內波與海軍作戰

著者/毛正氣海軍官校77年班曾任大氣海洋局局長備役上校

臺灣周邊東北角和西南海域都是巨型內波的多發區,而內波會影響海軍潛艦水下航行及聲納與武器的使用,是一極為重要的海洋戰場環境參數。內波會使潛艦水下航行操控變得困難且具危險性;內波會導致海水等密度面的波動,使水下聲波的音源強度大小和行進方向發生變化,內波會對水下武器(魚雷與潛射飛彈)的使用,產生限制與危險性;因此,了解海洋內波及其發生機制,對海軍作戰與海戰場環境的經營有極大的幫助。

壹、前言

內波是一項重要的海洋水平與垂直海水運動,它將海洋上層的熱能、高含氧量的海水傳至深層,又把深層較冷的、高營養鹽的海水帶到海洋表面來,促進海洋生物的生息繁衍不息。但到目前 止,世界各國學者對海洋內波的產生機制仍並不十分清楚,而臺灣周邊海域東北部和西南部海域以都是巨型內波的多發區;因此,了解海洋內波及其發生機制,對臺灣周邊海域戰場環境經營有極大的幫助。

內波是會影響潛艦航行、反潛作戰及水下武器的使用是一極為重要的海洋水文環境因素。 振幅劇烈的內波可將潛艦拋向水面或壓向海底,危及潛艦安全,就如同水面艦艇在波浪處航行一樣,當潛艦在海洋內波區域活動時,也會產生「中拱」、「中垂」現象,嚴重時會造成艦體斷裂,或者潛艦不易保持正常的航向和 武器發射姿態,水下武器發射後也難以命中目標。內波會導致海水等密度面的波動,使水下聲波的音源強度大小和行進方向發生變化,對聲納裝備與水下武器的使用影響極大。

本文有系統的完整介紹海洋內波與海軍作戰的關係;第二節將介紹內波生成機制與分類。 其次第三、四節介紹臺灣周邊海域東北角與南部海域的內波;同時另有專文第五節説明內波 對海軍作戰的影響。最後希我海軍軍官能了解臺灣周邊海域海洋的限制與優勢,能佔地利之便,確保主導戰場的能力、武器裝備充份發揮以及戰場人員安全¹。

貳、內波生成機制與分類

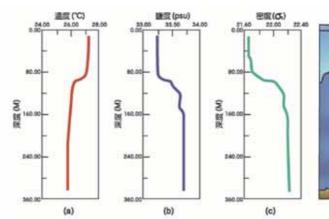
一、內波生成機制

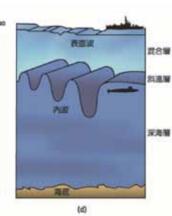
在海洋,斜温層(thermocline)是海洋內波 (internal wave)產生的主要地方,也是內波 震幅最大的地方。海洋內波是發生在温度、鹽 度變化斜温層的水下重力波(gravity wave)²。內波的產生必須具備兩個條件,一是海水密度分層(兩層海水的相對密度值大於0.1%時)的環境,二是要有擾動能源。擾動使原本穩定的密度分層移位,繼之的重力復原效應(recovery force)引發了波動。海水的密度分佈通常處於不均勻狀態,大氣壓波動、潮汐、海流及海底地震都是重要的擾動能源。如果加上第三個條件-劇烈的地形變化與擾動能源相互作用,必定引發震幅劇烈的內波。地形變化越激烈,內波震幅越大,同時連續的密度分層密度差越大,內波震幅也越大,當然外力擾動的大小,也會影響內波的大小。

圖1説明內波產生在斜温層的底部,分層海水受到擾動,立即產生波動。圖1(a)、(b)是儀器在沿岸測量出來的觀測值。測量資料顯示,此地區鹽度化大,推測為河口附近或沿岸流強勁的地區。資料顯示此區域等温層在深度80公尺左右,斜温層厚度約為30公尺,從80-110公尺左右;圖1(c)為密度,利用海水狀態方程式³推算出來的,而內波的發生是在密度變化劇烈

的深度(有學者稱為「躍密層」),約80-90公 尺的地方。內波發生的大小與斜温層(或「躍 密層)的厚度有關,斜温層越厚實,內波震幅 越大;擾動源越大,內波震幅越大;地形越陡 峭,內波震幅也越大。

在產牛內波處的波高比海面波波高大的多, 原因是:密度躍層把海水分為上下兩層,上層 密度隨著深度變化緩慢,下層密度幾乎均匀一 致;在狺種情形下,層結處(躍層底部)海水容 易受到擾動,自由海面的海水受到擾動時的波 動,需要克服重力,因此波高受到限制,而海 洋內部海水上升時,由於本身的重量大部分被 浮力所抵消,因此在相同的能量條件下,與表 面波相比,升高就比較容易, '也正因如此, 入波的震幅要比表面波大得多, 震幅從數公尺 到數幾百公尺;而波長一般有幾百乃至上萬公 尺,範圍也有幾百公里。在密度差較小的大洋 中已經紀錄到內波周期也達12小時、振福300公 尺以上。內波並不只像海面波那樣僅僅水平傳 播,內波也提供了從海底到海面的垂直能量傳 播與海水交換,把表面的熱能與高含氧(及二氧





層地帶,分層海水即 到擾動能源,內波即數 生是在密度變化劇烈的 深度,約80-90公尺的 地方。資料來源:許 到安國,2010,神 秘的巨浪-南海內波, 科學發展,第446期; 作者修改。

化碳)量的水帶到幾百公尺以下的海底,同時把低温、高營養鹽、低含氧(及二氧化碳)量的深層海水,帶到海水表面來,提供表面生物必要的養分。因此,整體內波的震盪,是影響到整個海洋水平與垂直上的海水運動,不僅是涉及海洋物理部分,更對海洋生物及海洋化學有大影響。

二、內波的分類

內波根據不同的分類標準,可從頻率、週期及波長尺度來進行分類。海洋內波大致可分為三類:第一類是短週期及短波長的「高頻內波」,其周期大約在幾分鐘到幾個小時,通常空間尺度也較小,波長為幾十公尺到幾百公尺,這類內波一般表現出很隨機,是如何造成此類內波,原因很多,微小的擾動即可發生高頻內波,也因為出現機率不定,因此研究起來,格外不易。一般而言,層次海水,加上擾動能源即可生成此類「高頻內波」。

內波第二類最為重要,是具有潮汐週期的潮流生成的內波(tide-drived internal tide)或稱為內潮波(internal tide)的內孤立波(internal solitary wave)。這類內波可稱之為「中頻內波」。所謂孤立波(solitary wave),指一種單獨一組波群行進的波,其在很長的空間距離內傳播而不散失其能量,並且有兩波相碰而不會改變外型及傳遞的特殊性質。6

而內孤立波是指大洋中,因海水密度的分層效應,使得在海洋內部會產生內波,並具有孤立波的特性。研究顯示:大洋中之內孤立波的形成機制有二。第一種機制是在陸棚邊緣處,潮流(tidal current)與地形變化的交互作用

引發內潮運動(海水運動有潮汐般的周期);若 傳遞方向與地形斜坡方向平行,則有可能更進 一步將能量投影至更高頻率的運動,並引發非 線性效應,¹進而產生內孤立波。臺灣東北角 海域的內波就屬此類。第二種機制則是流速較 大的潮流於漲、退潮時流經海脊(sill), 因而內潮波引發駐波形式的李氏波(standing leewave)。⁸當潮流轉向後,此李氏波擾動會伴 隨著相對較慢的潮流運動再次越過海脊,同時 擾動區域將會變得較為寬廣,而此擾動的傳遞 過程會引發非線性效應,進而產生內孤立波。 ⁹此種內孤立波的波長範圍為102-103m,是一非 線性很強的內孤立波,其變化週期通常從5-10 分鐘到2-5小時不等,傳播速度約為10cm/s,震 幅可達100公尺。此類內孤立波是伴隨潮流而發 生,臺灣巴士海峽的內波就屬此類內波。

第三類是頻率接近當地慣性頻率的慣性內波(inertially internal wave),稱之為「低頻內波」,其周期在12小時以上,波長為101-103km,傳播速度約102 cm/s。此類波出現是很隨機,不易被觀察與研究。從地理位置對內波進行分類,海洋內波可分為大洋內波、近海內波、極地內波及赤道內波。還可以從擾源進行海洋內波的分類,在應用當中常常採用這種分類來方法。例如:由正壓潮與地形相互作用所產生的內波,稱之為潮成內波(internal tide);而由風的慣性振盪所引起的內波稱之為慣性內波(inertial wave或inertial oscillation)等。

參、臺灣東北角內波

內孤立波(internal solitary wave)是非線性較強的海洋內波,因此潮流生成的內孤立波(tidally internal solitary wave),也就是內潮波的生成必須是在潮流流速大、地形變化大的狀況下,才能生成,因此,內孤立波只在各別海域、某些時間出現。臺灣東北部有非常密集的內孤立波分部,表明該區域是一個內孤立波的高發區(圖2)。進一步可以看出,在該區域,各種傳播方向的內孤立波互相交錯,而每一組內孤立波的峰線都較短,這既説明該區域的內孤立波源的水平空間尺度較小。10

臺灣東北角海域因黑潮東西向擺動,撞擊到大陸棚的垂直壁,使黑潮產生渦漩與湧升流,且從海水温鹽結構分佈來看,深水區存在長年性温躍層;但在陸架淺水區,高温、高鹽的黑潮表面海水入侵大陸棚時,始與低温、低鹽的中國沿岸流進行海水交換。表層的反時針冷渦具有季節性的變化,其變化的主要的原因來自於相對應週期的黑潮東西向擺動,使大陸棚僅存在季節性斜温層,在這些區域中,內波的出現是具有季節性特徵。因此,就東北角海域內波而言,其時空變化與各個海域温度垂直分布與變化有密切關係。

從渦漩的行進方向與温度分層來看,黑潮 海水應大部份滯留在大陸棚邊沿上,僅有少量 「流進」大陸棚上,且中國沿岸流與臺灣海峽 暖流分布在臺灣北部陸棚海域上(大陸學者稱流 出臺灣海峽的水流已混了南海海流、黑潮與河 水,並自成一個海流體系);但潮流卻把黑潮海 水帶到大陸棚上了,造成嚴重海水分層現象。 臺灣東北角海域的潮差為1.5-2.0公尺,近岸潮流速度約為70 cm/sec,因海底地形與海岸地勢的原因,使潮流又急又快,因此造成東北角海岸受到海水的高度侵蝕。12

圖3為ERS-1衛星SAR影像所拍攝的影像。¹³影像中KF為黑潮主流,也就是產生內波動力的來源之一。黑潮主軸擺動,撞擊大陸棚壁的水流的流動方向,而產生了內波,依動力來源的反方向,加上潮流的推近,向東海大陸棚方向前進。行進中,遇到高低起伏的海底地形,則增減內波振幅,以維持能量守恆,或是發生頻散(dispation)作用,產生小的內波群。IW就是小的內波群。

肆、臺灣西南海域內波

1990年代初期,美國石油公司在南海北部(東沙島附近)探勘石油,當半潛式鑽油平台在作業時,遇到強流發生操作困難並斷纜,調查後發現強流是內波造成的,而南海北部東沙島附近

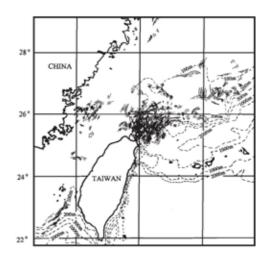


圖2 臺灣東北角海域內波圖。此圖係根據SAR影像描繪而成,取自 $Hsu\ et\ al.$, $2000\ ^{11}$

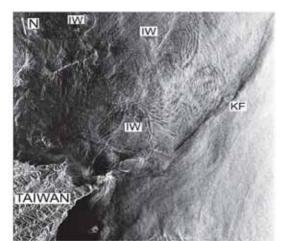


圖3 1994年5月10日圖東北角海域ERS-1衛星SAR影像,影像中KF為黑潮主流,也就是產生第一道內波,I W就是小的內波群。本圖取自本圖取自Hsu et al. 2000。¹⁴

海域的內波才開始受到重視。臺美研究學者把 合成口徑雷達(SAR)所發現南海內波的波峰線, 描繪在南海海圖上以製作南海內波分布圖(圖 4),才逐漸揭開南海內波的面紗。

臺灣南部海域因黑潮擺動而入侵巴士海峽,從海水温鹽結構分佈來看,高温、高鹽的黑潮表面海水入侵時,始與南海海水進行海水交換,此區域深存在長年性温躍層。美國海洋學者汪東平教授用海洋數值模式重建臺灣南部海域內波發生的機制發現:黑潮海水入侵是造成海水層化的主因,但黑潮海水動力不足以推動海水以產生內波;而真正造成南海內波的動力是潮流。16

恆春海脊是臺灣南部海域產生內波的地方, 所產生內波向西傳播播時,當內波碰到東沙環 礁時,分裂成南北兩群內波。這兩群內波在東 沙環礁西方會合後,繼續向西北進行,最後因 碎波而消失不見。依據呂宋海峽衛星合成口徑 雷達所拍攝的影像,發現內波的波峰線長達200

公里,且波源可能不只一個。從東沙環礁附近 衛星合成口徑雷達所拍攝的影像(圖5)與研究資 料顯示:海水下泠上熱,這些冷熱海水在大約 100公尺深的地方交會,一旦受到崎嶇地形等外 在擾動的影響,就會形成海面下的巨浪,也就 是「內波」,一般海洋的內波,上下起伏的幅 度大多在10幾公尺,但位於臺灣恆春半島西南 方的南海, 內波動輒100公尺以上, 振幅最大的 甚至超過170公尺,足足有40層樓高,是目前世 界上觀測到最大的內波。另外,內波會帶來近8 級的扭力,對鑽油平台、海中的潛艦都會帶來 不可預測的威脅。17中山大學王玉懷教授也發 現兩群非線性內波在東沙環礁的西邊會合,非 線性交互作用的現象非常明顯。由於東沙環礁 附折水域深度訊束變淺,內波因而產牛期散作 用,分解成許多波速不同的小波繼續向西北傳 播。18

伍、 內波對海軍艦艇的影響

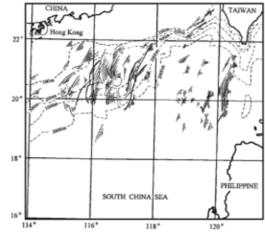


圖4 臺灣西南海域內波圖。此圖係根據SAR影像描繪而成。 本圖取自Hsu et al., $2000 \circ ^{15}$

海洋內波是一個重要的海水上升與下沉的機制,對海軍潛艦航行安全與武器裝備的使用,有莫大的影響。大振幅的海洋內波對主要航行於水中的潛艦安全有重要的影響;對水中主要裝備聲納的偵蒐性能也有影響;對於水下武器的發射與精準度也有影響;且海洋內波可以暴露潛艦的位置與行蹤。因此,本節分別從海洋內波對潛艦航行安全、水中武器裝備等幾個方面説明海洋內波對海軍作戰的影響。19

一、海洋內波對潛艦航行安全的影響

潛艦長度通常是100公尺左右,不同潛艦的長度差別不大,所以基本上可以用100公尺來代表潛艦的船長長度。根據上節所述之「內波的分類」,內波波長變化範圍較廣,從幾十公尺到幾千公尺,差別甚大,且不同波長的內波對潛艦的影響也是不同的。潛艦在水中是絕大部分是處於航行狀態;因此,本節以不同內波頻率來分析海洋內波對潛艦航行安全方面的影響。

(一)對潛艦操作性與穩定性的影響

當潛艦遇到波長為幾十公尺或更短的短波長 海洋內波(高頻內波)時,根據海洋內波的傳播



圖5 臺灣西南海域ERS-1衛星SAR影像。本圖取自http://gis.tcgs.tc.edu.tw/resources/news/viewtopic.asp?id=3130

特性,這類內波更傾向於水平傳播。由於船長的尺度遠大於內波波長,這時海洋內波主要是使潛艦產生幅度較小的上下 簸,就像車子行走在石子路上是一樣的,但此種上下 簸容易對艇體及其附屬結構與裝備造成損害,同時也會產生艦體「中拱」、「中垂」現象,嚴重時會造成艦體斷裂(圖6)。當背景內波場的頻率與潛艦固有頻率產生共振時,潛艦會受到最大的波致垂向力(wave-driven vertical force),容易發生解體事件。

當潛艦遇到波長為幾百公尺到幾千公尺的低頻海洋內波(如慣性內波)時,對於一個正常航行的潛艦而言,由於這時內波波長遠大於潛艦長度,潛艦僅隨海洋內波略有起伏,但比較平穩,隨著內波波峰的到來,內波有使潛艦向上或向下運動的趨勢,無論是存在向上還是向下的作用,潛艦航行的動力都足以克服這種趨勢並保持在同一深度航行,但這仍會對潛艦操作產生一定的影響。

當潛艦遇到或接近波長為船長2倍的海洋內波時(中頻內波),內波對潛艦的直接影響較大並且可能會出現危險。這類內波通常是非線性的內孤立波,其波長是幾十公尺到幾百公尺。正常航速行駛的潛艦隨內孤立波的起伏就比較大(波峰經過時,從上仰到下俯),並產生較劇烈的上下簸和左右晃動。另外,通常內孤立波的週期較短,從幾分鐘到幾小時,潛艦在短時間內的運動速度不容易被控制,若應對措施不當,就容易發生意外。

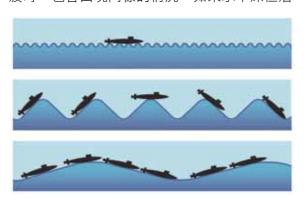
(二)對潛艦隱蔽性與安全性的影響

高頻內波與低頻內波對潛艦隱蔽性的影響不

O44 O45

大,主要是此類內波不會使潛艦產生過大的起 伏;但是內孤立波則不同,由於其波高往往較 大,且其波長也與船的長度接近,會產生大的 顛簸,並推著潛艦行進;這時,如果温躍層較 淺(接近水面),且內孤立波是傾斜向上傳播 的,潛艦就很容易會被拋出水面,顯露行蹤(圖 7)。

另外,當潛艦遇到傾斜向下傳播的內孤立 波時,也會出現同樣的情況。如果水不深但潛



不同內波對潛艦的影響。圖(上)是當潛艦遇到波長為 高頻內波;圖(中)是當潛艦遇到波長為中頻內波;圖(下)是 當潛艦遇到波長為低頻內波的情形。資料來源,作者自繪。

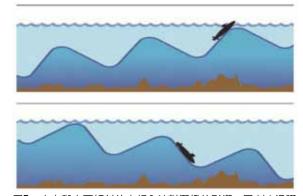


圖7 向上與向下傾斜的中頻內波對潛艦的影響。圖(上)溫躍 層接近水面,且內孤立波是傾斜向上傳播,潛艦會被拋出水 面,顯現行蹤;圖(下)潛艦潛入深度較深,當遇到傾斜向下 的強內孤波時,會在波谷經過時下俯而觸底或超過極限下潛 深度,造成艦毀人亡。資料來源:作者自繪。

艦潛入深度較深,當遇到傾斜向下的強內孤波 時,會在波谷經過時下俯而觸底或超過極限下 潛深度, 造成艦毀人亡。然而在界面附近活動 的潛艦,當內波通過時也具有危險性;因為潛 艦會被內波帶著往下沉或向上升,潛艦的浮沉 系統為補償內波所造成的升降,會讓潛艦朝相 反的方向運動, 若操作不當也就可能浮出水面 或撞到海底。

1963年11月10日,美國海軍「長尾鯊 (Thresher)」號潛艦在大西洋距波士頓港口350 公里處突然沉沒,事後美國海軍對沉入海底殘 骸推行分析判斷,下沉的原因是潛艦在水中遇 到了強烈的內波,將其拖拽至海底,因艦體承 受不了超級限的壓力而破碎,這就是內波垂直 下降作用力的後果。因此要避開內波,只有運 動速度超過內波的行進速度,加上駕駛的專注 力,才能避免被「吸住」。另外,1968年1月9 日以色列海軍「達喀爾(Daker)」號潛艦在地中 海遇到內波;1969年2月11日美國海軍「杳博 (Chopper)」號潛艦在古巴海岸執行任務也遇到 海洋內波(圖7),20二者同樣是沉沒。

二、海洋內波對水中武器裝備的影響

(一) 對聲納性能的影響

海洋內波對聲波行進影響很大。在低頻遠距 離聲納中,由於海洋內波的存在,使得整個聲 納系統的性能受到很大的影響,某些地點信號 可能增強,某些地點信號可能減弱,對有用的 **聲納反射信號產牛了很大的干擾。**

高頻內波的振幅雖然小於內孤立波的振幅, 但其波長、周期都較短;聲納的實際作用距離 通常並不長,通常是幾萬公尺,因而聲納接收

信號的時間間隔也是從幾分鐘至幾十分鐘,即 使在這麼短的時間間隔中, 聲納也能經歷幾個 周期的高頻內波,因而產生幾次大的折射,造 成聲能損失;由於高頻內波隨機性很強,波動 變化並無規則可循,這會造成大量聲波的散射 或損失。

相對於高頻內波,中頻內孤立波波幅大、周 期長、波長也較長,但隨機性不強;因此,此 種內波會造成聲波折射變化大與散射損失小。 內潮波波幅小於內孤立波, 而波長確長於內孤 立波,並且隨機性也很弱,因此,它對聲納的 影響比內孤立波小。另外,高頻內波在海洋中 的存在較 普遍,而內潮波及內孤立波僅屬於陸 坡的近海海域。因此,在影響聲納裝備性能的 海洋內波,是以高頻內波為主。

(二) 對潛射魚雷的影響

內波除了對潛射魚雷的聲納性能影響外, 海洋內波尤其是大振幅海洋內孤立波也影響魚 雷發射性能、航向和姿態控制等。大振幅的海 洋內孤立波會產牛空間分佈不均匀、突發性的 強流,流場最大流速可達2.5m/s以上。在魚雷 的導航定位中,海流對其座標位置的影響是一 個主要因素。魚雷的航行的定位主要是利用魚 雷速度、航向和深度等參數綜合解算獲得的, 這些參數直接影響到位置的精確度。若流速較 高,則對位置坐標有較大影響,進而影響到導 航。因此,在海洋內波多發區中使用魚雷,一 般而言,是難以有效命中目標。

(三) 對潛射飛彈的影響

水下潛艦發射的飛彈時,在水下運動中及 出水時會遇到種種干擾與限制,這些干擾與限 制主要有發射潛艦的航速和搖擺運動、發射水 深、海流、風浪、湧浪以及海洋內波等。由於 飛彈
在水下
處於無控飛行狀態, 要求出水姿態 越小越好,而飛彈出水姿態隨發射潛艦的航速 增大;因此,在發射潛射飛彈時,要求潛艦速 度儘量低,但速度低,使潛艦操縱變得困難, 且穩定性變差,所以在發射潛射飛彈時,通常 是在保持艇體穩定(平衡)的狀況下選擇低速。 潛艦的搖擺和升沈運動也是水下發射飛彈時不 可忽略的干擾。此外,海流、波浪及發射水深 也對潛射飛彈的發射也有影響。

海洋內波對水下潛艦發射飛彈的影響主要在 兩個方面,一是影響潛艦的穩定性和操縱性, 進而影響飛彈的發射;另一方面是產生大的海 流流切(shear current)²¹, 進而影響到艦體本 身的安全。前述已説明海洋內波對潛艦穩定性 及操控性的影響,也指出高頻內波及低頻內潮 波對潛艦航行影響較小,唯內孤立波(中頻內 波)對潛艦航行影響較大。但也説明了影響潛艦 航行安全的海洋環境因素,也影響潛載武器的 使用。因此,海洋內孤立波多發的區域,顯然 不適合於水下潛射飛彈的發射。原因之一是高 達數十公尺甚至上百公尺波高的海洋內孤立波 所產生的升沈及搖擺運動,可能會使潛射飛彈 發射完全失效。

第二個原因是潛艦水下發射飛彈時, 確保 準確率要求低航速、<a>高穩定性,而潛艦的這種 作戰姿態在內孤立波多發區是很難保持的。因 為強內孤立波的波陡較大,慢速移動的潛艦很 難在內孤立波存在區保持穩定。因此,在海洋 內孤立波存在的區域,難以確保飛彈良好的出

046 內波與海軍作戰 047 水姿態從,進而無法保證其準確率;第三, 海洋內孤立波會產生流速很大的垂直向流切 (shear),也就是工程力學界所説的「剪力」, 對飛彈的彈道和俯仰、偏航、滾動的影響很 大,尤其是海洋內孤立波所導致的不均匀流場 的流速遠大於一般海流的流速,因而所導致的 影響可能非常大。因此,海洋內孤立波對潛艦 水下發射飛彈的影響甚大,海洋內孤立波多發 區基本上不能進行水下飛彈發射。

相對於海洋內孤立波,海洋高頻內波振幅不大,但是其振幅也達幾公尺至幾十公尺,這種振幅的內波對水下活動的潛艦仍然會產生較大的搖擺、顛簸,影響潛艦的穩定性和操控性,進而影響潛射的準確率。但是,由於在自然海洋環境中海洋高頻內波的存在較 普遍,因此,不能忽視海洋高頻內波對潛射飛彈準確率的影響。

(四) 對水雷使用的影響

海洋內波對水雷的影響:聲自導水雷是利用 聲納來做目標搜索、識別與定位,由於高頻內 波會造成聲波傳播損失,改變聲波傳播方向, 因此對聲自導水雷的準確性產生一定程度的影響。

海洋內波對飄雷的影響:漂浮在水面的漂雷 受波浪影響很大,但漂浮在一定深度的漂雷則 可能受海洋內波影響較大,這與海洋內波對潛 艦的影響類似。當大振幅的內孤立波傳到飄雷 區域時,內孤立波波峰經過處會托起飄雷甚至 使飄雷露出水面從而暴露飄雷行蹤;內孤立波波谷會使飄雷下沉到很深處,使飄雷的攻擊作 用失效。

海洋內波對繫留雷(錨雷)的影響:在水中的 繫留雷,會因海洋內波的作用下會發生雷體垂 直升降、水平運動,以及雷索的震動。垂直升 降可能會使水雷浮出水面(如果雷索長度大於水 深的話)或沉到比其預設深度更深處;水雷向淺 水的水平運動也會產生同樣效果;雷索震動可 能會將雷索拉斷。

三、海洋內波對海軍作戰的影響

(一)對水面艦作戰的影響

當水面艦船搜索潛艦時,主要使用的裝備 是聲納。聲納裝備是借助於發射、接收聲波確 定目標的,由於海洋內波會造成聲波的傳播損 失,減小聲納作用距離,從而影響潛艦目標的 搜索。對潛攻擊時,主要是通過聲納裝備確定 潛艦的位置及運動要素,發射的魚雷也是借助 聲納來完成目標定位的。海洋內波的存在導致 聲速起伏,進而影響聲納定位準確性,降低對 潛艦攻擊準確率。

(二)對潛艦作戰的影響

潛艦作戰是指潛對潛作戰。潛艦的作戰能力決定於其隱蔽性、作戰半徑、自給力、機動性及使用強度等因素。潛艦主要活動於水中,必然會受到發生在海洋內部的內波的影響。依上述的分析得知,大振幅的海洋內波波動會影響潛艦的航行安全;海洋內波會引起聲速起伏,影響聲納的裝備效能;海洋內波也從多方面影響艦 武器的使用。從以上幾點來看,內波必然影響潛艦作戰能力的發揮。

潛艦的一個重要特性-隱蔽性,是執行潛艦任 務時最重要優勢。但是,大振幅內孤立波對於 在潛行深度不夠深的潛艦來說,極可能破壞其 隱蔽性,暴露其行蹤,也會影響到了潛艦的生 存安全,當然也削減其隱蔽突襲的作戰能力。

海洋內波對潛艦使用聲納影響很大,主要是 使聲能的傳播損失增大,減低聲納有效距離, 從而降低潛艦搜索目標的能力;海洋內波導致 聲速起伏而影響聲納定位能力。聲納作為潛艦 活動的「眼睛」,它的目標搜索及定位能力的 降低,必然影響到潛艦作戰能力的發揮。

潛艦布雷的主要講求是隱蔽、安全、準確和所布水雷難以被敵方知悉。「隱蔽」是要求潛艦隱蔽進入布雷海域,隱蔽布設水雷,使敵方艦船在被水雷毀傷之前難以發現。「安全」是指潛艦布雷用於對付敵水面艦艇時,布設區水深較淺,潛艦在淺水區機動,必須採取各種措施,避開敵方反潛兵力和防潛器材的阻擾,確保布雷行動的安全。「準確」是指潛艦艦長要

準確地執行布雷計劃,準確地抵達布雷地點, 準確地布設水雷等。

但是海洋內孤立波,就對潛艦的安全性和 隱蔽性產生很大影響。由於潛艦布雷的水域往 往是水深較淺的水域,這種水域可能也是海洋 內波活躍的區域,如果是內孤立波多發區,大 振幅的內孤立波既可能將潛艦拖入海底造成安 全事故,也可能將其拋出水面破壞隱蔽性。因 此,潛艦布雷時,除了要注意反潛裝備對潛艦 活動的可能威脅外,自然環境因素的海洋內波 所造成的潛艦安全性及穩定性的破壞作用,是 絕對不能忽視的。

(三)對反潛作戰的影響

自然界海洋中的海水大多是穩定且層化的 (stable and stratified),而其內部被擾動 後的恢復力(重力)是一個平衡力,目的就是要 把海水再帶回「穩定且層化」的海水。根據海洋內波生成的基本條件可知,一個不大的擾動 也能於引起不小的內波;因此,水下運動的物體(如潛艦),也可作為一個擾動源而激發出內波。學界把這種由潛艦這類水下運動物體所產 生的內波,稱之「潛生內波」。

以一定速度在層化流體中運動的物體,包括水面艦和水下的潛艦,在其尾部都會激發出一個尾流區域(一般稱為「尾跡」)。水面艦表面波尾流和潛艦內波尾流均有為尾 的中央湍流區(turbulent wake)和兩側的「V」字型的波峰線(cusp wave)。表面波尾流為海水表面的壓力擾動,一般為橫波(波峰線與船隻運動的方向垂直)和散波(波峰線由船向外輻射),以及湍流(圖8)。圖9是水面艦表面波尾流的中央湍流區

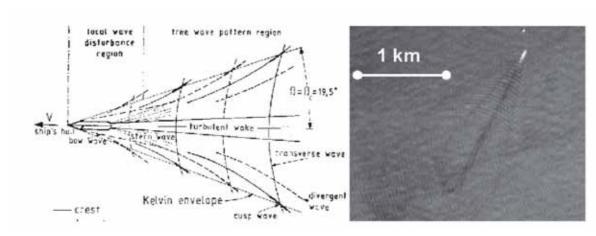


圖8 水面艦表面波尾流的中央湍流區和兩側的「V」字型的波峰線。圖(左)是水面艦表面波尾流理論圖;圖(右)衛星中的 SAR所拍到水面艦尾跡。資料來源:http://www.crisp.nus.edu.sg/-research/shipwakes/shipwakes.htm

和兩側的「V」字型的波峰線。在層化海水下運動的潛艦,同樣會產生尾 ,但層化作用會將潛艦尾 激發的各種擾動,並以內波的形式向各個方向傳播,產生極其複雜的物理圖案。²³



圖9 水面艦表面波尾流的中央湍流區和兩側的「V」字型的波峰線。資料來源:http://blogs.militarytimes.com/scoopdeck/2010/02/25/next-big-surface-ship-flight-iii-ddg/

艦的蹤跡,甚至可以判別深度與潛艦大小。這種「表面」內波現象,突破聲學和其他非聲學(磁性偵潛、重力偵潛)偵潛的侷限,已成為各國軍方關注的焦點與研究的方向。

參、結論

歷來對學者對海洋的研究,大多以海水表面的波、流為主,甚少探討水下的海水物理性 質。近年來,因為海洋與衛星科技的進步,開

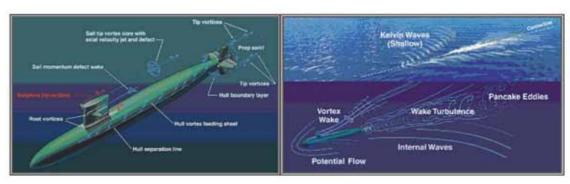


圖10 圖(左)潛艦在水中,整個艦體都會產生波紋;圖(右)潛艦在水中所產生的波紋,與水面艦截然不圖。資料來源: http://www.continuum-dynamics.com/solution-hn-overview.html

始對深層的海水進行研究,並發現海洋分層 現象和內波環境。真實的海洋是嚴重密度分層 的,垂直分層為主,也存在水平分層;而這垂 直分層的海水一但受到外部擾動,是很容易產 生內波。內波是海洋一項重要的水平與垂直海 水運動,它將海洋上層的熱能傳至深層,又把 深層較冷的海水與營養鹽帶到表面水層,促進 生物的生息繁衍。

同樣地,在任何海域執行任務的潛艦都會面 臨複雜的海洋分層和內波環境因素;因此,潛 艦在海中的作戰環境並非理想,而是相當有風 險的。根據統計,潛艦的海事案件並非都是戰 損的;自1851年至2005年,國外柴油潛艦海事 案件共309件,沉船150艘;核潛艦事故78件, 沉船6件(以上皆不包含中共與其他共產國家)。 自二次大戰後60年(1946-2005年),潛艦事故 147件(其中包括核動力潛艦12件),共沉船29 艘。²⁴很慶幸的,潛艦事故有大幅減少的趨勢。 但以柴油潛艦海事案件309件而言,215件與 海洋環境有關(海流、水深、水壓、海底地形 等);以核潛艦事故78件而言,42件與海洋環境 有關。 我國周邊海域東北角與南部海域是內潮波與內孤立波(中頻內波)的多發區,對我潛艦航行與作戰有嚴重影響與限制;換個角度想,東北角與南部海域是中頻內波何嘗不是一種「海洋環境武器」,可以阻止中共潛艦到這海域來。我海軍主戰場環境就在臺灣周邊海域,惟有我們比中共更了解臺灣周邊海域的海洋物理機制與持久的戰場環境經營,才有反制的力量,也才能使中共海軍因不了解海域特性,而不敢或無法前來。

英國皇家海軍戰爭學院嘉德納(Gernard)教授在其一篇「敵乎?友乎?海洋在反潛作戰中的角色」文章中斷言指出(在全球各國近100年反潛作戰戰史研討會中所作的結論):「反潛作戰中對於海洋環境了解的重要性絕對不下於對潛艦裝備的認識。海洋的不透明性有利於潛艦,但也有其他的海洋物理性質是對雙方互有限制的,因此反潛作戰的第一守則就是不要面對海洋與潛艦兩個敵人,應該先了解海洋環境的利弊,驅吉避凶,化環境阻力為助力」。²⁵因此,一位海軍軍官對海洋環境的物理特性不夠瞭解,將注定海軍作戰失敗的命運。

- 1 毛正氣,濱海環境作戰參數與海戰場環境即時預報模式,國防雜 誌,22券 3期,頁6-32。
- 2 維基百科:重力波(gravity waves)在流體力學,是在液體介質內或兩種介質界面間(例如大氣與海洋間)的一種波,其恢復力來自於重力或浮力。當一小團液體離開液面(界面類型)或者在液體中到了一個液體密度不同之區域(液體內類型),透過重力作用,這團液體會
- 3 以波動形式在平衡態之間擺盪。在液體介質內的類型又稱為內波, 在兩界面間的類型又稱為表面重力波或表面波。海浪及海嘯也是重 力波的一種表現。資料來源:http://zh.wikipedia.org/wiki/

海水狀態方程 -海水的現場密度略大於1。在海洋學中常用現場條件密度 σ STp=(-1)×103。在大氣壓p=0條件下的密度,稱為條件密度 σ Tr 現場比容 σ STp和現場密度成反比,即海水狀態方程。同理,現場條件比容VSTp和條件比容VT分別為=(-0.9)×103。公尺勒羅等人按新鹽標計算實際鹽度S,並提出了新的狀態方程式,並寫成在一個標準大氣壓 (p=0)下的海水密度可由下列方程確定;式中 ρ w為基準純水密度,K0和K分別為大氣壓下和壓力為 ρ 時的正割體積彈性模量,其中,

K0=Kw+fS+gS3/2

A=Aw+iS+j0S3/2

R=Rw+m

式中下角標W代表純水的量; Kw、Aw、Bw、pw、b、c、f、g、i、m都是和温度有關的係數; d0和jw為常數(見表)。此方程式的準確度相當高,能計算出某些熱力學參數,已被聯合國教科文組織的海洋學常用表和標準聯合專家小組第九次會議採納,並向全世界的各海洋學技術組織和學者推薦使用。它的適用範圍為:温度-2~40°C,壓力0~1000巴,鹽度0~42。

- 4 張為華、湯國建、文援藍、張洪波、羅亞中、朱彥偉、尚洋,2012,戰 場環境概論,科學出版社,北京。
- 5 百度百科http://baike.baidu.com/view/135485.htm
- 6 孤立波最早是由約翰羅素 (John Scott Russell) 於1834 年觀測並命名,科特韋格 (Diederik Korteweg) 與德弗里斯 (Gustav de Vries) 於1895 年提出理論並求得解析解,他認為因其作用力中之非線性效應與消散項平衡,使得此波動可以傳播相當遠的距離而不散失其能量。由於孤立波除了有波動性質外,也具有類似粒子的行為,近似光具有波動性與粒子性,故贊布斯基 (Norman Zabusky)與克魯斯卡 (Matin Kruskal) 於1965 年模仿光子的命名,而將孤立波命名為孤立子 (soliton)。
- 7 維基百科:線性linear,從數學上來講,是指方程的解滿足線性疊加原理,即方程任意兩個解的線性疊加仍然是方程的一個解。線性意味著系統的簡單性,但自然現象就其本質來說,都是複雜的、非線性的。所幸的是,自然界中許多現象都可以在一定程度上近似為線性。傳統的物理學和自然科學就是為各種現象建立線性模型,並成功獲得解答。而隨著對自然界中各種複雜現象的深入研究,越來越多的非線性現象開始引起科學家的注意。非線性即non-linear,是指輸出和輸入不是成正比例的情形。自變量與變量之間不成線性關係,成曲線或拋物線關係或不能定量,這種關係叫非線性關係。「線性」與「非線性」,常用於區別函數γ = f(x)對自變量x的依賴關係。線性函數即一次函數,其圖像為一條直線。其它函數則為非線性函數,其圖像不是直線。http://cg2010studio.wordpress.com/2013/03/13/。

8 維基百科:在氣象學,李氏波是大氣中的駐波。最常見的形式是山波,這是大氣內部的引力波,由兩位德國滑翔機飛行員在1933年發現的。李氏波的週期與強度是依大氣壓力、温度和正高電流的空氣所造成的垂直位移大小而定;當風吹拂過高山或山脈時,越山氣流形成湍流或渦旋,旋轉軸並平行於山脈,並生成波動,後面氣流不斷越山,推著波動往前形進。資料來源:http://en.wikipedia.org/

9 wiki/Lee_wave

楊穎堅,2013,南海的巨大振幅內孤立波,科學月刊,第528期,102年 **10** 12月。

Hsu, M.-K., A. K. Liu, C. Liu, 2000, A study of internal wave in the China Seas and Yellow Sea using SAR.

- 11 Continental Shelf Research, 20, pp. 389-410.
- 2 同註10。
- 13 毛正氣,2014,海軍軍官應知的臺灣東北角海域,寫作中。
- **14** 同註10。
- **15** 同註10。
- 16 同註10

Wang, D.-P., 2012. Diurnal modulation of semidiurnal internal tides in Luzon Strait,Ocean Modelling, 59-

17 60(2012), 1-10.

蘋果日報·臺美攜手揭海底大風暴—南海發現最大百公尺內波 衝 18 擊潛艦。2007年11月9日。

Wang, Y.H., C.F. Dai and Y.Y. Chen, 2007. The physical and ecological processes of internal wave on an isolated reef ecosystem in the South China Sea. Geophysical

19 Research Letters, 34

蔣國榮、張軍、施偉來、劉群燕,2009,海洋內波及其對海戰的影

20 響,氣象出版社,北京。

21 同註19。

流切(Shear flow)是指上下兩層海水·流向與流速完全相反。潛艦水下航行時,如遇到流切·很難保持水中的位置與艦體的平衡,會造

22 成飛機操作上的困難,甚至於浩成海難事件。

當輕(低鹽或高温)的海水漂浮在相對 較重(高鹽或低温)的海水之上時·海洋上層便呈現密度分層的情形,此時有利於產生內波。船行這種水域,往往因為產生內波之尾跡而損失能量,致使船速變慢,早期由於不明瞭此現象因此造成船員恐慌,稱此為死水(Dead Water), Fridjof-Nansen在北極探測時便發現此現象(Nansen 1902),隨後Ekman(1906)以實驗証明和內波的關係。水下內波可以使近海面之水流形成帶狀的輻合或是輻散區,海面漂浮的 物體便會在輻合區內排列成行。資料來源:http://w3.oc.ntu.edu.tw/chap7/

23 chap7.htm

潛艦尾跡波紋包括:內波尾跡、漩渦尾跡、凱文波尾跡、湍流尾跡、 氣泡尾跡及電場尾跡等,並非如水面艦的尾跡來得單純。90年代,美 國已能透過衛星之中的海洋衛星合成口徑雷達(SAR),尋找各國出巡 的潛艦;近年來,中共也透過其衛星中的SAR,掌握各國潛艦在海上 的動態。資料來源:中國船舶重工集團公司編著,2007年。海軍武器

- 24 裝備與海戰場環境概論,海軍出版社,北京。
- 25 同註19。

陳企韶譯,「敵乎?友乎?海洋在反潛作戰中的角色」,1998,海軍學 術月刊,第32卷第11期,民國87年11月。

參考資料

- 1 Chuang, W.-S., and W. D. Liang, 1994: Seasonal variability of instruction of the Kuroshio water across the continental shelf northeast of Taiwan. J. Oceanogr., 50, 531-542.
- 2 Chuang, W.-S., H.-W. Li, T. Y. Tang, C.-K. Wu, 1993: Observations of countercurrent on the inshore side of the Kuroshio northeast of Taiwan. J. Oceanogr., 50, 581-592.
- 3 Du, Tseng, Y.H., and Yan, X.H.(2008), 'The impacts of tidal currents and Kuroshio intrusion on the generation of nonlinear internal wave in Luzon Strait,' Journal of Geophysical Research Ocean, VOL. 113, C08015, doi:10.1029/2007JC004294, 2008.
- 4 Hsu, M.-K., A. K. Liu, and C. Liu, 2000: A study of internal wave in the China Seas and Yellow Sea using SAR. Cont. Shelf Res., 20, 389-340.
- 5 Johns W. E., T. N. Lee, D. Zhang, R. Zantopp, C.-T. Liu and Y. Yang, 2001: The Kuroshio east of Taiwan: Moored transport observations from the WOCE PCM-1 array. J. Phys. Oceanogr., 31, 1031-1053.
- 6 Kuperman, W. A., and J. F. Lynch, 2004: Shallow-water acoustics. Physics Today, 57, No. 10, 55-61.
- 7 Liang, W.-D., T. Y. Tang, Y. J. Yang, M. T. Ko, and W.-S. Chuang, 2003: Upper-ocean current around Taiwan. Deep-Sea. Res. Part 11. 50. 1085-1105.
- 8 Liu, C.-T., 1983: As the Kuroshio turns: (1) Characteristics of the current. Acta Oceanogr. Taiwanica, 14, 88-95
- 9 Nitani, H., 1972: Beginning of the Kuroshio. In Kuroshio, Eds. by H. Stommel and K. Yoshida, 129-163, University of Tokyo.
- 10 Niwa, Y. and T. Hibiya, 2004: Three-dimensional numerical simulation of the M2 internal tides in the East China Sea, J. Geophys. Res., 109, C04027, doi:10.1029/2003JC001923.
- 11 Tang, T. Y., and W. Z. Tang, 1994: Current on the edge of continental shelf northeast of Taiwan. Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences, 5, 335-348.
- 12 Tang, T. Y., and Y. J. Yang, 1993: Low frequency current variability on the shelf break northeast of Taiwan. J. Oceanogr., 49, 193-210.
- 13 Tang, T. Y., J. H. Tai, Y. J. Yang, 2000: The flow pattern north of Taiwan and the migration of the Kuroshio. Cont. Shelf Res., 20, 349-371.
- 14 Tang, T. Y., W. D. Liang, Y. J. Yang, and W.-S. Chuang, 2003: Kuroshio instruction in the Luzon Strait. J. Phys. Oceanogr.
- 15 Tang, T. Y., Y. Hsueh, Y. J. Yang, and J. C. Ma, 1999: Continental slope flow northeast of Taiwan. J. Phys. Oceanogr., 29, 1353-1362.
- 16 Wang, D.-P., 2012: Diurnal modulation of semidiurnal internal tides in Luzon Strait, Ocean Modelling, 59-60(2012), 1-10.
- 17 Wu, Chau-Ron, H.-F. Lu, S.-Y. Chao, 2008. A numerical study on the formation od upwelling off northeast Taiwan. J. Geophys. Res., 113, C08025, doi:10.1029/2007JC004697.

- 18 Yang Y., C.-T. Liu, J.-H. Hu and M. Koga, 1999: Taiwan Current (Kuroshio) and impinging eddies. J. Oceanogr., 55, 609-617.
- 19 Yang, Y. J., T. Y. Tang, M. H. Chang A. K. Liu, M.-K. Hsu, and S. R. Ramp, 2004: Soliton northeast of Tung-Sha Island during the ASIAEX pilot studies. IEEE J. Oceanic Eng., 29, 1187-1199.
- 20 Zhang D., T. N. Lee, W. E. Johns, C.-T. Liu and R. Zantopp, 2001: The Kuroshio east of Taiwan: Modes of variability and relationship to interior ocean mesoscale eddies. J. Phys. Oceanogr., 31, 1054-1074.
- 21 中國船舶重工集團公司編著,2007年。海軍武器裝備與海戰場環境 概論,海軍出版社,北京。
- 22 毛正氣,海水的物理特性,海軍軍官雙月刊,17卷3期,民國87年6 日。
- 23 毛正氣,濱海環境作戰參數與海戰場環境即時預報模式,國防雜誌,22卷 3期,頁6-32。
- 24 李磊,2002。海洋戰場環境概論,兵器工業出版社,北京。
- 25 柯銘澤, 2001: 臺灣周圍的流場. 國立臺灣大學海洋研究所碩士論文. PP 78.
- 26 孫文心、李鳳歧、李磊,2011。軍事海洋學引論,海軍出版社,北京。
- 27 馬嘉昌, 1995: 臺灣北部與陸棚邊緣的夏季流場. 國立臺灣大學海 洋研究所碩十論文. PP 82.
- 28 國家海洋科學研究中心, 2000: 1999年海洋資料圖集. 行政院國家 科學委員會與國立臺灣大學共同發行, pp. 144.
- 29 張為華、湯國建、文援藍、張洪波、羅亞中、朱彥偉、尚洋・2012,戰場環境概論,科學出版社,北京。 30 許光明、劉安國・2010、神秘的巨浪-南海內波,科學發展,第446期,
- 2010年2月, 31 陳介韶,簡介海水層次深度及其變化,海軍軍官,11卷5期。民國81年
- 32 陳企韶譯,1998,「敵乎?友乎?海洋在反潛作戰中的角色」,海軍學術月刊,第32卷第11期,民國87年11月。
- 33 陳伯姿、2006、臺灣東北部海域的黑潮、中正學報第八期。臺灣、高
- 35 湯文慈, 1993: 臺灣東北大陸棚邊緣之流場. 國立臺灣大學海洋研
- 究所碩士論文, PP 107. 36 楊穎堅,1993,臺灣周邊海域流場,海軍軍官季刊,22卷4期。 楊穎堅,2009,海洋內波簡介,海軍軍官,28卷,3期。98年8月。
- 37 楊穎堅·2013,南海的巨大振幅內孤立波,科學月刊,第528期,102年 12月。
- 38 熊學軍,2012。中國近海海洋一物理海洋與海洋氣象,海軍出版社,
- 39 蔣國榮、張軍、施偉來、劉群燕,2009,海洋內波及其對海戰的影響,氣象出版社,北京。
- 40 盧鴻復,2004,碩士論文,臺灣東北角海域模式流場分析,國立臺灣 師範大學地球科學研究所,臺灣,臺北。
- 41 戴仁華, 1998: 臺灣北部流場與黑潮的擺動. 國立臺灣大學海洋研究所碩士論文, PP 43.
- 42 戴昌鳳,2003:臺灣的海洋。台北縣遠足文化事業有限公司。臺灣, 亳北。
- 43 羅建育,2004,臺灣周邊海域海底地形之概述,海軍軍官季刊,23卷3期,民國93年7月)。

 $\mathsf{O}52$