

# 天基红外预警系统发展及对策分析

洪启一, 罗 涛, 刘尊洋

国防科技大学电子对抗学院, 安徽 合肥

收稿日期: 2022年3月21日; 录用日期: 2022年6月21日; 发布日期: 2022年6月28日

## 摘 要

美天基红外预警系统是其弹道导弹早期预警的主要力量, 为了掌握其发展情况, 研究应对策略, 论文主要完成以下三方面工作: 首先系统梳理美天基红外导弹预警系统的组成和最新发展动态; 其次基于调研结果, 从探测能力、防护能力以及通信系统等方面分析天基红外预警系统的主要薄弱环节; 最后, 结合上述薄弱环节以及基本对抗机理, 从有源干扰毁伤、目标辐射控制、通信链路干扰等方面探讨了应对策略。

## 关键词

天基红外预警系统, 系统组成及发展, 薄弱环节, 应对策略

# Development and Countermeasure Analysis of Space-Based Infrared Early Warning System

Qiyi Hong, Tao Luo, Zunyang Liu

College of Electronic Engineering, National University of Defense Technology, Hefei Anhui

Received: Mar. 21<sup>st</sup>, 2022; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2022; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The US space-based infrared early warning system is the main force of its ballistic missile early warning. In order to grasp its development and study countermeasures, this paper mainly completes the following three aspects: firstly, systematically sort out the composition and latest development of the US space-based infrared missile early warning system; secondly, based on the research results, the main weakness of space-based infrared early warning system is analyzed

from the aspects of detection ability, protection ability and communication system; finally, combined with the above weakness and the basic countermeasure mechanism, the countermeasures are discussed from the aspects of active interference damage, target radiation control, communication link interference and so on.

## Keywords

Space-Based Infrared Early Warning System, Composition and Development of the System, Weakness of the System, Coping Strategies

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

经过数十年的发展,美国建成了当今世界上最为先进的天基红外导弹预警系统,用于探测导弹发射、监控热点地区红外辐射情况以及用于监视核爆炸实验,为国家领导、作战指挥官决策提供信息支撑,同时也为宙斯盾等反导系统提供目标指引,具有极高的导弹拦截概率。由文献可知,目前美国在轨运行的预警卫星包括国防支援计划(Defense Support Program, DSP)预警卫星、天基预警系统(Space Based Infrared System, SBIRS)卫星和两颗空间跟踪与监视系统(Space Tracking and Surveillance System, STSS)预警卫星,并在积极发展下一代预警。

## 2. 系统的组成与发展

美天基预警系统部署涵盖高低轨道,其基本组成和未来发展计划如图1所示。

目前,在轨运行的天基预警卫星主要是 DSP、SBIRS 和 STSS,其中以 DSP 卫星建设的时间最早,经历伊拉克战争的实战检验,而发展最为成熟,目前服役的主要是 SBIRS 预警卫星,STSS 主要针对中段预警,但发展缓慢;鉴于目前导弹预警需要,美国提出了出过顶持续红外(Overhead Persistent Infrared, OPIR)计划和“黑杰克”项目计划,实现高超音速导弹的发现识别和目标跟踪。

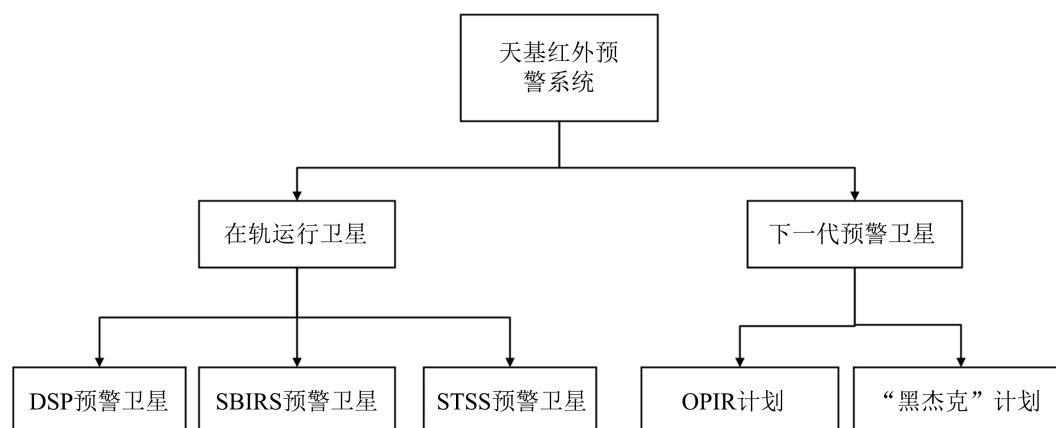


Figure 1. Basic components of a space-based early warning system

图1. 天基预警系统的基本组成

## 2.1. DSP 预警卫星

上个世纪 70 年代, 美国开始部署 DSP 卫星, 2007 年 DSP 星座的最后一颗卫星搭载德尔塔 IV 号运载火箭升空。从计划开始到目前为止, 美国空军共发射了 23 颗预警卫星, 目前尚有 5 颗第三代 DSP 卫星在轨运行。针对尾焰中  $H_2O$  和  $CO_2$  的红外辐射特点, DSP 卫星采用了  $2.7 \mu m$  和  $4.3 \mu m$  双波段的探测器, 探测器采用圆锥扫描形式, 扫描周期为 10 s [1]。DSP 预警卫星曾经是美国早期预警的重要手段, 但是服役期间逐步暴露出存在盲区、扫描周期长、探测器性能较差等缺点, 已经难以满足美导弹预警的要求, 随着最后一颗卫星交付给美国空军[2]并于 2007 年发射, 其正逐步被 SBIRS 预警卫星系统替代而退出现役。

## 2.2. SBIRS 预警卫星

SBIRS 是美国空军在 DSP 预警卫星的基础上而研制的新一代天基预警系统, 为美国及其盟友提供早期导弹预警, 保障美国本土和分布全球的军事基地免遭导弹打击。美国空军 1995 年正式宣布建设 SBIRS 系统, 计划建设一个包括高轨道 SBIRS-High 和低轨道的 SBIRS-Low 的预警卫星系统。由于 SBIRS-Low 技术论证不够成熟以及预算超支, 2002 移交到导弹防御局并更名为空间跟踪与监视系统(STSS)。

SBIRS-High 预警卫星主要由两类卫星组成, 一类是地球同步轨道卫星(GEO), 另一类是大椭圆轨道卫星(HEO)。地球同步轨道卫星任务和 DSP 预警卫星一致, 而 HEO 预警卫星就是为了补充 DSP 卫星南北极存在盲区的不足。HEO 卫星轨道的远地点处于北极地区, 单颗卫星在北极地区上空运行的时间超过 12 小时, 两颗 HEO 卫星即可以实现对北极地区的不间断监视。SBIRS 卫星发射情况如表 1 所示, 目前, SBIRS 星座主要包括 4 颗 HEO 卫星和 5 颗 GEO 卫星。SBIRS 卫星搭载了双波段的高速扫描型红外探测器 and 高分辨率凝视型探测器。首先利用高速扫描型探测器对地球表面进行快速的线性扫描, 当发现目标时, 将信息传输至高分辨率的凝视型探测器, 高分辨率凝视型探测器, 实现对目标高精度的跟踪。通过双体制探测器的配合, SBIRS 预警卫星的扫描速度大幅提升至 DSP 预警卫星的 10 倍, 同时预警卫星的分辨率也远高于 DSP 预警卫星。

**Table 1.** Launch of space-based early warning systems

**表 1.** 天基预警系统发射情况[3]

预警卫星	部署时间
HEO-1	2006 年 6 月
HEO-2	2008 年 3 月
GEO-1	2011 年 5 月
GEO-2	2013 年 3 月
HEO-3	2014 年 12 月
GEO-3	2017 年 1 月
HEO-4	2017 年 9 月
GEO-4	2018 年 1 月
GEO-5	2021 年 5 月
GEO-6	2022 年(计划)
GEO-7	计划取消, 过渡到 OPIR 项目

### 2.3. STSS 预警卫星

STSS 预警卫星运行在高度在 1350 km 的轨道上, 搭载预警探测单元和成像跟踪单元, 共同实现对导弹自由段的预警跟踪[4]。由于 STSS 预警卫星处于低轨道, 其分辨率远高于高轨道卫星, 通过信息共享, 可以为宙斯盾反导系统提供目标指引[5], 提高拦截成功概率。然而, 由于技术及经费等原因, STSS 发展比较滞后, 直到 2009 年, 才成功发射两颗演示验证卫星, 并开展了大量验证实验。不过自发射两颗演示验证卫星以后, 至今 STSS 预警卫星的部署尚没有后续发展。

### 2.4. 过顶持续红外(OPIR)计划

鉴于现代空间对抗力量的发展, 美空军为加强天基红外预警系统的探测能力和生存能力, 于 2019 年正式宣布过顶持续红外计划[6], 并取消了 SBIRS GEO-7 的发射, 而是直接将其过渡到 OPIR 计划。OPIR 计划是美军研发的下一代天基预警卫星的重点项目, 将搭载高性能的宽视场探测器。据有关报道, 美国已经完成了宽视场红外探测器件的研发, 并且顺利通过了环境测试。OPIR 项目利用成熟的卫星平台搭载先进的红外探测器, 降低单个卫星的研制和发射成本。目前披露出的探测器是 L3Harris 公司研发的视场为  $6^\circ$  的大型焦阵面探测器, 其对烟雾等具有更强的穿透能力。OPIR 项目计划部署多颗卫星, 确保当单颗卫星遭受打击毁伤时对系统整体造成的影响最小化, 以提高预警卫星系统的鲁棒性。此外, 有专家认为如果 OPIR 项目顺利部署, 或能实现对高超音速武器的探测预警和跟踪识别。

### 2.5. “黑杰克”计划

“黑杰克”计划项目于 2018 年正式发起, 规划建设 60~200 颗低轨道卫星构成星座的预警探测系统。吸取了 STSS 预警系统的建设教训, 基于“可靠、小型、廉价”的理念, “黑杰克”项目计划通过商用卫星搭载探测器的工作方式, 完成对导弹自由段飞行的预警[7]。目前, “黑杰克”项目已经完成了有效载荷有效性验证实验, 将于 2021 年 9 月发射第一批两颗验证卫星, 2022 年 3 月开始分批次发射多颗卫星, 进而完成“黑杰克”星座部署。“黑杰克”项目如顺利部署的话, 将实现对全球的自主运行覆盖, 弥补美天基红外预警系统中段预警能力不足的缺点。

## 3. 薄弱环节分析

美国天基红外预警系统历经多年发展, 从 DSP 预警卫星到目前服役的 SBIRS 预警卫星, 技术已经比较成熟, 系统建设领先世界水平, 但也有其自身存在的薄弱环节。

### 3.1. 中段预警能力不足

导弹在自由段飞行时, 其自身产生的红外辐射十分微弱, 对于以地球为背景的高轨红外预警卫星而言, 其红外辐射基本上可以忽略不计, 因此无法提供中段预警能力; 而目前 STSS 预警卫星仅有两颗演示验证卫星, 并不具备实战能力, 所以可以认为天基红外预警系统不具备导弹飞行中段的预警能力。

### 3.2. 卫星星座易被定位

美天基红外预警系统主要包括地球同步静止轨道卫星、大椭圆轨道卫星和低轨道卫星三类星座。其中地球同步轨道卫星的部署位置基本固定, 大椭圆轨道卫星和低轨道卫星的轨道参数也容易被掌握, 再加上卫星搭载光学探测器, 也能定位跟踪卫星运行, 因此总体来说, 天基红外预警卫星的生存能力存在弱点。

### 3.3. 探测器易受损伤和干扰

天基预警卫星基本都是高轨道卫星，例如 GEO 卫星的轨道是 35800 km 的地球同步静止轨道，导弹发动机高热产生的红外辐射，经过空间衰减以后，传感器接收的辐射信号十分微弱。因此，要发现探测到助推段的弹道导弹，就要求高灵敏的探测器，才能有效接收辐射信号并且放大处理。高灵敏度的红外传感器属于十分精密的探测器件，在卫星轨道上运行时，受到诸多因素的影响。首先是太阳辐射、大气反射等都会对其探测造成影响；其次是精密仪器易受破坏，激光对红外探测器产生巨大威胁。

### 3.4. 卫星通信链路脆弱

导弹预警卫星通信链路主要包括情报传输链路和卫星测控链路两部分。一方面，卫星提过情报传输链路将预警信息传回地面站，由地面站进一步处理后得到明确的预警态势并与其他反导作战单元实施信息共享；另一方面，地面站是天基红外预警系统的指控中心，地面站根据任务需要，调度预警卫星对目标区域实施重点监测。不过由于卫星和地面站距离远，导致通信难度加大，进而可能受到的干扰因素增多，通信链路极易受到破坏。

## 4. 应对策略

### 4.1. 实施激光干扰毁伤

由于卫星星座容易被定位，且探测器相对脆弱，因此激光干扰毁伤是一个非常重要对抗选项。天基预警卫星搭载了红外探测器，目前主流的探测器主要是 HgCdTe 探测器和 PbS 探测器。HgCdTe 探测器是一种晶体探测器，当探测器温度大于 80℃ 时，Hg 会从晶体结构当中析出，导致晶体结构遭到破坏；当温度超过 720℃ 时，晶体将会熔化，将导致探测器完全破坏无法工作[8]。从研究中发现，激光具有很强的热毁伤能力，根据卫星探测器的材质和温度特性，当激光对探测器持续照射一段时间以后，探测器将会受到不可逆的损伤，预警能力将会受到有效削弱。考虑到激光传输距离和大气衰减等因素，对预警卫星的激光毁伤干扰，一般不会考虑陆基平台，而是考虑使用星载激光进行干扰破坏。根据干扰或毁伤目的，设定一定的功率，达成干扰或毁伤目的。

### 4.2. 发展导弹辐射控制技术

弹道导弹火箭发动机喷射的高温尾焰是天基红外预警卫星实现对弹道导弹预警的基础。因此可以通过发展先进导弹发动机技术以及红外尾焰控制技术，降低天基卫星探测器接收到的红外辐射，增大预警卫星探测的难度。已有研究表明，利用气流引射技术可以有效降低尾焰红外辐射强度；其次调整发动机燃料的组分或研究新型燃料，也可以在一定程度上降低火箭发动机尾焰红外光谱的愤怒特性，对天基红外系统的目标探测和识别跟踪造成干扰；除此之外，合理设计发动机喷管也能加快发动机尾焰的散热，降低辐射强度。

### 4.3. 干扰通信链路

因天基预警卫星大部分处于高轨道的外层空间，其通信链路受到通信距离和通信方式等因素的限制，具有一定的脆弱性[9]，可以考虑对其通信链路实施干扰。一方面，针对卫星的通信特点和通信方式实施侦察探测，模拟星地通信方式，改变地面站的指挥命令，对预警卫星测控链路实施注入性干扰；另一方面是考虑伴飞卫星实施干扰，发射卫星与预警卫星同步飞行，达成伴飞效果，通过伴飞卫星发射与预警卫星相似的信息，使地面站真假难辨。干扰预警卫星与地面站通信，能够有效削弱天基红外预警系统的体系作战能力，达成导弹突防目的。

## 5. 结束语

论文在调研梳理美天基预警系统的组成和发展情况的基础上, 根据其发展过程和基本工作机理, 分析了系统的主要薄弱环节, 进而提出激光干扰毁伤探测器、导弹辐射控制和干扰通信链路三个基本应对策略, 希望论文成果能够为相关研究工作提供一定参考。

## 基金项目

安徽省自然科学基金(1908085QF295, 1908085MF199)。

## 参考文献

- [1] 刘波. 美国天基预警系统现状与发展[J]. 战术导弹技术, 2011(3): 118-123.
- [2] Matishak, M. (2005) Last Defense Support Program Satellite Delivered to the Air Force. *Inside the Air Force*, **16**, 2164-8147.
- [3] 艾赛江, 李义, 宋易敏, 张映昊. 美国天基导弹预警系统[J]. 国际太空, 2020(9): 54-58.
- [4] 范晋祥, 郭云鹤. 美国导弹防御系统全域红外探测装备的发展、体系分析和能力预测[J]. 红外, 2013, 34(1): 1-9.
- [5] 方勇. 美国天基导弹预警跟踪系统发展动向[J]. 国际太空, 2017(8): 35-41.
- [6] 美下一代过顶持续红外预警卫星启动技术验证工作[J]. 航天电子对抗, 2020, 36(2): 6.
- [7] 李菲菲, 胡敏, 武瞰, 王昊淳. “黑杰克”项目动向及应用前景分析[J]. 中国航天, 2020(9): 57-61.
- [8] 路同山. 星载反 MD 电子/信息对抗技术研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- [9] 张东坡, 邵坤, 游敬云. 天基预警系统及其脆弱性分析[J]. 通信对抗, 2017, 36(4): 34-36, 58.