

甲醇燃料替代燃油與燃氣可行性評估

工業技術研究院綠能所

張文振

自 109 年 7 月 1 日起，台灣的鍋爐空污排放標準下修為粒狀物 30mg/Nm³、SO₂ 為 50ppm 及 NO_x 為 100ppm。由於環保排放法規限制造成國內工廠的中小型鍋爐須改用天然氣。但天然氣在運輸上較為困難，並不適合所有工廠使用，甲醇遂成為可符合新環保排放標準與方便運輸的替代燃料選項之一。

以甲醇替代傳統化石燃料應用於鍋爐，主要有如下之優點：

- 甲醇方便儲運，便於應用與推廣：甲醇是液態燃料，產能大、生產技術成熟，原料來源廣泛，可沿用原來的汽柴油等液體燃料的儲運方式，可實現迅速規模化之推廣使用。
- 甲醇具有環保低排放的特性：相等熱值替代燃煤或柴、汽燃油，可減少 80%以上 PM2.5、95%以上 SO₂、90%以上 NO_x、50%以上 CO₂，減排效益十分顯著。在國內天然氣管路不易抵達之場所，可直接以甲醇替代天然氣為乾淨燃料。
- 甲醇十分適合燃油鍋爐置換：和燃氣鍋爐相比，醇基燃料鍋爐在燃燒機本體與燃料供應系統的軟硬體改造上，相較於天然氣鍋爐將更簡單、更經濟。

傳統鍋爐在進行甲醇燃料置換時，由於甲醇的物理化學性質和熱值等特性，仍是有別於傳統的燃煤或燃油，因此，鍋爐在置換為甲醇燃料時，對於燃燒機本體、供氣系統、供醇系統及電控系統等均須進行適度的修正與改裝，同時，由於甲醇本身具有毒性，對於管件與閥

件等材料具有腐蝕性，在燃燒使用的過程中有可能產生甲醛或甲酸等有害物質，故在使用上仍需特別小心和防範。

(1) 台灣甲醇燃料環境建構要項分析

A. 台灣甲醇使用現況與發展

圖 1 統計資料顯示目前台灣共有 6 間主要的甲醇進口廠商，分別是台塑集團、長春集團、台灣中油、李長榮化學、勝一化工與中石化開發(高雄大社的醋酸工廠停工後已停止進口)。台灣廠商的甲醇進口價格與全球各地的牌價差異不大。台灣進口甲醇的公司目前仍以自用為主，主要用於合成醋酸、甲基叔丁基醚(MTBE)、甲醛與甲基丙烯酸甲酯(MMA)等下游化學產品。另外，有部分廠商也進行國內甲醇的銷售，中油是目前國內主要的甲醇大盤批發商，售價主要有兩種模式：第一種模式是採用合約價，一年一簽，每年會依據國際現貨價格進行調整；第二種模式是以現貨方式販售，但這些現貨必須是在中油自用以及合約供應之外有剩下來的甲醇才存在。現貨價格主要是直接參考國際甲醇的牌價再加上手續成本進行定價，每週均會做一次調整。勝一和榮化也有銷售，但規模較中油小很多，皆是以現貨銷售為主，其銷售價格參考中油定價。

由於從甲醇進口入港、槽車運送至工廠與鍋爐燃燒整個流程是連續的，所以，只要事先作好調配規劃，在現有的建設規模下，要增加進口量的問題不會太大。但國內主要進口大廠均建議國內個別燃料使用廠商皆須自行建造小型的甲醇燃料儲槽，這樣才方便與供應商直接進行調度配送。另外，需要特別注意小型工廠甲醇儲藏安全問題以及甲醇槽車於甲地運送至乙地過程中的安全性。經本計畫實際調查訪談，中油公司表達意願可全力配合政府政策來進行甲醇的銷售工作，另外，勝一與榮化也有興趣加入甲醇燃料販售業務。

目前國際上的甲醇產能仍遠大於需求端，因此，較不會有在國際

市場買不到甲醇現貨的問題，唯一擔心的是怕來源國的短期停工或中國大陸煤化工搶料所造成售價暫時飆高的問題。

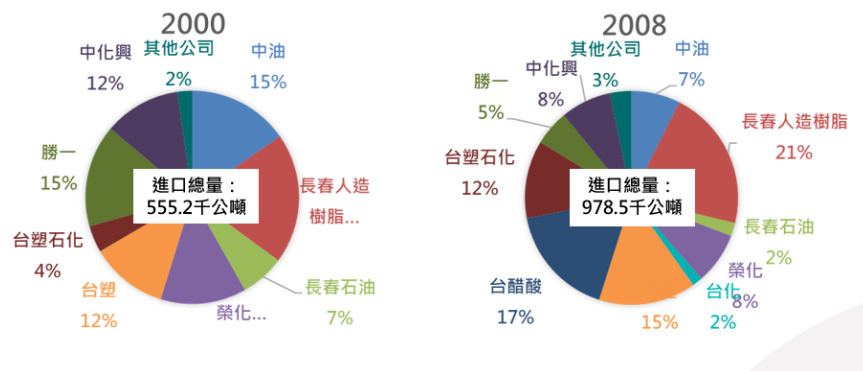


圖 1、台灣主要甲醇進口商分析

B. 台灣甲醇燃料環境建構要項分析

圖 2 為台灣甲醇燃料環境建置分析結果。甲醇在生產上大多以天然氣作為原料，僅有天然氣生產國能以較低的成本生產甲醇，因此台灣並不適合自行生產甲醇，皆是以向生產國購買進口為主。圖 3 為 2000-2019 台灣甲醇主要進口國家變化情形，2010-2019 台灣甲醇進口量介於 1,000-1,500 千公噸之間，呈現逐年成長。資料顯示自 2000 年起迄今，沙烏地阿拉伯、卡達、巴林和阿曼等中東國家為台灣主要的甲醇進口來源，但自 2018 年起，台灣從千里達、美國、韓國與汶萊等國家進口甲醇的比重較往年提升，進口價格大約在 400 美元／公噸上下。目前台灣的化學品製造商多從中東與東南亞等國家進口甲醇來生產化學品，僅有中油、勝一與榮化有對外進行甲醇販售。在銷售價格上，若非合約銷售，其現貨價多和主要商情機構之牌價差異不大。現階段有中油、勝一與榮化等廠，均表示有意願配合政府政策來增加甲醇進口量，以因應國內將甲醇作為鍋爐燃料的新需求。

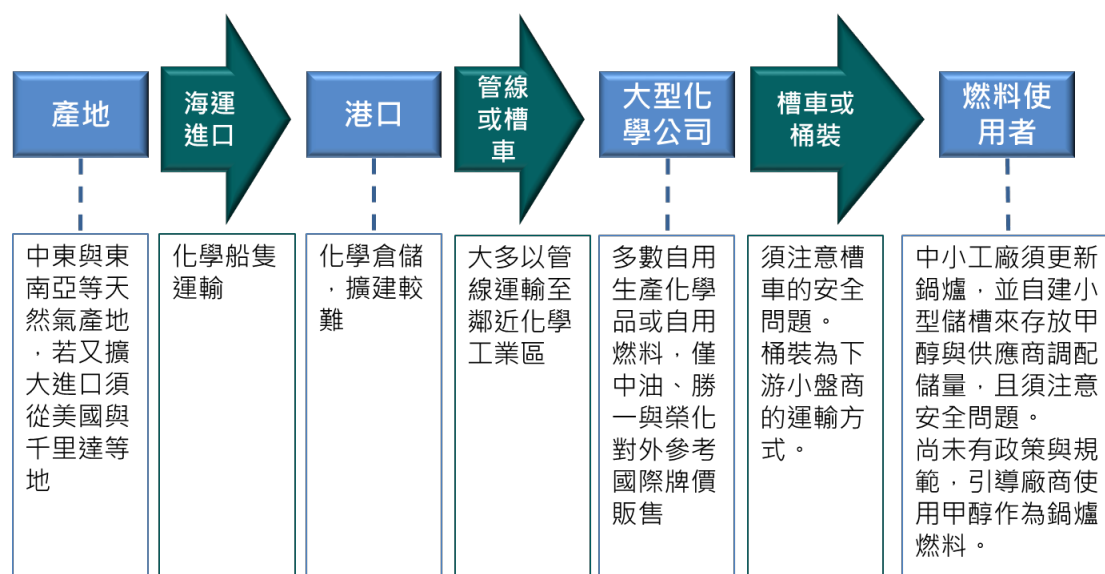


圖 2、台灣甲醇燃料環境建置分析

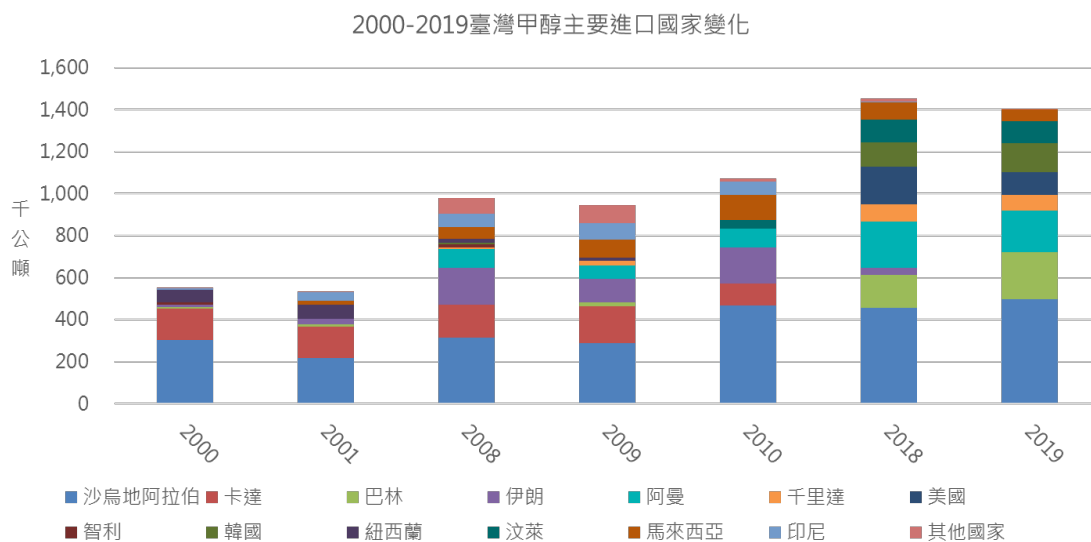


圖 3、2000-2019 台灣甲醇主要進口國家

若要將甲醇作為中小型偏遠工廠的鍋爐替代性燃料，本研究有下面幾點建議：

- 天然氣管線無法抵達的偏遠工廠，可以使用甲醇替代燃油或燃煤作為鍋爐燃料，以符合環保法規限制。
- 由於國內現有碼頭儲槽擴建不易，若要增加甲醇的進口量來做為鍋爐燃料，欲使用鍋爐的中小型工廠建議須自行建造小型的甲醇

儲槽與供應商進行調節，且須特別注意甲醇儲放的安全性問題。

(c) 國內業者現行已運行的槽車載運，在運送甲醇燃料上，只要排程安排得宜，應該是可以應付由碼頭運送到各個工廠的需求，但槽車在馬路上運送的公共安全問題需特別注意。

(d) 另外，目前國內尚未有甲醇鍋爐的相關法規，在甲醇鍋爐法規的制定上，本研究有下面幾點建議：

(i) 需有誘因來獎勵中小型偏遠工廠將燃煤或燃油鍋爐改建成可以燃燒甲醇的鍋爐。

(ii) 可以參考國外的標準來制定台灣甲醇鍋爐的燃燒標準。

(iii) 由於甲醇的 VOC 較高，使用時須注意是否會與『固定污染源設置操作及燃料使用許可證管理辦法』相互抵觸。

(2) 甲醇作為鍋爐替代燃料之技術經濟可行性分析

由於甲醇每單位質量的能量大約只有燃料油的一半，一般甲醇燃料用於工業中小型鍋爐者居多，但甲醇不論應用於何種類型的鍋爐，都要用到燃燒機，因此，甲醇燃燒機如何正確設計、操作使用及維護，將與鍋爐的熱效率及使用成本息息相關。

甲醇作為替代能源有三大優點：一是產能大，使用上十分便利。甲醇的生產技術成熟，原料來源廣泛，可由煤、焦爐氣、生物質、天然氣、二氧化碳等做為原料；二是方便儲運，便於推廣。醇基燃料是液態燃料，可沿用原來的汽柴油等液體燃料的儲運方式，可實現迅速規模化推廣使用；三是環保低排放。甲醇本身燃燒不會生成 PM_{2.5}、二氧化硫，氮氧化合物排放均低於天然氣，是屬於十分具有潛力的清潔環保燃料之一。

A . 甲醇的燃燒特性

圖 4 為日本電力中央研究所橫須賀研究所，利用一座內徑 1 米，長度 2.5 米的燃燒試驗爐，來測試粗甲醇(crude methanol)與重油兩種不同燃料的實驗結果[1]。由圖 2-27 實驗結果顯示，使用甲醇燃料時，其燃燒爐火焰區的燃氣溫度分布明顯比燃燒重油時要來得低，此外，燃燒甲醇的 NO_x 排放值僅 18ppm，相較於燃燒重油的 220ppm，其 NO_x 降低幅度達 90% 以上。不過，燃燒甲醇的 NO_x 排放值雖然極低，但是，其燃燒過剩氧含量必需維持在 2% 以上，以維持甲醇燃燒處於良好的 CO 排放值。另外，由於甲醇的火焰溫度比常規燃料(例如重油)的火焰溫度低，而且其火焰是屬於非發光(non-luminous)火焰，所以，使用甲醇燃料的爐吸熱率低於重油。因此，在甲醇燃燒設備的設計修正，必須提供足夠的傳熱面積，例如鍋爐的容積需要加大以維持相同的蒸汽蒸發量。

B . 甲醇燃料的優點與低汙染特性

甲醇用作燃料已被證明僅需對設備進行少量改動即可用於鍋爐、發動機和汽渦輪機。容量小於 100 MW 的發電廠，無論是使用燃氣輪機還是往復式發動機，都可以轉換為甲醇。若甲醇燃料與 LNG 進行比較，使用甲醇作為燃料僅需對燃燒設備與燃燒控制系統只需進行較小的硬體修改。

在經濟成本考量下，由於液化天然氣需要大型且昂貴的液化天然氣再氣化設施，因此，改造發電廠使用甲醇的資本成本將可低於使用液化天然氣的資本成本。再者，甲醇與現有的柴油基礎設施兼容，從而也減少了實施時間和成本。因此，隨著研究的開展，甲醇燃料替代應用於鍋爐、發動機與汽渦輪機的經濟和環境可行性不斷提高。

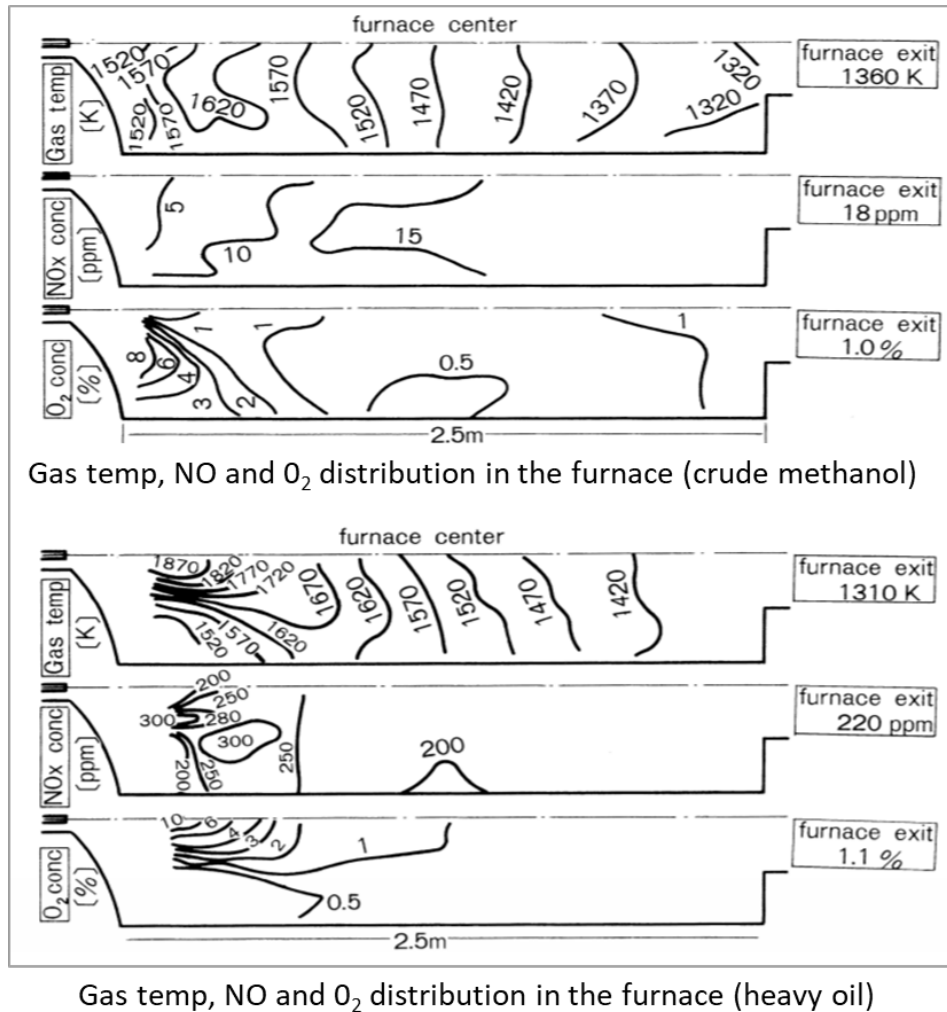


圖 4、甲醇與重油燃料燃燒性能比較[1]

傳統柴油或燃料油的燃燒溫度高過甲醇，相較之下甲醇在較低的溫度下燃燒會產生較少的 NO_x 排放。同樣，柴油和燃料油中的硫化合物和重烴(heavy hydrocarbons)，在燃燒過程中會分別轉化為 SO_x 和粒狀物。相反，甲醇不含硫或重烴，因此完全排除了 SO_x 的產生和粒狀物的排放[2]。

圖 5 為以色列埃拉特發電廠使用 #2 燃料油和甲醇的污染物排放比較，這是目前世界上使用雙燃料(#2 燃料油和甲醇)的最大發電廠[3]。甲醇與使用#2 燃料油相比，觀察到 NO_x、SO_x 和粒狀物排放量顯著減少，尤其當使用甲醇作為燃料時，其 SO_x 的排放幾乎完全消除，而粒狀物排放也減少了約 95%，NO_x 排放則減少

了約 80%。通常，在低負載下運行時，使用甲醇的 CO 排放量會比燃料油高，此乃由於甲醇的燃燒溫度較低，並且使用較多的過量空氣燃燒之故。然而，在滿載負荷運行或負荷超過 80%時，甲醇還是較具競爭力。

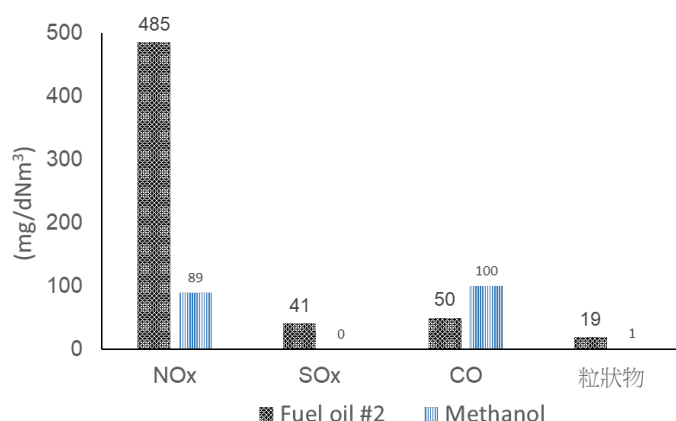


圖 5、埃拉特發電廠使用甲醇之空污排放比較

C . 甲醇燃料應用於鍋爐所面臨的技術問題

當甲醇用為鍋爐電燃料時，由於甲醇燃料的成分組成、性質和熱值等均與燃料油差異極大，因此，在燃燒設備、燃控系統和操作條件上，皆必須進行適當的修正或改變。一般而言，當鍋爐置換為甲醇燃料時，其可能面臨的關鍵問題包括燃燒器本體、燃控系統，燃料供應系統，燃油卸載和儲存設備、消防安全設備、以及操作流程的各種修正等。其詳細內容分述如下：

(a) 燃燒設備修正：

傳統燃油系統轉換為甲醇燃料，需要對燃燒器或噴嘴或霧化器進行少量的更動與調整，以符合甲醇燃燒的實際需求。

(b) 燃料供應系統：

甲醇的發熱量大約只有燃料油的一半，因此，為了確保鍋爐仍保有相同的發電量或發熱量，需要燃燒多一倍流量的甲醇。因此，須將

原噴嘴尺寸替換為高流量的噴嘴。另外，原來的軸驅動燃油供應泵需更換為可由外部控制的高壓電動泵，該泵可設計為具有兩個分支，一個分支用於驅動柴油或重油，另一個分支則用來驅動與甲醇聯動的閘閥，流量調節閥需要更換為更高流量的閥或更換為可由變速驅動器來驅動；最後，壓力閥和洩壓閥及其相關的燃油管路還需要替換為較大口徑的管路，以利於輸送更高流量的甲醇。

(c) 點火系統與低負載操作：

甲醇的蒸氣壓比柴油高，為了防止由於氣鎖效應所引起的燃燒不穩定現象，啟動時應使用其他傳統燃料（例如柴油）進行點火。因此，在啟動階段和低負荷運轉階段，還是維持以傳統燃料油來操作。因為甲醇在環境溫度下具有腐蝕性，是需要採用雙燃料管路系統的另一考量重點，以設法避免或降低原設計管路設備可能被甲醇腐蝕的風險。

(d) 升級燃料儲存和卸載系統：

甲醇的沸點比柴油低，容易蒸發且易燃，現有的柴油儲存和卸載系統必需加以修改後才能處理甲醇，一般建議可增設新系統以實現卸載系統的雙燃料功能。另外，須在甲醇儲存槽內安裝內部浮頂(internal floating roof)以減少甲醇蒸發，還必須考慮使用乾燥氮氣等惰性氣體來覆蓋或填充，以提高甲醇儲槽內可能被引燃的安全保護。

燃料油卸載和管路系統可能也需要升級，升級後的卸載管道系統應具有兩個輸送泵。在某些情況下，可能需要實施蒸汽回收裝置，還需要更大的儲罐，因為產生與柴油相同的熱能需要兩倍體積的甲醇。

(e) 修改安全系統：

甲醇的低火焰溫度和不發光火焰的特性，可能需要特殊的火焰偵測設備。在某些情況下，紅外線攝像機已用於協助偵測甲醇火焰。滅火系統也必須進行修改，須改用耐醇泡沫，可能還必須考慮使用蒸氣檢測器，因為大量蒸氣會引起著火和回火的可能。另外，還必需準備

用於處理甲醇的人員防護裝備。

(f) 其他：

甲醇比其他燃料更具腐蝕性和毒性，應評估管所有管路、閥件上的密封件、O 型環(O-ring)和其他處理設備可耐甲醇腐蝕，以免引發危險。

D . 甲醇作為替代燃料之成本效益分析

甲醇作為鍋爐燃料的主要優勢在於甲醇在室溫下為液態，因此，燃油鍋爐只需少量與廉價的改裝，即可與現有的柴油或燃油基礎設施兼容。這種基礎設施兼容性的優勢，讓使用業者可以在短時間內快速有效地對鍋爐設備進行設備改造，若和更換為天然氣燃料的工程相比，不但可大量減少改裝費用，亦可大幅縮短改裝時程。另外，甲醇的分配、裝卸，存儲和加油系統，十分類似於已在使用中的柴油或燃料油系統。甲醇與液化天然氣不同，甲醇完全不需要用於具有低溫材料，以及再氣化和儲罐等大量資本投資。因此，甲醇對於小市場如島嶼和偏遠地區，尤其是天然氣管路基礎建設無法抵達的地區特別具有吸引力，因為相較於 LNG，甲醇具有經濟效益高和可進行小批量運輸的優勢。

儘管甲醇十分適合用作鍋爐替代燃料的選項之一，但與其他燃料相比，其市場價格波動不定，此對甲醇的競爭力構成了威脅和增加了一些不確定性。但是，如果有生產商願意通過與天然氣價格掛鉤的長期合約來販售甲醇，則可以協助甲醇燃料的使用業者降低這種風險。因此，考慮使用甲醇作為燃料的使用業者應謹慎制定甲醇採購策略，以確保在多個商品價格週期內仍然可以保有良好的營運競爭力。

結論與建議

甲醇作為鍋爐燃料的主要優勢在於甲醇在室溫下為液態，因此，燃油鍋爐只需少量與低成本改裝，即可應用現有的柴油或燃油基礎設施，這種基礎設施兼容性的優勢，讓使用業者可以在短時間內快速有效地對鍋爐設備進行改造，這和更換為天然氣燃料的工程相比，不但可大量減少改裝費用，亦可大幅縮短改裝時程。另外，甲醇的分配、裝卸，存儲和加油系統，十分類似於傳統的柴油或重油系統，相較於天然氣，甲醇具有經濟效益高和可進行小量運輸的優勢。因此，甲醇對於小型市場，例如島嶼和偏遠地區，尤其是在天然氣管路無法抵達的地區特別具有吸引力。

由於中小型鍋爐改造使用甲醇燃料之工程十分簡單，比新建天然氣鍋爐可以節省大量的投資，改造後的甲醇鍋爐效率高，環保效益明顯。再者，當鍋爐改造為甲醇燃料時，由於煙氣中不含任何 SO_x 污染物，相較於重油系統，將有利於回收更多的煙囪排氣廢熱，估計改造後的甲醇鍋爐效率應可達 90% 以上。

參考文獻

1. Tohru Sema and Mikio Sato, “Combustion Characteristics of Methanol Fuel in a Test Furnace,” Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).
2. Y. Hain, B. Chudnovsky, A. Talanker, A. Kunin, N. Rappoport, M. Rreshet, M. Shternshus, S. Baitel, “Methanol Fuel as Low Cost Alternative For Emission Reduction in Gas Turbines and Utility Boilers”, 2012.
3. IEC, Dor Chemicals, “Preliminary Report GT Performance with Methanol Firing After Retrofit”, Unit No. 3, 2014.