

工業技術研究院

技術服務案 - 期末報告

微富氧燃燒採用煙氣迴流技術特性探討

計畫執行單位：崑山科技大學機械工程學系

計畫執行期間：民國 99 年 3 月 1 日至 99 年 11 月 30 日

計畫主持人：侯順雄教授 崑山科技大學機械工程學系

中華民國九十九年十一月

摘要

本研究之目的在於建立工業爐富氧燃燒結合廢氣再循環技術，研究中
使用改裝完成的工業燃燒實務操作示範爐，實驗分析不同含氧比例
(Ω_{O_2} = 21%、25%、30%、35%和 55%) 和煙道氣再循環比例下，燃油系統
的加熱性能及排放特性。研究中完成工業爐之煙道氣迴流系統改裝及冷流
場測試，並針對重油在富氧狀態下，結合和未結合煙道氣迴流，進行燃燒
調整，火焰觀察、加熱性能（爐內全區溫度變化）及排放特性（煙道氣排
放溫度及其組成）的影響。

實驗中固定重油供油率 20 L/h 且經過最低過剩氧燃燒調整，故隨助燃
氣體中氧濃度增加，助燃氣體流率中氧氣流率幾乎不變；而總助燃氣體流
率及氮氣流率則皆隨助燃氣體中氧濃度增加而大幅下降，此顯示隨助燃氣
體中氧濃度提高，可降低爐內氣體總流率，進而減少排氣熱損失。重油燃
燒之煙道排氣組成分析得到，過剩氧濃度控制在 5% 以下，當助燃氣體氧濃
度由 21% 增加至 55%， CO_2 濃度由 11% 逐漸提升至 27% 左右。未結合煙道
氣迴流時，助燃氣體氧濃度由 21% 提高至 30%，爐內溫度大幅升高(爐壁
R7 溫度由 1174°C 升高至 1256°C)，使得 NO_x 排放濃度由約 200ppm 大幅竄
升至 820ppm；但富氧燃燒若適當結合煙道氣迴流，不同氧氣比例操作條件
下，爐內主燃燒區溫度(R7 和 R8)隨氧氣比例增加僅微幅上升，而 NO_x 排放
濃度大幅下降，且爐內下游溫度和排氣溫度則隨氧氣比例增加而明顯下
降。在固定的氧氣比例操作條件下， NO_x 排放濃度皆隨煙道氣迴流比率增
加而下降；以 30% 氧氣比例而言，煙道氣迴流 115 和 200 Nm^3/h 時，其 NO_x
排放濃度由未結合煙道氣迴流的 820ppm 分別大幅降低至 222 和 198ppm。

本研究成果未來可落實應用於工業用加熱爐，如煉鋼、煉鐵和煉鋁製
程，提高能源使用效率且有效捕獲二氧化碳。

關鍵詞：富氧燃燒、純氧燃燒、廢氣再循環

四、結論

4-1 煙道氣迴流系統冷流場測試

1. 一次氣體和二次氣體皆為空氣

無煙道氣迴流下，一次空氣流率隨著閥門(V1)開度增加而增大，最大流率達 $48\text{m}^3/\text{h}$ ；在固定閥門開度下，一次空氣流率隨二次空氣流率增加而些微增大，幾乎不變。雖然一次空氣與二次空氣共用主管路，但彼此間流率的調整幾乎可獨立控制，不會互相影響。而後續改裝工作則以一次煙道氣流率可達 $48\text{m}^3/\text{h}$ 則作為目標。

2. 一次氣體為煙道氣，二次氣體為空氣

一次氣體（煙道氣）流率隨著分流閥門(V11)開度增加而增大，最大流率達 $45.6\text{m}^3/\text{h}$ ；在固定分流閥門開度下，二次氣體流率變化對一次煙道氣流率的影響很小。實驗爐排氣抽風機與煙道氣迴流抽風機之間會有相互抗衡的情形，因此導致一次煙道氣最大流率無法達到 $48\text{m}^3/\text{h}$ 。

3. 一次氣體為煙道氣，二次氣體為空氣與煙道氣混合氣

二次氣體混合小量迴流煙道氣下，一次氣體（煙道氣）流率隨著分流閥門(V11)開度增加而增大，最大流率達 $45.2\text{m}^3/\text{h}$ ，且二次空氣流率變化對一次氣體流率的影響很小，在小量二次煙道氣迴流情況下，一次煙道氣流率會微幅下降。

4. 一次氣體和二次氣體皆為空氣與煙道氣混合氣

二次氣體混合中量迴流煙道氣下，隨著閥門(V1)開度增加或分流閥門

(V1)開度增加，一次氣體（空氣與煙道氣）流率皆增大， $V1=0^\circ$ 時(一次氣體為純煙道氣)，最大流率僅 $43.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，表示一次煙道氣與二次煙道氣之間流率的調整會互相影響，一次煙道氣流率隨二次煙道氣流率增加而減少。一次煙道氣管路中之皮托管 P11 所量測到流體動壓會隨閥門(V1)開度增加而驟降，亦即一次煙道氣流率受一次空氣流率影響甚鉅。

4-2 初步測試富氧狀態下重油噴霧火焰的燃燒特性

1. 因固定供油率 20 L/h 且經過燃燒調整，故助燃氣體流率中氧氣流率 $\dot{V}_{O,net}$ 幾乎不變，而總助燃氣體流率 \dot{V}_T 及氮氣流率 $\dot{V}_{N,net}$ 皆隨助燃氣體氧濃度增加而大幅下降，顯示隨助燃氣體氧濃度提高，可降低爐內氣體總流率，進而減少排氣熱損。
2. 富氧燃燒適當結合煙道氣迴流，爐內溫度變化各操作條件下皆無明顯變化，可維持系統內溫度分佈的均勻性，不會造成原先系統熱傳特性大幅改變，有利於舊廠改建而不影響既有操作方式與燃燒性能。
3. 重油燃燒之煙道排氣組成，過剩氧濃度控制在 4.5% 以下，且隨助燃氣體氧濃度由 21% 增加至 30%， CO_2 濃度由 11% 逐漸提升至 14%， SO_x 濃度則維持在 220 ppm 左右。未結合煙道氣迴流時， NO_x 排放濃度由 224ppm 竄升至 597ppm；若適當結合煙道氣迴流，則 NO_x 排放濃度在各操作條件皆可獲得極佳的抑制，約維持在 190 ppm 左右。

4-3 煙道氣迴流比例對富氧狀態下重油燃燒特性影響

1. 當助燃氣體中的含氧量越高，燃燒所需之助燃氣體供應量就可降低，煙氣產生量也越少。
2. 在固定供油率條件下，隨迴流煙道氣流率增加，經過最低過剩氧燃燒調整後，所需助燃氣體中之氧氣流率 $\dot{V}_{O,net}$ 將逐步降低。迴流煙道氣帶回大量熱能，並與助燃氣體混合，因而達到預熱效果，提高了燃燒的效率。
3. 未結合煙道氣迴流時，助燃氣體氧濃度由 21% 提高至 30%，爐內溫度大幅升高(爐壁 R7 溫度由 1174°C 升高至 1256°C)，使得 NO_x 排放濃度由約 200ppm 大幅竄升至 820ppm。
4. 富氧燃燒若適當結合煙道氣迴流，在不同氧氣比例操作條件下，爐內主燃燒區溫度隨氧氣比例增加僅微幅上升，此將有助於爐溫的均勻分佈，而 NO_x 排放濃度則大幅下降；以 30% 氧氣比例而言，煙道氣迴流率 115 和 200 Nm³/h 時，其 NO_x 排放濃度由未結合煙道氣迴流的 820ppm 分別大幅降低至 222 和 198ppm，與未結合煙道氣迴流相較之下，De-NO_x 率分別高達 73% 和 76%。此外，爐內下游溫度和排氣溫度則隨氧氣比例增加而明顯下降，此亦將提高整體效率。
5. 煙道氣中 CO₂ 濃度隨著助燃氣體氧濃度增加而提高，此將有利於二氧化碳的捕獲。當過剩氧濃度控制在 5% 以下，助燃氣體氧濃度由 21% 增加至 55%，CO₂ 濃度會由 11% 逐漸提升至 27% 左右，且其值幾乎不隨迴流

煙道氣流率而改變。

6. 煙道氣排放量不僅隨助燃氣體氧濃度增加而降低，且隨著迴流煙道氣流率增加而減少。若以煙道氣迴流 $200 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 且氧濃度 55% 條件來看，相較於傳統空氣燃燒且未結合煙道氣迴流的煙道氣排放流率，足足減少了近 76% 的煙道氣排放體積。由於富氧燃燒可使排煙量降低，因此可降低包含 CO 、 CO_2 和 NO_x 等污染物的排放總量。