



淺談主動防禦系統發展與應用

筆者：楊增力/詹淳中

提要

- 一、主動防禦系統可在不降低機動性前提下增強防護力，並可減掛主、被動裝甲塊披掛數量，提供更為輕快、速度與靈活性的戰鬥車輛。
- 二、反制攔截上區分為硬殺-破片/霰彈式與對撞爆炸式及軟殺-導引偏離式等三種，使來襲之反裝甲飛彈（火箭、砲彈）因碰撞攔截彈提前引爆，或誘導偏離瞄準鎖定軌跡而未能擊中戰鬥車輛。
- 三、隨著科技的進步，近年來局部戰爭中，地面直射反裝甲武器（含飛彈、火箭與砲彈）使用頻次逐漸降低，威脅源擴及空中自毀式無人機及徘徊式攻頂反裝甲彈藥，使戰鬥車輛防護由二維平面轉為三維立體。

關鍵詞：主動防禦系統、軟殺系統、硬殺系統。

壹、前言

戰車為地面部隊之決勝主戰兵力，從 1917 年（以下，以西元紀年）投入第一次世界大戰以來，之後無役不與在各場戰役中，發揮了突出且決定性作用，隨著智能、精準化反裝甲武器的日益普及，戰車在戰場上面臨多樣化反裝甲威脅，2006 年以黎衝突中，以色列與真主黨爆發大規模武裝衝突，以軍戰車面對俄製 AT-13、14 等反裝甲飛彈，可擊穿 800-950mm 滾軋均質鋼（RHA）戰車正面裝甲，造成以色列梅卡瓦 MK-IV 主力戰車多輛遭擊毀，這是全球最重視防護力戰車，此役震驚以色列軍方促成著手研發主動防禦系統，2022 年 2 月持續至今的俄烏戰爭，俄羅斯損失數千輛戰甲車，¹多數為來自攻頂彈藥所造成，眼見俄軍戰車已堆滿反應式裝甲，然難能有效抵禦來自多維空間反裝甲武器攻擊，各國透過外購或研發戰車防護力之主動防禦系統，加裝於主力戰車，因加厚裝甲或加掛複合或反應式裝甲須增加車重，降低機動性，進而影響作戰效能。²

主動防禦系統(Active Protection System，以下簡稱 APS)可以在略增車重（戰利品-Trophy 系統重約 1.3 噸）的情況下，增強戰車防護力，目前擁有實戰經驗的成熟系統為以色列拉菲爾先進防禦系統公司(RAFael Advanced Defense System,RADS)研發的戰利品(Trophy)主動防禦系統，

1 全球防衛雜誌·〈「矛盾大對決」：戰車上的主動防禦系統將成主流趨勢？〉·(台北市·全球防衛雜誌社·2022 年 4 月)· <https://opinion.udn.com/opinion/story/120902/6321778>·(檢索日期:2022 年 5 月 22 日)。

2 Wu Xin, Wang Xiao, Miao Cheng, et al ·《2013 Advance and Development Trend of Foreign Tank Active Protection Technology》·(Weapons Materials Science and Engineering 36(2))·P133-137。

在 2014 年以、巴衝突約 3 週的作戰過程中，戰利品主動防禦系統成功攔截了數 10 枚火箭彈與飛彈，且無攔截失敗或出現假警報，攔截率 100%。³國軍造兵及科研單位已著手研發複合裝甲以及主動防禦系統，因此，本篇研究期望透過介紹各國已趨成熟之主動防禦系統的能力及限制，提供裝甲部隊防護力提升多方選項。

貳、主動防禦系統沿革及作用原理

主動防禦系統為新型態的戰車防護裝置，過去戰車以跑、閃、躲、遮等被動戰鬥迴避，以避開反裝甲武器攻擊，而主動防禦系統有如軍艦上近迫防衛系統，以快速濃密火網擊毀掠海來襲反艦飛彈，作用原理一樣，提前掌握來襲之威脅，並對其進行攔截、迷惑或摧毀，以免擊中戰車，⁴主動防禦系統技術起源於 1970 年代末至 1980 年代初期，⁵由前蘇聯圖拉儀器設計局(KBP)所研發的畫眉鳥主動防禦系統(Drozd APS)，該系統在戰車砲塔兩側各備有 4 枚攔截火箭、2 具都普勒雷達及計算機電子元件組成，能攔截以主砲為中心左右各約 40°、垂直約 6-20° 的扇形區，⁶但此系統受限於當時計算機運算速度過慢，導致攔截效果極差，進入 21 世紀計算機微型化與快速中央處理器能於 1/1,000 秒內完成威脅源彈道解算，自動發射攔截彈，主動防禦系統才進入實用化階段。

主動防禦系統通常分為軟殺系統(Soft Kill)及硬殺系統(Hard Kill)兩類型，⁷作用原理如下：

一、軟殺系統：

防禦系統必須具備偵測器(搜索雷達、雷射測距定位及紅外線熱像儀)、感測器(雷射預警器)及高速數位計算機，早期預警並解算來襲威脅源最終彈道，啟動防禦系統，透過發射煙幕彈、紅外線或雷達干擾器，使其無法標定我戰車，使射頻導引反裝甲飛彈尋標器找不到乘波導引，亦可使用雷射模擬器(Laser Spot Imitators)製造誘標，使導引武器失能

3 呂燭昌，〈向美買 M1A2 戰車陸軍另爭取採購主動防禦系統〉，(台北市，yahoo 新聞網，2023 年 05 月 04 日) <https://www.nownews.com/news/3430994>，(檢索日期：2023 年 05 月 10 日)。

4 FANG Linghui, ZHENG Xiangyu, WANG Lungen and ZHOU Yingchun ·《2014 Study on the Development of Active Protection System for Tank and Armored Vehicles》，(Equipment Environment Engineering 11(1)) P63-67。

5 Zhao Taiyong and Jin Yanxia ·《2001 Discussion on Key Technologies of Active Armor Protection System [J]》，(Journal of North China Institute of Technology 22(1)) · P46-49。

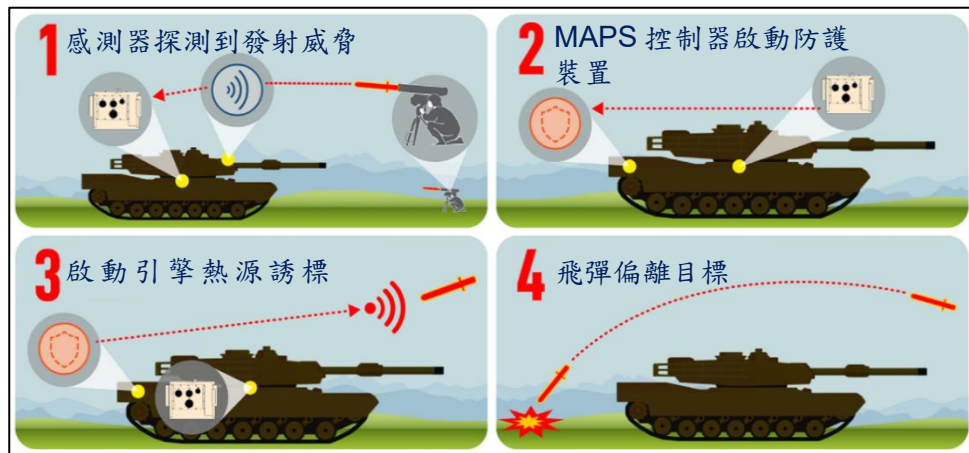
6 李思平，〈戰車主動防禦系統〉，(台北市，yahoo 轉載青年日報電子網，2020 年 05 月 19 日)，<https://tw.news.yahoo.com/>

E6%AD%A6%E5%82%99%E5%B7%A1%E7%A6%A6%E7%B3%BB%E7%B5%B1-160000347.html，

7 Ren Xiaogang ·《2010 Active Protection System for Foreign Tank and Armored Vehicles [J]》，(Firepower and Command Control (35)) · P4-6。

誤認目標而偏離，但對於線控式飛彈光電干擾系統無法發揮作用，僅能由戰車發射煙幕，採不規則及不等速度行駛遮障敵飛彈射手瞄準導引視線與穩定追蹤，降低遭擊中機率，⁸2014 年洛克希德馬丁公司進行研發「模組化主動防禦系統」(Modular Active Protection System, MAPS)，經過美陸軍一系列實彈測試中，該系統使用雷射誘標使反裝甲飛彈脫離目標，在 15 次的測試當中，100%破壞了所有的攻擊行動，(如圖 1)。⁹

圖 1-模組化主動防禦系統接戰示意圖



參考資料：同註9，(檢索日期：2023年03月18日)。

二、硬殺型：

藉由多個複式感應器(包含相位陣列雷達、紅外線及雷射與速度感測器)主動探測及識別來襲威脅目標，啟動反制裝置，發射中、近距離攔截彈(近炸引信、霰彈及碰撞式)摧毀來襲之反裝甲飛彈及火箭，惟戰車砲彈初速過快、APS 攔截彈動能不足以偏離其飛行彈道，¹⁰並在來襲威脅擊中戰車前完成偵測、接戰及摧毀程序，¹¹硬殺系統可識別、反制、攔截及摧毀或偏離，保護戰車安全，區分以下六個步驟，(如圖 2)。

(一)敵人向配備主動防禦系統的戰車發射反戰車武器。

(二)主動防禦系統之複式感測器偵測到來襲威脅。

8 Yang,L.,& Xu,J.，《Analysis on the Development of Active Protection System for Tanks and Armored Vehicles》·(In Journal of Physics: Conference Series (Vol.1855,No.1,p.012034 · 2021,March).IOP Publishing。

9 LOCKHEED MARTIN.〈The Next Generation of Open Architecture Armor Protection is Ready Today〉·(U.S Maryland Bethesda city · Lockheed Martin 3rd Generation Brief · NOV.18.2021) · <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/mfc-maps.html> · (Retrieval Date 2023.03.18)。

10 Zhou Ping, Zhao Chenxiao, Mei Lin, et al.，《2016 Analysis of Development Status and Trend of Active Protection System for Modern Tank [J].》·(Command Control & Simulation 38(2))P132-136。

11 Bernard Kempinski and Christopher Murphy.，《Technical Challenges of the U.S. Army' s Ground Combat Vehicle Program》·(Congressional Budget Office (CBO) Working Paper 2012-15, November 2012) · p. 25。

(三)追蹤雷達 (Tracking radar) 確認威脅目標，由計算機進行分析與識別後，計算預判撞擊點，並啟動攔截彈發射器接戰。

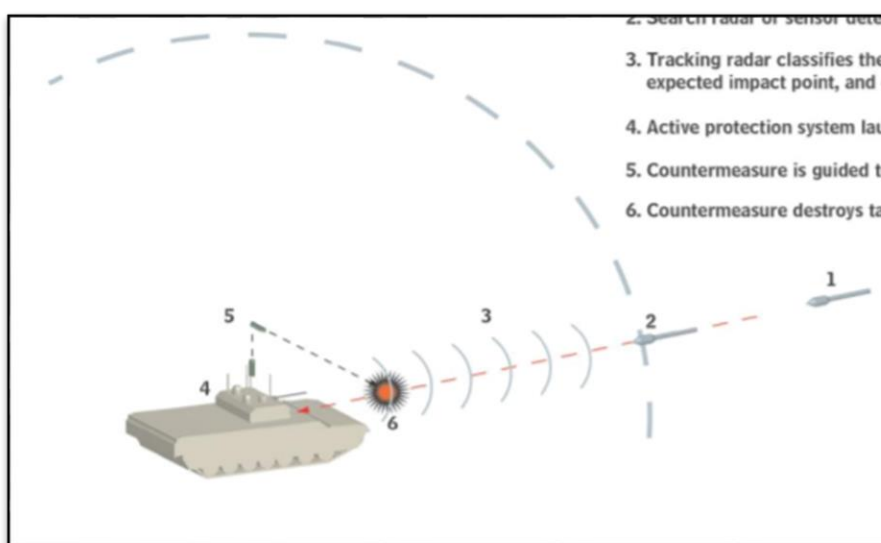
(四)啟動反制裝置(Countermeasure)。

(五)反制攔截彈於預判接戰點摧毀來襲威脅源。

(六)摧毀威脅源。

上述(二)至(四)須於100-500毫秒 (MS) 內完成，(五)至(六)則視來襲反裝甲武器之距離與初速由防護系統主動接戰(攔截時間以現有主動防禦系統偵測距離<1,200公尺計算，飛彈<3秒，火箭彈約<2秒，戰車砲彈<1秒)。¹²

圖 2-硬殺傷系統啟動流程圖



資料來源：同註12，(檢索日期：2023年5月26日)。

(七)此外，根據戰甲車與戰場環境特點，硬殺主動防禦系統應具備以下功能：

- 1.在固定及行進間運作之能力。
- 2.全天候的作戰能力。
- 3.不造成鄰接友軍或平民傷害。

參、主動防禦系統發展現況

主動防禦系統的技術核心，在於感測器透過相位陣列雷達-偵知威脅源方位，紅外線-追蹤熱源及夜間識別、雷射測距及預警器-獲得目標位置及標定預警，高速計算機-接算終端彈道與最佳攔截位置，主動發射攔截彈擊毀來襲之反裝甲飛彈、火箭，或使高初速砲彈之偏離(未經實證)。目前，世界

¹² Bernard Kempinski and Christopher Murphy, 《Technical Challenges of the U.S. Army's Ground Combat Vehicle Program》, (Congressional Budget Office (CBO) Working Paper 2012-15 November 2012) , P25 . .



上為裝甲戰鬥車所開發之主動防禦系統以硬殺式為主，以下介紹 5 款量產部署系統。

一、以色列「戰利品」(Trophy)主動防禦系統：(如圖 3)。

「戰利品」由以色列拉斐爾·埃爾塔集團(Rafael Elta Group, REG)開發，系統組成包括 360° 主動電子掃描陣列雷達(Active Electronically Scanned Array, AESA)-脈衝多普勒波段(S-Band)，偵測及判定敵反裝甲火箭(Anti-Tank Rocket, ATR)、反裝甲飛彈(Anti-Tank Guided Missile, ATGM)和戰車砲彈來襲方位及距離與選定攔截點，車上安裝四具平板天線，具備 360° 全向偵蒐，當偵測到來襲威脅源時，計算機會在威脅源到達攔截點前，識別武器種類，選擇攔截最佳時間和角度，並以安裝在兩側的旋迴式攔截彈發射器，發射多向爆炸攔截彈(Multiple Explosively Formed Projectile, MEFP，一般稱之為破片式)，起炸後形成一個緊密、精確的火網摧毀敵來襲砲彈，攔截彈爆炸面積小、精準接戰，不會危及隨伴友軍，2016 年以色列國防部與企業界在「控制釋放協會」(Controlled Release Society, CRS)中，肯定戰利品主動防禦系統具備以下特性：¹³

- (一)針對所有化學能(錐孔裝藥反裝甲彈，High Explosive Anti-Tank, HEAT)彈藥提供保護，包括由戰車發射之高爆戰防榴彈。
- (二)高攔截擊殺率。
- (三)提供 360° 全方位平面防禦。
- (四)適用於各種戰場環境。
- (五)具備內置敵方火力偵測(Hide Firepower Detection, HFD)功能。
- (六)經過陸軍引信安全審查委員會安全認證。¹⁴
- (七)對平民、非乘車部隊和附近車輛的風險最小。
- (八)攔截接戰區，地面友軍可劃定為安全區域。
- (九)經驗證能夠在近距離內與其他射頻(Radio Frequency, RF)系統(雷達、

13 Information in this section is taken from a CRS meeting on June 27, 2016 with representatives from Rafael Advanced Defense Systems, DRS Technologies, and the Israel Defense Force (IDF) · The Israeli Chapter of the Controlled Release Society(ICRS) · (Israeli Ministry of Defense · June 27, 2016) · <https://icrs.org.il/> · (Retrieval Date : May.26.2023) ·

14 陸軍引信安全審查委員會成立於 1960 年代，負責確定引信和安全與武裝裝置(S&A)的設計中，是否存在足夠的安全水平。審查項目包括所有啟動陸軍非核彈頭、彈頭、有效載荷、手持彈藥(或軍械)、煙火引爆(PIE)彈藥、煙火、手榴彈、地雷、分配系統、掃雷裝置、非致命武器和其他軍械裝置系統等，U.S Army (U.S Army Fuze Review Board On Electronic-Arm-fire (ESAF) For AAWS-M) · (Department of The Army U.S Army Safety R.B 1990) · https://books.google.com.tw/books/about/Army_Fuze_Safety_Review_Board_on_Elector.html?viw=HQAACAAj&redir=esc=y · (Retrieval Date : May.26.2023) ·

電子戰、無線電、數據等)共存於複雜電磁環境中運作。

該款主動防禦系統在2014年加薩衝突中攔截多枚威力強大的9M133「短號」反戰車飛彈和RPG-29火箭筒，而獲得以色列國防軍的青睞，創下實戰中100%攔截威脅的紀錄，¹⁵然交戰團體「哈瑪斯組織」為回教極端組織，¹⁶經常以土製火箭由以色列北方傑寧及加薩走廊巴勒斯坦交界附近村莊，發射土製火箭攻擊以色列本土，使以國發展「鐵穹系統」及最近改良型「大衛投石索」攔截系統以防衛國家安全，¹⁷以色列國防軍多次以慕薩德特種情報部隊及國防軍(Israel Defence Forces, 以下簡稱, IDF)圍剿，哈瑪斯無戰車部隊支援，難以驗證戰車砲1,300公尺/秒高速穿甲彈攔截能力，至今主動防禦系統能否攔截砲射高速穿甲彈，仍為未解之謎。

圖 3-以色列-戰利品 (Trophy) 主動防禦系統



資料來源：同註 15，(檢索日期：2023 年 05 月 23 日)

二、以色列「鐵拳」(Iron Fist)主動防禦系統(如圖 4)。

「鐵拳」由以色列軍事工業公司(Israel Military Industries, IMI)開發，此系列適用於裝甲戰鬥車(AFV)、步兵戰鬥車(IFV)、運輸車輛及主力戰車上，運用雷達和紅外線兩套系統偵測威脅源，可自動偵測和識別來襲砲彈種類，包括短程火箭推進榴彈(RPG)、無後坐力砲和反裝甲飛彈(ATGM)，亦可反制攔截戰車砲發射高速破甲榴彈(HEAT)及穿甲動能彈(KE)，鐵拳防護系統組成包括主動電子掃描陣列雷達(AESE)、紅外線感測傳導器、攔截彈發射器和計算機控制裝置，4 具平板天線

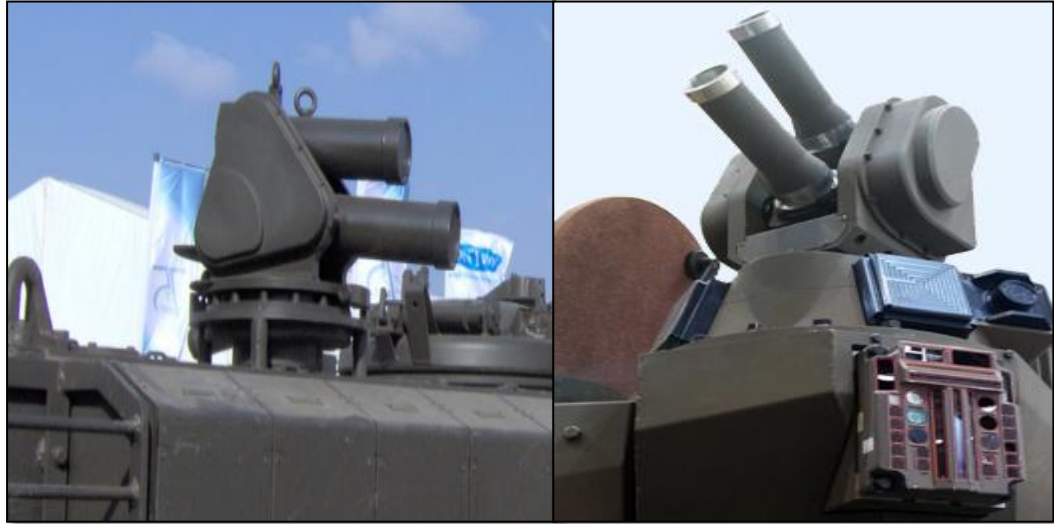
15 支點軍事，〈最可靠的戰利品主動防禦系統：戰場上生與死的差別〉，(台北市，壹讀網，2017 年 05 月 23 日)<https://read01.com/zh-tw/yEMydi.html>，(檢索日期：2023 年 05 月 23 日)。

16 英國廣播公司綜合報導，〈以色列巴勒斯坦衝突：哈瑪斯的來歷與現狀〉，(台北市，BBC 中文網，2021 年 05 月 20 日)，<http://www.BBC.COM-57170536>，(檢索時間：2023 年 05 月 30 日)。

17 王能斌，〈以色列「大衛投石索」防空系統，首度成功實彈攔截〉，(台北市，上報，2023 年 05 月 13 日轉載拉斐爾公司)，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=3&seria.no=172583，(檢索日期：2023 年 05 月 27 日)。

安裝在裝甲戰鬥車輛兩側，接收範圍涵蓋 360° 水平面及較大仰角，¹⁸ 也具備晝/夜監視能力，系統不影響原有之戰場管理 (Battle Management System, BMS) 及火控系統 (Fire Control System, FCS) 和地面載具頭盔顯示器 (Iron Vision) 正常運作。

圖 4-以色列-鐵拳 (Iron Fist) 主動防禦系統



資料來源：資料來源：同註 20，(檢索日期：2023 年 5 月 27 日)

其反制攔截方式，當感測裝置傳入威脅源，發射攔截彈於附近爆炸偏轉來襲的砲彈方向，而非直接以碰撞爆炸射彈 (Explosively Formed Projectile, EFP)，導致雙重爆炸效應，減少附帶損害風險，¹⁹ (如圖 5)，2020 年以色列的國際電子防務公司艾爾比特系統 (Elbit Systems)，在國際裝甲車會議 (International Armor Vehicle, IAV) 向世界各國代表說明了該系統經過測試後，成功攔截偏轉 120 公厘戰車砲發射之穿甲彈，²⁰ 由此可知鐵拳主動防禦系統已具備成熟且高效防護能力，重量僅 300 餘公斤，美軍已裝置於 M2-布萊德雷步兵戰鬥車之上。

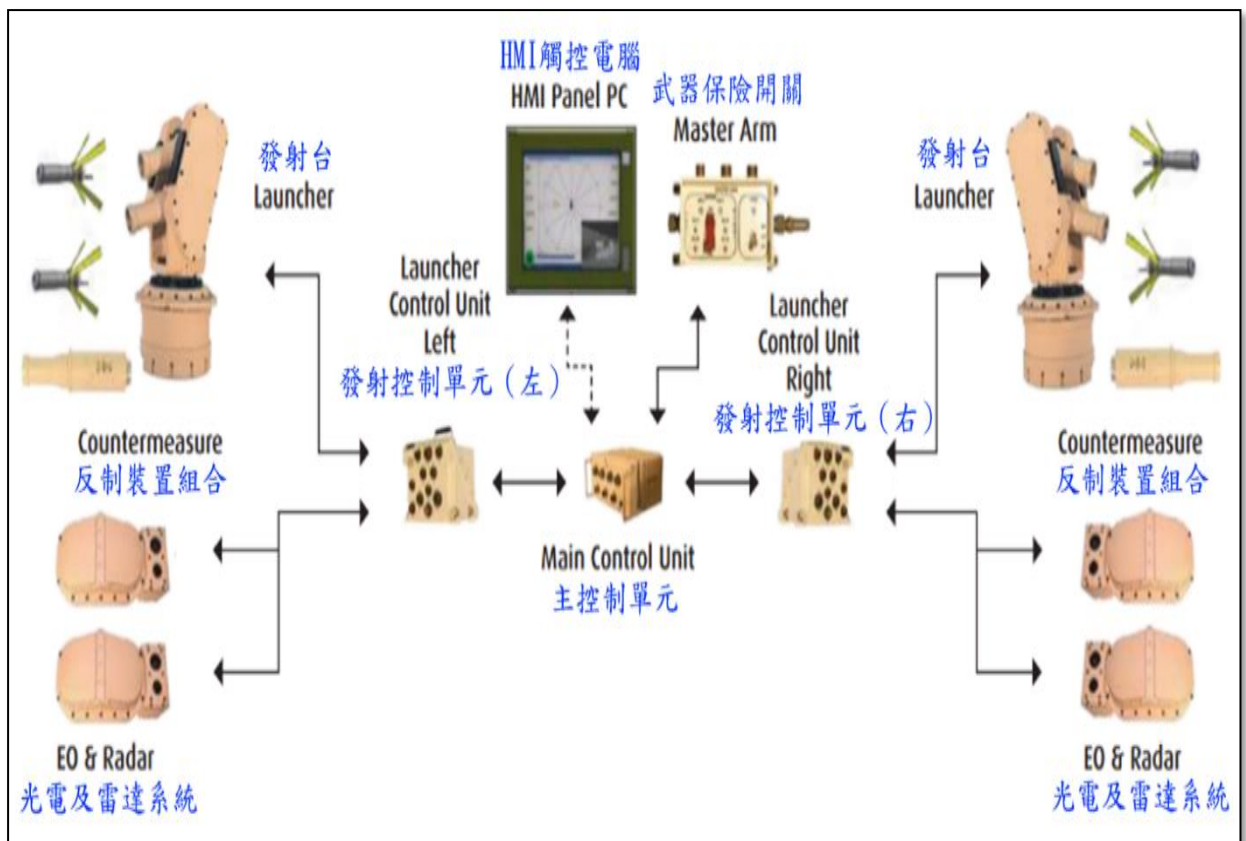
18 通過將 Elbit Systems 世界知名的航空頭盔式顯示器 (HMD) 技術引入裝甲車輛，IronVision 生成的圖像使機組人員能夠“看穿”車輛的裝甲。這種無與倫比的進步提供了 360° 全天候態勢感知，幫助機組人員克服固有的能見度限制，同時提高任務效率和安全性。IronVision 能夠利用預加載的地形和障礙物信息，結合智能、直觀的符號系統和數據錨定，將所有需要的信息同時顯示給不同的機組人員，減輕了機組人員必須解釋來自多個來源的數據的精神負擔，使他們能夠更有效地利用他們的態勢感知，並專注於在裝甲車內的安全環境中成功完成他們的任務。

Elbit Systems，〈Iron Fist Series of Active Protection Systems〉，(Hafa Israel，Advanced Technology center，APR.2017)，<https://www.elbitsystems.com>，(Retrieval Date：May.26.2023)。

19 Tamir Eshel，〈European Security & Defensive〉，(Vehicle Protection with an Iron Fist)，<https://euro-sd.com/2020/02/articles/16047/vehicle-protection-with-an-iron-fist/>，(Retrieval Date：May.27.2023)。

20 國際裝甲車輛大會 (IAVs) 被譽為世界上最重要的裝甲社區所有成員的國際會議場所。IAV 已在世界陸軍、海軍陸戰隊、採購官員和行業代表中確立了自己作為公正的質量論壇的地位，專注於陸地車輛和部隊保護。Samuel Cranny-Evans，〈JANES·IAV 2020〉，(Elbit's Iron Fist engages kinetic energy round)。

圖 5-以色列-鐵拳(Iron Fist)主動防禦系統組合



資料來源:同註 20，(檢索日期：2023 年 5 月 27 日)

三、中共「GL5」主動防禦系統(如圖 6)。

中國北方工業集團在 2018 年中國航展上展示用於裝甲戰鬥車的 GL5 國產主動防禦系統，與以色列製造的戰利品(Trophy)相似，中共軍工產業擅長「逆向工程」，從仿製、構改及修調，搖身一變為國產自製裝備，GL5 主動防禦系統組成，包括四組多用途毫米波雷達(頻段未揭露)、4 具攔截彈發射器(每具配備三個縱列式發射管)及一個控制計算機組成，²¹除控制計算機外，餘安裝車身外側，構形平面 360°搜索與防護網，攔截彈為直射式破片攔截彈(High Explosive-Fragile, HE-FRAG)與戰利品發射多向爆炸攔截彈(Multiple Explosively Formed Projectile, MEFP)，均為破片式，GL-5 具備 20°仰射角，對於來自空中或地面發射攻頂反裝甲武器具備局部攔截能力。

<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/iav-2020-elbits-iron-fist-engages-kinetic-energy-round> · (Retrieval Date : May.27.2023)。

21 ARMY RECOGNITION · 〈Air Show China 2018〉 · (GL5 hard-kill APS Active Protection System for tanks) ·

https://www.armyrecognition.com/airshow_china_2018_zhuhai_news_show_daily_coverage/airshow_china · 2022.4.4 · (Retrieval Date : May.27.2023)。

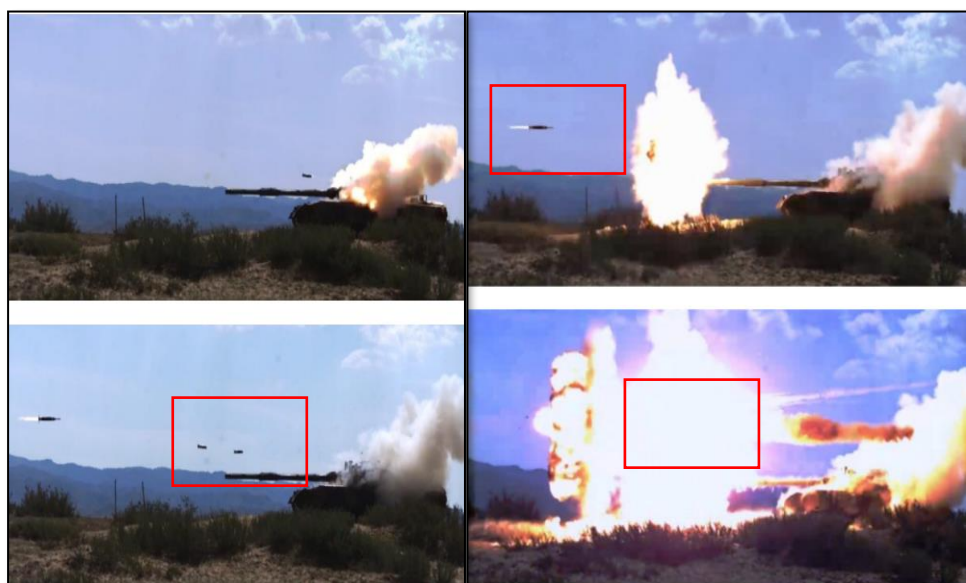
圖 6-中共「GL5」硬殺傷主動防禦系統圖



資料來源：同註 21，(檢索日期：2023 年 5 月 27 日)

GL-5 設計雷達能偵測約距戰車 1000 公尺威脅源，包括反裝甲飛彈 (ATGM)、火箭推進榴彈 (RPG) 和戰車砲發射高爆戰防榴彈 (HEAT)，攔截距離距受保護裝甲戰鬥車約 10 公尺 (± 1.5 公尺) 發射直射式破片攔截彈 (HE-FRAG)，(如圖 7)，兩枚攔截彈幾乎在砲管前方攔截爆炸，讓來襲砲彈撞入火網起爆，啟動攔截彈過近，對於裝甲戰鬥車上乘員有威脅性不安全感，為防止誤失，系統多採 1 次發射 2 枚直射式破片攔截彈 (HE-FRAG)，以提升攔截成功率，此一系統據共軍戰演訓報導及對外宣傳新聞影片，均未發現其列裝陸軍各式戰甲車輛，自 2018 珠海航空展迄今未現「實戰化」演訓畫面，此與中共軍備發展與對外公布速度有違過去作法，須持續注蒐。

圖 7-中國「GL5」主動防禦系統測試



資料來源：同註 21，(檢索日期：2023 年 05 月 27 日)

四、俄羅斯「阿富汗石」(Afghanite)主動防禦系統：

阿富汗石是由俄羅斯研製的主動防禦系統，透過主動電子掃描陣列(AESA)雷達，有效搜索、攔截和摧毀來襲的反裝甲火箭、飛彈及初速低於 1,700 公尺/秒之戰車砲射翼穩脫殼穿甲彈，²²2015 年搭載在新一代 T-14「阿瑪塔」(Armata)主力戰車，對外宣稱「阿富汗石」可主動攔截戰車距 15 至 20 公尺範圍內敵方來襲威脅源，「阿富汗石」仰賴精密的無線電系統，結合主動式電子掃描陣列雷達(AESA)、計算機與特殊直射式破片攔截彈(High Explosive Squash Head, HESH/Projectile)(如圖 8)，位在 T-14 的砲塔兩側，系統由上至下分別為主動電子掃描陣列(AESA)雷達與橫列五聯裝攔截彈發射器，²³防禦涵蓋砲塔平面 120°及仰角 50°範圍，²⁴擁有更高精度、低誤判率，並將可攔截 1,700 公尺/秒高速穿甲彈。²⁵根據俄媒《Izvestia 日報》報導，T-14 戰車裝置「阿富汗石」後，俄國官方在測試結果宣稱能夠攔截乏鈾(DU)翼穩脫殼穿甲彈(APFSDS)的能力，²⁶如具備砲射高速穿甲彈攔截能力，北約戰車與搭載「阿富汗石」的俄羅斯 T-14 戰車交戰，北約可能居於劣勢，²⁷但經研究具實戰經驗戰利品系統，能夠攔截到還是只有反裝甲飛彈與火箭，在 1,200 公尺外戰車砲發射之高速動能穿甲彈，擊中目標只要 0.7 秒，而目前各國主動防禦系統偵測距離>1200 公尺，反應時間至少要 1 秒鐘，對於「阿富汗石」主動防禦系統是否真正抵禦砲射高速穿甲彈，仍須進一步查證或於近期俄烏戰爭中實戰中得到驗證，「阿富汗石」主要組成，包括煙幕彈發射器，位於砲塔兩側底部，目前裝置於 T-14 主力戰車和 T15 重型步兵戰鬥車上，為

22 今日頭條，〈坦克金鐘罩，主動防禦系統〉，(台北市，每日頭條網，2020 年 03 月 19 日)，<https://twgreatdaily.com/0xRPyHABgx9BqZZIlN7N.html>。(檢索日期:2022 年 5 月 28 日)。

23 Army Recognition，〈Analysis Russian Afghanite active protection system is able to intercept uranium tank ammunition TASS 11012163〉，(U.S Washington DC，AACSSA，FEB.2019)，https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/analysis_russian_afganit_active_protection_system_is_able_to_intercept_uranium_tank_ammunition_tass_11012163.html。(Retrieval Date: May.27.2023)。

24 Evdey Biyatov，〈Russia's New T-14 ARMATA MBT Debut in Ukraine-RIA〉，(New Taipei City，Reuters Taiwan，Apr.25.2023)，<https://www.Reuter.com/world/europe/russias-new-t-14-armata-battle-tank-debuts-Ukraine-2323.04.25>。(Retrieval Date: May.27.2023)。

25 李思平，〈武備巡禮-戰車主動防禦系統〉，(台北市，Yahoo 新聞網，2022 年 5 月 29 日)，<https://tw.news.yahoo.com/%E6%AD%A6%E5%82%99%E5%B7%A1%E7%A6%AE-%E6%88%B0%E8%BB%8A%E4%B8%BB%E5%8B%95%E9%98%B2%E7%A6%A6%E7%B3%BB%E7%B5%B1-160000347.html>。(檢索日期:2023 年 5 月 29 日)。

26 同註 2。

27 同註 4。

此兩戰甲車均未出現於俄烏戰場上，然據「路透社」報導俄羅斯未來不排除將裝置「阿富汗石」主動防禦系統之 T-14 主力戰車，推上烏克蘭戰場可能性，(如圖 8)。

圖8-T-14戰車阿富汗石APS外觀



資料來源：同註24，(檢索日期:2023年6月4日)。

五、美國「快殺」(Quick kill)主動防禦系統(如圖9)。

快殺(Quick kill)主動防禦系統由美國雷神(Raytheon)公司研發，曾被列為美國未來戰鬥系統(Future Combat System, FCS)選定為模組化主動防禦系統(Modular Active Protection System, MAPS)。²⁸「快殺」的攔截彈發射裝置採用垂直發射方式，(如圖 9)，垂直發射反制功能的獨特之處，在於它能夠應付從任一角度或高度來襲的威脅，藉由可變換方向，直接飛向敵反裝甲飛彈，且只需安裝一套發射裝置就可提供全天候、360°的半球形裝甲戰鬥車和乘員保護，在 2013 年雷神公司的測試中，該系統展示了其從固定與移動平臺摧毀多種反裝甲飛彈的能力，並通過同時攔截兩枚反裝甲飛彈測試，展示具備同時摧毀多威脅源能力，可對敵進行多重追蹤交戰，以保護車輛和小部隊。²⁹然而，

28 尖端科技軍事雜誌社，〈全車隊主動防禦化時代?美陸軍將在 2017 年決定各載具適配備之系統〉，(台北市，尖端科技雜誌社，2014 年 04 月 25 日)，<https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=219>。(檢索日期:2022 年 6 月 2 日)。

29 Raytheon Technologies，〈Raytheon's Quick Kill Active Protection System defeats one of the most lethal armor-piercing Rocket Propelled Grenades〉，(U.S Virginia Arlington Country，Raytheon，NOV.18.2021)，(Retrieval Date：2023 年 6 月 2 日)。

「快殺」最終還是未受到美國陸軍的青睞，主要是其始終存在很大的爭議性，原因之一是模組化設計(MAPS)並不適合安裝在聯合輕型戰術車(Joint Light Tactical Vehicle, JLTV)等載台，難結合美國陸軍未來作戰載台發展需求；另一個存在的問題則是在每個垂直發射裝置射角及射高有限，當必須在短時間內應對多個威脅時，可能會導致電子計算過於複雜，且由於攔截彈會在發射器的正上方旋轉並啟動，因此不可能同時發射兩枚「快殺」攔截彈，此款為各國發展中唯一具備垂直與水平發射攔截彈雙效系統，因應現代化戰場環境改變垂直攻頂彈藥遽增，後續發展應有復活機會。

圖9-快殺（Quick kill）垂直發射裝置



資料來源：同註 29，(檢索日期:2023 年 6 月 2 日)。

理論上，可以透過加裝兩個或更多的垂直發射裝置解決，但這仍需精確計算出精準的位置，因此，同時對付兩個威脅源，仍有待進一步研發，(如圖 10)，以光電及數位計算機速度，保持科研與時俱進，仍無法以短期內達成，³⁰但假以時日，如同行動電話由早期行動通信功能，迄今幾乎可以取代傳統個人電腦所有功能，需求與科技為研發一體兩面，從雛型→先導→量產→批次購改或進化為新式裝備皆為各國軍備發展方向。各國主動防禦系統性能，(如表 1)。

30 Bollger · 〈Below The Turret Ring · Hardkill APS overview〉 · (U.S California Mountain view · JAN.7.2017) · <https://below-the-turret-ring.blogspot.com/2017/01/hardkill-aps-overview.html> · (Retrieval Date : JUN.6.2023)。

圖10-快殺 (Quick kill)垂直發射裝置



資料來源：同註30，(檢索日期：2023年6月6日)

六、小結

(一)攔截偵測方式：

從表1可以看出，除中共GL5使用毫米波雷達外，均以主動電子掃描陣列雷達(AESA)為主，並以紫/紅外線或光電偵測器為輔，構成平面360°全方位無死角及20-50°仰度感測能力。

(二)反制攔截彈：

一般採用破片式在空中爆炸或發射形成破片攔截面，使來襲之反裝甲砲彈因接觸撞擊導致提早爆炸，爆壓式因彈藥爆震波導致來襲砲彈偏離瞄準飛行軌跡，進而佚失攻擊目標；美國「快殺」主動防禦系統特有的發射方式，使該系統能夠任何角度或仰角發射的威脅源，可適應戰場環境限制。³¹

(三)各國主動防禦系統性能分析，(如表1)。

31 McKinney, 〈PRNewswire, Raytheon's Quick Kill Active Protection System defeats one of the most lethal armor-piercing Rocket Propelled Grenades〉, (U.S Virginia Arlington Country, Raytheon, AUG.18.2018) (<https://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=2251>, (Retrieval Date : APR.23.2023))。

表1-各國主動防禦系統性能

中文名稱	戰利品	鐵拳	阿富汗石	未命名	快殺
英文名稱	Trophy	Iron Fist	Afganite	GL5	Quick Kill
研發國	以色列	以色列	俄羅斯	中國	美國
偵測模式	相列雷達	相列雷達及紅外線	相列雷達及紫/紅外線	毫米波雷達	相列雷達及光電偵測器
攔截彈型式	直射式破片	直射壓式爆	直射式破片	直射式破片	姿控破片式
攔截距離	10-30公尺	15公尺	15-20公尺	10公尺	10-30公尺
水平偵測範圍	360°	360°	120°	360°	360°
垂直偵測範圍	N/A	具備高仰角	50°	20°	垂直發射
實戰部署	有			僅展示	

資料來源：作者自行整理

肆、主動防禦系統無法克制威脅源

主動防禦系統並非戰車防護力救世主，其主要限制如偵測距離過近(>1200 公尺)、反應時間短促(1 秒)、攔截距離小(150-20 公尺，距戰車)、攔截彈有限(備射彈上架，補充彈一批)、造價昂貴(戰利品 2020 年報價約新台幣 1.3 億)，歷以色列實戰證明主動防禦系統，可以為戰車構成防護網，抵禦反裝甲飛彈(火箭)及砲射高速彈藥(對外宣稱)，但無可避免沒有戰鬥系統是百分之百完美，初次亮相可以帶來震驚與極佳效果，第一次波灣戰爭，美軍深信 M1 戰車是堅不可摧，第 2 次波灣戰爭，不破鐵布衫為伊拉克廉價且不對稱武器-如燃燒瓶及急造爆裂物(IED)攻擊 M1 動力艙及底部，造成破壞性摧毀，而找到反制主動防禦系統罩門，也是未來軍備發展另類逆向思考，而主動防禦系統因目前戰車戰鬥載台能夠提供空間與電力有限、智能型反裝甲飛彈、垂直方向攻擊頂部、砲射高動能穿甲彈、電子戰干擾及



攻擊、高能雷射日趨實用與地表複雜環境影響等因素，尚無法達到全面有效攔截能力。

一、陸用載台功能限制：

戰車設計以機動、打擊、防護及指通力構成戰力指標，若要全方位達成最大性能要求，大馬力引擎、大口徑主砲、堅不可摧及裝置 C⁴ISR，那這輛戰車可能要高達 70 噸以上重量，如裝置 140 公厘主砲，裝填手可能要找舉重選手來擔任或採用自動裝彈，加裝主動防禦系統，為配合戰車有限空間(因大部分狀況為先造好戰車，再加裝主動防禦系統)，主、次系統必須微型且適型化，獨立式電子計算機系統(不得干擾原有數位射控、觀瞄與彈道計算機功能)，在陸用戰鬥載台可納空間與電力供應限制下，各國主動防禦系統主要功能限制如下，(如表 2)。

表 2-主動防禦系統功能限制

體 積	≥長-0.6、寬-0.4、高-0.5 公尺。
最大重量	≥1,500 公斤。
偵測距離	>1,200 公尺。
反應時間	≥1 秒。
攔截距離	150-20 公尺（距戰車）。
攔截彈藥	備射與預備彈各 1 批，如戰利品備射與預備彈各 4 枚
垂直攔截	近乎為零，必須加裝對空搜索雷達與垂直發射架。

資料來源：筆者整理製作

二、智慧型反裝甲飛彈：

反裝甲飛彈問世初期皆採線控導引，必須以導線控制飛彈直至擊中戰車，主要是地面環境不如海上及空中為無遮障，現代化反裝甲武器已具備無線導引功能，可藉自身尋標器或乘波導引或界雷射(不可見光)照明指示，具備「射後不理」能力，飛彈會依據設定的攻擊模式採取水平或拋物線飛行，若關閉主動尋標器，改由第一線部隊或直昇機發射標定導引源，偵測系統會同時感知來襲飛彈與雷射源，兩個來自不同方向彈藥體與射頻，干擾蒐索雷達，會延遲攔截計算機判斷，在爭分奪秒的反制時間內，延遲反制及攔截時間，就戰場緊湊高張力時空上，導致攔截失敗；另外飛彈由傳統平面瞄準點射擊砲塔室為主，轉而由垂直攻擊脆弱的戰車頂部及具高輻射熱源引擎室，例如美國 M1 艾布蘭戰車的頂部裝甲厚度推測約為 25.4 公釐(1 英吋)，而一般戰車

頂部裝甲厚度推測也僅約為 20-25 公釐，³²裝甲防護效果均不佳，從俄烏戰爭中俄羅斯 T-64 以後戰車採自動裝彈，其分裝式戰車砲彈暴露於上彈鏈架，一旦頂部遭擊穿，引發殉爆，將砲塔炸飛，乘員無一倖免；此外，戰車對於隱身於高樓的敵軍及威脅其頂部安全低空盤旋飛行多軸飛行器、無人攻擊機及徘徊式彈藥，形成防護上死角，因為戰車武器以射擊地面人車為主，因此美軍在經歷伊拉克境內綏靖作戰帶來的 M1 戰車損傷，研發城鎮戰套件(TUSK)，但隨反恐戰爭落幕，也未全數完成改裝，套件為 M1 戰車增加將近 3.5 重量，使得量上升至 70 噸，伊拉克戰爭時，恐怖組織 ISIS 就曾試圖將 40 公釐榴彈的尾段結合羽毛球，並裝載在商用無人機上(如圖 11)，以空投方式攻擊美國 M1 艾布蘭戰車，³³形成不對稱威脅，雖不構成致命威脅，但如芒刺在背伏擊，讓美軍戰車乘員必須承受另一種身心折磨，孫子兵法第六章虛實篇中早有名訓：「……，故其戰勝不復，而應形於無窮。」³⁴戰勝敵人的法寶，不可能一直管用，必須因應各種戰場景況而作變化與調整主動防禦系統使用初期會獲得較佳效果，但是當敵人知道了，會想盡辦法突破防禦系統，此為自古以來存在之戰具的矛與盾之爭。

圖 11-恐怖組織 ISIS 自製空投武器



資料來源：同註 33，(檢索日期：2023 年 4 月 25 日)

³² Dave Smith · 〈How much armor does the M1A2 Abrams have?〉 · (U.S California Mountain View Quora Jan.13.2019) · <https://www.quora.com/How-much-armor-does-the-M1A2-Abrams-have> · (Retrieval Date : APR.15.2022) 。

³³ Yaron Steinbuch · 〈War against ISIS now involves shuttlecock grenades dropped by drones〉 · (U.S New York City · NYT · Newsletter · MAR.06.2017) · <https://nypost.com/2017/03/16/war-against-isis-now-involves-shuttlecock-grenades-dropped-by-drones/> · (Retrieval Date : APR.15.2023) 。

³⁴ 羅順德，《孫子兵法-中英文對照本》，(台北市，黎明文化出版有限公司，1991 年 05 月初版)，頁 108 。

三、垂直方向攻擊頂部：

因此，主動防禦系統(APS)有效防護戰車頂部之關鍵，取決於其相位陣列或電子主動掃描雷達的感測器偵測仰角，以戰利品而言，但其仰角對空偵測，由 4 面各負責 45° 的毫米波雷達，搜索來自左／右各 90° 的目標，³⁵且受限於安裝角度，若以 45° 仰角對空偵搜，距離約 850、高度約 497 公尺於戰車頂部的威脅難以有效克制，換言之，次世代主動防禦系統攔截彈必須由二維平面轉為立體，並將電子界面轉換加速，如同電子戰攻防作戰，爭取毫秒預警與反應時間，以搶得先勝契機，(如圖 12)。

圖 12-戰利品雷達以 45° 仰角對空偵測範圍



資料來源：筆者整理繪製（圖示非正確比例）

事實上，戰利品就理論上可以裝高仰角雷達，但偵獲目標啟動攔截，但發射筒位置無法跟上雷達偵蒐仰角，(圖 12)可以看出雷達仰角已超過車身高，而攔截彈則位於平射 0° 位置(相對於車身)，產生「看得到卻攔不到」窘境；再以裝置於 T-90「競技場」系統，該系統在後部動力艙有 20° 死角，且其彈幕攔截防護約為 110° ，若以射擊陣地夾角大於 110° 的兩枚反裝甲武器同步攻擊時，競技場主動防禦系統只能攔截一個來襲方向或溢出偵測範圍而失效；³⁶共軍在 2017 年展示 GL5 型主

³⁵ 李思平，〈「武備巡禮」-戰車主動防禦系統〉，(台北市，青年日報電子網，2018 年 01 月 08 日更新)，<https://www.ydn/news/newsInsidePage?chapterID=1557394&type>。(檢索日期:2023 年 4 月 15 日)。

³⁶ 軍武陳辭，〈都說主動防禦系統很牛，但坦克穿了「鐵布衫」就無懈可擊嗎？〉，(新北市·SHOCKWATCH，

動防禦系統時，宣稱其系統成功攔截自製 89 式 120 公釐反戰車砲，(如圖 7)所示，與其對外宣稱攔截距離為 10 公尺，但圖示攔截彈加上來襲砲彈引爆所形成爆炸噴流與高溫火焰則籠罩全車，凸顯攔截距離過近，若暴露在外觀瞄系統、天線與感測器及防護系統是否造成損傷，仍有待觀察；官媒宣稱具備防攻頂型飛彈，但其偵蒐雷達仰角高度約 20° ，以 1,000 公尺水平距離 20° 仰角，偵測距離約 956、高度約 86 公尺，³⁷以攻頂式的反裝甲武器(含飛彈、偵攻一體無人機、火箭、空射彈藥)，在設計上已擺脫導線限制，具備射後不理、乘波或主動導引、陸上發射者採用多模式照準，現代戰車裝甲防護力的阿基里斯腱(脆弱致命部位)就在於頂部，以往平面二維空間，複合式裝甲用以加強戰車車頭及砲塔式兩側防護力，因為反裝甲飛彈(砲彈、火箭)都是直射而來，第二次波灣戰爭伊拉克民兵及利用建物隱蔽，並預鑿筒後噴火排氣孔，使得俄製火箭推進榴彈(RGP)可以採取俯射，攻擊美軍戰、甲車，認為攻頂飛彈就是飛彈飛行方向直接對準目標頂部進行攻擊，如標槍飛彈多模照準攻擊模式，可採取直、頂攻射擊，主、被動導引使主動防禦系統難以偵測並攔截，整合式目標獲得系統(ITAS)發射無線導引發射拖式 2B 型(採用縱列式雙彈頭)，平射直攻時首發彈頭可引爆反應式裝甲或先燒蝕第一層裝甲板，次發續貫穿裝甲板，頂攻模式改以磁性引性，射手以熱像瞄準具使飛彈保持在目標上方 2.25 公尺，而當飛彈通過戰車頂部感應測地雷射距離改變並啟動磁力引信，彈頭底部開啟，兩枚 5 吋(127mm) 爆炸成形彈頭(Explosively Formed Projectile, EFP，一般稱之為錐孔裝藥)彈尖向下墜落，³⁸攻擊較脆弱的頂部，摧毀敵戰車，(如圖 13)，高於戰車的攻擊路徑主動防禦系統：若不具仰角偵蒐會錯失目標，另攔截彈若採高仰角發射不易正確攔截來襲目標(因目標具有方位及高度雙重因素)。³⁹解決戰車遭攻頂，以高射多管機槍(砲)具備較高效益。

2017 年 11 月 14 日) · <https://kknews.cc/zh/tw/military/xvn6349.html> · (檢索日期:2023 年 4 月 15 日)。

³⁷ 火器營，每日頭條，〈坦克主動防禦系統雖然很好，但也並不是萬能的！〉· (新北市，SHOCKWATCH，2018 年 03 月 14 日) · ><https://kknews.cc/military/nkonn58.html> > · (檢索日期:2023 年 4 月 16 日)。

³⁸ 李思平，〈簡單了解拖式飛彈如何攻頂戰車〉· (新北市，尖端科技出版社，2019 年 01 月 25 日轉載美國陸軍) · <https://www.dtmtdatabase.com/News.aspx?id=843> · (檢索日期:2023 年 4 月 16 日)。

³⁹ 同註 7。

圖 13-TOW 2B 型拖式飛彈攻頂模式



資料來源:同註 35，（檢索日期 2023 年 04 月 16 日）

四、砲射高動能穿甲彈：

動能穿甲彈(Kinetic energy penetrator, KEP)為戰車砲主要反戰車彈藥，現在都以大口徑火砲利用包莖箍緊小口徑彈芯，120(105)公釐戰車砲彈芯直徑介於 30-35 公釐之間，其材質多以鎢合金製成，穿甲力為 600(450)公釐均質鋼裝甲(RHA)，部分以乏鈾(Depleted Uranium, DU)製成彈芯侵澈力可達 800 公釐，由於動能 $(K)=1/2 \text{ 質量}(M) \times \text{速度平方}(V^2)$ ，穿甲力決定關鍵因素為砲彈初速，高速飛行的小口徑彈芯在命中敵戰車時，將動能集中在極小面積上穿透裝甲，動能穿甲彈芯飛行速度為 4-5 馬赫(1,361-1,701 公尺/秒)，在破除空氣阻力時產生的熱能和音障壓力波形成空氣擠壓外擴而導致彈芯形成圓錐真空，使得攔截彈爆炸碎片幕因此特性而彈飛，對撞攔截彈也因初速過低，不及引爆高能穿甲彈即以穿透，降低其防禦效果，⁴⁰由於主動防禦系統(APS)通常透過感測器及電子雷達、干擾信號等方式進行戰車防護，前述受限陸用裝備性能影響，動能穿甲彈(KEP)的速度非常快，飛行 1,000 公尺僅 0.58-0.73 秒之間，這對於需要偵測-計算-反制程序約需 1 秒主動防禦系統而言反應時間不足，且可能在啟動反制裝置前已遭擊中；DM 63 或 M829A4 為翼穩脫殼穿甲彈 (Armor-Piercing Fin-Stabilized Discarding Sabot, APFSDS)，相對此一技術在俄羅斯及中共也有製造能力，敵我皆會使用此類彈藥摧毀對方戰車，初速達 4 馬赫 (1,361 公尺/秒)以上，可穿透均質與反應式裝甲，新式彈藥改用三大技術，分段式長桿彈心，輕材質耐熱包莖，低風阻尾翼設計，可在 32~63C°的

⁴⁰ Graswald, Markus, et al.《Defeating modern armor and protection systems》·(Hypervelocity Impact Symposium. Vol. 883556. American Society of Mechanical Engineers, 2019) · P78。

環境中維持均等初速，⁴¹以 M1M256/44 倍徑主砲發射最新型翼穩脫殼穿甲彈(APFSDS)-M829A4 初速達 1,650 公尺/秒，⁴²目前各國主動防禦系統(APS)均難以及時有效攔截，即便俄製阿富汗石宣稱在增強攔截彈破片的殺傷力，可反制 1,700 公尺/秒翼穩脫殼穿甲彈，⁴³然最終測試所採用的尾翼穩定脫殼穿甲彈(APFSDS)的形式、質量、初速均未對外公布，可信度仍有待證實，可見戰車戰砲發射之高速動能穿甲彈，仍為主動防禦系統必須克服關卡。

五、電子戰干擾及攻擊

電子干擾及攻擊，針對主動防禦系統，與反制敵雷達的作法並無二致，在使其喪失功能或摧毀，干擾雖可用大區域、高功率方式涵蓋作戰區域，但也因無定頻及指向性，導致我方設備同受干擾，反輻射乘波導引飛彈亦多用於大型目標與機動雷達，對於小型、低功率雷達攻擊效果不佳，亦不符合成本效益(最新型 AGM-88E，單枚成本約 100 萬美元)，方法雖可用，但必須是針對性設計，主動防禦系統興起不過 10 餘載，反制戰法仍待進一步研發與找出克制對策，要破解主動防禦系統的金鐘罩，較為可行方式為其雷達之眼為上策，亦為可行之方案。

(一)干擾：

相位陣列雷達(Phase Array Radar)的發明使得其天線不需要轉動，期可全方位進行偵測目標高度、方位及距離，主動防禦系統除中共 GL5 使用 L 波段，餘使用 X 波段的電子主動陣列掃描雷達(AESA)，(如表 3)⁴⁴，干擾信號強度(J)大於自目標折返信號(S)，J/S 值必須大於 1，才能產生效果，其方式可區分為全場域、高功率電磁波干擾遮蔽敵雷達波發射，使得雷達屏幕產生雪花，此一方式俗稱「蓋台」但後果可能殺敵一千，自損五百；另一種方式為指向性、定頻干擾，雖可收到較佳效果亦妨害己方雷達運作，但敵方雷達正確頻率軍列為絕密電子參數，對於主動防禦系統小型、低功率做到精準干擾亦非易事，而全域高功

41 M829 翼穩脫殼穿甲彈由 A1-A4 型，A4 型採長桿分段式彈芯製造，另可通用 KE-W，貫穿力約 600-700RHA 李思平，《戰車部署 2020，艾布蘭戰車 M829A4 翼穩脫殼穿甲彈》，(新北市，尖端科技軍事雜誌 393 號 2020 年 01 月 13 日初版)，頁 31。

42 同註 11。

43 Brian Wang，〈 Russia claims active protection system for Armata tanks can successfully intercept uranium core cannon shells which would make Armata invulnerable to other Tanks 〉，(U.S California Pleasanton，Next BIG FUTURE，OCT.25.2016)，
<https://www.nextbigfuture.com/2016/10/russia-claims-active-protection-system.html>。(Retrieval Date：APR.22.2023)。

44 人氣格鬥士，〈雷達頻段與原理〉，(台北市，方格子轉載跨越通信，2022 年 08 月 13 日)，
[ttpa://vocus.cc/article/62f72fd89780001fe6fac](https://vocus.cc/article/62f72fd89780001fe6fac)。(檢索日期：2023 年 06 月 14 日)。



率的破壞性，在作戰狀況下，非迫不得已，敵我軍不敢貿然啟用。

表 3-主動防禦系統雷達主要使用波段

項次	波段	波長（公尺）	震幅（公分）	使用國
1	VHF	0.2	225	N/A
2	UHF	0.48	70	N/A
3	L	1.2	27	中共
4	S	3	10	N/A
5	C	6	5	N/A
6	X	9	3	以色列、俄羅斯、美國

資料來源：同註 43，（檢索日期 2023 年 06 月 14 日）

（二）攻擊：

1. 反輻射飛彈：

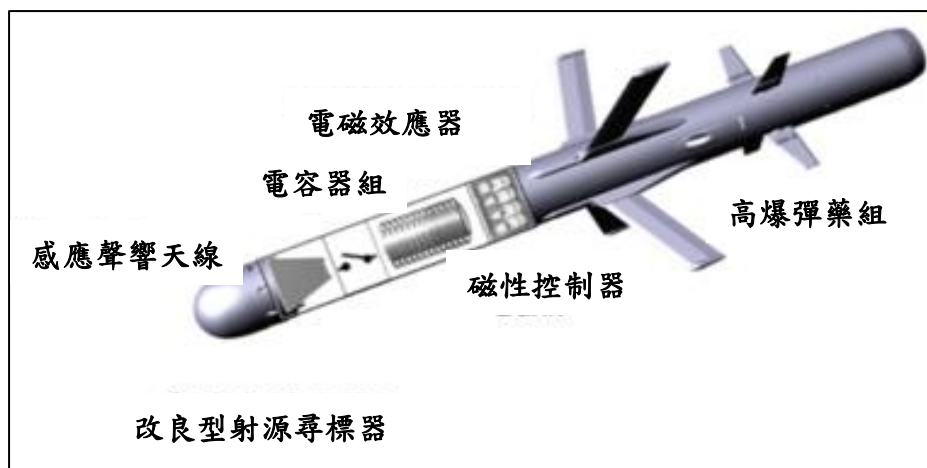
1960-70 年越戰期間，蘇聯交付大批 SA-2 防空飛彈與雷達射控系統予北越，初期造成美海、空軍航空兵力極大損傷，因此發展出反輻射飛彈(Anti-Radiation Missile, ARM)，最著名為 AGM-88「百舌鳥」反輻射飛彈，最新改良型為「E」，成本也由 23 萬翻漲為 100 萬美元，對於北越防空部隊位或美軍部署此型飛彈，開啟防空雷達瞬間即遭摧毀，後續在蘇聯顧問協助下發展迴避、間歇與被動，以避開反輻射飛彈攻擊，無人機開始大量運用與部署於部隊，反輻射型無人機，也成為近程攻擊敵方雷達利器，造成主動防禦系統的威脅。

2. 電磁雙效彈：

反裝甲飛彈整合移動式高功率電磁效應器(High Power Electromagnetic effector, HPEM)，(如圖 14)，對於主動防禦系統的感測器和通信裝置，可以達到克制的效果，其組成包括驅動的磁通量壓縮發動機(Flux Compression Generator, FCG)、開放式電子開關及將電脈衝塑造成高頻(High Frequency, HF)無線電信號的天線系統，此將錐孔裝藥與高頻電磁脈衝彈複合式設計，先以磁性啟動電磁脈衝組，以高頻指向攻擊主動防禦系統雷達與電子系統，癱瘓其運作，使其無法發射攔截彈，再以錐孔炸藥(B 炸藥)撞擊裝甲板，產生高溫噴流以熔蝕戰車車體，如可成功整合並於實戰中驗證應用，加裝於肩射反裝甲飛彈武器，⁴⁵達成雙重攻擊之效。

⁴⁵ Graswald, Markus, et al. · 《Defeating modern armor and protection systems.》· (Hypervelocity Impact Symposium. Vol. 883556. American Society of Mechanical Engineers, 2019) · P77-78。

圖 14-整合型定向移動式高功率電磁效應器（HPEM）反裝甲飛彈



資料來源：同註 45，(檢索日期：2023 年 05 月 22 日)

六、高能雷射日趨實用

雷射民生與醫療運用用途一般為低功率 $<0.5\text{Kw}$ (雷射筆 $<5\mu\text{w}$)，而工業及軍事用途用必須高於 1Kw ，如以雷射槍干擾民用多軸飛行器其雷射能量密度(Fluence)=雷射能量(J)/聚光直徑，以 $1\text{Kw}/0.2^2=25,000$ 焦耳，可使其電子主(被)對動元件吸收高功率而失效，但能破壞主動防禦系統電子元件的雷射(束能)武器，最少需要 10Kw 產生能量單位為焦耳(1W/S)以上，而且攻擊距離約限於 3.2 公里，必須持續對準目標發射直至摧毀，目前以軍艦載台發射性比較高，因船艦具備大型發電機，⁴⁶目前研發新型的導能武器(Directed Energy Weapon, DEW)，將成為主動防禦系統的另一挑戰，導能武器(Directed Energy Weapon, DEW)又稱為「定向能武器」或「束能武器」，它是一種應用雷射、微波、聲波、粒子等經磁線性加速產生能量集中，光電束直徑小於 0.2^2 公分藉以產生強大殺傷力的高能雷射武器，以高能量經電磁加速及集中波束的形式指向威脅源，學理上要能瞬間破壞、毀傷或擊滅數百至千公里外超音速反艦或彈道飛彈雷射能量須高於 100 萬 Kw(這相當於一座小城鎮 1 星期用電量)。⁴⁷其中地面戰鬥載具研發以導能武器(DEW 尤以高能雷射(High Energy Lasers, HEL)及高功率微波(High Powered

⁴⁶ 崔家駿，〈美國海軍艦用雷射武器系統概述〉，(台北市，國防部海軍司令部，海軍學術雙月刊第五十一卷第一期，2017 年 02 月 17 日)，<https://m.facebook.100057318915220&fbid=545665880474886>，(檢索日期：2023 年 06 月 21 日)。

⁴⁷ 江忻杓，〈「韜略談兵」擊殺千里之外 導能武器面面觀〉，(台北市，青年日報電子網，2023 年 02 月 02 日更新)，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1562349&type=forum>，(檢索日期：2023 年 4 月 22 日)。

Microwave, HPM)及實驗中的高能機動雷射(Mobile Experimental High Energy Laser, MEHEL)為主。⁴⁸

(一)高能雷射武器(HEL)：

由高能雷射、精準光學追蹤系統和加速器組成，首先必須捕獲瞄準目標、追蹤目標，然後發射高能雷射擊殺目標，可以毀傷飛彈、砲彈、航空器、車輛和艦艇，是目前軍事應用較為成熟的導能武器。

(二)而高功率微波武器(HPM)：

主要是電子脈衝波，可用於干擾或破壞敵人的電子系統，包括雷達、計算機系統和通信基礎設施，⁴⁹中共發展導能武器(DEW)發展的脚步也沒有停歇，目前實際項目細節與公開資訊並不明確，然而，2022年美國國防情報局的一份報告認為，共軍已經擁有不同程度的陸基高能雷射(HEL)系統，公開來源的證據表明，至少以設置四或五處類似系統。⁵⁰

(三)機動實驗性高能雷射(MEHEL)：

以固定式高能雷射武器站為基礎，加裝於史崔克(Stryker)裝甲車，試驗在車輛機動中以 10Kw 高能雷射擊毀多軸飛行器，在行進間對空中活動目標使用高能雷射光束(>0.04 公分)能持續照射目標(時間未對外公布)，技術關鍵為自動追蹤瞄準與鎖定功能，(如圖 15)。⁵¹

圖 15-美陸軍史崔克高能雷射測試車(MEHEL)及擊落目標物



資料來源：同註 51，(檢索日期：2023 年 05 月 21 日)

⁴⁸ Feickert, Andrew · 《US Army weapons-related directed energy (DE) programs: Background and potential issues for congress.》· (LIBRARY OF CONGRESS WASHINGTON DC, 2018) · P2。

⁴⁹ 同註 45。

⁵⁰ Oskar Glaese · 〈 China' s Directed Energy Weapons and Counterspace Applications 〉 · (U.S Washington DC · The Diplomat · JUN.29.2022) · <https://thediplomat.com/2022/06/chinas-directed-energy-weapons-and-counterspace-applications/> · (Retrieval Date : JUN.22.2023)。

⁵¹ Connie lee · 〈 New From Redstone Arsenal : Army Scaling Up Laser 〉 · (U.S New York · National Magazine · MAR.25.2019) · <https://www.nationalmagazine.org/article/2019/3/25/army-display-10-kw-laser-on-a-stryker> · (Retrieval Date : MAY.29.2023)。

七、地表複雜環境影響

主動防禦系統在複雜的戰場環境中，可能存在大量干擾源，如煙霧、灰塵、樹木和建築物等，這些因素會干擾系統的識別和追蹤能力，從而降低其效能，使得各類型反裝甲武器發揮極大效能，對裝甲車產生致命的威脅。以城市地形而言，為主動防禦系統在複雜的戰場環境中所面臨的第一個重要挑戰。城市地形複雜多變，包括建築物、街區、交通工具和密集人群等，這些都會影響就是主動防禦系統的運作效能。首先，由於城市中建築物密集，敵軍可能會隱蔽在建築物後方或者在城市街區的狹窄路段中等待攻擊機會，這些隱蔽點的存在，使主動防禦系統的感知能力造成極大的威脅。

(一)城鎮複雜建物：

城鎮地區的建築物密集，往往存在複雜的地形高差，這也使得主動防禦系統(APS)的反應速度和定位精度造成影響，以致於無法精確地判斷來襲武器的攻擊方向和距離，從而影響其反應速度和攔截效果。

2019年美國陸軍在境內測試攔截率高達90%以上的戰利品APS時，所選用的測試場即未將城市地形納入測評標準。⁵²

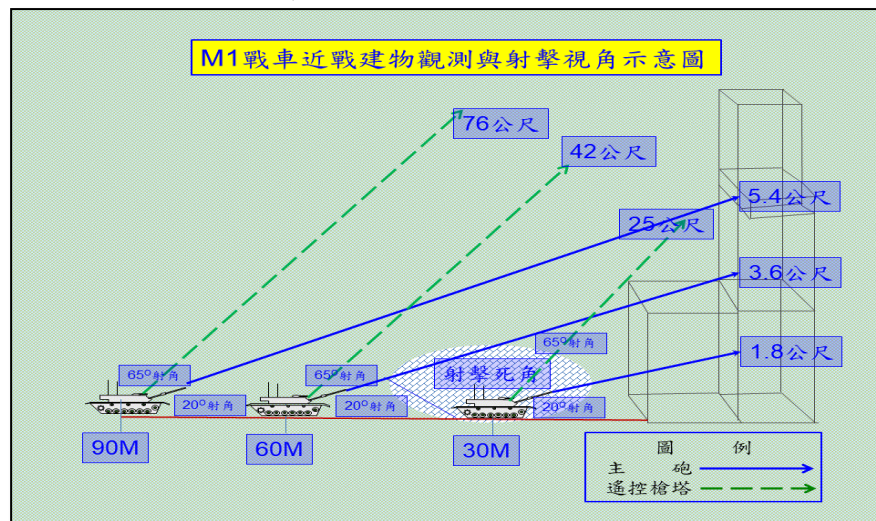
(二)測試條件未週：

同樣的情形，2021年德國對戰利品APS所選用的測試場(Klitz military training area)也並未針對城市複雜環境實施驗證，⁵³主動防禦系統(APS)在城市地形的實際效益，必須從接戰距離變短(以色列於黎南作戰經驗為小於600公尺)，高大建築物在進入城鎮後戰車射擊仰角變低，(如圖16)，使得反裝甲火箭可以從容由高樓向下射擊，形成另類「頂攻」，街角與建物逐屋清剿困難，尤其以平叛、反恐及綏靖作戰，敵軍擁有戰爭面支持，攻擊方必須正確研判平民與武裝分子區別，現代化戰場，戰機稍縱即逝，使主動防禦系統效果大打折扣。

⁵² Dylan Malyasov, 〈U.S. Army tests Trophy Active Protection System for tanks〉, (No Address · Online military Magazine · Jan.18.2019) · <https://defence-blog.com/u-s-army-tests-trophy-active-protection-system-for-tanks/> · (Retrieval Date : APR.29.2023)。

⁵³ Nicholas Fiorenza, 〈Update: German Leopard 2 tested with Trophy APS for first time〉, (U.K London Croydon · Jaens Groups · NOV.03.2021) · <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/update-german-leopard-2-tested-with-trophy-aps-for-first-time> · (Retrieval Date : APR.29.2023)。

圖 16-戰車近戰建物觀測與射擊視角



資料來源：編輯部圖庫提供(檢索日期：2023年06月21日)。

(三)飽和攻擊戰術：

多項混合砲彈飽和射擊混淆主動防禦系統效能的戰法，敵方於同時針對目標，進行戰車砲與反裝甲飛彈（火箭）形成近、中、遠程飽和射擊時，受限於彈藥及反應時間而減弱。其可能產生多方面的影響，列舉如下。

1.攔截彈攜行有限：

飽和攻擊在短時間發射出大量砲彈藥。主動防禦系統至多裝配10枚攔截彈，彈藥用罄主動防禦系統即無法進行防禦。

2.偵測及追蹤能力：

主動防禦系統缺乏敵我識別能力，飽和攻擊時大量威脅源出現在雷達上使得識別和追蹤能力受到欺騙，難以做出正確判斷，下達攔截指令。

3.不對稱戰術運用：

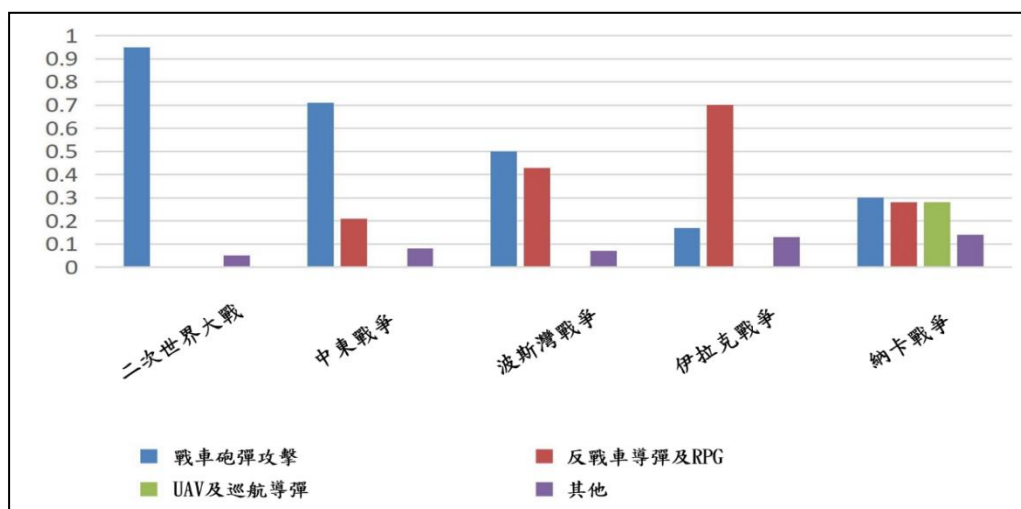
可使用高速穿甲彈連續或交叉射擊，亦可由反裝甲火箭作為誘標，此兩類彈藥箱相對於攔截彈造價低廉，又可從多方向攻擊，攻擊方使用步戰協同反裝甲戰法，可使主動防禦系統疲於奔命，而喪失防護效果。

(四)小結：

綜合上述，可見主動防禦系統在應對不同的攻擊時，可能會存在較大的挑戰和限制，需將配備主動防禦系統的戰鬥車輛，完成攔截防護部署，形成裝甲部隊保護網，提高戰場存活力，(如表4)。⁵⁴

⁵⁴ Yang, L., & Xu, J. ·《Analysis on the Development of Active Protection System for Tanks and Armored Vehicles · In Journal of Physics》· (Conference Series March .2021 IOP Publishing Vol. 1855, No. 1) · P

表 4、戰爭中使用反戰車武器頻率



資料來源:同註 54, (檢索日期: 2023 年 06 月 21 日)。

從納卡戰爭中對戰車的攻擊及破壞方式,以及2022年2月爆發迄今的俄烏戰爭,烏克蘭軍隊利用偵攻一體無人機的偵蒐與自毀攻擊能力,掌握及精準定位俄羅斯戰鬥車輛藏匿位置,(如圖17、18),⁵⁵進行偵監→導向→攻擊作戰模式,予以攻擊,戰爭進接近16個月,俄烏雙方利用無人機擊毀彼此軍事及設施,而這些攻擊多來自於主動防禦系統死穴「垂直頂攻」,這是此類系統必須面對的嚴峻挑戰與找出克制方法。

圖17、無人機鎖定畫面

18、無人機攻擊畫面圖



資料來源:同註 55, (檢索日期: 2023 年 06 月 27 日)。

伍、未獲主動防禦系統反制戰法之研析

戰爭帶來科技的進步,尤其是在保護有生戰力上,各國均不餘遺力發展,小從單兵防護裝備,大至各式戰鬥載台防護設備的軟硬體,以二戰

012034。

⁵⁵ 張寧捷,〈無人機「鷹眼」發威!俄戰車躲樹林全現形 遭烏軍精準炸毀影片曝〉,(台北市,資訊咖, 2022 年 05 月 15 日)·<https://inf.news/military/8ba89of749d5f8b280ed23dfcdaoe2d4.html>·(檢索日期: 2023 年 06 月 27 日)。



美日海軍航空隊所使用主力戰機海盜與零式戰機，美機上多了兩樣防護設備浴缸式裝甲座艙及防爆油箱，交戰中美機遭擊中不會於空中爆炸，飛行員落海會被附近待命水上飛機及救生艇接回，返回航艦繼續駕駛戰機升空作戰，而日機一旦遭擊中即化為火球墜海，在馬里亞納海戰美軍戲稱為「射火雞大賽」，因此美方勝敵而日強，而日軍隨著主戰飛行員不斷葬身大海，飛行學校畢業生只能執行「自殺式神風特攻」，裝置戰利品主動防禦系統的以色列梅瓦卡IV戰車，初試啼聲即獲絕佳戰果，各國紛紛跟進研發，唯一經實戰驗證的戰利品為軍火現貨市場新寵兒，目前德國已向以色列軍購裝置於豹2-A7戰車上，但未裝置APS提供烏克蘭的豹2-A4型，已遭俄軍擊毀數輛。⁵⁶

主動防禦系統隨著烏克蘭戰場不斷的實戰洗禮，各國軍武觀察家，也不斷提出破解之道，戰勝不復的真諦，在此可充分說明，成熟的戰車乘員與飛行員都是各國戰力瑰寶，戰車、飛機可毀，乘(飛行)員要平安歸來，破解主動防禦之盾的戰法多樣多變，每當更強的防禦之盾出現，就會有更強的矛現身，沒有金剛不壞之身，但在實際戰場中，複雜的戰場環境、多變的天氣、多方向飽和攻擊以及武器的攻擊速度，對於雷達系統的辨識能力都有一定程度影響；尤其在地形地物、雲雨或金屬箔條等所產生的雜波干擾狀況下，雷達觀測目標能力亦會受到限制，⁵⁷ 主動防禦亦統稱為近戰戰車防衛系統，目前科技有效偵測距離>1,200公尺，攔截距離約30-10公尺，反應時間要在1秒內完成，防衛作戰敵先期作戰使用武器系統，對機動與疏散目標打擊效果不大，但進入登島作戰階段，未通過海上衝擊出發線(距岸約3公里)前，地面裝備除反裝甲飛彈(包含標槍及無線導引拖式飛彈)，射程均無法達到，相同敵編波泛水之兩棲舟車也是同樣狀況，此時敵我主動防禦系統，因交戰距離影響，無法發揮效果；⁵⁸但進入敵登(著)陸作戰階段，進入近戰距離，攻防雙方以高密度兵、火力交戰主動防禦系統仍然有其不足之處，其中包含在搜尋時間、彈藥數量、反應時間、偵測角度等問題，我科研單位目前已著手研發主動防禦系統，仍需要針對上述缺點進行研改，以下筆者分就防衛作戰整體及近戰(單車)戰場防衛系統，提出「無地協同整

⁵⁶ 軍武頻道，〈俄軍擊毀烏克蘭部隊德製「豹2」戰車，2023年06月09日〉，

<https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4328540>，(檢索日期：2023年06月11日)。

⁵⁷ 王軍，《雷達手冊》，(台北市，電子工業出版社，2003年7月)，頁15。

⁵⁸ 地面對地(平面)雷達受地球表面曲度與地障物集複雜電磁環境影響，解決方案為加裝桅桿將雷達升高，同時利用回波與質譜分析透過紅外線熱影像，增加辨識率。

百度百科，〈地面監視雷達〉，(香港，百度百科網，2016年07月24日)，

<https://baike.baidu.com/item/%E5%9C%BO%E9%9D%A2%E7%9B%A3%E8%A6%96%E9%9B%B7%E9%81%94/12772937>，(檢索時間：2023年06月28日)。

合，延伸偵測距離、集控監偵系統，構成整體防護、拒止重於反制，摧毀優於攔截、戰鬥方陣屏衛，重層攔截護衛、不對稱為張本，善用傳統戰法及近戰戰術戰法，研改重點方向」等，以強化及彌補未來主動防禦系統之能力及缺口。

一、無地協同整合，延伸偵測距離

無人機為未來戰場運用廣泛之戰術(鬥)載具，要能追蹤敵反裝甲飛彈必須要有大於飛彈飛行速度，地面發射之反裝甲飛彈一般採取兩段式發射，第一段軟發射將彈頭推出筒體約 50-100 公尺，第二段點燃火箭馬達，讓飛彈加速至 250-500 公尺/秒，推進藥能提供有動力狀態約最大射程 1/3，以標槍飛彈為例約 850 公尺，之後飛彈以無動力滑翔方式持續以光電(如雷射)照明導引直至命中撞擊目標，因此若以現有地面發射之反裝甲武器攻擊最大射程約需 5-15 秒時間，現行主動防禦系統多採主動電子陣列掃描雷達，其偵測距離>1,200 公尺，對短、中、遠程反裝甲砲彈反應時間(如表 5)。

表5-各式反裝砲彈最大射程APS反應時間區分

時間 類別	區分	推進時間	滑翔時間	小計	反應時間
		(秒)			
短	火箭彈	2-3	0	2-3	2-3
中	無後座力砲	2-3	0	2-3	2-3
	戰車砲	0.7	0	0.7	0.7
	標槍飛彈	1.6	4.6	6.2	1.25
遠	拖式飛彈	4	11	15	2.5
備考	1.火箭彈推進藥為最大射程，介於350-800公尺。 2.無後座力砲彈推進與一般砲彈不同為筒後噴火，初速會降至250-450公尺/秒，僅能射擊高爆戰防榴彈。 3.飛彈類推進藥受彈體限制無法裝填全射程。				

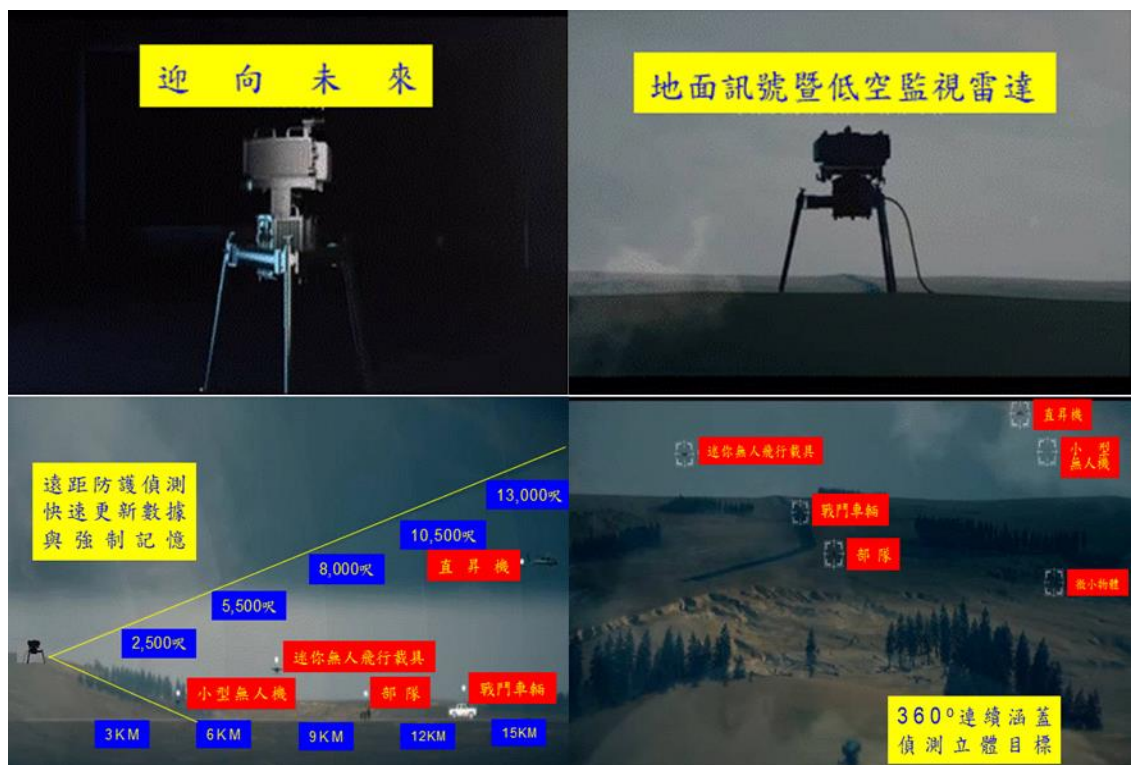
資料來源：筆者整理製作

由上表可以看出，若成功整合無人機俯視雷達功能，提供戰車部隊敵飛彈來襲早期預警訊息，利用多維空間偵蒐，以戰術鏈路聯結以廣播方式通知地面部隊飛彈來襲方位與發射時間，爭取主動防禦系統數秒反應時間，尤其針對中、遠距、精準及終端彈道低速滑翔反裝甲飛彈，將可降低遭猝然襲擊或反應時不足問題。

二、集控監偵系統，構成整體防護：

主動防禦系統雷達設計之初為偵測水平方向砲彈，攔截彈也多以水平對向摧毀來襲威脅，戰場環境的改變，當水平防護盾變強，敵人轉取從空中著手以頂攻方向攻擊屏衛死角，從俄烏戰爭可以看到徘徊式彈藥與自毀型無人機，以及可攻頂飛彈(火箭)，創下極佳戰果，也引發各國研究如何破解，然而戰車若再加裝垂直方向雷達與攔截彈，構成多維整體，就學理上非不可行，增加防護系統，便會讓戰車降低先敵射擊、機動變換與高速機動功能，實際而可行方案為以戰車連(戰鬥隊)加裝地面多維搜索雷達，(如圖 19)，與監偵排車載桅頂光電偵蒐儀及無人機，構成集控式監視網，再以防空武器及車裝槍塔與主砲高仰角射擊智慧型先進彈藥以指向目標再以感炸引信，摧毀敵空中威脅源，⁵⁹使攔截由從水平提升至垂直多維，攻擊更具全面性。

圖19-多任務地面觀察者20 (GO20MM)



資料來源：擷取至 THLES 系統簡介影片，(檢索日期:2023 年 06 月 27 日)。

三、戰鬥方陣屏衛，重層攔截護衛：

隨著肩射型防空飛彈陸續到位、蜂眼雷達部署，原有復仇者防空飛彈及已交軍之陸射劍二飛彈，構成陸軍野戰防空網，彌補地區防空缺口，

⁵⁹ DOT&E · 〈120-mm Advanced multi-Purpose <AMP>, M1147〉 · (U.S Washington DC · 116th Congress-FY20 Army Programs · MAR.2020) · https://www.congress.gov/116th-congress/house_event/109346 · (Retrieval Date : APR.29.2023) 。

隨伴機動式野戰防空系統採取機動掩蔽，雷達與射控系統可採取被動狀態，進入相機射擊啟動搜索，並採不定位分段系統起閉，以防止敵反輻射飛彈或無人機攻擊，戰車部隊防空隨遙控式槍塔(CROWS)射角與先進多用途彈(AMP)獲得使主砲具備攻擊空中目標能力，⁶⁰尤其以遙控槍塔將向外分散射擊改為向內集火射擊，戰鬥方陣防空由雷達預警，重層攔截敵無人機與低空定(旋)機及徘徊式彈藥，降低空(頂)攻戰損，維護戰力完整，(如圖 20)。

圖20-M153遙控式槍塔 (CROWS)



資料來源：⁶¹同註 61，(檢索日期：2023 年 7 月 9 日)。

四、不對稱為張本，善用傳統戰法：

目前主動防禦系統尋外購獲得或自力研發仍需投入長時間突破外交、武管及關鍵技術備便水準提升，未獲得前，戰車部隊必須利用傳統與不對稱戰法，如偽裝、隱(掩)蔽及機動變換陣地，利用夜岸掩護(遠紅外線熱能顯像仍無法呈現全彩影像)，此時可進行陣地變換與進入待機位置，敵若已配備主動防禦系統兩棲舟車作為登島戰役第一梯隊戰具，對通過海上衝擊出發線舟車，使用整體目標獲得系統(ITAS)發射無線導引拖式飛彈，進入距岸 1,000 公尺，續使用標槍飛彈進行頂攻，灘岸戰鬥階段則以戰車排以主砲實施交叉射擊，使敵主動防禦系統疲於奔命，消耗攔截彈或引爆被動反應式裝甲，戰車連則採縱長部署逐排射擊與運動聯繫，每一射擊陣地線相隔約 1,000 公尺，脫離戰鬥之戰

⁶⁰ 軍武數據庫，〈不見面就能滅了你，遙控武器工作站就試著麼牛〉，

<https://kknews.cc/zh-tw/military/2nzlezy.html>，(檢索時間：2023 年 06 月 29 日)。

⁶¹ ARMAMENT, 〈M153 Protector (CROWS II) combat module〉, (U.S Georgia Reddit, MAY.20.2020) https://www.reddit.com/r/Military/comments/fz4yhy/m153_protector_crows_ii_combat_module/，(Retrieval Date：APR.29.2023)。

車，仍持續發揚行進間射擊火力，摧毀尾隨敵戰甲砲車，再以次一排掩護下進入第 3 線射擊陣地，最後在於核心陣地守備部隊掩護下，亦可由狙擊組射擊主動防禦系統之眼-搜索雷達(目標於 1,000 公尺內相當於半身人像靶大小)，可於訓練時增加此一課目，利用廢品戰車架設模擬 VT-4 相位陣列雷達靶，⁶²將其擊毀，整套系統即陷入盲目失能，聯合據點群點內戰車預備隊發起逆襲，擊滅入侵敵軍，(如圖 21)。

圖 21-VT-4 戰車裝置 GL-5 主動防禦系統搜索雷達



資料來源：擷取 2020 年 6 月 25 日奈及利亞新聞畫面。

五、導引電子干擾，無導閃躲迴避：

解放軍地地(紅箭-12)及空地(藍箭-9)反裝甲飛彈目前均已具備主動尋標，射後不理功能，於泛水及登島陸上進攻由兩棲舟車發射，日(夜)有效射程為 4(2)公里，反裝甲火箭為 08 式及俄國 RGP-22 改良版兩種為主，前者為一次性武器，後者為筒後再裝填，射程分別為 450 及 800 公尺，敵我面對同樣遠距精準飛彈與近距無導引火箭彈攻擊，在敵衝擊上陸後配備主動防禦系統可運用局部電子干擾，使其雷達產生雜訊，或以多方發射誘標彈與實彈配合採複式同步或異時射擊，使搜索雷達同時處理多次目標，迫使射控計算機誤失攔截時機或導向誘標彈，反裝甲火箭因射擊後無法改變飛行彈道，戰車務必要「動」起來，以加速不規則前進、急煞車及倒車，以戰車機動力快速變換位置，以迴避火箭彈攻擊，(如圖 22)。⁶³

⁶² 奈及利亞向中共購買 VT-4(中製 T-15 外銷版)，成為奈國陸軍主力戰車，據報載每輛單價約 580 萬美元(含 GL-5APS)·Picom·〈非洲首個買家!VT4 現身奈及利亞，成為中械軍團核心戰力〉·(Internet 天天要聞·2020 年 04 月 11 日)· <https://daydaynews.cc/zh-tw/military//1491036>·(檢索日期：2023 年 7 月 9 日)。

⁶³ Esim Bames : 〈M1A2SEP-Moving Picture〉·(Steelbeasts·Virtual Simulation·AUG.2016)·
<https://www.steelbeastes.com/sbwiki/index.php?title=File>·(Retrieval Date : JUL.9.2023)。

圖 22-M1A2 SEP 戰車高速機動展示



資料來源：同註 63，(檢索時間：2023 年 7 月 9 日)

六、快速機動防護，發揚火力為先：

機動力所形成防護效果，在於增加敵反裝甲武器射手瞄準困難度，以色列汲取 1973 年第四次以阿戰爭於西奈半島戰車部隊蒙受巨大損失，以軍戰後統計戰損約 1,000 餘輛戰、甲車，因為埃及部隊在蘇聯顧問訓練與軍援下，戰爭初期控制地區空優，使以國空軍無法與陸軍進行聯合作戰，提供密接支援，地面上以高密度反裝甲飛彈(AT-3,北約代號為泥火箱)及火箭彈(RGP-7)，因此戰後發展出反應式裝甲與開闊地沙漠地形通過戰法，當發現敵以反裝甲武器攻擊時，鄰車立即向發射方向射擊主砲，並以車長機槍射擊並發射煙幕彈，以擾亂敵軍射手瞄準，防衛作戰亦同如此戰法，不可被動挨打，必須快速機動進行運動間射擊以 M1A2T 戰車「行進間對活動」目標射擊命中率高於 90%，改良型 M60 依目前配備射控系統估計可達 80%以上命中率，不抑留於一地，發揚火力為先，先敵射擊先發制敵，將戰車部隊成為流動性戰力，火力源不間斷，(如圖 23)。⁶⁴

⁶⁴ DSCA · 〈Poland –M1A1ABARMS MAIN BATTLE TANK〉· (U.S Washington DC DSCA.DEC.06.2022) · https://www.dcas.mil/press_media/major_arm_sale/polandm1a1_abrams_main_battle_tanks · (Retrieval Date : 2023 年 7 月 9 日)。

圖 23- M1A2 戰車行進間對活動目標射擊



資料來源：同註 64，(檢索日期：2023 年 7 月 9 日)。

七、運用高能雷射，摧毀遠距目標：

高能雷射是一種高強度光束為輸出的雷射器，擁有極高能量密度和高能量脈衝，應用層面涵蓋軍事、工業、醫療及科學研究等。美國洛克希德·馬丁和以色列拉斐爾(Rafael)先進防禦系統公司日前宣布，雙方合作研製「高能雷射武器系統」(HELWS)，用於輔助「鐵穹」(Iron Dome)防禦系統，建立更完善的防空網，(如圖 24)。⁶⁵

圖24-「高能雷射武器系統」(HELWS)



資料來源：同註 65，(檢索日期：2023 年 07 月 20 日)。

據近期媒體報導，由科研單位自 2020 年開始啟動代號「OO 專案」之研究，由研發高能雷射 (High-Energy Laser, HEL) 系統，該系統設定

65 陳成良，〈明年問世！美國攜手以色列開發高能雷射武器系統〉，(台北市，軍武新知，自由時報電子網，2020 年 10 月 20 日)，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/4152528>，(檢索日期：2023 年 07 月 20 日)。

為防禦低空無人機、火箭彈、砲彈等威脅。裝甲車輛在運行的過程中，威脅不再只是來自於地面部隊或反裝甲武器，在偵蒐角度不足情況下，來自空中的攻擊更是裝甲車輛極大的威脅。因此，將雷射系統安裝在裝甲車輛上，執行高仰角威脅的破壞，再結合主動防禦系統，實施低仰角威脅的反制，更能夠使裝甲車輛在戰場中提高存活率。

陸、結論

主動防護系統以其獨特的防護策略有效應對了裝甲車輛面臨的各種威脅，增加了車輛的防禦空間，提升了防禦水準，也使得戰車在城鎮當中的限制相對減少許多，主動防護系統的誕生雖然提高了戰場存活率，各國研發之系統能力，基本上也都能抵禦地面之威脅，但近年來，反裝甲武器技術已從過去地面射擊，發展到藉由無人機的偵測到破壞，有些國家甚至已經開始朝向太空發展，未來戰場的威脅只會更加全面性。科技的進步造就了各型武器的提升，然矛與盾的情景始終在戰場上發生，主動防禦系統在以色列的實戰驗證下，能夠有其高攔截率，也證明了這套系統的發展的確能夠符合現在戰場環境。但是有發展就會有比較，亦有對抗，各國的武器為何需要不斷提升其能力及限制，就是因為科技的進步使得威脅程度越來越高。相對地為了克制該系統，必須將攻擊方向、角度甚至載具，研發出能夠干擾或是避開系統搜尋，進而成功破壞車輛本體。因次，透過前述分析及研究亦可得知，該系統還有很多淺在問題需要被克服，國內未來若能成功研發屬於自己的主動防禦系統，也希望能針對相關系統限制及能力加以改善，並且強化戰場指管聯繫，使戰場威脅能更加透明化，並結合各種手段予以破壞，以增加裝甲部隊之持續力及存活率。



參考資料

一、中文

(一)專書：

- 1.羅順德，《孫子兵法-中英文對照本》，(台北市，黎明文化出版有限公司，1991年05月初版)。
- 2.李思平，《戰車部署 2020，艾布蘭戰車 M829A4 翼穩脫殼穿甲彈》，(新北市，尖端科技軍事雜誌 393 號 2020 年 01 月 13 日初版)。
- 3.王軍，《雷達手冊》，(台北市，電子工業出版社，2003 年 7 月)。

(二)網際網路：

- 1.全球防衛雜誌，〈「矛盾大對決」：戰車上的主動防禦系統將成主流趨勢？〉，(台北市，全球防衛雜誌社，2022 年 4 月)。
<https://opinion.udn.com/opinion/story/120902/6321778>。
- 2.呂炯昌，〈向美買 M1A2 戰車陸軍另爭取採購主動防禦系統〉，(台北市，yahoo 新聞網，2023 年 05 月 04 日)。
<https://www.nownews.com/news/3430994>。
- 3.李思平，〈戰車主動防禦系統〉，(台北市，yahoo 轉載青年日報電子網，2020 年 05 月 19 日)。<https://tw.news.yahoo.com/E6%AD%A6%E5%82%99%E5%B7%A1%E7%A6%A6%E7%B3%B%E7%B5%B1-160000347.html>。
- 4.支點軍事，〈最可靠的戰利品主動防禦系統：戰場上生與死的差別〉，(台北市，壹讀網，2017 年 05 月 23 日)。
<https://read01.com/zh-tw/yEMydi.html>。
- 5.英國廣播公司綜合報導，〈以色列巴勒斯坦衝突：哈瑪斯的來歷與現狀〉，(台北市，BBC 中文網，2021 年 05 月 20 日)，
<http://www.BBC.COM-57170536>。
- 6.王能斌，〈以色列「大衛投石索」防空系統，首度成功實彈攔截〉，(台北市，上報，2023 年 05 月 13 日轉載拉斐爾公司)，
https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=3&seria.no=172583。
- 7.今日頭條，〈坦克金鐘罩，主動防禦系統〉，(台北市，每日頭條網，2020 年 03 月 19 日)，
<https://twgreatdaily.com/0xRPyHABgx9BqZZIln7N.html>。
- 8.李思平，〈武備巡禮-戰車主動防禦系統〉，(台北市，Yahoo 新聞網，2022 年 5 月 29 日)，
<https://tw.news.yahoo.com/%E6%AD%A6%E5%82%99%E5%B7%A1%E7%A6%AE-%E6%88%B0%E8%BB%8A%E4%B8%BB%E5%8B>

%95%E9%98%B2%E7%A6%A6%E7%B3%BB%E7%B5%B1-16000
0347.html。

- 9.尖端科技軍事雜誌社，〈全車隊主動防禦化時代？美陸軍將在 2017 年決定各載具適配備之系統〉，(台北市，尖端科技雜誌社，2014 年 04 月 25 日)，<https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=219>。
- 10.李思平，〈「武備巡禮」-戰車主動防禦系統〉。(台北市，青年日報電子網，2018 年 01 月 08 日更新)，
<https://www.ydn/news/newsInsidePage?chapterID=1557394&type>
- 11.軍武陳辭，〈都說主動防禦系統很牛，但坦克穿了「鐵布衫」就無懈可擊嗎？〉，(新北市，SHOCKWATCH，2017 年 11 月 14 日)，
<https://kknews.cc/zh/tw/military/xvn6349.html>。
- 12.火器營，〈坦克主動防禦系統雖然很好，但也並不是萬能的！〉，(新北市，每日頭條，SHOCKWATCH，2018 年 03 月 14 日)，
><https://kknews.cc/military/nkonn58.html> >。
- 13.李思平。〈簡單了解拖式飛彈如何攻頂戰車〉。(新北市，尖端科技出版社，2019 年 01 月 25 日轉載美國陸軍)。
<https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=843>。
- 14.人氣格鬥士，〈雷達頻段與原理〉，(台北市，方格子轉載跨越通信，2022 年 08 月 13 日)，
<https://vocus.cc/article/62f72fd89780001fe6fac>。
- 15.崔家駿，〈美國海軍艦用雷射武器系統概述〉，(台北市，國防部海軍司令部，海軍學術雙月刊第五十一卷第一期，2017 年 02 月 17 日)，
<https://m.facebook.100057318915220&fbid=545665880474886>。
- 16.江炘杓，〈「韜略談兵」擊殺千里之外 導能武器面面觀〉，(台北市，青年日報電子網，2023 年 02 月 02 日更新)，
<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1562349&type=forum>。
- 17.張寧捷，〈無人機「鷹眼」發威！俄戰車躲樹林全現形遭烏軍精準炸毀影片曝〉，(台北市，資訊咖，2022 年 05 月 15 日)，
<https://inf.news/military/8ba89of749d5f8b280ed23dfcdaoe2d4.html>
- 18.軍武頻道，〈俄軍擊毀烏克蘭部隊德製「豹 2」戰車〉，(台北市，自由時報新聞網，2023 年 06 月 09 日)，
<https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4328540>。



19. 百度百科，〈地面監視雷達〉，(香港，百度百科網，2016 年 07 月 24 日)，
<https://baike.baidu.hk/item/%E5%9C%BO%E9%9D%A2%E7%9B%A3%E8%A6%96%E9%9B%B7%E9%81%94/12772937>。
20. 軍武數據庫，〈不見面就能滅了你，遙控武器工作站就試著麼牛〉，
<https://kknews.cc/zh-tw/military/2nzlezy.html>。
21. Picom，〈非洲首個買家!VT4 現身奈及利亞，成為中械軍團核心戰力〉，
(Internet 天天要聞，2020 年 04 月 11 日)，
<https://daydaynews.cc/zh-tw/military//1491036>。
22. 陳成良，〈明年問世！美國攜手以色列開發高能雷射武器系統〉，(台北市，軍武新知，自由時報電子網，2020 年 10 月 20 日)，
<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/4152528>。

二、English

(一)BOOKS：

1. Feickert, Andrew，〈US Army weapons-related directed energy (DE) programs: Background and potential issues for congress.〉，(LIBRARY OF CONGRESS WASHINGTON DC, 2018)。
2. Graswald, Markus, et al，〈Defeating modern armor and protection systems.〉，(Hypervelocity Impact Symposium. Vol. 883556. American Society of Mechanical Engineers, 2019)。
3. Wu Xin, Wang Xiao, Miao Cheng, et al，〈2013 Advance and Development Trend of Foreign Tank Active Protection Technology〉，(Weapons Materials Science and Engineering 36(2))。
4. FANG Linghui, ZHENG Xiangyu, WANG Lungen and ZHOU Yingchun，〈2014 Study on the Development of Active Protection System for Tank and Armored Vehicles〉，(Equipment Environment Engineering 11(1))。
5. Ren Xiaogang，〈2010 Active Protection System for Foreign Tank and Armored Vehicles [J]〉，(Firepower and Command Control (35))。
6. Zhou Ping, Zhao Chenxiao, Mei Lin, et al，〈2016 Analysis of Development Status and Trend of Active Protection System for Modern Tank [J].〉，(Command Control & Simulation 38(2))。
7. Yang, L., & Xu, J，〈Analysis on the Development of Active Protection System for Tanks and Armored Vehicles〉 (In Journal of Physics:

- Conference Series (Vol.1855,No.1,p.012034 , 2021,March).IOP Publishing .
8. Bernard Kempinski and Christopher Murphy , 《Technical Challenges of the U.S. Army's Ground Combat Vehicle Program》 , (Congressional Budget Office (CBO) Working Paper 2012-15, November 2012) .
 9. Graswald, Markus, et al , 《Defeating modern armor and protection systems》 , (Hypervelocity Impact Symposium. Vol. 883556. American Society of Mechanical Engineers, 2019) .
 10. Zhao Taiyong and Jin Yanxia , 《 2001 Discussion on Key Technologies of Active Armor Protection System [J]》 . (Journal of North China Institute of Technology 22(1)) .
 11. Yang, L., & Xu, J , 《Analysis on the Development of Active Protection System for Tanks and Armored Vehicles , In Journal of Physics》.(Conference Series March .2021 IOP Publishing Vol. 1855, No. 1) .

(二)Internet :

1. LOCKHEED MARTIN , 〈 The Next Generation of Open Architecture Armor Protection is Ready Today 〉 , (U.S Maryland Bethesda city , Lockheed Martin 3rd Generation Brief , NOV.18.2021) .
<https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/mfc-maps.html> .
2. Information in this section is taken from a CRS meeting on June 27, 2016 with representatives from Rafael Advanced Defense Systems, DRS Technologies, and the . Israel defend Force (IDF) , 〈 The Israeli Chapter of the Controlled Release Society(ICRS) 〉 , (Israeli Ministry of Defense , June 27, 2016) , <https://icrs.org.il/> .
3. U.S Army , 〈 U.S Army Fuze Review Board On Electronic-Arm-fire (ESAF) For AAWS-M 〉 , (Pepartment of The Armjy U.S Army Safety R.B 1990) .
https://books.google.com.tw/books/about/Army_Fuze_Safety_Review_Board_on_Elector.html=viwi_HQ_AAj&redir=esc=y .
- 4.Elbit Systems , 〈 Iron Fist Series of Active Protection Systems 〉 , (Hafa Israel , Advanced Technology center , APR.2017) ,
<https://www.elbitsystems.com> .



5. Tamir Eshel , 〈 European Security & Defensive 〉 , (Vehicle Protection with an Iron Fist) ,
<https://euro-sd.com/2020/02/articles/16047/vehicle-protection-with-a-n-iron-fist/> 。
6. Samuel Cranny-Evans , 〈 JANES , IAV 2020 〉 , (Elbit's Iron Fist engages kinetic energy round) ,
<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/iav-2020-elbits-iron-fist-engages-kinetic-energy-round> 。
7. ARMY RECOGNITION 。 〈 Air Show China 2018 〉 , (GL5 hard-kill APS Active Protection System for tanks) ,
https://www.armyrecognition.com/airshow_china_2018_zhuhai_news_show_daily_coverage/airshow_china , 2022.4.4 。
8. Army Recognition , 〈 Analysis Russian Afghanite active protection system is able to intercept uranium tank ammunition 〉 , (U.S , Washington DC , TASS 11012163 , FEB.2023) ,
https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/analysis_russian_afganit_active_protection_system_is_able_to_intercept_uranium_tank_ammunition_tass_11012163.html 。
9. Evdey Biyatov , 〈 Russia`s New T-14 ARMATA MBT Debut in Ukraine-RIA 〉 , (New Taipei City , Reuters Taiwan , Apr.25.2023) ,
<https://www.Reuter.com/world/europe/russias-new-t-14-armata-battle-tank-debuts-Ukraine-2323.04.25> 。
10. Raytheon Technologies , 〈 Raytheon's Quick Kill Active Protection System defeats one of the most lethal armor-piercing Rocket Propelled Grenades 〉 , (U.S Virginia Arlington Country , Raytheon , NOV.18.2021) 。
11. Bollger , 〈 Below The Turret Ring 〉 , (Hardkill APS overview) , (U.S California Mountaion view , JAN.7.2017) ,
<https://below-the-turret-ring.blogspot.com/2017/01/hardkill-aps-overview.html> 。
12. Mckinney , 〈 PRNewswire , Raytheon's Quick Kill Active Protection System defeats one of the most lethal armor-piercing Rocket Propelled Grenades 〉 , (U.S Virginia Arlington Country , Raytheon ,

- AUG.18.2018) ,
<https://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=2251> 。
- 13.Dave Smith , 〈 How much armor does the M1A2 Abrams have? 〉 ,
(U.S California Mountain View Quora Jan.13.2019) ,
[https://www.quora.com/How-much-armor-does-the-M1A2-Abrams-h
ave](https://www.quora.com/How-much-armor-does-the-M1A2-Abrams-have)
- 14.Yaron Steinbuch , 〈 War against ISIS now involves shuttlecock
grenades dropped by drones 〉 , U.S New York City , NYT ,
Newsletter , MAR.06.2017) ,
[https://nypost.com/2017/03/16/war-against-isis-now-involves-shuttle
cock-grenades-dropped-by-drones/](https://nypost.com/2017/03/16/war-against-isis-now-involves-shuttlecock-grenades-dropped-by-drones/) 。
15. Brian Wang , 〈 Russia claims active protection system for Armata
tanks can successfully intercept uranium core cannon shells which
would make Armata invulnerable to other Tanks 〉 , U.S California
Pleasanton , Next BIG FUTURE , OCT.25.2016) ,
[https://www.nextbigfuture.com/2016/10/russia-claims-active-protecti
on-system.html](https://www.nextbigfuture.com/2016/10/russia-claims-active-protection-system.html) 。
- 16.Oskar Glaese , 〈 China's Directed Energy Weapons and
Counterspace Applications 〉 , (U.S Washington DC , The Diplomat ,
JUN.29.2022) ,
[https://thediplomat.com/2022/06/chinas-directed-energy-weapons-a
nd-counterspace-applications/](https://thediplomat.com/2022/06/chinas-directed-energy-weapons-and-counterspace-applications/) 。
17. Connie lee , 〈 New From Redstone Arsenal : Army Scaling Up Laser 〉 ,
(U.S New York , National Magazine , MAR.25.2019) ,
[https://www.national
magazine.org/article/2019/3/25/army-display-10-kw-laser-on-a-stryk
er](https://www.nationalmagazine.org/article/2019/3/25/army-display-10-kw-laser-on-a-stryker) 。
- 18.Dylan Malyasov , 〈 U.S. Army tests Trophy Active Protection System
for tanks 〉 , (No Address , Online military Magazine , Jan.18.2019) ,
[https://defence-blog.com/u-s-army-tests-trophy-active-protection-sy
stem-for-tanks/](https://defence-blog.com/u-s-army-tests-trophy-active-protection-system-for-tanks/) 。
19. Nicholas Fiorenza , < Update: German Leopard 2 tested with Trophy
APS for first time > , (U.K London Croydon , Jaens Groups ,
NOV.03.2021) ,



- <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/update-german-leopard-2-tested-with-trophy-aps-for-first-time> 。
20. D OT&E , 〈 120-mm Advanced mulit-Purpose <AMP>,M1147 〉 , (U.S Washington DC , 116th Congress-FY20Army Programs , MAR.2020) 。
- https://www.congress.gov/116th-congress/house_event/109346 ,
21. ARMAMENT , 〈 M153 Protector (CROWS II) combat module 〉 , (U.S Georgia Reddit,MAY.20.2020) ,
- https://www.reddit.com/r/Military/comments/fz4yhy/m153_protector_crows_ii_combat_module/ 。
- 22.Esim Bames , 〈 M1A2SEP-Moving Picture 〉 , (Steelbeasts , Virtual Simulation , AUG.2016) ,
- <https://www.steelbeastes.com/sbwiki/index.php?title=File> 。
23. DSCA , 〈 Poland –M1A1ABARMS MAIN BATTLE TANK 〉 , (U.S Washington DC DSCA.DEC.06.2022) ,
- https://www.dcas.mil/press_media/major_arm_sale/polandm1a1_abrams_main_battle_tanks 。

筆者簡介



姓名：楊增力

級職：士官長教官

學歷：陸軍高中90年班、裝甲兵士高班92-1期、專校士正規班98-2期、美國士官長正規班109年班

經歷：車(組)長、副排長、連士官督導長、人事士、現任陸軍專科學校軍教組教官。

電子信箱：軍網：yangzengli@webmail.mil.tw

民網：zengli.yang.mil@gmail.com



姓名：詹淳中

級職：少校教官

學歷：陸軍官校92年班正72期、裝甲兵正規班97年班119期、陸軍指參正規班104年班。

經歷：排長、副連長、人事官、連長、現任陸軍專科學校軍教組教官。

電子信箱：軍網：sakuvita@webmail.mil.tw

民網：sakuvita2512@gmail.com