



燃油鍋爐轉換天然氣之ESCO 創新商業模式研究

► 專五部 沈韋成 副工程師

一、前 言

根據 IEA 全球永續發展趨勢資料顯示，預估將地球暖化控制在 2°C，2050 年前全球必須減排 420 億噸 CO₂，而減碳策略中能源效率提升及燃料轉換為主要措施，分別占 38% 與 9% 之比重，如圖 1。石化燃料中以天然氣為最乾淨的能源，用天然氣取代燃料油不僅可提高燃料使用效率，相較於燃料油，每單位熱值二氧化碳排放量可減少 27.5%。

我國工業部門為燃料油使用量從 93 年的 5,027 千公秉，下降至 102 年的 2,187 千公秉，主因為 10 年間燃料油價格由每公秉 9,000 元上漲至 22,539 元（漲幅達 2.5 倍），能源支出費用大幅提高，迫使用戶尋求各式替代燃料及提高能源使用效率之節能方法。再加上近年來環保意識逐漸抬頭，企業除節省能源費用外，亦積極降低二氧化碳排放量，以善

盡社會責任。我國環保法規於 103 年針對固定污染源粒狀物排放調高管制標準，粒狀物排放量於既有鍋爐設備規範為 100mg/Nm³，新設鍋爐為 50mg/Nm³，部分燃料油鍋爐無法通過較嚴苛的環保規範，必須增設後端集塵設備或轉用潔淨燃料天然氣，因此燃料油轉用天然氣之趨勢在未來將更受到重視。

103 年度工業部門燃料油消費（扣除發電及汽電共生）使用量為 2,187 千公秉，占總消費量（扣除發電用）的 82.1%，若工業用戶將鍋爐燃料轉換為天然氣，鍋爐效率可提升潛力約 6%，估計節能潛力達 145.8 千公秉油當量，同時減少 40.8 萬公噸 CO₂ 排放，將有助於我國落實節能減碳政策。

二、燃油鍋爐轉換天然氣特性分析

以熱損失法分析鍋爐能量平衡，鍋爐各項熱損失主要可分為煙道氣熱損失、未完全

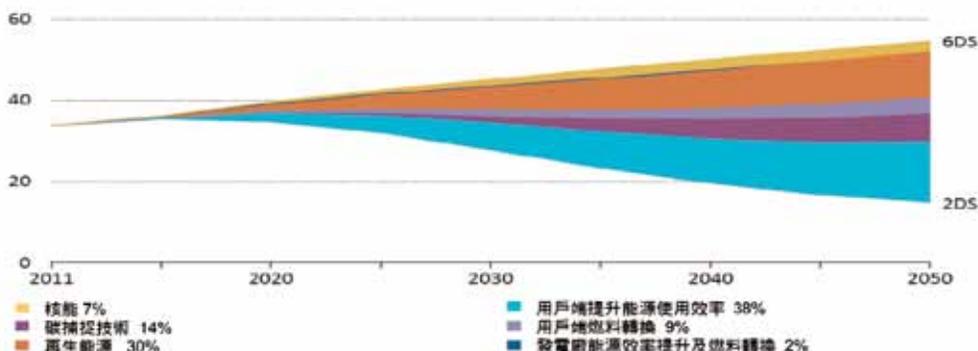


圖1 IEA估算二氧化碳減量技術發展預測

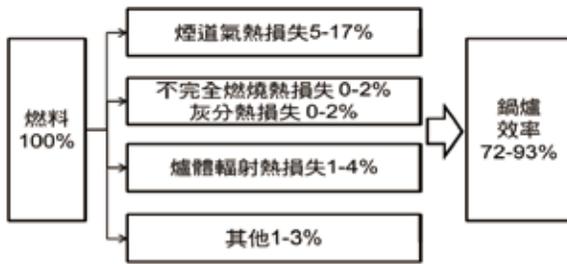


圖2 鍋爐各項熱損失比例圖

燃燒熱損失、散熱損失及其他損失等，如圖2，其中以煙道氣熱損失為最大部分，也是鍋爐各項節能措施中潛力最大的部分，影響煙道氣熱損失的主要因子有燃燒過剩空氣及尾氣溫度。

燃料油與天然氣鍋爐因使用的燃料特性而造成鍋爐構造不同，主要差異為燃燒器燃燒特性、尾氣排放及附屬設備會有不同，茲就設備差異說明如下：

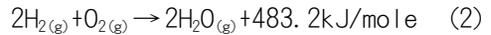
(一) 燃燒器特性

燃油鍋爐之燃料進入燃燒室前需將燃油霧化，形成油霧後再進行燃燒，通常是利用高壓泵浦或以蒸汽混和達到霧化效果，因此燃燒器結構設計上較為複雜，且其霧化器設計不良時易產生燃燒未完全，造成環保問題並影響鍋爐整體效率，而天然氣與空氣混和良好，不需要霧化的步驟，可有效增進其燃燒效率，提高鍋爐整體能源使用率。

(二) 尾氣排放特性

天然氣組成主要成分為甲烷，其中氫含量比例比高於燃料油（約21%），經燃燒反應後，碳生成二氧化碳而氫產生水蒸氣，如下列燃燒方程式(1)及(2)，天然氣燃燒後因水蒸氣潛熱損失較燃料油高，必須透過後端熱回收裝置，才可達到最佳能源使用效率，針對影響煙道氣熱損失的兩個關鍵因子（過剩空氣量及尾氣溫度）做下列

說明。



1. 降低燃燒過剩空氣

影響煙道氣熱損失的最主要因素是燃燒過量空氣和尾氣溫度，定義 a 為燃燒過剩空氣：鍋爐燃燒使用煙道氣量與理論空氣量的比值。當 $a=1$ 時表示為理論空氣量，為理想狀態；當 $a<1$ 時則為燃料燃燒不完全，容易產生一氧化碳 (CO)，甚至會產生黑色粒狀物（碳）； $a>1$ 時通常為燃料完全燃燒且空氣過剩情況。最佳的燃燒效率出現在 a 約大於 1 的情況下，如圖 3 所示。

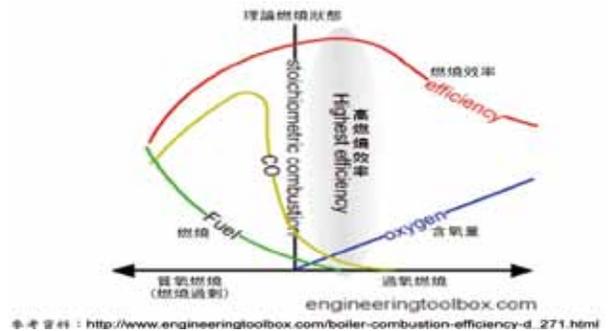


圖3 過剩進空氣量與排氣含量之比較圖

然而鍋爐使用須符合環保法規，避免黑煙產生，加上均無煙道氣含氧量偵測，通常操作條件燃燒過剩空氣 a 遠大於 1，此時雖可避免黑煙產生，但是會增加排氣熱損失，爐體熱傳面積固定，增加空氣量意謂空氣停留在爐膛時間變短，且燃燒溫度降低，煙道熱氣與水側傳熱面熱傳效率更差，造成低鍋爐效率。

燃料油鍋爐因燃料油特性，油滴與空氣混和性較天然氣差，且霧化裝置易造成部分油滴霧化不均，通常



在操作上過剩空氣量會遠大於天然氣鍋爐，因此當燃料油鍋爐轉用天然氣時，可降低過剩空氣量並控制在較高的燃燒效率區間，提高鍋爐效率。

2. 降低尾氣溫度

鍋爐的傳熱面常因積灰導致熱傳效率不彰，會導致尾氣溫度上升，降低鍋爐效率，燃料油因組成含灰分、雜質，在燃燒過程中於煙管壁上產生積灰，若轉用天然氣潔淨能源，可保持熱傳面乾淨，提升熱傳效率。另燃料油中的硫份在煙氣中低於露點溫度以下會產生硫酸，腐蝕金屬管壁，因此燃料油鍋爐通常在尾氣溫度排放設計，會以避免低溫腐蝕為優先考量（約 200℃），而天然氣成份中不含硫，所以天然氣鍋爐尾氣設計溫度可降至 100℃ 以下，增加回收煙道顯熱，更可將水蒸氣的汽化潛熱回收，可更有效利用熱能回收裝置，提高鍋爐效率，通常煙道氣溫度每降低 20℃，鍋爐熱效率約提高 1%。

根據中國廈門市各種設備檢驗檢測院關小穎研究指出，中國積極推動燃油鍋爐轉用天然氣，增設鍋爐尾氣熱回收設備，改善整體鍋爐效率，將尾氣溫度降至 100℃ 以下，並控制過量空氣係數在 10% 以下，使其整體鍋爐效率從 82.46% 提升至 93.91%。因此，在燃料油鍋爐轉用天然氣時，其尾氣廢熱回收是一重要節能措施，也是影響鍋爐能源效率的關鍵。

（三）附屬設備之節能效益

圖 4 為燃料油鍋爐設備示意圖，茲就燃料油鍋爐轉用天然氣鍋爐相關附屬設備節能效益概述如下：

1. 減少燃油貯存槽、日用槽及進入鍋爐

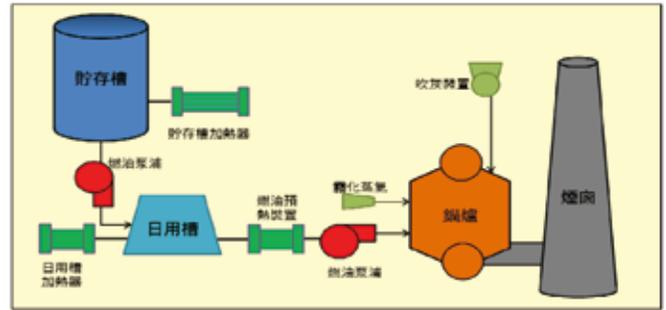


圖4 燃料油鍋爐設備示意圖

前加熱器耗能

燃料油貯存時需保持流動性以利泵送，通常以電熱器及蒸汽加熱貯存槽及日用槽，而進入燃燒機之前，更需要預熱至 100℃ 左右，轉用天然氣鍋爐可節省加熱器耗能及保養費用。

2. 減少燃油泵浦耗能

燃料油輸送需要泵浦從貯存槽泵送至日用槽及日用槽泵送進鍋爐，天然氣則是以壓力運輸，轉用天然氣之後可節省泵浦運轉耗能及保養成本。

3. 無須蒸汽霧化耗能

部分鍋爐是藉由蒸汽協助燃油霧化，這些蒸汽會噴入鍋爐形成煙道氣熱損失，天然氣由於混和均勻，不需要蒸汽輔助霧化，可節省霧化耗能。

4. 無須吹灰設備

部分燃油鍋爐定時會以高壓空氣或是蒸汽噴入鍋爐內，將熱傳面上的積碳及灰份清除，以提高熱傳效率，但是吹灰同時需要耗能（高壓空氣或蒸汽能量），且過程中鍋爐溫度會下降，造成能量損失，天然氣由於燃料乾淨，一般工業用鍋爐不需要進行吹灰。

5. 降低保養成本

舉凡泵浦、燃油加熱裝置、貯存槽、煙道清潔及燃油濾網清洗等設備維護保養，都是需要投入人力，甚至會影響生產流程，轉用天然氣後可節省保養費用，間接降低生產成本。

6. 無燃料運費

燃料油每公秉需額外負擔運輸費用，天然氣靠壓力輸送，不需要增加燃料運費成本。

7. 其他：

天然氣鍋爐提高鍋爐效率意謂可節省鍋爐飼水，亦同時節省軟水處理費用及藥劑添加費用，同時燃料不含硫份，可減少金屬腐蝕問題，減少燃料油鍋爐添加助燃劑費用及後端除塵設備運轉費用及維護人力成本等。

三、導入 ESCO 創新商業模式

根據鍋爐協會調查 300 家能源用戶之研究結果顯示，有 50% 能源用戶評估採用燃料油轉換天然氣之措施，但僅有 19.3% 用戶實際轉換天然氣鍋爐，歸納主要因為天然氣管線仍在持續擴建中，大部分用戶管線距離過遠，造成管線初設備用高昂，再加上燃料油與天然氣價差不顯著，且缺乏量測驗證專業技術，導致節能效益難以評估，致使汰換意願低落。因此透過 ESCO 專案商業模式，可有效解決用戶轉換之障礙。

(一) 能源技術服務業 (ESCO) 專案模式

ESCO 節能績效保證型契約是業主透過未來節能改善專案所獲得的節能量，支付節能改善專案所需要之初期投資成本。ESCO 業者提出整體節能規畫，並於專案執行中，業主可與 ESCO 共同分享節能收益，而在專案結束後，所有的節能收益都將歸業主所有，績

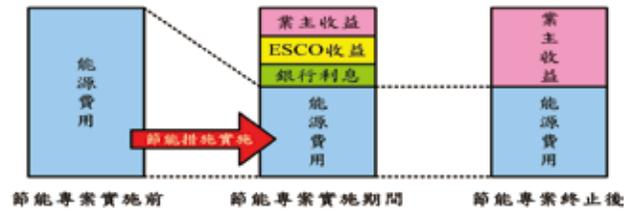


圖5 ESCO 節能績效保證型契約之節能收益示意圖

效保證型契約節能改善專案之節能收益示意圖如圖 5 所示。

(二) 燃料油轉用天然氣引入 ESCO 商業模式規劃

規劃由 ESCO 業者提供能源用戶整體鍋爐系統解決方案，再由節約能源費用金額攤提工程費用，進行鍋爐轉用天然氣統包工程。

ESCO 廠商提供全方位節能服務、提供管線鋪設費用及工程資金，中油公司負責鋪設管線及與用戶簽訂天然氣最低使用量，能源用戶則配合進行工程施工。

完工後能源用戶依照量測驗證節約金額支付工程款項，ESCO 廠商則從中油公司分期拿回管線初設費用，專案的服務流程及金流如圖 6。

四、燃料油鍋爐轉換天然氣成功案例

ESCO 商業模式可解決用戶於鍋爐節能改善設計規劃、量測驗證過程及節能效益計算上之困難，並減少用戶初設費用，以下為某飯店透過節能績效保證專案落實燃料油鍋爐轉用天然氣案例說明。

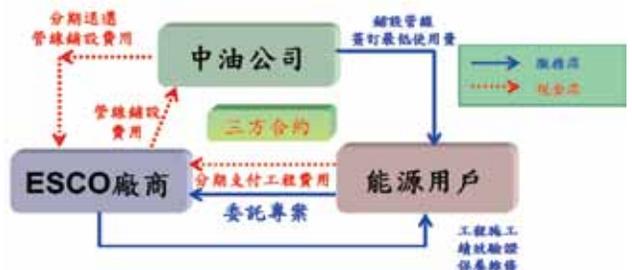


圖6 以ESCO商業模式燃料油鍋爐轉用天然氣引述



(一) 改善範疇

飯店改善前使用重油蒸汽鍋爐供應 2 台，供給熱水給客房淋浴及廚房使用，原鍋爐燃燒機型式為甩杯式，機型老舊已使用 23 年且保養成本高，透過 ESCO 先期診斷規劃，將蒸氣重油鍋爐 2 台汰換為貫流式天然氣鍋爐 3 台，並加裝熱回收裝置及能源管理系統 1 套，解決環境污染排放問題並提高能源使用效率，降低燃料成本。

(二) 量測驗證方法

鍋爐系統依照財團法人台灣綠色生產力基金會 - 所公布熱泵 M&V 參考範本「天然氣鍋爐取代現有的重油鍋爐加熱系統，量測與驗證熱水加熱系統改善後的節能效益」Rev 1.03 版之「B-01」方法辦理量測與驗證節能績效。計算改善前後鍋爐單位熱值的能源費用及耗能量，將改善前後數值相減再乘以改善後日平均能源用量及約定每年之使用天數，計算改善後每年的節能效益。節能率計算公式如 (3)：

$$\frac{E_{base-u} - E_{post-u}}{E_{base-u}} \times 100\% \quad (3)$$

E_{base-u} (Mcal/Mcal)：基準線單位鍋爐熱值之耗能量

E_{post-u} (Mcal/Mcal)：改善後單位鍋爐熱值之耗能量

節能金額計算公式如 (4)：

$$(F_{base-u} - F_{post-u}) \times H \times d \quad (4)$$

F_{base-u} (元/Mcal)：基準線單位鍋爐熱值之能源費用

F_{post-u} (元/Mcal)：改善後單位鍋爐熱值之能源費用

H：改善後日平均天然氣總用量

d：年使用天數

(三) 專案節能成效

改善前基線建立及改善後量測驗證後，某飯店鍋爐系統量測項目結果如下表 1 所示，節能成效計算後，年節能金額為 214.5 萬元，節能率為 20.86%。

表1 某飯店鍋爐轉用天然氣改善前後量測項目數據

量測項目	單位	改善前	改善後
鍋爐效率	(%)	71.2	90.3
單位鍋爐熱值之耗能量	(Mcal/Mcal)	4.76	3.67
單位鍋爐熱值之能源費用	(元/Mcal)	1.87	1.48
改善後日平均天然氣總用量	(m ³ /天)	--	5393.4
年使用天數	(天/年)	365	365

五、結 語

能源技術服務業 (ESCO) 商業模式具有以節省能源費用分期攤還專案經費之特色，能源用戶不須負擔能源改變之初期硬體投資費用，可有效解決工業用戶於轉換天然氣過程中，因管路設置所產生的投資費用，並以統包之方式，納入鍋爐整體節能改善、燃燒器汰換至後端設備維護等整合服務，降低用戶進行轉換時所產生的技術瓶頸，並輔以國際量測驗證方法，量化節能效益，確保用戶長期之節能效益。

國際天然氣價格因頁岩油開採，導致美國從天然氣進口國轉為出口國，造成天然氣產量增加，對於天然氣未來價格的影響，會出現對買方較有利之價格，再加上永續環境概念逐步落實，擴大天然氣使用為日後趨勢。建議能源主管機關或中油公司可採取透過 ESCO 商業模式來推廣天然氣應用，以配合政府政策降低我國溫室氣體排放量，協助用戶節省能源成本及提高能源使用率，並擴大 ESCO 產業與中油國內天然氣市場，達到政府、業者及用戶三贏的局面。◎