

第一章 緒 論

第一節 緣起背景

90 年 5 月 12 日凌晨台北縣汐止市發生「東方科學園區大樓火災」，此火災不僅是國內建築火災史上延燒時間最久、範圍面積最大者，亦是財物損失最多之災例之一。透過電視現場轉播畫面，熊熊大火的延燒過程至今仍歷歷在目，當時可見到帷幕牆玻璃遭火破壞後，火焰迅速噴出並向上延燒，自第 16 樓燒至 26 樓僅僅兩小時半左右，平均延燒一層樓僅約需 15 分鐘。災後實地勘察更可發現，該大樓 A 棟第 16 至 26 樓帷幕牆全面燒落，而 B、C 棟第 24 至 26 樓之帷幕牆亦嚴重燒落，現場殘留燒熔、扭曲之鋁框架及玻璃碎片，景象狼藉殘破，不禁令人深刻感受到火災的破壞威力，另一方面也對於國內帷幕牆建築物之防火安全不足感到憂心。

帷幕牆 (Curtain wall) 一詞，按建築技術規則之用語定義，係指「構架構造建築物之外牆，除承載本身重量及其所受之地震、風力外，不再承載或傳導其他載重之牆壁」，簡言之，帷幕牆即指非承重外牆 (Non-loadbearing exterior wall)。依建築技術規則設計施工編第 70 條規定，非承重外牆須具有至少半小時之防火時效。另依前編第 78 條規定，建築物防火樓板，其交接處之外牆有高度 90 cm 以上為防火構造者，得免突出。自國內出現帷幕牆建築物以來，或許基於外觀整體立面美感之考量因素，幾乎每棟帷幕牆建築物之樓板皆無突出者，因此從上述規定可知，這些建築物之帷幕牆與樓板交接處應以高度 90 cm 以上，且具半小時以上防火時效之防火構造所構成。一般而言，建築物外牆由混凝

土造或磚造者，其防火時效能達到半小時以上防火時效，概無問題；至由金屬框架、繫件及單元牆板所組成之帷幕牆，則須經謹慎設計方能確保達到半小時以上防火時效。

前揭建築物樓板交接之戶外帶狀牆體，一般因構造設計高度、位置有些微不同，而有不同俗稱，或稱裙牆、樑帶外牆、肩牆、腰牆、層間外牆、樓板外牆…等等，本研究以下簡稱「層窗間牆」，亦即英文之”Spandrel”。依防火區劃設計概念，層間外牆應作為樓層（間）區劃之用，旨在防止外牆窗戶玻璃等開口部遭火災破壞時火焰噴出延燒至上方樓層。此外，為顧及地震、風力對帷幕牆造成之側向或層間位移因素，帷幕牆與樓板間並非完全密合交接，所以間隙須以具有同等防火時效之防火材料填補，以防止火、煙向上滲透。由上可知，帷幕牆之防火安全性能應由具有合格防火時效之層窗間牆（高度 90 cm 以上防火構造部分）及填塞材料共同達成。然而，國內在實際執行面卻存在著相當落差，包括以下幾點：

- (1) 建築技術規則雖有規定，但建築師鮮少指定帷幕牆防火時效要求，建築執照圖說審查時亦未嚴格要求。
- (2) 建築設計時既無嚴格要求，竣工檢查及建築物使用後公共安全檢查亦無嚴格要求。
- (3) 迄今尚缺乏帷幕牆防火性能檢測及審核認可機制；我國國家標準中並無適用之試驗法標準，而在內政部現行防火材料審核認可制度作業中亦無「帷幕牆」項目。

綜上所述，不禁又令人感到國內帷幕牆防火安全問題的確長期乏人問津，汐止東科大樓火災不過僅僅是眾多類似建築物中不

幸運者，倘若如此，對於許多十五層以上之高層帷幕牆建築物，其防火安全顯然已有漏洞存在，此對於國人生命財產之保障亦有莫大潛在威脅。

我國建築物帷幕牆防火安全問題，除因前揭現行法規未落實部分，在法規本身亦仍有可改進之處。以美國、紐西蘭等國之建築法規為例，其對外牆之防火時效規定係依建築物構造別、用途、防火安全間隔等因素而定（採彈性規格式規定或半性能式規定），又外牆開口部之防火可由垂直或水平遮焰阻體（Flame barrier）、撒水設備、防火玻璃、外牆室內側安全距離等多元替代設計方案、措施達成，反觀我國之建築技術規則，則對於外牆之防火時效、開口部之防火等規定過於簡單，遑論其他替代性設計方法則絲毫未見規定，因此參考外國相關規定，探討不同設計方法之間防火功能同等性（Equivalence），進而研提改進既有帷幕牆建築物外牆防火安全建議措施乃是有意義之要務。

第二節 研究內容與方法

一、蒐集國外研究文獻資料及法規標準

自相關防火研究期刊、圖書、研討會論文集、網際網站等檢索帷幕牆、開口火焰延燒研究相關資料。此外，蒐集美國 IBC、UBC、NFPA、ASTM、英國建築規則 Approved Document B 及 BS、紐西蘭、澳洲等相關規定，並比較分析。

二、蒐集國內、外高層帷幕牆大樓火災案例，分析影響延燒要因，歸納可改善建議。

三、訪談國內帷幕牆專家、業者，以瞭解國內帷幕牆建築物之防火保護設計、措施及落實現況。

四、調查瞭解國內帷幕牆使用情形及施工作業，以瞭解業者對帷幕牆防火安全措施之認知，並瞭解過程中可能出現之缺失。

五、規劃準備實大尺度帷幕牆實驗設施計畫。

(一) 預定進行 6m(寬)×10m(高)以上垂直立面之火災延燒實驗設施（三層樓輕鋼構實驗架），樓板以耐火材料保護，除正面未施工（供安裝帷幕牆垂直立面），餘三面牆均以矽酸鈣板等防火板材構築，以保護鋼構造免受火害。

(二) 進行帷幕牆開口部噴出火焰、延燒性狀實驗時，實驗架正面全以矽酸鈣板構成 6m(寬)×10m(高)以上垂直立面，但於二樓設可調整寬度之開口（高度 1.2m），寬度最大 5m；二樓背面設通風門口。

(三) 燃載量依國內文獻調查結果選出三等級，燃料採用乾燥松木堆，按燃載量平均堆放於二樓樓板。

(四) 進行噴出火焰正面高度、寬度、剖面噴出角度、開口周圍溫度、輻射熱量測。

六、規劃準備帷幕牆組件耐火性及防火時效試驗

(一) 參考國外研究及標準，自行設計及組裝 3m×3m 試體，該試體構造包括帷幕牆體及層間防火填塞物部分。

(二) 依 CNS 12514 加熱曲線、壓力條件（與 ISO 834 相同）進行試驗。試驗過程將量測觀察完整遮焰性、隔熱性等性能基準外，試驗後觀察各構材受火害情形。

七、綜合分析實驗結果，撰擬帷幕牆防火試驗法標準建議草案，並研提帷幕牆防火安全設置規範建議。

八、撰寫研究成果報告。

第三節 研究預期成果

本計畫預期完成工作項目如次：

- (一) 完成蒐集帷幕牆有關防火安全研究文獻資料、產品系統技術資料。
- (二) 完成蒐集目前國內外帷幕牆耐火性能（防火時效）有關法規。
- (三) 完成研究探討帷幕牆各別構材（玻璃、非玻璃嵌板部分、框架、繫件等）受火熱（依標準火災曲線）之破壞原因及模式。
- (四) 建置全尺度帷幕牆防火試驗設施，可供後續相關研究使用。
- (五) 探討目前帷幕牆設計之防火措施缺失，並研提構材、構法改善建議方案。

第四節 用語釋義

為期望便於讀者清楚且輕易瞭解本研究報告之專業用語，以下用語及其釋義係參考國內、外有關法規、規範或標準，希望本報告內容之表達更為適切性、一致性。

- (1) 帷幕牆（Curtain wall）：指依建築技術規則之規定所稱構架構造，建築物之外牆，除承載本身重量及其所受之地震、風力外，

不再承載或傳導其他載重之牆壁。

- (2) 層窗間牆 (Spandrel)：外牆上層開口部和下層開口部間的部分。
- (3) 面構材 (Cladding material)：構成帷幕牆面的材料。
- (4) 安裝鐵件：帷幕牆安裝用鐵件。結構體鐵件、預埋鐵件、構材鐵件、連結扣件、調整鐵件等的總稱。
- (5) 一次填縫(材)：施加於建物外側的填縫(材)。
- (6) 二次填縫(材)：補助一次填縫，用於帷幕牆構材之建築物內側填縫(材)。
- (7) 嵌裝玻璃 (Glazing)：在預備的開口部(Prepared opening)，如窗、門板(扇)、隔屏及分間牆上裝入並固定玻璃。
- (8) 防火時效 (Fire rating)：在特定之測試條件下，材料、構件、構造等能持續維持耐火性所經過之時間。
- (9) 防火區劃 (Fire compartment)：一建築物或其一部分，包含一個或數個房間、空間或樓層，被建造用來防止在同一棟建築物不同部位間、或與鄰接建築物間之火災延燒。
- (10) 耐火性【能】 (Fire resistance【performance】)：材料、構件、構造等能持續維持遮焰性 (Integrity)、穩定性 (Stability) 及阻熱性 (Thermal insulation) 之性能。

第二章 帷幕牆之構件系統與發展概況

第一節 帷幕牆系統之分類

帷幕牆建築物自日本引進國內，已有 20 餘年的歷史，而隨著國內經濟、建設的快速發展，帷幕牆的應用也愈來愈廣，且帷幕牆無論在外觀、施工方法、材料上都有很大的變化，使得帷幕牆建築物外觀多樣化，造成都市景觀的改變。

一、 帷幕牆組成元件種類

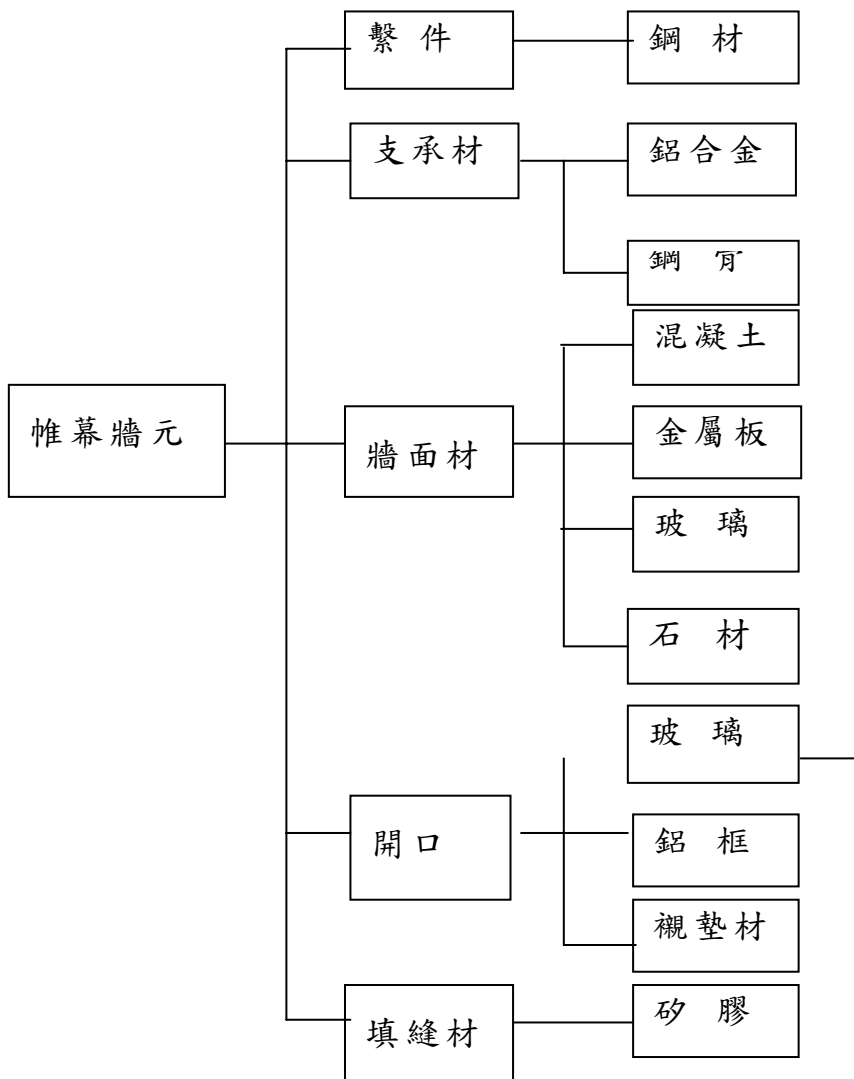


圖 2-1 帷幕牆元件組成架構圖

二、 使用材料分類

從上表可知，帷幕牆面構材分成「金屬面板」、「預鑄混凝土面板」、「石材面板」、「玻璃面板」等四類，其中國內大多帷幕牆建築物以金屬及玻璃面板為主要外牆構成材料；經多年發展，各類牆面材可細分如下：

- (一) 金屬面板：鋁材料(為現階段台灣金屬帷幕牆構建材料之主流)、一般鋼板材料、琺瑯鋼板材料、不銹鋼材料等。
- (二) 預鑄混凝土面板：主要構成材料為鋼筋混凝土。
- (三) 石材面板：最常用者為花崗岩，主要用於層窗間牆板。
- (四) 玻璃面板：一般平板玻璃（主要為浮式平板玻璃）、強化玻璃、吸熱玻璃、日照熱反射玻璃、隔熱雙層玻璃（中空層為空氣、氮氣或惰性氣體）、隔熱膠合玻璃（或複層玻璃）、金屬線嵌入玻璃（主要為鐵絲網玻璃）等。

一、 安裝構造方式分類

- (一) 內政部建築研究所「帷幕牆工程標準規範與解說」

【參考文獻】

依上揭規範解說第一章『總則』，金屬帷幕牆裝置的方式，可分為以下三大類：

1. 掛簾方式：由樓版或橫樑外側裝置的方式。
2. 嵌版方式：由樓版到樓版之間或橫樑到橫樑之間，嵌上之方

式。

3. 包覆方式：結構體或牆壁的表面，分別包覆層窗間牆、柱體、窗框等形成帷幕牆的方式。

以上三類方式之帷幕牆與柱體相對位置不同，而在意匠上各有不同風格。

關於「掛簾」或「嵌版」方式的金屬帷幕牆，依構造形式可區分為以下兩大類：

1. 立框方式：在樓版至樓版間架成立框，再裝上窗框、層窗間牆等構材的方式。
2. 版件方式：可細分為以下三項。
 - (1) 單元版件方式：經模子或鑄造成形的單元版件安裝在上下兩層樓版上的方式。
 - (2) 框架版件方式：在分割立框等框材上，裝設層窗間牆版件窗框等組成之合成版於上下兩層樓板間的方式。
 - (3) 層窗間牆版件方式：在樓板、樑等構造體裝置層窗間牆，再裝設窗框等構成材料於其間之裝置方式。

預鑄混凝土帷幕牆，在構造上則可分為以下兩大類：

1. 版件方式：以高度為一層樓或一層樓以上的單一版件構成外壁面的方式。
2. 柱、樑方式：分別裝置柱形、樑形版件的方式，在壁面構成的意匠上，可細分為通柱式及通樑式。只就柱或樑的版件來看構成壁面的方式，即可以解釋其為通柱式，或是通樑式。版件方式之預鑄混凝土帷幕牆，由層間變位之吸收方式可分為滑動方

式（搖動方式、水平移動方式）與搖轉方式（回轉方式）。柱、樑方式中樑形固定，以柱形回轉吸收變位。

（二） 陳建豐等調查研究【參考文獻】

帷幕牆依組合安裝方式不同，可分為「散裝式」、「單元式」、「綜合式」。因不同安裝方式所衍生之外觀類型，詳如圖 2-2、表 2-1 所示。

圖 2-2 國內金屬及玻璃帷幕牆外觀類型示意圖

1. 散裝式：由於散裝式所需精度較小，且造型容易，較適合臺灣的營造技術水準，金屬帷幕牆使用散裝式為多，其造成外觀類型如下。
 - (1) 因散裝式的骨架即可成為帷幕牆的窗框，所以全面玻璃式（T1A、T1B、T1C）、直條式（T4A、T4B）、橫條式（T5A、T5B、T5C）的外觀類型，即以骨架加上玻璃所造成。
 - (2) 散裝式的骨架形成後，再加以金屬板包覆，即形成為全面金屬式(T2)。
2. 單元式：由於單元式所需精度較高，而以台灣目前之施工水準而言並不困難，故近年來已有增加之趨勢，且以鋼骨構造建築物為主，外觀並無一定造型，以玻璃加金屬板居多，且具重覆性。
3. 綜合式：此工法兼具散裝式及單元式之優點，自民國 72

年首度使用之後，已漸漸超越散裝式，其原因乃是散裝式部分外牆之造型及安裝容易；又單元式部分外牆之造型具重複性，施工較經濟方便，適合高層建築物。

(1) 金屬板部分外牆採用單元式，玻璃部分外牆採用散裝式，即形成金屬與玻璃相間帶狀外觀，如橫條式

(T5)。

(2) 多樣化及高複雜性外觀，如複合式(T8)。

表 2-1 國內金屬及玻璃帷幕牆外觀類型

主要類型		說明	次型式	說明
T1	全面玻璃式	建築物外觀以玻璃完全被覆。	T1A	建築物外觀以玻璃完全被覆，其豎框及橫框較不明顯或甚至全部看不見，可得到完全透視感的獨特效果。
			T1B	建築物外觀以玻璃完全被覆，但其上下、左-右、上下、左-右、上-下-左-右其以其他材質收邊，如面磚、金屬板、石材等。
			T1C	建築物外觀以玻璃完全被覆，但以跨距分割、收邊，造成許多大小相近的小規模全面玻璃式之組合。
T2	全面金屬式	建築物外觀以金屬板完全被覆，其開窗面積極小。		
T3	單窗式	凸顯樑柱關係或重複性之開窗形式即建築物外觀完全以單一大小、形式之開窗被覆。		
T4	直條式	建築物外觀以強調垂直帶之造型。	T4A	建築物外觀完全以垂直方向做重複性之分割，可分為玻璃-金屬板、玻璃-混凝土或以色差玻璃不關。
			T4B	建築物外觀完全以垂直方向做重複性之分割，但其上-下、左-右、上-下-左-右其以其他材質收邊，如面磚、金屬板、石材等。
T5	橫條式	建築物外觀以強調水平之外觀類型。	T5A	建築物外觀完全以水平方向做重複性之分割，可分為玻璃-金屬板相間、玻璃色差相間或是透明與否相間、全面玻璃但強調其橫框，使其造成分割數塊玻璃橫條。

			T5B	建築物外觀完全以水平方向作重覆性之分割，但其上-下、左-右、上-下-左-右以其他材質收邊，如面磚、金屬板、石材等。
			T5C	建築物外觀完全以水平方向作重覆性之分割，但以跨距分割、收邊。
T6	全面玻璃式及橫條式綜合	部份外觀為全面玻璃式，加上部份橫條式組合而成。		
T7	直條式及橫條式綜合	為直條式再加以水平分割(橫條式)，或橫條式在加以垂直分割(直條式)使其造成格子狀之外觀類型。		
T8	複合式(特殊式)	綜合兩種以上之外觀類型，或其建築物外觀形狀特殊無法以任何一種型式加以涵蓋者。		

(三) 陳太農等研究【參考文獻】

依其構法與組立型式之不同，則可區分為以下五種，分述如下：

1. 直橫料系統(Stick system) (如圖 2-3)；直橫料系統是由帷幕牆構件於現場依序安裝組合而成，首先裝上固定鐵件【1】，其次是直料【2】、上下橫料【3、5】、層窗間板【4】，最後安裝玻璃【6】或其他面材及內部裝飾【7】而成。

圖 2-3 直橫料系統帷幕牆示意圖

2. 窗間牆系統(Column cover and spandrel system) (如圖 2-4)：本系統亦稱「柱覆版系統」，首先裝上固定鐵件，其次是柱覆板【1】、層窗間牆【2】，再安裝玻璃【3】而成。

圖 2-4 窗間牆系統帷幕牆示意圖

3. 單元式系統 (Unitized system) (如圖 2-5)：單元式系統係由預組框架單元相互組構而成，預組框架單元包括框料、嵌板、玻璃 (或其他面材) 及安裝鐵件，整個單元在工廠預先組立，到工地現場只需將單元片【2】吊裝至定位，再將其鎖固【1】或點焊即可。

圖 2-5 單元式系統帷幕牆示意圖

4. 單元直框系統(Unit and mullion system)(如圖 2-6)：單元直框系統是介於直橫料系統和單元式系統間的一種構法，也有人將其稱之為「半單元式」，它的組合方式是將兩邊直料先行錨定，然後再將預組單元安裝至兩直料間；預組單元有時是一層樓高之整體單元，有時是分成開口部（玻璃）及非開口部（鋁板、石材）兩單元。
5. 格版系統（Panel system）（圖 2-7）；版系統不同於上述系統，它提供了整體牆面之造型，每塊板先在工廠製造後，再運送到工地現場錨定組合而成帷幕牆。它與單元式系統之差別在於格版系統大都是單片板（加預鑄混凝土板、金屬版沖壓或鑄造而成之單片版），而單元式系統則是由許多小零件組合而成。

(四) 加拿大帷幕牆技術報告【參考文獻】

帷幕牆基本上由鋁框架、透視玻璃及層窗間牆板（玻璃、金屬或石材）所構成。在加拿大或大部份北美地區之帷幕牆有三種構成系統，亦即「直料組立系統」、「單元式（或嵌板）系統」、「結構玻璃嵌裝系統」。

1. 直料組立系統（Stick built system）
說明參見前節。
2. 單元式（或嵌板）系統（Unitized system）
說明參見前節。
3. 結構玻璃嵌裝系統（Structural glazing system）

圖 2-6 單元直框系統帷幕牆示意圖

第二節 國內帷幕牆發展沿革

一、發展時程

依據陳建豐等調查研究【參考文獻】，國內帷幕牆建築物發展最蓬勃之台北市，其金屬帷幕牆系統之外觀演變概有幾次里程碑如下：

- (一) 1975 (民國 64) 年：1975-1977 年是橫條式(T5)群起發展的三年，但這三年中，不完全屬於橫條式(T5)的全面玻璃+橫條式(T6)及直條式+橫條式(T7)兩種外觀形式，不僅有橫條式(T5)的基本形式，且對之後出現之直條式(T4)及全面玻璃式(T))有承先啟後之影響。
- (二) 1978 (民國 67) 年：直條式(T4)出現。
- (三) 1979 (民國 68) 年：全面玻璃式(T1)出現。
- (四) 1980 (民國 69) 年：複合式(T8)出現。

經歷多年之調查統計，近來帷幕牆建築物外觀類型以橫條式(T5)為最多（約有 50%以上），且對於採光、省能方面亦有相當優良的表現，而橫條式(T5)也是國際式樣一種，未來仍會持續以橫條式為主；而複合式(T8)在這幾年大量出現的情形可以發現，因隨台灣在設計及施工技術方面水準提高，該式樣應會蔚為主流。

四、台北市金屬帷幕牆外觀之演變

- (一) 1955 (民國 44) 年：由台鋁金屬公司興建中央日報及國貨館兩棟鋁金屬帷幕牆，此兩棟已有金屬帷幕牆之雛型。
- (二) 1975 (民國 64) 年：由田興金屬公司興建的世界貿易大樓（現在改稱海關大樓，位於台北市新生南路）完工，此為台北市第一棟金屬帷幕牆建築物，外觀為橫條式(T5C)施工方式為散裝式，使用材料為鋁。自此台北市金屬帷幕牆外觀皆是橫條(T5)為多，為台北市金屬帷幕牆建築物之主流。
- (三) 1976 (民國 65) 年：
 - 1. 臺陽商業大樓：外觀為橫條式(T5C)，施工方式為散裝式，而使用材料為鋁。
 - 2. 東興大樓：外觀為橫條式+全面玻璃式(T6)，施工方式為散裝式，且首次使用鋼材。此外觀類型同時也造成日後全面玻璃式(T1)的產生。

3. 國際電化商業大樓：此為第一棟使用鋁擠及不銹鋼材料的金屬帷幕牆建築物，其外觀為直條式+橫條式施工方法為散裝式此外觀為橫條式的變化型也間接造成直條式的產生。
 4. 力霸百貨南京店：外觀為全面金屬式(T2)，施工方法為散裝式，使用材料為鋁。而之後百貨公司皆為全面金屬式主要是受其形式之影響。
 5. 康華大飯店：外觀為單窗式(T3)，施工方法為散裝式，而使用材料為鋁+琺瑯板，為首次使用琺瑯板的台北市金屬帷幕牆建築物。內部因使用相同的單元空間，外觀為大小相同的開窗。概念發展自柯比意於巴黎大學城的瑞士學生宿舍，利用每一玻璃帷幕牆代表每一間宿舍的例子可佐證。
 6. 三傑大樓：其外觀類型為橫條式：(T5A)，施工方式為綜合式，使用材料為鋁。為獲得由內而外的廣闊視野，其內部空間和外部形式的一致性，是受荷蘭風格派的影響。
- (四) 1978(民國67)年：新中華大樓：其外觀為直條式(T4)的金屬帷幕牆建築物，施工方式為散裝式，使用材料為鋁。
- (五) 1979(民國68)年：該年大量出現使用全面玻璃式(T1)的金屬帷幕牆建築物，而之後全面玻璃式的外觀逐漸地普遍起來。
1. 欣欣大樓：外觀為全面玻璃式。(T1A)，施工方法為散裝式，使用材料為鋁。
 2. 學府大樓：為第一棟使用金屬帷幕牆的住宅。外觀為全面玻璃式(T1B)，施工方法為散裝式，使用材料為鋁。
 3. 安泰大樓：外觀為全面玻璃式(T1C)，施工方法為散裝式，使用材料為鋁。
- (六) 1980(民國69)年：
1. 世青商業大樓：外觀為覆合式(T8)，施工方法為散裝式，使用材料為鋁。金屬帷幕牆建築物發展至此階段技術已相當進步，固有此特殊的樣式出現。
 2. 華航大樓：第一棟採用鑄鋁的金屬帷幕牆建築物。外觀為單窗式(T3)，施工方法為散裝式。
- (七) 1982(民國71)年：
1. 惠普大樓：採用綜合式施工法，自此大樓綜合式施工法逐漸受重視，應用實例也慢慢取代散裝式。外觀為橫條式(T3)，使用材料為鋁。
- (八) 1986(民國75)年：

1. 中興紡織大樓：為首次單窗式施工法的金屬帷幕牆建築物，外觀為單窗式(T3)，使用材料為鋁。
- (九) 1994 (民國 83) 年：
1. 啟光辦公大樓：外觀為直條式(T4A)，施工方法為散裝式，使用材料為鋁。

第三節 帷幕牆構成之簡介—以單元式系統為例

一、 單元式帷幕牆之定義

其定義為「將帷幕牆組合規格化，做成適合安裝的單元，然後按順序固定在結構系統上的一種帷幕牆構法系統」；由於是採用規格化單元，其製造安裝方式，如前述可使用預組工法。

二、 單元式帷幕牆之特性

單元式帷幕牆是由單獨的版片組構而成完整的外牆（如圖 2-8）。

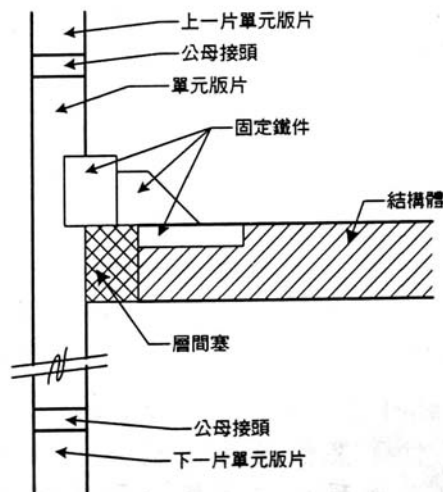


圖 2-8 單元式版片與結構體之組合示意圖

三、 契合式快速接合系統

在接合方式方面，單元式帷幕牆採用「陰陽連鎖契合式」。(圖 2-9，俗稱公母接頭)，將各個單元版片相互銜接組構而成。

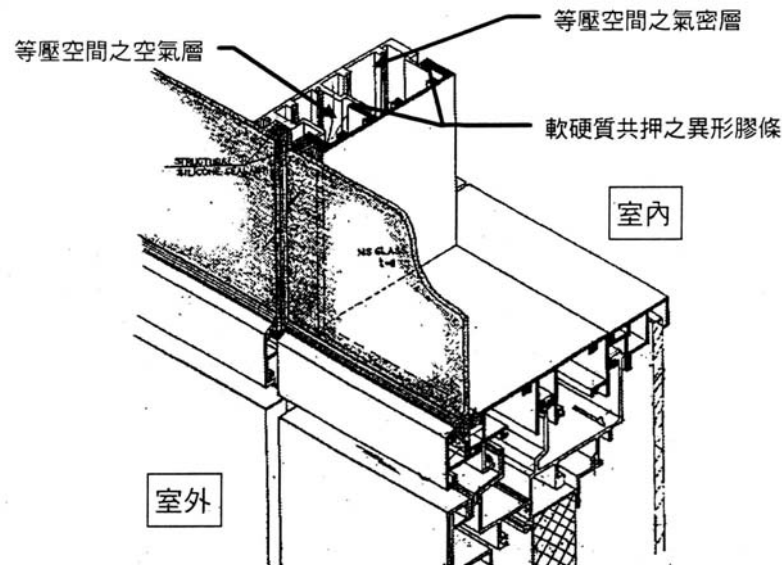


圖 2-9 鋁擠型公母接頭詳圖

四、 等壓空間設計

單元式帷幕牆以邊框(鋁擠型)契合後，在其內形成所謂的「等壓空間」，並利用開放接頭、雨屏、空氣層、氣密層，使空氣層與外部壓力相等（即是等壓），其壓差接近於零，雨水就只有受重力的用作，順著邊框之排水方向將入侵的雨水導出。

五、 填縫材應用設計

在單元式帷幕牆的邊框(鋁擠型)內，採用了成形及非成形填縫材。成形填縫材係採用軟硬質共押之异形膠條，其具有較佳之固定性能及線防水性能，並能在承受風壓時具有更好的水密、氣密性。而非成形填縫材係在工廠的穩定環境下施作及養護，可使其耐久性能及防水性能更佳，此二種填縫材正確的搭配運用，可使單元式帷幕牆擁有更好的水密性、氣密性、隔音性。

六、 二次排水系統設計

如圖 2-10 所示，在單元式帷幕牆「等壓空間」設計中的氣密層，是屬於水分進入機會極低的乾燥空間(Dry chamber)，即在正常狀況下，水分大部分已被擋在雨屏之外(A)，穿過雨屏的水分則在空氣層排出(B)，此即第一次排水系統。萬一水氣侵入至氣密層，則在二次排水系統設計中，將侵入之水氣藉重力作用經由導水孔排出(C)。

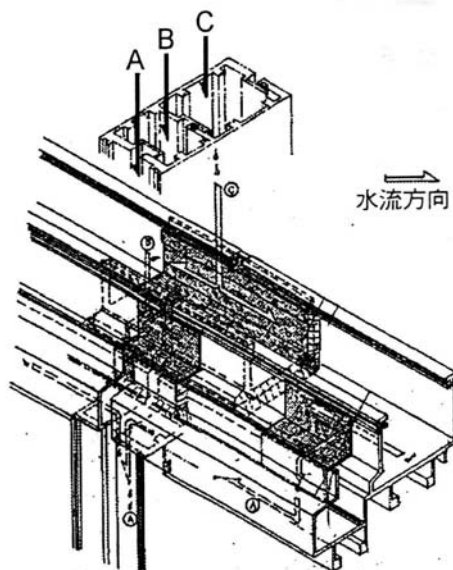


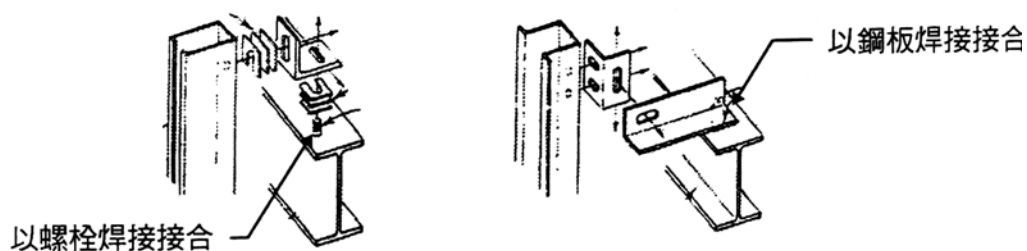
圖 2-10 二次排水設計詳圖

七、 無鷹架施工

由於單元式帷幕牆經陰陽連鎖契合後，不須從室外施打防水填縫材，可免除施工鷹架的使用，可節省人力、縮短工期、減少成本，並可使施工之危險性降低。

八、 帷幕牆版片與結構體間安裝鐵件

帷幕牆必須依附在結構體上才能存在，對於結構體因地震與風力作用而產生的變形位移，也必須加以吸收才不致造成帷幕牆的脫落、破損。為因應不同結構體周圍樓板或邊樑構造類別(如 RC、SRC、SC)，帷幕牆鐵件與結構體鐵件之間，必須做不同之處理(如圖 2-11a、b、c)。其應用特性如下：



SC — 鐵件焊接於結構體上

固定鐵件與結構體外周區構造之關係

圖 2-11a 固定鐵件與 SC 構造體之連接示意圖

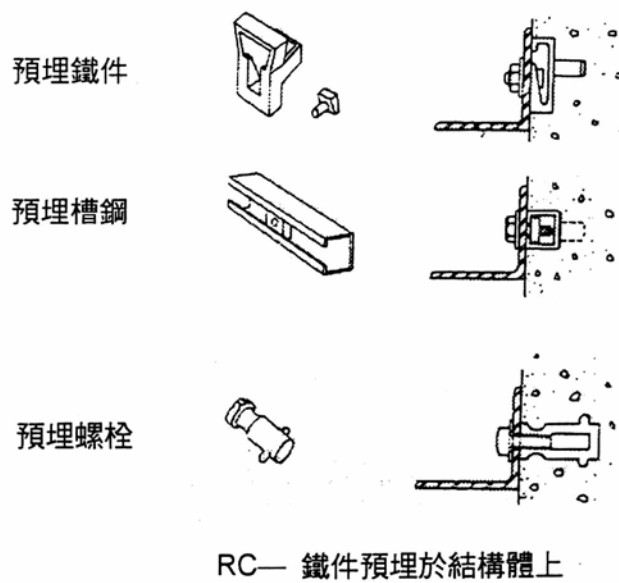


圖 2-11b 固定鐵件與 RC 構造體之連接示意圖

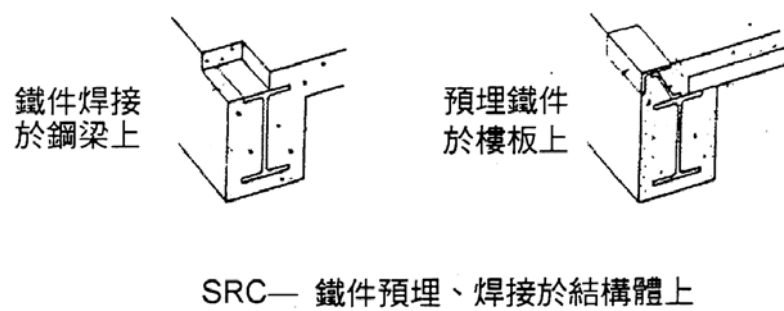


圖 2-11c 固定鐵件與 SRC 構造體之連接示意圖

(一) 高強度鐵件的設計

在固定鐵件的設計，採用高強度材料，如鍍鋅鋼板或 6063 系列鋁合金，以提高帷幕牆之安全性，並兼顧帷幕牆吊掛點型式及其位置之設計，以增加單元式帷幕牆之現場施工性（圖 2-12）。

圖 2-12 單元式帷幕牆固定鐵件樣例圖說

(二) 層間變位的吸收

在單元版用的兩個固定點，一個可吸收三向度位移，另一個為鉸接點抵抗側滑，在固定鐵件的設計，可以有效的吸

收單元版用的伸縮變形及位移，因此對於「層間變位」的承受性較好，使得版片不至於受到大量的擠壓而產生過度的變形甚至於破壞。

- (三) 在帷幕牆牆體的底部，以鋁擠型框料、固定鐵件、披水板配合防水填縫處理(如圖 2-13)，牆體的頂部，則以壓頂處理之(如圖 2-14)。

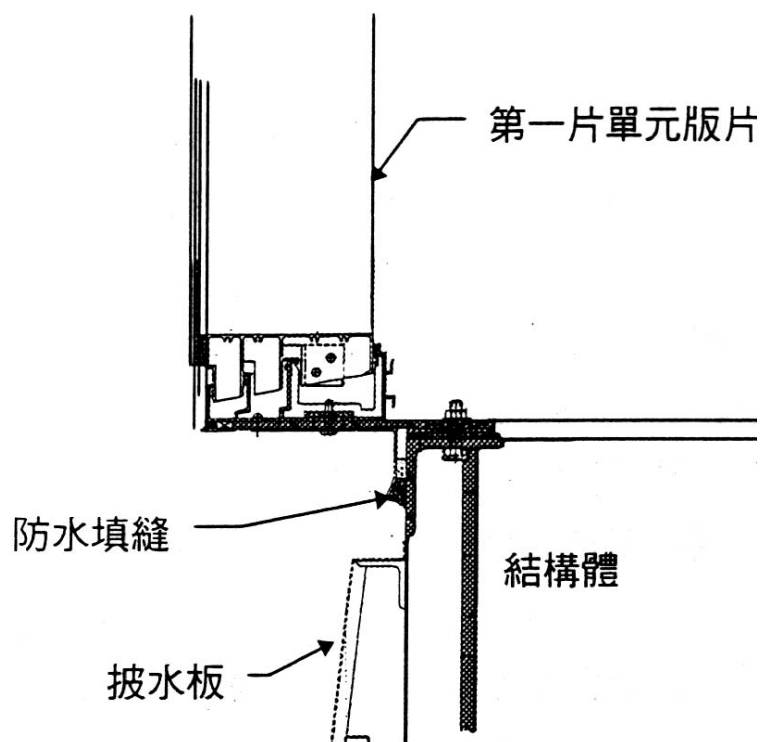


圖 2-13 單元式帷幕牆底部圖例

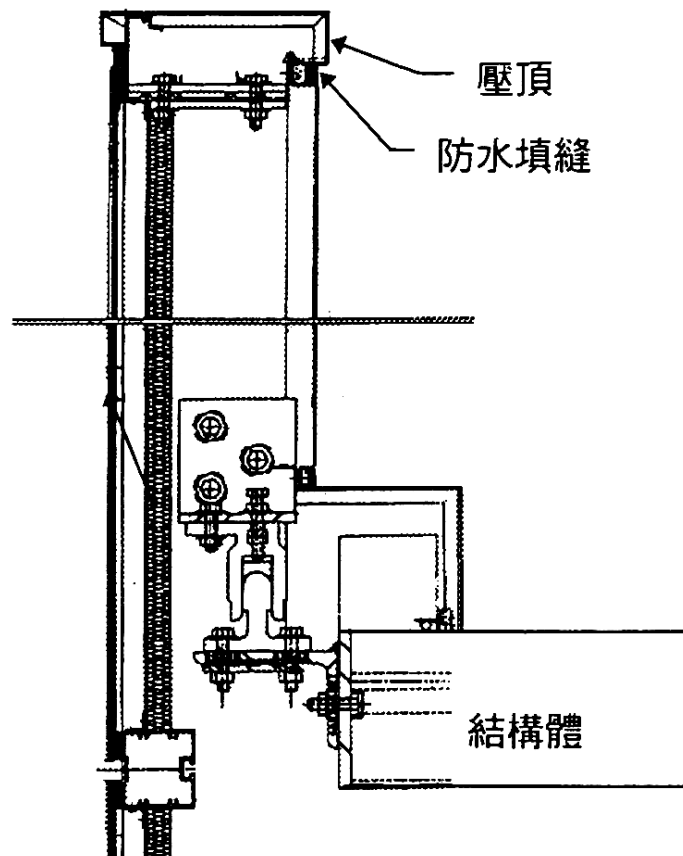


圖 2-14 單元式帷幕牆頂部圖例

第三章 帷幕牆建築物之火災危險

第一節 建築物火災之戶外延燒情景

建築物戶外延燒有關的火災情景（Fire scenario），如圖 3-1 及圖 3-2 所示，有以下兩種情況：

圖 3-1 起火建築物戶外延燒途徑（向上方樓層及鄰近建築物）

圖 3-2 裙樓火災之可能戶外延燒途徑（向連接建築物上方樓層）

一、建築物內部火災（室內火災向上層延燒）

室內火災發展至旺盛期，室內高溫火焰破壞建築物外牆或屋頂，熱氣流及煙氣從破壞缺口（開口部）竄出，火災在屋頂或向上樓層繼續燃燒。倘為防止這類火災延燒發生，最理想化防火措施即是屋頂及外牆應具有一定耐火性能，以抵抗火害，同時屋頂及外牆上的開口也有防火保護；但屋頂及外牆上的開口，一般僅是供作採光、通風之窗戶使用，並無防火保護，所以可以採用建築設計手法解決這個問題，亦即利用層窗間牆、突出樓板（屋簷）或陽台等設計防止火災向上層延燒。

二、建築物外部火災（戶外火災向建築物延燒）

火源來自建築物周圍，或許是鄰棟建築物失火（如上述情形），其火焰、輻射熱襲近過來或飛火飄散過來，又或許是周圍雜草、垃圾起火引起延燒。倘為防止這類火災延燒發生，屋頂及外牆本身最好應為不燃性材質，且具有一定耐火性能，同時開口也要有防火保護，又或者以適當之安全距離（防火間隔限制）或減少未防火開口面積（窗戶面積限制）等設計，避免可能之火災延燒機會。

從帷幕牆建築物火災安全觀點，加上建築物高層化之影響，此類建築物戶外火災延燒危險較低，因建築物周圍多面臨道路或有充分安全之防火間隔，故受到直接火燒或輻射熱之機率甚微，且帷幕牆材料不論是金屬、玻璃、石材皆為不燃性，對於飛火接觸引起燃燒之可能性幾乎零，有鑑於此，帷幕牆建築物火災防範對策，應對室內火災引起之樓層延燒較為重視。帷幕牆有關之火災延燒，除上述開口部噴出火焰會向上方樓層外牆加熱燃燒，另外火災熱氣、濃煙亦可能經由帷幕牆與樓板間之縫隙向上竄流，如圖 3-3 所示。

圖 3-3 帷幕牆火災延燒途方式

第二節 外牆之火災延燒特性

一、外牆開口噴出之火焰及熱氣

建築物室內火災到達旺盛期階段，室內高溫之熱氣流自然會從開口部噴出，此乃造成火災由起火室向上方樓層或者鄰接建築物延燒之原因所在。因此，掌握有關噴出之火焰及熱氣之特性或行為，在火災擴大延燒防止對策上有其重要性。

關於噴出火焰及熱氣之特性，可從其溫度分布、中心軸（最大流速線）位置或噴出火焰之發生限界加以瞭解。圖 3-4 係日本有關噴出火焰及熱氣之溫度分布及中心軸實驗結果範例；從中可發現噴出火焰及熱氣之中心軸，在開口部呈縱向較長情形下（細長型開口），朝上方外側且與外牆面有所距離，而在開口部呈橫向較長情形下（扁平型開口），中心軸軌跡呈現先稍為距離開口外牆，再回復沿著牆面之情形，此現象稱為 CO-AN-TA 效應。另外，圖 3-5 係開口部形狀之長寬向比與噴出熱氣流之中心軸位置關係所得結果，其呈現之傾向相當顯著。依圖 3-5 所示，扁平型開口若與細長型開口相比較的話，顯現出向上方樓層延燒擴大之危險性較高。

影響窗戶噴出火焰大小之因素相當複雜，包括火災居室型態（區劃形狀、尺寸）、開口部形狀及尺寸、區劃周壁之熱性質、室內可燃物之種類、數量及配置、環境風場條件（外部風速及風向）等，尤其是環境風場條件具有加（或減）成效應。窗戶噴出火焰特性之國內、
圖 3-4 窗戶噴出火焰及熱氣之溫度分布及中心軸
外相關研究並不太多，一般防火工程上對於噴出火焰之高度及突出長

度之計算，可以下列公式求得（如圖 3-6 所示）：

$$Z=12.8(R/W)^{2/3}-h$$

上式中，R 為起火居室內之燃燒速度（kg/sec），W 為窗戶寬度（m），h 為窗戶開口高度（m）。

R 值（kg/sec）可以下式求得：

$$R=1.5Q/h_c$$

上式中，Q 為平均熱釋放率（MW）， h_c 為燃料（可燃物）之燃燒熱值（MJ/kg），係數 1.5 為最大燃燒速度與平均燃燒速度之比率估值。

另外噴出火焰突出（外牆面）長度（P）可以下式求得：

$$P=0.314 h^{1.53} W^{-0.53}$$

圖 3-6 窗戶噴出火焰

二、層窗間牆與外突樓板對外牆延燒之影響

外牆延燒之危險性與窗戶噴出火焰特性有密切關係，而噴出火焰除受到上節所述因素之影響外，尚會被開口周圍構造條件所左右。例如圖 3-7、圖 3-8 所示為起火居室噴出火焰形狀及對外牆面之加熱特性，受到開口兩側層窗間牆（側壁）或開口上方外突樓板（屋簷）之影響實驗結果。有外突樓板的話，火焰會從壁面遠離，也會減少向壁面的熱輻照度（受害輻射熱），只有層窗間牆的話，火焰會接近壁面，增加熱輻照度，顯示出向上延燒的危險也會增加。當火災居室的開口寬度變大時，從開口兩側捲入火焰再轉而向上的外部氣流也會相對減少，此情況之下呈現如同層窗間牆般的影響，被認為容易向上層延燒。

圖 3-7 層窗間牆與外突樓板對起火居室噴出火焰之影響

(左：沒有外突樓板的火焰；右：沒有層窗間牆的火焰)

圖 3-8 起火居室噴出火焰對外牆面之加熱特性

第三節 帷幕牆建築物火災案例之探討

一、美國火災案例

(一) 1977 年洛杉磯歐美中心大樓火災

該大樓為洛杉磯第一棟摩天大樓，其外圍帷幕牆由防水保護的磨石子磚及強化玻璃組成。火災起火原因是人為縱火，消防人員在火警系統偵測到第 13 樓起火後 3 分鐘收到警報而趕到現場，隨即發現火舌已使窗戶破碎，火勢也已蔓延到第 22 樓，短短不過十餘分鐘，火災即已延燒 9 個樓層。

(二) 1981 年內華達州拉斯維加斯希爾頓飯店火災

該火災起火點位在第 8 樓東塔的電梯大廳，隨即因為可燃的內部油漆和家具而讓火勢迅速蔓延。火勢迅速吞燒這棟三十層鋼筋混凝土結構的大樓，由於火焰的熱度，火勢在不到 25 分鐘內迅速由第 9 樓竄燒到 14 樓，造成了 8 人喪生。

(三) 1988 年加州洛杉磯第一州際銀行大樓火災

該樓為一棟 62 層樓鋼骨結構的建築物，當時火災造成一人死亡，並燒毀了四層樓，財產損失約 38 萬美金。起火原因係辦公室其中一個工作站的可燃物突然起火燃燒，且火勢蔓延迅速，很快便延燒到其他大量的可燃物質。外牆的玻璃開始破裂，正好提供了助燃的氧氣，使火勢加速燃燒。火勢從第 14 樓一直延燒到 17 樓，火舌從玻璃帷幕破裂的開口竄出，並對室內可燃物預先加熱，終至引燃起室內的易燃物，最後整層樓都陷入火海。火焰也從樓層地板/天花板版塊和帷幕牆的縫隙（約 100mm 寬）蔓延到上層。調查證實玻璃帷幕牆係因鋁製間柱（Mullion）受室內火燒變形後才導致窗戶破壞。

(四) 1991 年賓州費城子午線商場大火

該樓為一棟 38 層樓鋼骨結構的建築物，本場火災造成 3 名消防隊員死亡，九層樓全燬，財產損失約 33 萬美金。這場火災起因於在第 22 樓浸有溶劑的破布突然產生自燃，火勢因貫穿孔隙、停電及大樓水塔系統的壓力控制閥裝設不當等多重因素下，從第 22 樓一路燃燒到第 31 樓，除此，辦公室之高火載量及大樓開放式平面配置設計也是加重火災效應的因素之一。該樓外牆超過 50%面積為玻璃帷幕牆，所以火災當時可見到火焰主要沿著建築物外側延燒。不過因為第 31 樓已全面改裝自動撒水系統，所以當火燒到第 31 樓時，撒水系統啟動，讓火勢得以控制。這場火災可以說明撒水系統在控制火勢上的成功，同時也說明了火勢因貫穿孔隙及玻璃帷幕牆開口而在樓層間蔓延的危險。

(五) 1992 年賓州市場街大火

火勢是直接經由樓板與帷幕牆間的空隙而由第 20 樓竄燒到第 21 樓，此災例證明帷幕牆層間塞材料之防火性能之重要性。

(六) 其他的例子

1975 年英屬群島中曼島上造成五十人死亡的夏樂地大火，1973 年哥倫比亞波哥大市造成 4 人死亡的艾維安卡大廈大火，及 1988 年加拿大蒙特婁艾利西斯商場。而由大樓外經破掉的窗戶蔓延的火災的例子有 1975 年伊利諾州芝加哥市的艾斯潘那達公寓大樓大火及 1973 年亞利桑那州塔克森市皮馬郡政府大樓大火。

二、英國火災災例

(一) 1991 年 Basingstoke 辦公大樓火災

該樓為一棟 14 層樓鋼骨結構的建築物，全棟皆由鋁框玻璃帷幕牆所包圍。火災發生在第 8 層，並經由外牆面向上延燒至第 10 層。此火災造成財產損失約 23 萬美金。

(二) 1999 年倫敦爾漢街 (Earlham Street) 辦公大樓火災

三、國內火災災例

(一) 民國 90 (2001) 年汐止東方科學園區大樓火災

該大樓位於台北縣汐止新台五路，為地上 26 層、地下 3 層之鋼骨大樓，分由 A、B、C、D 等四棟同高建築物所構成之廠辦綜合大樓，A、B、C 三棟併連一體呈「品」字型，另以地面連絡走廊連接 D 棟。火災發生在 5 月 12 日凌晨，由 A 棟第 3 樓辦公室不慎起火，在缺乏自動撒水設備（依當時消防法規 10 層以下樓層免設）及防火區劃牆之火災控制措施，火災迅速燒燬 A 棟第 3 樓近 1500 m²的面積（包括三家公司），同時火災亦從垂直管道間、外牆玻璃帷幕破壞缺口（如圖 3-9）向上延燒，在消防隊搶救下火勢延燒至第 5 樓後受到控制，此時火災歷經約 2 小時。其後逐層搜索、清理殘火，惟受到各公司大門（鐵捲門）無法順利開啟影響（因假日未上班之故），搜索、清理速度進展緩慢，經過 13 小時後，第 16 樓出現火災，火苗係隱藏在垂直管道間內緩慢燃燒塑膠、橡膠管材、電線電纜等，待熱量及通風條件合適時，即從管道間竄燒出來，適有不少易燃物助燃，火勢在自動撒水設備未發揮功能情形下（緊急發電機及消防幫浦失靈而無法順利供水），迅速破壞玻璃帷幕牆，讓室內熊熊火焰從缺口噴出，火焰高度有時可達兩層樓高（約 8 公尺），其後火勢一路向上猛烈延燒，消防隊亦難以控制（如圖 3-10）。從第 16 樓燒至第 26 樓約僅 2 小時 30 分鐘，平均向上延燒一層所需時間不過 15 分鐘。災後可見到 A 棟大樓有近二分之一帷幕牆殘破不堪（如圖 3-11），其玻璃全數破碎，大量碎片遍佈於受火害樓層地板，鋁構架受高溫高熱影響，無不變形、軟化或熔化，殘留扭曲、燒失的框架（如圖

3-12)，令人感歎火災威力及燃燒擴大之快速。

圖 3-9 東方科學園區大樓火災-三、四樓外牆開口延燒

圖 3-10 東方科學園區大樓火災-火勢猛烈向上延燒

圖 3-11 東方科學園區大樓火災-災後殘破不堪之帷幕牆外觀

圖 3-12 東方科學園區大樓火災-災後帷幕牆鋁構架殘景

(二) 民國 90（2001）年台北市東帝士大樓火災

該大樓座落於高層辦公大樓集中的敦化南路，為地上 35 層、地下 4 層之鋼骨造帷幕牆辦公大樓，每樓層面積約為 $1,021 \text{ m}^2$ （約 315 坪）。90 年 6 月 30 日清晨約 5 點該大樓第 10 樓某房屋仲介公司辦公室起火，消防隊抵達現場時，部分帷幕牆玻璃窗已破壞，濃煙及火舌已噴出（圖 3-13）。10 樓火勢一度擴大，致火焰從帷幕牆破壞開口向上延燒，造成 11 樓外牆及內部靠窗辦公室燃燒，經約 3 小時 30 分鐘搶救後火勢始得控制。10 樓燒毀範圍約 750 m^2 （約 230 坪），餘則受到嚴重煙燻，致有 8 人受到輕微嗆傷（消防人員 6 人，居民 2 人）。本次火災損害範圍有限，除有賴於消防隊搶救戰術得宜外，尚可歸功於該大樓各層樓板四周圍有邊樑設計。邊樑因位於帷幕牆內側，構成如同層窗間牆作用之防火垂壁（或側壁），故能發揮減小玻璃開口噴出火焰高度之作用，因此可減少對上層帷幕牆之破壞

(圖 3-14)。

圖 3-13 台北市東帝士大樓火災情景

圖 3-14 台北市東帝士大樓帷幕牆火損情形（樓板
四周邊樑設計發揮防火垂壁作用）

(三) 民國 91（2002）年中壢金像電子公司中壢廠大火

(四)

金像電子公司係生產印刷電路板為主之股票上市公司，位於桃園縣中壢工業區西園路之廠房（一廠），為四層樓鋼骨造建築物，外覆金屬及玻璃帷幕牆，總樓板面積近 10,000 m²。於去（91）年 9 月 1 日凌晨約 3 點半發生火災，起火點為該廠二樓二次銅生產區，因生產電路板原料不慎引燃造成火災。由於現場原料及半成品多屬可燃物或化學危險物品，火勢一發即迅速擴大而難以控制，消防隊抵達時，建築物內部火煙四處流竄，熊熊火焰及大量濃煙冒出（圖 3-15），鄰近高速公路上遙遙可見。火勢幸經消防隊噴水隔離冒出火焰（圖 3-16），並未大面積向上波及四樓帷幕牆玻璃窗，亦未延燒鄰近建築物（二廠），火勢延燒近 7 小時被控制。本火災燒燬二樓大部分廠區、三樓管道間及局部生產區、四樓管道間及屋頂排氣設備，燒損面積約 5,000 m²，其餘內部受到不同程度之煙燻，此外，鄰棟之行政大樓帷幕牆亦遭燒損。該廠當時近 300 名員工安全逃離，幸無傷亡，估計財損達億元以上。本次火災建築物屬高危險物質工業廠房，其火載量（Fire load）遠高於一般辦公大樓，猛烈火勢不僅破壞玻璃窗後向上延燒，亦由內部燒穿帷幕牆竄出火焰，以致鋁帷幕牆留下熔化開口（非玻璃窗開口）及受熱變形外觀（圖 3-17）（圖 3-18），因此高危險物質工業廠房帷幕牆之耐火性能似應要求較高防火時

效。

圖 3-15 金像電子公司中壢廠大火情景

圖 3-16 金像電子公司中壢廠大火消防隊射水情景

圖 3-17 金像電子公司中壢廠帷幕牆火災後外觀（東側）

圖 3-18 金像電子公司中壢廠帷幕牆火災後外觀（北側）

第四章 帷幕牆構材之受火特性

第一節 玻璃與嵌裝玻璃

一、 背景

火災的規模（技術上而言，便是熱釋放率）取決於氧氣流量，除了一些極少的特定狀況外，流入室的氧氣流大部分來自於開啟門窗，其它少部分則來自空調系統以及建築物本身的空隙。但是當火勢繼續延燒時先前緊閉的門窗有可能會破裂，但是也有可能不會；玻璃是否會破裂所造成的結果則是截然不同，因此，預測玻璃是否會在火災中破裂則相形之下顯得非常重要。

在此先做一個重要的區別：當一般的浮式平板玻璃的窗片開始受熱時，如果溫度達到 150 - 200°C 時，就會開始產生裂痕，而且會先從邊緣的地方開始裂，而後蔓延開來，到最後整塊玻璃都會裂開而掉落，此時無論室內的通風是否良好，對火勢都沒有影響了，因為當氣流本身受到改變時，玻璃不只會裂開，還會整片掉下來。

了解玻璃在何種情況下會整片掉下來對許多研究火災的人來說都非常重要，既然要使用火災模式就必須先了解火災通風設備的開啟，研究玻璃的破裂對設計火災模式而言顯得很重要，因此也促成了許多理論及簡化研究，還有一些實驗性的研究。

我們必須先了解在火災中，至少有二種不同的加熱型態：

1. 當火災發生於室內時，窗戶只先由一側受熱而後慢慢蔓延到全體；室內氣體溫度和輻射溫度非常相似，從頂到底（天花板至地板）會有溫度及熱通量的梯度情形產生。

2. 當火災發生於室外時（通常是野火或草叢火災），窗戶的上下部分，暴露於火災中的情況就沒有太大的差別，加熱通常是由於輻射而產生的，氣體溫度也會和周遭環境的溫度差不多，因為火焰並不直接襲擊窗戶，而且窗戶的表面也會有冷空氣對流。

二、 火災時玻璃破裂之理論

玻璃窗破裂的原因，除受到外力撞擊外，亦可能是溫度或壓力的急劇變化所引起。火災中玻璃破裂現象，可以應力變化予以解釋；在火場中玻璃可能會承受三種應力，包括第一種應力之內應力（Internal stress），亦即玻璃本身具有之缺陷（雜質晶粒）所產生之應力， δ_I ；第二種應力之外應力（External stress），施加於玻璃表面之外力， δ_E ；第三種應力之熱應力（Thermal stress），即玻璃與其外框受熱後因膨脹係數不同所產生之應力， δ_{TH} 。因此，玻璃所承受之總應力， δ_S ，可以用下列公式表示：

$$\delta_S = \delta_I + \delta_E + \delta_{TH}$$

上式中，熱應力與玻璃溫度上昇率（ $\Delta T/\Delta t$ ；上昇溫度除以時間差），玻璃與外框之間的熱膨脹係數差（ $\alpha_{glass} - \alpha_{frame}$ ），兩者乘積之絕對值呈正比關係，如下列公式所示：

$$\delta_{TH} \propto |(\Delta T/\Delta t) (\alpha_{glass} - \alpha_{frame})|$$

當玻璃受到應力之後，會開始變形，首先產生所謂之「彈性形變」或「應變」，其變形程度與所受到之應力呈線性的正比關係，如下列公式所示：

$$\delta = E \cdot \varepsilon$$

上式中，E 為玻璃之彈性模數（或楊氏模數；Young's Module），此係數為經實驗求得之常數，隨不同玻璃材質而異； ε 為形變程度（即應變）。

若以玻璃內部形成之熱應力為例， δ_{TH} 可以下式表示：

$$\delta_{TH} = E (\alpha_{\text{glass}} \cdot \Delta T) / 2 (1 - \nu)$$

其中， ν 為波松比。

綜上可知玻璃受熱變形的程度 $\varepsilon_{TH} = (\alpha_{\text{glass}} \cdot \Delta T) / 2 (1 - \nu)$ ，故溫度上昇值愈大，變形也愈大，其產生之熱應力自然愈大。

另一方面，從外部應力來看，當玻璃受到外力愈大時，它的變形愈明顯，但不是無限制變形，當經歷彈性形變之後，若外力仍持續增加的話，其變形將會由彈性形變轉為非彈性形變，然後達到最大值（即極限應力或應變）。在該值之後，玻璃不再均勻受力，部分受力較集中之處將加速應變，而形成弱點之處，終而造成玻璃破壞。

從上述可知，玻璃受到之熱應力由溫度上昇引起之熱膨脹產生，而外部應力是如何產生？根據國外研究，室內火災中玻璃受到之外部應力主要是燃燒造成之室內氣體體積增加所產生之壓力， ΔP (N/m^2)，可以下式表示：

$$\Delta P = (0.3 \cdot R_B \cdot \Delta H_C \cdot \Delta t) / V = (0.3 \cdot Q_{\text{FIRE}} \cdot \Delta t) / V$$

上式中， R_B 為可燃物之燃燒率 (g/sec)， ΔH_C 為可燃物之燃燒熱 (kJ/g)， Δt 為燃燒時間 (sec)， V 為居室內部空間體

積 (m^3)， Q_{FIRE} 為可燃物燃燒之熱釋放率 (kJ/sec)。由於燃燒率、熱釋放率與居室燃燒環境（通風條件）、可燃物之配置排列等因素有關，所以不同空間火災產生之壓力也有所不同。

綜合以上分析，當玻璃所承受之總應力（假設內部應力可忽略，總應力為熱膨脹應力加上火災居室內壓力施力之和）大於或等於玻璃之抗彎強度（破裂極限應力）時，玻璃便發生破裂。

三、火災中玻璃破裂的實驗研究

Keski-Rahkonen (1998 年) 第一個提出針對火災中玻璃碎裂的深入理論研究；他指出暴露在表面的玻璃和受到邊緣保護的玻璃的溫差在控制破裂上扮演著很重要角色，他預測當這兩者的溫差到達 80°C 時，玻璃才會開始碎裂；Paghi 和 Joshi 則更深入地提出，還有更多的熱流物理特性及玻璃的熱性質需要列入考量，他們預估只要溫差達到 58°C ，玻璃就會開始碎裂，而溫差大部分是因為假設玻璃不同的熱及機體上的特質而產生；Shelly 則在一個非常特殊的小型火災測試室內做了一連串的實驗，在他的實驗中，有一項特別發現，就是窗戶從來不曾暴在重直的溫度梯度中，他提出一些玻璃的掉落情形，但並沒有提供任何的指導原則或列表來協助估計玻璃破裂的情形。

Mowrer (1998 年) 則提供了最新的研究，主題是針對大型及小型的試樣以及輻射板，來模擬戶外或荒野的暴露；最

大的熱流，大約是 16kW/m^2 ，足夠使玻璃產生裂痕，但不會整塊掉；單強度的玻璃的裂痕產大概是 4 到 5kW/m^2 ，而不論是黑或亮的紗窗都需要其 21% 的熱流量才能裂開，然後在單強化玻璃片中大約有 33% 的輻射熱會穿透它；這項發現可以用來預測建築物內部接受外部輻射熱而產生的熱源。

1987 年加拿大國家研究院(NRCC)曾經做過一項計畫，發展撒水防火措施的嵌裝玻璃；其中，也有做少部分的非撒水防火測試，將 6mm 厚的強化玻璃暴露在模擬火災的測試室中，但是沒有裝置撒水設施；因為這種玻璃只有在商業大樓中常見，結果並不是很顯注；但是強化玻璃因為在一開始就會只有裂痕，但這種裂痕只會在溫度非常高的情形下才會發生；大概要在表面溫度達到 $290 - 380^\circ\text{C}$ 時才有可能，而沒有直接接觸到火的溫度則會低於 100°C ；除非整間房間全部燒毀，否則通常這樣的溫度不會發生；在後來 1990 年 NRCC 的研究中，發現嵌裝玻璃會有輻射熱效應，在這種情形下，不明厚度的平面玻璃，表面溫度到達 $150 - 175^\circ\text{C}$ ，而未接觸到熱源的一側到達 $75 - 150^\circ\text{C}$ 時，就會產生破裂。

Shields (2001 年) 進行許多的室內火災測試，使用 6mm 厚的浮式平板玻璃，其實驗結果顯示，第一個裂痕直到大部分的玻璃的溫度都到達了 110°C 時才會產生，其熱通量值大概是 3kW/m^2 。

文獻中對於火災中玻璃破裂時間的問題最早出現在 (1969 年) 俄國專家 Roytman 的研究中，他指出，空內氣溫到達 300°C 時玻璃才會破裂，但是這項研究的結論並不是很明

確。

Hassani, Shields 和 Silcock (1994 年) 則做了一連串的實驗，在半規模的火災測驗室中使用 $0.9 \times 1.6\text{m}$ 的單片嵌裝玻璃，並在室內及玻璃上行成了一個自然由上到下的溫度梯度 (Temperature gradient)；當 4 或 6mm 厚的玻璃片開始產生裂痕時，上層的氣體溫度為 $323 - 467^{\circ}\text{C}$ ，等到 20 分鐘的實驗結束時，氣體的溫度到達約 500°C ，但是在六次實驗中只有一次有玻璃掉落的情形；當裂痕開始產生時，玻璃表面和遮蔽部分（如窗框）的溫差大概是 $125 - 146^{\circ}\text{C}$ ，這些溫度是非垂直溫度梯度理論所預測的二倍；然而他們的研究結論並沒有提供當玻璃開始掉落時明確的室內火災溫度，但是可以知道的是，一定比 431°C （產生裂痕的溫度）還要高，而約比 450°C （實驗結束時）還低；綜合這些資料可以得到結論：在氣溫為大約 450°C 的室內，玻璃會破裂的機率約有六分之一。Shields (2001 年) 隨後做了更進一步的實驗，使用一間有三扇 6mm 厚的玻璃片窗戶的房間，當表面溫度達到 $415-486^{\circ}\text{C}$ 時，玻璃開始掉落，但是有些溫度是在 $278 - 615^{\circ}\text{C}$ 之間，是需要大概有 35 kW/m^2 的熱通量才能使掉落發生；在其後續的測試中，可以發現玻璃掉落時最低的溫度是 447°C 。

日本建築研究所(BRI)1996 年有關在一定高溫中玻璃狀態的研究，提供唯一有關以或然率為主之實驗結果，其研究使用一個實大尺度高溫門窗隙漏測試裝置（將試體前後包圍的爐體），研究對象為單一嵌裝之 3mm 厚玻璃窗。他們針對這種玻璃，做了許多的測試，所以可以求出或然率曲線圖，

這些研究結果以玻璃破裂或然率表示，對應成超出周圍環境溫度的函數，如圖 4-1 所示；以高斯趨合曲線可使或然率數據與平均溫昇值（ 340°C ）有相關性（標準差為 50°C ）。

圖 4-1 玻璃遇熱破裂之或然率

1999 年英國災損預防協會（LPC）曾研究對多層建築物正面牆面測試構架加熱之居室火災，以每片玻璃厚度皆為 6mm 的雙層玻璃窗為測試對象。使用發熱量 3MW 的木角材堆火災中，發現溫度必須至少在 600°C 以上維持 8 到 10 分鐘，大部分玻璃才會開始掉落，以致產生火災通風口。然而，當相同測試在完全裝潢的辦公室下進行，玻璃在火災開始 5 分鐘後即破裂，在此測試中，玻璃在大約 600°C 時破裂，但是溫度一旦到達 600°C 時馬上破裂。綜合以上發現，6mm 厚的雙層中空玻璃窗在溫度約 600°C 會破裂，如再加上大量燃料，玻璃在溫度第一次達到 600°C 時即破裂。

雙層(或三層)玻璃窗可以在火災中維持相當長時間不破裂。窗戶玻璃的光譜射線吸收的特性，是在光譜中可見及近紅外線部分的波長區域中有高度的穿透性；在此區域外，玻璃幾乎不透光。因此，以雙層窗戶而言，透過第一層窗戶的輻射線只會透過第二層窗戶也不會吸收的光譜區域，因此當第一層窗戶溫度正提升時無法估計第二層窗戶的溫度，表示第二層窗戶在火災時短時間內不會破裂，或者在火災持續久一點的時間後才會破裂，實驗結果皆證實這些推論。Shields, Silcock and Hassani（1997 年）提出火災時兩種尺寸的雙層窗戶，厚度為 6mm。當火災達到最高溫 750°C 時，玻璃不會掉

落，但在火勢較小區域，在三次試驗中有一次，較大尺寸窗戶(0.8×1.0m)當溫度降為 500℃時，內層玻璃在 21 分時會破裂。玻璃絕不會從外層先破裂，也不會由較小的窗戶(0.8×0.5m)先破，在另外兩個試驗中玻璃也不會破裂。另外又以一面牆上有 12 扇 1.5×1.5 的雙層中空玻璃的房間來測試，測試結果十分簡短，當氣體溫度到達 350℃時，玻璃會全部掉落；但其他窗戶在什麼溫度下會掉落並不清楚。

就暴露在輻射熱下來說，1994 年 Cohen and Wilson 之研究報告有一連串模擬戶外火災的實驗結果，以小面積(0.61×0.61m)及大面積(0.91×1.5m)單層及雙層玻璃進行實驗，也相同用強化玻璃及雙層玻璃窗兩者做實驗。小的窗戶在最低熱流 9.3kW/m²時，所有窗戶碎裂但玻璃不會掉落，即使在最高溫氣流為 17.7kW/m²時玻璃也不會掉落；就尺寸較大的玻璃窗，在熱通量為 16.2 - 50.3kW/m²間，三個實驗樣本中至少有一個會掉落。相反的，較大的鋼化玻璃在到達 29.2kW/m²時也不會破裂；他們也以雙層中空窗戶做相同試驗，顯示雙層中空窗戶可以達到更佳表現。在實驗較大尺寸的雙層中空窗戶(無鋼化)中，他們發現氣流必須在 20 - 30kW/m²間，兩片玻璃才會都掉下來。

Harada 等人(2000 年)也曾將 3mm 厚的浮法平板玻璃(試體尺寸 0.5×0.5m)置於測試爐不同的溫度熱流下，低於 8kW/m²，無明顯窗戶掉落，但在 9kW/m²時，有些樣本會有 8 到 24% 的部分會掉落，邊緣限制並不影響此結果。在 1990 年 NRCC 的研究報告中另可得到更多有關資料，包括熱強化及鋼化玻

璃(無特定厚度)在 43kW/m^2 光時不會破裂，接下來的熱流使表面溫度為 350°C ，沒有暴露出的一面為 300°C ，在無法決定破裂及掉落的正確點時，此結果拉大 Cohen 提出的不會破裂的資料點，由 $29.2 - 43\text{kW/m}^2$ 。

現有出版的研究報案主要都著重在薄玻璃的退火或鋼化碳酸鈉玻璃，但還有很多其他種類玻璃可以研究。許多使用在商業大樓的厚平板玻璃，6mm 厚的在暴露在輻射熱流 23kW/m^2 下超過長一點時間(7 分鐘)就會粉碎；此外無其他相關資料。汽車用玻璃也還未經有系統化的方式研究過，最後是各式各樣的防火玻璃，其中歷史最久的是鋼絲網玻璃。現今有很多已經申請專利的防火玻璃都不是鋼絲網玻璃，通常都是多層結構內層包含一些聚合物，正常來說，有關持續時間的實驗室報告內容中皆會提到防火玻璃，認為這種玻璃除非它掉下來，否則不會有通風氣流。

四、窗框之影響

窗戶玻璃的掉落也因窗框材質不同而不同，Mowrer(1998 年)研究發現聚乙烯系塑膠窗框的窗戶，窗框在大部分玻璃掉落之前就掉落了(例如整體窗組件掉落)，實驗顯示聚乙烯系塑膠窗框在輻射熱通量 $8 - 16\text{ kW/m}^2$ 間會掉落。相較下，McArthur 研究發現鋁合金窗框的嵌裝玻璃比在傳統木框之嵌裝玻璃更能維持較長的時間。

中國大陸有關研究(1998 年)顯示窗玻璃(嵌裝玻璃)之框遮邊寬度增加時，玻璃破裂所需時間會減短，亦即更容易破裂。邊緣區內部熱應力玻璃曝火受熱區與框遮邊區之間

的溫度差大小，該溫度差一旦到達破裂應力的溫度差，玻璃隨時會破裂。因此增加框遮邊寬度意味著從玻璃曝火受熱區傳熱至框遮邊區之距離增加，因此將導致溫度差增大。

五、 小結

理論上玻璃第一次破裂的發生雖可預測，但與火災通風條件並無直接相關，經過以上分析得知，事實上，實在很難預估在真正火災中，玻璃何時會破裂到一定程度使得玻璃掉落。俄羅斯建議 300°C 為較低的合理範圍，BRI 研究報告指出 3mm 厚窗戶玻璃約在 340°C 會破裂，更厚一點的玻璃，4 - 6mm，破裂的平均溫度大約在 450°C ，雖然較薄與較厚玻璃實際上的差距似乎比推測的大。使用厚度 6mm 的雙層玻璃，會在約 600°C 時破裂，強化玻璃在居室尚未閃燃前，較不可能破裂。

就發生在屋外的火災而言，在熱通量 $9\text{kW}/\text{m}^2$ 下，一些普通玻璃會掉落，但還不如到達 $35\text{kW}/\text{m}^2$ 時高，雙層窗戶可在 $25\text{kW}/\text{m}^2$ 下大致持續不掉落，鋼化玻璃在某些狀況下，也可承受 $43\text{kW}/\text{m}^2$ 的熱通量。

窗戶尺寸、窗框種類、玻璃厚度、玻璃缺陷及垂直溫度梯度，這些因素皆會影響玻璃的掉落，因為氣爆導致過度施壓也是造成掉落的重要因素。然而正常火災的確會有壓力的變化而可能影響玻璃窗的掉落。這些因素皆須加以研究以變為有用、量化的參考資料。

第二節 金屬安裝構材

一、 構架材

玻璃及金屬帷幕牆之構架材，簡單有直料（或立柱；Mullion）及橫料（Transom）之區分，一般金屬材質多使用鋼材或鋁合金。依據英國災損預防協會（LPC）之研究，鋼及鋁的對火特性摘要如表 4-1 及表 4-2 所示。

表 4-1 帷幕牆鋼材之防火性質

	防 火 性 質
受火行為反應	在超過 300°C 時會開始失去強度，在 500 到 550°C 之間時會失去一半強度，再升溫至 1400°C 時會熔化。受熱會膨脹而導致彎曲。
耐 火 性	沒有承重要求的嵌板在火中可維持較久，只要謹慎選擇金屬厚度和特定的設計細節(如熱槽及方盒型斷面設計)。初期耐火完整性破壞出現在未拘制的邊緣。鋼的熱傳導性很高。大部分設計都不具隔熱性。
火焰延燒	不可燃

表 4-2 帷幕牆鋁材之防火性質

	防 火 性 質
受火行為反應	超過 200°C 時會喪失 50% 的強度，超過 350°C 時會完全喪失強度，在 550 到 660°C 之間會熔化滴流。受熱會擴張導致彎曲。
耐 火 性	沒有承重要求的嵌板在火中可維持較久，只要謹慎選擇金屬厚度和特定的設計細節(如熱槽及冷卻斷面設計)。初期耐火完整性失敗缺點是因為其強度喪失及熔化溫度低所致。鋁的熱傳導力很高(鋁的熱傳導力比鋼高出五倍)。大多數設計不具隔熱性。

火焰延燒	會融化並滴下(掉落)。會將熱度(熱金屬)轉移到其他地方而造成火勢蔓延。
------	-------------------------------------

關於鋁合金構架材之防火性能，LPC 曾進行過許多次實大尺寸火災實驗，起火居室在 24 分鐘達到 900℃ 高溫時，鋁框架燒失造成帷幕牆窗框組及層窗間牆板掉落，依據實際測量立柱與橫料斷面溫度結果，其破壞時候之溫度為 700℃。經過嚴重火燒之後，帷幕牆鋁窗框會呈現熔斷、扭曲、燒失（變薄）情景，尤其在火焰噴出位置留下尖銳狀殘斷立柱（如圖 4-2），這是因為火災從室內加熱，所以鋁柱斷面從內側向外側逐漸熔化。鋁柱受到火熱而



尚未熔化之前的變形過程，可概略分為兩階段；初期火災時立柱

向內彎曲，內縮約 5 mm，此乃立柱斷面之厚度方向之溫度梯度所致，此可稱為「自由弓屈（Free bowing）」，常可在一些建材牆

板之防火測試時觀察到相似情形；第二階段約在 10 分鐘之後，變形行為會有突然改變情況，即變形位移明顯由內反而向外彎曲，位移量可達 25 mm，此乃立柱斷面之溫度梯度漸漸消失，且鋁材強度性質減弱引起斷面重心移動所致。上述實驗中帷幕牆鋁窗框火燒情形，與真實火災情形極相似，此可從國內發生之汐止東方科學園區大樓火災見證（如圖 4-3）。

圖 4-3 東方科學園區大樓火災帷幕牆鋁窗框火燒情形

二、 安裝用金屬件

用於將帷幕牆固定於結構體（樓板）金屬件之，有預埋鐵件、連結扣件、調整鐵件等，其構材亦有鋼材或鋁合金。通常基於帷幕牆自重承載之設計考慮，結構體鐵件、預埋鐵件等一次或二次繫件以使用鋼板為主，而連結扣件、調整鐵件等則可以使用鋼板或高強度鋁合金製品。從火災實驗及實際火災案例中觀察所見，鋼製安裝金屬件比起鋁製品更能在高溫下維持支撐構架之功能。關於鋁合金”L”型繫件之防火性能，LPC 亦進行過多次實大尺寸火災實驗，結果顯示這些繫件在自重承載及熱膨脹之雙重作用下有顯著變形，且容易造成”拉穿”破壞

（”Pull-through” failure）（如圖 4-4）。實驗在進行 20 分鐘時繫件溫度約達到 500℃，此時帷幕牆面發生第一次輕微滑動，此乃鋁製繫件受熱軟化，又受帷幕牆重力牽引所致。當實驗進行至 28 分鐘時，繫件溫度約達到 650℃，即出現上述破壞現象。上述也提及鋁合金”L”型繫件若是由兩塊鋁板焊接而成者，應注意焊接線是否完好確實，當然最好是使用一體成型之鋁繫件。



圖 4-4 鋁合金”L”角型繫件”拉穿”破壞情景

第三節 其他類構材

英國 LPC 曾進行過一系列之非玻璃帷幕牆耐火試驗，試驗之層窗間板構法及材料之組合，包括以下四種：

- (1) 鋁板（2mm）/聚苯乙烯發泡材（20mm）/鋁板（2mm）
- (2) 鋼板（3mm）/聚苯乙烯發泡材（18mm）/鋼板（3mm）
- (3) 鋁板（2mm）/酚醛樹脂發泡材（20mm）/鋁板（2mm）
- (4) 花崗岩板（20mm）

依據耐火試驗結果，僅將各個材料或組合之防火性能及使用建議闡述如下：

一、 金屬絕緣板

實驗中金屬絕緣板顯現出漸進式破壞；通常金屬嵌板完好留置在試體上，也沒有發生破裂，但是在嵌板周圍會產生一些開孔，此乃表面金屬位移、變形、絕緣材脫落及嵌板邊緣施工不良所致，這些開孔會讓內側火焰噴出。通常嵌板周圍（含框架）經過 20－30 分鐘耐火試驗之火燒後，即會整塊單元嵌板掉落。

二、 鋼板與鋁板之比較

一般人皆預期鋼板比鋁板會有相對較好的性能表現，此乃因為鋼板有較低之熱傳導率及較高熔點溫度之故。一般使用之嵌板，其邊緣少有變化，內襯有可燃性絕緣材，且整塊固定於框架之內（並非貼附於樓板版塊上）。在耐火爐上加熱試驗，兩種嵌板均破壞得相當快；而彼此相比的話，不論是”隱蔽性延燒”（火焰在面板內側延燒後從正面竄出）或者”激變性破壞”（嵌板掉落），鋼板組件破壞均在鋁板組件之

前，且鋼板正面溫度也較高。此或許是內襯絕緣材較薄，且接著在絕緣發泡材燒失後兩片金屬面板間隔較小之故。較高溫度之鋼板組件也連帶使連接用”L”角型繫件之位移變大。

另外從比較樓板版塊以上之嵌板（曝火加熱區上方之嵌板）來看，鋼板組件表現比鋁板組件優異，此或許是因為鋼材之較低熱傳導性所致。

三、 酚醛樹脂與聚苯乙烯發泡材之比較

此兩種材料之比較相當清楚，在試驗 15 分鐘時，酚醛樹脂發泡板之非曝火面達 70°C，而聚苯乙烯發泡材則為 230°C，或者另一方面，酚醛樹脂發泡板之非曝火面升溫至臨界溫度（350°C）比聚苯乙烯發泡材晚上 6 分鐘時間。此乃酚醛樹脂是熱固性（Thermosetting）材料，遇熱時會熱分解且殘留下碳渣，因留在原位置，所以繼續提供某些程度絕緣性。聚苯乙烯發泡材則為熱塑性（Thermoplastic）材料，遇熱時會熔化、滴落，絕緣材燃燒殆盡。使用酚醛樹脂發泡材，雖可防止第一階段之火災延燒（由內燒穿），但卻無法改變激變性破壞的時間。

四、 花崗岩板

在試驗過程中花崗岩板表現最佳，可維持至激變性破壞時間（36 分鐘）為止。表面雖有些微裂隙，但並無持續性火焰噴出。

第五章 帷幕牆防火技術之分析比較

第一節 防火外牆（層窗間牆板）

帷幕牆屬外牆構造之一，其防火性能依建築技術規則建築設計施工編第 70 條，規定建築物各部位所需的防火時效。帷幕牆若屬於非承重牆，防火帶以內部分為 1 小時時效，防火帶以外部分為 30 分鐘時效。但以上規定不適用於帷幕牆中的開口部，亦即有玻璃或框部分，換言之，無開口帷幕牆或帶玻璃窗帷幕牆之層窗間牆部分，則應為具備法定合格防火性能之防火構造。在建築技術規則建築設計施工編第 73 條，規定「一小時防火時效」之牆壁，而在第 74 條，則另規定「半小時防火時效」之非承重牆，從今日台灣高層建築之設計、用材及構法技術來看，上述建築技術規則所列出之構材構造，實不敷實際使用，從某方面而言，似顯有些不合時宜且與實務脫節。因此，國內建築物帷幕牆設計施工單位長期以來並不採用照建築技術規則所列出之構材構造。

雖有上述情況，建築技術規則建築設計施工編第 73、74 條中，皆規定可採用「其他經中央主管建築機關認為具有同等以上之防火性能者」，依此款規定及「建築新技術、新工法、新設備及新材料審核認可要點」，各式帷幕牆理應先經防火測試，再經審查通過並領有審核認可通知書之後，始可使用在國內建築物上，但是至今僅有一項外牆構造是領有審核認可通知書，而其他絕大多數帷幕牆製造廠家並無。在這樣環境下，國內帷幕牆大樓使用具有法定合格防火性能之帷幕牆者，可說少之又少。這也難怪台北縣汐止市「東方科學園區大樓火災」在火勢竄燒出帷幕牆之後，即一發不可收拾。

國內帷幕牆防火安全性能堪虞原因，除上述以外，在實際執行面尚有若干不足之處，包括以下幾點：

- (1) 建築技術規則雖有規定（如上述），但建築師鮮少會指定帷幕牆防火時效要求，建築執照圖說審查時亦未嚴格要求。
- (2) 建築設計時既無嚴格要求，竣工後檢查、使用後公共安全檢查亦未查驗帷幕牆之施工是否有防火工法。
- (3) 在我國國家標準中並無適用之帷幕牆防火試驗法標準，在現行防火材料審核認可制度作業中亦無「帷幕牆」項目。但若須使用暫時試驗方法，建議可以 CNS 12514【建築構造部分耐火試驗法】為標準。

為防止火災藉由噴出之火焰向上延燒，最簡單的設計方法，如前節所述，就是規定每層樓之樓板延伸外突或設置屋簷，以防下方火焰席捲上來；又或者限制外牆開口大小，換言之，也是限制上、下層樓窗戶之間的高度距離，亦即層窗間牆高度。各國相關規定如下所示：

- (1) 我國建築技術規則建築設計施工編第 78 條

明訂「防火樓板應突出外牆面 50 cm 以上，但與其交接處之外牆有高度 90 cm 以上為防火構造得免突出。」

- (2) 日本建築基準法施行令第 112 條第 10 項

明訂「防火樓板應突出外牆面 50 cm 以上，但與其交接處之外牆有高度 90 cm 以上為防火構造得免突出。」

- (3) 美國 Uniform Building Code-1997 第 709.3.2.3 小節

明訂「如果外牆的開口是在底下一層樓之開口之上的側面 5 英呎(1524 mm)範圍之內，這些開口必須要使用合格的火焰屏障（Flame barrier）保護，而且火焰屏障必須要在地板

平面上，延伸超出外牆 30 英吋(762 mm)，或是從底部開口的頂端垂直往上測量，不低於 3 英吋(914 mm)高的合格垂直火焰屏障。火焰屏障的防火時效不得低於 3/4 小時。」

(4) 美國 International Building Code-2000 第 704.9 節

明訂「如果外部牆壁的開口是在底下一層樓之開口之上的側面 5 英吋(1524 mm)範圍之內，且下一層樓之開口並無防火保護，這些開口必須在垂直方向上隔開，以防止外牆上延燒。這些開口必須以層窗間梁（邊梁）、外牆、或其他具有至少一小時防火時效之類似構件予以垂直隔開至少 3 英吋(914 mm)，又或者以延伸超出外牆 30 英吋(762 mm)之火焰屏障隔開。該火焰屏障需具有至少一小時防火時效。」

對於帷幕牆而言，除應遵守上述間隔距離等規定外，尚應注意樓版與帷幕牆間之空隙，該處應已適當之防火材料填塞，以防止火、煙穿過。在美國 Uniform Building Code-1997 第 709.3.2.2 小節及 International Building Code-2000 第 712.4 節，均要求防火填塞材料應在正壓條件下進行耐火試驗，且須具有與防火樓板相同之防火時效。

綜合上述可知，在我國建築物之外牆，包含帷幕牆或落地玻璃窗在內，只要防火樓板應突出外牆面 50 cm 以上即可視為合格設計，如圖 5-1 所示。

圖 5-1 外突樓板設計

其次，建築物之外牆上、下樓層之窗戶或開口在垂直方向相距 90 cm 以上者，亦可視為合格設計，如圖 5-2 所示。

圖 5-2 層窗間牆設計

第二節 防火嵌裝玻璃帷幕牆

一、耐火玻璃(Fire resistant glass)種類

基本上，耐火玻璃可區分主要兩類：

(一) 非隔熱型玻璃(Non-insulating glass)

此類玻璃原本即有傳導性且為整體成型，一面受火熱時能夠從非曝火面傳遞及放出大量熱輻射；玻璃型式大致可區分為金屬網入(嵌鋼絲網)玻璃及無金屬網入玻璃。

1. 金屬網入玻璃(Wired glass)－在製造平板玻璃過程時，將金屬網插入熔融狀態的玻璃，此種玻璃俗稱鐵絲網玻璃。

2. 無金屬網入玻璃(Non-wired glass)或整片透明玻璃

(Monolithic glass)玻璃係單片產品，並無金屬網在其中；依玻璃成分可區分為三種：

(1) 鈉石灰玻璃(Soda-lime glass)：強化及超強化玻璃。

(2) 矽酸硼系玻璃(Borosilicate glass)

(3) 陶瓷化玻璃(Ceramic glass)

(二) 隔熱型玻璃(Insulating glass)

由多層玻璃結合透明材料的玻璃成品，當火災時高溫會讓玻璃中間成分發生改變，而顯著降低熱傳導或輻射熱通過。此類玻璃可分成兩種：膨脹型積層膠合玻璃(Intumescent laminated glass)；

中間膠層玻璃(Gel glass)

(三) 其他型式耐火玻璃

1. 非一體金屬網入玻璃(Non-integral wired glass)

構法係金屬網插在常溫下膠合之兩片鈉石灰玻璃板中間樹脂層；此種玻璃常有魚目混珠之偽冒品，例如使用低熔點、非鐵金屬絲（如鎳絲），或使用耐熱、耐火性差之樹脂作為中間膠合層（樹脂遇熱後會軟化、滑動）。

2. 積層膠合玻璃

- (1) 鐵絲網入玻璃／強化玻璃膠合而成者(強度提高用)
- (2) 透明陶瓷化玻璃／鈉石灰玻璃膠合而成者(安全性提高用)
- (3) 矽酸硼玻璃／隔熱玻璃膠合而成者(保全性提高)
- (4) 鈉石灰玻璃／膨脹中間層／鈉石灰玻璃膠合而成者(部分隔熱性)

此種類玻璃須注意其耐火性係單方向性

(Uni-directional)，所以在規劃設計或認可此類玻璃時應特別謹慎。在我國測試標準因為考慮試體兩面均等機會受火的試驗條件下，此種類玻璃概難通過測試，因此不宜在國內使用。

二、防火玻璃防火性能之比較

為提供不同種類玻璃材料防火性能之資訊，以下參考 BS PD 6512：Part 3（1987）內容，整理如表 5-1 所示。該表並未詳細描述不同嵌裝玻璃系統之材料、安裝構法等，正如前述，嵌裝玻璃系統須為完整組件之性能評估，所以該表僅供一般參考之用，其中未將框材及嵌裝方式的影響效應納入比較。該表之試驗結果係依據 BS 476：Part 8（或 Part 22）所得，倘依此推測為其他國家

標準之試驗結果時，宜注意可能試驗結果會略有不同。

表 5-1 不同種類玻璃之防火性能

以適當設計系統於直立狀態下鑲嵌玻璃，並依 BS 476：Part8 (或 Part 22) 測試之結果					
種類	標示 厚度 (mm)	單片玻 璃尺寸 (m)	系統種類	測試結果 ↑	
				僅穩定 性與遮 焰性 (h)	穩定性、 遮焰性及 隔絕性 (h)
經冷熱處理 (非鐵絲網 玻璃)	6	0.10 x 0.15	多數玻璃板、 銅光板，最大 0.4 平方公尺	1	—
鐵絲網玻璃	6	2.0 x 0.8 1.6 x 1.4 2.0 x 1.4	單片玻璃板 多片玻璃板 多片玻璃板	1.5 1 0.5	— — —
經強化處理 (改良後)	6 到 12	2.0 x 2.85	單片玻璃板	0.5	—
積層膠合中 (膨脹或膠 間層)	11 20 72	1.98 x 0.8 2.0 x 1.4 1.2 x 1.6	單片玻璃板 多片玻璃板 單片玻璃板	— — —	0.5 1 1.5
特殊組成分 (硼矽化物)	6	2.0 x 1.0	多片玻璃板	2	—
玻璃磚	80	2.438 x 2.438	240mm x 240mm 磚，以 砂漿粘結且加 鋼筋補強	—	0.5 ≠
<p>↑ 本表係基於公開可得資料。性能水準並不代表最高可能達到程度，而僅表示使用特定 鑲嵌玻璃系統下所能達到之性能水準，且並得以自玻璃或鑲嵌玻璃製造商所得測試證據佐證。使用不同之鑲嵌玻璃系統可能導致性能水準之增加或降低。</p> <p>≠ 依 BS476: Part1 測試；僅符合隔絕性標準約 15 分鐘。於 1972 年印行 BS476：Part 8 時，BS476: Part1 已被抽出。</p> <p>註 1：傳統強化玻璃通常無法達到最低之防火性能水準(30 分鐘)。</p> <p>註 2：使用 PVB 保護膜以組合一種或一種以上之上述玻璃可增加或降低功能，須視組合之玻璃及安裝。</p> <p>註 3：就使用樹脂夾層以組合玻璃，尚無有關功能資料。</p>					

三、耐火嵌裝玻璃性能之主要影響因素

參考英國災損預防協會（Loss Prevention Council）之建築防火設計指南有關資料，摘要如下：

（一）設計及使用通例

1. 使用嵌裝玻璃組件於防火區劃牆時，一定要有試驗證明或由專家對玻璃、框材及嵌裝方式進行獨立客觀評定。
2. 嵌裝玻璃組件中任一構材不得任意替換，除非經過適當之試驗證據證明，或由專家對該構材在完整組件之影響進行獨立客觀評定。
3. 玻璃之種類，厚度及最大尺度，框材之種類、尺度，以及嵌裝玻璃系統之框座剖面構造均為關鍵因子，因此任何與試驗時之上述關鍵因子不一致時，或與試驗時玻璃之形狀或方向不同時（如由水平改為垂直），均須重新測試，或經過對整體嵌裝玻璃組件之獨立客觀評定，以確定耐火性能水準得以維持。
4. 由高溫引起玻璃猛然掉落會造成完整遮焰性（Integrity）失敗，因此嵌裝玻璃如何夾固在框內是重要設計要件。

（二）撒水頭噴水影響

耐火嵌裝玻璃使用在設有撒水系統保護的防火區劃時，必須謹慎考慮玻璃是否會對噴水造成的熱差（Thermal differential）敏感，否則玻璃會因承受不起急劇的溫度變化而爆裂。一般依據經驗，以下幾種玻璃：

1. 鐵絲網入玻璃（一體型，鈉石灰玻璃）

2. 矽酸硼系玻璃
3. 透明陶瓷化玻璃
4. 多層隔熱型玻璃(不少於 4 層玻璃)

在火災初期受撒水頭噴水較無不良影響，所以可以應用在撒水保護的防火區劃的周界牆壁。

(三) 耐久性(Durability)

所有一體成型玻璃均很安定且對於水分、溫度變動、化學物品等不受其影響，可視為耐久性玻璃。但膠合隔熱型玻璃因含膨脹性中間層(Intumescent interlayer)，其對於溫度、水分滲入或化學物相當敏感，因此其邊緣需隨時封位，使用防水膠帶及矽膠皆可。

(四) 框構材

框構系統對於防火窗或玻璃隔屏均是不可或缺的一部分。選用框材應經測試合格，不論由工廠安裝玻璃或現場施作，均須符合試驗規格。框構材可以使用木材達到 60 分鐘防火時效，或使用鋼鐵、水泥質框材甚至可以達到 240 分鐘防火時效。不論框材為何種型式，達到試驗時防火時效，其安裝施工須由經訓練技術人員為之；以英國為例，耐火嵌裝玻璃組件之安裝施工須由經訓練認證之承包商及技術人員進行。

(五) 表面裝飾物

在玻璃表面黏貼裝飾物或安全保護膜應儘量避免，除非經試驗不會折減防火性能(遮焰性)。在非隔熱型透明玻璃表面應避免刻蝕標記或因素，但在一體型金屬網入玻璃表面刻蝕，經驗上並不會減損其防火性能。

(六) 日常維護

防火窗及嵌裝隔屏均為固定元件，不需常常保養，或許年

度檢視確定所有框座牢固未位移及邊緣襯墊材未破損即可。日常清潔維護須注意不可造成玻璃裂隙或刮傷，尤其無鐵絲整片透明玻璃，可能會減損防火性能(遮焰性能)。

LPC 進行之實驗充分已證實防火嵌裝玻璃帷幕牆具有相當優異防火性能，該實驗過程在 5 分鐘即到達高溫 800°C，並維持至少 40 分鐘之久。因此玻璃選用隔熱型玻璃，且搭配適當之防火填塞材料及構法（如圖 5-3），應可輕易達到一小時以上防火時效。從實驗後試體狀態，可發現這類玻璃雖然會破裂、熔融，但仍能維持住耐火完整性及隔熱性（如圖 5-4）。

The test rig with fire resisting façade installed

Detail of the fire-stopping employed by the fire resisting façade

圖 5-3 LPC 實驗之防火嵌裝玻璃帷幕牆構造

The façade after a 1 hour fire test

**Close up of the front of a window on the fire
floor**

**Intumescent property of the Pyrodor glass
(internal on fire floor)**

**Close up of Pyrodor glass after test (internal on
fire floor)**

圖 5-4 LPC 實驗後之防火嵌裝玻璃帷幕牆正面(室外)及背面(室內)

綜合上述可知，帷幕牆若全部嵌裝玻璃或層窗間牆採用半小時或一小時防火時效之防火嵌裝玻璃系統者，亦可視為合格設計，如圖 5-5 所示。

圖 5-5 防火嵌裝玻璃系統設計

第三節 自動撒水設備防護

一、加拿大 NRC 研究

NRC 曾經調查研究以撒水頭防護玻璃構造暴露外部火焰的有效性，共研究兩個情境。第一個情境，以線性丙烷燃燒器來模擬一自下方區劃窗戶竄出之窗戶火焰氣流，這丙烷燃燒器，建立來能對窗戶提供跟外部覆蓋全尺寸試驗所使用之熱暴露量相當的熱輻射，在窗戶基部上方 0.5m 的總熱通量為 45kW/m^2 。第二個情境，一個大尺寸的輻射盤設備用來模擬相鄰建築物失火的情況，熱輻射使用 12.5 和 25kW/m^2 。

模擬自區劃窗戶竄出的焰火氣流實驗指出，調和玻璃組合達到寬達 2.6M 可裝置於暴露或無暴露火焰側之撒水頭所保護，然而，對於能有效保護玻璃構造的撒水系統，撒水頭應能在 1 分鐘內撒水。

位於暴露火焰側，動作溫度 74°C 的快速反應或標準型撒水頭通常在 30 秒內動作，實驗也顯示一個裝置於外部的撒水頭能有效地保護窗戶構造，若使用乾式系統，送水延遲的狀況應予考慮。

裝置於無火焰暴露側的快速反應型撒水頭通常在 1 分 30 秒動作，並能對窗戶組合提供有效的防護，然而任何撒水的延遲或玻璃的疲勞弱化都會導致玻璃易受熱暴露及受接下來的熱衝擊的影響而破裂。考慮影響撒水頭動作時間敏感度的因素比如撒水頭位置、視角因素和火暴露量等，建議內部撒水系統應和外部探測系統並設以提供足夠的保護。

使用能提供熱輻射量 12.5 和 25kW/m^2 的大輻射盤來測試以撒水頭防護一暴露於相鄰建築物火災的有效性， 12.5kW/m^2 的熱輻射

使玻璃產生約 250°C 的溫度，這溫度明顯低於使用玻璃破裂的溫度，所以，假如調和玻璃暴露於來自相鄰建築物的火焰，其熱輻射小於或等於 12.5kW/m^2 ，窗戶將能抵抗熱輻射而且不需要撒水頭保護。

對高於 12.5kW/m^2 的熱暴量，裝於內部窗戶上方中央的快速反應型撒水頭能對玻璃提供有效的保護，實驗指出一個快速反應型撒水頭會在玻璃達到臨界破裂溫度前由穿過窗戶的熱輻射所啟動。

天花板式快速反應型撒水頭也會由穿過窗戶的熱輻射啟動，然而，動作時間通常發生在玻璃溫度超過臨界破裂溫度，這指出，天花板型撒水頭針對 12.5kW/m^2 的輻射暴露未能及早動作而提供良好的防護。

受 25kW/m^2 熱輻射暴露的調和玻璃在 23 分鐘左右破裂，這實驗亦指出，在實驗中早期動作的天花板型撒水頭未能對玻璃提供足夠的保護。

使用裝置於無火焰暴露側玻璃上方的快速反應撒水的實驗指出，撒水頭不會在玻璃達到臨界破裂並遭受熱衝擊破裂前自動動作，然而，實驗也指出，假如撒水頭能在 120 秒內動作，始能對高輻射暴露提供有效的保護。為了確保設於無火焰暴露側的撒水頭能在 2 分鐘內動作，應與設於火焰暴露側的偵熱型探測並設，這探測器是用來啟動設於無暴露火焰側的撒水頭。

二、 內部窗戶系統

之前在內部防火區劃的調查指出，調和或熱強化玻璃能由撒水系統保護超過 1 小時，在這篇論文中，重新閱讀以前的研究並

建立以玻璃寬度、邊框深度，和使用多個天花板型撒水頭防護為因素的限制，這些限制簡要如下：

- (1) 全高度玻璃能以快速反應型撒水頭在大區劃隔間和一小火鄰近玻璃的情況下有效防護，這撒水頭應設於鄰接玻璃的窗戶上部中央處。
- (2) 不應以單一撒水頭防護寬度超過 3.6m 的窗戶組合。
- (3) 不應以單一撒水頭防護邊框深度超過 25mm 的窗戶組合。
- (4) 只要撒水頭間距在 2m 以上，可以多個撒水頭共同防護一寬大的玻璃組合。
- (5) 假如在兩個撒水頭間有一中央邊框深度大於 50mm 者，撒水頭之間距便不需設限。
- (6) 天花板型撒水頭可用來防護基部距地板 1m 以上之窗戶組合。
- (7) 對天花板型撒水頭，下列參數的最大值為：窗台深度 150mm，撒水頭在窗戶上方 450mm 和撒水頭距窗戶水平距離 600mm。
- (8) 對一天花板式快速反應型撒水頭位於理想位置（窗戶上方 300mm，距有最小窗台的窗戶水平距離 300mm），能防護最寬達 2.6m 的玻璃構造 1 小時。
- (9) 使用數個天花板撒水頭系統，其撒水頭間距至少為 1.8m。

三、 外部玻璃系統

調查的進行亦用來發展關於使用撒水頭防護來自外牆的熱暴露的技術資訊，基於上述對外部火焰暴露的調查，對以撒水頭防護外部火焰暴露作下述建議：

- (1) 溼式設於外部的撒水系統，在外部火焰暴露的研究中，能及早動作而對窗戶足夠有效的防護。
- (2) 設於無火焰暴露側，窗戶上部中央的撒水頭能在低的熱輻射反應動作而不會危害窗戶的完整性。然而，對外部高熱輻射的火焰，卻可能動作不夠早，而使得調和玻璃因熱衝擊破裂，因此在稍後的情況，建議內部撒水系統應和外部探測器並設。
- (3) 在火焰暴露情況下，天花板式快速反應型撒水頭部會在玻璃到達臨界破裂溫度前自動動作。只要並用外部探測器，內部天花板型撒水頭便能動作得夠快而對玻璃提供有效的防護，然而，卻不足以對高熱輻射的火焰情境下提供有效的防護。

綜合上述可知，全部或部分嵌裝玻璃帷幕牆若採用撒水系統加以保護者，只要各項撒水條件及嵌裝玻璃條件能夠配合，對於降低室內火災溫度及玻璃溫度是具有相當優異成效（如圖 5-6），因此本設計系統若經實驗驗證無誤，並經審核認可通過，亦可視為合格之替代設計，如圖 5-7 所示。

圖 5-6 撒水系統對室內火災溫度之作用

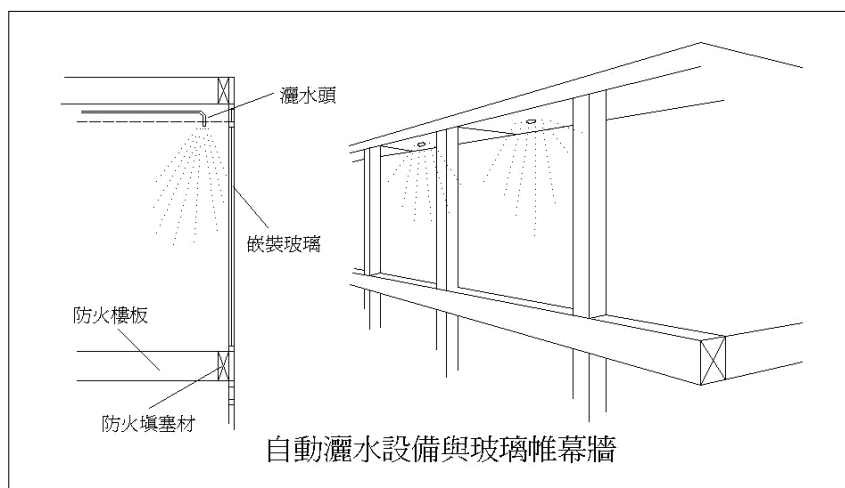


圖 5-7 撒水系統防護設計

第四節 水淋幕設備防護

一、 水淋幕定義

所謂水淋幕系統(Drenching system)，簡言之，即是利用撒水保護嵌裝玻璃免受火熱破壞作用之系統；技術上係使用一排特製的撒水系統，對準一般玻璃系統噴水，在玻璃上形成一層連續性水膜，使玻璃保持在一定低溫之下，因而防止玻璃高溫破裂發生。此種系統因係結合嵌裝玻璃(由一般強化玻璃或安全膠合玻璃構成)及特製撒水頭及有關供水管路所構成，所以屬於被動與主動混合式防火措施(Hybrid of passive and active fire protection)。

二、 國外有關實驗

LPC 因配合英國購物中心開發業者之委託需要，進行過全尺寸嵌裝玻璃之火災實驗，用以模擬探討購物商店展示櫥窗及帷幕牆之火災情景(Fire scenario)；由於國人對於此系統大都不熟悉，以下僅摘述部分實驗結果，供瞭解此系統之防火功能。

(一) 試驗內容

LPC 的研究共進行了四次測試，兩次為靠近玻璃的小火測試，一次靠近玻璃隨後持續成長的火災，以及最後一次為持久且嚴重的大火，有關說明如表 5-2 所示。

這些測試是在一個區劃空間進行，位於災損預防協會(Loss Prevention Council)的多層樓長方形空間裝置的第一樓層進行。其空間大小為 6.0m×4.0m×3.6m，這個裝置的前面使用傳統鋁的商店櫥窗玻璃(5.4m×3m)，由三片 12mm 厚的強化玻璃構成，中間用矽膠接合材和製的中柱連接起來。量測儀器設備有熱電偶量測溫度，分別用來測量區劃

裡的熱氣溫度和撒水頭附近的熱氣溫度，以及曝火和未曝火的嵌裝玻璃表面溫度，從玻璃傳送過去的熱通量是用高登熱流計(Gardon gauge)來測量。撒水系統的水壓和水流也要測量，以及可燃物的重量減失也要紀錄。

表 5-2 LPC 測試水淋幕系統過程內容

試驗代碼	火源位置	火載量	起火位置 (相對於撒水頭)	目的
1	近距離(距玻璃 600 mm)	23.8kg 混合纖維布料(大約 307MJ/m ²)	在中央撒水頭(S2)底下	評估靠近窗戶以及在窗戶底座處的火災成長對撒水頭的反應
2	近距離(距玻璃 215 mm)	24.5kg 混合纖維布料(大約 316MJ/m ²)	在中央(S2)和右邊(S3)撒水頭的中間	同上
3	兩排火源從近距離延伸出來(距離玻璃 50 mm，朝向房間中心)	60.0kg 混合纖維布料(大約 645MJ/m ²)	在左邊(S1)和中央(S2)撒水頭的中間	中型測試，使用在該處的物質，且較嚴重的火勢
4	八排火源(距離玻璃至少 1.0 公尺) + 布料散佈在側邊和後牆	250.0kg 混合纖維布料(大約 134MJ/m ²)	沒有運用	嚴重大火

試驗 1 和 2

前面兩個試驗是要測試小型火災靠近玻璃時，這套噴淋玻璃系統的反應，亦即這種火災以其有限的火勢，近距離接近玻璃，但離撒水頭那麼遠，因此可能在撒水頭啟動前，玻璃就破損了。試驗用商店展示櫥窗，裡面是重疊的服飾吊掛在矽酸鈣板上，此設計為嚴重且更真實的火災情形。矽酸鈣板置在試驗 1 和試驗 2 中，分別距離玻璃 600mm 和 225mm。

這兩個試驗中，以一根火柴模擬縱火，電線走火或聚光燈的直接照射，使火載量從櫥窗的下半部沿著櫥窗開始燒起。垂直的火勢延燒速度很快，幾件服裝從矽酸鈣板上掉落

下來，在櫥窗底面形成一團火海，並且直燃燒不停。火焰直接燒到天花板，然後啟動了最靠近的撒水頭(試驗 1 的作動時間為 2 分 10 秒)。雖然試驗 2 的大火比較靠近玻璃，可能預見造成較嚴重的曝火加熱，但是實際上撒水頭的水從嵌裝玻璃濺回，反而有降低火勢的趨勢，因此比試驗 1 火勢控制還好。在這兩個實驗中，撒水頭都及時啟動，並且都有足夠的水量充分保護玻璃。

這個測試方法本身存有一個缺失，那就是從玻璃將噴水濺回來抑制火災長的效果雖是有助益，但也是無意間的結果，因此使得檢視系統反應的受到扭轉。另外，矽酸鈣板對撒水系統的啟動有些許助益，因為矽酸鈣板導引煙霧和熱氣上升經過撒水頭。因此，設計另一個變通的辦法，就是靠近玻璃燃燒，同時助長火勢，使不會受到撒水回濺的影響。

試驗 3

試驗 3 使用兩排掛衣架的衣服，總重量為 50 公斤，這兩個衣架從距離玻璃表面有 50mm 遠的地方，朝室內側之中心線延伸，並懸掛在一個荷重計上面，以測試火災中滅失的重量。這樣安排背後的想法是，火勢從玻璃或靠近玻璃表面的地方開始，形成類似前面兩次試驗的火勢。但是這次火災要定位在撒水頭之間，而不是直接在一個撒水頭底下。這次沒有矽酸鈣板，也就沒有導引煙霧熱氣的作用，此外火勢從櫥窗移向室內中心時，撒水回濺的效果就大大減低了(在一般冷空氣下的測試，撒水回濺可以看到在玻璃表面形成一層水霧達 900mm)。

起火源和前面一樣，由一根火柴點起火焰，然後發展

到天花板的高度。左邊的撒水頭在 2 分 30 秒後啟動，令兩面玻璃都有水覆蓋。大火將所有附近的火載量都噬在一起，但有些窗邊的濺濕服飾就沒有受到大火侵襲，火勢又轉向區劃的後面。但是好像火勢就侷限在撒水回濺的地帶，且火勢會逐漸減弱。於是又在不曾受到撒水頭影響的地方點燃另一火源，用以測試對抗更持久更嚴重的大火的性能。在後來的實驗中火勢很大，而且所形成的厚厚一層熱氣團啟動了其餘兩個撒水頭，整個大火都沒有對玻璃發生任何很明顯的影響。

試驗 4

在試驗 4 中所有的可燃物都刻意的放在距離玻璃一公尺處，讓濺回的撒水不會影響火勢。零售商店場所之火載量為 600MJ/m^2 。這種火載量對一家服飾店來說實在太大了，在一個密閉空間是需要用到一公噸以上材料才夠。曾有關於大型飾店的火載量研究，讓保險公司很關切，這份報告揭示，其火載量平均值是小於 DD240 數值的四分之一。據此用來說明本試驗 250 公斤的混合纖維材料的火載量(熱釋放值以量熱法測試)。這樣的安排很清楚的指出，使用 DD240 的數值比較接近儲物倉庫的危險。

火勢從一根火柴引燃，從室內中心處開始快速燃燒在這實驗中，三個撒水頭在一小段時間後(2 分 20 秒~2 分 40 秒)陸續啟動，原因是熱氣層的下降，而不是天花板噴射氣流(Ceiling jet)的緣故。撒水濺回的水對火勢成長沒有抑制作用，火勢得以完全燃，且在天花板高度也達到閃燃的溫度。受限制的通風導致火勢在尚未轉移到左邊之前，就將所有在

室內右側的可燃物都燃燒耗盡。大火約莫燃燒 40 分鐘，但是這場持續嚴重的火功並未造成這套噴淋玻璃系統任何破裂或失敗。

三、 主要影響因素

依據國外實驗證據顯示，此系統的成功與否，主要繫於小心維持玻璃溫度在均勻且一定低溫，否則一般玻璃(即使強化玻璃)的兩側溫度差距達到 250~300℃ 時即會產生破裂。在設計應用實務上，此系統須注意兩方面的問題：

(一) 火場溫度上昇速度

在許多成功的實驗中，發現使用快速燃燒的火載量，固然令溫度上昇快速且達到較高溫度，但全面玻璃卻因受到較均勻加熱，溫度差分布較不明顯。此外，火場溫度上昇快速，亦令撒水頭啟動時間提前，噴水在短時間內即可在玻璃受火面形成水膜而防止玻璃溫度升高，因此整體系統能獲致成功的結果。

不過，倘若火載量的燃燒緩和，火場昇溫緩慢，致全面玻璃受熱不均勻，撒水頭啟動亦延遲，反而易造成玻璃兩側溫度差很快到達破壞溫度值，其結果即失敗。由於在實務上難以限制使用場所的火載量條件以及火災的起火成長速度，所以使用此種噴淋系統時須十分謹慎。

(二) 玻璃表面水膜

如前述，玻璃表面形成之水膜有如連續性的流動水幕，可以帶走火場施加於玻璃的熱量，進而維持在一定低溫，所以玻璃表面受到水噴淋時必須形成“無空點”的水膜。如果水膜覆蓋面積上有未淋濕的空點，則在火勢持續上昇時

就會因到達破壞溫度值而在該處開始裂開。在玻璃安裝工程中，玻璃表面常會殘留保護膠膜、膠帶、油漬、油漆、蠟筆痕跡等，這些表面異物皆是造成”空點”的原因。又建築物開始使用後，亦因室內空氣受污染，在玻璃表面沾附粉塵、油性物質等，這些也含妨礙水膜形成連續面。由以上可知，如採用噴淋嵌裝玻璃系統，對玻璃表面之檢查及日常清潔工作必須十分確實，否則一旦火災不慎發生時，將造成嚴重後果。

依據 LPC 的實驗結果，噴淋嵌裝玻璃系統在設計安裝上有若干重要變數必須加以注意，這些因素有可能導致的不良效應，詳如表 5-3 所示。

表 5-3 水淋幕防護之嵌裝玻璃系統的重要影響因子

重要變數	對撒水系統的影響作用
撒水頭之間的最短距離	防止撒水頭阻礙了鄰近的撒水頭噴水
撒水頭之間的最大距離	防止中間產生沒有撒到水的空隙
窗戶高度	限制撒水頭的高度，這和從窗戶底都可能發生火災的危險有關
最低水流量	為確保有足夠的水量覆蓋玻璃
最低水壓	為確保有足夠的水量覆蓋玻璃
最大水壓	避免撒水頭阻礙了鄰近的撒水頭噴水
窗戶撒水頭的分佈	為確保有足夠的水量覆蓋玻璃
距窗框上緣的高度	為確保有足夠的水量覆蓋玻璃
與一般標準撒水頭的距離	避免撒水頭阻礙了鄰近的撒水頭噴水

可燃物到玻璃表面的最小距離	預防在撒水系統啟動時，或玻璃破損前，由於系統啟動遲滯，導致冷水噴到熱玻璃產生破裂
---------------	--

綜合上述可知，全部或部分嵌裝玻璃帷幕牆若採用水淋幕防護系統者，只要各項噴淋條件及嵌裝玻璃條件能夠配合，對於降低玻璃溫度是具有相當優異成效（如圖 5-8），且即便是玻璃破裂出現開口，噴淋水滴形成之水幕亦能發揮抑制火焰噴出的功能（如圖 5-9），因此本設計系統若經實驗驗證無誤，並經審核認可通過，亦可視為合格之替代設計，如圖 5-10 所示。

圖 5-8 水淋幕防護系統之降溫作用

圖 5-9 戶外型水淋幕防護系統對火焰之抑制

圖 5-10 水淋幕防護系統設計

第六章 結 論

一、大體而言，高樓大廈理應是最安全的建築結構之一，但從過去對重大火災的分析及實驗室對帷幕牆的研究資料，顯示帷幕牆設計及施工不當時，可能讓大樓處於高潛在危險狀態，一旦火災擴大即抵抗不住火勢向上延燒，所以帷幕牆建造細節的重要性不可忽視。政府建築管理單位、建築師和帷幕牆設計、施工承包商必須共同努力加強金屬及玻璃帷幕牆的防火安全。

二、帷幕牆窗戶及非玻璃構造嵌版的安裝設計是決定建築結構會否受到火勢摧殘的重要因素之一。當對高樓帷幕牆的火災風險進行評估時，應考慮以下材料、構法因素：

(一) 建立外牆基本資料

- 結構方式
- 背襯牆
- 外牆嵌板
- 固定方法（鐵件、框架等）
- 中空部分
- 窗戶

(二) 評析外牆對火的強度或弱點

- 材料(耐火性和火焰傳播性)
- 設計(間隔和耐火性，使用適當的材料，抗火焰傳播性)

(三) 確定防火填塞材的安裝完整且正確。這不只在安裝時，建築物仍在使用期間都需要檢查。建造和重新裝修時都可能使防火填塞材移位，如鋪設混凝土沙漿層和安裝電線。

(四) 帷幕牆無論哪一個部位—嵌板、隔熱層、固定件，都應先經過

適當評估。使用時，供應商應出示其對火特性的相關計算、標準火災測試或特別的全面性實驗。

三、基本上，帷幕牆依照建築法規，預留足夠的窗戶垂直距離（層窗間牆高度），且為防火構造者，方為法定合格設計。但如果大部分的外牆是由無防火性能的玻璃鑲嵌組成，建議採用替代性設計方式，在整棟大樓加裝撒水系統、水淋幕系統或使用具防火時效之防火玻璃嵌裝系統。

四、從防火安全性能提昇觀點，帷幕牆設計宜注意以下幾點：

- （一）首先應使用防火建材來保護結構支撐點，如帷幕牆的固定點等。設計者該記得帷幕牆不只內部會受到火勢攻擊，其外部也可能遭受侵害（由窗戶向外蔓延）。
- （二）第二種設計標準則是將火勢控制在起火地點內，包括防止帷幕牆及樓板間接合處出現裂縫。
- （三）應將帷幕牆與建築間的活動列入考慮，因為任何裝設在接合處或帷幕牆的防火屏障都必須能承受建築物使用期間的活動磨損，並維持其防火功能。

參考文獻

中文部分

1. 內政部建築研究所，2003，《帷幕牆工程參考規範與解說》。
2. 台北市玻璃商業同業公會，1989，《玻璃設計與施工技術彙編》。
3. 李建華，1998，”火災中窗玻璃熱破裂機理及模式”，《現代建築防火技術研討會論文集》，p.90-98，中國建築學會建築防火綜合技術研究會，北京。
4. 張繼文，1998，”火災中窗戶玻璃破裂原因之探討”，《消防科技資訊》，第 22 期，p. 12-18。
5. 陳建豐，1997，”台北市金屬帷幕牆外觀之演變”，《帷幕牆會刊》，第 8 期，p.51-56。
6. 郭炳宏，1995，”帷幕牆系統設計概念”，《帷幕牆會刊》，第 5 期，p.82-87。
7. 蔣永琨，1991，”高層建築防火設計的若干新問題”，《建築防火設計與應用》，p. 98-107，海洋出版社，北京。
8. 雷明遠，1999，”建築用防火門之設計應用與測試技術”，《防火耐材料設計、製程、測試及工程應用研討會論文集》，清華大學材料科學中心等。
9. 雷明遠，2000，《建築物防火門窗構件之研究（二）嵌裝玻璃防火安全規定與性能基準》，內政部建築研究所研究計畫成果報告。
10. 雷明遠，2001，”嵌裝玻璃防火規定之國際比較及耐火試驗”，《中華民國建築學會第十三屆建築研究成果發表論文集》，中華民國建築學會。
11. 雷明遠、王鵬智，2001，《九十年五月十二日台北縣汐止東方科學園區大樓火災災後勘察報告》，內政部建築研究所。
12. 魏衍、林慶元，1997，《建築物外牆開口與鄰棟間隔大小對延燒之影響》，內政部建築研究所研究計畫成果報告。

外文部分

9. 日本建築學會，1990，《防火区画の設計・施工パソフレット》，p.12-47。
10. 建設省住宅局建築指導課、日本建築主事會議 監修，1995，

- 《新・建築防災計画指針》，p.83-97，日本建築セッダー。
11. 日本建築學會，1991，《建築工事標準仕様書・同解説：JASS 17 ガラス工事》。
 12. 日本火災學會 編，2002，《火災と建築》，p.93-101，共立出版株式會社。
 13. AAMA (American Architectural Manufacturers Association) , 1995, 《Fire Safety in High-Rise Curtain Walls》 .
 14. Alec M.-Y. Lei, 2000, “Performance Criteria of Fire Resistant Glazing”, in *Proceeding of the Symposium on Fire Research Development and Application in the 21st Century*, Taipei, Taiwan, R.O.C.
 15. Andrew K. Kim et al, 1998, “Sprinkler Protection of Exterior Glazing”, 《Fire Technology》 , Vol. 34, No. 2, p. 116-138.
 16. Andy H. Buchanan, 2001, 《Fire Engineering Design Guide》 , Second Edition, Chap. 7, Center for Advanced Engineer, New Zealand.
 17. Brian Morris, 1999, “Fire Spread in Multi-storey Buildings with Glazed Curtain Wall Facades”, LPR 11, Loss Prevention Council.
 18. Brian Morris, 2000, “Glazing for Compartmentation”, in *Proceeding of Workshop on Fire Safety Engineering Principles*, Taipei, Taiwan, R.O.C.
 19. Dougal Drysdale, 1999, 《An Introduction to Fire Dynamics》 , Second Edition, Chap. 10, John Wiley & Sons.
 20. Loss Prevention Council (Building Protection Steering Group) , 2000, 《The Design Guide for the Fire Protection of Building》 , Chap. 3, The Fire Protection Association.
 21. Louise Jackman and Maria Finegan, 2001, 《Facades on Multi-storey Buildings: A Fire Risk Assessment Guide》, LPR 18, The Fire Protection Association.
 22. Louise Jackman and Maria Finegan, 2001, 《Non-glazed Curtain Walling: Furnace Test Results and Recommendation》 , LPR 19, The Fire Protection Association.
 23. Rick Quirouette, 2000, 《Glass and Alumium Curtain Wall Systems》 ,Ontario Association of Architects, CMHC/SCHL, Canada.
 24. Vytenis Brbrauskas, 2002, “Glass Breakage in Fires”.