

新型空天威胁目标防御难点及对策分析

王还乡 李为民 刘东峰 张明亮 孙安全

(空军工程大学导弹学院, 三原 713800)



摘要: 在分析新型空天威胁目标的现状、特点及发展趋势的基础上, 从预警探测、拦截打击方面分析了新型空天威胁目标的防御难点。针对这些难点, 结合防御武器系统发展现状, 提出了通过组网提高探测概率, 运用新概念武器和通过网电空间拦截提高拦截概率的对策, 最后给出了基于网络的反新型空天威胁目标的综合拦截方法。

关键词: 新型空天威胁; 防御; 对策; 网电空间

Analysis of Defense Difficulties and Countermeasures of New Pattern Air and Space Threaten Target

Wang Huanxiang Li Weimin Liu Dongfeng Zhang Mingliang Sun Anquan

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800)

Abstract: Based on the analysis of actuality, characteristic and developing direction of new pattern air and space threaten target, the defense difficulties are analyzed from the view of warning and detecting, interception and strike. Linking with developing actuality of defense weapon system, composing network is proposed for boosting detection probability, and new concept weapon and cyberspace are suggested to advance interception probability. In the end, integrated interception method based on network is put forward for defending new pattern air and space threaten target.

Key words: new pattern air and space threaten; defense; countermeasure; cyberspace

1 引言

2010年4月22日, 美国国防高级研究计划局(DARPA)的“猎鹰”高超声速试验飞行器 HTV-2 从加州发射成功, 虽然发射 9min 后目标丢失, 但其在大气层内以 20Ma 的速度实现了可控飞行; 同一天数小时后, 美国空军在佛罗里达州成功发射被称为“太空战斗机”的神秘空间飞行器 X-37B; 5月25日, 第一架以超燃冲压发动机为动力的 X-51A “乘波者”高超声速验证飞行器成功完成首次飞行。

一系列空天飞行器的成功试验强劲地告诉世人, 空天打击武器时代已经来临, 空天威胁日益严重, 防御新型空天威胁目标已迫在眉睫。

2 新型空天威胁

空天打击武器是依托空基和天基平台对敌方空天目标或通过空天对敌方陆、海目标实施干扰、攻击和摧毁的武器装备, 主要以高空高超声速打击武器为主。以美国和俄罗斯为代表, 包括法国、日本、印度和澳大利亚等在内的国家均大力发展高空高超声速飞行技术, 启动了不同层次的高超声速技术研究项目。从项目研究背景来看, 大致可分为三大类:

第一类以空天飞行器为主要应用背景的技术和基础研究项目。其应用前景比较宽泛, 主要包括高效进入空间、轨道空间运输等。这类项目着重在对超燃冲压发动机、高超声速空气动力学机理方面的认识, 对较为基础的关键技术进行先期开发和概念验证。典型的如 X-43 飞行器, X-43 根据计划任务的不同, 分为 X-43A, X-43B, X-43C 和 X-43D 等型号。

X-43A 最早研制了 3 台试飞器, 飞行器长 3.66m,

作者简介: 王还乡 (1985-), 硕士, 军事运筹学专业; 研究方向: 防空反导作战运筹分析。

收稿日期: 2011-03-10

宽 1.53m, 总质量为 1359kg, 由液氢超燃冲压发动机推进。其头部采用钨材料, 机翼前缘与垂直安定面采用 C/C 复合材料, 机翼采用哈氏钴-铬-镍合金制造, 飞行器的外表面覆盖耐热陶瓷瓦。X-43B 是处于概念性的研究计划, 其长度为 10.05m 或 12.19m, 采用火箭基或涡轮基混合循环发动机推进。发射时可从飞机上直接投放, 点火后靠火箭或涡轮发动机推进, 试飞器加速到 3~3.5Ma 的接力速度, 再由液氢亚/超燃冲压发动机加速到 7Ma 的巡航速度。X-43C 长度为 4.3m, 由 C/H 燃料 (PJ-8) 超燃冲压发动机推进, 试验时飞行速度达到 6Ma, 其燃料燃烧时间可达 200s。X-43D 将装备一种冷却氢气燃料的双模式超音速冲压喷气发动机, 速度可增加至 15Ma。

第二类以空间飞行器 (高超声速飞机) 为应用背景的项目。其主要瞄准的目标是 2h 全球到达, 实现兵力和物资的快速远程投送, 也可能成为未来亚轨道和空间飞行器运载平台。此类项目目前主要是概念研究阶段, 还未形成较为确定的技术路线。如 X-37B^[1] 和 HTV-2 飞行器。

X-37B 是美国研制建造的第一种可执行在轨试验任务, 并可重返大气层, 具备水平着陆能力的无人可重复使用的空天飞行器。空天飞行器就是指既能航空又能航天的新型军用飞行器。它能像普通战机一样起飞, 以高超音速在大气层内飞行, 并可加速进入地球轨道, 在地球低轨环绕飞行, 成为在天、空之间可自由频繁往返, 不受限制的航天飞行器。空天飞机的动力装置一般为涡轮发动机、冲压发动机和火箭发动机的组合, 在机场起飞和飞行速度较低时使用涡轮发动机, 在飞行速度达到时速 2400km 时, 转换为冲压发动机, 进入大气层外则使用火箭发动机。空天飞机的飞行速度极快, 在 30~100km 高空飞行速度可达到 12~25Ma, 而且其在造价、维护、重复使用上明显优于以往的航天航空器。空天飞机是一种新型的武器平台, 由于以前航空和航天分别属于两个不同的技术领域, 空天飞机的出现将两个领域融合到了一起, 所以一直以来备受世界各国的关注。

HTV-2 是从美国本土发射后在 2h 内可对 17000km 外的目标实施精确打击, 从而实现其“即时全球打击”军事战略任务的一种高超声速飞行器。它主要有以下三个特点: 具有瞬间打击的能力。HTV-2 能在短短的 2h 内攻击全球的任意目标, 可随时发射, 不同于传统模式的打击需提前部署; 具有精确打击能力。在 HTV-2 完成任务的全过程中, 均受卫星导航,

其发射的攻击载荷也是靠卫星的导引下攻击目标的, 从而大大提高打击精度; 具有毁灭性的威力。由于 HTV-2 完全能够使对方的防空系统束手无策, 并且所携带的有效载荷威力巨大, 从而能够在局部地区制造惊人的破坏效果, 给予对方毁灭性的打击。

第三类以高超声速巡航导弹为应用背景的项目。其系统集成度较高, 与实际作战飞行器更加接近, 如 X-51A 飞行器^[2, 3]。

高超声速巡航导弹可以从潜艇、水面舰艇和飞机上发射, 飞行速度大于 4Ma。高超声速巡航导弹由两级组成, 第一级由火箭提供动力, 第二级由吸气式超燃冲压发动机提供动力。高超声速巡航导弹的优势在于其吸气式发动机能够从空气中吸收氧气而不用携带氧化剂, 从而使导弹具有机动性好、速度快、射程远、突防能力强、攻击目标范围广等优点, 尤其在攻击时间敏感目标、加固目标等方面具有明显优势, 更能适应未来作战的需要。

最近实验飞行成功的 X-51A 飞行器全长 7.62m, 质量 1780kg, 最大宽度为 584.2mm, 由巡航导弹、级间以及推进器三部分组成, 其中巡航导弹部分长 4.27m, 质量 671kg。X-51A 在 2009 年开始的 4 次试飞期间以 4.5~6.5Ma 速度范围飞行, 导弹缩比飞行器由 B-52 轰炸机发射^[4]。X-51A 有望在 2015 年左右实用化, 成为全球界第一种高空高超声速巡航导弹。

3 新型空天威胁目标防御难点

面对新型空天威胁, 防御和对抗手段是必须思考的问题。但新型空天威胁目标巡航高度高、飞行速度快, 给现有防御系统的探测、跟踪、识别、拦截等带来了极大的挑战。

3.1 探测跟踪难

3.1.1 雷达探测难点

远程搜索和预警雷达是探测新型空天威胁目标的主要方式。雷达对新型空天威胁目标的探测依据目标的雷达散射截面积 (RCS) 来实现。RCS 越大, 雷达越容易发现目标; RCS 越小, 雷达发现目标的难度越大。对新型空天威胁目标的探测难点主要体现在以下几个方面。

a. 空天环境电磁信号非常密集, 数量巨大, 而且电磁信号的种类繁杂。繁多的电磁信号中, 既有敌方故意释放的干扰信号, 也有己方电子设备辐射的信号; 既有地物或云团等反射的杂波, 也有民用电子设

备发射的信号, 甚至还有一些自然体辐射的电磁信号, 给新型空天威胁目标的探测带来了困难;

b. 雷达对目标速度的探测主要依据多普勒频移原理, 新型空天威胁目标飞行速度非常快, 一般在4Ma以上, 空天飞机甚至达到了20Ma, 雷达对这一速度的探测极为困难。在X-51A实验飞行过程中, 由于飞行速度非常快, 地面跟踪曾几度丢失, 对高超声速飞行的新型空天威胁目标探测难度可想而知;

c. 空天目标飞行高度高, 临近空间目标在20km以上, 外空目标在400km以上, 且空天背景是复杂的电离层, 存在大量的宇宙射线和电磁辐射, 给目标探测跟踪造成了极大的困难;

d. 考虑隐身效果以降低雷达反射面积, 空天目标设计体积较小, 多采用隐身化结构设计, RCS一般比较小, 比如X-51A的RCS达到了 0.01m^2 , 如果采用较先进的隐身材料涂层, 将会大大降低目标的有效反射面积。

3.1.2 光电探测难点

光电探测技术主要包括红外探测技术、可见光探测技术和激光探测技术。新型空天威胁目标的红外辐射主要包括以下几个方面:

a. 目标发动机及尾喷管红外辐射温度。尾喷管或发动机外罩辐射, 长时间受热气流加热, 使这部分金属在高温氧化后形成氧化膜, 金属氧化膜的辐射率一般都高于金属本身的辐射率;

b. 尾焰辐射。尾焰是指发动机喷管炽热的火球, 目标的速度越大, 尾焰的火球越大, 温度也越高。导弹的尾焰随着飞行高度的增加而增大, 目标尾焰的辐射强度与发动机推力、燃料种类等直接相关;

c. 蒙皮辐射。随着探测技术的不断发展, 探测飞行器蒙皮的红外辐射手段及设备不断增加, 飞行器已成为全方位告警的红外源。随着目标速度的增加, 其温度呈指数上升, 因而红外辐射能量急剧增加(与温度成四次方关系);

d. 尾后羽状废气气柱的红外辐射。目标尾后羽状废气气柱也是一种红外辐射源。废气气柱的主要成分是二氧化碳和微小固体微粒。高温、运动的废气气柱主要辐射波段在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\mu\text{m}$, 随着废气团在空气中不断扩散, 温度急剧下降, 辐射能量很快下降, 而且辐射曲线的峰值波长也迅速向波长方向移动。

目前红外隐身技术已进入实用阶段, 国外的隐身飞机与非隐身飞机相比, 红外辐射信号下降了90%~97%。通过采用高涵道比发动机, 进行冷却和隔热,

改进发动机喷管设计, 在燃料中加入添加剂、涂覆红外涂料等技术大大降低了自身的红外辐射, 使得通过红外探测的发现距离大大缩短。

在抗激光探测上, 新型空天威胁目标采取了大量的方法来降低目标表面的反射率和有效反射面积, 主要采用吸波、投射、导光材料, 减少激光反射回波以及外形隐身设计等。

3.2 拦截打击难

对新型空天威胁目标的拦截打击主要体现在以下几个方面:

a. 新型空天威胁目标多、任务能力强, 防御系统很难判断其威胁。对目标进行威胁判断是防御作战的必要步骤, 防御方优先打击威胁大的目标。X-37B具有侦察监视、载荷攻击和自身攻击的功能, 平时其在太空绕轨道运行, 并不违反太空相关法律, 但战时它将利用自身所载载荷出其不意地从头顶对目标进行打击, 很难进行威胁判断。

b. 拦截窗口较小。由于新型空天威胁目标高超声速飞行, 地基拦截弹的拦截窗口仅有十几秒至几十秒, 给操作人员和武器系统的反应时间极其有限, 拦截难度加大。

c. 防空武器自身受到安全威胁。新型空天威胁目标首要打击对象往往选择指控中心和防御武器系统, 以摧毁对方的预警探测、指控中心、通信链路和武器终端, 形成第一波次的打击, 具有震慑性, 给防御人员带来了安全威胁。

d. 新型空天威胁目标在巡航段没有固定轨迹, 攻击弹在飞行末段可任意机动, 给拦截带来非常大的难度, 来袭弹体速度非常快, 如果要对其实施拦截, 要求拦截弹机动过载达到几十个重力加速度, 对导弹质量提出了更高的要求。

4 新型空天威胁目标防御对策^[5, 6]

4.1 多种探测手段相结合

采用天基、临近空间和空基红外、激光等传感器尽早发现来袭目标, 指示给地基超视距雷达, 地基雷达对目标进行跟踪, 提前发出预警告知, 给防御武器提供充足的反应时间。

采用天基、临近空间预警传感器对实施探测的新型空天威胁目标伴随飞行、监视跟踪, 若对方有意实施破坏行动, 近距离将其致盲甚至摧毁。

4.2 新概念武器拦截

定向能武器和动能武器等新概念武器将成为反新型空天威胁目标的利器。

天基激光武器是把激光器与跟踪、瞄准系统装到空间平台上构成的一种定向能武器,主要用于在全球范围内摧毁新型空天威胁目标。天基激光武器的激光器项目设计在 700~1300km 的高度部署 20~40 颗卫星,每颗卫星将携带捕获、跟踪和瞄准系统以及高能激光器。捕获、跟踪和瞄准系统使用低功率目标照射器,工作方式类似于机载激光系统。高能激光器射程 3000km 以上,储存的燃料能与大约 100 个目标交战^[7]。

天基动能拦截系统将由部署在地球低轨道上的天基拦截器组成,用于拦截主动段飞行的新型空天威胁目标。这些拦截器平时运行在轨道上,一旦探测到对方发射新型空天威胁目标,就将信号传递给靠近发射平台的天基拦截器,拦截器利用推进系统加速,飞出轨道并向新型空天威胁目标方向快速机动,通过直接碰撞摧毁目标。

临空激光拦截系统由部署在临近空间轨道上的拦截器组成,用于拦截处于主动段飞行的新型空天威胁目标。临空预警器探测到新型空天威胁目标后,由靠近目标的临空激光拦截器发射激光束将目标摧毁。

机载激光武器系统是将大型高功率激光器部署在大型飞机上的新概念武器系统,载机上装有探测、瞄准、跟踪、通信等一系列配套的系统。在典型的拦截过程中,载机在接收到预警中心告警信号后,做好拦截前的一系列准备工作,根据制导信号引导激光束射向目标,达到“发现即摧毁”的目的,激光武器系统特别适合用于拦截高超声速飞行的时敏目标。

地基激光系统的载体是平稳的大地,能使激光束稳定地指向新型空天威胁目标。此外,从地面看新型空天威胁目标轨道较容易,从而简化了指示与跟踪的任务。地基反新型空天威胁目标激光武器的局限性是固有的。来自地面的激光束到达目标之前必须通过大气层,受大气影响,光束质量会明显下降,而且激光功率越高,光束质量下降越严重。特别是,大气湍流可使光斑“破碎”,能量弥散,而更恶劣的天气甚至可能“阻断”激光束,使之根本无法到达新型空天威胁目标。

4.3 网电空间拦截

网电空间作战将在空天一体的大背景下进行,既有以电子战、情报战、网络战为主的软对抗,又有以

精确打击为主的硬摧毁;既有网电空间防御,又有网电空间进攻;将由不同层面、不同职能、多种样式、多种手段、多种作战方法构成网电空间作战体系。因此,网电空间作战体系应是攻防兼备、软硬手段结合、空天一体化、军民兼容的有机整体。网电空间作战体系的结构,在不同的国家或地区基本相同,一般应由预警侦察系统、网络系统、进攻系统、防御系统、保障系统、指挥控制中心等组成。

新型空天威胁目标可以认为是一个由指控中心、指控节点进行指挥控制,由运载工具、攻击实体、支援力量、后勤力量等硬件设备综合组成的系统。因此,从网电空间作战角度出发,对新型空天威胁目标进行打击的核心就是:通过各种作战手段,攻击指挥控制中心及其关键指控节点、通信链路等,将新型空天威胁目标由体系作战降为平台作战,从而对防御方形成“体系-平台”的作战优势,或使新型空天威胁目标几乎丧失作战能力。

4.4 反新型空天威胁目标综合拦截

单独使用以上介绍的几种拦截新型空天威胁目标的方法,其拦截效率和效果并不理想。如果能有效地将它们链接成“网”,并与传感器“网”无缝对接,将大大提高拦截新型空天威胁目标的能力。基于网络的反新型空天威胁目标综合拦截方法如图 1 所示。

典型的反新型空天威胁目标综合拦截方法流程如下:

a. 敌方新型空天威胁目标运载平台升空/发射后,首先由早期预警探测系统探测监视,一旦发现目标,便向地面指控中心发出警报,并传输目标初步信息。

b. 地面指控中心接到预警信息后,在向各拦截武器系统下达警报信号的同时,对预警信息进行处理并将处理结果传送给预警临空器、预警飞机和地基预警雷达等探测设备,引导其对目标进行探测、跟踪和威胁评估等。

c. 各探测跟踪设备捕获目标后,对目标转为跟踪状态,并将数据传送回指控中心。指控中心将目标相关数据传送给各拦截武器系统的传感器系统进行处理,各系统回传目标飞行诸元和特征数据。

d. 指控中心汇总各拦截武器系统传感器收集的信息后制定作战方案,选择拦截方法,下达拦截命令。各拦截武器系统也可在指控中心的统一指挥下自主作战,提高对新型空天威胁目标的拦截概率。

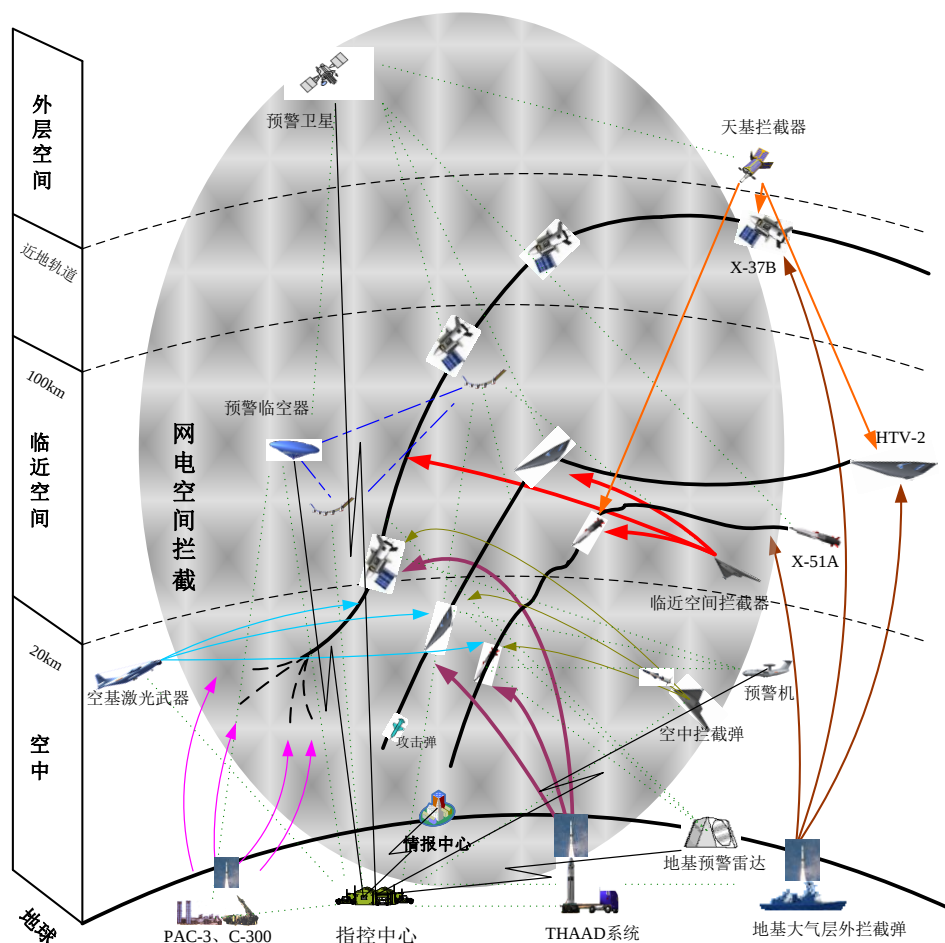


图1 基于网络的反新型空天威胁目标综合拦截

5 结束语

攻防对抗是一对矛盾体,新型空天威胁目标将成为空天防御的重点,是防御方不可回避的问题。新型空天威胁目标飞行高度高、巡航速度快,形成“即时全球打击”的事实,是一种战略威胁,将给空天防御作战带来深远影响。因此,研究新型空天威胁目标的特点及防御难点,探讨有效的拦截方法,对未来空天防御作战对抗新型空天威胁目标具有多重意义。

参考文献

1 朱伟. 空天飞机将改变传统防空作战样式[J]. 飞航导弹, 2007(1)

2 宋博, 沈娟. 美国的 X-51A 高超声速发展计划[J]. 飞航导弹, 2009(5)
 3 刘桐林. 美国高超声速技术的发展与展望[J]. 航天控制, 2004, 8(4)
 4 Hank J M, Murphy J S, Mutzman R C. The X-51A Scramjet Engine Flight Demonstration Program[J]. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2008, 5
 5 王森, 杨建军. 战术弹道导弹助推段拦截方法研究[J]. 飞航导弹, 2009(5)
 6 徐世录. 弹道导弹防御系统的现状与发展[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004(2)
 7 翁晓东, 徐军, 周文明. 美俄激光反卫星武器的发展现状[J]. 激光与电子学进展, 2003, 8(8)