

## 第二章 中共海軍新世代武器發展之評估

江忻杓\*

### 壹、前言

中共海軍在水下、水面和空中各型載台、攻船彈道飛彈（anti-ship ballistic missile, ASBM）、潛射彈道飛彈（submarine-launched ballistic missile, SLBM）和電磁能武器的發展，品質和數量都在不斷提升，已經取得相當的成果。其中電磁能武器裝備具有成本低、效益高等特性，一旦列裝服役可能會改變未來的作戰型態。因此，本年度科技趨勢評估報告針對中共海軍的部分，鎖定其艦載型電磁能武器為研究評估對象。光電磁輻射技術的武器化應用主要是在高能雷射（high energy laser, HEL）、高功率微波（high power microwave, HPM）、低頻與超頻（low frequency and extremely low frequency, LF & ELF）、粒子束武器（particle-beam weapon）等離子束武器（又稱「電漿砲」，plasma weaponry）、無線電射頻（radio frequency, RF）、聲波武器（sonic weaponry）、線圈砲（coilgun，又稱「高斯砲」“Gauss gun”）、電磁軌道砲（electromagnetic railgun, EMRG，依其工作原理又稱「導軌電磁砲」）、電熱化學砲（electrothermal-chemical, ETC）、電熱砲（electrothermal gun）、高空電磁脈衝武器（high-altitude electromagnetic pulse, HEMP）、重接砲（reconnection gun）、先進攔阻索（Advanced Arresting Gear, AAG）及電磁彈射器（Electromagnetic Aircraft Launch System, EMALS）。這些都是異於傳統火炮的新概念武器，前面七項被歸類為定向能武器（directed-energy weapons, DEW）的範疇，<sup>1</sup>其餘則是透過電能形成強烈磁力驅動的武器和裝備。囿於篇幅限制，本文僅針對中共海軍艦載電磁能武器的雷射、微波和電磁軌道砲等技術發展較成熟的新概念武器

\* 國防戰略與資源研究所助理研究員。

1 大陸常用辭語編輯委員會編，《大陸常用辭語彙編》（臺北：秀威出版公司，2009年），頁172。

加以評估，並歸納其特點和弱點，分析其對現代化作戰的可能影響。其他電磁能武器和裝備以及可能裝配的載台雖然不是本文論述的範圍，由於其未來發展趨勢對於軍事作戰同樣具有深遠的影響作用，因此，仍然值得國軍、國防科研機構以及國防智庫保持密切關注。

## 貳、中共海軍艦載電磁能武器的發展

### 一、高能雷射武器

中共在 1986 年啟動「高技術研究發展計畫」（863 高科技武器計畫），雷射武器是中共 20 個軍事運用的重點研究發展項目之一，<sup>2</sup> 主要包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）雷射、碘化氧化學雷射（chemical oxygen-iodine lasers, COIL）、自由電子雷射（free-electron laser, FEL）和 X 射線雷射（X-ray laser）等，其中 CO<sub>2</sub> 和化學雷射的輸出功率達萬瓦級以上，在熱力學效應等強光雷射破壞研究進行廣泛實驗研究和理論分析得到良好的成果。解放軍高能雷射武器在 2000 年的一次反飛彈試驗中，曾摧毀一枚側向發射的飛彈。雖然通過初步測試，但遲遲並未列裝部隊，主要原因可能是遇到能源儲存、回收以及體量太大等問題；雷射武器需要龐大的電力支持，而固體雷射（solid state laser, SSL）雖有壽命長的優點，但重達 10 噸的體量卻也使其應用領域受到拘束，機載和車載都有很大難題，只能安裝在陸地固定陣地或大型艦艇。只要解決電力問題，即容易發揮連續射擊的優勢和效率。經過 20 年的測試和改良，中共似乎攻克了儲能和體量的難題，據稱雷射武器已安裝在 055 型驅逐艦的防空甲板（駕駛台上方）。<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Dallas Boyd (principle), Jeffrey G. Lewis and Joshua H. Pollack (contributed), *Advanced Technology Acquisition Strategies of the People's Republic of China* (Contract Number: DTRA01-03-D-0017, T.I. 18-09-03) (Virginia, USA: Defense Threat Reduction Agency Advanced Systems and Concepts Office, 2010), p. 81.

<sup>3</sup> Richard D. Fisher, Jr., "China's Progress with Directed Energy Weapons," paper presented at the Testimony before the U.S.-China Economic and Security Review Commission hearing, (Washington, D.C., USA: February 23, 2017), p. 8.

## 二、高功率微波系統

一般來說，微波武器藉由高功率定向能量脈衝照射目標，使其電子系統過載而喪失功能；微波系統產生的能量愈高，對目標電子系統（如發動機和通信系統）的干擾就愈大，功率高的微波武器甚至可以對目標造成物理損害。<sup>4</sup> 由於海軍艦載微波武器具有功率高和波束傳遞距離遠等特性，相較於高能雷射武器，在重量、空間和功率的限制條件比較小，有部分裝備安裝到大型軍艦投入實戰測評，很有可能在未來 5 年內會成為解放軍海軍艦艇的制式武器。中共西北核技術研究所副所長黃文華及其團隊對定向能武器進行多年研究，於 2017 年 1 月獲得大陸科技進步獎一等獎。其相關論文資訊顯示，該團隊研製的系統可能用於艦載反飛彈武器系統，主要方式是透過微波干擾及毀傷來襲的敵方飛彈或載台上的電子設備，相關模擬試驗在 2010 年於西北大漠進行，曾取得相當成果。<sup>5</sup> 國軍應本著「料敵從寬」的態度，不宜小覷中共擁有高功率微波武器可能構成的威脅。

## 三、電磁軌道砲

從美國上世紀 80 年代將電磁軌道砲研製列入「星球大戰」計畫（Strategic Defense Initiative, SDI）開始，發展與應用電磁動能武器（electromagnetic kinetic weapons）就如同科幻武器一般，迅速闖入現代戰爭的世界。<sup>6</sup> 電磁砲源自發射彈頭的兩條電磁軌道而得名，<sup>7</sup> 憑藉著巨大的電磁力量推動金屬彈頭，使其以 4 至 7 馬赫（Mach）的超高速撞擊

4 Jeffrey Lin and Peter W. Singer, "China's New Microwave Weapon Can Disable Missiles and Paralyze Tanks," *Popular Science*, January 27, 2017, <https://www.popsci.com/china-microwave-weapon-electronic-warfare/>.

5 Louis A. Del Monte, *War at the Speed of Light: Directed-Energy Weapons and the Future of Twenty First Century Warfare*, (Nebraska, U.S.: University of Nebraska Press, 2021), p. 106.

6 Brian Weeden and Victoria Samson ed., *Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment* (Washington D.C., USA: Secure World Foundation, April 2019), pp. 3-13.

7 Josh K. Elliott, "Why China's 'Miracle' Railgun Weapon Should Scare the U.S. Navy," *Global News*, January 3, 2019, <https://globalnews.ca/news/4810853/china-railgun-warship-weapon/>.

目標，這意味它們比任何火藥推動的子彈射得更遠，對目標造成的傷害也更大。例如，只要 32 百萬焦耳（megajoule, MJ）的勞倫茲力（Lorentz force）即可推動一枚 10 公斤重的實心彈頭以超音速的動能擊殺（hit-to-kill）100 哩外的目標。<sup>8</sup> 2014 年 4 月，解放軍海軍 072 型兩棲登陸艦海洋山艦（舷號 936）首次進行海上測試，後來又在 2018 年 3 月和 12 月分別披露多次出海進行電磁炮試射取得成功。

美國情報判斷解放軍海軍的電磁軌道砲最快 2025 年才能服役，<sup>9</sup> 美國海軍則在 2021 年 6 月正式終止自 2005 年啟動的電磁砲研發項目。<sup>10</sup> 此一情資顯示了兩個意涵，一個是電磁砲的材質和儲能的問題應該不是那麼容易解決；另一個是中共可能在這些問題上取得相當的進展。一般的艦砲大約可以發射 600 發砲彈，電磁砲受制於耐高熱材質的問題，發射 10 發至 20 發之後可能就需要更換砲管；相關的電子元件也會被燒蝕，然而頻繁更換砲管和元件顯得太不經濟；而能源儲存的效率也攸關電磁砲連續射擊的能力。因此從 2018 年「成功」測試之後，仍必須推遲到 2025 年才能列裝服役的現象判斷，解放軍海軍的電磁砲應該還存在一些亟待解決的問題。換言之，原規劃安裝電磁砲的 055A 型驅逐艦，其服役時間也會受到安裝時程推遲的影響。

## 參、電磁能武器的特弱點及對作戰的影響

### 一、高能雷射武器

雷射武器是利用強大的定向雷射光束直接毀傷目標或使其喪失功能，它是利用高亮度強雷射束的巨大能量摧毀或殺傷敵方飛機、飛彈、

<sup>8</sup> Arthur Dominic Villasanta, "Type 055 Second Generation Chinese Destroyers to be Armed with Railguns," *China Topix*, July 27, 2016, <https://www.chinatopix.com/articles/96685/20160727/second-generation-chinese-destroyers-armed-railguns.htm>.

<sup>9</sup> Jared Keller, "China's Electromagnetic Railgun Is Apparently Already Roaming the High Seas," *Task and Purpose*, December 29, 2018, <https://taskandpurpose.com/military-tech/chinas-electromagnetic-railgun-sea-trials/>.

<sup>10</sup> Konstantin Toropin, "The Navy Finally Pulls the Plug on the Railgun," *Military.com*, July 2, 2021, <https://www.military.com/daily-news/2021/07/02/navy-finally-pulls-plug-railgun.html>.

衛星和人員的一種高科技概念武器，具有其他武器無可比擬的優點。其主要特點包括射擊速度快、精度高、攔截距離遠、火力轉移迅速、不受電磁波干擾、持續戰力強、不會污染環境等。其主要缺點是需要高能量維持、高能電池技術尚未突破、體量太大；無法全天候作戰（all-weather operations）；很容易受到積雲、濃霧、大雪、暴雨的限制；很難克服大氣環境對雷射能量吸收和大氣擾動（atmospheric disturbance）引起的能量衰減。儘管如此，中共在定向能武器的研發還是取得相當的成就，特別是在機載雷射（airborne laser, ABL）、反衛星（anti-satellite, ASAT）雷射以及戰術高能雷射（tactical high energy laser, THEL）的研製方面都得到很大的進展。

已經有多個案例證實中共已將雷射武器化應用，並且得到相當的成效。2005年至2006年，中共多次使用高能陸基雷射照射（painted or illuminated）飛越中共領空的美國間諜衛星，<sup>11</sup>使其「產生炫目或致盲」（dazzling or blinding）；<sup>12</sup>2018年5月，美軍指控解放軍駐吉布地（Djibouti）基地多次對飛越的美國偵察機使用雷射武器；<sup>13</sup>2020年2月，解放軍南部戰區海軍161艦艇編隊進入西太平洋「遠海長航」訓練，曾以雷射照射抵近偵察的美軍P-8A海洋反潛巡邏機，被美方指控為「不安全和不專業的行為」；<sup>14</sup>這些案例顯示，高能雷射武器雖然是一種非致命性武器（non-lethal weapon），卻足以使敵人及其武器裝備喪失戰鬥力。2017年2月，阿布達比（Abu Dhabi）國際防務展（International Defence Exhibition, IDEX）期間，中共保利公司宣稱，該公司正在研發一款海軍版

---

<sup>11</sup> Ajey Lele, *Strategic Technologies for the Military: Breaking New Frontiers* (CA., USA: SAGE Publications, 2009), pp. 96-97.

<sup>12</sup> Yousaf Butt, "Effects of Chinese Laser Ranging on Imaging Satellites," *Science and Global Security*, No. 17, 2009, p. 30.

<sup>13</sup> Gordon Lubold and Jeremy Page, "Laser from Chinese Base Aimed at U.S. Military Pilots In Africa's Skies, Pentagon Charges," *The Wall Street Journal*, May 3, 2018, <https://www.wsj.com/articles/laser-from-chinese-base-aimed-at-u-s-military-pilots-in-africas-skies-pentagon-charges-1525351775>.

<sup>14</sup> Ryan Browne, "US Says Chinese Warship Fired Military Laser at US Aircraft," *CNN*, February 28, 2020, <https://edition.cnn.com/2020/02/27/politics/chinese-laser-us-aircraft/index.html>.

30+ 千瓦的沉默獵人（Silent Hunter）—— 光纖雷射系統（fiber-optic laser system），能夠在 1 公里開外破壞接近的飛彈快艇或察打無人機。若透過精確定位，亦可癱瘓（neutralize）次音速飛彈或精確導引彈藥（precision-guided munition, PGM）的尋標器。預期這些高能雷射武器將會大規模改變海軍作戰的型態，<sup>15</sup> 雷射武器摧毀特定目標所需功率範圍如表 2-1：<sup>16</sup>

表 2-1 雷射武器攻擊特定目標所需功率表

功率：千瓦（kW）				
~10 kW	10~90 kW	100 kW	500~999 kW	1 MW
無人機				
	火箭、大炮和迫擊炮			
		快艇／卡車		
			飛彈	

資料來源：Jane's Intelligence Briefing，2016 年 4 月 21 日。

## 二、高功率微波武器

微波武器的主要特點是波束寬、範圍廣、速度快、威力大；不需對準目標即可攻擊；不受天候和大氣環境影響；具相當程度的穿透力，能夠穿透牆壁和玻璃，受障礙的限制較低；體量較輕，占用空間較小，可安裝的載台較多；看不見、摸不著，傷人於無形，有「無形殺手」稱號。其主要缺點是抗干擾能力差；敵我不分，容易造成目標區附近的友軍和電子裝備受到傷害；損害鑑定（damage assessment）不易等。主動拒止系統（active denial system, ADS）是高功率微波武器化應用的產品之一，這種毫米波（millimeter wave, MMwave）電磁能發射器很適合應用在武力保護（force

<sup>15</sup> Richard D. Fisher, Jr., "China's Progress with Directed Energy Weapons," p. 8.

<sup>16</sup> Ben Goodlad, "Star Wars: High Energy Laser Weapons Awakening," *Jane's Intelligence Briefings*, April 21, 2016, <http://janes.ihs.com/Janes/display/jibr2260-jibr>.



protection) 的任務遂行。<sup>17</sup> 在連續的衝突行動中，使用 HPMs 脅迫敵人，可以達成四個戰略目標：第一是懲罰 (punishment) 敵人；第二是給敵人製造風險 (risk)；第三是斬首 (decapitation) 重要的敵人；第四是拒止 (denial) 敵人的行動，<sup>18</sup> 發揮脅迫的作用 (coercive effects)，應用在打擊恐怖主義等反價值 (countervalue) 的目標尤其有效。<sup>19</sup>

金燦榮在 2020 年 11 月接受訪問指稱，解放軍在拉達克地區衝突期間，曾使用微波武器逼退印軍。儘管印方高層斥之為假新聞，但在 2021 年 1 月出版的《2020 國防部年終檢討報告》(Year End Review-2020 Ministry of Defence) 卻指控中方使用非正統武器 (unorthodox weapons)，導致班公湖山頭的印軍因嘔吐、暈眩而不得不撤離，<sup>20</sup> 間接承認確有其事。微波武器也可以攻擊衛星、彈道飛彈、巡弋飛彈、飛機、艦艇、戰車、通信系統、雷達和電腦設備，尤其是指揮通信樞紐和作戰鏈路等重要的指揮系統節點，使目標遭受物理性破壞，喪失作戰能力，達到不能修復的程度。2017 年 2 月，英國《每日星報》(Daily Star) 報導，中共最新的射線武器技術能夠在不發一槍一彈下，癱瘓敵人戰車、擊落空中戰機、摧毀海上艦船。美國現代戰爭專家辛格 (Peter Warren Singer) 認為這種微波武器開闢了新的戰場攻防作戰模式，改變了未來的作戰型態，<sup>21</sup> 其影響必須正視。

---

<sup>17</sup> Edward H. Lundquist, "Transforming War at Sea Through Disruptive Technologies: New Weapons Are Energizing the Maritime Battlespace," *Defense Media Network*, May 21, 2011, <https://www.defensemianetwork.com/stories/transforming-war-at-sea-through-disruptive-technologies/>.

<sup>18</sup> Jack McGonegal, *High Power Microwave Weapons: Disruptive Technology for the Future* (Diss., Air Command and Staff College, 2020), p. 14.

<sup>19</sup> 在軍事學說中，反價值是指針對對手有價值，但實際上並不構成軍事威脅的資產，如城市和平民人口。

<sup>20</sup> Press Information Bureau, "Year End Review-2020 Ministry of Defence," *Government of India*, Januari 1, 2021, <https://pib.gov.in/PressReleseDetail.aspx?PRID=1685437>. and Aakriti Sharma, "Has India Finally Acknowledged That Chinese PLA Used Microwave Weapons Against Indian Soldiers in Ladakh?" *The Euro Asian Times*, January 6, 2021, <https://eurasianimes.com/has-india-finally-acknowledged-that-chinese-pla-used-microwave-weapons-against-indian-soldiers-in-ladakh/>.

<sup>21</sup> Henry Holloway, "China's 'Killer Microwave' Drone to Blast Planes, Fry Warships and Paralyze Tanks," *Daily Star*, 12 February 2014, <https://www.dailystar.co.uk/news/latest-news/china-war-weapon-microwave-drone-16983208>.

### 三、電磁軌道砲

電磁軌道砲的主要特點是速度高、射程遠、殺傷力強、不易攔截、抗干擾力強、貯彈量大、成本低等，未來可能會取代攻陸巡弋飛彈（land-attack cruise missile, LACM）、戰術空中支援（tactical air support）和海軍艦砲火力支援（naval gunfire support, NGFS）的任務，並對海上作戰、戰術運用、海上平台設計及其裝備發展都產生革命性的重大影響，可以說是一種改變作戰模式的新概念武器。主要缺點是需要極高的電磁能量，而電力儲存困難，電源系統龐大、笨重、結構複雜、成本居高不下；發射時會產生高溫電弧而燒蝕導軌，降低砲管壽命；彈頭命中精度受大氣環境影響，射程愈遠，誤差愈大；電磁砲抗負載能力不易達到理想的射擊距離，以 400 公里射程為例，電子元件要承受 40,000 焦耳的負載，目前技術尚難以克服。

從上述電磁軌道砲的眾多缺點中，可以歸納出三個關鍵性的難題，一是發電和儲能問題，電磁軌道砲需要巨大的電磁力量發射超高速彈頭（hypervelocity projectile, HVP），也必須儲存發射所需的能量，以利隨時發射；二是要能處理發射後所產生的超高熱量，否則電磁導軌會被巨大熱量產生的汽化等離子電樞（plasma）裂解；<sup>22</sup> 三是實心彈頭承受飛行摩擦高溫的問題較易處理，若採導引裝置的非實心彈頭，雖能保證命中精度，卻可能減損擊殺效力。因此，處理好高強度熱量的材料是中共電磁砲成功的關鍵。從東風 -17 超高音速飛彈以 20 倍音速命中 2,000 公里的目標以及神舟 12 號返回艙成功著陸來看，應該可以攻克在 HVP 安裝微型導引元件和耐超高溫材質的技術，但因此而增加的彈頭成本是否會減損電磁砲的整體優勢仍值得評估。然而，中共軍工科研機構已經朝導引彈頭和電磁火箭砲的方向發展，估計新一代電磁軌道砲和電磁火箭砲將在 2030 年入列。

---

<sup>22</sup> Tate Nurkin, *China's Advanced Weapons Systems* (Prepared for U.S.-China Economic and Security Review Commission) (USA: Jane's by IHS Markit, 2018), p. 213.



## 肆、小結

微波與雷射武器都是以光速或接近光速傳輸的先進武器技術，這兩種武器作用原理相似，但殺傷方式不同。雷射武器是一種硬殺（hard kill）手段，主要是把雷射光束聚焦得很細，精確照射目標，進而癱瘓目標。微波武器是以干擾或燒毀武器的電子元件為特點的一種軟殺（soft kill）手段，所需能量比雷射低很多，可以安裝在無人機等小型載台。這兩款定向能武器有許多「作戰實例」，將比電磁軌道炮更早裝備服役，而 EMRG 距離成熟列裝還需要幾年光景。

電磁能武器發揮作用的關鍵在於具備大量充足的電力支持，由於傳統艦艇的機械推進與電力系統分離，無法持續供應電磁能武器使用，而其他武器和裝備在同一時段也只能分區供電。全電力推進（integrated electric propulsion, IEP）系統則可大幅提高電力的效能，同時可以滿足艦船運動、武器發射、裝備操作和生活用電的需求，解放軍海軍尚無使用全電力推進的現役艦艇，這也應該是電磁能武器——尤其是電磁軌道砲——遲遲無法裝備上艦的重大制約因素。

從 003 型航艦安裝電磁彈射器和先進攔阻索來看，可以斷定其動力系統係採用全電力推進，才可能為電磁能裝備全面上艦提供有力的支撐。解放軍海軍的電磁能武器可以應用在防空和飛彈防衛（air and missile defense, AMD）、反介入／區域拒止（anti-access/area denial, A2/AD）、近迫武器系統（closed-in weapon system, CIWS）、太空反制（counter-space）、反制無人機（counter UAV or counter drone）以及電子作戰（electronic warfare, EW）等領域，基於電磁能武器和裝備對未來作戰的高度效益性，研判中共將不惜血本賡續發展，並於未來數年裝備在全電力推進的各型艦艇，殊值關注預應。

