

舰载红外告警分系统的告警距离研究

陈 健, 薛乐堂

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 红外侦察告警设备在战场上已被广泛采用, 而红外告警器的告警距离成为决定红外告警系统设计的关键技术。红外告警器可以装备在固定翼飞机、直升机、舰艇、坦克和底边目标上。本文基于舰载红外告警系统的设计, 对两种告警波段的红外告警距离进行了研究, 得出了各种不同情况下的红外告警距离, 对红外告警距离进行了计算和分析, 并建立了数学模型。

关键词: 舰载; 红外告警; 告警距离

中图分类号: TN976

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102710.0055

Alarm Distance Research based on Infrared Alarm System Carried by Ship

CHEN Jian, XUE Le-tang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The infrared alarm system is widely used in the battle field. The alarm distance of the infrared alarm system is the key technology. The infrared alarm system can be equipped on the plane, helicopter, ship, tank and the bottom target. Based on the design of the infrared alarm system carried by ship, the infrared alarm distance of two alarm wave bands are reseafched. The infrared alarm distance of different situations are received, and a mathematical model of the calculation and analysis of the infrared alarm distance is set up.

Keywords: carried by ship; infrared alarm; alarm distance

1 引言

红外告警设备主要用于截获、测量和识别敌方来袭武器的红外信号,并对其进行实时告警。自然界中凡是温度高于绝对零度的物体都有红外辐射,从理论上讲,战场上几乎所有目标都是红外辐射源。但对于红外侦察告警器来说,需要发现和告警的首先是那些对所保卫目标构成严重威胁的机动目标,如飞机、导弹或其他飞行目标等。因此,红外告警器主要用于导弹逼近告警。本文主要讨论对于中短程导弹的红外告警研究^[1-8]。

红外侦察告警器可获得威胁源的主要信息有:威胁源所在方向、到达时间、辐射等级以及目标图像等,根据所侦察到的信息进而判别威胁源的类型与威胁程度。红外告警设备主要装备在地面固定目标和高价值机动平台上,用于目标和武器平台自卫,在某些情况下也可提供战场红外图像,为引导其他武器系统提供战场情报支援^[9-15]。

2 红外告警器

选取 3~5 μm 和 8~14 μm 两波段作为红外告警器工作波段基于以下 3 个原因:一是大多数军事目标的红外辐射波长都处于此波段范围之内;二是 3~5 μm 和 8~14 μm 是红外辐射的两个良好的大气传输窗口;三是 3~5 μm 和 8~14 μm 波段红外探测器技术相当成熟。

3 红外告警距离

在对目标的光电告警与侦察中,通常以对中短程导弹的蒙皮辐射实施红外告警的难度最大,因此,以此估算对导弹目标的红外告警距离。通常,飞行器的飞行速度马赫数与导弹蒙皮驻点温度之间的关系为:

$$T_s = T_0 \left[1 + R \left(\frac{\gamma - 1}{2} \right) Ma^2 \right] \quad (1)$$

式中: T_s 为蒙皮驻点温度 (K); T_0 为环境温度 300 K; R 为恢复系数,平流 0.82,紊流 0.87,取为 0.82;

r 为空气的定压热容量与定容热量之比,取为 1.4; Ma 为飞行的马赫数,估算值如表 1 所示。

表1 目标飞行马赫数与蒙皮温度关系

目标速度马赫数	T_s (K)	目标速度马赫数	T_s (K)
0.9	340.0	1.5	410
1.0	349.0	1.6	425
1.1	359.5	1.7	442
1.2	370.8	1.8	459
1.3	383.0	1.9	477
1.4	396.0	2.0	497

导弹头部蒙皮气动加热红外能量的估算公式为:

$$J = \frac{\zeta t \sigma T^4 \eta A_2}{\pi} \quad (2)$$

式中, J 为目标红外辐射能量 W/sr; t 为目标辐射系数,镀银漆时为 0.65; σ 是斯蒂芬-波尔兹曼常数,为 5.67×10^{-12} ($\text{Wcm}^2 \cdot \text{K}^{-4}$); T 为目标温度,取 $Ma=1.5$ 、 $T=410$ K 和 $Ma=1$ 、 $T=349$ K 两种情况; η 分 η_{3-5} 和 η_{8-14} 两种情况:

$$\eta_{3-5} = \frac{w_{3-5}}{w_{0-\infty}} = \frac{5.9 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-6}}{4.59 \times 10^{-2}} = 0.013 \quad (3)$$

$$\eta_{8-14} = \frac{w_{8-14}}{w_{0-\infty}} = \frac{2.37 \times 10^{-2} - 6.44 \times 10^{-3}}{4.59 \times 10^{-2}} = 0.376$$

A_2 为目标面积 (飞鱼导弹为 1 000 cm^2),不同重量导弹有下述参数:

重量=250 kg, 直径=0.33 m, 面积=855 cm^2 ;

重量=500 kg, 直径=0.45 m, 面积=1 590 cm^2 ;

重量=1 500 kg, 直径=0.63 m, 面积=3 117 cm^2 ;

考虑到反舰导弹一般重量为 250 kg, 取面积=860 cm^2 ; 空-地导弹或炸弹的重量一般为 500 kg, 取面积=1 600 cm^2 。若进一步扩大考虑范围,取反舰导弹与空-地导弹分别具有两种面积尺寸,则将上述取值代入式 (2),计算结果如表 2 所示。

红外告警器的探测距离可由下式进行计算:

$$L = \left(\frac{J \times \tau}{\text{NEFD} \times S/N} \right)^{1/2} \quad (4)$$

式中, L 为红外告警作用距离 km; J 为目标红外辐射强度 W/sr,取值如表 2; NEFD 为目标红外辐射告警器的等效噪声通量密度, 3~5 μm 时, 取为 1×10^{-12} W/cm^2 ,

表2 典型目标红外辐射强度(J)值表

弹种	目标温度 $T(K)$	目标面积 $A_1(cm^2)$	目标红外辐射能量 $J(\eta_{3-5}=0.013)(W/sr)$	目标红外辐射能量 $J(\eta_{8-12}=0.376)(W/sr)$
250 kg反舰导弹	410	860	36.7×10^{-2}	1064×10^{-2}
	410	1600	68.3×10^{-2}	1980×10^{-2}
500 kg空地导弹	350	860	19.7×10^{-2}	571×10^{-2}
	350	1600	36.6×10^{-2}	1064×10^{-2}

8~14 μm 时为 $1 \times 10^{-11} W/cm^2$; S/N 为信噪比, 取值 ≥ 2 ; τ 为大气透过率, 取为 0.5。

将上述取值带入式 (4), 计算结果如表 3 所示。

表3 对导弹蒙皮红外辐射探测距离计算表

目标速度 马赫数	导弹重量 (kg)	告警距离 $L(3 \sim 5 \mu m)(km)$	告警距离 $L(8 \sim 14 \mu m)(km)$
1.5	250	3.0	5.16
	500	4.2	7.06
1	250	2.2	3.78
	500	3.0	5.15

由此可以看出, 如对导弹的蒙皮实施红外告警, 8~14 μm 红外探测器的作用距离要远大于 3~5 μm 探测器。其原因在于导弹蒙皮的红外辐射大都落在 8~9 μm 附近, 即处于 8~14 μm 波段范围内, 因此, 采用长波红外探测将更具有优势。

但若对飞行器尾焰辐射进行探测, 根据小哈得逊的《红外系统原理》一书中给出的数据, 可以计算出利用 3~5 μm 波段红外探测器对飞机尾焰实施中波红外告警的最大距离。以波音 707-320 (涡轮喷气) 喷气运输机为例, 在飞行高度 10.5 km, 飞行速度 0.9 Ma 时, 其尾喷管的有效辐射强度 J 在 3.2~4.8 μm 波段范围内的数值为 2 100 W/sr。将其带入式 (4), 可计算出作用距离为:

$$L_{\text{尾喷管}} = [2 \ 100 \times 0.5 / (2 \times 10^{-12})]^{1/2} = 229 \text{ km}$$

通常飞机尾喷管的红外辐射强度是尾焰红外辐射强度平均值的数倍, 最大可达 10 倍, 因此, 对尾焰的红外探测距离一般要比对尾喷管的探测距离近得多。在同样条件下计算得:

$$L_{\text{尾焰}} = [210 \times 0.5 / (2 \times 10^{-12})]^{1/2} = 72.5 \text{ km} \quad (6)$$

需要注意的是, 以上距离是从尾部探测尾焰的作用距离。根据经验可知, 对以亚音速飞行的喷气飞机, 通常从机头方向上探测的最大可探测距离仅为从尾部方向探测距离的 1/10; 而横向方向上的最大探测距离则为尾部方向的 1/2, 故可推测得到:

$$L_{\text{机头方向}} = 7.25 \text{ km} \quad L_{\text{横向方向}} = 36.3 \text{ km} \quad (7)$$

从推测得到的红外探测器的作用距离可以看出, 横向方向的作用距离是机头方向的 5 倍左右。红外探测器对飞行目标的方向有很大的限制。如果攻击舰艇的飞机采用一定方向的飞行方式, 可以大大减少红外探测器的探测灵敏度, 进而避开红外探测器。雷达的作用距离一般都在 130 km 以上, 近年来雷达的发展也非常迅速, 作用距离和精度都有很大提高。红外告警和雷达告警的作用距离相比, 还有很大的提升空间。现在的红外告警只能是雷达告警的一种补充形式, 还不能完全替代雷达告警。然而, 随着红外探测器的逐步发展, 其作用距离还会显著地提高。而且, 红外告警还有雷达告警不具备的一点优势, 那就是自然界中凡是温度高于绝对零度的物体都有红外辐射, 因此, 从理论上讲, 战场上几乎所有目标都是红外辐射源。现代飞机隐形技术使隐形飞机可以避过雷达的侦察, 在雷达上是隐身的, 但是一定会在红外探测器上有告警。若干年后, 随着红外探测器的发展, 它将会成为舰艇告警系统的主要告警分系统^[16-20]。

4 结 论

红外侦察告警设备在战场上已被广泛采用, 其

装备的普遍程度远远高于激光告警器。特别是在日益复杂的战场环境下,被动式红外探测系统已成为主动雷达探测系统的一种重要的补充手段。可以预计,随着雷达隐身技术和超高速飞行器技术的发展,红外探测与告警将会在战场上愈来愈多地显示出其

优越性。

本文基于舰载红外告警系统的设计,对两种告警波段的红外告警距离进行了研究,得出了各种不同情况下的红外告警距离,对红外告警距离进行了计算和分析,并建立了数学模型。

参考文献

- [1] 吴刚,武春风,侯晴宇,等.基于不变矩特征匹配的目标定位方法[J].光学精密工程,2009,17(2):460-468.
- [2] 代少升,张天骐.基于非线性响应的红外焦平面阵列非均匀性自适应校正算法[J].光学精密工程,2008,16(4):714-719.
- [3] 陈建,吉桐柏.基于大规模多元面阵探测器的凝视型星载红外告警技术研究[J].光机电信息,2010,27(9):77-80.
- [4] 刘英,王学进,潘玉龙,等.谐衍射中、长波红外超光谱成像系统设计[J].光学精密工程,2010,18(3):579-585.
- [5] 郭劲,陈兆兵.车载光电告警装备的发展现状与分析[J].光机电信息,2010,27(9):69-76.
- [6] 张德文.红外对抗技术[J].红外与激光工程,1996,25(5):9-12,42.
- [7] 付伟,王德明,雷明.国外导弹逼近光电告警设备的最新进展[J].飞航导弹,2001(3):38-42.
- [8] 付伟.国外红外侦察告警装备的新发展[J].现代防御技术,2001,29(3):38-41.
- [9] 侯晴宇,张伟,武春风,等.改进的均值移位红外目标跟踪[J].光学精密工程,2010,18(3):764-770.
- [10] 李欣,赵亦工,陈冰,等.基于模糊分类的弱小目标检测方法[J].光学精密工程,2009,17(9):2311-2320.
- [11] 陈谋,谭晓宇,姜长生.基于信息融合的空中小目标识别[J].光学精密工程,2009,17(8):2032-2039.
- [12] 郭劲,苗用新,林洪沂,等.机载定向红外对抗激光指示系统控制设计[J].光学精密工程,2009,17(2):341-349.
- [13] 奚云.红外告警技术[J].红外,2002(5):10-14.
- [14] 李廷军,何有金,宋立宏,等.红外告警器应用研究[J].现代电子技术,2002(4):61-63.
- [15] 陈兆兵,郭劲,姜伟伟.红外告警设备的应用现状与发展趋势[J].光机电信息,2008,25(9):37-41.
- [16] 章大勇,吴文启,吴美平.机载激光雷达系统标定方法[J].光学精密工程,2009,17(11):2806-2813.
- [17] 丁奕,沈春林.雷达虚警及检测性能的研究[J].兵工自动化,2006,25(3):79-79.
- [18] 张蕊,赵振维,林乐科.降雨对雷达探测性能的影响[J].现代雷达,2007,29(1):51-54.
- [19] 柯涛,刘国华,吕琳琳.大气波导对雷达作用距离的影响[J].舰船电子对抗,2009,32(2):68-70,91.
- [20] 刘爱国,察毫.微波超视距雷达对海面舰船目标距离的探测[J].西安电子科技大学学报.2009,36(4):741-745.

作者简介:陈健(1981-),男,汉族,吉林长春人,硕士,助理研究员,2007年于吉林大学获得硕士学位,主要从事光电对抗技术应用研究。E-mail:chenjian4500@163.com