

·光电系统·

对毫米波制导武器的烟幕干扰技术

闫俊宏, 闵江, 苏世明

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:对现有毫米波精确制导武器进行简要介绍,探讨了主、被动制导原理和干扰方法,对可采用的烟幕干扰材料的电性能、衰减性能等进行了分析,提出了用于干扰毫米波制导武器的烟幕干扰方法,并对毫米波箔条和膨胀石墨干扰机理进行了简单论述。

关键词:精确制导武器;毫米波;主动制导;被动制导;烟幕;干扰

中图分类号:TN976;TN972⁺.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2012)05-0017-05

Research on Smoke Screen Jamming Technology against Millimeter Wave Guided Weapon

YAN Jun-hong, MIN Jiang, SU Shi-ming

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The millimeter wave precise guided weapons are introduced briefly. The active and passive guidance principles and jamming methods are discussed. The electric performance and attenuation performance of smoke screen jamming material are analyzed. A method of smoke screen jamming against millimeter wave precise guided weapons is presented. And the jamming principles of millimeter wave chaff and expanded graphite are described.

Key words: precise guided weapon; millimeter wave; active guidance; passive guidance; smoke screen; jamming

1 毫米波精确制导武器

精确制导武器是指对飞机、船舶、坦克、装甲车、火炮等目标的直接命中概率很高的制导武器,它包括导弹、制导炮弹、制导子弹、炸弹等。制导使用频段包括:红外、激光、毫米波、可见光等,为了充分发挥各频段优势,提高抗干扰能力,精确制导武器多采用复合寻的制导技术。

复合制导可以充分发挥各频段或各制导体制的优势,互相弥补不足,极大地提高作战效能和武器的命中率。导引头可由不同作用机理的传感器组合而成,如光学的(红外、紫外、可见光、激光等)与射频的(微波、毫米波)或GPS接收机+惯导等,也可由同一作用机理的不同频谱或不同制导体制(主动、半主动

或被动)的传感器组合而成。目前主要的制导模式有光学多模制导、射频/红外多模制导和毫米波/红外多模制导几种形式^[1]。

精确制导武器具有以下优点:①直接命中概率高,命中概率一般都在50%左右,有的可达到80%以上。②杀伤破坏方式多,精确制导武器装备了多种类型的战斗部,针对不同的目标可以使用不同的杀伤破坏方式。③攻击目标类型多,基本能对战场上所有目标进行攻击。④作战效益高,虽然制造成本高,但是由于它具有较高的命中率,通常用于攻击高价值的重要目标,因而具有较高的作战效益。

毫米波制导的武器主要有导弹、炸弹、炮弹和末敏弹。导弹有美国的“黄蜂”、“狱火”等空对地导弹,俄罗斯的直升机载AS-8、AT-6反坦克导弹等;炮弹

有英国的“莫林”迫击炮弹,英、法等四国联合研制的“鹰狮”炮弹等;末敏弹有法国的“阿塞德”,美国航空

喷气动力公司的“萨达姆”等;布撒器有法德研制的阿帕奇等。具体性能见表1。

表1 目前使用毫米波制导的精确制导武器

国制	代号	末端制导模式	母弹	子弹	备注
美国	SADARM	主被动毫米波 + 红外	155 mm 227 mm多管火箭炮弹	2枚 6枚	反装甲
美英 法德	MLRS多管火箭发 射系统	毫米波	102 mm火箭炮弹	6枚 射程30 km	反坦克第III阶段 研制目标
法国	ACED	毫米波 + 双色红外	155 mm榴弹炮弹	3枚 射程25 km	1990年装备部队
德国	SMART	毫米波 + 双色红外	155 mm炮弹	2枚 射程24 km	1999年服役
英国	Merlin	3 mm	81 mm迫击炮	射程4 km	可捕捉运动目标
英法 瑞意	Griffen	3 mm 主动	120 mm迫击炮	射程1.5~8 km	
美国	WASP	毫米波 主动/被动	导弹	射程3~5 km	
	狱火 AGM-114L	毫米波	弹径178 mm 导弹	射程9 km	低速、静止目标
	幼畜 AGM-65/H	红外/毫米波主动	导弹		
英国	Hakim	红外或毫米波	导弹		可装F-16,幻影2000飞机
	硫磺石 Brimstone	94 GHz 毫米波	导弹	作用距离 500 m~9 km	攻击炮塔和车身
俄罗斯	AT-6	3 mm	导弹	射程8 km	直升机、车载
	AS-8	3 mm	导弹		米-28直升机载
法德	Apache	可携带毫米 波制导子弹	机载布撒器射程: 1 无动力:12 km; 2 火箭推动:25 km; 3 涡喷推动:>50 km。	10枚反跑道子 弹或40枚反装 甲子弹。	已达150 km,正研制射程 800 km以上的改进型。

2 毫米波段制导原理和干扰方法

毫米波制导主要有主动和被动两种体制,由于其构成的特殊性,自身也存在很多薄弱环节,给实施干扰提供条件:①系统组成复杂,技术保障环节较多,任何一个部分出现故障或某一个环节配合出现差错,都将影响武器效能的发挥。②制导系统易受干扰。尽管精确制导武器的抗干扰能力在不断提高,但任何一种精确制导武器的抗干扰手段都是有限的,不可能对各种干扰手段都进行有效的对抗。③易受战场环境和气象条件的影响。不良的气象条

件和“人为制造的战场环境”可以限制很多精确制导武器的使用^[1]。

2.1 主动制导技术及干扰方法

主动式寻的制导系统的弹上装有雷达发射机和接收机,发射机发射电磁波,照射被攻击区域,由于坦克、装甲车等目标比背景具有较大的雷达散射截面,产生较大的后向散射,而被寻的器所识别。寻的器根据回波确定目标的坐标及运动参数,形成控制信号,送给驾驶员,操纵导弹沿理论弹道飞向目标。主动制导是一种打了不管的自寻的制导系统,不需

要弹外设备提供任何能量或控制信息,可同时发射多枚导弹来对付多个目标。此方式多用于攻击地面装甲目标的导弹、炮弹、末敏弹的制导中。由于受到毫米波作用距离的影响,一般都将此种方式作为末制导使用^[2]。

主动式制导存在的主要问题是:第一,离目标较近时受目标闪烁噪声影响较大,闪烁噪声由两个或更多个目标亮点产生,它干扰回波的幅度和相位,引起雷达瞄准点漂移;第二,如果在视场内目标“淹没”于背景电平中,将无法发现目标,这些都为烟幕干扰提供了可能性。

2.2 被动制导技术及干扰方法

毫米波被动制导即毫米波辐射计制导。自然界中一切物体都向外部辐射热噪声能量,其噪声能量大小可用温度来描述。金属目标的辐射温度比天空、大地、草木等背景环境辐射温度低,辐射计正是利用这个辐射温差来探测目标。辐射计天线接收到的噪声温度信号经过热敏电阻、毫米波器件就形成了具有毫米波频率的电信号,该信号与机内环境噪声产生的具有毫米波频率的电信号相比较。如果探测到了目标,上述两种信号不同,相比较后,有输出信号,送入接收设备进行混频、中放、检波处理,输出跟踪信号,辐射计便能锁住跟踪目标。如果没有探测到目标,环境背景噪声与机内产生的环境背景噪声信号相同,相比较后,无输出信号,这时辐射计继续搜索目标。因为辐射计本身没有信号辐射,有很好的隐蔽性,在整个有效射频频带内,本振频率可随机地跳变而且具有抗干扰能力,具有很高的跟踪精度,而且结构简单,成本低廉。但由于天线口径小,信号积累时间短。而使目标信号小,辐射计的作用距离受到限制。

辐射计接收天线波束按一定规律扫描地面。地面背景的亮度温度为 T_A , $T_A \gg 290\text{ K}$,冷目标坦克的亮度温度为反射的天空亮度 T_{sky} ,因此环境目标对比温度 ΔT_c 为

$$\Delta T_c = T_A - T_{\text{sky}} \quad (1)$$

烟幕对毫米波辐射干扰就是降低目标和背景的温度对比度。如果释放烟幕,将目标区域温度提升至与周围背景温度相近,或在目标区域周围布设若干个与目标区域温度相近的假目标,都能对辐射计探测和跟踪产生干扰^[3]。

3 毫米波烟幕研究

烟幕技术是一种传统的干扰技术,在现代战争中仍然能起到重要作用,美国专家指出,美国的目标捕获系统大概有90%以上都会受到现有发烟器材的影响。俄罗斯军方认为:在进攻部队与防御武器之间使用烟雾将会对防御武器的威胁降低80%,防御阵地使用迷盲烟雾能把武器的威胁率减少90%^[4]。

发烟剂的形态上分为固态和液态;从施放形成方式上大体可分为升华型、蒸发型、爆炸型、喷洒型;从战术使用上分为遮蔽烟幕、迷盲烟幕、欺骗烟幕和识别烟幕;从干扰波段上分为防可见光、防近红外常规烟幕、防热红外烟幕、防毫米波和微波烟幕及多频谱或全频谱烟幕。

自20世纪70年代第四次中东战争以来,由于烟幕遮蔽干扰良好的性价比与广泛的用途,美国对烟剂材料、布放等相关技术发展越来越重视。目前美军装备的烟幕干扰器材有:①M56烟幕生成系统,用于战车大面积多频谱烟幕防护。②XM57多频谱烟幕系统,用于重要目标的烟幕屏蔽,持续时间为可见光60 min,红外和毫米波段30 min。③XM81烟幕弹,用于红外与毫米波屏蔽,烟幕生成时间2 s,持续时间20 s。④Tracor公司高级烟幕弹发射系统,用于战车多光谱烟幕屏蔽。

德国Nico公司的NG19的全波段烟雾剂,它能有效干扰可见光、红外和毫米波的侦察与制导,这种燃烧型全波段烟剂,是烟幕技术发展上的一大创新。挪威Vorma.Kjell等人研制了一种全波段遮蔽烟幕弹,由内外两腔组成,内腔装填点火药和快速发烟剂(遮蔽可见光),外腔上部装红外遮蔽剂(铝、鳞状黄铜片等),下部装毫米波遮蔽剂(镀铝玻璃纤维),或直接将红外、毫米波遮蔽剂混装于外腔,能同时干扰可见光、红外及毫米波^[5]。美国陆军及美国AAI公司用鳞片状黄铜粉作冷烟剂,制作了组合型不可燃遮蔽发烟剂,用红外冷烟剂与毫米波干扰箔条一起通过爆炸或机械方式分散,形成的烟幕能干扰毫米波、红外和可见光。

毫米波烟幕的干扰机理主要是吸收—衰减原理,经对入射波的一次吸收、散射,和对目标散射波的二次吸收、散射,雷达接收到的信号强度大大降低。当毫米波烟幕形成于导引头和目标之间时,雷达产生的毫米波辐射大部分被烟幕吸收,一小部分散射到各个方向,剩余能量散射到包括导引头方向

在内的各个方向。

在毫米波烟幕材料研究中,对于导电材料,采用电偶极子或磁偶极子理论分析吸收特性比较成熟和适用。由于电阻的存在,使得感应电流降低、电阻产生热损耗,散射能量下降。磁性材料由于剩磁效应和涡流效应而产生热损耗,散射能量下降。吸波材料在微观上以呈线状/松针状、或环状/螺旋状为佳,最大程度增加长细比、疏松度。而球形实心或空心形状的吸收性并非最好。目前先进材料制备技术,方法之一是在晶格引入大量的缺陷以产生电磁效应。

3.1 毫米波箔条

一般把频率为 30~300 GHz、波长为 1~10 mm 的波段称为毫米波。毫米波段大气传输中心频率是 35、94、140 和 220 GHz,各窗口的带宽分别是 16、23、26 和 70 GHz,具有较大的带宽,信息容量大。目前 35 GHz、94 GHz 是毫米波雷达和制导武器工作的主要频率^[6]。

在电磁波传输时,由于半波偶极子在相应频率产生谐振,造成电磁波衰减^[7]。毫米波箔条传输衰减的实质同厘米波一样,一部分是电磁波做功,使电磁能转化为热能进行损耗;另一部分将传输方向能量散射到其他方向。

毫米波箔条单根半波箔条的最大散射截面为

$$\sigma_{\max} = 0.86\lambda^2 \quad (2)$$

单根平均有效散射截面为

$$\bar{\sigma} = 0.17\lambda^2 \quad (3)$$

箔条云衰减系数为

$$\beta = 0.43[\bar{n}(0.17\lambda^2)] \quad (4)$$

美国伦迪箔条制造公司与美海军研究实验室合作研制了小直径毫米波箔条,用于干扰毫米波雷达。生产的箔条单丝直径为 20 mm 或更细,有效提高了偶极子装填密度,同时采用先进的包装和分散技术延长留空时间,优化箔条云形状,增大 RCS,实验结果显示这种新型箔条干扰效果良好。

3.2 膨胀石墨

膨胀石墨(EG)为疏松多孔“蠕虫”状物质,密度低,在空气中飘浮性能好,在高温下膨胀容积可以达到数十倍至数百倍。基于此德国公司研制了全波段发烟剂,其配方为:可膨胀石墨 48%;高氯酸钾 23%;

镁粉 16%;石墨粉 6%;燃速调节剂(黑火药或偶氮二酰胺)4%;粘合剂(硝化纤维素或酚醛树脂)3%。据称该发烟剂燃烧形成的烟幕对红外及毫米波均具有衰减作用^[8]。

EG 膨胀后长度一般数毫米,它保留了石墨的导电性,对毫米波具有一定的散射。除散射引起的衰减外,膨胀石墨电阻率是各向异性的, a 轴方向约为 $7 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{cm}$, c 轴方向约为 $0.35 \sim 0.50 \text{ W} \cdot \text{cm}$ 。作为一种具有有限电阻率的介质材料,它使进入其中的电磁波产生传导电流和位移电流,从而产生热损耗并被吸收。EG 对毫米波的衰减是散射和吸收共同作用的结果。随着 EG 粒度的增大,膨胀后长度越长,使表面积增大,表面自由能及表面吸收活性增强^[9]。因此,对入射的毫米波吸收作用增强,衰减效果随着增大,见表 2^[10]。

表 2 膨胀石墨在 3 mm 和 8 mm 波段的衰减

波段/mm	粒度	初始电压/V	遮蔽后电压/V	衰减率/dB
3	450~900	3.20	0.932	10.7
	300~450		0.967	10.4
	200~300		1.140	8.96
	150~200		1.400	7.17
8	450~900	4.87	1.98	7.83
	300~450		1.97	7.87
	200~300		2.26	6.65
	150~200		2.70	5.12

研究表明,EG 发烟剂构成的烟幕对 3 mm 和 8 mm 波均具有明显的衰减作用。随着粒度不同,衰减结果亦不同。粒度越大的 EG 形成烟幕后对毫米波的衰减越强。粒度 300~450 mm 的 EG 与 150~200 mm 的 EG 相比,前者产生的烟幕对毫米波的衰减效果较好^[11]。

但同时在重力作用下,粒度较大的膨胀石墨悬浮时间相对较短,从而降低了烟幕稳定性及衰减效果。所以,选择 EG 作为毫米波干扰材料时并非粒度越大越好,需要综合优化。

3.3 烟幕测试

根据文献报道,在 8 mm 波段相关单位对几种采用膨胀石墨作为主要材料的烟幕进行了外场测试,对毫米干扰效果见表 3^[10]。

表3 几种烟幕材料对目标毫米波辐射特性干扰效果测试

序号	温度/(°C)	湿度/(%)	风速/(m/s)	燃烧时间/s	ΔT_{\max} /K	L_{\max} /dB
1-1	30.9	24.5	1.6	210	127.7	5.80
1-2	28.9	26.8	0.7	200	104.1	4.18
1-3	27.7	28.8	1.7	200	89.9	3.26
1-4	28.3	26.2	1.8	208	66.2	2.10
1-5	30.5	21.6	2.1	210	80.0	2.30
2-1	32.3	19.0	2.0	149	127.7	5.80
2-2	33.5	16.3	1.6	202	94.6	3.86
2-3	35.5	13.8	1.2	191	132.4	7.57
2-4/5	32.8	18.4	2.1	210	146.6	10.64
粗萸烟罐	34.3	16.1	2.0	371	近似为0	近似为0
中型烟罐	32.4	17.1	4.2	903	近似为0	近似为0

从表3可以看出,多频谱和干扰毫米波烟幕材料对毫米波辐射计干扰性能显著,烟幕能明显降低目标和地物的毫米波辐射温度对比度。单个多频谱发烟罐发烟最大衰减量达5.80 dB,降低温度对比度最大达127.7 K,平均降低温度对比度达93.6 K;干扰毫米波发烟罐单个发烟罐发烟最大衰减量达7.57 dB,降低温度对比度最大达132.4 K,平均降低温度对比度118 K,两个干扰毫米波发烟罐一起发烟降低温度对比度达146.6 K,最大衰减量达10.64 dB。粗萸和中型发烟罐对毫米波辐射计没有干扰作用^[12]。

4 结束语

针对毫米波制导武器制导的特点,从理论分析和实验研究可以看出,采用烟幕技术可以达到对主动制导和被动制导的干扰。但从目前发展趋势看,精确制导武器基本都采用复合制导,因此要求烟幕材料应具有宽波段干扰的能力,才能达到较好的干扰效果。例如以雾油烟幕为载体,添加适当的石墨发烟剂形成组合烟幕,对可见光、红外、毫米波产生干扰作用;铜粉和毫米波箔条组合对红外、毫米波产生干扰作用;石墨发烟剂与可见光烟剂组合对可见光、红外、毫米波产生干扰作用等。

参考文献

- [1] 同武勤,凌永顺,蒋鑫水,等.毫米波无源对抗技术浅析[J]. 光电技术应用,2004(4):51-54.
- [2] 豆正伟,李晓霞,樊祥.抗红外/毫米波复合制导的无源干扰技术发展现状[J]. 红外技术,2009(3):124-127.
- [3] 陈兵,李澄俊,徐铭,等.宽波段气悬体对红外-毫米波衰减性能研究[J]. 兵工学报,2007(8):94-96.
- [4] 任慧,乔小晶,焦清介,等.抗红外毫米波双模制导的烟幕剂研究[J]. 现代防御技术,2002(12):36-37.
- [5] 姚禄玖.烟幕理论与测试技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004:30-46.
- [6] 凌永顺,同武勤,杨宏涛,等.毫米波对抗技术[J]. 光电工程,2008(7):2-4.
- [7] 陈静.雷达无源干扰原理[M]. 北京:国防工业出版社,2009:7-8.
- [8] 陈静.雷达波条干扰原理[M]. 北京:国防工业出版社,2007:11-15.
- [9] 关华,潘公配,周遵宁,等.可膨胀石墨发烟剂对毫米波衰减性能的实验研究[J]. 火工品,2004(2):1-3.
- [10] 豆正伟,李晓霞,蒋奇材.可膨胀石墨及其在烟幕中的应用[J]. 碳素技术,2010(3):19-22.
- [11] 赵纪金.红外-毫米波干扰一体化材料——膨胀石墨的研究动态[J]. 红外技术,2010(7):399-401.
- [12] 杜桂萍,缪云坤,刘海峰,等.烟幕对毫米波辐射特性干扰效果研究[J]. 火工品,2008(2):11-12.