

# 防火門遮煙試驗量測不確定度評估

黃建榮<sup>1</sup>、李其忠<sup>1</sup>、蔡銘儒<sup>1</sup>、古瓊忠<sup>2</sup>

<sup>1</sup>內政部建築研究所

<sup>2</sup>聯合營建發展基金會

## 摘要

建築構造（門、窗等）在火災發生時的漏煙性，易受其設置位置的加熱強度及壓力差等條件影響。因此，用來定量偵測建築構造漏煙量之測試裝置，需能改變測試體所承受的加熱溫度及壓力差性。

本試驗之不確定度評估，並不考慮A類之隨機不確定度諸如測試樣本重復性試驗之部分，此部份需透過實驗室之比對方能獲得可信賴之數據，故僅考慮B類不確定度，諸如測試儀具之準確度，解析度及環境之影響。本試驗評估結果為相對組合標準不確定度，在95%信賴水準下，相對擴充不確定度  $R U = 2R U_c$ 。評估結果顯示，相對不確定度大部分是由壓力差量測儀具之準確度所提供，溫度量測儀具準確度影響較小，並且隨著漏煙量之增加，量測總的不確定與漏煙量成反比。

關鍵字：量測不確定度、防火門遮煙試驗、漏煙量

## 一、前言

在一般火災現場中，造成人員傷亡最大因素，並非來自高溫灼傷，而是來自濃煙的嗆死、窒息或中毒。當建築物室內裝潢材料承受火場高溫時，易分解產生大量濃煙、刺激性氣體、一氧化碳、以及其他含毒性成份氣體。一般而言，一氧化碳會造成缺氧窒息，刺激性氣體會刺激眼鼻妨礙避難逃生，其他有毒性化學成份會造成中毒死亡。

在火災發生時建築構造（門、窗等）的漏煙性，易受火場的加熱強度及壓力差等條件影響。因此，用來定量偵測建築構造漏煙量之測試裝置，需對測試體所承受的加熱溫度及壓力差具有可變性。本研究依各分項變因首先評估各項變因之不確定度及敏感係數，再計算組合標準不確定度，最後給予信賴因子，並由其中瞭解試驗過程變因對量測結果的影響與權重，期能建立遮煙試驗量測不確定度評估，確保試驗數據之可靠性。

## 二、內容

### 2.1 防火門遮煙試驗設備介紹(林大惠，2003)

遮煙試驗裝置主要分為以下幾個部分：(1)熱風循環部 (2)氣密箱、(3)溫度和壓力控制裝置、(4)台車。其整體設計圖如圖1所示，其細部內容分述如下：

#### 2.1.1 熱風循環部

熱風循環部之主要作用係將加熱爐所產生的高溫空氣，以循環風扇導入壓力箱內，造成壓力箱與氣密箱形成壓力差，達到試驗要求之壓力差值（ $9.8\text{Pa}$  { $1\text{kgf/m}^2$ }、 $19.6\text{Pa}$  { $2\text{kgf/m}^2$ }及 $29.4\text{Pa}$  { $3\text{kgf/m}^2$ }），或者是更高之壓力差。熱風循環部係由氣密箱體、耐火材料、循環風扇與循環風管所構成。

#### 2.1.2 氣密箱

當進行CNS 11227室溫遮煙試驗時，氣密箱與壓力箱壓力差應 $9.8\text{Pa}$  { $1\text{kgf/m}^2$ }、 $19.6\text{Pa}$  { $2\text{kgf/m}^2$ }及 $29.4\text{Pa}$  { $3\text{kgf/m}^2$ }。亦即試驗壓力差為 $9.8\text{Pa}$  { $1\text{kgf/m}^2$ }時，若氣密箱壓力為 $1\text{Pa}$ 時，壓力箱內壓力需保持 $10.8\text{Pa}$ ；壓力差為 $19.6\text{Pa}$  { $2\text{kgf/m}^2$ }及 $29.4\text{Pa}$  { $3\text{kgf/m}^2$ }時亦同，此時，可進一步經由流動之氣體流動情況得到通氣量。遮煙試驗結果，通常以試體在壓力差 $19.6\text{Pa}$  { $2\text{kgf/m}^2$ }時之單位面積( $\text{m}^2$ )、單位時間( $\text{min}$ )通氣量，換算成標準狀態（空氣 $20^\circ\text{C}$ ， $1$ 大氣壓）之通氣量，作為遮煙試驗試體之通氣量。氣密箱係由氣密箱體、耐火材料、吸引風罩和吸引管、吸引風扇、小型台車與氣密裝置所構成。

#### 2.1.3 溫度和壓力控制裝置

為符合CNS 11227建築用防火門耐火試驗法中第8節室溫遮煙試驗之規定，測定試體兩面空氣壓力差為 $9.8\text{Pa}$ 、 $19.6\text{Pa}$ 及 $29.4\text{Pa}$ 時之通氣量，同時將試體在壓力差 $19.6\text{Pa}$ 時單位面積、單位時間之通氣量，換算成標準狀態下遮煙試驗試體之通氣量；因此需要有一套完備之溫度和壓力控制裝置，可控制溫度和壓力，並可擷取相關數據，以便推算出通

氣量。遮煙試驗裝置之整體控制系統，如圖2所示。溫度和壓力控制裝置係由熱電偶、差壓發信器、差壓調節器、差壓流量計、流量演算計、資料收集裝置與控制盤所構成。

#### 2.1.4 台車

由於整體裝置為鋼結構，體積龐大且重量超過一公噸以上，非人力得以搬運，而採用天車或其他吊掛裝置，不符試驗所需時效性。因此採用可移動式台車，可達成所需時效性且方便移動。另需設置鋼軌，以利台車移動。台車係由減速機、傳動機構、台車鋼軌及基礎用鋼件所構成。

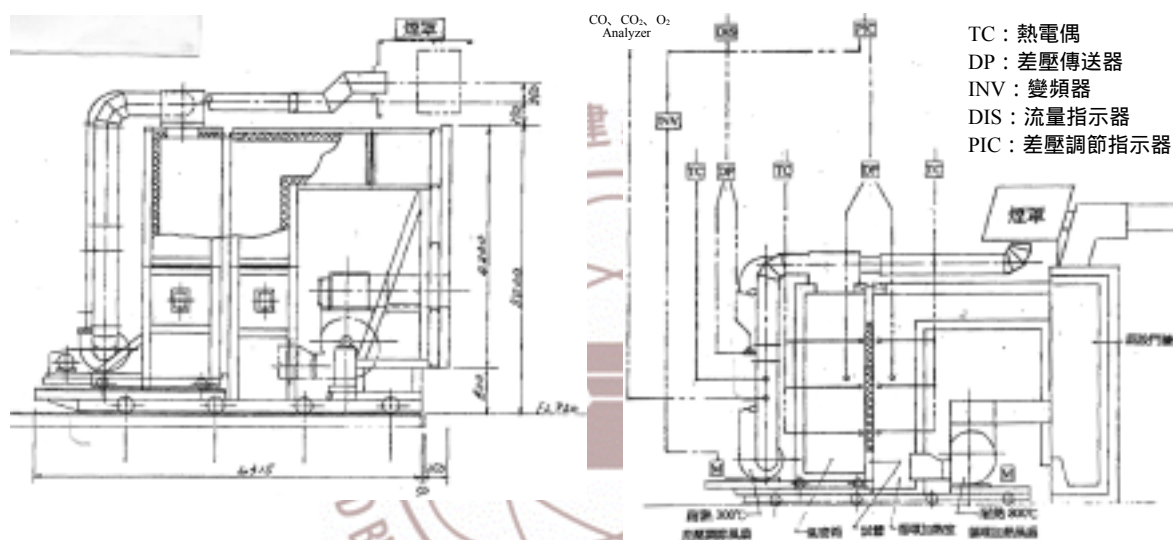


圖1 遮煙試驗裝置整體設計圖

圖2 遮煙試驗裝置之整體控制系統

## 2.2 防火門遮煙試驗規定

防火門遮煙試驗依CNS 11227建築用防火門耐火試驗法，第8節室溫遮煙試驗之規定，說明如下：

試體經加熱實驗後，立即測定試體兩面空氣壓力差為9.8Pa {1kgf/m<sup>2</sup>}、19.6Pa {2kgf/m<sup>2</sup>}及29.4Pa {3kgf/m<sup>2</sup>}時之通氣量。

遮煙試驗結果，以試體在壓力差19.6Pa {2kgf/m<sup>2</sup>}時之單位面積(m<sup>2</sup>)、單位時間(min)通氣量，換算成標準狀態（空氣20℃，1大氣壓）之通氣量，作為遮煙試驗試體之通氣量，以有效數字2位表示之。其任一測定值應在0.2m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>以下，且各壓力差之測定值與於其他壓力差之測定值之間，不得有顯著之變化（變化範圍在平均值之正負5%以內）。

本試驗操作主要依照遮煙試驗裝置標準作業程序進行：(1)加熱爐準備妥當待機點火運作。(2)小台車先後退或吊離，使氣密室與加熱室分離。(3)安裝試體在氣密室上。(4)將小台車推進加熱室，操作空氣缸使充分緊密，必要時以特殊矽膠填充材填充縫隙。(5)加熱爐點火運轉，第一個低溫設定點保持。(6)啟動循環風扇，啟動吸引風扇，由小而大調整各預定差壓值，漏煙量測開始（每2秒），各溫度測定時間約20min，並無特別限制。(7)變更溫度繼續上面測試及紀錄。(8)注意氣密室溫度，勿超過吸引風扇耐熱限度300。

## 2.3 防火門遮煙試驗量測不確定度評估(古瓊忠，2006)

### 2.3.1 數學模式之建立

$$V = \alpha \left[ \frac{2}{\rho} V_p \right]^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$Q = 60 \times A \times V \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{-----} \quad (2)$$

公式中：

$$V = \text{風速} (\text{m/s})$$

$$\alpha = 0.7 \quad (\text{流量計 AE - 100 之係數})$$

Q = 流量

$$A \text{ (流量計之面積)} = 0.00785 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\rho \text{ (空氣密度)} = 1.293 \times \frac{273}{273 + T} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$V_p = \Delta P_2 \times 0.981 \text{ (Pa)} \quad \text{-----} \quad (4)$$

所以

$$Q = 60 \times A \times \alpha \times \left[ \frac{2}{\rho} V_p \right]^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{-----} \quad (5)$$

換算成在 1 atm，20 時漏煙量並忽略飽和蒸氣壓力之影響，近似公式變成

$$Q' = Q \times \frac{(P_a + \Delta P)}{101325} \times \frac{293.15}{T_a + 273.15} \quad \text{-----} \quad (6)$$

公式中：

Q：實際測得之漏煙量

Q'：修正後之漏煙量

T<sub>a</sub>：漏煙之溫度（T30 量測溫度）

P<sub>a</sub>：該漏煙溫度下之氣體壓力

ΔP：試體兩側之壓力差

### 2.3.2 組合標準不確定度

依不確定度傳遞原理，利用公式（5），求組合標準不確定度

$$Q = 60 \times A \times \alpha \times \left[ \frac{2V_p}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} = f(A, \alpha, V_p, \rho) \text{-----}(7)$$

$$(\delta Q)^2 = \left[ \frac{\partial f}{\partial A} \delta A \right]^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial \alpha} \delta \alpha \right]^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial V_p} \delta V_p \right]^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial \rho} \delta \rho \right]^2 \text{-----}(8)$$

因為A， $\alpha$  為常數，忽略其不確定度，亦即  $\delta A = \delta \alpha = 0$ ，公式（8）變成

$$(\delta Q)^2 = \left[ \frac{\partial f}{\partial V_p} \delta V_p \right]^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial \rho} \delta \rho \right]^2 \text{-----}(9)$$

### 2.3.3 計算敏感係數

$$\frac{\partial f}{\partial V_p} = 60 \times A \times \alpha \times \frac{1}{2} \times \left[ \frac{2V_p}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{2}{\rho} \text{-----}(10)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \rho} = 60 \times A \times \alpha \times \frac{1}{2} \times \left[ \frac{2V_p}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \times \left[ -\frac{2V_p}{\rho^2} \right] \text{-----}(11)$$

### 2.3.4 相對組合標準不確定度

$$\left[ \frac{\delta Q}{Q} \right]^2 = \left[ \frac{1/\rho}{2V_p/\rho} \delta V_p \right]^2 + \left[ \frac{-V_p/\rho^2}{2V_p/\rho} \delta \rho \right]^2$$

所以

$$\left[ \frac{\delta Q}{Q} \right]^2 = \left[ \frac{1}{2} \times \frac{\delta V_p}{V_p} \right]^2 + \left[ \frac{1}{2} \frac{\delta \rho}{\rho} \right]^2 \text{-----}(12)$$

$$\because V_p = \Delta P_2 \times 9.81$$

$$\delta V_p = 9.81 \times \delta(\Delta P_2) \text{-----}(13)$$

$$\delta \rho = -\frac{353}{(273 + T)^2} \times \delta T \text{-----}(14)$$

$$\frac{\delta V_p}{V_p} = \frac{\delta(\Delta P_2)}{\Delta P_2} \text{-----}(15)$$

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = \frac{\delta(273+T)}{273+T} = \frac{\delta(Tk)}{Tk} \text{-----(16)}$$

相對組合標準不確定度

$$\left[\frac{\delta Q}{Q}\right]^2 = \left[\frac{1}{2} \times \frac{\delta(\Delta P_2)}{\Delta P_2}\right]^2 + \left[\frac{1}{2} \times \frac{\delta(Tk)}{Tk}\right]^2 \text{-----(17)}$$

### 2.3.5 量測不確定度成份之量化

依據ANSI/AMCA 210對氣體量測所用之壓力量測儀具之準確度±1 Pa，溫度量測儀具之準確度±1.1k，假設矩形分佈，標準不確定度分別為：

$$\delta(\Delta P_2) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \text{-----(18)}$$

$$\delta(Tk) = \frac{1.1}{\sqrt{3}} = 0.635 \text{-----(19)}$$

### 2.3.6 組合相對標準不確定度評估結果

把公式(18)，(19)代入公式(17)中，以防火門遮煙試驗案例，分別對開口面積(A) = 10cm<sup>2</sup>，20 cm<sup>2</sup>，30cm<sup>2</sup>做評估，評估結果如表1~表3所示(不確定度取二位有效位數)。

表1 開口面積(A) = 10cm<sup>2</sup>組合相對標準不確定度評估結果

Tk (°K)	ΔP <sub>2</sub> (Pa)	δ(ΔP <sub>2</sub> )/ΔP <sub>2</sub>	δTk/Tk	δQ/Q (%)
305	0	∞	0.002	∞
305	0.981	0.588	0.002	29.4%
305	1.962	0.3	0.002	15%
305	3.924	0.15	0.002	7.5%
305	5.886	0.1	0.002	5.0%
305	7.848	0.074	0.002	3.7%
305	9.81	0.06	0.002	3.0%

表2 開口面積(A) = 20cm<sup>2</sup>組合相對標準不確定度評估結果

Tk (°K)	ΔP <sub>2</sub> (Pa)	δ(ΔP <sub>2</sub> )/ΔP <sub>2</sub>	δTk/Tk	δQ/Q (%)
305	0	∞	0.002	∞
305	3.924	0.15	0.002	7.5%
305	7.848	0.074	0.002	3.7%
305	12.753	0.045	0.002	2.25%
305	17.658	0.033	0.002	1.65%
305	22.563	0.026	0.002	1.3%

305	28.449	0.020	0.002	1.0%
-----	--------	-------	-------	------

表3 開口面積(A) = 30cm<sup>2</sup>組合相對標準不確定度評估結果

Tk (°K)	$\Delta P_2$ (Pa)	$\delta(\Delta P_2) / \Delta P_2$	$\delta T_k / T_k$	$\delta Q / Q$ (%)
305	3.924	0.15	0.002	7.5%
305	7.848	0.074	0.002	3.7%
305	16.677	0.0346	0.002	1.73%
305	26.487	0.022	0.002	1.1%
305	36.297	0.016	0.002	0.80%
305	46.07	0.013	0.002	0.65%
305	55.917	0.01	0.002	0.50%

### 三、結論

- 1、本試驗之不確定度評估，並不考慮 A 類之隨機不確定度，諸如測試樣本重復性試驗之部分，此部份應透過實驗室之比對方能獲得可信賴之數據，故僅考慮 B 類不確定度，諸如測試儀具之準確度，解析度及環境之影響。
- 2、上述評估結果為相對組合標準不確定度，在 95%信賴水準下，k=2 相對擴充不確定度  $R U = 2R U_c$ 。
- 3、從分析結果，相對不確定度大部分是由壓力差量測儀具之準確度所提供，溫度量測儀具準確度影響較小。
- 4、隨著排煙量之增加，量測總的不確定與排煙量成反比。  
溫度與壓力差量測儀具尚有會提供量測誤差之因子諸如解析度、漂移、重復性、線性等，如要納入考量則應採用 RSS method ( Root-sum-squares ) 加以整合。

### 四、參考文獻

1. 林大惠，2003，防火門遮煙試驗基準研究，內政部建築研究所委託研究報告。
2. CNS 11227，2002，建築用防火門耐火試驗法。
3. 內政部建築研究所防火實驗中心，2003，遮煙試驗裝置標準作業程序。
4. 古瓊忠，2006，防火門遮煙量測不確定度評估報告，內政部建築研究所防火實驗中心。
5. ANSI/AMCA 210,1999,Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating.
6. 古瓊忠，2006，量測不確定度教育訓練課程講義，內政部建築研究所。