

海洋環境對海軍艦艇 武器與裝備的影響

雷清宇 上校、毛正氣 博士

提 要：

- 一、海洋作戰環境攸關海軍各類型作戰與武器裝備之使用，影響成效甚鉅，其重要性不下於空軍對氣象及陸軍對地形、地略的認知與運用。相關環境因素包括海洋大氣與氣象、水文與海底地形等三大類；海洋大氣與氣象因素包括風場、氣壓、溫度、降水、雲量、霧、輻射和大氣導管等；這些因素主要影響飛機、飛彈、火砲及水面艦艇電子偵蒐與通訊等裝備的使用。
- 二、在海洋大氣與氣象環境中，根據電磁波在空中傳播路徑之彎折情形，以「陷捕」現象對艦艇電子裝備效能最有影響，此種現象稱為大氣導管。大氣導管分為表面導管、蒸發導管與空中導管，而蒸發導管對艦艇的電子裝備影響最大。因此，如能善用此大氣環境特性，必能使偵測或通訊距離增長、增遠，裝備效能也會更好。
- 三、作戰前若能知道海上戰場環境資訊資料，使作戰部隊未出港前就可知任務海域天候、大氣導管現象、海流、水文與聲紋資料，可使用兵單位清楚明白此時的大自然環境參數，何處對我方有利，何處敵艦會出沒，將有助在戰場上求勝；畢竟清楚掌握作戰海域之環境「天、地、水」，方能「用兵於機先，勝敵於謀略。」

關鍵詞：海洋環境因素、海洋氣象因素、海洋水文因素、大氣導管

壹、前言

海洋作戰環境攸關海軍各類型作戰與武器裝備之使用，影響成效甚鉅，其重要性不下於空軍對氣象的依賴，陸軍對地形、地略的認知與運用¹。完整的海洋作戰環境資訊應包含海洋周邊環境之地形與底質、海水水

文資料、海象狀況及空中天候與氣流的變化。海洋作戰環境不僅影響國軍各類型作戰方式與作戰時的兵力派遣；小如海象、陣風，影響艦艇武器發射之精準度；大如水文參數、地形與底質，則影響作戰時之戰術運用，甚至作戰計畫的設計導向等等。海洋作戰環境因素包括海洋大氣與氣象、水文與海底地

註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》，第22卷，第3期，2007年6月，頁6-32。

形等三大類，其中海洋大氣與氣象包括風場、氣壓、溫度、降水、雲量、霧、輻射和大氣導管等因素；這些因素主要影響飛機、飛彈、火炮和水面艦艇、雷達等武器裝備及相應的軍事行動。海洋水文環境則包括海溫、鹽度、密度、聲速、溫躍層(層次深度)²、透明度、海發光、潮汐、海流、海浪等因素。這些因素主要影響艦艇航行、水中兵器與水聲設備使用、海上偵察及反潛、掃布雷、登陸、反登陸等海上軍事行動，進而對武器裝備、航線、目標、作戰時機和作戰區域選擇以及指、管、通、情、監偵的效能發揮具有重要的影響³。此外，海洋海底地形因素包括海底地形，海洋底質、海洋重力、海洋磁力、海水透明度等。

美國海軍海洋學家羅伯特·埃利斯(Robert Ellis)曾說：「作戰優勢不僅取決於誰擁有最昂貴和最先進的武器平臺，更取決於誰占有對海洋環境充分瞭解而獲得的自然優勢」⁴。因此，利用海洋環境有利條件，規避各種風險，最大限度降低對軍事行動和武器裝備的影響，充分發揮其「倍增」作用，是各國海軍策劃和指揮軍事活動的首要任務。

本文從海洋戰場環境參數著手，研究其主要構成及其對軍事活動的影響，介紹海洋

環境參數對整體海軍作戰的影響、對水面艦艇，以及大氣導管對艦載雷達、電子戰的影響，期望有助海軍同仁能從中獲得啟發，並善用環境的優勢，進而運用在「任務與工作」上；畢竟人有多聰明，裝備才有多聰明！

貳、海洋環境因素

海洋環境參數包括海洋大氣與氣象、水文、地形與水下聲紋資料等4大類(如圖一)。海洋氣象除了風、溫、雨、浪之外，還有許多新的參數。例如，臨近海面不同高度的風速、風向、氣壓、氣溫、相對濕度、海水表面溫度，在一定的條件下會形成大氣環境中的陷捕(Trapping)、折射(Refraction)⁵。這時，電磁波彎向地面的曲率會超過地球表面的曲率，電磁波將被限制在一定厚度的大氣層內，在該層大氣上下邊界之間來回反射並向前傳播，就像電磁波在隱形的大水管中傳播一樣。這種傳播現象稱為大氣導管傳播(如圖二)，而形成傳播方式的大氣層，稱為大氣導管(Atmospheric Duct)。大氣導管可以使電磁波形成超視距傳播，也會引起電磁盲區、導致雷達雜波。這些氣象元素，會對海軍作戰產生重大影響。

海洋水文因素主要包括溫度、鹽度、深

註2：溫躍層(thermocline)，又譯溫度躍層、斜溫層、溫度突變層等，是指在海洋或湖沼等大型水體內部，水溫在鉛垂線方向急劇變化的水層，但海軍稱為層次深度(Mixed Layered Depth)。參考毛正氣，〈海水溫度與海軍作戰〉，《海軍學術雙月刊》，第49卷，第4期，2015年8月1日，頁97-113。

註3：李磊，《海洋戰場環境概論》(北京：兵器工業出版社，2007年)，頁20。

註4：1990年在美國加州海軍研究院召開4天「戰術海洋學」、1991年在維州召開4天「沿岸海洋學」、1993年在加州召開「沿岸海洋學與濱海作戰」、1995年在內華達州召開「戰術氣象與海洋學與攻擊作戰」、2000年召開「海洋學與布雷作戰」，前述會議等級均為「機密」，部分會議紀錄於2003年解密。此為海洋學家羅伯特·埃利斯(Robert Ellis)在各會議中發言的論述。

註5：中國船舶重工集團公司編著，《海軍武器裝備與海戰場環境概論》(北京：海洋出版社，2007年)，頁513。

洋聲速分布、海洋背景噪音、聲納信號傳播特性、聲納信號海底反射特性和海洋混響等⁶。為了充分發揮水下聲學武器裝備的性能，各國海軍都積極部署海洋水下聲紋資料環境的調查與研究。

海洋戰場的地質環境因素主要包括海底地形地貌、海洋重力、海洋磁力等。利用地形、地物是一項古老的軍事技術，它可以隱蔽自己、控制戰場，以小的代價換取大的勝利，利用海底地形同樣重要。在現代戰場上，「戰斧」一類的巡弋飛彈，飛行時可以比對地形特徵來做導航，在山谷中做超低空飛行，準確地打擊敵縱深的重要軍事目標，而「地形驗證」技術也已經被運用到水下智能兵器上。現代潛艇、智能魚雷(Intelligent Torpedo)⁷依靠這種先進的制導技術，就可以利用海底複雜的地形地貌，成功地隱蔽自身、出其不意地攻擊敵人。

科學家早在六、七十年代就發現，海洋重力場對遠程攻擊武器的命中精度有很大影響。遠程運載火箭的大部分飛行軌道是在海洋上空，儘管運載火箭應用衛星、星光導引等先進的衛星導引技術，協助修正運行軌道，但如果忽略重力異常的影響，命中精度還是要大打折扣。研究指出1毫伽(重力場強度單位)的垂線偏差，就會給遠程打擊武器造成1哩的命中誤差⁸。

目前在經營海洋戰場環境上，海底磁力圖的運用是先進海軍發展的重點。從70年代初開始，美國海軍就致力於國家領海的磁力測量，到90年代中期，基本完成200哩以內的海洋磁力圖。美海軍大量使用速度快、搜索範圍大的反潛機，通過「磁力差分反潛技術」⁹快速地確定水下目標。反潛機在巡邏時，其尾部裝置磁測儀(Magnetic Anomaly Detector, MAD)發現磁力分布異常後，就近飛2條正交的航線，可立刻測出水下潛艇的位置、深度和噸位；經過敵我識別、確定為敵方目標後，反潛機隨即發射反潛火箭。因此，在看似的無關緊要的海洋環境因素(海洋地磁)，卻可以在高科技的研發與支持下，建立起一道無形反潛防線，成為提早探知潛艦的有力方式。2011年南韓參謀總長金盛讚表示，南韓海軍已投入56億韓圓(約1.5億新臺幣)，對白翎島和延坪島等接近北韓的6個海域製作地磁圖，日本海2處及南海3處等10個海域的地磁圖製作也在2013年完成使用，可有助掌控北韓潛艇行踪與攻擊路線¹⁰。

歸納海洋戰場環境與陸地戰場環境特點相比，雖有相似之處，但其具有覆蓋範圍廣、時間序列長、時空變化大、涉及領域寬等特點。陸戰場範圍受敵對雙方領土和疆域的制約，海戰場空間則由於水體的連通性，而可以延伸到廣闊的公海水域，因此戰場空間

註6：劉金源，《水中聲學：水聲系統之基本操作原理》(臺北：國立編譯館，2001年)，頁103。

註7：互動百科，《智能魚雷》，<http://www.baike.com/wiki/>，檢索日期：2019年5月8日。

註8：張為華、湯國建、文援藍、張洪波、羅亞中、朱彥偉、尚洋，《戰場環境概論》(北京：科學出版社，2012年)，頁15。

註9：反潛直升機在巡邏時，其尾部吊裝光泵磁力儀；發現磁力分布異常後，就近飛2條正交的航線，立刻就可以測量出潛艇的位置、深度和噸位；經過敵我識別、確定為敵方目標後，反潛直升機隨即發射反潛飛彈。這種方式稱為「磁力差分反潛技術」。

註10：張哲，〈韓國海軍製作地磁圖欲掌控朝鮮潛艇攻擊路線〉，環球網軍事，2011年9月30日，<http://mil.huanqiu.com/world/2011-09/2051587.html>，2011年9月30日，檢索日期：2019年6月14日。

更為廣闊；陸戰場空間是指一定地域的地表及其以上的空間，而海戰場不僅包括一定海域的海面及其以上的空間，還包括該海域以下的水體和海底，呈現出多維層次結構的特徵。由於海、陸戰場空間不同，也因海戰場因素易變，引起海戰場變化的不確定因素更為複雜，且海洋中的海水每時每刻都受到太陽輻射、天體運動、地球自轉、大氣環流等物理因素；地表氣壓、溫度、濕度、降水等氣象因素，與海底地形地貌及海洋周邊陸地、島嶼分布等地理因素的綜合影響，造成海水的流動、漲落和海面起伏，導致海水溫度、密度、鹽度分布的不均勻性，同時也形成海洋上空風、雲、雨、霧及能見度等天氣現象的急遽變化，使海戰場環境呈現出千變萬化的不穩定狀態，直接影響著海上作戰行動的效果和武器裝備性能的發揮。所以，清楚掌握「天、地、水」¹¹實為戰勝必要手段。

參、海洋環境對海軍水面艦艇的影響

海洋環境對海軍水面艦艇的影響，相信身為海軍的一份子，必能有深刻的體會；無論是基本的艦艇航行安全與舒適，到軍事戰術作為與武器發射精準度等，在在都與海洋環境有關。分述如次：

一、風對水面艦艇的影響

風是地球表面的空氣的水平運動。自然界中，人們會感受到風速時大時小、風向忽

左忽右等現象，這就是陣風的特性。陣風是由氣流中挾帶著一些小渦旋而引起的，是空氣亂流運動的一種表現；陣風是指某段時間內最大的瞬時風速，如播報風力4~5級，陣風6級，就是說平均風力4~5級，最大的瞬時風力可達6級。大風對艦艇海上航行安全影響重大，噸位較小的艦艇在遇到大風時，輕則裝備遭到破壞，重則會發生翻船事故，造成重大人員傷亡；噸位較大的軍艦抗風能力較強，只要處置得當，一般不會發生重大事故。風對水面艦艇的影響主要是縱向與橫向分力。

(一)縱向分力

由於風的直接作用，產生空氣對艦艇運動的阻力，即風阻力。無風時，空氣對艦艇的阻力很小，約占艦艇航行總阻力的百分之一至三。但對高速艦艇來說，空氣阻力仍是很大；如艦艇以45節速度航行時，受到的風力相當於9級大風；逆風航行風力4~5級時，風阻力約占總阻力的百分之十至十五；8~9級時，提高到百分之三十至四十。可見艦艇逆風航行的阻力是很大的，特別對船舷高、上層建築多的艦艇，更是明顯。順風航行時，雖然順風產生的推力可抵消一部分阻力，但強烈的順風下，由於海面巨浪而產生的阻力更大，航速反而降低，船體結構更易受損¹²。

(二)橫向分力

風不但對艦艇產生阻力，還會因側風作

註11：海軍作戰參謀作為要領：「敵、我、天、地、水」為作戰計畫口訣。「敵」為敵方兵力；「我」為我方兵力；「天、地、水」為戰場環境特色與優勢。我國自古就會利用環境的優勢，創造作戰優勢；《三國演義》中諸葛亮曾對魯肅言：「為將者，不識天文，不曉地理，不知奇門，不明兵勢，不看陣圖，庸才也。」

註12：張偉等著，《海洋環境特徵診斷與海上軍事活動風險評估》(北京，北京師範大學出版社，2012年)，頁157-158。

用，使航行的艦艇產生漂移而偏離預定航線。漂移速度與正橫風的風速成正比，且與艦艇側面積有關。艦體水上側面積越大、水下側面積越小，則漂移速度越大。艦艇航行時因受風產生的漂移速度，與風向、風速、船速、水上、水下側面積比等有關，正橫受風時，漂移速度與風速及水上、水下側面積比成正比，與航速成反比。

風對艦艇航行安全和實施各類戰演訓活動影響很大。強風使艦艇偏離計畫航線、改變預定航速；大風可使艦艇搖擺不易操縱、難以保持運動方向，及按照計畫到達預定地點，特別是艦艇在狹窄海區航行時，如進出港灣、靠離碼頭及拖帶情況下，可能使艦艇發生碰撞或擱淺，艦對艦也難以實施海上補給。大風亦影響海軍武器的使用，它能改變砲彈、飛彈方向、影響彈著點；艦艇在海上釋放煙幕彈、照明彈，也必須有適合的風向、風速，才能達到預期的效果，而風速亦會影響艦艇信號、觀測效果和準確度，並影響海況和海上危險漂浮物的判斷¹³。

二、大氣溫度、濕度對水面艦艇的影響

氣溫的高低對艦艇上的武器裝備有直接影響。雖然臺灣周邊海域氣溫不會低到結冰，但早上(凌晨)或寒流來時的低溫還會引起儀器、武器和機械中的潤滑油低溫，造成機械失靈。由於氣溫和濕度改變而引發空氣密度產生變化，會影響武器發射和艦載反潛直升機在甲板上起落的安全；另外大氣氣溫和濕度在空間的垂直分布不同，也會使無線電

波的傳播路線發生改變，產生異常折射從而影響雷達發現目標的距離和高度。溫度、濕度變化易引起艦艇人員疾病，影響艦艇作戰效能發揮；高溫酷熱環境中作戰、訓練，會造成人員中暑；寒冷環境中作業，若缺乏保暖措施，將造成人員凍傷¹⁴。

三、霧對水面艦艇的影響

海霧是海上危險性天氣現象之一；在海上或港口，海霧會使能見度變得十分惡劣，即使有雷達等導航設備，仍有可能發生偏航、擱淺、觸礁和碰撞等海事，造成艦艇航行時的危安風險。金門、馬祖地區是臺灣最容易發生海霧的離島，海霧主要為平流霧，每年春天約三至五月，南方的暖濕空氣開始北上；但馬祖地區因為處在中國大陸沿海，受東北季風影響，這時的海流是由北向南流動的中國大陸沿岸流，由北方流下的海水溫度相當低，而暖濕的空氣和冰冷的海水面接觸，就會形成大量的平流霧，即便太陽出來也無法澈底消散，因此馬祖地區的空中及海上交通，在霧季常受嚴重干擾¹⁵。

四、雲對海軍活動的影響

海上有濃厚的雲層特別是低雲時，不但水平能見度變差，影響航行安全；而且軍艦上難以用目視觀察空中敵機，同時也會影響雷達效能。海上作戰中，艦艇常常要根據太陽或月亮的方位，海岸地形和天際線的明暗程度，占取有利方位。如果艦艇位於天際線的明亮方向，則易被敵發現，如果處於天際線的陰暗方向或有島岸做背景時，則不易被

註13：同註5，頁87-89。

註14：孫文心、李鳳歧、李磊，《軍事海洋學引論》(北京：海軍出版社，2011年)，頁243。

註15：同註11，頁278。



敵發現；在日間強烈陽光下，艦艇處於背向太陽的攻擊位置；而在晨光和昏影時，則應處於相反方向的位置，也有利攻擊行動。雲對雷射、通信的影響也很大，雲中的水汽能強烈吸收某些雷射通信的電磁波波段，甚至能使雷射通信無法進行；而可見光大約也只是一成的能量能穿透雲層。

五、海浪對水面艦艇活動的影響

海浪有風生浪(Wind-Driven Winds)、湧浪(Surges)、潮汐(Tides)、海嘯(Tsunami)等，對軍事活動影響較大的海浪主要有風浪、湧浪和拍岸浪(waves near the shores)等。海浪具有很大的能量，根據實測紀錄，拍岸浪對海岸的壓力有時達每平方米20~30公噸。因此，即使是大噸位的艦艇也有可能被損毀。

海浪是海上航行的剋星，自有海難紀錄以來的200多年，全球有百萬艘大、中型船舶遭到狂風與巨浪襲擊而沉沒。第二次世界大戰後期，美軍第三艦隊占領菲律賓後，曾

在回程加油途中，遭到強風浪襲擊，最大浪高達18公尺以上，導致2艘航艦、8艘戰艦和24艘加油船被大浪擊沉，近800名官兵喪生¹⁶。海浪還會使艦艇發生搖擺、中拱、中垂、淹埋和俥葉空轉等，對艦艇航行、作戰和訓練產生嚴重影響和安全威脅¹⁷。

(一) 搖擺

艦艇在海上航行或停俥時，在海浪的作用下產生複雜的週期性擺動，稱為艦艇搖擺。艦艇搖擺會產生一系列有害影響，如乘員暈船影響戰鬥力、降低武器的命中率、損壞艦體的裝備，若降低航速，強烈的搖擺可使艦艇傾覆。

(二) 中拱與中垂

艦艇在大浪中航行，由於艦體各部分受力不同，使得艦體結構變形受損。如艦艇長度與波長相近，當波峰處於船中部時，浮力大部分集中在船中，艦艏艦兩端浮力有所損失，從而在艏艉處形成向下的力，中部有使艦體上頂的力，此時艦體所產生的彎曲受力

註16：軍事研究社，〈萬噸航母被巨浪拍斷百架戰機報廢 超級艦隊遇到17級颱風也得跪〉，美日頭條，2017年7月1日，<https://kknews.cc/zh-tw/military/q2zv6pg.html>，檢索日期：2019年3月17日。

註17：同註5，頁66。

現象稱為中拱。中拱使艦體甲板受拉伸，艦底板受壓縮；反之，當波谷處於艦舳時，舳艏處形成向上的力，中部有使艦體上壓的力，艦體甲板受壓縮而艦底受拉伸，此時艦體產生彎曲稱為中垂。如果中拱、中垂現象反覆交替，艦體有斷裂的危險(如圖三)。

(三) 船艏淹埋和俾葉空轉

艦艇頂浪航行時，海水大量湧上甲板的現象稱為淹埋(Bow in water)。在大風浪中頂浪航行，艦艇必然會產生劇烈的縱搖，造成淹埋，特別是當艦首下擺到最低位置時，第二個峰波正好通過艦首，淹埋現象最為嚴重，對艦艇結構也傷害最大。艦艏淹埋時，海水的猛烈衝擊容易損壞艦載武器與裝備，對艦艏較低的艦艇，經常出現整個艦艏埋在海浪中，使操縱發生困難。艦船縱搖和升沉運動，常使艦艇艏部俾葉周期性地部分、甚至全部露出水面，發生空轉現象，使俾葉效率顯著下降、航速降低，同時造成大軸極大的扭轉、振動，間歇空轉必然帶給主機突然的加速和減速，各運轉機件將受到很大的衝擊應力，並損害機件。出現淹埋和空轉時必須改變船速或航向，或同時改變，以減輕淹埋和空轉現象。而海浪造成的搖擺，使艦艇難以保持航向，轉向也相對困難，特別在大風浪中從順浪航行轉為逆浪航行時比較危險。海浪還會使停泊在港灣或錨地的艦艇，因繫船索和錨鍊拉扯斷裂，造成艦體間或與碼頭相互碰撞而發生事故。

六、海流、潮流對艦艇的影響

海(潮)流都是海水的水平流動，近岸常

以潮流為主，而外海則以海流(洋流)為主，海流是水面艦艇海上活動的重要影響因素之一¹⁸。

(一)海流對艦艇的航速和航向有直接的影響，順流航行可增大航速，逆流航行則相反；側流航行既影響航速又影響航向，容易造成艦艇偏航。

(二)潮流的流向對艦艇離靠碼頭尤其重要，特別是在潮流較強的地方，若流向與艦艇的方向有一交角時，停靠就會十分困難，甚至發生碰撞碼頭的事故。因此，港口碼頭前沿線應與潮流主流流向基本一致。艦艇靠碼頭時一般採用頂流靠泊，較為安全。

(三)向岸海域或漲潮流，利於進港或登陸；反向海岸的海流和落潮流，利於艦艇的出港。因此，特別是登陸艦艇行進時，與潮流方向垂直，且與海岸平行搶灘而登陸；待任務完成後艦艇退灘時，由於潮流會橫向衝擊艦艇，將會造成登陸艦艇退灘的困難。

(四)海流與潮流對錨泊地點也會產生影響，水面艦艇在選擇錨泊地時應避開強流區，不然，就可能造成流錨使艦艇移位，甚至艦艇間互相碰撞，不可不慎。

七、潮汐對水面艦艇的影響

潮汐影響海水的深度，對淺海區域與淺水航道的影響更為明顯。艦艇在執行作戰任務或者錨泊時，都應考慮區域的潮汐規律，有時還需要認真地觀察潮汐變化，以防患於未然。掃雷艦在執行海上掃雷任務時，要準確掌握水深變化。一般要求在漲潮潮高達到半潮面¹⁹以後，開始進入雷區掃雷，當落潮

註18：同註6，頁194。

註19：以臺灣地區為例，潮汐屬半日潮，也就是說，漲潮時間6小時可以達到滿潮，滿潮後6小時為退潮時間。半潮面是指潮汐漲到一半，約3小時左右。



圖四：海上螢光生物-馬祖地區藍眼淚

資料來源：王敏旭、魏翊庭，〈追淚去！馬祖「藍眼淚」大爆發 手機就能拍到〉，聯合新聞網，2017年4月17日，<https://udn.com/news/story/7157/2407369>，檢索日期：2019年3月17日。

到半潮面以後時，各種掃雷艇都應撤離雷區停止作業(預估6小時)；否則，將因水淺而有觸雷的危險。艦艇在潮差大的區域選擇錨地時，既要防止低潮時造成擱淺，又要防止高潮時造成流錨²⁰，應該特別注意。

八、海水溫度、密度、水色、透明度對軍事活動的影響

海溫過高或過低，均會影響人員和武器裝備舒適與效能；密度躍層²¹(海軍過去使用層次深度一詞，現在少有使用)影響水面艦艇聲納偵測。艦艇由密度大的區域進入密度小的地區，吃水深度會增加；淺海航行時應注意實際水深的變化，海水水色和透明度是兩個關係密切的海洋水文因素。在海水透明

度大的海域，海底的礁石、珊瑚、海藻等都能看見。水色高、透明度大時，易發現如水雷、沉船和暗礁等水中目標²²。

海洋中存在著無數生物，其中有些具有發光(螢光)的特性。這種發光的生物(螢光生物，特別是螢光海藻，如馬祖知名的藍眼淚)在國防、航運交通及漁業上都有一定的實用價值(如圖四)。戰時艦艇在發光海區夜間航行時，就有暴露船位的危險，易被敵艦發現；另一方面敵機也可根據艦艇發出的「海光」進行追擊，而艦艇航行時也可以利用「海光」幫助航海人員識別航行標誌及障礙物。

肆、海洋環境對海軍艦載雷達搜索的影響

電磁波在對流層的傳播與大氣折射指數有關²³，而在對流層中的大氣折射指數受大氣環境的氣壓、水蒸氣壓及溫度等氣象參數影響。因此，不同的天氣形態隨著大氣折射指數垂直分布的不同，電磁波傳播的現象亦隨之而異。

一、水氣條件對雷達探測的影響

電磁波在大氣中傳播和在雲、霧、雨、雪、冰雹等大氣中傳播²⁴，均能以吸收和散射方式使電磁波能量衰減。大氣和水氣條件

註20：CHARLES H. SINEX and ROBERT S. WINOKUR. "ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING MILITARY OPERATIONS IN THE LITTORAL BATTLESPACE", Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 14, Number 2 (1993)。

註21：請參考註2。決定海洋密度的因素有溫度、鹽度與壓力。壓力是等深度變化，每下降水深10公尺，增加水壓1大氣壓力。鹽度變化僅影響僅限海水表面(除沿岸、河口、半封閉海域或是不流動海水)。海水溫度變化很大，無論水平或是垂直分布，均很難找出規律性與預報，因此，影響水下聲速的因素，是密度與溫度。

註22：同註11，頁64。

註23：毛正氣、廖杞昌、王玉環，〈微波超視距雷達之大氣導管應用技術研究與初期開發〉，第26屆國防科技學術研討會(臺灣桃園)，2017年11月16日，頁25-34。

註24：水在大氣中有各種形態，雲、霧、雨、雪、冰雹等，通稱大氣水合物，均會影響達電磁波的反射與穿透，影響雷達效能。

對雷達探測的影響主要表現在兩個方面：

(一) 導致雷達探測距離縮短

對於3公分波長的雷達來說，其最大探測距離約為150公里，在晴朗好天氣時，單純因空氣引起的衰減，可使最大探測距離縮短百分之十四；若探測方向上有降雨，最大探測距離可縮短百分之七十二。

(二) 可能產生氣象干擾回波

氣象干擾回波是指由於雲、降水物所造成的雷達回波，一般雲中的水氣含量越大，則回波越強；降水強度越大，回波也越強。

二、風、浪條件對雷達偵蒐的影響

雷達系統的偵蒐、鎖定和測距不僅受海洋大氣環境的直接影響，而且還受到氣象水文環境所引起的艦船縱橫搖擺、上下升沉等航行姿態的間接影響。艦艇搖擺和升沉會使艦載偵測裝備無法可靠的實施探測、追蹤、測距等作戰行動。譬如，艦載雷達在風浪影響下，其天線和目標物都會產生不同程度的搖擺，兩者的相對運動，使目標偏離天線波束主軸，降低天線的接收，導致雷達最大偵測距離降低。

風浪也會使海平面起伏不平，從而在雷達螢幕上產生許多小光點，即海面雜波。當雷達探測目標主要受到雜波限制時，只增大發射功率並不能擴大偵測距離，因為當發射機功率增大時，不僅目標的回波增強，雜波也會變大；雜波的亮度隨風浪增大而改變，風浪大時光點會成片出現，可造成5浬範圍

內的目標回波，被海水波浪光點遮蓋。過強的雜波會干擾正確雷達回波的顯示，同時雷達接收機飽和、雜波頻譜展寬，導致雷達對目標的探測距離下降和效果變差。特別是海上出現大氣導管時²⁵，遠處的海面雜波還會以二次回波的形式出現在屏幕上，導致目標追蹤不穩定、精度變差。

一般商用船上雷達，當艦艇橫搖超過15度、縱搖超過5度時，艦艇在波動海面上的擺動會造成雷達觀測困難。事實上，對於中小型戰鬥艦艇，在風浪中橫搖有時可達15~25度，儘管電視、紅外、雷射等光電傳感器通常被安裝在同一穩定平臺，但整個艦體的搖擺與升沉，也必然影響裝備性能²⁶。

三、能見度對雷達搜索的影響

低能見度對艦載雷達偵測也有顯著的影響，一般目視能見度不超過30公尺，在氣溫為零度C左右的霧中，雷達發現艦艇和其他目標的距離，比正常條件將減少百分之四十五至五十。因此，有霧天氣期間，雷達的探測性能和可靠性將顯著降低。在濃霧和降雨等惡劣能見度天氣中，高頻雷達(如射控雷達)比低頻雷達(平面搜索雷達)的最大偵測距離衰減的更加顯著²⁷。

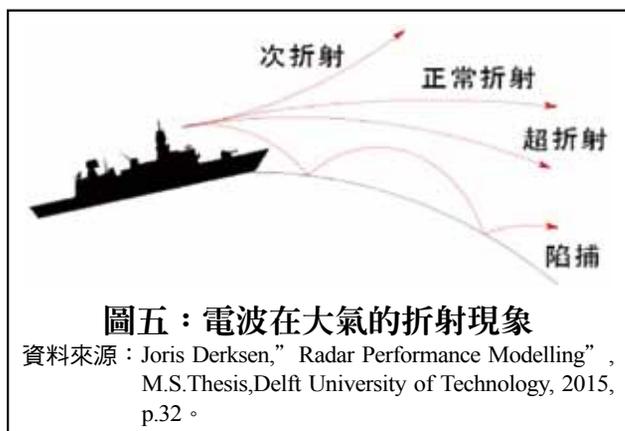
四、大氣折射對雷達探索的影響

電磁波在對流層的傳播與大氣折射指數有關，而在對流層中的大氣折射指數受大氣環境的氣壓、水蒸氣壓及溫度等氣象參數影響。因此，在不同的天氣形態隨著大氣折射

註25：同註5，頁615。

註26：同註5，頁709。

註27：波長較短雷達，掃幅較小，能量集中，如射控雷達；波長較長雷達，掃幅大，如平面雷達。大氣環境易吸收短波電磁波。宇宙與太陽短波射線進不了大氣層，因此有大氣窗口的理論。



指數垂直分布的不同，電磁波傳播的現象亦隨之而異。根據雷達電磁波拍發的方式、角度與高度，使電磁波在進入大氣層裡，傳播路徑會發生彎折現象，基本上可將電波在大氣的折射現象分成正常折射(Normal)、次折射(Sub-refractive)、超折射(Super-refractive)和陷捕(Trapping)²⁸四類(如圖五)；其實，這種情形與水下音傳路徑極為相似。其中陷捕的發生代表大氣環境存在有某層狀結構，造成電磁波在垂直方向的傳播被此結構侷限而無法逸出，宛如電磁波在導管(Tube)中傳播，導致電波傳播距離遠超過正常傳播情形，並有增強的趨勢，此種結構體稱為大氣導管(Atmospheric duct)。

大氣折射對雷達探測距離的影響，主要表現在以下方面²⁹：

(一)出現大氣「次折射」的情況時，雷達探測距離將縮短；平日典型的天氣形態下，溫、溼度隨高度而遞減的大氣條件下最常發生。

(二)在「超折射」與「陷捕」條件下，雷達探測距離將增大。在大陸或島嶼上，傍晚後易形成的逆溫層條件下，可能出現這種現象；有暖濕空氣通過冷空氣的下面，且風力較弱的天氣條件下，亦可能發生這種逆溫層的現象³⁰。

(三)在出現多重折射的情況下，會產生雷達的超視距探測，此種情況以夏季低緯度沿海地區出現較多，主要產生於較強的逆溫和濕度隨高度迅速遞減的天氣條件下。

雷達的超視距探測可使雷達探測海/地面和低空目標的距離增大幾倍至幾十倍，但也可能使預警雷達無法發現探測真實目標，或發現虛假目標，進而影響雷達的警戒效能。美國在1991年波斯灣戰爭期間，陰雨天氣後的晴朗夜晚(「上乾下濕」的強逆溫層)，曾使大氣折射系數發生變化，形成電磁波傳播的「超折射現象」，在「愛國者」防空飛彈的雷達顯示器上出現虛假目標，造成兩枚飛彈誤射。此時，由於雷達的波束彎向地面，易形成空中盲區，從而使雷達難以發現大

註28：Joris Derksen, "Radar Performance Modelling", M.S.thesis, Delft University of Technology, 2015。

註29：同註18，頁45。

註30：逆溫(Temperature Inversion)現象是一種氣象學的現象，指地面上的溫度隨著高度越高而增加，與高度越高溫度下降的正常現象相反。因為較高的暖空氣覆蓋著較低的冷空氣，可能會導致空氣汙染物無法散出，雷達顯示異常。2018年9月19日，中央氣象局雷達出現「鬼波」，也就是天氣晴朗，但氣象雷達顯示都是雲，這是因為低空處出現逆溫層，有可能是冷峰的鋒面抵達臺灣海峽北部，導致鋒面前緣密度較大的冷空氣將熱空氣推向上方，因此造成溫度由低處往高處增加的逆溫現象。這種鬼波偶爾會出現在靈敏度較高的氣象雷達顯示器上，特別是特高頻的都卜勒氣象雷達。至於低層大氣之空氣密度若在垂直方向有顯著的不連續面，就會導致低空域電磁波傳播路徑的偏折，這屬於大氣的折射效應。臺灣海峽能提供豐沛的水氣，受到低溫的冷空氣影響就可能因氣溫達到露點以下而凝結形成霧，加上若有大氣導管效應(Duct effect)時，就會在氣象雷達顯示器出現鬼波。

氣折射頂界之上的空中目標³¹。

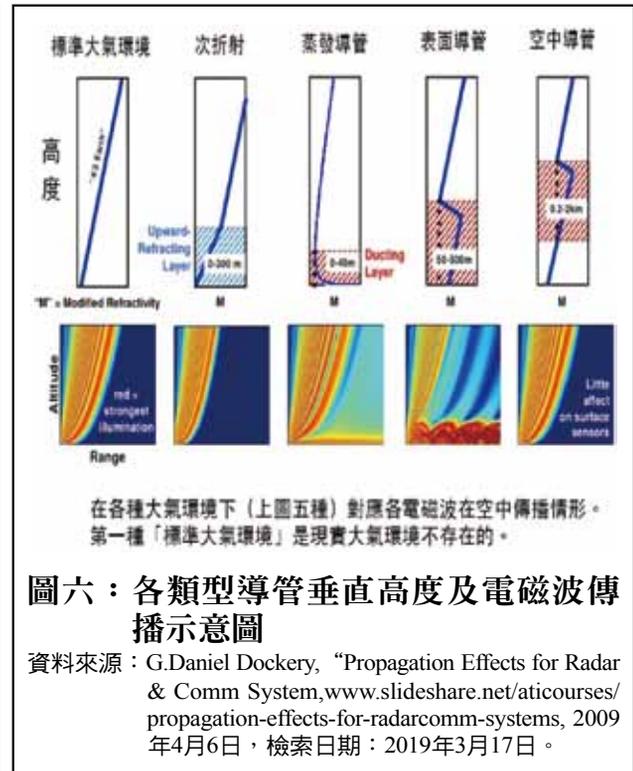
五、大氣導管對雷達搜索的影響

大氣導管是大氣折射的「陷捕」現象³²，對於電磁波傳送有很大的影響。一般來說，導管中傳播的電磁波距離會比一般情況下來的遠，且電磁波強度隨距離的衰減也會比較小。因此，當雷達所在環境有大氣導管存在時，因為電磁波的異常傳播現象，可能會導致對目標物高度位置的誤判，或是所謂的雷達盲區產生，這對雷達的偵蒐與通信效能將會造成很大的影響。

(一)大氣導管依其發生的地理位置不同可分為地面導管(Surface duct)、空中導管(Elevated duct)和蒸發導管(Evaporation duct)三種類型(如圖六)，說明如後³³：

1. 地面導管：導管的底層是以地表面為邊界層。地面導管發生高度在數公尺至數百公尺均有可能，厚度一般在300公尺以內。此種導管有助於超越地平面的電波通訊或偵蒐，也就是說可將地面雷達的有效偵蒐距離提升。為增加超視距探測、預警、截收、通信和打擊的能力，特別是對頻率在100MHz以上的電波；造成這種導管的原因可能是受到氣流抬升之後的沉降作用，例如海、陸風的作用、地表的逆溫層等天氣現象，均有可能導致地面導管的發生。此種導管的發生將會對陸上雷達造成一定程度的影響。

2. 空中導管：導管層的底部位於地表以上的高度，其發生高度可延伸至6公里，一般情況多在3公里以下，但也有少數發生在6



公里以上的高度；厚度方面主要在百公尺以上，對特高頻(UHF)以上的波段有較大的影響。引發此種導管的天氣現象，主要是天氣系統所伴隨的沉降作用所造成，例如逆溫層的發生或兩個移動氣團之間的交界面，此種導管的發生將會對空中戰機雷達造成影響，或是導致陸基雷達對目標物高度的誤判。

3. 蒸發導管(Evaporation duct)：蒸發導管的發生環境是在廣大的海洋區域，其產生原因是海洋表面與其表層空氣因介面連續的關係，使表層的相對濕度為百分之百，這種飽和狀態一直持續至某一高度，在該處的相對溼度急遽地減少，導致蒸發導管的發生。平均而言，一般介於0至40公尺之間，並

註31：〈MIM-104愛國者飛彈〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/MIM-1>，檢索日期：2019年3月17日。

註32：同註21。

註33：同註6，頁70。

隨緯度、季節、一日內不同時間而變化，一般是在低緯度海域，夏季白天其高度較高；蒸發導管高度平均在較高緯度區約為8公尺，較低緯度區(例如臺灣近海)則為30公尺。此種導管最特殊的一點就是具有持久存在的特性，所影響的頻率在3GHz以上。

(二)由於此種導管是在海洋面上產生，對艦艇上之雷達、通訊及裝備偵蒐效能，皆會造成影響，因此各國海軍才積極地於作戰艦艇發展「大氣折射效應預報組合系統」(如美軍的IREPS, Integrated Refractivity Effects Prediction System)，其目的就在於有效應用或避免此種導管對雷達所造成的影響³⁴。

1. 對雷達探測距離：當雷達天線和目標都在蒸發導管中時，理論上在水平距離內均可偵測到目標，但是，雷達發射的電磁波要怎麼進入蒸發導管到達導管層頂，而不會在導管上方出現盲區，關鍵就是要調整雷達發射頻率及角度，使雷達波能穿越蒸發導管，而不致於被陷補在導管中。

2. 對雷達探測精度：在有大氣導管下使用雷達，無論是雷達偵測目標距離、方位及目標速度，皆會產生誤差。

(1)測距：在正常折射條件下，雷達對有高度的目標物最大探測距離要比目標物的實際距離增大百分之十六；當大氣中存在大氣導管且雷達波在導波管內傳播時，雷達的探測距離要比正常狀況情況下增加很多。

(2)測高：大氣折射可造成雷達的測高

誤差。一般而言，艦艇雷達對100公里的海面目標偵測，由於大氣導管效應的影響，有可能被認為是高度為1公里左右的空中目標，但事實上，可能是水面目標。

(3)測速：雷達波進入大氣導管中的傳播時，也會引起雷達自身的頻譜展寬(開)，也會使雷達誤以為目標速度增快，這是速度的誤差。

3. 對雷達雜波回波：如艦載雷達使用海上蒸發導管的特性去偵測目標，是很難分辨遠距離的陸地雜波或海上波浪雜波的，這些都會顯示於雷達屏幕之上。超折射雜波回波在雷達顯示器上的特點是呈針狀、粒狀，沿雷達中心放射狀分布，與一般目標反射不同，這可以協助我們來檢測辨別目標。

2000年10月俄羅斯蘇愷27戰機有效利用美艦「小鷹」號航空母艦上空出現的大氣導管現象形成的雷達盲區進行飛行，對美航艦進行多次偵察拍照，而美航艦戰鬥群所有雷達電子系統(含神盾系統)，由於大氣折射效應作用，都無法偵測到蘇愷27戰機，甚至肉眼都可看見，但電子系統卻看不到，此即為大氣導管影響雷達偵蒐之明顯實例³⁵。

伍、大氣導管對電磁波與電子戰的影響

一、地面導管的影響

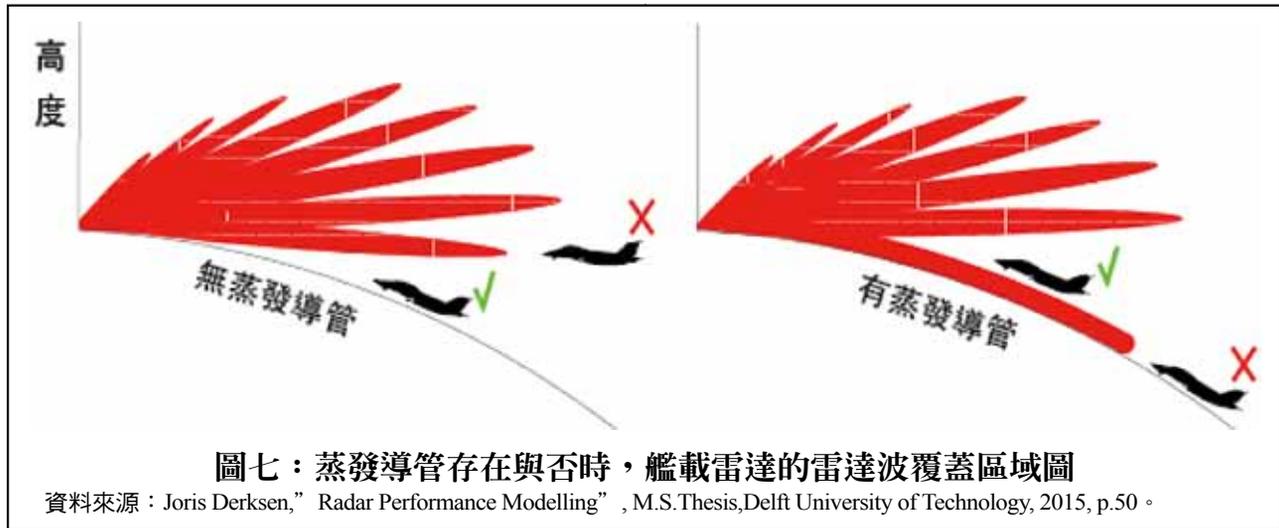
地面導管主要影響海軍水面艦艇、潛艦、低空飛機的反艦、反潛和航空作戰效能³⁶：

(一)地面導管可以增加電子武器系統偵

註34：同註9，頁177-180。

註35：軍事家，〈2架戰機高速掠過美國航艦頭頂示威 艦長臉被氣紅卻無計可施〉，每日頭條，<https://kknews.cc/zh-tw/military/gv5gxly.html>，2017年3月12日，檢索日期：2019年3月5日。

註36：同註9，頁181-183。



測的有效作用距離。由於大氣中地面導管的存在，使得水面艦艇可以探測到位於海面上，正向突飛而來的飛機和巡弋飛彈。同樣，位於超視距外的潛艦，也可利用潛載電子支援措施(簡稱ESM)遠遠就能截收到對方水面艦艇發射的電磁信號，進而實施「超視距」偵測、預警、截收和攻擊等訊息。

(二)在地面導管頂端上，容易形成電磁盲區，對於防禦者而言，是其防禦的薄弱部位，易遭到敵飛機、飛彈的突襲；但對攻擊者來說，大氣導管頂端的電磁盲區，是隱蔽接敵、實施突擊的最佳路徑。

(三)地面導管在增強電磁武器效能的同時，也可能在正常傳播條件下，接收不到海面雜波，減弱雷達對目標的探測能力。

二、蒸發導管的影響

蒸發導管主要影響海對海電磁武器系統，但對低空飛行和飛彈攻擊的探測也會產生影響³⁷(如圖七)。在標準大氣條件下，艦載雷達有一定涵蓋區域，此時低空、超低空為

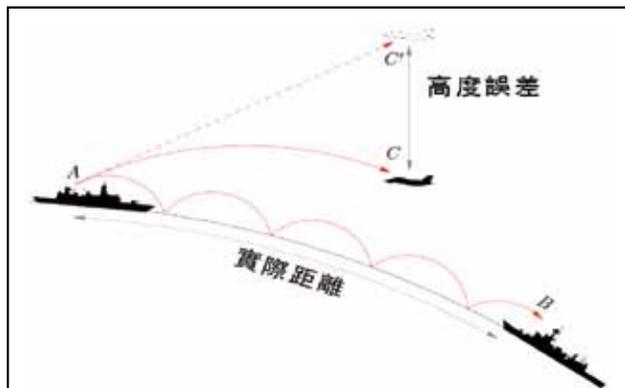
雷達盲區，來襲的飛機與飛彈多沿此區低空飛行隱蔽接敵；蒸發導管存在時，艦載雷達波的覆蓋區域中，會有一最低波束貼向海面，使雷達電磁波可以被傳播至視地平線之外，因此，此時越是貼近海面實施掠海飛行，越容易很遠就可能被敵方發現，而沿波導上方的盲區飛行，則可達成戰術突然性；此外，蒸發導管也會增強雷達雜波，不利雷達偵測。

三、空中(高空)導管的影響

當海面上出現逆溫層時，溫暖且乾燥的氣層將海面濕冷空氣截留在逆溫層下，使得溫度隨高度遞增，濕度隨高度銳減，從而形成空中導管。自近地面至6公里高度處均可能會出現空中導管，尤以3公里高度以下最為常見。空中導管所能截獲的電磁波頻率下限由其厚度而定，一般低於大多數實用雷達的標準波段；因此，多數雷達都可能受其影響³⁸。空中導管主要影響空中偵察、預警、截收和制導，此外與地面導管類似，空中導

註37：同註18，頁30-31。

註38：同註18，頁35。



圖八：空中導管(高空導管)影響電磁波射線軌跡模擬示意

資料來源：Joris Derksen, "Radar Performance Modelling", M.S. Thesis, Delft University of Technology, 2015, p.52。

管也會改變電磁波的有效覆蓋範圍，在擴大電磁波有效探測距離的同時，易在空中導管頂端形成電磁盲區，也會增強雷達雜波、降低雷達性能(如圖八)。

陸、結語

2016年美國海軍的一部水下滑翔觀測儀(Sea glider)在南海被中共海軍捕獲，造成中共與美國隔空不斷交火³⁹。水下滑翔觀測儀的主要任務是蒐集海洋氣象水文數據，它蒐集到的相關數據可能會對海上作戰產生直接影響。目前國立臺灣大學海洋研究所亦擁有水下滑翔觀測儀，觀測臺灣周邊海域水文資料，而現在學術用的水下滑翔觀測儀多用來探測海水溫度、鹽度、密度等數據，包括海浪、海流、潮汐等⁴⁰。對海軍而言，完整的海洋作戰環境資訊本應包含海洋周邊環境之地形與底質、海水水文資料、海象狀況及空中天候與氣流的變化。海洋作戰環境不僅

影響國軍各類型作戰方式與作戰時的兵力派遣；小如海象、陣風，影響艦艇武器發射之精準度與人員士氣，大如水文參數、地形與底質，則嚴重影響作戰時之戰術運用，甚至作戰計畫的設計導向等等。

作戰前若知道海上戰場環境資訊資料，可使作戰部隊尚未出港就知道作戰區當地海域天候、海流、水文與聲紋資料，使用兵單位清楚明白此時的大自然環境參數，何處對我方有利，何處敵艦會出沒，也就是要確實掌握作戰海域環境之「天、地、水」。臺澎防衛作戰之海域也界定為「臺灣周邊海域」，我們應該比美國與中共更加不遺餘力的去瞭解與探索臺灣周邊海域戰場環境之特性，才能確保我們有「主導戰場的能力」，使「武器裝備充分發揮效能」及保障「戰場人員安全」，最終達到「用兵於機先，勝敵於謀略」之目標。

作者簡介：

雷清宇上校，海軍官校81年班、國防大學理工學院碩士94年班、國防大學海軍指揮參謀學院96年班、戰爭學院102年班，曾任海軍基隆級、成功級艦副艦長、國防大學教官、教行室主任、講師，現服務於國防大學海軍指揮參謀學院。

毛正氣博士，備役海軍上校，海軍官校77年班、美國紐約州立大學石溪分校海洋環境科學碩士1992年班、美國海軍指揮參謀學院2000年班、美國紐約州立大學石溪分校海洋暨大氣科學博士2006年班，曾任旭海軍艦副艦長、艦長、海軍大氣海洋局局長，現任國立中央大學地球科學院水文與海洋科學研究所助理教授。

註39：雷鋒網，〈川普隔空喊話不要的無人潛航器，到底是什麼東西？〉，《科技新報》，2016年12月19日，<https://tech-news.tw/2016/12/19/what-exactly-is-an-underwater-drone/>，檢索日期：2019年3月7日。

註40：〈國立臺灣大學海洋研究所引進水下滑翔觀測載具Seaglider提升海洋觀測技術〉，臺灣大學海洋研究所網頁，<http://www.oc.ntu.edu.tw/?p=14667>，檢索日期：2019年3月7日。