

文章编号: 1672-8785(2022)08-0008-05

国产机载红外探测器的应用 效果评估方法

刘 奕 闯家亮 贾 鹏 李江勇

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 随着我军装备国产化步伐的加快, 需要对国产核心电子器件的应用效果进行评估, 以推动国产核心电子器件在我军装备中的工程应用。首先介绍了开展国产红外探测器应用效果评估的背景及必要性, 然后详细描述了国产红外探测器在器件级、模块级、设备级和系统级的应用效果评估方法, 最后通过分析论证对国产红外探测器在机载系统中的应用效果进行了科学评价。该方法可牵引国产红外探测器的优化改进, 以支撑我军装备承制单位的综合保障及可靠性设计工作。

关键词: 应用效果评估; 红外探测器; 机载

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2022.08.002

Evaluation Method of Application Effect of Domestic Airborne Infrared Detector

LIU Yi, CHUANG Jia-liang, JIA Peng, LI Jiang-yong

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: With the acceleration of the localization of our military equipment, it is necessary to evaluate the application effect of domestic core electronic devices in order to promote the engineering application of domestic core electronic devices in our military equipment. Firstly, the background and necessity of the evaluation of the application effect of domestic infrared detectors are introduced, and the application effect evaluation methods of domestic infrared detectors at the device level, module level, equipment level and system level are described in detail. The application effect of the detector in the airborne system has been scientifically evaluated, which can lead to the optimization and improvement of the domestic infrared detector, so as to support the comprehensive guarantee and reliability design of our military equipment manufacturers.

Key words: application effect evaluation; infrared detector; airborne

收稿日期: 2022-05-05

作者简介: 刘奕(1991-), 女, 吉林农安人, 硕士研究生, 主要从事红外探测系统的总体设计研究。

E-mail: 923256428@qq.cn

0 引言

光电探测用作未来空战的主要手段已逐步成为广泛共识。作为机载光电装备的重要传感器, 红外探测器经过了近几十年的高速发展。国内科研院所也逐步突破了一系列的关键技术瓶颈。但国产红外探测器在我军机载装备上的工程应用仍存在诸多潜在风险, 且应用效果不理想。为提高航空武器装备的国产化水平, 充分验证国产红外探测器在机载环境下的功能、性能和可靠性, 规范一种科学有效的应用效果评估方法显得尤为重要。这样既能规避国产红外探测器在使用过程中的质量风险, 又能指导国产红外探测器的优化设计, 从而实现国产红外探测器在机载装备上的工程化应用^[1]。

针对国产红外探测器研制过程中应用效果评估面临的评估方法缺乏、评估层级单一等问题, 以国产红外探测器中应用的核心器件作为研究对象, 开展国产红外探测器在器件级、模块级、设备级和系统级的应用效果评估方法研究, 形成国产红外探测器的应用效果评估方法论, 实现应用效果评估技术在国产机载红外探测器上的应用。

1 应用效果评估的必要性

我国在红外探测器的器件级层面上已开展了大量应用效果评估研究工作, 但甚少在模块级、设备级和系统级层面上开展应用效果评估。红外探测器在模块级、设备级和系统级层面的应用效果评估缺乏权威的评估方法支撑, 可能导致存在隐患的国产红外探测器在装机使用时出现故障, 极不利于国产红外探测器在我军机载装备上的工程化应用。若国产红外探测器的隐患持续存在, 则会给型号装备带来不可预估的风险。因此, 当务之急就是要开展国产核心电子器件在模块级、设备级和系统级的应用效果评估研究^[2]。

2 应用效果评估方法

2.1 总体思路

图 1 所示为基于指标体系的应用效果评估

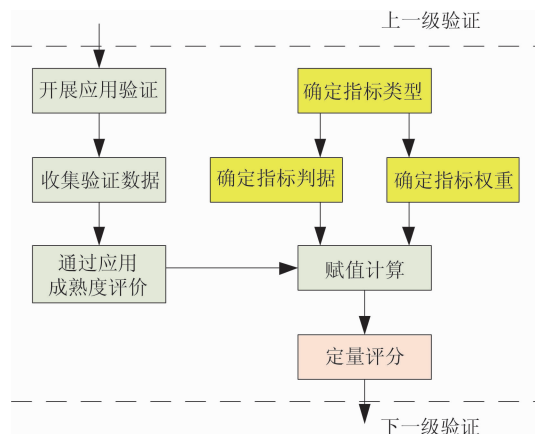


图 1 基于指标体系的应用效果评估流程

流程。在开展国产红外焦平面探测器评价之前, 首先应确定应用验证流程涉及的级别; 其次建立国产红外焦平面探测器的指标体系, 并确定指标权重和判据; 在此基础上, 开展应用验证并收集验证数据; 然后开展应用成熟度评价, 当达到本级应用成熟度后, 再开展基于指标体系的应用效果评估; 将验证结果转换为评估数值, 综合确定本级验证的定量评分。

2.2 指标体系建立

2.2.1 指标类型确定

根据所反映国产红外焦平面探测器特性的不同, 将指标分为功能性能、适应性和可靠性三类。除了指标反映的国产红外焦平面探测器特性之外, 还应按照数值特征和验证级别对指标类型进行分类。

根据数值特征的不同, 可将指标分为 A 类指标和 B 类指标两大类。其中, A 类指标为通过型指标, 主要指功能性测试和通过性试验的结果(如环境适应性试验、电磁兼容试验和可靠性试验等); B 类指标为数值型指标, 主要指性能测试以及主观评价指标^[2]。

根据验证级别的不同, 可将指标分为器件级验证指标、模块级验证指标、设备级验证指标和系统级验证指标^[3]。大部分指标都可能跨越这些级别。由于各个级别都要进行应用效果评价, 需要再单独对各级指标进行分类和打分。常见应用验证指标与分类的对应关系如表 1、表 2 和表 3 所示。

表 1 各特性包含的应用评价指标

特性大类	包含指标
功能性能	功能参数、性能参数
适应性	环境适应性、电磁兼容
可靠性	可靠性

表 2 指标评价级别与指标形式的对应关系

评价级别	A 类指标	B 类指标
器件级	功能参数	性能参数
模块级	环境适应性、功能参数	性能参数
设备级	功能参数、环境适应性、电磁兼容、可靠性	性能参数
系统级	功能参数、环境适应性、电磁兼容、可靠性	性能参数

表 3 指标评价级别与指标特性的对应关系

评价级别	功能性	可靠性	适应性
器件级	功能参数、性能参数	—	—
模块级	功能参数、性能参数	—	环境适应性
设备级	功能参数、性能参数	可靠性	环境适应性、电磁兼容
系统级	功能参数、性能参数	可靠性	环境适应性、电磁兼容

表 4 性能参数指标赋值示例

序号	输出功率数值	分数
1	大于 $1.2 * \text{最低可接受值}$	1
2	$1.1 * \text{最低可接受值} < \text{输出功率数值} \leq 1.2 * \text{最低可接受值}$	0.8
3	$1.0 * \text{最低可接受值} < \text{输出功率数值} \leq 1.1 * \text{最低可接受值}$	0.5
4	小于等于最低可接受值	0

2.2.2 指标判据确定

判据指标可分为单判据指标和综合判据指标两种。其中，单判据指标源于指标体系，分为 A 类指标和 B 类指标；综合判据指标分为成熟度、适用度和可用度判据指标。成熟度判据指标代表生产厂、功能、性能和可靠性程度，适用度判据指标代表应用环境适应性程度，可用度判据指标对应全部指标体系^[4]。

(1) 单判据指标

为方便汇总计算，将所有单判据指标对应的数值满分均设定为 1。A 类指标按照是否通过分别给予 0 或者 1 的数值；B 类指标中的性能测试指标可通过定量判据进行分数划分和评价，判据示例如表 4 所示。B 类指标的判据形式可通过以下三种方法确定：对于国内同行业有标准可参考的指标，可采用行业标准来确定

指标判据，主要通过查询国内外相关资料以及国内型号的相关要求等方式；对于国内同行业没有标准可参考的指标，可在国外或其它行业寻求一些标准作为标杆，确定相应的指标判据；对于没有标准可参考的指标，可向有实际工程经验的专家咨询，也可采用测试法、推断法等方法，结合有效的数据分析来确定判据。在没有先验信息时，一般可认为设计要求对应分数为 0.6，与国外同类型器件性能相同的对应分数为 0.8^[4]。

(2) 综合判据指标

用定量方法对各成熟度等级关键过程域进行测量。具体的操作步骤如下：

(a) 建立评价团队。通过众多经验丰富的专家组建评价团队。团队中的组员应具备一定的项目经验，并专业学习过相关评估评价方法。

(b) 进行验证试验。根据组织的测量大纲, 用定量方法测量并填写国产红外探测器应用成熟度等级调查单, 搜集相关内容: 国产红外探测器应用成熟度等级调查单中包括每一个团队成员的一组问题、国产红外探测器应用成熟度等级主要实践满足情况(普遍包括三种情况, 即“不满足(N)”、“部分满足(P)”及“完全满足(F)”)。调查单由评估小组的代表填写。

(c) 国产红外探测器应用成熟度等级调查单分析。若国产红外探测器应用成熟度等级关键过程域中关键实践满足的情况没有回答“不满足(N)”, 则可认为达到这一成熟度级别。

(d) 满足要求的关键过程域也会存在部分需要解决的问题。评价团队对调查单进行分析和整理, 进一步确定需再次核查的区域, 梳理出问题清单。需再次核查的区域应与国产红外探测器应用成熟度模型的关键过程域对应。

评价团队在问题清单中梳理出国产红外探测器的优势和劣势。在国产红外探测器研制过程评价中, 通过梳理问题清单不断改进器件; 同时, 问题清单也便于购买方进行风险分析。

根据国产红外探测器应用成熟度等级调查单, 共有三个选项: “不满足(N)”、“部分满足(P)”及“完全满足(F)”。规定计分标准为“完全满足(F)”1分、“部分满足(P)”0.67分、“不满足(N)”0分。记 a_{mj} 为国产红外探测器应用成熟度评价体系 m 层第 j 个 ($j=1, 2, \dots, n$) 维度的得分。

因此, 基于关键过程域的国产红外探测器应用成熟度等级可信度可通过式(1)算得:

$$\mu(C) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega_{ij} a_{ij} \quad (1)$$

由求解过程得出, 可信度 $\mu(C) \in [0, 1]$, 且 $\mu(C)$ 值越大, 国产红外探测器的可靠性越高。

2.2.3 指标权重确定

指标权重确定如下:

(1) 对 WBS 分解后国产红外探测器应用成熟度模型的结构进行权重分析。针对 WBS 分解后的国产红外探测器应用成熟度模型结构, r 位专家根据自己的判断建立 r 组国产红外探测器应用成熟度模型的结构各维度指标的判断矩阵。

(2) 分别得出国产红外探测器应用成熟度模型的结构各维度指标权重。

(3) 设共有 r 位专家对国产红外探测器应用成熟度评价体系 m 层 n 个维度进行评价, 第 k 位专家给出的权重向量 $\omega_m^{(k)} = (\omega_{m1}^{(k)}, \omega_{m2}^{(k)}, \dots, \omega_{mn}^{(k)})^T$, 其中 $\sum_{j=1}^n \omega_{mj}^{(k)} = 1, 0 \leq \omega_{mj}^{(k)} \leq 1, k = 1, 2, \dots, r$ 。

由于评价团队成员的威信度不一致, 每名团队成员打分的重要性也各不相同。假设每名评价专家 k 的权重为 λ_k (其中 $\sum_{k=1}^r \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1$), 确定国产红外探测器应用成熟度评价体系 m 层 n 个维度的相对重要度向量为 $\omega_m = (\omega_{m1}, \omega_{m2}, \dots, \omega_{mn})^T$, 其中 ω_{mj} 为

$$\omega_{mj} = \frac{\sum_{k=1}^r \lambda_k \omega_{mj}^{(k)}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r \lambda_k \omega_{mj}^{(k)}} \quad (2)$$

ω_{mj} 即为待评估的国产红外探测器应用成熟度评价体系 m 层第 j 个 ($j=1, 2, \dots, n$) 维度的权重。

2.3 应用验证结果

应用验证结果示例见表 5。系统总体单位对国产红外探测器开展模块集成和方案设计, 通过分析测试指标项来建立指标评价体系, 然后就其功能性能指标开展常温及机载条件下的测试, 并对其工艺适装、结构匹配、电气匹配和环境适应性等进行测试。最后指导相关人员对国产红外探测器进行指标修改和优化设计, 从而保证模块性能达到要求。

表 5 国产红外探测器模块级应用验证过程

验证级别	验证项目	验证子项目	测试参数
模块级	功能性能	性能测试	参数 1
			参数 2
		功能指标测试	参数 1
			参数 2
	环境适应性	工艺适装	—
		结构匹配	—
		电气匹配	—
		环境适应性测试	—

表 6 国产红外探测器模块级应用效果综合评估过程示例

指标大类	测试项目	测试参数	重要性	相关性	权重	权重比	赋值结果	权重得分
功能性能	性能测试	参数 1	10	8	80	15.6	0.8	12.48
	性能测试	参数 2	7	8	56	10.9	0.7	7.63
	功能测试	参数 1	9	8	72	14.1	0.9	12.69
	功能测试	参数 2	9	8	72	14.1	0.8	11.28
环境适应性	工艺适装	A 类指标	7	8	56	10.9	0.9	9.81
	结构匹配	A 类指标	8	8	64	12.5	0.7	8.75
	电气匹配	A 类指标	7	8	56	10.9	0.7	7.63
	环境适应性	A 类指标	7	8	56	10.9	0.8	8.72
权重总得分								78.99

2.4 综合评估计算结果

国产红外探测器应用效果评分步骤如下：
(1)根据重要性和相关性对评价指标进行打分，计算评价指标权重比；(2)根据测试结果对评价指标赋值，建立测试指标与评价分数的对应关系；(3)将权重与赋值得分相乘，得到评价指标的权重分数。

以模块级为例，国产红外探测器应用效果综合评估过程如表 6 所示。

根据设计权重对试验数据结果进行评分。从模块性能、模块功能和模块环境适应性等多维度进行综合评估，得出国产机载红外探测器的权重得分。对于应用于多个产品的同款国产红外探测器来说，如果需要对其应用效果的评估结果进行综合评价，则应对其指标体系取并集，对相同测试项目和测试参数的权重得分取平均数，最终对取并集的指标进行累加计算并得到总分。

3 结束语

本文主要针对国产机载红外探测器应用效果评估的需要，对评估方法进行了尝试性研究。从指标类型、指标判据、指标权重等多维度作

了详细阐述，以期国产机载红外探测器应用效果评估提供一定的参考。结果表明，该方法可满足新形势下的工程化应用需求，也可用于指导其它国产核心电子器件的应用验证工作。国产核心器件厂家可根据应用效果评估结果，开展针对性的优化设计，从而更好地推动国产核心电子器件的工程化应用。这对提升我军装备的国产化自主保障能力具有相当重要的意义。本文的不足之处在于缺乏足够层级的应用效果评估实例，这也是下一步研究的主要方向。

参考文献

- [1] 杨百剑, 闾家亮, 李春领, 等. 红外探测器在机载光电系统中的应用验证方法研究 [J]. 红外, 2019, 40(3): 6-10.
- [2] 张静, 庄成波. 国产核心电子器件应用效果评估方法 [J]. 通信与信息技术, 2021, 51(2): 37-40.
- [3] 张玲杰, 杨洪旗, 潘勇, 等. 基于故障传递模型的装备可靠性自动分析技术 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2019, 37(6): 28-32.
- [4] 张莹, 张延伟, 范晓明, 等. 宇航元器件应用验证判据体系构建研究 [J]. 质量与可靠性, 2016, 32(2): 22-26.