

海軍最新銳之轉型武器 — 電磁軌道砲

譯者／李仲誼

海軍官校正期43年班

備役海軍上校

本文譯自jdw. janes.com JDW 23 May 2007，著者Richard Scott

美國海軍研究發展室(Office of NAVAL Research, ONR)正領導諸先進團隊共同協力突破發展瓶頸，發展「成熟」的電磁軌道砲(Electromagnetic Railgun, EM Rail gun)新科技；將此最新銳轉型武器(Game-Changing Weapon)發展為易於部署的戰術武器系統(Deployable Tactical Weapon System)。該電磁軌道砲提供了亟具前瞻性及極具戰術價值的舉世無遠的特性：倍增射程、超高速的飛行速度及無不摧堅之殺傷功能！

一、電磁軌道砲基本原理及結構

電磁軌道砲原理概述：電磁軌道砲係運用「作用於帶電質子通過磁場的習稱為勞倫茨力量」(Lorentz Force)之電磁力量來推進發射砲彈(譯者按：該勞倫茨氏係荷蘭物理學家，獲1902年諾貝爾物理獎；其主要理論即為Lorentz Force;英國及美國係依據該Lorentz Force發展為武器之「主流」)。此勞倫茨力量提供之超高加速力量(Extremely High Accelerating Force)而創下史無前例的「發射砲口初速」(Launch Muzzle Velocities)(遠超過傳統的化學能推進發射的火砲)。

簡單地說：一座電磁軌道砲之基本結構包含兩條平行的導電軌(Two Parallel Conducting Rails)，此對導電軌即為長管形的「砲管」(Barrel)，在此兩軌間安置一枚砲彈，以此「砲彈」造成一完整的「電子流場」(Electrical Circuit)。而所需的大量強勁電力係由一座強力電容器(Capacitor Bank)或強力飛輪(Rotating Machinery)(譯者按：飛輪係最小摩擦力之高效率儲能設施)的「脈衝成形網」(Pulse-Forming Network, PFN)所提供。

此電流立即建立了圍繞著此雙軌輪的兩個相對的線型磁場(Opposed Linear Magnetic Fields)。而安置在雙軌間之砲彈的尾端即為一具「驅動器」(Driver，即俗稱「電樞」【Armature】)。

此電樞的功能乃為將此雙軌間之電流予以「閉路」(Close the Circuit)。當雙軌充電(充「能」)後，第三個磁場乃於電樞中「誕生」，將此電樞猛力往砲口端「射出」。

請注意，在砲彈尾端設一輕型的甚重要的「彈底板」(Sabot)。(譯者按：其功能為支撐著砲彈，跨乘在彈底板上【Rides】往砲口勁射)，將砲彈以超高加速射出。此時，此高導電之電樞(Highly Conductive Armature)，同時接觸及該雙軌，而建立一電流環(Current Loop)。而上述之PFN專責予其中一軌提供電流；同樣地，電樞即專責予另一軌提供電流。於是，此電流則極「流暢」地自「正極軌之正極端」，經過電樞而流至「負極軌」(Negative Rail)。於是此電流場即建立一圍繞著雙軌的磁場，並產生一股驅往與供電單位相反的力量(Opposite Direction to the Power Supply)。

此「交互作用」(Interaction)乃產生最重要的「勞倫茨力量」，將砲彈「跨乘」著雙軌從砲口迸射目標。當砲彈射離砲口，其輔設裝備(含彈底板、電樞及推送板【Pusher Plate】)即自動脫離，而將全部動能集中於砲彈進襲目標。

此推進行動僅耗時數毫秒(Millisecond)，當砲彈射離砲口，其殘留的動能即以「砲口分流儀」(Muzzle Shunt)回收轉送回PFN，而重複使用；或是讓殘能消失於空氣中(如圖1至3)。

二、電磁軌道砲概說及發展歷程

2007年1月16日，位於維吉尼亞州(Virginia)之新建成的電磁發射工廠(Electromagnetic Launch Facility，EMLF)非比尋常地慶祝其發展中的一門90公厘口徑電磁(Electromagnetic，EM)砲發射1枚超速砲彈(Hyper Velocity Projectile)，撕裂了其「慶祝彩帶」。

該開發案係位於美國維吉尼亞州之美國海軍水面作戰中心Dahlgren部門(Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division，NSWCDD)受美國研究發展室(ONR)委托遂行。在此慶祝典禮上，展示了驗證了該電磁軌道砲以高達7.4百萬焦耳的砲口能量(Muzzle Energy)(焦耳係Joule譯名，為電能的實用單位)，締造了令人矚目的高達2146公尺/秒的超高速率。或許更重要的是，從此成就，美國海軍即「宣示」了其對「將高能【High-Energy】」電磁軌道砲界定為「轉型武器」【Transformational Weapon】，發展為以超精準度超遠射程起音速的革命性海軍打擊作戰【Naval Strike Operations】的深具信心！

上述之 Dahlgren部門的發射測驗土場僅為「該事業之肇始」(Just the start)。海軍的目標是發展從遠離海岸300哩之海上，持續從戰艦往內陸精準打擊諸目標之戰術武器。雖然該彈藥仍受限於體積較小及並未裝備高爆炸藥，但是電磁軌道之砲彈有拜於其撞擊目標之



圖1 7百萬焦耳(7 MJ)電磁軌道砲進射特寫

此為2003年4月OTD公司電磁發射工廠(Elcho-Magnetic Launch Facility)試射作業中，以高速攝影機拍攝之砲彈與彈底板等脫離之鏡頭。

「超高撞擊速率」(High Impact Velocity)所賜所得以對目標造成「無堅不摧」之致命破壞。

電磁軌道砲克服傳統火砲的限制(後者係運用膨脹中之熾熱火球將砲彈設著砲管迸射出砲口)而提供了具備最高彈術價值之延展射程，大幅減少飛行時間以及以高能量致命地撞擊目標。更有甚者，由於不含有爆炸性物質，因而亦免除了對彈藥的製造、運輸、處理及儲備等「安全措施」。

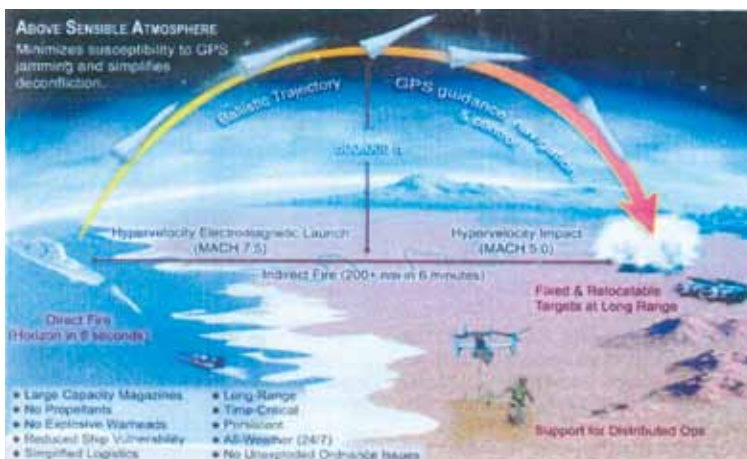


圖2 電磁軌道砲彈道特性及傲視全球之戰術特性示意圖

射程遠達200哩，砲彈飛行時間少於6分鐘，此超音速砲彈飛行最高點達500000呎，其大部份飛行時間屬於外大氣層。飛行速率7.5馬赫，撞擊目標速率5馬赫。其主要優點：1.大量攜行彈藥；2.無推進藥劑；3.無爆炸性彈頭；4.提高戰艦生存率；5.後勤大幅簡化；6.超遠射程；7.可對付「隨機性目標」；8.堅牢可靠；9.全天候作戰；10.無「未爆彈難題」。

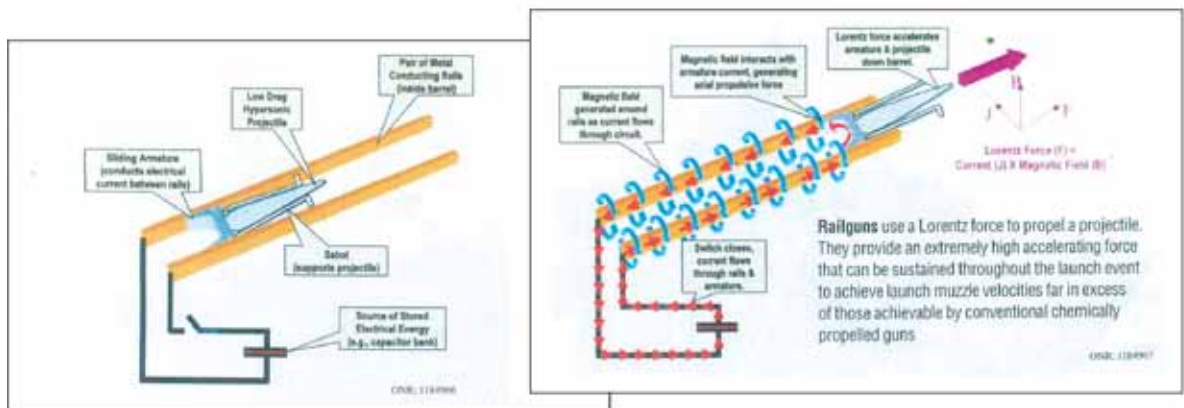


圖3 電磁軌道砲運用「勞倫茨力量」(Lorentz Force)原理操作示意圖

左圖為基本結構圖：砲管(雙軌)中以彈府板(Sabot)支托砲彈射出，彈尾端係滑動式電樞；圖下方為電容器供電。右圖為各軌已充電並呈圍繞各軌軸心之磁場，產生勞倫茨力量將砲彈射出；勞倫茨力量方程式為：勞倫茨力量(F) = 電流(I) × 磁場(B)。其砲口初速領先全世界，遠超過傳統的以化學能(Chemically)推進的火砲。

由於係採用高強電流創造一強大電磁能量，該設計中之海軍電磁軌道砲入能以7.0馬赫以上的超高速發射砲彈。該砲彈彈道迅速即射入「外大氣層」(得以享有「無阻力飛行」而射得更遠更快)，然後再重返大氣層，以5.0馬赫以上之超高速「直接」撞擊目標。

實際上，軌道砲的研究於100餘年前已開始，直至最近，有拜於新科技發展之所賜，有關軌道砲之研究終於脫離「教科書物理」(Textbook Physics)之幼稚階段。於1980年代，軌道砲之研究係歸納於「美國戰略防禦方案」(US Strategic Defense Initiative，即俗稱「星戰計畫」【Star War】中的「對戰術及戰略彈道飛彈之太空基地攔截【Space-Based Intercept】」。該作業係委由Maxwell科技公司為「國防威脅消滅署」(Defense Threat Reduction Agency)負責推動，其作業基地為綠色山莊電子砲研發工廠。唯該於1986年成立之國防威脅消滅署於1999年撤消。

美國海軍於2001年11月在先進科技社(Institute for Advanced Technology, IAT)專設一工場(Workshop)，專責評估遠程海軍軌道砲之可行性，結論是極樂觀的「現代科技足可支持海軍軌道砲之發展」。

其支援性參數之研究及模型測試均佐證了此海軍電磁砲概念適合於取代計畫發展之「155公厘先進火砲

系統」(155mm Advanced Gun System)的艦上空間及重量。該海軍電磁砲特性計有：1. 以2500公尺/秒(馬赫7.5)之超速率發射20公斤之砲彈2. 提供高達63百萬焦耳(MJ)之超高砲口能量(Muzzle Energy)。其超音速砲彈僅需飛行6分鐘即射達其200哩之最大射程，以5.0馬赫之超速撞擊目標，完成最具威力之「動能獵殺」(Kinetic Kill)。研究評估運用一套200MJ的脈衝成形網(PFN)足可供應該砲所需的砲口初速(Muzzle Velocity)及砲口能量。

發展中之新型DD(X)驅逐艦將擔任電磁砲的載台，其主承包商聯合防衛公司(United Defense)(現改稱BAE系統公司火砲系統部i)【BAE Systems Armament Systems Division】於2003年獲得一份遂行「13號科技指令」(Technical Instruction 13)之6個月的研究合約，評估將軌道砲「整合入」新DD(X)可行性。

該評估結論為「該DD(X)擁有足夠的電力—81MW功率供2門63MJ運用，每分鐘各可發射10-12枚砲彈，該艦並可保持10至18節航速。」該戰艦稱之為「整合電力系統」(Integrated Power System, IPS)艦。DD(X)業已正各為DDG-1000。

該整入作業最具挑戰性者為熱處理(Thermal Management)問題。

與此同時，在英國之電磁砲研發亦獲得甚高成就，例如位於蘇格蘭Kirkcudbright之電磁發射工場



圖4 試射慶祝典禮上諸美海軍將領聆聽總工程師Andrew Wyman (中)解說

於2003年4月成功地「海上測試」示範(Sea Trial Demonstration)一門90公厘口徑電磁砲。該測試係與美國海軍海上系統指揮部(Naval Sea Systems Command, NAVSEA)與英國國防部於英國QTO公司之工場舉行;其砲口初速竟超過2500公尺/秒(確實參數係「機密」)。

綜合研析咸認海軍電磁軌導砲之發展尚有如下三大瓶頸待突破:1. 該DDG-1000為一艘示範性整合電力系統艦。其電力需求係依據砲彈發射速率而決定。預期其電力約80MW, 提供一門15MW-30MW需求電力之電磁砲, 持續以每分鐘6-12發之發射率發射。請注意, 電磁砲勿需使用將砲彈射出的「送藥」以及砲彈本身的炸藥, 此大幅改進入倍增戰艦之安全性以及大幅減低整個系統之後勤費用。2. 第二大瓶頸為「精準導引砲彈科技」(Precision-Guided Projectile Technology), 此範疇除了導引系統, 導航系統及控制系統外, 尚需注意及更袖珍化及更堅牢化, 力求降低成本。第三瓶頸為必須延長砲管壽命。此箇中原因為, 當電磁砲砲彈將射離砲口時, 其衍生之電漿(Plasma)可能造成有害於砲管的侵蝕效應(Erosion Effect), 美國德克薩斯(Texas)大學先進科技委員會(UT-IAT)業已研發消彌該侵蝕效應之方法, 因而得以將砲管延壽。

此龐大且先進之美國海軍電磁軌道砲系統之進度表甫策訂如下:於2015會計年度(FY-15)完成「科學

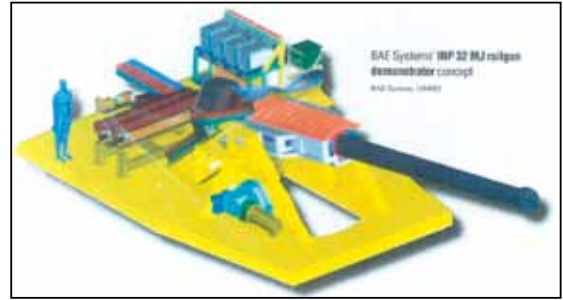


圖5 32百萬焦耳(MJ)電磁軌道砲示範概念

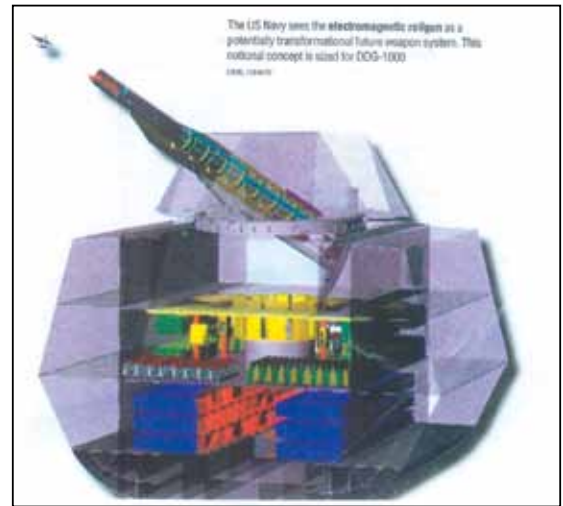


圖6 將部署於DDG-1000之電磁軌道砲

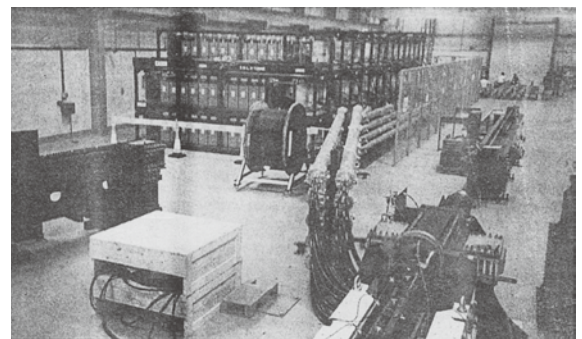


圖7 英國大學之電磁軌道砲「研究室」

中央為兩管狀結構之電磁砲後方為美國提供之碩大的電容器

及科技領域」(Science & Technology Arena)而在海軍海上系統指揮部(Naval Sea Systems Command)領導下邁向全幅度研究發展(Full-Scale Research and Development)。2016會計年度完成64百萬焦耳砲口能量之海基示範。2020至2025年正式成軍服勤。(如圖4至7)