

以 CMO 模擬 F-16V 戰機運用新型飛彈 提升視距外作戰效能之研究¹

杜長青、余浩銘

國防大學國際與國防事務學院戰略研究所

壹、前言

習近平主政期間曾經提出「2035 年基本實現國防和軍隊現代化」、「本世紀中葉建成世界一流軍隊」等主張，而共軍「建軍百年」奮鬥目標，主要透過先進軍備武器列裝，使其具備「主動先制」之攻擊戰略及能力。其中解放軍空軍則訂定「空天一體、攻防兼備」目標，朝向「攻防兼備型」的戰略轉變。中共規劃 2035 年將建立一支具有全球戰略投射能力的軍隊，目前中共空軍的戰略轟炸機 H-6K 在近期實戰化訓練中，配合殲擊機、預警機驗證遠端奔襲、快速機動、體系打擊等實戰演練課目，所搭載巡航導彈已經可以直接威脅美國關島（Guan），預估 2030 年的投射能力最遠可到達 5,000 公里外的美國夏威夷的檀香山（Honolulu）（如圖 1）。

¹ 本文為「國防大學國際學院戰略研究所」與「國防安全研究院網路安全與決策推演所」研究團隊合作之部分成果，感謝該所提供 COMMAND Professional Edition 專業版本軟體，協助執行全場域 AI 及蒙地卡羅（Monte Carlo method）模擬分析。

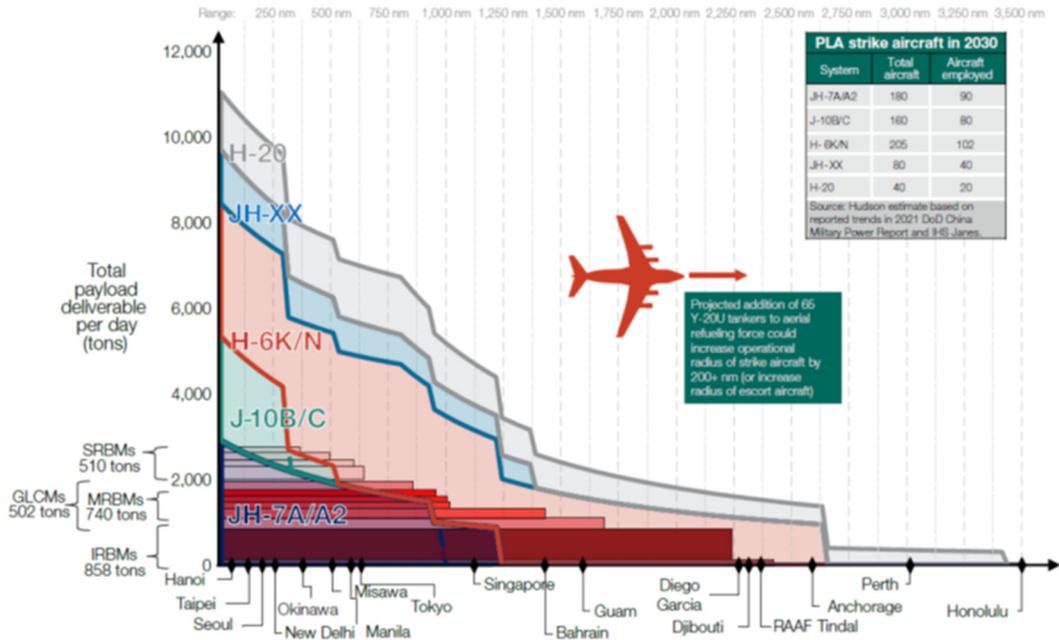


圖 1、2030 年中共解放軍空軍打擊投射能力發展預估圖

資料來源：Bryan Clark and Timothy A. Walton, *Regaining the High Ground Against China: A Plan to Achieve US Naval Aviation Superiority This Decade* (Washington, DC: Hudson Institute, 2022), p. 9.

依據我國 2019 年《國防報告書》所公布的資料，歷年共機在台灣海峽及東海約有 5 種不同航跡（如下圖 2）。除了由日本海穿越對馬海峽的訓練路線，推測可能是為了模擬反制美駐南韓與駐日本兵力就近援臺的想定狀況，其餘的航線則分別針對進攻臺灣，以及美軍在南海的航母艦隊進行實戰化模擬打擊訓練。²另根據我國國防部每日更新的數據顯示，2022 年共軍總共派出 1,727 架次軍機，侵擾臺灣防空識別區（ADIZ）。戰機架次從 2021 年的 538 架次暴增到 2022 年的 1,241 架次，增加了 1 倍多，機型多為殲-10C 機、殲-11 機、殲-16 機、蘇愷-30MKK 機。共軍的操演採取慢速機常態訓練、快速機複合式訓練的明顯分壘，當快速機出現時，常伴隨大兵力的數量，而且航跡均較有威脅性。³整體而言，解放軍空軍（PLAAF）和海航（PLANAF）的遠海長航任務，均配合其所對應的作戰目

² 郝瑞麟，〈共機擾臺頻次增加與模式轉換的軍事觀點〉，《展望與探索》，第 20 卷第 2 期，2022 年，頁 70-71。

³ 陳厚郡、蘇園展，〈從共軍軍機繞臺暨侵擾我空域探討空軍應處作為〉，《空軍軍官雙月刊》，第 223 期，2022 年，頁 53-54。

標，體現共軍「戰略上防禦」和「戰役戰鬥上進攻」的「積極防禦」戰略思想。

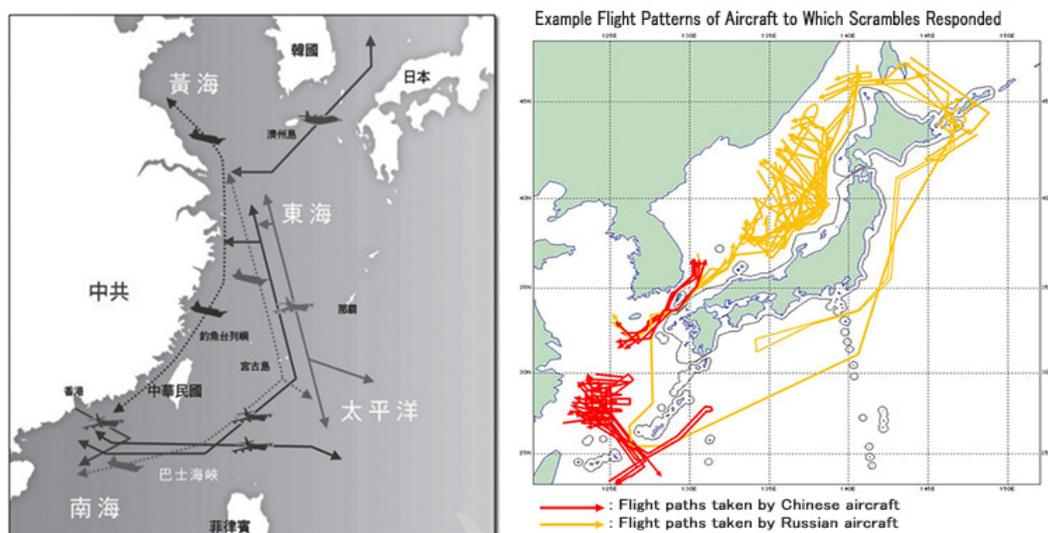


圖 2、PLA Military aircrafts flight paths in Taiwan Strait and East China Sea

資料來源：中華民國國防部，《2019 年國防報告書》（臺北：國防部，2019 年），頁 36；“Airspace Surrounding Japan,” *Japan Air Self-Defense Force*, https://www.mod.go.jp/asdf/English_page/roles/role03/index.html。

2022 年 8 月 3 日美國眾議院議長南希·佩洛西（Nancy Pelosi）於結束訪臺後的第二天，解放軍在臺灣周邊的六個地點展開了大型實彈演習進行回應，並每日穿越臺灣海峽中線進行襲擾，恫嚇意味十足。近年我國持續強化空軍戰力，並於 2019 年向美國訂購 66 架新型 F-16V 戰鬥機，屆時將擁有 206 架 F-16V 飛機，數量超過美國以外的世界任何國家。但伴隨中共空軍常態化於東、南海空域執行巡航任務及遠海訓練的威脅，我空軍飛行員必須更頻繁的負擔臨時的監控與驅離任務，兩軍在空中發生衝突的機會亦升高。

因此，本文將透過不同的想定設計，運用電腦兵棋軟體「指揮：現代作戰」專業版（Command：Modern Operations Professional Edition，以下簡稱 CMO PE），模擬我空軍最新型 F-16V 主力戰機在面對中共多型主力戰機時，那些因素可具體提升「視距外作戰」

效能（Beyond Visual Range, BVR），提升戰場存活率。⁴本文除可做為軍事作業研究（Military Operation Research, MOR）的分析框架，以支持軍事作戰決策和計畫作為；相關模擬結果，另可提供共同擁有 F-16 機型的區域民主國家做為共軍軍機空中威脅評估參考，以預擬各項應對作為。

貳、以 CMO PE 模擬與視距外作戰（BVR）效能分析

一、共軍軍機對我空軍最大威脅預判

中共近年積極推動軍改，依據 2022 年 IISS 軍力平衡資料顯示中共海、空軍航空兵力戰機總數超過 2,700 架，其中有約 1,268 架是最新的現代戰機。⁵依據近年解放軍空軍於東海進行訓練的機種類型研析，殲-10 戰機裝備主動相控陣列雷達。截至 2020 年，估計至少已有 468 架以上殲-10 系列戰機配置於中國人民解放軍空軍，其數量具壓倒性的優勢，目前多扮演空警-500 的護航角色。而對我空中威脅最大之東部戰區空軍，分別將殲-10 戰機部署於浙江湖州長興 83 機場及廣東汕頭外砂機場。而殲-10C 戰機則為殲-10 的改良型，航電設備和武器經過一系列升級。目前殲-10B/C 型戰機數量約為 160 架左右，已在南海島礁和臺灣海峽進行過多次的實戰演練。⁶

殲-11 型戰機為解放軍第四代戰機，係獲俄羅斯授權生產的 Su-27SK 而來。在殲-20 戰鬥機服役前，殲-11 是解放軍在執行長程空優作戰奪取制空權的主要力量之一，東部戰區空軍分別將殲-11 戰機部署於江蘇白塔埠機場及福建武夷山機場等。近年，中共空軍積極升

⁴ 本研究所採用的 CMO PE 是一款專業的模擬軟體，可用於海上、空中和陸地各類型軍事行動中，模擬複雜的戰爭場景和作戰任務，可以提供豐富的情報資料、複雜的戰爭場景和各種作戰方案的評估，為決策者提供更全面、精確的決策支援，目前已有美國、澳大利亞、英國、瑞典、新加坡等國家運用於各種領域和議題的模擬。

⁵ J-10*548、Su-27/J11*329、Su-30*97、Su-35*24、J-15*50、J-16*170+、J-20*20。The International Institute for Strategic Studies, *The Military Balance 2022* (England: Routledge, 2022), pp.259-261; 立法院,《國防部 2022 年中共軍力報告書》(臺北:國防部, 2022 年), 頁 8-12。

⁶ “Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2021,” U.S. Department of Defense, <https://media.defense.gov/2021/Nov/03/2002885874/-1/-1/0/2021-CMPR-FINAL.PDF>.

級並改裝該類戰鬥機為殲-11BG，換裝了整體推力更強的 WS-10 發動機，以及性能更強的機載有源相控陣雷達。⁷截至 2018 年，估計至少已有 450 架以上殲-11 系列戰機服役。



圖 3、J-10, J-11, Su-30MKK (左到右)

資料來源：China Aerospace Studies Institute, PLA Aerospace Power: A Primer on Trends in China's Military Air, Space, and Missile Forces 3rd Edition (US Air University: Montgomery, 2022), p.23.

殲-16 型戰機由中國瀋陽飛機公司以 J-11BS 和 Su-30MKK 為藍圖，自行研製生產的四代半雙座多用途戰鬥機，機上配備自動電子掃描相控陣雷達，並具備多個目標同時識別並攻擊的能力。解放軍東部戰區空軍分別將殲-16 部署於浙江嘉興機場及江西南昌向塘機場，截至 2022 年，估計至少已有 245 架以上殲-16 系列戰機服役，未來與殲-10、殲-11 都將會是對臺灣進行軍事行動的主力戰機，也是對周邊國家最大的空中威脅來源之一。⁸



圖 4、Su-35, J-16, J-10C (左到右)

資料來源：China Aerospace Studies Institute, PLA Aerospace Power: A Primer on Trends in China's Military Air, Space, and Missile Forces 3rd Edition, p.24.

⁷ 軍武談，〈北部戰區殲-11BG 高清亮相，改裝獲成功，沒有盲目進行「殲-16」化〉，《網易》，2022 年 8 月 11 日，<https://www.163.com/dy/article/HEFTC9RO0535BT5L.html>。

⁸ 盧伯華，〈共機大規模擾臺為準戰爭威嚇 機群編組路線大有玄機〉，《中時新聞網》，2021 年 3 月 28 日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20210328003446-260409?chdtv>。

考量目前亞洲國家中，韓國空軍、中華民國、泰國等國家均擁有為數不少的 F16 戰鬥機（韓國亦有自行生產組裝的 KF-16C/D），並擔任重要空中巡邏與作戰任務，未來亦有可能於空中與共軍上述類型戰機遭遇，因此本文後續將選取解放軍空軍殲-10、殲-11、殲-16 型戰機作為我國空軍升級最新 F-16V 型戰鬥機（皆歸類為第四代戰機）之主要假想敵並依次進行模擬分析。⁹

表 1、紅、藍軍雙方戰機模擬基本性能比較表

機型	中共解放軍空軍			中華民國
	殲-10 C	殲-11 BG	殲-16	F-16V
區分	中型戰機	重型戰機	重型戰機	中型戰機
翼展	9.7 m	14.7 m	14.7 m	9.5 m
長度	15.5 m	21.9 m	21.9 m	14.5 m
高度	4.8 m	5.9 m	5.9m	4.8 m
空重	9750 kg	16380 kg	16380 kg	8715 kg
最大重量	19277 kg	30450 kg	30450 kg	19200 kg
最大酬載	7000 kg	8000 kg	8000 kg	6894 kg
最大速度	1800 km/h	2500 km/h	2817.68km/h	2511.34 km/h
最大航程	2950 公里	3530 km	4288 km	5556 km (配置適型油箱)
平均爬升率	126.9 m/sec	121.8 m/sec	121.8 m/sec	159.5 m/sec
最大爬升率	380.6 m/sec	365.4 m/sec	365.4m/sec	478.4 m/sec
發動機型式	WS-10A/B*2	WS-10C*2	AL-31F*2	F110-GE-129*1
航電系統	KLJ-X 有源電子掃描陣列(AESA)雷達、GenericIRST、SPO-15LM Beryozha 雷達告警	NIIP 火控雷達 有源電子掃描陣列(AESA)雷達 OEPS-27 電光系統 Gardeniya 電子吊艙	有源電子掃描陣列(AESA)雷達 M400 偵蒐英艙 Sapsan-E 光學英艙	AN/APG-83 電子掃描陣列(AESA)雷達 ANALQ-184 電子吊艙
可配備空戰武器	PL-10、PL-15、YJ-83、YJ-91 等飛彈	R-27 中程空對空飛彈 R-77 空對空飛彈 PL-10、PL-12、PL-15 空對空飛彈	PL-8、PL-10、PL-12、PL-15 空對空飛彈	AIM-7 麻雀中程空對空飛彈 AIM-9 響尾蛇飛彈 AIM-120-C7 中程空對空飛彈

資料來源：作者自行整理。

⁹ 中共近年持續發展第五代戰機 J-20，除借鑒俄羅斯蘇愷系列戰機設計，亦運用各種手段積極竊取美國機密資訊；依 J-20 機型外觀及各項性能數據顯示，此型戰機與美國 F-35 隱形戰機相似度甚高，被中共解放軍空軍界定為對抗美軍 F-22 和 F-35 等隱形戰機的主要利器。由於此類型戰機與俄製 Su-30MKK 戰機或 Su-35SK 初始設計應對的假想敵係針對區域美軍的 F-22 及 F-35 等第五代戰機，因此暫將此類機型排除模擬想定設計之中。Alex Hollings, “F-35S Encountered China’s J-20: Here’s What the Air Force Said about It,” *Sandboxx*, October 4, 2022, <https://www.sandboxx.us/blog/f-35s-encountered-chinas-j-20-heres-what-the-air-force-said-about-it/>, retrieved: 2023/3/1.

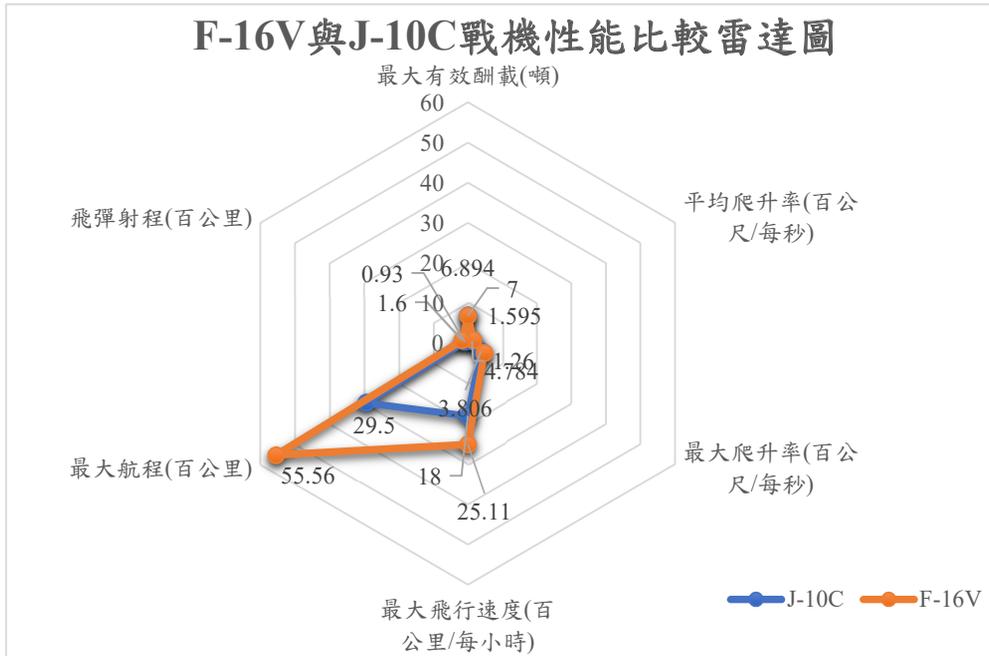


圖 5、F-16V 與 J-10C 戰機性能比較雷達圖

資料來源：作者自行整理。

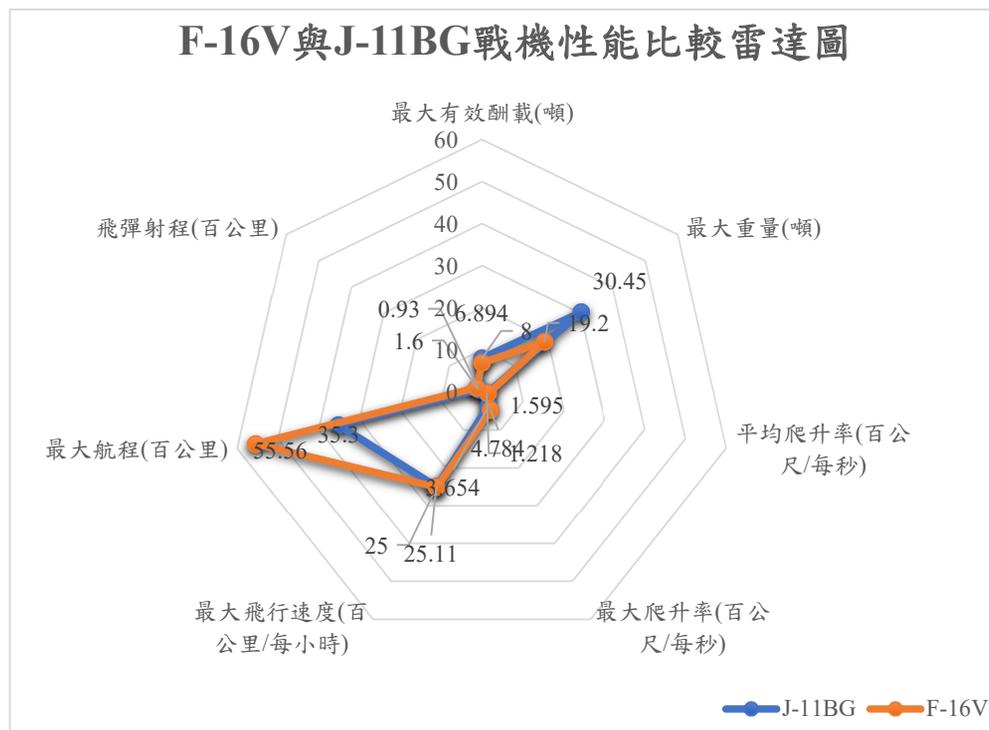


圖 6、F-16V 與 J-11BG 戰機性能比較雷達圖

資料來源：作者自行整理。

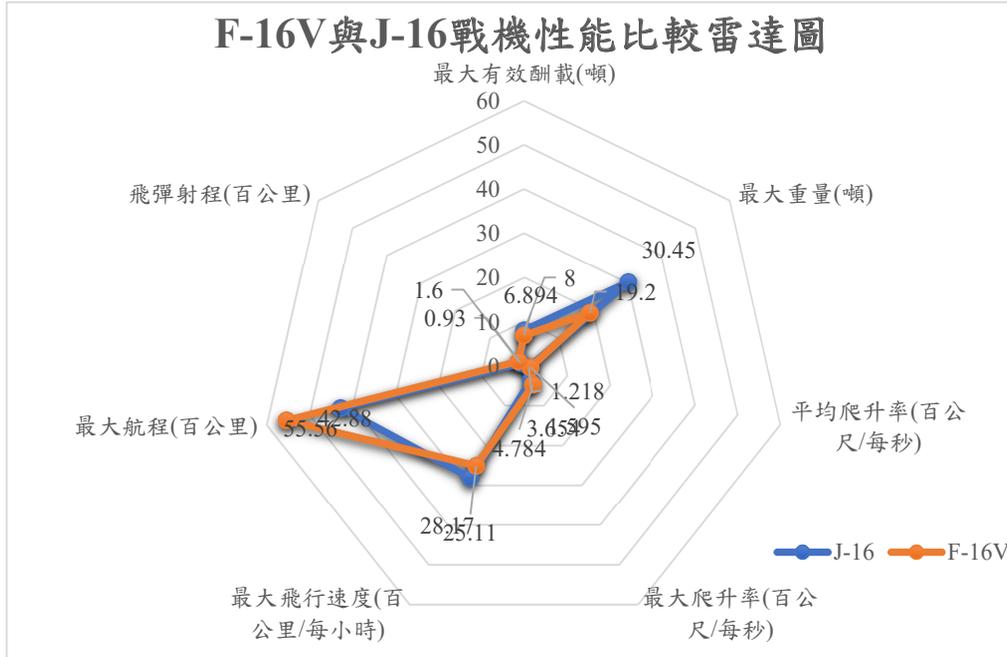


圖 7、F-16V 與 J-16 戰機性能比較雷達圖

資料來源：作者自行整理。

表 2、中共東部戰區空軍駐地表

中共東部戰區空軍駐地表			
航空旅	駐地	戰術編號	機型
上海基地			
第 7 航空旅 第 84 航空旅	浙江嘉興市嘉興機場	61X8X 69X5X	殲-16 JH-7A
第 8 航空旅	浙江湖州市長興機場	61X9X	殲-10A(2022 年中，殲-20 開始取代殲-10A)
第 9 航空旅	安徽蕪湖市蕪湖機場	62X0X	殲-20
第 78 航空旅	上海市崇明機場	68X9X	殲-8DF、J-7
第 83 航空旅	浙江杭州市笕橋機場	69X4X	殲轟-7A
第 93 航空旅	江蘇蘇州市蘇州機場	70x4X	殲-8FR、殲-7A
第 95 航空旅	江蘇連雲港市白塔埠機場	70X6X	殲-11B
福建福州基地			
第 25 航空旅	廣東汕頭市汕頭外砂機場	63X6X	殲-10C
第 40 航空旅	江西南昌市向塘機場	65X1X	殲-16
第 41 航空旅	福建武夷山市武夷山機場	65X2X	殲-11A、Su-27U、殲-6W
第 85 航空旅	浙江衢州市衢州機場	69X6X	蘇-30MKK
第 180 航空旅	福建龍巖市冠豸山機場		殲-7、殲-10、殲-11

資料來源：作者彙整自〈2021 Military and Security Developments Involving the People's Republic of China〉、〈Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2020〉、〈China Military Power〉。

二、影響空戰交換比（Combat Loss Exchange Ratio）關鍵因素

空中優勢（Air superiority）在現代戰爭中變得越來越重要，美國空軍在歷年的空戰中，歸納出影響空軍現代空中作戰效果的關鍵因素包括戰機可由鄰近且安全的基地起飛、視距外（BVR）進行空中打擊、隱形匿蹤（stealth）、精準導引（Precision-Guided Munitions, PGM）彈藥、現代化指揮管制決策、機群數量優勢、作戰主動性等等面向。¹⁰而整體評估戰機在空中對戰的能力，則以戰機交換比（Combat Loss Exchange Ratio）加以計算，指一架戰機平均可以擊落敵方幾架戰機。本研究的交換比計算將採取相對性能優劣比較的方式，並透過 CMO PE 模擬進行分析。

三、視距外作戰（BVR）效能分析要項

早期戰鬥機飛行員多依靠目視判斷，在空戰中多以機砲作為主要武器，但人類視覺的有效範圍最遠僅 2 海里（約 3.7 公里），在最佳狀況下，位於中央視覺區的影像僅為 2 度寬的圓錐體；自 1960 年代中期後，新型空中武器和傳感器的出現改變了空戰模式，新武器包括紅外線（IR）和雷達製導飛彈，而偵測的方式變成透過空對空雷達，紅外導引飛彈允許飛行員在超視距外（BVR）對敵機進行攻擊。¹¹由於當前空戰高達九成決勝於目視距離之外，中長程空對空飛彈就成為擊殺敵方戰機的重要武器。

¹⁰ Stillion, John, and Scott Perdue, "Air Combat Past, Present and Future," *RAND Project Air Force*, August 6, 2008, pp. 3-4.

¹¹ Stillion, John, "Trends in Air-To-Air Combat: Implications for Future Air Superiority," *Center for Strategic and Budgetary Assessments*, 2015, pp. 9-10.

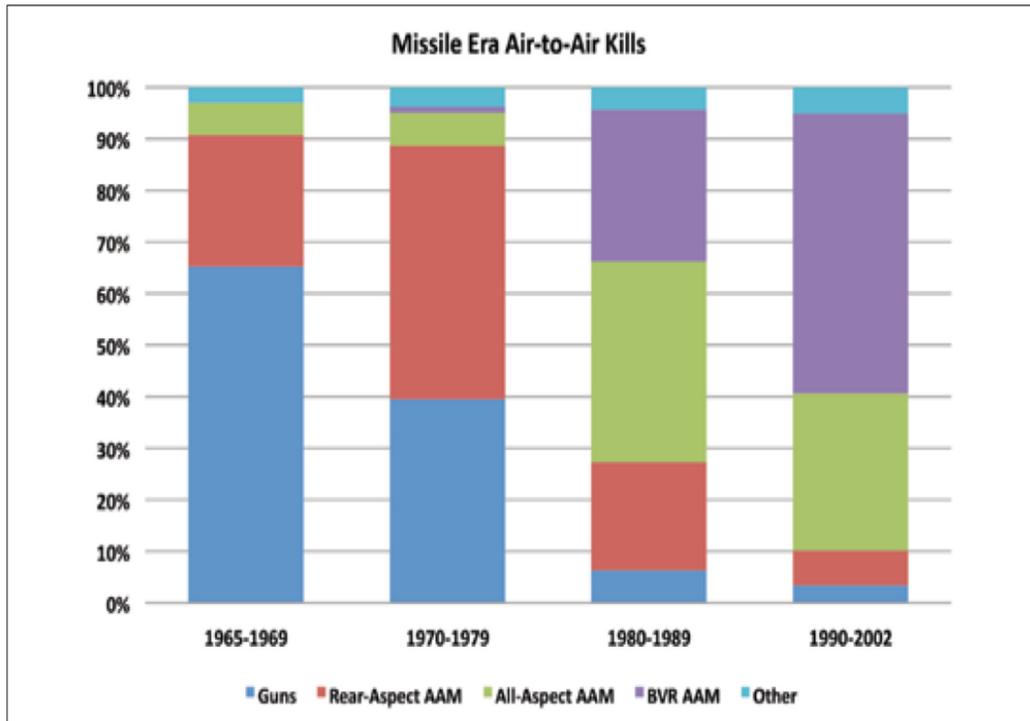


圖 8、不同年代武器射程與擊落率分布

資料來源：Stillion, John, “Trends in Air-To-Air Combat: Implications for Future Air Superiority,” p. ii.

在空戰過程中，若雙方戰機各項性能為均勢，具備飛彈射程較遠的一方即會掌握較多的主導權。目前空對空飛彈通常分為短程（20 公里以下）、中程（射程 20-100 公里）及長程（100 公里以上）三類。中共解放軍空軍短程空對空飛彈以霹靂-8、霹靂-9 及霹靂-10 等三款為主，射程皆在 20 公里以內；中遠程空對空包含霹靂-12、霹靂-15 等兩款，這些飛彈均具備超視距作戰能力。¹²由於霹靂-15 被美軍視為射程可能比美國的主要空對空導彈 AIM-120D 更具優勢，而霹靂-15 的主動雷達探測距離明顯增加，並具有抗干擾數據鏈，對於打擊遠程目標具有重要意義，使得中共解放軍的區域拒止能力獲得了顯著提升，亦可針對加油機和預警機等高價值目標進行有效攻擊。

而目前我國空軍「鳳展專案」構改後的 F-16V，其特色在於換

¹² 袁崇峰，〈中共戰機現代化對我之挑戰〉，《展望與探索月刊》，第 20 卷第 1 期，2022 年，頁 50-51。

裝新型 AN/APG-83 主動相位陣列雷達 (AESA)，偵蒐半徑大幅提升，亦同步升級數據鏈、AN/ALQ-213 電子戰管理系統等系統，¹³以及搭配 AIM-9X 短程空對空飛彈、¹⁴AIM-120-C7 中程空對空飛彈 (射程約 105 公里)。¹⁵近期則已籌獲最新型 AIM-120-C8 型空對空飛彈 (又稱 AIM-120D，射程可達 160 公里)，¹⁶未來接裝後，將可增加戰機空戰能力。¹⁷

本文為探討視距外作戰 (BVR) 效能對於空戰交換比的影響，設計兩軍同一時間出動 4 架次戰機進行對抗，各項電子干擾、接戰高度、雷達性能與戰機迴避動作均依雙方機種裝備原性能配置。變項則依序設計我國空軍 F-16V 搭配不同射程的空對空飛彈及空中預警機的狀況下，與中共解放軍空軍不同戰機進行空戰模擬，比較何種配置對於視距外作戰效能影響較大。

¹³ 游凱翔，〈F-16V 將成軍 學者：有助維持臺海戰力平衡〉，《中央社》，2021 年 11 月 14 日，<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202111140070.aspx?topic=3692>。

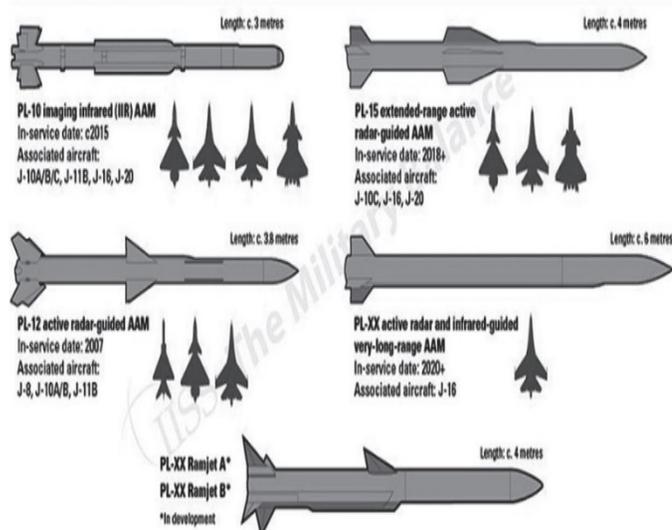
¹⁴ 射程自前型的 18 公里提升至 26 公里。

¹⁵ 涂鉅旻，〈展現制海制空能量 空軍秀 F-16V 戰機掛 AIM-120、魚叉飛彈〉，《自由時報》，2022 年 8 月 17 日，<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/4028618>。

¹⁶ 我國近期籌獲的新型 AIM-120 C8 飛彈又稱 AIM-120D，是同系列飛彈中現役最新者，具有雙向數據鏈、改良過的增強型 GPS 慣性測量單元，改善飛行包絡線、強化高攻角離軸能力，並使射程和 C7 相較增加約 50%。郭正原，〈【台海制空利器】美國 AIM-120 飛彈戰果豐碩 售我現役最強 C8 版本、射程增 50%〉，《上報》，2023 年 3 月 2 日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=3&SerialNo=167077。

¹⁷ 為因應俄國與中共新型匿蹤戰機的空中威脅，軍火商雷神公司將為美國海空軍生產 AIM-120D-3 型 (又稱為 AIM-120C-8)「先進中程空對空飛彈」(AMRAAM)，亦將供應英國、澳洲、日本、義大利與沙烏地阿拉伯等其他 19 國盟邦。〈強化空戰優勢 20 國採購雷神「AIM-120D-3」飛彈〉，《青年日報》，2022 年 9 月 4 日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1530421&type=vision>。

中共空對空飛彈列表及適用機型



各種空對空飛彈的接戰距離及範圍

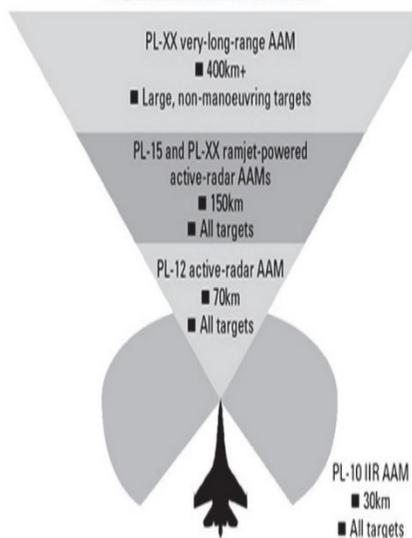


圖 9、中共空對空飛彈列表及適用機型

資料來源：轉引自袁崇峰，〈中共戰機現代化對臺灣之挑戰〉，頁 51。

參、研究設計

一、研究流程

本研究流程依序由公開情報收集、衝突事件歸納、風險識別、變數選取、想定設計、參數建置、系統模擬、數據評估、資料分析解釋等順序進行。研究假定紅、藍兩軍未來可能發生衝突的地點，位於近幾年解放軍軍機擾臺密度最高的「西南空域」，想定場景為藍軍派遣 F-16V*4 架次，掛載不同射程的空對空飛彈（分別為 AIM-9X 短程飛彈及 AIM-120D 型中長程飛彈），並搭配空中預警機 E-2K，分別與相同數量的紅軍殲-10C、殲-11BG 及殲-16 戰機（均選擇掛載霹靂-10 型短程及霹靂-15 型中長程空對空飛彈），於上述空域遭遇以及進行空中對抗。

在設定完相關參數後，分別運用 CMO PE 以蒙地卡羅法實施 50 次模擬運算，計算雙方被擊落的次數，據以比較不同變項對於空戰交換比以及視距化作戰結果的影響。相關模擬想定設計區分如次。

（一）想定一：藍軍 F-16V（搭配空中預警機並接裝新型視距

外空對空飛彈) 對抗紅軍殲-10C 交換比模擬

F-16V 分別搭配 E-2K 空中預警機，攜掛 AIM-9X Block II 近程空對空飛彈，並假設已接裝美製新型 AIM-120D 長程空對空飛彈，對戰殲-10C (攜掛霹靂-10 型近程、霹靂-15 型中遠程空對空飛彈) 之交換比模擬。

(二) 想定二：藍軍 F-16V (搭配空中預警機並接裝新型視距外空對空飛彈) 對抗紅軍殲-11BG 交換比模擬

F-16V 搭配 E-2K 空中預警機，攜掛 AIM-9X Block II 近程空對空飛彈，並假設已接裝美製新型 AIM-120D 長程空對空飛彈，對戰殲-11BG (攜掛霹靂-10 型近程、霹靂-15 型中遠程空對空飛彈) 之交換比模擬。

(三) 想定三：藍軍 F-16V (搭配空中預警機並接裝新型視距外空對空飛彈) 對抗紅軍殲-16 交換比模擬

F-16V 分別搭配 E-2K 空中預警機，攜掛 AIM-9X Block II 近程空對空飛彈，並假設已接裝美製新型 AIM-120D 長程空對空飛彈，對戰殲-16 (攜掛霹靂-10 型近程、霹靂-15 型中遠程空對空飛彈) 之交換比模擬。

二、想定參數設計

兩軍空戰模擬機載武器、攜掛彈藥、傳感器皆以公開情資之各項武器性能參數進行設定，雷達搜索、雷達告警接收器、飛彈接近警告系統、紅外線成像搜索追蹤器等感知器設定皆為最大範圍。相關參數如下表 3。

表 3、紅、藍軍戰機傳感器參數設定對照表

機型	中共解放軍空軍			中華民國(臺灣)
	殲-10C	殲-11BG	殲-16	F-16V
傳感器	<ul style="list-style-type: none"> • KLJ-X AESA 雷達(最大範圍 170 km) • Generic IRST 紅外線成像搜索、追蹤器(最大範圍 185.2 km) • SPO-15LM Beryoza 雷達告警接收器(最大範圍 222.2 km) 	<ul style="list-style-type: none"> • J-11 AESA 雷達(最大範圍 222.2 km) • Generic IRST 紅外線成像搜索、追蹤器(最大範圍 185.2 km) • 通用 DECM (防禦性) • BM/KJ 8602C-ESM RWR 雷達告警接收器(最大範圍 222.2 km) • RW1045 MAWS 飛彈接近警告系統(最大範圍 9.3 km) • 通用雷射測距儀(最大範圍 7.4 km) 	<ul style="list-style-type: none"> • J-16 AESA 雷達(最大範圍 222.2 km) • Generic IRST 紅外線成像搜索、追蹤器(最大範圍 185.2 km) • 通用 DECM (防禦性) • BM/KJ 8602C-ESM RWR 雷達告警接收器(最大範圍 222.2 km) • RW1045 MAWS 飛彈接近警告系統(最大範圍 9.3 km) • 通用雷射測距儀(最大範圍 7.4 km) 	<ul style="list-style-type: none"> • AN/APG-83 SABRA AESA 雷達(最大範圍 296.3 km) • AN/ALQ-187 I-DIAS DECM (防禦性) • AN/ALR-93(V)1 RWR 雷達告警接收器(最大範圍 222.2 km)

資料來源：本研究整理。

肆、分析說明

一、「想定一」分析結果

根據模擬結果發現，藍軍 F-16V 在搭配 E-2K 空中預警機並掛載新型 AIM-120D 飛彈對戰紅軍殲-10C 時，模擬 50 次後，雙方被擊落的架數數量為 56：197，意指在 50 次的模擬中，藍軍空軍與紅軍各出動了 200 架次戰機（4 架*50 次）實施作戰，其中 F-16V 遭擊落 56 架、殲-10C 遭擊落 197 架，故經換算所得出此兩種機型的交換比值為 1:3.52，意謂藍軍 F-16V 戰機在損失 1 架的狀況下，能擊落紅軍殲-10C 戰機 3.52 架；模擬結果亦顯示雙方發射的中長程空對空飛彈數量最多，相對來說，紅軍 J-10C 被擊落的 197 架中，有 196 架係遭藍軍新型 AIM-120D 擊落，遭 AIM-9X Block II 短程空對空飛彈及 20mm/85 M61A1 機砲擊傷的數量極少。相關結果如下表 4。

表 4、COA F-16V*4 VS J-10C*4 模擬結果分析表

F-16V*4 VS J-10C*4 交換比模擬結果分析表(我方搭配 E-2K)					
紅軍機型/掛載飛彈		殲-10C			
		1.PL-10*2 2.PL-15*4 3.China kq-600 DECM 4.30mm Gsh-30-1 Burst			
藍軍機型/掛載飛彈					
F-16V	被擊落架數	56:197 (交換比 1:3.52)			
		發射	KILL	HIT	
	1.AIM-120D*4	523:182	196:54		PL-15
	2.AIM-9X Block II *2	5:8	0:2	1:3	PL-10
	3.20mm/85 M61A1	13:0		5:0	23/30 mm Burst

資料來源：作者自行綜整。

說明：各以蒙地卡羅法實施 50 次模擬。

二、「想定二」分析結果

根據模擬結果，F-16V 搭配 E-2K 空中預警機，對戰紅軍各類型殲擊機之交換比，在與殲-11BG 對峙過程中，F-16V 發射短程空對空飛彈 AIM-9X Block II 共 96 枚、中程空對空飛彈 AIM-120D 共 635 枚，累計擊落 J-11BG 戰機 158 架；紅軍 J-11BG 共計發射短程空對空飛彈（PL-10）84 枚、中程空對空飛彈（PL-15）802 枚，累計擊落 F-16V 戰鬥機 78 架，故本項模擬得到 F-16V 與 J-11BG 之交換比為 1：2.03（較 J-10C 交換比 1：3.52 低）。模擬結果顯示雙方發射的中長程空對空飛彈是擊落雙方戰機的武器，遭短程空對空飛彈如藍軍的 AIM-9X Block II 與紅軍的 PL-10 擊落／傷的數量較少。相關結果如下表 5。

表 5、COA F-16V*4 VS J-11BG*4 模擬結果分析表

F-16V*4 VS J-11BG*4 交換比模擬結果分析表(我方搭配 E-2K)					
紅軍機型/掛載飛彈	殲-11BG				
	1. PL-10*2 2. PL-15*6 3.China kq-600 DECM 4.30mm Gsh-30-1 Burst				
藍軍機型/掛載飛彈					
F-16V	被擊落架數	78:158 (交換比 1:2.03)			
		發射	KILL	HIT	
	1.AIM-120D*4	635:802	44:42	107:0	PL-15
	2.AIM-9X Block II *2	96:84	10:19	40:27	PL-10
	3.20mm/85 M61A1				23/30 mm Burst

資料來源：作者自行綜整。

說明：各以蒙地卡羅法實施 50 次模擬。

三、「想定三」分析結果

根據模擬結果，F-16V 搭配 E-2K 空中預警機配掛新籌獲的 AIM-120D 空對空飛彈，在與紅軍 J-16 交戰過程中，F-16V 發射短程空對空飛彈 AIM-9X Block II 共 103 枚、中程空對空飛彈 AIM-120D 共 676 枚，累計擊落 J-16 戰機 144 架；紅軍 J-16 共計發射短程空對空飛彈（PL-10）103 枚、中程空對空飛彈（PL-15）921 枚，累計擊落 F-16V 戰鬥機 94 架，本項模擬得到 F-16V 與 J-16 之交換比為 1：1.53（較 J-10C 交換比 1：3.52 及 J-11BG 之交換比為 1：2.03 更低）。

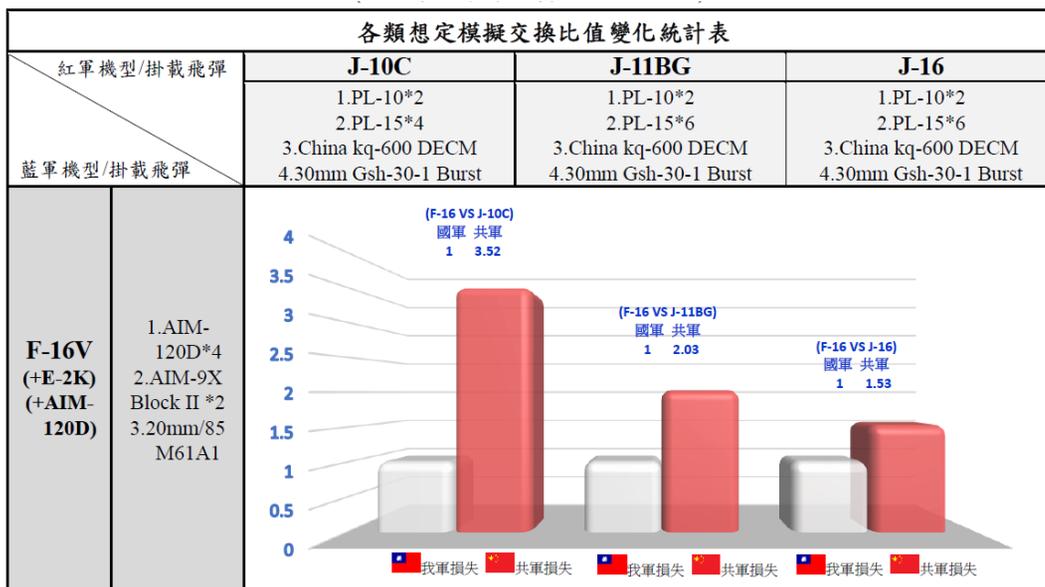
表 6、COA F-16V*4 VS J-16*4 模擬結果分析表

F-16V*4 VS J-16*4 交換比模擬結果分析表(我方搭配 E-2K)						
紅軍機型/掛載飛彈		殲-16				
		1. PL-10*2 2. PL-15*6 3. China kq-600 DECM 4.30mm Gsh-30-1 Burst				
藍軍機型/掛載飛彈						
F-16V	被擊落架數	94:144 (交換比 1:1.53)				
		發射	KILL	HIT		
	1.AIM-120D*4	676:921	51:54	83:0	PL-15	
	2.AIM-9X Block II *2	103:103	9:24	37:36	PL-10	
	3.20mm/85 M61A1	0:3			23/30 mm Burst	

資料來源：作者自行綜整。

說明：各以蒙地卡羅法實施 50 次模擬。

表 7、各類想定模擬交換比值變化統計表



資料來源：作者自行綜整。

說明：各以蒙地卡羅法實施 50 次模擬。

綜上，透過上述的模擬數據呈現可推論，F-16V 在搭配 E-2K 空中預警機，並搭配最新型視距外 AIM-120D 空對空飛彈，對於紅軍三型主力戰機仍有一定之優勢，可有效執行視距外作戰，惟交換比數據隨著紅軍機型的優劣而有所差異。表 7 為各類想定模擬交換比值變化統計表。

伍、結論與建議

自 2022 年 8 月第四次臺海危機之後，中共解放軍建立了穿越海峽中線的「新常態」，持續在臺灣周邊海空域進行多兵種聯合軍演，派遣機艦逾越海峽中線襲擾臺灣週邊海空域的數量頻率逐次增加，範圍由我國西南角轉向東部海域，這類以訓代戰、頻繁運用的灰色地帶威脅策略，除企圖影響我國民心士氣，耗損我國有限的國防資源外，逐步擴張的軍力，亦對周邊國家造成嚴重安全威脅。

本研究運用 CMO PE 模擬我國空軍新型戰機如何具體提升視距外作戰效能，研究發現在影響空戰成敗的諸多因素中，先進的中長程空對空飛彈，因具備更佳之抗電子干擾與攻擊能力，可增加敵機擊落率；而更長的射程，意味飛行員可以先發制人（相對會造成敵機飛行員心中無形的壓力）。目前我國空軍升級的 F-16V 以及向美國新採購的 F-16C/D Block70 正逐步成軍，模擬結果發現未來所掛載的新型 AIM-120D 在搭配 E-2K 空中預警機執行空中作戰任務時，對於共軍 J-10C、J-11BG、J-16 等三型主力戰機仍可保有空中優勢，惟交換比數據隨著共軍機型的優劣而有所差異。

目前解放軍空軍新型霹靂-15 型空對空中長程飛彈已經列裝，此型飛彈被美軍視為可能比美國生產的 AIM-120D 更具性能優勢，亦可掛載於最新型第 5 代 J-20 匿蹤戰機上，持續強化各類型殲擊機掛載新型空對空飛彈與電戰機、空中預警機、電子偵察機、空中加油機、戰略運輸機的多機種整合訓練。¹⁸以解放軍現行空軍戰術運用

¹⁸ 中共近年來秉持「毀三線」（海峽中線、領海線、能源生命線）及「建三區」（封控區、禁飛禁航區、常態化巡區）的原則擾臺。依據近年擾臺的共機機型統計，空警-500 機、運-9 通信對抗機、轟-6 機、運油-20 機以及各類型殲擊機一同出現的頻率最高。進一步依其準則推斷，中共空軍不同的訓練任務會採取不同的戰術編隊，在可能攻臺的行動中會混合不同類型飛機並攜帶專用武器，例如在空中預警管制機和加油機的支援下，先以電戰機制壓我防空系統，再以空優戰機部隊攻擊，嗣掌握目標區空域，由大批戰鬥轟炸機或攻擊機編成，配合少數擔任密接護航任務的空優戰機投彈攻擊，彼此相互支援，以有效掌握制空權。羅傑·克里夫等著，國防部譯，《21 世紀中共空軍用兵思想》（Shaking the Heavens and Splitting the Earth: Chinese Air Force Employment Concepts in the 21st Century）（臺北：國防部，2011 年），頁 236-238。

上，此類組合將可於視距外打擊美軍空中作戰體系關鍵空中節點，例如戰略轟炸機 B-1B、B-2A，空中預警機 E-8、E-2D、E-3C，電子偵察機 RC-135，空中加油機 KC-135、KC-46，戰略運輸機 C-5A、C-17 等高價值目標，隨著這樣的遠程打擊能力逐步完備，在區域已逐漸具有數量及制空優勢，對我國及周邊國家（含美軍）已造成嚴重威脅，相關國家更應審慎以待，妥擬因應之道。當然，現代空戰並非單純以視距外飛彈決勝負，¹⁹飛機與武器性能、電戰設備、預警機、飛行員訓練、地面與空中的指管及監偵系統，甚至接戰地點（有無友軍地面或空中火力支援）等因素均會影響空戰過程的勝率，但相關變數對於空戰交換比的影響，可進一步運用軟體來進行一系列的模擬驗證。

此外，由於CMOPE這類型從商用市場產品（Commercial off the Shelf, COTS）進階發展而來的模擬軟體，具有低成本、高視覺化、操作介面簡易（相對於軍規模擬軟體）、可近用性高、應用層面廣泛等特性。在模擬過程中，可以使相關人員學習到各類軍事基礎知識、敵我雙方國防科技發展與武器軍備現況、敵可能運用戰術戰法、影響因素排序、風險威脅評估、想定設計、參數設定輸入、軟體操作以及數據分析解釋等完整邏輯，研究結果亦可提供相關專業單位評估參考，為學術分析研究、軍事教育訓練課程或一般民眾提升全民國防認知的極佳運用介面選項。

本文作者杜長青為國防大學政治學博士，現為國防大學國際與國防事務學院戰略研究所上校副教授兼教育行政室主任。主要研究領域為：衝突管理、資料科學與量化研究、模擬與決策分析；余浩銘現為中華民國海軍陸戰隊上校。

¹⁹ 現代一枚飛彈平均擊落率（Probability of kill, PK）約為 10-30%，射程越遠的飛彈雖可對敵機造成越大威脅，相對來說，在過長的距離發射飛彈除了讓飛彈動能耗損，亦讓對方戰機有更多時間採取迴避動作（例如加速離開初始位置避免飛彈尋標雷達鎖定），反致使命中率降低。

A Study on the Use of New Missiles to Enhance F-16V BVR Effectiveness

Ching-Ching, Tu and Hao-Ming, Yu

*Institute of Strategic Studies, College of International and National Defense
Affairs, NDU*

Abstract

The PLA has been actively promoting military reform in recent years. The total number of naval and air force aircraft exceeded 2,700 in 2022, of which about 1,268 are modern fighters, and its air force is able to threaten neighboring countries. Among Asian countries, South Korea and Thailand have many F16 fighters. This study uses COMMAND Professional Edition (CMO PE) software for simulation involving the ROCAF new F-16V leading fighter aircraft with newly acquired medium-range air-to-air missiles to verify whether it can effectively perform "Beyond Visual Range (BVR)" in an air-to-air confrontation with the current PLAAF fourth-generation leading fighter aircraft to gain an advantageous position in air combat.

According to simulation results, the ROCAF F-16V can mount new medium-range air-to-air missiles, which can help pilots to pre-empt and enhance the effectiveness of BVR operations against the three main types of PLAAF aircraft. The PLAAF is now equipped with the new PL-15 air-to-air missile and it can be mounted on the more advanced J-20 fighter aircraft; it continues to strengthen integration training with various types of electric fighters, airborne early warning aircraft, electronic reconnaissance aircraft, air refueling aircraft, and strategic transport aircraft. We should continue to design and conduct simulations based on various threats from PLAAF in order to find effective ways to respond.

This paper can be used as an analytical framework for Military Operations Research (MOR) to support military operational decisions and planning actions. The simulation results can also be used as reference for regional democracies that operate F-16 fighter aircraft to evaluate the PLAAF air threat and appropriately formulate various countermeasures.

Keywords: F-16V, Beyond Visual Range, Modeling and Simulation