

淺析「模塊化」設計 對我國「國艦國造」之啟發

The inspiration of “modular” design to our IDS

海軍少校 郭俊毅

提 要：

- 一、我國地形四面環海，海軍發展極為重要，且由於港灣地形限制，造成腹地狹小；故兼具「防空、反潛、反水面」設計的「多功能」艦艇勢必成為未來發展方向。艦船「多功能」之設計，除了包含戰台以外，同時也必須考量到維保及便捷等面向，才能發展出最適合我海軍海上任務需求的艦型。
- 二、艦船的「模塊化」設計於造艦時可滿足多方併進需求，縮減建造時間；服役後因保養維修便利之特性，可增加艦艇妥善；到了延壽(或性能提升)階段也易於滿足裝備更新需求。所以此種設計，無論是對新造艦艇還是現役艦艇加改裝，都有很明顯的助益。
- 三、未來海軍必須強化「開源」(落實「國艦國造」)與「節流」(提升現役艦艇戰力)兩大政策，才能達成捍衛臺海安全的目標；因此，國際間海上強國的「模塊化」設計經驗及成果，確實值得海軍借鑑，並納入造艦規劃時設計之參考，不僅提升「國艦國造」成效，同時能實現「國防自主」的建軍理念。

關鍵詞：「多功能」艦艇、後勤維保、「模塊化」設計、空間運用

Abstract

1. Our country is surrounded by the sea. Therefore, the development of the navy is extremely important. So “multi-purpose ships” will inevitably become the future development direction of the navy. “Multi-functional design” not only includes combat, but also must consider various aspects such as maintenance and convenience.
2. The “modular” design can meet the advantages of simultaneous multi-party construction during the shipbuilding planning period, and can reduce a lot of construction time; in the process of launching service, it is easy to maintain and repair, which greatly increases the ship’s adequacy



rate; During the review stage, it is relatively simple to realize the need for continuous equipment update.

3.The future development of the navy must be open source and reduce-expenditure at the same time, in order to obtain the best results, discuss “modularity” through international experience and results. Believed to be worthy of our country’s reference.

Keywords: Multipurpose ship,Maintenance, “Modular” design,Space usage

壹、前言

「軍艦」因作戰任務需要，必須提升裝備的規格及性能，以滿足戰場高存活率之要求，以美國海軍現役約70艘的「阿利·伯克級」(Arleigh Burke Class)驅逐艦為例，平均每艘造價近20億美元(折合新臺幣約600億)；¹比起商規船舶而言，軍艦整體造價昂貴，確實「所費不貲」。故即使是軍力及財力都相對強大的美國，每年也都必須面臨如何在有限的國防預算上，建構最符合任務需求的作戰艦艇，以確保海權及維護國家利益。2016年「蘭德公司」(RAND)的專業人員針對船舶設計「模塊化」(Modular)²及「靈活性」(Flexibility)這兩個議題實施研究，並發表一篇《設計適應性強的船舶》(Designing Adaptable Ships)研究報告，其中針對任務艙間適用性及武器配置靈活性的角度去分析，並做出將「模塊化」設計落實在上述兩個面向時，可取得建造快速及武器運用靈活的優勢。³

我國是典型海島國家，艦艇戰力對確保海上交通線安全極為重要，然因有限的國防預算及與周遭國家的地緣關係影響，致海軍發展受到一定程度的限制；此外，沿海地形、潮汐高度差異及海域深度等環境因素，也對海軍艦船設計與運用造成很大的限制。另一方面，一般軍艦建造過程至少需要3-5年，才能形成一定構型與戰力；因此，儘管政府及海軍加速「國艦國造」計畫的推展，但上述環境所造成的限制，仍影響海軍建軍發展中的造艦規劃。換言之，完備「防空、反潛、反水面」三位一體的「多功能」作戰艦艇設計，也成為一個必須克服的關鍵問題。艦船的「多功能」意味著裝備及系統較多且複雜，並可能衍生超重或裝備干擾等情況，其對建造過程的影響確實不容輕忽；故如何在這兩者之間取得一個平衡，也成為海軍造艦設計上的「重中之重」。

海軍在2016年舉辦之「國際海事船舶及國防工業展覽會」上即已配合「國艦國造」的政策說明，再次強調「模塊化」設計的理

註1：「阿利·伯克級」艦前身為「紀德級」艦(Kidd Class，即我國接收之「基隆級」艦)，為一多用途且是至今世界上戰力最強的驅逐艦之一。〈阿利·伯克級驅逐艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/阿利·伯克級驅逐艦>，檢索日期：2022年9月23日。

註2：「模塊化」設計，其重點在於將一個系統細分為許多小單元，稱為模塊，各自可以獨立創建、修改、替換或與其他模塊或不同系統之間實施交換，具備靈活運用的特性，且可縮短建造及維修時間。〈Modular design〉，維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_design，檢索日期：2022年9月23日。

註3：John F.Schank,Scott Savitz,Ken Munson,Brian Perkinson,James McGee,Jerry M.Sollinger, “Designing Adaptable Ships” RAND,2016,pp.12-14。



念與規劃，⁴期望繼續在政府及民間業界的共同努力下，培植國內產業、落實「國防自主」穩健發展的願景，達成「國艦國造」政策目標。因此，本文首先介紹歐美先進海權國家及中共「模塊化」設計的方法、成效與「模塊化」建造的優勢，並將現今海軍全壽期規劃及艦台、後勤層面所遭遇現況一併說明；另對海軍「國艦國造」政策目標提供建議，以期我國未來能發展出更適應臺海周邊環境的作戰艦艇，為提升海軍戰力略盡心力，這也是撰寫本文主要之目的。

貳、各國海軍「模塊化」設計與成效

現今海上強國在「模塊化」設計理念上都已取得一定的成果，為能深入探討其方式及優勢，以下就德國、美國、法國、英國及中共與我國「模塊化」造艦案例與經驗，逐項臚列說明如后：

一、德國

(一)德國為了拓展外銷市場，於1970年代開始發展一款可滿足自用及外銷用的艦船，即「MEKO型」(MEKO Class)護衛艦⁵，此型艦亦開創德國將「模塊化」設計運用在造艦的先例，甚至可說是引領全球的一個作法。其設計著重的重點即是將艦船各種功能相



圖一：德國「MEKO型」系列艦「模塊化」示意圖

資料來源：參考〈「模塊化」軍艦的領路人：德國MEKO護衛艦〉，kknews，2018年8月3日，<https://kknews.cc/zh-sg/military/3b23j48.html>，檢索日期：2022年9月29日，由作者綜整繪製。

關的次系統與主系統合併，製成一個個獨立的模塊單元，再安裝到一標準化的艦體上。依照這種作法，各附屬裝備的配置將達到統一；故在模塊更換時，無需過多考量管、線路布設及附屬裝備安裝的問題，亦提升了維修及裝備檢換的便利性。

(二)本型艦自1982年產製的首艦問世以來，即強調可配合任務調整配置的「模塊化」為賣點，加上建造時間較短的特性(平均

註4：報告內容多次提及「模塊化」設計的概念，其中針對快速人員運輸艦的需求，包括採多功能模塊化設計，可搭配不同模塊整合(如艦載式偵蒐系統、無人載具、醫療貨櫃、防空飛彈及反艦飛彈等)，依任務需求裝艦運用；針對新型救難艦的需求，則可視任務搭載「水下遙控載具系統」(ROV，作業深度200公尺以上)及水下救援裝備等救難系統(潛水鐘)。另針對新型海洋測量艦的需求：後甲板具備裝備與執行「多功能」任務能力。〈高雄國際海事船舶及國防工業展覽會〉，臺灣區航太工業同業公會，http://www.taia.org.tw/news_dasp?navno=2&secno=205&newsno=1010，檢索日期：2022年9月28日。

註5：「MEKO型」護衛艦，是德國設計的外銷用護衛艦和巡防艦系列，它的創新在於使用了「模塊化」系統來安裝各種武器裝備以滿足不同的客戶需求。MEKO即為德文多用途組合艦(Mehrzweck-Kombination)的簡化混合形式縮寫。〈十大新銳護衛艦：MEKO型護衛艦〉，kknews，2019年1月15日，<https://kknews.cc/military/mj9e5q6.html>，檢索日期：2022年9月23日。



約18-24個月即可完成乙艘造艦)，因此順利吸引多個國外買家，並先後發展「360型」外銷奈及利亞及阿根廷、「140型」外銷阿根廷、「200型」外銷土耳其、希臘、澳洲、紐西蘭及葡萄牙等國(如圖一)，而「模塊化」設計可依需求調整艦台長度及功能之特性，間接從另一個角度證明「模塊化」的實用性及多功能性。

二、美國

(一)1990年代，隨著蘇聯解體及「波灣戰爭」結束，美國的海軍戰略從「全球作戰」調整為「區域作戰」，並認定未來海軍的戰場將著重於濱海及近岸地區，故將發展重心定調為「區域防禦」(Area defense)、「前沿存在」(Frontier Presence)兩大面向，戰場設定也逐漸調整為以區域為主，同時將海軍艦艇需求定位為噸位小、速度快、匿踪性佳，並以近海作戰為主要任務。⁶「獨立級」(Independence Class)濱海戰鬥艦(Littoral Combat Ship, LCS)⁷即是在此狀況下應運而生(如圖二)。此型艦同樣採「模塊化」設計，故可搭配任務執行模塊換裝，極大程度的提升了任務適應性，並對美國近海巡邏、海盜掃蕩、特種作戰及物資運輸等任務都有很大的幫助。

(二)該型艦在設計初期即定位為近海作戰使用，故在武裝、噸位及穩定性能上均無



圖二：美國「獨立級」濱海戰鬥艦

資料來源：〈美海軍再下訂單建造3艘濱海戰鬥艦總數將達34艘〉，新浪軍事，2018年9月27日，<https://mil.news.sina.com.cn/jssd/2018-09-27/doc-ihkmwytp4793834.shtml>，檢索日期：2022年9月26日。

法承擔遠洋作戰任務。因此，當美國海軍將重點重新調整至爭奪「制海權」(Sea Power)時，「獨立級」艦便顯得難以因應作戰需求；且因研發期程過短，故此型艦「模塊化」設計發展及模塊更換技術提升上進度不如預期，導致維修成本較其他中、小型艦艇來的高。此型艦後期即因不符投資效益，漸漸脫離主力戰艦的範疇；儘管本型艦的建造策略成效不彰，但「蘭德公司」仍在《設計適應性強的船舶》報告內反覆述明「模塊化」設計的靈活性及必要性，同時強調「模塊化」設計勢必會成為各國未來造艦主流。⁸

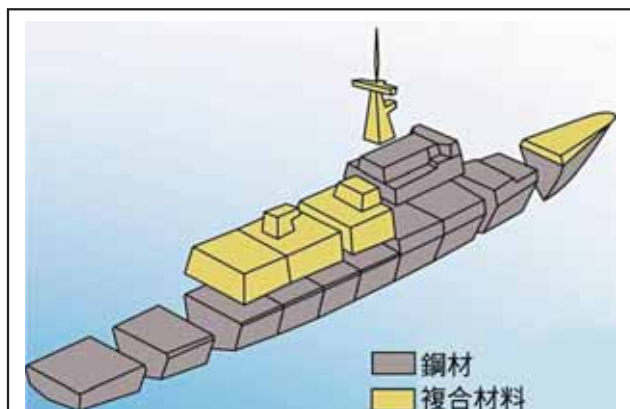
三、法國

(一)法國汲取1982年英、阿「福克蘭戰

註6：雷清宇，〈美海軍重新掌握制海之水面作戰策略—分散式殺傷〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第54卷，第1期，2020年2月1日，頁8。

註7：「獨立級」艦是「冷戰」後美國艦艇轉型的一種三船體艦型，主要用於沿海水域作戰，艦體採用「模塊化」設計，能搭載無人飛機、無人水面和水下載具，可以根據不同的戰鬥任務靈活調整戰鬥模塊，意圖實現「多用途」的理念。〈前沿存在的產物，美國獨立級濱海戰鬥艦〉，壹讀，2020年10月27日，<https://read01.com/KDPLAnB.html>，檢索日期：2022年9月26日。

註8：同註3，頁101-104。



圖三：法國「拉法葉級」巡防艦造艦模塊概念圖

資料來源：宋修國，〈從法國拉法葉艦20年回顧論我康定級艦未來展望〉，《海軍學術雙月刊》（臺北市），第52卷，第1期，2018年2月1日，頁94，檢索日期：2022年9月23日。

爭」及1986年「兩伊戰爭」的經驗，故於設計「拉法葉級」(La Fayette Class)巡防艦⁹時即將「匿踪」需求納入主要考量，並律定設計之理論基礎，¹⁰也在經過多次深入討論後將其定位為「巡防艦」(Frigate)。惟因菱形艦體設計的空間受限，導致武裝、火力減量，故僅具備水面打擊及點防空能力，甚至未安裝聲納，屬「二級」作戰艦；但由於採「模塊化」設計，將全艦區分為20個船段各自建造及連結，故可針對不同的任務需求，整合需要之裝備(如圖三)。¹¹

(二)該型艦亦可依任務調配武器裝備，如外銷新加坡、沙烏地阿拉伯的姊妹艦都具備垂直發射防空飛彈能力，並裝配拖曳式聲納；而我國採購的艦型(本軍稱「康定級艦」)則依規劃需求，安裝艦艏聲納及艦艉拖曳式聲納，以提升其反潛能力，定位也調整為「一級」作戰艦，凸顯「模塊化」組件在武器配置上的靈活性。

四、英國

(一)為減緩國防預算壓力，同時滿足不同類型之任務需求，英國希望能建造具備「多功能性」、「任務靈活性」及「可外銷優勢」的艦艇，因此經過多年研討後，於2005年依海軍需求將「26型」(Type 26)巡防艦構型納入規劃設計及產製，用以替代1990年起陸續服役的「23型」(Type 23)巡防艦。該型艦同樣採用「模塊化」設計，是一種多功能任務艦，可滿足英國從遠洋作戰到近海巡邏等不同任務需求。¹²

(二)本型艦建造過程即區分五個步驟，依序為：第一、為將艦艇拆為較小的建造模塊(即「模塊化」)，每個模塊內有各自的空間、設施和儀器，各別鍛造；第二、鍛造完成後，與其他部件實施對接安裝；第三、艙

註9：「拉法葉級」艦，是法國海軍的多用途巡防艦，為世界上第一款隱形軍艦，在設計初期，曾為了該定位為「F」(Frigate巡防艦)或「D」(Destroyer驅逐艦)而爭論不休。定義為「F」，表示將以匿踪為主要考量，武裝減量；若定義為「D」，表示將以作戰為主要設計，武裝力量大。而最後的結果為「F」。宋修國，〈從法國拉法葉艦20年回顧論我康定級艦未來展望〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第52卷，第1期，2018年2月1日，頁93。

註10：文森·柯華羅，《20年前法國製造匿踪巡防艦》，法國海軍與海洋事務出版社，2016年7月28日，頁7。

註11：宋修國，〈淺析法國新一代中型巡防艦(FDI)對我「國艦國造」之啟示〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第55卷，第2期，2021年4月1日，頁72-73。

註12：「23型」巡防艦，英國為了因應北大西洋反潛任務需求而設計，於2005年起開始進行中壽期改裝工程，惟因每艘改裝工程需時12-18個月，耗時費力，且花費約1500-2000萬英鎊，導致英國權衡後決定改以「26型」巡防艦替代；「26型」巡防艦，依據英國皇家海軍要求的任務能力以及未來戰略需求政策進行規劃，共有四項基本原則：「多功能性」(Versatile)、「任務彈性」(Flexible)、購買與操作的「可負擔性」(Affordable)及「可出口性」(Exportable)。〈26型巡防艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/26型巡防艦>，檢索日期：2022年9月26日。



造艦研究

打造戰艦

一探建造「格拉斯哥號」巡防艦的複雜過程

1 逐件打造 Piece by piece

建造過程的第一階段是將艦艇拆為較小的建造模組，即模組化；每個模組內會有艦艇的各個房間、設施和儀器。

2 組合模組 Joining forces

模組一旦建成，就會組成較大的艦體和艦橋，從格拉斯哥的造船大廳移至巨型建物的前院。

3 建造艦橋 Building bridges

26型的兩半船身會與艦橋、桅杆等在別處打造的組件集中到一起，在造船大廳外一字排開。

4 安裝艦頂 Topping it off

先將艦體和艦橋連接，再以起重機將桅杆、艦橋和煙囪等組件吊上船，進行安裝。

5 入水 Hitting the water

用一艘特殊的駁船將艦艇從碼頭移至克萊德河，再拖到另一個船廠，以完成內裝。



圖四：英國「格拉斯哥號」建造過程示意圖

資料來源：麥克珍尼，〈如何打造戰艦〉，《HOW IT WORKS知識大圖解國際中文版第81期》（臺北市，希伯崙出版社，2021年6月1日），頁25，檢索日期：2022年9月23日。

艙接合形成主船體；第四、接合艦橋及桅杆等上層部件；第五、完成內裝準備下水（如圖四），透過此型艦設計建造案例，凸顯了「模塊化」設計可多方並進的建造優勢，更印證了這種設計理念在造艦領域的靈活性。

（三）「26型」首艘「格拉斯哥號」（Glasgow）於2017年7月開工，原規劃於2021年第四季下水（「23型」排水量約4,000餘噸、建造耗時約3年；而「26型」排水量約8,000餘噸，依傳統造艦技術來推估，應可於5.5年至6年完成建造，但因本型艦為「模塊化」設計，故建造規劃期程縮短為4.5年），惟因受「新冠肺炎」（COVID-19）疫情影響，導致裝備、材料運輸及施工進度均大幅受

限，期程因而延至2022年底下水（造艦耗時仍略少於傳統作法），這也從另一個面向展現「模塊化」設計仍可能會受到運輸及裝載等外在環境因素影響的缺點。

五、中共

（一）1970年代起，中共逐漸認清「制海」的重要性，遂開始投入大量人力及財力在軍艦的設計產製。1980年代後，各海權強國軍艦除了防空、攻船飛彈外，也開始搭載直升機，作戰維度益發多元。此一轉變更讓中共體認到「多功能」的重要性，並開始著手研究「平台通用化、裝備模塊化」的設計，並在「052D型」驅逐艦上落實了防空、反潛及反水面等多種武器共架發射的理念；連新



圖五：中共「003號」航艦(圖右)及「052D型」驅逐艦(圖左)

資料來源：參考〈中共003航母「福建艦」下水〉，中央社，2022年6月17日，<https://www.rti.org.tw/news/view/id/2136061>；〈日媒指中國正建造5艘新型導彈驅逐艦加強施壓台灣〉，新島網，2022年8月29日，<https://std.stheadline.com/sc/realtime/article/1868233/>，檢索日期：2022年9月26日。

下水航艦「福建艦」都已快速進行繫泊試驗，凸顯建造過程中很多系統及裝備均已同步進行安裝，更代表「模塊化」造艦之優勢(如圖五)。¹³

(二)「052D型」首艘「昆明艦」自2014年3月服役，¹⁴迄今未滿10年，同型艦已有25艘服役，¹⁵可看出中共造艦工藝的突飛猛進，其中亦歸功於「模塊化」設計技術的普及。即使不列計兩棲攻擊艦及輔助艦艇，中共這十年間從護衛艦、萬噸大型驅逐艦到航艦(同圖五)，累計完成建造服役至少129艘(如

附表)。¹⁶即可明顯看出此種設計使中共船廠在造艦速度上產生極大的優勢，更在數量上反超美國，成為全球軍艦數量最多的國家；¹⁷至於在噸位上，也已超越俄羅斯，成為全球僅次於美國的國家。¹⁸換言之，其軍工實力強大到已令美國感到「憂心忡忡」。¹⁹

六、我國

(一)海軍配合「國艦國造」計畫自行研製的首型高效能艦艇「塔江級」艦²⁰即屬「多功能」作戰艦，其具備機動性高、打擊力強、匿踪性佳等特性，並在原型「沱江艦」

註13：馬吉蓼、杜建明，〈中共海軍驅逐艦造艦發展及意涵〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第54卷，第5期，2020年10月1日，頁63-64；〈跳過舾裝福建艦佔2年內服役〉，《聯合報》，2022年9月27日，版A10。

註14：「昆明艦」，為中共「052D型」驅逐艦首艦，裝有防空、反潛及反水面通用垂直發射系統，具有較強的區域防空及對海作戰能力，於2014年3月21日正式服役。〈中華神盾052D艦入列南海艦隊〉，風傳媒，2014年1月21日，<https://www.storm.mg/article/26601>，檢索日期：2022年9月23日。

註15：〈5年建76艦不夠看…共軍造軍艦的速度就像下水餃〉，《聯合報》，2019年5月12日，<https://theme.udn.com/theme/story/6775/3807661>，檢索日期：2022年9月26日。

註16：Anthony H. Cordesman, Steven Colley, Michael Wang, "Chinese Strategy and Military Modernization in 2015: A Comparative Analysis" CSIS, 2015.10.10, pp.234-238。

註17：《2021年度中共軍力報告書》(維吉尼亞州，美國國防部，2021年11月4日)，頁5。

註18：文章內指出在軍艦總噸位上，美國約320萬噸、中國約180萬噸、俄羅斯約130萬噸。〈中美俄海軍艦艇總噸位比較〉，網易，2022年4月24日，<https://www.163.com/dy/article/H5NV2VHG05529LLC.html>，檢索日期：2022年9月30日。

註19：謝游麟，〈中共軍改後海軍發展之研析〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第54卷，第4期，2020年8月1日，頁100-101。

註20：「塔江級」巡邏艦，為我國海軍沱江級巡邏艦二號艦，為海軍自2014年開始規劃之十二項造艦計畫之一，此計畫稱為「高效能艦艇後續量產(承海計畫)」，於2021年9月9日正式服役；該型艦為具備機動性高、打擊力強、匿踪性佳等特性之高效能作戰艦。〈塔江號巡邏艦〉，維基百科，<https://zh.m.wikipedia.org/zh/塔江號巡邏艦>，檢索日期：2022年9月23日。



附表：中共近十年主力戰艦服役數量

年度/類別	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
航艦	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
052D驅逐艦	0	0	1	2	1	2	3	3	3	7	3
055驅逐艦	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3
054A護衛艦	4	3	0	4	3	2	3	2	0	0	1
056護衛艦	0	8	8	2	4	0	0	0	0	0	0
056A護衛艦	0	0	2	3	3	8	4	5	16	9	0
總計	5	11	11	11	11	12	10	11	20	19	8

說明：本表統計至2022年9月。

資料來源：參考〈中國海軍持續造艦，2020年有25艘新艦服役〉，《自由時報》，2021年3月17日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3469161>；孫亦韜，〈淺析中共海軍近年建軍發展與戰力成長〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第56卷，第2期，2022年4月1日，頁87-91，由作者綜整製表。

²¹的基礎上，沿用雙船體及菱形上層艦體設計，極大程度的保留了高速及匿踪的作戰需求，並在火力不減低的狀況下，一定程度的增加裝備保養的預留空間，所以從性能諸元檢視，其長、寬及排水量均較沱江艦增加，整體作戰價值仍極高。

(二)由於「塔江級」後續艦的建造計畫正「如火如荼」推動，如能將武器裝備「模塊化」的概念同樣落實在這型艦的後續計畫上(當然也包括其他新造艦的設計上)，除可減少規劃及建造時間，也能在「多功能」作戰艦這個基礎上，配合任務性質搭配出「防空型」、「反水面型」或「反潛型」等專門類型作戰艦，更靈活的運用在各類型作戰層面上，以保障海峽安全及制海任務遂行。

從上述國家的經驗及成果即可看出，「模塊化」設計的潛力及適用性，且同樣運用在多個海上強國的造艦工業上，益發顯見其執行效益優勢，也是我國未來造艦領域很好的參考方向。

參、海軍艦船「全壽期」管理及後勤維修概況

海軍不論是服役多年的艦船，或是近年來配合「國艦國造」政策自製的新興兵力，都必須面對的就是服役後的後勤維保需求；而現行後勤維保的部分，從最初的艦艇設計、規劃建造到後期的定期維保、料件採購都會有不同的困難需要克服。以下針對當前艦船全壽期管理及後勤維修概況，做概要說明如后：

一、設計冗長、耗費時間

為配合「國艦國造」政策的推展，因此艦船設計、建造成為海軍近年來的建軍重點工作。做為推動造艦案的基礎，從最初的可行性研究、初步設計、細部設計、合約設計到正式進入建造等階段，都是極為嚴整的程序；而從可行性研究開始的設計程序，則是運用「設計迴圈」(Design Loop)為主軸，也就是反覆依功能、特性及作戰要求做循環

註21：「沱江艦」為海軍自2014年開始規劃之十二項造艦計畫之一，該艦以鋁合金為主體結構，採用雙船體設計，全船以模塊化為主軸，區分41個船段製成。〈沱江艦進行豎桅及命名典禮〉，《尖端科技》(臺北市，尖端科技軍事雜誌社，2014年4月)，頁8-16。



說明：軍艦建造比起一般船舶難上數倍，主要因為需按照更嚴謹的設計程序執行，概述如后：

- 一、須依任務需求考量諸元及武器搭配。
- 二、從線型及靜水性能換算速度極限。
- 三、從乾舷高度及艙間布置確定浮力平衡及穩定性。
- 四、確認結構強度、重量計算及穩度，考量戰時可承受之受損比例。
- 五、重複檢討至所有數據確定，即完成設計。

圖六：海軍艦艇設計迴圈示意圖

資料來源：參考〈軍艦設計流程〉，中華民國海軍全球資訊網，<https://navy.mnd.gov.tw/PolicyRoom/PolicyInfo.aspx?ID=8&CID=30054&PID=18>，檢索日期：2022年7月13日，由作者綜整製圖。

探討、回饋修正直到完成設計(如圖六)，後續才能準備進入建案及建造階段。其間過程耗時、費工，且必須先確定作戰需求以及艦船尺寸後，才能進入性能、裝備布置及重量控制等細節討論；而只要其中一個環節做了修正，就必須重頭再做檢討，又或者會因為部分環節尚未確定，導致全案推遲展延。這也說明艦船設計階段所耗時間，往往占了整個建案中極大的比例，相對影響建造期程，而失敗風險也較高；至於「模塊化」設計則可以將這些環節分開進行，相對而言也較節省時間。

二、風險集中、難以分工

在複雜的「設計迴圈」階段完成後，接著就是開始建案及委商建造；然而因為設計階段環環相扣，因此在建案文件撰擬的過程

較難依性質拆分為各自獨立的建案。故各建案原則上都是採用「公開招標」的方式來執行招標作業，並將全案統包由一間造船廠負責執行(如塔江艦由「龍德公司」承造、玉山艦由「台船公司」承造等)。²²正因為建案包含極多的系統及需求，涉及範圍及領域過於廣泛，故除了造成造船廠很大的工程負擔以外，也很容易在主辦船廠遇到人力或技術等問題無法及時解決時，即可能因「骨牌效應」(Domino Effect)導致全案期程延宕，甚至如「獵雷艦案」一般，雖已順利完成設計開標過程開始執行建造，卻因承造的公司技術能量不足，導致問題不斷累積，最終因無法收場，只能忍痛終止。²³此項教訓更凸顯了造艦計畫在人力及資源上的需求龐大，且易相互影響的缺點；如能推動「模塊化」

註22：《政府採購法》第二章：招標—第18條述明，採購之招標方式，分為公開招標、選擇性招標及限制性招標：公開招標，指以公告方式邀請不特定廠商投標。〈政府採購法〉，全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=A0030057>，檢索日期：2022年9月28日。

註23：「骨牌效應」，指一件事的發生會引發一連串連鎖反應；「獵雷艦案」即是因技術不足的問題引發後續的料件供應及資金缺乏等連鎖反應，最終不得不忍痛終止。張豐麟，〈被封鎖了怎麼辦—延宕許多的臺灣新一代獵雷艦〉，上報，2022年4月24日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=2&SerialNo=142807，檢索日期：2022年9月23日。



設計，則能夠最佳化的運用各造船廠的不同專長，順利執行造艦分工。

三、維修耗時、影響妥善

而在完成了設計、建造及下水測試後，艦艇即開始服役，緊接著則是每年都必須面臨的維修階段。海軍艦船不論是傳統式「定保」及「大修」，抑或是新一代艦採用的漸進式「中繼維修」、「廠級維修」及「入塢廠級維修」，²⁴各型艦艇都有其維修既定週期與時間，而例行維修也是維繫戰力之關鍵。尤其隨著艦艇使用越久，各項裝備維修所需時程也隨之增加，尤其遇有重大裝備故障時，常因必須將相關裝備零組件送回國外原廠檢修，抑或等待原廠技協人員來我國調校；因此，往往耗時極長導致修期延宕。²⁵海軍艦隊主戰艦船多數使用已逾30年（指下水迄今），部分潛艦更已逾70年，雖透過兵力調整不至於影響戰備任務執行，然修期的延長不只會造成艦隊妥善率的壓力，對各地區後勤支援指揮部而言，也是一個沉重的負擔，凸顯裝備保養與維修不易的問題，亦代表海軍艦船更新換代之急迫性。

四、空間侷限、改裝不易

現代科技及技術日新月異，通常數年內即有火力更強、範圍更廣的武器或通信雷達等裝備被研發產製。再依全壽期規劃之概念

，艦艇服役年限過半時（美軍一般10-15年）即應評估是否需實施性能提升、裝備換裝或武器更新，以維持戰力不墜。²⁶所以「加改裝」設計成為各型艦船服役中壽期後必須面臨的問題，然依傳統造艦工藝的作法，並不會將後續改裝納入考量；且受技術能量所限，在新型裝備產製或延壽檢討時較難執行裝備加改裝規劃，也造成武器、雷達或指揮管制系統無法「與時俱進」的窘境，對戰力亦形成一定程度的影響。而在「模塊化」設計狀況下，只要確認模塊尺寸相同、管線路位置一致，且指揮管制系統可通用，即可確保改裝無虞，不僅簡化武器系統升級的規劃及期程，也減少加改裝的難度。

五、規格不一、備料困難

在「設計迴圈」過程中，如欲壓縮設計時間，很多時候必須為了尺寸、空間或噸位、馬力等因素，需要對使用之裝備規格做一定妥協。舉例來說，在「設計迴圈」即將結束時，如因裝備採購出現問題，必須更換體積重量更大的裝備，卻不希望因基本諸元改變再重新執行「設計迴圈」的檢討，則必須以縮減其他裝備之大小及噸位來因應；相對而言，就可能出現同型艦裝備規格不一的狀況，連帶衍生備料困難的後遺。另一方面，因我國軍艦所用裝備來源廣泛，包含有從美

註24：海軍艦艇在服役達到特定的時間後，需由各後支部執行裝備的檢換或維修，方能確保裝備性能妥善。在分類上，傳統式維修將種類分成「定保」及「大修」；後隨著新一代艦艇的陸續成軍，引進了漸進式的維修概念，即「中繼維修」、「廠級維修」及「入塢廠級維修」。（海軍新一代艦艇現有維修名詞簡介），中華民國海軍全球資訊網，https://navy.mnd.gov.tw/AboutUs/Partner_Info.aspx?ID=30092&AID=30183，檢索日期：2022年9月23日。

註25：〈海軍艦艇修護延宕，康定級軍艦平均延遲13個月〉，《新新聞》（臺北市，新新聞文化事業股份有限公司），2018年8月8日，<https://www.storm.mg/article/474210>，檢索日期：2022年9月26日。

註26：依計畫性維修理念，海巡艦船原則以20至30年為服役壽限，中壽期為艦艇成軍勤達10至15年。（有效提升海巡艦艇服役妥善），行政院海岸巡防署自行研究報告，頁74-75，<https://www.cga.gov.tw/GipOpen/wSite/public/Attachment/fl526975348251.pdf>，檢索日期：2022年9月23日。

國、法國、義大利等國家採購而得，彼此規格型式並不相容，更讓備料問題增添難度，而海軍後勤單位為維持妥善率所付出的辛勞，亦「可見一斑」。因此，為避免料件「備而未用」的狀況持續產生，維修料件大多配合修期，並依實際需求單獨實施採購，除了費用提高以外，也會因備料期程過長影響妥善率的維持，相關問題均成為後勤人力一大挑戰，值得重視及改進。

肆、海軍艦艇「模塊化」設計之優劣比較

採購新型武器設備時，除了必須依預算額度、任務需求調整外，後勤支援也是一個考量面向，在滿足任務需求前提下，如何善用後勤支援能量，達到「更多戰力」及「較少成本」的作戰效益是其重點。²⁷針對我國目前後勤維修的現況，若能在造艦及維修領域落實「模塊化」設計，必能加速「國防自主」這個理念的實現。以下就從模塊的「可靠度」、「維護度」及「支援度」（如圖七）等面向，分別說明「模塊化」設計在簡化設計、建造快速即維保便捷的優勢，概述如后：

一、可靠度

（一）簡化設計，縮短規劃時間

1. 落實「模塊化」設計，在最初規劃階段，即可將設計區分「武器系統」及「艦體設計」同時進行。在武器系統部分，可直接

依作戰任務需求選定適合的武器裝備，而不用因艦體諸元的限制，做過多的調整及遷就。主船體段部分也一樣，只要完成尺寸及噸位檢討，即可開始規劃輪機系統及內部艙間布置，無須待武器裝備型式確認後才執行。因此能很大程度避免互相影響的狀況發生，且完成設計後便可個別開始建案採購，除縮減設計所耗時間外，也可更快的進入建造階段，不僅縮短設計規劃時間，更可配合後續任務選擇不同模塊組裝，增添武器搭配的靈活性及操作上的可靠性。

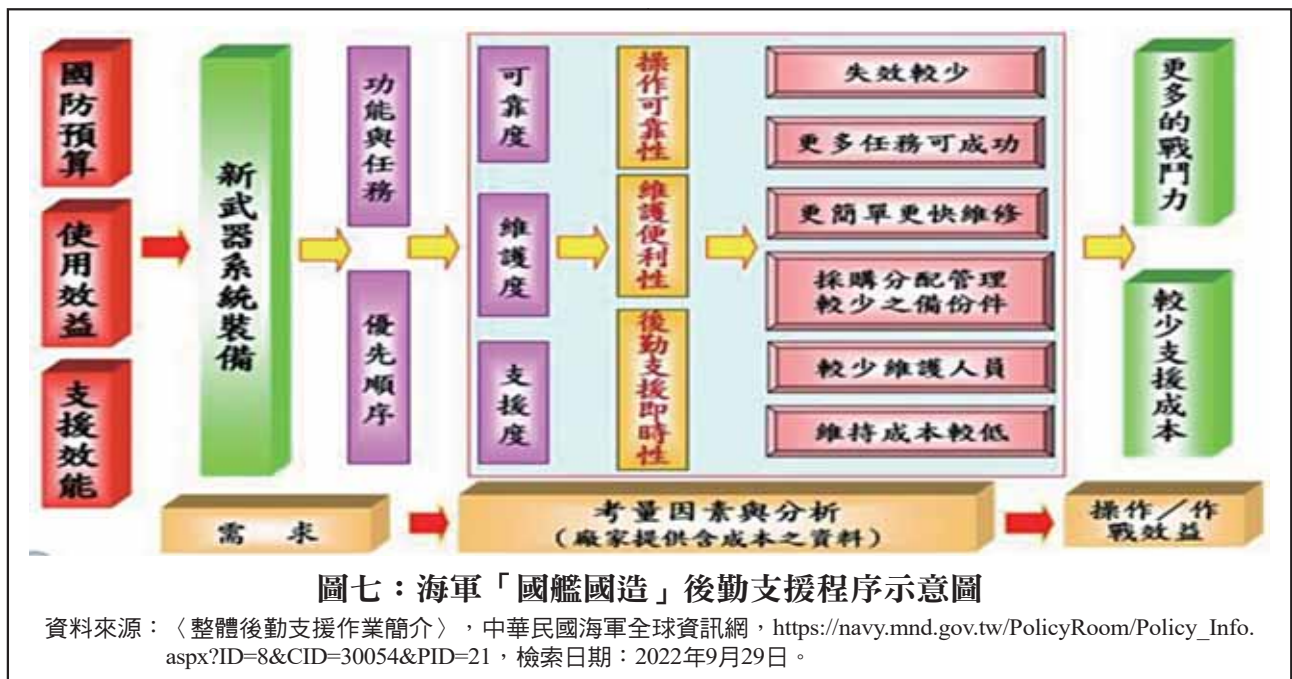
2. 上述選擇有可能造成重量控制上的影響，在「蘭德公司」所做報告內容中亦提及使用「模塊化」設計時，因武器系統及後勤艙間均非固定，因此對艦船的基本諸元（排水量、速率、重心等）都可能造成很多變動，是變相的不穩定因素，故在執行各項作戰分析時（戰術迴圈、最大航行里程、爆震分析等），則必須將各種可能配置方式全數納入考量，相對需要建立極為龐大的資料庫，才能蒐整到完整的戰術諸元，並滿足設計要求。²⁸

（二）彈性配置、多元戰力組合

1. 一旦「模塊化」設計真正實現時，即可配合不同的作戰需求換用相對應的武器模塊，例如以「標準飛彈」替換「雄風飛彈」，抑或「76砲」換用「40砲」等，如此便可在既有的艦台之上做出更多樣的戰力組合及

註27：從「國艦國造」的觀點來看，要遂行整體後勤支援作業，其根本就是要以武器系統裝備之獲得成本與效益來考量。依用兵單位所需達成之任務，檢討任務遂行所需裝備功能及其優先順序，並輔以裝備「可靠度」、「維護度」及「支援度」之後勤工程資訊回饋，選定之裝備方可滿足多種任務所需戰鬥力及裝備維持較少支援成本。〈整體後勤支援作業簡介〉，中華民國海軍全球資訊網，https://navy.mnd.gov.tw/PolicyRoom/Policy_Info.aspx?ID=8&CID=30054&PID=21，檢索日期：2022年9月10日。

註28：同註3，頁23。



性能發揮，讓任務執行時能夠更適切的搭配需要的武裝系統，提高任務成功率。²⁹另一方面，也能因應特殊需求裝載不同的後勤模塊，例如搭配潛艦救難設備、醫療艙、維修工具間等，均可讓軍艦做到更佳、更適切的空間運用，並能夠滿足更多不同類型的任務需求。³⁰

2. 基於模塊更換的前提是建立在高精準的技術水平之上，如同搭建積木一般，模塊本身及管、線路位置必須一致，才能執行更換作業，如各自模塊無法在尺寸上做到精準建造，尤其當誤差值過大時，即可能發生模塊因尺寸不合無法裝載的情事。因此，在落實「模塊化」設計的前期，提升人員工藝技術水準，將是首先必須滿足的條件。

二、維護度

(一) 加速維保、提升後勤安全

在軍艦進廠執行例行維修時，最常需要注意的就是危險工程的互相抵觸。例如在某個艙間要執行燒焊作業時，周圍艙間彈藥必須搬離、油櫃需要淨空，也不能有除鏽或油漆等作業在附近同時進行；同樣的，當要做火砲檢整時，其他危險工程也不能在鄰近艙間執行，甚至連砲口附近都必須做人員管制，導致很多工程會互相干擾，進而影響維修期程，而這個問題同樣可以藉由「模塊化」設計來避免。在進廠維修時，只要將需檢修之模塊卸載，便可空出很多運用空間，除可解決艦上空間不足這個問題，也可將各模塊運至各工廠實現同時維修的概念；³¹同時，在模塊卸載的狀況下，可降低舷外工作或登高、登桅等危險工程的需求，變相的減少很

註29：同註6。

註30：同註3，頁26-27。

註31：同註11，頁59。



多的工安疑慮，大幅提升工作時的安全係數，達到簡單且快速的維修目標。

(二)減緩耗損，降低維修成本

除戰爭時的戰損消耗外，平時軍艦艦體受損的最大來源概分為以下兩類：第一種是因高速航行導致的船體結構應力拉扯；另一種則是受裝備運轉時振動所引起之「共振」(Resonance)或「潛變」(Creep)³²的影響，前一種只能靠限速航行來避免，但會因此影響作戰效能；後一種雖然可以靠減(隔)振裝置來減緩，然因造艦時艦體與裝備基座都是以燒鉚方式來接合，因此沒有多餘的緩衝空間來隔震，但在「模塊化」設計的狀況下，可以很大程度的減少這個問題，因為模塊對接並非鉚死，相對來說應力拉扯較為輕微，且在模塊之間可以加裝隔振裝置，降低了因此造成裝備損壞的可能性，對於提升艦艇的妥善率來說同樣有正面的幫助，且可節約維修所需成本。

三、支援度

(一)分散風險，培植國內產業

1. 國防部在《110年國防報告書》中已明確律定將循「長期規劃」、「分批造艦」、「運用國內能量」及「結合產業特性」四個面向為主軸，執行「國艦國造」策略，³³目前也順利配合新造艦計畫及裝備系統研究

案搭起產、官、學合作的橋梁，逐步落實在工業合作機制的前提下，實現「武器裝備自製」及「建立維修能量」的目標。而「模塊化」設計的另一個好處，就是可以分工進行，在完成主船體設計後，即可委A廠商開始建造，後續可分別配合武器模塊及後勤模塊完成檢討後再依實際需求及指定條件採選擇性或限制性招標方式開標，³⁴委由符合條件的B廠商、C廠商等不同造船廠執行，即可達到同時建造的目標，除了能減少人力不足的狀況產生外，亦可配合各造船廠的專業領域來建造更加符合我國需求的模塊，更能同步培植多個國內造船廠，可謂「一舉數得」。

2. 2011年美國「蘭德公司」(RAND)即針對軍艦「模塊化」設計實施優劣分析，並發表一篇《軍艦模塊化建造》(Shared Modular Build of Warships)研究報告，其中述明「模塊化」設計因為分由不同船廠建照，故前期人員技術成長及經驗累積勢必較為緩慢，相對造成建造成本高於傳統造艦約百分之九，必須到技術成熟後這個情況才會有所改善；由此可見，在投入到「模塊化」設計的初期，首先要面對的就是建造成本增加的問題，但「魚與熊掌」本就不可兼得，為落實「國防自主」的政策，這些都是必須逐項克服的因素。³⁵

註32：在共振頻率下，很小的週期驅動力便可產生巨大的振動，在機械系統中，當結構的自然頻率和強迫振動的頻率相吻合，就會有共振的發生，此時能量以最為容易的方式傳送到機械系統中；而潛變，則是在應力作用下固體材料緩慢且永久的變形，此變形取決於加載應力和持續時間，影響可能漸漸增大，導致一些部件失效。〈共振、潛變〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/共振、潛變>，檢索日期：2022年9月23日。

註33：國防報告書編撰委員會，《110年國防報告書》(臺北市，國防部，2021年10月)，頁92。

註34：同註22。該法規條文內述明：選擇性招標，指以公告方式依一定資格條件辦理廠商資格審查後，再行邀標；限制性招標，指不經公告程序，邀請二家以上廠商比價或僅邀請一家廠商議價。

註35：Laurence Smallman, Hanlin Tang, John F. Schank, Stephanie Pezard, "Shared Modular Build of Warships," RAND, 2011, pp.17-20。



(二) 改裝升級、延長裝備壽命

1. 艦艇服役年限約在20年到30年不等，³⁶服役年限過半時，即需評估除役或延壽；且因技術日新月異，武器裝備升級速度極快，故常需配合作戰需求執行武器系統加改裝作業。然多數現役軍艦遭遇到的共同問題，就是在裝備無法滿足作戰需求時，卻因型式不符、空間不足或配置差異過大等因素導致無法改裝升級。而「模塊化」設計的基礎就是將不同裝備套用在同樣尺寸的模塊裡，因此能夠將這個需求很大程度的簡化，讓改裝工程的難度大幅減少，同時也更能保證武器裝備能夠與時俱進，持續滿足不同作戰任務的需求。³⁷

2. 而「蘭德公司」在研究「模塊化」設計的議題時也說明了武器系統模塊的改裝限制，其一是在武器系統因本體大小已固定，無法不受限制的執行改裝，如裝備尺寸差異過大，即失去改裝可能；故武器系統改裝時須將裝彈方式、武器種類納入考量（飛彈與火炮及快砲系統即無法相互換用）；³⁸其二則是會受到軟體整合的影響，如裝備本身是用專用軟體及整合系統，則無法適用於「模塊化」設計。因此，指管系統的「通用化」是執行武器「模塊化」設計的重要步驟之一，這些都必須納入艦船建造前的考量因素。³⁹

伍、結語

強化艦艇維修能力及加改裝技術，僅是提升艦艇戰力的作為之一，而依作戰時期的場景考量，艦艇「再戰整補」是一個必要的規劃，以確保艦隊戰力維持。但戰時除了艦體可能嚴重受損外，大多數的狀況都是武器或通雷裝系統的戰損修復，而這些都是需要耗費大量人力及時間來進行搶修才能恢復；然在「模塊化」設計下，主要裝備的吊卸、安裝能夠壓縮在24小時內完成，⁴⁰隨即就能立即出港接續作戰，大幅提升軍艦的戰時修復速度及再戰整補能力。另外，如武器系統「模塊化」的概念得以實現，則可配合任務性質調整武裝，達到戰力互補的需求。尤其在面對新舊武器更替之際，亦可節省諸多不必要的加改裝規劃與設計變更時間，對戰力提升有明顯幫助；更有甚者，藉由平時各艦艇間裝備調節，就能增加艦艇的機動性及妥善率，對海軍整體戰力發揮有相當的助益。⁴¹

至於強化艦隊戰力方面，除了前述「節流」作為外，另一方面，應落實「國艦國造」的政策、增加新造艦艇功能性及縮短建造時間，則代表的是「開源」。從各海上強權國家在海軍建軍發展的規劃與「蘭德公司」所做研究報告內容比對，可以很清楚的瞭解未來「模塊化」設計發展勢必繼續成為造艦

註36：同註26，頁72。

註37：〈水面艦艇如何升級改裝〉，kknews，2020年4月13日，<https://kknews.cc/military/365bmny.html>，檢索日期：2022年9月26日。

註38：同註3，頁28。

註39：同註35，頁15-16。

註40：同註9，頁94。

註41：翟文中，《臺灣生存與海權發展》（臺北市，麥田出版股份有限公司，1999年7月1日），頁141。



主流。⁴²我國在《110年四年期國防總檢討》報告內亦明確表示，穩健發展「國防自主」是未來必須達到的目標；⁴³其中推動「武器裝備國造」及完善「國防自主環境」都是刻不容緩的項目。是以，我們必須在現有的「國艦國造」經驗及基礎上，將德國、美國、法國、英國及中共現今所得「模塊化」設計之成果做為借鏡，在後續新造艦進行初步設計及細部設計階段時即將這些經驗納入，必然可以縮短很多討論及試驗的時間，在更短

的期程內得到最佳的效果。期待在政府及國內產、官、學界的共同合作支持下，能夠順利打造出適合我國任務型態的「多功能」作戰艦艇，俾能更好的遂行制海作戰任務，達成捍衛臺海安全的目標。



作者簡介：

郭俊毅少校，海軍軍官學校98年班。曾任承德軍艦損管官、達觀軍艦、成功軍艦輪機官、海軍司令部修護官、達觀軍艦輪機長，現服務於海軍造船發展中心。

註42：同註3，頁15。

註43：報告內表明，依《國防法》第22條，秉持「國內有能力研發或產製，不向外採購；技術能量不足部分，自力研發提升技術水準」原則，推動國防自主及武器自製。四年期國防總檢討編撰委員會。《110年四年期國防總檢討》（臺北市，國防部，2021年3月），頁32-36。

老軍艦的故事

太平軍艦 DE-22



太平艦為美國賓州費城之美海軍造船廠所建造之護航驅逐艦，1943年下水，命名為"Decker"，編號DE-47。該艦與太康艦為同型艦，武器系統亦相同，而且也與太康艦同時根據同「租借法案」移交我國。該艦在我海軍成軍後命名為「太平艦」，編號為DE-22，擔負護航、巡弋等任務，也曾參加民國37年掩護友軍自龍口、

蓬萊、威海衛撤退戰役、民國38年6月青島撤退戰役、民國38年10月瓊島保衛戰及民國39年初海南島戰役。在民國43年11月14日大陳島戰役中，該艦不幸受創嚴重，在被太和艦拖回途中沉沒，但已為海軍立下不朽典範。（取材自老軍艦的故事）