

淺談船艦推進系統型式之應用

吳侑龍

不論商用船舶或是軍事作戰艦艇，其主要使用之推進系統為：柴油機(Diesel Engine)、燃氣渦輪機(Gas Turbine)、蒸汽渦輪機(Steam Turbine)、電力推進馬達(Electric Motor)與核動力推進(Nuclear Power)。其中不同形式之發動機，所具有之操縱性、輸出馬力、體積、維修成本、可靠度、耗油量等，均為艦艇在建造選用時之重要考量因素。

如商船大多數建造後即使用其設計船速在其生命週期中運行大多數時間，海巡之近岸巡邏艦，大多數在該專屬經濟海域內以 10 至 18 節船速巡邏、驅離、警告等任務；另軍艦中噸位較小之高速巡邏艦艇，所需要之船速可能高達 40 節以上、中大型之巡防艦，船速可能僅需 30 節，故所需之任務形式將會影響建造時之艦艇噸位、裝備配置、裝備性能等不同裝備之選用，屬必須納入考量之重要因素。

船艦推進系統概分下列幾種：

一、柴油機(Diesel Engine)

現今大約 90%船艦使用之發動機以柴油機為主，因其具有在大範圍不同負載條件下，有較高之轉換效率(約 0.49 至 0.53)、相對應較為節約之單位耗油量(Specific Fuel Oil Consumption, SFOC)、廣泛應用且可靠、後勤維修能量較高、維修料件齊全與維修工廠較多等優點，惟亦伴隨著較大之振動、噪音；另因燃燒室工作溫度高，導致空氣中氧氣(O_2)與氮氣(N_2)產生化學反應，產生較高之氮氧化合物(NO_x)，另使用燃油中之成分，在高溫反應下，亦產生碳化物(CO_x)與硫化物(SO_x)等缺點，將導致臭氧層破壞、酸雨、溫室效應等負面環境影響。

二、燃氣渦輪機(Gas Turbine)

燃氣渦輪機具有緊密(Compact)、重量輕、維修更換容易、高產出功率、輸出反應快速等特性，惟當其在小於全載或接近非全載運作時，其單位耗油量顯著增加。燃氣渦輪機之標準工作環境條件為 15°C、相對濕度 60%、氣壓 1.013 巴(bar)，據文獻分析與計算，環境空氣溫度較標準工作條件每上升攝氏 1 度，其產出功率將下降約 0.5 至 1%，反之，如使用外在方法將進氣溫度每降低攝氏 1 度，其功率可上升約 0.5%；另其轉換效率亦較柴油機低，且葉片等組件需依運作時數實施定期保養，在其高溫燃燒室(約 1800-2200°C)中，亦會產生氮氧化合物(NO_x)，對整體環境產生衝擊。

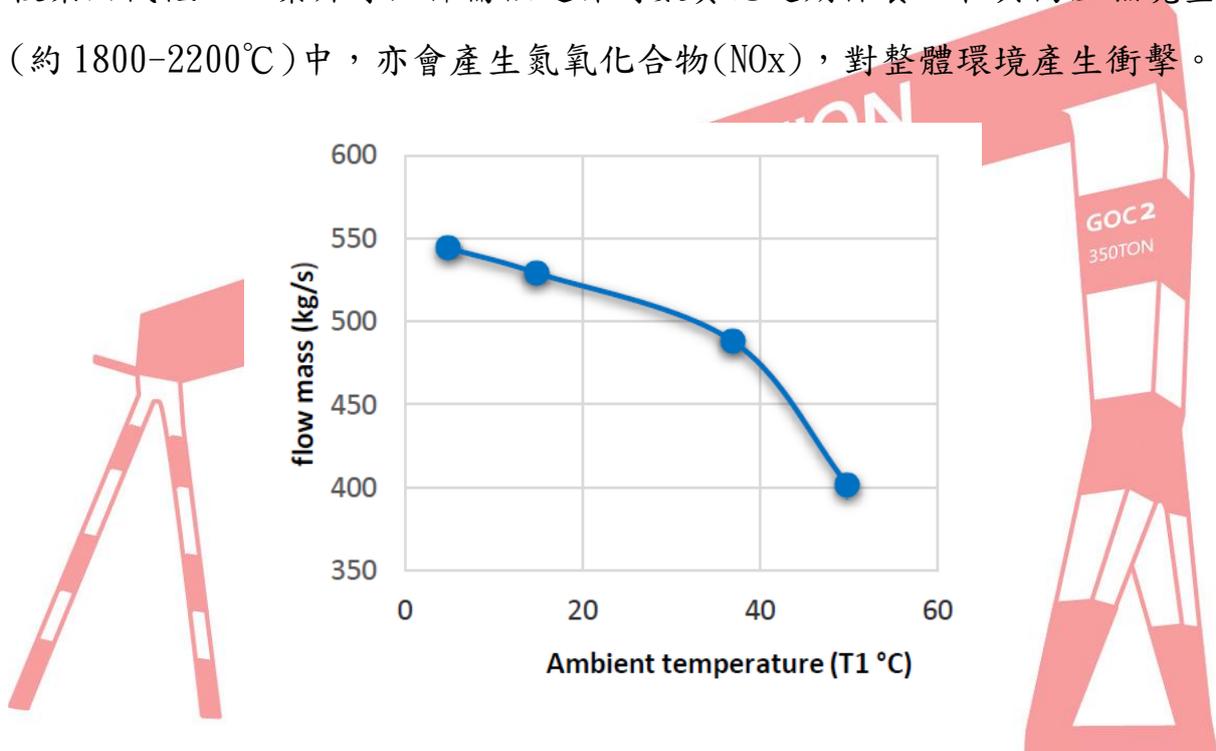


圖 1：燃氣渦輪機環境溫度與進入其內部流體質量變化

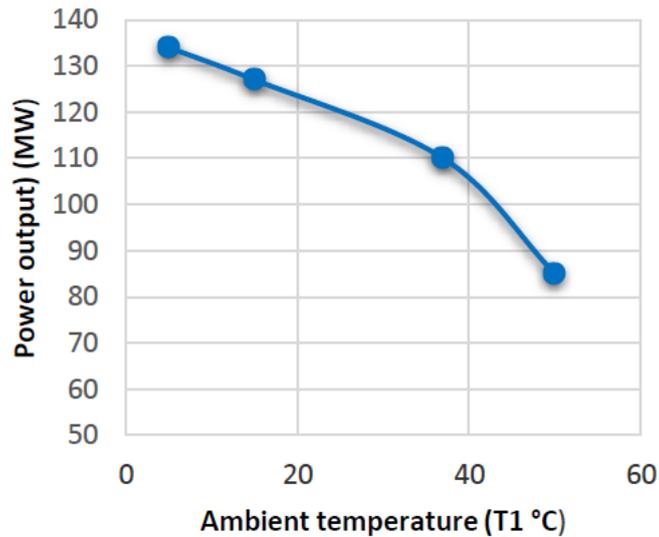


圖 2：燃氣渦輪機環境溫度與其輸出功率之變化

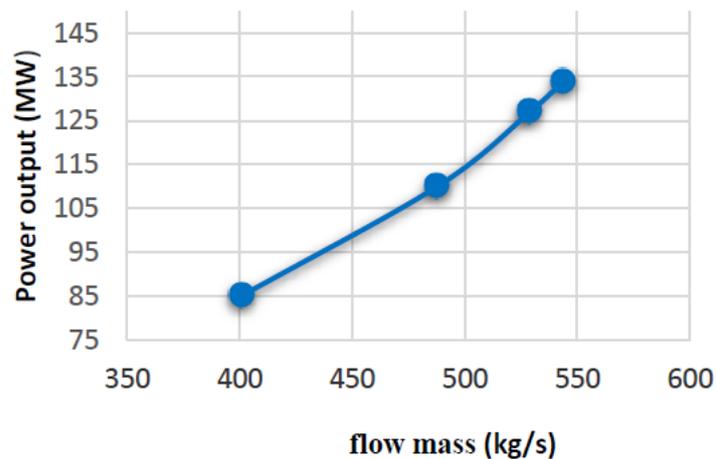


圖 3：燃氣渦輪機輸出功率與進入其內部流體質量關係

三、蒸汽渦輪機(Steam Turbine)與核動力(Nuclear Power)

傳統蒸汽機係使用鍋爐(Boiler)燃燒，將水轉換為過熱蒸汽(Superheated steam)後，使用該蒸汽推動渦輪機(turbine)，具有運作安靜、高耐用性、低轉速時之高扭力輸出等優點，一般來說，其燃燒室燃氣溫度(800-1200°C)相對於柴油機(1800-2200°C)較低，故產生之氮氧化物(NO_x)亦較低，對環境產生之衝擊較小；惟其缺點包含油耗消耗較柴油

機稍高、需配備獨立一組向後推進使用之渦輪機(Turbine)、且船艦可操控性較低；其產汽來源鍋爐，依美海軍律定，不同艦型定期檢查(Routine Inspection)週期為12個月至24個月不等，一般每60個月需執行鍋爐強度與全面性檢查(Strength and Integrity Inspection)，亦會導致艦艇之可操作性降低。

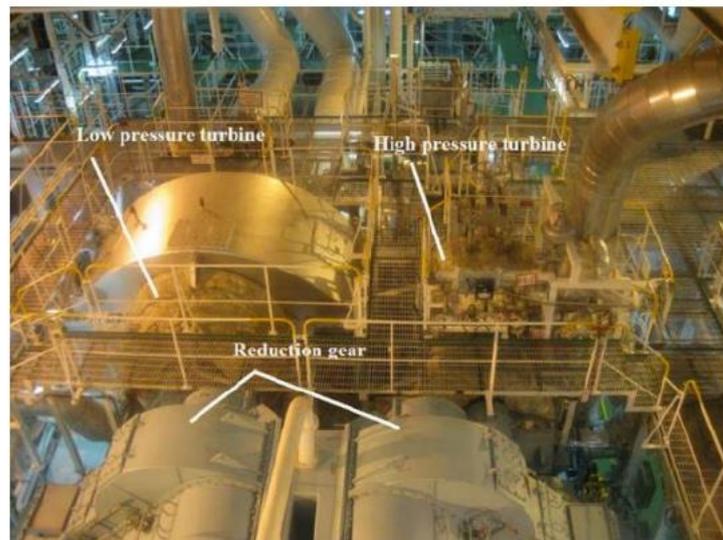


圖 4：蒸汽渦輪機之高低壓渦輪機(Turbine)與減速齒輪(Reduction Gear)

核動力推進屬蒸汽推進之分支，與傳統蒸汽鍋爐使用燃油作為燃料，其不同處在於使用核能作為能量轉換之原料，整個能量轉換過程中不需藉由氧氣達到燃燒，故不會產生二氧化碳(CO₂)、氮氧化物(NO_x)、硫化物(SO_x)等有害物質；依美海軍設計，其一次補充燃料可使米尼茲號(Nimitz-class)航空母艦之核反應爐運作 20 年，此種概念非常適合商業船舶使用，使其可增加艦艇功能設計、船速、航運路線等運作彈性；惟其缺點為需要特殊專業人員執行維護，使其維護性受到限制，且多數國家與國際間對於核能之規定不盡相同，如應用於商業船舶時，其設計考量須配合預計停靠國家之規定，使難度大為提升，使核動力艦艇之應用受到限制。

四、電力推進馬達(Electric Motor)

電力推進馬達顧名思義使用馬達推動大軸與車葉轉動，其仍會配備主要發動機(Prime Mover)產生電力，並藉由主要匯流排(Main Switchboard)、濾波器(Filter)、頻率轉換器(Frequency Converter)後，連接到電推馬達後，帶動大軸與車葉轉動(如圖 5)。此種推進方式具有以下優點：易維修、高度可靠性與耐用性、高度自動化、相對於傳統發動機體積小、震動小、噪音小、重量輕，並可使主要發動機在適當負載下運作，使其對環境產生較小影響、另因其重量較輕，可使船艦有較多餘裕度可裝載其他物品；然而，因其經過多層能量轉換，平均轉換損失約 8%至 12%之能量(如圖 6)，相較於傳統柴油主機僅 2 至 4%之能量損失。

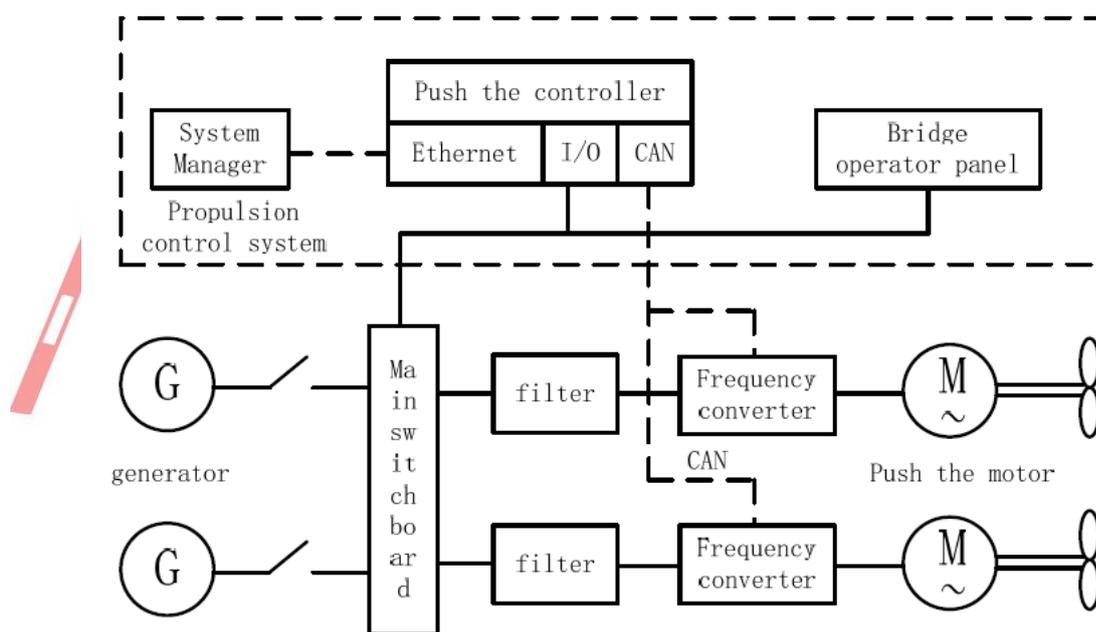


圖 5：電力推進馬達之系統架構示意圖

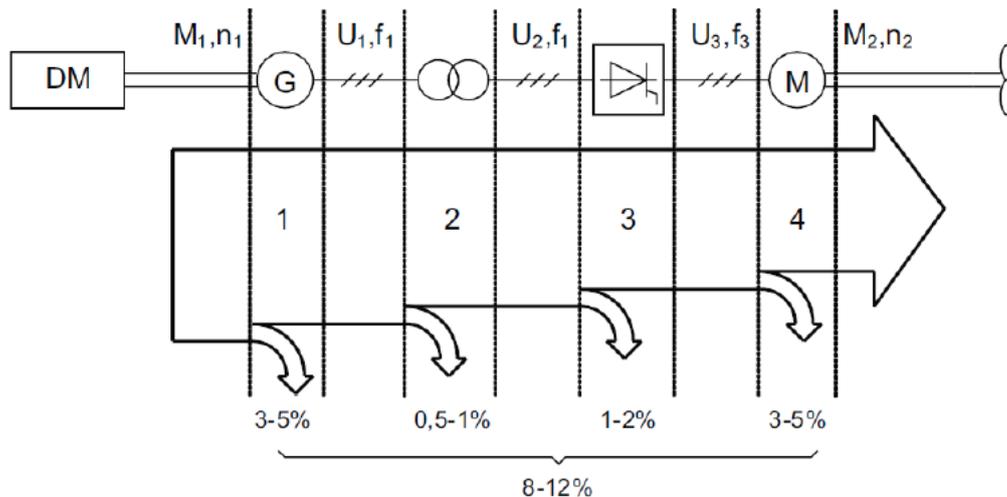


圖 6：電力推進馬達能量轉換損失示意圖

近年隨著全球經濟及現代化科技發展，使得「地球村」的狀況越加明顯，故在執行艦艇設計時，不單單要考量船艦自身主要任務目標，亦須考量各國法規、民情、政治等接受度與後勤維修能量，方能以最有效率之方式訂定船艦設計需求，進而最大化有限的資源與時間成本，達成多贏的局面。

參考資料：

1. I. Krmeek, V. Mrzljak and I. Poljak, "Analysis and Comparison of Ship Propulsion Systems," 2022.
2. B. Pinnekamp, F. Hoppe and M. Heger, "Combined Marine Propulsion Systems: Optimization and Validation by Simulation," 2012.
3. D. N. Bulten, "A Breakthrough in Waterjet Propulsion Systems," in Doha International Maritime Defence Exhibition and Conference, Qatar, 2008.
4. Semin, A. R. Ismail and R. A. Bakar, "Combustion Temperature Effect of Diesel Engine Convert to Compressed Natural Gas Engine," American J. of Engineering and Applied Sciences, pp. 212-216, 2009.
5. LM2500 Marine Gas Turbine. [Performance]. General Electric, 2023.
6. Building on a Marine Power Legacy. [Performance]. General Electric, 2021.
7. 《110 年四年期國防總檢討》(臺北市，國防部，2021 年 3 月)，頁 32-36。