

doi: 10.7690/bgzdh.2022.05.012

改进功效系数法在抢修行动训练指标评估中的应用研究

秦 涛^{1,2}, 鲁冬林¹, 曾拥华¹, 郑国杰²

(1. 陆军工程大学研究生院, 南京 210001; 2. 中国人民解放军 32228 部队, 南京 210012)

摘要: 针对分队级战场抢修 (battlefield damage assessment and repair, BDAR) 行动仿真训练评估中的指标融合问题, 提出基于改进功效系数法的战场抢修行动训练定量指标评估模型。以行动准备阶段的工作计划拟制能力为研究对象, 分析相应的定量和定性指标参数需求, 结合基于 D-S 证据理论的定性指标评估值确定方法, 运用改进后的功效系数法对定量指标评估值进行计算。实例分析结果证明: 该评估模型保持了与定性指标评语等级的一致性, 为 BDAR 行动仿真训练评估系统中的指标融合建立了基础, 具备有效性和实用性。

关键词: 改进功效系数法; BDAR; 行动仿真训练; 定量评估

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Application Research of Improved Efficiency Coefficient Method in Evaluation of Emergency Repair Action Training Index

Qin Tao^{1,2}, Lu Donglin¹, Zeng Yonghua¹, Zheng Guojie²

(1. Graduate Student School of Army Engineering University of PLA, Nanjing 210001, China;

2. No. 32228 Unit of PLA, Nanjing 210012, China)

Abstract: Aiming at the problem of index fusion in the training evaluation of unit level battlefield damage assessment and repair (BDAR) action simulation, a quantitative index evaluation model of BDAR action training based on improved efficacy coefficient method is proposed. Taking the work plan making ability in the action preparation phase as the research object, this paper analyzes the corresponding quantitative and qualitative index parameter requirements, and calculates the quantitative index evaluation value by using the improved efficacy coefficient method combined with the qualitative index evaluation value determination method based on D-S evidence theory. The example analysis results show that the evaluation model maintains the consistency with the qualitative index evaluation level, establishes the foundation for the index fusion in the BDAR action simulation training evaluation system, and is effective and practical.

Keywords: improved efficacy coefficient method; BDAR; action simulation training; quantitative evaluation

0 引言

针对分队级修理单位战场抢修行动训练手段单一、考核评估针对性不强等问题, 综合集成了计算机网络技术、图形图像技术、多媒体、软件工程和自动控制的仿真技术在开展行动训练及评估方面发挥了重要作用。王华等^[1]综合运用规则驱动仿真原理和 AHP 等方法, 设计了集修理行动推演、仿真训练、仿真评估为一体的炮兵分队级维修行动训练与评估系统。其中, 行动评估分系统作为单独模块, 主要对参与行动仿真训练的各类成员的任务遂行情况进行评价和估量, 以仿真训练系统自动记录的数据为样本, 采取实时评估和态势回放评估 2 种方式, 通过定量和定性评估相结合、主观和客观相结合进行综合评估。

在评估指标数据获取方面, 主要区分依托仿真

系统自动采集和专家定性评价 2 方面, 科学处理、融合定量和定性指标成了开展综合评估的前提。模糊综合评估是目前处理 2 类指标的常用方法, 通常将定性指标根据专家组打分的频次构建隶属度矩阵, 将定量指标按照隶属度函数完成定性化, 继而进行模糊合成。董景伟^[2]在确定模糊数的基础上采用三角模糊分布法计算定量指标隶属度, 张强^[3]在装备完好评估与理论方法研究中通过将实验值与装备性能设计参数进行比较, 进而获得装备的无量纲量化值。行金玲等^[4]提出了利用功效系数法对定量指标进行考核, 利用模糊评价法对定性指标进行考核, 统一生成指标评估值后按照权重进行合成计算。

笔者以某工程兵分队级战场抢修 (BDAR) 行动仿真训练与考核评估系统为例, 在指标体系设计过程中丰富了系统自动采集的定量指标, 以期增强评估的客观性。为更好地实现考核与评估的功能, 系

收稿日期: 2022-01-08; 修回日期: 2022-02-28

作者简介: 秦 涛 (1994—), 男, 江苏人, 硕士, 从事维修与器材保障、维修保障设计与评估研究。E-mail: qingtao199421@126.com。

统期望能够实现实时评估功能，找到分队参训者遂行战场抢修行动的能力短板，为后期专项能力提升提供数据依据。采用上述方法会带来以下 2 点问题：

1) 模糊综合评估方法针对定量指标评估缺少有效方法，特别是仿真训练评估指标缺少现成标准，需要通过对系统历史训练数据进行统计分析后明确；此外，在对定性指标处理上难以解决众多专家领域经验不一带来的不确定性；

2) 实现功效系数法确定的定量指标评估值与模糊评价确定的定性指标评估值合成运算，须以在同一评语等级上分布为前提。传统的功效系数法以满意值和不允许值来处理定量指标，按照 60 和 40 来分别设定基础分和调整分比重，容易增大评估值的偏离度，与经过不同评语等级赋分加权计算得到的定性指标评估值难以同时合成计算。

笔者以某工程兵分队级战场抢修行动训练定量指标评估模型为研究对象，对于缺乏既定标准的指标采用有序样本聚类法按照等级分布确定标准值，采用改进功效系数法按照定性指标评语等级分布设定标准系数，进而确定定量指标的评估值。

1 BDAR 行动仿真训练评估

1.1 BDAR 行动仿真训练系统

BDAR 行动仿真训练系统主要面向分队级修理单位的不同类别成员，如指挥员、副指挥员、班组长、技师等，通过行动推演和科目设置，考察其在战场抢修不同阶段、遂行不同任务的能力。系统建设主要包括硬件系统、软件系统和支撑环境 3 大部分，其中软件系统主要包括基础管理、想定编辑、行动导调、行动推演、信息集成、综合态势和行动评估 7 部分。重点介绍如图 1 所示的行动推演和行动评估模块。

1.2 评估指标体系

该系统着眼实现对不同实体(指挥员、班组长、技师等)、在不同阶段(准备、实施、撤收转移)遂行

不同抢修任务的能力评估，按照“任务(task)—任务需求(requirement)—能力指标(index)”的分析思路，梳理出若干战场抢修能力指标，并在专家咨询、厂家修改的基础上，采用模糊聚类方法，最终设置了 5 个一级指标、22 个二级指标和 78 个三级指标。限于篇幅，此处仅介绍部分指标体系，具体如表 1 所示。

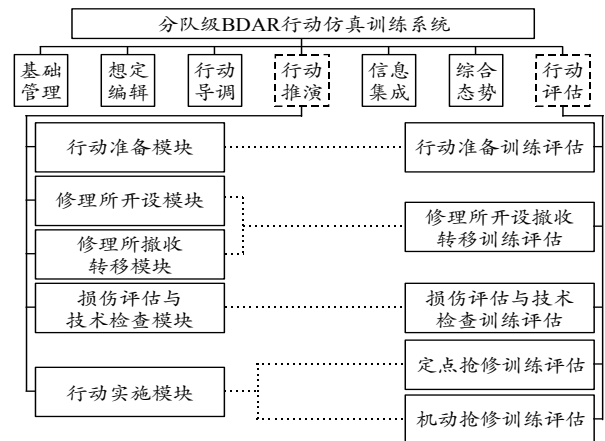


图 1 分队级 BDAR 行动仿真训练系统模块设置

表 1 部分分队级 BDAR 能力评估指标体系

总目标	一级指标	二级指标	三级指标
分队级 战场抢 修能力 A	抢修行动准 备能力 B1	工作计划 拟制能力 C1	工作计划分工明确性 D11
			工作计划内容完整性 D12
			工作计划操作可行性 D13
			工作计划拟制时间 D14
.....

1.3 评估指标参数说明

评估数据需求主要是依据分队级 BDAR 能力评估指标体系末端指标(三级指标)确定，即根据基础指标的性质决定采用定性评估或定量评估生成末端指标参数的评价值。一方面可通过记录 BDAR 行动仿真训练过程中的众多数据和文档，为专家组定性评估提供可视化、可回放的评判依据；另一方面可结合仿真实验数据，建立合适的数学模型，获取客观的定量评估值。为便于理解，现对上述指标参数进行说明，详见表 2 所示。

表 2 指标参数说明

序号	三级指标	评估标准和评价值获取方法	指标类型
1	工作计划分工明确性 D11	工作项目和负责人职责匹配、分工明确	定性指标
2	工作计划内容完整性 D12	工作计划内容应至少包括：传达任务、分队集结、召开支委会等 8 项； $D12=n/8(n \leq 8)$	定量指标
3	工作计划操作可行性 D13	专家组查看《工作计划》，根据具体内容和完成时限对可行性给定评语等级	定性指标
4	工作计划拟制时间 D14	工作计划拟制时间应不超过最大允许值，并在满意时间以上区分阶段进行评价	定量指标

关于定性指标，该项目采用了基于 D-S 证据理论对定性指标进行单因素评估，通过对不同专家的 Mass 函数值矩阵进行合成，并针对不同评语等级

(好、较好、中、较差、差)设置了不同分值，最后得出定性指标的定量评价值，有效降低了评估中的不确定性，此处不再赘述。笔者重点对基于功效系

数法的定量指标评价确定进行分析。

2 传统功效系数法原理

2.1 功效系数法的定义

谢全敏等^[5]认为功效系数法是在对评估对象定性分析的基础上给出定量结果的多档次分析方法,通过明确各定量指标的满意值及不允许值,以满意值为上限值,不允许值为下限值,计算出各指标的单项功效系数值,进而确定定量指标的评价得分。

2.2 功效系数法的具体步骤

1) 确定待评价定量指标(d_1, d_2, \dots, d_n)。

2) 确定各项指标的允许范围,即满意值 d_i^h 和不允许值 d_i^s 的确定。一般满意值 d_i^h 取目前所能够达到的最优值,不允许值 d_i^s 取不应该出现的最低值,满意值和不允许值之差就是允许范围。

3) 区分指标类型确定功效系数。定量指标一般可分为正指标(越大越好)、逆指标(越小越好)、中间型指标(取某个值最好)和区间型指标(某个范围最好),功效系数值与此相对应,按照 60 和 40 来分别设定基础分和调整分比重,具体计算公式如下:

单项功效系数(正指标)计算:

$$f_{1i} = \begin{cases} (d_i - d_i^s) / (d_i^h - d_i^s) \times 40 + 60, & d_i < d_i^h \\ 100, & d_i \geq d_i^h \end{cases} \quad (1)$$

B. 单项功效系数(逆指标)计算:

$$f_{2i} = \begin{cases} (d_i^s - d_i) / (d_i^s - d_i^h) \times 40 + 60, & d_i > d_i^h \\ 100, & d_i \leq d_i^h \end{cases} \quad (2)$$

C. 单项功效系数(中间型指标)计算:

$$f_{3i} = (1 - |d_i - d_i^h| / |d_i^s - d_i^h|) \times 40 + 60 \quad (3)$$

其中: f_{ni} 为各类指标的功效系数值; d_i 为第 i 个指标的实际值; d_i^h 和 d_i^s 分别为第 i 个指标的满意值和不允许值。

单项功效系数(区间型指标)计算:

$$f_{4i} = \begin{cases} (1 - (d_{\min} - d_i) / (d_{\min} - d_{s\min})) \times 40 + 60, & d_i < d_{\min} \\ 100, & d_{\min} \leq d_i \leq d_{\max} \\ (1 - (d_i - d_{\max}) / (d_{s\max} - d_{\max})) \times 40 + 60, & d_i > d_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

其中: d_{\min} 和 d_{\max} 分别为各类指标的下限值和上限值; $d_{s\min}$ 和 $d_{s\max}$ 分别为下限值和上限值的不允许值。

4) 计算总功效系数。结合各指标的功效系数矩阵 $d_{1 \times n}$ 和权重系数矩阵 $\omega_{1 \times n}$, 可计算得到总功效系数值:

$$F = d_{1 \times n} \cdot \omega_{n \times 1} \quad (5)$$

3 功效系数法改进

为确保定量指标评分值能够和经过 D-S 证据推理理论合成计算得到的定性指标评估值融合运算,同时降低满意值和不允许值相差过大带来的评估值偏离,笔者从以下几点对传统功效系数法进行了相关改进。

3.1 改进的内容

1) 按照定性指标评语等级划分标准确定不同档次,并设定不同档次的标准值,明确不同档次的标准系数。以 5 级评语为例,定性指标按照 (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)=(好、较好、中、较差、差)划分 5 个档次,并设定每一档次的标准值,按照评语等级赋分值确定各档次标准系数,例如 $\text{Score}(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)=(0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)$,那么落在第 3 档次的评估指标实际值标准系数为 0.5。

2) 计算公式改进。改变基础分、调整分固定分配比例(60/40),将满意值和不允许值设定为变动的分配比重,进而提升定量指标评价的有效性。改进后的计算过程如图 2 所示。

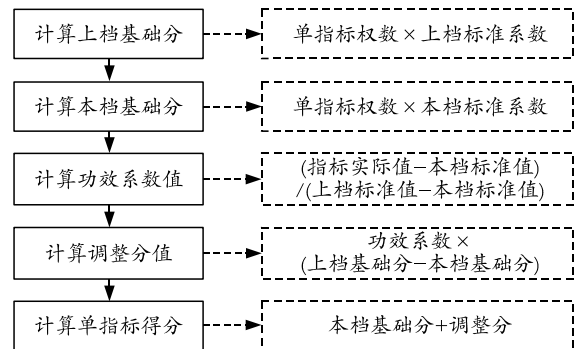


图 2 改进后的功效系数法计算过程

3.2 改进后的优缺点

运用改进后的功效系数法对定量指标进行评估值计算,可以与定性指标评语等级保持一致性,进而为后续定量指标和定性指标评估值的合成运算提供可能。在计算过程中,标准值的设定对改进功效系数法的实际运用有着较大影响,只有不同档次的标准值确定之后,才能计算出定量指标达到满意值的程度。

需要说明的是,在 BDAR 行动仿真训练评估系统中,对于时间类的定量指标(例如工作计划拟制时间)目前没有明确的标准值,常用的方法是基于训练数据样本进行统计分析,进而确定相应的标准值。参考文献[6-9]介绍了分段简单平均法和简单平均法 2 种常用方法,分别按照数据样本的数量和实际

值进行划分设定标准值。该方法容易造成数据信息损失。为了尽量减少档次划分过程中的数据损失，笔者采用基于训练数据聚类分析的标准值确定方法，具体介绍如下。

4 训练数据样本聚类分析方法

以“工作计划拟制时间”为例，在获取众多训练数据样本后，按照从小到大的顺序排序，假设用 X_1, X_2, X_3 表示数据样本，那么分类后的每一类可表示为 $\{X_i, X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_{i+k}\}$ ，其中： $1 \leq i \leq n, k \geq 0, i+k \leq n$ 。若训练数据样本数量为 n ，则将 n 个样本分为 k 类的方法共有 C_{n-1}^{k-1} 种，其本质是在 $n-1$ 个样本间隔之间插入 $k-1$ 个分割点^[10-11]。

1) 定义类的直径 $D(i, j)$ 。

假设 G_{ij} 为某类数据样本 $\{X_i, X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_j\} (j > i)$ ，该类样本的直径定义为所在类的离差平方和，即：

$$D(i, j) = \sum_{t=i}^j (X_t - \bar{X}_{ij})(X_t - \bar{X}_{ij}) \quad (6)$$

其中 \bar{X}_{ij} 为该类数据的重心。

2) 定义目标函数。

假设将 n 个训练数据样本分为 k 类，其分法用 $A(n, k)$ 表示，则 $A(n, k)$ 可记为：

$$\begin{aligned} & \{X_{P_1}, X_{P_1+1}, X_{P_1+2}, \dots, X_{P_2-1}\}, \\ & \{X_{P_2}, X_{P_2+1}, X_{P_2+2}, \dots, X_{P_3-1}\}, \\ & \dots \\ & \{X_{P_k}, X_{P_k+1}, X_{P_k+2}, \dots, X_n\}. \end{aligned}$$

表 3 “工作计划拟制时间”训练数据部分样本

s

序号	工作计划拟制时间	序号	工作计划拟制时间	序号	工作计划拟制时间
1	250	7	411	13	431
2	265	8	265	14	321
3	336	9	422	15	356
4	300	10	365	16	387
5	321	11	367	17	289
6	289	12	316	18	408

根据训练数据样本聚类分析方法，结合 Matlab 程序实现，可以得到定量指标“工作计划拟制时间 D14”的标准值，依次为 250, 292, 332, 385, 411 s。具体完成时间 D14 在 5 个档次的分布如图 3 所示，总体呈钟状，与正态分布曲线类似。

5.2 标准系数设定

上述得到的 5 个标准值(好值、较好值、中值、较差值、差值)分别代表了参训人员的不同工作计划

其中分隔点 $1=P_1 < P_2 < P_3 < \dots < P_k < n=P_{k+1}-1$ 。将目标函数 $m(n, k)$ 定义为所有类的直径之和，即：

$$m[A(n, k)] = \sum_{t=1}^k D(P_t, P_{t+1} - 1) \quad (7)$$

3) 最优解算法。

设分类数量为 $k(1 < k < n)$ ，为了求出分法 $A(n, k)$ 使得 $m[A(n, k)]$ 函数值最小，按照以下步骤计算：

① 找到分隔点 P_k 使得 $m[A(n, k)] = m[A(P_k - 1, k - 1)] + D(P_k, n)$ ，于是得到第 k 类样本 $G_k = \{X_{P_k}, X_{P_k+1}, X_{P_k+2}, \dots, X_n\}$ ；

② 找到分隔点 P_{k-1} ，使得 $m[A(P_{k-1}, k - 1)] = m[A(P_{k-1} - 1, k - 2)] + D(P_{k-1}, P_k - 1)$ ，于是得到第 $k-1$ 类样本 $G_{k-1} = \{X_{P_{k-1}}, X_{P_{k-1}+1}, X_{P_{k-1}+2}, \dots, X_{P_k-1}\}$ ；

③ 照此法可得出所有分类方法 $A(n, k) = \{G_1, G_2, G_3, \dots, G_k\}$ 。

5 实例应用

5.1 训练数据标准值的确定

对仿真训练系统中采集到的“工作计划拟制时间”(逆指标)数据按照从小到大排序，形成待分析数据样本，在进行数据预处理时，针对异常值笔者采取了删除的处理方式，限于篇幅，只列举了部分数据，具体见表 3 所示。进而利用上述有序聚类算法将分成的 k 类分别赋予数值，完成离散化处理。对照定性指标评语等级(好、较好、中、较差、差)5 级分类，因此 k 值取 5，即探讨训练数据样本分为 5 类时目标函数值最小的情况。

拟制时间的不同水平，其中好值表示计划拟制速度的最高水平，其余依次递减，对应定性指标评语等级赋分值设定标准系数。其中若出现实际值优于最满意值或劣于不允许值，指标评分直接取 1 或 0。标准系数值如表 4 所示。

5.3 定量指标评估模拟分析

笔者以某院校学员某次训练数据为例，系统采集到该学员工作计划拟制时间为 310 s，具体计算结

果如表 5 所示。

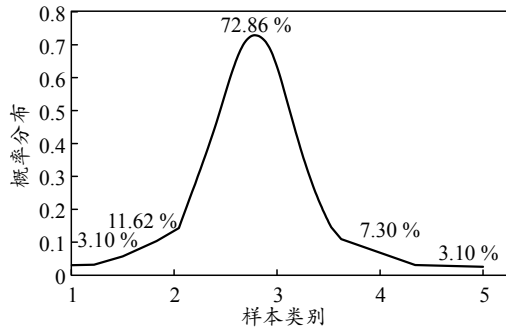


图 3 工作计划拟制时间分布

表 4 标准系数值

评价标准级别	评价标准系数	指标评分值
实际值 ≤ 好值(最满意值)		1
实际值 ≤ 较好值	0.9	
实际值 ≤ 中值	0.7	
实际值 ≤ 较差值	0.5	
实际值 ≤ 差值	0.3	
实际值 ≤ 不允许值	0.1	
实际值 > 不允许值		0

表 5 “工作计划拟制时间” 单项指标评分

指标	计算	工作计划拟制时间/s
实际值①		310
标准系数②	查表	0.7
本档基础分③	②	0.7
上档标准值④		292
本档标准值⑤		332
功效系数⑥	①-⑤/④-⑤	0.5
上档基础分⑦	②+0.2	0.9
调整分⑧	⑥×(⑦-③)	0.1
单项得分⑨	③+⑧	0.81

为验证评估的有效性和可用性，在提前告知训练成绩分布概率的前提下开展专家咨询，征求领域专家的评语意见，并采用 D-S 证据推理方法降低多名专家意见的不确定性，求得该指标评估值。获取专家评语等级意见如表 6 所示。

表 6 “工作计划拟制时间” 专家评判

专家	评语等级				
	好	较好	中	较差	差
1	0.7	0.3	0	0	0
2	0.4	0.6	0	0	0
3	0.4	0.6	0	0	0

经过 3 名专家意见的合成，最终得到该指标的评语等级 mass 函数矩阵为 [0.608 7, 0.391 3, 0, 0, 0]，按照 $Score(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) = (0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)$ 的赋值进行加权计算，得到工作计划拟制时间的定性评估值为 0.821 74，与采用改进功效系数法确定的定量指标评估值偏离度为 1.44%，证明该模型的

可行性和实用性。在实际应用上，采用该模型计算简便，更能适应计算机自动评估的要求，且能满足实时获取定量指标评分值的要求。随着训练水平的提升，相关标准值将不可避免发生变化，定量指标评估值也将与评估目标发生偏移。这也是下一步研究的改进目标。

6 结束语

笔者以分队级战场抢修行动仿真训练评估中的指标融合问题为研究点，提出了基于改进功效系数法的抢修行动训练定量指标评估模型。在分析指标体系中定量和定性指标参数需求的基础上，结合基于 D-S 证据理论的定性指标评估值确定方法，运用改进后的功效系数法对定量指标评估值进行了计算，确保定量指标的评估标准与定性指标评语等级保持一致。通过邀请领域专家进行实证分析，证明了该评估模型对于定量指标评估值量化的有效性。

参考文献:

- [1] 王华, 何伟, 陈永科. 炮兵维修分队保障行动仿真训练与评估系统[J]. 兵工自动化, 2017, 36(2): 50-55.
- [2] 董景伟. 工程装备修理机构修理能力评估方法与应用[D]. 南京: 解放军理工大学, 2014.
- [3] 张强. 工程机械完好评估理论与方法研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2014.
- [4] 行金, 闫文艳. 功效系数法与模糊评价法相结合的研发人员绩效考核研究[J]. 科技管理研究, 2012, 32(18): 54-58.
- [5] 谢全敏, 宋啸, 杨文东. 基于功效系数法的滑坡灾害风险评估研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(6): 120-123.
- [6] 王济民, 蔡颖. 对功效系数法中标准值确定方法的研究[J]. 财务与会计, 2016(12): 26-27.
- [7] 贾芳. 基于功效系数法的 A 公司财务绩效评价研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2020.
- [8] 何青松. 基于功效系数法的 H 公司经营绩效评价研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [9] 李晓辉. 基于功效系数法的滑坡灾害危险性评估研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
- [10] 钟永, 武国芳, 任海青, 等. 基于正态随机样本确定结构用木质材料强度标准值的方法[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(11): 129-138.
- [11] 侯斌, 岳瑞华, 徐中英. 基于历史数据的飞行器测试价值评估研究[J]. 中国测试, 2017, 43(2): 1-5.