

軍艦磁訊跡介紹與探討

林聖義^{1*} 鄭哲民² 盧建仲³ 葉樹安³ 胡卓瀚³ 黃宇川⁴

¹大葉大學電機工程學系

515006 彰化縣大村鄉學府路 168 號

²國立臺灣海洋大學輪機工程學系²

202301 基隆市中正區北寧路 2 號

³海軍造船發展中心

813000 高雄左營郵政第 90151 附 21 號信箱

⁴財團法人船舶暨海洋產業研發中心⁴

251401 新北市淡水區中正東路二段 27 號 14 樓

*linsir@mail.dyu.edu.tw

摘要

軍艦與商船最大不同處，除了安裝配置各類雷達、飛彈等武器系統裝備，另一項就是面對嚴苛作戰環境時的存活能力遠優於商船。這些能力包含彈片防護、電磁脈衝防護、核生化防護、抗爆震防護、紅外線訊跡匿蹤、雷達訊跡匿蹤、聲訊跡匿蹤及磁訊跡匿蹤等。然而前述各項訊跡基於先天物理特性一定會存在，必須要花費代價去處理，才能獲得相對應的抑制效果，降低敵方偵測到我方的機率，以提高戰場存活率。本文針對磁訊跡進行通盤介紹，首先分析產生艦艇磁訊跡的原因，接著說明磁訊跡管理邏輯，最後介紹艦艇消磁與整磁實務技術。

關鍵詞：軍艦磁訊跡，軍艦消磁，軍艦整磁

Magnetic Signature of Warships

SHENG-YI LIN^{1*}, CHE-MIN CHENG², CHIEN-CHUNG LU³, SHU-AN YEH³, CHO-HAN HU³ and YU-CHUAN HWANG⁴

¹Department of Electrical Engineering, Dayeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 515006, Taiwan, R.O.C.

²Department of Marine Engineering, National Taiwan Ocean University

No. 2, Beining Rd., Zhongzheng Dist., Keelung City 202301, Taiwan, R.O.C.

³Naval Shipbuilding Development Center

P. O. BOX 90151-21 Zuoying, Kaohsiung City 813000, Taiwan, R.O.C.

⁴Ship and Ocean Industries Research and Development Center

14F, No. 27, Sect. 2, Zhongzheng E. Road, Tamshui Dist., New Taipei City 251401, Taiwan, R.O.C

*linsir@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

Infrared, radar, acoustic, and magnetic stealth are critical for warships to reduce the probability of detection by enemies. Signatures of the aforementioned type exist on the basis of innate physical

characteristics, and they must be processed at a cost to obtain a corresponding suppression effect and improve a battleship's rate of survival on the battlefield. This paper introduces the concept of a magnetic signature and presents an analysis of the reasons for the generation of a ship's magnetic signature. It then explains magnetic signature management and finally introduces the technology used for ship degaussing and magnetization.

Key Words: stealth, magnetic signature, degaussing system

一、前言

現代艦船之船體結構、主機、輔機及各種設備主要都是由鋼鐵等金屬材料所組成，且分佈在各個艙室內或甲板上，整個艦船形成了一個具有複雜結構的龐大的鐵磁體。這種強磁性材料所構成的金屬艦船，建造和航行時受到了地球磁場的磁化，使船體周圍產生了艦船磁場。正由於艦船磁場的存在和可測量性，因而產生了用於攻擊或摧毀艦船的磁性感應水雷（現代水雷一般採用複合引爆裝置，即磁、音、水壓引信）。想要避免艦船遭到磁感應水雷的攻擊，勢必要減小或消除艦船磁場，進而產生磁性匿蹤的概念，即如何使艦船磁場盡可能降低或消除艦船磁場，使艦船遭受磁感應水雷攻擊的機率盡可能小或完全避免之。

二、艦艇磁訊跡分析

海軍艦艇載台主要由鋼質鐵磁性材料製成，就艦艇的磁訊跡而言主要是由以下四個方面造成的 [10]。

- (1) 鋼鐵殼船結構與地球永久靜磁場之間的相互作用。
- (2) 使用陰極保護來控制艦艇金屬表面的腐蝕。
- (3) 船艦在地球磁場中的運動會在船體中產生渦流。
- (4) 電氣設備和艦上電纜產生的雜散電場。

前述所討論的磁訊跡依據殘留影響時間長短還可區分成永久磁訊跡和感應磁訊跡。永久磁訊跡是由磁疇壁超過其可逆能量的重新排列所引起的，發生在艦艇在地球磁場中保持恆定航向相當長的一段時間，或遭受劇烈衝擊或機械應力發生很大變化時 [11]。感應磁訊跡是由於特定時間的航向引起磁化的瞬時響應。

艦艇永久磁訊跡的成分包含垂直，縱向和橫向磁化軸。這三個軸向分量是恆定的（隨時間緩慢變化除外），並且不受航向或磁緯度變化的影響。感應磁訊跡強度則取決於特定磁場區域磁場強度以及磁性材料相對於感應磁場的曲線 [3]。例如，艦艇從地球的南磁極開始向北行駛，則感應磁化的縱向分量強度從地球的南磁極開始為零，在磁赤道處增

加到最大值，在地球的北磁極處則減少到零。因此，若固定航向，當船艦移動到磁場的水平分量不同的位置時，或者當船艦改變其磁緯度時，通常表示為縱向分量亦隨之改變。如果在已知的磁緯度下，船艦的航向從北向東改變，則感應磁化的縱向分量將從北航向的最大值變為東航向的零。當船艦的航向從東向南改變時，縱向分量從東航向的零增加到南航向的最大值。在向南的航向上，艦艇感應成北極，向艦艏引向南極，與朝北的航向剛好相反 [3, 16]。

感應磁化分量強度也會隨著船艦的運動姿態（俯仰、傾側及橫擺）不同而有所變化，感應磁化強度的三個成分變化如下 [10, 11, 16]：

- (1) 當磁緯度或航向改變時，及船艦傾側時，縱向感應磁化強度都會改變。
- (2) 當磁緯度或航向改變時，及艦艇橫擺時，橫向感應磁化強度會受到影響。
- (3) 當磁緯度變化，或艦艇橫擺或俯仰運動時，不會發生變化。垂直感應磁化強度在改變航向會發生變化。

三、磁訊跡管理

磁訊跡管理是國防科技上用來描述在磁性感應器上偵測物體外觀磁性或磁訊跡的專業術語。一旦艦艇完成首次磁訊跡測磁及驗證之後，船艦就一定配合週期保養維護計畫定期返回測磁站微調其磁訊跡，否則，船艦磁訊跡將惡化或變形，當在進入雷區或潛在危險水域時對船艦及艦上官兵勢必被暴露在致命環境裡。

磁訊跡管理程序包含測量、分析、記錄和維護磁訊跡資料庫。所有海軍艦艇均應進行磁向測磁程序，以進行校準和檢查磁訊跡。每艘新造船艦都應將在消磁站內或縮小鋼模進行校準，以確定船艦的初始磁訊跡和消磁線圈電流設置。這個過程決定艦艇消磁系統的可靠性，準確性和有效性 [5, 9]。

磁訊跡通常是在艦艇進入或離開海軍基地時進行量測及記錄，通過位於艦艇航行所在特定航道或附近的測量設備

後，以得到磁訊跡報告。如果其磁場強度超過操作安全標準，則按計劃向艦隊部報告。進行校準時，要求艦艇從消磁控制站提供資料調整和校準其艦上消磁線圈，同時亦要經過該消磁控制站內許多次，以驗證確定消磁線圈的新資料設定被放置在消磁檔案。消磁線圈或電流數據設定將用作對同級艦艇進行磁向測磁處理的重要參考。如果艦艇由於永久性的縱向分量或橫向分量磁化強度變形過大，或永久性的垂直磁化強度不規則，而無法充分補償其磁場，則按週期保維修護計畫進行整磁 [21]。

四、消磁系統

目前減少艦艇磁訊跡手段有整磁與消磁兩種主要方式。整磁是對艦艇進行磁處理以暫時消除磁化強度；消磁是透過電流流過放置在艦體內的線圈來抵消感應的磁化強度，從而建立相反的磁場以消除淨磁場 [16]。磁處理過程必須能夠減少艦艇的磁訊跡，以保持艦艇對水雷的最小敏感性。為實現這一目標，此等消磁線圈系統建立尋求補償艦艇自身的磁訊跡特徵以及與艦艇在地球磁場中航行相關的感應磁性 [8]。

圖 1 顯示消磁線圈系統 [26]，主線圈 (V 或 M) 用於補償艦艇磁場的感應和永久垂直分量。艦艏感應線圈 (L) 補償艦艇磁場的縱向感應分量；橫向線圈 (A) 補償橫向感應和橫向永久性的磁場分量 [12]。當線圈一起使用時會對艦上的磁場產生最佳效果。線圈對於消除艦艇的背景環境磁性非常有用，而補償線圈則可以降低艦艇在地球磁場中移動時的感應效應 [4]。

閉迴路消磁系統是一種艦載機電系統，可測量艦載本艦磁場並使用艦載測量值估算艦外磁場 [15]。閉迴路消磁主要涉及線圈設計，電子和電腦技術（包括演算法控制）[19]，圖 2 顯示閉迴路消磁系統的操作流程，包含執行閉迴路消磁所需的設備包括艦載磁力計，消磁線圈，類比/數位轉換控制設備和執行閉迴路消磁演算法的處理電腦 [6]。閉迴路消磁可以提供更精確的消磁電流控制，以最大程度地減小艦艇的磁訊跡，並允許艦艇兩次校準之間更長的部署時間 [14, 21]。

五、整磁技術

整磁通常會對艦艇船體進行大體積的去磁處理，去磁過程可以透過兩種方式進行：成分去磁或常規去磁。成分去磁

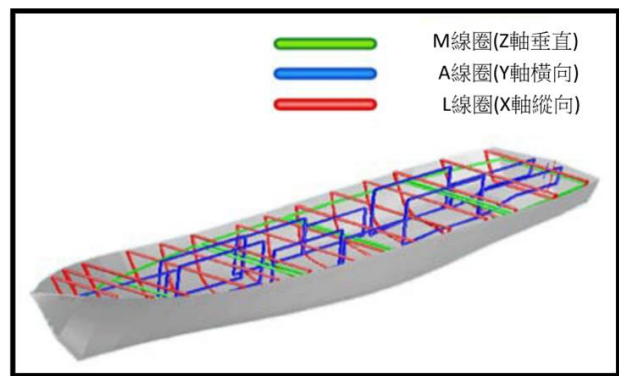


圖 1. 安裝於艦艇上典型消磁線圈系統 [26]

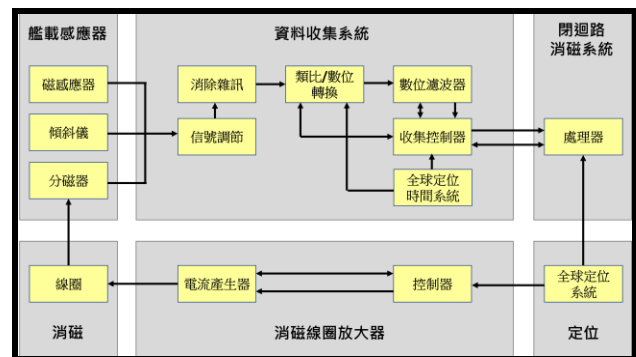


圖 2. 閉迴路消磁系統示意圖 [5]

使用三個線圈進行：縱向線圈用於縱向磁化的垂直分量；橫向線圈用於橫向磁化的垂直分量；垂直線圈用於垂直磁化的垂直分量。三個線圈中的每個線圈均由單獨的電源供電，每個電源都能夠精確控制所施加電源和電流的大小 [13]。常規去磁程序稱為 Flash-D [2]。其概念是使船艦的縱向磁化強度消磁，並使永久性垂直磁化強度偏置，從而幾乎完全消除本艦感應的垂直分量，原理是透過使艦艇經受一系列外部磁場的“脈波”來實現 Flash-D。每次脈波包括外部施加的磁場分量的逐步遞增傾斜到預定的最大振幅，然後逐步遞減到零 [22]。在隨後的每次脈波中，施加的磁場的極性都會反轉，並且振幅會線性減小。

整磁過程是在專門設計的設備上進行，該過程要求電纜在特定的持續時間和強度下透過高直流電流供電。然後，具有相同持續時間和大小的反極性直流電流流過電纜，重複透過減少持續時間和減小幅度直到船體消失為止的過程 [1, 10, 11, 12]。世界各國海軍都會在所新造船艦上使用整磁工藝或建立縮小鋼模實際量測驗證，並配合在岸邊或海上驗收測試程序，將對新安裝的艦上消磁系統的功能進行測試和驗證。此海試結束後，將艦載消磁系統獲得多餘永久磁場和感

應磁場的最小化，以達到可以接受的安全極限的電磁條件 [7, 23]。

整磁技術系統的磁處理方式包含駛入、越過和封閉等三類系統。帶有駛入系統的設施（圖 3）由固定結構組成，其中永久安裝了處理線圈。待處理船艦從一端進入設施並就地繫泊，該船艦在強磁場作用下進行磁處理完成後離港。這種類型的設備提供非常快的設置時間和對艦艇的處理。然而，在所有可用類型的磁處理設施中，建築設施和電源成本卻是最高 [23, 25]。預計 2022 年，德國和荷蘭皇家海軍艦艇將在德國基爾使用新的磁處理設施，該設施將能夠處理長達 180 公尺、寬 25 公尺的海軍艦艇，並被稱為是北歐同類設施中最現代化的設施，由德國和荷蘭共同出資，耗資 5400 萬歐元 [17]。

第二種選擇是穿越系統（圖 4），它由永久安裝在海床上的處理線圈組成。這些線圈會產生很大的磁場，使艦艇在連續操作過程中越過處理設備時會給艦艇造成很大的干擾。水的深度越大，在艦體上達到磁場位準所需的電流就越大，這對於修改磁化強度並提供所需的磁訊跡減弱標準來說，是必不可缺的。穿越系統是處理船艦的最簡單方法，因為對於某些船艦，仍然可以在線圈上進行許多操作，無需繫泊或停泊艦艇。雖然比駛入處理系統便宜，但它仍然是昂貴的系統，安裝在海底的線圈和感應器可能容易因疏浚、拖網、錨鍊或漂流鐵磁物質干擾造成損害影響精度 [23, 25]。

第三種選擇是封閉式系統（圖 5），該系統帶有可配置的線圈組，可同時處理水面艦和潛艦，並且可以提供各種需求，從固定的永久性系統到帶有獨立電源的完全可攜式浮動線圈的系統。這種處理對所有類型的艦艇都具有長久的影響。該系統要求將一組線圈直接纏繞在要處理的艦上。電纜是為每艘船專門設計的，以防止對處理過程造成不必要的影響 [20]。還提供了浮動的 Z 形線圈，可提供可攜式的處理系統，該系統允許在多個不同的位置使用該系統，或在不使用時將該系統儲存起來，從而釋放了船塢和碼頭空間。固定和可攜式封閉處理設備之間的主要區別在於，採用固定設置後，Z 線圈和感應器將永久安裝，而對於可攜式系統，Z 線圈可以自由浮動，因此可以移動 [23]。

六、結論與策進

船艦由大量具有獨特磁化特性的金屬組件製成，這些金屬組件在海上航行，並產生磁訊跡。該磁訊跡是唯一的，對



圖 3. 潛艦駛入整磁設施 [24]

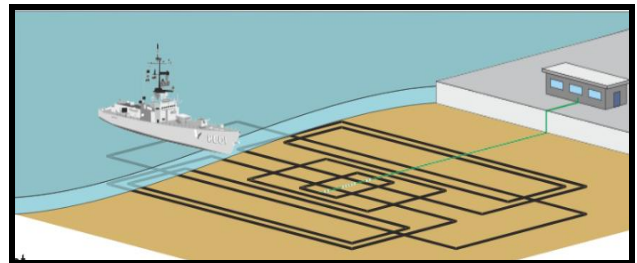


圖 4. 靜態超越整磁過程示意圖 [7]



圖 5. 哈利法克斯級護衛艦（HMCS Toronto）在 Lambert's Point Deperming Station，周圍纏繞著 50 多根電纜，進行整磁 [18]

於各類型的艦艇而言都是不同的，並且取決於航行區域的緯度、任務性質以及艦艇的幾何形狀。了解磁訊跡和選擇處理此問題上的成效，將為操作手在高風險水域中安全操作的準備和能力上提供了重要資訊。

磁感應技術的演進是來自水雷的威脅，這種趨勢預計將持續下去，為降低水雷風險將需要更重大的磁訊跡發展。因

此，磁向測距和消磁系統必須能夠測量和減小艦艇的磁訊跡。對海軍艦艇的磁訊跡進行測量，可以確定艦艇對磁性水雷的弱點，除了改進的磁訊跡特徵測量外，還需要分析和處理能力以及磁向測距和處理設施，並且必須對當前和新出現的威脅能力做出反應，以具足夠的磁還原性能。對於威脅感應器應必須量化，可以利用的艦艇磁訊跡的暫態時間，頻譜和空間特徵，確定和理解其來源，以便找到減輕風險的有效方法。在技術專長和設施上進行適切的投資，以確保在減少艦艇磁訊跡的技術能進化，使其成功地完成任務。

在軍事方面為避免被偵蒐，用於現役艦艇和設計階段的艦艇磁訊跡之估測建模非常重要，必須透過不斷研究和開發周圍磁環境的性質，磁訊跡管理和磁反制來應對種種威脅。尤其是在設計階段，應以模擬和鋼模用於研究或估測艦艇和其他的磁訊跡特性。顯然，需要採取具體措施來確保可用的艦艇磁訊跡技術並在將來加以應用，以達到所需的艦艇磁訊跡安全位準標準。此外，更應著重維護艦艇磁訊跡資料庫，精進現代測量功能和處理設施，開發有效估測和支持艦艇磁訊跡分析所需的設施和計算工具。

參考文獻

- Arantes do Amaral, J. A. A., P. L. Botelho, N. F. F. Ebecken and L. P. Caloba (1998) Ship's classification by its magnetic signature. 1998 IEEE International Joint Conference on Neural Networks Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence.
- Baynes, T. M., G. J. Russell and A. Bailey (2002) Comparison of stepwise demagnetization techniques. *IEEE Transactions on Magnetics*, 35, 1753-1758.
- Bekers, D. and E. Lepelaars (2013) Degaussing system design optimization. 8th International Marine Electromagnetics Conference - MARELEC 2013, 16-19.
- Choi, N. K., G. Jeung, C. S. Yang, H. J. Chung and D. H. Kim (2012) Optimization of degaussing coil currents for magnetic silencing of a ship taking the ferromagnetic hull effect into account. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 22(3), 4904504.
- Daya, Z. A., D. L. Hutt and T. C. Richards (2005) *Maritime Electromagnetism and DRDC Signature, Technical Report DRDC, TR 2005-278, 1-80*, Management Research. Defence R&D Canada - Atlantic.
- Demilier, L., G. Cauffet, O. Chadebec, J. L. Coulomb and L. L. Rouve (2010) Validation of closed loop degaussing system for double hull submarines. *Marine System and Technology*, 1-5.
- ECA Group (2019) Magnetic treatment and deperming signature reduction for surface ships and submarines. Retrieved February 28, 2023, from <https://docplayer.net/100509158-Magnetic-treatment-deperming-signature-reduction-for-surface-ships-and-submarines.html>.
- Gonjari, V., T. Rakshe and S. Khadse (2017) Magnetic silencing of naval ships using ridge regression. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 5(5), 756-760.
- Hasril, N., C. I. Mahdi, M. Mohd Moesli, N. Y. Nik Hassanuddin, D. Y. Mohd Subhi and N. Irwan Mohd (2013) Management of naval ships' electromagnetic signatures: a review of sources and countermeasures. *Defence S and T Technical Bulletin*, 6(2), 93-110.
- John J. Holmes (2006) *Exploitation of a Ship's Magnetic Field Signatures*, 1st Ed., 5-18, Springer Cham, London, UK.
- John J. Holmes (2007) *Modeling a ship's ferromagnetic signatures*, 1st Ed., 21-75, Springer Cham, London, UK.
- John J. Holmes (2008) *Reduction of a Ship's Magnetic Field Signatures*, 1st Ed., 1-68, Springer Cham, London, UK.
- Kim, D. W., S. K. Lee, B. Kang, J. Cho, W. S. Lee, C. S. Yang, H. J. Chung and D. H. Kim (2016) Efficient re-degaussing technique for a naval ship undergoing a breakdown in degaussing coils. *Journal of Magnetics*, 21, 197-203.
- Liu, S., G. Zhou, C. Xiao and D. Liu (2012) The study on the deployment regions of magnetic sensors in the closed loop degaussing system for double hull submarines. IEEE 2012 Sixth International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications, Dalian, Liaoning, China.
- Morris R. M. and B. O. Pedersen (1961) *Magnetic field detection for closed - loop degaussing of a steel ship*, 1-15, National Research Council of Canada, Radio and Electrical Engineering Division.
- Naval Sea Systems Command, Naval Ships' Technical Manual. S9086-QN-STM-010 Chapter 475 Magnetic Silencing (Direction of Commander, USA, 1992), 1-108.
- Naval Today (2017) German navy to receive new degaussing facility by 2022. Retrieved February 28, 2023,

- from <https://navaltoday.com/2017/10/06/german-navy-to-receive-new-degaussing-facility-by-2022>.
18. Rago, G. (2018) There's a house in the middle of the Elizabeth river with a critical job for the U.S. Navy. Retrieved February 28, 2023, from https://www.pilotonline.com/military/article_acd7117c-8529-11e8-848c-db1203677306.html.
 19. Richard, M. M. and A. W. Robert (2015) *Ship degaussing system and algorithm*, 1-13, The United States of America as represented by the Secretary of the Navy, Washington, DC.
 20. Ross, R., C. G. Meijer and R. J. van de Mheen (2012) Degaussing by normal and superconductive windings. Proceedings of 11th International Naval Engineering Conference and Exhibition, Edinburgh.
 21. Sarwito, S., J. Prananda, E. S. Koenhardono and A. W. Kurniawan (2017) Study of calculation of degaussing system for reducing magnetic field from submersible vehicle. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 1(2), 68-75.
 22. Schulze C., D. Chan, E. Funasaki and K. Wong (2012) Case study of a navy magnetic silencing facility. 12th Triannual International Conference on Ports, 1326-1335.
 23. SAM electronics GmbH (2012) Mobile magnetic and multi influence range. Retrieved February 28, 2023, from <https://www.yumpu.com/en/document/view/4086753/mobile-magnetic-and-multi-influence-range-sam-electronics-gmbh>.
 24. SSFM International Inc. (2019) Submarine drive-in magnetic silencing facility. Retrieved February 28, 2023, from <https://ssfm.com/project/submarine-drive-in-magnetic-silencing-facility/>.
 25. ULTRA MARITIME (2020) Magnetic treatment and deperming. Retrieved February 28, 2023, from <https://www.ultra.group/our-business-units/maritime/signature-management-power/signature-management/#acc-magnetic-treatment-and-deperming>.
 26. Varma. R. A. R. (2014) Design of degaussing system and demonstration of signature reduction on ship model through laboratory experiments. *Physics Procedia*, 54, 174-179.

收件：112.03.01 修正：112.03.14 接受：112.03.24