

美国区域高超声速导弹防御方案未来发展分析

熊 瑛, 齐艳丽

(北京航天长征科技信息研究所, 北京 100076)

摘 要: 随着高超声速武器的装备部署, 美国正在发展高超声速防御体系, 推进区域高超声速导弹防御能力的快速装备。研究了美国区域高超声速分层防御方案的主要装备、性能及研制进展, 总结了美国区域高超声速防御方案的作战场景和主要作战模式。通过分析可以看出, 美国将在 2025 年左右形成针对区域高超声速武器的末段防御能力, 2030 年左右初步建成分层防御能力。

关键词: 高超声速防御; 印太地区; 高超声速和弹道导弹天基探测系统; 标准 6 导弹; 滑翔段拦截弹

中图分类号: E712 文献标识码: A 文章编号: 1009-1300(2022)02-0009-06

DOI: 10.16358/j.issn.1009-1300.20220518

Analysis of US future regional hypersonic missile defense concept

Xiong Ying, Qi Yanli

(Beijing Institute of Aerospace Long March Scientific and Technical Information, Beijing 100076, China)

Abstract: With the deployment of hypersonic weapons, the United States is developing hypersonic defense system, and promoting the rapid deployment of regional hypersonic missile defense capabilities. The main elements, performance and development progress of the US regional hypersonic layered defense are studied, and the operational concept and scenarios of the US regional hypersonic layered defense are summarized. It is estimated that the terminal defense capability against regional hypersonic weapons will be formed around 2025, and the layered defense capability will be initially achieved around 2030.

Key words: hypersonic defense; Indo-Pacific region; HBTSS; Standard 6 missile; glide phase interceptor

1 引 言

近年来, 美国不断鼓吹主要竞争对手的高超声速武器威胁, 大力发展高超声速防御能力, 启动了多个高超声速防御项目, 将在现有弹道导弹

防御系统的基础上全面构建高超声速防御体系, 优先发展针对区域高超声速武器的分层防御能力。2021 年 6 月 19 日, 美国导弹防御局发布“区域高超声速导弹防御方案: 击败威胁的技术”视频, 展示了“针对高超声速滑翔飞行器的分层防御方

收稿日期: 2021-08-27; 修回日期: 2021-10-15

通讯作者: 熊瑛, 高级工程师, 主要研究方向为导弹武器和导弹防御领域信息研究。

引用格式: 熊瑛, 齐艳丽. 美国区域高超声速导弹防御方案未来发展分析[J]. 战术导弹技术, 2022 (2): 9-14. (Xiong Ying, Qi Yanli. Analysis of US future regional hypersonic missile defense concept[J]. Tactical Missile Technology, 2022 (2): 9-14.)

案”^[1]。导弹防御局将采用多层防御方案，以保护美国、其部署的部队和盟友免受区域高超声速威胁。导弹防御局计划利用宙斯盾舰、天基探测器、滑翔段拦截弹（GPI）和标准6导弹等，在滑翔段和末段拦截高超声速滑翔飞行器，为航母提供保护。

2 主要装备解析

在视频展示的场景中，高超声速和弹道导弹天基探测系统（HBTSS）负责探测威胁目标发射，并与弹道导弹防御系统过顶持续红外架构（BOA）通信；BOA处理HBTSS探测数据，指挥、控制、作战、管理与通信系统（C2BMC）集成其它探测器数据、空间通信层中继信息和数据；宙斯盾驱逐舰提供跟踪和拦截支持，发射GPI在滑翔阶段拦截高超声速滑翔飞行器，发射标准6拦截弹在末段拦截高超声速滑翔飞行器；航母是需要保护的高价值资产，如表1所示。

表1 区域高超声速导弹防御方案装备组成及作用
Table 1 Equipment composition and function of regional hypersonic missile defense scheme

装备名称	主要作用
HBTSS	实现对发射威胁的预警探测,并对来袭威胁进行全程跟踪;与BOA持续通信
BOA	处理HBTSS探测数据
C2BMC	集成所有探测器数据
空间通信层	信息和数据中继
宙斯盾驱逐舰	提供跟踪和拦截支持
GPI	滑翔段拦截高超声速滑翔飞行器
标准6导弹	末段拦截高超声速滑翔飞行器
航母	需要保护的高价值资产

2.1 HBTSS

HBTSS旨在实现对高超声速导弹和弹道导弹的持续跟踪和监视，将采用宽视场和中视场探测器组合的方式，宽视场探测器用于对陆、海、空、

天目标的组网探测和跟踪；中视场探测器用于向导弹防御系统提供火控数据，拦截来袭目标^[2]。

HBTSS最终将被纳入太空发展局（SDA）导弹跟踪层计划中，是国防部下一代天基架构的重要组成部分，用于持续监视先进导弹目标，并提供针对高超声速机动飞行器和弹道导弹的指示、预警、瞄准和跟踪。目前，HBTSS已经进入第三阶段的研制工作。在第一阶段，导弹防御局授出了9份合同，用于方案设计。2019年10月，该项目开始第二阶段，授予L3哈里斯技术公司、诺格公司、雷锡恩公司和雷伊多斯研制合同，用于初始方案评审和风险降低活动。2021年1月，导弹防御局选择诺格公司和L3哈里斯技术公司参与HBTSS项目第三阶段的研制工作，继续发展HBTSS能力，以支持作战人员的火控质量数据要求。承包商将开展HBTSS卫星样机的发射和早期弹道测试，研究支持针对高超声速威胁杀伤链和弹道导弹上级级所需的灵敏度和火控数据质量。导弹防御局计划2023财年开始发射HBTSS卫星。

2.2 C2BMC和BOA

C2BMC系统是连接、集成导弹防御单元的全球网络，能够使不同作战层面的人员系统规划弹道导弹防御作战，动态管理网络中的探测和拦截系统，完成全球及区域作战任务。系统由全球工作站、服务器、网络设备等硬件设备以及反导系统集成软件组成，已经在美国战略司令部、美国北方司令部、美国欧洲司令部、美国印太司令部和美国中央司令部等实现部署。

导弹防御局采用渐进式的方式研发C2BMC，在先前能力基础上改进和集成反导系统性能。C2BMC版本交付与BOA的升级相关，如表2所示^[3]。

BOA是C2BMC架构内的子系统，在BOA系统部署前，C2BMC通过综合战术预警和攻击评估（Integrated Tactical Warning and Attack Assessment，

表2 C2BMC和BOA版本、部署和能力简介

Table 2 C2BMC and BOA version, deployment and capability

C2BMC/BOA 版本	8.2-1/BOA 5.1	8.2-3/BOA 6.1	8.2-5/BOA 7.0	8.2-7/BOA 7.1
部署时间(财年)	2018(交付)	2019(交付)	2021	2024
支持功能	增强本土防御	欧洲分阶段自适应方案第三阶段远程交战和其它反导系统升级	为本土防御增加远程识别雷达的指控和其它反导系统升级	本土防御系统跟踪

ITW/AA)系统获取天基红外预警信息,该系统主要服务于核反击决策,时效性较低。BOA系统可直接获取天基红外预警系统的数据,自动生成威胁发射事件和弹道,用于引导探测器观测和武器系统作战准备,提高了系统反应效率^[4-5]。目前,美国已经部署了C2BMC8.2-3/BOA 6.1版本,正在研制C2BMC8.2-5/BOA 7.0版本,以提供支持国土防御的各种能力,包括对远程识别雷达(LRDR)的控制,计划在2021财年交付。

2.3 宙斯盾海基反导系统

宙斯盾海基反导系统是以宙斯盾军舰为平台,以舰载宙斯盾作战系统为核心,以标准系列拦截弹为武器的系统。导弹防御局采用渐进式的研制方式,在先前能力基础上扩展新的能力,如表3所示^[6]。

表3 宙斯盾海基反导系统与相关宙斯盾武器系统基线和能力

Table 3 Baseline and capability of Aegis sea based anti-missile system and related Aegis weapon systems

宙斯盾反导系统(BMD)	宙斯盾武器系统基线(BL)	关键弹道导弹防御能力	交付时间
BMD 5.0能力升级(CU)	BL 9.C1	1)增加标准3-1B威胁升级拦截弹 2)远程发射 3)使用红外和无线电波数据提高识别能力 4)抵御更高级威胁的能力 5)利用标准6双模1拦截弹构建舰船战斗群防御能力	2015年
BMD 5.1	BL 9.C2	1)增加标准3-2A导弹 2)远程交战能力 3)使用标准6双模2导弹构建舰船战斗群防御能力	2019年
BMD 4.1	BL 5.4	安装在老旧硬件上,实现与BMD 5.0 CU相似的能力	2020年
BMD 4.2	BL 5.4.1	适用于翻新后的SPY-1雷达,以提高跟踪能力	2023年
BMD 6.0	BL 10.0	1)新型SPY-6雷达提高了雷达灵敏度、探测和识别能力 2)改进性能以应对其它威胁和更大规模突袭 3)改进导弹通信	2023年

远程发射模式是指宙斯盾反导系统在其自身的雷达捕获威胁目标之前,根据外部探测器提供的跟踪数据发射拦截弹,但拦截本身是基于宙斯盾SPY-1雷达执行的。

远程交战模式扩大了反导系统的防御区域,允许宙斯盾反导系统在自身雷达探测威胁目标前,完全根据前沿部署探测器的跟踪数据进行拦截。

2.4 GPI

GPI起源于导弹防御局2019年底启动的区域性滑翔段拦截武器系统(RGPWS)。RGPWS将首先采用舰载部署方式,初步考虑海军舰艇的Mk 41垂直发射系统,并“评估和升级现有宙斯盾(弹道导弹防御)武器系统的能力,以适用于区域滑翔阶段武器,应对高超声速威胁”。该项目将开展滑翔阶段高超声速武器拦截弹的设计、研发和演示验证,最终将进行非拦截飞行试验,计划在2030年左右部署^[7]。导弹防御局于2021年2月取消该项目。

2021年4月12日,美导弹防御局发布“增强高超声速防御”跨部门公告,旨在向工业界就与海军宙斯盾系统兼容的高超声速防御武器寻求建议,标志着美导弹防御局正式启动GPI项目。工业界在5月12日前已经提交方案,目前导弹防御局正在审查工业界提案,计划在2021年9月30日前选择两家公司参与GPI研发竞标。预期合同将开展初步设计,重点是在高风险领域的技术成熟,以评估特定方案的可行性。GPI将采用动能杀伤方式,计划在2020年代后期部署^[8]。

2.5 标准6导弹

标准6导弹是美国海军为满足超视距打击需求而研制的一型多任务导弹。该导弹沿用了标准2-4导弹的推进系统、弹体和弹头,装备了AIM-120C-7先进中距空空导弹(AMRAAM)的主动雷达导引头,最大飞行马赫数可达3。标准6导弹接收宙斯盾武器系统的飞行中段控制指令,通过导引头或舰载照射雷达实现末段控制。

标准6导弹采用渐进式的研制方式,目前正在研制和装备的型号包括标准6-1、标准6-1A、标准6双模1、标准6双模2和标准6-1B导弹。标准6-1导弹配备双模导引头,具备防空作战能力。标

准6-1A升级了部分硬件和软件，增加了GPS制导模块，用于打击水面目标^[9]。

标准6-1和标准6-1A都不具备弹道导弹拦截能力，美国海军计划分三阶段发展海基末段拦截能力，第一阶段（海基末段增量1）发展标准6双模1导弹，该导弹装备更强大的处理器和软件功能，具备防空、反导和反舰多种功能，可拦截巡航导弹和弹道导弹。第二阶段（海基末段增量2）发展标准6双模2导弹，目前尚无信息说明两型导弹的不同。第三阶段（海基末段增量3）研制标准6-1B导弹，实现针对高超声速目标的末段拦截。标准6-1B导弹将在标准6-1A的基础上，采用直径0.533 m的新型固体发动机、新型转向控制系统和改进的控制面，计划在2023财年开展针对高超声速助推滑翔目标的飞行试验，2024年部署，一定程度上具备针对区域高超声速目标的拦截能力。

目前，标准6导弹已经开展了5次反导试验。2021年5月29日，双模2导弹首次拦截试验失败，试验中齐射了两枚标准6双模2导弹，但未能成功拦截中程弹道导弹靶弹。2021年7月24日，美国导弹防御局从约翰逊号舰上开展了两次标准6双模2导弹齐射，拦截两枚近程弹道导弹目标。这也是导弹防御局执行的最复杂的任务。根据初步观察，成功拦截了一个目标。但导弹防御局无法

表4 标准6拦截弹主要参数

Table 4 Main parameters of Standard 6 interceptor

弹长/m	6.55
弹径/m	0.343
翼展/m	1.08
发射质量/t	1.497
拦截马赫数	3
射程/km	370
制导方式	双模(主动+半主动)+中段指令修正
弹头	115 kg高爆弹头

确认第二个目标是否被摧毁。此外，2020年3月，宙斯盾反导系统在常规精确打击计划飞行试验期间，发射了一枚模拟标准6导弹，在太平洋上空针对高超声速滑翔飞行器实施拦截，展示了针对高超声速武器的远程跟踪能力。此次试验为2023财年标准6导弹开展实弹试验奠定了基础。

3 主要作战模式

在视频的作战场景中，对手连续发射4枚高超声速滑翔飞行器，HBTSS探测和跟踪来袭威胁，并将数据持续传输给BOA。BOA使用HBTSS的实时数据创建高超声速滑翔飞行器的轨迹。宙斯盾通过通信卫星从BOA和C2BMC接收HBTSS的跟踪数据。HBTSS在高超声速滑翔飞行器释放后探测

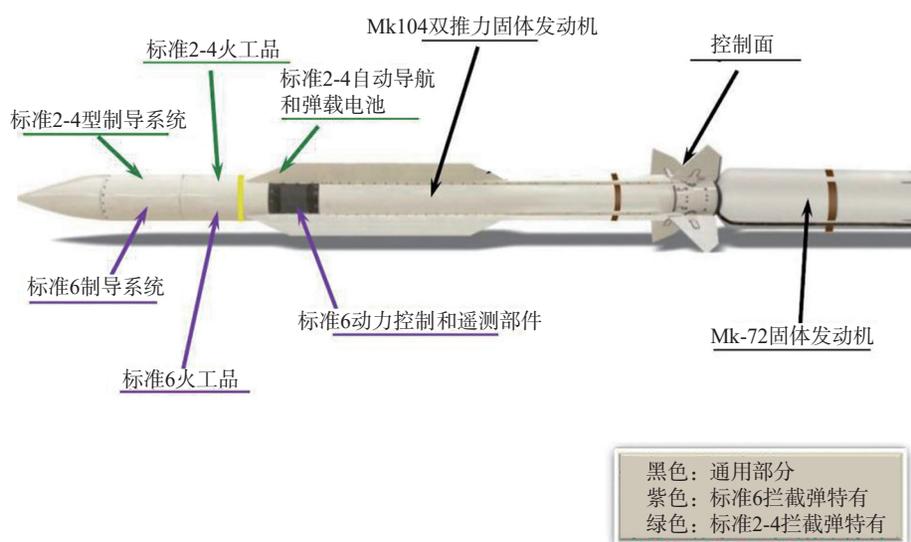


图1 标准6拦截弹

Fig. 1 Standard 6 interceptor

表 5 标准 6 历次反导拦截试验情况

Table 5 Standard 6 previous anti-missile interception tests

序号	试验代号	时间	靶弹	试验结果	备注
1	MMW E1	2015年7月28日	近程弹道导弹靶弹	成功	首次拦截试验
2	FTM-27	2016年12月14日	中程弹道导弹靶弹	成功	首次齐射拦截试验
3	FTM-27 E2	2017年8月29日	中程弹道导弹靶弹	成功	第二次中程弹道导弹靶弹拦截试验
4	FTM-31	2021年5月29日	中程弹道导弹靶弹	失败	标准6双模2导弹首次拦截试验
5	FTM-33	2021年7月24日	近程弹道导弹靶弹	第1次成功,第2次未知	导弹防御局执行的最复杂的任务,开展了两次标准6双模2导弹齐射,拦截两枚近程弹道导弹目标

表 6 作战模式

Table 6 Operational modes

作战模式	拦截阶段	拦截弹	拦截弹发射数据源	拦截弹拦截导引数据源
远程交战	滑翔段	GPI	HBTS	HBTS
远程发射	滑翔段	GPI	HBTS或前沿部署宙斯盾舰载雷达	执行发射的宙斯盾舰载雷达
自导引	滑翔段	GPI	宙斯盾舰载雷达	宙斯盾舰载雷达
自导引	末段	标准6	宙斯盾舰载雷达	宙斯盾舰载雷达

并提供火控质量数据,将定位和跟踪数据不断传输到 BOA,然后通过通信卫星发送到宙斯盾驱逐舰。宙斯盾驱逐舰使用来自 HBTSS 的远程跟踪信息进行规划和拦截。

3.1 滑翔段拦截远程交战

宙斯盾驱逐舰发射 GPI 后,由于高超声速滑翔飞行器的位置超出了宙斯盾雷达的探测范围,GPI 根据 HBTSS 获取跟踪数据,在滑翔阶段拦截第 1 枚高超声速滑翔飞行器。

3.2 滑翔段拦截远程发射

第 2 枚高超声速滑翔飞行器进入滑翔段后,宙斯盾驱逐舰接收来自 HBTSS 或前沿部署宙斯盾舰载雷达的跟踪数据,执行远程发射,发射 GPI, GPI 根据执行发射的宙斯盾雷达的跟踪信息,实施拦截。

3.3 滑翔段拦截自导引

第 3 枚高超声速滑翔飞行器试图规避宙斯盾舰载雷达探测范围, HBTSS 全程对高超声速滑翔武器进行跟踪,并警示宙斯盾舰。威胁目标在滑翔段进入舰载雷达探测范围,宙斯盾舰载雷达第一时间捕获威胁目标,进行作战规划,发射 GPI,实施拦截。

3.4 末段拦截自导引

第 4 枚高超声速滑翔飞行器试图规避宙斯盾雷达系统后接近高价值目标。HBTSS 全程对高超声速滑翔武器进行跟踪,并警示宙斯盾舰。威胁目

标在飞行末段进入雷达探测范围。宙斯盾舰载雷达第一时间捕获威胁目标,进行作战规划,发射标准 6 拦截弹,实施拦截。

4 未来发展分析

4.1 全面建设高超声速分层防御体系,加速区域性高超声速防御能力形成装备

未来,美国将全力推进高超声速防御体系架构的建设。探测方面,美国将研发和改进高超声速和弹道导弹跟踪天基探测器、远程识别雷达、AN/TPY-2 等先进探测器,实现针对高超声速目标的预警跟踪和探测;指控方面,正在研发 C2BMC 8.2-5 版本,实现针对高超声速目标的初始态势感知和跟踪能力;拦截方面,近期重点利用宙斯盾反导系统、标准 6 拦截弹等成熟武器系统和技术,重点发展包括末段和滑翔段拦截能力的区域性高超声速防御武器装备,实现针对航母、印太地区高价值目标等点目标的防御。同时,积极研发颠覆性技术,为构建未来高超声速体系架构奠定基础。

4.2 预计在 2025 年左右初步形成区域高超声速拦截能力,2030 年左右形成分层防御能力

目前,美国正在推进针对区域高超声速武器防御能力的快速装备。探测方面, HBTSS 将于 2023 财年开始发射,同时太空发展局正在构建导

弹跟踪层,实现针对高超声速和弹道导弹的预警探测和跟踪,预计在2023年部署第0批跟踪层卫星星座,实现定期的区域性探测能力,2026年部署第1批卫星星座,实现全球预警探测能力。拦截方面,标准6-1B导弹预计在2024年部署,配合天基探测系统将初步形成针对区域高超声速武器的末段拦截能力。GPI计划在20年代后期部署,届时与具备全球探测能力的天基探测系统联合,将建立针对区域高超声速武器的分层拦截能力。

4.3 推进印太分层防御体系建设,实现针对弹道导弹和高超声速武器的拦截能力

拜登就任美国总统后,延续了特朗普政府时期提出的“大国竞争”战略,再次强调将加强在印太地区的军事力量存在^[10]。根据美国海军未来规划,美国将建造54艘具有反导能力的舰艇,除30艘用于满足航母打击群轮换部署护航需求外,9艘将前沿部署在驻日海军部队,以满足印太司令部的需求。此外,美国计划2026年在关岛部署陆基宙斯盾系统。届时美国在印太地区的反导力量将形成多层次、全方位的弹道导弹和高超声速防御体系,为航母等高价目标提供防御。

5 结束语

美国高超声速防御体系架构已经逐渐明朗,将基于现有弹道导弹防御系统构建以滑翔段和末段为重点的分层防御体系。技术路线上,一方面利用宙斯盾反导系统、标准6拦截弹等成熟武器系统和技術,另一方面研发HBTSS、GPI等先进装备,优先发展针对点目标的区域高超声速武器防御能力,预计在2025年实现末段防御能力,2030年

实现滑翔段和末段分层防御能力。装备部署方面,美国未来将重点提升印太地区的反导能力,力图形成对主要战略竞争对手的威慑能力。

[参 考 文 献]

- [1] Brett Tingley, Joseph Trevithick. Missile Defense Agency lays out how it plans to defend against hypersonic threats: The concept incorporates numerous new and existing sensors and weapons into a multi-layered hypersonic missile defense architecture [EB/OL]. 2021-06-19. <https://www.thedrive.com/the-war-zone/41164/missile-defense-agency-lays-out-how-it-plans-to-define-against-hypersonic-threats>.
 - [2] 熊瑛,齐艳丽,才满瑞.美国下一代天基预警系统发展研究[J].飞航导弹,2021(6):81-85.
 - [3] Missile defense: Assessment of testing approach needed as delays and changes persist [EB/OL]. 2021-05-30. <https://www.gao.gov/assets/gao-20-432.pdf>.
 - [4] 邵文星,丁建江,刘宇驰.C2BMC系统的发展现状及趋势[J].飞航导弹,2018(6):64-70.
 - [5] 王虎,邓大松.C2BMC系统的功能组成与作战能力研究[J].战术导弹技术,2019(4):106-112.
 - [6] O'Rourke R. Navy Aegis ballistic missile defense (BMD) program: Background and Issues for Congress [R]. DIANE Publishing, 2021.
 - [7] 熊瑛,阎君,姚承照,等.美国高超声速防御能力发展分析[J].战术导弹技术,2020(5):20-26.
 - [8] Saylor K M, McCall S M, Reed Q A. Hypersonic missile defense: Issues for Congress [R]. Congressional Research Service, 2020.
 - [9] 隋先辉,张小东,胡海.美国海军标准-6导弹战术技术特性分析[J].飞航导弹,2018(8):25-28.
 - [10] 熊瑛,齐艳丽,吕涛.美国导弹防御系统2022财年预算分析[J].飞航导弹,2021(9):12-15+31.
-
- (上接第8页)
- [19] United States Government Accountability Office. Assessment of testing approach needed as delays and changes persist [R]. Washtong D. C.: GAO, 2020.
 - [20] Tong O. Russia's anti-hypersonic missile radar to deploy in Arctic by June [N]. The Defense Post, 2021-04-15.
 - [21] Tass. Russia's anti-hypersonic missile radar to enter combat duty in Arctic by July [EB/OL]. 2021-04-14 [2021-07-12]. <http://www.ruaviation.com/news/2021/4/14/16098/>.
 - [22] Theresa H. Operational comms, missile tracking sats up in 2024: SDA [EB/OL]. 2021-02-11 [2021-07-12]. <https://breakingdefense.com/2021/02/operational-comms-missile-tracking-sats-up-in-2024-sda/>.
 - [23] Kyle M. How do you stop a hypersonic weapon? DARPA is looking for the answer [EB/OL]. 2020-01-28 [2021-06-30]. <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a30679336/darpa-hypersonic-missile/>.