

# 弹药发展对引信技术的需求与推动

张 合

(南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 南京 210094)

**摘要:**针对弹药与引信技术的发展,叙述了灵巧与智能弹药、引信的定义,通过对新型武器平台与弹药的发展与需求分析,对几种特殊弹药适配的引信技术特征与未来发展方向进行了论述,可为推动灵巧与智能引信的深入研究提供参考。

**关键词:**弹药;引信;灵巧化;智能化

**本文引用格式:**张合. 弹药发展对引信技术的需求与推动[J]. 兵器装备工程学报,2018(3):1-5.

**Citation format:**ZHANG He. Development of Ammunition for the Demand and Promotion of Fuze Technology[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2018(3):1-5.

**中图分类号:**TJ4

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-2304(2018)03-0001-05

## Development of Ammunition for the Demand and Promotion of Fuze Technology

ZHANG He

(Ministerial Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Aiming at the development of ammunition and fuze technology, this paper gave the definition of smart and intelligent ammunition and fuze. Through the development and demand analysis of new weapons platforms and ammunition, the technical characteristics and future development direction fitted for several kinds of special ammunition were discussed. Thus this paper provided a reference way for further research of smart and smart fuze.

**Key words:** ammunition; fuze; dexterity; intelligentialize

### 1 概述

引信是一种特殊产品,它定义为能够利用目标、环境、平台和网络等信息,按预定策略起爆或引燃战斗部装药,并可选择起爆点、给出续航或增程发动机点火指令以及毁伤效果信息的控制系统。引信是武器装备的核心部件,广泛用于兵器、船舶、航空、航天等领域的炮弹、火箭弹、枪榴弹、鱼雷、水雷、导弹等的起爆控制以及飞行器和航天器的点火、分离等控制<sup>[1-2]</sup>。

引信技术涵盖面广,可用空间小,技术与工艺复杂,经受的环境恶劣和物理场多,既要担负弹药从生产、储存、运输、发射的高安全控制,又要实现弹药终点高效毁伤的高作用可

靠性。引信已从机械、机电、近炸发展到灵巧与智能产品,其内涵在原有功能的基础上扩展成为五个输入与四个输出,输入为环境与目标信息、平台信息、网络信息、多维坐标控制信息与其他引信交联信息,输出信息为起爆战斗部信息、续航与增程发动机点火信息、反馈起爆时机用于毁伤评估信息、反馈给弹上多维坐标信息,如图1所示。

引信是弹药终端毁伤控制子系统,弹药或其他载体对引信的要求为:具有灵巧化、智能化的功能,适配性好,因此,引信必须具有高的安全性与作用可靠性。引信对各类目标能够实时快速精确探测、识别,抗各种干扰能力要强。更重要的是引信信息化是武器系统信息化的“最后环节”。引信在武器系统中的地位与作用具有不可替代性;引信的早炸、抗干扰性差与低作用可靠性将降低弹药的毁伤能力;引信的

**收稿日期:**2017-09-28;**修回日期:**2017-10-28

**作者简介:**张合(1957—),男,本刊编委,博士生导师,教授,主要从事引信技术研究,E-mail:hezhangz@mail.njust.edu.cn。

开仓点与炸点精度直接影响弹药的最大毁伤威力。

随着引信对抗技术的发展,引信面对超高加速度、超高速、临近空间环境、强电磁环境、地下深层目标、海洋中安静目标、强防护目标、掠地与掠海飞行、干扰与抗干扰、信息化与组网等发展的迫切需求,其能力代表武器装备和弹药发展的核心技术水平,与武器系统其他部分有密不可分的关系,

可支撑新型弹药、特种弹药的起爆方式(多次、多点)。引信与弹道修正机构的一体化设计可减小系统体积和节省成本;引信与火控、制导仓的信息交联可提高毁伤效能;引信利用导引头信息可提高其终点探测能力;引信的发展将推动火工品、电源、专用集成芯片、传感器等核心关键器件的发展。

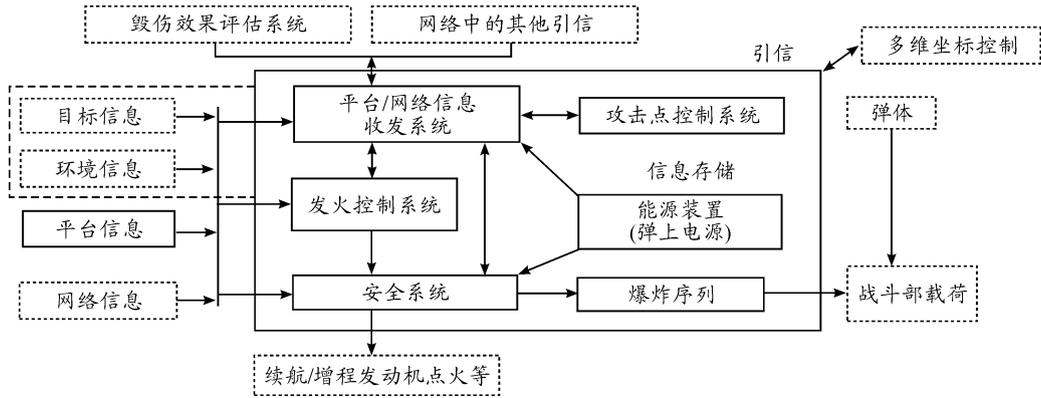


图1 引信技术框架

## 2 灵巧、智能弹药与引信的发展

灵巧弹药介于常规弹药与制导弹药之间,是智能弹药的初级产品,具有通过弹上接收系统或引信进行信息交联功能、具有对目标的探测功能、具有对自身弹道修正功能或具有对不同目标选择不同的起爆功能。与其对应的灵巧引信为:

通过发射前装定信息,采用单一或复合探测手段获取环境与目标信息,通过单片机、可编程控制器或 DSP 处理器等方式进行起爆控制的引信为灵巧引信(可装定、可探测、可处理、可控制)。

智能弹药指的是发射后不管,通过弹上探测系统获取弹道信息,进行弹道辨识与修正,同时探测系统能获取目标信息,识别目标、跟踪目标、选择目标薄弱部位进行攻击,直至在一一定的区域内毁伤目标。

通过发射前或发射后自动装定,并能自动探测、跟踪、识别目标,具有自主分析、双向沟通能力,能配合战斗部自主区分、优选攻击目标,在最佳位置起爆战斗部的引信称为智能引信(自动装定、探测识别、自主选择、最佳起爆四种能力)。

目前,我国灵巧弹药与引信发展突飞猛进,已有 30 和 35 毫米定时与定距空炸灵巧弹药、各型末敏灵巧弹药、侵彻硬目标的灵巧弹药等装备,也配置有相应的灵巧引信,其他各类灵巧弹药与引信正在发展中。

## 3 新型弹药的发展对引信技术的需求与推动

近几年随着技术的发展出现一些新型弹药,如无人值守

武器平台用弹药、电磁脉冲弹药、电磁炮弹药、反装甲主动防护系统弹药、多功能灵巧弹药、无人机载弹药等,所配的引信具有初级智能功能,并有适应相应发射或工作特殊环境的能力。

### 3.1 无人值守平台用弹药与引信

无人值守武器平台具有发射后不管,可自主攻击目标的性能,主要包括攻击型无人机、无人战车、无人潜航器等,是现在武器平台的重要发展方向之一。

攻击型无人机载精确制导炸弹、空对地导弹和空空导弹。引信采用平台信息、弹道环境和目标信息进行安全设计、目标识别和最佳炸点起爆控制。对地、对空无人机用弹药引信主要采用近炸、碰炸作用方式。

水下无人作战平台是海军无人作战系统的重要组成部分,与传统的有人驾驶多功能攻击型潜艇相比,水下无人作战系统具有造价低廉、使用灵活、隐蔽性强、适应复杂海况,以及可有效避免人员伤亡的特点。引信采用水流体动力、超声、磁场等信息进行安全及起爆控制。

### 3.2 多功能灵巧弹药与引信

多功能灵巧弹药指的是一种战斗部有杀爆、破甲、攻坚等能力,其主要配多功能引信(也称多选择引信),具有定时、瞬发、延期、定距空炸、近炸等功能,其功能或作用参数可通过与火控信息交联实现或自主选择。目前,随着电子技术、微加工技术、电子集成等技术的飞速发展,以及成本的不断下降,使一种多功能引信可用于多种同口径、配用于不同战斗部的弹丸上,具有以下优点:

1) 提高引信的弹药适配能力,大幅度减少引信库存的品种;

2) 为多功能弹药和新型战斗部的发展提供支撑;

3) 为引信交联技术、信息化弹药的终端信息保存与提取提供平台。

目前,常用的弹药有杀爆弹、云爆弹、子母弹、破甲弹、攻坚弹(自调延期、单层与多层识别靶后定距)、对空目标各类导弹(近炸为主)所配的引信种类多,对未来战场的后勤保障具有大的压力。美军用于中大口径榴弹多选择引信为 M782、美海军为 MK419、迫弹为 M888,已经大量使用和装备<sup>[3-5]</sup>。因此,发展同一口径或不同口径可通用的多功能或多选择引信是未来的方向。

### 3.3 电磁脉冲弹药与引信

美国国防部的“发展常规武器的高技术倡议”中已将高功率电磁脉冲武器技术列为 5 项关键高科技技术项目之一。美国的 MK-84 低频电磁脉冲弹采用了两级式磁通量压缩发生器为高功率微波源供电,第一级主要是扩大电流与电压增益,第二级主要是减小电流上升的脉冲宽度<sup>[6]</sup>,见图 2。

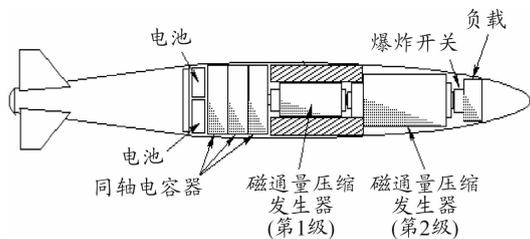


图 2 美国 MK-84 电磁脉冲弹结构

国内研究电磁脉冲弹及其防护的单位主要有哈尔滨工业大学、哈尔滨理工大学、海军工程大学、中国工程物理研究院、国防科技大学、南京理工大学等。其中中国工程物理研究院还研究核电磁脉冲弹技术。国防科技大学在非核电磁脉冲弹相关技术和器件研制基础最为雄厚,能够设计出准实用化的武器系统<sup>[7]</sup>,所设计的试验样机如图 3。国内已有许多电磁脉冲设备已经投入使用,但是电磁武器小型化方面存在许多技术难点,有待进一步解决。



图 3 国防科技大学的低频非核电磁脉冲弹试验样机(爆炸压缩磁频率发生器)

### 3.4 反装甲主动防护系统弹药与引信

坦克、装甲车辆主动防护系统主要是针对反坦克弹药而研制的,而主动防护系统必将对反坦克弹药造成毁伤效能严重下降。世界主要军事强国装备各型主动防护系统,用于提高坦克装甲车辆的生存能力。装甲车辆主动防护系统一般分为三种:软杀伤型(干扰型),激光或红外告警器探测威胁方位,通过烟幕、红外干扰、吐泡沫和安全气囊等干扰或伪装为技术手段实现防护;硬杀伤型(拦截型),利用雷达、光学和声音传感器获取来袭弹药的方位和运动特征,以快速发射拦截弹药为手段有效摧毁来袭弹药;以及软/硬杀伤型(综合型)<sup>[8]</sup>。

随着主动防护技术不断提高并且在世界范围内不断扩充,相应的反主动防护系统也在不断研制和制造中。目前,对抗主动防护系统的手段主要有两种,一种是干扰或诱饵技术,避免被坦克主动防护系统的探测器探测到,主要途径是采用隐身技术或欺骗、堵塞敌方的探测器;另一种是动能反坦克导弹技术,其原理是提高导弹的飞行速度,利用硬质弹头击穿装甲<sup>[9]</sup>。

俄罗斯巴扎特公司研制成一种新型 RPG-30 反坦克火箭筒,专门用于攻击配装有主动防护系统(active protection systems, APS)的装甲车。如图 4 所示,RPG-30 反坦克火箭筒分为上下两个部分:上部分是大口径发射筒,可发射配有串联战斗部的 RPG-30 式 105 mm 空心装药反坦克火箭弹;下部分是小口径发射器,可发射用以对付主动防护系统的诱饵弹。该弹先利用一个诱饵弹吸引和干扰主动防护系统,再用主火箭弹“趁虚而入”打击装甲车辆。关键是要在主动防护系统再次反应过来前(约 0.2~0.4s)完成欺骗和打击过程。现有技术可采用延时方法控制两枚弹药先后发射,但由于重量、外形、发动机等不同,诱饵弹和火箭弹的速度有差异,要使两枚弹药在出筒后难以保持合适的距离,只能降低有效射程,这就会直接威胁发射人员的生命安全。

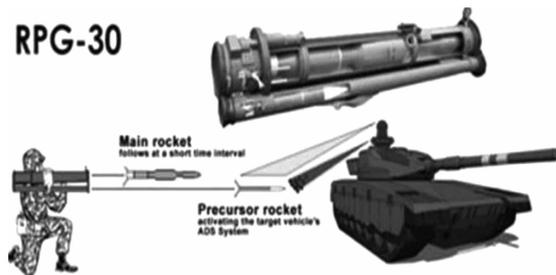


图 4 RPG-30 反坦克火箭筒

### 3.5 硬目标侵彻弹药与引信

现代信息化与一体化联合作战,必须首先对首脑机关和重要硬目标设施进行精确打击,硬目标侵彻弹药是主要手段之一,配备能够精确起爆的多选择引信,实现复杂多类目标的自适应精确起爆控制,其核心技术为引信精确控制侵彻战斗部的起爆点,造成敌方首脑机关瘫痪和重要硬目标设施丧失功能,满足能打仗、打胜仗的重大军事需求<sup>[10-11]</sup>。

硬目标侵彻引信工作环境和过程较其他引信更为苛刻严酷,要求具有对付复杂多类硬目标的能力,引信在侵彻过程中需承受几十 ms 峰值数万 g 的高过载冲击,并在应力波、电磁波、热辐射等多物理场干扰下,准确进行目标信息探测和侵彻状态的快速识别,实现对复杂多类目标的自适应炸点精确起爆控制,提高武器系统的终端毁伤效能。目前,国外最具代表性的硬目标侵彻引信,是 Orbital ATK 公司与美国空军联合研制的 FMU-167/B 硬目标空穴敏感引信 HTVSF (Hard Target Void Sensing Fuze),2015 年获准小批量试生产,利用加速度计获取侵彻特征数据,可精确计层起爆、延期起爆,并具有空穴感知能力<sup>[12-13]</sup>。

随着战场“攻”与“防”对抗的加剧,战场目标防护能力得到大幅提升,主要表现在防护强度、防护厚度的提高,相应的战斗部速度也提高到 1000m/s 以上,对配备的引信在抗长时间超高过载能力、炸点精确控制、试验模拟方面也提出了更高的要求。目前美军正在研制和发展高超音速钻地弹,包括能由 F-22 和 F-35 飞机携带的飞行速度高度 6 马赫的高超音速钻地弹,充分利用其撞地时的高速度增大钻地深度。该型钻地弹使用爆破杀伤战斗部,其撞地速度大于 1 400 m/s。美军还将研究侵彻速度可达 2 000 m/s 以上的高超音速钻地弹。

### 3.6 云爆弹药与引信

云爆弹亦称燃料空气炸药 (Fuel Air Explosive, FAE),是由装有易燃物质的容器和定时起爆装置构成的一种战斗部,主要分为一次和二次起爆型云爆弹。一次起爆型云爆弹又称为温压弹,主要采用化学催化法和光化学起爆法。二次起爆型云爆弹作用过程是:第一次引爆在目标区上空形成一定直径和厚度的可燃气体溶胶云团,一次引信的起爆高度直接影响云雾形状及作用在目标处的超压值。当抛洒高度较小时采用感触式近炸引信,高度较大时采用激光或无线电定高引信。二次引信的引爆时机和位置是决定超压值的关键因素,延期引信难以保证在最佳爆轰浓度引爆云雾。采用新型引战配合技术研制二次起爆引信,精确、可靠探测起爆时机,激发爆轰,是大威力云爆弹发展的重要方向。

### 3.7 电磁炮弹药及引信

电磁炮是利用电磁力将弹丸加速到超高速,使电源电能转换为物体动能。与传统发射器相比具有发射初速高,射程远,易于控制,隐蔽性好,后勤保障简单等诸多优点。利用电磁炮发射超高速弹药,可用于远程打击、近程防空与反导、侵彻坦克装甲等。电磁炮主要分为轨道炮、线圈炮和重接炮三种,其中以轨道炮结构最简单,相关研究最成熟<sup>[14]</sup>。

目前利用电磁轨道炮发射的超高速弹丸主要为动能弹,为了适应近程拦截作战,提高作战效能与拦截概率,国内外正考虑配用子母式弹药和制导弹药实现拦截功能。电磁炮弹引信必须适应电磁炮弹发射过程的强磁场干扰、高过载大脉宽发射冲击,以及外弹道超高速飞行的气动加热等特殊苛刻环境。

2005 年,美国陆军武器研究发展中心 (ARDEC) 的

Barry Schwartz 等提出用于电磁轨道炮的全机械、双保险触发引信,并设计了样机。如图 5 所示,采用 0.5 MJ 轨道炮发射直径 24.4 mm 的次口径弹丸,弹头引信位于电枢前端 3 英寸位置。发射过程的峰值电流 1 mA,后坐过载 50 000 ~ 60 000 g,引信位置处的磁场峰值约为 0.2 T。安全系统的设计利用后坐与强磁场两道解保环境,其中强磁场环境由 2 个处于互斥状态的磁棒敏感。平时勤务处理阶段,2 个小磁棒互斥锁住垂直转子隔爆机构,限制后者转正;发射过程的膛内强磁场环境,使得两磁棒重新充磁磁化,两磁棒相互吸引,解除对垂直转子的约束,磁棒材料选用铝镍钴合金。

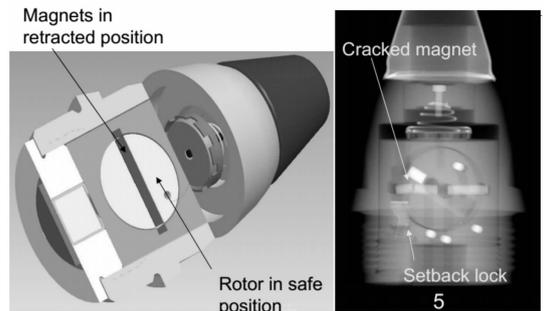


图 5 美国陆军武器研究发展中心  
电磁轨道炮弹引信

2006 年,Barry Schwartz 等在之前工作基础上,进行了引信磁场解保试验、空气炮试验及弹道回收实验。磁场解保试验中,磁棒在磁场下重新极化并在试验后相互吸引解除保险。没有出现磁感应引起的点火现象,爆炸序列在测试后工作正常。空气炮测试环节,测试了 3 发全备引信,3 发摘火引信(没有磁棒),后坐加速度从 47 000 g 到 62 000 g。3 发摘火引信实现着火,磁棒保险使得 3 发全备引信处于安全状态;6 个磁棒中,有 1 个在 58 000 g 后坐环境下受损断裂。弹道回收实验中,7 个摘火引信完全着火。回收后的引信的后坐销均下移,着火弹簧处于待发状态。磁棒被重新极化而吸引。所有磁棒都破碎成至少 2 块<sup>[15]</sup>。

## 4 未来引信技术的发展方向

对于大量装备的自行火炮和装甲车辆,由于单车携弹量有限,弹种朝多功能化发展是必然趋势。发展具有“快速、准确、多能、高效”特征的一体化多功能弹药,要求配置的引信具有多功能化和智能化功能的需求更强烈。由火控根据任务、目标类型选择工作模式同引信进行信息交联,引信通过选择起爆方式,形成最有利于毁伤目标的杀伤元素,对目标实现高效毁伤,引信的价值和作用将大幅提高。

引信小型化是灵巧化与智能化的具体表现形式,小型化可采用的技术为 MEMS 加工技术与微成型加工技术<sup>[16-17]</sup>。引信利用 MEMS 加工技术实现自身的小型化研究工作在国内外已开展十几年,基本探索了实现小型化的加工途径。有望在未来几年开发成功产品并应用到弹药中。微成型加工技

术是从工业部门成型加工技术发展延伸而来。目前有液态硅树脂成型工艺、金属注射成型工艺、陶瓷注射成型工艺等。随着材料工艺技术的进步,介于大尺度与 MEMS 微尺度之间的小尺度引信结构也将成为小型化的发展方向。微型模具的加工或毫米级的模具加工是需要掌握的关键技术。一旦安全系统在毫米级空间实现,加上传爆序列的毫米级设计,有别于 MEMS 加工技术的毫米量级成型加工技术在成本上具有一定的优势,也是未来发展的方向。

随着作战从陆地向远/深海、临近空间和外太空转移,在太空、临近空间、深海、高原等场合各种对抗技术的发展,引信在未来战场中面临越来越恶劣的战场环境。临近空间飞行器、空天飞机等成为目标后,引信将遇到前所未有的超低温、低气压、高水压、宇宙射线辐射等新环境。弹药射程的增加,弹速的提高,导致发射过载、着靶过载大幅提高;弹目高速交会、全天候作战使得云雾、烟尘、静电、地海杂波以及雨雪、雷电等自然与气象环境影响更严重的复杂环境。电磁脉冲弹等电子战装备的广泛应用,导致未来战场电磁环境面临越来越恶劣的极端环境。新的自然环境、电磁兼容环境和电子对抗环境要求引信必需具备高安全、高可靠性和恶劣环境下正常作用能力。

未来一体化联合作战将是战争的主要形式,它将由平台中心战转向网络信息中心战。以信息、指挥、精确打击为主要要素的战争模式牵引武器装备全力向信息化方向发展,实现真正的系统与系统的对抗。一体化联合作战模式要求武器系统实现信息流、能量流、物质流三者的有机融合。通过运载、发射平台的物质运动,利用信息平台、指控平台以及各子系统之间的信息互联,通过信息终端的引信控制,对弹药的能量进行最大释放,从而实现对预定目标的精确打击和高效毁伤。一体化作战模式要求引信作为战场数据链节点融入战术互联网,具备和综合电子信息系统、导航系统、武器平台以及引信的信息互联的能力,从而引信可采用目标基解保,可大幅度提高引信安全性、作用可靠性和毁伤效能,同时参与侦察与毁伤效果评估等任务。

引信为应对未来的一体化联合作战模式、未来具有信息化与多功能化的新武器系统、未来高速/高机动/隐身/强防护等新的目标、未来自然和电磁环境更加恶劣新的环境,引信必须具有 4 大能力即大幅提高毁伤控制能力(炸点控制;起爆模式控制;命中点控制);信息互联能力(信息互联、一体化联合作战);恶劣环境下正常工作能力(超高速、新发射平台);安全可靠作用能力(适应发射飞行环境、复杂背景干扰),才能满足弹药精确打击与高效毁伤发展的需要。

综上,多功能、小型化、网络化是灵巧、智能引信发展方向,其关键核心是发展探测器件、小型抗高冲击制导组件、适应高冲击的全电子安全系统等。

## 5 结论

引信技术是随着科技的发展与现代战争的需求不断发

展和变化的,为加快引信技术的发展和提升弹药的高效毁伤能力,首先阐述了引信的技术内涵、发展现状,随后针对新型武器平台与弹药的发展,分析了几类适配引信的技术特征与发展方向,指出新的发射环境、电磁环境、作战环境等,要求未来引信必须具备高安全、高可靠性和恶劣环境下正常作用能力。未来引信技术的重点发展方向主要包括小型化技术、多功能化技术、网络化技术等。本文对弹药与引信技术研究者有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 张合,李豪杰.引信机构学[M].北京:北京理工大学出版社,2014.
- [2] 张合,江小华.目标探测与识别技术[M].北京:北京理工大学出版社,2015.
- [3] ROBERT E. Keil. MOFA EOD Circuit[C]. The 49<sup>th</sup> NDIA Fuze Conference,2005.
- [4] DAVID C, SMITH P. M256 ammunition datalink development testing - fielding [C]. 2015 Armament Systems Forum. Baltimore, MD, US; NDIA,2015.
- [5] 杨绍卿.灵巧弹药工程[M].北京:国防工业出版社,2010.
- [6] 石艳霞,王路.国外电磁炸弹性能分析[J].中国航天,2006(6):38-42.
- [7] 赵波.爆磁压缩磁频率发生器研究[D].长沙:国防科技大学,2010.
- [8] 李春海,李补莲.主动防护系统[J].国外坦克,2014(1):33-36.
- [9] 郭希维,姚志敏,孔子华.主动防护系统及对抗策略[J].兵器装备工程学报,2012,33(12):4-6.
- [10] 周义,王永良,王自焰.地下堡垒克星[J].飞航导弹,2005(4).
- [11] 于雪泳,朱清浩.美军钻地弹的发展使用及其防御技术综述[J].飞航导弹,2012(11):16.
- [12] TOBIK T M. United States Air Force Fuze Science & Technology[R]. NIDA 56nd Annual Fuze Conference,2012.
- [13] US Department of Defence. Acquisition of the Air Force Hard Target Void Sensing Fuze Program[R]. 2013.
- [14] 马伟明,鲁军勇.电磁发射技术[J].国防科技大学学报,2016,38(6):1-5.
- [15] BARRY SCHWARTZ, DAVID OKKEN. A Novel Fuze for Use in an EM Gun Projectile[EB/OL]. [2006-05-11]. <http://www.dtic.mil/ndia/2006fuze/schwartz.pps>.
- [16] 黄庆武,席占稳,聂伟荣,等.小口径弹药引信远距离解除保险控制电路设计[J].兵工自动化,2013,32(9):19-22.
- [17] 王辅辅,娄文忠.微机电技术在引信中的应用综述[J].探测与控制学报,2016,38(3):22-28.

(责任编辑 周江川)