

廠內改善

圍封型風罩應用於浮動熱污染源煙塵捕集之技術

馬寧元*

摘要

本文敘述圍封型風罩在工業界之應用性，其應用控制煙塵排放物之製程爐體類別，捕集爐體逸散煙塵之特性與優劣點，圍封型風罩成功設計之三基本原則，圍封型風罩排氣量估算遵循之程序及風罩安裝後影響爐體操作與製程控制之要素。

整體而言，圍封型風罩之煙塵捕集效率甚佳，在工業界應用性頗廣。對危害性高的污染煙塵，圍封型風罩為最佳之選擇，它可捕集金屬冶煉進料期，出鋼期及除渣期各階段產生之煙塵，不易受橫風與亂流影響而降低風罩捕集效率，對噪音控制及操作人員之安全維護亦頗有助益。

圍封型風罩(enclosures)可應用於整個工業界以捕集浮動性熱污染源所排放之煙塵(emissions from buoyant sources)，本文將探討應用於金屬冶煉製程煙塵捕集之大型圍封型風罩。許多浮動性熱污染源風罩發展出的設計方法與方程式皆可應用於大型圍封型風罩之設計。利用圍封型風罩控制煙塵之製程與爐體可包括：篩濾操作(screening operation)、倉儲填料操作(bin filling operation)、蛤殼型傾卸操作(clamshell unloading operation)、輻射套箱(radioactive glove box)、電弧爐(EAF)、頂部與底部吹氧煉銅轉爐(top and bottom oxygen steel conversion furnace)與非鐵金屬冶煉轉爐(non-ferrous converters)等。

一、圍封型風罩捕集爐體煙塵之優缺點及應用例

1.1 優缺點比較

1. 利用圍封型風罩捕集爐體煙塵排放物有下列優點：

- (1) 排放物可全部捕集，圍封型風罩可包容全部污染物，不易受廠內橫風(in-plant drafts)所影響。

*金屬工業發展中心污染防治計畫專案工程師兼主持人

(2)圍封型風罩外的工作環境可大大改善，爐體產生的大量熱煙塵與粉塵可包容於圍封型風罩內。

(3)對小型與低產能爐體，圍封型風罩可用於捕集一次或二次煙塵之控制，因此可減少其它硬體之需求。

(4)電弧爐煉鋼廠圍封型風罩具有提供噪音污染防治之功效。

2. 利用圍封型風罩之缺點包括：

(1)干擾正常操作與爐體維修之潛在性很高，而主要設計的努力正需要克服這些缺點，爐體操作所有細節均須加以考慮，例如爐體與天車操作員視線，天車支撐盛鋼桶與進料桶之接近性，爐體移動與維修之便利等皆須經由圍封型風罩之設計而調整，這對新設立與安裝之設備較易達成。

(2)對於既有設備要加裝圍封型風罩，其困難度較高，爐體操作與煙塵捕集性能關係可能須加以協調。

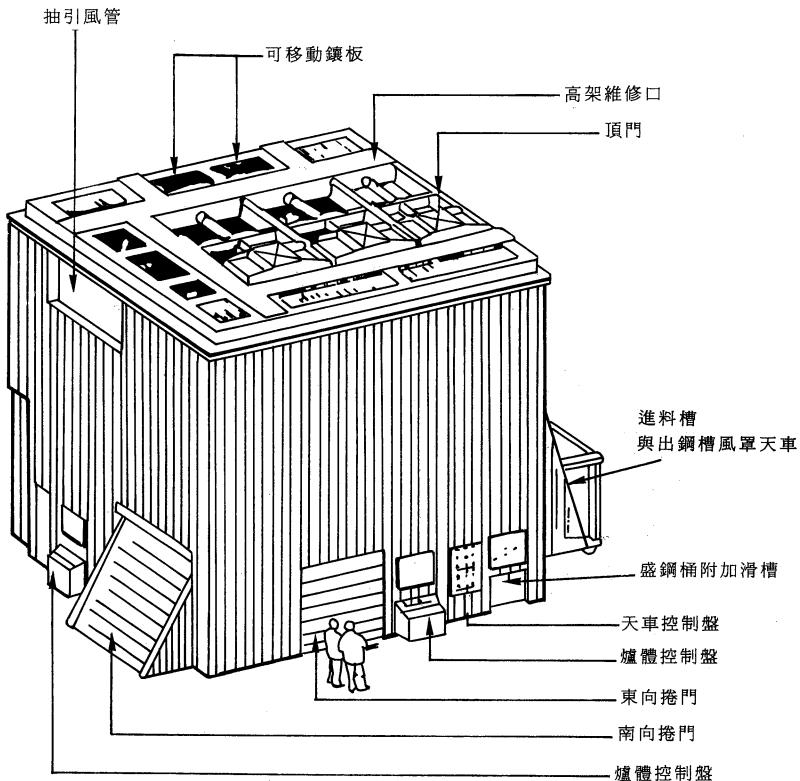
1.2 圍封型風罩之應用例

圖1為電弧爐煉鋼廠及吹氧煉鋼轉爐圍封型風罩之圖例。同樣爐體之許多類別圍封型風罩顯示，圍封型風罩之設計與製程及工廠特性有關，各類型風罩之安裝雖有所不同，然皆須遵循適當之設計方法。表1為一些電弧爐煉鋼廠圍封型風罩之安裝數據。

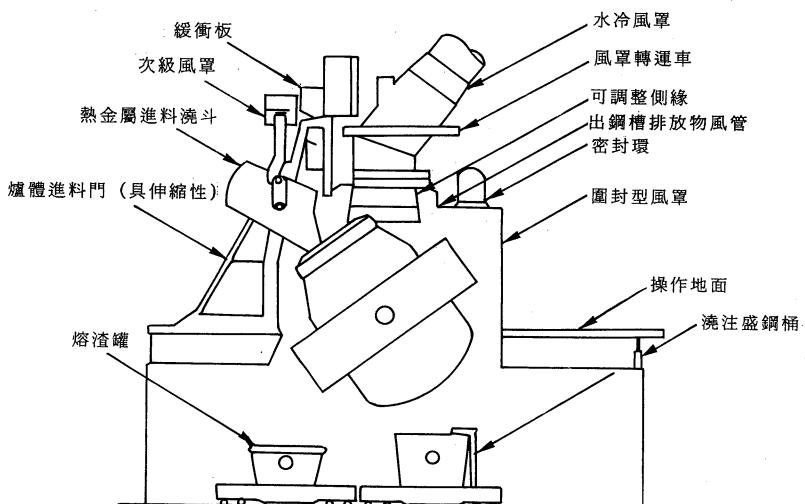
表1 電弧爐煉鋼廠圍封型風罩之安裝數據表

爐體產能 (tons)	變壓器功率 (KVA)	圍封型風罩抽風量與溫度 (m ³ /s, °C)		氣幕送風量 (m ³ /s)	圍封型風罩尺寸 (L×W×H)m
55	33,000	80.3	100	設計值	2.8
			135	最大值	12×11×9.5
36	10,000	37.8	65	設計值	5.5
			135	最大值	11×9×8.5
18	16,800	70.8	65	正規值	4.7
			130	最大值	13×15.5×11
18	10,000	4.25	65	正規值	2.4
			135	最大值	9.75×9.75×8
55	33,600	82.6	65	平均值	N·A
			94.5		16×10×3
17	45,000	90	N·A	N·A	N·A
110	85,000	94	N·A	N·A	N·A
45	25,000	74.8	N·A	N·A	N·A

N·A：無可靠數據



A 電弧爐煉鋼廠圓封型風罩



B 典型氣密式吹氧煉鋼轉爐圓封風罩

圖1 浮動性熱污染源圓封型風罩範例

二、圍封型風罩設計之法則

圍封型風罩設計須考慮下列三項因素：

1. 製程與工廠配置之需求。
2. 煙塵捕集之性能。
3. 機械設計規範。

2.1 製程與工廠配置之須求

圍封型風罩成功安裝之主要因素在於初期設計階段須考慮所有製程與工廠配置之需求，規劃金屬冶煉爐體圍封型風罩時須考慮：

1. 圍封型風罩可否捕集及控制一次與二次煙塵排放物？
2. 爐體與相關設備移動程度如何？
3. 圍封型風罩影響爐體操作製程之控制程度如何？
4. 圍封型風罩開口必須座落何方？

對吹氧煉鋼轉爐，一次煙塵之控制一般可利用座落於容器開口之個別近接捕集型風罩 (separate close capturing hood) 而達成。而圍封型風罩可用於作為進料期，熔煉期、出鋼期 (tapping) 與出渣期排放二次煙塵控制之功能。

對電弧爐煉鋼而言，圍封型風罩可用於作為一次與二次煙塵控制之用。對大型高產能爐體，一次冶煉排放物採取個別式直接抽引系統控制煙塵較為經濟。對高產能爐體，利用個別式廢氣冷卻設備來處理高熱排放量的一次排放廢氣比直接自圍封型風罩利用大量稀釋空氣來冷卻更具經濟效益。稀釋空氣量可由濾袋室溫度之極限值來界定，一般而言，若圍封型風罩二次煙塵捕集抽風量較一次煙塵控制所須風量相同或更高，則圍封型風罩之系統設計可同時處理兩種類型之排放物。

若利用圍封型風罩來控制一次煙塵，逸散煙塵對電極支撐系統之腐蝕性與碎裂性須加以考慮。對超高動力 (UHP) 爐體，其支撐設備系統經常曝露於高溫火焰中，因此潛在性問題特別明顯。為解決此問題，爐體頂部應裝設水冷盤曲式的短截轉向煙函，它會很自然地自爐體將煙塵吸入到圍封型風罩內，這種方法可轉移煙塵之流向，且避免造成電極設備之損傷。

若一次煙塵係利用圍封風罩捕集，爐體廢氣燃燒效率較爐體直引系統的控制來的低，爐頂開口上升廢氣中 CO組成可部分燃燒，亦可利用圍封型風罩內的空氣加以冷卻，明顯高濃度含量的 CO 會存在於圍封型風罩內或排氣導管中。CO濃度雖高，但尚不至於具爆炸性，然而對工作於圍封型風罩及下游爐體廢棄物處理設備的工人員卻具有潛在的危害性。

不同爐體之移動必須經由圍封型風罩之調節，在出鋼期及出渣期，電極垂直上舉及爐頂搖擺方向之操作必須隨圍封型風罩形狀及排氣導管位置加以調整，其與相關設備之

移動亦須考慮。出鋼期之盛鋼桶及熔渣罐位置可由天車及轉移車來決定，它可顯示出圍封型風罩開口與爐頂狹縫間之關係，進料桶位置與天車之接近性亦可決定開口與狹縫之需求。而利用天車經常性移動爐頂與水冷板架也可最終顯示開口之大小，緊急處理也可利用設計來調節，例如若由於開口之阻塞而造成盛鋼桶深陷於圍封型風罩內就必須於金屬液固化前移開。

圍封型風罩一經安裝，影響爐體操作與製程控制之因素亦須加以考慮，其中包括：

1. 天車操作與爐體位置之相關性。
2. 爐體控制點與其相關位置。
3. 進料填加方式。
4. 爐體附屬設備之位置。
5. 設備維修便利之需求。

爐體控制點與附屬設備位置必須加以界定，以決定其應安裝於圍封型風罩內或外。若大量爐體附屬設備位於圍封型風罩內，其配置必須適當調節；若爐體操作時，工作者必須於圍封型風罩內操作，排放物捕集之設計必須提供一免於煙塵污染之工作環境。一般而言，圍封型風罩開口需求於初期設計階段就必須考慮愈小愈好。電弧爐利用天車輸送進料桶時，須設置屋頂狹縫以便於天車行動之便捷，滑門亦可用於遮掩這些開口。進料桶於進入圍封型風罩後，側門可關閉，但屋頂狹縫開口仍須敞開。橫跨吹越屋頂狹縫之氣幕可用於阻止進料期排放物經由屋頂狹縫逸散。電弧爐煉鋼廠圍封型風罩之氣幕如圖 2。開口與氣幕設備固定於圍封型風罩之屋頂上，必須有足夠的寬廣空間，若盛鋼桶利用天車支撐，出鋼期亦須有屋頂狹縫。

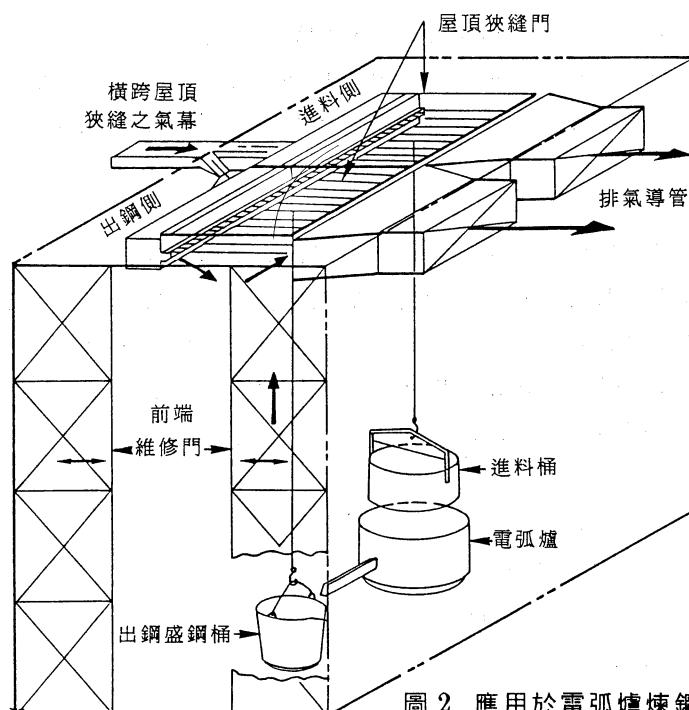


圖 2 應用於電弧爐煉鋼廠圍封型風罩之氣幕

2.2 煙塵捕集之性能

若在爐體操作時須維持圍封型風罩內理想之工作環境，必須注意到空氣流動型態，俾使圍封型風罩內煙塵之循環降到最低，煙塵捕集性能可利用下列圍封型風罩特性之結合而達成：

1. 排放物之包容與儲存。
2. 圍封型風罩內空氣之抽取。
3. 氣幕與排氣管。

2.2.1 排放物之包容與儲存

物理性圍封型風罩之主要功能在於包容出鋼期、出渣期與進料期之二次爐體排放物及熔煉期之一次排放物，這些排放物會經熱傳導而打擊到圍封型風罩屋頂。若圍封型風罩建造的不夠堅實，它很可能無法克服抽取系統之廠內橫風影響，屋頂狹縫開口四周的間隙會造成煙塵嚴重的洩露問題，當爐頂風罩開口打開便於天車索移動時，氣幕可有效的加以利用以包容煙塵排放物。

圍封型風罩於進料期亦足以儲存湧溢之煙塵，若經適當之設計，圍封型風罩頂端將充滿煙塵而底端區域仍相當清潔，產生這種影響之主要因素乃須配合排氣導管於圍封型風罩內適當的安置氣幕以減少煙塵之循環。

出鋼期、出渣期與熔煉期為長時間連續性的操作，在這些製程階段，圍封型風罩不可用於煙塵之儲存，圍封型風罩之排氣量必須大於排氣煙柱之流量以避免在這些操作期圍封型風罩內煙塵之聚積。

2.2.2 圍封型風罩內空氣之抽取

在圍封型風罩內空氣抽取方面，熔煉熱式製程圍封型風罩之設計須遵循適當規範以決定抽風速度來克服煙道效應。經由公式之計算值僅可做為試驗用途，而不做為圍封型風罩內煙柱向上通風量之實際數據。為決定圍封型風罩之排氣量，須遵循下列程序：

步驟 1：確定一次排放物的熱排放量

此步驟應在設計階段早期即決定圍封型風罩可否同時捕集一次及二次煙塵排放物，集塵設備之溫度極限與爐體廢氣熱排放量為考慮之主要因素，廢氣熱排放量在熔煉與精煉階段的爐體反應即可加以計算，最大的熱排放量可作為設計之標準。若濾袋集塵設備使用聚酯纖維材質濾袋，對連續式操作其設定之溫度極限值應為 130°C，稀釋後之熱煙塵排放體積可由基本熱力方程式決定。

$$Q = \frac{q}{\rho C_p (T_s - T_{amb})}$$

式中， Q : 稀釋後之實際煙柱排氣量 (m^3/s)

q : 爐體廢氣熱釋放率 ($kcal/s$)

ρ : T_s 時之空氣密度 (kg/m^3)

C_p : T_s 時之空氣比熱 ($\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

T_s : 稀釋後之空氣溫度 ($^\circ\text{C}$)

T_{amb} : 周界空氣溫度 ($^\circ\text{C}$)

對高產能爐體，空氣稀釋到 130°C 之煙柱排氣量較圍封型風罩二次煙塵控制排氣量高出甚多，因此須利用一次煙塵捕集系統，對小型低產能爐體，圍封型風罩可同時捕集一次與二次之煙塵排放物。

步驟 2：確定二次排放物之煙柱排氣量

圍封型風罩之高度可作為煙柱上升之極限，進料前爐體開放造成煙柱之上升應加以計算，這種狀況應被視為延長期之排放物。

步驟 3：確定圍封型風罩之排氣量

熔煉、出鋼與爐頂開放延長期之排氣量可預設定以保證免於煙塵。無污染圍封型風罩環境所須之最低排氣量，稀釋後之煙柱排氣量可與延長期排放物計算之最高排氣量相比較，兩者之中較高者可決定圍封型風罩之排氣量，雖然進料期煙柱排氣量較出鋼期煙柱排氣量為高，但它並不被設定為圍封型風罩之排氣量，圍封型風罩可用於儲存進料期操作大約 30 秒湧溢之煙塵。

圍封型風罩控制污染物之排氣量通常低於捕集型風罩之排氣量，對危害性較高之污染物，其平均內向速度 (average inward velocity) 為 0.76m/s ，而對危害性低的污染物，其平均內向速度為 0.5m/s 。圍封型風罩重要之設計因素為通過圍封型風罩開口之內向面速度，由於排氣量等於開口面積乘以排氣速度，降低開口面積即等於降低排氣量之需求。圍封型風罩設計愈完善，其控制之排氣量亦愈小，其設計應使氣流在風罩內平均分布，以避免爆炸性污染物與燃燒蒸氣濃度之累積，若面速度足夠高以控制污染物，則可阻止內向通風之紊流進入風罩。

2.2.3 氣幕與排氣管

氣幕設計與排氣管位置也是非常重要的考慮因素，氣幕應用於屋頂開口，通常為 $2\sim 3\text{m}$ 寬，為便於天車索的行動便捷，開口可延伸圍封型風罩之距離，它可經由兩組不同操作開口控制，一為進料期，一為出鋼期，這種結構在上述二種狀況皆會降低開口之面積。

排氣管最佳位置乃直接面對氣幕排放口，最高濃度上升之煙柱直接面對著排氣管而不會在圍封型風罩內過度循環。氣幕之主要目的乃包容出鋼期與進料期排放物垂直向上之通風，氣幕狹縫應 $15\sim 25$ 度水平向下，以達到近似水平之最終流量，煙柱在撞擊到狹縫頂端時，其排氣量可加以利用。

在熔煉期，氣幕應有效導引煙塵邁向排氣導管而使其勿在圍封型風罩內循環，若熔煉期向上之橫風速度較低，氣幕之設計應考慮到煙塵之投射方向，氣幕可自圍封型風罩內或外供應空氣，自圍封型風罩外供應補充空氣有一淨排氣量之優點。圍封型風罩操作地面層工作區域較高的溫度可能是一大問題，若操作員必須正常花費許多時間於圍封型風罩內，有必要使用有限度的百葉窗開口或壁扇之冷卻。

2.3 機械設計規範

圍封型風罩成功的安裝有賴於操作與維修人員之認同，機械結構之完整性與信賴度必須於圍封型風罩設計時考慮，其設計要點如下：

1. 當開口位置與適當間隙建立後，應考慮圍封型風罩之支撐系統，主要支撐樑柱置於開口邊緣可強化天車索附加之摩擦強度，整體性結構應質輕，使其在被天車支撐物撞擊時便於快速修理，但在與強韌型圍封型風罩碰撞時，仍難免受損且不易修理。
2. 圍封型風罩開口之設計應有寬廣之間隙，且應利用簡單之機械操作。齒輪、導引滾輪與氣式圓柱可用於作為開口機構之部分零件。
3. 圍封型風罩屋頂開口直接面對著煙塵抽氣者必須位於爐頂重疊開口之下方，上升煙塵可在圍封型風罩內使其轉向或散播而不會經由開口間隙洩露，爐頂結構其餘部份必須緊密密封。
4. 必須提供維修之便捷性，可移動之爐頂鑄板可使用於爐體之安裝，水冷式電極與爐頂移動機構基於高架之便捷須做適當之維修。
5. 圍封型風罩殼材質之選擇須考慮到環境之腐蝕性，對煉鋼生產環境，鋁片較鍍鋅材質有更佳之適用性。
6. 適當之防音設計若須切實執行，電弧產生的高度噪音可全部包容於爐體圍封型風罩內，任何設計皆須經由熟練之噪音師檢驗，下列因素須加以考慮：
 - (1)圍封型風罩應有足夠厚度以保證重型之結構負載與強韌之設計，大部份狀況下，結構之須求已考慮到此點。
 - (2)護套應足夠強固以防止於爐體頻率及前幾個諧音所產生之共振。
 - (3)圍封型風罩內部應加玻璃纖維之吸音襯料，選擇時應考慮吸音頻率及適當保護以避免損傷。
 - (4)開口、孔穴及空氣洩露量應降到最低限度或經最少處理，若有可能，最好遠離員工之工作場所。
 - (5)爐體操作時，儘可能使操作員操作於圍封型風罩及接近開口處之工作量降到最低。

三、結語

一般而言，圍封型風罩之捕集效率甚佳，操作人員在污染物產生時不必停留於風罩內，對危害性高的污染煙塵，圍封型風罩為最佳之選擇，它可捕集金屬冶煉進料期、出鋼期及出渣期各階段產生之煙塵，不易受橫風、紊流之影響而降低風罩捕集效率，同時對噪音控制及操作人員之安全維護上亦頗具助益。

四、參考資料

- (1)Goodfellow, H. D. and J. W. Smith, Industrial Ventilation-A Review and Update, American Industrial Hygiene Association J., Vol. 43, No. 1, 75-184 (March 1982).
- (2)Buturin, V. V., Fundamental of Industrial Ventilation, Pergamon Press, Oxford, England (1972).
- (3)Canfield, G., Pollution Control using a Furnace Enclosure, 36th EAF Conference of I.S.S. of A.I.M.E. Toronto, Ont.(Dec. 1978).
- (4)Hemeon, W.C.L., Plant and Process Ventilation, The Industrial Press, New York, 1963.
- (5)American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Industrial Ventilation-A Manual of Recommended Practice, 18th Edition, American Conference of Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio 1984.