

文章编号: 1672-8785(2014)11-0020-03

光电信号环境定量分析研究

李 学 王学伟

(海军航空工程学院, 烟台 264001)

摘 要: 光电信号环境分级对打赢信息化战争具有重要的指导意义。通过分析光电信号环境构成和指标体系构建原则, 系统构建了光电信号环境分级指标体系。通过指标因子构造了等级划分判断函数, 并结合探测器对抗干扰的能力修正了判断函数。提出的模型基于理论分析, 综合考虑了光电信号环境和采用的抗干扰措施, 并结合了定性和定量分析原则, 易于计算。最后用实例验证了模型的正确性。

关键词: 光电信号环境分级; 指标体系; 判断函数; 模型

中图分类号: TN97 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.11.005

Study of Quantitative Analysis of Electro-optic Signal Environment

LI Xue, WANG Xue-wei

(Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

Abstract: Classification of electro-optic signal environment is of great significance to the winning of an informationized war. By analyzing the elements and indicator system construction principle of electro-optic signal environment, an indicator system for electro-optic signal environment classification is established systematically. The classification judgment function is constructed by an index factor and is further modified according to the detector's ability against interference. The proposed model is based on theoretical analysis. Since the electro-optic signal environment and the anti-interference measures are considered and both qualitative and quantitative analysis principles are incorporated, calculation is carried out easily. Finally, the correctness of the model is verified in several examples.

Key words: electro-optic signal environment classification; indicator system; judgment function; model

0 引言

光电信号即光辐射波长范围的集合。波长范围覆盖 $0.01\sim 1000\ \mu\text{m}$, 包括紫外光、可见光和红外光波段^[1]。随着精确制导武器和光电技术的发展, 基于红外探测的精确制导武器得到了广泛应用。雷达 / 红外复合制导武器因其特有的抗干扰效能越来越受国内外重视, 研究光电信号环境的分级对打赢信息化战争具有重要的

指导意义。目前, 战场环境分级的研究主要涉及电磁环境, 而涉及光波段信号环境分级的内容较少。王志刚系统研究了光电信号环境的基本概念^[2], 尹少辉等分析了战场光电环境构成^[3], 冯邵辉通过分析战略导弹的光电信号环境, 将战略导弹面临的威胁划分为三级^[4], 牛海等提出了基于人工神经网络的辐射源威胁评估方法^[5]。这些研究都没有系统研究光电信号环境分

收稿日期: 2014-10-09

作者简介: 李学(1989-), 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事精确制导智能化方向研究。

E-mail: chinalxsky@yahoo.com

级方法, 因此, 本文重点研究红外波段的信号环境威胁等级划分。

1 光电信号环境构成

光电信号环境包括目标自身辐射特性、背景辐射特性、大气传输特性以及环境中存在的干扰特性等。通常所讲的红外波段主要包括 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 三个波段, 更详细的划分见表 1。

红外波段的背景环境由地物背景、海天背景和天空背景等组成, 它们的辐射特性会影响探测器的精度。大气中的水分子、二氧化碳等会造成目标辐射的散射和衰减, 因此研究光电信号环境分级时必须考虑大气的干扰。在复杂光电环境中, 人为的干扰对信号环境分级的影响主要表现为降低探测成功率。

表 1 红外波段的划分

光谱带	通常的波长范围
近红外	$0.7\sim 1.1\ \mu\text{m}$
短波红外	$1.1\sim 2.5\ \mu\text{m}$
中波红外	$2.5\sim 7.0\ \mu\text{m}$
长波红外	$7.0\sim 15\ \mu\text{m}$
极红外	$15\sim 1000\ \mu\text{m}$

2 信号环境分级指标体系

在从定性到定量分析的过程中, 必须建立相应的指标体系, 确立指标因子, 并对其进行建模仿真。指标体系的构建应遵循以下准则:

- (1) 完备性原则;
- (2) 客观性原则;
- (3) 系统性原则;
- (4) 可测性原则;
- (5) 突出性原则;
- (6) 可比性原则;
- (7) 定性与定量相结合的原则。

上述原则之间相互关联。建立指标体系时, 首先根据系统性原则分析, 在此基础上选取科学合理的指标来保证指标的完备性。在评估过程中, 必须坚持定性和定量相结合的原则。在综合考虑信号环境构成和指标系统建立原则的基础上构建如图 1 所示的模型。

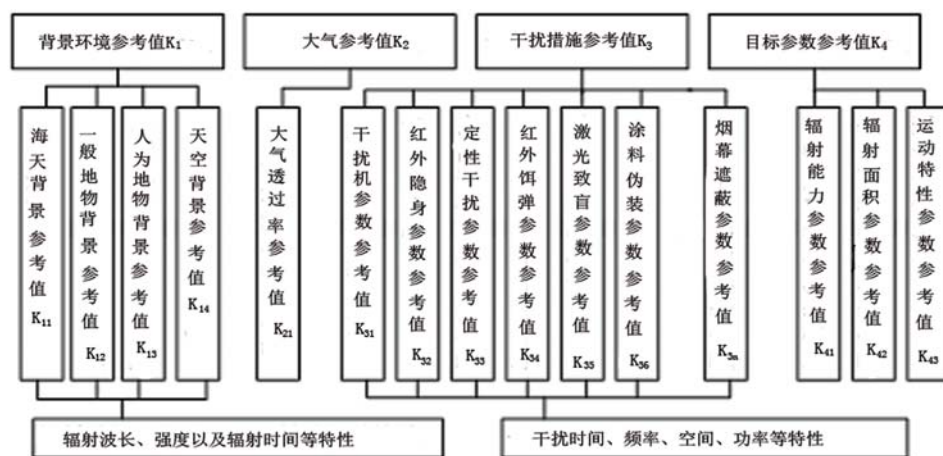


图 1 光电环境分级的指标体系

3 参数范围确定

(1) 确定原则

背景环境参考值 K_1 和大气参考值 K_2 主要考虑的是目标所在的自然环境, 在不同的干扰

环境不同的探测设备下, 均可采用本文构建的模型。干扰措施的参考值 K_3 和目标参数的参考值 K_4 在不同干扰下的模型不同, 所以在模型构建中需采用相同的构建要素, 使最终求得的判

断函数具有实际意义。因此,在判定光电环境等级时,将背景环境的参考值 K_1 和大气的参考值 K_2 相组合,并将干扰措施的参考值 K_3 和目标参数的参考值 K_4 相组合。

(2) 背景环境底层参数

以海天背景为例,考虑实际情况,设定红外波段背景辐射的最低辐照度(单位面积上的辐射能量)为 E_{a1}^1 , 最大辐照度为 E_{b1}^1 , 实时辐照度为 E , K_{11} 计算如下:

$$K_{11} = \frac{2E}{E_{b1}^1 - E_{a1}^1} \quad (1)$$

式中,可采用 $E_{b1}^1 = 5E_{a1}^1$, $E_{ave} = 3E_{a1}^1$, E_{ave} 为常温时海天背景的辐射照度。 K_{12} 、 K_{13} 和 K_{14} 可同理计算得到。

(3) 大气环境底层参数

大气透过率参考值 K_{21} 是实时大气透过率与理想大气透过率的比值,计算如下:

$$K_{21} = \frac{\tau_0}{\tau} \quad (2)$$

大气透过率的计算可参考文献 [2], 在常温晴朗的状态下可设定上式比值为 1。

(4) 干扰措施底层参数确定

干扰措施参数值 K_3 与采取的抗干扰措施有关。以面源红外饵弹为例,有效辐射时间一般为 $8 \sim 12 \text{ s}^{[1]}$, 可以覆盖 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 三个波段 [3], 辐射面积为 $40 \sim 100 \text{ cm}^2$, 并且可以组合成一定形状的红外热图像,从而干扰检测设备对目标的正常检测。点源红外饵弹的有效辐射时间只有 $3 \sim 5 \text{ s}$, 分别对它们进行参考值建模。

$$K_{34} = N \int_0^t f \cdot S \cdot E dt \quad (3)$$

$$K'_{34} = N \int_0^t f \cdot E dt \quad (4)$$

(5) 目标底层参数确定

用辐射照度 E 作为目标辐射能力参数,面积采用有效面积 S , 采用浮动程度 f 表示运动特性。

(6) 上层参数计算

$$K_1 = K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot K_{14} \quad (5)$$

$$K_2 = K_{21} \quad (6)$$

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32} \cdot K_{33} \cdot K_{34} \cdots K_{3n} \quad (7)$$

$$K_4 = K_{41} \cdot K_{42} \cdot K_{43} = \int_0^t f \cdot E \cdot S dt \quad (8)$$

4 等级划分

(1) 划分原则

根据对探测设备的威胁程度,将光电环境分为 4 级。1 级为简单光电环境,2 级为轻度复杂光电环境,3 级为中度复杂光电环境,4 级为复杂光电环境。简单光电环境对探测器的影响较小,探测到目标的概率大于 90%;轻度复杂光电环境探测器的探测成功率在 55%~80%;中度复杂光电环境探测器的探测成功率在 20%~55%;复杂光电环境探测器的探测成功率小于 20%。

(2) 等级划分

目标参数的特性与背景、大气、干扰措施参数的相关性都较高,在判断过程中需要综合考虑它们间的互相影响。当背景非常复杂、探测设备无法从背景中识别目标时,此环境即为复杂光电环境,此时 $K_1 \cdot K_2 > 2$ 。 K_3/K_4 主要考核干扰措施干扰目标检测的能力。采取相同干扰措施、不同探测方式时,此比值应该不同。为此需要更新方程:

$$K_3/K_4 = (K_3/K_4)^p \quad (9)$$

式中, p 为探测器抗相应干扰的成功率, $p=1$ 时,不影响原值; $p=0$ 时, $K_3/K_4=1$, 对判定函数不产生判断影响,即此时无干扰。

表 2 威胁等级的判断准则

等级	判断准则
1 级	$1 < K_1 \cdot K_2 \cdot K_3/K_4 < 2$
2 级	$2 < K_1 \cdot K_2 \cdot K_3/K_4 < 4$
3 级	$4 < K_1 \cdot K_2 \cdot K_3/K_4 < 6$
4 级	$6 < K_1 \cdot K_2 \cdot K_3/K_4$ 或 $K_1 \cdot K_2 > 2$ 或 $K_3/K_4 > 3$

(下转第 36 页)