

添加不同化學藥劑對船舶鍋爐防腐蝕之研究

洪健惟*¹ 董士仰* 林瑞國**

*國立臺灣海洋大學 輪機工程學系 研究生

**國立臺灣海洋大學 輪機工程學系 助理教授

關鍵詞：蒸發量、船用鍋爐、爐水化驗、化學藥水、計算流體力學

摘要

本研究將透過利用計算流體力學(computational fluid dynamics, CFD)模式建立非結構型網格及建構船用鍋爐(boiler)管路系統設備模型數值模擬與分析。在鍋爐加熱過程中，因水中溶解氧會加速鐵和水的微電池(microbattery)反應，氧氣與氫氧化鐵(Fe(OH)₃)反應，形成水和三氧化二鐵(Fe₂O₃)或三氧化二鐵鏽層，通常在金屬表面某一點開始，使金屬表面形成了鏽斑或是小洞；當這些麻點逐漸變成陽極時，便會發生嚴重腐蝕。藉由添加化學藥水(磷酸鹽 PO₄³⁻或聚合物)行化學反應以軟化水垢後再進行適當的排污，以期能有效的模擬管路系統防腐蝕及延長設備使用壽命。本文研究希望藉由藉由 ANSYS Fluent®數值模擬方式，針對船用鍋爐或船用輔鍋爐的管路鏽蝕/結垢預防與對策，管理方式上的差異進行對比進而提出更佳解決方案，目前多數商船都以柴油機作為主要動力來源，少數油輪由於蒸汽需求量大還使以蒸汽渦輪機作為動力來源，但是這兩者最大差異就在於蒸汽鍋爐之工作壓力，相對地水質上的要求也會有所差別，輔鍋爐僅需要以綜合型藥水進行多功能的防護，但是高壓鍋爐就需要更嚴格的標準來化驗，並針對單一數值進行調整讓水轉為蒸汽的過程中能夠更穩定不會造成管路中的鏽蝕或是結垢。

前言

隨著經濟朝向國際化與全球化的發展，航運業在世界貿易中佔據更核心地位。國際間的貿易進行，90%以上的運輸任務是由船舶運輸所承擔，其中，台灣推動航運產業成長所需之能源，最大部分是來自於石化燃料的燃燒，然而，卻帶給我們生活上的環境污染也相對地日益嚴重，造成空氣品質之急遽下降。如：酸雨、臭氧層破洞、光化學煙霧、溫室效應、全球氣候不正常等等現象，是在提醒我們不能再坐視下去，而其中氮氧化物(Nitrogen Oxide NOx)所造成之污染佔有相當重要的比例。

1. 研究動機

現今船舶主輔機燃油系統，不管是在進出港，亦或在港、下錨等等，均設計為可使用重油(Heavy fuel oil)的系統，但先決條件是船上的加熱系統要完善。輔助鍋爐設備利用燃油燃燒來加熱鍋爐水，使其蒸發為過熱蒸汽提高熱值，以加熱之高蒸氣壓力進行輸送至分布於船上各區之被加熱設備系統。鍋爐給水系統扮演著整個加熱系統重要的角色，當鍋

爐因故發生極低水位跳脫(Extremely low level trip)時，鍋爐便立即停止供油而保持於停機狀態。

當鍋爐發生因給水系統無法即時滿足系統給水補充或停止給水，導致爐膛內受壓受熱部件面積發生因高溫變形而破壞，致使高壓高溫之過熱蒸汽外洩至常壓時，該高壓高溫之過熱蒸汽將瞬間急速膨脹鍋爐結構破壞加劇，造成更大量之蒸汽外洩，於極短時間內造成劇烈之連鎖反應，而導致鍋爐發生爆炸。因此，鍋爐給水系統及缺水警示警報往往具備雙重監視保護及相互連鎖控制來防止此一情事發生。

船舶鍋爐給水系統若採用連續式運轉圖所示為船舶鍋爐給水系統。鍋爐水鼓中若水位保持正常水位，鍋爐水鼓的自動進水閥則保持關閉，使給水泵出口至進水閥間管路壓力增高。於實務操作[1]上，可先將給水系統中的串列櫃(蒸汽系統冷凝水收容櫃)預熱保持 70~75°C 以達除氧的效果，給水泵進口溫度則保持在 70°C 左右，此時給水泵內部會形成高溫高壓而有微量汽化現象，造成給水泵中的葉輪(Impeller)及封口環(Mouth ring)因空蝕作用而過度損耗。當給水泵中 Impeller 與 Casing ring 的間隙逐漸

¹ 聯絡作者 洪健惟 (jeff102236@gmail.com)

變大，泵浦效率將降低並使帶動泵的馬達耗電功率增加而發生過載跳脫。

船用鍋爐普遍以壓力作為區分，一般分為中壓鍋爐(3.8~5.3 MPa)、次高壓鍋爐(5.3~9.8 MPa)、高壓鍋爐(9.8~13.7MPa)、超高壓鍋爐(13.7~16.7 MPa)、亞臨界壓力鍋爐(16.7~22.1MPa)、超臨界壓力鍋爐(≥ 22.1 MPa)、超超臨界壓力鍋爐(25~31MPa)等，但是不論是否產汽皆須要使用化學藥水來抑制管路中結垢、腐蝕或是氧化的風險。若要有效的預防水垢及腐蝕就需要透過去除水中的溶解氣體、硬度鹽及各種汙染(油、酸或是泥漿等)。

當鍋爐發生因給水系統無法即時滿足系統給水補充或停止給水，導致爐膛內受壓受熱部件面積發生因高溫變形而破壞，致使高壓高溫之過熱蒸氣外洩至常壓時，該高壓高溫之過熱蒸氣將瞬間急速膨脹鍋爐結構破壞加劇，造成更大量之蒸氣外洩，於極短時間內造成劇烈之連鎖反應，而導致鍋爐發生爆炸。因此，鍋爐給水系統及缺水警示警報往往具備雙重監視保護及相互連鎖控制來防止此一情事發生。

文獻回顧

國際海事組織海洋環境保護委員會(International Maritime Organization's Marine Environment Protection Committee)在 2016 年第 70 屆大會上達成了重大決議，並宣佈於 2020 年起實施海運燃油的含硫量不得超過 0.5%的限制，這項規定勢必帶動燃油供應鏈的改變。國際燃油工業協會(International Bunker Industry Association, IBIA)已提出警告，2020 年可能將有許多港口和國家無法及時地生產足夠的低硫燃油(Low Sulphur Fuel Oil, LSFO)以取代既有的重燃油(Heavy fuel oil, HFO)供應水平，沒有能力生產低硫燃油的港口將需要從遙遠的煉油廠進口，進而加劇非競爭性的燃油價格並且造成額外的環境汙染。而在海運市場上，由於海運業者由於自身經營模式的差異性，對燃料的選用上將會有截然不同的因應對策，以符合國際海事組織 2020 年規定暨公司經營管理收益最大化。綜合現階段海運與煉油產業的發展態勢，燃料市場仍充滿不確定性，供需失衡可能加劇油品之間的價格差異，因此燃料成本之控管將成為散裝航運公司在競爭激烈的市場中取得優勢的關鍵性影響因素。

目前關於鍋爐系統已有許多研究文獻[2-15]。主要研究重點有系統建模[2]、系統控制[3,4]、及系統效能分析[5]。部分專家學者提出新的鍋爐水位控制方法[6]，鍋爐程序操作方法與系統[7,8]，及鍋爐節能構造與裝置[10,11]。針對船用鍋爐的研究[12-15]則主要著重於智慧控制方法應用分析與效能改善。上述研究文獻主要以系統模擬及新技術探討為

主，透過智慧型控制方法及節能裝置進行系統效能改善分析。關於船舶鍋爐運轉實際問題與解決方案的研究仍相當有限。

在國內，也有很多專家學者還是繼續使用對數平均溫差法作熱傳研究的分析、驗證與設計。如丁[16]在該研究中就使用對數平均溫差法作儲冰式空調系統的釋冷率運算；由於在儲冷或釋冷時，水進行相變化而改變了冰層的厚度，造成熱傳係數及熱傳面積的改變，因此儲冰槽在操作時其總體熱傳係數並非為定值。根據這些曲線，以 LMTD 來求得近似的總體熱傳係數。徐[17]採用有效性(ϵ -NTU)法分析電熱廠回收鍋爐及表面冷凝器之熱傳與流力(Thermal-hydraulic)性能研究，更以 Visual Basic 設計一套電腦輔助軟體來計算其鍋爐回收的熱傳量。

翁[18]在水對水板式熱交換器之性能測試分析，採用對數平均溫差(LMTD)法計算板式熱交換器的總體熱傳係數與總熱傳面積之乘積。還有魏[19]在微流道熱沉孔奈米流體之強制對流熱傳實驗分析一文中，提到以奈米流體取代純水，可顯著提升為流道熱沉之對流熱傳係數，進而有效降低熱阻。藉由 LMTD 法計算出其整體的平均溫差而確定了奈米流體的熱阻較純水的小，然而其壓降卻比純水稍微上揚一些而已。李[20]在冷凍真空乾燥螺旋管熱交換器熱傳研究中指出，由於螺旋盤管內側部份係兩相流較為複雜，採經驗公式與對數平均溫差(LMTD)方法作為設計盤管尺寸依據，再由系統實驗量測結果瞭解理論與實驗的差異性；殼側部份運用計算流體力學(CFD)套裝軟體模擬各案例變化，分析其溫度及速度場分布。

研究方法

為了解鍋爐爐水化驗的流場分布，便於優化設計，利用計算流體力學模擬爐內反應的流場，達到最優的爐水流動分佈，數值模擬已是工程設計中重要的一個環節，在實際上複雜的工況與化學反應透過預先模擬節省時間與費用，降低設計上的不確定性，並透過軟體準確性越來越可靠及完善的應用，建模前的數值模擬方法比例會越來越大，本研究採用質傳及熱傳的統御方程式進行。茲將本研究方法說明如下：

1. 統御方程式

本研究所使用的方程組係指在紊流模式下，分析二相流體的統禦方程，將紊流視為暫態流體(unsteady flow)，以此觀念發展出之方程式，使得所使用之統禦方程式也適用於紊流模式中。這個統禦方程式是由質量、動量及在非等熵流的能量守恆下所組成的方程組，又稱為雷諾平均 Navier-Stokes 方程，通式如下：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \nabla \cdot (\rho\vec{v}\phi - \Gamma\nabla\phi) = S \quad (1)$$

其中 ρ 為密度(density)、 t 為時間(time)、 \vec{v} 為速度向量(velocity)、 ϕ 為變數、 Γ 為耗散數與 s 為源項，該方程組分為連續(continuity)、動量(momentum)及能量(energy)等傳輸方程如下：

(a). 連續方程(continuity)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{v}) = 0 \quad (2)$$

(b). 動量方程(momentum)

$$\frac{\partial \rho\vec{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{v} \otimes \vec{v}) = B + \nabla \cdot \sigma \quad (3)$$

將上式(3)中應力發散耗散項置於等號左邊，可寫成對流耗散方程式，如下式：

$$\frac{\partial \rho\vec{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{v} \otimes \vec{v}) = B - \nabla p' + \nabla \cdot (\mu(\nabla\vec{v})^T) \quad (4)$$

其中， p' 是壓力修正項，如下所示：

$$p' = p + \left[\frac{2}{3} \times \mu - \xi \right] \nabla \cdot \vec{v} \quad (5)$$

若流體為不可壓縮流時 $\Delta\vec{v}=0$ ，故 $p'=p$ ，且分子之黏滯性變數 μ 為常數，並從應力發散之後隨著消失。對於層流來說，其黏滯性變數 μ 與剪力率(shear rate)相關，如同在非牛頓性流體中， μ 值在非等溫流體中與溫度相關。

2. 紊流模式

本研究使用的紊流模式是以通用的 Standard κ - ϵ 模式為主， κ - ϵ 模式主要以紊流動能及耗散率二個方程式組成，是適合最初模擬使用，接著利用的兩個變化模式：RNG κ - ϵ 和 Realizable κ - ϵ 模式，找出最符合船舶艙流的紊流模式。以下分為介紹三種不同的 κ - ϵ 模式。

紊流現象常見於流場擴散之水流運動中，所以瞭解紊流特性是研究水流括散運動中非常重要的一環；紊流為三維(three-dimensional)、紊亂(random)且不規則(irregular)的流體結構，它常隨時間與空間而變化，船體結構流場為具有層流(laminar)、過渡流(transition)及紊流(turbulence)的複雜流場，很難用單一紊流模式(turbulence model)準確地模擬出此一流場。故欲以電腦準確地模擬其細微結構(micro structure)是相當不易且極具挑戰性的工作。

在工程上求解紊流特性，以 κ - ϵ 紊流模式為主流。在較早期的研究， κ - ϵ 紊流模式主要是被應用至高雷諾數流場中，但事實上實驗證明在靠近牆壁的地方為低雷諾數流場區。因此，低雷諾數紊流模式在近年遂逐漸被發展出，利用壁面函數之引入，可以同時求解遠離牆壁的低雷諾數流場區及靠近牆壁的低雷諾數流場區。 κ - ϵ 模式有兩個必要的條件，首先假設流體為完全發展的紊流，且需忽略分子的黏滯效應；而 Standard κ - ϵ 模式只有假設流體為完全

發展紊流一項而已，其紊流動能 κ 及紊流耗散率 ϵ 之傳輸方程式。

3. 多相流動模式

多相流通常指在流動區域在兩種或兩種以上的相，可以是包含氣體和液體的流動、氣體與固體流動或者固體與液體的流動，也可以是包含氣液固三相物質的流動。描述流體有歐拉方法和拉格朗日兩種方法，兩種方法對主相皆是使用歐拉方法描述，差異為次相的描述。應用歐拉-拉格朗日法的多相流模型是離散相模型，應用歐拉-歐拉法的多相流模型有三種：VOF 模型、Mixture 模型和歐拉模型。不同的多相流模型的適用情況不同，離散相模型一般適用於次相體積分數低於 10~12%，當體積分數大於 10~12%時，考慮其他三種多相流模型。

4. 模型建立與設置

船用鍋爐爐水化驗的流體有兩種，分別包括經加熱鍋爐給水所產生之蒸汽(氣態)與熱水井中回汽冷凝回來之鍋爐回水(純液態)，由於鍋爐產生的蒸汽溫度較高且有壓力，且廠家均建議比較好的化驗溫度應在降溫後且液態，所以會安裝化驗水冷卻器，一方面也是保護船員的安全。

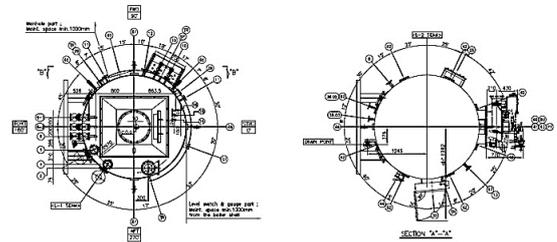


圖 1. 船用鍋爐本體俯視圖

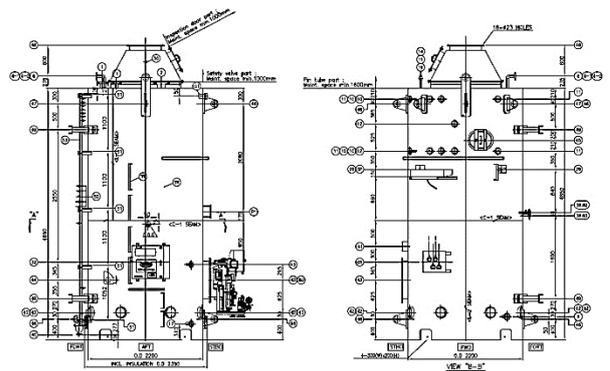


圖 2. 船用鍋爐本體幾何外型
結果與分析

在進行實際物理模型問題探討前，首先針對些基本的物理模型去驗證，而本文所使用之商業軟體

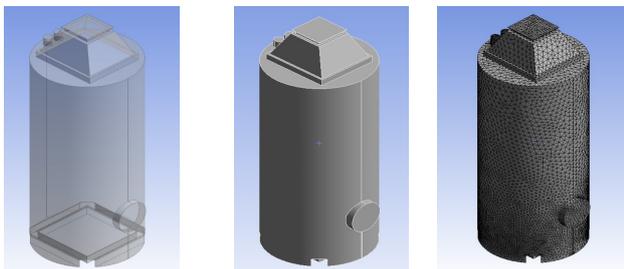
ANSYS Fluent®, 雖已在業界被廣泛使用, 但仍需對此商業軟體 ANSYS Fluent® 做基本的程式驗證, 再跟相關的文獻作比對, 以了解其軟體之準確度及可靠性。由於在本文中所討論的物理模型問題為不可壓縮流流場, 因此在程式驗證部份, 所討論的也以不可壓縮流流場的物理模型為主, 而接下來將在本章節中驗證兩個不可壓縮流流場之物理問題。

本研究透過著名的模擬軟體 ANSYS Fluent®, 依照第三章之邊界條件設定, 進行鍋爐內部流場的模擬計算, 並且進行對於鍋爐內部結構周遭流場的評估。以透過計算流體動力學為基礎的數值分析方法, 進行一系列不同流場環境條件下的模擬、比較、評估以及分析, 藉以探討鍋爐內部之速度場、溫度場、流線以及紊流干擾等之分佈型態。

1. 問題描述

本研究側重於船用鍋爐內部流場分析, 便於優化設計, 利用計算流體力學模擬鍋爐內部反應流場分部, 數值模擬已是工程設計中重要的一個環節, 在實際複雜的工程設計與化學反應透過預先模擬省下時間與費用, 依設備商取得的外部尺寸、系統設計參數、設備資料為主體, 進而設計船用鍋爐內部導流結構進行模擬分析, 降低設計上的不確定因素及提高實際使情況之準確性。

本次數值模擬主要模擬船用鍋爐不同進口流速設定及是否在底部施加一角速度使底部旋轉進而達到最佳的混和效果, 取隨著時間 $t=10\sim 50$ 秒變化時的流場速度、壓力、密度、**water-fraction**、**naoh-fraction**(等高線分布) 呈現對於化學藥劑效果及熱流分佈。流速部分本研究採用三種流速來探討分別是 $v=1.0\text{m/s}$ 、 $v=1.2\text{m/s}$ 及 $v=1.4\text{m/s}$ 。另一變數中所採用的為速度 10rad/s 之角速度來使底部做旋轉的動作。利用上述變數進行模擬船用鍋爐內部清潔系統的爐水流動佈置使爐水與化學藥劑能充分反應。



(a) 本體透視圖 (b) 本體外型 (c) 本體網格圖
圖 3. 船用立式鍋爐模擬幾何外型及網格

2. 無角速度之鍋爐內部流場分部

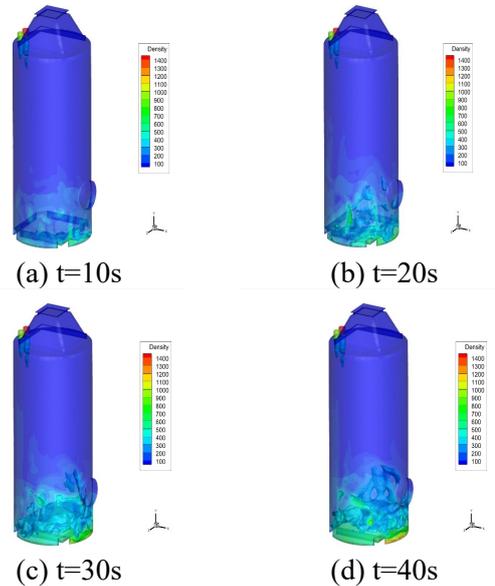


圖 4. $v=1.0\text{m/s}$ 隨時間變化之密度分布

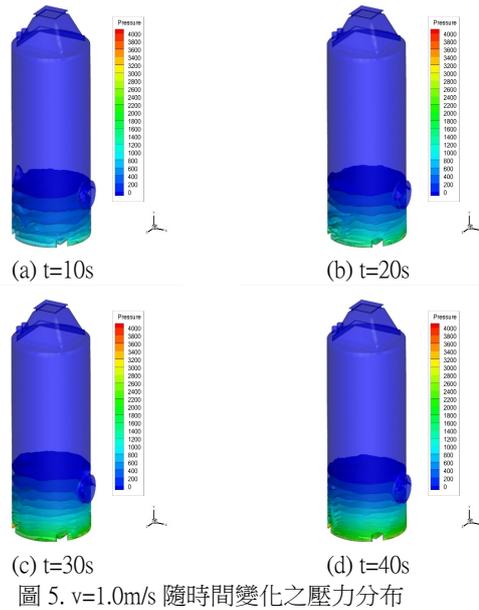
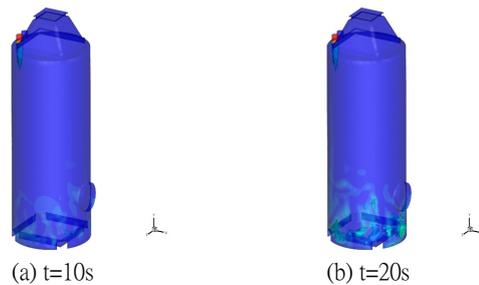
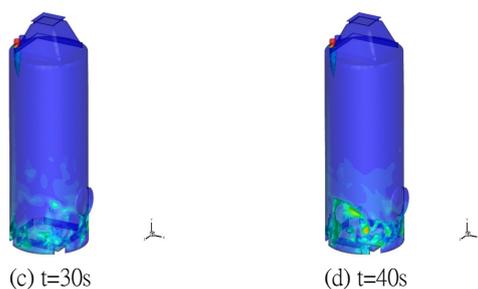


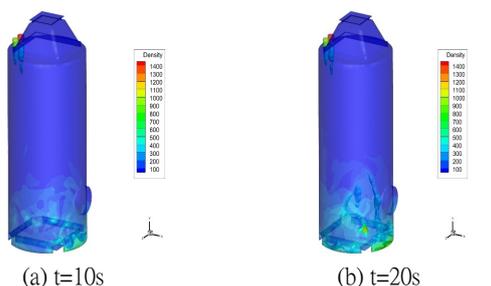
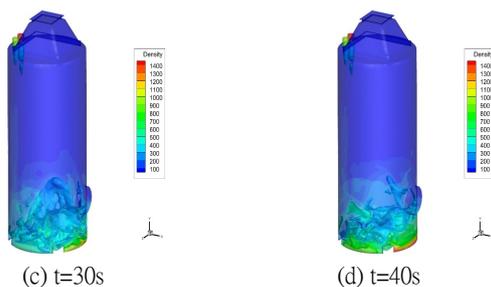
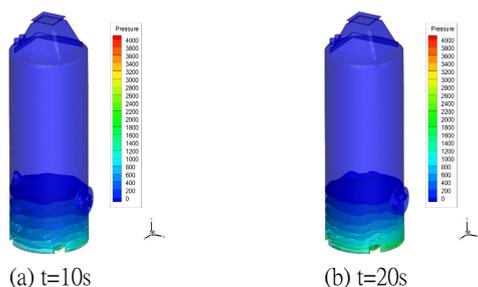
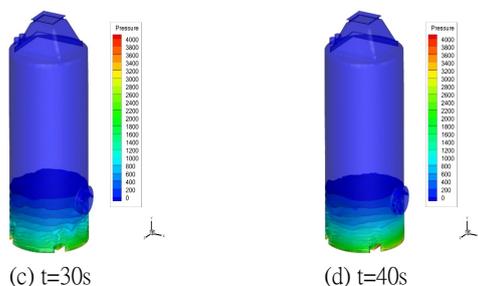
圖 5. $v=1.0\text{m/s}$ 隨時間變化之壓力分布



(a) $t=10\text{s}$ (b) $t=20\text{s}$

圖 6. $v=1.0\text{m/s}$ 隨時間變化之 water-fraction 分布

3. 角速度 10rad/s 之鍋爐內部流場分部

(a) $t=10\text{s}$ (b) $t=20\text{s}$ (c) $t=30\text{s}$ (d) $t=40\text{s}$ 圖 7. $v=1.0\text{m/s}$ 隨時間變化之密度分布(a) $t=10\text{s}$ (b) $t=20\text{s}$ (c) $t=30\text{s}$ (d) $t=40\text{s}$ 圖 8. $v=1.0\text{m/s}$ 隨時間變化之壓力分布

結果與討論

質量的守恆性，對流項次離散算則的通用性，邊界條件設定的正確性與避免非物理性震盪的條件下，由於以往的研究方法乃藉由因次分析和捲增積分模式作表徵性之探討，其物理觀念淺顯易明，且計算工作量少，對射流體運動特性能有相當地掌握，然而在與相關文獻之實驗數據比對下，這些方法的描述並不具預測流場中多維度之傳輸現象，故有再進一步探討的必要，是為本文研究的再出發。

本研究側重於船用鍋爐內部流場分析，便於優化設計，利用計算流體力學模擬鍋爐內部反應流場分部，數值模擬已是工程設計中重要的一個環節，然而在實際情況下需要依設備商取得的外部尺寸、系統設計參數、設備資料及藥劑成分為主體，進而設計船用鍋爐內部導流結構進行模擬分析，提高實際的準確性。

參考文獻

1. 船舶泵浦變頻系統教育訓練教材，國立高雄海洋科技大學輪機工程系 (2014)
2. G. Pellegrinetti and J. Bentsman, "Nonlinear control oriented boiler modeling- a benchmark problem for controller design," IEEE Trans. on Control Systems Technology, vol. 4, no. 1, January 1996, pp. 57-64.
3. J. Broderick, G. Pellegrinetti, J. Bentsman, and R. Blauwkamp, "Application of robust adaptive control to a real-time power plant model," Proceedings of the 1995 IEEE Conference on Control Applications, pp. 403-408.
4. 鄭鈺玲, 高壓蒸汽鍋爐控制系統穩定操作的策略, 國立台北科技大學, 碩士論文 (2009)
5. Kusiak and Z. Song "Clustering-based performance optimization of the boiler-turbine system," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 23, no. 2, June 2008, pp. 651-658.
6. 吳巨聖, 鍋爐之自然循環迴路分析及系統控制之研究, 國立臺灣海洋大學, 碩士論文 (1994)
7. 林耀熙, 船用鍋爐的專家系統控制, 國立臺灣海洋大學, 碩士論文 (1989)
8. 孫震宇, 應用模糊專家系統於艦艇鍋爐自動控制之建立-以濟陽級艦為例, 義守大學, 碩士論文 (2004) 陳柏汎、陳良駿、蔡坤宗 (2004) 新一代超巴拿馬極限型 5,500TEU 貨櫃輪船體線形之開發, 第 16 屆中國造船暨輪機工程研討會論文集, pp. 720-727, 台南, 臺灣
9. 黃合德, 經由仿射 T-S 模糊模型及 ILMI 方法設計鍋爐系統之模糊控制器, 國立臺灣海洋大學, 碩士論文 (2005)
10. 甘在國、彭勝利、楊子傑等, 船舶輔機, 教育部出版 (2010)
11. 林承緯, 船舶電力諧波分析與改善, 國立高雄海洋科技大學, 碩士論文 (2008)
12. 張蓉台, 水在管路中的阻力計算, 中華水電空調雜誌, vol. 272 (2006)
13. E. F. Brater, H. W. King, J. E. Lindell, and C. Y. Wei, Handbook of Hydraulics (7th ed.), Mc Graw Hill, Inc.,

- 1996.黃智峰 (2016), 新北艦航行與大浪交互作用之研究, 國立高雄海洋科技大學海事資訊科技研究所碩士論文, 第 1-23 頁, 高雄, 臺灣
14. 余坤庭, 冷卻水泵壓差設定評估之電子半導體廠潔淨室空調系節能研究, 國立高雄海洋科技大學, 碩士論文 (2012)
 15. C. L. Su and K. T. Yu, "Evaluation of differential pressure setpoint of chilled water pumps in cleanroom HVAC systems for energy savings in high-tech industries," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 49, no. 3, May/June 2013, pp. 1015-1022.
 16. 周佐竺, 船舶輔助鍋爐變流量給水管理之研究, 國立高雄海洋科技大學輪機工程研究所, 碩士論文 (2016)
 17. 丁俊智, 王懷明, 陳文亮, 陳希立, 動態規劃法於儲冰式空調系統之最佳化設計, 國立台灣大學台大工程學刊, 第 82 期, 1-11 頁 (2001)
 18. 徐益祥, 電廠熱回收鍋爐及表面是冷凝器之熱液動性能分析及電腦輔助設計軟體開發, 國立成功大學機械工程學研究所, 碩士論文 (2002)
 19. 翁嘉鴻, 水對水板式熱交換器性能測試分析, 國立中央大學機械工程研究所, 碩士論文 (2002)
 20. 魏連晉, 微流道熱沉孔奈米流體之強制對流熱傳實驗研究, 國立成功大學機械工程研究所, 碩士論文 (2007)
 21. 李秉倫, 冷凍真空乾燥螺旋管熱交換器熱傳研究, 國立台北科技大學能源與冷凍空調工程研究所, 碩士論文 (2008)
 22. 王啟川, 熱交換器設計, 五南圖書出版公司 (2007)
 23. 簡全易, 模擬汽電共生鍋爐操作之最佳化-有關熱效率與氮氧化物控制, 國立清華大學化學工程研究所, 碩士 (2001)
 24. 廖育賢, 船舶熱交換器節能之研究, 國立高雄海洋科技大學輪機工程系暨研究所, 碩士 (2012)

Adding Chemicals To Marine Boilers To Prevent Corrosion And Evaluate Benefits

*Jian-Wei Hong** *Shi-Young Dong** *Reui-Kuo Lin***

*Department of Marine Engineering, National Taiwan Ocean University, Master student

**Department of Marine Engineering, National Taiwan Ocean University, Assistant Professor

Keywords: Evaporation, Marine boiler, Boiler water test, Chemical liquid, Computational Fluid Dynamics

ABSTRACT

Marine boilers are commonly categorized based on pressure, typically into medium-pressure boilers (3.85.3 MPa), sub-high-pressure boilers (5.39.8 MPa), high-pressure boilers (9.813.7 MPa), ultra-high-pressure boilers (13.716.7 MPa), subcritical pressure boilers (16.722.1 MPa), supercritical pressure boilers (≥ 22.1 MPa), and ultra-supercritical pressure boilers (2531 MPa). Regardless of whether they generate steam, chemical treatments are required to mitigate the risks of scaling, corrosion, or oxidation in the pipelines. Effectively preventing scaling and corrosion requires removing dissolved gases, hardness salts, and various contaminants (such as oil, acid, or sludge) from the water.

This study utilizes computational fluid dynamics (CFD) modeling to establish non-structured grid and construct numerical simulations and analyses of marine boiler pipeline system equipment models. During the heating process of the boiler, dissolved oxygen in water accelerates the microbattery reaction between iron and water, causing oxygen to react with ferric hydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) to form water and ferric oxide (Fe_2O_3) or iron oxide rust layer, typically initiating rust spots or pits on metal surfaces. When these spots gradually become anodes, severe corrosion occurs. By adding chemical agents (phosphate PO_4^{3-} or polymers) to soften scale and subsequently conducting appropriate flushing, the aim is to effectively simulate corrosion prevention and prolong equipment lifespan in pipeline systems.

Additionally, through simulated research processes, the study aims to deduce some physical phenomena regarding boiler water testing and fluid flow, as well as the effects of chemical solution flow rates and changes in gas inlet velocities on the system. The adjustment of gas inlet flow rates affects the reactants, and by increasing the temperature of feedwater and adding chemicals, the pH of condensate water can be reduced to facilitate the absorption of carbon dioxide (CO_2).

This research, conducted using ANSYS Fluent® numerical simulation, aims to compare and propose better solutions for corrosion prevention and scaling strategies in marine boilers or auxiliary boilers. Currently, most commercial vessels rely on diesel engines as their primary power source, while a few tankers, due to their high steam demand, use steam turbines. However, the main difference between these two lies in the working pressure of the steam boiler, which consequently affects the water quality requirements. Auxiliary boilers only require comprehensive chemical treatments for multifunctional protection, whereas high-pressure boilers necessitate stricter standards for testing and adjustments to ensure stable steam generation without causing corrosion or scaling in the pipelines.