

岸海要地防空激光威胁环境及对抗方法

宗思光, 曹 水, 邓银港
(海军工程大学电子工程学院, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 对抗激光精确制导武器是岸海要地防空系统的主要任务之一。本文分析了外军典型激光制导武器的信号特征及对地攻击战术使用模式, 针对海岛要地、港口等防空特点, 对多层系全程光电对抗模式进行了分析, 提出了激光欺骗干扰、激光压制/毁伤干扰、烟幕无源干扰等综合光电对抗手段在空间布设、使用次序的基本原则方法。

关键词: 光电威胁环境; 激光制导; 光电对抗; 激光对抗

中图分类号: TN977; TJ765.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2017.11.016

Laser threaten environment and countermeasure for the port wharf's air defense

ZONG Si-guang, CAO Shui, DENG Yin-gang
(College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The laser guidance weapon is the important target of the port wharf's air defense. Signal characteristics and air-to-ground attack modes of foreign typical laser guidance weapons were analyzed. For air defense characteristics of the island and port, multi-level electro-optic countermeasure mode was analyzed, and the basic principles of comprehensive electro-optic countermeasure methods including laser deception jamming, laser damage jamming and smoke jamming were proposed in space layout and using sequence.

Key words: electro-optic threaten environment; laser guidance; electro-optic countermeasure; laser countermeasure

1 引 言

在美国高调重返亚太的战略背景下, 面对美国的空海一体战, 港口、岛礁作为重要的军事目标, 面临着巨大的空中威胁。目前, 随着信息技术的高速发展和军事战略的调整, 精确打击已成为海上基本作战样式之一。在近几场局部战争中, 地、空、天一体的多手段、多频谱侦察、监视, 使战场呈现出空前的“透明化”, 而精确制导导弹的大量服役, 使得岸海重要军事目标的生存能力面临巨大的挑战, 依托岛岸背景进行的局部高强度攻防作战将是未来海战的重要作战形式之一。面对精确制导武器对岸海军事目标日趋严重的军事威胁, 对抗精确制导武器已成

为防空体系的最主要任务之一。由于精确制导武器多为光电制导(如激光制导、红外制导、电视制导), 或采用了光电引信(如激光近炸引信)等光电装置, 据统计光电制导武器已占精确制导武器的83%以上^[1-2]。在对地攻击中, 激光制导在精确制导武器系统中占很大比重。在岸海区域重要军事目标防护中, 研究激光对抗技术/战术特性, 如何实行有效的火力防空、电子防空是我海军部队急需解决的实际作战问题。

本文研究分析了外军典型激光制导武器的信号特征及对地攻击战术使用模式, 针对海岛要地、港口等防空特点, 分析了多层系全程光电对抗作战模式,

提出了激光欺骗干扰、激光压制/毁伤干扰、烟幕无源干扰等综合光电对抗手段在空间布设、使用次序的基本原则方法。

2 激光威胁信号环境

2.1 典型激光制导武器信号特征

在当前和未来很长的一段时间内,岸海区域如海岛机场、军港等军事目标威胁主要来自光电精确制导武器。在光电精确制导武器中,激光制导以其制导精度高、抗干扰能力强、结构简单、成本低的特点,得到广泛的使用。同时激光制导受天气和战场条件影响大,尤其是战场上的硝烟、尘埃严重影响激光的传输,从而使激光制导武器偏离目标;空袭飞机上的激光发射器要不断发射激光,使激光始终照射在目标上,从而使空袭飞机较长时间暴露于防空火力之下,降低了生存能力;激光光束狭窄、搜索能力较差。

激光制导是指利用激光获得制导信息或传输制导指令,使武器按一定引导规律飞向目标制导方法。根据工作原理的不同,激光制导可分为激光驾束制导和激光寻的制导两大类,激光寻的制导又可进一步分为激光半主动回波制导、激光指令制导和主动激光雷达制导三种。在空对地攻击中,激光半主动回波制导技术应用最为广泛、成熟。激光制导武器主要包括:激光制导导弹、制导炸弹、制导炮弹等,激光精确制导武器的分类如图1所示。

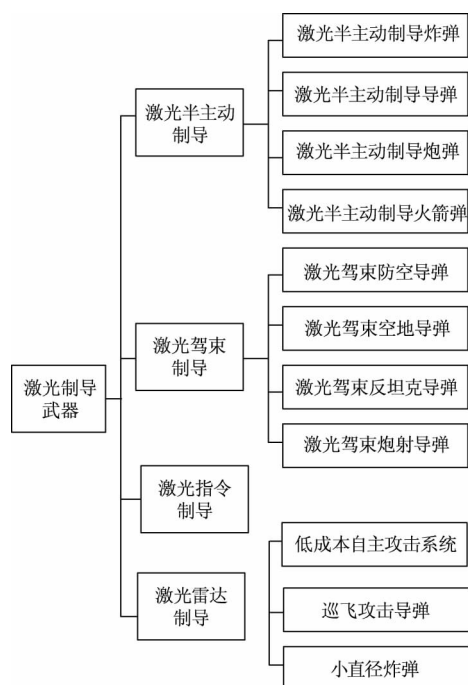


图1 激光制导武器的分类

Fig. 1 Laser guided weapon classification

目前,战场上存在的主要激光威胁信号主要有激光测距机和激光目标指示器信号,对应的激光波长主要有 $1.06\ \mu\text{m}$ 、 $10.6\ \mu\text{m}$ 、 $1.54\ \mu\text{m}$ 等,其中 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光应用更广泛^[2]。激光半主动制导系统需要由激光目标指示器为激光制导武器指示目标。作战时,首先由激光目标指示器发射激光束照射目标,随后弹上的激光导引头接收目标漫反射的回波信号,制导系统形成对目标的跟踪和对弹药的控制信号,从而将制导弹药准确地导向目标。

激光目标指示器是激光制导系统的重要组成部分,也是决定制导精度的首要因素。当激光制导武器攻击目标时,激光目标指示器需要照射所要攻击的目标,利用目标反射的回波作为制导信息,来引导激光制导武器系统。影响激光目标指示器的性能的主要因素有:激光波长、脉冲能量、重复频率、脉冲宽度、目标反射率、大气(天气)影响、目标的大小、导引头激光信号探测器性能、导引头头罩光学性能等。为保证在复杂的战场环境中,制导武器能正确识别己方所指示的目标,指示器发射的激光指示制导信号要按系统的预先设定编码。由于制导时间短、激光指示器重频不高($10\sim 20\ \text{Hz}$)以及接收信号的弹体反应速度的限制,一般采用简单又较难被敌方识别的编码方式,一般采用的编码形式为周期型编码、等差型编码、位数较低的伪随机码以及脉宽编码等。表1给出了国外激光目标指示器中激光器的典型性能指标。

表1 典型激光目标指示器性能指标

Tab. 1 Laser target indicator performance index

激光波长	$1.06\ \mu\text{m}$
激光束散角	$<2.5\ \text{mrad}$
脉冲重复频率(可调、可编码)	$10\sim 20\ \text{脉冲/s}$
激光脉宽	$\sim 20\ \text{ns}$
激光能量	
机载激光目标指示器	$>150\ \text{mJ}$
三脚架激光目标指示器	$>100\ \text{mJ}$
遥控飞行器载、手持式指示器	$>50\ \text{mJ}$
激光功率	$2\sim 11\ \text{MW}$

2.2 典型激光制导武器

目前,激光制导技术已广泛用于空地导弹、反坦

克导弹、防空导弹、炮射导弹、制导炸弹、火箭弹中。由于每类激光制导技术的特点不同,其应用范围各有侧重。

对于采用激光制导体制的空地导弹(如美国的“海尔法”系列)、末制导炮弹(如美国的“铜斑蛇”与俄罗斯的“红土地”)等,命中精度 CEP 一般在 0.5 m 以内。激光半主动回波制导炸弹(激光制导炸弹)能够以较高的精度命中目标,圆周误差几率可控制在几米以内,具有结构简单、价格低、威力大、费效比高等优点,是目前世界各国装备数量最多的制导炸弹。对于激光制导炸弹(如美国的“宝石路”系列),第一代 CEP 一般在 10 m 以内,第二代在 6 m 以内,而第三代可在 3 m 以内。这样的命中精度,远高于 20 世纪末才开始广泛应用的 GPS 辅助惯性制导体制(GPS/INS)。采用 GPS/INS 的制导航空炸弹(如美国的 JDAM 系列),精度为 10 m,而制导炮弹(如美国陆军的 XM982“神剑”或海军的 ERGM)精度只有 20 m^[3]。

“宝石路”(又称“铺路”)系列激光制导炸弹,是美国在 MK80 系列标准炸弹基础上加装激光制导系统和弹翼而发展成的一种精确打击武器,已形成系列,并发展了 3 代,海军主要使用的是宝石路 II。

目前“宝石路”I 激光制导炸弹采用“鸭式”气动布局,固定尾翼,激光半主动速度追踪制导。通过对“宝石路”I 进行改进,把固定尾翼改为折叠尾翼,产生了“宝石路”II 型激光制导炸弹。“宝石路”II 保持原有的制导方式,在“宝石路”I 的基础上提高了激光寻的器的灵敏度,加入激光编码接收以提高对目标的识别与抗干扰能力。“宝石路”II 型激光制导炸弹射程一般为 15 km,最大可达 30 km,飞机投放高度可达 12 km。“宝石路”系列激光制导炸弹作战使用中,需要载机用激光照射器照射目标,炸弹从飞机上投下后自动跟踪目标反射出的激光,修正弹道飞向目标。激光照射器可由本机照射,也可由另外的飞机照射,照射载机高度在 8 km 以下,距离为 4~5 km。

目前,美军已开发研制了“宝石路”IV,它由增强型“宝石路 III 改进而来,朝着增大射程、提高命中精度和增强作战适应性的方向发展。它可全天候使用,采用第二代全球定位/惯性导航(GPS/INS)制导系统,具有抗欺骗和抗干扰能力,其将以更加良好的经济性、适用性而在航空炸弹世界里继续称强。

“宝石路”II 系列制导炸弹和 SDB 等目标的主要性能参数见表 2。

表 2 美国主要激光制导炸弹性能一览表

Tab. 2 Typical laser guided bomb performance index

型号	重量/kg	制导控制方式	战斗部类型	射程	高度	命中精度
“宝石路”I/II 激光制导炸弹	GBU-10	967	激光风标导引头+继电式控制	15~30 km	12 km	“宝石路”I CEP: ≤10 m “宝石路”II CEP: ≤6 m
	GBU-12	273	激光风标导引头+继电式控制			
	GBU-16	500	激光风标导引头+继电式控制			

3 对地攻击典型激光制导武器作战使用模式

激光半主动制导的照射方式分为地面照射(地照空投)和空中照射(空照空投)两种,其中空照空投又可分为本机照射和友机照射两种。美军在阿富汗战争中,60%以上的激光制导武器都是由地面人员照射指示的,为地面人员对目标识别、打击时机把握得更准确,而且激光衰减不会像空中照射时那样大^[4]。另外,地照方式照射在目标上的光斑更加稳定,而空照方式照射在目标上的光斑会来回晃动,因此地面照射精度更高。采用

地面照射需要事先派遣照射人员到达目标区,存在一定风险。而且照射人员一旦暴露,有可能暴露作战意图。总的来讲,在大规模高强度战争中,照射人员不容易从地面接近目标,因此多用空照空投;但在小规模特种作战中,应用地照空投的方式较多,这样还避免了战斗机照射目标被击落的风险。在岛礁、港口对空防御作战中,需重视敌采用地面照射的攻击模式。

激光制导炸弹对地攻击典型任务作业流程如图 2 所示。

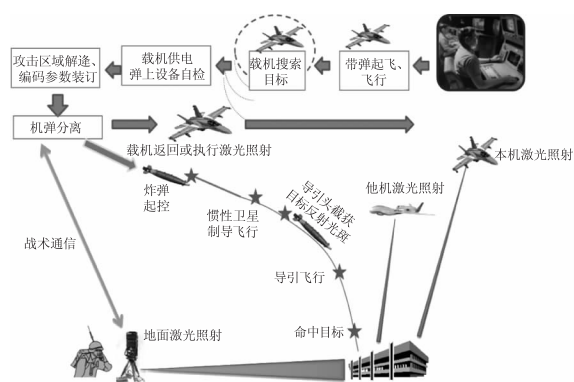


图2 激光制导炸弹对地攻击典型任务作业流程

Fig.2 Typical flow of the laser guided bomb attack to land target

当采取空照空投时,美军用得较多的是友机照射。因为投弹时载机要俯冲接近目标,做反高炮及脱离规避导弹跟踪动作等,兼顾照射不方便,因此载机还是只完成单一任务比较好,这样专门负责照射的战斗机可以再空中盘旋,更安全一些。如果要用本机照射,最好用双座机来完成,因为投弹时飞行员往往看不到目标,投弹后飞机拉起向另一侧转弯后才能看到目标,激光目标指示吊舱这时才开始跟踪和照射目标。“宝石路”炸弹作战使用中,首先用激光照射器照射目标,炸弹从飞机上投下后自动跟踪目标反射出的激光,修正弹道飞向目标。激光照射器可以由特工人员从地面带到目标附近安装,到时自动照射,也可以由另外一架飞机照射,或本机自带激光照射器进行照射。因此,在使用时,早一些或晚一些投弹都能命中目标。但由于其是靠地心引力下落的,修正弹道的时间随着投弹高度的增加而延长,因此,投弹高度越高,允许飞机投弹的范围便越大。这个范围在一定投弹高度和速度的条件下是一个圆形,高度越低,圆形便越小,飞机只要进入这个范围内投弹都可以命中目标,投弹过程相对来说安全许多。

“宝石路Ⅲ”低空激光制导炸弹是一种非常先进的激光制导炸弹,在所有高度上都具有防区外发射能力。低空激光制导炸弹是为应对敌军的复杂空防和不良能见度及低云幕的限制而研制的。该武器设计用于低空投射,且进一步提高了远距离投射能力以减少暴露时间。与激光制导炸弹不同,低空激光制导炸弹在主要的投射模式(低空、水平投弹)中具有更大的投射范围。低空激光制导炸弹的宽广视

野和中段制导模式,使它具备了“瞄准并投射”能力,使机组人员得以通过将飞机瞄准目标并在获得适宜的观测指示后释放炸弹的方式来攻击目标。这种能力的主要优点在于不需要解决风漂移问题便可以达致准确的俯冲或追踪。“宝石路Ⅲ”具有比“宝石路Ⅱ”激光制导炸弹更广的视野,它不像后者那样对发射参数十分敏感,也不受早期激光指示的不利影响。在被正确的发射出去后,低空激光制导炸弹会在搜索反射的激光能量的同时保持水平飞行。如果低空发射激光制导炸弹没有检测到反射的激光能量,它会继续保持水平飞行飞越被指示目标所在位置的上空。

在选择激光指示位置时,激光指示器操作员必须考虑到视线、预计的弹药弹道、战术环境、防护与隐蔽物、气候以及通信需求。激光指示器操作员必须选择这样的位置:即在最大限度降低对己方部队风险的同时,靠近高优先等级目标预计所处的位置。攻击航向和激光至目标的线,通常在事先就由激光指示器操作员和使用激光制导武器的机组人员协调好。攻击航向必须要确保机组人员可以搜索到反射的激光能量。由于存在错误目标指示的可能性,因此除非战术态势需要,否则攻击航向必须避开目标至激光指示器安全区(一个以目标为顶点,沿目标至激光指示器线等边延伸而成的 20° 锥形区域),如图3所示。

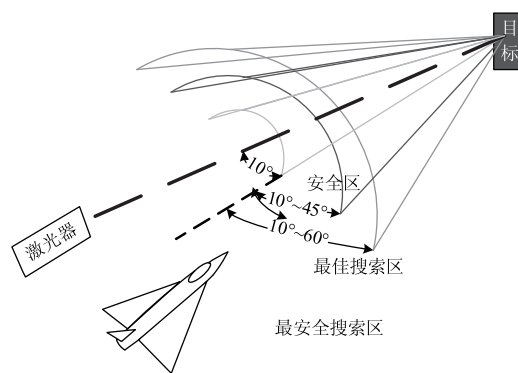


图3 目标-激光指示器空间示意图

Fig.3 Relative position of target and laser indicator

4 多层次全程光电对抗措施

光电对抗是敌对双方在光波段的抗争,采用光电技术的手段去探测敌方目标,同时采取必要的光谱对抗措施去削弱、阻止对方使用光波段电

磁频谱,尽力保证己方有效使用光波段电磁频谱。光电对抗具有两个方面的作战效能,一方面是最大限度地削弱敌方光电武器的作战效能,另一方面有效地保护己方光电装备和人员免遭受敌方干扰而正常发挥作用^[4-6]。过去,对抗光电精确制导武器常采用单一对抗末段防御,随着激光精确制导武器的抗干扰手段的发展,其对抗效果有限。如激光制导信号采用编码,跟踪系统设置相应的解码电路解码以及跟踪系统上设置跟踪波门等技术,大大提高了激光制导武器的抗干扰性能。随着光电精确制导技术的不断发展,光电对抗必然向多层防御全程对抗发展,从而提高对光电精确制导武器整体作战效能。

岸海要地防空中,针对激光半主动制导武器干扰方式主要有:无源干扰(烟幕干扰和隐身干扰);有源干扰(高重频激光有源干扰、同步转发式干扰、应答式干扰)、高能激光致盲干扰/毁伤等。实现激光欺骗干扰需要具备两个基本条件,一是要求激光干扰信号与激光制导信号的激光波长、重频、编码、脉冲宽度等特征参数应基本一致;二是要求激光干扰信号与激光制导信号在时间上同步或相关。高能激光对导弹对抗包括硬损伤(作战目标结构损伤)、软硬损伤(作战目标光学系统的硬损伤)、干扰(光电探测系统)三种模式。其中,硬损伤产生的效果最直接,可使导弹直接空中解体或空气动力学发生变化,失去平衡,坠入大海;软硬损伤可破坏作战目标的光学导引能力,降低其导引精度,与其他制导类破坏武器系统配合,可使导弹失去导引能力,无法发现作战目标;干扰可使作战目标在作战过程中失去光学侦察能力,无法获取目标区域的情报信息。

需深入开展综合光电对抗系统战术应用研究,集成多种对抗手段,根据作战对象、作用距离、技术特点的差异性,在时间域、空间域上综合、合理使用干扰手段,发挥其长处,弥补其不足,以求实现作战效能的综合最大化,达到 1+1 大于 2 的效果。多种对抗手段的特点及作战对象见表 3 所示。

为实现全程对抗,可设立多层次防御。第 1 层防御,采用激光压制、毁伤设备照射敌机光电观瞄设备,使其无法发现目标或测距定位产生较大的偏差,

无法投弹或错误投弹。第 2 层防御,采用高重频激光压制/毁伤设备照射敌导弹导引头,使激光导引头无法稳定搜索到目标。第 3 层防御对半主动激光寻的导弹的末制导段实施对抗,采用高重频激光压制/毁伤设备、激光欺骗设备使来袭激光制导武器被诱偏、导引头扰乱、致盲乃至硬毁伤。同时根据距离启用烟幕遮蔽干扰手段。

表 3 不同光电对抗方法特点

Tab.3 Characteristics of different electro-optic countermeasure

序号	对抗名称	作战对象 制导模式	对抗特点
1	激光引偏	半主动激光制导	成功率高、可干扰多个目标、只适合对抗激光制导武器;需实时解码,对抗伪随机码指示、精确波门跟踪导弹能力弱。
2	激光压制	激光制导、 光电制导	作用距离远、一次只能干扰一个目标,需实时对导弹实时精确稳定跟踪。
3	激光毁伤	激光制导、 光电制导	全程干扰、一次只能干扰一个目标,需实时对导弹实时精确稳定跟踪。
4	烟幕干扰	激光制导、 光电制导	干扰目标广、环境适应性差、影响其他光电设备、受备弹量限制

要地防御中,光电对抗系统的战术应用应以来袭目标类型和干扰手段的特点为基础,在作战中遵循以下原则:(1)先主动、后被动,主被动干扰手段应分时使用。优先使用激光压制和毁伤、激光引偏等主动干扰手段,干扰、致盲、毁伤敌机载光电设备以及导弹头,同时根据距离启用烟幕遮蔽干扰手段。(2)主被动对抗手段应分区域使用,防止相互干扰。激光引偏、激光压制和毁伤等主动干扰和烟幕干扰手段在不同方位和空域范围内使用,防止相互干扰,导致干扰效果降低。(3)综合系统所有手段,实现最大防护。当防御目标遭受光电制导武器攻击时,对抗系统调用所有手段和资源进行作战。

在岸海要地防御中,激光引偏干扰主要依据激光告警信息,在激光制导来袭方位实施;由于激光光束窄,激光压制、高能激光致盲/毁伤、激光引偏相互之间不会产生干扰,可并行使用,提高干扰成功概

率,保证作战效果。根据系统配备,多种干扰手段在威胁最大方位使用。无源烟幕干扰兼顾其他方位,并作为最终干扰手段使用。系统对抗战术描述见图4所示。

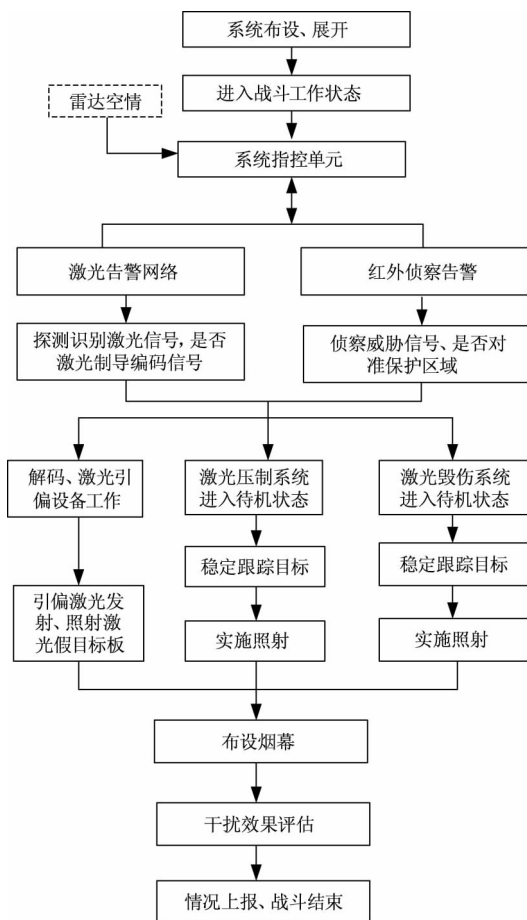


图4 对抗激光制导武器攻击战术应用

Fig. 4 Process against laser guided weapon

5 小 结

激光对抗装备是港口、岛礁防御作战中对抗激光精确制导武器的主要手段之一。由于激光对抗系统是新型装备,战术应用研究相对缺乏,与指控、电子战系统的战术协调尚属空白,因此,深入研究、积极探索激光对抗系统的作战目标特性、战术应用有着重要的现实意义。论文分析了外军典型激光制导武器的信号特征及对地攻击战术使用模式,针对海岛要地、港口等防空特点,分析了多层系全程光电对抗作战模式,提出了激光欺骗干扰、激光压制/毁伤

干扰、烟幕无源干扰等综合光电对抗手段在空间布设、使用次序的基本原则方法。

参考文献:

- [1] SUN Yanfei, YE Jiesong, HAO Yanjun. Research on counter laser-guided bomb on artillery field[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(S): 464-467. (in Chinese)
孙彦飞, 叶结松, 郝延军. 对抗激光制导武器方法研究[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(S): 464-467.
- [2] LÜ Yueguang, SUN Xiaoquan. Fundamentals and Applications of Laser countermeasures[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015. (in Chinese)
吕跃广, 孙晓泉. 激光对抗原理与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.
- [3] HAN Ronghui, WU Kai. Illustrating air to operations ground[M]. Beijing: PLA Press, 2011. (in Chinese)
韩荣辉, 吴锴. 图解空对地作战[M]. 北京: 解放军出版社, 2011.
- [4] CHEN Wei, GONG Chikun, LU Jun, et al. Selection of laserangle deceptive interference to natural objects [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(2): 452-456. (in Chinese)
陈蔚, 龚赤坤, 陆君, 等. 激光角度欺骗干扰设备对自然地物激光假目标的设置[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(2): 452-456.
- [5] SUN Chunsheng, ZHANG Xiaohui, RAO Jionghui, et al. Layout of diffuse reflection board used for laser decoying [J]. Laser & Infrared, 2013, 43(3): 252-255. (in Chinese)
孙春生, 张晓晖, 饶炯辉, 等. 激光引偏干扰中漫反射板假目标的布设方法[J]. 激光与红外, 2013, 43(3): 252-255.
- [6] WANG Haosheng, LI Dongwen. Simulation and calculation of laser-aerial bomb attack area [J]. Fire Control and Command Control, 1997(3): 7-13. (in Chinese)
汪浩生, 李东文. 激光制导航空炸弹攻击区仿真计算[J]. 火力与指挥控制, 1997(3): 7-13.