

文章编号: 1006-9941(2015)02-0189-10

反 TBM 战斗部技术研究现状及趋势

李俊龙¹, 李本胜¹, 王晶禹², 张亮¹, 王永衡¹

(1. 重庆红宇精密工业有限责任公司, 重庆 璧山 402760; 2. 中北大学国防重点学科实验室, 山西 太原 030051)

摘 要: 战术弹道导弹(Tactical Ballistic Missile, TBM)具有速度快、射程远、易损性小、携带子弹多、突防能力强、破坏能力大等特点,已成为各国极大的威胁对象,所以发展反 TBM 战斗部技术就显得尤为重要。本研究从破片战斗部技术、动能杆战斗部技术、可控杀伤元战斗部技术、分离战斗部技术和动能拦截器及杀伤增强装置技术方面综述了反 TBM 战斗部技术的研究进展,认为应加强反 TBM 战斗部复合技术、战斗部综合毁伤效应和多次打击 TBM 战斗部技术的研究。

关键词: 战术弹道导弹(TBM);战斗部技术;防空反导;毁伤效能

中图分类号: TJ41

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.02.016

1 引言

战术弹道导弹(Tactical Ballistic Missile, TBM)是一种常规的高效进攻武器,它不仅具有飞行速度快,飞行时间短,射程远,弹头易损性小(如弹头用蒙皮防护,易损面积小),雷达散射面积小,突防措施多(如隐身,真假弹头)等特点,而且 TBM 还能够携带许多不同类型的有效载荷(如高能炸药、化学药剂、生物药剂、核装药、子炸弹和子弹药等),它的这些特点极大地提高了自身在战争环境中的生存能力,成为很难对付的空中目标,因而被认为是威胁性最大的攻击性武器之一,也越来越受到各国的重视^[1]。

相应地,由于 TBM 对各国都具有极大的威胁,为了保护自身的空中领域,世界各国都开始积极研究反 TBM 武器防御系统,而在反 TBM 武器防御系统中,战斗部技术是反导武器系统的核心和关键,且战斗部是其唯一的有效载荷和杀伤源,所以反 TBM 战斗部技术也成了各国研究的重点对象,但随着 TBM 技术的快速发展和进步,战斗部很难一次性将 TBM 彻底摧毁,而只能对其中的高能炸药子弹药、化学子弹药或小型生物炸弹实施部分打击或损伤,这致使远远落后的反 TBM 战斗部技术已不能满足反导需求,所以迫切需要大力发展新型反 TBM 战斗部技术,以提高对来袭 TBM 的拦截概率或彻底摧毁 TBM^[2]。

因此,研究新型反 TBM 战斗部技术,对提高防空反导作战效果和提高在战争中的主动权,有着非常重要的意义。本文从破片战斗部技术、动能杆战斗部技术、可控杀伤元战斗部技术、分离战斗部技术和动能拦截器及杀伤增强装置技术方面综述了反 TBM 战斗部技术的研究进展,对存在问题和解决的技术途径做了分析,并提出了发展新型反 TBM 战斗部的几点建议,为相关研究人员和学者提供一定的参考和借鉴。

2 反 TBM 战斗部技术类型

2.1 破片战斗部技术

常规反 TBM 战斗部大多采用破片战斗部,最为典型的是俄罗斯 C-300B、C-400 系列和美国 PAC-2 导弹,但常规破片战斗部的破片作用于目标方向非常有限、破片飞散密度低、破片能量利用率低等缺点^[3],所以人们又装填高能炸药、采用双层破片(或大小破片)、结合杀伤元控制技术(在 2.3 节中具体阐述)使破片集中打击目标,并增大破片飞散角度、增加破片飞散密度、增大杀伤半径和提高毁伤效能^[4]。

在武器制导精度不高的情况下,可采用传统的引战配合方法,用一定数量的金属破片撞击来袭导弹,通常情况下,常规的爆炸破片战斗部很难穿透 TBM 中大量子弹和子弹药^[5],这种战斗部的侵彻破片低于战斗部总质量的一半,它只有总金属破片质量的 5%~10% 去杀伤目标,由于浪费了大量的破片质量,这种战斗部对子弹药的穿透能力较弱。为了在目标附近使破片获得较高的速度,一般将这种爆炸破片战斗部的

收稿日期: 2014-03-05; 修回日期: 2014-05-12

作者简介: 李俊龙(1986-),男,工程师,主要从事战斗部技术研究。
e-mail: junlongli1986@163.com

质量比(C/M比:装药质量与破片壳体质量之比)设计为1左右。目前反导破片战斗部大多采用破片定向飞散和大飞散角破片战斗部的形式,如俄罗斯C-300B、美国的PAC-2导弹等^[6]。

在武器制导精度相对较高的情况下,可以将破片战斗部与近距离脱靶战斗部技术相结合。近距离脱靶战斗部技术结合了质量聚焦战斗部效应和精确直接打击导弹技术。与传统战斗部相比,它装填了更少的高能炸药(相对较低的C/M比),但它的大部分质量都成了高密度侵彻破片,在目标方向可以形成高密度抛射破片幕,这种战斗部提高了在目标方向上的有效金属破片数量,具有更加有效的毁伤能力^[6-7]。

破片战斗部的爆破作用效果随着高度的增加而急剧下降,其杀伤方式一般属于低层点防御系统,所以更适应于在大气层内拦截弹道末段飞行的TBM和在助推段飞行的TBM^[8]。目前,单纯的破片战斗部很难再将TBM彻底摧毁,而应结合不同的战斗部技术使杀伤元在TBM易损部位实现定向聚焦式的高密度侵彻打击。

2.2 动能杆(KE-rod)战斗部技术

国内外采用动能杆战斗部技术拦截TBM最为典型的是俄罗斯P-77及P-737、美国AIM-9L及AIM-120和中国PL-12导弹。现目前,采用动能杆战斗部技术拦截TBM的大部分是连续杆式战斗部、离散杆式战斗部和定向动能杆式战斗部。采用动能杆战斗部技术具有有效质量高、切割效应显著,且大质量高密度杆条能够穿透加固的TBM防护层,毁伤威力高等优点^[9]。

尽管动能杆战斗部技术具有很多优点,但由于TBM目标机动性越来越好,飞行速度越来越高,常规破片战斗部、连续杆式战斗部也暴露出很多弱点(如杀伤元速度低,切割能力有限,引战配合要求高等),这使得它们只适用于脱靶量较小、目标尺寸较大的情况,因此这些缺点限制了其发展。与连续杆式战斗部相比较而言,离散杆式战斗部具有杆速高和杀伤有效区域大的特点;与破片战斗部相比较而言,它具有杀伤元素质量大,杀伤效率高,对空中目标的切割能力强和破坏力大等特点。因此俄、美等国家目前已经从破片战斗部、连续杆式战斗部发展到以离散杆式、定向动能杆式为主的防空反导战斗部^[10-11]。

研究人员为了将破片战斗部技术的优点与动能杆战斗部技术的优点相结合,研究了反TBM的串联战斗部,它的前级为破片飞散战斗部,后级为动能杆战斗部,它既实现了破片对TBM防护层和子弹药的穿孔毁

伤,又实现了杆条对TBM的切割毁伤,其综合毁伤效能明显提高,是一种典型反TBM复合技术的高效毁伤战斗部^[1,12]。因此,加强战斗部复合技术的研究也将成为发展反TBM战斗部技术的趋势之一,它可以使战斗部具有不同的毁伤机理,完成对TBM的复合毁伤。

2.3 可控杀伤元战斗部技术

就反TBM战斗部而言,可控杀伤元战斗部技术显得日趋重要,目前也受到世界各国的大力研究,它可以充分利用毁伤元的数量、质量和杀伤区控制,以达到对目标的最大毁伤程度。可控杀伤元战斗部技术大致可分为战斗部起爆方式控制技术和战斗部结构控制技术两大类,但通常也将两种技术相互结合。

2.3.1 战斗部起爆方式控制技术

控制战斗部中的起爆点、起爆点数量、起爆点方位和起爆方式,可以控制杀伤元的飞散方向及战斗部的杀伤区域,也可以从一定程度上使杀伤元的速度、质量、密度等在一定方向达到增益效果。最为典型的有,通过线性起爆方式来实现速度增益的战斗部(Velocity Enhanced Warhead)和通过起爆方式来实现爆炸变形的质量聚焦战斗部(Mass Focused Warhead)^[13],如图1所示。图2为通过控制起爆点、起爆点数量及起爆点方位来控制杀伤元的飞散方向,以实现杀伤元飞散的角度分辨(杀伤元的定向飞散)^[3,14-15]。

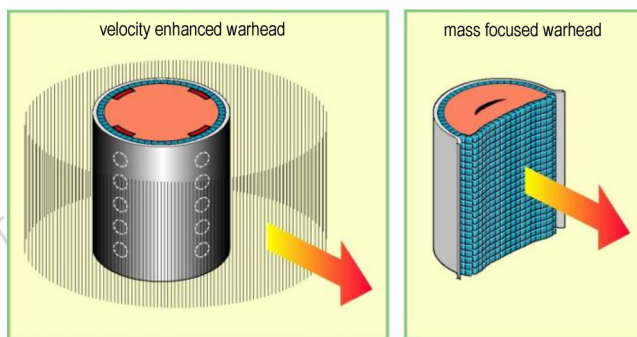


图1 速度增益战斗部(左)和质量聚焦战斗部(右)示意图^[13]

Fig.1 Schematic diagram of the velocity enhanced warhead (left) and mass focused warhead (right)^[15]

为了实现杀伤元向目标方向的定向飞散,研究人员采用了爆炸逻辑网络、爆炸箔起爆器(EFI)或微机电系统(MEMS)等方式起爆战斗部,通过同步起爆、分时起爆、异形起爆(偏心起爆)、点起爆、面起爆或可编程弹药箱(PIOS)系统整体可选择起爆等方式实现了杀伤元在一定方向上的增益效果^[15-19]。由于TBM的子弹药大多成圆锥形放置,所以控制杀伤元在杀伤区的飞散形状可以从一定程度上增强对TBM中子弹药的

毁伤效果。德国的 M. Held^[3, 20] 教授采用了偏心起爆和内部装药变形方式实现了杀伤元的椭圆飞散分布,如图 3 所示,通过起爆技术来控制杀伤场的飞散形状可以充分利用杀伤元,增强杀伤元对 TBM 不同易损部位的毁伤效果。目前,起爆控制技术还需要提高时序的精确控制(同步起爆和分时起爆)及系统的可靠性,并进一步解决起爆系统小型化、通用化及集成一体化等问题。

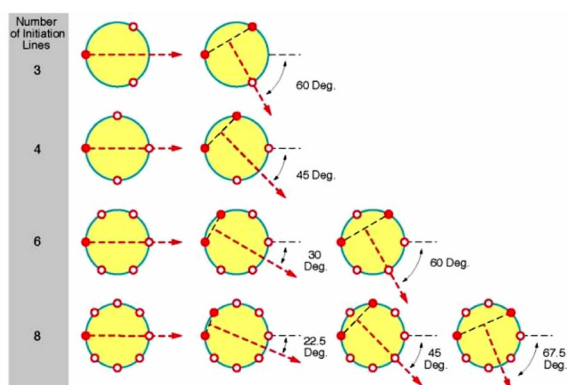


图 2 不同起爆点数量和起爆点方位实现杀伤元定向飞散的示意图^[15]

Fig. 2 Schematic diagram of the lethal element directional distribution which has been completed by the different initiation number and position^[15]

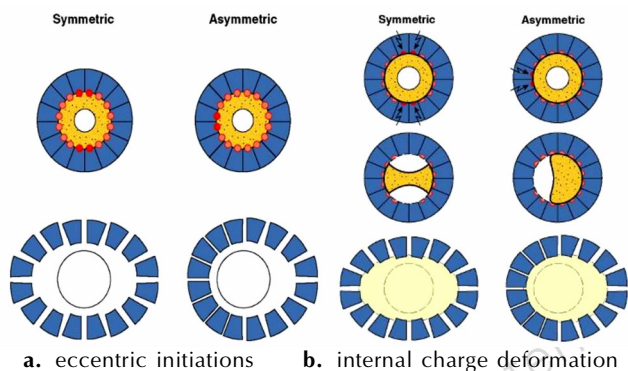


图 3 通过偏心起爆和内部装药变形实现可控杀伤元的椭圆飞散示意图^[3]

Fig. 3 Schematic diagram of the steerable ellipses distribution completed by eccentric initiations and internal charge deformation^[3]

2.3.2 战斗部结构控制技术

虽然战斗部起爆方式对毁伤元的飞散方向有着明显的影响,但其影响程度也非常有限,最主要的还是战斗部结构对毁伤元飞散方向的影响,如常见的马鞍形聚焦战斗部和腰鼓形飞散战斗部等。为了提高对 TBM 的毁伤能力,最近几年,国内外又发展了一些可

变形战斗部、破片芯式战斗部、可瞄准战斗部、双聚焦、三聚焦战斗部和聚焦与飞散相结合的战斗部^[21-25],下面将具体介绍一些针对反 TBM 的新型战斗部结构。

早在 2001 年,德国的 M. Held^[26-27] 教授就对可控杀伤元素(单杀伤元素和多杀伤元素)毁伤做了理论和试验研究。最为典型的就是可瞄式毁伤增强器(Accelerated Lethality Enhancer),采取了在杀伤元素周围布置可进行选择抛射的楔形装药方法,这些抛射炸药段通常是小炸药装药。选择目标方向所在的扇形区域(可达到的方位角分辨率为 12°),抛射出相应的炸药段,然后剩下区域内的炸药段,在延迟几百微妙后,也将被引爆。图 4 为可瞄式单杀伤元素毁伤增强器(Aimable Mono Hitile)的简图,其方位角分辨率可达 12° ,在单杀伤元素的周围有 30 个可以独立引爆(通过 EFI 起爆)的小炸药装药。它们可以再 $20 \mu\text{s}$ 内,以 $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度抛射出炸药段,不稳定时间小于 $\pm 1 \mu\text{s}$ 。图 5a 为可瞄式多杀伤元素毁伤增强器(Multi Hitiles)的简图,多杀伤元素用单个质量为 1 kg 的 18 根独立的杆取代了 20 kg 重的单块排列在毁伤增强器的中心。通过外部装药段的爆轰,杀伤元素群形成自然散步。如果希望获得径向更大的抛散面积,则可以通过引爆排列在多杀伤元素毁伤增强器轴上的内部炸药装药来实现(如图 5b)。如果不希望在径向获得更大的抛散面积,则此散布装药将被一个小的炸

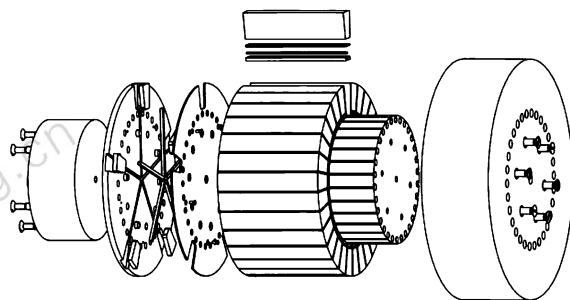
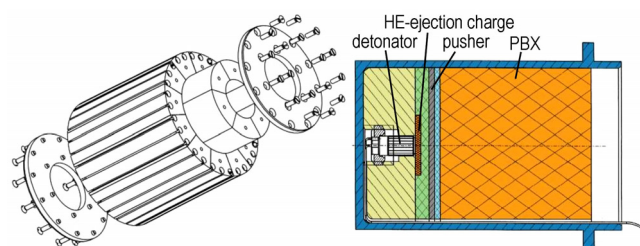


图 4 可瞄式单杀伤元素毁伤增强器简图^[26]

Fig. 4 Diagram of the aimable mono hitiles lethality enhancer^[26]



a. aimable multi hitiles lethality enhancer b. ejection device

图 5 可瞄式多杀伤元素毁伤增强器及其径向抛射装置图^[26]

Fig. 5 Diagram of the aimable multi hitiles lethality enhancer and its ejection device for radial dispersion^[26]

药装药抛射推出。通过起爆轴上径向散布装药(径向抛射装药约为 140 g), 毁伤增强器外部排列的 12 个杀伤元素可获得 $90\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度, 6 个内部排列的杀伤元素可获得 $60\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度, 理想情况下, 这些杀伤元素基本可以覆盖靶面。

同时, M Held^[3, 5, 21, 28] 也对打击 TBM 战斗部的不同部位和毁伤 TBM 中子弹药的百分比及毁伤程度进行详细研究, 发现对 TBM 中部进行打击的毁伤效果最好, 如图 6 所示。P W Doup^[29] 还对 TBM 受到打击后, 存活子弹药(未完全摧毁)对地面的毁伤效果做了详细分析, 发现存活子弹药对地面的毁伤区域与子弹药的分布密切相关。早在 2002 年, 美国导弹国防部和雷神(Raytheon)公司^[29-30] 就采用 SPHINX 爆炸动力学和 PEELS (Parametric Endo/Exo atmospheric Lethality Simulation) 对 TBM 不同撞击位置做了大量的数值模拟研究。

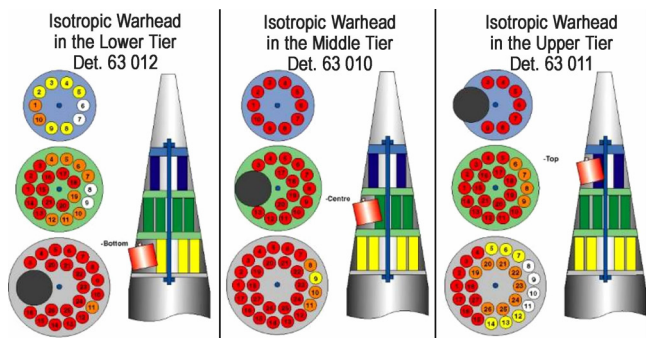


图 6 TBM 的不同打击部位及毁伤程度示意图^[28]

Fig. 6 Diagram of the different kill position and damage extent^[28]

为了进一步提高对 TBM 的毁伤能力, M. Held^[31] 将起爆方式控制技术与战斗部结构控制技术相结合, 研究了一种毁伤增强器 (Lethality Enhancer for Elliptical Patterns), 如图 7 所示, 可以通过控制起爆方式来实现杀伤元的椭圆飞散分布。

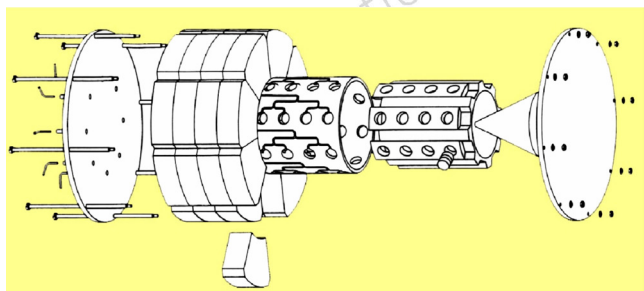


图 7 一种毁伤增强器示意图^[31]

Fig. 7 Diagram of a lethality enhancer^[31]

为了降低引战配合的难度, 研究人员^[6, 32] 研究了一种可瞄动能杆战斗部技术, 它将战斗部 70% ~ 80% 的总质量 (C+M) 作为金属侵彻体, 由于 KE 杆战斗部的 C/M 比较小, 所以将在目标方向展开所有杆条 (战斗部包括了 272 个钨杆), 并以较低的抛射速度发射杆条幕。这种战斗部设计可以降低引信需求, 允许大范围误差。特别地, 当选择和起爆不同的炸药段时, 抛射角可以在 25° 到 75° 之间变化。通过选择起爆不同的炸药段可以得到所期望的抛射角 (相邻炸药段之间用交替防护来分开, 避免发生早爆或殉爆), 以获得最大的毁伤效果。当脱靶距离较大时, 可以将致密的高密度杆条束朝着目标方向展开 (以降低杆条速度和打击密度为代价) 而打击 TBM; 当达到近距离脱靶量时, 可以将抛射体和杆条快速展开而撞击 TBM (杀伤元覆盖整个载荷), 其战斗部结构见图 8 所示。

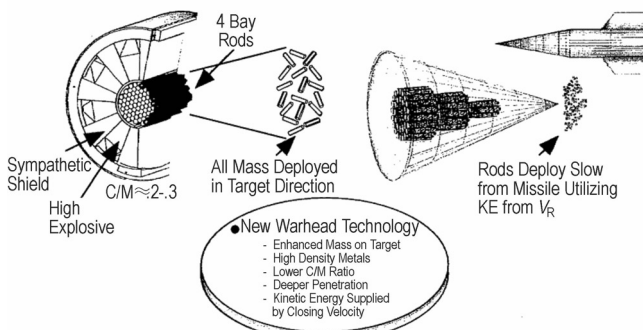


图 8 一种可瞄动能杆战斗部结构图^[6]

Fig. 8 Schematic diagram of an aimable KE-rods warhead^[6]

为了实现对 TBM 的迎面攻击, 控制动能杆杀伤元的伞式展开 (unfolded umbrella) 飞散, Wang Shu-shan^[33] 等人研究了一种向前拦截中空圆柱装药战斗部, 还对动能杆初始速度建立了适当的数学模型, 并进行了实验研究, 发现在不考虑端面效应和稀疏波效应的情况下, 计算结果随着中空直径的增加而更接近于实验结果, 但相对误差也随着增加, 其结构和实物图如图 9 所示。

Zhang Shou-qi^[34] 等人还研究了一种采用迎面攻击 (head-on-attack) 方式反 TBM 的杆条式战斗部, 通过控制装药密度和冲击波衰减程度来实现杀伤元的向前飞散, 从而得到理想的杆条分布密度, 当毁伤半径增加到 3 m 时, 杆条的分布密度仍然可以高达 $33\text{ 条}/\text{m}^2$ 。与传统 HTK (hit-to-kill) 战斗部比较而言, 这种杆式反 TBM 战斗部的杀伤半径增加了近 10 倍, 采用合适的引战配合, 可以增加战斗部的打击概率, 其结构如图 10 所示。

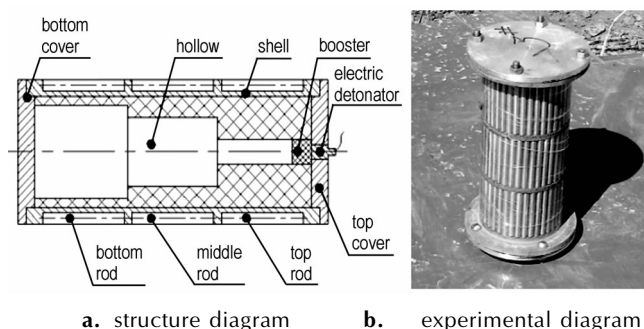


图 9 一种向前拦截中空圆柱装药动能杆式战斗部^[33]

Fig. 9 An forward interception KE-rods warhead with the hollow cylindrical charge^[33]

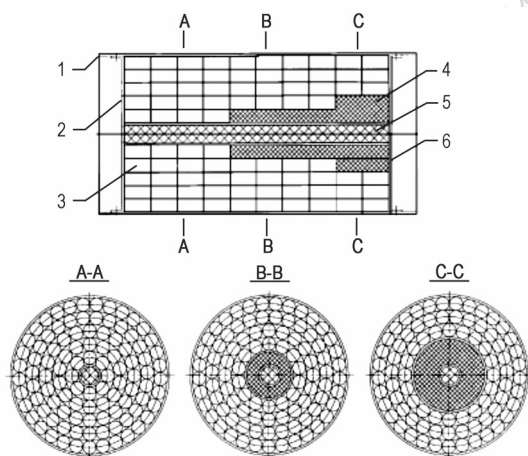


图 10 杆条式反 TBM 战斗部结构图^[34]

1—壳体, 2—前盖, 3—杆条, 4—聚氨酯泡沫, 5—装药管, 6—后端盖

Fig. 10 Schematic diagram of the anti-TBM warhead using rods^[34]

1—case, 2—front cap, 3—rods, 4—polyurethane foam, 5—charge pipe, 6—rear cap

为了研究杀伤元的飞散方向, Lloyd. Richard M^[8] 和 Held. M.^[5] 等人还研究了均向卷式战斗部

(Isotropic Jellyroll Warhead)、螺旋卷式战斗部 (Spiral Jellyroll Warhead) 和均向可瞄式战斗部 (Aimable/Isotropic Mode Warhead), 并对杆条式杀伤元的飞散区域、速度梯度和着靶密度进行了研究, 其结构如图 11 所示。Slobodan Jaramaz^[35] 还给出了芯式战斗部和均向卷式战斗部动能杆速度的计算公式。

这些战斗部都结合了可控杀伤元技术研究了动能杆杀伤元的飞散方向和杀伤区域, 它能使动能杆杀伤元向着目标方向汇聚, 增加了杆条在目标方向的打击密度, 提高了杆条对目标的杀伤能力; 同时, 研究人员也研究了双层 (或多层) 可控离散杆战斗部技术^[12], 它是在战斗部内预置内外两层杆条, 并分别与战斗部轴线成一定角度, 爆炸驱动后, 控制杆条的旋转飞散方向, 使内外两层杆条分别独立的旋转飞散, 在特定距离处, 形成相互独立交叉分散的双层离散杆, 它可以实现对目标的连续交叉切割, 切割密度高, 对小目标也能产生很好的切割毁伤, 毁伤效率也有所提高。据相关资料表明^[2, 11], 通过杀伤元控制技术实现杀伤元定向飞散的定向动能杆战斗部对 TBM 的切割效应显示出更高的摧毁性能, 这是由于战斗部不对称定向动能杆杀伤元向目标方向上的集束汇聚效果所致。

综上所述, 为了更加完全摧毁 TBM, 不仅应该对 TBM 进行易损性分析, 建立起比较完善的模拟仿真数据库, 还应该发展一些专门针对 TBM 的可调战斗部, 它可以通过可控杀伤元战斗部技术实现对不同类型的 TBM 以及 TBM 的易损部位进行有选择性的打击, 这样可以大幅提高对 TBM 的毁伤概率, 而可控杀伤元战斗部技术通常结合了战斗部起爆方式控制和战斗部结构控制, 所以发展反 TBM 战斗部复合技术将是未来的一大趋势, 但其难点在于战斗部集成技术, 它需要解决在战斗部有限空间内实现结构的合理分配。

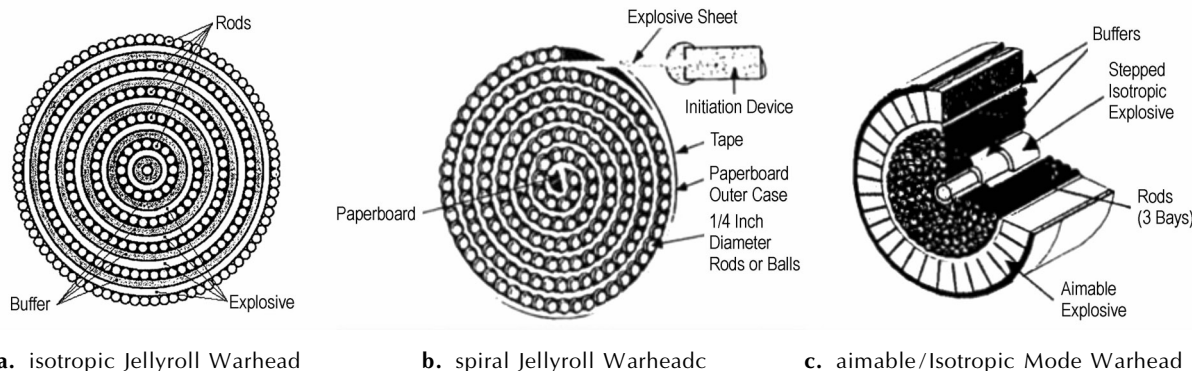


图 11 具有不同设计概念的反 TBM 动能杆战斗部示意图^[8, 35]

Fig. 11 Schematic diagram of the anti-TBM kinetic energy rod warhead with different design concepts^[8, 35]

2.4 分离战斗部技术

为了穿透加固的 TBM 防护层和彻底摧毁 TBM 中的子弹药, 研究人员^[6, 32]研究了一种新型的分离战斗部技术。这种战斗部包含了小的推进器, 它通过推进室提供燃料, 推进器将战斗部推向预先决定的脱靶距离, 然后再将杆条 (杆条以连续层包裹在战斗部上) 慢慢地展开, 在来袭 TBM 前面, 抛射体产生高密度杆条幕或杆条云。在分离战斗部上的推进室是用来加速整个战斗部到预定的脱靶距离, 这时候, 将破片层缓慢地展开, 产生出一系列的冲击波和破片层来打击 TBM 的有效载荷。理想状态下, 首先让第一个冲击波和破片层产生爆炸毁伤和破片撞击去毁伤 TBM, 当第一个冲击波产生的毁伤效应 (冲击波毁伤、破片撞击和残骸体等) 几乎消失以后, 被延滞的第二个冲击波和破片层再去毁伤 TBM, 当第二个残骸冲击波远离 TBM 载荷时, 被延滞的第三个冲击波和破片层再去毁伤 TBM。整个过程是通过推进器加速战斗部到目标前面的适当点, 分时起爆战斗部, 并让战斗部多次毁伤 TBM 目标, 以达到对 TBM 的彻底摧毁。分离战斗部的结构图和作用原理图见图 12 所示。

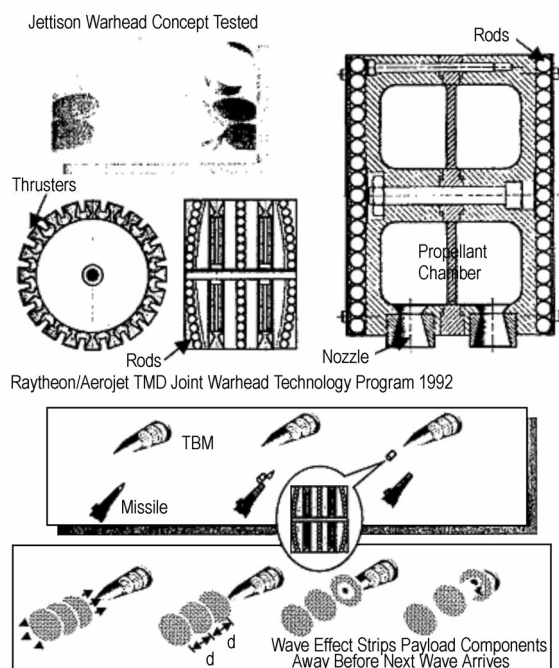


图 12 分离战斗部结构及其作用原理图^[6]

Fig. 12 Diagram of the jettison warhead and the corresponding action principle^[6]

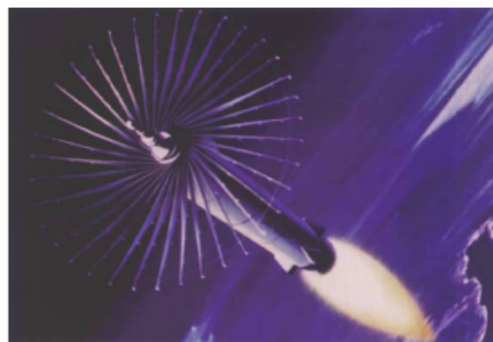
分离战斗部技术不仅具有形成多个杀伤场的能力, 而且还具有多次打击 TBM 的能力, 可以弥补常规战斗部不能彻底摧毁 TBM 的缺点, 是未来发展反

TBM 战斗部技术的新趋势之一, 但它对制导精度、战斗部分离后飞行姿态的控制及起爆时序的控制要求非常高, 还需要解决战斗部之间的分离技术、隔爆技术及系统集成技术等一系列问题。

2.5 动能拦截器及杀伤增强装置技术

最先发展动能拦截器及杀伤增强装置技术的是美国, 它的反 TBM 拦截器普遍采用了直接碰撞动能杀伤方式, 自 1983 年开始, 美国已经发展了三代不同技术水平的动能拦截器 KKV (kinetic kill vehicle), 如表 1 所示。直接碰撞杀伤方式主要靠拦截本身与目标弹头高速相对运动速度的直接碰撞动能来摧毁目标, 它通常分为纯直接碰撞方式和直接碰撞增强杀伤方式。如美国的高层区域防御系统 (THAAD), 通常就是采用直接碰撞动能杀伤目标, 该武器系统制导精度要求较高, 由于 KKV 省略了引信和高能炸药战斗部, 既减轻了质量又提高了安全可靠, KKV 还具有体积小、质量轻、机动能力强、直接命中等特点, 使之成为新型的防空反导武器^[36-39]。

在制导精度满足不了纯直接碰撞的情况下, 在杀伤器上增设杀伤增强装置 (lethal enhanced device, LED), 扩大碰撞杀伤面积, 可以提高对目标的毁伤概率。直接碰撞增强杀伤方式分为系留式和非系留式。最为典型的系留式杀伤增强装置是美国研制的大气层外“上层寻的试验 (Homing Overlay Experiment, HOE)”杀伤增强器, 如图 13 所示。美国的 PAC-3 地空导弹战斗部也装备了一种杀伤增强器, 这种杀伤增强器主要应用于直接命中 (Direct Hit) 或小脱靶量 (Near Miss) 的动能拦截导弹, 它将制导、引信和战斗部进行了一体化设计^[8, 31-32]。中物院^[38]也对抛撒系留式杀伤增强器进行了相关研究, 设计出了多环、多梯度抛撒杀伤增强装置, 实现了杀伤元飞散的精确控制,



In 1984 the Homing Overlay Experiment projectile achieved the first non-nuclear intercept of an ICBM

图 13 上层寻的杀伤增强器^[31]

Fig. 13 The HOE lethal enhanced device^[31]

表 1 美国 KKV 技术发展历程^[36-37]

Table 1 The development history of the KKV technology at American^[36-37]

	HOE	ERIS	THAAD	LEAP	MEADUSA
year	in the 1980s		in the late 1980s		in the late 1990s
kill mode	tethered reticular LED	tethered octagonal LED	single direct collision KKV	single direct collision using high density tungsten rods	microwave submunition KKV
size	the diameter of LED is 3 m, the length of KKV is 1.45 m		the diameter of KKV is 0.34 m, the length is about 2 m	the diameter of KKV is 0.25 m, length is 0.56 m	
KKV mass	145 kg		60 kg	18 kg	
application area	intercept single target at high altitude	intercept single target at high altitude	intercept single target at high altitude	the exoatmospheric SM-3 navy missile	intercept multi target war-head outside the exoatmosphere

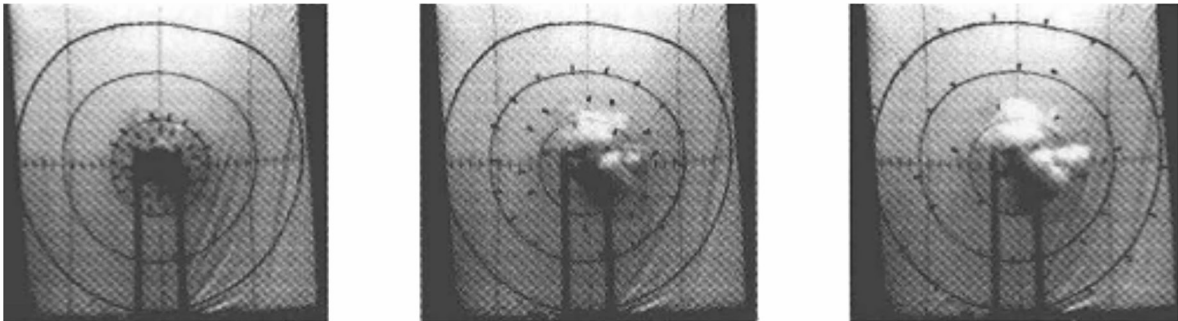


图 14 多环/多梯度破片杀伤元飞散图^[38]

Fig. 14 Diagram of the multi-ring/multi-gradient fragment lethal element distribution^[38]

使杀伤元素形成了均匀一致,且带有速度梯度的多环杀伤场,如图 14 所示。非系留式杀伤增强装置的杀伤重块质量比普通战斗部破片大得多,为了保证足够的碰撞动能摧毁各种 TBM 类型目标,使拦截器与目标飞至一定距离时用炸药抛撒杀伤重块,抛撒距离应保证在与目标碰撞前就能使杀伤元抛撒到所要求的威力半径上,让目标至少能碰撞 2 个杀伤块^[31]。

对杀伤元抛撒而言,其重点在于精确控制不同重量的杀伤块在散步过程中所形成带有速度梯度的均匀杀伤场,它需要深入考虑不同重量杀伤块的整个抛撒形成过程,包括抛撒时序、抛撒姿态、抛撒药和药量的选择及杀伤元飞行姿态等问题。

相关资料表明^[1, 26],美国弹道防御体系中陆基拦截器 (GBI) 装备了外大气层杀伤器 (EKV),如图 15 所示, EKV 采取直接碰撞 (HTK) 方式拦截目标。由洛马公司研制的多杀伤器 (MKV) 能够装备在陆基中段防御 (GBMD) 系统中的众多拦截弹上,如 GBI、KEI 和 SM-3 (Block IIA) 等,它由杀伤器 (KV) 和运载器 (CV) 组成。每个小型的杀伤器 KV 重约 2 ~ 4 kg, MKV 总重 20 ~ 40 kg,可对 10 个左右的威胁目标进行打击,这种拦截器减轻了传感器识别目标的负载,如图 16 所示。



图 15 外大气层杀伤器^[26]

Fig. 15 Extraatmospheric kill vehicle^[26]

近 20 年来,美国研制了多种动能拦截器及杀伤增强装置,并通过大量试验验证了它的可靠性,同时美国还对高层反 TBM 战斗部 (在大气层外拦截再入段的 TBM) 的 LEAP 杀伤器 (大气层外轻型射弹) 进行了相关研究, LEAP 杀伤器是通过直接碰撞杀伤目标的拦截器, 它曾运用于美国“标准-3 (SM-3)”等导弹上^[1, 26, 39]。

动能拦截器及杀伤增强装置技术大多属于大气层外或高层区域防御系统,不太适合于中、低层区域拦截 TBM,而爆炸破片战斗部大多属于低层点防御系统,不太适合于高层区域拦截 TBM,因此,发展适合于不同

区域拦截 TBM 的多模战斗部技术将成为未来发展的又一趋势, 它既要求战斗部适合于不同空域的作战环境, 又要求战斗部在不同的条件下具有多个爆炸输出模型(不同空域下选择不同的爆炸输出模型), 还必须使战斗部能一次性摧毁 TBM, 这对反 TBM 战斗部技术也是一个极大的挑战。

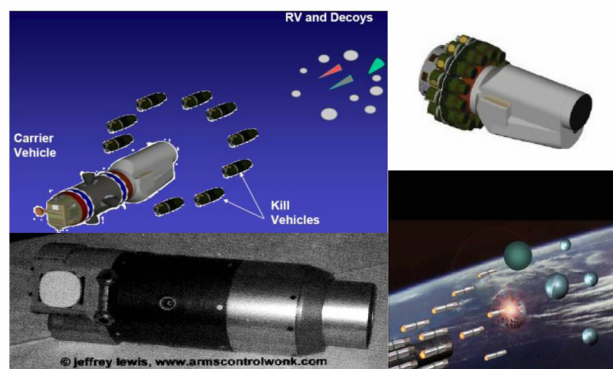


图 16 多杀伤器^[1]

Fig. 16 Multiple kill vehicles^[1]

2.6 其它反 TBM 战斗部技术

由于 TBM 具有较厚防护层, 而且化学、高能炸药、核装药等子弹药较多, 很难对 TBM 实现彻底摧毁或完全解体, 为了提高杀伤元的威力及提高摧毁化学、高能炸药子母弹的概率, 美国对含能杀伤元素进行了相关研究, 采用含能杀伤元素(含能破片或含能杆条)代替了原来的惰性杀伤元素, 这种战斗部可以增强其杀伤半径, 并对 TBM 内部的含能材料具有引燃和引爆功能, 可以大幅提高其杀伤威力。近几年, 研究人员为了提高破片穿透性能和增强杀伤效应, 基于横向增强效应穿甲弹的原理(penetrator with enhanced lateral efficiency, PELF), 将破片设计成特殊形状的横向增强小子弹用于反 TBM。俄罗斯也曾将小型核战斗部运用于反 TBM 中的 A-235 拦截导弹之中^[40-43]。所以将一些先进战斗部技术运用于反 TBM 战斗部上也不失为一种有益的尝试。

3 结 论

由于新一代 TBM 的突防能力强、飞行速度快、飞行时间短、子弹药多和干扰诱饵多等特点, 这对新型反 TBM 战斗部技术提出了更高的要求, 因此发展新型反 TBM 战斗部技术对我国防空反导具有重大意义。多年来, 美国和俄罗斯一直致力于防空反导技术的研究, 也形成了两种不同技术的思维模式(美国大多采用直

接碰撞杀伤方式, 俄罗斯大多采用了杀伤元定向杀伤方式), 其中的优点也值得我国在防空反导拦截武器发展中加以借鉴。建议进行以下研究:

(1) 加强反 TBM 战斗部复合技术研究, 将多种反 TBM 技术集成于同一战斗部上, 实现多功能、多用途和不同条件下高效打击的反 TBM 战斗部;

(2) 加强战斗部综合毁伤效应研究, 使杀伤元不仅对 TBM 具有穿孔、切割能力, 还应具有燃烧、爆炸或与 TBM 中高能炸药、化学药剂产生反应的能力, 使 TBM 丧失毁伤能力;

(3) 由于新一代 TBM 防护能力的增强, 战斗部很难一次性将 TBM 彻底摧毁, 所以应加强一弹多次打击 TBM 战斗部技术的研究, 实现对 TBM 的彻底摧毁。

参考文献:

- [1] 杨军. 从美国弹道导弹防御体系看防空反导技术的发展[C]//先进导弹战斗部技术发展论坛论文集, 重庆, 中国, 2009: 62-71.
YANG Jun. A review of development on aerial defence and anti-missile technology based American trajectory missile defence system[C]//Advanced Missile Warhead Technology Conference, Chongqing, China, 2009: 62-71.
- [2] 张志鸿. 拦截 TBM 特性分析及对策[C]//中国宇航学会无人飞行器学会第三届学术研讨会, 上海, 2001: 2-13.
Zhang Zhi-hong. Characteristic analysis and countermeasure of the intercepted TBM[C]//3th Annual Technology Conference of the Aeronautics and Unmanned Aircraft academy of China, Shanghai, 2001: 2-13.
- [3] M Held. Warheads against air targets and TBM warheads[J]. *Journal of Explosives and Propellants*, 2003, 19: 1-44.
- [4] Sam Waggener. Relative performance of anti-air missile warheads[C]//19th International Symposium of Ballistics, Interlaken, Switzerland, 2001: 7-11.
- [5] M Held. Improvements of the probability to kill chemical and biological submunitions in TBM warheads[C]//20th International Symposium on Ballistics, Orlando, USA, 2002: 669-678.
- [6] Richard M. Lloyd. Near miss warhead technology with multiple effects against submunition payloads[C]//9th Annual AIAA/BMDO Technology Conference, USA, 2000.
- [7] Chao Lihming. Non-KKV end game kinematic plan of anti tactical ballistic missile with target coverage[C]//19th International Symposium of Ballistics, Interlaken, Switzerland, 2001: 977-983.
- [8] Richard M. Physics of direct hit and near miss warhead technology[M]. USA, AIAA, 2001.
- [9] 高淑萍, 王志军, 孙华, 等. 结构参数对离散杆战斗部效能的影响[J]. *兵器材料科学与工程*, 2013, 36(3): 80-82.
GAO Shu-ping, WANG Zhi-jun, SUN Hua, et al. Influence of structure parameters on performance of discrete rod warhead[J]. *Ordnance Material Science and Engineering*, 2013, 36(3): 80-82.
- [10] 丁建超, 王朝志, 陈万春, 等. 反 TBM 导弹动能杆战斗部优化设计[J]. *战术导弹技术*, 2005(4): 7-11.
DING Jian-chao, WANG Zhao-zhi, CHEN Wan-chun, et al.

- Optimization design of KE-rod warhead in anti-TBM missile[J]. *Tactical Missile Technology*, 2005 (4): 7-11.
- [11] 胡景林, 张运法, 娄文忠. 离散杆战斗部杆状破片弹道性能参数的试验研究[C]//中国宇航学会无人飞行器学会第七届学术年会, 西宁, 2001.
- HU Jing-lin, ZHANG Yun-fa, LOU Wen-zhong. The experiment study on trajectory parameter of the discrete-rod warhead[C]//7th Annual Technology Conference of the Aeronautics and Unmanned Aircraft Academy of China, Xining, 2001.
- [12] 刘俞平. 防空反导战斗部发展的若干问题和今后研究方向探讨[C]//先进导弹战斗部技术发展论坛论文集, 重庆, 中国, 2009: 139-144.
- LIU Yu-ping. Discussion on the development and research for the aerial defence and anti-missile warheads in the further[C]//Advanced Missile Warhead Technology Conference, Chongqing, China, 2009: 62-71.
- [13] Manfred Held. Velocity enhanced warheads[J]. *Propellants, Explosive, Pyrotechnics*, 2001, 17: 1-12.
- [14] Manfred Held. Fuze sensor requirements of the different aimable anti air warhead layouts[C]//23rd International Symposium on Ballistics, Tarragona, Spain, 2007: 77-86.
- [15] Manfred Held. Number of initiation lines for velocity enhanced warhead[J], *Journal of Explosives and Propellants*, 2005, 21: 1-8.
- [16] 王树山, 马晓飞, 隋树元, 等. 偏心多点起爆战斗部破片飞散实验研究[J]. 北京理工大学学报, 2001, 21 (2): 177-179.
- WANG Shu-shan, MA Xiao-fei, SUI Shu-yuan, et al. Experimental research on fragments dispersion of the warhead under a-symmetrical multi-spots initiation[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2001, 21 (2): 177-179.
- [17] 李晋庆, 胡焕性. 不同起爆方式对聚焦型战斗部聚焦性能影响的试验研究[J]. 火箭与制导学报, 2004, 24 (1): 43-45.
- LI Jing-qing, HU Huan-xing. Experimental investigation on focus warhead by different ignition methods[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2004, 24 (1): 43-45.
- [18] 吕胜涛. 偏心起爆式定向战斗部破片分布及毁伤效能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- LÜ Sheng-tao. Study on the distribution of fragment and damage efficiency of eccentric initiation aimed warhead[D]. *Nanjing: Nanjing University of Science and Technology*, 2010.
- [19] 叶小军, 韩玉, 陈庆宝. 偏心起爆战斗部速度增益的数值模拟及实验[J]. 火炸药学报, 2009, 32 (3): 29-34.
- YE Xiao-jun, HAN Yu, CHEN Qing-bao. Numerical simulation and experiment of velocity gains on the non-central detonation warhead[J]. *Chinese Journal of Explosive & Propellants*, 2009, 32 (3): 29-34.
- [20] 张新伟, 孙志杰. 空空导弹战斗部技术现状及发展分析[C]//先进导弹战斗部技术发展论坛论文集, 重庆, 中国, 2009, 51-61.
- ZHANG Xin-wei, SUN Zhi-jie. Analysis of technique and development status of air-to-air missile warheads[C]//Advanced Missile Warhead Technology Conference, Chongqing, China, 2009: 62-71.
- [21] Manfred Held. Steerable hitiles against TBM warheads[C]//19th International Symposium of Ballistics, Interlaken, Switzerland, 2001: 685-690.
- [22] 韩路杰, 崔少辉, 方丹, 等. 瞄准式战斗部双向瞄准技术研究[J]. 火箭与制导学报, 2013, 33 (4): 106-108.
- HAN Lu-jie, CUI Shao-hui, FANG Dan, et al. The research on bidirectional aiming technology of gimbaled warhead[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2013, 33 (4): 106-108.
- [23] 石志彬, 高敏, 杨锁昌, 等. 瞄准式战斗部杀伤装置结构设计研究[J]. 兵工学报, 2013, 34 (3): 373-377.
- SHI Zhi-bin, GAO Min, YANG Suo-chang, et al. Research on the structural design of gimbaled warhead killing device[J]. *Acta Armamentarii*, 2013, 34 (3): 373-377.
- [24] 王娟娟, 郭双峰, 袁宝慧, 等. 聚焦战斗部破片聚焦性能的数值计算和试验研究[J]. 火炸药学报, 2013, 36 (2): 87-90.
- WANG Juan-juan, GUO Shuang-feng, YUAN Bao-hui, et al. Numerical simulations and experimental study on directional-focused fragmentation warhead[J]. *Chinese Journal of Explosive & Propellants*, 2013, 36 (2): 87-90.
- [25] 冯顺山, 黄广炎, 董永香. 一种聚焦式杀伤战斗部的设计方法[J]. 弹道学报, 2009, 21 (1): 24-38.
- FENG Shun-shan, HUANG Guang-yan, DONG Yong-xiang. A new design method of fragment focusing warhead[J]. *Journal of Ballistics*, 2009, 21 (1): 24-38.
- [26] Manfred Held. Anti TBM warhead types[J]. *Journal of Explosives and Propellants*, 2003, 19: 1-44.
- [27] Manfred Held. Use of high explosives as an ejection charge[C]//33rd International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 2002: 1-8.
- [28] M Held. Blast damage of submunitions in a TBM warhead by a 15 kg heavy high explosive charge[C]//17th International Symposium on the Military Aspects of Blast and Shock, Las Vegas, USA, 2002.
- [29] P W Doup, M Sc. Endgame analyses against a ballistic missile: a parametric study[R]. NTO, DV2 2005-A33, 2005.
- [30] C Carrasco, R Osegueda, O M Lucero, et al. Modeling hypervelocity impact for kill enhancement of ballistic missile warheads[R]. F49620-02-1-0076, 2004.
- [31] M Held. Fragmentation warheads[J]. *Progress in Astronautics and Aeronautics*, 1993, 155: 387-404.
- [32] Richard M Lloyd. Conventional warhead systems physics and engineering design[M]. USA, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998.
- [33] WANG Shu-shan, LI Chuan-zeng. KE-rod initial velocity of hollow cylindrical charge[J]. *Defence Science Journal*, 2011, 61 (1): 25-29.
- [34] ZHANG Shou-qi, Yang Yun-bin, Qian Li-xin, et al. An anti tactical ballistic missile (ATBM) warhead[J]. *Propellants, Explosive, Pyrotechnics*, 2000, 25: 149-152.
- [35] Slobodan Jaramaz. Military applications of explosive propulsion[J]. *Faculty of Mechanical Engineering Transactions*, 2002, 30: 15-22.
- [36] Sam Waggener. The evolution of air target warheads[C]//23rd International Symposium On Ballistics, Tarragona, Spain, 2007: 67-75.
- [37] 万自明, 陈定昌, 殷兴良. 大气层内飞行的 KKV 关键技术分析综述[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(10): 1-10.
- WAN Zi-ming, CHEN Ding-chang, YIN Xing-liang. Analysis of key problems to endo-atmospheric KKV[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 1999, 21(10): 1-10.
- [38] 姬聪生, 郭宁, 卢永刚, 等. 动能杀伤威力增强装置技术研究[J]. 现代防御技术, 2010, 38(6): 49-55.
- Ji Cong-sheng, GUO Ning, LU Yong-gang, et al. Lethality enhancement of kinetic kill vehicle (LE-KKV) technique study[J]. *Modern Defence Technology*, 2010, 38(6): 49-55.

- [39] 陈俊杰, 韩晓明, 南海阳. 国外反 TBM 战斗部研究发展现状[J]. 飞航导弹, 2013 (4): 87-90.
CHEN Jun-jie, HAN Xiao-ming, Nan Hai-yang. Research and development status of anti-TBM warhead at abroad[J]. *Aerodynamic Missiles Journal*, 2013 (4): 87-90.
- [40] Richard G Ames. A standardized evaluation technique for reactive warhead fragments[C] // 23rd International Symposium On Ballistics, Tarragona, Spain, 2007: 49-58.
- [41] 陈亚旭, 王卫民, 段雪峰. 钨合金(碳化钨)柱形预制破片战斗部对均质钢甲的毁伤效能分析[J]. 军机工程学院学报, 2003, 15 (1): 5-8.
CHEN Ya-xu, WANG Wei-min, DUAN Xue-feng. Damage analysis of tungstenic metal column prefab fragments to homogenized armor [J]. *Journal of Ordnance Engineering College*, 2003, 15(1): 5-8.
- [42] 彭飞, 徐道强, 阳世清, 等. 含能破片战斗部毁伤效应研究[J]. 含能材料, 2011, 19 (4): 450-453.
PENG Fei, YU Dao-qiang, YANG Shi-qing, et al. Damage effects of energetic fragment warhead[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, 19 (4): 450-453.
- [43] 朱建生, 赵国志, 杜忠华. 装填材料对 PELE 效应的影响[J]. 弹道学报, 2007, 19(2): 62-65.
ZHU Jian-sheng, ZHAO Guo-zhi, DU Zhong-hua. Influence of the filling material on the PELE effect [J]. *Journal of Ballistics*, 2007, 19(2): 62-65.

Review on Anti-TBM Warhead Technology

LI Jun-long¹, LI Ben-sheng¹, WANG Jing-yu², ZHANG Liang¹, WANG Yong-heng¹

(1. Chongqing Hongyu Precision Industrial Co, LTD, Chongqing 402760, China; 2. National Defense Key Subject Laboratory of North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: With the characteristics of high speed, long rang, small vulnerability, better bullet carrying ability, strong defense penetration ability and large damage capacity, the tactical ballistic missile (Tactical Ballistic Missile, TBM) has become a serious threat to the world's nations. Thus, it is of great importance to develop the anti-TBM warhead technology. The research on the anti TBM warhead technology was reviewed from the aspects of the fragment warhead, KE-rod (kinetic energy rod) warhead, controllable lethal element warhead, jettison warhead, kinetic energy interceptor and lethality enhancer device. It is suggested that the anti-TBM warhead composite technology, comprehensive damage efficiencies and multi-hurt technology shall be enhanced in the future.

Keywords: tactical ballistic missile (TBM); warhead technologies; aerial defense and anti-missile; damage efficiencies

CLC number: TJ41

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.02.016