

美国导弹预警系统的发展现状与趋势分析

韩晋山¹, 邢建平², 张浩¹, 公衍钊¹

1. 中国人民解放军 63768 部队, 西安 710200

2. 中国人民解放军 32022 部队, 武汉 430074

摘要 导弹预警体系是国家战略预警与战略防御体系的重要组成部分, 是大国战略威慑的重要力量。美国历经 60 余年的发展历程, 目前已构建了从早期预警到末端拦截日臻成熟的全球导弹预警体系。阐述了美国导弹预警系统的发展历程和现状, 分析了其体系特点, 展望了其未来发展趋势。

关键词 导弹; 预警体系; 防御体系

导弹预警体系是国家战略力量的重要组成部分, 是应对战略威胁、保持战略威慑的重要基础, 是实施反导作战的重要支撑。导弹预警主要通过部署陆海空天传感器, 对全球重点地区的弹道导弹发射活动进行监视, 对于导弹袭击进行早期发现、跟踪和预警, 为国家战略决策提供支撑^[1], 同时为战略防御和实施战略反击作战提供实时预警信息保障。

美国高度重视导弹预警能力的发展, 自 20 世纪 50 年代起, 历经 60 余年的发展历程, 美国导弹预警体系建设随着国家利益的拓展, 由区域防御不断发展到当前的国家防御。美国将导弹预警体系作为核打击力量的重要制衡和博弈手段大力发展, 已成为了国家战略预警和战略防御力量的基石, 是防御, 更是威慑。目前, 美国已经建立了世界上体系最完备、具备全球预警和多层多段反导信息支援能力的弹道导弹预警体系^[2]。

1 美国导弹预警体系现状

美国弹道导弹预警体系主要由天基预警卫星、海

基雷达、超视距雷达、地基远程预警雷达、地基多功能雷达等不同平台、不同类型传感器组成, 确保全天候、全域覆盖, 保持良好的战备率。

1.1 天基导弹预警体系

天基导弹预警卫星是用于发现、识别和跟踪导弹发射和飞行的预警卫星。其特点是覆盖区域广、响应速度快、预警时段宽, 及时地发布预警信息并支持弹道导弹防御与反击。美国先后部署了包括“国防支援计划”(DSP)、“天基红外系统”(SBIRS)和“空间跟踪与监视系统”(STSS)等多型天基预警系统, 目前已经具备战略和战术弹道导弹预警能力, 能够对弹道导弹的主动段进行探测和跟踪, 可为美国提供强大的弹道导弹预警能力。美军导弹预警卫星体系包括地球静止轨道、大椭圆轨道与低地球轨道, 涵盖可见光、短波红外、中波红外和长波红外等谱段, 采用扫描与凝视结合手段, 已具备战略和战术弹道导弹发射早期预警实战能力, 可对全球热点地区发射的弹道导弹提供不少于 15 min 的预警时间^[3]。截至目前, 美国在轨运行的导弹预警卫星包括: 4 颗 DSP 同步轨道预警卫星、4 颗 SBIRS 静止轨

收稿日期: 2018-10-18; 修回日期: 2019-01-31

作者简介: 韩晋山, 工程师, 研究方向为新型雷达技术与数字信号处理, 电子邮箱: sukhoihan@qq.com

引用格式: 韩晋山, 邢建平, 张浩, 等. 美国导弹预警系统的发展现状与趋势分析[J]. 科技导报, 2019, 37(4): 91-95; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.04.016

道预警卫星和3颗SBIRS大椭圆轨道预警卫星,以及3颗用于低轨导弹预警和跟踪技术演示验证的STSS卫星。

20世纪60年代,为应对苏联导弹威胁,“国防支援计划”应运而生^[4],它是美国重要的战略预警手段之一,主要目的是对来袭的洲际导弹、潜射导弹进行预警,并可收集核爆、核试等感兴趣的红外辐射数据。卫星运行于地球同步轨道,在执行任务期间,暴露出该体制的一些缺陷:对于战略导弹探测能力强,对于战术导弹探测能力弱;扫描速度慢、分辨率不高、目标定位能力差;存在虚警、漏警情况,地面站容量有限,工作方式单一。

鉴于作战及实际使用过程中DSP卫星存在的不足,为适应新形势的发展,美国于1992年开始发展新一代天基预警系统,即SBIRS^[5]。该系统主要完成战略和战区导弹预警任务,为导弹防御指引目标、提供技术情报和战区分析。SBIRS有空间段和地面段两部分,空间段由3种轨道高度的卫星星座组成,即低轨卫星星座、高轨卫星星座和静止轨道卫星星座,其地球静止轨道卫星用于探测导弹飞行的助推段,低轨卫星用于跟踪导弹飞行中段和再入段,大椭圆轨道卫星能够覆盖两极地区,实现全球覆盖^[6]。3种轨道卫星组网可提供强大的预警能力。

1995年,美国空军开始正式发展“天基红外低轨系统”(SBIRS-Low)^[7],即STSS卫星。最初计划由24~27颗卫星组成低轨星座,对处于主动段、飞行中段和再入段的弹道导弹全程探测和跟踪。STSS卫星是首个具有弹道导弹飞行全过程探测和跟踪能力的预警卫星,首次实现了预警卫星中段跟踪和识别能力,可跟踪处于飞行中段、温度相对较低(无动力飞行)的导弹。STSS卫星可提示地基雷达,在导弹还未进入雷达工作范围时,便将雷达对准导弹来袭方向,可扩大反导系统防区、缩短反应时间、降低雷达受反辐射导弹攻击的威胁。

1.2 地基导弹预警系统

雷达是导弹预警系统的重要组成部分,可实现全天时、全天候地对弹道目标的探测、跟踪和识别,在导弹预警系统中发挥着重要作用^[8]。地基导弹预警雷达可根据预警卫星提供的目指信息,持续跟踪测量并确认来袭威胁,包括导弹发落点、实时速度位置与速度矢量信息,并引导地面防御系统进行导弹拦截^[9]。美军现已具备全球弹道导弹预警能力,其地基预警雷达遍布

本土与海外军事基地,发展经历了3个阶段。

第1阶段:弹道导弹预警探测雷达是从1956年开始研制,主要雷达有FPS-49、FPS-50、FPS-92、FPS-85、FPS-17等,是美国弹道导弹预警系统早期的预警和跟踪雷达,也是美国第一代预警雷达。FPS-49、FPS-50、FPS-92雷达主要应用于弹道导弹预警系统(BMEWS),共设立了3个雷达站,其任务是发现和确认导弹攻击,跟踪并测量来袭导弹的飞行弹道参数,引导导弹防御系统的制导雷达捕获和跟踪目标,可提供15 min的预警时间。

第2阶段:从1987年开始,“铺路爪”系列雷达FPS-115和FPS-120开始替换原BMEWS系统的一些旧雷达,并装备潜射弹道导弹探测系统。FPS-115是美国导弹防御系统第二代雷达的典型代表,是一部双阵面/三阵面大型相控阵雷达,在探测和识别多目标的同时,可以提供预警数据,导弹发射点、弹着点、空间位置和速度信息。

第3阶段:随着美国国家导弹防御系统(NMD)的发展,早期的FPS-49、FPS-50、FPS-92和FPS-115雷达网目前已无法直接为反导武器提供有足够精度的目标跟踪数据,只能发现和预测出弹道导弹的发射点和弹着点的近似数据。因此,美国研制了国家导弹防御系统中的新一代地基雷达(GBR)。为了更早发现来袭弹道导弹,尤其在助推段结束时可立即捕获到目标,进行精确跟踪、分辨、识别,为拦截器提供信息支援,美国积极研制海基X波段预警雷达(SBX)和前沿可移动地基GBR雷达(FBX-T),并进行了部署。

其中,3部改进型早期预警雷达AN/FPS-132分别部署于加利福尼亚的比尔、英国的菲林戴尔斯、格陵兰的途勒,2部AN/FPS-123分别部署在阿拉斯加的克里尔以及马萨诸塞州的科德角,以及1部署在阿拉斯加州谢米亚岛的“丹麦眼镜蛇”AN/FPS-108雷达和1部署在中国台湾的AN/FPS-115雷达(图1)。地基远程预警雷达主要对弹道导弹进行远程预警和跟踪,可以对攻击美国本土的洲际弹道导弹实现全方位覆盖,并提供至少15 min的预警时间。

同时,美军仍部署有多部多功能跟踪测量雷达系统,包括2部大型X波段雷达和12部AN/TPY-2雷达。2部大型X波段雷达包括GBR-P雷达和海基X波段雷达(SBX)。GBR-P雷达部署于太平洋中部夸贾林环礁靶场,用于中段反导拦截试验;SBX雷达安装在钻井平

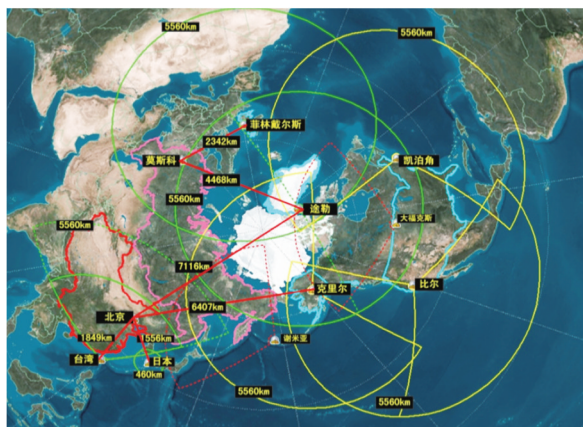


图1 美国地基预警雷达覆盖范围示意

Fig. 1 Schematic diagram of the radar coverage of American ground-based early warning system

台上,可根据需要灵活部署。AN/TPY-2雷达是一部机动式、可快速部署的高分辨率X波段雷达,也是美军一体化弹道导弹防御体系中的重要传感器,可远程截获、精密跟踪和精确识别各类弹道导弹。截至2017年,已装备12部,包括日本2部、关岛1部、以色列、土耳其和韩国各1部。该雷达具备两种工作模式,在前沿部署预警模式下(此时雷达成为可运输的前沿部署X波段雷达(FBX-T)),雷达可检测、跟踪和识别上升段的导弹,并为反导系统提供目标指示;在终端模式下,该雷达用作“战区高空区域防空系统”(THAAD)的火控雷达,最远作用距离超过2000 km。

此外,天波超视距雷达主要用于战略预警,对导弹的探测距离远预警时间长。现役的AN/TPS-118雷达是一部双基地调频连续波雷达,对洲际弹道导弹可以提供30 min的预警时间。

1.3 海基导弹预警体系

SBX雷达是美国国家导弹防御(NMD)系统关键部分中段防御系统的重要组成部分,可用于辨别来袭的各种弹道导弹分弹头及假目标,为导弹拦截提供远程监视截获和精密跟踪。SBX雷达是一部X波段雷达加装在半潜式钻井平台上的预警探测系统,同时具备自我推进和依靠拖船进行转移的能力,可以针对不同的任务需求进行远程机动。雷达采用有源相控阵技术设计,相控阵体制天线实际孔径为384 m²,有效孔径为248 m²,天线能在方位上移动±270°、在仰角上移动0°~85°,对空作用距离超过4500 km,距离分辨率优于20 cm。可在全球范围内部署,采用高频和最先进的雷达信号处理技术,用于提供详细的弹道导弹跟踪和识别

信息,能提供来袭导弹的重要数据。除具有探测、提供预警情报的功能外,SBX雷达还是一种火控雷达,可以掌握来袭导弹的最新弹道数据。

作为唯一具备高分辨测量能力的海基超大型雷达,SBX雷达在整个导弹防御系统中起到了至关重要的作用,在实际作战使用过程中,也不断暴露出该预警装备体系探测视角窄、部署时间长、维护耗时长、建设成本高等缺点以及电磁辐射安全等问题。目前,SBX雷达仅处于“有限工作状态”,主要用于反导测试保障。

1.4 临近空间导弹预警平台

临近空间大致包括大气平流层区域、中间大气层区域和部分电离层区域。由于技术和认识上的原因,近些年临近空间的战略价值才引起各国的重视。目前,其应用主要集中在通信、侦察、预警和运输等方面。在导弹预警作战过程中,临近空间的预警传感器可以与导弹预警卫星协同工作,预警卫星进行全球范围的导弹预警探测和预警资源的整体分配,临近空间可以在预警卫星的配合下负责具体区域的实时预警。此外,合适高度的临近空间预警飞行器对近程弹道导弹进行全程预警,并对关机点、被动段弹道和落点进行精确的预报,还可以利用导弹预警飞艇(或气球)组成预警探测星座,对重点区域内低空/超低空战术弹道导弹进行实时跟踪探测。

20世纪90年代,美军开始发展哨兵系列预警飞艇,并启动了高空飞艇先进防御技术演示计划。高空飞艇在美国新的导弹防御系统中主要用于导弹监视,时刻监视来袭的洲际导弹和巡航导弹并及时报警。艇上装载大型监视雷达,最重要的是飞艇表面结构即是雷达的天线,这一空中平台能够在空间长期滞留(数月甚至数年)搭载雷达,覆盖范围极广,探测距离远且分辨率很高,具有很强的弹道导弹预警探测能力。

2 美国导弹预警体系的主要特点

自20世纪中期,美国持续推进导弹预警系统建设,将之作为本土预警力量构建重点方向。为实现“全球预警、全球到达、全球力量”的战略目标,不断整合现有军兵种及不同部署平台的预警力量资源,逐步构建形成了多维导弹预警探测网络,可探测全球面积90%以上(包括北极地区)的弹道导弹发射,初步具备对弹道导弹的全程跟踪和目标信息的自动交班能力。

2.1 天地一体, 全程预警

第一层是配置在最外层的地球同步轨道附近的导弹预警卫星, 如同深入太空的巨眼, 搭载的红外传感器可以探测到导弹主动段飞行时尾焰强烈的红外辐射, 将探测到的信息传回地面运控中心; 第二层是运行在中低轨的光学和红外预警卫星, 可对目标跟踪和识别并实时监测目标的弹道特性与飞行姿态, 并进行弹道预报; 第三层是低轨卫星、超视距雷达以及地海基预警雷达等探测力量, 与天基完成弹道导弹中段预警监测握手并进行末段弹道导弹的识别和探测。美国在发展弹道导弹预警系统方面出于其全球战略, 基于能力的角度进行建设, 从而具备很强的全球预警核心区域反导拦截的能力。经分析, 美国对洲际弹道导弹目标预警时间可达 30 min, 对潜射弹道导弹目标预警时间可达 10~15 min。

2.2 天基为主, 高低协同

由于导弹预警卫星部署在太空, 不受地球曲率的限制, 居高临下, 覆盖范围广, 能快速发现在空间运动的弹道导弹或其他飞行器, 因而一直是弹道导弹预警系统的重要组成部分。从美国天基预警系统的发展过程可以看出, 美国预警卫星经历了从单一的地球静止轨道到结合大椭圆轨道, 再到高轨道组网与低轨道组网相互配合的发展过程, 高低两层协同预警能够借助高低两层预警卫星系统间的相互协作和优势互补, 达到对弹道导弹的全程预警。在预警体制星座设计和探测器配置等预警体制方面, 高低两层多种手段协同预警全程覆盖是主要目标, 红外预警卫星+地基预警雷达则是主要实现手段。

2.3 全球布设, 综合预警

除了建设本土导弹预警体系之外, 美国在境外通过境外部署、对外军售、国际合作 3 种方式实现全球范围预警能力。通过境外部署, 实现重点区域的战区预警能力; 通过对外军售, 向盟友输送预警能力; 通过情报共享和国际合作方式, 实现对威胁地区导弹发射的提前预警^[10]。通过上述 3 种方式, 美国导弹预警覆盖范围得到大幅扩展, 逐步建成了全球性导弹预警体系。针对重点关注地区和重点关注对象, 实现了预警力量的多重覆盖, 加之较为完善的导弹预警卫星系统, 美国对全球绝大部分地区的导弹发射现已具备全程跟踪的能力。

3 美国导弹预警系统发展趋势分析

3.1 开展预警系统战术支援, 拓展预警卫星支援能力

DSP 预警卫星设计初衷是应对俄罗斯战略导弹的发射预警, 难以满足信息化战争下局部战争的战术支援需求, 为此美军对预警卫星开展了多项技术攻关和改进, 使应用范围从战略层向战术层延伸。结合实战作战需求, 后续将持续推进建设兼顾战术和战略两层要求、以战术作战应用为主的天基预警系统, 直接提升支援一线作战部队能力。

3.2 研发新型远程识别雷达, 持续增强导弹识别能力

目前, 美国预警系统的目标识别能力还存在较为明显的不足, 例如 FBX-T 雷达作用距离有限, 多用于跟踪导弹主动段, 实际作战中需抵近部署, 对战场生存环境要求高; 海基 X 波段雷达虽作用距离远, 但是波束狭窄, 视场十分有限, 设计之初用于海基平台实验, 数量少且维护保养繁琐, 不具备大批量实战部署条件^[11]。2015 年, 美国开始研发新型远程鉴别雷达(LRDR), LRDR 选择工作于 S 波段, LRDR 采用大型固态、双面阵、相控阵雷达体制, 预期 2020 年投入作战使用。

3.3 与盟国合力发展, 进一步完善全球反导预警体系

为应对东北亚方向的弹道导弹威胁, 美军先后在日本部署岸上宙斯盾系统、“萨德”系统(AN/TPY-2 雷达), 在韩国部署“萨德”系统, 显著提高对朝鲜和中国的导弹监视能力, 据悉, 后续还将对相关系统做进一步增程改造升级。在中东方向, 美国与以色列也在联合开发导弹预警网, 而后者以全球领先的可多重覆盖的“铁穹”弹道导弹预警防御系统著称。美国在土耳其中部和卡塔尔各部署了 1 部 FBX-T 雷达, 形成扇形分布, 可监测来自伊朗北部、西部和南部的导弹。美国还与英国合作完成“桑普森”多功能雷达的反导能力测试, 呈现出持续整合国外反导预警资源的全球反导预警体系建设特点。

4 结论

美国已构建天地一体、覆盖全球的导弹预警系统, 通过在盟国抵近部署预警雷达、调动天基预警卫星等途径在相关区域构建多重网状覆盖的导弹预警体系。为应对不断上升的太空竞争, 美军正着力发展天地一

体的预警系统,构建多层次全方位预警体系,除实现在多方向尽早尽远发现外,还将研发新型目标跟踪识别雷达,实现持续提供目标指示信息的目的,为开展多次拦截活动提供情报支持。

参考文献(References)

- [1] 孙新波, 汪民乐. 国外弹道导弹预警系统的发展现状与趋势[J]. 飞航导弹, 2013(2): 30-36.
Sun Xinbo, Wang Minle. The development status and trend of foreign ballistic missile early warning system[J]. Maneuverable missile, 2013(2): 30-36.
- [2] 李国柱, 孙轶. 美国天基红外预警系统的发展[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(10): 12-15.
Li Guozhu, Sun Yi. Development of the space-based infrared early-warning system of America[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(10): 12-15.
- [3] 王群. 美国新一代导弹预警卫星系统发展及其能力分析[J]. 国防科技, 2012, 33(2): 7-12.
Wang Qun. A new generation of USA missile early warning satellites system and its ability[J]. National Defense Science and Technology, 2012, 33(2): 7-12.
- [4] 吕文平, 李为民, 黄仁全. 国外天基导弹预警系统发展关键技术分析[J]. 防御系统, 2011(8): 66-73.
Lv Wenping, Li Weimin, Huang Renquan. Analysis of key technologies for the development of foreign space-based missile early warning system[J]. Defense System, 2011(8): 66-73.
- [5] 毛艺帆. 美国SBIRS-HEO卫星预警能力分析[J]. 红外技术, 2014, 36(6): 467-468.
Mao Yifan. Analysis on early warning capability of USA's SBIRS-HEO satellite[J]. Infrared Technology, 2014, 36(6): 467-468.
- [6] 刘海印, 桐慧. 美军空间态势感知装备发展重要动向及影响[J]. 国际太空, 2015(7): 47-51.
Liu Haiyin, Tong Hui. Trend and impact of U.S. army space situational awareness equipment[J]. Space International, 2015(7): 47-51.
- [7] 李小将, 金山, 廖海玲, 等. 美军SBIRS GEO-1预警卫星探测预警能力分析[J]. 激光与红外, 2013, 43(1): 3-8.
Li Xiaojang, Jin Shan, Liao Hailing, et al. Analysis on infrared detecting and early warning capabilities of America's SBIRS GEO-1 satellite[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(1): 3-8.
- [8] 袁振涛, 谭怀英, 郭建明, 等. 空间目标监视对弹道导弹预警影响分析[J]. 现代雷达, 2013, 35(9): 4-7.
Yuan Zhentao, Tan Huaiying, Guo Jianming, et al. Analysis of influence of space surveillance on ballistic missile warning system[J]. Modern Radar, 2013, 35(9): 4-7.
- [9] 高雁翎, 张梦焐, 贾晨阳. 2016年国外防空反导发展综述[J]. 战术导弹技术, 2017, (2): 17-20.
Gao Yanling, Zhang Mengtian, Jia Chenyang. Review on the development of foreign air defense and anti-missile in 2016[J]. Tactical Missile Technology, 2017(2): 17-20.
- [10] 刘海印, 张洪娜. 2017国外太空对抗装备技术发展综述[J]. 中国航天, 2018(3): 29-34.
Liu Haiyin, Zhang Hongna. Review of the development of space countermeasure technology abroad[J]. Aerospace China, 2018(3): 29-34.
- [11] 金林. 弹道导弹防御系统综述[J]. 现代雷达, 2012, 34(12): 1-7.
Jin Lin. Overview of ballistic missile defense systems[J]. Modern Radar, 2012, 34(12): 1-7.

Development of American missile early warning system

HAN Jinshan¹, XING Jianping², ZHANG Hao¹, GONG Yanzhao¹

1. Unit 63768 of PLA, Xi'an 710200, China

2. Unit 32022 of PLA, Wuhan 430074, China

Abstract The missile early warning system plays an important role in the national strategic early warning and strategic defense system, as an important part of the strategic deterrence in major countries. After more than 60 years of development, a global missile warning system has been established from the early warning to the terminal interception in the United States. This paper first reviews the development history and the current situation of the American missile early warning system, and then analyzes its system characteristics and predicts its future development trend.

Keywords missile; early warning system; defense system



(责任编辑 刘志远)