

文章编号: 1001-3806(2005)01-0001-04

导弹防御计划的调整与机载激光未来的发展

任国光

(北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088)

摘要: 评述和分析了美国对导弹防御计划的调整及其带来的影响, 特别介绍了机载激光武器的未来发展。

关键词: 国家导弹防御系统; 机载激光 (ABL); 高能激光器; 动能拦截弹

中图分类号: E928.9 文献标识码: A

Restructuring of missile defense program and future development of airborne laser weapon

REN Guoguang

(Beijing Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

Abstract This article reviews and analyzes the restructuring of missile defense programs and its impact, particularly the future development of the airborne laser weapons.

Key words national missile defense system; airborne laser (ABL); high energy laser; kinetic energy interceptor

引言

在 90 年代初的海湾战争中, 伊拉克使用了飞毛腿导弹攻击美军在一些阿拉伯国家的基地, 这种短程战区弹道导弹曾使美军胆战心惊, 促使美军强调防御这种导弹的重要性。13 年过去了, 伊拉克再没能发射这种战区弹道导弹。与此同时, 随着战区弹道导弹射程的增加, 命中精度的提高, 以及导弹技术的不断扩散, 美国认为像朝鲜“劳动”和“大浦洞”导弹这样的较远程武器已成为近期需要解决的问题, 美国必须尽快具有保卫本土免遭有限弹道导弹袭击的能力。

经 2001 年整合之后, 美国的国家导弹防御系统由助推段防御、中段防御和末段防御 3 部分组成。布什政府 2004 年 2 月公布的 2005 财年导弹防御预算将有大幅度增加, 同时预算表明, 导弹防御计划的重点将转向技术比较成熟的近期选择——中段拦截计划, 而推迟较远期的助推段拦截计划^[1]。笔者将评述和分析这次美国对导弹防御计划的调整及其带来的影响, 特别是机载激光未来的发展。

1 增加导弹防御预算、提前部署防御系统

1.1 朝鲜的导弹是当前的主要威胁

布什政府提交给国会的新的导弹防御蓝图, 要求

作者简介: 任国光 (1938-), 男, 研究员, 从事强激光技术发展策略研究。

E-mail: ren-guang@sina.com

收稿日期: 2004-04-20 收到修改稿日期: 2004-10-15

将 2004 年 9 月 30 日作为部署头 10 枚导弹拦截弹的最后期限, 并提出在今后两年增加部署拦截弹的数量和发射阵地, 政府称这种初期的能力将使美国能防御来自北朝鲜的导弹攻击^[2]。为此, 布什政府提出 2005 财年的导弹防御预算为 91.4 亿美元, 比 2004 财年增加了 15 亿美元。其中 9 亿美元用于准备在 9 月部署的初期系统, 另外 6 亿美元将用于增加 2005 年底部署的系统。

为了对付美国认为来自北朝鲜日益严重的威胁, 导弹防御局重新调整了以前的计划, 这包括尽快试验和部署国家导弹防御系统中能提供初步防御能力的个别组成部分, 然后通过一系列的两年“构形”(Block)升级, 不断引入新技术而逐步改善和加强, 这种发展路线强调了最大限度地利用目前比较成熟的技术和可以获得系统, 不需要新的技术突破, 从而也就降低了风险, 因此, 重点自然就落在了陆基和海基拦截弹系统。例如地基导弹拦截弹, 以及准备装在巡洋舰和驱逐舰上的 SM-3 拦截弹。最近决定要研制的新型动能拦截弹也集中在地面发射系统, 而早期打算扩大的天基系统的研究工作被推迟了, 如发展天基拦截弹试验台和研制与试验轻量天基拦截弹部件等。同时, 天基激光系统也受到了冷落^[3]。

1.2 提前部署导弹拦截弹

导弹拦截弹是地基中段防御计划的重要组成部分, 拦截弹由一枚多级固体燃料助推器和一个外大气层杀伤飞行器组成, 它将在大气层外拦截来袭的弹道导弹头。该系统的目的是保护全美国免遭有限的弹道

导弹攻击。原计划在2004年底或2005年初在阿拉斯加的格里利堡部署6枚陆基导弹拦截弹,在加州范登堡空军基地部署4枚。新的计划将部署日期提前了几个月,并准备增加拦截弹的数量。计划将在2005年底部署20枚地基拦截弹和10枚海基标准导弹3型拦截弹,地基拦截弹在2006财年还将从20枚增至40枚,海基拦截弹从10枚增至20枚。2006财年新增的地基拦截弹将部署在阿拉斯加和加州之外的第3个地点。

另外,增加的预算还将采购3部X波段雷达和一部中段雷达,以及改进在格陵兰图勒空军基地的预警雷达。3部X波段雷达将采用战区高空防御系统使用的类型,可用飞机运输。而一部中段雷达则可能是地基雷达,也可能是海基雷达。

1.3 部署中段拦截弹存在的缺陷和技术问题

虽然地基拦截弹和海基拦截弹相对来说在技术上比较成熟,也作过多次飞行试验。但这些中段拦截系统在战略上也有严重的弱点,就目前技术上讲也存在不少的问题,特别是要在这样短的时间内急于部署也有相当大的风险。

中段拦截系统也存在固有的弱点,它必须面临两大难于克服的挑战。第一,单枚洲际弹道导弹(ICBM)将释放多个核弹头,或成打的化学或生物“子炸弹”而挫败防御系统;第二,中段拦截系统难于对付一些反措施,如在大气层外难于将轻量的诱饵与真实弹头区分开来。因此,一些战略家认为采用助推段拦截系统是一个比较好的代替方案,或者至少是中段拦截弹的重要补充。

国防部负责作战试验和评估的首席试验官CHRISTIE在2004年1月提交给国会的2003年年度报告中指出,关键的地基中段防御系统有3个重大的限制:它缺少可使用的运载火箭发射动能弹头;它在实际的地点没有中段雷达;拦截试验至今还是纸上谈兵。他还说由于弹道导弹防御系统技术不成熟,在本财年度底只能进行非常小的“系统级”试验。报告得出结论“还不清楚在初步防御作战(IDO)之前能演示什么样的能力”。他担心“我们可能会部署一个不完善的系统,它可能不能应付北朝鲜的威胁和不能保卫夏威夷”^[4]。

国会总审计署在最近的报告中也称,将在今年部署的导弹防御系统需要进行更广泛的试验。报告指出,这些系统的试验数据不够,例如诱饵的识别,夜间拦截,多个拦截弹的发射和在不利气候条件下的作战等^[5]。系统在研发、试验和战场有效防御能力方面也存在技术挑战和不确定性。

最近由于导弹拦截弹内出现导线连接问题,地基

中段防御系统的几次试验都将推迟。原定3月进行的集成飞行试验IFT-13将推迟到6月,试验包括装有真实杀伤飞行器的拦截弹在真实目标附近飞行。而采用地基导弹防御新助推器进行的首次拦截试验(IFT-14)将从5月推迟到夏末,IFT-15拦截试验将从7月推迟到秋天。看来,到布什规定的部署日期之前,最多能进行一次拦截试验,弄不好一次拦截试验也进行不了。

1.4 ABL计划受到挑战

2003年12月,美导弹防御局与诺·格公司和雷声公司签定了研制和试验助推段动能拦截弹的合同,企图在敌方弹道导弹飞行的头3min~5min将其摧毁。合同价值45亿美元,为期8年。计划的目标是在2010年前部署陆基助推段拦截弹,初定的里程碑包括在2006年~2008年间建成第1枚拦截样弹,从2008年起开始飞行试验^[6]。

诺·格/雷声公司的发展路线是依靠现有成熟的助推器技术,并引入新技术研制杀伤弹头。新的动能拦截弹将由三级助推器和一个分离式杀伤飞行器组成,拦截弹长11.1m,直径0.92m,重7435kg。动能拦截弹将由地基发射器发射,但也能迅速容易地用海基平台发射。雷声公司研制的拦截弹将比迄今任何拦截弹更快和更灵活,飞行速度超过6km/s。作战管理、指挥、控制和通信系统,将装在一辆高机动多用途轮式车辆上,并将从卫星获取敌方弹道导弹发射的信号。装备是高度机动的,并能容易地装入C-17运输机,运往世界各地。

机载激光计划一直是助推段拦截计划中最高度优先的项目,因为它是以光速交战,现在它受到了发展助推段拦截弹的挑战。这种拦截弹将执行与机载激光相同的任务,并预计将在2010年前研制出来。由于拦截弹技术相对比较成熟,这可能会降低机载激光在国防部内的地位。导弹拦截弹用于助推段防御面临的最严峻挑战是反应速度慢,因为ICBM的燃料燃烧时间很短,液体燃料4min,固体燃料仅3min,而实际可用的拦截时间还要短得多。现代化的探测跟踪传感器需要45s~65s或更长的时间才能探测到来袭导弹的发射,并确定拦截弹的飞行方向。美国物理学会最近发表的研究报告“国家导弹防御助推段拦截的科学和技术问题”得出结论:由于探测到敌方导弹发射与它的动力飞行之间的时间很短,助推段拦截弹只是在非常有限的情况下才是有效的,特别是拦截从领土小的国家发射的慢速液体推进剂导弹。为了完成这类任务美国物理学会的研究小组建议拦截弹要达到6.5km/s~10km/s的速度,可能的拦截距离是400km~1000km。报告还警告说“助推段拦截也必需与敌方的各种对抗措施作斗争,例如预编程序的躲避机动飞行或释放火

箭推进的诱饵”^[7]。

2 ABL计划的调整和未来的发展

机载激光是设计用来探测、跟踪和摧毁敌方处于助推段的弹道导弹,由于它是以光速作战,所以在短暂的助推段交战中有极快的反应能力,这是动能拦截弹无法相比的。

美国首要的助推段拦截系统——机载激光计划已完成了飞机适航性和空中加油的里程碑,并用机上红外传感器在太平洋上空成功演示了跟踪“民兵”洲际弹道导弹整个助推段的能力。目前,正在爱德华空军基地进行束控/火控系统的集成和试验,以及6模块化学氧碘激光器的集成和“第1光”试验。但由于将激光器和束控系统安装进飞机遇到了麻烦,激光器的第1光试验将推迟几个月到今年春天进行,随后再进行35次~50次的系列飞行试验,拦截试验仍准备在2005年进行。美导弹防御局局长KADISH上将在3月11日的参院军事委员会上作证说,虽然机载激光计划“由于系统复杂而带来了一些问题,但计划正接近于解决这些问题”。

2.1 逐步演示关键的里程碑

由于加速发展动能拦截弹系统需要经费,以及机载激光计划本身存在日程延后和技术问题,国防部决定削减机载激光的预算,并进行调整。国防部和工业界代表之间一直在讨论出现的新情况,主要的看法是尽可能不改变机载激光计划的近期工作,而对几十亿美元的长期工作作有限的预算削减,并对计划作某些形式的调整^[8]。

导弹防御局最近宣布,机载激光计划将通过一系列的里程碑分步演示成就。根据机载激光计划和日程的不确定性,导弹防御局调整了机载激光计划,消除了计划的同时性,把工作重点放在降低风险的情况下,逐步取得成功演示关键里程碑的技术进展。因此,不再要求机载激光计划在Block 2004的时间框架内提供应急的作战能力。

第1架机载激光武器系统的作战能力将通过以下的关键里程碑逐步实现:(1)完成适合飞行的6模块武器级激光器的地面试验;(2)完成适合飞行的束控/火控部件的地面试验;(3)完成束控/火控部件的飞行试验;(4)完成机载激光武器系统的集成和地面试验,此系统包括激光器装置,束控/火控系统和作战管理系统;(5)演示机载激光对助推段弹道导弹的杀伤力;(6)完成扩大的机载激光武器系统性能的飞行试验。

导弹防御局原来的Block 2004计划要求机载激光样机应有能力在作战环境中以有意义的射程摧毁某些助推段导弹,并在演示后提供一架具有应急作战能力

的飞机,能为美国提供初步的防御。相比之下,新的计划大大降低了对机载激光2004构型的要求。显然,拦截试验将在近距离内进行,它只不过是要证明激光器的功能,而不是要证明它能在实战下工作。样机也不会纳入初期的国家导弹防御系统。可以认为这样的调整是合乎实际情况的,因为机载激光计划近期一直受到连续不断的技术问题、进度延迟和经费上升的困扰,实难完成预定的要求。空军原来的机载激光计划对风险估计不足,忽视了工程上的复杂性,工作不精细和前进步伐不扎实。由于对风险认识不足,空军安排了1个“雄心勃勃”的研制和试验计划,这种积极的日程安排,不允许出现任何的重大问题或试验失败。而机载激光计划涉及到许多现代化的高新技术,特别是在集成和试验中不可避免地会出现一些问题,因此拦截试验有可能进一步推迟。

国防部已与波音公司签定了设计第2架747-400F飞机的合同,它将被改装成激光器的载机,但2005财年的导弹防御预算申请已将第2架飞机的采购从2006年推迟到2008年。KADISH上将的解释是希望把精力集中在近期的发展工作上,如拦截导弹的演示试验。看来导弹防御局的意图是想尽可能早地实现拦截试验,而以后的机载激光计划至少将推迟两年。

与空军把机载激光当作独立的战区弹道导弹防御系统相比,导弹防御局将机载激光看作是国家导弹防御系统的一部分,提高了对机载激光的要求(如提高作战距离,扩大作战目标范围和对付可能的反措施等),因此,第2架飞机的设计可能会有明显的变化,从而需要进一步地改变设计,而不会像空军原来计划的基本上是第1架飞机的翻版。

2.2 ABL计划 Block2004和 Block2006的主要任务

导弹防御2005财年的预算申请也透露了机载激光发展战略的一些重要变化^[9]。与2004财年的预算相比,导弹防御局说它将Block 2006和Block 2008的预算调整给了Block 2004,并增加了到2009财年的预算,在2005财年的预算中,对Block 2004增加了3.33亿美元。

在2005财年预算申请中,导弹防御局描述了Block 2004的工作,工作的重点是取得第1个机载激光武器系统试验台的集成和试验的技术进展,实现关键性的近期里程碑,同时坚持尽早实现杀伤力演示的总目标。为此,研究工作必须继续降低与下一步击落导弹有关的风险和不确定性。Block 2004计划还增加了为未来的构型提供成熟的机载激光专用技术,集成和试验支持,以及改进基础设施,以便保持和提高国内生产高能激光系统所用先进光学部件的能力。完成确定第2架机载激光战机的研究和系统需求评审工作。

通过提高对现有基线飞机的认识,吸取正在进行的试验的经验教训,通过精细的系统工程实践以及提高关键部件的可靠性和降低成本,进一步降低计划的风险和不确定性。

在原来的机载激光发展战略中,突出强调了 Block 2004和 Block 2008 这次导弹防御局又提出了 Block 2006计划,其用意是作好第 1架战机和第 2架战机之间的承前启后的工作,为扩大机载激光在国家导弹防御系统的作用打好基础。Block 2006计划将继续进行第 1个机载激光武器系统的地面和飞行试验,其目的是通过实现系统级的里程碑,提高系统的性能和扩大能力。继续为未来的构型提供成熟的机载激光专用技术,以及集成和试验支持,工作将集中在改进机载激光的基础设施和提高生产高能激光系统所用先进光学部件的能力。Block 2006计划也将增强弹道导弹防御系统的集成工作和提供地面支持。同时,通过对第 1架机载激光飞机的评估和鉴定,也将继续研究和支持对最佳的第 1架机载激光飞机的基线需求,以便更深入地指导今后的研究工作,以及降低计划的风险和不确定性。

2.3 用 ABL 拦截 ICBM 的关键是提高激光射程

机载激光计划纳入到国家导弹防御计划后,导弹防御局指望它能拦截处在助推段的洲际弹道导弹。从原理上讲机载激光能拦截远程导弹,因为它的速度不成问题。由于 ICBM 发动机的关机高度比战区弹道导弹(TBM)更高,所以从某些方面来说用机载激光防御 ICBM 比防御 TBM 更容易。但是用激光拦截 ICBM 的有效性受到激光射程,激光束功率,ICBM 燃料类型和反措施的限制。与 ICBM 交战机载激光的射程是关键,因为它的有效性受光束通过大气传输,并保持聚焦的限制。虽然攻击 ICBM 遇到的大气湍流比攻击 TBM 的情况弱,但攻击 ICBM 的安全距离要比后者大。

在评估机载激光防御 ICBM 助推段的有效性中,美国物理学会的研究小组采用了公开报道的设计指标:将 3MW 的激光功率聚焦成 1.2m 直径的光束(近衍射极限),激光照射目标 $20\text{s}^{[10]}$ 。他们得出结论:机载激光能摧毁 600km 内的液体燃料 ICBM,例如,从北朝鲜发射的 ICBM,而不能防御从伊朗发射的 ICBM。而对固体燃料的 ICBM,由于其燃烧室能承受很高的温度和压力,所以摧毁固体燃料 ICBM 所需的能量密度要比液体燃料 ICBM 高 8 倍,因而机载激光的有效射程缩短为 300km,不能防御从朝鲜或伊朗发射的固体燃料 ICBM。

机载激光射程取决于激光器的功率,跟踪导弹并把激光聚焦在导弹上的能力,以及利用自适应光学补偿大气畸变的能力。因此,要使机载激光能有效防御

ICBM,必须要在高能激光器和束控技术方面取得重大的进展。另外,导弹防御局和空军也正在大力发展中继镜技术,预计将在 2007年~2008年演示机载中继镜。在 2004年 2月发表的“空军飞行转型计划”中,空军已把天基中继镜列为未来重要的空间武器^[11]。中继镜是一种机载或天基的光学平台,它能接收地基、机载或天基激光器发射的激光能量,经光束“净化”,再把它射向目标。发展这种技术的意义重大,主要是它能扩展激光武器的射程,并有利于光束传输。

2.4 充分发挥 ABL 在国家导弹防御中的作用

2.4.1 建造先进试验台 提高执行机载激光计划的能力 为了提高执行机载激光计划的能力,降低风险和成本,并开发用于第 2架飞机和后继装置的先进技术,导弹防御局投入了 9.185亿美元的巨资。其中建造“铁鸟”试验台一项合同,就价值 5亿美元。此试验台将提高机载激光的地面试验能力,能对集成后的机载激光系统进行地面试验,以便用于未来构型的技术在被引入到飞机前就能得到评估和确认。试验台的主要用途是:(1)发现并消除机载激光的缺陷;(2)对先进技术进行评估/确认;(3)集成典型的机载激光子系统,模拟一体化的机载激光武器系统;(4)完成 Block 2008激光器模块试验,支持一体化弹道导弹防御系统的试验/演习;(5)进行杀伤力试验。

2.4.2 机载激光技术的发展 为了推动机载激光科学与技术的发展,充分发挥机载激光在国家导弹防御中的作用,导弹防御局计划在 6个技术领域内开展激光技术的研究工作^[12]。

(1)战略照明激光器——战略照明激光器是具有优良束质的 4kW 级二极管抽运固体激光器,体积小于 0.8m^3 ,将于 2006年开始进行飞行试验。这种第 2代激光照明器的高功率、高束质和严格的环境指标,使其性能大大超过现有的机载激光跟踪照明激光器(kW 级),它是机载激光和未来天基计划的重要部件。

(2)先进惯性参考装置——应用技术公司将设计和制造机载和天基先进惯性参考装置,将于 2005年底提交一个原型装置,用于机载和地基战术应用,并希望用于未来的空间光学系统。

(3)先进的红外探测器——研制至少 128×128 阵列的高帧频、低噪声红外探测器,用于主动跟踪、波前检测和成像。探测器工作在近红外波长 $1.0\mu\text{m} \sim 2.0\mu\text{m}$,视场超过 66° ,工作温度大于 200K,寿命超过 3年。帧频至少 2.5kHz(理想值 10kHz),带宽 1GHz~2GHz 整个像机重量小于 5kg 能装入 $20\text{cm} \times 25\text{cm}$ 的圆柱体中。

(4)小型激光雷达放大器——研制外差式激光雷

(下转第 13页)

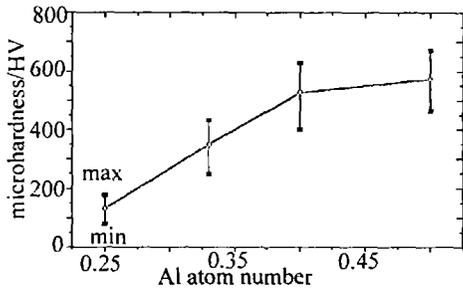


Fig 6 Microhardness of Cu-A1 system samples as well as its relationship with Al content

$\text{Cu}_{75}\text{Al}_{25}$ 试样的平均值仅为 132 而 $\text{Cu}_{50}\text{Al}_{50}$ 则高达 574。这主要是因为产物相自身的硬度差异,另外也与试样的致密化程度有关,高致密低孔隙显然有助于提高试样的硬度。

3 结论

Cu-A1 系粉末压坯在激光反应烧结过程中,表现出剧烈、快速燃烧蔓延的特征;相的形成是在激光加热与反应阶段的短暂时间内即告完成,在获得的产物上,激光反应烧结与常规热爆合成没有太大的本质差别,但在 $\text{Cu}_{75}\text{Al}_{25}$ 出现了常规加热炉热爆合成根本不存在的亚稳相马氏体(M)型 Cu_3Al 相;烧结试样均表现出收缩特征,显微硬度随 Al 含量增多而提高。

参 考 文 献

[1] DECKARD C R. Method and apparatus for producing parts by sele-

ctive sintering [P]. USA Patent 4863538, 1989-09-05

- [2] TANG Y, FUH JY H, LOH HT *et al*. Direct laser sintering of a silica sand [J]. *Materials & Design*, 2003, 24: 623~ 629
- [3] WANG XH, FUH JY H, WONG Y S. Formation of copper-based metal part via direct laser sintering [J]. *Advanced Materials Processing II*, 2003(4): 273~ 276
- [4] GUO ZX, HU JD, ZHOU Zh F. Laser sintering of Cu-SrC system P/M alloys [J]. *Journal of Materials Science*, 1999, 34: 5403~ 5406
- [5] SHEN P, HU JD, GUO ZX. A study on laser sintering of Fe-Cu powder compacts [J]. *Metallurgical and Materials Transactions* 1999, A30: 2229~ 2235.
- [6] SHEN P, GUO ZX, HU JD. Study on laser ignition of Ni-33.3Al powder compacts [J]. *Scripta Materialia* 2000, 43: 893~ 898.
- [7] MUN R Z A, ANSELM FTAMBUR NI U. Self-propagating exothermic reaction: the synthesis of high-temperature materials by combustion [J]. *Materials Science Report* 1989, 3: 277~ 365.
- [8] SIKKA V K, DEEVI S C, VOUGHT JD. Exothermic a commercially viable process [J]. *Advanced Materials Processing* 1995, 6: 29~ 31.
- [9] SIKKA V K, WILKINSON D, LIEBETRAU J M. Melting and casting of FeAl based cast alloy [J]. *Water Sci Engng* 1998, A258: 229~ 235
- [10] MOORE J J, FENG H J. Combustion synthesis of advanced materials (Part I)——Reaction parameters [J]. *Progress Material Science* 1995, 39: 243~ 273
- [11] WANG L L, MUN R Z A, HOLT J B. The combustion synthesis of copper alumina [J]. *Metallurgical Transactions* 1990, B21: 567~ 577.
- [12] MATAN IH, SUZUKI M. Sintered High damping alloy of Nickel-Aluminum/Bronze [J]. *Powder Metallurgy International* 1979, 11(4): 183~ 185

(上接第 4 页)

达用的二极管抽运固体激光放大器,能探测、捕获和跟踪从几百公里远的战略导弹上释放的多弹头,并成像。在几分钟的工作时间内平均输出功率达 200W。其它的要求包括距离分辨率为 20cm,速度分辨率为 2cm/s,每秒能测定 50 个目标。

(5) 电化学再生化学氧碘激光器——吸收固体激光器和化学激光器的优点,研制具有高功率、高束质和少量后勤支持的激光器。为了达到后一目的必须采用电化学方法再生化学燃料,并密封排气。

(6) 演示氟化氢泛频激光器——初期研制 10kW 的试验台,随后完成 50kW 的作战型。为 Block 2010 弹道导弹防御系统提供先进的中段识别能力,进一步发展为 Block 2016 弹道导弹防御系统提供更远距离的中段识别能力。

参 考 文 献

- [1] WENBERGER S. Missile defense increase to boost next phase of deployment [J]. *Defense Daily*, 2004, 22(19): 1~ 2
- [2] DUFFY T. Pentagon BMDs plan calls for early alert status overseas

basing [J]. *Inside the Pentagon*, 2004, 20(6): 18~ 19.

- [3] 任国光. 评述: 美国天基激光计划的重大调整 [J]. *激光与红外*, 2003, 33(3): 163~ 166.
- [4] RATNAM G. Missile defense big winner in '05 Plan [J]. *Defense News* 2004, 19(5): 30
- [5] GRAHAM B. GAO's report says more tests needed on missile defense, global security news wire [EB/OL]. <http://www.nti.org/news/wire>, 2004-03-11
- [6] BOSE W. Pentagon awards two major missile defense contracts [J]. *Arms Control Today*, 2004, 33(1~ 2): 40
- [7] Boost phase intercept systems for national missile defense: scientific and technical issues report of the American Physical Society study group [R]. Washington: DG APS, 2003, 6
- [8] WALL R. Laser realignment [J]. *AW & ST*, 2004, 160(1): 29
- [9] Fiscal year 2005 budget estimates, missile defense agency [R]. Washington, 2004, 2~ 15.
- [10] KLEPPER D, LAMB F, MOSHER D. Boost phase defense against intercontinental ballistic missile [J]. *Physics Today*, 2004, 57(1): 30~ 35
- [11] The U. S. Air Force transformation flight plan [R]. Washington, 2003
- [12] HEWISH M. Ballistic missile defense aim to keep it on the ground [J]. *JIDR*, 2004, 3(3): 1~ 5