

构建反制激光红外制导武器的陆域防御体系思考

李朝龙¹, 林德群², 赵寒²

(1. 军事科学院战争研究院, 北京 100086; 2. 陆军研究院, 北京 100010)

摘要:现代战争中无论是有人、无人协同作战的空袭兵器,或是无人机搭载的制导武器,始终对交战方重要军事目标和武装力量构成严重的空中威胁,并且随着其精确制导武器性能的提高、攻击样式和战役战术的变化,基于陆域的防空武器系统发现、搜索、跟踪和抗击相关有人、无人空袭兵器遭到极大障碍,必须对基于激光红外制导武器的陆域防御系统予以加强和重视,防范激光制导、电视/红外成像制导、雷达制导等精确制导武器以及复合制导的精确制导武器已成为陆域防御系统的主要作战对象和典型场景。本文首先对战争形态快速演变下陆战特点进行分析,针对外军精确制导武器发展规划和技术改进对陆地防御提出的挑战,构造了新型作战形态下基于激光红外制导武器的陆域防御系统概念,介绍了系统基本组成、功能和作战流程,为相关防御体系的建设和发展提供理论支撑和参考借鉴。

关键词:反制激光红外制导;陆域;防御系统

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2021.10.003

Land defense system based on anti laser infrared guided weapon

LI Chao-long¹, LIN De-qun², ZHAO Han²

(1. Institute of War Studies, Academy of Military Sciences, Beijing 100086, China; 2. Army Research Institute, Beijing 100010, China)

Abstract: In the modern war, whether it is the air attack weapon of manned and unmanned cooperative operation, or the guidance weapon carried by UAV, it always poses a serious air threat to the important military targets and armed forces of the belligerents. With the improvement of the performance of its precision guidance weapon, the change of attack style and campaign tactics, the air defense weapon system based on the land area can detect, search and control tracking and fighting related manned and unmanned air attack weapons encounter great obstacles. We must strengthen and pay attention to the land defense system based on laser infrared guided weapons. Precision guided weapons, such as laser guidance, TV/IR imaging guidance, radar guidance and composite guidance, have become the main targets and typical scenarios of land defense system. Firstly, this paper analyzes the characteristics of land war under the rapid evolution of war form. In response to the challenges posed to land defense by foreign military precision-guided weapon development programs and technological improvements, this paper constructs the concept of land defense system based on laser infrared guided weapons under the new combat form, and introduces the basic composition, function and operational process of the system, to provide theoretical support and reference for the construction and development of related defense system.

Keywords: infrared guidance of anti laser; land area; defense system

1 引言

叙利亚战争期间,俄军对叙利亚境内的伊斯兰国恐怖组织(ISIS)主要采用远程精确打击方式,定点摧毁了其重点目标和关键设施,其中 3M14 口径巡航导弹和 X-101 空射型巡航导弹等远程精确制导武器发挥了极大威力和作用,展示了精确制导武器在现代战争中不可或缺的地位。随着战争形态的快速演变和科学技术的高速发展,精确制导武器和精确制导技术持续得到军事强国的高度重视,对其防御能力也同步得到极大提高。

近几场局部战争中,无论是有人、无人协同作战的空袭兵器,或是无人机搭载的制导武器,始终对交战方重要军事目标和武装力量构成严重的空中威胁,并且随着其精确制导武器性能的提高、攻击样式和战役战术的变化,基于陆域的防空武器系统发现、搜索、跟踪和抗击相关有人、无人空袭兵器遭到极大障碍,以纳卡冲突中交战双方的复盘过程来看,必须对基于激光红外制导武器的陆域防御系统予以加强和重视。以防范激光制导、电视/红外成像制导、雷达制导等精确制导武器以及复合制导的精确制导武器已成为陆域防御系统的主要作战对象和典型场景。

本文首先对战争形态快速演变下陆战特点进行重点分析,针对外军精确制导武器发展规划和技术改进对陆地防御提出的挑战,构造了新型作战形态下基于激光红外制导武器的陆域防御系统概念,为相关防御体系的建设和发展提供理论支撑和参考借鉴。

2 陆域防御系统作战特点

陆域防御系统作战,往往集中处于防空作战的最后一层防御环节,其作战需求具体表现为:一是决策时间短,要求事先作战预案准备充分,未来防御要实现自动化,人工反应的效率和时间无法有效应对多方向来袭武器;二是敌方意图明显,敌方的攻击目标指向性已明确,可能已开始做攻击动作前的准备;三是拦截成功率要求高,因为处于最后一道防线,多数情况下并不具备多次拦截的时间与机会,要求能一次拦截成功。

3 典型作战目标分析

激光制导、电视/红外成像制导、雷达制导等精确制导武器已成为当今对地精确打击武器的典型代

表。其中,电视/红外成像制导武器以目标形状、大小、灰度分布和运动状况等综合特征对目标进行识别,具有一定“智能”和较高抗干扰能力,由于工作波段短,系统分辨率及打击精确度高,同时由于以被动寻的方式攻击目标,具有“发射后不管”能力,提高了载机平台生存能力。

激光制导炸弹主要用于攻击地面固定目标,威力大,典型代表有“宝石路”系列和 GPS/激光复合制导炸弹等。激光制导炸弹则主要用于攻击海上/地面运动目标,典型代表有“小牛”、“海尔法”、“硫磺石”和 AS-30L 等。由于激光制导炸弹的装备成本较低,因此比激光制导炸弹的品种更多,装备量也更大,已成为当今 F16、F22 和 F35,及 B-52 等主战飞机首选的主要对地攻击武器之一。

以第四代激光制导炸弹为代表的先进空一地激光制导武器将进一步发展。大量采用 GPS/INS/激光多模复合制导体制,解决恶劣天气条件下的作战运用问题。推动主动激光成像末制导技术加快成熟,使其具备“投放后不管”的作战能力。通过加装滑翔翼和提高发动机能力,进一步增大制导炸弹射程。

随着制冷红外焦平面成像技术进步与广泛应用,外军机载中波前视红外系统已发展到了第四代;多采取凝视成像技术体制,也有部分采用扫描成像体制;通常分搜索与跟踪大小两个视场,以扩大搜索范围并兼顾对远距离弱小目标的观瞄;目标指示精度 1 mrad 左右。

近几场局部战争中,美俄军队空中力量由于采用前视红外系统,主战飞机有效出勤率提高了 2~2.5 倍;平均作战时间较仅装备白昼型探测系统的飞机增加 4 倍;精确制导武器的命中率提高 3~4 倍。同时,随着地面防空武器攻击距离不断扩展,空袭战机为实现火力圈以外安全投弹,机载光电观瞄/中波前视红外系统作用距离今后还会有所提高^[1]。

4 陆域防御系统构想

陆域防御系统的主要任务是防御中程拦截后遗漏的空地精确制导武器、攻击型无人机和武装直升机等目标,兼顾对抗进入射程的各种固定翼飞机。

在光电信息系统一体化、信息化、自动化指挥

控制下,以综合光电对抗、战术激光武器、中近程防空导弹、自行高炮等武器系统为手段,对来袭抵近飞行器、制导弹药等武器实施远近覆盖、点面结合、软硬一体的分层拦截,各分系统采用战术数据链或通信网络进行信息交互,中型高机动底盘承载。

陆域防御系统的典型作战使用流程分为总体任务规划、目标预警探测、作战指挥决策、拦截行动执行、作战综合保障等五个部分(图1)。

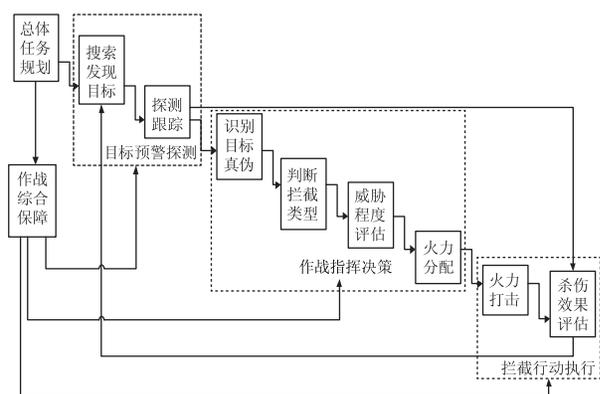


图1 系统工作流程

Fig.1 System workflow

(1) 总体任务规划

光电信息分系统根据上级命令、当前敌情、作战地域的特点,制作战计划和保障计划,协调作战空域和频率,明确作战任务、部署范围,以及协同关系和协同要求。

相关武器分系统完成装备展开和部署,进入战斗状态。

(2) 目标预警探测

担负武器系统指挥任务的光电信息分系统对整个重要目标的周围空域的预警监视,探测来袭的各种空袭兵器目标,通过对目标的搜索、跟踪、分类与识别,为武器系统提供较为详尽的来袭目标的数量、距离、速度、方位坐标、威胁程度、目标的种类等信息,为优化配置提供支持,也为综合光电对抗、战术激光武器、火力打击单元提供目标指示及火力引导。

综合光电对抗分系统、战术激光武器分系统在野战空情和光电信息分系统的侦察情报引导下,对敌机载光电观瞄设备、雷达、精确制导武器实施侦察,获取机载光电设备、雷达等战场态势感知系统和精确制导武器的数量、种类、距离等参数。

(3) 作战指挥决策

各型武器装备完成对目标参数和方位信息分析处理后,上报光电信息分系统。光电信息分系统汇集各系统上报的侦察情报,在野战空情、陆战场情报和战役情报支援下,完成对各武器上报的重要目标情报的关联印证,形成防御当面敌情态势。并根据作战需要向各武器及友邻分发目标引导信息,调整侦察任务,协调各编组间的作战行动。

(4) 拦截行动执行

综合光电对抗分系统、战术激光武器分系统和近程防空导弹/高炮分系统根据作战任务,执行拦截行动,并向光电信息分系统上报对拦截情况。也可在各自系统引导下,自主完成对目标的搜索、判断,向上级申请拦截请求。

光电信息分系统汇集各武器上报的拦截态势,形成陆域防御系统综合防御态势,并向上级上报。同时,根据战场情况或上级下发的目标引导信息,合理分配对抗与火力资源,向友邻通报有关作战情况,同时依据上级任务调整指示或当面战场态势,向各武器下达拦截任务调整指令,协调武器间作战行动。

(5) 作战综合保障

当装备出现故障时,向光电信息分系统上报战损情况和装备状态,光电信息分系统指挥综合保障车采用定点保障或支援保障方式对装备进行抢修,使之恢复作战能力。

5 陆域防御系统组成

陆域防御系统基本型主要由光电信息分系统、综合光电对抗分系统、战术激光武器分系统、近程防空导弹/高炮分系统、综合保障分系统等组成。主要解决重要目标的末端防御能力不足的问题,适应陆军作战条件下对精确制导武器等目标的拦截任务,用于对固定阵地高价值目标的保护,具有一定的随队防护能力。

对于保护战役战略性目标,还可以在陆域防御系统基本配置的开放式互联平台上,增选能力更强的战术激光武器、微波武器系统、高定向GPS干扰系统、中近程防空导弹系统、高炮系统、电磁炮等武器。构成功能增强的防御系统,使得拦截高度更高、防御距离更远^[2]。

陆域防御系统既可以全套配置,也可以根据不同防护环境及任务的要求,在基本型的基础上增加

不同的配置,满足不同领域的防御需求。基本型构成见图2。



图2 陆域防御系统组成

Fig. 2 Composition of land defense system

光电信息分系统主要由搜索雷达、光电搜跟、北斗设备、战术数据链或通信网络终端设备、分布式传感器信息融合处理单元、态势及威胁评估处理设备和指挥控制单元组成,如图2所示。基于通信网络实现目标探测、光电对抗、战术激光武器、导弹/高炮等作战单元的信息交互。完成空情收集、上级指令接收、目标信息获取、分布式多传感器信息融合、目标威胁等级评估、战场态势展现、多武器平台协同作战、防御效能评估等任务。

综合光电对抗分系统包括:探测告警、光电对抗、雷达对抗、系统控制等。主要完成对来袭武器观瞄装置、光电导引头、雷达导引头的干扰任务。

战术激光武器分系统主要包括:搜索告警、捕获跟瞄、高能激光、电气电源、中央控制等。主要完成对武装直升机载光电系统、光电制导武器导引头等目标的激光毁伤任务^[2]。

近程防空导弹/高炮分系统主要包括:基于陆域防御系统装车适应性及网络化改造后的系列近程地空导弹,高炮等武器系统,完成对来袭目标在不同距离段的拦截任务^[3]。

该系统可对防护区域实现多目标的快速组网探测跟踪。对防区的战场态势进行高度自动化的信息处理,自动实现高速威胁判断和网络化智能火力指挥和控制。系统具备了多样化的干扰、毁伤手段,实现点面结合、远近配套的多波段防御对抗,软硬结合的目标光电干扰/毁伤与硬火力拦截,可以适应复杂气象条件,复杂电磁环境及夜间作战的要求。保证

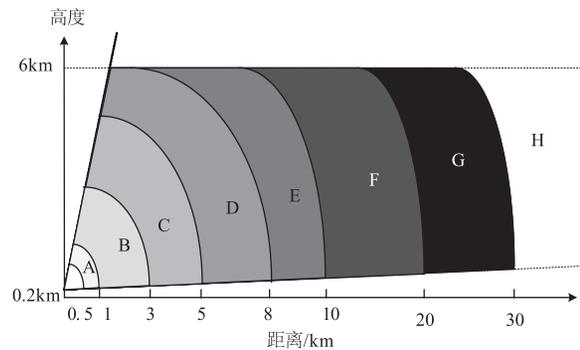
了系统有能力针对防御区域来袭威胁目标实现高的防御成功率。

6 典型作战使用场景及流程

6.1 系统作战区域想定

假设对我陆军某地面目标进行防空防御,陆域防御系统在阵地呈扇形布置,同时,在重要点位布置摆放式干扰设备和干扰器材。

本系统的作战区域想定如图3所示。



雷达预警探测区	C + D + E + F + G + H 区
光电搜索跟踪区	B + C + D + E + F 区
综合光电对抗区	B + C + D + E + F 区
激光毁伤光电目标区	B + C + D + E 区
中程高炮毁伤区	B + C + D 区
激光诱偏和无源光电干扰区	A + B + C 区
导弹毁伤区	B + C 区
近程高炮毁伤区	A + B 区
激光武器毁伤区	A 区

图3 作战区域示意图

Fig. 3 Operational area diagram

(1) 雷达搜索系统在 G、H 区域搜索目标,发现目标后将信息送给光电信息系统进行态势显示,并初步进行目标识别和威胁判断;

(2) 在威胁目标进入作战空域 D + E + F + G 区域的趋势时,启动光电搜跟系统对目标进行跟踪,建立目标航路,并决策是否向综合光电对抗系统或战术激光武器系统发送命令和目标坐标信息,开启光电干扰设备或战术激光武器进行光电干扰。此区域主要是针对光电设备的干扰和软杀伤;

(3) 当威胁目标进入 C + D + E 区域时,决策是否向综合光电对抗系统或战术激光武器系统发送命令和目标坐标信息,开启光电干扰或激光武器,进行光电干扰或使用激光武器进行光电毁伤;如果目标进一步进入 C + D 区域,则进入中程高炮

击落区域,在此区域可向高炮武器系统发送命令和目标坐标信息,指挥高炮群进行集火或集距射击;

(4)当目标进入C区,决策是否向综合光电对抗系统发送命令和目标坐标信息,指挥用近中程系列导弹攻击目标;决策是否采用激光武器或光电对抗手段攻击目标;

(5)当目标接近A+B之内的近程区域时,决策是否向高炮系统发送命令和目标坐标信息,使用近程高炮集群射击拦截目标;决策是否采用激光武器击落目标;决策是否向光电干扰车发送命令开启激光诱偏装置。

6.2 作战效能分析

敌方空地导弹对我地面目标进行攻击,之后出动武装直升机与攻击型无人机对我方地面目标进行侦察骚扰和目标打击。

(1)敌方作战部署想定

第一批,数枚精确制导导弹突破前端防御,进入我陆域拦截范围,设导弹以1Ma速度向我阵地逼近,导弹飞行时间间隔1min之内。

第二批,4架次“阿帕奇”武装直升机进入我防区。每架飞机带弹:AGM-114K激光制导导弹4枚,其中一架直升机执行激光目标指示任务。

第三批,2架次“捕食者A”无人机。每架无人机带图像制导导弹弹两枚。

以下作战过程推演主要按同批次不间断投弹条件进行。

(2)针对敌精确制导导弹防御效能分析

敌精确制导导弹防区外发射,突破中远端防区,向我末端防区逼近。我末端防御系统远程雷达搜索预警工作,侦察到该批次精确制导导弹进入我防区,发现目标距离约25~30km,分布于90°扇形区域。设导弹以1Ma速度飞行,自25km发现目标开始,至飞抵我防御阵地,共需飞行约70s时间。我末端防御系统必须在60s时间内在不同层次对来袭导弹实施成功拦截。对同时出现在防区的多个目标进行编号,随时根据预警探测系统和效能评估系统所给出的综合信息,动态调整各目标威胁等级排序。

当雷达搜索系统发现来袭目标,陆域防御系统即由准备状态进入战斗状态,开启GPS干扰装置对来袭目标实施电子干扰,光电搜跟系统在20km以

远对目标捕获和跟踪,系统将目标威胁等级进行快速排序,其中等级排序奇数目标分配给光电对抗分系统,威胁等级偶数目标分配给战术激光武器分系统,由两个系统分别发射激光对目标实施短时照射,由效能评估系统判断是否光电制导武器,每个目标照射1s。调转转台稳定跟踪目标,时间2s。这样,3s内两套系统各完成一个目标的识别与跟踪。

目标初步识别后,综合光电对抗分系统选择威胁等级最高的光电制导导弹进行持续跟踪干扰。以期在远距离实现对精确制导导弹的光电导引头实现饱和干扰,使之丧失制导能力,同时搜索告警系统监视导弹飞行轨迹,对受到干扰而偏离我防御区域飞行的目标,则降低其威胁等级。综合光电对抗分系统(雷达对抗单元)则对基于信息系统判别的非光电制导武器实施重点监视和雷达干扰。来袭导弹从15km经20s左右时间的飞行后,进入8km激光毁伤、弹炮摧毁、综合光电对抗组合层防御圈。

此时,战术激光武器分系统与综合光电对抗分系统按威胁等级奇偶数分工,奇数目标由战术激光武器系统实施毁伤,偶数目标由光电对抗分系统实施干扰。导弹从8km到3km防御圈,需15s时间。5s为战术激光武器毁伤一个目标的周期,其中2s内调转转台跟踪瞄准目标,1s内发射高能激光毁伤目标,2s毁伤效果评估。这样战术激光武器可以完成对3个光电制导导引头的毁伤任务。多波段激光每7s完成一个干扰周期,15s内可实现对2个目标的干扰^[4]。

对雷达制导导弹,则分配由综合光电对抗分系统(雷达对抗单元)实施干扰,雷达对抗单元具有2个目标的对抗能力。

如果进入3km~8km防御圈的目标多于上述三套系统的对抗/毁伤能力,也就是光电制导导弹多于5枚,雷达制导导弹多于2枚,则启动高炮对剩下目标实施火力拦截。高炮拦截分系统在该防御层具备1个目标的拦截能力。因此,在3km防御圈以外,系统具有8个目标的对抗能力。

假设同批次来袭精确制导导弹数多于8个,仍然有进入我3km光电欺骗/弹炮摧毁组合层防御圈之内,拦截/毁伤系统必须在0.5km之外将目标摧毁。设精确制导导弹以1Ma速度飞行,从3km~0.5km共2.5km距离需7s时间。此时来袭导弹

进入近中程系列导弹拦截射程及战术激光武器分系统的硬毁伤距离。

此时,近中程系列导弹与战术激光武器系统各击爆1枚来袭导弹,雷达对抗单元保持对2枚雷达制导导弹的干扰。如果来袭导弹是激光半主动制导

的光电制导导弹,那么综合光电对抗系统所配备的激光诱偏干扰系统可以起到作用,成功干扰1枚激光半主动制导的精确制导导弹。

综合以上分析,系统可以拦截同一批次10枚以上精确制导导弹的饱和进攻,见图4。

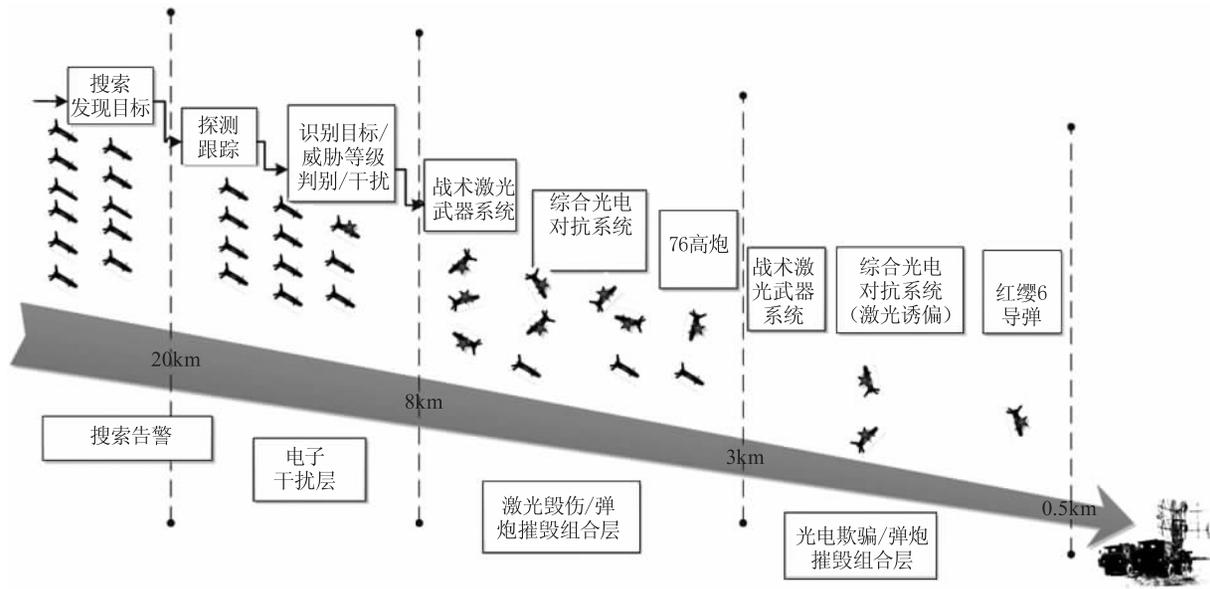


图4 对精确制导导弹的分层拦截

Fig. 4 Layered interception of precision guided missiles

(3) 防御武装直升机进攻的效能分析

第二批次,4架“阿帕奇”武装直升机投弹机进入我防御区域,每架携带精确制导导弹4枚,其中一架直升机作为激光半主动制导导弹的激光目标指示器照射机,对我进行侦察与打击,防御预警探测系统发现目标,距离约15 km~20 km。

与第一批次同样的判定准则,对来袭武装直升机进行威胁等级判定,综合光电对抗系统发射多波段激光对机载火控系统实施饱和干扰,使其丧失对目标侦察、对导弹引导能力。

设想敌武装直升机在我光电干扰/压制过程中一架直升机折返飞离防区,仍有一架照射机和两架投弹机正常投放激光制导导弹两批次,投放距离不小于12 km,导弹速度1 Ma,每批次各2枚,两批次8枚,两批次间隔时间1 min,一架飞机作为照射机在距我防御阵地15 km~20 km等待照射。

防御预警系统侦察到三架直升机与第一批次投放的4枚激光精确制导导弹,立刻进行目标识别、激光测距、航迹建立、威胁等级判别等。综合光电对抗分系统的多波段激光保持对武装直升机光电火控系统持续压制干扰。

当4枚激光制导导弹飞入我第二层3 km~8 km防御圈,则分配战术激光武器系统对3个目标按威胁等级实施毁伤,使用高炮对1个目标实施火力拦截。

经过该层次拦截后,4枚导弹成功拦截或毁伤,假设仍有两枚进入3 km防御圈以内,敌激光目标指示器开启,对我防御目标进行照射,综合光电对抗系统激光告警设备侦测到激光目标指示信号即启动激光诱偏干扰设备,诱偏干扰1枚导弹,战术激光武器对导弹制导系统实施毁伤。同时,多波段激光始终保持对激光目标指示直升机的光电观瞄系统压制。

两架武直的第二批次4枚导弹成功投放,防御系统立即对新出现4个目标进行以上类似的作战过程,光电对抗系统的多波段干扰激光始终保持对目标指示激光照射飞机的光电观瞄的压制。如果直升机进入3~8 km防御层,即由高炮和近中程系列导弹进行拦截^[5]。

综合以上分析,该防御系统有能力对付4架武直进行的两批次8枚精确制导导弹的饱和攻击,见图5。

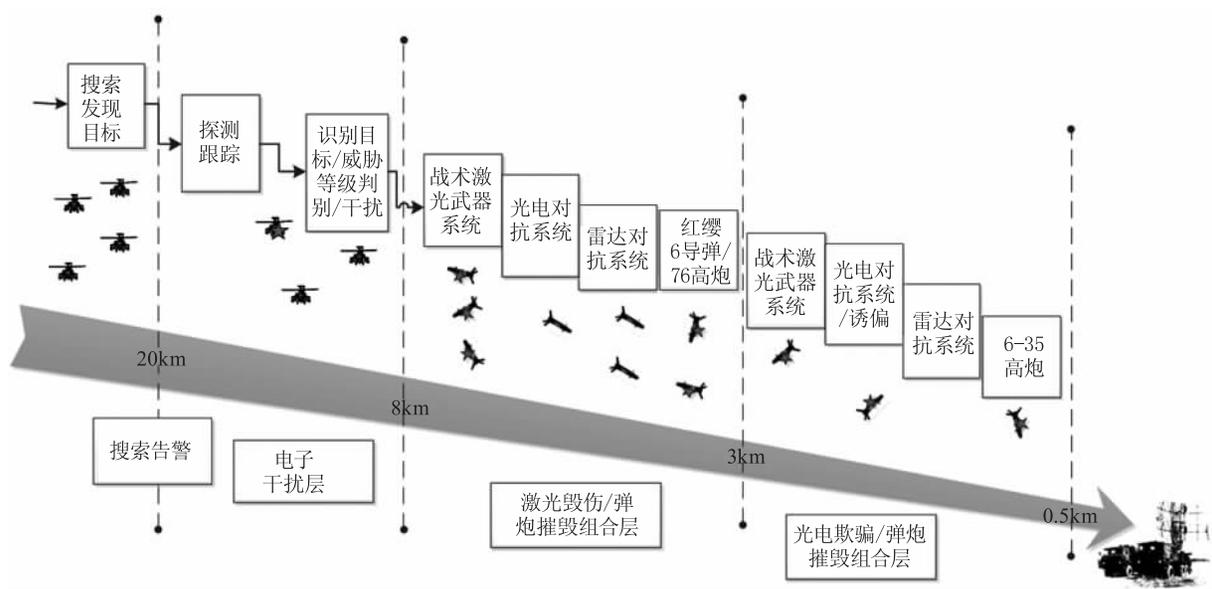


图5 对武装直升机及其投放的精确制导导弹的分层拦截

Fig. 5 Layered interception of armed helicopters and their precision guided missiles

(4) 防御低小慢无人机目标效能分析

对于小型低成本无人机,依托地形和植被隐蔽,突入我3 km范围内,预警探测系统一旦发现目标,立刻对无人机进行识别和跟踪,判断威胁等级,多种对抗手段同时使用,战术激光武器系统对目标进行跟踪瞄准,待目标进入2 km范围内,开启高能激光,将无人机击毁。同时,根据战场态势,分配高炮、系列近中程导弹对目标实现火力摧毁。

参考文献:

- [1] Hu Jie, Lu Yuan, Yang Xing. Research progress of infrared camouflage technology[J]. Laser & Infrared, 2018, 48(7): 803-808. (in Chinese)
胡杰, 路远, 杨星, 等. 红外伪装技术研究进展, 激光与红外[J]. 2018, 48(7): 803-808.
- [2] Zou Qianjin, Zhang Hengwei, Cai Guoqing, et al. Research of sensitive parameters of laserjamming infrared point guided seeker[J]. Laser & Infrared, 2021, 51(1): 16-19. (in Chinese)

邹前进, 张恒伟, 柴国庆, 等. 激光干扰点源红外跟踪系统敏感参数研究[J]. 激光与红外, 2021, 51(1): 16-19.

- [3] Yang Yihe, Yue Min. Infrared system[M]. Beijing: National Defence Industry, 1985: 20-25, 40-49. (in Chinese)
杨宜禾, 岳敏. 红外系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985: 20-25, 40-49.
- [4] Zhao Shuang, Fang Youpei. Infrared imaging guidance and its countermeasures[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(s): 197-201. (in Chinese)
赵霜, 方有培. 红外成像制导及其干扰技术[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(s): 197-201.
- [5] Zhang Hengwei, Li Xiaolong, Fan Renjie, et al. Simulation study on laser saturation disturbing to CCD camera in the Binning mode[J]. Laser & Infrared, 2016, 46(9): 1045-1048. (in Chinese)
张恒伟, 李晓龙, 樊仁杰, 等. 激光对 CCD 相机 Binning 模式下饱和和干扰效果仿真研究[J]. 激光与红外, 2016, 46(9): 1045-1048.