

目录

成群结队的士兵

小型无人机将如何征服世界

作者大卫·汉布林

Swarm-Troopers.com

发布服务由提供



[大天使墨水](#)

版权所有2015大卫·汉布林

本电子书仅供您个人欣赏。本电子书不得转售或赠送给他人。如果您想与他人分享这本书，请为每位收件人另外购买一本。如果你正在阅读这本书，但没有购买它，或者它不是仅为你使用而购买的，那么请回到Amazon.com，购买你自己的副本。感谢您尊重这位作者的辛勤工作。

特别感谢菲利普·亨普洛、蒂姆·拉德福德、于尔根·奥特曼、尤金·谭和保罗·爱丁顿对手稿的有益评论和建议。

访问该网站，获取无人机图片、定期博客更新以及小型无人机技术进展和特别优惠的新闻。Swarm-Troopers.Com

目录

[介绍](#)

[第一章——无人机史前史:对抗机器的战争](#)

[第二章——捕食者的惊人崛起和突然衰落](#)

[第三章——乌鸦:一场小小的革命](#)

[第四章——胜利成本的大幅下降](#)

[第五章——永远飞翔的艺术](#)

[第六章——更快前进](#)

[第七章——团队、编队和羊群:群体的力量](#)

[第八章——微型终结者:小型武器的力量](#)

[第九章——与蜂群战斗](#)

[第十章——接下来会发生什么?](#)

[保持联系](#)

[谢谢你](#)

[关于作者](#)

介绍

[回到顶部](#)

法恩伯勒国际航展是航空界日历上的一件大事。每两年，整个行业会聚在一起，进行为期一周的交易，确定竞争范围，展示他们的最新产品，并进行交流。法恩伯勒2014年的亮点应该是洛克希德·马丁公司的隐形战机F-35 Lighting II的公开亮相。

不幸的是，发动机问题导致F-35机队停飞。法恩伯勒唯一的一个是展示模型，供人们坐在里面拍照。

空中力量在现代战争中占主导地位，从某种意义上说，F-35代表了战争的未来，是世界上最强大的战斗机器的尖端。美国空军、海军和海军陆战队计划购买大约2500架F-35，每架价格在1亿至2亿美元之间。正如我们将会看到的，确切的价格正在激烈地争论。这架飞机的缺席反映了研制过程中遇到的许多问题，但美国历史上最大的飞机采购已经走得太远，现在不能停止。包括英国、意大利、以色列、韩国和土耳其在内的盟友已经下了订单。

虽然没有F-35，但一架小得多的飞机确实在法恩伯勒首次亮相。微型无人机2.0是一个手掌大小的飞行玩具，有四个旋翼。一名销售人员正在展示它飞得有多好，被抛向空中后会自动扶正。他生意兴隆，在柜台上以每架85美元的价格出售盒装无人机。让微型无人机如此吸引人的是一台摄像机，它把它从玩具变成了工具。

“每个人都想要一个，因为它们是如此伟大的小玩意，”推销员告诉我。“因为你实际上可以做一些实际的事情，比如检查排水沟，所以你可以给你的妻子买一个。”

微型无人驾驶飞机似乎和外面撕裂天空的雷鸣般的飞机没有太多的共同之处。然而，它类似于展出的军用四旋翼飞机，比同样的搭载相机的设计稍大、更坚固、更昂贵。一个叫AV麻雀，比微型无人机大一点，其他的重几磅。正如我们将在第三章中看到的那样，他们的固定翼飞机看起来像四英尺翼展的无线电控制模型，已经成为士兵最信任的工具之一。从规模上看，像美洲狮、扫描鹰和暗影这样的无人机类似于轻型飞机。最大的“影子”翼展14英尺。

走在法恩伯勒户外，你会发现下一个更大的尺寸，捕食者和收割者。这些武装无人机和有人驾驶飞机一样大，在阿富汗、巴基斯坦和其他地方进行侦察和打击。这些在航空界还是小动作。F-35的重量是收割者的六倍，而且速度更快、更隐蔽、更敏捷，能够携带更大的武器。尽管从根本上说，两者都是做同样工作的战机，尽管有一次飞行员呆在地面上。

一架加大马力的微型无人机可以执行军事任务，从远处侦察敌人的位置。小型无人机可以携带致命的爆炸弹头；美国特种部队在阿富汗用它们对付被称为“高价值目标”的叛乱领导人问题不在于小型无人机是否有用，而在于它们与有人驾驶飞机相比有多大用处。

金钱使这个问题成为焦点。小型无人机，尤其是DJI幻影系列，已经通过以低廉的价格提供稳定的相机平台，改变了电视和电影制作。这些是更大版本的微型无人机，但直接购买一架比租用一架直升机一个小时的成本更低，而且它们可以在城市峡谷和其他没有直升机可以飞行的地方拍摄。

这本书的重点是一群数千或数万架小型无人机能以单架F-35的一小部分价格做些什么。这项技术的发展速度，以及进化对小无人机的青睐，使得有人驾驶的飞机处于下风。为智能手机开发的技术将大炮放在了小型无人机的一边。

十年前，我写了《武器等级：现代战争和我们的高科技世界之间的联系》，讲述了源于军事的日常生活中的高科技。从全球定位系统和互联网到数码相机和喷气式客机，各种各样的小玩意最初都是为战争而开发的。现代电子、集成电路和微处理器的构件来自国防部门。过去人们常说，无论是计算机还是飞机，五角大楼总是比商用产品领先20年。你可以通过观察军队拥有的东西来预见未来。

在过去的十年里，情况发生了变化。这不全是关于iPhones的，尽管苹果开创性的智能手机和破纪录的利润是实力的明显指标。智能手机销量从2006年的零增长到2013年的十亿多部。将这些设备称为手机是具有欺骗性的：每台设备都比以前的台式计算机具有更高的计算能力，并且内置了数字摄像机、全球定位系统导航、数字通信以及一堆其他传感器和小工具。

手机行业有货运列车的动力和动力。每年都有数十亿美元花费在小型电子设备的技术进步上。激进的时间表看到每两年出现新一代。新型软硬件不断涌现。一部仅仅比上一代产品带来增量改进的手机是令人失望的；每一部手机都被认为是惊人的。

在这种由市场推动的加速过程中，消费电子产品已经超过了它们的军用产品。如今，士兵们不太可能对发给他们的小玩意肃然起敬，而更可能对它们与他们家里的时尚轻便设备相比是多么笨重感到震惊。

国防承包商辩称，他们的产品无法与消费电子产品相比。他们必须遵守智能手机不受的严格标准——足够坚固，可以在战场上生存，能够承受高低温，不得产生电子噪音，并且与现有军事系统接口。向军方出售意味着大量的测试和认证，以及相关的延迟和成本。除此之外，军事官僚机构可能需要数年时间才能首先就其想要的规格达成一致，并受到政治领导层的监督，后者可能会根据权宜之计取消、推迟或转移任何项目，你有一个世代之间很长时间的食谱。

每一代电子产品大致相当于处理能力、内存、像素或其他相关指标的两倍。如果一个商业产品每两年经历一代，而军事周期每一代需要6年，那么在12年内，军事产品从竞争对手的4倍强大到竞争对手的四分之一强大。因此，军方随后的前景是看着尾灯消失，因为他们的对手越来越领先。军方最近开始采取明显的适应商业电子产品的路线，而不是发展自己的。

智能手机技术使电子产品比以往任何时候都更小、更便宜、更强大。为手机开发的技术非常适合小型无人机的需求。像手机一样，无人机需要微型摄像头、全球定位系统导航和数据处理能力。两者都需要最小的尺寸、重量和功率。无人机只是一个带翅膀的智能手机，翅膀是便宜的部分。

这个舞台是为用现成电子产品制造的小型军用无人机准备的。无人机将廉价而丰富，与目前每架花费数万美元的一代无人机形成鲜明对比。它们一直在变得越来越强大。这些不仅仅是愚蠢的遥控飞机，而是具有一定自主性的智能无人机。

一群武装无人机就像一个飞行雷区。单个元素可能没有那么危险，但它们数量众多，不可能被击败。它们可以一个接一个地被禁用，但是累积的风险使得避免它们比试图销毁它们更安全。陆地上的雷场可以避免；飞行雷区无处不在。当它打击地面目标时，蜂群可以凭借智能弹头的数量压倒任何现存的反对力量。

三个关键特征——其坚固性、低成本和快速进化——可能使无人机群成为终极武器。

关于成千上万架小型无人机可以主宰战场的观点，人们经常提出三个主要的反对意见，每一个都有专门的一章。

首先是动力问题: 电池寿命只有一两个小时，小型无人机如何在空中停留足够长的时间来实现任何战略目标？

第二，控制问题: 如果每架无人机通常需要一名操作员，那么驾驶数千架无人机又如何可行？

第三，火力问题: 这么小的东西怎么可能产生真正的影响？

这三个问题的答案都在于现有的技术。未来的无人机将能够从环境中获取能量并自我充电，成千上万的无人机将作为一个群体运行，只需要一个操作员——或者根本不需要。智能武器的新发展使得成群的小型无人机比现有的任何东西都更加致命。

军用飞机市场的进入壁垒很高。在开发F-35的时候，只有两个足够大的财团竞争建造它的合同。很少有人能在一个花费数十亿美元将产品推向市场的过程中保持下去，这个过程可能需要几十年。这不适用于小型无人机。不仅最小的公司可以加入，大学部门和业余爱好者也在制造自己的无人机，通常带有创新功能。先进的设计软件

和三维打印意味着，只需几千美元，一个新概念就可以在几天内从转瞬即逝的想法变成飞行硬件。F-35正在慢慢走向服役；与此同时，Micro无人机2.0已经被3.0版本所取代，该版本拥有流媒体高清视频等先进技术。

小型无人机代表着无与伦比的机遇。军事行动可以比以往任何时候都更加精确，附带损害更少，对友军的风险更小。小型无人机对我们在军事冲突中永远需要“地面部队”的想法提出了真正的挑战。他们可以廉价地完成这项工作。它们不仅比飞机便宜，而且比目前空袭中消耗的导弹、炸弹和燃料便宜。

小型无人机也对西方构成了严重威胁。出于我们将探索的原因，现有武器无法阻止它们，飞行雷区很可能在空中和地面占据主导地位。在敌对势力手中，无人机群可能造成巨大破坏——不仅在战场上，而且对我们的城市。

小型无人机的进化意味着世界上最强大的军队不再控制空中力量的未来，这个未来将不属于F-35。相反，最终的武器可能掌握在任何能够接触智能手机技术的人手中。这包括其他国家，以及像伊斯兰国和真主党这样的非国家行为者，甚至像匿名这样的活动分子和黑客组织。阻止smarm攻击的唯一方法可能是使用另一群——如果你有一群的话。

这是蜂群士兵的世界。我们是如何到达这里的，我们下一步要去哪里，以及可能的后果将在接下来的章节中阐述。

书的结构

在报道最近的发展之前，蜂群士兵描述了无人机的历史和背景，然后看看这项技术的发展方向。

第一章：“无人机史前史：与机器的战争”是无人机的简史，重点介绍了过去一些最重要的无人驾驶飞机，以及为什么尽管它们取得了成功，却没有获得任何吸引力。此外，历史上的一个小脚注是日本的“风切变武器”，它在二战中从太平洋对岸袭击了美国本土。

第二章：“捕食者的惊人崛起和突然衰落”概述了第一架真正成功的无人机的重大突破。捕食者是如何从中情局的机密琥珀计划中脱颖而出，从一个高效的飞行间谍演变成一个国际杀人机器的。我们也看看为什么随着五角大楼远离无人驾驶项目，它现在受到威胁。

第三章：“乌鸦——一场小革命”着眼于小型无人机，这些无人机被它们更大的同类所掩盖，但在数量上更为普遍。指针是如何从一架原始而不实用的无人机进化成乌鸦的，乌鸦是现代士兵的必备工具，占五角大楼无人机队的90%。

第四章：《胜利的价格大幅下跌》讨论了为什么军用飞机这么贵，为什么小型无人机不一样。为什么无人机越来越便宜，美国智库的一个团队如何以10%的成本提供了现有军用无人机90%的能力。如何利用3d打印和智能手机革命生产创新无人机。

第五章：“永远飞行的艺术”着眼于能量收集技术如何延长小型无人机有限的飞行时间。无人机如何依靠太阳能运行或降落在电力线上，并从电网中给自己充电——或者利用风能本身的能量，像飞翔的鸟儿一样无限期地飞行。

第六章：“更快的前进”着眼于技术发展的趋势，以及小型无人机的进化如何加速。对更好的智能手机的追求如何不断催生有益于无人机的新技术，以及“仿生”技术的兴起如何产生类似生物的无人机，使它们像鸟类一样有能力。

第七章：“团队、编队和集群——集群的力量”探索了集群行为科学的研究，着眼于群体如何一起运作，变得不仅仅是个体的总和。几个简单的规则如何将数百或数千只鸟、昆虫或机器人融合成一个能够执行任务的单一、协调的单元，这样一个控制器就可以处理数千架无人机。为什么群体比不协调的群体更聪明、更坚韧、更致命。

第八章：“微型终结者——小型武器的力量”着眼于小型无人机能造成多大的伤害。从杀伤武器到微型爆破装置和高温燃烧弹，新技术正在让小型无人机成为真正的毁灭引擎。

第九章：“与蜂群作战”探讨了对抗小型无人机蜂群威胁的方法，为什么现有武器无效，以及有哪些替代方案，包括导弹、定向能武器和电磁脉冲。真正的答案可能在于海军的“空中战斗群”竞赛，该竞赛试图用另一群无人机来对抗一群无人机。

第十章：“接下来会发生什么？”尽管武器化无人机群的潜力似乎显而易见，无论是作为一种威胁还是作为军事的一个新方向，但历史并不一定表明它会被采用。这最后一章探讨了可能的结果是什么，谁可能是赢家和输家，以及如何应对无人机带来的新机遇和威胁。

第一章——无人机史前史:对抗机器的战争

[回到顶部](#)

“我可以把我那该死的伞扔得更远！”

-贝尔少校，1916年早期无人机演示中的英国军官

无人机的历史并不是一个稳步发展的历史。这是一场战争的故事，在这场战争中，机器的每一次前进都被敌对势力阻止和击退。一次又一次，技术出现了，无人驾驶飞机短暂起飞，却再次被击落。就像复仇的罗马皇帝一样，胜利者甚至抹去了那些被他们摧毁的人的记忆。历史表明，无人驾驶飞机往往会被一个对任何敢于与有人驾驶飞机竞争的事物怀有强烈反感的军事机构无情地终结。

政治很简单。载人项目在高层有很多朋友；无人机没有。对无人机的反对也同样简单。有人驾驶的飞机被证明是可靠的，并且被很好地理解；无人机不是这些东西。不可避免的是，这项技术不可能在所有方面都与人类的表现相匹配。在激烈的军事采购业务中，这些弱点很容易被利用。

美国空军尤其被指控“白围巾偏见”，这意味着高级军官往往是前战斗飞行员。他们从飞行员的角度看问题。他们重视驾驶技能，最尊重战斗机王牌飞行员。飞行的梦想是从小就伴随着他们的梦想。他们对坐在电脑控制台前的“飞行员”和不如有人驾驶飞机的无人驾驶飞机没有什么热情。他们为什么会支持无人机？

事后看来，任何对技术的反对都可能看起来很愚蠢。这可能是骗人的。那些在二十世纪初看不到改用机动车辆的好处的骑兵军官们正在根据现有的证据进行理性的评估。马匹有几个世纪的成功服务，而它们的机动替代品总是笨拙和不可靠的，尤其是在崎岖的道路上。在1916年坦克到来之前，曾有过各种制造战车的失败尝试；列奥纳多·达·芬奇可能首先有了这个想法，但没有人能让它实现。直到一辆车可以穿越数英里泥泞的土地而不会抛锚或被卡住，“陆地铁甲”只是一个科幻幻想。

这不是对技术的简单反对，正如军方对第一架飞机的态度所见证的那样。1907年，就在他们第一次飞行四年后，莱特兄弟正在为陆军信号部队制造一架飞机，当时一些人仍然认为动力飞行的说法未经证实。到1911年，意大利飞行员在利比亚投掷炸弹，飞机被第一次世界大战中的每个大国使用。自那以后，飞机一直在世界各地服役。军方已经接受了先进的概念：直升机、垂直起飞倾转旋翼和火箭飞机，通常是在技术不成熟或非常危险的时候。

无人驾驶飞机的历史几乎和载人飞机一样长。但这不是一段连续的历史。每次重新

发现后，在第一次和第二次世界大战中，在朝鲜，在越南和更远的地方，无人机都被打回默默无闻的状态。即使他们被证明是成功的，当战争结束时，也没有人想要他们：“胜利的大扫帚把所有新项目扫进了被遗忘的梦想的灰烬中，”()正如指挥官德尔玛·法赫尼所说。法赫尼的鲜为人知的无人机目睹了二战中的战斗，正如我们将看到的那样，他比大多数人更有理由感到痛苦。2

无人驾驶飞机的史前史可以追溯到1849年，以及在威尼斯围城战中使用投掷炸弹的气球。()这些是由奥地利军队的天才上尉·乌恰提乌斯设计的。不可能把攻城炮带到离城市足够近的地方。历史上以摄影先驱闻名的乌查提乌斯，通过铜线遥控装配热气球释放小炸弹。大约20个气球被发射出去。奥地利新闻报道称，这些炸弹将把威尼斯变成废墟，但似乎只有一两枚击中了这座城市。其余的全部落入威尼斯丽都的水域或城外。气球炸弹项目没有后续行动——至少几十年来没有。3

在某些方面，无人作战的真正发明者是尼古拉·特斯拉，他于1898年在麦迪逊广场花园展示了一艘由无线电波控制的微型船。特斯拉认为，装备鱼雷的版本可以击沉战列舰，并带来一个新时代，在这个时代，战争是在没有人类战斗人员的机器之间进行的。正如他的许多项目一样，特斯拉从未在最初的演示之外开发出这个想法。

英国和美国在第一次世界大战中都开发了自己的无人机。英国的努力是由“教授”阿奇博尔德·洛领导的——他使用了这个头衔，尽管他实际上不是大学教授。Low对远程控制有着极大的热情，并被一个项目一个项目地分散注意力。他的项目被称为“AT”，是“空中目标”的缩写，这是一个误导敌人认为该设备只是防空练习的目标的称号。这个名字被证明是奇怪的预言。

AT是一架木制双翼飞机，有14英尺的翼展和爆炸弹头，用于打击地面目标和齐柏林飞艇。最初它飞行得很好，但在1917年一次不幸的事件后，当它被展示给一群将军时，该计划被终止了。Low喜欢成为众人瞩目的焦点，善于吸引公众的注意。然而，当谈到美国电话电报公司的演示时，洛对这项新兴技术的热情让他灾难性地高估了它对公众展示的准备程度。

在演示中发射的第一架AT在起飞时遭遇发动机故障，重重地摔在地上。一位贝尔少校宣读了本章开头引用的判决：“我可以把我那该死的雨伞扔得更远！”()二

第二台机器的情况更糟。操作员失去了控制，自动驾驶仪径直飞向观众，将他们驱散，然后偏离方向，在几英尺外坠毁。作为受控飞行的演示，这是没有说服力的。在场的任何人都不会想到在无人机上放置烈性炸药是明智的。

美国的努力由埃尔默·斯佩里领导。斯佩里最著名的是陀螺罗盘的发明者，这是一种非磁性的旋转罗盘，通过地球的旋转来确定方向。斯佩里还发明了一种基于类似原理的陀螺稳定器，这种稳定器可以在无人控制的情况下保持飞机稳定。到1918年，斯佩里的空中鱼雷能够沿着预设的路线飞行，并俯冲到目标上，发射一枚千磅炸弹

或发射一枚鱼雷。这种武器太晚了，不能在行动中使用，战后，美国海军认为无人机只对射击练习有用。美国陆军开发了一种类似的飞机，称为凯特琳虫，但表现出类似的缺乏热情。

即使被归入不光彩的目标角色，无人机也发展出了让人类难堪的诀窍。20世纪30年代，英国航空部决定测试战列舰容易受到空袭的说法，对英国地中海舰队驾驶无线电控制的费尔雷女王靶机。经过两个多小时的持续防空火力和多次穿越，无人驾驶飞机没有受损。()英国皇家海军承认其防空系统需要升级。因此，大量无人机被制造出来——但只是作为目标。没有人认为测试表明无人驾驶飞机可能是一种有效的武器。[四](#)

二战:美国第一架攻击无人机()[5](#)

德尔玛·法赫内中校曾在20世纪30年代与美国海军研究实验室合作，为海军建造无线电控制的防空目标。从事无线电工作是一个令人兴奋的时代，法赫内相信无人驾驶飞机将具有毁灭性的效果。到1941年，他已经将工作扩展到能够精确投放鱼雷和深水炸弹的飞机上。顺便说一句，法赫内是第一个正式称他的飞机为“无人机”的人，此后军方一直试图压制这种用法。

战争爆发时，法赫内奉命尽快研制生产一架攻击无人机。以前，过时的有人驾驶飞机被改造成无人机，但这不是法赫内的选择，因为所有可用的飞机都被用于训练或战斗。此外，法赫内还被告知，他的工作不应使用任何载人飞机生产所需的资源。载人和无人项目之间的冲突——以及两者的相对地位——很少如此明确。

法赫内从头开始制造了一种新型飞机，这种飞机体积小，速度快，很难成为目标。他不能使用金属，所以TDN一号是用胶合板制造的。1943年，赛博号航空母舰的成功飞行试验证明了这一原理，但设计需要改变。接下来是由州际飞机工程公司制造的TDR-1，这是胶合板和即兴创作的又一杰作。(TD代表“鱼雷无人机”，后缀表示制造者)。其中一些工作是由风琴制造商沃利策完成的，他们有着制作胶合板的长期经验。TDR-1的翼展为48英尺，速度几乎为每小时150英里，并配有笨拙的三轮车起落架，为机身下悬挂的2000磅炸弹或鱼雷提供空间

作为一架飞机，TDR-1并不引人注目，但它配备了一项显著的技术突破:电视遥控。RCA的维拉蒂米尔·斯福罗金博士是电视的发明者之一，他热衷于将其用于无人机。包括发射器在内，原型相机的重量超过了300磅，但这被缩小成一个97磅重的微型系统，装在一个手提箱大小的盒子里。这张照片是单色的，分辨率相当高(350行)，刷新率为40赫兹，但以现代标准来看，图像质量很差。无人机操作员必须在黑布下工作，才能在白天清晰地看到绿色的五英寸屏幕。

TDR-1还有一个新颖的雷达高度计，可以保持飞行在稳定的高度。这有助于使TDR-1稳定，易于遥控飞行。不过，这架飞机有自己的怪癖，包括起落架没有刹车。它由

一架飞行至八英里外的改进型复仇者鱼雷轰炸机控制。特殊的复仇者联盟有四名成员，飞行员、无线电操作员和炮手以及一名无人机操作员。后者有一个操纵杆、一个电视屏幕和一个旋转式电话拨号盘。拨号盘通过拨打特定的号码来控制高度和释放武器，电视给人一种真正在无人机里的感觉。

“坐在飞机的引擎盖下，用雷达和电视控制前方的飞机，在那里你可以看到你要去的地方——感觉你真的在驾驶那架飞机，”一名操作员说。

无人驾驶飞机被组成一个单位，特别任务空中小组一或STAG-1，但海军不愿意部署这种未经试验的武器。无人驾驶飞机最终被允许在瓜达尔卡纳尔岛附近攻击一艘被遗弃的日本货船“山冢丸”。四架无人机中有三架击中了目标，犹豫了一会儿后，这支部队被派去执行任务。

STAG-1无人机成功攻击了防空地点、炮位、船只，甚至一座灯塔。其中许多被用于针对具有挑战性目标的自杀式袭击；日本人不知道他们是无人驾驶的，称他们为“美国神风敢死队”其他的TDR-1装备了一些小型炸弹，用来攻击多个目标并返回。

“我清楚地记得当时的兴奋，当我引导的无人机接近停飞的船只时，我看着粒状的、有时充满静电的绿色电视屏幕。当一个不熟悉的小点图案开始出现时，我以为接收器出了故障。突然我意识到；他们是高射炮！但是我让无人机对准目标，集中精力让它弹跳的鼻子对准目标。我稍微调整了一下，以适应风向，避免遭受最严重的高射炮袭击。在最后一秒，我看到了船甲板的特写镜头。然后…就静止了。我正好撞在船中部。”

尽管很难击中，但一些无人机还是被防空火力击落，击中了防守严密的目标。“是的，我被击落过一两次，”一名操作员回忆道。

STAG-1的指挥官，罗伯特·琼斯中校，确信他们的成功将证明无人机概念的价值。他认为无人机将是袭击日本本土的重要武器。但是海军高层并不同意。无人机可能有利于精确打击，但需要的是重型轰炸机编队。无人机全部消耗后，STAG-1被重新分配。琼斯指挥官不高兴地看着30架复仇者联盟的控制飞机在雷纳德湾被抛到海里。

电视技术是一个限制，任何处理过单色图像的人都可以理解。轮廓清晰的目标，如水面上的船只，显示清晰，容易被击中。但是任何被丛林包围的目标在小屏幕上往往是看不见的，因为它们与混乱的背景融为一体。

(与此同时，用更大的无线电控制飞机作为针对主要目标的自杀炸弹手的实验取得了有限的成功。在最著名的灾难中，小约瑟夫·肯尼迪中尉在1944年一架“机器人”PB4Y-1轰炸机过早爆炸时丧生。这使得他的弟弟约翰·肯尼迪成为家族继承人。)

法赫内和琼斯继续努力让无人驾驶飞机得到认可，在朝鲜战争期间，无人驾驶攻击

机再次尝试。1952年，6架过时的F6F地狱猫被改装成无人操作。他们由附近的AD-2Q空中突击者控制，电视系统是从TDR-1上开发的。无人机从美国航母“拳击手”号上起飞，成功击中了一座发电厂、一条铁路隧道和一座桥梁。琼斯想继续作战，袭击鸭绿江大桥，这些大桥在美国重型轰炸机的多次袭击中幸存下来。

这可能是技术证明自己的时刻，就像二十年后摧毁越南清河大桥的任务，我们将在第八章中探讨。但是海军高层没有批准这个计划，琼斯也没有机会使用鸭绿江大桥。攻击无人机的想法再次被搁置，无人驾驶飞机再次沦为目标的角色。

法赫内后来成为了一名少将人，并领导了海军的导弹研究工作，但他从未与军方完全一致。在20世纪50年代，他发表了许多关于不明飞行物的公开声明，他认为这是来自外星的飞行器。至少他的无人机经验让他在与不信者打交道时有了很多实践。

DASH:可以()的小直升机6

QH-50 DASH是一架领先时代几十年的令人惊叹的小型直升机。像许多无人机一样，这是一个足够好的机器，但与政治相抵触。

20世纪50年代末，最新的声纳可以探测到20多英里外的潜艇，但最好的反潜武器只有几英里的射程。美国海军希望用无人驾驶反潜直升机或DASH来弥补这一差距。这是一架小型直升机，能够携带一件武器，并在船上一名控制员的指导下，将其投放到所需地点。

DASH是基于一架由陀螺达因公司制造的名为“旋转摩托”的单人直升机。它有两个旋转方向相反的转子叶片用于提升，一个螺旋桨用于向前运动。无人机版本只有小型汽车那么大，重量只有一吨多一点。到1963年，美国海军已经有80艘了。

尽管有政治上的反对。政客们知道，抨击昂贵和浪费的政府支出总是一个受欢迎的举动，包括伊利诺伊州众议员叶茨在内的一些人把注意力集中在似乎对DASH不利的报道上。

到1967年，国防部长麦克纳马拉对该计划表示怀疑，因为他声称DASH的损失率高于预期。这并不完全正确。培训有问题，缺乏规划，造成了一些损失，但真正的问题是组织上的。DASH被设计成可消耗的；当它投下Mk57核深水炸弹时，它将在由此产生的爆炸的致命半径内。强大的弹头，从5到20千吨，保证了潜艇会被摧毁，一艘潜艇损失一架无人机是一个很好的汇率。DASH应该携带一枚非核自导鱼雷，然后再回来的想法是一种任务蠕变；根据最初的设计，它应该只进行一次飞行。

坠机前的平均飞行时间最初设定为8小时，但到1968年，损失率已降至每60小时飞行一次。后来的DASH型号更加可靠。当维修人员发现一种被称为“紫色瘟疫”的情况时，情况有所改善，紫色瘟疫是一种影响廉价晶体管的腐蚀形式。他们通过替换质量更

好的部件来治愈它。

尽管DASH是用现成的组件制造的，而不是通常用于军事航空的特制组件，也不打算持续使用，但它经受住了反复使用。但它受到了威胁。越南战争费用昂贵，反潜武器也不是迫切的要求。

这促使海军为他们的无人机寻找新的用途。“蓝色”号航空母舰的执行官菲尔·金改装了一个DASH，增加了一个用于侦察和射击方向的电视摄像机。这些任务被称为SNOOPY任务，包括破折号飞出去寻找目标。操作员通过电视连接识别了他们，然后驱逐舰打开了它的五英寸炮组。无人机操作员可以看到炮弹落在哪里，并告诉枪手如何调整他们的目标。

随后，进一步的发展，包括NITE PANTHER和BLOW LOW版本配备了额外的燃料箱，用于更远的距离，夜视系统和机载雷达。

下一个合乎逻辑的步骤是将DASH从寻找目标转变为攻击目标。NITE GAZELLE、GUN SHIP和攻击无人机都是单独改装的飞机，拥有一系列武器，包括一门每分钟发射四千发子弹的六管微型枪、榴弹发射器、小炸弹分配器和炸弹，以及一个用于指挥智能炸弹的激光指示器。这个想法是，带枪的无人机将对付地面防御，为轰炸机精确打击目标扫清道路。

DASH项目的某些方面仍然是保密的。已知的改进包括一个监视版本，一个营救被击落飞行员的机器，甚至一个放置烟幕的机器。可能还有其他专门为特定任务修改的。这无疑是一架多功能的小飞机。一些报道甚至声称NITE GAZELLE在现场测试和评估中对北越车队进行了夜间袭击，但这仍未得到证实。

对DASH的政治攻击仍在继续，包括来自国会议员西德尼·耶茨的更多指控，称失败率太高。媒体重复了耶茨的说法，海军决定不为DASH辩护。后来公布的内部文件显示，海军指挥官仍然相信DASH，但更关心一个更大的项目。这反映在克里斯·齐尔普斯上尉的评论中，他指出，尽管DASH的可靠性稳步提高，但他仍然从上级那里得到负面反馈：“很明显，海军不再想要DASH，而是想转向LAMPS载人直升机。”

LAMPS是轻型机载多用途系统，这是一种新型的有人驾驶直升机，将从驱逐舰上操作，并接管DASH的角色。从图片中删除DASH意味着没有竞争，没有人能够争辩说LAMPS是不必要的。

DASH的支持者——主要是那些真正与小型无人机合作过的人——仍然认为DASH被背叛了()。LAMPS项目成为SH-60海鹰，现在已经是一个数十亿美元的成功故事。尽管，正如一名DASH操作员指出的，“当DASH在一次任务中被击落或在海上坠毁时，你从一艘驱逐舰上订购了另一架无人机。当海鹰今天坠毁时，你有六场葬礼要安排。”[七](#)

DASH游说团体还指出，美国海军舰艇仍然没有任何无人驾驶能力，这使得它们至少在一个方面不如20世纪60年代的同类舰艇。

当DASH在1970年被取消时，通常的问题是如何处理剩余的飞机。作为无人机，它们被赋予了通常的命运：它们被送到白沙导弹靶场作为目标。当人数开始下降时，幸存的DASH被用来牵引目标，这仍然是一个相当危险的职业。最后一架在20世纪90年代的某个时候被击落，显然没有人哀悼。

扑火的苍蝇 () 8

与DASH不同的是，它最初是一架战斗机，最终成为了一个目标，Teledyne Ryan Firebee天生就是一个目标，但显示出它有能力做得更多。在这个过程中，它吸引了那些更喜欢他们的飞机上有飞行员的人的敌意。

1960年，在敌方领土上空使用有人驾驶侦察机的风险非常明显。一架无人驾驶飞机可以执行同样的任务，拍摄目标区域的照片，然后返回，没有飞行员被击落和捕获的风险。由Teledyne Ryan公司制造的Firebee系列靶机形式的合适机身已经存在。

“火流星”是一种光滑的喷气式机器，长23英尺，最高时速超过700英里。它可以从树梢飞到五万英尺的任何高度。它可以从飞机上发射，并在200英里外进行遥控。火烈鸟会用降落伞返回地面，对于一架没有人在里面的小型飞机来说，这是一个容易的壮举，冒着骨折的风险。

空军的主流对此兴趣不大，但非常非传统的BIG SAFARI团队喜欢这个想法。建立BIG SAFARI是为了规避空军采购通常的复杂性，为紧急问题提供快速解决方案。他们资助开发了一个名为Fire Fly或Model 147的Firebee版本，它通过了他们的流线型通道，没有受到干扰，否则它可能会一直存在。

人们相当不愿意部署“火飞”，空军决定不在古巴上空使用它，宁愿冒险使用有人驾驶的U-2侦察机。1962年古巴导弹危机期间，鲁道夫·安德森驾驶一架U-2在古巴班斯上空飞行时，一枚俄罗斯制造的地对空导弹险些命中。弹片刺穿了安德森的压力服，他因减压而死，成为古巴危机中唯一的战斗伤员。

尽管有这样那样的损失，没有人想尝试“火飞”。在一次演示后，一名高级军官直截了当地告诉消防飞行倡导者弗雷德·约奇姆上校，“它永远不会取载体人侦察。”

越南战争应该是一个尝试新技术的理想机会。然而，还有一个老问题，那就是说服指挥官给“火飞”一个机会。进行了操作测试，以确定无人驾驶飞机是否能有效对抗防空。不幸的是，这意味着要与佛罗里达州的防空司令部对抗。要么无人驾驶飞机被击落并失败，要么它们会通过，而防御者会失败。总得有人输。

在第一次试验中，F-102德尔塔匕首和F-106德尔塔飞镖飞行员甚至从未见过他们试图击落的无人机，只能在雷达上短暂瞥见它们。随后进行了进一步的测试。其中一次，一把德尔塔匕首向无人机发射了一阵加农炮，但子弹没有命中。飞行员还没来得及排队再开一枪，他的喷气发动机就因为高空而熄火了。他下降到较低的高度重新点燃发动机，此时其他飞机误以为他的飞机是目标。幸运的是，他们没有开枪，但火蝇逃脱了。后来，两枚德尔塔飞镖在“火飞”上实现了雷达锁定，但时间不足以发射导弹。

荣誉岌岌可危。防空司令部为接下来的测试指派了他们最好的飞行员，他们最终击落了一些无人机。在一次测试中，一名美国海军飞行员险些被导弹击中，触发了“火飞”的回收降落伞，并将其螺旋送出天空。飞行员再次返回并发射了第二枚导弹来摧毁受损的无人机，显然完全是出于恶意。向跳伞的人类飞行员开枪是违反战争法的，但显然，机器不算。

军方对结果不满意。许多人觉得测试是为了让他们看起来不好。Teledyne Ryan的Robert Schwanhauser说，这些结果被列为绝密，他被命令烧掉其中的每一条信息。但是无人机表明了他们的观点。

“火飞”无人机在越南继续表现出色，反复拍摄被认为对有人驾驶飞机来说太危险的目标。他们被派去执行虚拟自杀任务，测试越南的雷达和导弹防御系统。

当损失增加时，BIG SAFARI的开发人员开始为他们的无人机配备电子魔术包。一种被称为高空威胁反应和对策(HAT-RAC)的设备通过将无人机投掷成一系列急转弯来应对被雷达照亮的情况。其他人进行预编程的规避机动，以躲避可能的地对空导弹攻击。

无人机在中国上空执行秘密间谍任务，中国是冷战时期美国的敌人。事实证明他们很难停下来。当中国人在1964年击落他们的第一架“火飞”无人机时，大约16架米格战机已经飞了30多次试图击中这架小型无人机。

火蝇甚至被认为是击落许多越南米格飞机的原因。在某些情况下，追击的喷气式飞机会耗尽汽油——高速追击可以在几分钟内耗尽飞机的油箱。在其他情况下，一架米格与无人机混淆，成为友军火力的牺牲品。

制作了一个火蝇的诱饵版本。这被称为147N，并安装了雷达反射器，使其看起来像一架更大的飞机。147Ns最初纯粹是为了分散防御者对真正的配备了摄像头的萤火虫的注意力，但它们幸存了下来，并设法如此频繁地返回，以至于后来它们安装了自己的摄像头。

除了执行高空任务，一些Fire Fly无人机还被改装用于低空摄影飞行。有时非常低：有一次，飞机显然是在高压电缆下飞行的。

“我们最终得到的东西简直令人难以置信，”一名飞行工程师回忆道。“我进入西贡的照片侦察中心，看到了一些回来的材料。在海防港看到那里船只的细节真是令人惊叹。”

这些无人机被用于高优先级、高风险的任务，例如寻找美国战俘被关押的地方。

在一次任务中，来自一只火蝇的照片从近距离捕捉到了目标的脸：“你可以看到这个人脸上的特征。如果是彩色的，你就能看到他眼睛的颜色。”

这是在U-2侦察机从五万英尺或更高的地方拍照的时候，分辨率只能识别两英尺宽的物体。低级的火飞图片是可能艺术的一个启示。

另一个版本的Firebee展示了无人驾驶飞机在缠斗中是多么强大。基本无人机只能处理约3G的加速度，但一架装备有“战术空战模拟机动性增强系统”或MASTACS的改进型Firebee可以一次拉动6G几秒钟。这使它与有人驾驶的战斗机相当。1971年，MASTACS的开发者向海军顶枪战斗训练学校——1982年电影中的“顶枪”——的负责人约翰·c·史密斯指挥官发起挑战，试图击落MASTACS。

史密斯和他的僚机都在驾驶F-4幻影战机，他们对遥控的火烈鸟进行了多次攻击。对他们来说太敏捷了。他们发射了两枚“麻雀”雷达制导导弹和两枚“响尾蛇”寻热器，但没有击中目标。与此同时，火烈鸟继续盘旋，并在幻影后面排成射击姿势。如果装备了武器，火烈鸟就能轻松射击了。

像往常一样，没有人喜欢智能机器人。MASTACS被认为“过于复杂”，不适合培训。海军对无人战斗机没有任何要求，另一个机器人新贵在隐喻的火焰中倒下了。

毫不奇怪，在《壮志凌云》电影续集中，汤姆·克鲁斯和他的朋友们将讨论人类飞行员在无人机时代是否过时的的问题。任何期待无人驾驶飞机获胜的人都可能会失望。

尽管演示成功，其他提议的火烈鸟版本也遭遇了类似的命运。一种被称为型号234的对地攻击燃烧弹被研制出来，用来摧毁地对空导弹基地，因为这些导弹对在越南的美国飞机来说是致命的。在1971年爱德华兹空军基地的一次测试中，234向一辆代表雷达控制车辆的货车发射了一枚导弹，并直接命中。随后又进行了导弹和制导炸弹的成功试验，但空军决定不需要杀手无人机。对导弹基地的攻击将由有人驾驶的飞机实施——这一任务如此危险，以至于位批评者将其比作“用大象向象炮开火”，因为它故意让飞机暴露在专门设计用来击落它的东西面前。

越南战争的结束使美国无人机的发展陷入停顿。尽管取得了多项成功，但无人驾驶航空事业并没有取得进展。侦察萤火虫退役了，其他项目都是死路一条。唯一留下的火烈鸟是飞行员磨练技能的目标——尽管有些还出口到以色列，在那里它们找到了其他用途，我们很快就会看到。

就连对火蝇的记忆似乎也失去了。2014年，美国海军在一份新闻稿中自豪地宣布，“杜鲁门号将成为海军航空史上第一艘为无人驾驶飞机举办测试行动的航空母舰。”似乎健忘症埋葬了1969-70年美国海军游侠号的“火飞”行动，更不用说1943年美国海军塞布尔号的“TDR-1s”飞行了。

阿基拉惨败 () 9

上述情况表明了空军和海军对无人机的厌恶。可以理解为什么他们可能会把它们视为对飞行员的威胁，并做出相应的反应。更令人惊讶的是，陆军，一个在载人航空中利益较少的部门，在接受无人机方面也很缓慢。多年来，有许多不成功的发展，但最值得注意的路边墓碑无疑是MQM 105阿基拉。

阿基拉是一种战术无人机，在20世纪70年代和80年代初为美国陆军开发。这一次，它是管理失败的受害者，而不是政治反对派。

以色列人已经证明了小型廉价无人机在战术上是有用的。1982年，装有电视摄像机的以色列无人机定位了叙利亚地对空导弹雷达，而其他无人机则携带雷达干扰器或充当诱饵。一个模仿战斗机的“火焰人”中队引诱地对空导弹部队打开他们的雷达并揭示他们的位置；纵火犯避开了向他们发射的43枚导弹中的每一枚。守军在重新装填弹药之前容易受到有人驾驶飞机的后续攻击。利用无人机战术的这种组合，以色列人毫无损失地摧毁了17个导弹基地。如果使用得当，无人机似乎真的很有用。

阿基拉在一定程度上是对以色列成功的回应。阿奎拉可以让士兵看到山的另一边，并且可以在不需要现场观察员的情况下指挥炮火。它还提供了一种新的高科技手段来对付聚集在东德和西德边境的苏联坦克师。多亏了新的“小炸弹子弹”，火炮对装甲车辆的打击要有效得多，这种子弹用数百枚穿甲弹而不是一枚弹头分散了整个地区。然而，一名观察员仍然必须确保炮弹落在正确的区域，如果瞄准点需要移动，就要求修正。

还有一种全新的激光制导炮弹，名为M712铜头，第一枪就能从十英里外击倒一辆坦克——但现场必须有一名带激光指示器的观察者来照亮坦克。

陆军的回答是“阿基拉”，这是一架无人机，带有稳定的电视摄像机和激光指示器来标记目标。它看起来像一架微型隐形轰炸机，翼展12英尺，木质螺旋桨由改装的卡丁车发动机驱动。Aquila由液压弹射器从一辆特殊卡车的后部发射，该卡车还配备了一张网，用于在无人机返回时捕捉无人机。

这个项目管理得不好。随着每一次现代化的发展，Aquila从一架廉价简单的无人机变成了一架“镀金”无人机。以色列无人机每架造价约4万美元；阿基拉起价为10万美元，并从那里迅速上涨。

规范被反复修改，要求越来越高，这个项目成为了特征蠕变危险的壮观演示。不是遵循最初的计划，部署一个简单的系统，并在以后可能的情况下增加升级，一切都必须从一开始就包括在内。

阿基拉需要隐身，这需要一个精心塑造的身体，限制内部空间。廉价的日光电视摄像机辅以昂贵的热成像摄像机。借助复杂的可控天线和能在短时间内发射数据的最先进的无线电设备，通信变得不容易被干扰。它获得了一个复杂的导航系统：在全球定位系统出现之前，这是一个基于陀螺仪的惯性测量系统，通常适用于载人飞机。这一切都推高了成本。

成本吸引了更多的成本。为了确保昂贵的无人机不会丢失，阿基拉有一个使用红外传感器和信标的自动回收系统，并辅以紧急降落伞。

除此之外，整件事都被加固以承受核爆炸的影响。阿基拉真的是为第三次世界大战设计的。到1984年，每架飞机的标价已经超过了100万美元。

尽管如此，军方仍不断要求更多，承包商也很乐意继续供货并增加费用。到1988年，该项目已经吸收了大约7亿美元，只建造了几十个阿基拉，技术问题仍有待解决。

该项目可能已经保存。成本超支和初期困难是军事采购的常规特征。有了良好的管理和更现实的规范方法，阿基拉可能会得救。但是政治形势对它不利。无人驾驶飞机从未受到陆军航空兵的欢迎，它与先进直升机改进计划(AHIP)直接竞争。

OH-58基奥瓦侦察直升机缺乏陆军所需的几个特征——夜视、稳定的摄像机和激光指示器，这些都是阿基拉所拥有的。在AHIP的领导下，OH-58将成为OH-58D，增加了一个安装在旋翼桨叶上方桅杆上的球形炮塔。该炮塔搭载了带有激光指示器的稳定光学系统，其位置意味着当直升机在掩护物后低空盘旋时，基奥瓦号可以看到目标并用激光标记它们。实际上，新AHIP将复制阿基拉的许多能力。

国会需要削减预算。升级到OH-58D并不便宜——每台差不多600万美元，比基本的Kiowa要贵得多。但是它很受陆军航空司令部的欢迎。那架没有支持者的小型无人驾驶飞机正好在射击线上。阿基拉被适时地终止了，陆军留下了无人机的糟糕经历。

没有人能理解为什么简单地把电视摄像机放在遥控飞机上如此困难和复杂。阿基拉的失败是多年来反对无人机进一步发展的有力论据：“我们以前尝试过，但没有成功。”

间谍心脏无人机

少数无人机最终投入使用。有趣的是，这也是受到以色列经验的启发。一些美国无人机直接从以色列获得。这些飞机并不直接与高性能载人飞机竞争，而是短程、螺

旋桨驱动的飞行器，具有利基角色。具体来说，它们被海军用于发现远程目标——QH-50破折号在三十年前就完成了这一任务。

“猎人”和“先锋”都是螺旋桨驱动的无人机，翼展不到20英尺，类似于轻型飞机。“先锋”是对现有的以色列无人驾驶飞机“马兹拉特侦察机”稍作修改的版本。海军在1991年海湾战争中使用了其中的40枚，在此过程中，由于事故和敌人火力的混合，有12枚丢失。在那场冲突中，最令人难忘的无人机事件是一些伊拉克人试图向“先锋”号投降；史密森尼博物馆要求展示与此事件有关的无人机。几年后，“先锋”号开始支持海上行动。

陆军的猎人无人机不太成功。在阿基拉计划的一些明显的回声，这被证明是没有足够的范围和无效的数据连接。它的尺寸比最初的规格增加了很多，以至于亨特不能按计划装入运输机。计划中的50架飞机的预计成本增长到20亿美元；每架小型螺旋桨驱动的轻型飞机都要花费惊人的4000万美元。

猎人在伊拉克和前南斯拉夫飞行。它被用于前南斯拉夫的情报收集，其摄像机的视频反馈回北约总部，为更杰出的继任者铺平了道路，但猎人似乎从未克服最初的缺点。它被描述为“特殊管理”的另一个受害者——基于不切实际的规范，它最终试图取得太多成就。

如果五角大楼讨厌无人机，那么中情局似乎也喜欢无人机。无人机有一种独特的能力来执行可否认的行动，这对中央情报局很重要。该机构从惨痛的教训中了解到，当一架间谍飞机的任务出错时，后果会有多严重。

古巴导弹危机前两年，中情局的一架U-2高空侦察机在俄罗斯上空被击落。U-2的设计目标是远远高于一个国家的防御高度，但中央情报局知道，俄罗斯人找到到达那里的方法只是时间问题。1960年的大满贯飞行风险很高，但具有重要的战略意义。

艾森豪威尔总统被告知飞机已经被完全摧毁，飞行员已经死亡。一个封面故事发布了，美国宇航局的一架高空气象研究飞机意外误入俄罗斯上空。俄罗斯总理赫鲁晓夫指责美国人撒谎，宣布他们不仅有飞机残骸，而且“我们还有飞行员，他还活着。”

U-2飞行员弗朗西斯·加里·鲍尔斯在莫斯科接受媒体检阅，显然承认自己是间谍。两天后，在巴黎举行的一次峰会上，当赫鲁晓夫拒绝开启会谈，直到美国为U-2飞越事件道歉并惩罚相关责任人时，艾森豪威尔总统受到了羞辱。艾森豪威尔对此的回应是披露了U-2计划的存在。

无人机不会带来这样的风险，而且很容易被否认和牺牲。U-2事件发生四年后，中国在他们的领空击落了许多“火飞”无人机。遗体被展出，和之前的俄罗斯人一样，中国人谴责美国帝国主义的侵略。但是没有媒体感兴趣。中国人很可能声称这些奇特的残骸来自美国无人驾驶侦察机，但证据在哪里？加里·鲍尔斯事件没有引起国际

社会的强烈抗议，也没有让政客或中央情报局感到尴尬。同样，飞行员也没有被审问和泄露信息的风险。（主要的长期后果是中国人对无人机进行了逆向工程。他们最终得到了一个名为乌镇的克隆体，启动了他们自己的无人驾驶飞机项目。

包括中央情报局在内的美国情报界继续使用无人机执行秘密任务。这些都是低调的事情，即使有细节，也是几十年后才会公布。在伊朗、巴基斯坦和其他地方不断出现被击落的无人机，这些事件很少得到美国的官方承认，证明了它们的持续有用性。

由于“捕食者”的成功，无人机最终在美国军队中找到了一席之地，但这只是在中情局的大力协助下。我们将在下一章探讨这个非凡的成功故事。

但是在我们离开历史书之前，我们应该看看二战中另一个鲜为人知的项目，以及美国成为第一个被无人洲际武器瞄准的国家的时刻。

伏-戈“风切变武器”() [10](#)

1944年12月，美国西海岸的军事观察员报告了一波不明飞行物。经调查，发现这些是直径30英尺的纸气球。尽管他们随风飘荡，但他们走得很快。气球充满了氢气，有一个复杂的机械吊篮。起初，它们被认为是气象气球，但在报告不明原因的爆炸后，一个被完好无损地捕获，并被发现携带燃烧弹。这就是日本的“风切变武器”

没人知道气球是从哪里来的。据推测，它们是从离海岸几英里的潜艇上发射的，或者可能是由在美国境内活动的间谍，甚至是拘留营内的特工发射的。几个月后，情报显示他们从日本远道而来。日本人正在利用一种新发现的自然现象——急流，这是一种狭窄的高空快速气流。

由于其巧妙的高度控制方法，复飞有权利被称为无人机，而不是简单的无制导导弹。一个发条装置控制着吊篮边缘一组小沙袋的释放。每当气球掉得太低，它就掉下另一个沙袋。如果它升得太高，可能会导致它爆炸，一个阀门会排出少量的氢气。这个控制系统意味着它保持高度，并停留在急流中，进行为期三天的穿越太平洋的旅程。

一旦用完沙袋，功夫队就开始一个接一个地投放燃烧弹。目的是在太平洋西北部树木茂密的地区引发森林火灾。这会造成恐慌，转移战争资源。目标足够大，即使这种粗略的瞄准方法也有成功的机会。

简单的气球是由桑纸和植物胶制成的。9000名日本女学生聚集在一起，许多人在通常用于相扑比赛的体育馆工作。一些工人太饿了，以至于他们吃了正在使用的胶水。

美国分析人士估计，在P-51野马售价为5万美元的时候，福高每辆售价为200美元。小气球很难拦截。它们身上没有足够的金属出现在雷达上，而且它们在高空的速度

惊人，很难被发现。只有大约20人被击落。

至少有四百名从墨西哥分散到加拿大的围棋手到达了美国。如果不是高度控制系统的防冻液有问题，这个数字会更大。这是太弱了，高度控制容易冻结，离开富-去慢慢下降到太平洋水域。日本人没有意识到这一点，也没有纠正错误。

伏戈斯号没有什么具体效果，主要是因为它们是在冬天发射的，那时天气太潮湿，不会发生严重的森林火灾。在干燥的夏季，它们可能会造成更大的损失。尽管有一些伤亡。一个孩子在俄勒冈野餐时，在树林里发现了一个奇怪的物体并捡起来；它爆炸了，还有一个纪念气球炸弹唯一已知受害者的五个孩子和一个女人的纪念碑。他们距离军事目标最近的一次是，一架“复飞”战斗机损坏了一条输电线，并短暂切断了为曼哈顿计划生产钚的汉福德工厂的电力供应。

然而，美国不得不投入大量资源来对抗气球威胁。巡逻战斗机中队被指派拦截富戈，正如已经指出的那样，收效甚微。一支特殊的伞兵部队，第555“三镍”伞兵步兵营被训练成“空降消防员”。这支部队被派往西部，驻扎在俄勒冈州和加利福尼亚州，处理森林火灾。第555次空降灭火——总共超过1200次个人跳伞——虽然这些不一定是由“伏哥”造成的。无论如何，把整个营，加上他们的运输机和其他设备，带出战区，可能已经足以证明整个傅戈努力本身。

“伏-戈”展示了许多意想不到的对手是如何突破常规防御的。英国有一个类似的项目，向外行动，也取得了一定的成功，但由于盟军飞机的风险而被取消。战后，美国将气球视为大规模杀伤性武器的运载工具。E77气球炸弹类似于Fu-Go，但以羽毛蘸细菌或真菌培养物的形式提供了一种抗作物剂。像伏-戈一样，这是一种不精确的打击大目标的方式，但1954年的试验表明气球炸弹会有效。然而，更正统的方法占了上风——从重型轰炸机上投下化学或细菌炸弹。

美国还测试了拍摄敌方领土的远程气球，但气球再次被有人驾驶的飞机挤掉。和往常一样，美国军方对高性能载人飞机比对小型无人飞机更感兴趣。围棋的教训被遗忘了。在未来的岁月里，它可能会被重新学习。

参考文献:

1)“我可以扔我的伞-”

泰勒(1977年)。简的遥控飞行器袖珍手册:今天的机器人飞机。伦敦:麦克唐纳和简的

2)“历史的大扫帚...”

[新泽西州斯帕克\(2011年6月\)。尼克·斯巴克的《突围命令》。](#)

3)“无人机的史前史可以追溯到1849年,以及在围攻威尼斯时使用投掷炸弹的气球。”

4)“[遥控飞行器:选集.](#)”

5)“经过两个多小时的持续高射炮射击和多次传球,无人机没有受损。”

纽科姆, 洛杉矶(2004年)。无人航空:无人飞行器简史。AAIA, 巴尔的摩。

6)《二战:美国第一架攻击无人机》

[新泽西州斯帕克\(2011年6月\)。尼克·斯巴克的命令中断](#)

7)《会飞的小直升机》

[旋翼机直升机历史基金会](#)

8) 海军失败了。(未注明日期)

9) 《救火的苍蝇》

瓦格纳(1982)。闪电虫和其他侦察无人机。加利福尼亚州法布鲁克:航空出版公司。

10) 《阿基拉惨败》

蒙森, K. (1982年)。世界无人驾驶飞机。伦敦:简氏信息集团。

康奈尔, J. (1986年)。新的马奇诺防线。伦敦梁佑彬图书公司。

11) 复飞风切变武器

中华人民共和国米凯希(1973年)。日本二战气球炸弹袭击北美。华盛顿:史密森学会学术出版社。

韦伯(1992年)。无声围城三:二战中日本对北美的进攻。中心点, 或:韦伯研究小组。

第二章——捕食者的惊人崛起和突然衰落

[回到顶部](#)

“萨沙和玛丽娅是超级粉丝，但是男孩子嘛，不要有什么想法。给你两个词：捕食者无人机。”

-2010年乔纳斯兄弟白宫晚宴

到2010年，无人机袭击已经成为国家意识的一部分，以至于总统可以开玩笑说，用无人机来阻止不受欢迎的追求者接近他的女儿，这相当没有品味。很容易忘记导致这种随意接受的漫长而艰难的道路。

20世纪80年代，无人机处于低迷状态。阿诺德·施瓦辛格可能作为好莱坞的终结者四处横行，但在现实世界中，战斗机器人是不存在的。军方根本不需要无人驾驶飞机。

电子革命如火如荼。数字技术使飞行电子设备变得灵活可靠，新的全球定位系统正在顺利进行，卫星通信意味着你可以与地球表面的任何地方保持联系。对于一架远比其前身更有能力的无人机来说，这种无人机将改变一切。它被称为捕食者。

作为一架飞机，“掠夺者”无疑是不起眼的。与一个世纪前的许多一战双翼飞机相比，它的空中性能很差。它经常被嘲笑为“塑料飞机”或巨型模型飞机，即使是那些驾驶它的人也是如此。飞行员的视野如此狭窄，以至于飞行就像通过吸管看世界。

很少有人会称捕食者为设计经典；这更像是不同部件拼接在一起的技术故障，发动机来自后面的雪地车，一个超大的卫星通信吊舱卡在顶部，导弹如此之重，几乎无法携带它们悬挂在下面。据估计，驾驶这架“无人”飞机需要17个人。然而通用原子公司的MQ-1掠夺者比以前的任何无人机都要成功得多。

起源

《掠夺者》的开局并不容易，可能很容易成为终止许多早期项目的那类问题的受害者。美国国防部高级研究计划局(DARPA)确定了对长续航无人机的需求，并在20世纪70年代进行了代号为Teal Rain的分类研究。这导致了一架名为Amber()的飞机的建造，它有一个木制螺旋桨和一个独特的倒V形尾翼。二

琥珀是由亚伯拉罕·卡里姆设计的，他是滑翔机和其他飞行飞行器的专家。建立了

10个例子，并且在测试中表现良好，但是这个项目还是被预算削减所抵消。尽管卡里姆以才华著称，但他过于敏感和直言不讳，无法成为他的无人机的有效倡导者。生产琥珀的领先系统公司很快就倒闭了。这可能是故事的结尾。

该公司的资产被通用原子公司收购，该公司最初是为了利用核能而成立的，但现在正在多元化发展其他技术。领先系统公司最重要的资产是一个廉价的出口版本的琥珀称为GNAT-750。土耳其政府曾表示对更大版本的琥珀GNAT-750感兴趣，它的翼展为36英尺，空重为500磅。作为一种出口模式，它的电子产品不太贵。发动机是德国Rotax 914，用于滑翔机和轻型飞机(较小的版本用于雪地车)。

GNAT-750以每小时不到100英里的速度飞行，但像滑翔机一样，它只需要最小的动力就能在空中停留。大约48小时的飞行续航时间意味着GNAT-750可以比任何有人驾驶的飞机在给定区域保持更长时间的持续监视。

然而，交易失败了：土耳其政府无力支付其订购的无人机。这个项目似乎又一次走进了死胡同。

1993年波斯尼亚冲突爆发时，美国手头没有合适的无人侦察机。卫星看不到云层下面。现有的侦察机被设计成在敌对的天空中运行，在像U-2这样的极端高度或像马赫-3 SR-71黑鸟这样的极端速度下飞行。要求是无人机能够低速低空飞行，携带现成的摄像系统，并通过中继飞机发回实时视频。中央情报局局长詹姆斯·伍尔西曾与卡里姆合作过一个与MX导弹有关的项目，他的专业知识和创造力给人留下了深刻的印象。GNAT-750看起来是理想的解决方案。它提供了一个稳定的平台，续航时间长，而且因为它是“出口技术”，所以没有任何敏感的东西会导致问题，如果一个被击落，遗体被分析。

GNAT-750所需要的只是与中继飞机的通信链路。中继飞机是无人机和地面控制器之间的纽带；通过保持无人机和地面站的视线，中继飞机可以保持两者的连接。快速发展项目由中情局处理，中情局是一个在处理间谍无人机方面有一定背景的组织。

即使在那时，一场事故几乎结束了飞行测试。中央情报局监督的修改之一是一个安全功能，如果速度降得太低，它会关闭一切，因为它假设飞机必须在地面上。从后面吹来的一阵风导致飞行速度指示器下降到重要数字以下。GNAT-750适时关闭，像石头一样落下。

这种事故可能会导致载人项目和飞行员一起死亡，但无人机的损失并不是那么严重。这个项目几个月就完成了。中央情报局从阿尔巴尼亚操作了GNAT-750，飞行任务到波斯尼亚相当成功。视频是通过有人驾驶的中继飞机发回的——就像早期的TDR-1、DASH和Firebee一样，无线电范围是一个限制——任务只持续到中继飞机就位为止。

GNAT-750飞行缓慢，听起来像割草机，但它发回了清晰的图像，足够清晰，可以识

别军用车辆或区分地对空导弹地点和诱饵。地面上的分辨率为18英寸——与许多卫星一样好，优点是它可以在需要的时间和地点发送，而卫星只在轨道允许的情况下每90分钟出现一次。存在一些问题——通信中继不可靠，而且一直在下降——但无人机以适度的费用回报了良好的情报。

这架无人机被证明是隐形的，这不是因为设计，而是因为它主要由复合材料制成，没有太多金属来提供雷达回波。在与拥有有效防空系统和战斗机的敌人的主要战争中，NITT-750可能毫无用处。它缺少军队规划者为阿基拉设想的所有花哨的装饰。但在这种情况下，不起眼的GNAT-750是理想之选。最初计划交付给土耳其的四架飞机最终都被中央情报局购买。

五角大楼不满足于让中情局垄断无人机。显然，在这种无人机可能有用的地方，可能会有进一步的有限冲突，他们资助了自己开发的GNAT-750。这是一个先进概念技术演示或ACTD的版本被称为750-45或750-TE捕食者。掠夺者这个名字是在通用原子公司员工之间的竞争后选择的。

结果是一架更大的飞机；空重几乎增加了一倍，达到一千磅。它可以在距离基地500英里的位置停留24小时。最重要的是，它有额外的通信设备，包括一个庞大而笨重但有效的Ku波段卫星通信装置，该装置带有一个万向天线，该天线在其覆盖下旋转，以保持指向卫星。突然的机动往往会破坏联系，可能会失去一分钟的联系；无人驾驶飞机再次找到卫星时，自动驾驶仪启动了。尽管它并不完全可靠，但有了这种能力，新无人机可以在没有中继飞机的情况下从世界任何地方发回视频。它可以飞到任何地方，只要燃料还在，它就会一直看下去。它于1995年作为RQ-1捕食者进入服役。

“捕食者”ACTD项目是美国空军大狩猎队的胜利。没有一个致力于打破繁文缛节、让事情快速发生的组织，单靠技术是无法成功的。

“捕食者”在波斯尼亚冲突中立即采取了行动；一架被塞族防空部队击落。几个月前，美国空军飞行员斯科特·奥格雷迪在同一地区被同一部队击落，这一事件带来了大量的媒体报道和巨大的救援行动。奥格雷迪最终被一支救援部队接走，这支救援部队由两架救援直升机、两架武装直升机护航、两架鹞式攻击机、四架电子干扰机、几架提供高空掩护的战斗机和一些击破坦克的A-10战斗机组成。当“捕食者”号沉没时，不需要这样的反应。当一架无人机丢失时，就不会有《敌后》——好莱坞版的奥格雷迪九死一生。有时候驾驶舱里最好没有男人。

在随后的科索沃战役中，“掠夺者”监视着一列列难民，评估战斗损失。在一万英尺的地方，它是听不见的，地面上的人很少注意到它，除非他们真的伸长了头去看它。熟练的操作人员学会了利用太阳的覆盖来保护他们的飞机免受他们正在观察的人的伤害。

在前南斯拉夫，“捕食者”由于缺乏训练和不同单位之间通讯不畅，在指挥空袭方面用处不大。一名军官抱怨说，让一架攻击机进入与无人机相同的区域大约需要45分钟，而无人机操作员有时对目标的描述很糟糕——“有橙色瓷砖的房子”在一个有20个这样的房子的村庄里是不够的。这种体验促使捕食者增加了一个激光照明器，这样操作员就可以通过在瞄准点上照射激光来突出瞄准点，用空军的俚语来说就是“闪闪发光”。激光比文字更快更容易地为飞行员指明目标。

在后来的一个补充中，最初被称为战时综合激光指示器(WILD) ()，“捕食者”安装了激光来标记目标，这样激光制导武器就可以瞄准它们——“发射激光”，而不仅仅是“闪闪发光”。释放武器的飞行员甚至不需要看到目标，只要捕食者操作员能让它一直亮着。²

一些人认为，在前南斯拉夫发生冲突后，空军将对“捕食者”失去兴趣。就像二战结束和越南看到无人机因为不再需要而被搁置一样，“捕食者”看起来可能会回到仓库或被分配到目标任务。在经历了两次死胡同之后，第三次可能是最后一次。然后是911恐怖袭击，一切都变了。

2001年入侵阿富汗和2003年伊拉克战争都变成了反叛乱行动。没有防空可以担心，但迫切需要能够长时间监视大片乡村的侦察机。

即便如此，也不能保证“捕食者”会活下来。许多评论家不喜欢它。2001年的一份报告指出，无人驾驶飞机是不可靠的，雨水尤其影响了捕食者定位目标或实际上看到地面上任何东西的能力。

损失很大。到2001年，60架“掠夺者”中有20架因飞行员失误、恶劣天气、事故和敌人火力而失事。无人驾驶飞机中的“态势感知”是出了名的差，因为视野有限，缺乏其他感官的反馈。您听不到发动机或感觉不到振动。最极端的情况是，一名飞行员在着陆时坠毁，因为她没有意识到她的“捕食者”被翻了，正倒着飞。小事故很常见。事故率在每2500小时飞行一次时达到峰值，远高于任何有人驾驶的飞机——但对于无人机来说并不罕见。

损失率被认为是可以接受的。一架不到300万美元，相比之下，一些有人驾驶的喷气式飞机超过2亿美元，而且没有飞行员伤亡需要担心，捕食者是可以牺牲的。2010年，培训和额外安全功能的改进使事故率降至每20,000小时1起。到2013年，大型无人机的事故率比许多载人飞机都要低。

尽管对损失率有所怀疑，但“捕食者”还是赢了。它的王牌是它独特的能力，可以在无限循环巡逻时传回实时图像。

“这架飞机因其视频而闻名，”一名空军官员在2001年的新闻发布会上说。“它已经成为指挥官在天空中的实时眼睛，为指挥所提供实时流媒体视频。”

此外，视频还可以传送给任何其他感兴趣的观众——必要时包括总司令。这些图像看起来非常令人上瘾，导致它被称为“掠夺者裂缝”，因为从指挥官到白宫似乎永远不会满足于此。“捕食者”为这一行动提供了一个前排座位，这是指挥官以前无法获得的。他们第一次能够突破下属的层级，亲眼看到战场上发生的事情，当它发生的时候。

另一方面，情报分析师习惯于黑白静态照片形式的图像，而不是彩色视频。最初，他们的方法是从视频中提取剧照并打印出来。这可能看起来很奇怪，但对于那些技能在于解释照片而不是视频的人来说，这是一种完全理性的方法。后来，视频馈送的优势变得明显，很快分析师们就充分利用了这一优势。

无人机终于找到了自己的位置。它茁壮成长。

捕食者行动

美国空军围绕“捕食者”开发了一套完整的无人驾驶飞机作战方法。飞机可以被分解，储存在一个被称为“棺材”的集装箱里，然后用运输机环游世界。在剧院里，它需要一条五千英尺的跑道和一个专门的地面支持团队。一旦它被卷到跑道上，无人机就由当地的机组人员驾驶，他们将它带到空中并上路。然后，它通过卫星连接——它有自己的特殊的20英尺碟形天线和专用卫星系统——移交给一个远程团队。从那时起，“捕食者”号从离拉斯维加斯40分钟路程的克里奇空军基地起飞。

像“捕食者”这样的无人驾驶飞机有主要的支持要求，但每次飞行都提供24小时的连续监视，包括摄像头、红外和雷达传感器。通过中继使用无人机，空军可以在一个地区保持永久存在，被称为“战斗空中巡逻”、“CAP”或“轨道”每个CAP至少需要三架无人机。2010年有50个捕食者/收割者CAPs到2013年，这个数字达到了65个，计划到2016年用收割者取代所有的捕食者。

无人机操作员，有时被称为飞行员，在地面控制站工作，有两个20英寸的监控屏幕。上面的屏幕显示了“捕食者”飞行区域的地图，下面的屏幕显示了从其中一个机头摄像头以及仪器显示器上看到的景象。飞行员借助传统的操纵杆、油门和方向舵踏板飞行，就像其他飞机一样。显示屏上还有一个类似在线聊天室的部分，用于与战区的部队、情报官员和飞行员交流。

最初，飞行员是从曾经驾驶过其他飞机的现有战斗飞行员中招募的，但后来空军开始专门训练飞行员。捕食者行动需要大量的驾驶。飞机可能会持续飞行24小时，但这需要几个班次的飞行员，替换生病或不在的飞行员。你需要剧院里的飞行员和克里奇的飞行员一起降落和起飞。一项研究表明，每个捕食者CAP需要10名飞行员来保持全天候运行。如今，不到一半的无人机飞行员首先在其他飞机上获得资格。纯无人机飞行员可能有一些优势；报告显示，飞行员在有效驾驶“捕食者”之前，必须先忘掉一些技能，因为他们可能已经变得依赖于感觉飞机的倾斜或发动机音符的变化

来判断它是如何飞行的。

但是对于运营商来说，体验就像在那里一样。

“身体上，我们可能在拉斯维加斯，但精神上，我们正飞越伊拉克。感觉很真实，”一名无人机飞行员说。

与其他飞机最大的区别之一是由于卫星通信造成的几秒钟的时间延迟。不管你拉棍子的速度有多快，捕食者直到两秒钟后才能做出反应。这种几秒钟的延迟意味着飞行员无法对威胁做出快速反应，再加上缺乏态势感知，使得他们容易受到来自空中或地面的攻击。

捕食者有一个机头摄像头，给飞行员提供了相当于驾驶舱的视野——尽管与大多数飞机相比，视野非常有限。捕食者真正的商业端是一个直径18英寸的“传感器球”。这就是AN/AAS-52多光谱瞄准系统()，它有一个稳定的万向支架，带有两个旋转轴，无论无人机的运动如何，都可以保持摄像机指向完全相同的方向。它有白天使用的普通可见光相机和图像增强的夜间相机，以及红外成像，还有将不同相机的输入组合成一幅图像的软件。它具有不同级别的变焦，从45度的广角视图到超窄的0.2度视图。这等于x200变焦范围。在标准的35毫米相机上，最末端的等效镜头是50毫米广角镜头和12000毫米长焦镜头。即使从一万英尺的高度，捕食者的镜头也能近距离观察下方不知情的物体。[3](#)

传感器球还包含一个激光照明器，像一个隐形探照灯，为友军指示目标，一个激光指示器为地狱火导弹，和一个激光测距仪，以确定目标的确切位置。

即使在漆黑的环境中——或者下雨，这在以前是个问题——捕食者也能非常准确地识别地面上的物体。这要归功于Sandia国家实验室()在1998年开发的一个名为Lynx的雷达系统，它克服了摄像头的局限性。现有的雷达对大约400磅重的捕食者来说太大了。在一次小型化的重大壮举中，必要的电子设备被塞进一个仅重120磅的包装中，该包装产生了一个类似黑白视频的图像，具有令人印象深刻的细节水平。[4](#)

从15英里之外，Lynx制作的图像中可以分辨出4英寸宽的特征。它还有其他一些巧妙的小技巧。称为相干变化检测的过程显示当前场景和先前记录的场景之间的差异。这足够精确，可以拾取埋在路面下的炸弹留下的干扰。有趣的是，据报道，雷达已经从一些后来的掠夺者中被省略了，因为它对于他们的任务来说是不必要的。天气好的时候，雷达可能会超出需求。

捕食者还可以携带各种电子战包，使其能够检测、定位和拦截无线电信号。其中最简单的是从无线电小屋购买的无线电接收器；最先进的是高度机密，耗资数百万。例如，这些设备可以接收对讲机或手机信号，并精确定位用户。据报道，掠食者可以通过SIM卡追踪正在使用的单个手机。情报分析也许能够识别说话者的语言甚至身

份。他们也可能能够探测雷达，测绘范围内每个发射器的位置和类型。

除了飞行员之外，还有至少一个，通常是两个或三个具有类似显示器的传感器操作员。虽然飞行员是一名飞行军官，但“有效载荷处理员”通常是士兵。他们的作用是监控传感器系统捕捉到的东西，并确保摄像头指向感兴趣的项目。不像飞行员，他们是没有飞行经验的情报专家。他们得到了另一组分析师的支持——通常一个任务有十几个或更多的分析师——他们在活动后会更详细地查看摄像头和其他信息。他们可能会寻找特定的个人或车辆，发现行为模式，或任何其他感兴趣的东西。在镇压叛乱的行动中，这可能是向一个本应无人居住的房子运送食品杂货，或者是在沙漠中的某个地方不寻常地聚集皮卡。在支持行动中，例如在利比亚，他们可能会考虑部队编队或防御工程。从战略上讲，他们可能在寻找与化学、生物或核武器生产相关的基础设施的迹象。

参与维护单个CAP的总人数可能多达200人，包括维护、发射和回收、飞行，以及PED的广泛团队——对收集到的信息进行“处理、利用和传播”。

无人机在镇压叛乱中非常有效。也许他们最大的成功是特遣部队ODIN()，这是一支美国陆军部队，任务是解决伊拉克的路边炸弹问题。奥丁代表观察、探测、识别和压制，该部队驾驶一种叫做灰鹰的捕食者。各种各样的传感器被用来发现放置炸弹的叛乱分子。这些将被追踪回其他叛乱分子，这样整个叛乱网络就可以在袭击和地面突袭到来之前被绘制出来。奥丁与有人驾驶飞机和地面部队一起操作了大约26架无人机。这支部队被认为在一年内杀死了3000名叛乱分子，扭转了简易爆炸装置的趋势。⁵

ODIN操作员以其评估实地情况和了解村庄生活模式的技能而闻名。他们接受训练，以识别区别强化化合物和普通家庭的特征，以及路边炸弹安置的迹象。他们声称能够分辨出街上的一群人是否只是当地民兵，或者他们是否对美军构成威胁。很难评估他们的目标有多少是有效的，奥丁是否真的是减少叛乱活动的决定性因素。但ODIN毋庸置疑的技术技能，以及他们“发现、修复和完成”这些植入式简易爆炸装置的能力，无疑起到了一定作用。

在当地看到捕食者的士兵知道高倍摄像机正对准他们的目标，但他们完全不知道。直到，也就是说，BIG SAFARI团队想出了一个名为远程操作(或远程操作)视频增强接收器或ROVER()的设备。这是一个简单的地面部队视频接收器；他们无法控制捕食者，但他们可以看到它看到的東西，这些信息是无价的。最初的版本太大了，不得不放在悍马车里，但后来的版本是笔记本电脑大小，看起来像手持游戏机。后来的版本也包括了互动功能，因此用户可以联系捕食者飞行员，用“聊天室”功能提出请求。⁶

ROVER已经成为特种作战和其他行动的关键工具。2006年，美国空军中校韦恩·肖写道，“地面旅指挥官心中的一个问题是‘有多少漫游者可用，还有额外的吗？’”

无人机可以在友好的空域工作，比如阿富汗。他们还在索马里、也门和巴基斯坦的灰色地带活动，当地人可能对这些地方不友好。他们还在其他地方执行侦察(虽然不是打击)任务。至少有两架在伊朗境内坠毁。

尽管他们的情报有多有价值，但空军并没有给“捕食者”飞行员太多帮助。操作的遥远本质意味着它们过着超现实的生活。他们花几个小时监视几千英里外的大院和道路。无人机操作员经常引用关于战争的不同说法，即“长时间的无聊被极端暴力的时刻打断”；他们可能会被要求杀人，并且经常长时间详细地看到暴力的后果。这可能包括看着血迹斑斑的受害者试图从罢工中爬出来，或者试图清点被炸成碎片的尸体。

轮班结束后，他们将无人机交给另一名操作员，然后回家与家人团聚。这可能是远程战争，但2008年的一项研究发现，与在同一战区飞行的传统机组人员相比，无人机操作员有高度的“疲劳、情绪疲惫和倦怠”。

军方内部也不太欣赏无人机飞行员。研究表明，与坐在驾驶舱的飞行员相比，无人机飞行员晋升到高级职位的可能性较小。无人机飞行员的工资现在和其他人不相上下，但其他飞行员有资格获得每年高达25,000美元的“延续工资”()。无人驾驶飞机飞行员日益短缺导致这一政策在2015年被重新考虑。[七](#)

2013年，五角大楼放弃了“杰出战争奖章”的计划，该奖章将授予那些在实际上没有在前线服役的情况下对作战行动产生影响的无人机飞行员。国会抨击了这枚新奖章，认为它的等级将高于青铜星章或紫心勋章，是“对我们的服役人员和退伍军人的伤害，他们曾经或目前正在海外敌对和严峻的条件下服役。”

无人机行动显然与载人行动排名不同。

武装机器人

2000年，一架中情局“捕食者”无人机在阿富汗一个名为塔尔纳克农场的基地组织训练营发现了一个穿着飘逸白色长袍、被保镖包围的高大身影。分析人士很快确定这个人就是奥萨马·本·拉登，他在1993年世界贸易中心发生炸弹袭击后就已经是被通缉的恐怖分子了()。然而，攻击他的唯一方法是发动巡航导弹袭击。巡航导弹是一种钝器：它的弹头有一千磅重的炸药，能在很大范围内造成破坏。以前的特派团注意到塔尔纳克农场存在儿童秋千，据说克林顿总统对平民伤亡水平感到关切。此外，巡航导弹将需要几个小时才能到达，到那时，本·拉登可能已经离开很久了。没有罢工。[8](#)

在科索沃盟军行动中，同样的问题多次发生。捕食者会定位一个目标，但在攻击飞机被送进来之前，它就会消失。减少“传感器到射手”时间(从看到捕食者的目标到攻击之间的延迟)的明显方法是在飞机上安装一枚导弹。中央情报局反恐中心负责人科弗·布莱克要求“捕食者”携带武器。美国空军将军约翰·跳跃者要求演示一种“捕食

者”，它可以“找到目标，然后消灭它。”

先前的工作表明，应该有可能从掠夺者身上发射地狱火，尽管这还远未确定。对小型飞机来说，这是一枚大导弹。地狱火之所以被选中，是因为它是一种久经考验的成熟导弹，已经成功服役多年。事实上，成熟有点轻描淡写：地狱火肯定是中年人，可以追溯到1974年的尼克松政府。

当地狱火被设计出来的时候，主要的担忧是苏联重型装甲在欧洲的冲击。它本打算由直升机运送；这个虚构的名字是“直升机发射的即射即弃导弹”的简称“开火并忘记”是因为基于电视的制导系统会锁定目标并完成剩下的工作。然而，当发现视频指南不令人满意时，它被放弃了。自TDR-1以来，出现了一系列电视制导导弹和炸弹，但它们在低能见度目标方面遇到了同样的问题。

地狱火有激光制导，所以目标需要用激光指示器标记，直到导弹命中。它非常精确，通常击中瞄准点半米以内，但可能需要一段时间才能到达。地狱火比音速还快，但是从六英里的范围内发射，仍然需要二十秒左右才能到达目标。那二十秒感觉像是永恒，尤其是在目标可能消失，或者更多的人或车辆可能出现在地狱火的致命半径内的情况下。

地狱火挂在掠夺者身上大得让人不舒服，但与库存中的任何其他东西相比都很小。当时，空军最小的制导炸弹是500磅。地狱火是陆军武器，而不是空军，人们怀疑它能否成功整合，但没有好的替代方案。2001年2月，进行了第一次试射。成功绝非板上钉钉，一些开发人员担心导弹发射会撕裂“捕食者”的机翼，或者排气会烧焦无人机或使其摄像头失明。机翼用额外的支撑物加固。

试验取得了成功，一枚装有惰性有效载荷而不是烈性炸药的激光制导导弹在坦克目标的炮塔上制造了一个“漂亮的凹痕”。“捕食者”受到了一些伤害。

“我们还拆了一个机翼，看看我们有多少裂缝，”一名空军官员在活动后说，“我们没有那么多裂缝。”⁹

进一步加强后，武装捕食者投入使用。

几个月后，“捕食者”在阿富汗向一群可疑的叛乱分子发动了第一次“地狱火”。在TDR-1攻击无人机问世65年后，在QH-50 DASH武装直升机问世40年后，在234型萤火虫问世30年后，美国再次拥有了武装飞行机器人为其服务。

在早期，发动地狱火并不是一个简单的过程。

“我必须在下拉菜单中点击17次以上不同的鼠标，”一名无人机飞行员向《国防杂志》抱怨道。“在我的飞行员思维过程中，这没有多大意义。我更希望有一个驾驶舱，在

那里我可以够到这里，手臂，选择和射击。”

飞行员指出，在他以前的飞机，一架F-16中，武器释放需要一个按钮。

从捕食者发射地狱火的另一个挑战是由卫星通信引起的不可避免的两秒钟的时间延迟。这意味着激光点实际上需要两秒钟才能移动，所以捕食者在这种模式下只能攻击静止的目标。为了击中移动的目标，操作员使用瞄准软件锁定移动的车辆；该软件将激光点保持在适当的位置，这是一种间接的方式，如果系统出现故障，它会让目标承担自己的风险。

操作员目睹了导弹袭击，屏幕上一片空白，接着是像素化和爆炸的爆发。然后他们可以近距离详细观察罢工的影响。地狱火不会像在电子游戏中那样整齐地分解目标，但会在归零地周围留下可识别的尸体和身体部位。逃离袭击的人被称为“喷射者”——要么是因为他们从袭击区域向四面八方喷射，要么是因为他们随机射击的方式，这取决于你相信谁。

捕食者经常被用于打击后的“战斗伤害评估”，以评估对地面的影响。观察自己打击的效果需要强大的勇气和对远程战争原则的信念。

有几种版本的地狱火导弹在使用。AGM-114K是带有聚能战斗部的基本反坦克武器。这将爆炸力集中在压皱一个金属锥，并将其转化为能穿透两英尺装甲的高速半液态金属射流。

K对坦克非常有效，但对其他目标就不那么有效了，因为有太多的力量进入了穿甲弹。一个新版本被开发出来，弹头周围有一个新的金属套筒。套筒被炸成弹片，这是一种高速金属碎片，在很宽的半径范围内都有致命效果。也许不可避免的是，产生弹片的版本被称为“特殊k”

另一种主要型号是AGM-114M，其弹头结合了爆炸和破碎。它装有延时引信，因此在引爆建筑物或车辆之前，它会穿过砖墙、屋顶或其他障碍物。它对建筑物内的目标非常有效。

AGM-114N有一个“金属增强装药”或温压弹头。这是优化，以产生最大的爆炸量，可以完全平整大多数建筑物。我们将在第八章更详细地研究温压仪。

后来生产了两个新版本，AGM-114P和最新的AGM-114R版本。这些额外的轨迹成形：导弹可以从上面俯冲下来，而不是沿着最短的路线飞向目标，这在城市街道作战时非常有用。R版本有一个惯性传感器，可以与运载火箭通信。它可以向任何方向发射，然后转向激光指向的方向。飞机不需要面对目标开火，在目标可能只有几秒钟见的情况下节省了宝贵的时间。

如果直线发射，地狱火的超音速意味着目标听不到它的到来。大多数“捕食者”的受害者甚至在导弹击中之前都不知道自己是目标。然而，在一些弹道中，或者如果导弹不得不掉头返回，在它命中之前会有一个可以听到的音爆。

捕食者操作员报告说，狗经常注意到导弹来了，并离开目标区域，可能是因为超声波，但这纯粹是轶事。叛乱分子知道听到隆隆声时要迅速行动，尽管奔跑可能不如平躺有效。那些简单躺下的人有时在罢工中幸存下来。

“你可能会打爆他们的耳膜，”一名无人机教员声称。() [10](#)

地狱火可能很精确，但不是外科手术。这种20磅重的高爆弹头会造成严重的“附带伤害”，当目标是一名恐怖分子时，会杀死无辜的旁观者或建筑物内的人。

更糟糕的是，长时间的飞行意味着有人在导弹发射后徘徊到目标区域的风险。飞行员马特·马丁在他的《捕食者：伊拉克和阿富汗的遥控空战》一书中描述了一次袭击，目标是一辆停放的卡车，叛乱分子在卡车周围游荡。一枚导弹向卡车发射，然后他看到两个大约十岁的男孩骑着自行车靠近。他无能为力；转移导弹可能会造成更严重的损失。因此，马丁和他的同事们目睹了导弹的命中，随后看到了叛乱分子中两个男孩的尸体。() [11](#)

武装捕食者已经被用于一系列完整的战斗角色，包括在战斗中对部队的近距离支援，这是最初从未设想过的。2005年，一架“掠夺者”从其任务中转移出来，被派去协助遭受迫击炮袭击的美国海军陆战队。捕食者操作员用地狱火摧毁了迫击炮阵地。在类似的事件中，“捕食者”被用来指挥空袭或指定制导炸弹的目标，或自行摧毁地面目标。

最著名的近距离支援案例是在“阿纳康达行动”期间，当时一架“捕食者”被派去帮助在直升机坠毁事件中幸存下来并遭到塔利班猛烈攻击的美军。“捕食者”在头顶盘旋了11个小时，发射激光攻击目标，供美国海军飞机轰炸。当救援直升机最终到达时，“捕食者”的激光照明器将它们引向安全的着陆点。

然而，与身在千里之外的人一起工作而不出错是很困难的。2011年，在阿富汗的一次袭击中，两名海军陆战队员丧生，这是第一次无人机友军开火事件。当无人机操作员误认为他们是攻击部队的一部分，并造成致命后果时，他们正准备增援一个受到攻击的海军陆战队阵地。() [12](#)

捕食者还被用于他们自己空军基地周围的周边防御。当“掠夺者”号带着剩余的飞行时间回到基地时，当地机组人员利用它在该地区巡逻，为叛乱分子准备迫击炮或火箭袭击。“捕食者”在这种“武力保护”任务中非常有效，尽管这是必要的，因为“捕食者”及其地勤人员必须靠近战区。

定点清除

其他战斗任务是次要的武装捕食者的主要战略角色，打击“高价值目标”，个人被确定为恐怖分子或叛乱分子。这些袭击有时被称为“定点清除”，通常发生在巴基斯坦、阿富汗或也门的偏远地区。尽管大部分情报收集可能是通过“捕食者”本身进行的，但操作人员也依赖于被称为“人类情报”的老式地面间谍。

当追踪叛乱分子放置炸弹或实施迫击炮袭击时，天空中的眼睛可以看到一切。但是当你正在寻找一个特定的个体时，它需要一种更个人化的方法。叛乱分子可能被他们的手机追踪和锁定目标；有人认为，向已知的SIM卡发射的导弹比向公认的个人发射的多。近年来，该领域的特工已经用微型无线电信标标记了无人机打击的目标。留在座位下的手机也可以执行同样的功能。阿富汗塔利班处决了被指控的间谍，他们把电子设备藏在空烟盒里。塔利班指挥官现在知道让他们的车辆时刻保持警戒，以防止跟踪装置被安装。

这一领域的许多技术都是保密的，但我们知道五角大楼在标记和跟踪技术上投入了相当大的努力，其中大部分致力于标记个人。由于电池的尺寸，需要电源的无线电信标和转发器相对较大。其他类型的标记是被动的。一种方法是用细小的尘埃“量子点”喷洒目标，这是半导体晶体的微小颗粒。这些是肉眼看不见的，但可以借助红外激光照明器从远距离探测到。不同批次的点可以被赋予特定的代码，这样一个标记的个人或车辆可以在几天后从远程识别。

其他标记技术包括只能通过特殊查看器看到的染料和墨水。美国国防高级研究计划局的一份文件甚至建议，可以在目标的洗发水中加入一种添加剂，这样就可以识别和跟踪他们。目前还不清楚这一想法是否曾被提出。() [13](#)

无人机袭击继续在阿富汗、巴基斯坦和也门进行。这种罢工往往极具争议性。在克里赫空军基地监视传感器屏幕的观察者可能会看到与地面上的人截然不同的东西。

例如，2013年12月，一架美国无人机向也门的一个车队发射了四枚导弹，造成12人死亡，更多人受伤。当局称这些目标是属于阿拉伯半岛(AQAP)基地组织的恐怖分子。目击者和随后接受采访的当地人说，车队是一支婚礼队伍，从婚礼午餐行进到新郎所在村庄的第二次庆祝活动，受伤者之一是新娘。他们说，受害者与恐怖主义没有联系，当他们听到头顶上的无人机声时，他们对此毫不在意。然后导弹开始落下：

“到处都是血，死伤者的尸体到处都是。我看到导弹击中了我儿子驾驶的汽车后面的那辆车……”[14](#)

愤怒的亲属在附近的一个城镇展示了死者的尸体。当地政府向他们支付了赔偿金，这表明他们的要求被接受了。无人机表现完美，但指导打击的情报有缺陷。

在2002年的“高个子”事件中，错误情报的危险被凸显出来。奥萨马·本·拉登身高6英尺5英寸；当中央情报局捕食者操作员在霍斯特附近的一个地点看到一个非常高的男人，显然被保镖包围时，地狱火袭击被授权。那个高个子被杀了，但事实证明他和他的同伴是无害的废金属收集者。情报分析人员完全误读了形势，他们热衷于抓捕基地组织头目。

在西方，人们一直担心“电子游戏战争”和距离的疏远效应。在屏幕上杀死一个人似乎比杀死一个活着的会呼吸的人更容易。军方坚持认为，无人驾驶的打击是根据与有人驾驶的打击相同的标准进行的。但无人机运营商将接收端的无人机描述为“bugsplat”的事实激怒了批评者。

bugsplat这个术语实际上是一个计算机程序的非正式名称，用来计算导弹袭击的影响和可能造成的附带损害。()程序员离战场很远，但jokey这个名字还在继续使用。该软件被正确地称为快速光盘或快速评估打击工具—附带损害。[15](#)

无人机袭击造成的平民死亡人数是一个热门话题。《纽约时报》的一项调查发现，在官方报告中，所有在袭击中丧生的适龄男性都被视为战斗人员，“除非死后有明确的情报证明他们是无辜的。”据2014年估计，在大约3000名被杀害的平民中，巴基斯坦被杀害的平民人数从不到150人到近1000人不等。

无人机打击还有其他效果。斯坦福国际人权和冲突解决诊所的“生活在无人机下”报告表明，巴基斯坦的无人机战争正在对那些生活在无人机下的人的心理健康产生长期影响。他们说，无人机会给那些无法保护自己的人带来“持续而严重的恐惧、焦虑和压力”，他们可能会因为目睹导弹袭击或其后果而对社交聚会、上学甚至去市场产生恐惧。

这些打击非常有效地摧毁了特定的指定目标，毫无疑问，基地组织和其他组织的领导层已经被无人机彻底摧毁。摧毁领导不一定带来胜利；一份泄露的2009年中央情报局关于定点清除的报告指出，由于领导人更换得太快，它们对阿富汗塔利班的影响有限。()其他人对使用无人机打击高级别人员表示怀疑，因为这减少了与该组织进行任何谈判的机会。[16](#)

定点清除战略是否能取得胜利一直受到质疑，但事实仍然是，无人机可以到达原本无法到达的地方，而且它们在向目标投放导弹方面具有独特的效力。当政治家们面临压力，要求他们采取措施应对危机时，无人机袭击是一种切实的方式，可以展示承诺，反击敌人，而不会有友军伤亡的风险。

它们可能在政治上有毒，但很难看到领导层放弃无人机袭击这样有用的工具。

收割者和大型无人机的坠落

如上所述，地狱火并不适合捕食者，因为它很难携带两个。空军决定要一架更大的飞机，而不是开发更小、更智能的武器。通用原子公司预见到了这一点，该公司资助了“捕食者b”的开发。2001年10月，空军购买了两架新无人机进行评估；2004年，他们举办了一场新型“猎人杀手”无人机的竞赛，但结果或许已成定局。

当它于2007年在阿富汗服役时，捕食者乙被改名为“MQ-9B猎人-黑仔”或“收割者”收割者是一种比它脆弱的前身更坚固的飞机。它的重量是它的四倍；涡轮螺旋桨发动机的功率是普通发动机的六倍，速度翻倍至200英里/小时左右。它看起来不像一个大玩具，而更像一架传统的战斗机，那种军方更喜欢的类型。

收割者可以携带十四枚地狱火导弹，或者四枚导弹和一对激光制导的500磅炸弹。这些对地堡、大型建筑和其他对地狱火来说太大的目标非常有用。收割者的卖点是“致命的坚持”：它可以在一个地区游荡很长一段时间，并在大量机会目标出现时与之交战。这使它领先于最多只能攻击两个目标的捕食者。然而，携带大约3000磅的军械会使收割者的续航时间缩短到14小时左右。

收割者在五角大楼很受欢迎。上一个掠夺者是在2011年购买的，当时的想法是用更大、更重的继任者逐渐取代它们。

收割者的尺寸增大了，成本也增加了。收割者的飞行价格基本模型约为1400万美元，或2000万美元，相比之下掠夺者为400万美元。相应地，被收购的企业就更少了。虽然“捕食者”一直被认为是一种寿命有限的消耗性飞机——空军指望在正常作战中每年损失7架——但“收割者”预计是耐用的。

因此，“收割者”不像廉价、超长续航、可消耗的无人机，而是像有人驾驶的飞机。捕食者操作员马特·马丁将“收割者”描述为“一种持续时间更长、武器更轻(生存能力更差)的F-16版本。”如果没有持续时间和价格优势，“收割者”号非常危险地接近与载人飞机竞争。正如我们所看到的，对于空军中的无人机来说，这通常是一种致命的情况。

空军计划在2013年将捕食者/收割者cap的数量增加到65个，以后还会有更多。然而，到了2014年，空军的气候发生了变化，有传言称要“重新平衡”舰队，以便在有争议的空域作战。《2015年国防预算》将捕食者/收割者cap的数量修订为2019年的55个。2016年的预算要求增加，但不确定这是否会发生。就捕食者和收割者而言，“巅峰无人机”可能已经过去了。空军的“收割者”采购计划于2019年结束。

美国陆军已经购买了103架其版本的捕食者，MQ-1C灰鹰。它在保护车队、提供监视和远程巡逻方面非常有用，似乎很受地面人员的欢迎。空军把捕食者当成有人驾驶的飞机，手动着陆是规则。这些着陆可能很棘手，因为“捕食者”的大机翼面积使它对突然的阵风很敏感。陆军的“灰鹰”拥有自动起降系统，预计事故率会更低。

但同样，在一个有争议的环境中，它有多大用处还有疑问，预算紧缩正在持续。战斗师最初会得到12只灰鹰。现在已经缩减到9个，美国陆军不打算在2016年后再购买更多。

通用原子公司对他们的前景持现实态度。他们已经为出口市场开发了一款非武装版的捕食者，现在正在吹捧捕食者B/收割者，称其为“未来的皮卡”，能够以可承受的价格运载大型传感器有效载荷。他们还开发了一种被称为复仇者的隐形第三代捕食者，但迄今为止只向美国军方出售了四架。

尽管有些人相信无人机——国防部的“无人系统集成路线图”描绘了未来20年它们将在作战中发挥越来越大的作用——但他们正在输掉争夺实际资金的战斗。

美国空军正在反击无人机，无人系统承担了不成比例的削减份额。2014年，分析师指出，尽管五角大楼的整体采购预算下降了15%左右，但无人机支出下降了25%以上。这种下降可能会加速，因为空军着眼于未来可能与伊拉克或阿富汗不太相似的行动，特别关注他们所谓的“近邻”，他们不能被快速或轻松地击败。

美国空军将军迈克·人质特别批评无人机及其在未来战争中的前景。

“捕食者和收割者在竞争激烈的环境中毫无用处，”他在2013年空军协会年会上告诉观众。他的立场是他们太容易受到现代防空系统的攻击。“选择最小、最弱、空军最少的国家——(它)可以对付捕食者。”^()[17](#)

人质还批评了“捕食者”与驾驶舱中的飞行员相比，无法区分目标。这很奇怪，因为无人机的价值完全在于其低速、低水平稳定摄像头的清晰视角。

罗伯特·奥托中将重复了人质的评论，建议在阿富汗部署结束后，隐形的有人驾驶侦察机应该取代无人机。

这种观点反映在2012年MQ-X计划的有效取消上，MQ-X计划是一种下一代攻击无人机，本可以接替捕食者和收割者。无人机没有理由不能成为隐身、敏捷、高速的战斗机。问题是，这将他们直接带入与有人驾驶飞机的竞争中，正如我们所看到的，任何威胁到有人驾驶飞机计划的无人机都不太可能存活。

最后一架战斗无人机？

在与海军的一个名为“歼-10”的联合项目中，空军确实曾计划制造一种快速、隐身的战斗无人机。但是空军在2006年退出了这个项目，之后海军项目进展缓慢，试验性的X-47舰载攻击无人机。这原本是打算用于与载人航母飞机相同的任务，但评论者注意到海军是如何蚕食规格的。

现在被称为UCLASS(用于无人驾驶运载火箭发射的空中监视和打击)，它最初被描述为一种打击飞机，但现在被重新定义为危险情况下的侦察资产，具有一定的打击能力。它也被建议作为载人飞机空对空加油的飞行油箱。原来的歼-UCAS应该已经在飞行了；截至2015年，海军正在讨论最早在2022年进行守备。

据Flightglobal网站报道，美国参谋长联席会议副主席詹姆斯·温纳菲尔德上将稀释了UCLASS的规格。这种缩减导致批评者认为UCLASS没有任何作用，它的建立是对五角大楼预算计划者的牺牲，因此载人项目将毫发无损。加州大学R&D分校的预算申请从2015年的4亿多美元下降到2016年的1.35亿美元。这看起来不像是海军非常想要的东西。

作为一架作战飞机，UCLASS看起来太贵了，不能被消耗掉，也不如载人平台有能力。历史表明，这是终止妊娠的良方。

当然，目前没有迹象表明无人驾驶飞机会在五角大楼眼中挑战有人驾驶飞机的霸主地位。他们的未来仍然是时尚迷人的F-35。随着捕食者和收割者数量的减少，按照目前的计划，未来20年服役的F-35数量将攀升至2000多架。飞行员作为天空骑士的地位是稳固的。

掠夺者改变了世界:无人机袭击现在是战争词汇的一部分。它们使美国能够在世界上载人操作不可行的角落采取行动。但看起来无人机似乎被推到了间谍和刺客的利基角色，把严肃的战斗留给了有人驾驶的飞机。他们可能会找到一个新的角色作为运输工具，但大型战斗无人机的日子已经结束了。

然而，在远低于战斗机飞行员的平流层高度的地方，发生了一场小小的革命。就像在笨重的恐龙脚下进化的哺乳动物一样，一种非常不同类型的无人机一直在地面附近扩散。这些都是无法与崇高的空中领主竞争的小飞船。虽然大型无人机正在衰落，但它们的微型兄弟已经准备继承地球。

参考

1) 琥珀项目/GNAT 750-

哥伦比亚特区皮布尔斯(1997年)。黑鹰:美国绝密飞机项目的历史。纽约, 普雷西迪奥出版社。

2) 战时激光综合激光指示器

b . Grimes(2014年)。大狩猎的历史。俄亥俄州布鲁明顿:阿奇威出版社。

3) AN-AAS52多光谱瞄准系统

[雷神。\(2005\). AN/AAS-52多光谱瞄准系统。](#)

4) 山猫雷达

桑迪亚国家实验室。(1999). Lynx:一种高分辨率合成孔径雷达。SPIE

[Aerosense, 3704, 1-8.](#)

5) 特遣部队奥丁国防视频和图像分发系统

[Bonebrake, C. \(n.d.\). 天使在我们肩上:特遣部队ODIN保护地面部队。#. VW8Yo43bK1I](#)

6) 火星车

b . Grimes(2014年)。大狩猎的历史。俄亥俄州布鲁明顿:阿奇威出版社。

7) 无人机飞行员的延续工资

[欧文, S. I. \(2015年1月16日\)。空军无人机飞行员危机年正在酝酿中。\[网络日志帖子\]。](#)

8) 塔尔纳克农场事件

美国彭德加斯特(2014年11月18日)。早期的捕食者飞行员斯旺森讨论了他的经历。

[\[网络日志帖子\]](#)

9) “我们还伪装了一只翅膀……”

[蒂伦河\(2001年12月\)。尽管有疑问，空军仍然支持捕食者。](#)

10) “你可能会打爆他们的耳膜”

[米德\(2015年\)。难得一见的美国空军无人机训练教室——大西洋。](#)

11) “马丁和他的同事们看着导弹被击中”

马丁(2010年)。捕食者：伊拉克和阿富汗的遥控空战。明尼阿波利斯：Zenith出版社，2010。

12) “友军开火”事件

(作家)。(2011年4月4日)。2名美国军人在阿富汗被无人机袭击误杀[电视广播]。美国全国广播公司新闻。

13) 追踪技术，包括洗发水标签、追踪和定位技术以及打击大规模毁灭性武器的概念(CWMD)。(未注明日期)。

14) “到处都是血，死者的尸体”

变成葬礼的婚礼。(2014年2月19日)。

15) Bugsplat

《华盛顿邮报》，“Bugsplat”计算机程序旨在限制平民在目标上的死亡 西雅图时报。

16) 2009年中央情报局关于塔利班的有限效力的报告

泄露的中情局报告:针对塔利班领导人“无效”[电视广播]。(2009). 英国广播公司新闻。

17) “捕食者和收割者在竞争环境中毫无用处”

惠特洛克(2013年11月13日)。空军司令说，无人机作战任务最终可能会缩减。《华盛顿邮报》。

第三章——《乌鸦：一场小小的革命》

[回到顶部](#)

乌鸦坐在他的肩膀上，对着他的耳朵说所有他们看到或听到的消息；他们因此被称为：休金和芒金。他让他们在午休时飞往世界各地，他们在午餐时回来；因此他知道许多消息。因此人们称他为乌鸦神。

——《吉尔菲的诡计》，13世纪维京史诗

乌鸦是乌鸦家族中智力活跃的成员。它们会经常观察人类的活动，俯冲下来捡起被丢弃的食物或道路杀手。在囚禁中，它们甚至可以学会模仿语言。在北欧神话中，流浪的神奥丁总是比对手领先一步，这要归功于他的一对乌鸦——胡金和芒宁。鸟儿在世界上飞翔，看到和听到一切，回到栖息在奥丁的肩膀上，告诉他他们发现的秘密。

最成功的无人机是一种个人侦察器，可以看到前方，让你远离危险——它被称为乌鸦并不是巧合。关于“掠夺者”的书已经写了很多，但《乌鸦》基本上没有受到媒体的关注。与更大的同类相比，它可能看起来不太像，但乌鸦代表了无人机战争中一场更大的革命。

截至2015年，五角大楼拥有大约一万架无人机，其中9000架是由加州航空环境公司制造的小型手动飞行器。“乌鸦”于2003年首次起飞，并很快在数量上主宰了无人机世界。它看起来可能像一架翼展四英尺的玩具飞机，但它将空中力量掌握在步兵手中。如今，如果没有他们自己的微型无人机在徒步巡逻时监视他们，或者在路上先于他们的车队飞行，部队可能不愿意行动。陆军喜欢有自己的便携式空中掩护，随时可用。近年来，一种叫做“弹簧刀”的微型无人攻击机加入了“乌鸦”号。[二](#)

也许小型无人机成功的真正秘密在于，它根本不被视为飞机，而只是一种俯瞰山头的工具。大型无人机与它们相似的载人飞机竞争，但这一次，看起来像玩具可能是一个优势。这也是为什么瑞文(Raven)成为了军用无人飞机世界有史以来最大的成功故事。

[3](#)

开始

20世纪30年代，保罗·麦克格雷迪在康涅狄格州纽黑文长大，对飞行非常着迷。十几岁时，他制造和驾驶的模型飞机打破了记录。他于1947年从耶鲁大学物理专业毕业，同年他创造了滑翔机的新的飞行记录。他花了接下来的十年时间开发、制造和

驾驶破纪录的滑翔机。()2

1971年，麦克格雷迪在加利福尼亚州的蒙罗维亚成立了航空环境公司，位于洛杉矶北部边缘的圣加布里埃尔山脚下。该公司因制造一些非凡的飞机而闻名，这主要是基于麦克格雷迪对滑翔机的研究。1977年，他的踏板驱动的“戈瑟姆秃鹰”号成为第一艘完全由飞行员肌肉力量驱动的重于空气的飞行器。薄纱信天翁号是第一艘穿越英吉利海峡的人力飞船。薄纱企鹅号和太阳能挑战者号是太阳能载人飞机，后者于1981年从巴黎飞往英国。这些飞机之所以能工作，是因为它们是高效的滑翔机，只要向前移动一点点，就能产生很大的升力。

这些成功为美国宇航局和五角大楼带来了一系列大型太阳能飞机，但到目前为止，这些项目毫无进展。(我们将在第5章中研究这种情况的原因以及大型太阳能飞机面临的问题)。但是在1986年，利用自己的资金，AeroVironment建造了一艘小型飞船，他们向海军陆战队展示了它。海军陆战队喜欢它，无人机作为FQM-151A指针投入使用。它可以在巡逻中携带，并被发射以获得下一座山后面的实时视频流。()4

无人机的鼻子里有一个固定的摄像头，必须指向一个物体才能看到它，因此得名“指针”。像捕食者一样，指针是一个“推进器”，机身后部有一个螺旋桨，这样叶片就不会阻碍它的视野。

指针是一种笨重的野兽，翼展9英尺，飞行时间只有20分钟，依靠充电电池。它的相机分辨率只有360 x 380像素。但是指针给了当地指挥官他自己的飞机，在军事圈被称为“有机资产”，这意味着它属于使用它的单位。指挥官不必通过指挥渠道与空军或陆军侦察直升机部队交谈，而是可以发送一个摄像头，在几分钟内近距离观察目标。

其他无人机是基于数英里之外的稀缺资源，可用于指挥链的更高层。必须考虑任务规划和空中交通管制。即使你能获得无人机支持的许可，也可能需要几个小时才能到达，任何情报都需要更长时间才能过滤回来。指针可能会啪的一声合在一起，然后抛到风中。如果你想知道山脊的另一边是否有十几辆敌方坦克，指针可以立即告诉你。

海军陆战队得到了50分。它们在1991年海湾战争的短暂地面行动中被使用，但是机动坦克战几乎没有给它们使用的空间。直到1999年，美国陆军订购了四架进行评估，人们才对此产生了进一步的兴趣。陆军认为“指针”号太笨重，要求一艘具有同样能力，但体积、重量和成本只有它一半，并且内置全球定位系统的飞船。此外，新的无人机需要能够携带红外摄像机在黑暗中进行观察。最后，笨重的地面控制单元太大，无法真正携带，不得不缩小。

2002年，一个先进技术概念演示被启动，同样的崩溃程序在快速的时间内将GNAT变成了捕食者。这个程序被称为探路者，它把笨重的指针变成了更紧凑的闪光灯无人

机。()初始版本发射困难，飞行不稳定。这些故障通过增加空速传感器和提高建造质量得到了纠正，在整个项目过程中，Flashlite变成了Raven。[5](#)

原型看起来不错，但副参谋长约翰·基恩将军告诉开发人员，他不想等二十年后才有一架可以在排级使用的小型无人机；指针起飞已经十七年了。RQ11-A乌鸦的第一批测试是在2003年交付给陆军的，就在Flashlite一年后。

在这个阶段，由于产量很低，乌鸦仍然是手工制作的。这是对指针的真正改进，紧凑，翼展为4英尺，重量为1.9千克(4.2磅)，而早期版本为4.3千克(9.6磅)。这是一个坚固的结构，由与战斗头盔相同的凯夫拉尔和复合材料制成。车载摄像头拍摄的图像被传回便携式天线，并显示在6英里外的手持控制器上。新的控制器只有指针的一半大，整个装置可以由两个人的团队轻松携带。

瑞文内置的全球定位系统意味着它可以在没有人工干预的情况下，通过一系列编程设定的航路点执行飞行任务，因此即使在无线电范围之外，它也可以拍摄建筑物或设施的照片。续航时间增加了两倍，达到一个小时，新的模块化设计意味着更换传感器(比如，在日间摄像头和红外夜视之间切换)是一件“即插即用”的事情。最初，有三个不同的鼻子单元：一个带有前视和侧视摄像头的日间摄像头，一个侧视红外摄像头，或者一个前视红外摄像头。侧面对着的摄像头意味着乌鸦可以绕着一个目标盘旋，让它一直处于视野中。相机提供了从广角到特写的四个放大级别。

《乌鸦》在军队中一炮而红，一家热情的军事媒体以《能飞的小飞机》和《乌鸦好评如潮》等为头条报道()[6](#)

美国陆军无人机系统部经理约翰·伯克上校在接受《陆军杂志》采访时表示：“作为连长，我现在有一些东西可以让我获得三维态势感知。“我以前从未把它当作自己的资产。”()[7](#)

飞翔的乌鸦

瑞文旅行时被拆开装在背包里，几分钟就能组装好。起飞是通过迎着风奔跑，像玩具滑翔机一样投掷乌鸦来实现的。在没有风的情况下，发射更加困难，在一次糟糕的投掷之后，乌鸦可能会滑行十英尺，然后坠入地下。在强风中飞行需要小心；风会减少飞行时间，并会导致美其名曰“高度的突然变化”。

地面控制单元看起来像一个手持视频游戏，有一个操纵杆和几个按钮。操作员可以手动飞行或简单地给自动驾驶仪全球定位系统航路点。只需用手写笔在地图上点击一个点，乌鸦就会飞到那里。它可以被设置为绕地面上的一个点运行，侧视摄像头聚焦在轨道的中心。

一旦任务结束，一个触笔点击指示乌鸦返回其发射点或前往任何其他位置。

落地就没那么优雅了。据一名操作员说，当它到达着陆点时，乌鸦停下来，停在地面上方，像一只死鸟一样坠落。机身下侧的衬垫吸收了部分震动，但温和的迫降看起来令人担忧，因为“乌鸦”在着陆时会“分解”并变成碎片——“像卡通一样。”() 主要部件通过一系列连接器固定在一起，这些连接器旨在分开并分散碰撞能量，从而不会损坏机翼、机身和有效载荷。[8](#)

一些操作者在乌鸦落地前抓住它，以降低损坏的风险。这可能会成为一项竞技运动，运营商吹嘘直拍12次。然而，正如AeroVironment的史蒂夫·吉特林向我解释的那样，制造商并不宽恕捕捉行为：

“人们认为这种(捕捉)将最大限度地减少损坏，但实际上，它往往会给操作员带来风险，并导致系统更高的损坏率。飞机被设计成利用对地面的深失速冲击来恢复。其他恢复方法会导致以非设计方式加载结构。”() [9](#)

关键是要意识到乌鸦要回来了。一段YouTube视频显示，一名粗心的操作员被无人机击中胸部，无人机正好回到他身边。

平均而言，一只渡鸦被认为能够在200次飞行中幸存下来，然后才需要进行大修。

“这取决于大量的操作因素，”根据Gitlin的说法。“我们有常见的报告称，运营商在需要维修之前，在一架飞行器上实现了600-800次飞行，许多仍在服役的飞机都在2000-3000次飞行的范围内。”

如果出了问题，如果电池意外耗尽，操作员可能不得不去取回他们的飞船。陆军推荐了一个回收包，包括一个折叠梯子和攀爬钉，用于从树上回收物品，此外还有一些贸易商品——糖果、食物或现金——用于与平民交换一只失踪的乌鸦。这是一个相当不同的行动，以收回击落的捕食者或有人驾驶的飞机。

闪烁的闪光灯可能有助于检索。一些部队开始用当地语言在他们的渡鸦上贴上标签，作为回报，将渡鸦归还给最近的美国军事部队。这些飞船安全地带回了几艘飞船，同样不是捕食者可行的。

瑞文由类似于笔记本电脑的可充电锂离子电池供电。陆军最初尝试了一次性电池，但由于携带大量电池的麻烦而被拒绝。原厂电池的飞行时间约为一小时。更换电池需要几秒钟，所以一只乌鸦回到它的发射点，得到一个新的电池，然后再次飞出去。一些工作人员以这种方式连续操作他们的乌鸦10个小时。

渡鸦通常由两名机组人员驾驶，他们的工作与捕食者团队基本相同：一名驾驶飞机，另一名将摄像机对准目标。不像掠夺者，他们只是普通士兵，也可能有其他专长。作为一名乌鸦操作员，就像无人机本身一样，你可以拿起放下。

与需要飞行员资质才能飞行的“捕食者”不同，“乌鸦”的操作大约三天就能学会。操作员学习发射和回收，以及如何识别和避免各种危险，如树木、电线和猛禽偶尔的攻击——有乌鸦被鹰和其他捕食者击落的视频。保持对直升机飞行路线的了解也很重要。

在伊拉克，大部分餐饮由承包商凯洛格、鲁特和布朗经营。这让一些陆军厨师无事可做，至少有一名厨师实现了多元化，成为了他公司的瑞文专家。()这离“最佳中的最佳”精英主义还有很长的路要走，即使捕食者操作员可能在飞行员层级的某个位置。[10](#)

用户也可以在地面控制单元上磨练自己的技能。据说，对任何有电子游戏经验的人来说，驾驶“乌鸦”都很简单，尽管该行业倾向于与任何操作无人机类似于电子游戏的说法保持距离。该控制器带有一个带罩的“观察罩”，使屏幕在明亮的阳光下更容易看到——这是TDR-1操作员在二战中用黑色布覆盖自己的回声。

地面控制单元可以运行训练软件，称为可视化和任务规划综合演练环境或吸血鬼(11)。有了吸血鬼，操作员可以练习飞行虚拟任务，而不需要发射任何东西；这就像玩手持视频游戏。增强版可以从实际任务中下载传感器信息；这个附加组件被称为双向高级训练器(是的，那是吸血蝙蝠)。

“乌鸦”以每小时25英里、300英尺的速度巡航，它足够低、足够慢，可以捕捉到重要的细节。无人机视频的关键基准是区分武装人员和携带铲子或其他工具的人，这也是瑞文的设计目的。能够辨别一个位置是否被占领，或者一群人是否在田里工作或埋下简易爆炸装置，或者迫击炮队在哪里，对地面上的指挥官来说是非常重要的。你能看到敌人，而他们看不到你。

视频最初记录在一台消费级8毫米录像机上，这是一台索尼Handycam，它允许用户在飞行过程中定格或回顾；它现在是数字记录的。另一件硬件是加固型笔记本电脑，一台松下Toughbook电脑。这提供了一个移动地图显示，通过陆军软件称为猎鹰视图。与捕食者上的同行一样，乌鸦操作员有一个显示无人机视野的屏幕，一个显示整体地图视图。

除了便于地面排长使用外，渡鸦的另一个关键卖点是价格。2012年，一个包括两个地面控制站、三架RQ-11B飞行器以及所有传感器、备件和手提箱的完整系统可能需要美国军方花费100-200,000美元。一辆单独的飞行器大约需要34000美元。推动价格上涨的是传感器封装，尤其是热成像。

对平民来说，无线电控制的模型飞机似乎是一大笔钱，但这需要放在特定的背景下。在阿富汗冲突中，士兵们有时会使用造价7万美元的肩扛式标枪反坦克导弹来对付隐蔽的叛乱分子。为防止简易爆炸装置而匆忙购买的防雷MRAP装甲卡车的价格约为60万美元。瑞文提供的救生功能价格便宜。

与1400万美元的收割者相比，这当然是一个低成本的选择。“收割者”的飞行成本也是每小时4000美元左右，所以一次10小时的飞行成本相当于一只乌鸦。F-22猛禽的飞行成本为每小时5万美元，F-35的飞行成本超过3万美元，按照空军的标准来看，收割者的价格很便宜。这就是为什么陆军的“乌鸦”手册将它的一项能力列为“可归因的”——即使你失去了一项也没关系。

像“捕食者”和“收割者”这样更大的无人机需要一个完整的地勤人员，更不用说5000英尺的铺面跑道和用于维护和加油的空军基地设施了。乌鸦只需要一个背包来携带它，还有一个地方给电池充电；它配有一个适配器，可以从悍马或其他车辆上充电。得益于便捷的模块化设计，维护和维修由操作员完成。升级捕食者就是把它送回一个主要设施。升级瑞文意味着发布一个新的组件，并让操作员插上电源。同样，小型无人机看起来更像消费电子产品，而不是传统的战斗机，尽管它正在执行飞机的战术角色。

乌鸦翱翔

渡鸦很受部队的欢迎。阿富汗特种作战司令部很快获得了179套，每套有三只渡鸦。2005年在伊拉克，当来自不同部门和不同国家的特种部队一起打击叛乱分子时，据报道，“乌鸦”是周围最令人羡慕的装备之一。这些小无人机被借给了其他单位，消息很快就传开了。

美国陆军部队是那些对他们的特种部队同事的新玩意印象深刻的人之一，很快陆军就开始购买自己的渡鸦。到2006年，AeroVironment已经向伊拉克和阿富汗运送了3000多台设备。从手工小规模生产转向批量生产听起来很简单，但大规模生产却是最艰巨的挑战之一。当系统的基本要求是健壮性和可靠性时，质量控制是最重要的。这一阶段的失误可能会破坏该计划，但AeroVironment成功地从小规模的R&D运营升级为全面的无人机工厂。

虽然它没有像大型无人机那样的激光指示器，可以标记激光制导导弹的目标，但“乌鸦”可以直接发射火炮或迫击炮。一个典型的例子显示在一个YouTube视频上。三个起义军正沿着一条小路走着，显然没有意识到头顶上飞过的乌鸦；一秒钟后，它们在一阵爆炸中消失了。从他们的角度来看，炮火不知从哪里冒出来的。乌鸦实现了侦察兵的理想，看到对手而不被看到。

渡鸦还可以在空袭或炮击后进行所谓的“战斗损伤评估”，以确认轰炸的效果。

2006年，瑞文的第一个版本被升级版RQ-11B取代。增加了一个激光照明器，无形中向友军指出目标（“闪耀”它们），从而增强了这种能力。当与盟军直升机一起工作时，经常使用照明器。一旦瑞文操作者有了目标，他们可以保持它发光，直到直升机可以向目标发射导弹或炮火。例如，这可能是一辆满载叛乱分子的逃离车辆，很难与周围的其他车辆区分开来。

地理定位的改进——精确计算出瑞文相机在地图上指向的位置——使得实现“1类目标坐标”成为可能这意味着目标位于20英尺以内。新的全球定位系统制导的迫击炮弹和炮弹可以通过第一枪精确放置。

RQ-11B Raven还改进了摄像头，可充电锂离子电池续航时间可达90分钟。巡逻队也得到了帮助，他们不得不出去寻找被击落的乌鸦，猎鹰追踪器是一种无线电信标，用来定位被击落的鸟。

随之而来的是源源不断的升级。最初的红外照相机产生了一个相当模糊的图像，但后来的几代人要好得多。最初，摄像机是固定的，所以对于侧视摄像机来说，乌鸦必须被引导向目标或围绕目标的轨道。现在有一种新的万向支架叫做螳螂，当乌鸦飞过目标时，它会自动转动以提供稳定的图像。) [\(12\)](#)

此前，用户必须在传感器舱的日光和热成像夜间摄像头之间做出选择，但螳螂同时拥有这两种功能，分辨率为500万像素，光学变焦为x4。它还增加了一个集成激光照明器。

日光摄像机、热像仪和激光照明器的这种组合使螳螂实际上是捕食者运载的有效载荷的微型版本，尽管它确实一定程度上增加了价格，每次约为18,000美元。

“渡鸦”号的螺旋桨叶片有时会在阿富汗进行“实地改装”，此后在设计方面还进行了进一步的工作。现在的选择包括安静的螺旋桨，这样乌鸦就可以偷偷靠近而不会被听到，但也包括特别嘈杂的螺旋桨，旨在吸引地面上的人的注意力。这些是有用的冲洗叛乱分子的藏身之处，激怒他们，让他们放弃自己的射击，或只是把他们赶出该地区。

“这对于想爬上屋顶向我们的人开枪的枪手来说是一个真正的威慑，”一名操作员说。“当我们低空飞行时，他们能听到飞机的声音；他们知道我们在那里看着。”) [\(13\)](#)

而且被一只乌鸦监视意味着美国的火力随时可能被动用，从大炮、直升机或其他手段。

一名指挥官指出：“敌人用不了多久就能把乌鸦的音频信号与USF(美军)行动的致命效果联系起来。一些操作人员甚至在夜间任务中用胶带将化学发光棒绑在渡鸦身上，以使它们对敌人更加明显。) [\(14\)](#)

同样的方法在伊拉克奏效了。第二重型旅战斗小组注意到，他们出动的“乌鸦”架次数量与叛乱分子发动的袭击数量成反比。随着瑞文使用的增加，攻击次数从一个月十次下降到两次。“乌鸦”号的任务被描述为“地形封锁”，只需四处飞行就能让敌人远离。) [\(15\)](#)

不是每个人都那么喜欢乌鸦。海军陆战队2009年的一份报告发现，“渡鸦”很脆弱，有限的飞行时间意味着它不能像“捕食者”一样进行同样的“生命模式”分析，因为它的续航时间更长。() 一些海军陆战队后来通过“捕食者”的工作方式绕过了这一限制——每次巡逻机电量不足时，都有一架新的无人机接管。在一次测试中，他们对两只乌鸦进行了24小时的持续监视。[16](#)

海军陆战队还指出，由于无线电频率干扰，渡鸦已经消失，尤其是在城市地区。其中一些来自使用同一频道的其他无人机通信。偶尔会有来自术士无线电频率干扰器的干扰，这种干扰可以防止炸弹被遥控引爆。

2009年，随着数字数据链(DDL)的引入，渡鸦号实现了数字化。这使得16只乌鸦可以在一个区域飞行，而不仅仅是4只，这在一定程度上解决了干扰问题。数字版本提供安全加密的视频源。相比之下，2012年有消息显示，超过一半的“捕食者”和“收割者”车队仍在发送未加密的视频。数字链路将瑞文与其他系统无缝连接，并允许瑞文充当地面不同单元之间的通信中继，或者向多个用户提供视频。

与捕食者和便携式ROVER显示单元一样，除了操作员之外，人们还可以看到无人机的全景，因此需要分享乌鸦的图像。AeroVironment现在出售一种口袋大小的设备，可以将任何安卓或iOS智能手机或平板电脑变成一个接收瑞文信号的视频终端。()[17](#)

乌鸦开始看起来像一个完全网络化的系统。原则上，一只乌鸦的视频可以和它的大兄弟的图像一起显示在白宫情况室。

洛克希德·马丁公司开发了一个名为“VU-信息技术”的系统，该系统与“乌鸦”和许多其他平台一起工作。例如，一名拥有VU信息技术的阿帕奇直升机飞行员可以控制一只乌鸦，用它作为远程传感器来观察一个太危险而无法驾驶直升机飞越的区域。到目前为止，乌鸦已经属于步兵，但人们越来越有兴趣将它们作为“机外传感器”飞行，这样直升机飞行员和其他人也可以在不暴露在炮火下的情况下获得良好的视野。()[18](#)

不仅仅是瑞文的硬件在稳步改进。软件升级使操作员的生活更加轻松。例如，当背景本身移动时，操作者可能很难发现小的移动物体，例如步行的人。红隼移动目标指示器软件挑选并突出显示视野中的移动物体。红隼很方便地在移动物体(通常是人和车辆)周围放置一个标记矩形，使它们变得明显。()[19](#)

进一步的软件增强可能会提供更强大的功能，例如自动跟踪车辆或个人，或者识别特定类型的车辆或设备。受过训练的操作员可以发现一个火箭榴弹发射器或迫击炮底板，但这些都是学习的技能；未来，物体识别软件可能会接管。

闭路电视网络已经有了智能算法来跟踪人，并在发生异常情况时提醒操作员。例如，在监控停车场时，他们知道任何在周围走动几分钟的人都放错了他们的车辆，或者

正在寻找偷窃车辆。类似的算法可以把乌鸦变成一个只需要很少监督的智能观察者。

Raven是螺旋式发展过程的一个突出例子。不再是版本1发布，然后是版本2等等，而是根据需求和可用技术逐步增加了许多小的开发。其中一些已经被广泛宣传，比如数字链接；其他的，比如防堵塞的GPS接收器就不那么出名了。但是改进还是有的。

吉特林说：“这些年来，Raven已经进行了三次主要的系统级修订，以及数百次增量增强。“但重要的是，基本设计是合理的——特别是，模块化系统架构有助于变革。”

对渡鸦的需求持续增长。阿富汗的旅战斗队最初配备了15个瑞文系统，每个系统有3架无人机；指挥官要求将系统数量增加到35个，以确保每个步枪排都有一个。

瑞文为地面部队提供了一种全新的能力。毫无疑问，Gitlin发展的最重要方面是：

“对于渡鸦和它的‘兄弟’——美洲狮、黄蜂——来说，我们想不出比拥有这种能力的部队拯救的无数生命更伟大的成就了。这些生命包括雇佣渡鸦的美国和盟军部队的服役人员，以及由于渡鸦、美洲狮和黄蜂的态势感知能力而免于受伤的非战斗人员。”

他指出，“乌鸦”号具有更广泛的意义，为未来的发展开辟了道路。

“瑞文已经为小型无人驾驶飞机系统开辟了一条道路……未来，小型UAS(无人机)将在军事和商业市场上提供更强大的能力。”

其他鸟类的鸟舍

乌鸦从一开始就有对手。海军陆战队于2004年采用的RQ-14“龙眼”由海军研究办公室设计，与“乌鸦”一样，由AeroVironment公司生产。()这是一种稍重的飞行器，重6磅，翼展较小，为4英尺，每个机翼上有一个螺旋桨。操作员借助弹射器式的橡胶弹力绳来发射它。它的射程和续航能力都比乌鸦短。控制系统包括一副连接在笔记本电脑上的视频护目镜。[20](#)

海军陆战队最初喜欢龙眼，他们认为它比乌鸦更强壮，并订购了一千多只。有一些升级，包括摄像头和通信的改进。然而，当“乌鸦”RQ-11B被释放后，海军陆战队重新评估并改用了更轻、续航能力更强的飞船。

Prioria的Maveric受到一些特种部队的青睐。Maveric有一个不寻常的柔性机翼；它被卷在一个6英寸的管子里运输，当它被拉出时会立即展开。这使得马夫里克比乌鸦更快地行动起来。Maveric有一个安静的螺旋桨和一个看起来像一只飞翔的鸟的轮廓。需要警觉的观察者才能意识到它实际上是一架无人机，这使得它在秘密行动中很受欢迎。() [21](#)

作为一个较低成本的选择，有溜冰鞋，由极光飞行科学公司制造。这个只有两英尺宽，不到三磅重。它有一个不寻常的设计，由坚固的聚氨酯泡沫制成的扁平机身和两个螺旋桨。它垂直起飞，然后从垂直飞行翻转到水平飞行。溜冰鞋可能比其他小UAS慢，最高时速为50英里，但它可以在建筑物内盘旋和飞行。起飞也很容易，它可以是从建筑物内部或有限的空间发射，而乌鸦需要在没有风的情况下进行短距离奔跑。[\(\) 22](#)

阿罗利特是一架以色列无人机，开始引起美国军方的注意。它的生命统计数据与乌鸦相似，但它可以连续飞行近三个小时⁽¹⁾。与此同时，航空航天重量级公司洛克希德·马丁公司也在寻求以一款名为Vector Hawk的新飞行器在小型无人机市场取得一席之地。[\(\) 2324](#)

还有更多模糊的小型无人机。洛克希德·马丁公司早期的沙漠之鹰无人机受到英国陆军的青睐，但显然也受到一些美国特种部队的青睐。网上发布了小型无人机伪装成从巴基斯坦上空降落的鸟的照片。这些似乎是经过改造的沙漠鹰。还有几个特殊的变体，一个配备了声波射击定位器，从枪声中精确定位狙击手的位置。另一个有一个三维立体摄像系统，专门开发用于定位和检查阿富汗的洞穴入口，否则可能会被误认为是阴影。

“乌鸦”号最著名的竞争对手可能是由“航空环境”公司制造的两艘飞船——RQ-20“美洲豹”号和RQ-12“黄蜂”号。(这些RQ名称表明，该无人机是一个经批准的军事“记录项目”——官方身份的标志，而不是为特定任务一次性购买的)。

美洲狮实际上是指针的升级版本，比乌鸦提供更长的续航时间和更大的有效载荷。黄蜂是这一批中最小的，体重不到一磅，翼展略超过两英尺，是家庭中最便携的，适合特种部队和其他需要一次搬运几天东西的人。

美国国内外越来越多的制造商为军事市场生产小型无人机。迄今为止，它们都没有AeroVironment成功，用户总是会争论优势的细微之处。

作为美国陆军“类型分类”小型无人机“乌鸦”的记录项目，它处于强势地位。将它从五角大楼小型无人机舰队的核心位置转移出来需要一些重大的东西。对于其他国家来说，有很多可供选择的竞争对手，而且该技术并不复杂或昂贵，因此无法有效模仿。

2011年，俄罗斯步兵部队开始接收他们的第一架“格鲁莎”小型无人机，就性能而言，这似乎与早期型号的乌鸦相似。俄罗斯现在也有小型“格兰纳特-1”油田。包括朝鲜在内的其他国家也生产自己的战术无人机。[\(\) 25](#)

有爪子的乌鸦

从一开始，瑞文操作员就对他们能看到敌人却什么也做不了感到沮丧。

“你想加入战斗，但你做不到，”一名乌鸦运营商在远程观看了一场交火后告诉《时代》记者。“当你在屏幕上看着它，看到其他士兵被枪击时，这很糟糕。”^()[26](#)

许多人提出了给“乌鸦”装上炸药的明显建议，2005年英国《每日邮报》指出，这种装置正被用来对付塔利班。^()事实上，美国陆军的致命微型航空弹药系统项目(LMAMS)是在这个时候开始的，但花了几年时间才付诸行动。[27](#)

第一个真正的迹象是提到了一个名为Anubis的神秘项目。^()没有人会公开讨论它，但它在预算文件中被描述为一种战术微型飞行器，用于打击逃离的高价值目标：“该项目的目标是开发、原型化和测试具有环中人目标标识的非视距弹药，附带伤害非常低，作为概念努力的证明。”到2009年，阿努比斯被描述为实现了比其他小队武器更大的射程和更精确的杀伤力。值得注意的是，该系统还被称为“正在阿富汗部署，等待作战演示。”[28](#)

Anubis的后续产品是同样由AeroVironment制造的弹簧刀。它不是手抛的，而是从管子里发射出来的——然后翅膀会自动翻转，因此得名“弹簧刀”。^()[29](#)

弹簧刀类似于渡鸦的一次性版本，大小和速度相似。它有前瞻性的日光和红外摄像头，以及一些额外的功能，例如静音模式，将它变成滑翔机以实现额外的隐身。当然，它也是致命的：操作员锁定一个目标，Switchblade追踪并打击目标，在它撞击时引爆高爆弹头。这种弹头相当于一枚手榴弹，可以摧毁轻型卡车等轻型车辆，也可以在几米半径内摧毁人体目标。它可以通过一个特定的窗口击中一个房间的居住者。它甚至有一个可变的杀伤力设置，取决于目标是杀死一个人而不伤害附近的其他人，还是攻击整个群体。这种微调目标的潜力代表了一种与地狱火破坏力截然不同的外科手术替代方案。

弹簧刀可以说是有史以来最有鉴别力的武器。它提供了目标的特写图像，并具有“环绕”功能，因此操作员可以在最后一刻取消打击。使用其他武器——步枪、刺刀——士兵可能会看到敌人的脸，但他们自己总是处于潜在的危险之中。如果你打错了电话，下一秒你可能会被击中，很难冷静地评估某人是否是一个有效的目标。Switchblade操作员可以在没有肾上腺素的“非战即逃”的情况下做出决定。

2012年在阿富汗部署的首批刀片式服务器非常成功。第一次，一个安全躲在掩体后面的士兵可以从视线之外寻找、定位和消灭狙击手。整个交战过程都可以在不被发现的情况下进行。山丘另一边的迫击炮可以被压制，弹簧刀不仅可以发现叛乱分子是否在放置简易爆炸装置，还可以阻止他们。大约有4000人被部署在阿富汗。

美国海军还测试了Switchblade的一个扩展，无人机从潜望镜深度的水下潜艇发射。它被释放在一个密闭的胶囊中，当无人机浮出水面时，它会释放无人机；操作员然

后可以从潜艇内部控制它，因为它对水面目标进行打击，无论是船只还是内陆几英里外的目标。理论上，它可以用于从国际水域的安全到任何靠近海洋的目标——包括许多拥有海港的世界城市——进行秘密、精确的打击。

美国陆军计划延长LMAMS，它可能会在2016年成为“有记录的项目”(29)。这将使其成为陆军库存的标准组成部分。2014年的一份提案文件要求制造商对每年多达500个控制单元和2500架无人机进行定价。

经过现场的良好评价，AeroVironment的Switchblade当然是LMAMS竞赛的有力竞争者。但它是一家小公司，现在面临着来自雷神、Textron Systems和洛克希德·马丁等行业巨头的竞争。

洛克希德·马丁公司在这方面的产品被称为终结者。最初的版本有两套螺旋桨，使它看起来像一架微型二战轰炸机，并垂直发射。洛克希德公司表示，它是可靠的，设计用于在各种天气条件下工作，并有效锁定。该系统的重量不到12磅。有趣的是，机身是在三维打印机上生产的，这一趋势我们将在下一章中讨论。2015年，全新版本的终结者亮相，搭载单推进器推进器；洛克希德·马丁公司拒绝对新设计发表评论。

Textron是军火领域的巨头。Textron的“战斗鹰”的飞行续航时间为30分钟，因此它可以在找到目标之前“游荡”或勘测广阔的区域。据说太空堡垒很容易使用，有一个基于安卓的用户界面，这表明开源兼容性变得越来越重要。Textron的Cathy Loughman将其描述为一种进化发展：士兵已经拥有战术UAS并使用它们来指挥火力。BattleHawk将所有内容放在同一个包中。

这两个系统的最高时速都超过了100英里，并且携带一个能够攻击人员和轻型车辆的弹头。终结者可以充当远程精确榴弹发射器，能够将弹头放入散兵坑或战壕，或者从视线之外的特定窗口发射。

两家制造商都强调高精度和小弹头带来的低附带损害。此外，它们在撞击前给出了目标的特写图像，并具有与Switchblade相同的“复飞”功能。(LMAMS未来的要求可能包括‘非致命性’弹头，使目标失效而不伤害目标，甚至有一个提议是使用气味难闻的恶臭弹头将居住者赶出建筑物)。

这种武器给士兵个人带来了改变游戏规则的新能力，但是小型无人机的能力要大得多。两家公司都在积极探索新武器的联网能力。

其他侦察资产可以向终结者控制单元发送视频和全球定位系统数据。然后，操作员可以发射“终结者”并使用数据打击目标，还可以将视频和数据传输给其他人。同样，拉夫曼说，太空战鹰已经完全集成到美国陆军的精确火力管理器中，这是一个网络系统，使用来自多个传感器的实时数据来提供目标数据。

美国不是发展这种能力的唯一国家:以色列已经拥有这种能力。由UVision制造的英雄系列游荡无人机看起来很像LMAMS。它们由一根管子发射,带有翻转翼和电动推进器。最小的是便携式英雄30,重3公斤(7磅),飞行时间为30分钟。它已经在以色列军方服役,而乌维拉正在寻找其他客户。

致命的便携式无人机对地面战斗的影响还没有研究出来。我们不知道如果一方(或双方)有足够的无人机供应,交火会是什么样子。它很可能是一种变革性武器,尤其是与“乌鸦”或其他小型无人机结合使用时。士兵可以在远处看到敌人,并以难以置信的精度攻击他们。如果有人用机枪或火箭向你射击,你可以躲在墙后或洞里。除非在一个封闭的掩体内,否则没有办法躲避LMAMS。它可以飞来飞去从任何方向攻击,也可以潜入战壕。这使得它独一无二,而前几十年屡试不爽的战术将不得不被修改。平躺并保持低着头可能只会让你更容易成为目标。

未来,用步枪交火可能会变得像用刺刀刺伤一样罕见。真正的行动可能发生在更远的距离,根本没有任何面对面的接触。

LMAMS的精度在步兵武器中也是独一无二的。你必须发射大量无制导武器才能命中目标。对于步枪和机枪来说,每一个伤亡数字通常都是两万发或更多。大炮和迫击炮发射数百发炮弹,摧毁了大片景观,但没有击中目标。制导武器不同。从20世纪60年代首次使用以来,激光制导武器有一半以上的时间击中目标。有了这样的武器,射程就无关紧要了:两英里外的目标和两百码外的目标一样容易被击中。一个拥有20个LMAMS的小队可能会获得接近20次命中——可能是在车辆上、射击位置上,也可能是在个人身上。

LMAMS将是美军的巨大财富。但是这项技术不会是任何一个国家的专利。以色列英雄不会是唯一的外国对手。像其他任何人一样,如果美军遭遇手动发射的致命无人机,他们可能会遭受重大伤亡。

此外,Switchblade是第一代致命小型无人机的原始版本1.0,这是一种粗糙但有用的新功能,就像指针和侦察无人机一样。未来的版本可能会更加有效,更加致命。考虑到小型无人机的发展速度和巨大潜力(我们将在后面的章节中看到),不可能预测未来的战场可能会是什么样子,或者人类除了作为温暖的目标之外还会扮演什么角色。

展望未来

乌鸦号的成功没有什么不可避免的。指针没有让世界着火,如果没有将它改造成乌鸦的开发计划,小型无人机可能会被限制在少数龙眼和类似设备中。但是一旦瑞文成立,它就在服役的第一个十年里迅速传播和进化。目前的乌鸦看起来很像2003年的第一批模型,但它是一种非常不同的鸟。

用户要求的一切——任务时间、传感器分辨率、易于控制——都在逐步改善。小型无人机现在以自己的方式与其大型同类飞机一样重要。一只300英尺高的乌鸦可以发回和一万英尺高的捕食者一样有用的图像。这并不是说一只乌鸦能做掠夺者能做的一切——至少现在还不能——两者在这一点上肯定没有竞争。但是当涉及到提供关键问题的答案时——这是我们的目标吗？这些是叛乱分子还是农民？迫击炮是从哪里发射的？—乌鸦已经是无价之宝，并且正在稳步变好。

处于直接控制之下，因此能够在现在而不是一个小时内传回图像，是一个巨大的优势。能够与地面上的其他用户共享这些信息将会放大这一优势。

正如我们将看到的，升级过程可能会继续加速。这与更大的无人机形成鲜明对比。升级捕食者是一项昂贵的业务。你将需要数百万美元的飞机来测试它，与现有系统的集成是复杂的。一个新的硬件可能很贵，而且因为你的总市场只有几十架飞机，R&D的成本会很高。但是乌鸦是模块化的；你可以拔下一个单元的插头，插上另一个。如果你开发了一个新的工具包，比如可以测量风速，那么许多不同的用户中的一些人可能会感兴趣，你就有了市场。你可以大规模生产并廉价制造东西。

庞大且不断增长的现有用户群意味着小型无人机的发展将会有个现成的市场，这在大型无人机上是永远不会发生的，正如我们将在第6章中看到的那样。在此之前，我们将在第5章中研究解决“乌鸦”及其前身和对手最大限制的方法：飞行时间。但是在我们离开这一章之前，我们需要继续小型无人机的另一场革命，这场革命基本上发生在军事领域之外。

平行宇宙：四旋翼飞行器的进化

像“乌鸦”这样的固定翼无人机在电动多旋翼直升机的形式上展开了竞争。这些与早期的直升机无人机有很大不同。

美国陆军在一架小型直升机无人机上花费了相当大的精力。这是霍尼韦尔制造的RQ-16 T-Hawk(用于“狼蛛鹰”，黄蜂的一种)。被称为“飞行啤酒桶”，这是一个20磅重，两英尺长的圆筒，包裹着一个由汽油发动机驱动的管道风扇。() [30](#)

导管风扇是一个封闭的螺旋桨；在外壳内意味着没有散落的转子尖端会被植物或建筑物捕获。RQ-16是根据一份价值7000万美元的合同开发的，最初是一个名为“未来战斗系统”的雄心勃勃的项目的一部分，该项目设想在地面和空中有一个机器人动物园，与坦克和步兵一起工作。FCS计划将所有有人驾驶和无人驾驶的车辆结合在一个统一的网络中，作为一个整体一起工作和战斗。然而，尽管这一愿景可能是合理的，但这项技术并不合理，它在21世纪初被终结，当时军事版的网络泡沫最终破裂。

被扑杀的唯一幸存者T-Hawk投入了低生产率生产，并被派往伊拉克接受陆军的测试。随后进行了一些改进，包括更容易起飞的燃油喷射发动机、更好的飞行控制软件以

及传感器炮塔而不是固定摄像头。和瑞文一样，2010年也推出了数字数据链版本。

事实证明，T-Hawk在寻找简易爆炸装置方面非常有用，这主要归功于它在原地悬停的能力，英国陆军仍在使用它。然而，美国陆军在2011年2月正式取消了它，转而使用固定翼无人机。主要原因似乎是噪音。如果操作者想让乌鸦在头顶飞过时被听到，它就能被听到；T-Hawk的声音很大，几百码外都能听到。任何敌人都可能在距离他们足够近的时候躲起来。

此外，与乌鸦不同，T-Hawk不容易携带；基本的20磅，不能扔进背包。加油比插上充电器更困难。四十分钟的飞行时间不容易延长。也许更重要的是，每辆车超过50万美元的成本——大约是一只乌鸦的15倍——意味着它不像乌鸦那样是可消耗的。

然而，现在有了一种更小、更安静、更便宜的替代品。近年来，成千上万的微型旋翼机飞向天空，可以通过智能手机驾驶。不像普通的直升机有一个水平旋翼用于升力，一个垂直旋翼用于稳定性，它们有几组旋翼叶片都提供升力。

直升机必然是一种复杂、精密和昂贵的设备。这是因为转向涉及改变转子叶片的角度或螺距，这需要精心的机械布置。四旋翼飞机有四组叶片，只需加速或减速不同的旋翼就能转向并保持稳定性。没有现代电子设备，这是不可能的；对他们来说很容易。

现代多旋翼可以追溯到20世纪80年代末，由日本Keyence公司生产的陀螺飞碟玩具。然而，现代发展往往可以追溯到美国工程师迈克·达马姆，他在90年代初开发了第一台电池驱动的四轴飞行器。光谱解决方案公司在1999年将它作为罗斯韦尔飞行器进行了营销，后来又将其改编为德拉根弗利尔系列，该系列仍在继续。() [31](#)

结合最新的小型摄像机，多翼飞机可以发回以前只有直升机才能拍摄到的照片。多翼飞机成倍增长，最大的突破出现在2010年，鸚鵡公司生产了第一架增强现实无人机。这被誉为一个神奇的玩具：一架直升机通过无线网络发回视频，你可以用苹果手机控制它。AR。无人驾驶飞机是畅销书，全世界都意识到了多翼飞机的潜力。

更大的专业版本已经被警察部队和电影摄制组广泛使用，在《幽灵》、《复仇者联盟：奥创时代》和许多电视纪录片中捕捉到了戏剧性的镜头。科学家用它们来追踪野生动物或进行土地调查。工程师通过无人机检查电线、桥梁和发电站烟囱。他们最大的局限是美国的法律状况；到目前为止，美国联邦航空局拒绝给它们发放商业活动许可证，只有少数例外。

该行业最重要的公司之一是艾伦实验室，该公司生产一系列无人机，包括广受欢迎的艾伦侦察机。它重3磅，没有有效载荷，最高时速30英里，携带日光或热成像相机。像瑞文一样，它有一个带有游戏型控制器的简单用户界面。它可以被设置为悬停在适当的位置，并在触摸按钮时“凝视”感兴趣的对象。2014年4月，该公司宣布了一个

匿名美国军事客户的订单。

达特隆公司总裁兼首席执行官凯文·j·凯恩(Kevin J. Kane)表示:“我们的垂直起降小型无人空中系统(VTOL sUAS)平台经过了实地测试和战斗验证,”该公司网站上重复了这一说法,表明同一客户之前曾有过未经宣布的使用。() [32](#)

Aeryon Scout是另一个模块化系统,带有可轻松升级的相机包。最新版本的HDZoom30为民用和军用操作人员配备了强大的变焦镜头。例如,它可以在一百英尺处读取电力线绝缘体上的序列号;它还可以读取汽车牌照,识别1000英尺外的人脸。() [33](#)

像乌鸦一样,Aeryon Scout是背包便携式的,可以在几分钟内发射;同样和乌鸦一样,它的成本只有T-Hawk的十分之一,而且非常安静。

AeroVironment更希望陆军拥有更像乌鸦的东西:伯劳鸟,他们自己的新四旋翼飞机,它使用了许多与乌鸦、美洲狮和黄蜂相同的部件和相同的控制器。它于2011年推出,但迄今未能吸引大量订单。

多旋翼飞机比固定翼飞机有几个主要优点。首先,它们可以在室内运行,穿过建筑物、隧道和掩体。而且它们的视野比移动的固定翼更稳定。

未来可能会看到固定翼、用于远程任务的乌鸦型飞行器和用于近距离工作的四旋翼飞行器的混合,以及能够静止悬停带来巨大优势的情况。但是,有可能将两者结合在一个平台上,实现两者的最佳结合。

洛克希德·马丁公司的“矢量鹰”可以根据任务配置为固定翼或多旋翼。它甚至可以变成倾斜旋翼,将垂直起飞和快速向前飞行结合起来,就像溜冰鞋一样。和Raven一样,Vector Hawk重4磅,制造商声称它拥有“同类最佳的有效载荷能力、速度和续航能力。”() [34](#)

其他人声称他们可以通过新颖的设计获得更好的性能。总部设在雷丁大学的英国垂直起降技术公司的机身在低速时产生高升力,在高速时产生低阻力。()这种设计,即飞翼,有两对管道风扇,可以旋转到任何角度,因此它们可以在水平飞行中推动无人机向前或提供垂直升力。“飞翼”与其他倾斜方式的区别在于,机翼可以指向风中,以提供悬停所需的大部分升力——海鸥和其他翱翔的鸟类使用这种技术逆风悬停。这可以将它的续航时间延长到几个小时。 [35](#)

飞翼的创新机身配备了精确导航系统、自动防撞和超视距控制系统。原型飞翼有三英尺的翼展,目前正在飞行测试。制造商表示,它将适合于交付高价值的包裹,而高精度和高效的悬停则有利于基础设施检查等工作——获得电力线设备或工业烟囱的特写照片。还有一种军事模型,将乌鸦般的速度和耐力与四旋翼飞机的精度和垂直着陆相结合。

与此同时，一家名为Krossblade的位于亚利桑那州坦佩的初创公司，正在对他们的sky cruiser采取更激进的方法。()这是一架变形无人机:在向前飞行时，它看起来像一架飞机，但四个旋翼叶片从机身上弹了出来，用于垂直起降。这两种类型的旋翼的结合使它在悬停和向前飞行时都非常高效，唯一的损失是变压器机构和旋翼叶片的额外重量。首席执行官丹·洛希(Dan Lubrich)估计，该机制仅增加了总重量的10-12%左右，并提供了主要好处。[36](#)

尽管体积小，天巡者可以以每小时60多英里的速度巡航，最高时速超过80英里。它的续航时间为40分钟，有效载荷为1磅。Krossblade在2015年接受了预购，目标是在2016年3月之前以每台不到3000美元的价格交付skywards。

无论它们采取什么样的形式，随着成功的创新被该行业的其他人采用，小型无人机的能力将会越来越强。它们可能是某种倾斜设计，可以在垂直和水平飞行之间切换，或者它们可能能够以某种方式改变或重新配置自己。不同的技术将在市场上一决高下，一个赢家可能会出现。赢家可能不是最好的设计，而是最有后盾的设计。无论发生什么，未来的小型无人机都有可能像现在的“黑大黄蜂”一样，能够悬停、垂直起飞、探索建筑内部等受限空间。

参考

1) ”……其中有9000架是由加州航空环境公司制造的小型手动发射飞行器

[拉文展示了小UAS十年的进步。航空周。](#)

2) [“保罗·麦克格雷迪博士传记》\(2007\)。](#)

3) “RQ-11B瑞文”产品页面, AeroVironment

[UAS: RQ-11B拉文。\(未注明日期\)。](#)

4) [指针进化:“特种作战使用‘指针’无人机进行重要侦察、部队保护”\(2013年7月11日\)。](#)

5) 探路者乌鸦

[马文, 阿, &德库马鲁, 第\(2004\)页。探路者乌鸦小型无人机。](#)

6) 《会飞的小飞机》

[马提尼, 诺玛。“会飞的小飞机。”国防部办公室科学博客。用科学武装起来。\(2010年11月9日\)。可以\[博客帖子\]的小飞机。](#)

7) “我现在有东西作为连长给我三维态势感知。”

[陆军杂志](#)

8)“像漫画一样”

麦克利，露丝。“乌鸦队支持美国和伊拉克军队。”国防视频和图像分发系统。

(2009年8月17日)。渡鸦支持美国和伊拉克军队。

9)“人们认为这种(捕捉)会将损害降至最低”——史蒂夫·吉特林个人交流，2014年10月

10)“陆军厨师没什么事可做，至少有一个人抓住了机会，以他公司的Raven专家的身份实现了多样化。”

布莱克，K. (2005年4月15日)。乌鸦队。

11)吸血鬼

吸血鬼。(2004)。

12)螳螂

螳螂——革命性的视觉感知。(未注明日期)。

13)“对于想爬上屋顶向我们的人开枪的枪手来说，这是一种真正的威慑。”

布莱克，K. (2005年4月15日)。

14)“敌人用不了多久就能把乌鸦的音频信号和致命效果联系起来。”

马提尼，诺玛。“会飞的小飞机。”国防部办公室科学博客。

用科学武装起来。(2010年11月9日)。可以[博客帖子]的小飞机。

15)“地形否认”

北卡罗来纳州哈里斯(2010年11月9日)。一只让爱伦坡骄傲的乌鸦。

16) 2009年海军陆战队报告认为“乌鸦”站不住脚

阿克曼, S. (2011年5月12日)。手持间谍无人机对伊拉克海军陆战队来说太弱了。

17) 数字数据链。

18) VU信息技术公司。

19) 红隼移动目标指示器

红隼-小型无人飞机系统的陆地动目标显示。(未注明日期)。

20) 龙眼

美国陆军接近决定4亿美元的小型无人机竞赛。(2015年9月27日)。

21) Prioria Maveric(医学博士)。

22) 滑冰

[极光飞行科学官方产品页面](#)

23) [Arrowlite \(n.d.\)](#)。

24) 沙漠之鹰

[沙漠之鹰三。\(未注明日期\)](#)。

25) 俄罗斯“格鲁莎”无人机

[无人机在俄罗斯武装部队中起飞。\(2011年12月19日\)](#)。

26) 汤姆森, 马克。“阿富汗上空新的美国‘斯莫斯’空军。”时间。

[汤普森\(2011年6月26日\)。阿富汗上空新的美国“斯莫斯”空军。](#)

27) 以炸药为炸药的黄蜂

[汉布林博士\(2007年1月23日\)。军方制造机器人昆虫。](#)

28) 阿努比斯项目

[汉布林博士\(2010年1月5日\)。空军完成杀手微型无人机项目。](#)

29) [弹簧刀](#)。

30) LMAMS

小UAS扩大美国陆军空中支援选择。(未注明日期)。

31) RQ-16塔拉图拉鹰

路线许可是高科技的。(2010年12月1日)。

32) 四旋翼飞行器的发展

为了工作和娱乐，追踪多旋翼无人机的起源。(2014年11月2日)。

33) “我们的垂直起降小型无人空中系统(垂直起降小型无人空中系统)平台经过了实地测试和战斗验证。”

达特隆世界通信公司。(未注明日期)。

34) 艾伦童子军

艾伦·斯科特——艾伦·实验室有限公司。

35) 洛克希德·马丁矢量鹰

洛克希德·马丁公司推出小型无人驾驶飞机系统家族的最新成员。(未注明日期)。

36) 垂直起落技术飞翼

飞翼。(未注明日期)。

37) クロス刀鋒天空潜行者

クロス布莱德天空潜行者。(未注明日期)。2015年10月23日。

第四章——胜利成本的大幅下降

[回到顶部](#)

“低价没有胜利可言。”

—德怀特·艾森豪威尔

一架手动发射的瑞文无人机价值数万美元。它看起来可能像一个价值几百英镑的无线电遥控无人机玩具，但功能更强大、更坚固。一种新的商用和“专业”无人机已经开始出现在这两种无人机之间，这种无人机的价格只有几千美元，并且正在迅速侵蚀军用级和消费级之间的区别。

许多这样的无人机被出售用于商业和工业用途。最大的领域是农业，无人机比地面勘测更容易发现需要水、肥料或杀虫剂的地区。其他人濒临军事边缘。例如，莱曼960是一种固定翼无人机，翼展为三英尺，供“安全专业人员”监视使用就像瑞文一样，它可以通过视频和热感相机提供实时视频，但只要7000美元，它就是你的了。()专业摄影师和电影制作人使用成本不到一半的DJI四旋翼无人机，并获得惊人的效果。

二

军用无人机可能很快就会变得非常便宜，这使得它们不同于其他遵循价格急剧上升曲线的军用飞机。相反，小型无人机正沿着智能手机和其他消费电子产品的道路前进，变得更强大、更有能力——也更便宜。

军用无人机制造商强调质量，并热衷于区分他们的产品和业余爱好者驾驶的产品。但我们将看到MITRE Corp . 的一个团队如何用商业组件仅花2000美元就造出了一架名为Razor的军用无人机，并吹嘘“90%的能力，10%的成本。”

这对于军用飞机采购来说是革命性的。几十年来，随着性能的提高，飞机不可避免地变得更加昂贵。要了解这种情况，你必须后退一步，看看自第二次世界大战以来飞机是如何发展的。

越来越高:主题多变

1984年，前陆军副部长、航空航天公司马丁·玛丽埃塔(Martin Marietta)首席执行官诺曼·奥古斯丁(Norman Augustine)发布了一套关于军事采购的“法律”。()这些是源自多年国防事业的幽默讽刺格言。有些与任何大组织都相关，比如第26条法则——“如果有足够数量的管理层相互叠加，就可以保证灾难不会听天由命。”²

他最著名的智慧之珠是奥古斯丁第16定律，该定律指出，每一代新一代军用飞机的成本都呈指数级上升。奥古斯丁预测，这将在2054年达到顶峰，当时：

“整个国防预算将只购买一架飞机。除了闰年之外，这种飞机必须由空军和海军每周共用3天半，闰年时海军陆战队可以多使用一天。”

尽管有意开玩笑，奥古斯丁的第16条定律非常准确。北美P-51野马是二战中最重要的美国战斗机之一。1945年建造了一万五千多座，每座造价约为5万美元(2014年为65.5万美元)。20世纪50年代，喷气式F-100超级军刀以70万美元的价格(2014年为600万美元)获得成功，按实际价格计算，是其十倍。1960年首次飞行的麦道F-4幻影突破百万美元大关，1965年每架造价240万美元(2014年为1800万美元)，是其前身的三倍。即使考虑到通货膨胀，上升曲线也是陡峭的。

到了20世纪80年代，当奥古斯丁在写他的法律时，成本的上升是显而易见的。美国空军的新F-15“雄鹰”也来自麦道公司，它将取代F-4。“雄鹰”是一架极好的飞机，但它的成本已经达到了新高，超过了2000万美元(2014年为4500万美元)，几乎是其前身的三倍。

因为F-15太贵了，只订购了一千架，而F-4已经有五千架了。F-15被设计成擅长“超视距”杀伤，在敌人不知情的情况下，用重型雷达制导导弹打击敌机。不能携带这种大型远程导弹的小型飞机将被彻底击败；因此，F-15必须是一架有相应价格的大型飞机。

不幸的是，当敌人接近时，空战遵循一套不同的规则。

广泛的飞行演习发现，大型双引擎F-15仅略优于俄罗斯人在缠斗中派出的小型廉价战斗机。如果发生战争，F-15这一小撮人会被成群的俄罗斯米格战机压垮。当然，F-15能够远距离击倒大量俄罗斯人，但当幸存者与他们势均力敌时，这场比赛将是血腥和片面的。

空军决定采用“高低”组合，用大量被称为轻型战斗机的廉价飞机补充精英F-15。被选为轻型战斗机角色的飞机是单引擎的F-16“战斗猎鹰”，其尺寸是F-15的三分之二。这是战斗机大师约翰·伯伊德的一个概念的体现，即一架极其敏捷的简朴飞机，可以在缠斗中击败任何东西。由于不太复杂，它非常便宜，可以大量收购。拥有强大雷达的F-15是远程作战的冠军；敏捷的F-16本来是斗狗“毛球”的冠军。

在研制过程中，F-16的纯度慢慢被破坏。随着越来越多功能的增加，它变得更重、更不敏捷、更昂贵。不是每个人都同意博伊德的观点。最终的产品不是一架专用的格斗飞机，而是一架多功能飞机。它能够精确轰炸和空对空作战；它作为精确轰炸机如此成功，以至于激光制导武器的发展被搁置，因为人们怀疑它们是否有必要。F-16变得足够强大，可以像F-15一样携带大型雷达制导导弹用于拦截任务。F-16是

一架好飞机，但不是最初设想的那样。猎鹰财团的一些欧洲合作伙伴对此并不以为然。

“我们签约购买的轻型、低成本战斗机后来怎么样了？”比利时代表在一次会议上问道。() [3](#)

按1998年的美元价格计算，F-16的价格为1500万美元(2014年为2200万美元)，比F-15便宜，但比上一代任何东西都贵，包括大型F-4。除了奥古斯丁，削减成本比任何人都要困难。

美国海军经历了类似的经历。他们还更换了F-4幻影，并选择了F-14雄猫，这是一款价值3800万美元(1998年美元，2014年5500万美元)的舰载战斗机。像F-15一样，它有很大的雷达和令人印象深刻的远程能力。

同样，F-14价格太高，无法大量采购，海军开始考虑用更小、更便宜的飞机来增加数量。他们选择了F-18大黄蜂，它原本是美国空军轻量级战斗机竞赛中失败的竞争者。F-18的成本从计划的500万美元增长到约2900万美元(2003年= 2014年的3700万美元)。廉价建筑并没有成功，奥古斯丁的定律仍然顽固地没有被打破。

飞机价格无情上涨，但美国议员似乎满足于继续增加支出。数字已经下降，但奥古斯丁关于单架飞机空军的预测不会完全实现，因为国防机构仍然愿意支付更高的价格。精明的国防承包商已经将他们的工厂分布在许多不同的州，以确保作为当地重要雇主的持续政治支持。

尽管如此，仍在努力阻止成本上涨的趋势。当先进战术战斗机被宣布取代F-15“雄鹰”时，一个关键点是它的成本应该低于它所取代的飞机。

先进战术战斗机项目办公室设定了每架飞机1985财年3500万美元(2014年6600万美元)的目标，低于F-15的最新型号。新技术意味着F-22猛禽，正如它成为，将是第一代比它的前身更便宜。奥古斯丁的法律将被一劳永逸地击败。() [四](#)

不用说，事情不是那样发展的。猛禽计划最终吞噬了纳税人超过600亿美元的资金，远远超过最初的估计。尽管购买的数量从800架下降到400架，最后不到200架。每架飞机的“飞行成本”按2008年的美元报价为1.5亿美元(2014年为1.64亿美元)。然而，这还不包括研发的沉没成本。如果你用项目成本除以交付的飞机数量，你会得到每架飞机惊人的3亿美元。或者说是上一代的六倍。

从那以后，任何关于猛禽成本的争论都被关于F-35闪电II的争论淹没了。这是F-16轻型战斗机的替代品。像它的前身一样，F-35是一架单引擎飞机，最初是为了成为其更大伙伴的相对低成本的伴侣。低成本当然是相对的；2001年，洛克希德·马丁公司预计一架飞机的成本为2001年的5000万美元(2014年为6700万美元)。

读者在得知F-35的成本、重量和复杂性在研发过程中不可阻挡地上升时，不会感到惊讶。这就产生了一个由游说者、热心者、辩护者和批评家组成的生态系统，他们有堆积如山的成本数据要处理。2015年，关于实际成本，仍有激烈而细致的争论。

截至2014年，也就是投入生产的8年，美国空军版本的F-35以2014年的美元计算成本约为1.9亿美元，超过了除更大的F-22之外的任何其他战斗机。英国将为首批14个项目支付约1.8亿英镑/2.8亿美元。总的“拥有成本”，包括维护和支持一架F-35的寿命，目前估计每架飞机超过3亿美元。

制造商洛克希德·马丁公司声称，随着飞机产量的增加和飞机在未来几十年的成熟，成本将会下降。批评者认为价格同样可能上涨。他们也怀疑F-35是否会像最初设想的那样有能力。

无论如何，五角大楼的最佳猜测是，F-35计划的总成本(包括支持)将在一万亿美元左右。不过，在这一点上，别无选择。花了太长时间和太多成本才走到这一步。第一份研制合同签订于1996年，第一架F-35于2006年试飞，最终于2015年底投入使用。

开发周期将近20年，重新开始再尝试不是一个选择。F-35项目太大不能失败，对国防太重要不能取消。

对单个程序过于挑剔是很容易的。对F-35的许多同样的批评可以针对过去四十年的任何战斗机，虽然F-35可能不是特别好，但就成本增长而言，它肯定是趋势。这并不是反常现象，如果选择了一架不同的飞机，成本会更低，这是不现实的。

F-35只是奥古斯丁定律的另一个例子。

观察到飞机成本持续上升是一回事。解释它是另一回事，那需要另一本书。一个简单的因素是飞机的价格与其重量有关。重量增加能力；更高的速度需要更大的发动机，更长的航程需要更多的燃料，两者都要求更大的飞机，增加的炸弹载荷也是如此。每一代都更大。二战时期9000磅的野马已经成长为64000磅的猛禽。

成本的另一个驱动因素是不惜任何代价追求卓越，因为没有其他东西值得拥有。正如《壮志凌云》中的一名飞行员所说：“记住，孩子们，第二名不得分。”

苏联人更喜欢投资几架便宜的飞机，而不是一架昂贵的飞机，由飞行时间更短的飞行员驾驶，并指望以数量取胜。但美国空军并不打算牺牲大量飞行员，给他们劣质飞机。他们想要一支拥有高科技装备的精锐部队，能够摧毁更多的反对派。

F-22在三个方面具有独特的优势。()它是隐身的，所以不可能在雷达上远距离发现，所以猛禽可以在被发现之前挑出对手(或避开他们)。矢量推力——能够改变喷气的方向——使猛禽超机动，能够在缠斗中战胜任何对手。持续的超级巡航——长时间

超音速飞行，而不是爆发式飞行——意味着猛龙可以选择何时何地作战，在合适的时候解除婚约。它的导弹储存在内部武器舱中，保持隐身并保持阻力下降，以获得更高的速度和敏捷性。[5](#)

在战斗演习中，四架有经验的飞行员的F-22可以和十二个对手较量并获胜。猛禽飞行员声称，他们可以对抗如此多的敌机，以至于他们用完了导弹，不得不带着他们的大炮进去，在安全退出战斗之前取出更多的导弹。与劣质飞机战斗时，三比四或五比一的赔率不会让他们担心，任何在劣质飞机上与猛龙对抗的人都有可能陷入困境。从这些方面来看，猛禽是未来几年保证制空权的绝佳投资。

然而，对卓越的需求确实推高了价格。这与一级方程式赛车非常相似，设计师会走极端，挤出每一滴性能。商界经常引用的帕累托原则也被称为80:20原则，并以多种方式体现出来。20%的客户占80%的业务，20%的bug产生80%的问题等等。防务圈有一句话是这样说的，额外增加20%的能力占了80%的成本。奥古斯丁的第15定律更为悲观，认为“最后10%的性能产生三分之一的成本和三分之二的问题。”

和赛车一样，更好的表现是物有所值的。一辆获胜的汽车，或者一架能击落敌方战斗机的战斗机，物超所值。分析师称它们为“精致的武器”：以惊人的价格精心设计。

这种追求卓越的行为导致了生产周期短的昂贵产品（我们将在后面看到这对电子产品的影响）。这也可能导致接触器滥用。尽管包括RQ-11B乌鸦在内的许多产品都是以固定价格合同购买的，但许多飞机都是“成本加成”交易。承包商保证会获利，无论他们生产订购的产品花费多少。

上世纪80年代，帕卡德委员会著名地发现五角大楼花了435美元买一把锤子，花了7000美元买一个咖啡壶。虽然人们可能不知道一个特别制造的精密设计的钛铆钉应该值多少钱，但对于普通家庭用品来说，这显然是高得离谱的价格。

如此高的价格并不完全是承包商试图敲诈山姆大叔的问题。有时它们是采购过程的结果。帕卡德委员会发现，E-2C鹰眼飞机上的烟灰缸每支售价659美元（2014年为1446美元）。年轻读者可能会对80年代允许在军用飞机上吸烟感到惊讶。[\(\)七](#)

成本据说是因为政府的规格：每个烟灰缸由11个部分组成，需要13个工时来建造。该规范确保烟灰缸在航母着陆时不会晃动。微小的生产运行意味着单位成本很高……尽管可能没有那么高。谈判将单价降到了更合理的49美元（107美元）——与现成的替代品相比仍然很贵，或者像当时的国防部长卡斯帕·温伯格建议的那样，是一个旧的蛋黄酱罐。

军用飞机不断上涨的成本并不是美国独有的问题，这个问题根源于美国著名的“军工复合体”，有些人可能会这么认为。欧洲的多功能战斗机项目经历了类似的任务蠕变和成本增长。成本从1970年计划的500万美元上升到1985年交付龙卷风时的实际2000

万美元。(英国战役中的喷火在1940年花费了大约5000/20000美元——按今天的价格计算是84000/126000美元)。许多书籍和电视纪录片批评了这个节目，强调它是欧洲官僚主义和低效率的一个例子。尽管跨国机构没有帮助，但总体结果与美国的经历非常相似。

“龙卷风”的继任者“台风”是有意识地努力制造一种低成本飞机，以替代购买昂贵的美国制造飞机。

1988年，232个台风给英国造成的损失估计约为3500万美元。到1997年，这一数字几乎翻了一番，到2003年，这一数字翻了三番，达到每架飞机1.05亿美元。买美国货可能更便宜。但和美国一样，政治和实用性同样重要。该项目在欧洲维持了数千个工作岗位，并创造了一个可能的出口收入来源。

毫无疑问，生产一架优秀的飞机——甚至是一架足够的飞机——是一项昂贵的事业。一个副作用是，因为军用飞机的更换成本很高，所以不能每隔几年就用它们来换一个更好的型号，比如汽车。他们必须提供几十年的服务，这不可避免地也会推高价格。美国空军飞机的平均寿命现在超过23年。最后一架F-16交付于2005年，最后一架F-15C交付于1985年。一些轰炸机是真正的老前辈：到2012年，B-52轰炸机的平均年龄超过50岁。

有许多升级和增强，但这些往往间隔几年，有时更长。每架飞机的升级费用高达数百万美元。一架飞机的初始采购成本可能与后续升级的成本相比相形见绌，尤其是当这些升级包括复杂的电子产品时。

例如，自70年代以来，F-15雷达已经经历了四个版本。最新版本的安/APG-63(V) 3是在2006年开发的。这是一种固态电子扫描雷达，没有运动部件，具有先进的处理能力，可以在比以前更大的距离上识别和跟踪更多的目标。辨别能力的提高意味着它能够更好地看到隐身目标，并突破杂波和雷达干扰。这种雷达一次大约要花费800万美元，在9年前，从军事角度来说，它是一种现代化的设备。尤其是和同一个平面的其他部分相比。

20架B-2“精神”隐形轰炸机的最新更新成本略低于100亿美元。除了付钱，唯一的选择就是失去美国战略轰炸机队的一个关键组成部分。

《掠夺者》和《收割者》正好符合这张照片，第一代《掠夺者》被更快、更有能力、更重、更贵的东西所取代。

考虑到奥古斯丁定律的影响，你可能会期望下一代小型无人机比现在的瑞文更贵、更有能力。标准模式是无人机变得越来越大，直到它不再是便携式的，经过几代人的成长，类似于一架价值100万美元或更多的小型隐形战斗机。而不是一万只乌鸦，五角大楼会有几百架迷你超级无人机，就像他们已经从一万五千只野马变成了几百

只猛禽一样。有些人会说这是一个很大的进步，也许只是对过去的一点点怀念。

然而，有令人信服的理由相信，无人机的开发将遵循来自不同领域的同样成熟的法律。

摩尔定律回击

远离军事，采购不受奥古斯丁定律的约束。在计算和电子领域，购买者和规划者遵循摩尔定律，即给定能力的价格会呈指数级下降。这项法律是由NMI公司的联合创始人戈登·摩尔于1965年制定的，NMI公司将成为世界上最成功的硅片制造商英特尔。

摩尔定律指出，芯片上的晶体管数量每两年翻一番(一个变体说是18个月)。这是基于摩尔对该行业的观察，每一代芯片都是用更先进的技术更小的规模上制造的。考虑到芯片的成本保持不变，随着处理能力成本的下降，计算机的性能会稳步提高或降低。

摩尔定律已经被证明是准确的，以至于它变得自我实现：开发人员将其用作规划下一代芯片的指南。处理速度和内存增加，单位计算能力价格下降。类似的法律也适用于相关领域，如大容量存储或数字成像中每美元的像素数量。

摩尔还假设了他的定律的一个推论——每一代生产机器的成本将以相似的速度上升。芯片生产设施或“晶圆厂”的成本也随着这一法律而增加。这并不影响消费者，因为芯片是由数千万人生产的，制造成本是分散的。当你的整个生产过程包括一架F-22猛禽200个特定的航空电子系统时，没有规模经济，客户必须承担全部成本。这使得专用电子产品非常昂贵，也是军用飞机高成本的一个因素。

在2010年代，一些设备的处理能力达到了一个稳定的水平。每台笔记本电脑、平板电脑和智能手机都足够强大，几乎可以满足用户的所有需求，而且几乎没有人感受到摩尔定律的力量。新iPhone的速度是旧iPhone的两倍，但缩短几分之一秒的处理时间几乎不引人注目。用户更感兴趣的是额外的功能，而不是速度的边际增长。

要理解摩尔定律的真正影响，你必须在更长的时间尺度上回顾。让我们快速看一下三个关键领域——计算、导航和摄像机——看看它们在过去几十年中发生了怎样的变化。结果可能会让你吃惊。

笔记本电脑革命

20世纪90年代初，我参与为石油公司高管购买笔记本电脑。他们想要像他们的台式计算机一样强大的东西，在电子表格需要几分钟才能完成重新计算的时候，这是一个真正的问题。以前的电脑都是带着强有力的武器到处走，其中一些只是“便携”的，

而不是“移动”的，需要一个主电源。显示器很简陋，远不如当时的台式机强大。

我们用康柏LTE/386解决了这个问题，这是一种新颖的设计，它将主板折叠成最小的空间。它只有6磅重，足够薄，可以放进公文包。它非常小，以至于发明了一个新的名字：微型笔记本电脑被称为笔记本电脑。

笔记本电脑第一次可以做台式电脑能做的一切。它在清晰的9.5英寸单色屏幕(分辨率为640 x 480)上显示结果，电池续航时间为令人印象深刻的三小时。笔记本电脑内部的微型调制解调器允许移动中的高管插入电话插孔，并以每秒14k位的速度访问电子邮件——用现代术语来说，大约是01 mbs。所有这些只需6600美元(2015年为11400美元)。

与此同时，低年级的员工收到了笨重的“饭盒”便携式SLT/386电脑。这种更便宜的机器同样强大，但重量只有14磅，并没有那么吸引人。

新的笔记本电脑是令人羡慕的行政武器。他们可能激励了一些经理——那种让秘书打印出他们的电子邮件以便他们阅读的经理——变得懂电脑。如今，一个十岁的孩子不会接受礼物。

旧的康柏笔记本电脑不仅比现在任何400美元的笔记本电脑都强，而且比平板电脑和智能手机都强。这些包中最小的一个比旧的康柏长期演进包具有更高的计算能力。如果您在移动中，想要查看电子邮件、编辑文档或查看电子表格，您可以在手机上完成。“在床上表现出色，”最近一则诺基亚广告建议道，标题是他们的手机可以在任何地方运行电子表格。

原始数据清楚地说明了现代机器是如何超越它们的祖先的。1991年的LTE/386的处理速度为每秒1100万条指令或MIPS。这使得它比载人航天着陆中使用的70磅重的阿波罗制导计算机快几百倍。

iPhone 6的额定速度超过25,000 MIPS，是LTE笔记本电脑的2000多倍。iPhone 64gb的存储空间是笔记本电脑60兆硬盘的一千多倍。通信速度是无线通信的一千多倍。屏幕的像素是它的三倍，而且是彩色的。它也能更快地刷新。电池续航时间或许是唯一没有大幅度提升的方面，但你仍然可以期待8小时的使用。

就好像F-35是F-16的十分之一，成本的十分之一。

摄影机

摄像机的发展同样引人注目，这主要得益于数字技术取代模拟技术。

“真的很神奇，”布朗博士在1985年的电影《回到未来》中惊叹道，他欣赏着时光倒

流到1955年的摄像机。“便携式电视演播室。”

给多克留下深刻印象的机器是一台JVC GR-C1U，一台重达四磅的面包大小的摄像机。它在录像带上录制了20分钟的视频。它有黑白显示屏和x6光学变焦，价格约为1500美元(2014年为4200美元)。当你把它与QH-50 DASH上30磅重的摄像机——电影1955年背景下的艺术水平——相比较时，1985年的摄像机是一个技术奇迹。但这项技术与后来的技术相比相形见绌。

跳过三十年——就像马蒂·小飞侠后来做的那样——我们有了三星HMX-F90摄像机。只需大约200美元，你就能得到一台重半磅、变焦能力更强(52x)、分辨率更高(高清，1280 x 720)的设备，录制的镜头是马蒂·小飞侠的JVC的9倍。数字化不仅仅意味着你可以抓取单帧作为照片。这也意味着图像通过强大的板载处理器得到稳定和锐化。

然而，现在没有那么多人有摄录机，因为他们已经有了可以拍摄视频的智能手机。iPhone 6上的iSight相机比马蒂·小飞侠的老JVC要好，相机本身的重量只有几分之一盎司。与智能手机完全集成后，可以使用一系列编辑、标题和特效软件。它不再只是一个电视演播室；这也是一个剪辑套件和制作公司。由于与互联网和YouTube的整合，这是一个可以将你的视频展示给数十亿观众的电视台。

航行

几十年前卫星导航被引入时是革命性的。美国军用导航卫星星座发出精确的无线电时间信号；通过锁定这些信号，地面上的用户可以计算出它们相对于卫星的位置，从而计算出它们在地球上的位置。它最初是为车辆——船只和飞机——和巡航导弹设计的，但是当这项技术足够小的时候，它就变成了便携式的。

1988年由罗克韦尔·科林斯公司制造的最初的安/PSN-8便携式全球定位系统是一个17磅重的背包单元，售价高达令人垂涎的4.5万美元(2014年为9万美元)。它一次只能找到一颗卫星，获取三颗卫星并计算位置大约需要五分钟。除此之外，一次性电池每块重半磅，背包单元迅速烧穿了它们。

虽然现在听起来有缺陷，但新的全球定位系统似乎是不可思议的，士兵们喜欢它。一个古老的军队笑话说，“世界上最危险的东西是一个有地图和指南针的少尉”，部队迷路或出现在错误的地方是生活的现实。不那么有趣的是空袭或炮击完全击中了错误的区域。全球定位系统意味着你可以在世界任何地方获得精确的地图坐标，而不需要罗盘方位或使用地标，即使在漆黑一片、暴雨或沙尘暴中。

在地球表面的任何地方，你都不会迷路。而且操作者可以精确地呼叫炮火或空袭，理论上没有任何出错的风险。

在四年内，陆军订购了75,000台便携式全球定位系统，随后在安/PSN-8之后的迭代

从17磅下降到10磅，然后是4磅。

这种技术最初仅限于军事领域，但随后出现了针对勘测人员和其他人的商业版本。在90年代初，手持全球定位系统设备可供消费者使用。它们既慢又贵，而且没有显示地图，只有网格坐标。在1991年海湾战争中，当五角大楼的采购过程未能提供足够数量的军用版本时，军队对它们的需求很大。

从那时起，卫星导航技术已经缩小到芯片大小。如果你想要一个独立的单元，你可以用不到原罗克韦尔柯林斯的千分之一的价格得到一个。它不是背包，而是放在你的口袋里。它可以在几秒钟内而不是几分钟内获得精确的位置。就像相机一样，它已经融入了数字技术，所以你不用在纸质地图上查找坐标，而是可以看到移动的彩色地图显示。它的电脑可以为你计算路线，并指导你每一步。

虽然许多人的车里有卫星导航，但许多人在没有专门设备的情况下也能享受到全球定位系统的好处。像数码摄像机一样，卫星导航是他们智能手机内置的众多功能之一。

把它们放在一起

这种融合使普通智能手机的计算、导航和成像能力超过了10年或20年前的任何产品，而且成本很低。这里的重点是，这些都是对军用无人机很重要的技术。

过去，军方在高科技电子产品方面遥遥领先，他们所使用的东西在民用方面没有对等物。一切都是具有独特功能的定制芯片的问题。但现在，军用电子产品的“绿色大盒子”正越来越多地被智能手机领域的民用产品超越。

回到康柏LTE笔记本电脑时代，英国军方开发了一款鞋盒大小的超级计算机，名为Mousetrap，带有定制电子设备⁽¹⁾。这款电脑的运行速度为180 MIPS，是最好的笔记本电脑的十倍。它可以查看地形的三维地图并计算视线，这样巡逻队就可以知道他们需要去哪里才能远离视线，或者什么样的山丘可以很好地看到给定的地点。这是只有军方才能做的事情。但是因为军用电子产品的生产时间是六年或更长，商用电子产品现在比军用电子产品快得多（记得25,000 MIPS的iPhone）。就消费电子产品而言，F-15目前的雷达只有9年的历史，已经老化。⁸

当你看这些数字时，这并不奇怪。据估计，2014年智能手机行业的研究预算约为1500亿美元⁽²⁾。这使得整个R&D花费大约600亿美元购买从潜艇到卫星的所有东西相形见绌。在航空领域，五角大楼是游戏中最大的玩家；只有少数几个其他国家有能力开发像F-22这样的第四代和第五代战斗机。但是，当涉及到小型电子产品时，五角大楼没有预算来制造像最新的智能手机这样光滑和复杂的东西。⁶

在伊拉克战争开始时，人们花了相当大的精力来开发手持翻译设备，如短语器和

Squid。这些存储当地语言的短语——阿拉伯语、伊拉克语、普什图语、乌尔都语、达里语和库尔曼语——并根据命令播放。到2009年，第三代设备已经准备就绪，这款坚固的手持短语器“仅”重13.5盎司(是同年推出的iPhone 3的三倍重)。到2011年，五角大楼想要更复杂的东西，并有5000万美元的预算——就像一个名为SpeechTrans的应用程序出现一样，在商业电话上做着他们想要的事情。2011年末，雷神展示了一款在安卓平板电脑上运行的“军事化”翻译应用。翻译专用硬件看起来已经成为过去。

也许军事电子产品被大大超越的最明显的例子是“地面士兵系统增量1”，这是一个为部队配备联网战术计算机的项目，包括导航、通信和数据共享能力。它也因二战英雄罗伯特·b·内特而被称为内特战士。最初的版本重7磅多，普遍不受欢迎。() [9](#)

2013年，美国陆军发布了一款基于三星Galaxy Note II而非军用电子产品(因其安卓操作系统而被昵称为Droid Warrior)的新轻量级版本。这些平板电脑每台售价700美元，比之前的版本更便宜，也更轻。商用现成设备(COTS)在军事领域正变得受人尊敬。

美国国防高级研究计划局甚至开发了一款名为动能集成轻量级软件单兵战术战斗手持设备(“基尔开关”)的应用程序，该应用程序将空袭呼叫过程从技术专业转变为青少年几分钟就能掌握的应用程序。你只需要一台安卓平板电脑和一个连接。() [10](#)

一名官员告诉《国防杂志》，“大陆军正在慢慢摆脱六年的采购周期，开发一种加固的硬件，在我们把它交给士兵之前就已经过时了。

如今，许多人使用智能手机，而不是摄像机或独立的全球定位系统，像检查电子邮件这样以前需要笔记本电脑的任务已经被手机所吸收。这些能力与小型无人机高度相关。

正如我们在第一章中所看到的，在1944年，获得一个足够小的电视摄像机用于TDR-1无人机是一项技术挑战。现在，微型摄像机，包括通过无线电信号编码和传输运动图像所需的一切，是一种廉价的商品。命运多舛的阿基拉无人机的导航依赖于一个昂贵的、专门制造的惯性传感器。你现在只需要几美元就可以买到一个基于全球定位系统的功能更强的导航系统。火烈鸟机动所需的计算能力不再是昂贵的专用设备；它已经在你的智能手机上，很容易编程。如果你需要加速度传感器、检测倾斜的陀螺仪，甚至是测量高度变化的气压计，它们已经在那里了。

那么为什么不使用智能手机技术来制造一架便宜的无人机呢？

米特里的人

美国政府智库MITRE Corporation的迈克尔·巴拉兹 (Michael Balazs) 和乔纳森·罗特纳 (Jonathan Rotner) 是一对精力充沛、引人入胜的双料演员，他们不断相互交流想法。他们旨在向五角大楼表明，军用小型无人机的成本可以大幅削减，并以“以10%的价格提供90%的解决方案”为口号，开始利用为智能手机行业开发的技术的力量。
() [11](#)

小型军用无人机开发商一直坚持他们的产品不能遵循摩尔定律。他们正在处理定制硬件，所以体积很小。电子产品必须符合军事标准，对耐受温度和冲击有严格的要求。一切都必须经过测试和认证。

“我们还没有看到摩尔定律像适用于计算机一样适用于小型UAS (无人驾驶飞机系统)。这是因为无人机是多方面的设备，依赖于计算机和航空电子设备、材料、电池和其他学科的进步来发展，”一名无人机开发人员告诉我。

Balazs和Rotner挑战了这种思路。MITRE不是制造商，也不与无人机制造行业竞争。它的作用是向政府提供解决方案，MITRE开发者正在与行业和政府——以及任何愿意倾听的人——讨论如何将他们的想法转化为产品。

它始于2012年，当时巴拉兹正在重建一个旧的军事机器人，就像陆军用于炸弹处理的遥控机器人一样。该项目很棘手，因为涉及过时的专有电子产品和定制软件。很难得到零件，当你得到零件时，也很难给机器编程。这引发了一场关于使用现成组件和开源软件实现军用机器人标准化的对话。

“我们后退了一步，看着领先的技术——智能手机，”巴拉兹说。() [12](#)

安卓手机功能强大，价格便宜。通过添加一个简单的“转接板”，也可以很容易地将它们连接到其他电子设备上。无人机的许多必要功能，包括全球定位系统导航、摄像机和无线电通信，已经内置在手机中。

Rotner将他们的方法描述为“阻力最小的路径”，因为从商业来源获得合适的硬件是如此容易。

Balazs和Rotner与弗吉尼亚大学的一个团队合作，用无线电控制的玩具车演示了他们的安卓控制和传感器系统 (ACSS)。他们的机器人汽车团队探索了一个没有外部控制的体育场，使用仪器建立了一个温度和阳光强度的地图。这些机器人相互交流，形成一个网络，并执行协调的任务，所有这些都只需要几百美元。

这是不小的壮举。ACSS机器比大多数军用地面机器人或无人地面车辆显示出更强的自主智能。正如一位评论员指出的那样，典型的军用机器人的价格比一辆豪华奔驰还要高，“而且你连真皮座椅都没有。”() [13](#)

编程很容易，因为安卓是一个开放的操作系统，有成千上万的应用程序可用。这让该团队能够接触到一个可以几分钱下载的软件宝库。获得增强证明是很容易的，在某些情况下是免费的。Rotner提到他们下载的一个流媒体视频应用程序缺少远程开/关命令。他们联系了开发人员，在24小时内，一个带有新控件的改进版本在应用商店免费提供。

虽然在大多数机器人上编程嵌入式电子设备是一项专业技能，但任何了解通用编程语言Java的人都可以设计安卓应用程序。该团队利用现有的计算机视觉软件来帮助开发一个自动跟踪道路的应用程序。类似的发展有助于避免障碍或识别特定的物体。得益于开源方法，行业中开发的任何聪明的算法或技术都可以共享。

通过制造安卓地面机器人证明了这一原理后，MITRE团队着手制造一款基于安卓的军用无人机。发现瑞文类型的硬件贵得令人望而却步，他们决定用三维打印机自己制作。^()[14](#)

他们不是这个领域的第一批人。2011年，南安普顿大学的安迪·基恩(Andy Keane)和吉姆·斯坎兰(Jim Scanlan)用计算机设计了一架翼展为5英尺的无人机，并在三维打印机上用硬尼龙打印出零件。这是一种一层一层地构建固体物体的设备，一次打印几分之一毫米。这个过程有时被称为“添加剂制造”你可以在完成的翅膀上看到这一点，翅膀上有微弱的痕迹，就像树木生长的年轮。从那以后，无人机的设计者和爱好者一直在制造机翼、机身和其他部件，现在打印整架飞机已经成为常规。谢菲尔德大学的先进制造研究中心正在这一领域建立声誉，现在正在优化无人机设计，以便它们可以在三维打印机上快速打印出来，尽可能减少浪费。

自2005年以来，有一个完整的社区，被称为制造者运动，围绕着分享设计和用三维打印机制作它们，这包括无人机。西班牙CATUAV公司提供为期一周的3d打印无人机课程；崔昂是哥伦比亚大学的博士，他有一个“无人机在家”的博客，里面有一个给未来无人机制造商的分步指南。

MITRE的第一架印刷飞机花了一周时间印刷，包括大约17个部分。它在科罗拉多州着陆时被一股侧风吹到，坠毁了——巴拉兹和罗特纳在他们的现场演示中表演了坠机过程——但这让团队有机会看到哪些碎片破碎了，哪些幸存了下来。他们迅速进行了重新设计，并将修改后的计算机辅助设计文件送回弗吉尼亚州的基地。当他们回到实验室时，改进的版本已经打印出来，可以组装了。

第一代无人机证明了这一原理，组装成本约为6500美元。Razor是第二代机型，针对3d打印进行了优化，一天可以打印出来，价格约为550美元。剃刀的翼展为40英寸，可以以每小时45英里的速度巡航40分钟。

剃须刀的机身由坚韧的Ultem塑料印刷而成。该团队试验了大量不同的打印机和材料——他们说除了食品打印机，他们什么都尝试过，事实上，他们不介意尝试那些。

剃刀由小塑料X型连接器固定在一起。在坠机中，这些飞机首先让路，保持机翼部分完好无损，类似于“乌鸦”在硬着陆时“拆卸”的方式。少数备用的X连接器是大多数事故所需的全部修理。加上发动机、电池、安卓手机、地面控制站和一个微型自动驾驶仪，这款能力强、适应性强的无人机总成本不到2000美元。

罗特纳说，三维打印体现了与使用安卓应用程序相同的灵活方法。设计可以自由共享，并受益于大量开发人员的增强。变更可以立即投入生产。重新设计有效载荷舱或任何其他元件以满足新要求很简单。例如，巴拉兹说，他们已经试验了针对长续航时间或高速(超过100英里/小时)优化的替代机翼组，这些机翼组可以根据需要更换。每一个客户都可以拥有一架完全符合他们需求的飞机，而不是千篇一律。

为了展示Razor能做什么，研究小组用它拍摄了下面景观的航拍照片，然后自动将它们拼接成一幅马赛克地图。这就像谷歌地球视图，除了分辨率更高，显示一切都是现在的样子。下方区域的即时鸟瞰图，正是军事指挥官可能希望看到的，而且对农业和商业用途也很有用。

强大的安卓手机处理器在船上进行处理。无人机不是将千兆字节的视频发回地面控制单元进行分析，而是仅在发现感兴趣的东西时才发回报告。这一点很重要，因为随着无人驾驶飞机的增多，带宽限制将越来越适用。车载处理是使用图形处理器进行的，图形处理器是智能手机的图形处理单元，主要为游戏开发。这些最初非常昂贵，但该行业几十年的发展已经看到图形处理器遵循熟悉的摩尔定律曲线。

Razor的军用级自动驾驶仪目前是一个单独的单元，成本只有几百美元。更好的小型无人机售价为6000美元，但该团队希望看到一个类似安卓应用的自动驾驶仪。问题主要在于速度：处理器和软件必须足够快，以便及时对变化的情况做出反应。专用自动驾驶电脑目前有优势，但智能手机超越它们只是时间问题，专用自动驾驶走的是专用翻译机的路。

MITRE团队已经草拟了一个成本低于1000美元的小型便携式战术无人机的计划。价格可能会进一步下跌。3d打印还处于起步阶段，但随着大众市场的回暖、规模经济的启动和新技术的发展，价格将会下降——摩尔定律再次来袭。根据技术分析师Gartmore的数据，2012年售出了约3.5万台3D打印机；2015年，他们估计有25万人。

这些打印机正在迅速改进。2014年末，惠普推出了一款洗衣机大小的新型工业3d打印机，打印速度是之前型号的十倍，成本约为之前型号的一半。()这与激光打印机的模式相似；最初的惠普LaserJet在1984年售价为3500美元(2014年为8000美元)，重70磅。现代版只有重量的一小部分，打印速度快三倍，价格不到100美元。这表明生产机体的成本可能会下降。[15](#)

同样，安卓手机的成本也在稳步下降，现在零售价格在50美元及以下的手机并不短缺。

廉价手机将出现在另一个MITRE方案中,即在机翼和机身中嵌入多个固定电话摄像头的无人机。其目的是将来自摄像机的图像融合在一起,以创建一个单一的广角,高分辨率的地面图像。运营商可以以更高的分辨率在大画面和小部分之间无缝缩放,而不是将整个视频作为流发送回去并消耗带宽。

强大的安卓处理器也让团队寻求突破自主的界限。通常的方法是将处理能力放在地面控制站,但是使用Razor,您不一定需要。无人驾驶飞机拥有执行任务所需的一切,无需地面输入,它可以与任何拥有适当通信和显示屏的人共享视频或其他数据。Razor有潜力成为一款非常智能的自主无人机。我们将在关于群集的第7章中更多地了解这意味着什么。

智能手机技术的共性还有另一个好处。虽然业内人士和军方可能会对嵌入式固件的一些细节感到困惑,但巴拉兹和罗特纳发现,他们的受众,包括八岁的学童,很容易理解从应用商店下载新任务应用形式的软件的想法。他们的设计只是一个飞行智能手机,一个容易理解的想法。

Razor最明显的缺陷是夜间操作的红外热像仪。这种相机可能要花费数千美元,可能是无人机上最昂贵的单一部件。但是,好像是在暗示,2014年推出了一款消费级热像仪FLIR ONE。^()这是由美国军方领先的热成像仪供应商FLIR制造的。作为iPhone的附加产品设计的FLIR ONE分辨率较低(80 x 60像素,由软件转换为160 x 120),远低于军用级别的设备。但它的零售价仅为250美元,并提供了有用的红外功能。带有这种传感器的无人机可以在漆黑的环境中发现温暖的尸体。[17](#)

FLIR ONE的竞争很快就来了。雷神的Seek Thermal相机也是iPhone或安卓智能手机的附加产品,分辨率为206 x 156,有标准版和增程版,价格都比FLIR ONE低50美元。^()Seek Thermal据称能够探测到一千英尺外的人体热信号。未来几代成像器很可能会遵循全球定位系统、摄像机和计算机的道路:超便宜、超轻,并且可能内置于大多数智能手机中。[18](#)

太空中的电话

智能手机被用于无人驾驶汽车的想法已经在其他地方出现。卫星一直是无人驾驶的。虽然很少这样描述,但它们实际上是无人驾驶的航天器。开发者再次尝试用智能手机替代昂贵的专用电子产品。

萨里卫星技术有限公司是一家英国公司,专门从事低成本卫星,使太空更容易进入。SSTL首席工程师斯图亚特·伊夫斯指出,在1999年至2008年间,用于勘测的成像卫星从皮卡大小下降到了冷藏箱大小。^()[19](#)

“这听起来像是魔法,”伊夫斯说。“但这只是技术在进步。”^()[20](#)

SSTL方法的一个关键方面是使用商业处理器和其他现成的组件，而不是为航天工业定制的组件。Eves说，当为卫星开发定制处理器时，技术已经发展到下一代。现成技术的终极是智能手机，2013年2月，一颗由SSTL和萨里大学开发的十磅重的智能手机卫星发射到太空。这就是STRaND-1(萨里训练、研究和纳米卫星演示器1)，这是同类中的第一个。

还有许多其他正在开发中的电话卫星，这些卫星正在与“立方体卫星”的新标准相融合，立方体卫星符合立方体的标准格式，边长4英寸。美国宇航局有一个完整的电话卫星计划，最新的发射是2014年4月的电话卫星2.5。PhoneSat不再使用整部手机，而是完全基于智能手机技术。

“我们利用所有的晶体管、无线电元件、放大器和电阻，我们利用所有正在发生的发展。我们采用最新的CPU(中央处理器)、最新的闪存驱动器、最新的传感器系统，并把它们装进我们的小盒子里，”开发者威尔·马歇尔告诉《航空周刊》。()[21](#)

目前，这些微小的卫星是研究工具。它们证明电话电子设备可以在太空中生存，并且能够控制卫星运行；PhoneSat 2.4使用磁力计(指南针的智能手机版本)来校准飞船。但是已经找到了使用简单仪器的手机应用程序。大量廉价的卫星将为监测“太空天气”、磁暴和广阔空间的带电粒子流提供一个很好的方法。它们的阵列可以作为太空望远镜或通讯平台。

PhoneSat的经历强化了MITRE团队的发现:消费电子产品确实强大、可靠、坚固，足以在现实世界中执行任务，控制地面机器人、无人机或卫星。

安卓入侵

军事开发商也抓住了商业电子产品的潜力。DARPA指出，用于检测过往车辆的远程传感器具有与智能手机相同的功能。他们的核心需求——“处理、存储、通信、导航和定位”——类似于智能手机的功能。因此，他们的名为“自适应传感器系统”的程序开始使用基于安卓操作系统的消费电子产品。

像MITRE一样，DARPA的研究人员采用了开源软件框架，因此任何人都可以创建、改进和分发新软件。商用安卓核心比同等的定制军事设备便宜得多，编程也更便宜。

ADAPT提供了一个标准内核，可以插入各种设备，而不仅仅是传感器。作为示范，ADAPT核心被插入一架小型四旋翼无人机中作为控制器。该核心拥有it处理器、内存、通信和连接能力，是迈向通用“芯片上的机器人脑”的一步，可以根据需要插入任何身体。()[22](#)

海军也意识到开放架构的好处，为一系列机器人使用模块化硬件和标准软件。先进的EOD[爆炸物处理]机器人系统是他们使用现成技术的测试程序，而不是局限于特定

的供应商产品。开发人员认为它将带来通常的开放架构优势:更实惠,更容易支持和升级,并且由于是模块化的,新组件可以更容易地添加。先进的EOD系统将不是一台机器,而是一个完整的家庭,所有人都有相同的大脑,但从便携式到高尔夫球车,身体大小不同。如果成功,这将导致海军走向开源范式。

飞行电路板

从军用航空的无金钱目标的角度来看,一架无人机几千美元很便宜。但是对于一个贫困的学术研究者来说,这仍然是昂贵的。2009年,三名瑞典顾问决定尝试制造尽可能低成本的无人机。他们的概念是一个带有四个旋翼的“飞行电路板”。

他们成立了一家名为“比特狂热”的公司,生产名为“Crazyflie”的飞行器。现在售价为149美元,包括控制器33美元。Crazyflie的重量不到一盎司,可以放在你的手掌中。这种小型四旋翼飞机一次充电大约飞行7分钟。但这是一架真正的无人机,旨在作为研究人员探索飞行控制和自主飞行的平台。()23

Crazyflie当然是开源的,许多“黑客”都在Bitcraze的网站上发布。其中一些是硬件黑客,如保护转子免受冲击的缓冲器。大多数都是纯软件,比如自动稳定恢复或者在半空中翻转或执行其他不太可能的动作的软件。一些开发人员正在研究光学控制,用远程传感器跟踪和操纵无人机的飞行,或者自动导航。

但是,即使是Crazyflie也可以作为一个实用的工具。密歇根理工学院的研究人员一直在使用微型无人机探索人类技术人员无法进入的狭小空间,如油箱内部。

微型直升机已经在战场上首次亮相;英国陆军开始在阿富汗使用PD-100“黑大黄蜂”无人机。就像Crazyflie一样,这是一架你可以握在手心里的直升机;带有控制器和两个飞行器的手提箱放在一个军用口袋里。

“黑大黄蜂”由一家挪威公司Prox Dynamics生产。使它引人注目的是允许它在每小时十英里的风中飞行的设计。该公司此前开发了一种用于微型直升机的被动稳定性控制技术,现在广泛应用于无线电控制玩具。它可能会在飞行中翻滚和翻转,但它会恢复并继续执行任务。像渡鸦一样,它通过全球定位系统导航,并有一个手持控制器,具有直观的界面,并传回白天和晚上的视频。

Prox Dynamics拥有一系列专利,保护着将“黑大黄蜂”与其竞争对手区分开来的各种巧妙设计特征。目前,一个控制器和两辆车的价格约为15万美元,是Crazyflie的数百倍。问题是,技术的进步,以及为Crazyflie黑客的开发者大军,是否会产生像“黑大黄蜂”一样有能力的东西。专利的情况会迫使他们寻找新颖的解决方案,从历史来看,这只是时间问题。

无人机无处不在

Razor当然不是Raven，但是看起来比上一代的Pointer更高级。得益于摩尔定律，未来的低成本工艺会更好。小型无人机目前处于康柏LTE、马蒂·小飞侠的JVC或最初的背包GPS阶段：它们看起来令人印象深刻，因为我们以前从未见过类似的东西。但与接下来的几代人相比，他们可能看起来很虚弱。

正如我们将在接下来的四章中看到的那样，小型无人机正在以不同的方式快速改进。我们已经知道，观察目标的基本能力不需要花费数万美元。奥古斯丁定律不适用于小型军用无人机。奥古斯丁定律的上升成本螺旋被摩尔定律的下降螺旋所压倒。

这不仅仅是把目光放在目标上。以LMAMS或Switchblade的方式向目标投放手榴弹的成本也变得可以承受。世界上最聪明的武器将花费几千美元或更少，任何人都可以在任何地方制造。与隐身不同，这不需要保密技术，与F-22或F-35不同，它不需要数十亿甚至数百万的研发预算。你不能摧毁工厂，因为工厂是任何三维打印机。

正如我们所看到的，很难给出一架F-35的确切价格，但按照1.5亿美元的中值估算，一架的价格相当于大约75000架剃刀无人机，价格为2000美元。事实上，无人机应该便宜得多，尤其是批发而不是零售购买时。（iPhone 6的零售价超过600美元，在中国生产成本在200美元左右，这种模式在其他高端智能手机上也有重复）。

MITRE早在2013年就开始了他们的项目。现在电子产品更便宜，未来几年甚至会更便宜。已经有50美元的智能手机配有全球定位系统、摄像头和比最初的iPhone更强大的处理器。撰写本文时，三星夏至在亚马逊上售价为35美元。摩尔定律仍然有效。

如果无人机的成本是2000美元，那么一个由16架F-35组成的中队的成本大约相当于100万架小型无人机的成本。甚至用于空对空作战的AIM-120 AMRAAM(先进中程空对空导弹)的成本也高达数百架无人机。

一个F-35中队可能会歼灭几十架便宜的战斗机，但面对如此庞大的数量却无能为力。我们将在后面的章节中研究确切的原因。

小型无人机仍然类似于电池供电的玩具，因为它们在大约一个小时后就会耗尽电量，即使是大量的小型无人机也无法接管传统空中力量的任务。在下一章中，我们将看到这种明显的限制是如何被能够永远飞行的小型无人机打破的。

参考

1) “例如莱曼960……”

[无人机L-M系列。\(未注明日期\)。](#)

2) 奥古斯丁定律

[d . small wood\(2012年\)。重温奥古斯丁的法律。声音和振动。](#)

3) “我们签约购买的轻量化、低成本战斗机到底怎么了？”

伯顿(1983年)。五角大楼战争:改革者挑战永生守卫。安纳波利斯:海军学院出版社

4) F-22成本

[总审计局。\(1998\)。飞机发展-先进战术战斗机的成本、进度、性能目标。\(报告编号:B-229129\)。](#)

5) F-22优势

[科普, 卡洛。” F-22猛禽到底有多好? ”澳大利亚空军。](#)

6) 智能手机R&D预算

[三星打破R&D支出记录, 在新技术上投资140亿美元。\(2015年3月10日\)。](#)

7) “659美元的烟灰缸”

康奈尔, J. (1986年)。新的马奇诺防线。伦敦:梁佑彬图书公司

8) 捕鼠器计算机

[哈雷, r ., 帕尔默, k ., & H.C ., W. \(1991\)。捕鼠器, 一种用于地形建模的微型超级节点。在…里晶片计算’ 91:世界晶片机用户群会议录。](#)

9) Nett战士到安卓战士

[迪克森, 亚历克斯。“Nett Warrior获得新的终端用户设备。”WWW. ARMY. MIL](#)

10)“基尔开关”

[拉莫特, D. \(n. d.\). 步兵改革: 国防高级研究计划局的新实验如何撼动地面战。在…里 华盛顿邮报。](#)

11) MITRE和Razor

巴拉兹, 迈克尔和罗特纳, 乔纳森, “廉价的, 安卓控制的ISR解决方案”, MITRE论文MP120729, 2013年1月

[“Shaving Costs.” 《经济学人》。](#)

12)“我们后退了一步, 看着领先的技术”

迈克尔·巴拉兹对提交人的采访, 2013年11月

13)“而且你连真皮座椅都没有”

[威廉·w . \(2013年11月15日\)。UGV成本&为什么他们应该有真皮座椅。](#)

14) 基恩&斯坎兰第一架三维印刷飞机

[3D打印: 世界上第一架打印飞机。\(2011年7月27日\)。](#)

15) 15台全新惠普工业三维打印机

[l . mearian \(2014年11月7日\)。惠普新推出的3d打印机面向的是制造业, 而非消费者。](#)

16) [FLIR ONE](#)

17) [寻找热量](#)

18) 萨里小型卫星

[汉布林博士 \(2009年\)。小型卫星的巨大前景。](#)

19)“听起来很神奇。”

斯图尔特·伊夫斯对作者的采访，2013年10月

20)“我们利用所有的晶体管和无线电元件”

莫里森(2014年8月6日)。智能手机的进步推动了小型卫星。

21) DARPA ADAPT

劳伦斯，哥伦比亚特区。适应性传感器系统。

22) 比特币狂潮

疯狂飞行纳米四轴飞行器。(未注明日期)。bitcrazyflee。

23) 普罗克斯动力公司的PD-100黑色大黄蜂

第五章——永远飞翔的艺术

[回到顶部](#)

“一旦你尝到了飞行的滋味，你将在地球上行走，眼睛转向天空……在那里你将渴望回来。”

——达芬奇(归因)

有一个古老的、智能手机时代之前的笑话，讲的是一个人在街上遇到了他的发明家朋友，他提着两个手提箱。这位发明家展示了他制造的手表，它不仅显示世界上任何地方的时间，还显示潮汐、月亮的相位和星星的位置。他的朋友对此印象深刻。发明家拿起手提箱说，唯一的问题是电池的大小。

那大概描述了小型无人机的现状。他们做的很棒；唯一的问题是电池。无论小型无人机能做什么，由于电池寿命有限，它们都做不了多久。最小的只飞十分钟左右。四旋翼飞机可以飞行半小时，而我们衡量能力的黄金标准“乌鸦”可以持续飞行约90分钟。

无人机越大情况越好。RQ-20 Puma是乌鸦的老大哥，翼展是它的两倍，重量是它的三倍，续航时间是三个小时。缩放意味着，在其他条件相同的情况下，更大的无人机携带更多的电池或燃料。

从电池动力转向液体燃料极大地扩展了小型无人机的范围。2003年，一架重11磅、翼展6英尺的无人机飞越大西洋，从纽芬兰的矛角飞往爱尔兰的曼宁海滩。(1)这架无人机被称为TAM 5，以大约每小时50英里的稳定速度，花了38个小时穿越了近2000英里。小型无人机可以穿越海洋和大陆。

不幸的是，内燃机有缺点。一方面，很吵；这是击沉RQ-16 T-Hawk的缺陷之一。它不可能偷偷摸摸地上去拍照而不被发现。

装有内燃机的无人机更容易被击中，当它坠毁时，存在安全隐患。那些分崩离析的着陆，或者撞到墙上，变得不那么好笑了。后勤问题——必须储存无人机燃料和无人机油，维修和保养发动机——使其比电池驱动的替代方案更复杂，吸引力也更小。

从表面上看，小型无人机与大型同类相比注定永远处于劣势。乌鸦无法像捕食者那样在目标区域上空盘旋24小时或更长时间，而且乌鸦被限制在一个小区域内。以目前的技术，理论上一只乌鸦可以飞出30英里，拍张照片，然后在电池耗尽之前回到

基地，但这实际上已经够远了。实际上，因为需要电池储备，而且很可能有风，所以乌鸦的最大航程要小得多。

解决这个问题的一种方法是使用无人驾驶航空母舰。有人驾驶或无人驾驶的运输机就像一艘母舰，载着一队无人机前往战场。然后它释放它们，让它们在各自的蒸汽下飞行最后几英里。对于可消耗的、开关刀片式无人机来说，这将是一次单程旅行，因为它们实际上是微型巡航导弹。侦察无人机可以返回，并被母舰通过网络接收，就像旧的火烈鸟一样。像航空母舰一样，无人驾驶航空母舰可以成为力量投射的有力工具。

然而，认为小型无人机永远无法执行战略侦察或打击任务是错误的。在不久的将来，小型无人机将全天候保持在机翼上，任务时间以天、月或更长的时间来衡量。一系列不同的技术促成了这一转变。

更强、更长的电池

这些年来，我们已经看到电池从铅酸电池发展到镍镉电池、镍金属氢化物电池、锂离子电池以及相关的磷酸锂和锂聚合物电池。

多年的深入研究已经将这些类型的电池推向了电池化学成分的理论最大值。目前最先进的是特斯拉Model S中的电池，每公斤包装约240瓦时；每磅电池的能量足以烧开大约三分之一品脱的水。(2)这不到汽油或其他液体燃料能量密度的十分之一，但比镍镉电池大几倍。

像“乌鸦”这样的无人机拥有与笔记本电脑、手机和电动汽车相同的可充电锂离子电池技术。任何改进都意味着电池技术的改变。

锂空气电池看起来是锂离子的一个有吸引力的替代品。它们从空气中获取氧气，每磅的能量是空气的许多倍。事实上，锂空气电池的能量密度接近汽油。问题是使它们安全，因为锂空气电池在运行过程中会产生大量热量。这并不奇怪；所涉及的化学反应类似于燃烧高活性金属。设计师还需要找到一种方法来避免金属锂和空气中的水接触，否则会导致自燃。

经过五年的努力，IBM在2014年放弃了锂空气电池的开发。能源部成立的储能研究联合中心两年后也做了同样的事情。两人都认为，尽管锂空气电池可能是未来的长期发展方向，但目前还不可行。(3)

一种更有希望的变体是乔治·华盛顿大学的研究人员在国家科学基金会的支持下创造的“熔融空气电池”。它的特点是有一种熔化的电解质，并像锂空气一样从空气中吸收氧气。电极由硼化钒等特殊材料制成，每分子比锂能处理更多的电子。研究人员估计，这项技术将能够储存相当于锂离子20到50倍的能量，但开发这项技术可能

至少需要10年时间。(4)

还有一种更温和、更直接的替代方式，即锂硫化学。这比锂空气储存的能量少，但比锂离子储存的能量多得多，而且也便宜得多。主要成分硫是石油工业的副产品。炼油厂每年生产数百万吨硫，而锂离子电池需要锰、镍和钴等昂贵的金属。锂硫电池也比锂离子电池更安全、更环保。(5)

世界各地的研究人员多年来一直在研究Li-S，但一直在努力解决几个基本问题。当电池放电时，一层硫化锂倾向于在阳极周围堆积，在几个循环后降低电池容量。另一个问题是，向硫化锂和锂的转化包括膨胀和收缩——体积可以变化一半以上——给电池带来机械应力。

然而，研究人员现在声称已经克服了这些问题。英国公司OXIS Energy的目标是在2016年率先推出锂硫电池。锂硫电池由聚合物粘合剂中的锂金属阳极和硫基阴极组成，两者由电解质隔开。

锂电池带有一定的风险，因为电池内部会生长出根状金属锂“枝晶”。这些会导致短路，导致过热和火灾。然而，锂硫电池中的硫电解质形成了一层硫化锂绝缘层，消除了这种风险。此外，OXIS的电解液不易燃。OXIS电池已经通过了广泛的滥用测试，包括过度充电和短路。英国国防部通过发射子弹来测试安全性，即使在那时，电池仍能安全运行，尽管容量降低了。

最初的商用版本每磅储存的能量已经比锂离子多了近50%，而且这种情况还会继续改善。OXIS有一个路线图，包括到2018年达到500 Wh/Kg(是特斯拉电池的两倍多)，他们已经在原型电池的路上了。展望未来，随着锂硫的全部潜力像锂离子一样得到开发，这一数字应该会再次翻倍。它们还受益于无限的保质期，因为锂硫电池不需要像锂离子电池那样定期充电。

原型锂硫电池已经用于实验无人机。简单地将电池升级为Li-S可以在几年内将“乌鸦”号的飞行时间增加到6小时左右。随着其他电池技术的出现，这种情况可能会进一步扩大。

燃料电池

燃料电池是无人机和其他电子设备储能的另一种可能性。这些通过化学反应直接产生电流。与内燃机不同，燃料电池实际上是无声的。由Ultra Electronics制造的D245XR固体氧化物燃料电池是可用的最小燃料电池之一。它重5磅，在800摄氏度燃烧丙烷燃料。废气是温暖的，但燃料电池本身隔热性很好，可以安装到设备中，而无需加热周围的电子设备。(6)

D245XR是洛克希德·马丁公司跟踪无人机新版本的核心，于2014年在匡提科的美国

海军陆战队作战实验室试飞。标准电池供电的Stalker一次充电可飞行约两个小时；这种丙烷驱动的变体被称为Stalker XE 240，一口气跑8个小时。XE的后续车型已经开发出了更大的燃油箱，续航时间接近13小时。

Stalker XE使用普通商用丙烷运行，通过“洗涤器”去除杂质。世界上几乎任何地方都可以买到用于烹饪和取暖的丙烷罐。在后勤方面，它比汽油动力无人机更容易。

跟踪者XE并不是唯一一款带有燃料电池的无人机。美国空军一直在试验一种“空中环境”美洲狮无人机，其大小类似于安装了质子燃料电池的“跟踪者”无人机，该燃料电池依靠氢气运行。这达到了7小时的耐力。

海军有他们自己的项目，叫做离子虎，也使用质子氢燃料电池。在2013年的一次测试中，它飞行了23个小时；2014年，借助新的低温存储系统，这一时间延长到了惊人的48小时。离子虎是一种更大的飞行器，重约37磅，但它仍然是一个令人印象深刻的飞行时间，它显示了这项技术的潜力。如果价格不是问题，那么这种类型的技术将找到它的位置。(7)

理想的小型无人机燃料电池可以充电，将水转化为氢和氧，然后再转化回来。2015年初，波音公司宣布了一个基于这种燃料电池的项目。同一个项目的第二部分是燃料电池充电的太阳能电池板，我们将在本章后面探讨这个概念。

闲荡：栖息无人机

鸟类比无人机有巨大的优势。通过降落在一个方便的栖木上，它们可以监视这个世界，而不必扇动翅膀消耗能量。

多旋翼直升机式无人机已经具备了一些“居高临下”的能力。由AeroVironment制造的小型四旋翼飞行器Qube被设计成可以降落在任何平坦的表面上；长腿为悬挂在下方的相机提供了足够的空间，以获得良好的视野。不过，它确实需要一个平坦的表面。如果无人机能像鸟一样栖息在屋顶、电线、树上或电线杆上，它将有更大的灵活性。

固定翼飞机比旋翼机有更高的速度和更好的空气动力学，但是当你不能垂直着陆时，“栖息和凝视”就更难了。当它们着陆时，鸟儿张开翅膀，展开羽毛，以获得最大的制动力，从而产生受控失速。它们几乎完全停在半空中，很容易抓住树枝或其他栖木。

当一些老鹰带着沉重的撞击降落时，一只猫头鹰可以轻轻的触到你的手腕，你几乎感觉不到。其他鸟类使用近乎完美的飞行控制来应对看似不可能的栖息之地：例如，长尾小鸮可以抓住一根垂直的树枝并坚持下去。即使是像苍鹭一样大而笨拙的东西，也能轻松地栖息在栏杆上。

没有任何一种人造飞行器能比得上这种控制。小型无人机通常不配备起落架。他们倾向于像乌鸦一样，依赖于那种明显不体面的受控崩溃。

最简单的栖息方法是用钩子抓住某物。这个想法由来已久：一架降落在航空母舰上的飞机有一个拦阻钩，钩住横跨航母甲板的缆绳。这很简单，因为飞行动力学不需要任何精细的控制。飞行员只需在电缆线路的稍上方飞行，其余部分由物理学处理。

无人机的局限性在于钩子只对电缆或电线起作用，之后的起飞和着陆一样笨拙。除非它能垂直起飞，否则无人机必须脱离钩子并从栖木上掉下来，在下落时获得速度，然后它必须急剧拉起或撞击地面。

奥罗拉飞行科学公司已经为他们的滑板无人机“城市巡逻警察”的一个版本试验了这种栖息方式。(8)这是为了保持在一个区域内，并长时间不引人注目地保持警惕。无声静止，不会吸引注意力，人们也不太可能注意到无人机。这是一种隐藏在明处的巧妙方法；电力线上黑盒和其他小部件的激增意味着我们习惯于忽略它们。

然而，其他研究人员在他们的定位目标上更有野心。Bhargav Gajjar是马萨诸塞州剑桥市Vishwa Robotics的创始人，这家公司的座右铭是“比生物学更好。”(9) Gajjar发现驾驶小型无人机很有趣，但由于飞行时间短，整体体验令人沮丧。

“你飞几分钟，然后花一个小时充电，”加贾尔说。“如果你能栖息，你可以不用任何力量四处看看。”(10)

Gajjar想利用栖息带来的其他优势。首先，如果一架无人机能找到合适的有利位置，它就能获得比在头顶盘旋时更稳定、更隐蔽、更近的视角。栖息将允许操作者进行与捕食者团队现在可以做的相同的“生活模式”分析，但是从几十英尺远的地方，而不是一英里或更高的高度。

除了栖息之外，Gajjar还希望他的无人机能够行走，允许它探索建筑内部或洞穴等环境。它不仅要有爪子，还有像鸟一样的脚和腿。

Gajjar对不同类型的鸟类和它们的脚进行了深入研究，这样他就可以将它们的方法应用到小型无人机上。他用高速摄影机拍摄视频，记录它们不同的着陆方式，发现大自然至少进化出了两种截然不同的策略，一种是针对树枝之类的栖木，另一种是针对平坦的表面。

飞行控制对于任何在平坦表面上着陆的无人机都至关重要。无人机必须执行类似于鸟的操作，急剧刹车，并在地面上方以受控失速结束。鸟类的腿有肌腱作为减震器，机械版本模仿了这一点。

抓住栖木时，鸟需要一个有力的抓握动作。Gajjar的鸟脚是以鹰为基础的，有锋利

的金属爪子，可以牢牢抓住。抓地力确保无人机立刻被锚定，因此不会有撞到栖木和弹开的风险。无人机的抓地力令人印象深刻。一段视频显示，一架无人机的腿停在一根棍子上，训练者用力摇晃，但未能移开。爪子也很锋利；Gajjar说，如果不小心处理，他们很容易割破你的手指。

鸟类的腿有数百块肌肉，很难精确复制。Gajjar已经将这种情况简化为每条腿只有两个电机，一个用于抓握，一个用于移动。这足以让无人机能够抓握、转弯和行走。目前的版本只能摇摇晃晃地走很短的距离，但确实证明了无人机的可能性，它可以通过窗户飞入建筑物，降落，然后步行悄悄探索。

Gajjar根据两份开发合同为美国空军生产了他的腿。他甚至不知道空军计划将它们附在哪架无人机上；他刚拿到说明书，送来了两对腿。空军随后将这些腿与他们自己的飞行器结合在一起，并进行了测试。Gajjar说，他们对结果很满意，不敢相信爪子的抓力。这种类型的腿非常适合乌鸦大小的东西，但不能真正放大到更大的东西。

腿只是整个栖息解决方案的一部分。Gajjar的设计依赖于飞行员找到合适的栖木，并引导无人机进入；这是一个需要一些技巧的过程，自动着陆会更安全。全球定位系统对定位来说太不精确了，定位需要精确到英寸。下一阶段将看到一架无人机，它有自己的传感器和足够的处理能力来完成为自己识别栖木的棘手任务。

美国空军已经为此授予了一系列合同，截至2015年，有三种相互竞争的定位传感器设计。其中包括着陆地点评估，它使用视频和其他传感器来建立该地区的三维模型，以“识别、选择、调查和开发”可能的栖息处。用于自主着陆区检测的ImageNav-LZ系统让无人机以螺旋方式飞行，并使用摄像机通过它们投射的阴影来检测可能的栖息点，因为这些可以提供良好的三维信息。(11)第三个系统，ALPS(自动定位到栖木和凝视)，也使用视频馈送来评估可能的栖木位置，然后绘制出接近它们的方法。这些传感器的细节很少，但所有开发人员似乎都对他们的方法充满信心。

宾夕法尼亚大学的GRASP实验室正在进行不那么高度机密的工作。他们的方法只是为了降落在电线上，而不是树枝或窗台上。他们的软件扫描无人机的视野寻找直线，然后使用一种称为光流的技术计算距离(我们将在第6章中更详细地研究这种技术)。

另一种方法是通过感应电力线的电场来定位电力线，而不是使用摄像头。这同时执行两个功能：无人机可以发现并避开潜在的危险电力线，它还可以足够精确地定位它们，以便能够在没有视觉引导的情况下栖息在它们身上。

坐在电线上也开启了另一种可能性：通过偷电充电。已经有几架无人机可以连接到电力线并充电。设计研究协会为小型无人机开发了这样一个系统，并为特种部队开发了一个名为“蝙蝠钩”的衍生产品。这看起来真的像蝙蝠侠会用的东西——一个小的，锋利的带绳子的回旋镖。把它扔到电线上，锋利的边缘会划破绝缘层。线路末端的

一个装置将高压交流电源转换成可调节的直流电，用于给电子设备充电。蝙蝠钩可以从生产线上弹出，这样它就可以被移除和重新使用。

极光滑板的城市巡逻警察版本内置了这种能量清除功能，使任务能够无限期地持续下去。无人机可以从一个有利的位置观察周围，然后悄悄飞走，停在几个街区或几英里外的另一条电线上。

根据一系列空军合同，AetherMachines已经开发了第三种这样的电力线扫能无人机。他们的无人机重量不到三磅，拥有特殊的电力线定位飞行控制系统，以及可以从不同电压的线路获取电力的通用输入。(12)

能够栖息和充电是游戏规则的改变者。无人机不仅仅是巡逻或处理特定事件的战术设备；它们是永久性的哨兵，可以比捕食者保持更长时间的监视。无人机成为一个飞行的闭路电视摄像机，城市景观的永久组成部分，能够进行长期监视。城市节拍设计包括自动执行某些类型的生活模式监控的软件。它可以跟踪特定车辆在某个区域的来来往往，甚至可能跟踪个人。

以后看你的可能不是老大哥，而是一架小型的栖息无人机。

虽然这可能会促进对未来的愿景，即每次无人机袭击都是以完美的情报进行的，但历史表明，这不足以防止无辜者被杀害。

2005年7月，伦敦警方正在监视爆炸嫌疑人侯赛因·奥斯曼居住的一栋公寓。他们认出离开大楼的人是奥斯曼。警方认为他即将发动袭击。他们追上一列火车，朝那个人的头部开了7枪，当场打死了他。受害者是琼·查尔斯·德梅内塞斯，一个完全无辜的巴西电工，和奥斯曼没有什么相似之处。

尽管自动识别可能会消除参与监视的焦虑人群所犯的一些错误，但使用远程无人机观察系统，即使不是不可避免，也是有可能出错的。

太阳能飞机四十年

在一些地方，坐在电线上可能行得通，但军事行动往往发生在不发达的农村地区；在沙漠、苔原和丛林中；以及遥远的海上。一个答案是太阳能，多年来它一直吸引着航空设计师。飞机机翼是大而平的表面，很容易被太阳能电池覆盖。如果太阳能飞机能产生足够的电力，它就能为自己的发动机提供动力，并独自依靠阳光飞行。如果它能产生更多的电力，它也可以给电池充电，让它在夜间飞行。

问题一直是太阳能电池的高重量和低效率。20世纪50年代的第一批电池仅将落在上面的能量的4%转化为电能。到了20世纪70年代，这一比例已经上升到了令人尊敬的11%，美国国防部高级研究计划局(d ARPA)委托加利福尼亚州欧文市的Astro Flight

Inc . 制造第一架太阳能飞机。

太空飞行日出号本质上是一架无人滑翔机。虽然它的翼展有三十英尺，但它只有二十七磅重。它于1974年首次起飞，由大量太阳能电池产生的450瓦能量足以让它在晴朗的日子里一次飞行三个小时。(13)

下一个挑战是载人太阳能飞机，另一家加州公司AeroVironment脱颖而出。正如我们所看到的，AeroVironment创始人保罗·麦克克里迪专门研究轻型滑翔飞机，并且已经开发出了人力飞机，因此他与戈瑟姆企鹅一起将自己的技能转向了太阳能飞机。(14)

第一次载人太阳能飞行由设计师十三岁的儿子马歇尔·麦克格雷迪驾驶——试飞行员的选择部分取决于尽可能轻便的需求。80磅，马歇尔是理想的。这架飞机被一辆自行车拖着辅助起飞，它只飞了五百英尺，但就像1903年莱特兄弟的成就一样，它表明了这种事情是可能的。这架名为“薄纱企鹅”的飞机非常脆弱，只能在最平静的条件下飞行，通常是在黎明后。不幸的是，对于太阳能电池来说，这是一个糟糕的时刻，因为太阳的角度很低，几乎没有光线照射到它们。需要一架更大、更坚固的飞机。

麦克格雷迪的下一个进化，太阳能挑战者，翼展接近50英尺，空重200磅。(15)飞行员斯蒂芬·普塔切克又增加了一百二十磅。凯夫拉尔和泡沫聚苯乙烯的结构，暴露了与乌鸦的家庭关系。1981年7月，普塔切克驾驶“太阳能挑战者”号从巴黎飞越英吉利海峡163英里，到达英国曼斯顿的一个空军基地。作为太阳能飞机的典型，普塔切克的平均飞行速度只有30英里每小时，尽管他确实在开始穿越之前上升到了11000英尺的高度，以确保必要时能够滑行到安全的地方。

紧随“太阳能挑战者”之后的是更轻的“汐”，这是一架载人飞机，于1990年分阶段穿越美国大陆。在载人太阳能航空的最新发展中，总部位于瑞士的太阳动力团队的目标是驾驶飞机环游世界。太阳动力公司的翅膀跨度超过200英尺，内置的太阳能电池产生超过45千瓦的功率，是早期日出的100倍。以飞机的标准来看，这还不算多；太阳动力的翼展是流行的塞斯纳172的六倍，但功率较小。

当然，太阳动力号的重量为3500磅，比塞斯纳号要轻一些。它的巡航速度慢达每小时43英里。它的旅程是一项缓慢而危险的任务，由于有暴风雨的风险，飞行员和任务控制小组不得不密切关注天气。(16)

截至2015年底，太阳动力公司的电池在日本至夏威夷航段发生热损坏后正在修复，环球旅行看起来要到2016年4月才能恢复。

太阳能技术带来的限制意味着这些载人飞船不可避免地是脆弱、缓慢的机器。它们比飞机更像飞艇，总是受风的摆布。整个企业可以追溯到一个时代，飞行员是敢于

冒险的冒险家，而不是拥有客户服务技能的专业人士。载人太阳能飞机看起来很棒，它们甚至可能成为一种环保的娱乐方式。但很难看出它们有什么实际用途。大多数注定会在博物馆结束，因为他们的真正目标是提升太阳能的形象并展示其潜力，而不是推动航空技术向前发展。在这种情况下，它们作为展示品与太阳能汽车属于同一类别。

自从“太空飞行日出”以来，五角大楼一直保持着对太阳能“永恒飞机”的兴趣。AeroVironment使用与Solar Challenger相同的技术，悄悄为军方制造了一架名为HALSOL的太阳能无人机。一种被称为“高空动力平台”的长航时无人机是根据一项战略侦察机密计划设计的。有一段时间，太阳能无人机甚至被开发成《星球大战》防御系统的一个组成部分。这就是著名的猛禽/鹰爪组合：一架巨大的太阳能猛禽飞机将永久停留在敌方领土之外的高空，观察弹道导弹发射，并用微型鹰爪导弹拦截它们。像大多数星球大战硬件一样，猛禽/鹰爪仍然停留在幻想的世界里。(17)

最近的军事项目是泽法号，这是一艘翼展70英尺、重量仅100多磅的飞船。用手发射，它飙升到61000英尺。2010年，它不间断地飞行了创纪录的336小时——差不多两周。但是这种又大又脆弱的飞机仍然被认为是不切实际的。泽法是美国国防高级研究计划局秃鹫项目的一部分，该项目已从“开发项目”降级为“技术验证项目”换句话说，没有人期望在最后看到一架可行的飞机。(18) 制造商相信商业版本是可能的，但像往常一样，这仍有待观察。

商界还有其他人。被谷歌收购的泰坦航空航天公司计划制造大型太阳能无人机，在高空连续飞行。这些被称为“太阳大气卫星”，旨在与通信卫星竞争。像载人太阳能飞船一样，泰坦的无人机将是大型、精致的飞机。它们将在地球大气层的一个“甜点”运行，高度为60-70,000英尺，那里的空气相对平静，第一次飞行本应在2015年进行，但那年5月的一次坠机使时间表推迟了。

这次坠机提醒人们，泰坦的无人机要避免美国宇航局大型太阳能飞机太阳神号(HELIOS)的命运将有多困难，该飞机于2003年在太平洋上空遇到湍流。太阳神号在空中被撕裂，碎片飘落到海洋，结束了美国宇航局的太阳能飞机项目。

小型太阳能

太阳能对小型无人机比大型无人机更有意义。与更大的飞机相比，这与机翼面积和重量的有利比例有关，因此也与可携带的太阳能电池数量有关。这是对比例因子的报复，比例因子使小型无人机在携带燃料时处于劣势。一半大小的飞机只有四分之一的机翼面积，因此只能承载四分之一的太阳能电池，但也只能支撑八分之一的重量。

虽然大型无人机必须经过特殊设计，以最大化机翼面积，使其成为巨大而脆弱的装置，在强烈的阵风中解体，但小型无人机的机翼面积与功率需求之比更高。像“太阳

脉冲”这样规模的东西产生的功率只有同样大小的普通飞机的一小部分，但是“乌鸦”的机翼可以产生它所需要的几十瓦的功率。即使是一架没有针对太阳能进行优化的无人机也能获得显著的提升，而太阳能可以为一架设计良好的无人机提供几乎无限的飞行时间。

太阳能充电器对野外的部队来说很方便。他们不需要外部电源，只需要将无人机放在阳光下几个小时。如果你徒步巡逻持续几天，这是一个相当大的奖励。当然，栖息无人机可以像鸬鹚一样张开翅膀，吸收太阳光线。

2010年，哈维尔·科巴将太阳能电池作为他的海军研究生论文项目添加到了一艘“乌鸦”号上。(19)他使用的镉二硒电池只有13%的效率，但很容易获得。这个项目非常成功。总成本约为1000美元，科巴的太阳能乌鸦飞行时间比基本版本长30%至70%，即使在沉闷的条件下。他计算出，在阳光充足的条件下，同样的设计应该会使飞行时间增加一倍以上。

科巴以丰富的专业知识和最少的资源完成了他的项目。当他完成论文时，他注意到电子学已经变得更有效率，而且有可能比他刚开始时建立一个更好的版本。更重要的是，现在可用的太阳能电池要好得多。

Coba的项目告诉我们一些关于小型无人机的重要信息。他不需要公司实验室或慷慨的工业赞助，但显著改进了无人驾驶飞机，几乎可以自己工作。相比之下，太阳能脉冲的成本约为600万美元，实际应用很少。

虽然在车库车间可以取得很大成就，但企业力量现在正在推动小型太阳能无人机技术。拥有新型高效轻质太阳能电池的公司正在寻找能够带来真正优势的应用。对于屋顶发电来说，重量和效率没有那么重要；每瓦成本是关键指标。但是加州索尼维尔阿尔塔设备公司的里奇·卡普斯塔说，一旦他的公司开发出世界上最薄、单结效率最高的太阳能电池(20)，小型无人机看起来就是一个明显的市场。(21)

阿尔塔设备公司的电池是基于砷化镓(GaAs)而不是传统的硅。长期以来，GaAs一直被认为是一种更好的太阳能材料，但由于价格昂贵，几乎没有引起人们的兴趣。阿尔塔设备公司的反应是开发生长非常薄的GaAs晶体的技术，因此它们只需要极少量的珍贵材料。这只是开始；同样具有挑战性的是，需要新技术来剥离薄片晶体而不损坏它们，并将它们与铜和塑料层夹在一起。整个组件，包括其保护性封装，大约有一张信纸那么厚。薄片轻、柔韧、结实，而且相对便宜。它们的效率几乎为30%，是早期太阳能电池板的两倍多，重量只有前者的一小部分。

几盎司的电池提供了像“乌鸦”无人机所需的所有电力，而用太阳能电池给电池充电的电路只增加了几盎司。

这些GaAs细胞被制成5×2厘米的单位，可以缝合在一起覆盖任何大小和形状的翅膀。

作为示范，aero environment和Alta Devices合作开发了aero environment的Puma UAS的特殊太阳能版本。安装了Alta Devices轻型太阳能电池，太阳能Puma飞行时间超过9小时，是纯电池版本的3倍。

2014年底，阿尔塔设备公司与生产小型无人机即插即用附件的公司Airware合作，旨在让无人机制造商能够获得太阳能。

与此同时，伊利诺伊州奈尔斯的Microlink Devices公司基于一种不同的太阳能技术——GaAs三结(22)开发了自己的太阳能电池板。它被调谐为接收三种不同波长的光，而不是一种；总效率大约为30%。安装在金属片上的光伏材料层看起来像薄金属箔。虽然易碎，但它足够柔韧，可以缠绕在直径只有几英寸的圆柱体上，并且可以符合小机翼的曲线。

Microlink与美国空军研究实验室合作，为AeroVironment的小型无人机(包括Raven)改装太阳能电池。他们的第一个太阳能辅助的瑞文显示了60%的耐力提高，随着进一步的工作，这应该会增加到100%。其他机翼面积更大的无人机，如奥罗拉飞行科学公司的斯卡特，会做得更好。

与Microlink与设计智能公司(前面提到的无人机制造商)合作的小型定制UAS相比，这种改进相形见绌。它被称为练习曲。

DII公司总裁兼首席执行官詹姆斯·越橘说：“通过将太阳能作为现有无人机设计的‘附加’或补充，我们可能能够在飞行耐久性方面比仅使用电池供电提高200%至300%。”(23)这个数字肯定得到了太阳美洲狮的证实。“然而，对于像Eturnas这样的太阳能优化飞行器来说，只要有良好的阳光，我们就可以随便飞行。由于Eturnas也有电池供电，太阳下山后，它可以轻松地再运行一两个小时。”

第一架小型太阳能无人机已经上市。太阳能猎鹰是一家同名公司制造的用于安全和其他应用的手动无人机，使用薄膜电池，据称在良好的条件下续航时间超过7小时。

无人机甚至可以在天黑后收获一些能量。奥罗拉飞行科学公司已经测试了他们的溜冰鞋的一个版本，上面的机翼表面有太阳能电池，下面有红外电池。这些只能提供太阳能电池的一小部分能量，但由于薄膜几乎没有重量，当无人机已经有必要的充电电路时，它们是一个额外的好处。

太阳能也可能受益于智能手机行业。包括苹果在内的一些手机制造商对内置太阳能充电感兴趣。小型太阳能电池的质量可能会提高，大型制造设施可能会导致价格暴跌。

如上所述，小型无人机在储存能量方面有一个缺点。像美国国防高级研究计划局的秃鹫项目和泰坦航空航天公司的类似卫星的通信平台设想的大型太阳能飞机，可以

储存足够的能量，在太阳下山时维持一夜。黎明时分，它们转换到太阳能，开始给电池充电，这样就可以无限期地飞行。小型无人机再次陷入了只有在电池续航时间内才能飞行的限制。

然而，差距正在迅速缩小。瑞士团队AtlantikSolar的目标是发送一架手动发射的15磅太阳能无人机穿越大西洋。2015年6月，他们实现了超过28小时的飞行。飞行结束时，无人机的电池充满电。随后是81小时的第二次飞行。这是一个巨大的飞跃，表明在合适的条件下，一架小型太阳能无人机可以利用现有技术无限飞行。(24)

太阳能也可以与栖息结合。像鸟类一样，成群的无人机可能白天飞行，晚上栖息，保存能量，直到太阳出来给它们充电。尽管没有人有足够的电荷保持整夜飞行，但鸥群仍然会让一些成员持续在空中飞行。它们可以保持持续的覆盖，就像组成CAP的捕食者不断地互相接管一样。

一架结合了栖息和从电线和太阳充电的无人机可以长时间工作。但是还有一种方法不需要任何额外的硬件，鸟类已经做了几百万年了。

永远翱翔

空气本身可以在不消耗任何能量的情况下将飞行器保持在高空。飞翔的鸟类完善了驾驭气流的艺术：老鹰乘着热气流上升，信天翁借助风切变穿越海洋，甚至城市鸽子也能从阵风中得到提升。迁徙的鸟飞行数日而不着陆，甚至在睡觉时也能利用气流。

这是小型无人机处于有利地位的另一种情况；你不能指望独自在风中支撑一架客机，载人滑翔机需要超大的飞翼。但是鸟类大小的无人机可以像鹰一样翱翔。

加州蒙特里美国海军研究生院的研究副教授凯文·琼斯是一个团队的一员，该团队正在开发一种称为TALEUAS(战术长航时无人驾驶航空系统)的手动发射无人机，该无人机将太阳能收集和在热气流中翱翔的能力结合在一起。(25)。它基于越野滑翔比赛中使用的无线电控制模型的机身。

TALEUAS的翅膀被单晶硅太阳能电池覆盖，选择这种电池是因为它们成本低，容易获得。这些给了该团队大量的工程挑战，因为电池比阿尔塔设备公司和Microlink公司生产的太阳能薄膜更脆，更容易破裂。但他的作品同样专注于飞行。

TALEUAS被设计成像秃鹫和老鹰一样依靠热能向上翱翔。热上升气流是太阳加热地面时形成的热空气气泡。因为暖空气较轻，气泡倾向于与地面分离并向上上升。飞翔的鸟需要巨大的肌肉力量才能通过拍打来攀爬，它们展开翅膀，乘着这些热气向上飞。TALEUAS可以做完全相同的事情。它是在电动机的帮助下发射的，但是研究小组已经开发了一种技术，让它能够找到并锁定热气流，当它找到热气流时，它会不断移动，停留在热气流中，并上升数千英尺。

即使在气温为50度的温和天气里，TALEUAS也能爬到4000英尺以上。无人机实际上比一些鸟更擅长飞翔。琼斯说，猛禽走过来，试图分享他的热量，发现它不够强大，无法支持他们。(26)

像飞翔的鸟一样，TALEUAS可以骑着热气流攀爬并长时间停留在高处，而无需花费任何力气。飞禽用这种方法熬了一整天。他们也可以用它在全国旅行，在找到下一个热量再次把他们举起来之前，获得高度滑行很长一段距离，然后继续前进。

鸟类在寻找热能方面很聪明。他们能认出正确的风景；停车场往往是好的，因为黑色的表面迅速升温。他们可以发现漂浮的尘埃云和显示空气流动的植被。当保罗·麦克格雷迪在亚利桑那州沙漠测试他的太阳能挑战者时，他发现温和的热量是一个很大的帮助；在试飞期间，他驾驶一辆货车四处扬起灰尘，这有助于突出热气流的位置。在更潮湿的地区，蓬松的积云可能会在上升气流将水分带到足够高的高度使其凝结的地方形成。

在寻找热能方面，鸟类比人类滑翔机飞行员做得更好。这导致英国猎鹰者斯科特·梅森发明了一项新运动：滑翔伞——以鸟为向导的滑翔伞运动。这些鸟——风筝或秃鹫——被训练带领滑翔伞飞行员上升气流。(27)

总部位于尼泊尔博卡拉的梅森为游客提供了一次双人滑翔伞的飞行体验。这只鸟每隔一段时间就会回到滑翔伞上，为它发现的每一点热量索取食物奖励。梅森开发了帕拉霍金作为他的获救鸟类的“丰富练习”，为它们提供了比从猎鹰者的手腕在地面上飞行更多的娱乐和锻炼。但是帕拉霍金也展示了在寻找热能时有向导的优势。

鸟类有时通过互相观察来确定热气流的位置；当一只秃鹫发现上升气流时，其他秃鹫会滑过并利用这一发现。(但他们并不总是与陌生人分享。琼斯曾见过一只猎鹰袭击一只秃鹫，有时一只老鹰会扑向TALEUAS，试图把它从一个火力中心赶走。)就像一群秃鹫一样，琼斯认为无人机可以协同工作。在他们之间，他们可以覆盖更广泛的领域。一个人找到热能，其他人就可以过来分享。在它们之间，一组无人机可以快速绘制出作战区域的地形图，并找到一天中不同时间热气流可能形成的位置。

TALEUAS将太阳能电池和翱翔结合在一起，只要有阳光或上升气流，它就能在空中停留。整夜飞行将是电池供电的问题，但再次结合栖息和太阳能，蜂群将能够在空中保持至少一架无人机全天候监视目标。

未来的发展将包括更先进的发现上升气流的方法。一些研究人员已经尝试使用热成像仪和其他传感器从远处发现它们。洛克庄园系统公司的迈克·胡克和他的团队研究了上升气流的地理分布。这不仅包括热气流，还包括当风吹过山脊时产生的地形抬升，以及风冲击陆地时产生的背风波。

由此产生的软件将景观分析与相机相结合，以发现能说明问题的积云，并复制了一

名经验丰富的滑翔机飞行员(或秃鹫)的技能,即知道在哪里可以找到上升的空气。胡克驾驶他的原型机在滑翔机上飞行,飞行员对该系统能够发现他可能错过的热气流印象深刻。即使是这个早期的原型也表明,有了正确的软件,任何带摄像头的无人机都可以翱翔天空,飞行更长时间。

长距离高速机器人信天翁

菲尔·理查森是马萨诸塞州伍兹霍尔海洋研究所的海洋学家。在观看了南大洋上空的信天翁后,他被动态翱翔的想法迷住了。他在一艘研究船上,他看着鸟儿毫不费力地保持步伐,从不扇动翅膀。尽管事实上船正以10节的速度向前航行,鸟儿也在逆风飞翔。(28)

信天翁利用风切变,即不同高度风速的差异。靠近海边的风很小,但是如果信天翁长高了一点,它就会抓住风,像风中的风筝一样被向上带走。然后,这只鸟转向并沿着它希望行进的方向下滑,将它的高度转换成速度。当它开始减速时,信天翁调整翅膀角度上升,并抓住风重复这个动作。信天翁即使在睡梦中也能翱翔,不费吹灰之力就能飞行数千英里。一只下雪的信天翁在12天内飞行了4000英里。

在写了一篇关于相关数学的论文后,理查森观察到南加州的无线电控制滑翔机爱好者利用了这种效应的一个极端版本,利用地形升力,来自海洋的风被悬崖向上转移。通过反复在悬崖上盘旋,小滑翔机可以建立惊人的速度。

理查森说:“我完全被它们的飞行速度惊呆了——时速高达500英里。

驾驶模型滑翔机是一门艺术,爱好者知道去哪里寻找上升气流。但是使用风切变的动态飞升是一种更微妙的技术,直到最近,关于它到底是如何工作的还有相当多的争论。直到2013年,慕尼黑技术大学飞行系统动力学研究所的戈特弗里德·萨克斯和他的同事们才最终证明信天翁确实使用了上述精确技术。他们在鸟类身上使用了极其精确的微型全球定位系统跟踪器,表明飞行模式有四个阶段:迎风爬升、上弯、背风下降和下弯,所有这些都一遍又一遍地重复。正是预测的动态飙升模式。

实验飞行支持这一理论。2006年,美国国家航空航天局用一架L-23超级滑翔机在爱德华兹AFB的干涸湖床上进行了试飞。飞机以多种不同的飞行方式进出边界层风切变,并从动态飞升效应中获得了显著的提升。然而,因为飞机又大又重,它不能像信天翁一样从动态飞行中获得太多好处。

2015年,理查森发表了一篇关于信天翁或无人机如何完成他在南大西洋目睹的逆风滑翔的新论文。他计算出一只鸟可以以45度角飞入主流风中。通过从风的左侧到右侧的曲折,它可以实现净向前运动。有效逆风速度约为其实际速度的60%。这与理查森的观察相吻合,当时他注意到一只与船保持同步的鸟在每10秒钟内转了两圈。(29)

理查森研究了如何将这种方法应用于基于100动力定位系统的海洋监视无人机，这是一种无线电控制的业余滑翔机。100动力定位比海鸥能承受更大的力量，利用更快的风力。它可以像帆船一样迂回前进，走曲折路线，不管风如何，向任何方向飞去。该理论认为它可以以超过五倍于风速的速度逆风飞行。对角飞行是最快的模式，它可以达到8倍以上的风速。机器人信天翁可以在不使用一滴燃料的情况下，以每小时100英里或更高的速度进行长时间的调查或搜索。这种无人机可以像信天翁一样轻松地穿越海洋。

这种模式可能需要一些调整。正如理查森指出的那样，信天翁可以飞得如此之低，以至于它的翼尖会浸入水中，但是尝试相同机动的飞机有坠毁的风险，并且需要更大的安全裕度。但原则是合理的。

挑战在于让它在实践中发挥作用——这一挑战已经被宾夕法尼亚州立大学的杰克·兰格兰和同事们所接受。他们正在开发一种自动驾驶仪来进行动态飞行，第一次飞行计划在2015年底进行。Langelan的团队已经对该地区进行了三年的研究，他们已经将其分为三个关键领域：风场估计、路径规划和飞行控制。(30)

“风场估计是关于确定剪力(不同高度的速度差)在哪里，以及它看起来像什么，”朗格拉安说。“由此产生的数据被传递给轨迹规划器，轨迹规划器计算出的轨迹至少是能量中性的，但理想情况下从风切变中获得能量。飞行控制员把这个计划变成了行动。”

无人机在飞行时会了解气流的位置，因此它的风场模型会不断更新。该团队进行了大量的计算机模拟和硬件在环实验室测试，以测试轨迹规划软件和飞行控制器的性能。它就像是电子飞行员的飞行模拟器。

测试飞机是一架商用无线电控制滑翔机，重13磅，翼展9英尺。没有针对动态飞升进行优化；最初的目的只是为了证明自动动态翱翔是可能的。第一次飞行将涉及由理查森见证的加利福尼亚滑翔机爱好者执行的机动：在山脊线上方飞行闭环，利用风吹过山脊的气流。滑翔机爱好者的目标是通过每圈越来越快来达到最大速度，但兰格兰只是想要一个强大的工作系统。他的目标是耐力：如果它起作用，它将表明一架翱翔的无人机可以像信天翁一样持续飞行几天或几周。

动态飙升在某些地方也应该在陆地上起作用。萨克斯的团队已经表明，除了热气流和山脊升力，一些飞翔的鸟类还利用陆地上的动态飞翔。沙漠和平原将是最有希望的，但只要风速和高度有差异，动态飙升应该是可能的。

城市传单

对于小型无人机来说，最艰难的地方可能是大城市的城市峡谷。高楼创造了它们自己的风循环模式。这是1902年在曼哈顿建成的第一座摩天大楼Flatiron Building

的一个众所周知的特征，它引导着周围的风。闲人悬挂在大楼的底部，这样当风吹起她们的长裙时，他们可以瞥见女人的脚踝。

这是一个驾驶小型飞机的危险环境，但澳大利亚皇家墨尔本理工大学(RMIT)的Reece Clothier和同事正在开发一种无人机，可以利用高楼周围的风。灵感来源于克洛蒂尔观察到鸟儿在墨尔本摩天大楼之间的上升气流中飞行，他想知道无人机是否有可能做到这一点。红隼项目的工作将建筑物周围气流的计算机建模与小型无人机的特殊风传感器相结合。这个想法是，无人机将——用克洛蒂尔的话来说——在与高楼相关的上升气流中“冲浪”。(31)

正如Langelaan的软件提供了风切变的自动感知以及如何最好地使用风切变一样，Clothier的Kestrel将对城市的风型有一个内置的理解。通过利用它们，它还能像鸟一样飞行，从而显著提高续航能力，避免潜在的破坏性湍流。该项目由澳大利亚国防科学研究所赞助。

不过，像极了塔勒乌斯，像鸟一样飞行会导致红隼被其他鸟误认为是红隼。当一只鹰扑向它并把它带走时，一个原型丢失了。

除了城市峡谷中变幻莫测的风，还有更常见的风、微风和突如其来的阵风可以赶上飞机。航空公司的乘客非常清楚“晴空湍流”，这只是高空中不可预测的风。高速遇到湍流会损坏飞机，或者把乘客扔进机舱，这就是为什么系好安全带总是一个好主意。

这些随机的风可以成为一种便利的能量来源。佐治亚州坎顿的第一区公司正在为美国空军开发用于收集阵风能量的反应控制器。它包括传感器和软件来检测局部气流，并自动转向风。客机太大太脆弱，缺乏这样机动的敏捷性；鸟儿不假思索就做了。小型无人机没有理由做不到同样的事情。

变成一阵风会产生升力，将风转化为额外的高度，并在不消耗燃料的情况下增加续航能力。RECHARGE使飞机更加稳定，同时降低了机体上的突然应力。湍流给机翼带来压力，并使飞机受到冲击；最小化它可以让无人机安然度过阵风天气，这可能会使其他飞机停飞。

开发人员表示，当RECHARGE技术成熟时，它可以提供简单的升级，并为像Raven这样的成千上万架小型无人机提供“在航程和续航能力方面的显著性能优势”。

RECHARGE依赖于对飞行影响的阵风探测，但Aurora飞行科学公司正在研究一种奇异的传感器，它将提供更快的反应。鸟类和昆虫利用本体感觉，通过羽毛或毛发或翅膀上的力直接反馈，对周围气流的变化做出即时反应。Aurora正在探索嵌入小型无人机皮肤中的传感器，以赋予它同样的感知能力，这样它就可以更快地检测到突然的阵风，并通过RECHARGE正在开发的飞行控制软件采取适当的行动。(32)

与其像美国宇航局不幸的HELIOS一样把无人驾驶飞机撕成碎片，不如刮风的一天可以让未来的无人机搭车。飞升技术仍处于起步阶段，但我曾与一些研究人员交谈过，他们希望直接利用风力为无人机充电，只需将螺旋桨用作风力涡轮机。这将需要额外的电路，因此存在重量损失，并且需要一些聪明的飞行软件来应对额外的阻力。在尚未完全掌握飞升的情况下，这是一个挑战。但在好天气下，未来的小型无人机可能会完全依靠风力给自己充电。

我们从自然中知道气流能被利用得多好。任何观察过海鸥或其他飞禽的人都会知道，它们在强风中有着令人羡慕的敏捷，可以任意旋转、俯冲和获得高度。栖息的鸟会等待微风，然后垂直起飞，然后俯冲下来，利用它们获得的高度以高速逆风飞行。目前让小型无人机停飞的风让这种鸟飞得很好。由于这在很大程度上是理解气流如何运动以及如何利用它们的问题，这种专业知识可以转化为软件，并下载到无人机上。

飞向未来

我们研究了克服锂电池局限性的各种技术：更好的电池化学、栖息、从电力线中收集能量、太阳能以及从气流中获得提升的方法。都有希望，没有一个是相互排斥的。已经有了既有太阳能电池又有扫能功能的无人机设计。TALEUAS将翱翔和太阳能集成到同一架飞机上。

相信小型无人机能够执行持续数周的任务并不稀奇。事实上，美国空军的微型弹药计划涉及一种小型无人机，可以做到这一点；作为这一努力的一部分，上述一些项目已经获得资助。然而，微型弹药无人机是专为单程旅行设计的，在目标区域停留或徘徊，直到它收集信息并收到攻击命令。

随着时间的推移，这些技术中的一项或多项可能会占据主导地位。一艘拥有更高效的太阳能电池和更好的电池的飞船不需要任何其他能源。电池可能会有很大改善，太阳能电池30%的效率将被取代。实验室中已经存在效率为37%或更高的设备，并将在适当的时候商业化。

或者，隐身栖息可能在战术上非常有用，以至于其他方法都是多余的。因为它们可以以这样的数量获得，小型无人机可能更像已经在使用的无人值守地面传感器（我们将在第7章中看到）：如此多的传感器可以从飞机上扔下，以至于它们几乎不需要四处移动，而是可以潜伏在原地，直到它们需要攻击。

其他更奇特的技术也可能迅速发展。研究人员展示了能够“消化”环境中的树叶或其他物质的机器人。目前的能量水平很小，但很明显这种能量来源对鸟类很有效。在演示中，激光或雷达波束提供的波束能量长期以来一直用于远程给小型无人机充电。一些公司正致力于将这变成一种实用技术，而不是实验室的噱头。这种技术通常对更大的飞机没有用处，但对小型无人机有益。它们的另一个优点是，它们可以很容

易地重新设计，以利用新的部件，并且没有20年的载人战斗机的生成时间。

无论这项技术朝哪个方向发展，未来的小型无人机的任务时间和航程都将远远超过今天的小型无人机。一群小型无人机从运输机母舰上释放出来，可以覆盖一个区域，并在需要的时候在原地游荡。他们也可以运输自己，正如空军所说的“自我部署”。小型无人机可以像成群的候鸟一样飞行洲际或越洋距离，也可以像日本功夫气球一样飞行。

鉴于这种能力，小型无人机能够挑战捕食者及其关系，在更大的战略舞台上占据一席之地。

小型无人机续航时间从几个小时增加到几天，令人惊讶。但是随着技术的进步，小型无人机将不能简单地运行更长时间。先进的技术将使无人机比我们目前看到的无人机更有能力。

参考

1) TAM-5跨大西洋飞行

[巴纳德微系统公司。” FAI级F8模型飞机的长距离记录.](#)

2) 特斯拉S型电池

[绿色汽车大会:美国环保署对85千瓦时特斯拉Model S的评级:89 MPGe, 265英里续航里程。\(2012年6月21日\)。](#)

3) IBM锂空气电池

[锂/空气电池项目\(电池500\)。\(不详\)。](#)

4) 熔融空气电池

[Zyga, L. \(2013年9月\)。熔融空气电池的存储容量是所有电池类型中最高的。](#)

5) OXIS电池

[一股硫磺的味道。\(2014年12月30日\)。](#)

6) 燃料电池潜行者XE

[汉布林博士\(2013年5月3日\)。由燃料电池驱动的更持久的无人机。](#)

7) [离子虎燃料电池无人机。](#)

8) 城市警察

[新的“城市巡逻警察”监视系统使军事人员远离危险。\(2014年8月14日\)。](#)

9) [维斯瓦机器人公司](#)

10) “如果你能栖息，你可以不用任何力量四处看看。”—Bhargav Gajjar 2013年12月对作者的采访

11) [. 自主着陆区探测。\(2013年12月9日\)](#)

12) [AetherMachines PERC ing, 动力扫气无人机\(n.d.\)。2015年10月24日](#)

13) [太空飞行日出](#)

[法学博士鲍彻\(1985年\)。日出,世界上第一架太阳能飞机。《飞机》,22\(10\),840-846。](#)

14) [游丝企鹅](#)

[\(2010年8月7日\)。首次公开展示太阳能供电的薄纱企鹅。史密森尼国家航空航天博物馆。\[网络日志帖子\]。](#)

15) [. 太阳能挑战者号](#)

16) [太阳能脉冲RTW。\(未注明日期\)。](#)

17) [. 复活猛禽魔爪! -高边疆。\(2014年5月29日\)](#)

18) [泽法无人机继续打破首次授权民用飞行的记录。\(2014年9月28日\)。](#)

19) [太阳乌鸦项目](#)

[j. 科巴和v. 威廉\(荷兰\)..应用铜铟镓二硒光伏电池延长瑞文RQ-11B无人机的续航时间和能力。\(海军研究生院论文\)。](#)

20) [阿尔塔设备](#)

[重量轻、灵活的太阳能电池增加了无人机的飞行续航能力。\(未注明日期\)。](#)

21) [“小型无人机看起来是一个明显的市场”——里奇·卡普斯塔对作者的采访,2013年8月](#)

22) [微链接设备](#)

[微链接设备产生页面。“光伏”](#)

23) [“通过将太阳能视为‘附加产品’”-詹姆斯·越橘对作者的采访,2013年8月](#)

24) [大西洋](#)

25) TALEUAS

[异想天开。\(2013年2月8日\)。](#)

26)“走过来试图分享他的热量的猛龙发现热量不足以支撑他们。”—凯文·琼斯采访作者，2013年1月

27) 帕拉霍金

[帕拉霍金项目——帕拉霍金官方网站。\(未注明日期\)。](#)

28) 动态飙升

[汉布林博士\(2013年7月3日\)。飞行的未来:永远不需要着陆的飞机。大众科学。](#)

29) 菲尔·理查森机器人信天翁

[汉布林, D. \(2014年12月30日\)。风骑士:神奇的信天翁飞行激发无人机。新科学家。](#)

30) 杰克·朗格拉安宾夕法尼亚州立大学项目

2014年12月, 作者杰克·兰格拉安访谈

31) 红隼

[开发自动飞行飞机的新项目。\(2014年4月7日\)。](#)

32) RECHARGE

[用于收集阵风能量的无功控制器。\(未注明日期\)。](#)

第六章-更快前进

[回到顶部](#)

“等一下，等一下我告诉你——你什么也没听到！”

爵士歌手阿尔·乔尔森

从2003年开始的十年里，乌鸦从一个默默无闻的特种部队小玩意变成了地球上最常见的军用无人机。已经生产了一万多台。正如我们在第三章中看到的，渡鸦的飞行时间、传感器和软件都在稳步改进。不同寻常的是，对于军方来说，价格并没有大幅上涨。与“捕食者/收割者”不同，小型无人机发展得更像消费电子产品，前者发展缓慢，似乎已经进入死胡同。未来十年有望实现更快的进化。三个力促成了这种加速。

首先，现在有一个现有的用户群。十年前，小型无人机运营商屈指可数；没有可以销售的市场，也没有寻求增强功能的用户群体。现在有成千上万的军事用户，民用无人机业务正在起飞。

就美国联邦航空局 (FAA) 而言，无人机仍处于法律边缘——在没有特别许可的情况下，在美国领空将无人机用于商业目的是非法的——但无人机供应商和潜在用户的数量正在迅速增加。在美国，成千上万的人已经被用于科学研究、农业、电影拍摄和越来越多的其他任务。造一架更好的无人机或无人机部件，就会有很多人购买，或者谁来为发展提供资金。

其次，电子行业，尤其是智能手机行业看似不可阻挡的增长，正在推动直接适用于小型无人机的进步。每一代智能手机都比上一代更强大，这意味着无人机可以使用廉价的电子设备。

第三，一种比电子工业更强大的力量：利用自然的力量。科学家们越来越多地开发仿生技术，这种技术借鉴了生物的技术。这其中的一些在上一章中已经很明显了。琼斯的TALEUAS像鹰一样翱翔，克洛谢的城市冲浪红隼，理查森的机器人信天翁，以及Gajjar的栖息腿都是仿生的。进化花了数百万年来优化它的创造，研究人员正在视觉和飞行控制等领域利用这些现成的“完美解决方案”。

与智能手机技术一样，仿生学对小型无人机的益处大于大型飞机。客机与燕子或蝙蝠没有什么共同之处，而小型无人机基本上是人工鸟类。RQ-11乌鸦在敏捷性或智力方面可能无法与羽毛乌鸦相提并论，但未来的无人机将越来越多地以各种方式挑战

鸟类对手的能力。

另一个有利因素是，进入的成本如此之低，以至于开发现在掌握在学生、一人公司和车库发明者手中。正如我们在MITRE的Razor项目和微型Crazyflie四轴飞行器中看到的，开源是小型无人机开发的有效模式。车库发明家无法制造自己的捕食者，但他们肯定可以制造自己的剃刀，任何好的想法都可以被小型无人机制造商社区采纳。

中国无人机公司DJI积极鼓励这一点，推出了矩阵100，他们称之为“开发者的四轴飞行器”，这是一个试验新硬件和新软件的试验台。[\(\)](#)

DJI在他们的产品页面上建议：“开发一个适用于任何用途的系统，并通过将你的知识和技能应用于尖端飞行技术来彻底改变行业。”

凭借各种扩展端口和易于修改的设计，M100应该会引发新一轮的无人机开发，一个基于DJI硬件的开发。一旦制造商不鼓励任何人侵入他们的硬件来构建“模块”或升级，DJI预计这将对他们有利。

即使没有这种帮助，小规模开发人员也已经在无人机领域独树一帜。Kickstarter已经成功启动了多个小型无人机项目，更多项目正在筹备中。在一家大型航空航天公司就新项目的预算水平、人员配备和范围达成一致所需的时间内，一家初创公司可以将产品推向市场，并迈向2.0版本。

升级

瑞文升级螺旋是由用户的拉动和新技术的推动推动的。两者都在继续。像大多数军事技术一样，与智能手机上光滑的用户界面相比，瑞文最初的控制系统相对笨重。考虑到数百万用户和消费设备的广泛发展，这并不奇怪。现在瑞文已经有了一个固定的用户群，升级正在进行中。

海军太平洋太空和海战系统中心开发了一种改进的小型无人机控制器，具有直观、易于使用的界面，更像是一种消费设备。它用一个单元取代了平板电脑般的地面控制站和笔记本电脑。新的控制器允许操作员同时控制几架无人机，这在廉价无人机大量投放时非常有用。

美国国防部高级研究计划局通过一个名为“异构城市RSTA[侦察、监视和目标获取]小组”的项目进一步推进了多无人机的想法操作员不能控制单独的无人机；他们只是突出显示他们想看的对象或区域。无人机被自动分配给任务，视频出现。无人机是自主的，没有驾驶。这是朝着我们将在第7章中研究的群集方法迈出的一步。

瑞文目前仅限于视线操作，尽管这可以通过继电器扩展。卫星通信，像“捕食者”号上的那些，已经太大了。随着通常的小型化进程开始，高频X波段卫星通信现在可以

用更紧凑的硬件实现。休斯网络系统公司正在开发一种适用于小型战术无人机的卫星通信包。

虽然AeroVironment显然很好地完成了瑞文的机身,但一些用户可能希望为特定任务提供不同的版本。MAV6 LLC是一家由在该领域拥有改装Ravens经验的个人创立的公司,已经为自己的升级申请了专利。一种发展是带有有效载荷空腔的球形但气动中空机翼。有效载荷可能是传感器、天线、附加电池或爆炸弹头。()2

根据MAV6的说法,新的机翼增加了一磅额外的运载能力,有效地将Raven的载荷增加了一倍,而不影响其飞行续航能力。这与剃刀中明显的模块化思维是一样的,剃刀具有交替的翅膀组,用于长距离飞行或高速飞行。

“捕食者”执行电子战任务,从一万英尺外识别和定位无线电。这种任务以前需要的设备对小型无人机来说太大了,但摩尔定律正在发挥作用。军事电子领域的领导者SARA Inc.开发了一系列有效载荷,用于拦截不同带宽的无线电信号,从甚高频到用于手机通信的GSM-1800范围。他们可以定位范围内的任何无线电发射器,并将详细信息发送回操作员的地图显示器。无人机可以通过视频来观察无线电用户,或者简单地跟踪发射器的运动。()3

在反叛乱行动中,无线电定位器可以使用对讲机或手机找到对手。面对能力更强的对手,它将定位干扰器、雷达和任何向自己的无人机发送无线电信号的人。它还可以定位友好的无线电用户,这一过程被称为“蓝色力量追踪”,以防止友军开火事件,或者在搜索和救援行动中找到无线电遇险信标。

更先进的电子战能力不难想象;事实上,我们已经知道它们可能是什么样子。在2011年DEFCON黑客大会上,迈克·塔西和理查德·帕金斯展示了他们自己的无线空中监视平台(WASP)。这是基于一架乌鸦大小的无人机,旨在展示移动攻击者可以对现有基础设施做什么。

WASP可以模拟一个手机发射塔,这样手机就可以通过它连接到网络,让运营商可以监听任何流量。它还可以检测无线网络,并拥有自动入侵网络的软件。WASP可以在预先计划的飞行路线上发送,以定位给定的计算机网络,闯入其中,并下载目标数据。这比亲自闯入一个不可能完成的任务更容易,也更难追踪。WASP在审问时不会留下指纹或裂缝。()4

WASP是由本质上是业余爱好者的人开发的;有了更大的预算和更多的开发人员,可能会做得更多。一家名为Azure Summit的公司已经为小型无人机开发了一个军事SIGINT(信号情报)包。它的能力不得而知,但至少有可能与WASP媲美。

把这种电子窃听和定位能力结合起来,你就有了一个间谍,他可以秘密地去任何地方,不会留下任何活动的痕迹。无人机可能会传送病毒或其他恶意软件的有效载荷

来破坏敌方系统，给黑客威胁增加了一个全新的层面。

指定目标

“乌鸦”在战场上最明显的缺点是没有激光指示器来突出地狱火导弹和其他制导弹药的目标。它有一个激光照明器，因此它可以“闪烁”目标，突出它们供直升机枪手或其他人瞄准，但它不能“激光”目标，引导导弹到达瞄准点。随着激光制导弹药的数量急剧攀升，指示器在战场上变得越来越有价值。

激光指示器很大，因为它们必须发出足够强的光束，让来袭导弹上的激光导引头锁定。不过可以预见的是，搜索者正在变得更好，搜索者“看到”激光点所需的功率自80年代以来已经下降了四倍。此外，激光越来越紧凑。

早在21世纪初，美国陆军的“便携式”激光指示器重达40磅。最新版本低于10磅。就在2009年，RQ-7“影子”无人机还没有足够小的指示器，这是一种翼展为14英尺的无人机。现在指示器正在进一步缩小，以至于它们可以安装在乌鸦大小的无人机上。

让激光器变小在技术上具有挑战性，但和大多数电子产品一样，这只是时间问题。加州科技公司艾瑞咨询公司开发了一种“超小型”激光指示器模块，名为AIRTRAC，其大小相当于一个不到6盎司重的高尔夫球。这是根据美国空军的一份合同建造的，大小正好适合小型无人机，合同中提到了这是一个可能的应用。⁽⁵⁾

与此同时，以色列公司埃洛普已经在其响尾蛇系列中宣传了一种微型指示器，重量仅为4盎司，并且在设计时还考虑到了小型无人机。⁽⁶⁾

以前激光制导仅限于更大更昂贵的武器，如地狱火和500磅炸弹。如今，有更小、更便宜的激光导引头。不仅有激光制导炮弹和四分之一地狱火大小的火箭，甚至迫击炮也能发射激光制导炸弹。迫击炮的射程可能有十英里，但仍然需要目标眼球范围内的人用指示器照亮它。如果炮兵观察员可以用小型无人机做到这一点，他们将能够向任何地方精确射击。

这个小标志为乌鸦开启了一系列新角色。除了充当炮兵的指挥人员外，已经有一些工作将他们用作武装直升机和直升机的“机外传感器”。无人机从飞机上释放出来，飞向危险区域，给飞行员或炮手一个特写镜头。它们特别有价值，因为与大型无人机不同，它们在几百英尺的低空飞行，这使得它们处于云层之下。当云顶低至一千英尺时，“捕食者”等对激光目标的能力就会受到限制。

不需要靠近，飞行员就可以远程发射炸弹和导弹。如果投放激光制导炸弹的飞机有足够的速度和高度，标准的无动力激光制导炸弹可以击中15英里外的目标。更先进的滑翔炸弹，如最近的SDB二号，射程可达40英里，几乎完全有资格成为无人机。

空袭可以通过像运输机这样简单的“炸弹卡车”来实施，这种卡车不需要高速和机动性来躲避防空。敌人只会看到可消耗的无人驾驶飞机，永久地在头顶上游荡，并将下面的一切都置于瞬间激光制导毁灭的危险之中。

激光眼

就传感器而言，小型无人机仅限于相机、热成像仪和上述那种电子战设备。现在电子产品的萎缩使得其他选择变得可行。基于激光的雷达，被称为激光雷达，通过从数千个点反射激光来工作。它计算到每个点的距离，并建立其周围的三维地图。

对于机器人来说，激光雷达比照相机更有用，因为结果可以直接使用。激光雷达可以测量物体的确切大小和位置，而使用相机(甚至立体相机)，计算深度和比例是一项挑战。对于基于视频的系统来说，区分坑洞和井盖，或者树影和倒下的树枝可能很困难，但是使用激光雷达却很容易。由于这个原因，像谷歌自动驾驶汽车这样的机器人车辆几乎总是有激光雷达传感器。

激光雷达在漆黑的环境中也能工作，穿过雾、雪、灰尘或烟雾，就像在光天化日之下一样。这使得它在建筑物内部和地下特别有价值。一个带有激光雷达的机器人可以建立一个三维地图，精确到一英寸，精确到建筑物或洞穴内部。

正如你所料，激光雷达正在缩小。以前，这种设备重达几磅。作为美国国防高级研究计划局无人驾驶汽车大挑战的一部分，加州公司威力登开始开发激光雷达，并宣布了一种新的系统，用于重量略超过一磅的小型无人机。这给出了一个三百六十度的世界视角，每秒绘制三十万个点到一百多码。初始成本约为8000美元，只是早期系统价格的一小部分。() [七](#)

激光雷达的重量、成本和复杂性很大程度上是由于将激光束扫过场景所需的精密机械。科罗拉多州丹佛市的韦斯肯光子学公司开发了一种无运动部件的微型激光雷达技术，被称为可控电-渐逝光折射器的SEEOR。() 激光束穿过带有特殊液晶包层的玻璃波导。这种液晶有一个不寻常的特性：在它上面施加电压会改变它的折射率。当你改变电压时，从玻璃射出的光束的角度会改变。() [89](#)

联合创始人兼技术副总裁斯科特·戴维斯说，这个SEEOR让他的团队能够开发一种新的固态激光雷达，而无需移动部件。最初的原型是一本平装书的大小，但戴维斯预计这将在下一代迅速下降，渐进版本是一副纸牌的大小，然后是火柴盒的大小。

微型SEEOR激光雷达的射程将达到几百米，将成为自动驾驶汽车和其他设备的有用传感器。当大规模生产时，它将和其他微电子产品一样便宜，几十或几百美元，给小型无人机一个重要的新的测绘和传感能力。

透过墙壁看

雷达一直都太大，不适合小型无人机，但可以预见的是，它也在缩小，不适合小型无人机。这在很大程度上是由于市场的消费者方面，特别是高端汽车的雷达趋势。

丹佛大学的研究人员开发了微型雷达，使小型无人机能够感知并避开其他飞机。像激光雷达一样，雷达也很有用，因为它可以全天候和夜间工作。该原型目前重12盎司，正在由阿拉斯加基奈的集成机器人成像系统公司商业化。首席执行官乔·帕克估计，这一数字将降至4盎司。^()[10](#)

一些研究人员已经提出，雷达可以内置在微型无人机中。美国空军研究实验室资助了一项“智能手机雷达”的研究，该研究基于手机已经包含了雷达系统的三个基本组成部分：无线电发射器、接收器和计算能力。一个智能手机本身是有限的，但研究人员已经研究了将三个智能手机一起使用来有效地创建一个天线。

大多数形式的雷达被墙壁和其他固体物体阻挡，但也有穿墙的“生命探测”雷达。它们使用超宽带无线电波，可以像空气一样轻松地穿过坚固的墙壁。生命探测雷达根据多普勒原理工作，只探测运动，特别是与人类生命相关的运动——呼吸和心跳。急救人员在救援行动中使用便携式设备来检测建筑物中是否有人活着。它是不精确的，但会给出里面任何人的数量和大概位置。这项技术也被军队和警察使用。

2013年，以色列公司Camero展示了一种安装在小型四旋翼飞机上的雷达系统——“机载结构穿透生命探测系统”，该系统可以降落在建筑物上，并扫描建筑物中的人员。同样，这与其说是一个能揭示一切的神奇x射线设备，不如说是一个粗略的迹象，表明是否有人在家。^()2015年10月，加州Intellinet Sensors公司发布了一款适用于小型四轴飞行器的类似设备。[11](#)

穿墙感应的另一种方法是使用穿过墙壁的现有信号。这些无源传感器不需要自己的发射器，而是通过无线网络信号的失真来感知物体。很明显，Wi-Fi信号可以穿墙而过，尽管在这个过程中会衰减，并且会受到包括人在内的其他固体物体的影响。

从某种意义上说，这是一个古老的想法，因为20世纪30年代关于雷达的最初工作是由工程师注意到无线电信号受到飞过的飞机的影响而激发的。伦敦大学学院的卡尔·伍德布里奇教授和他的同事已经展示了如何“不合作和秘密地”检测到人们从墙的另一边移动。^()伍德布里奇说，这项技术的一个更完善的版本可以检测呼吸，所以即使保持不动也不会让你隐藏起来。麻省理工学院的研究人员正在研究一种类似的系统，他们称之为Wi-Vi；这足够微妙，不仅能捕捉到一个移动的人，还能解释他们的手势。[12](#)

伍德布里奇目前的系统只有笔记本电脑那么大，但和往常一样，这很可能会遵循摩尔定律规定的小型化道路。由于智能手机也有无线天线和必要的处理能力，很容易

看出一架基于手机的无人机，或者其中的几架，有朝一日如何能够远程扫描建筑物中的居住者。

同样，这是一个与栖息结合很好的功能。一架无人机不引人注目地坐在屋顶上，可以监视来来往往的人，随时跟踪建筑物内的人数。这可能会造成击中一栋空建筑和击中旁边被叛乱分子占领的建筑之间的区别——或者，如果除了预定目标之外，大楼里还有数十人，则允许取消袭击。

民用领域的无人机

十年前，民用无人机没有真正的市场。这种情况已经改变，现在有各种各样的机器，从无线电控制的儿童玩具到电影行业和其他地方的专业人士使用的高规格机器。

进展非常迅速。其中涉及的一些技术源于智能手机行业的进步，我们将在下一节对此进行探讨。这也是由一个不断增长的市场驱动的，这个市场本身就有很大的消费吸引力。

我在2014年法恩伯勒航展上遇到的微型无人机2.0现在已经被3.0版本所取代。()摄像头已更新为高清，像素增加了两倍，现在可以发送流式视频。更令人惊讶的是，相机是一个万向架，被描述为世界上最小的。这是一个自2012年以来只为乌鸦提供的功能。万向架意味着，像乌鸦一样，微型无人机现在可以旋转相机跟随物体，而不必改变路线，并且可以在任何方向机动时保持对目标的聚焦。[13](#)

除了在抛向空中时保持水平外，微型无人机还可以倒飞并进行特技飞行。传感器和自动控制算法的结合使它即使在侧风中也能保持稳定。它的发动机已经升级，声称最高时速为45英里。

微型无人机仍然作为玩具销售，价格在150美元左右。它的电池寿命约为8分钟，因此不适合在战场上使用，但电子设备可以很容易地移植到更大的机器上，具有更长的飞行时间和更大的有效载荷。鉴于电子产品是最昂贵的部分，一架低于1000美元的军用无人机看起来是一个真正的可能性。

微型无人机还没有“跟随我”的能力，但有其他新的无人机——被称为“自拍无人机”——可以自动跟随操作者并拍摄它们。它们旨在用于滑冰和单板滑雪等动作运动，提供第三人称视角，而不是像GoPro这样的第一人称视角。莉莉四旋翼飞机价值400美元，跟随你20分钟。同样，同样的技术也可以移植到更大的机器上，为了军事目的而跟随某人。

二：电话技术

第一部iPhone是在2007年才推出的，这是一个发人深省的想法；智能手机的总数从那一年的约2000万部增加到2015年的约20亿部。从某些指标来看，智能手机是历史上发展最快的技术。美国一半的家庭用了45年才接通了固定电话；智能手机在七年内实现了同样的渗透率，在经济衰退期间也是如此。正如苹果2014年最后一个季度破纪录的180亿美元利润所显示的那样，这是一项惊人的盈利业务。

智能手机行业是由创新驱动的。据报道，2014年，苹果和三星各自在R&D花费了约140亿美元，以寻求技术优势。进步是无情的，即使面对物理定律，看起来也将继续。

不止摩尔定律

几十年来，人们一直在预测摩尔定律的死亡。各种身体上的限制看起来会在接下来的几代人之后减缓进程。现在我们可能真的遇到了一个阻碍。一些目前的设备只有大约100个原子宽，显然正在接近极限。就目前的操作规模而言，散热正成为一个主要问题，并且随着组件越来越小，情况会越来越糟。

虽然摩尔定律可能会继续找到绕过这些限制的方法，但这可能并不重要。智能思维可能开始变得比更好的硬件更重要。算法——用于自动解决问题的技术——正在稳步改进。这些发展很少受到关注，尽管它们在我们的技术中发挥着至关重要的作用。

例如，2003年推出的平淡无奇的H264数据压缩标准压缩视频流的效率大约是1994年以前的H263的两倍。2013年取代它的新HEVC(高效视频编码)标准的速度是H264的两倍。多亏了更好的软件，现在你可以在同样的带宽上传输比1994年多四倍的数据。这就像不用升级发动机就能让你的汽车速度翻两番，只是驾驶方式不同而已。这一改进与无人机领域高度相关，无人机发回视频和其他数据。

同样，除了电子行业之外，很少有人听说过快速傅立叶变换，但自20世纪60年代开发以来，它一直是一个强大的工具。快速傅立叶变换是一种数学过程，用于将信号从数字转换为模拟，然后再转换回来。它最重要的应用是图像压缩——这是一种允许数码相机、视频和电视工作的技术——以及数字电话、MP3播放器和收音机的数字音频处理功能。2013年，麻省理工学院的一个团队推出了一种新的“更快的傅里叶变换”，它可以更快地完成同样的工作，在某些情况下速度是()的十倍。同样，这将使新一代软件能够在不升级硬件的情况下运行得更快。[14](#)

在其他领域，从数学优化到线性代数，进展更快，通常远远领先于摩尔定律。用户很少意识到更好的软件，更有可能注意到“软件膨胀”——随着时间的推移，软件的效率越来越低，有时甚至会抵消处理器的进步。20年前，个人电脑软件只能塞进1兆字节的内存，因为大多数电脑只有1兆字节的内存。同样的文字处理和电子表格任务现在至少需要256兆字节。Windows 95需要4兆内存才能运行，Windows 2000把这个增加到32兆，如果你有Windows 8，你只需要一千兆就可以打开你的电脑。

当程序员把额外的精力浪费在对大多数用户来说无关紧要的更漂亮的界面和特性上时，就会出现膨胀。这掩盖了算法改进的稳步进展。重要的是，算法的进步速度超过了摩尔定律。

这种效果在编程的利基领域可以清楚地看到。当IBM的深蓝在1997年挑战世界象棋冠军加里·卡斯帕罗夫时，IBM团队需要所有可用的计算能力才能有任何获胜的机会。深蓝最终得到了一台专门制造的弗兰肯斯坦怪物计算机，它有30个独立的计算节点和400个专用象棋处理器。它与人类棋手对弈是当时世界上最强大的计算机之一。这种强力计算方法允许深蓝向前看6到8步。在一场势均力敌的比赛中，这台机器最终以3.5比2战胜卡斯帕罗夫。[15](#)

六年后，卡斯帕罗夫参与了另一场人与机器的较量。这一次，他与深蓝的继任者深蓝少年对战。结果是三场比赛打成平局。最大的不同是，Deep Junior运行的机器的计算能力只有深蓝的1%左右。下棋算法已经改进到用少一百倍的计算能力达到几乎相同的结果。

从那以后，下棋的机械土耳其人不断进步。自2005年以来，人类还没有在最高水平上击败过机器。深蓝的另一个后代Deep Fritz运行在Windows和其他消费平台上。到2010年，Deep Fritz的Elo评分(国际象棋项目的国际评分)比Deep Junior稍高。这也高于卡斯帕罗夫的估计评级。从那以后，Deep Fritz就被其他软件超越了。在撰写本文时，一个名为Stockfish的开源计算机程序获得了最高评级。深蓝所需的庞大硬件不再需要:Stockfish凭借高端PC可以达到比卡斯帕罗夫更高的评级。[16](#)

另一个里程碑是在2009年，在智能手机上运行的国际象棋程序达到了大师级别。Pocket Fritz只需要深蓝的一小部分处理能力，但是由于改进的算法，它有一个优越的评级。除非你是极少数人中的一员——确切地说，不到百万分之一——否则你的手机要比你在智力竞赛中的表现好得多。那几个特级大师不太可能长久享受他们的特殊地位；智能手机程序排名高于任何人类棋手的那一天，不会很遥远。然而，不到50年前，伯克利的哲学教授休伯特·德雷福斯博士自信地预言，没有一台计算机能在国际象棋比赛中击败一个10岁的孩子。

象棋是一种战争游戏，棋子最初代表步兵、骑兵和战车。战术战斗可能比象棋更复杂，但下棋软件的推进速度是一个强有力的教训。智能编程可以将搭载手机处理器的无人机变成战术天才，能够快速做出反应，超越人类对手。

象棋是一个很好的具体例子，但不是算法改进的最引人注目的例子。Konrad-Zuse信息技术中心的Martin grtschel教授指出，在1988年，用当时的技术解决一个特定的规划任务需要80年的时间。到了2003年，处理器的速度大约快了一千倍，但是所使用的算法现在快了四万倍。这两者具有倍增效应，因此该过程现在快了四千万倍，规划任务现在可以在不到一分钟的时间内完成。[17](#)

小型无人机面临的许多挑战和限制都与计算能力和带宽有关。在第4章中，我们看到Razor团队仍然使用商用自动驾驶仪，因为可用的智能手机处理器和软件反应速度不足以实时驾驶飞机。（像Ardupilot这样价格不到100美元的低成本开源自动驾驶也越来越有能力。）带宽也是个问题；最好有一架无人机，它不会发送无尽的千兆字节的空道路和街道，只传输有用的信息，而这样做需要更多的机载处理。

算法的改进意味着更好的性能只是软件升级。正如Razor团队发现的那样，有一个足够大的安卓应用市场，任何卖家都可以找到买家，反之亦然。像捕食者这样的无人机不能加入，因为它们是围绕封闭的专有架构构建的。但是智能手机和智能无人机将继续变得更好，即使硬件保持不变。

思考相机

智能手机最引人注目的改进领域之一是摄影，包括静态和视频。手机摄像头的开发者面临着与军用无人机摄像头相同的尺寸、重量和功耗挑战。不同的是，手机摄像头开发者的预算更大，用户数是前者的数万倍。

回到2007年的原始年代，第一代苹果手机有一个200万像素的摄像头，没有闪光灯或自动对焦。它不能拍摄视频。七年后，iPhone 6可以以每秒60帧的速度录制高清视频，或者拍摄1200万像素的剧照——甚至可以在录制视频时拍摄剧照。苹果开展了一项名为“在iPhone 6上拍摄”的屡获殊荣的广告活动，将图像放大到海报大小，以强调其高质量。这一改进是通过结合硬件和软件增强实现的。

由于尺寸、成本和机械复杂性，智能手机通常不配备光学变焦。手机通常被数字变焦和随之而来的图像质量损失所困扰。放大两倍意味着最终结果中只有四分之一的像素，相应地缺少精细细节。即使有数百万像素，数字变焦也受到严重限制。

镜头的大小是一个基本的限制。物理定律要求小透镜在一定尺寸以下不能分辨。相机制造商用计算摄影来对抗这种情况，在拍摄后使用处理来增强图片或视频。图像处理技术可以提高图像质量，消除模糊，提取清晰的图像。类似的技术已经被军方使用了几十年；一些最早的数字图像处理是由与国家侦察局的间谍卫星合作的分析师进行的。

领导者之一是高通，一家包括骁龙系列图像处理器在内的智能手机零部件制造商。（）苹果的iPhones也有一个专用的图像信号处理器，这是新的苹果A系列芯片组的一部分。两者都有一些便捷的技巧，只有借助多次曝光和一些强大的计算能力才能实现。[18](#)

高通的设计通过被统称为超分辨率的技术提高了图像的有效分辨率。最简单的形式之一是降噪——相机比较几个帧，并对它们进行平均，消除视觉背景噪声的随机飞溅，产生干净的图像。去模糊是一种将模糊图像转换为清晰图像的数学技术。它包

括识别从亮到暗的灰色带——边界模糊的结果——并将它们转换回清晰的黑/白边界。其他技术在图像中寻找特征，以确定分布在多个像素上的东西是否是真的，或者它是否是应该在单个像素中的模糊物体，并相应地整理它。

超分辨率目前最高可达x4变焦，且不损失图像质量。其他技巧包括使用所谓的“辅助信息”——关于照明是什么的数据——来增强图像。

高通的计算摄影还包括“Ubi-Focus”，它可以生成场景的深度图，并相应地调整图像，因此它可以实现让场景的每个部分都完美聚焦的壮举，否则这是不可能的。同一套工具还提供了“触摸跟踪”功能，轻点屏幕即可自动聚焦指定对象。

两种设置都具有高动态范围或HDR模式。这将拍摄多张不同曝光的图像，并将它们组合在一起。如果你正在拍摄一个混合了阳光和阴影的场景，你通常可以选择哪一个可见的。如果你的曝光量与阳光充足的部分相匹配，那么阴影就会消失成均匀的黑暗；将曝光设置为阴影，阳光照射部分将是一片空白。HDR把这两幅画结合在一起，所以你可以清楚地看到一切；这已经足够好了，一些相机专家建议一直使用它。HDR是一个巧妙的把戏，是人眼无法模仿的。它很可能在未来的快照中无处不在。无人机找你的时候会让躲在暗处更加困难。

数字稳定在数码相机中很常见，因此拍摄不再被颤抖的手所破坏。iPhone图像处理系统具有自动图像稳定功能，可以快速连续拍摄四张照片，识别四张照片中每张照片最清晰的区域，并将清晰的部分组合成一张无缝图像。

高通通过将摄像头连接到智能手机的陀螺运动传感器，将稳定性提升到了一个新的水平。最新的骁龙不仅仅通过照片中的运动来检测事后的震动；相反，它预测抖动，并以数字方式消除运动模糊。

类似的技巧被用来稳定长时间曝光的照片，这种技术被称为过采样。这减少了图像的像素数量，但以数字方式减少了长时间曝光产生的“噪声”。过去智能手机摄像头在弱光条件下表现不佳；激烈的竞争意味着他们现在即使在昏暗的光线下也能制作出清晰、高质量的照片。

开发人员还有更多锦囊妙计。一段时间以来，有传言称苹果正在开发一种多镜头系统，该系统可以将图片组合在一起，产生与数码单反相机质量相当的图像。这将提高智能手机摄像头的门槛，并为无人机提供比以往更好的成像效果。

当你把这种发展与军事部门相比较时，它的重要性就变得更加明显了。空中监视和跟踪的视频和图像增强工作台(VIEW-FAST)是马萨诸塞州剑桥的查尔斯·里弗分析公司正在开发的一套软件工具，用于美国空军合同下的小型无人机。VIEW-FAST由四个模块组成，其功能看起来似乎很熟悉：校正模糊和提高对比度的图像校正、显示精细细节的超分辨率、减轻操作员注意力负担的目标跟踪以及补偿相机抖动的图像稳定。

小型军用无人机目前似乎没有使用图像稳定技术，所以它们已经落后智能手机摄像头几代了。简而言之，看起来空军对无人机的要求将为智能手机行业提供非常相似的产品。除了考虑到智能手机行业更大的预算，他们很可能会得到比空军更好的产品。

马赛克是将大量的图片拼接成一幅大图的过程。许多智能手机已经允许用户通过扫描相机拍摄全景，一次拍摄相当于几张剧照。幕后正在进行一些聪明的事情：陀螺仪数据被用来计算每一帧相机指向的方向，强大的处理器对图像进行定向和混合。这是MITRE在进行航空测绘演示时需要第三方应用程序来完成的任務。现在，这一功能已内置于相机中。

军事和消费者的需求正在其他领域趋同。高通的计算机视觉团队正在研究三维物体检测，作为增强增强现实应用的一种手段。这是一个“基于特征的对象检测解决方案”，它基于特定的特征来识别和定位对象。例如，它可能会识别一个轮子，并开始寻找更多的轮子；当它有两个或三个时，它可以开始寻找车辆的轮廓。一旦初步勾勒出轮廓，它会将其与三维物体数据库进行比较，并识别车辆，同样重要的是，它在哪里，以及它的方向与摄像头相比是什么。

得益于高通骁龙处理器，亚马逊未成功的Fire Phone搭载了早期版本的物体识别系统Firefly。亚马逊的目标是把你周围的世界变成一个商店橱窗：如果你看到一罐花生酱、一幅画或一本书，你的Fire Phone就能认出它，只需点击一个按钮，就能从亚马逊在线订购。实际上，它并没有被证明非常有效，但它指明了智能手机技术的发展方向。

物体探测基本上与空军多年来一直致力于的特定要求相同。最大的不同是，在他们的世界里，这被称为自动目标检测和识别。他们想区分坦克、运兵车和移动火炮，而不是识别不同类型的消费品。一个带有三维物体检测的萤火虫版本可能就能做到这一点——例如，还能通过人脸或声音识别高价值目标。这种应用程序可以很容易地添加到小型无人机上。

高通也在致力于同步定位和测绘技术。SLAM广泛应用于机器人领域，在没有GPS或其他外部帮助的情况下，帮助机器在不熟悉的空间找到方向。它使用传感器输入来构建周围环境的地图，并在周围导航。高通的计划是使用SLAM来帮助增强现实应用；手机必须准确知道摄像头指向哪里，才能产生正确的显示。他们的方法挑选场景的元素，并建立一个完整的三维网格模型，即使图像模糊，也能以每秒30帧的速度更新，采用“最先进的重新定位程序”，这样手机就可以在丢失时找到自己。[20](#)

这种SLAM对于无人机在无法进行卫星导航的情况下使用非常有用。目前，即使是像瑞文这样的军用无人机没有任何可比性；未来，它可能会作为一项免费功能在智

能手机上提供。

高通充分意识到他们的芯片和无人机之间的潜在协同作用。他们协助宾夕法尼亚大学的维贾伊·库马尔博士使用骁龙芯片控制一架小型无人机:它分析来自手机摄像头的图像,以避开障碍物,并在障碍物周围画出一条路径。() [21](#)

看着你

许多智能手机的图像信号处理软件包括人脸检测。这与面部识别不同,但它会识别图像中人脸的位置。这是人们自然会做的事情,但机器视觉是经过几十年的研究才在20世纪80年代完成的。它的工作原理是识别不同亮度水平的相邻矩形区域——例如,眼睛区域几乎总是比脸颊区域暗。通过扫描整个图像,寻找不同比例的矩形图案,可以以相当高的精度识别人脸。这需要大量的计算能力——这种计算能力现在很容易获得。

如今,手机不仅能检测人脸,还能识别眼睛和嘴巴的位置以及人脸指向的方向。然后它可以跟随屏幕上的一张脸。这对于摄影应用来说很方便,因为人脸通常需要聚焦,而不是背景。当然,能够在场景中检测和定位人类对于军用无人机来说也是非常有用的能力。独立开发可能是一项颇具挑战性的技术,但任何有智能手机的人都能上手。

这个领域又向前发展了。最新的iPhone和许多其他手机一样,现在配备了微笑识别和眨眼识别功能。他们现在可以拍摄多张照片,并自动选择人们微笑且没有闭上眼睛的那张。

人脸检测之外是人脸识别,这是一项迅速成熟的技术。有趣的是,这是另一个领域,政府曾经领先,但商业担忧现在占据主导地位。2014年部署的联邦调查局下一代身份识别系统在确定两张照片是否为同一个人时,成功率约为85%。另一方面,脸书的软件精确度超过90%——考虑到脸书的照片没有联邦调查局标准化的照片精确,这是一个令人印象深刻的壮举。但是,脸书是一个比联邦调查局更大的组织,拥有更多的编程资源,并且拥有更大的照片数据库。

与此同时,便携式设备中的面部识别变得越来越复杂,并开始被用作安全功能。面部识别对于某些目的来说永远不够,尤其是那些涉及安全的目的,所以需要更好的东西。iPhone 6引入了指纹扫描仪形式的生物识别,但富士通Arrows NX F-04G使用手机的摄像头从正常阅读距离扫描用户的虹膜,检测眼睛有色部分的独特图案。

以前的设备要求用户将扫描仪举到眼睛上方,可能需要几秒钟才能工作。箭牌NX F-04G据称将提供万无一失、无密码的用户识别。() [22](#)

美国军方在受叛乱分子困扰的地区引入了生物识别技术。在阿富汗,美国和阿富汗

军队使用手持扫描仪记录了数十万人的虹膜图案。这个数据库证明非常有价值。

根据2011年的一份报告，“简而言之，生物识别支持的情报(BEI)努力正在为旨在收集和利用叛乱分子信息的行动带来高回报，”该报告列举了几个可疑个人被不带身份证的人抓住并通过虹膜扫描被识别为已知叛乱分子的例子。

一架无人机可以在某人面前盘旋，并要求他们看向摄像头——由其他拥有致命或非致命武器的无人机提供支持——可以充当无人检查站，确保通过的每个人的身份都是已知的。任何反抗的人都可能被视为怀有敌意，这个问题被提交给一个人类控制者。

曾经，制造一架具有这种能力的无人机需要一份重要的政府合同；现在它看起来像一个学校科学项目。目前，能够“非合作式”识别的远程虹膜识别相机已经存在，但它们是更大的机器。随着相机技术的稳步发展，智能手机大小的虹膜扫描仪可能会有所改进。

无人机目前缺乏许多我们在手机摄像头中认为理所当然的功能。如果他们只是赶上智能手机现在的水平，这将是一个巨大的进步。当他们做到这一点时，智能手机将会更上一层楼。

自然的技术

稳步改进电子学所带来的进步看起来令人印象深刻，但不如不断增长的仿生学领域所带来的进步雄心勃勃，在仿生学领域，研究人员着手匹配大自然的成就。

虫眼

昆虫的眼睛看东西和人类不同。除了少数例外，昆虫的复眼由数百只被称为小眼的微型眼睛组成。这使得远距视力很差，但广角视野极佳。一只苍蝇几乎有360度的视野，所以不可能偷偷摸摸地爬上一只苍蝇。世界上有许多小窗口也使得昆虫很容易使用研究人员所说的光流。

光流是我们看到世界从我们身边流过的方式。如果你从火车窗户向外看，你可以从风景的运动中看到火车正在朝哪个方向行驶，即使窗户很脏或者太暗以至于看不清细节。流动不仅能告诉你走得有多快，还能告诉你事物有多远：一个物体离得越远，它移动得就越慢。远处的群山几乎静止不动，房屋紧挨着铁轨狂奔而过。

如果你能看到两个方向的车窗，你也能看到火车什么时候转弯。如果轨道向右弯曲，东西在左边移动得更快，在右边移动得更慢。

当昆虫在杂乱的三维环境中飞行时，光流告诉它它需要知道的一切。与单独识别对

象的缓慢过程相比，它在计算上非常高效。这就是一只苍蝇如何能够轻易地发现一个快速移动的物体，比如一个向它移动的苍蝇拍，并在几分之一秒内采取规避行动。这方面的大部分计算发生在苍蝇的视觉系统中。人类的视觉信号是通过神经系统传递的，相比之下，我们行动迟缓。

总部位于DC华府的Centeye是将光流应用于无人系统领域的先驱公司。该公司成立于2000年，有一系列的第一次，最终于2009年为美国国防高级研究计划局设计了一个系统，允许小型无人机在原地盘旋。他们的工作是基于视觉芯片，像昆虫的眼睛一样，它们自己进行快速的数据处理。眼睛固定在地面上的一个点上，并使其保持静止，这确保了无人机固定在适当的位置。包括摄像头在内的整个系统重量不到5克，无人机可以单独使用摄像头悬停，无需陀螺仪或其他传统稳定器。到2011年，Centeye的研究人员能够用一个重量不到一克的系统做同样的事情。() [23](#)

Centeye现在正在扩展这一点，以便在黑暗中飞行。根据对许多昆虫可以在人类看来像漆黑一片的环境中飞行的观察，他们正在设计一种用于微光的微型制导系统。对于实际上没有光的情况，例如探索地下，单个低功率发光二极管提供所需的所有光，同时保持人眼几乎不可见。

像飞蛾一样飞翔

四旋翼无人机如何模仿鹰蛾的飞行还不是很明显，但瞬目无人机是仿生无人机的早期例子。在强风和混乱的环境中飞行对小型飞行器来说是一个挑战，但瞬目可以轻松应对，以近乎不可思议的精度进行机动。在外观上，它看起来像其他四旋翼飞机，但它有一个控制系统，其飞行规则源自飞蛾的行为，这赋予了它无与伦比的稳定性和精确性。() [24](#)

该无人机由马萨诸塞州安多弗的物理科学公司研发。第一步是找出飞蛾是如何在所有条件下保持稳定的。飞蛾被安装了一个覆盖着反光珠子的微型安全带，高速摄像机记录了它们的飞行，这是一个类似电影制作人使用的运动跟踪系统。飞蛾确实会与物体相撞，但它们有惊人的恢复能力。通常它们向上倾斜并迅速推离障碍物，以至于对它们飞行的干扰太快，人眼看不见。

“通常情况下，它们会在一次左右的翅膀跳动中恢复稳定性，”PSI的托马斯·万斯克说。

由此产生的算法被内置在InstantEye中，这是一种重量仅一磅的无人机，但可以在35英里/小时的风速和55英里/小时以上的阵风中飞行。PSI甚至在飓风中成功试飞了它。鸚鵡AR无人机2.0是一种受欢迎的搭载摄像头的四旋翼飞行器，通过无线网络控制，大小与瞬目相似，但只能在低于10英里/小时的风速下飞行。

凡客诚品表示：“我们已经在非常不理想的条件下测试了该系统——大风、倾盆大雨、

大雪、雨夹雪、风沙和灰尘——系统只是接受了它。() [25](#)

瞬眼的发布速度非常快。当抛向空中时，它在30秒内爬升到400英尺。它在室内的表现同样令人印象深刻。InstantEye可以轻松通过狭窄的空间，从狭窄的门道和窗户溜进去。

驾驶是直观的，自动驾驶做所有棘手的事情。操作员在三维空间中推动他们的视点，自动驾驶仪将其转化为平滑的运动。不受控制时，瞬目会像锚定在太空中一样盘旋。

InstantEye有一个摄像头，可以锁定下面的表面，如果需要的话，它可以悬停在距离物体几英寸的范围内，这是一个令人印象深刻的光流传感的例子。就像鹰蛾一样，如果瞬间发生碰撞，它会迅速恢复而不是崩溃。该团队已经在项目中展示了它的能力，该项目让InstantEye检查电力塔。它提供了绝缘体、连接器和其他部件的特写图像，这些图像足够详细，无需人工检查。

与其他四旋翼飞行器不同，瞬目不需要昂贵的相机稳定。

凡客诚品表示：“我们的自动驾驶速度非常快，非常精确，即使天气恶劣，它也能让整个摄像头保持稳定。

也许InstantEye最显著的特点是它的价格：6200美元，包括两个飞行器、一个地面控制站和所有附件。先进的部分是软件，不需要制造成本。

一个智能的仿生设计可能会更便宜，因为它不需要像稳定这样的附加功能。如果该车型投入大规模生产，价格可能会进一步下降，这似乎是有可能的。最终，这种智能技术最终可能会推动类似150美元的crazyflee——毕竟，它的尺寸更接近InstantEye所基于的鹰蛾。

无人机的大脑

或许仿生的极端形式包括像生物一样思考的无人机。

苍蝇、蜻蜓和蜜蜂可以穿越布满障碍物的空间，并以闪电般的速度对潜在威胁做出反应。传统的计算机有一个数字体系结构，可以很好地处理线性数字运算，但对于有大量输入的任务来说，它们很差，而且它们不能处理飞虫一直在做的那种任务。相比之下，生物神经系统的神经网络架构在计算方面很弱，但在对复杂的感官输入做出反应方面表现出色——并且只使用了很少的能量。生物系统的良好性能刺激了对模拟自然结构的人工大脑的研究，这一领域被称为神经形态工程。

开发神经网络最常见的方法是用一台数字计算机，将一组软件节点或人工神经元连接在一起。它不是数字1和0，而是以网络连接强度的形式存储信息。

例如，马里布的辣根过氧化物酶实验室正在研究神经形态系统，以提高小型无人机识别物体的能力，使其水平远高于高通的骁龙。他们的设计被称为NEOVUS，用于场景的神经形态理解。它以每秒30帧的速度从500万像素的相机获取输入，并分两个阶段进行处理。第一阶段挑选场景中感兴趣的对象，并将它们传递给第二阶段，第二阶段对对象进行分类和识别。

NEOVUS可以检测场景中移动和静止的人和车辆，甚至可以根据类型区分车辆，区分汽车和卡车。这项技术可能会给无人机操作员带来巨大的好处。例如，当车辆出现在道路上，或者看到人们离开建筑物时，操作员只需要参与进来，而不必一直观看视频。它只需要一个系统带宽的一小部分，目前，这个系统可以不断发回高分辨率的视频流。() [26](#)

开发人员声称，NEOVUS使用的功率不到传统计算机视觉算法的千分之一，处理系统也相应紧凑。HRL驾驶着一架“乌鸦”号搭载了神经形态系统，这表明了他们所关注的市场。

然而，这只是一个模拟的神经网络。更激进的方法是构建真实的东西：不是数字的计算机芯片，但具有与活大脑相同的架构。这正是博伊西生物启发科技公司所做的。他们的工作基于一种叫做忆阻器的新型电子元件，一种带记忆的电阻器。

Bio Inspired的忆阻器是一根只有人类头发丝百分之一粗细的微小导线，通电后会改变长度。电线越长，电阻越低。断电后，连接保持原样。电阻不仅取决于它当前获得的信号，还取决于它过去经历的所有信号的总和。这些信号可以相互补充，相互对立，或者以复杂的方式组合。在这方面，它非常像一个熟悉的生活结构。

“忆阻器迷人的一面，也是我们正在利用的一面，是这种行为与生物突触惊人的相似性，”生物启发首席执行官特里·加弗龙说。() [27](#)

该公司推出了一系列名为Neuro-Core的忆阻器产品。最先进的是内测版的忆阻处理器芯片()。首先，这些将被用作更有效的硬件替代品，取代近地天体观测系统对神经网络进行的那种数字模拟。 [28](#)

与普通芯片上的数百万个晶体管相比，神经形态硬件可能只有少数几个元件，但正如Gafron指出的那样，一只苍蝇的复杂飞行只需要几百个神经元。

“蜜蜂大小的大脑能控制无人机吗？Gafron说，他将昆虫的大脑与目前使用的数字飞行计算机进行了比较。

“F-35使用一小撮传感器和三台鞋盒大小的计算机来控制飞行，在机动性、功耗或效率方面仍然无法超过fly。如果忆阻器模仿生物突触，它们可以用作接近昆虫性能水平的飞行控制系统。我们的Neuro-Core系列产品就是朝着这个方向迈出的一步。”

Gafron一直在“训练”神经形态硬件来识别像树木和飞机这样的物体，有时是通过向实验室中与设备相连的摄像机展示它们的模型。神经网络很快就学会了识别飞机和云的特征，并能根据形状识别飞机类型。

不仅仅是速度和效率让神经形态计算机如此有效。Gafron说这项工作的圣杯是创造“学习”的计算机无人机可以从允许它飞行的基本程序开始，但是神经形态的大脑会像人类飞行员一样随着经验的增加而逐渐变得更好。

“你可以让久经沙场的无人机教别人如何操作，”加弗龙说。

一旦一架无人机学会如何进行机动，这些知识就可以通过网络共享。神经形态的无人机越多，学习的东西就越多，分享的新把戏也就越多。整个无人机编队将受益于在各种地形、各种天气和条件下数百万小时的飞行经验。神经形态系统可以从错误中学习，并纠正自己的弱点。每架无人机都将由王牌飞行员驾驶。

Gafron预计神经形态大脑的发展大致符合摩尔定律，连续的芯片变得越来越智能和强大。还没有人在谈论人类水平的智能，但是以前计算机的历史表明了一种快速和持续的向上进化。

正如本章所展示的，未来的小型无人机将会比当前的版本更加强大。虽然无法知道这里的哪些技术会成熟，哪些会半途而废，但每个领域的进展都表明，像激光雷达、激光指示器和穿墙雷达这样的新设备是有可能的。肯定会有具有更强的辨别和识别物体能力的摄像系统。新型无人机可能像鸟类或昆虫一样敏捷和有力量，并拥有难以想象的自主智能水平。

新型无人机也将价格低廉，这给如何控制大量无人机带来了挑战。答案在于群集科学。

参考

1) [DJI矩阵100。](#)

2) MAV6 LLC Raven升级。 [Mav6。](#) (未注明日期)。

3) 科学应用与研究协会电子战

[小型无人机精确的地理定位和辨别。](#) (未注明日期)。

4) [无线空中监视平台。](#)

5) 空气跟踪激光指示器

“我们开发了一个专有的三维谐振器”AIRTRAC的詹姆斯·穆雷采访作者，2014年7月

6) [埃尔比特·拉特勒\(纽约市\)。](#)

7) [威力登激光雷达公司。](#)

8) 可控电-渐逝光折射器

[紧凑型2D电光1.55米激光扫描仪。](#) (未注明日期)。

9) SEEOR

[《经济学人》。\(2012年11月\)。激光瞄准镜\[网络日志\]。](#)

汉布林, 大卫。“开发者关注小型无人机的微型激光器。”航空周。

10) 基奈微型雷达

[马歇尔出版社\(2014年\)。微型雷达可能会让无人机升空\[网络日志\]。](#)

11) Camero“机载结构穿透生命探测系统”

[Camero发射无人垂直起降结构穿透生命探测系统。\(2013年11月19日\)。](#)

12) 卡尔·伍德布里奇无线雷达

[汉布林博士\(2012年7月\)。用无线路由器穿墙。科普。](#)

13) 微型无人机3.0

[微型无人机3.0:手掌飞行。\(未注明日期\)。](#)

14) 更快的傅里叶变换

[哈德斯蒂\(2012年\)。快速傅里叶变换。麻省理工新闻。](#)

15) 深蓝和电脑下棋的改进

理查兹，麻省理工学院和麻省理工学院。芯片架构和算法。

16)“从那时起，它就被其他软件超越了”

斯托克菲什CCRL 40/40计算机象棋评级。(未注明日期)。

17)康拉德-祖斯信息技术中心的马丁·格鲁特西勒教授指出…

美国纽约州尼森市(2010年12月23日)。算法的进步超越了摩尔定律。[网络日志帖子]。图灵的看不见的手。

18)骁龙计算摄影

高通科技宣布推出下一代高通snapdragon 805“超高清”处理器。(2013年11月20日)。

19)视图-快速

用于空中监视和跟踪的视频和图像增强工作台(VIEW-FAST。).(未注明日期)。

20)高通SLAM

高通研究办公室项目页面。(未注明日期)。

21)高通骁龙担任无人机制导

马修斯，法学博士。通过将智能手机用作大脑，四轴飞行器变得自主。

22) 带虹膜识别的富士通箭

富士通发布ARROWS NX F-04G，配备快速易用的虹膜认证等功能。(2015).

23) 百分比光流。百分百。(未注明日期)。

24) 瞬目仿生蛾无人机

汉布林, D. (n. d .)。蛾无人机在大风中保持稳定。新科学家。

25) “我们的自动驾驶是如此快速和精确……”Thomas Vanck对作者的采访，2014年1月

26) HRL对场景的神经形态视觉理解

Khosla(荷兰)用于物体识别的神经形态系统。

27) “忆阻器的迷人之处”-特里·加弗龙对作者的采访，2014年7月

28) 生物启发的神经忆阻器

第七章——团队、编队和羊群:群体的力量

[回到顶部](#)

更奇妙的是，当大负荷衬托

一两只蚂蚁要背，那就快点

一大群人围过来帮助他们的同伴。

-约翰·克莱尔《蚂蚁》

未来将以越来越低的成本带来新一代能力越来越强的小型无人机。与目前服役的少数武装捕食者/收割者无人机相比，它们中的大部分将是更可怕对手。它们将更加令人生畏，因为它们不会独立运作，而是在一个大于其各部分之和的群体中一起工作。

在本书中，蜂群这个术语被用来描述无人机协同工作。它常用于机器人领域，但并不是每个人都喜欢这个词，它有一些负面的含义。五角大楼用swarm来描述对手，比如伊朗共和国卫队实施的群船攻击。虽然蜂群暗示无人机像蜜蜂一样密集飞行，但是蜂群可以分散到很大的区域。群体与个体的集合的区别在于元素作为一个团队一起工作。这个过程只需要群体元素的最小脑力，但它允许在群体层面而不是个体层面应用控制。一个人类操作员可以像蜂群一样操纵许多无人机，或者蜂群可以在没有人类控制的情况下作为一个独立的自主单位。

消耗品

通过基本的合作，一个帮派将永远压倒一个对手。尽管好莱坞英雄主义盛行，但数字胜人一筹。

据说斯大林曾宣称：“数量自有质量”。他的红军以人数的优势击败了国防军老兵。德国人的目标是用高标准的工程技术装备最好的装备；苏联的方法是大量生产简单、设计精良但粗制滥造的硬件。他们的坦克、飞机和大炮是基本但有效的，并且大量生产以确保胜利。

考虑两列大炮互相射击。很明显，枪多了一倍，炮弹就多了一倍。不太明显的是，在敌人炮台被压制之前，它只有一半的目标可以摧毁，这与第一个因素有倍增效应。

寡不敌众的电池必须有四倍的效率才有机会获胜。在军事分析界，这被描述为兰彻斯特平方定律：军事力量与单位数量的平方有关。

这种方法依赖于牺牲自己军队数量的意愿。第二次世界大战期间，俄罗斯军队伤亡惨重，死亡人数超过800万，但德国侵略者被无情地镇压，最终被打败。俄国人无法与德国人一个营比一个营，但通过增加兵力并愿意接受两倍于他们造成的伤亡，他们最终取得了胜利。

正如我们在第五章中看到的，大量和低质量并不是现代西方文化所能接受的方法。不存在可接受的伤亡水平。“我永远不会离开一个倒下的同志，”是美国士兵信条的一部分。五角大楼的目标是提供最好的设备，给每个士兵和飞行员最好的生存机会。士兵不是为了速战速决而轻易牺牲的。

然而，这只适用于人类生活。机器人不一样。吸收伤亡的能力成为一项关键资产。

英国公司Swarm Systems的首席执行官斯蒂芬·克莱姆普顿说：“蜂群的主要优势是鲁棒性。他们开发了一群小型四旋翼直升机，称为猫头鹰，用于城市侦察等军事任务。“如果八辆车出去，两辆丢了，那么另外六辆就可以改革来执行任务。”

与人类不同，损失对蜂群来说毫无意义。有很多关于士兵在战场上行为的研究。虽然也有英雄例外，但经验法则是，当伤亡达到25-35%()时，战场上的军事单位士气就会出现裂痕。当四分之一到三分之一的军队被杀或丧失能力时，攻击往往会动摇，或者守军开始撤退或投降。这种情况不会发生，精英部队或狂热分子战斗到最后一人，往往是历史和传说的素材。二

有了无人机，伤亡无关紧要。失去50%甚至90%成员的无人机群不会气馁。这种不眨眼的抵抗让他们害怕对手。无人机群可能类似于前进的祖鲁部落或中国的“人类浪潮”步兵攻击，尽管有任何伤亡，但它们还是向前猛攻。著名的三百名斯巴达人在塞莫皮莱与波斯军队作战的勇气令人瞩目，足以在两千多年后被人们铭记。但按照无人机的标准，这是例行公事。对人类来说，面对一个不惧怕死亡的敌人是令人不安的。

正如克莱姆普顿指出的，与单架大型无人机相比，承受伤亡的能力使无人机群更加强大。一个损坏的部件可以结束一个收割者的任务，一枚导弹可以把它从天而降。但是一个群体仍然是一个群体，即使在重大损失之后也能继续前进。

这使得蜂群在防空环境中特别危险，防空已经变得高度依赖单枚大型导弹来击倒攻击者。

正如我们所见，加州蒙特里的海军研究生院是一个研究蜂群无人机的中心。Loc Pham在2012年进行的一项名为“无人机群攻击：驱逐舰的保护系统替代方案”的研究对如

果美国海军驱逐舰遭到大量廉价、简单的无人机攻击会发生什么进行了冷静的评估()。这些将是有效的“飞行简易爆炸装置”自杀运行。[2](#)

毁灭者受到一个名为“宙斯盾”的系统的保护，这个系统是以传说中的雅典娜之盾命名的。宙斯盾是一种复杂的装置，它将各种雷达、火炮和导弹发射器协调成一个紧密集成的防御网格。它可以在几秒钟内检测、识别、跟踪和拦截来袭的飞机、导弹和其他威胁，而人类操作员的监督很少。

宙斯盾的防御以远程标准导弹开始，以方阵近距离武器系统结束，这是一个类似达莱克的炮塔，拥有多管20毫米佳能，每秒发射75发子弹。宙斯盾被认为是世界上最有效的防御系统之一。

蒙特里的研究人员还假设宙斯盾将由驱逐舰甲板上的水手驾驶的机枪来补充，作为最后的防御。之所以增加这些，是因为方阵不能与200码以外的任何东西交战，而且很明显，一些无人机会通过。

问题是，自杀无人机太小了，直到它们危险地靠近时，才发现。当他们被发现时，防御只有有限的时间击落几个困难的目标。在运行了500次计算机模拟后，研究人员得出结论，随着8架无人机同时靠近，预计将有4架无人机通过并击中驱逐舰。

四枚小型弹头不会击沉一艘驱逐舰，但它们肯定会损坏它并造成生命损失。那些在甲板上操作机枪的水手可能会伤亡。更糟糕的是，如果攻击无人机瞄准雷达或导弹发射器等脆弱点，它们可能会让驱逐舰毫无防备，从而被更大的武器击沉。

这项研究继续研究各种提高防御能力的方法，通过更好的雷达、更高的精确度或更远的距离武器。这些改进减少了点击次数，但只是在一定程度上。即使有了这些改进，平均点击次数也从4次减少到1.3次。

研究人员还发现，来袭无人机的数量对结果影响更大。即使是没有改进的基线驱逐舰也能击退五架无人机的攻击；10分往往会压倒最好的防守，并至少命中一球。

增加攻击者的数量会增加命中次数，现实生活中的对手不会局限于十架无人机。研究人员没有观察20或50架无人机可能会做什么，但模式很清楚。现有的防御只能击倒这么多来袭的，剩下的会通过。好莱坞喜欢打败大批对手的一小撮英雄，这就是为什么关于斯巴达人的电影还在制作。在现实世界中，大量的人很可能会赢。数量确实有它自己的质量。

展开

群体对个体的另一个好处是它们可以在不止一个地方。兰德公司(RAND)2014年的一项研究分析了不同类型的无人驾驶飞机在“猎人杀手”任务中的有效性，该任务是在

大面积区域内发现并摧毁移动的车辆()。他们的基线是RQ-9收割者,他们将其与其他选择进行了比较。[3](#)

收割者拥有强大的传感器,因此它可以在高空飞行并扫过广阔的区域。较小的无人机必须飞得更低,才能用相机获得同样好的视野,因此每架无人机覆盖的区域更小。

然而,整体优势是较小的飞机。兰德公司的研究得出结论,“两三架小型遥控飞机(遥控飞机-无人机)的传感器组件能力较低,通常能够达到或超过单独使用的大型遥控飞机的性能。”有趣的是,就像蒙特里的研究一样,兰德团队没有包括大量非常小的无人机的选择,但至少注意到这个想法值得进一步研究。

Swarm Systems的Stephen Crampton指出,这种优势会随着无人机数量的增加而直接上升。

“蜂群减少了任务时间,”克莱姆普顿说,他描述的工作表明,几架无人机将比一架飞机更快地完成一项任务。

覆盖更大的区域,或者覆盖分散在很广区域的一些特定点,会给群体带来优势。正如我们将会看到的,当它们能够使用与蚂蚁和白蚁相同的群集策略时,优势就更大了。

天生的群集者

在技术术语中,群体可以被定义为许多相对不聪明的代理,它们都遵循相同的规则集来实现协调。我们在自然界中看到了这一点却没有意识到。一群鸟可以以紧密的队形移动,一起航行,甚至在同一棵树上着陆,而没有任何碰撞的风险。鱼和昆虫在旅行、觅食或筑巢时表现出相似的群集行为。他们的能力有时似乎近乎奇迹。

20世纪30年代,英国鸟类学家爱德华·塞卢斯是最早对成群结队的鸟类进行认真研究的人之一。他对鸟类的行为非常着迷,并煞费苦心详细描述了鸟群中的协调运动,包括白嘴鸦、海鸥、燕翅、邓林、天鹅和棕鸟。他们似乎都在一起工作,就好像他们是同一个巨大有机体的一部分。“像一团跳跃的黑色火焰,它是如此的瞬间和一致。这是融合的思想,思想转移——实际上是集体思维。还能是什么?”

鸟类群聚行为最戏剧性的例子是在棕鸟身上看到的,这些棕鸟聚集成巨大的群体,称为棕鸟群。成千上万只鸟一起飞翔,创造出一种烟雾云的印象,当它们一起旋转、转弯和俯冲时,烟雾云的形状会不断变化。尽管方向突然迅速改变,但没有空对空碰撞。整件事就像空中表演一样完美的编排,但是完全自发的,没有剧本。

塞卢斯觉得整场演出令人费解。他得出结论,这只能用群体内的心灵感应来解释。他1931年的书,奇妙地命名为《思想转移》(或者什么?)中描述了这种行为以及为

什么它不能通过正常的感官来实现。他一开始认为群体中可能会有领导者向其他人发出行动信号，但很快得出结论，情况不可能如此，一定是某种群体思维在起作用。

“他们的小心思必须一起行动。虽然我无法理解，但在我看来，他们必须同时集体思考，或者至少是一条条或一片片地思考——一平方码左右的想法，从这么多大脑中闪现出来。”

白蚁的能力似乎也远远超出了无脑、短视昆虫的能力。他们是如何建造像白蚁丘这样复杂的东西的——肯定有某个领导者在指导他们的活动吧？同样，一个隐藏的协调代理是最有可能的解释。南非生物学家欧仁·马拉斯在1937年出版了《白蚂蚁的灵魂》一书，他在书中将白蚁女王视为推动力量：

“女王是社区的心理中心；她是我们称之为术语的有机体的大脑。从这个被囚禁在她狭窄的地下室里的不成形的、不动的物体中，散发出一种力量，引导着她的臣民的所有活动。”

两位生物学家都错了，结果答案远比两人想象的要简单。没有心灵感应或看不见的力量。每只鸟只需对其近邻的动作做出反应，就能确保成千上万的鸟群比特技表演队协调得更紧密。同样，白蚁丘是由每只白蚁按照一套固定的规则无意识地建造的，这些规则取决于它们的邻居在做什么。与所有的表象相反，没有中央组织智能。

蜂群的一个关键特征是没有一个成员负责，也没有外部“大脑”控制它们。控制是分散或分散的，没有哪个领导者的损失会导致群体失去凝聚力。从这个意义上说，它没有重要的器官。虽然整个群体可能被认为是一个单一的有机体，但与其他有机体不同，它不能通过破坏特定的部分来杀死。半个群体仍然是一个群体，仍然能够做同样的事情。

软件模拟羊群是美国人工智能传奇人物克雷格·雷诺兹首创的，他用一种叫做Boids的生物创造了计算机模拟Boids是介于Bird和Droid之间的一个词。1986年，雷诺兹证明了自然界中生物群体的运动，从鱼群到鸟群或昆虫群，可以通过让每个个体遵循三个规则来模拟：[四](#)

- 1) 分开：与最近的邻居保持一定的最小距离。
- 2) 对齐：以相同的速度向邻居的平均方向行驶。
- 3) 凝聚力：尝试向邻居的平均位置移动，保持群体在一起。

当与朝着目标前进或避开障碍物等行为结合在一起时，雷诺兹的计算机生成的生物群就像它们的生物对应物一样一起移动，没有任何中央控制。成群结队的机器人可以以人类飞行员可能羡慕的流畅敏捷一起移动。该软件为《蝙蝠侠前传》等好莱坞

大片提供了令人信服的CGI鸟类和蝙蝠群，而无需为群体中的每个成员指定飞行路径。1998年，雷诺兹获得了一项特殊的奥斯卡奖，以表彰动画的发展。

好莱坞现在依靠群集软件来填充场景，这些场景可能曾经需要成千上万的额外演员。在彼得·杰克逊史诗般改编的《指环王》和《霍比特人》中，庞大的兽人、精灵和其他人的军队在中土世界发生冲突。放大后，您将看到每个动画人物分别移动，保持与其邻居的距离，同时朝着相同的大致方向前进并保持在一起。同样的三条规则，加上适当的延伸，创造了一个活生生的群体的现实印象。相比之下，另一种方法——拍摄一组临时演员并以数字方式复制数百次——看起来毫无生气，也很做作。

缺乏中央协调使得群体行为对无人机开发者有吸引力。操作员可以为整个团队设定目标，而不是每辆车需要一个操作员。阿塔尔航空航天公司率先在2008年为美国陆军开发了Onyx精确空投系统()。[6](#)

缟玛瑙是无人驾驶的翼伞；一旦从高度超过20000英尺的飞机上落下，它就会自动驾驶，并在全球定位系统的帮助下，在地面上的目标地点精确着陆。超轻版本可以装载多达700磅的货物。当你有大量的有效载荷都前往同一个空投区域时，空投就变得很有挑战性。一架大力神运输机可以运送超过四万磅的空投物资，这意味着几十个缟玛瑙。如果后来投放的一些有效载荷更重，到达地面的速度更快，那么翼伞就有相互碰撞的危险。

Atair通过群集/群集算法避免了这些问题，这些算法确保没有碰撞，整个团队像通过心灵感应一样协调得很好。它们可能不像棕鸟的叫声那样壮观，但缟玛瑙翼伞表明，适用于鸟类的原理同样适用于无人驾驶飞行器。没有任何人为的干预，整个鸥群都找到了栖息之地。

从那以后，无人驾驶车辆的群集软件变得越来越复杂。Corvus是由位于哈里松堡的Axon AI开发的，它使一名操作员能够从一个仪表板()控制一群无人机以及闭路电视摄像机和其他设备。无人机是自主的，软件会根据需要重新排列它们，就像前一章提到的DARPA的HURT RSTI的高级版本。Corvus表示，他们的软件可能对搜索和救援有用，或者在森林中巡逻寻找火灾。他们还提到战场上的安全和快速、隐蔽的侦察。这似乎还没有军事市场，但这可能很快就会改变。[七](#)

美国海军的低成本无人机集群技术计划可能是迄今为止最严肃的军事集群计划。2016年夏天，目标是让30架无人机一起飞行，而不必单独控制，像一群鸟一样安全地保持分离()。这些无人机是郊狼，大小类似于乌鸦，但传感器和软件可以与任何无人机一起工作。[8](#)

“在进行各种机动时，对大量无人机进行精确的编队控制是一个主要的演示目标，”蝗虫项目经理李·马斯楚安尼博士说。() [9](#)

此外，操作员不是像目前从“收割者”到“乌鸦”的每架无人机那样单独驾驶每架无人机，而是将蜂群作为一个单元来管理。

“群体操作员界面是这项工作的重大突破之一，”马斯楚安尼说。“一般来说，整个群体将由一个运营商管理。”

然而，他指出，蜂群不需要是一个单一的实体：它可以分裂成多个蜂群，每个蜂群由一名操作员控制，或者无人机可以分裂出来自主执行任务（侦察或攻击）。群体控制将使无人机驾驶成为一种非常不同的体验。

三十架无人机的演示只是开始。Mastroianni致力于低成本无人机，这种飞机非常便宜，可以被视为消耗品。目标是尽可能多的拥有它们，更大的蜂群可能会随之而来。

群体智能

类似于编队飞行的规则可以产生高效的觅食和筑巢⁽¹⁾。法国生物学家皮埃尔-保罗·格拉斯在20世纪50年代发现了白蚁工程技术的秘密。他发现，如果一只携带咀嚼过的土壤颗粒的白蚁碰到了其他白蚁掉落的一堆颗粒，她会把自己的加入到堆里。这些被白蚁唾液粘在一起的颗粒逐渐长成柱子。当它们到达一定高度时，一种不同的行为开始发生，白蚁开始向侧面建筑，将柱子连接在一起。作品之间完全没有相互作用，只对不断增长的泥土堆做出反应；触发因素是它们能识别其他白蚁唾液的气味。⁵

一个类似的过程帮助它们修复漏洞，并维持复杂的“空调”系统，保持凉爽、新鲜的空气在巢内循环，一直到地下几英尺的心脏。他们对外界空气感觉的反应是去入口处丢下一粒灰尘；成千上万的工人这样做，洞很快就被堵住了。当没有更多的洞可以堵塞时，白蚁继续带着它们咀嚼过的泥土到处走。如果没有足够的空气循环，他们开始移除内部隔板以增加流量；如果天气太冷，他们会建造更多的隔墙。白蚁丘一直处于重建状态。

白蚁防御部队由拥有超大颚的兵蚁组成。如果土堆受到攻击——通常是被捕食性蚂蚁攻击——这些士兵会冲出去，扑向敌人，以拖延攻击者，同时工人们会封锁入口。兵蚁被留在外面，难逃一死。这似乎是一个冷酷无情的策略，英雄的个人被无情地牺牲了，但这是一个有效的策略，殖民地生存了下来。斯大林肯定会同意的。

白蚁工作人员也遵循简单的群集规则。单个的白蚁活动看起来是无目的和无指导的：一只白蚁可能捡起一个土球，移动它，把它放下，然后捡起它，再移动几次。他们看似随意地四处游荡。你看不到的是，每只白蚁都会留下一条看不见的信息素气味轨迹，其他白蚁可以跟踪这条轨迹，这些轨迹的总和决定了它们的行动。

这被证明是解决组织问题的绝妙办法。如果一只白蚁找到食物来源，整个巢穴不会

放下正在做的事情出去觅食，但她留下的踪迹意味着它会被更多的白蚁光顾，它们的踪迹会吸引更多的觅食者。当食物来源耗尽时，觅食者开始随机游走，踪迹逐渐消失。这样，觅食者的数量会自动调整到食物来源的大小，不需要外部协调。

(顺便说一句，这是防止蚂蚁进入你家的最简单有效的方法。如果你发现一条觅食者的踪迹，通向一个敞开的蚂蚁美味罐，就把它们扫起来，扔回到外面，用湿布把踪迹擦干净。没有信息素的踪迹，就不会有更多的蚂蚁来寻找食物。)

虽然更多的白蚁会跟随更强的路径，但随机性因素和白蚁的数量确保它们不会错过任何有趣的东西。如果一群饥饿的人看到一个明显的食物来源，比如汉堡摊，整个群体可能会排队。有些人可能会等很长时间，尽管拐角处可能会有另一个汉堡摊，下一条街上可能还有两个。白蚁更能适应搜寻和开发范围内的每一种食物来源。它们从不感到无聊，也不试图变得聪明，但它们会找到一切，并根据需要和尽可能多的觅食者呆在一起。

这种明显混乱和不聪明的个人行为的总体效果是一个高效、健壮和灵活的组织。白蚁已经存在了一亿四千多万年，它们简单而有效的策略已经被进化磨砺到了很好的边缘。

类似地，当搜索一个区域时，一群无人机可以通过遵循与觅食昆虫相同的方法来有效：随机徘徊，然后逐渐聚集在被识别时看起来最有趣的区域周围。

程序员甚至基于这一原理开发了复杂的搜索技术。粒子群优化有许多软件“代理”通过一个搜索空间。例如，他们可能正在浏览一帧视频，看它是否包含建筑物。当一个代理发现某个东西可能是建筑物的一部分时，例如一条直边或一个角，它会将其他人召集到一般区域。代理人离开前景不太好的区域，集中在最像建筑的地方。这种方法远比人类分析师可能倾向的逐行逐帧系统扫描的直观方法更有效。

成群狩猎

群体攻击不仅仅是在目标的大致方向上无意识的激增。大自然提供了许多例子，说明蜂群通过合作提高了它们的捕猎效率。

狼在食肉动物中是不寻常的，因为在某些地区，它们主要捕食比自己大的动物。驼鹿和野牛不仅比狼大几倍，而且速度也更快。但是一群狼可以通过在狼群中工作和使用一套试探法——本能和经验相结合的简单狩猎策略——来击倒一只大型猎物。尽管狼群似乎在进行一场巧妙的伏击，但研究表明，它们只是在遵循两个简单的规则，类似于控制博伊德的规则。

马萨诸塞州阿默斯特市汉普郡学院的雷蒙德·科平格和他的同事创建了一个计算机模拟，模拟一群狼跟踪一个大型猎物动物()。在接近过程中，每只狼都向猎物移动，

直到到达一定距离；然后，它离开了任何其他距离相同的狼。最终的结果是狼群散开并包围了猎物。如果猎物试图绕圈，狼群会继续向它归巢，在模拟中，猎物经常会跑向其中一个追赶者，并被它“伏击”。尽管猎物可能比狼快，但它会不停地转身，以避免最近的狼。这种之字形移动减慢了速度，这样其他直线行进的狼群成员就能抓住它。[10](#)

这些简单的战术不需要群主之间精心的沟通；所有的狼都需要知道下一只最近的狼在哪里。它们追逐猎物时的吠叫可以简单地传达“我在这里。”

“狼群狩猎所需要的合作形式甚至可以发生在陌生人之间，”科平格指出。“看似复杂的集体行为可以从简单的规则中产生，出现在不需要显著认知技能或社会组织的代理人中间。”

哈里斯鹰是原产于美洲的中型鹰，从美国西南部到智利和阿根廷都有发现，它们使用各种方法攻击猎物()。它们是少数合作的猛禽之一，通常以四到六只鸟为一组。最常见的战术是多只哈里斯鹰从不同方向俯冲同时进攻；一只兔子或其他猎物在被第三只或第四只老鹰抓起来之前，可能会躲开第一只或两只老鹰。[11](#)

当猎物落地时，老鹰改变战术。这些鸟栖息在它们的目标隐藏的覆盖物周围，围绕着猎物，然后轮流试图穿透覆盖物。一旦猎物被冲走，周围的鸟就会扑过来抓住它。

最后，哈里斯鹰还进行“接力攻击”，多只鸟一只接一只地俯冲下来，每只都在短距离内追逐猎物。当它逃离一只鹰时，群中的下一只鹰会接管它。研究人员在一次超过半英里的追逐中记录了多达20次猛扑，最终捕获了疲惫的猎物。

这些方法中的每一种都涉及所有遵循相同规则的鸟类。与狼一样，他们不需要协商，也不需要领导，但他们会制定高效的战术。

狼群和哈里斯鹰的方法都适用于小型无人机集群战术。不需要人类给他们任何具体的战术指令，一群无人机就可以有效地协同工作，通过协调变得更加有效。

美国海军展示了被称为无人水面舰艇的机器人船的群集方法。2014年，一支由13艘配备了CARACaS(机器人代理指挥和传感控制架构)的船只组成的舰队被安排护送一艘海军舰艇()。当他们发现一艘有潜在威胁的敌舰靠近时，这些船只像一群群一样做出反应。每个人都制定了自己的路线，并与其他人协调，共同向威胁前进。美国海军表示，加拉加斯的船只可以“检测、阻止或摧毁”威胁，但指出，任何开火的决定都需要人工操作员的批准。[12](#)

美国军舰对于阻止小型船只的自杀式袭击很有价值，就像2000年10月在科尔号军舰上杀死17名水手的那次袭击。

“如果“科尔”号航空母舰得到了自主式美国军舰的支持，他们本可以在攻击接近我们船上勇敢的男男女女之前很久就停止攻击，”海军少将克伦弗对加拉加斯的示威活动发表了评论。

一起飞，飞得更远

虽然成群的无人机可能会分散在很大的区域，但它们也可能通过像鹅和其他候鸟一样编队飞行而获得一些优势。人们经常看到大鸟呈V形的尾鳍状飞行，鸟类之间的间隔是有规律的。虽然早期的博物学家认为每只鸟群都有一个领导者来指导其余的鸟群，但更仔细的观察表明，随着时间的推移，鸟群的形成会发生变化，不同的鸟占据了位置。这完全是空气动力学的问题。

无论是鹅还是空客380，机翼的翼尖都会产生一个称为翼尖涡流的空气漩涡。这在机翼下产生向下的气流，在机翼外产生向上的气流。这个漩涡实际上是一个微型龙卷风，可能包含时速100英里的风速，大小可能与产生它的机翼跨度差不多。客机的涡流可能很危险，因为它的强度足以将一架轻型飞机掀翻在地。接近地面时，飞机起飞产生的涡流可能会持续一分钟以上。

鸟类是驾驭空气的高手，知道如何利用漩涡。通过向侧面和后面飞行，跟随的鹅可以从同伴提供的上升气流中获益。这给了它自由升力，相当于飞下坡()¹³

这不同于骑自行车者为了减少空气阻力而进行的滑流或牵引，但它产生了同样类型的优势。射程的总体效益随着编队飞行人数的平方根而增加。博物学家估计，一群鹅通过编队飞行而不是单独飞行获得了70%的航程优势。美国空军航空车辆管理局进行的一项详细的空气动力学研究发现，九架飞机组成的编队可以在单独飞行的距离上实现80%的航程增加。

如果人类跑步者也能获得类似的优势，那么没有团队的话，任何一个长跑项目都不会被一个跑步者赢得。如果你能在汽车的汽油里程上获得类似的好处，高速公路将会是源源不断的V型车。

出于安全考虑，有人驾驶飞机避免靠近飞行，很少有飞机护航飞行的情况。但是成群的无人机可能会在没有这种担心的情况下大量一起飞行。此外，无人机并不局限于大雁采用的简单V型编队。大量无人机可以采用更复杂的编队，包括多个堆叠的V形，以获得更大的整体优势。

编队飞行可能会成为无人机长距离飞行的标准，也可能成为停留数周或数月的“永恒飞机”的标准。

无线电编队

合作无人机还有其他鸟类无法获得的优势。第5章中提到的小型无人机的雷达工作提出了几架无人机协同工作作为一个大型雷达天线的可能性,这种布置被称为“稀疏天线阵列”在一个称为波束形成的过程中,几架无人机发出的辐射被合并成一个信号。

圣克拉拉大学的克里斯托弗·基茨一直在测试这种方法,作为增强无人机无线电通信的一种方式()。他用一组小型地面机器人在野外试验中测试了这一理论。为了形成稀疏阵列天线,机器人以大致相等的间隔排列自己,通常成直线或圆形。一个机器人充当主控器,拥有软件,可以获取每个天线的信号信息——特别是幅度、相位和延迟——并将这些信息组合起来,得到增强的信号。几乎不需要额外的硬件,因为该系统几乎完全存在于软件中,所以任何无人机都可以成为主人。[14](#)

“将多种元素结合在一起只会给你带来单个机器人无法获得的东西,”凯特说。“我们可能会使用一组六个‘机器人’从一个非常遥远的实体接收通信。我们可以存储这个传输,然后旋转编队,并将通信中继到一个单独的实体。”

或者,三个机器人可以在一个方向上形成一个天线,在另一个方向上形成三个天线,在两个远程站点之间形成一个中继桥。

正如凯特的同事、自适应通信研究公司的加雷特·冈本所指出的,这项技术对于处理干扰也很有用。在一个称为调零的过程中,干扰信号在不同的点被检测和定位,然后被完全抵消。

冈本说:“我表明,我们可以完全忽略位于发射机和接收机之间的干扰机的影响,它比所需的发射信号高出23分贝。

23分贝意味着干扰器发射的噪音是源信号的200倍。这就像有人在你耳边吼叫时,你能听到远处的耳语。

冈本说:“我们本可以排除一个更强的干扰机。“但我们制造不出比这更强的干扰器。”() [15](#)

除了改善接收效果,同样的技术也可以改变,这样大量弱无线电发射机,像小型无人机上的手机级无线电,就可以组合成一个强大的干扰机。

蒙特利的海军研究生院的另一名学生ibrahim·科卡曼研究了一群小型无人机干扰防空雷达的效率。通常情况下,这项任务是由有人驾驶的飞机在更远的距离上执行的,使用的是装有电子魔法的干扰吊舱形式的专用设备。例如,安/ALQ-131干扰吊舱可以由飞机代替炸弹携带。它大约十英尺长,五百多磅重,广播功率几千瓦。它的射程是保密的,在很大程度上取决于所讨论的雷达,但大约是几十英里。[16](#)

相比之下,科贾曼看到的是发射机功率仅为十分之一瓦的无人机,其干扰群的广播

强度与手机相当。其中10架协同工作的能力不到安/ALQ-131的千分之一。

很明显，蜂群无法在如此长的距离内干扰雷达，但它不必如此。与攻击宙斯盾驱逐舰的研究一样，小型无人机天生小巧且隐身，因此它们可以在被探测到之前接近敌方雷达。

此外，科贾曼的论文展示了十架无人机如何协同行动，并像凯特的编队机器人一样使用“分布式波束形成”，以实现比简单增加它们的力量更好的效果。科贾曼计算出，其中10架无人机可能会干扰俄罗斯萨姆-2宋凡防空雷达，产生太多无线电噪声，雷达无法“穿透”这将使它束手无策——无人机可以不受惩罚地广播雷达的准确位置，甚至用指示器“激光”它，使雷达成为空袭的靶子。

科贾曼估计，一架小型一次性干扰无人机的造价可能不会超过2000美元。

当与宙斯盾报告一起使用时，群干扰的有效性尤其显著，因为宙斯盾高度依赖雷达来发现来袭的飞机。将干扰器和“飞行简易爆炸装置”结合在一起的蜂群将能够相对容易地压倒一艘船。如果它在夜间发动攻击，即使是最后一搏的机枪也能幸运地命中。

同样，在科贾曼的计算中，增加的无人机越多，干扰就越好——十架比五架有效得多。二五十个更有效。科贾曼指出，即使几架蜂拥而至的无人机被击落，其余的仍然构成有效的干扰力量。与有人驾驶的飞机不同，无人驾驶飞机可以承受高伤亡的危险任务。

科贾曼还指出，波束形成群不仅限于干扰。它作为巨型天线的的能力意味着它可以在大范围内进行隐形电子窃听。从更人道主义的角度来说，它在搜救行动中会很有用，因为它可以从远距离接收无线电求救信号。

隐形哨兵

这种大量无人机联合起来协同工作的想法听起来像是对遥远未来的某种理论预测。但是已经有电子哨兵团队在使用无人机群所需要的完全相同的通信网络。这是一个无人看管的地面传感器的世界(UGS)，这些哨兵安静地守卫着边境和周边。UGS与小型无人机有很多共同点。主要区别当然是无人机是可移动的，但也有一些惊人的相似之处。

UGS可以追溯到越战时期，在代号为“冰屋白”的行动中，早期的模型被从飞机上扔下来，以探测路过的越共补给车队。这些传感器重25磅，有栅栏那么大——它们被设计成在着陆时能贴在地面上，使用寿命约为30天，这是当时电池的限制。他们的无线电发射短程信号，所以从他们那里获取信息的唯一途径是通过一架在头顶盘旋的特殊装备的飞机。不用说，早期的UGS并不便宜，但它们确实提供了有用的信息。

快进到现代，正如你所料，摩尔定律已经实现了相当大的转变。现代UGS的一个例子是洛克希德·马丁公司的自供电特设网络。这是一套隐蔽的地面传感器，远没有旧版本那么显眼，而且只需要很少的电力就可以无限期地工作。每个SPAN传感器节点都是一个手掌大小的单元，通常隐藏在一个假的三维打印岩石中。[17](#)

它们通过网状网络进行通信；网络中的每个节点都与所有相邻节点通信，因此每个节点都充当路由器。网络是自组织和自修复的，如果一些元素丢失，它能够自我重组。

网络还包括一个或多个专用网关单元。每个节点只需要连接到下一个节点，其中一个节点与网关保持联系，整个阵列就可以发回信息。该网关可以通过无线网络向当地地面部队发回数据，也可以使用超高频无线电甚至卫星通信。位于阿富汗边境的SPAN网络可以将信息直接发回美国总部。

SPAN采用即插即用设计，这意味着可以根据需要添加新的传感器。目前，最有可能使用的传感器是检测过往车辆或人员引起的地面振动的地震单元，或者是拾取声音的声学传感器。其他变体包括磁性传感器，用于检测过往车辆等金属物体，以及化学“嗅探器”。

像小型无人机一样，SPAN也受益于廉价计算能力的容易获得，这已经达到了传感器可以自己进行数据处理的地步。他们的辨别能力足够好，不仅能告诉我们一辆车已经通过，还能告诉我们是什么类型的车，因为他们甚至能识别单个发动机。几个传感器一起工作可以三角测量特定信号的准确位置。而不是传输大量原始数据进行解释，他们可以发送摘要，如“几个行走的人类组成的小组，向西北五十米外。”

SPAN仅依靠电池供电就可以运行大约6个月，但每个传感器和网关单元都配备了一个薄膜太阳能电池。即使在岩石伪装下，这也提供了足够的电力来运行设备和给电池充电，这样它就可以无限期运行。洛克希德·马丁公司已经向国内外客户销售了数千台SPAN。下一代已经在路上了，它将有一个更小的电子核心，甚至更便宜。目前的传感器每个约1000美元，但未来的传感器可能会非常便宜，它们可以自由分散，以更详细地覆盖更广泛的领域。

无人地面传感器有利于以最少的人力提供对偏远地区的全天候监视。通过与小型无人机合作，他们的能力可以进一步扩展。洛克希德·马丁公司正在研究一种安排，将一架小型无人机或多架无人机安置在SPAN网络附近。当检测到入侵者时，SPAN可以激活无人机，无人机将飞过并与摄像头和其他传感器“对视”，以便进行更仔细和更详细的观察。

在确认有真正的入侵者而不是假警报之前，系统不需要呼叫人工操作员。如果这种小型无人机是致命的——比如第三章中描述的洛克希德·马丁公司自己的“终结者”无人机——操作员只需按下一个按钮，它就能回家对付入侵者。

结合和飞行为一体

像SPAN这样的网络还可以通过其他方式与小型无人机集成，使其更加有效。欧洲AWARE项目——“无线传感器-执行器网络与空中物体合作的自主自我部署和操作平台”——将地面传感器网络与小型无人驾驶直升机相结合()。[18](#)

这个想法是直升机可以拾取传感器，并根据需要重新定位它们。这将地面传感器的空中传送提升到了一个新的水平：整个网络不仅可以在不需要人工参与的情况下，根据需要在感兴趣的区域精确定位自己，还可以根据需要四处移动。如果一些传感器丢失，或者在某个特定区域有太多的流量需要监控，它可以重新排列自己以获得更好的外观。一旦任务结束，AWARE可以再次启动直升机，将传感器送回基地，并做除了装在板条箱里下次使用之外的任何事情。

AWARE项目还探索了无人机之间不同类型的合作：让多架直升机在它们之间搬运重物。这在有人驾驶的直升机上是不可行的(或者至少是不安全的)。在美国和英国进行了一些令人毛骨悚然的实验后，这项技术被放弃了。即使在最好的情况下，直升机也足够棘手，让两架或多架直升机在不稳定的载荷下近距离飞行被证明太危险，不值得。但是无人机不同。它们反应更快，可以很容易地联网成一个单一的实体。AWARE团队认为应该有可能让八个人合作提升一个负载。

宾夕法尼亚大学的GRASP(通用机器人、自动化、传感和感知)实验室也开发了小型旋翼机之间的合作，使用类似的原理在它们之间承载负载。

苏黎世联邦理工学院的研究人员展示了成群的小型六边形无人机，它们可以将自己连接成飞行筏。这种设置的有趣之处在于，和其他蜂群一样，没有一架无人机在控制。每个单元决定采取什么行动来保持群体在空中处于所谓的“分布式飞行阵列”中，该阵列像昆虫一样协同工作来承载沉重的负荷()。理论上，这些木筏可以加在一起制成任何大小的木筏。有了足够的无人机，你可以承载任何重量的负载。[19](#)

群体大脑

也许对群体来说，最有趣的可能性之一是，他们不仅仅是将相机的力量或提升的力量结合起来，而是将他们的处理能力融合到群体思维中——或者更准确地说，融合到所谓的计算机集群中。

埃塞克斯大学的欧文·霍兰德教授在与一位蚂蚁生物学家相处一段时间，试图了解蚂蚁的行为后，开始对昆虫的行为着迷。他发现，看似复杂的行为只需一些简单的规则就可以在机器人中复制。他继续发展他所称的Gridswarm()。[20](#)

“如果我们有心灵感应，这就是大自然能做的，”霍兰德告诉我，这是塞卢斯“思想转

移或什么”的回声()21

Gridswarm由小型无人机组成，这些无人机联网形成一个单一的计算单元。它的能力取决于可用单元的数量，它可以是一台拥有足够成员的飞行超级计算机。不过，他最初的版本更为保守，由几架玩具直升机组成，每架直升机都配备了一台口香糖大小的带有蓝牙通信的Gumstix电脑。

荷兰建议，通过结合蓝牙连接的计算能力，无人机可以承担具有挑战性的任务，例如实时绘制三维污染云，并追踪其来源。当然，这种类型的团体情报同样适用于军事任务，如识别目标。群体越大，它的处理能力就越强，处理它产生的大量数据的速度就越快，效率就越高。

杀死代码

成群结队的人开始离开实验室，走向战场。也许这一领域最重要的发展是国防高级研究计划局的代码项目——“拒绝环境中的协作参与”其目的是开发软件，将现有的小型无人机转化为更大群体的元素()22

国防高级研究计划局的开发人员列出了一些熟悉的潜在优势，包括通过编队飞行增加射程、增加区域覆盖范围、混合使用不同的传感器(不同的无人机可能有雷达、摄像头、激光雷达或其他传感器)，以及以压倒性的数量同时攻击。

在攻击后阶段，无人机将进行实时战损评估和动态目标重新分配。换句话说，一旦一个目标被摧毁，剩下的蜂群就会切换到下一个目标，所以既没有欠杀也没有过杀。

CODE有两个主要的发展领域：车辆自主性，赋予每架无人机最低水平的智能来独立行动，以及群体的团队级自主性。车辆自主性包括自动起飞和着陆(这在过去一直是无人驾驶飞机的难题)、导航和动态飞行规划。团队自治将专注于将来自群体成员的数据融合成一张图片的方法，这总是一个带宽有限的挑战。一旦画面组合起来，新的算法将更快、更可靠地检测和识别目标，从而实现更快的反应和DARPA直言不讳地称之为“更好的杀伤比”美国国防高级研究计划局的许多项目从未取得成果，但如果成功，这一项目可能有助于改变对蜂群力量的看法。

在一幅从其他小型无人机研究中变得越来越熟悉的画面中，国防高级研究计划局的要求之一是没有专有限制的开放架构。该机构已经抓住了开源方法的好处，并希望建立一个可以跨不同平台共享的软件模块库。

捉迷藏

其他人则直接关注成群无人机的战术含义以及它们能做什么。一种是“多机器人追踪

系统”，这是一种基于软件的方法，旨在为机器人团队在杂乱的城市环境中寻找最佳搜索模式，同时寻找人类()。这在已知环境中开始相对容易，但在未知环境中变得更加棘手，包括建筑物内部。机器人必须理解视线，并意识到哪些区域已经被看到，哪些还需要探索。[23](#)

(作为一个奇怪的侧记，洛克希德·马丁公司开展了一个关于“隐蔽机器人”的项目，开发软件和传感器，这样机器人就可以四处移动而不会被人类发现。这种想法是，他们可以利用自己的高级感官来发现正在靠近的人，并让开。这个项目很快就从公众视野中消失了，这很恰当，毫无疑问，任何继续进行的工作都是高度机密的()。)[24](#)

也许最先进的机器人群捉迷藏游戏是美国空军自动压缩公司(UtopiaCompression Corporation)正在实施的城市目标跟踪计划。这是在开发一种控制器，它不仅能在复杂的环境中找到人，而且随着时间的推移，它能越来越较好地找到他们。它结合了机器学习和所谓的蒙特卡罗模拟——一种基于概率的数学技术，将同一过程运行数千次，并观察结果。这使得它能够提高预测人类目标运动的能力。它不仅跟踪目标，还观察和分类行为。例如，它可能能够识别潜在的敌对行动，并区分叛乱分子和平民。[25](#)

最初的城市目标跟踪系统使用多架无人机来跟踪一个人，现在这种系统正在扩展到跟踪环境不断变化和任务目标不断变化的多个人。该公司表示，该系统还可能在边境安全和搜救方面有商业应用。UtopiaCompression提到了在RQ-11 Raven上提前部署的可能性。群集行为不仅仅是未来无人机的事情；像其他软件一样，它可以改装到现有的机器上。

该项目提供了一个未来蜂群可能会做什么的一瞥。配备了无限延长任务时间的技术——电力线清扫、定位、太阳能电池——小型无人机可以持续占据一个区域。他们可以跟踪人类目标，并在最少的人工干预下监控他们的行为。武装无人机就在现场，传感器到射手的时间很可能以秒为单位。

并非所有的swarm软件都来自资金充足的军事项目。Plexidrone由Indiegogo资助，是一个小型四旋翼飞行器，用于拍摄多伦多一家初创公司的视频。它配备了FlowTech软件，允许多达30架无人机一起飞行，由一名操作员控制，同时从多个不同角度捕捉场景。无人机将于2016年开始运输。许多利用群集功能的应用程序可能会随之而来。

蜂拥而至

正如我们所看到的，蜂群比单架无人机更强大，更难阻止，并且比多架无人机独立行动有很多优势。借助一些简单的规则，蜂群的成员可以融合成一个单位，可以吸收巨大的伤害，同时仍然执行任务。

蜂群可以使用与觅食蚂蚁相同的技术快速有效地进行搜索。它们可以覆盖很广的区域。而且他们非常擅长捉迷藏。它们可以通过编队飞行或结合信号进行通信或电子战来互相帮助。当他们攻击时，他们的大量意味着他们迅速压倒目标。

自然界中的椋鸟群往往是同质的——一群中所有的椋鸟都是一样的。不过也有一些例外，比如蚂蚁可能有专门的工人和士兵，甚至可能有多种类型的士兵和工人来完成不同的任务。群中的所有无人机可能是相同的，或者群可能由不同类型的混合组成——比如SPAN，它可以包含不同传感器和通信节点的混合。无人机可能只是装备了更多传感器和电池的“猎人”，也可能是带弹头的廉价“杀手”。他们也可能包括许多类型的专家——穿墙雷达、测绘激光雷达或其他传感器，或不同类型的武器。蜂群的组成将取决于它的任务，因此被派去搜寻山里叛乱分子的蜂群将不同于负责摧毁炼油厂的蜂群。

它们可能很难杀死，但问题是蜂群在造成伤害方面有多有效。一架小型无人机也许能够击毁像雷达天线这样的轻型物体，杀死一个人，但是真正的战争需要更重的武器吗？

我们将在下一章中看到，得益于爆炸技术的最新进展，蜂群的致命性有多可怕。

参考

章节群

1)“当伤亡达到25-35%时，军事单位的士气容易在战场上崩溃。”

[华盛顿特区。\(未注明日期\)。战斗损伤与单位作战性能的关系。](#)

2)“对如果美国海军驱逐舰遭到大量廉价、简单的无人机攻击会发生什么的冷静评估。”

[Pham, 1 . \(未注明日期\)。无人机群攻击:驱逐舰的保护系统替代方案。](#)

3)兰德公司2014年的一项研究分析了不同类型的无人驾驶飞机对“猎人杀手”的有效性

[曼西\(2014年\)。在放纵的猎人杀手场景中遥控飞机的有效性。](#)

4)“1986年，雷诺兹表明，自然界中生物群体的运动，从成群的鱼到成群的鸟或成群的昆虫，都可以被模拟出来。”

[雷诺兹\(1986年\)。羊群、牛群和学校:一个分布式行为模型。](#)

5)白蚁丘建筑

米勒, P. (2011年)。智能蜂群:利用动物行为来组织我们的世界。伦敦:柯林斯

6)缟玛瑙群集翼伞

缟玛瑙自主制导降落伞系统。(未注明日期)。

7) 群体软件

轴突AI。(未注明日期)。

8) 蝗虫

斯马利特区(2015年)。蝗虫:自主、成群的无人机飞向未来。

9) “大量无人机的精确编队控制”——李·马斯楚安尼对作者的采访，2015年6月

10) 狼群群体战术

科平格(北卡罗来纳州)。狼群狩猎策略来自于计算模拟中的简单规则。行为过程。

11) 哈里斯鹰战术

Bednarz(博士)。合作狩猎哈里斯鹰队。科学。

12) 加拉加斯(机器人代理命令和传感的控制架构)

斯马利特区(2014年)。海军的自动群船可以压倒对手。ONR新闻。

13) 编队飞行对减阻的好处

Blake(未注明日期)。编队飞行的阻力减小美国空军研究局。

14)“圣克拉拉大学的克里斯托弗·基茨一直在测试这种方法，以此作为促进无线电广播的一种方式。”

汉布林, D. (n. d .)。团队机器人挤在一起增强交流。新科学家。

15)“我们本可以消除一个更强的干扰机。”

加雷特·冈本在2010年7月对作者的采访

16)“研究了一群小型无人机干扰防空雷达的效率。”

科贾曼, 伊斯兰共和国。群体无人机网络中的分布式波束形成。(海军研究生院论文)。

17) 自供电自组织网络

汉布林博士(2014年)。“间谍”网络无限期地扫描无人区。有线的。

18) AWARE项目

奥勒罗, 美国(未注册)。与空中物体合作的无线传感器-执行器网络的自主自我部署和操作平台。

19) 分布式飞行阵列。

20) 格里温

荷兰(未注明日期)。埃塞克斯大学研究主页。

21)“如果我们有心灵感应,这是大自然能做的”——欧文·霍兰德对作者的采访,2005年8月

22) 终止代码

[建立无人驾驶飞机作为协作团队飞行的代码。\(2015年1月21日\)。](#)

23) [多机器人追踪系统。](#)

24) 隐蔽机器人

[汉布林, D. \(n. d .\)。监视机器人知道何时隐藏。新科学家。](#)

25) 城市目标跟踪程序

无人机跟踪城市目标的智能协同控制。(未注明日期)。无人机跟踪城市目标的智能协同控制

第八章——微型终结者：小型武器的力量

[回到顶部](#)

“大多数人类问题都可以通过适当装填烈性炸药来解决。”

—迈克尔·托尔金，《非凡的勇气》(电影剧本)

小型无人机看起来并不危险。对于习惯于大炸弹的军事专业人士来说，它们看起来像玩具。

虽然弹簧刀无人机对阿富汗的高价值目标很有效，但它们是现代战斗机旁边的小虫子，比如F-35 Lightning II。载人飞机重30吨，以每小时几百英里的速度在头顶呼啸而过。当它攻击时，几吨高爆炸力的岩石撞击地球，散发出巨大的烟柱。弹簧刀相当于一枚手榴弹，一个比鸽子大一点的嗡嗡声看起来并不能替代F-35所体现的原始力量。

就重量而言，与载人飞机的打击力相比，即使是一整群小型无人机也微不足道。一架F-35可以在一次飞行中运送超过一万五千磅的弹药。一架弹簧刀大小的小型无人机的重量不到一磅。即使几千架无人机协同对付一个目标，几千个细小的针刺似乎也比不上一次被全尺寸的长矛刺伤。大飞机投下大炸弹是战略空中力量的全部。

就尺寸和爆炸力而言，今天的炸弹与二战中使用的炸弹相当。这本书反复出现的主题之一是事物如何同时变得更小和更强大。我们一直看到电子产品变得越来越小：计算机从房间大小缩小到口袋大小；体积庞大的模拟摄像机被微小的数字摄像机所取代；GPS从背包缩小到微芯片。模拟物体可以用数字技术压缩：书架上的书、黑胶唱片或电影胶片现在可以放在你的手掌里。

然而，有些东西，不顾科学家尽最大努力让它们变小。尽管食品技术人员努力将午餐简化为药丸形式，但餐食还是和五十年前一样大。你用来钉钉子的锤子可能是太空时代的合金，但它并不比你祖父工具箱里的那把小。

在这方面，炸弹看起来更像锤子，而不是电脑。直觉上，我们觉得如果你想要更多的爆炸，你想要更大的东西，炸药的重量是无法替代的。炸弹是用磅炸药来描述的，而核武器的有效当量在TNT上是以千吨或百万吨来评定的。

然而在现实中，微型无人机并不是方向的改变，而是几十年来轰炸机少花钱多办事趋势的延续。小而聪明比大而笨更致命，这个教训最早可以追溯到大卫和歌利亚的

故事。一颗放置得当的鹅卵石每次都能击败一个有着20磅铁头的巨人之矛。小型无人机是迄今为止最小、最聪明的武器，这使得它们比以前的任何武器都更强大。

载波功率

要把这放在背景下，我们需要回顾二十世纪初。在那些日子里，战舰至高无上。这些是装甲巨兽，挥舞着可以向20英里外的目标投掷一吨重炮弹的枪。除了最重的大炮，他们几乎不受任何影响。炮舰外交一词是为了描述派遣军舰威胁可能引起麻烦的小国的政策而创造的。

1896年的盎格鲁-桑给巴尔战争经常被描述为有史以来最短的战争。一个新的苏丹未经英国领事允许就被任命了，这被认为是一种叛乱行为。皇家海军的一个中队在现场处理叛乱。新苏丹在他的宫殿里避难，受到他的卫兵、大炮和机枪的保护。

随后发生了短暂的交火。

经过英国船只38分钟的轰炸，宫殿内外有500人被杀或受伤，苏丹投降了。一名英国水手在行动中受伤。这场短暂的战争是一个客观的教训，说明不太先进的国家如何无法应对装甲战舰的强大火力。大船不仅仅意味着大国之间的有利竞争；他们的任何战斗都是如此的片面，以至于可笑。

战舰的继承者是航空母舰，这是一个拥有自己空军的移动平台，除了最强的对手之外，能够横扫任何对手。航母战斗群或航母打击群是远程兵力投射的体现。当你想表达承诺或向世界偏远地区施加军事压力时，航母战斗群是一个豪华选项，包含所有附加功能。

俄罗斯有一艘作战航母；中国有一个，正在建设另一个。法国有一个，但它将从2015-18年停止使用。英国正在建造两座，但只有一座将投入使用，要到2020年才能完全投入使用。美国有十个航母战斗群。

如果苏尔特湾或印度洋正在酝酿局势，美国将派遣一个航母战斗群。这不完全是炮舰外交，但它强调了一点，即美国可以并将在必要时进行干预。坦桑尼亚空军是当今桑给巴尔的一部分，它有一些老旧的米格战机，无法与航空母舰相匹敌。非洲人和西方海军力量之间的第二次交锋将在大约同一时间以同样的方式进行。

美国海军集团包括一艘航空母舰、一艘巡洋舰、两艘或更多驱逐舰以及各种其他支援舰，包括潜艇、扫雷舰、补给舰和其他辅助舰。其余的船只只是在那里保护航空母舰免受各种威胁，并确保它能够执行任务。这就是现代海军的意义所在；根据一项调查，几乎一半的海军人员要么在航母上服役，要么直接支持航母。

作为库存中最大、最贵的船只，航空母舰是一件真正令人印象深刻的军事硬件。每

一个都需要五年的时间来建造。在参观美国海军“中途岛”号航母时，你会对它们的印象有所了解。该航母于1945年服役，一直服役到1992年，现在是圣地亚哥的一个旅游景点。飞行甲板延伸超过四英亩，感觉像是城市的延伸。承运人有时被描述为流动城镇，这是一个准确的描述。中途岛号和它的姐妹船都有3000多名船员，并有一个由2000多名维护和驾驶飞机的人员组成的航空联队。这种流动人口带来了住宿、饮食和洗衣的需求，更不用说牙科和医疗设施、商店和每天供应数十万加仑淡水的水蒸馏厂了。

这个移动的小镇有自己的发电厂，或者说有12个发电厂，驱动着4个涡轮机，这些涡轮机能以每小时35英里的速度将6万吨的物质输送到水中。

这个超过5000人的漂浮社区的存在是为了保持飞机的飞行。当需要进行大规模攻击时，航母可以发动一次阿尔法打击，包括大约一半的总兵力。阿尔法打击是飞机的“下降”，是在协同任务中可以带到飞行甲板、武装、加油和发射的最大数量。其余的飞机将准备好或从其他任务中返回。

在越南战争期间，美国海军“中途岛”号航母通常搭载67架飞机，包括F-4幻影战斗机、A-4C天鹰攻击机、RF-8A十字军侦察机以及A-3B天行者电子战飞机。当她被赋予实施攻击的任务时，阿尔法打击计划将包括大约24架携带炸弹的飞机，以及它们的护航。

24架飞机，每架装有12枚750磅的炸弹——总共超过100吨的炸弹——听起来足以摧毁任何东西。实际上，在目标的一般区域投掷炸弹是不够的。精准是关键。

在越南战争期间，一枚炸弹偏离其瞄准点的平均距离，被称为“可能的圆形误差”，对于中等高度的轰炸大约是400英尺。低空轰炸更精确，有时精确得多，但风险太大。400英尺可能听起来很随意，但自二战以来，计算投弹瞄准镜有了很大的改进，当时平均脱靶量为3000英尺。这就是为什么二战中的轰炸集中在像城市这样的大而分散的目标上：轰炸机不够精确，无法打击紧凑的军事目标。当目标是击中像工厂这样具体的东西时，计划者不得不派出大量的飞机来获得一次命中。二

真正的困难来自于攻击像桥梁这样的东西，道路或支撑梁的目标区域只有几英尺宽。一整架“阿尔法打击”的24架飞机可能不足以获得一次稳定的命中。

这个问题最著名的例子是越南战争中具有重要战略意义的清河大桥()。这座桥经常成为美国海军航空母舰“空军联队”的“阿尔法打击”目标。整个甲板上的飞机会释放炸弹，但不会造成足够的损坏，使桥梁无法使用。交通几次中断，但由于桥梁支架完好无损，任何损坏都很容易修复。11架飞机在这些尝试中丢失。2

这座桥最终被用新技术摧毁了：激光制导的“智能炸弹”。这在像地狱火这样的激光制导武器中已经很熟悉了：锁定炸弹的导引头将炸弹导向投射到目标上的激光点，而不是落在它被投掷的地方。如果一切正常——如果炸弹以正确的轨迹释放，导引头看

到激光点，操作者保持目标发光——炸弹在瞄准点几英尺内命中。

1972年，八架装备了新型PAVE KNIFE激光指示器和两千磅激光制导炸弹的F-4幻影攻击了清和桥。由新指示器指引的一枚制导炸弹正好击中一座桥的支架，足以摧毁一座桥。海军派出了后续的打击，以确保如此坚硬的坚果可以如此容易地被敲碎。但那一击就足够了。

激光制导武器在清和的成功是“精确制导弹药”革命的开始旧的“哑弹”安装了激光制导工具，成为智能炸弹。少量的制导炸弹可以完成数百或数千枚无制导炸弹的任务，打击常规手段无法打击的目标。

尽管他们的准确性在当时被夸大了，但1991年海湾战争以智能炸弹袭击的日常视频展示而闻名，显示了武器以看似准确无误的准确性击中掩体、桥梁、单兵坦克和其他车辆。目前使用的铺路系列制导炸弹是越南使用的铺路刀系统的直接后代。

根据对这种改进精度的流行分析，一枚现代激光制导炸弹对点目标的打击效果相当于三十架越南时代的F-4幻影投下的全部炸弹。换句话说，一种精确制导武器比使用非制导武器的整个阿尔法打击包要好。（使用二战技术，要想击中同一个目标，需要来自令人难以置信的一千五百个B-17飞行堡垒的炸弹。）

二战期间，战略轰炸是针对德国工业的“瓶颈”。施魏因富特的滚珠轴承工厂被认为是德国制造坦克和飞机的关键。然而，即使是数百架飞机的大规模轰炸袭击也没有效果，因为击中实际目标的炸弹太少()。³

精确意味着数百枚炸弹不会浪费在工厂周围的区域。它们都可以击中工厂本身。今天类似的行动只需要几架飞机。智能炸弹虽然不是真正的智能。他们所做的就是去他们被告知的地方。与小型无人机不同，它们无法发回目标信息并获得特写镜头。武器化无人机比智能炸弹更聪明。

像弹簧刀这样的武器可以让操作员在工厂里准确地看到他们击中了什么。他们可以避开食堂、储藏室和生产线上不太重要的部分。在滚珠轴承的制造过程中，涉及到两个关键的机械部件：一个是“冷镦机”，它在巨大的压力下将一段段粗钢丝粉碎成粗糙的球体；另一个是“闪光加工”仪器，它可以将滚珠轴承塑造成最终的形状。摧毁这两台昂贵而复杂的机器中的任何一台，整个工厂就会陷入停顿。小型无人机数量众多，能够近距离侦察，能够定位和识别特定的机器。然后操作员可以用铝热剂等特殊弹头使它们停止工作(见下文)。在数百架重型轰炸机失败的地方，少数无人机可以成功。

有时目标只是一个重要的人，在这种情况下，精确到足以击中他们并足以杀死他们的制导武器就满足了确切的要求。

出动了许多飞机打击萨达姆·侯赛因等个人，但收效甚微。有一次，2000磅重的炸弹本打算投到伊拉克领导人正在吃饭的餐馆，但显然炸毁了附近的家庭住宅，造成许多人伤亡()。一些定位无人机可能会更有效，不仅能近距离确认目标，还能保证一次击杀。同样，杀死奥萨马·本·拉登的任务可能是由少数几架小型无人机完成的。它不会像海豹突击队六队的行动一样英勇霸气，但风险会小得多。[四](#)

理论上，一群1000架弹簧刀型无人机可以杀死分散在广阔区域的1000个目标。这远远超过任何类似大小的炸弹或导弹。更重要的是，他们可以(理论上)将他们的攻击限制在一个地区的武装分子。这是一项革命性的能力，也是F-35永远无法实现的能力——除非它充当无人机群的母舰或交付平台。

更小、更致命的爆炸

精确制导意味着需要更少的炸弹。你只需要一架飞机，而不是一百架。下一个问题是攻击桥梁和建筑等战略目标需要多大的弹头。

2000磅一直是摧毁钢筋混凝土结构所需的标准炸弹尺寸。就像四十年前一样，今天还在使用。根据传统智慧，任何低于2000磅的炸弹，包含大约1000磅的实际炸药，将留下一个浅弹坑，而不会对混凝土目标造成致命伤害。

堆积足够的炸药来完成这项工作是一种蛮力技术。就像把炸药送到目标一样，智能应用意味着更少的努力。如果你用手放置炸药，大约200磅放置得当的C4可以做一个2000磅的炸弹。200磅是一个很大的负担，所以美国特种部队开发了一种轻型混凝土破坏工具。

M150穿透增强弹药(PAM)是一种便携式爆破设备，重量仅为42磅()。它于1998年首次推出，对钢筋混凝土结构非常有效。触发后，它会经历一个复杂的四阶段点火过程，就像矿工钻孔和爆破方法的加速版本。[5](#)

帕姆的第一次冲锋在目标体内打出了一条深深的隧道。随后的阶段切割任何钢筋，推进一个强大的炸药到隧道，并引爆它。混凝土抗压能力强，但抗拉能力弱。压碎一个混凝土块几乎是不可能的，但从内部将其撕开相对容易。这就是PAM如何取代2000磅重的C-4炸药，或2000磅炸弹上的弹头，并拆除钢筋混凝土结构，如15英尺乘5英尺乘6英尺的桥梁支架。一个7人的小组大约需要3个小时用C4炸药将目标引爆，而用PAM，同样的过程大约需要2个人分钟

理论上，一个帕姆可能会使清和桥瘫痪。一名突击队员正确放置炸药，就能做到像美国海军“中途岛”号航母及其数千名船员(在其护航和补给舰上有数千名船员支持)的总打击力无法做到的事情。精确施力比盲目击打更有效。小型无人机擅长精确打击目标。

40磅重的帕姆对一架乌鸦大小的无人机来说太重了。但是随着技术的进步，拆迁费用越来越低。

活性材料

研究人员倾向于使用“高能材料”，而不是谈论爆炸物。这是一个总括术语，涵盖了从雷管到燃烧弹到火箭燃料的所有东西。能量可能以热量、冲击波或加速碎片至高速（“驱动金属”）的形式产生，研究人员试图根据特定任务的确切要求定制材料。

在高能材料领域，反应材料显示出比常规高能炸药更有效的发展武器的巨大潜力。RMs通常由聚四氟乙烯等材料与金属粉末混合而成。

反应材料也能制造高效的弹片。通常，弹片是由钢或类似材料制成的；弹片碎片就像微型子弹。但是反应材料弹片是爆炸性的：这种材料可以被设计成当它撞击物体时开始释放能量。这使得RMs作为防空和反导弹头非常有效，因为增加一点爆发力会使它们更具杀伤力。根据一项估计，它们对付飞机和类似目标的效率是常规弹片的五倍。它们作为杀伤人员武器也同样有效。

二战期间，一种新型武器被开发出来，被称为铝热剂。这是一种简单的金属和金属氧化物粉末的混合物，像氧化铁和铝，但它在极高的温度下燃烧。一旦启动就不可能熄灭，铝热剂可以通过钢板熔化，指挥官使用铝热剂炸药使枪和重型机械失效。活性材料可以做得更好。

德克萨斯州圆石市的高能材料和产品公司参与了空军的微型武器项目，并将该技术用于一个名为Tec Torch或金属蒸汽Torch()的副产品中。这个手电筒大小的装置喷出一股火焰，像热刀切开黄油一样切开金属，不到一秒钟就能切开半英寸的钢条。它被设计成警察和其他需要高速切断螺栓、链条和挂锁的人的破坏工具。Tec割炬基于固体燃料和氧化剂的反应材料技术，比传统的氧乙炔割炬更便宜、更轻、更紧凑。

6

每个燃料盒重几盎司，包含精确分级的镁、铝和氧化铜颗粒。由此产生的火焰喷射在摄氏3000度以上燃烧，速度超过每秒2000米。一个矩形的碳纤维喷嘴将射流成形为一个平刀片，用于切割棒材。射流比气体火焰具有更高的能量密度，切割动作是热量和金属氧化物颗粒磨损的结合。

Tec Torch指出了小型无人机可能使用的武器种类。一架坐在建筑物上的无人机可以使用自己的Tec Torch切割一个重要的部件，比如电力或通信线路，或者支撑吊桥的电缆。一架无人机可能无法单独切割电缆，但几架无人机在同一地点连续切割肯定可以。一群无人机可以切断许多电缆。

这种技术也可以有效地刺穿管道、燃料和化学品储罐。

反应材料的另一个应用是拆除。上述PAM是一种复杂的多级设备。2007年，美国陆军开始研究一种比PAM更简单的爆破装药，它能将一股反应材料喷向混凝土目标。反应材料射流在撞击时爆炸，将混凝土撕裂。

陆军第一个使用这种方法的项目叫做巴尼；这被放大成一个40磅重的设备，名为Bam-Bam()。Bam-Bam针对各种结构进行了测试，包括一个5乘6乘18英尺的全尺寸钢筋混凝土砌块，就像桥梁支架一样，结果令人满意。[七](#)

ATK，一家在这一领域拥有一些最先进发展的公司，从那以后一直在继续这项工作。在一次测试中，一个不到12磅的炸药在一个混凝土目标中产生了一个8英尺宽、4英尺多深的弹坑。在过去几年里，这一领域的信息很少公布，但最新一代用于摧毁混凝土的RM基武器可能比它们的前辈更小、更有效()。[8](#)

一系列的小费用可以完成一个大费用的工作。空军指的是“阶梯”技术——在同一个地方连续引爆几个炸药——来突破对一个炸药来说太大的混凝土。这表明，十几架连续瞄准同一个点的小型无人机可以完成类似PAM的任务，不断地进行切割，直到失败。

然而，在大多数情况下，甚至不希望将所有的炸药放在一个地方。拆迁专业人员更喜欢使用多个较小的收费。

通常情况下，建筑物不会被像2000磅的炸弹，甚至40磅的炸弹这样的巨大炸弹摧毁。克利夫兰I-90内带桥的拆除就是一个很好的例子，这是一座100多英尺高、100多英尺宽、1英里长的张力建筑。2014年7月，整个重约5000吨的建筑被88个炸药同时引爆而倒塌，这些炸药的总重量只有182磅，也就是说每个炸药超过2磅。混凝土支撑的桥墩本来会成为军事打击的目标，但后来被计划拆除。没有道路，它们就没什么用处。不到200磅的炸药彻底摧毁了内带桥。[9](#)

高层建筑通常是通过内爆来拆除的，在内爆中，关键的结构部件被破坏，因此建筑会自行倒塌，而不会对周围的建筑造成任何损害。YouTube上有很多这种类型的拆除例子，包括珊瑚山墙的一栋13层建筑被90磅的炸药炸毁，以及迪科特电站的三个巨大的混凝土冷却塔，每个冷却塔只花了100多磅(经过大量的小改动)就变成了瓦砾。在每一种情况下，爆破都不涉及一次大爆炸，而是多次较小的爆炸，精心安排和时间，以达到最大效果。

民用领域拆除的关键不是简单地堆积足够的炸药来确保工作完成。这是一个在重要地点高度熟练地使用最少量炸药的问题。借助近距离工作带来的独特精度，一群协调的小型无人机可以进行这种类型的拆除。

虽然美国空军的文件提到了涉及多枚小型弹头的合作、同时攻击实验，但迄今为止还没有任何这种攻击的演示。鉴于人工放置炸药的原则已经确立，没有具体的理由怀疑无人机能像人工放置炸药一样完成任务。

强化爆炸：“温压城市破坏”

较小的结构，如房屋，可以很容易地被一种称为“强化爆炸”武器或温压仪的新型炸药摧毁，而不需要仔细放置炸药。

常规炸药是由大分子分解释放能量组成的。军用炸药RDX（“研究部炸药”），也称为环辉石或黑索金，化学式为C₃H₆N₆O₆，具有基于氮原子中心环的复杂分支结构。这些键是不稳定的，当它们断裂时，炸药以每秒8000多米的速度爆炸。

相比之下，温压仪根本不会爆炸；严格来说，它们燃烧得很快。有些种类有自己的氧化剂，但有些只是与空气中的氧气反应。最简单的方式是，通过在炸药中加入像铝这样的金属粉末，就可以提高爆炸威力。更复杂的版本除了粉末金属和氧化剂什么也没有；炸药被释放到云中，然后引发毁灭性的影响。

温压仪的威力按重量计算通常是梯恩梯的几倍，因为氧化反应比爆炸分子的分解更有能量。然而，更令人惊讶的是，温压仪的破坏力远远超过同等威力的凝聚炸药。这是因为膨胀的温压火球产生的爆炸比正常爆炸持续的时间更长。它仍然只持续几毫秒，但持续时间的增加使它在推倒墙壁时更有效。正如路过的卡车发出的低音调声音会导致窗户嘎嘎作响，或者高音调的音符会打碎酒杯一样，温压爆炸产生的冲击波被“调谐”成对建筑物墙壁造成更多的移动和损坏。

研究人员发现，温压仪的爆炸效应在封闭空间中更大，在那里，爆炸过程中有湍流混合，温压仪混合物高效燃烧。

温压仪在十多年的战斗中得到了很好的证明。SMAW（“肩射多用途攻击武器”）是美国海军陆战队使用的一种类似火箭筒的武器。阿富汗和伊拉克广泛使用了城市作战的增强版本，尤其是在费卢杰战役中。这种新型弹头被称为SMAW-内（用于新型炸药），含有4磅被称为PBXIH-135的混合物，该混合物将标准塑料炸药（PBX塑料粘合炸药）与精确校准量的精细铝粉结合在一起。[10](#)

部队从一开始就给出了非常有利的效果报告，其中一份行动后报告称：

“一个单位用一发子弹从100米外瓦解了一座一层的大型砖石建筑。他们印象非常深刻。”

费卢杰行动后的报告证实了SMAW-东北摧毁建筑物的能力：

“在可能的情况下，他们被放在一个俯视的屋顶上，在那里SMAWs可以在小队之前击碎三四栋房子。”

根据《海军陆战队公报》上的一篇文章，大窗户降低了建筑物内爆炸的影响，但“SMAW枪手变得擅长确定哪堵墙会导致屋顶倒塌，并粉碎在内部房间设防的叛乱分子”。仅在费卢杰就有一千多人被枪杀。

这种武器赋予步兵通常为重炮保留的那种力量。这也意味着脚撑会造成大规模的伤害。费卢杰的行动因破坏程度而招致严厉批评。只有当该地区的每个人都是战斗人员时，这种武器才合适。

一个限制是新的SMAW回合在建筑物内比在户外更有效。海军陆战队开始使用两阶段方法：发射一发老式的高爆炸SMAW子弹在墙上打一个洞，然后通过这个洞向内部发射一发温压弹。这确保了第二轮“将焚烧目标或字面上的水平结构。”

制造商Talley(后来被瑞典/芬兰公司Nammo收购)在一本名为“温压城市破坏”的小册子中宣传了新版SMAW其中包括测试图片，显示一栋两层楼的建筑被击中后分解成一堆瓦砾。这本小册子在作者的一篇文章引起注意后被收回了。

相同类型的炸药已被用于各种其他武器，包括一种版本的地狱火，AGM-114N“金属增强装药”，其中通常的高爆弹头通过增加铝粉外壳得到增强()。[11](#)

还有更小的版本，包括2003年在阿富汗使用的40毫米榴弹发射器发射的XM1060。来自现场的报告表明，即使是这种大小的武器也能够摧毁泥砖建筑，并且已经证明它具有很高的致命性，尤其是在洞穴和隧道中()。[12](#)

这种有效性的一部分是因为长时间的爆炸往往会绕过障碍物，并在室内或地下传播很长一段距离。温压仪已经成为清理洞穴和掩体建筑群的首选武器。

长时间的爆炸对人类的杀伤力也比其他类型的更大。你可能在每平方英寸40磅的浓缩炸药爆炸中幸存下来，但温压爆炸中每平方英寸10磅的爆炸持续几毫秒就会粉碎你的肺。防弹衣和沙袋无法抵御这种伤害。

这种类型的弹头非常适合小型无人机。与SMAW发射的火箭不同，小型无人机是一种制导武器，不仅限于从一侧接近建筑物。它可以飞来飞去，找到一个合适的窗口或其他入口，甚至有可能从烟囱下来。除了密封掩体，任何东西都有入口。

自2000年代初以来，增强型弹头已经有了很大的改进。现代生产技术允许精确控制混合物中颗粒的精确尺寸、数量和分布。特别是，生产纳米级铝颗粒并安全储存的技术取得了进展。制造商不愿讨论细节，但纳米铝现在的质量要高得多。

更重要的是，在早期，工程师更多的是被反复试验所引导。最近，他们已经能够用高保真计算机模型精确地模拟温压火球的复杂物理。一个理想的温压弹将被构造成所有的燃料在火球中有效燃烧。研究人员现在知道了如何通过构造炸药，使爆炸过程中产生粒子射流，来创造——或许更好地——室内发生的混合。一个加拿大研究小组的未分类结果表明，在不改变成分的情况下，制造出威力约为现有弹药五倍的弹头应该是可行的。

一架装有这种弹头的小型无人机无疑能摧毁一栋普通建筑的两层房屋。当这样一架无人机能够以几英尺的精度被送到世界任何地方时，这是一个发人深省的想法。

一群一万架小型无人机可以夷平一个城镇。

尽管1000磅的重量可能比一架飞机的炸弹载荷要轻，但1000架无人机造成的损害要比任何一架飞机都大得多。和以前一样，它们能够挑出单个目标，并精确打击到正确的位置，这使得它们比无制导的蛮力更有效。

扭曲点火器

纵火犯可以用一根点燃的火柴造成巨大的伤害，在有效载荷有限的情况下，燃烧弹可能是首选武器。即使是一场小火也能迅速蔓延，吞没一座建筑、一个街区或一片森林。这就是日本人希望用第一章中提到的功夫气球炸弹造成严重破坏的方式。

军方更喜欢大规模使用燃烧弹。在欧洲的第二次世界大战中，集结的盟军轰炸机会首先用烈性炸药攻击，以打破开放的建筑，然后用一波燃烧弹来点火。在日本，建筑不那么坚固，波音B-29超级堡垒对东京和其他城市进行了纯粹的燃烧袭击。他们扔下了M-69，这是一根三英寸宽、二十英寸长的六边形钢管，里面装满了新发明的胶状汽油，混合了被称为凝固汽油弹的磷。管子很重，足以穿透屋顶瓦片，渗入下面的房间；撞击后几秒钟，M-69抛出燃烧的凝固汽油弹酒杯，这些汽油弹粘在任何东西上，碰到什么就烧什么。

据一位目击者称：“一种燃烧的露珠沿着屋顶飞舞，点燃它溅起的所有东西，并向各处蔓延一片飞舞的火焰”。¹³

38架M-69被捆绑在一个“集束炸弹”中，在半空中分裂开来，并将里面的东西分散在一个广阔的区域。每架B-29携带40个集群，每架飞机制造超过1500架M-69。

计划是同时引发如此多的火灾，以至于不可能扑灭它们。它完全按照预期工作。火势蔓延失控；人们逃离，潜入河流和运河，溺水身亡，或者蜷缩在避难所里窒息而死并被烧死。1945年对东京的一次突袭烧毁了该市15平方英里的土地，摧毁了数十万所房屋，杀死了8万多人。天气条件不适合大风暴，这种现象是火的综合力量产生强大的上升气流，并通过飓风吸入更多的空气。德累斯顿和其他地方都发生了火灾；

东京的一次袭击会使袭击更具破坏性。

柯蒂斯·勒梅将军声称：“在3月9日至10日的那个晚上，我们在东京烤焦、烧开、烤死的人比广岛和长崎被蒸发的人加起来还多。”。虽然不太准确(原子弹炸死了13万人，东京燃烧弹炸死了10万人)，但它表明原子弹只是现有轰炸的延伸。

就破坏而言，东京突袭的结果似乎令人满意，但分析人士指出，绝大多数燃烧弹都被浪费了。轰炸的不准确意味着许多人完全错过了目标区域。大多数降落在正确的区域没有效果：它们降落在道路、花园、公园或其他空地上。甚至那些撞上屋顶的东西有时也会弹开或者无用地留在烟囱里。

如果在建筑物内放置燃烧弹，这种攻击会更有效。在正确的地方，即使是一个微小的燃烧弹实际上也能保证引发火灾。一盎司的凝固汽油弹可能比十几枚随意散落的M-69更有效，就像一颗瞄准的子弹比一千枚漫无目的喷射的子弹更有效一样。

这导致了一个最离奇的战争计划，这使得即使是围棋也显得普通。这一切都始于生物学家利特尔·亚当斯博士指出，这种不起眼的蝙蝠可能能够携带“足够数量的燃烧物质来点火。”⁽¹⁴⁾

x光项目包括捕捉成千上万只蝙蝠，并通过冷藏使它们进入冬眠状态，利用蝙蝠在温度下降时睡觉的自然倾向。然后每只蝙蝠都可以安装一个微型炸弹。蝙蝠被装在特殊的托盘里，这些托盘又被装进炸弹外壳里，然后投放到日本城市。被释放到半空中的蝙蝠会自然地在屋檐下寻求庇护和栖息——之后每只蝙蝠携带的燃烧弹会爆炸起火。

研究人员发现，半盎司的蝙蝠可以承受比自身更重的重量。设计了一种合适的燃烧装置，一个装满凝固汽油弹的赛璐珞胶囊，里面有一个火柴头大小的点火器。它的工作方式类似于跳伞者使用的自动拉动拉绳的静态绳索。在这种情况下，蝙蝠一从炸弹中挣脱出来，它就拔下一根针，释放出一种化学物质，这种化学物质会穿过电线，在15分钟内引发凝固汽油弹。

蝙蝠会在这个过程中死亡，但这被认为是战争中可以接受的牺牲。

成千上万只蝙蝠被成功捕获，并从飞机上“徒手”释放，适时地在下面的建筑物中找到栖息的地方。没有用携带实弹的蝙蝠进行测试，所以没有消防队员被分配到这个项目中。消防队员会增加这个秘密项目的安全风险。

灾难发生在卡尔斯巴德辅助机场的一次测试中，当时蝙蝠不应该被释放。x光小组正在室内拍摄蝙蝠炸弹的效果。六只冬眠的蝙蝠身上装有炸弹。摄影师被警告说，蝙蝠只需要几分钟就能热身并重新活跃起来。不幸的是，摄影师没有意识到蝙蝠有多活跃。疯狂的努力没能网住六只武装蝙蝠中的任何一只，它们飞走了，寻找栖息的

地方。

这六个人中至少有一个去了新的控制塔，另一个去了新建的无人居住的营房。炸弹爆炸后15分钟，两座建筑都燃起了大火。大火在干燥的沙漠条件下迅速蔓延，烧毁了机库和办公室。拯救机场建筑为时已晚，但维护安全也不晚。建筑物继续燃烧时，前来灭火的消防队员感到困惑，被挡在大门外。几天后，被烧毁的遗体被推土机推平，以隐藏证据。

令人惊讶的是，这次惨败并没有导致项目被取消。完成它的是时间问题。蝙蝠炸弹要到1945年后期才能投入使用，到那时，它们几乎没有攻击的目标了。而且，碰巧的是，有一种更强大的秘密武器可以用来攻击剩余的日本城市，这种武器将首先准备好。

一架小型无人机可以发射多个蝙蝠炸弹大小的燃烧弹。已经有了可以打破窗户的无人机(我们很快就会看到)，一架栖息/行走无人机可以找到进入的路，并将燃烧弹放在最有效的地方。与任性的蝙蝠不同，无人机可以准确地指向正确的建筑。与蝙蝠不同的是，无人机可以留下燃烧弹，然后飞走，从安全的距离拍摄结果。

数百或数千架无人机可以同时引发大量火灾，这肯定足以压倒任何一个城市消防部门。同样，他们精确放置每颗炸弹的能力使得即使很小重量的燃烧弹也比从大型飞机上随意投掷的数吨凝固汽油弹有效得多。

坦克破坏者

小型无人机对民用车辆等所谓的软目标非常有效。LMAMS有一个具体的要求，它应该能够干掉汽车和皮卡，这在世界各地的叛乱团体中很受欢迎。有大量视频证明，一个小弹头足以对付这种类型的目标。装甲军用车辆是另一个故事。手榴弹对一英寸厚钢板保护的车辆几乎没有伤害。但是，高精度和智能瞄准再次成为暴力的有效替代品。

在1991年的海湾战争中，重达500磅的激光制导Mk 82炸弹被用于对伊拉克的单辆坦克进行“坦克底座”攻击。与以往战争中需要数十枚炸弹才能确保击中如此小的目标不同，激光制导意味着飞行员可以用四枚炸弹杀死四个人。炸弹足够精确，这种尺寸的炸弹甚至对重装甲的俄罗斯制造的T-72主战坦克也是杀伤力过大。

在2003年的伊拉克战争中，重达五分之一的地狱火导弹被证明在摧毁坦克方面同样有效。激光制导意味着每次射击都有可能找到目标。

你需要一个大弹头来摧毁一辆坦克，因为所有的装甲。T-72的正面装甲厚度超过18英寸，地狱火可以穿透它。但是坦克装甲分布不均匀。大部分都在前线，因为这通常是威胁的来源。坦克建得越低越好，装甲集中在正面，在乘员和敌人之间有最大

的保护，通常是其他坦克或步兵用导弹和火箭。

自从1942年第一架火箭筒问世以来，已经有几十年的时间来研究穿透装甲的小型武器。这种类型的武器有一个聚能战斗部，它像巴尼一样，将爆炸力转化为一个狭窄的穿甲弹。AT-4是海军陆战队目前版本的老式火箭筒(15)。它看起来像它的前身，但功能强大得多。AT4的弹头重量不到一磅，它能够穿透令人印象深刻的15英寸厚的装甲，而最初的火箭筒只有3英寸厚。这仍然不足以正面对抗T-72——坦克装甲是专门用来击败这种威胁的——但这意味着士兵可以在战场上处理任何其他事情。如果他击中坦克的侧面、后部或顶部，他也能损坏它。

不像步兵，无人机不需要正面攻击。正如我们所见，它可以非常精确。

从上面看，T-72是一个容易得多的前景。坦克顶部大而平的表面装甲相对较薄；如果它像前面一样厚，坦克会太重而无法移动。T-72的顶部装甲大约有两英寸厚，有些地方甚至更薄。

虽然少量的电荷可以穿透装甲，但它造成的伤害——“装甲后效应”是有限的。一名士兵将其比作向汽车发射子弹——这让车内的人感到震惊，但不太可能造成真正的伤害。金属的高速喷射会伤害任何被它击中的人，并可能引爆燃料或炸药，但在T-72大小的车辆中，大多数射击不会造成什么伤害。当射击位置或多或少是随机的时，就会发生这种情况，因为它很可能在战斗中使用像AT-4这样的非制导武器，通常是在远距离打击可能移动的目标。实际上，这种武器通常需要多次命中才能使坦克停下来。

无人机可以发射同样的弹头，情况就不一样了。你拥有的不是无制导弹头，而是精度极高的弹头。目前的制导武器能感知目标，并倾向于瞄准其质心。(一个主要的例外是热寻的导弹，它以热排气管为家)。正如我们所看到的，一架小型无人机有足够的计算能力来做一些更复杂的事情。

最佳杀伤力弹药末端几何(MEGOL)计划是一种利用改进的传感器、制导和信息处理能力最大化小型武器效能的新方法()。MEGOL由Survive工程公司为美国空军开发，并于2008年获得专利。MEGOL有一个“致命性数据库”，其中包含每个潜在目标的各种漏洞的详细信息；例如，这将包括T-72的所有弱点。当导弹或其他弹药接近目标时，MEGOL会调整攻击轨迹，以确保尽可能靠近目标点。[16](#)

有了像MEGOL这样的东西，无人机可以选择最大伤害的位置。它的目标可能是一名机组人员、一个燃料箱或一个弹药储存箱，击中后会引发二次爆炸，摧毁整辆车。

不是非此即彼，而是两者兼而有之

Switchblade上现有的弹头是结合了爆炸和破碎效果的杀伤/车载炸弹。上述不同类

型的弹头增加了几种新类型——爆破装药、强化爆破、燃烧和穿甲聚能装药。

对于不同的目标，有几种不同版本的武器是很常见的，比如第2章中描述的地狱火变体，用于对付坦克或掩体。最新的地狱火AGM-114R设法将几种类型的效果结合到一个弹头中：它有穿甲、弹片和温压弹（）。现代弹头技术更进一步，多模式弹头可以根据触发方式产生不同的效果。[17](#)

通用动力先进弹头技术包括将增强爆炸与穿透装甲和摧毁建筑物的能力相结合的弹头（）。诀窍在于弹头是如何被触发的。多模弹头有几种不同的雷管，它们以不同的组合发射，产生不同的效果。它可以通过一种方式触发，将爆炸的力量引导到穿甲射流中，或者另一种组合可以向各个方向抛出反应材料碎片。整个弹头可能会被引爆，这样效果就完全是爆炸的效果——或者，通过以不同的方式塑造火球，它可以最大化热量输出，以获得最大的燃烧效果。[18](#)

还有一种更先进的弹头叫做MAHEM，是磁流体动力爆炸弹药的简称。这个项目起源于20世纪80年代的美国国防高级研究计划局，一直保持非常安静，但一系列文件表明它仍在进行中。这是一种真正的智能弹头，利用电磁效应改变其输出。MAHEM分两个阶段工作：爆炸本身被增强，强大的电流通过爆炸火球以增加其爆炸速度和爆炸压力。第二阶段捕获爆炸的动能，并将其转化为电磁场，使金属加速到比简单爆炸快得多的速度。这可以以高度受控的方式完成，因此MAHEM可以产生比普通聚能装药更有效的射流，或者根据需要产生多个射流或碎片。[19](#)

MAHEM的变体已经被开发出来用于摧毁建筑、摧毁来袭炮弹和反坦克用途。但最重要的是电磁爆炸弹头，它将产生“可扩展的致命和非致命效果。”

就像《星际迷航》中的相位器一样，它可以被设置为眩晕或致命，通过改变引爆方式，EMEW可以是非致命的“眩晕手榴弹”，也可以将致命的弹片散布在特定区域。额外的设置将用于对抗重装甲或突破墙壁。欧洲、中东和非洲正在由埃尼集团联合公司开发，目的是适应新的LMAMS设备。他们的合作伙伴是洛克希德·马丁公司，终结者致命无人机的制造商。与此同时，中国人也在研究同样的MAHEM技术，显然是对美国的概念进行了逆向工程。

未来的小型无人机弹头将对车辆、建筑物和人同样致命，并将带来全新的威胁。

飞行狙击手

上述概念基于一个普遍的假设，即小型无人机会像LMAMS和Switchblade一样，在自杀式袭击中牺牲自己。当然，它们可能比任何现有的弹药便宜得多。

然而，无人机不需要是可牺牲的。渡鸦已经被装备成轰炸机。美国海军甚至开发了一种重量约为一磅的微型全球定位系统制导炸弹，一架乌鸦大小的无人机可以从几

百英尺的地方发射，在那里看不见也听不见。

2015年末，雷神公司发布了一种新型微型激光制导导弹，名为派克，重量仅为1.7磅，射程超过一英里。装备这种微型导弹的无人机可能会改变战场上的游戏规则，尤其是在与其他携带激光指示器的无人机合作时。派克被描述为70,000美元标枪导弹成本的一小部分；它可能比这里讨论的一次性无人机更贵，但随着大规模生产，价格可能会大幅下降。

与此同时，携带烈性炸药的手动发射战术无人机仅限于单向任务是有意义的。任何携带实弹弹头的无人机返回的风险都被视为很高，当它具有略显笨拙、高冲击力的“乌鸦”着陆风格时，这可能尤其如此。然而，新的引信系统带来了新的安全水平，未来的无人机可以重复使用，而不是神风敢死队，这当然是可行的。不难想象，一个位于战斗区外的自动无人机重新武装站，会有一批无人机抵达，补充他们的炸弹。这将使小型无人机更加强大。

炸药不是唯一的选择。一架无人驾驶飞机，甚至一架小型无人驾驶飞机，可能会配备一把枪，使其成为一架微型攻击机。这个概念的大版本已经存在。陆军的原型自主旋翼机狙击系统由安装在小型直升机上的稳定炮塔中的狙击步枪组成()。它将为城市行动提供空中支援，天空中的一只眼睛也可以随意瞄准敌人。它的名字里有“自动”二字，因为自动驾驶仪处理驾驶直升机的棘手事务，瞄准系统自动补偿风阻和其他因素。操作员所要做的就是手持显示器上将目标对准十字准线。据一位开发人员说，它和Xbox 360控制器一样容易使用。[20](#)

当然，对于小型无人机来说，ARSS太大了。它的重量超过60磅，而笨重的. 338 Lapua Magnum步枪本身的重量是一只乌鸦的两倍。但是一架小型无人驾驶飞机不需要具备ARSS的能力，就能在一英里的距离内精确地发射子弹。如果它能从一百分之一的距离——五十英尺——击中目标，它仍将是一种有效的武器。

2011年，凯文·琼斯和他在蒙特利海军研究生院的团队试验了一架装备彩弹枪的无人机，测试了四旋翼无人机和一架类似于乌鸦的固定翼飞机()。他们的目的是确定现有的无人侦察机是否可以在不丢失无人机的情况下，有效地装备附加套件。作为一个典型的任务，武装无人机可能能够转移狙击手的注意力，以保护友军。[21](#)

他们选择这种武器不是因为它看起来像一种特别有用的武器，而是因为它将文书工作保持在最低限度。

“彩弹子弹实际上比火器更具挑战性，”琼斯说，“因为彩弹子弹的射程和飞行特性使得子弹几乎肯定会更有效。”() [22](#)

彩弹枪是为了模拟猎枪作为反狙击武器。从一个不稳定的平台精确瞄准是困难的，但是散弹枪的射程可以确保狙击手即使没有被打死也至少会分心和受伤。从80英尺

的高空，用彩弹击中目标很困难，但近距离的射击足以让目标捕捉到猎枪的部分爆炸。这种类型的攻击会让狙击手低下头，防止他瞄准友军，即使没有杀死他。

理想情况下，操作者只需点击一个目标，系统就会机动到一个射击位置并瞄准武器，就像Switchblade自动执行交战的棘手终端阶段一样，但这并不实用，因为琼斯团队可用的硬件相当基础。

“将操作员的工作量转移到软件上总是好的，”琼斯说。“但如果飞机上没有万向架和/或大量的计算机来处理图像，这将是相当具有挑战性的。”

无论如何，根据美国目前的政策，一个人将永远参与实际的扣动扳机。

琼斯用固定翼无人机和直升机无人机进行了成功的试验，但这项工作没有进一步进行，至少他的团队没有进行。

虽然瞄准有些不稳定，但实验表明，一只装备有合适轻型武器的乌鸦将能够攻击目标。有了更好的软件和更强的处理能力，应该可以用步枪型武器击中目标。

即使是彩弹枪也有它的用处。标准. 68 “口径彩弹武器的专业版本被警察和其他人用于“非致命”子弹。其中包括装载有OC灰尘的胡椒球，其效果与胡椒喷雾相同，不可擦除的标记子弹，以及用于在人质情况下打碎窗户的硬尼龙子弹（通常后面是胡椒球或类似的东西）。一架能够打破窗户的无人机将能够进入建筑物内部或者为其他人开路。

彩弹枪还可以发射燃烧弹、凝固汽油弹胶囊或磷混合物，它们在撞击时会爆炸起火。通过混合使用破窗弹和燃烧弹，一架无人机可以在许多不同的建筑内引发多场火灾。

琼斯不是唯一一个看过武装无人机的人。凤凰城的枪支专家麦克米兰国际集团开发了一种11盎司的武器，发射标准的12口径猎枪子弹或高爆炸空气爆弹。迷你猎枪最初是为Maveric手动发射无人机设计的。它似乎是为了与琼斯的无人机扮演同样的角色。

麦克米兰集团通知我，最初的项目被取消了，但他们拒绝透露后来的发展细节或该技术的现状。考虑到Maveric在美国特种部队中很受欢迎，飞行猎枪已经在使用也不是不可能的。与装有爆炸弹头的弹簧刀不同，它可以安全返回，必要时在返回前发射剩余弹药。

Snipe是静音猎鹰太阳能小型无人机的拟议武装版本，配备超现代的5.7x28mm毫米武器()。这种小口径高速子弹是为高度紧凑的手枪和冲锋枪设计的。开发商约翰·布朗认为，这种武装无人机可以在200码的距离内打击人的目标，并且可以携带50至100发子弹的弹匣。鹞还没有飞行，但可以迅速发展。[23](#)

布朗说：“如果这个项目有资金支持，我们将离拥有一个原型还有大约9个月的时间。
()[24](#)

还有其他竞争者。澳大利亚装备Metalstorm制造的Maul，号称是世界上最轻的12口径猎枪，重量不到两磅()。Maul是一种五发设计，适合步枪枪管下，用于破门或非致命子弹。Maul没有活动部件，并且是电子发射的，这使得它特别适合安装在无人机上，因为它没有普通机械武器可能出现的干扰风险。Metalstorm已经在小型无人直升机上测试了他们的技术。虽然澳大利亚母公司在2012年倒闭，但他们的技术仍然可用，截至2015年，Metalstorm USA仍在交易。[25](#)

洛克希德·马丁公司已经将多射武器视为他们的终结者LMAMS竞争者的扩展选择。终结者是一个高度模块化的系统，未来的小型无人机可能能够携带猎枪或神风敢死队炸药，这取决于任务。在协同蜂群中，散弹枪无人机的任务可能是清除防御者。

也有自制武装无人机，通过将手枪连接到商用无人机上来制造“黑客”，结果显示在YouTube上()。它们看起来很粗糙，但可能仍然致命。像贝雷塔纳诺这样的新型小型手枪的弹膛为9毫米，这是一种标准的军用口径，重约一磅，包括六发子弹，并且可以内置激光瞄准器，以便于瞄准。很容易看出这种类型的无人机是如何被派去清理建筑物的，从而减少了士兵们的生命危险。[26](#)

一架携带枪支的无人机可以执行目前携带炸弹的任务。同样，准确性比暴力更重要，尤其是在对付人类目标时。一枚500磅重的炸弹如果落在50英尺外，可能会毫发无损地把目标留在散兵坑里。一架小型无人机可以停在散兵坑的边缘，或者拿着散弹枪在散兵坑上方盘旋，这要致命得多。

一群这样的无人机将有效地阻止人们进入特定区域，军方称之为“区域封锁”。例如，没有必要摧毁一座桥来使它停止运行。如果每一辆接近桥梁的车辆司机都受到攻击，该地区将很快变得无法通行，被无人机无法移走的车辆堵塞。同样重要的是，人们可以看到，这座桥比布满地雷的桥更危险，当无人机群停在桥上或周围时，没有司机会试图穿过桥。

现有的无人机只能在人类控制者命令下释放武器。需要大量的操作人员来处理一群人可能一个接一个射击的目标流。然而，正如已经提到的，甚至手机摄像头现在也有人体检测软件。他们可以分辨场景中的人并定位人脸。识别军装只是一个小小的进步，法律要求军装具有可识别性和独特性。无人机群可能会被释放出来，负责射击给定区域内的每一个穿制服的人。

空对空

尽管小型无人机可能能够攻击地面目标并产生一些效果，但空对空作战是另一回事。没有一架小型无人机能比得上喷气式战斗机的速度，在缠斗中，它们将成为活靶子。

或者更准确地说，飞鸭。飞鸭对飞机是一场不均衡的竞争。

成群的鸟是机场周围的一个主要危险，军方和民间当局都竭尽全力让它们远离跑道。2009年的“哈德逊河上的奇迹”发生在一架空客320从拉瓜迪亚机场起飞后撞上了一群鹅，两个引擎都失去了动力。由于高超的技术和专业水平，飞行员在哈德逊河安全迫降，所有乘客和机组人员安全撤离。

无人机比鹅小，但可能会对发动机造成更大的损害，尤其是如果它们含有金属零件。从飞机的角度来看，无人机群是一个严重的导航隐患。美国空军少校约翰·明茨2013年的一项题为“不对称空战：美国空中优势的范式转变”的研究强调了这一点：[27](#)

“飞机的飞行速度加上其喷气发动机进气口的脆弱性，使得它很容易成为即使是低技术、静止的飞机群的目标。”

飞机进入机场的路径是固定的，无法防御。航空母舰也是如此：空中的无人机群意味着每次起飞和降落都会带来严重的风险。喷气发动机进气口中的一磅爆炸弹头会使任何发动机停止工作；一些现代地对空导弹的弹头比这更小。即使飞机没有被击落，失去一台发动机将意味着一项任务至少会中止，随后需要进行大修。装有MEGOL型系统的无人机可以机动到最致命的位置，瞄准驾驶舱、油箱或飞机的其他脆弱部分。

自越南战争以来，飞行员们一直在谈论“黄金BB”，一颗子弹或一小块弹片，可以通过击中脆弱的地方来摧毁一架飞机。与小型无人机不同的是，命中不是运气问题，而是瞄准问题：与其说是金色BB，不如说是智能精确制导BB。

即使远离机场，蜂群也会给飞机带来危险，这种危险的移动速度比它所跟踪的飞机要慢，但能够移动并阻挡进入特定区域，就像高科技版本的老式弹幕气球一样。

持续、成群的无人机不需要在空对空战斗中获胜。成群结队地被击落不会阻止他们。如果蜂群损失了90%的飞机，但仍然到达空军基地或航空母舰，它将能够攻击地面上易受攻击的飞机，加油或重新武装。有人驾驶的飞机很快遭受不可接受的损失；一架价值1亿美元的飞机与一千架价值1000美元的无人机的汇率对无人机的有利程度是100比1。

实际上，飞行员不太可能像步兵穿越雷区那样进入这种环境。危险太大了，飞机将被迫呆在坚固的掩体中，或者安全地呆在航母的甲板下，把天空的统治权留给嗡嗡作响的小机器。

遭受群体攻击的航母或空军基地是一座被围困的城堡——对里面的人来说，它可能感觉非常像一座无法逃脱的监狱。

非致命但危险

自杀式无人机只有一次攻击机会，而携带枪支的无人机弹药供应有限。但是，一种可以从无人机电源上运行的武器可以被多次使用，尤其是如果无人机通过电源线或太阳能电池给自己充电的话。

激光眩目器或“眼睛断续器”非常适合无人机能力。它们作为非致命武器部署在伊拉克和阿富汗，特别是用于对付司机。在汽车挡风玻璃上亮着明亮的绿灯，向驶近检查站的司机示意他们需要停车；当你看不见的时候，你就不能开车。它不会导致闪光失明，但会在眼睛内部产生足够的眩光，因此不可能看到足够远的前方以安全驾驶。确切的效果取决于具体情况，但通常情况下，驾驶员最多只能以每小时20英里的速度前进。耀眼的激光还会阻止目标有效地将武器瞄准源头。

美国驻伊拉克和其他地方的部队广泛使用了B. E. 迈耶斯制造的防眩头盔()。它的重量不到10盎司，通常夹在步枪的下面；有效射程在夜间为400米，也许是白天的一半，尽管输出仅为八分之一瓦。瞄准它就像用手电筒瞄准一样简单，把它和无人机的摄像头联系起来也足够简单。和其他武器一样，它可以瞄准摄像头检测到人脸的任何地方。[28](#)

激光眩目器对眼睛无害，但仍有危险。美国联邦航空局指出，每天大约有11起飞行员被激光指示器瞄准的案件，卡车司机和其他人也被激光瞄准，在某些情况下导致事故。装有激光眩目器的无人机可以通过让驾驶员眼花缭乱来关闭道路，或者通过在高速公路上飞行并随意炫目来制造混乱。

军事人员越来越多地使用特殊的护目镜来提供激光保护，因此战斗机飞行员应该是安全的——尽管这取决于为正在使用的激光配备合适的护目镜。其他人可能没那么幸运。

虽然这种令人眼花缭乱的无人机看起来只不过是战场上的麻烦，但它却是一种有效的“预致命”武器。任何眼花缭乱的人都无法抵御其他无人机更致命的攻击。

另一种非致命无人机已经被展示出来。混乱无人私人拦截无人机(丘比特)似乎是一个有点荒谬的想法：一架配备泰瑟枪的六旋翼直升机无人机()。它由总部位于德克萨斯州奥斯汀的软件公司混沌月亮工作室创建，并于2014年向媒体展示。这个想法是，无人机可以自主巡逻给定的区域或建筑物内部，并检测入侵者。它可以呼叫安全人员，并在他们的同意下，继续打晕入侵者。[29](#)

现代泰瑟枪型武器只需要很少的能量。早期的泰瑟枪使用了几节AA电池，但最新的版本只需要几节锂电池就能反复进行五秒钟的电击。装备这种武器的无人机可以在必要的时间内使人类目标失去能力，例如在蜂群的其他成员完成攻击时让它们停止行动。之后，它可以飞走，一次又一次地执行同样的任务。

丘比特是由一家在这一领域没有特别专业知识的软件公司建造的——并且没有得到

泰瑟枪公司的知情或同意。他们这样做纯粹是为了宣传，但这一点是有道理的。现在我们知道任何人都可以制造自己的电击无人机。

也许小型无人机能携带的最有效的非致命武器将是干扰器，我们将在下一章中更详细地探讨。

一群刺痛的蜜蜂

这一章只是暗示了群体合作行动的综合效果。无人机协同行动，可能会摧毁一座桥梁或摩天大楼，但它们能做的不止这些。例如，当一些无人机开火时，其他无人机可以阻止灭火的尝试。消防车是一种容易识别的车辆，可以被像Switchblade这样的小型无人机干掉。

二战的大火是盲目大规模轰炸的结果。群体燃烧攻击会更有计划性和指导性，选择最佳条件，并在更长的时间内用额外的攻击来培育不断增长的火焰。

读者可能会猜测，蜂群对炼油厂、化工厂或发电站等目标的打击效果会有多好——无论是核电站还是其他核电站。

无人机群的精度意味着它可以瞄准基础设施的特定方面，如通信或电力供应。这些效果是协同的，相互放大：没有电话信号和没有电源比两者都不好。当水、电和污水系统停止工作时，城市可能变得不适合居住。

正如我们已经看到的，无人机群具有无人驾驶飞机无法比拟的持久性。一旦虫群到达，它就留在原地。与有人驾驶飞机的空袭不同，无人机群不会再次消失，它会明确宣布攻击飞机已经离开该地区。只要有目标要攻击，栖息或游荡的无人机就会留在该地区，即使它们暂时隐藏起来。你可以躲在掩体里，但是你出来的时候无人机会等着你。

这次空袭永远不会结束。这种攻击的心理影响是无法评估的，但它将代表战争的一个阶段性变化。

第十次行动

最后，任何人如果觉得杀手虫群可以作为一个不可思议的虚构故事被抛弃，都应该考虑一下十大行动的灾难性后果。正如本章开头提到的，在二战之前，战列舰是至高无上的。有迹象表明战列舰容易受到空袭，但海军仍然驻扎在主力舰周围。日本人把这个想法发挥到了极致，建造了两艘“超级战列舰”，大和号和武藏号。这些战列舰重达七万多吨，是有史以来建造的最大的战列舰，也是世界上装备最好的战列舰，每艘拥有9门18英寸的火炮。[30](#)

随着太平洋战争的进行，被舰载机击沉的船只比炮火还多，来自其空中的威胁变得更加明显。大和的防御系统得到了超过160门额外高射炮的补充。

当盟军在冲绳登陆时，日本的防御变得越来越绝望。帝国空军派出了神风敢死队。帝国海军则派出大和号和八艘护航驱逐舰，执行一项名为“十进行动”(天堂一号)的针对美国人的单向任务。该战列舰将在冲绳岛附近搁浅，这样就不会被击沉，也不会为日本地面部队提供火力支援。这是一个毫无希望的任务，每个人都知道。

1945年4月7日上午10时，来自8艘美国航空母舰的近400架飞机向日军集结。日本人没有空中掩护，所以美国飞机能够从容不迫地编队攻击。第一波飞机集中在筛选驱逐舰上，使它们沉没或停止行动。

第二波和第三波攻击了战列舰，至少用八枚鱼雷和十五枚炸弹击中了大和号。炸弹伤害主要是表面的，但它摧毁了火炮导向器，用于瞄准高射炮的弹道计算装置。守军被迫手动瞄准枪支，这使得他们的效率大大降低。多次鱼雷击中后，大和号的方向舵被卡住，开始下沉。

两个小时后，船员们终于被命令弃船。已经太晚了；大和号在一次巨大的爆炸中倾覆，船被摧毁，爆炸产生了两万英尺高的蘑菇云。三千名船员中只有不到三百人幸存。

从军事角度来看，交战最重要的方面不是战舰被摧毁，而是它被摧毁得如此之容易。只有10架美国飞机在袭击中丧生，双方的伤亡比例大约是300比1。事实上，类似的伤亡比例与短暂的盎格鲁-桑给巴尔战争相似。

10-Go行动强调了一个事实，即空中力量现在在海上比大炮更重要。战舰被比它小一万倍的飞机摧毁了。有人会说，这一点早在四年前的珍珠港事件中就已经得到证明，当时两艘美国战列舰被摧毁，五艘完全被日本空军摧毁。

要理解大型载人平台即将黯然失色，需要想象力的飞跃。它们并没有突然变得无用，就像战列舰在1991年海湾战争前继续向陆地目标开火一样。但是航空母舰和它的载人飞机中队在战斗力方面会变得和旧战舰一样过时。航母战斗群和无人机群之间的战斗就像十人行动一样是单方面的。它可能不会那么血腥，但它肯定会以海军飞行员无法执行任务而告终。世界上最强大的武力投射武器将变得毫无用处，就像一艘炮筒被塞住的战舰，很容易成为其他武器的目标。

相比之下，无人机群可能是非常有效的力量投射手段。无论是通过运输机、水面舰艇或潜艇运送到该地区，还是依靠自己的力量到达，无人机群都拥有它所占据的区域。群体操作者可以对人、基础设施、建筑或军事目标进行任意破坏。他们可以随意关闭机场或封锁道路或铁路。一个现代的桑给巴尔苏丹会发现无人机在他的宫殿周围盘旋，栖息在屋顶上，准备一点一点地拆除整个建筑，直到他投降。

重要的一点是，上述大多数技术——温压仪和反应材料——目前并不在公共领域。与第4章中讨论的无人机设计的各个方面不同，它们不容易被非政府组织复制。从这个意义上来说，恐怖分子可以通过无人机运送的有效载荷将会受到更大的限制。

然而，无人机仍将是恐怖分子手中的致命武器。一枚500磅重的汽车炸弹在体育场外造成的伤害比小型无人机要小，小型无人机携带的破片弹头在拥挤的看台上方20英尺处爆炸。自杀式炸弹袭击者无法进入政府大楼，但无人机可以攻击任何楼层的任何房间。防弹玻璃可能会阻止前一两个，但不会阻止其余的。

恐怖分子没有政府那样的限制，可能会决定用化学或生物武器武装他们的无人机。即使少量沙林或其他神经毒剂也可能导致大规模死亡。制造化学武器完全在许多集团的能力范围之内。1995年，恐怖分子在东京地铁释放沙林毒气，造成12人死亡，约1000人受伤。

这就引出了一个不可避免的问题：我们能阻止无人机群吗？

参考

1) 在越南战争期间，“循环错误可能……”

哈佛大学法学院。精确制导弹药与战争新时代。空军研究中心。

2) 清和桥袭击

华润安德雷格。(2001)。塞拉酒店:越战后十年的飞行空军战斗机。政府再版出版社

3) 施韦因福特滚珠轴承突袭

第二次世界大战:第八次空军突袭施魏因福特。(未注明日期)。

4) B-1兰瑟针对萨达姆·侯赛因的打击

布莱尔特区。针对萨达姆的智能炸弹杀死了家庭。每日电讯报。

5) M150穿透增强弹药。

6) 泰克火炬

汉布林, D. (n. d.). 切割钢铁的超高温火炬。大众力学。

7) 巴尼和巴姆-巴姆反应拆除弹药

汉布林博士(2008年5月)。反应式革命:迎接粉碎机。有线的。

8) ATK无功

医学博士。矿山和拆除系统中的活性材料。

9) I-90内带桥梁拆除

格兰特, A. (2014年6月)。数千人聚集在一起观看清晨内带桥的内爆。

10) SMAW-东北温压弹头

汉布林博士(2005年11月14日)。海军陆战队对残酷的新武器保持沉默。DefenseTech。

11) AGM-114N金属增强电荷地狱火

AGM-114N金属增强装药(MAC)温压地狱火。

12) XM0160温压弹

汉布林博士(2007年)。温压弹摧毁了房子? 。WIRED。

13)“一种燃烧的露珠”

美利坚合众国, 吉兰。1945年东京火灾袭击。

14) 项目x光蝙蝠炸弹

j. 库弗 (2008年)。蝙蝠炸弹: 二战的另一种秘密武器。奥斯汀: 德克萨斯大学出版社

15) AT-4火箭筒

[M136 AT4, 操作和功能。\(未注明日期\)。](#)

16) 多元醇

[美国空军SBIR描述\(现已删除\)。\(未注明日期\)。](#)

17) AGM-114R

[美国陆军简报。\(未注明日期\)。](#)

18) [先进弹头技术。](#)

19) MAHEM

[英国梅西。磁流体动力爆炸性弹药。](#)

20) 自主旋翼机狙击系统

[汉布林博士\(2009年\)。陆军测试飞行机器人狙击手。有线的](#)

21) 凯文·琼斯武装无人机项目

[汉布林, D. \(n. d. .\)。武装四旋翼飞机来了。大众力学。](#)

22)“彩弹轮实际上更具挑战性”——2012年6月凯文·琼斯对作者的采访

23) 狙击武装太阳隼

鹞鸟。

24)“如果项目资金到位”——约翰·布朗给作者的电子邮件

25) 金属风暴MAUL

格里格, d . 金属风暴完成MAUL霰弹枪的第一次肩射。Gizmag。

26) 自制手枪无人机

Lavars, N. (n. d .)。国产手枪无人机吸引美国联邦航空局调查。”GizMag。

27) 不对称空战:美国空中优势的范式转变

明茨, 新泽西州。不对称空战:美国空中优势的范式转变。

28) 眩光MOUT激光炫光器

眩光MOUT。(未注明日期)。

29) 丘比特

美国北卡罗来纳州哈尔弗森, 一架泰瑟枪无人机可以用80K伏特电击罪犯。(未注明

日期)。

30) 十进制操作

英国希克曼。第二次世界大战:十人行动。

第九章-与虫群战斗

[回到顶部](#)

“他们是高德！子弹挡不住他们。”

-医生“自治的恐怖” (编剧罗伯特·霍姆斯)

当威廉·梅雷迪思在肯塔基州希尔维尤看到一架小型四旋翼飞机在他家附近盘旋时，他立即起了疑心。他的两个女儿在后院玩耍，他怀疑无人机在监视她们，或者在找房子盗窃。无人机已经被偷窥狂和窃贼使用。梅雷迪思拿到了他的猎枪。当无人机飞过他的领地时，他放飞了，轻而易举地将它击落。车主很快出现了，警察紧随其后。他们指控梅雷迪思向空中开枪，犯有刑事伤害和危害人类罪。[二](#)

像这样的情况让小型无人机看起来很容易被杀死。在关于这个话题的讨论中，人们开玩笑说要用苍蝇拍。业余爱好者驾驶的四旋翼飞机当然容易受到最基本的攻击，YouTube视频显示，无人机被啤酒瓶、石头、足球和其他简易投射物击落。甚至有一段黑猩猩用棍子击倒一只黑猩猩的视频。正如梅雷迪思所展示的，枪支让事情变得更加容易。类似的案例包括德克萨斯州的猎人击落了一架由动物权利组织驾驶的无人机。。

虽然几十英尺外的悬停无人机是一个容易的目标，但在几百英尺高空盘旋的无人机远远超出了任何投掷导弹的射程，对射手来说是一个具有挑战性的目标。一架无人机以每小时100英里的速度接近——就像弹簧刀一样——几乎不可能被击中。

猎人们很难在大约80码的地方击中飞行的大雁，即使散弹枪的射击也是如此。用步枪打一架更难，把子弹穿过无人机的凯夫拉尔机翼可能只会让它摇晃。与一只鹅或一架装有燃料的“湿翼”飞机不同，无人机只有击中要害部位才能严重受损。

像弹簧刀这样的致命无人机将在大约两秒钟内覆盖目标的最后80码，它的身体呈现一个4英寸宽的目标。它可以低空飞行，使其低于地平线，在杂乱的背景下很难看到。它可以在完全黑暗的情况下攻击，正如在群集猎人一节中看到的，无人机会同时从几个方向进入。有些甚至可能来自目标的垂直上方。

击落一些攻击无人机是可能的。但是蜂群很强壮，伤亡不会困扰它们。任何曾经面对过一群黄蜂的人都会知道，如果有一只碰到你，你就有问题了。致命无人机的问题要严重得多。击落一架手无寸铁的无人机很容易。一群致命的无人机是另一回事。如果每个向蜂群开火的人都迅速成为目标并被消灭，很少有人愿意冒着生命危险举

枪。

简易武器和小武器只能阻止简单的无人机，而且数量有限。真正的蜂群只能被有组织的防空部队阻止。

2015年初，美国特勤局在DC华盛顿州进行了飞行测试，以开发一种新的方法来应对小型无人机的潜在攻击()。打击恐怖主义技术支持办公室——五角大楼为应对新型恐怖威胁而成立的一个组织——也在研究同样的问题()。双方都担心现有的防御不足，并正在寻求新的方法。[23](#)

防空101:追逐齐柏林飞艇

防空历史悠久；早在1910年，美国海军就在调查用来对付敌机的爆炸炮弹。这是第一枚炸弹从作战飞机上投下的一年前。

一些人怀疑是否真的有空中威胁。1914年，人们对空袭是否合法进行了大量辩论。由于对一个城市的任何攻击都会伤害无辜的平民，普遍的看法是，根据战争法，这是不可接受的。

德国最高统帅部不这么认为。他们用齐柏林飞艇对伦敦发动了一系列突袭。超过500英尺长，有18名船员，P级齐柏林飞艇看起来比实际情况更危险。它只携带了三千磅炸弹，从高空轰炸纯属运气。夜间轰炸实际上是随机的；通常船员甚至不知道他们在哪个城市的上空，而只是瞄准下面的灯光。这艘巨大的飞船依靠正确方向的风，任务一再被恶劣的天气所阻挠。

战斗机花了很长时间才爬到齐柏林飞艇的高度，在黑暗中找到一架飞机被证明是惊人的困难。需要地面防御。伦敦对齐柏林飞艇袭击的回应是一门安装在装甲卡车后部的75毫米加农炮()。由于它是可移动的，它可以出去迎接飞行缓慢的攻击者。中校罗林森写道，在一次突袭中，他不得不高速穿过伦敦拥挤的街道：[四](#)

“我很有信心，任何开车的人都不会忘记它的任何部分，尤其是牛津街(伦敦繁忙的购物街)，它呈现了一个几乎令人难以置信的景象。……我还观察到几起人们趴在商店橱窗上的例子，当时的公众比任何德国炸弹都更加害怕以如此惊人的速度移动的枪支。”

当罗林森到达一个合适的射击点时，他停下卡车，开火了。炮弹爆炸未能损坏齐柏林飞艇，但可能有助于将其赶走。无论如何，这一事件表明，即使是大的、移动缓慢的目标也比预期的更难击中。

这是防空的开始，一个以快速进化和随机应变为标志的领域。在WW1的西线，机枪和各种各样的光炮被迫投入使用，向装备有机枪和手投炸弹的双翼飞机射击。大炮主

要是发射一两磅炮弹的速射武器。结果并不令人印象深刻，当更好的飞机被引进，飞行速度越来越高，防空变得更加困难。到了20世纪20年代，人们普遍认为没有什么能阻止对城市的大规模空袭，用当时一句著名的话来说，人们得出的结论是“轰炸机将永远通过。”

到第二次世界大战时，出现了各种口径的专用防空武器，包括著名的德国88毫米高射炮——高射炮是Flugzeugabwehrkanone或“飞机防御炮”的简称随着轰炸机变得更快、飞得更高，需要更强大的火炮，就像美国的“同温层炮”，理论上，它可以发射一枚50磅重的炮弹，击中57000英尺高的飞机。

实际上，远距离击中快速移动的目标是不太可能的。战前，据估计这些枪每200发子弹能命中一发。实际上花了将近两万。一发炮弹在高空到达目标需要10秒或更长时间，在这段时间内，二战轰炸机的飞行长度将是自身长度的50倍左右。对射程或速度的最轻微的错误估计意味着炮弹没有击中的机会。高射炮组向迎面而来的轰炸机编队发射了一幕炮弹，而不是单独瞄准。大量的炮弹爆炸至少起到了威慑作用。在战争后期，当探测到附近有飞机时就会爆炸的近距离炮弹，大大提高了炮弹至少造成损害的可能性。

防空部队很少击落攻击飞机。炮弹没有击中飞机，而是向飞机喷射高速弹片碎片。弹片通常会造造成轻微伤害或机组人员受伤，但这可能会迫使飞机中止任务，一瘸一拐地回家。击落一架飞机需要一次幸运的撞击，或者几次未遂事件的累积伤害。

一项二战调查发现，第八空军80%的受伤都是由弹片造成的，这导致了第一批防弹衣的研制。这些厚重的衣服是由重叠的钢板制成的，拯救了许多人的生命。相关的M5腹股沟盔甲发给了像飞行员这样的坐着的人员，也非常受欢迎。

在战术方面，每辆坦克和半履带车都有一挺机枪用于防空，吉普车和卡车都装有双座或四座机枪，以建立一堵火墙。同样，击中快速移动的目标也很困难。

一种方法是让机枪的每四颗子弹中就有一颗是磷曳光弹，留下发光的痕迹。这显示了子弹的路径，所以炮手可以调整他的目标，将可见的子弹流导向目标。就像大型火炮的炮弹爆炸一样，曳光弹流也是一种威慑：它需要钢铁般的勇气才能故意飞入枪林弹雨。

对于大型武器来说，计算瞄准镜和火炮导向器是必不可少的。同样，击落飞机也很困难，但几发子弹穿过方向舵或襟翼，或者损坏发动机或油箱，都会说服攻击的飞行员停止攻击。

神风敢死队威胁

1944年末，当日本人采用自杀战术时，防空力量被消耗到了极限。特种攻击部队由

所谓的神风敢死队飞行员组成，他们将满载炸弹的飞机撞向美国船只。

神风敢死队的袭击有两种。有时，单个飞行员会间隔攻击，目标往往是在之前的攻击中受损的船只。在某些情况下，消防队或损坏修复人员被后续人员杀死；至少有一次，一名神风敢死队队员从先前神风敢死队队员留下的船舷洞里飞了进来。在其他场合，日本人进行菊池（“漂浮的菊花”）袭击，大量的人立刻从四面八方涌来。

与其他飞机不同，神风敢死队没有被轻微的损坏所吓倒。机枪以及20毫米和40毫米加农炮始终无法阻止神风敢死队击中目标。只有五英寸大的舰炮才能一击摧毁一架飞机。

“你必须炸掉它们，损坏它们没有多大意义，”一等水手詹姆斯·法赫在他的神风敢死队袭击回忆录中写道。() [5](#)

神风敢死队的军事效力仍然是一个有争议的问题。一位分析人士计算出，由于与伤亡人数相比，他们的命中数如此之多，神风敢死队的每次攻击比其他类型的攻击让日本人损失的飞机更少。数字是有争议的，但是大约3000次神风敢死队攻击击沉或损坏了大约400艘船只。

毫无疑问的是攻击的心理效果。第三舰队司令哈尔西上将形容神风敢死队在冲绳遭到攻击后是“我在战争中唯一害怕的武器”。

“看起来像是飞机部件在下雨，”法赫写道。“它们掉了一船。相当多的人被日本飞机的大碎片击中。”

直到1945年4月，报纸报道一直受到审查，但自杀式袭击对那些面临袭击的人产生了巨大的心理影响。“战斗疲劳”造成了数千人的伤亡，这是创伤后应激障碍的名称，在海军中很少见。这种心理影响可能是无人机群持续攻击效果的先兆。

哈尔西上将对神风敢死队的解决方案是对他们的机场进行密集的空袭。海军航母航空兵联队和陆军空军B-29在地面上摧毁了大量神风敢死队，结束了一个无法被高射炮阻止的威胁。

高射炮的终结

当喷气式发动机在40年代末被引进时，飞机飞得更快更高。很明显，枪支无法在很长时间内切断它。

导弹相当于智能炸弹的防空当量。一发炮弹击中目标，保证了击落，而不是发射数千发子弹并指望幸运命中。寻热导弹在近距离有效，而带有雷达制导的更大更重的导弹在更远的距离接管。

20世纪60年代，美国步兵以红眼导弹的形式进行个人防空。这是一种便携式寻热导弹，可以在两英里外击落一架快速喷气式飞机，这几乎是一个不可能的壮举，即使是一门必须装在卡车上的四倍重机枪。早期版本的红眼飞机的主要问题是，它纯粹是一种“复仇武器”——它只能从后面锁定喷气式飞机的排气装置，所以在飞机飞过并轰炸你之前，你无法击落它。

在同一时期，耐克大力神提供了免受重型轰炸机攻击的保护。这枚导弹有40英尺高，飞行速度为3马赫，射程为80英里。当“红眼”号携带两磅炸药时，耐克大力士装备了一个20千吨的核弹头，能够一口气击落一整队轰炸机。

陆军保留了几门战术高射炮作为备用。特别是，导弹在不到半英里的地方用处有限。俄罗斯在20世纪70年代开始派遣重型装甲米-24 Hind武装直升机中队。这些装备了强大的制导反坦克导弹，并威胁在战争中摧毁北约装甲师。北约的计划者认为现代需要一种新的基于火炮的防空系统。它被称为M247或约克中士，以一位著名的美国陆军神枪手()命名。[6](#)

该计划是将现有的M48巴顿坦克改装成一个新的炮塔，配备一对二战时期的40毫米火炮。手动瞄准是不够的；它将由一架装有新的计算机化火控系统的F-16飞机的雷达引导。理论上，约克中士看起来是个不错的提议。

结果是十亿美元的惨败。巴顿坦克的底盘已经磨损，在三百英里的道路测试后放弃，而不是计划的四千英里。40毫米口径的枪支储存不当，状态不佳。最大的缺陷是雷达；它是为在开阔的天空中进行空对空作战而设计的，无法处理地面上所有的杂乱回波。它很容易被挥舞的树木之类的东西弄糊涂，误以为是直升机。在一次测试中，一架无人驾驶战斗机在被击中前必须飞行17次以上。

在另一次测试中，约克中士避开了一个无人机目标，将枪口对准了一个厕所风扇，并误认为是一组旋翼桨叶。测试目标增加了雷达反射器，以使它们更突出，并确保雷达可以锁定。一位评论员称之为“通过让猎犬发现一个人独自站在一个空荡荡的停车场中央，身上覆盖着牛排，来展示猎犬的能力。”

六年18亿美元之后，约克中士被取消了。

这些天美国陆军唯一的高射炮是安/TWQ-1复仇者。这是一辆悍马，带有一个防空炮塔，携带八枚毒刺导弹和一挺0.50口径机枪。大部分防空力量完全集中在导弹上。但是什么导弹！

终极导弹

虽然高射炮已经陷入了实际上的灭绝，但导弹却蓬勃发展。他们的外在变化不大。现代毒刺看起来很像20世纪60年代的红眼，爱国者导弹看起来像旧耐克的小版本。

他们不是更大更强大，而是更聪明更敏捷。和炸弹一样，智力胜过暴力。

现代导弹可以更快地发现目标，摆脱困扰约克中士的混乱。它们对于干扰和欺骗有很强的抵抗力。在被称为“终极交战阶段”的死亡之舞中，它们更难以避免，当导弹逼近时，飞机疯狂地机动，拼命试图逃跑。

防空已经成为雷达操作员和装备有电子战吊舱、诱饵和以雷达发射为目标的导弹的“防御压制”飞机之间的决斗。攻击者试图无视、迷惑或躲避防御，并靠近发射导弹。雷达信号就像黑夜中的探照灯，在广阔的区域宣传自己的位置。雷达操作员的反应只是隔一段时间打开雷达，并在可能的情况下移动位置。这是一场对决，胜负很大程度上取决于谁的技术最好。

爱国者导弹目前的改进是最先进的。这是从被誉为(不准确地)1991年海湾战争的飞毛腿克星的导弹延续了几代。这种1500磅重的导弹几乎以每秒1英里的速度飞行，可以在100英里外从树顶高度到8万英尺的任何地方摧毁一架飞机。“爱国者”每发子弹花费超过一百万美元，是对付一系列目标的有效武器。一组爱国者可以防御像Hind这样的攻击直升机、攻击机、重型轰炸机，现在可以有效对抗飞毛腿和其他弹道导弹。

最近的焦点是调整爱国者导弹防御系统，因为击落飞机根本不是问题。美国在最近冲突中的空中优势意味着没有人能够轰炸美军。根据美国空军的2014年态势声明：

“自1953年4月以来，大约有700万美国军人被部署到世界各地的战斗和应急行动中。成千上万的人在战斗中死去。没有一个人被敌机炸死。我们打算保持这种状态。”()
七

在不久的将来，情况可能会不同。

导弹对无人机

对爱国者来说，击落大型慢速、非隐身无人机，如“捕食者”或“收割者”，简直是儿戏。正如我们所看到的，对大型无人机的一个主要批评是，它们在防御空域中没有用处。无人机群是另一回事。爱国者导弹电池的尖端由四个运载火箭组成，每个运载火箭有四枚导弹准备发射。原则上，一个爱国者营一次可以搭载16架飞机。虽然两枚或更多的导弹有时可能会以不同的轨迹向一个困难的目标发射，但电池可能会在几秒钟内摧毁16架收割者。

爱国者是否能击中小型无人机完全是另一个问题。军方不愿意讨论爱国者能锁定多大的目标，以及手动发射的无人机是否对其可见。很难想象一枚四分之三吨重的导弹与一架四磅重的无人机交战。即使每一枚导弹都工作得很完美，第十七架无人机也能通过——和所有跟随它的人一起。

爱国者导弹电池依赖雷达，易受攻击；一次击中可能会使整个电池停止工作。无人机可能会瞄准运载火箭和人员。像“爱国者”这样的系统没有装甲来抵御攻击，运输“爱国者”的M983卡车和任何其他卡车一样容易受到攻击。导弹是充满易燃火箭燃料的爆炸目标。

除非你有一整中队的飞行员愿意牺牲自己的生命，否则你无法用有人驾驶的空袭压倒爱国者炮台。虽然这种单位可能存在于伊朗革命卫队，但它们通常不会出现在现代空战中。

另一方面，无人机不受伤亡影响。用爱国者对抗小型无人机就像试图用狙击枪阻止一群愤怒的黄蜂。数百或数千架无人机将会势不可挡。

在第二次世界大战中，对战术空中威胁的反应是在陆地和海上都发放大量机枪。但是机枪对无人机的用处有限——即使你及时看到了它们。

也不能通过向每个士兵发放毒刺来解决问题；每张照片的价格超过38000美元，它们太贵了，不能大量购买。更糟糕的是，像“毒刺”这样的导弹是寻热器，依赖于目标有一个热发动机。一架带电动马达的小型无人机是看不见的。

正如我们在上一章看到的，空中力量对蜂群同样无能为力。美国空军的F-22A猛禽战斗机可以说是世界上最好的战斗机，但是它的六枚雷达制导的AMRAAM导弹和两枚红外侧风器不会削弱一群，即使它们能够锁定。猛禽的20毫米加农炮没什么区别。旋转加农炮有很高的射速，以确保很好的命中机会，整个弹匣被六次一秒的爆发消耗掉。

一架战斗机能否击中小乌鸦还有待商榷。由于失速速度的限制，猛禽飞行员会以每小时超过100英里的相对速度接近，几乎没有时间排队射击。

令人怀疑的是，一名飞行员是否会为了慢慢消灭无人机群而冒着灾难的风险。前一章中概述的对飞机的危险表明了为什么没有战斗机飞行员想要靠近它们。

对大多数对手来说，制空权意味着摧毁敌人的领空，这样他们的飞机就不能起飞或降落。这就是神风敢死队威胁的答案。机库，甚至是坚固的机库，都可能成为攻击目标。敌人的空军可以在地面上被摧毁，除非它采取激烈的措施，比如1991年逃到伊朗的大约100架伊拉克空军喷气式飞机。

小型无人机不需要跑道、空军基地或机库。如果它们能在储存或运输过程中受到攻击，就有可能一次性销毁大量的武器。但一旦发射，它们几乎不受常规空中力量的影响。

黑色飞镖的秘密世界

五角大楼完全意识到小型无人机的威胁，但其应对计划一直保密。我们对反导弹、防空、反潜和其他武器了解很多，但对无人机的防御却知之甚少。

“黑色飞镖”是自2010年以来举行的年度演习，旨在评估反无人机战术^()。这是一次有陆军、海军和空军人员参加的联合演习。关于使用的设备、测试的目标或结果有多好(或多差)，几乎没有透露。⁸

黑镖专注于1级和2级无人机，这是最小的类型，可能会对现有的防御造成问题。2014年黑色飞镖的公众形象包括展示无线电控制的模型飞机，以显示可能的威胁，从50磅重的无线电控制喷气式飞机——一架F-84战斗机的比例模型——到几盎司重的四旋翼飞机。

大约1400名参与者参加了2014年黑色飞镖，他们拥有85个“系统”，包括武器、传感器和干扰器等电子设备。11种有人驾驶飞机参与了演习，还有一艘美国海军巡洋舰。对于目标，他们有13种无人机，从翼展超过100英尺的全球鹰到14英寸的Bandito，后者可以从更大的无人机上发射。大型无人机在那里测试目标探测和跟踪，但一些小型无人机被击落，成为巡洋舰速射方阵炮和五英寸炮的受害者。然而，细节很少。

某种程度的保密是可以理解的。你不希望潜在对手知道什么战术对小型无人机或试图对抗它们的人最有效。如果黑镖发现几十架无人机从多个方向发起攻击几乎不可阻挡，那么向敌人宣传这一点就不好了。

然而，保密也让纳税人对无人机防御一无所知。Firebees成功对抗美国防空系统的尴尬意味着很少有人知道无人驾驶飞机有多有效。或许军方从约克中士的溃败中学到的最大教训是不要过于大声地宣传自己的失败。

反UAS

在自己成功使用了“乌鸦”和“弹簧刀”之后，美国陆军知道，他们面对具有类似能力的对手只是时间问题。他们意识到自己防御的差距。

美国陆军军备研究、发展和工程中心(ARDEC)有一个反无人机系统项目来填补这一空白^()。这就是所谓的“系统系统”，包括各种不同的传感器、中央控制系统和各种武器。这个想法是，所有这些都可以即插即用，所以一个新的声学传感器或一个新的导弹可以添加到混合时，它是可用的。不管是什么，它都需要便宜，这样才能大量发行。⁹

“ARDEC的重点是开发一个负担得起的近距离反UAS系统，能够击败较小规模的无人机系统，”ARDEC的项目官员汉尼拔人民说。^()¹⁰

资金紧张，C-UAS的开发商知道他们不会获得资金购买一套全新的武器来对抗小型无

人机：“我们希望利用现有的武器系统来应对这一威胁，同时保持对抗常规目标的能力。”

已经展示了三种不同的反无人机能力。其中一架无人机中，传感器检测到一架无人机，并将瞄准信息传递给遥控炮塔，自动瞄准威胁。

许多小型车辆现在都有遥控炮塔，被称为乌鸦或船员操作的远程武器站。它们是在阿富汗和伊拉克引进的，当时在车辆顶部安装一个机枪手的方法被证明太危险了。半坐在车外意味着炮手没有受到车辆装甲的保护，许多人被路边炸弹炸伤。耗资数十亿美元的CROWS项目为悍马和其他车辆提供了带摄像机和热成像的动力机枪炮塔，在车内安全操作。这些炮塔甚至不需要士兵来操作它们：因为它是电子控制的，所以计算机可以像人类一样容易地瞄准枪。不过目前，开火的决定必须总是由操作员做出。

这引起了约克中士的恐惧。从理论上讲，利用现有的车辆和武器，让它们与新的传感器和新的控制系统一起工作听起来很简单，但实际上可能很困难。此外，拥有可以选择自己目标的自动炮，这在无人机从各个方向和各个角度发起群体攻击的情况下实际上是必要的，这可能会导致问题。关于友军火力逼近的思考。如果反无人机防御的代价是士兵在自相残杀的炮火中丧生，那么这将不是一个有效的解决方案。如果武器会射到自己人，士兵不会打开它。

第二个版本采用了一种新的“炮射弹药”，这个术语用来描述从大炮发射的制导炮弹。这种武器最初是用50毫米口径进行测试的，这种口径并没有被美军广泛使用，但如果开发出一种更小的版本，它可能会给安装25毫米加农炮的M2布拉德利这样的车辆提供反无人机能力。这种类型的子弹更有可能用于对付更大的无人机，但对乌鸦大小的目标足够致命。

美国海军开发的另一种反UAS努力是基于海军的“尖峰”导弹。这种导弹被描述为一个长棍面包的大小，是世界上最小和最便宜的导弹，主要由现成的部件制成。设计理念与MITRE团队的Razor无人机方法非常相似，拒绝昂贵的“精致”定制电子产品方法，以制造既便宜又多的东西。例如，它使用摄像机而不是昂贵的激光导引头进行激光制导。

斯派克重五磅，有一个一磅重的弹头，使其与威胁大小相同。（前面提到的较新的派克导弹更小，但可能更贵）在与基于机枪的防御相同的传感器和控制系统的指导下，斯派克将提供一种射程更远、更致命的替代方案，具有智能武器的效力。一发只要5000美元，只是“毒刺”和其他现代防空导弹的零头，而且比目前的军用无人机还便宜。如果有足够的数量，这看起来是对付蜂群最可行的方法。

出于安全原因，许多关于C-UAS的问题无法回答，这表明美国陆军正在认真对待这一威胁。该项目可能会从最近的C-RAM项目中吸取一些教训，该项目旨在保护部队免受

火箭、迫击炮和大炮的攻击。但是，虽然C-RAM的威胁很容易从远处看到，并以可预测的轨迹行进，但敌方无人机可能不会直线移动。火箭、迫击炮和炮弹通常一次只能到达几个；蜂群的最大问题是可能有成百上千个目标同时出现。

早期的内存只是为了保护安装。C-UAS将不得不保护战场上的士兵，这可能会更具挑战性。这并不像用装在卡车后面的加农炮追逐齐柏林飞艇那样困难，但它也有一个假设，即我们现在拥有的工具只能完成这项工作。但是还有其他选择。

单向能量

用大炮或机枪打无人机并不容易，即使是雷达制导、计算机控制的瞄准。但是用激光打一个要容易得多。

激光武器一直对军事头脑有一定的吸引力，因为在它们存在之前。HG Wells 1901《世界大战》中的热射线看起来像是战争的未来。一种以光速打击并能像探照灯一样容易瞄准的武器，本质上比任何枪都精确。有了激光，即使有快速移动的目标，也不需要计算领先。一个以2马赫速度运动的喷射流，在激光束从10英里外到达它所需要的时间内，大约行进了1英寸。从激光诞生的第一天起，五角大楼就一直试图将它们变成武器。

虽然激光无处不在，从DVD播放机到激光打印机和宽带连接，激光武器未能实现。问题是产生足够强的光束所需的激光大小。一位研究人员开玩笑说，用高功率激光杀死某人的最好方法是把它扔在他们身上。

但是，虽然摧毁坦克或飞机不是他们的专长，但激光早就能够摧毁无人机。1973年11月，美国空军展示了最早的激光武器，用二氧化碳气体动力激光器击落了新墨西哥州上空通常倒霉的无人机()。从那以后，示威活动一直在定期进行，火鸟无人机是经常的目标。激光总是太大太脆弱，无法制造实用武器，或者有其他缺点。[11](#)

这种情况正在改变。移动激光武器目前在几十千瓦的范围内。与早期由化学反应驱动的激光器不同，它们是电动的，因此只要它们有能量，就可以一直发射，这给了它们一个有效的无限弹匣。它们的威力不足以烧穿装甲，但能够摧毁导弹或小型无人机。

激光相对于小型无人机的最大优势是每次发射的成本非常低。用一枚价值5000美元的导弹击落一架价值1000美元的无人机并不是一个制胜策略。1美元的精确制导激光能量爆发更有意义。此外，激光没有有限的弹药供应，但只要发电机有燃料，它就能继续发射。原则上，只要无人机继续到来，它就能继续开火，尽管激光在一段时间后仍然会过热。

有几个这样的系统正在开发中。美国海军的陆基防空定向能移动(GBAD)是典型的()。

这特别旨在提供“一种负担得起的传统火力替代方案，以防止敌方无人机跟踪和瞄准地面上的海军陆战队。”(海军为海军陆战队开发系统)。 [12](#)

GBAD系统将由悍马大小的战术车辆携带，作为对敌方无人机的防御。截至2014年，它的功率为10千瓦，但一个完整的30千瓦系统应该会在2016年投入使用。由此产生的短暂爆炸应该能够“禁用、损坏或击败”无人机。即使它没有彻底摧毁无人机或导致无人机坠毁，激光也会烧毁光学系统，损坏敏感的控制表面或其他部件。

与此同时，美国陆军自己的车载高能激光移动演示器(HEL MD) ()正在沿着一条渐进的发展道路继续前进。该系统的启动功率为10千瓦，但将被提升到更高的功率，能够跟踪更大范围的目标。 [13](#)

一个更大的系统已经在使用中。美国海军的原型激光武器系统(LaWS)已经安装在“庞塞”号航空母舰上，并将与现有的“方阵”近距离武器一起工作。LaWS实际上是六个工业焊接激光器，光束会聚在目标上，将用于对抗无人机、巡航导弹和小型船只。 () [14](#)

中国人也是这么想的。2014年11月，新华社报道了一个专门设计用于对付小型无人机的中国新型激光系统。它的射程为一英里，可以在五秒钟内击落一架小型无人机。官员们承认恐怖分子使用无人机的威胁，并表示新的激光将“在确保城市地区重大活动期间的安全方面发挥关键作用。” () [15](#)

该激光器是在中国工程物理研究院的帮助下制造的，能够有效对抗时速高达110英里的无人机。

激光应该比枪炮或导弹更有效地击落小型无人机。然而，这种接触很可能是短期的。尽管激光的射程可能达到一英里或更远，但一旦被发现或开始发射，无人机群很可能会下降到很低的位置，并紧贴地面进行掩护，最多将激光的有效射程限制在几百码。

这就变成了激光系统能多快探测、跟踪、瞄准和摧毁来袭无人机的问题。这将决定激光在泛滥之前能击落多少群成员。如果从几百米开始，无人机不到十秒钟就能进入近距离。根据这些数据，中国激光在开始被击中之前可能会得到两三架无人机。

如果有效，激光系统可以在部署的地方提供一个防御泡泡，保护船只、前方作战基地和车队。如果它们能大量廉价生产，那么它们也许能提供一把有效的雨伞……但即便如此，雨伞仍可能被足够大的虫群淹没。

这种情况假设无人机开发者只是忽略了来自激光的威胁；在实践中，他们会提出对策。高能激光在单一波长下工作，因此任何反射或吸收该特定波长的东西都可能降低其效率。激光防御可能会被镜像鼻锥这样简单的东西击败，尽管这并不像听起来那么容易。反射表面必须适合它所面对的激光类型。对可见光波长的激光有效的东

西对红外或紫外激光无效。

激光保护不需要绝对。保护意味着每架无人机需要几秒钟而不是一秒钟来摧毁，这将保证蜂群的成功。

激光对抗已经在路上了。2009年，海军要求为小型无人机提供激光保护系统，该系统的体积小于15立方英寸，每架成本不到1000美元。加利福尼亚州欧文市的Adsys Controls公司赢得了一份保护装置的合同，该装置通过快速探测进入的激光并部署“破坏定向能武器跟踪机制的新型对策”来工作()这可能类似于气溶胶产生反射云来迷惑激光跟踪系统。有趣的是，美国海军希望将这种反制措施作为现有无人机的补充。开发持续到2012年的第二阶段，该系统现在可以运行。[16](#)

小型无人机进化很快。开发、制造新的移动激光系统并投入使用需要很多年，但无人机可以在几个月或更短的时间内进行改装。整个舰队不需要升级；蜂群只需要足够多的防激光成员来对付遇到的任何激光防御。

GBAD的开发成本大约在2200万美元以上，如果单个单元投入使用，成本可能会很高。说到数字游戏，每次都能吸收伤亡的廉价无人机群都赢了。如果激光真的变得又小又便宜，那么激光武装无人机将是一个早期应用。

电磁脉冲武器

虽然激光可能无法足够快地摧毁无人机，但另一种未来定向能武器可能会利用无人机的致命弱点：电子设备。电磁脉冲或高功率微波束在电子元件中产生强电流。如果你把金属箔放在微波炉里，你会看到一些戏剧性的火花——并破坏微波炉。同样的火花使得电磁脉冲对电子设备如此有效。在极端的情况下，它可以把它们烧掉，使它们变得无用；在较低的级别，它会导致暂时的故障和故障，因此设备需要重新启动。

一个问题是，EMP还会摧毁射程内的所有友好电子设备。电影《黑客帝国革命》是一部不以科学准确性著称的系列电影的一部分，它至少做到了这一点：主角们使用了电磁脉冲武器，消灭了第一波攻击无人机群，但让他们在下一波攻击中更加脆弱。

关于公共领域的EMPs和高功率微波的信息很少。尽管有传言称在伊拉克和其他地方进行了试验，但没有任何电磁脉冲武器被正式用于作战。

电磁脉冲装置有两种类型：一种类似雷达，有一束窄而强的无线电波。另一种是将爆炸能量转化为向四面八方发射的无线电脉冲的炸弹。

2012年10月，空军研究实验室宣布测试其反电子高功率微波先进导弹项目(CHAMP)。由波音公司的幻影工厂开发，安装在巡航导弹上，将其能量集中在一个狭窄的光束

中，以降解或摧毁电子设备。一段名为“熄灯”的活动视频显示，当CHAMP被激活时，电脑屏幕变得空白。CHAMP能够对不同的目标进行多次攻击，在两次zap之间需要“几十秒”的时间给自己充电。() [17](#)

CHAMP看起来是摧毁通信中心、指挥和控制，甚至现代文明的大部分功能的有效方法。一个脉冲，敌人就被送回到十九世纪，那时没有电脑、汽车、电视、电话，或者任何我们认为理所当然的小玩意。

CHAMP还没有完全准备好行动。需要一个后续计划，SUPERCHAMP，以将其能力扩展到“操作相关范围”

还有小得多的武器。美国陆军正在研制一种手榴弹大小的电磁脉冲装置。() [18](#)

产生电磁脉冲的爆炸装置可能造成几十米或几百米的伤害。由于对给定目标的影响本质上是不可预测的，所以不可能准确说出它会做什么。不仅仅是不同的组件在不同的功率水平下失效；脉冲的效果取决于它击中目标的角度。在有线电视和卫星电视出现之前的日子里，电视所有者发现自己在挥舞着电视天线来获取信号，因为图像的质量取决于把它准确地指向信号来自哪里。电磁脉冲的情况类似，脉冲可能会造成严重的伤害，或者根本不会造成伤害，这取决于目标面对的方向。

效果还取决于目标中组件的排列。例如，现代汽车依赖于电子系统，可以被适当强大的微波脉冲禁用。问题是不同的汽车所需的脉冲强度差别很大。这阻碍了微波武器的发展，使警察无法阻止逃离的车辆。一个强大到足以在近距离击倒最具抵抗力的车辆的装置会使几个街区外的其他车辆失去能力，造成不可接受的附带损害。

军方非常清楚电子友军火力。美国空军目前的政策是，这种类型的武器只能安装在无人驾驶飞机或导弹上，因为有人驾驶飞机可能会无意中损坏自己的系统，这种威胁太大了。

某些类型的雷达可能足够强大，可以称之为微波武器。F-22和F-15战斗机上被称为APG-63(V)2的主动电子转向阵列(AESA)雷达的最新升级，据说其威力足以损坏近距离来袭巡航导弹上的制导电子设备()。这可能是战斗机对付无人机的更好方法，因为它有无限的弹药供应，可以一个接一个地摧毁它们。它的有效性将取决于它有什么样的范围和需要多长时间才能产生效果。主要问题可能与使用加农炮相同：当速度差至少为每小时100英里时，距离足够近并保持足够长的时间，并且在操作时避免碰到其他无人机。 [19](#)

通过将电子设备放置在导电的“法拉第笼”内，并确保天线等任何外部接收器受到保护，可以屏蔽电子设备免受电磁脉冲的影响。与大型无人机相比，小型设备(如小型无人机的控制系统)更容易做到这一点。此外，蜂群的分散性意味着攻击的几何形状只会对其中一些有利，大部分蜂群很可能在一次脉冲中存活下来。

电磁脉冲和高功率微波可能有助于消灭小型无人机，但这看起来像是一种武器，当投入使用时，会更有利于蜂群。雷达不可避免地变得越来越小，一群雷达强大到足以损坏电子设备的无人机可能会横扫一座城市，有选择地摧毁部分基础设施。

无人机可以携带手榴弹大小的电磁脉冲武器，使其对军事总部造成不成比例的伤害，或者比炸药更容易击倒坦克或飞机。对步兵来说，这将使一队士兵没有通讯、导航或夜视设备。一个足以阻止一大群无人机的电磁脉冲装置将对基础设施造成巨大破坏——如果无人机被很好地屏蔽，防御方将是输家。

干扰无人机

没有飞行员给了无人机某些天然的优势。它们可以做得很小，很便宜，而且可以消耗。但是没有飞行员意味着无人机基本上是愚蠢的。他们或许可以自己执行一些任务，比如给指定区域拍照，但目前这一代人的自主性有限。对于任何形式的攻击，五角大楼都坚持派人参与。

这使得无人机依赖无线电通信。渡鸦或多或少被限制在视线范围内，尽管这可以通过使用继电器来扩展。“捕食者”和“收割者”可以跨越全球，但需要与它们的控制器保持卫星连接。断开操作员和无人机之间的联系，无人机就变得无用，返回基地或四处游荡试图获得信号。

自从无线电被用于战争以来，就有人试图干扰它们。早在1902年，英国皇家海军就进行了广播信号干扰敌方通信的实验，当时距离第一批无线电设备安装在船只上只有五年时间。到第一次世界大战时，无线电的使用更加复杂，反制措施也是如此。德国齐柏林飞艇使用无线电台的定位来导航；所以在1917年10月19日晚上，法国人把埃菲尔铁塔的无线电广播切换到另一个电台，让飞艇偏离航线。当德国人开始使用他们自己的发射机进行导航时，盟军用相同波长的更大声的传输淹没了这些发射机，这可能是第一次试图故意干扰无线电接收。

从那以后，电子战一直持续着。它可以包括无线电测向来定位敌人，信号拦截来监听他们的通信，信号分析来检测主要单位的交通流量，“欺骗”虚假信息，当然还有干扰。无线电控制武器一出现，干扰器就准备好了。

第一个看到行动的无线电制导武器是德国在二战中研发的FS-1400或Fritz-X()。这是一枚3000磅的滑翔炸弹，旨在攻击重装甲战列舰和巡洋舰。这是一个简单的炸弹，装有由无线电控制的小鳍。炸弹尾部的照明弹可以让炸弹瞄准者跟随它的进程，通过简单的上下左右修正来调整它的路线。[20](#)

在激光制导炸弹出现的几十年前，弗里茨-X是一种潜在的革命性武器，它可以让重型轰炸机从高空直接命中移动的船只。这种武器在1943年的西西里战役中证明了自己，当时意大利人越过了盟军：它击沉了意大利旗舰“罗马”号，并损坏了英国战列舰

“沃拉夫”号和其他几艘盟军战舰。这种成功是短暂的。盟军缴获了弗里茨-X导弹和控制设备，并在几个月内制定了有效的对策。

英国的650型发射机和来自美国海军研究实验室和哈佛大学无线电研究实验室的干扰器使弗里茨-X无效。干扰器使炸弹尽可能向一个方向飞得更远，凌驾于操作员的命令之上。从稳操胜券变成了稳操胜券。德国人放弃了无线电制导的想法，下一个版本的弗里茨-X是通过导弹后部缠绕的电线进行制导的。

还有一些其他的无线电制导导弹，包括一些早期的俄罗斯反坦克制导导弹，但是这些导弹太容易被干扰了。在激光出现之前，反坦克导弹是有线制导的，防空导弹是热寻的或雷达制导的。

最简单地讲，干扰可能仅仅意味着在接收机工作的频带中广播噪声。这种暴力干扰在军事领域很少见，因为通信往往以很快的间隔从一个频率跳到另一个频率，很难用足够的功率干扰整个频谱。智能干扰机可以检测和分析对手的通信，并且只能在需要的范围内进行选择性的干扰。干扰器也可能是定向的，而不是向四面八方发出噪音。

在伊拉克和阿富汗冲突中，战术干扰有了新的紧迫性。叛乱分子已经开始使用廉价手机引爆炸弹。采取了特殊的反制措施来封锁信号；五角大楼在电子对抗上花费了大约170亿美元，并发放了大约5万个干扰装置。其中包括便携式战术绿色步兵单位，被认为拯救了许多生命。() [21](#)

同样的技术可以用来对付蜂拥而至的无人机，尤其是那些依赖现成手机技术的无人机。值得注意的是，2014年的黑色飞镖演习包括一架EA-18咆哮者，这是空军库存中最现代的电子战飞机，配备了一系列强大的干扰器。当无人机的无线电信号被干扰时，它通常被编程为返回到最后一个可以通信的点，或者简单地返回基地。

一些系统的设计已经考虑到了这一点。2015年初公布的反无人机防御系统由各种传感器组成，这些传感器与英国企业控制系统公司生产的射频干扰系统相连。据制造商称，它可以从一英里外“以分阶段和可控的方式扰乱和击落任何恶意无人机”。它很快加入了其他反无人机干扰系统：洛克希德·马丁公司的伊卡洛斯、塞莱克斯公司的猎鹰盾牌和巴特尔公司的一种叫做DroneDefender的设备，这种设备看起来像科幻B电影中的射线枪。有了所有这些设备，检测和定位到来的威胁是限制因素，这就是为什么许多设备与雷达和其他传感器相连。 [22](#)

这种方法肯定会干掉国产无人机，而国产无人机的设计并不能抵抗干扰。军用无人机有一定程度的阻力；“收割者”有一个指向上方的圆盘式卫星天线，远离地面干扰。正如我们所看到的，蜂群可以抵抗干扰，网状网络的结构意味着每架无人机只需要与下一架无人机通信。如果其中一个群充当与卫星或其他外部链路通信的网关，整个群可以被远程控制。

更复杂的电子攻击可能会侵入无人机控制系统。这是商业无人机的一个弱点，它们不使用加密链路，在已知频率上工作。甚至军用无人机也可能被黑；伊朗人声称，降落在他们领土上的RQ-170哨兵无人机是故意击落的，尽管系统故障也同样有可能。打击恐怖主义技术支持办公室和其他机构正在研究黑客攻击，以安全处理恐怖分子重新利用的消费型无人机。

更先进的无人机将更难黑。雷神公司已经展示了一种名为“电子装甲”的系统，旨在使小型无人机能够一直防黑客攻击到四旋翼飞机大小。这是干扰器和通信器之间的军备竞赛。到目前为止，优势在于沟通者。

然而，未来的无人机可能根本不依赖无线电。人们对自由空间光通信越来越感兴趣，有时被描述为“像光纤上的宽带，但没有光纤。”激光信号通过空气射向接收器。这种方法只在视线范围内有效(显然足够了)，并且由于大气的影 响，范围往往被限制在一英里左右。它可以承载和宽带光缆一样多的数据，非常适合一群无人机组成网状网络。因为它不依赖无线电波，所以光通信不会被干扰或侵入。

在一个更低技术的光通信版本中，蒙特雷海军研究生中心的研究人员将通过二维码进行通信视为一种“数字信号量”形式()这些是二维条形码，在广告中很常见，在广告中，你被敦促用智能手机扫描代码进入网页。在他们的实验中，一架无人机像智能手机屏幕一样在显示面板上闪烁二维码；这些被另一架无人机读取。研究小组发现，二维码可以从500多英尺外读取。群体可以在成员之间传递信息来协调行动。[23](#)

数字信号量的带宽是有限的，但是像洛克希德·马丁公司在前一章中的SPAN这样的集群被设计成以最小的带宽工作。不需要千字节就可以通过整个蜂群传达“在XXX时刻汇聚在XXX坐标攻击目标XXX”的信息。在更早的时代，船队由旗帜信号和早期版本的旗语有效地编组。

正如我们所看到的，一些简单的群集行为意味着成群的鸟、觅食的蜜蜂和狩猎的狼几乎不需要相互交流。简单地观察最近的群体成员的位置就足以让他们有效地协调他们的行动。试图干扰一群无人机可能和试图干扰一群蝗虫一样无效。

有人可能会说，干扰通信将阻止无人机群，因为它们仍然需要与人类操作员通信。这对于实时侦察来说是真的，实时视频馈送的“掠夺者破解”，但是无人机总是可以在没有干扰的情况下飞回来，然后发回数据。对于攻击，无人机不需要人类参与。虽然美国军方目前坚持让一名男子随时参与无人机袭击，但其他人可能不会。他们可能认为释放蜂群更像发射导弹：将它对准目标，让它摧毁它在那里找到的东西。

关于到底需要多少控制，有一些很好的法律论据。炮弹一离开炮管就失去控制，寻热导弹离开铁轨也是如此。一些旨在瞄准防空雷达的导弹已经选择了自己的目标。受控和非受控之间的区别比你想象的要微妙。

此外，只有当你关心附带伤害时，让一个人监督释放武器的决定才是重要的。恐怖分子、叛乱分子和全面战争的信徒可能没有这样的顾忌。

另一个要记住的因素是，堵塞是双向的。无人机并不是唯一使用无线电的设备。上述反无人机系统严重依赖传感器、控制中心和武器平台之间的无线电连接。能够堵塞该链条上任何一个环节的无人机将能够安全飞过，而无需发射一发子弹。

迷失，无人机：全球定位系统干扰

如果阻断通信不起作用，我们可以尝试另一个弱点，导航。一名人类飞行员有很多方法来寻找周围的道路，但大多数无人机只有全球定位系统。全球定位系统信号的力量被比作一万英里外的汽车前灯，使其成为一个容易堵塞的信号。

不过，抗干扰措施越来越好。雷神公司为全球定位系统开发了一种复杂的抗干扰设备，叫做大地之声，它是围绕一个受控模式接收天线()建造的。它有一个接收元件阵列，可以消除任何给定方向的干扰。当检测到干扰信号时，阵列会自动将其置零。这就像透过硬纸板管看，这样你就可以看到远处微弱的光，而不会被附近的灯光弄得眼花缭乱。[24](#)

雷神公司的上一代抗干扰GPS是高级数字天线平台，重约十磅，有电话簿那么大。新的Landshield安装在硅芯片上，可以与军用全球定位系统设备集成，从单兵使用的便携式设备到全球定位系统制导的铺路炸弹，当然还有无人机。

兰德希尔目前仅限于军队。恐怖组织的简易无人机将更容易被干扰——暂时如此。其他州可能迟早会有自己版本的Landshield。

如果你能在很大范围内屏蔽掉全球定位系统，它将会阻碍蜂群，同时引起其他问题。最初，全球定位系统被设想为一个仅用于军事的系统，但在1983年俄罗斯防空部队击落KAL 007后，里根政府决定让所有人都能使用卫星导航。车载卫星导航现在无处不在。对大多数人来说，在每个路口停车查看路线图的日子已经过去了。禁用GPS，会有很多人迷路。这是最不严重的问题，圣地亚哥的一个事件证明了这一点。

2007年1月22日星期一，在圣迭戈港进行的一次电子战演习意外干扰了整个城市的全球定位系统信号()。中断几乎立即开始。医院的紧急呼叫系统停止运行。自动化港口交通管理系统停止工作，威胁要将港口带入混乱。圣地亚哥机场的空中交通管制部门报告说，他们追踪来机的系统出现了问题。据报道，一些银行的自动取款机停止了汇款。[25](#)

这种中断的原因是许多现代系统使用来自全球定位系统卫星的精确时间信号。在一些手机网络中，信号被用来给每个主人一个唯一的身份；如果丢失，桅杆会脱离网络。全球定位系统定时信号时间戳金融交易，以防止欺诈，这可能是为什么提款机

停止工作。电力公司使用全球定位系统时间信号来保持来自不同发电厂的交流电在电网中同相。如果失去了这一点，那么切换电源以将电力输送到需要的地方的尝试就会变得低效，因为异相电流会发生冲突。这可能最终会导致停电。

全球定位系统干扰看起来更像是蜂群攻击城市目标的武器，而不是阻止蜂群的一种方式。

这个漏洞是全球定位系统替代品成为热门话题的原因之一。其中一个就是澳大利亚Locata公司开发的系统。这使用了一个基于地面的“伪卫星”网络，它可以提供更精确的定位，并且需要更强大的干扰机来阻挡。

虽然目前的小型无人机严重依赖全球定位系统，但这种情况可能不会持续太久。多亏了无线网络，你已经可以在没有全球定位系统的情况下导航城市地区了。每个无线热点都有自己的指纹，包括服务集标识和媒体访问控制地址，并持续传输它们。包括谷歌和Navizon在内的服务提供商绘制出每个节点的位置图；通过识别离你最近的人，你可以在不到一百英尺的范围内找到你的位置。

其他研究人员正在使用“机会信号”进行导航，不仅包括无线网络，还包括手机信号、无线电和电视发射机以及其他无线电波来源。这些可能不如全球定位系统准确，但它们既可以在室内使用，也可以在室外使用，除了绝对干扰一切，无法阻止。虽然齐柏林飞艇可以通过将传输从一个无线电杆转移到另一个无线电杆来欺骗，但发射器的数量意味着这种欺骗现在是不可能的。

即使干扰所有无线电信号也不会阻止未来的导航。智能手机开发商正在考虑通过地标和地形导航。这个想法并不新鲜。战斧巡航导弹最初配备了地形匹配雷达，通过与电子风景地图进行比较来确定其位置。现在的不同之处在于，每部智能手机都有存储和处理能力，可以扫描风景，找出它在哪里。2014年，蓝熊系统公司展示了一架小型无人机，该无人机安装了一个名为SmartBoomerang()的系统。在布里斯托尔大学的帮助下开发的，它能够模拟定位和绘图(SLAM)，在一个区域飞行时制作一张地图。这张地图可以传递给其他无人机，这样它们就可以在没有全球定位系统或任何其他外部援助的情况下在同一地区导航。[26](#)

正如我们在第六章中看到的，高通正在为智能手机开发一个SLAM设备，当你通过摄像头输入时，它会建立一个周围环境的地图。小型无人机很可能很快获得这种能力。所描述的微型激光雷达传感器将使SLAM变得更加简单。

干扰全球定位系统可能看起来是一个简单的解决方案。然而，在实践中，虽然它可能会阻止当代的一些人，但它不会在很长时间内有效。

成群结队地战斗

阻止蜂群的方法可能只有一种。防空导弹和雷达充其量只是保卫领空的部分解决方案；最终，对付一架飞机的最好武器是另一架飞机。同样，对一个群体的最好防御可能是另一个群体。

这一领域的领导者是蒂莫西·钟，他是蒙特里海军研究生院一位不可抑制的热情科学家。钟多年来一直在研究蜂群，但直到最近才开始研究反蜂群策略。

钟非常清楚廉价无人机的潜力，以及其中几架无人机的成本可能低于一枚防空导弹的事实。他同样怀疑枪或激光是答案。与其使用斯派克这样的廉价导弹，为什么不使用比导弹机动性更强、射程更远、续航更长的廉价无人机呢？

该项目的官方名称是“无人系统群对群开发和研究的系统对系统试验台”钟更喜欢“空中战斗群”这个更吸引人的名字() [27](#)

他的目标是举办一场比赛，由成群的小型无人机进行模拟战斗。第一个重大里程碑将是原定于2015年举行的对半示威，但现在至少推迟到2016年，部分原因是隔离和监管障碍。监管问题至少现在已经在很大程度上被克服了。这很可能是更大规模竞赛的前奏。

在这个过程中，钟学到了很多关于防御性群体在实践中如何工作的知识()。首先，他相信这些个体会比鸟类有更高的智力。作为一个整体，蜂群将能够执行复杂的任务，例如以高度灵活和被动的的方式保卫一个地区。 [28](#)

第一阶段是建立机器人军队。由于渡鸦每次花费3万美元，而且预算有限，钟需要一些更经济的东西来合作。他找到了一种适合类似尺寸的易于改装的商用无人机的自组装套件。这是泽法二号无人机，翼展约5英尺。早期的模型是由钟的团队组装的，但随着数量的增加，需要超过100个，这就被外包了。

通过团队积极开发自己的控制硬件和软件，以及活跃的开源社区，进一步节约了成本。与MITRE一样，董事会决策将由手机型单板计算机提供，软件利用开放项目。按照五角大楼的标准，目前每架飞机的成本约为2k美元，包括零部件和劳动力。钟认为，每架飞机的最终成本将是数百美元，而不是数千美元，因为他看到了源源不断的成本下降技术冲击市场。

2015年，钟的团队使用自制的链条驱动发射器一次向空中发射了50架无人机，这被认为是固定翼无人机的新世界纪录。一旦无人机升空，蜂群控制系统就成功进行了运行测试。

给定50架无人机，每架无人机有一个控制器的正常做法变得不切实际。机载预编程行为允许无人机使用航路点导航，因此一名操作员可能能够操纵一组10架飞机，尽管目前这对一名单独的操作员来说很费力。不过，还有其他的工作方式，钟建议，

在未来，群体管理可能会被“分解”例如，一个团队成员可能负责群体的整体行为及其执行，而另一个成员监控群体的健康；第三个审查蜂群可能收集的情报数据，而第四个作为“任务指挥官”维护任务概述。

钟说，实际上，无人机将不得不自己做出许多决定，比如如何避免碰撞和编队机动，因为物体移动的速度很快，尤其是在战斗情况下。决定追击哪个敌人或是否闪避需要更适合机载计算的瞬间思考过程。

另一个关键问题是群体内部的沟通是如何工作的，或者在某些情况下是如何工作的。虽然这是一项正在进行的工作，钟说需要持续的实验来实现简单性和有效性的正确平衡，但使用廉价的通用串行总线-无线网卡的初始测试为无人机提供了相互通信和共享相关数据的能力，例如群中所有队友的全球定位系统位置。

空中战斗群将在计划的50对50中上演的场景是一个简单的场景。两个集群都将有试图到达并降落在对手目标区域的攻击者和试图通过在他们到达目标区域之前“标记”他们来阻止这种入侵的防御者。虽然最初的实验将使用基于全球定位系统的自动评分系统来记录当蓝色无人机足够接近红色无人机时的“命中”，但竞争的未来愿景要求机载“激光标签”式系统来注册这种“标签”

空对空无人机战斗实际上会是什么样子，这是一个悬而未决的问题。当数字开始上升时，从有人驾驶战斗机战斗中吸取的教训可能用处有限，我们进入了一个新的领域。这并不是说这项研究是秘密的，更不是说还没有人真正知道。数量和质量的相对重要性等关键问题仍然非常悬而未决。

在六对六的情况下，从战术上来说，每个防守队员都可以轻松锁定一名进攻队员。五十对五十是另一回事。如果即使是很小的数字也开始溜走，结果可能是灾难性的。

除了驾驶真正的无人机，钟的团队还在进行一个大规模的群对群战斗的计算机建模项目。钟的一位合作者拥有电脑游戏行业的经验；另一个专门研究多智能体追击建模，还有一个正在研究用于机载探测和跟踪对面无人机的计算机视觉。它们将有助于建立有效的群体攻击和防御的理论和研究框架。然后，这将通过实际的空战实验得到验证——或者反证。

钟的项目有一种适度的车库建造的品质。空战的未来真的像学生玩多色风筝吗？人们很容易低估小型无人机，而用于演示的低fi硬件给那些想看到雷鸣般的喷气式飞机的人留下了误导的印象。但该项目旨在为小型无人机开发有效的集群战术，这可能是下一个世纪战争的关键。

其他应对蜂群的方法都有明显的缺点。任何大型单一武器系统，无论是枪、导弹还是激光，都有可能不堪重负。面对只能投放少量无人机的恐怖分子等对手，这可能不是问题。但对于那些愿意向无人机群投入大量资金的国家行为者来说，除了另一

个无人机群，很难看到任何有效的对策。

甚至在美国空军的高层也可能意识到这一点。

在2014年的无人驾驶车辆系统国际协会(AUVSI)年会上，空军学院无人驾驶项目主任约翰·麦考迪(John McCurdy)建议，一架F-22猛禽可能会伴随一群小型无人机，充当远程侦察兵——并成为对抗敌方无人机的保护盾。

“需要多少无人机才能战胜一架F-22？”麦考迪问观众。“肯定比战胜一群无人机守卫的F-22要少。”^()[29](#)

当你的主要防空飞机——世界上首屈一指的空中优势战斗机——看起来已经需要防御这种新的威胁时，这表明蜂群已经获胜。

参考

1)用猎枪击落四旋翼飞机

[新泽西州基歇尔。希尔维尤男子因击落无人机被捕:援引隐私权。](#)

2)2015年初，美国特勤局在华盛顿州DC进行飞行测试

[美国特勤局在华盛顿特区举行夜间无人机测试.. *纽约每日新闻*。](#)

3)反恐技术支持办公室与无人机

[马格努森, D. \(n. d .\)。反恐官员寻找阻止小型无人驾驶飞机的方法。 *国防杂志*。](#)

4)伦敦对齐柏林飞艇突袭的回应是一门安装在装甲卡车后部的75毫米加农炮。

费根, T. (2002)。婴儿杀手:第一次世界大战中德国对英国的空袭。巴恩斯利:笔和剑。

5)“你必须把它们炸掉，损坏它们并没有多大意义。”

[神风敢死队进攻，1944年。\(未注明日期\)。](#)

6)约克中士的问题

康奈尔, J. (1986年)。新马奇诺防线。伦敦:梁佑彬图书公司, 1986年。

7) [美国空军2014年态势声明](#)

8) 2014年黑色飞镖

[信仰, R. \(n. d .\)。在《黑色飞镖》里面, 美军对无人机的战争。副新闻。](#)

9) 反UAS

汉布林, D. (n. d .)。美国陆军准备面对小型无人机的威胁。大众力学。

10) “ARDEC的重点是发展一个负担得起的近距离对抗UAS系统”

汉尼拔人物访谈作者, 2014年2月

11) 1973年激光无人机击落

[机载激光器简史。\(未注明日期\)。](#)

12) GBAD

[海军固态激光计划概述。](#)

13) 美国陆军头盔

[高能激光移动演示器。\(未注明日期\)。](#)

14) LaWS

斯科特, R. (n. d .)。激光武器击破“庞塞”号航母的掩护。

15) 中国反UAS激光器

中国公布激光无人机防御系统。法新社。(2014年11月3日)。

16) Adsys反激光系统

反向能量武器。(未注明日期)。

17) CHAMP和super-CHAMP

彼得金(2013年)。美国空军飞机应用的选定定向能源研究和发展:研讨会总结

18) 电磁脉冲手榴弹

汉布林博士(2009年3月)。新陆军武器旨在炸小玩意, 人。WIRED。

19) 用作武器AESA雷达

富尔亨, D & Barrie, D(n . D .)。雷达变成了武器。航空周。

20) 弗里茨-X

制导炸弹, 弗里茨十号。

21) 术士格林和相关干扰器

术士绿色/术士红色。(未注明日期)。

22) 反无人机防御系统

英国三人组公开反无人机系统。中东安全。

23) 二维码信令

洛杉矶卢卡斯。数字信号量:二维码光信号用于舰队通信的技术可行性。

24) 雷神大地

雷神公司推出增强型Landshield GPS抗干扰能力。(未注明日期)。

25) 全球定位系统干扰对基础设施的影响

汉布林, D. (n. d .)。全球定位系统混乱:一个30美元的盒子会如何干扰你的生活。
新科学家。

26) 蓝熊SLAM

蓝熊智能回旋镖演示成功。(未注明日期)。

27) 空中战斗群

汉布林, D. (n. d .)。群体防御。*航空周和空间技术*。

28) 钟正在学习大量战斗群在实践中如何工作的知识

钟庭耀2012年8月对作者的采访

29) 要战胜一架F-22需要多少架无人机

梅塔，亚伦。"下一代无人机:武装，模块化和更小."

第十章-接下来会发生什么？

[回到顶部](#)

“科学还没有掌握预言。我们对未来一年的预测过高，但对未来十年的预测过低。”

尼尔·阿姆斯特朗

当尼古拉·特斯拉在1892年开发出无线电控制的鱼雷快艇时，他相信它可以结束战争。小国可以击退大国，而侵略性的军事行动是不可能的。

特斯拉在接受《纽约先驱报》采访时表示：“当明天全世界都知道，最弱小的国家可以立即为自己提供武器，使其海岸安全，港口在世界联合舰队的攻击下坚不可摧时，战争就不再可能了。”。“战列舰将停止建造，漂浮在水面上的最强大的装甲部队和最巨大的火炮也不会像这么多废铁一样有用。”

无人系统的现代预言家不太可能暗示他们将废除战争。二十世纪提供了太多的证据，证明无论多么有效的武器都无法做到这一点，尽管它们可能会改变战争的方式。

我们也可能对事情变化的速度存有疑虑。特斯拉预期明天一切都会改变，这是不现实的。变化是渐进的，阿姆斯特朗关于一年前和十年后预测的评论在无人机方面是准确的。虽然媒体可能更喜欢引人注目的头条新闻，但明年这些群体不会征服世界。然而，这一趋势已经开始，在未来十年里，蜂群将会前进。

在民用无人驾驶航空领域，在竞争激烈的市场中，价格暴跌。随着美国联邦航空局 (FAA) 在商业无人机运营监管方面的摸索，亚马逊 (Amazon) 和谷歌 (Google) 等公司正准备用小型无人驾驶飞机机队提供交付服务。这些无人机将在主要城市之间穿梭，将包裹直接送到客户的家门口或阳台，但只有在飞行规则准备好的情况下。在瑞士，第一批由无人机进行的邮政投递已经开始，每周都有新的无人机投递试验在世界各地进行的报道。

几年前，如果你建议你的公司买一架无人机进行航空摄影，眉毛会竖起来。即使这个想法被接受了，你也会被限制在几个已经建立的供应商中，无人机是一个高度专业化的领域。现在，高质量的无人机可以在网上购买，许多公司提供无人机驾驶培训。如果这项工作很简单，任何人都可以购买一架像DJI启发号这样的现成无人机，只需几千美元就可以拍摄专业质量的视频。()这只是租用飞机或直升机成本的一小部分，可能比让起重机检查烟囱或其他难以到达的地点更便宜。二

消费者、专业人士、半专业人士和完全专业人士之间的界限模糊了。就像计算机和其他电子产品一样，几年前行业专业人士的标准越来越适用于普通青少年。拍照的无人机，甚至是能运送有效载荷的无人机，都不是少数人的专利。据称，中国无人机制造商DJI在2014年每月出货两万架，圣诞节期间大幅增长。该公司现在将达到10亿美元的目标，根据一些估计，2015年将售出100多万架无人机。

因此，私人和小企业已经开始大量购买廉价无人机。军方呢？

对蜂群的抵抗

第四章展示了军方如何获得廉价的无人机，其性能类似于乌鸦侦察兵和弹簧刀攻击无人机。五角大楼目前几乎没有对这种方法感兴趣的迹象。

正如我们在第一章中看到的，美国军方与无人机的关系很差。事实上，它几乎不能强迫自己使用无人机这个词，仍然更喜欢遥控飞行器、无人驾驶(或无人驾驶甚至无人驾驶)飞行器或其他迂回飞行器。军方同样反对成群结队的想法，并再次使用不同的团队、星座和编队语言。公平地说，除了一些先进的思想家，五角大楼的政策高级指挥官不会很快接受无人机群。

《2001财政年度国防授权法案》阐明了国会的意图，即“在十年内，三分之一的美国军事作战纵深打击飞机将无人驾驶。”这表明政客们非常喜欢无人机。不用说，15年来，深度打击无人机的数量仍然为零。早在此之前，就有人建议空军应该购买简单的巡航导弹航母，而不是坚持昂贵、精致的飞机——尤其是价值数十亿美元的B-2轰炸机。这些人只需要到达目标一千英里以内就可以发射导弹；他们不需要隐身、敏捷的复杂对策。但是空军仍然坚持昂贵飞机的想法。预计在2020年代中期服役的下一代远程打击轰炸机将比B-2更加昂贵。

事实上，类似无人机群的东西以前就有人提出过。空军在2000年代初就有了“大面积持久性弹药”的计划⁽¹⁾。这被称为支配者，因为它有能力支配一个地区。它具有无人机群的一些特征，神风无人机或“持久弹药”重约100磅，翼展约12英尺。翅膀向后折叠以便运输，留下一个八英寸见方、四英尺长的盒子形状，可以很容易地叠放在小空间里。一架运输机将运载20架无人机，从空中发射。一架飞机可以携带30个托盘，释放600架无人机覆盖整个区域。²

波音公司制造的“支配者”无人机将在敌方领土内盘旋。虽然不是特别快或隐蔽，但它们的数量会使它们无法通过正常手段击落。无人机将提供“及时打击增强”，这是一个以“及时”商业方法命名的概念，旨在通过在需要的时候准确交付物品来提高效率。当目标出现时，一个区域中支配者的数量将确保总有一个在附近，因此在发现目标和攻击目标之间不会有延迟。

第一架支配者原型机于2006年飞行。无人机本身工作得足够好。每个支配者携带三

枚弹头，能够摧毁坦克、卡车、停放的飞机或其他此类目标。一些支配者的集体效应将比收割者或其他单一的大型无人机更具破坏性。但是这个项目并没有激起任何可察觉的热情，而且似乎超出了需求。人们并不认为有需要填补的空白。

从技术上讲，支配者计划仍然存在，但在撰写本文时，下一阶段预计要到2017年才能完成。考虑到目前的预算状况，它甚至不能肯定能撑那么久。虽然它可能会以某种形式出现和飞行，但支配者似乎更有可能是一个一对一部署的空投侦察和轻型打击平台。它可能会被发送到对有人驾驶飞机来说威胁等级太高的地方，而空军不想让死神冒险。支配者可以填补长航时捕食者无人机和传统智能炸弹之间的空白，使其成为一种有用的能力，但不是革命性的能力。

美国海军也关注了成群的无人系统。近距离自主一次性飞机计划始于2006年()。蝉是一种滑翔机，可以粗略地描述为由电路板制成的纸飞机。它有几英寸的翼展，像支配者一样，它被设计成可堆叠的。十八只蝉可以被装进一个六英寸的立方体里。像支配者一样，它会从空中落下，覆盖一个广阔的区域。³

蝉被设计成自我部署的传感器。在着陆时，他们会像SPAN中的传感器一样联网，跟踪任何在他们工作区域内移动的东西。除了传感器，蝉还可以携带开发者所说的“效应器”，这可能是高爆炸弹头的委婉说法。与雷场不同，蝉能够智能地监控活动，并在销毁任何东西之前请求人类操作员的批准，因此它将绕过禁止地雷的国际法。

像支配者一样，蝉并没有完全死亡，但几乎没有生命的迹象。2012年，两架知了从一架无人机母舰上坠落。他们成功地滑行到11英里外的目的地，在距离目标不到15英尺的地方着陆。蝉在2015年的一次小型演示中再次浮出水面。同样，几乎没有迹象表明这是一项重大努力的前兆，但却被一小撮信徒所维持。

21世纪初，海军水面作战中心开展了一个名为“可重构模块智能作战阵列”的项目，十架小型无人机直接相互通信。2005年，芝加哥的阿利翁科技公司获得了一份价值2000万美元的合同，为蜂群无人机开发软件。该计划是让多架无人机自主工作，协同行动，但似乎没有任何结果。

情况可能正在改变。如前所述，2015年4月，海军公布了一个名为蝗虫的新项目——由低成本无人机集群技术设计——旨在让30架小型无人机在2016年升空并一起飞行。蝗虫是一个小小的开始，但它确实表明海军内部的一些人认识到了蜂群的攻防潜力。它是否比支配者或蝉更好是另一回事。

当涉及到部署小型、强大的无人机时，空军可能处于领先地位。美国空军的微弹药计划承诺将精确打击提升到一个新的水平。这是一架有着折叠翼的乌鸦或柳叶机大小的空投无人机。得益于定位、能量回收和太阳能电池的结合，它将能够连续运行数周。这种固定翼无人机将能够在城市峡谷中导航并瞄准个人，这种精细程度是现有无人机无法做到的。如果大量使用，微型弹药可能会首次显示出无人机群在行动

中能做些什么。然而，与其他项目一样，时间表已经偏离了2015年的最初目标，目前还不清楚微型弹药将于何时投入使用。

像弹簧刀一样，微型弹药只能针对特定的高价值目标少量发射。如果没有为蝗虫开发的群体控制，驾驶大量无人机的人力(和带宽)需求是无法控制的。

重要的是，美国空军将小型无人机作为弹药，而不是飞机。荣耀仍将属于F-35，它俯冲下来，将微型弹药运送到目标区域，即使这项工作可以由货机完成。政治要求无人机补充舰队，而不是取代舰队。和F-22防御蜂群的想法一样，无人机只是辅助设备。

因此，尽管这项技术已经在他们面前飘了好几次，五角大楼还是在蚕食这个想法的边缘，但并没有真正咬紧牙关。没有声音预言现有飞机的末日，警告说技术的进步使载人喷气式飞机取代了20世纪20年代的战列舰。小型战斗无人机仍然被视为与更大的战略图景无关，即使它们确实有其战术用途。

军用航空业对小型无人机也没有太多鼓励。对于一个从像F-35这样的项目中赚取数千亿美元收入的部门来说，放弃载人飞机将是自杀。小型无人机的大规模生产无法产生维持行业运转所需的利润。苹果从中国制造iPhone的成本和他们在美国可以卖出的价格之间的巨大差异中赚钱，这几乎不是航空航天巨头的选择。

小型无人机不需要同样的制造基地，也不需要发动机、涡轮叶片、燃油流量阀、雷达部件以及现代飞机所依赖的一万个其他元件方面的专家的长辅助尾巴。小型无人机行业可以外包给远东的低成本生产商。

航空业继续向公众传递信息，有时是通过报纸上的整版广告，我们比以往任何时候都更需要F-35及其同类产品()。他们将继续游说政治家保持支出，不要被削减或转移资金所诱惑。他们将建议不要对一个从1998年就开始实施的项目进行任何仓促的改变，这个项目现在已经开始结出果实。按照目前的计划，F-35生产线还需要继续运行20年。[四](#)

我们可以预期，任何来自行业内部的小型无人机集群的研究都将突出它们与现有平台相比的缺点和局限性，而不是宣扬它们的潜力。这不是愤世嫉俗的利己主义，而是心理学家熟知的群体内偏见。用来贬低外国产品或发明的“这里没有发明”的副歌长期以来一直是行业的障碍；当面对像无人机这样的外星人时，这就成为了标准的反应。

当然，反无人机的观点是有效的。小型无人机不能直接替代有人驾驶飞机；它们飞得没有那么快或那么高，也没有携带同样的武器。航母不能代替战列舰也是事实，战列舰可以做很多航母做不到的事情。同样，马可以做坦克做不到的事情，机枪永远不可能真正取代刺刀。但说到战斗，机枪胜过刺刀，坦克胜过战马，航母胜过战

列舰。

证据表明，无人机群将很快超过载人飞机。

从地上的靴子到屋顶上的无人机

尽管美国和其他西方大国并不急于拥抱无人机群，但这一政治要务可能会推动它们朝着这个方向发展。正是这一因素让无人机作为间谍飞机迈出了第一步：无人选项将政治风险降低到了可接受的水平。

无人机最初被认为是有用的，因为另一个加里·鲍尔斯事件将是不可接受的。这同样适用于今天。有人驾驶飞机的损失引起了严重关切，但当美国无人机在伊朗或其他一些禁区坠毁时，不会有很大后果。

2015年末，关于“脚踏实地”的必要性有很多争论。空袭是否足够，还是有必要通过向叙利亚或其他麻烦地区派遣地面部队进行干预？无人机群可能会提供另一种选择；它有直接军事干预的优势，而没有政治上令人厌恶的士兵带着裹尸袋回来的可能性。

这是对空军作为决定性力量的观念的回归。从一开始，倡导者们就认为仅靠空中力量就能赢得战争。历史没有证明这一点，他们的批评者对空中胜利的想法嗤之以鼻。说到无节制的破坏，空中力量可以夷平城市，摧毁基础设施。这一点在二战时期的柏林和东京得到了充分的证明，更不用说广岛和长崎了。空军可以，正如空军将军柯蒂斯·勒梅令人难忘地说的那样，“把他们炸回石器时代。”但这并不意味着它能赢。

特别是，空中力量对于更有限的战争形式来说效率更低。在越南，一场大规模的轰炸行动未能阻止越共在胡志明小道沿线集结和供应部队。在一次直言不讳的秘密评估中，尼克松总统说，在越南和老挝十年的轰炸取得了“零进展”。这是尽管投下了700多万吨炸弹，而二战时是200万吨。支持者指出，后来，最后的防线突袭帮助北越坐到了谈判桌前，但这很难说是赢得了战争。

最近，军事分析人士仔细研究了科索沃和利比亚的教训，在这两个国家，来自美国及其盟友的飞机，加上当地地面部队，在短期内产生了大致预期的结果。然而，这两个案例都暴露了空中力量的局限性。虽然空袭可以很容易地摧毁军用车辆和政府建筑，但规划者可以在敌人仍牢牢控制的情况下耗尽目标。只要车辆保持伪装或隐藏在掩体中，士兵保持低着头，他们就不会受到空袭。

这在叛乱中更适用，当敌人可以攻击，然后融化成山丘和山脉，或者融入城市和村庄，在那里他们与当地人融合。像伊斯兰国这样的敌人几乎没有基础设施，也没有可以轰炸的大型车辆。

更严重的是，空中力量无法支撑地面。空军也许能够摧毁或击退敌人，但只是暂时的。星期一清除敌人的区域，星期二他们会直接返回。当地面部队占领一块土地时，他们会永久保留它。

这种将敌人带到战场、占领和坚守阵地的能力，是围绕“地面上的靴子”的争论的基础，即盟军步兵谁能迫使敌人投降或战斗。但是，虽然步兵可能在取得成果方面很有效，但他们在政治上有风险。派遣军队进入本质上是危险的，公众反对伤亡。

有人驾驶的空袭有失去一名飞行员的风险，但地面行动带来了一个几乎不可避免的后果，那就是挂着国旗的棺材会回来。从政治角度来说，实施一百次空袭比杀死一名士兵更容易。

这导致了昂贵而复杂的“部队保护”措施，在这些措施中，士兵的大部分努力都集中在保护自己而不是执行任务上。在这种情况下，士兵们不能在帐篷里行动，而是需要有武装哨兵24小时值守的加固基地。补给车队必须由武装和装甲车护送。有时基地必须由空气供应，因为道路太危险。可用战斗力的一小部分可以用于打击敌人的任务，所以需要更多的部队在国内执行。

这导致了尴尬的妥协解决方案，比如在科索沃、利比亚，以及最近在叙利亚和伊拉克，美国大规模空中力量采取行动支持适度的地方部队。希望训练不足、装备不足的盟国能够提供必要的地面要素，结果很少令人满意。

很难协调外国空军和缺乏必要通信网络的组织不充分的地面部队。激光制导炸弹等精确弹药的问题尤为突出。一个解决办法是派遣少数特种部队来补充当地盟友。他们可以流利而熟练地指挥空袭，并使用激光指示器来突出在友好的村庄里包含枪手的一栋建筑。

不幸的是，即使地面上有少量的靴子，在政治上也可能是尴尬的。美军的存在可能会适得其反，因为它会吸引那些只想“与美国作战”的国际圣战分子

美国国内政治要求将美国的伤亡降至最低。见证2012年两名美国人在班加西外交大院死于伊斯兰武装分子之手的持续愤怒。约有9000名利比亚人死于利比亚内战，美国的努力包括B-2轰炸机投掷2000磅炸弹的打击，但这些在美国的政治意义较小。这种对伤亡的敏感性意味着军方可以发现他们的任务变成了安全回家，而不是追求最初的目标。

这就是为什么在2015年3月，面对伊朗支持的胡塞武装派别日益增长的叛乱，美国从也门撤出了军队⁽¹⁾。撤出的士兵包括特种部队，他们正在训练也门人进行反叛乱。这些特种部队对该国和该语言有所了解，并可能被认为是美国军事反应的先锋。在这种情况下，将所有美国人员撤离该地区被认为是明智之举。因此，即使是世界上最有能力之士也被视为战争中的累赘。⁵

对伤亡的恐惧会削弱美国的军事力量。美国空军可以说是世界上最强大的军事机器；美国海军的航母战斗群可以以压倒性的力量到达全球的每一个角落。但是如果没有地面上的靴子，他们可能很难与像伊斯兰国这样的普通敌人作战，伊斯兰国只能用皮卡车运送几千名战士。

力的投射过程会随着无人机群而改变。当空袭来了又走——之后效果还在争论——一群蜜蜂坚持占据一个区域。蜂群可以在原地停留数周或数月，然后靠近。对无人机操作员来说，人不是飞行员看不到的微小的蚂蚁般的点，朋友和敌人无法区分。它们离得足够近，可以从字面上识别人脸，操作员可以从无辜的农民中识别出武装叛乱分子。

小型无人机承诺真正的精确打击。小型无人机可以挑出一名已知为恐怖分子头目的婚礼宾客，在适当的时候跟踪并单独锁定他，而不是不分青红皂白地屠杀掉落在婚礼派对上的500磅炸弹。他们可以坐在路边或村口，阅读车牌和扫描人脸。它们可以栖息在建筑物外，根据需要等待很长时间，或者在近距离搜索隐藏的车辆或隐藏的洞穴入口。如果有必要，敌人可以一次消灭一个人。如果需要压倒性的力量，无人机群也能够摧毁整个车队或建筑综合体。

当然，这样的承诺能否兑现还有待观察。即使击中了正确的目标，仍会有大量无辜者被杀的说法，因此很难判断真相。当然，人权倡导者会担心无辜的人真的被杀害，由于该地区没有友军，他们将更难调查。

无论如何，持续的无人机群可以击中无限数量的目标，而不是像当前的无人机行动那样只能瞄准少数选定的个人。对于任何被认定为敌人的人来说，进入无人机群控制的区域就像走进了雷区。跨过那条看不见的线，意味着你会被源源不断的协调、无情和无情的无人机攻击。

原则上，在某些情况下，这种能力可以在很大程度上取代地面上对靴子的需求。也许这种行动的第一个原型已经出现——2012年以色列在加沙的“防御支柱”是该地区第一次在没有地面士兵的情况下进行的大规模进攻，在这次进攻中，大量侦察和攻击无人机使精确打击成为可能。

除了战斗，无人机不能做士兵做的所有其他事情。特别是，他们不会通过与当地人建立友好关系来赢得人心。他们不会踢足球、建学校或挖井。一群无人机就像一组用机枪指向人群的闭路电视天线杆一样友好。

特遣部队奥丁，带着他们的无人机舰队监视着民众，以捕捉叛乱分子的轰炸机，这是这项技术能实现什么的一个小小的预演。无人机群将覆盖更广的区域，并在更长的时间内更详细地观察。绝大多数监控可能是完全自主的。带宽的限制和对人工操作员的需求使得这不可避免。但是一旦无人机发现任何可疑之处，它们的人类操作者就会收到指令请求。

未来的无人机可能会有双向音频通信，这样操作员就可以与潜在目标通话。Swarm系统有限公司已经为英国陆军测试了一架具有这种能力的无人机。因此，未来的无人机袭击可能不是地狱火导弹突然袭击卡车的问题。这可能始于一架盘旋的无人机礼貌地要求放下武器，上前接受识别。回到1991年，伊拉克人向无人机投降的场景很滑稽。在不久的将来，向小型无人机投降可能是常识，因为它很可能是蜂群的一部分。

当然，武器系统很少符合他们的承诺。当每个屋顶都有无人机栖息时，自杀式炸弹袭击者仍然可以潜伏，瞄准错误仍然会导致不必要的死亡。无人机群不会自动进行快速的外科手术式战争，只有不可救药的敌人会被杀死。但是，能够在不冒友军伤亡风险的情况下发动全面战争的可能性在政治上可能很有吸引力。军方可能不喜欢无人机群，但在没有其他选择的情况下，蜂群可以向敌人发起战斗。

有很多历史先例。二战期间，当空中力量是盟军打击德国的唯一方式时，尽管会造成大量平民伤亡，但还是使用了空中力量。当巡航导弹是美国行使权力的唯一方式时，它们被使用过——例如1998年对阿富汗和苏丹的目标。

仅仅因为这个原因，无人机群可能会蓬勃发展，尽管军方内部反对，就像一代人以前的捕食者一样。

谈论革命

从少量的有人驾驶飞机到成群的无人驾驶飞机的转变可能是一个用一种武器系统替代另一种武器系统的渐进过程。已经有迹象表明，像蝗虫这样的蜂群将充当辅助、消耗性侦察和打击资产，陪伴和协助有人驾驶飞机。例如，他们可能被赋予“防御压制”的危险任务，摧毁防空系统，以便有人驾驶飞机能够安全飞行。有人驾驶飞机可能会越来越多地发射看起来像智能武装无人机的小型智能武器。

然而，一旦妖怪从瓶子里出来，可能会有一个更快、更戏剧性的转变。特斯拉的无人鱼雷艇并没有让现有的战列舰像废铁一样无用，但其他东西做到了。

当英国皇家海军在1906年推出“无畏舰”号时，她打算巩固该国作为世界领先海军力量的地位。英国已经拥有了比其他任何国家都多的战列舰，无畏舰本质上是同样东西的升级版本。相反，新的设计破坏了海军世界的稳定，引发了一场军备竞赛，从而引发了第一次世界大战。

无畏舰并不是第一艘装甲战列舰，但有两个特点让她独一无二。它安装了10门12英寸的火炮，而不是大小炮的混合体，这给了她优越的远程火力。其他同样大小的船只有四把大枪，所以在远程决斗中，无畏每次都会赢。此外，无畏舰配备了最新的蒸汽涡轮机，速度为21节(24英里/小时)，而早期战列舰的速度为18节(21英里/小时)。这个微小但显著的差异意味着无畏舰可以逃离任何东西，但没有什么可以逃离

无畏舰。战斗永远是无畏舰的条件。

无畏舰淘汰了早期的战列舰——包括英国几十年来建造的所有战列舰。它抹去了一个多世纪的优势，给了其他大国一个海军军备竞赛的机会。德国海军将领意识到，他们目前舰队的劣势已经变得无关紧要。如果他们能建造比英国人更多的无畏舰，他们将拥有海上力量的平衡。其他国家，尤其是美国和日本，争相建设自己的国家。

目前，美国是世界上最卓越的军事强国，在作战飞机、航空母舰群和/或核潜艇方面处于至高无上的地位。美国独一无二地保持了同时打两场主要战争并同时取得胜利的能力。尽管俄罗斯和中国可能被描述为近邻，但就硬件而言，它们远远落后。美国有将近一万四千架军用飞机；俄罗斯不到三千五，中国不到三千。当战争是空中力量的问题时，美国保持优势()。[6](#)

无人机群可能会改变这个等式。美国惊人的军费开支——超过世界军费开支总额的三分之一——将确保比任何人甚至所有人都更多、更大的蜂群，如果这笔钱有一部分被转用于购买无人机的话。但令人怀疑的是，对无人系统有着历史厌恶的五角大楼，是否愿意放弃其令人印象深刻的航母、迷人的F-35战斗机和令人敬畏的M-1艾布拉姆斯主战坦克，以换取数百万架玩具飞机。

然而，其他国家可能没有相同的传统和根深蒂固的价值观，它们的经济可能非常适合生产大量的小型电子产品，这些国家可能会对情况有不同的看法。

iPhone以“苹果在加州设计”而闻名，但大部分是在中国制造的。据报道，iPhone 6的制造成本约为200美元，但零售价超过600美元。根据一些估计，生产iPhones和iPads的电子产品制造商富士康在中国雇佣了超过40万名员工。这让苹果自己的约5万名美国员工相形见绌，并让人们对该行业的真实规模有了一个概念。

如果中国军方想建造无人机群，他们有大量低成本的基础设施。2000美元的剃须刀可能开始看起来像90年代4000美元的笔记本电脑现在一样贵，规格更高的平板电脑零售价不到40美元。目前，DJI制造的无人机售价约为1000美元，但它们的产量还没有达到同样的水平。

以一架战斗机的价格购买数十万架无人机似乎是可行的，但它还能走多远？电脑仍然越来越便宜：树莓派零售价仅为5美元。如果一架基本的集群无人机能以200美元的价格制造出来，那么以一线作战飞机的价格购买100万架是可能的。一群一百万架无人机的影响远远超出了人们的猜测，就像几十年前袖珍超级计算机的影响一样。

即使是像朝鲜这样的贫困国家也可能产生无人机群。他们可能没有太多的电子工业，但零部件可以在公开市场上买到，无人机可以通过廉价劳动力在当地组装。朝鲜可以制造一种能够到达美国的大规模杀伤性武器，这种武器不像弹道导弹那样容易被击落。这样的场景可能看起来有些牵强，但它不过是70年前按同样轨迹发射的现代

版围棋气球炸弹。像“复飞”一样，小型无人机可以穿过现有的防御工事。与功夫不同，他们不会随意投弹，而是攻击精确的目标。1945年，一架“富-高”飞机切断了汉福德铀工厂的电源，击中了一个战略目标；下一次，他们可能都是同样重要的热门目标。

飞机改变战争。在第一次世界大战中，伦敦的人们震惊于一个伟大帝国的首都竟然对来自空中的攻击如此开放，以至于没有办法阻止齐柏林飞艇。在20世纪20年代，越来越多的人认为“轰炸机将永远通过”，平民将受到无情的攻击。

自第二次世界大战以来，西欧和美国人民一直愉快地免受冲突的影响。每次我们的军队被派往国外打仗时，我们不再指望我们的防空洞和防毒面具。敌人的无人机群可能会将威胁带回家，因为我们用无人机打击的目标人群转过身来，将我们瞄准回去。

自制空军

并非每个人都像五角大楼一样，可以自由挑选他们想要购买的武器。当资金紧张时，廉价而有效的系统就会浮出水面。

自2014年以来，乌克兰东部一直存在冲突。乌克兰东部说俄语的民兵显然得到了俄罗斯的秘密支持，一直在与政府军作战。乌克兰国防部在提供最佳装备方面并不总是高效的；批评者说，采购过程管理不善，被腐败破坏。乌克兰军队需要无人机在 frontline 进行侦察和监视。当他们无法通过官方渠道获得时，他们就自行采购。

Aerorozvidka项目和人民项目都致力于弥补乌克兰无人机的不足()。他们利用私人资金——就人民项目而言，就是众筹——改造了用于战场作战的商用无人机。从更大的角度来看，PD-1“人民无人机”是一种固定翼飞机，翼展为10英尺，螺旋桨为推进器。其他许多无人机只是美国支持者提供的DJI幻影这样的商业型号。[七](#)

这种机器用稳定的4K相机拍摄接近好莱坞质量的航拍镜头，价格不到4000美元。双控制器意味着工作负载可以像“捕食者”和“渡鸦”一样进行分配，一名操作员专注于驾驶无人机，另一名操作员瞄准摄像机。

乌克兰人给他们的无人机安装了改进的通信设备，因为他们的对手可以使用有效的俄罗斯干扰机，并且干扰了无人机通信和全球定位系统导航信号。他们还学会了在控制无人机时小心放置通信天线，以及需要控制器保持移动。有两次，他们的无人机操作员被迫击炮击中，当时俄罗斯人通过无线电信号锁定了他们。

乌克兰无人机可以发现和跟踪敌人，并实时指挥炮火。Aerorozvidka甚至声称正在研发装备了自制导弹的无人机。

任何在侦察过程中不得不暴露在敌人炮火下的西方士兵都可能会奇怪，为什么他们不能像乌克兰人一样使用小型无人机。

其他不属于既定政府的武装团体缺乏运营空军的基础设施，但使用小型无人机发挥了一定作用。

真主党是一个伊斯兰组织，总部设在黎巴嫩，由伊朗支持，自2004年以来一直在驾驶小型无人机⁽¹⁾。他们有许多被称为米尔萨德的固定翼无人机，翼展10英尺，他们声称是自己开发的。这些似乎是由伊朗无人机改装而来的。⁸

真主党的无人驾驶飞机在以色列边境上空执行间谍任务，也有不成功的袭击。米尔萨德可以携带高达80磅的炸药，但是慢速飞行的无人机在到达目标之前已经被以色列极其高效的防空系统拦截。

同样，巴勒斯坦激进组织哈马斯也驾驶过小型无人机，显然也是来自伊朗型号，并声称其中一些携带爆炸弹头⁽²⁾。据报道，2012年，以色列国防军摧毁了一个哈马斯无人机制造设施；一年后，巴勒斯坦警方逮捕了制造“自杀式无人机”的活动人士^{2015年}，来自加沙地带的哈马斯无人机据称飞越了埃及领空。根据1979年与以色列的和平协议，埃及人不允许在西奈使用防空武器，因此无法阻止他们。⁹

以色列拥有高效的防空系统，像这样的无人机不会让他们不堪重负。像铁穹这样的防空系统在击落哈马斯和其他组织发射的小型火箭方面被证明是有效的。火箭体积小，速度快，目标难度更大，无人机在任何高度都更容易。然而，这又是一个数字问题。树顶高度或以下的小型智能无人机可能很难停下来。

与此同时，在叙利亚和伊拉克，被称为伊斯兰国(ISIS)的基地组织分支也在使用无人机⁽³⁾。尽管此前的伊斯兰极端组织基本上避开了技术，但伊斯兰国一直以熟练使用社交媒体和包括无人机在内的其他现代发展而闻名。¹⁰

ISIS展示了2014年8月DJI幻影无人机拍摄的宣传视频。2014年12月，在争夺科巴尼的战斗中，伊斯兰国上传了从同一架无人机拍摄的该市自杀式炸弹袭击的镜头。

据报道，像乌克兰人一样，伊斯兰国随后开始使用它们进行战术侦察，然后升级为小型固定翼无人机。2015年12月，来自库尔德YPG的战斗人员报告称，伊斯兰国正在使用装有炸药的手动发射无人机，这种类型暂定为天行者X8业余无人机。这些第一次袭击没有成功，但它们可能标志着恐怖袭击新时代的开始。

来自下方的无人机

激进分子或恐怖分子将开始使用无人机，就像乌克兰人和钟震霆的无人机空军一样，对现有无人机进行简单的改造。然而，任何更大规模的努力都可能遵循MITRE为他们

的Razor无人机设定的模式。

我们可以从一个众包的南非项目中获得一些关于这可能如何进展的想法，该项目旨在帮助保护：即“野生动物保护无人机挑战”或wcUAVc()。这是一项旨在保护濒危物种和停止使用小型无人机偷猎和贩运野生动物的倡议。面临的挑战是想出低成本的无人机，可以由护林员部署在南非的克鲁格国家公园。正如wcUAVc所说：[11](#)

“政府在战争中使用的无人机可能会提供其中的一些能力，但克鲁格没有跑道、机组人员、维护设施，以及此类行动所需的数十亿美元。面临的挑战是设计能够在丛林中发射的飞机，在崎岖的地形上运行数小时，探测和定位偷猎者，在现有的商业基础设施上进行通信，并在丛林中进行回收——所有这些都不到3000美元。”

来自世界各地的100多个团队正在接受挑战，主要是大学和学生团体。这些目标包括长达两小时的续航时间、十二英里的航程，以及能够在昏暗的灯光下从几百英尺的高空探测、定位和识别人类和动物。像军用无人机一样，反偷猎版本需要能够辨别人们是否携带武器。wcUAVc为这项任务推荐了一款特别便宜的(109美元)摄像机。

与MITRE一样，wcUAVc的工作重点是三维打印和商业现成组件，以制造有效的低成本无人机。随着努力的进展，它可能会产生技术和软件，如自动驾驶仪和物体识别算法，这些技术和软件将被公开共享。军事和工业可能不会带来小型低成本无人机的革命。它可能来自下面。

已经有一些自制的无人机像黄蜂，黑客的工具，嗅出无线网络和3G，并帮助打破计算机安全描述在第4章。这可能是未来的预兆。如果乌克兰人可以众包他们的军用无人机采购流程，其他人也可以。

“恐怖无人机”

过去，几乎没有迹象表明恐怖分子会对无人机构成真正的威胁。有许多“无人机恐怖阴谋”和定罪，但没有一个案例达到很高的程度。

一个众所周知的例子是26岁的雷兹万·费尔道斯(Rezwan Ferdaus)，他因策划袭击华盛顿(2012年)被判处17年监禁。他的计划包括三架无线电控制的模型飞机撞向五角大楼和国会大厦，每架飞机携带五磅塑料炸药。在这之后，费尔道斯和他计划招募的其他人会发动地面攻击。[12](#)

费尔道斯是美国公民，在变得激进并决定发动自己的个人圣战之前，他曾在一个摇滚乐队打鼓。他的无人机简直就是玩具，F-86型战斗机。费尔道斯被捕时已经组装了一个。这是一个简陋的装置；无线电链路很容易被干扰，由于船上没有导航或摄像头，它依赖于远处的操作员向正确的方向发送信号。它的瞄准精度如何还有待商榷。这次袭击不太可能造成太大的伤害，但显然，费尔道斯主要依靠无人机袭击美

国人的心理或象征性影响。

这是迄今为止无人机恐怖故事的典型，主要基于幻想。当弗道斯成为联邦调查局的一个圈套的受害者时，增加了一种不真实的气氛，在这个圈套中，两个特工假扮成基地组织的恐怖分子。他们鼓励他制定一个详细的攻击计划，向他提供武器和炸药，并给他几千美元购买无线电控制的飞机。这些行为导致了对诱捕的指控，很难相信没有联邦调查局的帮助，费尔道斯的圣战梦想会实现。

迄今为止，有两个因素阻止了无人机成为严重的恐怖威胁。一个是用无人机运送炸弹本质上比自杀式炸弹袭击或枪支袭击更复杂。它需要几个额外的步骤，每个步骤都有被抓住的可能，并且需要更高层次的技术技能。飞行模型飞机需要业余爱好者的耐心和技巧。有经验的恐怖分子更喜欢更容易成功的简单计划。

其次，当前的恐怖威胁大多来自伊斯兰组织，他们支持自杀式袭击，并将其描述为殉难。无人机可能被视为懦弱，或者更糟糕的是，让它们在道德上等同于美国人。很难激起对敌人的谴责，因为当你的一方使用同样的战术时，他们会使用无人机攻击。

未来的威胁可能会不同。现代无人机被设计成由没有经验的操作员进行开箱。像伊斯兰国这样的组织已经显示出比以前的伊斯兰极端分子更擅长技术。此外，像“匿名者”这样更倾向于高科技直接行动的组织，目前通过黑客和网络攻击造成了相当大的损害。小型无人机将是他们行动的自然延伸。

2015年4月，日本公民山本泰夫因在东京首相官邸降落无人机被捕⁽¹⁾。山本在警察局自首了。这架无人机上有一个放射性危险警告标志，山本说，这架无人机携带的放射性沙子来自福岛核电站，这是他对核能的抗议。这是一次简单但有效的抗议，官员们小心翼翼地移除放射性无人机的照片传遍了世界。¹³

抗议活动不太可能涉及致命袭击，但可能旨在破坏应该受到袭击者反对的组织。例如，环境极端分子可能希望关闭一个污染的发电站，停止在生态敏感地区的建设工作，或者阻止新机场运行。无人机无法被链式围栏和保安拦截。

油漆炸弹和喷漆罐是一种非常明显的抗议方式，有了无人机，整个世界就是你的画布。2015年4月，一架无人机在纽约市最大、最受关注的广告牌之一的模特脸上乱涂乱画。由一位名叫KATSU的艺术家制作的活动视频在网上疯传。这架无人机是一架DJI幻影，改装后可以携带喷雾罐。2015年早些时候，墨西哥活动人士部署了他们自己的名为“德龙西塔”的改装幻影，用红色油漆污损他们总统的海报。¹⁴

这种干预很可能会成为头条新闻，凸显阻止无人机有多难。它们可能会为更令人担忧的用途铺平道路。

无人机看起来像是非常有效的恐怖武器。它们可以从数英里外发射，并飞越阻止汽车炸弹、自杀炸弹和其他人到达目标的安全屏障。它们很难追踪。它们是非常明显的：仅仅通过在体育场的人群中猛扑或在机场的进场道路上徘徊，无人机就能成为新闻头条并制造恐慌感。

恐怖无人机有精确定位和定时的好处。良好的安全让潜在的刺客很难接近政治领袖，但无人机改变了这一点。2014年，德国海盗党在一次政治会议上，将一架鸚鵡四旋翼飞机撞上了德国总理安格拉·默克尔面前的讲台()。这是一个宣传噱头，是对欧盟使用监视无人机的抗议，它再次成为头条新闻。下一架坠毁在政客旁边的无人机可能携带爆炸弹头。[15](#)

与印刷枪支这一大部分想象中的威胁不同，印刷无人机可能代表一种全新的危险。它们是一种分布式威胁：攻击可以众包，而不是依赖中央控制。独立的细胞都可以按照网上共享的相同简单计划制造无人机，并在给定的时间在给定的城市发布，而无需会面。

这种众包无人机不会有第八章中讨论的复杂武器。即使使用简易炸药或燃烧弹，小型无人机也能造成巨大破坏。他们可以分发简易化学武器，比如在东京地铁袭击中使用的自制沙林神经毒气。

更重要的是，他们会传播恐惧。恐怖主义是在人群中制造恐怖。当局无力阻止的一次非常明显的袭击可能会引发像9/11那样戏剧性的反应，即使它只造成了一小部分伤亡。没有9/11第一架飞机撞击塔台的视频片段，但任何使用无人机的恐怖组织都可以捕捉大量无人机视频片段，并发布到网上。像伊斯兰国这样的玩家已经掌握了无人机拍摄和在线分发的使用，这将扩大任何打击的媒体影响。

未来

无人机群可能是未来战争的决定性武器。很难说两个使用它们的大国之间的冲突会发生什么。最简单的观点是，更大或更好的群体赢得并彻底摧毁另一个群体。但同样可能的是，就像二战中的空战一样，没有全面的主导权。1940年，英国和德国能够互相轰炸。鉴于以上概述的破坏能力，即使是部分蜂群的影响也可能是灾难性的。

正如我们已经看到的，无人机群增加了干预外国战争的政治诱惑。但是当两个或更多的外部力量派出他们的无人机群时会发生什么呢？升级的可能性越来越大。蜂群穿越边境的能力也可能会将地区冲突扩散到更广的区域。鉴于可否认性仍然是无人机的一个关键特征，那么由“黑”群进行间谍活动或破坏也是有可能的，它们的控制者不承认这一点。人们很容易想象，一位愤怒的大使在联合国大会上挥舞着一架损坏的无人机，坚称它来自一个邻国，而对立的大使则轻蔑地看着这一明显的谎言。

同样，核平衡得以维持，是因为任何一方都不能通过第一次打击使对方的战略武器

失效。蜂群可能会改变这种平衡，并使第一次打击成为可能——或者让寻求解除核国家武装的非核国家进行打击。蜂群俱乐部比核俱乐部或弹道导弹俱乐部更容易加入。

蜂群可能被故意设计成大规模杀伤性武器，没有召回或停止它的机制。虽然很少有独裁者能够获得核弹头和弹道导弹，但蜂群更容易接近，旨在杀死尽可能多的人的“末日蜂群”的威胁可能是对核武器对手的反击。

这种可能性表明，蜂群可能非常不稳定。这可能会鼓励国际社会开始讨论军备控制以及是否应该将蜂群归类为大规模毁灭性武器。

还有无人机本身。人工智能的未来一直备受关注。媒体用机器人胡作非为来表达这一点。这挖掘了人类对自己作品的基本恐惧，这种恐惧有着丰富的文化历史，从《巫师的学徒》到假人、弗兰肯斯坦和卡雷尔·恰佩克的RUR的故事，再到《终结者》系列和其他一千部电影。

媒体倾向于过度渲染，但真正的人工智能专家对此表示担忧。如前所述，这里讨论的无人机类型不太可能获得高度的独立性，美国军方着重承诺将无人机置于人类控制之下，并限制其自主性。虽然人工智能的危险不应该被低估，但军事硬件可能比任何其他机器人都受到更严格的控制。

更值得警惕的不是无人机会拒绝服从命令，而是它们会服从命令。

历史上，独裁者的军队拒绝向自己的人民开火。俄罗斯1991年的政变失败了，因为在被抗议者占领后，军队不会强攻莫斯科被称为白宫的政府大楼。有了无人机部队，就没有这种不服从的风险。无人机会攻击任何它们被告知要攻击的东西，无论是指挥掩体还是儿童医院。

从实际的角度来看，带宽、通信干扰以及蜂群能够产生的大量目标数据的问题意味着一些蜂群可能会被当作巡航导弹来对待。他们将被指向一个目标并被送走。

无人机开发可能会面临法律挑战。正如集束炸弹和地雷一样——这两种武器都非常危险，因为它们被大量投放——无人机群可能在某种程度上是非法的。国际机器人军备控制委员会(ICRAC)等组织不知疲倦地开展运动，以提高公众对无人驾驶武器的认识，并限制和规范武装无人机的使用。到目前为止，他们几乎没有什么效果，但是随着对新技术的认识的提高和潜在威胁变得更加明显，在未来几年里可能会有更多的声音加入他们。

与此同时，我们将看到小型无人机如何发展，以及谁决定利用它们提供的机会。由于国防航空航天机构的运作方式，美国和其他西方势力开始处于劣势。未来十年，军事力量的变化可能比任何人预期的都要大。

毫无疑问，成群的小型无人机可以征服世界。问题是谁将控制这些蜂群，谁将在它们的控制之下。

参考

1) DJI激励

[DJI官方产品页面“激励1”](#)

2) 波音支配者

[汉布林，大卫。“无人机群造成最大伤害。”*Defensetech.org*。](#)

3) 密闭式自主一次性飞机

[“Close-In Covert Autonomous Disposable Aircraft \(CICADA\) for Homeland Security.” *Mistral*解决方案。](#)

4) F-35广告活动

[马克·汤姆森。《儿童战争:斗狗兄弟》*时间*。](#)

5) 美军撤出也门

[“Yemen Crisis: US Troops Withdraw from Air Base.” *英国广播公司新闻*。](#)

6) [美国/俄罗斯/中国军事实力对比](#)

7) 乌克兰无人机项目

塔克，帕特里克。“在乌克兰，明天的无人机战争今天依然存在。”*辩护律师。*

8) 真主党米尔萨德无人机

霍尼格，米尔顿。“真主党和无人机作为恐怖主义武器的使用。”*FAS. ORG.*

9) 哈马斯无人机

温特，斯图尔特。“哈马斯无人机据称进入埃及领空。”

10) ISIS无人机

塔德，亚斯明。“叙利亚的伊斯兰国武装分子现在拥有无人机能力。”*国防杂志。*

11) . 野生动物保护无人机挑战赛

12) 费尔道斯无人机恐怖阴谋

约翰逊，凯文。“一名男子被控策划袭击五角大楼、国会大厦。”*今日美国。*

13) 福岛放射性无人机抗议

“Japanese Man Arrested for Landing Drone on PM’s Office in Nuclear Protest.”
路透社。

14) 纽约海报无人机破坏

米歇尔，亚瑟。“无人机破坏的时代始于一个史诗般的纽约标签。” *WIRED.COM*。

15) 海盗党默克尔无人机绝技

“German ‘Pirates’ stage mini-drone stunt at Merkel rally.” *RTE*。

保持联系

[回到顶部](#)

访问，了解快速发展的无人机技术领域的新闻和最新动态。[成群结队的士兵网站](#)

谢谢你

[回到顶部](#)

感谢您阅读《成群结队的人》，我希望您已经发现这是一次有趣且信息丰富的经历。如果你喜欢这本书，请在亚马逊上发表一篇简短的评论，并帮助其他读者发现成群结队者的世界。

