

doi: 10.7690/bgzdh.2021.12.015

基于云理论的 BMS 选址能力模糊综合评估方法

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: 针对仿真行动条件下修理分队战场抢修能力考核评估问题, 提出基于云模型的野战修理所(battlefield maintenance shop, BMS)选址能力模糊综合评估方法。以抢修行动准备阶段 BMS 选址能力为评估对象, 以传统模糊综合评判方法为基础, 考虑评估过程中定性指标主观评价带来的不确定性, 引入云模型理论进行改进, 并通过 Matlab 仿真将综合评价云模型与评语云模型进行对比。结果表明: 改进后的方法充分体现模糊性和随机性, 减少各种不确定因素, 实现定性指标与定量指标的相对精确转换。

关键词: 云理论; 野战修理所; 模糊综合评估; 选址

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Fuzzy Comprehensive Evaluation Method of BMS Site Selection Capability Based on Cloud Theory

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

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

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

Abstract: Aiming at the problem of battlefield emergency repair capability evaluation of repair unit under the condition of simulation operation, a fuzzy comprehensive evaluation method based on cloud model for site selection capability of battlefield maintenance shop (BMS) is proposed. Taking the BMS site selection ability in the preparation stage of emergency repair as the evaluation object, based on the traditional fuzzy comprehensive evaluation method, considering the uncertainty brought by the subjective evaluation of qualitative indicators in the evaluation process, the cloud model theory is introduced for improvement, and the comprehensive evaluation cloud model and the comment cloud model are compared through Matlab simulation. The results show that the improved method fully reflects the fuzziness and randomness, reduces various uncertain factors, and realizes the relatively accurate conversion of qualitative and quantitative indicators.

Keywords: cloud theory; field repair institute; fuzzy comprehensive evaluation; site selection

0 引言

野战修理所(BMS)是战时修理分队实施战场抢修任务所临时设置的定点修理场所, 主要用于对无法实施现地抢修的战场损伤装备实施定点修理。开设 BMS 是战场抢修装备阶段的重要环节, 在其开设或转移地域进行选址时, 要充分考虑到战场抢修任务、敌我情况以及地形特点等因素^[1], 以适应当前所保障对象的战斗任务。

仿真条件下对修理分队 BMS 选址能力的考核评估, 就是评估修理分队指挥员在抢修准备阶段的 BMS 选址决策问题。在设计仿真系统中^[2], 参照相关专业技术教材和大纲, 修理分队指挥员在仿真系统 BRAR 准备阶段, 按照随装开设和基于搭建野战修理帐篷 2 种方式进行选址和开设。评估小组成员在讲评阶段利用系统态势回放的功能, 从自然环

境、战场环境、时间效率等方面对修理分队指挥员的 BMS 选址能力进行综合评估。此过程需专家主观评价的定性指标较多。为突出重点, 笔者着重对专家给出的定性指标综合评估进行分析。

模糊综合评价方法在实现定性到定量评价的转换上已大量应用。文献[3]采用模糊综合评估方法对舰船保障能力进行了评估, 但在评估等级划分及隶属度值的确定过程中以征求专家意见和问卷调查为主, 导致得出的评判矩阵欠考虑随机性和模糊性; 文献[4]构建了基于模糊综合评价方法的装备维修保障效能评估模型, 但在因素集权重的赋予过程中存在较大主观性。笔者以传统模糊综合评判方法为基础, 引入云模型理论, 采用云理论方法计算指标权重向量, 在评语等级划分过程中, 利用黄金分割法使指标权重和评语等级的确定具有模糊性和随机性。

收稿日期: 2021-09-27; 修回日期: 2021-10-24

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。

1 BMS 选址能力评估分析

1.1 BMS 选址特点

战场抢修行动中，BMS 的选址最终目标是为了最大程度地完成上级赋予的战场抢修任务，其选址主要受战场环境、保障对象执行的任務及上级装备保障部署等因素影响^[5]，这些因素相互影响、约束，能反映出 BMS 选址的一般特点，主要包括：

- 1) 时间的紧迫性：战场形势瞬间变化，对于执行抢修任务的相关决策必须及时高效，要求 BMS 选址方案从构思到决策的时间必须要短；
- 2) 空间的合理性：BMS 选址布局在相关专业技术教材和大纲有明确的要求，不同空间也会对实施战场抢修任务造成不同影响；
- 3) 环境的适应性：BMS 受地形、气象条件、自然环境和战场环境等约束，评价时需对这些约束通盘考虑；
- 4) 情况的随机性：战场环境时刻变化，BMS 开设后很可能面临转移和重新开设，这些因素具有一定的随机性，BMS 的选址必须灵活机动。

1.2 基于仿真的 BMS 选址流程及评估思路

在仿真评估系统中，修理分队收到上级战情信息，分析战场情况并确定战场位置，指挥员(所长)调取系统地形，分析地形特点，进行 BMS 选址。选址仿真过程中，数据采集模块对指挥员决策相关数据全部进行记录，作为评估模块的数据支撑，以便后续评估小组对指挥员的选址能力进行评估。BMS 选址流程及能力评估思路如图 1 所示。

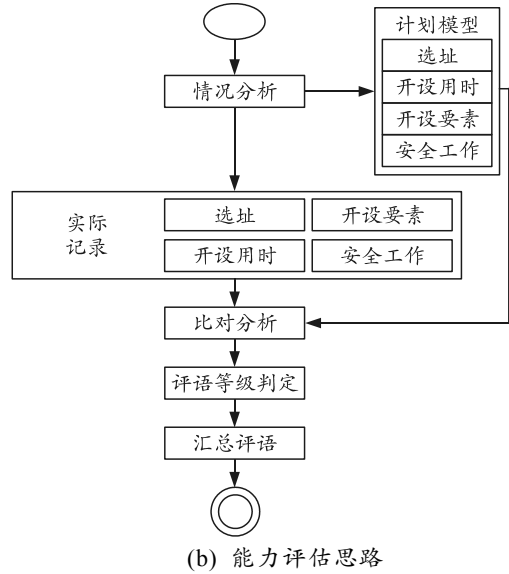
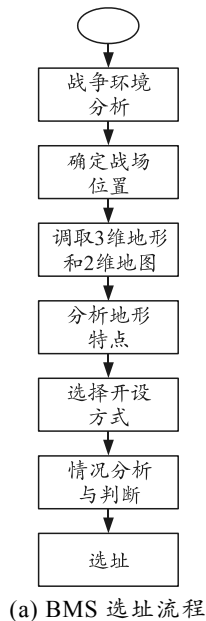


图 1 BMS 选址流程及能力评估思路

1.3 BMS 选址评价指标体系

在对 BMS 选址能力评估前需明确其指标体系，确定指标的权重。文献[6]根据抢修分队选址原则和影响因素，通过层次分析法提出了可行的评估指标体系，包括目标层、评估指标层及因素指标层。如图 2 所示，笔者引用文献[6]所建立的评估指标体系进行分析。

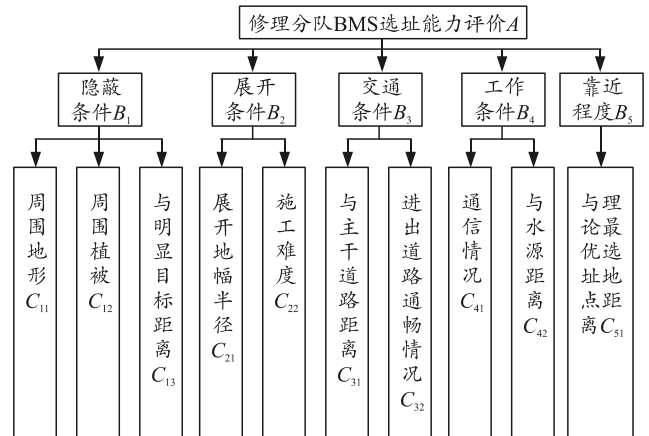


图 2 BMS 选址能力评价指标体系

2 云模型理论简介

2.1 云理论及数字特征

假定定量论域 U 可用精确数值来表示范围， C 是该定量论域 U 上的定性概念。如果满足：1) 定量值 $x \in U$ ，且 x 是 C 的一个随机实现；2) x 对于定性概念 C 的隶属度 $\mu_c(x) \in [0,1]$ 是具有稳定倾向的随机数，那么就把 x 在定量论域 U 上的分布称之为云模型，云滴可表示为 $(x_i, \mu_c(x_i))$, $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

如图 3 所示, 云的数字特征用期望 Ex 、熵 En 、超熵 He 3 个数值来表示。其中, Ex 表示定性概念 C 的中心值; En 是定性概念 C 的不确定性度量, En 越大, 表示亦彼亦此性越明显, 确定性的定量描述就越难; He 是熵之熵, 反映了 En 的不确定性度量, He 越大, 云滴隶属度的随机性就越大, 云层就越厚。

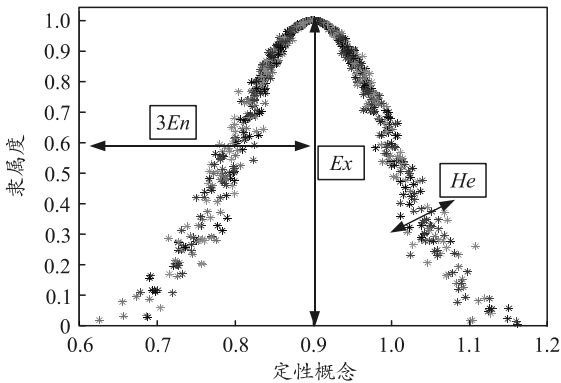


图 3 云模型的数字特征

2.2 正向云发生器

云发生器是指云模型生成算法, 一般可分为正向和逆向云发生器。笔者以实现定性到定量的映射为分析侧重点, 旨在从定性信息中获取定量表示; 因此, 以正向云发生器为分析手段, 由云模型的数字特征来产生如图 4 所示的云滴。

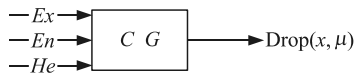


图 4 正向云发生器

具体算法如下:

- 1) 以 Ex 为期望值、以 En 为标准差生成正态随机数 $x_i = G(Ex, En)$;
- 2) 同理, 以 En 为期望值、以 He 为标准差生成正态随机数 $E'ni = G(En, He)$;
- 3) 求得 $\mu_c(x_i) = e^{-((x_i - Ex)^2 / (2En^2))}$, 至此, 生成云滴 $(x_i, \mu_c(x_i))$;
- 4) 重复上述步骤, 直至达到所设定云滴的数量。

2.3 评价方案综合云计算

假设 $E_{xir}, E_{nir}, H_{eir}$ 分别表示专家 $r(r=1, 2, 3, \dots, t)$ 对于第 i 个因素 ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 评价云模型的期望、熵和超熵, 则将 t 位专家分别得出的评语云模型综合起来形成的综合云数字特征, 可通过下式计算:

$$E_{xi} = \sum_{r=1}^t E_{xir} E_{nir} / \sum_{r=1}^t E_{nir}; \quad (1)$$

$$E_{ni} = \sum_{r=1}^t E_{nir}; \quad (2)$$

$$H_{ei} = \sum_{r=1}^t H_{eir} E_{nir} / \sum_{r=1}^t E_{nir}。 \quad (3)$$

3 基于云理论的模糊综合评价模型构建

3.1 建立因素集 U 和评语集 V

设 $U = u_1, u_2, u_3, \dots, u_m$ 是由 m 个指标因素组成的评价指标集合, 称之为因素(指标)集, 在此基础上, 构建评语集 $V = v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ 表示 n 种评语组成的集合。笔者以 $[0, 10]$ 为论域设置了优、良、中、差 4 种等级, 评判区间分别设置为优 $[0, 3]$ 、良 $[3, 6]$ 、中 $[6, 8]$ 、差 $[8, 10]$ 。

3.2 评语集的云模型构建

根据上述等级评判区间划分, 每个评语云模型可对应一个双边约束关系 $[V_{min}, V_{max}]$, 可根据式(4)求得不同评语所对应的云模型数字特征^[7]。

$$\left. \begin{aligned} E_x &= (V_{max} + V_{min}) / 2 \\ E_n &= (V_{max} - V_{min}) / 6 \\ H_e &= \lambda \end{aligned} \right\}。 \quad (4)$$

其中 λ 体现评语自身的模糊程度, 此处设 $\lambda=0.1$ 。则上述评语云模型数字特征分别为优(1.5, 0.5, 0.1)、良(4.5, 0.5, 0.1)、中(7, 0.333, 0.1)、差(9, 0.333, 0.1)。评语云模型云化后如图 5 所示。

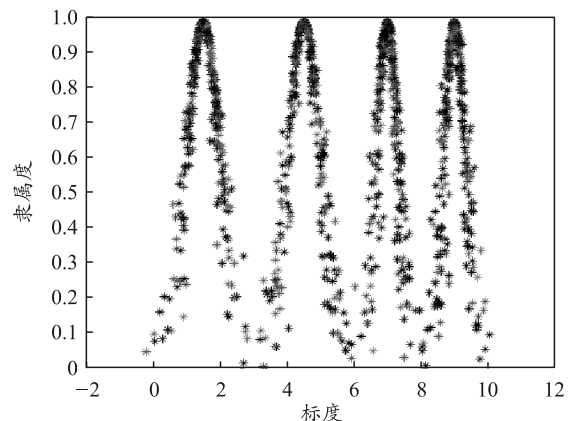


图 5 评语云模型云化后曲线

3.3 模糊评价矩阵构建

根据上述所建立的因素集 U 以及评语集 V , 对因素集 U 中的单因素作评价。假定评估小组成员人数为 k , 则这 k 个成员对因素集中某个单因素 $u_i, i=1, 2, \dots, m$ 就可给出 k 种评语云模型集合 $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik}\}$ 。其中 v_{ik} 表示专家 k 对因素指标 i

给出的评语云模型^[8-10]。根据上述评价综合云计算公式，可以将 k 个 $v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik}$ 评估小组成员对因素 u_i 给出的综合评语云模型的数字特征表示为：

$$\left. \begin{aligned} E_{xi} &= \frac{E_{xi1} \times E_{ni1} + E_{xi2} \times E_{ni2} + \dots + E_{xik} \times E_{nik}}{E_{ni1} + E_{ni2} + \dots + E_{nik}} \\ E_{ni} &= E_{ni1} + E_{ni2} + \dots + E_{nik} \\ H_{ei} &= \frac{H_{ei1} \times E_{ni1} + H_{ei2} \times E_{ni2} + \dots + H_{eik} \times E_{nik}}{E_{ni1} + E_{ni2} + \dots + E_{nik}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

由上式可计算得到 m 个因素指标的综合评价云模型矩阵为 $V = [v_1, v_2, \dots, v_m]$ ，其中第 m 个因素的综合评语云模型数字特征为 $v_m = (E_{xm}, E_{nm}, H_{em})$ 。

3.4 因素权重向量计算

笔者在传统重要性两两比较法的基础上，引用云理论，根据 Satty1-9 标度法建立同一层级指标相对重要性的云模型^[11-12]，并建立两两比较重要性云模型判断矩阵，最终通过方根法计算和归一化确定指标权重向量。具体步骤如下：

1) 构建两两比较重要性标度云模型。

如表 1 所示，利用云理论将 9 个标度云模型化为 $E_i E_{xi}, E_{ni}, H_{ei}, i=1, 2, \dots, 9$ ，构建论域为 $[1, 9]$ ，则 $E_{xi} = ii = 1, 2, \dots, 9$ 。根据黄金分割法，前一朵与后一朵标准云的期望、熵和超熵成黄金分割比，通过计算可得标度云模型的数字特征为：

$$\begin{aligned} E_{n1} = E_{n3} = E_{n5} = E_{n7} = E_{n9} &= 0.382 \times (9-1) \div 6 = 0.509, \\ E_{n2} = E_{n4} = E_{n6} = E_{n8} &= E_{n1} \div 0.618 = 0.824; \\ H_{e1} = H_{e3} = H_{e5} = H_{e7} = H_{e9} &= 0.382 \times (9-1) \div 36 = 0.085, \\ H_{e2} = H_{e4} = H_{e6} = H_{e8} &= H_{e1} \div 0.618 = 0.137. \end{aligned}$$

表 1 判断矩阵标度及其标准

| 标度 | 两两指标比较判断 |
|---------|-----------|
| 1 | 两者一样重要 |
| 3 | 前比后稍微重要 |
| 5 | 前比后明显重要 |
| 7 | 前比后强烈重要 |
| 9 | 前比后极端重要 |
| 2,4,6,8 | 上述相邻判断中间值 |
| 倒数 | 上述后比前 |

如图 6 所示，利用 Matlab 生成两两比较重要性标度云模型。

$$C = \begin{bmatrix} (1,0,0) & C_{12}(E_{x_{12}}, E_{n_{12}}, H_{e_{12}}) & \dots & C_{1n}(E_{x_{1n}}, E_{n_{1n}}, H_{e_{1n}}) \\ C_{21}(E_{x_{21}}, E_{n_{21}}, H_{e_{21}}) & (1,0,0) & \dots & C_{2n}(E_{x_{2n}}, E_{n_{2n}}, H_{e_{2n}}) \\ \vdots & \vdots & (1,0,0) & \vdots \\ C_{n1}(E_{x_{n1}}, E_{n_{n1}}, H_{e_{n1}}) & C_{n2}(E_{x_{n2}}, E_{n_{n2}}, H_{e_{n2}}) & \dots & (1,0,0) \end{bmatrix}$$

该矩阵对角线用 $(1, 0, 0)$ 来表示指标与自身比

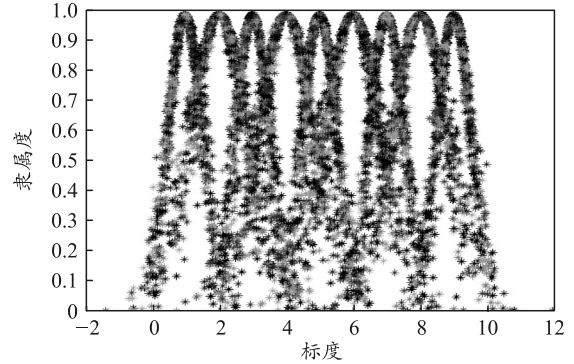


图 6 两两比较重要性标度云模型

2) 专家意见综合云计算。

为了方便起见，以图 7 所示 3 层指标体系为例进行说明。

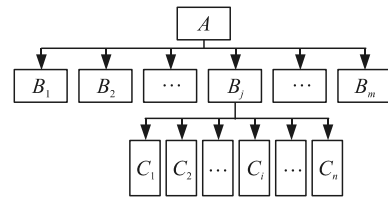


图 7 3 层指标体系

图中，以 $C_i, i=1, 2, \dots, n$ 所在层指标对于 B_j 两两重要性比较为例，假设有 k 个评估小组成员，将 C_i 与 $C_{\alpha}, \alpha \neq i$ 比较得到 k 个云模型，分别是 $C_1 E_{x_{1\alpha}}, E_{n_{1\alpha}}, H_{e_{1\alpha}}, C_2 E_{x_{2\alpha}}, E_{n_{2\alpha}}, H_{e_{2\alpha}}, \dots, C_k E_{x_{k\alpha}}, E_{n_{k\alpha}}, H_{e_{k\alpha}}$ ，通过重要性云模型计算，将 C_i 与 $C_{\alpha}, \alpha \neq i$ 比较得到综合云模型 $C_{i\alpha} E_{x_{i\alpha}}, E_{n_{i\alpha}}, H_{e_{i\alpha}}$ ，相应数字特征值计算公式如下^[13]：

$$\left. \begin{aligned} E_{x_{i\alpha}} &= \sum_{j=1}^k a_j \cdot E_{x_{ij}} \\ E_{n_{i\alpha}} &= \sum_{j=1}^k a_j \cdot E_{x_{ij}} \cdot E_{n_{ij}} / \left(\sum_{j=1}^k a_j \cdot E_{x_{ij}} \right) \\ H_{e_{i\alpha}} &= \sqrt{\sum_{j=1}^k H_{e_{ij}}^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中 a_1, a_2, \dots, a_k 是满足 $\sum_{j=1}^k a_j = 1$ 的准则权重值。

3) 两两比较重要性云模型判断矩阵构建。

由上可得到基于云理论的指标两两重要性比较判断矩阵

较重要性一样，而关于对角线对称的云模型满足

$C_{ij}=1/C_{ji}$, 根据云模型运算法可得相应数字特征关系:

$$\left. \begin{aligned} E_{xij} &= 1/E_{xji} \\ E_{nij} &= E_{nji}/E_{xji}^2 \\ H_{eij} &= H_{eji}/E_{xji}^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

4) 权重计算。

笔者首先采用方根法来计算重要度云模型判断矩阵的权重, 进而通过归一化计算得到所对应行指标的权重 ω_i , 以上述判断矩阵第 i 行为例, 第 i 个指标的权重云模型 $\omega_i E'_{xi}, E'_{ni}, H'_{ei}$ 相应的数字特征值计算步骤如下:

$$\left. \begin{aligned} E'_{xi} &= \frac{E_{xi}}{\sum E_{xi}} = \frac{\left(\prod_{j=1}^n E_{xij}\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n E_{xij}\right)^{1/n}} \\ E'_{ni} &= \frac{E_{ni}}{\sum E_{ni}} = \frac{\left[\prod_{j=1}^n E_{xij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (E_{nij}/E_{xij})^2}\right]^{1/n}}{\sum_{i=1}^n \left[\prod_{j=1}^n E_{xij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (E_{nij}/E_{xij})^2}\right]^{1/n}} \\ H'_{ei} &= \frac{H_{ei}}{\sum H_{ei}} = \frac{\left[\prod_{j=1}^n E_{xij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (H_{eij}/E_{xij})^2}\right]^{1/n}}{\sum_{i=1}^n \left[\prod_{j=1}^n E_{xij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (H_{eij}/E_{xij})^2}\right]^{1/n}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

由此可得到上述判断矩阵 C 的 n 个指标权重云模型向量为 $W_n=[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]$, 以此类推求出各层级指标相对于上一级指标的权重云模型后, 利用云

理论的乘法法则计算得到最底层指标相对于目标的权重云模型矩阵 $W=[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T$, 其中 m 代表最底层指标的数量。

3.5 结果分析

计算出权重云模型矩阵 W 和综合评价云模型矩阵 V 后, 将两者相乘得到最终评价结果云模型 $R=V \times W$, 再根据其数字特征通过 Matlab 仿真实现生成云滴, 并给出最终评价等级。

4 实例分析

采用上述模型对图 2 的 BMS 选址能力评价指标体系进行综合评价, 设定评估小组成员数为 3 人。这 3 位专家对两两指标重要性判断云模型数据如表 2 所示。

表 2 两两指标重要性专家判断云模型

| 比较对象 | 专家 1 | 专家 2 | 专家 3 |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| B_1-B_2 | (3, 0.509, 0.085) | (3, 0.509, 0.085) | (5, 0.509, 0.085) |
| B_1-B_3 | (2, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) | (3, 0.509, 0.085) |
| B_1-B_4 | (3, 0.509, 0.085) | (5, 0.509, 0.085) | (2, 0.824, 0.137) |
| B_1-B_5 | (4, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) | (4, 0.824, 0.137) |
| B_2-B_3 | (3, 0.509, 0.085) | (4, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) |
| B_2-B_4 | (2, 0.824, 0.137) | (2, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) |
| B_2-B_5 | (3, 0.509, 0.085) | (3, 0.509, 0.085) | (5, 0.509, 0.085) |
| B_3-B_4 | (2, 0.824, 0.137) | (2, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) |
| B_3-B_5 | (4, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) | (4, 0.824, 0.137) |
| B_4-B_5 | (2, 0.824, 0.137) | (3, 0.509, 0.085) | (3, 0.509, 0.085) |

如表 3-7 所示, 直接列出经过计算后的 $A-B, B_1-C, B_2-C, B_3-C$ 和 B_4-C 的指标判断矩阵及对应的指标权重云模型向量。

表 3 $A-B$ 判断矩阵

| 指标 | B_1 | B_2 | B_3 | B_4 | B_5 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| B_1 | (1,0,0) | (3.667,0.509,0.147) | (2.667,0.588,0.182) | (3.333,0.572,0.182) | (3.667,0.738,0.212) |
| B_2 | (0.273,0.038,0.011) | (1,0,0) | (3.333,0.635,0.182) | (2.333,0.689,0.045) | (3.667,0.509,0.147) |
| B_3 | (0.375,0.083,0.026) | (0.300,0.057,0.016) | (1,0,0) | (2.333,0.689,0.045) | (3.667,0.738,0.212) |
| B_4 | (0.300,0.051,0.016) | (0.429,0.127,0.008) | (0.429,0.127,0.008) | (1,0,0) | (2.667,0.588,0.182) |
| B_5 | (0.273,0.055,0.016) | (0.273,0.038,0.011) | (0.273,0.055,0.016) | (0.375,0.083,0.026) | (1,0,0) |

表 4 B_1-C 判断矩阵

| 指标 | C_{11} | C_{12} | C_{13} |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| C_{11} | (1,0,0) | (2.667,0.588,0.182) | (3.333,0.635,0.182) |
| C_{12} | (0.375,0.083,0.026) | (1,0,0) | (3.667,0.738,0.212) |
| C_{13} | (0.3,0.057,0.016) | (0.273,0.055,0.016) | (1,0,0) |

表 5 B_2-C 判断矩阵

| 指标 | C_{21} | C_{22} |
|----------|---------------------|---------------------|
| C_{21} | (1,0,0) | (2.333,0.689,0.045) |
| C_{22} | (0.429,0.127,0.008) | (1,0,0) |

表 6 B_3-C 判断矩阵

| 指标 | C_{31} | C_{32} |
|----------|---------------------|---------------------|
| C_{31} | (1,0,0) | (2.667,0.588,0.182) |
| C_{32} | (0.375,0.083,0.026) | (1,0,0) |

表 7 B_4-C 判断矩阵

| 指标 | C_{41} | C_{42} |
|----------|---------------------|---------------------|
| C_{41} | (1,0,0) | (3.667,0.509,0.147) |
| C_{42} | (0.273,0.038,0.011) | (1,0,0) |

$$W_{A-B} = \begin{bmatrix} (0.422,0.415,0.432) \\ (0.245,0.244,0.234) \\ (0.161,0.165,0.163) \\ (0.111,0.115,0.108) \\ (0.061,0.061,0.063) \end{bmatrix}; W_{B_1-C} = \begin{bmatrix} (0.573,0.572,0.639) \\ (0.307,0.310,0.262) \\ (0.120,0.118,0.099) \end{bmatrix};$$

$$W_{B_2-C} = \begin{bmatrix} (0.699,0.699,0.704) \\ (0.301,0.301,0.296) \end{bmatrix}; W_{B_3-C} = \begin{bmatrix} (0.727,0.727,0.726) \\ (0.273,0.273,0.274) \end{bmatrix};$$

$$W_{B_4-C} = \begin{bmatrix} (0.786, 0.785, 0.784) \\ (0.214, 0.215, 0.216) \end{bmatrix}。$$

利用云理论的乘法法则计算得到最底层 10 个指标相对于目标的权重云模型向量为：

$$W = \begin{bmatrix} (0.241, 0.338, 0.365) \\ (0.130, 0.184, 0.171) \\ (0.051, 0.072, 0.066) \\ (0.171, 0.242, 0.237) \\ (0.074, 0.105, 0.101) \\ (0.117, 0.165, 0.165) \\ (0.044, 0.062, 0.062) \\ (0.087, 0.123, 0.123) \\ (0.024, 0.034, 0.034) \\ (0.061, 0.061, 0.061) \end{bmatrix}。$$

评语云模型采用上述划分的 4 级，由 3 个评估小组成员对该指标体系底层的 10 个基础指标进行打分，得到评价数据如表 8 所示。

表 8 评估小组成员评语汇总

| 指标 | 专家 1 | 专家 2 | 专家 3 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| C ₁₁ | (1.5, 0.5, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) |
| C ₁₂ | (4.5, 0.5, 0.1) | (7, 0.333, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) |
| C ₁₃ | (4.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) |
| C ₂₁ | (7, 0.333, 0.1) | (9, 0.333, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) |
| C ₂₂ | (1.5, 0.5, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) |
| C ₃₁ | (7, 0.333, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) |
| C ₃₂ | (1.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) |
| C ₄₁ | (4.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) |
| C ₄₂ | (7, 0.333, 0.1) | (7, 0.333, 0.1) | (4.5, 0.5, 0.1) |
| C ₅₁ | (4.5, 0.5, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) | (1.5, 0.5, 0.1) |

进而求出评估小组综合评价云模型矩阵

$$V = \begin{bmatrix} (2.5, 1.5, 0.1) \\ (3.999, 1.333, 0.1) \\ (3.5, 1.5, 0.1) \\ (6.499, 1.166, 0.1) \\ (2.5, 1.5, 0.1) \\ (3.999, 1.333, 0.1) \\ (2.5, 1.5, 0.1) \\ (4.5, 1.5, 0.1) \\ (5.928, 1.166, 0.1) \\ (2.5, 1.5, 0.1) \end{bmatrix}^T。$$

计算出权重云模型矩阵 W 和综合评价云模型矩阵 V 后，将两者相乘得到最终评价结果云模型 $R = VW = [3.894, 2.230, 0.581]$ 。将其数字特征通过 Matlab 仿真实现生成云滴，与之前生成的评语云模型云滴图比对，生成结果如图 8 所示，以此来判断最终评价等级。

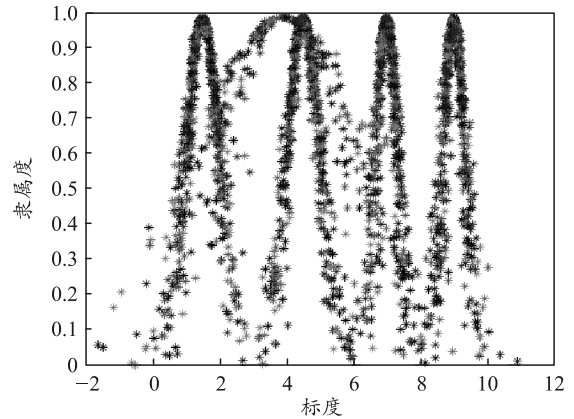


图 8 综合评价结果云模型与评语云模型比对

由上图可知：综合评价云模型的云滴位于“优”和“良”2 个等级之间，但总体上覆盖“良”的评语云滴图；因此，可将此次 BMS 选址能力评价等级定为良好。最终的综合评价云模型部分区域的云滴厚度较厚，反映出云滴隶属度的随机性较为明显，专家评估意见的冲突系数过大是主要原因。关于专家意见的冲突性，在 Dempster-Shafer 证据推理理论中设定了允许的冲突水平，用来过滤导致评价结果不确定性明显的影响因素，这是下一步在利用云理论进行综合评估研究时需重点关注的内容。

5 结束语

笔者以仿真行动条件下修理分队 BMS 选址能力为评估对象，构建基于云模型理论的能力评估多层次模糊综合评价模型，并通过 Matlab 仿真将综合评价与评语云模型进行了比对，实现了定性 with 定量指标的相对精确转换。

参考文献：

- [1] 张晓旭, 杨增. 跨区演习中野战修理所开设问题探析[J]. 机械车辆士官, 2011, 64(3): 150-155.
- [2] 秦涛, 鲁冬林, 郑国杰, 等. 基于 BRAR 仿真行动的修理设备利用率计算模型研究[J]. 价值工程, 2020, 39(30): 159-160.
- [3] 徐林, 葛伟. 基于模糊综合评判法的舰船装备保障能力评估[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(2): 106-109.
- [4] 任保全. 野战指挥所选址问题建模及求解方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
- [5] 沈进昌, 杜树新, 罗季阳, 等. 基于云模型的模糊综合评价方法及应用[J]. 模糊系统与数学, 2012, 26(6): 115-123.
- [6] 王保峰, 叶利民, 王晗中. 一种新的装备抢修分队选址方法[J]. 军械工程学院学报, 2009, 21(6): 19-22.