

空空导弹战斗部技术现状及发展分析

Technology Status and Development Analysis of Airborne Missile Warhead

张新伟 / 中国空空导弹研究院

摘 要: 简要介绍空空导弹战斗部的主要结构类型与技术现状, 重点分析了定向战斗部技术的研究现状和可行的技术途径, 同时还探讨空空导弹战斗部的技术发展方向、易损特性以及战斗部高效毁伤技术的应用。

关键词: 空空导弹; 战斗部; 定向战斗部; 引战系统; 技术发展

Keywords: airborne missile; warhead; directional warhead; fuse-warhead system; technology development

0 引言

战斗部是导弹的有效载荷, 是导弹武器系统实现对目标终端毁伤和完成最终作战使命的执行机构, 战斗部的威力和毁伤效率直接关系到武器系统的作战效能。作为空空导弹的重要分系统之一, 战斗部除依照自身的发展规律、以不断提高威力为目的进行改进和提高外, 更重要的是根据目标特性和系统匹配需要, 研发各种新结构、新原理的战斗部, 从多角度促进空空导弹战斗部技术的发展。本文重点分析空空导弹战斗部技术的应用现状, 根据战斗部自身的发展规律和目标及导弹武器系统特点探讨战斗部技术的发展方向, 并对定向战斗部在空空导弹中的应用、目标易损特性以及制导、引信与战斗部一体化设计等问题进行讨论。

1 空空导弹战斗部主要结构类型与技术现状

空空导弹攻击的目标包括固定翼飞机、战术导弹和武装直升机等, 均具有点目标、速度高、机动性强、无重型装甲防护等特点, 因此, 空空导弹主要选择以破片杀伤效应为主的战斗部类型, 以弥补导弹命中精度方面的不足, 提高战斗

部的杀伤范围。目前已经应用的战斗部类型主要包括破片战斗部、连续杆战斗部和离散杆战斗部, 这些战斗部统称为杀伤战斗部, 表1为部分空空导弹型号战斗部的类型。

1.1 破片战斗部

目前, 破片战斗部仍然是空空导弹战斗部的主要结构形式, 很多现役和在研的空空导弹都采用破片战斗部, 如美国AIM-120C-5/7、以色列“怪蛇”4/5、欧洲“流星”(Meteor)等。破片战斗部包括自然破片战斗部、半预制破片战斗部、预制破片战斗部。自然破片也称为非控破片战斗部, 其结构比较简单, 大多为圆柱形, 主要由炸药装药和整体式金属壳体组成^[4]。半预制破片是破片战斗部中应用最广泛的形式之一, 它采用了各种较为有效的控制破片形状和尺寸的方法, 避免产生过大和过小的破片, 因而减少了壳体金属的损失。根据不同的半预制技术途径, 可分为刻槽式、聚能衬套式和叠环式等几种。预制破片战斗部的结构特点是在战斗部的薄壳空腔里, 把预先制造好的破片, 根据所要求的破片数和飞散要求, 分成一层、两层或多层形式安装, 并用树脂粘结起来。预制破片形状有圆柱形、半圆柱形、方形和球形等。

破片战斗部有以下优点:

1) 壳体几乎可被加工成任何需要的形状, 以满足各种飞散特性要求, 如单聚焦、多聚焦式破片战斗部、大飞散角破片战斗部;

2) 预制破片可以加工成特殊的类型, 如破片采用高密度材料提高其洞穿能力; 还可以采用特殊金属, 增大破片的杀伤和引燃效能;

3) 在性能上有较广泛的调整余地, 如调整破片层数和大小搭配等, 以满足特殊的设计需要。

破片战斗部的缺点是单枚破片的毁伤概率低, 如果没有命中目标的要害部位, 难以对目标构成有效杀伤。

1.2 连续杆战斗部

连续杆战斗部是杀伤战斗部的一种特殊形式, 主要应用于空空导弹, 如现役的美国AIM-9C/D/H和俄罗斯的P-27P/T等均采用连续杆战斗部。连续杆战斗部的结构特点是长径比的高强度金属杆条纵向紧密排列在战斗部装药外侧, 杆条与杆条之间以首尾焊接起来, 战斗部终点作用时形成一个不断扩展的连续环形杀伤体, 对飞机一类空中目标产生切割毁伤作用。连续杆战斗部的环形杀伤体作用于目标, 其毁伤威力一

般大于破片战斗部,但是连续杀伤环难于扩展到理论上的最大半径,较好的设计方案只能达到80%左右,一旦杀伤环断裂,毁伤威力急剧下降。另外,连续杀伤环的扩展速度较低,一般在1500m/s以下,对付高速目标存在一定的困难。

1.3 离散杆战斗部

离散杆战斗部是用独立的、大长径比的预制杆件作为主要杀伤元素的战斗部,是近年来发展起来的新型战斗部。与普通破片战斗部相比,离散杆战斗部毁伤元素质量大,对目标造成切割毁伤效应优于小破片的穿孔效应,综合毁伤威力高;与连续杆战斗部相比,离散杆战斗部毁伤元素速度更高(可达到1800m/s以上),杀伤范围更大,可以说离散杆战斗部继承了连续杆战斗部杆条质量大、对目标切割能力强的优点,同时又兼顾了破片战斗部速度高、威力半径大的优点。相对而言,离散杆战斗部属于比较先进的战斗部类型。

离散杆战斗部可分为聚焦型和飞散姿态可控型两种。

聚焦离散杆战斗部的设计思想是,通过聚焦波形控制器对爆轰波波形的调整,或通过两端面多点起爆,使杆条在威力半径处分布在一定的带宽内,其作用原理与破片式聚焦战斗部一样。聚焦离散杆战斗部的典型应用是美国的AIM-9L空空导弹。

所谓可控离散杆战斗部,是在战斗部作用过程中,对杆条的初始飞散姿态进行控制,使杆条在规定的飞散半径处,形成“线性”分布,以实现对目标的最大毁伤。实现杆条飞散姿态控制的前提是离散杆条在爆炸驱动过程中不能严重变形或断裂。这种战斗部要求杆条与装药母线有一个倾角,战斗部爆炸后,由于杆条与战斗部装药母线不平行,使杆条上的速度矢量分布不在一个轴切平面上,

从而杆条被赋予一个侧向转速而受控飞散,形成一个不断扩展的“杀伤环”切割毁伤目标。可控离散杆战斗部的典型应用是俄罗斯的P-73空空导弹。

2 定向战斗部的研究现状与应用展望

2.1 研究现状

根据技术途径和结构原理的不同,定向战斗部可分为可瞄准战斗部(Aimable Warhead)、可变形战斗部(Deformable Warhead)等。从广义的概念讲,能够实现破片控制飞散并使作用于目标方向的杀伤能量得到增强的战斗部都属于定向战斗部。从狭义的概念或针对防空导弹而言,定向战斗部是指破片作用场具有径向非均匀分布特征,目标方向的破片密度更高的战斗部类型。

定向战斗部技术的研究起始于上世纪60年代末^[7],30多年来,这方面的研究一直未曾停止过。这期间,国内外研究者提出了多种技术途径和原理结构的定向战斗部方案,并开展了大量的基础研究工作^[6-15]。其中有代表性的是可变形战斗部、偏心起爆战斗部、破片“芯”式战斗部和可瞄准战斗部。近年来,值得关注的是美英“可编程弹药箱计划”(PIOS)中关于这一技术领域的研究。

美国空军研究室和英国国防部正联合资助一项由雷神(Raytheon)公司负责实施的PIOS(The Programmable Integrated ordnance Suite)计划^[16-17]。该

计划的一项重要内容是在弹道终端,将使用红外成像导引头的部分资源作为引信目标探测器,用PIOS的弹载处理器从弹道终端弹目接近时的目标图像中提取弹目相对运动信息,并能够识别目标薄弱部位,选择战斗部瞄准点。

PIOS的目标是研制并验证集成弹药技术,改进对空导弹的杀伤效能,实现“一弹一击毁”。相关技术包括自适应战斗部和红外成像目标探测装置。PIOS的主要工作内容仍然是研究目标与方位的判定和定向战斗部破片三维定向飞散控制(基于多点线形起爆控制的定向战斗部,如图1所示)。通过对弹药舱毁伤概率的预测,发现其毁伤概率比常规战斗部高很多(如图2所示)。

2.2 应用展望

由于地空导弹战斗部的几何尺寸和质量较大,脱靶量相对空空弹也大,采用定向战斗部的迫切性和可行性更大。近年来,关于俄罗斯S-300P和S-300V地空导弹上应用定向战斗部的报道具有一定可信性,而关于对美国AIM-120C-5/7和俄罗斯的P-77空空导弹

表1 部分空空导弹战斗部类型

导弹型号	战斗部类型	战斗部质量(kg)
俄P-73A	可控离散杆(杆条材料10钢)	7.6
俄P-73EL	可控离散杆(杆条材料贫铀)	7.4
俄P-27	连续杆	39
俄P-77	破片	22
美AIM-9X	聚焦离散杆(杆条材料钛合金)	9.5
美AIM-120C-5/7	破片战斗部	20.5
欧洲ASRAAM	破片战斗部	10
欧洲“流星”(Meteor)	破片战斗部(预计2012年服役)	/
德IRIS-T	破片战斗部	11.4
法“米卡”	破片战斗部	12
法“西北风”	破片战斗部	3
英“天闪”	连续杆战斗部	30
以色列“怪蛇”4/5	破片战斗部	11
以色列Derby	破片战斗部	11
南非A-DATER	破片战斗部	17(V3C)

采用定向战斗部的说法不能确定。这是因为定向战斗部应用于空空导弹还面临如下三大技术难题。

1) 目前的定向战斗部的结构均相对复杂,非有效载荷的控制组件所占比例较大,在有限的几何尺寸和质量的限制条件下,如何使战斗部威力得到根本性提高值得深入研究。

2) 定向战斗部系统复杂,需要多项关键技术的支撑,如何实现高可靠性需要深入的研究。

3) 定向战斗部一般以牺牲非定向方向的杀伤威力为代价,因此对引战配合效率的依赖程度更高,特别是在引信近感方位探测而弹目瞬时交会条件下,可靠实现战斗部的定向起爆控制面临很大困难,真正使系统毁伤效率得到提高需要深入研究。

在目前提出的各种技术原理的定向战斗部方案中,短期内工程上最可能采用的是偏心起爆定向战斗部,可瞄准战斗部定向效率和作用可靠性相对更高,其所要解决的主要技术难题在于导弹远距离精确探测及判断弹目交会时的目标方位,以使战斗部获得充裕的转动瞄准时间。

3 空空导弹战斗部的发展方向及相关技术研究

空空导弹战斗部的发展与空中目标的发展、导弹制导技术和引战配合精度的提高密切相关,未来的发展方向及相关技术主要表现为以下几个方面。

3.1 杀伤元的毁伤技术

随着材料科学的不断发展,采用新材料提高战斗部杀伤元素综合毁伤能力是战斗部技术的主要发展方向之一。战斗部杀伤元素的综合毁伤能力表现在侵彻能力、引燃能力和引爆能力等方面,针对导弹攻击的不同典型目标,有

目的地选择材料。例如,在战斗部中加入部分引燃合金(如铅合金、稀土合金等)制成的杀伤元素,可增加战斗部的引燃概率;用铅块取代钢质破片,引燃能力可提高24%;用稀土合金取代钢破片,点燃航空油料能力提高44%。此外,采用高强度、高韧性材料作为战斗部的杀伤元素,可显著提高战斗部的毁伤能力。例如,国外已将贫铀材料用于空空导弹战斗部,P-73导弹战斗部有两种战斗部,其中一种的离散杆条采用了贫铀材料。目前,国内外对含能破片、活性材料破片的研究如火如荼,因为这种破片命中目标后能够产生二次爆炸,可极大提高对空中目标的毁伤效能。含能破片和活性破片材料的研制成功,将对空空导弹战斗部的发展具有重要意义。

3.2 定向杀伤及双模战斗部

根据不同需要,研究战斗部结构形式和爆轰驱动技术,优化控制破片飞散场,以期获得对目标更大的命中和毁伤概率,其中最具代表性的是定向战斗部技术。另外,为适应对付空中兼顾地面目标的攻击模式,如双任务导弹,武装直升机载导弹,这样的导弹要求采用双模战斗部。双模战斗部是将不同毁伤功能组合在一起的战斗部,根据目标的不同,可以实现杀(伤)爆(破)燃(烧),又能形成聚能射流或爆炸成形弹(EFP)等。

3.3 目标易损性及战斗部高效毁伤技术

目标易损特性和战斗部高效毁伤技术是武器装备发展的关键,普遍受到世界各国的重视,并投入大量的人力物力进行研究^[18-19]。

在近年公布的美国国防部国防计划中,高效毁伤战斗部技术

研究项目始终是国防研究的主要内容,他们一方面加强对传统目标的高效毁伤研究,另一方面更重视对新目标的毁伤研究。例如,研究如何摧毁太空运行的卫星技术、如何有效破坏电网的技术、如何摧毁或破坏敌方的作战网络技术等等。对于空空导弹来说,其对付的目标主要为各类飞机和巡航导弹等空中目标,一般情况下,采用的多为常规杀伤战斗部,将来为特殊需要,如要攻击敌方飞机的通讯系统,可能会发展一种软杀伤武器——电磁脉冲战斗部。研制新型空空导弹,需要研究典型目标的易损特性,建立目标易损性数据库,研究其在现有制导体制和引信启动规律下战斗部的毁伤效能,在此基础上进行战斗部威力设计,以最大限度地提高导弹的毁伤效率。

3.4 制导、引信和战斗部一体化设计技术

对于速度高、机动性强的空中点目标而言,从广义角度战斗部不存在先进与落后之分。如果导弹制导精度和引战

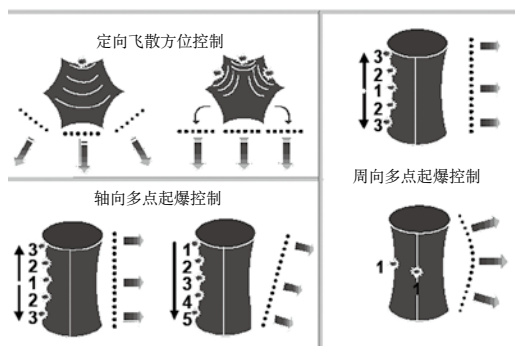


图1 PIOS定向战斗部原理

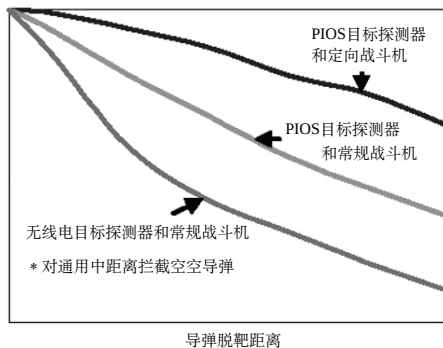


图2 对SS-N-22毁伤概率对比

配合效率低至一定程度,普通破片战斗部由于杀伤元数量多、分布范围大优于连续杆、离散杆战斗部等所谓先进的战斗部形式;反之,如果导弹制导精度高到能够直接命中,也许不需要战斗部或只需要最简单的爆破战斗部就足以彻底摧毁目标。战斗部的先进性是以整个导弹系统的先进性为前提的,战斗部只有与制导精度和引战配合效率相匹配的条件下才能充分发挥其威力。

正如前文所述,可瞄准定向战斗部技术的应用需要利用导引头探测并给出弹目交会时的目标方位信息,这说明先进战斗部技术的应用需要从制导、引信和战斗部一体化设计的角度解决问题,把战斗部游离于导弹系统设计之外,只根据质量、质心、几何尺寸以及威力半径等技术要求研制战斗部不适合战斗部自身的发展规律。例如,美国的“爱国者”PAC-3地空导弹战斗部选择了一种被称为“杀伤增强器”(Lethality Enhancement Devices, LED)的装置,没有引信,由导引头给出起爆指令。“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,是制导、引信和战斗部一体化设计的典型范例。

制导、引信和战斗部一体化设计的另一个重大意义在于从系统终端毁伤的角度选择合理的战斗部结构类型和优化战斗部设计,导弹武器系统终端毁伤效能评估为此提供了技术原理和技术途径。导弹武器系统终端毁伤效能评估以单发导弹毁伤概率为评估指标,以目标易损性为依据,以制导精度、引信启动规律和战斗部终点效应参数为变量,采用仿真模拟或解析算法研究各参数变量对毁伤概率的影响规律,从而指导引战系统乃至导弹系统的设计。

3.5 高能钝感装药技术

空空导弹发射平台为高价值武器平台,其对空空导弹的安全性有着特殊的要求。空空导弹战斗部既要有足够的威力,又要有很高的安全性,这就要求战斗部采用的装药必须是高能钝感炸药。采用满足低易损炸药7项考核指标的钝感炸药,是我国空空导弹战斗部必经之路。

4 结论

通过上述分析,可得出如下几条结论。

1) 破片质量和破片飞散场的优化控制是空空导弹战斗部技术的发展方向,聚焦破片和可控离散杆是破片飞散控制的典型代表,定向战斗部是飞散场控制的终极目标。

2) 定向战斗部技术在空空导弹中的应用,需要从制导、引信和战斗部一体化设计的角度解决。

3) 目标易损特性和毁伤技术研究是引战系统技术发展的客观需要,也是导弹武器系统终端毁伤效能评估的有效途径之一。

AST

参考文献

- [1] 王祖典. 空空导弹发展今昔[J]. 航空兵器, 2004 (2).
- [2] 张天光. 国外新型空空导弹的发展现状[J]. 航空兵器, 2002 (2).
- [3] 樊会涛. 空空导弹21世纪展望[J]. 航空兵器, 2001 (1).
- [4] 隋树元, 王树山. 终点效应学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] 许艳铃译. 定向杀伤弹药的作用原理[J]. 技术与装备(俄), 2000 (8~9). 弹药信息, 2002 (3).
- [6] Allred M J, et al. Aimed Quadrant Warhead. USP3565009, 1969.
- [7] Abernathy D D, et al. Variable

Geometry Warhead. USP3960085, 1976.

[8] Kempton L M. Selectively Aimable Warhead. USP4026213, 1977.

[9] Manfred Held. Aimable Fragmenting Warhead. 13th International Symposium on Ballistics, 1992.

[10] Deformable Warhead. Warheads Branch code G22, Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division, Dahlgren, Virginia.

[11] 万程. 爆炸驱动破片定向飞散研究[D]. 北京理工大学博士论文, 1995.

[12] 王树山. 爆炸波非常规传播现象及其应用研究[D]. 北京理工大学博士论文, 1995.

[13] 马晓飞. 多点偏心起爆定向战斗部技术研究[D]. 北京理工大学硕士论文, 2001.

[14] 张新伟. 多点偏心起爆战斗部X光实验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2005 (4).

[15] US-UK Program Studies Directional Warhead technology[J]. Jane's Missiles & Rockets, 2001, 5(2).

[16] Cunard D A, Thomas K A. Programmable Integrated Ordnance Suite (PIOS)[C]. 1st Annual International Missiles & Rockets Exhibition, 1992.

[17] 张天光. 美英定向战斗部的研究与应用[J]. 航空兵器, 2002 (3).

[18] 林光宇, 宋笔锋译. 飞机作战生存力分析与设计基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 1998.

[19] 裴扬. 飞机非核武器威胁下易损性定量计算方法研究[D]. 西北工业大学博士论文, 2006.

作者简介

张新伟, 研究员, 研究方向为导弹战斗部技术。