

便携式地空导弹拦截巡航导弹可行性分析*

孔凡彪¹, 蔡 勇¹, 郑国民², 钟 雷³

(1 71436 部队; 山东邹平 256200; 2 防空兵指挥学院, 郑州 450052;

3 江苏陆军预备役高炮二师, 江苏盐城 224000)

摘要:分析了巡航导弹的飞行特性和红外辐射特性,通过计算结果与便携式地空导弹基本性能指标的比较、分析,得出便携式地空导弹可以抗击巡航导弹的结论,挖掘了便携式地空导弹内在潜能,进而可以有效利用现役导弹。

关键词:便携式地空导弹;巡航导弹;可行性

中图分类号:TJ761.6 **文献标志码:**A

The Feasibility Analysis of Portable Surface-to-air Missile Intercepting Cruise Missile

KONG Fanbiao¹, CAI Yong¹, ZHENG Guomin², ZHONG Lei³

(1 No. 71436 Unit, Shandong Zouping 256200, China; 2 Air Defence Force Command Academy, Zhengzhou 450052, China;

3 The Second Division of Air Defence Artillery, Jiangsu Army Reserve, Jiangsu Yancheng 224000, China)

Abstract: The characteristics of cruise missile flight and infrared radiation were analyzed in detail. By comparison and analysis between result and the basic performance index of portable surface-to-air missile, the conclusion that portable surface-to-air missile could fight against cruise missile was deduced, the more potential of the portable surface-to-air missile was discovered and can be applied to active service missile effectively.

Keywords: portable surface-to-air missile; cruise missile; feasibility

0 引言

二战以后,巡航导弹开始作为精确制导高新技术武器登上历史舞台。据不完全统计,从海湾战争到北约空袭南联盟,有7次军事行动使用了巡航导弹,共发射了大约1800多枚巡航导弹,其成功率都在80%以上,巡航导弹已经对战场上的战略(战术)目标构成了严重的威胁。由于便携式地空导弹具有对低空、超低空目标反应迅速、制导精确、发射后不管、操作简便、效费比高等诸多优点,所以对便携式地空导弹抗击巡航导弹可行性进行分析,可以充分挖掘便携式地空导弹内在潜能,更加有效利用现役导弹,具有一定的国防现实意义。

便携式地空导弹武器系统是指单兵或兵组携带、肩扛发射的低空、超低空防空导弹武器系

统。其作战任务是在目视可见的条件下,采用尾追和迎攻两种攻击方式杀伤低空、超低空飞行的各种空中目标。至今为止,便携式地空导弹已经发展了三代。第二代便携式地空导弹如前苏联的SA-16导弹具有全向攻击能力,最大飞行速度为880m/s,平均速度570m/s。SA-16采用致冷式被动导引头,工作在3.5~5 μ m波段。第三代导弹低空攻击涵盖面更大,有效射程更广。文中以SA-16导弹抗击BGM-109C型战斧巡航导弹为例进行研究。

1 战斧巡航导弹飞行特性分析

战斧巡航导弹在巡航飞行状态下,飞行高度为海平面15m左右、平原60m左右、山区150m左右,巡航速度约为250m/s。飞抵目标区时,加速到约300m/s,对目标进行攻击。因此,在巡航

* 收稿日期:2008-10-29

作者简介:孔凡彪(1981-),男,山东阳谷人,硕士研究生,研究方向:防空武器系统仿真及对抗。

飞行阶段,巡航导弹的飞行高度和速度都满足 SA-16 导弹的射击要求。

2 战斧巡航导弹红外辐射特性分析

BGM-109C 战斧巡航导弹是目前美军在作战中频繁使用的一种制导精度高、颇具威慑力量的远程攻击武器。它的动力装置是 XF-107-WR-400 涡轮风扇发动机,该发动机以 JP-9 燃料作为推进剂。

由于便携式地空导弹是以目标的红外辐射(也称热辐射)为信息进行自动跟踪的防空武器,能否对巡航导弹实施拦截,主要取决于巡航导弹的红外辐射特性。而巡航导弹是远程攻击的飞行武器,主要是用来远距离攻击战略重点目标。因此主要是在巡航导弹攻击战略目标的巡航飞行过程中实施拦截,此时巡航导弹一般是以巡航速度飞行,且红外辐射强度最小。故在这里主要研究巡航导弹作巡航飞行时的红外辐射特性。

红外线是一种辐射能,其波长范围 $0.76 \sim 1000 \mu\text{m}$ 。对于温度在 2000K 以下的物体,其大部分能量位于红外线区段的 $0.76 \sim 20 \mu\text{m}$ 范围内。凡温度在绝对零度以上的物体,由于分子振动状态及旋转性质的改变,或分子和原子的外层电子从高能级跃迁到低能级,便辐射出红外线,并且物体的温度越高,辐射的红外线能量就越强。

科学研究发现:绝对黑体辐射出的红外线的能量、波长与物体温度之间的关系可用普朗克定律、斯蒂芬—玻尔兹曼定律、维恩位移定律来准确表示。但是实际的热辐射物体都不是绝对黑体,科学家根据物体的辐射特性(或吸收特性),将实际的热辐射物体分为灰体和选择性辐射体两类,灰体的辐射功率小于同温度黑体的辐射功率(存在一个修正系数,即黑度),而灰体辐射的波谱分布与黑体的普朗克分布基本相同,维恩位移定律也适用于灰体。

灰体单位面积所辐射的红外线,在单位波长内的功率 P_λ 由普朗克定律表示:

$$P_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \quad (1)$$

式中: λ 为波长, m ; T 为灰体的绝对温度, K ; C_1 为常数,其值为 $3.742 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2$; C_2 为常数,其值为 $1.4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

根据式(1)绘制的波谱分布曲线如图 1 所示。

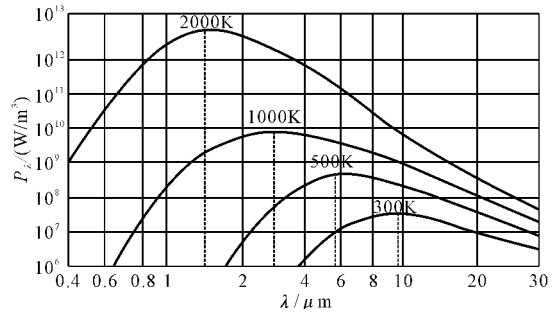


图 1 灰体辐射的波谱分析

波谱分布曲线表明:灰体的温度越高,辐射的红外功率就越强,峰值辐射的波长越短。

巡航导弹发动机的红外辐射源主要是发动机的尾喷管及发动机尾喷管排出的高温废气。尾喷管的平均温度约为 $700 \sim 900\text{K}$,废气的平均温度约为 $650 \sim 1000\text{K}$ 。其红外辐射源的主要辐射成分是辐射光谱连续的固体材料,且波长段位于红外线范围内(绝大部分能量位于 $0.76 \sim 10 \mu\text{m}$ 之间)。在这个范围内将它当作灰体处理引起的误差非常小,在允许的误差限度内,因此巡航导弹发动机尾喷管可近似当作灰体处理。

巡航导弹发动机尾喷管近似当作灰体处理时,其黑度为:

$$\epsilon_f = \frac{E}{E_b} = \frac{\int_0^\infty \epsilon_\lambda E_{b\lambda} d\lambda}{\sigma_0 T^4} \quad (2)$$

式中: $\epsilon_\lambda = E_\lambda / E_{b\lambda}$ 为发动机尾喷管的单色辐射力 E_λ 与同温度下黑体的单色辐射力的比值,称为发动机尾喷管的单色黑度。

巡航导弹发动机的尾喷管喷出的尾焰黑度为:

$$\epsilon_{f_q} = 1 - e^{-kpL} \quad (3)$$

式中: p 为尾焰总压力,单位 bar ; L 为平均射线行程,单位 m ; k 为尾焰的总减弱系数,等于各辐射成分减弱系数的代数和,单位 $\text{bar}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, $k = k_0 + \sum_{i=1}^n \mu_i k_i$, k_0 为尾焰中三原子气体的减弱系数; k_i 为尾焰所含各固体微粒的减弱系数; μ_i 为尾焰所含各固体微粒的无量纲浓度。

只要获得巡航导弹发动机尾焰的总压力 p 、巡航导弹发动机尾焰的平均射线行程 $L = 0.6d$ 及巡航导弹发动机尾焰的总减弱系数 k ,代入上式就可求得巡航导弹作巡航飞行时,发动机的尾焰黑度 ϵ_{f_q} 。巡航导弹在飞行时,废气的温度下降很快,低温气体发出的红外线波长较长,超出便

携式地空导弹的探测范围,因此,便携式地空导弹导引头主要探测巡航导弹发动机喷口处的红外辐射。

3 战斧巡航导弹红外辐射波谱分析

战斧巡航导弹在远程攻击过程中,大部分时间都是以巡航状态(马赫数为 0.7)飞行,因此,选取战斧巡航导弹的巡航飞行状态进行研究。

根据表 1 中巡航状态(马赫数为 0.7)飞行的战斧巡航导弹发动机性能参数中的喷口废气温度值,应用维恩位移定律 $\lambda_m \cdot T = C$,即 $\lambda_m = \frac{C}{T} = \frac{2892}{T}$,可以确定战斧巡航导弹在巡航飞行时红外辐射的峰值波长,如表 2 所示。

表 1 战斧巡航导弹动力装置性能摘要

额定值	参数	发动机	偏差
最大“电源手柄角度” (+3.65Vdc)	推力/lb	482.0	+4.12%
	燃油消耗率(磅质量/磅力-小时)	0.974	-4.7%
	N1/(r/min)	32220	+310
	N2/(r/min)	62550	-360
	涡轮进口温度/(°C)	973.89	-84F
	废气温度/(°C)	554.44	-97F
90%最大连续推力	空气流量/(lb/s)	17.1	+2.3%
	推力/lb	418.0	0
	燃油消耗率(磅质量/磅力-小时)	0.982	-4.2%
	N1/(r/min)	31700	+800
	N2/(r/min)	61180	-820
	涡轮进口温度/(°C)	960	-40
75%最大连续推力	废气温度/(°C)	544.44	-75
	推力/lb	348.0	0
	燃油消耗率(磅质量/磅力-小时)	1.002	-3.8%
	涡轮进口温度/(°C)	882.22	-74
	废气温度/(°C)	501.67	-80
	推力/lb	318.0	0
68.6%最大连续推力 (巡航额定值)	燃油消耗率(磅质量/磅力-小时)	1.013	-3.7%
	涡轮进口温度/(°C)	860	-67
	废气温度/(°C)	487.78	-75

在威廉姆斯研究公司发动机平衡转速为 62610r/min,用第一燃油控制器下的最大连续推力为 641lb(+0.9%)

(海平面、马赫数 0.7、标准大气压、0.15%放气、5.0 马力功率提取)

表 2 几种典型推力对应的峰值波长

额定值参数	最大“电源手柄角度” (+3.65Vdc)	90%最大连续推力	75%最大连续推力	68.6%最大连续推力 (巡航额定值)
T/K	827.59	817.59	774.82	760
$\lambda_m/\mu\text{m}$	3.494	3.537	3.732	3.81

巡航导弹飞行时,所需推力与外界环境有关。在保持飞行速度不变的条件下,当巡航导弹的推力变化时,其发动机的排气温度也相应变化。

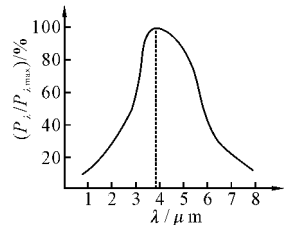


图 2 战斧导弹红外辐射的相对波谱分布

由表 2 可以看出,战斧巡航导弹在以几种典型推力巡航飞行时,其动力装置 XF-107-WR-400 涡扇发动机辐射的红外线的峰值波长在 2.5~5 μm 波段内,即辐射的红外线波谱都是主要集中在 2.5~5 μm 波段附近,在 SA-16 导弹引头探测波长的范围内。

选取战斧巡航导弹以巡航推力额定值(68.6%最大连续推力)作巡航飞行为例,应用普朗克定律,即可求出战斧巡航导弹在巡航飞行时辐射红外线的相对波谱分布,如图 2 所示。

4 结束语

通过对巡航导弹飞行特性和红外辐射特性的分析、计算,得到便携式地空导弹可以抗击巡航导弹的结论,从而解决了便携式地空导弹对巡航导弹能不能打的问题,为进一步研究抗击巡航导弹作战效能提供理论前提条件。

参考文献:

- [1] 郑德金. 导弹概论[M]. 郑州: 防空兵指挥学院, 2004.
- [2] 刘义昌. 高技术战争论[M]. 北京: 军事科学出版社, 1993.
- [3] 曲东才. 便携式防空导弹现状和发展趋势[J]. 中国航天, 2001(8): 41-45.
- [4] 赵江, 徐世录. 反巡航导弹的现状与发展趋势[J]. 飞航导弹, 2005(5): 52-55.
- [5] 李熙莹, 倪国强, 蔡娜. 红外探测系统在反巡航导弹中的应用[J]. 激光与红外, 2003, 33(1): 8-12.