

doi: 10.7690/bgzdh.2022.06.013

工兵旅修理连 BDAR 行动仿真训练评估指标选取方法

秦 涛^{1,2}, 鲁冬林¹, 曾拥华¹

(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: 针对某分队级战场抢修 (battlefield damage assessment and repair, BDAR) 行动仿真训练评估系统, 提出一种仿真训练评估指标选取方法。从不同行动阶段的具体战场抢修任务分析入手, 按照“任务(Task)-任务需求(Requirement)-能力指标(Index)”的映射思路, 建立相应行动推演模块的任务需求体系, 并以“损伤评估与技术检查”训练模块为例, 在预选指标的基础上, 采用基于传递闭包法的模糊聚类分析模型选取符合预期的战场抢修能力评估指标。计算结果表明: 该方法建立了任务与能力之间的映射关系, 有利于在评估中发现遂行任务能力的具体短板, 可为基于行动仿真训练的分队级战场抢修行动训练评估提供有效参考。

关键词: 战场抢修; 行动仿真训练; 传递闭包法; 模糊聚类; 评估指标

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Evaluation Index Selection Method for BDAR Operational Simulation Training of Engineer Brigade Repair Company

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

(1. College of Graduate, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210001, China;
2. No. 32228 Unit of PLA, Nanjing 210012, China)

Abstract: Aiming at a unit level BDAR (battlefield damage assessment and repair) action simulation training evaluation system, a selection method of simulation training evaluation index is proposed. Based on the analysis of specific BDAR tasks in different action phases, the task requirement system of the corresponding action deduction module is established according to the mapping idea of "task-requirement-index", and taking the training module of "Damage Assessment and Technical Inspection" as an example, on the basis of pre-selected indexes, the task requirement system of the corresponding action deduction module is established. The fuzzy clustering analysis model based on transitive closure method is used to select the evaluation index of BDAR capability, which is in line with expectations. The calculation results show that the mapping relationship between task and capability is established by the method, which is helpful to find the specific shortcomings of the ability to carry out the task in the evaluation, and can provide an effective reference for the evaluation of unit level BDAR training based on action simulation training.

Keywords: BDAR; action simulation training; transitive closure method; fuzzy clustering; evaluation index

0 引言

开展分队级 BDAR 行动仿真训练, 是修理分队拓展训练内容、提升训练效果的重要训练手段, 而实行动仿真训练评估是检验训练效果的必要环节。构建科学合理的评估指标体系, 选取适合的评估模型, 是评估环节的重中之重。文献[1]以分队级战场抢修能力仿真评估为落脚点, 提出在研究修理分队编制设置、装备编配以及行动指挥等特点的基础上, 需定义仿真行动环境中该系统所应体现的能力, 分析能力构成, 明确不同任务阶段的能力评估需求, 为后续指标体系构建打好基础。丁平^[2]针对训练系统评估需求, 根据影响虚拟训练的影响因素,

设计了 5 项评价科目并构建了指标层次体系。刘浩等^[3]根据战斗机机动识别结果选取飞行能力评估指标, 突出了飞机训练的过程性。周弘扬等^[4]通过分析训练设备组成结构选取了相应指标参数。苏凡圉等^[5]提出在分析影响维修能力主要因素的基础上, 构建包含人员、设施设备、备件器材和组织管理在内的评估指标体系。总的来说, 评估指标的选取方法主要包括特征分析法、结构分析法、文献研究法和头脑风暴法等。笔者在上述研究的基础上, 为了突出对行动训练任务完成效果的评估, 对不同阶段的战场抢修任务进行分析, 梳理了完成任务所必需的任务需求, 从行动中完成任务的角度选取了分队级战场抢修能力指标。

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2022-03-28

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: qingtiao199421@126.com。

1 战场抢修能力指标分析

行动仿真训练系统在想定编辑确定参演兵力、仿真环境及相关模型的基础上,经过导调模块指挥,结合工兵旅修理连遂行工程装备战场抢修行动时的主要任务,设置了行动推演功能,主要包括抢修行动准备、野战修理所开设、损伤评估与技术检查、

抢修行动实施、野战修理所撤收与转移等模块。

1.1 基于 TRI 的战场抢修能力指标映射思路

在剖析不同模块抢修任务的基础上,开展具体的战场抢修能力指标分析。限于篇幅,笔者以 5 个模块中的“损伤评估与技术检查模块”为具体研究对象,开展战场抢修任务分解,结果如图 1 所示。

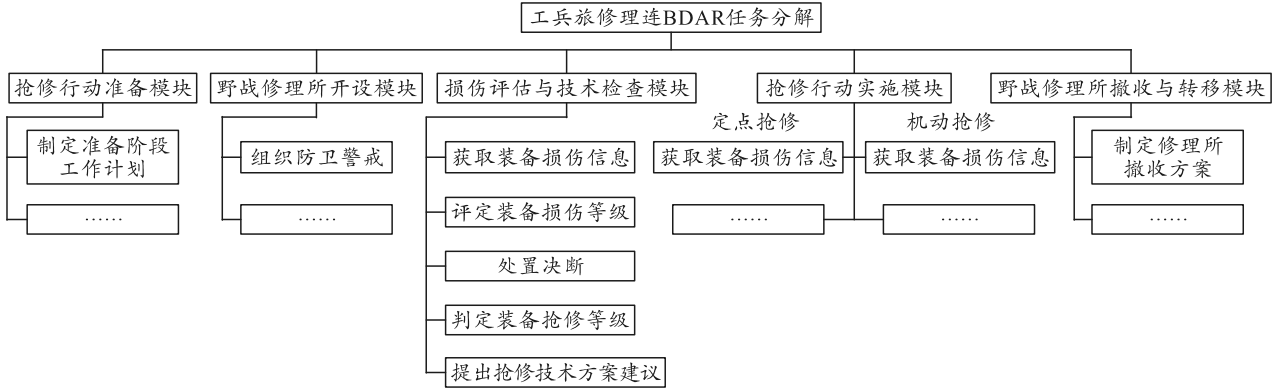


图 1 不同行动推演模块的战场抢修任务分解

在不同行动推演模块任务分析的基础上,从“对应实体、装备设备、保障信息、质量标准、时间要求”5 方面建立相应行动推演模块的任务需求体系,以实现任务需求到评估能力指标的映射^[6-7],具体思路如图 2 所示。

素、信息因素、质量因素和时间因素;“完成战场抢修任务”可描述为:执行任务的用户实体在获取相应的保障信息后,遴选相应的物质资源,在规定的时间内按照规定的质量标准完成相应的战场抢修任务。笔者将工兵旅修理连战场抢修任务需求归纳为 5 点:对应实体、装备设备、保障信息、质量标准和时间要求。具体战场抢修任务需求体系如表 1 所示。

1.2 基于行动推演模块的任务需求体系

基于上节战场抢修任务分析^[8]不难发现,完成任务所涉及的因素主要包括人员因素、物质资源因

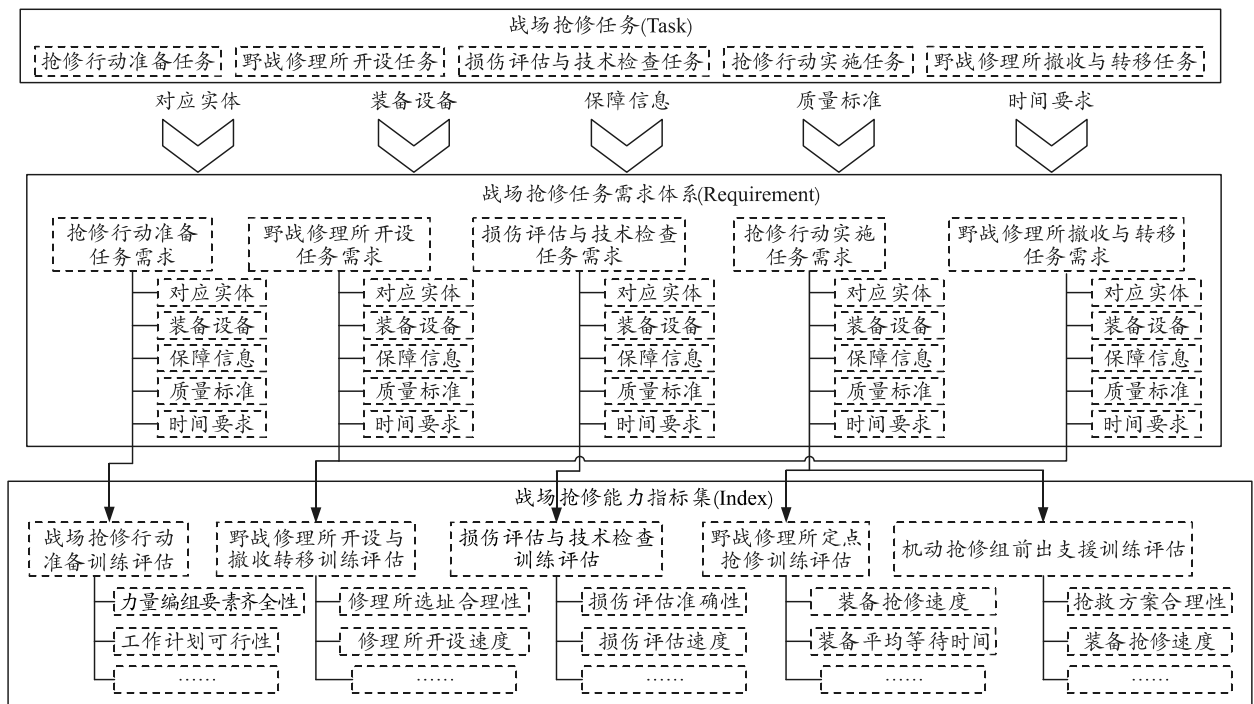


图 2 “任务-任务需求-能力指标”映射思路

表 1 “损伤评估与技术检查”模块战场抢修任务需求体系

战场抢修任务	任务需求				
	对应实体	装备设备	保障信息	质量标准	时间要求
获取装备损伤信息	技术检查组组长	损伤评估终端	上级推送的损伤信息	检查手段充分 必要功能判断准确 损伤评估报告表完整	评估报告完成时间
评定装备损伤等级	技术检查组组长	损伤评估终端	获取的损伤评估报告	损伤等级评定准确 使用决断准确	
处置决断	技术检查组组长	损伤评估终端		抢修决断准确	
判定装备抢修级别	技术检查组组长	损伤评估终端		抢修级别合理	
提出抢修技术方案建议	技术检查组组长	损伤评估终端		抢修次序安排合理 抢修方法选择适当 抢修资源预计完整	方案建议生成时间

1) 对应实体。

执行任务的实体用户，主要包括后装指挥所指挥席(导调)、装备抢救抢修队队长、野战修理所所长、机动抢修组组长、伴随保障组组长、装备接收组组长、技术检查组组长、抢修班组长、警戒组组长等。

2) 装备设备。

完成任务所需的保障装备和修理设备，以及相应的专用工具、特种车辆等。

3) 保障信息。

相应的实体用户执行任务所需的保障信息，主要包括通过上级(导调)推送而获取的信息和自身判断情况理解得到的信息。例如后装指挥所选定野战修理所展开地域后，装备抢救抢修队队长在组织开设野战修理所时，需掌握当地地形信息(河流、进出道路、隐蔽条件)，并在勘察后根据地形条件拟定开设方案，以确保野战修理所的要害布局科学实用。

4) 质量标准。

相应实体完成任务的效果。作程序性考察的任务需满足程序完整、思虑周到，例如验收修竣装备和信息反馈，要求相应实体按指令完成系列操作；作实效性考察的任务需满足效果实用、有助于抢修效率和综合抢修能力的提升。

5) 时间要求。

任务完成的时限。战场抢修时间紧迫的特点要求训练系统必须注重完成任务的时限考核，例如野战修理所开设的时间体现为开设速度，装备抢修的时间体现为装备抢修速度等。

1.3 战场抢修能力指标预选

基于行动推演模块构建战场抢修任务框架体系，分解战场抢修任务，细化任务需求，映射成相应的能力指标。如果在战场抢修任务遂行过程中无法满足相应具体的任务需求，那么就可以判断相应

的实体(用户)完成该项任务的能力尚有欠缺。这里要注意的是，实现任务需求到能力指标的映射，不仅仅限于一对一，还包括一对多、多对一和多对多。具体预选指标^[9-10]如表 2 所示。

表 2 “损伤评估与技术检查”模块战场抢修能力指标

任务需求	对应实体	能力指标
检查手段充分		检查手段充分性
必要功能判断准确		必要功能判断准确性
损伤评估报告表完整		损伤评估报告表完整性
损伤等级评定准确		损伤等级评定准确性
使用决断准确		使用决断准确性
抢修决断准确	技术检查组	抢修决断准确性
抢修级别合理	组长	抢修级别合理性
抢修次序安排合理		抢修次序安排合理性
抢修方法选择适当		抢修方法选择适当性
抢修资源预计完整		抢修资源预计完整性
评估报告完成时间		评估报告完成时间
方案建议生成时间		方案建议拟制时间

2 战场抢修能力指标模糊聚类分析方法

模糊聚类分析是多元统计分析的一种，顾名思义就是运用模糊数学的方法将没有类别标记的样本集划分出若干子集。在工程技术和科学技术等领域，经常需要处理一些指标并进行分类，对隶属性很明显的指标进行分类处理并不难，然而现实中很多指标的“类与类”之间存在一定的模糊性，笔者梳理出的战场抢修能力指标归类划分也是如此，它们之间的关系更多的是模糊关系。对于这类事物的分类，一般用模糊数学的方法，把应用模糊数学方法进行的聚类分析称为模糊聚类分析^[11]。

常用的模糊聚类分析方法大致可分为 2 类：基于模糊关系的聚类分析法和基于目标函数的聚类分析法。笔者运用第 1 类基于模糊关系的聚类分析法，该方法主要分 3 步：1) 处理数据使之标准化；2) 构造模糊相似矩阵；3) 进行模糊分类。其中第 3 步进行模糊分类时存在不同的算法，主要包括传递闭包法、直接聚类法、编网法和最大数法^[12-13]，笔者采用传递闭包法对战场抢修能力指标进行模糊分类。

现将基于模糊关系的聚类分析算法介绍如下。

2.1 构造原始数据矩阵

首先构建特性指标矩阵,假设集合 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为待分类的 n 个对象, 其中每一个对象 $x_i(i=1, 2, \dots, n)$ 有 m 个特性指标反映其主要特征。那么可以构建对象 x_i 的 m 维特性指标向量:

$$x_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}), i=1, 2, \dots, n。$$

式中 x_{ij} 为第 i 个对象的第 j 个特性指标。于是综合 n 个 m 维的特性指标向量即可构建 $n \times m$ 的特性指标矩阵, 也就是原始数据矩阵, 表示为:

$$X^*=(x_{ij})_{n \times m}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}。$$

2.2 数据标准化处理

考虑到实际问题中特性指标矩阵的数据量纲不一定相同, 需要将数据按一定标准进行处理, 使指标数据能够统一于共同的数值特性范围。常见的数据标准化处理方法有标准化方法、均值规格化方法、中心规格化方法和最大值规格化方法等。

2.3 构造模糊相似矩阵

为描述集合中元素之间的接近程度, 引入相似系数 $r_{ij} \in [0, 1]$ 来表征元素 x_i 和 x_j 之间的相似程度 $R(x_i, x_j)$ 。假设数据矩阵已经过标准化处理, 其中第 i 个对象 $x_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ 和第 j 个对象 $x_j=(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})$ 之间的相似系数记为 $r_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n)$, 于是可构建相似系数组成的模糊相似矩阵

$$R=(r_{ij})_{n \times n}。$$

确定相似系数 r_{ij} 的方法主要包括数量积法、夹角余弦法、相关系数法、贴进度法、距离法、绝对值倒数法以及主观评定法等。笔者主要采用海明距离法来计算相似系数 $r_{ij}: r_{ij}=1-H \cdot \sum_{a=1}^m |x_{ia}-x_{ja}|$, ($i, j=1, 2, \dots, n$)。其中 H 为修正系数, 是确保所有 r_{ij} 满足 $r_{ij} \in [0, 1]$ 的确定常数。需要说明的是, 模糊相似矩阵并不是等价矩阵, 不一定具有传递性, 需要把上述模糊相似关系构造为模糊等价关系, 传递闭包法正是这样一个转换工具。

2.4 基于传递闭包的模糊分类

2.4.1 传递闭包法简介

假设 $R \in F(X \times X)$, 若 $R_1 \in F(X \times X)$ 具有传递

性且满足如下条件:

- 1) $R \subseteq R_1$;
- 2) 若 S 是 X 上的模糊传递关系且 $R \subseteq S$, 必有 $R_1 \subseteq S$;

则把 R_1 称为 R 的传递闭包, 记为 $t(R)$, 代表包含 R 在内的最小传递关系。

2.4.2 求出模糊相似矩阵 R 的传递闭包 $t(R)$

在待分类对象有限的情况下, 传递闭包的计算可以采用自乘法, 即从模糊相似矩阵 R 开始, 不断自乘, 计算出 R^2, R^4, R^8, \dots , 当首次出现 $R^k \cdot R^k = R^k$ 时, 则模糊相似矩阵 R 的传递闭包 $t(R)=R^k$ 。

2.4.3 构造“ λ -截矩阵”进行动态聚类

假设求得的传递闭包为 $t(R)=(r'_{ij})_{n \times n}$, 构造“ λ -截矩阵” $t(R)_\lambda$ 时, 选取一定的置信度 λ , 并使传递闭包中大于等于 λ 的数据位置取 1, 否则均为 0:

$$t(R)_\lambda=(r'_{ij}\lambda)_{n \times n}, r'_{ij}\lambda=\begin{cases} 1, & r'_{ij} \geq \lambda \\ 0, & r'_{ij} < \lambda \end{cases}。$$

2.4.4 画动态聚类图

动态聚类图就是把传递闭包矩阵中不同的元素按照递减顺序排列, 得到按照“ λ -截矩阵”进行的系列分类, 并绘制在同一张图上。

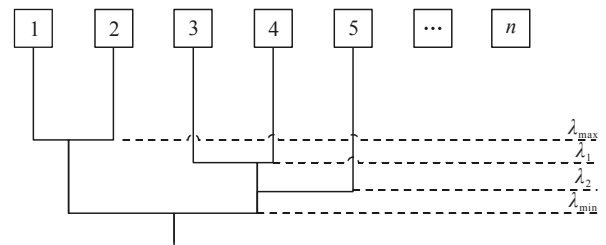


图 3 动态聚类示例

3 评估指标选取应用

3.1 确定待分类能力指标

提取表 2 中的能力指标, 并用代号表示如表 3 所示。

表 3 损伤评估与技术检查模块能力指标代号

能力指标	表示代号	能力指标	表示代号
检查手段充分性	a_1	抢修级别合理性	a_7
必要功能判断准确性	a_2	抢修次序安排合理性	a_8
损伤评估报告表完整性	a_3	抢修方法选择适当性	a_9
损伤等级评定准确性	a_4	抢修资源预计完整性	a_{10}
使用决断准确性	a_5	评估报告完成时间	a_{11}
抢修决断准确性	a_6	方案建议拟制时间	a_{12}

通过对以上 12 项具体能力指标的特点进行分

析，经过咨询领域专家，归纳出与之相对应的战场抢修能力如表 4 所示。

表 4 战场抢修能力代号

战场抢修能力	表示代号
损伤等级评定能力	A_1
处置决断能力	A_2
装备抢修等级确定能力	A_3
抢修技术方案制定能力	A_4

$$A = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.3 & 0.4 & 0.5 \\ 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0.7 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0.2 \\ 0.1 & 0.9 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.9 & 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.8 & 0.4 \\ 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.7 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.8 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.8 \\ 0.8 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.7 \end{bmatrix}。$$

3.2 构造原始数据矩阵

邀请工程装备战场抢修领域专家根据战场抢修能力指标的功能特征，针对损伤评估与技术检查模块的能力指标隶属于战场抢修能力的程度进行打分，隶属度取值范围为(0, 1)，数值递增代表隶属度越大。单个能力指标 a_i 的隶属度向量记为 $\mathbf{a}_i=(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4})$ 。经过统计梳理，得到以下隶属度向量：

- $\mathbf{a}_1=(0.8, 0.3, 0.4, 0.5)$ ； $\mathbf{a}_2=(0.8, 0.7, 0.5, 0.3)$ ；
 - $\mathbf{a}_3=(0.7, 0.2, 0.3, 0.5)$ ； $\mathbf{a}_4=(0.8, 0.1, 0.1, 0.2)$ ；
 - $\mathbf{a}_5=(0.1, 0.9, 0.3, 0.2)$ ； $\mathbf{a}_6=(0.1, 0.9, 0.3, 0.2)$ ；
 - $\mathbf{a}_7=(0.4, 0.3, 0.8, 0.4)$ ； $\mathbf{a}_8=(0.1, 0.1, 0.3, 0.7)$ ；
 - $\mathbf{a}_9=(0.1, 0.2, 0.3, 0.8)$ ； $\mathbf{a}_{10}=(0.1, 0.1, 0.4, 0.8)$ ；
 - $\mathbf{a}_{11}=(0.8, 0.3, 0.1, 0.1)$ ； $\mathbf{a}_{12}=(0.2, 0.2, 0.2, 0.7)$ ；
- 得到原始数据矩阵为：

$$R = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.65 & 0.85 & 0.60 & 0.15 & 0.15 & 0.55 & 0.30 & 0.35 & 0.35 & 0.65 & 0.25 \\ 0.65 & 1.00 & 0.50 & 0.45 & 0.40 & 0.40 & 0.40 & 0.05 & 0.05 & 0.05 & 0.50 & 0.10 \\ 0.85 & 0.50 & 1.00 & 0.65 & 0.20 & 0.20 & 0.50 & 0.55 & 0.55 & 0.45 & 0.60 & 0.60 \\ 0.60 & 0.45 & 0.65 & 1.00 & 0.15 & 0.15 & 0.25 & 0.30 & 0.20 & 0.20 & 0.85 & 0.05 \\ 0.50 & 0.40 & 0.20 & 0.15 & 1.00 & 0.90 & 0.20 & 0.35 & 0.35 & 0.25 & 0.20 & 0.30 \\ 0.15 & 0.40 & 0.20 & 0.15 & 0.90 & 1.00 & 0.20 & 0.35 & 0.35 & 0.25 & 0.20 & 0.30 \\ 0.55 & 0.40 & 0.50 & 0.25 & 0.20 & 0.20 & 1.00 & 0.35 & 0.30 & 0.35 & 0.30 & 0.40 \\ 0.30 & 0.05 & 0.55 & 0.30 & 0.35 & 0.35 & 0.35 & 1.00 & 0.90 & 0.90 & 0.15 & 0.85 \\ 0.35 & 0.05 & 0.55 & 0.20 & 0.35 & 0.35 & 0.30 & 0.90 & 1.00 & 0.90 & 0.15 & 0.85 \\ 0.35 & 0.05 & 0.45 & 0.20 & 0.25 & 0.25 & 0.35 & 0.90 & 0.90 & 1.00 & 0.05 & 0.75 \\ 0.65 & 0.50 & 0.60 & 0.85 & 0.20 & 0.20 & 0.30 & 0.15 & 0.15 & 0.05 & 1.00 & 0.30 \\ 0.25 & 0.10 & 0.60 & 0.05 & 0.30 & 0.30 & 0.40 & 0.85 & 0.85 & 0.75 & 0.30 & 1.00 \end{bmatrix}。$$

3.5 计算传递闭包

此处采用自乘法，利用 Matlab 编写矩阵自乘函

3.3 数据标准化处理

由于原始数据矩阵中隶属度值已属于同一量纲，此处不再作标准化处理。

3.4 构造模糊相似矩阵

利用海明距离法计算公式 $r_{ij} = 1 - H \cdot \sum_{a=1}^4 |x_{ia} - x_{ja}|$ ，(i, j=1, 2, ..., 12) 求得相似系数，其中能力指标 a_i 和 a_j 之间相似度和数值大小成正比。经过计算结果验证，此处修正系数 H 取值 0.5 时可以满足相似系数 r_{ij} 处于 [0, 1] 区间内，求得模糊相似矩阵为：

数，发现 $R \times R = R^2 \neq R$ ； $R^2 \times R^2 = R^4 \neq R^2$ ； $R^4 \times R^4 = R^8 \neq R^4$ 。

因此求得模糊相似矩阵 R 的传递闭包

$$t(R) = R^4 \times R^4 = R^8 = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.65 & 0.85 & 0.65 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.65 & 0.60 \\ 0.65 & 1.00 & 0.65 & 0.65 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.65 & 0.60 \\ 0.85 & 0.65 & 1.00 & 0.65 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.65 & 0.60 \\ 0.65 & 0.65 & 0.65 & 1.00 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.85 & 0.60 \\ 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 1.00 & 0.90 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.90 & 1.00 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.55 & 0.55 & 0.55 & 0.55 & 0.40 & 0.40 & 1.00 & 0.55 & 0.55 & 0.55 & 0.55 & 0.55 \\ 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 1.00 & 0.90 & 0.90 & 0.60 & 0.85 \\ 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.90 & 1.00 & 0.90 & 0.60 & 0.85 \\ 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.90 & 0.90 & 1.00 & 0.60 & 0.85 \\ 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.85 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 1.00 & 0.60 \\ 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.40 & 0.40 & 0.55 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.60 & 1.00 \end{bmatrix}。$$

4 评估指标体系构建

4.1 指标分类

限于篇幅原因,此处不再罗列具体“λ-截矩阵”。根据上节基于传递闭包法的模糊聚类分析,可以根据不同的置信度 λ,将战场抢修能力指标分类如下:

- 1) λ=0.9, 分为 {a₁}, {a₂}, {a₃}, {a₄}, {a₅, a₆}, {a₇}, {a₈, a₉, a₁₀}, {a₁₁}, {a₁₂};
- 2) λ=0.85, 分为 {a₁, a₃}, {a₂}, {a₄, a₁₁}, {a₅, a₆}, {a₇}, {a₈, a₉, a₁₀, a₁₂};
- 3) λ=0.65, 分为 {a₁, a₂, a₃, a₄, a₁₁}, {a₅, a₆}, {a₇}, {a₈, a₉, a₁₀, a₁₂};
- 4) λ=0.60, 分为 {a₁, a₂, a₃, a₄, a₈, a₉, a₁₀, a₁₁, a₁₂}, {a₅, a₆}, {a₇};
- 5) λ=0.55, 分为 {a₁, a₂, a₃, a₄, a₇, a₈, a₉, a₁₀, a₁₁, a₁₂}, {a₅, a₆};
- 6) λ=0.50, 分为 {a₁, a₂, a₃, a₄, a₅, a₆, a₇, a₈, a₉, a₁₀, a₁₁, a₁₂}。

上述指标分类情况可以用动态聚类图表示,如图 4 所示。

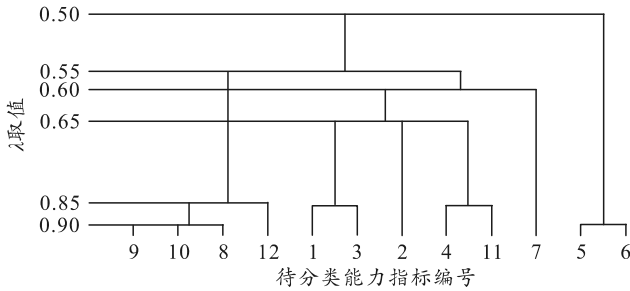


图 4 “损伤评估与技术检查训练”模块指标动态聚类图

4.2 评估指标体系构建

根据上述模糊聚类分析,置信度取值 0.65 时,能力指标可以分为 4 类,与之前归纳出的 4 类战场抢修能力相对应,即:损伤等级评定能力 A₁={a₁, a₂, a₃, a₄, a₁₁}, 处置决断能力 A₂={a₅, a₆}, 装备抢修等级确定能力 A₃={a₇}, 抢修技术方案制定能力 A₄={a₈, a₉, a₁₀, a₁₂}。构建损伤评估与技术检查训练评估模块中的能力指标体系如表 5 所示。

5 结束语

笔者以工兵旅修理连战场抢修行动仿真训练评估为研究背景,在剖析行动中战场抢修任务的基础上,提出了基于“任务(Task)-任务需求(Requirement)-能力指标(Index)”的映射思路,建立了相应行动推演模块的任务需求体系,并引入基于传递闭包法的模糊聚类分析模型对战场抢修能力

指标进行归类,以“损伤评估与技术检查模块”为例,实现了该模块战场抢修能力指标的选取和指标体系的构建,为开展行动仿真训练评估提供了基础。

表 5 损伤评估与技术检查模块能力指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
损伤评估与技术检查能力 B ₁	损伤等级评定能力 C ₁	检查手段充分性 D ₁₁
		损伤评估报告表完整性 D ₁₂
	处置决断能力 C ₂	损伤等级评定准确性 D ₁₃
		评估报告完成时间 D ₁₄
装备抢修等级确定能力 C ₃	抢修决断准确性 D ₂₁	使用决断准确性 D ₂₁
		抢修决断准确性 D ₂₂
	抢修技术方案制定能力 C ₄	抢修级别合理性 D ₃₁
		抢修次序安排合理性 D ₄₁
		抢修方法选择适当性 D ₄₂
		抢修资源预计完整性 D ₄₃
		方案建议拟制时间 D ₄₄

参考文献:

- [1] 秦涛,鲁冬林,郑国杰,等.分队级 BRAR 能力仿真评估研究[J].中国设备工程,2021(3):236-239.
- [2] 丁平.基于 AHP 的装备保障虚拟训练效果评估方法[J].兵工自动化,2021,40(3):59-62.
- [3] 刘浩,王昊,孟光磊,等.基于动态贝叶斯网络和模糊灰度理论的飞行训练评估[J/OL].航空学报,2021(8):243-254[2021-06-11].https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20210610.0958.012.html.
- [4] 周弘扬,马超,高松.桌面式航空弹药测试模拟训练设备效能评估[J].兵器装备工程学报,2021,42(2):112-116,215.
- [5] 苏凡园,王小飞,王海涛,等.工程装备维修机构维修能力评估研究[J].中国工程机械学报,2013,11(3):276-280.
- [6] 郭金茂,尹瀚泽,徐玉国.装备维修保障能力评估指标模糊聚类分析[J].兵器装备工程学报,2020,41(10):76-80.
- [7] 帅勇,宋太亮,王建平,等.装备保障能力评估指标选择方法研究[J].火力与指挥控制,2016,41(11):51-55.
- [8] 左学胜,屈洋.基于任务分析的装备保障能力评估研究[J].现代防御技术,2014,42(4):154-159.
- [9] 刘伟,贾希胜,胡起伟,等.战时装备维修保障效能及评估指标体系研究[J].军械工程学院学报,2010,22(6):1-6.
- [10] 冯向敏,赵武奎,鲍毓楠.部队装备保障演练考核指标体系[J].四川兵工学报,2009,30(6):131-133.
- [11] 王雄伟,陈春良,曹艳华,等.基于改进模糊聚类法的维修专业设置方法研究[J].计算机测量与控制,2017,25(9):110-114.
- [12] 于奎龙,李军,张宇,等.基于模糊聚类的保障装备模块化设计[J].装甲兵工程学院学报,2015(1):18-24.
- [13] 祁玉海.模糊聚类分析在建立统计分析指标体系中的应用[J].青海师范大学学报(自然科学版),2002(2):9-11.