

無人機戰爭

烏克蘭正在改寫戰爭的文法

目錄

第1章 蛛網

第2章 無人機吞噬了戰爭

第3章 前線的獵殺區域：人與坦克都無法存活的土地

第4章 海上的大衛——沒有海軍的國家逼退艦隊

第5章 穿著連帽衫的軍人們 — 無人系統軍的誕生

第6章 AI不握瞄準鏡 — 自主武器的界線

第7章 看不見的戰爭——電子戰與運算的前線

第8章 不對稱經濟學 — 無人機如何翻轉國防產業

第9章 你所準備的戰爭不會再次發生

第10章 韓半島的無人機——這場戰爭對我們說了什麼

尾聲 「歷史正在此刻被創造」

附錄

第1章 蛛網

500美元無人機燒掉70億美元的那一夜

1-1 特洛伊的卡車

把150架無人機與300枚爆裂物藏進木製貨櫃，走私進俄羅斯之前

車里雅賓斯克的卡車司機米哈伊爾·柳明55歲。他的骨頭不好。兩節脊椎椎間盤受損，一隻手臂活動也不太靈活。即使如此，他還是無法放棄長途貨運。就像多數俄羅斯長途卡車司機一樣，柳明沒有太多選擇。

2025年春天，柳明換了工作。那是他和同事瓦西里·皮季科夫在卡車休息站聽到的職缺。一家由阿爾喬姆·季莫費耶夫經營的公司，工作內容是維修二手卡車並載運貨物。只要薪水能準時發就好，兩人是這麼想的。第一批配送品項是組合屋零件。那是卡車司機之間稱為「卡比納」的模組化建築材料，裝在木製貨櫃裡。

柳明前往伊凡諾沃地區。皮季科夫則在阿穆爾地區，距離布拉戈維申斯克約600公里的高速公路上，因卡車故障停了下來。5月31日，是皮季科夫的生日。同事維克多打電話祝賀時，皮季科夫這樣說：「我找到一份好工作了。正在運卡比納。」

他運的並不是卡比納。

木製貨櫃的屋頂下方，藏著FPV四軸無人機（以第一人稱視角操控的小型四旋翼無人機）。一架500美元到1,000美元之間。價格和DJI拍攝用無人機差不多。每架無人機都裝有兩枚爆裂物。木箱的屋頂經過改裝，可以遠端開啟。

這是烏克蘭安全局（SBU）準備了18個月的行動。

150架無人機，300枚爆裂物。分裝在五輛卡車上。這些卡車沿著俄羅斯國內商業物流網移動。不是通過邊境檢查站，而是在俄羅斯境內，由俄羅斯司機駕駛著俄羅斯道路上的普通貨運車輛行駛。俄羅斯安全機關沒有理由懷疑。

卡車登記在阿爾喬姆·季莫費耶夫名下。這名出身頓內次克的人，和出生於基輔的妻子葉卡捷琳娜，在行動前幾天一起前往哈薩克。俄羅斯當局後來將這對夫妻列入通緝名單，但那時已經太遲了。

古希臘人打造木馬，把它推進特洛伊城門內。摧毀城牆的不是巨大的武器，而是進入城門內的一道小縫。NATO海軍司令皮耶·范迪耶上將稱這次行動為「特洛伊木馬的現代再發明」。

這個比喻幾乎精準。只差一點。特洛伊木馬裡藏著自願參戰的戰士。這些卡車裡，坐在駕駛座上的，是毫不知情的平民。

1-2 18個月的準備，一夜之間的執行

同時打擊5座空軍基地的時序展開

5月31日夜裡，俄軍對烏克蘭發動大規模空襲。400多架無人機與飛彈飛向烏克蘭城市。札波羅熱有平民死亡，一處訓練基地則有12名烏克蘭軍人陣亡。

同一時間，停在俄羅斯領土各處的五輛卡車裡，什麼事都還沒有發生。至少暫時沒有。

6月1日凌晨。

訊號下達了。那是透過俄羅斯民用行動通訊網路傳遞的遠端命令。SBU並未公開通訊究竟是以何種方式進行。一些分析家認為，烏克蘭在俄羅斯領土內建立了獨立通訊網路；另一些人則推測，是借用了俄羅斯既有的民用網際網路。不論是哪一種，能夠遠端協調橫跨數千公里的同步行動，這件事本身就是這次行動最令人驚異的部分。

木製貨櫃的屋頂打開了。小型螺旋槳開始旋轉。

目標共有五處。摩爾曼斯克附近的奧列尼亞（Olenya）空軍基地、梁贊的佳吉列沃（Dyagilevo）、伊凡諾沃的伊凡諾沃北方（Ivanovo Severny）、伊爾庫茨克的別拉亞（Belaya），以及阿穆爾地區的烏克蘭卡（Ukrainka）。這些基地橫跨五個州、五個時區。

WSJ的衛星影像分析捕捉到別拉亞基地的煙柱，那是在距離烏克蘭戰線4,300公里外的東西伯利亞。伊爾庫茨克北方一座加油站拍攝的影像，透過社群媒體傳開。後方已經升起濃煙時，無人機從卡車上的木箱裡現身，升向天空。不久後，又一架飛了出來。警察開手槍試圖擊落，但毫無作用。拍攝者的聲音傳來：「又一架飛走了！到底是從哪裡發射的！天啊，技術已經到這種程度了？」

117架無人機出擊。澤倫斯基總統表示，每架無人機都有各自的操控員。操控員全都位於烏克蘭領土內。由於無人機採FPV方式，操控員會直接觀看無人機攝影機傳回的第一

人稱視角，並讓它衝向目標。SBU公開的影片中，可以看到無人機擊中Tu-95轟炸機機翼上方、就在燃料箱旁邊的位置。巨大的火焰竄起。這意味著燃料箱是滿的，也意味著這些轟炸機正準備出擊。

四座基地成功遭到打擊。第五座，也就是前往阿穆爾烏克蘭卡基地的卡車，未能抵達目的地。卡車在高速公路上起火。阿穆爾地區州長瓦西里·奧爾洛夫宣布，在謝雷舍沃村附近，一部分卡車「發生火災」。烏克蘭卡基地就在謝雷舍沃旁邊。

駕駛那輛卡車的人，是瓦西里·皮季科夫。也就是前一天剛過生日的車里雅賓斯克卡車司機。

投入行動的SBU人員，在攻擊開始前就已全數撤離俄羅斯。沒有任何人留在俄羅斯領土內。整個行動都以遠端方式執行。澤倫斯基總統表示，這次行動的「辦公室」位於俄羅斯某個地區，而且就在FSB辦公室旁邊。

這是一夜之間發生的事。然而為了這一夜，需要1年6個月。

1-3 被摧毀的東西

Tu-95MS、Tu-22M3、Tu-160、A-50，以及核嚇阻力的裂縫

關於損害規模的數字，各來源並不一致。誠實呈現這些差異，是理解這次行動的第一步。

烏克蘭安全局宣布，打擊了41架航空器。並稱這相當於俄羅斯戰略巡弋飛彈載機的34%。兩名美國官員向路透社表示，約20架遭到打擊，其中10架被摧毀。烏克蘭國家安全與國防委員會（NSDCU）確認至少13架完全摧毀。美國軍事專業媒體The War Zone透過衛星影像分析，視覺確認10到11架Tu-95MS與Tu-22M3遭摧毀。線上OSINT分析者在攻擊後不久視覺確認約14架，隨著更多影像出現，這個數字也持續增加。

俄羅斯國防部並未具體說明有幾架遭擊中。只承認航空器受損並陷入火海。

無論採用哪一種估算，被摧毀之物的清單都讓軍事專家為之凍結。

圖波列夫Tu-95MS。這是自冷戰時期以來，支撐俄羅斯核嚇阻力一翼的戰略轟炸機。一架可搭載8枚Kh-101巡弋飛彈，轟炸烏克蘭城市的正是這種飛機。光是在奧列尼亞基地，就已確認至少4架遭摧毀。根據開源情報，最多可能有15架Tu-95MS受損，這相當於俄羅斯整個Tu-95機隊約四分之一。

Tu-22M3。這是以2.8馬赫飛行、設計用來突破敵方防空網的長程轟炸機。雖然是老舊的蘇聯時代設計，卻仍是俄羅斯長程打擊戰力的核心。

還有A-50空中預警管制機（AWACS）。這種飛機在俄羅斯不到10架。BBC稱它為「天空中的眼睛與耳朵」。一架A-50可以同時引導最多10架戰鬥機，追蹤多個目標並協調交戰。印度與巴基斯坦衝突中，巴基斯坦能夠掌握空戰主導權的原因之一，正是這類空中預警機。根據王劍的分析，這次行動至少摧毀了俄羅斯1架A-50，甚至可能是2架。這不是戰術損失，而是戰略災難。

要理解這些轟炸機為什麼重要，必須知道一件事。這些是無法重新製造的飛機。

俄羅斯多年來沒有新造Tu-95。蘇聯時代的生產線早已消失，而以目前俄羅斯的製造能力，無法重建生產，這是烏克蘭官員與西方分析家的共同判斷。根據WSJ分析，這些航空器是俄羅斯投射國力（power projection）的手段，也是搭載核飛彈的飛機。

一架消失，就到此為止。

不會再回來。

1-4 毫不知情開著卡車的五個人

戰爭的灰色地帶

Mediazona的採訪追蹤了五名司機的命運。這篇於2025年9月發布的報導，揭露了這次行動最令人不安的真相。

五人全都是出身車里雅賓斯克的長途卡車司機。他們在前一份工作中遭遇「各種困難」後，在卡車休息站聽到新工作，並開始為阿爾喬姆·季莫費耶夫的公司工作。維修二手卡車並載運貨物。薪水有發，所以很好。

米哈伊爾·柳明，55歲。當時正在向伊凡諾沃地區配送「組合屋零件」。6月1日凌晨，他在停靠路邊的卡車裡打盹，突如其來的衝擊與巨大爆炸聲將他驚醒。隔天，也就是6月2日，他遭到逮捕。罪名是有組織恐怖行為。伊凡諾沃地方法院批准羈押。2026年1月28日，莫斯科巴斯曼尼地方法院延長柳明的羈押期間。他的律師以脊椎椎間盤受損和手臂活動受限為由，主張羈押不當，但未被接受。柳明在看守所會打電話給家人，詢問近況。「狗都還好嗎？孫女呢？」他非常喜歡狗。「拜託不要把狗送給別人，我會回去的。」這是妻子加林娜向Mediazona轉述的話。

安德烈·梅爾庫里耶夫，61歲。他是在伊爾庫茨克附近那座加油站影像中拍到的卡車司機。無人機從卡車上飛起的影片傳遍全世界。周圍的卡車司機與路人試圖丟石頭阻止無人機的畫面，也一起流傳開來。梅爾庫里耶夫本人是否也是丟石頭的人之一，尚未確認。他很快遭到逮捕。前妻瑪雅·梅爾庫里耶娃對Mediazona表示：「我接到調查員、FSB打來的電話。」但她說自己不打算幫忙。「我不知道發生了什麼事，老實說也不感興趣。」兩人多年前已離婚，女兒也有2年沒有和父親聯絡。梅爾庫里耶夫透過律師向女兒請求原諒。

謝爾蓋·卡努林，47歲。同樣出身車里雅賓斯克。和柳明一樣，2026年1月在莫斯科法院被延長羈押期間。罪名是有組織恐怖行為。

瓦西里·皮季科夫。前往阿穆爾地區的第五輛卡車司機。他的卡車在抵達烏克蘭卡基地前，就在高速公路上起火。有報導稱，當有人接近卡車時發生了爆炸。皮季科夫死亡。遺體交還家屬花了3週。6月22日在車里雅賓斯克舉行追悼儀式，遺體火化後於6月27日安置。

皮季科夫的同事維克多對Mediazona說：「快60歲了，卻可能毫無理由進監獄，光想像就很可怕。」

第五名司機的姓名，在Mediazona的報導中並未具體確認。不過，多個來源一致指出，五人中一人死亡，四人遭逮捕。

澤倫斯基總統表示，司機們並不知道無人機藏在裡面。在SBU的行動計畫中，這些人是「運輸工具的一部分」。從未選擇戰爭的平民，成了這場戰爭最大膽行動中的零件。

於是令人不安的問題出現了。從軍事上來看，這次行動是成功的。從戰略上來看，也可能是合理判斷。然而，把毫不知情的平民當成引爆物的運載者，應該歸入哪一個範疇？

俄羅斯將這次行動定性為「恐怖攻擊」。王劍指出，這個比喻並不恰當。所有打擊目標都是軍事設施，且未通報平民傷亡。利伯研究所（隸屬西點軍校）於2025年10月發布分析，指出這次行動是「將民用物體工具化」的案例。那是一篇正面處理合法性與倫理之間灰色地帶的論文。

戰爭永遠有灰色地帶。這五個人的故事，呈現了那片灰色地帶在最幽暗之處的模樣。

1-5 500萬美元對70億美元

不對稱的算術

讓我們看看數字。

根據王劍的計算，150架無人機與300枚炸彈的純物資成本不到20萬美元。每架無人機500到1,000美元。和一架DJI拍攝用無人機的價格差不多。

再把情報蒐集、吸收特工、設備走私、取得卡車、建置通訊基礎設施、18個月的計畫成本全部加總。王劍估算，就算抓得再寬，也不會超過500萬美元；這個數字也大致符合西方分析家的估計。

再看另一邊的數字。

一架戰略轟炸機的價格是數億美元。一架A-50空中預警機也要數億美元。烏克蘭主張造成約70億美元（約韓幣9兆元）規模的損害。這個數字可能有灌水。然而，即使依照美方最保守的估計，也就是只有10架完全摧毀，損失金額仍達數十億美元。

投入不到500萬美元。造成數十億美元損失。

我們試著衡量這個比例在戰爭史上的位置。連數百萬美元一枚的最新防空飛彈都未能阻止的俄羅斯最高級資產，卻被一架數百美元的機器燒毀。一套Pantsir防空系統價格為1,500萬到2,000萬美元。而那座由這套防空系統守護的機場，被500美元的無人機突破了。

蘇凡中心（The Soufan Center）評價，這次行動「粉碎了俄羅斯戰略縱深的神話」。把轟炸機藏在戰線後方1,000公里就安全的假設崩塌了。俄羅斯該把轟炸機存放在哪裡？要在所有機場都建造堅固的機庫嗎？這是王劍提出的問題。現實上，有那樣的資金嗎？沒有。那麼，昂貴的航空器就只能暴露在跑道上。而當下一次突襲來臨時，它們又會消失。

大國可以用消耗戰壓垮小國，這是傳統軍事計算法。這次行動讓那套計算法出現了裂縫。

大衛與歌利亞的故事能長久流傳，是有原因的。因為那確實偶爾會發生。

1-6 「如果你以為我們完了，請再想一次」

伊斯坦堡和平談判前一天的訊息

這次行動的時機並非偶然。

6月2日，俄羅斯與烏克蘭代表團預定在土耳其伊斯坦堡出席和平會談。蛛網行動就在前一天執行。

必須看脈絡。

2025年春天，烏克蘭的處境是開戰以來最艱難的時期。地面戰陷入僵局，俄羅斯仍占領約20%的烏克蘭領土。庫斯克附近的反擊一度踏上俄羅斯領土，但沒有持續太久。川普總統一再施壓，要求結束戰爭，並稱普丁為「我的朋友」，表示自己能促成交易。BBC基輔特派員保羅·亞當斯轉述，華府的假設是「烏克蘭已經輸了」，而川普政府的整體戰略，就是建立在這個假設之上。

在這種情況下，烏克蘭還剩下什麼選項？

在走進談判桌之前，證明自己仍有戰鬥能力。

行動只以烏克蘭裝備、非美國裝備執行。沒有事先通知美國。白宮表示事前並不知道這次攻擊。WSJ分析家說：「烏克蘭似乎判斷沒有必要告知美國。」

只靠烏克蘭裝備達成這次行動。這件事本身就是訊息。因為它意味著，即使沒有西方武器支援，烏克蘭也能打擊俄羅斯心臟地帶。

俄羅斯反應激烈。普丁在6月4日與川普通話時承諾報復。川普警告，俄羅斯的報復「不會好看」。6月5日至6日夜間，俄羅斯發動了戰爭期間最猛烈的空襲之一。452架無人機與45枚飛彈。基輔、捷爾諾波爾、盧茨克、利維夫等烏克蘭各地遭受打擊。7人死亡，80人受傷。救援人員也喪生。俄羅斯國防部表示，這是「對蛛網行動的回應」。

戰爭不會因一次打擊而結束。俄羅斯被打了，還手了，今後雙方也會繼續互相報復。

然而，蛛網行動改變了一件事。談判桌上的平衡。

BBC基輔特派員保羅·亞當斯在當晚的報導中這樣說。很難誇大這次行動的大膽程度。2022年莫斯科號沉沒、同年克里米亞大橋卡車爆炸、僅僅一個月前由海上無人機搭載飛彈擊落俄羅斯戰鬥機的事件，這一切都非比尋常，但這次行動超越了所有那些事件。

烏克蘭向前往伊斯坦堡的談判代表團，以及全世界送出的訊息，短而清晰。

「如果你以為我們完了，請再想一次。」

唐納·川普或許以為烏克蘭手中沒有牌。但6月1日凌晨，當火焰從西伯利亞一路到北極圈，橫跨五個時區竄起時，所謂沒有牌的假設，正隨著濃煙消散。

蛛網已經張開。

而那張蛛網比轟炸機更小，比飛彈更便宜，並且延伸到了任何人都未曾預料的地方。

第2章 無人機吞噬了戰爭

2022年至2026年

2-1 拜拉克塔爾的象徵與極限

2022年，無人機戰的序幕

2022年3月，YouTube上出現了一首歌。

那是烏克蘭藝術家塔拉斯·博羅沃克創作的歌曲。歌詞的核心，是一款土耳其製無人機的名字。「拜拉克塔爾。」每當副歌響起，這個名字就不斷重複。觀看次數達到數百萬。戰爭才開始一個月，就出現了一首流行歌曲。武器名稱成為副歌，這或許是歷史上第一次。

拜拉克塔爾TB2（Bayraktar TB2）。這款由土耳其國防企業拜卡爾製造的無人機，是翼展12公尺、續航時間27小時、價格約500萬美元的中高度偵察與攻擊用無人機。戰爭初期數週內，這款無人機拍攝的黑白熱影像畫面傳遍全世界。高空中的攝影機俯瞰俄羅斯戰車縱隊。一枚飛彈落下。戰車消失在火焰之中。接著，燃料運輸車爆炸。朝基輔綿延而去的俄軍補給線停了下來。

那個場景同時呈現了兩件事。

一是價格。不是造價數千億韓元的戰鬥機，而是比那便宜得多的無人機，正在癱瘓地面上龐大的裝甲部隊。另一件事，是飛行員的缺席。即使機體遭到擊落，也沒有人死亡。操作員坐在數百公里外的某個地方。

拜拉克塔爾之所以能發揮威力，有其背景。那就是俄羅斯的閃電戰計畫相當粗糙。在一夜之間攻占基輔的構想下，俄羅斯裝甲部隊沒有防空掩護，排成長長的隊伍在道路上行進。他們既沒有摧毀機場，也沒有取得空優。《衛報》在2022年5月提出評估指出：「TB2在軍事上有效，但很難說具有軍事上的決定性。」這項分析認為，是俄軍自身的缺陷讓TB2初期的成功成為可能。

歡呼沒有持續太久。

俄羅斯開始擺脫衝擊之後，情勢改變了。電子戰裝備被部署到前線。鎧甲-S1（Pantsir-S1）、山毛櫸（Buk）、道爾（Tor）等防空飛彈系統被有系統地配置後，TB2的生存性急遽下降。到2022年3月為止，荷蘭OSINT分析機構Oryx以視覺證據確認的TB2遭擊落數量就有26架。實際損失應該遠比這個數字更多。

曾任烏克蘭國家安全與國防委員會主席的謝爾希·帕辛斯基，在一通與美國官員的通話中這樣說。那通電話後來遭到外流。「拜拉克塔爾的宣傳與貪腐多於實戰運用。我從一開始就反對。因為它對防空系統極度脆弱。一週之內全都被擊落了。」

2023年10月，烏克蘭軍事情報局（GUR）所屬軍官、上校沃洛迪米爾·瓦柳克在捷克布爾諾舉行的國防產業活動上公開承認：「隨著戰爭推進，俄軍強化了防空，TB2的實用性變得有限。」

戰爭初期的英雄，逐漸被推往後方偵察任務。

然而，TB2的退場並不代表無人機的失敗。正好相反。大型、昂貴又緩慢的無人機，在現代防空網面前會成為容易的標靶。下一場革命的種子，就藏在這個教訓之中。那是一項覺悟：比起幾架昂貴的無人機，數千架便宜無人機可能更加可怕。這個想法，將在隔年徹底改變戰爭的樣貌。

2-2 FPV無人機登場

2023年，300美元的戰爭開始了

一名烏克蘭士兵戴著護目鏡，握著搖桿。

他操控的並不是軍用無人機。那原本是無人機競速選手使用的興趣型四軸飛行器。是用在網路商城購買的零件組裝而成。電池、馬達、攝影機。只要再掛上手榴彈或反戰車彈頭，就成了武器。

FPV無人機。First Person View。第一人稱視角。

操作員即時觀看無人機攝影機所看見的畫面。感覺就像自己進入了無人機內部。畫面中的俄羅斯壕溝越來越大。可以看見士兵的動作。影像突然中斷。那是無人機本身成為炸彈的瞬間。

價格是300美元到500美元。換算韓元約40萬到70萬韓元。

一輛俄羅斯戰車的價格是數十億韓元。一發155公厘砲彈約3,000美元，而要發射那枚砲彈，還需要價值數百萬美元的自走砲。美製標槍（Javelin）反戰車飛彈的發射器要20萬美元，一枚飛彈要8萬美元。然而，一架40萬韓元的無人機完成了同樣的工作。這是經濟學教科書裡不會出現的交換比。

到了2023年底，戰場景象變了。

村莊倉庫成了軍需工廠。無人機社團成了軍事研究所。烏克蘭總統沃洛迪米爾·澤倫斯基在2023年12月的年終記者會上宣布：「明年將生產100萬架FPV無人機。」截至那年12月，烏克蘭已經每月生產超過5萬架。

無人機的作戰半徑一開始只有8至10公里，但若使用訊號中繼器或母艦（mother ship）技術，就能延伸到40公里。一名藏身森林中的士兵，能在數百公尺外放飛無人機，摧毀價值數千萬美元的裝備。這樣的時代，在2023年開啟了。

雙方都得出了同樣的結論。使用FPV無人機的並不只有烏克蘭。俄羅斯也開發並投入了閃電-1（Lightning-1）、閃電-2等自製FPV無人機，作戰範圍最遠達30公里。無人機不再是某一方的祕密武器，而成了雙方的基本裝備。

戰車不再是戰場之王。

2-3 無人系統軍成立

2024年，史上第一個無人機專屬軍種

2024年2月6日，澤倫斯基總統簽署了第51/2024號總統令。

「關於增強防衛能力」的法令。表面上是個平凡的標題，但其中包含了世界軍事史上沒有先例的決定。那就是成立無人系統軍（Syly bezpilotnykh system，簡稱SBS）。

不是陸軍。也不是海軍或空軍。這是一個專為無人機與無人系統而設的獨立軍種。世界首例。

同年6月11日，SBS正式以獨立軍種成立。首任司令由上校瓦迪姆·蘇哈列夫斯基擔任。其下編成了整合運用空中無人機、地面無人載具、海上無人機的部隊。到2024年11月為止，超過170種不同的無人系統被整合進SBS之中。

為什麼必須是獨立軍種？

依照既有方式，無人機部隊只是各旅的附屬品。這裡開發的技術不會傳到那裡，這支部隊的經驗也不會反映在那支部隊的教範中。Nemesis團指揮官在接受《基輔獨立報》訪問時這樣說明：「在旅或軍中設置獨立的無人機營，是正確的決定。但無人系統軍必須與此並行存在。因為這樣才能累積所有經驗、所有研發成果，並將其傳達給全軍。」

這不是數量問題，而是品質問題。無人系統的演進與應用，在獨立軍種中發生得快得多。

同時，製造無人機的產業生態系也爆炸性擴張。2022年戰爭開始時，烏克蘭有41家無人機製造商。2023年增加到132家。2024年則達到183家。前鐵路局長奧列克桑德爾·卡米申應澤倫斯基之邀，成為國家無人機計畫的設計者，並主導了將年產量從2,000架提升到數百萬架的產業轉型。

那是一幅彷彿矽谷新創文化與傳統軍事組織混合在一起的景象。競爭的尺度也變了。不是哪一方能生產更多砲彈，而是哪一方能更快更新軟體。

在《60 Minutes》訪問中，一名無人機相關人士這樣說：「創新週期大約是一週。從把無人機送上前線，到收到回饋、修改某些東西、取得新版本，可能短到就像一週。」

被問到俄羅斯是否也在創新時，他承認：「是的，很明顯。」

2-4 蜘蛛網行動與光纖無人機

2025年，俄羅斯本土不再安全

2025年初，前線出現了一種新型無人機。

乍看之下，它與一般FPV無人機沒有不同。不同之處在尾端。一條比頭髮稍粗的光纖纜線會一公里一公里地展開，連接無人機與操作員。既有無人機透過無線電通訊。無線電可能被監聽，也可能被干擾。價值數億韓元的電子戰裝備，其存在理由正是切斷敵方無人機的無線電訊號。

光纖中的光無法被切斷。

它不會被干擾，也不會被定位偵測，訊號品質也不會下降。烏克蘭軍方的謝爾希·貝斯克雷斯特諾夫告訴RFE/RL，無人機以時速60公里機動時，在10公里範圍內光纖不會斷裂。馬迪亞爾之烏（Ptakhy Madiara，後來的第414無人打擊系統旅）甚至成功測試了光纖纜線長達41公里的FPV無人機。2025年1月，烏克蘭軍總司令奧列克桑德爾·瑟爾

斯基宣布，為了因應俄羅斯率先開始使用的光纖無人機，烏克蘭也已開始部署。

同年6月，世界見證了蜘蛛網行動。

2025年6月1日清晨，俄羅斯境內5座空軍基地幾乎同時發生爆炸。摩爾曼斯克附近的奧列尼亞（Olenya）、梁贊的佳吉列沃（Dyagilevo）、伊凡諾沃的北方機場（Ivanovo Severny）、伊爾庫茨克的別拉亞（Belaya）、阿穆爾的烏克蘭卡（Ukrainka）。那些地方距離前線數千公里。FPV無人機的作戰半徑不過15至20公里，怎麼可能發生這種事？

烏克蘭安全局（SBU）準備了18個月，給出了答案。他們將150架無人機與300個爆裂物放進木製貨櫃，再把貨櫃裝上卡車，透過俄羅斯民間物流網運送到各基地附近。他們將一般運輸貨櫃的屋頂改造成雙層結構，並在其中隱藏空間部署無人機。從外面看，只是普通貨物。俄羅斯司機並不知道自己運的是什麼。他們只接到指示，要把貨櫃卸在目的地。

5月31日夜晚，烏克蘭送出了訊號。貨櫃蓋打開，無人機升上天空。俄羅斯戰略轟炸機暴露在跑道上。因為沒有人預料到空襲會從如此遙遠的地方到來。也沒有預算建造機棚。經AI訓練的無人機，能辨識Tu-95、Tu-22M3、Tu-160轟炸機與A-50預警機的3D模型，並攻擊最脆弱的部位：引擎、燃料槽與飛彈掛載點。

烏克蘭宣稱摧毀41架。NATO估計有10至13架完全摧毀。兩名美國官員告訴路透社，約20架遭擊中，10架被摧毀。

無論數字接近哪一方，戰略衝擊都很明顯。俄羅斯事實上已沒有重新製造Tu-95的生產能力。那是冷戰時代蘇聯製造的飛機，一旦消失就不會回來。A-50預警機在全俄羅斯不到10架，而這種飛機一架就具備同時引導並協調10架戰鬥機的能力。

估計投入成本不到500萬美元。估計損害金額達70億美元。這成了非對稱戰爭的教科書案例。

戰爭又跨過了一道門檻。所謂後方的概念開始動搖。

2-5 每天100至200架出擊，每天生產1,000架攔截無人機

2026年，無人機飽和戰場

Nemesis團指揮官在2026年接受《基輔獨立報》訪問時，這樣描述當前戰場。

「在雙方發生戰鬥的戰場所有區域，無人機乘組員與無人機本身的飽和程度已經高到，任何步兵都可能在幾分鐘內成為精準打擊的目標。」

2026年的前線與2022年完全不同。

在聽見砲聲之前，先聽見的是無人機的聲音。士兵們首先抬頭看天。《60 Minutes》採訪團隊傳達的前線現實是這樣的：「距離前線5公里以內的所有車輛，不論是戰車、裝甲車還是一般卡車，實際上都已面臨死亡。因為無人機不斷掃描、不斷狩獵。」

攻擊無人機增加後，防禦無人機也出現了。能在空中攔截俄羅斯發射的見證者（Shahed）自殺式無人機與巡弋飛彈的Sting無人機登場了。這是一個為了獵殺無人機而升空另一架無人機的時代。澤倫斯基總統在2026年初表示：「已具備每天生產2,000架攔截無人機的能力。」截至2026年2月，基輔地區70%的見證者無人機攔截任務由這些攔截無人機負責。

數字的規模已經達到超乎想像的程度。

以2026年為準，烏克蘭FPV無人機年產能已超過800萬架。這是烏克蘭國家安全與國防會議（RNBO）的官方發布。超過160家大大小小的製造商正在生產FPV無人機。俄羅斯也不願落後。2026年5月，烏克蘭軍總司令瑟爾斯基透過Telegram警告：「俄羅斯計畫在2026年生產730萬架FPV無人機與780萬枚彈頭。」

雙方合計之下，這是一個每天製造數萬架無人機、數千架出擊、數百架被摧毀的戰場。軍事分析家稱之為「無人機飽和（drone saturation）」。

在這種飽和狀態下，前線的樣貌改變了。

借用無人機指揮官的說法，「分界線或戰鬥分離線，也就是所謂灰色地帶正在擴大。這個灰色地帶現在完全由無人機控制。而兩側則有步兵。」駐維也納的軍事分析家弗朗茨-史蒂芬·加迪在《愛爾蘭時報》留下這樣的評估：「烏克蘭投入FPV無人機群，建立起縱深20公里的殺傷地帶（kill zone），因此在前線特定區域重新取得無人機戰的均勢或優勢。可以說，與2025年5月相比，烏克蘭在2026年5月的軍事位置更好。」

技術創新的週期縮短到一週。前線回饋會立即反映到生產與改良之中。昨天的應對手段，今天已經被無力化；到了明天，新的版本就會出現。這就是那樣的戰場。

2-6 傷亡的80%來自無人機

年產量從2,000架跳升到數百萬架所代表的意義

先把數字擺出來。

2022年，戰爭開始時，烏克蘭的無人機產量是每年數千架的水準。2024年，僅FPV無人機就採購了超過150萬架，整體無人機產量則突破200萬架。2025年，總產量達到約450萬架。FPV無人機月產能從2024年的每月2萬架，躍升到2025年的每月20萬架。

以2026年為準，烏克蘭FPV無人機年產能為800萬架。俄羅斯的計畫產量是730萬架。雙方合計，等於每年有超過1,500萬架FPV無人機正為同一座戰場被製造出來。

在這些看似產業統計的數字背後，隱藏著戰爭性質的變化。

烏克蘭國家安全與國防會議（RNBO）在2026年1月透過官方發布表示：「FPV無人機是我們的非對稱回應。如今俄軍損失的60%是由FPV無人機造成。」根據《基輔郵報》報導，一些部隊的統計顯示，俄軍人員損失與戰鬥車輛被摧毀，有二分之一到三分之二是無人機造成的。在2024年年度檢討中，總司令瑟爾斯基表示：「在所有武器系統中，無人機造成了俄軍幾乎一半的傷亡。」

2026年5月，瑟爾斯基進一步公開了一項數據。「自12月以來，烏克蘭無人機部隊每個月消滅的俄軍兵力，都多於俄羅斯所能動員的人數。」無人機不只執行戰鬥任務，也開始負責超過60%的戰場後勤。傷兵後送、彈藥補給，甚至佈設地雷。

烏克蘭軍用無人機的自製比例超過95%。國防部長魯斯特姆·烏梅洛夫提出了2024年96.2%的數字。外國供應商的反應速度跟不上前線回饋速度，是轉向自製的主要原因。在這個過程中，烏克蘭從消費國轉變為出口國。自2025年起，烏克蘭開始向海外銷售海上無人機、電子戰系統與攔截技術，並在歐洲10國設立武器出口辦公室。

根據GIS Reports，2026年4月，德國總理弗里德里希·梅爾茨與澤倫斯基總統在柏林總理府一同查看由德國－烏克蘭無人機合作製作的無人機，這一幕被鏡頭捕捉下來。歐洲各地的無人機與反無人機新創公司正快速成立，其中相當多獲得了EU補助。烏克蘭的戰場經驗，是這個生態系的基礎。

20世紀的戰爭，是大砲、戰車與戰鬥機的時代。

21世紀的戰爭，正在轉向感測器、軟體、電池與演算法的競爭。戰爭史長久以來是火藥與鋼鐵的歷史。烏克蘭戰爭正在改變這段歷史的方向。巨大的軍艦、轟炸機與戰車並不會消失。只是它們如今必須與新的掠食者共享同一個空間。

便宜、微小、數量無窮的機器。

2022年，人們稱無人機為新武器。

到了2026年，無人機不再只是眾多武器之一，而已成為構成戰爭本身的環境。

SOURCE

第3章 前線的獵殺區域：人與坦克都無法存活的土地

3-1 10英里寬的死亡地帶（kill zone）：FPV 無人機支配戰場的真相

清晨四點，頓內茨克前線後方的補給道路空無一人。不是道路被切斷了，而是因為一踏上路面，就很難活下來。

過去的士兵聽見砲彈聲就會伏低身體。現在的士兵，往往在什麼聲音都沒聽見的情況下死去。如果聽見細小的馬達聲，多半已經太晚。天空某處有偵察無人機盤旋，而在後方數公里外，FPV 無人機（以第一人稱視角操控的小型攻擊無人機）操作者正盯著螢幕。螢幕裡，一名士兵、一副擔架、一輛皮卡、一輛坦克，全都是目標。

60 Minutes 採訪團隊所描述的烏克蘭前線是這樣的：「忘掉你所知道關於戰爭的一切。」傳統前線，也就是雙方壕溝之間那片狹窄空白地帶，如今已擴大成約 10 英里，也就是 16 公里寬的巨大獵殺區域（kill zone）。任何踏入其中的人，都可能被無人機操作者發現並獵殺。

這個數字到了 2026 年還在擴大。烏克蘭無人系統部隊司令馬迪亞爾（羅伯特·布羅夫迪）在 2026 年 5 月接受 Ukrainska Pravda 訪問時表示，獵殺區域的深度在前線兩側都已達 25 公里以上。不是單側 25 公里，而是兩側各 25 公里。合起來，就是一條寬 50 公里的帶狀區域，沿著 1,200 公里長的前線延伸。馬迪亞爾補充說：「若沒有適當準備、必要性與防護裝備，我不建議任何人接近這片灰色前線地帶 25 公里內的範圍。」

10 英里，或 25 公里，在地圖上看起來很小。但在前線，這段距離是生與死之間的走廊。運送彈藥要走的路、把傷兵拖出來要走的路、輪替部隊進入要走的路、坦克前進要走的路，全都在其中。過去的無人地帶，是壕溝之間數十公尺的狹窄空白；如今的無人地帶，則是一道深入前線後方的透明圍欄。它看不見，但人人都知道。只要在裡面移動，就會被拍到；被拍到，就會被盯上；被盯上，就會被擊中。

AP 所報導的東部前線情況十分冷酷。FPV 無人機監視並打擊前線後方深處，使傷兵後送變得明顯困難。現場醫護人員表示，他們已經好幾個月幾乎沒看到槍傷患者，大多數傷勢都來自無人機。曾經有一個時代，子彈是戰爭的語言。如今，前線的語法是由螺旋槳、鏡頭與電池寫成的。

Nemesis 團指揮官的一句話，濃縮了這片戰場的性質。「在發生戰鬥的戰場所有區域，不論我方或敵方，無人機乘員與無人機本身的密度都已經很高，任何步兵都可能在幾分鐘內成為精準打擊的目標。」步兵、坦克、砲兵如今成了配角。無人機最先進入戰鬥，其他所有部隊都成了支援無人機的角色。

這種變化同時束縛了攻擊與防禦。俄軍無法推動大規模裝甲突破，烏軍也難以在廣闊前線長時間維持快速機動。前線仍然在移動，但那不是過去的閃電戰。它更像用針尖把布一點一點頂起來。價值數百萬美元的戰車，害怕幾百美元的無人機。壕溝裡的士兵也不安全。窗戶、出入口、車輛內部、林間小路、建物縫隙，全都會被鏡頭捕捉。

Telegraph 記者 Verity Bowman 在 2026 年 3 月的報導中，如此描繪戰場的新地形。烏克蘭無人機已能打擊前線後方最遠 150 公里處，原本侷限在 50 公里內的獵殺區域，因此擴大了三倍。這種擴張的背景，是烏克蘭系統性摧毀俄羅斯防空系統與電子戰裝備；而其核心，正是無人系統部隊於 2026 年初成立的縱深打擊司令部（Deep Strike Command Centre）。

戰略目標冷酷而明確。戰爭研究所研究員卡特琳娜·斯捷潘年科在同一篇報導中說：「目標是迫使俄軍走路到前線。如果車輛無法安全移動，士兵就必須徒步走完那段距離。他們抵達時已經疲憊，也帶不了多少物資。」

無人機既是俯瞰戰場的眼睛，也是從那隻眼睛中伸出的刀。當眼睛與刀合而為一，前線的空氣也變了。

3-2 科學怪人坦克與防護網：為生存而急就章改裝，以及其極限

坦克上方架起了鐵柵欄。裝甲車上鋪上了鐵網。有些車輛用金屬板覆蓋車頂與側面，看起來像一間棚屋。士兵稱它們為「烏龜坦克」、「棚屋坦克」。戰爭一旦拖長，武器就不只誕生於工廠。它們也會在野戰維修所、廢棄倉庫與焊接火花旁誕生。

2024 年，烏克蘭軍隊繳獲了一輛俄軍為應對無人機威脅而改裝的 T-62 坦克。根據 Reuters 報導，那輛坦克裝上了箱形金屬外殼、後方鐵籠與大量電子戰設備。據說它被用於補給與兵員運輸。然而烏克蘭士兵評估，這種改裝十分倉促，效果也有限。多加幾塊鐵似乎能活下來，但 FPV 無人機總會尋找縫隙。它會從下方鑽入，繞到後面，瞄準鐵網斷裂之處。

鐵片、鐵網與電子戰設備糾纏在一起的坦克，看起來不像正規軍武器，更像暴風雨後被重新縫補起來的野獸。60 Minutes 稱這種車輛為「科學怪人坦克」。意思是，這是前線為擊退無人機攻擊而加裝籠架與網子的急就章發明。外觀滑稽，但裡面同時裝著士兵的恐懼與智慧。

防護網成了前線的新屋頂。

道路上豎起木柱或金屬柱，再在上方覆蓋網子。遠遠望去，不像戰場，倒像葡萄園的通道。然而在它下方行駛的車輛，載著彈藥、糧食、傷兵與疲憊的士兵奔馳。烏克蘭國防部長米哈伊洛·費多羅夫在 2026 年 2 月表示，計畫在年底前於前線道路設置 4,000 公里的反無人機防護網。2026 年 1 月，每天以 5 公里的速度架設；2 月提升到 12 公里；從 3 月起，目標是每天 20 公里。

截至 2026 年 6 月初，烏克蘭已在前線補給道路鋪設 822 公里的反無人機防禦網。根據 Euromaidan Press 報導，光是 5 月就新增 211 公里，並修復了 38 公里的受損路段。也有報導指出，法國與瑞典退役的漁網被送往烏克蘭，回收再利用為反無人機屏障。

防護網會纏住無人機的螺旋槳。飛來的機體一旦被勾住，爆炸就會在抵達目標前發生，或乾脆墜落。如果電子戰設備是切斷無人機訊號，那麼防護網就是以物理方式抓住無人機的身體。然而，防護網也不是完美盾牌。反覆遭受攻擊就會被撕裂。若像光纖無人機這類能無視無線電干擾的機體增加，電子戰設備的效率也會下降。

UNITED24 Media 在 2026 年 4 月於哈爾科夫州伊久姆報導的畫面令人印象深刻。這座距前線 30 公里的城市，其主要道路、巷弄，甚至超市上方都覆蓋了防護網。這正是 2022 年俄羅斯占領時期，曾在集體埋葬地發現 449 具遺體的城市。居民說，頭頂上的網既是保護膜，也是俄羅斯再次逼近的警告。

因此，前線防禦是一層一層堆疊起來的。電子戰、防護網、偽裝、快速移動、夜間後送、地面機器人，全都疊在一起。盾牌多一層，矛也會跟著變化。科學怪人坦克上的一片鐵網，也許能多爭取 1 分鐘。在戰場上，1 分鐘就和一個人的性命一樣重大。

3-3 不會飛的無人機：搭載機槍的地面無人載具，以及獨自擋下俄軍攻擊 45 天的機器人

聽到無人機，人們通常先抬頭望向天空。但如今，無人機也在前線的泥土上移動。

有裝輪子的、有裝履帶的、有低矮車身搭載彈藥的、有架上機槍的、有拖著擔架的，也有載著炸藥衝鋒的，它們在前線下方爬行。如果天空中的無人機支配士兵頭頂，那麼地面無人載具（UGV）就代替士兵踏上原本必須走過的土地。

2025 年底，一個場景展示了戰爭的未來。隸屬烏克蘭第 3 軍的地面無人載具 Droid TW 12.7，裝上 12.7 毫米 M2 白朗寧機槍，在東部前線一處路口獨自堅守 45 天。它只是每兩天接受一次電池、彈藥補給與維修，現場沒有任何人。第 3 軍的米科拉·津克維奇說：「那個位置上只有 UGV 系統。這就是核心概念。機器人不會流血。」

這一幕重新提出戰爭的古老問題：誰應該站在危險之處？過去的答案是士兵。國家徵召，部隊下令，士兵走進壕溝。如今，答案正在一點一點改變。先派出機器人。機器人開路、搬運彈藥、負責監視、開槍射擊。人類則往後退。

數字顯示了這個方向。根據烏克蘭國防部 DELTA 戰場管理系統資料，地面無人載具任務數從 2025 年 11 月的 2,900 件，躍升至 2026 年 1 月的 7,500 件，3 月則超過 9,000 件。僅 2026 年第 1 季，就有約 24,500 件戰鬥與後勤任務由地面機器人執行。3 月時有 167 個部隊操作這類裝備，而 2025 年 11 月只有 67 個部隊。Foreign Policy 在 2026 年 4 月報導，烏克蘭軍中至少有 12 個旅正在招募機器人專責操作人員。

Radio Free Europe/Radio Liberty 在烏克蘭東部帕科夫斯克前線拍攝的畫面中，一名指揮官指著地面無人載具說：「這是我們的戰鬥用地面無人載具。昨天晚上出動，今天早上返回。它搭載機槍與數百發彈藥。」這台機器在實際作戰中擊殺敵軍，並在帕科夫斯克這類俄軍試圖包圍的危險地區，代替人類執行最危險的任務。

2026 年 1 月，有報導指出，三名俄羅斯士兵在利曼附近向烏克蘭地面無人載具投降。這被推測為戰爭史上有紀錄以來，人類首次向遙控地面車輛投降。同月，第 3 突擊旅公開影片，顯示自爆型地面無人載具載著 12 枚 TM-62 反坦克地雷，攻擊俄軍藏身建物。

第 3 軍司令安德里·比列茨基准將主張，積極整合地面無人載具的部隊，到 2026 年底可將前線步兵需求減少最多 30%，未來甚至可能達到 80%。烏克蘭總統澤倫斯基在 2026 年 4 月兵器製造者日演說中，介紹第 3 突擊旅機器人打擊部隊 NC13 去年夏天在哈爾科夫州，只以空中無人機與地面無人載具占領俄軍陣地的作戰。根據 CNN 報導，俄羅斯士兵最後舉起寫著「想投降」的紙板，並在無人機引導下成為俘虜。

然而，機器人不是戰場上的魔法師。電池會耗盡，履帶會脫落，會陷入泥濘，無線電會中斷。彈藥用完後，還是得有人靠近補充。帕科夫斯克的指揮官也說：「有時候它抵達

後很快就被摧毀，有時候可以運行數百公里。」他接著補充：「但失去機器總比失去人好。」在平均單價不到 2 萬美元的地面無人載具、價值數千萬美元的裝甲車輛，以及無法估價的士兵生命之間，計算方式正在改變。

後退並不代表戰爭變得比較不殘酷。只是流血的位置改變了。

3-4 回收遺體與撤離傷兵的機器：啤酒廠工程師打造的裝甲無人機

傷兵後送看似是戰爭的後勤工作。但在前線，後送本身就是戰鬥。抬起擔架的瞬間，有時比開槍的瞬間更危險。

傷兵無法移動。抬擔架的士兵無法迅速隱蔽。救護車體積大，容易被看見。而無人機偏愛移動中的東西。AP 所報導的東部前線現實是這樣的：FPV 無人機能打擊前線後方深處，使傷兵穩定站必須更頻繁轉移，後送車輛必須繞更遠的路，醫護人員也必須同時保護患者與自己。結果形成了一種結構：比起傷勢本身，後送延誤更會降低存活機率。

於是，機器開始代替人抬擔架。

羅曼·蒂卡欽斯基曾是啤酒廠工程師。過去製造啤酒的人，現在製造拯救傷兵的裝甲無人機。他創立的民間科技企業 Tech Core，開發出可在最前線火力下以遙控方式安全後送傷兵的裝甲撤離無人機。他在軍事訓練場向 60 Minutes 採訪團隊示範時表示，這些無人機已經拯救了數百條生命。

記者問：「你們怎麼知道下一版設計需要什麼？」蒂卡欽斯基回答：「我們和最終使用者合作。最終使用者就是前線士兵。」士兵說他們需要撤離無人機，他就製造出來。「在烏克蘭，事情就是這樣運作。我們為士兵設計。」

這個場景之所以具有象徵意義，理由很清楚。戰爭的新裝備，不只來自大型軍工企業的會議室。曾經釀啤酒的工程師、修理農機的技術員、操作 3D 印表機的年輕人、熟悉遊戲控制器的士兵，正形成一個整體一起行動。

2025 年 11 月，有報導指出，地面機器人在經歷地雷爆炸與無人機攻擊後，仍執行了傷兵後送任務。12 月，也傳出載著傷兵的地面機器人遭俄羅斯無人機攻擊，但裝甲艙保護士兵免於再次受傷的案例。2026 年，Ukrainska Pravda 報導第 3 軍的地面機器人在利曼前線灰色地帶，撤離了 4 名平民，其中包括一名受傷女性。

遺體回收也是如此。把陣亡士兵帶回來，是軍隊的倫理，也是對家屬最後的責任。然而在無人機盤旋的前線，為了回收遺體而出動，可能讓活著的士兵喪命。在 Radio Free Europe 採訪的前線，一名操作員指著可以回收遺體的地面無人機說：「它自己抵達，自己裝載，自己離開。」

戰爭總是談人的尊嚴。為了守住那份尊嚴，如今金屬履帶踏進泥濘。這是冷峻的畫面。即使如此，在那份冷峻裡，人仍然存在。

3-5 獵殺無人機獵人的無人機：相互殲滅戰的邏輯

在前線，無人機是獵人。但獵人很快也會成為獵物。

偵察無人機升空後，對方就會尋找無線電方向。FPV 無人機操作者一打開發射器，電子情報設備就會追蹤痕跡。反無人機槍、電子戰設備、攔截無人機、霰彈、機槍、防護網、誘餌接連登場。接著，又有無人機飛出去摧毀那些電子戰設備。獵殺無人機的裝備成了目標，而為了獵殺瞄準這些目標的無人機，又會出現新的無人機。

Nemesis 團的任務很好地展現了這一點。該團指揮官在 Kyiv Independent 訪問中這樣說明：「我們的任務是摧毀敵人的戰鬥序列。清除所有火炮、榴彈砲，使其無法開火，並找出敵方無人機操作者乘員的位置加以摧毀。我們摧毀敵方防空，改善我方空中偵察的工作。」必須先砍掉敵人的眼睛與手，才能降低我方步兵與裝備的死亡率。這是一種冷酷的邏輯。

這套邏輯到了 2026 年，正在跨越新的門檻。烏克蘭國防部宣布，新一代攔截無人機能自主追蹤並擊落俄羅斯 Shahed 型攻擊無人機。戰爭正在從人類一路手動操控無人機，轉向無人機辨識無人機、追蹤無人機，並與之碰撞的階段。天空中小型機器彼此搜尋、互相撞擊的畫面，或許看起來像玩具戰爭。但在它們下方，是城市電網、補給路線、醫院與壕溝。

這場相互殲滅戰受成本邏輯驅動。用昂貴飛彈擊落廉價無人機，很難長期支撐。因此，需要更便宜的攔截手段。Reuters 報導 Northrop Grumman 依據烏克蘭軍方回饋，正在測試射程更長的反無人機彈藥，也是在同一脈絡。以中口徑機砲與近炸引信彈取代飛彈來擊落無人機的嘗試，顯示這場戰爭正逐漸變成「每一發彈藥價格」的競爭。

問題不是勝利，而是消耗。一方製造新無人機，另一方就製造新干擾設備。電子戰變強，光纖無人機就出現。光纖無人機增加，防護網就拉得更長。防護網鋪開，無人機就尋

找其他角度。車輛上方加裝鐵籠，無人機就尋找縫隙。縫隙被堵住，就換上更大的彈頭。前線是一間鏡屋。攻擊與防禦模仿彼此的臉孔成長。這場戰爭不是發明展。它是求生恐懼打造出來的實驗室。

3-6 一週創新週期：從前線回饋到新版，以及不斷監視下的士兵

烏克蘭戰爭中的技術創新，不遵循悠閒的研發時程表。前線出現問題。無人機被無線電干擾擊落。鏡頭在夜間表現不足。電池扛不住寒冷。俄軍架設新的防護網。操作者透過 Telegram 與專用頻道傳送影像，工程師更換零件，小型工廠做出新版本。幾天後，又送回前線。

記者問 Tech Core 的蒂卡欽斯基：「技術變化有多快？」他的回答是：「創新週期大約是一週。從把無人機送上前線、收到回饋、改變某些東西，到取得新版本，可能短到只有一週。」過去一代坦克更替需要好幾年。如今，無人機的天線、頻率、鏡頭、彈頭、軟體，都會依據前線回饋以週為單位改變。

當被問到俄羅斯是否也在創新，蒂卡欽斯基很坦率：「是的，毫無疑問。必須承認。」被問到誰占上風時，他這樣回答：「就目前而言，我會說是平衡。在無人機軍備競賽中是平衡。」

有一些數字支撐這種速度。根據 Reuters，烏克蘭計畫在 2025 年採購約 450 萬架本土生產 FPV 無人機；2024 年已取得超過 150 萬架，其中 96% 為本土生產。無人機計畫設計者奧列克桑德爾·卡米申在 60 Minutes 訪問中，說明烏克蘭如何把無人機年產量從 2,000 架提升到 400 萬架。根據 CEPA 2026 年報導，烏克蘭國家安全與國防委員會表示，烏克蘭國防工業具備每年生產超過 800 萬架 FPV 無人機的能力。

名為 Brave1 的烏克蘭國防科技生態系，是試圖將這股潮流制度化的嘗試。如果說戰前的新創企業尋找投資人與客戶，那麼戰爭中的國防新創企業，則把壕溝與操作者當成客戶。產品評估十分冷酷。能否在前線存活？能否發現敵人？能否承受干擾？能否再次製造？

烏克蘭國防部長費多羅夫表示，2026 年透過數位採購系統，自 1 月以來已投入超過 14 兆赫里夫尼亞（約 3 億 3,000 萬美元），向前線供應超過 18 萬 1,000 架無人機、地面無人載具與電子戰設備。這是一套前線部隊可直接向國內製造商訂購裝備的系統。

對士兵而言，這種速度既是救援，也是刑罰。新裝備抵達後，存活機率會上升。更好的鏡頭、更穩定的連線、更快的攔截無人機，都能救士兵的命。但對方也以同樣速度變化。今天可行的路，明天可能成為死亡之路。昨天安全的掩體，今天可能已被標定座標成為目標。

說無人機監視戰場，仍然不夠。無人機監視的是士兵的時間。它記錄士兵何時移動、在哪裡停下、哪條壕溝有人聚集、後送車走哪條路。前線士兵在戰鬥之前，必須先重新學會如何躲藏。抽菸的瞬間也要減少。打開車門的時間也要計算。不在同一個地方停留太久。白天不移動，夜晚也不完全安全。熱成像鏡頭尋找體溫，低光源鏡頭剝開黑暗。光纖無人機即使在電子戰設備的沉默中，也會飛來。

BBC 在 2025 年 11 月報導，烏克蘭前線陣地多達 90% 的補給，已經由無人手段完成。人走過可能會死的距離，改由機器代替前往。

人類在戰場上越來越小。必須變小，才能活下來。

第3章的前線，不是英雄衝鋒的道路。它是一片變成巨大獵殺裝置的土地。人挖壕溝，坦克披上鐵網，救護車迷失道路，機器人拖著擔架，無人機飛出去尋找無人機。在這裡，戰爭勝負不由一次大攻勢決定，而是取決於誰看得更快、造得更便宜、修得更快、撐得更久。

前線士兵不抬頭看天。因為抬頭的瞬間，可能已經太晚。相反地，他壓低耳朵、壓低身體、壓低呼吸。一台小機器從他上方飛過。

戰爭不是變大了，而是變小了。小到如今死亡能在手掌大小的螢幕裡，找出一個人。

[尾註]

第3章主要來源

3-1節 — 60 Minutes, "Drone arms race transforms war in Ukraine, with U.S. now learning lessons" (2026) — Kyiv Independent, "West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says" (2026) — Ukrainska Pravda, "Kill zone on both sides of front line reaches 25 km, says Ukraine's drone commander" (2026年5月14日) — AP News, "High-tech drones turn Ukraine's front line into a deadly kill zone, complicating evacuations" — The Telegraph/DroneXL, "Ukraine's Drone Kill Zone Triples In Size As Deep Strike Command Centre Reshapes The War" (2026年3月21日) — ASPI The

Strategist, "Beyond the front line: Ukraine is deepening its drone wall" (2026年5月)

3-2節 — Reuters, "Ukraine captures Russian 'barn' tank modified against drone threat" (2024年6月21日) — Reuters, "Ukraine to cover 4,000 km of roads with anti-drone nets by year-end, minister says" (2026年2月25日) — Euromaidan Press, "Ukraine has built 822 kilometers of anti-drone road tunnels" (2026年6月6日) — UNITED24 Media, "30 Kilometers From Ukraine's Front, Nets Go Up Before Russian Drones Arrive" (2026年4月10日) — Ukrainska Pravda, "Another 25 kilometres of roads on key routes in Donetsk Oblast to be covered with anti-drone nets" (2026年4月10日)

3-3節 — Atlantic Council, "Ukraine's robot army will be crucial in 2026 but drones can't replace infantry" (2026年1月8日) — Lowy Institute, "In Ukraine, ground robots are increasingly going on the offensive" (2026年3月30日) — Foreign Policy, "Pressed by Russian Drones, Ukraine Turns to Ground Robots in War" (2026年4月13日) — Defence Blog, "Ukraine rapidly expands UGV use on battlefield" (2026年4月8日) — Defense News, "Ukraine to field 25,000 ground robots in push to replace soldiers for frontline logistics" (2026年4月24日) — Radio Free Europe/Radio Liberty, "Ukraine's Ground Drones On The Frontline" — TechRadar, "A lone Ukrainian robot held a key position against hordes of Russian attackers for a staggering 45 days"

3-4節 — AP News, 前線傷兵後送報導 — 60 Minutes, Tech Core 羅曼・蒂卡欽斯基訪問 — Ukrainska Pravda, 地面機器人傷兵後送與平民撤離報導 (2025年11月、2026年) — Radio Free Europe/Radio Liberty, 遺體回收用地面無人機報導

3-5節 — Kyiv Independent, Nemesis 團指揮官深度訪問 — Reuters, "Northrop Grumman tests longer-range anti-drone bullets after Ukraine feedback" (2025年10月3日) — 烏克蘭國防部, 新一代攔截無人機發表 (2026年6月)

3-6節 — 60 Minutes, Tech Core 創新週期訪問 — Reuters, "Ukraine to sharply raise purchases of home produced FPV drones in 2025" (2025年3月10日) — CEPA, "Ukraine's Robot Warriors and a Behind-the-Lines Blitz" (2026年5月) — Defense News, 數位採購系統與預算報導 (2026年4月) — BBC, 前線補給 90% 由無人手段完成報導 (2025年11月)

第4章 海上的大衛——沒有海軍的國家逼退艦隊

4-1 從哥薩克槳帆船到 Sea Baby——烏克蘭國家安全局（SBU）的海上無人機開發史

它看起來像一艘釣魚船。

這是 60 Minutes 的記者在冰封湖邊第一次看到它時說的話。一艘裝著舷外機的小船。大小看起來就算漁夫開出去也不奇怪。可是這艘小船裡，可以裝進 2,000 公斤炸藥。足以擊沉一艘俄羅斯軍艦。

站在旁邊的操作員臉部被打上馬賽克。因為他是俄羅斯暗殺名單上的目標。記者問他：一艘軍艦和十艘這樣的海上無人機，哪一邊更有用？操作員毫不猶豫。海上無人機。因為這些無人機很小，真的很難摧毀。與其擁有一艘大船，不如擁有十艘這樣的船。

Sea Baby。海上的嬰兒。這是烏克蘭國家安全局 SBU 製造的無人水面載具名稱。這個名字很巧妙，因為說它是嬰兒，它做的事卻太粗暴了。

SBU 不是軍隊。它是安全局，也就是情報機關。一般來說，情報機關不會開發武器。然而 2022 年 2 月俄羅斯入侵時，烏克蘭海軍實際上已經消失了。大型水面艦艇戰力幾乎不存在。自 2014 年俄羅斯占領克里米亞半島以後，烏克蘭海軍在黑海能做的事本來就所剩無幾。相反地，俄羅斯黑海艦隊的巡洋艦、登陸艦、潛艦、飛彈艦擠滿了塞瓦斯托波爾港。那是一座海上的堡壘。

SBU 局長瓦西里·馬柳克（Vasyl Maliuk）尋找另一條路。他拿出的記憶很古老。哥薩克的柴卡（chaika）。那是 16 至 17 世紀縱橫黑海的小型槳帆船。哥薩克戰士對抗鄂圖曼帝國巨大帆船時，沒有和大船正面交戰，而是用低矮、快速的小船攻擊側翼。SBU 在官方影片中的說法很準確。「這是從令人聯想到哥薩克槳帆船的傳統自殺式無人機，進化為極高科技海上平台的過程。」

設計始於 2022 年夏天。由 SBU 特種作戰部門主導，民間工程師也加入其中。第一批原型不是在造船廠，而是在倉庫和工作台上製成。從 2023 年起，Sea Baby 這個名字開始在實戰中被提起，烏克蘭募資平台 United24 公開表示，這種無人機一艘價格為 22 萬 1 千美元。頁面上寫著，它能搭載 850 公斤炸藥。

一艘小船，成了海上的彈藥庫、偵察平台，也是飛彈發射台。這台機器的誕生背景中，有一個在世界海軍史上反覆出現的問題。沒有大船，就不能在海上作戰嗎？哥薩克回答說不是。400 年後，SBU 用電子設備重新寫下了同樣的答案。

4-2 10 艘 30 萬美元無人機對 1 艘數千萬美元軍艦——無人機操作員的選擇

傳統海戰的計算表上，寫的是排水量、艦炮口徑、飛彈數量、乘員人數。烏克蘭新做出的計算表裡，填入的是另一組數字。單艘無人機的價格。目標艦艇的價格。即使失敗，失去的也不是人的性命，而是機器這個事實。

30 萬美元。這是製造一艘 Sea Baby 所需的費用。這是 60 Minutes 報導的數字，烏克蘭方面多個消息來源也說出相近金額。派出十艘就是 300 萬美元。只要其中一兩艘碰到俄羅斯軍艦的側面，價值數千萬美元的軍艦就會沉入海底。這不是海軍的算術，而是新創企業的算術。

這套算術成為現實的事件接連發生。2022 年 4 月，烏克蘭兩枚海王星（Neptune）反艦飛彈擊沉了俄羅斯黑海艦隊旗艦莫斯科號（Moskva）。斯拉瓦級巡洋艦，乘員約 500 人，是黑海艦隊最大、最昂貴的船。俄羅斯說明為「艦上火災導致彈藥爆炸，並在暴風雨中沉沒」，但飛彈命中的畫面早已傳遍世界。

莫斯科號是被飛彈擊中。然而隨後一連串的沉沒與癱瘓，則是小型無人艇的戰果。

2023 年 7 月，在新羅西斯克外海，大型登陸艦奧列涅戈爾斯基礦工號（Olenegorsky Gornyak）遭海上無人機擊中。同年，在克里米亞半島西側的多瑙河河口，飛彈艦伊凡諾維茨號（Ivanovets）被多艘無人艇包圍後擊沉。2024 年 3 月，巡邏艦謝爾蓋·科托夫號（Sergei Kotov）在 7 個月內第三次遭攻擊後沉入海中。

烏克蘭公布的數字如下。以海上無人機擊沉或癱瘓 11 艘俄羅斯軍艦。英國國防部判斷，截至 2024 年 6 月，黑海至少有 26 艘俄羅斯海軍艦艇被摧毀或嚴重受損。開源情報分析機構 Molfar 統計，從 2022 年 2 月到 2024 年 2 月，遭摧毀 22 艘、受損 20 艘。等於黑海艦隊 74 艘當中，接近三分之一遭到癱瘓。

大船一旦建造，就會使用數十年。海軍的自豪、預算與官僚體系都裝在其中。有艦長，有乘員，有補給體系。一艘船沉沒時，數百名受過訓練的水兵也會一起消失。相較之下，海上無人機失敗後，就會出現下一個版本。改變攝影機位置，增加通訊設備，搭載更多炸藥，修正機動模式。軍艦是國家的雕像。無人機是戰場的筆記本。被擦掉、被修改

，然後再次出海。

無人機操作員做出的選擇，不是一次衝鋒。那是每天晚上向俄羅斯海軍丟出同一個問題。今天也要留在港口嗎？今天也相信防波堤內側是安全的嗎？今天也認為大船能戰勝小機器嗎？

4-3 940kg 彈頭與飛彈平台——新一代海上無人機，無人艦隊登場

早期的海上無人機，是海上的炸彈。碰到目標就會一起消失的機器。一次性使用後拋棄的武器，用軍事術語來說，就是消耗性武器（expendable weapon）。可是戰爭沒有讓這台機器停留在原樣。

俄羅斯架起防禦網後，烏克蘭改造了無人機。設置防波堤與攔網，就加入繞行路線與水下接近能力。直升機與巡邏艇出動獵殺，就加裝機槍與火箭。

SBU 於 2025 年 10 月公開的新一代 Sea Baby，已經是和過去不同的東西。根據 Newsweek 與 Reuters 報導，航程增加到 1,500 公里（約 930 英里），載重提升到 2,000 公斤（約 4,400 磅）。公開了兩種變型，其中一種裝有具備陀螺儀穩定裝置的 14.5 公釐機槍砲塔，另一種則搭載格勒（Grad）多管火箭發射器。SBU 官方影片中表示：「每一架無人機都裝備 940 公斤彈頭，可以突破敵軍艦艇防禦並造成打擊。」

觀察這些數字的變化，就能看出 Sea Baby 的本質。它不是單一固定型號，而是不斷變化的一個系列。早期型是搭載 850 公斤級炸藥的自殺式無人艇，中期型是配備 940 公斤彈頭的突擊型，最新型則成為可搭載 2,000 公斤、航行 1,500 公里的多用途平台。零件改變，掛載物改變，任務也改變。

2025 年 5 月，世界海軍史上發生了前所未有的事。根據烏克蘭方面發布，從 Sea Baby 發射的飛彈在新羅西斯克附近擊落俄羅斯 Su-30 戰鬥機。這被記錄為海上無人艇擊落空中戰鬥機的首例。這項說法難以確認，但若屬實，就代表海上無人機甚至能執行防空任務。

澤倫斯基總統於 2026 年 3 月提到「能從無人機發射其他無人機的平台」。Army Recognition 分析這項發言時，這樣整理烏克蘭所構想的海上無人機未來樣貌。打擊用平台、防空用平台、情報蒐集中繼平台，以及搭載其他無人機的母艦（mother ship）角色。這是一個從同一種基本船體衍生出多種變型的模組化家族。

艦隊這個詞的意義正在改變。過去的艦隊，是搭載艦長與乘員的船隻集合。烏克蘭正在打造的艦隊，則是感測器、通訊網、自主機動演算法、遠端操作員、爆炸裝置的集群。曾經，海軍誕生於港口。需要造船廠、碼頭、海軍官校、海軍上將的命令書。烏克蘭的無人艦隊，誕生於倉庫、工作台與前線回饋。

2026 年 3 月，英國政府與烏克蘭簽署海上無人機共同生產協議。協議內容包括共同生產線、研發、第三國合作，以及在基輔設立 AI 卓越研究中心。貧窮國家的倉促武器，成了 NATO 成員國正式國防產業夥伴關係的對象。

4-4 從水下打擊克里米亞大橋——黑海艦隊為何從黑海消失

克里米亞大橋不是一座橋。它是俄羅斯宣稱克里米亞半島是自己土地的一份混凝土聲明。這座於 2018 年通車的橋梁跨越刻赤海峽，連接俄羅斯本土與克里米亞半島。鐵路與道路從上方通過，戰爭物資、民用車輛與宣傳語言也從上方通過。因為那是普丁親自駕駛卡車出席通車典禮的橋。

2023 年 7 月，SBU 的 Sea Baby 打擊了那座橋。SBU 在 CNN 訪問中確認，海上無人機被用於這次行動，SBU 首長瓦西里·馬柳克也表示，海上水面無人機是 SBU 獨立開發的產品。爆炸從橋梁下方竄起。SBU 官方影片揭露了更令人驚訝的事實。「最近對克里米亞大橋的打擊，是以非常不尋常的方式發生的。我們從下方、從水中打擊了它。」無人機把炸藥運到橋墩下方，並在水下引爆。這次行動是戰爭爆發以來，克里米亞大橋遭到的第三次攻擊。

克里米亞大橋攻擊顯示，海上無人機的目標不限於軍艦。港口、橋梁、油輪、停泊中的軍艦、岸基防空網、出口碼頭。只要與水相接，或能透過水路接近，就成了目標。

其結果是黑海艦隊的姿態改變了。俄羅斯艦艇從塞瓦斯托波爾撤往更東方的新羅西斯克。2024 年 3 月，英國國防大臣格蘭特·夏普斯（Grant Shapps）形容俄羅斯黑海艦隊已處於「功能上失能」狀態。烏克蘭海軍則發布消息稱，俄羅斯幾乎不再把軍艦派入黑海。

然而撤退的地方也不安全。2025 年 11 月，Sea Baby 無人機在黑海打擊並癱瘓了俄羅斯「影子船隊（shadow fleet）」所屬油輪凱洛斯號（Kairos）與維拉特號（Virat），地點在土耳其海岸外海。12 月，油輪達山號（Dashan）也以同樣方式遭攻擊，受到致命損傷。同年 12 月，Reuters 報導 SBU 以名為「Sub Sea Baby」的水下無人機，打擊停泊於新羅西斯克港的俄羅斯基洛級潛艦。這起事件被記錄為世界首次水下無人機攻擊潛

艦。

根據 The War Zone 報導，這艘潛艦是俄羅斯黑海艦隊運用的 6 艘改良型基洛級潛艦之一。這些潛艦搭載口徑（Kalibr）長程巡弋飛彈，曾反覆攻擊烏克蘭。連潛艦都不安全。即使躲在海面下，也會被無人機伸手觸及。這對俄羅斯海軍指揮官來說，應該是一種根本性的恐懼。

說一個沒有海軍的國家逼退了艦隊，並不是誇張。烏克蘭不是以傳統遠洋海軍與之對抗。相反地，它改變了俄羅斯艦隊能夠停留的地方。當俄羅斯艦艇在黑海西部的活動半徑縮小，原本遭俄羅斯封鎖的烏克蘭穀物出口路線也重新打開。海上控制權，不只靠插上旗幟取得。也可以靠讓對手害怕、不敢進來取得。

4-5 聖彼得堡、喀琅施塔得、波羅的海——能觸及的地方變得更廣

2026 年 6 月 3 日凌晨，聖彼得堡港上空升起黑煙。烏克蘭無人機飛越 1,000 公里以上，燒毀了一座石油碼頭。

時機不可能只是偶然。那一天是俄羅斯代表性經濟活動聖彼得堡國際經濟論壇（SPIEF）的開幕日。這場被稱為「俄羅斯達沃斯」的活動，正是外國企業人士聚集的日子；在普丁出生的城市上空，黑煙升起。根據 NPR 與 CNN 報導，在同一次攻擊中，位於喀琅施塔得海軍基地乾船塢（dry dock）內的俄羅斯波羅的海艦隊飛彈巡邏艦博伊基號（Boikiy）也遭無人機擊中。衛星照片拍到消防隊正在船體上滅火的畫面。

喀琅施塔得。這個名字在俄羅斯海軍史中有沉重分量。那是彼得大帝建造的海軍堡壘，是波羅的海艦隊的門戶，也是守護聖彼得堡的海上門檻。那裡遭到攻擊這件事，傳遞的是超越戰術的訊息。因為這代表「後方」這個概念崩塌了。

3 天後的 6 月 6 日，更大的攻擊到來。根據 Kyiv Post，澤倫斯基總統與烏克蘭特種作戰部隊確認，已與 SBS（無人系統部隊）、SBU 共同再次打擊喀琅施塔得海軍基地。飛行約 1,000 公里的無人機引發俄羅斯海軍彈藥庫與軍事設施火災。CNN 報導，俄羅斯官員形容這次攻擊「前所未有（unprecedented）」。聖彼得堡州長在 Telegram 上寫道，遭到「大規模軍用無人機攻擊」，並表示有 3 人受傷。

澤倫斯基的訊息很明確。「是時候結束這場戰爭了。然而俄羅斯領導人想繼續打下去。所以烏克蘭對這場侵略的制裁正在發揮作用。昨晚，我們的無人機飛到聖彼得堡地區，距離約 1,000 公里，打擊了敵方海軍武器庫與喀琅施塔得基地。」

這次攻擊重疊了兩種效果。一個是軍事效果。俄羅斯必須把資源綁在防空網、港口警備、燃料儲存設施保護、艦艇分散部署上。黑海艦隊被迫後撤後，喀琅施塔得作為俄羅斯海軍基地的戰略價值變得更高。因為這裡密集分布著軍艦維修用乾船塢、潛艦設施、海軍訓練中心、造船廠。若這裡被無人機突破，俄羅斯海軍就會失去安全的維修基地。

另一個是心理效果。它在人民心中植入一種認知：首都圈、經濟活動、海軍基地，都不再是安全舞台。當黑煙從普丁接待外國賓客的城市上空升起時，那不是爆炸聲，而是字幕。戰爭不只發生在國境之外。

4-6 攻擊石油出口基礎設施——烏斯季盧加、普里莫爾斯克，切斷俄羅斯經濟動脈

俄羅斯戰爭機器的燃料是石油。要讓戰車運轉、製造砲彈、讓飛彈工廠運作、支付士兵薪水，就必須有錢。而那筆錢的相當一部分來自原油與成品油出口。烏克蘭攻擊俄羅斯煉油設施與石油出口港的理由就在這裡。擊沉船隻不才叫戰爭。燒掉要裝上船的油，也是一種戰爭。

2025 年 9 月，位於波羅的海、全球最大級石油碼頭之一的普里莫爾斯克港遭到攻擊。這裡是俄羅斯波羅的海管線系統終點，也是俄羅斯海上原油出口的核心樞紐。每年約 6,000 萬噸原油經由這個港口流向世界。烏克蘭國家安全局消息來源表示，無人機不只打擊普里莫爾斯克，也打擊了連接附近烏斯季盧加（Ust-Luga）碼頭的輸油泵站。

2026 年 3 月，攻擊強度升高。根據 Kyiv Independent，從 3 月 25 日起的 10 天內，烏斯季盧加港遭到 5 次無人機攻擊。Moscow Times 報導，這段期間無人機摧毀了原油裝船設施、鐵路卸貨台、Transneft 營運設施。烏斯季盧加曾是每天出口約 65 萬桶原油的港口。它負責俄羅斯整體海上原油供應約 20%。

同一時期，普里莫爾斯克港、基里希（Kirishi）煉油廠、阿帕季特（Apatit）化工廠也接連遭攻擊。BBC 分析衛星照片與 NASA 熱點偵測資料後確認，烏斯季盧加至少 8 座儲油槽、普里莫爾斯克 8 座儲油槽、基里希煉油廠 2 座儲油槽被摧毀或受損。

結果以數字呈現。根據 Reuters 的市場資料分析，截至 2026 年 3 月，俄羅斯石油出口能力約 40% 被推估因無人機攻擊、管線打擊、油輪扣押等因素而中斷。Bloomberg 報導，烏斯季盧加港曾出現原油裝船量歸零的日子，普里莫爾斯克港也據傳一度停止營運。

也出現了矛盾的現象。Reuters 報導，2026 年 6 月初，經由俄羅斯西部港口的原油出口升至 8 個月來最高水準，背景是這樣的。煉油設施遭無人機擊中而停工，俄羅斯不得不

把原油直接推出去，而不是出口成品油。賣不了加工後的產品，就等於把原料低價送出。然而港口容量有限，無人機攻擊也已波及新羅西斯克港與圖阿普謝港。

海上的油輪本身也成為目標。2025 年 11 月與 12 月，根據 Kyiv Independent，Sea Baby 無人機在黑海打擊並癱瘓了三艘俄羅斯用於規避制裁的「影子船隊」油輪。烏克蘭說明，這是為了減少俄羅斯石油收入的措施；俄羅斯則譴責為海盜行為。

到了這裡，Sea Baby 的意義超越了擊沉一艘軍艦。它是改變戰爭成本結構的裝置。俄羅斯必須在每個港口鋪設防禦網，必須提高每艘艦艇的警戒，必須重新計算每條油輪航線的風險保費。烏克蘭派出小機器，製造巨大成本。

海上的大衛沒有軍艦。相反地，他讓軍艦無法安睡。黑海艦隊後撤，港口成了防禦陣地，石油碼頭成了戰線，油輪成了目標。現在就說大船的時代結束，還太早。因為航空母艦與驅逐艦仍然是強大的武器。然而，大船害怕小機器的時代已經開始了。

（尾註）

[1] 60 Minutes, "Drone arms race transforms war in Ukraine, with U.S. now learning lessons," 2026. 包含 Sea Baby 操作員訪談、海上無人機 30 萬美元價格、2,000kg 載重量、聲稱擊沉／癱瘓 11 艘俄羅斯軍艦。

[2] SBU 官方影片, "СБУ продемонструвала нове покоління легендарних морських дронів «Sea Baby»," YouTube. 940kg 彈頭、哥薩克槳帆船比喻、克里米亞大橋水下打擊、14.5mm 機槍平台公開。

[3] United24 募資頁面 (u24.gov.ua/seababy). Sea Baby 一艘價格 22 萬 1 千美元，850kg 炸藥運載能力。

[4] Reuters, "Ukraine equips naval drones with rocket launchers, Kyiv source says," 2024.5.22. 報導 Sea Baby 裝載 Grad 多管火箭。

[5] Newsweek, "Ukraine unveils new 'Sea Baby' naval drone for first time," 2025.10.23. 新一代 Sea Baby 航程 930 英里（1,500km），載重量 4,400 磅（2,000kg）。

[6] Reuters, "Ukraine says underwater drones hit submarine," 2025.12.15. Sub Sea Baby 水下無人機打擊俄羅斯基洛級潛艦。

[7] The War Zone, "Ukraine Claims World's First Underwater Drone Attack On Russian Submarine," 2025.12.15. 基洛級潛艦細節資訊及搭載口徑飛彈事實。

[8] British MOD 情報更新, 2024.7.29 (Newsweek 引用). 2022.2~2024.6 黑海至少 26 艘俄羅斯海軍艦艇遭摧毀／受損。

[9] Molfar OSINT 分析, 2024.2 (Newsweek 引用). 2022.2~2024.2 俄羅斯黑海艦隊損失：摧毀 22 艘、受損 20 艘統計。

[10] Army Recognition, "Ukraine to Deploy New Long-Range Naval Drones for Open-Sea Operations with UK Support," 2026.3.19. 英國－烏克蘭海上無人機共同生產協議（2026.3.17）、設立 AI 卓越研究中心、Su-30 擊落說法。

[11] NPR, "Ukrainian drones strike a St. Petersburg oil terminal ahead of Putin visit," 2026.6.3. 聖彼得堡石油碼頭遭打擊、喀琅施塔得博伊基號巡邏艦中彈、衛星照片確認。

[12] CNN, "Ukrainian drones strike St. Petersburg, hours before 'Putin's Davos' opens," 2026.6.3. 博伊基號巡邏艦於乾船塢內遭擊中之衛星照片、影子船隊護衛角色。

[13] CNN, "Ukraine targets St. Petersburg in what Russia calls an 'unprecedented' attack," 2026.6.6. 喀琅施塔得再次遭打擊、俄羅斯官員「前所未有攻擊」發言、州長確認損害。

[14] Kyiv Post, "Ukraine Confirms 1,000-km Special Forces Drone Strike on Baltic Base," 2026.6.6. 確認 SSO-SBS-SBU 聯合作戰、飛行 1,000km、海軍彈藥庫起火。

[15] Kyiv Independent, "Ukrainian drones reportedly strike oil terminals in Russia's Leningrad Oblast in third straight night of attacks," 2026.3.27. 烏斯季盧加、普里莫爾斯克連續遭打擊。

[16] Moscow Times, "Ukraine Hits Ust-Luga Oil Terminal in Largest Overnight Drone Attack of the Year," 2026.3.25. 烏斯季盧加碼頭每日 65 萬桶，俄羅斯海上原油供應 20%。

[17] Moscow Times, "Ukrainian Drones Damage Ust-Luga Port Again," 2026.3.31. 推估俄羅斯石油出口能力 40% 中斷（引用 Reuters）。

[18] UPI, "Key Russian oil export hub ablaze after Ukrainian drone strikes," 2026.3.31. BBC 衛星照片分析：烏斯季盧加 8 座、普里莫爾斯克 8 座、基里希 2 座儲油槽摧毀／受

損。

[19] Reuters, "Russia's western oil exports hit 8-month high as drone strikes curb refining," 2026.6.2. 煉油設施遭擊中導致原油出口增加的矛盾現象。

[20] Kyiv Independent, "Ukraine's SBU conducts new Sea Baby drone strike on Russian 'shadow fleet' tanker," 2025.12.11. 油輪達山號（Dashan）、凱洛斯號（Kairos）、維拉特號（Virat）遭打擊。

[21] Grant Shapps 發言, 2024.3.25 (Legion Magazine 引用). 形容俄羅斯黑海艦隊「功能上失能」。

[22] Wikipedia, "Sea Baby" 條目. 2023 年 7 月克里米亞大橋攻擊獲 SBU 確認、CNN 訪問。

第5章 穿著連帽衫的軍人們 — 無人系統軍的誕生

一名穿著黑色連帽衫的男子坐在螢幕前。

軍服外面是防彈背心，防彈背心外面又套著連帽衫。他面前擺著的不是作戰地圖，而是數十台筆記型電腦；每一個螢幕上，都播放著無人機攝影機傳回的晃動影像。壕溝、廢墟、泥濘中的裝甲車、突然停下的補給卡車。螢幕一角浮著一張數字表。出擊次數、命中率、摧毀裝備數、消耗成本。戰爭不再只是在將軍指揮棒的末端移動。它也在滑鼠點擊、天線角度、電池餘量，以及躲避電波干擾的飛手指尖上移動。

那個男人的呼號是馬迪亞爾（Madiar）。

5-1 馬迪亞爾的軌跡 — 從排級規模到軍種司令

本名是羅伯特·約西波維奇·布羅夫迪。1975年出生於烏克蘭西部的烏日霍羅德。戰前，他是穀物經紀人與房地產開發商，也曾創立藝術贊助基金會「布羅夫迪藝術（BrovdiArt）」，支援烏克蘭畫家赴海外展出。他是商人，是文化人，卻不是軍人。不是會被寫進參謀學院教範的人物。

2022年2月24日，俄羅斯發動全面入侵的那一天，布羅夫迪志願入伍。他被編入基輔郊外的國土防衛軍第206營，成為排長。伊爾平、布查、博羅江卡。在俄軍向首都一路壓下來的那些激戰地，他的排負責疏散平民。沒有合適的裝備，也沒有充足的武器。擁有的只有人們的絕望，以及防彈背心下跳動的心臟。

經歷戰鬥之後，布羅夫迪判斷，自己有比坐在壕溝裡更能做好的事。他沒有等待程序。他開始自掏腰包購買無人機。買下數百架民用 DJI Mavic 無人機，集合數十名飛手，組成名為「馬迪亞爾之鳥（Birds of Madyar）」的偵察與打擊部隊。他們在民用無人機上懸掛手榴彈投下，尋找俄軍陣地位置，再把座標傳給砲兵。戰爭初期的無人機部隊，就是這樣像前線怪人工作坊般出發的。

那一小群人壯大了。排變成營，營變成旅。第414打擊無人航空旅，正式名稱為「馬迪亞爾之鳥」旅，於2024年初編成。布羅夫迪在各條戰線之間移動。他先後經歷第28機械化旅、第59摩托化旅，參與索萊達爾戰役、巴赫穆特戰役、2023年反攻作戰，以及2024年哈爾科夫攻勢。隨著他率領的無人機部隊戰果累積，軍方高層的目光也改變了。

2025年5月8日，澤倫斯基總統授予布羅夫迪烏克蘭最高榮譽「烏克蘭英雄」稱號與金星勳章。同年6月3日，澤倫斯基宣布軍方高層改組，任命布羅夫迪為無人系統軍司令。Euromaidan Press 對這項人事案報導稱：「烏克蘭無人機軍團的新首長，開始執行重塑天空的100日計畫。」戰前販售穀物的人，成了世界第一支無人系統軍的司令。參謀學院教範裡沒有這樣的晉升路徑。戰場比教範更快。

在他之前，最初率領無人系統軍的人是瓦迪姆·蘇哈列夫斯基上校。他是這個於2024年2月6日創設的組織的首任指揮官，也是奠定基礎的人物。《衛報》當時報導：「澤倫斯基的無人機軍隊有了自己的指揮官。」如果說蘇哈列夫斯基建立了制度的框架，那麼布羅夫迪就是把前線的血腥氣味放進了那個框架之中。

布羅夫迪一上任就提出的是「無人機線（Drone Line）」計畫。構想是在沿著戰線縱深10至15公里處建立「殺傷區（kill zone）」，在敵人抵達烏克蘭步兵陣地之前，以無人機將其消滅。這項由澤倫斯基本人啟動的計畫，成為無人系統軍的核心教義。《Defense Post》形容這個構想是「企圖在整條接觸線上，連續維持由無人機支援的戰鬥地帶」。

馬迪亞爾的軌跡，並不只是一個人的發跡故事。他走過的路，近似於整支烏克蘭軍隊學會無人機戰爭的過程。一開始是撐住。接著是模仿。再來是改裝。最後，終於建立組織。從壕溝中的權宜之計凝固成國家的制度，只花了三年。

5-2 「我們只占防衛軍的2%，卻摧毀每3個敵方目標中的1個」

2026年春天，馬迪亞爾親自出現在招募影片中。站在鏡頭前的他，語氣與其說像軍人，不如說更像新創公司創辦人，他念出了一串數字。

「我們只占烏克蘭防衛軍的2%。每3個經確認的敵方目標中，就有1個是由無人系統軍摧毀。每3枚敵方巡弋飛彈中，就有1枚是由我們擊落，而未來會變成每2枚中的1枚。」

這項主張很難精確驗證。對戰爭當事方的發布，總要帶著距離來看。但是方向很明確。

2026年6月4日，布羅夫迪在自己的 Telegram 頻道發布戰果報告。依烏克蘭新聞通訊社轉述的內容，自無人系統軍戰鬥集群於2025年6月11日編成起，經過358天，經確認的俄軍不可逆與醫療性損失已超過10萬人。他寫道，這一數字是以軍事情報識別系統「Delta」中保存的證據驗證。除人員損失外，遭摧毀的獨立敵方目標為35萬個，戰鬥出擊次數為165萬次，平均每天約5,000次出擊。打擊目標包括248套防空系統、817輛戰車、

1,379輛裝甲車。

《經濟學人》在2026年3月關於布羅夫迪的深度報導中，提出了更冷靜的數字。根據DroneXL 引用該文的報導，2025年12月是全面入侵四年來，烏克蘭無人機造成的俄軍經驗證損失，首次超過俄羅斯新增徵募人數的一個月。整個冬季，布羅夫迪部隊擊殺或使其失能的兵力，至少比俄羅斯補充的兵力多8,776人。以物資計算，使一人失能的成本為878美元。交換比為400比1，也就是烏克蘭方面每損失1人，俄羅斯方面損失400人。布羅夫迪表示，無人系統軍自身的累計傷亡率為1%。

這些數字該怎麼讀？

戰爭當事方公布的戰果，難免混有誇大。然而外部分析家也承認一件事。自2024年以後，無人機在烏克蘭戰爭中的打擊占比急速擴大。依烏克蘭總司令亞歷山大·瑟爾斯基於2025年1月所說，該月被摧毀的俄羅斯裝備中，有66%是由攻擊無人機造成。無人系統軍在其中占多少，難以精確切分，但戰爭重心正在移動，這一點很難否認。

馬迪亞爾像經營企業一樣經營自己的部隊。《泰晤士報》把他的地下指揮所描述為「數十個影像螢幕即時呈現戰場畫面」的空間。飛手們以12小時輪班工作，螢幕上即時顯示俄軍損害數字，被擊落的俄羅斯無人機像戰利品一樣掛在牆上。他說自己的優先事項，是守住士兵的生命、提供必要裝備，以及盡可能多地使敵人失能。

這種說法令人不適。也應該令人不適。戰爭是把人變成數字的裝置。然而從烏克蘭的立場來看，這套算術是冷酷的生存術。俄羅斯有更多兵力、更多砲彈，以及更深的後方。無法以同樣方式對抗的國家，就必須改變戰爭的單位。用500美元的無人機打擊10萬美元的目標，讓數百萬美元的防空系統把飛彈浪費在廉價誘餌無人機上。這道算術很殘酷，卻把大國壓迫小國的重量反轉了過來。

烏克蘭軍方也導入了把無人機部隊戰果換算成分數的系統。Business Insider 報導，烏克蘭在重整目標優先順序時，對消滅俄羅斯無人機操作人員賦予更高分數。判斷是，消滅敵方無人機操作人員，比摧毀一輛戰車，對整條戰線產生更大連鎖效果。獲得高分的部隊，會分配到更多無人機與通訊設備。戰場上出現了績效獎金制度，只是累積的不是獎金，而是生存機率。

5-3 涅墨西斯團的任務 — 摧毀敵方戰鬥序列，擊破防空系統

在無人系統軍旗下，最常被提起的名字是第412涅墨西斯旅。這支部隊原本以營級規模出發，後來擴編為團，再擴編為旅，正式名稱是「第412無人系統旅涅墨西斯」。其中包含阿斯加德（Asgard）營等下級組織。肩章上畫著外星人。

要理解涅墨西斯的任務，首先要知道「戰鬥序列」這個概念。戰鬥序列（Order of Battle）是敵軍的骨架。哪支部隊在哪裡，哪個指揮所連接哪個砲兵部隊，防空雷達監視哪片天空。只要打碎這副骨架，前線的肌肉就會失去力量。

在與《基輔獨立報》的深度訪談中，涅墨西斯的一名指揮官這樣說明：「有些旅負責維持防線。他們的任務是守住防線，不讓敵人推進。我們的任務不同。我們透過摧毀防線後方、更遠處的戰鬥序列來協助他們。」

他列出的目標清單相當具體。步兵、迫擊砲、榴彈砲、自走砲、防空系統，以及敵方無人機發射基地與操作人員。其中第一優先，是俄羅斯無人機飛手。「找出敵方飛手組員的位置並摧毀。這是第一目標。」在無人機戰爭中，優先殺死無人機飛手，就像在西洋棋裡蒙住對手的眼睛。

擊破防空系統則是下一步。若要攻擊俄羅斯後方的彈藥庫、補給倉、指揮所、煉油設施，無人機必須飛很遠的路。每一段路上都有雷達，以及鎧甲（Pantsir）、道爾（Tor）、山毛櫸（Buk）、S-300系列防空系統守著。整片天空都是陷阱。若不先刺瞎那個陷阱的眼睛和耳朵，長程打擊就不可能成功。

涅墨西斯的戰果留下了數字。United24 Media 報導，2026年前五個月，烏克蘭無人系統部隊打擊了174項俄羅斯防空資產。這個數字包括地對空飛彈系統、雷達站、電子戰裝備。無人系統軍估計，光是這個部門就造成俄方超過54億美元，約7兆5千億韓元的損失。

《烏克蘭真理報》於2026年5月刊出涅墨西斯旅副指揮官帕夫洛·拉克季奧諾夫的訪談。據他所說，截至2026年5月2日，涅墨西斯旅摧毀或打擊的敵方防空系統為83套。這個數字包括道爾、山毛櫸、S-300系列雷達站。他補充說：「摧毀速度超過了俄羅斯的生產速度。」

這些數字必須帶著它們來自戰爭當事方發布的限制來看。並非每一件都經過獨立驗證。然而烏克蘭瞄準的是什麼，已經很清楚。它正在脫離摧毀一輛戰車的戰爭，轉向讓敵人無法看見戰場、無法阻擋、無法連結的戰爭。

烏克蘭國防部也宣布，自2026年3月1日以來，已確認使81套俄羅斯防空系統失能。同年1月，涅墨西斯阿斯加德營在一個月內摧毀8套防空系統，其中包括 S-350 維特亞茲（Vityaz）系統的雷達。軍事情報媒體 ArmyInform 報導，光是這一個月的損害金額就超過2億5千萬美元。Euromaidan Press 報導，僅1月第三週就有10項防空資產被摧毀，造成約3億美元損失。

先打防空網的理由很冷靜。先刺穿俄軍的眼睛與耳朵，再把更深層的打擊無人機送進那些死角。把誘餌無人機、偵察無人機、自殺無人機、電子戰裝備混合使用，使俄羅斯防空網疲於奔命的戰術，已經定型。Kyiv Post 報導，烏克蘭情報機關在長程空襲中，將大量欺敵無人機與實彈共同運用，以消耗俄羅斯防空網。

5-4 15,000人招募公告 — 電子工程師、程式設計師、設計師、無人機飛手

組織靠人壯大。

2026年4月29日，烏克蘭國防部正式宣布無人系統軍的大規模人力招募。15,000人。《Defense Post》、Airforce Technology、Naval Technology 等多家軍事專業媒體同步報導的這份招募公告，內容不同於老派意義上的軍人招募。

招募對象不只是無人機飛手。還包括電子工程師、程式設計師、3D設計師、專案經理、OSINT（公開來源情報）分析師、偽裝專家、IT專家、醫護兵、駕駛兵。正如馬迪亞爾在招募影片中所說，職缺的一半是「在和平時期民間生活中的專業職位，也是現在前線立即需要的職種」。

這批人力預計投入無人機線計畫。根據 GlobalSecurity 轉述烏克蘭國防部發布，無人機線的目標是「建立系統性運用無人系統的整合體系，為步兵提供空中支援，並在10至15公里縱深持續與敵交戰」。國防部表示，啟動一年後，無人機線旗下或受其支援的部隊，已達成使戰場上每4個目標中的1個失能的成果。

新兵訓練體系也已建置。平民接受基礎軍事訓練後，會在三處專業訓練所完成無人系統專門課程。另有為無人機線單獨開發的基礎軍事訓練課程，而且重心偏向實作訓練。

戰爭的招募公告改變了，意思是軍隊的想像力改變了。過去的軍隊首先尋找體力好的青年。這場戰爭中的軍隊，尋找會焊接的人、看得懂電路的人、會修程式碼的人、能計算天線角度的人。工學院實習室進入了兵營。穿著戰鬥服，外面套上防彈背心，再在上面披一件連帽衫的人們，成了戰爭的新面孔。

在《基輔獨立報》的訪談中，涅墨西斯指揮官這樣描述那幅景象：「穿著連帽衫的玩家、抽電子菸的人，這大概就是烏克蘭武裝部隊的70%。我們更多，大約90%。這是今日青年的典型肖像；只要不是正在實際戰鬥，風格或服裝就盡可能民主。」

馬迪亞爾的招募影片中有一句標語。「奔跑也很好，但現在是飛翔的時候了。同時殲滅占領軍。」他又補上一句：「在網路上輸入 C5C 三個字母，加入12支鳥類部隊之一。」無人系統軍旗下部隊以鳥類名稱作為別稱。眼與刺。克羅普，亦即俄羅斯巡弋飛彈沙赫德的烏克蘭式暱稱，的恐懼。以戰爭招募海報而言，裡面異常地混著幽默。

是無人機在等待飛手，不是反過來。這句話裡裝著戰爭的一個側面。烏克蘭的無人機生產能力，已經超過操作人力供應速度。機器多到滿出來，人卻不夠。2022年的戰爭缺的是槍，2024年的戰爭缺的是砲彈，2026年的戰爭缺的是飛手。戰爭所要求的東西正在改變。

5-5 商業方法 — 效率指標、標準化，以及878美元的算術

貫穿涅墨西斯團與整個無人系統軍的哲學，可以用一句話概括，就是「商業方法」。

在《基輔獨立報》訪談中，涅墨西斯指揮官直接用了這個說法。「我們試著在各種軍事流程中套用商業方法。也就是把一切拆解成帶有效率指標，以及能夠標準化、規範化解決方案的商業流程。」

如果傳統軍隊的語言是勇氣、命令、陣地、砲擊，那麼馬迪亞爾與其指揮官們的語言，就是指標、回饋、產量、可擴展性。壕溝上方鋪開了一張 Excel 表。因為那是帶著血腥味的 Excel 表，難以當成玩笑帶過，但在這場戰爭中，這樣的表格決定人的生死。

根據 DroneXL 引用《經濟學人》的分析，無人系統軍使1名俄軍失能所需的物資成本為878美元。若追蹤這個數字如何得出，就能看見不對稱戰爭的算術。300至500美元的FPV 無人機是主力武器，加上偵察無人機與通訊設備成本後，可以算出每次出擊成本。再用這個成本除以已經確認的敵方損失。

《經濟學人》報導的400比1交換比，是更驚人的數字。依布羅夫迪自己的計算，烏克蘭方面每損失1人，俄羅斯方面損失400人。無人系統軍累計傷亡率1%，若與前線步兵部隊傷亡率相比，低得戲劇化。因為無人機飛手在距離前線數公里外握著操縱桿。

這種追求效率也有令人不舒服的一面。把戰爭成果分數化、為部隊排名、計算擊殺一名敵人的成本，難免受到把人命換算成帳簿數字的批判。《泰晤士報》報導，布羅夫迪的部隊公開無人機打擊影像並用於心理戰，引發倫理爭議。無人機保住士兵生命，同時也降低殺戮門檻。飛手看著螢幕按下按鈕，但螢幕另一端有人。

烏克蘭所處的現實，可以說明這項選擇，卻無法抹去這項選擇的重量。

然而標準化本身的必要性很難否認。無人機戰爭初期，是野生工作坊。各部隊各自買無人機，各自改裝，各自安裝炸藥，各自學操控方式。電池規格不同、影像收發設備不同、炸藥安裝方式不同，就不可能大量生產與大量訓練。無人系統軍的誕生，是把這種野性拉進制度之中的嘗試。把前線發明品變成軍種體系。把無人機工作坊變成後勤網。把飛手的感覺變成教範。

涅墨西斯指揮官坦率承認了這種緊張。「當然，我們都知道，有些教義與規定早在很久以前就已經寫好了。即使是在相對近期的獨立烏克蘭寫成，也已經失去相關性。歷史正在此刻被創造。未來已經到來，而文件化在清單上排得很後面。」

教範追不上現實的戰爭。前線回饋比文件化更快的戰爭。在這種速度之中，商業方法扮演了填補教範空缺的臨時骨架。

5-6 縱深打擊的擴大 — 2026年，組織追上戰場的速度

進入2026年，無人系統軍的打擊範圍明顯變深。

路透社於2026年5月報導，烏克蘭國防部在4月一個月內，對120至150公里距離的中程目標執行超過160次打擊。目標是65處以上的物流與彈藥庫、33處無人機控制站與工坊、17處兵力指揮所。這已不是打擊前線正前方戰車的戰爭，而是切斷在前線後方繼續推動戰爭運轉裝置的戰爭。

Euromaidan Press 報導，無人系統軍每月執行超過10萬次戰鬥出擊，並自2026年5月起擴編中程與縱深打擊部隊。也傳出德國與烏克蘭企業推動共同生產最大射程達1,500公里級長程無人機的消息。防務專業媒體 Defence Express 報導，無人系統軍第1獨立中心與縱深打擊中心（Deep Strike Center）協同，在不到一週的時間內打擊了價值超過1億2千萬美元的俄羅斯防空資產。

這項變化的核心，在於組織結構的轉換。情報解密員、資料分析師、航空偵察小組、無人機打擊小組，被串成一條連鎖，形成可快速決策的體系，並投入實戰。涅墨西斯指揮官向《基輔獨立報》說明的過程如下：「分析師分析敵方無人裝備的使用，決定航空偵察的搜索區域。航空偵察飛出去搜索。那些資料由解密員、分析師處理。決定高度、無線電地平線、可能地點。接著無人機打擊小組就被派往指定地點。」

從分析到打擊的鏈條越短，敵人的應對時間也越少。俄羅斯防空系統必須在移動位置之前就被打擊命中。在這種速度戰裡，官僚程序是致命的。

布羅夫迪上任不久後，也重整了指揮結構。Euromaidan Press 於2026年3月31日報導，布羅夫迪任命兩名獲得「烏克蘭英雄」稱號的前線指揮官，擔任無人系統軍高階參謀職。他們被賦予的任務是「沿著整條接觸線連續建立無人機線」。同月，無人系統軍公開3月戰績：擊殺敵方兵力10,477人，打擊獨立敵方目標37,627個。布羅夫迪在 Telegram 留下一句話：「4月，C5C 的指揮者與飛手們正在準備新的交響曲。」

遠離戰場的地方也不再安全。美聯社於2026年6月報導，烏克蘭無人機打擊了俄羅斯與克里米亞的石油設施。距離前線數百公里的煉油設施、港口、彈藥庫、軍用機場，進入了無人機射程之內。「後方」這個概念本身正在動搖。

這個戰爭產業沒有只等待大型軍工企業의 交貨時程。新創公司、捐助者、軍隊、軟體開發者、現場飛手，同時湧入，成為巨大的實驗室。路透社報導，烏克蘭與相關新創企業正以前所未有的速度，發展海上無人機、地面機器人、長程無人機系統。

而俄羅斯也正在追上來。

Euromaidan Press 於2026年5月報導，布羅夫迪在接受《烏克蘭真理報》訪談時警告，俄羅斯實際上正在複製烏克蘭的無人系統軍模型。據布羅夫迪所說，俄羅斯一邊急速增加無人機操作人力，一邊大量生產廉價打擊系統，甚至連烏克蘭的組織結構也在模仿。依《基輔獨立報》轉述總司令瑟爾斯基的說法，俄羅斯計畫到2030年，在277支部隊中編成21萬人規模的無人系統兵力。

Business Insider 轉述瑟爾斯基的警告稱，俄羅斯試圖在長程攻擊中，把速度更快的噴射推進沙赫德系列無人機比重提高到50%。烏克蘭建立無人系統軍，並不是為了展示創新。因為對手也正朝著同一個方向奔跑。

在這場競爭中，烏克蘭領先的是時間。更早開始，更早失敗，更早學會。俄羅斯的無人機數量是烏克蘭的6倍，但無人系統軍主張自己的無人機在品質上領先。沒有人能保證這個差距能維持多久。

——

無人系統軍的誕生，不是烏克蘭軍隊買了很多無人機的故事。這是軍隊結構改變的故事。

在步兵、砲兵、裝甲、空軍、海軍這些古老隔間之間，出現了新的隔間。然而這個隔間並未與其他隔間分離。無人機是砲兵的眼睛，是步兵的長矛，是沒有海軍之國的魚雷，也是空軍到不了之處的轟炸機。無人系統軍既是一個兵種，同時也是所有兵種的神經網路。

這項變化的正中央，有一件連帽衫。連帽衫不是軍服。比起肩上星光閃耀的制服，它更接近熬夜開發者的衣服。然而這場戰爭，正是把那件連帽衫擺在軍服旁邊。無人機飛手即使不在壕溝裡，也是戰鬥員；程式設計師即使不拿槍，也是前線的一部分。握著烙鐵的手、握著搖桿的手，與握著步槍的手，進入了同一場戰爭之中。

這個過程並不平順。教範氣喘吁吁地追在現實後面，標準化與前線創意之間始終存在張力。公開影像的心理戰引發倫理爭議，成果積分制也帶著讓戰爭看起來像遊戲的風險。電池不足，電波中斷，俄羅斯的電子戰一天比一天更強。新型號一週內就變成舊型號。戰爭不會給人充裕的時間去按下更新按鈕。

即便如此，這個組織的誕生已經改變了一件事。小國與大國交戰時，以相同種類的武器、相同數量來對齊，並不是唯一道路。軍隊可以是鋼鐵與火藥的集合，同時也可以成為軟體與生產網的生命體。

黑色連帽衫、筆記型電腦、天線、搖桿，以及螢幕裡晃動的地平線。

世界第一支無人系統軍，就在那裡誕生。

——

尾註

[1] 羅伯特·布羅夫迪戰前經歷與志願入伍過程：Wikipedia "Robert Brovdi"; Ukraine Today "Hero of Ukraine and new commander of the SBS" (2025.6.3)

- [2] 無人系統軍創設與首任指揮官：The Guardian "Ukraine war briefing: Zelenskiy's army of drones gets its own commander" (2024.6.11); Wikipedia "Unmanned Systems Forces (Ukraine)"
- [3] 布羅夫迪獲任命為司令：Reuters "Zelenskiy announces military shakeup" (2025.6.3); Euromaidan Press "New chief of Ukraine's drone corps sets 100-day plan" (2025.6.5)
- [4] 無人系統軍一年成果（擊殺10萬人、摧毀35萬目標）：Ukrainian News "Unmanned Systems Forces destroy over 100,000 russian soldiers over year" (2026.6.4)
- [5] 878美元成本、400:1交換比、《經濟學人》文章：DroneXL "Ukraine's Madyar Brovdi Outpaces Russia's Recruitment" (2026.3.23), The Economist 原文引用
- [6] 2026年前五個月打擊174項防空資產，造成54億美元損失：United24 Media "Ukraine's 2026 Drone Campaign Hit 174 Russian Air Defense Systems" (2026.6.6)
- [7] 涅墨西斯旅摧毀83套防空系統（截至2026.5.2）：Ukrainska Pravda "Every third sortie results in a hit" (2026.5.21)
- [8] 涅墨西斯阿斯加德營，一個月摧毀8套防空系統（2億5千萬美元）：ArmyInform (2026.1.9); Ukraine Today (2026.1.9)
- [9] 一週摧毀10項防空資產（3億美元）：Euromaidan Press (2026.1.20)
- [10] 15,000人招募與無人機線計畫：The Defense Post "Ukraine to Recruit 15,000 Operators" (2026.5.5); Army Technology "Ukraine wants 15,000 recruits" (2026.4.30); GlobalSecurity.org "Drone Line: implementing a new warfare doctrine" (2026.4)
- [11] 商業方法、效率指標、連帽衫描寫：Kyiv Independent "West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says" 深度訪談
- [12] 馬迪亞爾招募影片原文：CBC 無人系統軍官方 YouTube 頻道 (2026)
- [13] 中程打擊超過160次（2026年4月）：Reuters "Ukraine steps up medium-range strikes" (2026.5.5)
- [14] 擴編中程與縱深打擊部隊，每月10萬次出擊：Euromaidan Press "Ukraine is building a bigger deep-strike drone machine" (2026.4.22)

- [15] 指揮部人事、3月戰績：Euromaidan Press "Ukraine's drone forces chief Madyar reinforced SBS command" (2026.4.1)
- [16] 俄羅斯複製烏克蘭無人機模型，計畫編成16萬8千人無人機軍：Euromaidan Press (2026.5.14)
- [17] 俄羅斯計畫到2030年編成21萬人無人系統兵力：Kyiv Independent "Russia to recruit 210,000 personnel for drone forces by 2030" (2025.2.6, 引用瑟爾斯基)
- [18] 噴射推進沙赫德比重擴大至50%的計畫：Business Insider (2026.6)
- [19] 積分制與目標優先順序重整：Business Insider "Ukraine's drone pilots are overhauling which Russian targets they think matter most" (2025.6)
- [20] 馬迪亞爾指揮所描寫：The Times "Drone chief fights psychological war with videos of dying Russians"
- [21] 烏克蘭國防部防空系統失能發布：Ministry of Defence of Ukraine "Middle-strike operations" (2026)
- [22] 大量運用欺敵無人機：Kyiv Post (2026)
- [23] 打擊俄羅斯與克里米亞石油設施：AP News (2026.6)
- [24] 縱深打擊中心打擊1億2千萬美元防空資產：Defence Express (2026.2)
- [25] 烏克蘭軍方摧毀裝備66%由無人機造成：Kyiv Independent (瑟爾斯基發言，2025.1)

第6章 AI不握瞄準鏡 — 自主武器的界線

6-1 AI目前的角色 — 破解密碼、分析、繞過電子戰、辨識3D模型、輔助目標偵測

在前線的一間小房間裡，士兵凝視著螢幕。畫面中，森林、泥濘道路、燒毀裝甲車的陰影、破碎房屋的屋頂交錯在一起。他握著搖桿，但並不是獨自觀看。旁邊還有另一雙眼睛。那雙眼睛不會疲倦，不會眨眼，即使同一個場景重複看上千次也不會厭煩。那就是AI。

然而，這個AI還不是扣下扳機的士兵。它首先進行分類。它判斷土路上的一個點究竟是人、摩托車，還是運送砲彈的車輛。當電子戰使影像晃動時，它抓住最後幾百公尺。即使無人機失去與操作員的連線，也讓她繼續追蹤鏡頭中的目標。烏克蘭和俄羅斯雙方都在無人機上裝載AI影像辨識裝置，試圖在強烈無線電干擾下追蹤目標。即便如此，烏克蘭仍表示攻擊批准必須由人來完成。這句話既是技術說明，也是政治上的防線。

AI也在戰場後方工作。它分類被截聽的通訊，尋找加密訊號的模式，並把衛星照片與無人機影像拼接起來。它尋找防空網在哪裡、哪條道路是補給線、哪片森林邊緣藏著砲兵。在接受Kyiv Independent訪問時，涅墨西斯（Nemesis）團指揮官如此說明：「當然，我們在工作中使用人工智慧。用在破解密碼和分析上。」搭載於無人機上的AI，已經達到學習敵方航空器3D模型、並自行辨識停放在跑道上的機體的程度。投入「蛛網行動」的FPV無人機，正是以這種方式區分Tu-95戰略轟炸機和Tu-22M3轟炸機並加以打擊。

技術的核心不是誇張的人形機器人。而是一枚小晶片、一個鏡頭、一次軟體更新。它讀取進入畫面物體的輪廓，與已學習的3D形狀比對，並預測其移動。人說「看那個」，AI則計算「那個最有可能是什麼」。

CSIS（美國戰略暨國際研究中心）在2025年3月的報告中，以具體數字呈現了這個過程。搭載AI自主導航的無人機，目標打擊成功率達70~80%。若與手動操作無人機10~20%的成功率相比，差距達三到四倍。也就是說，當人用搖桿操作時，攻擊一個目標需要八九架無人機；若由AI引導最後100~1,000公尺，一兩架就足夠了。因為AI能偵測電子戰干擾區，並自行設定繞行路徑。

但就在這裡，界線變薄了。操作員選定目標後，由AI引導最後500公尺，那次攻擊究竟是人的攻擊，還是機器的攻擊？人按下批准按鈕，但螢幕中的資訊若是由AI推薦填滿，判斷又是誰的？戰場不會像法庭一樣逐字追問。影像在晃動，時間在縮短，敵方電子戰裝備咬斷通訊。在那道縫隙裡，AI從輔助者一步步被推向瞄準校正者，再從瞄準校正者被推向事實上的射手。

進入2026年後，烏克蘭又向前走了一步。它宣布將開放一個平台，提供戰場資料用於訓練盟國的AI模型。這其中包括戰鬥飛行中蒐集的影像、已加註標記的圖片，以及分析用資料。戰爭如今不只要彈藥庫，也要求資料倉庫。烏克蘭戰場已成為世界上最大的AI訓練場，每天都有新的演算法在其中接受考驗。

6-2 「決定必須始終由人來作出」 — 是效能原則，還是倫理原則？

「決定必須始終由人來作出。」

這句話聽起來像是一項宣言。但對前線士兵而言，它在成為倫理教科書中的句子之前，首先是關乎生存的句子。

在Kyiv Independent的訪談中，當涅墨西斯團指揮官被問到這項原則的理由時，他給出了出乎意料的回答。「首先，這關乎工作的效能。我們必須知道自己在打擊什麼。如果人確信這是目標，他們就可以下令摧毀。」最先出現的不是倫理，而是效能。若AI誤讀目標，友軍車輛也可能變成敵方裝甲車，載著傷者的民用車輛也可能看起來像軍需卡車。塵土、煙霧、雪、夜間熱影像、破碎地形，都不同於模型所學過的乾淨資料。戰場資料總是帶著污痕。

必須由人作出最終判斷，這既是保護平民的標準，同時也是減少故障的戰術裝置。人類仍然能讀取脈絡。揮舞白布的人、倒在被棄車輛旁的傷者、脫下軍服逃跑的士兵、躲在平民身後的戰鬥員。這些場景不是像素問題。它是戰爭法與現場感、恐懼與責任交纏在一起的判斷。AI很快，但快並不等於對。

國際討論也抓住同一條線。聯合國秘書長安東尼奧·古特瑞斯在2023年「新和平議程」中，呼籲到2026年前完成一份具法律拘束力的文件，禁止在沒有人類控制或監督下運作的致命自主武器系統（LAWS）。他甚至表示：「讓機器擁有奪取人類生命的力量與裁量權，在政治上不可接受，在道德上令人憎惡。」2024年12月，聯合國大會以166票對3票（反對：俄羅斯、北韓、白俄羅斯）通過關於致命自主武器的決議。該決議包含所謂

「兩階段方法」，要求全面禁止部分自主武器，並對其餘自主武器進行管制。

但軍人並不只把這句話讀成倫理。他們也把它讀成效能原則。烏克蘭強調人類批准原則的原因有好幾層。它是面向西方支援國的信任語言，是避免國際法違規爭議的裝置，也是減少戰場失敗的現實方法。CSIS報告在評估烏克蘭AI戰爭能力時也分析指出，完全自主戰爭目前仍更接近目標，現階段的核心是部分自主與人類監督。「我們離殺手機器人還非常遠。」這是該報告作者卡特琳娜·邦達爾在Breaking Defense訪談中說的話。

然而，這句話會隨著時間承受越來越大的壓力。電子戰切斷通訊，無人機丟失目標，俄軍車輛在幾秒鐘內消失於林道之中，操作員失去畫面。那一刻，AI說：「我會繼續跟上。」人類已經批准，但最後的判斷已經進入機器的速度之中。

6-3 光纖無人機對AI自主無人機 — 通往電子戰免疫的兩條道路

在無線電訊號死亡的戰場上，出現了兩條路。一條是抓住線的路。另一條是切斷線的路。

光纖無人機一邊飛行，一邊在後方放出細線。比釣魚線更細的纜線，將操作員與無人機以物理方式連接起來。因為不是無線訊號，所以無線電干擾無法奏效。影像清晰，操控不會中斷。俄羅斯和烏克蘭都以這種方式突破電子戰地帶。Atlantic Council說明，光纖無人機即使在30公里以上的距離，也能提供精準打擊與清晰影像，並且幾乎免疫於無線電干擾。2025年2月，光纖無人機甚至首次被投入哈爾科夫郊外的平民區域。

然而，線也有線的命運。纜線可能纏住，也會增加重量。風、樹木、電線桿、廢墟中的鋼筋，都會成為敵人。若要取得更長射程，就需要更大的線軸；而更大的線軸會讓無人機變得更遲鈍。涅墨西斯團指揮官坦率承認了這一點。「如果光纖無人機成功抵達目標，而且有足夠的光纖，那麼，是的，這是很大的問題。但它也有自己的限制。不能說光纖無人機是萬靈丹。」

AI自主無人機則走向相反方向。即使與操作員的連線中斷，它也會記住目標並追上去。影像辨識模型抓住攝影機畫面中車輛、戰壕、砲塔的輪廓。涅墨西斯指揮官也指出了這種演進趨勢。「在光纖被大規模使用以前，人們曾期待，對付電子戰的主要解方會是具備人工智慧的自主無人機。而我們也許正慢慢接近那裡。」

光纖無人機選擇「不中斷的連線」。AI自主無人機選擇「即使連線中斷也繼續前進的能力」。一個是戰場上的有線電話，另一個是帶有記憶的箭。哪一方占優，取決於地形、距離、目標、成本與生產速度。電子戰越強，這兩項技術就越會一起壯大。

然而，這兩條路匯合的地點已經出現。2025年末，烏克蘭海軍公開了從馬古拉（Magura）級海上無人艇內部機庫發射光纖FPV無人機的影像。也就是從海上無人艇這艘母艦起飛的電子戰免疫無人機，越過海岸線打擊目標。抓住線的無人機與切斷線的無人機。兩者看似相反，卻誕生於同一個欲望。那就是即使在操作員之手無法抵達的地方，也不願放掉目標的欲望。

6-4 無人機群集（swarm） — 像蜂群一樣協同運作的無人機，以及接下來會發生的事

一架無人機是眼睛。十架無人機是網。百架無人機就成了天氣。

群集無人機的恐懼，並非來自單架無人機的性能。而是來自它們一起移動。前方的無人機尋找防空網，後方跟進的無人機鑽入空隙，有些成為誘餌，有些成為爆炸物。防空雷達會數目標，但當目標太多時，數字本身就會成為武器。

Atlantic Council在2026年3月題為「即將到來的運算戰爭」的報告中，提出了以下場景。2026年5月哈爾科夫前線，一名烏克蘭指揮官發射800架自主無人機。空中無人機與地面無人車共同移動，癱瘓敵方防空網，識別並打擊砲兵陣地，鑽入俄羅斯戰線的缺口。這項行動取決於即時協調。感測器把目標資料交給打擊平台，移動演算法同步推進速度，機器學習系統則適應俄羅斯的反應。

這是虛構場景，但現實已經來到門檻前。IEEE Spectrum報導，截至2026年初，烏克蘭前線的灰色地帶（gray zone）已有數千台地面機器人四處移動。大多數用於運送補給或撤離傷者，但裝有機槍砲塔的「殺手」地面機器人也正在測試中。2025年12月，在哈爾科夫北方利普齊（Lyptsi）村附近，首次執行了完全無人作戰：沒有步兵參與，只以數十台無人地面車輛與FPV無人機攻擊俄羅斯陣地。在CSIS報告確認的這次行動中，地面機器人負責排雷、直射火力與運送彈藥，FPV無人機則從空中支援。倖存的機器人在行動後返回烏克蘭陣地。

海上也能看見同樣趨勢。Reuters在2026年6月初報導，為防衛敖德薩附近海域，計畫部署一支約10艘自主海上平台組成的編隊，初期運作目標為2027年初。

引領烏克蘭群集無人機技術的企業Swarmer，在2025年9月由美國投資人主導完成1,500萬美元A輪融資。這是戰爭以來對烏克蘭國防科技企業的單筆最大投資。Swarmer執行長謝爾希·庫普里恩科如此表示：「我們的軟體已在數萬次實戰任務中證明自己。西方民主國家應該能部署它們能生產出來的所有無人機與機器人，而不受訓練有素操作員數

量的限制。」Swarmmer表示，已將自身超過82,000次戰鬥任務資料，以及其他部隊執行的數百萬次飛行資料用於訓練。

群集必須有AI。因為不可能為每架無人機都配一個人操控。AI共享彼此位置、避免碰撞、分配目標，當其中一些被擊落時，改變剩餘無人機的路徑。人下達整體任務。「偵察那個區域。」「癱瘓那套防空網。」「封鎖那片海域。」接下來的細部調整，則在機器之間發生。

在這裡，界線再次晃動。既然是人下達任務，這算人類控制嗎？還是因為個別目標選擇與攻擊順序由群集決定，所以算自主攻擊？群集會使責任變得模糊。一架無人機誤擊，尚可調查。若一百架同時移動，其中十三架走了不同路徑，要找出究竟在哪一刻、由誰作出錯誤判斷，就很困難。

6-5 「他們不會在乎這個問題」 — 當俄羅斯與中國不受倫理約束地奔跑時

訪談者問涅墨西斯團指揮官：一方面有必須把人納入流程的倫理問題，另一方面又有人主張俄羅斯和中國不會在乎這種問題，那麼他會給西方軍隊什麼建議？

指揮官的回答很明確。「首先，我們不對俄羅斯或其他國家負責。我們對我們的軍隊、我們的防衛部隊、我們的部隊負責。我們的政策是以這種方式建立的，也就是，容我重申，我們使用人的決定，而且不是隨便哪個人，而是對這個流程負責的負責人。」

這個回答中有一塊缺失。那就是當對方不遵守規則時該怎麼辦的答案。指揮官只說了自己部隊的原則，沒有說如何回應敵人的選擇。那恐怕不是他這個層級能回答的問題。

然而，現實並不是黑白分明。美國陸軍官校（西點軍校）Lieber Institute曾分別分析中國與俄羅斯對自主武器的立場。中國在聯合國特定常規武器公約（CCW）討論中，一直提出致命自主武器若要符合國際人道法，就必須處於有意義的人類控制之下的立場。不過Lieber Institute分析指出，中國的軍事AI倫理討論，較傾向留下各國詮釋與戰略彈性，而非普遍規範。這就是為什麼會出現「中國特色的人類監督」這種說法。

俄羅斯則展現出更露骨的矛盾。它一方面採取最低限度立場，認為既有國際人道法已經足夠；另一方面卻在實際戰場上積極部署AI支援武器系統。根據CSIS在2026年4月發布的「俄羅斯如何建立AI驅動自主性的主權無人機生態系」報告，俄羅斯的目標是在2030年前完成涵蓋無人航空器設計、生產、運用全週期的生態系，並計畫以俄羅斯製無人機填滿國內市場的70%。其中也包括每年培育15,500名AI專家，並讓80%勞動力具備AI基

礎素養的人力培育計畫。俄羅斯一邊談人類控制，一邊奔向自主化。在2024年12月聯合國大會自主武器決議投票中，俄羅斯與北韓、白俄羅斯一起，成為僅有的三個反對國。

問題在於，當對方不守規則時，民主國家可以走到哪裡。戰爭總會把道德推向較低處的斜坡。一方若不經人類批准就更快開火，另一方就會說：「不能只有我們變慢。」一方若把群集無人機釋放到城市上空，另一方就會說：「即使只是為了防衛，也需要同樣的技術。」

2026年2月，法國、德國、義大利、波蘭、英國發起了低成本效應器與自主平台倡議，簡稱LEAP。其目標是以烏克蘭戰場經驗為基礎，共同生產低成本防空系統與自主無人機。歐洲五個主要軍事強國把「自主」這個字放進倡議名稱本身，就已經說明了方向。

禁止線不會被擦掉。只是會被往後推。

6-6 戰爭速度超越人類判斷速度的瞬間

總有一天，戰場畫面上會同時浮現人難以追上的高速事件。

北方林道上有三輛車在移動，西側戰壕中捕捉到熱訊號，南方天空有一群俄羅斯無人機低空進入，通訊網斷了又接、接了又斷。防空砲隊為了打一發取得2秒，無人機操作員為了確認目標失去1秒。那時，AI不會等待。它會計算。

涅墨西斯團指揮官如此描述戰爭變化的速度。「以前變得比較慢。一年一次，六個月一次。現在任何戰術變化都可能在短短幾個月內發生。只要過1、2個月，就可能已經有變化。」如果戰爭的創新週期已經如此，那戰爭的執行速度又會如何？這是一個雙方合計每天出動數千架無人機、敵方移動被即時監控、從偵察到打擊所需時間縮短到幾分鐘的戰場。

2024年9月，烏克蘭特殊無人機部隊「馬迪亞爾之鳥（Madyar's Birds）」指揮官羅伯特·布羅迪在與The Economist的對談中，提出了更進一步的展望。他說，6~8個月內，烏克蘭無人機將完全不再需要操作員。「只要發射就好。無人機會自行決定要去哪裡、如何打擊目標。」他補充說，有數百個AI系統正在開發與測試中。

這項展望是否按照時程實現，很難確認。因為戰場技術進步總是同時存在比發布更慢的領域，也有比發布更快的領域。但方向很明確。根據CSIS報告，烏克蘭軍方設定目標，要讓2025年採購的無人機至少一半搭載AI導引功能。若與2024年AI導引無人機占整體

0.5%的比例相比，這是100倍的增加。

當戰爭速度超越人類判斷速度的瞬間，人類控制將被要求具備新的意義。僅僅有一個人按下按鈕這件事，並不足夠。必須追問：那個人在按下時知道什麼？是否有拒絕的時間？是否有質疑AI推薦的權限與實際餘裕？當畫面太快、推薦太強、失敗代價太大時，人就不再是控制者，而會變成儀式程序。就像被擺在瞄準鏡前的一枚印章。

在2026年結束之前，聯合國特定常規武器公約專家小組必須完成自主武器規範草案。然而在戰場上，每天都有新的軟體裝上無人機，每週都有新的自主導航演算法接受測試，每個月都有更多無人機一點一點地變得不那麼需要人手。國際社會談人類控制，戰場談速度。這兩種語言能否留在同一句話裡，目前仍不得而知。

自主武器的界線，無法用「AI是否殺了人」這一句話關上。AI是否選擇了目標？AI是否維持了目標？AI是否改變了最後路徑？人類是否理解了這個過程？是否能夠停止？沒有停止時，是否能夠負責？這些問題必須重疊起來，線才終於會顯現。

我們仍可以說，AI還沒有握住瞄準鏡。然而，選擇瞄準鏡中的畫面、校正顫抖的手、在斷裂訊號之後繼續追蹤目標，這些事它已經在做。扳機與眼睛之間，人類判斷與機器計算之間，出現了一道薄薄的縫隙。未來的自主武器，將在那道縫隙中誕生。

尾註

(1) AI無人機的目標打擊成功率：CSIS（美國戰略暨國際研究中心），Kateryna Bondar，"Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare," 2025年3月。搭載自主導航無人機的打擊成功率70~80%，相對於手動操作的10~20%。Bondar在Breaking Defense訪談中表示：「我們離殺手機器人還非常遠。」

(2) 涅墨西斯團指揮官訪談：Kyiv Independent，"West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says." 本章中關於AI角色、人類控制原則、給西方軍隊建議等多處引用，均依據此訪談。

(3) 光纖無人機的電子戰免疫性與30km以上精準打擊：Atlantic Council，"Fiber-optic drones have emerged as critical kit for both Russia and Ukraine."

(4) 聯合國秘書長呼籲禁止致命自主武器：UNODA（聯合國裁軍事務廳），"Lethal Autonomous Weapon Systems." 在2023年「新和平議程」中，呼籲到2026年前制定具

法律拘束力的文件。

(5) 聯合國大會自主武器決議（2024年12月）：以166票對3票（反對：俄羅斯、北韓、白俄羅斯）通過。包含兩階段方法（部分禁止，其餘管制）。

(6) 中國的自主武器立場：Lieber Institute（西點軍校），"Human Oversight with Chinese Characteristics: Lethal Autonomous Weapons in the CCW GGE."

(7) 俄羅斯的最低限度立場：Lieber Institute，"No New Rules Needed: Russia's Minimalist Vision of Human Oversight for LAWS."

(8) 俄羅斯的自主無人機生態系建構計畫：CSIS，"How Russia Is Building a Sovereign Drone Ecosystem for AI-Driven Autonomy," 2026年4月。

(9) 運算戰爭場景（800架自主無人機群集）：Atlantic Council，"The coming compute war in Ukraine," 2026年3月。

(10) 利普齊村首次完全無人作戰（2024年12月）：CSIS報告確認。投入數十台UGV與FPV無人機，無步兵參與。

(11) Swarmer 1,500萬美元A輪投資：Business Wire，2025年9月。以超過82,000次實戰任務資料進行訓練。

(12) 敖德薩海域自主海上平台編隊：Reuters，"Startups shore up Ukraine's defences with sea drone swarms and robot trucks," 2026年6月。

(13) LEAP（低成本效應器與自主平台）倡議：GIS Reports，2026年2月由法國、德國、義大利、波蘭、英國發起。

(14) 馬迪亞爾之烏指揮官布羅迪對完全自主化的展望：Business Insider/The Economist，2024年9月。「6~8個月內不再需要操作員」發言。

(15) 烏克蘭開放戰場資料平台：Reuters，"Ukraine opens battlefield data access to allies' AI models," 2026年3月。

(16) 從海上無人艇發射光纖FPV：烏克蘭海軍公開影像，2024年12月。Forbes/BitcoinEthereumNews等報導。

第7章 看不見的戰爭——電子戰與運算的前線

7-1 「GPS 將不復存在」——GPS 干擾與欺騙支配的戰場

無人機操作員盯著螢幕。田野還是一樣。樹林也一樣，道路上的陰影也一樣。可是地圖上的光點卻詭異地滑動著。無人機明明向前飛，座標卻往旁邊漂移。過了一會兒，機體開始延遲理解指令。推動操縱桿，反應也變得遲鈍，影像像雪花一樣碎裂。沒有槍聲。也沒有爆炸。戰場用沉默發動了攻擊。

在烏克蘭戰爭中，電子戰（Electronic Warfare，利用電波進行攻擊與防禦）成了看不見的砲兵。砲彈會翻起泥土，而干擾（jamming，電波干擾）會翻轉方向感。只要切斷 GPS 訊號，無人機就不知道自己身在何處。還有比這更陰險的手法。欺騙（spoofing，偽造訊號擾亂）不是切斷訊號，而是展示一條假的道路。無人機甚至不知道自己迷路了，便相信錯誤的座標。2025年 TechRxiv 刊登的分析指出，俄軍的 Krasukha-4、Borisoglebsk-2 等電子戰系統，從戰爭初期起就以這種方式癱瘓了烏克蘭的 Bayraktar TB2 無人機。

幾天前，這場看不見的戰爭以看得見的事故爆發。2026年6月5日早晨，羅馬尼亞康斯坦察港一架海上無人機爆炸。地點距離石油碼頭只有數百公尺。雖然沒有人員傷亡，但羅馬尼亞當局從海灘疏散了超過1,000人。根據 Kyiv Independent 報導，烏克蘭海軍說明，自國海上無人機在黑海執行任務時受到俄羅斯電子戰干擾，失去控制，並漂流至羅馬尼亞海岸。烏方並補充，已事先警告羅馬尼亞，因此避免了人命傷亡。路透社同日稱這起事件是「一週內發生在北約東翼人口稠密地區的第二起重大事故」。一週前，一架俄製 Shahed 型無人機撞上羅馬尼亞加拉茨市一棟公寓大樓，造成2人受傷。

電子戰不只停留在前線。它把陰影推進北約會員國港口的石油碼頭。希臘也表示，一架烏克蘭海上無人機在該國島嶼附近被發現，並向基輔提出抗議。被電波擾亂的機器不知道國界。

西方軍人初次接觸這個現實時，反應天真得令人驚訝。Nemesis 團指揮官在 Kyiv Independent 訪談中講過一個場景。西方軍方人員帶來自己國家研發的新無人機系統展示，並問道：「你認為這可以怎麼使用？」指揮官不是技術人員，但他有經驗。「它怎麼運作？連線如何確保？」聽完回答後，他說：「這些全都不會運作。」對方反駁：「

我們有 GPS。」指揮官的回答很短。「GPS 將不復存在。」

「為什麼會沒有 GPS？」「不是有衛星嗎？」「會被干擾。GPS 將不復存在。」於是對方開始遲疑。「那接下來會發生什麼，我不知道。」

過了一段時間，他們又來了。這次帶來的是放大 GPS 訊號的裝置。「這套設備會強化 GPS。」指揮官說：「我們一年半前用過那套設備。今天它們已經無法運作。」對方嘆息：「該死，我們買了好幾百套。」

當戰鬥人員無法信任 GPS 的那一刻，現代戰爭的許多裝備就回到了古老的感覺。地圖、地形、慣性導航（INS，以陀螺儀與加速度計推估位置的方式）、影像辨識、事先輸入的座標，以及操作員的直覺。烏克蘭數位轉型部長米哈伊洛·費多羅夫在2025年公開的影片中，可以看到 GPS 訊號消失後，無人機仍以慣性導航沿著預先輸入的路徑繼續執行任務。戰場變成一個奇妙的地方：人們手持先進裝備，卻走進中古世紀般的霧中。

「GPS 將不復存在」這句話，不是對技術失敗的抱怨。它如今是一道戰鬥準備命令。

7-2 跳頻、新發射器、駭入——看不見攻防的一週週期

電子戰的速度和軍需工廠的速度不同。它沒有時間重新切削模具，也沒有時間等待大量生產。昨天還有效的頻率，今天就被封鎖；今天倖存的發射器，下週就被偵測出來。靠近前線的工作台上，焊錫味與咖啡味同時瀰漫。

FPV 無人機操作員會說：「在這裡斷線了。」工程師則回答：「那就改這裡。」作戰報告很快就變成產品改善需求書。這種回饋與修改的週期，大約是一週。根據 60 Minutes 採訪，從 FPV 無人機投入最前線的那一刻起，到收集野戰回饋、修改軟體、改變頻率應對方式、做出新版本再送回前線，一週就夠了。

跳頻（frequency hopping，快速切換頻率進行通訊的技術）是這場攻防的基本語法。停留在單一頻率太久就會被抓到。所以必須不斷跳動。然而演進的不只是跳的一方。抓的一方也在跳。監控更寬的頻段，更快讀取模式，找出更微弱的訊號。

Military Machine 2026年4月的分析用數字呈現了這場攻防的結果。烏克蘭 FPV 無人機操作員在2023年於有利條件下曾創下40至60%的命中率。但到2024年中，在俄羅斯電子戰密集部署的區域，命中率跌至20至30%以下。俄羅斯把電磁頻譜本身變成了敵對環境。

烏克蘭工程師沒有試圖用更強的無線電穿透俄羅斯的干擾。他們走向的是消除弱點本身。也就是用光纖纜線完全繞過無線頻率，或以 AI 影像辨識系統在沒有 GPS 的情況下追蹤目標。CSIS 2025 年的分析也說明，在烏克蘭前線，無人機正以商用零件為基礎快速製造，並且為了避開電子戰，明顯轉向光纖控制方式。

GIS Reports 在 2026 年 5 月的報導中指出了雙方方法的差異。俄羅斯依靠規模。在整條前線大量部署高功率干擾器，使訊號空間飽和。烏克蘭依靠創新。透過分散的民間工程師網路，提高精準度與適應速度。硬體的差異，也等於呈現出戰略文化的差異。

在這個場景中，軍人不再只會操作槍械。他讀取訊號狀態。工程師不再是後方的輔助人員。他已經進入戰鬥節奏之中。駭客坐在辦公室裡，但他的鍵盤連著壕溝旁的設備。前線不只畫在泥土上。也畫在頻率表上。

7-3 光纖無人機為何不是萬靈丹——雙方都在發展中的技術限制

光纖無人機是在電子戰中心出現的一種細長反擊。它不使用無線訊號，因此干擾不起作用。無人機後方釋放出比頭髮還細的玻璃纖維線。操縱指令與影像沿著那條線往返。當飛在天空的機器看起來像被風箏線牽住的瞬間，戰場便把過去與未來綁在同一具身體上。

RFE/RL 於 2025 年 3 月報導的烏克蘭軍方測試影片中，光纖無人機以時速 60 公里飛行，在 10 公里範圍內纖維沒有斷裂。即使穿梭於建築之間、在樹林低空飛行，訊號也不會中斷。過去曾經安全的區域，如今進入了打擊範圍。

然而 Nemesis 團指揮官在 Kyiv Independent 訪談中明確劃線。「不能說光纖無人機是萬靈丹。」線有長度限制。會纏繞，會斷裂，會卡在地形上。城市殘骸、森林、電線桿、鐵絲網、車輛殘骸，全都會變成敵人。無人機對電子戰變強了，卻對物理世界變得更敏感。要飛得更遠，就需要更長的線；更長的線更重，也更脆弱。技術在遮蓋一個弱點的同時，會暴露另一個弱點。

截至 2026 年初，有分析指出烏克蘭生產光纖無人機的業者超過 35 家。俄羅斯方面也有估計認為，部分前線部隊使用光纖無人機的比例已達 30 至 50%。雙方都迅速投入這項技術。

而這項技術的擴散改變了戰場景觀。為了阻擋不受干擾影響的無人機，士兵又開始架設物理網。NPR 記者艾莉諾·比爾茲利於 2026 年 3 月進入烏克蘭東部伊久姆時，通往城市的整條道路都覆蓋著白色網子。整座村鎮都在無人機防護網的屋頂之下。「令人難以置信。我進入主要道路時，整條路完全被網子覆蓋。」

烏克蘭國防部宣布，將在2026年底前於前線道路約4,000公里架設無人機防護網。根據路透社，費多羅夫部長表示：「1月每天5公里的速度，2月已提高到12公里。」3月的目標是每天20公里。Business Insider 也報導，2026年烏克蘭已經在數百公里道路上架設網子。數位時代的防禦物，變得像漁夫的網。

俄羅斯也在學習同樣的教訓。2025年初，有影片顯示俄軍在頓內茨克地區連接巴赫穆特與恰西夫亞爾的一段2公里道路上設置網狀隧道。雙方都在用網子阻擋電子戰擋不住的無人機。

然而俄羅斯無人機操作員找到了網子的縫隙。根據 Business Insider，出現了一種手法：先讓光纖無人機降落在道路旁等待，等裝甲車經過的瞬間起飛，從網子下方發動伏擊。這與美軍在中東遭遇的簡易爆炸裝置（IED）伏擊相似。烏克蘭第三軍團一名軍官表示，這類攻擊每週都會發生，士兵與車輛都蒙受損失。

光纖無人機抗干擾能力強。無線無人機透過改變頻率求生。AI 輔助無人機依靠運算與學習資料嘗試自主飛行。可是光纖會被障礙物勾住，無線會被干擾抓住，AI 會因誤識而動搖。沒有完整解方。戰爭總是把那些被稱為「這次已經解決了」的技術帶上場，幾天後又找出那項技術的縫隙。

7-4 Pantsir 防空系統對無人機——SBU Alpha 部隊的戰果，癱瘓俄羅斯運用庫存一半

Pantsir（鎧甲）防空系統原本就是為了阻止這種情況而製造的武器。它是卡車機動式系統，搭載2門30mm 機砲與12枚地對空飛彈，用於攔截低空飛來的巡弋飛彈、無人機與直升機。它部署在基地、雷達、指揮所、長程防空系統周邊，扮演盾牌角色。單套價格為1,500萬至2,000萬美元，折合韓元約200億至280億元。

然而在烏克蘭戰爭中，盾牌變成了目標。

2026年2月14日，烏克蘭安全局（SBU）發布消息。其下 Alpha 特種作戰中心在2025年一整年中，以長程打擊摧毀了俄羅斯 Pantsir 防空系統可運用戰力約一半。Ukrinform、Kyiv Independent、RBC Ukraine、Euromaidan Press 等多家媒體報導了這項發布。

若更仔細觀察數字，情況如下。SBU 局長瓦西爾·馬柳克在2025年10月底表示：「從今年初到今天，我們摧毀了他們 Pantsir 的48%。」根據 SOFREP 分析，俄羅斯在2022年1月全面入侵前夕擁有116套 Pantsir 系統，之後每年約生產30套，增加至230套以上。然而 Alpha 部隊的打擊速度超過了生產速度。SBU 估計，2025年 Alpha 部隊摧毀的俄羅

斯防空資產總價值約40億美元（5兆6,000億韓元）。獨立開源追蹤組織 Oryx 則統計，僅視覺確認的 Pantsir 損失就超過38套。

不能忽略的是，這些數字來自烏克蘭方面發布。戰時發布可能誇大，也有些部分無法獨立驗證。即便如此，防空系統不再是安全的後方裝備，而成為無人機獵物的趨勢，已相當明確。

擊毀 Pantsir，不只是破壞一件裝備。這是在開出通道。按照 SBU 的說法，「系統性摧毀 Pantsir 具有戰略目標。這是為了突破敵軍防空網，建立能打擊縱深深處目標的走廊。」防空網的一個碎片消失後，後方的彈藥庫、機場與燃料設施就會暴露。蜘蛛網行動（參見第1章）中，無人機能夠抵達4,300公里外的西伯利亞空軍基地，也是因為事前已先完成這類防空走廊的確保工作。

Nemesis 團也是這股趨勢的一環。在 Kyiv Independent 訪談中，團指揮官表示：「我們團是摧毀敵軍防空系統最成功的部隊之一。」他說：「根據我們今年的計算，我們團摧毀了價值超過10億美元的敵方防空資產。」依他的說明，必須先清除敵軍防空，才能確保航空偵察的自由；如此一來，才能找出並打擊敵軍砲兵、榴彈砲、無人機發射地點。

俄羅斯也不是袖手旁觀。它改變防空系統位置，架設偽裝網，設置假裝備，並在旁部署電子戰設備。烏克蘭則試圖從更遠距離偵察，以更低高度接近，用更小訊號移動。這看似是盾與矛的古典對決，實際上卻是感測器與訊號、偽裝與資料的對決。比金屬先交戰的是眼睛。

7-5 運算戰爭（compute war）——運算能力決定戰場勝負的時代

在戰場上，電腦不在書桌上。它在無人機的小型電路板裡，在砲兵指揮所的筆電裡，在電子戰設備的訊號處理晶片裡，在影像分析伺服器的圖形處理器（GPU）裡。子彈飛行的同時，其他地方正在分類像素、過濾訊號、預測軌跡。

Nemesis 團指揮官說明如何找出並殲滅敵方無人機操作員小組的過程，清楚展現了這一點。首先，分析師檢視損害資料，分析敵方無人裝備使用模式，劃定搜索範圍。航空偵察無人機飛過指定區域進行搜索。收集到的資料交給解密人員與分析師。他們計算無線電地平線（電波可抵達的地形限制線）、高度，以及可能的發射地點。之後，打擊無人機小組才會出動；而在那之前，還要決定使用何種彈藥、如何不被擊落並接近目標、採用何種戰術。

這整個過程都建立在運算能力之上。蒐集資料、篩選、分析，並轉換成判斷材料。人類做出最終決定，但在抵達那項決定之前，無數步驟由電腦處理。

在戰場末端，幾瓦的耗電、幾克的重量、幾毫秒的延遲，都能決定生死。無人機在最後500公尺失去操縱訊號時，是否能持續以影像追蹤目標？干擾進入時，是否能結合慣性導航與影像地形比對？當數百架無人機的影像人類無法全部觀看時，應該先把哪個畫面顯示出來？這些問題全都是運算能力的問題。

小型無人機搭載的 AI 晶片技術，也指向這個方向。2024年 arXiv 發表的奈米無人機用 GAP9Shield 研究提出，可用150GOPS（每秒1,500億次運算）等級的低功耗模組執行物體偵測、位置推估與測繪。這不表示戰場裝備就直接等同於該研究產品。但方向十分清楚。無人機必須看得更多、判斷更快，並以更少電力進行更多計算。

烏克蘭的 SmartPilot「母機無人機」就是這個方向的實戰案例。根據 drone-warfare.com 2026年3月的分析，這架無人機利用相機與 LiDAR（雷射感測器）的視覺慣性導航，最多可將2架 AI 導引 FPV 無人機運送至300公里外。AI 不依靠 GPS，也不依靠操作員直接輸入，而是自行選擇目標。

運算能力連接著後方的產業能力。誰能製造更多感測器？誰能儲存並訓練更多影像？誰能大量生產更便宜、更堅固的電路板？誰能把前線回饋一夜之間改成程式碼，放進下週的產品？如果過去的戰爭是鋼鐵與石油的戰爭，那這場戰爭就是電池、相機、晶片與資料的戰爭。子彈依然會殺人。然而，決定子彈該往哪裡去的工作，正有越來越多運算介入。

7-6 數英里的光纖線在前線上留下的數位蜘蛛網

戰鬥結束後，田野裡留下的不只是彈殼。還有破碎的螺旋槳、熔化的電池、彈頭碎片、被切斷的纜線，以及長長釋放出的光纖線。它幾乎看不見。只有陽光低斜時才會閃爍。士兵走過時纏住腳踝，捲進車輪，埋在草叢裡。

光纖線既是通訊線，也是痕跡。它說明無人機從哪裡出發、往哪個方向飛、在哪裡死亡。在電子戰支配的天空下，人類又重新鋪設了線。失去無線的自由後，回到有線的確定性。然而那條線不像壕溝電話線一樣埋在地下。它從無人機後方釋放到空中，散落在田野上。

NPR 記者在伊久姆看到的景象，是這個場景的另一面。覆蓋整座城市的白色網幕。沿道路每隔一段距離立起的柱子掛著網，形成隧道，車輛在其中行駛。記者轉述一名士兵的

話：「這是一幅悲傷的景象。」網子覆蓋在村鎮上方的景象，是戰爭製造出的新地形。

這個場景濃縮了烏克蘭戰爭的性質。最先進的戰爭並不光滑。它常常粗糙。AI 尋找目標，電子戰設備推開訊號，操作員忍受影像斷裂，工程師焊接新的電路板。在旁邊，士兵則在道路上架網，避開光纖線行走。未來戰爭不只來自玻璃牆研究室。它也一起帶來了泥土、焊錫、電池、天線、網子與纜線。

看不見的戰爭，正因為看不見而更加危險。爆炸聲響起之前，道路已經偏移；敵人出現之前，畫面已經碎裂；命令下達之前，訊號已經死亡。戰場勝負不只取決於誰能製造更大的爆炸。還取決於誰先讓敵人的眼睛變得模糊。誰能在訊號消失後仍然移動。誰能把前線的混亂變成資料，再把資料變回武器。

數英里的光纖留在田野上。從遠處看，那是一片什麼都沒有的土地。靠近一看，那片土地早已被機器的神經網路覆蓋。戰爭總是先從看不見的地方開始，而不是從看得見的地方開始。

[尾註]

7-1節 - 羅馬尼亞康斯坦察港無人機爆炸事件：Reuters, "Drone explodes in Romanian port as Ukraine blames Russia for jamming it," 2026年6月5日; Kyiv Independent, "Romania reports naval drone explosion near Black Sea port," 2026年6月5日; Al Jazeera, "Drone explosion in Romanian port spurs Ukraine war spillover fears," 2026年6月5日 - 一週前加拉茨公寓俄羅斯無人機撞擊事件：同上報導 - GPS 干擾與欺騙技術分析：TechRxiv, "The Rise of GPS Spoofing Attacks on Drones in the Russia-Ukraine War," 2025年7月 - Nemesis 團指揮官「GPS 將不復存在」發言：Kyiv Independent, "West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says," 訪談影片

7-2節 - FPV 無人機命中率變化（40~60% → 20~30%）：Military Machine, "How Russia's Electronic Warfare Blinded Ukrainian Drones, and How Ukraine Fought Back," 2026年4月 - CSIS 分析：CSIS, "The Russia-Ukraine Drone War: Innovation on the Frontlines and Beyond," 2025年 - 雙方戰略文化差異：GIS Reports, "Ukraine's DIY drones defy Russian jamming," 2026年5月

7-3節 - 光纖無人機測試影片（時速60km、10km 範圍）：RFE/RL, "Fiber-Optic Drones The New Must-Have In Ukraine War," 2025年3月12日 - 烏克蘭35家以上業者生產光纖無人機、俄羅斯30~50%使用估計：drone-warfare.com, "Counter-UAS Electronic

Warfare," 2026年3月 - 伊久姆無人機防護網：NPR, "Ukraine strings nets over cities as killer drones turn streets into war zones," 2026年3月17日 - 前線道路4,000km 網子架設計畫：Reuters via AOL, "Ukraine to cover 4,000 km of roads with anti-drone nets by year-end, minister says," 2026年2月25日 - 俄羅斯光纖無人機路邊伏擊戰術：Business Insider, "Russian pilots are turning unjammable drones into flying IEDs to ambush Ukrainian vehicles," 2026年 - Nemesis 指揮官「不是萬靈丹」發言：Kyiv Independent 訪談

7-4節 - SBU Alpha 部隊摧毀 Pantsir 一半的發布：Ukrinform, 2026年2月14日; Kyiv Independent, 同日; Euromaidan Press, 2026年2月15日; United24 Media, 2026年2月14日 - 俄羅斯 Pantsir 保有量116套（2022年）→ 230套以上：SOFREP 分析, 2026年2月 - SBU 局長馬柳克「摧毀48%」發言：SOFREP 引用 - 摧毀總價值40億美元：SBU 發布，多家媒體報導 - Oryx 視覺確認38套以上：Defence Blog, 2026年2月14日 - Nemesis 團「摧毀超過10億美元防空資產」：Kyiv Independent 訪談

7-5節 - Nemesis 指揮官說明殲滅敵方無人機小組過程：Kyiv Independent 訪談 - GAP9Shield 奈米無人機用 AI 晶片研究：arXiv, 2024年7月 - SmartPilot 「母機無人機」AI 自主目標選擇：drone-warfare.com, 2026年3月

7-6節 - 伊久姆無人機防護網現場報導：NPR, 2026年3月17日

第8章 不對稱經濟學 — 無人機如何翻轉國防產業

8-1 FPV 無人機 300~500 美元，Pantsir 1,500萬~2,000萬美元 — 單價的不對稱改變戰略

戰場上的計算機是冰冷的。按下按鍵，沾著血的數字便往上跳。

一架 300 美元的 FPV 無人機貼著壕溝上方低低爬行。馬達聲像玩具一樣輕，攝影鏡頭像廉價零件一樣晃動。然而，當掛在末端的炸藥開始尋找價值 1,500萬美元的 Pantsir（鎧甲）防空系統雷達時，戰爭的會計帳就被翻轉了。

Pantsir-S 系列防空系統的價格依公開資料而有所不同。烏克蘭與軍事專業媒體大多估計在 1,500萬~2,000萬美元左右。2026年4月，烏克蘭國民衛隊表示摧毀的 Pantsir-S 估計價格約為 1,500萬美元；另有案例報導指出，SBU（烏克蘭安全局）無人機攻擊了一套價值 2,000萬美元的系統。

問題不在絕對價格。

而在交換比。

即使損失幾架 300~500 美元的無人機，只要其中一架能讓昂貴防空系統失明，戰場的損益表就會向烏克蘭傾斜。俄羅斯越是建立昂貴防空網，烏克蘭就送出更多廉價無人機。就在那一刻，國防產業古老的語法開始動搖。

冷戰時代的國防產業崇拜精密。厚重裝甲、遠距射程、高功率雷達、歷經數十年開發的複雜平台。那是一種花費數十億美元打造一件裝備，並由那一件裝備主宰戰場的模式。烏克蘭戰爭寫下了另一句話：低價製造、大量製造、頻繁修正、快速投入。

蛛網行動是最戲劇性展現這套語法的案例。根據王志安的分析，投入蛛網行動的 FPV 無人機單價約為每架 500~1,000 美元，即使把 150 架無人機與 300 枚炸彈合計，總成本也不到 20萬美元。即使加上計畫、情報蒐集、走私、遠端操控基礎設施建置等所有項目，也低於 500萬美元。用這筆錢，燒毀了約 70億美元規模的俄羅斯戰略資產。

1 比 1,400。這就是蛛網行動的投資報酬率。創投看到這個數字會簽字，但這本帳冊裡的資產，與人的性命相連。金錢的邏輯冷酷，而戰爭就在這份冷酷之上運轉。

Nemesis 團的戰績，是系統性重複這種不對稱的結果。在 Kyiv Independent 的深度訪談中，無人機指揮官表示，以 2026 年為準，他的部隊已摧毀超過 10 億美元的敵方防空資產。SBU Alpha 部隊估計在 2025 年至 2026 年初之間，使俄羅斯現役 Pantsir 庫存約半數失去戰力。這是一項紀錄：價值數百美元的物件，以重複、系統性、工業規模的方式，摧毀價值數千萬美元的物件。

不對稱經濟學原本是貧窮一方發明的戰法。然而，這套戰法正在撼動整個國防產業的地殼。

8-2 從鐵路局長到無人機計畫建築師 — Oleksandr Kamyshin 的數字戰爭

Oleksandr Kamyshin 原本是鐵路人。

2022 年 2 月，俄羅斯開始入侵時，他是烏克蘭鐵路公司（Ukrzaliznytsia）的 CEO。數百萬難民必須向西撤離，即使飛彈轟擊車站，列車也必須運行。Kamyshin 做到了。列車必須準時移動，難民才能撤出，彈藥才能運進來，國家才不會崩潰。看到這種能力的澤倫斯基總統找上了他，請他成為無人機計畫的總體設計者。

在接受 CBS 60 Minutes 訪談時，Kamyshin 用三個詞概括自己的原則。「便宜、快速、有效率（Cheap, fast, efficient）。」他表示，自己協助將烏克蘭的無人機年產量從 2,000 架提高到 400 萬架。

從 2,000 架到 400 萬架。這個數字的意義值得稍微停下來思考。這是 2,000 倍的成長。發生在三年多一點的時間裡。

Kamyshin 面對的戰爭，比起英雄故事，更像是一張時刻表。一個月能製造幾架。哪個零件是瓶頸。國家能購買的數量與民間企業能製造的數量之間，空白有多大。

2024 年，他擔任戰略產業部部長時提出的「ZBROYARI: Manufacturing Freedom」構想，正是從這個空白出發。問題意識是：烏克蘭國防生產能力約達 200 億美元，但政府實際能採購的規模僅約 60 億美元。這是一個有生產能力卻缺錢的國家。戰場吞噬無人機，預算卻追不上。

Kamyshin 的方法屬於鐵路營運者。他把一切都數清楚。在 60 Minutes 訪談中，他這樣說：「這是一場以資料為中心的戰爭。我們用數字說話。這是數字遊戲。」訪談者問：「數字遊戲是什麼意思？」Kamyshin 回答：「我們必須計算一切。我們使用的無人機

數量、每一架的效率，甚至擊殺一名俄軍的成本。」

「那個成本是多少？」

「你可能會驚訝，現在擊殺一名俄軍的成本低於 1,000 美元。」

這個數字令人不適。因為它把人的性命換算成美元。然而 Kamyshin 就是在這份不適之中營運戰爭。預算不足的國家若要與人口三倍的國家作戰，就必須測量每一項投入的效率，並以測量值決定下一筆訂單。支撐前線的不是情緒，而是試算表。

2025年3月，轉任總統顧問的 Kamyshin 在 Radio Khartia 訪談中更進一步表示：「現在有一家 FPV 無人機製造商一天可以製造 4,000 架。這樣的公司超過 150 家。我們的 FPV 年產能超過 500萬架。」問題不是生產能力，而是購買它的錢。

因此，Kamyshin 開始談出口。一邊把無人機送往前線，一邊銷往海外，籌措資金讓工廠繼續運轉，形成自我循環結構。戰爭創造產業，產業餵養戰爭，出口壯大產業。Kamyshin 正像設計鐵路時刻表一樣，設計這個循環。

8-3 自製比例 95%，無人機企業從 41 家到 183 家 — 戰時產業生態系的爆發

戰前，烏克蘭的無人機產業很薄弱。

2022年2月，在烏克蘭境內製造的無人系統僅有數千架規模。許多方式是由民間志工購買 DJI 無人機送往前線，許多成品則依賴中國等外部供應鏈。然而戰爭創造了市場。不，創造了比市場更粗糙的東西。那是戰場上的實驗室，每天損毀，每天產生訂單。

波蘭東方研究中心（OSW）追蹤了烏克蘭無人機相關新創企業數量的變化。2022年 41 家。2023年 132 家。2024年 183 家。光是 2025年前四個月，又新增登記 107 家。這個生態系並不只是在軍工廠灰色牆壁內成長。車庫、小型工作室、放著 3D 印表機的辦公室、從前線回來的飛手傳來的 Telegram 訊息，全都成為同一條生產線的一部分。

從 60 Minutes 採訪的 Airlogix 這家公司，可以看見這個生態系的面貌。這家公司為烏克蘭軍方製造空中監視無人機。由於生產設施已被俄羅斯轟炸摧毀兩次，因此在 20 多個分散地點進行生產。這是一門危險的生意，但它從美國投資基金募得超過 100萬美元。經營那支基金的是兩名前美國海軍陸戰隊隊員，William McNulty 與 Len Kraviec。「你的主要動機是什麼？」訪談者問。「服務、愛國心、民主、任務。烏克蘭滿足了這一切。」

自製比例也快速上升。這項數字依公開資料而有不同範圍，因此必須謹慎看待。澤倫斯基總統在 2025年9月表示，烏克蘭軍隊使用的武器幾乎 60% 為國內生產。也有報導指出，在長程無人機領域，95% 為烏克蘭製造。在 ChinaTalk 訪談中，一名烏克蘭業界人士表示，以 2026年為準，FPV 無人機成品的最終組裝比例達 99%。

這並不代表連零件也全都自行生產。對中國製光纖、中國製馬達、中國製電子零件的依賴仍然存在。根據烏克蘭海關統計，僅 2025年第一季就進口了 12萬7,800 架民用無人機，其中 98% 為中國製。進口金額達 3億7,130萬美元。烏克蘭變成的是一個購買零件、但自行組裝與改良成品的國家，而不是已經實現供應鏈獨立的國家。

然而，變化的方向很明確。過去是國家訂定需求性能，大型國防承包商花幾年開發，經過測試評估後交付。烏克蘭式無人機產業則反向運作。前線提出需求，小公司製造，士兵試用，一週後新版本問世。出身釀酒廠工程師的 Roman Tkachynskyi 創辦 Tech Core，製造傷兵撤離用裝甲無人機，這個案例濃縮了這一點。「你們如何知道下一個設計需要什麼？」60 Minutes 訪談者問。「與最終使用者合作。最終使用者就是前線士兵。」

「士兵說他們需要撤離用無人機，然後你就做出來了。」「是的。在烏克蘭就是這樣運作。」

生產規模的軌跡顯示這個生態系成長得多快。2023年約 80萬架。2024年約 220萬架。2025年超過 400萬架。2026年的目標是 700萬架。若與 Bloomberg 估計美國每年製造約 10萬架軍用無人機相比，烏克蘭等於制定了要製造美國 70 倍數量的計畫。這是戰時絕迫感所創造出的數字。

無人機產業的財務成果也隨之而來。根據 OSW 分析，2022年淨損超過 20億格里夫納（約 4,600萬美元）的無人機產業，在 2023年達成淨利 46億格里夫納（約 1億700萬美元）、營收 440億格里夫納（約 10億美元）。2024年，營收躍升至 1,000億格里夫納（約 23億美元），淨利超過 138億格里夫納（約 3億300萬美元）。

戰爭孕育產業，產業產生收益，收益又再次投入戰爭。這個循環就是烏克蘭無人機生態系的引擎。Telegram 影片比交貨文件更早成為證明，倖存下來的裝備召喚下一筆訂單。這是一個以完全不同於冷戰式國防官僚開發週期的速度運轉的市場。

8-4 無人機交易（Drone Deals）— 歐洲武器出口辦公室，沙烏地阿拉伯、UAE、卡達十年合約

烏克蘭無人機原本是難以對外銷售的物品。

因為戰時國家能製造的所有無人機都必須送往前線。2022年全面入侵後，烏克蘭禁止武器出口。前線總是先伸手，即使海外客戶想要，也無法出售。Washington Post 在 2025 年報導，約 500 家無人機製造商希望出口，但實際銷售因戰時需求與行政程序而受限。

然而，隨著戰爭拉長，計算改變了。生產能力開始超過政府購買力。根據 Georgetown University 安全研究，烏克蘭國防科技製造商聯盟（Tech Force in Ukraine）表示，2024 年無人機與電子戰企業因政府合約不足，只運用了 37% 的產能。工廠可以繼續轉，卻沒有買家。

因此，出口不再是做生意，而是生存戰略。賣到海外賺錢，維持生產線，再把那條生產線製造出的相當部分無人機送往前線，形成自我循環結構。澤倫斯基總統於 2026 年 4 月正式宣布「受控出口（controlled export）」。根據 Euronews 報導，他說：「某些武器類型的生產盈餘達 50%，這是國家對我國國防工業投資，以及與夥伴合作的直接結果。」

條件是，只賣給自 2022 年全面入侵以來支持烏克蘭的國家。

動作很快。根據 Kyiv Independent，烏克蘭決定於 2025 年底在柏林與哥本哈根設立第一批國防出口代表處。這是 Kamyshin 與國防部長 Umerov 親自宣布的內容。Reuters 在 2026 年 3 月報導，烏克蘭正與德國、英國、丹麥、荷蘭推動無人機共同生產，挪威也預計加入。

中東也敲門了。烏克蘭媒體 New Voice of Ukraine 在 2026 年 4 月報導了與沙烏地阿拉伯、卡達、UAE 的所謂「無人機交易（Drone Deals）」。根據 Reuters 報導，烏克蘭與沙烏地阿拉伯簽署防務合作合約，也與卡達簽署十年合作合約，並推動與 UAE 簽署同類性質合約。內容包含無人機共同生產、反無人機（counter-drone）系統、防空相關技術合作。

在戰場上驗證過的物品，不經展場也能取得市場。烏克蘭無人機產業正是走上了這條路。產品說明書之前，戰鬥影像先流傳；展覽攤位之前，擊落統計先引來客戶電話。

國防出口的語言改變了。

8-5 請幫忙阻止伊朗 Shahed 的電話 — 海灣對烏克蘭攔截無人機發出的邀請

海灣國家看向烏克蘭的理由很簡單。因為他們也看見了 Shahed（見證者）。

伊朗製自殺無人機 Shahed 價格低廉、大量飛來，並迅速掏空昂貴飛彈防禦網的彈藥庫。多年來，烏克蘭一直在對付俄羅斯發射的 Shahed 系列無人機。一開始是用昂貴飛彈攔截。然而，用一枚價格數百萬美元的防空飛彈去持續攔截一架價值數萬美元的 Shahed，從數學上看就是一場必輸的遊戲。防空飛彈庫存一旦見底，就會無法阻擋真正的威脅，也就是巡弋飛彈與彈道飛彈。

因此，烏克蘭反向思考。用無人機抓無人機。攔截無人機 Sting 會在空中追蹤 Shahed，並以撞擊方式擊落。報導指出，單價約在 2,000~6,000 美元。若用數千美元的攔截無人機取代數百萬美元的飛彈，昂貴飛彈就能留給更危險的目標。

聽到這個消息的中東產油國開始打電話。

Reuters 在 2026年3月報導，烏克蘭向 UAE、沙烏地阿拉伯、卡達、科威特、約旦等五國派遣 228 名無人機攔截專家。他們負責因應伊朗無人機攻擊的防空諮詢與攔截支援。2026年4月 Reuters 後續報導指出，包括沙烏地阿拉伯與 UAE 在內的海灣國家，正在研究價格約 2,500 美元的烏克蘭設計攔截無人機。

澤倫斯基總統在 2026年3月對英國國會演說時，直接提出了這個脈絡。根據 Business Insider 報導，他表示，烏克蘭每天可以製造 2,000 架有效的攔截無人機，其中一半用於國內防衛，另一半可供應盟友。

烏克蘭需要錢，海灣需要經驗。一方沒有資金讓工廠繼續運轉，另一方則厭倦了用昂貴飛彈攔截廉價無人機的結構。因此電話打來了。「請幫忙阻止 Shahed。」

那通電話既是武器採購請求，也是在詢問 21世紀國防產業的方向。是要無止境發射昂貴飛彈，還是要培養便宜且大量的攔截手段。烏克蘭已在戰場上驗證了後者的答案，而世界武器市場開始詢問這個答案的價格標籤。

8-6 俄羅斯的因應 — 軍費 GDP 7.5%、創設無人系統軍，以及無法填平的差距

俄羅斯也沒有停在原地。

SIPRI（斯德哥爾摩國際和平研究所）在 2026年4月發布的報告中估計，俄羅斯 2025年總軍費為 1,900億美元，占 GDP 的 7.5%。這相當於全球平均軍費占比 2.5% 的三倍，也代表俄羅斯是僅次於美國、中國的全球第三大軍費支出國。SIPRI 研究員 Lorenzo

Scarazzato 表示：「2025年，俄羅斯與烏克蘭兩國軍費占政府支出的比例都達到歷史最高水準。」

在 2026年預算案中，俄羅斯將國防費小幅降至 14兆9,000億盧布，占 GDP 的 6.3%。這是全面入侵後名目軍費首次下降，SIPRI 分析認為這是財政壓力的訊號。為抑制通膨而採取緊縮貨幣政策，使 2025年底財政赤字達 GDP 的 2.6%；俄羅斯政府必須將 VAT 提高至 22%、公司稅提高至 25%，以支應戰爭成本。

然而，把錢灌進去，與那筆錢能否產生效果，是兩回事。

俄羅斯在 2025年11月將無人系統軍（VBS）創設為新的軍種。根據 Wikipedia，截至 2026年5月，約部署 11萬4,000 名兵力。烏克蘭總司令 Syrskyi 在 2026年4月表示，俄羅斯試圖在年底前將無人系統兵力擴大至 16萬5,000 人規模。Jamestown Foundation 分析，這是把烏克蘭戰爭中得到的教訓制度化的變化。烏克蘭在 2024年6月成立無人系統軍後，俄羅斯也在 17 個月後跟進，把無人機納入軍事結構之中。

俄羅斯的因應很龐大。它可以投入預算、建立軍種、增加兵力。

然而，龐大不等於敏捷。

烏克蘭的無人機生態系在小空間裡快速運轉。設計者見飛手，飛手傳來摧毀影片，企業當晚就更換零件。創新週期是一週。俄羅斯官僚式軍事採購體系很難追上這種速度。西方半導體制裁也牽制俄羅斯。需要高性能晶片的 AI 無人機自主飛行、電子戰規避演算法、目標辨識軟體開發，俄羅斯都在零件採購上遭遇困難。

差距不只來自金錢規模。

而來自學習速度。

俄羅斯越增加軍費，戰爭就越昂貴。烏克蘭越增加無人機，戰爭就越被切碎。單一戰車在單一工廠裡長時間製造的時代，與每週改造數千個小眼睛與小翅膀並大量傾瀉而出的時代，正在同一片戰場上碰撞。

國防產業如今已不只是坦克與飛彈的產業。焊接的手、修改程式碼的開發者、改裝農業用馬達的工程師、從前線回來的士兵發出一則簡短 Telegram 訊息，全都成為國防的一部分。

不對稱經濟學曾是貧窮一方的發明。然而現在，富裕國家也排隊想學。戰爭是一所殘酷的學校。烏克蘭在這所學校付出了最昂貴的學費，而世界國防市場正站在門口，想購買那本筆記。

尾註

1. Pantsir-S 價格：United24 Media（2026.4），"Ukrainian National Guard Blows Up \$15 Million Russian Pantsir-S" 以及 SBU 無人機攻擊相關報導。2. Kamyshin 經歷：Wikipedia, "Oleksandr Kamyshin"; CBS 60 Minutes（2026.3 播出），訪談全文。3. ZBROYARI 構想：Wikipedia, "ZBROYARI: Manufacturing Freedom". 4. 無人機企業增加：OSW（波蘭東方研究中心），"Game of drones: the production and use of Ukrainian battlefield unmanned aerial vehicles"（2025.10）。5. 無人機產量：CBS 60 Minutes Kamyshin 訪談（年產 2,000 架→400萬架）；Kyiv Independent（2025.3），Kamyshin Radio Khartia 訪談（FPV 年產 500萬架產能）；Aviation Week（2026.5），"Ukraine Eyes Drone Production Topping 7 Million Units"; Euromaidanpress（2026.1），烏克蘭國防部副部長 Boiev NATO 演說。6. 自製比例：Reuters（2025.9），澤倫斯基發言（國內生產武器 60%）；ChinaTalk（2026.4），業界訪談（FPV 最終組裝 99%）。7. 無人機產業財務：OSW 報告（2025.10），Euromaidanpress（2026.1）引用。8. 民用無人機進口：烏克蘭國家海關署資料（2025年第1季），Yahoo News 報導。9. 無人機出口：Washington Post（2025.9），"The world wants Ukraine's cutting-edge drones"; Euronews（2026.4），澤倫斯基宣布「受控出口」；Kyiv Independent（2025.11），柏林、哥本哈根出口辦公室。10. 中東無人機交易：Reuters（2026.3），向中東 5 國派遣 228 名專家；Reuters（2026.4），海灣研究攔截無人機；NV Ukraine（2026.4），沙烏地阿拉伯、卡達、UAE 合約。11. 海灣攔截無人機價格：Reuters（2026.4），約 2,500 美元；Business Insider（2026.3），澤倫斯基英國國會演說。12. 俄羅斯軍費：SIPRI（2026.4），"Trends in World Military Expenditure, 2025" — 俄羅斯 1,900億美元，GDP 7.5%；SIPRI（2026.3），"A Budget for a Fifth Year of War" — 2026年預算 14兆 9,000億盧布。13. 俄羅斯無人系統軍：Wikipedia, "Unmanned Systems Forces (Russia)" — 2025.11 創設，2026.5 約 114,000 人；Jamestown Foundation, "Russia's Unmanned Systems Forces Become Wildcard in Moscow's Military Modernization". 14. 蛛網行動成本：王志安分析逐字稿（專案「分享知識」）— 無人機、爆裂物低於 20萬美元，總成本估計低於 500萬美元，損失約 70億美元。15. Nemesis 團戰績：Kyiv Independent，無人機指揮官深度訪談（專案「分享知識」）— 摧毀敵方防空資產超過

10億美元。 16. SBU Alpha 部隊：同一訪談 — 估計使俄羅斯 Pantsir 現役庫存約半數失去戰力。 17. Kamyshin 訪談「擊殺一名俄軍成本低於 1,000 美元」：CBS 60 Minutes（2026.3 播出）逐字稿（專案「分享知識」）。

第9章 你所準備的戰爭不會再次發生

9-1 「你們將完全無法使用艦隊」——一名某國軍人提出的問題

他來自哪個國家，並未公開。軍階也未揭露。在會見烏克蘭無人系統部隊的無人機指揮官時，那位西方國家的軍官，大概是想到了自己國家的海軍，於是這樣問道。

「在現代戰場上，要如何運用艦隊？」

被問到的指揮官也許思考了一會兒。也可能沒有。因為他心中早已有答案。因為他是親眼看見黑海發生了什麼的人。

「你們將完全無法使用艦隊。」

這個回答不是對海軍的侮辱。也不是懷疑艦長們的勇氣。它的意思是，海上的算術已經變了。價值數千億韓元的巡防艦一離開港口，海岸線某處的貨櫃門就會打開。裡面一艘約30萬美元的海上無人機被放到水面。它被雷達捕捉得很晚，速度足夠快，裝載的炸藥足以撕裂軍艦裝甲。如果不是一艘，而是十艘同時出擊，軍艦艦長所剩的時間不到幾分鐘。

指揮官的這番警告來自經驗。烏克蘭事實上沒有海軍。幾乎沒有剩下什麼足以稱為自有艦隊的東西。然而，它卻把曾是世界上最強大海軍之一的俄羅斯黑海艦隊逼回港內。迫使所有軍艦躲藏起來。截至2026年，黑海上的俄羅斯軍艦已經消失。這是烏克蘭安全局（SBU）開發的海上無人機 Sea Baby 及其後續型號所做到的事。它們反覆打擊俄羅斯海軍資產與黑海基礎設施，到了2026年，甚至公開了能夠越過黑海、在更遙遠海域執行任務的新一代海上無人機。

指揮官留下的建議是這樣的。如果非要使用艦隊，就把它限制在海岸砲兵或海岸防空的角色。只用來防衛海岸線。如果出海，就會被擁有無人系統的敵人迅速擊沉。

這段對話造成的波紋，並未止於那位提問的軍官一人。在接受 Kyiv Independent 採訪時轉述這段故事的無人機指揮官，語氣平靜地補充說，自己有時會對前來會面的西方軍人所提出的問題感到驚訝。驚訝於他們還不知道的事情有多大。

9-2 戰鬥直升機、攻擊機、戰車縱隊——變得無法使用的武器清單

當那位軍官詢問艦隊時，無人機指揮官並沒有停在海上的故事。因為清單還很長。

「你們將無法使用航空兵力。我說的是軍用航空、直升機。也無法用攻擊機實施打擊。戰車、裝甲車、部隊排成縱隊推進，也做不到。照你們所學的方式來說。那一切都已經是過去了。」

這句話之所以沉重，是因為那個「過去」，其實正是世界幾乎所有軍隊的「現在」。戰鬥直升機被設計來低空飛行、獵殺敵方戰車。攻擊機受訓去打擊戰線後方的目標。戰車縱隊則是在砲兵與步兵掩護下突破缺口。數十年來，這就是現代戰爭的骨架。這是軍事學校教授的內容，是預算官員換算成數字的東西，也是軍工企業搬上生產線的產品。

然而，在烏克蘭戰線上，那副骨架斷裂了。引擎一啟動，熱源就會被捕捉；在道路上行駛，就會留下軌跡；停在同一個地方，就會變成座標。在偵察無人機覆蓋天空的戰場上，移動本身就成為了報告。英國 The Sun 在2026年的前線報導中指出，戰線上形成了寬達10至15公里的無人機殺傷區。在那之中，兵力與裝備的移動都處於持續監視與攻擊之下。

說戰車已經無用，只對了一半。更準確地說，是戰車能夠獨自存活的時代結束了。說直升機已經無用，也只對了一半。崩塌的是那套假設直升機能安全接近目標的教義。不是攻擊機不能飛。而是包含跑道、維修廠、燃料設施、飛行員、防空網、電子戰環境在內的整個體系，都已經落入無人機與監視網的網中。

武器不會消失。只是不能再像從前那樣使用。而這一點更加可怕。因為昂貴裝備仍留在倉庫裡，卻失去了在戰場上使用的方法。美國陸軍上尉羅南·塞普頓在2022年負責於德國為8,000多名烏克蘭士兵提供基礎訓練任務，他在 60 Minutes 訪談中坦言，幾乎立刻，美國人就開始向烏克蘭人學習。最先領悟到的是「需要更多無人機」，而且它們必須出現在訓練場的每一處。

塞普頓上尉現在任職於陸軍烏克蘭經驗汲取特別小組。他的工作，是把烏克蘭的戰場經驗翻譯進美國龐大的軍事體系。他的判斷是這樣的。榴彈砲仍然需要，艾布蘭戰車也仍然需要，但必須找出讓無人機與這些裝備協同運作的方法。他說，這項挑戰正是準備下一場戰爭的核心。

9-3 「如果沒有 GPS 會怎樣？」 「不會有 GPS。」

這件事發生在某個訓練場。

西方軍人與軍工技術人員自信地帶來了一批物品。數百套以 GPS 為基礎的無人系統。他們說，這些是已經完成開發、進入量產的裝備。他們展示給烏克蘭指揮官看，並問道。

「你認為這些可以怎麼使用？」

指揮官不是技術人員。但他有經驗。因此他問了幾個問題。「連線如何確保？發射如何進行？」聽完回答後，他說道。

「這東西不會運作。」

他們反駁。「我們有 GPS。」

指揮官說。「不會有 GPS。」

「為什麼不會有 GPS？不是有衛星嗎？」

「會被干擾。不會有 GPS。」

對話就卡在那裡。他們說，「不知道接下來會發生什麼」。

過了一段時間，他們又來了。這次帶著 GPS 強化裝置。「現在 GPS 會運作了，這個裝置會放大訊號。」指揮官看著那個裝置說。「我們在一年半以前用過這個。現在它已經不會運作了。」

「該死，我們已經買了好幾百個。」

這段對話令人背脊發涼的原因，不是對技術的嘲諷。而是現代軍隊把太多東西放在一個看不見的訊號上。位置、時間、導航、砲兵校正、無人機飛行、車輛移動、通訊同步。GPS 不是戰爭的便利設施。它已經成了戰爭的血管。俄羅斯與烏克蘭的電子戰，學會了如何壓住這條血管。GPS 干擾會把無人機送往錯誤的位置，欺騙式干擾會騙過導航，甚至使民間區域陷入危險。2026年6月，Business Insider 也曾報導，一艘受到俄羅斯電子戰影響而失去航向的烏克蘭海上無人機，被推向羅馬尼亞康斯坦察港方向並發生爆炸。

GPS 消失的戰場，並不是回到紙本地圖與指南針的時代。慣性導航、地形比對、影像辨識、光纖操控、多感測器融合、以機器學習為基礎的干擾偵測，會一起進場。這是從依賴單一訊號的時代，走向疊加多種感官以求生存的時代。發表於 arXiv 的研究，處理了用於 GNSS/GPS 干擾與欺騙式干擾偵測的機器學習方法，也有人提出在無人機群中比較 GPS 座標與超寬頻測距，以找出偽造與篡改的方法。

西方軍隊耗費數億美元打造的系統，在烏克蘭戰線上卻只是一年半前就被淘汰的技術。這不是金錢的問題，而是速度的問題。戰場比實驗室更快。戰爭不會等待採購程序。

9-4 在 NATO 訓練中，少數無人機操作員擊敗大部隊的那一天

2025年5月，愛沙尼亞。名為「Hedgehog 2025」的 NATO 聯合訓練舉行。來自12個盟國、超過16,000名士兵參加。英國的挑戰者2型戰車、阿帕契攻擊直升機、HIMARS 火箭砲投入其中。這是一份彷彿會出現在現代地面戰教科書中的裝備清單。

訓練中準備了一個情境。包含英國旅與愛沙尼亞師在內、規模達數千人的戰鬥群發動攻擊。按照教範，裝甲部隊在前，步兵跟進，砲兵支援。

當他們開始推進時，對面站著約10名烏克蘭無人機操作員。他們是從前線輪替、短暫離開戰場的實戰經驗者。

不到半天。根據 Wall Street Journal 報導，這支10人的烏克蘭操作員小隊扮演敵軍角色，模擬摧毀17輛裝甲車，並執行約30次打擊。一名參與者這樣形容。「一天之內清除了兩個營。」對方的反應更加直白。Euromaidan Press 引述一名 NATO 軍人的話是這樣的。「我們完蛋了（We are f—）。」

究竟發生了什麼？

一名參與者回憶，NATO 戰鬥群「只是到處走動」。沒有偽裝就搭起帳篷，把裝甲車並排停放。沒有確認地雷，下車後也沒有分散。他們沒有把無人機已經讓戰場變得透明這件事納入計算。愛沙尼亞軍方無人系統負責人艾瓦爾·漢尼奧提表示，他們在不到4平方英里的區域內放飛了30多架無人機。他的評估是：「沒有地方可躲。」

烏克蘭小隊使用了名為 Delta 的戰場管理系統。這是一套收集即時資訊、由 AI 分析、識別目標，並在指揮部與打擊部隊之間協調座標的系統。這套系統首次在愛沙尼亞土地上運作，顯示出無人機戰爭的核心不在單一裝備的性能，而在於連接情報與打擊的速度。

隸屬於 412 Nemesis 旅的操作員也參加了這場訓練。根據 Ukrainska Pravda，起初愛沙尼亞指揮官不知道如何使用這些烏克蘭操作員。只是讓他們待命，等著看會不會發生什麼事。烏克蘭士兵先主動出手。他們說明：「除了轟炸之外，我們也能用於偵察、後勤、打擊規劃」，並開始與愛沙尼亞偵察無人機小隊合作。愛沙尼亞人找到目標，烏克蘭人實施打擊。

愛沙尼亞安全專家伊爾馬爾·拉格在訓練後發表分析。根據烏克蘭無人機操作員的估算，光是愛沙尼亞一個國家，在戰時每月就需要20萬架無人機。烏克蘭已把無人機產量從2024年的220萬架提高到2025年的450萬架，但 NATO 盟國中，尚無國家接近這樣的工業能力。

這場訓練留下的不是戰敗紀錄。而是戰敗原因的紀錄。16,000名士兵用自己的眼睛確認了戰鬥順序中漏掉的是什麼、哪些假設錯了、哪些習慣會變成生命代價。退役美國將軍大衛·裴卓斯指出，解方不是買更多無人機，而是要重新設計概念、教義、訓練、組織與採購。

9-5 「唐納·川普也許以為我們沒有牌可打」——戰場的不對稱改變談判桌

2025年2月，華盛頓。唐納·川普總統對澤倫斯基說，烏克蘭在談判中沒有牌可打。The Brussels Times 報導，到了2026年3月，他也曾說澤倫斯基手上的牌變得更少了。三個月後，2025年6月1日，蛛網行動執行了。

所有人都看得出來，時機並非偶然。那正是土耳其伊斯坦堡與俄羅斯舉行和平談判的前一天。烏克蘭沒有使用任何一件美國裝備。它把117架自行製造的 FPV 無人機藏進卡車貨櫃，秘密運入俄羅斯本土深處，然後同時打擊分散在西伯利亞與北極圈的4座空軍基地。美國事前沒有收到通知。根據 Kyiv Post，行動進行期間，川普總統人在維吉尼亞的高爾夫球場，五角大廈則是在行動結束後才得知事實。

一夜之間，俄羅斯戰略轟炸機艦隊超過三分之一被摧毀或受損。Tu-95MS、Tu-22M3、Tu-160 戰略轟炸機、A-50 預警機在跑道上燃燒。烏克蘭聲稱摧毀41架，線上分析人士以視覺確認約14架，兩名美國官員則向路透社表示，約20架遭擊中，其中10架被摧毀。損失估計約70億美元。投入成本看來不到500萬美元。

Christian Science Monitor 分析，澤倫斯基真正的目標不只俄羅斯。還有美國。烏克蘭能夠在俄羅斯本土深處，真的非常深處，造成嚴重損害這一事實，正面否定了「沒有牌」的假設。

川普的反應很複雜。根據 Washington Examiner，行動一週後，在空軍一號上接受記者提問時，川普被問到澤倫斯基手上的牌是否變多了，他這樣回答。「他們給了普丁轟炸的理由。我不喜歡那樣。我看到那畫面時心想，好了，現在報復要來了。」但大約同一時期，川普也在社群媒體上寫道，普丁「完全瘋了」，並警告他「在玩火」。

伊斯坦堡會談進行一個多小時就結束了。除了同意交換戰俘之外，在停火方面沒有進展。

領土與兵力並不是唯一的牌。讓對方後方不安的能力、用廉價裝備持續消耗昂貴資產的能力、把全世界軍工生態系拉進本國戰爭速度之中的能力，也都是牌。面對500美元無人機摧毀數千萬美元轟炸機的交換比，談判桌上的計算方式開始讀取的，不再是裝備清單，而是交換比的斜率。蛛網行動把那條斜率展示給了全世界。

被摧毀的飛機中，有些是俄羅斯已經不再生產的機型。這些飛機是可搭載核飛彈的戰略轟炸機艦隊的一部分。俄羅斯投射核威懾力的手段因此減少。Foreign Policy 評價，這次行動正面否定了俄羅斯不可戰勝的神話。俄羅斯一直把這場戰爭中的勝利說得像是無可避免，但自家轟炸機在西伯利亞中央燃燒的畫面，撕裂了那套敘事。

而截至2026年6月9日，根據 The Hill 報導，川普政府仍在拖延與烏克蘭的大規模無人機交易。澤倫斯基在 CBS 訪談中表示，「這項合作可能成為世界上最強大的合作」，但也說「尚未簽署大型文件」。他說，中東與非洲國家率先表達興趣，但烏克蘭優先考慮華盛頓。在戰場上證明過的牌，要在談判桌上被接受，看來還需要另一種時間。

9-6 德國與烏克蘭無人機合作、EU 無人機產業獨立——歐洲安全版圖的重組

2026年4月14日，柏林。澤倫斯基總統率領政府代表團訪問德國。總理弗里德里希·梅爾茨接待了他。兩人並肩站立的展示場中，擺放著德國與烏克蘭共同生產的無人機。梅爾茨親自查看了 Strila 無人機。

在這個場合，兩國簽署了戰略夥伴關係宣言。根據德國聯邦政府文件，宣言明列防空、飛彈、無人機產業支援、共同生產、資料合作、共同研發。內容也包括對烏克蘭無人機產業的直接支援，以及成立無人機共同生產合資公司。根據德國國防部，2026年無人機領域合作的第一階段，預計生產數千架；Quantum Systems 與 Frontline Robotics 的合作，以及交付1萬架 Linza 無人機的計畫也正在進行。

同一天，德國 Auterion 與烏克蘭 Airlogix 的合資公司簽署第一份生產合約。根據 Tech.eu 報導，這份合約是把2026年2月慕尼黑安全會議上的宣布轉化為實際生產，將在德國生產線每年製造數千套中程、大型、AI 導引的自主打擊系統。這是德國史上最大規模的大型自主打擊無人機生產訂單。

梅爾茨總理在記者會上這樣說。「這項夥伴關係不只是為了烏克蘭的防衛。也是為了我們的安全。因為近幾十年來，歐洲沒有任何一支軍隊像烏克蘭一樣經歷過實戰。」澤倫

斯基表示，「向德國提出了無人機協定、雙邊無人機交易」，並補充說，其中「包括各類型無人機、飛彈、軟體、現代防禦系統」。烏克蘭國防部長費多羅夫則評價，德國決定提供的40億歐元支援套案，是「對防空能力的巨大增強」。

這股潮流不是援助的語言。是生產的語言。烏克蘭不只是要求提供武器。它說的是一起製造。德國企業、愛沙尼亞試驗場、烏克蘭戰場資料，被放上同一塊電路板。OSW（波蘭東方研究中心）2026年4月的分析，指出了 Auterion-Airlogix 合資、Helsing 與烏克蘭 Terminal Autonomy 的合作，以及在德國境內生產烏克蘭設計無人機的趨勢。這不是工廠的搬遷。而是戰爭回饋的搬遷。這是一種前線以一週為週期更新的技術，流入德國生產線的結構。

三週後，2026年5月5日，歐盟執行委員會更進一步。它公告招募 EU-烏克蘭無人機聯盟的創始會員。具備 EU 與烏克蘭無人機及反無人機生態系經驗的企業，將組成創始理事會，決定聯盟的優先事項與活動方向。根據 Kyiv Independent，執行委員會表示，「EU 會員國領空反覆遭到侵犯的情況，顯示出建立能夠應對無人航空器的靈活且敏捷的歐洲能力具有急迫性」。目標是在2026年底開始運作，並在2027年前發展合資企業、技術路線圖、互通性標準。

冷戰以後，歐洲在美國的戰略保護傘下睡了很久。那把傘很方便。下雨時打開就行了。曾有一段時期，美國是歐洲絕對的安全保證人。歐洲各國意識到那個時期正在結束，並不只是因為俄羅斯的入侵。美國內部的政治變化、援助承諾的動搖，以及從大西洋彼岸傳來的信號，全都疊加在一起。

在無人機的時代，雨不只從上方落下。戰爭會從倉庫門縫、港口水面、森林裡的土路、民間通訊網、商用零件供應鏈滲入。傘只能遮住頭。擋不住從腳踝灌進來的水。

無人機指揮官在 Kyiv Independent 訪談中這樣建議歐洲國家。從小處開始。從徹底研究俄羅斯與烏克蘭戰爭的經驗開始。並且「不要把所有錢都準確地投入裝甲車、砲兵、傳統戰爭手段」。他也警告，老牌大型武器製造商會遊說大家購買老式武器。他說，首先要創設自己的無人系統部隊，培養獨立能力。

歐洲確實很晚才翻開那本帳冊。但一旦翻開之後，就開始急著畫線。

準備過去戰爭的軍隊，會在下一場戰爭的第一天感到慌亂。更大的艦隊、更厚的裝甲、更昂貴的戰鬥機，並不是答案。需要的是能快速更換零件的手。需要的是能在當天晚上重新修好失敗裝備的工廠。需要的是能把前線士兵傳來的影像，反映到下週生產線的系

統。需要的是即使在 GPS 消失的天空中，也能找到道路的感覺。

一個國家所準備的戰爭，不會再次到來。再次到來的，只有戰爭這個名稱。

烏克蘭的無人機戰爭，以昂貴而鮮明的方式展現了這個事實。

第10章 韓半島的無人機——這場戰爭對我們說了什麼

2022年12月26日，首爾的天空是灰色的。

通勤時間的地鐵擠滿了人，漢江上一座座橋都塞著車，江邊公寓的窗戶上還留著聖誕裝飾。可是軍方雷達畫面上出現了幾個小點。緩慢、低空、移動不規則。是鳥群嗎。不是。五架北韓無人機正越過軍事分界線。

戰鬥機升空了。輕攻擊機KA-1出動了。攻擊直升機隨後跟上。機砲開火。一度連民航機運行也被迫停止。其中一架甚至飛到首爾北部上空，並延燒成是否侵犯總統辦公室附近禁航區的爭議。追蹤持續了將近五個小時，約發射了100發彈藥。然而結果是擊落0架。應對過程中，還損失了一架墜毀的KA-1。

那是龐大的軍隊，連一個小點都抓不住的一天。

那個場景不能只被當成一則羞辱性的插曲。它是一份通知書，告訴我們韓半島戰爭的語法正在改變。北韓無人機不是先進的匿蹤轟炸機。它很慢，很小，應該也不貴。威脅的核心不在性能。正因為它慢、便宜又小，才從既有防空網的眼睛與手之間鑽了出去。戰爭有時就是以這種方式抵達。它首先打擊的不是高性能武器，而是陳舊的思維方式。

10-1 2022年12月，首爾上空的北韓無人機——一架也沒能擊落的一天

韓國軍方長久以來一直看著北韓的長程火砲、特殊部隊、彈道飛彈與核武器進行準備。那些都是實際威脅。停戰線北側的坑道、機動發射車、多管火箭陣地、潛艦基地，都有肉眼可見的危險。因此韓國的軍事準備大致上都對準了又大、又快、又強的東西。更快的戰鬥機、更精準的飛彈、更厚實的防禦屏障。2022年12月飛過首爾上空的，卻正好相反。

那架無人機很小。很慢。雷達截面積（RCS）極低，以數十億美元打造的先進雷達與防空系統，甚至不容易捕捉到它。戰鬥機太快了。直升機可以接近，但在市區上空射擊，立刻就意味著民間損害的風險。為了抓一架無人機而派出戰鬥機與直升機的場面，從軍事上看是應對，從經濟上看卻是一張倒置的帳單。

烏克蘭戰場每天都在重寫這張帳單。幾百美元的FPV無人機，讓價值數百萬美元的戰車停下。幾千美元的無人機，找出並摧毀價值1,500萬至2,000萬美元的Pantsir防空系統。

不是昂貴武器打敗廉價武器，而是廉價武器不斷迫使昂貴體系被叫上場。Nemesis團指揮官在接受Kyiv Independent訪問時表示，光是該團在2026年以來就已摧毀超過10億美元的俄羅斯防空資產。

在韓半島，問題也是一樣的。當一架北韓無人機飛入首爾上空時，我們能在幾分鐘內採取多昂貴的應對。以及，我們能否一天重複這種應對十次、一百次、一千次。

10-2 一邊高喊50萬無人機戰士，一邊解散無人機司令部的矛盾

2025年9月，時任國防部長安圭伯公布了「50萬無人機戰士」構想。這是一項計畫，要讓所有徵召入伍士兵在義務服役期間都有機會接受無人航空系統（UAS）訓練。陸軍第36師團（原州）被指定為第一個試辦部隊，並有報導指出，2026年度預算約編列330億韓元，以取得約1萬1千架訓練用商用無人機。根據Korea Herald，國防部說明，這項計畫「不僅提升軍隊的無人機作戰能力，也為士兵退伍後在相關產業發揮所長奠定基礎」。

方向本身很難否定。烏克蘭戰爭之後，把無人機感覺植入全軍，是無可迴避的選擇。然而同一時期，另一則消息傳了出來。

2026年1月，國防部轄下的民官軍聯合特別諮詢委員會建議廢除無人機作戰司令部。根據首爾新聞報導，隨著聯合作戰司令部的創設，無人機作戰司令部被認為將走向解散程序。然而之後風向變了。2026年3月19日，國防部宣布不廢除無人機作戰司令部，而是改編其角色。方案是將作戰功能分散至各軍種，同時把該部隊改編為以無人機政策、教育、民間合作為核心的單位。

這裡有可以理解的情況。無人機作戰司令部深陷政治爭議。2024年平壤無人機滲透疑雲與緊急戒嚴政局重疊，使這個組織無法繼續作為純粹軍事創新的象徵。它被政治之網纏住了。但戰爭不會等到政治傷口癒合。

問題不在名牌。比起維持司令部或改編司令部，更重要的是：誰負責無人機戰力，誰進行實驗，誰記錄失敗，誰在一週後用新方法修正。

War on the Rocks在2026年6月刊出的分析，尖銳地指出了這個問題。這篇文章由前韓國軍防空飛彈操作員、反無人機紅隊共同創辦人撰寫，指出50萬無人機戰士計畫的結構性矛盾。韓國軍方目前擁有的訓練用小型無人機只有約1,100架，而商用無人機將近90%來自海外（多數為中國）製造，因此符合韓國產零件要求的供應不足。韓華與LIG Nex1正在進行巡飛彈藥（loitering munition）計畫，但那是戰鬥用武器系統，不是可分配給

徵召士兵的訓練用無人機。

烏克蘭戰場的教訓，並不止於「建立無人機部隊」這句話。更殘酷的教訓另在他處。如果組織跟不上技術速度，士兵就會拿著過時教範進入新戰場。那就像拿著紙本地圖走進元宇宙會議室。烏克蘭在2024年創設無人系統軍（SBS），賦予其獨立指揮權與預算，實現以一週為單位的前線回饋創新。與此相比，口號與執行之間的距離便清楚可見。

10-3 停戰線248km、首都圈密集、LNG基地——比烏克蘭更狹窄、更密集的戰場

韓半島的戰場比烏克蘭狹窄。危險並不小。密度很高。

烏克蘭領土約為整個韓半島的三倍。戰線也橫跨超過1,000km的廣大土地。相較之下，韓半島軍事分界線（MDL）總長僅248km（155英里）。隔著這條狹窄的線，世界上數一數二規模的軍事力量以超密集狀態彼此對峙。

距離是問題。從停戰線到首爾北部不過40至50km。就在這狹窄的縱深（戰線深度）內，聚集了大韓民國一半人口與國家GDP的大部分。機場、港口、發電廠、變電所、資料中心、通訊網、物流中心、LNG儲存基地、石化園區，沿著首都圈與海岸交織在一起。

在烏克蘭，像蜘蛛網行動那樣，無人機必須飛行數千km，攻擊俄羅斯本土的戰略轟炸機基地。必須準備18個月，把無人機藏進卡車裡偷運。韓半島不需要那麼複雜的路徑。只要在停戰線附近放飛幾百美元的小型無人機或民間改裝無人機，幾分鐘內就能抵達首都圈北部。即使沒有爆炸，社會也會停頓。盤旋在變電所上方的無人機、出現在港口起重機附近的不明飛行物、出現在機場跑道進場路徑的小型無人機、拍攝LNG設施外圍的偵察無人機。小小的機翼會擾亂城市的心跳。

烏克蘭Nemesis團指揮官在接受Kyiv Independent訪問時這樣說：「今天，我們明白敵人的每一次移動、每一次戰鬥行動都受到無人機監控。而且無人機首先進入戰鬥。」前線5km內所有車輛實質上都面臨死亡的前線現實，在韓半島必須與另一個事實一起閱讀：前線與首都圈之間的距離不過是它的幾倍而已。

一旦戰爭爆發，人們很容易只想像戰車最先南下的畫面。實際上，第一天的恐懼可能會從更小、更多的地方而來。

10-4 徵兵制軍隊能否培養「穿帽T的玩家」

烏克蘭無人系統軍（SBS）的核心人物，與傳統軍人形象相距甚遠。Kyiv Independent採訪的Nemesis團指揮官如此形容：「穿著帽T的玩家、抽電子菸的人，那大概是烏克蘭武裝部隊的70%。我們更多，大約90%。」在軍服外套上帽T，手裡握著搖桿，從Telegram頻道取得新天線資訊的人們。軍階雖低，戰場感覺卻很快。

烏克蘭把這些人的技術感與創意原封不動地納入軍事組織。15,000人的招募公告中明確列出電子工程師、程式設計師、3D設計師、專案管理者。SBS司令馬迪亞爾在招募影片中說：「無人機正在等待飛手，而不是相反。」根據60 Minutes報導，其創新週期約為一週。把無人機送上前線、取得回饋、改變某些東西、推出新版本，一週就足夠。

韓國軍隊是徵兵制軍隊。這既是弱點，也是資產。

弱點是服役期間短，熟練度難以累積。以18個月（以陸軍為準）的義務服役，要培養能掌握日益複雜的電子戰迴避技術或AI自主飛行編碼能力的精銳無人機專家並不容易。資產則是，每年年輕世代的技術感會進入軍中。擅長遊戲、摸過影像設備、寫過程式的青年，已經在營區裡。問題是，是否有眼光把他們看作軍事資產。

無人機操控不同於刺槍術。必須讀懂螢幕上像素的移動，預感訊號中斷的瞬間，同時計算電池、風與地形。失敗時，機體墜落。成功時，一件敵方裝備消失。這種能力，不會因為在訓練場大聲喊口號就產生。它需要反覆、競爭、實驗、回饋。

「50萬無人機戰士」不能停在數字口號。讓50萬人觀看操控教學影片，與培養5萬名熟練飛手、5千名維修與改裝人員、500名戰術設計者，是完全不同的事。無人機戰需要金字塔。廣泛基礎教育之上，必須疊加選拔、熟練、專業化、退伍後與後備軍的連結。

擅長操控的士兵應該更長時間操控。擅長修理故障的士兵應該去維修小組。提出奇怪點子的士兵，在挨罵之前應該被送進實驗室。如果軍隊認不出這種人，那個人退伍後只會拍無人機YouTube影片，國防則兩手空空。

2026年5月，有了一項動作。美國與韓國在首爾簽署了「無人機聯盟（Drone Alliance）」備忘錄。根據Stars and Stripes報導，國防部防衛AI企劃局長與美國陸軍國防出口合作副助理部長同意，共同建立無人機與反無人機系統的供應鏈，並制定提升互通性的共同標準。在戰士營韓福瑞，韓美官兵也一同完成了無人機殺傷力（lethality）教育課程。方向正在成形。問題是速度。

韓國國防工業已經站在世界舞台的中央。

2025年10月，李在明總統宣布，要到2030年把韓國打造成世界第4大國防工業強國。根據路透社報導，ADEX 2025展出了無人機、搭載AI的武器與自殺式無人機。根據Asia Pacific Defence Reporter (APDR) 2026年2月報導的專家訪談，韓國年度國防出口合約規模以2025年為準，接近約230億美元（32兆韓元）。分析認為，韓國已成為對NATO會員國供應武器的國家中，僅次於美國的第2名。韓華航太2025年營收達26兆6,100億韓元，創下歷史新高；現代Rotem則與波蘭簽署了約9兆韓元規模的K2戰車合約。

在其中，無人機在哪裡。

峨山政策研究院曾在2017年報告中評估，韓國無人航空器技術競爭力位居世界第7名水準。那是接近可能性的評價。市場支配力則是另一回事。民用無人機市場由中國DJI掌握，軍用無人機方面，美國、以色列、土耳其、伊朗已透過各自戰場證明產品。如今，烏克蘭也加入了那份名單。

烏克蘭在戰爭中成為無人機產業國。戰爭是實驗室，前線是品質檢驗場。Washington Post在2025年9月報導，烏克蘭約有500家無人機製造商。戰時需求與出口限制是瓶頸，但這個國家戰後成為無人機出口國，只是時間問題。根據Kyiv Independent訪談，烏克蘭已在歐洲10個國家開設武器出口辦公室，並與沙烏地阿拉伯、UAE、卡達等海灣國家簽訂以10年為單位的大型無人機出口合約。

對韓國而言，這既是機會，也是警告。韓國擁有製造基礎、半導體、電池、通訊、造船、國防出口網絡。KAI正在開發可與KF-21戰鬥機共同飛行的AI自主無人僚機（loyal wingman）無人機。韓華與LIG Nex1正在進行巡飛彈藥計畫。根據Seoulz國防分析，2026年當前，反無人機（counter-drone）領域被列為韓國國防新創中成長最快的類別。

然而，無人機戰的競爭力並不是只靠高級產品型錄就能打造。前線每週改變的電磁環境、像消耗品般使用的機體、士兵能自行修理使用的結構、民間新創與軍方的快速合約方式，都必須同時存在。正如60 Minutes報導，烏克蘭的創新週期是一週。從把無人機送上前線那一刻起，到取得回饋並推出新版本，只要那麼久就夠了。若韓國國防工業仍停留在既有方式，只是「長期開發成品，完美交付」的模式，在無人機市場可能會太慢。

無人機不是完美的精品包，而更像不斷撕裂、縫補著使用的戰鬥服。

10-6 北韓下令大量生產自殺式無人機——該學的與不能學的

2024年11月14日，金正恩親自觀摩了自殺攻擊型無人機測試。根據KCNA報導，無人航空技術綜合體與其轄下企業開發的「多種打擊距離的自殺攻擊無人機」，執行了對地面與海上目標的精準打擊任務。金正恩指示「盡可能快地建立連續生產體系，正式進入大量生產」。CNN將這種無人機稱為「自爆無人機（self-detonating drones）」，並分析指出，若像伊朗製Shahed-136一樣大量投入，將成為難以攔截的不對稱武器。

四個月後，2025年3月，北韓又向前邁了一步。公開了搭載AI技術的自殺式無人機與偵察無人機測試。根據GlobalSecurity.org，北韓同時也首次公開了疑似空中預警機的系統。隨後出現俄羅斯技術轉移疑雲。NHK在2025年2月報導，俄羅斯已同意向北韓提供多種類型無人機的大量生產技術支援。烏克蘭軍事情報局（GUR）局長基里洛·布達諾夫中將在2025年6月訪談中表示，俄羅斯正在支援北韓國內生產以伊朗製Shahed-126為模型的長程自殺式無人機Garpiya與Geran。War on the Rocks將此形容為「正在逼近韓半島旁邊的致命無人機盛宴（Deadly Drone Bonanza）」。

這大概不代表北韓已經製造出世界最高水準的AI自主無人機。然而，他們學到的不是技術頂點，而是戰爭方向。大量製造廉價平台，結合偵察與打擊，拉高防禦方成本。對經濟限制嚴重的北韓而言，能用幾百美元威脅大韓民國昂貴資產的無人機，是一張無法抗拒的不對稱牌。

我們該學的很明確。承認單價的不對稱。把小型無人機探測、識別、癱瘓體系密集鋪設在首都圈與關鍵基礎設施周邊。要用槍打，用電波切斷，用雷射燒毀，還是用網捕捉，每個現場都應有不同答案。2026年3月國防部舉辦的「大韓民國無人機攻防戰」競賽，可說是這個方向的起點。那是韓國國內首次雙方模擬戰鬥型實證競賽，由攻擊無人機隊與防禦反無人機隊在實際交戰情境中較量技術能力。總獎金1億5,200萬韓元，並有25億韓元規模的實證測試預算。

然而，也有不能學的東西。

烏克蘭Nemesis團指揮官在Kyiv Independent訪談中被問到人工智慧與自主武器時，這樣回答：「我們的政策是，決定始終由人來做。人工智慧可以提供幫助，但不能做出決定。」而在同一場訪談中，他對俄羅斯與中國這樣說：「他們不會在意這些問題。」

北韓也是如此。極權國家可以毫不遲疑地跨越平民誤炸、操作員安全、AI自主武器倫理限制（紅線）。韓國不能那樣做，也不應該那樣做。韓國面前的課題，是在守住倫理界線的同時，壓倒敵方自主武器的速度。這就是必須獨立發展防禦用AI技術，以及極高速輔助人類判斷的運算戰術的理由。

韓半島的無人機戰準備必須有三層。防禦、攻擊、產業生態系。必須在首爾與首都圈、機場、港口、發電廠、LNG設施、資料中心周邊，部署小型無人機探測與癱瘓體系。必須擁有可監視並打擊北韓砲兵、防空網、指揮所、機動發射車的低成本大量平台。平時作為民間產業運轉，危機時轉換為軍需生產的零件、電池、感測器、通訊、AI生態系，也不可或缺。

大學、新創、後備軍、玩家、電子工程師、AI開發者、國防大型企業，如果只是彼此懷疑，最後做出三本會議紀錄，那是不行的。無人機會在會議室裡老去。

2022年12月首爾天空中的小點已經消失。然而那些小點留下的問題仍然漂浮著。我們只是在準備大型戰爭嗎。還是也在準備小型機器動搖巨大秩序的戰爭。

烏克蘭展示了用血寫成的答案。戰爭不再只在將軍的地圖上移動。它已經降落到士兵的手指、民間工廠的焊點、新創公司的程式碼、在電波干擾中撐住的通訊模組之上。韓半島不能把那個戰場視為遙遠國度的故事。

飛過首爾天空的北韓無人機，是預告片。正片尚未開始。

（尾註）

1. 2022年12月26日北韓無人機侵犯領空事件：Axios, "South Korea fires warning shots after North Korea drones enter its airspace," December 26, 2022. 2. 50萬無人機戰士構想：Yonhap News Agency, "(LEAD) Defense chief unveils plan to foster drone warriors," September 4, 2025. 3. 無人機作戰司令部改編：Yonhap News Agency, "Defense ministry seeks to reform role of drone command instead of abolishment," March 19, 2026; Seoul Shinmun, "為移交戰時作戰控制權籌建聯合作戰司令部，曾放飛平壤無人機的無人機司令部將被撤銷," January 12, 2026. 4. 50萬無人機戰士批判分析：War on the Rocks, "South Korea's 500,000 Drone Warriors Will Be a Hollow Force," June 2026. 5. 韓國無人機訓練用機體取得計畫：The Defense Post, "South Korea Plans 11,000-Drone Purchase to Expand Military Training," April 15, 2026; Korea Herald, "S. Korean military to boost unmanned capabilities by training 500,000 'drone warriors,'" September 4,

2025. 6. 韓美無人機聯盟：Stars and Stripes, "US, South Korea agreement creates 'drone alliance' for shared systems, logistics," May 19, 2026. 7. 金正恩下令大量生產自殺式無人機：Korea Herald, "Kim Jong-un oversees 'suicide attack drone' tests, calls for mass production," November 15, 2024; CNN, "North Korea to mass produce self-detonating explosive drones," November 15, 2024. 8. 北韓AI無人機測試與俄羅斯技術轉移：GlobalSecurity.org/Radio Free Asia, "North Korea unveils its first airborne radar, AI-powered suicide drones," March 27, 2025; War on the Rocks, "North Korea's Deadly Drone Bonanza Is Coming to a Peninsula Near You," August 25, 2025. 9. 俄羅斯對北韓無人機技術支援：NHK報導（2025年2月），烏克蘭GUR布達諾夫中將訪談（2025年6月）。10. 韓國國防出口現況：Reuters, "South Korea to become 4th-largest global defence power," October 20, 2025; Asia Pacific Defence Reporter, "South Korea's defence technology export boom explained," February 4, 2026. 11. 韓國無人機技術競爭力：峨山政策研究院, "透過軍事用途推動無人機產業發展方案," 2017. 12. 烏克蘭無人機產業：Washington Post, "The world wants Ukraine's cutting-edge drones, but they aren't yet for sale," September 6, 2025. 13. 烏克蘭無人系統軍與Nemesis團：KyivIndependent, "West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says"（訪談全文）；CBC無人系統軍15,000人招募影片。14. 無人機創新週期與前線現況：60Minutes, "Drone arms race transforms war in Ukraine." 15. 大韓民國無人機攻防戰競賽：Boannews, "韓國國防部舉辦'2026大韓民國無人機攻防戰'," March 4, 2026. 16. 韓國國防新創生態系：Seoulz, "Korea Defense Startups 2026: Inside the Emerging K-Defense Tech Ecosystem," May 2026.

尾聲 「歷史正在此刻被創造」

前線的早晨，總是背叛昨天的教範。

一名士兵在把頭探出壕溝之前，會先看天空。天空中沒有戰鬥機。也看不見轟炸機。取而代之的，是一具手掌大小的機器在低空嗡鳴。它既不是鳥，也不是子彈。然而士兵知道，那微小的聲音，可能改變今天的命運。

戰爭一直如此改變自己。從馬匹到戰車，從壕溝到閃擊戰，從航空母艦到飛彈，然後到了現在，變成從士兵指尖飛起的無人機。問題不在於武器變了。問題在於，武器變化的速度已經快過人類的制度與常識。六個月前的戰術，如今已像舊衣一樣不合身。昨天還有效的頻率，今天就會被捕捉。上週還走得通的飛行路線，這週就成了死亡之路。在烏克蘭戰場上，戰術的日曆不是按季節翻頁，而是按週翻頁。

Nemesis 團的指揮官曾在接受 Kyiv Independent 採訪時這樣說。「戰爭正在改變。以前變得比較慢。一年一次，六個月一次。現在，任何戰術上的變化都可能在短短幾個月內發生。」他停了一下，又補充道。「歷史正在此刻被創造。未來已經到來，而文件化排在優先事項清單的後段。」

意思是，已經沒有時間撰寫教範了。因為在整理教義的時候，戰場又已經改變了。

2026年5月30日，烏克蘭軍隊在一天之內面對了俄軍投入的8,549架自殺式無人機。同一天，烏克蘭軍隊擊落了1,781架俄羅斯無人機。請反覆咀嚼這組數字。一天之內，數千架機器飛過前線；一天之內，數千架機器墜落。2022年戰爭初期，一年才消耗數千架無人機的戰場，如今一天就消耗同等規模。戰爭已經越過了「有無人機的戰爭」，進入了「能以多快速度製造、損失、再改造無人機」的戰爭。

道路上出現了網狀隧道。原本用於農業或漁業的網，覆蓋在前線道路上。曾經用來保護戰車的臨時裝置，如今成了士兵與車輛的日常通道；在那張網下，披著偽裝網的地面機器人載著彈藥箱奔跑。據 Business Insider 報導，烏克蘭在2026年於數百公里的前線道路上設置了反無人機網。其數量足以覆蓋美國佛羅里達州的長度。壕溝與鐵絲網的時代並沒有消失。只是它們之上，又覆蓋了一個新的層次。戰場不再只是泥土與鋼鐵的空間，而成了電波、影像、演算法、光纖、電池與塑膠機架交纏在一起的場所。

而在地面上，新的篇章也正在展開。2026年4月，澤倫斯基總統下令今年生產5萬台地面機器人。僅在2026年上半年，就已簽約採購2萬5,000台無人地面載具（UGV），這個數字接近2025年全年簽約量的兩倍。根據 Defense News 報導，一名老婦人在利曼灰色地帶穿越砲彈坑與鄰人的遺體，走了好幾個小時後，一台地面機器人追上了她。機器人將她撤離。超過200家企業正在生產地面機器人，167個部隊已經投入運用，僅2026年第一季就執行了超過2萬4,500次地面機器人任務。

有位指揮官說，機器人不會流血。

這句話很冰冷。但在那份冰冷之中，藏著想要挽救士兵生命的迫切。

然而，當我們說機器代替人類作戰的那一刻，我們就會錯過這場戰爭的核心。

無人機不會自己憤怒。機器人不會自己決定守護故鄉。演算法不會記住羞辱，也不會把手指放在祖國地圖上沉默。機器執行命令。決定方向的，是人。

Nemesis 團指揮官談到人工智慧時這樣說。「人工智慧可以提供幫助，但不能做出決定。我們不能把摧毀目標的任務委託給人工智慧。讓它飛過去攻擊某個東西，至於是否正確。不，決定永遠必須由人來做。」當被問到這項原則是否是倫理問題時，他回答。「首先，這關乎工作的有效性。我們必須知道自己正在打擊什麼。」

有些時刻，有效性與倫理會指向同一個方向。未經人類確認的打擊可能偏離目標，而偏離目標的打擊會侵蝕戰爭的正當性。讓機器代替判斷，速度或許會更快，但快並不代表正確。

當然，另一邊也有自己的邏輯。若俄羅斯與中國在沒有倫理限制的情況下發展自主武器，那該怎麼辦？面對這個問題，指揮官這樣回答。「我們不對俄羅斯或其他國家負責。我們對我們的軍隊、我們的防衛部隊、我們的部隊負責。」這個回答與其說是倫理宣言，不如說更接近戰場上的實用主義。無論對手怎麼做，自己的組織維持打擊的準確性與責任鏈條，才是更好的判斷。

沒有人知道這條界線還能撐多久。如果戰爭的速度變得更快，人類決定介入的空間就會縮小。到了那時會發生什麼，仍是尚未寫下的故事。

烏克蘭展現出的力量，並不只是技術的力量。那是接受技術之方式的力量。

丟棄失敗的武器，複製成功的裝置，把現場回饋送回工廠，再把工廠改良後的產品送回前線。每週就能推出新版本的速度。前線99%的無人機都是本國產品的事實。創造這個

循環的，不是伺服器或生產線，而是人。

出身釀酒廠工程師的人創辦民間企業，製造撤離傷兵的無人機。穿著連帽上衣的二十五歲程式設計師，整夜撰寫繞過電子戰干擾區的程式碼。曾經率領排級無人機部隊的指揮官，成為世界第一位無人機專責兵種司令。貫穿這些人的共同點是，他們做了教範裡沒有的事。因為教範還沒有被寫出來。

戰爭曾經是大型武器系統的展示場。更大的戰車、更長的跑道、更昂貴的艦艇、更複雜的防空網。然而烏克蘭戰場提出了另一個問題。如果一架300美元的無人機能讓價值數千萬美元的戰車停下來，國防預算的算術要從哪裡開始重寫？如果海軍薄弱的國家能用無人海上無人機迫使黑海艦隊退讓，海洋戰略的中心要轉移到哪裡？如果地面機器人能搬運補給、拖出傷患、監視敵軍陣地，戰場上的勇氣又將被重新定義成什麼模樣？

當西方軍人前來拜訪烏克蘭無人機指揮官時，他們展示了本國最新的無人系統，並尋求意見。指揮官問。「它如何運作？連線如何確保？」聽完回答後，他說。「如果沒有GPS，會怎樣？」他們說。「為什麼會沒有GPS？有衛星啊。」指揮官回答。「不會有GPS。」他們沉默片刻後說。「我們不知道接下來會發生什麼。」

過了一段時間，當他們再次前來時，帶來了強化GPS訊號的設備。指揮官說。「我們一年半前就用過那套設備了。今天，它已經無法運作。」他們說。「糟了，我們買了好幾百套。」

這段對話說明了一件事。沒有親自打仗的軍隊，與每天生活在戰爭之中的軍隊之間，存在著經驗的落差；而這道落差，無法用金錢填補。

Nemesis 團在2026年的成果，以數字顯示了這道落差的大小。根據 United24 Media 報導，無人系統軍僅在2026年就打擊了174套俄羅斯防空系統，估計造成54億美元損失。名為縱深打擊中心（Deep Strike Center）的新指揮結構已經成立，打擊範圍從克里米亞半島的防空系統，擴大到聖彼得堡附近喀琅施塔得海軍基地的艦艇。

只占國防軍2%的無人系統軍，摧毀了每三個已確認敵方目標中的一個，也擊落了每三枚巡弋飛彈中的一枚。這個比例是組織效率的數字，但同時也意味著，剩下98%的軍隊尚未轉換成這種方式。轉型正在進行，而俄羅斯也在2024年12月宣布成立自己的無人系統軍。雙方都在改變，也在圍繞改變的速度競爭。

所以，這場戰爭的教訓不是技術崇拜。

新武器出現，並不代表勝利會自動隨之而來。擁有更多無人機的軍隊，也不一定會贏。能更快學習的軍隊、不掩飾失敗的軍隊、能打破前線年輕操作員、工程師與指揮官之間高牆的軍隊，才會存活下來。讓階級壓倒創意的組織，即使手握最新裝備，也仍在打一場陳舊的戰爭。相反地，即使是在小工作室製作出的裝置，只要能精準刺中前線問題，也能撼動戰略格局。

無人機指揮官給西方軍隊的建議並不宏大。「從小地方開始。從徹底研究俄烏戰爭的經驗開始。這就是大家未來都會面對的戰爭。而且不要把所有錢都投入裝甲車、砲兵和傳統戰爭手段。」

烏克蘭之所以能對抗巨人，也在這條延長線上。不是因為領土更遼闊。也不是因為人口更多。更不是因為一切都準備得完美。相反地，它是在毫無準備的狀態下遭到攻擊，幾乎崩潰，卻每一次都以不同方式撐了下來。在這個過程中，國家成了實驗室，前線成了研究所，士兵成了開發者。

然而，一旦我們把這段敘事包裝成英雄故事，就會再次錯過核心。Nemesis 團指揮官在採訪尾聲這樣說。「前線從來沒有輕鬆過。從戰爭爆發以來，我不記得有過輕鬆的時刻。即使在我們取得某些成功之後，在赫爾松、哈爾科夫、庫爾斯克州的攻勢之後，我記得成功所帶來的偉大精神。但我也記得，為了那個代價，我們不得不承受的痛苦。」

「你問我是否覺得我們正在失去？是的，我有這種感覺。我們正在緩慢後退。但我相信，這是一個完全受控的過程。我們沒有崩潰。我們正在以受控的方式後退。」

這些話裡沒有虛張聲勢。也沒有絕望。戰爭中的軍人聲音，就位在兩者之間的某處。那是不確信勝利，卻也不放棄的人的聲音。

歷史總是在事後看起來像已經完成的句子。教科書裡的句子很篤定。某年某月，某場戰役，某項條約，某次勝敗。然而真實的歷史並不是這樣到來的。它是在故障的通訊機旁，在更換電池的指尖，在凝視整夜更新的軟體是否能在拂曉攻擊中運作的眼睛裡被創造出來。

戰爭結束之後，人們會說。就是在那時，戰爭的性格改變了。就是在那時，小國撼動了大國的戰爭方式。就是在那時，在低空飛行的小型機器，讓世界的軍事教義被重新書寫。

然而，對於此刻身在現場的人來說，那並不是「歷史」。對他們而言，那是今晚的生存。能不能救下戰友。能不能找到敵人的砲兵陣地。能不能重新接上斷裂的通訊。能不能把

昨天死去的人留下的裝備，在今天再次放飛。歷史就是這樣在沒有宏大名牌的情況下，從塵土、鮮血、前線電纜與焊錫氣味之中開始。

烏克蘭的無人機戰爭尚未結束。就在寫下這篇尾聲的此刻，無人機仍在飛行、墜落、再次被製造。因此，結論也尚未封閉。

只是有一件事已經看得見。

戰爭的未來，不是在遙遠的研究所裡被靜靜發明出來的。它正在此刻的前線上，由那些重新組裝失敗機體的人創造出來。

歷史正在此刻被創造。

而創造它的不是機器，而是那些終究不肯放棄的人。

註

本尾聲引用的 Nemesis 團指揮官發言，摘自 Kyiv Independent 的採訪〈West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says〉。

2026年5月30日戰況資料參考 EMPR 媒體的每日戰況報告（Russia Ukraine War Updates, May 30, 2026）。

無人系統軍2026年打擊防空系統的成果（174套系統，估計54億美元損失），引用 United24 Media 報導（2026年6月6日）。

前線反無人機網設置現況與俄羅斯噴射推進型無人機擴張分析，參考 Business Insider 報導（2026年6月）。

地面機器人5萬台生產指示、2萬5,000台簽約、167個部隊運用、2萬4,500次任務資料，經交叉確認 Defense News（2026年5月8日）、United24 Media（2026年5月）、Euromaidan Press（2026年4月28日）報導。

超過200家企業參與地面機器人生產的現況，參考 Militarnyi 報導及烏克蘭數位轉型部部長費多羅夫的投書。

附錄

無人機戰爭：烏克蘭正在重寫戰爭的文法

附錄 A 主要無人機規格表

FPV、長程打擊、海上、地面、攔截無人機

正文中說過，無人機改變了戰爭。附錄就是一張驗算紙，顯示這句話是站在什麼數字之上。長度 6 公尺、速度 90km/h、航程 1,000km、戰鬥酬載 850kg。這些數字很冰冷，卻也是實際重寫戰爭文法的句子。

不過有一點必須先說明。戰時無人機的規格，並不是刻在金屬板上的規格表。它更像是前線上不斷被擦掉、又重新寫上的黑板。即使是同一型號，製造商公告、公開展覽資料、戰場報導、維基百科條目，也常常提出不同數字。改良型頻繁出現，各部隊也會在現場拆改機體。這張表會盡可能標明來源，但無法確定的數字，會標示為「公開估計值」。

1. FPV 無人機（第一人稱視角小型自殺式無人機）

在這場戰爭中造成最多傷亡的武器，既不是戰略轟炸機，也不是飛彈。它是小到可以放在手掌上、由嗜好級零件與 3D 列印零件製成的 FPV 無人機。

單價：約 300~1,000 美元（New York Post，2025年2月報導） 操控方式：飛手佩戴第一人稱視角（FPV）眼鏡直接導引 作戰範圍：以無線電為準約 15~30km，光纖無人機距離更短，但可免疫電子戰 最高速度：依型號約 120~200km/h 彈頭：從一般手榴彈等級到反戰車成形裝藥皆有 創新週期：反映前線回饋後推出新版本，約 1 週 生產規模：烏克蘭方面於 2024年建立年產約 400 萬架的生產體系（60 Minutes 報導）

FPV 無人機會低空飛過戰壕追蹤士兵，瞄準戰車艙蓋縫隙，滑進掩蔽所。根據王志安的分析，蜘蛛網行動中使用的 FPV 無人機作戰範圍只有 15~20km，但因為事先偷運進俄羅斯領土，再由當地起飛，所以能夠打擊 4,300km 外的目標。

2. 長程打擊無人機（單向攻擊無人機）

這是把前線邊界推到數千公里後方的武器。烏克蘭運用多種本國製長程自殺式無人機，以 2026年為準，每天有 100~200 架飛向俄羅斯領土。

（甲）AN-196 Liutyi 製造商：Antonov ASTC 起飛重量：250~300kg 彈頭：50~75kg 航程：1,000~2,000km（依構型變動） 單價：約 20 萬美元 導航：結合 AI、衛星導航、慣性導航 備註：對應伊朗 Shahed-136 的烏克蘭本國製長程機體。價格相對較高，但因航程長、彈頭大，用於打擊戰略目標。

（乙）Bober（「海狸」） 航程：約 1,000km 彈頭：約 20kg 特徵：獨特的鴨翼配置、流線型機身、反向尾翼。自 2023 年出現以來進入量產，並反覆投入打擊莫斯科等俄羅斯本土目標。

（丙）AQ-400 Scythe 製造商：Terminal Autonomy（前 One Way Aerospace） 起飛重量：100kg 彈頭：32~43kg（增加彈頭時可達 70kg，但航程下降） 航程：約 750km 最高速度：200km/h 單價：約 3 萬美元 備註：由英國、澳洲軍方出身人士與烏克蘭工程師於 2022 年中成立的公司開發。2023 年春季展示，同年 12 月首次交付。以低價大量生產為目標，進行蜂群（swarm）飛行時可採領機-僚機方式運用。

（丁）FP-1 彈頭：最大約 120kg 航程：約 1,600km 特徵：以夾板（plywood）為主要材料。根據 DroneXL 2026 年 4 月報導，推估約占俄羅斯內部打擊的 60%。

（戊）Sichen 航程：約 1,400km（870 英里） 特徵：2026 年公開。據報導，彈頭比 FP-1 或 Liutyi 小，但具備更長航程與抗電子戰能力。

這些型號的精確規格，因戰時保密、頻繁改良、製造商變型而在公開資料中各有差異。因此這裡列出的數字不是「確定值」，而是「依報導估計值」。

3. 海上無人機（無人水面載具，USV）

烏克蘭事實上沒有海軍。可是這個國家迫使俄羅斯黑海艦隊後撤。完成這件事的是海上無人機。

（甲）Sea Baby 開發主體：烏克蘭安全局（SBU） 長度：6m，寬度：2m，水面上高度：0.6m 彈頭：最大 850kg（維基百科基準），SBU 官方影片提及 940kg 彈頭 航程：至少 1,000km（2024 年改良型據報導超過 1,500km） 最高速度：90km/h（約 49 節） 單價：UNITED24 募資平台基準 22 萬 1,000 美元，維基百科提出 850 萬赫里夫尼亞（約 24 萬 5,000 美元，2025 年基準） 武裝：可搭載陀螺穩定 14.5mm 機槍。已完成飛彈搭載實驗 備註：SBU 局長 Vasyl Maluk 從 1 年前開始主導下一代海上平台構想。據稱曾從「下方、從水中」打擊克里米亞大橋。SBU 說明，它已從早期「讓人聯想到哥薩克槳帆船

的自殺無人機」，進化成可運載飛彈的先進海上平台。

（乙）Magura V5 開發主體：烏克蘭國防情報總局（GUR）所屬 Group-13 長度：約 5.5m，寬度：約 1.5m，吃水：約 0.4m 滿載排水量：約 1.1 噸 彈頭：250~350kg（依來源不同。Group-13 指揮官稱 250kg，SpetsTechnoExport 公告資料為 320kg） 航程：約 800km（400 海里以上） 巡航速度：約 22 節，最高速度：約 42 節（也有主張瞬間速度 54 節） 單價：25萬~30萬美元 控制：網際網路（Starlink 衛星）連線，具備備援控制通道 船體材料：塑膠（雷達不易偵測） 備註：2024年2月，史上首次以海上無人機擊沉敵方軍艦。擊沉俄羅斯飛彈巡邏艦 Ivanovets 與登陸艦 Tsezar Kunikov。公開 1 年內擊沉俄羅斯軍艦 8 艘、損傷 6 艘，推估損失超過 5 億美元。烏克蘭方面表示每月最多可生產 50 艘。US Naval Institute Proceedings 2025年9月號整理了這些內容。

（丙）Magura V7 Magura V5 的後繼型。長度約 7.5m，比 V5 更大，並改變船首形狀以提升浪中航行穩定性。根據海軍分析專家 H.I. Sutton，已確認它以「FrankenSAM」構型搭載 2 枚 AIM-9L Sidewinder 空對空飛彈。

4. 地面無人機（無人地面載具，UGV）

它們不如空中的無人機華麗，卻是在士兵腳邊改變戰爭的機器。

武裝型：搭載 0.50 口徑（12.7mm）機槍或 40mm 榴彈發射器。在戰壕前方射擊敵方步兵後撤離。運輸型：在前線與後方之間運送彈藥、食物、傷兵。Radio Free Europe 報導中出現了由釀酒廠工程師出身者製作的裝甲無人機，回收遺體並撤離傷兵的畫面。防禦型：有一項案例由 60 Minutes 報導，地面無人機曾單獨擊退俄軍攻擊達 45 天。

「戰車去不了我們駕駛的地方。」這是帕科夫斯克前線一名地面無人機運用部隊司令對 Radio Free Europe 說的話。「失去機器總比失去人好。」這句話概括了地面無人機存在的理由。

型號非常多樣。Ratel、Lyut、Droid TW 系列、Tech Core 公司的傷兵撤離無人機等較為人知，但前線部隊拆改現成品或焊接製作的即興型也很多。這是一個任務比速度或重量更重要的類別。

5. 攔截無人機

當俄羅斯每晚傾瀉數十到數百架伊朗製 Shahed 系列自殺式無人機時，烏克蘭無法只靠昂貴防空飛彈撐下去。1 枚 Patriot PAC-3 飛彈超過 300 萬美元，1 枚 NASAMS 超過 100

萬美元，但 1 架 Shahed 的製造成本，依 CSIS 估計只有約 3萬5,000 美元。這筆帳算不過來。

於是攔截無人機登場了。

（甲）Sting 開發：Wild Hornets 類型：四旋翼攔截無人機兼滯空彈藥 單價：約 2,100~2,500 美元 最高速度：315km/h（幾乎是 Shahed 巡航速度 185km/h 的 2 倍）交戰距離：最大 25km 準備時間：發現後 15 分鐘內起飛 未偵獲時：自主返航以節省資源 生產規模：以 2026年3月為準，每月超過 1 萬架 戰果：以 2026年5月為準，擊落 Shahed/Geran 系列超過 7,000 架（製造商主張）備註：2025年12月首次擊落搭載噴射引擎的俄羅斯 Geran-3。以 2026年4月為準，噴射型 Shahed 擊落中有 70% 由 Sting 負責。2026年4月，從無人水面載具發射的 Sting 攔截 Shahed，也創下世界首次紀錄。

（乙）P1-SUN 開發：Skyfall 單價：約 1,000 美元 最高速度：300km/h 以上 備註：製造商表示每月最多可生產 5 萬架。

（丙）Octopus 開發：Ukrspesystems / TAF Drones Industries 最高速度：300km/h 交戰半徑：30km 高度：4,500m 彈頭：1.2kg 滯空時間：15 分鐘 備註：AI 基礎自動末端導引。作為與英國共同生產計畫，規劃自 2026年2月起每月生產 1,000 架。

（丁）Zerov-8 開發：WIY Drones 最高速度：326km/h 交戰半徑：20km 特徵：採傾轉方式，垂直起降後轉為水平飛行。以 2026年1月為準，日產 100 架，單價約 2,300 美元。

根據 Defense News 2026年3月報導，烏克蘭在 2025年全年生產了 10 萬架攔截無人機，較前一期間增加 8 倍。以 2026年2月為準，總司令 Syrskyi 宣布，基輔地區 Shahed 攔截中有超過 70% 由攔截無人機負責。

附錄 B 烏克蘭無人系統軍（SBS）組織圖

無人系統軍（Сили Безпilotних Систем, SBS）是戰爭中誕生的組織。它不是在平時參謀會議中慢慢規劃出來的部隊，而是在戰壕、工廠與新創辦公室之間急速成長的組織。如果既有軍隊的組織圖是由兵科與階級凝固而成，那麼這份組織圖則依任務與回饋流動。

1. 創設經緯

2024年2月，澤倫斯基總統指示創設無人機專責軍種。2024年6月，烏克蘭正式成立世界第一個無人系統專責軍種。首任司令為 Vadym Sukharevskyi。2025年6月，Robert

“Madiar” Brovdi 被任命為新任司令。官方網站 (usforces.army) 介紹他為烏克蘭英雄與無人系統軍司令。

2. 規模與地位

在國防軍內占比：約全體的 2%（計畫擴大至 5%） 戰果：「每 3 個經確認的敵方目標中，就有 1 個正由無人系統軍摧毀。」（Madiar 司令招募公告影片） 巡弋飛彈擊落：「每 3 枚 Kh-101 中，就有 1 枚由無人系統軍擊落，未來將變成每 2 枚中 1 枚。」 2026 年 2 月基準：根據烏克蘭空軍總司令 Syrskyi，1 個月內打擊超過 10 萬 5,200 個敵方目標，其中四分之一是 SBS 專責部隊的成果。（Jamestown Foundation，2026 年 4 月報導）

3. 戰鬥序列（2026 年 3 月基準）

根據 Jamestown Foundation 2026 年 4 月分析，SBS 的戰鬥序列由 5 個旅、9 個團、12 個獨立營（包含海上無人機部隊）構成。戰鬥支援要素包括電子情報、資訊作戰、工兵部隊，維持支援資產則編有後勤、通信、訓練中心。

主要部隊如下。

（甲）第 412 獨立無人系統旅「Nemesis」 2023 年 12 月 29 日以營級創設，之後擴編為旅。任務：摧毀敵防空系統、擾亂補給路線、打擊砲兵、陣地、裝備、人員。根據 Nemesis 團指揮官接受 Kyiv Independent 訪問時表示：「光是今年，我們團已摧毀價值超過 10 億美元的敵方防空資產。」 特徵：「培養創意，套用商業方法。把一切拆解成具有效率指標與標準化解決方案的商業流程。」

（乙）第 411 獨立無人系統旅「Hawks」 2022 年 2 月以營級創設，2024 年 12 月擴編為團。原本隸屬國土防衛軍，但因創新訓練方式受到認可，於 2025 年 11 月轉隸無人系統軍司令部。駐地：基輔。

（丙）第 427 獨立無人系統旅「Rarog」 2023 年 4 月以第 24 機械化旅所屬連級部隊創設。參加巴赫穆特戰役。由營擴為團（2025 年 2 月），再由團逐步擴編為旅。

（丁）第 414 獨立無人突擊航空旅「Madiar 的鳥（Birds of Madyar）」 起源於 Madiar 司令親自率領的部隊。2025 年 1 月擴編為旅，2025 年 9 月轉隸無人系統軍。下轄 Adam 戰術群。2024 年 11 月，以 Vampire 長程攻擊無人機摧毀 Borisoglebsk-2 電子戰複合系統，取得戰果。

(戊) 「Phoenix」無人系統團隸屬邊防部隊「Pomsta」旅。為邊防部隊內最大、戰績最佳的 UAV 部隊。

除此之外，第20獨立團「K-2」、第429團「Achilles」等也被編入 SBS 集群。

4. 各陸軍旅內的無人機編制

除了 SBS 之外，所有烏克蘭陸軍旅都編有自身的無人航空複合系統（UAC）營。各機械化營編有 UAC 排，各旅偵察連則部署 9 個無人機運用班。SBS 與這些部隊並列存在，同時扮演把累積的研發成果與經驗傳播至全軍的「中央樞紐」角色。

5. Madiar 的 100 天計畫

2025年6月上任後立即公布的 100 天計畫核心，是在戰術與作戰縱深建立「SBS 影響力 12 層」。國防部長 Umerov 如此說明：「把步兵與 UAV 結合成一套打擊體系。藉此形成 10~15km 深的殺傷區（killzone），讓敵人無法在不承受損失的情況下移動。」

6. 招募

根據 Madiar 司令的招募公告影片，目前有超過 15,000 個職缺，其中一半是民間專業職。需要電子工程師、程式設計師、設計師、專案經理、「所有領域的技術人員」、無人機飛手。「奔跑也很好，但現在是飛行的時候了。一邊殲滅占領軍。」

7. 俄羅斯的應對

俄羅斯也在 2024年12月宣布創設無人系統軍（VBS, Войска Беспилотных Систем），並於 2025年11月開始運作。在戰略、作戰、戰術各級單位新設 UAV 參謀部門，並在師、旅、團本部編成 UAV 負責部門。然而根據 Jamestown Foundation 評估，俄羅斯 FPV 無人機每日生產能力推估約為 19,000 架，但在多旋翼 FPV 無人機運用上，烏克蘭仍維持數量優勢。

附錄 C 烏克蘭無人機戰主要作戰年表（2022~2026）

2022年

2月24日 俄羅斯全面入侵開始。戰爭初期，土耳其製 Bayraktar TB2 出現在烏克蘭上空。這是中高度長滯空無人機，根據製造商 Baykar，它具備偵察、監視任務與自主起降、飛行功能，最大起飛重量約 700kg、酬載重量 150kg、滯空時間 20 小時以上、通信距離

低於 300km。TB2 打擊俄羅斯補給縱隊影片傳遍全球，烏克蘭人甚至為 TB2 作歌。象徵意義很大，但隨著俄羅斯防空網強化，TB2 的戰術限制也浮現。

4月14日 俄羅斯黑海艦隊旗艦 Moskva 號遭擊沉。據稱有 2 枚 Neptune 反艦飛彈命中，也有分析認為 TB2 無人機扮演分散注意力的誘餌角色。

10月8日 克里米亞大橋（刻赤大橋）首次遭打擊。利用卡車進行爆炸物攻擊，橋梁局部毀損。

2023年

FPV 無人機爆炸性擴散。戰爭的鏡頭從數千公尺高空，降落到士兵肩膀上。小型 FPV 無人機以 300~1,000 美元製成，開始追著戰壕、裝甲車、補給車不放。

5月 Magura V5 海上無人機首次公開作戰。3 架無人機攻擊並損傷俄羅斯情報蒐集艦 Ivan Khurs（4,000 噸級）。

12月 AQ-400 Scythe 長程無人機首次部署交付。Bober（海狸）長程無人機也進入量產。

2024年

2月 Magura V5 史上首次以海上無人機擊沉敵方軍艦。飛彈巡邏艦 Ivanovets 與登陸艦 Tsezar Kunikov 沉沒。

2月 澤倫斯基總統指示創設無人系統軍。

6月 世界第一個無人系統專責軍種，烏克蘭無人系統軍（SBS）正式成立。

這一年，無人機成為造成戰場傷亡約 80% 的主角，「無人機中心戰場」定型。烏克蘭無人機年產規模達到約 400 萬架水準。

12月 俄羅斯宣布創設無人系統軍（VBS）。

2025年

2月 澤倫斯基總統啟動「無人機防線（Drone Line）」倡議。

6月初 Madiar（Robert Brovdi）就任 SBS 司令，並指定首批編入部隊 5 個（K-2 團、Achilles 團、Rarog 團、Madiar 的烏旅、Phoenix 團）。

6月1日 執行蜘蛛網行動（Operation Spider's Web）。執行主體：烏克蘭安全局（SBU）
準備期間：18 個月以上 方法：將 117 架 FPV 無人機與 300 個爆炸物藏入偽裝成木製結構物的貨櫃，利用長程卡車運至俄羅斯空軍基地附近。透過俄羅斯民用行動通訊網路遠端起飛。打擊基地：Olenya（摩爾曼斯克附近）、Dyagilevo（梁贊）、Ivanovo Severny（伊凡諾沃）、Belaya（伊爾庫茨克，距前線 4,300km）、Ukrainka（阿穆爾，推估失敗） 損害：烏克蘭方面主張摧毀 41 架航空器，NATO 估計 10~13 架完全摧毀，美國官員估計約 20 架遭擊中，其中 10 架摧毀 受損型號：Tu-95MS 戰略轟炸機、Tu-22M3 轟炸機、Tu-160 戰略轟炸機、A-50 空中預警機 成本效益：投入成本估計低於 500 萬美元，損害估計約 70 億美元（烏克蘭方面） 民間司機：駕駛卡車的 5 名俄羅斯平民中，1 人因爆炸死亡，4 人遭 FSB 逮捕並以恐怖主義罪嫌起訴 Reuters 報導了作戰方式、準備期間、無人機數量、損害規模。

6月5~6日 俄羅斯報復攻擊。投入 452 個空中攻擊資產。

11月 俄羅斯無人系統軍開始運作。

11月 Sting 攔截無人機量產開始後 4 個月內，主張擊落 Shahed 系列超過 1,000 架。

12月 Sting 首次擊落搭載噴射引擎的俄羅斯 Geran-3。

全年：生產 10 萬架攔截無人機（烏克蘭國家安全與國防委員會發布）。

2026年

1月 攔截無人機日產突破 1,500 架。同月記錄擊落 1,704 架 Shahed（Syrskiy 總司令發布）。

2月 基輔地區 Shahed 攔截中，超過 70% 由攔截無人機負責。

2月 每天有 100~200 架長程無人機飛向俄羅斯領土。

3月 烏克蘭應美國要求，向駐約旦美軍基地派遣攔截無人機與無人機戰專家。（紐約時報澤倫斯基訪問）

3月 Sting 月產突破 1 萬架。

4月~5月 海上與長程打擊無人機連續打擊黑海沿岸 Tuapse、列寧格勒、Primorsk 等俄羅斯能源與煉油設施。

5月1日 美國（川普政府）與烏克蘭簽署包含防空支援的新安全協定。

5月16日 土耳其斡旋和平會談第一輪談判破裂。

6月2日 根據 AP 報導，俄羅斯發動大規模空襲，同時投入 73 枚飛彈與 656 架無人機。

6月初 無人系統軍發布 15,000 人大規模招募公告。

6月 SBS 戰鬥序列：5 個旅、9 個團、12 個獨立營（Jamestown Foundation 分析）。

6月 Just Security 發表「How Ukraine Became a Drone Superpower」。

附錄 D 主要來源與參考文獻

本書的參考文獻分成四個脈絡整理。

1. 官方資料

烏克蘭總統府發布。澤倫斯基總統的無人機生產目標、無人機防線倡議、約旦派遣相關紐約時報訪問等。

烏克蘭國防部、戰略產業部資料。無人機生產統計、出口辦公室開設、軍需合約相關官方發布。

烏克蘭無人系統軍官方網站（usforces.army）。組織介紹、旅與團列表、司令經歷、招募公告。

UNITED24 募資平台（u24.gov.ua）。Sea Baby 規格與募資資料。

烏克蘭安全局（SBU）官方影片。Sea Baby 下一代海上無人機公開影片、蜘蛛網行動相關簡報。

官方資料用於確認制度、組織、任命、募資用規格、政府生產目標。不過戰時政府發布總伴隨宣傳與保密的陰影。損害規模與作戰成果，必須與獨立媒體、衛星照片、第三方分析交叉比對。

2. 國際通訊社與主要媒體

Reuters。報導蜘蛛網行動投入 117 架無人機、打擊 41 架航空器的烏克蘭方面發布，以及作戰方式、準備期間。Shahed 攔截策略深度分析（2026年4月）。

Associated Press。報導俄羅斯 73 枚飛彈 + 656 架無人機同步空襲（2026年6月）。海上無人機公開報導。

BBC News。蜘蛛網行動損害現況、Tu-95、Tu-22、A-50 損害影片分析、伊斯坦堡和平會談分析。Magura V5 運用部隊 Group-13 報導。

Wall Street Journal。蜘蛛網行動整體概要、衛星照片分析、投入 117 架無人機的經緯。

60 Minutes (CBS)。無人機軍備競賽、地面無人機、FPV 無人機、1 週創新週期、美國的教訓。

Kyiv Independent。Nemesis 團指揮官深度訪問。光纖無人機、AI 角色、對西方軍隊的警告、戰爭的未來。

The Independent。報導聖彼得堡附近俄羅斯軍艦遭打擊。

Radio Free Europe/Radio Liberty。報導帕科夫斯克前線地面無人機運用實況。

Al Jazeera English。俄羅斯與烏克蘭相互無人機攻擊戰況，俄羅斯煉油設施遭打擊的經濟與環境影響。

Defense News。攔截無人機的防空經濟學分析（2026年3月）。

DroneXL。Sting 攔截無人機戰果追蹤、長程無人機組合分析、Sichen 公開報導。

Military Times。烏克蘭國防採購局數位化負責人 Alona Zhuzha 訪問。

United24 Media。5 種攔截無人機型號比較分析，2026年初生產現況。

3. 專業機構與國防產業分析

Jamestown Foundation。「Russia's Unmanned Systems Forces Become Wildcard in Moscow's Military Modernization」（2026年4月）。SBS 戰鬥序列 5 個旅、9 個團、12 個獨立營，俄羅斯 VBS 創設分析。

RUSI（英國皇家聯合軍種研究所）。烏克蘭無人機戰相關報告系列。Octopus 攔截無人機 AI 末端導引分析。

CSIS（美國戰略暨國際研究中心）。Shahed 製造成本估計，無人系統戰略分析。

Atlantic Council。「The coming compute war in Ukraine」（2026年3月）。

Just Security。「How Ukraine Became a Drone Superpower」（2026年6月）。

CEPA（歐洲政策分析中心）。無人機技術變化與 NATO 影響分析。

ISW（戰爭研究所）。前線情勢每日分析。

US Naval Institute Proceedings。「Ukraine's Magura Naval Drones: Black Sea Equalizers」（2025年9月）。Magura V5、V7 規格、戰果、生產現況。

Covert Shores (H.I. Sutton)。烏克蘭海上無人機總覽、長程無人機指南。Magura V1~V7 演進過程、FrankenSAM 構型分析。

Defense Express。Sea Baby 2024 改良型規格，Magura V5 塑膠船體與迴避雷達偵測報導，長程無人機型號整理。

Janes Intelligence。蜘蛛網行動詳細分析。

4. 專案共享知識中的第一手資料

為本書研究而蒐集、整理的 11 部 YouTube 逐字稿，以另行檔案管理。

WSJ News，「Operation Spider's Web: The Ukrainian Drone Attack, Explained」 BBC News，烏克蘭無人機攻擊俄羅斯空軍基地報導 60 Minutes，「Drone arms race transforms war in Ukraine」 Associated Press，海上無人機公開報導 The Independent，聖彼得堡附近俄羅斯軍艦遭打擊報導 Radio Free Europe/Radio Liberty，前線地面無人機報導 Kyiv Independent，Nemesis 團無人機指揮官深度訪問 Al Jazeera English，俄羅斯與烏克蘭無人機相互攻擊報導 王志安，蜘蛛網行動中文分析 CBC（無人系統軍），15,000 人招募公告影片 烏克蘭安全局（СБУ），Sea Baby 下一代海上無人機影片
未蒐集 3 件：FwZkldacuuw, rKXhcAXsOgQ, y-ksNjIAkJo（未提供字幕）

5. 追加蒐集對象

Mediazona，「Caught in the web. The unsuspecting truckers」（2025年9月）。蜘蛛網行動中被動員的 5 名民間卡車司機命運。

Kyiv Post，「Ukraine's Drone Strikes vs. Russia So Far in 2026」（2026年3月）。無人機攻擊統計分析。

TRENDS Group，「Significance and Implications of Ukraine's Operation Spiderweb」（2025年6月）。

韓國國防研究院（KIDA）無人機相關報告。韓國軍無人機戰力現況與課題。

國防科學研究所（ADD）無人機技術趨勢資料。

關於 FPV 無人機戰術運用、電子戰與反無人機技術、自主武器系統（LAWS）倫理爭議、海上無人機與海戰未來的學術論文。

6. 製造商、開發商、技術資料

Baykar 官方網站。Bayraktar TB2 規格。Wild Hornets。Sting 攔截無人機規格、生產現況、戰果。Terminal Autonomy。AQ-400 Scythe 規格。Skyfall。P1-SUN 規格。WIY Drones。ZeroV-8 規格。Ukrspesystems / TAF Drones Industries。Octopus 規格。SpetsTechnoExport。IDEF 2023 Magura V5 發表資料。Army Recognition。2026年3月，Sea Baby 最新版本 1,500km 航程、2,000kg 彈頭報導。

製造商資料有助於理解性能，但其中混有廣告的溫度。本書會區分書寫「公開規格」、「依報導」、「估計值」、「難以確認」。

說明

本附錄的數字與日期，是以 2026年6月9日時可蒐集的公開資料為基準撰寫。戰爭仍在進行，無人機技術每週都在改變。這張表中的部分數字，等到本書印刷時，可能已經過時。

附錄安靜地附在正文之後，但實際上是交給讀者的一張驗算紙。如果正文說無人機改變了戰爭，那麼附錄就顯示這句話是站在哪些數字、哪些日期、哪些組織之上。能長久存活的紀錄，通常是在日期、規格與來源旁邊撐下來的。