

工程實務

流體動力模型於電弧爐煙塵捕集之應用

馬寧元* 張萬權**

一、前　　言

小型規模之流體動力模型(Fluid Dynamic Model)技術已廣泛的應用於各種不同類別之工業通風系統設計。流體動力模型應用的優點在於能便利地測試不同金屬工業治煉製程污染源特性的能力。對新建治煉工廠的設備，在投資建廠計劃發展時期，可提供設計者有不做現場測試取得設計依據之選擇性，流體動力模型在實驗室之模擬數據可使投資建廠計劃在工程先期階段即可決定最佳之設計參數或進行影響性的評估。此外治煉工廠煙塵捕集效率發生問題時，亦可利用流體動力模型模擬現況，尋求最可行之改善方案。

一般而言，流體動力模型之技術應用性可包括：

- (一)廠房內部流場(Internal Flow Fields)：如電弧爐(Electric Arc Furnace)煉鋼廠之熱污染源，銅／鎳電解提煉槽之浮動污染物，原料傾卸到漏斗或軌道之煙塵溢散。
- (二)廠房外部流場(External Flow Fields)：如冷卻塔及熱煙囪之排放物，煤堆儲存產生的溢散煙塵。
- (三)個別之熱源與污染源。

在金屬治煉工業中，流體動力模型技術已成功的應用於下列領域：

1. 風管系統(Duct System)的流量分布研究。
2. 風管系統之壓損(Pressure Drop)分布研究。
3. 旁抽式風罩(含或不含氣幕)之捕集性能評估。
4. 廠房之通風改善問題。
5. 不同通風狀況對熱污染源煙柱上升型態之影響。
6. 在混合機內(Mixer)，不同密度或表面張力之液體混合效應。
7. 空氣污染物在大氣中擴散型態之預測。

本文將簡介流體動力模型之基本理論與動力模擬，模型設計之研究，實用流體之選擇，模型比例尺之計算，浮動熱源(Buoyant Hot Sources)之模擬，模型之建造，模型之模擬測試，利用光度計及導電度計之風罩捕集效率之量測。此外電弧爐煉鋼廠個

* 金屬工業發展中心污染防治計劃專案工程師。

** 金屬工業發展中心污染防治計劃專案工程師。

案示範工廠之模型研究用以模擬不同風罩形狀，大小，橫風，屋頂風罩抽風量增加，旁抽式風罩抽風量，氣幕 (Air Curtain) 之有無，形成氣幕之氣流角度 (Jet Angle) 及大小對煙塵捕集效率之影響及現場攝影量測技術決定電弧爐煉鋼廠煙柱上升速度，流量率及熱排放量皆在本文中提及。

二、流體模型之動力模擬

廠房空氣之流動狀態乃因空氣經自然或強制性對流或循環所造成，因此蒸汽，廢氣，熱，煙塵與細微粉塵皆可經由空氣介質而輸送或散播。而煙塵在大氣中之擴散狀態會因風向，風速，氣溫斜率，大氣安定度狀態及廠房條件之不同而產生變化。煙塵污染物之擴散與流動狀態係由質量與能量守恒原理所支配，應用擴散微分方程式與對應之邊界條件 (Boundary Conditions) 可使煙塵通風排氣現象公式化。由於空氣通風現象之複雜性，一般仍然採用現場實際量測與模型實驗來解決所遭遇之問題。有些模型可依原型大小進行實驗評估，但大部分狀況則利用縮小模型來模擬實驗，實驗模型可在建廠計劃規劃與發展階段即安裝以資研究。一般而言，實驗模擬探討之成本較整個熔煉現場探討之成本要便宜。

在使用不同比例尺的模型以進行模擬實驗前必須注意到模型與原型兩者間是否充份符合流體力學中相似性 (Similitude) 的關係，換言之，即必須符合幾何相似與動力相似二種必要條件。因此利用模型模擬研究分析以修正實驗結果時，必須應用因次分析 (Dimensional Analysis) 原理，將各種流體力量，如浮力 (Buoyancy Force)，黏滯力 (Viscous Force)，壓力，慣性力 (Inertial Force) 等之間之比例關係轉換成一群無因次參數 (Dimensionless Parameters)，這些無因次參數可被視為一組流體力量之比率，其相對之大小可顯示出一種力量或其它力量重要性之程度。

為製作一符合各項客觀因素之流體動力模型，應先行確定下列二點：

- (一) 原型之幾何形狀，大小與適當之縮小比例。
- (二) 模型中各項動力 (Dynamic Force) 之平衡必須與原型之實況完全相等。

這些動力的種類包括壓力 (ΔP)，慣性力 ($\rho V^2/2$)，黏滯力 ($\frac{\gamma V}{L}$) 及浮力 ($g \Delta \rho L^3$) 等。

其中 P 為壓力

ρ 為密度

V 為速度

γ 為動力黏滯係數

g 為重力加速度

L 為長度

Δ 為變化量

本文所言之流體動力模型有三組無因次參數，經因次分析轉換可得 $E = f(Re, Fr)$

$$\text{其中 } E \text{ 為尤勒數 (Euler No.)} = \frac{\Delta P}{V^2/2} (= \frac{\text{壓力}}{\text{慣性力}})$$

$$Re \text{ 為雷諾數 (Reynolds No.)} = \frac{VL}{\nu} (= \frac{\text{慣性力}}{\text{黏滯力}})$$

$$Fr \text{ 為福祿數 (Froude No.)} = \frac{V^2}{Lg \Delta \rho / \rho} (= \frac{\text{慣性力}}{\text{浮力}})$$

在本個案研究實驗中，其控制因子主要為雷諾數與福祿數，為達到模型與原型間動力相似性的要求，下列關係式必須成立：

$$(Re)_p = (Re)_m, (Fr)_p = (Fr)_m$$

其中 p 為原型，m 為模型

由於原型流量其 Reynolds 數目通常在 100,000 上下而使流場充滿了紊流，因此 Reynolds 數目不適宜做臨界比例尺參數。一般只要設法使模型中介質之流動保持在紊流狀態即可符合雷諾數相似之條件，因此建造一足夠大的空氣模型以保證完全性的紊流是很重要的。若模型體積加大，最好使用水為測試介質，而勿使用空氣為測試介質，水的動力黏滯係數較空氣為小，利用流體動力模型易造成較大的 Reynolds 數，因此流體動力模型之規格可較小型化。

至於福祿數，則必須達到下列要求：

$$\begin{aligned} \frac{V^2}{L \left(\frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} \right)_m} &= \frac{V^2}{L \left(\frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} \right)_p} \\ \frac{V_m^2 L_m^4 L_p^4 \rho_{om}}{L_m (\rho_{om} - \rho_m)} &= \frac{V_p^2 L_m^4 L_p^4 \rho_{op}}{L_p (\rho_{op} - \rho_p)} \\ \frac{Q_p^2}{Q_m^2} &= \frac{L_p^5}{L_m^5} \frac{\rho_{om} (\rho_{op} - \rho_p)}{\rho_{op} (\rho_{om} - \rho_m)} = S^5 \frac{T_m (T_p - T_{op})}{T_p (T_m - T_{om})} \end{aligned}$$

由於 $q = Q \rho C_p (T - T_o)$ 及 $\frac{q_p}{q_m} = \frac{T_m}{T_p}$ 之關係

$$\frac{Q_p^3}{Q_m^3} = S^5 \frac{q_p}{q_m}$$

其中 O 指外界周圍狀況

比熱值假設為常數

S 為模型比例尺

Q 為體積流量

T 為廢氣溫度

ρ 為空氣介質密度

q 為熱釋放量

原型風罩排氣抽引量為

$$Q_{p1} = Q_{m1} S^{\frac{5}{3}} \left(\frac{q_p}{q_m} \right)^{\frac{1}{3}} = Q_m S^{\frac{5}{2}} \left(\frac{(T_p - T_{op})}{(T_m - T_{om})} \frac{T_m}{T_p} \right)^{\frac{1}{2}}$$

因此在模型流量可放大到原型流量之前必須知道原型之釋放熱與廢氣溫度。由於這兩項參數在方程式中僅為 $\frac{1}{3}$ 次方，因此變數值之精確性並非絕對的。

而熱通量比率 $\frac{q_p}{q_m}$ 可用浮通量比率 $\frac{F_p}{F_m}$ 取代， $F (ft^4/min^3)$ 為浮通量常數，與煙塵上升

有關。

$$F = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g Q_B$$

在應用流體動力模型解決通風問題時，應用的模型類別與所需解決的通風問題有關。模型類別基本上可分為二大類，第一類型與整體或容積流量有關，第二類型與應力點 (Stress Point) 性質有關，大部分通風模型屬於第一類。第一類模型所得到的有效數據在時間與成本考慮上相當合理。

物理模型技術有許多潛在之應用性，廠房污染物之輸送對新設備之設計與現有廠房之修正相當重要，因此複雜導管與風罩最佳性能設計之應用性應加以建立，以輔助風罩與導管配置之選擇，流量率之平衡與整體比例尺動力消耗之極小化。

在模型設計規劃階段，模型成本多寡可決定技術之使用性，流體動力模型技術之彈性應用將視需求而定，模型使用之流體因而有廣泛之差異，流體系統一般可包括：

- 空氣
- 空氣與熱空氣
- 水與食鹽水
- 水與四氯化碳
- 四氯化碳與水銀

因此模型比例尺應仔細加以選擇以符合實際量測之需求。

三、決定煙柱流量率之現場量測技術

對舊有工廠而言，煙柱排放物經常可由現場量測與觀察來制定其特性，實際數據可用於協助模型之研究與核正，而一般測定現場煙塵排放量有三種方法可資應用：

(一) 風扇型風速計法 (Propeller Anemometer)

利用風扇型風速計法可決定煙柱速度之分佈與平均速度，其應用方法是在污染源上方屋樑高度處安排 6 ~ 8 個風速計，即可記錄出煙柱流量與時間變化之函數。圖 1 為電弧爐出鋼期所量測之煙柱流量與時間之函數圖。

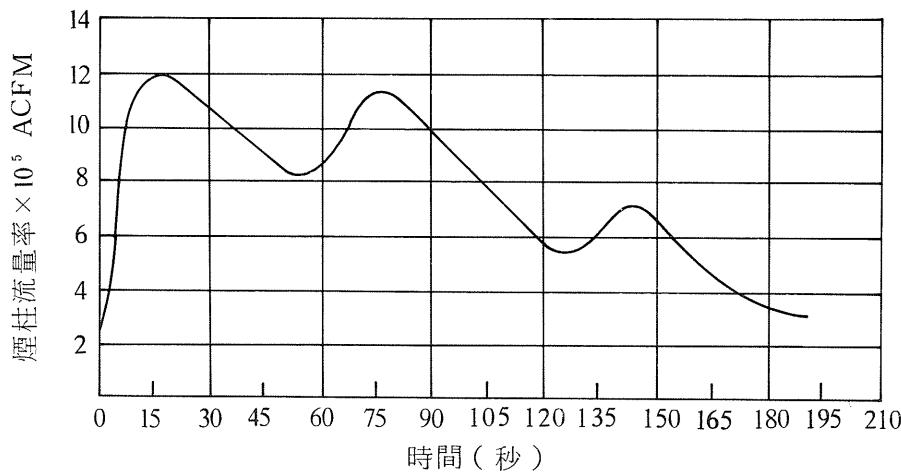


圖 1 電弧爐出鋼期不同時間之煙柱流量

(二)馬錶法 (Stop Watch)

利用馬錶量測上升煙柱通過 2 個已知高度間所需之時間，但必須注意的是這種量測應在煙柱有明顯浮動優勢的地區實施。圖 2 為使用馬錶法測得出鋼期煙柱在不同高度之平均煙柱速度及流量率。

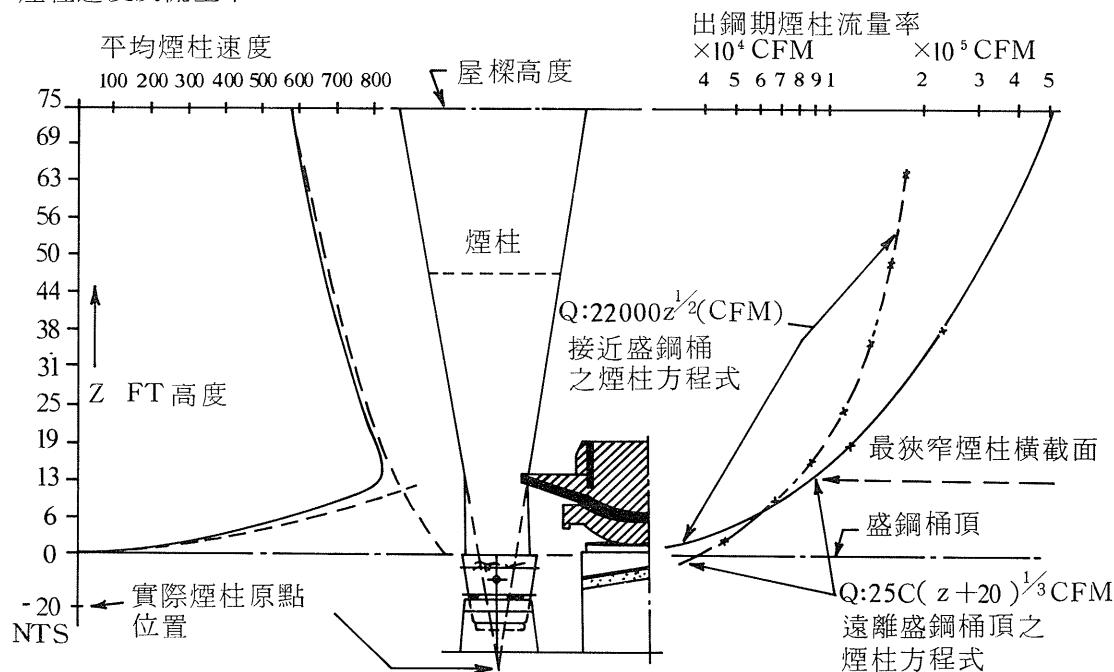


圖 2 出鋼期平均煙柱流速及流量

(三)攝影法 (Photography)

這是三種技術中最佳之方法，其原理乃使用連拍功能之照相機或攝錄放影機於現場拍攝，拍完後利用影像來估算煙柱上升速度與流量。圖 3 為利用影像計算之說明。

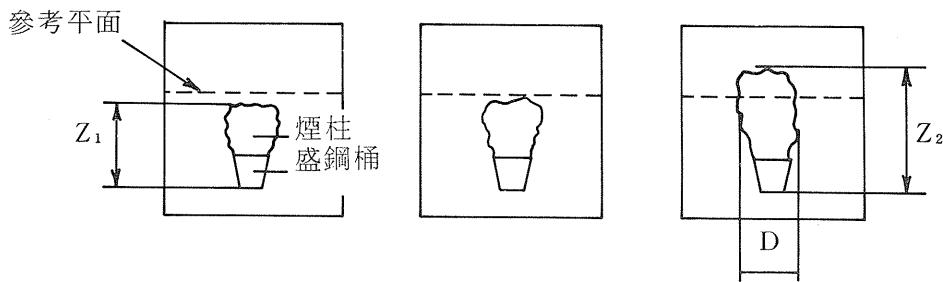


圖 3 利用影像內煙柱變化情形計算流量之說明

利用攝影法估算煙柱之流量時，有些誤差之形成應受進一步之核正或考慮：

1. 攝影機角度對垂直及水平比例尺之影響。
2. 煙柱直徑與渦流之選擇，深受個人判斷與主觀之影響。
3. 由於照相記錄是隨機的，因此計算結果未必能確實代表煙柱上升之平均速率與流量，所以須注意結果之複製性。
4. 由於紊流開始後渦流才會形成，因此在某些狀況下，某些高度之煙柱流量須使用外插法才能獲得。

根據經驗，利用攝影法求得之煙柱流量之誤差應在±20%之內。

四、模型比例尺之計算

模型比例尺之選擇應考慮下列因素：

- (一) 原型欲模型化的程度。
- (二) 流體紊流之 Reynolds 數。
- (三) 若橫風影響在模型範圍內，須知風洞與水槽之大小。
- (四) 測試排氣風扇馬達之能量（空氣模型）與測試泵浦／流量計容量（流體動力模型）。

為維持流場之紊流，空氣風罩捕集裝置模型化的比例尺典型為 1:10，若旁側捕集出鋼風罩（Side Draft Tapping Hood）也要模型化，模型體積比例尺將合理的維持 1:10。若屋頂風罩（Canopy Hood）也在模型範圍內，則 1:10 比例尺將會形成很大的模型，在此狀況下，以水為測試介質之模型建造則顯得較為實際，因為典型 1:100 左右之比例尺，將很適當的維持流場之紊流。

一旦最基本的模型比例尺選定後，速度與流量比例尺可加以計算以決定模型之風車容量（空氣模型）或模型泵浦／流量計容量（流體動力模型），模型比例尺也可加以調節，使得模型流量在現有模型測試設備之容量範圍之內。

下列為模型各參數比例尺之計算法：

1. 幾何比例尺：

面積比例尺 $A_s = L_s^2$

體積比例尺 $V_s = L_s^3$

2. 流量比例尺：

流量比例尺可加以選擇以符合模型現有測試標準以保證流場之紊流。Reynolds數可利用下式計算：

$$R_e = \frac{VL}{\nu}$$

其中 V 為典型之開口速度

L 為模型開口大小尺寸

ν 為動力黏滯係數

開口處之最小臨界雷諾數應保持在 1500 左右。

流量比例尺可由 $Q_s = V_s A_s = V_s L_s^2$ 決定

若模型時間比例尺選擇為 1，則

$$Q_s = V_s L_s^2 = L_s^3 = V_{L_s}$$

3. 浮通量比例尺

$$Q_p = Q_m S^{5/3} \left(\frac{F_p}{F_m} \right)^{1/3}$$

$$\text{由於 } Q_s = \frac{Q_p}{Q_m} \quad F_s = \frac{F_p}{F_m} \quad S = L_s$$

$$\text{因此 } Q_s = L_s^{5/3} F_s^{1/3}$$

$$\text{且 } F_s = \left(\frac{Q_s}{L_s^{5/3}} \right)^3$$

4. 速度比例尺

$$Q_s = V_s A_s = V_s L_s^2$$

$$\text{由於 } Q_s = L_s^{5/3} F_s^{1/3}$$

$$\text{因此 } V_s L_s^2 = L_s^{5/3} F_s^{1/3}$$

$$V_s = \left(\frac{F_s}{L_s} \right)^{1/3}$$

5. 時間比例尺

$$\text{時間比例尺可自 } T_s = \frac{L_s}{V_s} \text{ 計算出}$$

若時間比例尺大於 1，則煙柱在模型中上升之速度較在原型中為快，在空氣模型中，時間比例尺通常皆大於 1，常會破壞流量之視覺性。

6. 動量比例尺

$$M_s = Q_s V_s \rho_s = V_s^2 L_s^2 \rho_s$$

五、模型之建造

模型研究成功之基礎在於模型之建造，物理模型細部設計與藍圖之準備須考慮下列因素：

- (一) 模型建造所用之材料。
- (二) 模型之測試步驟。
- (三) 模型修正應變之能力。
- (四) 模型攝影之成效。

模型建造材料應視模型之測試介質（如水或空氣）而有所不同，材質可能為木材，金屬片與塑膠。對空氣模型而言，模型建材可使用木材或金屬片，流體動力模型主要建材可使用壓克力（Acrylic）塑膠，為顯明攝影效果，模型部分亦可提供較佳的視覺效果。

模型之設計與建造應堅固使其在測試時可接受外力與處理上的不便，不同的測試結構應可預期使得模型設計可允許做迅速的改變。旋轉式移動零件亦可加入使得模型可做無限制方位之調節，為使模型順利操作與流量順利量測，有些附屬設備是必須的。假如利用空氣做為測試介質，可利用標準皮托管及熱線式計速器在排氣管路區域量測排氣流量，空氣溫度可利用水銀溫度計式熱電偶計量測。浮子流量計可量測流體動力模型用水供應與排放流量。具彈性且透明之塑膠管可用以連接流體動力模型之浮力流量計與水泵浦。

六、電弧爐煉鋼廠之個案模型研究

模型個案研究所選定之電弧爐煉鋼廠位於台灣北部桃園附近，其產能約 30 tons/br，一次煙塵排放物直接由爐體經由第四孔煙塵控制系統抽引，而爐體進料期與出鋼期之二次排放物則利用屋頂風罩捕集後經排放到 160,000 ACFM 之濾袋系統加以捕集。電弧爐煉鋼廠集塵系統流程圖如圖 4 所示。

此套集塵系統自安裝完成至今，煙塵捕集效果一直不佳，經實地勘察，其抽風量設計與風罩設計均有缺陷，目前廠方已開始著手進行集塵系統之改善工程。其中有關屋頂風罩之改善檢討可應用流體動力模型之模擬提出系統設計之參數而達到煙塵捕集效率之提昇。因此原型風罩之大小、形狀、煙塵流量、熱排放量、浮通量、煙塵流速、方向、流量形態、平均速度、污染物濃度，現有工廠廠房配置，廠房各開口之氣流進出變化概況，廠房內部空氣流動分布狀態等資料皆須取得用以探討爐體進料期與出鋼期煙塵排放物捕集之特性，且作為模型系統設計，模型結構設計，模型建造與測試計劃與程序之參考。

第二階段即針對所獲取之各項原始資料，設計且修正模型，以達到模型與現場狀況二者間幾何與動力間的完全相似性。最後即依序進行各種不同類型風罩設計之評估工作。

經現場觀察後的電弧爐煉鋼廠顯示，現有煉鋼廠之屋頂風罩設計略有缺陷，進料期與出

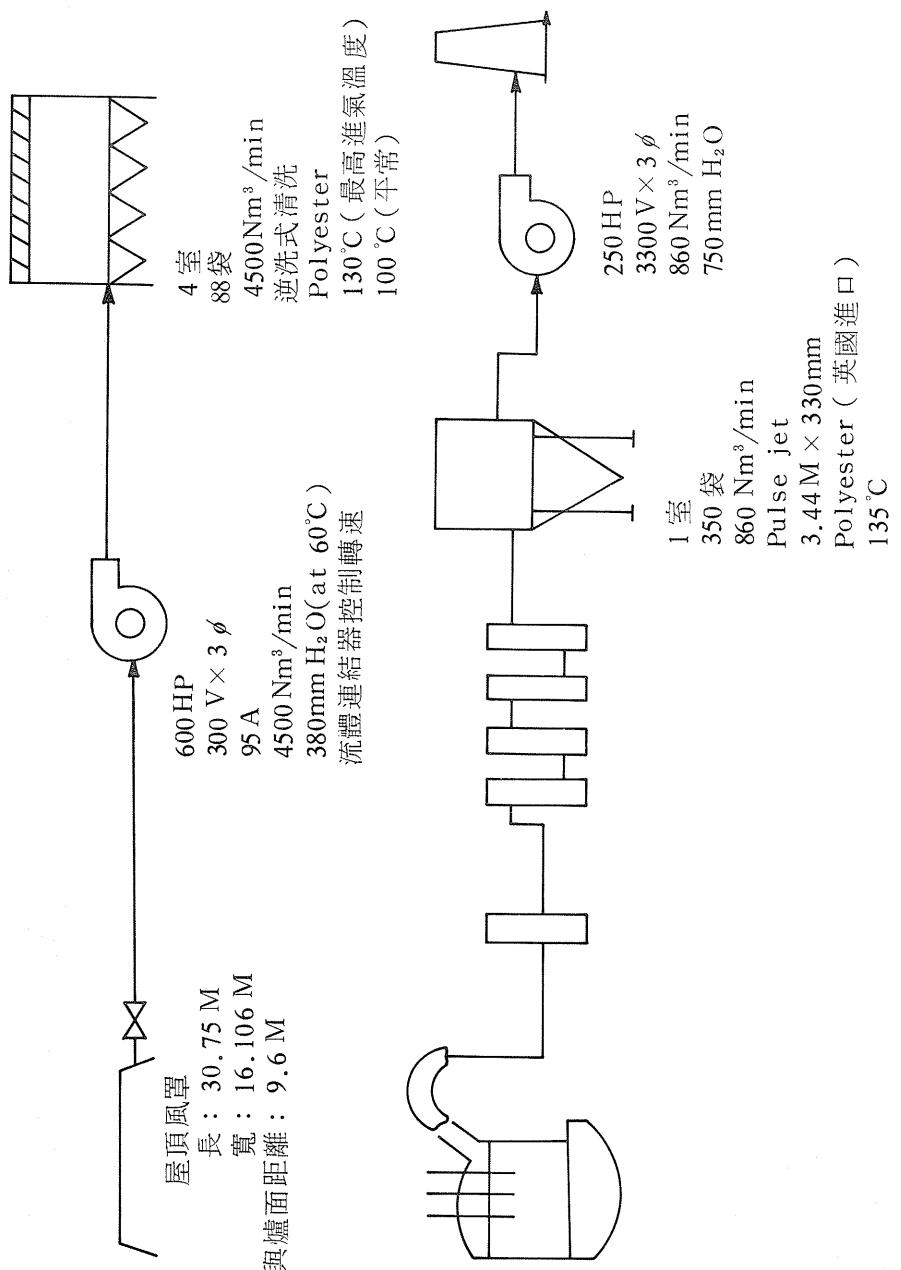


圖 4 電弧爐煉鋼示範工廠集塵系統流程圖

鋼期煙塵會自廠房通風屋頂監測器逸散到工廠內。

流體動力模型個案研究之整體目的乃在研擬與測試屋頂風罩之設計以捕集進料期煙塵排放物，出鋼期排放物捕集之測試為其第二目標。進料期研究範圍包括：

- (一)屋頂風罩形狀，大小對煙塵捕集效率之影響。
- (二)橫風對屋頂風罩捕集效率之影響。
- (三)屋頂風罩抽風量增加對煙塵捕集效率之影響。

而出鋼期的研究範圍包括：

- 1.屋頂風罩形狀、大小對煙塵捕集效率之影響。
- 2.橫風對屋頂風罩捕集效率之影響。
- 3.屋頂風罩抽風量增加對煙塵捕集效率之影響。
- 4.旁抽式風罩抽風量大小對捕集效率之影響。
- 5.氣幕之有無，形成氣幕之氣流角度與噴射流量對捕集效率之影響。

電弧爐煉鋼製程的爐體進料為一種高度不穩定狀態之過程，其持續時間自5秒到15秒，因此可被認為是一種間歇性排放源，主要煙塵實際自爐頂上升到屋樑高度需要3秒，同時釋放熱亦有很大變化。熱煙塵經常被捲入進料桶或穿越天車，當廢料投入爐體時，煙柱顛峰期流量為爐體開放時流量之2～4倍，顛峰期煙柱流動會持續數秒鐘。

出鋼期鋼液可自爐體澆鑄到盛鋼桶，典型的出鋼期操作持續約4～5分鐘，以風罩設計觀點而言，出鋼期煙柱排放物可被稱之為連續式熱源排放。

個案研究電弧爐煉鋼廠之倒置模型乃利用食鹽溶液之負浮力效應以複製空氣中熱煙柱之正浮力效應。綠色染料食鹽溶液可用以模擬爐頂擺動開啓造成上升之煙塵熱通量，棕色染料食鹽溶液代表進料期突然激增之污染煙塵，在整個測試過程中，綠色溶液連續供應以代表整個製程中連續熱通量之存在，直到爐頂擺回到密閉位置時停止。圖5為模擬模型之圖樣。

模型結構主要部分包括：

爐體

進料桶（內部分散盤）

天車起重機（可移動以調節進料與出鋼位置）

操作地面層

爐體坑道

盛鋼桶

外牆

變壓站

外牆空氣進氣孔

第四孔系統燃燒室

測試不同屋頂風罩之可交換屋頂

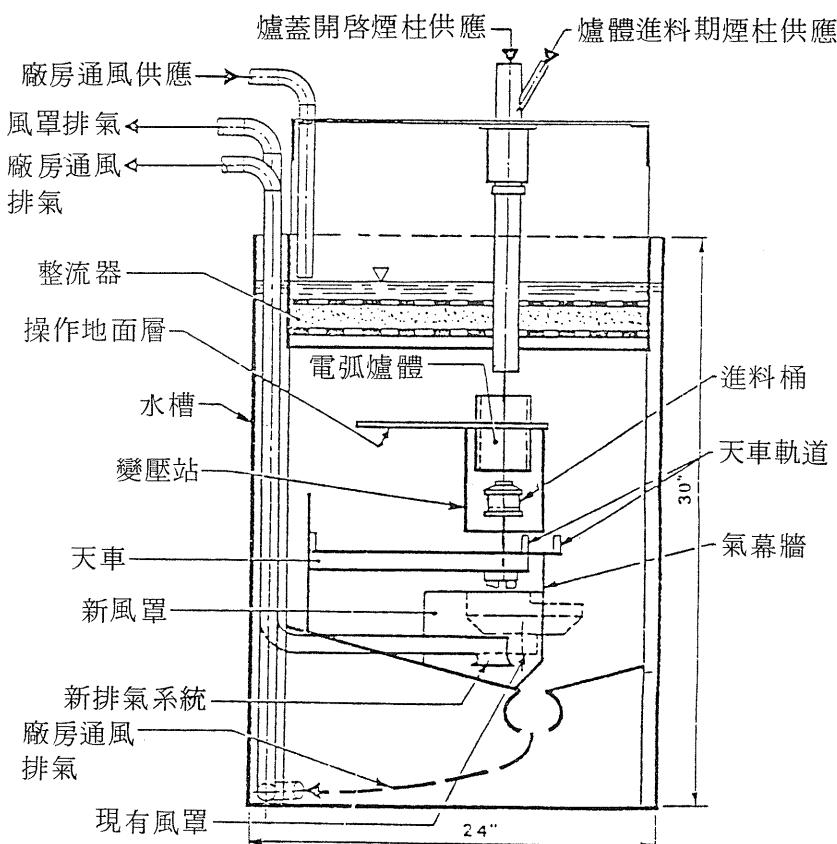


圖 5 電弧爐模型主體側視圖

屋頂風罩排氣風管

屋頂重力通風監測器

橫風供應之充氣室（端門）

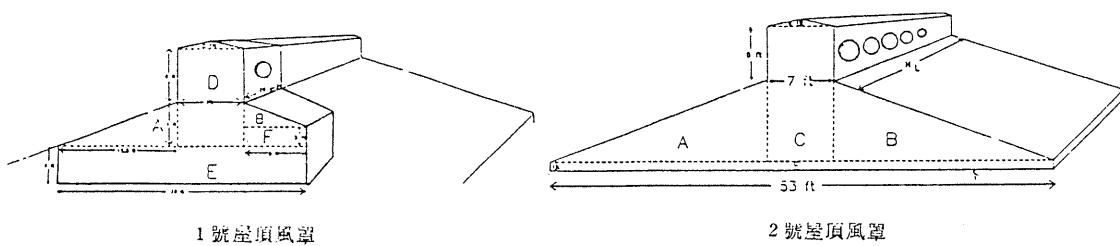
有部分凸緣（Flange）之旁抽式捕集風罩

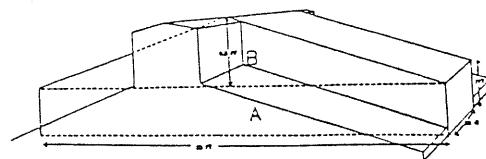
補給水之分配平板

不同類別之供應 / 排氣導管與軟管

位於旁抽式捕集出鋼風罩之旋轉氣幕

經測試之三種實驗型屋頂風罩設計圖如圖 6





3號屋頂風罩

圖 6 三種實驗型屋頂風罩設計圖

七、模型流量計算結果

實驗室模型比例尺之選擇須考慮模型之大小，泵浦容量與視覺效果。整體模型大小設計之圖樣是以全程比例尺 ($\frac{3''}{16} = 1.0$) 為基準，這種模型比例尺可使整個電弧爐煉鋼廠在體積為 $20'' \times 30'' \times 36''$ 之玻璃水槽內模擬實驗與測試。

個案研究示範電弧爐煉鋼廠經計算之原型與模型參數比例如下表：

參數	原型與模型之比例
長度	64 : 1
面積	4,296 : 1
體積	262,144 : 1
流量	262,144 : 1
時間	1 : 1
速度	64 : 1
動量	20,166 : 1
密度	0.001202 : 1
浮通量	$16.78 \times 10^6 : 1$

模型比例尺計算摘要可協助流量比例尺之計算，而流量數據可協助選擇流量計表與泵浦設備。

八、屋頂風罩之測試

在煙塵捕集效率實際測試前，模型必須先經運轉與校正，下列狀況必須先行檢查：

- (一) 模型與煙柱之流量必須有紊流之出現。
 - (二) 廠房通風排氣將在模擬範圍之內。
 - (三) 爐蓋開啓時，煙柱與激增之煙柱流量率應在正確的範圍之內，且須與現廠狀況類似。
- 初期測試時，染料追蹤劑可經由視覺效果來測試流場之紊流有漩渦且呈波紋連漪狀，染料追蹤劑亦可用於檢驗廠房通風流量之路徑。爐蓋開啓時之煙柱大小可由計算現有屋頂風罩煙柱排氣流量率而驗證。若風罩面僅有極小量之溢流現象發生，則可顯示煙柱係經由適當正確之模擬。天車起重機可被視為障礙物，其數量可經由煙柱方程式來計算。

激增之煙柱可經由針筒注射棕色染料溶液而形成，其注射率與注射體積 (30 cc./2 Sec) 可調節直到煙柱與現場觀察結果類似，模型進料桶可造成進料桶四周煙柱之轉向，恰與煉鋼廠利用廢料桶類似。

爐蓋開啓時之煙柱可利用瑩元素鈉形成淡綠色溶液模擬，而進料期激增之煙柱可利用高錳酸鉀 (紫紅色) 或瑩光素鈉 (綠色) 混合產生之棕色溶液模擬。為使連續熱通量在整個測試過程中維持，綠色溶液宜連續供應直到爐體屋頂擺動到密閉位置。

在進料煙柱捕集循環期，風罩排放溶液可加以收集，排放液收集之總體積可記錄下，收集之混合液可決定已知頻率光源通過標準數量溶液其被吸收或透光之百分比。10 % 之捕集效率可注射總激增煙柱棕色食鹽溶液體積到同樣排放體積之清水中，75 %，50 %，25 % 之捕集效率可加入 $\frac{3}{4}$ ， $\frac{1}{2}$ ， $\frac{1}{4}$ 量約激增煙柱食鹽溶液體積到同樣體積之清水中，上述四點數據可繪出捕集效率與光度計透光度之校正曲線，如圖 7 所示，而風罩之捕集效率可利用這種標準校正曲線來量測，為避免測試狀況之改變，每次測試時，皆應做標準曲線之校正。

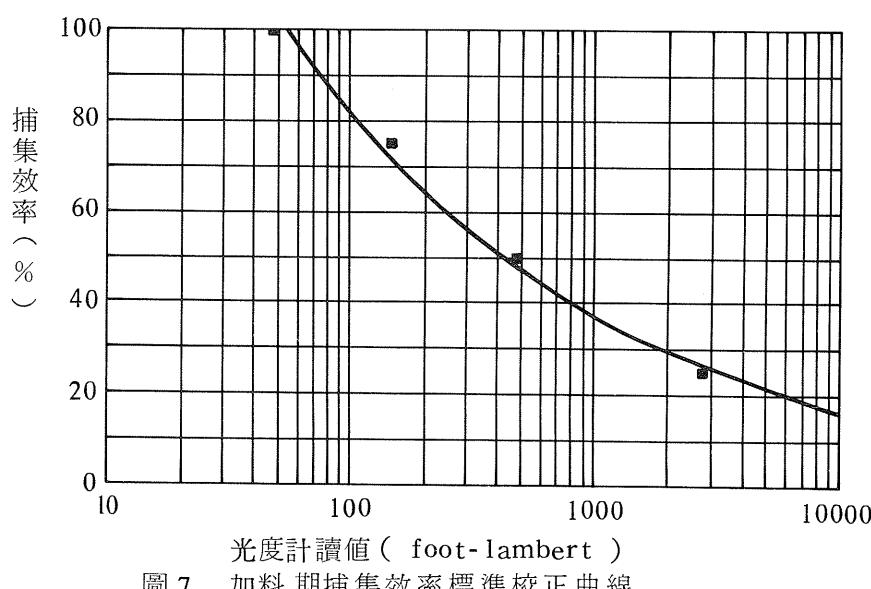


圖 7 加料期捕集效率標準校正曲線

出鋼期風罩測試之運轉與校正與進料期測試步驟類似，出鋼期煙塵捕集效率可利用導電度計所做的食鹽溶液濃度校正曲線 (如圖 8) 來量測。

集塵風罩之捕集效率 η 乃熱源污染物產生物與被捕集之污染物流量 (P_1) 之比值， η 同時亦可利用污染物擴散與釋放熱之對等性比值來計算。

$$\eta = \frac{P_1}{P} = \frac{F_1}{F} = \frac{q_1}{q}$$

其中 1 指風罩之排氣管處

$$F \text{ 為浮通量} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g Q_B$$

q 為熱排放量

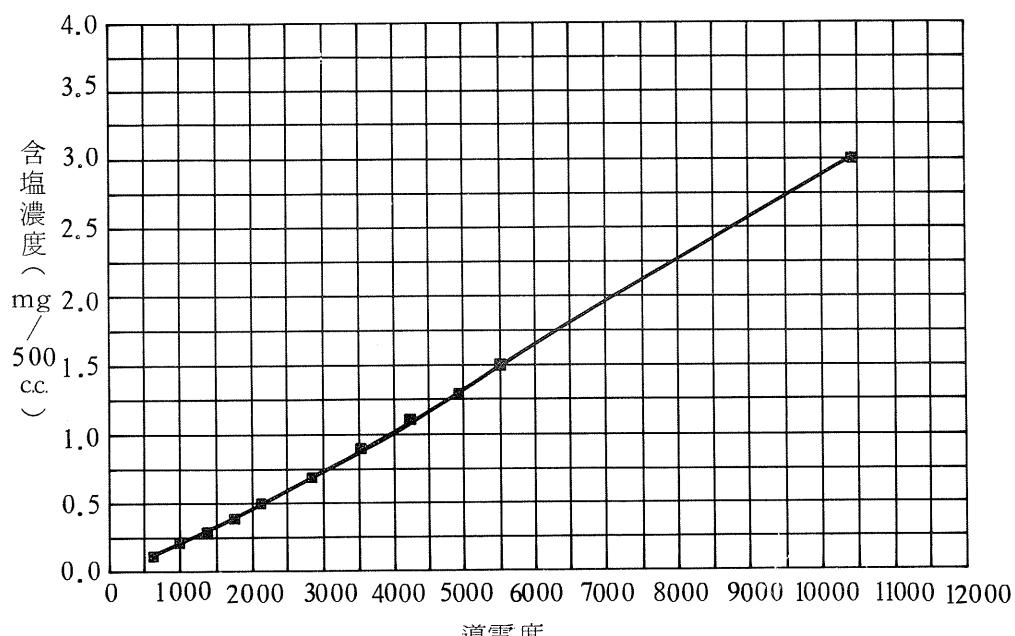


圖 8 出鋼期捕集效率標準校正曲線

不論煙柱如何稀釋，煙柱中污染物之總流量值總是固定的，浮通量下由於熱排放量是固定的，它也是一常數值。

九、各類型風罩捕集效率測試結果

(一) 加料期屋頂風罩

加料期屋頂風罩捕集效率測試結果

風 罩 類 別	風 罩 捕 集 效 率 (%)					
	125,000 ACFM*		160,000 ACFM**		320,000 ACFM	
	抽風量 橫 風	5.5 Km/hr	0.5 Km/hr	5.5 Km/hr	0.5 Km/hr	5.5 Km/hr
1 號屋頂風罩	66	67	68	77	75	85
2 號屋頂風罩	61	95	66	96	86	97
3 號屋頂風罩	80	98	90	98	91	99

* 為實際量測之系統抽風量

** 為原設計之系統抽風量

(二)出鋼期屋頂風罩

出鋼期屋頂風罩捕集效率測試結果

風 罩 捕 集 效 率 (%)						
風 罩 類 別	抽風量 125,000 ACFM		160,000 ACFM		320,000 ACFM	
	橫 風 別	5.5 Km/hr	0.5 Km/hr	5.5 Km/hr	0.5 Km/hr	5.5 Km/hr
2號屋頂風罩		45	62	50	76	87
3號屋頂風罩		56	65	63	91	93
						100
						100

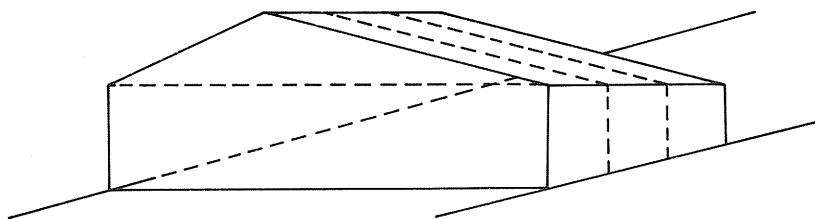
(三)出鋼期旁抽式風罩

出鋼期旁抽式風罩捕集效率測試結果

風 罩 捕 集 效 率 (%)				
氣 幕 大 小		抽 風 量	160,000 ACFM	320,000 ACFM
無 氣 幕				
有 氣 幕				
氣流角度		氣流量 ACFM		
$Q = 0^\circ$		66280	55	96
$Q = 10^\circ$		66280	40	86
$Q = 20^\circ$		66280	38	84

於完成上述各類模型測試分析後而得到之結果，經過研判可得到下列幾點結論及建議：

- 由於電弧爐煉鋼示範工廠位於台灣北部，受季風影響極大，且廠房開口甚多，因此除非減少開口，否則電弧爐在加料期及出鋼期產生之煙柱受到橫風強烈之影響將無可避免，結果造成煙塵四處逸散，即使設計良好之風罩也無法完全捕集，使得煙塵逐漸冷卻飄落廠房內部，嚴重污染工作環境。有鑑於此，首先建議該廠儘量設法減少開口，以降低橫風之影響。
- 如以現有製程及環境條件做基準，如欲同時控制加料期與出鋼期煙塵，建議略將3號屋頂風罩改設計成下圖：



改良之3號屋頂風罩

將風罩朝出鋼口上方略為延伸過去，並將整個風罩分成3個間隔及3個抽風口。在加料期時使用右邊及中間間隔來捕集煙塵，而在出鋼期使用左邊及中間間隔，此外在3根風管安裝擋板以控制流量及間隔之使用。風罩抽風量仍可維持原設計之(60,000 ACFM 14,500 Nm³/min)，無須擴增。

3.廠方如能減少廠房開口面積，則現有2號屋頂風罩及160,000 ACFM之抽風量，已足可捕集加料期煙塵，但因風罩深度較淺，較易迴流煙塵而污染爐體四周地面工作空間。至於出鋼期煙塵則無法有效控制，必須增加抽風量或改變風罩形態方可。

4.利用旁抽式風罩捕集出鋼期煙塵，在本次研究中顯示，如在原設計抽風量160,000 ACFM，無論有無氣幕協助，其捕集效率僅能達到42～55%。

如果以增加抽風量來提高捕集效率易造成噪音及維修等不易克服之間題，因此不建議該廠使用旁抽式風罩來解決出鋼期煙塵污染問題。

結論

流體動力模型之模擬，不但可預測風罩捕集系統之能力，使風罩捕集系統之設計達到圓滿程度，且使金屬治煉工廠空氣污染控制系統設計之投資成本與能源消耗降低到最低限度。尤其對電弧爐煉鋼廠進料期與出鋼期煙塵二次捕集之控制可收到立竿見影之效。如何達到煙塵高捕集效率，最低廢氣抽引量及最低製程干擾皆可利用流體動力模型模擬提供之設計數據而達成。

參考資料：

1. Bender, M., (1979) Fume Hoods, Open Canopy Type-Their Ability to Capture Pollutants in Various Environments. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. February.
2. Cesta, T. (1985). Optimization of Hood Capture Design Reduces Energy Consumption and Capital Cost. International Specialty Conference on Minimizing Energy Cost in Air Pollution Control Systems. Pittsburgh.
3. Ellenbecker, M. J., Gembel R.F., and W. A. Burgess (1983) Capture Efficiency

- of Local Exhaust Ventilation Systems. Ann. Occup. Hyg. 20 : 141-146.
- 4. Hemeon, W.C.L. (1963) Plant and Process Ventilation, 2nd, ed. Industrial Press, Inc. New York, New York.
 - 5. Goodfellow, H.D. (1985) Advanced Design of Ventilation Systems For Contaminant Control. Elsevier-Amsterdam. Chemical Engineering Monograph 23.
 - 6. Goodfellow, H.D. (1980), Design Consideration For Fume Hoods For Process Plants American Industrial Hygiene Association Journal, 417 (80)