

## 一、前言

### (一) 背景

自 85 年版「各類場所設置標準」公佈實施以來迄今已逾四年，當前各國之建築或消防法規已因時代之變遷而有所更新，特別是 2000 年版。以日本為例，建築基準法施行令第 129 條第 2 款、消防法施行規則第 25 之 2 條已充分融入功能性法規；而 NFPA 72 亦增添了探測器裝置之功能性設計規定。隨著世界各國功能性法規之演進，新工法新設備已非原「設置標準」第二條所能概括，基於原「各類場所設置標準」所援引之日系法源已大幅度變動，消防署遂於 88 年底與警大消防所共同研修現行「設置標準」。值此契機，期能藉本文之研究探討提供法令修訂方向與內容之參考，主要內容分列如下：

- (1) 訂定新工法及新設備之明確條文
- (2) 融入人性化考量之條文
- (3) 加強「等價替代」之明確條款
- (4) 功能性法規之導引
- (5) 公共危險物品及可燃性高壓氣體各類事業場所之消防安全設備設置標準之納入

### (二) 動機

鑑於世界各先進國家近年來在防火安全法規之修正及消防工程之研究，均逐漸朝功能性導向發展；而國內相關機關之研究或專家學者，也積極建構本土性數據，以為功能性設計之依據。隨此趨勢洪流，法規之修正已迫在眉梢，故藉由下列國內外法規沿革之建議與探討，說明本研究之動機：

#### 1. 順應國外法規趨勢

從 1980 年代開始加拿大、澳洲、紐西蘭、英國、美國、挪威等國便著手於以性能導向為基準之火災安全法規，國際標準組織近年來也已將火災安全工程的設計發展逐步納入重點。而用以作為安全工程設計之評估工具如 CFAST 及 EXITT 或美國的 HAZAR、加拿大發展之 FIRECAM™ 等，這些電腦軟體都是希望藉由評估模式來將安全予以量化，供作安全評估或功能性法規修正之參考(熊光華、David Yung, 1999)。以 2000 年版日本建築基準法施行令第 129 條第 2 款為例，已明文導引防火避難設施功能性法規使用之機制；消防法施行規則第 25 之 2 條亦有緊急廣播之功能

性規定；NFPA 72 2000 年版在火警自動警報設備亦增加了許多性能設計之方式。由各國積極發展評估工具及法規之修正可清楚地瞭解，性能式規範已是不可阻擋的趨勢。

## 2.配合國內相關研究

- (1) 「各類場所消防安全設備設置標準」修正之研究(陳弘毅、簡賢文, 2000, pp29-52)

內政部消防署目前委託中央警察大學消防科學研究所進行各類場所消防安全設備設置標準修正之研究，其內容對消防設備與建築防火區劃與室內裝修間，均有放寬之等價替代規定，且對於功能性法規均以導引式作為法源之依據。

- (2) 建築技術規則第 3 章及第 4 章之修正研究(蕭江碧、張俊哲、林慶元, 2000)

內政部建築研究所有鑑於建築技術規則已習用多年，無法因應目前特殊之建築型態，故委託建築師公會與台灣科技大學著手建築技術規則第 3、4 章之修正研究，以提供主管機關參考。其中有關「建築防火」性能法規之探討，亦以國內外主動式(Active)消防設備與被動式(Passive)防火措施之替代探討與人員避難之煙害防止為目標之「功能性式法規」未展現。

- (3) 自動撒水與室內裝修替代之研究

內政建築研究所委託中央警察大學消防科學研究所，以全尺寸焚燒試驗由實地測試之煙層高度、一氧化碳濃度及室內溫度，並以 CFAST 軟體模擬，其研究目的在以人命安全為考量，求得自動撒水設備與室內裝修替代之可行性。

- (4) 建築技術規則消防設備條文之研究

台北市建築師公會對現行之建築技術規則消防設備條文作修正建議之研究，其參考之法源主要以日本建築基準法及消防法施行令與施行規則，其中大量援引日本消防設備與建築防火區劃及室內裝修間等價替代之規定。

- (5) 防火區劃與排煙設備防煙功能替代之研究

財團法人中華營建中心委託雲林科技大學，藉由日本建築研究所之全尺寸煙控實驗室，以實際燃燒所測之數據和 CFAST 軟體比對，進行防火區劃與排煙設備替代可行性之研究，並欲建構排煙與防火區劃替代

之簡易關係式與比對表格，對國內未來功能性替代之設計應有一定之導引作用。

(6) 挑空中庭及大型開闊空間建築物煙控技術規範之研究

內政部建築研究所委託中山大學對挑高或開闊空間之煙控技術進行研究，除藉由實際試驗及援引美、澳建築與消防相關法規提供為排煙設備功能性設計之規範外，其對於「各類場所消防安全設備設置標準」排煙設備條文亦有諸多之建議，可供法規修正時之參考。

(7) 火災排煙設備系統與自動撒水系統交互影響之研究

內政部建築研究所委託中原大學，研究排煙設備與自動撒水設備在火場中之交互影響，藉由分析火場中火載量、煙流、溫度與熱傳之關係，作為火災事件分析及排煙與自動撒水設備之功能評估，其日後實驗提供之分析數據可供為法令修正之檢討。

# 自動撒水設備水力計算法及其影響參數之探討

## 一、前言

在談論水力計算的方法，我們應先由其採用的公式，作一介紹。世界各國目前採用之水力計算公式示之如下表。

表 1 各種水力計算公式

項次	方程式名稱	方程式	採用之國家	備註
1	達西方程式 Darcy-Weisbach Equation	$h = f \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g}$	英國	英、公制相同
2	曼寧關係式 Manning Equation	$i = 10.295n^2 \frac{Q^2}{d_j^{5.33}}$	俄羅斯、大陸	公制
3	海真-威廉斯公式 Hazen-Williams Equation	$p = \frac{6.05 \times 10^5 Q^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87}}$ $\left( p = \frac{4.52 Q^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87}} \right)$	美國、日本、台灣	括弧內為英制

(本研究製表)

註：式中：h：摩擦損失水頭(m 或 ft)

ℓ：管長(m 或 ft)

d：管徑內徑大小(mm 或 in)。

f：達西摩擦因子(無因次係數)

g：重力加速度(m/sec<sup>2</sup> 或 ft/sec<sup>2</sup>)

v：流速(m/sec 或 ft/sec)

n：管道的粗糙度係數(無因次係數)

d<sub>j</sub>：管道的內徑大小(m)

i：管道單位長度的水頭損失(mH<sub>2</sub>O/m)

Q：通過管道的流量(m<sup>3</sup> / s)

p：每公(英)尺長度管道造成的水頭損失(bar/m 或 bf / in<sup>2</sup>)

Q：每分鐘通過管道的流量( / min 或 gal / min)

C：管路摩擦損失係數(無因次係數)

d：管道內徑(mm 或 in)

這些應用於消防水力摩擦損失計算的公式，皆已經過試驗及驗證，各國採用公式不一，可能緣於本身習慣及為求變化，不欲有抄襲他國之嫌。當管路中含有除水之外的液體時，應採用達西(Darcy-Weisbach)公式，但是因自動撒水設備僅採用水當滅火藥劑，故海真-威廉斯公式亦是適用的。所以由上述公式所計算的摩擦阻力，可歸納為以下關係：

- 1、與管路中壓力無關
- 2、與摩擦面的長度大小成正比。
- 3、與管徑成反比。
- 4、隨流速或流量( $Q=VA$ )而變(速度超過臨界速度時，幾乎與速度的二次方成正比；如果速度在臨界值以下，則阻力與流速成了一次方關係)。

在研修各國撒水設備法規的時候，本研究小組是以美國、日本為比較基準，也發現他們皆採用海真-威廉斯公式從事水力計算的依據。雖然採用的公式一樣，但由於其採用的實驗數據、理論、步驟及設計參數值不一，造成水力計算結果差異相當大。以下將探討水力計算的影響因子如：場所危險等級分類、撒水頭防護面積、撒水頭放水量、撒水頭放射壓力、假想防護面積(撒水頭開放個數)、放射時間等因子。

## 二、適用場所危險等級分類

### (一)美國

美國 NFPA 13 為設置自動撒水設備之最基本要求標準，包含供水系統之特性與適用性，對於撒水頭、管路閥類其材質與附件之選用內容。在 NFPA 13 1999 年版將其分成建築物使用分類與貨物儲存分類。其中建築物分類乃針對其建築結構、用途、內部可燃物的數量和分佈情況、使用者使用特性、可能發生火災種類及潛在火勢來分級。貨物儲存分類則又分成二類：貨物分類(四級)與橡膠、塑膠材料分類(三組)。NFPA 13 場所分類僅適用在自動撒水設備設置安裝及計算其水源供應的基準，它不能被延伸至一般場所之危險等級之分類。建築物分類計分為三級五組，敘述如下【1】：

- 1、輕度危險場所(Light Hazard Occupancies)：建築物其可燃物量為少且其火災產生之熱釋放率亦低。例如下列場所：教堂、俱樂部、教育場所、公共團體聚會場所、圖書館(堆積大量書籍之書庫除外)、博物館、護理站及病人恢復室、辦公室(包含資

---

【1】 Puchovsky , Milosh T. , Automatic Sprinkler System Handbook, Seventh Edition, pp.58-62 .

料處理區域)、住宅、餐廳的座位區、電影院和演講堂(舞台及舞台布幕區除外)。

- 2、中度危險場所(Ordinary Hazard Occupancies)第一類：建築物起火危險性低、可燃物量中等，其可燃物堆積高度不會超過 2.4 m(8 ft)，而預期的火災熱釋放率為中等。例如下列場所：汽車室內停車場、展示場、飲料製造廠、罐頭工廠、乳製品製造及處理工廠、玻璃及玻璃產品之製造場所、洗衣店、餐廳工作人員工作區域。
- 3、中度危險場所第二類：建築物起火危險性及可燃物的數量屬中等，其可燃物堆積高度不會超過 3.7 m(12 ft)，而預期的火災熱釋放率屬中等。例如下列場所：穀類磨坊、化學設備場所(一般性)、製作糕餅產品的場所、蒸餾酒廠、乾式清潔劑製作場所、飼料磨坊、馬廄、毛皮製品製造工廠、圖書館(儲存大量書籍之區域)、機器商店、商業場所、金屬加工場所、紙及紙漿磨坊、操作製紙機器設備之場所、碼頭、郵局、印刷廠、舞台、紡織品工廠、輪胎製造工廠、菸草產品製造工廠、木材加工場所、木製品裝配場所。
- 4、高度危險場所(Extra Hazard Occupancies)第一類：建築物起火危險性及可燃物量高，預期的火災熱釋放率迅速，但其僅儲存少量或幾乎沒有可燃性液體。例如下列場所：飛機停機棚 可燃性液壓油使用區域、鑄造廠、金屬鍛造廠，夾板、三合板製造工廠、印刷廠(使用油墨其閃火點低於 37.8 (100 ))、橡膠資源回收處理場所、鋸磨廠、紡織品之原料廠、使用塑膠泡棉作為室內裝修的場所。
- 5、高度危險場所第二類：建築物起火危險性及可燃物量高，預期的火災熱釋放率迅速，儲存中量的可燃性液體或可能延燒區域廣泛。例如下列場所：使用柏油浸染的場所、利用可燃性液體作霧化處理的場所、電鍍場所、建築物模組件的組裝場所、利用油作淬火處理的開放式場所、塑膠製品之處理場所、使用揮發性溶劑作清理工作的場所、油漆或油漆封裝場所。

## (二)日本

日本對於需要設置撒水設備場所之分類是以其使用特性、樓地板面積、樓層高度及收容指定可燃物量來分類，可分成十八項【2】：

---

【2】建築消防實務研究會，“建築消防 advice ' 99 ”，1999，p.33-1。

- 1、(1)劇場等。  
(2)集會場等。
- 2、(1)舞廳等。  
(2)遊戲場等。
- 3、(1)料理店等。  
(2)飲食店。
- 4、百貨公司等。
- 5、(1)旅館等。  
(2)共同住宅等。
- 6、(1)醫院等。  
(2)福利設施等。  
(3)特殊學校等。
- 7、學校等。
- 8、圖書館等。
- 9、(1)蒸氣浴場等。  
(2)一般浴場等。
- 10、車輛停車場。
- 11、寺廟等。
- 12、(1)工廠等。  
(2)工作場所等。
- 13、(1)車庫等。  
(2)特殊收納庫。
- 14、倉庫。
- 15、地下建築物
- 16、文化財。
- 17、拱形長廊
- 18、指定可燃物儲存、處理場所。

### (三)台灣

台灣應設置撒水設備之場所分類與日本之分類類似，亦即以使用場所特性、樓地板面積及樓層高度來分類。台灣法規規定需設置撒水設備之場所計可分為四大類：

#### 1、甲類場所

- (1)電影片映演場所(戲院、電影院)、歌廳、舞廳、夜總會、俱樂部、美容院(觀光理髮、視廳理容等)、指壓按摩場所、錄影節目帶播映場所(M T V 等)、視聽歌唱場所(K T V 等)、酒家、酒吧、酒店(廊)。
- (2)保齡球館、撞球場、集會堂、健身休閒中心、室內螢幕式高爾夫練習場、遊藝場所。
- (3)觀光旅館、飯店、旅(賓)館、招待所(限有寢室客房者)。
- (4)商場、市場、百貨商場、超級市場、零售市場、展覽場。
- (5)餐廳、飲食店、咖啡廳、茶室。
- (6)醫院、療養院、長期照護機構、養護機構、安養機構、老人服務機構(限供日間照顧、臨時照顧、短期保護及安置使用者)、兒童福利設施、育嬰中心、啟明、啟智、啟聰等特殊學校。
- (7)三溫暖、公共浴室。

#### 2、乙類第一目(交通設施之等候場所，如車站、機場大廈等)

#### 3、地下建築物。

#### 4、十一層以上建築物。

#### 5、高架儲存倉庫。

#### 6、複合用途建築物。

各國對於場所分類依各國環境、生活習慣、災例而有所不同，但都隱涵有場所火載量(fire load)及火災猛烈度(fire severity)之概念。我國與日本應設置撒水設備場所之比較，我國在停車場、圖書館、文化財及一般倉庫，這類場所並未強制要求設置撒水設備。其中停車場國內大部分設置泡沫或水霧滅火設備；圖書館、文化財場所，則為避免水損，採用氣體滅火設備。一般倉庫高度未超過七公尺，依國內法規要求，僅能以樓地板面積超過五百平方公

尺，要求設置室內消防栓與滅火器，一旦該場所火載量大，延燒迅速，僅靠手動式滅火設備是不夠的。所以對於應設置自動撒水設備之場所，應不僅規範其高度及樓地板面積，還需考量收容物種類與數量。

所以目前台灣對於需設置自動撒水設備場所分類，除了以面積區分外可分為：甲類場所與超過某一高度的場所。這樣的分類對於設計者與執法者彼此間的認知落差較小，在執行上較不易生疑義；但是卻會帶給民眾一種刻板印象，設置撒水設備祇是為取得建照，通過會勘之用，而忽略了立法原意為該類場所火災危險度較高，需要較高的安全防護措施。所以未來國內撒水設備需設置的場所分類，除了現制之外，若能提供另一種危險等級場所的分類規定，給予民眾場所危險度的觀念，則依照不同危險度選擇適合的撒水設備設計，讓民眾與設計者形成一良好的溝通、互動，在成本考量與安全防護間取得平衡。場所之危險等級分類關係到撒水頭型式之選用，另撒水頭防護面積、撒水頭間距、撒水密度、撒水放射時間，對於水力計算結果影響也大。

### 三、撒水頭之放射壓力、放水量及放射時間

撒水頭放水量與放射壓力之關係可由(公式 1)得到相互之關係：

$$Q = K\sqrt{P} \quad (\text{公式 1})$$

Q：撒水頭放水量( / min)

P：撒水頭放射壓力(kgf / cm<sup>2</sup>)

K：撒水頭流量特性係數

我國與日本皆規定撒水頭最小放射壓力為 1 kgf / cm<sup>2</sup>，放射時間為二十分鐘，但最小放水量我國為要求 80 / min，日本則依照撒水頭型式之不同而分成 50 / min 與 80 / min。

美國依設計方式不同，也有所差異，若採用水力計算方法規定撒水頭最小放射壓力為 7 psi (0.5 kgf / cm<sup>2</sup>)【3】，單一撒水頭放水量則由面積撒水密度曲線圖中，依其所選擇的危險等級曲線不同則會產生差異，然後利用公式 1 就得到撒水頭的放射壓力。放射時間則如表 2 所示。在輕度危險場所放射時間為持續三十分鐘，若設有警報設備則在中度及高度危險場所，其放射時間可採規定時間範圍之較低值。

又美國 NFPA 13 水力計算法，規定設有撒水設備之場所另設有室內外消

---

【3】同註 1，p.484。

防栓時，系統應增加的要求放水量及撒水設備放射時間【4】，如下表所示：

表 2 放水量與放射時間(併設有消防栓之場合)

場所危險等級	室內消防栓放水量 (gpm)	合計室內與室外消 防栓放水量(gpm)	放射時間 (min)
輕度危險	0,50,or100	100	30
中度危險	0,50,or100	250	60-90
高度危險	0,50,or100	500	90-120
備註：1 /gpm = 3.785			

如採管徑規格方法，則僅限定於輕度及中度危險工作場所可使用。其撒水頭最小放射壓力、放水量與放射時間如表 3 所示。

表 3 管徑規格設計法之放射性能【5】

場所危險等級	建築物最末端撒水頭 所需壓力	流量要求	放射時間 (min)
輕度危險	15 psi(1.06 kgf / cm <sup>2</sup> )	500-750 gpm	30-60
中度危險	20 psi(1.41 kgf / cm <sup>2</sup> )	850-1500 gpm	60-90
備註：1 /gpm = 3.785psi = 0.0689 bar			

注意：美國對於放射時間內水源之供應，並不強制規定設置固定水源，而是以實際能夠連續供應水源的能力評估之。

當撒水頭流量特性係數(K)固定時，放射壓力與放水量成二次方的關係。撒水頭之撒水粒徑、放水量與放射壓力之大小，關係到所放射出的水能否達到火源位置，若撒水頭之放水可到達火源位置且其放水量供應足夠時，撒水頭放出的水其冷卻作用大於火所釋放的熱量，則撒水頭可控制火勢；反之則會產生滅火失敗。而水的冷卻作用與撒水粒徑、是否可到達火源位置之關係密切，因此一般認為 7 psi 的放射壓力是達到適當作用所需的最低限度壓力。即在這樣的壓力下，具有標稱 1/2 英寸(12.7 mm)口徑的撒水頭，每分鐘將噴撒出 15 gal/min(58min )【6】之水量。而放射時間則與撒水設備設計之目的有相當大的關係，撒水設備之目的可分為撲滅火災與控制火勢。放射時間較短，表示該場所一旦發生火災，容易被撲滅。放射時間長，表示該場所，發生火災時，不易被撲滅，此時應以控制火勢，不使其擴大延燒為目的。台灣與日本對於高度

【4】NFPA, Installation of Sprinkler Systems, NFPA 13 1999 Edition, NFPA, 1999, p. 82.

【5】同註 5, p.81。

【6】范強強譯，“自動撒水噴頭”，消防手冊下卷中譯本，第十六版，知識出版社，1991，p.192。

危險場所均只要求放水二十分鐘，過於寬鬆，所以建議國內法規對於高度危險場所放射時間延長為三十分鐘，或是採用美國對於實際連續供應水源能力之規定。

#### 四、假想防護面積與撒水密度

假想防護面積之概念為火災發生至撒水頭動作將火災撲滅，這段時間可能會有延遲，而在這假想防護面積範圍內，提供預定的撒水密度，火勢將可被控制甚至被撲滅。所以美國針對場所危險程度不同，經由災例分析與實驗得到一面積與撒水密度關係圖(Area/Density Curve)，如圖 1 所示。

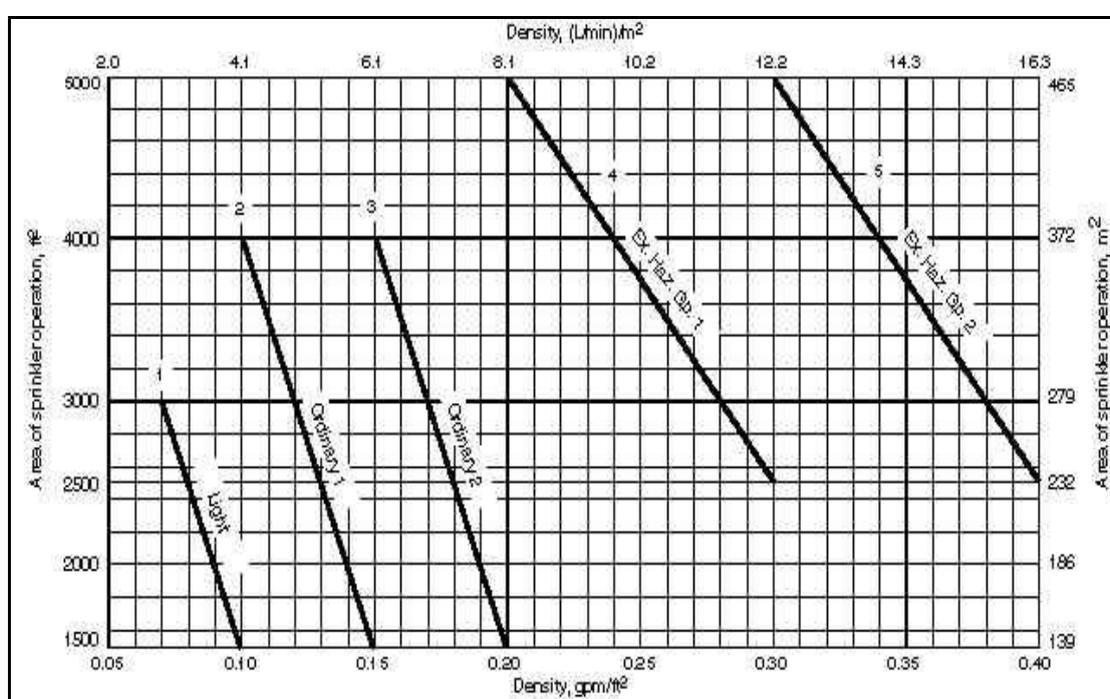


圖 1 美國 NFPA 13 面積密度關係圖【<sup>7</sup>】

台灣與日本在文字上之敘述雖無假想防護面積 放水密度之字句，但放水密度在台灣與日本的法規裡仍可由任一點至撒水頭之水平距離( $r=1.7\text{ m}$ ,  $2.1\text{ m}$ ,  $2.3\text{ m}$ )，利用撒水頭單位時間放水量與撒水頭防護面積之關係，得到不同的放水密度。另外計算水源時其撒水頭開放個數，則有假想防護面積之意義。所以若以一撒水頭防護面積為九平方公尺計算，利用撒水頭開放個數可得到假想防護面積之值。表 4 所示為我國與日本撒水頭開放個數及其假想防護面積。

【<sup>7</sup>】同註 5，p.83。

表 4 日本與台灣撒水頭同時開放個數

標準型撒水頭同時開放個數				
國別		日 本		台 灣
各類場所		撒水頭個數		撒水頭個數(相當於日本第二種感度之撒水頭)
		高感度型*	其他	
高架儲存倉庫	指定可燃物	30(270 m <sup>2</sup> )	30(270 m <sup>2</sup> )	30(270 m <sup>2</sup> )
	其他	20(180 m <sup>2</sup> )	20(180 m <sup>2</sup> )	20(180 m <sup>2</sup> )
指定可燃物(棉花、橡膠 )		20(180 m <sup>2</sup> )	20(180 m <sup>2</sup> )	無規定
十樓以下之樓層	百貨商場及複合用途建築物中的百貨商場等	12(108 m <sup>2</sup> )	15(135 m <sup>2</sup> )	30(270 m <sup>2</sup> )
	上述以外商業用途	8(72 m <sup>2</sup> )	10(90 m <sup>2</sup> )	20(180 m <sup>2</sup> )
	其他用途	8(72 m <sup>2</sup> )	10(90 m <sup>2</sup> )	10(90 m <sup>2</sup> )
	8m 天花板高度	8(72 m <sup>2</sup> )	10(90 m <sup>2</sup> )	20(180 m <sup>2</sup> )
十一樓以上之樓層		12(108 m <sup>2</sup> )	15(135 m <sup>2</sup> )	30(270 m <sup>2</sup> )
地下建築物		12(108 m <sup>2</sup> )	15(135 m <sup>2</sup> )	30(270 m <sup>2</sup> )

(資料來源：本研究整理)

註：()內為假想防護面積

\*：日本高感度型撒水頭與美國快速反應型撒水頭為類似，其 RTI 值(Response Time Index)均較標準型撒水頭小，撒水動作較靈敏。

由於台灣與日本撒水設備設置場所之分類與美國不太相同，為達比較目的，根據撒水頭之防護半徑、撒水頭之開放個數，將其分類歸納成與美國相似，俾利比較。經由上述討論可得到各國放水密度與假想防護面積之大小比較(如表 5、表 6 所示)。由表 5 可發現台灣在輕度危險等級場所的撒水密度是最大的，雖然台灣的假想防護面積是最小的，但這是在撒水頭設置個數少於十個以下的情形；一旦撒水頭裝置個數超過十一個，其假想防護面積會隨著增加，假想防護面積最大可達到三十個撒水頭開放個數(270 m<sup>2</sup>)的面積。但是其撒水密度仍然是固定的，並未如日本其撒水密度雖為固定，但其假想防護面積最大以十二或十五個撒水頭開放個數為限；或是如美國的方式，在各不同危險場所其每分鐘放水量為固定的，撒水密度與假想防護面積為成反比的關係，撒水密度大時，假想防護面積就變小。在中度危險場所的比較中，台灣與各國是差不多的，故不加以討論。在高度危險場所中，美國的撒水密度為台灣與日本的撒水密度 1.5 2.0 倍，但假想防護面積台灣與日本並未達美國的 1.5 2.0 倍以上。相較之下，美國方式是比較保守的。若從火災的火勢發展、熱釋放率來看，

高度危險場所的熱釋放率是數倍於輕度危險場所，但是國內現狀撒水密度在高度危險場所僅為輕度危險場所的二倍，假想防護面積是三倍的關係，以這樣的關係，撒水設備在高度危險場所能否達到撲滅火災、控制火勢的目的，是值得我們去研究討論的。

表 5 各國撒水密度之比較

國別	美國	日本	台灣
場所危險等級			
輕度危險	4.1	3.76	<b>4.81</b>
中度危險第一類	<b>6.1</b>	4.81	5.77
中度危險第二類	<b>8.1</b>	5.77	5.77
高度危險第一類	<b>12.2</b>	7.05	8.81
高度危險第二類	<b>16.3</b>	8.81	8.81

(本研究整理)

註：1、單位為  $l / min \times m^2$ 。

2、美國的設計數值一般採圖 3-1 曲線中最下方之交點值。

表 6 各國假想防護面積之比較

國別	美國	日本	台灣
場所危險等級			
輕度危險	139	90	90
中度危險第一類	139	135	180
中度危險第二類	139	180	180
高度危險第一類	232	270	270
高度危險第二類	232	270	270

註：單位為  $m^2$ 。

(本研究整理)

由撒水密度與假想防護面積大小之乘積，我們可得到單一撒水頭單位時間的放水量。所以放水密度應與假想防護面積同時考慮，即放水密度應隨假想防護面積之大小而改變。台灣在輕度危險場所之放水密度值較為保守。在高度危險第二類場所之撒水密度僅為美國的 1/2，似乎又過於樂觀，所以到底要採用日本或美國的規定，仍有討論的空間。

## 五、撒水頭之選用及其防護面積

撒水頭具有一熱動作元件，它的目的是在預定的溫度下動作，自然地釋放出水流，並以特定的撒水形狀及流量分佈，放射在設計區域內。所以一般以感度指數(Response Time Index, R.T.I.)，實際放水密度(Actual Delivered Density, A.D.D.)，必要放水密度(Required Delivered Density R.D.D.)這三個參

數來評量是否能早期撲滅火災【8】。

撒水頭之動作快慢與其動作溫度是沒有直接關係的；而是與 R.T.I. 值有關。一般的住宅型、快速反應型的撒水頭，其 R.T.I. 值大部分介於 40 60 ft<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>(22 33 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>)；標準型撒水頭之 R.T.I. 值則介於 225 700 ft<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>(100 400 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>)【9】。由圖 2 我們更可清楚瞭解 R.T.I. 值與熱釋放率之關係。

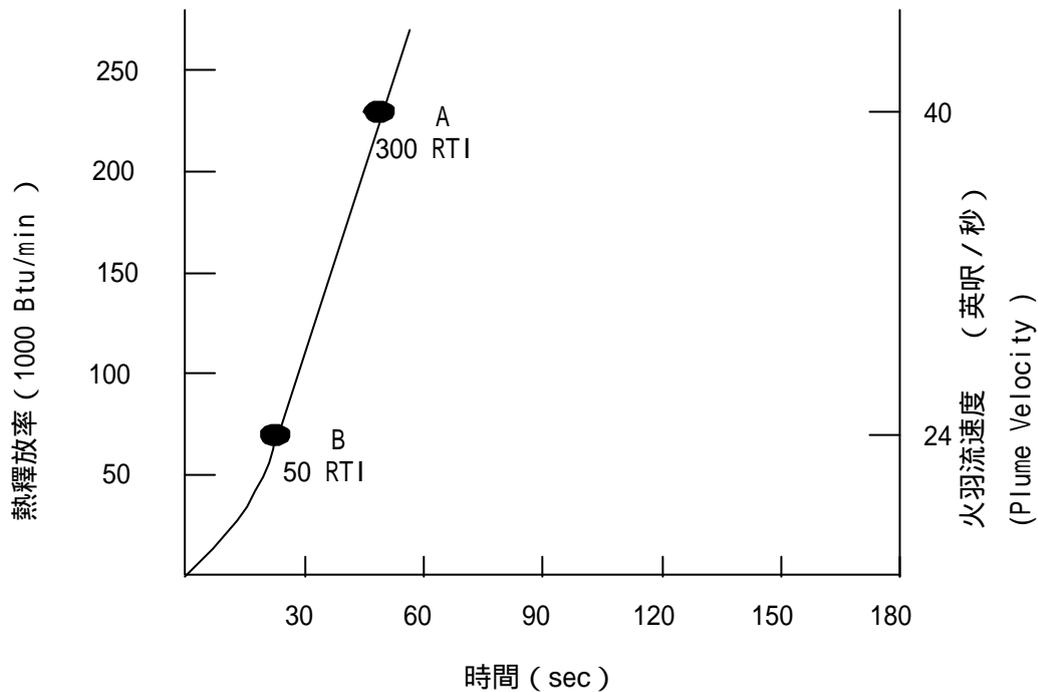


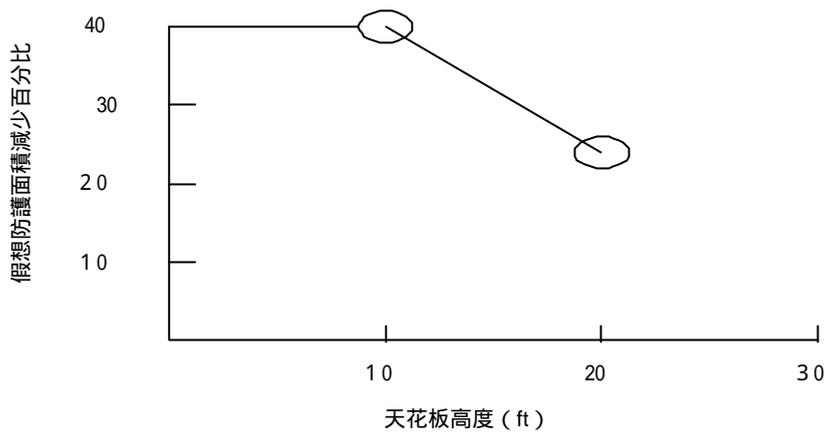
圖 2 感度係數與熱釋放率之關係圖【10】

所以若採用 R.T.I. 值較小之撒水頭如快速反應型撒水頭，於火災發生初期即能動作。故美國 NFPA 13 針對輕度及中度危險場所設置快速動作撒水頭，根據撒水頭設置高度不同，對於假想防護面積可適度酌減如圖 3 所示，其中假想防護面積最多可遞減 40%；另外天花板高度以二十英尺(6.2 m)為限制。日本則對於快速動作型撒水頭如高感度型、小區劃型，放寬其撒水頭防護半徑、減少撒水頭開放個數(假想防護面積)，其中小區劃型還可減少其撒水頭放水量。台灣則未對這部分加以放寬考量。故未來台灣修訂法規時，應可參考美國或日本相關規定，將快速反應型撒水頭之相關規定納入。

【8】同註 1，P 36。

【9】Bryan, John L., "Automatic Sprinkler and Standpipe Systems," NFPA, 1997, pp. 277-278.

【10】Factory Mutual Engineering Corp., "Response Time Index: The Key to Fast Response," ESFR Update, Vol. 1, No. 2 1984, pp. 1-3.



註： $y = \frac{-3x}{2} + 55$

當天花板的高度介於 10 ft 20 ft 之間， $y = \frac{-3x}{2} + 55$

當天花板高度低於 10 ft 時， $y=40$

當天花板高度高於 20 ft 時， $y=0$

圖 3 快速反應撒水頭之減免假想防護面積關係圖【<sup>11</sup>】

在火災初期滅火之 R.D.D.值較小，實際放射至燃燒物表面的 A.D.D.值較大，此時 A.D.D. > R.D.D.，故能滅火；當火勢持續成長，未被有效控制時，其 R.D.D.會變大，此時撒水頭放射的水，部分被向上的火羽流蒸發，造成實際放射至燃燒物表面之放水密度 A.D.D.變小。所以當 R.D.D. > A.D.D.時，火勢已無法得到控制。R.D.D.與 A.D.D.之關係可由圖 4 清楚得知。

【<sup>11</sup>】同註 5，p 85。

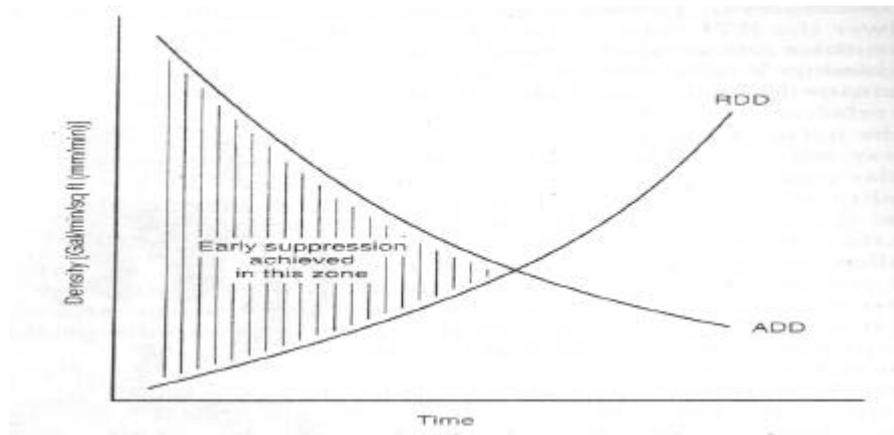


圖 4 R.D.D.與 A.D.D.之關係圖【12】

所以 A.D.D.可用來評估撒水頭能否有效動作，其中構成影響 A.D.D.的因素有下列幾種【13】：

- 撒水頭的口徑(撒水頭流量特性係數，K)。
- 撒水頭之放射壓力。
- 撒水頭動作時的火災熱釋放率。
- 撒水頭最初放射的個數。
- 火源相對於撒水頭之位置。
- 撒水頭之防護面積與配置形狀。

其中火源相對於撒水頭之位置及撒水頭動作時的火災熱釋放率與撒水頭動作時間之快慢有關，若撒水頭能於火災初期動作，此時的火災熱釋放率較低，火勢較容易得到控制。而撒水頭之放射壓力及撒水頭最初放射的個數在前面已討論過，所以接下來將針對撒水頭之口徑大小及撒水頭配置與防護面積作討論。

#### (一)撒水頭口徑大小

口徑大小關係到流量特性係數(K)，而 K 值又關係到流量與流速之大小。依照 NFPA 13 管路設計法，僅能採用標準型 1/2 英寸(12.7 mm)口徑之撒水頭，小口徑撒水頭亦不被允許設置於乾式或預動式撒水設備。所以由表 7 我們可發覺與標稱口徑 12.7 mm 的撒水頭流量比較，撒水頭口徑為 19 mm 時，其流量為口徑 12.7 mm 撒水頭流量的 2.5 倍。台灣與日本僅考慮撒水頭放水量與放射

【12】同註 1，p.36。

【13】Carey, William, “ Early Suppression Fast Response Sprinklers - A New Technology ,” LabData, Vol . 16, No. 4, 1985, pp. 3-10.

壓力之關係，未考慮撒水頭放射係數且未規範管路流速限制。當使用大口徑撒水頭時，此時管路內的速度頭將相當大(因為 $d \propto D^{2/3} p^{-1/3}$ ，撒水頭口徑(D)增大，撒水粒徑(d)亦會增大，壓力(p)也會增大【14】，而 $Q = K\sqrt{P}$ 且 $Q=VA$ ，當Q大，管徑未隨著增大時，V也會變大)，使得系統需求的幫浦馬力需增大，方能滿足。

---

【14】Harmathy T,Z. ,“ Fire Safety Science and Engineering ,” ASTM Special Technical Publication 882, 1985, p.366.

表 7 撒水頭的流量特性表【<sup>15</sup>、<sup>16</sup>】

標稱口徑大小		流量係數(K) 範圍(英制)	標稱流量係數		與標稱口徑 1/2" 撒水頭流量相比較的百分比
(in)	(mm)		英制	公制	
1/4	6.4	1.3-1.5	1.4	20	25
5/16	8.0	1.8-2.0	1.9	30	33.3
3/8	9.5	2.6-2.9	2.8	40	50
7/16	11.0	4.0-4.4	4.2	60	75
1/2	12.7	5.3-5.8	5.6	80	100
17/32	13.5	7.4-8.2	8.0	115	140
5/8	15.9	11.0-11.5	11.2	160	200
3/4	19.0	13.5-14.5	14.0	200	250

(本研究整理)

## (二)撒水頭配置與防護面積

管路上撒水頭之間的位置和管路彼此間的配置，決定了每個撒水頭防護面積的大小。NFPA 13 根據撒水頭型式不同「標準型、牆壁型(Sidewall)、大範圍型(Extended Coverage)、大水滴型(Large Drop)、貨架型(In-Rack)、早期偵知快速動作型(Early Suppression Fast-Response)」，以場所危險等級及其構造物是否具有耐火時效來決定每一撒水頭之防護面積 間距及撒水頭與構造物間距之關係【17】。

日本僅針對標準型、牆壁型、貨架型撒水頭規定其防護面積、間距及與構造物間距之關係；台灣則只規範標準型、貨架型撒水頭之防護面積、間距及與構造物間距之關係，對於其他型式撒水頭的規範則付之闕如。表 8 為標準型向上與向下式撒水頭，各國規定防護區域面積與防護最大邊長的比較表。表 9 為標準牆壁型撒水頭各國規定防護區域面積與防護最大邊長的比較表。由於我國對於牆壁型撒水頭未作規範，但是參考日本法規已經將原先只能設置於舊有建築物之牆壁型撒水頭，修訂為可裝設於新建建築物使用，所以將牆壁型撒水頭之防護面積相關規定列出，供為國內未來法規修訂之參考。

另外由表 8 之各國標準比較知，美國在各類危險場所撒水頭防護面積都較

【<sup>15</sup>】同註 1，p.75。

【<sup>16</sup>】Fleming, Russell P., "Metric Sprinkler System," NFPA Journal March/April, 2000, p 24.

【<sup>17</sup>】同註 1，pp. 216-282。

大，台灣與日本在撒水頭防護面積較小，撒水頭間距則與美國差不多。撒水頭之最大間距較短、防護面積較小，除了需裝設撒水頭個數增加外，對於火勢之控制並不一定有絕對的優勢，因為撒水頭過於密集，在火勢發展的初期階段，針對火源及其鄰近區域，可能產生火災初期階段撒水頭不會依序作動，直到數分鐘之後，由鄰近成長的火勢，方使原先火源位置的撒水頭動作，這種現象稱為撒水頭的跳躍式開放(Sprinkler Skipping)現象【18】。這種情形將造成撒水頭最初的動作情形並非依序開放，可能因開啟撒水頭之冷卻作用或撒水頭放射時，造成上昇熱氣流不穩定，而使鄰近的撒水頭延遲放水動作時間。

在輕度危險場所，台灣的撒水頭防護面積較小，在相同的空間區域面積下，將造成撒水密度變高且所需裝設的撒水頭個數較多，對於撒水系統管路水力計算時，配管摩擦損失將隨之增大。

表 8 標準型向上與向下式撒水頭各國防護面積與最大間距比較

場所分類		國別	美國	日本	台灣
輕度危險	耐火與準耐火	防護區域面積(m <sup>2</sup> )	<b>20.9</b>	10.58 (13.52) <sup>*1</sup>	10.58
		防護最大間距(m)	<b>4.8</b>	4.56( <b>5.15</b> )	4.56
	一般	防護區域面積(m <sup>2</sup> )	15.6	8.8(10.58)	10.58
		防護最大間距(m)	<b>4.8</b>	4.16(4.56)	4.56
中度危險	防護區域面積(m <sup>2</sup> )	12	8.8(10.58)	8.82	
	防護最大間距(m)	<b>4.8</b>	4.16(4.56)	4.16	
高度危險	防護區域面積(m <sup>2</sup> )	<b>9.3</b>	5.78(7.22)	5.78	
	防護最大間距(m)	<b>3.7</b>	3.35(3.76)	3.35	
高貨架的倉庫 <sup>*2</sup>	防護區域面積(m <sup>2</sup> )	<b>9.3</b>	8.8(10.58)	8.82	
	防護最大間距(m)	3.7	<b>4.16(4.56)</b>	<b>4.16</b>	

註：\* 1、()內為採用高感度撒水頭之值。（本研究整理）

\* 2、在高貨架倉庫為撒水頭設置於天花板或樓板之值。

【18】 Yao, Cheng, "Development of Large-Drop Sprinklers (0.64 in. Orifice Diameter)," Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, 1976.

表 9 標準牆壁型撒水頭之防護面積【<sup>19</sup>、<sup>20</sup>】

場所分類		國別	美國	日本	台灣
輕度 危險	耐火與 準耐火	沿著牆最大間距 S(m)	4.3	3.6	×
		房間最大寬度 L(m)	4.3	3.6	×
		最大防護面積(m <sup>2</sup> )	18.21	12.96	×
	一般	沿著牆最大間距 S(m)	4.3	3.6	×
		房間的最大寬度 L(m)	3.7	3.6	×
		最大防護面積(m <sup>2</sup> )	11.15	12.96	×
中度 危險	耐火與 準耐火	沿著牆最大間距 S(m)	3.0	3.6	×
		房間的最大寬度 L(m)	3.0	3.6	×
		最大防護面積(m <sup>2</sup> )	9.29	12.96	×
	一般	沿著牆最大間距 S(m)	3.0	3.6	×
		房間的最大寬度 L(m)	3.0	3.6	×
		最大防護面積(m <sup>2</sup> )	7.43	12.96	×

註：符號 × 表未規定。

(本研究整理)

【<sup>19</sup>】同註 1，p.240。

【<sup>20</sup>】同註 2，pp. 33-7-33-8。

## 六、管路材質及大小選用

管路材質之選用應考慮建築物的結構、高度、面積、用途和危險等級，作合理的判斷。管徑大小則應根據管路供水的最多噴頭數量之樓層或根據最大需水量樓層之水力計算來確定【21】。

NFPA 對於撒水設備之配管材質，並未強制規定應使用何種材質，但要求其管路與閥類配件應符合 NFPA 13、美國材料測試學會(American Society for Testing and Materials, ASTM)及美國國家標準協會(American National Standards Institute, ANSI)之相關規定。材質可分為碳鋼管(SGP)、不銹鋼管、銅管與氯化聚氯乙烯管(CPVC)，其中氯化聚氯乙烯管僅能使用於輕度危險的工作場所。又管路摩擦損失係數隨材質不同及使用年限會有不同的數值，且根據美國國際火災保險委員會(The National Board of Fire Underwriters, NBFU)於 1959 年的一篇報告中，指出撒水系統之管路使用 15 年以後，其管路的摩擦損失將增加 100%【22】，由表 11 可知，在不同使用年限及腐蝕情況下，C 值之改變情形。因此當從事舊有建築物撒水設備更新時，應考慮避免造成計算所得之幫浦馬力，無法供應系統所需。表 10 為美國 NFPA 13 對不同管材之摩擦損失係數的相關規定，表 11 為無內襯之鑄鐵管在不同階段狀況下之摩擦損失係數表。

表 10 美國不同管材之摩擦損失係數【<sup>23</sup>】

管材	C 值
無內襯之鑄鐵管或軟鐵管	100
黑鐵管(密閉乾式、預動式系統)	100
黑鐵管(密閉濕式、開放式)	120
鍍鋅鋼管	120
水泥襯鑄鐵管或軟鐵管	140
塑膠、銅管及不銹鋼管	150
註：消防主管機關可允許採用其他的 C 值	

【<sup>21</sup>】同註 8，p.167。

【<sup>22</sup>】同註 12，pp. 341-342。

【<sup>23</sup>】同註 1，p.480。

表 11 無內襯之鑄鐵管在不同階段之摩擦損失係數表 【<sup>24</sup>】

使用狀況 管道使用年限	輕微腐蝕	中等腐蝕	嚴重腐蝕
已用十年	110	90	75
已用十五年	100	75	65
已用二十年	90	65	55
已用三十年	80	55	45
已用五十年	70	50	40

日本對於管路材質之規定見於消防法施行規則及地方的審查基準，要求應符合 JIS G3454(壓力配管用碳鋼管)或具同等以上強度、耐腐蝕性及耐熱者【<sup>25</sup>】。我國則與日本規定差不多，要求應符合 CNS 6445、4626 標準，其餘部分皆相同。

因此管路材質之選用，日本與我國均可引用同等性能之法條，採用碳鋼管外以外材質的管路。美國則對於管路材質及規格規定較為詳細，且考慮到使用年限與配管摩擦損失係數之關係。另外管路材質之選用，除了減少配管摩擦損失、考慮環境特性避免產生腐蝕、施工維護保養容易外，亦應考量到管路在火災時能否抵抗火勢，不會產生破裂或熔損的情形發生；否則撒水頭將無法發揮其原有功效，故管路材質選用最基本仍應確保供水無虞。針對目前國內有些廠商引進 CPVC 管，其適用範圍為甲類場所(商場、市場、百貨商場、醫院除外)、乙類場所及丙類場所內停車場。建築物依法附設之室內停車空間，此範圍已經超過美國所規定 CPVC 管僅能設於輕度或中度危險場所之限制，故這部分應再進行本土化之研究。

## 七、水力計算步驟

接下來我們要討論的就是配管摩擦損失及幫浦全揚程計算，而這一部分就是一般所謂的水力計算部分。美、日及我國所採用的計算公式皆相同，差別僅在所採用的計算步驟及上述參數的設定值。以下針對美國、日本及我國其水力計算步驟作一介紹：

【<sup>24</sup>】同註 8，p. 77。

【<sup>25</sup>】財團法人東京防災指導協會，“預防事務審查、檢查基準”，改訂第五版”，東京防災指導協會，1998,3,25 修訂，p. 84。

## (一)美國水力計算法

美國關於自動撒水設備水力計算，基本上採用十六個步驟，分別敘述如下

【26】：

- 步驟 1、先定義該場所之用途及危險等級。
- 步驟 2、決定撒水頭假想放射面積之尺寸大小。
- 步驟 3、決定該場所設計要求之撒水密度。(查 NFPA 13 圖 5-2.3)
- 步驟 4、確認在撒水頭假想放射面積內之撒水頭個數。
- 步驟 5、決定撒水頭假想放射區域之形狀及其位置。
- 步驟 6、計算假想放射區域最遠端撒水頭所需最小流量。
- 步驟 7、計算假想放射區域最遠端撒水頭所需最小放射壓力。
- 步驟 8、計算假想放射區域最遠端撒水頭至上一個撒水頭間之摩擦損失。
- 步驟 9、計算上一個撒水頭所需流量。
- 步驟 10、對於與最遠端撒水頭位在同一條分歧管路(Branch Line)上的其他撒水頭，按順序重覆步驟 8 9，計算其個別所需流量及摩擦損失。
- 步驟 11、假設所取的假想放射區域橫跨過主管路(Cross Main)，則對面的分歧管路亦需按照步驟 6 10 計算其所需流量及其摩擦損失。而互相交叉之分歧管路其壓力必須以最高壓力來平衡之。
- 步驟 12、計算上昇接頭(Riser Nipple)之 K 值。
- 步驟 13、重覆步驟 8 9 計算假想放射區域內所有上昇接頭之摩擦損失及其流量。
- 步驟 14、計算管路中之其他閥類、接頭摩擦損失、管路位能變化。
- 步驟 15、增加消防栓之水量。
- 步驟 16、比較幫浦供應曲線是否足以供應水力計算所需。

## (二)美國的管徑規格法

- 步驟 1、繪製管道系統圖。
- 步驟 2、從系統設計最不利點的撒水頭開始，進行節點編號(節點指噴頭處、管道分支連接處及變徑處)。
- 步驟 3、從最不利點開始管段，利用 Hazen-Williams Formula 或查配管摩擦損失表，累計流量增加到設計流量為止。以後管段中流量不再增加，僅

---

【26】 Brock ,Pat D., “ Fire Protection Hydraulics and Water Supply Analysis ,” Oklahoma State University , Fire Protection Publications, 1993. pp. 229-230.

計算水頭損失，即可求得最不利點的撒水頭至消防水池間的配管摩擦損失。其中管路間之配件則可查表得到等效長度，再乘以單位長度配管損失值，亦可求得配件之摩擦損失。然後再加上落差和不同危險程度不同撒水頭之放射壓力，即可得到幫浦全揚程。

步驟 4、依法規要求計算，可求得必要水源容量及幫浦的放水量。

### (三)、台灣與日本撒水設備管徑規格法水力計算之步驟

步驟 1、繪製配管昇位圖、樓層配管平面圖。

步驟 2、從系統設計最不利點的撒水頭開始，進行節點編號。

步驟 3、由最不利點之撒水頭開始，利用 Hazen-Williams Formula 或查配管摩擦損失表，即可求得最不利點的撒水頭至消防水池間的配管摩擦損失。其中管路間之配件則可查表得到等效長度，再乘以單位長度配管損失值，亦可求得配件之摩擦損失。然後再加上落差和撒水頭放射壓力，即可得到幫浦全揚程。

幫浦全揚程=配管摩擦損失水頭+落差+10(計算單位：公尺)

$$H = h_1 + h_2 + 10 \text{ (m)}$$

步驟 4、依法規要求，計算開放之撒水頭個數，可求得必要水源容量及幫浦的放水量。台灣計算幫浦的放水量為依規定，所核算之撒水頭數量在十個以下時，不得少於每分鐘九百公升；在十一個以上二十個以下時，不得小於每分鐘一千八百公升；在二十一個以上三十個以下時，不得小於每分鐘二千七百公升；在三十一個以上時，不得小於每分鐘三千六百公升。日本計算幫浦的放水量，若採用標準型撒水頭，其幫浦的放水量等於撒水頭開放個數乘以 90 / min；採用小區劃型撒水頭，其幫浦的放水量等於撒水頭開放個數乘以 60 / min；其他與台灣規定相同。

步驟 5、依照幫浦全揚程及幫浦放水量，可求得電動機馬力。

### (四)台灣與日本水力計算法

步驟 1、繪制管道系統圖和最不利位置管道平面圖。

步驟 2、從系統設計最不利點開始，進行節點編號（節點包括作用面積內及以後管段撒水頭處、管道分支連接處及變徑處）。

步驟 3、自最不利點撒水頭的撒水量開始，依序計算各撒水頭的放水量直至法定最少需同時放水之個數為止，以後管段的流量不再增加，然後再計算至幫浦處的配管摩擦損失。

步驟 4、得到配管摩擦損失值，即可繼續求得幫浦全揚程及幫浦放水

量。

## (五)小結

各國水力計算步驟在細部上雖有所不同，除了美國的水力計算法差異較大外，其餘皆大同小異。但美國水力設計法有其設計上的彈性，因為其撒水密度與假想防護面積曲線圖中，各危險等級場所曲線其每分鐘放水量為撒水密度與假想防護面積的乘積，所以提供給設計者，在選擇撒水密度與假想防護面積間，得到符合設計的參數值。

由前面的討論，我們可發現，所謂的水力計算不應只是單純地以分析比較各國所應用的公式或方法；而應該是著重於對水力計算參數(撒水頭放射壓力、放水量、間距與配置情況，配管的材質、管徑的大小，及設計流量、假想防護範圍)會產生重大影響參數的設定值。

## 八、案例檢討

茲以綜合大樓第六樓的電影院為例，援引不同法規設計參數(撒水頭防護面積、撒水頭放射壓力、撒水頭放水量、假想防護面積、放射時間)，利用不同水力計算方式，計算其配管摩擦損失、幫浦全揚程、幫浦所需馬力及必要水源容量，然後加以分析比較各設計參數之影響及其關聯。

### 案例描述：

1. 建築物樓高：八層樓高。
2. 使用用途：第一層遊藝場所，第二層速食店，第三層至第六層為電影院，第七層及第八層為辦公室。
3. 自動撒水設備設置場所：第三層至第六層之電影院。
4. 電影院面積：450 平方公尺 / 層
5. 天花板平均高度：3.5 公尺 / 層
6. 消防水源供應方式：消防幫浦
7. 撒水頭最不利點位置：第六層之電影院。

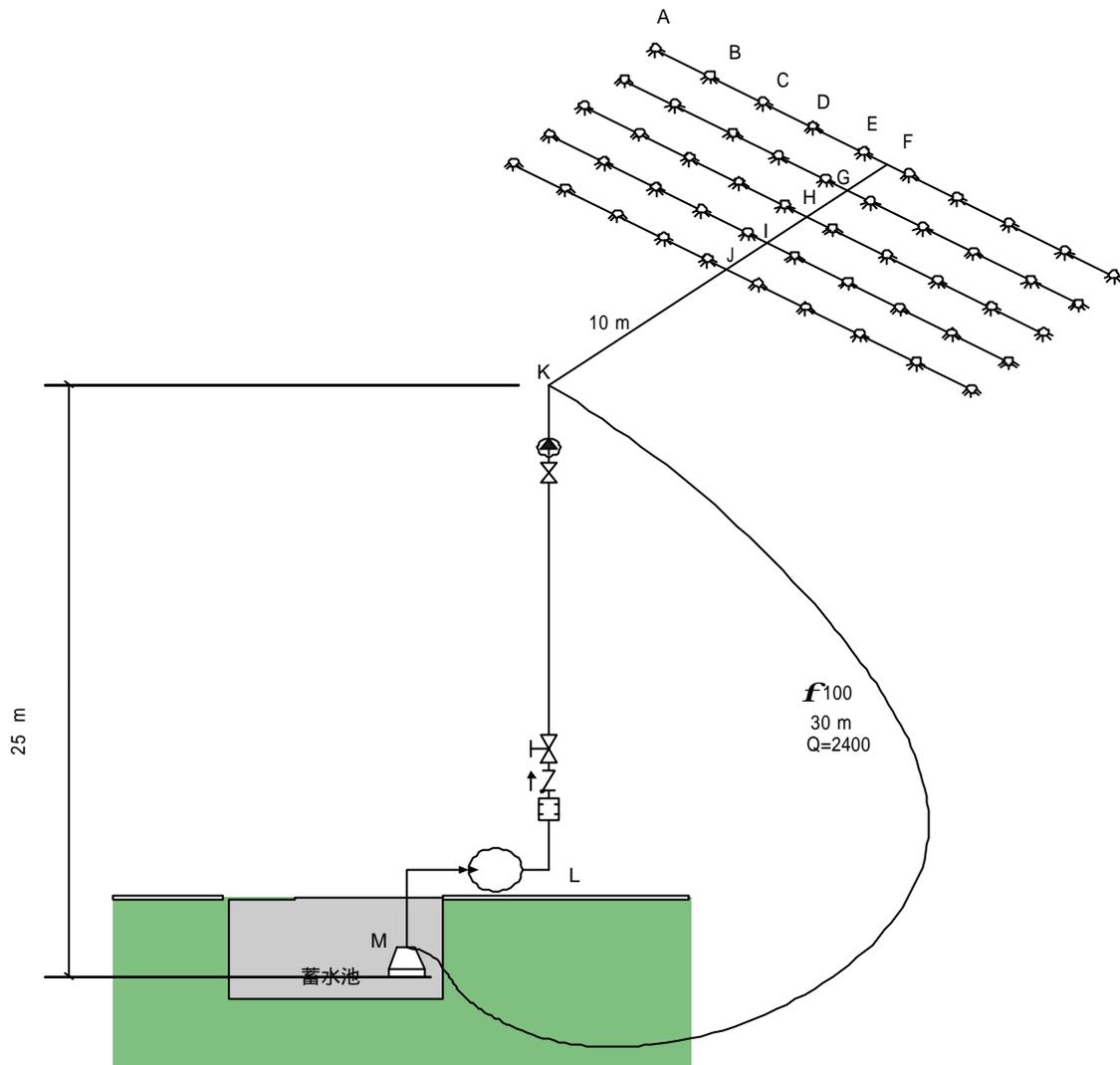


圖 5 六樓電影院撒水設備之示意圖 (自繪)

(一) 依照台灣法規(依各類場所設置標準第十七條第一款、第四十六條第二款、第五十七條第一款之規定)

1、撒水頭採正方形排列，半徑為 2.3m(非舞台部份)

2、間距(S)： $2.3 \times \sqrt{2} = 3.25\text{m}$

3、配管損失( $h_{21}$ )：

$$h_{21} = 53.14 \text{ m}$$

落差( $h_2$ )：25m

4、 $H = 53.14 + 25 + 10 = 88.14 \text{ m}$

5、水源： $V = 80 \text{ 分} \cdot \text{個} \times 30 \text{ 個} \times 20 \text{ 分} = 2400 \text{ 分} \times 20 \text{ 分} = 48 \text{ m}^3$

6、幫浦放水量： $Q = 2700 \text{ 分} = 2.7 \text{ m}^3/\text{min}$

7、口徑 100AÖ， $\lambda = 0.6$

假設  $K = 1.1$

$$S_{21} = \frac{0.163(2.7)(88.14)}{0.6} \times 1.1 = 71.1 \text{ kW}$$

(二)依照日本法規：

- 1、以變異項為假想防護面積為考量，依日本消防規則第十三條之二、第十三條之六第一項第一款規定

(1)撒水頭，使用標準型，採正方形排列，半徑為 2.3m

(2)間距(S)： $2.3 \times \sqrt{2} = 3.25\text{m}$

(3)配管損失( $h_{22}$ )：

$$h_{22} = 28.03 \text{ m}$$

落差( $h_2$ )：25m

(4) $H = 28.03 + 25 + 10 = 63.03 \text{ m}$

(5)水源： $V = 80 \text{ min} \cdot \text{個} \times 15 \text{ 個}$   
 $= 1200 \text{ min} \times 20 \text{ min}$   
 $= 24 \text{ m}^3$

(6)泵浦放水量： $Q = 90 \text{ /min} \cdot \text{個} \times 15 \text{ 個}$   
 $= 1350 \text{ /min}$   
 $= 1.35 \text{ m}^3/\text{min}$

(7)口徑 100AÖ,  $\alpha = 0.6$

假設  $K = 1.1$

$$S_{22} = \frac{0.163(1.35)(63.03)}{0.6} \times 1.1 = 25.43 \text{ kW}$$

- 2、以假想防護面積、撒水頭間距為考量，依日本消防規則第十三條之二、第十三條之六第一項第一款規定

(1)撒水頭採高感度正方形排列，半徑為 2.6m

(2)撒水頭個數在此計算例中並未因間距加大而減少，故其計算結果與 1 之結果相差不多，在此不予以討論。

- 3、以假想防護面積、撒水頭放水量、撒水頭間距為考量，依日本消防規則第十三條之三、第十三條之六第一項第一款規定

(1)撒水頭使用小區劃，採正方形排列，半徑為 2.6m

(2)間距(S)： $2.6 \times \sqrt{2} = 3.68\text{m}$ ，取 3.5m。

(3)配管損失( $h_{23}$ )：

$$h_{23} = 17.27\text{m}$$

落差( $h_2$ )：25 m

(4) $H = 17.27 + 25 + 10 = 52.27 \text{ m}$

(5)水源： $V = 50 \text{ min} \cdot \text{個} \times 12 \text{ 個}$   
 $= 600 \text{ min} \times 20 \text{ min}$   
 $= 12 \text{ m}^3$

(6)泵浦放水量： $Q = 60 \text{ min} \cdot \text{個} \times 12 \text{ 個} = 720 \text{ min} = 0.72 \text{ m}^3/\text{min}$

(7)口徑 100AÖ, = 0.6

假設  $K = 1.1$

$$S_{23} = \frac{0.163(0.72)(52.27)}{0.6} \times 1.1 = 11.2 \text{ kW}$$

### (三)依照美國水力計算法檢討

1、以假想防護面積、撒水頭防護面積、放射時間為考量，依照 NFPA 13 5-6 及 7-2.3 之規定

(1)危險等級：中度危險第一類

(2)撒水密度： $6.1 \text{ min} / \text{m}^2$

(3)每一撒水頭之防護面積：

採用標準撒水頭， $3 \times 4 = 12 \text{ m}^2$

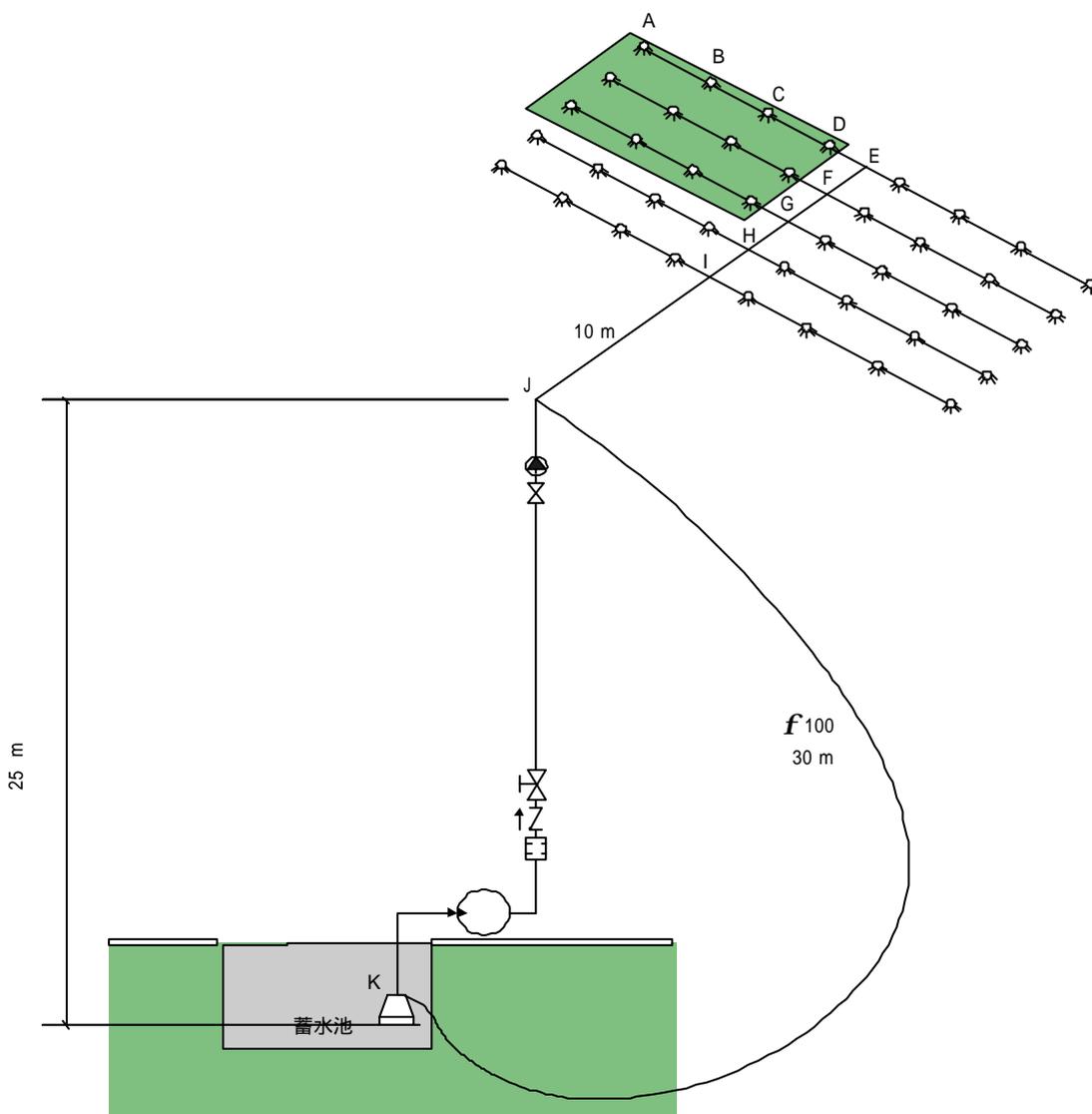


圖 6 水力計算法之假想防護面積示意圖 (自繪)

(4)假想防護面積：139 m<sup>2</sup>

(5)計算撒水頭個數：139/12 = 11.58 個取 12 個

(6)決定每個支管的撒水頭個數

$$n = \frac{1.2 \times \sqrt{A}}{L} = \frac{1.2 \times \sqrt{139}}{4} = 3.54 \text{ 個，取 4 個。}$$

(7)配管損失(h<sub>24</sub>)及 Q：

$$h_{24} = 50.7 \text{ m}$$

(8)最小需求量為 Q<sub>min</sub> 42.15                      1.94 m<sup>3</sup>/min

$$H = 50.7 + 25 + 8.7 = 84.4 \text{ m}$$

(9)水源：V = 1942 l × 50 min                      = 116.53 m<sup>3</sup>

(10)口徑 100AÖ,                      = 0.6

假設 K = 1.1

$$S_{24} = \frac{0.163(1.94)(84.4)}{0.6} \times 1.1 = 48.93 \text{ kW}$$

2、以假想防護面積、撒水頭間距為考量，依照 NFPA 13 5-6 及 7-2.3 之規定

(1)危險等級：中度危險第一類。

(2)撒水密度：6.1<sub>min</sub> /m<sup>2</sup>。

(3)每一撒水頭之防護面積：採用快速動作(Quick-Response)撒水頭，3×4 = 12m<sup>2</sup>。

(4)假想防護面積：因採用快速動作撒水頭，依天花板高度 3.5 公尺，可減免 38% 的防護面積。所以假想防護面積為

$$139 - (139 \times 0.38) = 86.18 \text{ m}^2。$$

(5)計算撒水頭個數：86.18/12 = 7.18 個取 8 個。

(6)決定每個支管的撒水頭個數

$$n = \frac{1.2 \times \sqrt{A}}{L} = \frac{1.2 \times \sqrt{86.18}}{4} = 2.78 \text{ 個取 3 個。}$$

(7)配管損失( $h_{25}$ )及 Q :

$$h_{25}=38.8 \text{ m}$$

$$(8)Q=1417.3 \text{ min} \quad 1.42 \text{ m}^3$$

$$(9)H=38.8+25+8.7=72.5 \text{ m}$$

$$(10)\text{水源} : V = 1417.3 \times 60 \text{ min} \\ = 85.04 \text{ m}^3$$

$$(11)\text{口徑} \quad 100\text{AÖ}, \quad = 0.6$$

假設  $K = 1.1$

$$S_{25} = \frac{0.163(1.42)(72.5)}{0.6} \times 1.1 = 30.76 \text{ kW}$$

3、採用美國管徑規格法檢討，以假想防護面積、撒水頭間距、放射時間為考量，依照 NFPA 13 5-6 及 7-2-2 之規定

(1)撒水頭採標準型，長方形排列(4m×3m)，最大防護面積為 12 m<sup>2</sup>

(2)最大間距(S)：4 m

(3)配管損失( $h_{26}$ )： $h_{26}=64.77 \text{ m}$

落差( $h_2$ )：25 m

$$(4)H = 64.77+25+14.2 = 103.97 \text{ m}$$

(註：最小放射壓力為 20 psi=1.42 kgf/cm<sup>2</sup>)

(5)水源：(查表 3，得流量要求及放射時間)

$$V = 3.785 \times 850 \quad 0 \text{ min} \\ = 3217.25 \text{ min} \\ = 193 \text{ m}^3$$

(6)泵浦放水量： $Q = 3217.25 \quad = 3.2 \text{ m}^3/\text{min}$

(7)口徑 100AÖ， = 0.6

假設  $K = 1.1$

$$S_{26} = \frac{0.163(3.2)(103.97)}{0.6} \times 1.1 = 99.42 \text{ kW}$$

由計算例各個不同設定參數,我們可得到設置於六樓電影院撒水設備需求值,如下表所示:

表 12 六樓電影院設置撒水設備採用不同法規參數值之計算結果

	台灣 法規	日本法規		美國法規		
		標準型	小區劃 型	水力計算法 (標準型撒水 頭)	水力計算法 (快速動作型 撒水頭)	管徑規格 法
水源容量(m <sup>3</sup> )	48	24	12	116.53	85.04	193
幫浦放水量 (m <sup>3</sup> /min)	2.7	1.35	0.72	1.94	1.42	3.2
摩擦損失(m)	53.14	28.03	17.27	50.7	38.8	64.77
幫浦全揚程(m)	88.14	63.03	52.27	84.4	72.5	103.97
幫浦額定馬力(kW)	71.1	25.43	11.2	48.93	30.76	99.42

(本研究整理)

由計算例，我們可發現假想防護面積愈小，累計計算的撒水頭個數愈少，配管摩擦損失愈小，如小區劃型撒水頭；假想防護面積愈大，配管摩擦損失愈大，如美國管徑規格法。在這計算例中，我們也可比較美國快速動作型與日本小區劃型撒水頭之配管摩擦損失結果，發現兩者在假想防護面積皆較標準型撒水頭小，但由於小區劃撒水頭之放水量較小，所以小區劃型的配管摩擦損失比快速動作型小。所以未來我國法規欲將快速動作型撒水頭納入時，假想防護面積應可參考兩者區間之值。

## 九、結論

經過本文之討論分析，我們對於採用何種水力計算方法，可得到以下結論：

- (一) 採用管徑規格法在計算摩擦損失是較簡易的，適用在輕度、中度危險度較低場所及平面配置較單純的場所。
- (二) 在高度危險工作場所及大範圍的空間，採用水力計算法雖較複雜，但所求得的結果，較符合工程學理且經濟。
- (三) 除了考慮前二項之外，對於設計會產生重大影響的設計參數如：
  - 1、 該場所適合設置何種類型的自動撒水滅火系統。
  - 2、 撒水頭的規格與型式。
  - 3、 撒水頭之間距、撒水密度。

- 4、 撒水頭之放射壓力與流量要求。
- 5、 建築物之結構是否具耐火時效。
- 6、 管路材質。
- 7、 撒水頭開放個數(假想防護面積)。
- 8、 法定水源容量大小。
- 9、 是否有減免或共用的規定。
- 10、 撒水設備系統供水加壓方式。 等，於水力計算過程，應妥予選用設定，才能力求合理經濟、安全、有效之設計成品。

# 空調併用排煙設計基準之探討

## 一、排煙對策之演進【<sup>27</sup>】

### (一) 負壓排煙

為防止火場中產生之有毒氣體或「煙」侵襲避難人員致造成傷亡，傳統的想法與對策，便是把可怕的煙排出。但這樣的想法付諸於大量的煙氣之排出作業時，卻往往衍生火勢因新鮮空氣之大量進入置換或高熱煙塵(fire plume)被強力抽取移動時而急速擴展，造成起火空間整個被大火吞噬而全燬。因此對大空間之負壓排煙對策，必須考慮排煙能力及一定面積之排煙區劃，即「排煙對策」演進為「防排煙對策」，宣示的意義是，排煙目的在於有效的阻擋煙的快速擴散，避免追及人群，並減少因煙害而造成的財物損失。

### (二) 進氣排煙

對大空間或建築物有足夠間隙開口等場所之排煙作業，在設計上有兩項必須克服，(1) 排煙能力夠 (2) 為避免火勢快速蔓延，應對該大空間施以防煙區劃(如防煙垂壁或防煙牆)，但當對密閉或狹小空間進行排煙作業時，往往又會出現無法將煙氣充分排出之困境，即使在排氣能力足夠之條件下，由於換氣對流作用不佳，煙層仍可能快速下降，不利於避難、搶救活動，煙害結果也相當可怕。因此，便有所謂『進氣排煙方式』，特別是針對帷幕式建築等、封閉性廠房及安全梯間前狹小的排煙室。

### (三) 加壓防排煙

隨著超高層大樓的出現，傳統的排煙對策面臨更大的挑戰，狹義『排煙』作業之正確性也遭受了質疑。在(1) 煙有可能無法迅速有效排出，(2) 排煙口及排煙機能力有限，(3) 避難通道在逃生過程中應確保不讓煙侵入等事實及需求之交互討論下，『排煙作業』遂被納入『避難系統』設計中。排煙目的，不再煙是否被快速抽離建築物，而在於是否能延長人員『避難安全容許時間』，確保人命安全。因此，『煙控』(smoke control) 一詞開始取代習用已久的『排煙』。台灣地區當前建築及消防相關法令，仍沿用原有『區劃防排煙』及『進氣排煙』之設計原則，對『加壓防排

<sup>27</sup> 簡賢文著， 消防安全設備 ，三鋒出版社，1992年，p340~342。

煙』等煙控方式，並無條文內容上之直接支持，但在最近數起超高層大樓及外國顧問公司設計例中，經常被採用，其基本概念為：

- (1) 對起火層（或起火區）以負壓排煙法就近將煙自該層（區）直接抽離建築物。
- (2) 對起火層上下層（或起火區所鄰接之數個防煙區劃）進氣加壓，防止煙之不當擴散。
- (3) 對避難人員必經之路線（即避難通道），特別是排煙室（次高壓）及安全梯間（高壓）施以正壓，確保人員進入一暫時不被煙污染之相對安全區。必須注意的是，安全梯間加壓量的計算，在考量隙縫開口後，應能讓避難人員不困難地推開安全門順利進入梯間才行。

## 二、空調與排煙併用之設計基準【<sup>28</sup>】

美國 NFPA 92A 並不排除空調系統併用煙控系統之應用，其中就列出如何利用各種型態的空調系統併用煙控系統。在第三章 3-2.1 條文中如下所述：

HVAC equipment normally provides a means of supplying , returning ,and exhausting air from a space. The HVAC equipment can be located within the space , within adjacent spaces , or within remote mechanical equipment rooms. Most HVAC equipment can be adapted for zoned smoke control.

而在 NFPA90A 第一章 1-3.1(e)條文中亦有類似陳述，及允許建築物內之空調系統於緊急狀況時移作他用，成為煙控系統。其原文如下所述：

(e)Permit the air duct systems in a building to be used for the additional purpose of emergency smoke control.

另外，則又規定設置空調系統時，需保持建築物結構，如樓地板、隔間、屋頂、牆與天花板等，防火性能的完整性。即如何將防火／防煙等功能，加入於空調系統中，此正為空調系統併用煙控系統之基礎。

而在設計空調與排煙併用時，下列事項應加以分析：

- 空調系統防火／防煙功能設計。
- 空調與防煙區劃併用分析。
- 移動或增加風管與回風口。

---

<sup>28</sup>中華顧問工程司，台北車站消防安全改善設計分析期中報告，1999年7月，p47~68。

- 防火 / 防煙閘門與警報系統連動分析。
- 正負壓區劃煙控系統設計分析。

### (一) 空調系統防火 / 防煙功能設計

在 NFPA 90A 中，開宗明義就提到：空調系統有能力將『煙』『熱』與『火焰』傳送到建築物的各個角落，同時亦有可能提供新鮮空氣至火場，而助長火勢。因此，如何將防火 / 防煙等功能，加入於空調系統中，不僅能有效保護人身安全與減少財物損失，此即為空調系統併用煙控系統之基礎。

因此美國防火協會 NFPA 90A 的主要用意有五項：

- (1) 限制火災時產生的煙，藉由空調系統於建築物內蔓延，或從建築物外進入。
- (2) 限制火災時產生的火焰，藉由空調系統於建築物內蔓延，或從建築物外進入。
- (3) 規定設置空調系統時，需保持建物結構，如樓地板、隔間、屋頂、牆與天花板等，防火性能的完整性 ( fire-resistive integrity )。
- (4) 需將空調系統之火源 ( ignition source ) 與可燃物 ( combustibility ) 部分所佔比率降至最低。
- (5) 允許建築物內之空調系統於緊急狀況時移作煙控系統。

以上五點不僅為 NFPA90A 保障人身安全與減少財物損失的最小要求，同時亦為設計空調兼用煙控系統最基本要求，即具備防火/防煙功能。

為了讓空調系統具備防火/防煙功能，可以利用平面區劃、垂直區劃與防火/防煙閘門之配合，進行整體建築物空調系統之設計。NFPA90A 列出以下各項，需具備防火/防煙功能：

#### 1. 空調機房

空調機房設計有很多種，其中特別值得注意的是直接以風管與豎井相接的形式。而豎井內為回風道與送風風管。由於空調機房內擺設有送風機等重要設備，為了讓空調系統於火災時仍能兼用煙控系統，機房四

周應用防火牆隔開。

另在空調機房的外氣進氣口，則需裝設防火閘門。必要時須關閉防火閘門，以防阻鄰棟建築物發生火災時的煙或火焰，藉由外氣進氣口引入。

## 2. 開口部之穿透防護

此項為使空調系統具備防火/防煙功能最重要的工作。設置空調系統時，必須保持建築物防火性能的完整性，故對於開口部之穿透處之防火/防煙功能，亦需詳加設計。

NFPA90A 所謂的開口部，係指空調系統中風管穿過以下所列各項形成之開口，包括：

- 防火牆或防火隔間牆
- 防火地板
- 防火天花板或防火屋頂
- 豎井
- 防煙阻體 ( smoke barrier )

當空調系統穿過上述五項本身已經具備防火/防煙功能時，位於該斷面之風管內必須裝置防火/防煙閘門，以確保防火/防煙功能之完整性。

而我國建築技術規則中，對於空調系統防火/防煙功能亦有類似規定。如建築技術規則建築設計施工篇第三章第四節防煙區劃中的第八四條：『( 風管之區劃 ) 貫通防煙區劃牆之風管，應在兩側風管內裝設防火閘門或閘板。』

至於整個空調系統部分則可於建築技術規則建築設備篇第五章空氣調節及通風設備第一節空氣調節及通風設備之安裝，有詳細之規定。其中第九十一條規定：『( 通則 ) 建築物內設置空氣調節及通風設備之風管、風口、空氣過濾器、鼓風機、冷卻或加熱等設備，構造應依本節規定。』並於其後之第九十二條至九十九條規定中亦包括有關防火/防煙功能建立之設計，故此部分可作為目前設計空調系統併用煙控系統時，防火/防煙功能設計之依據。

## (二) 空調與防煙區劃併用分析

建築物的空調系統其主要設計目的為維持室內之舒適度，包括熱環境與空氣品質，故其設計考量因素為建築物室內的熱負荷，再以不同的

室內熱負荷，規劃不同的空調區劃。但如果空調兼用煙控系統，其設計考量因素則與設計空調系統時大不相同，此時的空調區劃與防煙區劃能否併用，即為分析之重點。

空調區劃考量不同的熱負荷而設計，當然不能完全合乎防煙區劃的需求。

首先需檢視空調區劃內，是否設計送風口與回風口。因許多空調區劃只有送風口，而回風口則設在別的空調區劃內。這對日後空調兼用煙控系統進行火災排煙或正負壓煙控策略，可能無法達成。需重新對空調區劃設計加以考量，譬如增加風管、回風口等，以符合煙控性能的需求。

首先，在檢討空調區劃、防煙區劃併用之前，應先檢討其防火區劃設計。目前我國有關防火區劃設計之法條，於『建築技術規則』建築設計施工篇第七十九條（防火建築物及防火構造建築物）中有規定：

防火建築物及防火構造建築物，其總樓地板面積在一、五〇〇平方公尺以上者，應按每一、五〇〇平方公尺，以具有一小時防火時效之防火牆、防火樓板及甲種防火門窗區劃分隔。但供左列使用無法區劃分隔者，不在此限：

- 一、戲院、電影院、歌廳、演藝廠、觀覽場、集會堂等之觀眾席部分；體育館、零售市場、學校、工廠類似用途建築物。
- 二、樓梯間、升降機間。

前項應予區劃範圍內，如備有效自動滅火設備者得免計算其有效範圍樓地板面積之二分之一。

因此於設計空調系統併用煙控系統時，需先檢討其防火區劃設計。其次，需檢討空調區劃面積有無符合防煙區劃面積大小。於民國八十五年內政部頒佈的『各類場所消防安全設備設置標準』第一百八十九條第一款至第三款中規定：

第二十八條第一項第一款至第四款排煙設備應依左列規定設置：

- 一、每層樓地板面積每五百平方公尺內，以防煙壁區劃。
- 二、排煙設備之排煙口、管道及其他與煙接觸部分應使用不燃材料。
- 三、依第一款區劃（以下稱為防煙區劃）之範圍內，任一位置至排煙口之水平距離不得超過三十公尺，排煙口應設於天花板或其下方八十公分範圍內，除直接面向戶外，應與排煙管道連接。但排煙口設在天花板下方，防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防

煙壁之下垂高度內。

故由第一百八十九條條文中可得知，原先的空調區劃若未超過 500 m<sup>2</sup>，則可規劃成一防煙區劃進行煙控。但前提為此空調與防煙併用之區劃，需有完整的防火/防煙功能設計。如上述之內容，包括設置防火牆或防火隔間、防火地板、防火天花板或防火屋頂與在貫穿處裝置防火/防煙閘門等等。

但若原先的空調區劃超過 500 m<sup>2</sup>，則必須以防煙垂壁等防煙阻體 (smoke barrier) 進行防煙區劃，以使區劃面積小於法規規定值 500 m<sup>2</sup>。對原先空調系統之風管或回風口、出風口位置，做配合之修改。

另外，根據內政部八十七年六月份消防安全設備會審（勘）執法疑義研討會會議記錄之提案一：建築物地下層或地下建築物可否免設排煙設備疑義？其做成決議為：

建築物地下層或地下建築物對排煙設備之設置，得比照設置標準第一百八十八條第三款檢討，即樓地板面積每一百平方公尺內，以防火牆、防火樓板及甲乙種防火門窗區劃間隔，且天花板及室內牆面，以不燃材料或耐燃材料裝修者，得免設排煙設備之規定，係以『各類場所消防安全設備設置標準』乙、丙、丁場所為限。

故依據上述之解釋函，地下建築部分無論其居室面積有無小於一百平方公尺，皆須設置排煙設備。此點有關地下建築物防煙區劃面積的考量，於設計空調兼用煙控系統時亦需考慮。

### (三) 回風風管與回風口設計

此項設計程序與上述空調區劃防煙區劃併用分析關係較為密切，而其主要考量為提供火場之緊急排煙功能。

當空調與防煙區劃併用分析完成劃定後，接著即要檢視回風風管有無通過每一防煙區劃，尤其是在無設置居室之大面積建築設計（如非居室面積超過 500 m<sup>2</sup>以上者）或者是於每一防煙區劃內檢視是否有回風口存在，因一般空調系統回風口設計，並非每個居室皆有。

典型之空調與防煙區劃併用分析，區劃的原則除了遵循『各類場所消防安全設備設置標準』第一百八十九條第一款，其防煙區劃面積不超過 500 m<sup>2</sup>外，其區劃的邊界可盡量利用現有的樑柱。

讓每一個防煙區劃內皆有回風風管，或回風之管的回風口，不會橫

跨兩個防煙區劃。在依『各類場所消防安全設備設置標準』第一百八十九條第四款至第六款中規定設置回風口。

另外，常見之回風口設置於居室的出口或者設計於走廊。原則上為儘量不要為於逃生避難通道或者出口上方。以免進行緊急排煙時，濃煙往出口或逃生方向流動，而妨礙到人的逃生造成傷亡。

#### (四) 防火 / 防煙閘門與警報系統連動分析

若實行空調兼用煙控系統，空調系統中某些風管位置或送風口、回風口需裝設防火/防煙閘門。其作用有三：一為讓空調兼用煙控系統具備防火/防煙功能，二為區劃出適當的防煙區劃。最後，也是最重要的，經由防火/防煙閘門與警報系統之連動，使空調系統可以兼用煙控系統，如圖 4-2 所示。

在圖 4-2(a)中，為正常運轉的空調系統。此時所有送風與回風的閘門皆開啟，包括位於回風風機附近的回風閘門，而讓空調回風與外氣進行混和，在至送風風管。

但如果發生火災時，如圖 4-2(b)所示，則火災層的送風閘門關閉，回風閘門開啟，形成負壓進行排煙。非火災層的送風閘門開啟，回風閘門關閉，形成正壓防止煙氣亂竄。此時位於回風風機附近的回風閘門關閉，不致讓煙進入送風風管。

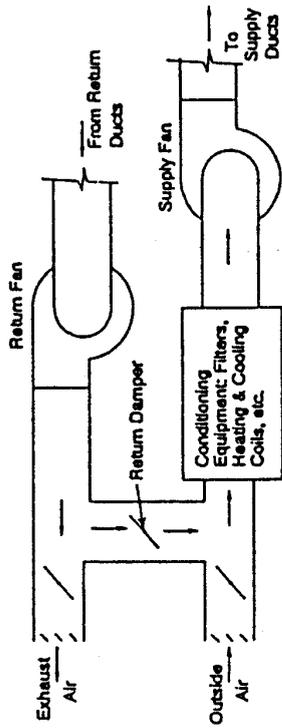
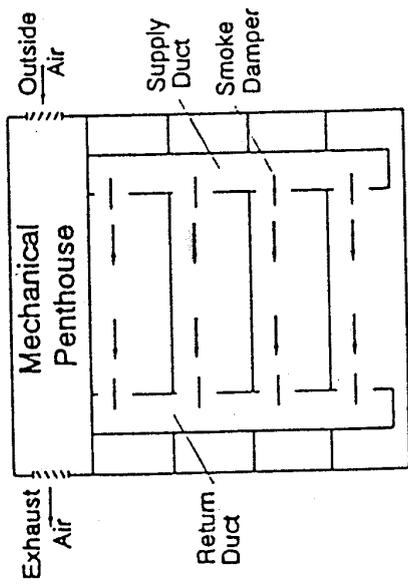


圖 4-2 (a) 正常運轉的空調系統

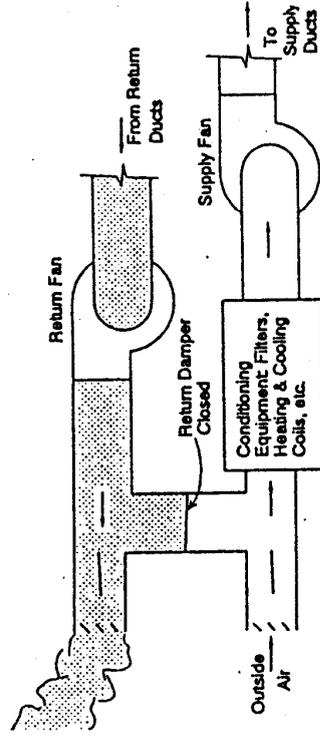
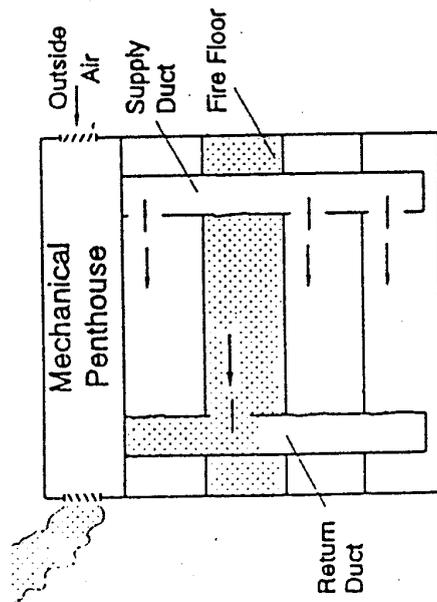


圖 4-2 (b) 發生火災時之緊急運轉

圖 4-2 防火/防煙閘門與警報系統之連動，使空調兼用煙控系統

4-2

## (五) 正負壓區劃煙控系統設計分析

在 NFPA92A 所提之正負壓區劃煙控的觀念，乃為防止火災區的煙由樓地板、隔離物之裂縫或由管道間流至非火災區，藉由建立於各區的壓力差，限制煙的流動，不使火災區範圍擴大。

其設計方法為利用地板、防火牆、防火門等防火屏障將建築物分成數個防煙區劃。例如可將每個樓層設計為一個區劃，或每個樓層內在分隔成數個區劃。當火災發生時，火災區只排煙不供氣，形成正壓區。

但若藉由專用風機與專用風管的煙控系統，來完成正負壓區劃煙控性能的話，雖效果最好，但將花費相當大的金額，且佔用建築物內不算小的空間。故若利用空調兼用煙控系統，來完成正負壓區劃煙控性能確實可節省大量風管的額外設計，與建築物的空間佔用。或者說，空調兼用煙控系統除了可作為區劃排煙系統外，只要於防火/防煙閘門與警報系統連動方面詳加規劃，其最佳運轉策略為正負壓區劃煙控。

但空調併用煙控系統實施正負壓區劃煙控時，除考慮區劃面積大小外，還需考慮回風量是否太大或太小。回風量過大的話，將造成正負壓區劃的壓差太大。使得火場的門無法向外開啟，人員逃生困難，傷亡機率增大。回風量不足的話，將造成正負壓區劃的壓差不夠，無法將火場的煙控制於某個範圍內。

一般而言，空調系統回風風量為送風量的 10%~20%。當兼用成為煙控系統時，其回風風量即為排煙量。必須檢視其回風量是否合乎『各類場所消防安全設備設置標準』第 189 條第七款中規定：其排煙量在一防煙區劃時，不得小於該防煙區劃面積每平方公尺 1CMM，在二區以上之防煙區劃

其回風量是否合乎法規值，並非檢視其回風風機額定風量。而是要經正確計算各段風管之壓降值，以獲得系統之運轉狀態曲線，即可依此參考送風機製造廠商所提供的型錄，由風機之性能曲線選取適合此套風管系統之風機。如此才可於該區劃內，獲得最適當的排煙量。

# 緊急廣播設備功能性設計之研究

## 一、前言

緊急廣播設備為火災時能將火災的訊息傳達到必要的樓層，以適時通知防火對象物內不特定多數人能及時避難逃生的消防設備，目前所審核認可的主機均是語音廣播型式。

緊急廣播設備在設計上對一般的建築物而言並無問題，但對於挑高空間的設計便有實際的困難。一般而言，挑高建築空間係指挑高門廳、體育館、室內游泳池、展示場及挑高建築的工廠．．等等，天花板距樓地板面垂直高度在 10 公尺以上之空間。在這種建築空間內，如依據各類場所消防安全設備設置標準第一三三條第一項第二款第四目之規定，「從各廣播區域任一點至揚聲器水平距離不得大於十公尺，．．．」，勢必不能滿足法規的規定，造成在設計時甚多的困擾。因此，日本緊急廣播設備委員會乃設計出一套揚聲器的設置原則，供一般業者作為緊急廣播設備揚聲器設計時之依據。

近年來日本在消防法施行規則對緊急廣播設備設計時有另一套功能性設計的規定，以適用於挑高空間建築物的設計，以下就針對國內目前現行的設計標準與日本這一套功能性法規的設計原則作比較分析說明。

## 二、國內現行緊急廣播設備揚聲器設置之規定

國內現行八十五年版各類場所消防安全設備設置標準有關揚聲器設置規定於第一三三條，其條文內容說明如下：

第一三三條 緊急廣播設備，依左列規定裝置：

### 一、距揚聲器一公尺處所測得之音壓應符合左表規定：

揚聲器種類	音壓
L 級	92 分貝以上
M 級	87 分貝以上 92 分貝未滿
S 級	84 分貝以上 87 分貝未滿

### 二、揚聲器應依左列規定裝設：

- (一) 廣播區域超過一百平方尺時，應設 L 級揚聲器。
- (二) 廣播區域超過五十平方公尺一百平方公尺以下時，應設 L 級或 M 級揚聲器。

- (三) 廣播區域在五十平方公尺以下時，應設 L 級、M 級或 S 級揚聲器。
- (四) 從各廣播區域任一點至揚聲器之水平距離不得大於十公尺。但居室樓地板面積在六平方公尺或由居室通往地面之主要走廊及通道樓地板面積在六平方公尺以下，其他非居室部分樓地板面積在三十平方公尺以下，且該區域與相鄰接區域揚聲器之水平距離相距八公尺以下時，得免設。
- (五) 設於樓梯或斜坡通道時，至少垂直距離每十五公尺應設一個 L 級揚聲器。

茲針對上述條文，進一步說明如下：

1. 從各廣播區域內任一點至揚聲器之水平距離不得大於 10m，可參考圖 1、2 所示。

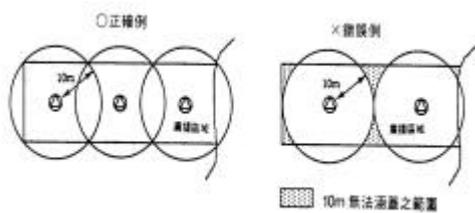


圖 1

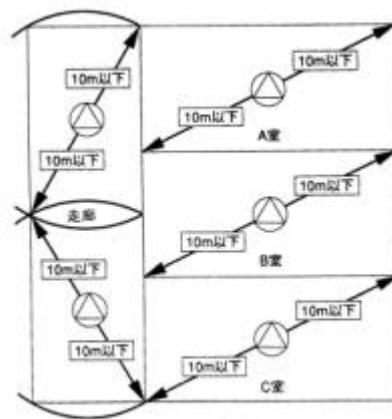


圖 2

2. 鄰接之一定小規模廣播區域，得免設揚聲器。居室樓地板面積在 6m<sup>2</sup> 或由居室通往地面之主要走廊及通道樓地板面積在 6m<sup>2</sup> 以下，其他非居室部分樓地板面積在 30m<sup>2</sup>，且該區域與相鄰接區域揚聲器之水平距離相距 8m 以下時，得免設揚聲器(對符合此條件之區稱為「小規模廣播區域」)茲舉例說明如下：

(1) 設置例一

非居室部分免設揚聲器之情形，請參考圖 3。

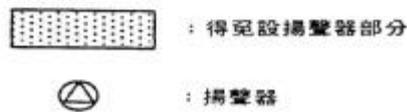
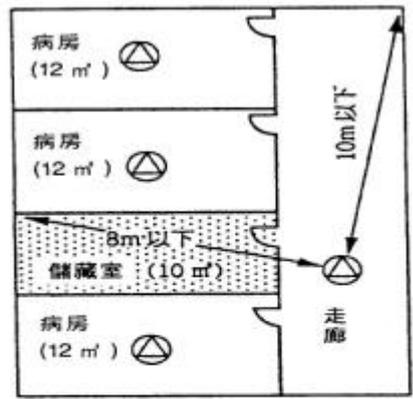


圖 3

(2)居室免設揚聲器之情形，請參考圖 4。

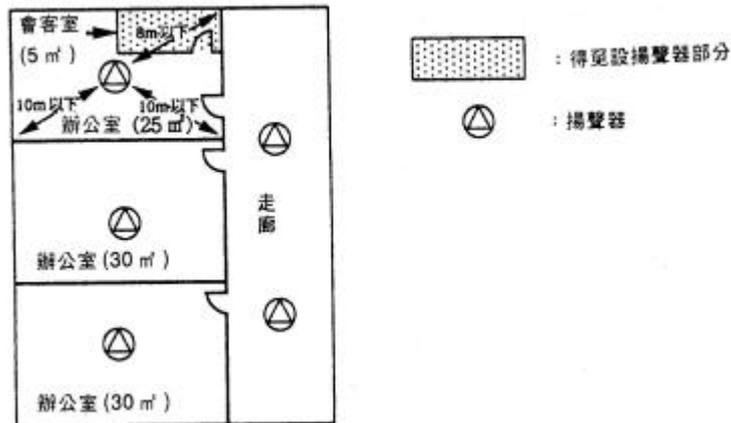


圖 4

3.揚聲器按廣播區域之範圍，其設置情形區分為以下三種；針對此點，按廣播區域之範圍選設揚聲器時，該廣播區域之揚聲器涵蓋之範圍，有免設揚聲器之小規模廣播區域之面積時應併入該廣播區域之面積，檢討揚聲器之設置種類。此部分請參考圖 5。

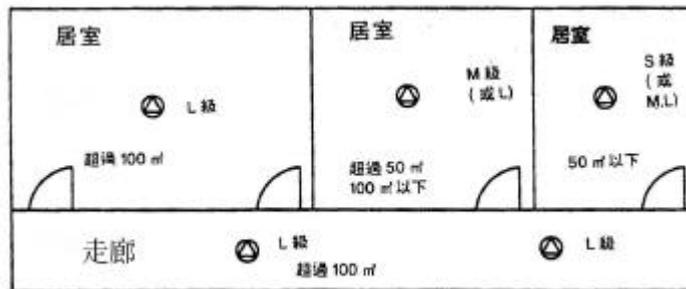


圖 5

- (1) 超過 100m<sup>2</sup> 之廣播區域，應設 L 級揚聲器。
- (2) 超過 50 m<sup>2</sup>、100 m<sup>2</sup> 以下之廣播區域，應設 L 級或 M 級揚聲器。
- (3) 50 m<sup>2</sup> 以下之廣播區域，應設 L 級、M 級或 S 級揚聲器。
- (4) 樓梯或斜坡通道，應設 L 級揚聲器。

### 三、日本緊急廣播設備委員會對挑高空間的設置原則

日本緊急廣播設備委員會，對於挑高空間之建築物為了方便查證，另提出了確保同等以上性能（明瞭度、音壓水平）的設置基準，供一般民間業者設計緊急廣播設備時之參考，茲說明如下：

#### （一）廣播區域的對象

挑高建築的廣播區域，如挑高門廳、中庭、體育館、室內游泳池及展示場等。

#### （二）明瞭度的確保

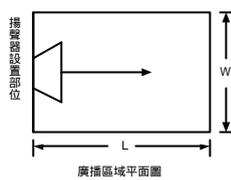
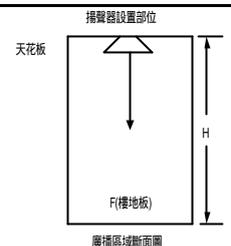
能夠確保明瞭度的距離，其最大服務距離為臨界距離之三倍。

#### （三）受音點的條件

要能夠確保平均音壓水平達 75 分貝的標準。

#### （四）一個揚聲器的有效服務範圍如表 1 所示

表 1 一個揚聲器有效的服務範圍

揚聲器的設置方法	水平設置	垂直設置			
揚聲器的設置位置及有效服務範圍					
廣播區域的用途 / 形態	揚聲器的使用型式	有效廣播區域		最大設置高度	有效廣播區域
		L(m)	W(m)	H(m)	F(m×m)
天花板高度超過 20 公尺之挑高空間 例 大規模挑高空間 運動場、體育館 室內田徑場 . . 等	號角型揚聲器	50	35	50	25×25
	圓錐型號角揚聲器	40	45	40	35×35
	圓錐型揚聲器	35	50	35	50×50
天花板高度在 20m 以下之空間 例 展示場 體育館 室內游泳池 大廳	號角型揚聲器	35	25	20	10×10
	圓錐型號角揚聲器	28	30	20	20×20
	圓錐型揚聲器	25	35	20	30×30

註：1.揚聲器之設置部位於粗線上任一處均可。

2.垂直位置之場合，其設置位置應在最大設置高度之下。

(五) 使用揚聲器之必要音壓

使用揚聲器，需要有如下表 2 之音壓水平以上之值

表 2 揚聲器距離與必要之輸出音壓水平

與揚聲器之距離 (L 或 H)	50m	45m	40m	35m	30m	25m	20m
揚聲器的必要輸出音壓水平	109dB	108 dB	107 dB	106 dB	105 dB	103 dB	101 dB

(六) 揚聲器之設置方向

1. 水平設置

水平設置揚聲器的位置，設置方位內的任何位置均可以設置。而揚

聲器垂直方向的指向中心軸，應在所對應之樓地板面三分之二距離的後方。但是揚聲器垂直方向的指向角度超過 45 度者，應垂直設置。如圖 6 所示。

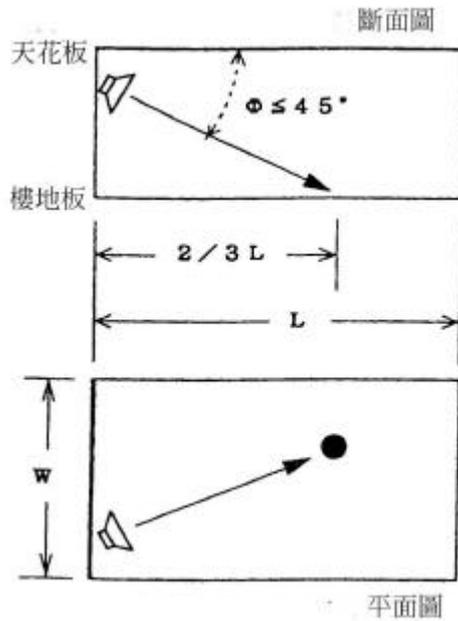


圖 6 揚聲器水平設置圖

## 2. 垂直設置

揚聲器可設於最大設置高度 (H) 內任意的位置。揚聲器設置於天花板面時，其揚聲器之指向中心軸線應在該廣播區域之中心。而設於牆壁 (角度大於 45 度)，應與水平設置一樣，其揚聲器之中心軸線，應於所對應之樓地板面三分之二距離的後方。將地板面、牆壁之反射音，反射至天花板上，設置參考圖如下圖 7。

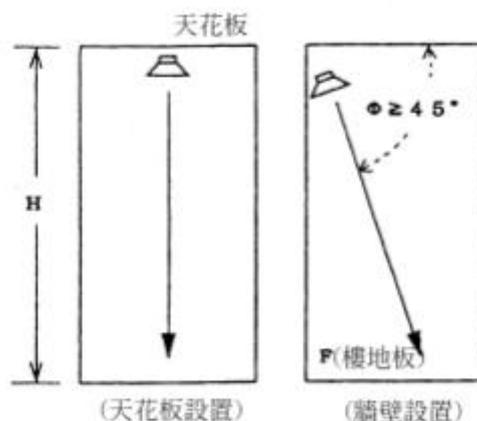


圖 7 揚聲器垂直設置圖

#### 四、日本消防法施行細則有關緊急廣播設備揚聲器功能性設計之規定

日本緊急廣播設備功能性設計法規係規定在消防法施行規則第 25 條之 2 第 2 項第 3 號內，包含音量的確保和明瞭度的確保，在此所討論的範圍不包含樓梯及斜坡通道的空間，茲說明如下：

##### (一) 音量的確保

在音量的確保方面，在樓梯或斜坡通道以外的場所，揚聲器所在的廣播區域內，以下列公式求得在樓地板面高一公尺處所測得的音壓水平應在 75 分貝（75 分貝為叫醒就寢中的人最低的必要音量）。

$$P = p + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4pr^2} + \frac{4(1-a)}{Sa} \right) \dots \dots \dots \text{公式 1}$$

P 值：音壓（單位：dB）

P 值：揚聲器的音響功率（單位：dB）

Q 值：揚聲器的指向係數

r 值：場所距離揚聲器的距離（單位：公尺）

值：廣播區域的 2KHz 平均吸音率

S 值：廣播區域內牆壁、樓地板及天花板或屋頂面積的合計（單位：平方公尺）

##### (二) 明瞭度的確保

在明瞭度的確保方面，是依據揚聲器所在的廣播區域的殘響時間在三秒以上的場合時使用，如果揚聲器所在的廣播區域殘響時間大於三秒時，從這個廣播區域樓地板面高一公尺處到揚聲器的距離，建議能符合以下列公式求算的值。這個方法是針對殘響時間比較長、明瞭度的確保較困難的廣播區域所對應的設置方法，也稱作「臨界距離三倍的計算方法」在這個距離內均可以設置揚聲器。

$$r = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}} \text{ (m)} \dots \dots \dots \text{公式 2}$$

r 值：場所內到達揚聲器的距離（單位：公尺）

Q 值：揚聲器的指向係數

S 值：廣播區域內牆壁、樓地板及天花板或屋頂面積的合計（單位：平方公尺）

值：廣播區域的平均吸音率

### （三）名詞的解釋

公式 1 和公式 2 有很多單位名詞應用在公式裡面，如殘響時間、音壓水平、揚聲器的指向係數、臨界距離、廣播區域的平均吸音率、廣播區域的牆壁、樓地板及天花板或屋頂面積的合計..等等。這些名詞在應用於緊急廣播設備的設計時均會用到，因此有必要瞭解其意義和其必要的計算式。

#### 1. 殘響時間

在室內發出聲響，即使很快速的將聲音切斷，室內還是會留有餘音，再漸漸完全消失，這稱之為殘響。餘音是牆壁、天花板、地板等很多反射音的集合。而做為餘音的長度標準稱為「殘響時間」。係表示從切掉聲音開始到餘音聲音的水平比原音下降 60 分貝所需的時間稱之（也稱為 RT60），其可用下圖表示之。殘響時間依頻率而不同，因此測定時要依據各種不同的頻率來測定殘響時間。

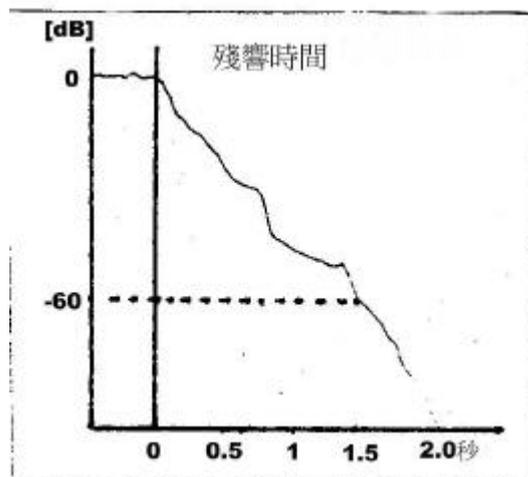


圖 8 殘響時間圖

殘響時間需嚴格的根據廣播區域區劃內的構造、所使用的每一種內裝材料的性質、不同的吸音率、面積以及入射音的不同頻率值來計算。一般而言係根據 500Hz 頻率的入射音來計算。其公式如下

$$T = 0.161 \frac{V}{Sa} \dots \dots \dots \text{公式 3}$$

T 值：殘響時間（單位：秒）

V 值：廣播區域的體積（單位：立方公尺）

S 值：廣播區域內牆壁、樓地板及天花板或屋頂面積的合計（單位：平方公尺）

值：廣播區域的平均吸音率

## 2.音壓水平

所謂的音壓水平，係根據存在的音壓在媒介物（空氣）中壓力的變動部分（分壓）所表示的量，一般以下列公式表示

$$P = 10 \log_{10} \frac{P'^2}{P_0^2} \dots \dots \dots \text{公式 4}$$

P 值：音壓水平（單位：分貝）

$p'$  值：音壓的實效值（單位：帕司卡）

$p_0'$  值：音壓的基準（=  $20 \times 10^6$  帕司卡）

## 3.揚聲器的指向係數

揚聲器的指向係數是揚聲器指向特性所表示的數值，一般以下列的公式來表示

$$Q = \frac{I_d}{I_0} \dots \dots \dots \text{公式 5}$$

Q 值：揚聲器的指向係數

$I_d$  值：距離揚聲器 d 點直接音的強度（單位：分貝）

$I_0$  值：距離揚聲器 d 點位置全方向直接音強度的平均值（單位：分貝）

對於揚聲器的指向係數，係從揚聲器的基準軸（揚聲器的開口面中心點通過開口面的垂直直線）的角度所對應的數值，一般依不同型式的揚聲器有不同的指向係數，表 3 為各種不同型式不同角度揚聲器的指向係數

表 3 各種不同型式不同角度揚聲器的指向係數

指向特性 區分	揚聲器的型式	指向係數			
		0° 以上 15° 未滿	15° 以上 30° 未滿	30° 以上 60° 未滿	60° 以上 90° 未滿
W	號角型揚聲器	5	5	3	0.8
M	號筒型揚聲器(口徑 在 200 公厘以下)	10	3	1	0.5
N	口徑超過 200 公厘以 上之號筒型揚聲器	20	4	0.5	0.3

#### 4. 臨界距離

所謂的臨界距離係由揚聲器所發出的直接音和廣播區域內的反射音強度相等的距離，稱之為臨界距離，這對於該廣播區域從揚聲器到達該位置明瞭度之確保非常重要。在理想狀態下可以下列公式表示之。

$$r = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{QR}{p}} \dots \dots \dots \text{公式 6}$$

r 值：臨界距離（單位：公尺）

Q 值：從臨界距離方向的揚聲器指向係數

R 值：室定數

值：圓週率

而 R 值的表示為， $R = \frac{S}{4}$ ，S 值為房間的表面積（m<sup>2</sup>）， $\bar{a}$  值為房間的平均吸率。因此臨界距離又可以表示為

$$r = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}} \dots \dots \dots \text{公式 7}$$

關於臨界距離和明瞭度的確保可以從揚聲器的距離來瞭解，一般而言，在距離揚聲器三倍距離以下（亦即從揚聲器到受聽點距離）是可以確保聲音的明瞭度。因此，綜上所述，從公式 6 和公式 7 即可推導出公式 2

$$r' \leq \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QR}{p}} = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}}$$

r' 值：從揚聲器到受聽點的最大距離（單位：公尺）

Q 值：受聽點方向的揚聲器指向係數（單位：公尺）

R 值：室定數

值：圓週率

S 值：房間的表面積（單位：平方公尺）

值：房間的平均吸音率

#### 5.廣播區域的平均吸音率

廣播區域的平均吸音率係根據廣播區域區劃構造、所使用的材料的不同吸音率，以及面積、入射音的頻率來計算。對數種不同材的平均吸音率可以用以下的公式來計算

$$a = \frac{\sum S_n a_n}{\sum S_n} \dots \dots \dots \text{公式 8}$$

值：平均的吸音率

S<sub>n</sub> 值：建築材料的面積（單位：平方公尺）

a<sub>n</sub> 值：建築材料的吸音率

#### 6.廣播區域的牆壁、樓地板及天花板或屋頂面積的合計

對於廣播區域的牆壁、樓地板及天花板或屋頂面積的合計，係指該廣播區域所區劃牆壁、樓地板以及天花板或屋頂的面積之和，除此之外，對於存在開口部所包含的面積亦要合計在裡面。

### (四)緊急廣播設備設計的流程

對日本這套緊急廣播設備設計的規定，可用如圖 9 所示的流程圖來表示。從這張流程圖可以得知，緊急廣播設備設計的步驟如下：

1. 如果建築物係一般的建築物，非挑高空間之建築物，則揚聲器的設置方法係以揚聲器的種類為考量時，則比照我國各類場所消防安全設備設置標準第 133 條第 1 項第 2 款第 4 目的規定「從各廣播區域任一點至揚聲器之水平距離不得大於十公尺．．．」來設計並決定揚聲器的個數即可。
2. 而如果以揚聲器的性能作為設置方法時，則首先要算出廣播區域內表面積的總和及體積，並決定廣播區域內各內裝材料的吸音率，然後再來計算殘響時間。
3. 如果殘響時間小於 1 秒時，則直接套用公式 1 的計算式，計算距離樓板面 1 公尺處的音壓，並確確認是否在 75 分貝以上。
4. 殘響時間大於 3 秒時，則要依臨界距離三倍距離的計算方法，求出臨界

距離的三倍距離（如公式 2），再以每一個揚聲器為中心，畫出每一個揚聲器在離樓地板面一公尺處的有效服務範圍，並將揚聲器適當的配置在廣播區域內，然後再依公式 1 計算距離樓地板面一公尺處的音壓水平是否符合在 75 分貝以上的規定。

5. 如果殘響時間在 1~3 秒時，且一個揚聲器的有效範圍超過 10 公尺時，這個廣播區域的殘響時間是屬於比較長的廣播區域，此時這個空間的任一邊大於 20 公尺以上時（如挑高中庭、體育館、物品販賣店的販賣場所、隔間少的辦公室大樓．．等），則仍要依臨界距離的 3 倍距離計算方法去設計。

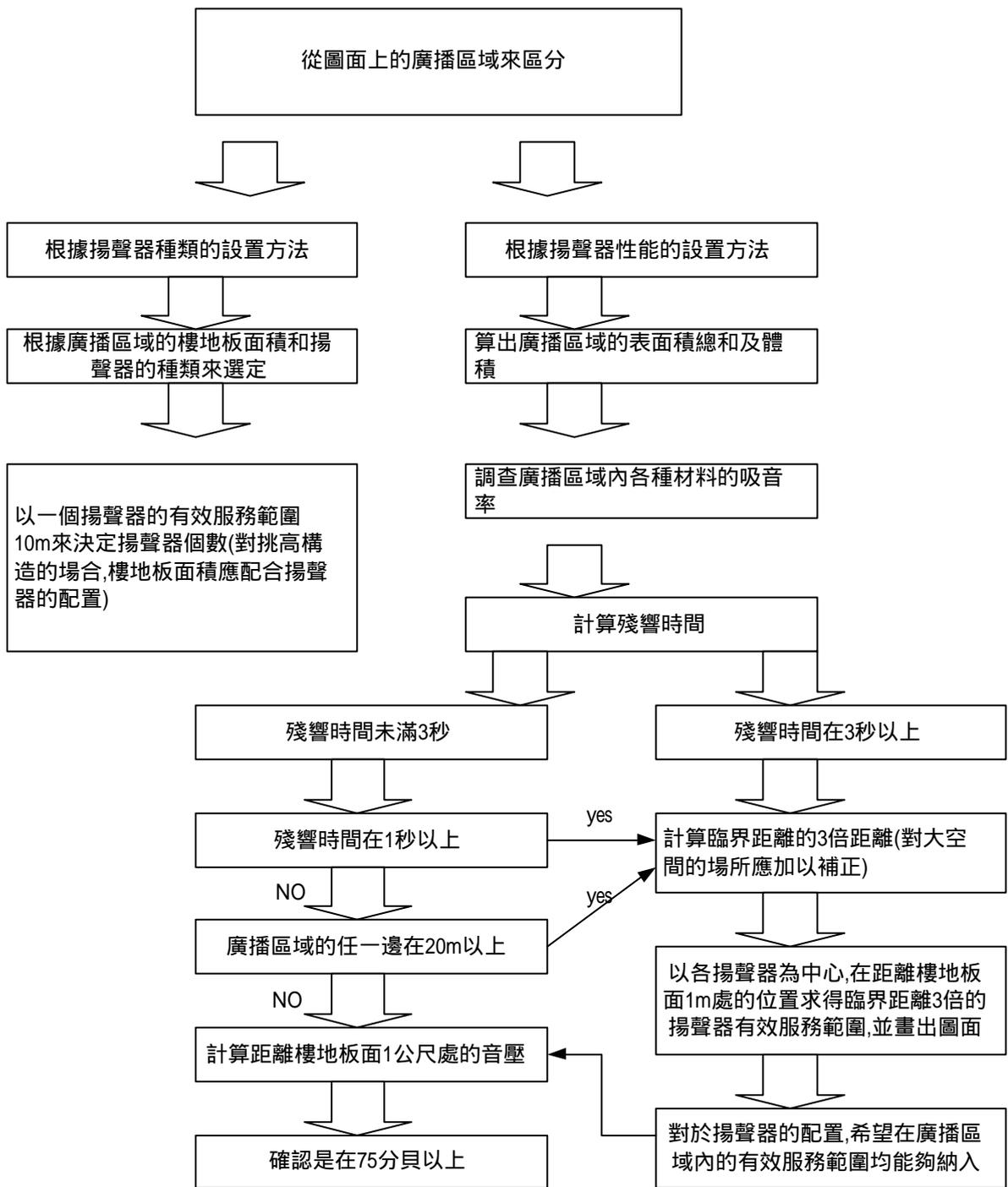


圖 9 緊急廣播設備設計流程圖

## 五、實際的設計例

### (一) 事務所的會議室 1

#### 1. 廣播區域的概要及揚聲器的規格

廣播區域的用途	辦公室的會議室
內裝規格	天花板：石棉材化粧吸音板 樓地板：針孔地毯 牆壁：石膏板，玻璃
廣播區域的尺寸	寬度：16 公尺，深度：16 公尺，高：3 公尺
廣播區域牆壁、樓地板面積的合計	704 平方公尺
廣播區域的體積	768 立方公尺
廣播區域的平均吸音率	0.20(500Hz)、0.3(2kHz)
揚聲器的音響功率水平	97 分貝
揚聲器的指向係數	指向特性區分 W 0.8

#### 2. 殘響時間

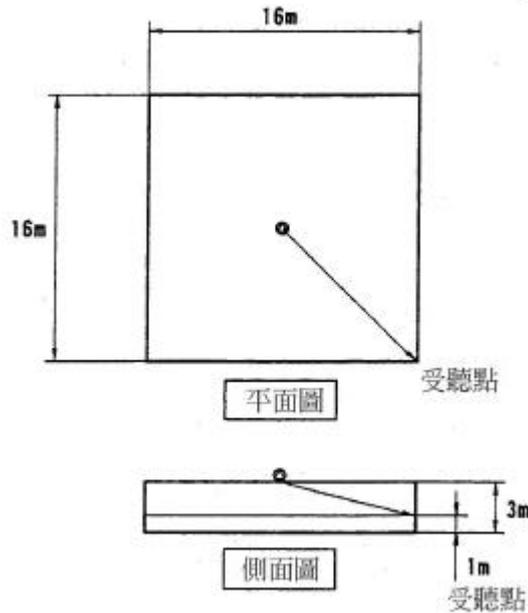
$$T = 0.16 \times \frac{768}{704 \times 0.20} = 0.88(\text{秒})$$

#### 3. 揚聲器的配置

##### (1) 受聽點的音壓水平 (距離 11.5m)

$$P = 97 + 10 \log_{10} \left[ \frac{0.8}{4p(11.5)^2} + \frac{4(1-0.39)}{704 \times 0.39} \right] = 76.7(\text{dB})$$

##### (2) 揚聲器的配置圖 (使用天花板埋入型揚聲器)



#### 4. 優點

殘響時間短的廣播區域，因為能夠確保音壓水平，所以一個揚聲器就可以含蓋超過 10 公尺以上的部分。

### (二) 辦公室會議室 2

#### 1. 廣播區域的概要及揚聲器的規格

廣播區域的用途	室公室的會議室
內裝規格	天花板：石棉材化粧吸音板 樓地板：鹽化乙烯樹膠 牆壁：混凝土，玻璃
廣播區域的尺寸	寬度：16 公尺，深度：16 公尺，高：3 公尺
廣播區域牆壁、樓地板面積的合計	704 平方公尺
廣播區域的體積	768 立方公尺
廣播區域的平均吸音率	0.17(500Hz)、0.31(2kHz)
揚聲器的音響功率水平	97 分貝
揚聲器的指向係數	指向特性區分 W 0.8

#### 2. 殘響時間

$$T = 0.16 \times \frac{768}{704 \times 0.17} = 1.03(\text{秒})$$

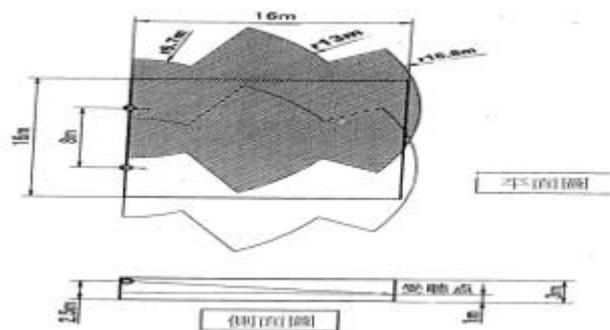
#### 3. 揚聲器的配置

(1)一個揚聲器 10 公尺以上超過的範圍所包含的部分，因為殘響時間在 1 秒以上的時候，希望能夠畫圖以顯示明瞭度的確保。所以，揚聲器以 下列的公式所求出的 r 值以下的距離來設置

$$r = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}} = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{Q \times 704 \times 0.31}{p(1-0.31)}}$$

角度	0° 以上 15° 未滿	15° 以上 30° 未滿	30° 以上 60° 未滿	60° 以上 90° 未滿
Q	5	5	3	0.8
r(m)	16.8	16.8	13.0	6.7

(2)揚聲器的配置圖 (使用壁掛型揚聲器)



(3)距離 r 點的音壓水平

$$P = 97 + 10 \log_{10} \left[ \frac{0.8}{4p(6.7)^2} + \frac{4(1-0.31)}{704 \times 0.31} \right] = 78.5(dB)$$

在 r 以內的範圍鄰近的地方均能滿足 75 分貝的要求

(4)優點

因為在 r 的距離內所配置的受聽點，能提高聲音的明瞭度。

### (三) 旅館的客房、走廊

#### 1. 廣播區域的概要及揚聲器的規格

廣播區域的用途	旅館的住宿房間和走廊
內裝規格	天花板：穿孔石膏板 樓地板：毛地毯 牆壁：灰漿
廣播區域的尺寸	如圖示

廣播區域牆壁、樓地板面積的合計	走廊 1 = 320 平方公尺 走廊 2 = 441 平方公尺 客房 (最大房) = 112 平方公尺
廣播區域的體積	走廊 1 = 188 立方公尺 走廊 2 = 262 立方公尺 客房 (最大房) = 76 立方公尺
廣播區域的平均吸音率	走廊 1 = 0.14 走廊 2 = 0.14 客房 (最大房) = 0.25
揚聲器的音響功率水平	97 分貝
揚聲器的指向係數	指向特性區分 W

## 2. 殘響時間

$$\text{因為 } T = 0.161 \frac{V}{Sa}$$

$$\text{所以走廊 1, } T = 0.161 \times \frac{188}{320 \times 0.14} = 0.67 \text{ 秒}$$

$$\text{走廊 2, } T = 0.161 \times \frac{262}{441 \times 0.14} = 0.68 \text{ 秒}$$

$$\text{客房, } T = 0.161 \times \frac{76}{112 \times 0.25} = 0.44 \text{ 秒}$$

## 3. 揚聲器的配置

避難路徑之走廊為 20 公尺以上之空間，為了重視明瞭度所配置的揚聲器，希望能以下列公式設置在 r 值以下的距離

角度	0° 以上 15° 未滿	15° 以上 30° 未滿	30° 以上 60° 未滿	60° 以上 90° 未滿
Q	5	5	3	0.8
走廊 1r(m)	6.06	6.06	4.7	2.43
走廊 2r(m)	7.06	7.06	5.47	2.43
客房 r(m)	5.43	5.43	4.21	2.17

## 4. 關於受聽點的音壓

從揚聲器最大距離點音壓水平的計算

$$\text{因為 } P = p + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4pr^2} + \frac{4(1-a)}{Sa} \right)$$

比較走廊 1 的場合

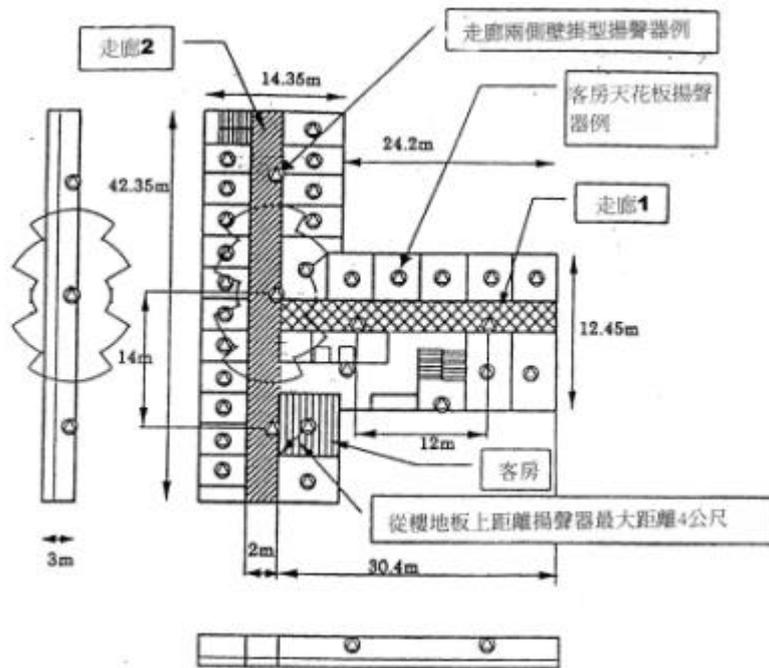
$$P = 97 + 10 \log_{10} \left( \frac{5}{4p6^2} + \frac{4(1-0.11)}{320 \times 0.11} \right) = 91.4(dB)$$

走廊 2 的場合

$$P = 97 + 10 \log_{10} \left( \frac{5}{4p7^2} + \frac{4(1-0.11)}{441 \times 0.11} \right) = 90.1(dB)$$

客房的場合

$$P = 97 + 10 \log_{10} \left( \frac{3}{4p4^2} + \frac{4(1-0.22)}{83 \times 0.22} \right) = 93.6(dB)$$



#### 5.優點 (走廊的場合)

對於面向軸方向的受聽方向，明瞭度會提昇。

### (四) 學校教室

#### 1.廣播區域的概要及揚聲器的規格

廣播區域的用途	學校教室
內裝規格	寬度：10 公尺 深度：10 公尺 高：3.0 公尺
廣播區域牆壁、樓地板面	320 平方公尺

積的合計	
廣播區域的體積	300 立方公尺
內裝規格	天花板：有縫隙的石膏板 樓地板：貼布的樓板 牆壁：黑板、玻璃窗，貼布的門等
廣播區域的平均吸率	0.15(2kHz),0.20(500Hz)
揚聲器的音響功率水平	98.8 分貝
揚聲器的指向係數	指向特性區分 W 5

## 2. 殘響時間

$$T = 0.161 \frac{V}{Sa_{500Hz}} = 0.161 \times \frac{300}{320 \times 0.20} = 0.75 \text{ 秒}$$

## 3. 揚聲器的配置

(1) 因為受聽點的音壓水平計算式為

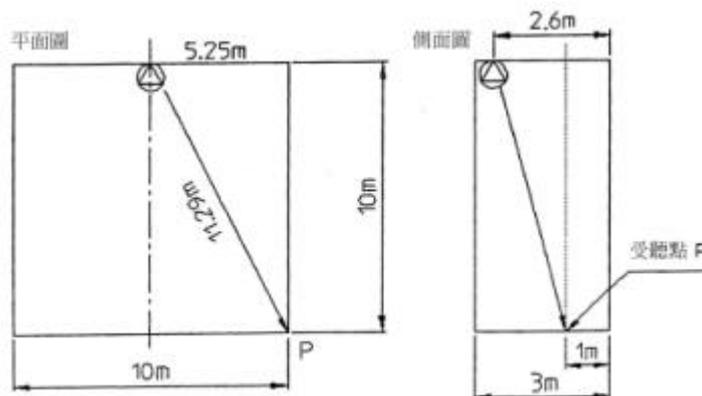
$$P = p + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4pr^2} + \frac{4(1-a_{2kHz})}{Sa_{2kHz}} \right)$$

所以離揚聲器最長距離 P 地點的音壓水平為

$$P = 98.8 + 10 \log_{10} \left( \frac{5}{4p(11.4)^2} + \frac{4 \times (1 - 0.15)}{320 \times 0.15} \right) = 87.4 \text{ dB}$$

(2) 揚聲器的配置圖 (平面圖及側面圖)

音響功率為 98.8 分貝的壁掛型揚聲器的場合



## 4. 優點

殘響時間短的廣播區域，因為能夠確保音壓水平，所以一個揚聲器所含蓋的範圍能夠超過 10 公尺。

## (五) 挑高中庭

### 1. 廣播區域的概要及揚聲器的規格

廣播區域的用途	挑高中庭
內裝規格	天花板：玻璃 樓地板：大理石 牆壁：大理石、玻璃
廣播區域的尺寸	寬度：13.5 公尺、深度：24 公尺、高：17 公尺
廣播區域牆壁、樓地板面積的合計	1923 平方公尺
廣播區域的體積	5508 立方公尺
廣播區域的平均吸率	0.08(500Hz)、0.07(2kHz)
揚聲器的音響功率水平	100 分貝
揚聲器的指向係數	指向特性區分 W

### 2. 殘響時間

$$T = 0.161 \times \frac{5508}{1923 \times 0.08} = 5.76(\text{秒})$$

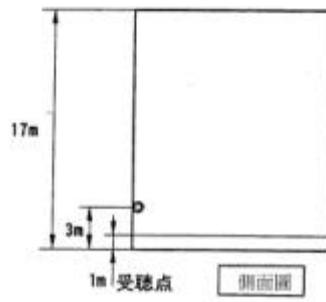
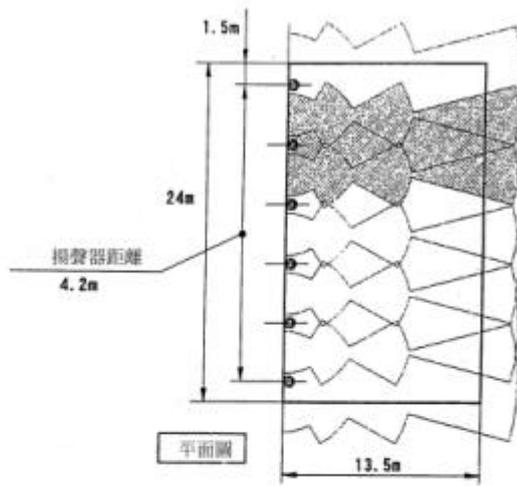
### 3. 揚聲器的配置

(1) 因為殘響時間在 3 秒以上，因此必須以公式 2 臨界距離 3 倍距離的計算方法求出臨界距離 3 倍的距離 r 值，並配置必要的揚聲器。

$$r = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}} = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{Q \times 1923 \times 0.07}{p \times (1-0.07)}}$$

角度	0° 以上 15° 未滿	15° 以上 30° 未滿	30° 以上 60° 未滿	60° 以上 90° 未滿
Q	10	3	1	0.5
r(m)	16.1	8.8	5.1	3.6

(2) 揚聲器的配置 (使用圓錐號筒型揚聲器)



### (3)地點 r 處的音壓水平

$$\text{因為 } P = 100 + 10 \log_{10} \left( \frac{10}{4p(16.1)^2} + \frac{4(1-0.07)}{1923 \times 0.07} \right) = 84.9 \text{ (dB)}$$

所以在 r 距離範圍內鄰近的地方均能滿足 75 分貝的要求

### 4.優點

在 r 距離內受聽點配置揚聲器，才能確保明瞭度。

## (六) 地下停車場

### 1.廣播區域的概要及揚聲器的規格

廣播區域的用途	地下停車場
內裝規格	天花板：混凝土 樓地板：混凝土 牆壁：混凝土
廣播區域的尺寸	寬度：75.6 公尺、深度：43 公尺、高：4.2 公尺
廣播區域牆壁、樓地板面積的合計	8149.8 平方公尺
廣播區域的體積	13816 立方公尺
廣播區域的平均吸音率(500Hz)	0.03
廣播區域的平均吸音率(2kHz)	0.03
揚聲器的音響功率水平	97 分貝
揚聲器的指向係數	指向特性區分 W

### 2.殘響時間

$$\text{因為 } T = 0.161 \frac{V}{Sa}$$

$$\text{所以 } T = 0.161 \frac{13816}{8149.8 \times 0.03} = 9.1 \text{ 秒}$$

從殘響時間 9.1 秒我們可以知道係大於 3 秒以上，所以必須要確保聲音的明瞭度

### 3.明瞭度確保的計算式

$$r = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}}$$

以號角型揚聲器的場合

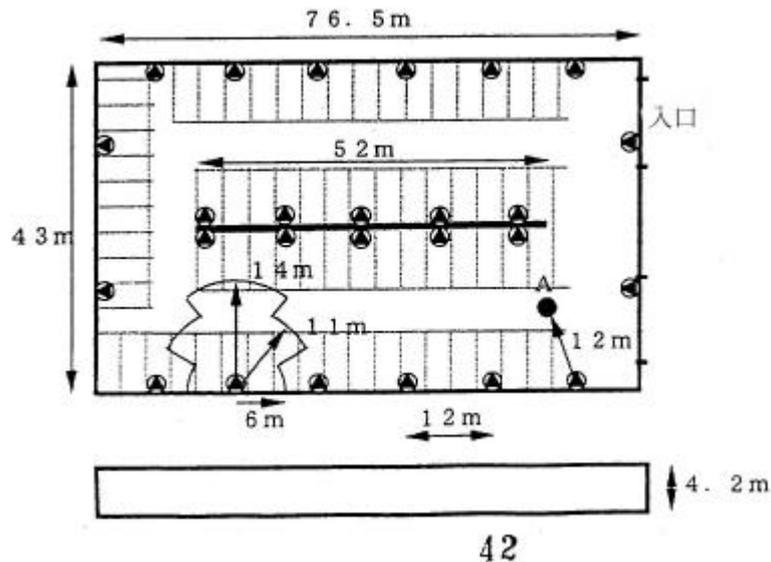
角度	0° 以上 15° 未滿	15° 以上 30° 未滿	30° 以上 60° 未滿	60° 以上 90° 未滿
Q	5	5	3	0.8
r(m)	14	14	11	6

#### 4. 受聽點音壓水平的計算

從揚聲器最大距離點（下圖 A 點）音壓水平的計算

$$P = p + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4pr^2} + \frac{4(1-a)}{Sa} \right)$$

$$P = 97 + 10 \log_{10} \left( \frac{5}{4 \times p \times 12^2} + \frac{4 \times (1 - 0.03)}{8149.8 \times 0.03} \right) = 79.4 (dB)$$



#### 5. 優點

從受聽點到揚聲器配置的距離內，明瞭度均能提高。

## 六、結論與建議

從本文各部分的研究，我們可以得知，緊急廣播設備在功能性設計方面是有其必要性，特別是挑高空間建築物的規劃設計，可以避免限入各類場所消防安全設備設置標準第 133 條第 1 項第 2 款第 4 目規定「從各廣播區域任一點至揚聲器之水平距離不得大於十公尺...」的限制。另一方面，從音壓的確保和明瞭度的確保亦可以更有效、合理的減少緊急廣播設備揚聲器數量的浪費。但是，不容否認的是，這套功能性設計的規定仍有其適用性的困難，特別是在建築物內各種內裝材料吸音率數據的取得可能會有困難，實際的規劃設計是否適用於本國仍不得而知。因此，下列幾點建議希望能讓這套功能性設計更能順利的在本國適用。

### (一) 儘速修改各類場所消防安全設備設置標準的規定

希望能在各類場所消防安全設備設置標準第 133 條第 1 項內增列第三款的規定，其內容如下：

#### 第一三三條第一項第三款

揚聲器之音壓及裝設符合下列規定事項者，不受前款第四目之限制：

(一) 樓梯或斜坡通道以外的場所，在廣播區域內依下列公式求得距樓地板面一公尺處之音壓在 75 分貝以上者。

$$P=p+10\log_{10}(Q/4r^2)+4(1-\alpha)/S$$

P 值：音壓（單位：dB）

p 值：揚聲器的音響功率（單位：dB）

Q 值：揚聲器的指向係數

r 值：場所距揚聲器的距離（單位：公尺）

α 值：廣播區域的平均吸音率

S 值：廣播區域內牆壁、樓地板及天花板或屋頂的合計面積（單位：平方公尺）

(二) 樓梯或斜坡通道以外的場所，該廣播區域的殘響時間在三秒以上者，距該廣播區域樓地板面一公尺處到揚聲器之距離 r，在以下公式求得之範圍內：

$$r = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{QSa}{p(1-a)}}$$

r 值：該場所量測基準點到揚聲器的距離（單位：公尺）

Q 值：揚聲器的指向係數

S 值：廣播區域內牆壁、樓地板及天花板或屋頂的合計面積（單位：平方公尺）

值：廣播區域的平均吸音率

## （二）儘速建立建築內各種內裝材料吸音率數據的資料庫

這套功能性設計的適用，各種內裝材料吸音率數據的取得是一大關鍵，無論是計算殘響時間、音壓的計算或是臨界距離的計算均需使用各種材料的吸音率，希望中央或地方消防機關能開始蒐集並提供一套完整公認的吸音率資料庫，以供民間業者規劃設計或消防機關會審會勘時的依據。

## （三）儘速編列此套功能性設計之設置基準（指導方針）

要順利施行此套功能性設計並不容易，希望中央消防機關能比照日本模式編列此套功能性設計的各種設置基準及指導方針，並提供各種不同建築物的設計例，讓民間業者或各地消防機關能有所遵循，才能順利實施。

# 避難誘導設備之發展趨勢

## 一、前言

火災發生時，若由熟知建築物內部結構特色的從業人員來從事避難誘導工作，是最有效的。然而在沒有人員誘導的情況下，藉由避難誘導設備來誘導避難人員至緊急出口處是不可或缺的手段。以下茲就「誘導燈」及藉由自動火警探測設備警報訊號所啟動之「閃滅動向光源避難誘導系統」以及利用 hertz 效果的「語音避難誘導系統」作一介紹。

在日本，此類避難系統已普遍應用於大規模地下街及視聽覺障礙者設施等場所；在我國則將此等設備列入各類場所消防安全設備設置標準修正案中。

## 二、誘導燈的變化

### （一）誘導燈的大型化

日本於昭和 49 年（1974）進行消防法令修訂，除了原先的小型誘導燈之外，增加了中型及大型誘導燈的認可使用；中、大型誘導燈的出現，大幅改善了誘導燈的能見度。我國在民國 78 年的各類場所消防安全設備設置標準中，便已列入小、中、大三款型式之標示設備。相對於小型誘導燈的亮度須在直線距離 30m 處，能明顯看出其標示面圖形及顏色，中型誘導燈需為 60m，而大型誘導燈則為 100m。然而，對於大型誘導燈的出現，許多的建築師及設計師都認為其設置場所與建築物整體設計格格不入。

### （二）閃滅型誘導燈

誘導燈的大型化雖可改善其在設置場所的能見度，但一般火災產生的煙，在達到一定濃度（減光係數）時，卻使得誘導燈的功能降低，因此，如何研發能於火場之煙層中仍可清晰看見的誘導燈，則改善其表面亮度是亟待解決的。是故，有閃滅型誘導燈的出現，其閃滅的光源係利用如照相機閃光燈之頻閃閃光燈的原理衍生出來的。另外，使用氙氣燈泡的誘導燈，亦大幅提高了誘導燈的亮度。

在日本，此種閃滅型誘導燈於昭和 58 年（1983）5 月經消防

廳認可採用；而我國在 85 年修訂各類場所消防安全設備設置標準時，並未列入此種閃滅型誘導燈，所幸，此項設備已在消防署之各類場所消防安全設備設置標準修訂之委外研究案（89 年）中，正式列入。

### （三）閃滅型誘導燈之顯眼性

使用氙氣燈泡之閃滅型誘導燈，經證明能於充滿煙層的地下街及光雜性較多的場所，其光源較顯眼，因此，日本消防廳於昭和 63 年（1988）2 月，同意可用此種使用氙氣燈泡的中型閃滅型誘導燈取代傳統之大型誘導燈，小型之閃滅型誘導燈可取代傳統之中型誘導燈。

### （四）附設語音之誘導燈

為使誘導燈能於火災之煙層中具有一定的能見度，而採用氙氣燈泡之大型誘導燈，然而當火場之濃煙量大、煙層厚時，則內部避難人員仍可能看不見誘導燈之光源，因此，進而使用附設有語音引導之誘導燈，因為聲音的強度並不會在濃煙中衰減。

但是，使用語音引導避難仍有缺失，因為若聲音音量太過大聲，則因受場所空間之影響，其回音反而會使得避難者無法辨識音源方向。在以往之火災死亡案例中，罹難者通常陳屍於緊急出口前僅數公尺之位置，因此，在使用語音引導避難時，其音量並不必太過於大聲，只需調整至在緊急出口附近數公尺可清晰聽見即可。

在日本，此種附設有聲音之誘導燈，於昭和 62 年（1987）2 月經消防廳認可採用。同樣的，此項設備在消防署委外研究之各類場所消防安全設備設置標準修正案（89 年）中，已被正式列入。

### （五）高亮度誘導燈

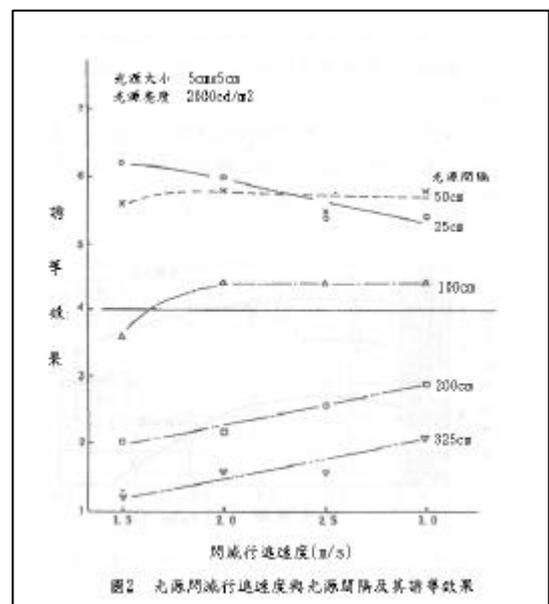
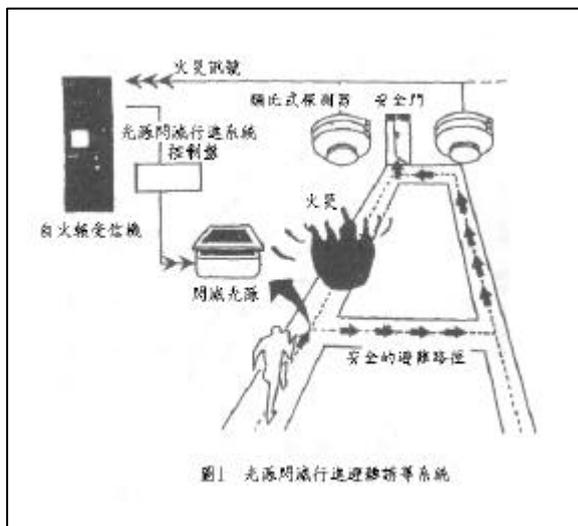
近年來，由於科技的日新月異，使得誘導燈的表面亮度已較傳統之誘導燈亮度高出數倍，新科技下之高亮度誘導燈，其表面只需傳統誘導燈燈面的數分之一，亮度即可達到要求甚至更佳的亮度，是故，日本於平成 6 年（1994）4 月，認可同意高亮度之誘導燈可替代傳統之大型誘導燈，這使得須設置誘導燈之場所，在裝設誘導燈之後，反倒不會顯得與整體格格不入了。

### 三、誘導燈之標準化及 Iso 認證

為求誘導燈表面之圖像文字有統一之標準及能夠讓大眾直覺的接受了解其意圖,日本曾於昭和 56 年(1981)公開徵選設計圖樣,最後在 3337 件參選作品中,從中挑選 5 件最優秀之作品交由專家學者研究實驗,經圈選出來之樣本,於昭和 57 年(1982)1 月經消防廳認可採用,成為全國之標準樣本。此圖樣將緊急出口的圖示國際化,並向 Iso 提案認證,且於昭和 62 年(1987)8 月經 Iso 認證通過。

### 四、光源閃滅避難誘導系統

當大深度地下空間、大規模建築物及大規模地下街發生火災時,其內部人員之心裡恐懼較一般建築物火災時嚴重是可想而知的。因此,有必要使用具移動性的光源及聲音來誘導內部之避難人員。如圖一所示,此系統係於避難路徑的樓地板面,間隔 0.5-1m 處,埋設綠色光源。當火災發生時,偵煙式探測器可偵測出安全的避難路徑,並藉由控制讓光源朝出口方向依序閃滅,呈現出流動性,進而引導避難人員至緊急出口處。



此種光源閃滅型避難誘導系統之誘導效果,近幾年來的相關研究結果,列示如下:

#### (一) 光源的間隔

如圖二所示,光源的間隔越大,其誘導之效果越差,當間隔

在 1m 以上時，則其誘導效果皆在評價值 4 以下。

通常將誘導效果的評價值分成 1-7 等 7 個等級，7 表示誘導效果非常好；5 表示誘導效果普通；3 表示誘導效果差；1 則表示毫無誘導效果。

#### (二) 光源的大小

誘導效果以 5 cm × 5 cm 大小的光源，其誘導效果最佳。即使再增大光源的面積，其誘導效果亦無增加，外觀上，為使發光面增大，在啟動時，可採用相鄰二個光源同時閃滅的方法，來提升其效果。

#### (三) 光源的亮度

在沒有綠色濾光器狀態下，光源的亮度為 2000cd / m<sup>2</sup>，綠色濾光器之穿透率為 13.6 %，則可得到很好的誘導效果。另一方面，若在光源側邊前後方向於仰角 10 度處設置強光器具（反光器具），則可使避難者更容易看見光源，提升其誘導效果。

#### (四) 光源閃滅速度

光源閃滅行進速度與避難引導效果的關係，係受光源的間隔及一組光源的數量所左右，與光源本身的行進速度並無太大關係。亦即當光源的間隔在 1m 以下、一組光源的數量在 4-5 個時，由圖二可知，其閃滅行進速度在 2-3m/s 時，其誘導效果最佳。光源行進速度超過此速度時，其誘導效果並未顯著增加；且若光源行進速度低於 2 m/s 時，反使避難者的步行速度變慢而導致誘導效果急速下降。

另一方面，光源的間隔在 2m 以上時，隨著光源閃滅行進速度的增加，其誘導效果亦不彰。

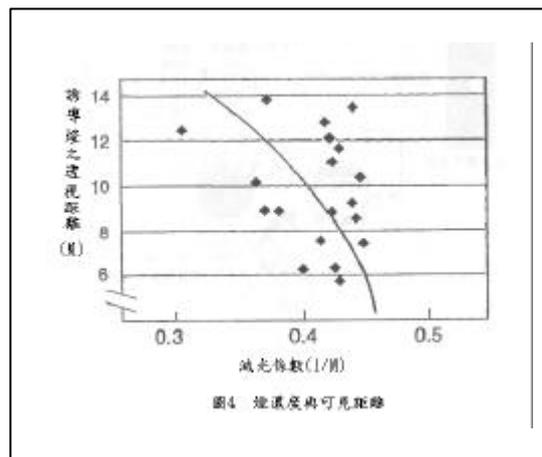
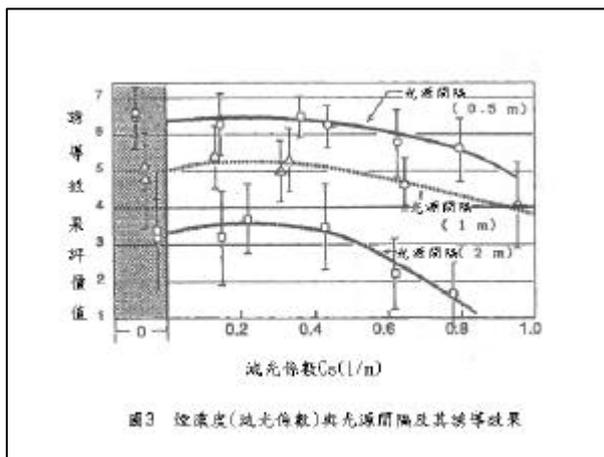
#### (五) 煙中的誘導效果

##### 1. 實驗結果

在長約 20 公尺、寬 1.4 公尺的直線走廊上，延右側牆壁下方之樓板，每隔 50 cm 至 2m 設置閃滅型光源，實驗者在充滿煙的走廊沿著光源尚能以普通的速度前進，其誘導效果評價值為 7，在閃滅行進速度 4 m/s 的條件下，其煙濃度、光源間隔及避難誘導效果的關係，如圖三所示。

舉例而言，在光源間隔 0.5 m、煙濃度之減光係數等於 1 / m 時，仍具有相當的誘導效果。在間隔增加為 1 m 時，其誘導效果隨著煙濃度的增加而下降。一般認為在煙濃度之減光係數等於 0.8 / m 時，其仍具有相當的誘導效果。但當間隔為 2 m 時，即使在無煙的狀況下，其誘導效果已不佳，更隨著煙濃度的增加而下降。

另外，圖三左端部份，係實驗最初及最後在煙充滿前及排出後，各種光源條件下實施實驗所獲得的結果，此資料用以表示本實驗的精度。



## 2.探討

誘導效果在煙濃度之減光係數等於  $0.4 / m$  時，與在無煙狀況下大致維持相同的水準。由圖四可看出，煙濃度在  $0.4 / m$  前後，誘導燈的透視距離由 10 多公尺迅速降至 5-6 公尺，此顯示誘導燈之誘導效果在此範圍急速得下降。

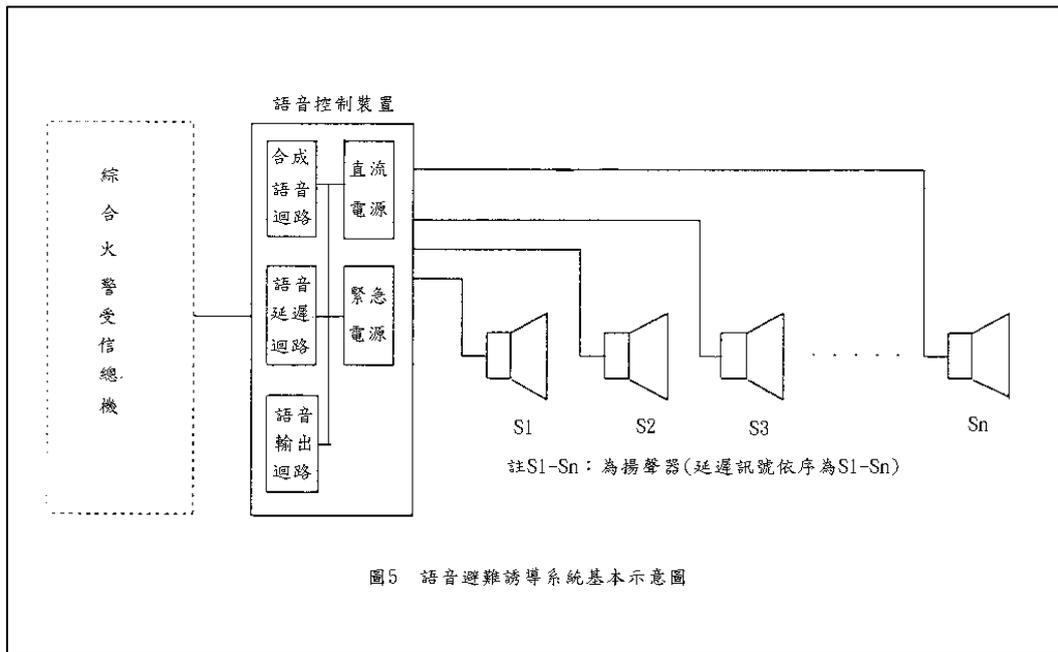
比較圖三及圖四可知，伴隨煙濃度的增加，光源閃滅行進誘導效果的下降率較誘導燈的透視距離下降率緩慢，是故，在一定濃度的煙層中，光源閃滅方式的誘導系統具有較佳之誘導效果。

另一方面，由圖三可看出，在減光係數為  $0.2/m$  之薄煙中，其誘導效果反比無煙時為佳，此乃因為煙可消除部份周圍之光雜性，而提高了閃滅光源之透視度，因此，在火災初期的薄煙中，使用光源閃滅誘導系統，可獲得較佳之誘導效果。

由光源閃滅行進誘導系統在煙中誘導效果之實驗結果看來，將光源間隔設定在 1 m 以下的話，當減光係數為  $0.8 / m$  時，尚可維持相當良好的誘導效果。

## 五、 語音避難誘導系統

此系統係在走廊的天花板安裝數個揚聲器，利用延遲裝置將相鄰的二個揚聲器依序由緊急出口處之揚聲器向外發出誘導聲音，讓內部之避難人員感覺聲音宛如自緊急出口處傳來般，其系統示意圖如圖五所示。

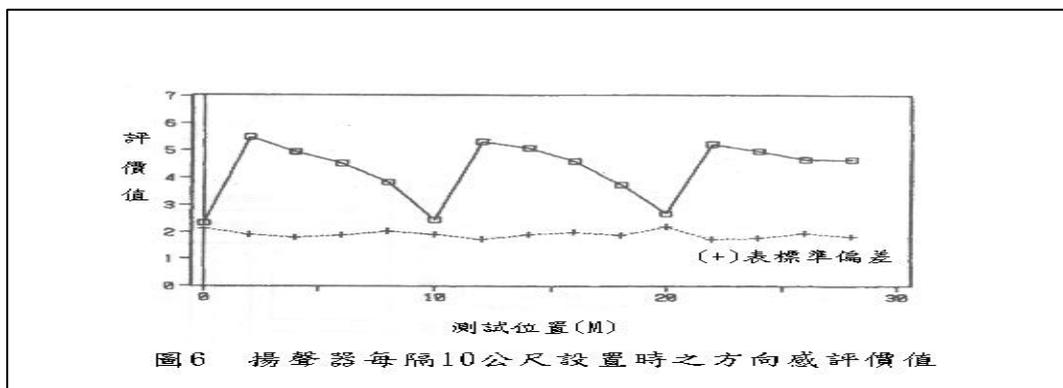


本系統之誘導效果實驗，係在一長約 130m、寬 4.8m、高 2.5m 的地下鐵結構內的通道實施，受測者在通道上每隔 2 公尺站立著，對聲音之來源方向感進行評價，其評價值：7 表示非常正確的聲音來遠方向感；5 表示具有方向感；3 表示方向感差；1 表示毫無方向感。

以下針對此系統之各項注意事項，加以說明：

### (一) 揚聲器間隔

揚聲器設置間隔對於音源位置方向感評價的實驗結果，如圖六所示。其評價值在揚聲器正下方者為 3.5，其他位置之受測者評價皆在 5 以上，由實驗結果看來，在測試場地範圍內，皆有良好的音源方向感。若加長揚聲器之設置間隔距離，反使得評價低之範圍加廣，因此，揚聲器之設置間隔距離，以 10 公尺為宜。



### (二) 揚聲器放射面方向

在長距離通道天花板設置揚聲器時，放射面應面向通道的長邊方向，亦即，以 0 度方向（水平方向）時最具有方向感，45 度為界限，90 度則不佳。

### （三）聲音之頻率

設有誘導音裝置的誘導燈，其播送音宜為女性聲音，且播送之聲音語調力求平穩勿慌張，且須發音清晰，原則上，以事先錄製之播送音較佳。

### （四）揚聲器的延遲時間

假設揚聲器之設置間隔距離為  $R$  ( m )，各揚聲器的延遲時間為  $T_d$  ( sec )，聲音之傳播速度為  $C$  ( m/s )，則揚聲器之延遲時間：

$$T_d = R/C + (35 \pm 10) \times 10^{-3}$$

上式中， $(35 \pm 10) \times 10^{-3}$  係因建築物的構造及設置場所等差異，為求得最適值所作必要的調整。

## 六、 結語

火災時，避難誘導設備的生動化及利用火警探測設備啟動光源閃滅行進誘導系統及語音誘導等積極避難誘導系統是目前國內發展的趨勢，然而，如何提升火警探測設備的可靠度及改良上述系統的信賴度，皆是國內未來研究發展的重點。唯有提升設備及系統的可靠度及信賴度，方能避免人員在火場中，喪失寶貴的生命。

# 性能設計施行原則

## 一、前言

建築物消防安全系統的設計規定，一直以來皆以條列式的條文 (prescriptive codes) 呈現。這類型式的法規對於建築物之主動式(active)及被動式(passive)防火系統要求，給予了明確的指示，因此設計者與管轄機關(AHJ)於從事設計工作與執行計劃審核認可工作時有了清楚的溝通界面，提供雙方工作上許多的便利。然而基於火災經驗所發展出來的條列式法規對於建築型態(大小、形狀)與使用目的較為直接普遍的建築物或許能夠提供適當的消防安全水準，但對於某些潛在高度危險性或較為複雜的建築物，若依照條列式法規的規定設計其消防安全系統，其消防安全水準是否適當，令人質疑。這主要是因為依照條列式法規的規定所設計出的建築物消防安全系統，到底提供了何等級的消防安全水準不可得知，且不同的設計結果間亦無相互比較其安全性能的功能。因此面臨建築物使用型態及目的日益複雜的今日，條列式法規的規定不但無法確保特殊建築物的消防安全，且常導致建築設計工法發展受限與無效的消防安全設備投資成本。因此，從 1970 年代後期，歐洲、北美及日本等地便已開始著手火災模式、物料燃燒特性及各種火災測試的研究工作，希望藉由這些科學的研究成果來建構工程化的設計方式(engineering approach)，並依此設計現代較為特殊的建築物消防安全系統。由於這種工程化的設計方式提供設計者較為彈性的設計空間，不但能依照個別建築物的特性給予精確的消防安全設計，同時能夠考量經濟成本效益因素，因此近年來廣受國際消防工程界之注意，形成不可避免的設計趨勢。

我國目前建築物消防安全設計主要是依照建築技術規則及各類場所消防安全設備設置標準的規定辦理。對於大多數的建築物而言，依法所執行之消防安全設計應能提供一定程度的安全性，當然，不可避免的，對於特殊建築物，這兩種條列式法規亦存在如前所述的問題。尤其當前國內特殊建築物日益增加，如含有特殊危險製程的無塵室操作環境(潛在高度財物損失風險)及含有挑高中庭設計之大型購物商場及其他如電信或電力設備設置場所等含有潛在高度生命財產損失危害之場所等，對於性能設計方式的採用應給予較為明確的指示，方能確保建築物消防安全且避免不必要的消防安全設備投資浪費。因此，此次各類場所消防安全設備設置標準的修正擬同時增加性能設計

施行原則，以供建築物採用性能設計方式進行設計時參考的依據。

目前國際上已經制定完成的性能設計規範或性能法規，主要是紐、澳及英國的消防安全工程設計原則。日本的性能法規即將訂定完成，而美國也已朝此方向努力，其精神已見諸於美國國家防火協會的某些法規中，如 NFPA 101、NFPA 92B 及 NFPA 72 等。考慮性能法規之制定需耗費龐大的研究費用及時間，因此歐洲各國大多採取直接沿用英國性能法規來從事特殊建築物消防安全設計的原則。事實上，由於火災科學的發展，目前在國際上性能法規中所建議之量化工具，皆已具有一定的代表性與可靠度，因此使用這些工具或方程式來做量化分析應無爭議。故此次各類場所消防安全設備設置標準的修正，對於性能設計施行的原則並非以訂定國內之性能法規為目的，而是提出採用性能設計方式所應遵循的原則，而此原則主要是以計劃執行報告書內容所應含蓋項目為主，以便管轄機關能藉由計劃執行報告書內容而對整個計劃執行之過程與結果清楚瞭解，方便審核工作之執行。

## 二、性能設計架構

性能設計考慮建築物整體消防安全系統，可對各項消防防護措施與整個建築物消防安全性能給予整體性的評估，因此須在一嚴謹、完整的架構下進行各項工作，方能確保設計的品質。

各國性能法規中對於性能設計架構或有些許差異，但其內容大同小異，對於主要的執行工作順序並無不同，因此本施行原則擬以英國消防安全工程設計原則(DD240)中所訂架構做為性能設計執行之參考，其內容如下：

### 1. 定性分析：

定性分析的目的主要包括下列各項：

- (1) 瞭解建築物設計並分析其使用人員與場所特性。
- (2) 建立消防安全目標。
- (3) 建立設計目標。
- (4) 建立性能設計標準。
- (5) 確認潛在危險及其影響。

- (6) 建立各種嚐試性設計。
- (7) 指定分析用之火災情境。
- (8) 定性分析結果報告。

## 2. 量化分析：

量化分析的目的在於檢討各種嚐試性設計的有效性。量化分析的方法主要藉由決定性的方式(deterministic design procedure)或機率性的方式(probabilistic design procedure)來表達。為了方便分析工作的進行，量化分析時，通常分為以下各個部分：

- (1) 火災的發生與成長。
- (2) 煙與毒性氣體的蔓延。
- (3) 火勢的蔓延。
- (4) 火災的探測與防護系統的動作。
- (5) 消防隊滅火行動。
- (6) 避難逃生。

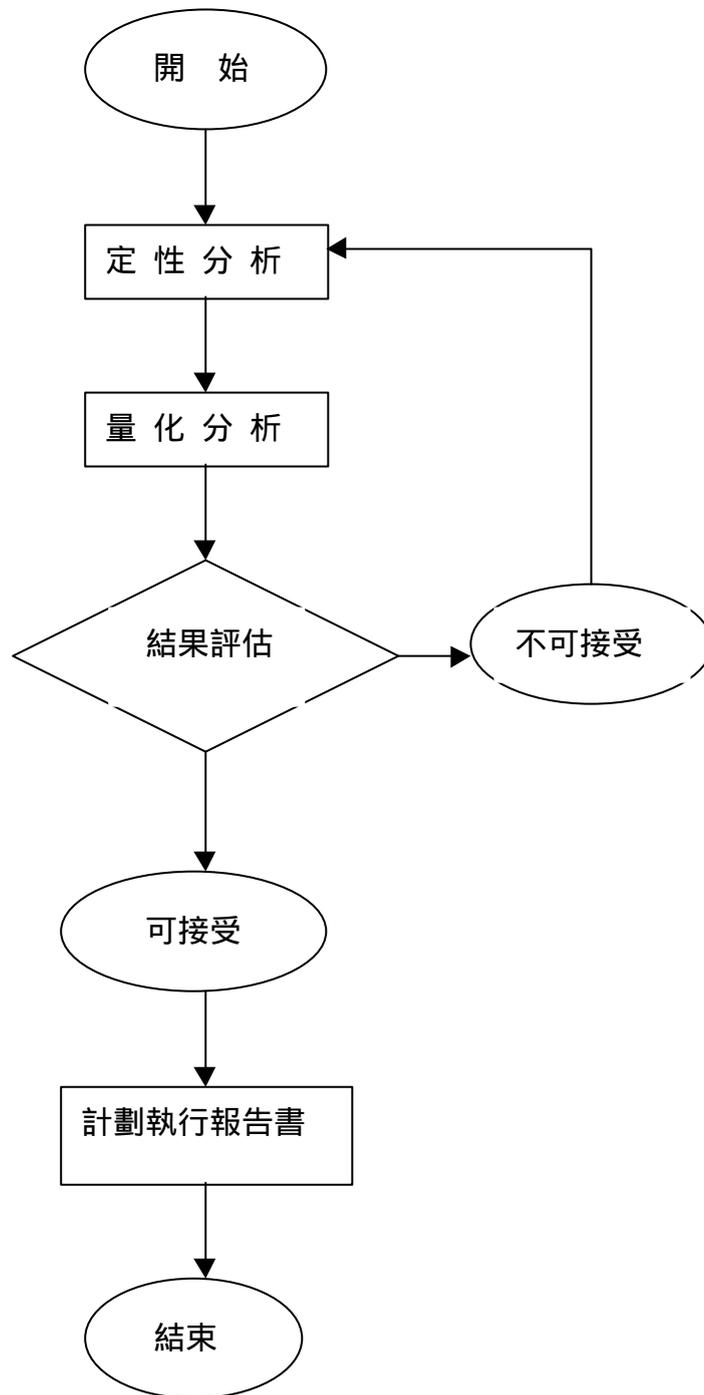
## 3. 結果評估：

量化分析的結果應與定性分析時所決定的設計目標(可接受的標準)進行比較，以決定嚐試性設計是否有效。

## 4. 計劃執行報告書：

性能設計乃依照個別建築物的特性，針對其設計目標給予適當的消防安全設計。雖然其目的是希望藉此達到更合理、彈性且合乎經濟成本效益的設計，但管轄機關並不能單純地以一個火災情境的設定與一個建議的消防安全系統來進行審核工作，因此，計劃執行報告書的內容應對整個設計工作的執行過程及各種嚐試性設計的內容分析有清楚的交代。關於計劃執行報告書的內容及性能設計所應遵循的原則，於下一章中有更進一步的說明。

整個性能設計的簡單架構如下圖所示。



### 三、計劃執行報告書內容

#### 1. 計劃參與人員及其背景經歷

對於計劃的主要參與人員及其扮演的角色應予說明。且對於參與人員的相關學歷及背景應予確認是否勝任。主要參與人員通常包括：業主、顧問/工程師(設備師)、管轄機關或保險公司代表。顧問對建築物進行分析且執行概念性設計的工作，所得結果再交由工程師(設備師)進行各系統的細部設計。因此在大部分的情況下，顧問應具有適當的消防工程學歷與經驗，而工程師(設備師)應具有國家要求的相關證照。管轄機關或保險公司代表是性能設計工作的重要參與人員。在定性分析步驟中，消防安全目的、設計目標及性能設計標準等，應在管轄機關或保險公司代表的認同下訂定，則後續的量化分析及設計方案才具有意義。

#### 2. 計劃執行目的

例如：

- (1) 條列式法規的要求似乎無法達到業主的需要。
- (2) 條列式法規的要求似乎無法達到管轄機關所希望的安全水準。
- (3) 業主希望對於建築物消防安全水準有清楚的認識。

#### 3. 定性分析的結果：

- (1) 建築設計說明及使用人員與場所特性
- (2) 消防安全目標(Fire Safety Objectives or Fire Protection Goals)、設計標(Design Objectives or Client Loss Objectives)及性能設計標準(Functional Goals or Acceptance Criteria)的說明
- (3) 潛在危險的分析結果
- (4) 火災情境與設計火災大小
- (5) 各種嚐試性設計方案

#### 4. 結果分析：

- (1) 各項假設

(2) 工程判斷

(3) 量化過程及使用方法的有效性

#### 5. 分析結果與性能設計目標的比較

量化分析的結果，應與定性分析結果中所決定的性能設計目標比較，若未達到性能設計目標的要求，則應考慮其他嚐試性設計方案。

#### 6. 引用參考資料

量化分析時所引用的方法與數據等，應說明其來源。對於非一般性能法規中所引用的公式，應說明其來源並提出可靠度說明。

#### 7. 設計規範

應提出消防安全系統之設計規範。

#### 8. 管理要求

性能設計的結果可以是非常精確嚴謹的。然而建築物使用後的改變很可能破壞原先設計時所假設的情境。因此，應詳細記載設計時對於日後管理工作的要求，並將其列於報告中。

#### 9. 建築物使用限制

性能設計係針對個別建築物的特性來設計，因此日後建築物使用用途的改變，可能導致原設計所提供的功能改變的情況。

## 第三編 建議

### 一、 新工法新設備之引入

#### (一)特殊管材之使用

##### 1.CPVC 管

CPVC(Chlorinated polyvinyl chloride)管為硬質塑膠管之一種，管內壁光滑質地輕盈，可減低建築構造之承載，但仍有一般塑膠管遇高、低溫或熱及紫外線會變質的特性，故 NFPA13 允許其有條件地使用於撒水系統 (Milosh T.Puchovsky, 1997, p89)。當建築物申請變更用途，既有之幫浦及緊急電源與水源容量無法擴充時，可選用 CPVC 管降低摩擦損失，於天花板內施工時也不具若鋼管施工般有電鋸及電焊之火花之危險。國內已有經消防署審核認可之 CPVC 管及實際採用之案例，故應將其列入基準供設計者選用。表 1 所示為為參考 NFPA13 所作 CPVC 管之優缺點比較。

表 1 CPVC 管之優缺點比較

CPVC 管之優點	CPVC 管之缺點
質地輕盈，可減低建築物荷重承載，或敷設之吊裝面結構無法荷重時可選用。	吊設之管路易變形，吊支架間距應較小，並不得有局部荷重之情況。
以一般鋸子即可裁剪，管路以化學溶膠接合，故內部格局變更增設撒水頭或漏水維修時，無電焊之明火危險且施工快速。	管路接合時溶膠之使用量有一定比例，施工者須有專業訓練。
內壁較為光滑摩擦損失係數 C 值(150)比碳鋼管(120)高，故水頭損失較小。	目前僅有 3 英吋以下之小口徑配管可選用，通常僅用於平面配管，故實際幫浦總揚程減少幅度並不大。
建築物變更使用時，配合速動型撒水頭得減少水量。	限用於濕式配管及速動型撒水頭，裝置場所與使用均有特別限制。
以獲英、美、日等國政府認證使用。	限用於 NFPA13 之輕度危險場所，且不得裝設於周溫華氏 150 度及有紫外線之場所；但設計實例範圍更為廣泛。

(資料來源：本研究整理)

## 2. 不鏽鋼管

不鏽鋼管表面光滑，用於室內明管設置時得表面拋光，有裝飾的作用，其焊接之焊道不若一般鋼管易從該焊接處鏽蝕，用於戶外雨淋之場合或維修不易之高處有相當之防蝕功效。高雄市政府消防局大樓新建工程，設計之初原屬意消防配管全採不鏽鋼管，但由於原條文規定配管需與 CNS6445, 4626 同等強度、耐腐蝕、耐熱之規定，無法適用於其他管材致選用不鏽鋼管時於法不符，而仍採一般鋼管，故建議將原條文「同等以上強度、耐腐蝕性及耐熱性」之字詞予以刪除，使設計者較有選擇彈性。表 2 為依系統件構成、裝置位置及經費考量所作之不鏽鋼管選用建議。

表 2 不鏽鋼管之選用建議

建議採不鏽鋼管之部份	說明
屋外、高架或潮濕易腐蝕之管路	台灣海島型氣候鋼管易鏽蝕，業主得依其經濟能力選擇全系統採不鏽鋼管，室外之配管為防風吹雨淋維修不易亦可建議採不鏽鋼管。
連結水箱部分之配管	消防立管連接屋頂水箱部分，為避免採一般鋼管生鏽造成飲用水污染之情況建議設計為不鏽鋼管。
幫浦汲水管	幫浦一次測深入閘基水池之部分，一般鋼管會在水面與空氣介面之處管外壁形成環狀鏽蝕，若年久失修汲水管破洞恐吸入空氣影響幫浦性能，故建議設計為不鏽鋼管。

(資料來源：本研究整理)

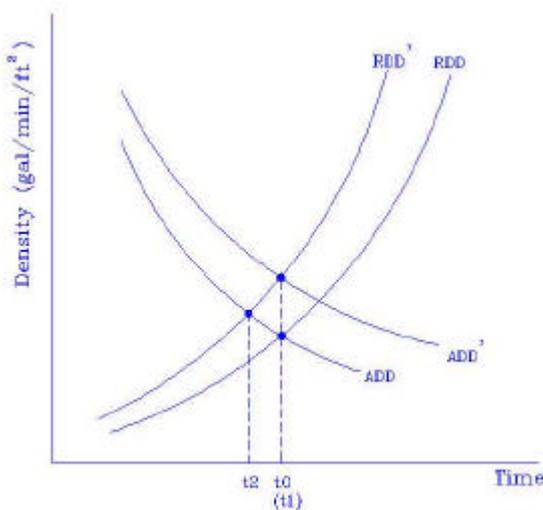
## (二)特殊撒水頭

### 1.速動型撒水頭

#### (1)速動型撒水頭選用之探討

當建築物變更使用或儲存之物品由一般物品變更為易燃物品時，熱釋放率 $\dot{Q}$ 增大，如圖 1 所示滅火所需之放射密度由 RDD 提升為 RDD'，此時自動撒水設備欲達成有效滅火之目的，計有兩種方式：

- A. 需提高設計放水密度或採大水滴撒水頭，將 ADD 提升為 ADD'，使得撒水頭能在滅火臨界時間  $t_1(t_0)$  內能滅火。
- B. 放水密度不變，但採速動型撒水頭在火勢未成長前之  $t_2$  時間點及時滅火。



RDD：儲存一般物品 ( $\dot{Q}_0 = a_0 t^2$ ) 火災時滅火所需之放射密度曲線

RDD'：儲存易燃物品 ( $\dot{Q}_1 = a_1 t^2$ ) 火災時滅火所需之放射密度曲線

ADD：原設計儲存一般物品之實際放射密度曲線

ADD'：變更新用途後放水密度增加或採大水滴撒水頭

$t_0(t_1)$ ：一般撒水頭之滅火臨界時間

$t_2$ ：採速動型撒水頭之滅火臨界時間

$t_0 = t_1 > t_2$

ADD' < ADD

RDD < RDD'

圖 1 ADD 與 RDD 之關係(本研究整理)

## (2)標準型與速動型撒水頭之比較

一棟辦公大樓變更為餐廳依法需檢討自動撒水設備時，依 NFPA13 1-4.7.1 之分類，原辦公大樓(Light Hazard Occupancy)，所需之放水密度及撒水頭設計動作面積依圖 2 area/density curve 之比對設計動作面積至少應為 2000 ft<sup>2</sup> 以上，放水密度至少需為 0.09gpm/ ft<sup>2</sup>，幫浦出水量應為 180 gpm(681L/min)以上，若規定需放水 20 分鐘者，核算原水源容量約為 13.6 立方公尺。

一旦變更為餐廳依 NFPA13 1-4.7.2.1 之分類，餐廳為 Ordinary Hazard Occupancy(Group1)，依圖 2 之比對設計動作面積若同樣為 2000 ft<sup>2</sup> 以上時，對照 Ordinary Hazard Occupancy(Group1)曲線右側，放水密度至少需為 0.14gpm/ ft<sup>2</sup>，按使用標準型撒水頭與速動型撒水頭的法定水源容量，檢討如下：

### A.使用標準型撒水頭

幫浦出水量應為  $2000 \text{ ft}^2 \times 0.14 \text{ gpm/ ft}^2 = 280 \text{ gpm}(1060\text{L/m})$  以上，若規定需放水 20 分鐘，則核算原水源容量應為 21.2 立方公尺，大於原來之 13.6 立方公尺，除非原設計之系統預留極大的餘裕，否則原來之撒水幫浦出水量及水箱容量均不足。

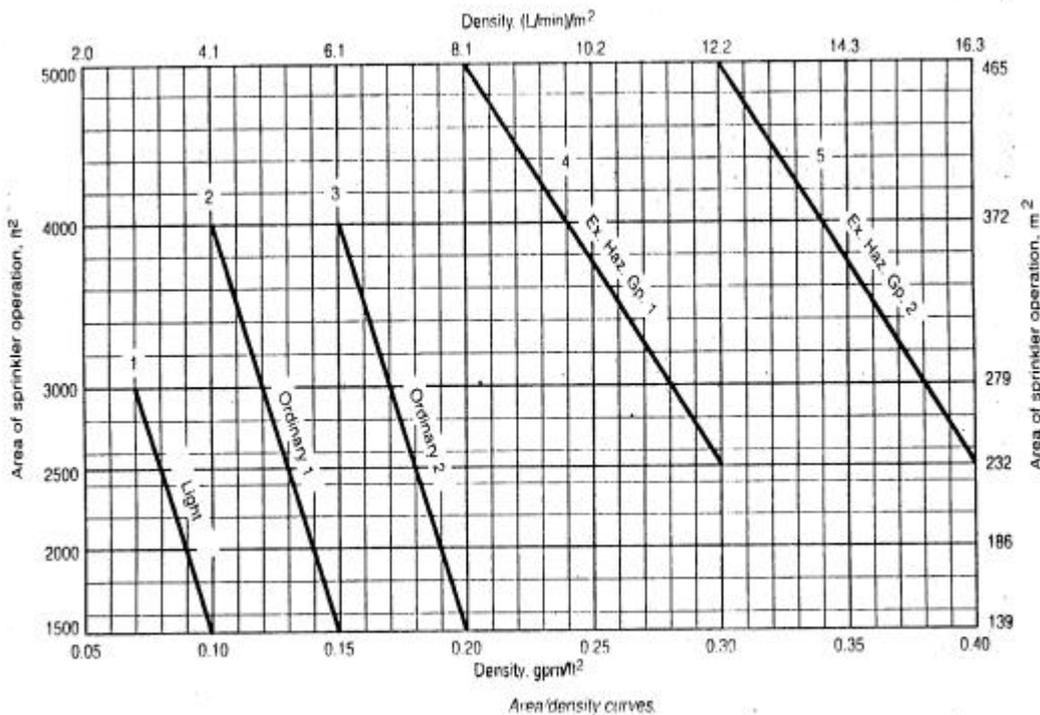


圖 2 放水密度及撒水頭設計動作面積(NFPA13)

## B.使用速動型撒水頭

如採速動型撒水頭，裝置在 4.13 公尺(12.8ft)之高度，依圖 3  $Y = -3X/2 + 55$  可得  $-3(12.8)/2 + 55 = 35.8$ ，也就是說設計動作面積可減少原來的 35.8%，設計面積可放寬為  $2000 \times 64.2\% = 1284 \text{ft}^2$ ，幫浦出水量及水源容量亦相對減少為使用標準型撒水頭之 64.2%，即幫浦出水量為  $1284 \text{ft}^2 \times 0.14 \text{gpm}/\text{ft}^2$  約為 180 gpm(681L/m)，放水 20 分鐘水源容量約需 13.6 立方公尺。

故裝設速動型撒水頭且高度在 12.8ft 以下時，原來之撒水幫浦出水量及水箱容量均已足夠無須增大。

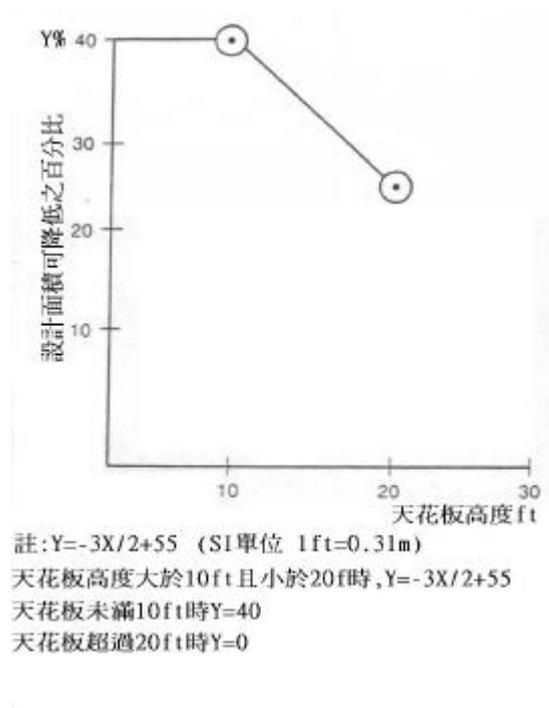


圖 3 速動型撒水頭裝置高度與設計動作面積對照圖

### C. 相關法規之限制

茲將速動型撒水頭依 NFPA13 1-4.5.1 之定義與 NFPA13 5-2.3.2.4 之規定表列如下：

表 3 速動式撒水頭之相關規定

速動式撒水頭之規定	說明
反應時間指數(RTI)	反應時間指數應在 $50\text{m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ 以下(一般撒水頭 $\text{RTI} > 80\text{m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ )
配管	限用濕式配管，若採乾式配管恐延誤放水時間，失去速動型及早放水之意義
裝置場所	限設於輕度或一般危險場所，因為火載量或熱釋放率越大 RDD 曲線越陡(上升越快)，速動型撒水頭與標準型撒水頭之差異越小
裝置高度	當高度越高熱氣流速度越低，撒水頭越慢動作，此時 RTI 值對撒水頭動作速度之影響，因熱氣流速度之降低而變得不明顯，故限裝設於 9m 以下之高度。

(資料來源：本研究整理)

## 2. 大水滴撒水頭

### (1) 水滴大小功效之探討

由圖 1 ADD 與 RDD 之關係得知熱釋放率越高時，水滴在墜過程可能被蒸發或熱氣柱之浮力捲上天花板，故檢討火焰特性速度與水滴終端速度之關係可瞭解水滴大小所扮演之功效，將其關係說明如下(Dougal Drysdale, 1985, pp148-149)。

火焰特性速度依 McCaffrey's 之公式(1)可說明

$$u_0 = 1.9Q^{1/5} \quad (1)$$

水滴終端速度與火焰特性速度之關係依圖 4 比對，以熱釋放率 4MW 火源為例  $u_0 = 1.9(4000)^{1/5} = 10\text{m/s}$

當水滴直徑小於 2 mm( $T_{\text{air}} = 21$ )時，其終端速度  $< 8\text{m/s}$  無法穿透火焰達燃燒物表面。

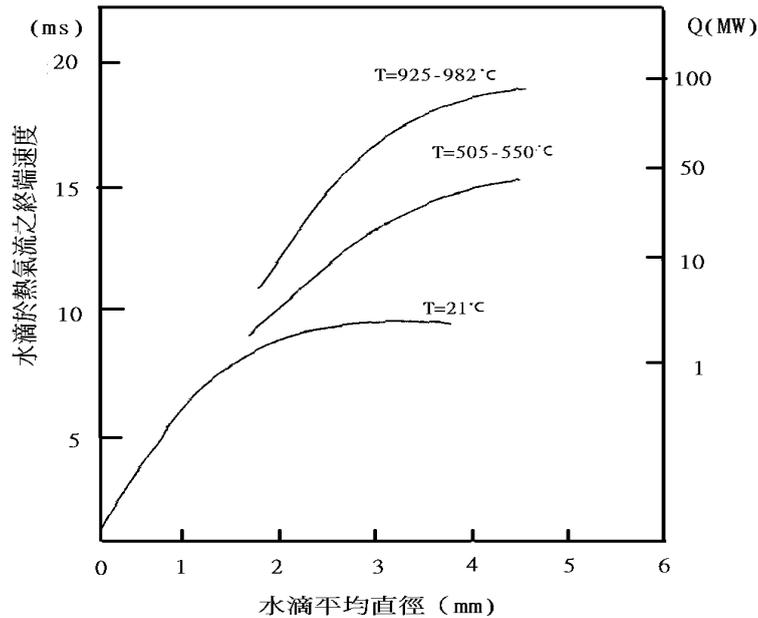


圖 4 水滴直徑與熱釋放率及終端速度之關係(Dougal Drysdale , 1985 , p148)

## (2)大水滴撒水頭之優點

由檢討撒水頭水滴終端速度與火羽柱間歇火焰區(intermittent flame)火焰速度，可得到一個結論，即水滴粒徑愈大、速度愈高較能穿越間歇火焰區達可燃物表面。為改善水滴在儲存大量可燃物之場所或高貨架等高猛烈度火災(high-intensity fire)中之墜落過程，被火柱向上熱氣流捲往天花板的情形，提升放水壓力及加大水滴粒徑可有效提高水滴之動能衝量，穿透火羽流而附著於燃燒物表面，將火場中之輻射及對流熱傳之熱量與可燃物表面隔絕而達滅火之目的。設置大水滴之撒水頭有下列幾項明顯之功效：(John L.Bryan , 1997 , p487)

- A. 改善水滴對火羽流之穿透力
- B. 較大的水滴蒸發更能有效降低溫度
- C. 有效隔離可燃物與火場高溫的接觸

茲依 NFPA13 5-3.4 大水滴撒水頭之相關內容整理如表 4：

表 4 大水滴撒水頭之設置規定

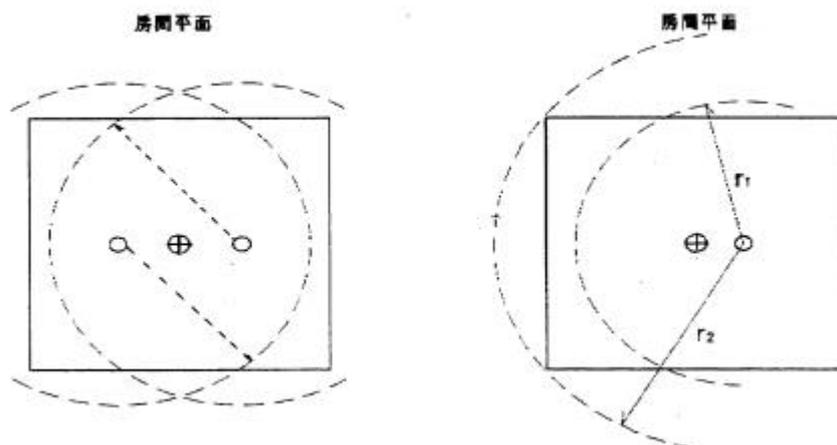
大水滴撒水頭之規定	說明
撒水頭構造	開孔應為 15.9 mm(5/8in)以上，K 值在 11-11.5，放水壓力應為 1.7kgf/cm <sup>2</sup> (0.17Mpa)以上。
配管系統	可用於濕式、乾式及預動作式；但用於乾式及預動作式時其所設計開放之撒水頭個數及壓力應予提升。
裝置場所	可用於儲存各種物品之倉庫或 NFPA13 定義之一般危險場所，但設計動作之最小撒水頭數應為 15 個以上。

(資料來源：本研究整理)

### 3.住宅型撒水頭(小區劃撒水頭)

#### (1)住宅型撒水頭之優點

- A. 阻止牆面之延燒：區劃空間樓地板面積較小，起火源會迅速由水平延燒蔓延到牆面垂直延燒達天花板，若牆面之裝修為可燃性材質將更縮短火勢之成長期，使區劃內溫度急速上升短時間內即可構成閃燃之條件(陳弘毅，1998，p8-9)，故小區劃空間需對牆面有一定之潤濕效果。
- B. 防止撒水頭之跳躍式開啟：小房間若裝設二只以上撒水頭由於間距過於接近恐產生撒水頭跳躍式開啟(sprinkler skipping)現象，影響滅火效果(NFPA13 4-5.3.4)。以警大消防所進行之全尺寸房間燃燒之實驗，在 4m × 4m 的房間裝設 2 只撒水頭，以木疊架燃燒時由於撒水頭過於接近，便產生了第一只撒水頭動作後，水滴卻冷卻了另一只撒水頭而使其無法開啟之現象。
- C. 配合燈具裝設：如圖 5 所示若小房間只裝設一只標準撒水頭時，因與燈具位置之衝突故無法裝置於正中央，較遠之一側恐保護半徑不足，故應設置撒水頭防護半徑較大之住宅型撒水頭。



(a) 撒水頭設於燈具兩側  
 (b) 撒水頭設於燈具一側  
 ⊕：燈具    ○：撒水頭     $r_1$ ：標準型撒水頭保護半徑     $r_2$ ：住宅型撒水頭保護半徑

圖 5 標準型與住宅型撒水頭之配置比較(本研究整理)

### (2) 相關法規之規定

日本之小區劃撒水頭與 NFPA13 住宅型撒水頭之規定有下列共通點：(如表 5 所示)

表 5 住宅型撒水頭之規定

住宅型撒水頭之規定	說明
撒水頭種類	限使用速動型撒水頭
保護半徑	為達到對牆面之潤濕效果，其迴水板之角度與標準撒水頭不同，故其保護半徑較大。
放水規定	規定要對牆面達噴撒 20% 之撒水量(每面牆各 5%)

(資料來源：本研究整理)

### (三) 水流指示器之使用

#### 1. 水流指示器之優點

如圖 6 所示水流指示器(flow indicator)與自動警報逆止閥均為流水檢知裝置之一種，但並不具有逆止之功能。實務上主立管上之流水檢知裝置則應具有逆止之功能，但無需要求每一樓層之撒水分支均須具有逆止之功能。NFPA 13 2-9.2.1 允許於支管上採羽瓣式(paddle type)水流指示開關，而立管則裝置自動警報逆止閥。雖然水流指示器有時會因水波效應而動作，尤其是管系些微漏水而啟動輔助幫浦時會使其誤動作，但可藉由延遲

裝置克服此一問題。以水流指示器替代自動警報逆止閥計有下列優點：

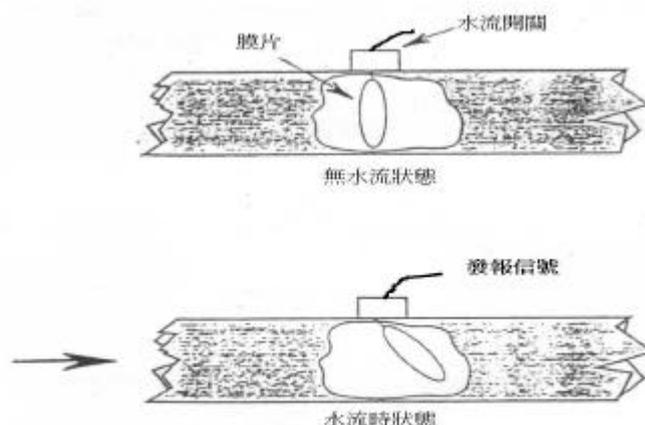


圖 6 水流開關動作示意圖(NFPA72)

- (1) 解決建築物管道間太小或吊設空間不足的問題。
- (2) 減少周邊配管之複雜性使維修更趨容易。
- (3) 無自動警報逆止閥漏水管系壓力降低所致導之幫浦誤動作之問題。
- (4) 設備費用較低。

## 2. 相關法規規定

設置水流指示器時，依 NFPA13 及 NFPA72 應遵守下列規定：

表 7 水流指示器之規定

水流指示器周邊構件規定	說明
靈敏度	為防止水波擾動誤動作，其訊號傳回受信總機後應延遲 15 秒以上才能發出警報。 即使只有一個撒水頭動作，亦應在 5 分鐘內發出警報。
訊號迴路	同一訊號迴路裝設之水流指示器不得超過 5 個，以方便確認火點。
配管系統	不得使用於乾式、開放式或預動式之系統。

(資料來源：本研究整理)

## (四)海龍替代品之使用

### 1. 海龍替代品之特性

海龍滅火藥劑(halon carbon)系列產品因遇高溫會產生 HF 等毒性氣體，對人員安全有其顧慮且對環境會造成污染，而二氧化碳滅火藥劑又具相當之危險性，故遂有海龍替代品之研發。海龍替代品依藥劑種類對環境之影響各有差異，不同的法定滅火濃度對人體之傷害亦不同，其中 Inert gas 與二氧化碳同樣不會對保護對象造成污染，但其對人員人體之傷害僅限於不適感或輕微影響，不像二氧化碳對人員有生命安全之立即性威脅，市面上已有多種消防署審核認可之產品，「設置標準」應將海龍替代品正式納入以利設計者選用。

## 2.海龍替代品之適用

依「設置標準」第 18 條表列之場所，說明海龍替代品之適用對象如下：

表 8 海龍替代品之適用表(限全區或局部放射式)

場所類別	適用性	說明
屋頂直昇機 停機坪	×	屋頂開放性空間採海龍替代品恐被風吹散而無法達稀釋窒息滅火之功能，故不適用。
飛機修理 廠、飛機庫	×	大型挑高空間，採稀釋窒息滅火之方式有開口洩漏的問題及藥劑不易於該大型空間均勻分佈。
昇降式機械 停車場		內部平時無駐守人員之手動或自動之密閉式立體停車塔，得選用以窒息、稀釋、抑制作用滅火之海龍替代品。
發電機 變壓 器等電氣室		電氣火災選用海龍替代品可深入設備內部或配電盤內斷路器 電容器等深部火災，發揮滅火功效。
廚房		大型廚房裡存在多數工作人員得採海龍替代品，但放射時間不宜太長，以免生成過多之有害化學物質。
電信機械室		電信機械室常時有人駐守時，依滅火效果、人員安全及減少損失的觀點，適合採海龍替代品。
引擎 石油試 驗室		油類火災滅火後有複燃之虞時，使用海龍替代品應提高滅火濃度，但可能對人體健康造成影響，選用時應注意。
重要文物展 覽儲放之空 間		展覽區之文物保護有人員安全顧慮，滅火藥劑可採用海龍替代品。
：適用      ：可選用      ×：不適用		

(資料來源：本研究整理)

## (五)加壓煙控之設計

### 1.設計之理念

加壓煙控之理念在於相對安全區之建構，藉各區劃間之壓力差阻止煙由門縫或逃生門之開啟而蔓延，並依火場中人員逃生時有迴避火煙的特性，誘使逃生者逐漸往越安全之區劃移動。如圖 7 所示起火區設置負壓排煙設備，非起火區加壓進氣越往安全梯壓力越大，但須考慮人員在加壓狀態下，人能順利推開關閉之安全門。(清木義次，1999，p70)

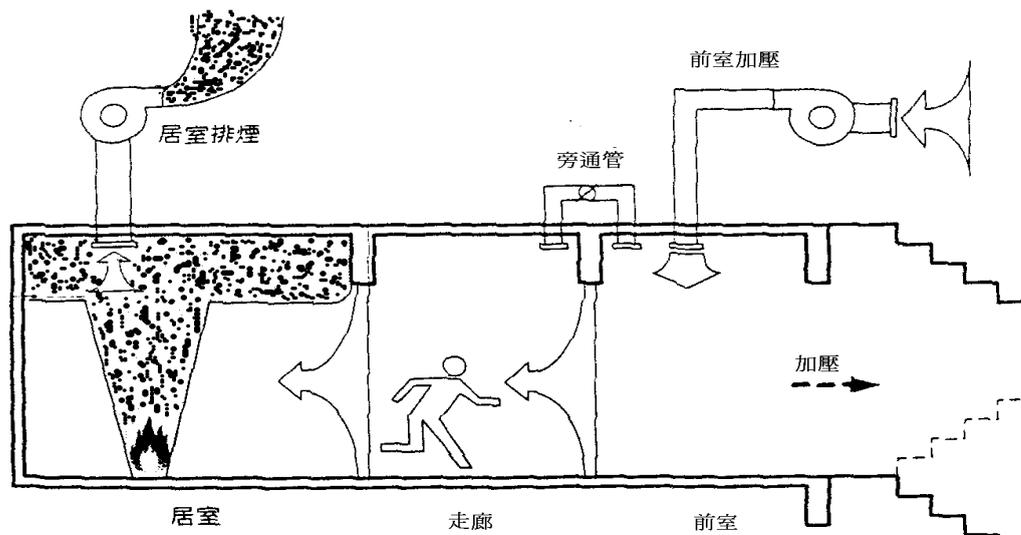


圖 7 正壓煙控示意圖(清木義次，1999，p70)

### 2.設計應注意事項

加壓煙控設計時應達足夠的壓力差防阻煙的流動，又必須考慮所加之氣壓不得大於人員開門時所需的力量。如圖 8 所示，作用於門上兩側之力與數種因素有關，門弓器自動閉鎖之能力應大於起火室之壓力及外部風壓與煙囪效應之引力三者作用於門上之合力，且不得大於人推開門之所需的力。

$M > PHB^2/2$ (關門之條件)

$F_{max} B < M$  (開門之條件)

M：門弓器關門之扭力

P：門上之壓力

$F_{max}$ ：推開門之最大推力

H：門扇高度

B：門扇寬度

P：起火室壓力 + 外部風壓 + 煙囪效應之吸引

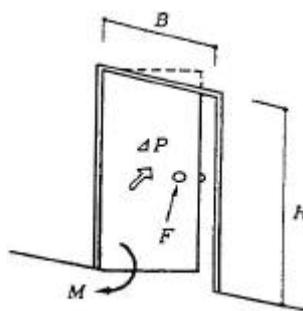


圖 8 加壓煙控防火門開啟之條件(日本建築中心，1995 年，p115)

### 三、人性因素與建築美學之考量

#### (一)人性因素之考量

建築物火災時人因遭遇變故造成緊張、恐慌在所難免，心理的變化可能使行為變得笨拙，影響其對消防設備的使用；而且人類體能有其極限尤其是高齡、婦幼及殘障者，所以由人類因素(human factor)之心理與生理層面為基礎，站在使用者的立場來設置消防設備，有其必要性。

#### 1.滅火器之高度限制

市面上出售之 20 型乾粉滅火器重約 10.5-11 公斤，一般中等身材之男子尚不易提攜該滅火器快速前進，何況是女性。「設置標準」第 31 條 1-5 規定 18 公斤滅火器得設於 1.5 公尺以下之牆面，若醫院將 20 型滅火器設於 1.5 公尺之牆面雖符合法規要求，但真正於夜間發生火災時，該滅火器之重量及裝置高度可能成為值班護理人員取用的障礙。故建議重新修正滅火器之裝置高度，規定甲類第六目及乙類第十二目等收容人員以老弱婦孺等生理情況較差者之場所，限設置 10 型以下之滅火器並裝置於 1 公尺以下。

#### 2.第二種消防栓之選用

「設置標準」條文除對工場等火載量較大之場所要求設置第一種消防栓外，其餘場所任由設計者選擇，由於第二種消防栓較昂貴且法定有效範圍較小，在法規未強制要求下設計者及業主總是以成本為考量傾向於設置第一種消防栓。以第一種消防栓之操縱而言，除非極具經驗者，否則需兩人以上才能迅速操控，而相對的第二種消防栓以橡皮盤管替代消防水帶，減少延伸瞄準時水帶佈放之動作以免延誤初期滅火時機，適合一個人或體能較弱者使用，故建議甲類第六目或乙類第十二目等場所其收容人員為體能或生理反應較弱者，或該場所之工作人員以女性居多時，限選用操控較方便之第二種消防栓。

#### 3.視聽障人員之保護

收容視聽障人員之場所其標示及通報設備建議應特別加強，例如安養

中心內 60 歲以上之老人或大醫院耳鼻喉病房看診區之患者，有聽力障礙之虞，該場所應加大鈴聲並以間歇式鳴響。(Richard W.Bukowski, Robert J. O' laughlin, 1994, p169,173)而視障人員既使無法看清環境或標示，但對於閃光之刺激亦有基本的感受，故建議收容視障人員之場所，其誘導設備應依日本消防法施行規則之規定加設點滅之閃光及語音引導之功能。(建築消防實務研究會，2000, p47-5)。

#### 4. 飯店旅館火警確認時間之縮短

飯店旅館等供不特定人員睡眠之場所，人員逃生速度較慢，屬於避難弱者，故應縮短火災確認之時間，依消防署及警大消防所協助台中市永豐棧麗緻酒店所做之自衛消防演練之結果顯示，該場所各客房均為一獨立火警分區，起火點設定時可由中控室即刻可知道發報房間，故人員由地下一層中控室乘緊急升降機到八樓模擬之起火房間察看，僅歷時約 2 分半鐘，相反的若以傳統一樓層為一火警分區之方式，人員到八樓後需逐一檢視各房間至少需費時 4 分鐘，在火災確認上時間較長。故應規定供不特定人士睡眠休憩之場所，同一樓層超過一定房間數以上時，應採定址式探測器或各房間單獨火警分區方便確認及疏散。

#### 5. 符合人類行為之習慣動線

防火區劃鐵捲門之連動雖不屬消防設備，但於 86 年營建署函消防署之公文(86 年 11 月營署建字第 25324 號函)建議將其納入消防設備審勘，實務上也已由消防單位行之多年，故應正式將其納入條文規範。以大型賣場、展覽場等空間為例，為符合法定的防火區劃阻隔火勢之蔓延，以偵煙式防火鐵捲門為區劃者，不宜在偵煙探測器感應之同時就放下捲門，否則突來的空間格局改變可能造成避難逃生人員「空間迷失」，恐造成恐慌(panic)效應影響起火區人員之避難，且捲門放下後也會造成避難出口變小，不利快速避難。

如圖 9 所示或為一可行之設計例，偵煙探測器連動防火鐵捲門，下關至 h 高度時極限開關動作，此時鐵捲門停止猶如防煙垂壁之功效而又不妨礙逃生，當感熱式探測器動作後鐵捲門繼續下放防止火勢延燒。

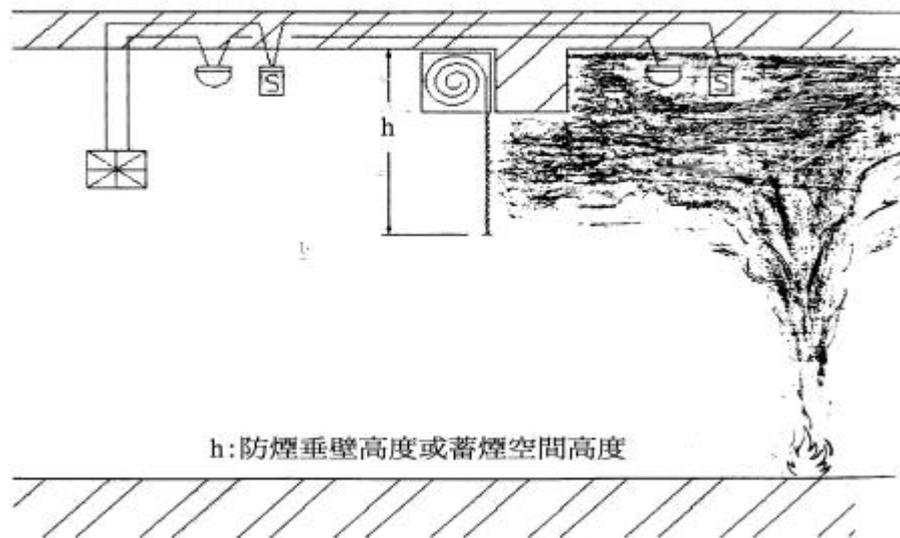


圖 9 防火鐵捲門之連動方式(本研究整理)

## (二)消防設備與建築美學之兼顧

消防設備乃依附建築物而設置，充分地介入人的生活環境中，若不考慮人性感受與建築美學則無法得到民眾的認同，繼之而起的便是被拆除、遮掩或為人所垢病。故消防設備應該是親切、柔和的、融入環境的設計，以下針對影響建築美學及人性感受之規定提出修正的建議。

### 1. 管路規定之放寬

#### (1) 管路顏色不限紅色

多年以來部分設計施工者及少數消防主管人員誤認為消防管系應為紅色，突兀的顏色令人有不夠親和力之感覺。一棟講究外觀造型的建築物，其屋頂通常為建築師表現其設計手法的重要部位，而連接屋頂水箱之管路常因對法規之誤解而將其漆成紅色，形成破壞建築外觀之遺憾，造成民眾排斥設置消防設備的反應，故應明文規定管路顏色不限，破除長久以來的迷思。

#### (2) 連結屋頂水箱管徑縮小

屋頂水箱若非法定水源，其連結至消防管路之目的為使配管常時充滿水，及提供管路頂部排氣之途徑，故其管徑無需依原配管尺寸延伸，

由於連接至屋頂水箱之管路在屋頂層常需轉折，而原已有自來水之揚水管、給水管、溢流管、排水管若再加上大尺寸之消防與撒水管路，恐影響建築物管道間管路及水箱外圍管路之配置。為避免破壞建築外觀及造成施工困難，連結屋頂水箱之最小管徑，宜依東京消防廳預防事務審查/檢查基準(東京防災指導協會，1998，p85)之規定得予縮小，免依原配管尺寸延伸。

## 2.消防箱顏色材質規定應放寬

傳統消防栓箱金屬面板予人冰冷、不夠親和力之感覺，部分民眾及少數消防主管人員更誤認為箱體應為紅色。突兀的顏色，刻板的造型常與其周遭環境格格不入，造成飯店業者或高級住宅以屏風、盆栽或裝修物遮住消防栓箱之情況，便是民眾排斥設置消防設備的表現，其結果可能於真正火災時因消防栓箱被遮掩而不知使用，或欲使用時仍需移除障礙物耽誤救災時機。

建議放寬消防栓箱得以耐燃材料配合室內裝修設置，例如兒童遊樂場所之消防栓箱得以卡通造型設計，美術館能將消防栓箱設計成壁面浮雕，飯店業者或高級住宅允許其面板以石材或耐燃材料。又消防箱面板若加裝玻璃視窗既可對檢修狀況一目了然，且可吸引民眾注意主動學習使用，使消防設備更能融入生活環境中為民眾所接受，故建議刪除消防栓箱金屬材質之規定，依東京消防廳預防事務審查/檢查基準(東京防災指導協會，1998，p91)規定耐燃材料即可。

## 四、等價替代及功能性法規之檢討

### (一)功能性法規之特色

功能性法規需先確立其目的為人命保護或財產防護，並尋得與欲達成之目的有關之參數予以合理的量化，在以安全水準為目標的前提下允許各種方式間之替代。國內消防學者熊光華氏認為世界各國功能性法規有其共同的之特色如左：(熊光華，1999，p11)

- 1.以達到特定安全水準之消防安全目標為依歸。
- 2.以成熟之工程技術為手段。
- 3.以火場成長危害之各項模式(含決定性或機率性)為評估方法。
- 4.以燃燒行為及燃燒生成物之理化特性為考量之重點。
- 5.以定量方法評估各不同設計手段期能求得最低損失及最具功能之目標。
- 6.容許各種不同之替代手段。

## (二) 撒水設備功能性替代之探討

### 1. 撒水設備功能性替代之指標

撒水設備與防火措施之關係可由圖 10(簡賢文, 1993, p5)室內火災成長階段來探討室內裝修及防火區劃與撒水設備之關係, 在區劃火災延燒之各階段自動撒水設備均可發揮其主動式滅火設備之功能, 以補被動式防火措施之不足。撒水設備與各項防火措施功能性之替代可歸納為左列幾點指標性功能：(陳裕仁, 1998, p103)

- (1) 由「可接受的燒損面積」建立撒水設備與防火區劃放寬之關係。
- (2) 由「可容忍之閃燃機率」建立撒水設備與室內裝修限制之關係。
- (3) 以「可接受的火災猛烈度」建立撒水設備與建築結構防火時效之關係。
- (4) 在「可接受之避難時間」下建立撒水設備與避難設施之關係。

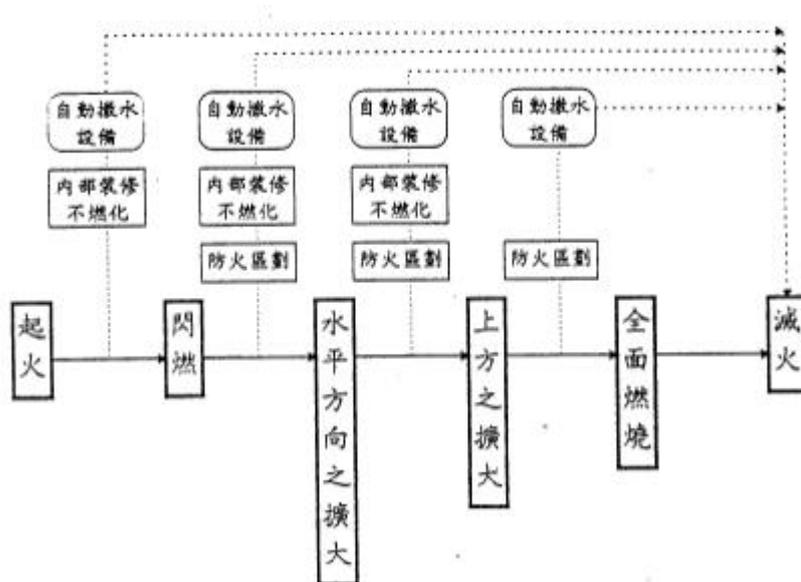


圖 10 火災成長各階段防災設施對應設備措施

### 2. 自動撒水設備之等價替代規定

國內外法規對於主動式消防設備與被動式防火措施間均有相關之替代規定, 茲針對自動撒水設備在防止延燒所扮演的功效, 所涉及的室內裝修與防火區劃減免規定, 以表 9 說明如下：

表 9 自動撒水設備與防火區劃及室內裝修之替代規定

自動撒水與 室內裝修	設有自動撒水設備及排煙設備者，其室內裝修得不受限制。	建築技術規則設計 施工篇第 88 條
	居室通往出入口走廊之室內裝修，在設有自動撒水設備時得放寬。	NFPA101 5-1.4
自動撒水與 防火區劃	十一層以上之樓層及地下建築物設有自動撒水設備時，其防火區劃面積得加倍。	建築技術規則設計 施工篇第 88 條
	設有自動撒水設備時，其防火區劃得由原 1500 平方公尺放寬為 3000 平方公尺。	建築技術規則設計 施工篇第 79 條
自動撒水與 室內裝修及 防火區劃	供第十二條第一款第一目、第二目、第四目、第二款第七目或複合用途使用，主要構造為防火構造，且以防火牆、防火樓板及甲、乙種防火門窗將十樓以下以每二百平方公尺區劃之，十一樓以上每一百平方公尺區劃。室內及通往地面之主要走廊及通道，其天花板及內部牆面以不燃材料或耐燃材料裝修者。	日本消防法施行令 第 12 條

(資料來源：本研究整理)

### (三)挑高中庭功能設計之探討

挑高空間場所之功能性設計乃以煙控及避難逃生為主，其挑高空間高度可用以達蓄煙之目的，但也相對影響火警自動警報設備及自動撒水設備之功能，故以煙控、火警、撒水三部分為探討之主軸說明如下：

#### 1.挑高空間之煙控應達下列基本之目標需求(NFPA92B 2-1.1)

- (1) 煙層之高度應在預設值以上。
- (2) 所有逃生通道及安全梯應能在充分的逃生時間內維持其安全性。
- (3) 限制煙擴散至避難通道安全梯出入口或連接挑高中庭之空間。
- (4) 應提供適當能見度使消防人員辨識火點接近滅火。
- (5) 應能將內部蓄積之煙排除。
- (6) 應能限制煙層之溫度。

#### 2.挑高空間之火警自動警報設備

挑高空間應由設計火源(design fire)之熱釋放率核算煙層可達之高度，並考慮天花板高度及頂部採光罩因日照所引起之層流現象(Stratification)等使局限型探測器無法捕捉到煙訊號之原因，採取必要之補救措施如左：

- (1) 探測器懸吊至適當之高度設置：探測器除裝置於天花板外，應另懸吊離天花板適當距離，此距離應在煙可上昇之範圍，且至少應在 90 cm 以上(NFPA72 A-5.1.4.5)。
- (2) 裝置火焰探測器或光電分離型探測器：在面對挑高中庭之適當高度設置具掃描功能之火焰探測器，或在不同高度設置如圖 11 光電分離型探測器使其探測之光軸交叉防護。

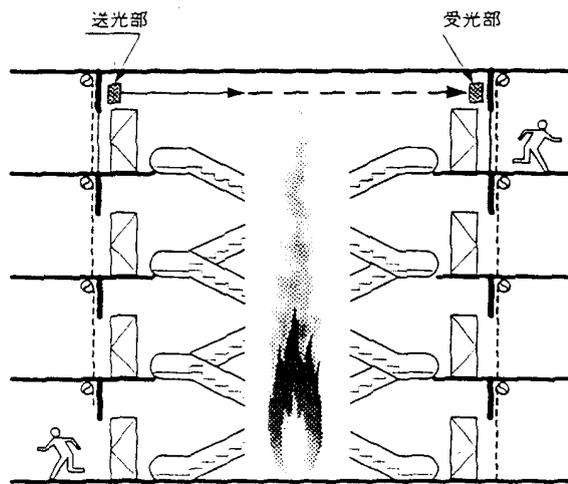


圖 11 挑高空間光電分離式探測器設置例(清木義次，1995 年)

### 3.挑高空間之滅火設備

大型挑高空間有時無法依規定設置滅火器及消防栓，而挑高空間撒水頭之適當裝置範圍在 2.4m-7.6m 間(NFPA92B 1-5.4.4)在設置上可能有技術性及美觀性的考量，可選用如圖 13 具有掃瞄偵測火點能力之放水槍(water cannon)

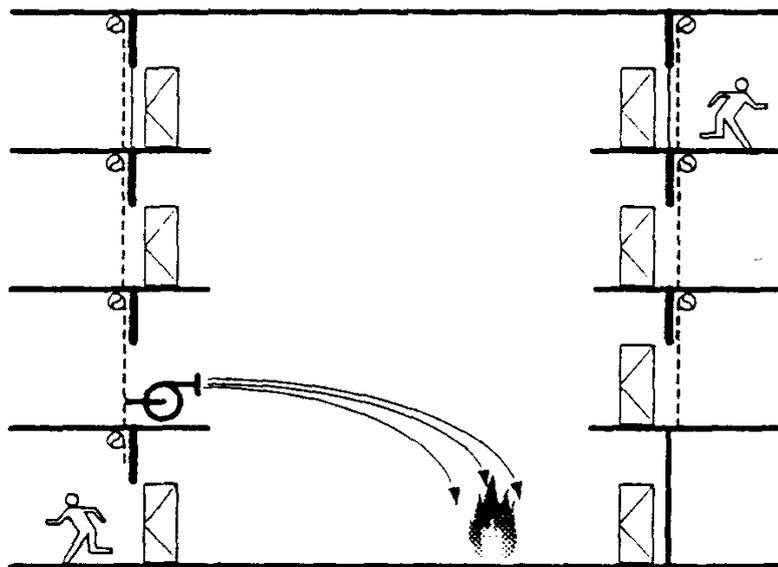


圖 13 挑高空間放水槍設置例(清木義次，1995 年)

4.大型空間之廣播：目前國內並無一套標準可適用，而日本消防法施行規則 25-2 條已有功能性設計之規定，國內消防主管機關亦有意引用。茲簡介如下：

(1)設計概念

大型或挑高空間無法依法規規定，廣播區域任一點至揚聲器水平距離在 10 公尺以內時，得依揚聲器功能配合空間特性檢討空間內樓地板高度 1 公尺處(約小孩或坐輪椅者之耳高)，任一點音壓位準均達 75dB 以上，但除了音壓位準外仍須確保聲音在該空間之明瞭度。以小空間而言，反射音與原音相差之時序幾乎可忽略，但大空間之距離使反射音對聲音接收者有明顯滯後與原始聲音互相干擾情形，故應檢討殘響效應。

(2)應考慮之參數

功能設計所需之參數含揚聲器本體特性、裝置方式、空間形狀、周壁材質等，將其分項說明如下：

A.輸出音響功率  $p$

揚聲器本體之數據為揚聲器之輸出音響功率  $p$ (dB)及依揚聲器為號角型、圓錐形、吸頂式等不同之形狀對應之揚聲器音域角度所得之值，即為揚聲器之指向係數。

B.揚聲器指向係數  $Q$

將揚聲器發出之聲音音域假想為立體原錐體，離此揚聲器中心軸距離  $r$  公尺內之直接音強度為  $I_d$ ，而  $r$  公尺內立體圓弧面之各點直接音平均值為  $I_a$ ， $Q = I_d/I_a$ 。

C.空間殘響時間  $T$

殘響時間依空間尺寸(空間容積及空間內表面積)、材料 吸音率而定，廣播音響希望能在揚聲器每一音波脈衝輸出停止時，聲音能緩慢中斷維持一小段時間，以免人尚未聽清楚時便完全消音，但殘響時間也不宜過長。以純音而言，若反射音之音波波峰與原音之波谷重疊便互相遮蔽(masking)消音，若反射音波峰與原音波峰重疊則音波振幅增大使原音音波變形，若為語音則會使前後所說之話語重疊不清。

D. 空間吸音率

由空間內天花板、地板、四周牆面之材質吸音率總和計算該空間平均吸音率，以大空間而言內部材料吸音率越高越好。

$$a = \frac{\sum \alpha_n S_n}{\sum S_n} \quad , S_n : \text{各種建材面積} \quad , \alpha_n : \text{各種建材吸音率}$$

