

雷达箔条的特性及其战术应用

Characteristics and Tactical Applications of Radar Chaff

冯云松^{1, 2}/1 脉冲功率激光技术国家重点实验室 2 安徽省红外与低温等离子体重点实验室

摘要: 详细分析了箔条的有效散射截面、极化性能、频率特性、频谱展宽特性以及衰减特性等, 并在此基础上, 对箔条的战术应用方面进行了一定的探讨, 综述了雷达箔条的发展趋势。

关键词: 箔条; 雷达; 散射截面; 战术应用

Keywords: chaff; radar; scattering cross section; tactical application

0 引言

箔条是雷达无源干扰中的重要干扰器材,也是干扰雷达最广泛和最有效的手段之一。箔条主要有两种用途,一种是在一定空域中大量投撒,形成干扰走廊,以掩护战斗机群的通过。这时,如果在此空间的每一雷达单元中,箔条产生的回波功率超过飞机的回波功率,雷达便不能发现或跟踪目标。另一种是飞机或舰船自卫时投放的箔条,这种箔条要快速散开,形成比目标自身的回波强得多的回波,使雷达的跟踪转移到箔条云上而不能跟踪目标。

箔条干扰的实质是箔条在交变电场的作用下产生感应交变电流,而根据电磁辐射理论,这个交变电流要辐射电磁波,即产生二次辐射,从而对雷达起无源干扰作用。

从上世纪70年代末到80年代初,西方国家的箔条诱饵普遍采用镀银尼龙材料。后来,美国研制出效费比更高的镀铝玻璃丝,至今仍是制造箔条的主要材料。镀铝玻璃丝直径为18~20 μm ,镀一层厚为2~3 μm 、纯度为99%的铝,最后得到的偶极子的直径为25~28 μm 。镀铝玻璃丝最后还要进行“表面圆滑”

处理,使其在被切割成一定长度的箔条时变得更加圆滑,这样能够防止镀铝玻璃丝表面的氧化,保证箔条投放时的快速扩散和不粘连。尽管后来又发现了其他适于作箔条的材料,如炭丝、镍/锌镀层和可裂变的材料,但镀铝玻璃丝依然是目前应用最广泛和效费比最高的箔条材料。唯一的改进是将镀铝玻璃丝的直径减小到20~23 μm ,使得在给定的箔条干扰弹中能容纳更多的箔条^[1]。

1 雷达箔条的基本特性

1.1 箔条的有效散射截面

空运、空降伞兵、空投物资、空中加油等4种典型运输任务的常用效能指标。AST

参考文献

- [1] 朱宝璠,朱荣昌,熊笑非.作战飞机效能评估[M].北京:航空工业出版社,1993.
- [2] 曹义华.直升机效能评估方法[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 刘天祥,田海,张志刚.汽车运输指挥效能评估指标体系研究[J].军事交通学院学报,2007,9(2):10-14.

[4] 匡敏.运输效率论[M].北京:中国铁道出版社,2005.

[5] Mcmillan A J. Measuring airlift effectiveness in the new millennium[R]. Maxwell AFB:School of Advanced Airpower Studies Air University, 1999.

[6] Болховитинов О В, Иванов В В, Новожилов А А Боевые Авиационные Комплексы и Их Эффективность[M]. Москва:ВВИА, 1999.

[7] 杨雪松,王乘,李振环.超低空空投过程的仿真[J].华中科技大学学报,2003,31(4):108-110.

[8] 柯鹏,杨春信,杨雪松,等.重型货物空投系统过程仿真及特性分析[J].航空学报,2006,27(5):856-860.

[9] 洪冠新,金长江.空中加油调度的研究[J].飞行力学,1997,15(1):44-49.

[10] 贾忠湖,樊庆和,吕卫民.飞机空中加油任务剖面优化设计[J].飞行力学,2003,21(4):27-29.

作者简介

郑江安,博士,高级工程师,主要从事军机效能评估与作战仿真研究。

箔条云的干扰效果与单根箔条的性质有着直接的关系,具有良好性能的单根箔条对于产生高质量的箔条云是非常重要的。

设投放器以平均浓度为每立方米 n 根箔条形成箔条诱饵,单根箔条的有效散射截面 σ 为^[2]

$$\sigma = 0.86\lambda^2 \cos^4 \theta \quad (1)$$

式(1)中, λ 为雷达波长; θ 为入射雷达波的电场矢量与箔条轴线的夹角。

考虑箔条在三维空间的任意分布,则箔条的平均有效散射截面 σ 为单根箔条的散射截面在空间立体角 Ω 中的平均值,即

$$\bar{\sigma} = \int_{\Omega} \frac{d\sigma}{4\pi} = 0.17 \lambda^2 \quad (2)$$

但因箔条并非理想导体,因此单根箔条的雷达实际平均散射截面为

$$\bar{\sigma} = 0.17 [R_r / R_t + R] \lambda^2 \quad (3)$$

式(3)中, R_r 为箔条的辐射电阻; R 为箔条的热损耗电阻。

1.2 箔条的频率响应

为了得到大的有效反射面积,通常采用半波振子箔条。但半波振子箔条的频带很窄,只占中心频率的15%~20%。为了增加频带宽度,可采用两种方法:一是增大单根箔条的直径或宽度,但是带宽的增加量有限,且容易带来重量、体积和下降速度等方面的问题;二是采用不同长度的箔条混合包装,每包中箔条长度的种类不宜太多,以5~8种为宜^[3]。

1.3 箔条的极化特性

短箔条在空间投放后,将趋于水平取向且旋转地下降,这时箔条对水平极化雷达信号的反射强,而对垂直极化雷达信号反射弱。长波条(长度大于10cm)在空中的运动规律可以认为是完全随机的,能够对各种极化雷达实施干扰。

箔条云的极化特性还与雷达波束

的仰角有关。在90°仰角时,水平取向的箔条对水平极化和垂直极化雷达信号的回波强弱差不多;而在低仰角时,对水平极化雷达信号的回波比对垂直极化雷达信号的回波要强得多。

1.4 箔条回波信号的频谱

箔条云回波是大量箔条反射信号之和。每根箔条回波的强度和相位都是随机的,其频率可以认为是高斯谱,其频率中心对应于箔条云移动的中心频率,其频谱宽度主要取决于风速,风速越大,频谱越宽。箔条云的平均运动速度为:

$$v_0 = \sqrt{v_F^2 + v_L^2} \quad (4)$$

式(4)中, v_F 、 v_L 分别为风的平均速度和箔条的平均下降速度。

箔条云的频谱宽度通常只有几十赫,因此对于具有多普勒频率处理功能的雷达,箔条云的干扰效果就明显降低。这时可以采用复合式干扰,以弥补箔条干扰带宽不足的缺陷。

1.5 箔条云对电磁波的衰减^[4]

雷达入射波通过箔条云时,由于箔条云的散射使电磁波受到衰减,从而照射到目标的电磁波减弱。

目标的有效散射截面不变,但由于箔条云的衰减效应,雷达波通过箔条云时,辐射功率受到了衰减,由目标反射后,再次经过箔条云,故雷达波的功率受到两次衰减。设入射波的功率为 P_0 ,两次衰减后雷达波功率是 P ,则:

$$P = P_0 \cdot 10^{-0.2 x} \quad (5)$$

箔条云的电磁波衰减系数 β 可由式(6)计算:

$$\beta = 4.3 \cdot \bar{n} \cdot (0.17\lambda^2) \quad (6)$$

其中, \bar{n} 为单位体积内的平均箔条数。

根据上述公式,不仅可估算雷达无源干扰的屏蔽效果,而且还能根据雷达对抗的要求计算出箔条云的密度。

2 箔条干扰的战术应用

箔条的优越性能使其在现代战争中有着日益广泛的应用。例如,用于在主要攻击方向上形成干扰走廊,以掩护目标接近重要军事目标,或制造假的进攻方向;用于洲际导弹再入段时形成假目标;用于飞机自卫、舰船自卫时的雷达诱饵。

箔条干扰性能的优劣一方面取决于箔条本身的性能,如频谱特性、极化特性、有效散射截面等,另一方面在很大程度上也依赖于箔条使用的战术方案。一般而言,针对不同的战情有着不同的战术方案。

2.1 箔条用于飞机自卫

箔条用于飞机自卫是利用了箔条对雷达信号的强反射,将雷达对飞机的跟踪吸引到对箔条的跟踪上。为了实现这一目的,箔条必须在宽频带上具有比被保护飞机大的有效散射截面,必须保证在雷达的每个分辨单元内至少有一包箔条。

在径向方向,箔条的投放时间间隔 t_i 应小于飞机飞过距离分辨单元 τ 的时间,即

$$t_i \leq \frac{c\tau}{2v \cos \alpha} \quad (7)$$

式(7)中, α 为飞机飞行方向与径向方向的夹角。

在切线方向,箔条的投放时间间隔应小于飞机飞过雷达角度分辨单元的时间^[5],即

$$t_i \leq \frac{L\theta_{0.5}}{v \sin \alpha} \quad (8)$$

式(8)中, L 为飞机到雷达的距离; $\theta_{0.5}$ 为雷达角度分辨率; v 为飞机飞行速度。

飞机在箔条的投放中应保证箔条能快速散开,并且作适当的机动,以躲避雷达的跟踪。按这种方式投放箔条,更有利于干扰飞机身后雷达,这时雷达的距离波门将首先锁定距雷达较近的箔条。

2.2 箔条用于舰船自卫^[6]

箔条用于舰船自卫时有两种方法。一种方法是大面积投放,形成箔条云以掩护舰船。因为舰船体积庞大,其有效反射面积高达数千甚至数万平方米,这需要专门的远程投放设备,其价格昂贵,箔条用量也很大;另一种是把箔条作为诱饵,以干扰敌攻击机或导弹对舰船的瞄准攻击。实战表明,箔条对飞航式反舰导弹的干扰特别有效,而且更加经济和灵活,已成为现代舰船广泛应用的电子对抗手段。

这种诱饵式箔条干扰的原理是:当舰上侦察设备发现来袭导弹后,立即在舰上迎着导弹来袭方向发射快速离舰散开的箔条弹,使其与舰船都处于雷达的分辨单元之内,从而使导弹跟踪到比舰船回波强得多的箔条云上。同时,舰船应根据导弹来袭方向、舰船航向、航速以及风速作快速机动,以躲避雷达的跟踪。

由于舰船的运动速度慢,有效散射截面大,应尽早发现来袭导弹,为舰船发射箔条弹和机动取得足够的时间。

2.3 箔条应用于地面作战

利用直升机或箔条干扰火箭,在目标区域上空大面积投撒箔条形成干扰屏障,使敌方雷达无法对目标(如地面车辆、导弹阵地、炮群以及其他军用设施等)进行定位。

用箔条进行通信或通信干扰。发射箔条弹形成电离层,然后以电离层为中继,延长通信距离;或利用箔条云的反射特性,达到干扰通信的目的。

箔条的战术运用内涵十分丰富,以上只是简单提到了几种典型的应用。在实际应用中,要考虑的问题更为具体和复杂,例如多种突防手段如何相互协同、如何对抗雷达组网等。但总体来说,通过较优的战术方案可以极大地优化

箔条干扰效果。

3 未来发展趋势

目前,其他任何干扰材料都远不如箔条投放技术效果好、费用低。据国外专家预测,先进的雷达系统最终可能识别出箔条和真目标,但是雷达系统的作战效率仍会由于箔条的干扰作用而降低。因此箔条将会继续得到广泛应用,应该提高箔条的应用性能和战术使用。随着动目标显示雷达(MTI)、多普勒(PD)雷达的出现和广泛应用,研究和研制面散射体,并将其综合利用,能更好地满足作战需求^[7]。

箔条干扰技术的发展趋势是在现有的基础上对箔条诱饵进行改进(主要是技术指标的提高和功能的改进),将常规箔条和反雷达箔条混合投放,研制超宽频带、连续覆盖、小散开体积、大雷达截面、频谱宽、扩散快(散开时间可提高到毫秒级)、具有动目标特性的干扰诱饵,向实现宽带干扰、多功能和大体积方向发展,战术使用上能针对不同体制的雷达。

未来,箔条诱饵的投放/发射技术将重点发展如下三个方面。

1) 缩短投放时间间隔

最新的投放系统已经将箔条投放的时间间隔从100~125ms减少到大约30~50ms,这使得在很短的时间内可将大量的箔条部署在雷达的分辨单元内。当对付最新的高频火控雷达时,这一改进显得非常重要,因为最新的雷达的波束很窄,雷达分辨率单元也很小。箔条对付毫米波雷达的有效性不是箔条是否在这些频率内起作用,而是箔条能否进入雷达分辨单元。

2) 加快箔条的扩散速度

现在,投放器可安装在平台的多个地方并能同时投放,因此箔条在雷达分

辨率单元内扩散得更宽更快。

3) 改变箔条诱饵的设计思路

箔条诱饵里的箔条数目是原来数目的一半,但雷达截面并没有减小,这使得一次使用的箔条数量减少了一倍,如CHEMRNG模块化一次性干扰装置(MEB)就是这样的系统。MEB的设计思想是用预先装好的箔条诱饵取代传统的盒/匣式装置,以便满足平台的作战需求,而且还能提供更多的装填空间^[8]。

AST

参考文献

- [1] Sherman W, Marcus R. The dynamics and radar cross section density of chaff clouds[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2002(2): 278-285.
- [2] 张永顺. 雷达电子战原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2006.
- [3] 郭永强, 易建政. 箔条云形状对干扰效果的影响[J]. 电子对抗技术, 2003, 18(5): 33-35.
- [4] 冯德军, 王雪松. 箔条云对地基雷达干扰效果分析及其应用[J]. 现代雷达, 2007, 32(6): 22-26.
- [5] 李敬. 箔条弹干扰原理与形成机理[J]. 舰船电子对抗, 2003, 26(3): 15-19.
- [6] 焦路光, 赵国民. 箔条、红外诱饵与电子对抗[J]. 水雷战与舰船防护, 2007, 15(1): 77-80.
- [7] Wang Xuesong, Chen Zhijie. Polarization scattering characteristics of chaff cloud in outer space[C]. CIE International Conference on Proceedings, 2001.
- [8] 陈静. 雷达箔条干扰原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.

作者简介

冯云松, 讲师, 博士研究生, 主要从事信息对抗研究。