

# 「無人水下載具」(UUV)發展 現況及反潛作戰運用研析

Development and Application to Anti-Submarine  
Warfare of Unmanned Underwater Vehicles

海軍少校 洪乙壬

提 要：

- 一、「無人水下載具」(UUV)自1957年首次於軍事用途使用迄今已逾60年，隨著科技發展，從一開始的「遙控水下載具(ROV)」到「自主無人水下載具」(AUV)，其能力也從最初運用於打撈作業，到現今運用於「反潛作戰」，至於無人載具對未來戰場的改變，也勢必成為作戰獲勝的關鍵因素之一。
- 二、海權先進國家對「無人水下載具」的研究正「如火如荼」地進行，美、「中」、韓等國均展現對未來發展反潛作戰上使用的「無人水下載具」的構想與企圖，而俄羅斯更是「野心勃勃」想要研發核動力的「UUV」，更凸顯出此一發展已成為當前無法阻擋的趨勢。
- 三、由於「無人水下載具」的優勢在於可以到傳統載具無法到達的深度進行情報蒐集，且不論是節省資源、降低作業風險與人員損耗，結合人工智慧(AI)發展，都對未來水下作戰模式產生一定程度的影響，亦值得關注並深入研究，以確保海軍作戰目標達成。

關鍵詞：「無人水下載具」、遙控水下載具、自主無人水下載具、反潛戰

## Abstract

- 1.UUV has been in military application since its first deployment in 1957, spanning over 60 years to date. Over the advancement of technology, from the initial ROV to AUV, its capability has evolved from primary for salvage operations to anti-submarine warfare, as for UUV will bring the significant changes to the future battlefield and undoubtedly become one of the key factors for the victory.
- 2.Leading maritime nations are conducting research on UUV with great enthusiasm, such as United States, China, and South Korea have demonstrated their ideas and attempts to deploy UUV for the future develop-



ment of anti-submarine warfare, and Russia has ambitious aspirations to develop nuclear-powered UUV. All of this highlights that its development has become an unstoppable trend.

3. The advantage of UUV lies in capability to conduct intelligence gathering at depths that traditional manned vehicles cannot reach. Regardless of whether it is resource-saving, reducing operational risks and personnel losses, or the development of artificial intelligence, all of these have a certain impact on the future underwater warfare mode. It is worth paying attention to and conducting in-depth research to ensure the accomplishment of naval operational objectives.

**Keywords: UUV, ROV, AUV, Anti-Submarine Warfare**

## 壹、前言

「無人水下載具」(Unmanned Undersea Vehicles, 以下稱UUV)自1957年首次於軍事用途使用迄今已逾60年,長期以來均以水下救難或海底探勘任務為主,近年來已有部分先進海權國家開始嘗試研製新型反潛作戰上使用的「無人水下載具」或小型「UUV」,<sup>1</sup>並用於水面或水下「反潛作戰」。對此,有學者認為,由於UUV的低成本、低風險及優異水下偵蒐作戰能力,未來將對潛艦與反潛作戰帶來嚴重挑戰與衝擊。<sup>2</sup>

美國國防部「高級研究局」(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)於2017年表示將發展新的反潛戰術—「移動式艦外機敏通信」(Mobile Off-

board Clandestine Communications and Approach, MOCCA)<sup>3</sup>,主要方法是結合「無人水面載具」(Unmanned Surface Vehicle, USV)與「UUV」,達到傳統載具所無法實現的新型態反潛模式。當前美軍正因應各國潛艦科技進展迅速,柴電潛艦水下潛航時間大為增加,以往的水面、空中反潛戰術效能正逐漸下降;故運用USV/UUV或混合搭配之方式執行之反潛戰術,將可能成為水下反潛作戰的新趨勢。

本文透過對國內、外相關文獻資料蒐整,探討「無人水下反潛載具」的功能、特性,及其對我海軍作戰威脅等議題,俾有助進一步瞭解其在反潛戰術之運用,以及對潛艦作戰造成之威脅與影響,期望提升海軍幹部對UUV的認識與瞭解,並及早預擬因應作為,以確保海軍作戰目標達成

註1: 洪慧芳,〈新型態反潛方法〉,財團法人船舶暨海洋產業研發中心-民國107年4月船舶電子報, <https://www.soic.org.tw/wp-content/uploads/2018/11/%E6%96%B0%E5%9E%8B%E6%85%8B%E5%8F%8D%E6%BD%9B%E6%96%B9%E6%B3%95.pdf>, 檢索日期: 2023年7月27日。

註2: 王志鵬,〈無人水下反潛載具威脅國造潛艦〉,《自由時報》,2019年7月28日, <https://talk.ltn.com.tw/article/paper/1306448>, 檢索日期: 2023年7月27日。

註3: Mobile Offboard Clandestine Communications and Approach (MOCCA), Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <https://www.darpa.mil/program/mobile-offboard-clandestine-communications-and-approach>, 檢索日期: 2023年7月27日。



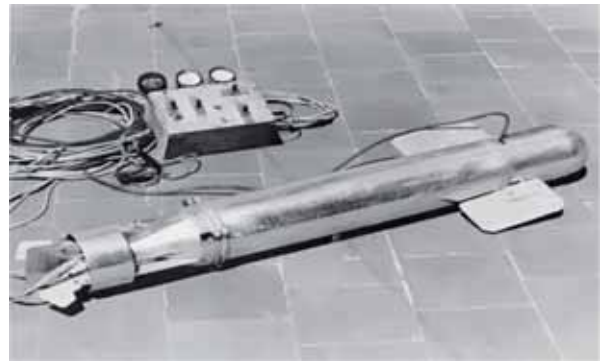
，並捍衛海疆安全，這也是撰文主要目的。

## 貳、「無人水下載具」發展歷程

「無人水下載具」(UUV)的種類概略可區分為二種：其一係以電纜遙控方式操作，稱為「遙控無人水下載具」(Remotely Operated Underwater Vehicle, ROV)」，主要使用電纜連結操作者與載具，傳輸電力、影像及數據等資料，或加裝其他裝備執行任務(如聲納、相機、聲溫儀、採樣裝具等)；其二為無電纜式載具，稱為「自主無人水下載具」(Autonomous Underwater Vehicles, AUV)，其與操作者沒有連結電纜，任務前預先輸入指令(包含下潛後航向、深度、返回水面時間等)，依照程式運算自主航行執行任務。世界許多國家(如美國、俄羅斯、中共、英國、德國、加拿大、挪威、日本、南韓等)均在大力研究UUV。由於美國在此一面相具較完整的發展脈絡，因此本文內容多以美海軍為主進行分析，有關UUV發展階段，分別說明如后：

### 一、初期發展階段

最早的「無人水下載具」是由法國人魯賓道夫(Dimitri Rebikoff)所發明，起初是做為水下攝影使用，並在1952年時發明第一台導線導控之「UUV」(Poodle-貴賓狗，如圖一)。他移民美國後，也為美



圖一：第一代遙控「UUV」(Poodle-貴賓狗)

資料來源：陳信宏，〈水下載具發展〉，通識教育博雅向度課程-海洋科技與資源永續，2016年5月，<https://uicl.iut.nsysu.edu.tw>，檢索日期：2023年7月27日。

國海軍設計了水下照相機及水下閃光燈，當時包括石油業、電影業、海洋學辦公室及美國海軍，都廣泛地運用具水下攝影機的無人載具，進行水下探勘及相關學術研究。<sup>4</sup>

### 二、軍事用途階段

隨著科技及武器系統的進步，UUV在軍事方面的地位也越來越重要。由於作戰人員無需進入載具內駕駛，因而大幅減少在執行任務中可能產生的人員耗損；此外「無人水下載具」下潛時間長，無需大量後勤補給的優點，更使其在海洋任務中的地位益發重要。

(一)美軍最早將「無人水下載具」運用於軍事用途是在1957年，當時由海軍資助「華盛頓大學應用物理實驗室」(University of Washington Physics Lab)研發的「SPURV」(Self-Propelled Underwa-

註4：Dimitri Rebikoff, "Who's Who of the World Diving Community," Global Underwater Explorers, <https://divingalmanac.com/rebikoff-dimitri/>，檢索日期：2023年7月27日。





圖二：美軍SPURV (圖左)與SPURVII (圖右)對照圖

資料來源：參考Special Purpose Underwater Research Vehicle (SPURV), NavalDrones, <http://www.navaldrone.com/SPURV.html>；Special Purpose Underwater Research Vehicle II (SPURV II), Autonomous Undersea Vehicle Applications Center, [http://auvac.org/resources/browse/configurationmultimedia.php?configuration\\_id=122](http://auvac.org/resources/browse/configurationmultimedia.php?configuration_id=122)，檢索日期：2023年7月27日，由作者彙整製圖。



圖三：美軍第一台ROV「CURV」

說明：1966年，美軍一架B-52轟炸機於西班牙上空因擦撞爆炸，飛行員將4枚氫彈投放海中，即是由剛問世的「CURV」完成打撈。

資料來源：Cable-controlled Underwater Recovery Vehicles (CURV), United States Naval UnderSea Museum, <https://www.navalunderseamuseum.org/curv-iii/>，檢索日期：2023年7月27日。

ter Research Vehicle)，係第一款運用於軍事用途的「UUV」，其設計屬於AUV型，無需線導。初代可潛深1萬英呎(約3,000公尺)，具備4小時的續航力，可以執行溫度、導電率等水下測量任務。1973年該實驗室改良研發的「SPURVII」則主要係用

於針對核動力彈道潛艦的艦跡做研究，具備6小時的續航力，可以更精確地測量溫度、聲速及導電率等數據(如圖二)。

(二)美國的「水下研究與發展中心」(Undersea Research and Development Center)，在1960年代初設計第一台軍用的ROV，海軍命名為「CURV」(Cable-controlled Underwater Recovery Vehicles，如圖三)，其在測試階段時已可於2,000英呎(約600公尺)深的海域數次回收測試用魚雷，並已開始實施水下多功能作業。而真正讓此一無人載具「聲名大噪」的機會，則是在1966年4月時成功地撈起因飛機擦撞而掉落於地中海深度約2,850英呎(約850公尺)的「氫彈」。自此美海軍即加速展開對UUV的研發及改良，至今CURV的研究已推進至「CURV-21」。<sup>5</sup>

(三)1988年時，海軍與美國國防部「

註5：Cable-controlled Underwater Recovery Vehicles (CURV), United States Naval UnderSea Museum, <https://www.navalunderseamuseum.org/curv-iii/>，檢索日期：2023年7月27日。



DARPA」為了證明運用「無人水下載具」確實可以滿足海軍的任務需求，開始共同研究計畫。計畫之初，希望設計一款能由潛艦施放並導引穿越雷區之UUV；然因「冷戰」結束，海軍遂改變計畫目標，研發用於淺水水域偵測水雷之「UUV」。<sup>6</sup>1994年訂定的《無人水下載具發展主要計畫》(The Navy UUV Master Plan)，計畫中明定優先研發事項，其中短程目標以針對提供水雷偵測能力為主，長程目標則以大幅提升水雷偵測及迴避能力為主，並開發可以滿足海軍所需具備情、監、偵及海洋調查能力之「無人水下載具」，也依此計畫著手未來的「UUV」研究。<sup>7</sup>

(四)2000年，新公布的計畫第二版，除述明前項目標的進度外，也訂定了UUV未來發展面向，包括情監偵能力(Maritime Reconnaissance)、海洋調查(Undersea Search and Survey)、通信與導航、反潛作戰與潛艦偵察等；<sup>8</sup>2004年11月，再修正發展規劃，明訂其能力與任務包含情監偵、反水雷、反潛、資訊作戰、通信/導航網路節點(Communication/Navigation Network Node)、海洋調查、目標鑑(識)

別(Inspection/Identification)、物資運送(Payload Delivery)、即時精準打擊(Time Critical Strike)等9大面向。<sup>9</sup>2009年經「蘭德公司」(RAND Corporation)分析計畫內容，並指出未來發展將可區分為AUV(攜帶型、輕型、重型、超大型)、ROV(小型、高動力型、大型)等方面，甚至針對動力、實用性、商用性等面向推展各型式載具，足見UUV確實已成為未來發展之重點。<sup>10</sup>

### 三、多功能性階段

「無人水下載具」(UUV)的軍事發展從1953年展開，在1974年以前，全世界僅有數量約20台，其中多數為政府所建造(包括美、英、法、前蘇聯及芬蘭等國)，多功能性發展則從1974年起，UUV開始在其他領域獲得廣泛性的運用(如圖四)，到1982年間，政府建造的UUV比例已降到約百分之四；<sup>11</sup>而其功能也從最初的水下攝影，開始朝科學研究與商業方向加速發展。分段說明如下：

#### (一) 科研使用

海洋研究範圍包含樣本採集、測量海床、海水密度、光強度及水下微生物研究

註6：Unmanned Undersea Vehicle, Defense Advanced Research Projects Agency(DARPA), <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/unmanned-undersea-vehicle-a>，檢索日期：2023年7月27日。

註7：Unmanned Undersea Vehicle Program, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <https://www.darpa.mil/unmannedundersea>，檢索日期：2023年7月27日。

註8：Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <https://www.darpa.mil/unmannedundersea>，檢索日期：2023年7月27日。

註9：同註8。

註10：孫現有、馬琪，〈美國海軍UUV使命任務的必要性與技術可行性分析〉，《魚雷技術》(西安市)，第18卷，第3期，2016年6月，頁84。

註11：Anthony F. Molland ed., The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation (Butterworth-Heinemann; 1st edition, October 28, 2008), p.48。



## 「無人水下載具」(UUV)發展現況及反潛作戰運用研析



圖四：「無人水下載具」多項功能用途

資料來源：參考〈What Are Underwater ROVs & What Are They Used For?〉，Deep Trekker，<https://www.deep trekker.com/resources/underwater-rovs>，檢索日期：2023年7月27日，由作者彙整製圖。



圖五：最初用於海底研究之「自主無人水下載具」

資料來源：參考Brian Bingham et al., “Robotic Tools for Deep Water Archaeology: Surveying an Ancient Shipwreck with an Autonomous Underwater Vehicle,” *Journal of Field Robotics*, Vol.27, Issue.6, November 2010, pp.1-16，由作者彙整製圖。

等，分別使用「有人載具」(HOV)、「遙控無人水下載具」(ROV)及「自主無人水下載具」(AUV)等方式，作法各有優、缺點，略述如後：

1. 自1960年代起HOV開始用於水下研

究，然因對母艦的裝載有較大的需求，且對操作速度、精準度及氧氣量均有嚴格的限制；因此，在大範圍及長時間研究等方面，無人載具便逐漸展露出性能優勢。

<sup>12</sup>1989年起，科學家以ROV做為水下調查使

註12：Brian Bingham et al., “Robotic Tools for Deep Water Archaeology: Surveying an Ancient Shipwreck with an Autonomous Underwater Vehicle,” *Journal of Field Robotics*, Vol. 27, Issue.6, November 2010, pp.1-16。





用，其克服了部分有人載具的限制，但由於仍須母艦支援及電纜長度、機動性等限制，影響海底調查的效率；且由於上述因素，致研究經費居高不下，因此2002年後，運用ROV在深海的研究漸遭AUV取代。

2. 「AUV」有別於HOV及ROV，其突破傳統有線導母艦之限制，可由岸上的站台控制，不僅可長時間的執行海洋研究，偵蒐距離也擴大，並大大降低經費的需求，遂成功取代ROV，成為水下科學研究重要裝備。自2001年起，科學家開始將其運用於海洋研究，2003年後再將聲納系統安裝其上，迄今AUV仍廣泛運用於海洋有關的科學研究(如圖五)。

### (二) 商用「無人水下載具」

傳統石油產業須仰賴大批潛水員進行海底地形探勘及水下裝備建置；現受惠於科技進步所賜，石油及天然氣等工業，同樣運用「無人水下載具」進行包括海床研究、建構海底結構圖等地形調查工作。如英國「席林公司」(Schilling)使用之「席林機器人」(Schilling Robotics, 如圖六)，不僅大大減低水下工作人員之需求，同時降低作業風險。<sup>13</sup>

## 參、「無人水下反潛載具」作戰運用探討

傳統的「反潛作戰」是運用艦艇或反



圖六：席林機器人(Schilling Robotics)

資料來源：Schilling Robotics, LocalWiki, [http://localwiki.org/favis/Schilling\\_Robotics](http://localwiki.org/favis/Schilling_Robotics)，檢索日期：2023年7月27日。

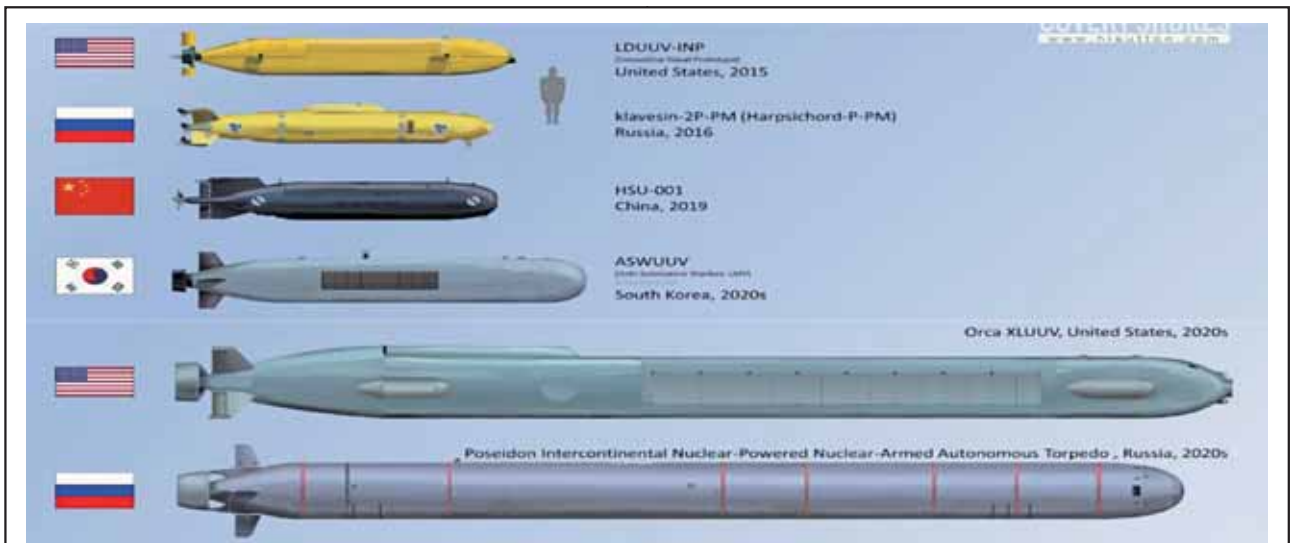
潛機來執行，其缺點是需要耗費大量的時間及兵力，隨著「無人水下載具」的蓬勃發展，美國海軍2000年及2004年的「UUV」發展計畫，就已明確將「反潛作戰」(Anti-Submarine Warfare)列為發展目標之一。以下即針對此類無人反潛載具，分析說明如後：

### 一、先進國家之「無人水下反潛載具」

2015年5月，「北約」(NATO)研究船在挪威海外施放兩具AUV-「動態貓鼬」(Dynamic Mongoose)，以測試其偵測水下動態目標能力。測試的科學家古德漢(Ryan Goldhahn)指出，運用此類「UUV」最大好處便是無需在載具上搭載人員；尤其前往危險環境時，無人載具將是更好的選擇。<sup>14</sup>2018年7月，「北約」峰會期間，以美國為首的13個國家(計英、德、義、

註13：同註11，頁68。

註14：Steven Beardsley, "NATO Researchers Test Underwater Drones in Norway," Stars and Stripes, May 6, 2015, <https://www.stripes.com/nato-researchers-test-underwater-drones-in-norway-1.344499>，檢索日期：2023年7月27日。



圖七：先進國家「無人水下載具」示意圖

資料來源：參考H I Sutton, “Poster of World’ s Large Autonomous Underwater Vehicles,” October 25, 2019, [http://www.hisutton.com/Large\\_AUVs\\_Poster.html](http://www.hisutton.com/Large_AUVs_Poster.html)，檢索日期：2023年8月27日，由作者彙整製圖。

比利時、丹麥、希臘、荷蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、西班牙和土耳其)就共同簽署協議，研製用於反制潛艦、水雷等威脅的無人載具，<sup>15</sup>凸顯運用UUV將成為未來反潛作戰之必然趨勢。以下針對部分先進國家研製的無人水下反潛載具(如圖七)概況，分析如後：

#### (一)美國

「波音公司」(Boeing)為爭取美國海軍「UUV」合約所研發的超大型「無人水下載具」(XLUV)原型機-「回聲旅行者(Echo Voyager)」，此型設計擊敗競爭對

手獲得了2億7,000萬美元的合約(折合新臺幣86億4千萬)。<sup>16</sup>海軍預劃於2022年前建造5艘，並根據原型機設計出新款「Orca」，用於水雷反制、反潛作戰、反水面作戰、電子作戰及打擊任務(如表一)。<sup>17</sup>

#### (二)英國

英國國防部在2019年4月開始一場針對「無人水下載具」發展的競賽，<sup>18</sup>並在2020年3月宣布通過與「MSubs Ltd. 公司」100萬英鎊(折合新台幣3,800萬)的合約(全案共2個階段，總金額為250萬英鎊)，

註15：蘇尹崧，〈北約開發無人載具抗俄潛艦威脅〉，《青年日報》，2018年11月3日，<http://tw.news.yahoo.co/>北約開發無人載具抗俄潛艦威脅，檢索日期：2023年7月27日。

註16：Samantha Masunaga, “The Navy Is Starting to Put up Real Money for Robot Submarines,” Los Angeles Times, April 19, 2019, <https://www.latimes.com/business/la-fi-boeing-undersea-drones-navy-contract-20190419-story.html>，檢索日期：2023年7月27日。



註17：Berenice Baker, “Orca XLUV: Boeing’ s Whale of an Unmanned Sub,” Naval Technology, July 1, 2019, <https://www.naval-technology.com/features/boeing-orca-xluuv-unmanned-submarine/>，檢索日期：2023年7月27日。

註18：“UK MOD Invites Proposals for Development of Autonomous UUV,” Naval Technology, April 18, 2019, <https://www.naval-technology.com/news/uk-mod-uuv-competition/>，檢索日期：2023年7月27日。





表一：美軍「回聲旅行者」UUV性能表

	
Echo Voyager (Orca原型機)	新款Orca
重量：50公噸。	重量：28公噸。
尺寸：15.5×2.6×2.6(公尺)	尺寸：13.27×2.1×2.1(公尺)
最大潛深：3,000公尺	操作深度：100公尺
最大速率：8.0節	速率：>5.0節
續航力：6,500哩	續航力：150哩

資料來源：參考Echo Voyager Product Sheet, The Boeing Company, <https://www.boeing.com/echovoyager/21444>，檢索日期：2023年7月27日，由作者彙整製表。

表二：俄羅斯各型「無人水下載具」

	
Klavesin-2R-PM	海神波塞頓Poseidon
重量：3.7公噸。	重量：未公布。
尺寸：6.5×1×1(公尺)	尺寸：24.4×1.8×1.8(公尺)
最大潛深：6,000公尺	最大潛深：1,000公尺以上
最大速率：未公布。	最大速率：115節(據稱)。
續航力：未公布	續航力：無限制(核動力)

資料來源：參考“Russia Started Sea Trials of Klavesin-2 UUV in Crimea,” Naval Recognition, <http://navyrecognition.com/index.php/focus-ysis/naval-technology/6234-russia-started-sea-trials-of-klavesin-2-uuv-in-crimea.html>；H I Sutton, “Russian Autonomous Underwater vehicle Garmoniya-GUIDE,” [http://www.hisutton.com/Ru\\_Garmoniya-GID\\_AUV.html](http://www.hisutton.com/Ru_Garmoniya-GID_AUV.html)，檢索日期：2023年7月27日，由作者彙整製表。

評估建造與美海軍同級的XLUUV。目前英國海軍的設計目標為作戰範圍3,000哩、獨立作業3個月，及載荷達2公噸以上之「反潛作戰」上使用之「無人水下航行器


(ASWUUV)」。<sup>19</sup>

### (三) 俄羅斯

「Klavesin-2R-PM」係俄羅斯於2016年公開，針對北極水域所設計的多用途

註19：George Allison, “Royal Navy Seeking Large Unmanned, Autonomous Submarine,” UK Defence Journal, April 17, 2019, <https://ukdefencejournal.org.uk/royal-navy-seeking-large-unmanned-autonomous-submarine/>，檢索日期：2023年7月27日。

表三：中共HSU-001(圖左)及韓國研發之ASWUUV(圖右)

 <p>中共HSU001</p>	 <p>韓國Hanwha公司ASWUUV</p>
<p>尺寸：5×1.5×1.5公尺(推估)</p>	<p>尺寸：10×1.5×1.5公尺(推估)</p>
<p>體積略小於韓國ASWUUV，外型相似度高，可做為研判之參考餘各項資料均待蒐</p>	<p>重量：未公布。</p>
	<p>最大潛深：300公尺。</p>
	<p>最大速率：未公布。</p>
	<p>續航力：30天。</p>

資料來源：參考Xavier Vavasseur, “MADEX 2019: Hanwha Defense Unveils ASWUUV For Anti-Submarine Missions,” Naval News, October 22, 2019, <https://www.navalnews.com/event-news/madex-2019/2019/10/madex-2019-hanwha-defense-unveils-aswuuv-for-anti-submarine-missions/>；歐錫富，〈中國發展水下無人潛航器〉，《國防安全雙週報》，第73期，2019年11月15日，<https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=12&resid=738&pid=2994>，檢索日期：2023年7月27日，由作者彙整製表。

UUV，用於蒐集水下數據、打撈物品及偵察水下情況；至於「海神波塞頓(Poseidon)」則是2015年11月9日由俄國電視台所洩漏之訊息，其係一款具有核動力的「UUV」，也可稱做「核自動無人魚雷」，具有極強大的核打擊能力，並將其當做下一代的核武器，在不需高速接近目標的同時，即可在遠海引爆，並產生巨大海嘯摧毀沿海城市(如表二)。<sup>20</sup>

#### (四) 中共與韓國

1. 中共在2019年「建政70週年」閱兵上展示其自行研發的UUV-「HSU001」，雖

未公布其他資訊，然從照片中確認其為雙俾葉推進，並藉由平衡翼改變潛深，並可見前、後桅管(可用的通信手段仍不明)。依載運卡車大小推估其尺寸，應略小於韓國研發之UUV(如表三)，<sup>21</sup>實際功能及尺寸仍待後續公開情報釋出方能得知。

2. 韓國「Hanwha公司」在2019年於韓國釜山「國際海事國防博覽會中」(MADEX)，展示其設計的「反潛戰無人水下航行器」(ASWUUV)，根據該公司的說法，其動力來源為燃料電池，可使用超過30天以上，最大潛深則為300公尺。<sup>22</sup>

註20：David Hambling, “The Truth Behind Russia’s ‘Apocalypse Torpedo’,” Popular Mechanics, January 19, 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a25953089/russia-apocalypse-torpedo-poseidon/>，檢索日期：2023年7月27日。

註21：Lyle J. Goldstein, “New UUVs: China’s Plan to ‘Attack from the Sea Floor,’” The National Interest, March 9, 2020, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/new-uuvs-chinas-plan-attack-sea-floor-131067>，檢索日期：2023年7月27日。

註22：H I Sutton, “New Submarine Killing Autonomous Underwater Drone,” Forbe, October 27, 2019, <https://www.forbes.com/sites/hisutton/2019/10/27/worlds-first-submarine-killing-autonomous-underwater-robot/#139785971aea>，檢索日期：2023年7月27日。



## 二、戰術運用與限制因素

目前各先進國家「無人水下載具」的發展面向及技術各有其差異，然運用於反潛作戰卻是各國發展的共通目的。有關此類無人反潛載具可能的戰術運用與限制，分析如後：

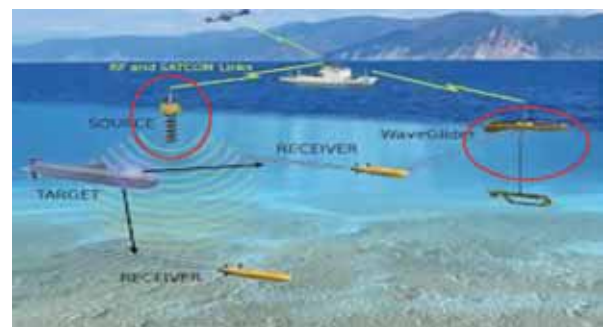
### (一) 戰術運用

#### 1. 建立聽音網路偵測音響或磁場異常：

以潛艦或水面艦艇施放UUV，運用其被動式或拖曳式聲納偵測水下異常音響信號。此外，減少無人載具與母艦的通信量，以最精簡且加密的信文傳遞資料，可降低遭偵知及預警之可能性；待偵獲目標時，即可以射控描繪解算或與母艦偵獲信號相比對後，確認水下目標之位置(如圖八)。<sup>23</sup>或運用「水下反潛無人載具」所搭載的磁測儀偵蒐航經附近海域之目標，如發現有不明的磁場變化，即表示附近海域可能有水下載具，影響航行安全及做為遂行反潛作戰之參考。

#### 2. 投放聲標、陣列天線：

傳統水下聽音陣列需仰賴水面艦船於特定海域實施布放，惟於敵後海域則無法以此種方式作業。若透過「無人水下反潛載具」進入可能有潛艦區域投放聲標及陣列天線(如圖九)，結合無人載具、聲標、陣列天線，可突破頻率及層次深度的限制，對水下不明之目標進行更周密之監聽。



圖八：UUV偵測目標示意圖

說明：利用多組UUV併聲標進行偵蒐，偵獲目標後，透過聲波將訊號傳遞至母艦，母艦亦可利用聲波導控UUV移動位置。

資料來源：Proud Manta，〈2013. CMRE demonstrates real-time AUV-based multistatic ASW during exercise.〉，《CMRE》，<https://www.CMRE.com/demonstrates/submarine/>，檢索日期：2023年7月27日。

#### 3. 潛伏於潛艦高威脅區：

運用UUV可長時間、大數量潛伏於同一區域的特點，將其部署於潛艦高威脅區內，除可對該區域做一完整的監視外，並可在水下目標經過時立即做出研判，再將可靠的情資回饋給遠端操作者，做進一步分析或下令攻擊。

#### 4. 遠距發射武器：

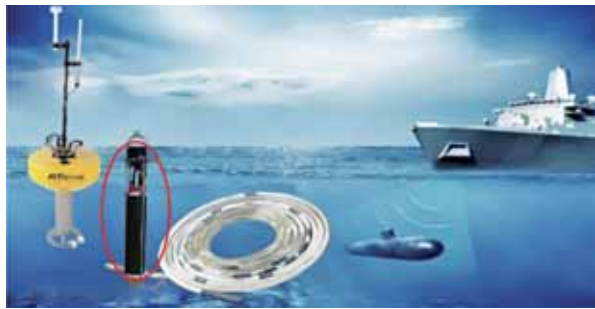
國際間雖然對於無人載具的武器運用方面仍存有道德上的爭議，畢竟在武器接敵攻擊原則上，人員的判定仍屬必要步驟；然在可預期的未來，無人載具極有可能搭載各式武器，而使用者亦能藉由遠距離發射或將接戰程序寫入其程式中，使UUV具備自主作戰能力。<sup>24</sup>

### (二) 限制因素

註23：Geoff Slocombe, "Underwater Warfare: Can We Trust the Eyes and Ears of Autonomous Vehicles," The Strategist, Australian Strategic Policy Institute (ASPI), August 28, 2017, <https://www.aspistrategist.org.au/underwater-warfare-can-trust-eyes-ears-autonomous-vehicles/>，檢索日期：2023年7月27日。

註24：Yannick Allard and Elisa Shahbazian, Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Information Study, Defence Research and Development, Canada, 2014, p.25。





圖九：水下陣列天線示意圖

說明：UUV具有優異的匿踪能力，可用於敵後海域布放水下聽音陣列，搭配天線，水下聽音陣列亦可突破層次深度，大幅增加水下監聽效能，有利掌握該水域水下動態。

資料來源：〈AUVs and Underwater Acoustics for Anti Submarine Warfare and Mine Counter-Measures (MCM)〉，《UST》，<https://www.Acoustics.submarine.com/nationalinterest>，檢索日期：2023年7月27日。

#### 1. 電瓶效能：

最初設計「無人水下載具」有部分功能是根据母艦的投射能力做調整，若無人載具尺寸係照著艦船魚雷管的管徑設計<sup>25</sup>，在此情形下其尺寸必受限制，而可裝載的電瓶數量也一併受到影響。另根據其執行任務不同，對於電量的消耗亦有差異；然而在電瓶科技還未獲有效提升的狀況下，除非如俄羅斯的「海神」UUV是使用核動力外，其餘「無人水下載具」的任務執行，均受到電瓶效能的影響與限制。

#### 2. 聲紋影響無法即時回饋資訊：

在水下偵測聲波有其困難度，原因係聲波在水中傳播的耗損遠大於空氣<sup>26</sup>，此

外在淺水環境中將面臨更大的挑戰，原因係水深較淺造成水面傳播與海底反彈的音源將相互干擾，如此將產生音源信號重疊，容易造成誤判。<sup>27</sup>另相較於有導線的「無人水下載具」，AUV如需完成通信則必然消耗更多的電力，進而減少水下作業時間亦或是作業能力，即便已偵測到疑似水下不明目標，仍受限於水下聲紋或水文環境影響，及通信距離的限制，無法實現即時目標資料傳輸，就可能失去目標或有利攻擊時機。

#### 3. 裝載限制：

「無人水下載具」須配備的裝具有聲納、測深儀、水中資料庫、磁測儀、聲標及武器裝備等，因而在設計之初，UUV的噸位成為一種先天限制。在此限制條件下，其裝備的配置自然不如載人潛艦；至於對其最為重要的聲納來說，效能自然亦無法與一般潛艦相提並論。

#### 4. 投放載具限制：

除了美國研發中的XLUUV因空間夠大，可安裝足夠提供長時間任務的電瓶數量外，如韓國所研發的ASWUUV因體積較小，任務週期僅能達到30天，「北約」(NATO)組織運用的「無人水下反潛載具」更只有3-4天的續航力，而此一能力限制直接影

註25：Craig Allen and Casey Allen, "20,000 Drones Under the Sea," Proceedings, July 2018, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2018/july/20000-drones-under-sea>，檢索日期：2023年7月27日。

註26：在標準大氣壓下，溫度為20°C時，空氣對聲音的特性阻抗約為415瑞利(比聲抗阻的單位)；當溫度為20°C時，水對聲音的特性阻抗約為1.48×10<sup>6</sup>瑞利；同樣20°C的空氣與水，水的傳播損耗約為空氣的3,560倍。

註27：Stefania Giodini, Ernest van der Spek, and Henry Dol, "Underwater Communications and the Level of Autonomy of AUVs," Hydro International, August 6, 2015, <https://www.hydro-international.com/content/article/underwater-communications-and-the-level-of-autonomy-of-auvs>，檢索日期：2023年7月27日。



響布放於開闊海域執行任務的可行性。因此，UUV往往需要由母艦載至指定區域執行偵蒐任務，多了載台因素限制，作業複雜度自然增加。

### 三、未來發展趨勢

#### (一) 動力效能強化

UUV正開發新型燃料電池的技術，以提升電瓶效能，不僅解決載具水下續航力不足之問題，也減少頻繁將無人載具召回母艦整補或重新投射替換之無人載具，使其在深海中能有更長時間執行任務。<sup>28</sup>若「UUV」在電瓶方面的技術可以提升，除續航力增加的優點外，水下任務的型態（如在伏擊區伏擊他國潛艦等）也會跟著改變。<sup>29</sup>

#### (二) 強化水下通信能量，建立即時傳輸能力

UUV水下通信在設計初始時，係藉由無線電（長距離）或聲波（短距離）執行傳輸，而此兩種傳輸方式均有其優、缺點，而現今信號傳輸的方式更多元變化，而光學傳輸的研究亦已在進行當中；若未來研究成功，改採光學的水下通信，其傳輸數據量甚至可達萬倍以上，加上光波傳輸高隱

蔽特性，將可同時解決傳輸過程易遭截收的問題。<sup>30</sup>

#### (三) 能力更強的聲納系統

無論潛艦或是「無人水下載具」，聲納絕對是其最重要的偵蒐器，因此現今科學家仍致力提升聲納的效能。以往UUV多使用主、被動聲納或舷側聲納；而比較特殊的研究消息則是未來研發目標將是合成孔徑聲納，其高頻模式的成像技術可完整呈現近距離目標的完整成像，而低頻模式則是可偵測在1,000公尺距離以上的目標。<sup>31</sup>

#### (四) 建立水下聽音網路，掌握可能的威脅目標

「北約」（NATO）所屬「海事研究與實驗中心」（CMRE）於2020年在義大利西西里島沿岸進行了潛艦穿越水下聽音網路偵測實驗，運用水面艦艇、聲納浮標、水下固定式聽音器及「無人水下反潛載具」拖曳式聲納共同執行此一測試，實驗結果發現，水面艦艇不可避免的會發出較大的主動音源；然而，若水中有較多的被動式聲納存在，反潛一方將能取得更大的優勢。<sup>32</sup>因此，未來如果像「北約」組織間進行國

註28：Future Autonomous Underwater Vehicle system, "JAMSTEC", <https://www.jamstec.go.jp/maritec/e/development/auv/>, 檢索日期：2023年7月27日。

註29：Richard Winston Larson, "Disruptive Innovation and Naval Power: and Financial Implications of Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) and Long-term Underwater Power Sources," ResearchGate, June 2014, [https://www.researchgate.net/publication/279812063\\_Disruptive\\_innovation\\_and\\_naval\\_power\\_strategic\\_and\\_financial\\_implications\\_of\\_unmanned\\_underwater\\_vehicles\\_UUVs\\_and\\_long-term\\_underwater\\_power\\_sources](https://www.researchgate.net/publication/279812063_Disruptive_innovation_and_naval_power_strategic_and_financial_implications_of_unmanned_underwater_vehicles_UUVs_and_long-term_underwater_power_sources), 檢索日期：2023年7月27日。

註30：Ioseba Tena, "The Advancing Technology of AUVs," Hydro International, December 4, 2018, <https://www.hydro-international.com/content/article/the-advancing-technology-of-auvs>, 檢索日期：2023年7月27日。

註31：同前註。

註32：Megan Eckstein, "Sonar Equipped Drone Fleets Could be Key to Future Submarine Warfare," USNI News, March 9, 2020, <https://news.usni.org/2020/03/09/sonar-equipped-drone-fleets-could-be-key-to-future-submarine-warfare>, 檢索日期：2023年7月27日。

與國合作的反潛作戰時，儘管各國的反潛實力並不相同，甚至部分國家無法提供潛艦兵力參與時，透過部署大量的「無人水下反潛載具」，將成為另一個合理且可行的選擇。

## 肆、對潛艦作戰之影響及我省思與建議

現今的戰場環境中，潛艦的存在對水面艦艇而言仍是相當大的威脅，可對重要航道實施封鎖，故世界各國均致力於研究反潛戰術。「反潛型」的UUV誕生，對長久存在的潛艦威脅情勢產生變革，而潛艦與UUV所需建置費用的「不對等」與不斷發展的「人工智慧」(AI)技術，正快速改變反潛與潛艦作戰樣貌，更值得海軍軍官深入思考。以下就「無人水下反潛載具」對潛艦部隊產生的威脅與省思建議，臚列如後：

### 一、對潛艦產生之威脅與影響

典型的反潛作戰不論是運用空中、水面兵力執行都易遭反制與掌握，同時給了潛艦預警與逃脫的時間；然若運用潛艦執行反潛作戰，既耗費重要兵力又顯得效率不彰。預判未來「無人水下反潛載具」將成為反潛作戰中的重要角色，並對潛艦形成重大的威脅。摘舉如下：

#### (一) 隱匿性的優勢不再

潛艦在執行任務時首重隱匿，運用海

水、溫度等介質的差異，巧妙地隱身於大海之中，致敵難以發現，並在不注意時刻給予船艦痛擊；然當戰場的環境益發透明，對潛艦的作戰考驗相對大增。「無人水下反潛載具」由於產生的噪音極低，因此可獲得更高隱匿性，反而對潛艦形成極大的威脅。

#### (二) 難以獲取情資及早預警

潛艦航行期間長時間保持噪音管制，以避免遭敵偵知，但以柴電潛艦為例，航行一定時間後必定需要執行呼吸管航行，以進行充電，此時便是最易暴露行踪的時機，另相比具「絕氣動力潛艦」(Air-Independent Propulsion Submarine, AIP 使用燃料電池或史特靈(Stirling Engine)引擎，但仍有使用次數限制，頂多增加一倍水下航行時間。由於「無人水下載具」可以預先布設於潛艦可能行經路線或潛艦高威脅區，而潛艦卻難以預先得知現處的海域是否已布放UUV。換言之，潛艦在情資難以取得的情況下，可能進入「無人水下反潛載具」組成的高威脅區域而不自知，增加被攻擊之風險。

#### (三) 數量與建造成本的「不對稱」

建造一艘載人潛艦的成本可能需要上百億元(以東亞地區最先進潛艦日本「大鯨級」潛艦為例，實際造艦費用約176億新臺幣)<sup>33</sup>，而建造一具「無人水下反潛載具」則可能僅需數千萬元<sup>34</sup>，兩相比較之

註33：〈大鯨級潛艦〉，維基百科，<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/大鯨級潛艦>，檢索日期：2023年7月27日。

註34：同註29。





表四：美國海軍反潛訓練用無人載具 (MASTT)

	重	量	70公噸。		
	尺	寸	23×2.2×2.2(公尺)		
	操	作	深	度	100公尺
	動	力	鉛酸電瓶		
	續	航	力	58哩(用最大速率計算)	
	最	大	速	率	8.5節

資料來源：參考M.A.S.T.T. Unmanned Submersible, Submergence Group, <https://msubs.com/unmanned-submersibles/mastt/>，檢索日期：2023年7月27日，由作者彙整製表。

下，「無人水下反潛載具」用以對抗潛艦就顯得性價比極高。因此，在對方潛艦難以偵知或預警的情況下，有可能已遭己方運用大量的UUV進行伏擊。

(四) 清除成本高，且達成率難以估計

由於潛艦難以偵知「無人水下載具」的存在，因此面對此類反潛載具，迴避將會比穿越危險水域更好；若必須執行「UUV」或是水下聽音器的清除或干擾任務，在沒有發展相對載台對抗前，以掃雷艦執行將會是較佳選擇，但在情資不足的情況下，此一任務將會曠日費時，而耗費成本及達成率也難成正比。

(五) 潛艦不易偵測

由於「無人水下載具」就像是一艘小型潛艦一樣，其體積小、速度慢，再加上同樣運用電瓶做為動力來源，即便是同樣身處在水中的潛艦，亦難以偵測到其存在；儘量潛艦的聲納效能明顯優於「無人水

下反潛載具」，然面對數量眾多的無人載具，潛艦不見得占有較多優勢。

二、省思建議

雖然「無人水下載具」的發展不斷地進行中，然而世界各國對於潛艦性能提升及建造卻沒有放緩腳步，畢竟「有人」載具仍是用以發射武器的重要環節，如同我國同時在進行的「潛艦國造」與「國家中山科學研究院」(以下簡稱中科院)的「無人水下載具專案」<sup>35</sup>；而對政府、海軍、國內造船業者與「中科院」而言，均應同步獲得支持，並大幅提升技術質量，才是「可長可久」的國家政策。針對未來可行的訓練與發展目標，有以下省思與建議，摘舉如后：

(一) 研製訓練用UUV加強對抗訓練

為加強水下作戰訓練，美國海軍在2011年建造「反潛訓練用無人載具」(Mobile Anti-Submarine Training Target，

註35：林彥臣，〈「慧龍專案」研發無人水下潛艦偵搜解放軍長期目標研發攻擊型無人水下潛艦〉，ETToday新聞雲，2019年11月3日，<https://www.ettoday.net/news/20191103/1571096.htm>，檢索日期：2023年7月27日。

MASTT，如表四)，其外型就如同潛艦一般，用以訓練反潛作戰。<sup>36</sup>儘管建造此一「訓練用水下目標」雖無法完全模擬各類型「無人水下載具」，但仍可供海軍借鑑，或可研發做為空中、水面及水下兵力強化反潛訓練使用。<sup>37</sup>由於獲取訓練用水下載具並非「一蹴可幾」，海軍仍能借鑑美軍在巴哈馬群島執行的潛艦對抗操演般，<sup>38</sup>以現有的載具訓練潛艦人員水下聽音能力，並將模擬「無人水下反潛載具」的場景對抗列入訓練考量，以強化戰術與戰技。

### (二) 加速研發「無人水下載具」

配合「潛艦國造」的技術研發，國軍應同時強化建造「無人水下載具」的能力，如國防部委託中科院執行的「慧龍專案」<sup>39</sup>，先以偵蒐、反潛、水雷反制做為設計目標，由於建造維護低成本、作業風險低及優異的水下偵查能力，此型UUV在未來建造完成後，亦可能運用於反情報作戰(擔任水下假目標)、潛艦對抗等任務。

### (三) 強化反情報能力

「無人水下載具」雖具有一定發展潛力，但其與各式反潛載具一般有其限制，由於潛艦活動的情報來源獲得有限，偵蒐



圖十：葉門撈獲的美國海軍「REMUS 600」UUV

資料來源：〈美海軍無人潛艇遭葉門叛軍「活逮」〉，華網新聞，2018年1月6日，<https://chinanews.wixsite.com/index/single-post/2018/01/06/%E7%BE%8E%E6%B5%B7%E8%BB%8D%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%BD%9B%E8%89%87%E5%9C%A8%E8%91%89%E9%96%80%E9%81%AD%E3%80%8C%E6%B4%BB%E9%80%AE%E3%80%8D>，檢索日期：2023年7月27日。

潛艦雖可以預置兵力執行；然在部署前仍須預判可能的活動海域，畢竟防禦方不可能無限上綱地在全部威脅海域進行部署。鑑此，在無法完全掌握水文狀況及敵艦情資時，我軍艦艇應特重保密，另潛艦靠泊與出港後的隱匿性，亦是未來反情報作戰可精進加強之處。

### (四) 「無人水下反潛載具」發展仍未成熟

即使先進如美國都曾經因為不明原因，遭中共及葉門胡塞組織捕獲其「REMUS 600」無人載具(如圖十)，<sup>40</sup>凸顯「無人水

註36：M.A.S.T.T. Unmanned Submersible, Submergence Group, <https://msubs.com/unmanned-submersibles/mastt/>，檢索日期：2023年7月27日。

註37：同註2。

註38：Aaron Amick, "How Submarines Regularly 'Fight To The Death' Off The Bahamas," The Drive, April 20, 2020, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/33090/how-american-and-allied-submarines-regularly-fight-to-the-death-off-the-bahamas>，檢索日期：2023年7月27日。

註39：同註35。

註40：Sam LaGrone, "Updated: Chinese Seize U.S. Navy Unmanned Vehicle," USUI News, December 16, 2016, <https://news.usni.org/2016/12/16/breaking-chinese-seize-u-s-navy-unmanned-vehicle>；Ben Werner, "VIDEO: Houthi Forces Capture U.S. Navy Unmanned Underwater Vehicle Off Yemen," USUI News, January 3, 2018, <https://news.usni.org/2018/01/03/houthi-rebels-find-likely-u-s-navy-unmanned-underwater-vehicle>，檢索日期：2023年7月27日。



下反潛載具」發展仍未臻成熟。換言之，「無人水下反潛載具」雖可能對潛艦造成威脅，然現階段仍無法斷言其未來技術突破之可能性。因此，對我國而言，專注於現有「潛艦國造」及「中科院」專案計畫的發展，仍是「當務之急」，並賡續提升人員的訓能，仍是當前艦隊官兵訓練的首要目標。

### 伍、結語

隨著科技的進步，戰場環境漸漸從「有人」載具轉變成「無人」載具的對決；然而許多的作戰與決策過程中，「無人」的載具仍無法與「有人」的載具相比擬。「無人水下載具」的未來發展看似對我潛艦兵力產生巨大的存在威脅；然其中卻仍存在許多不確定因素。我國持續推進的潛艦建造案與發展「無人水下載具」的目標不應相互扞格，而應齊頭並進。無人載具

的確有可能成為主宰戰場的致命武器，但就現今情況而言，海軍仍應戮力既有建軍兵力規劃案，並致力提升人員訓練水準，加上不刻意挑釁的作為，才能使敵人無法獲得任意動兵之「口實」。

鑒於當前共軍已具備成熟無人水下載具，可對我近岸實施海洋探勘及情蒐，儘管未立即造成存在威脅；然其所獲得之海洋環境資料，除可做為學術研究外，亦具極高軍事價值，國人不可不防。畢竟共軍除執行戰場環境經營外，亦不排除藉誘敵行動，以檢視我軍臨戰反應；故海軍艦隊執行戰備任務訓練時，均應持戒慎恐懼心理，加強水下目標偵蒐，並透過水下作戰能力提升，以防患未然，確保海疆安全。

#### 作者簡介：

洪乙壬少校，海軍軍官學校100年班。曾任海軍海龍軍艦輪機長、海豹軍艦作戰長、二五六戰隊潛艦支援隊輪機長，現服務於海軍艦隊。

## 老軍艦的故事

### 玉山軍艦 PF-832



玉山軍艦原為美海軍快速運輸艦KINZER號，編號APD-91，由美國查爾斯敦造船廠建造，1944年11月1日服役，做為一般部隊與特種部隊運輸之用。

民國54年5月，美國依據軍援政策將該艦售予我國，於同年7月6日拖抵左營港，7月9日由總司令劉廣凱上將主持升旗典禮，命名為「玉山軍艦」，編號PF-32，後改為832。

玉山軍艦成軍後，擔負任務為海峽偵巡、外島運補護航，並曾納編敦睦遠航，解嚴後則改為執行護油、反走私

、反偷渡及遣返等任務。民國88年7月16日除役。(取材自老軍艦的故事)