交缠导致升级：

指挥控制系统的脆弱性将如何增加非故意核战争的风险

詹姆斯·阿克顿

This is a translation of James M. Acton, “Escalation through Entanglement:How the Vulnerability of Command-and-Control Systems Raises the Risk of an Inadvertent Nuclear War,” *International Security*, Vol. 43, No. 1 (Summer 2018), https://www.mitpressjournals.org/loi/isec.

摘　要

对于间隔排列或远离潜在冲突地区的两用指挥、控制、通信和情报资产来说，非核武器形成的威胁越来越大。这种通过核手段与非核手段之间的“交缠”，有可能导致中国或俄罗斯对美国展开非核打击，或是美国如是打击这两个对手，从而意外引发核战，使战势升级。这种升级压力可能源自危机动荡，或两种新确定的机制：“误解警告”或“损害限制窗口”。美国两用预警资产的脆弱性证明了这些风险的切实存在，它们将会因两个原因而进一步加剧。首先，在中国或俄罗斯与美国发生常规冲突时，中俄将会有强烈的动机对

美国的预警资产展开动能打击。其次，即使打击规模有限，也可能破坏美国监视敌方核攻击的能力。此外，网络对两用预警资产的干扰将会引发额外的危险：目标可能将网络间谍活动误解为是有毁灭性打击的。目前，采取单边措施是减少交缠所致风险升级的唯一可行办法，尤其是进行组织改革，确保战争计划、俘获决策和危机决策能充分考虑这些风险。长远来看，单边措施可为采取更具挑战性的合作措施铺平道路，比如达成威胁行为限制协议。

美国在其 2018 年《核态势评估报告》中提到了一种非常重要的威胁，但该威胁在围绕报告发布的如潮评论中被极大地忽视了：美国警告潜在敌手“若美国或其盟国的核力量、指挥、控制、警告和攻击评估能力遭到重大的非核战略攻击时.....它将考虑使用核武器。”[1]提出这种威胁，是因为这些核资产在面对先进的非核武器时正变得日益脆弱——尤其是美国的核武器指挥、控制、通信和情报能力（C3I 或使能能力）；这么做可能也是为了阻止这种攻击。[2]《核态势评估报告》发布这一威胁，是想阐明针对核力量和 C3I 能力的非核攻击可能会加剧甚至直接引发核战争。

管理这些升级风险的一个至关重要的挑战是攻击敌手的核力量或 C3I 能力（无论属于美国还是其他国家）可能不是蓄意的。2000 年代后期以来，学者们一直警告所谓的危机动荡可能导致美中冲突升级。这种危机动荡是由美国实际或威胁实施的非核行动所引发的——这些行动旨在压制中国的常规力量（中国政府由此担心自己会被解除武装），却无意间削弱了位于战区的核力量或 C3I 资产。[3]更为罕见的是报告也对美俄冲突提出了类似警告。[4]这种升级是军事行动或威胁的结果，其本意并非是要导致危机升级，因而具有非故意性。[5]

本文认为，非故意升级风险会比这些警告更为严重，并可能在未来明显加剧。在发生常规冲突的过程中，中国、俄罗斯或美国位于战区之外的 C3I 资产可能受到攻击，构成了这些风险的导火索。这些资产包括用于预警、通信以及情报、监视和侦察（ISR）的卫星；地面雷达和发射器；以及通信飞机。[6]这些资产构成了国家核武器 C3I 系统的关键节点，但也以两种方式与非核武器“交缠”在一起。[7]首先，它们通常具有双重用途，即可触发核行动和非核行动。其次，它们越来越容易受到非核攻击——实际上，他们要比大多数核武器运载系统更容易受到攻击。

交缠可能导致升级，这是因为美中和美俄冲突双方都有强烈动机来攻击敌手的两用性 C3I 能力，以破坏其非核行动。[8]这样一来，交战一方或双方的核武器 C3I 系统便可能在常规战争过程中严重退化。因此，不仅美国针对中国或俄罗斯的非核攻击将会升级，而且中国或俄罗斯针对美国 C3I 资产的攻击也存在这种可能——对于后者，冷战结束以来少有学者考虑过。[9]

这里存在两种学术文献从未讨论过的升级机制，它们是导致风险增加的主要原因。首先，所涉目标可能会将非核攻击两用性 C3I 资产（传统作战目标）解读为准备进行核打击。它可能会对这种“误解警告”采取行动，以试图震慑自己认为可能发生的核打击或减轻其潜在的灾难性后果。这些行动——比如采取挑衅性非核行动保护剩余的 C3I 资产（如攻击敌手内陆的反卫星武器）或进行核威胁——极易导致危机升级。即使“误解警告”的接受方并不关心其核力量的生存能力——这是与危机不稳定的关键区别，这些升级压力也可能出现。

其次，遵循损害限制原则的国家将会依靠复杂的 C3I 能力来定位和摧毁敌手的核力量，并部署导弹防御行动。如果这些两用性使能能力在常规冲突中受到攻击（或它们的拥

有者担心受到攻击），国家可能会担心，在核战来临之时，有效采取损害限制行动的机会之窗可能已经关闭。在这种情况下，国家可能会采取升级措施来保护其 C3I 系统，或先发制人地启动反击行动。这种可能被称为“损害限制窗口”的升级机制不同于危机动荡，因为它的驱动力是国家遏制敌手核力量的愿望，而不是自我保护。它与“误解警告”也截然不同，因为即使国家不相信敌手进行的核打击迫在眉睫，其也会采取行动；国家只需相信这种升级随后可能发生即可。

C3I 交缠的另一个影响是危机动荡的风险要比学术文献中描述的更加严重。有关危机动荡的学术警告主要集中在美国非核行动将会削弱中国的核力量这一点上，但也提出了非故意威胁对中国战区核武器 C3I 能力的风险。[10]2013 年，美国承认作为“空海一体战”（2015 年更名为“全球公域介入与机动联合概念”，此后得到了进一步发展）的一部分，其正在通过破坏相关的 C3I 资产削弱潜在敌手的反介入或区域封锁能力。自此以后，这些威胁便受到了特别关注。[11]如果像一些分析家所认为的那样，中国陆基核导弹和非核导弹通信系统之间存在重叠，中国便会将美国旨在破坏其非核导弹的攻击误解为对其核力量的打击。[12]

然而，交缠已为危机动荡酝酿出了其他的潜在触发因素。比如，美国已经、或已有能力制定激励措施，针对中国或俄罗斯战区之外现有和未来可能出现的两用预警设施发动非核动能攻击。这些预警设备包括超视距雷达、弹道导弹预警雷达（BMEWR）和预警卫星。[13]（动能武器通常使用爆破弹头，旨在通过物理接触进行动能传递，从而破坏或摧毁目标；非动能武器包括定向能武器和网络能力。）此外，如果美国通信飞机（目前是美国最有效的核力量通信手段）变得更易受攻击，俄罗斯对美国的打击可能会加剧危机动荡。

无论源自何处，交缠都可能导致美中或美俄之间的任何常规冲突进一步升级。具体而言，也就是说本文背景所涉及的美中冲突最有可能源自中国企图通过武力统一台湾（可能没有缘故，也可能是因为台湾政府宣布独立所致），美国随即代表台湾对此进行干涉。而最有可能造成美俄重大冲突的原因则是俄罗斯入侵和占领一个或多个波罗的海国家，美国随即带头反击，将其解放出来。对于这两种情况，战争都可能从源发战区蔓延开来。

当然，美中冲突的升级驱动与美俄冲突之间存在着重要差异。尽管如此，两者之间仍存在一些重要的相似之处，可用来分析交缠所致风险的一般性质。特别是，交缠不仅可直接导致使用核武器，而且还可能破坏非核升级的管理效力，从而增加随后使用核武器的风险。比如在冲突初期，为了强调其战争目标设有限制，美国可能会在一定范围内进行限制性的非核打击，而非直接深入敌手领土进行打击。随后，当美国担心自己重要的 C3I 卫星资产受到威胁时，才会选择去攻击边境以外的中国或俄罗斯反卫星（ASAT）武器。

本文将首先概述可导致交缠增多的技术和理论发展，然后提出交缠可能引发升级的三种机制（误解警告、损害限制窗口和危机动荡），分析最有可能导致升级的条件。为具体说明升级风险的严重性，本文接着描述非核动能攻击可能对美国预警系统产生的效果和影响，还将分析网络干扰中国、俄罗斯和美国两用性预警资产的风险，尤其是目标将网络间谍活动误解为企图破坏或销毁这些资产的危险。

由于降低风险比较困难，因此从政策方面看，单方面克制和行动是短期最可行的应对措施。虽然这些措施效力有限，但它们可为未来合作做出铺垫。正如本文在结论中所强调的那样：未来，交缠带来的风险可能会在缺少应对措施和行动的条件下日益增多。对此，尽管协调起来会很难，但合作式风险降低的策略却依然值得采纳。

交缠的技术和理论驱动力

交缠是指核领域和非核领域之间的相互作用。就目前而言，其最重要的特征是许多C3I资产都具有两用性，且会对核力量或C3I基础设施产生一种非核威胁（真实威胁或感知到的威胁）。其他表现（仅在此顺便提及）还包括两用运载系统；表面上与非核武器相似的核武器运载系统；以及核武器和非核武器运载系统或C3I资产的托管。冷战结束以来，军事技术和原则方面的四大趋势已导致交缠大幅增多，并且还会持续增加。

技术威胁不断增多

首先，武器装备经历了深刻变化，由此加倍放大了对国家C3I资产及其核力量（程度相对较小）的非核威胁。这些变化包括部署两类全新的武器：网络武器（可对C3I能力和核力量产生威胁）和非核战略弹道导弹防御系统（可拦截已发射的核武器）。现有非核武器的效力也得到了显著改善。比如，冷战结束时美国和苏联已有部分能力瞄准没有搭载核武器的卫星，但目前非核反卫星武器所构成的威胁更强大——这包括动能武器和非动能武器。[14]高精度常规武器也显著改进，甚至出现了卫星制导武器。未来几十年间，所有这些武器有望进一步获得实质性改良，远程高超声速武器等全新非核武器也可得到部署。[15]

C3I能力的脆弱性不断加剧

其次，使能技术的变化加剧了核行动所涉C3I资产的脆弱性（无论这些资产是否具有两用性）。比如，无处不在的数字网络为网络干扰创造了条件。此外，为降低成本，美国已将目光抛向与不同核武器运载系统相关的使能系统，努力探寻更多的通用性，比如卫星信号接收器。[16]然而，这种发展可能会放大网络风险。比如，如果共用接收器存在设计缺

陷，容易遭到网络攻击的破坏。如果破坏发生，使用该接收器的所有核武器运载系统会同时遭到损害。

至少对于美国的核武器 C3I 系统而言，导致脆弱性日益加剧的另一个原因是冗余减少（由于公开信息的缺乏，因此无法评估中国和俄罗斯系统的冗余变化）。[17]比如，20 世纪 80 年代末和 90 年代初，人们使用两个基本独立的卫星通信系统来发送部署美国核武器的命令。[18]国防卫星通信系统为洲际弹道导弹（ICBM）提供服务；另一个独立系统是空军卫星通信系统（AFSATCOM），由数十颗卫星（主要用于其他目的）上的特殊转发器组成,为洲际弹道导弹、潜射弹道导弹(SLBM)和载核武器飞机提供服务。[19]目前，美国正在部署四颗先进极高频卫星(AEHF)，由此构成 Milstar（军事卫星通信系统）卫星退役之后，该国用于传送核武器指令的唯一天基系统。同样，冷战结束时美国运营着两个独立的无线电天线网络，与潜艇进行通信。[20]其中一个网络可利用美国大陆的两个极低频天线覆盖全球，在冷战后被关闭。[21]如果对剩余资产进行现代化改造，有可能提高它们在核战争极其紧张条件下的效力；但预算压力造成了总体冗余损失，似乎降低了美国核武器 C3I 系统对抗非核攻击的能力。

对两用性 C3I 资产的依赖增多

第三，美国核武器 C3I 系统对一直使用的部分两用性资产越来越依赖，由此增加了其在非核冲突中受攻击的可能性。比如，美国从未调派过专门用于核行动的通信卫星。[22]目前，Milstar（军事卫星通信系统）卫星和 AEHF（先进极高频卫星）是美国最为安全的天基通信方式，与核用户和“高优先级”非核用户（承担特别重要或时间紧迫的任务）进行通信。[23]实际上，这些卫星传输的绝大多数数据几乎都与非核行动有关。由于敌手难以采

取非破坏性手段（比如干扰）毁坏这些卫星，因此在常规冲突中，它们可能成为直接攻击的目标。

在冷战结束前的十年里，美国将非核角色分配给了过去仅用于核行动的 C3I 资产，对两用性系统的依赖程度由此增加。比如，20 世纪 80 年代中期之前，美国的预警卫星被专门用于探测核导弹的发射；[24]而在今天，它们还承担着各种非核任务，比如为参与拦截常规弹道导弹的导弹防御系统提供信息。[25]

与此同时，美国拆除了各种仅用于核行动的陆基通信系统。比如，它在 20 世纪 90 年代关闭了能够向飞越美国导弹区域的改装型洲际弹道导弹传送指令的应急火箭通信系统。[26]大约十年后，可供洲际弹道导弹从无线电天线接收发射命令的残余低频通信系统也被拆除。[27]

据美国政府问责局称，这些发展趋势所产生的净效应是，目前美国核武器 C3I 系统中的大部分资产“都能为核任务和常规任务提供支持”。[28]事实上，除了与运载系统直接相关的核武器管控军事力量外（也许还包括美国用于探测核爆炸的系统——尽管其中一些探测器安装在 GPS 卫星上），2018 年《核态势评估报告》所列的各项 C3I 资产都具有两用性。[29]

俄罗斯的核武器 C3I 系统也可能含有一些两用性资产。在俄罗斯国防部 2007 年出版的《军事思想》杂志中，一位退役军官和一位在职军官描述了当时正在开发的卫星将会怎样与“战略和非战略核力量”、非核力量甚至“联邦和地区政府机构”进行通信。[30]他们所说的应是俄罗斯统一卫星通信系统所包含的通信卫星。另外，根据俄罗斯官方媒体的报道，俄罗斯政府最近建设了一些能与核力量和常规力量进行通信的空基指挥站。[31]此外，

如下所述，俄罗斯的各种雷达已具备双重用途，俄罗斯新的预警卫星将来还可承担非核任务。

中国陆基核导弹和常规导弹通信系统之间的重叠程度，一直是分析人士争论不休的话题。[32]中国政府最近部署的 DF-26 弹道导弹再次提供了一些可以说明这种重叠十分重要的证据。中国一个颇具权威的消息来源称，个别弹体上的弹头可在核弹头或常规弹头之间快速切换。[33]这种能力表明，可以使用这些导弹的物理通信基础设施来传送核武器和非核武器指令。然而，这一证据并不绝对，因为通过更换弹头，常规导弹就会变成核导弹（尽管这一过程似乎排除了“更换弹头，而不是导弹”能力的全部目的）。[34]另外，如下所述，中国的各种预警能力已经或可能具有两用性。

理论威胁不断增多

第四，中国、俄罗斯和美国的军事原则似乎都在设想攻击空基和陆基 C3I 资产（其中包括两用性资产），以进一步推进常规作战目标。就美国而言，“空海一体战”概念已对这种战略进行了明确阐述。与此同时，美国政府已公开表示担心中国和俄罗斯都在试图摧毁美国的 C3I 卫星，从而进一步破坏其常规作战能力。[35]美国情报界特别强调了这两个国家对美国预警卫星的威胁。[36]同时，中国和俄罗斯的消息来源也印证了这一点。比如，据称 2004 年泄露的一本机密教材《第二炮兵战役学》中包含的关于中国战略原则方面的权威描述，似乎把常规冲突中攻击美国预警雷达作为一种破坏导弹防御系统的方式。[37]此外，中国专家已公开提出要增强攻击美国预警卫星的能力。[38]同样，俄罗斯专家也曾表示在常规冲突中，俄罗斯政府会考虑攻击包括美国地面预警雷达在内的 C3I 资产。[39]

升级途径：交缠对冲突动态的影响

交缠日益加剧的一个后果，是可能会“偶发攻击”对手的核力量或其使能能力。在这种攻击中，一个国家会通过攻击敌手的两用性资产来影响常规冲突的结果，但却会无意间破坏其核能力。[40]打击两用性 C3I 能力——尤其是通信和预警资产——可能是最重要的一种偶发攻击。不过，攻击飞机和导弹等两用性武器运载平台也可能产生偶发攻击。

偶发攻击有可能升级，这主要因为目标其实无法将它们与旨在破坏其核行动能力的故意攻击（包括获得即将进行核打击的警告）区分开来。战争中具有迷惑性的要素可能会加剧评估的总体困难——这种迷惑性要素会在任何重大的常规冲突中加重，并会因 ISR 能力可能受到攻击而进一步恶化。此外，正如巴里·波森所言，还可能出现另一种安全困境：一个国家出于谨慎，可能会将针对其核力量或使能能力的攻击视为一种故意，并采取行动保护它们；假设幸存资产没有受到威胁，那么当敌人意图被误判，其将面临核力量或使能能力被摧毁的风险。[41]

通过误解警告、损害限制窗口和危机动荡等三种途径，偶发攻击（实际攻击或威胁进行攻击）将可能引发非故意升级。

误解警告

在两个核武国家之间的常规战争中，针对对手两用性使能能力进行的非核攻击（传统作战目标），可能与旨在展开核打击的行动难以区分。因此，这种攻击将会产生一种误解警告——特别是当攻击者可能战败时。

虽然担忧成为核攻击目标的国家可能不会立即使用核武器，但这种担忧可能导致其所采取的行动有可能进一步导致危机升级，从而增加未来使用核武器的风险。尽管国家考虑

到为避免成为有限核打击的目标或希望减轻潜在的灾难性代价而避免使用核武器，但与危机动荡形成鲜明对比的是，即使国家不关心自己的核力量脆弱与否、是否有能力向其传送指令，这些升级压力仍可被察觉到。

评估误解警告的升级风险时存在两个问题。第一，目标在多大程度上会将针对其两用性 C3I 资产的非核攻击解读为为核战做提前准备？第二，如果目标明确担心其很快就会遭到核打击，那么它将作出的反应是否会进一步导致危机升级？

由于俄罗斯政府和中国政府拥有不同的核态势和原则，因此他们对美国两用性使能资产的攻击会从不同层面引发误解警告。美国对中国或俄罗斯两用性 C3I 资产的偶发攻击也可能引发误解警告，不过这种可能性在此不做讨论。

误解警告如何产生。美国政府认为在常规冲突中，俄罗斯可能会选择有限核打击，从而迫使美国做出让步——西方有时将这种策略称为“以升级遏制升级”。[42]它似乎还担心有限核战争一旦升级，俄罗斯可能会对美国核力量发起大规模的损害限制攻击（不过，这种攻击不会削弱美国的二次攻击能力）。[43]这些观点能否准确反映俄罗斯的战略对于目前而言并不重要；相反，真正重要的是这些观点无论对错，它们都有助于美国评估俄罗斯在冲突中的意图。因此，美国政府至少会基于三个原因，将俄罗斯针对两用性 C3I 资产的偶发攻击误解为核备战。

第一，俄罗斯可能会攻击美国的陆基或天基预警资产，以破坏可有效拦截其非核导弹的欧洲导弹防御系统。但是，对于此类攻击，美国政府可能认为俄罗斯的有限核打击将会蛀蚀美国的导弹防御系统。俄罗斯专家已公开提出其可在多种情形下（其中包括：俄罗斯如果担心美国将会对其核力量展开常规反击）对美国本土展开“有限战略打击”。[44]这些专家还担心美国导弹防御系统有能力抵御此类攻击。事实上，美国已宣布部署国土防卫系

统，以“保护美国免受来自任何地区的有限导弹打击”（即使这种防御无法应对大规模攻击）。[45]作为回应，俄罗斯战略家建议俄罗斯政府在发动有限战略打击之前，通过攻击美国的预警系统来摧毁这些防御。[46]美国政府若从这个角度解读俄罗斯对其预警能力的打击，便会出现误解警告。

第二，俄罗斯可能会攻击美国两用性通信资产，瓦解美国的各种非核行动。然而，美国政府可将这种攻击解读为一种先发制人的企图，以阻止美国对有限使用低当量核武器作出回应。载核武器飞机很可能是美国应对有限核打击的首选，因为 B-61 重力炸弹是美国军火库中最低当量的核武器。[47]然而，这类作战飞机的通信线路特别容易被切断。[48]俄罗斯的偶发攻击可能会摧毁卫星和陆基发射器，从而隔断上空及周边与敌方飞机的通信。与此同时，美国上空的通信飞机可能鞭长莫及，无法为该地区直接传送指令。因此，美国政府可将俄罗斯针对美国通信线路的攻击解读为企图瓦解美国应对低当量核打击的能力，并借此希望美国会因担心冲突进一步升级而不作出更有力的回应。

第三，俄罗斯针对美国两用性预警或通信资产的攻击，可能会被视为美国若不让步，俄罗斯便会使用核武器的信号。为了阻止俄罗斯进行有限核打击，美国高级官员曾公开强调升级为战略核战争的风险，例如，其指出“认为可利用核武器控制局势升级，实际上是在玩火。”[49]由于俄罗斯针对美国两用性 C3I 资产的偶发攻击有助于俄罗斯赢得战略核战争，美国政府会将其解读为企图提高有限核打击的可信度。比如，遏制美国的预警系统可能会阻止美国发射洲际弹道导弹、派遣轰炸机或保护其国家领导人躲避核攻击。同样，瓦解通信系统可能会拖缓美国对俄罗斯进行的核反攻的效率，从而为俄罗斯后续展开损害限制攻击争取时间。

可以肯定的是，对于俄罗斯针对美国两用性使能资产的打击，美国的解读将可能取决于具体情况。俄罗斯是否提高了核力量的警戒水平，是否派遣了核力量，甚至是否已发出了核备战命令？俄罗斯政府是否已执行行动计划，确保政府能在核战争期间继续运转？政府向民众传达了怎样的信息？如果战败，它是否会受到内部威胁？事实上，这些问题可能极难回答，因为当俄罗斯攻击美国的两用性预警和通信资产时，它可能已对美国 ISR 能力发起了广泛攻击，因此可能会拒绝向美国提供更多背景信息。[50]由于无法获得这些以上信息，美国政府将会认为最谨慎的做法是对俄罗斯政府的企图做最坏假定。

美国将中国针对其两用性 C3I 资产的非核攻击误读为核备战，由此产生的风险可能低于俄罗斯的情况，这里存在两个原因。第一，与俄罗斯政府形成对比的是，中国政府已承诺不首先使用核武器。第二，与俄罗斯不同的是，中国领导人绝对相信若与美国发起核战争，首先使用核武器根本无法切实限制自己将会遭受的损害。因此，美国政府不太可能将中国的非核打击视为争取胜利的战略核备战。

尽管如此，美国仍可将中国针对其预警系统的攻击解读为准备进行有限核打击，从而迫使美国终止这场不太利于中国的冲突。无论是否公平合理，美国完全不相信中国“不首先使用核武器”的承诺。[51]怀疑论者通常认为，如果中国面临台湾战争失利的危险（由此影响中国共产党的继续执政），中国政府极有可能放弃这一承诺。[52]如果出现这种局面，且中国攻击了美国的关键预警资产——尤其是卫星——以助其常规弹道导弹摧毁美国的防御系统，美国可能会判定身处绝望的中国领导人正在积极备战，以期对美国或区域目标展开有限核打击。[53]

同样，在一种很大程度上取决于具体情况的条件下，如果中国不仅攻击了美国的两用性使能能力，而且还部署了核导弹或发出了警告，那么误解警告的可能性便会增加。虽然

这一步骤可能属于一种标准的防御措施，旨在保护导弹在重大冲突中的生存性，但这一举措也可能会加剧美国政府对中国可能首先使用核武器的担忧。一些载有核武器的中程 DF-21A 弹道导弹已瞄准美国在西太平洋的资产。[54]因此，美国会将这些导弹的警报解读为准备进行区域核打击。与此同时，有关中国洲际弹道导弹的警报会被解读为中国将会危及美国本土安全，是想阻止美国因中国首次使用核武器打击区域目标而展开核报复。如果中国大规模攻击了美国的 ISR 资产，且否认美国方面可能有助于正确解释中国意图的背景信息，那么升级压力可能会变得更大。

美国将会如何应对误解警告。美国对误解警告做出的回应取决于一系列因素，其中包括对敌人使用核武器可能性的评估。但是，最重要的因素应是通过震慑阻止使用核武器，或在威慑无效时限制美国在核战争中的受损程度——这个目标已在 2018 年《核态势评估报告》中明确提出。[55]因此，误解警告至少可促使美国做出三种一般性回应，它们之间互不排斥，且都可进一步导致局势升级。

作为第一个也是最直接的回应，美国将会努力保护幸存下来的核武器 C3I 系统部件，因为它们对反制攻击和导弹防御等损害限制策略具有重要意义。如下所述，为了确保这些策略取得成功，美国必须保留的不仅仅是向幸存核力量传送指令的基本能力。保护幸存 C3I 能力的步骤也可能升级。比如，美国可能会攻击可能威胁到美国重要卫星的反卫星武器。如果这些武器位于中国或俄罗斯腹地，那么此类攻击便会引发局势升级——尤其是在美国此前为控制战争规模而从未远距离攻击敌手腹地的情况下。另外，美国也可能以牙还牙，攻击中国或俄罗斯的使能资产，以迫使中国政府或俄罗斯政府停止对美国 C3I 资产的破坏——这可能会使敌手担心其核力量的生存性，从而造成危机动荡。

第二，误解警告可能会促使美国派遣轰炸机进行警戒，并向海上发送更多的弹道导弹核潜艇（SSBN）。虽然中国和俄罗斯都不奢望解除美国武装，但如此，他们会威胁到美国港口的潜艇和基地的轰炸机。因此，对美国政府来说，提高这些平台的生存能力似乎是明智之举。然而，如果敌手不打算使用核武器，这种预防措施便可能产生一种威胁性。中国政府或俄罗斯政府尤其可能担心前沿部署的隐形轰炸机会在极短警告时间内发动攻击，或利用近海的弹道导弹核潜艇低轨发射潜射弹道导弹。反过来，中国或俄罗斯也可能采取措施——比如部署机动导弹——提高其核力量的生存能力，由此印证美国政府的担忧。这样，误解警告和危机动荡便可能相互刺激，不断加剧。

第三，作为对误解警告的一种应对措施，美国可能会威胁使用甚至直接使用核武器。美国的两用性 C3I 资产遭到攻击后，如果这种攻击仍在持续或敌手使用了核武器，那么美国政府便会威胁使用核武器。不过，与美国调派弹道导弹核潜艇和轰炸机类似，这种威胁也可引发一种升级周期。或者，如果敌手没有判断出这种威胁具有可信性并继续攻击美国的 C3I 资产，美国便会感到有必要坚持威胁到底，并最终诉诸于核武器。虽然它第一次发动打击旨在解除武装，但有限使用核武器是其更有可能导致的结果。美国领导人——他们认为这也符合中国或俄罗斯的确切逻辑——可能希望这种打击会对敌手产生一种震慑，使其遵从美国的要求。

美国甚至可能使用核武器直接应对针对两用性 C3I 资产的攻击，而不首先发布核威胁。尽管这种回应方式非常过分，因而也不太可能，但美国政府会认为 2018 年《核态势评估报告》既然威胁要在这种情况下使用核武器，那么它就必须坚持到底，否则就会损害美国的可信度，削弱其在其他方面的宣言政策效果。[56]

损害限制窗口

所有核行动都需要 C3I 能力的支持，但损害限制行动的使能要求将会特别苛刻。一个国家的核武器 C3I 系统一旦遭受重大破坏，此类行动就不会产生任何效力。由于许多使能能力都具有两用性，且可能在常规战争中遭到攻击或威胁，因此遵从损害限制原则的国家将会认为自己仅在冲突开始时拥有窄小的机会窗口——能够真实尝试攻击其敌手的核力量，并防范自己受到对手残余力量的还击。由于担心错失损害限制窗口的机会，国家会迫于压力而先行展开还击，或者更有可能是发动侵略性军事行动，为以后的损害限制行动创造条件。[57]

这些升级压力与危机动荡产生的压力不同，因为升级的目的在于破坏敌手的核力量，而非保护国家自身核力量的生存能力。损害限制窗口和误解警告之间存在一些相似之处，尤其是它们都可诱发旨在保护幸存 C3I 能力的过激式行动，但也拥有一个重要区别。担心损害限制窗口关闭而导致的升级源于一种不可避免的可能性：两个核武国家之间的战争最终可能演变成核战；即使两个国家都不认为对方目前正在进行核备战，它们也会产生这种担心。

损害限制行动由一系列反制攻击构成，其背后由导弹防御系统支撑。美国已公开承认拥有反制攻击计划。具体而言，美国目标政策方面最近的权威公开声明——2013 年《美国核武器运用战略报告》提出，“要求美国保留对潜在敌手的重要反制能力”。[58]与此同时，美国政府似乎认为俄罗斯政府也会发动反制攻击。相比之下，没有证据表明中国政府将会考虑这种战略，这主要是因为它缺少展开规模性攻击的能力。因此，担心损害限制窗口关闭可能会对俄罗斯（而非中国）产生升级压力，不过本节再次重点关注美国。

C3I 能力对损害限制行动的重要性难以夸大。攻击机动导弹特别具有挑战性。尽管美国战略家对于这些行动的效力存在诸多争论，但他们有一个共识：如果没有高质量的 ISR

资产来探测和跟踪导弹，没有快速、可靠的通信方法来传送目标数据，此类行动注定会失败。[59]高超的使能能力也有助于美国针对敌方的弹道导弹核潜艇发动反潜战。如果美国飞机、水面舰艇和攻击潜艇联合作战，如果这些平台可以共享信息且高度重视高带宽通信，那么这些行动则更有可能获得成功。与此同时，凭借预警能力，美国的洲际弹道导弹将能在被俄罗斯大规模核打击摧毁之前发射出去（可使美国瞄准俄罗斯储备的任何核力量）。预警能力也能在区域和国土导弹防御行动中发挥重要作用。有趣的是，导弹防御系统的存在并不一定能减少美国采取行动的时间压力，在某些情况下却还会增加。

即使在冷战期间，许多使能能力被专门保留下来用于核行动，敌手的非核武器基本上无从攻击，仍有人担心针对 C3I 资产的核威胁（威胁要瓦解损害限制）可能会产生升级压力。[60]今天，这些资产可能会因常规战争中的偶发攻击而受损，这进一步放大了这种升级风险。

美国的损害限制行动变得不可行的可能性将会引发美国政府的严重关切。在极端情况下，美国可能会先发制人，发起反制攻击，而其 C3I 能力仍完好无损。在不太极端的情况下，它可能采取更多军事行动（如上所述）来保护这些 C3I 能力，从而为以后采取反制行动创造条件。与误解警告一样，美国也可能发出威胁：进一步攻击美国的关键 C3I 能力将会招致核反击。如果攻击持继续进行，这种威胁也将会持续。

危机动荡

威胁国家核力量的生存能力或其使能能力，可能导致危机动荡。[61]在评估这些威胁的重要性时，凯特琳·塔尔梅奇指出“关键问题不是目标国家是否会被完全解除核武装.....（而是它是否）担心其核能力遭受的破坏已超过某个旨在确保安全的关键阈

值。”[62]（“危机动荡”一词在一般政治科学文献中拥有另一种含义，通常用来描述发生危机时诉诸于武力的倾向。）

冷战期间，分析人士普遍认为如果危机动荡导致首先使用核武器，那么这种先发制人必然是大规模的。今天，如果美国或俄罗斯（后者更有可能）认为自己的核力量或相关 C3I 已深陷危险（无论是核威胁还是非核威胁），它便会发动此类攻击。不过，它们更有可能采取其他反应方式——这也包括缺少可以有效进行大规模攻击能力的中国。[63]比如，国家可通过部署机动武器来提高其核力量的生存能力。国家领导层可将核武器发射权提前授予战地指挥官。为了震慑敌手并解除核力量受到的威胁，国家可能会威胁使用核武器，甚至以有限的方式使用核武器。[64]所有这些步骤都可能导致局势进一步升级，只是其中的可能性各不相同。

冷战结束时，学者最先讨论了非核行动引发危机动荡的可能性，部分原因是这些行动有可能削弱 C3I 能力。1991 年，波森在《非故意升级》中明确指出，随着苏联预警网络在欧洲常规战争中的弱化，俄罗斯政府可能认为美国将会摧毁苏联的核武器 C3I 系统，并首先发动攻击。[65]大约同一时间，布鲁斯·布莱尔提出美国核武器 C3I 系统面对苏联非核武器所表现出的脆弱性，是危机动荡的另一个潜在诱因。[66]

最近，有关 C3I 脆弱性对危机动荡影响力的学术讨论，主要集中在美国对中国 C3I 能力发动非核攻击的可能性方面——尤其是中国陆基机动导弹的通信系统，但也包括防空雷达。[67]其他 C3I 资产——其中包括中国和俄罗斯的预警能力和美国的通信能力——也相互交缠在一起，由此产生了了之前学术研究中尚未发现的升级风险。

俄罗斯已培养对核武器弹道导弹攻击发出预警的各种能力。与此同时，中国似乎也处于同样的进程中。培养这种能力的一个潜在目的，是确保国家在核武器被摧毁之前将其发

射出去。一般认为，俄罗斯的核原则包括 “攻击下即发射反击”或“警告下即发射反击”（这两个术语均无公认定义，美国采用了前者来描述自己的政策）这两种选择。有证据表明（其中包括 2013 年中国人民解放军军事科学院出版的教材《军事战略学》），中国可能正在朝着同一方向进行（如果真是这样，它可能正在计划在危机时刻向部队发出警告，而不是每天警告）。[68]另外，这两个国家都拥有庞大的防空系统，将会在保护核力量和相关 C3I 能力、防止其遭到美国飞机和巡航导弹核攻击或非核攻击威胁方面发挥重要作用。

中国或俄罗斯至少三种预警资产已经或可能交缠在一起，因而可能受到美国的偶发攻击，形成危机动荡的风险。第一，美国可能瞄准中国或俄罗斯的小型超视距雷达——与传统的视距雷达相比，这些雷达可以探测到更远的威胁。[69]正如其他分析人士所指出的那样，美国在常规冲突中可能采取各种措施来打击这些雷达——尤其是承担着定位美国航空母舰任务的中国雷达。[70]以前未被注意到的一点（至少在讨论升级风险时），是中国和俄罗斯似乎将超视距雷达看作可适当预警美国隐形飞机或巡航导弹攻击的最佳手段，它们担心隐形飞机或巡航导弹会对其核力量的生存能力构成严重威胁。[71]因此，一旦这些雷达遭到毁坏，会特别令中国政府或俄罗斯政府恐慌。

第二，分析人士似乎完全忽略了一个更为严重的升级风险——针对弹道导弹预警雷达的偶发攻击，尤其是俄罗斯周边的雷达网络。这些两用性雷达可能是俄罗斯最重要的空间态势感知资产（高度达数千公里），俄罗斯正是借此对众多美国卫星构成了威胁。[72]因此，美国可摧毁这个网络以保护自己的卫星。鉴于俄罗斯对“攻击下即发射反击”的依赖，这种攻击可能引发严重的危机动荡。

中国至少有两颗弹道导弹预警雷达可以通过公开的卫星图像识别出来，但目前还不清楚中国已经拥有或最终打算制造多少这样的雷达。[73]中国的弹道导弹预警雷达具有空间态势感知能力，因此有助于实施反卫星武器行动，也因此成为了美国的潜在目标。此外，中国可能正在打造弹道导弹预警雷达系统，以便切换至“攻击下即发射反击”状态。倘若如此，中国会将美国针对这些雷达的打击解读为企图破坏其核力量的生存能力的行动。

其他的技术发展将会进一步加剧与攻击弹道导弹预警雷达相关的升级风险。目前，中国和俄罗斯的弹道导弹预警雷达通常无法跟踪美国的大部分非核武器，比如飞机和巡航导弹（主要原因是这些武器的飞行高度相对较低）。不过，美国正在考虑部署远程非核弹道导弹，此类导弹可被弹道导弹预警雷达追踪到。[74]美国如果决定部署非核弹道导弹，便会在冲突中攻击此类雷达，以瓦解中国或俄罗斯的防御系统。

第三，出于类似原因，尽管目前美国攻击俄罗斯或者中国的预警卫星看似不能实现，但其在未来会变得更加合理。自 2015 年 11 月以来，俄罗斯已将两颗卫星作为新的天基预警系统的一部分部署进了预警系统，并计划到 2020 年部署“大约十颗”。[75]即使这些计划中只有一部分能够实现，但俄罗斯对天基预警的依赖也会大幅增加。与此同时，美国国防部认为中国也有兴趣部署预警卫星。[76]事实上，据媒体报道，中国早在 2014 年就制定了部署第一颗此类卫星的计划。[77]目前，俄罗斯的卫星，可能还有中国的卫星，对非核军事行动的贡献仍然有限，还未成为美国攻击的合理目标。然而，美国一旦部署了此类卫星可追踪到的非核弹道导弹或高超音速助推滑翔武器，这种局势就会发生变化，从而酿成危机动荡的其他潜在诱因。[78]

更具戏剧性的是，未来十年或二十年里，俄罗斯针对美国的实际非核攻击或威胁将会引发危机动荡，最有可能是针对美国两用性通信能力的偶发攻击。（在更加遥远的未来，

中国一旦拥有了强大的反制能力，也可能通过这种攻击引发危机动荡。这种可能性在此不做深入讨论。）

美国已承认拥有“三层”能力来向核力量部署发送指令：卫星、陆基发射器和机载发射器。[79]传统的 Milstar 系统和更新的 AEHF 系统作为美国两个用于核力量通信的卫星系统，均具有双重用途。由于这些卫星处于高空地球静止轨道，因此攻击它们时会面临极大挑战（其中包括目标卫星会在直接进入型武器飞抵期间进行规避）。尽管存在这些挑战，但这些卫星可能很快就会成为攻击对象。[80]据报道，俄罗斯保留了、甚至可能正在升级苏联传统的、可到达地球静止轨道的直接进入型反卫星武器，并在 2015 年展示出了明显的共轨反卫星能力。[81]

美国还拥有两个两用性陆基发射器网络，可向核力量发送指令。固定潜艇广播系统共包括九个发射器，主要设在大西洋和太平洋周围。[82]高频全球通信系统由位于全球的 13 个发射器组成，可与轰炸机（可能还包括其他核武器运载系统）进行通信。[83]所有这些发射器，除一个例外，均是建在海岸附近的大型固定结构上，因此特别容易受到俄罗斯海基和机载巡航导弹的攻击。[84]

与北约发生常规冲突时，俄罗斯政府可能会攻击美国的通信资产，以进一步推进作战目标。俄罗斯战略家“很难想象[这样的]冲突不会从欧洲-大西洋地区蔓延到远东-太平洋地区。”[85]因此，即使在欧洲冲突中，俄罗斯也不会将其攻击限定于美国或欧洲及其周边的通信资产。事实上，俄罗斯可能会针对欧洲-大西洋和亚太地区的两用性陆基发射器发起偶发攻击（最有可能是一系列打击），更重要的是可能打击四颗先进极高频卫星中间的三颗（取决于 Milstar 卫星退役后，卫星系统的确切配置方式）。因此，在对于与核力量通信的残余空基和陆基资产能否长期存在这一问题上，美国政府对此并没有信心。

在这种情形下，美国将会严重依赖 E-4B 和 E-6B 飞机来保护国家和军事领导人，以确保核力量和非核力量的正常通信。[86]事实上，美国战略司令部最近开展的演习“2018 环球雷霆”就进行了如此设计：敌手针对美国的核武器 C3I 资产发起攻击，直到“最后的幸存者只是一架飞机”。[87]目前，这些飞机很可能幸存下来，因为它们在美国领空活动时会受到友军保护。

但是，长期来看，E-4B 和 E-6B 飞机的生存前景值得怀疑。由于这些飞机是由商用机身改造而成，因此它们既没有足够逃离威胁所需的速度，又缺少躲避侦查的隐身特性。实际上，鉴于它们的主要目的是通信，最终替代品也不会具有隐身功能。因此，俄罗斯可能会发展能对通信飞机（即使它们是在美国境内活动）构成威胁的军事能力，比如远程空对空武器。如果这样，针对这些飞机的偶发攻击（甚至可能是明显的攻击准备）将会导致危机动荡——美国将会认为这是企图削弱国家领导层与核力量的通信能力，继而破坏美国的核威慑力。

再次升级

误解警告、损害限制窗口和危机动荡并不相互排斥。多种升级压力可同时出现，甚至相互影响。即便如此，任何一种升级都须满足特定的技术和理论条件，如表 1 所示。按照抽象的术语来讲，每个机制都包含有一个“攻击者”，它会向“目标”发起非核攻击或威胁。目标必须满足一些条件才能感知到冲突升级的压力；还有一些条件有助于增加升级的可能性，不过即使没有它们也可能发生升级。比如，目标必须具有两用性 C3I 能力，而且这些能力必须受到了攻击或威胁，发生了误解警告。如果攻击者拥有反制核原则（比如俄

罗斯），则更有可能升级。但是，即使攻击者没有反制行动计划（比如中国），升级仍可能发生。

预警：技术脆弱性及其后果

评估上述升级风险的严重性时会出现两个问题。第一，核武器 C3I 对于非核战争而言有多重要？它们越重要，就越有可能在常规冲突中受到威胁或攻击。第二，打击两用性使能能力，会对目标发起核战争的能力产生多大影响？如果目标的核武器 C3I 系统具有极高的复原性，而且有限打击几乎无法破坏其整体效力，那么偶发攻击的升级风险则会很小。相比之下，如果一些关键使能资产的丢失——在某些最糟糕的情况下，即便只丢失一个——会严重破坏目标的核行动能力，那么升级的可能性则更大。

本节表明，美国的预警系统已深度融入其常规行动，并且即使有限的打击也可明显削弱其效力，从而产生严重的升级风险。另外，本节还考虑了利用网络干扰中国、俄罗斯和美国两用性预警能力的风险。这些风险与动能打击可产生的风险存在一些重要差异。

威胁预警资产，对于通过危机动荡、误解警告以及损害限制窗口——比如对俄罗斯和美国而言——产生升级风险非常重要。由于篇幅所限，此处不再讨论对其他使能能力的威胁，但这并不意味着那些威胁不重要。实际上，当真正发生冲突时，多个使能系统可能会受到攻击或威胁，从而放大升级风险——这些攻击或威胁可能会发生在冲突早期， 尤其是当涉及 ISR 时。

与俄罗斯一样，美国必须提前发出预警，以执行其核战计划中的所有“攻击下即发射反击”选项。[88]按照其“双现象学”政策，美国政府在评估潜在攻击时需依赖“根据不同物理法则获得的两个独立信息来源”。[89]为此，美国已部署了两种截然不同的导弹预警能

力。[90]天基红外检测器可识别弹道导弹在点火时排出的热气体。在随后的飞行状态中，大型陆基雷达可从数千公里的距离，监测即将到来的再入飞行器。

如果现在一如当年冷战快要结束时，美国的“攻击下即发射反击”包括在美国领土发生核爆炸之前发射核武器，那么美国的预警架构就没有系统层面的冗余；卫星或雷达丢失预警数据，可能会让美国政府无法满足自身对双现象学的要求。[91]

对美国天基预警资产的威胁

2018 年，美国完成了天基红外系统（SBIRS）的部署，以取代传统的国防支援计划系统，进行天基预警。天基红外系统包括六颗卫星，[92]四颗专用的 SBIRS GEO 卫星位于地球静止轨道，在赤道附近的固定点以上约 36,000 公里。此外，为了覆盖北极地区，另有两颗 SBIRS HEO 探测器搭载在“机密”卫星上，其主要目的是从高椭圆轨道收集电子情报。[93]这些卫星的大部分轨道都设在北半球，纬度高达 65° N。

与美国通信卫星一样，天基红外系统的卫星即便目前并不脆弱，但这种情况的发生也为时不远。[94]美国情报界评估认为，中国和俄罗斯都在“大力发展定向能武器技术，以便部署反卫星武器——这些武器能够屏蔽或毁坏灵敏的天基光学传感器（比如用于导弹防御的传感器）。”[95]此外，与俄罗斯一样，中国正在资助开发直接进入型反卫星武器，并可能已在 2013 年测试过一种能够威胁到地球同步卫星的反卫星武器。[96]

在常规冲突中，敌手可能至少有两个重要动机，来发动针对美国的天基红外系统的偶发攻击。首先，据称载有 SBIRS HEO 探测器的在轨电子情报收集卫星非常适合监测俄罗斯北部地区的军事活动，使其成为潜在目标。俄罗斯政府若要攻击它们，一个特别强烈的动

机可能是干扰美国收集俄罗斯位于北极圈内的北方舰队水面舰艇和潜艇的情报。如果发生这种攻击，SBIRS HEO 探测器将会附带损害。

其次，鉴于天基红外系统在非核行动方面的重要作用，中国或俄罗斯可能会将它作为目标。这些卫星可发挥的重要作用是提供非核弹道导弹预警，进行防御提示。一般来说，受到攻击的卫星越多，美国防御系统的效力就会变得越差。天基红外系统卫星还会参与“情报收集”和“战场空间特征”等其他非核任务，其中包括“战争伤害评估、压制敌方防空任务[以及]敌机监视。”[97]在一些情况下，这些辅助功能足以刺激敌手发动偶发攻击。比如，天基红外系统卫星能在飞行初期探测到非核弹道导弹，继而为美国提供可用于追踪相关移动发射器的目标数据，因此中国可能会对其发动攻击。[98]

中国或俄罗斯可能会在常规冲突中攻击天基红外系统卫星，这种攻击即使有限也会对美国监视敌手的核武器弹道导弹发射能力产生严重的不利影响。[99]凭借六颗卫星（至少其中会有三到四颗卫星发挥作用），天基红外系统便能够（在剩余的国防支援计划卫星退役之后，可能仍有能力）监测大多数可能发射核武器导弹的区域，且能提供一定的冗余边际。但在实践中，这个边际可能会很快消失。中国或俄罗斯若在常规冲突中毁坏了天基红外系统，使其无法监视来自中国东部或俄罗斯西部的非核导弹发射，由此导致美国的导弹防御系统失灵，那么美国也将会失去从太空持续监视敌手大部分核力量的能力。

一些潜在发射场的冗余边际甚至更小。比如，如果俄罗斯只摧毁了两颗天基红外系统卫星——SBIRS HEO 探测器的搭载卫星之一，以及最西部的 SBIRS GEO 卫星（有助于欧洲进行弹道导弹防御），美国将会出现天基真空，无法持续监测欧洲附近北大西洋的潜在俄罗斯弹道导弹核潜艇巡逻区域。

此外，天基红外系统的特点是具有一种单点脆弱性：如果其中任何一个 SBIRS HEO 的探测器不能正常工作，美国就无法从太空持续监测北极地区。如果只剩下一个探测器，美国每天将有超过四个半小时的时间无法监控或只能部分监控北极地区。2014 年，时任美国太空司令部（U.S. Space Command）指挥官的让·威廉·谢尔顿指出天基红外系统存在单点脆弱性，但并未给出更多解释。但几乎可以肯定，他指的便是上述弱点。[100]

从历史上看，监测北极地区一直不是美国优先考虑的事项，这可能是因为那里全年被冰覆盖，并非发射弹道导弹的理想地区。[101]实际上，直到 2006 年发射了第一个 SBIRS HEO 探测器，美国才完全依靠陆基雷达来完成这项任务。然而，随着气候变化进一步缩小了北冰洋的海冰面积（尤其是夏季），监测北极地区将会变得更加重要。

对美国陆基预警资产的威胁

美国共有六个陆基预警雷达，主要用于探测对美国的导弹攻击：五个 PAVE PAWS 雷达分别位于加利福尼亚州、马萨诸塞州、格陵兰岛和英国，阿拉斯加州也另有一个 COBRA DANE 雷达。[102]所有这些弹道导弹预警雷达都是无法移动的庞然大物，因此很容易受到来自常规武器从空中和海上发射的巡航导弹的精确攻击。一般而言，要在美国弹道导弹预警雷达网络中打开一个缺口，至少需要销毁两个或三个雷达。[103]

虽然美国弹道导弹预警雷达的主要任务是探测和跟踪即将发生的核打击，但也非常有助于展开两种非核行动。首先，它们在跟踪空间物体方面具有重要作用，其中包括美国卫星以及中国和俄罗斯的反卫星武器。因此，中国或俄罗斯可能会选择攻击美国的弹道导弹预警雷达，以最大限度地提高反卫星武器行动的效果和后果。

其次，与预警卫星一样，美国弹道导弹预警雷达（目前也可能正在进行这种能力升级）也能为防御非核弹道导弹攻击做出贡献。实际上，中国和俄罗斯都对破坏美国的陆基

弹道导弹防御资产有兴趣。[104]但至少在目前，只有设在英国费令代尔斯的弹道导弹预警雷达可能参与防御中国或俄罗斯的非核弹道导弹攻击，因此可能遭到偶发攻击。[105]鉴于美国其他弹道导弹预警雷达的位置，中国或俄罗斯唯一可能受到追踪的弹道导弹将是潜射弹道导弹或洲际弹道导弹，它们目前均已装载核武器。

美国费令代尔斯的弹道导弹预警雷达不仅是最容易受到偶发攻击的雷达，同时也是提供俄罗斯核打击预警的最关键雷达。由于它设在美国大陆的最东部，因此能够比美国其他的弹道导弹预警雷达更早发现俄罗斯大部分部署区域发射的洲际弹道导弹和潜射弹道导弹。因此，尤其是当俄罗斯部分或完全摧毁天基红外系统时，针对费令代尔斯雷达的后续攻击将会显著增多。展望未来，如果中国或俄罗斯最终发展了非核洲际弹道导弹或潜射弹道导弹，那么美国除费令代尔斯之外的弹道导弹预警雷达便能在非核导弹防御行动中发挥重要作用，从而成为新的偶发攻击目标，并可能引发升级。

有趣的是，有可能存在一种与费令代尔斯雷达相仿的亚太类似物，而且其并非美国雷达。2013 年，台湾部署了从美国购买的 PAVE PAWS 预警雷达。台北表示，其唯一目的是跟踪中国大陆的短程非核弹道导弹。[106]然而，这种雷达确实具有在飞行初期探测中国洲际弹道导弹的能力。事实上，它对中国洲际弹道导弹攻击的警告能力要强于美国的任何一处弹道导弹预警雷达，台湾的一位高级立法官员声称该雷达数据与美国共享。[107]果真如此的话，中国对该雷达的偶发攻击便会导致严重的升级后果。可以肯定的是，中国将会在冲突的早期阶段攻击该雷达，但战争结果仍不确定。那个时候的升级风险可能不大，因为中国诉诸于核武器的动机最小。但是，如果中国开始失利，并随后开始攻击美国的天基红外系统卫星，那么攻击预警卫星本就严重的升级后果可能会因中国提前攻击雷达而变得更加复杂。

预警系统的网络威胁

可靠报告认为，通过网络能够干扰预警系统。最值得注意的是，以色列 2007 年摧毁叙利亚秘密的钚生产反应堆时，据称它首先使用了包括网络武器在内的各种工具来使叙利亚防空系统失灵，以降低作战飞机面临的风险。[108]可以肯定的是，与十年前叙利亚的防空系统相比，中国、俄罗斯和美国的核武器 C3I 网络能更好地防御网络攻击。尽管如此，这些国家已开始加强核武器 C3I 资产的网络防御能力，由此可见，网络威胁真实可信；事实上，美国军方已明确提到过这个问题。[109]然而，完全消灭网络漏洞并不可能。比如，美国国防科学委员曾明确表示，美国国防部根本“不可能”确保网络天衣无缝。[110]

有关预警系统网络威胁的现有文献并没有分析两用性预警能力可能受到偶发网络干扰继而影响常规战争结果的可能性。[111]（因为中国、俄罗斯和美国的一些物理预警资产具有两用性，因此至少一些支持网络肯定具有两用性。[112]）这里所述的“网络干扰”包括网络间谍（为了获取情报而收集信息，但不会破坏目标系统的运作）和网络攻击（通过破坏数据的完整性或可用性来瓦解目标系统的功能）。

由于偶然的网络干扰和早期预警能力引起的升级风险的严重程度取决于至少两个因素。一个是埃里克·嘉咨科（Erik Gatrzke）和乔恩·林赛（Jon Lindsay）所讲的目标能否检测到网络干扰。[113]另一个是如果检测到了干扰，目标能否正确评估攻击者的意图。

即使在一般的常规冲突中，一个国家也可能拥有极大诱惑对敌手 C3I 系统展开网络间谍活动。对于两用性预警网络，国家可能会重点寻找敌手的潜在弱点——比如雷达不起作用或表现不佳，继而利用它们来展开有效攻击。只有当目标被发现时，这种网络间谍活动才会产生升级后果。在这种情况下，间谍活动将会导致误解警告，目标可能认为敌手正在寻找弱点，为使用核武器做好准备。不过，确切后果可能取决于目标人员认为网络间谍所

揭示的内容。比如，如果俄罗斯认为美国发现了自己预警系统中的严重弱点，那么俄罗斯对其核力量生存能力的信心便会减弱，从而从误解警告升级为危机动荡。相比之下，如果俄罗斯认为美国未能获得重要信息，那么升级后果会更为温和。

旨在通过破坏敌手预警能力来引发非核攻击的网络攻击也可能导致升级。当然，只有当目标检测到它时攻击才会升级。如果一个国家确实认为预警系统遭受了网络攻击，那么升级后果便会与系统受到物理攻击同样严重，尤其是当被攻击目标认定无法迅速扭转局面的时候。事实上，这种后果甚至会更加严重，因为针对一个关键网络（一个负责融合来自多个来源的数据的网络攻击）发起攻击可能会使整个预警系统陷入瘫痪，而动能打击必须逐个攻击传感器。

在确定攻击者意图时，目标所面临的困境可能会进一步加剧升级风险。充分了解复杂、恶意软件的目的可能既困难又耗时严重，并且目标可能需要很长时间才能确定其威力，由此拉长最坏打算的时间周期。比如，即使恶意软件只能进行间谍活动，目标也会担心它包含有一种“终止开关”，激活之后便能瓦解预警系统。为了制造更多的不确定性，可使用一次网络渗透来插入多个“有效载荷”。出于这个原因，即使目标认为现有干扰只是一种间谍行为，也可能会担心（至少在找到并修复漏洞之前）攻击者会进一步利用漏洞达到更恶毒的目的。

归根结底，网络干扰导致的升级风险与两用性预警系统物理攻击之间至少存在两个重要差异。第一，网络干扰要比预警资产物理攻击更加隐蔽（虽然并非所有物理攻击都是明目张胆的）。因此，与物理攻击不同，预警系统网络攻击可能不会被察觉到，并且没有升级后果。第二，对于预警资产物理攻击，无意中升级的风险将来自目标的双重用途性质。对于网络干扰，这种歧义仍然存在，但可能会因干扰目的的不确定性而加剧。这种“双重

歧义”是美国针对中俄非核行动升级风险大于此前学术分析结果的主要原因。这意味着，即使有限的网络间谍活动，如果被发现，也可能证明是高度升级的。

政策含义

尽管存在巨大危险，但降低风险可能面临极大挑战。中国、俄罗斯和美国不太可能同意对旨在威胁潜在对手的 C3I 资产的非核能力进行有效的限制，因为它们都将这种能力视为常规战争和威慑的重要依赖。此外，每个国家都不愿分拆自己的核力量、非核力量以及 C3I 资产。根据阿列克谢·阿尔巴托夫（Alexey Arbatov），俄罗斯反对这么做仅仅是因为会产生分拆成本。[114]与此同时，一些中国学者认为，分拆核力量、非核力量以及 C3I 资产将会降低美国攻击中国非核能力的风险成本，由此增加其这么做的可能性（不过，这些学者也认为中国最初培育两用性能力的动机是为了方便，而不是战略考量）。[115]实际上，同样的逻辑最终也会在美国政府种占据主导地位。没有证据表明除了方便和成本之外，美国使用两用性 C3I 资产（或两用性飞机，就此而言）还另有动机。但是，若曾认真讨论过分拆核武器 C3I 和非核武器 C3I，那么就不难想象相关方定会以威慑为借口，大力主张交缠策略。

然而，中国政府、俄罗斯政府和美国政府仍应面对在财务和战略上的有关交缠收益与升级风险相比是否值得的问题。毕竟，如果升级风险过大，那么发生战争的可能性以及战争成本的增加都将会抵消任何收益。如果本文的分析正确，即升级风险大于收获，且可能会进一步增加，那么中国、俄罗斯和美国应是走错了道路。

了解风险并提高认识

因此，美国政府、中国政府和俄罗斯政府的首要任务是各自分析清楚，最好是进行秘密分析交缠所带来的潜在利益和风险。它们应通过情报评估来了解潜在敌手的核力量、非核力量和 C3I 资产，分析它们的交缠程度；了解这些敌手对相关国家意图和能力的看法。如果这些分析认为交缠风险确实大于收益，它们便会成为一种催化剂，为制定降低风险的策略提供信息。

原则上，降低风险有单边和合作两种方法。鉴于美国与中国之间以及美国与俄罗斯之间的政治关系欠佳，采取单边措施是目前唯一可行的出发点。这些措施当然不能化解交缠的升级风险，但有助于减轻风险以及减缓它们的升级速度。

就此而言，最简单的风险降低措施是提高政府和军队内部对交缠所产生的挑战的认识，其中包括评估敌手的意图以及更重要的是让敌手评估国家的发展意图。鉴于危机动荡和误解警告取决于对偶发攻击或威胁意图的认知（或者说是错误认知），提请决策者注意评估意图的困难可能有助于在冲突中克制自己，从而帮助削减非故意升级压力。提高风险认识也可完善和平时期的军事准备，比如提高 C3I 资产的生存能力，由此减少战争发生时偶发攻击带来的危险。这些准备还可同时减轻由于存在损害限制窗口而导致的升级风险（它们并不是意图误判所造成的）。

为此，中国、俄罗斯和美国可在其国防机构内设立风险降低团队。[116]最重要的是，这些团队在危机或冲突期间可向国家和军方领导人提供建议，其中包括交缠风险以及管理方法。和平时期，它们可负责将升级风险纳入战争规划以及新战略武器和 C3I 能力的购置决策（比如，这些团队可以评估不同替代方案的升级影响，提出其他选择或全然否定相关计划）中。

当然，高级平民或军事领导人最终应在考虑升级风险以及更传统的战略、军事和财务因素的同时，制定相关决策。因此，风险降低团队必须拥有一定权力（比如由高级官员担任领导），确保他们的建议能被听取。这些团队应由各方面的专家组成，其中包括文职战略家、军事规划员以及非常了解潜在敌手思维的情报官员。

和平时期，风险降低团队还可提出单方面的减少风险措施。宣示政策调整（可迅速完成）和 C3I 系统设计调整（可能需要数年才能实施）是两种互补的方法。

宣示政策

宣示政策是通过强调风险来阻止 C3I 资产遭受偶发攻击的一种工具。授权发起攻击的文职或军事官员可能不会意识到，他们自己的意图可能会被误读。这些官员的职位非常高（尤其是反卫星武器动能攻击可能需要国家元首的授权），而且可能并不知道这些资产通常具有两用性；即使知道他们也可能不会意识到相关影响。

对于核武器 C3I 资产受到的攻击，2018 年《核态势评估报告》提出可威胁使用核武器，这可能是为了警告潜在敌手这些影响。然而，如果这种威胁不够强烈，便有可能被中国政府和俄罗斯政府视为恫吓而不予理睬。与此相反，一种稍微模糊的表述最终可能更有效。比如，美国政府可以说自己认为两用性通信和预警资产是其核武器 C3I 系统不可分割的组成部分，它们受到攻击必会做出反应（中国政府和俄罗斯政府也可做出类似声明）。与所有宣示政策一样，如果高级官员定期重复，便会更有效地影响潜在敌手的思维。

打造更具弹性的 C3I 架构

长远来看，各国还可开发不易遭受偶发攻击和更具生存能力的 C3I 架构。一些分析家建议应至少建立两个独立的 C3I 系统——一个用于核行动或又称“战略”行动；另一个（或多个）用于其他所有行动。[117]即使不考虑成本，这种分拆只有当（比如）美国政府能

够说服中国政府和俄罗斯政府自己已分拆核武器和非核武器 C3I 能力（然而这并不容易）时，才会降低风险。如果美国无力说服对方，这种分拆反而可能会增加风险；这是因为中国或俄罗斯攻击仅涉及核行动的 C3I 资产（它们错误地认为这可引发常规行动），会产生比攻击两用性资产更加严重的升级后果。

一种稍微不同的预警方法是培养不易遭受偶发攻击的天基能力，因为除了探测敌手导弹（无论是核武器还是非核武器）的发射情况之外，它们无力为其他任何行动作出重大贡献。尤其是作为一个基本的和光学相关的物体，红外探测器体型较小，无法提供可用于提示导弹防御、探测机动导弹发射器确切位置的高分辨率图像。[118]由于这种限制是因硬件的显性和恒定属性所造成，美国政府（比如）或许可以藉此说服中国政府和俄罗斯政府。

小型探测器的另一个关键优势是它们不需要拥有自己的卫星平台（设计和制造通常非常昂贵）。相反，他们搭载于其他卫星即可。这样一来，它们部署起来有可能更加具有经济性，数量也可更多（比如十个），由此创建出类似于空军卫星通信系统预警工具的弹性架构。[119]虽然作者认为这种“分散式”预警系统会降低偶发攻击风险，但其中的重要挑战和得失权衡还应得到进一步的研究。

比如，如果托管卫星受到攻击，主要功能遭到破坏，所搭载的预警探测器也会无可避免地遭受损坏。可以肯定的是，选择不易成为目标的卫星作为托管卫星（比如天气或商业非通信卫星）有助于减少此类攻击的可能性，同时在轨安装多个探测器也可减轻此类攻击的后果。尽管如此，分散式系统也无法完全化解偶发攻击所带来的风险。

另外，在更加强大的专用预警卫星（比如天基红外系统）之外再部署一个分散式系统，可能会增加对手攻击专用卫星的动机（希望减少相关的升级风险），并且会比单独部署更加昂贵。[120]相比之下，部署分散式系统而非专用卫星会降低导弹防御的效力。

降低敌手对天基通信资产发动偶发攻击的动机将会变得更加困难。虽然与非核行动相比，仅能以低速率传输数据的系统对于核行动更加有用，但没有明显证据向敌手证明这种限制真实可信，且永远不会改变。与此相反，通过增强天基通信资产的抵御能力来减轻偶发攻击的后果，才是降低风险的主要途径。一种方法是将用于核行动的小型通信转发器装载到数十颗用于其他目的卫星上，由此形成升级版的空军卫星通信系统（不过，这样也会出现类似于分散式预警系统的得失权衡）。

总结

美国处理大国冲突的方式存在一种固有和复杂的升级风险；随着美中和美俄关系日趋紧张，这方面的警告自 2000 年代中期以来已变得更尖锐。[121]但是，对美国原则和技术的关注在很大程度上掩盖了另一种危险：正在中国和俄国显现的作战方式本身就是一种升级。

与美国一样，中国和俄罗斯都在试图威胁潜在敌手的 C3I 资产，并且正在提高它们的威胁力。然而，许多使能资产都具有两用性，它们在冲突中受到攻击可能会削弱目标的核武器 C3I 系统。这种攻击就像核战争一样，最终会变得无法想象。危机动荡是一种潜在的后果。实际上，它的风险要比一般理解更为严重——天基或远离潜在冲突地区的 C3I 资产可能会受到偶发动能攻击或网络干扰。此外，C3I 脆弱性可能会产生另外两个升级压力——误解警告和损坏限制窗口，对于它们以前未曾讨论过。针对 ISR 资产展开攻击——重大冲突可能发生这种情况——会让攻击者意图评估变得更复杂，使人担心两用性预警和通信资产受到后续攻击，从而进一步加剧风险。

在未来，交缠的程度以及升级风险的量级都有可能增加。随着中国和俄罗斯的预警系统越来越现代化，尤其是当它们或美国部署了非核潜射弹道导弹、洲际弹道导弹或远程高超音速助推滑翔武器，主要用于探测核打击的设施可对其进行飞行监测时，预警能力便会与非核武器更深度地交缠在一起。其他核武器 C3I 能力也可更深度地融入非核任务。比如，随着两用性武器运载系统变得更加普遍，核与非核使能能力（比如通信和任务规划系统）之间的重叠也可能增多。

针对两用性 C3I 能力的非核威胁也可能变得更加严重。比如，美国部队正在努力“利用一个领域的行动自由.....来挑战另一个领域的敌手”，因此美国可以发展或加强反卫星武器能力（也许还包括使能能力），瞄准中国和俄罗斯的两用性的通信和 ISR 卫星。[122] 与此同时，如果中国或俄罗斯开发出了远程非核高超音速助推滑翔武器，便会威胁到世界各地（其中包括美国大陆）美国卫星的上行链路和下行链路，继而危及美国众多两用性 C3I 系统的功能。

想要减少这些风险——或至少遏制它们的增长速度，中国、俄罗斯和美国必须首先意识到：交缠的风险大于收益。如果其中一个甚至更多国家意识到这一点，那么在目前，单方面降低风险措施（其中包括利用宣示政策来强调攻击两用性 C3I 资产的风险，以及开发更具弹性的 C3I 系统）便是最有可能的前进方向。建立风险降低团队将有助于制度化的完善并提供更多信息。更重要的是，它可以提高政府和军队的风险认识，继而减轻这些风险。

长期来看，采取合作化的减少风险措施可以用来进一步降低风险，尤其是两用性 C3I 能力所面临的威胁。尽管今天探讨的这些措施看似前景渺茫，但未来，由于政治关系解冻的可能，或是一场重大危机将促使政治领导人采取行动，人们对它们的兴趣将会上升。比

如，各国可承诺不对彼此的核武器 C3I 系统进行网络干扰。[123]他们还可禁止测试能对地球静止轨道物体产生威胁的反卫星武器（那里设有最重要的空基核武器 C3I 资产）。[124]如果各方均发现违反协议的成本——最明显的是潜在敌手也可能以牙还牙——超过了遵守协议带来的损失，那么这种禁令便会奏效。

要使这些禁令变得可行，需要克服重大的技术挑战。如何禁止干扰核武器 C3I 系统？它们许多都具有两用性，那么应该覆盖哪些指挥控制系统？对于禁止测试能够到达地球静止轨道的反卫星武器，哪些武器应被列入禁令？这些问题虽然难以回答，但也并非无解。事实上，设计单方面降低风险措施的过程将有助于增强对交缠风险及其管理知识的了解，继而激发和引导人们考虑通过合作共同减少风险。现在，中国、俄罗斯和美国通过启动降低风险的单边进程，便能更好地实现自身的定位，利用任何政治机会，就未来可能出现的合作措施展开谈判。

*詹姆斯·阿克顿（James M. Acton）*是卡内基国际和平研究院核政策项目联席主任及马秀丝荣誉学者。

对于本文所述的深刻见解，作者特意感谢 Alexey Arbatov、Toby Dalton、Catherine Dill、Geoffrey Forden、Michael Gerson、Charles Glaser、Ariel Levite、Jeffrey Lewis、李彬、Austin Long、Tim Maurer、James Miller、George Perkovich、Pavel Podvig、Joshua Pollack、Brad Roberts、Scott Sagan、Petr Topychkanov、赵通，以及匿名审阅者和研讨会的受访者和参会者。作者还要感谢 Jessica Margolis、William Ossoff、Thu-An Pham、Kathryn Taylor、Elizabeth Whitfield 和 Lauryn Williams 提供的研究协助。这项研究得到了纽约卡内基公司的慷慨资助。本文内容完全由作者负责。

表 1：交缠引发升级的技术和理论条件

	误解警告	损害限制窗口	危机动荡
目标的核力量受到攻击者非核武器的攻击或被认为受到威胁			××[a]
目标的核武器 C3I 能力（指挥、控制、通信和情报）受到攻击者非核武器的攻击或被认为受到威胁	××	××	××[a]
目标的核武器运载系统具有两用性，或表面上类似于非核武器运载系统			×
目标的核武器 C3I 能力具有两用性	××	××	×
攻击者的核原则要求进行限制损害	×		×
目标方的核原则要求进行损害限制	×	××	
攻击者的常规作战原则要求攻击 C3I 能力	×	×	×

×× = 必要条件

× = 恶化条件

[a] 危机动荡至少需要满足其中一个条件。

[1] U.S. Department of Defense, “Nuclear Posture Review” (Washington, D.C.: U.S. Department of Defense, February 21, 2018), p. 21,

[2] 同上，第56页。

[3] Michael S. Chase, Andrew S. Erickson, and Christopher Yeaw, “Chinese Theater and Strategic Missile Force Modernization and Its Implications for the United States,” *Journal of Strategic Studies*, Vol. 32, No. 1 (February 2009), pp. 101–106, doi:10.1080/01402390802407434; Jeffrey G. Lewis, “Chinese Nuclear Posture and Force Modernization,” *Nonproliferation Review*, Vol. 16, No. 2 (July 2009), pp. 205–206, doi:10.1080/10736700902969661; Joshua Pollack, “Emerging Strategic Dilemmas in U.S.-Chinese Relations,” *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 65, No. 4 (July/August 2009), pp. 53–63, doi:10.2968/065004006; Thomas J. Christensen, “The Meaning of the Nuclear Evolution:China’s Strategic Modernization and U.S.-China Security Relations,” *Journal of Strategic Studies*, Vol. 35, No. 4 (August 2012), pp. 467–471, doi:10.1080/01402390.2012.714710; Fiona S. Cunningham and M. Taylor Fravel, “Assuring Assured Retaliation:China’s Nuclear Posture and U.S.-China Strategic Stability,” *International Security*, Vol. 40, No. 2 (Fall 2015), pp. 40–45, doi:10.1162/ISEC_a_00215; Joshua H. Pollack, “Boost-Glide Weapons and U.S.-China Strategic Stability,” *Nonproliferation Review*, Vol. 22, No. 2

(2015), pp. 157–161, doi:10.1080/10736700.2015.1119422; Wu Riqiang, "Sino-U.S. Inadvertent Escalation" (Atlanta:Program on Strategic Stability Evaluation, Georgia Institute of Technology, n.d.), https://www.yumpu.com/en/document/view/38495325/wu-sino-us-inadvertent-escalation-program-on-strategic-stability-; Caitlin Talmadge, "Would China Go Nuclear?Assessing the Risk of Chinese Nuclear Escalation in a Conventional War with the United States," *International Security*, Vol. 41, No. 4 (Spring 2017), pp. 50–92, doi:10.1162/ISEC_a_00274; and Tong Zhao and Li Bin, "The Underappreciated Risks of Entanglement:A Chinese Perspective," in James M. Acton, ed., "Entanglement:Russian and Chinese Perspectives on Non-Nuclear Weapons and Nuclear Risks" (Washington, D.C.:Carnegie Endowment for International Peace, 2017), pp. 47–75, http://carnegieendowment.org/files/Entanglement_interior_FNL.pdf.A much larger literature, with many contributions from foreign authors, analyzes nonnuclear threats to nuclear forces but does not connect them to inadvertent escalation.

[4] James M. Acton, "Silver Bullet?Asking the Right Questions about Conventional Prompt Global Strike" (Washington, D.C.:Carnegie Endowment for International Peace, 2013), pp. 120–126, http://carnegieendowment.org/files/cpgs.pdf; and Alexey Arbatov, Vladimir

Dvorkin, and Petr Topychkanov, “Entanglement as a New Security Threat:A Russian Perspective,” in Acton, *Entanglement*, pp. 9–45.

[5] Forrest E. Morgan et al., *Dangerous Thresholds:Managing Escalation in the 21st Century* (Santa Monica, Calif.:RAND Corporation, 2008), pp. 23–25, http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2008/RAND_MG614.pdf.This concept was first developed at length in Barry R. Posen, *Inadvertent Escalation:Conventional War and Nuclear Risks* (Ithaca, N.Y.:Cornell University Press, 1991), pp. 12–16.

[6] 虽然讨论过其中一些资产面临的威胁，但并未涉及它们引发非故意升级的可能性。

[7] 据作者所知，第一次在这种意义上使用“交缠”这个词的是John D. Steinbruner, *Principles of Global Security* (Washington, D.C.:Brookings Institution Press, 2000), p. 55.

[8] Avery Goldstein, “First Things First:The Pressing Danger of Crisis Instability in U.S.-China Relations,” *International Security*, Vol. 37, No. 4 (Spring 2013), pp. 67–68, doi:10.1162/ISEC_a_00114; and Stephen Biddle and Ivan Oelrich, “Future Warfare in the Western Pacific:Chinese Antiaccess/Area Denial, U.S. AirSea Battle, and Command of the Commons in East Asia,” *International Security*, Vol. 41, No. 1 (Summer 2016), pp. 44–45, doi:10.1162/ISEC_a_00249.

[9] 以下著作略微提到了这种可能性 Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, "Entanglement as a New Security Threat," p. 31; Zhao and Li, "The Underappreciated Risks of Entanglement," p. 51; and James N. Miller Jr. and Richard Fontaine, "A New Era in U.S.-Russian Strategic Stability:How Changing Geopolitics and Emerging Technologies Are Reshaping Pathways to Crisis and Conflict" (Cambridge, Mass. and Washington, D.C.:Belfer Center for Science and International Affairs, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, and Center for a New American Security, September 2017), p. 19, https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNASReport-ProjectPathways-Finalb.pdf?mtime=20170918101504.

[10] Talmadge, "Would China Go Nuclear?" pp. 78–79, 83.

[11] Air-Sea Battle Office, "Air-Sea Battle:Service Collaboration to Address Anti-Access and Area Denial Challenges" (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, May 2013), p. 7, http://archive.defense.gov/pubs/ASB-ConceptImplementation-Summary-May-2013.pdf.

[12] Christensen, "The Meaning of the Nuclear Evolution," p. 468.For a slightly dated description of Chinese command and control that implies an overlap, see John Wilson Lewis and Xue Litai, *Imagined Enemies:China Prepares for Uncertain War* (Stanford, Calif.:Stanford University Press, 2006), pp. 197–201.For opposing views, see Cunningham and Fravel, "Assuring Assured

Retaliation," pp. 42–45; and Michael Glosny, Christopher Twomey, and Ryan Jacobs, "U.S.-China Strategic Dialogue, Phase VIII Report" (Monterey, Calif.:Center on Contemporary Conflict, Naval Postgraduate School, November 2014), p. 10, http://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/44733/2014%20008%20-%20US-China%20Phase%20VIII%20Report.pdf.

[13] 以下著作略微提到了这种可能性 Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, "Entanglement as a New Security Threat." Over-the-horizon radars are briefly mentioned in Christopher P. Twomey, "Asia's Complex Strategic Environment:Nuclear Multipolarity and Other Dangers," *Asia Policy*, January 2011, p. 64.

[14] Laura Grego, "A History of Anti-Satellite Programs" (Cambridge, Mass.:Union of Concerned Scientists, January 2012), http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/nwgs/a-history-of-ASAT-programs_lo-res.pdf.

[15] Acton, "Silver Bullet?"

[16] Department of the Air Force, U.S. Department of Defense, "Department of Defense Fiscal Year (FY) 2017 President's Budget Submission:Other Procurement, Air Force" (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, February 2016), p. 267, line item 834210,

http://www.saffm.hq.af.mil/Portals/84/documents/FY17/AFD-160208-049.pdf?ver=2016-08-24-102038-590.

[17] 有关20世纪80年代后期系统的概述，参见Peter Vincent Pry, *The Strategic Nuclear Balance*, Vol. 2:*Nuclear Wars:Exchanges and Outcomes* (New York:Crane Russak, 1990), pp. 18–22.

[18] Curtis Peebles, *High Frontier:The U.S. Air Force and the Military Space Program* (Washington, D.C.:Air Force History and Museums Program, 1997), pp. 44–54, http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a442844.pdf.这些系统并非完全独立，因为属于空军卫星通信系统的一些转发器搭载在国防卫星通信系统卫星上。

[19] 1981年的一项估计表明，到1990年可以部署多达30个空军卫星通信系统转发器。参见Mark Hewish, "Satellites Show Their Warlike Face," *New Scientist*, October 1, 1981, p. 39.

[20] U.S. Department of the Navy, "Submarine Communications Master Plan" (Washington, D.C.:U.S. Department of the Navy, December 1995), appendix B, http://fas.org/man/dod-101/navy/docs/scmp/part07.htm.

[21] Robert Imrie, "Navy to Shut Down Sub Radio Transmitters," Associated Press, September 26, 2004, http://usatoday30.usatoday.com/tech/news/2004-09-26-sub-radio-offair_x.htm.

[22] Peebles, *High Frontier*, pp. 44–52.

[23] Air Force Space Command, “Advanced Extremely High Frequency System” (Washington, D.C.:U.S. Air Force, March 22, 2017), http://www.afspc.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/249024/advanced-extremely-high-frequency-system/.

[24] 有关利用它们完成非核任务的讨论，参见 Norman Friedman, *Seapower and Space:From the Dawn of the Missile Age to Net-Centric Warfare* (Annapolis:Naval Institute Press, 2000), pp. 242–245.

[25] Committee on an Assessment of Concepts and Systems for U.S. Boost-Phase Missile Defense in Comparison to Other Alternatives and Division on Engineering and Physical Science of the National Research Council, *Making Sense of Ballistic Missile Defense:An Assessment of Concepts and Systems for U.S. Boost-Phase Missile Defense in Comparison to Other Alternatives* (Washington, D.C.:National Academies Press, 2012), p. 116, https://www.nap.edu/catalog/13189/making-sense-of-ballistic-missile-defense-an-assessment-of-concepts.

[26] Federation of American Scientists, “Emergency Rocket Communications System (ERCS)” (Washington, D.C.:Federation of American Scientists, April 27, 1998), http://fas.org/nuke/guide/usa/c3i/ercs.htm.

[27] Carla Williams, “Minot Completes Minuteman Emergency Communications Upgrade” (Washington, D.C.:U.S. Air Force, November 17, 2005),

http://www.af.mil/News/ArticleDisplay/tabid/223/Article/132716/minot-completes-minuteman-emergency-communications-upgrade.aspx.

[28] Christina Chaplain, "Nuclear Command, Control, and Communications:Update on DOD's Modernization," GAO-15-584R (Washington, D.C.:U.S. Government Accountability Office, June 15, 2015), p. 1, http://www.gao.gov/assets/680/670801.pdf.

[29] U.S. Department of Defense, "Nuclear Posture Review," pp. 56–57.

[30] V.A.Grigoryev and I.A.Khvorov, "Military Satellite Communications Systems:Current State and Development Prospects," *Military Thought*, Vol. 16, Nos. 3–4 (July 1, 2007), p. 149; see also p. 150.

[31] "Russian Next-Generation 'Doomsday Plane' Finally Ready for Action," Sputnik, July 28, 2016, http://sputniknews.com/russia/20160728/1043728673/russia-doomsday-plane-ready.html.

[32] Christensen, "The Meaning of the Nuclear Evolution," p. 468; Lewis and Xue, *Imagined Enemies*, pp. 197–201; Cunningham and Fravel, "Assuring Assured Retaliation," pp. 42–45; and Glosny, Twomey, and Jacobs, "U.S.-China Strategic Dialogue, Phase VIII Report," p. 10.

[33] Andrew S. Erickson, "Academy of Military Science Researchers: 'Why We Had to Develop the Dongfeng-26 Ballistic Missile'—Bilingual Text, Analysis, and

Related Links," andrewerickson.com, December 5, 2015, http://www.andrewerickson.com/2015/12/academy-of-military-science-researchers-why-we-had-to-develop-the-dongfeng-26-ballistic-missile-bilingual-text-analysis-links/.

[34] Jordan Wilson, "China's Expanding Ability to Conduct Conventional Missile Strikes on Guam" (Washington, D.C.:U.S.-China Economic and Security Review Commission, May 10, 2016), p. 8, https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/Staff%20Report_China%27s%20Expanding%20Ability%20to%20Conduct%20Conventional%20Missile%20Strikes%20on%20Guam.pdf.

[35] Defense Intelligence Agency, "Russia Military Power:Building a Military to Support Great Power Aspirations," DIA-11-1207-161 (Washington, D.C.:Defense Intelligence Agency, 2017), p. 36, http://www.dia.mil/Portals/27/Documents/News/Military%20Power%20Publications/Russia%20Military%20Power%20Report%202017.pdf; and Office of the Secretary of Defense, "Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2017," annual report to Congress (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, 2017), p. 35, https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2017_China_Military_Power_Report.PDF?ver=2017-06-06-141328-770.

[36] Daniel R. Coates, “Worldwide Threat Assessment of the U.S. Intelligence Community,” statement for the record (Washington, D.C.:Office of the Director of National Intelligence, March 6, 2018), p. 13, https://www.dni.gov/files/documents/Newsroom/Testimonies/Final-2018-ATA---Unclassified---SASC.pdf.

[37] Second Artillery Corps, People’s Liberation Army, *The Science of Second Artillery Campaigns*, unclassified U.S. government translation (Beijing:PLA Press, 2004), pp. 397–398.Given that this section discusses suppressing both missile and air defenses, this reference is probably to both missile and aircraft early-warning radars.鉴于本节讨论的是压制导弹和防空系统，导弹和飞机预警雷达均可参见该参考。

[38] Zhao and Li, “The Underappreciated Risks of Entanglement,” p. 51; and Chase, Erickson, and Yeaw, “Chinese Theater and Strategic Missile Force Modernization and Its Implications for the United States,” p. 83.

[39] Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, “Entanglement as a New Security Threat,” p. 31.

[40] 该定义略不同于 Posen, *Inadvertent Escalation*, p. 2.

[41] 同上，第 12-16 页。

[42] U.S. Department of Defense, “Nuclear Posture Review,” p. 30; and Robert Work and James Winnefeld, prepared statement, *Nuclear Deterrence in the 21st*

Century, hearing before the Committee on Armed Services, U.S. House of Representatives, 114th Cong., 1st sess., June 25, 2015, p. 4, http://docs.house.gov/meetings/AS/AS00/20150625/103669/HHRG-114-AS00-Wstate-WinnefeldJrUSNJ-20150625.pdf.

[43] 美国官方政策对部队生存能力的强调，只能被解释为担忧俄罗斯的损害限制打击。

[44] Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, "Entanglement as a New Security Threat," pp. 20–21.

[45] U.S. Department of Defense, "Ballistic Missile Defense Review Report" (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, February 2010), p. 13, http://archive.defense.gov/bmdr/docs/BMDR%20as%20of%2026JAN10%200630_for%20web.pdf.

[46] Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, "Entanglement as a New Security Threat," p. 31.

[47] 2018 年《核态势评估报告》主张培育更多基于潜艇的低当量核能力。这些武器是否部署以及部署时间都有待观察。See U.S. Department of Defense, "Nuclear Posture Review," pp. 54–55.

[48] 理论上，美国仍可在起飞时或之后不久通过"预编程"目标，使用飞机展开核行动。然而，这种方法会破坏整个飞行过程中的主动控制，而主动控制是核武器的一个关键元素。

[49] Work and Winnefeld, prepared statement, p. 4.See also U.S. Department of Defense, “Nuclear Posture Review,” p. 30.

[50] Forrest E. Morgan, “Deterrence and First-Strike Stability in Space:A Preliminary Assessment” (Santa Monica, Calif.:RAND Corporation, 2010), p. 19, http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2010/RAND_MG916.pdf.

[51] 尽管没有明确说明，但极其认真地提出了这些担忧，详见U.S. Department of Defense, “Nuclear Posture Review,” p. 32.

[52] Mark Schneider, “The Nuclear Doctrine and Forces of the People’s Republic of China” (Fairfax, Va.:National Institute Press, November 2007), pp. 7–8, http://www.nipp.org/wp-content/uploads/2014/12/China-nuclear-final-pub.pdf.

[53] 冲突初期，中国可能不会升级区域导弹防御雷达的攻击，因为中国可能不会面临失败，而且这些雷达对核行动并不重要。台湾PAVE PAWS雷达是一个特例，这将在下文讨论。

[54] 中国某些导弹部队（尤其是安徽的807旅，也许还包括辽宁的810旅和吉林的816旅）不在俄罗斯或印度的重要目标范围之内，因此很难看出它们还能扮演其他什么角色。参见Jeffrey Lewis, *Paper Tigers:China’s Nuclear Posture*, Adelphi 446 (Abingdon, U.K.:Routledge for the International Institute for Strategic Studies, 2014), p. 116.See also U.S. Department of Defense, “Nuclear Posture Review,” p. 31.

[55] U.S. Department of Defense, “Nuclear Posture Review,” p. 23.

[56] 关于为什么直接使用核武器显得过分的分析，参见 James Acton, “Command and Control in the Nuclear Posture Review:Right Problem, Wrong Solution,” *War on the Rocks*, February 5, 2018, https://warontherocks.com/2018/02/command-and-control-in-the-nuclear-posture-review-right-problem-wrong-solution/.

[57] 查尔斯·格拉泽（Charles L. Glaser）和史蒂夫·费特（Steve Fetter）曾在类似推理中认为，敌手警告其核力量的可能性可能会使损害限制行动变得复杂，由此造成升级压力。参见 Glaser and Fetter, “Should the United States Reject MAD?Damage Limitation and U.S. Nuclear Strategy toward China,” *International Security*, Vol. 41, No. 1 (Summer 2016), pp. 61–62, doi:10.1162/ISEC_a_00248.

[58] U.S. Department of Defense, “Report on Nuclear Employment Strategy of the United States Specified in Section 491 of 10 U.S.C.” (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, June 2013), p. 4, http://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/ReporttoCongressonUSNuclearEmploymentStrategy_Section491.pdf.

[59] 有关这一话题的最新讨论比如参见 Glaser and Fetter, “Should the United States Reject MAD?” pp. 63–70; Austin Long and Brendan Rittenhouse Green, “Stalking the Secure Second Strike:Intelligence, Counterforce, and Nuclear Strategy,” *Journal of Strategic Studies*, Vol. 38, Nos. 1–2 (2015), pp. 38–73, doi:10.1080/01402390.2014.958150; Keir A. Lieber and Daryl G. Press, “The New Era of Counterforce:Technological Change and the Future of Nuclear

Deterrence," *International Security*, Vol. 41, No. 4 (Spring 2017), pp. 9-49, https://doi.org/10.1162/ISEC_a_00273.

[60] Robert Jervis, *The Meaning of the Nuclear Revolution:Statecraft and the Prospect of Armageddon* (Ithaca, N.Y.:Cornell University Press, 1989), p. 165.For a Cold War analysis of how attacks on C3I capabilities could blunt the effectiveness of nuclear operations, see Ashton B. Carter, "Assessing Command System Vulnerability," in Carter, John D. Steinbruner, and Charles A. Zraket, eds., *Managing Nuclear Operations* (Washington, D.C.:Brookings Institution Press, 1987), pp. 555–610.

[61] 危机稳定性方面的文献很多，具有创新意义的是 Thomas C. Schelling, *The Strategy of Conflict* (Cambridge, Mass.:Harvard University Press, 1960), chap.9.For the concept's historical origins, see Michael S. Gerson, "The Origins of Strategic Stability:The United States and the Threat of Surprise Attack," in Elbridge A. Colby and Gerson, eds., *Strategic Stability:Contending Interpretations* (Carlisle, Pa.:U.S. Army War College Press, 2013), chap.1, http://www.strategicstudiesinstitute.army.mil/pubs/download.cfm?q=1144.

[62] Talmadge, "Would China Go Nuclear?" p. 63; see pp. 57–64 more generally.

[63] Michael S. Gerson, "No First Use:The Next Step for U.S. Nuclear Policy," *International Security*, Vol. 35, No. 2 (Fall 2010), pp. 35–39, doi:10.1162/ISEC_a_00018.

[64] Talmadge, “Would China Go Nuclear?” pp. 58–59.

[65] Posen, *Inadvertent Escalation*, chaps.2–3.See also Bruce G. Blair, *The Logic of Accidental Nuclear War* (Washington, D.C.:Brookings Institution Press, 1993), pp. 270–271.

[66] Bruce G. Blair, *Strategic Command and Control:Redefining the Nuclear Threat* (Washington, D.C.:Brookings Institution, 1985), pp. 207, 296–297; and Bruce G. Blair, “Alerting in Crisis and Conventional War,” in Carter, Steinbruner, and Zraket, *Managing Nuclear Operations*, pp. 107–108.

[67] 有关针对通信资产的攻击，参见Chase, Erickson, and Yeaw, “Chinese Theater and Strategic Missile Force Modernization and Its Implications for the United States,” pp. 105-106; Pollack, “Emerging Strategic Dilemmas in U.S.-Chinese Relations,” pp. 57-58; Christensen, “The Meaning of the Nuclear Evolution,” p. 468; Cunningham and Fravel, “Assuring Assured Retaliation,” pp. 42, 44; and Talmadge, “Would China Go Nuclear?” pp. 78–79.On attacks against air defenses, see Talmadge, “Would China Go Nuclear?” pp. 77–78.

[68] Gregory Kulacki, “The Chinese Military Updates China’s Nuclear Strategy” (Cambridge, Mass.:Union of Concerned Scientists, March 2015), p. 4, http://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/03/chinese-nuclear-strategy-full-report.pdf.

[69] Pavel Podvig, "Russia Begins Deployment of Over-the-Horizon Radars," *Russian Strategic Nuclear Forces* blog, December 3, 2013, http://russianforces.org/blog/2013/12/russia_begins_deployment_of_ov.shtml; and Office of the Secretary of Defense, "Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2014," annual report to Congress (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, 2014) pp. 40, 69, http://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2014_DoD_China_Report.pdf.

[70] Twomey, "Asia's Complex Strategic Environment," p. 64.Of the two types of over-the-horizon radars, skywave and groundwave, the former could have a role in detecting both ships and air-breathing threats.

[71] Zhou Wanxing, "Summary of the Development of Skywave Over-the-Horizon Radar" [Tianbo Chaoshiju Leida Fazhan Zongshu], *Journal of Electronics*, Vol. 39, No. 6 (2011), pp. 1375–1376 (in Chinese; the author thanks Tong Zhao for translating the relevant section of this article); Podvig, "Russia Begins Deployment of Over-the-Horizon Radars"; and "I See You:Russian-Made Sunflower Radar Is Capable of Detecting F-35 Jets," Sputnik, July 2, 2016, http://sputniknews.com/science/20160702/1042341025/russia-podsolnukh-radar-f35.html.

[72] Pavel Podvig, "Status of the Russian Early-Warning Radar Network," *Russian Strategic Nuclear Forces* blog, January 13, 2013,

http://russianforces.org/blog/2013/01/status_of_the_russian_early-warning.shtml.

[73] 根据 Catherine Dill 的判断，它们分别位于 46.528085° N，130.755181° E（黑龙江）和 30.286637° N，119.128591° E（浙江）。从位置来看，设在 41.641422° N，86.237161° E（ 新疆）的雷达可被用于监测中国自己的测试活动。作者与 Catherine Dill 和 Jeffrey Lewis 的个人交流，2016-2018。

[74] 根据美国《2018 财年国防授权法案》的一项要求，国防部可能会研究将导弹防御拦截器转换为陆基弹道导弹的可行性。参见 *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2018*, Public Law 115-91, 115th Cong., 1st sess.(December 12, 2017), sec. 1243.(c).(2).

[75] William Graham, “Soyuz 2-1B Launches Tundra Missile Detection Spacecraft,” nasaspaceflight.com, May 25, 2017, https://www.nasaspaceflight.com/2017/05/soyuz-2-1b-launches-tundra-missile-detection-spacecraft/; and “Russia to Launch Ten Missile Attack Warning Satellites by 2020,” TASS, December 20, 2016, http://tass.com/defense/920880.

[76] Office of the Secretary of Defense, “Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2017,” p. 61.

[77] “China Plans to Launch Test Satellite for Missile Defense,” Japan Economic Newswire, August 24, 2015.

[78] 事实上，有媒体报道称中国和俄罗斯的预警卫星都有能力为导弹防御行动做出贡献。参见如上，以及 Graham, “Soyuz 2-1B Launches Tundra Missile Detection Spacecraft.”

[79] 美国还可能拥有其他的机密系统。但是，由于只有少数技术能够实现长距离通信，因此这类系统都可能存在类似于已知系统的缺陷。

[80] 美国情报界认为“未来几年，俄罗斯和中国的破坏性反卫星武器将会具备初级战备能力。”这一措辞表明非破坏性反卫星武器可能已开始运作。参见 Coates, “Worldwide Threat Assessment of the U.S. Intelligence Community,” p. 13.

[81] Brian Weeden, “Dancing in the Dark Redux:Recent Russian Rendezvous and Proximity Operations in Space,” *Space Review*, October 5, 2015, http://www.thespacereview.com/article/2839/1; and Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, “Entanglement as a New Security Threat,” pp. 33–35.

[82] U.S. Department of the Navy, “Submarine Communications Master Plan.”

[83] Dwayne Harris, “HFGCS Status” (Boston:Rockwell Collins, February 4, 2010), p. 5, http://www.hfindustry.com/meetings_presentations/presentation_materials/2010_feb_hfia/presentations/HFGCS_HFIA_Feb_2010.pdf.

[84] 这个例外是内布拉斯加州的高频全球通信系统发射机，但从位置来看它不太可能参与指挥前沿部署飞机。

[85] Alexei Arbatov, “Gambit or Endgame?The New State of Arms Control” (Moscow:Carnegie Moscow Center, March 2011), p. 6, http://carnegieendowment.org/files/gambit_endgame.pdf.

[86] Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Nuclear Matters, “Nuclear Matters Handbook 2016” (Washington, D.C.:Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Nuclear Matters, 2016), p. 75, https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB/docs/NMHB_2016-optimized.pdf.

[87] Quoted in Sydney J. Freedberg Jr., “When the Football Comes Out, Who Watches the President?” *Breaking Defense*, November 9, 2017, https://breakingdefense.com/2017/11/stratcom-wargames-its-own-death-who-watches-the-president/.

[88] Bureau of Arms Control, Verification, and Compliance, “U.S. Nuclear Force Posture and De-Alerting,” fact sheet (Washington, D.C.:U.S. Department of State, December 14, 2015), https://web.archive.org/web/20170101112527/https://www.state.gov/t/avc/rls/250644.htm.

[89] Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Nuclear Matters, “Nuclear Matters Handbook 2016,” p. 76.

[90] 此外，很多系统都可检测核弹头的爆炸，但都无助于提高部队生存能力。

[91] 根据美国国务院，“受到攻击时，总统将有不到 30 分钟的时间来决定是否发射洲际弹道导弹。”这种时间安排显然表明，在入侵弹头引爆之前能够做出反击。Bureau of Arms Control, Verification, and Compliance, “U.S. Nuclear Force Posture and De-Alerting.” On Cold War policy, see Blair, *The Logic of Accidental Nuclear War*, pp. 168, 192.

[92] 美国还购买了其他卫星作为备用；因此，目前的在轨卫星可能超过六颗。

[93] Office of the Secretary of Defense, “Report to the Defense and Intelligence Committees of the Congress of the United States on the Status of the Space Based Infrared System Program” (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, March 2005), p. 31, http://nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB235/42.pdf; and Michel Capderou, *Handbook of Satellite Orbits:From Kepler to GPS*, trans.Stephen Lyle (Cham, Switzerland:Springer, 2014), p. 428 n. 133.

[94] 针对陆基上行链路或下行链路发动攻击也是一种威胁，在此不再进行深入讨论。

[95] Coates, “Worldwide Threat Assessment of the U.S. Intelligence Community,” p. 13.

[96] Brian Weeden, “Through a Glass, Darkly:Chinese, American, and Russian Anti-Satellite Testing in Space” (Broomfield, Colo.:Secure World Foundation, March 17, 2014), pp. 4–19, https://swfound.org/media/167224/through_a_glass_darkly_march2014.pdf; and U.S.-China Economic and Security Review Commission, “2015 Report to

Congress” (Washington, D.C.:U.S. Government Printing Office, November 2015), pp. 292–298, https://www.uscc.gov/sites/default/files/annual_reports/2015%20Annual%20Report%20to%20Congress.PDF.

[97] Office of the Secretary of Defense, “Report to the Defense and Intelligence Committees of the Congress of the United States on the Status of the Space Based Infrared System Program,” p. 4.

[98] Morgan, “Deterrence and First-Strike Stability in Space,” p. 20.

[99] 基于作者自己的分析，使用的是NASA的一般任务分析工具轨道建模软件和有关卫星轨道的数据：Chris Peat, *Heavens Above* (website), http://www.heavens-above.com; and Jonathan McDowell, “Geostationary Orbit Catalog,” *Jonathan’s Space Report*, n.d., http://www.planet4589.org/space/log/geo.log. 它假设当传统的国防支援计划卫星退役之后，将会在66°E轨道或其附近安排SBIRS GEO 4，即目前其中一颗国防支援计划卫星的所处位置。

[100] William L. Shelton, “Space and Cyberspace—Foundational Capabilities for the Joint Warfighter and the Nation,” speech at the Air Force Association Air Warfare Symposium, Orlando, Florida, February 21, 2014, http://web.archive.org/web/20141225171206/http://www.afspc.af.mil/library/speeches/speech.asp?id=747.

[101] 据报道，俄罗斯的弹道导弹核潜艇有能力从相对较薄的冰层发射导弹。Valery E. Yarynich, “C^3:Nuclear Command, Control Cooperation” (Washington, D.C.:Center for Defense Information, May 2003), p. 147, https://www.scribd.com/doc/282622838/C3-Nuclear-Command-Control-Cooperation.

[102] 从技术上讲，PAVE PAWS 雷达完成导弹防御功能升级之后，被重命名为升级预警雷达。前沿部署的导弹防御雷达也有助于进行预警，比如 AN/TPY-2。

[103] 从理论上讲，破坏加利福尼亚州或马萨诸塞州的雷达会造成这样的缺口，但它们以及其他雷达目前都不可能遭到偶发攻击。本节相关评论是基于作者使用 Google Earth 进行的分析。作者感谢 Geoffrey Forden 和 Pavel Podvig 分别对弹道导弹轨迹和雷达扇区的可视化处理。有关弹道导弹预警雷达能力的数据，参见 Missile Defense Agency, “Elements:Sensors” (Washington, D.C.:U.S. Department of Defense, January 22, 2018), https://www.mda.mil/system/sensors.html.

[104] Second Artillery Corps, “The Science of Second Artillery Campaigns,” pp. 318, 396–397; and Andrew E. Kramer, “Russian General Makes Threat on Missile-Defense Sites,” *New York Times*, May 3, 2012, http://www.nytimes.com/2012/05/04/world/europe/russian-general-threatens-pre-emptive-attacks-on-missile-defense-sites.html.

[105] 作者估计，费令代尔斯雷达若与水平面呈 3 度夹角，便能追踪到 500 公里以内从加里宁格勒向波兰西部发射的伊斯坎德尔弹道导弹（可捕捉到大约 150 公里的轨迹）。

[106] “Taiwan Deploys Advanced Early Warning Radar System,” *Straits Times*, February 3, 2013, http://www.straitstimes.com/asia/taiwan-deploys-advanced-early-warning-radar-system.

[107] “Long-Range Radar Budget Surges by NT$10 Billion,” *China Post*, January 6, 2013, available from https://web.archive.org/web/20130108092745/http:/www.chinapost.com.tw/taiwan/national/national-news/2013/01/06/366468/Long-range-radar.htm.

[108] David A. Fulghum, Robert Wall, and Amy Butler, “Cyber-Combat’s First Shot:Israel Shows Electronic Prowess:Attack on Syria Shows Israel Is Master of the High-Tech Battle,” *Aviation Week & Space Technology*, November 26, 2007, pp. 28–31.See also Joshua Berlinger and Juliet Perry, “China Tried to Hack Group Linked to Controversial Missile Defense System, U.S. Cybersecurity Firm Says,” *CNN*, April 27, 2017, http://www.cnn.com/2017/04/27/asia/china-south-korea-thaad-hack/.

[109] 比如参见Michael Pillsbury, “The Sixteen Fears:China’s Strategic Psychology,” *Survival*, Vol. 54, No. 5 (October/November 2012), p. 157, doi:10.1080/00396338.2012.728351; “Cyber Security Units to Protect Russia’s Nuclear Weapons Stockpiles,” *RT*, October 17, 2014, https://www.rt.com/news/196720-russia-missile-forces-cybersecurity/; and Benjamin D. Katz, “U.S. Beefs Up Cyber Defenses to Thwart Hacks of Nuclear

Arsenal," *Bloomberg*, March 24, 2016, https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-03-24/u-s-beefs-up-cyber-defenses-to-thwart-hacks-of-nuclear-arsenal.

[110] Defense Science Board, U.S. Department of Defense, "Task Force Report:Resilient Military Systems and the Advanced Cyber Threat" (Washington, D.C.:Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics, January 2013), p. 6, https://www.acq.osd.mil/dsb/reports/2010s/ResilientMilitarySystemsCyberThreat.pdf.

[111] 该文献着重讨论了两种蓄意升级的风险。第一，心怀不轨的第三方可能发出核攻击即将发生的错误警告，由此引发两个核武国家之间的核战争。第二，计划发动核攻击的国家可能首先瓦解对手的预警系统。参见Global Zero Commission on Nuclear Risk Reduction, "De-Alerting and Stabilizing the World's Nuclear Force Postures" (Washington, D.C.:Global Zero, 2015), p. 30, http://www.globalzero.org/files/global_zero_commission_on_nuclear_risk_reduction_report_0.pdf; Andrew Futter, *Cyber Threats and Nuclear Weapons:New Questions for Command and Control, Security, and Strategy* (London:Royal United Services Institute for Defence and Security Studies, July 2016), pp. 24–25, https://rusi.org/sites/default/files/cyber_threats_and_nuclear_combined.1.pdf; and Stephen J. Cimbala, "Nuclear Cyberwar and Crisis Management,"

Comparative Strategy, Vol. 35, No. 2 (2016), p. 119, doi:10.1080/01495933.2016.1176458.

[112] 至少，用于侦查攻击武器是常规武器还是核武器的网络（预警过程的所有先前阶段）必须具有两用性。

[113] 埃里克·嘉咨科和乔恩·林赛专门研究旨在破坏目标核威慑力的蓄意攻击。这些攻击和偶发攻击造成的升级状况会有所不同。参见 Gartzke and Lindsay, "Thermonuclear Cyber War," *Journal of Cyber Security*, Vol. 3, No. 1 (March 2017), pp. 37–48, doi:10.1093/cybsec/tyw017.

[114] Alexey Arbatov, "Non-Nuclear Weapons and the Risk of Nuclear War:A Russian Perspective," discussion at the Carnegie Endowment for International Peace, Washington, D.C., November 29, 2017, http://carnegieendowment.org/2017/11/29/non-nuclear-weapons-and-risk-of-nuclear-war-russian-perspective-event-5762 (in particular, the comments at 38:44 of the recording).

[115] Zhao and Li, "The Underappreciated Risks of Entanglement," p. 68.

[116] James M. Acton, "Technology, Doctrine, and the Risk of Nuclear War," in Nina Tannenwald, Acton, and Jane Vaynman, *Meeting the Challenges of the New Nuclear Age:Emerging Risks and Declining Norms in the Age of Technological Innovation and Changing Nuclear Doctrines* (Cambridge, Mass.:American Academy of Arts and Sciences, 2018), pp. 54–55,

https://www.amacad.org/multimedia/pdfs/publications/researchpapersmonographs/New-Nuclear-Age_Emerging-Risks/New-Nuclear-Age_Emerging-Risks.pdf.This idea was inspired by Posen, *Inadvertent Escalation*, pp. 212–218.

[117] Elbridge Colby, "From Sanctuary to Battlefield:A Framework for a U.S. Defense and Deterrence Strategy for Space" (Washington, D.C.:Center for a New American Security, January 2016), p. 22, https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS-Space-Report_16107.pdf; and Todd Harrison, "The Future of MILSATCOM" (Washington, D.C.:Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2013), pp. 40–42, http://csbaonline.org/uploads/documents/Future-of-MILSATCOM-web.pdf.

[118] Eugene Hecht, *Optics*, 5th ed. (Boston:Pearson, 2017), p. 493.

[119] Acton, "Command and Control in the Nuclear Posture Review."

[120] 如果分散式系统不会被发现，它的存在就不会引发对专用卫星的攻击。就此而言，美国显然不会试图说服潜在敌手，称分散式系统除了检测导弹发射之外无力执行其他任何任务。

[121] 该文献关注的不只限于核力量和C3I资产的脆弱性。比如参见Keir A. Lieber and Daryl G. Press, "The Nukes We Need:Preserving the American Deterrent," *Foreign Affairs*, Vol. 88, No. 6 (November/December 2009), p. 43.

[122] Air-Sea Battle Office, “Air-Sea Battle,” 4.See also Biddle and Oelrich, “Future Warfare in the Western Pacific,” pp. 44–45; and Christensen, “The Meaning of the Nuclear Evolution,” p. 472.

[123] Richard J. Danzig, “Surviving on a Diet of Poisoned Fruit:Reducing the National Security Risks of America’s Cyber Dependencies” (Washington, D.C.:Center for a New American Security, July 2014), pp. 24–27, https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS_PoisonedFruit_Danzig.pdf.

[124] Arbatov, Dvorkin, and Topychkanov, “Entanglement as a New Security Threat,” pp. 40–41.