

# 藍色拼圖：美海軍艦艇造艦 模組化概念的發展與省思

宋吉峰 先生

提 要：

- 一、美國蘭德公司(RAND)John F. Schank等六位專業智庫聯合刊載「美海軍如何設計可適性艦艇」(Designing Adaptable Ships)報告，因應未來「預算」不足的情況下，強列建議美軍造艦可朝艦模組化的概念發展，可節省大量的造艦預算成本。
- 二、美海軍現已有幾個專案採用模組化和運用彈性的概念，但是這個概念在美海軍艦艇設計上，尚未普遍。主要是因為美海軍內部對於這個概念的具體實踐的作法意見分歧，沒有具體的共識。由於模組化和運用彈性的概念若真的實踐，以目前的做法成本估算，對於較大的艦艇，可能會增加採購的成本。然而，長遠來看，就全壽期評估，相較於傳統造艦，一艘模組化艦艇的壽期成本，將具有成本效益的競爭力，更可以節約預算。
- 三、本文就是希望剖析該文對於海軍艦艇「模組化」的深義與未來發展可能性，並據此能導出對於我國海軍造艦在「模組化」上的省思與建議。

關鍵詞：模組化、成本、運用彈性

## 壹、前言

回顧海軍造艦歷史，19世紀中期，蒸汽動力艦艇相對於帆船動力對手更具優勢。然而，這個過程需要長時間的技術不斷研改才會成熟。蒸汽動力船的特性是在水中的吃水較深，同時也激發了俾葉在動力運用上技術更加成熟，這對當時的海上強權英國海軍而言，逐步改造帆船成蒸汽動力艦艇，意義更加非凡。而戰爭的威脅，誘發了海軍急於建造蒸汽動力船，而這導致英國海軍因換裝蒸

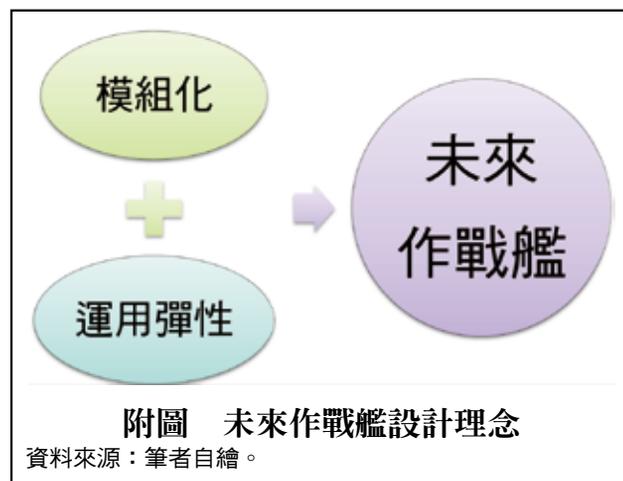
汽動力船造成艙間受限，艙間受限意味著巡航範圍將受到限制，因此，在某一時期，海軍認為帆船比蒸汽船更具有遠距離作戰能力。

另外，在航母的發展部分，在1917-1918年間，英國移除了軍艦上的火炮把它們變成類似於運輸船，為的是要置放更多的作戰物資，但是，發現僅是通道的軍用並無法滿足物資擺放。而技術的發展，克服了這個問題，但是，也付出了相當的資源。以美國為例，因為雷達的出現，使甲板的投資不斷

的增加，以因應戰機起降，因為雷達可提供戰機更多預警資訊，使戰機可提前就有利位置實施攔截，更重要的是，在起飛之前可先決定裝載何種武器出擊。而戰機的出現也成為船團保護的重要關鍵，而其中也發現戰機的問題，因為戰機武器籌載量有限，因此必須擁有大量的戰機才可以滿足空中任務的需求，戰機數量也就不斷增加。

美國蘭德公司(RAND) John F. Schank等六位專業智庫聯合刊載「美海軍如何設計可適性艦艇」(Designing Adaptable Ships)報告，文中指出，美海軍近年為造艦預算所困擾，而艦艇價格昂貴，往往耗資數十億美元，因此海軍每年都面臨著艱難的選擇，關鍵的問題就是如何以有限的國防預算採購符合海軍任務所需的作戰艦艇<sup>1</sup>。除此之外，敵人的科技及作戰方式不斷的發展與進步，因此，美軍若要持續保持優勢，海軍艦艇必須擁有強大的作戰能力因應。就現況而言，海軍在不得已的情況下，面臨突發的威脅，美海軍也會運用艦艇延壽並結合部分新型技術、裝備的搭配方式，以應對突如而來的威脅。雖然，這種方式的價格也很昂貴，但是相較於造艦，這種延壽方式就相對的節約多了。

因此，預算與需求的考量下，艦艇「模組化」和「運用彈性」的概念也就因此而生，成為美海軍造艦設計者在考量時間和成本因素下，思考未來軍艦設計的主軸。事實上，美海軍已經運用部分的概念於現有的造艦



專案中。而今，美海軍已擴大此一概念的運用範圍，希望在未來的艦艇設計中，能夠更加廣泛的加以運用。但是，模組化和運用彈性也伴隨著其他的問題如：任務設計、威脅考量及艦艇本身的整合問題是否可因應未來的作戰環境，如附圖：未來作戰艦設計理念。

對於海軍而言，在預算有限的情況下，若停滯海軍的發展，就如同將海軍優勢拱手讓敵，這將可能影響美軍在伊拉克和阿富汗的作戰。此外，海軍的建軍，從艦艇設計到造艦是一個漫長的時間，通常是30年或更長的時間。因此，對於一個艦艇設計者而言，要精準預測海軍艦艇在遙遠的未來將會面臨到什麼威脅、要執行什麼任務，這是非常困難的工作。過去，美海軍基於任務所需要，同時激發了科研的創新，科技的進步反應在艦艇現代化上，這些都是因應任務與威脅的科技結晶。但是，不可否認的，海軍現代化的過程價格是昂貴的，因此，這也迫使海軍在預算有限的情況下，必須思考如何以艦艇

註1：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND, 2016, p. 14.

有限的艙間，將裝備配置達到最佳化<sup>2</sup>。更有甚者，在某些特殊情況下，考量預算的節約，美海軍會考量將屆退、或除役的艦艇加以翻修及性能提升，藉以延長艦艇的作戰週期(壽期)，對美軍而言，這目前可能是一種既省錢又可因應作戰需求的較佳替代方案。

美方學者認為，所謂「模組化」和「運用彈性」的概念，概念的核心就是：經由設計建造出裝備和系統相容性的一系列艦艇，這種設計概念就是為了降低成本，一種成本效益的思維邏輯。因此，模組化就有著某種特定模組元素可自由調和並運用之意，在系統工程中，它強調的是裝備功能與位置可區分的概念。一般而言，要符合這種概念需求，首先是各個相關主輔系統建立一個標準化的規格。而所謂運用彈性，則牽扯到的是更多艙間運用的範圍，一般而言，泛指可迅速因應多變任務的艦艇，此二元素概念擅加運用於海軍艦艇設計，即可建造出艦艇適應多元任務的能力，而這也是此種設計最大的貢獻所在。模組化概念研究並不僅專注於造艦模組化而已，模組化真正的意義是在於能夠建造更具作戰彈性的艦艇，而且是針對於艦艇於服役期間，可安裝或研改新的裝置或性能提升等，讓艦艇可以在最短的時間擁有不同的作戰能力以因應任務的需要，更重要的是能夠降低造艦成本。

而我國海軍預算如同美海軍面臨「預算」的問題，因此，本文希望借鑑美學者對於海軍「模組化」的概念分析：第一，美海軍

對於「模組化」斷斷續續的過程及窒礙之處；第二，美海軍對「模組化」的定義及未來運用方式；第三，美國海軍對於未來模組化專案中，探討我海軍可借鑑參考之處。歷年來我國防報告書內容中，不斷提及國防自主，而若我海軍在擁有「模組化」思維之後，是否可提升我海軍「自主造艦」新思維。

## 貳、模組化的緣起與發展

### 一、美海軍的困境

美海軍一直存在於「預算減少，任務繁重」的環境中。因應美海軍的規劃及艦艇壽期因素，美海軍每年都會按計畫造艦，如此才能滿足美海軍艦艇的數量，以符合海上作戰部署。然而，在艦艇服役期間也帶來了許多的挑戰，艦艇必須具備短時間裝備安裝能力，以因應任務所需。但是，建造首艘新型艦艇需要較多的時間，從設計到造艦進行系統升級、調整新式技術以達最佳化等，這一系列是漫長等待的時間。如洛杉磯和維吉尼亞級攻擊核潛艦和勃克級驅逐艦，都是這種情況。而美海軍的第三代DDG-51級更是經過20年以上的不斷測試才正式加入美海軍作戰序列<sup>3</sup>。目前雖已成軍，但仍不斷的更新裝備和系統。

美海軍艦艇常常需經歷多次的系統升級，包括現代化新技術、系統和裝備等，而這些升級的過程成本非常高，因此，在預算有限的情況下，有時美海軍選擇不進行研改或升級，選擇了壽期除役，甚至是比原規劃除

註2：Bryan Clark, "The future of national security," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), 2015,p.16.

註3：Bryan Clark, "Statement before the house armed services subcommittee on seapower and projection forces on the role of surface forces in presence, deterrence, and warfighting," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), April 15, 2015,p.2.

役時間更早除役的方式。由此可知，美海軍面臨的困境是，如何設計出可相容、具調變能力並可因應未來任務變化的艦艇，而且對於新技術的研改和性能提升等，如此則可降低預算執行，亦可節約造艦的時間。

### 二、模組化和運用彈性

美海軍為因應未來在預算不足的情況下，認為模組化和運用彈性的概念是最佳的解決方案，它為海軍「預算不足」提供了一種解決辦法。美海上系統指揮部(NAVSEA)文件明載模組化具有以下特點：第一，裝備功能可單獨和離散式的配置，藉由模組化的擴展可重複使用；第二，強調系統功能具銜接的特性；第三，標準化的銜接規格可相容於不同的載台<sup>4</sup>。

而所謂運用彈性是指因應未來作戰環境需要，裝備研改和性能提升必須能及時於艦艇執行。美海軍現已經有幾個專案正在執行。如勃克級驅逐艦(DDG-51)的垂直發射系統(VLS)，能夠適應各種類型導彈發射；俄亥俄級(Ohio-class)彈道導彈潛艦於設計時已將C4導彈可輕易的轉換到更大的D5導彈更大的發射管；濱海作戰艦(LCS)的設計包含模組化艙間、銜接方式及適應多種不同的任務模組包等<sup>5</sup>，以上都算是模組化的概念。

事實上，美海軍瞭解模組化概念對於未來艦艇設計和造艦的重要性。美海軍作戰部長(CNO)喬納森·格林納特(ADM. Jonathan

Greenert)上將，在美海軍研究所的一篇文章中指出：美海軍需要對艦艇操作需求與任務載荷做仔細分析，例如將「豪華艦」概念轉化為「卡車」的思維，文章中提及如何透過大量的「交換與重組」，調整出艙間，不但可以節約預算，而且可兼顧適應未來作戰的需求，而模組化中的關鍵是如何將大(Bigger)與多(More)具體實踐，這才是美海軍所需要的<sup>6</sup>。

### 三、關鍵重點

模組化和運用彈性的概念，若未落實於艦艇設計和造艦上，這個概念，若僅只是紙上談兵，那也只是空談而已，真正的實踐才是關鍵所在。對於模組化的概念，大部分支持者認為，就是對於軍艦壽期的成本較低，而且模組化和運用彈性通常意味著可以擁有更大和更多的載重運用。但是，過去並沒有具體的案例可說明模組化的成果，僅只是以模型來估算未來可能花費的成本而已。此外，由於模組化和運用彈性對於成本降低的貢獻，很難有較完整的例子可以證實，因為在歷史上這種例子美海軍沒有出現過，無法比較。由於這些因素的不確定性，美海軍無法完全說服本身模組化後的艦艇絕對可以降低成本，但是，有一點可以確認的，未來傳統式造艦的成本將逐漸增加，而且是已經達到預算的上限。

### 四、模組化帶來的機會

註4：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND, 2016, p. 21.

註5：王悅年，〈安全威脅的再增溫：美國海軍變革〉，洞見國際事務評論網，2016年1月19日。<http://www.insight-post.tw/editor-pick/asia-pacific-strategy/20160119/14355>(檢索日期:2016年6月13日)

註6：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND, 2016, p. 23.

艦艇設計注入模組化和運用彈性的概念，在初始階段這也許是困難且昂貴的，另外，對除役的導彈巡洋艦的進行模組化將可能不符合成本效益。因此，在第三代DDG-51(勃克級)計畫也面臨著傳統思維設計與創新的辯論。過去，美海軍對於艦艇設計方案都是採取固定式的概念，對美海軍艦艇能力的提升無法靈活變化，而模組化和運用彈性概念，將會有革命性的變化，不僅達到預算節約，又可獲得大量的艙間運用。

#### (一) 第三代DDG-51(勃克級) 結合模組化和運用彈性設計

基於模組化的優勢，美海軍第三代DDG-51初始設計面臨部分的限制，即艦體的主體部分仍然保持傳統的設計。對於這個限制，運用彈性的基礎設施概念，內部艙間可以調整，可提供更大的電力和冷卻系統艙間，而艙間研改可參考福特級航母的設計中使用相同的軌道銜接概念<sup>7</sup>。另外，可運用如同飯店式相關模組化可兼顧不同艦型運用概念，由美海上系統指揮部(NAVSEA)所屬的船廠，可以在醫療設施、洗衣房、或靠泊位置進行模組銜接和運用所需的艙間進行設計，公共模組化(多個)可以讓不同類型艦艇共同使用，例如美海軍在對LX(R)的設計概念。

#### (二) LX(R) 模組化和運用彈性設計

在LX(R)提供了更多的模組化和運用彈

性，以更大的體積和電力功耗用於美海軍艦艇。該報告針對LX(R)專案設計提出二項建議，首先，美海軍應繼續將相容性有效載荷的模組化和模組化安裝，並將標準模組化的連接面增大，如丹麥海軍的阿布薩隆級艦艇具運用彈性支援艦有「運用彈性甲板」任務艙，並可安裝貨櫃以因應各種任務能力<sup>8</sup>。丹麥海軍已經發展能夠執行全身麻醉和外科手術緊急治療醫療設施，而且是以貨櫃方式安裝<sup>9</sup>。這些模組化使該艦艇透過快速安裝，就是運用模組化來執行多種任務的典範，艦艇在相同的艙間可擺置多達55輛或7輛主戰坦克的有效載荷的能力。其次，美海軍也建議新的LX(R)的設計，可進行與不同艦型通用模組化，並運用飯店式相關模組化的發展更具運用彈性的基礎設施。

## 參、模組化艦艇的優勢

### 一、不同的模組化有不同的運用彈性

所有形式的模組化就是要讓艦艇能適應新技術和新的任務，但是，模組化並不一定保證絕對適應，必須兼顧運用彈性的可適性問題。在艦艇設計模組化和運用彈性之間的概念區分是：模組化聚焦於介面銜接能力，而運用彈性是指兩邊銜接後的功能與變化。模組化載台必須具有一定程度的運用彈性，其中包含銜接介面容忍值。因此，一艘優異

註7：Bryan Clark Jesse Sloman, "Deploying Beyond Their Means America's Navy And Marine Corps At A Tipping Point," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), 2016,p.9.

註8：谷越，〈丹麥海軍主力作戰艦〉，《青年日報》，2008年11月17日。<http://news.gpwb.gov.tw/mobile/news.aspx?ydn=026dTHGgTRNpmRFEgxcfcCSN9Fhd8KFbqLRgMWauV%2FFtSQpuaMr3AQ2abYBDQsfVILOYQ%2BQ8IV399VJQvJVf-przFQUhjPbVLVA34cDdzBg%3D>(檢索日期:2016年6月13日)

註9：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND,2016,p.31.

的艦艇不是它有模組化能力而已，而是它也擁有擴展邊界和調整介面的能力。美學者認為在必要的情況下，運用彈性意味著需要更大的艙間、電力支援、冷卻系統、頻寬等，以及其他的支援，而這些是模組化和運用彈性的重點項目。

### 二、艙間的運用彈性

艙間的運用彈性是指因應任務需要，可調整艙間的大小和系統功能之義，以滿足不斷變化任務需求所設計。在福特級航母基礎架構就是一個例子，該艦的艙間不再是一個固定的位置，而是一個在軌道上可調整的艙間，可讓不同大小艙間調整其配置、電力、冷卻系統、電腦、標準連接埠，都可因應需要而調整。另外，維吉尼亞級(Virginia-Class)潛艦的魚雷室，亦可容納大量的特種作戰部隊成員及其所有裝備進行長期的部署。如前所述，相容性模組化和裝備銜接介面，可擁有具運用彈性的基礎架構調整艙間，在不需要大量的燒焊工作下，使艦艇的壽命在具運用彈性的基礎設施艙間快速調整，這種類型的運用彈性，提供了艦艇更大的適應性，並可減少預算的支出。

### 三、運用彈性可提供額外艙間

艦艇設計運用彈性是包括系統或任務調整後「額外獲得艙間」，如美海軍史普魯恩斯級驅逐艦設計，相對於提康德羅加級巡洋艦則更有艙間上的運用彈性，並擁有更多的艙間；此外，俄亥俄級(Ohio-Class)導彈潛艦，導彈管徑大於當時需要使用C4導彈，這

些較大的管徑為後續D5導彈提供了更大的艙間；而海狼級潛艦的魚雷發射管，這些魚雷管具有比蘇聯冷戰時期21英寸魚雷發射管直徑更大。另外，航母通常被認為是真正具運用彈性的艦艇，特別是各種戰機的作戰能力方面。例如，美海軍企業號航(CVN-65)空母艦，經過50年的服務後已除役，該航母參與在伊拉克和阿富汗衝突，而對於甲板的彈性運用，增加了F-18E/F戰機使用率，更是功不可沒。而模組化運用於海軍的航母甲板更具效果，此前，其他大型艦艇就擁有這種優勢；例如，密蘇里號軍艦於1991年波灣戰爭為了換裝新的先進武器，採用如丹麥皇家海軍阿布薩隆級艦艇貨櫃裝載並連接加以運用。在許多方面而言，這已經是任務模組化的概念，與濱海作戰艦(LCS)相似<sup>10</sup>。

換言之，性能提升或裝備安裝，艦艇同時也需要更換電力、冷卻系統。模組化的艦艇就具備此種支援能力，可提供升級後的系統和裝備運用。相較於沒有模組化的設計，這些增加的功能可能在需要另外做變通，如挪用艙間、附加電纜、通道和管路等大型工程加以改裝。模組化則提供更多的電力、冷卻系統和頻寬，讓服勤期間的艦艇升級而不必在施工轉換上大動干戈，這其中就包含了艙間轉化與運用的問題，而此等輔助裝備和標準化的連接，將可讓艙間運用更加有效。

### 四、模組化潛在效益

模組化的優勢是增加艦艇延壽的能力以節省預算，美海軍的遠程計畫中針對勃克級

註10：Bryan Clark, Statement before the house armed services seapower and projection forces subcommittee on “GAME CHANGERS—UNDERSEA WARFARE”, Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), October 27, 2015,p.3.

DDG-79以後的艦艇，將規劃40年的壽期。美海軍也相信模組化將有助於實現這一目標，這將會是海軍歷史性的轉變，此前美海軍對於如此長壽期的艦艇並沒有「完整的」適應性設計<sup>11</sup>。在可預見的未來，節約預算可能會迫使新艦艇壽期設計改變，這些壽期的改變是基於預算的考量。如果模組化和運用彈性的概念讓艦艇以更低的成本持續現代化，這種觀念可能會改變海軍「建」與「用」的相對應關係，從而加速對於模組化的運用。此外，這些適應性的概念，將會加速海軍對標準模組化和介面銜接的設計，因為這有助於維持預算資源，並進而開創艦艇設計與造艦新的思維。

#### 五、未來美海軍模組化和運用彈性規劃

美海軍希望擁有適應性強的艦艇，可以快速、低成本的進行現代化新任務和新技術安裝，模組化和運用彈性有助於這種概念達成。而今，美海軍使用了模組化概念，並不斷深化這些模組化的概念，如勃克級驅逐艦的垂直發射架系統(VLS)模組化安裝、如濱海作戰艦(LCS)的任務有效載荷模組化、具運用彈性的基礎設施正在福特級航母已實踐。模組化的一個另外的形式，不同類型艦艇的通用模組化，目前為止，並沒有被納入艦艇設計如廚房、醫療設施、或洗衣間等相關功能模組化，若將這些共同點進行模組化將減少艦艇設計和造艦成本。

該報告認為美海軍應該檢視各種形式的

模組化，特別是介面銜接，只要是系統裝配到相容性模組化或在模組化安裝可銜接和可適應的介面，艦艇就能適應任務或技術變化的需要。而在需要不同形式艙間時，運用彈性可以符合這種效能，它可讓艙間得以延伸，而且，具運用彈性的艦艇有更多的艙間可容納電力、冷卻系統和電磁頻寬等。

#### 六、未來模組化和運用彈性的形式

該報告也指出，未來有四大技術趨勢將影響海軍作戰：第一，更多的無人載具使用；第二，電磁頻譜做為武器將大為增加；第三，遠程定位能力的強化；第四，戰場的網絡化發展。因應這些趨勢，美學者評估認為艦艇有五個領域將會是關鍵：電力、冷卻系統、人力、艙間和頻寬的發展<sup>12</sup>，將會是艦艇戰力的關鍵。在未來，美海軍可能面臨的敵人，將可能是這些非國家行為體，它們將具備更先進的作戰能力。因此，未來艦隊結構，海軍必須有一系列不同功能的艦艇，可以既保持傳統優勢，又可適應新興的威脅，包含以全新的方式來進行傳統作戰任務的能力。現今模組化性和運用彈性可以更低的成本換裝新的裝備，並以較短的時間完成，這些模組化和運用彈性的概念將是海軍的趨勢。

##### (一) 電力和冷卻系統部分

雷射和電子戰裝備需要相當的電力和功率，根據雷射武器數據顯示，它需要一艘全艦至少10-30%電力，依不同的系統而有所差別。而100千瓦的雷射需要300千瓦至1兆

註11：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND, 2016, p.35.

註12：Mark Gunzinger Bryan Clark, "Sustaining America's Precision Strike Advantage," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), 2015, p.35.

瓦的功率。因此，雷射將不太可能適用現有艦艇(提康德羅加級巡洋艦7.5兆瓦、勃克級驅逐艦9兆瓦)，只有部分的艦艇可安裝雷射武器<sup>13</sup>。而更強大的雷射或多個雷射武器，將超過現行艦艇的電力系統負載能力總合，目前只有朱瓦特級驅逐艦(DDG-1000有此能力負擔。雷射武器需要在與艦艇系統包括電子戰和通信系統同時運作下供電，而這也意味著，除非艦艇有電池或其他足夠蓄電容量的電容器，否則不太可能裝置於艦艇，電力及功率將會是雷射武器安裝於艦艇的最大限制因素。

雷射將消耗大量的能量，例如，2010年的雷射試驗，在10毫秒的時間就使用了33兆焦耳，相當於3.3億千瓦。這種大量的電力消耗率，是運用艦艇的電力系統並結合充電儲存能量下方可執行。然而，雷射系統功率容量的問題很多，如雷射可能需要艦艇電力至少約10千伏高電壓，這遠高於現今軍艦的負載<sup>14</sup>。而若採變通方式，則需要可以存儲和能量快速放電的電容，另外，冷卻系統則將是另一個問題。而這些電力和冷卻系統需求將遠超過現有的水面艦所能負擔，只有具備綜合電力系統的艦艇，如朱瓦特級驅逐艦(DDG-1000)可以負擔雷射武器電力需求。

### (二) 艙間部分

雷射安裝於艦艇上將會佔用相當大的艙間，據估計100千瓦的雷射武器安裝於艦上使用，預計需要12×60×6(英尺)的艙間。

雷射、電容器和冷卻系統裝備將佔用很大的艙間，艦載雷射約為1,000噸重，是採取砲塔下方艙間多層甲板，而雷射系統約要40英尺的槍管長度及其他電力裝備和控制裝備艙間，計需要20×40(英尺)的艙間。除此之外，就彈藥容量的考量，雷射則相對具有優勢。

### (三) 遠距離作戰能力

美軍認為，現今敵人的導彈作戰能力已具有遠距的作戰能力，對於這些威脅，運用雷射武器與無人載具的結合，將有助於反制敵方彈導作戰優勢。艦艇執行任務是包含與無人載具及陸上通訊中繼台，在聯合作戰中，蒐集、分析和整合資訊的能力，是將整個戰場資訊以快速和有效的方式傳輸的關鍵。另一方面，載台之間透過系統協助防禦敵攻擊更是作戰重中之重，而在高強度的作戰環境中，如何避免誤擊問題，也端賴資訊處理和通訊能力的整合達成。

### (四) 人員需求

資訊科技涉及所有岸基自動化運作，而此等都需要經過培訓的專業人員，資訊科技系統可以進行電子攻擊、網絡攻擊(包括植入「網路炸彈」)，因此透過軟體、硬體缺陷可進行有效的攻擊，而艦上人員需要有足夠的專業知識來發揮這些功能，俾利作戰遂行。

## 七、未來技術發展趨勢

綜合以上，該報告指出，按照目前的趨勢，艦艇在電力、冷卻系統、人員、艙間和

註13：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND,2016,p.37.

註14：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND,2016,p.41.

頻寬等仍有許多的精進艙間。因此，可以考量對艙間做有效率的整合。首先，額外的艙間可以運用於提供電力、冷卻系統、頻寬、人員等；其次，艙間的分布與運用不同方式配置。現代化軍艦經常涉及更新或換裝新式武器和軟體，這些往往是影響艦艇結構最不利的部分。因為，軍艦穩定性與結構有密切的關係，一般而言，對於艦艇的穩定性要求都已經有適切的規範，而要如何在穩定度與裝備研改、性能提升之間相互之取得平衡，這是一個關鍵性的問題。

#### (一) 威脅趨勢

美海軍執行任務是基於位置、性質、功能和相對於對手的弱點而做相對應的部署。在此情況下，基於任務的目標需要，軍艦壽期可能會造成艦艇設計挑戰。例如1991年航空母艦使用戰斧導彈對伊拉克攻擊，該航空母艦也參與1962年古巴導彈危機時的封鎖，最後是2012年的威脅部署，不斷的改輪換與改變的威脅與任務，這些都是在設計之初始料未及的<sup>15</sup>。美海軍對全球的和平貢獻，有目共睹，這看似是有益的。而從另一個角度來看，美國已經歷四分之一世紀的衝突，但是，它所面臨的對手也不斷的在進步。鑑於在全球安全快速變化，未來的半個世紀，美國將持續面臨不同的威脅和挑戰。

#### (二) 能力相近的對手

對於美軍而言，部分國家已經具備遠海作戰能力，這已經挑戰到美海軍在公海以及近岸作戰的能力。雖然，大多數國家暫時是

不太可能在未來幾十年成為美國的對手。但是，有二個國家極具挑戰美國的條件：即俄羅斯和中共。他們具備反艦導彈、遠程戰機、長航潛艦、水面艦和其他先進系統等，他們可以挑戰美海軍遠距離作戰的能力。此外，這兩國也展現出未來力量投射的潛在能量。

雖然，俄羅斯和中共面臨著一些國內問題。俄羅斯方面包括人口減少、人民政治上的不滿、在高加索衝突、經濟實力有限等；而中共面臨人口老化、人民的健康和生計、地方和政治精英中產階級的崛起等。而且，這二個國家社會腐敗造成民眾的不滿，這相對的減緩它們向外發展的能量，減緩了美軍的軍事壓力。我們不知道俄羅斯、中共在未來幾十年是否會挑戰美國。而基於這種情況，美軍必須作足準備。在軍艦的壽期的設計中，目前對於藍水作戰能力還有待評估。因此，有必要對包括藍水作戰行動的整體的概念重新思考，並據此設計美海軍未來軍艦。

#### (三) 中、低程度威脅

在可預見的未來，非國家行為體將持續構成區域安全威脅，這種威脅會危及美盟國的安全情勢，其中恐怖主義是最大的威脅，尤其是針對較弱的盟國。而部分中等國家也有意圖對美國進行各種挑戰，如伊朗和北韓，雙方都有潛艦、導彈、戰機等，可攻擊美國軍艦、商船或陸上基地。同時，伊朗和北韓也擁有水面艦、電子戰能力及不同程度的化學、生物、核武能力。因應這些挑戰，美海軍需要針對反潛、防空、水面、掃雷、導

註15：Mark Gunzinger Bryan Clark, "Winning The Salvo Competition Rebalancing America's Air And Missile Defenses," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), 2016,p.20.

彈防禦、電子戰能力等做足準備，擁有自我保護的基本能力。對於作戰優勢而言，不只是美軍艦需要能夠發射導彈，同樣的在陸上、空中也要具備這種作戰能力。由此可知，美軍必須保持著多重的能力，以因應不同程度威脅的挑戰。即便伊朗和北韓政權是脆弱的，美海軍也無法確認現今的作戰艦是否會持續使用幾十年。然而，即使這些艦艇因壽期屆齡而除役，美軍仍然要設計出能夠阻止或打擊敵人的軍艦。世界近200個國家，在未來幾十年，只要美國保持具有阻止威脅的能力，就不會有區域強權向美國提出挑戰。

近年來非國家行為體威脅的技術和能力，不斷的向外擴散。非國家行為體運用與各國合作機會，獲得了先進的科技技術，並且在該領域中獲得大量的知識。如在2006年以色列與黎巴嫩真主黨的戰爭，伊朗支持的真主黨成功捕獲一艘以色列軍艦、反艦導彈，以致於讓他們發展了無人機並悄然運用進入以色列領土執行任務。從1984年到2009年，泰米爾猛虎組織發展出世界上最強大的非國家行為體海軍，配有小型潛水艇、訓練有素的專業潛水員、水雷、戰機等。而在南美洲，販毒集團已經成功發展了走私用的潛艦<sup>16</sup>。在藍水水域，目前只有少數大國具備運用這些海域的能力，這個區域對美國而言是相對安全的，但在未來它可能是一個變數。

#### (四) 歷史的殷鑑

19世紀末和20世紀初是海軍技術日新月異的時代，艦艇動力從帆船轉移到蒸汽，

並從蒸汽到煤的使用；艦體從木頭到金屬製成；武器和彈藥變化更大，功能不斷增強；水下作戰的水雷、魚雷，潛艦的發展；通訊科技的使用提高了作戰感知能力；戰機擁有強大的機動能力等，過去，海軍火力在19世紀之前變化不大，而從1850年後產生了一系列的變化，1910年在這一短暫時期內，海軍槍砲有了重大的變化，如精準度提高、後膛裝填增加了火藥量、使穿甲爆炸彈更具威力。武器的發展，使艦艇重新配置對艙間運用，以因應這些新技術的安裝與運用。而1880年義大利「杜伊利奧」和「丹多洛」軍艦的100噸砲取代35噸重的槍，而在第一次世界大戰之前，新的射控系統安裝運用於皇家海軍艦艇等。然而，海軍很快瞭解到，為了能承受敵方的攻擊，必須對艦體作更多的防護。然而，艦體增加裝甲，並非是可行的方式，因為裝甲會影響艦船的平衡，但是，遠射砲卻激勵了這個作法持續發展。此外，由上而下的攻擊，也是另外一種發現，因此戰機的攻擊模式開始受人重視。

就作戰能力而言，中、低程度威脅的擴散，美海軍必須能夠持續阻止，美軍必須有能力可以在任何特定的時間、地點對敵應變及反制。此外，公海海域是美國主要安全的區域，冷戰時期的公海給了美軍許多助益和安全保障，因此，美國的軍艦設計需要考量所有作戰領域和所有可能衝突的海域。

## 肆、對我海軍的省思

註16：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND, 2016, p.44.

### 一、省思一：決心與執行力

從該報告可知，美軍對於模組化和運用彈性的概念有不同的含義和解釋，模組化涉及到造艦固定邊界範圍、如何無縫銜接等，並且可完全適用於所有艦艇現有的標準配備，即模組化，而且區分三種型式的模組化：

(一) 架構通用模組化：指可運用於多種不同類型艦艇。這類的模組化是屬艦艇結構部分，要能夠結合一般船廠或工廠的施工或維修環境。雖然美海軍艦艇設計並未考量這個部分，未來艦艇採用如飯店式管理模式，如在廚房、醫療設施和洗衣房等方面的運用，可減少大量的人力施工和材料的節約。

(二) 組件模組化：使海軍軍艦具備「閃現」(Plug-and-Play)的能力，這些模組化可先行以標準化的方式，確認銜接和邊界範圍，並將艦艇不同的任務能力分類於特定所需的任務包中，如導彈運用等。其中的關鍵在於，要讓模組化通用化，也就是說可以在不同類型艦艇使用，而在勃克級驅逐艦(Arleigh Burke Class)的垂直發射系統(VLS)模組化就是一個系統模組化的例子。

(三) 作戰任務模組化：在結合裝備軟體模組化之後，則可進行將任務結合模組化並加以分類執行，而美海軍濱海作戰艦(LCS)及丹麥海軍的阿布薩隆級艦(Absalon Class)就是這種任務模組化的例子。

另外，所謂彈性運用，就涉及到海軍艦艇的裝備極限與相容的問題：

(一) 具運用彈性的基本結構，隨時可調整艦艇艙間，而且是很迅速的狀況下完成。具運用彈性的基礎架構標準軌道、隔板、接

合處讓艙間變化更大，如此艙間可以重新配置，以滿足艦艇任何方面的作戰需求，這種類型的運用彈性，已使用於福特級航空母艦。

(二) 艦艇內多出的艙間可與其他的艙間整合，擁有更大艙間以因應作戰需求的運用彈性，而這種類型的運用彈性意味著，大型艦可有更多艙間運用。

(三) 艦艇裝備艙間經整合運用後，因應未來新任務或技術升級所需，通常會涉及到艙間增加電力、燒焊和光纖纜線布置等進行連接的問題。因此，將艦艇設計必須先以標準化相關裝備規格，先期規劃未來電力、冷卻系統和光纖電纜等艙間，可提供艦艇未來的運用彈性，以減低未來裝備升級或換裝所需的成本。

由此可知，美海軍已開始將此概念納入艦艇設計中，我海軍若能提出艦艇模組化和運用彈性所需的相關方案，相信能將這一種符合成本效益的模組化概念實踐於全海軍，而這一問題的真正關鍵是「決心」與「執行力」的問題。

### 二、省思二：模組化和運用彈性對預算的影響

美海軍已經刻劃出，對於模組化和運用彈性概念運於海軍艦艇設計部分，目前為止，雖然較少有技術分析可用來支持這個觀點。尤其是，軍艦設計成本在結合模組化的概念後，可對於不同類別的模組化加以運用，將可降低未來海軍對於艦艇的造艦成本，這個事實目前無法完全證實。但是，美海軍幾乎已經確定，大規模模組化造艦，如通用組件、艙間運用、廠艦合一的概念，可減少預

算的消耗，這個道理簡單易懂。另一方面，具運用彈性的大型艦，相較於一般傳統大型艦將更可降低採購的成本。模組化和運用彈性概念中，將對艦艇的全壽期成本產生重大的影響，質言之，模組化和運用彈性也許對裝備本身沒有影響，但是，對於未來安裝和測試新的裝備或系統的成本就意義非凡。

對我海軍而言，就傳統的海軍維修保養而言，同樣面臨維修或安裝裝備，所需的時間、人力、焊接技術、拆卸、更換等細節問題，海軍也經常礙於結構的限制、艙間及其他裝備的影響，產生許多無法估算的大量成本浪費及結構性破壞窒礙問題。因此，我海軍若未來的艦艇設計考量艦艇的全壽期期間，估算可能遇到的任何裝備易用性問題(性能提升、焊接、移除不必要裝備等)而進行模組化造艦，如同美海軍般，模組化後的艦艇應具備通用性的特性：如電力、冷卻系統、資訊傳輸連接埠和匯流排等將之公共化，則我海軍則將可解決上述等問題。因此，若我海軍制定相關模組化的標準化以運用於未來艦艇設計中並將裝備模組化的概念結合於作戰環境中，相信模組化達成降低成本的目標將可能在我海軍實踐。

### 三、省思三：艦艇如何因應未來的作戰環境

該報告也認為，美國為因應安全的需要，艦艇能力必須有所提升，尤其是在如電力、冷卻系統、人員、艙間和頻寬等方面。因此，美海軍透過科技運用，使裝備能力滿足

未來任務需求，以應對未來威脅的變化與挑戰。而艦艇具備服役期間，能安裝新科技或性能提升是絕對必要的。而基於傳統的觀念，大多數人都認為船「越大越好」(Bigger is Better)，大的船相對的有較大艙間可提供電力、冷卻系統、人員及安裝新的系統的彈性。而如何將艙間整合並有效運用，而且這些艙間的位置可因應作戰需求，乃是重要關鍵所在，而且認為有4種發展未來將可能影響海軍的作戰：

(一)大量運用無人載具。

(二)電磁頻譜將會是各種武器運用的關鍵，且重要性將與日俱增。

(三)遠距離定位能力。

(四)戰場將朝網絡化發展<sup>17</sup>。

現今，這4種趨勢已有驚人的變化與發展，而我海軍若能在艦艇的基本模組化的基礎上，獲得更多可運用的艙間，並將這些趨勢發展需結合艦上5個方向一起考量：電力、冷卻系統、人員、艙間和頻寬等的運用。簡言之，這些方向與模組化有很大的關連性。例如，額外的艙間可以被用來配置更多的操作人員或增加作業艙間；更多艙間可以有效運用更多頻寬或裝備，此等作法殊值得我海軍參考。

### 四、省思四：模組化和運用彈性的契機

美方智庫同時也認為，將模組化和運用彈性概念必須在艦艇設計階段就必須融入其中，並結合造艦執行，這是一個很困難的工作。這也是美海軍，過去為什麼寧願以傳統

註17：Bryan Clark, "Statement Before The House Armed Services Subcommittee On Seapower And Projection Forces On The Future Of Air Force Long-Range Strike," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), September 9, 2015,p.1.

方式造新船以應對未來挑戰的原因，而不是對艦艇以模組化的方式，為未來進行升級或改造預留彈性。在過去，造艦（先前設計的艦艇）與設計（針對未來的新式艦艇）是同時進行的。現在的問題是，預算萎縮，而艦艇壽期必須更長，此二者因素之故，改變了美海軍對造艦的方式。現今為止，美軍只有兩個專案在執行：第一、第三代DDG-51（勃克級）；第二、濱海作戰艦級LX(R)計畫<sup>18</sup>，這二個計畫是因應未來十年海軍挑戰的需求設計的，值得注意的是，這二個計畫已經有意識到，如何以模組作設計造艦。例如，濱海作戰艦(LCS)的新護衛艦計畫，已考量如何模組化和運用彈性等的設計，同時也考量到如何降低艦艇的造艦成本及全壽期等相關因素。

而我海軍正朝國防自主方向發展，若能參考美DDG-51（勃克級）及濱海作戰艦級LX(R)計畫中的模組化設計方式，相信對於未來我海軍造艦將可造成一定程度的影響，簡言之，在面對強大中共威脅及我國防「預算」節約的兩難情況下，美海軍的這二個方案就更值得我海軍思考與研究。

## 伍、具體建議

### 一、學習LX(R)及第三代DDG-51(勃克級)的造艦概念

現今創新模組化和運用彈性的艦艇非常的少，且要完全實踐模組化的確有它的困難，因此，我海軍必須在觀念上根本的改變。

首先，對於艙間的調整，建議可參考該二艦艙壁和地板的設計採用具運用彈性的可拆卸重組概念。其次，參考該二艦設計如同飯店式相關模組化管理模式及不同艦型互通運用設計。

美海軍LX(R)模組化和運用彈性的艦艇比DDG-51更具使用彈性，LX(R)的設計中已經進行整合各種有效裝載負荷量模組化測試，甚至將模組化放大使用，如開放式機庫等。我海軍應該思考如何將結構模組化運用於不同類型的艦艇，而為使通用模組化有效發展，建議如后：

(一)發展模組化和運用彈性的概念，並將此概念與海軍設計與造艦單位進行溝通協調。對於相關裝備進行模組化運用評估(如用於電腦相關裝備的標準電腦架等)及艦艇銜接艙間部分，建立標準的模組化運作流程。此外，評估各艦型採取飯店式管理的模組化及組成項目。例如，對於未來的艦艇的設計及造艦，可運用模組化概念結合於艦艇設計中，而使用軌道式砲座就是一個典型通用模組化的例子。

(二)成立模組化專案小組，與各有關單位進行協調，以為未來裝備模組化及任務模組化進行研究與發展。該專案小組成員必須具備對不同艦型模組化的概念與專業知識，而且對於模組化要有相當程度的理念與使命感，這個小組將會有很長的時間與武器系統發展廠商和製造商合作。

### 二、人員編裝的考量

註18：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND,2016,p.32.

在短期內，無人載具對於人的需求，可能還是需要大量的人力，因為它包含了操作、維保、分析及其他相關工作，其中的關鍵原因是：無人載具的續航能力、資訊流和設計等較為複雜，因此，需要更多的人員操作並相互支援。此外，許多無人載具於艦上操作時，不可避免的增加艦艇人員數量。而這方面的人員負擔可透過減少維保需求而調整，增加自主性，並運用系統自動分析技術處理資訊輸出可緩解這些問題。此外，並非所有參與無人載具的人員需要搭乘同一艘船，一些控制功能和資訊源，可由岸上或空中支援，但這也意味著需要有完善的通信鏈路，而這也顯示了另一個問題，也就是這些複雜支援系統的安全性和穩定性問題。因此，無人載具結合艦艇的運用，若單純只是部署，可能會只是一個短視的作法，應該以更長遠的模組化概念加以思考，如何在人員需求與戰力最佳化間達到平衡，所以，艦艇的設計必須考量到整合的問題，特別是人員因素。

### 三、電力的需求設計

在「有人」的情況下是消耗化石燃料，艦上被迫使要有燃料儲存，而「無人」載具是消耗電力，因此，無人載具包含了電池供電的及油電混合等。而美軍2007至2032年無人載具路線圖中，規劃了13種海軍和陸戰隊無人載具；10項是由液體燃料驅動和3項由電池供電驅動<sup>19</sup>。許多無人載具的尺寸較小，因此考量以電能消耗的方式，無人載具通

常被設計能降低功耗，主要原因是為延長飛行任務的時間。現今的無人載具已經有再充電能力，這也顯示，無人載具不會影響艦艇的電力供應的問題，這是非常重要的。

### 四、艙間設計的考量

無人載具服勤過程包含發射、回收、儲存、維護和備件庫存艙間，而無人機在操作和維保方面正在不斷發展。美海軍無人載具路線圖規劃中，海軍規劃使用手持式發射器、各種彈射器、火箭式、氣動發射裝置和其他平面跑道等。海軍大多數的無人機都採用旋翼式甲板上降落，而定翼無人機可以控制在甲板/跑道降落，較特別的一種，RQ-15海王星載具，是透過降落傘降落於開闊水域。而在艦艇發射或放出無人水面艦船、無人水下載具是較為困難的，因為這需要更多的輔助裝備。例如，採用懸臂式起重機和架設遠程環境監控裝備系統(REMUS)等。未來的無人機系統可共享艙間，如運用公共艙間和裝備的方式回收或使用發射和回收設施等。發射和回收會影響與無人機相關的艙間需求，大量運用無人機執行任務時，將需要更多的載台大量同時作業。無人載具共享的組件的程度，會影響所需裝備艙間大小，而這些組件是執行任務的關鍵因素<sup>20</sup>。現今，許多無人載具部署於艦上，它們將注入海軍新的作戰能力。

## 陸、結語

註19：John F. Schank, Scott Savitz, Ken Munson, Brian Perkinson, James McGee, Jerry M. Sollinger, "Designing Adaptable Ships," RAND, 2016, p.49.

註20：Bryan Clark, "Statement before the senate armed services committee on the future of warfare," Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), October 27, 2015, p.4.

從安全角度分析，對美軍而言未來仍存在許多的不確定性。其中，艦隊所面對的敵人含蓋傳統及非傳統威脅部分，且交錯著非國家行為體。而現今使用的艦艇所擔負的任務，已超出當初造艦設計的初始目的，它們並非是針對現今這些類型威脅而設計的。換言之，使用中的艦艇造艦時間大約是在25年以前設計的概念，如冷戰時期對抗蘇聯的海軍艦艇包含了二戰軍艦的延續使用，越戰期間的海軍艦艇更不是針對該戰爭所設計。然而，拜科技進步所賜，美海軍艦艇的優勢能夠有效的在伊拉克、巴爾幹半島、阿富汗地區執行各項任務，並為區域安全作出貢獻。未來面臨何種敵人，是無法預知的，過去幾年也同樣是如此。美軍可能會面對更多的潛在對手，而這些國家的威脅能力，已逐漸具備如同美軍水準的作戰能力，而且這種情況不斷的在上升，甚至有些作戰能力已接近至美軍的水準，美海軍必須做好準備，以應對這樣的潛在對手。

就趨勢而言，我海軍未來艦艇設計，宜朝模組化方式發展。例如，對於所有的硬體結構可設計電力、冷卻系統和醫療支援的共通的艙間，以及人員生活設施等，並運用於艦艇設計概念內，這就是將艙間調整的通用模組化概念，可以在造艦初期就注入這種元素。

我海軍應對艦艇設計和造艦模組化相容性部分，不斷研究可行方案，希望能澈底執行模組化概念，而相容性的模組化如發電、

電力分配及如飯店式管理功能的統合運用，它仍是一個待開發的領域。相容性模組化最大的優勢，是可讓裝備因應需要，可運用調整方式達成所需的組合。例如，在一個短時間即可完成安裝，但不會破壞既有的大範圍結構，那相容性的模組化將具備這種所謂的運用彈性。

我海軍必須深切瞭解，模組化不只是讓艦艇具備這種能力而已，模組化概念與艙間運用是一完整搭配，才能對未來任務保持運用彈性。此外，對於不同類型艦的模組化，可減少服勤時研改或安裝的時間，在短時間內海軍就可以整備出因應任務需求的作戰支隊。從海基框架而言，模組化是否會影響艦船的結構，這是任務需要與能力載荷的問題。例如美軍濱海作戰艦，任務對於有效載荷模組化的安裝可能將會成為常態，而且這些任務模組化將無法取代。

從美國蘭德公司(RAND) John F. Schank等六位專業智庫的報告中可知，模組化可降低成本，並可迅速安裝或更換系統裝備，提高艦艇的任務運用彈性，這種方式的造艦特色，可將設計和造艦「同時易地」進行。因此，這種做法可大量縮短造艦時間，成本也較低，這對我海軍而言這將有助於建軍的發展，值得我參考運用。 

作者簡介：

宋吉峰先生，備役海軍中校，海軍官校正86年班，淡江大學國際關係與戰略研究所博士研究生，國防大學戰研所，現服務於整合戰略與科技研究中心副執行長。

