

文章编号: 1006-9941(2012)06-0661-08

灵巧弹药发展概述

孙传杰, 钱立新, 胡艳辉, 高海鹰, 刘 飞

(中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 灵巧弹药是近几十年来出现的最为重要的弹药类型之一, 已越来越广泛地应用到现代战场。在融合了对国内外灵巧弹药最新认识的基础上, 剖析了灵巧弹药的技术内涵, 介绍了弹道修正弹、制导弹药、末敏弹、广域值守弹药和巡飞弹等几种典型的灵巧弹药, 提出了灵巧弹药的关键技术和发展方向及我国灵巧弹药的发展重点。

关键词: 弹药工程; 灵巧弹药; 弹道修正弹; 制导弹药; 末敏弹; 广域值守弹药; 巡飞弹

中图分类号: TJ5; TJ41

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.06.001

1 引 言

快速发展的光电技术、信息技术极大推动了现代常规弹药技术的进步, 近半个世纪来世界各国竞相研制了很多新型弹药。20 世纪中期美国、俄罗斯等率先研制了电视制导炸弹、激光制导炸弹等制导弹药, 极大提高了当时的作战效率, 标志着弹药革新的开始。此后, 美国、俄罗斯等又研发了末制导炮弹, 并于 80 年代开始实战使用。为提高作战生存性和复杂环境的适应性, 60 年代后期国外提出了“末端敏感毁伤”概念, 末敏弹的研发随之开始。美国、德国、瑞典和法国等相继研发了各自的末敏弹, 至 90 年代国外末敏弹已基本装备使用。近年来, 我国也成功研制了火箭末敏弹和炮射末敏弹, 成为世界上少数可自主研发末敏弹的国家之一^[1]。为充分利用大量库存无控弹药, 基于成本和精度的综合考虑, 70 年代美国首先提出了弹道修正弹概念^[7]。此后, 英国、法国、瑞典、俄罗斯等也启动了类似的研究工作。80 年代, 随着红外传感器和声传感器等先进探测技术的发展以及爆炸成型战斗部技术的成熟, 在网络技术和信息技术地推动下, 地雷焕发了新的生机, 转变为全新的具有主动实施全方位攻击的广域值守弹药。90 年代后期, 为实现对目标长时段的监视和“有选择”的打击, 美国开始了巡飞弹的研制。俄罗斯、以色列、英国和德国等也随之开展巡飞弹研发工作^[18]。巡飞弹是目前弹药发展的最新阶段, 标

志着弹药技术向智能化的发展。

弹药技术的迅猛发展不断丰富着弹药种类, 如何梳理和划分当前种类繁多的新型弹药, 是学界一直探讨的议题。对上述新型弹药曾使用过有能力弹药、修正弹药、制导弹药、灵巧弹药等众多归属名称, 由于归属过细, 反而容易掩盖这类新型弹药的共同属性。近年来, 学界大多趋向于使用灵巧弹药一词。文献[2-3]结合当时弹药技术的发展, 初步界定了灵巧弹药的基本概念, 是国内较早论述灵巧弹药概念的文献。文献[4]主要阐述了灵巧弹药的外延, 介绍了几种灵巧弹药的工作原理和基本性能。文献[5]较全面、深入地阐述了目前国内对灵巧弹药技术内涵的认识, 但更侧重于末敏弹相关技术的介绍和分析。

本文在上述文献基础上, 结合当前灵巧弹药的最新发展, 阐述灵巧弹药的技术内涵。通过几种典型灵巧弹药的简介, 归纳灵巧弹药的主要关键技术, 并对灵巧弹药的关键技术和发展趋势进行了简要分析。

2 技术内涵

Smart Munition 是与 Dumb Munition 相比较而言的, 字面上可理解为“聪明灵巧的弹药”。大英百科全书定义 Smart Munition 为具有导航系统的、可控制飞行轨迹至目标的弹药。美国国防部则提高了 Smart Munition 的定义标准, 认为 Smart Munition 应具有搜索、探测、识别和攻击目标的功能。

1996 年我国兵工学会弹药分会专门召开了一次“灵巧弹药研讨会”, 会议定义 Smart Munition 为“在

收稿日期: 2011-08-16; 修回日期: 2012-03-19

作者简介: 孙传杰(1976-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事战斗部终点效应研究。e-mail: ballistic2000@sina.com

外弹道某段上能自身搜索、识别目标,或者自身搜索、识别目标后还能跟踪目标,直至命中和毁伤目标的弹药”^[7],该定义与美国国防部的定义基本一致。

近年来随着弹药技术的快速发展,国内对 Smart Munition 的定义有所拓展,即 Smart Munition 为“在适宜阶段上具有修正或控制其位置或姿态能力,或者对目标具有搜索、探测、识别、定向或定位能力的弹药”^[5]。该定义延伸了 Smart Munition 的内涵,基本上涵盖了国外对 Smart Munition 的两个定义。按照该定义,弹道修正弹、制导弹药、末敏弹、广域值守弹药和巡飞弹等均归类于灵巧弹药范畴。

此外,Intelligent Munition 的提法与 smart Munition 相伴而生,国内通常将 Intelligent Munition 译作智能弹药,刻意与灵巧弹药区分,过去两者的概念一直没有理清,为此曾进行了多次学术探讨^[2-3]。目前,国外大多数文献多以 Smart Munition 作为主流提法,而 Intelligent Munition 提法较少。2010 年国内弹药界召开小型研讨会对 Intelligent Munition 有了较统一的认识,并对 Intelligent Munition 作了基本定义:具有自主判断、识别、搜索和探测目标的能力的弹药^[8]。因此依据此定义,智能弹药当归类于灵巧弹药,是灵巧弹药的一个子集^[5]。

3 典型的灵巧弹药

3.1 弹道修正弹

弹道修正弹是精度与成本折衷的产物,典型代表为美国陆军研制的 CCF(Course Correcting Fuze)。

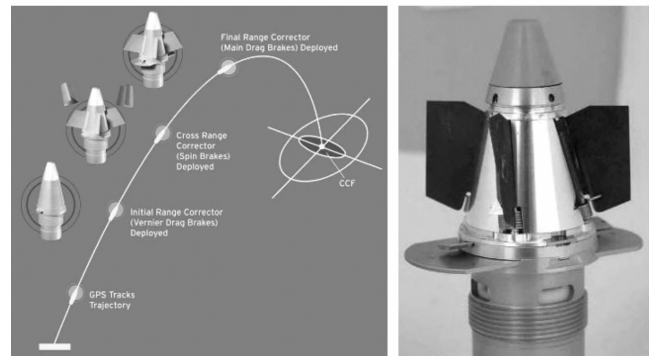
CCF 概念源于 20 世纪 70 年代中期,主要通过改造传统引信实现弹道修正,包括 1D CCF 和 2D CCF。CCF 的制导控制系统一般由 GPS(Glbal Positioning System)接收机、GPS 天线、系统控制器和制动器等构成,其工作过程为:系统控制器实时读取 GPS 数据并进行必要的弹道解算,根据目标点位置规划气动控制方案,向制动器提供最优的(阻力板或旋转翼片)制动指令,实现弹道修正。图 1 为 BAE System 开发的一种 CCF。

表 1 PGK 三阶段发展目标^[11]

Table 1 Development goal of of PGK^[11]

阶段	时间	命中精度/m	战斗部类型	引信功能	GPS 性能	工作温度/℃	发射平台
第一阶段	2007~2009	<50	155 mm 高爆战斗部	触发/近炸	无抗干扰能力	-17.7~62.7℃	Paladin, M777A2
第二阶段	2009~2012	<30	105 mm 高爆战斗部	触发/近炸/延时	抗干扰	-42.7~62.7℃	M119A3, Paladin, M777A2, NLOS-C
第三阶段	2012~2015	<20	105 mm/155 mm 高爆战斗部	触发/近炸/延时	抗干扰	-42.7~62.7℃	M119A3, NLOS-C, Paladin, M777A2

目前美国陆军已将 CCF 转向 PGK(Precision Guidance Kit)(图 2)。作为 CCF 技术之一,PGK 采用 GPS 制导(INS 辅助)和鸭舵控制方式,系统紧凑、可靠,属于完整、连续的 2D 制导,具有更好的修正精度。PGK 对传统无控弹药的制导化改造仅需更换 PGK 引信,不涉及弹药的整体改造,既可提高作战效率,又可减少附带杀伤和减轻后勤负担,但同时 PGK 也受原有弹药尺寸空间限制,因此 PGK 的研制非常依赖于元器件的小型化。PGK 提出了三步走的发展目标,如表 1 所示。



a. the course of CCF operation b. a sample of CCF

图 1 BAE Systems 开发的 CCF^[9]

Fig. 1 CCF manufactured by BAE Systems Company^[9]

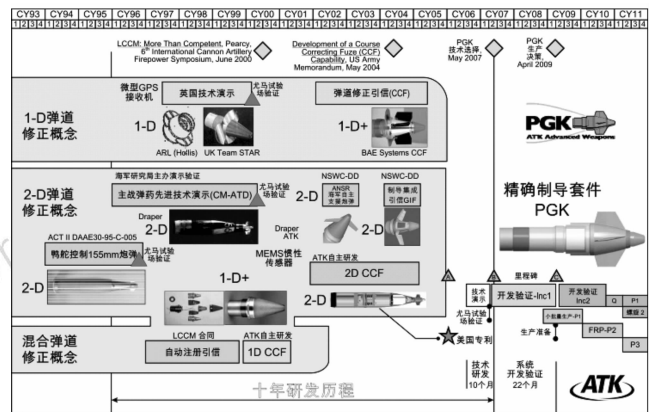


图 2 CCF 技术发展多年最终导向 PGK^[10]

Fig. 2 PGK is the final version of CCF^[10]

3.2 制导弹药

3.2.1 制导炸弹

制导炸弹美国发展最多,应用也最为广泛,美国在制导炸弹技术方面主要采用 GPS/INS 制导方式或 GPS/INS(中段)+激光半主动(末段)组合制导方式。而俄罗斯则主要发展电视制导方式、激光半主动制导,并逐步发展基于 GLONASS 的卫星制导方式^[4]。

典型型号包括“白星眼”(Walleye)电视制导炸弹(图3)、“宝石路”(Paveway)激光制导炸弹(图4)和“杰达姆”(JDAM)卫星制导炸弹(图5)等。



图3 “白星眼”(Walleye I)电视制导炸弹^[12]

Fig.3 Walleye I TV-guided bomb^[12]

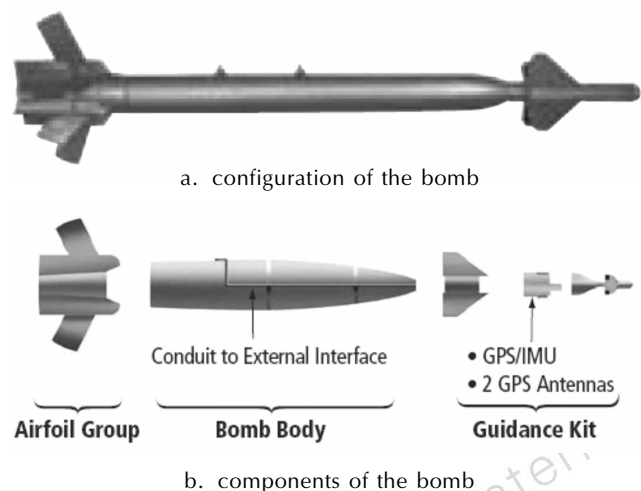


图4 “宝石路”(PavewayIII GUB-28A/B)激光制导炸弹^[12]

Fig.4 PavewayIII(GUB-28A/B) laser-guided bomb^[12]



图5 “杰达姆”(JDAM)制导炸弹^[12]

Fig.5 JDAM guided bomb^[12]

Walleye I 由美国 LockheedMartin 公司于 1963 年代开始研制,1966 年开始批产,是美国最早研制成功、并投入使用的一种电视制导炸弹。Walleye I 只能在白天能见度不小于 9 km、目标有良好对比度的条件下使用,受环境因素影响较大^[12]。

PavewayI激光制导炸弹是在 MK80 系列标准炸弹基础上加装激光制导系统和弹翼发展成的一种精确打击弹药,由 Texas Instrument 公司于 20 世纪 60 年代中期研制。通过对制导方式和控制机构的改进和发展,LockheedMartin 和 Raytheon 公司先后研制了 Paveway II、Paveway III 和 Paveway IV,制导方式也逐渐由半主动激光制导向 GPS/INS+半主动激光制导的复合制导方式发展,命中精度(CEP)也达到小于 1 m 的水平^[12]。

JDAM 由 Boeing 公司于 20 世纪 90 年代中期研制而成,采用 GPS/INS 组合制导作为全程制导,其设计命中精度(CEP)为 13 m。目前发展型 JDAM 采用 GPS/INS 作为中段制导、全天候自动导引头作为末段制导,末段导引头可采用红外成像、激光雷达或者合成孔径雷达导引头等,其命中精度可达 3 m^[12]。

3.2.2 制导火箭

火箭作为传统的压制性、面打击武器曾发挥了很大的作用。但随着现代战争对点目标精确打击、减小附带破坏的要求日益凸显,制导火箭的研制也成为必然趋势。

目前各国在发展制导火箭时普遍以激光半主动制导作为首选方案,再逐步探索发展其它的制导方式(GPS/INS 制导、红外制导或雷达制导等)。典型的制导火箭包括美国的 APKWS II 制导火箭、LOGIR 制导火箭和俄罗斯的“威胁”系列制导火箭^[13]。

APKWS II 制导火箭(图6)采用分布式孔径半主动激光导引头系统(DASALS),该系统安装在战斗部和发动机之间,四个孔径光圈则分布安装在四片弹出式弹翼前沿。DASALS 系统的设计有效巧妙地保护了导体头。此外,APKWS II 制导火箭通过滚转绝缘支座保证火箭弹飞行过程中导引头不随尾翼旋转而转动,以确保打击精度。APKWS II 的作战距离约 1~7 km,圆概率误差小于 2 m^[13]。

美国海军的 LOGIR 制导火箭则采用红外成像导引头制导,具有“发射后不管”能力。LOGIR 制导火箭的有效射程为 5 km,制导系统包括 INS 和红外成像导引头,其中导引头采用非致冷凝视焦平面阵列,利用成像匹配技术定位并识别预定目标^[13]。

俄罗斯“威胁”系列制导火箭(图7)由 AMETEX

公司研制,是在俄罗斯 S 系列航空火箭弹的基础上,通过加装激光半主动末制导系统、可分离的前部舱段、可张开的用于飞行稳定的尾翼以及脉冲火箭发动机实现的。“威胁”系列制导火箭对 2.5~8 km 的目标的命中概率相当高,其命中精度(CEP)为 0.8~1.8 m^[13]。

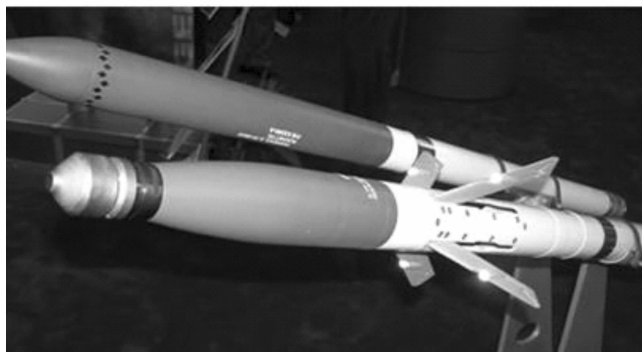


图 6 美国 APKWS II 制导火箭^[14]

Fig. 6 APKWS II guided rocket^[14]

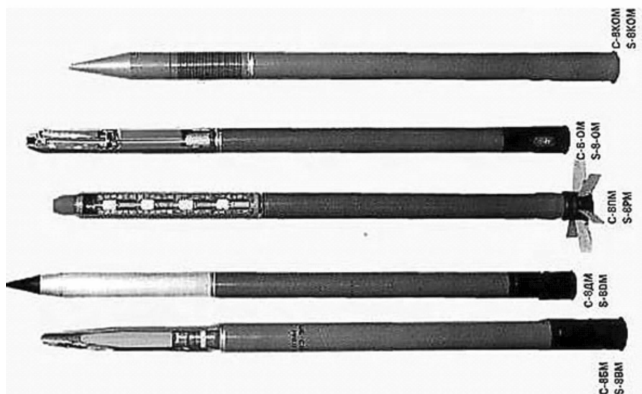


图 7 俄罗斯“威胁”系列制导火箭^[13]

Fig. 7 Russian guided rocket^[13]

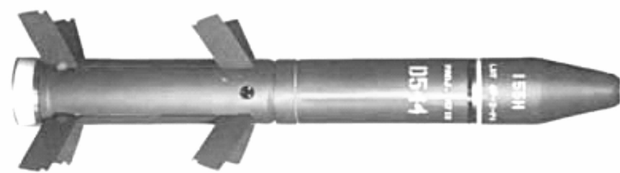
3.2.3 制导炮弹

制导炮弹是在越来越迫切要求提高火炮远程射击精度的需求牵引下,依靠光电技术、抗高过载技术和小型化技术的发展带动下,于 20 世纪 70 年代初,首先在美国和原苏联开始研制的,目前,已有美国、俄罗斯、英国、法国、德国、瑞典和以色列等十几个国家开展了制导炮弹的研制。

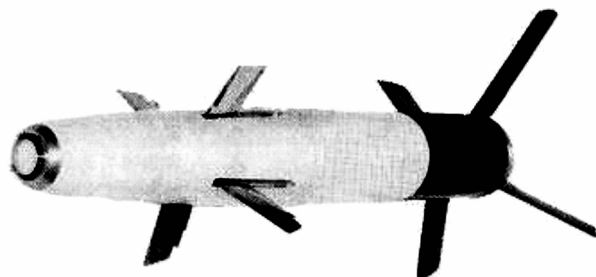
典型的制导炮弹包括美国“铜斑蛇”和俄罗斯“红土地”激光制导炮弹、美国“神剑”(Excaliber)GPS 制导炮弹等。

“铜斑蛇”和“红土地”两种制导炮弹(图 8)均采用了激光半主动制导方式,其工作过程为:炮弹由制式火炮发射后,在末制导段以前,由地面侦察站或空中无人驾驶机上的激光目标指示器跟踪瞄准目标。当炮弹

飞至离目标约 3 km 时,激光目标指示器以预定的编码照射目标。炮弹上的导引头接收到目标反射回的激光编码信号后,发出控制指令,操纵舵机改变炮弹飞行方向,直至命中目标^[7]。



a. copperhead guided artillery shell



b. krasnopol guided artillery shell

图 8 激光制导炮弹^[15]

Fig. 8 Laser-guided artillery shell^[15]

“神剑”是美国 Raytheon 和瑞典 Bofors 联合研发的 155 mm 精确制导增程炮弹^[16],采用 GPS/IMU 复合制导、自由旋转尾翼、四片鸭翼、弹底排气和弹道滑翔等技术来提高精度和射程,是美军首例用身管火炮发射的精确打击、“发射后不管”的间接射击弹药,是美军实现火炮系统转型、增强精确打击能力的重点项目,同时也是系列化、模块化的远程精确制导弹药。

“神剑”弹长 1 m,质量 48 kg,射程约 40 km,CEP 可达 10 m,具有“发射后不管”的性能。“神剑”采用感应装定器进行系统装定,可提供触发、近炸和延时起爆三种起爆模式,可承受 15500 g 的发射过载和 50000 g 的侵彻过载,是目前世界上首款使用 GPS/INS 的制导炮弹^[13],标志着 GPS/INS 制导技术微小化应用取得重大进展。“神剑”的作战过程如图 9 所示。

3.3 末敏弹

美国是最早研究末敏弹的国家。在 20 世纪 60 年代后期,美国的几大公司就同时进行过间瞄武器末制导的研究,于 1970 年 10 月份分别提出研究报告,并在此基础上于 1972 年提出了《目标定向末端激活弹在武器上的应用》的报告,完成了末敏弹的概念研究^[17]。末敏弹为“发射后不用管”弹药,具有搜索、探测、识别和攻击目标的能力,是真正意义上的灵巧弹药。

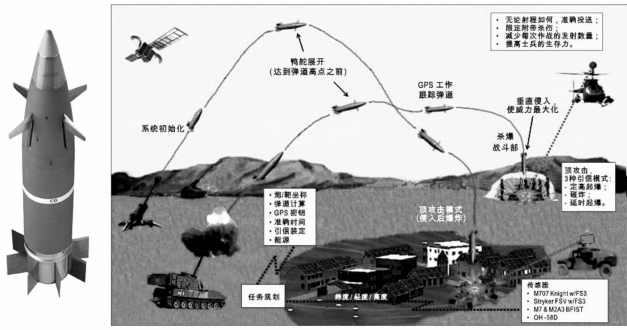


图9 “神剑”炮弹及其作战过程^[16]

Fig.9 Trajectory of Excalibur artillery shell^[16]

末敏弹的主要工作过程为:在目标上空附近,末敏弹旋转下落探测地面目标,根据探测器提供的数据调整探测门限,抑止假目标和外界干扰。进入威力有效高度后,识别和确认目标,在威力窗口内起爆 EFP 战斗部,攻击目标。

目前末敏弹的探测体制主要包括红外体制和红外与毫米波复合体制,其中复合体制的探测性能、抗干扰和去伪能力更强,基本具备了全天候作战的能力^[1]。

国外主要的末敏弹型号见表 2。三种常见末敏弹类型如图 10~图 12 所示。

表 2 国外末敏弹型号^[17]

Table 2 Terminal sensing ammunition^[17]

型号	国家	搭载平台	子弹数	敏感方式	工作方式
SADARM	美国	155 mm 炮弹 203 mm 炮弹	2 3	红外 + MMW 红外 + MMW	冲压充气减速伞+涡流伞减速致旋,150 m 高螺旋扫描,发现目标后攻击
Skeet	美国	机载布撒器	4	双色红外	降落伞减速,小火箭发动机起旋
BONUS	瑞典	155 mm 炮弹	2	红外 + MMW	用两个平衡稳定盘使子弹转动扫描,起爆点至目标的最大距离为 150 m
SMArt	德国	155 mm 炮弹	2	红外 + MMW	降落伞减速减旋,100 m 高度战斗部起爆



图 10 德国 SMArt155 mm 末敏弹^[18]

Fig.10 155 mm SMArt^[18]



图 12 美国 Skeet 末敏弹^[18]

Fig.12 Skeet submunitions^[18]

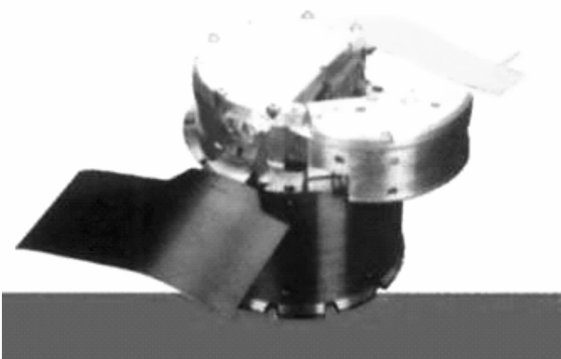


图 11 瑞典 BONUS 末敏弹^[18]

Fig.11 155 mm BONUS^[18]

2.4 广域值守弹药

为了规避反地雷国际公约,国外将传统地雷与网络技术、信息技术以及声、光、电技术相结合产生了广域值守弹药概念,用于攻击坦克装甲车辆和反超低空飞行的武装直升机。目前广域值守弹药大多数采用音响、震动传感器以及先进的红外探测器或毫米波雷达识别和探测目标,部分广域值守弹药还可跟踪目标,计算目标的速度和方向,并进行火控决策。

典型的广域值守弹药包括美国的 M93 Hornet (图 13)和 XM-7 Spider(图 14)。M93 Hornet 广域值

守弹药由声、红外和振动传感器、地面发射器及 EFP 战斗部构成, 可通过人工、直升机或卡车等平台快速布设, 质量约 15 kg, 采用顶部攻击方式, 能打击长达 200 m 距离的装甲车辆^[20]。

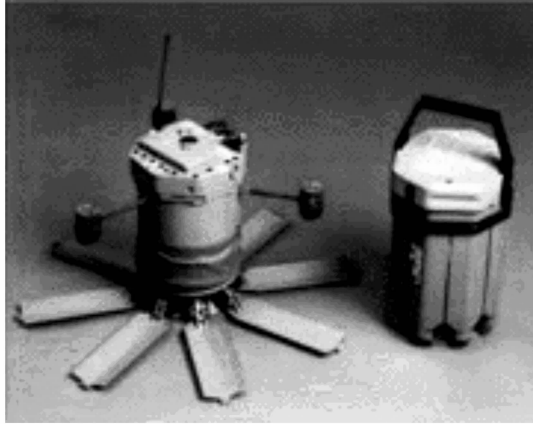


图 13 M93 Hornet 广域值守弹药^[20]

Fig. 13 M93 Hornet wide area munition^[20]



图 14 XM-7 Spider 广域值守弹药^[21]

Fig. 14 XM-7 Spider wide area munition^[21]

XM-7 Spider 广域值守弹药由 ATK 和 Textron system 联合研制, 由最多 84 个弹药控制单元、远程控制站、通信中继器等组成。每个弹药控制单元最多可装填 6 个子弹, 每个子弹间隔 60°。作战时, 当警戒面触动时 XM-7 Spider 即刻向远程控制站发送无线信

号, 操作者根据目标信号特征, 远程控制 XM-7 Spider 的触发时刻、抛射子弹数量和抛射子弹类型。Spider 也可设置为自控模式, 即像普通地雷工作^[21]。

2.5 巡飞弹

巡飞弹是传统弹药技术与无人机交叉产生的高技术武器系统, 可实现侦察与毁伤评估、精确打击、通信、中继、目标指示、空中警戒等多种类型的作战任务^[22], 是灵巧弹药发展的高级阶段。

美国是最早研制巡飞弹的国家之一, 无论是在研制水平, 技术成熟程度、还是在装备的规模、数量、种类和实战经验上, 都处于世界领先地位^[23]。典型的巡飞弹为美国的自主攻击弹药系统“洛卡斯”(LOCAAS)。LOCAAS 是一种小型的、有动力巡飞弹, 配置有低成本雷达探测器、多模战斗部以及涡轮发动机, 具有搜索、识别和战斗部毁伤模式选择等功能, 可攻击坦克、装甲人员运输车、直升机、人员、掩体等多种目标^[24], LOCAAS 巡飞弹(图 15)体现了高度的灵巧特性。

但巡飞弹在发展过程中也面临一些瓶颈问题, 如低速长航时飞行对巡飞弹的动力装置和电源系统的小型化和高能化提出更严格的要求。在数百千米射程范围执行多重任务, 高效、可靠的大距离数据传输则更加依赖于先进的信息技术和网络技术等。

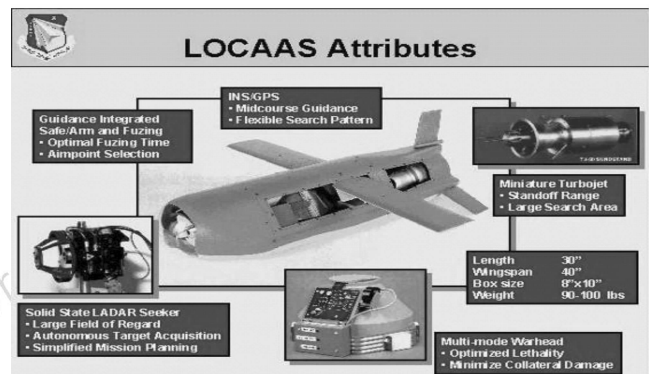


图 15 LOCAAS 巡飞弹^[19]

Fig. 15 LOCAAS loitering munition^[19]

表 3 国外巡飞弹型号^[25]

Table 3 Loitering munitions^[25]

国家	型号	直径 /mm	长度 /mm	质量 /kg	制导方式	巡飞时间 /min	巡飞速度 /m · s ⁻¹	备注
美国	Quicklook	203	2750	-	GPS/INS 制导 + 电视制导	720	55.6	-
	LAM	178	1520	45	GPS/INS 制导 + 激光雷达导引头	30 ~ 45	80 ~ 100	2008 年装备使用
	LOCAAS	203 × 254	760	40.8 ~ 45.4	GPS/INS 制导 + 激光雷达导引头	30	102.8	1994 首次试验
	Dominator	-	1200	45	"人在回路" 自主制导	720	51.4 ~ 76.4	2005 年试验
英国	Fire Shadow	-	4000	200	电视制导	600	-	2008 年首次试验
俄罗斯	R-90	280	1420	42	电视/红外制导	30	30 ~ 50	-

4 关键技术及发展方向

4.1 探测技术

探测技术是灵巧弹药的核心技术,是灵巧弹药实现目标搜索、识别的基础。目前采用无论是毫米波探测器还是红外探测器,均存在一定缺陷,如毫米波雷达探测器受大气衰减和雨的影响较大,毫米波辐射计探测器则无法进行测距、测速,且受自然温度影响大。红外探测器则易受天气和烟尘的影响。研究表明,复合探测体制可避免上述单一探测体制的弊端,因此复合探测体制是未来灵巧弹药实现全天候、多环境的主要发展方向。

此外,未来还需进一步研发新的高性能探测器件,探索新的更宜于获取不同类型目标特征的电磁波段,在提高现有毫米波器件、红外器件、激光器件等性能并降低成本的同时,加强其它电磁波段器件的开发,提高探测器的抗干扰能力^[5]。

4.2 MEMS 技术

为了满足现代弹药对小尺寸、高过载和低成本等方面的要求,灵巧弹药的发展越来越依赖于 MEMS 技术^[26]。目前灵巧弹药虽已大量采用 MEMS 技术,如 GPS/MEMS IMU 系统集成模块、MEMS 安全执行机构等,但随着未来弹药工作环境更加恶劣、弹药设计条件更加苛刻, MEMS 技术对灵巧弹药的推动作用将越发突出,因此未来仍需进一步加快研发 MEMS 器件和微机电系统,以满足未来灵巧弹药的发展需求。

4.3 网络技术

未来的战争将是以信息、网络为主导的战争,弹药的作战任务将不仅仅只是单一的打击目标,而将赋予侦察、探测、识别、打击、评估、再打击等多重任务角色,因此网络技术将是未来灵巧弹药向高级阶段发展的关键所在。

5 结束语

灵巧弹药的出现是弹药发展史上的一次重要变革,给现代战争带来了重要变化。国外发展灵巧弹药已经几十年,技术处于领先水平。我国灵巧弹药研究虽然起步较晚,但近年来灵巧弹药发展较快,特别在未制导弹药和末敏弹方面取得的成就非常显著,在 2010~2011 年兵器科学技术学科发展报告中我国首次提出大力发展智能弹药,指出未来我国应大力发展末敏弹药、弹道修正弹药以及制导和未制导弹药等^[27],进

一步确定了未来灵巧弹药的发展重点。因此,未来我国应根据国内灵巧弹药技术的发展现状和研发能力,有侧重地发展灵巧弹药技术,重点开展低端、中端灵巧弹药的研发和使用,紧密关注高端灵巧弹药的发展,相关核心技术应能紧跟国外发展潮流,从简单到复杂,逐步构建和完善我国灵巧弹药体系。

参考文献:

- [1] 许毅达. 中国智能化弹药——末敏弹技术跨入世界先进水平行列[J]. 含能材料, 2011, 19(3): 251
XU Yi-da. Intelligent munitions in China: China has developed advanced TSMs in the world[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(3): 251.
- [2] 姚树旗. 关于“灵巧弹药”一词的探讨[J]. 火箭技术, 1995(2): 60-61.
YAO Shu-qi. Discussion on the term of smart munitions[J]. *Technology of Rocket and Artillery*, 1995(2): 60-61.
- [3] 郭锡福. 关于灵巧弹药的探讨[J]. 火箭技术, 1996(2): 57-65.
GUO Xi-fu. Discussion on smart munitions[J]. *Technology of Rocket and Artillery*, 1996(2): 57-65.
- [4] 郭美芳. 国外灵巧弹药现状和发展趋势[C]//中国兵工学会弹药专业委员会第三十三次学术年会, 合肥, 2008: 1-19.
GUO Mei-fang. Development of foreign smart munitions[C]//The proceeding of . 33rd ammunition symposium of china ordnance society, Hen Fei, committee, 2008: 1-19.
- [5] 杨绍卿. 灵巧弹药工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 1-2.
YANG Shao-qing. Engineering of smart munitions[M]. Beijing: National Defence Press, 2010: 1-10.
- [6] 杨绍卿. 论武器装备的新领域-灵巧弹药, 中国工程科学[J]. 2009, 11(10): 4-7.
YANG Shao-qing. A new field of weapons-smart munitions[J]. *Engineering Science*, 2009, 11(10): 4-7.
- [7] 王儒策, 刘荣忠, 苏玳, 等. 灵巧弹药的构造及作用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001: 1-3.
WANG Ru-ce, LIU Rong-zhong, SU Dai, et al. Constructure and principle of smart munitions[M]. Beijing: Arms Industry Press, 2001: 1-3.
- [8] 中国科学技术协会. 智能化弹药与未来战争[C]//2010年第十次中国科协论坛, 西安, 2010.
China association for Science and Technology. Intelligent munitions and future war[C]//10th forum in 2010, Xi'an, 2010.
- [9] James E Unterseher. BAE Systems Course Correcting Fuze: A commonsense approach to improving cannon accuracy[R]. *Marine Corps Gazette*, 2006.
- [10] 钱立新. 制导弹药技术发展研究[R]. 中国工程物理研究院总体工程研究所, 2010: 32-46.
QIAN LI-xin. Investigation on development of guided munitions [R]. Internal report of Institute of Systems Engineering of CAEP, 2010: 32-46.
- [11] Colonel Ole Knudson. Program overview[C]//Munitions Executive Summit. 2006.
- [12] Goebel, Greg. Modern Glide Munitions. http://www.vector-site.net/twbomb_05.html. (2001-04-12)
- [13] 陈永新, 李宝锋, 柏席锋. 国外直升机载制导火箭弹发展分析[C]//中国兵工学会弹药专业委员会第三十三次学术年会, 合肥, 2008: 32-37.

- CHEN Yong-xin, LI Bao-feng, BAI Xi-feng. Analysis on development of guided rockets armed with helicopters [C] // The proceeding of . 33rd ammunition symposium of china ordnance society, Hen Fei, committee, 2008; 32-37.
- [14] Green, LCDR Nick. APKWS II Update [C] // Joint Armaments Conference, Exhibition & Firing Demonstration, Dallas, 2010; 1-9.
- [15] 方艳艳, 柴金华. 美俄激光末制导炮弹的对比分析 [J]. 制导与引信, 2004, 25(3): 12-18.
FANG Yan-yan, CAI Jin-hua. Contrast analysis in the laser terminal guidance ammunition round of America and Russia [J]. *Guidance & Fuze*, 2004, 25(3): 12-18.
- [16] Bill Cole. EXCALIBUR XM982 [R]. Precision Strike Association Annual Programs Review, April 2005.
- [17] 孙传杰, 杨云斌. 灵巧弹药调研报告 [R]. 中国工程物理研究院总体工程研究所报告, 2004; 22-35.
SUN Chuan-jie, YANG Yun-bing. The research on smart munitions [R]. Institute of Systems Engineering of CAEP, 2004; 22-35.
- [18] 王颂康. 灵巧弹药: 弹药家族的“新秀” [J]. 现代军事, 2004(4): 68-70.
WANG Song-kang. Smart munitions-the new type munitions [J]. *Modern Military*, 2004(4): 68-70.
- [19] WL, MNAV. LOCAAS Industry Day [R/OL]. 1998.
http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/docs/locaas_Industry_Day/sld004.htm.
- [20] Major Gregory Fields. The Hornet: A Wide Area Munition [OL]. 1996. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/m93.htm>.
- [21] Jolliffe, Richard B. Spider XM-7 Network Command munition. Department of Defense Inspector General, 2008, D-2008-127 [R].
- [22] 程锋, 王华. 巡飞弹最新发展概述及展望 [J]. 硅谷, 2011(1): 1-2.
CHENG Feng, WANG Hua. The state of art of loitering munition [J]. *Silicon Valley*, 2011(1): 1-2.
- [23] 郭美芳, 彭翠枝. 巡飞弹—一种巡飞待机的新型弹药 [J]. 现代军事, 2006(4): 49-52.
GUO Mei-fang, PENG Cui-zhi. loitering munition-one of new type munitions [J]. *Modern Military*, 2006(4): 49-52.
- [24] 郭美芳, 范宁军. 多模式战斗部与起爆技术分析研究 [J]. 探测与控制学报, 2005, 27(1): 31-34.
GUO Mei-fang, FAN Ning-jun. The study on a multimode warhead and the initiation technology [J]. *Journal of Detection and Control*, 2005, 27(1): 31-34.
- [25] 赵楠, 张纪成. 巡飞弹发展概述以及与地地常规导弹相结合的前景分析 [C] // 中国兵工学会弹药专业委员会第三十三次学术年会, 合肥, 2008; 45-53.
ZHAO Nan, ZHANG Ji-cheng. Analysis on loitering munitions used as submunitions of ground-to ground missiles [C] // The proceeding of . 33rd ammunition symposium of china ordnance society, Hen Fei, committee, 2008; 45-53.
- [26] Wilson J R. Smart munitions development relies heavily on MEMS technology [J]. *Military & Aerospace Electronics January*, 2003, 14(1): 12-18.
- [27] 中国科学技术协会. 中国兵器科学技术学科发展报告 2010-2011 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
China association for Science and Technology. Report of development of China Ordnance between 2010 and 2011 [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2011.

Development of Smart Munitions

SUN Chuan-jie, QIAN Lin-xin, HU Yan-hui, GAO Hai-ying, LIU Fei

(Institute of Systems Engineering, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: Smart munitions had been developed for many years and had no uniform definition yet. In this paper we interpreted the definition of smart munitions with the integration of some main definitions on board and at home. Based on the definitions, smart munitions were classified and some typical ones were introduced including course correcting munitions, guided munitions, terminal sensing munitions, wide area munitions and loitering munitions, which were used widely in battlefield in recent decades. Key technologies of these munitions were pointed out and future development of the munitions were expected.

Key words: munition; smart munition; course correcting munition; guided munition; terminal sensing munition; wide area munition; loitering munition

CLC number: TJ5; TJ41

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.06.001