美国陆军进攻性导航战能力建设态势研究

（2026 年第 9 期，总第 18 期）

2026 年 9 月 28 日

主办单位：导航与时空技术国家级重点实验室

定位、导航与授时（Positioning, Navigation, and Timing, PNT）信息是现代联合作战的基础支撑。20 世纪 90 年代海湾战争以来，卫星导航系统在战争中的作用持续上升，针对其信号的压制与欺骗手段亦同步发展。美军于 1997 年正式提出导航战（Navigation Warfare, NAVWAR）概念，将其表述为保证己方和盟友有效利用卫星导航信息、阻止敌方使用卫星导航信息、同时不影响战区外和平利用的三项政策，即“保护、阻止、保持”。2018 年版《太空作战》联合出版物进一步界定，导航战是联合运用太空战、网络战和电子战能力，预先有准备地采取进攻性和防御性手段，确保己方使用并防止敌方使用定位、导航与授时信息的行动。

在美国陆军作战体系内，PNT 贯穿射击、机动、通信、指挥控制与态势感知等作战功能，大量装备系统对其形成深度依赖。一方面，随着潜在对手电子战与导航对抗能力的发展，美国陆军持续推进可靠 PNT 建设以维持己方行动自由；另一方面，限制对手使用 PNT 的进攻性任务逐步纳入能力建设框架，反定位导航授时（Counter Positioning, Navigation and Timing, Counter-PNT）由此从技术议题上升为制度议题与作战议题。

由于美国陆军反定位导航授时相关建设的信息分散于预算文件、征询公告、官方报道与专业刊物之中，公开表述在不同阶段有所演进，有必要对其进行系统梳理与研判。本文从顶层设计、技术路径与科研投资、试验推进、防御性装备与支撑体系入手，梳理了美国陆军反定位导航授时能力建设的演进脉络与当前态势，分析了其需求形成机制、进攻性科研布局与战术实践特点，总结了该领域“攻防一体、基线在先、进攻起步”的阶段性特征与制约因素，形成了对其发展路径的初步判断，以期为研判美国陆军导航战发展态势提供参考。

一、顶层设计

反定位导航授时能力建设在美国陆军体系中并非始于装备立项，而是首先经历概念界定、机构指定与需求确认等制度化过程。本节从概念界定、明确建设进程等方面展开分

析。

（一）概念界定

定位、导航与授时（PNT）是美陆军射击、机动、通信、指挥控制和态势感知等作战功能的重要支撑。陆军 2018 年公开材料将 PNT 列为几乎全部作战职能的关键赋能要素，并将 PNT 可靠性纳入现代化重点。

从陆军已公开的正式定义看，导航战指为保障己方 PNT 信息使用、限制对手 PNT 信息使用而实施的蓄意攻防行动。它通过天基、网络空间和电子战（Electronic Warfare, EW）行动协同运用，覆盖电子防护、电子支援以及电子攻击。在此框架下，反定位导航授时（Counter-PNT）可理解为导航战中面向对手 PNT 依赖体系的进攻性任务集合，尤其涉及对全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）信号和依赖 PNT 的作战链路实施探测、定位、干扰、压制或降级。美国陆军 2026 财年预算材料明确提出，导航战将利用电子战和信号情报（Signals Intelligence, SIGINT）能力，为己方建立 PNT 优势，并通过拒止、降级或扰乱对手 PNT 服务创造作战机会。

需要指出的是，反定位导航授时在陆军公开材料中并未始终作为独立术语出现，其内涵在不同阶段散见于“导航战攻击”“PNT 击破”等表述之中。从概念关系来看，导航战是攻防一体的上位概念，反定位导航授时处于其进攻性一侧，

这一界定构成了本文分析的基本口径。

（二）明确建设进程

美国陆军反定位导航授时能力建设的制度基础，首先来自其对自身 GPS 依赖问题的评估。2019 年陆军公开材料指出，一个典型旅战斗队依赖超过 28 类、约 600 套使用 PNT 的系统；全陆军拥有超过 25 万套依赖 GPS 的系统。此种高依赖度使保障己方 PNT 与限制对手 PNT 逐步进入同一能力建设框架，也为进攻性任务提供了需求来源和评估背景。

2017 年，《美国陆军指令 2017-24》（Army Directive 2017-24）设立可靠定位、导航与授时跨职能团队（Assured Positioning, Navigation and Timing Cross Functional Team, APNT CFT）试点机制。该团队成员覆盖采办、科学技术、试验评估、能力开发、训练和集成等领域，并与工业界和学术界协同。从制度设计看，APNT CFT 的作用包括三项：一是整合需求，团队协调项目执行办公室、陆军快速能力办公室、科技项目、政策程序、训练和领导者教育等工作，形成跨部门能力推进机制；二是压缩流程，团队将作战人员、研发人员和测试人员置于采办过程的前端，以缩短能力交付周期，并通过原型、演示和试验反馈修订需求；三是分解问题，陆军将规模较大、难以量化的可靠 PNT 需求分解为车载、单兵和态势感知三项较小需求，以提高测试、审查和列装效率。这一步骤以保障己方 PNT 为直接目标，同时为反定位导航授

时能力提供了机构协同、频谱认知、作战人员反馈和需求审查基础，构成进攻性建设的前置条件。

2019 年 7 月，陆军部长指定美国陆军太空与导弹防御司令部及陆军战略司令部（U.S. Army Space and Missile Defense Command/Army Forces Strategic Command, USASMDC/ARSTRAT）作为陆军识别和倡导 PNT 信息需求、建立和正式化联合导航战需求的代表机构。该指定使导航战从分散的技术讨论逐步进入陆军能力治理体系。陆军公开材料对该机构职责作出较具体说明，包括研究不同 PNT 信号的流转方式，评估对手干扰己方使用 PNT 的可能路径，提出保障己方能力和干扰对手能力的需求，并与联合机构和陆军机构共同识别能力缺口。USASMDC/ARSTRAT 还与陆军部队司令部以及联合导航战中心（Joint Navigation Warfare Center, JNWC）联合支持 GPS 降级条件下的训练活动，用于发展部队战术、技术与程序（Tactics, Techniques and Procedures, TTP）。

陆军开始将反定位导航授时相关任务纳入“需求倡导、概念发展、训练验证、联合协同”的连续链条。此时的公开重点仍然是导航战整体能力，Counter-PNT 作为独立名称尚未成为公开制度文件中的核心术语。

2021 年 3 月 25 日，陆军批准导航战态势感知简化能力发展文件（Navigation Warfare Situational Awareness

Abbreviated Capability Development Document, NAVWAR SA A-CDD），该文件由可靠 PNT 与太空跨职能团队（Assured PNT/Space Cross Functional Team, APNT/Space CFT）对外宣布获批。

该文件的制度意义主要体现在三个方面：1）确认了导航战态势感知的作战需求，并为快速原型和试验活动提供正式依据。2）将反定位导航授时行动前的“发现、识别、定位、预警”环节予以明确。3）需求文件与原型试验和士兵评估直接相连，提出采用“采购、试用、决策”流程，利用新旧技术方案开展快速原型、测试与士兵评估，并以此持续修订现役和未来陆军系统的导航战态势感知需求。

由此可见，陆军公开的反定位导航授时能力建设首先强调态势感知、干扰识别与目标定位。对于电子攻击能力，陆军在导航战定义中予以确认；对于攻击能力的具体门槛、效能指标和列装规划，公开 A-CDD 材料没有展开。据此可以作出初步判断，陆军进攻性建设遵循“感知先行、攻击殿后”的次序推进，态势感知构成其后技术投资与战术试验的需求支点。

二、技术发展路径

美国陆军反定位导航授时能力建设在技术层面沿三条线索展开：一是将既有规划工具转向导航战聚焦，二是以预算科研子项启动进攻性技术布局，三是通过工业界征询开展

能力摸底。三条线索在2022年至2024年间依次显现，共同勾画出进攻性技术路径的早期轮廓。

（一）规划工具聚焦导航战

陆军对PNT信息的高度依赖。PNT数据支撑精确机动、射击、通信、作战节奏控制和任务指挥，因此当GPS信号受到压制、欺骗或干扰时，影响可能沿火力、机动、通信与指挥链条扩散。这一依赖关系解释了美国陆军为何将导航战由单一技术议题提升为跨太空、网络空间和电子战领域的作战议题。美国陆军2019年提出，导航战既包括电子防护，也包括电子支援与电子攻击：前者关注保护己方平台和系统，后两者关注搜索、截获、识别、定位干扰源，并在多域作战中削弱对手对GNSS电磁频谱的利用。

2022年8月，时任美国陆军情报、电子战与传感器项目执行官马克·基茨在TechNet Augusta会议期间向FedScoop表示，电子战规划与管理工具（Electronic Warfare Planning and Management Tool, EWPMT）的下一阶段将“主要聚焦NAVWAR”，核心关注点是“对GPS受拒止环境的适应力”。其表述显示，陆军希望通过建模评估不同系统是否具备“有保障PNT”能力，并据此判断部队在GPS受拒止条件下仍可执行哪些行动。

2021年3月，陆军批准导航战态势感知简化能力发展文件（A-CDD）后，导航战态势感知（Navigation Warfare

Situational Awareness, NAVWAR-SA）进入需求确认和原型验证阶段。美国陆军 2024 财年预算文件显示，NAVWAR-SA 作为新启动项目获得 226 万美元，用于将 NAVWAR Plexus 软件转入 EWPMT 基线、开发应用程序编程接口并开展测试；该文件当时规划在 2025 财年第四季度进行 NAVWAR-SA 演示。美国陆军 2025 财年预算文件进一步披露，NAVWAR-SA Plexus 软件的转化、集成与演示获得 200.4 万美元，较 2024 财年减少 25.6 万美元，主要原因是大部分软件集成工作接近完成，项目资源重心转向演示环节。Plexus 的公开任务描述较为具体：其目标是帮助指挥员了解 GPS 干扰机何时存在、位于何处、影响哪些区域，以保持机动与火力任务的有效性。由此可见，陆军并未将导航战仅理解为“抗干扰接收机”问题，而是在尝试形成“干扰定位、范围判定、任务影响、方案调整”的作战辅助流程。

从美国陆军表述来看，NAVWAR-SA 服务于多域作战，重点支撑精确火力、行动与机动、力量跟踪以及连接人员和武器系统的数据网络，有助于在 PNT 受挑战环境中为远程精确火力、大规模地面作战中的行动自由提供实时可靠性信息。美国陆军对 EWPMT 的导航战聚焦，反映出其已将 GPS 受干扰、受拒止条件下的 PNT 可靠性，视为精确火力、地面机动、通信联通和任务指挥的重要约束因素。美国陆军可能继续推动导航战态势感知与电子战规划工具融合。

（二）进攻性科研双轨立项

2025 财年陆军研究、发展、试验与鉴定预算论证书载明，在项目要素 0602146A “网络 C3I 技术”下设的 AW1 “自主导航技术”项目内，包含两项进攻性导航战科研子项。其一是“定位导航授时击破技术”，描述为研究同时遂行电子战与 PNT 击破任务、更高效利用电子战与网络电磁活动及 PNT 资源的方法，将导航战攻击作为电子战系统的嵌入式模式；其二是“弹性导航战击破”，描述为通过协同平台对对手实施动态、弹性的导航战电子攻击，拒止对手使用 GNSS，降低其作战效能并扩大己方机动空间，协同平台可通过分布式环境态势感知建立并发送欺骗方案，并以多样、自适应的干扰几何对抗包括受控接收方向图天线在内的先进能力。两个子项在 2025 财年各列 0.501 百万美元，合计 1.002 百万美元；经费自项目要素 0603041A “全域融合先进技术” DA4 项目转调而来；执行单位包括陆军太空与导弹防御司令部技术中心与 C5ISR 中心。

2025 财年计划进一步说明，该年度将调研当前与新型导航战攻击技术，确定利用现有电子战系统实施导航战攻击的能力与局限；弹性导航战击破子项将开展平台市场调研，优化几何多样性、编队控制、电子攻击技术、目标算法与机器学习参数的量化研究。

从预算规模对照来看，同卷防御性 PNT 项目的体量明显

更大：AV9“GPS 独立环境下先进 PNT 技术”2025 财年列 8.062 百万美元，AW5“模块化 GPS 独立传感器技术”列 4.546 百万美元，二者分别面向 GPS 拒止环境下的自主 PNT 与多源融合。攻防两侧相关项目的经费与定位对比如表 1 所示。

表 1 2025 财年陆军进攻性与防御性导航战科研项目对照

属性	项目/子项	项目要素	2025 财年经费（百万美元）	主要内容与定位
进攻性	定位导航授时击破技术	0602146A“网络 C3I 技术”下 AW1“自主导航技术”	0.501	研究同时遂行电子战与 PNT 击破任务的方法，将导航战攻击作为电子战系统的嵌入式模式
进攻性	弹性导航战击破	同上	0.501	通过协同平台实施动态、弹性的导航战电子攻击，拒止对手使用 GNSS
防御性	GPS 独立环境下先进 PNT 技术（AV9）	—	8.062	面向任务全程无 GPS 场景，支撑士兵在 GPS 拒止环境中最长 7 天的任务
防御性	模块化 GPS 独立传感器技术（AW5）	—	4.546	研发模块化 GPS 独立传感器与开放式传感器融合核心，研究信号机会源与低轨卫星系统等替代 PNT 源
防御性	量子 PNT 与射频感知（DA8）	—	3.664	研究金刚石氮空位、碳化硅硅空位与里德堡电场传感器
防御性	GPS 替代方案应用研究（CN4）	—	0.542	研究低轨卫星抗干扰 PNT 提取

注：进攻性两项经费自项目要素 0603041A“全域融合先进技术”DA4 项目转调而来；防御性 CZ6 项目（GPS 干扰数据库与导航战建

模与仿真）未披露经费数额，故未列入表中。

在 2025 财年预算卷内，进攻性科研投资处于起步规模，且呈“内嵌模式与协同平台”双轨设计；防御性项目的经费体量明显更大，反映出陆军现阶段仍以保障己方 PNT 为投资重心，进攻性布局具有探索性、牵引性特征。

美国陆军 2026 财年预算材料将电子战敏捷开发列入国防部基于能力的敏捷拨款试点。其项目任务包括研发战术与战略信号情报、电子战能力，用于探测、识别、定位、收集、处理、报告，并对敌方实施干扰、降级、拒止或扰乱。其中，地面层系统（Terrestrial Layer System, TLS）及其旅级以上梯队版本（TLS Echelons Above Brigade, TLS EAB）被定位为面向师、军和多域特遣队的综合信号情报、电子战与网络能力体系。预算说明指出，TLS EAB 支持地面远程感知、信息收集和电子攻击，并通过指示与预警、目标信息改进和进攻性电子战选项，支持对目标力量实施拒止、降级和扰乱。

2026 财年预算为电子战敏捷开发项目列出 1.27081 亿美元，其中 TLS EAB 为 1.05579 亿美元，地面层系统为 849.9 万美元，电子战技术成熟项目为 277.5 万美元，战区信号情报系统为 215.2 万美元，电子战信号情报技术创新管线为 807.6 万美元。该资金属于电子战和信号情报综合能力组合，公开文件未将其中任何一项单独标为反定位导航授时专项资金。

（三）工业界征询双向摸底

在科研立项的同时，陆军以信息征询方式对工业界开展能力摸底。2024 年 6 月 28 日，陆军作战能力发展司令部指挥、控制、通信、计算机、网络、情报、监视与侦察中心（DEVCOM C5ISR Center）发布反定位导航授时信息征询，征集可用于导航战科学技术投资规划的技术与使能要素。征询背景部分明确目标为通过“导航战攻击”向机动部队提供有效反制威胁的能力，发展限制敌人有效使用 PNT 系统的波形与技术；并说明将利用相邻技术领域已有成果与反定位导航授时领域现有能力，同时支持未来任务资助项目中的新想法。

白皮书要求涵盖八项内容：公司背景、能力描述与效应机理、作战概念、宿主平台、配置与任务规划、目标与预期效应、成熟度与风险、未来展望。其中效应类别明确为五类，即拒止、欺骗、降级、中断与摧毁；目标示例包括无人航空系统与商用 GPS 接收机；宿主平台示例包括无人航空系统与下车士兵；作战运用方面要求说明是否提高生存力或提供压制敌防空能力；成熟度方面要求说明技术成熟度等级与风险，并以量子技术依赖为例。

响应规则为白皮书限 15 页、21 天内提交，政府保留与厂商单独后续讨论的安排；密级响应经保密网提交，超出秘密级经联合全球情报通信系统提交。采办公告页显示，该征

询于2024年7月16日更新，增设秘密级附加说明，仅经审查公司可凭保密协议DD254获取，秘密访问请求须于7月29日前提出；响应截止日期经历三次调整，自9月16日先后延至9月30日、10月11日。

关于该征询的解读存在分歧。征询原文仅将目标限定为通过导航战攻击限制敌PNT使用;弹性导航授时基金会的评论指出，反PNT包含美军在GPS信号遭拒止时的作战能力，但该基金会“完全没有在征询中看到这一点”，并评论该征询明确属于电子战范畴，同时指出美国政府内部对反PNT归口电子战还是网络存在长期争论。

2024年9月30日发布的导航战电磁支援信息征询，目标为识别可用于未来研发的导航战技术与使能要素。该征询关注技术成熟度等级4及以上的系统，运用射频技术完成辐射源检测、射频PNT保护、辐射源定位与波形识别；既接受单一功能系统，也接受覆盖全部功能的系统；面向其他领域设计但覆盖特高频波段顶端导航信号的系统同样在征询范围之内。行业报道确认其编号为W56KGU25R1001，并说明建议使能技术成熟度至少达到实验室样机演示水平。

两份征询的对比情况如表2所示。

表2 2024年陆军两份导航战信息征询对比

对比维度	反定位导航授时征询	导航战电磁支援征询
发布时间	2024年6月28日发布，7月16日更新	2024年9月30日发布

发布机构	DEVCOM C5ISR 中心	DEVCOM C5ISR 中心
目标定位	通过导航战攻击发展限制敌人有效使用 PNT 系统的波形与技术	识别可用于未来研发的导航战技术与使能要素，服务电磁环境感知
效应与功能类别	拒止、欺骗、降级、中断与摧毁五类效应	辐射源检测、射频 PNT 保护、辐射源定位与波形识别
成熟度要求	须说明技术成熟度等级与风险	技术成熟度等级 4 及以上
响应篇幅与时限	白皮书限 15 页、21 天内提交	响应限 20 页，须填写受控非密信息电子表格
密级与响应资格	秘密级经保密网、超出秘密级经联合全球情报通信系统提交；秘密级附件凭 DD254 获取，访问请求须 7 月 29 日前提出	响应方仅限美国公民；保密材料按受控非密版本另行提交
目标与平台示例	目标示例为无人航空系统与商用 GPS 接收机；宿主平台示例为无人航空系统与下车士兵	单一功能系统至全功能系统均可；覆盖特高频波段顶端导航信号的他域系统亦在范围之内

两份征询同由 C5ISR 中心发布，一攻一防，目标分别为导航战攻击与电磁环境感知。据此可以作出初步判断：2024 年陆军导航战攻防两端正在对工业界摸底，进攻性征询以效应分类与白皮书形式开放征集，防御性征询以成熟度分级与技术清单形式开展，二者共同服务于后续研发规划。

综合本节可以看出，进攻性技术路径在 2022 年至 2024 年完成了一次可见的递进：规划工具先行、科研子项立项、工业界征询铺开。公开材料显示，陆军进攻性设想的攻击形态包括嵌入式电子战模式、协同平台欺骗与干扰、专用可部

署发射平台等若干线索；其公开的投资规模与成熟度要求均显示处于早期阶段。

三、试验推进

美军利用试验、演习等手段抓紧推进反定位导航授时能力建设。从公开材料看，这一层面的信息主要来自部队试验报告、专业刊物署名文章等，本节从部队试验、演习专项试验等方面加以梳理。

（一）部队试验

2026 年 5 月，陆军网络兵种专业刊物《灰色空间》刊登文章《整合反定位导航授时武器的案例》。文章披露，第 1 多域特遣队（1st Multi-Domain Task Force, 1MDTF）在白沙导弹靶场“DIESEL 26”试验中，对低功率反定位导航授时方案进行了持续试验。

试验目标包括两项：一是产生可控的干扰和降级效应，二是探索将该类效应纳入总体作战效应计划的路径。参试队伍使用多域电磁战系统（Multi-Domain Electromagnetic Warfare System, MDEWS）配合定向天线和专用波形，对 L1、L2 和 L5 频段相关目标实施精确效应测试。

从装备与试验关系看，第 1 多域特遣队在“DIESEL 26”演习中开展深度电磁攻击实验所用的 MDEWS，由 Viavi TRx 设备加定向天线与专用波形构成，可对目标 L1、L2、L5 频

谱发射精确效应；试验组达成两项目标，即成功传输中断与降级效应，并开辟将这些效应纳入总体效应计划的路径。针对此类武器的“背向爆震”问题，即天线后瓣与旁瓣可能抬高周边数英里噪声底并对友邻系统造成无意电磁干扰，作者提出七类消减措施：采用地形遮蔽；以吸波材料遮蔽发射阵地；建立发射阵地影响模型并转化为通用作战图中的图形控制措施；使传输路径避开友军弹药与飞机航线；持续发射并减少不必要中断；与友方接收机保持安全距离；向战场空间所有者通报计划与即时效应并设置限制行动区，涉及民航空域或海上时另行发布航行通告或与东道国协调。

文章还揭示出反定位导航授时在战术整合层面的主要关注点：

1）友军风险控制。文章强调，发射设备的后向和侧向辐射可能抬升周边区域噪声底，进而造成非预期电磁干扰。由此可见，反定位导航授时能力需要与己方 PNT 保障和频谱管理同步规划。

2）支援与攻击协同。文章提出，电子支援力量应在攻击前和攻击持续期间监测目标区域频谱，以评估效应、确认功率设定并发现可能出现的友军干扰。

3）火力流程衔接。该文主张将反定位导航授时纳入联合部队的效应计划，通过电子攻击协调机构、限制操作区和任务报告流程管理相关行动。

4）机动持续运用。文章讨论了“射击后转移”思路，以及多小组轮换维持压制效果的构想，说明部队正尝试将PNT对抗由临时技术操作融入机动与火力协同。

战术规划方面，作者建议将反定位导航授时电子攻击组靠前部署于己方部队前沿线附近，采取“射击-机动”方式维持持续压制，以三组轮换、两组发射一组转移的节奏保持对目标的持续效应；任务持续时长通常为30分钟至3小时；波形须从战术前沿到联合部队司令部层级严格控制，以降低跨境与邻接部队的意外干扰风险。据此可以作出初步判断，陆军战术级反定位导航授时运用已形成与炮兵火力支援相似的程序化规程，其核心关切是效应持续时间与电磁误伤管控的平衡。

操作程序方面，作者提出五步规程：电子支援分队先报告目标频谱噪声底阈值；电子攻击组以最低必要功率发射偏离目标中心频率的窄带导频信号；支援分队登记导频后确认攻击功率；电磁攻击协调机构完成火力清场并设置限制行动区，随后开火；传输期间支援分队持续监视，协调机构视情下达停火以定位误伤区域，任务结束须报告目标频谱清澈与武器冷态。就训练与权限而言，作者建议指挥官可提前9至12个月在国家级训练中心训练并认证班组，或利用试验中心机会实施实射；此类武器的权限与授权初期将从严掌握，待训练中反复安全使用后再行放开。

（二）“众神之锤”试验演进

“众神之锤”（Hammer of the Gods）为一种可部署发射装置，提供扩展的指挥控制与作战能力，依托高可部署、低电磁特征电子战平台，在行动前沿投送多域效应。陆基型系统在过去两年间出现在多场演习与演示中;2026年7月中旬，“会聚工程 拱顶石 6”（Project Convergence Capstone 6, PC-C6）演习期间，海上型首次出海试验，由美国太空军太平洋部队与圣迭戈海军基地提供支援，为该系统海上试验的首次记录。

试验目标以反定位导航授时为核心。太空军太平洋部队建模、仿真与集成主管表示，试验证明反定位导航授时能力可在真实海上行动中部署、控制与回收，并经韧性网状网扩展作战距离；PNT 中断直接影响远程火炮、制导导弹与巡航弹药的精度，失去 PNT 数据将导致任务延误、脱靶或附带损伤风险上升。

演习框架方面，“会聚工程 拱顶石 6”为为期 10 天的大型联合实验活动，主要地点为加利福尼亚州欧文堡，纳入 100 余项新兴技术，第 4 步兵师与澳大利亚、加拿大、新西兰、英国部队参演；实验同时验证下一代指挥控制架构。

军方未披露该系统的射程、承包商、成本与计划列装时间，未说明试验是否扰动真实信号、如何区分友军与敌军信号、影响范围与试验期间的安全措施；若该系统列装，其操

作单位、所需人员以及主要隶属于陆军电子战编成、太空军部队还是联合小组均未确定。官员表示演习数据将用于后续采办决策，但这一表态不保证该系统成为正式项目。

四、防御性导航战能力发展

在发展进攻性导航战能力的同时，美军始终以防御性相对成熟的体系为基线展开，攻防两端在预算安排、试验平台与机构框架上共享同一能力建设生态。本节从卫星导航现代化、装备规模化交付与拒止环境科研投资三个方面，对防御性方向的发展作对照性梳理。

（一）卫星导航现代化脉络

GPS 现代化大致可以划分为太空段、地面控制段和用户设备三部分。目前 GPS 现代化的卫星换代阶段已取得显著成果，军事码（M-Code）信号的在轨条件已经具备；但控制段路线重置与用户设备跨平台集成，使现代化能力从“可播发”走向“可普遍运用”的进程仍需持续观察。

太空段方面，2026 年 4 月 21 日，美国太空军成功发射 GPS III SV10，这是第 10 颗也是最后一颗 GPS III 卫星，标志着 GPS III 批次发射完成，该批次主要用来接替此前的 12 颗 GPS IIF 卫星批次。GPS III 相对前代卫星的定位精度提高约 4 倍，抗干扰能力提升约 8 倍；采用高功率放大器和先进密码技术支持 M-Code 生成与发射。

地面控制段方面，任务包括跟踪卫星、监控导航信号、执行轨道和钟差分析、向卫星上传导航数据与控制指令，并维持信号完整性与服务连续性。原定用“下一代操作控制系统”（Next Generation Operational Control System, OCX）替换既有“架构演进计划”（Architecture Evolution Plan, AEP），统筹控制新旧 GPS 卫星，并管理现代化民用和军用信号。不过，2026 年 4 月 17 日，美国国防采办执行官正式终止 OCX 项目；原因为 OCX 在与整体 GPS 体系开展集成测试时发现大量系统问题，项目无法在具有作战相关性的时间范围内、以可接受风险交付所需能力；截至 2026 年 1 月，该项目累计成本已经达到 62.7 亿美元。GPS 现代化并未因 OCX 终止而停止，但地面段从原先以单一大型替换系统为中心的计划，转向在现役控制体系基础上持续迭代：地面段当前路线已调整为继续使用并渐进升级既有 AEP 控制系统，通过已有十余年持续升级形成的 AEP 能力，维持对 GPS 星座的控制，并逐步接入新的 GPS 能力。太空军明确表示，过去为应对 OCX 延期而进行的 AEP 增量升级，已为继续支持星座运行和增加新能力提供了基础。

用户设备段方面，核心项目是“军用 GPS 用户设备”（Military GPS User Equipment, MGUE），包括可处理 M-Code 的芯片、接收卡、嵌入式接收机、航空接收机、海事接收机以及集成到车辆、弹药、舰艇、飞机和手持终端的

相关设备。截至2026年，MGUE增量1（Increment 1）和增量2（Increment 2）仍是美国军事GPS终端现代化的重点。项目采办管理权于2025年12月1日从太空军移交空军，空军于2026年5月完成对两个增量项目的正式接收，并由军事码航空接收机联合项目办公室集中负责后续开发、列装和寿命周期管理。用户设备段长期面临比太空段更复杂的系统整合挑战。政府问责局（Government Accountability Office, GAO）在2024年评估中指出，首批可处理M-Code的芯片和卡件虽接近最终测试阶段，但仍发现额外缺陷；空军的航空平台整合存在延迟，其他军种也需要完成各自平台上的采购、测试与部署流程。目前，用户设备现代化已从研发和项目分散管理，转向由美国空军集中推进MGUE增量1与增量2的开发、整合和列装；但M-Code在不同军种、不同平台上的完整作战应用，仍取决于后续接收机测试、平台认证、软件集成、密码管理和保障体系建设。

（二）军事码与可靠PNT装备规模化交付

2025年5月14日报道显示，陆军在军事码与可靠PNT装备交付上取得规模进展：上一财年交付约2.7万台军事码能力接收机，列装2500余套地面PNT系统，生产7000套精确制导组件，并在黑鹰直升机上安装46套军事码航空导航系统；陆军成为首个在地面、弹药与航空三个领域列装军事码技术的军种。

交付路径呈现“两轨并行”特征：其一为升级既有系统，其二为引入模块化可升级的可靠 PNT 技术。弹药方面，M1156A1 型精确制导组件集成军事码接收机，完成定型并于 2025 年获准全面列装；M1156E5 型加装抗干扰能力，拟于次年列装。航空方面，增强型航空全球空中交通管理军事码惯导系统（EAGLE-M）以三种型号覆盖十余个航空平台，节省数年时间与数千万美元，并配装多平台抗干扰 GPS 导航天线。地面方面，通过弹性软件保证措施升级国防先进 GPS 接收机（Defense Advanced GPS Receiver, DAGR）与地面接收机，并与抗干扰天线组合形成车载 PNT 系统第一代能力，列装驻欧美军与太平洋司令部部队；第一代下车可靠 PNT 系统（Dismounted Assured Positioning, Navigation and Timing System，DAPS）于 2022 年列装若干驻欧步兵旅战斗队，第二代与车载第二代均已进入全面量产并逐步替换第一代系统。

存量方面，项目负责人指出陆军拥有超过 30 万套旧式 GPS 接收机，分布于作战、任务指挥、通信、弹药、情报、电子战、海上与航空系统，向军事码与可靠 PNT 装备更新需要长期持续投入。

2025 年 9 月 29 日报道显示，第二代车载精确定位、导航与授时系统（Mounted Assured PNT System Generation II, MAPS GEN II）列装工作在全陆军展开。该系统以军事码加

密、替代传感器融合与外部天线改进提供更强的抗干扰与抗欺骗能力；干扰具有破坏性，而欺骗可能造成更大危害，MAPS GEN II 能够检测并拒斥 GPS 欺骗尝试，并在电子战环境中继续工作、向士兵通报状态。该系统的架构特征为开放式标准，可集成现役与未来指挥控制平台，并契合下一代指挥控制架构；一套系统可替代此前分别承担任务的车载 MAPS GEN I 和单兵手持的多台 DAGR 接收机。列装训练方面，第 2 斯特赖克旅战斗队完成新装备训练后，在后续训练事件中实际处理了 GPS 干扰情况，验证了系统检测威胁并按设计响应的能力；后续列装计划覆盖其他转型中的接触单位并延续至其余斯特赖克旅战斗队。

（三）GPS 拒止环境科研投资

2025 财年预算中载明若干防御性 PNT 科研项目，其项目属性与进攻性科研子项形成明显对照。AV9 项目面向“场景四”，即任务全程无 GPS 信号的情况，目标为支撑士兵在 GPS 拒止环境中最长 7 天的任务，研究量子守时电路、惯性测量组件、多传感器模态、视觉导航与可用射频信号，由陆军研究实验室执行，2025 财年列 8.062 百万美元。AW5 项目研发模块化 GPS 独立传感器与开放式传感器融合核心，其“频率无关定位与时间增强弹性”子项研究信号机会源与低轨卫星系统作为替代 PNT 源，2025 财年列 4.546 百万美元。CZ6 项目由陆军太空与导弹防御司令部技术中心执行，成熟

GPS 干扰数据库以支撑可行动的 PNT 态势感知，并开展导航战建模与仿真，经费数额未披露。DA8 项目研究量子 PNT 与射频感知，涵盖金刚石氮空位、碳化硅硅空位与里德堡电场传感器，2025 财年列 3.664 百万美元。此外，CN4 项目下“GPS 替代方案应用研究”研究低轨卫星抗干扰 PNT 提取，2025 财年列 0.542 百万美元。上述项目中 AV9、AW5、DA8、CN4 四者的经费概况已与进攻性子项一并列入表 1（表 1 见前文）。

综合本章可以看出，陆军防御性 PNT 建设呈现“太空段超前、用户段补课、装备规模化列装、科研纵深布局”的整体面貌，其经费体量与成熟程度均明显高于进攻性。这表明，美陆军在探索限制对手 PNT 使用的同时，须同步防范对手对己方 PNT 依赖体系的利用，攻防两端因此共享同一频谱管理、试验评估与联合协调框架。

五、联合导航战支撑体系与生态

美国陆军反定位导航授时能力建设并非孤立的装备工作，而是嵌入评估演习、对抗训练与联合机构构成的支撑生态之中。梳理本节材料可以看出，评估演习已形成年度机制并处于转型之中，对抗训练自国家训练中心向旅级单位延伸，联合导航战中心提供跨军种协调与攻防能力评估职能。这些要素共同为陆军进攻性反定位导航授时提供试验场、态势数据与作战协调框架。

（一）PNT 评估演习机制

2019 年夏季，时任可靠 PNT 跨职能团队在白沙导弹靶场举行首次 PNT 评估演习（PNT Assessment Exercise, PNTAX）。陆军将其定位为“实装、虚拟、构造”原型演示活动，即综合运用实装试验、虚拟仿真与构造性场景，以威胁想定支持系统能力分析和需求制定。首届活动持续 5 周，超过 500 名政府、工业界与士兵人员参加，评估超过 80 项徒步、车载和导航战能力与系统。从试验任务看，2019 年 PNTAX 已将 PNT 问题置于具体作战链路中评估，内容包括旅级及以下部队在反介入和区域拒止环境中的行动、GPS 威胁识别、远程精确瞄准与射击，以及传感器至射手（Sensor to Shooter, S2S）任务链路。陆军明确将士兵实际操作和反馈纳入需求形成过程，体现出“实兵参与、数据采集、需求牵引”的工作逻辑。

2020 年 10 月 26 日至 11 月 4 日，第二届 PNT 评估试验（PNTAX）在白沙导弹靶场举行，重点延续可靠 PNT、战术太空和导航战能力评估。该次活动汇集超过 300 名政府合作方、工业界人员、陆军士兵和空军人员，评估超过 55 项徒步、车载、固定式与空中平台，以及火力、弹药、导航战传感器和相关体系；M777 榴弹炮、“爱国者”系统、斯特赖克装甲车与美国空军机型均在公开列举范围内。2020 年的另一项重要变化是，陆军计划将 PNTAX 接入“融合计划 21”，

并以 GPS 受限环境支撑联合全域指挥与控制概念。这表明，PNTAX 已由单项导航能力验证，逐步转向为联合指挥、火力与数据链路提供试验条件。

2021 年 PNTAX 在白沙导弹靶场进行、为期 3 周，覆盖空中、陆地、太空与网络空间等近乎全部领域，并包括实弹能力在“实时天空”GPS 受限环境下的验证。该年度评估超过 100 项技术，吸引 600 余名参与者和 70 个来自工业界、学术界及国防部门的组织。

2023 年第五届 PNTAX 在 8 月举行，主办方已调整为陆军未来司令部所属的可靠 PNT 与太空跨职能团队。陆军将该活动明确纳入“持续试验与持续学习”行动，允许参试方部署和评估天基、地面、空中与陆地技术，并通过分析效能和互操作性，服务于动能与非动能打击、部队机动、杀伤效能与生存能力等任务。在参试组织方面，2023 年活动体现出联合、多国和产学协同特征：加拿大和澳大利亚人员参与观察与后续参试筹划，英国部队开展陆地导航试验；美国第 101 空降师参与徒步保障 PNT 系统训练和地形行军，第 1 装甲师利用可调节的 GPS 拒止和降级环境开展训练，第 10 山地师参与拒止环境下的传感器至射手链路学习。参试技术可处于不同成熟度水平，但参与方需在活动后共享数据和经验教训。从技术环境看，2023 年 PNTAX 通过干扰及其他威胁接口构建露天的拒止、降级、间歇与受限环境，模拟多域作战中可

能出现的分层对抗条件，使评估对象由单个平台性能进一步延伸至人员操作、任务流程、战术技术程序以及跨系统协同。

2024 年第六届 PNTAX 完成后，《防务新闻》援引全域感知跨职能团队（All Domain Sensing Cross Functional Team, ADS CFT）负责人迈克尔·蒙特莱昂的话称，该年度活动持续 3 周，参与者超过 600 人，涵盖联合伙伴、作战司令部及澳大利亚、加拿大、新西兰、英国等“五眼联盟”伙伴；活动评估超过 150 项技术，现场组织总数超过 130 个。下一次活动计划于 2025 财年第四季度更名为“全领域持续试验”（All Domain Persistent Experiment, APEX）。陆军给出的直接理由是，GPS 与全球导航卫星系统试验仍属必要重点，同时还需要在动态、逼真的威胁环境中评估传感器与通信架构、数据传输和边缘处理。换言之，PNT 能力继续保留在试验内容中，其在总体试验框架中的位置则更加紧密地联系到感知、通信、数据与火力系统。

2025 年秋季，陆军在白沙导弹靶场实施 APEX，将其描述为继承 PNTAX 六年经验的拒止、降级、间歇或低带宽环境（Denied, Degraded, Intermittent and Low bandwidth, DDIL）露天试验环境，参与方包括陆军、联合部队、工业界、盟国与学术界。活动通过扩大对电磁频谱不同区域的覆盖，评估在现实威胁条件下运行的集成系统。

APEX 有三条公开任务线：

第一，综合实时指挥控制。陆军称，APEX 中的 C5ISR 中心“动态”项目利用传感器框架，整合陆军、其他军种、国家级和联盟伙伴能力，支持自动化任务指派与跨传感器引导。该项目采用联合接口控制文件通用服务框架和综合感知架构，验证在 DDIL 环境中集成、处理和分发多传感器数据的能力。

第二，跨域实弹与非动能效应。APEX 使用 Plexus 系统，将态势感知信息用于选择适配的射手和效应方式。陆军材料称，该活动验证了跨域火力的集成自动化路径，并将动能与非动能效应纳入同一试验环境。

第三，诸兵种机动、无人系统与反无人系统。APEX 设置了无人航空系统及反无人系统任务场景，令地面平台和无人空中平台在 DDIL 环境中接受挑战。陆军将这一方向与诸兵种机动相联系，旨在评估新一代能力在复杂电磁条件中的任务适用性。

美国陆军 2025 财年研发试验与评估预算说明书将 PNTAX 描述为陆军唯一的大规模、露天、威胁驱动的射频与 GPS 拒止评估环境，并称其对于多域作战和联合全域指挥与控制能力演进具有重要作用。该预算材料还将 PNTAX 纳入传感器至射手演示与试验计划，并强调士兵反馈、原型开发、人工智能与机器学习整合、替代导航、射频感知和地面架构开发。

从历史演进来看，PNTAX 至 APEX 呈现出三项较为明确的变化。一方面，问题域持续扩展，2019 年活动以 GPS 受限环境下的 PNT、导航战和传感器至射手能力为中心；2025 年 APEX 已将传感架构、数据传输、边缘处理、通信、电子战、无人系统和跨域火力纳入公开任务线。另一方面，试验对象逐步体系化，早期材料已出现火炮、防空系统、装甲车辆、空军平台和传感器等多类对象；后期材料更加集中于多传感器数据、接口框架、指挥控制与跨域效应之间的互操作性。由此可以看出，美陆军正在将 PNT 视为更大范围作战系统中的关键支撑要素。同时，参与机制趋于开放，PNTAX 自首届起就对军方、政府、工业界与学术界技术开放；2023 年至 2025 年，盟国和联合伙伴的参与得到进一步强调，公开材料记录了加拿大、澳大利亚、英国及“五眼联盟”伙伴的相关参与，这为技术比较、联合作战互操作性评估和多国概念协调提供了条件。

陆军在 2025 年后续官方报道中表示，2026 年下一轮活动将被称为“支持试验与学习的 DDIL 综合环境”（Denied, Degraded, Intermittent or Limited Integrated Environment Supporting Experimentation and Learning, DIESEL），并与概念聚焦型作战试验相衔接。这一安排表明，PNTAX 至 APEX 的演进仍在继续，其未来名称、主管机构与具体任务组合均可能进一步调整。

（二）对抗训练与国内干扰测试生态

2025 年 12 月署名文章显示，国家训练中心（National Training Center, NTC）将太空降级环境纳入旅战斗队轮训。2024 年全部 9 份旅战斗队终期复盘报告的建议高度趋同，作者认为相关短板七年未获实质改善；第 1 骑兵师灰狼旅战斗队在 2025 年春第 25-06 轮训前接受陆军太空训练部的上门教学，轮训期间经受 108 小时电磁干扰，覆盖调频、联合战斗指挥平台与 GPS，该旅持续上报干扰并保持主备交替应急通信；士兵使用 DAGR 干扰探测应用与信号情报工具定位干扰源，并多次经目标处理流程摧毁干扰机；师太空支援分队自驻地 24 至 48 小时内产出干扰态势与导航战分析产品。作者提出“适应而不叠加”的训练理念，并建议将加密纪律、干扰反应与备用导航手段纳入常态化训练。

国内 GPS 干扰测试生态方面，2020 年 1 月，美国海军第 4 航母打击群在东南部 6 个州、约 12.5 万平方英里范围内实施 GPS 干扰测试，联邦航空管理局发布飞行通告，测试时段分批实施；2017 年报道显示，空军第 26 太空假想敌中队每年约 200 天开展地面 GPS 与卫星通信干扰训练，并提前数周通报联邦航空管理局、航空公司与海事界；2021 年调查报道显示，空管员对白沙导弹靶场周边 GPS 干扰影响民航提出投诉，围绕“停止干扰”程序的授权存在争议，相关机构称未拒绝任何停止干扰请求，但承认一线设施曾对程序权限范

围存在困惑。据此可以作出初步判断，大规模 GPS 干扰测试在美国国内长期存在并形成通告、协调与投诉机制，这一生态为各军种导航战训练提供共同环境。

（三）联合导航战中心与国防部 PNT 治理

联合导航战中心（Joint Navigation Warfare Center, JNWC）位于新墨西哥州柯特兰空军基地。其任务是为国防部、跨机构伙伴和联盟伙伴实现 PNT 优势，并作为国防部导航战卓越中心，向作战司令部提供专业知识、作战支援与分析，同时开展导航战能力评估并就政策和战备提出建议。

从组织关系来看，JNWC 隶属于美国太空司令部的联合部队太空组成司令部（Combined Force Space Component Command, CFSCC）运行体系之中。2019 年 CFSCC 成立时，美国太空司令部公开列出四个地理分散的行动中心，分别为联合太空作战中心、导弹预警中心、联合持续红外中心和 JNWC；其中，JNWC 承担导航战与 PNT 相关能力支撑。这一安排表明，PNT 在美国联合行动体系中具有跨域属性：一方面，PNT 服务于指挥控制、机动、火力、情报监视侦察等军事功能；另一方面，PNT 受太空、网络、电磁频谱和用户终端状态共同影响。因此，JNWC 的定位体现出“统一分析、分布执行，跨域协同、联合支撑”的运行逻辑。

就历史沿革而言，JNWC 于 2004 年 10 月 1 日设立于国防部网络与信息集成助理部长办公室之下，其设立背景为

2002 年美国指挥体制改革后对全球导航战行动的统筹需要。该中心现为美国太空军太空作战司令部之下国防部导航战与 PNT 能力集成与运用的卓越中心，经联合导航战行动中心提供 24 小时全时回援，并向各作战司令部配属可部署的战区导航战协调小组；其 PNT 作战现地评估活动在威胁仿真争夺环境中评估进攻与防御导航战作战能力，按作战需求排定知识缺口并形成战术、技术与程序以及缓解策略。该中心近期与澳大利亚国防部合作，在仿真干扰条件下测试 DAGR 性能，以评估其作战效能。

就监督机制而言，美国国防部的 PNT 组合由 PNT 监督委员会管理，该委员会是法定的高级别监督机构。GAO 在 2022 年报告中指出，该委员会此前更聚焦既有 GPS 现代化，对于替代 PNT 项目缺乏用于衡量进展的战略目标和指标；GAO 认为，明确目标与衡量指标有助于评估整体绩效，并降低从传统 GPS 能力向 M-Code 能力过渡期间出现 PNT 能力缺口的风险。从这一监督结论来看，美国联合导航战生态的技术布局较为广泛，但项目成熟度、跨项目度量和投资优先级仍有待持续验证。

六、总结

本报告对美国陆军进攻性反定位导航授时能力建设态势作了梳理分析。总结发现如下：其一，制度骨架先行，陆军以 2019 年牵头机构指定与 2021 年导航战态势感知需求文

件完成制度化奠基；其二，进攻性科研投资处于起步规模，2025 财年两项进攻性子项各 0.501 百万美元，呈内嵌模式与协同平台双轨设计；其三，工业界征询构成摸底通道，2024 年两份征询分别面向导航战攻击与电磁环境感知；其四，运用探索先于装备定型，多域特遣队编成、“DIESEL 26”战术程序与“众神之锤”海上首试构成运用层面的完整记录，而装备参数、操作单位与采办走向仍未披露；其五，防御性基线成熟在先，军事码与可靠 PNT 装备已规模化交付；其六，支撑体系并行推进，联合导航战中心提供协调与评估框架。就趋势而言，根据上述材料可以作出初步判断：陆军进攻性反定位导航授时可能沿着“科研立项、原型征询、联合试验、装备定型”路径继续演进。

参考文献

[1] 云超, 谭志强, 崔建勇, 等. 导航战能力体系建设与发展建议[J]. 现代防御技术, 2024, 52(3): 26-35.

[2] 辛洁, 刘利, 郭靖蕾, 等. 美军导航战的发展研究与启示[J]. 现代防御技术, 2023, 51(6): 69-76.

[3] SMDC takes lead in army’ s navigation warfare operations[EB/OL]. (2019-07-25). https://www.army.mil/article/225002/smdc_takes_lead_in_army s_navigation_warfare_operations.

[4] DEMERLY T. U.S. navy now jamming GPS over six states and 125,000 square miles[EB/OL]. (2020-01-23). https://theaviationist.com/2020/01/23/u-s-navy-now-jamming-g ps-over-six-states-and-125000-square-miles/.

[5] FAA fumbled its response to a surge in GPS jamming - IEEE spectrum[EB/OL]. (2021-10-07). https://spectrum.ieee.org/gps-jamming.

[6] Space aggressors jam AF, allies’ systems[EB/OL]. (2017-02-13). https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/1081947/space -aggressors-jam-af-allies-systems/.

[7] TRAVIS KNEEN. Technologies and Strategies to Protect Satellites From Electronic and Cyberwarfare[R/OL].

Belcamp, MD: Defense Systems Information Analysis Center (DSIAC), 2019. https://dsiac.dtic.mil/technical-inquiries/notable/technologies-and-strategies-to-protect-satellites-from-cyber-and-electronic-warfare/.

[8] STEVENS C J P. A case for integrating counter position navigation and timing weapons[J/OL]. 2026. https://www.lineofdeparture.army.mil/Journals/Gray-Space/Archive/2026-Edition/Integrating-Counter-Position/.

[9] MROSZCZYK L C J. Multi-Domain Effects Battalion: Space Integration and Effects in Multidomain Operations[J]. Military Review, 2024.

[10] Army approves requirement for navigation warfare[EB/OL]. (2021-03-29). https://www.army.mil/article/244739/army_approves_requirement_for_navigation_warfare.

[11] JNWC - joint navigation warfare center[EB/OL]. . https://www.spaceforces-space.mil/About-S4S/Warfighting-Units/JNWC-Joint-Navigation-Warfare-Center/.

[12] Counter-PNT (Position, Navigation, and Timing) Request for Information (RFI)[R]. U.S. Army DEVCOM C5ISR Center, 2024.

[13] POMERLEAU M. Next phase of army EW planning tool to focus on GPS denied environments[EB/OL]. (2022-08-18). https://defensescoop.com/2022/08/18/next-phase-of-army-ew-planning-tool-to-focus-on-gps-denied-environments/.

[14] Department of Defense Fiscal Year (FY) 2025 Budget Estimates: Army Justification Book Volume 1b of 1, Research, Development, Test & Evaluation, Army RDT&E － Volume I, Budget Activity 2[R]. Department of the Army, 2024.

[15] Counter-PNT (Position, Navigation, and Timing) NAVWAR DEFEAT-SAM.gov[EB/OL]. (2024-09-23). https://sam.gov/workspace/contract/opp/5ca9f5e6f77840b99eaf915e18f8c06f/view.

[16] GOOGLE A U O. Army asks industry for navigation warfare waveforms in counter-PNT technology to disrupt enemy operations[EB/OL]. (2024-07-02). https://www.militaryaerospace.com/communications/article/55092549/navigation-warfare-counter-pnt-waveforms.

[17] EDITOR. Army RFI for “counter-PNT” [EB/OL]. (2024-07-08). https://rntfnd.org/2024/07/08/army-rfi-for-counter-pnt/.

[18] Navigation Warfare (NAVWAR) Electromagnetic

Support (ES) Request for Information (RFI)[R]. US Army DEVCOM C5ISR Center, 2024.

[19] ACC APG Div A C5ISR RFI for Navigation Warfare (NAVWAR) Electromagnetic Support-SAM.gov[EB/OL]. (2024-10-11). https://sam.gov/opp/1cf659800b4a4912b24d82c9df1bbcd0/view .

[20] GOOGLE A U O. Army asks industry for enabling technologies in navigation warfare (NAVWAR) to control SATCOM capabilities[EB/OL]. (2024-10-18). https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/55236249/navigation-warfare-enabling-technologies-satellite-navigation-satcom.

[21] Request for Whitepapers: Advanced NAV-WAR Open Air (ANOA) System-SAM.gov[EB/OL]. (2026-04-16). https://sam.gov/workspace/contract/opp/e5e916fa87a24cedab57f5cfe98fed39/view.

[22] Project convergence capstone 6 experiments with hammer of the gods[EB/OL]. (2026-07-26). https://www.army.mil/article/294121/project_convergence_capstone_6_experiments_with_hammer_of_the_gods.

[23] GNSS I. Army, navy and space force test maritime

“hammer of the gods” to counter GPS disruption[EB/OL]. (2026-07-27). https://insidegnss.com/army-navy-and-space-force-test-maritime-hammer-of-the-gods-to-counter-gps-disruption/.

[24] LABEE R T. Army’s secret “hammer of the gods” test at sea: what you need to know[EB/OL]. (2026-07-30). https://www.military.com/army-successfully-tests-new-hammer-of-the-gods-electronic-warfare-system-at-sea.

[25] 武珺, 钱坤, 宋博, 等. 美军导航系统与技术发展分析[C]//第十四届中国卫星导航年会. 2024.

[26] 苏珂, 吴忠望, 焦国强, 等. GPS 导航战综述: 进展与启示[J]. 全球定位系统, 2024(第 6 期): 127-134.

[27] U.S. army partnerships bring critical assured PNT capabilities to American soldiers[EB/OL]. (2025-05-14). https://www.army.mil/article/285302/u_s_army_partnerships_bring_critical_assured_pnt_capabilities_to_american_soldiers.

[28] DAVID A. Next-gen assured PNT systems reach army units - capability program executive - intelligence and spectrum warfare - CPE ISW[EB/OL]. (2025-09-29). https://cpeisw.army.mil/2025/09/29/next-gen-assured-pnt-systems-reach-army-units/.

[29] APNT CFT hosts first annual assessment

exercise[EB/OL]. (2019-12-20). https://www.army.mil/article/226186/apnt_cft_hosts_first_annual_assessment_exercise.

[30] Sixth annual PNT assessment experiment aligns army priorities, capabilities[EB/OL]. (2024-11-21). https://www.army.mil/article/281520/sixth_annual_pnt_assessment_experiment_aligns_army_priorities_capabilities.

[31] DIU Accelerates Commercial GEOINT and NAVWAR Tools and Capabilities to the Warfighter[EB/OL]. (2022-08-17). https://www.diu.mil/latest/commercial-tech-for-gnss-disruption-detection-to-be-highlighted-in-upcoming.

[32] Armor in a space-contested environment: reclaiming the maneuver advantage[EB/OL]. (2025-12-15). https://www.army.mil/article/289382/armor_in_a_space_contested_environment_reclaiming_the_maneuver_advantage.

[33] Celebrating 20 years of joint navigation warfare center's service to national defense[EB/OL]. (2024-10-25). https://www.spaceforces-space.mil/Newsroom/Article/3946964/celebrating-20-years-of-joint-navigation-warfare-centers-service-to-national-de/.