

无人机战争

乌克兰正在改写战争的文法

目录

- 第1章 蛛网
- 第2章 无人机吞噬战争
- 第3章 前线的猎杀区——人和坦克都无法幸存的土地
- 第4章 海上的大卫 — 没有海军的国家迫使舰队后撤
- 第5章 穿连帽衫的士兵们——无人系统军的诞生
- 第6章 AI并不握住瞄准镜——自主武器的边界线
- 第7章 看不见的战争——电子战与计算的前线
- 第8章 非对称经济学——无人机正在颠覆军工产业
- 第9章 你所准备的战争不会再次发生
- 第10章 朝鲜半岛的无人机——这场战争对我们说了什么
- 尾声 “历史正在此刻被创造”
- 附录

第1章 蛛网

500美元无人机烧掉70亿美元的夜晚

1-1 特洛伊卡车

150架无人机和300枚爆炸物藏进木制集装箱，走私进入俄罗斯之前

车里雅宾斯克的卡车司机米哈伊尔·柳明55岁。身体不好。两节椎间盘受损，一只手臂活动也不灵便。即便如此，他还是离不开长途货运。像俄罗斯大多数长途卡车司机一样，柳明没有多少选择。

2025年春天，柳明换了工作。这是他和同事瓦西里·皮季科夫在卡车停车场听说的一个活儿。一家由阿尔乔姆·季莫费耶夫经营的公司，需要人一边维修二手卡车，一边运送货物。只要工资能按时发就好，两人都是这么想的。第一批配送货物是装配式住宅部件。那是装在木制集装箱里的模块化建筑材料，卡车司机们管它叫“卡比纳”。

柳明驶向伊万诺沃地区。皮季科夫则在阿穆尔地区，距离布拉戈维申斯克约600公里的一条公路上，因为卡车故障停了下来。5月31日，是皮季科夫的生日。同事维克托打电话祝贺时，皮季科夫这样说：“我找到了一份好工作。正在运卡比纳。”

他运的并不是卡比纳。

木制集装箱的顶部下面，藏着FPV四旋翼无人机（以第一人称视角操控的小型四旋翼无人机）。每架价格在500到1,000美元之间。和DJI航拍无人机差不多。每架无人机都装有两枚爆炸物。木箱的顶部经过改造，可以远程打开。

这是乌克兰安全局（SBU）准备了18个月的行动。

150架无人机和300枚爆炸物。分装在五辆卡车上。卡车沿俄罗斯国内商业物流网络移动。它们不是穿过边境检查站，而是在俄罗斯境内，由俄罗斯司机开着俄罗斯道路上普通的货运卡车。俄罗斯安全部门没有理由起疑。

卡车登记在阿尔乔姆·季莫费耶夫名下。这个出身顿涅茨克的人，在行动前几天和出生于基辅的妻子叶卡捷琳娜一起离开俄罗斯，前往哈萨克斯坦。俄罗斯当局后来把这对夫妇列入通缉名单，但那时已经晚了。

古希腊人造了一匹木马，推入特洛伊城门。击垮城墙的不是巨大的武器，而是进入城内的一道小缺口。北约海军司令皮埃尔·范迪耶上将称这次行动是“特洛伊木马的现代再发明”。

这个比喻几乎准确。只除了一点。特洛伊木马里藏着自愿参战的战士。而这些卡车的驾驶座上，坐着一无所知的平民。

1-2 18个月准备，一夜执行

同时打击5座空军基地的时间线展开

5月31日夜，俄军对乌克兰发动了大规模空袭。400多架无人机和导弹飞向乌克兰城市。在扎波罗热，平民丧生；在一处训练基地，12名乌克兰军人阵亡。

同一时刻，停在俄罗斯领土各处的五辆卡车里，什么都没有发生。至少暂时还没有。

6月1日凌晨。

信号下达了。那是一道通过俄罗斯民用蜂窝网络传递的远程命令。SBU没有公开通信究竟以何种方式完成。一些分析人士认为，乌克兰在俄罗斯境内建立了独立通信网络；另一些人则推测，它搭上了俄罗斯现有民用互联网网络。无论是哪一种，能够远程协调横跨数千公里的同步行动，本身就是这次行动最令人惊异的部分。

木制集装箱的顶部打开了。小小的螺旋桨开始旋转。

目标共有五处。摩尔曼斯克附近的奥列尼亚（Olenya）空军基地，梁赞的佳吉列沃（Dyagilevo），伊万诺沃的伊万诺沃北方（Ivanovo Severny），伊尔库茨克的别拉亚（Belaya），以及阿穆尔地区的乌克兰卡（Ukrainka）。这些基地分布在五个州、五个时区。

WSJ通过卫星照片分析捕捉到的别拉亚基地烟柱，位于距离乌克兰前线4,300公里的東西伯利亚。一段在伊尔库茨克以北加油站拍摄的视频在社交媒体上传开。画面中，后方已经升起烟雾，一架无人机从卡车上的木箱里出现，腾空而起。片刻后，又有一架飞出。警察用手枪射击，试图将其击落，但毫无作用。拍摄者的声音传来：“又飞走一架！到底是从哪儿发射的！天啊，技术已经到这种程度了吗？”

117架无人机出动。泽连斯基总统表示，每架无人机都有各自的操控员。操控员全部位于乌克兰领土内。无人机采用FPV方式，因此操控员直接看着无人机摄像头呈现的第一人称视角，将其撞向目标。SBU公开的视频中，可以看到无人机击中Tu-95轰炸机机翼上方、紧邻油箱的位置。巨大的火焰腾起。这意味着油箱是满的，也意味着这些轰炸机正准备出动。

四处基地被成功打击。第五处，驶向阿穆尔乌克兰卡基地的卡车没有抵达目的地。卡车在公路上起火。阿穆尔地区州长瓦西里·奥尔洛夫宣布，谢雷舍沃村附近有部分卡车“发生火灾”。乌克兰卡基地就在谢雷舍沃旁边。

驾驶那辆卡车的人，是瓦西里·皮季科夫。那个前一天刚过生日的车里雅宾斯克卡车司机。

参与行动的SBU特工，在攻击开始前已经全部撤离俄罗斯。没有人留在俄罗斯领土上。整场行动都通过远程方式执行。泽连斯基总统称，这次行动的“办公室”位于俄罗斯某一地区，紧挨着FSB办公室。

这一切发生在一夜之间。但为了这一夜，需要一年零六个月。

1-3 被摧毁之物

Tu-95MS、Tu-22M3、Tu-160、A-50，以及核威慑的裂缝

关于损失规模，各方数字并不相同。诚实呈现这些差异，是理解这次行动的第一步。

乌克兰安全局宣布，41架飞机遭到打击。称其相当于俄罗斯战略巡航导弹载机的34%。两名美国官员向路透社表示，约20架飞机被击中，其中10架被摧毁。乌克兰国家安全与国防委员会（NSDCU）确认至少13架完全摧毁。美国军事媒体《战区》（The War Zone）通过卫星照片分析，目视确认10至11架Tu-95MS和Tu-22M3被摧毁。网络OSINT分析人员在攻击后不久目视确认约14架，随着更多图像出现，这一数字继续增加。

俄罗斯国防部没有具体说明有多少架飞机被击中。只承认飞机受损并起火。

无论采信哪一种估算，被摧毁之物的清单都让军事专家为之凝固。

图波列夫Tu-95MS。自冷战时期以来，一直承担俄罗斯核威慑一翼的战略轰炸机。正是这种飞机，每架可携带8枚Kh-101巡航导弹，轰炸乌克兰城市。仅奥列尼亚基地就确认

至少4架被摧毁。根据开源情报，最多可能有15架Tu-95MS受损，相当于俄罗斯整个Tu-95机队约四分之一。

Tu-22M3。以2.8马赫飞行、设计用于突破敌方防空网的远程轰炸机。虽然是老旧的苏联时代设计，但仍是俄罗斯远程打击力量的核心。

还有A-50预警指挥机（AWACS）。俄罗斯拥有不到10架的飞机。BBC称这种飞机为“天空中的眼睛和耳朵”。一架A-50可以同时引导最多10架战斗机，并在追踪多个目标的同时协调交战。印巴冲突中，巴基斯坦之所以能够掌握空战主动权，其中一个原因就是拥有这类预警机。根据王剑的分析，这次行动至少摧毁了俄罗斯1架A-50，也可能是2架。这不是战术损失，而是战略灾难。

要理解这些轰炸机为什么重要，需要知道一个事实。它们是无法重新制造的飞机。

俄罗斯多年来没有建造新的Tu-95。苏联时期的生产线早已消失，而按照乌克兰官员和西方分析人士的共同判断，以当前俄罗斯制造能力无法复产。WSJ分析认为，这些飞机是俄罗斯投射国力（power projection）的手段，也是携带核导弹的飞机。

少一架，就到此为止。

不会再回来。

1-4 毫不知情开着卡车的五个人

战争的灰色地带

Mediazona的报道追踪了五名司机的命运。这篇发表于2025年9月的报道，揭示了这次行动最令人不安的真相。

五人都是来自车里雅宾斯克的长途卡车司机。他们在上一份工作中遭遇“各种困难”，后来在卡车停车场听说了新工作，于是开始为阿尔乔姆·季莫费耶夫的公司干活。维修二手卡车，运送货物。工资能发，他们觉得不错。

米哈伊尔·柳明，55岁。正在向伊万诺沃地区运送“装配式住宅部件”。6月1日凌晨，他正停在路边的卡车里打盹，突如其来的冲击和巨大爆炸声把他惊醒。次日，也就是6月2日，他被逮捕。罪名是有组织恐怖行为。伊万诺沃地方法院批准羁押。2026年1月28日，莫斯科巴斯曼地区法院延长了柳明的羁押期限。他的律师以椎间盘受损和手臂活动

受限为由，主张羁押不当，但未被采纳。柳明会从看守所给家人打电话，问他们过得怎样。“狗还好吗？孙女呢？”他非常喜欢狗。“求你别把狗送给别人，我会回去的。”这是妻子加林娜转述给Mediazona的话。

安德烈·梅尔库里耶夫，61岁。他是在伊尔库茨克附近那座加油站视频中出现的卡车司机。无人机从卡车上飞起的视频传遍世界。周围卡车司机和路人试图扔石头阻止无人机的画面也一起传播开来。无法确认梅尔库里耶夫本人是否就是扔石头的人之一。他很快被逮捕。前妻玛雅·梅尔库里耶娃告诉Mediazona：“调查人员打来过电话，FSB也打来过。”但她说并不打算帮忙。“我不知道发生了什么，说实话也不关心。”两人多年前已经离婚，女儿也有两年没有和父亲联系。梅尔库里耶夫通过律师向女儿请求原谅。

谢尔盖·卡努林，47岁。同样来自车里雅宾斯克。和柳明一样，2026年1月被莫斯科法院延长羁押期限。罪名是有组织恐怖行为。

瓦西里·皮季科夫。驶向阿穆尔地区的第五辆卡车司机。他的卡车在抵达乌克兰卡基地前，在公路上起火。有报道称，当有人接近卡车时发生了爆炸。皮季科夫死亡。遗体交还家属用了三周。6月22日，车里雅宾斯克举行追悼仪式，遗体火化后于6月27日安置。

皮季科夫的同事维克托对Mediazona说：“快60岁的人，可能毫无理由地进监狱，光是想象都可怕。”

第五名司机的姓名，在Mediazona的报道中没有具体确认。不过，五人中一人死亡、四人被捕这一事实，在多个来源中一致。

泽连斯基总统表示，司机们并不知道车里藏着无人机。在SBU的行动计划中，这些人是“运输工具的一部分”。没有选择战争的平民，成了战争中最大胆行动的零件。

令人不适的问题由此产生。就军事而言，这次行动是成功的。从战略上看，它可能也是合理判断。但是，把毫不知情的平民用作引爆装置的运输者，应当归入怎样的范畴？

俄罗斯将这次行动定性为“恐怖攻击”。王剑指出，这个比喻并不恰当。所有打击目标都是军事设施，且没有报告平民伤亡。利伯研究所（隶属西点军校）于2025年10月发表分析，认为这次行动是“将民用物体工具化”的案例。那是一篇正面处理合法性与伦理之间灰色地带的论文。

战争总有灰色地带。这五个人的故事，展示了那片灰色地带在最幽暗处呈现出的样子。

1-5 500万美元对70亿美元

非对称的算术

来看数字。

按照王剑的计算，150架无人机和300枚炸弹的纯物资成本不到20万美元。每架无人机500至1,000美元。和一架DJI航拍无人机价格差不多。

再把情报收集、策反人员、设备走私、取得卡车、通信基础设施建设、18个月计划成本全部加总。王剑估算，即便按最宽裕的方式计算，也不会超过500万美元；这一数字也大体符合西方分析人士的估计。

再看另一边的数字。

一架战略轰炸机价值数亿美元。一架A-50预警机也价值数亿美元。乌克兰声称造成了约70亿美元（约合韩币9万亿韩元）的损失。这个数字可能存在夸大。但即便采用美国方面最保守的估计，也就是只有10架完全摧毁，损失金额也达到数十亿美元。

投入不到500万美元。造成数十亿美元损失。

我们可以估量一下，这个比例在战争史上处于什么位置。连价值数百万美元的现代防空导弹都没能拦住的俄罗斯最高级资产，被一架几百美元的机器烧毁。一套Pantsir防空系统价格为1,500万至2,000万美元。而由这套防空系统守卫的机场，被500美元无人机突破了。

苏凡中心（The Soufan Center）评价称，这次行动“粉碎了俄罗斯战略纵深的神话”。把轰炸机藏在前线后方1,000公里处就安全的假设崩塌了。俄罗斯该把轰炸机存放在哪里？要给所有机场都建造坚固机库吗？这是王剑提出的问题。现实中有那样的资金吗？没有。那么昂贵飞机只能暴露在跑道上。而下一次突袭来临时，它们还会消失。

大国可以用消耗战碾压小国的传统军事算法。这次行动让这种算法出现了裂缝。

大卫与歌利亚的故事之所以流传久远，是有原因的。因为它确实偶尔会发生。

1-6 “如果你们以为我们完了，那就重新想想”

伊斯坦布尔和平谈判前一天的信息

这次行动的时机并非偶然。

6月2日，俄罗斯和乌克兰代表团原定在土耳其伊斯坦布尔参加和平会谈。蛛网行动就在前一天执行。

必须看它的背景。

2025年春天，乌克兰的处境是开战以来最困难的时期。地面战陷入僵局，俄罗斯占领着约20%的乌克兰领土。库尔斯克附近的反击曾短暂踏上俄罗斯领土，但没有持续多久。特朗普总统反复施压，要求结束战争，并称普京为“我的朋友”，说自己可以促成交易。根据BBC基辅记者保罗·亚当斯的说法，华盛顿的假设是“乌克兰已经输了”，而特朗普政府的整个战略都建立在这一假设之上。

在这样的情况下，乌克兰还剩下什么选择？

在走进谈判桌之前，证明自己仍然有能力战斗。

行动完全使用乌克兰装备，完全使用非美国装备完成。没有事先通知美国。白宫表示，事先并不知道这次攻击。WSJ分析人士称：“乌克兰似乎判断没有必要告知美国。”

仅凭乌克兰装备就完成了这次行动。这本身就是信息。因为这意味着，即便没有西方武器援助，也能打到俄罗斯心脏地带。

俄罗斯反应激烈。普京在6月4日与特朗普通话时承诺报复。特朗普警告称，俄罗斯的报复“不会好看”。6月5日至6日夜，俄罗斯发动了战争期间最猛烈的空袭之一。452架无人机和45枚导弹。基辅、捷尔诺波尔、卢茨克、利沃夫等乌克兰全境遭到打击。7人死亡，80人受伤。救援人员也遇难。俄罗斯国防部称，这是“对蛛网行动的回应”。

战争不会因一次打击而结束。俄罗斯挨了打，进行了回击，今后双方也还会彼此回击。

但蛛网行动改变了一件事。谈判桌上的平衡。

BBC基辅记者保罗·亚当斯在当晚的报道中这样说：这次行动的大胆程度很难夸大。2022年击沉“莫斯科”号，同年克里米亚大桥卡车爆炸，仅仅一个月前用海上无人机搭载的导弹击落俄罗斯战斗机，这些全都不同寻常，但这次行动超越了它们全部。

乌克兰向前往伊斯坦布尔的谈判代表团，也向全世界发出的信息，短促而清晰。

“如果你们以为我们完了，那就重新想想。”

唐纳德·特朗普也许曾认为乌克兰手里没有牌。但6月1日凌晨，当火焰从西伯利亚到北极圈、横跨五个时区升起时，所谓没有牌的假设，正随着烟雾消散。

蛛网已经铺开。

而这张蛛网，比轰炸机更小，比导弹更便宜，并且延伸到任何人都不曾预料的地方。

SOURCE

第2章 无人机吞噬战争

2022年至2026年

2-1 拜拉克塔尔的象征与局限

2022年，无人机战争的序幕

2022年3月，YouTube上出现了一首歌。

那是乌克兰艺术家塔拉斯·博罗沃克创作的歌曲。歌词的核心，是一款土耳其无人机的名字。“拜拉克塔尔。”每到副歌，这个名字就反复响起。播放量达到数百万。战争才一个月，流行歌曲就出现了。武器名称成为副歌，这恐怕是历史上的第一次。

拜拉克塔尔TB2（Bayraktar TB2）。这款由土耳其防务企业拜卡尔制造的无人机，翼展12米，续航时间27小时，价格约500万美元，是一种中空侦察与攻击无人机。战争初期的几周里，它拍摄的黑白热成像画面传遍全球。高空中的摄像头俯视着俄罗斯坦克纵队。一枚导弹落下。坦克消失在火焰中。随后，燃料运输车辆爆炸。通往基辅的俄罗斯军队补给线停了下来。

那一幕同时展示了两件事。

一是价格。不是价值数千亿韩元的战斗机，而是比它便宜得多的无人机，正在让地面上庞大的装甲部队失去战斗力。二是飞行员的缺席。即使机体被击落，也没有人死亡。操控员坐在数百公里外的某个地方。

拜拉克塔尔之所以能够发挥威力，有其背景。那就是俄罗斯的闪电战计划相当粗疏。在“一夜之间占领基辅”的构想下，俄罗斯装甲部队在没有防空掩护的情况下排成长长的车队，在道路上行进。他们既没有摧毁机场，也没有取得空中优势。《卫报》在2022年5月给出评价称，“TB2在军事上是有效的，但很难说具有军事决定性”。分析认为，正是俄罗斯军队的缺陷，使TB2早期的成功成为可能。

欢呼并没有持续太久。

随着俄罗斯开始摆脱最初的冲击，局势发生了变化。电子战装备铺到了前线。铠甲-S1（Pantsir-S1）、山毛榉（Buk）、道尔（Tor）等防空导弹系统被系统性部署后，TB2

的生存能力急剧下降。截至2022年3月，荷兰OSINT分析机构Oryx通过视觉证据确认的TB2被击落数量就达26架。实际损失恐怕要高得多。

曾任乌克兰国家安全与国防委员会委员长的谢尔希·帕申斯基，在与美国官员的一次通话中这样说道，而这次通话后来被泄露。“拜拉克塔尔的宣传和腐败多于实战运用。我从一开始就反对。它对防空系统极其脆弱。一周之内就全被击落了。”

2023年10月，乌克兰军事情报局（GUR）军官沃洛迪米尔·瓦柳克上校在捷克布尔诺举行的一场防务活动上公开承认。“随着战争推进，俄罗斯军队加强了防空，TB2的实用性变得有限。”

战争初期的英雄，逐渐被挤到了后方侦察任务中。

然而，TB2的退场并不意味着无人机的失败。恰恰相反。又大又贵又慢的无人机，在现代防空网面前会成为容易攻击的目标。这个教训中，蕴含着下一场革命的种子。比起少数昂贵无人机，数千架廉价无人机可能更加可怕。这个认识将在次年彻底改变战争的样貌。

2-2 FPV无人机登场

2023年，300美元战争开始

一名乌克兰士兵戴着护目镜，握着操纵杆。

他操控的并不是军用无人机。那原本是无人机竞速选手使用的爱好级四旋翼无人机。它由从网络商城购买的零件组装而成。电池、马达、摄像头。再挂上手榴弹或反坦克战斗部，它就成了武器。

FPV无人机。First Person View。第一人称视角。

操控员实时观看无人机摄像头看到的画面。感觉就像自己进入了无人机内部。画面中的俄罗斯战壕越来越大。可以看到士兵的动作。影像突然中断。那一刻，无人机本身变成了炸弹。

价格是300美元到500美元。折合韩元约40万到70万。

一辆俄罗斯坦克的价格是数十亿韩元。一发155毫米炮弹约3000美元，而发射这枚炮弹需要价值数百万美元的自行火炮。美国制标枪（Javelin）反坦克导弹，发射器20万美元

，一枚导弹8万美元。可是，一架40万韩元的无人机完成了同样的事情。这是经济学教科书里不会出现的交换比。

到了2023年末，战场景象变了。

村镇仓库变成了军工厂。无人机爱好者社群变成了军事研究所。乌克兰总统沃洛迪米尔·泽连斯基在2023年12月的年终记者会上宣布：“明年将生产100万架FPV无人机。”截至当年12月，乌克兰已经实现了每月5万架以上的产量。

无人机的作战半径最初只有8至10公里，但使用信号中继器或母机（mother ship）技术后，可以扩大到40公里。一个藏在树林中的士兵，可以在数百米外放飞无人机，摧毁价值数千万美元的装备。这个时代在2023年开启了。

双方都得出了同样的结论。使用FPV无人机的并不只有乌克兰。俄罗斯也研发并投入了自己的FPV无人机，如闪电-1（Lightning-1）、闪电-2，作战范围最大可达30公里。无人机不再是一方的秘密武器，而成了双方的基本装备。

坦克不再是战场之王。

2-3 无人系统军成立

2024年，历史上首个无人机专属军种

2024年2月6日，泽连斯基总统签署第51/2024号总统令。

这项法令题为“关于增强国防能力”。从表面看，标题平平无奇，但其中包含了世界军事史上前所未有的决定。那就是成立无人系统军（Syly bezpilotnykh system，简称SBS）。

它不是陆军。也不是海军，不是空军。它是专门为无人机和无人系统设立的独立军种。世界首创。

同年6月11日，SBS正式作为独立军种成立。首任司令由瓦迪姆·苏哈列夫斯基上校担任。其下编成了综合运用航空无人机、地面无平台、海上无人机的部队。截至2024年11月，已有170多种不同无人系统被整合进SBS。

为什么必须是独立军种？

按照既有方式，无人机部队只是各旅的附属单位。这里开发出的技术不会传到那里，这支部队积累的经验也不会反映到另一支部队的教范中。Nemesis团指挥官在接受《基辅独立报》采访时这样解释：“在旅内或军内设置独立无人机营是正确决定。但无人系统军必须与之并行存在。因为这样才能积累所有经验、所有研发成果，并将其传递给全军。”

这不是数量问题，而是质量问题。无人系统的进化与应用，在独立军种中发生得快得多。

与此同时，制造无人机的产业生态也爆发式扩大。2022年战争开始时，乌克兰有41家无人机制造商。2023年增加到132家。2024年达到183家。前铁路局长奥列克桑德尔·卡梅申响应泽连斯基召唤，成为国家无人机计划的设计者，并主导了产业转型，将年产量从2000架提升到数百万架。

那是一幅仿佛硅谷创业文化与传统军事组织混合在一起的景象。竞争的尺度也变了。竞争不再是谁能生产更多炮弹，而是谁能更快更新软件。

一名无人机相关人士在60 Minutes采访中这样说道：“创新周期大约是一周。从把无人机送到前线的那一刻起，到收到反馈、改变某些东西、拿到新版本，可能短到只有一周。”

当被问及俄罗斯是否也在创新时，他承认：“是的，毫无疑问。”

2-4 蛛网行动与光纤无人机

2025年，俄罗斯本土不再安全

2025年初，前线出现了一种新型无人机。

乍看之下，它与普通FPV无人机没有区别。不同之处在尾部。一根比头发稍粗的光纤电缆会连续放出数公里，将无人机与操控员连接起来。传统无人机通过无线电通信。无线电可能被监听，也可能被干扰。价值数亿韩元的电子战装备，其存在理由正是切断敌方无人机的无线电信号。

光纤中的光无法被切断。

无法被干扰，无法被定位，信号质量也不会下降。乌克兰军人谢尔希·贝斯克列斯特诺夫对RFE/RL表示，即使以时速60公里机动，在10公里范围内光纤也不会断裂。“马迪

亚尔之鸟”（Ptakhy Madiara，后来的第414无人打击系统旅）甚至成功测试了光纤电缆长度达41公里的FPV无人机。2025年1月，乌克兰武装部队总司令奥列克桑德尔·瑟尔斯基宣布，为应对俄罗斯率先开始使用的光纤无人机，乌克兰也已开始部署。

同年6月，世界见证了蛛网行动。

2025年6月1日凌晨，俄罗斯全境5座空军基地几乎同时发生爆炸。摩尔曼斯克附近的奥列尼亚（Olenya）、梁赞的佳吉列沃（Dyagilevo）、伊万诺沃的北方机场（Ivanovo Severny）、伊尔库茨克的别拉亚（Belaya）、阿穆尔的乌克兰卡（Ukrainka）。这些地点都距离前线数千公里。FPV无人机的作战半径不过15至20公里，这样的事情究竟如何可能发生？

乌克兰国家安全局（SBU）给出了用18个月准备出的答案。他们把150架无人机和300件爆炸物装入木制集装箱，再把这些集装箱装上卡车，通过俄罗斯民用物流网络运送到各基地附近。他们将普通运输集装箱的顶部改造成双层结构，在其间的隐藏空间部署无人机。从外面看，只是普通货物。俄罗斯司机并不知道自己在运什么。他们只是接到指示，把集装箱卸在目的地。

5月31日晚，乌克兰发出信号。集装箱盖板打开，无人机升上天空。俄罗斯战略轰炸机暴露在跑道上。因为没有人预料到会从如此遥远的地方发动空袭。也没有预算修建机库。经过AI训练的无人机识别Tu-95、Tu-22M3、Tu-160轰炸机和A-50预警机的3D模型，攻击最脆弱的部位：发动机、燃料箱和导弹挂载点。

乌克兰声称摧毁41架。NATO估计有10至13架完全被毁。两名美国官员对路透社表示，约20架被击中，10架被摧毁。

无论数字更接近哪一方，战略冲击都是明确的。俄罗斯事实上已经没有重新生产Tu-95的能力。那些是冷战时期苏联制造的飞机，一旦消失，就不会回来。A-50预警机在俄罗斯全境不到10架，而一架这种飞机具备同时引导和协调10架战斗机的能力。

估计投入成本不到500万美元。估计损失金额达70亿美元。这成了不对称战争的教科书式案例。

战争又跨过了一道门槛。后方这一概念开始动摇。

2-5 每天100至200架次出击，每天生产1000架拦截无人机

2026年，无人机饱和战场

Nemesis团指挥官在2026年接受《基辅独立报》采访时，这样描述战场的现状。

“在双方发生战斗的战场所有区域，无人机机组和无人机本身的饱和度已经如此之高，任何步兵都可能在几分钟内成为精确打击的目标。”

2026年的前线与2022年完全不同。

在听到炮声之前，先听到的是无人机的声音。士兵们首先抬头看天。60 Minutes采访团队传来的前线现实是这样的：“距离前线5公里以内的所有车辆，无论是坦克、装甲车还是普通卡车，事实上都已濒临死亡。因为无人机在不停扫描，不停狩猎。”

攻击无人机增加后，防御无人机也出现了。用于在空中拦截俄罗斯发射的沙赫德（Shahed）自杀式无人机和巡航导弹的Sting无人机登场了。这是为了猎杀无人机而放飞另一架无人机的时代。泽连斯基总统在2026年初表示，“已经具备每天生产2000架拦截无人机的能力”。截至2026年2月，基辅地区70%的沙赫德拦截任务由这种拦截无人机承担。

数字规模达到了超出想象的水平。

截至2026年，乌克兰FPV无人机的年生产能力已超过800万架。这是乌克兰国家安全与国防委员会（RNBO）的官方发布。160多家大大小小的制造商正在生产FPV无人机。俄罗斯也试图不落下风。2026年5月，乌克兰武装部队总司令瑟尔斯基通过Telegram警告：“俄罗斯计划在2026年生产730万架FPV无人机和780万个战斗部。”

双方合计，这是一个每天制造数万架无人机、数千架出击、数百架被摧毁的战场。军事分析家称之为“无人机饱和（drone saturation）”。

在这种饱和状态下，前线的样貌发生了变化。

借用一名无人机指挥官的说法，“分界线或战斗分离线，也就是所谓灰色地带，正在扩大。这个灰色地带现在完全由无人机控制。而双方步兵位于其两侧。”驻维也纳的军事分析家弗朗茨-斯特凡·加迪在《爱尔兰时报》留下了这样的评价：“乌克兰通过投入FPV无人机群，建立起纵深20公里的杀伤区（kill zone），从而在前线特定区域重新夺回无人机战的均势或优势。可以认为，相比2025年5月，乌克兰在2026年5月的军事位置更好。”

技术创新周期缩短到一周。前线反馈会立刻反映到生产和改进中。昨天的应对手段今天已经失效，到了明天，新的版本又会出现。这就是那样的战场。

2-6 80%的伤亡来自无人机

从年产2000架跃升至数百万架的产量意味着什么

先摆出数字。

2022年，战争开始时，乌克兰的无人机产量是每年数千架。2024年，仅FPV无人机就采购了150万架以上，整体无人机产量超过200万架。2025年，总产量约达450万架。FPV无人机月产能力从2024年的每月2万架，跃升至2025年的每月20万架。

截至2026年，乌克兰FPV无人机年生产能力为800万架。俄罗斯的计划产量为730万架。双方合计，意味着每年有超过1500万架FPV无人机正在为同一个战场被制造出来。

这些看似产业统计的数据背后，隐藏着战争性质的变化。

乌克兰国家安全与国防委员会（RNBO）在2026年1月的官方发布中表示：“FPV无人机是我们的不对称回应。如今，俄罗斯军队60%的损失由FPV无人机造成。”据《基辅邮报》报道，一些部队的统计显示，俄罗斯军队人员损失和战斗车辆被毁中，有一半到三分之二由无人机造成。在2024年度回顾中，总司令瑟尔斯基表示，“在所有武器系统中，无人机造成了俄罗斯军队近半数伤亡”。

2026年5月，瑟尔斯基进一步公开了一组数据。“自12月以来，乌克兰无人机部队每个月消灭的俄罗斯兵力，都超过俄罗斯能够动员的人员数量。”无人机不仅执行战斗任务，还承担了超过60%的战场物流。伤员后送、弹药补给，甚至布设地雷。

乌克兰军用无人机的自主生产比例超过95%。国防部长鲁斯捷姆·乌梅罗夫给出的2024年数据是96.2%。外国供应商的反应速度跟不上前线反馈速度，是转向自主生产的主要原因。在这个过程中，乌克兰从消费国转变为出口国。自2025年起，乌克兰开始向海外销售海上无人机、电子战系统和拦截技术，并在欧洲10国开设武器出口办公室。

据GIS Reports报道，2026年4月，德国总理弗里德里希·默茨与泽连斯基总统在柏林总理府共同查看由德国-乌克兰无人机合作项目制造的无人机。欧洲各地的无人机和反无人机初创企业正在快速成立，其中相当一部分获得了EU补贴。乌克兰的战场经验是这一生态系统的基础。

20世纪战争，是大炮、坦克和战斗机的时代。

21世纪战争正在转向传感器、软件、电池和算法的竞争。战争史长期以来是火药与钢铁的历史。乌克兰战争正在改变这段历史的方向。巨型军舰、轰炸机、坦克并不会消失。只是它们不得不与新的捕食者共享同一片空间。

廉价、微小、数量无穷的机器。

2022年，人们称无人机为新型武器。

到了2026年，无人机已经不再只是众多武器中的一种，而成了构成战争本身的环境。

第3章 前线的猎杀区——人和坦克都无法幸存的土地

3-1 10英里宽的死亡地带（kill zone）——FPV无人机主宰战场的现实

凌晨四点，顿涅茨克前线后方的补给道路空无一人。不是道路被切断了，而是因为只要踏上那条路，就很难活下来。

从前的士兵听见炮弹声就会压低身体。现在的士兵却在什么声音都没听见时死去。如果听见了细小的马达声，很多时候已经太晚。天空某处有侦察无人机悬停，而在几公里外的后方，FPV无人机（以第一人称视角操控的小型攻击无人机）操纵员正盯着屏幕。一个士兵、一副担架、一辆皮卡、一辆坦克，全都是那个屏幕里的目标。

60 Minutes记者描述的乌克兰前线是这样的：“忘掉你所知道的一切战争常识。”传统意义上的前线，也就是双方战壕之间那片狭窄空白的无人区，如今已经扩大成约10英里，也就是16公里宽的巨大猎杀区（kill zone）。任何踏入那里的人，都可能被无人机操纵员发现并猎杀。

进入2026年后，这个数字还在扩大。乌克兰无人系统部队司令马迪亚尔（罗伯特·布罗夫迪）在2026年5月接受Ukrainska Pravda采访时表示，猎杀区的纵深在前线两侧均已超过25公里。不是单侧25公里，而是两侧各25公里。合起来，就是一条宽50公里的带状区域，沿着1,200公里长的前线延展开来。马迪亚尔还补充说：“如果没有适当准备、必要性和防护装备，我不建议任何人接近这片灰色前线地带25公里以内。”

10英里，或者25公里，在地图上看起来并不大。但在前线，那段距离是生与死之间的走廊。运送弹药的路、拖出伤员的路、轮换部队进入的路、坦克向前推进的路，全都在其中。如果说过去的无人区只是战壕之间几十米宽的狭窄空白，那么现在的无人区，就是一道一直推入前线深处后方的透明围栏。它看不见，但所有人都知道。只要在里面移动，就会被拍到；被拍到，就会被盯上；被盯上，就会遭到打击。

AP报道的东部前线情况冷酷无情。FPV无人机监视并打击前线后方深处，使伤员后送变得明显更加困难。现场医护人员说，他们几个月来几乎没见过枪伤患者，绝大多数伤情都来自无人机。曾经有一个时代，子弹是战争的语言。而现在，前线的语法由螺旋桨、摄像头和电池写成。

Nemesis团指挥官的话，一句话概括了这片战场的性质：“在发生战斗的战场所有区域，无论我方还是敌方，无人机机组和无人机本身的密度都已经很高，任何步兵都可能在几分钟内成为精确打击的目标。”步兵、坦克、炮兵如今成了配角。无人机先进入战斗，其他所有部队都在承担支援无人机的角色。

这种变化同时束缚了进攻与防御。俄军无法推进大规模装甲突破，乌军也难以在宽阔前线上长时间维持快速机动。前线仍在移动，但这种移动已不再是从前的闪电战。它更像是用针尖把布一点点顶起来。价值数百万美元的坦克惧怕几百美元的无人机。战壕里的士兵也并不安全。窗户、出入口、车辆内部、林间小路、建筑缝隙，全都会被摄像头捕捉。

Telegraph记者Verity Bowman在2026年3月的报道中这样描绘战场的新地形。随着乌克兰无人机能够打击前线后方最远150公里处，过去局限在50公里以内的猎杀区已经扩大为原来的三倍。这一扩张背后，是乌克兰系统性摧毁俄罗斯防空体系和电子战装备的行动，而其核心是无人系统部队在2026年初建立的纵深打击指挥中心（Deep Strike Command Centre）。

战略目标冷酷而明确。战争研究所研究员Kateryna Stepanenko在同一篇报道中说：“目标是迫使俄军一路走到前线。如果车辆无法安全移动，士兵就必须徒步走完那段距离。他们抵达时已经疲惫，也只能携带更少的物资。”

无人机既是俯瞰战场的眼睛，也是从那只眼睛里刺出的刀。当眼睛和刀合为一体，前线的空气就变了。

3-2 弗兰肯斯坦坦克与网——为了生存而仓促改造，以及它的极限

坦克上方架起了铁栅栏。装甲车上铺上了铁丝网。有些车辆把车顶和侧面都用金属板包住，看起来像一座棚屋。士兵们称它们为“乌龟坦克”“棚屋坦克”。战争一旦拖长，武器就不只诞生在工厂里。它们也会诞生在野战维修站、废弃仓库和焊接火花旁。

2024年，乌克兰军队缴获了一辆俄军为应对无人机威胁而改装的T-62坦克。据Reuters报道，那辆坦克装满了箱形金属外壳、后方铁笼和电子战设备。据说它被用于补给和兵员运输。但乌克兰士兵评价说，这种改装做得仓促，效果也有限。多焊上一些铁似乎能活下来，但FPV无人机总能寻找缝隙。它们会从下方钻入，绕到后方，瞄准铁丝网断开的地方。

由碎铁片、铁丝网和电子战设备纠缠在一起的坦克，看起来不像正规军武器，更像是暴风之后重新缝合起来的野兽。60 Minutes称这种模样的车辆为“弗兰肯斯坦坦克”。意思是，它们是为了击退无人机攻击而加装笼架和网具的前线仓促发明。外形滑稽。但其中同时装着士兵的恐惧和智慧。

网，成了前线的新屋顶。

人在道路上竖起木桩或金属柱，再在上面覆盖网。从远处看，那不像战场，更像葡萄园里的通道。但从下面穿过的车辆，载着弹药、食物、伤员和疲惫的士兵疾驰而过。乌克兰国防部长Mykhailo Fedorov在2026年2月表示，计划到年底前在前线道路上安装4,000公里反无人机网。2026年1月，安装速度是每天5公里；2月提高到12公里；从3月开始，目标是每天20公里。

截至2026年6月初，乌克兰已在前线补给道路上铺设了822公里反无人机防护网。据Euromaidan Press报道，仅5月一个月就新安装了211公里，并修复了38公里受损路段。也有报道称，法国和瑞典退役的渔网被送往乌克兰，回收再利用为反无人机屏障。

网会缠住无人机的螺旋桨。飞来的机体一旦被挂住，爆炸会在触及目标前发生，或者直接坠落。如果说电子战设备是通过切断无人机信号来防御，那么网就是以物理方式抓住无人机的身体。不过，网也不是完美盾牌。反复遭受攻击就会撕裂。像光纤无人机这样无视无线电干扰的机体越来越多时，电子战设备的效率也会下降。

UNITED24 Media在2026年4月于哈尔科夫州伊久姆报道的场景令人印象深刻。这座距前线30公里的城市，主干道、小巷，甚至超市上方都覆盖着网。这里正是2022年俄罗斯占领期间，在集体埋葬地发现449具遗体的那座城市。居民们说，头顶上的网既是保护层，也是在警告俄罗斯正在再次逼近。

因此，前线防御一层层堆叠起来。电子战、网、伪装、快速移动、夜间后送，甚至地面机器人。盾牌多一层，长矛也会换一种形态。弗兰肯斯坦坦克上的一片铁网，或许能争取一分钟。在战场上，一分钟和一条人命一样重。

3-3 不会飞的无人机——装着机枪的地面无人车，独自挡住俄罗斯进攻45天的机器人

一听到无人机，人们首先会抬头看天。但现在，无人机也在前线的泥土上移动。

有的装着轮子，有的装着履带，有的用低矮车体运送弹药，有的架着机枪，有的拖着担架，有的装满炸药向前冲锋，在前线下方爬行。如果说空中无人机支配士兵头顶的天空，那么地面无人车（UGV）就代替士兵踩上他们本该行走的土地。

2025年末，一个场景展示了战争的未来。隶属于乌克兰第3军的地面无人车Droid TW 12.7，装着12.7毫米M2 Browning机枪，在东部前线的一个十字路口独自守了45天。它只是每两天接受一次电池、弹药补给和维护，那个位置没有人。第3军的Mykola Zinkevych说：“那里只有UGV系统。这是核心概念。机器人不会流血。”

这一幕重新提出了战争的古老问题：谁该站在危险的地方？从前的答案是士兵。国家征召，部队下令，士兵进入战壕。现在的答案正在一点点改变。先派机器人。机器人开路，运输弹药，负责监视，开枪射击。人类向后退。

数字显示了这个方向。根据乌克兰国防部DELTA战场管理系统的数据，地面无人车任务数量从2025年11月的2,900次跃升至2026年1月的7,500次，3月超过9,000次。仅2026年第一季度，就有约24,500次作战和后勤任务由地面机器人执行。3月共有167个部队单位运用这类装备，而2025年11月为67个。Foreign Policy在2026年4月报道说，乌军至少12个旅正在招募专门操作机器人的人员。

Radio Free Europe/Radio Liberty在乌克兰东部波克罗夫斯克前线拍摄的画面中，一名指挥官指着地面无人车说：“这是我们的战斗用地面无人车。它昨晚出动，今天早上返回。上面装有机枪和数百发弹药。”这台机器在实际行动中击毙了敌军，并在波克罗夫斯克这样俄军试图包围的危险地区，代替人执行最危险的任务。

2026年1月，有报道称三名俄罗斯士兵在利曼附近向乌克兰地面无人车投降。这被认为是战争史上有记录以来，人类首次向遥控地面车辆投降。同月，第3突击旅公开了一段视频：他们在自杀式地面无人车上装载12枚TM-62反坦克地雷，攻击俄军藏身的建筑。

第3军司令Andriy Biletsky准将主张，积极整合地面无人车的部队，到2026年底最多可减少30%的前线步兵需求；未来甚至可能减少80%。乌克兰总统Zelensky在2026年4月兵器制造者日演讲中，介绍了第3突击旅机器人打击部队NC13去年夏天在哈尔科夫州仅凭空中无人机和地面无人车夺取俄罗斯阵地的行动。据CNN报道，俄罗斯士兵最终举起写有“想投降”的纸板，并在无人机引导下成为俘虏。

但机器人不是战场上的魔法师。电池会耗尽。履带会脱落。它会陷进泥里。无线电会中断。弹药打光后，仍然需要有人靠近补充。波克罗夫斯克的指挥官也这样说：“有时它

到达后很快就被摧毁，有时能运行数百公里。”他又补充道：“但损失机器总比损失人好。”在单台平均价格不到2万美元的地面无人车、价值数千万美元的装甲车辆，以及无法定价的士兵生命之间，计算方式正在改变。

人类后退，并不意味着战争变得不那么残酷。只是流血的位置换了。

3-4 回收遗体、撤离伤员的机器——酿酒厂工程师制造的装甲无人车

伤员后送看起来像是战争的后续事务。在前线，后送本身就是战斗。有时，抬起担架的瞬间比开枪的瞬间更危险。

伤员无法移动。抬担架的士兵无法迅速隐蔽。救护车体积大，容易被看见。而无人机喜欢移动的东西。AP报道的东部前线现实是这样的：随着FPV无人机打击前线后方深处，伤员稳定点必须更频繁地转移，后送车辆必须绕更远的路，医护人员必须同时保护患者和自己。于是，伤情本身之外，后送延误也开始降低生存可能性。

于是机器开始代替人抬担架。

Roman Tkachynskyi曾是一名酿酒厂工程师。过去酿造啤酒的人，如今制造拯救伤员的装甲无人车。他创立的民营科技企业Tech Core，开发出可在最前线炮火中通过遥控安全后送伤员的装甲撤离无人车。他在军事训练场向60 Minutes记者展示演示，并说这些无人车已经挽救了数百条生命。

记者问：“你们如何知道下一个设计需要什么？”Tkachynskyi回答说：“我们与最终用户合作。最终用户就是前线士兵。”士兵们说需要撤离无人车，他就造出来。“在乌克兰，事情就是这样运转的。我们为士兵设计。”

这一场景之所以具有象征意义，理由很清楚。战争的新装备不只出自大型军工企业的会议室。酿造啤酒的工程师、修理农机的技师、操作3D打印机的年轻人、熟悉游戏手柄的士兵，正在组成一个整体行动。

2025年11月，有报道称地面机器人在经历地雷爆炸和无人机攻击后，仍执行了伤员后送任务。12月，也有案例传出：搭载伤员的地面机器人遭到俄罗斯无人机攻击，但装甲舱保护士兵免受进一步伤害。2026年，Ukrainska Pravda报道了第3军地面机器人在利曼前线灰色地带撤离4名平民的案例，其中包括一名受伤女性。

回收遗体也是如此。把阵亡士兵带回来，是军队伦理，也是对家属的最后责任。但在无人机盘旋的前线，为了回收遗体，活着的士兵可能会死去。在Radio Free Europe采访的前线上，一名操作员指着可回收遗体的地面无人车说：“它自己抵达，自己装载，自己离开。”

战争总是谈论人的尊严。为了守护这种尊严，如今金属履带踏进泥泞。这是冷峻的场景。可即便在这份冷峻之中，人仍然存在。

3-5 猎杀无人机猎手的无人机——相互歼灭战的逻辑

在前线上，无人机是猎手。但猎手很快也会成为猎物。

侦察无人机升空，对方就会寻找无线电方向。FPV无人机操纵员打开发射器，电子情报设备就会追踪痕迹。反无人机枪、电子战设备、拦截无人机、霰弹、机枪、网、诱饵接连登场。随后，又会有无人机飞去摧毁那些电子战设备。捕捉无人机的设备成为目标，针对那些目标的无人机，又催生出新的反无人机无人机。

Nemesis团的任务很好地展示了这一点。该团指挥官在接受Kyiv Independent采访时这样解释：“我们的任务是摧毁敌人的战斗序列。清除所有火炮、榴弹炮，让它们无法开火，并找到并摧毁敌方无人机操纵员机组的位置。摧毁敌方防空，以改善我方空中侦察的工作。”只有先砍掉敌人的眼睛和手，才能降低己方步兵和装备死亡率，这就是冷酷的逻辑。

进入2026年后，这一逻辑正在跨过新的门槛。乌克兰国防部宣布，新一代拦截无人机能够自主追踪并击落俄罗斯Shahed型攻击无人机。战争正在从人类全程直接操控无人机的阶段，进入无人机识别、追踪并撞击无人机的阶段。天空中，小机器彼此寻找并相撞的画面，也许看起来像玩具战争。但在其下方，是城市电网、补给道路、医院和战壕。

这场相互歼灭战受成本逻辑驱动。用昂贵导弹打廉价无人机，很难长期支撑。因此，需要更便宜的拦截手段。Reuters报道称，Northrop Grumman根据乌克兰军方反馈，正在测试射程更远的反无人机弹药，这也属于同一脉络。用中口径机关炮和近炸引信弹药取代导弹来打无人机的尝试，说明这场战争正越来越变成“一发弹药价格”的较量。

问题不是胜利，而是消耗。一方制造新无人机，另一方就制造新干扰设备。电子战增强，光纤无人机就出现。光纤无人机增多，网就拉得更长。网铺开后，无人机会寻找其他角度。车辆上架起铁笼，无人机就寻找缝隙。堵住缝隙，更大的弹头就会装上去。前线

是一间镜厅。进攻和防御互相复制彼此的面孔，并一起生长。这场战争不是发明品展览。它是由求生的恐惧制造出的实验室。

3-6 一周创新周期——从前线反馈到新版本，以及持续监视下的士兵

乌克兰战争中的技术创新，并不遵循从容的研发时间表。前线出现问题。无人机被无线电干扰击落。摄像头夜间性能不足。电池扛不住寒冷。俄军铺设了新的网。操纵员通过Telegram和专用频道发送影像，工程师更换零件，小工厂制造新版本。几天后，它又回到前线。

记者问Tech Core的Tkachynskyi：“技术变化有多快？”回答是这样的：“创新周期大约是一周。从把无人机送到前线的那一刻，到收到反馈、改动某些东西、得到新版本，可能短到一周。”过去，一代坦克更替需要几年。如今，无人机的天线、频率、摄像头、弹头和软件，会随着前线反馈按周变化。

当被问到俄罗斯是否也在创新时，Tkachynskyi很坦率：“是的，当然。必须承认。”

当被问到谁占优势时，他这样回答：“就目前而言，我会说是平衡。无人机军备竞赛中的平衡。”

有一些数字支撑着这种速度。据Reuters报道，乌克兰计划在2025年采购约450万架国产FPV无人机；2024年已获得超过150万架，其中96%为国产。无人机项目的架构师Oleksandr Kamyshin在60 Minutes采访中，讲述了乌克兰如何把无人机年产量从2,000架提高到400万架。据CEPA在2026年的报道，乌克兰国家安全与国防委员会表示，乌克兰国防工业已具备每年生产800万架以上FPV无人机的能力。

名为Brave1的乌克兰国防科技生态系统，是将这一潮流制度化的尝试。如果说战前的初创企业寻找投资者和客户，那么战争中的国防初创企业则把战壕和操纵员当作客户。产品评价冷酷无情。它能不能在前线活下来？能不能找到敌人？能不能承受干扰？能不能再次制造？

乌克兰国防部长Fedorov表示，2026年通过数字采购系统，自1月以来已投入超过14万亿格里夫纳（约3.3亿美元），向前线供应超过181,000架无人机、地面无人车和电子战装备。这是让前线部队直接向国内制造商订购装备的系统。

对士兵而言，这种速度既是救赎，也是惩罚。新装备抵达，生存可能性就会上升。更好的摄像头、更稳定的链路、更快的拦截无人机能够救下士兵。但对方也在以同样速度变

化。今天还能通行的道路，明天就可能成为死亡之路。昨天还安全的掩体，今天就可能成为标定坐标的目标。

说无人机监视战场还不够。无人机监视的是士兵的时间。它记录何时移动、在哪里停下、哪条战壕聚集了人、后送车辆走哪条路。前线士兵在战斗之前，必须重新学习如何隐藏。他们连抽烟的瞬间也要减少。开车门的时间也要计算。不会在一个地方停留太久。白天不移动，夜晚也并非绝对安全。热成像摄像头寻找体温，低照度摄像头剥开黑暗。光纤无人机在电子战设备制造的沉默中仍会飞来。

BBC在2025年11月报道说，乌克兰前线阵地最多90%的补给已经通过无人手段完成。人走过去可能会死的距离，由机器人代替前往。

人类在战场上变得越来越小。必须变小，才能活下来。

第3章的前线不是英雄冲锋的道路。它是一片变成巨大猎杀装置的土地。人挖战壕，坦克披上铁网，救护车迷失道路，机器人拖着担架，无人机飞去寻找无人机。在这里，战争胜负不会由一次大规模攻势决定。它是一场比拼谁看得更快、造得更便宜、修得更快、撑得更久的战争。

前线士兵不会抬头看天。因为抬头的瞬间，可能已经太晚。于是他压低耳朵，压低身体，压低呼吸。小小的机器从他上方飞过。

战争不是变大了，而是变小了。小到如今死亡会在巴掌大的屏幕里找到一个人。

[尾注]

第3章主要出处

3-1节 — 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节 — 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节 — 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节 — AP News, 前线伤员后送报道 — 60 Minutes, Tech Core Roman Tkachynskyi采访 — Ukrainska Pravda, 地面机器人伤员后送及平民撤离报道 (2025年11月、2026年) — Radio Free Europe/Radio Liberty, 遗体回收用地面无人车报道

3-5节 — Kyiv Independent, Nemesis团指挥官深度采访 — Reuters, "Northrop Grumman tests longer-range anti-drone bullets after Ukraine feedback" (2025年10月3日) — 乌克兰国防部, 新一代拦截无人机发布 (2026年6月)

3-6节 — 60 Minutes, Tech Core创新周期采访 — 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, 数字采购系统及预算报道 (2026年4月) — BBC, 前线补给90%由无人手段完成的报道 (2025年11月)

第4章 海上的大卫 — 没有海军的国家迫使舰队后撤

4-1 从哥萨克桨帆船到 Sea Baby — 乌克兰国家安全局（SBU）的海上无人艇开发史

看起来像一艘渔船。

这是 60 Minutes 的记者在结冰湖畔第一次看到它时说的话。一艘装着舷外机的小船。大小就像渔民开出去也毫不奇怪的船。可是这艘小船里能装进 2,000 千克炸药。足以击沉一艘俄罗斯军舰。

站在旁边的操控员脸部被打上了马赛克。因为他是俄罗斯的暗杀目标。记者问他，一艘军舰和十艘这样的海上无人艇，哪一边更有用。操控员没有犹豫。海上无人艇。他说，这些无人艇很小，真的很难摧毁。拥有十艘这样的船，比拥有一艘大船要好得多。

Sea Baby。海上的婴儿。这是乌克兰国家安全局 SBU 制造的无人水面艇的名字。这个名字很巧妙，因为若说它是婴儿，它做的事情实在太粗暴了。

SBU 不是军队。它是安全局，也就是情报机构。通常情报机构并不开发武器。然而 2022 年 2 月俄罗斯入侵时，乌克兰海军事实上已经消失了。大型水面舰艇力量几乎不存在。自 2014 年俄罗斯占领克里米亚半岛以来，乌克兰海军在黑海能做的事情本来就几乎没有。相反，俄罗斯黑海舰队的巡洋舰、登陆舰、潜艇、导弹艇密密麻麻地停在塞瓦斯托波尔港。那是一座海上的堡垒。

SBU 局长瓦西里·马柳克（Vasyl Maliuk）寻找了另一条路。他拿出的记忆很古老。哥萨克的柴卡（chaika）。那是 16~17 世纪纵横黑海的小型桨帆船。哥萨克战士与奥斯曼帝国巨大的盖伦帆船对抗时，并不选择用大船正面交战，而是用低矮、快速的小船攻击侧翼。SBU 在官方视频中的表述很准确：“这是从令人联想到哥萨克桨帆船的传统自杀式无人艇，进化为高度尖端技术海上平台的过程。”

设计始于 2022 年夏天。由 SBU 的特别行动部门主导，民间工程师也加入其中。第一批原型不是在造船厂，而是在仓库和工作台上制造出来的。从 2023 年开始，Sea Baby 这个名字开始在实战中被人提起，乌克兰募资平台 United24 公布了这种无人艇单艘价格为 22 万 1 千美元。页面上还写着，它可以携带 850 千克炸药。

一艘小船由此成了海上的弹药库、侦察平台和导弹发射台。这台机器诞生的背后，有一个在世界海军史中反复出现的问题。如果没有大船，还能在海上作战吗。哥萨克回答说可以，400年后，SBU用电子设备重新写下了同样的答案。

4-2 10艘30万美元无人艇对1艘数千万美元军舰 — 无人艇操控员作出的选择

传统海战的计算表上写着排水量、舰炮口径、导弹数量、船员人数。乌克兰新造出的计算表里填入了另一组数字。单艘无人艇的价格。目标舰艇的价格。即使失败，损失的也不是人的生命，而是机器这一事实。

30万美元。这是制造一艘Sea Baby所需的费用。这个数字来自60 Minutes的报道，乌克兰方面多个消息源也给出了相近金额。派出十艘，就是300万美元。只要其中一两艘撞上俄罗斯军舰的侧舷，一艘价值数千万美元的军舰就会沉入海底。这不是海军的算术，而是风险投资企业的算术。

让这套算术成为现实的事件接连发生。2022年4月，乌克兰两枚海王星（Neptune）反舰导弹击沉了俄罗斯黑海舰队旗舰莫斯科号（Moskva）。斯拉瓦级巡洋舰，约500名船员，是黑海舰队最大、最昂贵的舰艇。俄罗斯解释称那是“舰内火灾导致弹药爆炸，并在风暴中沉没”，但导弹命中的画面已经传遍世界。

莫斯科号是被导弹击中的。然而随后一连串的沉没与失能，则属于小型无人艇。2023年7月，在新罗西斯克外海，大型登陆舰奥列涅戈尔斯基·戈尔尼亚克号（Olenegorsky Gornyak）被海上无人艇击中。同年，在克里米亚半岛西侧的多瑙河河口，导弹艇伊万诺韦茨号（Ivanovets）被多艘无人艇包围后击沉。2024年3月，巡逻舰谢尔盖·科托夫号（Sergei Kotov）在7个月内遭到第三次攻击后沉入海中。

乌克兰公布的数字是这样的：他们称用海上无人艇击沉或瘫痪了11艘俄罗斯军舰。英国国防部判断，截至2024年6月，黑海至少有26艘俄罗斯海军舰艇被摧毁或严重受损。开源情报分析机构Molfar统计，2022年2月至2024年2月之间，俄方共有22艘被摧毁，20艘受损。换句话说，黑海舰队74艘舰艇中，近三分之一已经失去作战能力。

大船一旦建成，就会使用数十年。海军的自豪、预算和官僚体系都装在其中。它有舰长，有船员，有补给体系。一艘舰沉没，数百名训练有素的水兵也会一同消失。相反，海上无人艇如果失败，就会出现下一个版本。改变摄像头位置，增加通信设备，装载更多炸药，修正机动模式。军舰是国家的雕像。无人艇是战场的记事本。它被擦除、被修改

，然后重新驶向大海。

无人艇操控员作出的选择，并不是一次冲锋。那是在每天夜里向俄罗斯海军提出同一个问题。今天还要待在港口吗。今天还相信防波堤内侧是安全的吗。今天还认为大船能战胜小机器吗。

4-3 940kg 战斗部与导弹平台 — 新一代海上无人艇，无人舰队登场

早期的海上无人艇是海面上的炸弹。只要接触目标，就会一同消失。那是一次性使用的武器，用军事术语来说，就是消耗性武器（expendable weapon）。可是战争没有让这台机器停留在原样。

俄罗斯架起防御屏障后，乌克兰就改变无人艇。防波堤和拦网一旦设置，无人艇就增加绕行路线和水下接近能力。直升机和巡逻艇出动猎杀，它就加上机枪和火箭。

SBU 在 2025 年 10 月公开的新一代 Sea Baby，已经是与此前不同的东西。根据 Newsweek 和 Reuters 报道，航程增加到 1,500 千米（约 930 英里），载荷提升到 2,000 千克（约 4,400 磅）。公开的有两种改型，一种装有配备陀螺稳定装置的 14.5 毫米机枪炮塔，另一种搭载了冰雹（Grad）多管火箭发射器。SBU 的官方视频中表示：“每艘无人艇都配备 940 千克战斗部，能够突破敌军舰船防御并实施打击。”

观察这些数字的变化，就能看出 Sea Baby 的本质。它不是一个固定型号，而是持续变化的系列。早期型是装载 850 千克级炸药的自爆艇，中间形态是配备 940 千克战斗部的突击型，最新型则成为能载重 2,000 千克、航行 1,500 千米的多用途平台。零部件会改变，挂载物会改变，任务也会改变。

2025 年 5 月，世界海军史上发生了前所未有的事情。根据乌克兰方面公布，从 Sea Baby 发射的导弹在新罗西斯克附近击落了一架俄罗斯 Su-30 战斗机。这被记录为海面无人艇击落空中战斗机的首个案例。这个说法难以核实，但如果属实，就意味着海上无人艇甚至可以执行防空任务。

泽连斯基总统在 2026 年 3 月提到过“能够从无人机上发射其他无人机的平台”。Army Recognition 分析这一发言时，这样概括乌克兰所设想的海上无人艇未来图景：打击平台、防空平台、情报收集中继平台，以及搭载其他无人机的母船（mother ship）角色。这是由一种基础艇体衍生出多种变型的模块化家族。

舰队一词的含义正在改变。过去的舰队，是由舰长和船员乘坐的舰船组成的集合。乌克兰正在制造的舰队，是传感器、通信网、自主机动算法、远程操控员和爆炸装置的集群。曾经，海军诞生于港口。它需要造船厂、码头、海军军官学校和将军的命令书。乌克兰的无人舰队诞生于仓库、工作台和前线反馈。

2026 年 3 月，英国政府与乌克兰签署海上无人艇共同生产协议。协议包括共同生产线、研发、第三国合作，以及在基辅设立 AI 卓越研究中心。一个贫穷国家的应急武器，成了 NATO 成员国正式国防工业伙伴关系的对象。

4-4 从水下打击克里米亚大桥 — 黑海舰队为何从黑海消失

克里米亚大桥不是一座桥。它是俄罗斯宣称克里米亚半岛属于自己的混凝土声明。2018 年开通的这座桥跨越刻赤海峡，连接俄罗斯本土与克里米亚半岛。铁路和公路从上面经过，战争物资、民用车辆以及宣传话语也从上面经过。因为那是普京亲自驾驶卡车参加通车仪式的桥。

2023 年 7 月，SBU 的 Sea Baby 打击了那座桥。SBU 在 CNN 采访中确认海上无人艇被用于这次行动，SBU 负责人瓦西里·马柳克也表示，海上水面无人艇是 SBU 独立开发的产品。爆炸从桥梁下部涌起。SBU 的官方视频透露了更令人惊讶的事实：“最近对克里米亚大桥的打击，是以非常不同寻常的方式发生的。我们从下方，从水下打击了它。”无人艇把炸药运送到桥墩下方，并在水下引爆。这是战争开始以来克里米亚大桥遭受的第三次攻击。

克里米亚大桥袭击显示出，海上无人艇的目标并不局限于军舰。港口、桥梁、油轮、停泊中的军舰、岸基防空系统、出口码头。只要与水相接，或者可以通过水路接近，就会成为目标。

结果，黑海舰队的姿态发生了变化。俄罗斯舰艇从塞瓦斯托波尔向更东边的新罗西斯克后撤。2024 年 3 月，英国国防大臣格兰特·沙普斯（Grant Shapps）将俄罗斯黑海舰队描述为“功能上处于非活动状态”。乌克兰海军也宣布，俄罗斯已经几乎不再向黑海派遣军舰。

可是后撤之处也并不安全。2025 年 11 月，Sea Baby 无人艇在黑海土耳其海岸外打击并瘫痪了俄罗斯“影子船队（shadow fleet）”所属油轮凯罗斯号（Kairos）和维拉特号（Virat）。12 月，油轮达山号（Dashan）以同样方式遭到攻击并受到致命损伤。同年

12月，Reuters 报道称，SBU 使用名为“Sub Sea Baby”的水下无人艇，打击了停泊在新罗西斯克港的一艘俄罗斯基洛级潜艇。这被记录为世界首例水下无人艇攻击潜艇事件。

根据 The War Zone 报道，这艘潜艇是俄罗斯黑海舰队运营的 6 艘改进型基洛级潜艇之一。这些潜艇搭载 Kalibr 远程巡航导弹，曾反复攻击乌克兰。连潜艇也不再安全。即使藏在海面之下，无人艇的手也能触及。这对俄罗斯海军指挥官来说，想必是一种根本性的恐惧。

说一个没有海军的国家赶走了舰队，并不夸张。乌克兰并不是凭借传统远洋海军与之对抗。相反，它改变了俄罗斯舰队能够停留的地方。随着俄罗斯舰艇在黑海西部的活动半径缩小，被俄罗斯封锁的乌克兰粮食出口通道也重新打开。海上控制权并不只通过插旗获得。也可以通过让对手恐惧、不敢进入来获得。

4-5 圣彼得堡、喀琅施塔得、波罗的海 — 触手可及之处正在扩大

2026 年 6 月 3 日凌晨，圣彼得堡港口上空升起黑烟。乌克兰无人机飞行 1,000 千米以上，点燃了一座石油码头。

时机不可能是偶然。那一天是俄罗斯代表性经济活动圣彼得堡国际经济论坛（SPIEF）的开幕日。在被称为“俄罗斯的达沃斯”的这场活动上，外国企业人士聚集之日，黑烟从普京出生的城市上空升起。根据 NPR 和 CNN 报道，在同一次攻击中，位于喀琅施塔得海军基地干船坞（dry dock）内的俄罗斯波罗的海舰队导弹护卫舰博伊基号（Boikiy）也被无人机击中。卫星照片拍到了消防队在船体上灭火的场景。

喀琅施塔得。这个名字在俄罗斯海军史上有沉重分量。它是彼得大帝建设的海军要塞，是波罗的海舰队的门户，也是守卫圣彼得堡的海上门槛。那里遭到攻击这一事实，传递的是超越战术的信息。因为这意味着“后方”这个概念正在崩塌。

3 天后的 6 月 6 日，更大规模的攻击到来。根据 Kyiv Post，泽连斯基总统和乌克兰特种作战部队确认，他们与 SBS（无人系统部队）、SBU 联合再次打击了喀琅施塔得海军基地。飞行约 1,000 千米而来的无人机点燃了俄罗斯海军弹药库和军事设施。CNN 报道称，俄罗斯官员将这次攻击描述为“前所未有（unprecedented）”。圣彼得堡州长在 Telegram 上写道，遭到“大规模军事无人机攻击”，并表示有 3 人受伤。

泽连斯基的信息很明确。“是时候结束这场战争了。然而俄罗斯领导人还想继续打下去。因此，乌克兰对这场侵略的制裁正在发挥作用。昨晚，我们的无人机飞行约 1,000 千米

，抵达圣彼得堡地区，打击了敌方海军的军火库和喀琅施塔得基地。”

这次攻击叠加了两种效果。一种是军事效果。俄罗斯必须把资源束缚在防空网、港口警备、燃料储存设施保护以及舰艇分散部署上。喀琅施塔得是在黑海舰队后撤后，俄罗斯海军战略价值上升的基地。那里集中着用于军舰维修的干船坞、潜艇设施、海军训练中心和造船厂。如果这里被无人机突破，俄罗斯海军就会失去安全的维修基地。

另一种是心理效果。它在人们心中植入一种认知：首都圈、经济活动和海军基地不再是安全舞台。当黑烟升起在普京接待外国客人的城市上空，那不是爆炸声，而是字幕。战争并不只发生在国境之外。

4-6 攻击石油出口基础设施 — 乌斯季卢加、普里莫尔斯克，切断俄罗斯经济动脉

俄罗斯战争机器的燃料是石油。要让坦克运转、生产炮弹、开动导弹工厂、给士兵发工资，就必须有钱。这笔钱的相当大一部分来自原油和成品油出口。乌克兰攻击俄罗斯炼油设施和石油出口港的理由就在这里。击沉船只并不是战争的全部。烧掉将被装上船的石油，也同样是战争。

2025 年 9 月，位于波罗的海、世界最大级别石油码头之一的普里莫尔斯克港遭到攻击。它是俄罗斯波罗的海管道系统的终点，也是俄罗斯海上原油出口的核心枢纽。每年约 6,000 万吨原油通过这个港口流向世界。乌克兰国家安全局消息人士表示，无人机不仅打击了普里莫尔斯克，还打击了连接附近乌斯季卢加（Ust-Luga）码头的输油泵站。

2026 年 3 月，攻击强度上升。根据 Kyiv Independent，3 月 25 日起的十天内，乌斯季卢加港遭到五次无人机攻击。Moscow Times 报道称，这段时间无人机摧毁了原油装载设施、铁路卸货台和 Transneft 运营设施。乌斯季卢加曾是一个每日出口约 65 万桶原油的港口。它承担着俄罗斯全部海上原油供应的约 20%。

同一时期，普里莫尔斯克港、基里希（Kirishi）炼油厂、阿帕季特（Apatit）化工厂也接连遭到攻击。BBC 对卫星照片和 NASA 热异常探测数据进行分析后确认，乌斯季卢加至少有 8 个储罐、普里莫尔斯克有 8 个储罐、基里希炼油厂有 2 个储罐被摧毁或受损。

结果以数字形式显现。根据 Reuters 的市场数据分析，截至 2026 年 3 月，俄罗斯石油出口能力约 40% 被认为因无人机攻击、管道打击、油轮扣押等原因中断。Bloomberg 报道称，乌斯季卢加港曾有一天原油装船量跌至零，普里莫尔斯克港也据称一度暂停运营。

也出现了反讽的现象。Reuters 报道称，2026 年 6 月初，经俄罗斯西部港口出口的原油达到 8 个月以来最高水平，背景是这样的：炼油设施被无人机击中并停产后，俄罗斯不得不把原油直接推出去，而不是出口成品油。无法出售加工产品，只能以低价输出原材料。然而港口能力有上限，而无人机攻击还波及了新罗西斯克港和图阿普谢港。

海上的油轮本身也成了目标。2025 年 11 月和 12 月，根据 Kyiv Independent，Sea Baby 无人艇在黑海打击并瘫痪了三艘俄罗斯用于规避制裁的“影子船队”油轮。乌克兰解释称，这是为了减少俄罗斯石油收入的措施，俄罗斯则谴责这是海盗行为。

在这一点上，Sea Baby 的意义已经超越了击沉一艘军舰。它是改变战争成本结构的装置。俄罗斯必须在每个港口铺设防御网，必须提高每艘舰艇的戒备，必须重新计算每条油轮航线的风险保险费。乌克兰派出小机器，制造大成本。

海上的大卫没有军舰。相反，它让军舰无法安睡。黑海舰队后撤了，港口变成了防御阵地，石油码头变成了前线，油轮变成了目标。说大船的时代已经结束还为时过早。航空母舰和驱逐舰仍然是强大的武器。然而大船开始畏惧小机器的时代，已经到来。

（尾注）

[1] 60 Minutes, "Drone arms race transforms war in Ukraine, with U.S. now learning lessons," 2026. 包含 Sea Baby 操控员采访、海上无人艇 30 万美元价格、2,000kg 载荷，以及击沉/瘫痪 11 艘俄罗斯军舰的说法。

[2] SBU 官方视频, "СБУ продемонструвала нове покоління легендарних морських дронів «Sea Baby»," YouTube. 公开 940kg 战斗部、哥萨克桨帆船比喻、克里米亚大桥水下打击、14.5mm 机枪平台。

[3] United24 募资页面 (u24.gov.ua/seababy)。Sea Baby 单艘价格 22 万 1 千美元，850kg 炸药运载能力。

[4] Reuters, "Ukraine equips naval drones with rocket launchers, Kyiv source says," 2024.5.22. 报道 Sea Baby 搭载 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)，载荷 4,400 磅 (2,000kg)。

[6] Reuters, "Ukraine says underwater drones hit submarine," 2025.12.15. Sub Sea Baby 水下无人艇打击俄罗斯基洛级潜艇。

[7] The War Zone, "Ukraine Claims World's First Underwater Drone Attack On Russian Submarine," 2025.12.15. 基洛级潜艇细节及其搭载 Kalibr 导弹的事实。

[8] British MOD 情报更新, 2024.7.29 (Newsweek 引用)。2022.2~2024.6 黑海至少 26 艘俄罗斯海军舰艇被摧毁/受损。

[9] Molnar OSINT 分析, 2024.2 (Newsweek 引用)。2022.2~2024.2 俄罗斯黑海舰队损失统计: 摧毁 22 艘, 受损 20 艘。

[10] Army Recognition, "Ukraine to Deploy New Long-Range Naval Drones for Open-Sea Operations with UK Support," 2026.3.19. 英国-乌克兰海上无人艇共同生产协议 (2026.3.17)、AI 卓越研究中心设立、Su-30 击落说法。

[11] NPR, "Ukrainian drones strike a St. Petersburg oil terminal ahead of Putin visit," 2026.6.3. 圣彼得堡石油码头遇袭、喀琅施塔得博伊基号护卫舰被击中、卫星照片确认。

[12] CNN, "Ukrainian drones strike St. Petersburg, hours before 'Putin's Davos' opens," 2026.6.3. 博伊基号护卫舰在干船坞内被击中的卫星照片, 影子船队护航角色。

[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击、俄罗斯官员“前所未有的攻击”发言、州长确认受损。

[14] Kyiv Post, "Ukraine Confirms 1,000-km Special Forces Drone Strike on Baltic Base," 2026.6.6. 确认 SSO-SBS-SBU 联合行动、飞行 1,000km、海军弹药库起火。

[15] Kyiv Independent, "Ukrainian drones reportedly strike oil terminals in Russia's Leningrad Oblast in third straight night of attacks," 2026.3.27. 乌斯季卢加、普里莫尔斯克连续遇袭。

[16] Moscow Times, "Ukraine Hits Ust-Luga Oil Terminal in Largest Overnight Drone Attack of the Year," 2026.3.25. 乌斯季卢加码头每日 65 万桶, 俄罗斯海上原油供应 20%。

[17] Moscow Times, "Ukrainian Drones Damage Ust-Luga Port Again," 2026.3.31. 俄罗斯石油出口能力 40% 中断估计 (引用 Reuters)。

[18] UPI, "Key Russian oil export hub ablaze after Ukrainian drone strikes," 2026.3.31. BBC 卫星照片分析: 乌斯季卢加 8 个、普里莫尔斯克 8 个、基里希 2 个储罐被摧毁/受

损。

[19] Reuters, "Russia's western oil exports hit 8-month high as drone strikes curb refining," 2026.6.2. 炼油设施遇袭导致原油出口增加的反讽现象。

[20] Kyiv Independent, "Ukraine's SBU conducts new Sea Baby drone strike on Russian 'shadow fleet' tanker," 2025.12.11. 油轮达山号（Dashan）、凯罗斯号（Kairos）、维拉特号（Virat）遇袭。

[21] Grant Shapps 发言，2024.3.25（Legion Magazine 引用）。将俄罗斯黑海舰队描述为“功能上处于非活动状态”。

[22] Wikipedia, "Sea Baby" 条目。2023 年 7 月克里米亚大桥攻击获 SBU 确认，CNN 采访。

第5章 穿连帽衫的士兵们——无人系统军的诞生

一个穿黑色连帽衫的男人坐在屏幕前。

军装外面是防弹背心，防弹背心外面又套着连帽衫。他面前摆着的不是作战地图，而是几十台笔记本电脑，每块屏幕上都流动着无人机摄像头传回的晃动影像。战壕、废墟、泥泞地上的装甲车、突然停下的补给卡车。屏幕一角浮着一张数字表。出击次数、命中率、摧毁装备数量、消耗成本。战争不再只在将军的指挥棒尖端运转。它也在鼠标点击、天线角度、电池余量，以及飞手避开电磁干扰的指尖上运转。

那个男人的呼号是马迪亚尔（Madiar）。

5-1 马迪亚尔的轨迹——从排级规模到军种司令

他的本名是罗伯特·约西波维奇·布罗夫迪。1975年出生于乌克兰西部的乌日霍罗德。战前，他是粮食经纪人兼房地产开发商，还创立了艺术赞助基金会“BrovdiArt”，支持乌克兰画家赴海外展出。他是商人，是文化人，不是军人。他不是会被写进参谋学院教材的人物。

2022年2月24日，俄罗斯发动全面入侵的那一天，布罗夫迪自愿入伍。他被编入基辅郊外国土防卫军第206营，成为排长。伊尔平、布恰、博罗江卡。在俄罗斯军队向首都推进的那些激战地带，他的排负责疏散平民。没有合适的装备，也没有充足的武器。有的只是人们的绝望，以及防弹背心下跳动的心脏。

经历战斗之后，布罗夫迪判断，自己有比坐在战壕里更擅长的事。他没有等待程序。他开始自掏腰包购买无人机。他购买了数百架民用DJI Mavic无人机，召集几十名飞手，组建了一支名为“马迪亚尔之鸟（Birds of Madyar）”的侦察与打击部队。他们把手榴弹挂在民用无人机上投下去，寻找俄军阵地位置，再把坐标传给炮兵。战争初期的无人机部队，就是这样像野战中的怪才工坊一样起步的。

那支小队伍逐渐壮大。排变成营，营又变成旅。第414打击无人航空旅，正式名称为“马迪亚尔之鸟”旅，于2024年初组建。布罗夫迪辗转于各条战线。他先后在第28机械化旅、第59摩托化旅服役，参加了索莱达尔战役、巴赫穆特战役、2023年反攻行动，以及2024年哈尔科夫攻势。随着他所率无人机部队的战果不断累积，军方高层看待他的目光

也变了。

2025年5月8日，泽连斯基总统向布罗夫迪授予乌克兰最高荣誉“乌克兰英雄”称号和金星勋章。同年6月3日，泽连斯基宣布军方高层改组，任命布罗夫迪为无人系统军司令。Euromaidan Press在报道这一任命时写道：“乌克兰无人机军团的新掌门人启动了重塑天空的100天计划。”战前卖粮食的人，成了世界上第一位无人系统军司令。参谋学院教材里没有这样的晋升路径。战场比教材更快。

在他之前，第一位领导无人系统军的人是瓦迪姆·苏哈列夫斯基上校。这个组织于2024年2月6日成立，他作为首任指挥官奠定了基础。《卫报》当时报道称，“泽连斯基的无人机军队有了自己的指挥官”。如果说苏哈列夫斯基搭起了制度框架，那么布罗夫迪则把前线的血腥气放进了这个框架之中。

布罗夫迪一上任便提出了“无人机防线（Drone Line）”项目。其构想是在前线沿线建立纵深10至15公里的“杀伤区（kill zone）”，在敌人抵达乌克兰步兵阵地之前，用无人机将其消灭。这个由泽连斯基本人亲自启动的项目，成为无人系统军的核心教义。The Defense Post称，这一构想是“在整条接触线上持续维持无人机支援作战地带的雄心”。

马迪亚尔的轨迹并不止于一个人的发迹故事。他走过的路，类似于整个乌克兰军队学习无人机战争的过程。起初是撑住。接着是模仿。再后来是改装。最后终于建立组织。从战壕里的权宜之计固化为国家制度，只用了短短三年。

5-2 “我们占国防军的2%，却摧毁每3个敌方目标中的1个”

2026年春，马迪亚尔亲自出现在征兵视频中。站在摄像机前的他，说话语气与其说像军人，不如说更像创业公司创始人。他报出了一串数字。

“我们占乌克兰国防军的2%。每3个经确认的敌方目标中，就有1个正由无人系统军摧毁。每3枚敌方巡航导弹中，就有1枚由我们击落，今后将变成每2枚中击落1枚。”

这一说法很难得到精确验证。战争当事方的发布总要留有距离来看。但方向是明确的。

2026年6月4日，布罗夫迪在自己的Telegram频道发布了成绩报告。据乌克兰新闻社转述的内容，自无人系统军战斗集群于2025年6月11日组建以来，在358天内，经确认的俄军不可逆损失与医疗损失已超过10万人。他写道，这一数字由存储在军事情报态势感知

系统“Delta”中的证据验证。除人员损失外，被摧毁的独立敌方目标有35万个，战斗出击次数达165万次，平均每天约5,000次出击。打击目标包括248套防空系统、817辆坦克、1,379辆装甲车。

《经济学人》在2026年3月关于布罗夫迪的深度报道中给出了更冷静的数字。据DroneXL援引该文的报道，2025年12月是全面入侵四年来，俄军经核实的无人机损失首次超过俄罗斯新招募兵员数量的月份。整个冬季，布罗夫迪部队击杀或使其失去战斗力的人员，比俄罗斯补充的兵员至少多8,776人。从物资成本看，使一人失去战斗力的成本为878美元。交换比为400比1，也就是乌方每损失1人，对应俄方损失400人。布罗夫迪称，无人系统军自身的累计伤亡率为1%。

该如何解读这些数字？

战争当事方发布的战果，难免混有夸大成分。但外部分析人士也承认一点：在乌克兰战争中，无人机所占的打击比重自2024年以后迅速扩大。乌克兰总司令亚历山大·瑟尔斯基在2025年1月表示，当月被摧毁的俄罗斯装备中，66%是攻击无人机所为。无人系统军在其中占多少，很难精确分离，但战争重心正在转移，这一点难以否认。

马迪亚尔像经营企业一样管理自己的部队。《泰晤士报》把他的地下指挥所描述为“几十块视频屏幕实时显示战场画面的空间”。飞手们12小时轮班，屏幕上实时显示俄军损失数字，被击落的俄罗斯无人机像战利品一样挂在墙上。他说，自己的优先事项是保护士兵生命、提供必要装备，并尽可能多地让敌人失去战斗力。

这种表达令人不适。也理应令人不适。战争是一台把人变成数字的装置。但从乌克兰的立场看，这种计算方式是冷酷的生存术。俄罗斯拥有更多兵力、更多炮弹和更深的后方。无法以同样方式对抗的国家，必须改变战争的单位。用500美元的无人机打击价值10万美元的目标，让价值数百万美元的防空系统把导弹浪费在廉价诱饵无人机上。这套算术很残酷，却把大国压迫小国的重量反转了过来。

乌克兰军队还引入了把无人机部队战果换算成分数的体系。Business Insider报道称，乌克兰在重塑目标优先级时，给清除俄罗斯无人机操作人员赋予了更高分值。其判断是，相比摧毁一辆坦克，清除敌方无人机操作人员会对整条前线产生更大连锁效果。得分较高的部队会分配到更多无人机和通信装备。某种意义上，绩效奖金制度进入了战场，只是积累的不是奖金，而是生存概率。

5-3 涅墨西斯团的任务——摧毁敌军战斗序列，击破防空系统

无人系统军麾下最常被提及的名字，是第412涅墨西斯旅。这支部队最初以营级规模起步，后来扩编为团，再扩编为旅，正式名称是“第412无人系统旅涅墨西斯”。其内部有阿斯加德（Asgard）营等下级组织。肩章上画着外星人。

要理解涅墨西斯的任务，首先需要了解“战斗序列”这个概念。战斗序列（Order of Battle）是敌军的骨架。哪支部队在哪里，哪个指挥所与哪支炮兵部队相连，防空雷达监视哪片天空。摧毁这副骨架，前线的肌肉就会失去力量。

在与《基辅独立报》的深度访谈中，涅墨西斯的一名指挥官这样解释：“有些旅负责维持防线。它们的任务是守住防线，不让敌人推进。我们的任务不同。我们通过摧毁防线后方、更远处的战斗序列来帮助它们。”

他列出的目标清单十分具体。步兵、迫击炮、榴弹炮、自行火炮、防空系统，以及敌方无人机发射基地和操作人员。其中第一优先目标是俄罗斯无人机飞手。“找到敌方飞手组的位置并摧毁他们。这是第一目标。”在无人机战争中，优先杀死无人机飞手，就像在棋局中蒙住对手的眼睛。

击破防空系统是下一步。要攻击俄罗斯后方的弹药库、补给仓库、指挥所和炼油设施，无人机必须飞很远的路。每一段通道都有雷达，以及“铠甲”（Pantsir）、“道尔”（Tor）、“山毛榉”（Buk）、S-300系列防空系统把守。整片天空都是陷阱。如果不先刺瞎这些陷阱的眼睛、堵住它们的耳朵，远程打击就不可能实现。

涅墨西斯的战果留下了数字。United24 Media报道称，2026年前5个月，乌克兰无人系统部队打击了174个俄罗斯防空资产。这个数字包括地对空导弹系统、雷达站和电子战装备。无人系统军估算，仅这一项就给俄方造成了超过54亿美元、约合7.5万亿韩元的损失。

《乌克兰真理报》在2026年5月刊登了涅墨西斯旅副指挥官帕夫洛·拉克季奥诺夫的访谈。据他介绍，截至2026年5月2日，涅墨西斯旅摧毁或打击的敌方防空系统有83套。这个数字包括“道尔”、“山毛榉”、S-300系列雷达站。他还补充说：“摧毁速度超过了俄罗斯的生产速度。”

这些数字必须带着战争当事方发布的局限来看。并非每一项都经过独立验证。但乌克兰瞄准的目标很清楚。它正在脱离摧毁一辆坦克的战争，转向让敌人无法看见战场、无法

阻挡攻击、无法连接体系的战争。

乌克兰国防部也宣布，自2026年3月1日以来，已确认瘫痪81套俄罗斯防空系统。同年1月，涅墨西斯阿斯加德营在一个月内摧毁8套防空系统，其中包括S-350“维佳兹”（Vityaz）系统的雷达。军事信息媒体ArmyInform报道称，仅这一个月造成的损失就超过2.5亿美元。Euromaidan Press报道称，仅1月第三周，就有10个防空资产被摧毁，造成约3亿美元损失。

先打防空网的理由很冷静。先刺瞎俄军的眼睛、堵住耳朵，再把更深远的打击无人机送入其盲区。把诱饵无人机、侦察无人机、自杀式无人机和电子战装备混合使用，耗尽俄罗斯防空网，这种战术已经定型。《基辅邮报》报道称，乌克兰情报部门在远程空袭中把大量欺骗性无人机与实弹一起投入使用，以消耗俄罗斯防空网。

5-4 招募15,000人——电子工程师、程序员、设计师、无人机飞手

组织以人为食，并在人身上成长。

2026年4月29日，乌克兰国防部正式宣布无人系统军大规模招募人员。15,000人。The Defense Post、Airforce Technology、Naval Technology等多家军事专业媒体同时报道了这则招募公告，其内容不同于旧意义上的士兵招募。

招募对象并不只是无人机飞手。还包括电子工程师、程序员、3D设计师、项目经理、OSINT（公开来源情报）分析师、伪装专家、IT专家、医务兵、驾驶兵。正如马迪亚尔在招募视频中所说，空缺岗位的一半是“和平时期民间生活中的专业职业，也是现在前线立即需要的工种”。

这些人员预计将投入无人机防线项目。据GlobalSecurity转述的乌克兰国防部声明，无人机防线的目标是“建立系统化运用无人系统的综合体系，向步兵提供空中支援，并在10至15公里纵深内持续与敌交战”。国防部称，启动一年后，无人机防线麾下或受其支援的部队已经取得了瘫痪战场上每4个目标中1个的成绩。

新兵训练体系也已经建立。平民接受基础军事训练后，会在三处专业训练中心完成无人系统专业课程。还为无人机防线单独开发了基础军事训练项目，重点偏向实操训练。

战争的招募公告改变，意味着军队的想象力改变了。过去的军队首先寻找体力好的年轻人。这场战争中的军队寻找的是会焊接的人、能读电路的人、会修代码的人、能计算天

线角度的人。工科实训室进入了军营。那些在作战服外穿防弹背心、再在外面套连帽衫的人，成了战争的新面孔。

在《基辅独立报》的访谈中，涅墨西斯指挥官这样描述那种景象：“穿连帽衫、打游戏、抽电子烟的人，大概占乌克兰武装部队的70%。我们这里更多，大约90%。这是今天年轻人的典型画像，而且只要不是实际战斗期间，在风格和着装上都尽可能民主。”

马迪亚尔的招募视频里有一句口号。“奔跑也不错，但现在该飞了。一边歼灭占领军。”他还补充说：“在互联网上输入C5C三个字母，加入12个鸟类部队中的一个。”无人系统军麾下部队都以鸟类名称作为别称。眼睛与刺。克罗普，俄罗斯巡航导弹“沙赫德”的乌克兰式绰号，的恐惧。作为战争招募海报，里面奇异地混着幽默。

是无人机在等待飞手，而不是相反。这句话包含了战争的一个侧面。乌克兰的无人机生产能力已经超过了飞手供应速度。机器充足，人却不够。2022年的战争缺枪，2024年的战争缺炮弹，2026年的战争缺飞手。战争所要求的东西正在改变。

5-5 商业方法——效率指标、标准化，以及878美元的算术

贯穿涅墨西斯团和整个无人系统军的哲学，用一句话说就是“商业方法”。

在《基辅独立报》的访谈中，涅墨西斯指挥官直接用了这个说法。“我们试图把商业方法应用到各种军事流程中。也就是把一切拆解成带有效率指标，以及可标准化、可规范化解决方案的商业流程。”

如果说传统军队的语言是勇气、命令、阵地、炮击，那么马迪亚尔和他的指挥官们的语言就是指标、反馈、产量、可扩展性。仿佛在战壕上摊开了一张Excel表。由于那是一张带着血腥气的Excel表，很难当成玩笑带过，但在这场战争中，这样的表格决定人的生死。

据DroneXL援引《经济学人》的分析，无人系统军使1名俄军失去战斗力的物资成本为878美元。追踪这个数字如何得出，就能看见不对称战争的算术。价值300至500美元的FPV无人机是主力武器，再加上侦察无人机和通信装备成本，便可算出每次出击成本。再把该成本除以经确认的敌方损失。

《经济学人》报道的400比1交换比是更惊人的数字。按照布罗夫迪自己的计算，乌方每损失1人，对应俄方损失400人。无人系统军累计伤亡率1%，与前线步兵部队的伤亡率

相比低得惊人。因为无人机飞手是在距离前线数公里外握住操纵杆。

这种效率追求也有令人不适的一面。把战争成果分数化、给各部队排名、计算杀死一个敌人的成本，这种方式无法避免把人的生命折算成账簿数字的批评。《泰晤士报》报道称，布罗夫迪的部队公开无人机打击视频并用于心理战，引发了伦理争议。无人机拯救士兵生命的同时，也降低了杀伤门槛。飞手看着屏幕按下按钮，但屏幕另一端是人。

乌克兰所处的现实可以解释这种选择，却不能抹去这种选择的重量。

然而，标准化本身的必要性难以否认。无人机战争的初期是一片野生工坊。各部队各自购买无人机，各自改装，各自加装爆炸物，各自学习操控方法。如果电池规格不同，视频收发设备不同，炸药安装方式不同，就不可能进行大规模生产和大规模训练。无人系统军的诞生，是试图把这种野性纳入制度之中。把前线的发明变成军种体系。把无人机工坊变成后勤网络。把飞手的直觉变成教范。

涅墨西斯指挥官坦率承认了这种张力。“当然，我们都知道，有些条令和规章早已写就。即便是在相对较近的独立乌克兰时期写成的，也已经失去相关性。历史正在此刻被创造。未来已经到来，而文档化排在清单靠后的位置。”

一场教范追不上现实的战争。一场前线反馈快过文档化的战争。在这种速度中，商业方法充当了填补教范空白的临时骨架。

5-6 纵深打击的扩大——2026年，组织追上战场速度

进入2026年，无人系统军的打击范围明显加深。

路透社在2026年5月报道称，乌克兰国防部在4月一个月内，对120至150公里距离的中程目标实施了160多次打击。目标包括65处以上物流与弹药仓库、33处无人机控制站和车间、17处兵力指挥所。这已经不是打击前线正前方坦克的战争，而是切断前线后方那些让战争持续运转的装置的战争。

Euromaidan Press报道称，无人系统军每月执行超过10万次战斗出击，并从2026年5月起扩充中程与纵深打击部队。德国与乌克兰企业正推进联合生产最大射程1,500公里级远程无人机的消息也传出。防务专业媒体Defence Express报道称，无人系统军第1独立中心与纵深打击中心（Deep Strike Center）协同，在不到一周时间内打击了价值超过1.2亿美元的俄罗斯防空资产。

这一变化的核心在于组织结构的转换。情报解码员、数据分析师、航空侦察组、无人机打击组被编织成一条连锁链，用于实战中的快速决策。涅墨西斯指挥官向《基辅独立报》解释的过程是这样的：“分析员分析敌方无人装备的使用情况，确定航空侦察的搜索区域。航空侦察起飞并搜索。这些数据由解码员、分析员处理。确定高度、无线电地平线、可能地点。然后无人机打击组被派往指定地点。”

从分析到打击的链条越短，敌人的反应时间就越少。打击必须在俄罗斯防空系统转移位置之前抵达。在这种速度战中，官僚程序是致命的。

布罗夫迪上任后不久，也重组了指挥结构。Euromaidan Press在2026年3月31日报道称，布罗夫迪任命两名获得“乌克兰英雄”称号的野战指挥官进入无人系统军高级参谋岗位。交给他们的任务是“沿整条接触线连续建立无人机防线”。同月，无人系统军公布了3月战绩：击杀敌军10,477人，打击独立敌方目标37,627个。布罗夫迪在Telegram上留下了一句话：“4月，C5C的指挥家和飞手们正在准备新的交响曲。”

远离战场的地方也不再安全。美联社在2026年6月报道称，乌克兰无人机打击了俄罗斯和克里米亚的石油设施。距离前线数百公里的炼油设施、港口、弹药库、军用机场，都进入了无人机射程之内。“后方”这一概念本身正在动摇。

这套战争工业并没有只等待大型军工企业的交付日程。它变成了一个由初创企业、捐助者、军队单位、软件开发者、前线飞手同时涌入的巨大实验室。路透社报道称，乌克兰及相关初创企业正在以前所未有的速度发展海上无人机、地面机器人和远程无人机系统。而俄罗斯也正在追赶。

Euromaidan Press在2026年5月报道称，布罗夫迪在接受《乌克兰真理报》采访时警告，俄罗斯实际上正在复制乌克兰的无人系统军模式。据布罗夫迪说，俄罗斯正急剧增加无人机操作人员，大规模生产廉价打击系统，甚至连乌克兰的组织结构也在模仿。按照《基辅独立报》转述的总司令瑟尔斯基的说法，俄罗斯计划到2030年在277个单位中编成21万人的无人系统兵力。

Business Insider转述了瑟尔斯基的警告：俄罗斯试图在远程攻击中，把速度更快的喷气推进“沙赫德”系列无人机比例提高到50%。乌克兰建立无人系统军，不是为了展示创新。因为对手也正朝同一方向奔跑。

在这场竞争中，乌克兰领先的是时间。它更早开始，更早失败，也更早学习。俄罗斯的无人机数量达到乌克兰的6倍，但无人系统军声称自己的无人机在质量上领先。没有人能保证这种差距能维持多久。

——

无人系统军的诞生，并不是乌克兰军队买了很多无人机的故事。它讲的是军队结构发生了改变。

步兵、炮兵、装甲兵、空军、海军这些古老隔间之间，出现了一个新的隔间。但这个隔间并没有与其他隔间分离。无人机是炮兵的眼睛，是步兵的矛，是没有海军之国的鱼雷，是空军抵达不了之处的轰炸机。无人系统军既是一个兵种，同时也是所有兵种的神经网络。

这场变化的中央，有一件连帽衫。连帽衫不是军装。它比起肩头星光闪耀的制服，更像熬夜开发者的衣服。但这场战争恰恰把这件连帽衫放在了军装旁边。无人机飞手即便不在战壕里，也是战斗员；程序员即便不拿枪，也是前线的一部分。握着焊烙铁的手、握着摇杆的手，和握着步枪的手，进入了同一场战争。

这个过程并不顺滑。教范追在现实后面气喘吁吁，标准化与野战创造力之间始终存在张力。公开视频的心理战引发伦理争议，战果评分制带着让战争看起来像游戏的风险。电池短缺，无线电中断，俄罗斯电子战每天都更强。新型号一周后就成了旧型号。战争没有宽裕地给人按下更新按钮的时间。

即便如此，这个组织的诞生已经改变了一件事。当小国与大国作战时，以同类武器和同等数量去匹配，并不是唯一道路。军队既可以是钢铁与火药的集合，也可以成为软件与生产网络构成的有机体。

黑色连帽衫、笔记本电脑、天线、摇杆，以及屏幕中摇晃的地平线。

世界上第一支无人系统军，就是在那里诞生的。

——

尾注

[1] 罗伯特·布罗夫迪的战前经历与自愿入伍过程：Wikipedia “Robert Brovdi”；Ukraine Today “Hero of Ukraine and new commander of the SBS” (2025.6.3)

[2] 无人系统军的成立与首任指挥官：The Guardian “Ukraine war briefing: Zelenskiy's army of drones gets its own commander” (2024.6.11); Wikipedia “Unmanned Systems Forces (Ukraine)”

[3] 布罗夫迪被任命为司令：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] 无人系统军一周年战果（击杀10万人、摧毁35万目标）：Ukrainian News “Unmanned Systems Forces destroy over 100,000 russian soldiers over year” (2026.6.4)

[5] 878美元成本、400:1交换比、《经济学人》文章：DroneXL “Ukraine's Madyar Brovdi Outpaces Russia's Recruitment” (2026.3.23)，援引The Economist原文

[6] 2026年前5个月打击174个防空资产、造成54亿美元损失：United24 Media “Ukraine's 2026 Drone Campaign Hit 174 Russian Air Defense Systems” (2026.6.6)

[7] 涅墨西斯旅摧毁83套防空系统（截至2026.5.2）：Ukrainska Pravda “Every third sortie results in a hit” (2026.5.21)

[8] 涅墨西斯阿斯加德营1个月摧毁8套防空系统（2.5亿美元）：ArmyInform (2026.1.9); Ukraine Today (2026.1.9)

[9] 1周内摧毁10个防空资产（3亿美元）：Euromaidan Press (2026.1.20)

[10] 招募15,000人与无人机防线项目：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] 商业方法、效率指标、连帽衫描写：Kyiv Independent “West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says” 深度访谈

[12] 马迪亚尔招募视频原文：C5C无人系统军官方YouTube频道 (2026)

[13] 中程打击160次以上（2026年4月）：Reuters “Ukraine steps up medium-range strikes” (2026.5.5)

- [14] 中程与纵深打击部队扩充、每月10万次出击：Euromaidan Press “Ukraine is building a bigger deep-strike drone machine” (2026.4.22)
- [15] 指挥层人事、3月战绩：Euromaidan Press “Ukraine's drone forces chief Madyar reinforced SBS command” (2026.4.1)
- [16] 俄罗斯复制乌克兰无人机模式、计划编成16.8万人无人机部队：Euromaidan Press (2026.5.14)
- [17] 俄罗斯计划到2030年组建21万名无人系统兵力：Kyiv Independent “Russia to recruit 210,000 personnel for drone forces by 2030” (2025.2.6, 引用瑟尔斯基)
- [18] 喷气推进“沙赫德”比例扩大到50%的计划：Business Insider (2026.6)
- [19] 评分制与目标优先级重组：Business Insider “Ukraine's drone pilots are overhauling which Russian targets they think matter most” (2025.6)
- [20] 马迪阿尔指挥所描写：The Times “Drone chief fights psychological war with videos of dying Russians”
- [21] 乌克兰国防部关于瘫痪防空系统的声明：Ministry of Defence of Ukraine “Middle-strike operations” (2026)
- [22] 大规模运用欺骗性无人机：Kyiv Post (2026)
- [23] 打击俄罗斯与克里米亚石油设施：AP News (2026.6)
- [24] 纵深打击中心打击1.2亿美元防空资产：Defence Express (2026.2)
- [25] 乌克兰军队摧毁装备中66%由无人机完成：Kyiv Independent (瑟尔斯基发言, 2025.1)

第6章 AI并不握住瞄准镜——自主武器的边界线

6-1 AI的当前角色——密码破译、分析、绕过电子战、3D模型识别、辅助目标探测

前线的一间小屋里，士兵正盯着屏幕。屏幕中，树林、泥路、烧毁装甲车的影子、破损房屋的屋顶交错在一起。他握着操纵杆，但并不是独自观察。旁边还有另一双眼睛。不会疲惫，不会眨眼，即使把同一个场景重复看上几千遍也不会厌烦的眼睛。那就是AI。

然而，这个AI还不是扣动扳机的士兵。它首先进行分类。它判断土路上的一个点是人、摩托车，还是运送炮弹的车辆。电子战导致画面晃动时，它会抓住最后几百米。即便无人机与飞手失去连接，它也会让无人机继续追踪摄像头中的目标。乌克兰和俄罗斯双方都在无人机上安装基于AI的图像识别装置，试图在强烈电磁干扰下追踪目标。乌克兰仍然表示，攻击批准需要人类。这句话既是技术说明，也是政治上的防线。

AI也在战场后方工作。它分类被截获的通信，寻找加密信号的模式，把卫星照片和无人机影像拼接起来。它寻找防空网在哪里，哪条道路是补给线，炮兵隐藏在哪片树林边缘。在接受Kyiv Independent采访时，涅墨西斯（Nemesis）团指挥官这样解释道：“当然，我们在工作中使用人工智能。是在密码破译和分析方面。”搭载在无人机上的AI已经达到这样的水平：学习敌机的3D模型后，能够自行识别停放在跑道上的机体。投入“蛛网行动”的FPV无人机正是用这种方式区分Tu-95战略轰炸机和Tu-22M3轰炸机，并实施打击。

技术的核心并不是宏大的人形机器人。它是一枚小芯片、一个摄像头、一次软件更新。它读取进入画框的物体轮廓，与已经学习过的3D形状进行比对，并预测运动。人说“看那个”，AI则计算“那个最有可能是什麼”。

CSIS（美国战略与国际问题研究中心）在2025年3月的报告中，用具体数字展示了这一过程。搭载AI自主导航的无人机，目标打击成功率达到70~80%。与手动操纵无人机10~20%的成功率相比，差了三四倍。过去人用操纵杆操控时，攻击一个目标需要八九架无人机；如果由AI引导最后100~1,000米，一两架就足够了。因为AI能够感知电子战干扰区域，并自行设定绕行路线。

但边界线也在这里变薄。飞手选定目标后，由AI引导最后500米，那么这次攻击是人的攻击，还是机器的攻击？人类按下批准按钮，但屏幕中的信息由AI的推荐填满，那么判断究竟属于谁？战场不会像法庭那样清清楚楚地发问。画面在晃动，时间在减少，敌方电子战设备撕咬着通信。就在这道缝隙里，AI从辅助者逐渐前移为瞄准校正者，又从瞄准校正者逐渐前移为事实上的射手。

进入2026年后，乌克兰又向前走了一步。它宣布将开放一个平台，为盟国训练AI模型提供战场数据。其中包括在战斗飞行中收集的影像、带注释的图像以及分析用数据。战争如今不仅要求弹药库，也要求数据库。乌克兰战场已经成为世界上最大的AI训练场，在那里，每天都有新的算法被放上试验台。

6-2 “决定必须始终由人来作出”——这是有效性原则，还是伦理原则？

“决定必须始终由人来作出。”

这句话听起来像宣言。但对前线士兵来说，它在成为伦理教科书中的句子之前，首先是关乎生存的句子。

在Kyiv Independent的采访中，当被问到这一原则的理由时，涅墨西斯团指挥官给出了一个意外的回答。“首先，这是关于工作有效性的问题。我们必须知道自己在打击什么。如果人确信这就是目标，他们就可以下达摧毁命令。”首先出现的不是伦理，而是有效性。如果AI误读目标，己方车辆也可能变成敌方装甲车，载着伤员的民用车辆也可能看起来像军用卡车。尘土、烟雾、积雪、夜间热成像、破碎的地形，都不同于模型学过的干净数据。战场数据总是带着污迹。

人必须作出最终判断，这既是保护平民的标准，同时也是减少误动作的战术装置。人类仍然能够读取语境。挥舞白布的人，趴在废弃车辆旁的伤员，脱下军服逃跑的士兵，躲在平民身后的战斗人员。这些场景并不是像素问题。它们是战争法与现场直觉、恐惧与责任交织而成的判断。AI很快，但快并不等于正确。

国际讨论也抓住了同一条线。联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在2023年“新和平纲领”中呼吁，应在2026年前完成一份具有法律约束力的文件，禁止在没有人类控制或监督的情况下运行的致命性自主武器系统（LAWS）。他甚至说，“机器拥有夺取人类生命的力量和裁量权，在政治上不可接受，在道德上令人憎恶”。2024年12月，联合国大会以166票赞成、3票反对（反对：俄罗斯、朝鲜、白俄罗斯）通过了有关致命性自主武器

的决议。该决议包含所谓“两阶段方法”，即要求全面禁止部分自主武器，并对其余武器加以规制。

但军人并不只把这句话理解为伦理。他们也把它理解为有效性原则。乌克兰强调人类批准原则，有多重原因。它是面向西方援助国的信任语言，是避免国际法违规争议的装置，也是减少战场失败的现实方法。CSIS报告在评估乌克兰的AI战争能力时也分析认为，完全自主战争仍更接近目标而非现实，当前的核心是部分自主和人类监督。“我们离杀手机器人还非常遥远。”这是该报告作者卡特琳娜·邦达尔在接受Breaking Defense采访时所说的话。

然而，随着时间推移，这句话承受的压力越来越大。电子战切断通信，无人机丢失目标，俄罗斯军车在林间道路上消失，就在这几秒之间，飞手失去了画面。那一刻，AI说：“我会继续跟踪。”人类已经批准，但最后的判断已经进入机器的速度之中。

6-3 光纤无人机对AI自主无人机——通往电子战免疫的两条路

在无线电沉默的战场上，出现了两条路。一条是抓住线。另一条是切断线。

光纤无人机一边飞行，一边向身后放出细线。比钓鱼线还细的电缆，把飞手和无人机以物理方式连接起来。它不是无线信号，所以电磁干扰不起作用。画面清晰，操控不断。俄罗斯和乌克兰都在用这种方式穿透电子战区域。Atlantic Council解释说，光纤无人机即便在30公里以上的距离也能提供精确打击和清晰影像，并且实际上对电磁干扰免疫。2025年2月，光纤无人机还首次在哈尔科夫郊外的平民地区投入使用。

但线有线的命运。电缆可能缠绕，也会增加重量。风、树木、电线杆、废墟中的钢筋都会成为敌人。想获得更远射程，就需要更大的卷线盘，而更大的卷线盘会让无人机变得更迟钝。涅墨西斯团指挥官坦率承认了这一点。“如果光纤无人机成功抵达目标，并且有足够的光纤，那么，是的，这是一个大问题。但它有自身的局限。不能说光纤无人机是万能疗法。”

AI自主无人机则朝相反方向前进。即便与飞手的连接中断，它也会记住目标并继续追踪。图像识别模型会抓住摄像头画面中车辆、战壕、炮塔的轮廓。涅墨西斯指挥官也指出了这种演进趋势。“在光纤大规模使用之前，人们曾期待，应对电子战的主要解决方案将是拥有人工智能的自主无人机。或许我们正在慢慢接近那里。”

光纤无人机选择的是“不断开的连接”。AI自主无人机选择的是“即便连接断开也继续前进的能力”。前者是战场上的有线电话，后者是拥有记忆的箭。哪一方占优，取决于地形、距离、目标、成本和生产速度。电子战越强，这两种技术就越会共同壮大。

不过，这两条路已经出现汇合的地点。2025年末，乌克兰海军公布了一段视频，显示从“马古拉”（Magura）级海上无人机的内部机库中发射光纤FPV无人机。也就是说，从海上无人机这艘母船上，起飞对电子战免疫的无人机，打击海岸线之外的目标。抓住线的无人机和切断线的无人机。两者看似相反，却诞生于同一种欲望：即使在飞手的手够不到的地方，也绝不丢失目标。

6-4 无人机蜂群（swarm）——像蜂群一样协同工作的无人机，以及随后到来的东西

一架无人机是一只眼睛。十架无人机是一张网。一百架无人机就成了天气。

蜂群无人机的恐惧，并不来自单架无人机的性能。它来自协同移动。前方无人机寻找防空网，后续无人机钻入空隙，一部分成为诱饵，一部分成为爆炸物。防空雷达会统计目标，但目标太多时，数量本身就成为了武器。

Atlantic Council在2026年3月题为“即将到来的计算战争”的报告中，提出了如下场景。2026年5月的哈尔科夫前线，乌克兰指挥官发射800架自主无人机。空中无人机和地面无人机协同移动，瘫痪敌方防空网，识别并打击炮兵阵地，钻入俄罗斯战线的缝隙。这项行动依赖实时协调。传感器把目标数据交给打击平台，移动算法同步推进速度，机器学习系统适应俄罗斯的应对。

这是一个假想场景，但现实已经来到门槛前。IEEE Spectrum报道称，截至2026年初，乌克兰前线的灰色地带（gray zone）已有数千台地面机器人活动。大多数用于运送补给或疏散伤员，但搭载机枪炮塔的“杀手”地面机器人也在测试中。2025年12月，在哈尔科夫北部利普齐（Lyptsi）村附近，首次执行了完全无人化行动，只使用数十辆无人地面车辆和FPV无人机，在没有步兵参与的情况下攻击俄罗斯阵地。在CSIS报告确认的这次行动中，地面机器人负责排雷、直射火力和弹药运输，FPV无人机则从空中提供支援。幸存的机器人在行动后返回乌克兰阵地。

海上也能看到同样趋势。Reuters在2026年6月初报道说，为防御敖德萨附近海域，计划部署约10个平台组成的自主海上平台编队，初始运用目标是在2027年初。

引领乌克兰蜂群无人机技术的企业Swarmer，于2025年9月在美国投资者主导下获得1,500万美元A轮融资。这是战争以来对乌克兰防务技术企业的单笔最大投资。Swarmer首席执行官谢尔希·库普里延科这样说：“我们的软件已经在数万次实战任务中证明了自己。西方民主国家必须能够部署与其生产能力相匹配数量的无人机和机器人，而不受训练飞手数量限制。”Swarmer表示，其训练使用了自身82,000多次战斗任务数据，以及其他部队执行的数百万次飞行数据。

蜂群离不开AI。因为不可能给每一架无人机都配一个人来操控。AI共享彼此位置，避免碰撞，分配目标，如果一部分被击落，就改变剩余无人机的路径。人给出整体任务。“侦察那片区域。”“瘫痪那处防空网。”“封锁那片海域。”之后的细部协调则在机器之间发生。

边界线在这里再次摇晃。既然人下达了任务，这算人类控制吗？还是说，既然个别目标选择和攻击顺序由蜂群决定，这就是自主攻击？蜂群会模糊责任。一架无人机误炸，可以调查。一百架同时行动，其中十三架走了另一条路径，那么很难找出究竟在哪一刻、是谁作出了错误判断。

6-5 “他们不会在乎这个问题”——当俄罗斯和中国在没有伦理约束的情况下奔跑

采访者问涅墨西斯团指挥官：一方面存在必须把人纳入流程的伦理问题，另一方面又有人主张俄罗斯和中国不会在乎这些问题，那么他会给西方军队什么建议？

指挥官的回答很明确。“首先，我们不对俄罗斯或其他国家负责。我们对我们的军队、我们的防卫部队、我们的部队负责。我们的政策是这样建立的：我们，重复一遍，使用人的决定，而且不是随便什么人，而是对这一流程负责的负责人。”

这个回答中缺少了一样东西。那就是当对方不遵守规则时该怎么办。指挥官只是说明了自己部队的原则，并没有谈到如何应对敌方选择。这大概不是他的级别能够回答的问题。

但现实并非黑白分明。美国军事学院（西点军校）利伯研究所曾分别分析中国和俄罗斯对自主武器的立场。中国在联合国特定常规武器公约（CCW）讨论中一直提出，致命性自主武器若要符合国际人道法，就必须处于有意义的人类控制之下。不过，利伯研究所分析认为，中国的军事AI伦理讨论相较于普遍规范，更倾向于保留各国解释空间和战略灵活性。这就是“具有中国特色的人类监督”这一表述出现的原因。

俄罗斯则呈现出更露骨的矛盾。它采取一种最低限度主义态度，认为现有国际人道法已经足够，同时在实际战场上积极部署AI辅助武器系统。根据CSIS在2026年4月发布的《俄罗斯如何构建主权无人机生态系统以实现AI驱动的自主化》报告，俄罗斯的目标是在2030年前完成一个覆盖无人机设计、生产、运用全周期的生态系统，并计划用俄罗斯制造的无人机填补国内市场的70%。其中还包括人才培养计划：每年培养15,500名AI专家，并让80%的劳动力具备AI基础素养。俄罗斯一边谈人类控制，一边奔向自主化。在2024年12月联合国大会自主武器决议投票中，俄罗斯与朝鲜、白俄罗斯一起，站在仅有的三个反对国一边。

问题在于，当对手不遵守规则时，民主国家可以走到哪里。战争总是制造一条通向道德低处的斜坡。一方在没有人类批准的情况下更快开火，另一方就会说“不能只有我们慢”。一方把蜂群无人机释放到城市上空，另一方就会说“即便为了防御，也需要同样的技术”。

2026年2月，法国、德国、意大利、波兰、英国启动了“低成本效应器与自主平台倡议”，简称LEAP。其目标是基于乌克兰的战场经验，共同生产低成本防空系统和自主无人机。欧洲五个主要军事强国把“自主”这个词放进倡议名称中，这一事实本身就说明了方向。

禁止线不会被抹去。它只会被推得更远。

6-6 当战争速度超过人类判断速度的瞬间

总有一天，战场屏幕上会同时浮现出人难以跟上的高速事件。

北方林间道路上有三辆车在移动，西侧战壕里捕捉到热信号，南方天空中一群俄罗斯无人机低空逼近，通信网断开、接上，又再次断开。防空炮队为发射一发炮弹争取到2秒，无人机飞手为了确认目标失去1秒。那时，AI不会等待。它会计算。

涅墨西斯团指挥官这样描述战争变化的速度。“以前变化更慢。一年一次，六个月一次。现在任何战术变化都可能在短短几个月内发生。只过1、2个月，就可能已经发生变化。”如果战争的创新周期已经到了这种地步，那么战争的执行速度又会如何？这是一个双方合计每天出动数千架无人机、敌方移动被实时监控、从侦察到打击所需时间缩短到几分钟的战场。

2024年9月，乌克兰特种无人机部队“马迪亚尔之鸟（Madyar's Birds）”指挥官罗伯特·布罗夫迪在与The Economist的对话中，提出了更进一步的展望。他说，6~8个月内，乌克兰无人机将完全不再需要飞手。“只需要发射。无人机会自行决定去哪里，以及如何打击目标。”他还补充说，数百个AI系统正在开发和测试中。

很难确认这个展望是否已经按时间表实现。因为战场技术进步总是同时存在比公布更慢的领域和比公布更快的领域。但方向是明确的。根据CSIS报告，乌克兰军方设定了一个目标：2025年采购的无人机中，至少一半要搭载AI制导功能。与2024年AI制导无人机占总量0.5%相比，这是100倍增长。

当战争速度超过人类判断速度的瞬间，人类控制将被要求具有新的含义。仅仅有一个按按钮的人并不够。必须追问：这个人是在知道什么的情况下按下按钮的，是否有拒绝的时间，是否有怀疑AI推荐的权限和实际余地。当画面太快、推荐太强、失败代价太高时，人类就不再是控制者，而成为仪式程序。就像被摆在瞄准镜前的一枚印章。

在2026年结束之前，联合国特定常规武器公约专家组必须完成自主武器规范的草案。然而在战场上，每天都有新的软件装进无人机，每周都有新的自主导航算法接受测试，每个月都有更多无人机一点点减少对人手的需要。国际社会谈人类控制，战场谈速度。两种语言能否停留在同一个句子里，目前仍不得而知。

自主武器的边界线，并不会被“AI是否杀了人”这一句话封闭。AI是否选择了目标？AI是否保持了目标？AI是否改变了最后路径？人类是否理解了这一过程？是否能够停止？没有停止时是否能够承担责任？这些问题重叠起来，线才终于显现。

可以说，AI还没有握住瞄准镜。但它已经在选择瞄准镜中的画面，校正颤抖的手，并在断裂的信号之后继续追踪目标。在扳机与眼睛之间，在人类判断与机器计算之间，出现了一道细缝。未来的自主武器，将在这道缝隙中诞生。

尾注

(1) AI无人机的目标打击成功率：CSIS（美国战略与国际问题研究中心），Kateryna Bondar，“Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare,” 2025年3月。搭载自主导航无人机的打击成功率为70~80%，手动操纵为10~20%。Bondar在Breaking Defense采访中表示：“我们离杀手机器人还非常遥远。”

- (2) 涅墨西斯团指挥官采访：Kyiv Independent，“West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says.” 本章关于AI角色、人类控制原则、对西方军队建议等多处引用均依据该采访。
- (3) 光纤无人机的电子战免疫性和30km以上精确打击：Atlantic Council，“Fiber-optic drones have emerged as critical kit for both Russia and Ukraine.”
- (4) 联合国秘书长呼吁禁止致命性自主武器：UNODA（联合国裁军事务办公室），“Lethal Autonomous Weapon Systems.” 在2023年“新和平纲领”中呼吁到2026年前制定具有法律约束力的文件。
- (5) 联合国大会自主武器决议（2024年12月）：以166票赞成、3票反对（反对：俄罗斯、朝鲜、白俄罗斯）通过。包含两阶段方法（部分禁止，其余规制）。
- (6) 中国的自主武器立场：Lieber Institute（西点军校），“Human Oversight with Chinese Characteristics: Lethal Autonomous Weapons in the CCW GGE.”
- (7) 俄罗斯的最低限度主义立场：Lieber Institute，“No New Rules Needed: Russia's Minimalist Vision of Human Oversight for LAWS.”
- (8) 俄罗斯自主无人机生态系统建设计划：CSIS，“How Russia Is Building a Sovereign Drone Ecosystem for AI-Driven Autonomy,” 2026年4月。
- (9) 计算战争场景（800架自主无人机蜂群）：Atlantic Council，“The coming compute war in Ukraine,” 2026年3月。
- (10) 利普齐村首次完全无人化行动（2024年12月）：CSIS报告确认。投入数十辆UGV和FPV无人机，无步兵参与。
- (11) Swarmer 1,500万美元A轮融资：Business Wire，2025年9月。使用82,000多次实战任务数据进行训练。
- (12) 敖德萨海域自主海上平台编队：Reuters，“Startups shore up Ukraine's defences with sea drone swarms and robot trucks,” 2026年6月。
- (13) LEAP（低成本效应器与自主平台）倡议：GIS Reports，2026年2月由法国、德国、意大利、波兰、英国发起。

(14) “马迪亚尔之鸟” 指挥官布罗夫迪对完全自主化的展望：Business Insider/The Economist，2024年9月。“6~8个月内不再需要飞手” 发言。

(15) 乌克兰开放战场数据平台：Reuters，“Ukraine opens battlefield data access to allies' AI models,” 2026年3月。

(16) 从海上无人机发射光纤FPV：乌克兰海军公开视频，2024年12月。
Forbes/BitcoinEthereumNews等报道。

SOURCE

第7章 看不见的战争——电子战与计算的前线

7-1 “不会有GPS”——GPS干扰与欺骗主宰的战场

无人机操纵员盯着屏幕。田野依旧。树林依旧，道路上的阴影也依旧。可是地图上的点却诡异地滑动起来。无人机在向前飞，坐标却向旁边漂移。片刻之后，机体开始迟迟听不懂指令。推下操纵杆，反应变得迟钝，画面像雪花一样碎裂。没有枪声。也没有爆炸。战场用沉默发动了攻击。

在乌克兰战争中，电子战（Electronic Warfare，利用电波进行攻击和防御）成了看不见的炮兵。炮弹会翻起泥土，而干扰（jamming，电波干扰）会翻转方向感。切断GPS信号，无人机就不知道自己在哪里。还有更阴险的手法。欺骗（spoofing，伪造信号扰乱）不是切断信号，而是展示一条假的路。无人机甚至不知道自己迷路了，反而相信错误的坐标。2025年TechRxiv刊登的一项分析指出，俄罗斯军队的Krasukha-4、Borisoglebsk-2等电子战系统，从战争初期起就以这种方式瘫痪了乌克兰的拜拉克塔尔TB2无人机。

这场看不见的战争，几天前以一场看得见事故爆发出来。2026年6月5日早晨，罗马尼亚康斯坦察港一架海上无人机发生爆炸。地点距离石油码头只有数百米。虽然没有人员伤亡，但罗马尼亚当局从海滩疏散了超过1,000人。据《基辅独立报》报道，乌克兰海军解释说，本国无人机在黑海执行任务时受到俄罗斯电子战干扰，失去控制，漂流到了罗马尼亚海岸。乌方还补充说，已提前警告罗马尼亚，从而避免了人员伤亡。路透社同日称，这起事件是“北约东翼人口密集地区一周内发生的第二起重大事故”。一周前，一架俄罗斯制Shahed型无人机撞上罗马尼亚加拉茨市的一栋公寓楼，造成2人受伤。

电子战并不停留在前线。它把阴影一直推到北约成员国港口的石油码头。希腊也称，一架乌克兰海上无人机在本国岛屿附近被发现，并就此向基辅提出抗议。被电波扰乱的机器不知道国境线。

西方军人第一次接触这一现实时的反应，天真得令人惊讶。Nemesis团指挥官在接受《基辅独立报》采访时讲过一个场景。西方军方人员带着本国开发的新无人机系统前来展示，并问道：“你认为这个可以怎么用？”指挥官不是技术人员，但有经验。“它怎么运作？连接如何保障？”听完回答后他说：“这些都不会工作。”对方反驳道：“我们

有GPS。”指挥官的回答很短：“不会有GPS。”

“为什么不会有GPS？”“不是有卫星吗？”“会被干扰。不会有GPS。”于是对方便迟疑了。“我不知道接下来会发生什么。”

过了一段时间，他们又来了。这一次带来的是增强GPS信号的设备。“这套装备会加强GPS。”指挥官说：“我们一年半以前就用过那种设备。今天它们已经不起作用了。”对方叹息道：“该死，我们买了几百套。”

当战斗人员无法相信GPS的那一刻，现代战争中的许多装备就回到了古老的感知方式。地图、地形、惯性导航（INS，利用陀螺仪和加速度计估算位置的方式）、影像识别、预先输入的坐标，以及操纵员的直觉。乌克兰数字化转型部部长米哈伊洛·费多罗夫在2025年公开的一段视频中显示，GPS信号消失后，无人机仍依靠惯性导航沿预先输入的航线继续执行任务。战场成了一个奇异的地方：人们手握尖端装备，却走进了中世纪的迷雾。

“不会有GPS”并不是对技术失败的抱怨。它如今是一道战斗准备命令。

7-2 跳频、新型发射器、黑客攻击——看不见的攻防以一周为周期

电子战的速度不同于军工厂的速度。没有时间重新切削模具，再等待大规模生产。昨天管用的频率，今天就被堵死；今天幸存的发射器，下周就会被探测到。前线附近的工作台上，焊锡味和咖啡味混在一起。

FPV无人机操纵员会说：“是在这里断开的。”工程师则回答：“那就改这里。”作战报告很快变成产品改进请求。这个反馈与修改的周期大约是一周。据《60 Minutes》采访报道，从FPV无人机投入最前线的那一刻起，收集野战反馈、修改软件、改变频率应对方式、制作新版本并重新送回前线，一周就够了。

跳频（frequency hopping，快速切换频率进行通信的技术）是这场攻防的基本语法。长时间停留在一个频率上，就会被抓住。所以必须不断跳跃。但进化的不只有跳的一方。抓的一方也在跳。它们监视更宽的频段，更快读取模式，找出更微弱的信号。

Military Machine在2026年4月的分析用数字展示了这场攻防的结果。乌克兰FPV无人机操纵员在2023年有利条件下曾取得40~60%的命中率。可是到2024年中期，在俄罗斯电子战集中部署的区域，命中率跌至20~30%以下。俄罗斯把电磁频谱本身变成了敌对环

境。

乌克兰工程师并没有试图用更强的无线电去穿透俄罗斯的干扰。他们转向消除脆弱点本身。也就是用光纤电缆彻底绕开无线频率，或者借助AI影像识别系统，在没有GPS的情况下追踪目标。CSIS在2025年的分析也说明，乌克兰前线正以商用零部件为基础快速制造无人机，并且为了避开电子战，明显转向光纤控制方式。

GIS Reports在2026年5月的报道中指出了双方路径的差异。俄罗斯依靠规模。它在整条前线上大量部署高功率干扰机，使信号空间饱和。乌克兰依靠创新。它通过分散的民间工程师网络，提高精确性和适应速度。硬件的差异，恰恰展现了战略文化的差异。

在这一场景中，军人不再只会使用枪。他要读取信号的状态。工程师也不再是后方辅助人员。他已经进入战斗节奏之中。黑客坐在办公室里，但他的键盘连接着战壕旁的设备。前线不只画在泥土上。也画在频率表上。

7-3 光纤无人机为何不是万能药——双方都在发展的技术边界

光纤无人机是在电子战中心出现的一道细细的反击。它不使用无线信号，因此干扰不起作用。无人机后方释放出比头发丝还细的玻璃纤维线。操纵指令和画面沿着这条线往来传输。当飞在天上的机器看起来像被风筝线系住的一瞬间，战场便把过去和未来绑在了同一个身体上。

RFE/RL在2025年3月报道的乌克兰军方测试视频中，光纤无人机以每小时60公里的速度飞行，在10公里范围内光纤没有断裂。即便穿行于建筑之间、树林中的低空，信号也不会中断。过去安全的区域，如今也进入了打击范围。

但Nemesis团指挥官在接受《基辅独立报》采访时明确划出界线。“不能说光纤无人机是万能药。”线有长度限制。会缠绕，会断裂，会被地形挂住。城市废墟、树林、电线杆、铁丝网、车辆残骸，全都会成为敌人。无人机对电子战更强了，却对物理世界更敏感了。想飞得更远，就需要更长的线；更长的线更重，也更脆弱。技术遮住一个弱点的同时，会暴露另一个弱点。

截至2026年初，有分析称乌克兰已有35家以上企业生产光纤无人机。俄罗斯方面也有估计认为，在部分前线部队中，光纤无人机的使用比例达到30~50%。双方都迅速投入了这项技术。

而这项技术的扩散改变了战场景观。为了拦截不怕干扰的无人机，士兵们又开始架设物理网。NPR记者埃莉诺·比尔兹利在2026年3月进入乌克兰东部伊久姆时，看到通往城市的整条道路都被白色网罩住。整座城镇都在无人机防御网的屋顶之下。“难以置信。我进入主干道时，那里完全被网覆盖了。”

乌克兰国防部宣布，到2026年底前将在前线道路约4,000公里范围内安装无人机防御网。据路透社报道，费多罗夫部长说：“1月每天5公里的速度，2月提高到了12公里。”3月的目标是每天20公里。Business Insider也报道称，2026年乌克兰已经在数百公里道路上安装了防护网。数字时代的防御物，正变得像渔民的网一样。

俄罗斯也在学习同样的教训。2025年初出现的视频显示，在顿涅茨克地区连接巴赫穆特和恰西夫亚尔的一段2公里道路上，俄军安装了网状隧道。双方都在用网拦截电子战拦不住的无人机。

然而俄罗斯无人机操纵员找到了网的缝隙。据Business Insider报道，一种战术出现了：把光纤无人机降落在道路旁等待，等装甲车经过的一瞬间起飞，从防护网下方实施伏击。这与美军在中东遭遇的简易爆炸装置（IED）伏击颇为相似。乌克兰第三军团一名军官说，这类攻击每周都会发生，士兵和车辆都遭受了损失。

光纤无人机抗干扰。无线无人机通过改变频率求生。AI辅助无人机依靠运算和训练数据尝试自主飞行。可是光纤会被障碍物挂住，无线会被干扰捕捉，AI会因误识别而动摇。没有完美解法。战争总会拿来一种号称“这次解决了”的技术，然后几天后找出它的缝隙。

7-4 Pantsir防空系统对无人机——SBU Alpha部队的战果，瘫痪俄罗斯现役库存一半

Pantsir（铠甲）防空系统原本就是为阻止这种局面而制造的武器。它是一种卡车机动式系统，搭载2门30mm机关炮和12枚地对空导弹，用于拦截低空飞来的巡航导弹、无人机和直升机。它部署在基地、雷达、指挥所、远程防空系统周围，扮演盾牌角色。单套价格为1,500万~2,000万美元，折合韩元约200亿~280亿韩元。

可是，在乌克兰战争中，盾牌变成了目标。

2026年2月14日，乌克兰安全局（SBU）发布消息称，其下属Alpha特种作战中心在2025年全年通过远程打击，摧毁了俄罗斯Pantsir防空系统现役力量的大约一半。乌克兰国家通讯社、《基辅独立报》、RBC乌克兰、Euromaidan Press等多家媒体报道了这一消息。

进一步看数字，情况如下。SBU局长瓦西里·马柳克在2025年10月底表示：“从今年年初到今天，我们摧毁了他们48%的Pantsir。”据SOFREP分析，俄罗斯在2022年1月全面入侵前夕拥有116套Pantsir系统，此后以每年约30套的速度生产，增至230套以上。然而Alpha部队的打击超过了生产速度。SBU估算，2025年Alpha部队摧毁的俄罗斯防空资产总价值约为40亿美元（5.6万亿韩元）。独立开源追踪组织Oryx统计，仅视觉确认的Pantsir损失就超过38套。

不能忽略的是，这些数字来自乌克兰方面发布。战时发布可能存在夸大，也有部分内容无法独立验证。即便如此，防空系统不再是安全的后方装备，而成了无人机猎物，这一趋势十分明确。

打掉Pantsir并不是摧毁一件装备。它是在打开通道。按照SBU的说法，“系统性摧毁Pantsir具有战略目标。那就是突破敌方防空网，建立能够打击纵深目标的走廊。”防空网的一块消失后，后面的弹药库、机场和燃料设施就会暴露出来。蜘蛛网行动（参见第1章）中，无人机之所以能抵达4,300公里外的西伯利亚空军基地，也是因为此前已经完成了这类防空走廊的开辟工作。

Nemesis团也是这一趋势的一环。在《基辅独立报》采访中，该团指挥官说：“我们团是摧毁敌方防空系统最成功的部队之一。”他说：“按我们今年的计算，我们团摧毁的敌方防空价值超过10亿美元。”据他解释，必须先清除敌方防空，才能确保航空侦察的自由；只有这样，才能发现并打击敌方炮兵、榴弹炮和无人机发射地点。

俄罗斯也并非坐以待毙。它改变防空系统位置，架设伪装网，布置假装备，并在旁边部署电子战设备。乌克兰则试图从更远距离侦察，以更低高度接近，并用更微弱的信号行动。它看起来像盾与矛的古典对决，但实际上是传感器与信号、伪装与数据的较量。钢铁交战之前，眼睛先开始战斗。

7-5 计算战争（compute war）——运算能力决定战场胜负的时代

战场上的计算机不在书桌上。它在无人机的小型板卡里，在炮兵指挥所的笔记本电脑里，在电子战设备的信号处理芯片里，在影像分析服务器的图形处理器（GPU）里。子弹飞行的同时，另一个地方正在分类像素、过滤信号、预测轨迹。

Nemesis团指挥官讲述如何发现并消灭敌方无人机操纵团队的过程，很好地说明了这一点。首先，分析员审查损害数据，分析敌方无人装备使用模式，划定搜索范围。航空侦

察无人机飞往指定区域搜索。收集到的数据移交给解密人员和分析员。他们计算无线电地平线（电波所能抵达的地形极限线）、高度和可能的发射地点。此后，打击无人机小组才会出动，而在此之前，还要决定使用哪种弹药、如何在不被击落的情况下接近、采用何种战术。

整个过程都建立在运算能力之上。收集数据、筛选数据、分析数据，并将其转化为判断材料。人类作出最终决定，但通往这一决定的无数步骤都由计算机处理。

在战场边缘，几瓦电力消耗、几克重量、几毫秒延迟，都能决定生死。无人机在最后500米失去操纵信号时，能否继续进行基于影像的目标追踪。遭遇干扰时，能否结合惯性导航与影像地形比对。数百架无人机的画面无法由人全部观看时，应该先调出哪一个画面。这些问题全都是运算能力的问题。

小型无人机搭载的AI芯片技术也指向这一方向。2024年发表于arXiv的纳米无人机GAP9Shield研究提出，一种150GOPS（每秒1,500亿次运算）级低功耗模块可以执行物体探测、位置估算和建图。这并不是说战场装备会立刻等同于这项研究产品。但方向已经清晰。无人机必须看得更多、判断更快，并以更少电力完成更多计算。

乌克兰SmartPilot“母机无人机”就是这一方向的实战案例。据drone-warfare.com在2026年3月的分析，这种无人机利用摄像头和LiDAR（激光传感器）进行视觉-惯性导航，可将2架AI制导FPV无人机运送至最远300公里处。在没有GPS、也没有操纵员直接输入的情况下，AI自主选择目标。

运算能力连接着后方的工业能力。谁能制造更多传感器。谁能存储并训练更多影像。谁能大批量生产更便宜、更坚固的板卡。谁能把前线反馈连夜改成代码，放进下周的产品里。如果过去的战争是钢铁与石油的较量，那么这场战争就是电池、摄像头、芯片和数据的较量。子弹依然会杀人。但决定子弹应该飞向何处的工作中，越来越多地介入了计算。

7-6 数英里的光纤线在前线上留下的数字蛛网

战斗结束后，田野里留下的不只有弹壳。还有破碎的螺旋桨、熔化的电池、弹头碎片、切断的电缆，以及长长铺开的光纤线。它们几乎看不见。只有在阳光低斜时才会闪光。士兵走过时缠住脚踝，卷进车辆轮胎，埋进草丛。

光纤线既是通信线，也是痕迹。它说明无人机从哪里出发，朝哪个方向飞去，又在哪里死去。在电子战主宰的天空下，人类重新铺设了线。失去无线的自由后，又回到了有线的确定性。可是这条线不像战壕电话线那样埋在地下。它从无人机后方释放到空中，散落在田野之上。

NPR记者在伊久姆看到的景象，是这一场面的另一面。覆盖整座城市的白色网幕。沿道路以一定间隔竖起的柱子挂着网，形成隧道，车辆在其中行驶。记者转述一名士兵的话说：“这是悲伤的景象。”网罩在村镇上方的景色，是战争制造出的新地形。

这一场景浓缩了乌克兰战争的性质。最尖端的战争并不光滑。它常常粗粝。AI寻找目标，电子战设备挤压信号，操纵员忍受画面中断，工程师焊接新的板卡。旁边，士兵在道路上架网，避开光纤线行走。未来战争并不只来自玻璃墙后的实验室。它同时带来了泥浆、焊锡、电池、天线、网和电缆。

看不见的战争，正因为看不见才更加危险。爆炸声响起之前，路线已经偏转；敌人出现之前，画面已经碎裂；命令下达之前，信号已经死亡。战场胜负并不只取决于谁能制造更大的爆炸。还取决于谁先让敌人的眼睛模糊。谁能在信号消失后继续行动。谁能把前线的混乱转化为数据，再把数据重新转化为武器。

数英里的光纤留在田野上。从远处看，那是一片空无一物的土地。走近之后，那片土地早已被机器的神经网络覆盖。战争总是先从看不见之处开始。

[尾注]

7-1节 - 罗马尼亚康斯坦察港无人机爆炸事件：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 - 一周前加拉茨公寓俄罗斯无人机撞击事件：同上报道 - GPS干扰、欺骗技术分析：TechRxiv, "The Rise of GPS Spoofing Attacks on Drones in the Russia-Ukraine War," 2025年7月 - Nemesis团指挥官“不会有GPS”发言：Kyiv Independent, "West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says," 采访视频

7-2节 - FPV无人机命中率变化（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 - 双方战略文化差异：GIS Reports, "Ukraine's DIY drones defy Russianjamming," 2026年5月

7-3节 - 光纤无人机测试视频（时速60km，10km范围）：RFE/RL, "Fiber-Optic Drones The New Must-Have In Ukraine War," 2025年3月12日 - 乌克兰35家以上企业生产光纤无人机、俄罗斯30~50%使用估计：drone-warfare.com, "Counter-UAS Electronic Warfare," 2026年3月 - 伊久姆无人机防御网：NPR, "Ukraine strings nets over cities as killer drones turn streets into war zones," 2026年3月17日 - 前线道路4,000km防护网安装计划：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 - 俄罗斯光纤无人机路边伏击战术：Business Insider, "Russian pilots are turning unjammable drones into flying IEDs to ambush Ukrainian vehicles," 2026年 - Nemesis指挥官“不是万能药”发言：Kyiv Independent采访

7-4节 - SBU Alpha部队摧毁一半Pantsir的发布：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 - 俄罗斯Pantsir拥有量116套（2022年）→230套以上：SOFREP分析, 2026年2月 - SBU局长马柳克“摧毁48%”发言：SOFREP引用 - 摧毁总价值40亿美元：SBU发布，多家媒体报道 - Oryx视觉确认38套以上：Defence Blog, 2026年2月14日 - Nemesis团“摧毁超过10亿美元防空资产”：Kyiv Independent采访

7-5节 - Nemesis指挥官关于歼灭敌方无人机团队过程的说明：Kyiv Independent采访 - GAP9Shield纳米无人机AI芯片研究：arXiv, 2024年7月 - SmartPilot“母机无人机”AI自主选择目标：drone-warfare.com, 2026年3月

7-6节 - 伊久姆无人机防御网现场报道：NPR, 2026年3月17日

第8章 非对称经济学——无人机正在颠覆军工产业

8-1 FPV无人机300~500美元，Pantsir 1,500万~2,000万美元——单价的不对称改变战略

战场上的计算器是冰冷的。按下按钮，沾着血的数字就会跳上来。

一架300美元的FPV无人机贴着战壕低低爬行。电机声像玩具一样轻，摄像头镜头像廉价零件一样晃动。然而，当它末端挂载的炸药开始寻找价值1,500万美元的Pantsir（铠甲）防空系统雷达时，战争的账本就被翻转了。

Pantsir-S系列防空系统的价格因公开资料而异。乌克兰方面和军事专业媒体大多认为其价格在1,500万~2,000万美元水平。2026年4月，乌克兰国民卫队称其摧毁的一套Pantsir-S估价约为1,500万美元；另一些案例中，也有报道称SBU（乌克兰安全局）无人机打击了一套价值2,000万美元的系统。

问题不在于绝对价格。问题在于交换比。

即便损失几架300~500美元的无人机，只要其中一架让昂贵防空系统的“眼睛”失明，战场上的损益表就会向乌克兰一方倾斜。俄罗斯越是架设昂贵的防空网，乌克兰就越会派出更多廉价无人机。就在那一刻，军工产业的旧语法开始动摇。

冷战时代的军工崇拜精密。厚重装甲、远射程、高功率雷达、耗费数十年开发的复杂平台。那是一种花费数十亿美元打造一件装备，并由这一件装备支配战场的模式。乌克兰战争写下了另一句话：廉价制造，大量制造，经常修正，快速投入。

蛛网行动是最戏剧性地展现这一语法的案例。根据王志安的分析，投入蛛网行动的FPV无人机单价为每架500~1,000美元，即便把150架无人机和300枚炸弹合计，总成本也不超过20万美元。即便把计划、情报搜集、走私运入、远程操控基础设施建设全部加上，也在500万美元以下。用这笔钱，烧毁了约70亿美元规模的俄罗斯战略资产。

1比1,400。这就是蛛网行动的投资回报率。风险投资看到这个数字或许会签字，但这本账簿里的资产与人的性命相连。金钱的逻辑冷酷，而战争就在这种冷酷之上运转。

Nemesis团的战绩，是系统性重复这种非对称的结果。在Kyiv Independent的深度访谈中，一名无人机指挥官表示，截至2026年，他的部队已经摧毁了超过10亿美元的敌方防

空资产。据估计，SBU Alpha部队在2025年至2026年初之间，使俄罗斯正在运用的Pantsir库存约一半失去战力。这是一份数百美元的物件反复、系统性地、以工业规模摧毁数千万美元物件的记录。

非对称经济学原本是贫穷一方发明的战法。然而，这种战法正在撼动整个军工产业的地壳。

8-2 从铁路局长到无人机项目建筑师——奥列克桑德尔·卡梅申的数字战争

奥列克桑德尔·卡梅申（Oleksandr Kamyshin）原本是铁路人。

2022年2月俄罗斯入侵开始时，他是乌克兰铁路公司（Ukrzaliznytsia）的CEO。数百万难民必须向西撤离，即便导弹击中车站，列车也必须运行。卡梅申做到了。列车准点运行，难民才能撤出，弹药才能运入，国家才不会崩塌。泽连斯基总统看到了这种能力，于是召见了。请他成为无人机项目的总设计师。

在接受CBS《60 Minutes》采访时，卡梅申用三个词概括了自己的原则。“廉价、快速、高效（Cheap, fast, efficient）。”他表示，自己参与推动乌克兰无人机产量从每年2,000架提升到400万架。

从2,000架到400万架。这个数字的意义值得稍作思考。这是2,000倍增长。它发生在三年多一点的时间里。

卡梅申面对的战争，与其说是英雄故事，不如说更接近时刻表。一个月能造多少架。哪个零部件是瓶颈。国家能购买的数量与民营企业能制造的数量之间，空缺有多大。

2024年，他在担任战略产业部部长期间提出的“ZBROYARI: Manufacturing Freedom”构想，正是从这个空缺出发的。问题意识在于：乌克兰军工生产能力约达200亿美元，但政府实际能够采购的规模仅约60亿美元。一个有生产能力却缺钱的国家。一个战场吞噬无人机，而预算跟不上的国家。

卡梅申的方法属于铁路运营者。他把一切都数清楚。在《60 Minutes》采访中，他这样说：“这是一场以数据为中心的战争。我们用数字说话。这是数字游戏。”采访者问：“数字游戏是什么意思？”卡梅申回答：“我们必须计算一切。我们使用的无人机数量，每一架的效率，甚至击杀1名俄罗斯士兵的成本。”

“那个成本是多少？”

“你会惊讶的，现在击杀1名俄罗斯士兵的成本低于1,000美元。”

这个数字令人不适。因为它是在把人的性命换算成美元。然而，卡梅申就在这种不适之中运营战争。一个预算不足的国家要同人口三倍于自己的国家作战，就必须衡量每一项投入的效率，并用测量值决定下一批订单。支撑前线的不是情绪，而是电子表格。

2025年3月，转任总统顾问的卡梅申在Radio Khartia采访中又向前迈了一步。“现在有一家FPV无人机制造商一天可以生产4,000架。这样的企业超过150家。我们的FPV年产能力超过500万架。”问题不是生产能力。问题是购买它们的钱。

于是卡梅申开始谈出口。一边向前线输送无人机，一边向海外销售，为工厂继续运转筹集资金，形成自我循环结构。战争创造产业，产业供养战争，出口壮大产业，三者形成旋转。卡梅申正像设计铁路时刻表一样设计这场旋转。

8-3 自主生产比例95%，无人机企业从41家增至183家——战时产业生态的爆发

战前，乌克兰的无人机产业很薄弱。

2022年2月，乌克兰国内制造的无人系统不过数千架水平。许多时候，是民间志愿者购买DJI无人机送往前线，大量成品也依赖中国等外部供应链。然而，战争创造了市场。不，战争创造了比市场更粗粝的东西。那是每天损坏、每天收到订单的战场实验室。

波兰东方研究中心（OSW）追踪了乌克兰无人机相关新企业数量的变化。2022年41家。2023年132家。2024年183家。仅2025年前四个月，又新增注册107家。这个生态并不只是在军工厂灰色墙壁内部生长。车库、小型作坊、摆着3D打印机的办公室、从前线归来的操作员发来的Telegram消息，全都成了一条生产线的一部分。

从《60 Minutes》采访的Airlogix公司案例中，可以看到这个生态的面貌。这家公司为乌克兰军队制造空中监视无人机。由于生产设施已两次被俄罗斯轰炸摧毁，它在20多个分散地点进行生产。这是一门危险的生意，但它从美国投资基金获得了超过100万美元投资。运营该基金的是两名前美国海军陆战队员。威廉·麦克纳尔蒂和伦·克拉维耶克。

“你的主要动机是什么？”采访者问。“服务、爱国心、民主、使命。乌克兰满足所有这些。”

自主生产比例也迅速上升。这个数字因公开资料而有不同范围，因此需要谨慎看待。泽连斯基总统在2025年9月表示，乌克兰军队使用的武器近60%为国产。也有报道称，在

远程无人机领域，95%为乌克兰制造。在ChinaTalk采访中，一名乌克兰业内人士表示，截至2026年，FPV无人机成品的最终组装比例达到99%。

这并不意味着连零部件也全部自主生产。对中国光纤、中国电机、中国电子零件的依赖仍然存在。根据乌克兰海关统计，仅2025年第一季度就进口了12万7,800架民用无人机，其中98%来自中国。进口金额达3亿7,130万美元。乌克兰变成的是一个采购零部件、但自行组装并改良成品的国家，而不是一个实现供应链独立的国家。

然而，变化方向很明确。过去，是国家确定性能要求，大型军工企业耗费数年开发，经过测试评估后交付。乌克兰式无人机产业则反向运转。前线提出需求，小企业制造，士兵试用，一周后新版本就出来。出身于啤酒厂工程师的罗曼·蒂卡钦斯基创办Tech Core公司，制造伤兵撤离用装甲无人机，这一案例浓缩了这一点。“你们如何知道下一个设计需要什么？”《60 Minutes》采访者问。“与最终用户合作。最终用户就是前线的士兵。”“士兵们说需要撤离用无人机，于是你们就做了出来。”“是的。在乌克兰就是这样运转的。”

生产规模的轨迹显示出这个生态扩张得有多快。2023年约80万架。2024年约220万架。2025年超过400万架。2026年目标是700万架。与彭博估计美国每年制造约10万架军用无人机相比，乌克兰等于制定了要制造美国70倍数量的计划。这是战时的迫切性创造出的数字。

无人机产业的财务成绩也随之而来。根据OSW分析，2022年净亏损超过20亿格里夫纳（约4,600万美元）的无人机行业，在2023年实现净利润46亿格里夫纳（约1亿700万美元）、营收440亿格里夫纳（约10亿美元）。2024年，营收跃升至1,000亿格里夫纳（约23亿美元），净利润超过138亿格里夫纳（约3亿300万美元）。

战争孕育产业，产业产生收益，收益再次投入战争。这个循环就是乌克兰无人机生态的引擎。在这个市场里，Telegram视频先于交付文件成为证明，幸存下来的装备呼唤下一笔订单。它以一种与冷战式军工官僚开发周期完全不同的速度运转。

8-4 无人机交易（Drone Deals）——欧洲武器出口办公室，沙特·UAE·卡塔尔10年合同

乌克兰无人机原本是很难向外销售的东西。

因为一个处于战争中的国家能制造的无人机都必须送往前线。2022年全面入侵后，乌克兰禁止武器出口。前线总是最先伸手，海外客户即便想买，也处于无法销售的结构中。

《华盛顿邮报》报道称，2025年约500家无人机生产商希望出口，但实际销售受到战时需求和行政程序限制。

然而，随着战争拉长，计算发生了变化。生产能力开始超过政府购买力。根据乔治城大学安全研究，乌克兰军工技术制造商联盟（Tech Force in Ukraine）表示，2024年无人机和电子战企业因政府合同不足，产能仅运行37%。工厂还能继续开动，却没有购买方。

因此，出口不再只是生意，而成了生存战略。向海外销售赚来的钱维持生产线，并将那条生产线产出的相当一部分无人机送往前线，形成自我循环结构。泽连斯基总统在2026年4月正式宣布“受控出口（controlled export）”。据Euronews报道，他表示：“在某些武器类型上，生产盈余达到50%，这是国家对我国国防工业投资以及同伙伴合作的直接结果。”

条件是有的。只卖给自2022年全面入侵以来支持乌克兰的国家。

动作很快。根据Kyiv Independent，乌克兰决定于2025年末在柏林和哥本哈根开设首批军工出口代表处。这是卡梅申和国防部长乌梅罗夫亲自宣布的内容。路透社2026年3月报道称，乌克兰正在与德国、英国、丹麦、荷兰推进无人机共同生产，挪威也计划加入。

中东也敲响了门。乌克兰媒体New Voice of Ukraine在2026年4月报道了与沙特阿拉伯、卡塔尔、UAE之间所谓的“无人机交易（Drone Deals）”。根据路透社报道，乌克兰与沙特阿拉伯签署了防务合作合同，也与卡塔尔签订了10年期合作合同，并推动与UAE签署同类合同。其中包括无人机共同生产、反无人机（counter-drone）系统、防空相关技术合作。

在战场上得到验证的东西，不经过展厅也能获得市场。乌克兰无人机产业正走上这条路。产品说明书之前，战斗视频先流传；展会展位之前，击落统计先引来客户电话。

军工出口的语言已经改变。

8-5 请求拦截伊朗Shahed的电话——海湾国家向乌克兰拦截无人机发出的邀约

海湾国家关注乌克兰的理由很简单。因为它们也看到了Shahed（沙赫德）。

伊朗制自杀式无人机Shahed廉价、大量飞来，并迅速耗空高价导弹防御网的弹药库。乌克兰已经同俄罗斯发射的Shahed系列无人机周旋多年。最初，它用昂贵导弹拦截。可是用一枚导弹价值数百万美元的防空系统持续拦截数万美元的Shahed，在数学上是

一场必输的游戏。一旦防空导弹库存耗尽，就无法拦截真正的威胁，也就是巡航导弹和弹道导弹。

于是乌克兰反向思考。用无人机打无人机。拦截无人机Sting（斯廷）在空中追踪Shahed，并通过撞击将其击落。有报道称，单架价格在2,000~6,000美元水平。用数千美元的拦截无人机代替数百万美元的导弹，昂贵导弹就能留给更危险的目标。

听到这个消息后，中东产油国开始打电话。

路透社2026年3月报道称，乌克兰向UAE、沙特阿拉伯、卡塔尔、科威特、约旦等五个国家派遣了228名无人机拦截专家。他们负责应对伊朗无人机攻击的防空咨询和拦截支援。2026年4月路透社后续报道称，包括沙特阿拉伯和UAE在内的海湾国家正在研究价格约2,500美元的乌克兰设计拦截无人机。

泽连斯基总统在2026年3月英国议会演讲中直接提到了这一背景。根据Business Insider报道，他表示，乌克兰每天可以制造2,000架有效的拦截无人机，其中一半用于国内防御，另一半可以供应盟国。

乌克兰需要钱，海湾需要经验。一方没有资金让工厂更多运转，另一方已经厌倦了用昂贵导弹拦截廉价无人机的结构。于是电话打来了。“请帮我们拦截Shahed。”

这通电话既是武器采购请求，也是一个询问21世纪军工产业方向的问题。是无休止地发射昂贵导弹，还是培养廉价而大量的拦截手段。乌克兰已经在战场上验证了后一个答案，世界武器市场开始询问这个答案的价格标签。

8-6 俄罗斯的应对——军费GDP 7.5%，创建无人系统军，以及无法填平的差距

俄罗斯也没有停在原地。

SIPRI（斯德哥尔摩国际和平研究所）在2026年4月发布的报告中估计，俄罗斯2025年总军费为1,900亿美元，占GDP的7.5%。这相当于世界平均军费占比2.5%的三倍，也意味着俄罗斯是继美国、中国之后的全球第三大军费支出国。SIPRI研究员洛伦佐·斯卡拉扎托表示：“2025年，俄罗斯和乌克兰两国军事支出占政府支出的比例都达到历史最高水平。”

在2026年预算案中，俄罗斯将国防费小幅削减至14万9,000亿卢布，占GDP的6.3%。这是全面入侵以来名义军费首次下降，SIPRI分析认为，这是财政压力的信号。为抑制通

货膨胀而实施紧缩货币政策后，2025年末财政赤字达到GDP的2.6%，俄罗斯政府不得不把VAT提高到22%、企业所得税提高到25%，以筹措战争费用。

然而，投入金钱与让金钱产生效果，是两回事。

俄罗斯于2025年11月创建无人系统军（VBS），作为新的军种。根据Wikipedia，截至2026年5月，约有11万4,000名兵力部署其中。乌克兰总司令瑟尔斯基在2026年4月表示，俄罗斯试图在年底前将无人系统兵力扩大到16万5,000人规模。Jamestown Foundation分析认为，这是把乌克兰战争中获得教训制度化的变化。乌克兰在2024年6月创建无人系统军后，俄罗斯也在17个月后跟进，将无人机纳入军队结构之中。

俄罗斯的应对很庞大。它可以投入预算，创建军种，增加兵力。

然而，庞大并不等于敏捷。

乌克兰无人机生态在狭小空间内高速运转。设计者见到操作员，操作员发来摧毁视频，企业当晚就更换零部件。创新周期是一周。在俄罗斯官僚化的军事采购体系中，很难跟上这种速度。西方的半导体制裁也牵制着俄罗斯。在需要高性能芯片的AI无人机自主飞行、电子战规避算法、目标识别软件开发方面，俄罗斯在零部件采购上遭遇困难。

差距并不只产生于金钱规模。差距产生于学习速度。

俄罗斯越增加军费，战争就越昂贵。乌克兰越增加无人机，战争就越被切碎。由一座工厂长期制造一辆坦克的时代，与每周更换并倾泻出成千上万个小小眼睛和翅膀的时代，正在同一片战场上碰撞。

军工产业如今不再只是坦克和导弹的产业。焊接的手、修改代码的开发者、改装农业电机的工程师、从前线归来的士兵发出的一条简短Telegram消息，都成了军工的一部分。

非对称经济学曾是贫穷一方的发明。然而现在，富裕国家也开始排队学习它。战争是一所残酷的学校。乌克兰在这所学校里付出了最昂贵的学费，而世界军工市场正站在门口，想买下它的笔记。

尾注

1. Pantsir-S价格：United24 Media（2026.4），“Ukrainian National Guard Blows Up \$15 Million Russian Pantsir-S”及SBU无人机打击相关报道。2. 卡梅申履历：Wikipedia，“Oleksandr Kamyshin”；CBS 60 Minutes（2026.3播出），采访全文。3.

ZBROYARI构想：Wikipedia，“ZBROYARI: Manufacturing Freedom”。4. 无人机企业增长：OSW（波兰东方研究中心），“Game of drones: the production and use of Ukrainian battlefield unmanned aerial vehicles”（2025.10）。5. 无人机产量：CBS60 Minutes卡梅申采访（年产2,000架→400万架）；Kyiv Independent（2025.3），卡梅申Radio Khartia采访（FPV年产500万架产能）；Aviation Week（2026.5），“Ukraine Eyes Drone Production Topping 7 Million Units”；Euromaidanpress（2026.1），乌克兰国防部副部长博耶夫NATO演讲。6. 自主生产比例：Reuters（2025.9），泽连斯基讲话（国产武器60%）；ChinaTalk（2026.4），业内采访（FPV最终组装99%）。7. 无人机产业财务：OSW报告（2025.10），Euromaidanpress（2026.1）引用。8. 民用无人机进口：乌克兰国家海关署数据（2025.1季度），Yahoo News报道。9. 无人机出口：Washington Post（2025.9），“The world wants Ukraine's cutting-edge drones”；Euronews（2026.4），泽连斯基宣布“受控出口”；Kyiv Independent（2025.11），柏林·哥本哈根出口办公室。10. 中东无人机交易：Reuters（2026.3），向中东5国派遣228名专家；Reuters（2026.4），海湾国家研究拦截无人机；NV Ukraine（2026.4），沙特·卡塔尔·UAE合同。11. 海湾拦截无人机价格：Reuters（2026.4），约2,500美元；Business Insider（2026.3），泽连斯基英国议会演讲。12. 俄罗斯军费：SIPRI（2026.4），“Trends in World Military Expenditure, 2025”——俄罗斯1,900亿美元，GDP 7.5%；SIPRI（2026.3），“A Budget for a Fifth Year of War”——2026年预算14万9,000亿卢布。13. 俄罗斯无人系统军：Wikipedia，“Unmanned Systems Forces(Russia)”——2025.11创建，截至2026.5约114,000人；Jamestown Foundation，“Russia's Unmanned Systems Forces Become Wildcard in Moscow's Military Modernization”。14. 蛛网行动成本：王志安分析转写稿（项目分享知识）——无人机·爆炸物低于20万美元，总成本估计在500万美元以下，损失约70亿美元。15. Nemesis团战绩：Kyiv Independent，无人机指挥官深度访谈（项目分享知识）——摧毁敌方防空资产超过10亿美元。16. SBU Alpha部队：同一采访——估计使俄罗斯Pantsir运用库存约一半失去战力。17. 卡梅申采访“击杀1名俄罗斯士兵成本低于1,000美元”：CBS60 Minutes（2026.3播出）转写稿（项目分享知识）。

SOURCE

第9章 你所准备的战争不会再次发生

9-1 “舰队将完全无法使用”——一名某国军人提出的问题

他来自哪个国家，并未披露。军衔也没有公开。在会见乌克兰无人系统部队的一名无人机指挥官时，那位西方国家军官大概想到了本国海军，于是这样问道。

“在现代战场上，舰队该如何运用？”

被问到的指挥官也许思考了片刻。也许没有。因为他心中早已有了答案。因为他亲眼见过黑海上发生的一切。

“舰队将完全无法使用。”

这个回答并不是对海军的侮辱。也不是怀疑舰长们的勇气。它的意思是，海上的算术已经变了。一艘价值数千亿韩元的护卫舰一旦驶离港口，海岸线某处的集装箱门就会打开。里面一艘约30万美元的海上无人艇被放入水面。它被雷达发现得很晚，速度足够快，装载的炸药足以撕开军舰的装甲。如果不是一艘，而是十艘同时出动，留给军舰舰长的时间就只剩几分钟。

这名指挥官的警告来自经验。乌克兰实际上没有海军。几乎没有剩下什么称得上本国舰队的东西。可是它却把世界上最强大的海军之一，俄罗斯黑海舰队，逼回了港口。迫使所有军舰躲藏起来。截至2026年，黑海上的俄罗斯军舰已经消失。这是乌克兰安全局（SBU）开发的海上无人艇Sea Baby及其后续型号做到的事。它们反复打击俄罗斯海军资产和黑海基础设施，到了2026年，甚至公开了能够越过黑海、在更远海域执行任务的新一代海上无人艇。

那名指挥官留下的建议是这样的。如果一定要使用舰队，就把它限制在岸防炮兵或岸基防空的角色上。只用来防守海岸线。如果驶向大海，就会被拥有无人系统的敌人迅速击沉。

这段对话引发的冲击，并不止于提出问题的那名军官。那位在接受Kyiv Independent采访时讲述此事的无人机指挥官平静地补充说，前来见他的西方军人提出的问题，有时会让感到惊讶。惊讶于他们还不知道的东西究竟有多大。

9-2 武装直升机、攻击机、坦克纵队——已经无法使用的武器清单

当那名军官询问舰队时，无人机指挥官并没有停留在海上的话题。因为清单还很长。

“航空兵也无法使用。我说的是军用航空、直升机。也无法用攻击机实施打击。坦克、装甲车、部队排成纵队推进也不行。按你们学过的那套来说，全都已经是过去了。”

这句话之所以沉重，是因为那个“过去”，正是世界上几乎所有军队的“现在”。武装直升机被设计用来低空飞行，猎杀敌方坦克。攻击机被训练用来打击战线后方的目标。坦克纵队则被设计为在炮兵和步兵掩护下突破防线。几十年来，这就是现代战争的骨架。它是军事院校教授的内容，是预算官员转换成数字的内容，也是军工企业搬上生产线的内容。

然而在乌克兰前线，这副骨架断裂了。发动机一启动，热源就会被捕捉；在道路上行驶，就会留下轨迹；在一个地方停下，就会变成坐标。在侦察无人机覆盖天空的战场上，移动本身就成了一份报告。英国The Sun在2026年的前线报道中称，那里形成了宽10至15公里的无人机杀伤区。在那里面，人员和装备的移动都处于持续监视和攻击之下。

说坦克已经没有用，只说对了一半。准确地说，坦克能够独自存活的时代结束了。说直升机变得无用，也只说对了一半。崩塌的是那种假定直升机能够安全接近目标的教义。并不是攻击机不能飞。而是包括跑道、维修厂、燃料设施、飞行员、防空网、电子战环境在内的整个体系，都落入了无人机和监视网络的网中。

武器不会消失。只是无法再像从前那样使用。而这更加可怕。因为昂贵装备还留在仓库里，战场上却已经失去了使用它们的方法。美国陆军上尉Ronan Septon曾在2022年于德国负责为8000多名乌克兰士兵提供基础训练，他在60 Minutes采访中坦言，几乎从一开始，美国人就开始向乌克兰人学习。最先意识到的是“需要更多无人机”，而且它们必须出现在训练场的每一个角落。

Septon上尉如今在陆军乌克兰经验吸收特别小组工作。他的任务是把乌克兰的战场经验翻译进美国庞大的军事体系。他的判断是这样的。榴弹炮仍然需要，艾布拉姆斯坦克仍然需要，但必须弄清楚如何让无人机与这些装备协同运作。他说，这项挑战正是准备下一场战争的核心。

9-3 “如果没有GPS会怎样？” “不会有GPS。”

这是发生在某个训练场上的事。

西方军人与军工技术人员自信地带来了一样东西。数百套基于GPS的无人系统。他们说，这是已经完成开发并进入量产的装备。他们向乌克兰指挥官展示，并问道：“你认为这东西可以怎么用？”

那名指挥官不是技术人员。但他有经验。于是他问了几个问题。“连接如何保障？发射如何进行？”听完回答后，他说：

“这东西不会工作。”

他们反驳说：“我们有GPS。”

指挥官说：“不会有GPS。”

“为什么不会有GPS？不是有卫星吗？”

“会被干扰。不会有GPS。”

对话就卡在了那里。他们说，“不知道接下来会发生什么”。

过了一段时间，他们又来了。这一次带来了GPS增强装置。“现在GPS应该能工作了，这个装置会放大信号。”指挥官看了那台装置后说：“我们一年半前用过这个。现在它不起作用了。”

“该死，我们已经买了几百个。”

这段对话令人不寒而栗，并不是因为它对技术冷嘲热讽。而是因为现代军队把太多东西压在了一种看不见的信号上。位置、时间、导航、炮兵校正、无人机飞行、车辆移动、通信同步。GPS不是战争的便利设施。它已经成了战争的血管。俄罗斯与乌克兰的电子战学会了如何按压这条血管。GPS干扰会把无人机送往错误地点，欺骗信号会误导导航，甚至把民用地区也置于危险之中。2026年6月，Business Insider还报道了一起事件：受俄罗斯电子战影响，一艘迷航的乌克兰海上无人艇漂向罗马尼亚康斯坦察港方向并发生爆炸。

GPS消失的战场，并不会回到纸质地图和指南针的时代。惯性导航、地形匹配、图像识别、光纤控制、多传感器融合、基于机器学习的干扰探测等，会一并进入战场。时代将从依赖单一信号，转向叠加多种感知来生存。arXiv上发表的研究已经探讨了用于GNSS/GPS干扰与欺骗探测的机器学习方法，也有人提出，在无人机集群中比较GPS坐

标与超宽带测距，以发现篡改和伪造。

西方军队耗费数亿美元打造的体系，在乌克兰前线却不过是一年半前就被淘汰的技术。问题不在于钱，而在于速度。战场比实验室更快。战争不会等待采购流程。

9-4 NATO训练中，少数无人机飞手击败大部队的那一天

2025年5月，爱沙尼亚。名为“Hedgehog 2025”的NATO联合演习举行。来自12个盟国的16000多名士兵参加。英国的挑战者2坦克、阿帕奇攻击直升机、HIMARS火箭炮投入演习。这是一份足以写进现代地面战争教科书的装备清单。

演习准备了一个场景。包括英国旅和爱沙尼亚师在内、规模达数千人的战斗群发动进攻。按照教范，装甲部队在前，步兵跟进，炮兵提供支援。

当他们开始推进时，对面大约有10名乌克兰无人机飞手。他们是从前线轮换下来短暂休整的实战老兵。

不到半天就结束了。据Wall Street Journal报道，这支由10名乌克兰飞手组成的小队扮演敌方，虚拟摧毁了17辆装甲车辆，并实施了约30次打击。一名参与者这样形容：“一天之内消灭了两个营。”对方的反应更加直白。Euromaidan Press引用的一名NATO士兵的话是：“我们完蛋了（We are f—）。”

到底发生了什么？

一名参与者回忆说，NATO战斗群“只是在四处晃悠”。他们没有伪装就搭起帐篷，把装甲车辆并排停放。既没有检查地雷，也没有下车后分散部署。他们没有把无人机已经让战场变得透明这一事实纳入计算。爱沙尼亚军方无人系统负责人Aivar Hannioti说，他们在不到4平方英里的区域内放飞了30多架无人机。他的评价是：“没有地方可藏。”

乌克兰团队使用了名为Delta的战场管理系统。这是一套收集实时信息、由AI进行分析、识别目标，并在指挥部与打击部队之间协调坐标的系统。这套系统首次在爱沙尼亚土地上运行，展示了无人机战争的核心并不在于某一台装备的性能，而在于连接信息与打击的速度。

412 Nemesis旅的飞手们也参加了这次演习。据Ukrainska Pravda报道，起初爱沙尼亚指挥官不知道该如何使用这些乌克兰飞手。只是让他们待命，等着发生点什么。乌克兰士兵主动站了出来。他们解释说：“除了轰炸之外，我们还可以用于侦察、后勤和打击计

划。”随后开始与爱沙尼亚侦察无人机团队协作。爱沙尼亚人发现目标，乌克兰人实施打击。

爱沙尼亚安全专家Ilmar Raag在演习后发布了分析。按照乌克兰无人机飞手的计算，仅爱沙尼亚一个国家，在战时每月就需要20万架无人机。乌克兰的无人机产量从2024年的220万架增加到2025年的450万架，而NATO盟国中目前还没有哪个国家接近这种工业能力。

这次演习留下的不是一份失败记录。它留下的是关于失败原因的记录。16000名士兵亲眼确认了战斗序列中漏掉了什么，哪些假设是错误的，哪些习惯会付出生命代价。退役美国将军David Petraeus指出，解决方案不是购买更多无人机，而是把概念、教义、训练、组织和采购全部重新设计。

9-5 “唐纳德·特朗普也许认为我们没有牌可打”——战场的不对称改变谈判桌

2025年2月，华盛顿。唐纳德·特朗普总统对泽连斯基说，乌克兰在谈判中没有牌可打。据The Brussels Times报道，到了2026年3月，特朗普还说泽连斯基手里的牌更少了。

三个月后的2025年6月1日，蛛网行动实施。

谁都看得出来，这个时机并非偶然。那正是乌克兰将在土耳其伊斯坦布尔与俄罗斯举行和平谈判的前一天。乌克兰没有使用任何美国装备。它把117架自行制造的FPV无人机藏在卡车集装箱里，秘密运入俄罗斯本土深处，然后同时打击了分布在西伯利亚和北极圈的4座空军基地。乌克兰没有事先通知美国。据Kyiv Post报道，行动进行期间，特朗普总统正在弗吉尼亚州的高尔夫球场，五角大楼直到行动结束后才得知此事。

一夜之间，俄罗斯战略轰炸机机队超过三分之一被摧毁或受损。Tu-95MS、Tu-22M3、Tu-160战略轰炸机以及A-50预警机在跑道上燃烧。乌克兰声称摧毁41架，线上分析人士通过影像确认了约14架，两名美国官员向路透社表示，约20架被击中，其中10架被摧毁。损失估计约为70亿美元。投入成本看起来不到500万美元。

Christian Science Monitor分析称，泽连斯基真正的目标并不只有俄罗斯。还有美国。乌克兰能够在俄罗斯本土深处，真正的深处，造成严重损害这一事实，正面否定了“没有牌可打”的假设。

特朗普的反应很复杂。据Washington Examiner报道，行动一周后，特朗普在空军一号上被记者问到泽连斯基手里的牌是否变多时，这样回答：“他们给了普京轰炸的理由。我不喜欢这一点。我看到那一幕时就想，好吧，现在报复要来了。”但在同一时期，特朗普也在社交媒体上写道，普京“彻底疯了”，并警告说他正在“玩火”。

伊斯坦布尔会谈只持续了一个多小时就结束了。双方只就交换战俘达成一致，在停火方面没有进展。

领土和兵力并不是唯一的牌。让对方后方不安的能力，用廉价装备持续消耗昂贵资产的能力，把全球军工生态拉入本国战争节奏的能力，也都是牌。面对500美元无人机摧毁价值数千万美元轰炸机的交换比，谈判桌上的计算方式开始不再看装备清单，而是看交换比的斜率。蛛网行动把这条斜率展示给了全世界。

被摧毁的飞机中，有些是俄罗斯已经不再生产的型号。这些飞机是能够携带核导弹的战略轰炸机机队的一部分。俄罗斯投射核威慑力的手段减少了。Foreign Policy评价说，这次行动正面否定了俄罗斯不可战胜的神话。俄罗斯一直把自己在这场战争中的胜利描述成不可避免，但本国轰炸机在西伯利亚腹地燃烧的画面，撕裂了这一叙事。

而截至2026年6月9日，据The Hill报道，特朗普政府仍在推迟与乌克兰的大规模无人机交易。泽连斯基在CBS采访中表示，“这种合作可能成为世界上最强大的合作”，但也说“还没有签署大型文件”。他说，中东和非洲国家率先表达了兴趣，但乌克兰优先考虑华盛顿。看来，在战场上证明过的牌，要在谈判桌上被接受，还需要另一种时间。

9-6 德国-乌克兰无人机合作，EU无人机产业独立——欧洲安全格局的重塑

2026年4月14日，柏林。泽连斯基总统率政府代表团访问德国。总理弗里德里希·默茨接待了他。两人并肩站立的展厅里，摆放着德国-乌克兰联合生产的无人机。默茨亲自查看了Strila无人机。

在这个场合，两国签署了战略伙伴关系宣言。根据德国联邦政府文件，其中明确写入了防空、导弹、无人机产业支持、联合生产、数据合作、共同研发。还包括对乌克兰无人机产业的直接支持，以及设立无人机联合生产合资公司。根据德国国防部消息，作为2026年无人机领域合作第一阶段，计划生产数千架无人机，Quantum Systems与Frontline Robotics的合作、1万架Linza无人机交付计划也在推进中。

同一天，德国Auterion与乌克兰Airlogix的合资公司签署了第一份生产合同。据Tech.eu报道，这份合同把2026年2月慕尼黑安全会议上的宣布转化为实际生产，将在德国生产线上每年制造数千套中程大型AI制导自主打击系统。这是德国历史上规模最大的重型自主打击无人机生产订单。

默茨总理在记者会上这样说：“这一伙伴关系不仅是为了乌克兰的防御。也是为了我们的安全。因为在最近几十年的欧洲，没有哪支军队像乌克兰这样经历过实战。”泽连斯基表示，“向德国提议了无人机协议、双边无人机交易”，并补充说，“其中包括多种类型的无人机、导弹、软件和现代防御系统”。乌克兰国防部长费多罗夫评价德国承诺提供的40亿欧元援助计划，是“对防空能力的巨大增强”。

这股潮流使用的不是援助的语言。而是生产的语言。乌克兰不只是要求别人给武器。它说的是，我们一起来制造。德国企业、爱沙尼亚试验场、乌克兰战场数据，被放上同一块电路板。OSW（波兰东方研究中心）2026年4月的分析梳理了Auterion-Airlogix合资公司、Helsing与乌克兰Terminal Autonomy的合作，以及在德国境内生产乌克兰设计无人机的趋势。这不是工厂的转移。而是战争反馈的转移。前线按一周周期更新的技术，流入德国生产线的结构正在形成。

三周后的2026年5月5日，欧盟委员会又向前迈进一步。它发布公告，招募EU-乌克兰无人机联盟的创始成员。拥有EU和乌克兰无人机及反无人机生态经验的企业将组成创始董事会，决定联盟的优先事项和活动方向。据Kyiv Independent报道，欧盟委员会表示，“EU成员国领空反复遭到侵犯的情况，显示出建设能够应对无人机的灵活、敏捷的欧洲能力具有紧迫性”。该联盟计划于2026年底开始运作，并以到2027年发展合资企业、技术路线图和互操作性标准为目标。

冷战之后，欧洲在美国战略保护伞下沉睡了很久。保护伞很舒服。因为下雨时只要撑开就行。曾经有一个时代，美国是欧洲绝对的安全保证人。欧洲国家意识到那个时代正在结束，并不只是因为俄罗斯的入侵。美国内部的政治变化、援助承诺的动摇，以及来自大西洋彼岸的信号交叠在一起。

在无人机时代，雨并不只从头顶落下。战争会从仓库门缝、港口水面、森林土路、民用通信网络、商用零部件供应链中渗入。雨伞只能遮住头。挡不住从脚踝漫进来的水。

那名无人机指挥官在Kyiv Independent采访中向欧洲国家提出了这样的建议。从小处开始。先彻底研究俄罗斯-乌克兰战争的经验。并且“不要把所有的钱都投入装甲车、炮

兵和传统战争手段”。他还警告说，老牌大型武器制造商会游说各国购买旧式武器。首先要建立自己的无人系统部队，培养独立能力。

欧洲翻开这本账簿确实晚了。但一旦翻开，就开始急忙划线。

为过去的战争做准备的军队，会在下一场战争的第一天陷入惊慌。更大的舰队、更厚的装甲、更昂贵的战斗机并不是答案。需要的是能够快速更换零部件的手。需要的是能够在当晚重新修好失败装备的工厂。需要的是把前线士兵传回的影像反映到下周生产线上的体系。需要的是在GPS消失的天空中也能找到道路的感知能力。

一个国家所准备的战争不会再次到来。再次到来的，只有“战争”这个名字。

乌克兰的无人机战争以昂贵而清晰的方式展示了这一事实。

第10章 朝鲜半岛的无人机——这场战争对我们说了什么

2022年12月26日，首尔的天空是灰色的。

上班路上的地铁拥挤不堪，汉江上的每一座桥都车流滞塞，江边公寓的窗户上还残留着圣诞装饰。就在这时，军方雷达屏幕上出现了几个小点。移动缓慢、低空、轨迹并不规则。是鸟群吗？不是。五架朝鲜无人机正在越过军事分界线。

战斗机升空。轻型攻击机KA-1出动。攻击直升机随后跟进。机关炮开火。一度连民航机运行也被暂停。其中一架甚至飞到首尔北部上空，并引发了是否侵犯总统办公室附近禁飞区的争议。追踪持续了近五个小时，约100发炮弹被发射。然而结果是击落0架。在应对过程中，还损失了一架坠毁的KA-1。

那一天，一支庞大的军队，没能抓住一个小小的点。

那一幕不应只被当作一个羞辱性的插曲留在记忆里。它是一份通知书，宣告朝鲜半岛战争的语法正在改变。朝鲜无人机并不是先进的隐形轰炸机。它很慢、很小，恐怕也并不昂贵。威胁的核心不在于性能，而在于它正因为慢、便宜、小，才从既有防空网的眼睛与手之间钻了过去。战争有时就是以这种方式抵达。它首先打击的不是高性能武器，而是陈旧的思维方式。

10-1 2022年12月，首尔上空的朝鲜无人机——一架也没能击落的日子

韩国军方长期以来一直针对朝鲜的远程火炮、特种部队、弹道导弹、核武器进行准备。那些确实是真实威胁。停战线以北的坑道、机动发射车、火箭炮阵地、潜艇基地，都存在肉眼可见的危险。因此，韩国的军事准备大体上是面向那些更大、更快、更强的东西。更快的战斗机，更精确的导弹，更厚实的防御盾。2022年12月掠过首尔上空的东西，恰恰相反。

那架无人机很小。很慢。雷达反射截面积(RCS)微乎其微，因此即便是价值数十亿美元的先进雷达和防空系统，也不容易捕捉到它。战斗机太快。直升机可以接近，但在城市上空开火，立刻就意味着平民受害的风险。为了抓一架无人机而派出战斗机和直升机，从军事上看是应对，从经济上看却是一张倒置的账单。

乌克兰战场正在每天重写这张账单。几百美元的FPV无人机让数百万美元的坦克停摆。几千美元的无人机找到并摧毁价值1,500万至2,000万美元的Pantsir防空系统。不是昂贵武器战胜廉价武器，而是廉价武器不断迫使昂贵体系出场。根据Nemesis团指挥官在Kyiv Independent采访中的说法，仅该团在2026年以来就摧毁了价值超过10亿美元的俄罗斯防空资产。

在朝鲜半岛，问题也是一样的。当一架朝鲜无人机进入首尔上空时，我们能在几分钟内做出价值多少的应对？而这种应对，能否一天重复十次、一百次、一千次？

10-2 一边高喊50万无人机战士，一边解散无人机司令部的矛盾

2025年9月，时任国防部长安圭伯公布了“50万无人机战士”构想。计划是在所有征召士兵的义务服役期间，为他们提供无人航空系统(UAS)训练机会。陆军第36师团(原州)被指定为首个试点部队，并有报道称，2026年度预算中约330亿韩元将用于采购约1.1万架训练用商用无人机。据Korea Herald报道，国防部说明称，该项目“不仅将提升军队的无人机作战能力，也将为士兵退伍后在相关产业发挥作用奠定基础”。

很难否定方向本身。乌克兰战争之后，把无人机感知植入全军，是无法回避的选择。然而，同一时期又传出了另一条消息。

2026年1月，国防部下属的民官军联合特别咨询委员会建议废除无人机作战司令部。据首尔新闻报道，随着联合作战司令部的创建，无人机作战司令部预计将进入解散程序。然而之后风向改变。2026年3月19日，国防部宣布不会废除无人机作战司令部，而是改编其角色。方案是将作战职能分散到各军种，同时将其改组为以无人机政策、教育、民间合作为中心的部队。

这里有可以理解的情况。无人机作战司令部深陷政治争议。2024年平壤无人机渗透疑云与紧急戒严政局交织在一起，使这个组织未能继续作为纯粹军事创新的象征留下来。它被政治之网缠住了。但战争不会等待政治伤口愈合。

问题不在于名牌。比起是否维持司令部、是否改编司令部，更重要的是：谁负责无人机战力，谁来实验，谁来记录失败，谁在一周后用新方式修正。

War on the Rocks在2026年6月刊发的一篇分析尖锐指出了这个问题。文章作者是前韩国军方防空导弹操作人员，也是反无人机红队共同创始人。他指出了50万无人机战士计划的结构矛盾。韩国军方目前拥有的训练用小型无人机只有约1,100架，而商用无人机

近90%来自海外(大多为中国), 因此符合国产零部件要求的供应不足。韩华和LIG Nex1正在推进巡飞弹(loitering munition)项目, 但那是战斗用武器系统, 不是能交给征召兵训练的无人机。

乌克兰战场的教训并不止于“建立无人机部队”。更残酷的教训另在别处。如果组织跟不上技术的速度, 士兵就会拿着陈旧教范进入新战场。那就像拿着纸质地图走进元宇宙会议室。乌克兰在2024年创设无人系统军(SBS), 赋予其独立指挥权和预算, 实现以一周为单位吸收前线反馈的创新。与之相比, 口号与执行之间的距离就显现出来了。

10-3 248km停战线、首都圈密集、LNG基地——比乌克兰更狭窄、更密集的战场

朝鲜半岛的战场比乌克兰狭窄。危险并不小。密度很高。

乌克兰领土约为整个朝鲜半岛的三倍。战线也横跨超过1,000km的辽阔大地。相比之下, 朝鲜半岛军事分界线(MDL)总长只有248km(155英里)。以这条狭窄的线为界, 世界上规模数一数二的军事力量以超高密度相互对峙。

距离才是问题。从停战线到首尔北部不过40至50km。在这狭窄的纵深(战线的深度)内, 聚集着韩国一半人口和国家GDP的大部分。机场、港口、发电站、变电站、数据中心、通信网、物流中心、LNG储存基地、石油化工园区, 沿首都圈和海岸交织在一起。

在乌克兰, 无人机必须像蜘蛛网行动那样飞行数千km, 打击俄罗斯本土的战略轰炸机基地。需要准备18个月, 还要把无人机藏进卡车偷偷运入。朝鲜半岛不需要这样复杂的路径。只要在停战线附近放飞几百美元的小型无人机或民间改装型无人机, 几分钟内就能抵达首都圈北部。即便不爆炸, 社会也会停顿。盘旋在变电站上方的无人机, 港口起重机附近的不明飞行物, 出现在机场跑道进近航线上的小型无人机, 拍摄LNG设施外围的侦察无人机。小小的机翼会扰乱城市的心跳。

乌克兰Nemesis团指挥官在接受Kyiv Independent采访时这样说: “今天我们明白, 敌人的每一次移动、每一次战斗行动都受到无人机监控。而无人机首先进入战斗。”前线5km以内所有车辆事实上都在死亡面前的现实, 在朝鲜半岛必须与另一个事实叠加阅读: 战线与首都圈之间的距离, 也不过是这个距离的几倍。

战争爆发时, 人们容易只想到坦克率先南下的画面。实际第一天的恐惧, 可能来自更小、更多的地方。

10-4 在征兵制军队里，能否培养“穿连帽衫的玩家”

乌克兰无人系统军(SBS)的核心人物与传统军人形象相距甚远。Kyiv Independent采访的Nemesis团指挥官这样描述：“穿连帽衫的玩家，抽电子烟的人，这大概就是乌克兰武装部队的70%。我们更多，大约90%。”在军装外套上连帽衫，手握操纵杆，从Telegram频道获取新天线信息的人们。军衔虽低，战场感知却很快。

乌克兰把这些人的技术感和创造力原样吸纳进军事组织。15,000人的招募公告中明确列出了电子工程师、程序员、3D设计师、项目经理。SBS司令官Madyar在招募视频中说：“无人机正在等待飞手，而不是相反。”据60 Minutes报道，创新周期约为一周。把无人机送上前线，收到反馈，修改某些东西，再推出新版本，一周就足够了。

韩国军队是征兵制军队。这既是弱点，也是资产。

弱点在于服役期短，难以积累熟练度。以18个月(陆军标准)的义务服役，很难培养出掌握日益高级的电子战规避技术或AI自主飞行编码能力的精锐无人机专家。资产则在于，年轻一代的技术感每年都会进入军中。擅长游戏、摆弄影像设备、写过代码的青年，已经在军营里。问题在于，是否有眼光把他们识别为军事资产。

无人机操控不同于刺枪术。它要求读懂屏幕上像素的移动，预感无线电中断的瞬间，同时计算电池、风和地形。失败了，机体就会坠落。做得好，一件敌方装备就会消失。这种能力不会因为在训练场上大声喊口号而产生。它需要重复、竞争、实验和反馈。

“50万无人机战士”不能止于数字口号。给50万人播放操控教学视频，与培养5万名熟练飞手、5千名维修及改装人员、500名战术设计者，完全不是一回事。无人机战需要金字塔。广泛基础教育之上，必须有选拔、熟练化、专业化，以及退伍后与预备役的衔接。

擅长操控的士兵应该操控更久。擅长修故障的士兵应该去维修单元。提出奇怪想法的士兵，在挨骂之前就应该被送进实验室。如果军队识别不出这样的人，那个人退伍后只会去拍无人机YouTube，而国防则两手空空。

2026年5月，出现了一个动向。美国和韩国在首尔签署了“无人机联盟(Drone Alliance)”谅解备忘录。据Stars and Stripes报道，国防部防卫AI企划局长与美国陆军国防出口合作助理部长同意共同建立无人机及反无人机系统供应链，并制定提升互操作性的共同标准。在战士营Humphreys，美韩官兵还共同完成了无人机杀伤力(lethality)教育课程。方向正在成形。问题是速度。

10-5 韩国军工的机会与竞争——全球无人机市场第7位，在出口市场遇见乌克兰

韩国军工已经站在世界舞台中央。

2025年10月，李在明总统宣布，到2030年要把韩国打造成世界第4大军工强国。据Reuters报道，ADEX 2025展出了无人机、搭载AI的武器、自杀式无人机。Asia Pacific Defence Reporter(APDR)在2026年2月报道的专家采访称，截至2025年，韩国年度军工出口合同规模接近约230亿美元(32万亿韩元)。分析认为，韩国已成为对NATO成员国供应国中仅次于美国的第2位。韩华航空航天2025年销售额达26.61万亿韩元，创历史新高；现代Rotem与波兰签订了约9万亿韩元规模的K2坦克合同。

在其中，无人机在哪里？

峨山政策研究院曾在2017年报告中评估，韩国无人航空器技术竞争力处于世界第7位水平。那更接近于对潜力的评价。市场支配力则是另一回事。民用无人机市场由中国DJI掌控，军用无人机领域，美国、以色列、土耳其、伊朗通过各自的战场证明了产品。现在，乌克兰也加入了这份名单。

乌克兰在战争中成为了无人机产业国。战争是实验室，前线是质量检验场。Washington Post在2025年9月报道称，乌克兰约有500家无人机制造商。战时需求和出口限制是瓶颈，但这个国家在战后成为无人机出口国只是时间问题。据Kyiv Independent采访，乌克兰已经在10个欧洲国家开设武器出口办公室，并与沙特阿拉伯、UAE、卡塔尔等海湾国家签订了以10年为单位的规模无人机出口合同。

对韩国而言，这是机会，也是警告。韩国拥有制造基础、半导体、电池、通信、造船、军工出口网络。KAI正在开发可与KF-21战斗机协同飞行的AI自主无人僚机(loyal wingman)无人机。韩华和LIG Nex1正在推进巡飞弹项目。据Seoulz军工分析，截至2026年，反无人机(counter-drone)领域被列为韩国军工初创企业中增长最快的类别。

然而，无人机战的竞争力并不是只靠高端产品目录打造出来的。还必须同时具备前线每周变化的电磁环境、像消耗品一样使用的机体、士兵可以自行维修使用的结构，以及民间初创企业与军方之间快速签约的方式。正如60 Minutes报道的那样，乌克兰的创新周期是一周。从无人机被送上前线的那一刻起，到收到反馈并推出新版本，差不多就是这个时间。如果韩国军工仍然只停留在既有模式，即“长期开发成品并完美交付”，那么在无人机市场上可能会迟到。

无人机不是完美的名牌包，更接近于不断撕开、缝补、继续穿用的作战服。

10-6 朝鲜下令大规模生产自杀式无人机——应当学习的，与不能学习的

2024年11月14日，金正恩亲自观看了自杀攻击型无人机试验。据KCNA报道，由无人航空技术综合体及其下属企业开发的“多种打击距离的自杀攻击无人机”执行了对地面和海上目标的精确打击任务。金正恩指示：“尽快建立连续生产体系，进入正式大规模生产。”CNN将这种无人机称为“自爆无人机(self-detonating drones)”，并分析称，如果像伊朗制Shahed-136那样大规模投入，就会成为难以拦截的非对称武器。

四个月后的2025年3月，朝鲜又向前迈了一步。它公开了搭载AI技术的自杀式无人机和侦察无人机试验。据GlobalSecurity.org报道，与此同时，疑似空中预警机的系统也首次公开。随后出现了俄罗斯技术转让疑云。NHK在2025年2月报道称，俄罗斯已同意向朝鲜提供多种无人机的大规模生产技术支持。乌克兰军事情报局(GUR)局长基里洛·布达诺夫中将在2025年6月采访中表示，俄罗斯正在支持朝鲜国内生产以伊朗制Shahed-126为原型的远程自杀式无人机Garpiya和Geran。War on the Rocks将其称为“正在逼近朝鲜半岛身边的致命无人机盛宴(Deadly Drone Bonanza)”。

这大概并不意味着朝鲜已经制造出世界顶级水平的AI自主无人机。但他们学到的不是技术巅峰，而是战争方向。大量制造廉价平台，结合侦察与打击，抬高防御者成本。对经济限制严重的朝鲜来说，能够以几百美元威胁韩国昂贵资产的无人机，是一张无法拒绝的非对称牌。

我们应当学习的很明确。承认单价的不对称。围绕首都圈和核心基础设施，密集部署小型无人机探测、识别、压制系统。是用枪击落，用无线电切断，用激光烧毁，还是用网捕捉，每个现场都应有不同答案。国防部于2026年3月举办的“大韩民国无人机攻防战”大赛，可以说是这一方向的开端。这是韩国国内首次双方模拟战斗型实证大赛，由攻击无人机队和防御反无人机队在真实交战场景中比拼技术能力。总奖金为1.52亿韩元，并配套25亿韩元规模的实证试验预算。

但也有不能学习的东西。

乌克兰Nemesis团指挥官在Kyiv Independent采访中被问及人工智能与自主武器时这样回答：“我们的政策是，决定始终由人作出。人工智能可以提供帮助，但不能作出决定。”在同一次采访中，他谈到俄罗斯和中国时又说：“他们不会在意这些问题。”

朝鲜也是如此。极权国家可以毫不犹豫地越过误炸平民、飞手安全、AI自主武器伦理约束(红线)。韩国不能这样做，也不应该这样做。摆在韩国面前的课题，是在守住伦理界线的同时，压倒敌方自主武器的速度。这正是韩国必须独立发展防御性AI技术，以及极高高速辅助人类判断的计算战术的原因。

朝鲜半岛的无人机战准备必须有三层。防御、攻击、产业生态。必须在首尔和首都圈、机场、港口、发电站、LNG设施、数据中心周边部署小型无人机探测和压制系统。必须拥有能够监视并打击朝鲜炮兵、防空网、指挥所、机动发射车的低成本大批量平台。还需要零部件、电池、传感器、通信、AI生态系统，在平时作为民间产业运转，在危机时转换为军需生产。

大学、初创企业、预备役、玩家、电子工程师、AI开发者、军工大企业，如果只是彼此怀疑，最后写出三本会议纪要，那是不行的。无人机会在会议室里老去。

2022年12月首尔天空中的小点已经消失。然而那些小点留下的问题仍然悬在空中。我们是否只在准备大战争？还是也在准备那些小机器撼动大秩序的战事？

乌克兰展示了用鲜血写成的答案。战争不再只在将军的地图上移动。它已经降落到士兵的手指、民间工厂的焊点、初创企业的代码、在电磁干扰中坚持工作的通信模块之上。朝鲜半岛不能把那片战场当作遥远国家的故事。

飞过首尔天空的朝鲜无人机，是预告片。正片尚未开始。

(尾注)

1. 2022年12月26日朝鲜无人机侵犯领空事件：Axios, "South Korea fires warning shots after North Korea drones enter its airspace," December 26, 2022. 2. 50万无人机战士构想：韩联社, "(LEAD) Defense chief unveils plan to foster drone warriors," September 4, 2025. 3. 无人机作战司令部改编：韩联社, "Defense ministry seeks to reform role of drone command instead of abolishment," March 19, 2026; 首尔新闻, "为移交战时作战控制权筹建联合作战司令部，曾放飞平壤无人机的无人机司令部将被撤销," January 12, 2026. 4. 50万无人机战士批判分析：War on the Rocks, "South Korea's 500,000 Drone Warriors Will Be a Hollow Force," June 2026. 5. 韩国训练用无人机机体采购计划：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. 韩美无人机联盟：Stars and

Stripes, "US, South Korea agreement creates 'drone alliance' for shared systems, logistics," May 19, 2026. 7. 金正恩指示大规模生产自杀式无人机: 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. 朝鲜AI无人机试验及俄罗斯技术转让: GlobalSecurity.org/RadioFree 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. 俄罗斯对朝鲜无人机技术支持: NHK报道(2025年2月), 乌克兰GUR布达诺夫中将采访(2025年6月). 10. 韩国军工出口现状: 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. 韩国无人机技术竞争力: 峨山政策研究院, "通过军事用途推动无人机产业发展的方案," 2017. 12. 乌克兰无人机产业: Washington Post, "The world wants Ukraine's cutting-edge drones, but they aren't yet for sale," September 6, 2025. 13. 乌克兰无人系统军及Nemesis团: Kyiv Independent, "West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says" (采访全文); CBC无人系统军15,000人招募视频. 14. 无人机创新周期及前线现状: 60 Minutes, "Drone arms race transforms war in Ukraine." 15. 大韩民国无人机攻防战大赛: 保安新闻, "韩国国防部举办'2026大韩民国无人机攻防战'," March 4, 2026. 16. 韩国军工初创企业生态系统: Seoulz, "Korea Defense Startups 2026: Inside the Emerging K-Defense Tech Ecosystem," May 2026.

尾声 “历史正在此刻被创造”

前线的清晨，总是背叛昨日的教范。

一名士兵在把头探出战壕之前，先望向天空。天空中没有战斗机。也看不见轰炸机。取而代之的，是一台巴掌大小的机器在低空嗡鸣。它既不是鸟，也不是子弹。然而士兵知道。那细小的声音，可能改变今天的命运。

战争一向如此改变自身。从马匹到坦克，从堑壕战到闪电战，从航空母舰到导弹，而如今，是从士兵指尖飞起的无人机。问题不在于武器变了。问题在于，武器变化的速度已经超过了人类的制度与常识。6个月前的战术，如今已像旧衣服一样不再合身。昨天还有效的频率，今天就会被捕捉。上周还行得通的飞行路线，这周就成了死亡之路。在乌克兰战场上，战术的日历不是按季节翻页，而是按周翻页。

Nemesis团的一名指挥官曾在接受Kyiv Independent采访时这样说：“战争正在变化。以前变化得更慢。1年一次，6个月一次。现在，任何战术变化都可能在短短几个月内发生。”他停顿片刻，又补充道：“历史正在此刻被创造。未来已经到来，而记录文档排在优先事项清单的后面。”

这意味着，没有时间编写教范。因为在整理条令的同时，战场又已经变了。

2026年5月30日，乌克兰军队在一天之内应对了俄军投入的8,549架自杀式无人机。同一天，乌克兰军队击落了1,781架俄罗斯无人机。请细想这些数字。一天之内，数千台机器飞过前线；一天之内，数千台机器坠落。2022年战争初期，一年消耗数千架无人机的战场，如今一天就会消耗同样的数量。战争已经不只是有无人机的战争，而是进入了“谁能更快制造、损失并再次改造无人机”的战争。

道路上出现了网状隧道。原本用于农业或渔业的网，覆盖在前线道路上方。曾经用于保护坦克的临时装置，如今成了士兵和车辆日常通行的通道；而在那张网下，披着伪装网的地面机器人载着弹药箱奔跑。Business Insider报道称，乌克兰在2026年为前线道路安装了数百公里的反无人机网。其长度足以覆盖美国佛罗里达州的跨度。战壕与铁丝网的时代并未消失。只是其上又叠加了一层新的结构。战场不再只是泥土与钢铁的空间，而是电波、影像、算法、光纤、电池和塑料框架共同交织的场所。

而在地面上，新的篇章也正在开启。2026年4月，泽连斯基总统下令今年生产5万台地面机器人。仅2026年上半年，就已经签订了2万5,000台无人地面车辆（UGV）的合同，这一数字接近2025年全年合同量的两倍。Defense News报道称，在利曼灰色地带，一名老妇人徒步数小时，穿过炮弹坑和邻人的遗体后，被一台地面机器人追上。机器人将她撤离。超过200家企业正在生产地面机器人，167个部队已经投入使用，仅2026年第一季度，就执行了2万4,500次以上的地面机器人任务。

有指挥官说过。机器人不会流血。

这句话很冷。但在这份冰冷之中，包含着拯救士兵的迫切。

然而，一旦我们说机器正在替人打仗，就会错过这场战争的核心。

无人机不会自己愤怒。机器人不会自己下定决心保卫故乡。算法不会记住屈辱，也不会把手指按在祖国地图上沉默不语。机器执行命令。决定方向的是人。

Nemesis团指挥官谈到人工智能时这样说：“人工智能可以提供帮助，但不能作出决定。我们不能把摧毁目标的任务委托给人工智能。飞过去，为了击中什么东西，至于是否正确。不，决定必须始终由人来作出。”当被问及这一原则是否属于伦理问题时，他回答说：“首先，这是关于工作效能的问题。我们必须知道自己在打击什么。”

有些时刻，效能与伦理指向同一个方向。未经人确认的打击可能偏离目标，而偏离目标的打击会侵蚀战争的正当性。让机器代替判断，速度会更快，但更快并不等于正确。

当然，另一边也有自己的逻辑。若俄罗斯和中国在没有伦理约束的情况下开发自主武器，该怎么办？面对这个问题，这名指挥官回答道：“我们不对俄罗斯或其他国家负责。我们对我们的军队、我们的防御部队、我们的部队负责。”这个回答与其说是伦理宣言，不如说更接近战场上的实用主义。无论对手如何行事，自己的组织保持打击准确性与责任链条，才是更好的判断。

没有人知道这条边界还能维持多久。如果战争速度进一步加快，人类决策介入的余地将会缩小。那时会发生什么，仍是尚未写下的故事。

乌克兰所展现的力量，并不只是技术的力量。那是接纳技术的方式所产生的力量。

丢弃失败的武器，复制成功的装置，把现场反馈送回工厂，再把工厂改进后的产品送回前线。1周就能推出新版本的速度。前线99%的无人机都是本国产品这一事实。创造这种循环的，不是服务器或生产线，而是人。

出身酿酒厂工程师的人创办民营企业，制造伤员撤离无人机。穿着连帽衫的二十五岁程序员，通宵编写绕过电子战干扰区域的代码。曾指挥排级无人机部队的军官，成为世界上第一位无人机专属军种的司令。贯穿这些人的共同点，是他们做了教范里没有写的事。因为教范还尚未写成。

曾经，战争是大型武器系统的展览场。更大的坦克，更长的跑道，更昂贵的舰艇，更复杂的防空网。然而乌克兰战场提出了另一个问题。如果一架300美元的无人机可以让一辆价值数千万美元的坦克停下来，那么国防预算的算术该从哪里重新书写？如果海军较弱的国家可以用无人海上无人机迫使黑海舰队后退，那么海洋战略的中心将转移到何处？如果地面机器人可以运送补给、拖出伤员、监视敌军阵地，那么战场上的勇气又将以何种模样被重新定义？

当西方军人前来拜访乌克兰无人机指挥官时，他们展示本国最新的无人系统，并征求意见。指挥官问道：“它如何运作？连接如何确保？”听完回答后他说：“如果没有GPS会怎样？”他们说：“为什么会没有GPS？有卫星啊。”指挥官回答：“将会没有GPS。”他们沉默片刻后说：“那之后会发生什么，我们不知道。”

后来他们再次到来时，带来了增强GPS信号的设备。指挥官说：“我们1年半以前用过那种设备。今天，它已经不起作用了。”他们说：“糟糕，我们买了几百台。”

这段对话说明了一件事。没有亲自打仗的军队，和每天生活在战争中的军队之间，存在经验的差距，而这种差距无法用钱填补。

Nemesis团2026年的战绩，用数字显示了这道差距的大小。United24 Media报道称，无人系统军仅在2026年就打击了174套俄罗斯防空系统，估计造成损失达54亿美元。新的指挥结构“纵深打击中心”（Deep Strike Center）已经建立，打击范围从克里米亚半岛的防空系统，扩大到圣彼得堡附近喀琅施塔得海军基地的舰船。

仅占国防军2%的无人系统军，摧毁了每3个经确认敌方目标中的1个，并击落了每3枚巡航导弹中的1枚。这个比例是组织效率的数字，同时也意味着其余98%的军队尚未转向这种方式。转型正在进行，而俄罗斯也在2024年12月宣布建立自己的无人系统军。双方都在变化，并围绕变化的速度展开竞争。

因此，这场战争的教训并不是技术崇拜。

新武器出现，并不意味着胜利会自动随之而来。拥有更多无人机的军队也不一定会赢。更快学习的军队，不掩盖失败的军队，打破前线年轻飞手、工程师和指挥官之间壁垒的军队，才能生存下来。军衔压倒创意的组织，即使手握最新装备，也仍在打一场陈旧的战争。相反，即便是小作坊制造的装置，只要精准刺中前线问题，也能撼动战略格局。

那名无人机指挥官给西方军队的建议并不宏大。“从小处开始。先彻底研究俄乌战争的经验。这就是你们今后都会拥有的战争。不要把所有钱都投入装甲车、火炮和传统战争手段。”

乌克兰能够对抗巨人，原因也在这一延长线上。不是因为领土更广。也不是因为人口更多。更不是因为一切都准备得尽善尽美。相反，它是在毫无准备的状态下遭受打击，几乎崩溃，又一次次以不同方式撑了下来。在这个过程中，国家成了实验室，前线成了研究所，士兵成了开发者。

然而，一旦把这段叙事包装成英雄故事，我们就会再次错过核心。Nemesis团指挥官在采访末尾这样说：“前线从来没有轻松过。从战争爆发起，我不记得有什么轻松的时刻。即使在我们取得某些成功之后，在Kherson、Kharkiv、Kursk州的攻势之后，我记得成功所带来的伟大精神。但我也记得我们为此付出的痛苦代价。”

“你问我是否有正在失去的感觉？是的，我有。我们正在缓慢后退。但我相信这是一个完全受控的过程。我们没有崩溃。我们正在以受控方式后退。”

这番话里没有虚张声势。也没有绝望。战时军人的声音，就在两者之间的某个地方。那是不确信胜利，却也不放弃的人的声音。

历史总是在事后看起来像已经完成的句子。教科书上的句子斩钉截铁。某年某月，某场战役，某项条约，某次胜负。然而真实的历史并不是那样到来的。它是在故障通信机旁，在更换电池的指尖，在凝视通宵更新的软件能否在拂晓攻击中运作的眼睛里被创造出来的。

战争结束后，人们会说。那时，战争的性质改变了。那时，一个小国撼动了一个大国的战争方式。那时，在低空飞行的小机器，迫使世界军事条令重新书写。

然而，对此刻身在现场的人来说，那不是“历史”。对他们来说，那是今晚的生存。能否救下战友。能否找到敌军炮位。能否重新接通中断的通信。能否让昨天牺牲者留下的设备今天再次起飞。历史就是这样，在没有宏大名牌的情况下，从尘土、鲜血、前线电

缆和焊锡气味中开始。

乌克兰的无人机战争尚未结束。写下这篇尾声的此刻，无人机仍在飞行、坠落、再次被制造出来。因此，结论也尚未闭合。

但有一点已经显现。

战争的未来，并不是在遥远的研究所里被安静地发明出来的。它正在此刻的前线上，由那些重新组装失败机体的人创造出来。

历史正在此刻被创造。

而创造它的不是机器，而是那些终究不肯放弃的人。

注（註）

本尾声中引用的Nemesis团指挥官发言，摘自Kyiv Independent的采访《West not ready for modern war, Ukrainian drone commander says》。

2026年5月30日战况数据，参考EMPR媒体的每日战况报告（Russia Ukraine War Updates, May 30, 2026）。

无人系统军2026年打击防空系统的战绩（174套系统，估计损失54亿美元），引用自United24 Media报道（2026年6月6日）。

前线反无人机网安装情况，以及俄罗斯喷气推进型无人机扩张分析，参考Business Insider报道（2026年6月）。

地面机器人5万台生产指令、2万5,000台合同、167个部队运用、2万4,500次任务数据，经Defense News（2026年5月8日）、United24 Media（2026年5月）、Euromaidan Press（2026年4月28日）报道交叉核对。

超过200家地面机器人企业参与的情况，参考Militarnyi报道及乌克兰数字化转型部部长费多罗夫的署名文章。

附录

无人机战争：乌克兰正在改写战争的语法

附录 A 主要无人机参数表

FPV、远程打击、海上、地面、拦截无人机

正文中说，无人机改变了战争。附录是一张验算纸，展示这句话建立在怎样的数字之上。长度6米、速度90km/h、航程1,000km、战斗载荷850kg。这些数字很冰冷，但它们也是实际改写战争语法的句子。

不过，有一点必须先说明。战时无无人机的参数并不是刻在金属铭牌上的规格表。它更像是前线那块不断被擦掉、又不断重写的黑板。即使是同一型号，制造商发布的信息、公开展会资料、战场报道、维基百科条目也常常给出不同数字。改进型频繁出现，各部队也会在现场拆改机体。因此，本表会尽可能标明出处；无法确定的数字则标注为“公开估计值”。

1. FPV无人机（第一人称视角小型自杀式无人机）

在这场战争中造成最多伤亡的武器，既不是战略轰炸机，也不是导弹。它是小到几乎可以放在手掌上的FPV无人机，由爱好者级零部件和3D打印零件制成。

单价：约300~1,000美元（New York Post，2025年2月报道） 操控方式：飞手佩戴第一人称视角（FPV）眼镜直接引导 作战范围：无线电条件下约15~30km，光纤无人机距离更短，但免疫电子战 最大速度：视型号而定，120~200km/h 战斗部：从通常的手榴弹级到反坦克聚能装药不等 迭代周期：吸收前线反馈后推出新版本约需1周 生产规模：乌克兰方面于2024年建立年产约400万架的生产体系（60 Minutes报道）

FPV无人机会低空掠过战壕追踪士兵，瞄准坦克舱盖缝隙，滑入掩体内部。根据王志安的分析，蜘蛛网行动中使用的FPV无人机作战范围只有15~20km，但由于事先被秘密运入俄罗斯领土，并在当地发射，因此能够打击4,300km外的目标。

2. 远程打击无人机（单程攻击无人机）

这类武器把前线的边界推到了数千公里后的后方。乌克兰正在运用多种国产远程自杀式无人机，截至2026年，每天有100~200架飞向俄罗斯领土。

（甲）AN-196 柳季（Liutyi） 制造商：安东诺夫（Antonov ASTC） 起飞重量：250~300kg 战斗部：50~75kg 航程：1,000~2,000km（随配置变化） 单价：约20万美元 导航：AI、卫星导航、惯性导航结合 备注：乌克兰国产远程机体，用于回应伊朗 Shahed-136。价格相对较高，但凭借较长航程和较大战斗部，用于打击战略目标。

（乙）Bober（“海狸”） 航程：约1,000km 战斗部：约20kg 特点：独特的鸭翼布局、流线型机身和倒置尾翼。自2023年亮相以来已进入量产，并被反复投入打击莫斯科等俄罗斯本土目标。

（丙）AQ-400 Scythe 制造商：Terminal Autonomy（原One Way Aerospace） 起飞重量：100kg 战斗部：32~43kg（增加战斗部时可达70kg，但航程下降） 航程：约750km 最大速度：200km/h 单价：约3万美元 备注：由英国、澳大利亚军队出身人员和乌克兰工程师于2022年年中创办的公司开发。2023年春季演示，同年12月首次交付。面向低成本大规模生产，集群（swarm）飞行时可采用领导者-跟随者方式运用。

（丁）FP-1 战斗部：最大约120kg 航程：约1,600km 特点：以胶合板（plywood）为主要材料。根据DroneXL 2026年4月报道，估计其占俄罗斯境内打击的约60%。

（戊）Sichen 航程：约1,400km（870英里） 特点：2026年公开。据报道，其战斗部小于FP-1或柳季，但具备更长航程和电子战抗性。

这些型号的准确参数，由于战时保密、频繁改进和制造商差异，在公开资料中各不相同。因此这里写下的数字并非“确定值”，而是“基于报道的估计值”。

3. 海上无人机（无人水面艇，USV）

乌克兰事实上没有海军。可是这个国家迫使俄罗斯黑海舰队后撤。做到这一点的是海上无人机。

（甲）Sea Baby 开发主体：乌克兰国家安全局（SBU） 长度：6m，宽度：2m，水面以上高度：0.6m 战斗部：最大850kg（维基百科标准），SBU官方视频中提到940kg战斗部 航程：至少1,000km（2024年改进型被报道为1,500km以上） 最大速度：90km/h（约49节） 单价：UNITED24筹款平台标准为22万1,000美元，维基百科列为850万格里夫纳（约24万5,000美元，2025年标准） 武装：可安装陀螺稳定14.5mm机枪。已完成

导弹搭载试验 备注：SBU局长Vasyl Maluk自一年前起主导构想下一代海上平台。据称其曾“从下方、从水中”打击克里米亚大桥。SBU说明称，它已从早期“令人联想到哥萨克桨帆船的自杀式无人机”演化为可携带导弹的先进海上平台。

（乙）Magura V5 开发主体：乌克兰国防情报总局（GUR）下属Group-13 长度：约5.5m，宽度：约1.5m，吃水：约0.4m 满载排水量：约1.1吨 战斗部：250~350kg（因出处不同而有差异。Group-13指挥官称250kg，SpetsTechnoExport发布资料称320kg） 航程：约800km（400海里以上） 巡航速度：约22节，最大速度：约42节（也有54节瞬时速度的说法） 单价：25万~30万美元 控制：互联网（星链卫星）连接，具备备用控制通道 艇体材料：塑料（难以被雷达探测） 备注：2024年2月，历史上首次以海上无人机击沉敌方军舰。俄罗斯导弹巡逻舰伊万诺韦茨（Ivanovets）和登陆舰凯撒·库尼科夫（Tsezar Kunikov）被击沉。公开一年内击沉俄罗斯军舰8艘、击伤6艘，估计损失超过5亿美元。乌克兰方面表示月产能最高可达50艘。US Naval Institute Proceedings 2025年9月号整理了相关内容。

（丙）Magura V7 Magura V5的后续型号。长度约7.5m，比V5更大，并改变艏部形状，以提高浪中航行稳定性。根据海军分析专家H.I. Sutton的说法，已确认其以“FrankenSAM”配置搭载2枚AIM-9L响尾蛇空空导弹。

4. 地面无人机（无人地面车辆，UGV）

它们不如空中无人机耀眼，却是在士兵脚踝附近改变战争的机器。

武装型：搭载0.50口径（12.7mm）机枪或40mm榴弹发射器。在战壕前射击敌方步兵后脱离。 运输型：在前线与后方之间运送弹药、食物、伤员。Radio Free Europe报道中出现过一名原啤酒厂工程师制造的装甲无人机回收遗体、撤离伤员的画面。 防御型：在一个案例中，60 Minutes报道了地面无人机单独击退俄罗斯军队进攻45天的记录。

“坦克去不了我们驾驶的地方。”这是波克罗夫斯克前线一名地面无人机运用部队指挥官对Radio Free Europe说的话。“失去机器总比失去人好。”这句话概括了地面无人机存在的理由。

型号数量极为多样。Ratel、Lyut、Droid TW系列、Tech Core公司的伤员撤离无人机等较为知名，但前线部队拆改现成产品或焊接制造的临时型也很多。这是一个比速度和重量更重视任务的类别。

5. 拦截无人机

当俄罗斯每晚投入数十至数百架伊朗制Shahed系列自杀式无人机时，乌克兰无法只靠昂贵的防空导弹支撑。1枚爱国者PAC-3导弹超过300万美元，1枚NASAMS超过100万美元，而1架Shahed的制造成本据CSIS估计仅约3万5,000美元。这笔账算不过来。

于是拦截无人机登场了。

（甲）Sting 开发：Wild Hornets 类型：四旋翼拦截无人机兼巡飞弹 单价：约2,100~2,500美元 最大速度：315km/h（几乎是Shahed巡航速度185km/h的2倍） 交战距离：最大25km 准备时间：发现后15分钟内发射 未发现目标时：自主返航，节省资源 生产规模：截至2026年3月，月产1万架以上 战果：截至2026年5月，击落Shahed/Geran系列7,000架以上（制造商说法） 备注：2025年12月首次击落装有喷气发动机的俄罗斯Geran-3。截至2026年4月，Sting负责击落喷气型Shahed的70%。2026年4月，从无人水面艇发射的Sting拦截Shahed，也创下世界首次纪录。

（乙）P1-SUN 开发：Skyfall 单价：约1,000美元 最大速度：300km/h以上 备注：制造商表示月产能最高可达5万架。

（丙）Octopus 开发：Ukrspesystems / TAF Drones Industries 最大速度：300km/h 交战半径：30km 高度：4,500m 战斗部：1.2kg 滞空时间：15分钟 备注：基于AI的自动末端制导。作为与英国联合生产项目，计划自2026年2月起月产1,000架。

（丁）Zerov-8 开发：WIY Drones 最大速度：326km/h 交战半径：20km 特点：垂直起降后转换为水平飞行的倾转方式。截至2026年1月日产100架，单价约2,300美元。

根据Defense News 2026年3月报道，乌克兰在2025年全年生产了10万架拦截无人机，比此前时期增加8倍。总司令瑟尔斯基宣布，截至2026年2月，基辅地区Shahed拦截任务中，70%以上由拦截无人机承担。

附录 B 乌克兰无人系统军（SBS）组织图

无人系统军（Сили Безпilotних Систем，SBS）是在战争中诞生的组织。它不是和平时期参谋会议上慢慢规划出来的部队，而是在战壕、工厂和创业公司办公室之间急速成长起来的组织。如果说传统军队的组织图由兵种和军衔固化而成，那么这张组织图则依靠任务与反馈的流动运转。

1. 创设经过

2024年2月，泽连斯基总统下令创设无人机专责军种。2024年6月，乌克兰正式成立世界上第一个专责无人系统的军种。首任司令为瓦季姆·苏哈列夫斯基（Vadym Sukharevskiy）。2025年6月，罗伯特“马迪阿尔”布罗夫迪（Robert "Madiar" Brovdi）被任命为新司令。官方网站（usforces.army）介绍他为乌克兰英雄、无人系统军司令。

2. 规模与地位

在国防军中的占比：约占整体2%（计划扩大至5%） 战果：“每3个被确认敌方目标中，就有1个正由无人系统军摧毁。”（马迪阿尔司令招募公告视频） 巡航导弹击落：“每3个Kh-101中就有1个由无人系统军击落，未来将达到每2个中击落1个。” 截至2026年2月：据乌克兰空军总司令瑟尔斯基称，一个月内打击了超过10万5,200个敌方目标，其中四分之一是SBS专责部队的成果。（Jamestown Foundation，2026年4月报道）

3. 战斗序列（截至2026年3月）

根据Jamestown Foundation 2026年4月分析，SBS的战斗序列由5个旅、9个团、12个独立营（含海上无人机部队）组成。战斗支援要素包括电子情报、信息作战、工兵部队，维持支援资产则编有后勤、通信、训练中心。

主要部队如下。

（甲）第412独立无人系统旅“Nemesis” 2023年12月29日以营级单位创设，后扩编为旅。任务：摧毁敌防空系统，扰乱补给线，打击炮兵、阵地、装备、人员。根据Nemesis团指挥官接受Kyiv Independent采访时所说，“仅今年，我们团已经摧毁了价值超过10亿美元的敌方防空资产。” 特点：“培养创造力，采用商业化方法。把一切拆解为带有效率指标和标准化解决方案的业务流程。”

（乙）第411独立无人系统旅“Hawks” 2022年2月以营级单位创设，2024年12月扩编为团。原属领土防卫军，但因创新训练方式得到认可，于2025年11月转隶无人系统军司令部。驻地：基辅。

（丙）第427独立无人系统旅“Rarog” 2023年4月以第24机械化旅所属连级单位创设。参加巴赫穆特战斗。由营扩编为团（2025年2月），再由团分阶段扩编为旅。

（丁）第414独立无人突击航空旅“马迪阿尔的鸟（Birds of Madyar）” 源自马迪阿尔司令曾直接率领的部队。2025年1月扩编为旅，2025年9月转隶无人系统军。下辖亚当

(Adam) 战术群。2024年11月，以吸血鬼 (Vampire) 远程攻击无人机摧毁博里索格列布斯克-2 (Borisoglebsk-2) 电子战综合体。

(戊) “Phoenix” 无人系统团 隶属于边防卫队 “Pomsta” 旅。是边防卫队内规模最大、成绩最佳的UAV部队。

除此之外，第20独立团 “K-2”、第429团 “Achilles” 等也被编入SBS集团。

4. 各陆军旅内无人机编成

除SBS之外，所有乌克兰陆军旅都编有自身的无人航空综合体 (UAC) 营。每个机械化营编有UAC排，每个旅侦察连配属9个无人机运用班。SBS与这些部队并行存在，同时承担 “中央枢纽” 角色，把积累的研发成果和经验传播到全军。

5. 马迪亚尔的100日计划

2025年6月上任后不久公布的100日计划，其核心是在战术与战役纵深建立 “SBS影响力12层”。国防部长乌梅罗夫这样说明：“把步兵与UAV结合为一个打击体系。借此形成10~15km纵深的杀伤区 (killzone)，让敌人无法无损移动。”

6. 招募

根据马迪亚尔司令的招募公告视频，现有超过15,000个空缺，其中一半为民间专业岗位。需要电子工程师、程序员、设计师、项目经理、“各领域技术人员”、无人机飞手。“奔跑也很好，但现在到了飞行的时候。在歼灭占领军的同时。”

7. 俄罗斯的应对

俄罗斯也于2024年12月宣布创设无人系统军 (VBS, Войска Беспилотных Систем)，并于2025年11月开始运用。在战略、战役、战术各级新设UAV参谋部门，并在师、旅、团司令部编设UAV负责部门。然而，根据Jamestown Foundation评估，俄罗斯FPV无人机日产能估计约为19,000架，但在多旋翼FPV无人机运用方面，乌克兰仍保持数量优势。

附录 C 乌克兰无人机战争主要作战年表 (2022~2026)

2022年

2月24日 俄罗斯全面入侵开始。战争初期，土耳其制Bayraktar TB2出现在乌克兰上空。它是一种中空长航时无人机，根据制造商Baykar的信息，具备侦察、监视任务能力和自主起降、飞行功能，最大起飞重量约700kg，载荷150kg，滞空时间20小时以上，通信距离小于300km。TB2打击俄罗斯补给纵队的视频传遍全球，乌克兰人甚至创作了TB2歌曲。其象征意义巨大，但随着俄罗斯防空网加强，TB2的战术局限也显露出来。

4月14日 俄罗斯黑海舰队旗舰莫斯科（Moskva）号沉没。据悉有2枚海王星反舰导弹命中，也有分析认为TB2无人机发挥了分散注意力的诱饵作用。

10月8日 克里米亚大桥（刻赤大桥）首次遭打击。通过卡车实施的爆炸物攻击使桥梁部分损毁。

2023年

FPV无人机爆炸式扩散。战争的摄像机从数千米高空降落到士兵肩头。小型FPV无人机以300~1,000美元制成，开始追逐战壕、装甲车、补给车辆。

5月 Magura V5海上无人机首次公开作战。3艘无人机攻击并击伤俄罗斯情报收集舰伊万·胡尔斯（Ivan Khurs，4,000吨级）。

12月 AQ-400 Scythe远程无人机首批部署交付。Bober（海狸）远程无人机也进入量产。

2024年

2月 Magura V5成为历史上首次以海上无人机击沉敌方军舰的系统。导弹巡逻舰伊万诺韦茨和登陆舰凯撒·库尼科夫沉没。

2月 泽连斯基总统下令创设无人系统军。

6月 世界首个专责无人系统军种，乌克兰无人系统军（SBS）正式成立。

这一年，无人机成为造成战场伤亡约80%的主角，“以无人机为中心的战场”固化下来。乌克兰无人机年产规模达到约400万架水平。

12月 俄罗斯宣布创设无人系统军（VBS）。

2025年

2月 泽连斯基总统发起“无人机防线（Drone Line）”倡议。

6月初 马迪亚尔（Robert Brovdi）就任SBS司令，并指定首批编入部队5个（K-2团、Achilles团、Rarog团、马迪亚尔的鸟旅、Phoenix团）。

6月1日 执行蜘蛛网行动（Operation Spider's Web）。执行主体：乌克兰国家安全局（SBU） 准备时间：18个月以上 方法：将117架FPV无人机和300个爆炸物藏在伪装成木制结构物的集装箱中，用长途卡车运至俄罗斯空军基地附近。通过俄罗斯民用蜂窝网络远程发射。打击基地：Olenya（摩尔曼斯克附近）、Dyagilevo（梁赞）、Ivanovo Severny（伊万诺沃）、Belaya（伊尔库茨克，距前线4,300km）、Ukrainka（阿穆尔，估计失败） 损失：乌克兰方面声称摧毁41架飞机，NATO估计10~13架完全摧毁，美国官员估计约20架遭击中，其中10架被摧毁 受损机型：Tu-95MS战略轰炸机、Tu-22M3轰炸机、Tu-160战略轰炸机、A-50预警机 成本效益：投入成本估计低于500万美元，损失估计约70亿美元（乌克兰方面） 民间司机：驾驶卡车的5名俄罗斯平民中1人死于爆炸，4人被FSB逮捕并以恐怖主义罪名起诉 路透社报道了作战方式、准备时间、无人机数量、损失规模。

6月5~6日 俄罗斯实施报复攻击。投入452个空中攻击资产。

11月 俄罗斯无人系统军开始运用。

11月 Sting拦截无人机量产启动后4个月内，声称击落Shahed系列1,000架以上。

12月 Sting首次击落装有喷气发动机的俄罗斯Geran-3。

全年：生产10万架拦截无人机（乌克兰国家安全与国防委员会发布）。

2026年

1月 拦截无人机日产量突破1,500架。同月记录击落Shahed 1,704架（瑟尔斯基总司令发布）。

2月 基辅地区Shahed拦截任务中，70%以上由拦截无人机承担。

2月 每天有100~200架远程无人机飞向俄罗斯领土。

3月 乌克兰应美国请求，向驻约旦美军基地派遣拦截无人机和无人机战专家。（纽约时报泽连斯基采访）

3月 Sting月产量突破1万架。

4月~5月 海上及远程打击无人机连续打击黑海沿岸图阿普谢、列宁格勒、普里莫尔斯克等俄罗斯能源与炼油设施。

5月1日 美国（特朗普政府）与乌克兰签署包含防空支援的新安全协议。

5月16日 土耳其斡旋和平谈判第一轮协商破裂。

6月2日 据AP报道，俄罗斯实施同时投入73枚导弹和656架无人机的大规模空袭。

6月初 无人系统军发布15,000人大规模招募公告。

6月 SBS战斗序列：5个旅、9个团、12个独立营（Jamestown Foundation分析）。

6月 Just Security发布 “How Ukraine Became a Drone Superpower”。

附录 D 主要来源及参考文献

本书参考文献分为四类整理。

1. 官方资料

乌克兰总统办公室发布。泽连斯基总统的无人机生产目标、无人机防线倡议、约旦派遣相关纽约时报采访等。

乌克兰国防部、战略产业部资料。无人机生产统计、出口办公室开设、军需合同相关官方发布。

乌克兰无人系统军官方网站（usforces.army）。组织介绍、旅与团名单、司令履历、招募公告。

UNITED24筹款平台（u24.gov.ua）。Sea Baby参数及筹款资料。

乌克兰国家安全局（SBU）官方视频。Sea Baby下一代海上无人机公开视频、蜘蛛网行动相关简报。

官方资料用于确认制度、组织、任命、筹款用参数、政府生产目标。不过，战时政府发布总伴随着宣传和保密的阴影。损失规模和作战成果必须与独立媒体、卫星照片、第三方分析对照。

2. 国际通讯社与主要媒体

Reuters。报道蜘蛛网行动投入117架无人机、打击41架飞机这一乌克兰方面发布的信息，以及作战方式、准备时间。Shahed拦截战略深度分析（2026年4月）。

Associated Press。报道俄罗斯73枚导弹+656架无人机同时空袭（2026年6月）。海上无人机公开报道。

BBC News。蜘蛛网行动损失情况、Tu-95、Tu-22、A-50受损视频分析，伊斯坦布尔和平谈判分析。Magura V5运用部队Group-13报道。

Wall Street Journal。蜘蛛网行动整体概况、卫星照片分析、117架无人机投入经过。

60 Minutes（CBS）。无人机军备竞赛、地面无人机、FPV无人机、1周迭代周期、美国的教训。

Kyiv Independent。Nemesis团指挥官深度采访。光纤无人机、AI作用、对西方军队的警告、战争的未来。

The Independent。报道圣彼得堡附近俄罗斯军舰遭打击。

Radio Free Europe/Radio Liberty。报道波克罗夫斯克前线地面无人机运用实况。

Al Jazeera English。俄罗斯-乌克兰相互无人机攻击战况，打击俄罗斯炼油设施的经济与环境影响。

Defense News。拦截无人机的防空经济学分析（2026年3月）。

DroneXL。Sting拦截无人机战果追踪，远程无人机组合分析，Sichen公开报道。

Military Times。乌克兰国防采购局数字化负责人Alona Zhuzha采访。

United24 Media。5种拦截无人机比较分析，2026年初生产现状。

3. 专业机构与防务分析

Jamestown Foundation。“Russia's Unmanned Systems Forces Become Wildcard in Moscow's Military Modernization”（2026年4月）。分析SBS战斗序列5个旅、9个团、12个独立营，俄罗斯VBS创设。

RUSI（英国皇家联合军种研究所）。乌克兰无人机战相关报告系列。Octopus拦截无人机AI末段制导分析。

CSIS（美国战略与国际问题研究中心）。Shahed制造成本估计，无人系统战略分析。

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（欧洲政策分析中心）。无人机技术变化与NATO影响分析。

ISW（战争研究所）。前线形势每日分析。

US Naval Institute Proceedings。“Ukraine's Magura Naval Drones: Black Sea Equalizers”（2025年9月）。Magura V5、V7参数、战果、生产现状。

Covert Shores (H.I. Sutton)。乌克兰海上无人机总览，远程无人机指南。Magura V1~V7演化过程，FrankenSAM配置分析。

Defense Express。Sea Baby 2024改进型参数，Magura V5塑料艇体与规避雷达探测报道，远程无人机型号整理。

Janes Intelligence。蜘蛛网行动详细分析。

4. 项目共享知识内一手资料

为本书研究而收集、整理的11篇YouTube转写稿另以单独文件管理。

WSJ News，“Operation Spider's Web: The Ukrainian Drone Attack, Explained” BBC News，乌克兰无人机攻击俄罗斯空军基地报道 60 Minutes，“Drone arms race transforms war in Ukraine” Associated Press，海上无人机公开报道 The Independent，圣彼得堡附近俄罗斯军舰遭打击报道 Radio Free Europe/Radio Liberty，前线地面无无人机报道 Kyiv Independent，Nemesis团无人机指挥官深度采访 Al Jazeera English，俄罗斯-乌克兰无人机相互攻击报道 王志安，蜘蛛网行动中文分析 C5C（无人系统军），15,000人招募公告视频 乌克兰国家安全局（CSY），Sea Baby下一代海上无人机视频 未收集3项：FwZkldacuuw、rKXhcAXsOgQ、y-ksNjIAkJo（未提供字幕）

5. 追加收集对象

Mediazona，“Caught in the web. The unsuspecting truckers”（2025年9月）。被卷入蜘蛛网行动的5名民间卡车司机的命运。

Kyiv Post, “Ukraine's Drone Strikes vs. Russia So Far in 2026”（2026年3月）。无人机攻击统计分析。

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

韩国国防研究院（KIDA）无人机相关报告。韩国军队无人机战力现状与课题。

国防科学研究所（ADD）无人机技术趋势资料。

关于FPV无人机战术运用、电子战与反无人机技术、自主武器系统（LAWS）伦理争议、海上无人机与海战未来的学术论文。

6. 制造商、开发商、技术资料

Baykar官方网站。Bayraktar TB2参数。Wild Hornets。Sting拦截无人机参数、生产现状、战果。Terminal Autonomy。AQ-400 Scythe参数。Skyfall。P1-SUN参数。WIY Drones。ZeroV-8参数。Ukrspesystems / TAF Drones Industries。Octopus参数。SpetsTechnoExport。IDEF 2023 Magura V5发布资料。Army Recognition。2026年3月，Sea Baby最新版1,500km航程、2,000kg战斗部报道。

制造商资料有助于理解性能，但也夹杂着广告的温度。本书区分“公开参数”“基于报道”“估计值”“难以确认”来书写。

说明

本附录的数字和日期，基于截至2026年6月9日可收集的公开资料撰写。战争仍在进行，无人机技术每周都在变化。本表中的部分数字，到本书印刷时可能已经过时。

附录安静地附在正文之后，但它实际上是递给读者的一张验算纸。如果正文说无人机改变了战争，那么附录就展示这句话立足于哪些数字、哪些日期、哪些组织之上。能够长久留存的记录，通常是在日期、参数和出处旁边坚持下来。