



潛艦主要系統概論

著者／翟文中

海軍官校74年班【美國能源部桑蒂亞Sandia國家實驗訪問學者(2002年)】
歷任海軍總部情報署、國防部情報次長室、戰略規劃室與整合評估室服務
現為海軍備役上校

潛艦不同於海軍的其他載台，它能以浮航方式於水面航行，亦可完全潛入水中從事作業。依據使用目的不同，潛艦可概分為運輸、研究、水下工作與軍事作戰等不同型式，由於需求不同導致不同設計理念，於是不同類型的潛艦在裝備配置、人員數量與操作需求上就出現了極大的差異。在下文中，將對潛艦的主要系統進行扼要說明，對象則是酬載武器做為戰爭工具的軍用潛艦。

軍用潛艦各系統的發展絕非一次到位，它是隨著海軍工藝的進步與軍事作戰的需求而日趨精密複雜與功能完備的。例如第一次世界大戰時，聲納的功能尚不完備，祇要潛艦下潛至潛望鏡深度以下時，便成了既「聾」又「瞎」的載台，對水面艦艇無法形成任何實質性威脅。在這種情況下，當時潛艦作戰係以浮航方式佔得有利位置，然後再下潛至潛望鏡的深度進行攻擊。因此，潛艦浮航速度與甲板的艦砲即成為潛艦發展初期的設計重點。二次世界大戰時，雷達的問世使得潛艦無法以浮航方式長期滯海，德國人於是將荷蘭人發明的呼吸管加以改良，使得潛艦無須浮航即可充電，大幅地提升了潛艦的存活率，此後潛艦對水面艦艇的威脅日增。

二次世界大戰後，隨著海軍科技的蓬勃發展，核子動力、高爆彈頭、線導魚雷、非音響偵潛（non-acoustic detection）與絕氣推進系統（air-independent propulsion, AIP）等各式新興技術相繼地被引進潛艦作戰與反潛作戰領域，潛艦各系統的設計與建造必須考量的因素日趨複雜。即令如此，由於潛艦各系統的基本設計概念係經過長期經驗累積，並不斷地經過修正最後才漸趨穩定成型。基於前述事實，下文中雖僅對當前少數國家若干型別潛艦的系統進行扼要性說明，卻不致因取樣太少而出現「以一概全」的偏頗論點。

壹、潛艦艇殼

承受水壓及抗爆震能力係潛艦艇殼設計的

重要考量，此兩者決定了潛艦安全操作時的
下潛深度。尤其重要的，這兩項因素亦決定
了艇殼在被海水壓碎前的潛深，此能力係緊

急逃避攻擊時的重要參考數據。一般而言，此數值係以操作深度的1.5至2倍計算。潛艦承受水壓能力的概念較為大眾所理解，但抗爆震能力在此必須給予必要說明。潛艦在接戰時極可能受到水下武器的攻擊，若此等武器在潛艦附近爆炸，伴隨而來的爆震將對潛艦產生嚴重的損害。就實務經驗言，水中爆炸可在千分之一秒內產生一明顯的震波，當爆炸的氣泡逐漸擴大，它會向上移動，由於疊加效應使得能量變大，氣泡繼續膨脹以致於爆破後產生第二個壓力波與第二個氣泡，其會向上移動最後逸出水面。因此，水下爆炸對潛艦的影響以艦身下方最大，艇殼兩側次之，再其次為上方，艏艉兩部則是最小。基於水中爆炸這項特性，海軍工程師在設計潛艦艇殼時會將方向因素列為重要的考量。

較先進的潛艦，其艇殼設計通常具有一鈍圓形艏，一對稱於艦身中心軸的平滑艦身，一逐漸收斂的錐型艉，艦身與艦寬比值約為9至12。倘若潛艦艇殼採非對稱結構設計，多為配合艦內系統所致，如前蘇聯海軍的Delta級核子動力彈道飛彈潛艦（Nuclear Powered Ballistic Missile Submarine, SSBN），其艇殼上方的巨大突出物係用來容納47英尺長的SS-N-18型潛射彈道飛彈（Submarine Launched Ballistic Missile, SLBM）。大體而言，西方國家設計的核子動力彈道飛彈

潛艦，由於其攜行的潛射彈道飛彈彈身較前蘇聯設計者為短，故可完全容納於其圓柱形的潛艦艦體內，故其艇殼極少出現非對稱情形。

潛艦艇殼結構依有無內殼與外殼區分，可概略地分成單殼構造、馬鞍型構造與複殼構造三種不同型式。單殼構造的潛艦艦幅和內殼直徑相同，為能有效地承受水壓與抵抗爆震，單殼潛艦壓力殼的設計必須近似圓形。即令採取單殼構造，此型潛艦的艏艉及飛彈艙間仍採複殼構造，用以強化潛艦重要部位的生存力與存活度。馬鞍型構造的潛艦，其耐壓殼有部份被非耐壓殼包圍，有一部份（通常為龍骨附近）則處於裸露狀態，此種構型的潛艦目前已很少建造。潛艦採複殼設計的主要原因，緣於最佳潛深與最大速度的外形需求不同。複殼構型潛艦的外殼並不能完全地承受來自海水的壓力，但在外殼與內殼（壓力殼）間泛水後，外殼可使流經主壓載水櫃、聲納聽音器以及內外殼肋骨的水流變為平滑穩流。複殼構型潛艦的外殼為非耐壓殼，雖無法減弱水中爆炸產生的後續震波，但對初期高壓爆震卻有保護作用。此外，複殼構型可減少壓力殼內的支撐結構，對壓力殼的偏心及圓度不足現像有所幫助。通常採複殼構型設計的潛艦，聲納、武器系統與核子反應器等均被安置於壓力殼內，主

壓載系統、葉與大軸以及拖式與固定式聲納聽音器等則被置於內殼與外殼間。

潛艦艇殼多使用高降伏鋼（high yield, HY）做建造材料，此類高碳鋼合金係以每平方英吋承受若干應力進行分類，例如HY-80鋼板每平方英吋可以承受80,000-100,000磅應力，HY-100鋼板每平方英吋可以承受100,000-120,000磅應力。此外，尚有以鈦金屬做為潛艦壓力殼建材的，最具代表性的則是前蘇聯海軍的Alfa級與Mike級兩型潛艦。採用鈦合金做為潛艦壓力殼的優點，係其密度僅為鋼材的一半且無磁性，但其強度卻與HY-150鋼板相埒。鈦合金的缺點在於成本昂貴且需特殊氣焊技術，但以鈦合金建造的Alfa級潛艦係世界上下潛最深的潛艦，估計該型潛艦潛深可達2,300呎（700公尺），美國海軍的洛杉磯級（Los Angeles class, SSN-688）潛艦潛深則僅有1,500呎（460公尺），兩者潛航深度相差甚距。或許最重要的，由於鈦合金材質不具磁性，可用以反制空載異磁偵測儀（magnetic anomaly detector, MAD）的偵測，從而大幅地降低了潛艦被敵方反潛兵力偵知的機率。

為了確保高速與低速時均有良好的操縱性，潛艦艇殼設計極為重要，現代潛艦多以長期潛航為設計目標，為了滿足水下性能與操作特性，艇殼外形多為淚滴型（Tear

Drop），並採鰭式帆罩與鯨背式露天船體設計，艇殼上的附屬物亦儘可能減少，俾能獲得最佳流體動力效應。此外，採用高強度且重量輕的合金做為壓力殼的材料，使潛艦能夠下潛至海水的溫差層，從而利用該層流對聲納波束的折射或反射特性，迴避敵方水面反潛兵力的偵測與攻擊。必須特別提及的，潛艦艦艏係艇殼設計的最重要部份，除影響艦身阻力與聲波訊號外，尚可能對潛艦偵測能力形成不小影響，故潛艦艇殼艏部設計時必須考量武器發射系統、聲納偵測系統與平衡壓載系統的整體配置。相類似的，潛艦艦艉裝有大軸與推進器，設計時必須考量減少渦流與自生雜訊，故艇殼外形設計應使葉得到最佳的水流，確保其獲得最大操作效率與優異操控性能。

貳、推進系統

潛艦推進系統可概略地分為柴電（傳統）動力與核子動力兩大類，運用電化學原理研製而成的絕氣推進系統則為另一選項，然而由於動力輸出限制，此系統目前主要做為潛艦的輔助推進之用，尚無法完全地取代柴電或核子動力成為潛艦的主要推進系統。柴電動力潛艦的發展迄今已超過一個世紀，相關科技與工藝的發展可說相當成熟，其工作原

理與能量轉換眾人對其應不陌生。另一方面，核子動力潛艦的問世迄今僅半個世紀，由於其系統與運作遠較柴電動力潛艦複雜，一般人對其整個系統的運作可說相當陌生。因此，下文中將對核子潛艦推進系統的工作原理與設計概念進行扼要說明，期使讀者對此推進系統能有初淺的瞭解。

核子潛艦的推進動力，來自核子反應器內鈾235進行連鎖反應（chain reaction）後產生的巨大能量。一般而言，核子動力潛艦使用的燃料係高濃度的鈾235，濃縮度高達97.3%。此種設計的主要著眼係核子潛艦空間有限，必須使用高密度、體積小卻可以產生大能量的核子反應器。根據美國海軍過去操作經驗，核子潛艦反應器的燃料（爐心）壽限為4至10年，例如S5W核子反應器的爐心壽限為4.5至6年，新近設計的海軍核子反應器爐心壽限則為10至13年。在此須提及的，在不變更核子反應器的前提下，僅降低其輸出功率即可有效地延長爐心使用年限。

核子動力潛艦的初級冷卻劑採用輕水，增壓器將輕水加壓至每平方英吋2,000磅，使其在溫度超過315℃時不致發生沸騰現象，於是冷卻劑得能保持在液體狀態，此即壓水式核子反應器（Pressurized Water Reactor, PWR）名稱的由來。核子反應器的熱能由輕水吸收，在蒸汽產生器中將次級迴路的循環水

加熱至每平方英吋1,000磅的蒸汽，此高壓蒸汽藉由膨脹將熱能轉換為功驅動渦輪機運轉。其後，蒸汽渦輪機排出之廢氣經復水器冷凝為凝水後，再經泵浦唧回蒸汽產生器開始另一次汽水循環。核子動力潛艦採用複雜的初、次級循環迴路進行熱交換，主要基於保護操作人員安全的考量。初級冷卻劑直接接觸核反應器的爐心，含有當量甚高的放射線，如果直接將其產生的蒸汽用以驅動渦輪機，將會對機器操作人員的健康形成威脅。此外，在維修保養機器時，若人員處於高放射性強度下，人手無法直接接觸裝備，這將使得艦艇例行保養維修窒礙難行。增壓器、核反應器與熱交換器的初級冷卻管系，均被佈置在一個護壁內，採取自動操縱或遙控操作，使潛艦艇員能夠有效迴避高放射線的傷害。護壁係使用一公尺厚的混凝土建造，在體積有限的潛艦艦體內佔有相當大的重量和體積。由於潛艦潛航時必須保持艏艉平衡，故以核子反應器為中心的護壁通常係安置於艦體的中央部位。

除使用輕水做為核子反應器初級冷卻劑外，美國海軍在建造第二艘核子動力潛艦海狼號（USS Seawolf, SSN-575）時，曾採用金屬鈉取而代之，惟因效果不彰最後失敗告終。鈉在常溫下為軟輕的固體金屬，但加熱至97.8℃時會溶化成液體。由於鈉的熱傳效率



為輕水的兩倍，故能產生高溫蒸汽。此外，當以金屬鈉做為初級冷卻劑時，初級系統可在接近大氣壓力情況下工作，故原本厚重的高壓裝備得以精簡省卻，操作時產生的噪音因而大減，這些因素使得液態鈉冷卻反應器（liquid-sodium cooled water）受到海軍當局高度重視。由於鈉遇水後會產生激烈的化學反應，加上反應器爐心的輻射劑量過高，必須以化學反應遲緩且輻射劑量較低的鈉－鉀冷卻劑做為中繼冷卻迴路，因此在設計、操作與保養上遠較傳統的壓水式反應器複雜。1955年，美國海軍採用鈉冷卻劑－鉍緩衝劑的海狼號潛艦下水，一年後該艦發生蒸汽洩漏，研判可能原因係鈉腐蝕金屬管路造成。由於美國海軍無法克服使用液態鈉冷卻反應器衍生的各項技術瓶頸，諸如爆炸危險、厚重防護、高價值的鉍與核子反應器熄爐時維持鈉為液態等工程難題，海狼號潛艦的推進系統被換成壓水式核子反應器，其後美國與其他國家海軍就不曾再以液態鈉冷卻反應器為潛艦推進之用。

就潛艦推進系統發展言，絕氣推進系統絕對是一個重要里程碑，當前技術較成熟的絕氣推進系統計有：燃料電池（Fuel Cell）、史特靈引擎（Stirling Engine）、華爾特渦輪機（Walter Turbine）、閉式循環柴油機（Close-Cycle Diesel Engine）、閉式循

環燃氣渦輪機（Close-Cycle Gas Turbine）與自主式艦用動力系統（Autonomous Marine Power Source, AMPS）等不同型式。當前，瑞典、南韓、中國、法國、德國與俄羅斯等國海軍已擁有不同型式的絕氣推進系統潛艦。當傳統潛艦配備絕氣推進系統後，將可使潛艦潛航時間由原本的數天延長至兩到三週之久，加上其可有效降低潛艦操作時產生的各項訊跡，大幅地提升了傳統潛艦的匿縱性與存活度，在可預見未來，此型潛艦將成為各國海軍籌建新興兵力的主要選項。

參、通訊系統

潛艦所以擁有高度的戰略價值，在於其潛航時不易為反潛載台偵獲。由於可見光及電磁波在水中傳播時極易為海水吸收，因此偵潛作業最後祇有仰賴聲波一途。此特殊物理屬性固然增加了潛艦的隱密性，同時亦對潛艦在太平洋中的指揮與管制形成了嚴苛的挑戰。對攻擊潛艦與彈道飛彈潛艦而言，任何時刻均需正確無誤地接收到國家指揮當局（National Command Authority, NCA）下達給潛艦艦長的命令。即以彈道飛彈潛艦為例，如果無法及時地收到國家指揮當局下達的各項任務指令，那麼長期於深海巡弋的彈道飛彈潛艦價值何在？相類似的，攻擊潛艦

必須因應戰術狀況，候令接收變更作戰海域與任務派遣的信文。由於作戰環境係複雜多變的水中世界，加上潛艦本身必須儘可能迴避為敵偵獲的特殊需求，潛艦通訊因此受到相當程度侷限，其無法自由發信、受信或彼此相通。

潛艦雖因海水物理性質與作戰匿蹤需要不適合主動發出信號，但潛航時卻可透過極低頻（very low frequency, VLF）與岸台構聯，由後者對其行動進行指揮與管制。極低頻的頻率為3至30千赫茲，波長長達10至100公里，極低頻信號可進入海面下數公尺，水文條件良好時可達10至15公尺。即以潛艦活動涵蓋全球各水域的美國海軍為例，其目前操作中的極低頻岸台共有五處，它們包括了美國本土緬因州的卡特拉（Culter, Maine）與華盛頓州的吉姆克利克（Jim Creek, Washington）、夏威夷州的魯魯雷伊（Lualualei, Hawaii）、波多黎各的阿瓜達（Aguada, Puerto Rico）以及澳大利亞的霍爾特（Harold E. Holt, Australia）。這些極低頻岸台配合當地的地形，各有獨特型式天線，當中緬因州的卡特拉與澳大利亞的霍爾特最為重要，這兩個岸台發射的訊息可涵蓋美國海軍所有彈道飛彈潛艦活動的水域。

檢證海軍歷史不難發現，戰爭期間指揮階層必須能與在航潛艦保持及時與可靠的通

信，方能發揮潛艦具有的「匿蹤」與「奇襲」等項戰略優勢。極低頻雖具在水中傳送信文的優點，但其巨大的岸基設施在戰時極易成為敵軍攻擊目標。在這種情況下，如能以地面站台發射超高頻（ultra high frequency, UHF）或極高頻（very high frequency, VHF）信號，再經中繼站轉換成為極低頻信號，即可對在航潛艦進行有效的指揮與管制。或許最重要的，藉由此種方式可以提升潛艦通聯系統的可靠性及存活率，使潛艦（尤其是攜有彈道飛彈的核子動力潛艦）不致因為通信失聯導致危機甚或戰爭的向上升高。為了滿足前述需求，美國海軍投入了大量資源並成功地開發出TACAMO潛艦通聯系統。

TACAMO係Take Charge and Move Out一詞的首字語，意指將接收的超高頻信號以極低頻方式輸出。最初階段，此系統的中繼站係以洛克希德公司生產的C-130運輸機為基本構型，其經改裝成為EC-130Q構型做為系統的接收與發射載台。其後，由於該型飛機機齡過大加上機體老舊，遂以B707客機改裝的E-6A噴射機做為TACAMO系統的空中載台，後者的優點係速率高（445節對335節）與續航力大。TACAMO飛機發射的極低頻信號，係經兩條天線以200KW的功率發射。此系統的一條天線向下懸垂長度30,000英尺，另一條天線則



順著機尾向後延伸長度4,000英呎，這條天線會隨機身進行連續而緩慢的旋轉。TACAMO系統發射的極低頻信號可以穿透30至40公尺的水深，大西洋水域是最先部署TACAMO飛機的地區，太平洋水域遲至1983年才開始部署這套系統。

除運用TACAMO飛機做為潛艦通訊載台外，美軍亦將極低頻發信機直接置於飛機用來對在航潛艦進行指揮與管制，美國空軍將B747客機改裝成的E-4B飛機即具此項特殊的功能。當美國進入戰爭狀況後，國家指揮當局將會進駐E-4B飛機，此即大眾熟知的「國家緊急空中指揮所」（National Emergency Air Command Post, NEACP）。E-4B飛機可直接與衛星、TACAMO系統與極低頻岸基設施交鏈，對強化潛艦極低頻系統的存活度具有重大戰略意涵。由於岸基低頻與極低頻站台在戰時極易為敵方摧毀，這些設施主要做為潛艦通訊備援系統，TACAMO系統與「國家緊急空中指揮所」具有較高的存活度，在戰時這兩套系統於是肩負起對在航潛艦進行指揮與管制的重任。

極低頻雖可做為岸台與潛艦間的通聯工具，但其穿透海水能力僅及15公尺左右，對潛深動輒數百公尺的現代潛艦可說相當不便，因此各國海軍積極從事潛艦深海受信裝備的研究與開發。1958年起，美國海軍著手

進行超低頻（extra low frequency, ELF）潛艦通訊系統的研究。1962年，美國海軍在北卡羅萊納州（North Carolina）建造了實驗性發信設施，成功地與地中海水域的在航潛艦構成通聯。極低頻的波長可達4,000公里，由於波長過長能傳遞的情資就相對地有限，在這種情況下，運用此方式與潛艦通聯時必須以組合方式進行，這種情形類似水面艦艇使用旗號進行視覺通信。除了極低頻信號外，藍綠光雷射亦是潛艦通信的另一選項。藍綠光雷射在海水中穿透性甚強，惟因光線具直進性，這項特性使其在水中無法進行長距離傳播。此外，由於雷射光束僅能以反覆高速傳送相同的訊息，如此一來，能夠傳遞的情資相對地有限，故其做為潛艦通信工具的實用性受到相當程度制約。

潛艦通訊發展至今仍有三項技術瓶頸亟待克服：其一、潛艦在一定水深潛航時，與其通信將會增加噪音水平；其二、潛艦受限於天線直徑的尺寸，信號傳輸速率無法大幅提升；其三、接收高密度長報時，潛艦必須上浮至潛望鏡深度，這樣容易暴露行蹤為敵方的反潛載台偵獲。雖然海軍科技與工藝的發展日新月異，但潛艦通訊能力的增進有賴通信效率的進一步提升。當前美國海軍發展的多波段天線，使潛艦於潛望鏡深度航行時的信號傳輸與接收速率達每秒1.544兆位元，語

音、數字、視訊與圖像等資訊皆可透過此一天線系統進行傳輸。多波段天線使潛艦數字傳輸速率提高了200倍，潛艦得能快速地接收高密度長報，並能與水面艦艇進行及時的視訊傳輸。若此系統能順利研發並完成部署，這將使得在航潛艦的通訊能力獲得前所未有的提升。

肆、壓載系統

潛艦與水面艦艇的最大差異，在於潛艦可以浮航或是潛航兩種不同模式操作，此特性係由其特有的壓載系統（ballast system）予以完成。不管傳統潛艦或核子動力潛艦，其壓載系統皆由主壓載櫃（main ballast tanks, MBTs）、俯仰與補償櫃以及相關空氣與海水管系組成。根據潛航平衡理論，潛艦所受的浮力必須等於自身的重量，而且重心必須低於浮心。當潛艦水面浮航時，主壓載櫃處於排空狀態；在水下潛航時，主壓載櫃則充滿了海水，壓載櫃設有開口與海水相通，故潛艦在潛航時主壓載櫃毋須承受來自海水的壓力。大體而論，主壓載櫃的佈置與容量決定了潛艦下潛深度、浮出水面高度與預留浮力（reserve buoyancy）大小。

補償櫃的功用係使潛艦水下排水量與自身重量一致，此水櫃的位置多在潛艦艙部壓力

殼內，視需要可引入艦外的海水或將櫃內的海水排出。潛艦補償櫃的設計必須考量以下各項變數，包含了海水密度、消耗品重量與水下排水體積的改變各項不同因素。當海水密度較大時，潛艦必須有較大的重量方能下潛；反之，僅需引入少量海水即可下潛。一般而言，大洋及其邊緣海域，海水密度約在1.028至1.030間；河海交界處的海水密度則幾近於1.000。因此，補償櫃設計時必須考量潛艦服勤後可能活動的水域，從而決定補償櫃所需容積的大小。此外，潛艦執勤時消耗品會隨潛航時間的增加而遞減，減輕的重量亦需藉由補償櫃進行調整。遠洋潛艦由於攜行消耗品較多，必須有較大容積的補償櫃；近海潛艦攜行消耗品較少，補償櫃容積相對地可較小。除先前提及的兩項變數外，潛艦下潛深度亦是設計補償櫃時必須考量的重要因素。由於潛艦壓力殼具有彈性，當下潛深度越深時，其壓力殼的收縮量越大，潛艦水下排水體積就會越小，補償櫃容積亦相對地減少，從而緊縮其所能調整的重量範圍。

俯仰差（trim）可用來描述中性懸浮及縱向搖擺的不同姿態，潛艦在航時保持符合操作需求的俯仰狀態極其重要。試想當一艘浮航潛艦必須緊急下潛時，其絕無可能以垂直方式直接沒入水中；相類似的，在潛艦發射魚雷攻擊目標後，必須進水補償魚雷離艦後

形成的艦體失衡。依此類推，要在極短時間調整數十噸洲際彈道飛彈發射後形成的俯仰差，同時在整個過程中維持潛艦於固定的水深，這是一件極具挑戰性的工作。在潛艦不同操作環境下，潛艦艏艉吃水差異係藉調整俯仰（或平衡）櫃予以達成。一般而言，俯仰櫃的位置多在潛艦壓力殼前後端，容積大小則取決於可變動物資的位置與重量，例如燃油、魚雷與消耗品等。

潛艦的操作涉及了重心與浮心相對位置的維持、儲備浮力與重量補償的考量以及物資變動後艦體俯仰的調整，這些都是潛艦設計時必須考量的重點。尤其重要的，壓載系統的設計必須使潛艦在受創（例如無法機動、艇殼破裂或大量進水）時能夠維持必要穩度。對潛艦的整體操作而言，最壞的情況可能是重心高於浮心或重量與俯仰補償不當，當這兩種情況發生時，若處理不當極可能造成潛艦的翻覆甚至葬身海底。

伍、戰鬥系統

戰鬥系統的最主要功能，係將敵我兵力部署的現況提供指揮官參考，做為其研擬或採行相關軍事行動時的重要依據。現代化的潛艦戰鬥系統具備了資料快速處理與運用以及情資自動轉發與分配等各項功能。此外，

先進的潛艦戰鬥系統尚須將複雜的電腦、通聯裝備、各式感測器與艦載的軟硬殺武器予以連結。因此，整合感測器與武器系統，並提供結合兩者所需的介面，實為潛艦戰鬥系統設計時的首要考量。潛艦與水面艦艇的戰鬥系統絕對是相通的，許多人經常誤以為潛艦的戰鬥系統較簡單，這種錯誤認知主要來自潛艦攜行的武器數量通常較水面艦艇少出許多。事實上，這種說法忽略了潛艦在潛望鏡深度下操作時無法獲得外來情資，同時對目標或潛在攻擊者掌握困難等限制性因素。因此，潛艦戰鬥系統的設計除了必須符合水面艦艇的需求與架構外，尚須做必要的設計與變更，方能符合水下作戰時的特殊環境需求。

潛艦戰鬥系統解算目標運動及射控問題的方式甚為特殊，這主要肇因於潛艦潛航時難以獲得充足與正確的敵軍方位與距離情資，其次則因為潛艦、目標與水下武器間的相對運動有以致之。在這種情況下，潛艦在辨識、定位與追蹤三個階段，主要仰賴精確的「快速傅立葉轉換」（fast Fourier transform）信號處理技術，在隨機信號（random signal）中將固定不變的回跡信號濾出，再應用都卜勒效應（Doppler effect）與數位分析技術對移動目標加以辨識。當目標確認後，戰鬥系統根據主／被動

聲納在不同偵測位置獲得的目標方向角，利用電腦關連比對數值解算原理估算出目標的方位與距離並完成定位。在整個流程的最後階段，戰鬥系統將目標的所有航跡資料予以整合，對目標的可能航向進行估算並且據此執行後續追蹤。當作戰資訊結構系統（Action Information Organization, AIO）完成目標分配後，戰鬥系統遂將目標的位置傳送至射控系統，射控系統即進行追蹤鎖定及射控解算，並據以控制武器及武器投放裝置實施接戰。

當前先進的潛艦戰鬥系統除以匯流排連結偵蒐裝備與武器系統外，同時尚可將資料顯示於多功能操控面板上。德國阿特拉斯電子公司（STN Atlas Elektronik）生產的ISUS系列產品係典型的現代化潛艦戰鬥系統，即以ISUS 90戰鬥系統為例，它可自動進行偵蒐、追蹤與分析音頻信號，追蹤工作通常由偵蒐裝備主控，再由其他輔助裝備進行必要支援。這套系統最多可同時追蹤96個目標。羅拉（Loral Librascope）公司生產的SUBICS 900系列係美國海軍BSY-1戰鬥系統的衍生型，該系統使用四部多功能模組化工作站，能顯示電腦化的戰術資料及武器控制管理系統資料，每部操控台有兩個觸控式顯示器。英國航太公司（BAE SEMA）製造的SMCS戰術資料處理系統，則使用光纖區域網路用

以連接操控台、輸出／輸入裝備與資料處理結點，藉由分散處理架構達成特定戰術需求。尤其特別地，SMCS戰術資料處理系統內建有海洋水文資料庫及音傳損失模式，它可計算出偵獲目標及本艦被敵方偵獲的機率。

當前各國海軍仍不斷地研發各式新興科技，當這些科技發展成熟並運用於海軍作戰領域後，可大幅地提升潛艦戰鬥系統的功能以及其對整體戰鬥空間的掌握。此外，發展中的新一代潛艦戰鬥系統應能執行下列各項功能，這些功能計有武器管制、感測器管理（sensor management）、射殺評估、追蹤管理（track management）、任務管制、水温資料、測試與訓練管理、環境預測（environment prediction）、音響反制與管制（acoustic countermeasure and control）、接戰管制（engagement control）、接觸與追蹤管理（contract/track management）、鑑別管理（identification management）、搜索與偵測管理（search and detection management）、任務評估（mission evaluation）以及反潛戰術資料管理（ASW tactical information management）等等。此外，藉由無人水下載具（unmanned underwater vehicle, UUV）與無人空中載具（unmanned aerial vehicle, UAV）的運



用，潛艦未來可支配的戰鬥空間將大幅地向外延伸。尤有甚者，決策支援系統與實時戰術計畫流程（real-time tactical planning process）的引進，將可大幅地提升潛艦戰鬥系統的能力，縮短指揮官下達決心的時間，使潛艦成為真正的水下殺手。

陸、結論

除先前提及各主要系統外，和潛艦適居性、空氣淨化與人員安全相關的各個系統，同樣地係潛艦系統設計時必須考量的重要因素。由於潛艦的作戰環境相當地嚴苛，建造潛艦除了須具備良好工藝水準外，設計經驗的累積、操作實務的回饋以及對未來操作水域的深入瞭解，同樣地佔有舉足輕重的角色。因此，任何國家欲發展並建造實用與安全的潛艦，除在設計、科技與工藝尋求突破外，平時對在役潛艦的操作、維修及保養等過程均須詳實記錄，如此在設計潛艦各系統時方有可資依循的參考資料。

時至今日，潛艦各系統的功能需求日趨精密複雜，故其在設計時必須考量的因素亦倍於往昔。此外，潛艦各系統的設計經常是妥協折衷的結果，例如海軍工程師在考量潛艦潛航深度與壓力殼、帆罩與潛望鏡構型以及壓力殼材質與外型時，其面對的往往是各

系統間的相互抵觸與彼此增減，海軍工程師必須視潛艦的作戰需求權衡輕重後做必要的妥協讓步。然而，同步工程（concurrent engineering）被引進海軍工程領域，透過這項工程技術的協助，潛艦的設計研發、品保規劃、生產準備、後勤規劃及服勤與支援等程序，均可在設計之初同步進行，用以縮短潛艦系統的開發時程，節省建造的時間與成本，同時存於各系統間的相互衝突亦可及早處理，有效地減少實際施工時重新設計與工程翻工的額外花費。在可預見未來，隨著新興科技與工程技術的不斷引進，潛艦系統的設計與開發亦將與日俱進展現出不同的面貌。

參考資料

- 1 丁劍清譯。「水下戰鬥指揮」。《國防譯粹》，第24卷第2期（民國86年2月），頁63至67。
- 2 朱明茂譯。「彈道飛彈潛艦之新任務」。《國防譯粹》，第25卷第7期（民國87年7月），頁63至68。
- 3 曲水。「『無聲部隊』將不再『靜默』」。《當代海軍》，1998年第4期，頁26至27。
- 4 梁卓中、賴文豪與沈士鈞。「潛艦相關軍規之探討」。《海軍學術月刊》，第35卷第7期（民國90年7月），頁78至89。
- 5 馮國震譯。「潛艦在廿一世紀之角色」。《國防譯粹》，第25卷第2期（民國87年2月），頁46至51。
- 6 顏君強。「潛艦設計研發與建造實務」。《海軍學術月刊》，第34卷第4期（民國89年4月），頁72至82。
- 7 韓慶、李振沖與高峰。「美海軍加強淺海反潛」。《當代海軍》，1998年第4期，頁51至52。
- 8 Barbara Opall. "China Sinks U.S. in Simulated War," Defense News, 30 January 1995, p.1.
- 9 J. B. Hervey CB OBE, Submarine. London and New York: Brassey's Ltd., 1994.
- 10 W. J. R. Gardner. Anti-Submarine Warfare. London: Brassey's Ltd., 1996.