

文章编号:1001-5078(2018)09-1139-05

· 光电对抗 ·

防空导弹装备红外伪装能力评估研究

李彦彬¹, 张海瑞¹, 李佳坤¹, 赵一兵²

(1. 空军工程大学防空反导学院, 陕西 西安 710051; 2. 中国人民解放军95972部队, 甘肃 酒泉 735018)

摘要:针对防空导弹装备红外伪装实施的局限性和零散性,提出了一种综合评估其红外伪装能力的指标体系和方法。该体系基于伪装与侦察这对矛盾关系,从红外侦察能力、红外隐身能力、红外示假能力、环境支持能力、人员任职能力、维护保障能力和组织管理能力7个方面系统分析防空导弹装备红外伪装能力,通过熵值法确定各评估指标的权重;提出基于加权秩和比的综合评估方法,并对评估等级进行客观分档。最后,通过算例分析,对该评估体系及方法进行验证。

关键词:防空导弹装备;红外伪装能力;熵值法;加权秩和比

中图分类号:E951.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2018.09.014

Research on evaluation of air defense missile infrared camouflage capabilities

LI Yan-bin¹, ZHANG Hai-rui¹, LI Jia-kun¹, ZHAO Yi-bing²

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;
2. 95972 Troop, PLA, Jiuquan 735018, China)

Abstract: In order to avoid the limited and scattered factors, a comprehensive index system and method for evaluating air defense missile infrared camouflage capabilities is proposed. Based on the contradiction between reconnaissance and camouflage, it analyzes the air defense missile infrared camouflage capabilities from infrared reconnaissance capability, infrared stealthy capability, infrared deceiving capability, environmental support capability, staffing capability, maintenance capability and organizational management capability. The weight of each index is determined by Entropy method. The WRSR method is proposed to split the assessment results. Finally, through an example, the system and method are verified.

Key words: air defense missile; infrared camouflage capabilities; entropy method; WRSR

1 引言

现代信息化作战条件下,“被发现”意味着“被摧毁”,伪装与侦察之间的对抗矛盾日益突出。热成像技术、热制导技术等高新技术在军事上的应用,对目标的红外伪装产生了严重的威胁,大量对抗红外侦察的伪装材料、技术和方法等也得到了飞速发展,

如纳米材料在红外伪装方面的应用、低红外发射率材料的研究应用以及红外辐射特性的研究等,使红外伪装能力得到一定程度的提高。

国内外对目标红外伪装的评估也成为红外技术研究的热点,现有研究成果主要集中在现场实地判别或通过图像进行判别的实地检测人工判别方

作者简介:李彦彬(1968-),男,副教授,主要从事国防采办与项目管理教学与研究。E-mail:yuanchen4@sina.com

通讯作者:张海瑞(1994-),男,硕士研究生,研究方向为国防采办与项目管理。E-mail:15529307508@163.com

收稿日期:2017-12-26

法^[1];提取伪装前后红外图像特征数据的图像检测方法^[2-5];以及基于红外目标可探测性模型的计算机模型方法^[6]等。各评估方法均有一定的科学性和合理性,但尚未形成一整套适合于军事应用的红外伪装综合评估流程,并且都是从红外伪装目标的角度进行伪装能力评估,具有一定的局限性。本文从伪装与侦察的角度入手,提出了针对侦察与伪装双方的多指标评估体系,并建立了基于加权秩和比的评估模型,通过算例验证了该方法的有效性。

2 防空导弹装备红外伪装能力分析

防空导弹装备是以天线收发车、导弹发射车、电源车等需产生红外辐射以完成其规定动作的系列装备,由于其作战任务的需求,红外辐射能力较强,这为红外成像侦察装备提供了可靠信息,因而战场生存能力明显下降。同时,随着高技术红外侦察器材的更新换代及其在军事上的不断应用,防空导弹装备红外伪装能力建设已成为迫切需要体系化研究的重点内容。结合相关文献及指标体系建立原则,经归纳整理,防空导弹装备红外伪装能力可以从七个方面进行评估:红外侦察能力、红外隐身能力、红外示假能力、环境支持能力、人员任职能力、维护保障能力和组织管理能力。

2.1 红外侦察能力

红外侦察能力指利用目标发射或反射红外线的特性,以红外探测器为工具,通过光电变换作用形成红外图像的能力强弱。敌方在进行红外侦察时,影响其侦察器材侦察能力的指标有空间分辨率、温度分辨率^[7]和距离。

2.2 红外隐身能力

红外隐身能力指主要通过消除、减小或改变目标与背景间中远红外波段两个大气窗口辐射特性的差别来进行伪装的能力。热辐射是物体固有的属性,在对防空导弹装备进行隐身伪装时,要考虑到目标形状的隐身程度,表面材料种类的适宜程度,表面材料粗糙程度以及温度四个方面对隐身能力的影响。

2.3 红外示假能力

红外示假能力主要指利用红外假目标或模拟原型设备可探测性特征来实施以达到示假目的的能力。在设置红外假目标时,要配置相应部位的热源,以达到以假乱真的目的^[8]。在配置红外假目标时,要满足逼真性、便捷性和保密性要求。

2.4 环境支持能力

环境支持能力是指自然环境对防空导弹装备实施红外伪装的支持能力。从目标发出的红外辐射在被探测器材接收前还要在大气中传播一段距离,红外辐射在大气中传输会受到很大衰减,其原因主要来自大气中的各种气体对辐射的吸收和大气中悬浮微粒对辐射产生的散射。同时,还应考虑天然条件对实施红外伪装的可利用程度以及因实施红外伪装后的环境恢复情况等。

2.5 人员任职能力

人员任职能力指为完成防空导弹装备红外伪装目标的人员胜任其所在职务的能力要求。人员对防空导弹装备红外伪装的重视程度、人员完备性以及人员培训率是影响人员任职能力的主要因素。

2.6 维护保障能力

维护保障能力指为完成防空导弹装备红外伪装目标而进行维护保障工作的能力,具体表现在保障设备满足率、备件满足率和资料满足率三个方面。

2.7 组织管理能力

组织管理能力指为有效地完成防空导弹装备红外伪装,灵活地运用各种方法,把各种力量合理地组织和有效地协调起来的能力。评估组织管理能力的高低应从制度法规的合理性、管理方法的科学性、组织运行效率以及考核监督情况入手。

3 加权秩和比法

3.1 基本原理

加权秩和比法是由我国统计学家田凤调教授于1988年提出,是以非参数法为基础、进行多指标综合评估的有效方法。该方法主要在医疗卫生领域、质量控制等相关评估工作中得到了广泛的应用。其基本原理是先通过数据获取得到初始矩阵,后利用秩转换计算无量纲统计量RSR,再通过统计分布的原理与方法研究RSR的分布,最后将RSR值作为评估对象优劣及分档的依据^[9-10]。

3.2 适用性分析

防空导弹装备红外伪装能力评估是在分析单项指标的基础上,把红外伪装能力的多个特征量按属性合成一个有机的整体,用综合量值评估其能力水平,其结果可以是红外伪装能力的综合指标或等级。在红外伪装能力评估中采用加权秩和比法不但可以计算出其综合量值,而且能够对其

能力水平进行等级划分。由于该方法在初始处理数据时计算秩次,在一定程度上可以避免人为主观和异常数据的影响。同时,利用加权秩和比进行防空导弹装备红外伪装能力的分档不是主观给定的,而是根据标准正态离差分档,各档方差一致为最佳分档。

4 防空导弹装备红外伪装能力评估模型

4.1 熵值法确定指标权重

熵在不同的学科中被引申为各种具体的不同的定义,在信息论中是测定不确定性的量,熵和系统所包含的信息量是成反比的^[11]。信息量和熵是互补的。熵值法是来判断某个指标的离散程度的数学方法,即用指标熵值来确定权重。

第一步,建立初始矩阵 $D = (d_{ij})_{m \times n}$ 。汇总 m 批防空导弹装备现行红外伪装记录数据,统计记录需求值。同时,邀请 15 位教授专家及基层工作者,对防空导弹装备红外伪装能力进行分析和评估,确定需主观评估的指标的分值,采用加法评分法求得评估对象的平均值,从而得到初始评估矩阵 D 。

第二步,计算归一化矩阵 $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 。当指标为效益型指标时,

$$b_{ij} = \frac{d_{ij} - \min_j d_{ij}}{\max_j d_{ij} - \min_j d_{ij}} \quad (1)$$

当指标为成本型指标时:

$$b_{ij} = \frac{\max_j d_{ij} - d_{ij}}{\max_j d_{ij} - \min_j d_{ij}} \quad (2)$$

第三步,计算指标值相对强度的熵:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{b_{ij}}{E_j} \ln \frac{b_{ij}}{E_j} \quad (3)$$

式中: $E_j = \sum_{i=1}^m b_{ij}$ 。

第四步,计算信息量权重:

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (4)$$

其中, $g_j = 1 - e_j$ 。

4.2 加权秩和比评估模型的建立

第一步,编秩得到秩矩阵 $R = (R_{ij})_{m \times n}$ 。对归一化矩阵 B 编出每个指标各批装备的秩,其中效益型指标由小到大编秩,成本型指标由大到小编秩,

同一指标数据编平均秩。

第二步,计算第 i 批装备的 WRSR,记为 δ_{wRSR_i} 。

$$\delta_{wRSR_i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \omega_j R_{ij} \quad (5)$$

第三步,计算概率单位。按 δ_{wRSR_i} 由小到大的顺序编制 WRSR 频率分布表(数值相同列为一组),列出各组频数 f_i ,计算各组累计频数 $\sum f_i$ 。依次计算各组 WRSR 的秩次范围 R 和平均秩次 $\bar{R}$ 。计算向下累计频率 $p_i = \bar{R}/m$,最后一个累计频率按 $1 - 1/(4m)$ 估计,将 p_i 转化为第 i 批装备的概率单位 p_{robti} :

$$p_{robti} = u(p_i) + 5 \quad (6)$$

其中, $u(\cdot)$ 表示标准正态离差函数。

常见的百分率与概率单位的对照表参见文献[9]。

第四步,计算直线回归方程。自变量取第 i 批装备所对应的概率单位 p_{robti} ,因变量取第 i 批装备的 WRSR,即 δ_{wRSR_i} ,可建立方程如下:

$$\delta_{wRSR_i} = a + b_{p_{robti}} \quad (7)$$

其中, a 、 b 为常数系数。

第五步,分档排序。首先按照各档方差一致为最佳分档的原则,确定实际分档数。利用标准正态离差,其分别对应的概率单位 p_{robti} 值如表 1。通过回归方程计算相应的分档端点值,作为评估对象分档排序的依据。

表 1 常用分档情况下的概率单位的临界值

Tab. 1 The threshold value of the probability in the common case

分数档	p_{robti}
3	4, 6
4	3.5, 5, 6.5
5	3.2, 4.4, 5.6, 6.8
6	3, 4, 5, 6, 7
7	2.86, 3.72, 4.57, 5.44, 6.28, 7.14

5 能力评估算例

根据防空导弹装备红外伪装能力分析,建立指标体系如图 1。

现用上述评估指标 $C_j (j = 1, 2, \dots, 23)$ 对 5 批防空导弹装备红外伪装能力进行评估。根据防空导弹装备红外伪装记录数据及专家经验法可得到初始数据如表 2 所示。

表2 防空导弹装备红外伪装能力初始数据

Tab. 2 The initial data of the air defense missile infrared camouflage capabilities

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}
1	0.13	0.09	3000	0.85	0.7	0.65	82	0.84	0.82	0.92	0.22	0.5	0.8	0.9	0.89	0.9	0.74	0.9	0.86	0.72	0.81	0.83	0.75
2	0.15	0.05	2000	0.75	0.68	0.73	92	0.92	0.79	0.95	0.23	0.65	0.84	0.84	0.92	0.85	0.86	0.75	0.74	0.86	0.88	0.92	0.88
3	0.12	1.01	5000	0.78	0.86	0.6	88	0.9	0.83	0.85	0.21	0.75	0.72	0.86	0.83	0.75	0.82	0.86	0.85	0.84	0.77	0.81	0.79
4	0.1	0.08	4000	0.8	0.74	0.75	86	0.86	0.85	0.9	0.25	0.72	0.85	0.82	0.86	0.95	0.88	0.73	0.9	0.88	0.84	0.82	0.81
5	0.18	1	2500	0.6	0.64	0.7	95	0.82	0.9	0.83	0.24	0.68	0.76	0.81	0.81	0.88	0.75	0.65	0.76	0.83	0.82	0.71	0.72

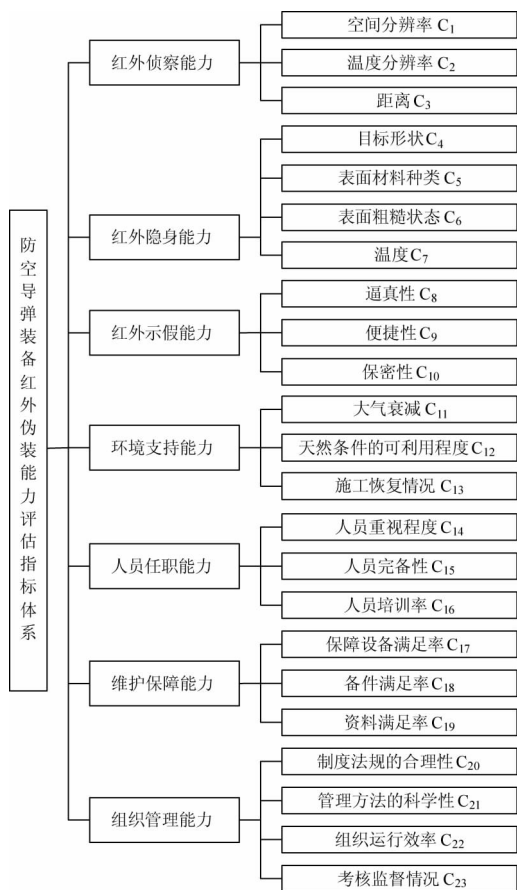


图1 评估指标体系

Fig. 1 Evaluation index system

5.1 计算指标权重

根据式(1)计算归一化矩阵后,再根据式(2)~(4)可计算出指标权重向量为(0.0362, 0.0638, 0.0376, 0.0312, 0.0555, 0.0378, 0.0432, 0.0484, 0.0450, 0.0470, 0.0428, 0.0314, 0.0396, 0.0582, 0.0479, 0.0330, 0.0568, 0.0424, 0.0497, 0.0303, 0.0388, 0.0353, 0.0481)

5.2 建立秩矩阵并计算 δ_{wRSR_i}

编秩得到秩矩阵并计算 δ_{wRSR_i} 。

5.3 排序分档

根据式(5)~(7)计算加权秩和比,并将批次按其由大到小排序。参考文献[9]将百分率换算为概

率单位,利用 excel^[12] 可得回归方程为 $\delta_{wRSR_i} = 0.1532p_{robti} - 0.2171$,计算结果如表3所示。

表3 加权秩和比分布

Tab. 3 Weighted RSR distribution

	δ_{wRSR_i}	f_i	$\sum f_i$	R	$\bar{R}$	p_i	p_{robti}
5	0.3887	1	1	1	1	0.2	4.16
3	0.5284	1	2	2	2	0.4	4.75
1	0.6092	1	3	3	3	0.6	5.25
2	0.6957	1	4	4	4	0.8	5.84
4	0.7742	1	5	5	5	0.95	6.64

利用加权秩和比模型,可得5批防空导弹装备红外伪装能力从优到劣的顺序为批次4 > 批次2 > 批次1 > 批次3 > 批次5,这与理想点法得到的顺序一致,验证了上述模型的正确性。

根据分档方差一致为最佳分档理论,将防空导弹装备红外伪装能力分为5个等级:优、良、合格、差、很差。根据分档界限值和回归方程可得分档等级如表4所示。

表4 红外伪装能力等级划分

Tab. 4 The grade of infrared camouflage capabilities

等级	p_{robti}	WRSR 估计值	分档排序结果
优	$[6.8, \infty)$	$[0.82466, \infty)$	
良	$[5.6, 6.8)$	$[0.64082, 0.82466)$	批次2、4
合格	$[4.4, 5.6)$	$[0.45698, 0.64082)$	批次1、3
差	$[3.2, 4.4)$	$[0.27314, 0.45698)$	批次5
很差	$(\infty, 3.2]$	$(\infty, 0.27314]$	

6 结论

通过防空导弹装备红外伪装能力分析,本文从多角度、系统化地建立了指标体系,解决了红外伪装能力评估局限性的问题。针对目前防空导弹装备红外伪装情况,构建了基于加权秩和比的评估方法,不仅可以对其伪装能力进行评估,还可以建立基于统

计学方法的客观分档依据,确定红外伪装能力等级,具有一定的理论意义和现实价值。

参考文献:

- [1] YANG Zhaojin, CUI Dongxu. Introduction of military objective camouflage stealth technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014: 87 - 88. (in Chinese)
杨照金, 崔东旭. 军用目标伪装隐身技术概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 87 - 88.
- [2] WANG He, BAI Tingzhu. Infrared camouflage image evaluation using atanassov's intuition fuzzy sets[J]. Infrared Technology, 2012, 34(3): 181 - 184. (in Chinese)
王贺, 白廷柱. 基于直觉模糊集的红外图像伪装评价研究[J]. 红外技术, 2012, 34(3): 181 - 184.
- [3] HUANG Feng, WANG Yuefeng, DONG Wei, et al. Study on infrared camouflage effect evaluation based on gray correlation [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(6): 928 - 931. (in Chinese)
黄峰, 汪岳峰, 董伟, 等. 基于灰度相关的红外隐身能力评价方法研究[J]. 光子学报, 2006, 35(6): 928 - 931.
- [4] ZHANG Pin, CHEN Yiwang, FU Qiang. Fast algorithm for camouflaged people detection in infrared imagery using GMM BS [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(4): 975 - 983. (in Chinese)
张品, 陈亦望, 傅强. 使用 GMM 背景减除的红外伪装人体目标快速识别算法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(4): 975 - 983.
- [5] TIAN Shaohui, CHEN Hongshu, HU Zhiyi, et al. An analysis on examination indexes of thermal infrared camouflage [J]. Infrared Technology, 2010, 32(1): 57 - 60. (in Chinese)
田少辉, 陈宏书, 胡志毅, 等. 热红外伪装能力检测指标分析[J]. 红外技术, 2010, 32(1): 57 - 60.
- [6] FANG Hao, LI Aihua, PAN Yulong, et al. The effect evaluation of infrared camouflage simulation system based on visual similarity [J]. Acta Armamentarii, 2017, 38(2): 351 - 357. (in Chinese)
方浩, 李艾华, 潘玉龙, 等. 面向视觉相似的红外伪装仿真能力评估[J]. 兵工学报, 2017, 38(2): 351 - 357.
- [7] DI Xu, YANG Jinhua, et al. Light and infrared imaging technology [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2015: 100 - 107. (in Chinese)
邸旭, 杨进华, 等. 微光与红外成像技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 100 - 107.
- [8] XING Xin, CAO Yi, TANG Gengping, et al. The foundation of stealth camouflage technology [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2012: 66 - 67. (in Chinese)
邢欣, 曹义, 唐耿平, 等. 隐身伪装技术基础[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2012: 66 - 67.
- [9] FU Xueqian, CHEN Haoyong. Comprehensive power quality evaluation based on weighted rank sum ratio method [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(1): 128 - 132. (in Chinese)
付学谦, 陈皓勇. 基于加权秩和比的电能质量综合评估[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(1): 128 - 132.
- [10] QIU Lin, ZHU Ni, ZHANG Xuelei, et al. Comprehensive evaluation of reporting quality of communicable disease by weight rank sum ratio method in hospitals, Shanxi province [J]. Modern Preventive Medicine, 2017, 44(5): 926 - 930. (in Chinese)
邱琳, 朱妮, 张雪雷, 等. 应用加权秩和比法的综合评价陕西省医疗机构的传染病报告质量[J]. 现代预防医学, 2017, 44(5): 926 - 930.
- [11] MA Yalong, SHAO Qiufeng, et al. Assessing theories and methods and their military applications [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013: 54 - 55. (in Chinese)
马亚龙, 邵秋峰, 等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 54 - 55.
- [12] LIN Peixian, WANG Wei, ZHONG Qianhong, et al. Computation and Evaluation of Actualizing RSR in Excel [J]. Journal of Mathematical Medicine, 2009, 22(2): 183 - 186. (in Chinese)
林佩贤, 王维, 钟倩红, 等. 应用 EXCEL 实现秩和比的计算及其评价[J]. 数理医药学杂志, 2009, 22(2): 183 - 186.