

星载红外预警探测器工作机制和对抗方式

邴启军, 冯书兴

中国人民解放军装备指挥技术学院, 北京 101416

摘要 星载红外预警探测器通过探测火箭发动机尾焰的红外辐射来搜索、跟踪导弹目标, 是导弹预警卫星最重要的一种载荷。简述了星载红外预警探测器的作用和特点, 总结了当前星载红外预警探测器的发展趋势。工作波段的选择是红外探测系统设计的一个关键问题, 分析了星载红外探测器工作波段的选择, 指出地球大气层的红外吸收特性是决定星载红外探测器工作波段选择最重要的因素。星载红外预警探测器目前采用基于时间延迟积分技术的红外焦平面阵列敏感器, 简要分析了其工作机制。对于星载红外预警探测器所采用的扫描、凝视两类典型探测模式, 给出了探测原理, 分析了其各自的优缺点, 未来天基导弹预警将使用这两类探测器搭配工作。初步研究了针对星载红外预警探测器的各类被动和主动对抗方式。

关键词 红外探测器; 天基预警; 工作波段; 对抗方式

中图分类号 V443

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)21-0111-05

Working Mechanism of Space-based Infrared Detector for Early Warning and Its Combat Modes

BING Qijun, FEN Shuxing

Academy of Equipment Command & Technology, The People's Liberation Army, Beijing 101416, China

Abstract The Space-Based Infrared Detector for Early Warning (SBIRDEW) is the most important payload of an early warning satellite. By detecting the infrared radiation of the exhaust plume of a rocket engine, the SBIRDEW searches and tracks targets, mostly missiles or rockets. The purpose and characteristics of the SBIRDEW, and its development trends are reviewed in this paper. The choice of the operation band is a key issue in the design of an infrared system. The very far infrared spectrum, in which the SBIRDEW works, is analyzed. It is pointed out that the absorption of the earth atmosphere is the most important factor that influences the choice of the operation band of the SBIRDEW. The SBIRDEW usually adopts the Focal Plane Array (FPA) infrared sensor based of Time Delay Integral (TDI) technology. The working mechanism of

SBIRDEW is briefly analyzed. There are two main detecting modes, scanning and starring modes. Their principles, advantages and disadvantages are discussed. The two types of detectors will be used jointly in the space-based early warning mission in future. Theoretically, the SBIRDEW can be destroyed and avoided. The passive and active measures in combat are discussed.

Keywords infrared detector; space-based early warning; operation band; combat mode

0 引言

星载红外预警探测器作为导弹预警卫星的核心载荷, 是一种应用价值巨大的红外辐射探测仪。在按用途划分的红外系统分类中, 这种探测器属于红外搜索/跟踪系统 (IRST)^[1], 用于探测、定位和连续跟踪在地球或太空背景辐射中的导弹目标。无论何种型号的导弹, 其推进器——火箭发动机只要开机工作, 都会向后喷射推进剂猛烈燃烧后产生的气流, 形成高温羽状尾焰。这种红外辐射很强的羽状尾焰是红外预警探测的首要对象, 根据对其连续的观测数据, 可以计算判断出导弹的发射点、飞行速度、飞行方向并预测弹着点^[2]。

星载红外预警探测器的突出特点包括: ① 采用被动工作方式, 即只通过接受目标发出的红外辐射探测和跟踪目标, 因而抗电子干扰能力强; ② 作用距离非常远, 可在距地面高度为 35 786 km 的地球同步轨道上有效探测地球表面的导弹和火箭发射活动; ③ 工作于超真空、深低温环境, 温度灵敏性

收稿日期: 2009-09-10

作者简介: 邴启军, 博士研究生, 研究方向为空间信息应用, 电子信箱: qjbing731@sina.com; 冯书兴 (通信作者), 教授, 研究方向为军事航天理论

高;④相比其他红外系统像素较多,须依靠星上计算机实时处理。

随着军事需求和红外探测技术的发展,星载红外预警探测器性能不断提高和拓展,表现出以下发展趋势:①探测器由单一谱段红外探测器发展到多谱段、长线阵和大面阵的红外阵列探测器;②采用扫描与凝视两种探测器配合工作,工作方式从圆锥扫描向先扫描后凝视的方向演进,提高扫描速度和灵敏度,增强对战术导弹快速发现和对较弱信号的跟踪能力;③扩展对导弹目标可跟踪弹道的范围,由原有的主动段探测扩展到中段与再入段跟踪,实现对导弹发射全过程的监视与预警;④天基预警的任务将由仅对导弹预警扩展到对导弹及其他空间飞行器的综合预警。

1 工作波段

工作波段的选择是红外探测系统设计的一个关键问题。最有利的工作波段必须综合考虑探测器的任务、探测目标、背景辐射、大气透过特性及探测器系统自身的尺寸、重量、功率等因素,以获得较大的目标-背景信号比和较高的系统灵敏度。获得最大的目标-背景信号比可以在目标-背景比曲线的最大处得到(图1),在此处选择合适带宽就能获得较高灵敏度。对于星载红外探测器,由于目标的辐射特性变化不多,因此尽量消除背景辐射的影响成为最重要的考虑因素。

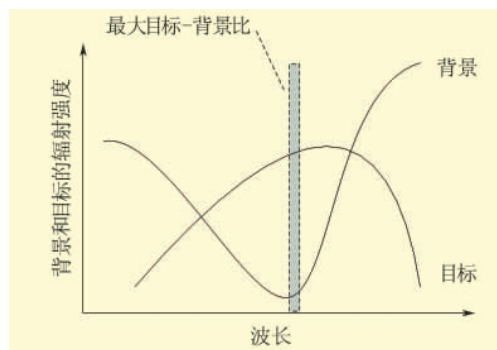


图1 目标和背景的红外辐射强度比曲线
Fig. 1 Infrared radiant intensity of target and background

星载红外预警探测器居高临下监视地球表面广大区域的导弹发射活动,其背景视场是红外辐射信号比较杂乱的地球,如不能有效减少背景辐射干扰,将会导致过高的虚警率。因此,星载红外预警探测器的工作波段选择,必须重点考虑地球大气对红外辐射的吸收特性。

大气对电磁波传输的影响主要是散射和吸收,在红外波段,主要的损耗来自 CO_2 和水汽的吸收,散射可以不计。这两种气体的分子能级结构及其在大气中的含量决定了它们是对红外辐射的主要吸收者^[3]。图2^[4]显示了 CO_2 和水汽在红外波段的吸收特性, CO_2 的吸收带中心位于 2.7 、 4.3 、 $14.7\ \mu\text{m}$ 附近;水汽则在 1.1 、 1.4 、 $1.9\ \mu\text{m}$ 附近存在窄吸收带,在 2.7 、 $6.3\ \mu\text{m}$ 附近和 $14\ \mu\text{m}$ 以上有较宽的吸收带。

天基预警探测器如采用 $2.7\ \mu\text{m}$ 短波红外、 4.3 或 $6.3\ \mu\text{m}$ 中波红外,以及 $14\ \mu\text{m}$ 以上的长波红外波段进行探测,可以使地球背景的亮度最小化。这样,无论是云层反射的太阳光还是地球表面上的其他红外源,在经过大气层的吸收以后,星载红外预警探测器收集到的地球背景辐射相当小,可以看作是黑背景,当导弹穿出稠密大气后便可立即捕获到暗背景中明显的红外信号,从而有效降低虚警概率。实际上,美国的“国防支援计划”(Defense Support Program, DSP)、俄罗斯的“预报”(Prognoz)系列预警卫星使用的主探测器都是探测波长 $2.7\sim 2.9\ \mu\text{m}$ 的硫化铅(PbS)短波红外敏感器。改进后的DSP卫星增加了碲镉汞(HgCdTe)中波红外敏感器,探测波长为 $4.3\sim 4.4\ \mu\text{m}$ 。为了实现对导弹飞行全弹道的持续跟踪,美国正在建设的新一代预警卫星——天基红外系统(Space-Based Infrared System, SBIRS)将开发使用长波红外探测器^[5-7]。

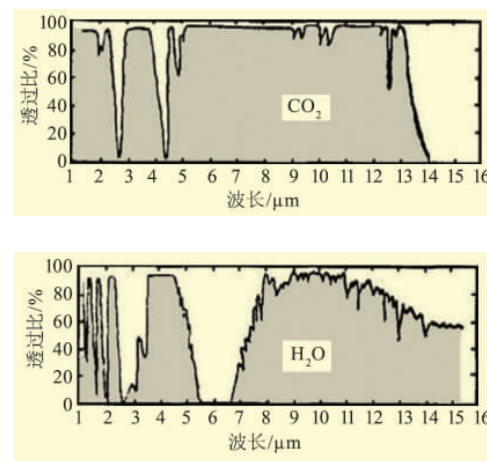


图2 CO_2 和水汽对不同波段红外辐射的透射曲线
Fig. 2 Transmission spectrum of CO_2 and H_2O at infrared wave band

2 工作机制与探测模式

星载红外预警探测器所使用的红外敏感元件属于光子型红外敏感器,利用化合物半导体材料(如 PbS 、 HgCdTe 等)根据光电效应原理制成,具有较高的灵敏度、较短的响应时间。探测器搜索红外目标的过程是:红外望远镜作为红外接收系统,将导弹目标和背景产生的红外辐射聚焦到其焦平面处,经辅助光学系统的调制,红外辐射信号被均匀地照射到红外敏感元件上;红外敏感元件将红外辐射转换为电信号,经过非均匀性修正和放大后输出进行信息处理,得到运动中的目标红外特征信息(图3)。

目前,星载红外预警探测器普遍采用基于时间延迟积分(Time Delay Integral, TDI)技术的红外焦平面阵列(Focal Plane Array, FPA)敏感器。TDI技术可综合几个相邻探测元的采样数据形成一个具有高信噪比的等效采样,从而使图像得到增强^[8],其优点是曝光时间增加数倍,提高信噪比而不影响几何分辨率。红外FPA则是将敏感器芯片与信号处理电路芯

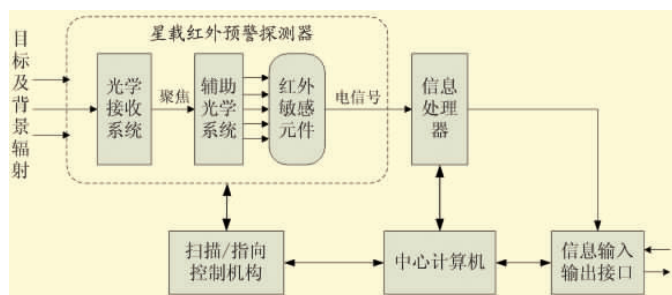


图3 星载红外预警探测系统组成和工作原理

Fig. 3 Composition and working principle of space-based infrared detector

片集成互连耦合后共同封装制成。与探测器元单独输出信号的分立型器件相比,FPA的探测元数可以提高几个数量级,扩展到材料和工艺技术允许的规模^[9]。

根据采集红外信号的方式不同,星载红外预警探测器可分为两类:①采用扫描方式的线阵焦平面探测器(Line FPA, LFPA);②采用凝视方式的面阵焦平面探测器(Area FPA, AFPA)。两种系统在结构上相似,但功能上各有优势。前者适合以固定的角速度进行空间区域搜索,后者能够提供高品质图像,因而在目标的跟踪上具有优势。目前美、俄在轨的预警卫星使用的是长线阵列扫描型敏感器,而即将服役的SBIRS GEO卫星和后续LEO卫星将使用扫描和凝视两种探测器配合工作^[10-12]。

2.1 星载扫描型红外探测器

目前的星载扫描型红外探测器多采用圆锥-旋转扫描方式,如美国DSP预警卫星、俄罗斯“眼睛”系列高椭圆轨道导弹预警卫星。

在圆锥-旋转扫描系统中,探测器的瞬时视场相对于扫描轴线或系统轴线的固定方向旋转。用于对地探测时,该轴线与地面法线方向重合。一般情况下,瞬时视场以角 α 偏离旋转轴,其视场中心点在地面的扫描轨迹为一个圆(图4)。由于 α 为常数,且旋转轴与大地法线重合,因此每一瞬间投影在探测器上的地面面积大小不变。

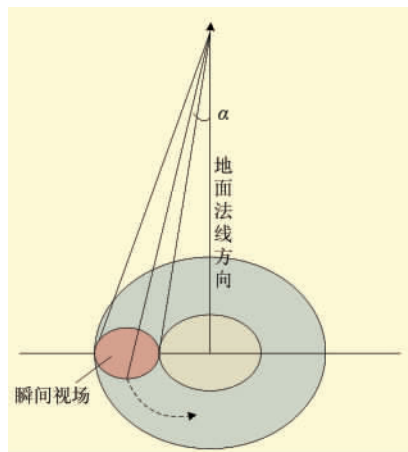


图4 圆锥-旋转扫描系统示意图

Fig. 4 Taper-spin scanning system

以美国现役的第三代DSP预警卫星为例,卫星位于倾角很小的地球同步轨道,星体以约6 r/min的速度绕其指向地面的主轴旋转,而红外望远镜的主光轴与此卫星轴存在一个较小夹角,因而随着卫星旋转便形成一圆锥扫描区域。

扫描型红外探测器的优点是视场覆盖范围大,适用于大范围搜索。存在的缺点是:①其工作方式决定了其所获信息非连续,积分时间限制了扫描速度,影响了灵敏度的提高;②对背景辐射中的噪声干扰较敏感。

2.2 星载凝视型红外探测器

凝视型红外探测器是一种以自身的电子扫描完全取代光机扫描的二维红外焦平面阵列。它的每个敏感元在每一积分时间周期内“凝视”全视场中其所对应的区域(像元)(图5),并对探测到的信号进行积分,然后由信号读出装置依次读出。

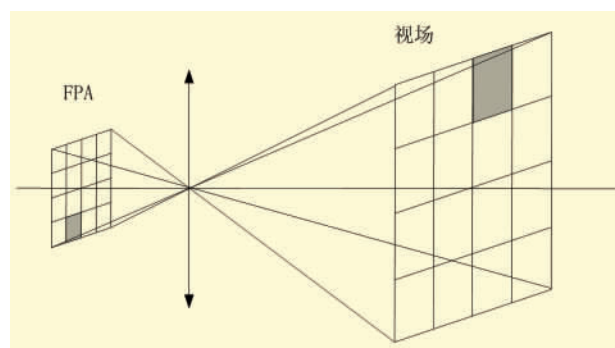


图5 “凝视”红外探测原理示意图

Fig. 5 Principle of staring infrared detecting

星载凝视型红外探测器的优点首先是取消了复杂的光机扫描机构和运动部件,系统体积和重量可随之减少,从而降低控制难度,提高系统寿命和可靠性;其次,“凝视”工作方式使得敏感元有较长的积分时间,因而有更高的精度和很强的抑制杂波干扰能力^[13-14]。但同时,凝视型红外探测器的瞬时视场相对较窄。为了获得更大的观测范围,要依靠高精度的二维指向控制机构完成指向定位。

由于星载系统承担广域监视任务,因而凝视型红外探测器需要与宽视场的扫描探测器搭配协同工作,当后者发现和捕获新出现的目标时,星上控制系统便根据初步目标信息,通过指向控制机构控制前者瞄准目标出现的区域,以“凝视”方式进行监视和获取更精细的目标信息。

3 对抗方式

星载红外预警探测器是导弹预警卫星最重要的载荷,在整个导弹防御系统中的作用非常关键。而作为导弹防御系统的反制手段,通过一定的对抗方式削弱对手的天基红外预警能力、保障己方导弹武器突防具有十分重要的意义。

针对红外预警探测器的对抗方式可分为被动方式和主动方式两大类。

3.1 被动对抗方式

被动对抗方式是通过改变导弹的红外特征或使用被动干扰手段,延缓星载预警探测器发现时间,增加其识别、监视和引导拦截的难度,可用的对抗方式主要有3类^[15-18]。

1) 发展和使用导弹红外隐身技术。包括多种途径:①改进发动机,应用大推力速燃技术,令导弹主推进器提前关机,缩短主动段飞行时间;②在导弹所用推进燃料中加入特定添加剂,改变尾焰的红外辐射特性,减弱特定波段内的红外特征,并且令红外图像在几何空间上不对称;③改进导弹蒙皮的材质,降低中段飞行中弹体的红外辐射;④在飞行中通过喷涂液氮等制冷剂冷却弹头,减少辐射能量。

2) 使用多弹道、分弹头和假目标干扰手段。扫描型红外探测器虽然可以同时捕获大范围视场中的多个目标,但其识别和监视能力有限;凝视型红外探测器虽然分辨率高但视场较窄,难以同时监视弹道差异较大的多个目标;高轨预警卫星数量少,地面同一区域可见的一般不超过两颗;低轨预警星座虽可通过成对工作和“接力”方式持续跟踪目标,但目标数目较多时,其传感器调度和信息处理难度将会剧增。因此,采用多颗导弹协同发射,并选择不同弹道高度和发射方向可增大天基预警的难度;导弹接近目标区时,分离多个分弹头,以及施放多个表面金属化和内设红外模拟器的假弹头,都可大大增加星载红外探测器监视和引导拦截的难度。

3) 被动红外干扰,主要指通过伴星或其他方式施放红外干扰烟幕。干扰烟幕的作用是利用其吸收和散射作用遮蔽红外辐射在导弹和星载探测器之间的传递,从而削弱红外探测器的探测能力。烟幕对红外光线的遮蔽主要体现在辐射遮蔽和衰减遮蔽上。辐射遮蔽是指用烟幕燃烧后生成的大量高温气溶胶所产生的较强红外辐射来遮蔽目标红外辐射,降低目标与背景的对比度;衰减遮蔽主要靠散射、反射和吸收作用来衰减目标红外辐射。影响烟幕干扰效果的重要因素是烟幕的施放时机和位置。虽然烟幕施放时温度较高,但由于热平衡原理,其温度将很快降低;在真空中烟幕极易扩散而消失。因此,施放烟幕的时机应与导弹发射时机密切配合,并且干扰烟幕必须施放于掩护区域和预警卫星之间的光路上。

3.2 主动对抗方式

主动对抗方式是指通过直接攻击探测器及其所在卫星平台,造成其暂时或永久失去探测红外目标的能力。针对星载红外探测器本身进行致盲和毁伤攻击,不会产生空间碎片,可达到较高的作战隐蔽性,可用方式如下^[19-23]。

1) 地基高能武器的干扰致盲。现阶段比较成熟的是地基激光武器,目标是低轨预警卫星搭载的红外探测器。在与目标敏感波长匹配的前提下,通过激光束跟踪照射形成对红外探测器的能量压制式干扰。地基激光攻击的优势是可达到较高功率,难度在于目标精确瞄准与实时跟踪控制。

2) 在探测器视场内近距离使用“强热弹”。这种特制炸弹使用特殊高爆炸药,由天基机动平台释放,在目标预警星正下方较近距离引爆,利用其产生的瞬间强红外辐射令红外敏

感元件接收的能量饱和,使其短期致盲甚至造成永久损伤。此方式的优点是作战隐蔽性好、效费比高,且对作战平台的轨道和姿态控制没有很高的要求。

3) 采用空间核爆方式,即在目标星下方区域引爆小当量核装置(如中子弹),利用其产生的强烈电磁辐射令红外元件及其他电子元件和电路损毁失灵。此方式易造成附带损伤,对目标星附近轨道的己方和第三方卫星带来伤害,使用受到限制。

导弹预警卫星体积庞大,运行轨道相对稳定,防护能力非常有限,且一旦受损短期内难以修复。攻击预警卫星平台近期可用方式主要如下^[19-23]。

1) 破坏星上电源系统,降低太阳能电池板效率,令卫星寿命锐减甚至很快陷入瘫痪状态。主要方法是利用空间机动作战平台近距离喷涂或撒布碳丝、沾染剂等污染物,可做到成本低廉,使用灵活,但要求较高的飞行控制技术或作战平台具有高度自主能力。

2) 破坏卫星的姿态稳定,令其红外望远镜视场偏离或指向控制紊乱,难以正常工作。DSP卫星红外望远镜的视场角仅为 3° 左右,只要令其姿控精度扩大为度量级即可收到成效。可采用光纤阵列干扰技术,即在目标卫星的星敏感器视场范围内近距离、大范围内利用光纤束定向施放干扰光,由点阵干扰光扰乱星光成像分布。同时,干扰光的高强度能量密度使姿控传感器信噪比降低,大幅降低其作用距离,从而无法为卫星提供准确的姿态测量信息。对于太阳敏感器,则可利用太阳反射镜(或辅助有源干扰源)生成一个类似太阳的点光源,照射到太阳传感器上对其扰乱干扰。

3) 通过动能碰撞杀伤,整体破坏预警卫星平台。可用的作战方式有多种,主要包括依靠火箭发动机推进高速动能杀伤拦截器直接碰撞目标;接近时引爆装有常规炸药的弹头,产生密集、高速的金属碎破片击毁目标;利用弹头预先撒播金属片云,利用其与目标的相对高速运动击毁目标等。但此类方式会产生大量空间碎片,可能造成附带损伤。

4 结论

空间已成为维护国家安全和利益所必须关注和争夺的战略制高点。天基预警探测是导弹防御系统最重要的信息基础和支撑,红外探测器则是导弹预警卫星最重要的一种载荷。关注国外星载红外预警探测器应用和发展,研究其工作机制,有助于发展中国自主的相关系统。同时,有针对性地发展对抗手段,可以从顶端破坏强敌反导信息链,保障己方导弹武器的突防力和核威慑的有效性。初步分析近期内可行的对抗方式表明,采用被动或主动的对抗方式,理论上能够做到令星载红外预警探测器降效、失能,但有关具体实施技术和战术应用等还需进一步深入研究。

参考文献 (References)

- [1] 蔡毅. 红外系统中的扫描型和凝视型 FPA[J]. 红外技术, 2001(1): 3-7.



- Cai Yi. *Infrared Technology*, 2001(1): 3-7.
- [2] 刘武, 孙国正. 多色红外焦平面器件的现状、发展趋势及军事应用分析[J]. 红外技术, 2004(3): 1-4.
Liu Wu, Sun Guozheng. *Infrared Technology*, 2004(3): 1-4.
- [3] 徐南荣, 卞南华. 红外辐射与制导 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1997: 45-46.
Xu Nanrong, Bian Nanhua. *Infrared radiation and guidance* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1997: 45-46.
- [4] 孙晓泉, 吕跃光. 激光对抗原理与技术[M]. 北京: 解放军出版社, 2000: 11.
Sun Xiaoquan, Lu Yueguang. *Elements and technique of laser counter-work*[M]. Beijing: People's Liberation Army Press, 2000: 11.
- [5] 王永刚, 刘玉文. 军事卫星及应用概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 186-191.
Wang Yonggang, Liu Yuwen. *Military satellite and applications* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003: 186-191.
- [6] 钟荣焕. 美国导弹防御系统中使用的红外技术 [J]. 激光与红外, 2006 (增刊): 772.
Zhong Ronghuan. *Laser & Infrared*, 2006(Suppl): 772.
- [7] 倪国强, 郝琦玮, 张怀利, 等. 从 DSP 与 SBIRS 空间预警系统看多色焦平面阵列的应用[J]. 激光与红外, 2006(11): 1016-1019.
Ni Guoqiang, Hao Qiwei, Zhang Huaili, et al. *Laser & Infrared*, 2006 (11): 1016-1019.
- [8] Feng Y, Yang X, Chen X. Modeling and simulation of a TDI line scan camera [C]/Instrumentation and Measurement Technology Conference IEEE. 2003: 446-451.
- [9] 袁继俊. 红外探测器发展述评[J]. 激光与红外, 2006(12): 1099-1102.
Yuan Jijun. *Laser & Infrared*, 2006(12): 1099-1102.
- [10] 葛之江, 刘杰荣, 张润宁, 等. 美俄导弹预警卫星的发展与现状[J]. 航天器工程, 2001(4): 43.
Ge Zhijiang, Liu Jierong, Zhang Running, et al. *Spacecraft Engineering*, 2001(4): 43.
- [11] 刘云路, 王进, 王英兴. 美军天基预警系统建设与使用特点 [J]. 空军军事学术, 2008(4): 108-110.
Liu Yunlu, Wang Jin, Wang Yingxing. *Air Force Military Art Journal*, 2008(4): 108-110.
- [12] 刘毅, 郭张龙, 李为民. 国外卫星导弹预警系统的发展研究 [J]. 空军工程大学学报: 军事科学版, 2007(2): 99-101.
Liu Yi, Guo Zhanglong, Li Weimin. *Journal of Air Force Engineering University: Military Science Edition*, 2007(2): 99-101.
- [13] 陶禹, 张智谔. 凝视型红外焦平面组件的军事应用[J]. 红外与激光工程, 2001(1): 70-73.
Tao Yu, Zhang Zhiquan. *Infrared and Laser Engineering*, 2001 (1): 70-73.
- [14] 钟建业, 魏雯. 美国预警卫星探测器及其相关技术 [J]. 中国航天, 2005(6): 25.
Zhong Jianye, Wei Wen. *Aerospace China*, 2005(6): 25.
- [15] 袁俊. 弹道导弹预警技术的应用与发展 [J]. 航空科学技术, 2006(6): 7-10.
Yuan Jun. *Aviation Technology*, 2006(6): 7-10.
- [16] 施德恒, 许启富, 黄宜军. 红外烟幕述评 [J]. 红外技术, 1997 (3): 36-38.

- Shi Deheng, Xu Qifu, Huang Yijun. *Infrared Technology*, 1997 (3): 36-38.
- [17] 高桂清, 刘刚, 刘凤林, 等. 红外烟幕对高轨星载红外探测器干扰效能评估[J]. 红外技术, 2006(11): 643-647.
Gao Guiqing, Liu Gang, Liu Fenglin, et al. *Infrared Technology*, 2006 (11): 643-647.
- [18] 杨彦杰, 王敏帅, 杜翠兰. 红外烟幕干扰效果评估方法研究 [J]. 电子对抗, 2008(3): 10-14.
Yang Yanjie, Wang Minshuai, Du Cuilan. *Electronic Warfare*, 2008(3): 10-14.
- [19] 熊伟, 贾鑫. 反卫星方式的技术与性能分析 [J]. 电子对抗技术, 2004 (5): 36-40.
Xiong Wei, Jia Xin. *Electronic Warfare Technique*, 2004(5): 36-40.
- [20] 王祥, 林春应. 激光反卫星武器攻击方式探讨 [J]. 飞航导弹, 2008(2): 10-14.
Wang Xiang, Lin Chunying. *Vinged Missiles Journal*, 2008(2): 10-14.
- [21] 路远, 李玉波, 凌永顺, 等. 卫星信息对抗研究 [J]. 现代防御技术, 2007(5): 86-91.
Lu Yuan, Li Yubo, Ling Yongshun, et al. *Modern Defence Technology*, 2007(5): 86-91.
- [22] 任国光, 黄裕年. 空间对抗中的激光武器 [J]. 激光与红外, 2004(10): 323-328.
Ren Guoguang, Huang Yunian. *Laser & Infrared*, 24(10): 323-328.
- [23] 袁俊. 美俄反卫星导弹的发展[J]. 中国航天, 2007(5): 40-42.
Yuan Jun. *Aerospace China*, 2007(5): 40-42.

(责任编辑 陈广仁)

·学术动态·

“第7届天津青年科技论坛”征文

天津市科协将于2010年5月在天津举办第七届“天津青年科技论坛”。该论坛自1995年创办以来,每两年举办一届,论坛旨在调动青年科技人员的积极性、主动性和创造性,凝聚广大青年科技工作者的智慧和力量,服务天津经济社会又好又快发展。

论坛现面向全市青年科技工作者征集科技论文。全部应征论文将由论坛执行委员会专家进行评审,并选择其中的优秀论文编辑出版《第7届天津青年科技论坛论文集》(天津科技出版社出版,ISBN书号)。

论文申报截止日期为2009年12月31日。

地址:天津市和平区和平路287号(300041)王黎明, 苏雅宁; 电话:022-27122522; 传真:022-27121601; 电子信箱:tjskxxhb@yahoo.com.cn。