

美海軍水面作戰艦艇副翼發展展望

楊維漢

提 要：

- 一、美海軍艦副翼使用已超過20年以上的歷史，迄今美海軍與海岸防衛隊已在包括13個級別在內的驅逐艦、巡洋艦、巡防艦、兩棲作戰艦、緝私艦、巡邏艇等艦艇裝置艦副翼。在海試中業已證明艦副翼具有降低推進馬力、節約燃料成本、增加艦艇航程與極速等效益。
- 二、艦副翼是一個艦艇船底板平面的小型延伸附加物，有效改善船體後半部下方的水流，使水流減速壓力提升，降低形狀阻力，減少船體總阻力。
- 三、艦副翼採用類似減搖龍骨(Bilge Keel)的建造方式，以鋼板及三角A型肋材製作成型，再以電焊方式焊接至艦艇。

關鍵詞：i-ENCON節能計畫、直升機落艦輔降系統、艏艦垂標間距長度、能源使用回報系統、球型艦

Abstract

1. Stern flaps have been deployed at sea for more than two decades, on a variety of U.S. Navy and U.S. Coast Guard classes, including destroyers, cruisers, frigates, amphibious ships, cutters, and patrol crafts. Stern flaps have been proven during sea trials to reduce propulsive power, and to foster significant fuel cost saving, while increasing both ship range and top speed.
2. A stern flap is an extension of the hull bottom surface which extends the rearmost part of the vessel. It is a relatively small appendage, modifying the water flow under the hull afterbody, decreasing flow velocity and increasing pressure, resulting in reduced form drag and thus reduced hull resistance.
3. Stern flaps are constructed in a manner similar to bilge keels, using steel plates and an internal structure with

triangular A frames. Attachment to the transom is with conventional welding on ship exterior.

Keyword: i-ENCON(Incentivized Energy Conservation)、RAST (Recovery Assist, Secure and Traverse)、LBP(Length Between Perpendiculars)、NEURS(Navy Energy Usage Reporting System)、SEB(Stern End Bulb)

壹、前言

民國101年11月5日媒體報導國防部長在立法院答詢表示，美方將以熱艦移交方式出售2艘現役派里級巡防艦予我國，以取代艦齡近40年的濟陽級艦。民國七〇年代海軍推動光華一號造艦計畫，選定1986年成軍服役的美海軍派里級巡防艦FFG-59 USS Kauffman考夫曼號做為構型基礎發展成功級艦，配合政策中船公司獲得承造船體載台的合約，戮力完成8艘成功級艦，交出「國艦國造」引人為傲的亮麗成績單，成功級艦與美海軍派里級艦在裝備上最大差別在於艦艉左側未配裝AN/SQR-19被動式拖曳聲納。除此之外未來接收的派里級艦與國造成功級艦在船體外型上最大的差異在於艦艉下方的艉副翼(Stern Flap)^{1、2}。

美海軍制定目標朝降低碳足跡發展綠能海軍而努力，針對航行艦艇積極推動i-ENCON節能計畫，並採行先進船體塗裝(Advanced Hull Coating)與俾葉塗裝、加裝艉副翼(Stern Flap)、採用複合式電力推進(Hybrid Electric Drive)與改善艦用空



圖一 美海軍的節能倡議

資料來源：<http://www.onr.navy.mil/naval-energy-forum/~media/B35D17C4AF47484F8FD14DD442CF2561.ashx>

Current status of U.S. Navy and U.S. Coast Guard stern flap installations

Ship Class	Flaps Installed on Class (Total)	Annual, per Ship Fuel Reduction (Barrels)	(%)	Cumulated Fuel Savings (Millions)
DDG 51 I/II*	28	8880	9.1	\$223
DDG 51 IIA	31	7286	7.5	\$165
CG 47	24	9619	8.3	\$183
DD 963*	7	7329	7.0	\$12
FFG 7*	30	1992	4.9	\$51
PC 1*	14	416	7.9	\$6.7
LHD 1*	1	6141	3.4	\$2.0
LHD 8	1	4814	3.3	\$2.4
LSD 41/49	1	1320	3.4	\$0.5
LHA 6	0	5861	4.0	\$0
LPD 17	7	900	2.1	\$3.0
WPB 110*	28	270	3.7	\$5.5
WHEC 378*	1	952	9.5	\$0.9
TOTALS:	173			\$655 Mil

*Stern Flap Evaluation trials conducted on these classes

圖二 美海軍與海岸防衛隊有173艘艦艇裝置艉副翼

資料來源：<http://202.114.89.60/resource/pdf/4510.pdf>

註1：BBC中文網新聞，http://www.bbc.co.uk/zhongwen/trad/chinese_news/2012/11/121105_cruiser_byjames.shtml。

註2：維基百科，『成功級巡防艦』，<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%88%90%E5%8A%9F%E7%B4%9A%E5%B7%A1%E9%98%B2%E8%89%A6>。

調系統效率等各項措施以提升節能成效(參考圖一)。其中艦副翼使用已超過20年以上的歷史，迄今美海軍與海岸防衛隊已在包括13個級別的驅逐艦、巡洋艦、巡防艦、兩棲作戰艦、緝私艦、巡邏艇在內的173艘艦艇裝置艦副翼(參考圖二)，欲藉由回顧美海軍加裝艦副翼之發展一窺美海軍節能所付出的努力^{3、4}。

貳、派里級巡防艦簡介

1970年代美海軍引進燃氣渦輪推進主機建造31艘雙俥雙舵的DD-963史普魯恩斯級(Spruance Class)驅逐艦與51艘單俥單舵的FFG-7派里級(Perry Class)巡防艦，採高、低檔混搭配置(High-Low Mix)，以取代第二次世界大戰期間建造已屆服役年限的DD-692艾倫桑拿級(Allen M. Sumner Class)與DD-710基爾靈級(Gearing Class)驅逐艦。派里級巡防艦為美海軍的大規模造艦計畫，共建造55艘(FFG-7至FFG-61)，其中FFG-17、18、35、44等4艘係澳大利亞海軍委託建造^{5、6}。

51艘派里級艦曾一度是美海軍第二次世界大戰後最大規模的水面作戰艦造艦計畫，但後來被DDG-51勃克級(Arleigh Burke Class)神盾驅逐艦所超越。派里級艦船體載台存在2種構型，一是全長445呎的短船身構型，另一是全長453呎的長船身構型(參考圖



圖三 長船身(右)與短船身構型的派里級艦

資料來源：<http://www.navsourc.org/archives/07/images/34/073410.jpg>



圖四 FFG-25率先加裝艦副翼

資料來源：http://navysite.de/ffg/ffg25_1.jpg

三)，主要差別在於短船身的派里級艦未裝設RAST直升機落艦輔降系統，搭載SH-2F海妖式反潛直升機，長船身的派里級艦則裝設RAST系統，搭載大型SH-60B海鷹式反潛直升機，派里級艦中共有20艘短船身構型，其餘31艘為長船身構型。首艘派里級艦FFG-7 USS Oliver Hazard Perry於1977年12月17日成軍服役，最後一艘FFG-61 USS Ingraham則於1989年8月5日成軍服役。1988年美海軍選定為數眾多的派里級巡防艦進行艦副

註3：VADM Kevin McCoy，『Naval Energy Forum』，<http://www.onr.navy.mil/naval-energy-forum/~media/B35D17C4AF47484F8FD14DD442CF2561.ashx>，p.2。

註4：Dominic S. Cusanelli，『Hydrodynamic and Supportive Structure for Gated Ship Sterns—Amphibious Ship Stern Flap』，<http://202.114.89.60/resource/pdf/4510.pdf>，p.8。

註5：維基百科，『Spruance class destroyer』，http://en.wikipedia.org/wiki/Spruance_class_destroyer。

註6：維基百科，『Oliver Hazard Perry class frigate』，http://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Hazard_Perry_class_frigate。

翼設計，歷經船模試驗及修改後製成成品，1989年選定短船身的FFG-25 USS Copeland 率先加裝艉副翼(參考圖四)，開啟美海軍水面艦採用艉副翼的新頁⁶。

參、艉副翼的流體動力作用機制

方型艉(Transom Stern)是現代商船與海軍水面艦艇最常採用的船艉構型，與從前常見呈圓弧型收縮的巡洋艦型艉(Cruiser Stern)相較，方型艉的形狀簡單建造容易可有效降低成本，且能提供較大甲板面積有利於絞機與船艙後置的安裝佈置，同時方型艉較寬的水線使KM值增加，得以改善船舶靜穩度。作戰艦艇採用方型艉並非成本考量，而是著眼其改善高速航行時的流體動力性能，降低艉跡流擾動⁷。

水面艦航行於海水與空氣兩種介質中，海水密度約較空氣高800倍，海水產生的阻力占大宗，存在摩擦阻力、壓力阻力(壓力阻力與物體形狀有關，又名形狀阻力)、波浪阻力(Wave Resistance)、附加阻力(Added Resistance in Wave)等類型阻力。傳統排水量型單船體船舶低速航行時所受阻力多為摩擦阻力，高速航行時則招致極大的興波阻力(Wave Making Resistance)。以派里級巡防艦為例，全長453呎寬45呎、滿載4,100噸，配備2部LM2500燃氣渦輪機輸出馬力41,000匹，極速29節，操作乙部LM2500燃氣渦輪機船速可達25節，啟動第2部LM2500

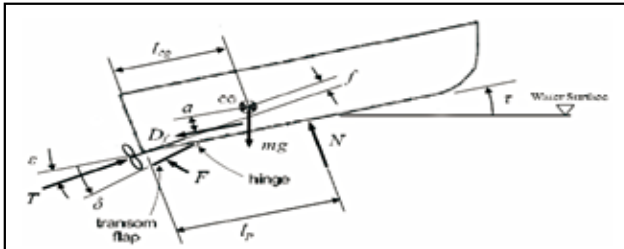
主機船速僅增加4節，肇因於船速達27節船艏橫波波長(Transverse Wave Length)等於船長，致使興波阻力陡然驟升。單船體船舶航行前進時，壓力沿著船體變化生成波浪，波浪能量形成興波阻力，當以節計量的船速到達約1.7倍的水線長度(以呎計算)平方根值時，興波阻力到達最大值，可能高達摩擦阻力的3倍。1艘水線長度達1,024呎的核能動力航空母艦若以32節航速航行，相當於1倍的水線長度平方根值，產生中等強度的興波阻力；但是1艘水線長256呎的護衛艦若以32節航速航行，相當於2倍的水線長度平方根值，會招致很大的興波阻力。如同汽車發展一樣，為降低油耗需從減輕重量或減少阻力著手，水面作戰艦系統裝備繁多，重量減輕不易達成，相較之下減少阻力可行性較高。成功減少阻力除直接帶來降低推進馬力、減少廢氣排放、節約燃料成本、增加航程與航速提升等效益外，也間接突顯具有增加主機大修間隔週期與延長輪機裝備服役年限等成效^{8、9}。

迄今發展出諸多節約船艦油耗或增加船速的設計，但絕大多數不是所費不貲，就是風險太高或需要建造新船方能使用。艉副翼卻是一個小而簡單、容易製造安裝、價格低廉的可靠降低油耗之設計方案，適用於新舊艦艇、大小船舶裝置使用。美海軍艉副翼採用類似減搖龍骨(Bilge Keel)的建造方式，以鋼板及三角A型肋材製作成型，再以電焊

註7：『SHIP HULL FORM DESIGN』，http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/muhsina_830547c3dd7e761d720beb29145b27c8.pdf，pp.6.11-6.12。

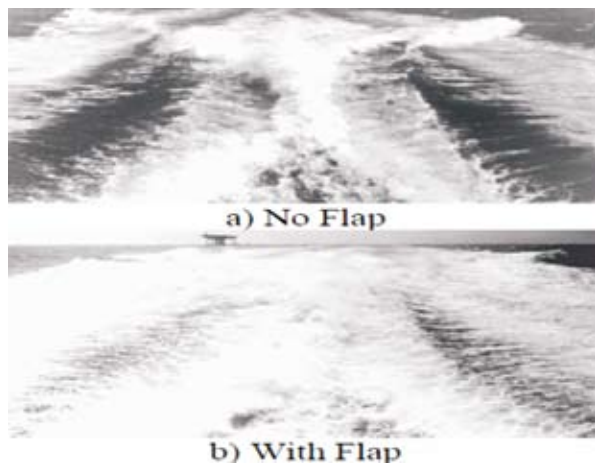
註8：『Principles of Ship Performance』，<http://dl.kashti.ir/ENBOOKS/Principles%20of%20Ship%20Performance.pdf>，pp.7-19。

註9：William D. O'Neil，『BIG, It Needs to Be NOVEL』，<http://www.analysis.williamdoneil.com/Adv%20hullforms%20article%2012-03.pdf>。



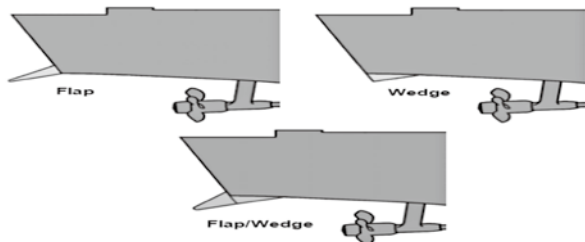
圖五 裝置艦副翼的滑航艇航行所受之作用力

資料來源：<http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ifac2005/Fullpapers/03886.pdf>



圖六 裝置艦副翼船艦波浪改善情形

資料來源：<http://www.scielo.org.ar/pdf/laar/v34n4/v34n4a11.pdf>



圖七 圖示艦副翼、艦楔與融合兩者的複合式設計

資料來源：<http://publications.iot.nrc.ca/documents/IR/IR-2008-22.pdf>

方式焊接至方型艉，形成一個艦艉船底板平面的小型延伸物。眾所皆知小型高速滑航艇 (Planning Craft) 裝置俗稱壓浪板的艦副翼，係藉助高速航行時艦副翼產生相當大的俯仰平衡力矩改善航行俯仰角與船體下沉量，調整船體至適切流體動力的航行姿態，以降低阻力強化動力性能(參考圖五)。但面對驅逐艦、巡防艦等大型排水量船況，裝置艦副翼僅能改變航行俯仰角0.1至0.3度，如此微小的俯仰角變動對降低阻力不會產生重大影響，研究指出其降低阻力的作用機制係對船艉下方至俾葉的流場區域(約佔15%船長)產生影響，有效調整船體後半部下方的水流，使水流減速壓力提升，致使形狀阻力降低，減少船體總阻力。艦副翼不僅改善流場，而且降低遠離流場的波浪能量與接近流場的波浪高度(參考圖六)，連帶改善環繞船艉的局部水流狀況(渦流、破浪、紊流)，增加船艉水流離去的流速，降低船艉水流分離的速度。由於環繞船體後半部的壓力提升，使得俾葉負荷降低，艦副翼同時帶來改善推進效率與俾葉空蝕性能的效果^{10、11、12}。

艦楔(Stern Wedge)是一種類似艦副翼的節能設計，它附加於船艉船底板，與艉平面切齊突出以某個角度向前延伸直達前方船底板，也有融合向前延伸的艦楔與向後延伸的艦副翼的複合式設計(參考圖七)。艦副翼的重要尺寸數據有翼弦長度(Chord Length)、翼展寬度(Span Across Transom)與副翼

註10：『U.S. NAVY ENERGY, ENVIRONMENT & CLIMATE CHANGE』，http://greenfleet.dodlive.mil/files/2011/09/20110830_SternFlapsEnergyFactsheet.pdf。

註11：Dominic S. Cusanelli，『Hydrodynamic and Supportive Structure for Gated Ship Sterns—Amphibious Ship Stern Flap』，<http://202.114.89.60/resource/pdf/4510.pdf>，p.2。

註12：Thornhill et al.，『Stern Flap Resistance Reduction for Displacement Hulls』，<http://publications.iot.nrc.ca/documents/IR/IR-2008-22.pdf>，pp.1-2。

向下角度。典型的艦副翼翼弦長度介於艏艉垂標間距長度(LBP)的0.5~1.5%範圍內^{11、12}。

肆、美海軍水面艦艦副翼過往的應用發展

美海軍最初針對派里級巡防艦設計艦楔，但在船模試驗過程中發現艦副翼效果較艦楔更好，船模試驗顯示艦副翼在20節以上船速發揮作用使輸出馬力約下降5%。1988年美海軍針對派里級巡防艦設計船艦副翼，歷經船模試驗及修改後製成原型艦副翼，翼弦長度1.26米(1%LBP)，副翼向下角度10度，1989年選定FFG-25率先加裝艦副翼，經海上測試驗證可降低輸出馬力8%與提升極速，美海軍再斥資進行派里級艦加裝艦副翼。後續美海軍又針對330噸級的颶風級(Cyclone Class)近岸巡邏艇設計發展艦副翼，選定PC-13 USS Shamal加裝艦副翼，經測試驗證可降低輸出馬力5.6%，增加極速與航程，並對其餘13艘進行加裝艦副翼¹³。

美海軍針對使用相同船體載台設計的31艘史普魯恩斯級驅逐艦與27艘神盾巡洋艦發展艦副翼，參酌年度服勤航速－航行時數統計表(Speed-Time Profile)並經船模試驗測試決定艦副翼尺寸外形，1997年選定DD-968 USS Arthur W. Radford驅逐艦在正規8個月大修修期內加裝原型艦副翼，翼弦長度1.62米(1%LBP)，翼展寬度10.36米，副翼向下角度8.1度(參考圖八)，相關製作安裝共花



圖八 DD-968驅逐艦加裝的艦副翼

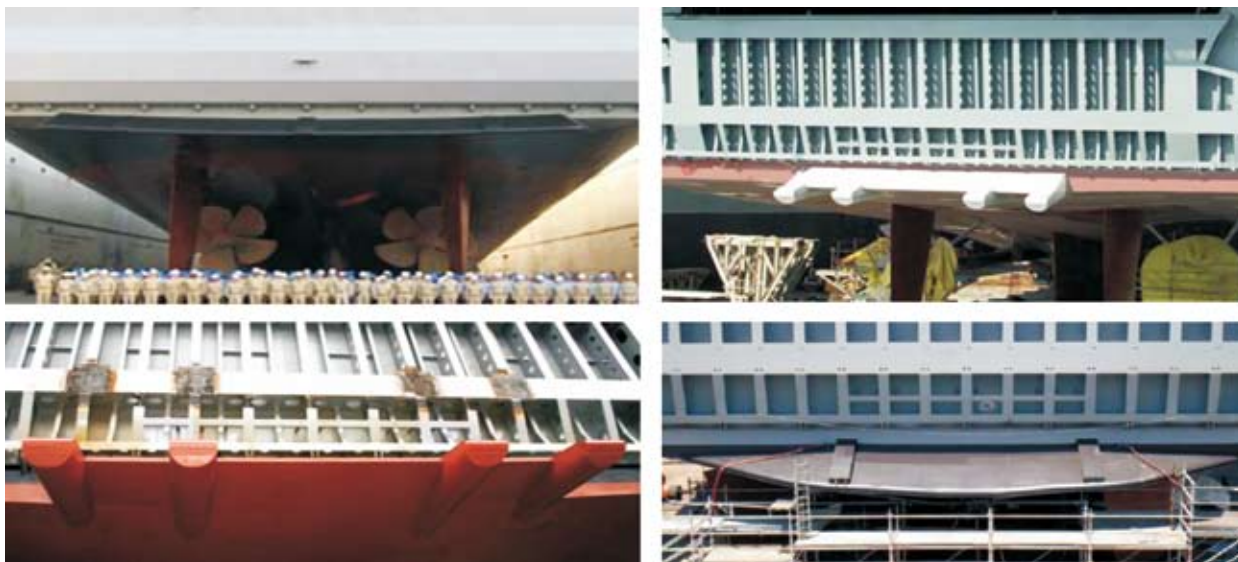
資料來源：<http://202.114.89.60/resource/pdf/4510.pdf>

費17萬美元，進行測評獲得結果從航速13節時節省馬力5.7%到航速25節節省馬力14%不等，極速則增加0.75節，年度燃油耗用減少7.3%(3,900桶燃油)，加裝費用於一年內即可回收，美海軍再投入經費將史普魯恩斯級驅逐艦與神盾巡洋艦加裝艦副翼。美海軍針對水面作戰艦主力－神盾驅逐艦亦研發加裝艦副翼達成可觀的節能成效¹⁴。

美海軍為降低油耗成效更擴大將艦副翼應用至兩棲作戰艦，針對其特有可裝載兩棲作戰載具的內凹甲板(Well Deck)與艦艉可開關的艦門構型，特將船艉下方的艦門收放支撐結構與艦副翼設計融合形成特有的兩棲艦副翼。新造艦部分將艦副翼視為新建造品項，LPD-17聖安東尼奧級(San Antonio Class)兩棲船塢運輸艦將艦副翼下方的流體動力面固定於艦門支撐結構下平面上，艦副翼上方的平面則與三支艦門支撐物融合，副翼向下角度呈12.5度；2009年10月成軍服役的LHD-8馬金島號(USS Makin Island)兩棲

註13：Dominic S. Cusanelli，『Combined Wedge-Flap for Improved Ship Powering』，<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/d018750.pdf>，pp.2-3。

註14：Thornhill et al.，『Stern Flap Resistance Reduction for Displacement Hulls』，<http://publications.iot.nrc.ca/documents/IR/IR-2008-22.pdf>，p.4。



圖九 LPD-17(左上)、LHD-8(右上)、LHD-3(左下)、LSD-41(右下)的艦副翼設計

資料來源：<http://202.114.89.60/resource/pdf/4510.pdf>

攻擊艦在艦門支撐結構間裝置翼弦長度6.2呎，翼展寬度26呎，副翼向下角度呈0度的兩棲艦副翼；未來無配置艦門的LHD-6美國級(America Class)兩棲攻擊艦設計裝置翼弦長度7.78呎，翼展寬度80呎，副翼向下角度呈0度的艦副翼。2009年起美海軍對於現有LHD-1胡蜂級(Wasp Class)兩棲攻擊艦、LSD-41惠德貝島級(Whidbey Island Class)船塢登陸艦發展艦副翼，2009年9月選定LHD-3 USS Kearsage於諾福克海軍造船廠塢修期間進行加裝翼弦長度6.44呎，翼展寬度26呎，副翼向下角度1.7度的原型艦副翼，2011年6月17-20日進行艦副翼測試，獲得結果為節約馬力最高達到11%，極速增加0.7節，年度燃油耗用減少3.4%(6141桶燃油)。2009年9月同時選定LSD-41 USS Whidbey Island於諾福克塢修期間進行加裝翼弦長度

7.8呎，翼展寬度43.2呎，副翼向下角為負1.1度的原型艦副翼，截至2011年尚未進行艦副翼測試，船模試驗顯示節省馬力7.8%，極速增加0.3節，年度燃油耗用減少3.4%(1320桶燃油)(參考圖九)¹⁵。

伍、神盾驅逐艦艦副翼的發展

2011年2月美海軍接收第60艘神盾驅逐艦，首艘神盾驅逐艦自1991年起服役迄今已成功發展出Flight I、II、IIA等3種船體載台構型，美海軍原計畫採購62艘(DDG-51-112)，後續追加10艘Flight IIA構型(DDG-113-122)，另發展排水量超過萬噸的Flight III構型，計畫再增購24艘(DDG-123-146)，使它穩坐第二次大戰後美海軍最大規模造艦計畫的寶座。數量龐大的神盾驅逐艦降低油耗，將獲致可觀的總體擁

註15：Dominic S. Cusanelli，『Hydrodynamic and Supportive Structure for Gated Ship Sterns—Amphibious Ship Stern Flap』，<http://202.114.89.60/resource/pdf/4510.pdf>，pp.3-8。



圖十 DDG-79驅逐艦加裝的艦副翼

資料來源：<https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNE%20Day%202012/Papers/Karafiath.pdf>



圖十一 DDG-54驅逐艦加裝的艦副翼

資料來源：<https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNE%20Day%202012/Papers/Karafiath.pdf>

有成本節約，根據2012年美海軍NEURS能源使用回報系統資料指出神盾驅逐艦總體年平均燃油使用量為76,269桶/年/艘，其中年平均推進燃油耗用佔56,420桶/年/艘，即使節能技術降低1%推進燃油耗用(564桶)，每艘年度燃油成本節約近10萬美元(以2012年每桶標準燃油價格175美元計算)¹⁶。

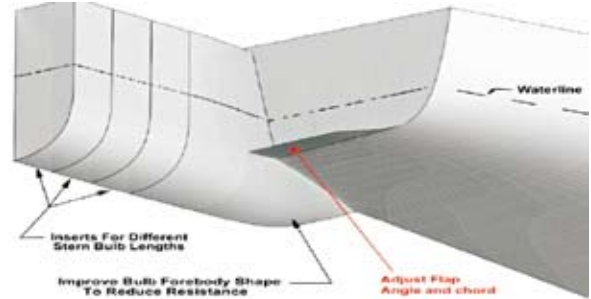
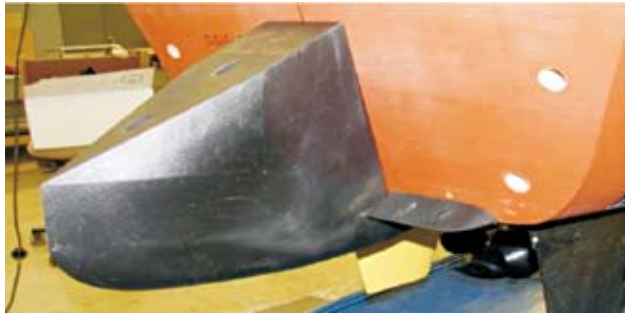
最初勃克級神盾驅逐艦未配置直升機庫僅配有直升機飛行甲板的Flight I/II構型

在1984年設計完成，艦船底板嵌入一個角度13度長3.2呎的艦楔，採用船模試驗資料以2012年燃油計算方式換算產生年平均燃油耗用減少0.8%，節省燃油成本7.7萬美元，當時水面作戰艦的艦副翼發展尚未展開。1989年美海軍著手展開DDG-79加裝直升機庫的Flight II A構型設計，船艦加長5呎，設計裝置艦副翼，此時艦副翼應用於水面作戰艦船體的節能成效已獲得實證，一個翼弦長度3.2呎，翼展寬度23.6呎，副翼向下角度15度的艦副翼設計經證實具有最佳節約燃油與增加極速的效果，引用船模試驗數據以2012年燃油計算方式換算產生年平均燃油耗用減少4.5% (2,530桶燃油)，可節省燃油成本44.3萬美元。自DDG-79起艦副翼被列為新建造品項(參考圖十)，在高達44艘(DDG-79-122)的Flight II A構型之神盾驅逐艦均加以安裝¹⁷。

美海軍針對最初28艘原型神盾驅逐艦(DDG-51-71等21艘為Flight I構型、DDG-72-78等7艘為Flight II構型)發展艦副翼安裝於艦楔後方形成複合式設計，1996年發展完成。船模試驗指出艦副翼降低動力與燃油需求的效果較艦楔佳，艦副翼翼弦長度4.7呎，翼展寬度24呎，副翼向下角度13度。2000年2月首次安裝於DDG-54 USS Curtis Wilbur(參考圖十一)，所有28艘原型神盾驅逐艦陸續完成加裝。美海軍選定DDG-61 USS Ramage進行一項全尺寸艦副翼評估測試計畫

註16：Dominic S. Cusanelli et al.，『Hydrodynamic Energy Saving Enhancement for DDG-51 Class Ships』，<https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNE%20Day%202012/Papers/Karafiath.pdf>，pp.1-2。

註17：Dominic S. Cusanelli et al.，『Hydrodynamic Energy Saving Enhancement for DDG-51 Class Ships』，<https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNE%20Day%202012/Papers/Karafiath.pdf>，pp.7-8。



圖十三 美海軍神盾驅逐艦SEB球型艉的構想設計案

資料來源：<https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/ASNE%20Day%202012/Papers/Karafiath.pdf>

Stern flap* performance from trials conducted on USS RAMAGE (DDG 61)

Ship Speed (knots)	Baseline Total Shaft Power (hp)	Stern Flap * Total Shaft Power (hp)	Stern Flap* Power Reduction (%)
12	2650	2500	-5.6
14	5189	4600	-11.3
16	7443	6300	-15.4
18	10,628	9,090	-14.5
20	14,844	12,850	-13.4
22	20,021	17,590	-12.1
24	26,584	23,650	-11.0
26	36,365	31,940	-12.2
28	52,311	47,750	-8.7
30	81,365	73,640	-9.5
30.9	100,000	85,950	-14.1
31.8	N/A	100,000	N/A

* Stern Flap 13" installed behind transom wedge

圖十二 DDG-61驅逐艦加裝艉副翼的測試數據

資料來源：<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a507858.pdf>

，2000年6月先進行加裝艉副翼前的船速馬力測試，2000年10月2日至27日利用靠碼頭以圍堰(Cofferdam)施工方式安裝艉副翼，降低依賴乾塢之施工需求，2000年12月完成艉副翼船速馬力測試(參考圖十二)。DDG-61測試船況排水量8,680噸進行艉副翼測試結果顯示艉副翼可降低5.6%至15.4%的馬力，增加極速0.9節，也顯示在30.9節航行狀況下艉副翼節省馬力超過14,000匹。測試資料指出每艘Flight I/II構型神盾驅逐艦年度燃油節約7.5%(4726桶)，每艘節省燃

油成本19.5萬美元。以2012年燃油計算方式換算產生年平均燃油耗用減少5.3%(3,002桶燃油)，節省燃油成本52.5萬美元。2010年美海軍終止發展接替神盾巡洋艦的CG(X)巡洋艦計畫，改以發展Flight III構型神盾驅逐艦替代，針對增大排水量超過一萬噸的Flight III構型神盾驅逐艦，美海軍在NSW-CCD海軍水面作戰中心Carderock部門進行多項未來流體動力節能設計研發，其中有關艉構型節能改善方案有更新艉副翼與安裝SEB球型艉(參考圖十三)等設計^{16、17、18}。

陸、結語

1904年美海軍為提升戰力決定將艦用燃料從燃煤轉換為燃油，1907年人稱「老羅斯福總統」的美國第26任總統－西奧多·羅斯福(Theodore Roosevelt)下令派遣大西洋艦隊轄下16艘戰艦組成的特遣艦隊進行環繞全球的巡弋任務，藉此展現美海軍具備藍海作戰實力並向全世界宣示美國擠身世界強權之列，1907年12月16日特遣艦隊在維吉尼亞州漢普頓港錨地集結後誓師啟航，歷經長達14

註18：Dominic S. Cusanelli，『Scaling Effects on Stern Flap Performance Progress Report』，<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a507858.pdf>，pp.3-4。



圖十四 美海軍發展的水面艦節能倡議措施

資料來源：https://www.dawnbreaker.com/navyap_kickoff_presents/2012/TAP1213_Kickoff_Thurs-PEOSHIPS.pdf

個月造訪6大洲20個港口完成繞行全球任務，1909年2月22日順利返抵漢普頓港錨地，參加環繞任務的戰艦船身一律漆成醒目亮白顏色，是為美國史上著名的Great White Fleet，除成功達成政治、軍事目的外，同時彰顯艦用燃煤在後勤與作戰上的限制以及燃料轉換的必要性¹⁹。

2009年美國海軍部長Ray Mabus為減少海軍能源耗用、降低對國外油源依賴與大幅增加替代能源使用，發佈5大能源目標，其終極目的是對治依賴外國石油的軍事弱點以達成增進能源安全、改善海軍戰力。5大能源目標的其中一項是發展替代能源(包括核能)並於2016年部署稱為Great Green Fleet的航母打擊戰鬥群。美海軍在部署Great Green Fleet之前的過渡期，特別針對每兩年舉行一次的RIMPAC環太平洋軍演進行區域

性作戰部署驗證，2012年7月19、20日派出可使用生質燃料的DDG-90 USS Chafee、DDG-93 USS Chung Hoon神盾驅逐艦2艘與CG-59 USS Princeton神盾巡洋艦1艘組成綠能打擊群進行部署驗證。2016年將部署綠能航母戰鬥群，傳統動力水面艦可使用複合式電力推進與生質燃料操作，2020年進一步將美海軍油耗比重降至能源使用比例的50%²⁰。

迄今高、低檔混搭的史普魯恩斯級驅逐艦已全數除役，未移交友邦使用全數轉作靶艦或拆解。派里級巡防艦也已進入服役末期，保留長船身構型繼續服役，除役的短船身構型陸續移轉支援友邦，2003年起美海軍將續服役的派里級艦Mk-13單臂飛彈發射臂拆除，解除區域防空任務專司反潛作戰，不久的將來將被LCS濱海作戰艦取代。派里級艦移交盟國繼續使用，仍將在海上馳騁一段時日，雖然僅區區幾個百分點的年度油耗節約，但考量同型艦數量與服役年限，將可節約為數可觀的總體擁有成本，美海軍發展的水面艦節能倡議措施值得參考借鏡(參考圖十四)²¹。

作者簡介：

楊維漢先生，備役海軍少校，中正理工學院76年班造船系，現服務於台灣國際造船公司。

註19：維基百科，『Great White Fleet』，http://en.wikipedia.org/wiki/Great_White_Fleet。

註20：『Great Green Fleet』，<http://greenfleet.dodlive.mil/energy/great-green-fleet/>。

註21：Glen Sturtevant，『Navy SBIR Transition Assistance Program Kick Off』，https://www.dawnbreaker.com/navyap_kickoff_presents/2012/TAP1213_Kickoff_Thurs-PEOSHIPS.pdf，p.15。

