

机载激光反导武器的发展

叶文¹, 叶本志², 宦克为¹, 王蓊¹, 石晓光¹

(1. 长春理工大学理学院, 吉林 长春 130022; 2. 东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:机载激光反导武器技术在现代战争中发挥着越来越重要的作用。文章介绍了国外机载激光反导武器技术的发展历程以及装备的研制、改进情况,指出了在现代战争中发展机载激光反导武器技术的优势和重要性,重点探讨了几种机载激光反导武器技术的性能及其特点,最后论述了机载激光反导武器技术的发展动向与分析。

关键词:机载激光;反导武器;发展趋势

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A

Development of the airborne laser anti-missile weapon

YE Wen¹, YE Ben-zhi², HUAN Ke-wei¹, WANG Ji¹, SHI Xiao-guang¹

(1. Changchun University of Science and Technology The School of Science, Changchun 130022, China;

2. Northeast Research Institute of Electronic Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The airborne laser anti-missile technology plays a more and more important role in the war today. It is introduced in this paper the development of the airborne laser anti-missile technology, the practical systems, the progress and modification activities in countries all over the world. The technique performance and properties of several airborne laser anti-missile systems are analyzed. Development trend and prospect of the the airborne laser anti-missile technology are also discussed.

Key words: airborne laser; anti-missile; development trend

1 引言

机载激光反导武器系统是目前各国重点发展的高能激光武器,主要用于拦截助推飞行中的弹道导弹,也具有反巡航导弹、反飞机、飞机自卫和反卫星的潜力。2010年2月初,美军连续进行了3次机载激光器反导试验,两次成功,一次失败。2月3日,美国导弹防御局使用装备在波音747飞机上的机载激光器成功击毁了一枚探空火箭。2月11日,美国又进行了两次激光反导试验。一架从爱德华空军基地起飞的波音747飞机,在几秒钟内捕获了一枚从海上发射的液体燃料短程弹道导弹,随后发射高能化学激光将其击毁,整个过程不到两分钟。在同一小时内,该机载激光反导系统还发现、跟踪并射击了另一枚从圣尼古拉斯岛发射的固体燃料探空火箭,由此证明了美国在机载激光反导武器研制方面已取得重大进展。本文就机载激光反导武器、反导系统、发展动向、发展分析等,作进一步的研究和探讨^[1]。

2 机载激光反导武器

美国设计的机载激光反导武器系统主要由以下几个组成部分组成:①改进的“波音”747-400F飞机,它是安装机载激光武器系统的作战平台;②红外监视系统,由安装在飞机头部、尾部和机身两侧的6个红外探测器组成,用于全方位搜索弹道导弹的火箭发动机所喷出的明亮尾焰;③高功率、连续波氧碘化学激光器,用于产生拦截目标的高能激光;④光束控制/火控系统,由安装在飞机头部的激光炮塔、二氧化碳主动测距激光器、跟踪照射激光器、信标照射激光器和自适应光学系统等组成,担负目标测距、瞄准,大气补偿,以及调整和发射高能激光等功能;⑤作战管理与指挥、控制、通信系统,担负作战任务

作者简介:叶文(1967-),女,硕士,副教授,主要研究方向为光电子技术科学。

收稿日期:2010-12-28;修订日期:2011-02-21

规划和指挥、控制、通信等功能^[2]。

按照设计,一架机载激光武器系统飞机将由4名人员操作和控制。为了避开云层对红外监视系统和激光的不利影响,在执行作战任务的时候,机载激光系统飞机需要在云层之上的高度(12 km)巡逻飞行。这也就是说,机载激光武器系统只能在弹道导弹飞出云层之后才能对其进行探测和拦截。整个交战过程可以分为以下三个主要步骤完成:

(1)探测目标。利用红外监视系统全方位搜索刚刚发射的弹道导弹;当弹道导弹飞出云层顶端(高度约11.5 km)2 s后,红外探测器就可以探测到导弹尾焰的热信号;作战管理系统将根据红外探测器获得的信息,判定所探测到的目标是否是助推飞行中的导弹的尾焰。

(2)跟踪目标。一旦确定红外探测器所探测到的目标是助推飞行中的弹道导弹,作战管理系统将立即指挥机身顶部的主动测距激光器和飞机头部激光炮塔内的望远镜转向红外探测器所确定的目标方向。主动测距激光器首先锁定目标,并提供详细的目标信息(包括目标距离、发射点和落点信息);随后,跟踪照射激光器将确定目标瞄准点;信标照射激光器将测量机载激光与目标导弹之间的大气扰动,根据计算机的计算,调整和改变可变形激光反射镜的形状,补偿激光束在照射目标的途中可能遭遇到的大气扰动。

(3)杀伤目标。百万瓦级的氧碘化学激光器向目标导弹发射高能激光,让激光束聚焦在所选定的、位于导弹助推火箭上的瞄准点上,并保持足够长的时间,加热导弹助推火箭的金属蒙皮,使被高能激光照射部分的蒙皮结构强度降低,在助推火箭内部压力的作用下,直到助推火箭破裂和爆炸为止,从而实现拦截并摧毁导弹的目的。

3 反导系统

国外机载激光反导系统发展得很快,特别是美国已走在世界的前列。例如,美国机载激光反导(ABL)系统、先进战术激光(ATL)系统、定向红外对抗(DIRCM)系统^[3]。

3.1 ABL系统

美国机载激光反导(ABL)系统。系统的激光指示(BILL)由诺斯洛普·格鲁门公司研制,这种千瓦级的轻型只是用来指示目标,测试当时当地的大气对激光的扭曲,将扭曲的数据传给主控制计算机,修正杀伤激光系统地发射。

超高灵敏度跟踪激光器(被动测距系统,ARS)的新型吊舱已经安装到了ABL飞机上。机载激光

器是一种机载的定向能武器系统,安装在经过重大改进的747-400飞机上,依靠机载传感器、激光器和复杂的光学器件来发现、跟踪和摧毁处于助推段或发射段的弹道导弹。

ARS系统由二氧化碳激光器、主动和被动传感器、光学系统、万向节和各种灵敏的电子装置组成。其功能是为任务处理器提供数据,而后者利用这些信息对敌方的弹道导弹进行跟踪,并对它们进行排序,以便由ABL系统中兆瓦级的化学氧碘激光器(COIL)实施攻击。COIL在导弹的金属外壳上聚集足够的能量,使其裂开或变成碎片。

在跟踪过程中,ARS可以为ABL战场管理系统提供5个组件状态矢量。而这些数据将用来计算导弹的轨迹参数,比如估计导弹的发射点和预计弹着点。即使导弹不宜采用ABL进行攻击,也可以由弹道导弹防御系统的其他部分利用这些数据,在中段或末段攻击目标。

跟踪照射激光器(TILL)是首台通过军用飞机机载飞行认证的二极管激发镱:钇铝石榴石激光器。雷声空间与机载系统公司的TILL将与光束转换透镜结合起来,用于ABL的光束控制/火力控制系统的终端对终端试验。

TILL是光束控制/火力控制系统中一个完整的部分,用于发射高速、高能脉冲激光射向处于助推段的导弹,随后激光被发射到一个非常敏感的照相机上。得到的反射激光数据被用来获取导弹的速度和高度信息。

3.2 ATL系统

先进战术激光(ATL)系统是一个美国国防部先进概念技术演示(ACTD)项目,由美国国防部特种作战司令部(SoCoM)资助,耗资2亿美元,波音公司为主承包商。系统以V-22、CH-53或C-130等飞机为平台,主要用于防御巡航导弹,精确打击地面目标。任务重点是空地作战,在城市或郊区环境中开展军事或执法行动,可实施致命性或非致命性精确打击。

ATL系统安装的是高功率COIL激光器,总重约6吨,其输出功率为百千瓦级,激光作用距离为5~10 km,作战高度为0~1500 m,可进行5~10次发射。作战过程中,激光器从飞机腹部的一个直径为127 cm的小孔向地面目标发射直径10 cm的激光束且能够控制对目标的破坏程度。

3.3 DIRCM系统

定向红外对抗系统(DIRCM)依靠两种截然不

同的系统来防御导弹攻击,一个系统里有紫外线传感器,以检测来袭的导弹,另一个装置里有发射器,它可以向导弹的导引头发射红外光束。这两个系统被封在机身下侧的吊舱里。

该系统工作流程如下:

(1)便携式导弹被发射后会产生覆盖整个电磁频谱的各种形式能量。DIRCM 的传感器检测到紫外线后就会给发射器发送信号。未来的 DIRCM 的传感器可能探测到两个频段的红外线,这样它防御导弹的成功率就更高了。

(2)追踪器一旦收到导弹警戒系统的信号,就会追踪导弹。

(3)然后追踪器通过一个高强度气体弧光灯向导弹的导引头发射红外线光束。

(4)此时导弹的导引头就像是被强光照到“眼睛”一样。但 DIRCM 不只是简单地令导弹“失明”,它发出的激光束中有一种特殊的波形可以进入导弹导引头的导航环里,产生错误信号,使导弹的制导系统认为导弹偏离了航线。

(5)制导系统将进而调整导弹的飞行路径。

(6)导弹将最终偏离航线,不再构成威胁。

(7)这整个过程需要 2~5 s,不需要机组人员操作。一旦飞机达到大约 5500 m 的高度——大多数便携式导弹的极限射程,DIRCM 系统就会关闭,直到飞机降落时才会开启。

2010 年 11 月 1 日,美国《航空电子》网站报道:美军从去年开始为战区使用的直升机装备了激光瞄准“定向红外对抗系统”(DIRCM)保护了大量的美军直升机免受肩扛式导弹的攻击。陆军表示,“支奴干”重型运输直升机上使用的“先进战区红外对抗”(ATIRCM)系统可在受到多枚导弹埋伏的情况下做出快速反应,保护其免遭袭击。海军航空系统指挥部也表示,装备在 CH-53E 上的 DIRCM 可使其能够在先前由于导弹威胁而禁止使用的区域重新投入使用。

工业部门曾希望陆军在 10 月份发布 CIRC M 的方案征询书,2011 年年初发布两份技术开发合同。根据该计划,CIRC M 系统首次装备定于 2017 年,采购数量则定在 1076 部,装备在“阿帕奇”[美国麦道公司根据美国陆军“先进攻击直升机计划”(AAH)研制的先进攻击直升机]、“黑鹰”(美国西科斯基公司)、“支奴干”(美国波音公司研制的中型运输直升机)和“基奥瓦勇士”(美国贝尔直升机公司研制的武装侦察直升机)的后续机型上。海军及空军与陆

军联合制定了 CIRC M 系统的要求,以用于其各自的旋翼机上。海军及海军陆战队尤其希望获得一种比目前 CH-53E 使用的“大型飞行器红外对抗系统”(LAIRC M)质量更轻的导弹干扰器。

CH-53E 上装备的 LAIRC M 中 193 磅(87 kg),“支奴干”上使用 ATIRC M 重约 160 磅(72 kg)。若算上固定和支持结构,该系统的安装质量超过了 350 磅(158 kg)。

根据各军种联合制定的要求,CIRC M 的 B 型组件(干扰器)质量限定在 85 磅(39 kg),其 A 型组件(支持结构)的质量限定为:V-22、CH-47 等大型旋翼机 70 磅(32 kg)、“黑鹰”等中小型旋翼机 35 磅(15 kg)。陆军目前还没有针对有人或无人的定翼机而提出的要求。

4 发展动向

(1)Elbit 系统公司为以色列和北美客户提供激光系统。Elbit 公司网站 2010 年 1 月 22 日报道:Elbit 系统公司(ESLT)今天宣布,它已经获得价值总额约 5000 万美元的合同,为以色列国防部和北美客户提供不同类型的激光系统。公司将为以色列国防部提供激光系统,而为北美两个不同客户提供机载激光系统。Elbit 系统公司的下属 Elop 公司收到这份订单,并要在未来两年内交付^[4]。

Elop 公司是世界领先的先进激光技术开发商,研发二极管泵浦激光器和光纤激光器应用解决方案,如激光指示符、激光雷达以及基于激光的空中防御系统。这些技术促使高品质小巧轻便的激光系统得到广泛应用。

(2)诺斯罗普·格鲁曼公司演示用于美陆军红外对抗系统的光纤激光接口。诺斯罗普·格鲁曼公司网站 2010 年 4 月 14 日报道:诺斯罗普·格鲁曼公司成功将一个中红外传输光纤耦合激光器整合到红外自保护系统,该系统是为美国陆军通用红外对抗(CIRC M)项目所研发的。诺斯罗普·格鲁曼公司演示了系统的增强型模块化开放系统架构(MOSA)^[5]。

通用光纤接口机载环境的不断研发将大大促进未来激光或干扰头的技术升级。整个系统设计从下往上采用 MOSA 接口,让战士更灵活地连接到平台的其他线上替换单元(LRU)和升级独立组件,而不用替换整个系统。

到目前为止,诺斯罗普·格鲁曼公司已交付超过 2000 个 IRC M 发射器,该公司的定向红外对抗系统是目前唯一的此类飞机保护系统,保护大约 50 种

不同类型飞机免遭热导飞弹攻击。该系统通过自动探测导弹发射,确定是否对飞机构成威胁,并激活高强度激光对抗系统,以跟踪和击毁导弹。

(3)美国机载激光器的攻击距离将成倍增加。美国《每日航宇》2010年6月22日报道:从今年2月机载激光器(ABL)完成实弹拦截试验以来,波音公司又进行了多次飞行发射试验,平均每月有2次飞行试验和1次发射试验。近日波音公司透露,未来机载激光器的发射试验的距离约为实弹拦截试验的3倍甚至4倍,因为美国国防部不看好机载激光器的一个重要原因就是其攻击距离有限,载机的生存性没有保证。波音公司还将讨论在现有搭载机载激光器的波音747飞机上试验固体激光器的可行性,届时固体激光器将安装在ABL旁边,并且和ABL使用同一套光学系统。此外,美国海军将在下个月从雷声公司和波音公司中选定一个主承包商以进行自由电子激光器项目的第二阶段,该阶段将耗时15个月,激光器的功率将达到100 kW,同时需要完成系统的关键设计评审。自由电子激光器项目预计将在第三阶段进行海上演示验证试验^[6]。

(4)美国海军机载激光水雷探测系统成功进行首次试飞。中国船舶综合院2010年6月30日综合报道:6月8日,美国海军在位于巴拿马市的海军水面战中心成功进行了机载激光水雷探测系统(ALMDS)的首次系统升级飞行试验^[7]。

2010财年,美国海军共计划进行该系列试验44次,本次是系列试验中的第一次。这次试验标志着长达一年之久、为提升ALMDS探测性能而进行的多相位软件/算法升级正式完成。

在过去的一年中,来自政府部门和工业部门的技术团队极大改善了ALMDS的自动目标识别算法,从而显著提高了系统性能。首次试飞获得成功也成为了一次意义非凡的里程碑式的事件,为美国海军2011财年进行项目的作战评估做好了准备工作。

随着今年成功进行各项性能的演示,ALMDS将在2011财年初开始进入最终开发试验阶段,2011财年末进入作战评估阶段,在2012财年的第一季度实现初始作战能力。

AN/AES-1 ALMDS是一种利用机载激光器来进行水雷反制措施的一种武器系统,覆盖范围极大,搭载平台为MH-60S直升机。该系统利用条纹管成像装置以及激光定位器(LIDAR)来探测、区分并定位漂浮在海面或近海面的系留水雷。ALMDS是反

水雷战中的关键组件,同时也是近海战斗舰(LCS)的重要装备。

(5)美国“机载激光试验台”即将进行射程增大一倍的导弹拦截试验。美国《空军杂志》网站2010年8月17日报道:美国导弹防御局(missile defense agency,MDA)局长帕特里克·奥莱利(Patrick O'Reilly)中将于本周二向外界透露,“机载激光试验台”(ALTB,以前被称为“机载激光器”ABL)将于太平洋时间周二晚上在加利福尼亚州附近海面进行下一步的助推段弹道导弹拦截试验。据奥莱利透露,在即将进行的这次拦截试验中,ALTB发射的兆瓦级激光束在保持同等威力的情况下,其射程将比今年2月的那次试验增大一倍^[8]。

在今年2月的拦截试验中,ALTB曾在太平洋上空击落了一枚模拟“飞毛腿”(Scud)战术弹道导弹的靶弹,当时的射程超过了50英里(约80 km,但其精确数值至今仍然没有透露)。奥莱利表示,MDA官员正是根据该次试验的数据得出了ALTB的射程还可增大一倍的结论。他同时还援引部分分析家的话说,今后“ALTB的射程还可以进一步加大”。

(6)印度研制激光反导系统。美国《防务新闻》网站2010年8月25日报道:印度科学家正在研制名为“定向能武器”(DEWs)的激光反弹道导弹系统。DEW武器由印度国防研究与发展组织(DRDO)开发,可通过亚原子微粒或电子波轰击的方式摧毁来袭的弹道导弹^[9]。

一位DRDO科学家表示已经测试过这类激光武器,其中就有一款防空照射武器,可攻击10 km射程内的飞机和直升机。该武器将在两年内投入使用。

印度研发的激光武器可安装在海军的潜艇和巡洋舰以及空军的战斗机和运输机上。

据这位科学家透露,DEW激光武器可发射25 kW的脉冲激光束,能够在7 km的距离内摧毁弹道导弹。

此外,印度科学家正在测试本土研制的“大地”(Prithvi)反导系统,该系统可拦截80 km高度的弹道导弹。首阶段的“大地”可能将在2013年投入使用。科学家同时还致力于研发第二阶段的“大地”,使其具备拦截洲际弹道导弹的能力。

(7)控制阀故障导致美国机载激光测试台近期拦截试验失败。美国《空军杂志》网站2010年10月25日报道:美国导弹防御局(MDA)近日宣布,机

载激光测试台(ALT B,以前称为机载激光器 ABL)在10月21日进行的一次助推段弹道导弹拦截试验中,可能是由于控制阀出现故障的原因,试验没能达到预期目的^[10]。

据美国导弹防御局透露,这次试验是在加利福尼亚州附近海面上空进行的,按计划 ALT B 将会使用兆瓦级激光束击落一枚作为靶标的固体燃料短程导弹。在试验中,当靶弹顺利发射升空后,尽管 ALT B 上的传感器捕获到了导弹的尾焰并且一直保持跟踪,但是 ALT B 没能转入到主动跟踪状态,因此没能发射高能激光束击落目标。美国导弹防御局已表示将会就此展开调查,分析 ALT B 为什么没能转入主动跟踪状态,目前初步判断其原因是当时激光系统内的某个控制阀暂停了工作。

5 发展分析

机载激光武器的发展趋势,主要包括:①研制开发高功率短波长固体激光器;②继续研制开发化学激光武器;③相位共轭技术;④采用非冷却光学系统^[11]。

(1)发展高功率短波长固体激光器。采用波长更短的新一代激光器,使所需的杀伤能量及激光功率减小到普通型的1/25~1/50,从而获得最高的能量效率。

例如,短波长固体激光器的二极管泵浦技术。该技术已经演示了能够显著提高效率、大大减小激光器热负载。而固体激光器的热容量运行,这使得激光器能够在短暂的交战期间内根据需要产生高输出功率。发展得当的话,在不采用冷却措施的运行中,这种方法应能实现每立方厘米激光材料产生高于500 J的激光输出。在每次交战所需能量为40 kJ及热弹仓允许进行10次交战(400 kJ的激光输出)的情况下,所需激光材料的体积将是800 cm³,质量小于4 kg。这10次交战中每两次之间的冷却时间将为1~2 min。

目前,雷声公司正在发展攻击小型空中目标(如巡航导弹、攻击机等)的高功率固体激光器。该公司计划将现有的25 kW固体激光器放大成100 kW激光器,并采用相位耦合镜片,对激光器自身产生的光行差和由发射平台与目标之间的大气造成的光行差进行修正。该激光器经过小型化之后可装备战术飞机,可直接向目标发射激光,也可经由装在系留气球或无人机上的计算机控制的中继镜片,将平台发射的激光引向所需攻击的目标。

美国《军用航宇电子》网站近日报道:诺·格于

2010年9月27日获得了一份美国陆军空间与导弹防御司令部900万美元的合同,将进行军用固态激光技术的效率提升研究。

该合同属于国防部旨在提升电子激光水平的“耐用电子激光倡议”(RELI)项目。RELI是开发用于更高效、更轻巧系统的下一代军用激光技术的第一步。其他 RELI 合同最近还授予了洛·马与雷神。它们将开发高效高功率电子驱动激光系统,可用于陆海空基的可扩、耐用军用雷达模块。最后,两家公司将建造实验室级的激光器,可媲美武器系统应用。

陆军空间与导弹防御司令部/陆军战略部队司令部授予诺·格一份初始的2年期合同,价值880万美元,还有进一步扩展至5年的合同,价值5330万美元。RELI项目旨在将系统效率提升到30%以上,同时保持良好的光束质量,功率水平可用25 kW扩至100 kW,而所有这些都打包进一个军用平台中。固态激光系统目前的效率是20%。

(2)发展化学激光武器。化学激光器通过化学反应产生的能量转换成激光光子,是迄今为止最成熟的激光武器技术。化学激光器又可分为氟化氢(HF)激光器、氟化氘(DF)激光器和氧-碘激光器(COIL)。作为激光武器家族的“重型火炮”,化学激光器功率非常强大,但需要大量的化学燃料并产生大量废气。化学激光武器可在单波长(ABL的1.315 μm波长)或在多个波长(如“空中卫士”的3.6~4.2 μm波长)上工作。

例如,当前欧美等国都倾向于应用高能化学激光器。化学激光器在各类激光器中亮度、连续平均功率最高,输出功率最高达兆瓦级。在波段及化学激光器应用方面,现有波长1.31 μm的氧化碘(IO)、2.8 μm的氟化氢(HF)及3.8 μm氟化氘(DF)三种激光器。氧碘型高能激光器的工作波段低于水蒸气吸收截止波长(1.72 μm),可用于机载或地面作战平台(如空军机载激光器采用氧碘型),氟氢型的波段正处于大气吸收严重的2.6~3 μm范围内,用于天基反导武器,而氟氘型的波长正处于3.6~4 μm大气窗口波段,用于舰载及陆军的综合反导武器。

(3)相位共轭技术。激光武器内或激光武器与目标之间相位共轭技术,用于对光程畸变进行补偿并产生近衍射限光束。在机载激光器计划中得到经验,即利用目标在回路中的自适应光学系统进行大气补偿的经验,在这里同样适用。

例如,美国代号为 AL-1 的机载激光武器首先用红外搜索跟踪装置探测在助推段飞行的战区弹道导弹排放的尾焰,粗略地测定目标位置,然后打开多光束激光照明器(通常采用二极管泵浦固体激光器,波长 $1.06\ \mu\text{m}$)照亮来袭导弹弹体,这一由探测导弹尾焰转换成探测弹体的过程称硬弹体移交过程,并转换为激光照明器主动跟踪过程。再由高分辨率红外成像传感器精确确定导弹尾焰位置,从而转入跟踪恢复过程,与此同时,高分辨率红外传感器探测飞行中的导弹锥形头部,并使多光速激光信标器(通常也使用二极管泵浦固体激光器)瞄准该锥形头部测量反射的激光束,求得由于飞机振动、大气湍流和激光光学装置受热造成的光学畸变,然后将修正参数输入到自适应反射镜进行光学畸变修正,以补偿对激光散焦和瞄准精度造成的影响。在完成自适应补偿后,发射杀伤激光束,破坏导弹的燃料箱。

目前,AL-1 激光武器系统的反射镜采用无冷却的单晶硅反射镜,孔径为 $25\ \text{cm}$,间距 $1\sim 2\ \text{cm}$ 的制动器可使反射镜面变形达 $8\ \mu\text{m}$,以保证足以修正光学畸变。

(4)采用非冷却光学系统。非冷却光学系统,可降低光束定向器的成本和质量。随着超低吸收率反射镜镀层的发展,非冷却光学系统将是可能的。

6 结束语

面对导弹的各种反激光措施,实现“强化辐照,加速损伤”已经成为机载激光武器的一个重要研究发展主题。未来机载激光反导武器也将在高反射镜技术、化学激光器,固体激光器等技术领域进行重点发展。目前,美军还在考虑扩大机载激光系统的用途范围。在民用航空领域,美国、英国与以色列等国,几年来一直进行客机激光反导系统试验。并计划在客机上装备激光反导系统,从而防范针对飞机的导弹恐怖袭击^[12]。

参考文献:

- [1] Ren Guoguang. Current situation and development trend of high energy laser weapon [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2008, 45(9): 62-69. (in Chinese)
任国光. 高能激光武器的现状与发展趋势 [J]. *激光与光电子学进展*, 2008, 45(9): 62-69.
- [2] Ren Guoguang, Huang Yunian. Developing status and future of airborne laser weapon [J]. *Laser & Infrared*, 2005, 35(5): 309-314. (in Chinese)
任国光, 黄裕年. 机载激光武器的发展现状与未来 [J]. *激光与红外*, 2005, 35(5): 309-314.
- [3] Yang lei, Du ro. Significant progress plan of the airborne laser weapon in america [J]. *Maneuverable Missile*, 2010, (6): 15-16. (in Chinese)
杨磊, 杜若. 美国机载激光武器计划取得重大进展 [J]. *飞航导弹*, 2010. (6): 15-16.
- [4] Provides laser system for Israel and north american customers elbit systems company [N]. *Daily defence flash*, 2010-1-28. (in Chinese)
Elbit 系统公司为以色列和北美客户提供激光系统 [N]. *每日防务快讯*, 2010-1-28.
- [5] Optical fiber laser interface for american army ir system in northrop grumman demonstration [N]. *Daily defence flash*, 2010-4-22. (in Chinese)
诺斯罗普·格鲁曼公司演示用于美陆军红外对抗系统的光纤激光接口 [N]. *每日防务快讯*, 2010-4-22.
- [6] Attack range will increase exponentially of the airborne laser america [M]. *Development research centre of China aviation industry*, 2010. (in Chinese)
美国机载激光器的攻击距离将成倍增加 [M]. *中国航空工业发展研究中心*, 2010.
- [7] The success of the first test flight of the airborne laser mines detection system navy america [N]. *Daily defence flash*, 2010-7-6. (in Chinese)
美国海军机载激光水雷探测系统成功进行首次试飞 [N]. *每日防务快讯*, 2010-7-6.
- [8] Intercept missiles test of the upcoming range a doubling in “the airborne laser test-bed” of the United States [N]. *Daily defence flash*, 2010-8-23. (in Chinese)
美国“机载激光试验台”即将进行射程增大一倍的导弹拦截试验 [N]. *每日防务快讯*, 2010-8-23.
- [9] Abm system of laser in developed India [N]. *Daily defence flash*, 2010-9-1. (in Chinese)
印度研制激光反导系统 [N]. *每日防务快讯*, 2010-9-1.
- [10] Failure control valves to recent intercept tests of the fault of American testboard airborne laser [N]. *Daily defence flash*, 2010-11-8. (in Chinese)
控制阀故障导致美国机载激光测试台近期拦截试验失败 [N]. *每日防务快讯*, 2010-11-8.
- [11] Liu zhichun, Su zhen, Yuan wen, et al, Development trends and analysis of the laser anti-missile weapons [J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(9): 914-917. (in Chinese)
刘志春, 苏震, 袁文, 等. 激光反导武器的最新动向与分析 [J]. *激光与红外*, 2009, 39(9): 914-917.
- [12] Song yaping, liu liping. Overview of laser weapon and missiles with laser countermeasure [J]. *Laser & Infrared*, 2008, 38(10): 967-970. (in Chinese)
宋亚萍, 刘莉萍. 激光反导与导弹反激光措施综述 [J]. *激光与红外*, 2008, 38(10): 967-970.