

知識物件上傳表

計畫名稱：工業低碳燃燒節能技術開發計畫

上傳主題：燃氣鍋爐煙氣潛熱回收技術

提報機構：工業技術研究院綠能所

提報時間：113年03月8日

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 國內 <input type="checkbox"/> 2. 國外：(註明國家名稱)
能源業務	<input type="checkbox"/> 1. 能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) <input type="checkbox"/> 2. 石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3. 電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) <input type="checkbox"/> 4. 新及再生能源 <input checked="" type="checkbox"/> 5. 節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) <input type="checkbox"/> 6. 其他
能源領域	<input type="checkbox"/> 1. 能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2. 能源安全 <input type="checkbox"/> 3. 能源供需 <input type="checkbox"/> 4. 能源環境 <input type="checkbox"/> 5. 能源價格 <input type="checkbox"/> 6. 能源經濟 <input checked="" type="checkbox"/> 7. 能源科技 <input type="checkbox"/> 8. 能源產業 <input type="checkbox"/> 9. 能源措施 <input type="checkbox"/> 10. 能源推廣 <input type="checkbox"/> 11. 能源統計 <input type="checkbox"/> 12. 國際合作
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1. 建言(策略、政策、措施、法規) <input checked="" type="checkbox"/> 2. 評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) <input type="checkbox"/> 3. 標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 <input type="checkbox"/> 4. 其他：
重點摘述	<p>國內工業燃燒設備所使用的化石燃料逐漸改為低碳排的天然氣，而燃燒天然氣鍋爐之煙氣水氣含量高達18%(v/v)，且潛熱含量較顯熱含量高許多，藉由適當的潛熱熱交換器可將煙氣中的水氣由氣態冷凝為液態，並將釋放出的潛熱加以回收利用。</p> <p>本研究完成之合成煙氣測試平台可模擬約200kg/h蒸汽天然氣鍋爐產生的煙氣，合成煙氣下游串聯顯熱交換器及潛熱交換器。顯熱交換器採用殼管式、皺摺式螺旋鰭片管及錯位排列設計；潛熱交換器採用殼管式、TMC(transport membrane condenser)技術的多孔陶瓷管及錯位排列設計。測試結果指出，增加入口煙氣溫度會提升顯熱回收器及潛熱回收器的熱回收率，且總熱回收率由23.5%提升至25.8%。</p>
詳細說明	<p>配合政府能源轉型政策，近幾年國內工業燃燒設備所使用的化石燃料逐漸由以往高碳排的煤炭及重油改為低碳排的天然氣。在當量空氣燃燒下，燃燒煤炭及重油之煙氣水氣含量分別為0.5%(v/v)及1.3%(v/v)；而燃燒天然氣之煙氣水氣含量為18%(v/v)，明顯較燃燒煤炭及重油高。</p> <p>煙氣中的廢熱包含顯熱(sensible heat)及潛熱(latent heat)，煙氣潛熱主要來自於煙氣中的水氣。一般鍋爐煙氣的排放溫度介於150°C至200°C之間，此時煙氣潛熱含量較顯熱含量高許多。燃燒天然氣的煙氣露點(dew point)約60°C，若煙氣溫度低於露點，藉由適當的熱交換器可將水由氣態冷凝為液態時釋放的潛熱加以回收利用。圖1為天然氣燃燒之煙氣溫度與理論鍋爐效率的關係，當煙氣溫度低於150°C時，煙氣廢熱中顯熱會優先釋放，而煙氣溫度低於露點時再釋放潛熱。回收煙氣顯熱對鍋爐效率的影響呈線性關係，回收煙氣潛熱對鍋爐效率的影響呈拋物線關係，因此潛熱回收對鍋爐效率的影響較顯熱回收高出許多。</p>

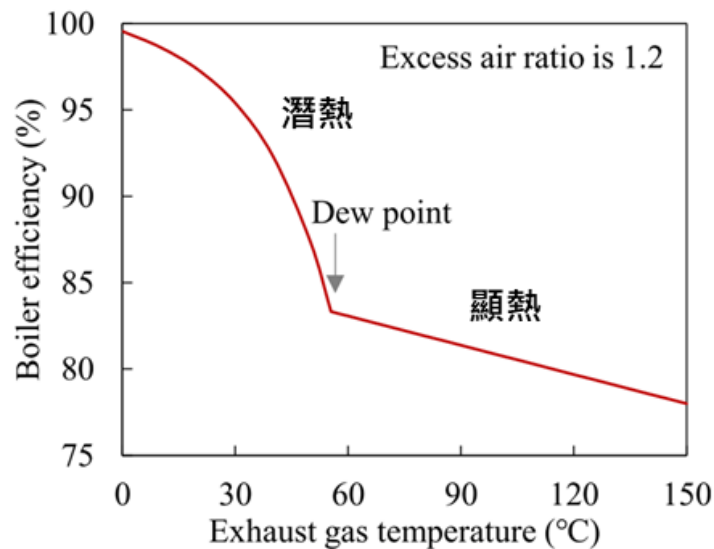


圖1、燃燒天然氣之煙氣對理論鍋爐效率關係圖

本研究完成之合成煙氣測試平台如圖2所示，平台可模擬約200kg/h蒸汽天然氣鍋爐產生的煙氣(約160Nm³/h)，合成煙氣溫度在200°C以下，含水率約18%(v/v)。合成煙氣下游串聯顯熱交換器及潛熱交換器，配合量測裝置可計算熱回收率。

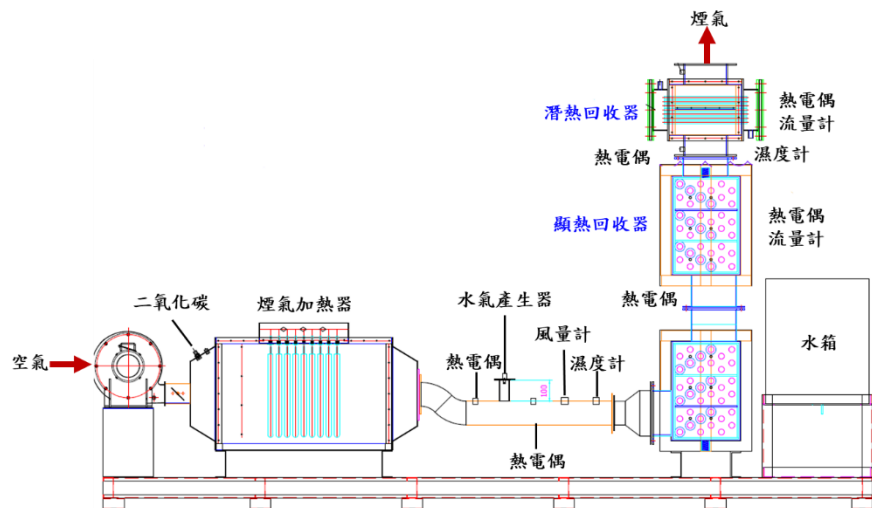


圖2、合成煙氣測試平台

顯熱交換器採用殼管式(shell and tube)設計，煙氣走殼側(air side)，冷卻水走管側，具處理量大及煙氣壓損低的優勢。本研究選擇皺摺式螺旋鰭片管(crimped spiral fin)如圖3所示，其製造成本低，且鰭片底端接觸管子處為皺摺形狀有助於產生紊流(turbulence)，可提升熱傳效率。此外，選擇錯位排列作為鰭片管的排列方式，可在管後方可產生馬蹄型渦漩(horseshoe vortex)，較齊管排列熱傳效率高13%以上。

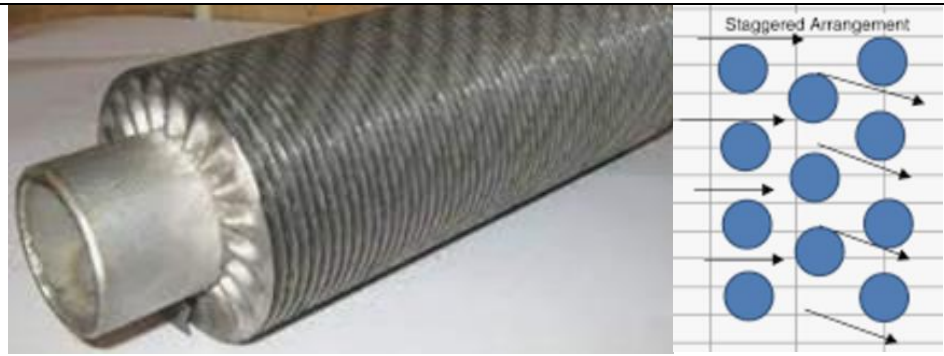


圖3、皺摺式螺旋鰭片管及錯位排列

潛熱交換器設計如同前述的顯熱交換器考量，採用殼管式及錯位排列設計。而本研究所選擇的潛熱交換器熱傳管為多孔陶瓷管，為表面具有微細孔洞分布之陶瓷管，所使用的TMC技術如圖4所示。當溫度接近煙氣露點時，水氣(vapor)會附著於陶瓷管表面，再藉由溫度差及毛細冷凝(capillary condensation)現象等趨動力，將水氣(含潛熱)由殼側經過多孔材質送至管側，加熱冷卻水並回收煙氣潛熱。TMC薄膜技術同時具備熱傳及質傳效果，而陶瓷材料的熱傳導係數一般在 $1.4\text{--}21.84\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，優於高分子材質的熱傳導係數 $0.1\text{--}0.5\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。本研究進行多孔陶瓷材料的TMC技術開發，在多孔陶瓷管上燒結奈米塗層，奈米塗層的孔洞為 80nm 以下，使多孔陶瓷管具有毛細冷凝效果。

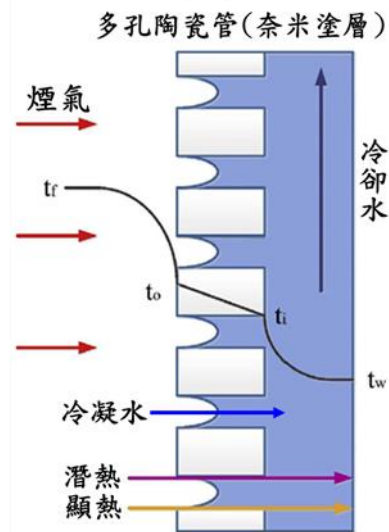


圖4、TMC煙氣潛熱回收機制

串聯顯熱及潛熱回收器，合成煙氣水氣含量為 $15.5\pm 0.5\%(\text{v/v})$ ，改變入口煙氣溫度對熱回收率的影響如圖5所示。增加入口煙氣溫度會提升顯熱回收器及潛熱回收器的熱回收率，且總熱回收率（顯熱加潛熱回收器）從 23.5% 提升至 25.8% 。

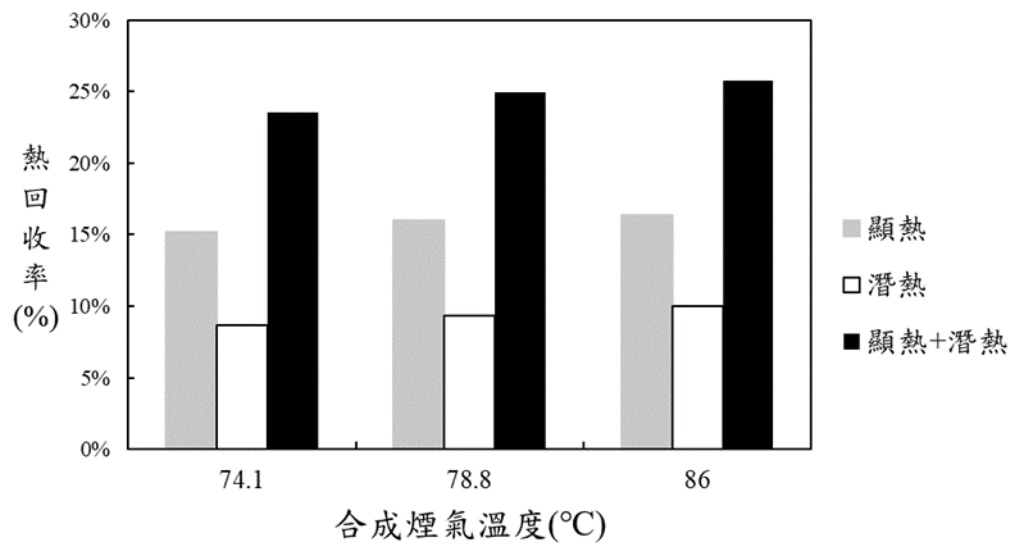


圖5、煙氣溫度對熱回收率的影響

參考文獻

- [1] Chen, Q., Finney, K., Li, H., Zhang, X., Zhou, J., Sharifi, V., Swithenbank, J. Condensing Boiler Applications in the Process Industry. Applied Energy, 89 (2012), 30-36.
- [2] Levy, E., Bilirgen, H., DuPoint, J. Recovery of Water from Boiler Flue Gas Using Condensing Heat Exchangers; Lehigh University: Bethlehem, PA, USA, 2011.
- [3] Kim, F., Park, A., Kim, J., Lee, P., Cho, Y., Park, H., Nam, S., Park, Y. Harnessing clean water from power plant emissions using membrane condenser technology. ACS Sustain. Chem. Eng. 2018, 6, 6425-6433.