

文章编号:1001-5078(2019)02-0137-06

· 综述与评论 ·

美国机载激光武器发展 - ABL 计划

刘李辉¹, 谭碧涛¹, 张学阳¹, 贺波²

(1. 航天工程大学, 北京 101416; 2. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要:介绍了美国机载激光武器(ABL)计划,分析了ABL武器的组成、工作原理、战技指标和作战运用设计,进而从概念设计、技术验证、分系统集成测试和全系统综合试验四个阶段总结回顾了ABL计划的发展历程,最后从技术制约、作战运用、政策变化、运营管理四个方面探讨了ABL计划失败的原因,并从风险控制、关键技术评估、全寿命需求论证与考核等方面给出了研制发展高新技术武器的启示。

关键词:机载激光武器;高能激光武器系统;弹道导弹防御

中图分类号:TJ95 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2019.02.002

The airborne laser project in the United States

LIU Li-hui¹, TAN Bi-tao¹, ZHANG Xue-yang¹, HE Bo²

(1. Space Engineering University, Beijing 101400, China; 2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: The airborne laser (ABL) projection of the United States is introduced in this paper. The composition, operation principle, technical and tactic target, battle concept for ABL weapon are summarized. The developing process for ABL project is reviewed from four stages: conceptual design, technical verification, subsystem integration test and overall system integration test. Then, the reasons for the failure of ABL plan are discussed from four aspects: technical restriction, operational application, policy change and operation management. Finally It gives some enlightenment on the development of high-tech weapons from the aspects of risk control, key technology evaluation, life-span demand demonstration and assessment.

Key words: the airborne laser project; high energy laser system; ballistic missile defense

1 前言

自1960年世界上首台激光器问世以来,激光技术就受到广泛关注,并逐渐在各个领域得到应用。激光由于具有能量集中度高、传输速度快、作用距离远、可重复性强、作战效费比低等特点,迅速引起军界重视并应用于军事领域,美国陆军、海军、空军均根据其自身特点发展了不同类型的激光武器^[1-3]。早在20世纪70年代,美国空军已经开始开展名为“机载激光实验室”(ALL)的研究计划,用于演示高能激光拦截空中目标的技术可行性,并于1983年成

功完成了反响尾蛇导弹试验^[4],而后该计划由于诸多技术指标不满足作战条件而在1984年被迫停止。

前苏联解体后,在地区性冲突和局部战争成为军事斗争主要形态的背景下,美国将激光武器发展的重点从战略应用转向了技术较成熟的、可尽快部署的战略防御、战区防御和战术防空等方面。美国ABL计划在美国空军推动下于1992年应运而生,旨在研制出装载高能激光武器的作战飞行平台,与大气层外反敌方导弹防御系统及大气层内反敌方导弹系统一起构成多层联合导弹防御系统,用于摧毁助

推段弹道导弹。波音公司是 ABL 计划研制小组的牵头公司,负责监督战斗管理系统的开发、武器系统综合以及提供改进的载机;洛克希德·马丁公司负责开发鼻锥转塔、光束控制/火力控制系统;TRW 公司负责研制高能激光器^[1]。

2 武器概况

2.1 组成及工作原理

ABL 武器主要由飞行平台(波音 747-400F 飞机)、战场管理系统(主/被动红外传感器)、高能激光器装置(氧-碘化学激光器)和跟踪瞄准系统(光束控制装置)组成^[5]。

飞行平台是一个经过改装的商用波音 747-400F 货运飞机,其前端安装了跟踪单元和 1.5 m

的望远镜,飞机地板和底部采用了高强度耐高温设计;战场管理系统具有有源/无源侦察、威胁排序、杀伤评估、联合战区互用、自防御组合等功能,其中无源侦察传感器是改进的 F-14 红外搜索和跟踪传感器,有源侦察系统是一个改进的 LAN-TIRN 光电目标瞄准吊舱;高能激光器装置采用 COIL 技术,由 14 个功率模块组成,可产生几兆瓦功率的激光;跟踪瞄准系统是控制光束、保证远场聚焦特性以提高到靶功率密度的关键系统,主要涉及尾焰红外特征捕获技术、自适应光学技术、主动跟踪弹体技术等。

2.2 主要战技指标

ABL 武器主要战技指标如表 1 所示^[6-7]。

表 1 ABL 武器主要战技指标

Tab. 1 The maintechnical and tactic target of ABL weapon

序号	指标类型	指标名称	指标内容
1	技术指标	主激光波长	1 ~ 2 μm , 标准波长 1.315 μm
2		激光功率	化学氧-碘激光器 2 ~ 3 MW
3		照明激光波长	1.06 μm (Yb:YAG 激光器)
4		测距激光波长	11.16 μm (二氧化碳激光器)
6		发射频度	一次加足燃料可射击 20 ~ 40 次
7		单次出光持续时间	3 ~ 5 s
8		单次出光成本	1000 美元
9		目标跟踪与瞄准误差	亚微弧度(0.1 μrad)
10		发射镜直径	1.5 m
11		战术指标	作战平台
12	系统巡航高度		12 ~ 15 km
13	系统巡航时间		每次 12 ~ 18 h, 可在空中加油
14	作战射程		300 ~ 600 km
15	一次作战需要时间		12 s(从捕获到摧毁和评估)
16	每次攻击间隔时间		1 ~ 2 s
17	作战能力		可击毁同时发射的 3 枚弹道导弹和间歇发射的 5 ~ 10 枚导弹

2.3 作战运用

ABL 武器作战运用模式在战备值班和作战实施存在较大不同^[8]。在战备值班阶段,以 2 架为一个班次进行巡航值班,每个班次 8 h,为了尽可能降低反应时间,2 架值班飞机在空中巡航时,要始终保持有 1 架能够面对监视区域,3 个班次 6 架飞机可以 24 h 值班,1 架次备用,可形成对单个战区全天时全天候监视,削弱敌方弹道导弹作战能

力;在作战实施阶段,由 7 架飞机组成的作战机群中至少有 5 架飞机部署在军事危急区域,这 5 架飞机可形成两条反导轨道(形成 24 h 的作战能力需要 7 架飞机),携带足以进行 200 次发射的燃料,载机至少能在空中待命飞行 6 h 且无需加油,每次任务飞行时间为 12 ~ 18 h,能够摧毁具有威胁的 29 种导弹中的任何一种。在部署 5 架飞机构成作战机群时,需要一架 C-17 运输机和至少 2 架空

中加油机的保障。

ABL 武器作战时,在作战管理与指挥控制系统作用下,捕获、跟踪、锁定目标,最后发射高能激光攻击,击毁在助推段的弹道导弹。具体作战过程如下:

(1) YAL-1A 激光武器飞机在距离前线 300 ~ 400 km 区域的己方一侧高空巡逻;

(2) 当侦察或预警系统发现敌方发射弹道导弹后,立即通过数据链将威胁数据传输至 YAL-1A 激光武器飞机;

(3) 接收到数据后,机上 360° 视场红外探测系统探测跟踪目标,并用多光束激光照明器照射目标,在测算出目标作用距离的同时,用高分辨率成像器进行成像以获取更好的跟踪数据;

(4) 发射信标光测量大气路径像差数据,并利用自适应校正系统实时补偿大气畸变;

(5) 通过安装在机头转塔内直径为 1.5m 的反射镜将主激光集中于助推段的弹道导弹燃料箱摧毁目标。

3 发展历程

ABL 计划从产生到最后被调整,共经历了近 20 年时间,可分为四个阶段:概念设计阶段、技术验证阶段、分系统集成测试阶段和全系统综合试验阶段。

3.1 概念设计阶段

为验证技术可行性,美国国防部组织相关科研部门在激光大气传输、光束控制、激光与靶目标相互作用、非制冷光学部件等方面开展了大量研究工作,完成了各类演示验证试验,证明了大气畸变补偿、主动跟踪助推段弹道导弹、机载激光摧毁弹道导弹等技术可行性。

3.2 技术验证阶段

该阶段开展了多项关键技术攻关及验证工作,主要包括飞行重量激光器模块设计、鼻锥转塔和激光排气系统设计、激光器的缩比激光束控制技术、单个机载激光器模块出光技术、可变形反射镜设计制造技术、大带宽控制回路技术等,以上工作促成了 ABL 结构设计的确定。

虽然在技术取得了较大突破,但期间的几次合同修改和总体试验计划延后让美空军失去了对 ABL 计划的管理权,最后由弹道导弹防御局(MDA)

接管。

3.3 分系统集成测试阶段

先后开展了飞行平台首次试飞、振动测试、武器系统部组件集成、功能模块性能测试等测试,部分核心功能模块指标未能达到设计指标,为此,在该阶段导弹防御局对 ABL 计划做出了重大调整,降低了机载激光的目标,延长了样机研制时间,调整的主要内容有^[9]:

(1) 推迟采购第二架飞机和“铁鸟”地面试验台研制;

(2) 不再要求样机在 2004—2005 年具有“应急能力”;

(3) 把计划重点集中在实现 6 模块激光器出“第一光”和束控/火控飞行试验;

(4) 开展进一步的地面和飞行试验,包括扩大对付更广泛目标的能力,并把它纳入到多层弹道导弹防御系统中。

3.4 全系统综合试验阶段

先后完成了 6 模块 COIL 激光器首次出光和后续的压力及流量调试,搭载了光束控制/火力控制系统的飞机平台试飞,为期 8 个月的静态飞行试验任务,虚拟导弹击毁试验任务,对助推段导弹靶标跟踪试验,指向精度以及捕获/跟踪和大气补偿功能验证试验,固体燃料战术导弹“小猎狗-黑雁”和液体弹道导弹“飞毛腿 B”拦截试验。2011 年,五角大楼宣布机载激光武器项目由防务研究和工程机构接收,这标志着美国 ABL 计划的失败。

ABL 计划发展中的各阶段主要事件详见表 2^[1,4,6,8,10-11]。

4 失败原因

ABL 计划从开始的雄心勃勃到最后的惨淡收场,分析其失败原因,主要有技术制约、作战运用、政策变化和运营管理四个方面。

4.1 技术制约方面

①重量问题:在设计之初,武器系统计划安装 14 个激光器模块,重 79.5 t,而实际样机中仅 6 个模块已达 82 t;按照单次加注燃料后的出光发次及时长,飞机平台携带的燃料重量就高达 20 t;在保证功能实现前提下,光束控制/火力控制系统(包括旋转炮塔)重达 7 ~ 8 t。

表 2 ABL 计划发展中的主要事件
Tab. 2 The main affairs of ABL projection

序号	阶段	时间	实施内容		
1	概念设计阶段	1992—1996 年	美国空军牵头进行武器系统概念设计		
2			美国空军与波音公司、TRW 公司和洛克希德·马丁公司签署概念研制合同		
3	技术验证阶段	1996—2001 年	1996 年 6 月,成功进行两次主动跟踪助推段飞行的弹道导弹试验,验证了主动跟踪的可行性		
4			1997 年 2 月,机载激光器模块的重量指标通过关键设计评审		
5			1998 年 1 月,波音公司组织开展了一个月的系列风洞试验,确定了影响机载激光器性能的关键部件的设计		
6			1998 年 4 月,完成了机载激光器的缩比激光束控制分系统的性能演示试验,成功演示了激光束精确快速瞄准和聚焦来袭导弹的能力		
7			1998 年 6 月,数十万瓦级的单氧碘化学激光器模块首次进行了地面出光试验,持续时间 5s,输出功率超过设计值 10%		
8			1999 年 7 月至 9 月,完成了水平路径的激光大气补偿试验,表明经自适应光学补偿的激光比未补偿的光斑减小了 5~20 倍		
9			2000 年 1 月,计划装备 ABL 的首架机体在肯塔基州的威奇托进行改装		
10			2000 年 4 月,美国国防部会同空军、弹道导弹防御局和有关研制单位对 ABL 计划进行了最终设计审查		
11			2000 年 9 月,成功进行了“非合作动态补偿实验”,演示了高性能自适应光学和边缘跟踪技术		
12			2001 年 11 月,美国弹道导弹防御局从美国空军拿到了该计划的管理权		
13			分系统集成测试阶段	2001—2004 年	2001 年末,在改造后的 747 飞机上安装相关部组件
14					2002 年,雷声公司向洛克希德·马丁公司交付了首台用于 ABL 导弹防御项目的跟踪照射激光器(TILL)
15	2002 年 7 月,组装后的飞机平台进行了首次飞行测试,飞机出现了振动,研制小组对其顶部进行了重新设计				
16	2002 年 11 月,雷声公司在—台 TILL 系统的衍生型上展开了技术改进工作,以提高该系统的性能和精确度,同时开展了备件的生产工作				
17	2002 年 11 月,洛克希德·马丁公司交付爱德华兹空军基地一套测试好的光束控制/火力控制系统				
18	2002 年 12 月,第一次在爱德华兹空军基地系统集成实验室的 747 机身里安装了全部 6 套激光组件				
19	2003 年,五角大楼给 ABL 项目增加了 2.42 亿美元以补偿费用增长问题,同时美国审计总署指出“由于机载激光武器系统的执行部门未能对该项目涉及的技术复杂性做出正确评估以及制定相应的预算”				
20	2004 年,导弹防御局对 ABL 计划做出重大调整,降低了机载激光的目标,延长了样机研制时间				
21	全系统综合试验阶段	2004—2011 年	2004 年 11 月,6 模块氧碘化学激光器在美国爱德华兹空军基地的系统综合实验室进行了首次成功出光		
22			2004 年 12 月,光束控制/火力控制系统安装在 YAL-1A 激光武器上并进行了首飞,首飞 22min 后系统出现告警,几日后再次飞行,取得成功		
23			2005 年 7 月,美国空军宣布 YAL-1A 激光武器飞机完成了为期 8 个月的静态飞行试验任务,包括:飞行中放下激光炮塔及瞄准系统、验证飞机的静态导弹发射探测传感器和交战软件、飞行中采集各类分系统数据、验证通信设备可靠性等		
24			2007 年,YAL-1A 成功完成击毁虚拟导弹的试验任务		
25			2009 年 6 月,YAL-1A 成功完成两次对助推段导弹靶标的跟踪试验		
26			2009 年 8 月,光束控制/火控系统成功实现了利用一束低能激光对一个带有测量装置的助推段导弹目标的聚焦和定向,验证了该系统的指向精度以及捕获、跟踪和大气补偿功能		
27			2010 年,ABL 系统成功拦截了固体燃料战术导弹“小猎狗-黑雁”和液体弹道导弹“飞毛腿 B”		
28			2011 年,五角大楼宣布导弹防御局不再管理机载激光武器项目,该项目将由防务研究和工程机构接收,并被用做定向能武器测试平台		

②作战射程问题:武器系统设计指标为 300~600 km,而兆瓦级激光束在热晕和湍流影响下,发散趋势严重,最终样机射程在 80~90 km,这严重限制了武器的军事用途。

③大气干扰补偿问题:在 12~15 km 的高度作战,激光受大气吸收/散射、大气湍流和激光热晕效应影响很大,功率损耗过多,光束质量亏损严重,虽然在自适应光学控制下能够改善上述缺损,但基于

当时的技术水平来说,提升效果不明显,这也从根本上制约了武器作战效能。

④光束抖动控制问题:飞行平台在空中受气流影响会出现不同程度无规律的颠簸,加之在出光攻击时压力恢复系统启动所引入的具有复杂频率特性的抖动,严重影响武器的瞄准性能,即使在捕获跟踪瞄准技术和自适应光学控制下能够取得一定程度的补偿效果,但很难达到设计指标的亚微弧度量级。

4.2 作战运用方面

ABL 武器在作战过程中必须尽可能接近弹道导弹发射区,而其自身防御能力有限,战场生存能力很弱,在现代信息化战争中,敌方对一个逼近自己空域且生存能力很弱的目标,具备多种手段方法将其逼退或摧毁。

同时,在 ABL 武器担负战备值班巡逻,在对单个战区进行 24 h 监视过程中,敌方利用多种技术手段很容易摸清武器系统战备巡逻规律,可提前做好攻击或防御方案,变被动为主动,以抵消其武器系统的战略优势。

此外,为支持武器的作战应用,须配置强大的保障支撑力量,主要包括:长期驾驶大型飞机经验的若干名飞行员、相关知识背景和操作能力的作战人员、专业的技术团队和维修人员、大量的化学燃料和油料、充足的关键部组件备件及一定技术要求的存储设备等,ABL 武器的特殊性使其在维护保养、军事训练、外部协作、故障维修等费用上要比一般成熟型装备高。

4.3 政策变化方面

奥巴马政府执政后,着眼降低研发风险,提高系统可靠性和作战效费比,“经济可承受、可验证、能对威胁做出快速反应的反导体系”成为武器装备研究原则,在这一标准影响下,经费超支严重的 ABL 计划成为被调整的重点项目;在当年美国经济持续萎靡、美元贬值、工人失业大背景下,奥巴马政府不得不对国防预算慎之又慎,对导弹防御系统建设方面做出重大调整,提出在控制研发成本的同时确保部署系统的实战可靠性,将发展的重点倾向于成熟可靠的中/近程弹道导弹防御系统、装载了“标准 - 3”拦截弹的宙斯盾弹道导弹防御系统和“末端高空区域防御”系统,而放缓了 ABL 计划,并终止了动能拦截弹计划和多拦截器项目。

4.4 运营管理方面

ABL 计划从预研立项到研制集成,缺乏科学的规划和严格的管理,没有预见到该项目的复杂性和风险性,其本身存在对系统复杂性估计不足、过快进入样机研制、关键技术攻关不彻底、特殊部件和软件开发耗费过大耗时较多等问题,致使该项目总体计划一再推迟,研制费用不断攀升,承诺过多而兑现较少,引发了美军和国会的强烈不满。

5 启示

5.1 建立科学的技术可行性分析标准体系以降低研制风险

美国政府责任署(GAO)早在给国会的一份报告中认为,ABL 计划的 7 项关键技术中只有激光器的高功率光束技术是成熟的,其他不成熟的 6 项技术是:6 模块激光器、导弹跟踪、大气补偿、透射光学部件、光学镀膜和抖动控制^[12]。而在 ABL 计划概念设计阶段,项目组对以上关键性技术的复杂性重视不够,只关注了原理层面的可行性,而忽视了当时技术工艺能否满足军方提出的研制指标要求,导致了部分核心参数不达标,任务进度多次延期,不得不调整预定计划,降低设计要求。所以研制基于高新技术的武器装备前,技术可行性分析工作尤为重要,论证必须充分,设计指标必须分解细化,论证工作不能“只讲原理,不论工艺”、“只重演示,忽视细节”,建立科学的可行性分析标准体系在此显得尤为重要。

5.2 评估关键技术进展,设立进入样机研制标准

高新技术武器装备的产生直至成熟,一定是在关键技术得到突破的基础上实现的,“不讲科学,只管进度”的项目推进模式只会将问题放大化地在后期综合试验中表现出来,到时候所面临的境遇只能是“食之无味,弃之可惜”。过快地进入样机研制生产成为 ABL 计划一个重要的失误点,也是造成后续研制经费螺旋式攀升的关键性因素,更是美国政府对该计划诟病的重要原因之一。定期对关键技术进展情况进行评估,科学分析关键技术试验级应用的薄弱环节,针对项目特点和计划设立进入样机研制标准,可有效规避从分系统测试到全系统集成所引入的技术风险。

5.3 基于全寿命需求论证与考核,强化武器作战能力、突出武器作战运用

武器系统从根本上是要能够应用于作战的,武

器的产生依赖于科学规律、先进技术、加工工艺等,武器的作战能力则要靠系统的可靠性、安全性、维修性、测试性、保障性、环境适应性等,以院校、研究所为研究主体的研制单位关心更多的是先进技术的实现与突破,忽视武器的作战运用、生存能力、隐蔽设计、效果评估等,需要负责研制项目的军事主体单位把需求提清楚,对项目程序形成规范,对研制过程严格把关,按照“六性三化”标准对武器装备全阶段、全寿命进行考核,同时着力培养懂管理、善谋划、精技术的复合型人才。

参考文献:

- [1] XIANG Zhaojun, YANG Baoli, YANG Hongling, et al. Development of airborne laser system[J]. Applied Optics, 2004, 25(2): 7-10. (in Chinese)
项兆军, 杨保利, 杨红龄, 等. 美国 ABL 计划的新进展[J]. 应用光学, 2004, 25(2): 7-10.
- [2] REN Guoguang. Developing status of ground-based anti-satellite laser and atmospheric compensation experiment[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(1): 3-9. (in Chinese)
任国光. 地基激光反卫的发展现状与大气补偿实验[J]. 激光与红外, 2007, 37(1): 3-9.
- [3] XU Dawei. Development trend and analysis of the shipborne laser weapon abroad[J]. Ship Electronic Engineering, 2012, 32(1): 7-9. (in Chinese)
徐大伟. 国外舰载激光武器的发展动向与分析[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(1): 7-9.
- [4] WANG Jianhua, ZHANG Donglai, LI Xiaojiang, et al. Analysis of the research plan and adjustment of American space-borne and airborne anti-missile laser[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(4): 355-359. (in Chinese)
王建华, 张东来, 李小将, 等. 美军天基和机载激光反导研究计划及调整分析[J]. 激光与红外, 2012, 42(4): 355-359.
- [5] GUO Jin, SHAO Junfeng. Technical overview of airborne laser weapons[J]. OME Information, 2010, 27(11): 1-6. (in Chinese)
- 郭劲, 邵俊峰. 机载激光武器技术发展探讨[J]. 光机信息, 2010, 27(11): 1-6.
- [6] YUAN Dafa, TANG Yong. Development of high-energy laser weapon systems in the United States[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2004, 41(12): 15-18. (in Chinese)
袁大发, 唐勇. 美国研制的高能激光武器系统[J]. 激光与光电子学进展, 2004, 41(12): 15-18.
- [7] ZONG Siguang, WU Ronghua, CAO Jing, et al. Developments and trends of high energy laser weapons[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50, 080016. (in Chinese)
宗思光, 吴荣华, 曹静, 等. 高能激光武器技术与应用进展[J]. 2013, 50, 080016.
- [8] WAN Dongsheng. Briefing of ABL project in the United States[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2006, 43(3): 28-31. (in Chinese)
宛东生. 关注美国机载激光武器(ABL)计划[J]. 激光与光电子学进展, 2006, 43(3): 28-31.
- [9] 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.
- [10] SHE Hui, TAN Sheng. Development and application prospects of high-energy laser weapon[J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, 31(3): 267-271. (in Chinese)
余辉, 谭胜. 高能激光武器的发展和应用前景[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(3): 267-271.
- [11] REN Guoguang, HUANG Yunian. Developments and challenges for American high-energy laser weapons (Part 2)[J]. Laser Technology, 2001, 25(5): 321-327. (in Chinese)
任国光, 黄裕年. 美国高能激光武器的发展及其面临的挑战(下篇)[J]. 激光技术, 2001, 25(5): 321-327.
- [12] DUFFY T. GAO review gives mayor missile defense programs fair to low marks[J]. Inside Missile Defense, 2004, 10(8): 6-7.