

机器自主化与未来空军

Autonomy and the Future Force*

安德鲁·麦希, 英国皇家空军中校 (Wg Cdr Andrew Massie, RAF)

随着加深对技术历史的理解,我们会认识到,一种新装置问世,只不过为我们打开一扇门,而不是逼我们进门。接受或者拒绝一种新发明,或者接受后能在多大程度上加以应用,不仅取决于这项技术本身的性质,同样也取决于社会状况,以及国家领导人的想象力。

——《中世纪技术与社会变革》作者林尼·怀特 (Lynne White Jr.)

美国国防部常务副部长罗伯特·沃克 (Bob Work) 在解说第三次抵消战略时,将此战略构想为以人机协同作战网络为中心,这是因为他意识到,一种对人类发展必然有巨大影响的社会和技术趋势正在形成。¹ 其中的挑战,如历史学家林尼·怀特所言,在于我们有多大能力将这种概念转化为具体的作战能力。如果美国军方希望抓住这种新思维并转化为战略优势,那么军方领导人必须抓住机会,厘清对机器自主化的认知,形塑出一种新的未来,让美国空军大展身手,在多域跨域作战中发挥强大的作用。未来空军必须明确下放权限,才能允许官兵成功开展分散和分布作战,而这种放权与当前做法原则相悖。要想实现作战自主化以及由此生成的收益,必须按照任务式指挥原则调整人机关系。我们能否驾驭自主化,关键就看我们能否信任机器,并且由此下放决策和行动自主权。通常而言,这意味着我们对机器和对人,都要减少控制,增加旁观。

沃克副国防部长用五个结构模块来描述这种自主化,不过这些模块本身只是说明了从思考的机器到机器能思考并行动在内的一系列动作。对国防部而言,区分物理任务和认知任务固然重要,但认识环境的复杂性和对手响应方式及其影响则更为重要。国防部

必须制定一个解说框架,解释不同军事任务的类型,划出哪些任务类型“天然适合”自主化,又有哪些任务类型需要培育信任,或者增加看护,确保人机协同共同完成任务。本文为此提出一个帮助我们更好理解作战自主化的框架,它以任务环境的性质为基础,确定并比较人对机器自主结果的相对信任倾向,从而更有效地使用机器。进一步,本文探讨接纳自主化的意义,视之为美国以第三次抵消战略对抗其他大国中获得战略优势的源泉。最终,我们能否重视并把握自主化带来的积极机会,将决定我们能否收获信息技术革命带来的好处。因此,深刻理解自主化的基本要点,对于美军如何自信地走向未来至关重要。建设未来部队,我们必须首先明确定义自主化。

什么是自主化?

工业革命中,机器做工大量减轻和取代了人工。² 其对战争亦产生影响,包括极大提升机动的速度、加强战斗部队的毁灭打击力量,以及发展出一整套调度部队开展大规模战役的复杂军事管理结构。然后随着内燃发动机、喷气引擎以及火箭推进等技术的问世,工业革命超越了简单的线性发展,开启了动力飞行,以及后来的外太空飞行。而今

* Translated and reprinted with permission from USAF *Strategic Studies Quarterly*, Summer 2016, Vol. 10, No. 2.

站立在信息革命的黎明中，我们看到信息技术的广阔前景，看到一如机器力取代人力而生发出来的指数级倍增优势——不同处在于，这一次是机器认知和数据计算取代人脑。搜索引擎就像过去的喷气引擎那样，将创造出我们当前无法想象出的种种收益。

美国国防科学委员会 2015 年夏季特别调研小组做出巨大努力，描述了机器自主化将如何向美军提供竞争优势，以及为什么自主化应获得广泛接受。不过调研小组虽然描述了自主化的用处，却忽视了准确定义自主化。缺少这项关键的定义，我们的专业军人就缺少了必要的观察指向，无法知情地理解自主化的种种潜力及其陷阱。按照国防科委会的解释，自主化是“向一个实体授决策权、使该实体有权在指定范围内行动生成结果。”³ 在这里，理解的关键是认识到，自主化就是在没有外来干涉的情况下自由做出决定。本质而言，驾驭自主化就是考验人是否愿意放弃控制权。在这个定义之下，我们便可排列出一系列范围宽广的机器任务，将之称为自主化任务。

进一步，我们必须强调人在人机团队中的关键作用，必须意识到机器自动化的悖论，这就是：如果出现最坏情况，预期可能需要人工干涉并接管系统控制，那么此接管者必须保持全面态势感知，具备必要的技能，一旦机器失灵随时接手完成任务。⁴ 如此说来，如果过去是因为维持大量人力的成本太高，而促使我们加速机器自主化，那么机器自动化的这个悖论，可能提醒我们重新审视预期的好处。

为机器自主化构建框架

因为机器自主化意味着人将决策权授予机器，就美国空军对自主化应用的理解而言，关键在于信任。和一切人际交往一样，决策权和信任手牵手不可分离。我们一旦选出最适任的人执行任务，就要把绝大部分责任交付与此人。任务指挥权在于指挥官明确传达意图，阐明为什么要设定此任务，但不指示如何执行此任务。称职的下属执行者能否做出最佳判断，取决于具体形势。但是在下放权限时，我们要设定下属执行者采取行动的权限边界，一旦接近边界，就要沿指挥链向上级报告请求指示。因此，上级监察是所有指挥关系中与生俱来的一部分，视具体情境及任务复杂性而在程度上有所不同。这个道理，对人和对机器都是一样。

鉴于自主化在于不依赖外部控制而做出决定，我们必须认识到自主化有程度高低之分，正如交付自主化执行的任务也有程度的不同；因此我们所授权行动的边界，就确定出自主化的程度。⁵ 人机界面是一个程度频谱，频谱的一端是远程控制，由人输入指令，生成直接的机器响应。在此情境中，人没有授权机器自主决策或行动，机器只是直接响应人的输入指令。对“收割者”和“捕食者”遥控飞机的控制机理，就是这样的典型例子。在这里，行为的特征不是“自主”而是“受控”，是对特定刺激做出直接响应，不需要自身独立决定。

在这个频谱的中间段，机器可以评估周围环境，拟出对某个问题的诸种解决方案，做好排序，然后请求操作员输入决定。机器可以发挥快速数据处理的优势，但需要人来监察并选定行动方案。凡熟悉现代飞机工况监视系统的人，比如燃料或引擎工况跟踪系

统，都非常了解这种行为设计对减轻人力负担的价值。把这个层次的人机协同进一步延伸，就是承认机器可以执行指定的任务，例如执行燃料箱之间的常态平衡，以保持飞机的重心。但如果面临非标准问题，则由人给出指令，决定采取何种行动。

在这个频谱的另一端，是机器获得大幅度授权，可以评估周围形势，搜索自身数据库查找各种可能响应方案，按逻辑排列和衡量，选定最优行动方案，随即实施行动。计算机病毒检测系统或防火墙程序就是这样的例子，我们将之启动，然后放任运行，独立执行任务。这个过程中不需人力监察，而是让机器或机器智能最大程度发挥潜能，任其自由辨识环境并做出响应。毫无疑问，频谱的这一端最受自主化反对者的关注，“机器杀手”的幽灵也最喜在这里徘徊。碰巧也是在这一端，寻求机器自主化的美国军方，面对着最强大的组织和文化挑战。

任务和信任

为建立对这一段频谱上一系列任务的有用理解，以及相关程度的信任，需要我们构建一个框架，从而分清不同军事任务的实质，和看护者在人工监察需要上所产生的效果。⁶

沿着图 1 的横轴线，各种任务可以按照环境生疏性来决定，位于图左的任务属于“独特”型，位于图右者属于“重复”型。任务的差异或者环境的差异，大体是沿着横轴线确定变化幅度。由于这两个因素的作用，重复型任务是指那些任务环境和任务结果都无变化者。反之，独特型任务指那些任务环境多变及无法预测者，或者视具体要求不同而任务结果相异者。

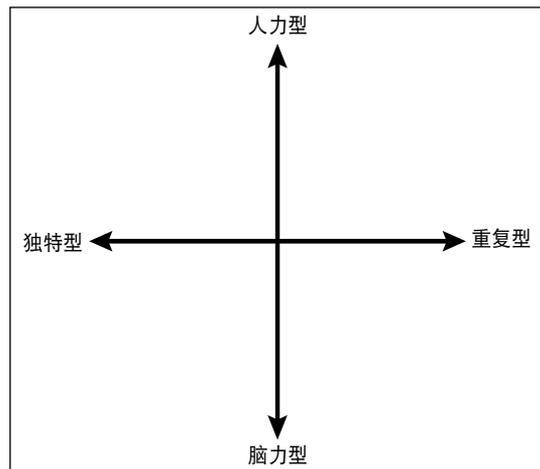


图 1：用于任务分类的框架

自主化在军事应用中，关键的一点是要认识到作战环境中各种不确定因素和对手行为的作用。在工业生产中，机器取代人工重复劳动（以上框架图的右边）提供了明显的优势，可是战场和车间截然不同，因为前者存在着一个可能做出各种响应的对手（框架图的左边）。在把自主化机器纳入我们的武库时，我们必须承认对手有思维，不会按照我们的脚本合作行动，我们必须以此为基线，构建在许多军事任务中的互动界面——克劳塞维茨《战争论》第一卷第一页就阐述了这个概念。⁷

以下图 2 以演绎法展示环境生疏性对人机协同程度的影响。按照图示，输出的确定性越低，信任就越低，人工监察的需要就越高，才能保证任务圆满完成。就近期而言，凭直觉就可以说，我们对复杂变化环境中机器决策的成功性所持信任很低，所以需要高度人工监察以求保稳；固然，这种情况随着时间的推移会改变。眼下运作 MQ-1 和 MQ-9 遥驾飞机中的人工监察程度，就是证明。高度不确定的环境、低程度的信任、以及高程度的人工监察，三者结合起来，自然引导我们将

人机关系定位为严格控制关系，至多放任到远程控制——抑或说零自主。老生常谈的例子是，任何一名新飞行教官开始教一名新手飞行学员时，总是倾向于循规蹈矩和直接命令，而不愿偏向更加放手的教法——因为教官的“切身利益”与之相连，为确保新手飞行成功，就只能采用人工响应。随着经验增加，飞行经历逐渐丰富，行为响应也潜移默化发生变化。人和机器的交互，也会随着时间而变化。

图 1 的竖轴反映机器输出的不同。在国防科委会的那项研究中，脑力型任务称为“让自主化休息”，体力型任务则称为“让自主化工作”。同样在这条竖轴上，我们看到信息技术提供的双重可能性：一方面，我们用机器来承担低程度脑力型任务，另一方面，我们努力帮助机器在有限能力范围内涉入人类决策领域。对于执行脑力型任务，机器智能（亦即人工智能—AI）展现出发挥数据计算力量的巨大机会，从而允许人类腾出精力，让人类更多地发挥其独有的创造力和直觉属性。再者，如果把机器智能与机器人融合，我们

就能使机器获得认知和思考力，从而提升机器人的能力。

如图所示，当输出结果确定性高时，信任程度也高，因为机器能令人放心和可靠地执行任务。现代民航飞机的自动驾驶仪用于飞机爬升、巡航和下降等动作，都是我们充分信任机器决策和行动的明显例子。在这种场合，人工监察依然需要但程度很低，这种典型的人机互动可以称为“放手”——开出一系列动作指令，然后静坐屏前监控。但是这种人机互动的需要不只适用于良性环境，在高强度对抗恶劣环境中，我们也可以将自主权授予防卫系统，例如“爱国者”防空导弹发射台，由该系统扫描一整片无障碍自由开火区，随时发现动静，通过预设算法确定来袭威胁，并按照机器指令开火。这里需要指出的是，对结果的信任程度和对直接输入指令的需要程度，在关系上颠倒了，亦即变成：低程度信任等于控制，高程度信任等于指挥但带有更多自主化。

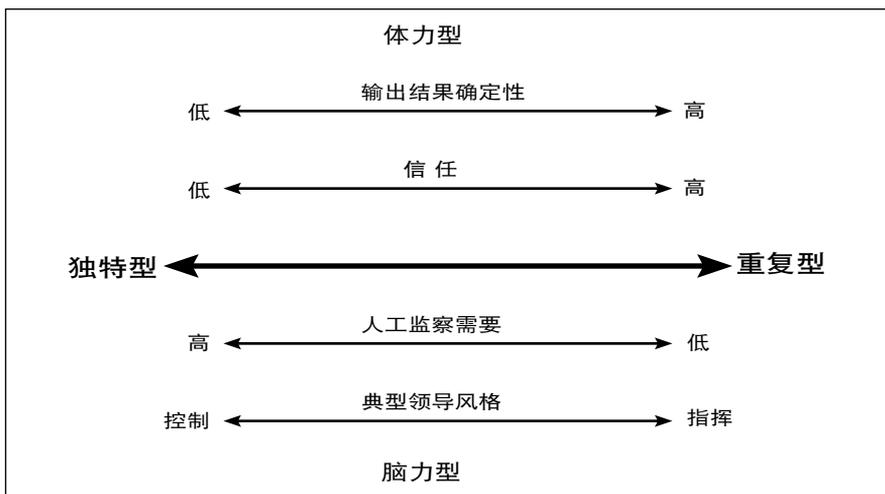


图 2：对横轴的认识

指挥，还是控制？

将这种双轴示意法应用于不同类型的任务，向美国国防部和美国空军展示出意义重大的认识。一项任务无论属于脑力型还是体力型，任务环境对机器（或者对人）的生疏程度对于自主化而言，显然是一个重大的决定因素。这不奇怪，自主化的核心，就是是否下放决策权——环境越是陌生，就越难下决心放权。从过去 15 年复杂的、大范围的国家安全作战行动中，我们取得了深刻的教训，这就是，必须赋予下级决策者充分的信任，才能实现战役和战术目标。高层指挥官必须敢冒更大的风险，放手允许下属单位利用对形势的更精确感知而把握住闪逝机会。基于同样的经验教训，我们也应该以任务指挥权方式对待机器，通过训练操作员监察能力，以及通过快速编程代码改进机器决策能力，逐步放松对机器的控制。英国老一代战略家富勒（J. F. C. Fuller）说过：“我们打仗兵器中的机械成分越多，头脑控制中的机械思维就要越少。”⁸

因此，“人机团队”或者说我们和机器形成的关系，将在很大程度上取决于环境陌生程度——用军事术语描述，就是与敌接近程度。环境越是适宜重复性的人力任务，例如后方基地后勤物流，运用机器自主化的机会就越大。同样的，如果一项分析需要通过更长期的趋势评估和工作才能完成，那么这样的分析就更适宜交付给机器智能来代劳。随着我们步步接近敌人，周围环境的陌生程度便增加，需要更多的默契性理解和快速的环境评估，诚如牛津大学和花旗银行几位专家最近一份关于自主化在工作场所的作用的研究报告所言，这样的情景尤其需要来自人脑的互动占据主导地位。⁹

人脑主导并不意味着机器靠边，事实上，此处更能反映出沃克副国防部长所强调的机器自主化的重大价值。一如所有技术研发努力，机器人和机器智能都以增强和放大人力活动来提供其重大优势。人机之间的互动不是零和或者非此即彼关系，我们必须从人机之间生出合力。穿戴式技术和机器人助手（或称“辅助机器人”[co-bot，英文 collaboration robots 的缩写]）将人和机器的各自优势——人的优势是直觉和默契或社会认知，机器的优势是物理力量——结合起来。¹⁰ 在这个领域中，我们注重的应该是人机互动或关系的性质，一如我们使用动物执行军事任务。不妨想象我们使用攻击犬的情况，我们指挥机器执行动作，以其强大力量为我们所用。又如使用爆破物嗅犬执行更具认知挑战性的任务，我们让机器引导人执行相应动作。毫无疑问，通过人和辅助机器人结成团队关系，自主化带来的好处将具有决定性的军事作用。为此，我们必须做好主导、信任，以及从导的思想准备。

第三次抵消战略的意义

显然，我们在以机器自主化加强军事优势的努力中，面临着文化、实践和政治上的挑战。反过来看，把机器认知和机器力量融合也将为军方带来重大利益。事实上，沃克副国防部长将其明确认定为我们可得到的最大优势，再由一支知识全面的部队来使用，定能帮助美国压制住潜在的敌人。有趣的是，目前的相关描述中，仅以体力—脑力“输出”之别来区分任务性质之别，而只字不提环境复杂性造成的任务独特性—重复性之区别。对任务的此种区分，应如以下图 3 及解释所示。¹¹

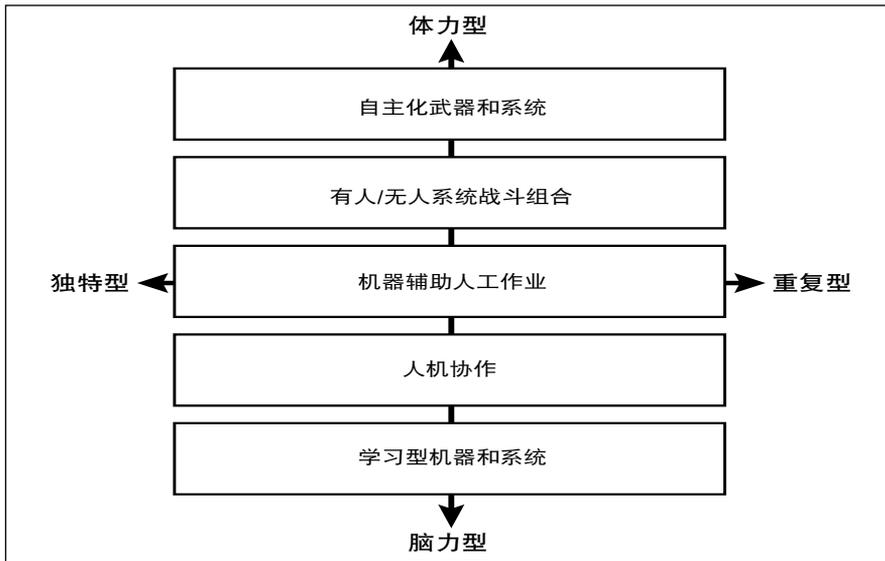


图 3：用任务分类框架推导出“五大类”人机关系

“学习型机器和系统”类——在这类系统中，机器决策立足于一个网络，此网络允许机器互相学习和交流，以对抗诸如网络病毒等机器攻击。学习型机器最大程度利用机器任务自主化，需要人工监察程度最低，执行全面认知和虚拟功能，谷歌的“深智”（Deep Mind）系统就是一例。这个概念还承认，网络武器运作速度之快人类根本不及响应，于是以机器防卫对抗机器进攻可能至为关键。

“人机协作”类——机器从巨大的数据库检索获益，归纳出模式和趋势，从而便于人做出决策。这主要是一种认知性质的任务，要求人把数据转化成行动。一个可借鉴的例子是正在开发的数字化“空中作战规划员”，这套软件监视作战行动中所有空中任务活动和战斗损失评估，从中归纳出几种替代行动方案，交由盟军空中统领指挥官（CFACC）参考，用于制定次日空中任务指令或随机目标打击任务，应对正在铺开的重大战场事件。

“机器辅助人工作业”类——其所执行的任务与“人机协作”类的输出相似，但是更多地强调战争的战术层级上可发送的或者可穿戴的硬件。一个最能说明问题的例子是《空军未来作战概念》中提到的未来空中补给站，由覆盖整个责任区的联网供应链实时互动，根据战区疾变形势需要排列任务的主次先后并相应组织货盘送交空运。¹² 在这段场景描述中，唯一带科幻色彩之处就是该技术投入了军事使用，其实，诸如亚马逊及沃尔玛等商业巨头当前已经大量应用这类技术。

“有人/无人系统战斗组合”或者“人机团队作战”类——其所执行的任务涉及人与自主化系统在战场上物理互动合作。人的互动和监察对于保证完成任务依然必要，但要有所约束。最佳例子是美国空军把自主性空军联络官融入空中作战部队，以加强攻击的杀伤力或态势感知。《空军未来作战概念》在对未来近距离空中支援和空中优势任务的场景描述中，设想了数架自主化无人僚机辅助

有人驾驶战斗平台，允许人和机器合作，各自发挥自身优势，由此对整个任务带来各种好处——包括提高载弹量和生存性，发挥分布指挥与控制的好处，从而把握局部条件下的闪逝机会。

“自主化武器和系统”类——此类系统吸收了以上所述四类的全部好处，把学习型机器融合到先进机器人中，使机器人能够执行与对手对抗的任务而无需人工输入指令。这样的场景对于美国空军而言似乎不切实际，毕竟这支空军过去 15 年中一直在广大地区执行各种安全行动，在高抗衡环境实施快节奏作战，从中体验的作战概念与之非常不同。但是如果美国欣然接纳自主化武器，用以防卫那些时时处于威胁之下的遥远作战基地，更加重视对来袭威胁的早期发现和打击，那么距离的挑战或可转变为机会。在敌友区分十分清楚的环境中，自主化的动能杀伤武器、网战武器，以及电子战武器等，依据明确的火力覆盖走廊，有可能提供强大的防卫，挫败任何潜在敌人的进犯。

如以上图 3 所示，把五大类系统置于由四类任务（脑力型 / 体力型 / 独特型 / 重复型）组成的方形图表之中，对敌作战任务的弱点一目了然，从而明显看到把“学习型系统”、“人机协作”，以及“机器辅助人工作业”这三类系统投入军事应用的毫无疑问的巨大好处。其实在过去 15 年中，我们已经探索和利用了其中的多项好处，帮助了解敌人网络以及制定相关的目标打击计划。进一步，我们的网空防御作战在很大程度上已经采用学习型系统和人机协作这两类。并且，凡曾被派往工业界交换学习的军官，一定看到了这五项系统能力已经在企业中得到广泛应用，同时也会意识到，军方无疑需要加大努力来提升这些能力的军事应用程度。只要把这种机器认

知计算能力可靠融入机器之中用于执行我军现有的任务，沃克副国防部长期待的优势就一定能实现。

在以上五类中，“自主化武器系统”和“有人 / 无人系统战斗组合”可提供的好处最多，但也面临最大的军事风险。机器能提供巨大杀伤力，以及超越人类生理极限的表现，但随之应用带来风险，其所生成的结果带有不确定性，因此需要人工监察。自主化武器无疑具备独特优势，但易被敌人攻击，或者说使其完善的研制时间和成本极高。因此，人独有的创造能力将继续是打败狡猾对手保证战场胜利的关键。正如最近一份对谷歌“阿尔法狗”机器算法战胜人类专家的评估所显示，具备学习能力的机器拥有重大的优势。这样的机器如果部署到战场，一定能发挥出最优秀战士的水平，并将继续学习不断完善自己。但是在某种一次定成败的关键交战中，例如在战斗中，机器有可能被人类天才攻破，或者被人类错误所困惑。¹³

和大多数矛盾一样，最好的解决方案通常位于中间某个部位——这就是推进有人 / 无人系统团队组合概念，确定什么领域可以采纳全面任务自主化，应该基于哪些交战规则或状态，应在决策循环圈的哪个部位做出最终行动决定，此决定是由“圈内人”还是现场人做。重中之重是重视“团队组合”，或者说做好人机互动的恰当混合，从而生成最大的军事优势。

从作战自主化研究中得出的最后关键推论，是分布和分散作战带来的期待和挑战。作为第三次抵消战略的一个重要面向，我们已经确认，我们将必须在高抗衡环境作战，必须采用联网平台来挫败敌人的强大火力。但是，这种未来作战模式与我们当今的指挥

控制结构不相匹配, 受到严重制约。现一代领导人所经历的作战环境, 是将风险保持在相当高的层级上, 是由指挥链的更高层把握使用杀伤力量的决策权。虽然战术行动有交战规则, 但限制极多。如何改变作战中集中指挥过多而分散控制过少的做法, 将非常不易, 当然并非不可克服。我们需要就指挥官的培训和模拟练习做出重大努力, 训练他们信任机器, 愿意赋予其更多自主权; 更重要的是, 这种新思维模式必须灌输给空军的高级指挥官, 例如盟军空中统领指挥官。如果我们预期面对的强敌出现在战场, 指挥官的“长柄螺丝起子”将成为历史陈迹, 战场基层军官和士官将发挥战略作用, 担当主角。指挥官松手放权, 就像单纯推出技术本身那样, 也是一个巨大的文化挑战。我们面临的挑战, 是信息时代战争中第一波打击可能产生巨大的重创, 而没有足够时间去适应调整或做出响应。如果我们继续坚持集中控制各种精细能力, 而不是依靠联网的、分布的人机结合执行任务能力, 机会就可能一去不返, 代价将极为高昂, 以至无可补救。为避免陷入“不可收拾”的错误境地, 就需要我们采纳平衡兼顾的能力混合, 使我们有机会快速适应威胁环境并调整自身。

注释:

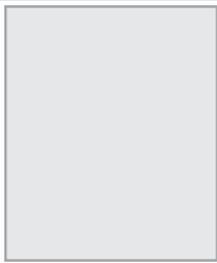
1. Sydney J. Freedberg Jr., “People, Not Tech: DepSecDef Work on 3rd Offset [人比技术更重要: 沃克副国防部长论述第三次抵消战略], [Joint Interagency Combined Space Operations Center] JICSPOC,” Breaking Defense, <http://breakingdefense.com/2016/02/its-not-about-technology-bob-work-on-the-3rd-offset-strategy>.
2. Yuval Noah Harari, *Sapiens: A Brief History of Humankind* [现代人: 人类简史], (New York: Harper, 2015), 334.
3. Defense Science Board (DSB), Department of Defense (DOD), DSB Summer Study on Autonomy [国防科委会自主化研究报告], (Washington, DC: DOD, July 2015 [publication forthcoming]), 5.
4. Lisanne Bainbridge, “Ironies of Automation” [自动化的悖论], *Automatica* 19, no. 6 (1983): 775-79, http://www.ise.ncsu.edu/nsf_itr/794B/papers/Bainbridge_1983_Automatica.
5. 更完整及有用的论述, 参看 Sheridan and Verplank 的“自动化 10 级程度”, 详见 Liang Sim, M. L. Cummings, and Cristin A. Smith, “Past, Present and Future Implications of Human Supervisory Control in Space Missions” [人类监察控制

结语

令人尊敬的英国将军格雷蒙·兰姆 (Graeme Lamb) 曾谈及复杂环境下的军事领导艺术, 他认为以自主化为特征的未来作战可以表现为处于“指挥之中, 控制之外”。¹⁴ 就自主化而言, 第三次抵消战略不仅关乎设备硬件, 同样关乎无形软件, 诸如组织文化和概念。对自主化的任何讨论都必须重视和运用这个深刻观点, 从中得出重要推论, 这就是, 领导者、决策者和规划者都将做到既善引领也善跟随, 以人之智慧引导和跟随自主化系统, 顺势而为当好两种角色。

自主化机器和人一样, 随着自主行动决策权幅度的增大, 而发挥越来越大的潜力。人和机器面临的挑战是, 如何信任各自在复杂和抗衡环境中的判断力。对这一点, 我们拥有巨大的优势。西方军队在下放指挥责任方面有长久历史, 而今把自主权下放给人和机器, 就是创造机会, 让我们在信息战争时代能迅速调整, 在与平等对手交战时能占据独特的优势。读者在观阅自主化的讨论时可能更多想到硬件和设备, 其实显而易见, 同样甚至更加重要的, 是构建信任机器和系统的组织环境。归根结底, 只有充分予人自由, 才能充分发挥机器作用, 信不信由你。★

- 太空飞行对过去、现在及未来的意义], *Acta Astronautica* 62, no. 10-11 (2008): 648-55, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.01.029>.
6. “Automation Angst” [自动化疑惧症], *Economist* (UK), 16 August 2015, <http://www.economist.com/node/21661017>.
 7. Carl von Clausewitz, *On War* [战争论], edited and translated by Michael Howard and Peter Paret (Princeton, NJ: Princeton University Press, rev. 1984), 75.
 8. J. F. C. Fuller, *Generalship: Its Diseases and Their Cure; a Study of the Personal Factor in Command* [将帅常见病和医方 : 指挥中的个人因素研究], (Harrisburg, PA: Military Service Publishing, March 1936), 13, <https://archive.org/details/GeneralshipItsDiseasesAndTheirCure>.
 9. Carl Benedikt Frey et al., *Technology at Work v2.0: The Future Is Not What It Used to Be* [2.0 版技术问世 : 未来不同过去], (New York: CitiGroup and Oxford Martin School, January 2016), http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/reports/Citi_GPS_Technology_Work_2.pdf.
 10. 同上, 第 92 页。
 11. Robert Work, “Deputy Secretary of Defense Speech: Reagan Defense Forum: The Third Offset Strategy” [国防部副部长在里根防务论坛演讲 : 第三次抵消战略], (speech, Reagan Defense Forum, Reagan Presidential Library, Simi Valley, CA, 7 November 2015), <http://www.defense.gov/News/Speeches/Speech-View/Article/628246/reagan-defense-forum-the-third-offset-strategy>.
 12. Air Force Future Operating Concept: A View of the Air Force in 2035 [空军未来作战概念 : 2035 年空军], September 2015, 27. <http://www.af.mil/Portals/1/images/airpower/AFFOC.pdf>.
 13. Choe Sang-Hun, “South Korean Gets 'Priceless' Victory over Computer in Go Match” [韩国棋手战胜阿尔法狗取得“无价”胜利], *New York Times*, 13 March 2016, <http://www.nytimes.com/2016/03/14/world/asia/south-korean-gets-priceless-victory-over-computer-in-go-match.html>.
 14. Graeme Lamb, “In Command and Out of Control” [指挥之中, 控制之外], *Medium.com* (web site), 21 October 2015, <https://medium.com/the-bridge/in-command-and-out-of-control-aab523b92fe1>.



安德鲁·麦希, 英国皇家空军中校 (Wg Cdr Andrew Massie, RAF), 毕业于美国空军大学高级空天研究学院, 目前作为交换军官在美国空军总部计划处 (HAF/A5SS) 战略科任职。麦希中校是英国皇家空军飞行员, 拥有各种战斗经验, 包括一轮阿富汗战场部署经历。