

艦艇上層空氣尾流場數值模擬及特性分析

王宇聖*¹ 黃品崱* 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：計算流體力學、擴散分佈、風洞試驗、煙流擴散、大氣風壓

摘要

本研究主要是利用計算流體力學(computational fluid dynamics, CFD)方法探討位於艦艇上層結構之煙囪形狀、各種不同風向角度之相對速度、排煙溫度情況下，空氣流場流經上層結構對排煙擴散分佈之數值模擬與分析。係以艦艇於風洞試驗中所觀察之不同煙囪幾何結構之流場變化與物理現象機制，利用計算流體方式，分析在不同風向與角度之相對速度所造成之煙流、擴散路徑及煙流溫度分佈情形，探討煙囪高度、幾何構型、不同之風向角度、排煙溫度、排煙速度比等各參數對行進間之船舶運動變化。建置針對艦艇因上層結構之煙囪形狀、各種不同風向角度之相對速度、排煙溫度之數值分析模式，並藉此模式探討未來因煙囪形狀、位置及各風向速度流場變化，以提供設計與改善減少阻力之可行性。本研究將綜合研究成果並評估該數值模式對艦艇上層結構之煙囪形狀、各種不同風向角度之相對速度、排煙溫度模擬能力與未來提供概念設計及初步設計可行性，以作為煙囪與結構物規劃及設計參考之用。研究成果預期瞭解艦艇結構與煙囪形狀、位置對於大氣風壓、擴散擾動以及噪音的產生與衝擊，以及空氣流經上層結構物之擴散模擬的範本。

前言

在造船工程設計的領域中，新構型的研發或新造艦艇的線型與推進性能驗證等，大多以數據理論模擬分析與船模水槽試驗(tank experiment)並行，藉以進行船體性能之驗證。理論分析為基礎之試驗方法所得到的量測結果雖具體可信，而後卻往往受到船模的尺度效應(scale effect)的影響以及實驗水槽環境條件、儀器量測精度的限制，有時甚至很難進行完整的船模試驗，所以先以相關各個參數模擬設定出數值後再輔以船模水槽試驗以驗證該參數模擬結果是否符合或接近實際狀況，過程中不斷的修正參數後最終達到設計所設定的條件。往年本土船廠所新開發的船型之船模水槽試驗多遠赴國外進行，指標性的機構有荷蘭海洋研究所 MARIN、瑞典哥特堡的 SSPA，德國漢堡 HSVA 等，船模試驗耗日費時且所費不貲，造成新型船體線型開發設計的阻礙與困擾。

1. 研究動機

在工業時代來臨前，於海上航行的船舶仍然使用風力作為其推進的動力源，對於那個時代的船舶來說，其設計和操作的根本關鍵因素便是風。在那

個時代的水手們已經有將風的強度分級量化製表的動作出現，於 1806 年，英國皇家海軍 Woolwich 號的指揮官：海軍上將 Daniel Augustus Beaufort [1] 設計出一紙根據風對地面物體或海面的影響程度的風力等級對照表，依靠觀察風對於當時的主力艦風帆所造成的現象，從能觀察到風帆受風的影響一直到風帆無法承受，中間的現象加以分級，流傳至今即為一般眾所週知的蒲福風級表(Beaufort scale)。在那個年代的水手們也需要關注風與海面的影響，也因此，在 1810 年，蒲福在風級表中加入了各個等級的風對海面的影響描述與特徵。海況本身就是一個很主觀的判斷，如果靠近陸地的話，海況會受到風的影響而改變，而且風從岸上或是從海面上吹，甚至是洋流的方向都會影響海況。蒲福風級表主要分級描述，如下表所示。

表 1.1 蒲福風級表(Beaufort scale)

風量等級 Beaufort wind scale	風速 Wind speed		風力敘述 Wind descriptor	浪高(米) Wave height(M)	海況敘述 Sea con- ditions
	節 knots	每秒/米 m/s			
0	<1	<1	平靜無風	0	明鏡止水

¹ 聯絡作者 王宇聖 (adh135792468@gmail.com)

1	1-3	1-2	軟風	0.1~0.3	微波
2	4-6	2-3	輕風		
3	7-10	4-5	微風	0.6~1.0	小波
4	11-16	6-8	和風	1.0~1.5	小浪
5	17-21	9-11	清風	2.0~2.5	中浪
6	22-27	11-14	強風	3.0~5.5	大浪
7	28-33	14-17	疾風		
8	34-40	17-21	大風	6.0~7.5	巨浪
9	41-47	21-24	烈風	7.0~10.0	猛浪
10	48-55	25-28	狂風	9.0~14 以上	狂濤巨浪
11	56-63	29-32	暴風		
12	64 以上	33 以上	颶風		

*資料來源：本研究整理

水手們在沒有任何科學儀器輔助的那個年代，透過使用蒲福風級表來評估風力的強度等級已屬相當務實，但是當下的風力是屬於微風還是強風，海況是平靜還是有波濤，如同前段所述，是一個很主觀的個人感受判斷，也因此需要更精確的測量將其系統量化。而風速的測量就是使用風速計，最眾所周知的風速計之一，稱作半球杯式風速計，是由 Thomas Graham 於 1846 年所發明的，由四個半圓形罩子所組成，這些罩子與轉軸連接並藉由風的吹拂而轉動。此後這型風速計被不同的人所改良，直到收斂設計成了如今廣泛使用的三個罩子並且帶有一個定風向標的設計，如圖 1.1(a)，而現代艦艇所使用二維超音波風速計圖 1.1(b)，其內部零件組成中並沒有會移動的零件，所以較無損耗的問題，因此它們適合在暴露的環境下長期使用，例如無人觀測站或是海象浮標等，在這些環境中，傳統的半球杯式風速計的準確性和可靠性會受到含鹽空氣或灰塵的不利影響。超音波風速計是測量水平面上風的兩個分量，進而輸出水平風速和風向的數據資料。圖 1.1(c)顯示了一個三維的超音波風速計，除了二維所能量測的數據外，它還能多測量風的垂直分量速度。



圖 1.1 定風向標及二維及三維超音波風速計

以現代艦艇的設計來說，總噸位於 1,000 噸以上的艦艇常規多已需要具備直升機甲板以供艦載直升機的操作，但在設計過程中，通常沒有將艦艇上

層結構物的空氣動力學納入考量，更遑論考量上層結構物對艦艇周圍的空氣流場造成了什麼影響。在現代艦艇尤其是作戰用艦艇的設計中，或多或少都使用了有包含低可偵測性技術 (low observable technology)，或稱為隱形技術 (stealth technology)，下圖 1.2 為我國海軍目前所使用之康定級 (法製拉法葉級) 巡防艦的船段構成。灰色是鋼製結構，黃色是木質與樹脂構成的低反射信號複合材料結構。

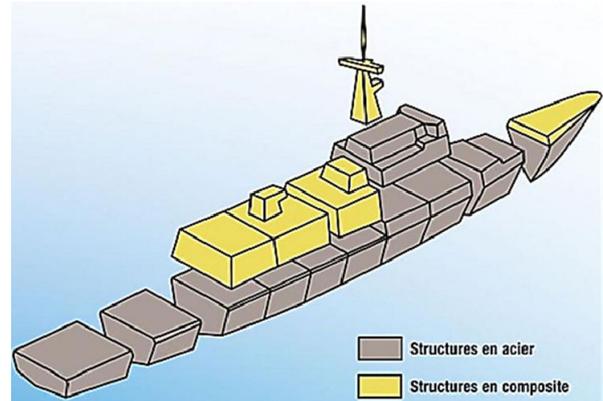


圖 1.2 拉法葉級的船段構成

然而，雖然風速風向計被廣泛用於提供艦艇所需之風速和風向等數據，但是其數據可能出現不準確的情形，因為流經艦艇上層結構的氣流會因為本身結構干擾而產生扭曲。導致風速計測量結果會受到環境大氣的影響。流經艦艇上層結構的擾動氣流為被稱為艦艇的空氣尾流，而空氣尾流如何受到現代艦艇設計的影響即是本文的主題。下圖 1.3 顯示了一個 CFD 電腦模擬計算，模擬一逆風中的艦艇所產生的空氣尾流，艦艇構型是典型的現代驅逐艦。其上層結構有著高聳的雷達桅杆，與相對低矮的煙囪構型，以排出燃氣渦輪機所排出的高溫廢氣；直升機甲板在船尾與上層結構的背風面，風向為船艏往船尾吹 (等值線是平均水準流速分量；海洋大氣邊界層)。

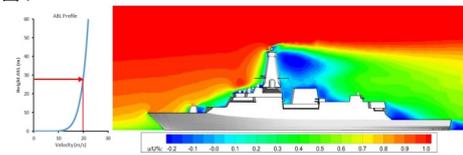


圖 1.2 逆風中船舶尾流的干擾氣流

當水或空氣緊沿著平坦的固體薄片流動時，會因黏滯力而形成一層薄薄的邊界層 (boundary layer)，這個理論是假設流體接觸到的物體尖端非常薄，厚度趨近於零，當流速很小時，流體會分層流動、互不混合，稱為層流 (laminar flow)，最靠近物體表面的地方由於摩擦力效應，流體幾乎不會移動 (流速為 0)，離表面越遠的地方分層流速越快，直至達到原本流速；而隨著流動的距離變長，

流速增加到很大時，層流流線不再清晰可辨，厚度也隨著氣流擴散而增加，流場中開始出現許多小漩渦，稱為紊流（turbulent flow，又稱湍流），這是因為隨著流動距離的增加，空氣的黏性會漸漸下降，使空氣分子開始無法再"黏著"物體表面。當這個狀況開始出現，該區域就可以稱作「過渡氣流」區(Transition Flow)，同時擁有一部分「層流」和「紊流」的特性。而當絕大部份的空氣分子都失去"黏著"表面的能力之後，就正式進入「紊流」的區域。

鑒於船舶在風場中反應之實際量測頗為費時，導致為求得一份量測資料需要花費許多時間與人力成本，雖然在以往船舶在行徑中的耦合運動唯一非常複雜的問題，但在電腦計算能力的增強、網格生成技術的提高、數值演算法的改進以及科技的日新月異，許多商業軟體的實務運用也成為了一種趨勢，本研究使用 CFD 分析軟體 ANSYS Fluent® 模擬之意義就在於可有效節省實驗成本與加速結果預測，期望將船舶運動相關現象運用 ANSYS Fluent® 軟體產出模擬數據後予以分析，以提供操船實務上之參考應用。

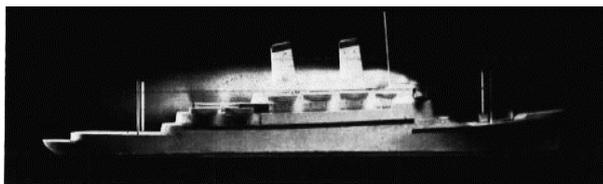


圖 1.4 船舶風洞模型顯示其上層紊流區[17]

本文將描述如何使用電腦計算流體力學（computational fluid dynamics, CFD）在設計階段時，是如何用以模擬預測流經艦艇上層的氣流，以及概述如何使用電腦計算流體力學（CFD）來分析艦艇上層的氣流。故藉本論文之結果可以於艦艇初始設計階段時即可初步了解欲使用之設計構型其上層空氣尾流場的特性，藉以降低對艦艇本身抑或是對其附屬設備例如：艦載直升機的干擾。電腦計算流體力學（CFD）既可以不受船模或風洞試驗許多先天的條件限制、可減少設計失敗率與降低試驗成本、更能提供許多詳細資訊而不會受到量測儀器等硬體的規格限制、更可在工程應用上大幅縮短研發時程與成本。

文獻回顧

Kulkarni 等人[4]透過計算流體動力學（CFD）與風洞模型試驗的相互驗證，以調查艦艇煙囪煙流的相關問題，藉由通過風洞模型試驗的驗證來證明計算流體力學對於實際情況的還原程度，此驗證建基於計算結果與風洞模型試驗的數據比較。需要透過實驗以產生大量的基準數據供對照使用。以證明

使用了數值設定得當的電腦計算流體力學來計算艦艇空氣流場是可行且具高準確度的。

洪偉宏等人[5]對艦艇上層結構布局對於艦艇周遭氣流分布的影響作了相關研究。莊曉東[6]等人進一步對靜止條件下的船舶煙囪排煙擴散特性與船舶周圍風場的影響作研究，使用電腦計算流體力學（CFD）以建立出煙囪排煙擴散的模擬來驗證風洞模型試驗的準確性，在此基礎上研究煙囪排煙溫度對於船舶周圍擴散的情形，研究結果可據以提供設計排煙參數與佈置艦艇進氣口的設計依據。

2011 年國內學者蘇殷逸與劉宗龍透過模擬船艦煙流以及直升機旋翼旋轉之運動模式，分析派里級軍艦與 S70C 反潛直升機，探討船艦裝備，對煙流所造成的影響，並建立船艦煙流模型。2003 年廖清標與盧先榮透過求解二維不可壓縮性奈維爾-史托克方程式的部分，利用投影法導出壓力的 Poisson 方程式，使得連續方程式能自動滿足。當壓力解出後即可由運動方程式中以二階顯式 Adams-Bashforth 法求解速度場。2004 年徐文彬以計算流體力學（CFD）探討艦船上層空氣流場結構對排煙擴散之分析，分析不同風向角度之相對速度所造成之煙流擴散路徑與煙流溫度分布，同時也顯示模擬的物理現象與風動試驗頗為一致。

2021 年廖家德利用 ANSYS Fluent® 求解流場並採用 MAC 交錯網格，將度與壓力之耦合算法採用 simple 法加以收斂，而透過以數值方法先驗證風洞試驗後，效果良好，不需要受到雷諾數與溫度之限制。然而關於煙流的研究，2006 年時 Alexander 等人利用 CFD 模擬中的雷諾平均 RANS 方程式，並考慮橫風的影響與浮力作用，計算了森林火災的煙柱，並以雷達雷射的測量證實結果，比較結果得知此模擬模型足以描述實際煙流行為。1965 年 Chislett, M.S. 等用 Abkowitz 運動方程式及單稜水槽 PMM 測定的水動力係數，由 Mariner 成功的模擬螺旋試驗、迴旋試驗和 Z 形試驗，因此船舶操縱性才被認為事先預估及模擬，所以各種大型船舶基於安全考量，建造前必需加以量測及模擬。船舶操縱性能研究方面，在二次世界大戰早期，多以軍艦避航為目的，主要針對船舶迴旋運動性能作為舵設計參考之依據。1944 年德國學者 Davison 利用數學運動方程式將船舶迴旋與操舵之關係明確定義，使船舶關於操縱性能的問題，開始確切之依據。

理論基礎

1. 基礎理論

計算流體力學也可用於預測分析廢氣對環境的影響，計算船體構型於各種海況風浪下的航行性能、量化構型所需之動力系統所需之功率輸出以及

舵葉的構型對於艦艇操縱性能影響等方面，上述皆為艦艇性能模擬的一部份。性能模擬的目的是量化艦艇構型的設計、建造、操作控制等各個方面，而計算流體力學正好提供具有數據根據的評估與計算。

風洞試驗是一種利用相對運動原理的方法，將研究對象以等比例模型或實物固定在人造環境中，通過人工方式產生氣流，使其流過研究對象，以觀測各種實際狀態，並獲取試驗數據。這種方法主要用於研究空氣流經物體時產生的氣動效應，同時也應用於艦艇構型阻力、風阻試驗、耐熱性、抗壓性等領域，以及建築物相關研究。在使用模型進行試驗時，需要解決模型比例導致的模擬流場與實際流場之間的差異，並確保模型與實物的幾何外觀完整複製。此外還需要確保兩個流場相關的相似準數，如雷諾數、馬赫數、普朗特數等相等，以提高試驗結果的準確性。

2. 橫風下煙柱理論

截至目前已有許多理論研究水平風下之煙柱，其研究均假設船舶具有極高大之煙囪，故大氣產生之紊流與煙囪周遭障礙物和煙柱本身產生之紊流比較下，可以忽略。但觀察煙柱離開煙囪進入大氣後的流動軌跡顯示，煙柱的上升和擴散的變化極大，也就是說煙柱現象是隱藏在船舶上層結構產生之紊流區內之一種三度空間擾動剪流(turbulent shear flow)。

由實驗研究顯示，決定煙柱路徑主要的因素是兩種不同流體(煙柱與大氣)之黏性效應產生之質量攜帶率[15]。當煙穿進大氣時，它會擴散，且被大氣攜帶並迅速減低流動速度。在此兩流體間之不連續表面形成渦流片(vortex sheet)將迅速消散煙之初動能，結果煙被轉向並朝向橫風之方向，終致此兩種流體達成相同之總壓力且停止產生不連續現象。此後煙被風攜帶之現象將不顯著，而影響煙柱上升和成長之主要因素將是煙柱內聚集氣體之浮力和擴散現象。

將流經煙囪周圍的氣流現象以視覺化表示出來的話，把煙囪當作環境中的圓柱體。該氣流中的氣體當作是理想流體(即不會因為黏度而產生動能減損)，那麼該氣流在流經圓柱體後會恢復成其原本流動的模式，如圖 2.1(a)所示。當理想流體流經過圓柱體時，流動速度增加。流體動能相對增加，壓力降低。當流體經過圓柱體最寬的地方時，動能達到最大值，足以使流體回到原來的流線。然而，空氣並不是理想流體。真正的氣體是具有黏性，會導致流經物體時產生動能損失。當氣體流經過圓柱體時。由於產生動能損失，導致氣體不能回到原來的

流線，並產生剝離現象，此現象為理想流體與真實流體間最大差異。在如圖 2.1(b)所示。

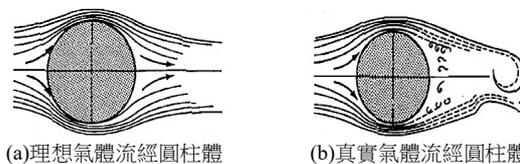


圖 2.1 理想、真實氣體流經光滑圓柱體之流線分佈情形 [16]

3. 紊流模式與特性

紊流是一種高度非線性的複雜流動，目前可以通過某些數值方法對紊流進行模擬，目前紊流數值模擬方法可以分為直接數值模擬方法與非直接數值模擬方法兩大類。關於紊流的研究已經上百餘年，然而由於其高度複雜且不規則的特性，一些基本問題仍未解決，但是伴隨電腦技術的發展，對紊流的數值計算是目前研究活躍的領域之一。數值方法大致分為三類：直接模擬(Direct Numerical Simulation, DNS)、大渦模擬(Large eddy simulation, LES)、雷諾時均模擬。將非穩態 N-S (Navier-Stokes) 方程做時間平均後，出現了超過方程個數的未知量，要使方程封閉，必須建立模型，其中最常用的方法是紊流黏性係數法(渦黏性法)。



圖 2.2 紊流理論

當水或空氣緊沿著平坦的固體薄片流動時，會因黏滯力而形成一層薄薄的邊界層(boundary layer)，這個理論是假設流體接觸到的物體尖端非常薄，厚度趨近於零，當流速很小時，流體會分層流動、互不混合，稱為層流(laminar flow)，最靠近物體表面的地方由於摩擦力效應，流體幾乎不會移動(流速為 0)，離表面越遠的地方分層流速越快、直至達到原本流速；而隨著流動的距離變長，流速增加到很大時，層流流線不再清晰可辨，厚度也隨著氣流擴散而增加，流場中開始出現許多小漩渦，稱為紊流(turbulent flow，又稱湍流)，這是因為隨著流動距離的增加，空氣的黏性會漸漸下降，使空氣分子開始無法再"黏著"物體表面。當這個狀況開始出現，該區域就可以稱作「過渡氣流」區(Transition Flow)，同時擁有部分「層流」和「紊流」的特性。而當絕大部份的空氣分子都失去"黏著"表面的能力之後，就正式進入「紊流」的區域。

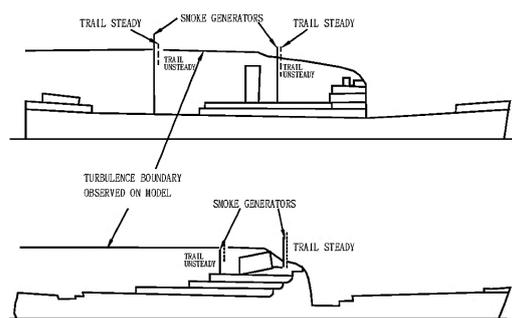


圖 2.1 Ower & Third 之煙流試驗[18]

紊流區的高度主要是幾何函數，為一個獨立因子，與風速並無直接關係。紊流區的上層邊界並沒有明確界定，主要取決於上層結構的高度與構型，而其紊流區高度會隨著上層結構前緣之距離而改變，以及周遭的大氣溫度等環境條件影響，在定義邊界時需非常注意。圖 2.7 為一個船舶風洞模型顯示其上層紊流區的區域。明顯可見到上層結構區產生的紊流會流經過煙囪，所以須將煙囪高度加高，使其出口不處在紊流區內。一般來說，加高的煙囪高度約為一個煙囪寬度。但加高的高度並不是一個定值，因為煙囪的排氣煙流是否會受到紊流區的影響而擴散，還是取決於船舶上層結構的佈置跟煙囪的構型影響。

研究方法

本研究使用計算流體力學套裝軟體 ANSYS Fluent® 求解流場，網格配置則是採用非結構化網格。在數學方法上，是使用二階精度之複合式差分算則(2nd order hybrid differencing scheme)來除對流項以及用守恆之有限體積法加以離散的傳輸方程式，利用二階中央差分法以求解其他各項。使用 SIMPLE 法則加以收斂速度與壓力間之耦合演算。將統御方程式對控制體積積分，對每個控制體積都會得到一離散方程式。

茲將本研究方法說明如下：

1. 基本理論

統御方程式為非線性和二階之偏微分方程式，要得到近似解必需將微分方程式轉換成差分方程式，而這轉換過程即是利用控制體積法，其概念為將計算區域劃分為不重複的控制體積，將待解的微分方程，對每一個控制體積積分，便得出一組離散方程，有限差分法僅當網格極其細密時，離散方程式才滿足積分守恆，而有限體積法在粗網格情況下，也能顯示出準確的積分守恆。

2. 有限體積法

本研究利用 FLUENT 之有限體積法，將各統御方程式離散成可數值計算之代數方程式，求解統御方程式之方法是利用壓力修正之離散-隱式方程(segregated -implicit)求解穩態之結果。其統御方程之離散方法是利用 FLUENT 提供之二階上風法(second-order up-wind scheme)(圖 2-4)。而壓力與速度之耦合項是利用 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations)法，SIMPLE 算法是目前工程上最廣泛使用的一種流場計算方式，此方法是由 Patankar 與 Spalding 於 1972 年提出，是一種求解不可壓縮流的數值方法。它的計算策略是：對於假設之壓力場(或是上一次迭代計算所得知結果)，求解離散形式之動量方程，以計算出速度場。因為壓力場是假設值，由此得到的速度場並不一定滿足連續方程。因此必須將假設之壓力場加以修正，其修正的原則為：修正後之壓力場所求得之速度場必須滿足此次迭代所定義的連續方程。若速度場不收敛，則須將假設之壓力場代入壓力修正方程，求得修正後的壓力場並開始下一次的迭代，如此反覆計算，直到獲得收敛的速度場。

3. 模擬分析使用

在進行數值計算時是採用有限體積法(finite volume method, FVM)作為主要的離散法則，將統御方程式在控制體積上進行離散，對於壓力項的處理是選擇標準(standard)法為離散法則，擴散項之離散則是採用中央差分法，而動量項及擴散項之離散則均採用二階上風法(second order upwind scheme)；至於壓力項與速度項之耦合計算，研究中係使用 SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equations)法則，以加快疊代計算時的收斂速度。本研究採用計算流體力學套裝軟體 ANSYS Fluent® 求解流場，網格配置則是採用 MAC 交錯網格。在數學方法上，傳輸方程式是採用守恆之有限體積法加以離散，除對流項(advection term)是使用二階精度之複合式差分算則(2nd order hybrid differencing scheme)外，其他各項是利用二階中央差分法。至於速度與壓力間之耦合算法是採用 SIMPLE 法則加以收斂。

結果與分析

本研究透過著名模擬軟體 ANSYS Fluent®, 依照邊界條件設定，進行艦艇上層空氣尾流的模擬計算，並且進行對於艦艇上層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，進行一系列不同氣流環境條件下的模擬、

比較、評估以及分析，藉以探討艦艇上層之速度場、溫度場、流線以及紊流干擾等之分佈型態。

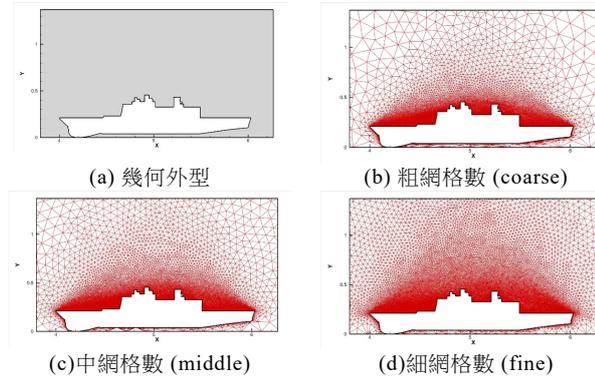


圖 4.1 船型網格分布橫面及網格圖

表 4.1 實船航行船速數據

節 (knots)	公里/小時 (kph)	公尺/秒 (m/s)	節 (knots)	公里/小時 (kph)	公尺/秒 (m/s)
5	9.26	2.572	20	37.04	10.289
8	14.82	4.117	21	38.89	10.803
10	18.52	5.144	22	40.74	11.317
12	22.22	6.172	25	46.30	12.861
15	27.78	7.717	30	55.56	15.433

1. 船速在不同節速時之分析

本研究所採用的艦艇構型均為直立式煙囪，但分為傳統構型布局內置煙囪、直立式艙置煙囪、傳統構型布局外置煙囪與匿蹤構型作為比較標的，本研究數據模擬之艦艇構型，設定船速分別於 20 節、25 節與 30 節，三種速度條件下，上述的波浪運動分析。

1.1 20 節之分佈

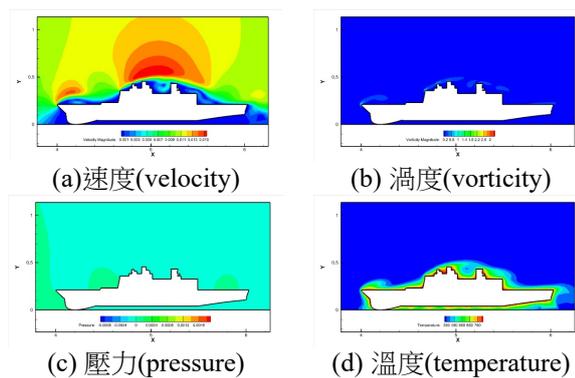


圖 4.2 康定級巡防艦 (Kang-Ding-class) 船速 20 節在時間 $t=600[s]$ 速度等分量之等高線分佈

1.2 25 節之分佈

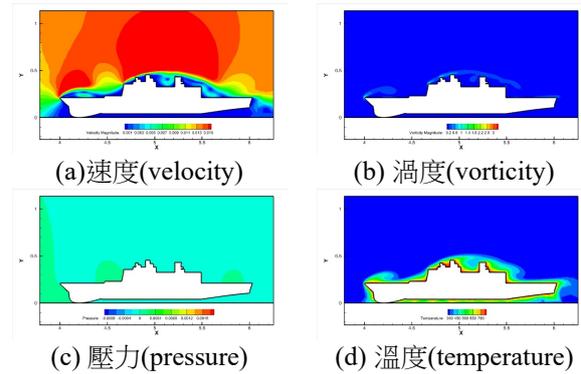


圖 4.3 康定級巡防艦 (Kang-Ding-class) 船速 25 節在時間 $t=600[s]$ 速度等分量之等高線分佈

1.3 30 節之分佈

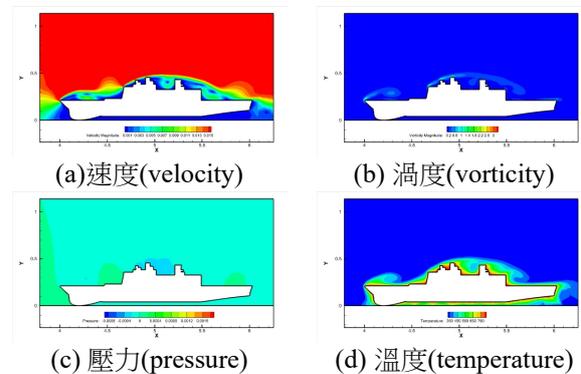


圖 4.4 康定級巡防艦 (Kang-Ding-class) 船速 30 節在時間 $t=600[s]$ 速度等分量之等高線分佈

2. 船體與波浪運動之分析

2.1 亂流能量變化圖

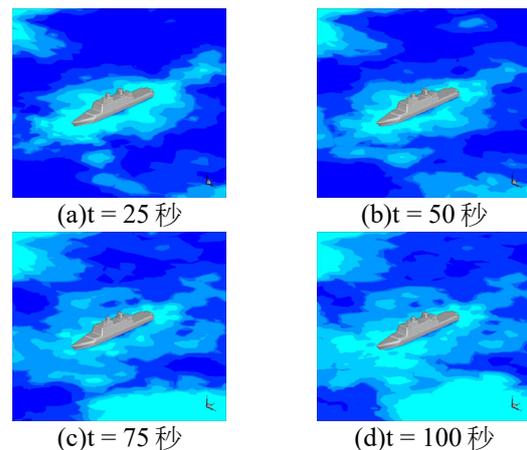


圖 4.5 船速在 22 節時之渦流結果

2.2 水體積分數變化圖

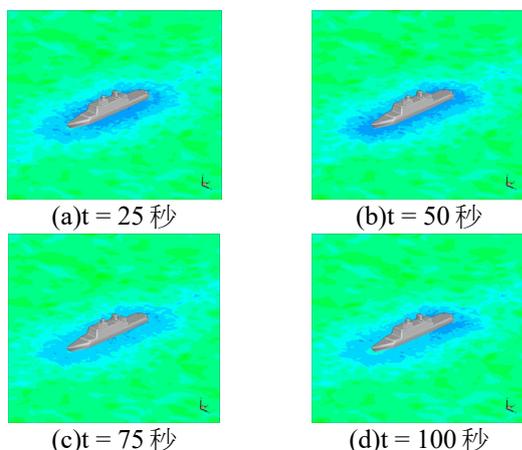


圖 4.6 船速在 22 節時所受到的速度大小

2.3 消散率變化圖

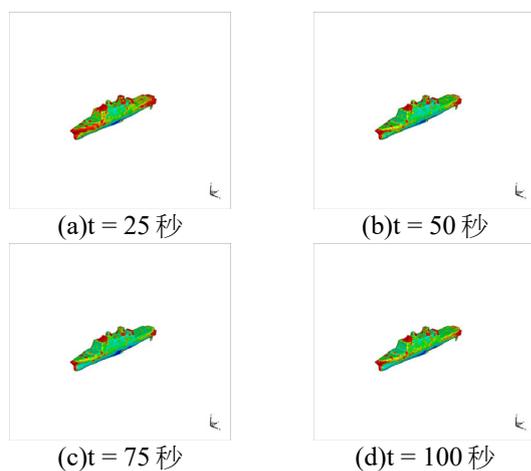


圖 4.7 船速在 25 節時之渦流結果

2.4 壓力分佈

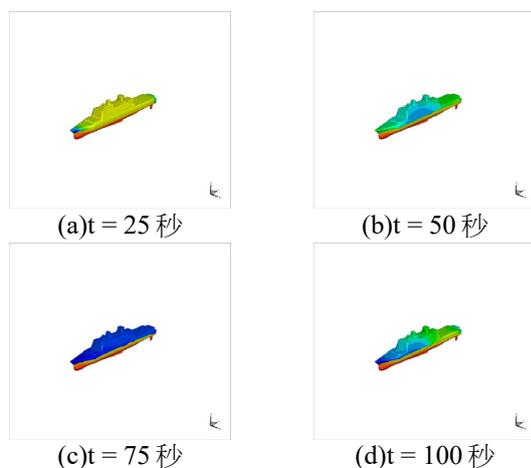


圖 4.8 船速在 25 節時所受到的速度大小

本文以計算流體力學 CFD 技術，對於所選定的艦艇構型進行相關的模擬計算驗證，初步得知該構型的模擬分析結果後，再進行各種海況、航行條件下該構型可能產生的風場現象，再以此數值模擬方法計算模擬出風洞試驗所可能得知的結果來進行相關的驗證例如船速，上層流場分布現象等，然而經由經驗公式推導出來的方程式設定，其中存在著許多假設因素，且須依諸多之風洞模型試驗獲得可視的結果後，再藉以修正相關設定因子。

結果與討論

即使透過有限差分法不斷迭代求解自由液面與不可壓縮黏性流的納維-斯托克斯方程，仍然存在許多待證明的相關研究問題。這種方法可以有效降低人力成本，因此在未來將成為主流解決這類問題的方法。另一方面對於實驗以及模擬而言如何更準確且高效地求解和優化這個系統方程式，也是未來研究的一個重要主題。

對於上述流場數值模擬研究，可以得出以下結論：本研究重點在於模擬和分析艦艇甲板和上層結構的空氣流場特性，並進一步研究環境因素對艦艇上層流場的影響。雖然我們使用了單一類型的煙囪布局在不同構型的艦艇上來模擬不同船速下的環境流場，但我們的方程式是基於經驗公式推導的，其中包含許多假設因素。因此在通過多次風洞模型試驗獲得可視結果後，我們才能進一步修正這些設定因子。

參考文獻

1. S. Huler, Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry. Crown Publishers, 2004.
2. Rebecca Mateer. The Aerodynamics of a Modern Warship. University of Liverpool January 2020
3. Seshadri V, Singh S, Kulkarni P R. Study of problem of exhaust smoke ingress into gt intakes of a naval ship[J]. Journal of Ship Technology, 2006, 2:22-35
4. Kulkarni P R, Singh S N, Seshadri V. Comparison of CFD simulation of exhaust smoke-superstructure interaction on a ship with experimental data[C]//10th Naval Platform Technology Seminar 2005 (NPTS-05). Singapore, 2005: 150-172.
5. 洪偉宏、姜治芳、王濤，上層建築形式及佈局對艦船空氣流場的影響[J]中國艦船研究，2009
6. 莊曉東、侯佳鑫、謝軍龍，靜風條件下船舶煙氣擴散特性及對進風口影響的數值分析[J]中國艦船研究，2021、16(增刊 1)，1-9
7. Erinc Dobrucali and Selma Ergin An investigation of exhaust smoke dispersion for a generic frigate by numerical analysis and experiment 2017
8. 池田清・野村実ほか; 近現代史編纂會・編. 海軍艦隊勤務. 新人物往來社.PP.84 2001.

9. CHEN D S, ZHAO Y H, NELSON P, et al. Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China[J]. Atmospheric Environment, 2016,145:10-18
10. 黃學良、張洲、楊威強等，廣州港船舶停泊工況排放因子實測及排放量初步估算[J].環境科學，2017，38(8):3162-3168.
11. Bosanquet, C. H. and Pearson, J. L., "The spread of smoke and gases from chimneys", Trans. Faraday Soc., 32:1249, 1936
12. 空氣品質影響之預測 Prediction of Air Quality, Hsunling Bai, Chapter 7 P.5~10
13. Sherlock, R. H. and Stalker, E. A, A study of flow phenomena in the wake of smokestack, Engineering Research Bulletin No.29,Department of Engineering, University of Michigan, Annarbo, March 1941
14. Nolan Robert W, "Design of Stacks to Minimize Smoke Nuisance", Trans SNAME Vol. 54, 1946, pp 42-82
15. Weil, J.C., Model experiments of high stack plumes, Massachusetts Institute of Technology, Mechanical Engineering Department Thesis, Aug. 1968.
16. Baham, Gary J., McCallum, Donald, stack design technology for naval and merchant ships, Presented at Annual Meeting of society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, November.10-12,1977
17. ACKER H.G., "Stack Design to Avoid Smoke Nuisance," Trans SNAME, Vol. 60, 1952, pp 566-594.
18. Ower, E., Third, A.D., Superstructure design in relation to the descent of funnel smoke, Trans. Institute of Marine Engineers (London),Vol.1, 1959.
19. David P. Hoult , James A. Fay & Larry J. Forney (1969) A Theory of Plume Rise Compared with Field Observations, Journal of the Air Pollution Control Association, 19:8,585-590
20. Takasaki Koji, Tajima Hiroshi, Strøm Alexander, Murakami Shinsuke, Visualization of Combustion and CFD Study for NOx Reduction with Water Injection, 22006 Volume 41 Issue SI Pages 64-71.
21. Muiyiwa S. Adaramola, Donald J. Bergstrom, David Sumner "Characteristics of turbulent flow in the near wake of a stack", July 2012 Experimental Thermal and Fluid Science (EXP THERM FLUID SCI) 40:64-73
22. Kulkarni PR, Singh SN, Seshadri V, "Flow Visualization Studies of Exhaust Smoke-Superstructure Interaction on Naval Ships", accepted by ASNE for publication in Naval Engineers Journal edition of 2005
23. 蘇殷逸，"船體主機煙流排放對直升機起降安全影響之數值模擬計算"，碩士論文，國防大學理工學院，桃園，2011。
24. 徐文彬，"艦艇上層空氣流場數值模擬研究"，碩士論文，國立屏東科技大學，屏東，2004。
25. 盧先榮，"以奈維爾-史托克方程式與等位函數法求解自由液面流場之研究"，碩士論文，逢甲大學，台中，2003。
26. 羅志賢，"計算流體力學應用於太陽能車之氣動力分析"，碩士論文，國立高雄應用大學，高雄，2007。
27. 廖家德，"艦艇上層空氣流場數值模擬及特性分析"，全國力學會議，國立臺灣海洋大學，新北，2021。
28. 王宇聖，"探究艦艇上層空氣尾流場特性與數值分析"，暑期學習實務體驗，國立臺灣海洋大學，基隆，2021。
29. Alexander Lavrov, Andrei B.Utkin, Rui Vilar, Armando Fernandes, "Evaluation of smoke dispersion from forest fire plumes using lidar experiments and modeling", International Journal of Thermal Sciences, Volume 45, Issue 9, September 2006.
30. Baham,Gary J.,McCallum,Donald,"Stack Design Technology for Naval and Merchant Ships", Presented at Annual Meeting of society of Naval Architects and Marine Engineers,New York,N.Y.,November.10-12,1977.
31. Ower,E.and Third,A.D.,"Superstructure Design in relation to the Descent of Funnel Smoke,Trans.Institute of Marine Engineers(London),Vol.1,1959.

Numerical Simulation and Characteristic Analysis of Air Wake Field on Naval Vessel Superstructures

*Yu-Sheng Wang** *Pin-Wei Huang** *Reui-Kuo Lin***

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

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

Keywords: CFD, Spread Distribution, Wind tunnel test, Smoke Diffusion, Atmospheric pressure

ABSTRACT

This study employs computational fluid dynamics (CFD) to simulate and analyze the dispersion of smoke through a ship's superstructure, considering factors such as chimney design, wind direction, and exhaust temperature. By utilizing CFD techniques, we investigate how variations in stack height, geometry, wind angle, exhaust temperature, and velocity affect smoke flow distribution, diffusion patterns, and temperature. The focus lies on analyzing these parameters' influence on the ship's flow field during movement and comparing numerical simulations with experimental data. Ultimately, the research aims to assess the model's capability in simulating chimney shape, wind angles, and smoke temperature, offering insights for conceptual and preliminary ship superstructure design. The study's outcomes are anticipated to provide understanding regarding the impact of ship structure and chimney configuration on atmospheric conditions, diffusion patterns, and noise generation, thereby serving as a foundation for airflow analysis within the superstructure.