

“星链”在战场：第一次商业太空战争



2022年爆发的俄乌战争中，马斯克向乌克兰投放的宇宙探索公司（SpaceX）产品“星链”（Starlink）引发了国际社会的共同瞩目。在俄乌战争爆发的第二天，马斯克就为乌克兰前线输送了大批“星链”卫星互联网移动终端，借助其运营的近地低轨道（Low earth orbit, LEO）卫星星座网络，恢复了乌军被俄军所切断的通信网络，以商业通信卫星资源填补了军事通信被打击后造成的空白，成为乌军

在战斗中不可或缺的生命线。美太空军负责人杰伊·雷蒙德（Jay Raymond）上校也将其称为“第一次商业太空战争”。

相较于被称为“第一次太空战争”的海湾战争（爆发于1999年），战争涉及主体发生了根本性变化——市场化的民用空天技术企业以主动自觉的姿态下场，成为战略信息网络的执棋者。虽然早在海湾战争中，美军就已经引入商业卫星作为军用通信容量的补充，但其仅在后台为军方提供通信能力应急备份，本质还是被军方所征用调动的民间资源，而非成熟独立的战争“主体”；但在俄乌冲突中，SpaceX独立于军事系统之外，直接与战场发生关联，彻底变成了战略和战术上的主动方，这才是“第一次商业太空战争”的真正突破性所在。

1957年，在苏联发射人造卫星“斯普特尼克1号”的八个月前，美国空军少将伯纳德·施里弗（Bernard Schriever）曾做出预测：“几十年后，重要的战斗可能不是海战或空战，而是太空战。”但施里弗未曾设想的是，今天的“太空战”已经从单纯的国防军事领域外溢到商用空天资源。俄乌战争中的星链应用，对于我们想象和筹谋未来战争，既是一种拓展，也是一种预警。既预示着普通的民用科技也能轻松地跨越边界成为战略资源和战争武器，也警示着新时代的战争所波及和卷入的主体将会更加泛化和多元。

商业低轨卫星互联网在俄乌冲突中的颠覆性优势

星链项目始于2015年，2019年首次发射，是一套依赖于上万颗近地低空轨道（LEO）卫星组网的空天互联网通信体系，俗称“卫星星座”。自从2019年第一颗星链卫星发射升空之后，截至目前，在近地轨道上已经部署了5151颗星链卫星，预计还将发射4万颗，力图将传统互联网信号对于地面基础设施的依赖降到最低，致力于让普通用户只需要使用一套碗筷大小的终端就可以在任何环境接入互联网，避免大量地面基础设施的建设和高昂维护成本。

2022年2月，俄乌战争爆发。俄军在发起进攻的第二天就中断、摧毁了乌克兰战区的部分地面网络基站和供电站，基辅西北部伊尔平地区大部分信号基站都遭到严重破坏，致使网络瘫痪。就在战争爆发的两天后，马斯克响应乌克兰副总理米哈伊洛·费多罗夫（Mykhailo Fedorov）在Twitter上的请求，将星链设备运入网络被俄军切断的乌克兰。星链卫星系统及其手持碟形终端成为军队、政府和人民共同仰赖和依靠的“生命线”。例如，在基辅北部，只依靠一台星链终端，就恢复了一条十公里道路上一连串村庄此前瘫痪的通信。目前，乌克兰仍有

上万只星链终端正在运行,根据应用分析平台Apptopia的数据,星链日活跃用户大约有15万。俄罗斯数次尝试破坏星链的网络连接,但都未能成功。唯一有效的手段是直接追查并销毁盘子大小的卫星终端,但其反卫星武器和针对系统黑客均对这一通信网络本身束手无策。星链作为非专业军事化的商业卫星服务体系,能够在俄乌冲突中出色地完成非高度保密性质的基本军事通信任务,包括:提供充足带宽,终端小巧便携,为精准打击搭建链路,实现稳定的超视距通信,以及形成去中心化指挥网络。

不过,以上特征均是在此前战争中出现过的广义卫星通信网络技术优势,星链LEO卫星网络这一特殊的技术形式真正独到的优势并不在此。星链在俄乌战争中真正的三大颠覆性特色是:冗余弹性网络、低成本部署、商业航天的灰色身份。

首先是LEO星座构成的冗余弹性网络。在2022年5月举行的参议院军事委员会听证会上,美国太空部队太空行动副总指挥大卫·汤普森(David Thompson)将军称,俄乌战争最重要的启示就是大型卫星星座提供的弹性。海量卫星布局使得网络弹性极大、冗余度极高,让传统的反卫星武器陷入绝对被动的局面。虽然俄罗斯有能力击落近地球轨道上的“星链”卫星或其他卫星,但成本极高而且难以奏效:摧毁一颗卫星需要一枚反卫导弹,而SpaceX的廉价火箭一次发射即可补充60颗卫星,效率与成本均相差数十倍。除了反卫武器的硬攻击,据马斯克称,星链提供的网络“抵御了迄今为止俄罗斯的网络战干扰和黑客攻击企图”等软性打击,表现出了极强的稳定性。大多数人预计乌克兰的通信或互联网接入会在战争的头几天或头几个小时被切断,“但这并没有发生,现在也没有发生”。美国太空司令部司令詹姆斯·迪金森(James Dickinson)将军也在参议院军事委员会的听证会上说:“马斯克和星链确实向我们展示了一个巨型星座或一个增殖架构所能提供的冗余和能力。”

其次是低成本部署。成本控制在军事通信中也非常重要。事实上,发展借由卫星所搭建的天基互联网作为军事通信手段早在2002年就已经被美军提上日程了,名为“转型卫星通信计划”(TSAT)。该系统是在2001年9月11日美国恐怖袭击事件和无人机技术发展的推动下诞生的,承诺将推出一个为国防部、美国国家航空航天局和美国情报界服务的安全、大容量的“空中互联网”,用于“以网络为中心的战争”。该系统的愿景是将旧有军用卫星(Milstar)的数据传输速率提高数千倍。但这一系统的命运却十分曲折,布什总统在2007财年为TSAT申请了98亿美元的经费,但由于奥巴马政府试图削减国防开支,五角大楼于2009年取消了该计划,并宁愿选择带宽只有TSAT能力5%的先进极高频卫星。由于SpaceX公司掌握了太空从廉价火箭发射到卫星制造和运营全产业链的技术,已经能够将单次发射的成本降低至50万美元,很好地迎合了美军对于性价比的期待。

最后,是商业航天在战争中微妙的灰色身份。星链并不直接对接国家力量,行动在法理上不代表国家行为,从而增加战略回旋余地。由于商业卫星属于民间资产,俄罗斯对其攻击尚未有国际法的依据。为了避免冲突升级,再加上技术和成本上的考虑,俄罗斯一直无法实施直接的反击。

以上特点使得星链星座“攻”可与无人机技术结合为精准打击搭建链路并实现稳定的超视距通信;“守”可使得俄方传统反卫打击武器陷入战略被动并构建去中心化指挥网络,甚至还由于其不直接代表国家力量,拥有了进退自如的灰色空间。因此,星链在第一次商业太空战争中已经显露了诸多具备颠覆性的特点与趋势,将极大革新甚至重新塑造主要国家之间的战略博弈格局,深刻影响未来的军事航天体系与作战模式。但这绝不仅仅是马斯克和

SpaceX单方面的异军突起。

SpaceX契合并助推美军事通信两大转型

星链在俄乌战争中的成功，可以说是美国军方早早“下注”的结果，实际的表现甚至超出意料。SpaceX的成功在于其契合并助推了美军向未来军事通信领域转型的两大方向：一是合作模式向军商一体的复合网络转型，二是技术模式向弹性冗余的低轨道（LEO）卫星星座转型。

第一，将卫星通信领域的未来朝着军商一体的复合网络转型推进。这与此前单纯在军事行动中引入商用卫星是完全不同的两种模式。

早在2016年，随着传统军事国防卫星系统老化、他国反卫星武器技术的赶超、国防成本超出控制地增长，美军就启动了建设下一代宽带卫星通信（Satcom）备选方案分析（AoA）计划，以逐步取代老旧的WGS卫星群。“备选方案分析计划”标志着对商业卫星利用方式的根本性转换——不再是将其仅仅视为几颗大型军事卫星宽带不足时的补充和调用，抑或是以传统高额国防订单的形式订购一个需要探索全新技术以实现能力突破的大卫星，而是彻底逆转了“主辅关系”：首次将商业卫星能力作为基础，并在需要时叠加有限的、特定目的政府卫星能力，以实现基本成果。

纵观美国历届政府，对于商业航天重要性的强调也在逐步上升。布什政府最先提出了“商业航天”问题；奥巴马政府指出“要最大限度地采购商业太空产品与服务，以满足政府的需求，通过加强商业航天的创新技术，加强美国在世界航天技术发展中的引领作用”，把发展商业航天放到非常重要的位置；特朗普政府则更进一步，将发展商业航天看作是“美国能在航天领域取得领导地位的前提”；国防部领导层也越来越多地呼吁以“商业至上”的思维建立一个完全集成的卫星通信架构，以服务于现代和未来的国家安全任务。

第二，卫星通信所采用的技术模式，从最初以军事卫星、国防通信卫星为代表的布局在GEO（地球同步轨道）上少量、大型且昂贵的静止卫星，转向如星链这般布局在LEO（近地低空轨道）上海量、小型且廉价的卫星星座。

美国太空发展署（SDA）在2019年正式提出，将投资数十亿美元发展以LEO星座为基础的下一代军事太空体系，俄乌战争中冗余系统的抗击打能力和稳定性证明了这一技术模式选择的正确性。美国太空部队太空发展局局长德里克·图尔尼（Derek Tournear）曾愉快地指出，俄罗斯没有击落任何星链卫星的事实说明了冗余低轨星座在阻止攻击和提供弹性方面的威力。英国太空司令部司令保罗·戈弗雷（Paul Godfrey）空军中将也说：“看到一个低地轨道星座如何能够恢复（战争中断的）通信，对我们来说意义重大。”

自从SDA锁定LEO战略后，军方与SpaceX公司的合作就开始从单纯的火箭发射领域拓展到通信卫星技术试验与订单领域。SDA构想的空间传输层包括约650余颗小卫星，将在极大程度上利用以星链为代表的商业低轨宽带互联网星座成果。美国太空部队太空行动副总指挥大卫·汤普森将军在2022年5月11日举行的参议院军事委员会听证会上指出：“LEO商业卫星通信在乌克兰展示的能力验证了太空部队的战略。”在2022年俄乌冲突爆发前，2019年3月和11月，美国空军战略发展规划和实验办公室与SpaceX先后签订了一项价值2800万美元的合同以及“商业太空互联网国防实验”（DEUCSI）合同，要求其在3年内利用星链开展军事服务演示验证，希望将星链星座宽带网整合到美军现有的军事系统中。2020年5月，美国陆军又与SpaceX公司签订了为期3年的“合作研究与开发协议”（CRADA），以测试星链低轨互联网星座提供的宽带网与军事

通信网络连接的可行性。由此可见,星链在俄乌冲突中的惊鸿一瞥绝不只是昙花一现,而是一条精心铺设、与美军通信模式转型相耦合的漫长阶梯,且远远没有走到尽头。可以说,SpaceX既乘上了东风,又助长了风力。

商业太空战争与互联网基础设施新蓝海

美军下一代宽带卫星通信由大卫星向小卫星的转型举措也重新搅动了美国军工市场的分配。如SpaceX这些新型高资本航天企业对此自然夹道欢迎,却引起了传统军工大户的不安。例如,美国军事承包领域最强大的三家公司——洛克希德·马丁公司、波音公司和诺斯罗普·格鲁曼公司,都在开发当前使用中的主力军用通信卫星:波音公司开发了最为常用的宽带全球卫星通信WGS(也就是因为老旧要被“备选方案计划”取代的主角),洛克希德·马丁公司制造了核加固型先进极高频(AEHF)星座,而诺斯罗普·格鲁曼公司则制造了增强极地系统(EPS)。但随着俄乌冲突中星链的成功“试验”,其作为新型商业资本所带来的冲击,一定程度上撼动了双方力量对比的天平。

作为“第一次商业航天战争”,以“星链”为代表的大批商业卫星以非军方合作者的独立身份进入战争舞台,极大地区别于此前仅在后台为军方需求提供补充性服务的姿态。再结合美国在太空战略方面的频繁动作和革新思路,现在军方客户所勾连的资本已经不仅仅是传统的重型工业,而是信息化含量越来越高的IT产业,甚至是直接与硅谷的互联网资本巨头合流。

一方面,美国政府所密切联结的资本类型已然发生变化,从以大型航天制造企业为代表的传统军工承包商,向新兴的互联网巨头迁移。这强化了此类新兴跨国经济体利益与国家利益的整合。另一方面,看似轻型的高技术互联网资本也主动向重资产的军方迈出靠近的步伐,并不只是为了谋求五角大楼丰厚的国防订单,而是关乎下一个时代的产业布局:太空不仅是军事上的“新战场”,也即将成为商业上的“新战场”。

赛博空间的领航者先一步意识到了宇宙新空间的广阔,以LEO轨道为基础的卫星星座系统正在逐步发展为下一阶段互联网基础设施部署的新高地,需要提前抢滩登陆并占据主导权。当前,全球互联网通信与数据传输依赖海底光缆作为“大动脉”,卫星互联网受限于带宽,目前还只起到补充性作用。但恰如曾任北约最高军事长官的美国海军上将詹姆斯·斯塔夫里迪斯(James Stavridis)曾指出的,“海底的光缆……这一至关重要的基础设施越来越脆弱,应该引起我们所有人的担忧”。随着铺设于20年前的海底光缆遭遇老化失修、所有权分歧以及数据安全挑战,5G、6G等高频通信技术的进步,以及低轨道卫星星座系统的制作和发射成本都在大规模降低,太空卫星越来越有可能成为海底光缆的直接竞争者,成为长途数据传输的新动脉。

卫星互联网极大地拓展了跨主权传播网络的技术边界与可能性,完全联网的战场空间是未来大国竞争战场上的兵家必争之地,俄乌战争也为我们展示了这将是孤立的军事实力竞争,而会更加广泛地渗透到商用和民用的网络当中。

2020年,中国国家发改委正式将卫星互联网纳入“新基建”,全国多个地方政府也在积极谋划布局相关产业发展,但相关系统正在论证和设计之中,中国卫星全供应链自给能力也有待进一步提升。2023年10月7日,工信部刚刚放开了民间资本进入电信业务,逐步推动卫星互联网领域的准入制度改革。因此,梳理“第一次商业太空战争”与星链卫星互联网在军与商两个领域的布局,有助于为我国探索如何发展探索新型举国体制下的太空产业提供镜鉴,并拓展提升应对未来空天战争的思路与格局。(文/张涵抒 北京大学新媒体与传播学院)