烏克蘭空防建構之研究

高志榮

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

烏克蘭繼承了蘇聯時期龐大的防空資產，當時的戰略，高度依賴固定場站與重型裝備，[1]缺乏面對現代遭遇電子戰與精準打擊的配套更新做法。

2014 年克里米亞危機與頓巴斯戰爭爆發後，烏克蘭意識到傳統防空網，在電子干擾與小型無人機偵察情況下所呈現的脆弱性，此階段即開始強化自動化指揮控制系統（C2），並試著將蘇聯時期舊有裝備數位化。[2]因此，在克里米亞及俄烏戰爭爆發過程中，其空防精進作為及戰事發展中的快速劇變，殊值研究。

貳、烏克蘭從克里米亞危機中獲得的警惕

一、電子戰（EW）的毀滅性影響：烏軍發現俄軍能輕易干擾其老舊的蘇聯雷達與通訊系統，防空飛彈雷達車，在沒有提升電子防護能力的狀況下，無法鎖定目標。

二、「混合戰」下的內部威脅：克里米亞的防空單位在戰事初期因通訊被切斷及指揮鏈遭滲透，導致大量官兵叛逃或投降，[3]這使

[1]"Mykhaylo Zabrodskyi/Jack Watling/Oleksandr V. Danylyuk/Nick Reynolds: Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russia's Invasion of Ukraine,"*Researchgat*, April 3, 2023, https://www.researchgate.net/publication/369747579_Mykhaylo_ZabrodskyiJack_WatlingOleksandr_V_DanylyukNick_Reynolds_Preliminary_Lessons_in_Conventional_Warfighting_from_Russia%27s_Invasion_of_Ukraine_February-July_2022_London_Royal_United_Services_Insti.

[2]"Exporting the 'Ukrainian Way': Kyiv's Battle Tested Playbook Against Iranian Drones,"*Defense.info*, March 15, 2026, https:// defense.info/highlight-of-the-week/exporting-the-ukrainian-way-kyivs-battle-tested-playbook-against-iranian-drones/.

[3] "Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russia's Invasion of Ukraine," *Rusi*, November 30, 2022, https:// www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/preliminary-lessons-conventional-warfighting-russias-invasion-ukraine-february-july-2022.

烏克蘭意識到指揮鏈的安全性與忠誠度比裝備更重要。

三、無人機偵察的威脅：俄軍利用小型無人機（如 Orlan-10）為砲兵提供精準座標，烏克蘭發現其傳統重型防空飛彈（如 S-300）不僅難以捕捉這些小型低空目標，[4]使後續重要防護能力降低，攔截成本極不對稱。

四、固定陣地的脆弱性：長期駐紮的防空基地，在現代精準導引武器（PGM）攻擊下不易存活，強化機動性，成為生存的最佳條件。

參、克里米亞危機後烏克蘭的空防整備

針對上述警惕，烏克蘭在 2014 至 2022 年的開戰前八年，進行了針對性的整軍：

一、蘇聯遺產的數位化翻修（Modernization）

烏克蘭雖然當時缺乏資金購買歐美新系統，但利用國內發達的雷達工業（如 Iskra 工廠）對舊裝備進行升級：

（一）研發了 79K6 Pelikan 等 3D 行動雷達，提升對低空小目標的偵測及抗干擾能力。

（二）針對大量 S-300 與 Buk-M1 飛彈執行翻新，延長其壽限，並改良電子零件，縮短接戰反應時間。[5]

二、指揮管制系統（C2）的去中心化

為了防止如當時失去克里米亞的指揮系統癱瘓，烏克蘭開發自

[4] "The Lessons of the Russo-Ukrainian War," *Potomac Foundationi*, July 15, 2015, https://www.scribd.com/doc/274009061/Lessons-Learned-From-the-Russo-Ukraine-War#google_vignette.

[5] "Glimpses of Early Radar Developments in Ukraine and the Former Soviet Union," *Researchgat*, September 23, 2016, https://www.researchgate.net/publication/316999387_Glimpses_of_Early_Radar_Developments_in_Ukraine_and_the_Former_Soviet_Union.

動化指揮系統：

（一）將雷達情資數位化及鏈路化，減少對語音通訊的依賴，讓不同單位的防空陣地，能共享敵情座標。

（二）分散指揮權責，授權中下層指揮官在失去上級聯絡時，能依據預設戰術計畫，自主執行防空任務。[6]

三、反無人機與短程防禦強化

烏克蘭意識到低空威脅的嚴重性：

（一）研發輕量化雷達以捕捉俄軍的偵察無人機。

（二）重新整合蘇聯時代的 9K33 Osa（黃蜂）與 2K22 Tunguska（通古斯卡）野戰防空系統，並為步兵配備更多的波蘭製 Piorun 或舊式 Igla 肩射飛彈，強化野戰防空能力。[7]

四、常態化「機動演習」

烏克蘭空軍開始頻繁進行「未經預告的轉場演習」，此做法是烏克蘭最重要的戰備整備，其中包含。

（一）公路起降：訓練 MiG-29 與 Su-27 在民用公路或簡易跑道起降，避免僅仰賴大型機場執行作戰。

（二）野外部署：防空連不再以固定營區陣地運作，而是演練在森林及農田等可運用腹地快速部署，並於短時間內撤離，[8]這直接使 2022 年 2 月俄烏開戰啟的戰力保存，形成有效的保存作為。

（三）製作大量高逼真度的充氣誘餌（Decoys），並在演習中納入誘餌部署流程，以作為欺騙及消耗敵方彈藥運用。

---

[6]"Ukrainian Pillar for a Modern Air Defence Architecture," *Prism Ukraini*, February 1, 2025, https://prismua.org/en/english-ukrainian-pillar-for-a-modern-air-defence-architecture/.

[7]"Ukraine's Tunguska Guns Prove Vital in Drone Defense," *Defence Innovation Review*, December 6, 2025, https:// defenceinnovationreview.com/2025/12/06/ukraines-tunguska-guns-prove-vital-in-drone-defense/.

[8]"The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence," *Rusi*, November 7, 2022, https://defenceinnovationreview.com/2025/12/06/ukraines-tunguska-guns-prove-vital-in-drone-defense/.

肆、基輔保衛戰的經驗汲取

在 2022 年基輔保衛戰初期，烏克蘭之所以能在敵我戰力懸殊的情況下，始終維持一定程度的制空權並支援地面作戰，關鍵並非靠傳統的空優，而是透過拒止制空（Air Denial）與生存性戰術。

一、空防保存與誘餌戰術（Survivability）

在俄羅斯發動第一波大規模巡弋飛彈襲擊前數小時，烏克蘭空軍接獲情報，迅速將蘇聯時期的 S-300 與 Buk-M1 等防空系統，以及 MiG-29 戰鬥機疏散至野外機動陣地或民用機場。

（一）烏軍在原駐地留下大量模擬設備與損壞的舊機作為誘餌，導致俄軍首波精準打擊大部分擊中了「充氣模型」或空建築。[9]

（二）防空雷達採取間歇式機動開關機，避免長時間發射信號被俄軍反輻射飛彈定位，當俄機進入陷阱區後，才突然開機鎖定，讓俄軍飛行員措手不及。

二、多層次防空網的防禦性統合

烏克蘭在基輔周邊構建了一套由舊式蘇聯裝備與單兵武器組成的不對稱防禦網：

（一）運用 S-300 使俄軍蘇愷戰機（如 Su-35、Su-34）不敢在高空飛行，形成遠中程威懾，被迫戰機降至低空執行任務。

（二）一旦俄軍戰機降至低空（為了躲避雷達或進行近距離支援），便進入了肩射飛彈（MANPADS）的射程，刺針（Stinger）與俄製 Igla 飛彈分佈在基輔郊外的森林與大樓頂端，[10]形成一道致命的低空屏障。

---

[9] *Ibid.*, p. 3.
[10] *Ibid.*, p. 8.

三、遊擊式航空兵作戰

烏克蘭空軍採用了打了就跑（Hit-and-Run）的空中遊擊戰：

（一）烏軍飛行員（如著名的 40 戰術航空旅）利用對地形的熟悉，進行極低空滲透飛行，以躲避俄軍遠程防空系統，在關鍵時刻對俄軍直升機群（如安托諾夫機場爭奪戰）或裝甲縱隊進行突襲。

（二）雖然「基輔幽靈」是集體形象的政治宣傳，但這種心理戰配合實質的零星擊落，極大地挫傷了俄軍飛行員的進攻信心，使俄機不敢輕易深入基輔市區上空。[11]

四、情資鏈路與全民參與

在基輔戰役中，烏克蘭實現了感測器平民化作法如下：

（一）數位化早期預警：平民透過Telegram頻道或ePPO系統，即時回報看到的俄軍飛彈與戰機飛行路徑，這些資訊比傳統雷達更快到達基輔的防空指揮部。[12]

（二）北約預警支援：北約的 E-3 預警機在邊界外提供即時的電子情資，讓烏軍能預先判斷俄軍的進攻編隊。[13]

最終，基輔防空圈成功迫使俄軍在 2022 年 3 月後放棄了在基輔上空的日常巡邏，這產生的直接後果是，其一，地面縱隊失去掩護，俄軍長達 60 公里的坦克縱隊在缺乏空中支援的情況下，遭到烏軍無人機（如 TB2）與反戰車小組的無情阻擊。其二，直升機空降失敗，俄軍無法建立穩定的空中走廊，來運送增援部隊至霍斯托梅爾（Hostomel）機場，導致進攻基輔的先頭精銳全軍覆沒。

烏克蘭成功的核心在於，他們不求贏得空戰，只求讓俄軍「無

[11]"Information Warfare & the Ghost of Kyiv," *The Henry M. Jackson School of International Studies*, February 12, 2024, https:// jsis.washington.edu/news/information-warfare-the-ghost-of-kyiv/.
[12]"'Tekhnari' from Odesa: what ePPO Developers are Building Next," *Defender Media*, April 7, 2025, https:// thedefender.media/en/2025/04/tecknari-to-defend-the-sky/.
[13]"AWACS: NATO's 'Eyes in the Sky'," *NATO OTAN*, March 3, 2026, https:// www.nato.int/en/what-we-do/deterrence-and-defence/awacs-natos-eyes-in-the-sky.

法安全地使用天空」，戰略結果是互不享有制空權。

伍、烏克蘭空防核心戰略思想理念與架構

2022 年俄烏戰爭爆發，面對人類歷史上首次的大規模無人機與飛彈混合飽和攻擊，烏克蘭被迫在戰火中完成轉型， 將各國援助的異質系統（美、德、法、蘇系）透過數位鏈路整合。另將情資全民化，開發如 “ePPO”類的 App，讓平民能即時回報低空目標，形成人類感測器網路。

烏克蘭從戰爭中急劇轉變其當前的空防理念，概括為「分層防禦」（Layered Defense）與「生存性韌性」（Survivable Resilience）。

一、**分層式攔截**：烏克蘭不依賴單一系統，而是將遠程（如 Patriot 、 S-300 ） 、 中 程 （ NASAMS 、 IRIS-T ） 與 短 程（Gepard、刺針飛彈）及「機動防空小組」結合，針對不同成本與速度的威脅，從戰術彈道飛彈、巡弋飛彈到低成本自殺無人機，進行分配精確攔截。[14]另運用友盟提供之 F-16 及 M-2000 型戰機，在安全空域下配合執行對空及對地打擊任務。

二、**分散式與機動性**：為了應對俄羅斯的飽和攻擊，烏克蘭避免將防空資產集中在大型基地，而是採取隨時移動、偽裝與分散式部署，讓敵方難以透過單次打擊癱瘓防禦網。

三、**不對稱成本控制**：面對低成本的 Shahed 無人機，烏克蘭發展出利用探照燈、重機槍與機動皮卡的「機動獵人」小組，避免使用昂貴的防空飛彈來攔截廉價目標，達成經濟上的戰略持久。[15]

[14] *Ibid.*, p. 8.
[15] *Ibid.*, p. 3.

表 1、烏克蘭空防系統架構

防禦層級	典型系統	主要目標	戰略意義
高空／遠程	Patriot、SAMP/T、S-300 及安全空域內之 F-16、M-2000 型戰機	彈道飛彈、遠程轟炸機	保護核心城市與關鍵基礎設施
中程	NASAMS、IRIS-T、Buk 及 F-16、M-2000 型戰機	巡弋飛彈、戰鬥機	建立區域拒止，防止敵機奪取制空權
短程／機動	Gepard、Stormer、刺針	低空無人機、攻擊直升機	提供部隊隨行掩護與末端攔截
機動點防禦	搭載機槍的 Pick-up 皮卡	Shahed 自殺無人機	消耗敵方進攻成本，減輕飛彈庫存壓力

資料來源：綜整自網路及媒體。

陸、戰略意涵

烏克蘭空防系統從蘇聯遺產向北約化與自主創新體系的轉變，不僅是武器裝備的更迭，更是一場深層次的戰略轉型，這場轉變在 2026 年的當下，已呈現出以下幾個關鍵的戰略面向：

首先，從「點防禦」轉向「整合化多層次體系」（IAMD），烏克蘭早期依賴蘇聯時期的 S-300 與 Buk-M1，雖然數量可觀，但缺乏網絡化整合能力，烏克蘭成功將西方先進系統（如 Patriot、IRIS-T 及 NASAMS）與存活的蘇聯雷達及指揮系統整合，構建了具備高度互操作性的綜合防禦體系。這種「混合式」架構讓烏克蘭能根據目標類型（如高價值的巡弋飛彈與低價值的無人機）靈活分配攔截資源，[16]避免昂貴飛彈的無謂消耗。

其次，應對「經濟不對稱性」的成本控制策略，面對俄羅斯大量使用廉價的 Shahed-136 無人機，若持續使用數百萬美元的愛國者

[16]"Lessons from the Ukraine Conflict: Modern Warfare in the Age of Autonomy, Information, and Resilience," *CSIS*, May 2, 2025, https:// www.csis.org/analysis/lessons-ukraine-conflict-modern-warfare-age-autonomy-information-and-resilience.

飛彈進行攔截，將導致財政與庫存崩潰，因此，烏克蘭發展出「機動火力小組」（Mobile Fire Groups）與「攔截式無人機」策略。大量使用配備熱顯像儀與重機槍的皮卡車，以及具備 AI 導引的廉價無人機直接撞擊敵方無人機，[17]這使得防空戰略從單純的「硬摧毀」轉向「成本效益極大化」。

再次，戰區防空與「社會韌性」的結合，烏克蘭的空防目標已從單純的保護軍事單位，擴大到保護能源基礎設施與關鍵電力變電站（如 2026 年初強調的核電廠供電網防護），空防被提升至「國家生存韌性」的高度，透過保護電網，烏克蘭抵銷了俄羅斯試圖透過「戰略性大停電」崩潰烏克蘭後方社會士氣的企圖，[18]這凸顯了現代空防在維持戰時經濟與社會運作中的支柱作用。

從次，實戰數據與技術回饋的「反向輸出」，烏克蘭已成為全球對抗伊朗製無人機與俄羅斯極音速武器（如 Kinzhal 及 Zircon）的最前線實驗室，烏克蘭的防空經驗已成為一種「戰略資產」，2026 年初，烏克蘭甚至向中東國家派駐防空團隊，[19]分享對抗無人機的實戰經驗，這種從「受援者」到「經驗提供者」的轉變，強化了烏克蘭在國際安全架構中的不可替代性。

柒、結語

烏克蘭空防思想，歷經了落後科技及整合缺乏的蘇聯遺產，2014 年克里米亞危機，強烈的意識到傳統防空網的脆弱性，在 2022

[17]"The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence," *RUSI*, November 7, 2022, https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/russian-air-war-and-ukrainian-requirements-air-defence.

[18]"Energy is the New Frontline of Security: Lessons from Ukraine's Battle-tested System," *The World Economic Forum*, January 16, 2026, https:// www.weforum.org/stories/2026/01/frontline-security-energy-lessons-ukraine/.

[19]"Ukraine Deploys Units to 5 Middle East Countries to Intercept Drones," *DEFENSENEWS*, March 21, 2026, https:// www.defensenews.com/global/mideast-africa/2026/03/20/ukraine-deploys-units-to-5-middle-east-countries-to-intercept-drones/.

年俄烏戰爭爆發後，面對人類歷史上首次的大規模無人機與飛彈飽和攻擊，烏克蘭被迫在戰火中迅速轉型，此歷程可做為我國精進空防建構的參考，政策建議如下。

一、建構「T-Dome」：實現真正的整合化多層次防禦

臺灣目前的空防系統（如天弓、愛國者）雖然強大，但面對解放軍飽和攻擊時，仍面臨情資整合與彈藥分配的挑戰，應加速落實「T-Dome」防禦網路，[20]其核心在於引進如 IBCS（整合戰鬥指揮系統）類的數據鏈路。讓長程預警、海軍艦艇雷達與陸基防空飛彈（天弓三型、NASAMS 等）達成「感測器融合」，這能強化在面對同時來襲的巡弋飛彈與無人機時，系統能自動決定最優化的攔截序列，避免浪費昂貴飛彈於次要目標。另針對解放軍陸軍遠程火箭炮，應建構適當攔截彈藥（符合攔截動能效益與性價比）及地面車載式電子干擾器（作為誘餌或干擾其導引），撙節攔截彈藥，增進攔截優序。

二、打造「無人機海」與不對稱攔截手段

對比烏克蘭經驗，使用百萬美元的飛彈攔截萬元級的無人機在長期戰中是不可持續的，2026 年國軍規劃採購超過 20 萬架各式無人機，應同步強化「攔截式無人機」與「機動火力小組」的編制，開發類似烏克蘭「Sting」的 FPV 攔截無人機，[21]直接在中低空撞擊敵方自殺無人機。在全台作戰區編成「無人機大隊」，並大規模裝配備熱顯像儀及近發彈藥機砲的「皮卡車化」機動防空單元，建立成

[20]"Taiwan Accelerates "T-Dome" Multi-Layered Air Defense System Plan to Strengthen Deterrence Against China," *DEFENSENEWS*, October 10, 2025, https:// www.thedefensenews.com/news-details/Taiwan-Accelerates-T-Dome-Multi-Layered-Air-Defense-System-Plan-to-Strengthen-Deterrence-Against-China/.

[21]"The Evolution of Drone Interception Technologies in 2025–2026," *Scythian Griffins*, January 10, 2026, https:// 423grifony.com/en/the-evolution-of-drone-interception-technologies-in-2025-2026/.

本效益極大化的「低空屏障」。

三、強化全社會韌性：從「軍事防空」到「生存防護」

烏克蘭經驗證明，空防的成敗在於電網是否持續運作。臺灣能源依賴性極高（LNG 儲量在封鎖下僅能支撐約 11 天），將空防傘範圍精確覆蓋至關鍵電力節點、醫療系統與通訊樞紐周邊，部署「點防禦」系統（如陸基方陣、快砲、雷射、高能微波或機動近程飛彈），整合 2026 年推動的「全社會防衛韌性委員會」能量，將 40 萬民防力量與空防情報通報機制鏈結，形成地面的「視覺觀測網」，補充雷達對低空慢速目標的偵測死角。

四、戰略數據與公開來源情報（OSINT）的「實戰化」轉型

前美國印太司令部官員 Josh Hu 指出，臺灣若能建立與「五眼聯盟」及日、韓兼容的 C5ISR 系統與數據標準，將能達成即時的情資交換，如輔以 AI 即可辨識解放軍艦艇的時間從小時縮短至秒級，並主張臺灣應以數據共享作為融入全球安全體系的籌碼，[22]與友盟訂定協議，期獲取西方更先進的 AI 擊殺鏈輔助系統，並在國際安全架構中確立臺灣作為民主防空陣營的不可替代地位。

本文作者高志榮為國防大學戰爭學院畢業學者，現為財團法人國防安全研究院網路安全暨決策推演研究所委任助理研究員。主要研究領域為戰爭指導、聯合作戰、軍事暨空戰戰略及電子戰。

[22]"Former US Military Official Says AI Could Speed up Taiwan's Kill Chain," *Taiwan News*, February 15, 2026, https:// www.taiwannews.com.tw/news/6303365.

A Study on the Construction of Ukraine's Air Defense

Chih-Jung Kao

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

This report examines the evolution of Ukraine's air defense from the 2014 Crimean crisis to the 2022 Russian-Ukrainian War. Ukraine successfully digitized legacy Soviet equipment and integrated Western systems to construct a heterogeneous, networked architecture characterized by "layered defense" and "survivable resilience". By employing mobile deployment, decoy tactics, and civilian intelligence networks, Ukraine effectively achieved "air denial" while reducing interception costs. The author suggests that Taiwan should accelerate the construction of the "T-Dome" defense network to integrate sensors, develop asymmetric drone interception capabilities, and incorporate whole-society resilience to strengthen air defense combat power and national survival.

Keywords: T-Dome, Asymmetric interception methods, Social resilience, Open source intelligence