

doi: 10.7690/bgzdh.2021.02.017

舰载机救援装备效能评估指标体系

王生玉, 王 正, 蔡绪涛

(海军航空大学青岛校区航空装备保障指挥系, 山东 青岛 266041)

摘要: 为解决舰载机救援装备效能评估过程中目标与实现未达到完全匹配的问题, 构建一种效能评估指标体系。通过舰载机救援装备效能评估指标的分类和指标体系的构建准则, 对构建装备效能评估指标体系过程及普遍性问题进行分析, 基于“软件体系框架结构”的概念, 提出效能评估指标体系构建的规范过程, 根据舰载机救援装备效能评估任务的目标和要求, 建立效能评估指标体系结构, 并对指标有效性进行检验, 运用主客观组合赋权的方法确定指标权重。该研究具有较好的应用价值, 建立的指标体系为舰载机救援装备效能评估奠定了基础。

关键词: 舰载机; 装备; 救援; 效能评估; 指标

中图分类号: E24 **文献标志码:** A

Effectiveness Evaluation Index System for Carrier-based Aircraft Rescue Equipment

Wang Shengyu, Wang Zheng, Cai Xutao

(Department of Aviation Equipment Support Command, Qingdao Branch,
Navy Aviation University, Qingdao 266041, China)

Abstract: In order to solve the problem that the goals and achievements in the process of effectiveness evaluating for carrier-based aircraft rescue equipment are not fully match, an index system for effectiveness evaluation is constructed. Through the classification of carrier-based aircraft rescue equipment effectiveness evaluation index and the construction criteria of the index system, the process and general problems of constructing the equipment effectiveness evaluation index system are analyzed. Based on the concept of “software system framework structure”, the standardization process of constructing the effectiveness evaluation index system is proposed. According to the objectives and requirements of the effectiveness evaluation mission of the carrier-based aircraft rescue equipment, an efficiency evaluation index system structure is established, and the validity of the index is tested, and the weight of the index is determined by the method of subjective and objective combination weighting. The research has good application value, and the established index system has laid a foundation for the effectiveness evaluation of carrier-based aircraft rescue equipment.

Keywords: carrier-based aircraft; equipment; rescue; effectiveness evaluation; index

0 引言

效能评估指标是实施舰载机救援装备效能评估的基本准则和基础。效能评估指标的选择和指标体系的构建是装备效能评估的核心工作和重要环节^[1]。

目前, 在实际指标体系的构建过程中, 不同评估者采用的过程和方法各异, 缺乏统一性和规范性, 导致构建的指标可追溯性不强、标准化程度不高。同时, 指标体系的优化处理不够全面、科学, 导致指标体系不完备, 从而导致指标体系无法满足评估工作的要求和评估结果不够准确^[2-4]。常见问题具体表现为: 1) 选取评估指标时受主观和个人经验影响较大, 导致最终确定的评估指标不够客观、科学、有效^[5]; 2) 评估需求与最终确定的指标体系之间缺乏系统性和一致性, 从而导致无法直接验证指标对

于评估任务的实现程度^[6]; 3) 评估指标的名称与定义因人而异, 缺乏统一标准, 导致评估过程中容易出现理解偏差, 影响评估结果^[7]。

这些问题的本质是任务制定者与评估执行者之间在不同视角下的矛盾, 也就是目标与实现未达到完全匹配的结果^[8]。基于此, 笔者借鉴软件工程领域的“软件体系结构框架”概念, 在任务需求与评估实现之间建立一条信息渠道, 从而解决二者之间的匹配问题, 提出具有规范性的过程和方法。

1 效能指标的分类和构建准则

1.1 效能指标的分类

根据舰载机救援装备的作用方式, 可以将其分为救援效能、应用效能和系统效能 3 类效能指标: 1) 救援效能指标是指在救援装备支持下救援人员

收稿日期: 2020-08-30; 修回日期: 2020-10-16

作者简介: 王生玉(1991—), 男, 甘肃人, 硕士, 讲师, 从事装备管理、飞机救援研究。E-mail: wangsy553@126.com。

执行救援任务所取得的效果的度量，装备救援效能是通过救援任务的完成情况，即用救援效果来描述；2) 应用效能指标是指救援保障类装备支持救援单元能力提升程度的度量；3) 系统效能指标是指救援装备系统满足救援任务要求程度的度量。

1.2 指标体系的构建准则

装备效能指标体系的构建准则主要有：

- 1) 整体性：效能指标体系应能覆盖所要评估装备以及救援任务涉及的内容要素，指标体系的完整性是保证效能评估有效性的基础^[9]；
- 2) 针对性：指标体系要围绕评估目标来建立，指标体系构建过程应是面向评估任务和工作的，不同评估目的所对应的指标体系也不相同^[10]；
- 3) 独立性：指标体系内部的指标之间应尽可能独立，避免交叉，以增加评估结果的可信性。

2 指标体系的构建过程

2.1 指标体系构建的一般过程

指标体系的构建一般分为指标分析、初选、筛选、优化 4 个阶段^[11]：

- 1) 分析：要建立科学、合理的效能评估指标体系，应该全面了解并分析评估对象和具体任务，了解任务基本过程、装备应用方式等，掌握装备效能评估描述性指标的情况；
- 2) 初选：在系统分析的基础上，从装备功能属性和任务方面，采用一定的方法初步确定效能评估的指标，建立具体的评估指标体系；
- 3) 筛选：指标的初选结果不一定能够满足评估目标和任务的需要，指标之间可能有交叉重复、错误或遗漏；因此，还要对初选指标进行筛选、修正，从而使指标体系趋于完善；
- 4) 优化：在完成指标体系结构的创建之后，还需要对指标进行进一步的优化，其中，包括效能评估指标的相关性分析、有效性检验、完整性检验、权重确定、量化化处理等。

2.2 指标体系构建的规范过程

指标体系构建对于装备效能评估具有非常重要的作用，当前指标体系构建的一般过程在指标选取方面受分析者主观影响较大，效能评估目的和指标体系之间缺乏紧密的衔接，指标名称、含义等因人而异，指标界定缺乏标准化过程。基于这些问题，借鉴“软件体系机构框架”的概念，提出指标体系构建的规范过程，从而解决“目的”和“实现”之间的矛盾。

装备应用场景是指装备支持救援作战单元完成救援任务的相对独立、完整的过程片段^[12]。场景的应用一方面为救援装备效能评估提供了总体概念和视角，另一方面也为指标体系的构建提供了思路和方法。

框架是用来记录事物和活动的描述规范，从而确保对任务和对象理解的一致性。将框架理念应用到装备效能评估指标体系的构建过程中，需要确定指标体系构建的规范过程以及过程要素，从而实现过程、中间要素、结果之间的一致性，达到目标与实现之间的匹配，这就是装备效能评估指标体系构建的规范框架。

效能评估指标体系构建的规范框架包括规范性过程和产品 2 个方面。其中，图 1 为指效能评估指标体系构建的步骤或程序，表 1 为通过规范的步骤得到规范性产品。

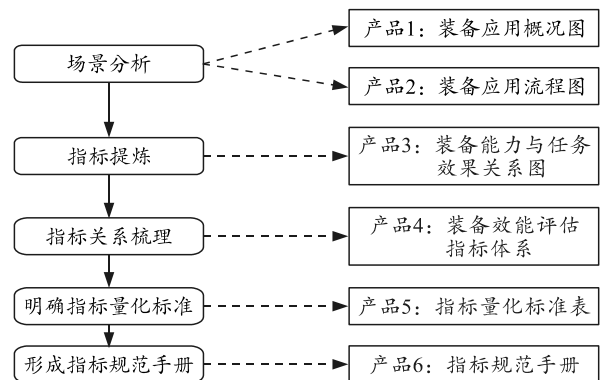


图 1 装备效能评估指标体系构建规范过程

表 1 指标体系构建规范性产品

| 产品代号 | 名称 | 说明 |
|------|--------------|--|
| 1 | 装备应用概况图 | 从场景角度全面描述装备保障舰载机救援的概况，用于人员之间交流讨论和决策信息支持 |
| 2 | 装备应用流程图 | 以救援行动为逻辑主线，描述各装备在救援行动中的活动，明确装备的应用方式和工作流程 |
| 3 | 装备能力与任务效果关系图 | 描述各装备在具体场景中的能力和任务效果之间的关系 |
| 4 | 装备效能评估指标体系 | 完整描述装备性能-功能-效果三层指标架构以及指标之间的关系 |
| 5 | 指标量化标准表 | 明确各指标的量化标准以及计算方式 |
| 6 | 指标规范手册 | 对各指标的概念、类型、与其它指标关系、量化标准等信息进行详细说明 |

规范性过程步骤如下：

- 1) 场景分析。

分析救援装备在场景中的具体应用过程，形成装备应用场景的规范性描述。在场景分析基础上，得到规范产品 1—装备应用概况图。进一步分析装备对舰载机救援的影响，给出各装备应用与救援任务之间的保障关系，得到规范产品 2—装备应用流程图。

根据舰载机发生事故的类型，救援装备与救援任务之间的保障关系不同，装备所体现的主要性能也有所不同。以舰面消防车为例，当舰载机未产生明火时，消防车应迅速到达舰载机附近战位，消防人员持泡沫枪检查舰载机情况，视情况实施降温作业，并监视观察飞机，在此过程中主要体现消防车的机动性和可靠性；当舰载机产生明火时，2 台消防车根据飞机着火部位选择战位，根据指挥人员的指令对着火舰载机进行灭火扑救、开辟并维持救援通道、掩护抢救人员等，对于此类情况，则主要体现消防车的有效性和操作性。

2) 指标提炼。

在场景分析基础上，明确舰载机救援任务总体目标和各装备应用的子目标，提炼各任务目标对应的评价指标。根据各装备的功能属性，确定在对应场景中装备的功能指标，进而明确装备功能指标与任务评价指标之间的对应关系，得到规范产品 3—装备能力与任务效果关系图。

舰载机救援装备效能评估过程中主要涉及速率类和期望类效能指标。其中：速率类指标用来表示指标完成救援任务的速度，例如，以消灭飞机火灾为主要任务的消防车，可以选用消灭固定面积燃油火灾的速度为效能指标；期望类指标用来表示装备能够达到的预期救援效果，例如，以吊起、转移事故飞机为主要任务的救援吊车，可以选用起吊飞机质量、高度、最大距离等属性为效能指标。

3) 指标关系梳理。

在装备能力与任务效果关系图基础上，确定装备的性能指标，进而分析性能指标、功能指标和任务评价指标之间的关系，得到构建框架的核心内容：规范产品 4—装备效能评估指标体系。

通过指标关系梳理，得到舰载机救援装备 7 个一级效能指标：机动性、可靠性、有效性、操作性、适应性、维修性、战场生存能力。效能指标体系构成如图 2 所示。

4) 明确指标量化标准。

结合舰载机救援场景具体情况，分析效能评估

指标体系中的各层次指标，确定各指标的度量方法和衡量标准，其中，包括定性指标的定量化处理，以使所有指标能够被准确度量。通过这一过程得到规范产品 5—指标量化标准表。

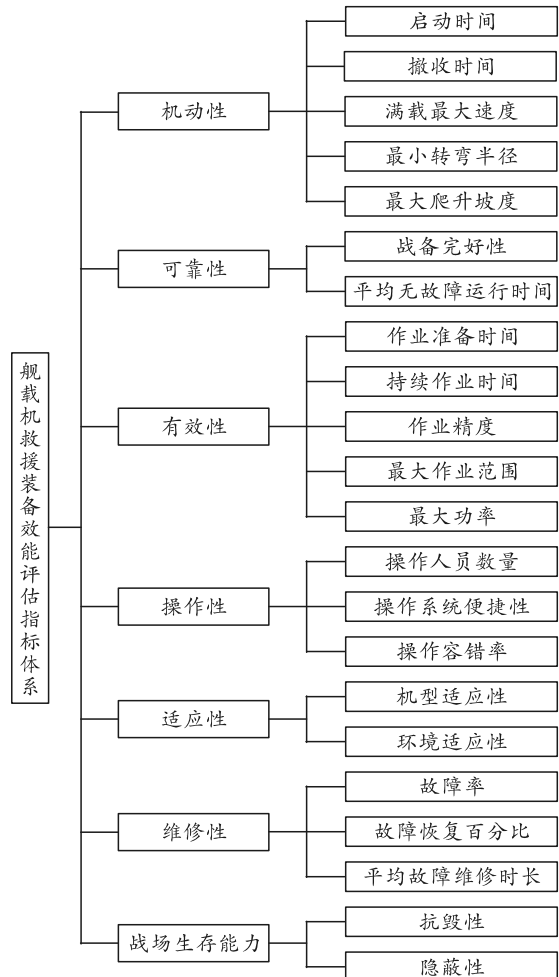


图 2 舰载机救援装备效能评估指标体系

如表 2 所示，定性指标的定量化处理可以通过制定等级量化标准的方式进行。

表 2 指标量化标准

| 维修性相关指标 | 量化标准 |
|----------|----------------------------------|
| 故障率 | $\lambda(t) = f(t)/(1 - F(t))$ |
| 平均故障维修时长 | $MTTR = \int_0^{\infty} tm(t)dt$ |
| 故障恢复百分比 | $\mu(t) = m(t)/(1 - M(t))$ |

5) 形成指标规范手册。

通过对上述规范过程和产品进行检验，最后形成规范产品 6—指标规范手册。指标规范手册要明确基于场景的性能指标、功能指标和任务评价指标的定义、量化标准等内容。

图 3 为指标规范手册中单个指标的卡片式说明示例。

| |
|---|
| 最小转弯半径 (minimum turning radius) |
| 概念: 是指当转向盘转到极限位置, 消防车以最低稳定车速转向行驶时, 外侧转向轮的中心在甲板上滚过的轨迹圆半径。 |
| 量化标准: 最小转弯半径在很大程度上描述了舰面消防车能够通过狭窄弯曲地带、绕过不可越过的障碍物或在有限的甲板空间内行驶的能力。 |
| 作用: 转弯半径转小, 说明消防车的机动性能越好。 常见消防车的最小转弯半径范围: 9.00~20.00 m |

图 3 指标规范手册中单一指标的卡片式说明

3 指标体系的优化

3.1 指标有效性检验

在构建救援装备效能评估指标体系时, 由于受知识或经验的限制, 不同评估者构建的指标体系会存在差异。为提高指标的有效性, 须对建立的指标体系进行有效性检验。

假设装备效能评估指标体系某层指标为

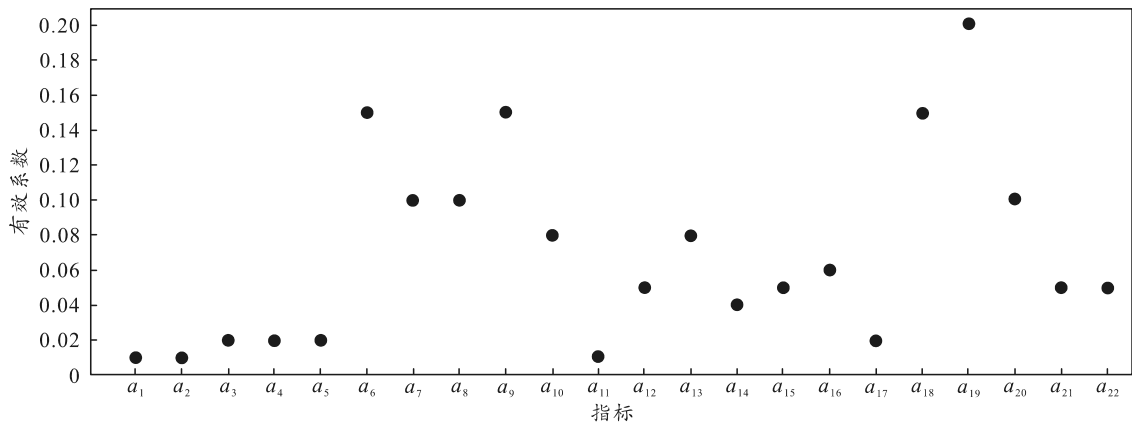


图 4 舰载机救援装备效能评估指标有效系数分布

3.2 指标权重确定

根据舰载机救援装备评估任务的目标和要求, 评估者在指标体系结构完成的基础上需要对指标权重进行确定。传统的权重确定方法分为主观和客观 2 类。为了克服 2 类权重确定方法的缺点, 采用组合赋权的方法对指标权重进行确定。

基于主成分分析的客观权重确定方法得到

$$U_1=(0.153, 0.121, 0.268, 0.109, 0.136, 0.127, 0.098),$$

基于群体层次分析的主观权重确定方法得到

$$V_1=(0.139, 0.116, 0.251, 0.088, 0.162, 0.147, 0.113),$$

主客观权重系数分别为 $\alpha=0.697, \beta=0.715,$

则根据 $W=\alpha U+\beta V,$ 并归一化得到一级权重

$$W_1=(0.144, 0.117, 0.256, 0.097, 0.147, 0.135, 0.104).$$

舰载机救援装备效能评估一级指标权重如图 5

$A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 专家人数为 m , 专家 m_j 对装备的评分为 $V_j=\{v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{nj}\}$, 则定义指标 a_i 的有效系数为

$$\eta_i = \sum_{j=1}^m \frac{|v_{ij} - \bar{v}_i|}{m|\bar{v}_i|}.$$

其中 $\bar{v}_i = \sum_{j=1}^m \frac{v_{ij}}{m}$ 为指标 a_i 的平均值。

有效系数反映了评估专家对于某指标认识的差异大小: 若有效系数越小, 表示专家对于该指标的评价趋于一致, 说明该指标的有效性高, 指标设定和度量标准比较科学; 若有效系数越大, 表示专家对于指标的评价差异较大, 说明指标的有效性较低。图 4 为舰载机救援装备效能指标体系的有效性检验结果。可以看出: 指标的有效性系数在 $0 \sim 0.2$, 表示专家对指标体系的评价基本趋于一致。

所示。

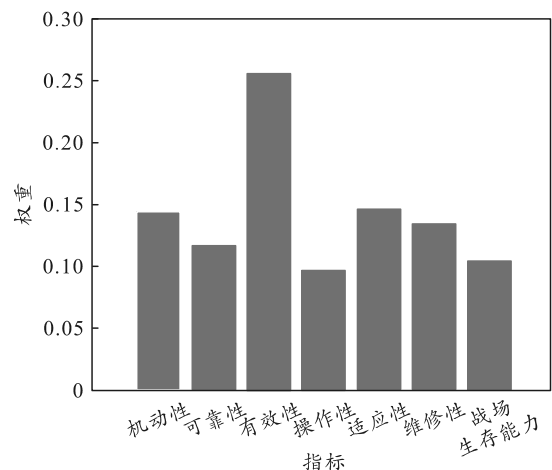


图 5 舰载机救援装备效能评估一级指标权重

通过对所得一级指标权重进行分析, 救援装备在舰载机失事时是否有效直接决定了人员和其他装备的安全, 所以有效性对于装备效能影响最大; 其

次，由于舰载机事故发展迅速，因此，对装备的机动性要求较高，同时，舰面装备所处环境具有高湿、高盐等特点，为保证装备可用，对于其适应性也有较高要求。

同理，得到二级指标权重为：

$W_2=(0.045,0.024,0.041,0.019,0.015,0.066,0.051,0.056,0.062,0.042,0.045,0.051,0.027,0.041,0.029,0.072,0.075,0.052,0.044,0.039,0.058,0.046)$ 。

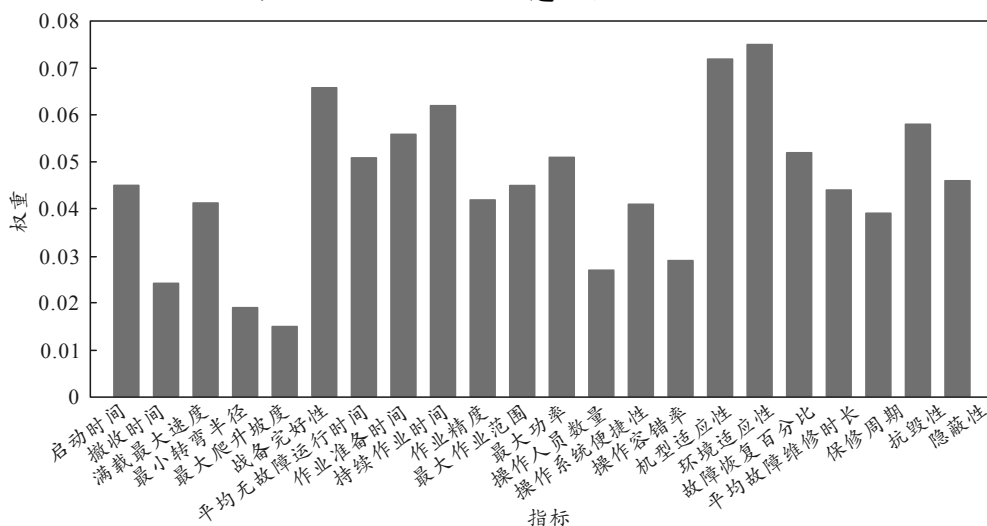


图 6 舰载机救援装备效能评估二级指标权重

4 结束语

基于场景的装备效能评估指标体系构建的规范过程，实现了过程、中间要素、结果之间的一致性，达到了目标与实现之间的匹配，指标具有标准化特点，指标体系层次清晰、形式规范。同时，笔者针对初步构建的指标体系普遍出现的现实问题，提供了评估指标体系反馈完善时所需的典型思路和方法。

参考文献：

- [1] 黄炎焱. 武器装备作战效能稳健评估方法及其支撑技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [2] 黎漫斯, 刘冰, 贾舒宜. 对潜通信系统效能指标体系研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(8): 7-9.
- [3] 位秀雷, 张曦. 航母编队防空作战效能指标体系构建与评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(1): 14-17.
- [4] 周永恒, 崔少辉, 方丹. 红外成像导引头抗干扰评估指标体系构建[J]. 现代防御技术, 2019, 47(3): 175-180.
- [5] 杨晨光, 贾贞, 刘志. 基于联合使命线程的装备作战效能度量指标构建[J]. 指挥控制与仿真, 2019, 41(4): 85-90.
- [6] 潘长鹏, 韩玉龙, 庄益夫. 舰载无人机编队协同对海突击作战效能评估指标体系研究[J]. 战术导弹技术, 2019(2): 25-32.
- [7] 许庆, 侯兴明, 张永福, 等. 面向仿真的航天装备维修保障效能评估指标参数体系[J]. 兵工自动化, 2019, 38(9): 4-10.
- [8] 刘向阳, 杜晓明, 王琳, 等. 数字化部队装备指挥效能评估指标体系[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 127-130.
- [9] 陈宣汝, 沈建京. 网络空间攻防对联合作战体系支援度评估指标体系构建[J]. 军事运筹与系统工程, 2019, 33(1): 44-51.
- [10] 姚群, 舒健生, 王小亮. 信息化条件下反舰作战效能评估指标体系研究[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(5): 48-51.
- [11] 王鹏飞. 多机协同作战效能评估及其不确定问题研究[D]. 郑州: 郑州大学信息工程学院, 2014.
- [12] 李志猛, 徐培德, 冉承新, 等. 武器系统效能评估理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 180-183.