

红外系统对点源目标作用距离的优化计算

汪卫华, 王充

(陆军军官学院, 合肥 230031)

摘要: 作用距离是红外系统核心性能指标之一,受大气、背景等多方面因素的影响。针对传统作用距离计算方法存在的局限,综合考虑多个影响因素,提出了一种优化计算方法,首次精确计算了作用距离与实际距离之差的大气衰减值,并对计算方法进行了验证。结果表明,优化计算方法具有较好的计算精度,可用于红外系统性能预测和整体设计。

关键词: 红外系统; 点源目标; 作用距离; 背景辐射

中图分类号: TN211; TN219 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)03-0059-03

Optimal Calculation of IR System Operating Distance for Point Target

WANG Wei-hua, WANG Chong

(Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Operating distance, which is mostly influenced by a few factors such as atmosphere, background and so on, is one of the main capabilities of IR system. Considering the shortage of traditional calculating formula, and based on synthetical analysis, the optimal calculation method was presented. Exact calculation of atmospheric attenuation was carried out for the first time and the new method was validated by experiment. The results showed that the new method has better precision, which can be used in performance prediction and overall design of IR system.

Key words: IR system; point target; operating distance; background radiation

当今时代的战争是立体化、信息化的多维高技术战争,精确作战是现代战争的重要特色。进入21世纪以来,西方强国的战略调整使得武器装备加速向信息化、智能化方向发展。为了应对高性能武器的严峻挑战,必须提高红外系统的性能,增加发现目标的距离,为防御和拦截赢得更多的时间。探测概率、虚警概率和作用距离是红外系统的三大核心指标,在探测概率和虚警概率确定的情况下,作用距离

则代表了系统的探测能力^[1]。因此,开展红外系统作用距离的计算研究,可以提高计算精度,为红外系统性能预测和整体设计提供参考。

1 传统方法的局限性

传统的计算作用距离的方法一般是采用小哈德逊提出的红外系统作用距离计算公式^[2],但是只考虑

收稿日期: 2011-12-28

作者简介: 汪卫华(1965—),男,安徽人,教授,主要研究方向为战场情报获取与处理。

了目标自身的辐射,忽略了其他因素对红外系统探测的影响,误差较大。邢强林^[3]和牟达^[4]综合考虑了背景辐射和目标成像弥散的影响,探讨了红外搜索跟踪系统对点目标的作用距离方程,吴晗平^[5]通过研究探测率温度特性与背景影响对方程进行了修正。在这些改进的方程中,有些参数需要测量,工程计算上运用起来比较复杂;有些参数虽然是探测器的性能指标直接给出的,但实际的计算条件与实验室给定条件有差别,不可避免地会产生偏差。黄静等^[6]提出了一种基于噪声等效照度差估算作用距离的方法,一定程度上提高了估算精度。然而,这种方法在假设背景噪声超过探测器噪声的前提下,噪声等效照度差等于探测器上背景辐射照度,没有考虑探测器的噪声,也存在一定的不足。只有尽可能地将更多的影响因素加入计算公式中,结果才会更加接近真实。文中将对公式做以下改进。

1) 以目标与背景辐射照度差的形式反映背景辐射对作用距离的影响。

2) 用信号提取因子 δ ^[7]来表征信号的损失。红外系统接收到信号后,有一个信号传输和处理的过程,这个过程中信号会衰减。对于采用模拟信号输出的红外系统, δ 在0.6~0.8之间,常取值为0.707;对于采用数字信号输出的红外系统,信号不会产生衰减, $\delta=1$ 。

3) 考虑探测器的填充系数^[8]。对于小线列或小阵列探测器,通过光机扫描方式成像的红外成像系统,其填充系数基本上为100%。对于凝视焦平面型或长线列扫描型红外成像系统,其填充系数都小于100%,如一般PtSi焦平面探测器的填充系数为80%,InSb焦平面探测器的填充系数为90%,MCT焦平面探测器的填充系数为70%。

4) 考虑目标辐射在实际距离和作用距离上被大气衰减的程度差。

2 作用距离计算方法的优化

当目标对红外系统探测器所张立体角远远小于系统的瞬时视场角时,目标可视为点源目标。红外系统接收点源目标的辐射能量与它们之间的距离有关,距离越远接收到的能量越少,以接收到的最小系统可感应的能量对应的距离为系统的作用距离^[9]。

2.1 背景辐射

根据目标来分类,背景包括天空、海面 and 地面。红外系统在对目标进行探测时必然会受到背景辐射的影响,而且有时背景辐射在探测器上形成的辐射照度比目标还要高。因此,背景辐射的计算直接影响到系统作用距离估算的准确性。

天空背景可分为晴空和有云。在晴空时,天空向下的辐射包括大气本征热辐射和大气散射的太阳辐射;在有云时,必须考虑云对阳光的散射和云本身的辐射。此外,在高空存在受激氢氧基粒子以及行星和恒星的辐射。在计算天空背景辐射时,需要大气的温度和视线的仰角。白天和晚上的天空背景辐射变化十分明显,白天天空背景辐射的辐射亮度比晚上大数倍,辐射极大值位于可见光波段;晚上气温下降,天空背景辐射的极大值向长波方向移动。天空背景辐射随着海拔的增高而减小。海面背景辐射取决于海面温度和表面状态,海水的辐射发射率随海浪不断变化。地面背景辐射由反射、散射的太阳光和自身的热辐射组成,地面自身的热辐射和地表温度密切相关,影响地面温度分布和辐射特性的因素很多,如地表形状、植被类型等^[10]。

红外系统接收到背景辐射的成分受多方面因素的影响。目标所处位置、目标与红外系统之间的相对位置等都会对背景辐射的计算产生影响。所以在精确计算背景辐射时必须综合考虑各种因素,建立多维计算模型。

2.2 目标信噪比计算

当目标的辐射强度为 I_T ,目标与系统之间的距离为 R 时,点源目标辐射照度 H_T 可表示为:

$$H_T = I_T / R^2 \quad (1)$$

假设红外系统瞬时视场角为 ω ,目标对系统视场中心所张立体角为 ω_1 ,背景辐射亮度为 L_B 。当目标存在时,瞬时视场中背景辐射照度 H_B 可表示为:

$$H_B = L_B (\omega - \omega_1) \quad (2)$$

目标与背景辐射照度差 ΔH 则为:

$$\Delta H = H_T - L_B \omega_1 \quad (3)$$

式(3)的意义是将背景对红外系统的影响反映在目标与背景辐射照度差上。对应于系统上的辐

射功率为:

$$\Delta P = \Delta H A_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_0(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

式中: $\tau_0(\lambda)$ 为光学系统的光谱透过率; A_0 为光学系统入瞳面积。

则目标信噪比为:

$$SNR = \frac{\Delta V_s}{V_n} = \frac{\delta K D^*(\lambda_p) \Delta P}{(A_d \Delta f)^{1/2}} \quad (5)$$

式中: ΔV_s 为辐射功率在系统上产生的信号电压; V_n 为系统输出的均方根噪声电压; Δf 为等效噪声带宽; A_d 为探测器面积; $D^*(\lambda_p)$ 为系统峰值归一化探测度; K 为 $D^*(\lambda_p)$ 转换为波段内有效探测度的转换系数。

2.3 作用距离

小哈德逊提出的红外系统作用距离计算公式为:

$$R^2 e^{\mu R} = \frac{I \tau_0 A_0 D^*}{SNR (A_d \Delta f)^{1/2}} \quad (6)$$

式中: μ 为大气衰减系数。假设系统最低可探测信噪比为 SNR_0 , 那么当目标信噪比 $SNR=SNR_0$ 时, 对应的 R 就是系统对该目标最大作用距离。

假设目标与红外系统之间的距离为 R_1 , 系统最大作用距离为 R_2 , 推理得到:

$$R_2^2 = \frac{SNR_1}{SNR_0} R_1^2 e^{-\mu(R_2-R_1)} \quad (7)$$

式(7)中 $e^{-\mu(R_2-R_1)}$ 表示距离 R_2 与 R_1 路径差上的平均大气透过率。大气透过率是一个与大气衰减系数和距离有关的指数函数, 大气衰减系数 μ 在相同环境条件下可以等效为一个平均值。相对传统的作用距离计算方法来说, 文中优化的作用距离计算方法综合考虑了背景辐射、红外系统噪声和大气透过率等因素对目标探测的影响, 特别是首次将实际距离与最大作用距离路径差上的大气衰减反映到公式中, 需要说明的是, $e^{-\mu(R_2-R_1)}$ 在 R_2 不确定的时候也是不确定的, 很多文献在计算时粗略将 $e^{-\mu(R_2-R_1)}$ 等效为 1, 计算得到的 R_2 误差较大, 而且这种误差随着大气衰减系数的变大而变大。文中计算方法考虑的因素相对全面, 理论上能使计算结果更加接近真实值。

3 验证与分析

采用校验算例对红外系统对点源目标作用距离优化计算方法的正确性与适用性进行了验证。为了保证检验结果具有较高的可信度, 通过对多篇已公开发表的文献进行筛选, 选取带有实验测量结果的文献[11]作为系统的校验算例。

根据文献中实验系统性能参数和实验设置条件, 采用文中计算方法在 MATLAB 中进行计算, 得到目标信噪比 $SNR=354.27$, 作用距离 $R=2.17$ km。将文中结果与文献结果进行对比, 结果见表 1。

表 1 仿真结果

Table 1 Simulation result

目标 类型	辐射强度/ (W·sr ⁻¹)	作用距离 R/km			
		传统公式	实验值	文献值	文中计算值
点目标	2.692	2.62	2.08	2.34	2.17

文献[11]在实验过程中, 调整探测器使目标成像位置移动, 得到的目标最大值信噪比为 312, 对应作用距离为 2.08 km。文中的计算目标信噪比为 354.27, 作用距离为 2.17 km, 以实验值 2.08 km 为定标, 相对传统公式计算精度提高了近 22%, 相对文献[11]的计算方法精度提高了 8%。从对比结果可以得出这样的结论: 红外系统对点源目标作用距离的优化计算方法具有较好的计算精度和实际应用。

然而, 计算结果相对实验测量结果还有 4.3% 的误差, 因为在实际测量的过程中, 红外系统的性能参数达不到理论值, 探测器局部不均匀, 像素间相互串扰, 实际大气透过率与软件计算的大气透过率存在的差距等, 都会影响到实际应用的效果。

4 结论

红外系统的作用距离在一定程度上反映了系统性能的好坏。文中通过分析当前红外系统作用距离计算方法中存在的不足, 推导了基于目标与背景辐射照度差计算红外系统对点源目标作用距离的优化方法。该方法考虑的因素较为全面, 计算精度有所提高。由于实际测量过程中系统、探测器以及外部

(下转第 81 页)

单的销毁设计,以达到价值的最大化。

参考文献:

- [1] 王保士. 俄罗斯军队退役武器与军事技术装备中的贵金属回收[J]. 中国资源综合利用, 2005(5): 39—40.
- [2] United States Government Accountability Office. Hazardous Waste, Information on How DOD and Federal and State Regulators Oversee the Off-site Disposal of Waste from DOD Installation[R]. Washington, 2007.(余不详)
- [3] 王怀亚. 退役报废武器装备销毁处理探析[J]. 仓储管理与技术, 2010(1): 28.
- [4] 李高胜, 郑克勇. 对武器装备退役报废管理的思考[J]. 军械士官, 2004(2): 31—32.

- [5] 万佳雨. 报废武器现场处理实录[J]. 军械维修工程, 2007(12): 48—49.
- [6] 张净敏, 翟红方. 待退役航空装备资源再利用问题研究[J]. 航空维修与工程, 2010(6): 70—71.
- [7] 陈津, 赵晶, 张猛. 金属回收与再生技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 42—61.
- [8] 辛涛, 钟孟春, 韩媛媛, 等. 美军退役报废装备处置研究及启示[J]. 资源科学, 2010, 32(12): 2286—2291.
- [9] 郭小亮, 杨宏伟, 倪明仿, 等. 退役报废装备资源再生利用研究[J]. 资源再生, 2009(10): 35—37.
- [10] 徐滨士. 装备再制造工程的理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 1—5.

(上接第61页)

环境均会影响到实际运用的效果,因此本方法的精度还需进一步提高。

参考文献:

- [1] 李凡, 刘上乾, 张峰, 等. 点源目标的红外搜索与跟踪系统的作用距离估算[J]. 红外技术, 2008, 30(9): 502—504.
- [2] 小哈德逊 R D. 红外系统原理[M]. 《红外系统原理》编译组, 译. 北京: 国防工业出版社, 1975.
- [3] 邢强林, 黄惠明, 熊仁生. 红外成像探测系统作用距离分析方法研究[J]. 光子学报, 2004, 33(7): 893—896.
- [4] 牟达, 王建立, 陈涛. 红外搜索跟踪系统作用距离的分析[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 93—95.
- [5] 吴晗平. 红外点目标探测系统作用距离方程理论研究

——基于探测率温度特性与背景影响[J]. 红外技术, 2007, 29(6): 341—344.

- [6] 黄静, 刘朝晖, 邓书颖. 点源目标的红外成像系统作用距离分析[J]. 科学技术与工程, 2007, 18(7): 4587—4590.
- [7] 王兵学, 张启衡, 王敬儒, 等. 凝视型红外搜索跟踪系统作用距离模型中参数值的确定[J]. 红外技术, 2004, 26(4): 6—10.
- [8] 吴军辉, 朱景成. 红外成像系统对点目标动态探测概率分析[J]. 红外技术, 2000, 22(1): 40—44.
- [9] 陈玻若. 红外系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [10] 周学艳. 目标与背景光谱辐射特性测量方法的研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2006.
- [11] 严世华, 祝世杰. 红外搜索跟踪系统作用距离分析与计算[J]. 光电技术应用, 2011, 26(2): 39—41.

(上接第77页)

达设计定型环境鉴定试验实施过程中,应严格执行航空军工产品设计定型文件的规定,正确、规范、有效地开展试验,详细、认真、负责地审查文件,真实、客观地出具试验报告,为雷达的设计定型试验严把质量关。

参考文献:

- [1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [2] GJB 74A—1998, 军用地面雷达通用规范[S].
- [3] GJB 150.1A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第1部分: 通用要求[S].
- [4] GJB 1362A—2007, 军工产品定型程序和要求[S].