

固體材料燃燒煙濃度之比光學密度垂直試驗量測不確定度評估

詹家旺¹、李鎮宏¹、蔡銘儒¹、古瓊忠²

¹內政部建築研究所

²聯合營建發展基金會

摘要

國內現行之建材耐燃性標準試驗法為 CNS 6532 建築物室內裝修材料之耐燃性檢驗法之表面試驗及基材試驗，其中表面試驗中兩項重要性能判定項目為燃燒熱與煙濃度，因應國際調合趨勢，表面試驗將由圓錐量熱儀法取代燃燒熱量測、比光學密度垂直試驗法取代煙濃度部分之量測。

本研究主要評估固體材料燃燒時所產生煙霧之比光學密度試驗之量測不確定度評估展示試驗數據之準確度和其可靠性，在本評估分析中，由於光學密度分析儀之相關規格均是以百分率表示，意味著，在儀具之量測範圍內所提供的量測相對誤差均具有相同的百分率，而不像絕對規格時，其相對誤差百分率會隨其量測範圍而改變。

關鍵字：量測不確定度、比光學密度垂直試驗、煙濃度

一、前言

火災的可怕是眾所皆知，除了造成難以估計的財產損失外，更造成了嚴重的人命傷亡，家庭悲劇，對社會形成相當大的衝擊。

綜觀室內火災，其發生之原因主要是室內可燃的材料受熱引燃燃燒後再擴大延燒。火災對生命財產的威脅(陳俊勳[1995])則來自於燃燒所造成之高溫以及所產生的濃煙與有毒氣體。根據陳俊勳[1995]整理火災事後調查報告統計，火場中遇難者的死因絕大部分(80%以上)是由於濃煙所造成。煙所造成的威脅大體上可分兩類，一為其含有之毒性氣體或煙氣對人體造成直接的傷害，另一則為視覺的遮蔽而導致在火場中方向之迷失，降低逃生機會。

一般而言，所謂的煙指的是由材料燃燒或裂解所產生的蒸汽或氣體，和未完全燃燒的材料、碳粒子及熱空氣等所組成之混合物。因此，火災當中，不管任何材料一但著火燃燒，一定會產生煙，只是會有輕厚稀濃之分，然而由於火災發生於室內，煙排到戶外的通道有限，以至於煙在室內累積、流竄，造成能見度降低及呼吸困難，促使逃生民眾心裡恐慌而影響逃生，當煙累積至某一程度時，如果外界條件改變，使這些未完全燃燒的產物達可燃條件，還可能導致爆炸。

我國在國家標準 CNS 6532 建築物室內裝修材料耐燃性試驗法之表面試驗中，包括有發煙係數量測與規範，但因應國際調合趨勢，表面試驗將由圓錐量熱儀法取代燃燒熱量測、煙濃度部分之量測則計畫以比光學密度試驗法取代。

由前述火災煙濃度之危害性相當大，因此，其量測結果之可靠性將決定建築物室內裝修之安全性，本研究主要評估固體材料燃燒時所產生煙霧之比光學密度試驗之量測不確定度評估展示試驗數據之準確度和其可靠性。

二、內容

2.1 試驗設備

包括氣密性試驗箱、輻射源、燃燒器、比光學密度量測系統及其他控制測試條件輔助設備，

如圖 1 及圖 2。

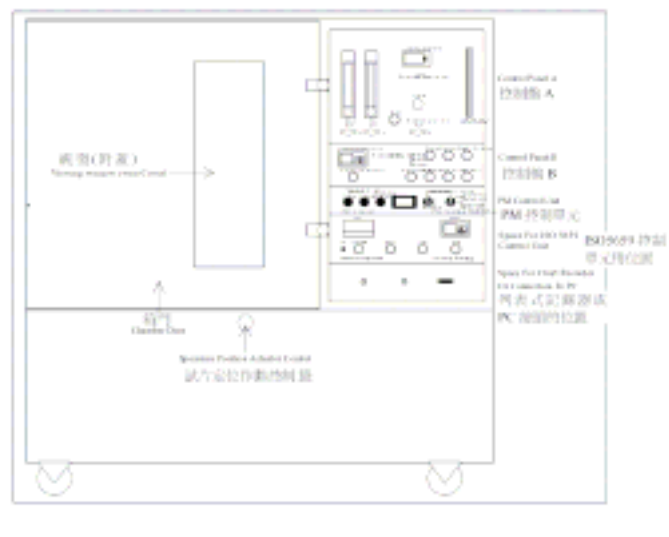


圖 1 試驗箱示意圖(節錄自 CNS 14818(2004)中插圖)



圖 2 煙濃度測試儀

2.2 實驗原理

煙濃度測試箱是採累積式小尺寸測試方法，受測試體在試驗開始至試驗結束所產生之煙是累積在一密閉的試驗箱中，而煙濃度大小的量測則是利用一束平行光束通過所累積的煙，並以 Bouguer's law 為理論基礎，藉著微量量光計及光源放大器來測出光衰減的程度，同時換算出特定光學煙密度值 D_s (Specific optical density)，所謂特定光學煙密度值是將原有之光學密度值乘上一幾何因子， $\frac{V}{AL}$ ，其中 V 代表試驗箱體積， A 代表試體曝露面積， L 代表光所行經之路徑長。

2.3 實驗程序

- (1) 進行煙濃度實驗箱之清潔工作。
 - (2) 裝上垂直測試法之加熱爐。
 - (3) 進行煙濃度實驗箱之氣密性測試。
 - (4) 進行輻射加熱爐之校正。
 - (5) 光度量測試裝置校正。
 - (6) 架設六管燃燒加熱器。
 - (7) 接妥丙烷及壓縮空氣管路，調整進氣壓力丙烷須在0~2 bar之間，壓縮空氣則須在2.06~3.44 bar之間。
 - (8) 調整操控面板上丙烷流量至15cm³/min。
 - (9) 點燃六管火焰燃燒加熱器。
 - (10) 關上門及上下氣閥，大約停留1分鐘後調整丙烷流量至50cm³/min。
 - (11) 將操作面板上之壓縮空氣流量調整至500cm³/min。
 - (12) 打開門上之觀測窗觀察火焰是否為藍色，火焰前端是否剛好在不燃絕緣板之曝火面上，如果不是，則須微調兩者之混合比至火焰前端剛好在不燃絕緣板之曝火面為止（空氣與丙烷之混合比，隨受測試體燃燒，如煙濃度實驗箱壓力增大可能須再調整才可使火焰前端恰好在試體之曝火面上）。
 - (13) 再次進行光度量測試裝置校正，如果透光率不為100%則重新作一次校正。
 - (14) 取出經前置處理之試體並以錫箔紙包裝好裝入試體架以彈簧片、插銷固定好，割除多餘之錫箔紙。
 - (15) 輸入試體之基本資料（測試前重量、厚度等）及測試型式，準備開始測試。
 - (16) 架設試體。
 - (17) 進行測試，測試時間為20分鐘或測試物品所產生之煙已累積至最大煙濃度，並維持穩定值超過5分鐘。
- 量測結果繪製如圖3所示，並得圖4測試資料。

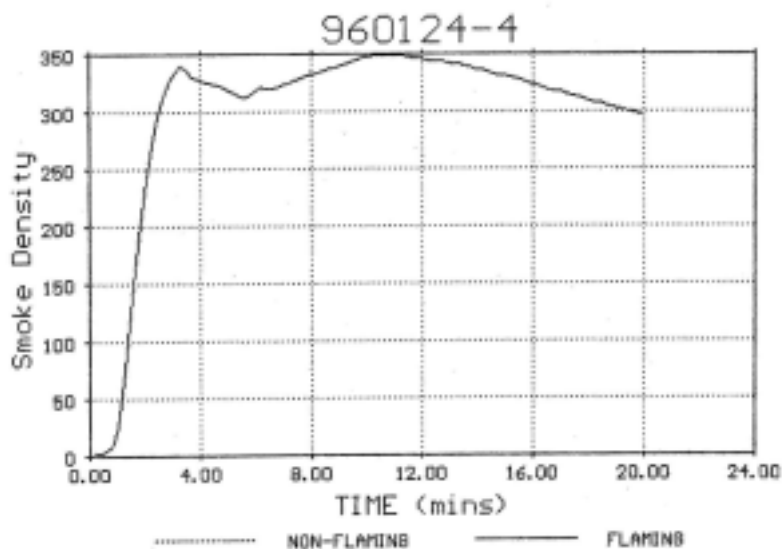


圖3 比光學密度歷時曲線

SMOKE GENERATION IN A NBS SMOKE CHAMBER

Test name: 960124-4 1 Account code: ASTM E662
 Sample code: TEST1 Date: 24 Jan 07
 Ignition mode: Flaming Orientation: Vertical
 Test standard: E662
 Description:
 Manufacturer:

Tabulated data:

Time m:s	Trans. (%)	Ds	Time m:s	Trans. (%)	Ds	Time m:s	Trans. (%)	Ds
0:00	97	2	10:00	0.24	347	20:00	0.57	296
0:30	95	3	10:30	0.23	348			
1:00	73	18	11:00	0.23	349			
1:30	11	129	11:30	0.23	347			
2:00	1.8	229	12:00	0.24	345			
2:30	0.55	298	12:30	0.25	344			
3:00	0.32	330	13:00	0.26	341			
3:30	0.29	335	13:30	0.27	340			
4:00	0.34	327	14:00	0.28	336			
4:30	0.36	323	14:30	0.30	333			
5:00	0.39	318	15:00	0.32	330			
5:30	0.43	313	15:30	0.33	327			
6:00	0.39	318	16:00	0.35	323			
6:30	0.38	319	16:30	0.38	320			
7:00	0.36	323	17:00	0.40	316			
7:30	0.33	328	17:30	0.42	313			
8:00	0.30	332	18:00	0.45	309			
8:30	0.29	335	18:30	0.48	306			
9:00	0.27	339	19:00	0.51	302			
9:30	0.25	343	19:30	0.54	299			

Minimum T = 0.2269% Maximum Ds: 349 at time = 10'41"
 Clear beam reading: 58.6 Dm
 Corrected maximum specific optical density: 290
 Time to reach Ds = 16: 1'12"
 Initial mass: 30.75g Final mass: 20.61g Mass loss: 10.1g
 Percentage mass loss = 33.0%

TEST OBSERVATIONS



圖4 比光學密度歷時資料

2.4 量測結果計算

比光學密度計算公式如下

$$D_s = G [\log_{10} (100/T) + F]$$

$$G = \frac{V}{AL}$$

V: 爐子體積 (m³)

A: 試片暴露面積 (m²)

L: 透過煙霧的光束路徑長度 (m)

F: 濾光片相關常數

T: 光度儀的透光率。

- (1) 在量取T時，可移動濾光片擺在光束路徑中，則F=0，T為實際透光率。
- (2) 在量取T時，若將擴張濾光片自光束路徑中移出延伸濾光鏡片，則F=已知濾光片的光密度，T為視透光率。
- (3) 光學系統若不裝設可移動濾光片，則F=0，T為實際透光率。根據本標準所製造的儀器，

加熱爐及門窗凹陷的容積校正值通常少於1%以下，因此 $G=132$ 。

- (4) 以試驗時所得的最低透光率代入公式中，計算出最大的比光學密度值 D_m 。
- (5) 在終止試驗後的一分鐘內熄滅燃燒器的火燄，並開啟排煙閥。以定位桿推動空白試片，將測試標準試片推離爐前，繼續排煙，維持進氣閥開著，直到最大透光率出現為止。記錄此透光率 T_c ，並以清晰光束稱之。
- (6) 利用清晰光束透光率 T_c 值從公式(1)計算出 D_c 。

$$D_c = G \left[\log_{10} \left(\frac{100}{T_c} \right) + F \right]$$

- (7) 由下式計算 D_m (校正值)

$$D_{m(\text{校正值})} = D_m - D_c$$

2.5 量測不確定度評估(古瓊忠，2006)

2.5.1 建立量測不確定度數學模式

$$D_s = G \left[\log_{10} \left| \frac{100}{T} \right| + F \right] \quad \text{----- (1)}$$

公式中：

加熱爐如照標準規範的要求則其誤差可忽略不計，

$G = 132, F = 0$ ，所以

$$D_s = G \left[\log_{10} \frac{100}{T} \right] \quad \text{----- (2)}$$

2.5.2 求組合標準不確定度

$$[SD_s]^2 = \left[\frac{\partial f}{\partial G} \delta G \right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial T} \delta T \right]^2 \quad \text{----- (3)}$$

忽略 G 之變異，亦即 $\delta G = 0$ ，所以

$$[\delta D_s] = \left[\frac{\partial f}{\partial T} \delta T \right]^2 \quad \text{----- (4)}$$

2.5.3 求敏感係數

$$\frac{\partial f}{\partial T} = G \frac{\partial}{\partial T} \left[\log_{10} \frac{100}{T} \right] = G \frac{\partial}{\partial T} \left[\frac{\ln \left(\frac{100}{T} \right)}{\ln_{10}} \right] \quad \text{----- (5)}$$

$$\frac{\partial f}{\partial T} = G \times \frac{1}{\ln_{10}} \times \frac{1}{\frac{100}{T}} \times \frac{\partial}{\partial T} \left[\frac{100}{T} \right] = - \frac{G}{T \ln_{10}} \quad \text{----- (6)}$$

所以

$$[\delta D_s] = \frac{G}{T \ln_{10}} \delta T = \frac{G}{\ln_{10}} \times \frac{\delta T}{T} \quad \text{----- (7)}$$

$\frac{\delta T}{T}$ ：為量測透光率時之相對不確定度

$$SD_s = \frac{132}{2.3025} \times \frac{\delta T}{T} = 57.33 \times \frac{\delta T}{T} \quad (8)$$

由公式(8)中可看出，量測比光學密度時，量測儀器對透光率有影響之相關參數規格提供誤差來源，而與其他因素無關。

2.5.4 不確定度成份的量化

光學密度分析儀之規格依據林大惠(2003)防火門遮煙試驗基準研究光學系統線性度 $\pm 1\%$ ，穩定度 $\pm 1\%$ ，準確度 $\pm 1\%$ ，均假設矩形分佈，所以相對標準不確定度利用 RSS method 加以組合，因此

$$\left(\frac{\delta T}{T}\right) = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 = 1 (\%) \quad (9)$$

2.5.5 求組合標準不確定度：

$$SD_s = 57.33 \times 0.01 = 0.57 \quad (10)$$

以試驗時最低透光率代入公式(2)中求最大光學比密度 D_m 因為採用與 D_s 相同公式，所以

$$\delta D_m = 0.57 \quad (11)$$

$$D_m (\text{校正值}) = D_m - D_c$$

$$[\delta(D_m (\text{校正值}))]^2 = (\delta D_m)^2 + (\delta D_c)^2 = (0.57)^2 + (0.57)^2 \quad (12)$$

$$\delta D_m (\text{校正值}) = 0.8 \quad (13)$$

2.5.6 擴充不確定度

$$U = 2U_c \quad (14)$$

$\therefore 95\%$ ， $k = 2$ ，擴充不確定度分別為：

$$U(D_s) = 1.14, U(D_m) = 1.14, U(D'_m) = 1.6$$

2.5.7 各試體之平均 D'_m 值之標準不確定度

先計算 6 個試體 D'_m 之標準差，

$$S_{D'_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D'_m_i - \bar{D}'_m)^2}{6-1}} \quad (15)$$

$$S_{(D'_m)} = \frac{S_{D'_m}}{\sqrt{6}} \quad (16)$$

總的標準不確定度： $\delta(D'_m)$

$$[\delta_i(D'_m)]^2 = \left[\frac{S_{D'_m}}{\sqrt{6}}\right]^2 + [\delta D'_m]^2 \quad (17)$$

三、結論

1. 本評估分析中，由於光學密度分析儀之相關規格均是以百分率表示，即在儀具之量測範圍內所提供的量測相對誤差均具有相同的百分率，而不像絕對規格時，其相對誤差百分率會隨其量測範圍而改變。
2. 利用公式 (8) 所計算出的不確定度對 D_m , D_c 都有相同之數值， $\delta(D_m) = \delta(D_c) = 0.57$ 。
3. 僅當求樣品重複性試驗時才會利用公式 (17)，把重複性標準差以 RSS 方法組合起來。

四、參考文獻

1. 古瓊忠，2006，量測不確定度訓練課程講義，內政部建築研究所。
2. 內政部建築研究所防火實驗中心，2006，FLW-034 煙濃度及毒性氣體濃度實驗操作手冊。
3. CNS 6532，2003，建築物室內裝修材料耐燃性試驗法。
4. 陳俊勳，1995，建築材料煙濃度測試基準之開發應用，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告。
5. CNS 14818，2004 固體材料燃燒煙濃度試驗法-比光學密度垂直試驗法。
6. 古瓊忠，2006，固體材料所生煙霧之比光學密度試驗不確定度評估報告，內政部建築研究所防火實驗中心。

