

# 侵彻引信的技术特点、现状及发展趋势

郭天吉, 史文卿

(北京航天长征飞行器研究所, 北京 100076)

**摘要:**阐述了侵彻引信的技术特点,对侵彻引信的现状进行了详细的分析,侵彻引信按起爆模式可划分为四代产品,每一代产品都有显著的特点和技术进步。最后总结了侵彻引信的发展趋势,为引信研究人员提供参考。

**关键词:**侵彻引信;技术特点;发展趋势;起爆模式

**本文引用格式:**郭天吉,史文卿. 侵彻引信的技术特点、现状及发展趋势[J]. 兵器装备工程学报,2020,41(S2):26-29.

**Citation format:**GUO Tianji, SHI Wenqing. Technical Characteristics, Current Status and Development Trend of Penetration Fuze[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2020,41(S2):26-29.

中图分类号:TJ43 文献标识码:A 文章编号:2096-2304(2020)S2-0026-04

## Technical Characteristics, Current Status and Development Trend of Penetration Fuze

GUO Tianji, SHI Wenqing

(Beijing Institute of Space Long March Vehicle, Beijing 100076, China)

**Abstract:** The technical characteristics of penetration fuze were expounded. The current state was analyzed dentally. Penetration fuze can been divided for 4 generations according to detonation mode, next generation product has remarkable characteristics and progress than last one. At last, development trend of penetration fuze was summarized. This paper provided a reference way for further researcher.

**Key words:** penetration fuze; technical characteristics; development trend; detonation mode

现代战争中的高价值目标如军事指挥中心、弹药库、导弹发射井、机库、桥梁等都采取了坚固的防护措施或深埋地下掩体之中,具有极强的防护能力,当弹药在目标上方爆炸时,不足以摧毁其建筑结构。因此,对付这类目标,不仅要考虑使弹药侵彻到目标内部一定深度,同时要考虑精确控制弹药适时起爆。正在迅速发展的侵彻弹药和侵彻引信,即是利用导弹赋予的动能侵入到目标内部爆炸,实现对高价值坚固目标的有效毁伤<sup>[1]</sup>。

侵彻引信是通过自身敏感装置感觉目标或按预定条件(如时间、层数、空穴、行程等)来控制弹药爆炸序列适时爆炸的系统。侵彻引信是侵彻弹药的“眼睛”和“大脑”,“眼睛”——即信息感知,“大脑”——即信息处理。现代化的侵彻引信通常都自带敏感装置(加速度传感器、MEMS 开关等)和微处理单元(MCU、DSP、FPGA 等),弹目交会过程中,敏感装置实时感知目标特性,获取目标信息传输至微处理单元进行处理,微处理单元根据预先装定的目标特性参数和起爆参

数分析比较后针对不同目标给出相应的起爆模式,从而达到最大的毁伤效果<sup>[2~3]</sup>。侵彻引信满足了现代战争对硬目标打击的需求,是美国等西方发达国家引信技术的重点发展方向。

### 1 侵彻引信的技术特点

现代化的侵彻引信具有如下几个鲜明的特点:

- 1) 具有极强的抗高过载能力。弹药侵彻目标时的引信过载量级在 3 万 g 以上,根据侵彻弹药质量和体积大小,某些弹药引信的侵彻过载量级甚至超过了 10 万 g<sup>[4]</sup>。
- 2) 具有多种起爆模式。引信具有空炸、碰炸、延时、计层、空穴、计行程等起爆模式的一种或者多种,根据预定策略,在打击目标过程中自主选择起爆模式和参数,以适应未来战场的复杂情况,实现最大的作战效果<sup>[5]</sup>。
- 3) 具有通信装定功能。引信与载机或导弹具有通信接

口,根据打击目标特性,可按照一定的通信协议在导弹发射或投放前完成起爆模式和起爆参数的装定。

## 2 侵彻引信的现状

目前,美欧等军事强国已经研制出多型侵彻引信产品,并在实战中得到检验。根据引信的起爆模式,大致可分为四代产品。

### 2.1 固定延时引信

典型产品为美国 FMU-143 和 FMU-139 D/B 延时引信(TDF, Time-delay Fuze)

FMU-143 引信<sup>[6]</sup>(见图 1)由美国阿连特公司研制,为机电引信,质量 1.63kg,贮存期 10 年,具有延期起爆功能,延期时间分别为:30 ms、60 ms、120 ms。

FMU-143 引信是目前美国最成熟的硬目标侵彻引信之一,1991 年海湾战争首次参加实战,取得良好的作战效果。FMU-143 引信可配用多种侵彻战斗部,包括 BLU-109/B、BLU-113A/B、BLU-116A/B、等,应用于 JDAM、GBU-24G/B、GBU-28/B 等多种精确制导炸弹。



图 1 美国 FMU-143 引信

FMU-139 D/B 引信<sup>[7]</sup>(见图 2)是 FMU-139 引信的最新型号,由美国阿连特公司研制,为全电子引信,具有空炸、碰炸、延期起爆功能,其中空炸功能需与近炸传感器配合使用,延期起爆功能有四种延期时间:0 ms(瞬发)、10 ms、25 ms、60 ms。适用于 MK80 系列杀爆和侵彻战斗部。



图 2 美国 FMU-139 D/B 引信

### 2.2 可编程延时引信

典型产品为美国 FMU-152A/B 联合可编程引信(JPF, Joint Programmable Fuze)

FMU-152A/B 引信<sup>[8~9]</sup>(见图 3)是美国卡曼宇航公司针对第一代固定延时引信的缺点而开发的第二代侵彻引信产品,具有可编程延时、碰炸、空炸等多种起爆模式,其中空炸

功能需与 DSU-33D/B 近炸传感器配合使用。延期时间可装定短延时或长延时,短延时分 9 档装定,分别是 5 ms、15 ms、25 ms、35 ms、45 ms、60 ms、90 ms、180 ms 和 240 ms;长延时分 10 档装定,分别是 15 min、30 min、45 min、60 min、4 h、8 h、12 h、16 h、20 h、24 h。

FMU-152A/B 引信与导弹设计有 RS422 通信接口,可在飞行过程中设定起爆模式,也可手动设定,使用灵活。FMU-152A/B 引信的可靠性不小于 98%,贮存寿命 20 年,使用温度范围 -54 ~ 71 °C。FMU-152A/B 引信可配用多种战斗部,包括 MK80 系列、BLU-110、BLU-111、BLU-113、BLU-117、BLU-122 等,应用在宝石路、JDAM、JSOW 等多种武器系统。



图 3 美国 FMU-152A/B 引信

### 2.3 硬目标灵巧引信

典型产品是美国的 FMU-157/B 硬目标灵巧引信、美国 FMU-167 硬目标间隙感知引信、欧洲宇航防务集团可编程智能多用途引信和深埋目标引信、法国标准炸弹引信 FBM21 等。

1) 美国 FMU-157/B 硬目标灵巧引信(HTSF, Hard Target Smart Fuze)

FMU-157/B 硬目标灵巧引信<sup>[10]</sup>(见图 4)是美国于 20 世纪 90 年代初期开始启动的项目,其研制初衷是由于地面加固目标和地下掩体设施结构日趋复杂,防护能力日渐增强,单一延时功能的引信很难满足作战要求。硬目标灵巧引信具有可编程延时(10 ~ 30s)、计层、计空穴、计行程起爆功能。引信内部含有一个高精度的加速度传感器和微控制器,由加速度传感器实时探测目标的空穴数和层数,达到预定条件时发出起爆信号。

硬目标灵巧引信由美国阿连特公司研制,为全电子引信,内部无运动部件,配用于 BLU-109、BLU-116 等多种战斗部。引信贮存寿命为 20 年,可靠性不小于 98%,质量约 2.8 kg。



图 4 美国 FMU-157/B 引信

2) 美国 FMU-167 硬目标间隙感知引信 (HTVSF, Hard Target Void Sensing Fuze)

FMU-167/B 硬目标间隙感知引信<sup>[11]</sup> (见图 5) 由美国阿连特公司采用最新固态电子器件研发的新一代全电子引信, 无运动零部件, 具有可编程延时和空穴起爆功能。FMU-167/B 符合不敏感弹药标准要求, 质量约 2.9 kg, 配用于 BLU-109、BLU-113 等多种战斗部。引信贮存寿命为 20 年, 在 2015 年获准生产。



图 5 美国 FMU-167/B 引信

3) 欧洲可编程智能多用途引信 (Programmable Intelligent Multi-Purpose Fuze, PIMPF) 和深埋目标引信 (Buried Target Fuze, BTF)

可编程智能多用途引信<sup>[11]</sup> (见图 6) 由欧洲宇航防务集团研制, 配用于金牛座 KEPD350 导弹 Mephisto 串联战斗部, 可侵彻 36m 厚的土壤或 2m 厚的钢筋混凝土。深埋目标引信是欧洲宇航防务集团和美国卡曼公司联合研制, 在可编程智能多用途引信的基础上改进而成, 以适应北约标准引信接口, 二者功能基本一致, 均具有可编程延时、计层、空穴起爆功能, 可通过 RS422 通信接口在导弹发射前或载机飞行过程中进行装定。



图 6 欧洲防务集团可编程智能多用途引信

4) 法国标准炸弹引信 FBM21 (Modular Bomb Fuze)

FBM21 引信<sup>[12]</sup> (见图 7) 法国采用标准的北约接口研制的全电子引信, 具有可编程延时、碰炸、空炸等多种起爆模式, 可在地面或飞行过程中装定, 碰炸瞬发度不大于 100  $\mu$ s, 可编程延时范围 1 ~ 250 ms, 装定间隔 1 ms。FBM21 引信符合不敏感弹药标准要求, 适用于 MK80 系列、BLU-109 等弹药。

FBM21 引信质量约 2.1 kg, 使用温度范围 -54 ~ 71  $^{\circ}$ C, 贮存寿命 20 年。



图 7 法国标准炸弹引信 (FBM21)

## 2.4 可编程多功能引信

典型产品是美、英、法联合研制多功能硬目标引信 (ME-HTF, Multiple-Event Hard Target Fuze)<sup>[13~14]</sup>。

随着地下防护技术的发展, 出现了越来越多的深藏于地下的复合介质目标 (土壤、岩石、混凝土等), 这些目标不仅埋藏的深度更深, 其防护技术也越来越复杂。因此, 第四代引信必须要能鉴别地下未知结构的各种伪装和防护层, 以便在正确的位置起爆战斗部。

多功能硬目标引信的潜在应用包括现有的 MK80 系列、BLU-109、BLU-113 等, 还包括适用于未列入规划的将来要研制的武器, 如 Agent 攻击型战斗部、高速 ATACMS 和高速小型侵彻器、CALCM、直接攻击型短程制导炸弹等。

多功能硬目标引信的目标是具有超越硬目标灵巧引信的能力, 同时降低成本、复杂性和尺寸, 其他研制目标还包括增加碰击耐久性和提供多个输出以支持不同的作战目的。多功能硬目标引信能更实时更精确地识别目标介质及其厚度的变化, 能够计算到 16 个硬目标层和空穴, 计算总侵彻行程可达 78 m, 在探测标识硬层和空穴后还可计算行程 19.5 m, 能够设置 20 种不同的固定延时, 并整合了战斗毁伤评估传感器, 能在弹体侵彻过程中将过程数据实时地传输给上一级作战平台, 用于评估毁伤效果。

## 3 侵彻引信的发展趋势

侵彻引信的发展遵循需求牵引、技术推动和问题导向的基本规律, 首先是侵彻弹药的需求牵引, 其次是 MEMS 技术、微电子技术、信号处理技术等技术推动, 最终解决高效毁伤目标的问题。通过研究国外侵彻引信的现状和技术特点, 可总结出侵彻引信的发展趋势如下。

### 1) 多功能

由上文分析, 第四代侵彻引信的功能更加丰富, 具有可编程延时、计层、计空穴、计行程 (深度)、目标介质识别、毁伤评估等功能, 这一方面是为了适应未来战场复杂情况的需要, 使同一型引信可适用于多种弹药; 同时也简化了后勤保障。

### 2) 高动态

侵彻弹药的发展趋势是速度更高、钻的更深<sup>[15]</sup>, 相应的要求侵彻引信的抗过载能力更强、信号处理速度更快、目标识别准确性更高。

文章[15]分析了引信在速度 400m/s 和 650m/s 时的加速度测试曲线,可以看到,在侵彻速度增高时,引信的过载信号会出现层与层之间的相互粘连,造成目标识别的困难。

目前美军正在研制和发展的高超音速钻地弹,包括能由 F-22 和 F-35 飞机携带的飞行速度高达 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,其撞地速度大于 1 400 m/s。同时,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。

侵彻弹药速度的提高对引信的结构、电路、元器件、火工品均会产生重大的影响。机械滤波技术、基于 HIC 基板的元器件制造技术、抗高过载电容技术等,均值得仔细研究<sup>[16~17]</sup>。

### 3) 小型化

小型化不仅指引信本身的小型化,更是指引信内部结构和模块的小型化。国外侵彻引信大量采用了小型化技术,如利用 MEMS 高 g 值加速度传感器和 MEMS 开关替代传统的碰合开关、利用集成电路替代分立元件、利用电子延时替代火药延时以及 MEMS 安全系统等。

引信的小型化一方面可以在有限的空间集成更多的功能;另一方面减少了引信零部件在侵彻过载中所受的作用力,以适应更大的过载环境。

### 4) 三化

三化是通用化、系列化、组合化的简称,是引信乃至武器弹药发展的一个重要思想。由上文分析,美欧发展的第三代侵彻引信产品,如 FMU-157/B 和 FMU-159/B 硬目标灵巧引信、FMU-167 硬目标间隙感知引信、深埋目标引信、法国标准炸弹引信 FBM21 等都具有相同的机械和传爆接口,可通用于北约制式的侵彻弹药。

### 5) 直列式

全电子安全系统是引信技术发展史的一个里程碑,以全电子安全系统为核心的直列式引信不仅安全性能好,而且测试性好。第三代侵彻引信的贮存寿命都长达 20 年,如何进行全寿命周期的性能检测和评估是一个重要的命题。相较于传统的机电引信装成整机后无法进行全电路功能检测,直列式引信具有很大的优势,是侵彻引信的重要发展趋势。

### 6) 不敏感弹药标准

为了提高弹药安全性,减轻弹药在贮存、运输、维护和战备等方面的压力,以美国为代表的西方国家于 20 世纪 70 年代开始发展不敏感弹药技术,目前已进入了实用化阶段。不敏感弹药技术给引信带来的挑战重点反应在爆炸序列和隔爆机构上,需要引信选用更钝感的导爆药和传爆药,研究符合不敏感弹药技术的新型隔爆机构<sup>[18]</sup>。

FMU-167 硬目标间隙感知引信和法国标准炸弹引信 FBM21 均符合不敏感弹药标准。

## 4 结论

引信技术是武器弹药中最敏感的技术之一,在弹药终端

毁伤效能方面发挥着重要的作用。侵彻引信配用于侵彻弹药,是对敌实施斩首行动、精确打击的最有效武器。本文依据起爆模式将侵彻引信划分为四代产品,每一代产品都有明显的特点和技术进步。通过分析国外侵彻引信的现状,总结出侵彻的发展趋势,未来的侵彻引信将是安全性更高、抗高过载能力更强、起爆模式更多、应用更灵活、适应弹种和场合更广。

## 参考文献:

- [1] 张立杰,梁增友,马林. 钻地战斗部技术特点及发展趋势[J]. 机械,2012,39(4):1-5.
- [2] 杨理明. 智能弹药的大脑:智能引信[J]. 轻兵器,2001(12):15-17.
- [3] 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,2018,39(3):1-5.
- [4] 张合. 引信与环境[J]. 探测与制导学报,2019(6):1-5.
- [5] 李蓉,陈侃,康兴国,施坤林. 硬目标侵彻引信炸点控制方法综述[J]. 探测与制导学报,2010,32(6):1-4.
- [6] FMU-143 Penetrating Bomb Fuze System[J]. Orbital ATK,2015.
- [7] FMU-139A/B Electronic Bomb Fuze[J]. Jane's Missiles & Rockets,2008.
- [8] FMU-152A/B Bomb Fuze System[J]. KAMAN Aerospace Group,2010.
- [9] Jayesh Dhingra. US DoD exercises further options for JPF contract[J]. Jane's International Defence Review,2015.
- [10] HTSF encounters qualifications test problems[J]. Jane's Missiles & Rockets,2003.
- [11] Hard Target Void Sensing Fuze(FMU-167/B)[J]. Orbital ATK Defense System Group,2017.
- [12] Helmut Muthig. Buried Target Fuze[C]. NDIA 49th Annual Fuze Conference,2005.
- [13] BRIEFS-PGB fuze[J]. Jane's Missiles&Rockets,2004.
- [14] PGB teams choose TME's hard target fuze[J]. Jane's Missiles & Rockets,2002.
- [15] 侯超,刘勇涛,杨旭. 侵彻硬目标武器及其智能引信关键技术研究[J]. 航空兵器,2012(2):44-48.
- [16] 张兵,石庚辰. 侵彻硬目标识别技术中的机械滤波[J]. 探测与制导学报,2010,32(4):25-29.
- [17] 夏俊生. 军用微电子抗高过载技术研究浅述[J]. 集成电路通信,2004,22(3):18-23.
- [18] 殷瑛,王雨时,闻泉,张志彪,闫丽. 不敏感弹药及其引信技术发展综述[J]. 探测与制导学报,2017,39(3):1-11.

(责任编辑 周江川)