cT^2, \text{ 然後 } \frac{dR_T}{dT} = dR_0(b + 2cT) \quad (2)$$

如果

$$B = R_T \text{ 與 } \ln(t) \text{ 的斜率} = \frac{dR_T}{d\ln(t)} = \frac{dTR_0(b + 2cT)}{d\ln(t)} \quad (3)$$

然後

$$d\ln(t) = \frac{dTR_0(b + 2cT)}{B} \text{ 及代入 } k \quad (4)$$

$$k = \frac{QR_o(b+2cT)}{4\pi B} \quad (5)$$

代入

$$Q = \frac{Vl100}{L} = \frac{VV_s}{R_s L} \text{ 到 } k \quad (6)$$

$$k = \frac{VV_s 100 R_o (b+2cT)}{R_s L 4\pi B} \quad (7)$$

其中的單位W/m·K和第三節中相符。換個方法，如果使用 $R_T = a + b \times T + c \times T^2$ ，那麼：

$$k = \frac{VV_s 100 (b+2cT)}{R_s L 4\pi B} \quad (8)$$

其中的單位W/m·K和第三節中相符。

9.4 升溫率—每次試驗都要計算導線在一分鐘內的升溫率，用方程式13或方程式16：

如果：

$$\frac{R_T}{R_o} = a + bT + cT^2 \quad (9)$$

那麼

$$\frac{dR_T}{dT} = R_o(b+2cT) \text{ 及 } dR_T = R_o(b+2cT)dT \quad (10)$$

並且

$$B = \frac{dR_T}{d \ln(t)} = \frac{t dR_T}{dt} \text{ 所以 } dR_T = \frac{B dt}{t} = R_o(b+2cT)dT \quad (11)$$

重新排列後

$$\frac{dT}{dt} = \frac{B}{R_o(b+2cT)t} \quad (12)$$

於是

$$t = 1 \text{ min}, \frac{dT}{dt} = \frac{B}{R_o(b+2cT)} \quad (13)$$

另外

$$R_T = a + bT + cT^2 \quad (14)$$

於是

$$\frac{dT}{dt} = \frac{B}{(b+2cT)t} \quad (15)$$

$$t = 1 \text{ min}, \frac{dT}{dt} = \frac{B}{(b+2cT)} \quad (16)$$

二、閃光法熱傳導分析儀 LFA (Laser Flash Analysis)

LFA 閃光法熱傳導測試，乃使用 Xenon 氙氣燈或 Laser 雷射光對一特定尺寸之樣品進行瞬間之加熱，並以精密之紅外線偵測器監測熱量穿過樣品之變化，以進行樣品熱擴散係數、比熱及熱傳導係數之測量。可測量固體、液體、粉體、熔融金屬、薄膜等樣品。測量時間短、測量範圍廣，為目前應用最為廣泛之熱傳導測量方法。

1. 適用範圍：

- 1.1 本測試方法涵蓋均質等向固態材料的熱擴散係數的測定。本測試方法用於熱擴散係數值範圍 10^{-7} 至 10^{-3} m^2/s ，測定溫度範圍 75 至 2800 K。
- 1.2 本測試法可使用更多不同種類的設備。在本測試方法中，建立架構及步驟的細節來涵蓋所有情況是不可行的，可能造成不具備相關技術人員的執行困難，或使基本技術的研發受到阻礙。
- 1.3 本測試方法適用於測量基本上為緻密(較佳情況，而低孔隙率亦可接受)、均質且等向固態材料，其測試樣本不導通電力脈衝的。然而經驗顯示來自這些嚴格的指導方針的誤差可由細心與恰當的實驗設計避免，增加此測試方法的可用性。
- 1.4 此方法可視為絕對的(或首要的)測量方法，因為不需要參考測試標準。使用參考材料檢驗設備的性能是合適的。
- 1.5 單位—國際單位制(SI)。
- 1.6 對於使用雷射為動力來源的系統而言，完全符合安全標準是必要的。
- 1.7 本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

一種薄、小尺寸的圓盤接受高強度能量輻射脈衝(圖3-38)。脈衝的能量由圓盤的前表面接收並記錄後表面溫度上升(溫度記錄曲線)。熱擴散係數值由圓盤厚度以及圓盤後面溫度上升至最大值的特定百分比率所需的時間(圖3-39)計算。當樣本的熱擴散係數在一溫度範圍內進行測定時，必須在每一個需要的溫度範圍內重複測量。

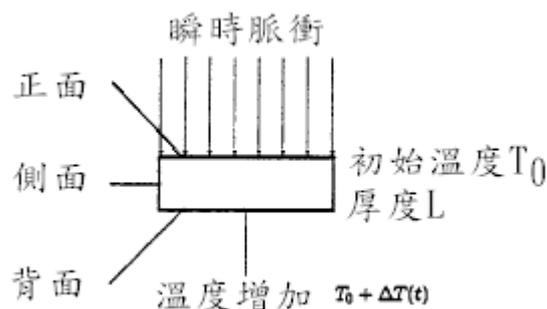


圖 3-38 閃光法示意圖

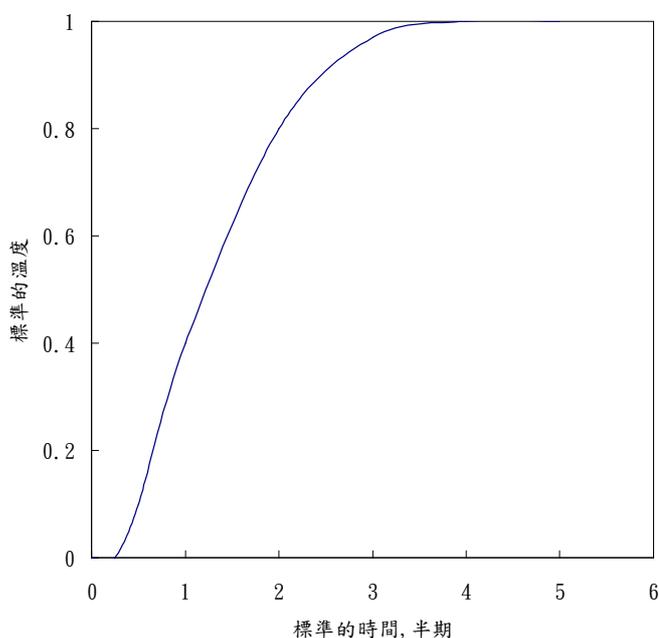


圖 3-39 閃光法特性溫度曲線圖

3. 用語釋義

3.1 此標準的特殊名詞定義。

3.1.1 固態材料的熱擴散係數， λ ，通過均質材料厚度的無限大平板的穩態熱流時變率，其方向與表面垂直，其熱流由溫度差引起。

3.1.2 固態材料熱擴散係數， α ，已知的熱擴散係數除以單位質量的密度與熱容量的乘積。

3.2 本標準使用的符號與單位。

3.2.1 D—單位，m。

3.2.2 C_p —比熱，J/(kg·K)。

3.2.3 k—百分比上升因變係數。

3.2.4 K—修正因子。

3.2.5 K_1, K_2 —因 β 而異的係數。

- 3.2.6 L—測試樣本的厚度，m。
 - 3.2.7 t—響應時間，s。
 - 3.2.8 $t_{1/2}$ —一半昇溫時間或背面溫度到達最大值一半的所需時間，s。
 - 3.2.9 t^* —無因次時間 ($t^* = 4\alpha_s t/D_T^2$)。
 - 3.2.10 T—溫度，K。
 - 3.2.11 α —熱擴散係數， m^2/s 。
 - 3.2.12 β —到達最大強度所需的脈衝時間分量。
 - 3.2.13 ρ —密度， kg/m^3 。
 - 3.2.14 λ —熱導係數， $W/m\cdot K$ 。
 - 3.2.15 Δt_5 — $T(5t_{1/2})/T(t_{1/2})$ 。
 - 3.2.16 Δt_{10} — $T(10t_{1/2})/T(t_{1/2})$ 。
 - 3.2.17 ΔT_{max} —基準與最大溫升之間的差值，K。
- 3.3 本標準使用的下標符號。
- 3.3.1 o—環境。
 - 3.3.2 s—測試樣本。
 - 3.3.3 T—熱電偶。
 - 3.3.4 x—百分比上升值。
 - 3.3.5 C—Cowan。
 - 3.3.6 R—比值。
 - 3.3.7 m—最大值。
 - 3.3.8 t—時間。

4. 試驗裝置

設備的基本組成顯示於圖3-40。這些組成是閃光源、測試試體夾具、環境護罩(選用)、溫度響應偵測器以及記錄裝置。



圖 3-40 閃光系統的方塊圖

- 4.1 閃光源可以是脈衝雷射、閃光燈或其他可以產生短時間能量脈衝的裝置。脈衝的時間長度必須小於後表面溫度上升至最高溫度的一半所需時間的2%(見圖3-39)，以控制來自有限脈衝寬度的誤差在0.5%以內，若脈衝寬度修正(17, 18, 19)不適用的話。
 - 4.1.1 撞擊脈衝能量的能量強度必須均勻。
- 4.2 對於高於或低於室溫測量，需要使用一部環境控制箱。
- 4.3 偵測器可以用熱電偶、遠紅外線偵測器、光學高溫度計或其他能輸出與小幅溫升成比例的線性電力輸出。它必須能偵測比測試試體起始溫度高0.05K的變化。偵測器以及相關的放大器的響應時間必須不超過半溫升時間值的2%。
- 4.4 信號調節器包括輸出環境溫度讀值、尖波過濾器、以及類比-數位轉換器。
- 4.5 資料記錄
 - 4.5.1 資料擷取系統速度必須足夠以確保擷取系統的最快速的溫度曲線圖的時間解析度為最大溫升時間的一半的1%以內。
- 4.6 測試試體的溫度的量測須由可接受的方式進行，如校正過的熱

電偶、光學高溫計、白金電阻溫度計等任何適合該溫度範圍的工具。在所有的情況中，此裝置必須緊密接觸或對準試體夾具。不建議熱電偶與測試試體接觸。將熱電偶嵌進測試試體是不可接受的。

4.7 溫度控制器及/或程式控制器用於將測試試體溫度控制在需求範圍內。

5. 試體

5.1 通常測試試體是一片薄的圓盤，其前端表面積小於能量光束。典型測試試體直徑10至12.5mm(在特殊情況中，6mm小的直徑到大的30mm都有使用成功的報告)。最佳的厚度視熱擴散係數的估計值大小而定，並且應該選用到達最高溫度一半的時間為10到1000ms的範圍內。較薄的測試試體需要較高的溫度來減少熱損失修正，然而測試試體應該厚度足夠代表該測試材料。典型厚度為1至6mm範圍。

5.2 試驗試體必須加工表面平整並且須保持與厚度平行5%以內，使熱擴散係數的誤差不會因為計算平均厚度而超過1%。應該避免相對於厚度尺寸明顯的表面不平整(坑洞、刮傷、斑紋)。

5.3 試驗試體的加工-在進行測試前將待測試驗試體表面塗佈一層非常薄、平坦的石墨或其他高放射率的材料是一項良好的做法。塗佈可藉由噴塗、刷塗或濺鍍等方法進行。此做法可改善試驗試體吸收能量的能力，尤其是高反射性的材料。對於透明的材料，必須在塗佈石墨之後再塗佈一層金、銀或其他不透明材料。對於一些不透明的反射性材料，在表面噴砂可促進吸收性以及放射率，尤其是高溫的情況下塗佈可能不穩定或與試體材料產生反應。

6. 校正與查證

6.1 校正測量試驗試體用的測微器，使厚度的測量值精準度保持在2%以內。

6.2 閃光法本身是一種絕對(首要)的方法，因此不需要校正。然而，測量的實際執行還是有隨機以及系統誤差。因此定期檢查裝置的性能以建立這些誤差影響的程度範圍是非常重要的。這可藉由測試一種或數種熱擴散係數已被熟知的材料來達成。

6.2.1 必須強調的是，使用參考文獻來建立未知材料的驗證資料常常導致報告的精準度無法保證。參考文獻(包括半溫升時間以及熱擴散係數值)的使用只有在非常類似未知材料並且溫升曲線行為一致時有效。

6.2.2 當進行過校正之後，一項資料有效性的重要驗證(除了將

溫升曲線與理論模型比對之外)會因厚度而有變異。因為半溫升時間隨著 L^2 而變化，厚度減少二分之一使半溫升時間減短成原來的四分之一。因此，若有人從相同材料而厚度明顯不同的試驗樣本測得相同的熱擴散值(已經做過恰當的熱損失修正)，則其結果可視為有效。

7. 試驗程序

- 7.1 對於商業生產的系統，應遵守製造商的指示進行測量。
- 7.2 測試程序必須包括以下功能：
 - 7.2.1 判定並記錄測試試體的厚度。
 - 7.2.2 將測試試體裝在夾具上。
 - 7.2.3 依照需要在箱內建立真空或惰性氣體的環境。
 - 7.2.4 測定試驗試體的溫度除非系統能自動測量。
 - 7.2.5 尤其在低溫的情況，使用可產生可測量的溫升的最低脈衝能量，確保偵測器功能保持在線性範圍。
 - 7.2.6 在脈衝送出之後，監視原始或處理過的熱譜圖以建立範圍內的性能。在多重試驗試體的情況，建議在進行下一組溫度測試之前對相同溫度依序測試試驗件(可節省時間)。
 - 7.2.7 在所有情況中，測試之前與進行測試時必須檢查溫度穩定度(基線溫度)，不論手動或自動控制都必須控制在最大溫升的4%以內。不建議在升溫時進行測試。
 - 7.2.8 測定試驗試體的溫度並收集基線溫度、暫態溫升與降溫資料並依第8節內容分析結果。
 - 7.2.9 依需要變更試驗試體的溫度並重複資料收集流程以取得每一種溫度的測量結果。
 - 7.2.10 若需要的話，進行每一組溫度時重複測量試驗試體的降溫或在同一循環當中的再加熱。

8. 計算

- 8.1 測定基線以及最大溫升以求得溫度差 ΔT_{\max} 。測定自脈衝起始到後表面溫度到達 $\Delta T_{1/2}$ 的所需時間。此即為半溫升時間， $t_{1/2}$ 。以試驗樣本厚度， L ，單位為m，以及半溫升時間， $t_{1/2}$ ，單位為s，計算求取熱擴散係數， α ，如下：

$$\alpha = 0.13879L^2/t_{1/2} \quad (1)$$

- 8.2 藉由計算熱擴散係數 α 比對是否在另外至少兩組數據形成的溫升曲線上，檢查實驗的有效性。方程式為：

$$A = k_x L^2/t_x \quad (2)$$

其中：

t_x = 溫升達到 ΔT_{\max} 的百分之 x 所需的時間。 k_x 值可在表3-14查到。

表 3-14 不同溫升百分比下的 k_x

x(%)	k_x	x(%)	k_x
10	0.066108	60	0.162236
20	0.084251	66.67	0.181067
25	0.092725	70	0.191874
30	0.101213	75	0.210493
33.33	0.106976	80	0.233200
40	0.118960	90	0.303520
50

8.1.1 在理想情況中，對不同x所計算出來的 α 值應該相同。若在 ΔT_{max} 的20、50與75%誤差在 $\pm 2\%$ 以內，則總體精準度可能在 $\pm 5\%$ 以內。

若 α 值超出範圍，則應該進一步分析響應曲線是否受到熱輻射損失、有限脈衝時間或加熱不均勻效應影響。

8.1.2 從試驗試體溫度與 $4t_{1/2}$ 後表面溫度響應，最容易判定熱輻射損失效應。建議的步驟為畫出 $\Delta T / \Delta T_{max}$ 對 $t/t_{1/2}$ 的曲線再與理論模型比較。一些理論模型的數值詳見表3-15。

表 3-15 理論模型標準化的溫度對時間值

$\Delta T / \Delta T_{max}$	$t/t_{1/2}$	$\Delta T / \Delta T_{max}$	$t/t_{1/2}$
0	0	0.7555	1.5331
0.0117	0.2920	0.7787	1.6061
0.1248	0.5110	0.7997	1.6791
0.1814	0.5840	0.8187	1.7521
0.2409	0.6570	0.8359	1.8251
0.3006	0.7300	0.8515	1.8981
0.3587	0.8030	0.8656	1.9711
0.4140	0.8760	0.8900	2.1171
0.4660	0.9490	0.9099	2.2631
0.5000	1.0000	0.9262	2.4091
0.5587	1.0951	0.9454	2.6281
0.5995	1.1681	0.9669	2.9931
0.6369	1.2411	0.9865	3.6502
0.6709	1.3141	0.9950	4.3802
0.7019	1.3871	0.9982	5.1102
0.7300	1.4601

8.1.3 標準化的實驗資料以及理論模型圖表可輕易地由一套電腦資料擷取系統完成，或者使用 $\Delta T / \Delta T_{max}$ 與 $t/t_{1/2}$ 表列值計算不同溫升百分比的對應實驗資料。所有標準化的實驗曲線必須通過 $\Delta T / \Delta T_{max}=0.5$ 以及 $t/t_{1/2}=1.0$ 的曲線。因此，

包括25%、35%以及65至80%範圍必須比較實驗資料與理論曲線。

8.1.4 輻射熱損失與有限脈衝時間效應都存在的實驗模擬理想情況的標準化圖表的例子在圖3-41、圖3-42與圖3-43當中顯示。一些特殊例子在8.2與8.3當中提供。

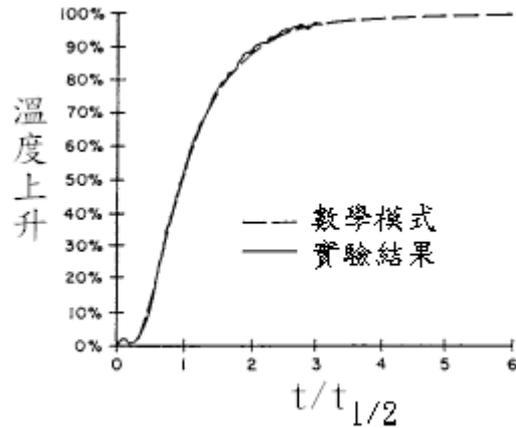


圖 3-41 無因次溫度響應曲線與數學模型的比較

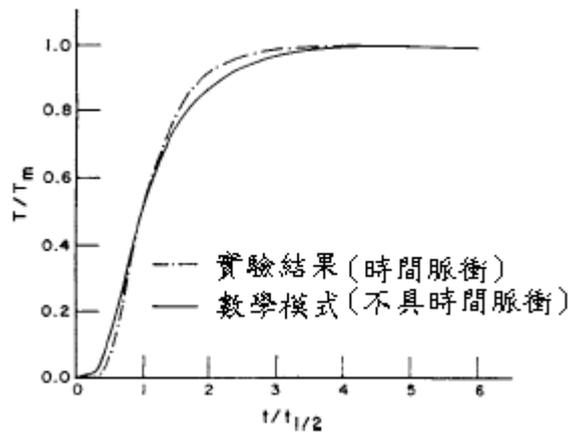


圖 3-42 標準化後表面溫升：數學模型(不具有限脈衝時間效應)與具有有限脈衝時間的實驗值比較

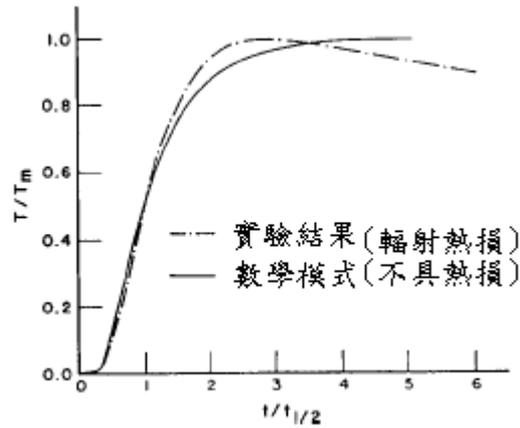


圖 3-43 標準化後表面溫升：數學模型(無熱損失)與具有輻射熱損失的實驗值比較

- 8.1.5 藉由恰當的選用試驗試體厚度，可減少修正。厚度增加時，有限脈衝時間效應降低，而熱損失隨著厚度的減少而降低。
- 8.1.6 不均勻加熱的效應亦導致實驗曲線偏離模型曲線，其原因為二維熱流的緣故。因為有許多種不均勻加熱的情況，所以有許多種誤差。中心過熱的情況非常接近輻射熱損失的情況。中心過冷的情況導致導致後面表面溫度在 $4t_{1/2}$ 以後仍持續明顯上升。不均勻的加熱可能導因於能量脈衝的自然特性或試驗樣本前端表面的不均勻吸收。前者可藉由變更能量來源而消除，而後者可藉由增加吸收層以及利用二階數學消除。
- 8.2 有限脈衝時間效應通常可以使用以下方程式做修正：

$$\alpha = K_1 L^2 / (K_2 t_x - \tau) \quad (3)$$

由於此結果為有效的，脈衝密度的發出必須以一個持續時間的三角形 τ 以及達到最大密度 $\beta \tau$ 表示，如圖3-44所示。

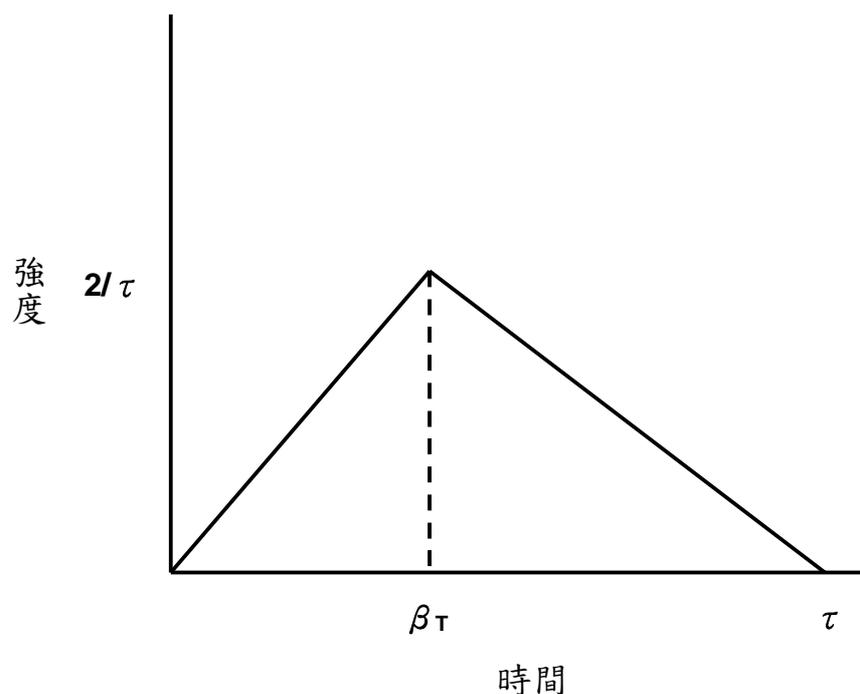


圖 3-44 雷射脈衝波形

雷射脈衝波形應該使用一個可偵測雷射脈衝的偵測器測定。由脈衝形狀可測定 β 以及 τ 。對應不同 b 值的兩個常數 K_1 及 K_2 表列在表 3-16，用於修正 $\alpha_{0.5}$ 。

表 3-16 有限脈衝時間因子

b	K_1	K_2
0.15	0.34844	2.5106
0.28	0.31550	2.2730
0.29	0.31110	2.2454
0.30	0.30648	2.2375
0.50	0.27057	1.9496

8.3 熱損失的修正可使用 8.3.1 及 8.3.2 的程序進行。這些修正都會受到不均勻加熱效應的影響。當中 8.3.1 的修正法除試驗試體表面的輻射熱損失之外，還受夾具的傳導熱損失影響。因此，修正程序中的誤差受到不同物理現象的影響而且兩種程序的修正熱擴散係數值的比較對於判定有無這些物理現象的存在是非常有用的。

8.3.1 測定淨升溫時間值的比值，其為實驗半溫升時間值的 5 倍與 10 倍對半溫升時間值的淨溫升值的比值。這些比值以 Δt_5 與 Δt_{10} 表示，如果無熱損則 $\Delta t_5 = \Delta t_{10} = 2.0$ 。5 倍與 10 倍半溫升時間的修正因子 (K_c) 由以下多項式擬合：

$$K_c = A + B(\Delta t) + C(\Delta t)^2 + D(\Delta t)^3 + E(\Delta t)^4 + F(\Delta t)^5 + G(\Delta t)^6 + H(\Delta t)^7 \quad (4)$$

其中：

係數 A 至 H 列於表 3-17，修正值計算的熱擴散率從下面的關係：

$$\alpha_{\text{修正}} = \alpha_{0.5} K_c / 0.13885 \quad (5)$$

其中：

$\alpha_{0.5}$ = 使用實驗半溫升時間的未修正熱擴散值。

表3-17 係數A至H

係數	5倍半溫升時間	10倍半溫升時間
A	-0.1037162	0.054825246
B	1.239040	0.16697761
C	-3.974433	-0.28603437
D	6.888738	0.28356337
E	-6.804883	-0.13403286
F	3.856663	0.024077586
G	-1.167799	0.0
H	0.1465332	0.0

8.3.2 對於 $t_{0.75}/t_{0.25}$ ，即達到75%除以達到25%的比值，其理想值為2.272。由實驗資料測定此比值。接下來由以下等式計算修正因子(K_R)：

$$K_R = -0.341467 + 0.361578(t_{0.75}/t_{0.25}) - 0.06520543(t_{0.75}/t_{0.25})^2 \quad (6)$$

半溫升時間的熱擴散係數的修正值為

$\alpha_{\text{修正}} = \alpha_{0.5} K_R / 0.13885$ 。亦可使用基於許多其他比值的修正法。

8.4 若測量時的溫度與測定試驗樣本厚度的地方不同，則須考慮線性熱膨脹效應的作用。若這些效應無法忽略，則計算每種溫度的試驗試體厚度並進行如上所述的平常測試。

8.5 可使用其它方法進行參數的估計，其提供詳細的來源的參考資料。

8.6 熱擴散係數的結果，連同比熱(C_p)與密度(ρ)值，可在許多情況當中用於推導出熱傳導係數(λ)，其根據關係式：

$$\lambda = \alpha C_p \rho$$

三、熱傳導熱流分析法 HFM (Heat Flow Meter)

HFM 熱流法熱傳導測試，是將一定尺寸之樣品夾於冷板與熱板之間，使熱流自熱板經過樣品流至冷板而計算出樣品的熱阻及熱傳導係數。適於隔熱材料測試。

1. 適用範圍：

- 1.1 此試驗涵蓋使用熱流計裝置量測平板試體的穩定狀態熱傳輸。
- 1.2 熱流計裝置是被廣為使用的因為它的概念相當簡單，快速，並且可應用在廣泛的試體上。如果在熱流範圍內要執行校正的話，熱流計的精度和偏差非常好。此意味著校正將對於有著類似熱傳導性的、類似厚度、平均溫度和溫度梯度的類似材料做為試驗試體而執行者。
- 1.3 這是一個相對的或次要的量測方法，因為已知熱傳導特性的試體將被用來作為校正裝置用。校正是漸得特性必須可追溯至一個絕對量測的方法。校正試體應該自一個認可的國家標準實驗室取得。
- 1.4 熱流計裝置經由試體在兩個平行版間在恆量但不同溫度建立了穩定狀態一維熱通量。以適當的熱通量轉換器以標準校正並量測板溫度和分離來校正。傅立葉熱傳導定律被用來校正傳導性和抗熱性或熱阻性及熱傳導性。
- 1.5 此試驗方法是應用在量測廣泛的試體性質和環境條件的熱傳導。此方法被用在周遭溫度為10至40°C，厚度為高達約250mm，且板子溫度為-195°C至540°C在25mm厚之下。
- 1.6 為符合此試驗方法對於試體抗熱性在熱流方向大於0.10 m²·K/W和邊緣熱損失可被控制的要求，就使用邊緣絕熱，或保溫，或者兩者。
- 1.7 在此種試驗方法嘗試要建立詳細的架構和程序並涵蓋所有對於無恰當技術知識的人會產生困難的偶然事件是不實際的。因此，此試驗方法的使用者要有足夠的知識以滿意地達成他們的需求。例如，熱轉移的知識、低階電器量測和一般試驗程序是必備的。
- 1.8 本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

- 2.1 此試驗提供一個快速決定熱絕緣和其他高度精確材料當裝置適當地校正時其穩定狀態熱傳性質的工具。
- 2.2 適當校正熱流計裝置需要使用已經預先決定熱傳輸特性試體來校正。

注意 1：校正裝置典型地需要，有著和試體類似熱傳導，厚度，平均溫度和溫度梯度的材料做試體。

- 2.3 對於給予材料或產品試體的熱傳輸特性可能因材料成份不同，濕度影響或其他條件，隨時間變化，隨平均溫度改變和溫度改變，以及依之前的熱歷史而改變。因此必須要確認選擇典型的熱傳輸特性值在特殊應用裡代表一個材料並應該基於這些因素的考量並且沒有修改將不能用在所有的條件上。
 - 2.3.1 譬如，此試驗方法提供熱性質將可以自未含濕氣的試體獲得，即使此操作條件並不實際。更基本的是此熱性質依賴許多變數，諸如平均溫度和溫度差。這些依賴性應該要量測或所作試驗要在典型的使用條件。
- 2.4 要特別注意試體顯示相當差異，異方性，堅固性或特別高或低抗熱流性者。當有熱架橋出現在試體可能會產生非常不可靠的結果時就要使用熱流計裝置。如果熱架橋出現請平行於熱流，所獲得的結果就可能無意義了。當在高或低溫週遭壓力高或低於大氣壓力，或在特殊週遭氣體為鈍氣或危險氣體時實行量測也可能需要特殊考量。
- 2.5 對於任一試驗為裝置設計，相關儀器，以及試體型態的函數，要決定其方法的精確度，但此試驗是能夠決定對於那些由試驗所決定的熱傳輸 $\pm 2\%$ 性質，當週遭溫度趨近試驗的平均溫度(T (環境) = T (平均) $\pm 1^\circ\text{C}$)，且在 10 至 40°C 範圍內。通常，熱流計裝置絕不會比做為主要標準的校正裝置來得好。
 - 2.5.1 當此試驗方法用來做為認證測試產品，此裝置必須具下列量測須求及遵守下列程序：
 - 2.5.1.1 量測系統需求-- 裝置量測系統將有下列能力：
 - 2.5.1.1.1 量測橫跨試體溫度差的不確定性將在實際溫度差的 $\pm 0.5\%$ 之內。
 - 2.5.1.1.2 量測到一個電壓精度好於最小輸出（自轉換器）的 0.2% 。
 - 2.5.1.1.3 足夠的線性以便系統提供所有輸出的誤差小於 0.2% 。
 - 2.5.1.1.4 足夠的輸入阻抗以便系統提供所有讀數誤差小於 0.1% 。
 - 2.5.1.1.5 足夠的穩定度以便系統提供校正期間，或 30 天，視那一個較長，的誤差小於 0.2% 。
 - 2.5.1.1.6 足夠的雜音免除以便在讀取時雜音小於 0.2% rms。

2.5.1.2 裝置將在檢定試驗 24 小時之前或後使用次要可追蹤的傳輸標準，或者校正標準查核其校正，他們的值已經由可追溯至國家標準或國際標準之校正實驗室在檢驗日前 5 年內建立者。兩個平均校正將被做為校正因子和以此平均值確認的試體。當校正因子改變大於 1% 時，標準試體將被重新試驗並計算新的平均值。如果校正因子改變仍大於 1%，此裝置將使用第 5 節的程序校正之。

2.5.1.3 其中短程及長程的裝置穩定度已經證明比 1% 的讀數好，此裝置就可以較低的頻率校正，不超過 30 天。這樣試驗的試體要等到隨後的試驗之後，然後僅只校正因子比前次校正式驗改變小於 1% 時才能被確認。當校正改變大於 1% 時，在此區間的試驗結果將被認為無效並依 2.5.1.1 重複試驗。

2.5.2 由熱流計裝置所做的量測的精確度（重複性）如第 5.6 節所校正者通常比平均值的 $\pm 1\%$ 來得好得多。此精確度是需要來確認校正改變並在品質控制應用上令人滿意的。

3. 用語釋義

3.2.1 校正—對於一個特定裝置使用已知熱傳輸性質試體校正做為建立校正因素的程序。

3.2.2 校正傳輸試體-- (CTS) 一個已經可追溯至國家標準或國際標準之校正實驗室量測過的熱傳導校正試體。

3.2.3 冷表面組合—所提供的平板在試體冷表面為等溫範圍。

3.2.4 受控制的環境—一個有些時候適用在裝置裡以限制其側面熱流的環境。

3.2.5 邊緣絕緣—使用來限制側面熱流的從屬絕緣，有時是用久固定在裝置裡的。

3.2.6 防護—促進一維的熱流。主要防護是平面的，可以額外的共面防護且次要或邊緣防護為軸向的。

3.2.7 熱流計裝置—完整的儀器組合包括熱和冷面同溫表面，熱通量轉換器，和受控制的環境（如使用的話），和指示熱和冷表面溫度，試體厚度和熱通量。

3.2.8 熱表面組合—所提供的平板在試體熱表面為等溫範圍。

3.2.9 熱通量轉換器—一個包含溫差電錐，或等同，會產生一個熱通量通過他的輸出之裝置。表量測範圍通常包含一些不同的連接的溫度感應器放在每一個核心表面和片狀表面以保護

組套件。一個適當設計的轉換器將具有敏感度其主要獨立於試體熱性質之外。

- 3.2.10 表量測範圍—試體接觸熱通向轉換器的取測範圍。
- 3.2.11 次要傳輸標準—一個已經在熱流計裝置裡量測的試體，其已經用主標準校正過並用來校正其他裝置。
- 3.2.12 敏感度—熱通量通過轉換器至熱通量轉換器電器輸出的比例。
- 3.2.13 標準參照材料 (SRM)—許多已經被可追溯至國家標準或國際標準之校正實驗室歸類的材料特性。
- 3.2.14 熱傳輸性質—那些定義傳輸熱的材料或系統性質。
- 3.3 符號和單位—使用在試驗方法符號而去有下列特質：
 - 3.3.1 λ —熱傳導性， $W/(m \cdot K)$ 。
 - 3.3.2 C —熱傳導， $W/(m^2 \cdot K)$ 。
 - 3.3.3 R —熱阻抗， $(m^2 \cdot K)/W$ 。
 - 3.3.4 q —熱通量 (熱流率， Q ，通過面積 A)， W/m^2 。
 - 3.3.5 Q —在量測面積的熱流率， W 。
 - 3.3.6 A —量測面積， m^2 。
 - 3.3.7 L —試驗中熱和冷板間的分隔， m 。
 - 3.3.8 T_m —平均溫度， $(T_h + T_c)/2$ ， K 。
 - 3.3.9 ΔT —橫跨試體的溫度差， K 。
 - 3.3.10 ρ —(體積)試驗材料的密度， kg/m^3 。
 - 3.3.11 S —熱通量轉換器之校正因子， $(W/m^2)/V$ 。
 - 3.3.12 E —熱通量轉換器輸出， V 。
 - 3.3.13 T_h —熱板表面溫度， K 。
 - 3.3.14 T_c —冷板表面溫度， K 。

3.4 下標：

- 3.4.1 h —熱。
- 3.4.2 c —冷。
- 3.4.3 a, b —第1和第2試體。
- 3.4.4 m —平均。
- 3.4.5 α —用在定義重要程度的統計名稱。

4. 試驗裝置

4.1 使用者應該要瞭解此試驗方法有關此節所給予的結構指南。然而當建造裝置時一定要小心遵循這些細節，相信使用者會去驗證儀器如規格。此疏忽將會導致量測上嚴重的錯誤。

4.2 一般

4.2.1 熱流計裝置與試體或裝著試體者的一般特色如在第5節中所述並如圖 3-45 所示。一個熱流計裝置包含 2 個等溫板組

件，一或多個熱通量轉換器和儀器在有需要時以控制環境條件。如果是使用此試驗所說的限制範圍內的話，每個調校將產生相同的結果。

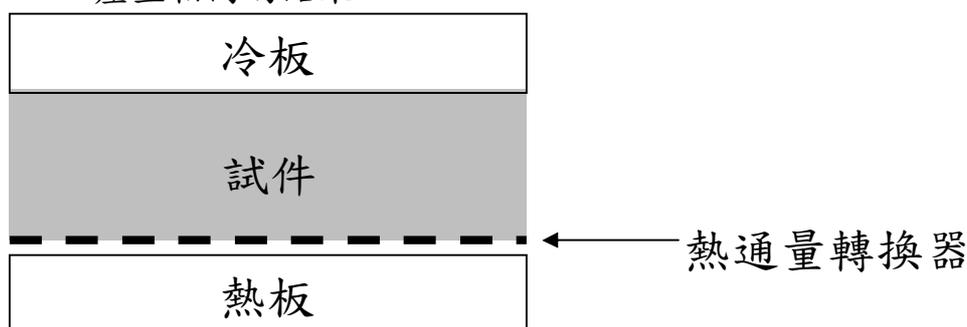


圖 3-45 一個熱通量轉換器與一試體之裝置

4.2.2 進一步設計考量諸如平板平面的處理，平坦度和平行度，所需溫度及量測系統需求。

5. 校正

5.1 熱流計裝置的校正是極為關鍵的操作。由於橫向熱損失或熱增益未自動控制或排除，但僅只用增加防護區和邊緣絕緣來減少，這並不保證熱損失或增益在試驗條件上是可忽略的。要確保儀器對於不同抗熱的試體操作得當，此裝置將要用具有類似熱特性和厚度的材料來校正評估。此裝置將以那些試體，其主要 CTS 或 SRM，或次要轉換標準被歸類為在相同方向有相同指向性和熱通量，如知道的話，來校正。被選定為校正標準的材料將具有不因所關心的校正參數範圍回送（對流）（溫度差，厚度，密度等等）而影響的特性。此裝置將被校正為一個裝有熱通量轉換器的單元。

5.2 此程序應用在熱流計裝置在光飯範圍的熱流率校正溫度，它允許了許多絕緣材料在延伸的溫度範圍內的試驗。

5.3 下列校正程序用來計算校正因子，S 為熱流計裝置，並且必須是任何人想要從熱流計裝置做出有意義的熱通量量測都可以。

5.4 校正標準

5.4.1 如果小心處理的話，校正標準可以延用許多年，但將要定期檢驗以確認沒有改變。

5.4.2 建議獲自可追溯至國家標準或國際標準之校正實驗室的主標準應以每日的基準來使用，但次要或工作標準件應該要建立。以下列資訊建立一個次要標準的紀錄。

5.4.2.1 可追蹤的國家實驗室名稱。

5.4.2.2 次要標準產生日期。

- 5.4.2.3 次要標準最近試驗日期。
 - 5.4.2.4 校正時熱通量方向。
 - 5.4.2.5 次要標準的熱力值。
 - 5.4.2.6 驗證參數範圍。
 - 5.4.2.7 主要和次要標準估計偏差。
- 5.5 校正程序
- 5.5.1 在相同平板溫度，溫度梯度，試體厚度，熱流方向和裝置指向性的條件下校正熱流計裝置即如那些數據是從標準所獲得一般。
 - 5.5.2 單一溫度點—如果校正標準是在單一平均溫度試驗，執行校正和隨後的試驗要靠近同樣的平均溫度。使用工程判斷或錯誤分析來決定此平均溫度必須維持在多靠近。校正標準對於校正條件敏感度的評估應該由要決定使用極限的傳輸標準使用者來決定。
 - 5.5.3 多重溫度點—如果校正標準是在三個或多個平均溫度試驗，使用相同的溫度梯度在相同的溫度下校正熱流計裝置。這些點可以通過一個平滑曲線以便校正因子可以適用於任何給予的平均溫度。但不允許推斷校正標準量測平均溫度範圍之上或之下者。改變熱流計裝置的平板溫度可能會改變裝置校正。當改變平板溫度，逐步決定之如果熱通量轉換器校正因子已改變的話。
 - 5.5.4 單一厚度點—如果原來的校正標準件是僅在一個厚度試驗者，熱流計裝置可以針對該厚度校正而無須徹底的厚度研究。如果試驗是在校正厚度之外的厚度執行的話，就要在其他厚度做一個徹底的熱流計裝置誤差研究。
 - 5.5.5 多重厚度點—如果原來的標準是在 3 點或更多點試驗的話，熱流裝置可以在同樣的厚度範圍內校正。這些點可以通過一個平滑曲線以便校正因子可以適用於任何給予的厚度。如果試驗是在校正厚度低的厚度執行的話，就要在這些厚度做一個徹底的熱流計裝置誤差研究。
- 5.6 對不同的設計做校正
- 5.6.1 有許多熱流裝置的調校使用一或二個熱通量轉換器以及在裝置內有一或二個試體。然而，列出裝置和試體條件的所有可能的組合是不實際的，此節包含計算 3 個一般裝置校正因子的方程式。校正和調校是試驗應該要相同。熱流計裝置的調校因子決定於操作同樣的標準數次，非連續地，但在一段時間內每次移除標準。
 - 5.6.2 一個校正標準—裝置有一個熱通量轉換器和一個標準（見

圖 3-45)。

$$S=C(T_h-T_c)/E \quad (1)$$

5.6.3 2 個校正標準—裝置有一個熱通量轉換器和一個試體調校。(同 5.6.2 所需)。

5.6.3.1 2 個校正標準要相同的厚度和類似的材料但不需完全相同。用下列的方程式，就不需要知道每一個校正標準的熱傳導，但是需要知道 2 個標準的平均熱傳導：

$$S = \frac{C_a + C_b}{\left(\frac{E_a}{(T_{ha} - T_{ca})} + \frac{E_b}{(T_{hb} - T_{cb})} \right)} \quad (2)$$

5.6.3.2 2 個校正標準—裝置有一個熱通量轉換器和兩個試體(見圖 3-46)。

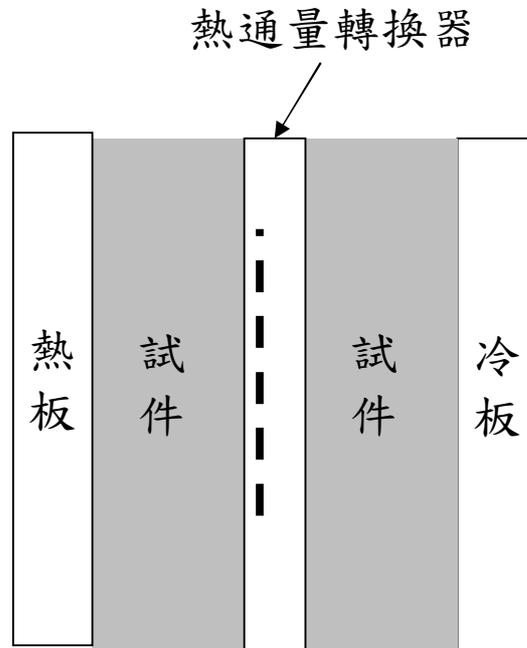


圖 3-46 一個熱通量轉換器與兩試體之裝置

5.6.3.3 相同地，校正標準要相同的厚度和類似的材料但不需完全相同。

$$S = \frac{C_a + C_b}{E \left(\frac{1}{(T_{ha} - T_{ca})} + \frac{1}{(T_{hb} - T_{cb})} \right)} \quad (3)$$

5.6.4 一個校正標準—裝置有兩個熱通量轉換器和一個試體(見圖 3-47)。

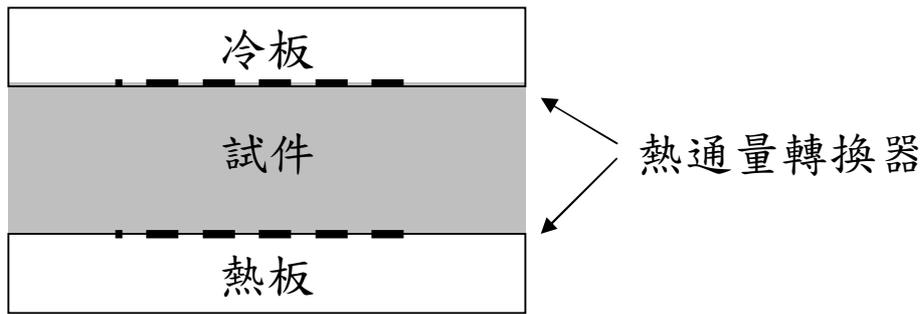


圖 3-47 兩個熱通量轉換器與一試體之裝置

- 5.6.4.1 假設兩個轉換器實際上相同並且輸出類似，可以把兩個轉換器的輸出加起來然後校正一個單一轉換器裝置。這樣的話，保持平均溫度讓平板溫度等於那些使用在試驗的標準就很重要。每一個轉換器保持在穩定狀態是首要的。

$$S = \frac{C(T_h - T_c)}{(E_1 + E_2)} \quad (4)$$

- 5.6.4.2 在那些多重轉換器的情形中。
- 5.6.4.3 替代方案，每一熱通量轉換器可以如 5.6.1 校正為獨立的裝置。

6. 試驗程序

- 6.1 前言—此試驗方法相對地簡單會導致人們忽略很重要的因素而影響結果。要確保精確的量測，在操作儀器時將會完整地指導操作者。並且，儀器將用具有類似熱轉移特性的參考材料來做適當的校正，且需要準備適當的試體做為評估。

6.2 取樣與準備試體：

- 6.2.1 試驗試體— 可以使用一或兩個試體，依試驗所選定的調校而定。其中使用了兩個將自結構，厚度和密度本質相同材料中選取。
- 6.2.2 試體的選擇— 試體大小必須能涵蓋平板組件表面並要和實際使用的厚度相同或足以代表所使用材料的平均值。如果沒有足夠的材料，則試體將至少要涵蓋可量測範圍，並且平板剩下的其它區域必須盡可能用相近熱傳導性的材料遮罩。

- 6.3 試體前置處理— 最好的試體選擇的細節和前置處理如材料規格中所述。其中此規格未被提及，試體準備將依不能暴露在會反向改變試體的溫度之材料需求而執行。
- 典型地，材料規格需要試體在 22°C (72°F) 和 50% R.H. 下前置處理一段時間直到觀察到 24 小時以上小於 1% 的質量變化為止。

- 6.4.6.4.1 當無材料規格時，使用下列指南：一般，試體表面應該要確保其平行度並且使用相似的計算來計算校正因子。和熱和冷板有均一的熱接觸。
- 6.4.2 可壓縮試體—未壓縮試體的表面可以相對地不平坦只要表面波浪在試驗壓縮下移除即可。平板試體表面已達到較好的平板-試體接觸是需要的。如果表面熱傳導接觸空隙大於試體，可壓所者或用其他方式，所量測到的熱量將會大於沒有空隙時的熱通量。這對於較高溫度時輻射熱轉移在空隙處為主導的情形可能較經長的。對於可壓縮試體的量測，溫度感應器通常直接固定在平板表面。並且，平板間隔可能需要以便壓縮試體的量測。
- 6.4.3 實體的與高傳導試體—實體試體或高傳導試體的量測需要小心準備表面。首先，表面應該平坦並平行於熱流計的相同角度。如果試體具有抗熱性，箱對於試體-平板介面阻抗來得足夠高，溫度感應器固定在平板裡就已足夠。
- 6.5 試體的量測—
- 6.5.1 卷蓋和鋪蓋式材料—當指定後，如果在試體和等溫板之間可以維持好的接觸的話。並且，高度建議在實際試驗時量取厚度。在做試驗結論時，可量測區內的密度就要決定。
- 6.5.2 鬆散材料—這些材料在可量測區內量測密度仍然是很關鍵的。
- 6.6 試體厚度的限制—
- 6.6.1 一般合併試體厚度，熱通量轉換器和任何阻尼材料，全部相等於冷熱板之間的距離，必須限制以便限制量測的邊緣損失。此外邊緣損失也被邊緣絕緣和周遭溫度影響，因此這兩個參數也需要符合。
- 6.6.2 熱和冷板之間的最大間隔—試驗中熱和冷板間最大可允許距離和熱通量轉換器的尺寸，可量測區，平板組件大小，熱流計裝置的結構，和試體性質有關。沒有適當的理論分析可供預測最大可允許的試體厚度。可以使用對於類似大小護熱板的分析結果做為指引。
- 6.7 量測程序：
- 6.7.1 溫度差—對任何試驗，在橫跨試體上做不超過 10 K 的溫度差。對於預計有大的抗熱性的試體，在試體上建議用較大的溫度差實際溫度差或梯度最好指定在材料規格內或相關當事人的合約中。
- 6.7.2 邊緣絕緣—含入試體邊緣熱絕緣已減少邊緣熱損失至一個可接受的程度，如果此邊緣絕緣不是建立給裝置的。

6.7.3 設定時間和量測間隔—觀察紀錄驗證等熱的存在，熱通量轉換器輸出，是建平均溫度，橫跨試體的溫度降，並計算 λ 值。觀察一個至少為 10 分鐘的時間間隔直到 5 個連續觀察產生熱傳導值並此 5 個讀數平均值的 1/2% 以內。如果這 5 個讀數呈現一個擔跳性的增加或減少趨勢就未達到等溫。這樣的話，將要採取另外的讀取。如果經驗顯示會使用較短的時間間隔，則遵循同樣的基準以達穩定。對於高密度試體 ($\rho > 40 \text{ kg/m}^3$) 或低傳導性試體 ($C < 0.05 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$)，讀數的時間可能必須增加至 30 分鐘或更長。

7. 計算

7.1 質量的密度改變—當需要時，在試驗時計算乾試體的密度 ρ ，由於材料調質的質量改變，以及試驗時試體的質量改變。

7.1.1 鋪蓋或卷蓋試體的密度—已發現在量測區內量試驗件質量是很重要的。試體直接量測的區域將被切斷且在試驗後決定知，除非試體必須保留做進一步試驗。

7.2 一個試體的熱性質—當僅使用一個試體時，如下計算是漸得熱傳導：

$$C = S \cdot E / \Delta T \quad (5)$$

並且只要適用，計算熱傳導性如下：

$$\lambda = S \cdot E \cdot (L / \Delta T) \quad (6)$$

7.3 2 個試體的熱性質—當使用 2 個試體時，計算總傳導 C 如下：

$$C = S \cdot E / (\Delta T_a + \Delta T_b) \quad (7)$$

有一個因素，就是試體的平均熱傳導性將如下計算：

$$\lambda_{ave} = (S \cdot E / 2) \cdot (L_a + L_b) / (\Delta t_a + \Delta T_b) \quad (8)$$

其中下標參照 2 個試體。

7.4 2 個轉換器的熱性質—所有 7.2 和 7.3 應用在調校相關的方程式，假設 $S \cdot E$ 將以 $(S' \cdot E' + S'' \cdot E'') / 2$ 取代，其中上標分別參照第一和第二熱通量轉換器。

四、熱傳導保護熱板分析法 GHP (Guarded Hot Plate)

GHP 保護熱板法熱傳導測試，類似熱流法，並於樣品及冷、熱板四周設置加熱保護版確保熱流之流向。適於隔熱材料測試。

1. 適用範圍

1.1 本檢驗方法是制訂實驗室經由扁平的均質試體，當其表面與用加防護的熱板裝置來保持恆定溫度的固態、平行邊界接觸時測量穩定態熱流的標準。

1.2 基於此目的設計的檢驗裝置已稱為加防護的熱板裝置，且是

主要(或絕對)方法。

- 1.3 本檢驗方法設定建構與操作符合的加防護的熱板裝置所需的共通設計要求事項，含蓋多種裝置結構、檢驗條件與操作條件。符合本檢驗方法的詳細設計在本文件中並未提供，但需在此共通要求事項的限制下研發。
- 1.4 本檢驗方法包含單邊與雙邊的測量模式，允許分佈與線源的加防護的加熱板設計。
- 1.5 加防護的熱板裝置可以垂直熱流，或水平熱流操作；但使用者仍應小心，因如試體內會發生對流熱流時，從此兩個方向所得的檢驗結果會有差異。
- 1.6 雖然以加防護的熱板能測得的檢體傳導性並未提供明確的上限值，但基於實用的理由，檢體的傳導性應低於 $16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 。
- 1.7 本檢驗方法可用來測量多種試體，範圍從不透明的固體，到多孔性或透明材質，及多種環境條件，包括於極溫下及各種氣體與壓力下進行的測量。
- 1.8 熱流方向常見的異質性，例如分層結構可以本檢驗方法成功評估；但檢驗在熱流方向具異質性的試體，例如具溫度橋的絕緣系統，會產生具位置特異性的結果，且不可試圖以此類裝置測量。
- 1.9 為了確保有預期的精密度與準確度，採用本標準者需具有溫度測量與檢驗規範的要求，及與隔熱材質與系統有關的熱傳送理論的知識。詳細的操作程序，包括設計體系圖與電力圖，對各種裝置均應取得以確保檢驗有依本檢驗方法進行。此外，接於裝置上的自動數據收集與處理系統的準確度需加以確效，此可以校準及輸入與其相關的已知結果的數據組至電腦程式來完成。
- 1.10 對此類檢驗方法制訂詳細的設計與結構，及詳細的程序來含蓋對有關熱流理論、溫度測量及一般檢驗規範無技術知識者會造成困難的所有偶發事件並不實際。使用者在修復或修改裝置、成為設計師或建構者時會發現所需的基本知識及審慎的實驗技術會愈高。本檢驗方法標準化的用意並非對新的或經改正的裝置或程序的日後研發設限。
- 1.11 本檢驗方法允許採用多種裝置設計與設計準確度，以滿足特定測量問題的要求事項。符合本檢驗方法在報告中應具有陳述每個變數的不確定性的聲明。於報告中應納入重大錯誤因子的論述。
- 1.12 以國際標準單位標示的量值視為標準量值。
- 1.13 本試驗法不會詳述所有安全考量，本試驗使用者在使用此標

準前，必須負責建立此標準的安全衛生規定並在使用前決定使用上的管理限制。

2. 試驗方法摘要

- 2.1 圖3-48說明理想化系統的主要元件：兩個等溫冷表面組，及一個加防護的熱板。此加防護的熱板是以明確的隔離或隙縫，與同中央的主要防護設施隔離熱量的待測段落所組成。一些裝置可能具有一個以上的防護設施，待檢驗試體是如圖3-48所示方式，像三明治般置於這些機組之間。在雙邊測量模式中，試體實際上是由兩片所組成，此時測量所得的結果是兩片的平均值，所以重要的是兩片試體應置於同等靠近。

環境控制箱

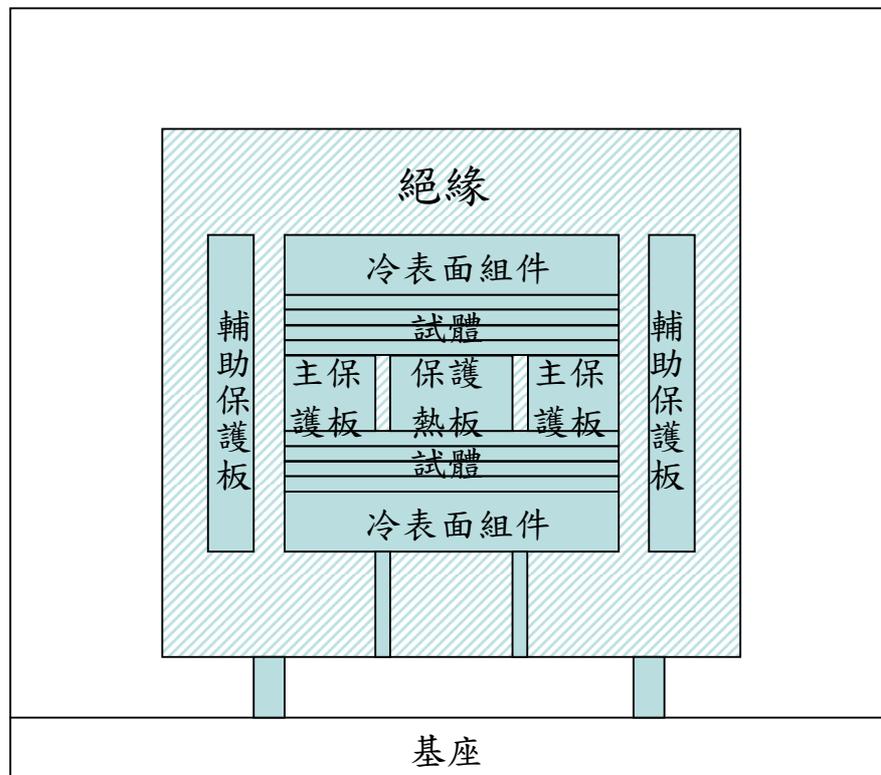


圖3-48加防護的熱板裝置的機械元件的一般排列

- 2.1.1 加防護的熱板提供測量的能力(每單位時間的熱流)，及界定實際的檢驗量，亦即試體實際測量的部分。加防護的熱板裝置中主防護設施，及其他共平面防護設施的功能是在檢驗量內提供適當的熱能條件，以降低裝置內的側面熱流。正確(理想化)的條件如圖3-48以等溫表面，及試體內恆定的熱流線所示。
- 2.1.2 與理想化組態的差異是因下列因素所造成：試體的不均質性、待測段落與防護設施間的溫差(隙縫失衡)、及裝置組外緣與周遭控制環境間的溫差(邊緣失衡)。這些實驗的事

實導致熱流的量值過低或過高，因為供應至待測段落的熱能，實際上並不等於在待測段落中流經檢體的熱能。所得的定性熱流如圖3-49所示。

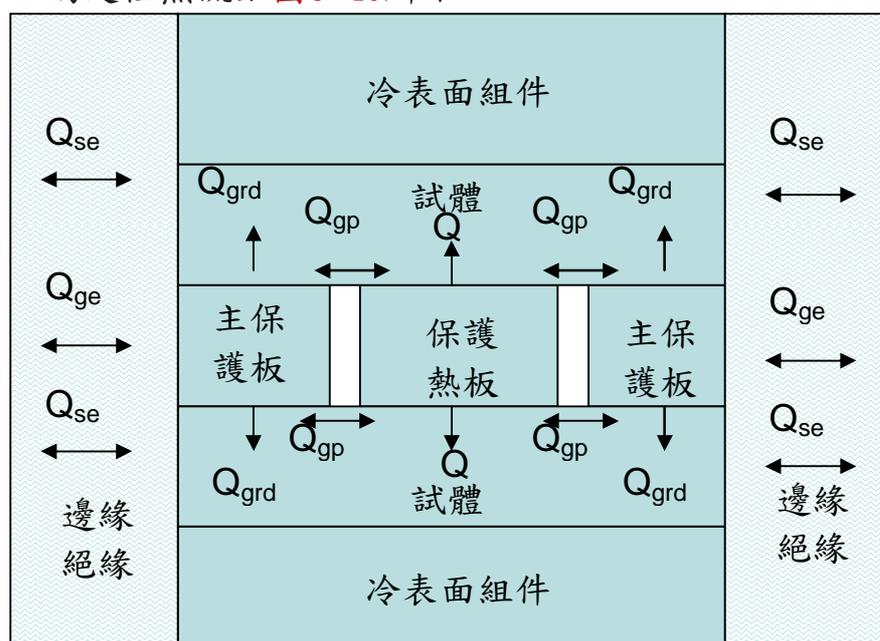


圖 3-49 加防護的熱板裝置內熱流之圖示

2.2 三個加熱/冷卻組是設計來使試體待測段落內的各面形成等熱表面。兩個指定為冷表面組的表面，在雙邊操作模式時調整成相同溫度。實際上，因為各板及試體是有限的尺寸，且因外部控制環境常與待測段落的邊緣具有溫差，所以會形成一些側面熱流。加防護的熱板的主防護設施可限制待測段落的側面熱流的強度。主防護設施的效度部分是由其側面尺寸對待測段落的尺寸的比例，及試體的厚度所決定。

2.3 欲符合本檢驗方法需：形成穩定態的條件，及能測量待測段落的單向熱流 Q 、待測段落的面積 A 、跨越試體的溫度梯度，以熱表面的溫度 T_h ，及冷表面的溫度 T_c 來表示(或等於兩個表面間的溫度 T)、每個試體的厚度 L_1 與 L_2 、及待測段落與主防護設施間的防護平衡。

3. 用語釋義

3.1 輔助冷表面組—係指於輔助隔熱物的外表面提供等溫邊界的板。

3.2 輔助隔熱物—係指在採用單邊操作模式時，置於熱表面組背面，以代替第二檢驗試體的隔熱物(與背流檢體同義)。

3.3 冷表面組—係指於待檢試體的冷表面提供等溫邊界的板。

3.4 控制環境—係指裝置操作的環境。

3.5 保護—係指促使單向熱流的保護設施，主保護設施為平面的保

護設施，可使用額外的共平面榜護設施，且次保護設施或邊緣保護設施需是軸向的保護設施。

- 3.6 保護熱板裝置—係指包含一個熱表面組及兩個等溫度冷表面組的裝置組。
- 3.7 防護熱板—係指熱表面組中提供熱輸入量至檢體待測段落的內板(長方形或圓形)。
- 3.8 熱表面/組—係指提供熱量至試體，及保護待測段落的整個中心組。
- 3.9 待測段落—係指在理想的防護情況下，經由熱量輸入至加保護熱板流的試體(或輔助隔熱物)的待檢驗部分。
- 3.10 雙邊模式—係指保護熱板裝置檢驗兩個試體，分別置於熱表面組兩端的操作。
- 3.11 單邊模式—係指保護熱板裝置檢驗一個試體，置於熱表面組一端的操作。
- 3.12 熱傳遞性質—係指某材質或系統用來界定其傳遞熱量能力的一些性質。
- 3.13 符號：符號—本試驗方法中所使用的各種符號具有下列重要性：
 - 3.13.1 ρ_m —係指試體待測段落的密度，單位為 kg/m^3 。
 - 3.13.2 ρ_s —係指試體的密度，單位為 kg/m^3 。
 - 3.13.3 λ —係指熱傳導，單位為 $\text{W}/(\text{mK})$ 。
 - 3.13.4 σ —係指Stefan-Boltzmann常數，單位為 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ 。
 - 3.13.5 A —係指對熱流正常的待測段落的面積，單位為 m^2 。
 - 3.13.6 A_g —係指待測段落與主防護設施間隙縫的面積，單位為 m^2 。
 - 3.13.7 A_m —係指實際待測段落的面積，單位為 m^2 。
 - 3.13.8 A_s —係指試體的總面積，單位為 m^2 。
 - 3.13.9 C —係指導熱度，單位為 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 。
 - 3.13.10 C_i —係指待測段落第*i*部分的比熱，單位為 $\text{J}/(\text{kgK})$ 。
 - 3.13.11 dT/dt —係指待測段落的可能或實際移動率，單位為 K/s 。
 - 3.13.12 λ_g —係指位於主保護區域的材質的熱傳導，單位為 $\text{W}/(\text{mK})$ 。
 - 3.13.13 L —係指試體的原位厚度，單位為 m 。
 - 3.13.14 m —係指試體待測段落的重量，單位為 kg 。
 - 3.13.15 m_i —係指第*i*部分的重量，單位為 kg 。
 - 3.13.16 m_s —係指試體的重量，單位為 kg 。
 - 3.13.17 Q —係指待測部分的熱流速率，單位為 W 。
 - 3.13.18 q —係指熱流(每單位面積的熱流速率)，單位為 W/m^2 。

- 3.13.19 Q_{ge} —係指主保護設施與控制環境間的側邊熱流速率，單位為W。
- 3.13.20 Q_{gp} —係指跨越隙縫的側邊熱流速率，單位為W。
- 3.13.21 Q_{grd} —係指防護設施通過檢體的熱流，單位為W。
- 3.13.22 Q_{se} —係指檢體與控制環境間的邊緣熱流，單位為W。
- 3.13.23 R —係指熱阻，單位為 m^2K/W 。
- 3.13.24 ΔT —係指跨越試體的溫差，等於 $T_h - T_c$ 。
- 3.13.25 T_c —係指冷表面的溫度，單位為K。
- 3.13.26 T_h —係指熱表面的溫度，單位為K。
- 3.13.27 T_m —係指平均溫度，單位為絕對溫度，等於 $(T_h + T_c)/2$ 。
- 3.13.27.1 論述—包含一個保護的加熱器的保護熱板裝置，提供測量通過隔熱材質的穩定態熱流量值的方法，包括一個中央測量區，及一個單獨的同中心的受熱保護設施，及在背面具一個大小類似的冷卻板。試體是置於加熱器板與冷卻板間的空間內進行檢驗。保護熱板可以單邊或雙編裝置操作。隔熱性質是以測量面積、輸入能量、溫度與厚度的量值來計算。能提供熱流的絕對量值的保護熱板已證實可在多種溫度條件下施行於多數隔熱材質上。

4. 試驗裝置

- 4.1 保護熱板裝置各機械元件的排列如圖3-48所示，包括由待測段落與主保護設施組成的熱表面組、兩個冷表面組、及以邊緣隔熱物型態的次保護設施—溫度控制的次保護設施、及通常具有一個環境室。圖3-48所示的一些元件在為室溫條件而設計的系統中會省略，但仍需有控制的實驗環境，邊緣隔熱物與次保護設施通常只在溫度比室溫高出 $\pm 10^\circ C$ 時採用。於室溫條件下，建議應有環境室以降低實驗室內空氣流動造成的影響，及有助於確保能保持乾燥的環境。
- 4.1.1 熱表面組的目的是產生通過試體的穩定態、單向熱流。邊緣隔熱物、次保護設施及環境室的目的是限制熱量從主保護設施的外緣流失。冷表面組是等熱的熱量槽，以移除加熱機組所產生的能量，冷表面組可調整，所以其溫度可以相同。
- 4.2 設計標準—在設計前應先制訂下列規格。會影響裝置設計，及在整個設計過程應納入考量的各項參數包括試體最大厚度、試體導熱性的範圍、熱表面與冷表面的溫度範圍、試體的特徵(亦即堅硬度、密度與硬度)、裝置的方向(垂直或水平熱

流)、及要求的準確度。

4.3 熱表面組—熱表面組是由中央待測段落及主保護設施組成。待測段落是由如三明治般置於各待測段落表面板間的待測段落加熱器所組成。主保護設施是由如三明治般置於各主保護表面板間的一個或多個保護加熱器所組成。待測段落與主保護設施的熱能，應以位於各段落間的物理空間或隙縫來隔離。注意1—在某些情況下，主保護設施會進一步分為兩個同中心的區段(雙重保護設施)，並具有隙縫分離器來改善保護的效度。

4.3.1 要求事項—熱表面組的設計與建構，在操作時應符合下列的最低要求。

4.3.1.1 於操作時與任何表面板平面的分開度，不可超過待測段落的線性尺寸的0.025 %。

注意2—表面的平面可用金屬直邊握持物對表面進行檢查，並於直緣後方放置光源來看有無擦傷。小至2.5 μm 的偏離可立即看到，且大的偏移可用厚度計或薄紙測量。

4.3.1.2 待測段落表面板與主保護表面板間的平均溫差不可超過0.2K。此外，於側面方向跨越任何表面板的溫差，應低於加諸於跨越試體的溫差的2%。

注意3—當評定裝置的資格時，應將其他的溫度感應器置於待測段落與主防護設施的表面板上，以確認其符合第4.3.1.2.節的要求。

4.3.1.3 待測段落與主保護表面板與待檢驗試體接觸的表面應加以處理，使整個半球放射率保持高於整個操作條件範圍的0.8。

注意4—於高溫時鄰近試體表面的高放射率的重要性不可過度強調，因為對許多材質來說，當溫度升高時幅射的熱能轉移會變得明顯。

4.3.1.4 待測段落與主保護表面板，在裝置操作時應保持平面，請見第4.3.1.1.節。

4.3.2 材質—建構熱表面組所採用的材質，應在考量下列材質性質標準後審慎選擇。

4.3.2.1 溫度穩定性—加熱器與表面板選用的材質應是尺寸及化性穩定，且在施予夾力時能抗翹曲與變質的材質。於中度溫度下，包埋於矽內的電阻式加熱器已成功使用，於較高溫度下，已採用將加熱元件包埋在雲母板之間，或插入水泥核心內。於中度溫度下使用的熱表

面組的表面板是由銅及鋁製成。於較高溫度的應用時，則已使用高純度的鎳合金。

- 4.3.2.2 導熱性—為降低跨越待測與主保護表面板的側面溫差，這些板是由對操作溫度及環境條件具高導熱性的材質製成。於中度溫度應用時，銅與鋁是絕佳的選擇，於較高溫度時可考慮使用鎳、高純度的鋁或氮化鋁。這些是使用材質的範例，且操作者對選定材質的導熱性及對溫度的相關性應有充分的了解。
- 4.3.2.3 放射性—欲在預期範圍內取得一致及耐久的高表面放射性，應選擇表面板材質或適當的表面處理或兩者。於中度溫度應用時，可使用高放射性的漆料。鋁可加以電鍍，以提供所需的高放射性。於高溫應用時，大多數陶瓷本身便能符合此要求事項，但鎳表面板可用氧化物包覆方式處理。
- 4.3.2.4 溫度的一致性—選擇能供應待研究的試體導熱性範圍內所需熱流密度的加熱元件設計。加熱元件的設計也應考量加熱元件表面的熱流分佈。大多數裝置併入使用分佈電阻加熱元件，使能均勻分佈至待測段落與主保護設施。表面板與加熱元件應以一致的方式栓在一起，使能符合第4.3.1.2節敘明的溫差要求。將組成結構物栓在一起，已證實能符合要求。
- 4.3.2.5 可在加熱元件與表面板間插入隔離板(亦即裝上一個隙縫溫度失衡偵測器)。為符合第4.3.1.2節的要求事項，可將類似的板裝於加熱元件與相對表面板之間。
- 4.3.2.6 熱表面組的大小—第4.2節制訂的設計標準將決定裝置的大小。待測段落的大小應大至可使與待測段落接觸(從而可進行測量)的試體材質量，可視為能代表待檢驗的材質。
- 4.3.2.7 經由此設計決定待檢驗的試體最大厚度後，參照附件的試體理論最大厚度及相關誤差表中，有關可歸因於待測段落大小、主防護設施寬度及檢體厚度的誤差。注意5—主保護設施的寬度通常約等於待測段落線性尺寸的一半時，已證實能將邊緣熱量流失降低至可接受的程度。
- 4.3.2.8 熱容—熱表面組的熱容會影響達成溫度平衡所需的時間。選擇低比熱的材質可增強裝置的反應。需審慎考量表面板的厚度，厚板有助於降低側面溫度分佈，但會使反應降低，這些要求間需加以平衡。

- 4.4. 隙縫—待測段落與主保護設施應以隙縫加以實質區隔。隙縫可對熱表面組的這些段落間提供側面熱阻。表面板平面上隙縫的面積不可大於待測段落面積的5%。
 - 4.4.1 來自待測段落與主保護加熱元件的加熱器線圈，應設計成能使隙縫周邊產生一致的溫度。
 - 4.4.2 待測段落的面積應與環繞此面積的隙縫中央的量值來決定，否則應採詳細的計算或測試來更精確的定義此面積。
 - 4.4.3 待測段落與主保護設施間的任何連接，應設計成能降低通過隙縫的熱流。如採用機械方式來符合第4.3.1.4.節的要求，這些連接物應以具高熱阻的材質製成。與隙縫交叉的儀器或加熱器接頭，應以細線製成，且以斜角穿過隙縫。
 - 4.4.4 隙縫可以纖維隔熱物充填，此方式已證實能保持待測段落與主保護設施表面板的平面。此規範於高溫應用時的另一項優點是此緻密包裝的隔離物可降低通過隙縫空間的熱量。
- 4.5 冷表面組—冷表面組是由單個溫度控制段落所組成，且包含包埋在冷表面板與熱槽間的冷表面加熱器。建議冷表面組的尺寸應等於包含主防護設施的熱表面組的尺寸。冷表面組可以隙縫來建構，使裝置的操作易受邊緣流失效應所影響。此設計是理想的設計，但冷表面組傳統上是以無隙縫來建構，且獲得極度的成功。

注意6—冷表面組的溫度可以溫度控制浴來維持，此時則無需安裝冷表面加熱器。此時應注意溫度控制浴的流速需足以符合第4.3.1.2節及第4.5.1.節敘明的溫度一致性的要求。

 - 4.5.1 要求事項—冷表面組的設計與建構應符合第4.3.1節所述的所有要求事項，除非冷表面組只有一個表面板會與待檢驗試體接觸，則無需遵守敘明表面板間溫差的要求事項。
 - 4.5.2 材質—建構冷表面組應採用的材質選擇標準，與熱表面組相同，且這些標準列於第4.3.2節。
 - 4.5.3 高溫操作—當冷表面將於高溫下操作時，需將數個薄板差至熱槽與冷表面加熱器之間。加入這些隔熱板將可降低冷表面加熱器的能量需求，及延長裝置的服務壽命。
- 4.6 額外的邊緣流失保護—與待檢驗試體的單向熱流的差異，是因熱表面組與試體的邊緣為非隔熱情況所造成。當裝置是於非周邊溫度的其他溫度下使用時，此差異會大幅增加。當保護熱板裝置是在與周邊溫度相差10°C的溫度下操作時，裝置應配上其他元件來降低邊緣流失。這些元件將於下列各節加以描述，且如無法降低邊緣流失時應採用。

注意7—其他評估邊緣隔熱是否需接於位於試體外緣中間高度處的溫度感應器的方式。如邊緣溫度 T_e 符合下列要求事項時，需有足夠的邊緣隔熱。

$$(T_e - T_m) / \Delta T < 0.05 \quad (1)$$

4.6.1 次保護設施—為降低保護熱板的邊緣與環境間的熱量交換，保護熱板應配上稱為次保護設施的同軸溫度控制容器。次保護設施可用來將周邊溫度調整為待檢驗試體的平均溫度。

4.6.1.1 大小一次保護設施的內部尺寸至少應於熱表面加熱器尺寸的兩倍，且高度應等於熱表面加熱器的厚度加待檢驗最厚試體厚度的兩倍。

4.6.1.2 材質—建構次保護設施所採用的材質，不如建構熱與冷表面組所選用的材質同等重要，但在次保護設施設計時所採用的材質應加以選擇，使其在超過預期溫度時是熱穩定的，加熱元件要能產生必需的熱流密度來調整周邊溫度，且如裝置是於低於實驗室周邊溫度的溫度下使用時，需有冷卻次保護設施的方法。建議建構次保護設施時採用高導熱性的金屬，因次保護設施應是等熱。

注意8—成功的次保護設施設計包含加外鞘的加熱器線圈，或纏繞於足夠大小的金屬管的電線，並以另一個金屬板按住金屬管。於低溫操作時，冷卻線圈已纏繞在次保護設施的外表面。

4.6.1.3 位置一次保護設施應置於熱表面組附近，使在各元件間形成一致的空間。次保護設施的高度應加以調整，使其中間高度與熱表面組厚度的中央對齊。

4.6.2 邊緣隔熱—熱與冷表面組、檢體與次保護設施間的空間，應以隔熱材質充填。因此空間形狀的複雜性，建議使用粉末或纖維式隔熱物。

4.6.2.1 邊緣隔熱材質的選擇，將依檢驗情況而定。蛭石雖容易使用，但在溫度高於 540°C 時不可使用，因其熱導性會隨溫度大幅增加。

注意9—當加保護的熱板是用來評估於不同氣態環境下的試體時，應避免使用蛭石，因蛭石極度吸濕，且在使用蛭石時系統很難排空。

注意10—應小心以確保在保護熱板上或附近不會發生幅射熱轉移的空隙或其他來源。

4.6.3 圍場—當裝置是用來保持與實驗室周邊環境不同的氣態

環境時，保護熱板應置於圍場內。

4.6.3.1於低溫操作時，應採用乾燥的氣態環境，以避免在冷表面組與試體上發生凝結。

4.6.3.3圍場也可用來取代各種氣態環境，及控制周邊壓力。

4.7夾力—應提供能加諸能再現的恆定夾力於保護熱板上，以促使熱與冷表面組及試體間有良好熱接觸，及使熱與冷表面組間保持準確空間的方式。大多數隔熱材質不可能需大於2.5kPa的力。對可壓縮的材質無需固定的壓力安排，且各板間需有墊寬器以保持固定厚度。

4.7.1可以固定力的彈簧或等同的方法，加諸可互推冷表面的穩定力。

4.7.2對於可壓縮的試體，如無法用其他方式測量檢驗厚度時，需使用墊寬器。墊寬器的橫切面需小，且應置於主保護設施的外圍附近。避免將墊寬器置於使用感應器來測量板的條件的表面。

注意11—因試體厚度可能因溫度暴露的結果，或因板的壓縮而改變，所以建議試體厚度是在裝置內，於目前的檢驗溫度及壓縮情況下測量。計量點，或測量沿著冷表面組外圍的立柱可提供此類測量。當試體置於裝置內且不在適當位置時，有效的總和試體厚度是用各計量點間距離的平均差來決定。

4.8溫度之測量：

4.8.1失衡偵測器—應提供適當的方式來偵測待測段落表面板與主保護設施間的平均溫度失衡。

4.8.1.1感應器—於隙縫區域應安裝溫度感應器來監測與控制通過隙縫的平均溫度失衡。以溫差電堆連接的細尺寸熱偶基於此目的常使用，但也已使用電熱調節器等溫度控制感應器。應使用高合金的熱偶，而非純金屬來增大通過隙縫的熱阻。因為表面板內不一致的熱通量，隙縫周邊的溫度失衡並非永遠固定。已發現通過隙縫的線圈的導熱性有正確的設計時可作的相對小，所以可用大量的熱偶來增強隙縫失衡的靈敏度，使用十個或更多的感應元件並不常見。

4.8.1.2靈敏度—偵測系統應足夠靈敏以確保待測性質因隙縫溫度失衡造成的變異，限制在不超過依實驗或分析而決定的待測段落能力的0.5%。

注意12—許多溫度感應器的靈敏度在低於實驗室周邊溫度的溫度下會大幅降低，所以在設計於這些情況下操作的溫差電堆測量系統時應特別小心。

- 4.8.1.3 位置—當沿著隙縫只使用最少數量的感應元件時，偵測方形板的平均平衡的最具代表性的位置，為距離角落處等於待測面積邊長四分之一處；而應避免置於角落及軸線處。對於圓形板，感應器應以相隔相同空間的方式置於隙縫周圍。
- 4.8.1.4 電力隔離的隙縫失衡感應器應置於保護加熱機組的兩個表面上，以平均加熱機組兩個面的失衡。
- 4.8.1.5 熱接點或其他靈敏元件應分別置於熱表面組的類似區域。建議所有的接點應置於直接鄰近加熱器線圈間的區域中央的點上。任何通過隙縫的導極應熱固定至主保護設施以提供來自外部熱能差異的熱槽。在某些情況下，預期可對這些位於主保護設施外部的導極提供熱槽，以降低放射熱流。
- 4.8.2 溫度感應器—處理適當準確度的各種方法，例如電熱調節器、熱偶、二極體及精密的耐溫度計可用來測量裝置的溫度。熱偶因其廣泛的應用性與準確度，所以是最普遍使用的偵測器。目標是測量試體內的溫度梯度，而選擇的方法應是在測量溫度梯度上準確度最高的方法。各種替代方案的論述請見第4.8.2.3節及4.8.2.4節。
- 4.8.2.1 熱偶的使用—使用時應小心以降低溫度控制及測量電流的偽電壓。因線圈不均質化所造成的偽電壓，通常在待測導極內的溫度梯度增強時會增加。基於相同的理由，相異金屬導極間的接點不可位於可認知的溫度梯度內。於溫度測量電路內應使用低溫emf開關。當在熱偶迴路內連接不同金屬的導極時，可使用以重金屬板製成的隔離的等溫箱。建議熱偶線圈與銅線的所有連接應在等溫箱內完成，使各接點有相同溫度，接著將銅線導極接至必需的切換器材或電壓計。
- 4.8.2.2 準確度—輸出量用來計算熱傳遞性質的熱偶，應以經校正的熱偶線，或由供應商證明的線製成。因感應器周圍的熱流的變化、感應器移動、及其他感應器特徵變質所造成的溫差所形成的誤差應低於1%。
- 4.8.2.3 連接方法—試體的表面溫度最常用固定裝載於切入試體內的溝內的熱偶來測量。因小心以確保熱偶是熱固定於待測表面。當試體與表面板間的接觸阻力，是試體熱阻的一小部分時應使用此方法。每邊上的熱與冷表面組板上的感應器有時是不同連接，以此方式裝載的熱偶，在大型裝置內線的直徑不可大於0.6mm，而在小型裝置內線

的直徑不可大於0.2mm。

注意13—採用熱偶的方法傳統上是用於周邊溫度條件下的可壓縮試體，及具有扁平表面，且熱阻高於 $0.2 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ 的堅硬試體。

注意14—對於不符合第4.8.2.2.節要求的試體，在接上溫度感應器時建議採用兩種技術。於試體表面切出小溝，並將熱偶固定在這些溝內。作為替代方式，可將熱偶安裝在試體表面上，並將由可壓縮的均質材質製成的薄板置於試體與表面板之間。於後者的情況下，應依第4.7節所述的方式施力，以確保有足夠的表面接觸。在這兩種應用上，熱偶不可由直徑大於0.2mm的線組成。

4.8.2.4 電力隔離—溫度感應器可與表面板在電力上完全隔離，或於一個位置接地至表面板。是以不同連接的熱偶只有一個接地接點。應實施運算或實驗確認，以證明其他電路不會影響溫度量值的準確度。

4.8.2.5 感應器的數量—待測面積內試體每邊的溫度感應器的數量不可低於 $10 \times \sqrt{A}$ 或2，視何者為大而定。

注意15—建議於待測段落的中央應放置一個溫度感應器，而其他的感應器根本上可一致性分佈。

4.9 厚度測量—應提供最好在裝置內測量試體厚度至0.5%內的方法。

4.10 待測段落電力測量—高度建議待測段落使用直流電。雖可使用交流電，但使用者應注意交流電的判定更易出現誤差。待測段落的電力是用電力計，或以跨越待測段落的電壓及電流量值來決定。應置入此測量的電壓分接頭，使能從隙縫的中點處測量電壓。電流可用一系列置於待測段落加熱器的精密電阻器的電壓降低值來決定。

4.11 電力測量系統—應使用靈敏度及準確度至少為 $\pm 0.1 \text{ K}$ 的測量系統，來測量所有溫度與溫差偵測器的輸出值。此系統應有足夠的靈敏度，能測量隙縫失衡至等於符合第4.8.1.2.節要求的失衡偵測器輸出值的1%。待測段落的電力測量應到整個操作範圍的0.2%內。

4.12 性能檢查—當新裝置服役或裝置已進行重大更新時，在開始進行例行檢驗前應進行一系列檢查。

4.12.1 平坦性—應測量每個表面板的平坦性，請參閱第4.3.1.1.節。

4.12.2 溫度測量—對安裝於裝置內的試體，供應冷表面組的冷卻劑應關閉，且無電力供應至於圍場外裝於裝置上的任何加熱器。使系統有足夠時間達到熱平衡。在無電力供應至裝置

時，注意所有溫度感應器的輸出值。溫度感應器應具有與第4.8.2.2.節所述不確定性一致的輸出值。失衡偵測迴路的輸出值應在電力測量系統的干擾程度內。

- 4.12.3 失衡偵測—決定符合第4.8.2.2.節所述要求中允許的最大失衡。對於以電力供應及正常操作的裝置，應注意試體的熱阻，及失衡偵測器在平衡時的輸出值。於各種失衡程度下重複進行檢驗。線性固定熱阻數據以作為偏差的函數。此關係式的斜率將界定於例行操作時許可的最大失衡偵測器輸出值。

注意16—需分析的偏差程度的次數，將依曲線符合的品質、數據組內以標準偏差的兩倍來界定時應低於第4.11節中界定的電力測量系統的干擾程度的散射程度而定。

- 4.12.4 邊緣熱量流失—當試體鄰近指定的最大厚度與熱阻時，邊緣熱量流失會造成最大的測量誤差。此系列的實驗將可決定需採何種邊緣流失策略，使邊緣流失能保持在本方法所述的程度內。

- 4.12.4.1 將試體安裝至鄰近前節所述的裝置限制內的裝置內，並依第4.6節所述方式安裝邊緣溫度感應器及試體。不可安裝第4.6節所述的任何元件來降低邊緣熱量流失。在進行檢驗前，確認試體平均溫度及邊緣溫度間在達成第4.6節要求的差異。加入額外的邊緣流失裝置元件（邊緣隔熱物、次保護設施、圍場），直至符合第4.6節的要求為止。這些實驗將界定應併入例行檢驗的邊緣流失所需程度。在極度的情況下，次保護設施可能需偏斜來符合這些要求事項，包括以這些偏斜作為例行檢驗程序的一部分。

- 4.12.5 表面板的放射性—表面的放射性可用檢驗空氣隙縫，且空氣隙縫的厚度限制在防止開始產生對流下進行實驗確認。每單位溫差的熱流速率是空氣導熱度及 $4\sigma T_m^3(2/\epsilon - 1)$ 的總和。每單位溫差的熱流速率的最相符點及空氣空間厚度的倒數提供空氣導熱度及 $4\sigma T_m^3(2/\epsilon - 1)$ 。從此圖可確認板的放射性。

- 4.12.6 整體設計之確效—當已成功完成其他各項檢查時，可開始對能追溯至國家標準組織的試體進行檢驗。這些檢驗應含蓋設計出裝置的溫度範圍。

5. 試體

- 5.1 試體之選擇—此節只考量對裝置性能重要的試體選擇因子。與試體的熱性質有關的各項因子，通常會在材質規格中描述。當

需2個試體時，應選擇厚度與熱特徵類似的試體。

- 5.1.1 厚度— 在特定準確度下可測量的試體最大厚度，依數個參數而定，包括裝置的大小、試體的熱阻、及所需的準確度。為使邊緣熱量流失保持在低於約0.5%，當保護設施的寬度為待測段落的線性尺寸的一半時，試體的建議最大厚度為待測段落的最大線性尺寸的三分之一。
- 5.1.2 大小— 試體的尺寸可行時應含蓋整個待測段落與保護面積。當樣本大小受限時，需含蓋保護熱板與主保護設施間的隙縫。加熱板與冷卻板間體積的保護部分，應用與試體有類似導熱特徵的材質充填。當試體具有高側面傳導性，例如緻密固體時，在試體內應提供待測段落與主保護設施間的隙縫。特定注意事項請參閱第5.2.3節。
- 5.1.3 均質性— 於熱通量方向展現不均質性的試體，不可以本方法進行檢驗。經由高度不均質性的試體來決定熱通量可能有兩個問題。第一個問題與所得數據的解釋與應用有關，另一個問題是裝置性能會降低。如試體是高度不均質性，亦即待測段落的熱通量有顯著差異，則數個誤差會顯著增加。板的溫度分佈會營顯偏離等熱條件，從而在通過試體的平均溫差上會有極大的不確定性。板溫度差異變大也會使隙縫變大，及邊緣熱量流失增加。在此種情況下，於多點測量板或試體表面溫度更形重要。
- 5.2. 試體之製備— 應依材質規格準備及處理試體。當無法取得材質規格時，應使用下列的指針。一般來說，試體表面應加以製備，以確保其是平行的，且與加熱板與冷卻板有均勻的熱接觸。
 - 5.2.1 可壓縮試體— 無法壓縮試體的表面可能比較上不均勻，所以在檢驗壓縮下，需除去表面的起伏。可能需使試體表面變得平順，使板與試體間有更好的接觸。如接觸隙縫的熱導性明顯高於可壓縮或其他試體，則測得的熱通量會高於無隙縫時所測得的熱通量。此常發生在較高溫度下，幅射熱量轉移是隙縫主要傳導方式時。測量可壓縮試體時，溫度感應器通常是直接安裝於板表面上。此外，測量可壓縮試體時可能需使用板墊寬器。
 - 5.2.2 堅硬與高傳導性試體— 測量堅硬或高傳導性試體時，表面需審慎製備。首先，表面應製成與保護熱板同等的扁平與平行。如果試體相較於試體與板界面的熱阻具有足夠高的熱阻時，溫度感應器安裝於板上是適當的。但對於塑膠或陶瓷等材質，當熱導性高於 $0.1\text{W/m}\cdot\text{K}$ 時，應採用下列技術以確保有準確的表面溫度量值。

- 5.2.2.1 在某些情況下，溫度感應器需直接安裝在試體表面上，或試體的溝上。在真空情況下，極大的熱阻需在板與試體間有些微的空間(幅射熱轉移除外)。在這些情況下，會發生熱通量極度不均勻。在任何事件下使用者務必嘗試降低接觸阻力與試體阻力的比率，及努力使整個表面得到固定的比率。
 - 5.2.2.2 另一個可行的方案(使用時需小心)是在板與試體間裝入可壓縮的薄板(例如軟橡膠板或薄的纖維墊)，以改善熱接觸的一致性。當採用本程序時，溫度感應器應安裝在試體表面上以確保有準確的溫度量值。施力應依第4.7節方式實施以確保有足夠的表面接觸。
 - 5.2.3 各向異性的試體—側面對軸向傳導性比率高的試體需在試體上直接形成與待測段落及主保護設施間的隙縫對齊的低傳導性隙縫。
 - 5.2.4 寬鬆充填的試體—寬鬆充填試體的測量需特別處理及測量技術。
 - 5.3 試體處理—當無指引文件時，應依材質規格處理試體，將試體置於 $22\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，及相對濕度 $50\pm 10\%$ 下一段時間，直到在24小時後觀察到質量變化小於1%為止。
注意17—試體可在不同條件下處理，以決定對試體熱性質的影響。環境的調節應在檢驗結果中報告。
6. 試驗程序
 - 6.1 於雙邊檢驗時，依第5節方式選擇一對待檢驗試體。
 - 6.2 測量與記錄試體的重量與尺寸，請同時參閱第6.12節的內容。
 - 6.3 將試體以預期的檢驗厚度安裝至裝置內。
 - 6.4 安裝次保護設施與環境室(必要時)。
 - 6.5 如檢驗是在試體板組是以空氣以外的氣體進行時，清空環境室並回填預期的氣體。應小心將充填氣體的壓力限制在室內最低溫時低於其凝固點。因為測得的熱通量與充填氣體的種類與壓力有關，所以這些參數均應記錄。
 - 6.6 調整加熱與冷卻系統以證實預期的檢驗條件。周邊溫度應與試體的平均溫度相同或略高。這可能需使用周邊溫度控制。此可以使用控制周邊加熱器，及隔熱材質來輔助周邊溫度的控制來達成。
 - 6.7 記錄檢驗的開始時間與日期。開始取得數據。記錄的數據應包括：數據取得的時間與日期、保護熱板的電力、熱端保護熱板的表面溫度、熱端保護設施的溫度、冷表面組的溫度、控制環境周邊溫度與相對濕度、跨越保護設施與待測段落間隙縫的溫差或溫

差電堆的輸出值、及計算出的熱通量及估算的關切熱性質。

注意18—熱穩定態是指檢驗裝置穩定所需的時間，在裝置的設計、待測量的試體、及檢驗條件雖有相當的差異，但穩定時間是以小時計算。厚的試體及低溫擴散係數的試體達成穩定所需的時間通常會增加，且與待測段落面積的重量有關。於真空及在微孔性材質上的測量，長時間會形成小的單調改變，且需花較長時間達成穩定。

6.8 本檢驗方法需達成有效的熱穩定態。欲判定是否已達成穩定態，操作人員需以時間平均數據、計算差異及對從第6節取得的數據實施下列測試來證明穩定態。

6.8.1 基於本檢驗方法的目的，熱穩定態在分析上界定為：

6.8.1.1 熱表面與冷表面的溫度在檢驗條件時，在設備能力內是穩定的。理想上誤差分析將決定允許差異的強度，但此差異通常低於溫差的0.1 %。

6.8.1.2 待測面積的電力在設備能力內是穩定的。理想上誤差分析將決定允許差異的強度，但此差異通常低於預期平均結果的0.2 %。

6.8.1.3 前述所需的條件至少需存在四個30分鐘的區段，或四個系統時間常數，視何者較長而定。

注意19—系統的溫度時間常數係指在系統的階段熱阻後，達到固定值的 $1/e$ (37 %)內所需的時間。於固定電力模式中，溫度時間常數係指達到最終電力37 %內所需的時間。系統的溫度時間常數約等於系統元件的溫度擴散係數，但通常是以實驗來決定。

6.9 在達成第6.8.1節所界定的預期穩定態後，應完成三次連續的重複數據取得運轉。這些運轉應以區間至少為30分鐘，且不可低於系統的溫度時間常數(請見注意19)。三次運轉的組合，如每個待測變數所得的每個數據符合下列標準，應視為有效的試體。

6.9.1 數據的差異不可高於該變數的不確定性。

6.9.2 取得的數據不可隨時間而出現單調變化，此可以將最後三次檢驗的平均結果，與前四次的平均值進行比較來判定。以檢驗參數對時間作圖，或監測數據的斜率是判定單調條件的技術。

6.9.3 如數據持續移動，檢驗應視為未完成，且應進行進一步的數據取得組，直至達成熱穩定態為止。即使是低度的移動，可能代表試體的特徵正在改變，或系統未在穩定態。

6.10 在終止檢驗前，應先測量及記錄環境室的壓力。

- 6.11 在完成前述所列的熱檢驗後，取出試體並檢查溫度感應器等系統元件有無正確安置與操作。
- 6.12 在檢驗後判定試體的厚度與重量，以確保其從最初條件起沒有改變。記錄檢體物理特徵的任何改變。

7. 計算

7.1 本檢驗方法所需的主要數據包括電力、表面溫度、面積與厚度。其中只有厚度通常是直接測量數量，其他則是以其他更根本的量值來計算，或以電力器材轉換而得。取得這些變數的方式於第6.9節及下列各節中論述。

7.2 熱流—應報告的熱流是通過每個試體的熱流，等於待測段落加熱器產生的電力。於雙邊操作模式中只有一半的電力，是由流經每個試體的加熱器所產生。以 emf 、 E 及電流 I 判定電力 Q ，計算方式如下：

$$Q = E \times I \quad (2)$$

7.3 待測段落的面積—以保護熱板的面積 A_m ，及隙縫的面積來決定待測段落的面積 A 。如試體的特徵在隙縫區域無法連續，則待測面積計算如下：

$$A = A_m + A_g / 2 \quad (3)$$

對高精密度的量值，隙縫貢獻其一半的面積至有效的待測段落面積的假設，需對特定使用的裝置進行確效。如果待測段落與保護設施區域的試體間不連續，此方程式應依ISO 8302作些微修改，以納入熱通量於隙縫區域失真的影響：

$$A = A_m + A_g \lambda_g / 2 \lambda \quad (4)$$

於檢驗時如已知保護熱板有顯著的膨脹或收縮時，面積應作適當的修正。

7.4 熱通量—熱通量是以熱流 Q 與待測段落總面積 A 的比例來取得，且計算如下：

$$q = Q / A \quad (5)$$

7.5 溫度—從溫度感應器所得的電力讀數，通常是以數學方程式，依據感應器的校準曲線或熱偶電壓表表等參考表等參考資料轉換成溫度。

7.6 密度—待測段落面積的試體密度 ρ_m ，或樣本密度 ρ_s ，當無法取得待測段落的面積時，應以兩片的平均值來報告。計算密度的方程式如下：

$$\rho_m = m / (A \times L) \quad (6)$$

或

$$\rho_s = m_s / (A_s \times L)$$

第六節 熱慣性

熱慣性量測可由材料之熱傳導、比熱及密度個別量測而得，也可由垂直側向延燒測試計算得到。此外，亦可運用圓錐量熱儀來量測材料之熱慣性。量測原理主要是經由熱傳導公式的推導而來，詳細之方程式可以參考 SFPE Handbook, Section 3, Chapter 4。實驗方法係利用調整 CONE 設備中的圓錐輻射加熱器的熱輻射輸出量，記錄材料在各輻射輸出量下的引燃時間，將所得到的資料回歸分析之後，導入下列公式：

$$TRP = \Delta T_{ig} \sqrt{k\rho c_p \left(\frac{\pi}{4}\right)}$$

便可以求得材料的熱反應係數 (TRP)，經由計算，即可以求出材料的熱慣性，由不同的量測方法，可相互比對查證量測結果之準確性。

第四章 結論與建議

第一節 結論

1. 完成性能設計與火災模擬 19 項材料性質參數測試法蒐集與分析，其中空氣/燃料比、對流熱傳遞係數、逸入係數及火焰撲滅係數，無相關測試標準。
2. 材料性質參數中之燃燒效率、燃燒熱、氣化熱、熱釋放率、引燃溫度、質量損失率、物種產生率及熱慣性，可由圓錐量熱儀與房間火災模擬試驗測得，此二試驗法已訂有 CNS 14705 及 CNS 15048，並已與國際調合。
3. 在火焰散佈參數方面主要以 ASTM E1321 訂有試驗法與計算方式，ISO 方面為 ISO 5658-2，惟其測試以平均持續燃燒熱及熄滅臨界熱通量為主。
4. 火焰散佈參數方面除結論 3 係以側向延燒外，尚有垂直向下延燒，標準有 ASTM E162、ASTM D3675 及 CNS 14819，測試火焰擴散因素、火焰擴散指數及放熱因素，以及地坪熱輻射水平延燒，測試標準有 ASTM E648、ISO 9239-1 及 ISO 9239-2，ASTM E648、ISO 9239-1 測法相同(最大輻射熱通量為 11kW)，ISO 9239-2 則以最大輻射熱通量 25kW 測試，測試熄滅臨界輻射熱通量，除垂直向下延燒已有 CNS 標準，垂直側向與地坪水平延燒已完成測試法架構與內容研擬。
5. 材料於燃燒過程或高溫下之密度係隨溫度而變，由於無直接量測溫度與密度關係測試法，但由於密度為質量與體積關係，質量與溫度關係變化可由熱重分析測得，體積與溫度關係變化可由熱膨脹係數測試各向隨溫度變化熱膨脹係數得到；因此，參考 ISO 與 ASTM 相關與熱膨脹係數測試法，完成測試法架構與內容研擬。
6. 裂解熱、裂解溫度與比熱可由示差分析法獲得。
7. 熱傳導部分因有多種測試方法，各方法間有其適用範圍，由於無各測試方法之完整比較文獻，本所亦無完整設備可進行比較分析；因此，本研究僅就 ASTM 及 ISO 相關標準予以蒐集，完成各法之測試法架構與內容研擬。
8. 熱慣性方面可由密度、比熱及熱傳導係數個別測試後計算而得，亦

可由圓錐量熱儀法參考 SFPE Handbook, Section 3, Chapter 4 量測而得。

第二節 建議

1. 後續將依 CNS 草案架構完成各測試法標準草案送交經濟部標準檢驗局審議與公佈。
2. 目前防火性能設計或模擬過程中，缺乏完整之查證與確認之驗證制度，而材料性質參數影響設計與模擬之正確性，有經測試之材料性質參數，可提供建築裝修材料或組件燃燒行為模擬結果之可靠性，在施行性能設計法之際其材料性質參數測試標準急待建立。
3. 現行防火性能設計或火災模擬中所用之材料性質參數，大多因用文獻中類似材料之性質參數，並非本土與實際使用材料特性，在 CNS 標準在此方面材料性質參數測試標準，尚未完全建立前，進行這方面設計與模擬者，應就國際上之標準進行測試，以實測值為其計算模擬之基礎參數。
4. 材料燃燒行為受環境所影響，現行模擬程式已漸可模擬；因此，設計與模擬僅以材料燃燒熱釋放率為其參數，所模擬結果並非實際於所模擬之空間條件下之燃燒行為，有必要以實測之材料相關性質參數為其設定值。
5. 參考 ISO 17025 第 5.9 節試驗與校正結果品質之保證，在各項測試標準有多家實驗室可進行下將可行實驗室間能力比對、或有參考物質比對、或同一材料性質使用不同方法測試、或以同一試件不同特性與結果之關連性，皆可對試驗結果之品質保證，故同一材料性質參數之測試法應不限於單一方法或單一設備。

參考書目

1. 蔡銘儒、謝煒東，以 FDS 模擬局限空間火災與實驗檢證之研究，2008，內政部建築研究所。
2. 王鵬智，”由加拿大經驗探討我國性能防火法規之執行策略”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，1999。
3. 丁育群、王鵬智，「國際建築防火法規之發展趨勢」，建築物防火法規與防火安全設計研討會論文集，1999。
4. 陳俊勳，「建築物火災安全評估及電腦模式之應用」，建築物防火法規與防火安全設計研討會論文集，1999。
5. 雷明遠，「國際組織、研究機構防火研究概況」，內政部建築研究所 98 年第 5 次所務會議資料，2009。
6. “北京奧運工程性能化防火設計與消防安全管理”，中國建築工業出版社，2009。
7. 劉靜、程遠平、高宇飛，”向性能化防火規範轉變應注意的幾個問題”，防災減災工程學報第 26 卷第 2 期 P235-239，2006。
8. CNS 3658 火災分類，經濟部標準檢驗局，1990。
9. 俞自濤，”著火前木材傳熱傳質過程的試驗和理論研究”，2005，浙江大學機械與能源學院工程熱物理博士論文。
10. 宋長忠，”火災可燃物熱解動力學及著火特性研究”，2006，浙江大學機械與能源學院工程熱物理博士論文。
11. 沈德魁，”熱輻射下積碳類可燃物熱解與著火特性的機理研究”，2007，浙江大學機械與能源學院工程熱物理博士論文。
12. 廖文能，”木質多顆粒體燃燒狀況分析”，2001，國立臺灣大學機械工程學研究所碩士論文。
13. 黃家峰，”添加石棉之木質材料的自燃現象研究”，2001，國立臺灣大學機械工程學研究所碩士論文。
14. 董士誠，”祭拜金銀紙錢燃燒煙塵廢氣調查與改善之研究”，2002，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文。
15. 陳榮輝，”木材熱裂解特性與生成物關係描述”，2003，國立中正大學機械系碩士論文。
16. 丁昭義，”木材化學”，1990，華香園出版社。
17. CNS 14819，”材料表面耐燃燒性試驗法-輻射熱源垂直試驗法”，經濟部標準檢驗局，2004。
18. 陳俊勳、嚴定萍，”牆面裝修材料水平引燃及火焰延燒檢驗基準”，1994，內政部建築研究所。
19. 雷明遠、周智中，”建築材料防火性能試驗法國際標準化調察研

- 究”，1997，經濟部中央標準局。
20. CNS 13974, ”精密陶瓷依雷射閃光法之熱擴散率、比熱容量、熱傳導率試驗法”，經濟部標準檢驗局，1997。
 21. CNS 14819, ”材料表面耐燃燒性試驗法-輻射熱源垂直試驗法”，經濟部標準檢驗局，2004。
 22. CNS 7332, ”隔熱材料之導熱係數測定法（平板比較法）”，經濟部標準檢驗局，1991。
 23. CNS 7333, ”隔熱材料之導熱係數測定法（平板直接法）”，經濟部標準檢驗局，1991。
 24. 危時秀, ”普通混凝土熱傳導性質之研究”，2003，中原大學土木工程學系碩士論文。
 25. Chris Lautenberger、Guillermo Rein、Carlos Fernandez-Pello, The application of a genetic algorithm to estimate material properties for fire modeling from bench-scale fire test data, Fire Safety Journal, 2006, 41 : p. 204.
 26. ASTM E1591-07, Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models.
 27. Standard Guide for Determining Uses and Limitations of Deterministic Fire Models, ASTM E1895-07, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2007.
 28. NIST, User's Guide for Fire Dynamics Simulator (Version 5), 2008.
 29. Jason Mark Clement, Experimental Verification of the Fire Dynamics Simulator(FDS) Hydrodynamic Model(DRAFT), University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2000.
 30. Piotr Smardz, Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) for forced and natural convection flows, Master of Science in Fire Safety Engineering of University of Ulster, 2006.
 31. Kevin McGrattan、Anthony Hamins、Simo Hostikka、Jason Floyd、Bryan Klein, Fire Dynamics Simulator(Version 5)Verification and Validation Guide Volume 1: Verification(Draft), National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication, 2007.
 32. B. Najafi, F. Joglar, J. Drisbach, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volumel Main Report, U.S. Nuclear Regulatory

- Commission Office of Nuclear Regulatory Research ,
NUREG-1824, EPRI 1011999, Final Report, 2007.
33. P. Clancy, " A Parametric Study on the Time-to-Failure of Wood Framed Walls in Fire" , Fire Technology , 2002 , 38 : p. 243-269.
 34. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Third Edition, 2002.
 35. ASTM E1321-08, Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties.
 36. ASTM E162-08b, Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source .
 37. ASTM E648-08, Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source.
 38. ASTM D3675-09, Standard Test Method for Surface Flammability of Flexible Cellular Materials Using a Radiant Heat Energy Source .
 39. ISO 5658-2, 2002, Reaction to fire tests — Spread of flame —Part 2:Lateral spread on building and transport products in vertical configuration.
 40. ISO 9239-1, 2002, Reaction to fire tests for floorings —Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source.
 41. ISO 9239-2, 2002, Reaction to fire tests for floorings —Part 2 : Determination of flame spread at a heat flux level of 25 kW/m².
 42. ISO 11357-1, 1997, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part1: General principles.
 43. ISO 11357-3, 1997, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization.
 44. ISO 11357-4, 1997, Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part4: Determination of specific heat capacity.
 45. ISO 11358, 1997, Plastics - Thermogravimetry (TG) of polymers - General principles.
 46. ISO 11358-2, 2005, Plastics — Thermogravimetry (TG) of

- polymers — Part 2: Determination of activation energy.
47. ISO 8301, 1991, Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus.
 48. ISO 8302, 1991, Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus.
 49. ASTM C177, 2004, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.
 50. ASTM C518, 2004, Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
 51. ASTM C1113, 2009, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique).
 52. ASTM D696, 2008, Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C with a Vitreous Silica Dilatometer.
 53. ASTM D3386, 2000, Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Electrical Insulating Materials.
 54. ASTM D3850, 1994, Standard Test Method for Rapid Thermal Degradation of Solid Electrical Insulating Materials By Thermogravimetric Method (TGA).
 55. ASTM E537, 2007, Standard Test Method for The Thermal Stability Of Chemicals By Differential Scanning Calorimetry.
 56. ASTM E793, 2006, Standard Test Method for Enthalpies of Fusion and Crystallization by Differential Scanning Calorimetry.
 57. ASTM E831, 2006, Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis.
 58. ASTM E967, 2003, Standard Test Method for Temperature Calibration of Differential Scanning Calorimeters and Differential Thermal Analyzers.
 59. ASTM E968, 2002, Standard Practice for Heat Flow Calibration of Differential Scanning Calorimeters.
 60. ASTM E1131, 2008, Standard Test Method for Compositional

- Analysis by Thermogravimetry.
61. ASTM E1461, 2007, Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method.
 62. http://www.npl.co.uk/upload/pdf/ISO_TC_61_thermal_properties_standards_for_testing_polymer_melts.pdf.

附錄

附錄一 期初審查會議記錄與回應

審查意見	研究團隊回應
1. 材料參數之性質測試建議除建材外須能適用於其他可燃物，例如傢俱等。	1. 材料參數之性質測試是以材料為主，係不分裝修材料或傢俱，皆可適用。
2. 除了 FDS 模擬外建議收集性能設計案例輸入端資料作比對。	2. 設計案例收集不易，可收集到之資料大多以設計手冊之計算方程式為主，模擬部分關於火災成長延燒部分亦大多以 FDS 為主，但多以類似材料參數或直接以材料燃燒之熱釋放率為參數，未有使用材料之性質參數之測試資料，另外，模擬之參數設定大多未提供，僅直接列出模擬結果。
3. 本案是否為建立新測試標準，如非建立新測試標準則建議課題名稱修訂為「防火性能設計用之建材性質標準 CNS 化研究」，以提供性能設計用之材料性質要求。	3. 本案主要研究模擬所須之材料性質參數為目的，將這些參數所須測試法如國內尚無 CNS 試驗法標準部分，予以建立 CNS 標準草案。
4. 預期成果建議納入建立建材性質數據資料庫架構。	4. 本研究以建立材料性質參數測試法為主，並非在測試材料性質，建材性質數據資料庫架構建議納入後續研究。
5. 為簡化性能設計程序，於設計所用之資料庫中之參數驗證，應力求簡化程序或方法。	5. 測試法將以國際調合為主，是以普遍性之測試為目標，將可達到簡化程序或方法。
6. 單一項性質如有多項測試法，應簡化成單一標準。	6. 單一項性質如有多項測試法，可作為測試結果之相互比對，並可作為實驗室之測試品質之結果保證目的。
7. 本案應單純就材料性質參數為主，外在條件參數暫勿納入。	7. 本案本就單純以材料性質參數為主，外在條件參數並未納入。

附錄二 期中審查會議記錄與回應

審查意見	研究團隊回應
<p>1、陳教授永祥：</p> <p>(1) 研究進度與內容符合研究計畫之要求。</p> <p>(2) 建築材料分二種：裝修材料及傢俱材料，可依規範將國內建材作火害特性試驗，並建立資料庫以供應用。</p> <p>(3) 本研究成果可作為未來火災現場之模擬，以及防火區劃研究。</p> <p>2、嚴技正定萍：</p> <p>(1) 建築內裝材料，營建署已公開規定以 CNS 14705 在兩年內取代 CNS 6532，並有明確之分級判定標準。</p> <p>(2) 如果要以 ISO 5658、ASTM E1321 側向火焰伸展率 (p. 37) 做 CNS 草案，建議將材料局限化 (正負差過大) 及量化，同樣的火焰伸展率如 ASTM E162、ASTM E648 (VRP, FRP) 在美加市場及台灣捷運系統已廣泛使用。</p> <p>(3) 文中提到 (如果) ISO 9705 需費大量人力錢財，在防火性能設計上建議考慮歐體 SBI 系統 (中國大陸已列入 GB)。</p> <p>3、鄭教授復平：</p> <p>(1) 本研究費時費力，但相當</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>完成標準建立後，各類建材即可在同標準條件下建立資料庫。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>本研究未涉裝修材料耐燃性判定，在有關燃燒熱及熱釋放率等，本研究係採用 CNS 14705。</p> <p>此二標準所要測試項目不同，目前模擬所用之火焰散佈參數係以 ASTM E1321 為主，而 ISO 5658 則與 ASTM E648、ISO 9239-1、ISO 9239-2 (FRP) 測試熄滅臨界熱通量，本研究將 ASTM E1321、ISO 5658、ASTM E648、ISO 9239-1、ISO 9239-2 予以 CNS 化，另 ASTM E162 則與 CNS14819 同。</p> <p>本研究係以火災模擬所須材料性質為主，本項目較趨判定基準，建議後續年度研究計劃列入考量。</p> <p>感謝委員肯定。</p>

<p>有意義。</p> <p>4、金教授大仁：</p> <p>(1) 所規劃之試驗合適，建立本土材料檢測標準有其需要。</p> <p>5、林教授文山：</p> <p>(1) 本研究符合預期成果，對資料蒐集完整。</p> <p>(2) 火災模擬所需之材料參數很多，本研究已彙整 19 種並描述其材料性質與測試方法，由於研究時程限制，建議分年實施先研擬影響較大之參數。</p> <p>(3) 建議在訂定標準草案時，先對其材料性質之測試規定，先行施測。</p> <p>6、許委員俊美：(無意見)</p> <p>7、傅教授武雄：(書面意見)</p> <p>(1) 收集資料完整，文獻比對除主持人外，應加外人。</p> <p>(2) 專有名詞解釋詳細。</p> <p>(3) 設備介紹詳實。</p> <p>(4) 實驗步驟描述清楚。</p> <p>(5) 符合預期成果項目，後半期的工作量遠較前期為多，請多努力。</p> <p>8、經濟部標準檢驗局(何承憲先生)：</p> <p>(1) 本案若有需要研擬標準草</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員建議，本研究係以國際上已制訂之標準為先，其他未制訂標準之項目建議列入後續年度計畫考量。</p> <p>本研究將先試驗法 CNS 化，本所防火實驗中心已設置之設備在已往皆有進行過試驗，已將其列入報告中。</p> <p>感謝委員肯定，主持人上年度已進行過國內外使用 FDS 模擬之資料整理，因其模擬資料皆未將設定列出，很難比對，故僅列主持人所進行之實驗與模擬比對。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員鼓勵。</p> <p>完成草案提送 貴局時將會以國</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>案時，請依國家標準格式建立。</p> <p>9、財團法人台灣建築中心（郭全豐先生）：（無意見）。</p> <p>10、台北市結構技師公會（姚忠達先生）：</p> <p>（1）屋內堆積物與悶燒現象之數值模擬與試驗結果比對。</p> <p>（2）針對不同用途類型（如辦公室、公共空間）之室內空間分類是否均能適用本研究。</p> <p>11、台北市建築師公會（趙峙孝先生）：（無意見）。</p> <p>12、中華民國鋼結構協會（陳正平先生）：（無意見）。</p> <p>13、陳組長建忠：</p> <p>（1）目前 NIST 的 FDS 研發團隊，有將各種材料參數的 Data Base 加以封閉之趨勢，本案可校正上開 FDS 不妥之處，以及另外提供一組可靠的數值供本國評估設計者使用。</p>	<p>家標準格式建立。</p> <p>本研究以材料燃燒性質為主，尚不涉空間條件，建議於後續年度計畫考量。</p> <p>本研究以材料燃燒性質為主，尚不涉空間條件，建議於後續年度計畫考量。</p> <p>由於目前國內這些材料性質有些未制訂 CNS 標準，如完成 CNS 化後，國人在評估時將可依據標準測得材料性質數值進行模擬，此為 NIST 的 FDS 研發團隊，有將各種材料參數的 Data Base 加以封閉之目的。</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

附錄三 期末審查會議記錄與回應

審查意見	研究團隊回應
<p>1、黃教授玉麟：</p> <p>(1) 本研究事實上採用及比較多國規範，因此許多專有名詞可以附上英文名稱，與國際接軌。若工作量太大，是否至少將 19 項材料性質參數予以標出英文名稱。</p> <p>(2) 因為收集資料很完整，雖然已有 13 項 CNS 化，本研究還是可以提出修改建議，當然可留在後續研究中執行。</p> <p>(3) 本研究 6 項 CNS 化之規範，建議越簡易可行越佳。</p> <p>2、陳技師正平：(無意見)</p> <p>3、陳教授舜田：</p> <p>(1) 19 項建材性質，數量太多，在實際工程應用上會不會造成困擾？相信其中有些性質參數對結構耐火行為很重要（敏感），有些參數可能不重要。</p> <p>(2) 可否透過參數敏感度分析來瞭解那些參數是很重要的，有哪些是不重要的。</p> <p>(3) 主持人做了很好的世界各種規範試驗方法的回顧，建議把各不同參數最合適的試驗法，設備案做一個表列說明。</p>	<p>已將 19 項材料性質參數予以標出英文名稱，詳參第 15 頁及第 16 頁。</p> <p>感謝委員指導，本項將留在後續研究中執行。</p> <p>感謝委員指導，6 項 CNS 化之規範皆為發展成熟之儀器，皆為可行之試驗法。</p> <p>19 項建材性質，並非使用於工程及結構耐火行為上，主要參考 ASTM E1591，供不特定區域火災模擬程式參數設定使用，至於參數之敏感性因程式開發之原理與使用計算式而定。</p> <p>如上說明，將於後續研究在使用之模擬程式時納入參考評估。</p> <p>火焰延燒特性方面，本所除 ISO9239-2 外，已具備完整設備，將於後續研究增設 ISO9239-2 功能後進行比較整合，其他密度、熱傳導及比熱等，因設備製造功能與適用範圍不完全相同，且本</p>

<p>(4) 如要把研究結果作為 CNS 標準的「建議」，宜邀請曾對相關研究有經驗的學者專家來討論後再提出。</p> <p>4、中華民國消防設備師公會全聯會(林世昌先生):無意見</p> <p>5、許理事長俊美:</p> <p>(1) 肯定本計畫主持人對本研究案之努力達成預期成果。</p> <p>(2) 對建築師於應用防火性能設計時，對建材性質之考量選擇及空間規劃之事前預防火害之發生，對其相關重要之參數，提供建築師於規劃、設計之建議及應用之規範。</p> <p>(3) 以上作為後續研究之建議。</p> <p>6、金教授大仁:</p> <p>(1) 整理及比較不同防火材料性質測試方法，所得之資料有助於建立 CNS 之測試標準。</p> <p>(2) 建議對台灣目前常用建材的性質作一些統計分析及較適合的測試方法。</p> <p>7、陳組長建忠:</p> <p>(1) 能否找出 FDS 5.0 材料性質參數，其試驗儀器、試驗方法與數值計算，否則由許多儀器取得的數值雖然其單位相同，而其意義則往往不同。</p>	<p>所並無各種試驗法之設備，此部分留待後續研究規劃參考。</p> <p>經查國內防火研究專家學者，在此方面有經驗者不多，且所參考引用標準為 ISO 或 ASTM，可完成草案後，在標準起草會議中由產官學研各界共同研商。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>將於後續研究在使用之模擬程式時納入參考評估，再將使用該程式模擬評估與設計參據時，提供建築師於規劃、設計之建議及應用之規範。</p> <p>感謝委員建議。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>將於後續研究納入。</p> <p>火災燃燒之試驗發較為一致，除火焰散佈部分，將於後續研究規劃納入比較分析。至於密度、熱傳導及比熱等因材料因素其適用試驗法不同，其意義並無差異，且有多種不同試驗法測試同一性質，將可彼此比較得出材料較真</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>(2) 請多研提研究課題提案單，以及研究計畫，以供各「個案中綱計劃」分年研究計畫規劃之參考。</p> <p>(3) CNS 6532 與 CNS 14705 就是一個具體案例雖本所花數年研究，也不可能掌握日本較清楚之全貌，只是片面引用其分級方式，目前所知經濟部標準檢驗局發佈以 CNS 14705 作為耐燃材料分級檢測標準後，美方官方及民間抗議不斷，可作為相關研究引以為鑑。</p>	<p>實之性質。</p> <p>將儘可能整理，惟研究及各委員之意見，較凸顯出基礎性研究不足。</p> <p>火災模擬所須之材料性質主要為量化、數據化及可測試之完整性質，與性能判定不同，性能判定是為產官學各界妥協性，對於模擬須要在不同時間與溫度條件下才料之性質，相較下較無法運用。</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------