

# 水面艦艇對艇跡自導魚雷之反制研究

Research of the Countermeasures of Surface Ship Against Wake Homing Torpedo

林澄貴 Lin Cheng-Kuei

提 要：

- 一、基於艇跡自導魚雷的自導原理，分析了艇跡自導魚雷在作戰使用上的技術優勢例如：抗干擾能力強、適宜高速運作、對選定目標的偵獲率高；分析其戰術限制性：應有可攻目標類型及速度受限、魚雷航程損失大，與線導結合困難、對機動目標攻擊效果較差。文中也探討到魚雷武器發展和作戰使用時應依據潛艇的作戰使命與戰術需要合理配置及選擇各種自導方式。
- 二、艇跡自導魚雷反制措施是當前備受重視的一個研究重點，全面總結國外對抗艇跡自導魚雷的軟殺、硬殺和非殺等三類措施的具體實施方法和相應技術裝備，分析其各自的優缺點，進而得出我軍今後對抗艇跡自導魚雷應該重視的發展方向，期以提高我軍水面艦艇的戰場生存能力。

關鍵詞：艇流聲自導器、艇流磁自導器、人造艇流干擾彈、火箭式深水炸彈、反魚雷魚雷、機動迴避

Abstract

1. Based on homing mechanism of wake-homing torpedo, such as stronger counter-countermeasure, higher speed and higher target acquisition probability for selected target. It also analyses the limitations in tactics, such as limited attacking speed and the types of attackable targets, greater loss in torpedo range, difficult combination with wire-guidance, and inaccurate attack on moving targets. Moreover, the paper discuss that homing be rational configured and selected according to mission and tactical requirement of submarine with development and operational application of torpedo

weapon.

2. The researches of countermeasure technology against wake-homing torpedo have been paid much attention. The paper summarized the methods and equipments of soft-kill, hard-kill and non-kill of each technology as well. On the basis of this analysis, the development direction of those technologies was proposed, improve the battlefield viability of our surface warship.

Keywords : Acoustic wake-homing device、Magnetic wake -homing device、Artificial wake decoy、Rocket-assisted depth charge、Anti-torpedo torpedo、Maneuver elusion

## 壹、前言

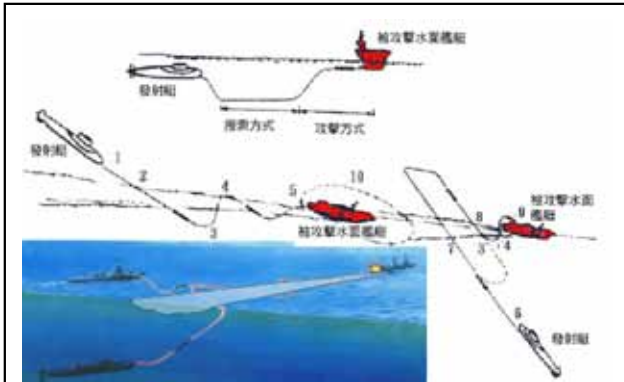
魚雷做為一種重要的水中武器，歷經了直航、自導到線導加末端自導的發展過程。第二次世界大戰以後，隨著各種海上作戰載台技術裝備的進步，戰術思想也隨之發生重大改變，也促使音響自導魚雷迅速發展，由被動聲自導發展為主動聲自導以及主/被動聯合聲自導，直至依賴各種水中音響技術的智能化自導，形成了性能先進的魚雷聲自導技術。

由於魚雷致命的水下破壞力，致使防禦方大力發展對魚雷及其發射載台的防禦措施。各種海上作戰載台過去那種單靠機動擺脫或迴避來襲魚雷的辦法在今天已經無法奏效，取而代之的是利用各種水中音響對抗器材對其進行干擾、迷惑及誘騙。因此，世界各國海軍都把海上作戰中消除魚雷的威脅集中於對魚雷的水中音響對抗上，從而導致各種水中音響對抗器材應運而生與大量發展，進而對音響自導魚雷的作戰功能出現了嚴重挑

戰。又加以音響自導魚雷所面臨的各種水聲環境複雜問題，迫使人們去開發新的魚雷自導方式，艇跡自導魚雷正是這種背景下的產物。

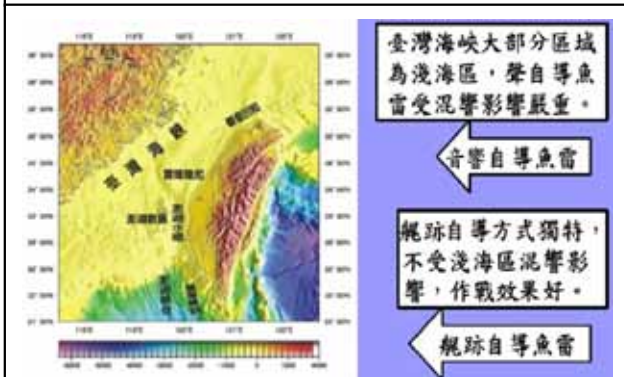
艇跡自導魚雷利用「追蹤艇流」的技術，可向在相當距離之外的敵水面艦隊實施攻擊，這種魚雷會搜索艦艇的艇流，一旦其水聲、磁場或光偵測器感測到水面艦艇艇流的左右邊界，它就會在該艇流範圍內蛇行前進，並以逐漸縮小範圍方式，向發出艇流的來源接近與攻擊，命中於艦艇的推進器及螺旋槳，其追蹤過程如圖一<sup>1</sup>，是以魚雷潛射方式攻擊敵方水面艦艇，發射前依據發射艇本身的各種被動聲納測定目標的初始方位，向目標艦艇方向發射魚雷如圖示1，魚雷以蛇行方式運動內部的艇流偵測器開始偵測目標艇流如圖示2，當未偵測到艇流後立即反轉航行如圖示3，重複2、3運動接近目標如圖示4，直到命中目標如圖示5，如有遺失目標後應立即採逆時針運動方式如圖示10，繞大圈回到目標艇流帶，再重複2、3運動接近目

註1：張承宗、吳鋒，〈前景無限的尾流自導魚雷〉，《現代艦船》，1999年，第3期，頁33-35。



圖一 艇跡自導魚雷追蹤水面艦艇之過程說明圖

資料來源：張承宗、吳鋒，〈前景無限的尾流自導魚雷〉，《現代艦船》，1999年第3期，頁33-35。



圖二 臺灣海峽地形分佈

資料來源：作者自繪。

標4，直到命中目標5；或以垂直艇流方向發射艇跡自導魚雷攻擊敵方水面艦艇如圖示6，偵測到艇流則開始搜索目標7，當發現目標8，同樣以2、3蛇行運動接近目標4，直到命中目標5。此種魚雷對水面艦艇的命中率在95%以上，比音響自導魚雷更具有較大的威脅，使得水面艦艇對現有之音響自導魚雷反制系統束手無策，是世界各國海軍公認目前最難對抗的水下武器。

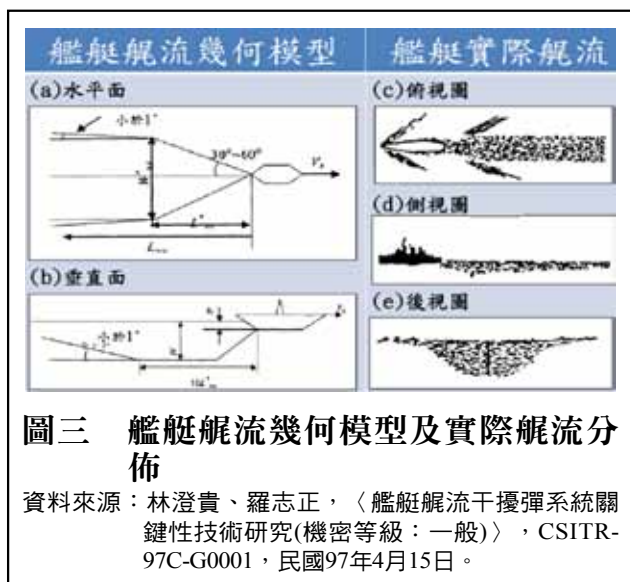
屬於淺水區的臺灣海峽，平均水深不到200公尺，淺水區複雜的混響嚴重影響到音

響自導魚雷的作戰效果，而艇跡自導魚雷由於其獨特的自導方式不受淺水區混響的影響(如圖二)，使得中共海軍潛艇已經大量裝備了艇跡自導魚雷，對我海軍水面艦艇造成極大的威脅。因此，必要從艦艇艇流特性、艇跡自導魚雷自導方式及其戰術優勢、使用限制，來探討對抗反艇跡自導魚雷之反制措施，期以降低水面艦艇被其攻擊的威脅率。

## 貳、艦艇艇流特性

航行中的水面艦艇由於螺旋槳旋轉的空化作用及其他原因，導致產生並在艦艇艇後的海水表層遺留下一定長度、寬度和厚度的艇流帶。艇流帶中含有大量不斷旋轉上浮的氣泡、污染物，並有溫度變異，它與毗鄰海水具有截然不同的聲特性、熱特性、光特性及其他特性。

水面艦艇航行產生的艇流強度與艦艇的噸位、船型、吃水深及其航行速度、螺旋槳空化作用與當時的海象等條件有關(如圖三)。而艇流帶中包含的氣泡的存留持續時間通常約為15-45分鐘，對於航行速度20節的中型水面艦艇來說，其航行產生的艇流帶長度至少在9,000公尺以上。水面艦艇航行產生的艇流寬度約為船寬的2.5倍，且隨著艦艇不斷地向前航行以較小的發散角逐漸向兩側擴散。水面艦艇航行產生的艇流帶厚度約為艦艇吃水的1.8-2.0倍。隨著艦艇不斷地向前航行，艇流帶中的氣泡將不斷上浮、破裂而使艇流的厚度逐漸變淺，強度也逐漸減弱，再加以風浪的攪拌作用，致使艇流逐漸消失。



艦艇有效艤流長度會受到不同海象的影響將有所不同。在一、二級海象條件下，通常可按 $(200-300)V_m$ 公尺估算艦艇有效艤流長度( $V_m$ 為艦艇航速，單位為 $m/s$ )；在三級海象條件下，通常可按 $180V_m$ 公尺估算艦艇有效艤流長度；在四、五級海象條件下，通常可按不大於 $120V_m$ 公尺估算艦艇有效艤流長度；在六級海象條件以上，由於海水表層本身就包括很多氣泡，以及在大風浪的攪拌作用下，不但使艦艇艤流帶的存留持續時間短，而且還會使艦艇艤流帶與毗鄰海水的界面變得十分模糊，而使魚雷艤跡自導器將難以識別、檢測艦艇航行產生的艤流帶。因此，艤跡自導魚雷通常只能在五級以下海象下攻擊水面艦艇，所以說對航行的中型水面艦艇而言，其有效艤流長度不小於 $1,000$ 公尺<sup>2</sup>。

### 參、艤跡自導魚雷自導方式

根據艤流產生存在的型式，艤流可分為氣泡艤流、磁艤流、熱艤流及放射性艤流等幾種類型。艤流區內的水聲學、熱學、電學、磁學等許多方面的物理特性與非艤流區等相應特性有明顯的區別，利用這些區別可以研製出各種原理的艤流自導器。目前研究及設想的艤流自導方式包括下列幾種：艤流聲自導、艤流磁自導、艤流光自導、艤流電阻抗自導、艤流熱自導、艤流光自導、放射性艤流自導等，其中艤流聲自導、艤流磁自導技術較為成熟，已應用魚雷自導系統。

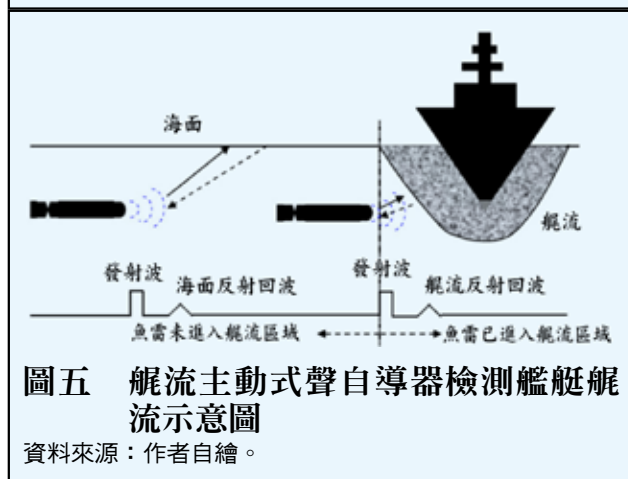
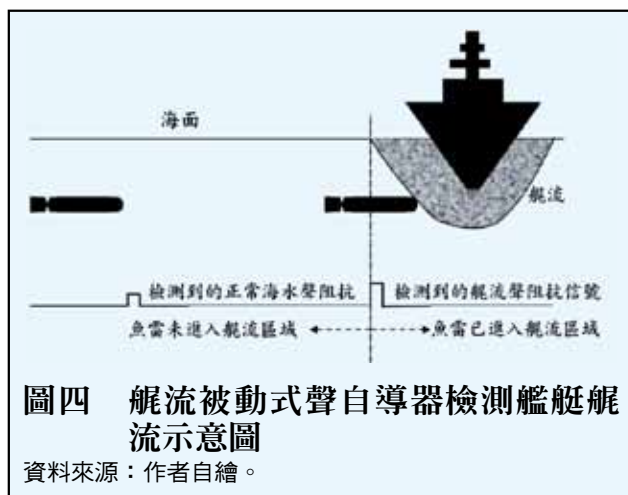
#### 一、艤流聲自導

魚雷艤跡聲自導器主要是利用目標艤流帶與毗鄰海水具有明顯不同的聲特性經檢測而識別、確認為目標艤流。目前檢測水面艦艇航行產生的艤流的魚雷艤跡聲自導器通常採用主動工作方式，也可採用被動工作方式。

##### (一) 被動式聲自導

被動式聲自導器設有檢測海水聲阻抗( $Z_s = \rho C$ ，其中 $\rho$ 為海水密度， $C$ 為聲波在海水中的傳播速度)信號的檢測裝置。系統控制魚雷發射出管後，在按系統計算及輸出設定的射擊諸元參數自控航行過程中，處於開機狀態的艤流自導器可隨時檢測正常海水的海水阻抗。當魚雷自控搜索航行穿越艦艇艤流層(一般而言，魚雷定深在艦艇艤流水層中)時，由於艦艇艤流中含有大量氣泡，此時檢測到的海水聲阻抗與正常海水的聲阻抗必有顯著的差異。鑑於艦艇艤流帶具有一定的寬度，因此，在一定時段內，若魚雷艤跡

註2：林澄貴、羅志正，〈艦艇艤流干擾彈系統關鍵性技術研究(機密等級：一般)〉，CSITR-97C-G0001，中華民國97年4月15日。



自導器連續檢測的聲阻抗值保持並超過設定的信號檢測門檻值時，即可識別並確認發現了艦艇航行所產生的艇流，艇流被動式聲自導器檢測艦艇艇流情形如圖四。目前服役已有美國MK45-2F反艦魚雷即屬於被動式艇流聲自導方式<sup>3,4,5,6</sup>。

## (二) 主動式聲自導

主動式聲自導器設有超聲波發射機與艇流信號接收機。系統控制魚雷發射出管後，

在按系統計算及輸出設定的射擊諸元參數自控航行過程中，魚雷艇流自導器適時開機工作，發射機不斷地向魚雷正上方發射超聲脈波，此聲脈波經海面反射的信號被接收機接收具有一定強度。當魚雷自控搜索航行經過艦艇艇流層下方(一般而言，魚雷定深略超過艦艇艇流層的厚度)時，由於艦艇艇流中含有大量氣泡，會使發射的超聲脈波經艇流層反射而使被接收機接收的信號強度突然增大。基於艦艇艇流帶具有一定寬度，因此，在一定時段內，若魚雷艇流自導器連續檢測的反射信號保持並超過設定的信號檢測門檻值時，即可識別並確認發現了艦艇航行所產生的艇流，艇流主動式聲自導器檢測艦艇艇流情形如圖五。目前服役已有德國DM2A4、法國F17-2、義大利A184-3、中共53-65等型線導聲導魚雷以及俄羅斯DST-92超重型反艦魚雷，皆屬於主動式艇流聲自導方式<sup>3,4,5,6</sup>。

## 二、艇流磁自導

一般艦艇在海上航行時會引起空間磁場的變化，其中艦艇本身的磁場引起的磁場變化隨著艦艇的駛過就很快消失了，但對於艇流引起的磁異常變化則有所不同。艦艇航行引起的艇流，會誘導其後的海水流動，產生渦流磁場，使原來海洋背景磁場產生磁異常變化。由於艇流很長，磁異常的範圍較大，保留的時間也較長。艇流導致的磁異常量級雖較小，但衰減相對較慢，這給了艇跡自導魚雷可以使用磁自導的應用。如大型驅逐艦

註3：趙正業，〈潛艇火控原理〉，北京，國防工業出版社，2003年9月。

註4：周德善主編，〈魚雷自導技術〉，北京，國防工業出版社，2009年9月。

註5：李本昌、劉振峰、海寬，〈尾流自導魚雷及其射擊控制〉，《火力與指揮》，2002年，27(Z1)，頁90-92。

註6：孟慶玉、張靜遠、宋保維，〈魚雷作戰效能分析〉，北京，國防工業出版社，2003年5月。

以20節航行時，在5,000公尺以內的艇流磁異常強度可達0.1伽瑪至幾個伽瑪，則可使用一般的磁探儀容易測得<sup>7</sup>；而位於水下的潛艇由於水壓作用，其艇流氣泡的生存時間很短，但潛艇運動形成的磁艇流不僅長度大，而且保留時間長，可維持數小時之久。因此，有些艇跡自導魚雷也採用艇跡磁自導技術，目前服役的艇跡磁自導魚雷已有俄羅斯DST-96型反艦反潛魚雷、65系列反艦魚雷。為能更具靈敏測得艇流磁異常信號，更可以應用超導技術，使磁探裝置的探測距離和探測精度可望成倍增加，用超導磁探儀不僅可以追蹤識別水面艦艇的磁艇流，還可以追蹤識別潛艇的磁艇流<sup>7,8</sup>。

### 肆、艇跡自導魚雷技術特點與戰術優勢及其使用限制

由艇跡自導魚雷自導原理及方式，可以看出其具有下列明顯的技術特點與戰術優勢以及其使用限制。

#### 一、技術特點與戰術優勢<sup>4,5,6</sup>

##### (一) 抗干擾能力強

隨著水中音響偵測、識別與預警技術在各種水面艦艇偵測設備，以及反魚雷器材等技術裝備的廣泛應用，現代艦艇不僅提高了進攻的手段，而且對其防禦手段也日益完善。由此，音響自導魚雷的抗干擾能力便成為影響其作戰效能的重要問題，特別是被動音響自導魚雷幾乎沒有較好方法來解決對抗條

件下的命中問題。而艇跡自導魚雷則不同，由於艦船艇流是由艦船航行過程中其螺旋槳高速攪拌海水所產生的空蝕現象形成的，並且對這種具有多重特性的物理場的模擬較為困難，所以利用艦艇艇流所特有的物理場實現的自導與利用艦艇的航行輻射噪音或回波信號實現的水中音響自導相比，有著明顯的抗干擾優勢。目前，廣泛用於反魚雷的各種水中音響對抗器材對艇跡自導魚雷幾乎不起作用。

##### (二) 更適合攻擊高速目標

水面艦艇高速航行，在船體周圍會產生大量的氣泡，這些氣泡對入射波有很強的散射作用而導致目標強度降低，再加上海面混響等因素的干擾，使得主動水中音響自導攻擊高速航行的水面艦艇效果非常差；而被動水中音響自導又極易受到環境和人為的干擾。更重要的是水中音響自導魚雷在高速航行時，所產生的本身流動噪音會對其自導偵測距離產生嚴重的影響，致使音響自導魚雷的速度需要有所限制。

艇跡自導魚雷的攻擊效果主要取決於目標艇流的質量，目標艦艇的航速越快，形成的艇流越明顯，越有利於艇跡自導魚雷的偵測，而魚雷的速度對自導檢測目標艇流的效果幾乎沒有影響或影響很小。所以，艇跡自導魚雷更適合採用高速航行。由此，在魚雷航程足夠遠的情況時，使用艇跡自導魚雷攻擊中、高速水面艦艇將能發揮其明顯的戰術

註7：Nan Zou and Arye Nehorai, "Detection of Ship Wakes Using an Airborne Magnetic Transducer", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.38, No.1, pp.532-539, Jan. 2000.

註8：Dan Madurasinghe, "The Induced Electromagnetic Field Associated with Submerged Moving Bodies in an Unstratified Conducting Fluid", IEEE Journal on Oceanic Engineering, Vol.19, No.2, pp.193-199, April 1994.

優勢。

### (三) 可選擇攻擊目標

在作戰過程中，潛艇獲得一次使用武器的機會是十分寶貴的。因此，對水面艦艇編隊攻擊時，往往期望首先選擇對有「價值」的目標實施攻擊，並予以毀滅性的打擊。然而，這類目標一般又在其他艦艇的嚴密警戒的保護下，或處於目標編隊的內部。由此，在使用音響自導魚雷實施攻擊時，由於受態勢的限制和護航的噪音干擾，無論採用主動水中音響自導或是被動水中音響自導，除非突入其編隊內部，否則將很難以對目標實施精準的打擊。而使用艇跡自導魚雷實施攻擊，可以方便地依據戰術的需要對所要攻擊的目標進行選擇，或預先設定。

### (四) 捕獲機率高

與直航魚雷相比，艇跡自導魚雷射擊需要的是其自導裝置捕獲目標的有效艇流，而不是目標本身，艇跡自導魚雷能夠檢測的目標有效艇流長度是目標幾何長度的數倍乃至數十倍，故潛艇使用艇跡自導魚雷攻擊水面艦艇時，可以說相當於攻擊一個尺度為數百公尺甚至數千公尺的目標。由此，帶來了諸多戰術優勢：一是在同樣的射擊態勢下，能夠極大提高魚雷射擊的命中機率；二是大大的放寬了射擊控制對目標運動參數精度的要求，進而可節省潛艇上的武器系統解算目標參數的時間，因而縮短系統的反應時間；三是可以在更遠的距離上對目標發起攻擊，擴大了魚雷的有效射擊範圍。

除此之外，艇跡自導魚雷還具有自導器簡單可靠、方便多雷齊射、容易與其他自導

方式組合使用等許多優點

## 二、使用限制<sup>4,5,6</sup>

在讚美艇跡自導魚雷的技術特點與戰術優勢的同時，也不能忽略其有明顯的弱點與使用的限制。

### (一) 只能攻擊水面艦艇

艇跡自導魚雷的搜索深度是其自導檢測目標艇流的重要依據。為了創造魚雷檢測目標艇流的條件，魚雷自導開機後必須在確定的深度上，並且在目標或目標艇流下。由於水面艦艇的吃水深是在一定範圍以內，所以容易依據魚雷自導的檢測要求設定魚雷的攻擊深度。

但對潛艇攻擊時，由於很難獲取潛艇的航行深度，特別是攻擊過程中潛艇隨時可能在深度上進行機動，這就很難依據魚雷的技術要求設定的魚雷搜索深度。同時，由於潛艇航行所產生的艇流相對減弱，並用隨著潛艇航行深度的變大遂有逐漸減弱的趨勢，因此，使用艇跡自導魚雷難以對潛艇攻擊。

### (二) 難以攻擊低速目標

艇跡自導魚雷依據目標的艇流進行檢測的原理決定了艇跡自導魚雷不能用於攻擊錨泊或漂泊狀態的水面艦艇，同時，攻擊低速目標也存在較大困難（因為低速目標的艇流較短）。因此給發射儀台的射控帶來了很多困難，即在一定機率條件下，或者要求發射魚雷時武器系統能夠獲得精確的目標運動參數，發射儀台必須接近目標更近的距離才有可能發射艇跡自導魚雷。更重要的是艇跡自導魚雷從確認發現目標艇流到正確對其追蹤，往往都需要一定時間或一定距離的彈道穩

定過程，如果目標的有效艇流長度不能滿足魚雷彈道穩定的需求，必然會導致攻擊失敗。

### (三) 攻擊高速目標時航程損失較大

目標艦艇航行速度越快，其航行所產生的有效艇流長度越長，從射控的角度來說，當然有利於魚雷更容易發射到目標的有效艇流長度中，或者越有利於艇流自導器更容易捕獲和檢測到目標艇流。但此時艇流自導器檢測到目標艇流後，總是以追趕狀態對目標進行追蹤，而且在追趕過程中為了確定本身相對於目標艇流的位置，還需要不斷地穿越目標艇流造成速度的損失。因此，當目標航行速度較快時，必然使魚雷在追趕目標的過程中消耗更多的航程，所以，魚雷在一定的條件(速度和航程)下，如果魚雷速度在目標航向線上的投影速度小於目標速度時，將無法對目標實施攻擊；如果魚雷的航程有限或較小時，那麼儘管魚雷追蹤目標具有一定的相對速度，也必須要求發射儀台接近目標於一定的距離之後方能對其攻擊。

### (四) 與線導結合存在一定的難度

潛艇上的聲納能夠連續偵測目標方位的情況就可發射線導魚雷，從而大大縮短了潛艇魚雷武器系統反應時間的優勢。線導魚雷是先通過線導把魚雷導引到目標附近，或最大程度地去接近目標，以期魚雷的自導器能夠發現目標，而後通過魚雷自身的自導導引對目標實施追蹤和命中。因此，線導魚雷通常是多種自導方式組合的複合自導魚雷，在使用線導加音響自導魚雷攻擊時，由於聲自導只需偵測到目標或回音信號便能對目標進行捕獲和追蹤，所以只要將魚雷導引至目標

附近，魚雷即可發現和追蹤目標；相比之下，線導加艇跡自導魚雷對導引的要求要苛刻得多，為保證魚雷對目標艇流的有效檢測與追蹤，一般要求魚雷以一定的角度，並且從距目標艦艇一定距離範圍內進入目標艇流，魚雷才能發現並追蹤目標艇流。沒有目標運動參數，或其精度較差的情況下，只靠目標的方位進行導引很難解決這一銜接問題，此外，由於魚雷自導器自適應的要求，如何確定開機時機是另一難以把握的問題。

### (五) 單獨使用艇跡自導對機動目標的攻擊效果較差

在進行正常魚雷攻擊時，艇上武器系統首先根據偵測得到的目標方位和距離資訊，對目標運動參數進行解算，並以解算出目標運動參數為依據進行現場態勢下的魚雷射擊諸元解算，此時的魚雷射擊參數均是基於解算出的目標運動參數為基準。在魚雷出管後，如果目標採用機動航行，勢必會造成：(1)由於目標採取大範圍轉向運動，魚雷航行至預置點後無法發現目標艇流，導致攻擊失敗；(2)由於目標航向改變，使得魚雷進入艇流的角度無法滿足自導器的要求，使魚雷長時間在艇流內航行，可能造成對艇流的判斷失誤；(3)目標旋轉回向造成艇流閉合，魚雷可能進入干擾艇流而丟去目標。

## 伍、反制措施

當魚雷預警系統的預警聲納偵測到來襲魚雷，立即交由目標識別器完成魚雷或非魚雷的聲特徵辨識後，並與預警聲納偵測追蹤到的目標運動軌跡構成目標特徵資訊證據，





圖六 來襲魚雷目標識別處理流程

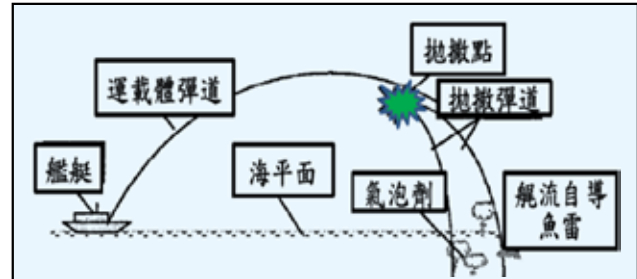
資料來源：林澄貴、吳柏賢，〈水面艦艇聲納對來襲魚雷類型識別技術研究〉，《海軍學術雙月刊》第48卷，第6期，民國103年12月1日，頁59-76。

再與作戰海洋環境、戰場態勢等資訊證據，經數據融合算法來確認來襲魚雷的類型(如圖六)，立即經戰術反應決策模組做戰術評估，擇一有效魚雷反制措施，對來襲魚雷予以軟殺、硬殺或者機動迴避，以減低本艦免遭魚雷攻擊的機會<sup>9</sup>。如來襲魚雷研判為艇跡自導魚雷時，則需啟動反艇跡自導魚雷予以反制，目前國外先進國家積極發展艇跡自導魚雷的反魚雷措施常見有下列幾種<sup>10</sup>：

### 一、軟殺措施

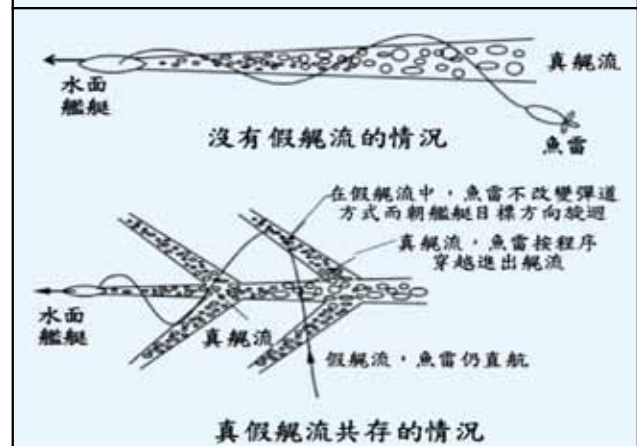
#### (一) 人造艇流干擾彈

於艦艇艇部甲板上利用迫砲或火箭為發射人造艇流干擾彈，當飛抵預定落點的上空(拋撒點)，定時引信點燃炸藥包，爆出及拋撒艇流氣泡發生劑，入水產生一定幾何尺度的氣泡帶，其工作過程如圖七所示。如能控制氣泡發生劑拋撒落點入水形成的氣泡帶集



圖七 人造艇流干擾彈工作原理

資料來源：作者自繪。



圖八 人造艇流干擾彈的干擾功能

資料來源：喬相信、張健，〈尾流自導魚雷干擾彈技術研究〉，《水雷戰與艦船防護》，2006年3月，頁55-58。

中如圖八的假艇流，連接於艦艇真艇流，造成真假艇流共存狀況，使得艇跡自導魚雷檢測時間增長與消耗魚雷航程<sup>11</sup>。

### 二、硬殺措施

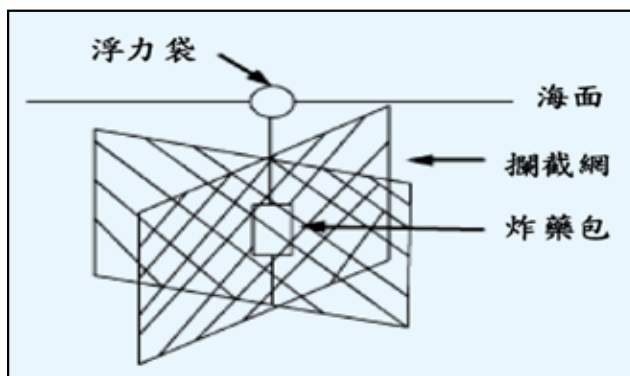
#### (一) 反魚雷攔截網—沉網法

如圖九所示，把攔截網投入艦艇艇流帶內，浮力袋接觸到海水時，氣體發生器將其充氣後，便能懸浮在海水中，同時可伸縮式支柱伸出，使整個網在艇流帶內張開。網的

註9：林澄貴、吳柏賢，〈水面艦艇聲納對來襲魚雷類型識別技術研究〉，《海軍學術雙月刊》第48卷，第6期，民國103年12月1日，頁59-76。

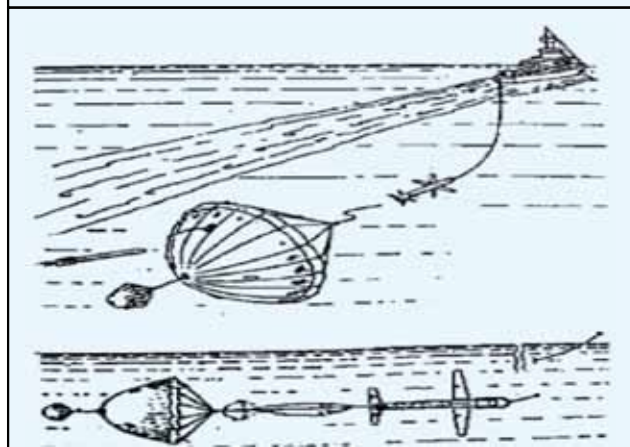
註10：游鵬，〈艦船尾流超聲消隱機理及技術研究〉，南京理工大學碩士論文，2008年6月。

註11：喬相信、張健，〈尾流自導魚雷干擾彈技術研究〉，《水雷戰與艦船防護》，2006年3月，頁55-58。



圖九 沉底攔截網操作示意圖

資料來源：田恒斗、金良安，〈尾流自導魚雷對抗技術現狀與研究〉，《火力與指揮控制》，第35卷，第10期，頁36-39，2010年10月。



圖十 拖曳攔截網操作示意圖

資料來源：易虹、陳春玉，〈對抗尾流自導魚雷的防禦技術〉，《魚雷技術》，第15卷，第4期，2007年8月，頁6-10。

中央設有炸藥包，當艇跡自導魚雷一旦進入艇流帶內並碰到攔截網上，使網上任何一根導線斷裂，即可引爆炸藥，摧毀來襲魚雷。由於艦艇艇流比較窄，緊急情形下，艦艇在航行過程中可以不斷拋出攔截網，來阻止艇跡自導魚雷的攻擊。沉網中設有自沉裝置，到設定時間就自動沉入海底<sup>12</sup>。

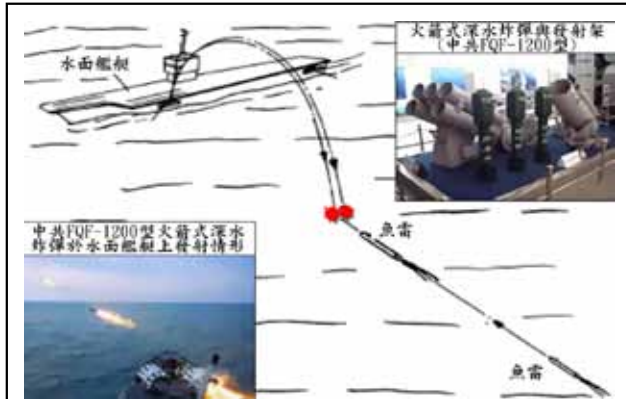
## (二) 反魚雷攔截網—拖網法

如圖十所示，在艦艇後面使用同軸電纜拖引一個內裝有折疊攔截網的圓形拖體，尾端有穩定鰭，拖體上裝有聲納，用來探測來襲魚雷，並通過電纜把探測數據傳輸到艦艇的訊息處理機解算魚雷的方位訊息後，立即將控制指令再經電纜傳回到拖體內，操控拖體轉動輪葉，使整個拖體進到來襲魚雷的航道上。該訊息處理機控制拖體內的傘狀拖網拉出及張開的動作，且在傘狀拖網上裝有炸藥，一旦魚雷碰到網就立即引爆，這種拖網可直接牽引拖在艦艇艇流下面，以對抗艇跡自導魚雷。

## (三) 反魚雷水雷

一般水雷沒有動力和控制系統，對於現有的水雷，幾乎無法用來攔截音響自導魚雷。但若用其來攔截單純艇跡自導魚雷還是可行的，當艇跡自導魚雷在艦艇的艇流帶內做正弦或直線航跡運動時，若在其艇流帶內以艦艇滑軌佈放或火箭推送快速佈放一定數量的懸浮式水雷(如俄羅斯111VN型水聲非觸發感應引信水雷，利用UDAN-1M多層次反魚雷防禦火箭系統快速發射佈放)，並組成反魚雷水雷屏障，當魚雷進入此區域，並接近到某一水雷引信感炸範圍內時，該水雷立即引爆，並引爆其他水雷，強沖擊波壓力足以使魚雷毀壞或失效。但現在魚雷自導系統中，很少有單純艇流自導，大部分都是數種複合自導方式，而且反魚雷水雷在打擊艇跡自導魚雷的時候雙方的對戰數量比懸殊，往往要

註12：田恒斗、金良安，〈尾流自導魚雷對抗技術現狀與研究〉，《火力與指揮控制》，第35卷，第10期，頁36-39，2010年10月。



圖十一 艦艇發射火箭式深水炸彈反制硬殺來襲魚雷示意圖

資料來源：林澄貴，〈火箭式深水炸彈在海軍反制作戰之運用〉，2014年通資電科技應用研討暨成果展示會簡報，中科院龍園園區，103年10月22日，Hagelberg et al., "Anti-ship Torpedo Defense Missile", US patent No. 4,215,639, Aug.5,1980.

表一 30kg TNT炸藥爆威試驗對魚雷損毀狀況表

與魚雷相距 (m)	爆炸衝擊壓力 (N/cm <sup>2</sup> )	魚雷損毀狀況
20	641.32	雷殼體漏水、傳動軸扭曲、鰭舵變形
50	226.93	魚雷自導與控制系統失靈
70	156.91	內部零件器材鬆動、線路混亂

資料來源：林澄貴，〈火箭式深水炸彈在海軍反制作戰之運用〉，2014年通資電科技應用研討暨成果展示會簡報，中科院龍園園區，民國103年10月22日。

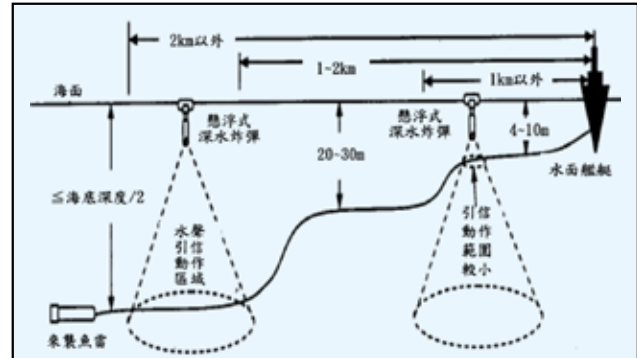
投放五枚以上的水雷才有可能成功打擊一枚艦跡自導魚雷<sup>13</sup>，因此以水雷來反制複合自導魚雷的實際使用意義很小。

(四) 反魚雷火箭式深水炸彈

註13：楊日杰、高學強、韓建輝編著，〈現代水聲對抗技術與應用〉，北京，國防工業出版社，2008年9月。

註14：林澄貴，〈火箭式深水炸彈在海軍反制作戰之運用〉，2014年通資電科技應用研討暨成果展示會簡報，中科院龍園園區，民國103年10月22日。

註15：Hagelberg et al., "Anti-ship Torpedo Defense Missile", US patent No. 4,215,639, Aug.5,1980.



圖十二 具有水聲引信的火箭懸浮式深水炸彈動作區域示意圖

資料來源：吳曉海、謝國新、趙志軍，〈利用火箭深彈系統攔截魚雷的技術改進方法探析〉，《指揮控制與仿真》，第29卷，第2期，2007年4月，頁14-17、21。

美國在20世紀80年代曾用30公斤TNT裝藥的深水炸彈落於魚雷航向的兩側進行反魚雷驗證試驗，對魚雷損毀狀況如表一所示<sup>14,15</sup>。如將深水炸彈改以火箭推送方式構成火箭式深水炸彈用來攔截魚雷，其發射之落水點應儘可能使其在魚雷前方爆炸(如圖十一)，就會產生下列三種作用：

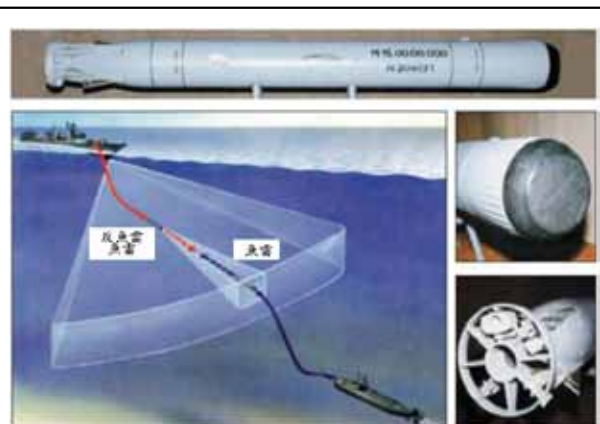
- (1) 強大的爆炸聲源可使音響自導魚雷致盲；
- (2) 利用深水炸彈爆炸時產生的超壓值與壓力衝量，使魚雷敏感元件、關鍵性的薄弱環節損壞，而使魚雷失效；
- (3) 深水炸彈爆炸時產生的水下沖擊波可使魚雷失穩、翻身、轉向而迷失航向與丟失目標，對音響自導魚雷有軟硬殺的效果，對艦跡自導、線導、直航魚雷有硬殺的效果(如表一)。

如能在火箭式深水炸彈設計有入水後的懸浮裝置及在其彈頭裝有自導裝置(如圖

十二)，對來襲魚雷可進行測距，同時利用高性能引信及微機處理器產生誘騙信號，將魚雷引向附近起爆，則可達到最佳的攔截摧毀效果。例如俄羅斯現有的RBU-1000型火箭式深水炸彈，其發射架安裝在艦艇後甲板兩舷，使用在內層魚雷防禦區(1公里以內)，用於對付艦艇兩舷、後方的來襲魚雷，對任何一型的來襲魚雷之攔截機率約為45%；而其UDAV-1與RPK-8反魚雷火箭式深水炸彈系統，對直航魚雷、自導魚雷的攔截機率分別可達90%及76%<sup>15</sup>。

### (五) 反魚雷魚雷

世界各國大力發展反魚雷魚雷，如在研發階段的美國Smart反魚雷魚雷、法國及義大利的MU90HK反魚雷魚雷、德國的「海蜘蛛」反魚雷魚雷及「梭魚」輕型超空泡反魚雷魚雷，服役階段的俄羅斯PAKET-E/NK反魚雷魚雷(如圖十三)，它們是一種對付來襲魚雷之內層(一般在1-3公里以內)主動防禦及硬殺武器，由艇上魚雷預警聲納獲得來襲魚雷的方位，研判魚雷已進入內層防禦區，立即發射反魚雷魚雷，入水以低速航行進入來襲魚雷的逆彈道，然後以高速航行命中目標，在兩雷最靠近時刻引爆炸藥，摧毀來襲魚雷，使其自導、控制系統功能失效而失去攻擊力。由於(1)魚雷與潛艇相比，目標強度小很多，主動探測十分困難，使得反魚雷魚雷自我噪音強度要很低；(2)來襲魚雷的導引方式和搜索彈道多樣化，使得反魚雷魚雷的攔截難度較大；(3)反魚雷魚雷與魚雷的自



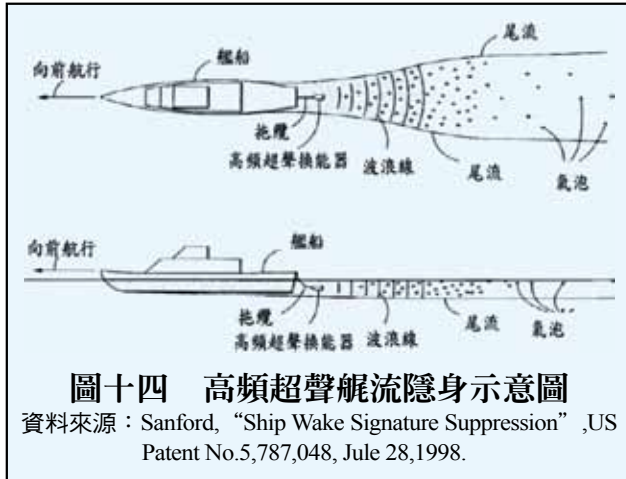
圖十三 俄羅PAKET-E/NK反魚雷魚雷  
資料來源：取自Google網站「反魚雷魚雷」圖檔資料。

導作用距離短，自身體積小，相向而行相遇時間短，使得反魚雷魚雷的作戰時間短；(4)魚雷目標的磁場強度很小，非觸發電磁引信作用距離很近，同時主動聲引信也因魚雷目標強度小，作用距離受到限制，使得反魚雷魚雷的引信引爆雷頭主炸藥較為困難等特點，致使反魚雷魚雷必須要有靈敏和快速的自導系統、非觸發引信系統、機動性良好的控制和流體動力佈局等更高要求的設計，得使反魚雷魚雷發射後能很快地捕獲到所要攔截的魚雷信號，並準確追蹤到來襲魚雷附近，使近發引信動作。因此，反魚雷魚雷主要能獲得來襲魚雷的方位訊息，經其自導系統對任何一型魚雷在內層防禦區內皆能有效打擊魚雷。以MU90HK反魚雷魚雷為例，其模擬摧毀來襲魚雷的作戰效能：音響自導魚雷>80%、線導+音響自導魚雷>70%、艇跡自導魚雷>90%、直航魚雷>95%<sup>16,17</sup>。

### 三、非殺措施

註16：錢東、張起，〈歐洲反魚雷魚雷研發展望〉，《魚雷技術》，第14卷，第5期，2006年12月，頁1-5、11。

註17：崔貴平，〈國外反魚雷魚雷技術發展及趨勢〉，《艦船科學技術》，第35卷，第3期，2013年3月，頁138-141。

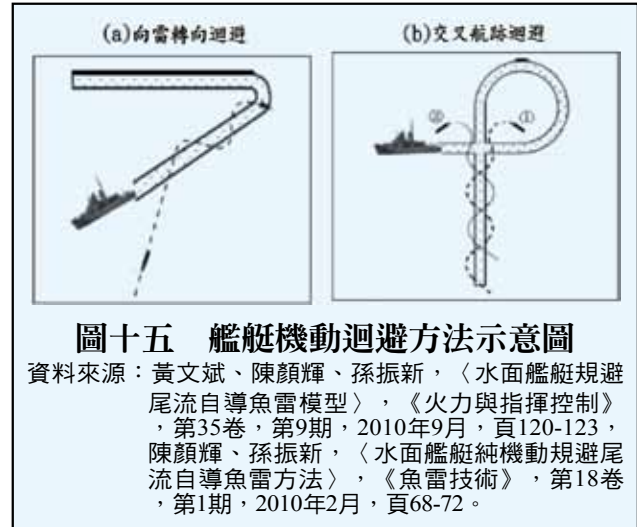


(一) 艇流隱身技術－駐波法

在水面艦艇底部的一個平面上的不同位置分別安裝2組水中音響發射機，一組發射相對於海平面向下的平面波，另一組發射一組相對於海平面向上的平面波，這2組平面波在空間內相互交叉產生駐波聲場，該聲場作用於艇流，就可以使艇流帶內的氣泡融合成較大的氣泡，所形成的大氣泡將迅速上浮並破裂，且可通過這種方式使氣泡迅速消除。為了使氣泡充分融合，駐波波長大約是在水中存在時間較長氣泡直徑的5倍，如要使被融合氣泡的直徑約為 $50-500\mu\text{m}$ ，聲納換能器應該在 $1\text{MHz}$ 左右的頻率上發射信號。但是該設備的安裝較為複雜，操作也較為繁瑣，對精確度的要求很高<sup>12</sup>。

(二) 艇流隱身技術－高頻超聲法

如圖十四所示，在艦艇艇部拖曳一個超聲換能器，超聲換能器的工作頻率在 $0.5\text{MHz}-2.5\text{MHz}$ 範圍內，此頻段的超聲波會使海水中的微氣泡由於相互融合而減少。依據游鵬的「艦船尾流超聲消隱機理及技術研究」碩士論文<sup>10</sup>，其實驗研究表明，海水中



約 $1.65\text{MHz}$ 頻率能在整個氣泡場內易使直徑為 $1,000\mu\text{m}$ 以下的微氣泡達到良好融合效果，將可迅速減少艦艇艇流中的微氣泡，從而減弱或消除魚雷檢測艇流的特徵<sup>14</sup>。

(三) 艦艇機動迴避

當水面艦艇發現艇跡自導魚雷來襲時，應立即視情況採取機動迴避實施對抗，目前較常用的方法有向雷轉向迴避、交叉航跡迴避等2種(如圖十五)，可產生一定程度誘騙的效用，甚至在機動迴避的過程中還可結合使用各種對抗器材，以加強反制效果。

1. 向雷轉向迴避：

對艇跡自導魚雷而言，首次穿出艇流後的轉向方向都是由發射前設定「目標舷別」標誌決定，一旦對「目標舷別」檢視和判斷失誤，魚雷就會沿目標艇流逆向追蹤，而遠離目標。因此，如圖十五(a)所示，如果水面艦艇在魚雷進入艇流之前採取向雷轉向的方法將其置於異舷，並確保魚雷首先捕獲轉向後的艇流，那麼按照魚雷發射前最初輸入的目標舷別標誌，魚雷就會沿著與艦船相反

表二 反艦跡自導魚雷措施之優缺點比較表

反制措施	優點	缺點
人造艦流干擾彈	成本低，可同時干擾其他自導方式。	模擬真實艦流效果差，體積大，投放時機難把握，污染海洋環境。
艦流隱身技術 - 駐波法	駐波場可以使艦流中的氣泡產生定向移動，凝聚效果好。	設備安裝和發射要求精確，操作較為繁瑣，在複雜海象下難以實施。
艦流隱身技術 - 高頻超聲法	成本低，操作方便，連續清除效果顯著。	高頻超聲水吸收率較高，清除範圍小，需連續工作。
反魚雷攔截網 - 沉網法	硬殺傷，成本低，技術要求低，摧毀效果顯著。	對傳統魚雷有效，對目前多種複合自導方式的魚雷效果差。
反魚雷攔截網 - 拖網法	硬殺傷，成本低，技術要求低，摧毀效果顯著。	對傳統魚雷有效，對目前多種複合自導方式的魚雷效果差。
反魚雷水雷	投放簡單，如成功可完全摧毀來襲魚雷。	對單純艦跡自導魚雷有效，對目前多種複合自導方式的魚雷效果很差，消耗量大。
火箭式深水炸彈	投放簡單，如成功可完全摧毀來襲魚雷。	對於任何一型自導魚雷皆有效，唯其消耗量大。
反魚雷魚雷	硬殺傷，摧毀效果顯著。	成本高，對研發技術要求高，耗比量大。
艦艇機動迴避	依賴人力，成本低。	對指揮和操作人員要求較高，一旦失誤，後果嚴重，為輔助措施。

資料來源：本研究整理。

的艦流方向逆向追蹤，直至航程耗盡或邏輯判斷錯亂<sup>18, 19</sup>。

成功實施向雷轉向迴避方法需要3個前提條件：(1)採取向雷轉向；(2)將來襲魚雷置於異舷；(3)確保魚雷首先捕獲轉向後的艦流。由此也要涉及到水面艦艇轉向參數與魚雷預警訊息的求取問題。

### 2. 交叉航跡迴避：

此法為對機動迴避艦跡自導魚雷的最常用的方法，如圖十五(b)水面艦艇通過旋迴270度形成交叉航跡來誘騙魚雷，其應用條件可分為2情形(見圖中彈道(1, 2)所示)：

(1)水面艦艇預警聲納發現魚雷時，魚雷已經捕獲本艦艦流，那麼艦艇旋迴迴避成功的前提是，水面艦艇至少要在魚雷到達航

跡交叉點之前完成航跡的相交。

(2)水面艦艇預警聲納發現魚雷時，魚雷尚未捕獲本艦艦流，那麼艦艇旋迴迴避成功的前提是，在魚雷進入艦流並到達航跡交叉點之前，水面艦艇應完成航跡之旋迴相交。

上述兩種情形的交叉航跡迴避方法，水面艦艇若要在魚雷到達航跡交叉點之前完成航跡的相交，都要求其對魚雷預警距離至少在3,500公尺以上，將會形成有效的交叉航跡來誘騙魚雷，但其缺點為交叉航跡法一旦失敗，則會加速艦艇被命中的時間(如圖十五(b)彈道2所示)。

## 陸、結語

從情資得知中共潛艦大多配備艦跡自導

註18：黃文斌、陳顏輝、孫振新，〈水面艦艇規避尾流自導魚雷模型〉，《火力與指揮控制》，第35卷，第9期，2010年9月，頁120-123。

註19：陳顏輝、孫振新，〈水面艦艇純機動規避尾流自導魚雷方法〉，《魚雷技術》，第18卷，第1期，2010年2月，頁68-72。

魚雷，對我軍水面艦艇之威脅甚巨，因此為能降低我軍水面艦艇被艦跡自導魚雷攻擊的威脅率，就必須快加速發展反制措施。從上述分析之目前國外反艦跡自導魚雷措施做其優缺點比較(如表二)，雖然反魚雷魚雷的硬殺效果為最好，但其研製技術較為艱深且研製經費龐大，在短期間內無法獲得來滿足作戰需求，因此再就國內技術能量、預算限制、獲得時程及反制效能等因素考量，應以機動迴避配合發射火箭式深水炸彈，用來反制來襲的艦跡自導魚雷，最為最佳組合方式

<sup>20,21</sup>。依個人之拙見應可轉用國內雷霆2000火箭砲的技術，在短時間內獲得火箭式深水炸彈，除能以爆炸沖擊波反制艦跡自導魚雷(對於任一型魚雷皆有效)外，尚有爆炸水中音響干擾聲納、爆炸沖擊波破壞水雷、爆炸水柱攔截掠海攻船飛彈等功能。 ⚓

作者簡介：

林澄貴先生，國立台灣大學海洋研究所海洋物理碩士，現服務於國家中山科學研究院資訊通信研究所。

註20：周明、關榮才、孫續文，〈懸浮式深彈攔截尾流自導魚雷研究〉，《艦船科學技術》，第31卷，第2期，2019年2月，頁80-83。

註21：孫續文、周明，〈懸浮式深彈在水面艦艇規避尾流自導魚雷作戰中的應用研究〉，《指揮控制與仿真》，第30卷，第6期，2008年12月，頁41-43。

## 老軍艦的故事

### 丹陽軍艦 DD-12



丹陽軍艦係日本佐世保海軍造船廠建造，1940年完工服役，曾參加第二次世界大戰之多次海戰。1945年日本戰敗無條件投降，1947年6月28日，我國代表依盟國議定，在東京抽籤獲得8艘日艦，丹陽艦即為其中1艘。

民國36年該艦由日本駛至上海高昌廟碼頭，7月3日正式移交我國，民國37年5月1日正式命名為「丹陽」，編號DD-12。

民國42年該艦與太昭艦、太湖艦，由前總司令馬紀壯中將率領前往菲律賓訪問及宣慰僑胞。同年10月4日與太倉艦

在台灣海峽截獲資援中共的波蘭油輪普拉沙號。民國43年6月24日該艦又截獲資援中共之俄輪陶甫斯號。

民國48年8月3日，丹陽艦納編北區巡邏支隊於馬祖附近巡弋時，率章江、涪江及資江等艦，截擊2艘中共海軍PC艦，雖在敵艦及岸砲威脅下，仍重創敵艦1艘，1艘輕傷，立下輝煌戰功。因機件及裝備老舊，又缺乏維修零配件，丹陽艦乃於民國55年11月16日奉命除役。(取材自老軍艦的故事)