

doi: 10.7690/bgzdh.2022.02.015

基于范数灰-云模型的装备保障效能评估方法

陈玉昆, 黄河, 张岩, 刘敏

(中国人民解放军 96901 部队, 北京 100094)

摘要: 为综合分析装备保障水平并解决评价指标权重确定过于主观的问题, 提出一种范数灰关联度指标权重计算方法。建立装备保障能力评价指标体系及正态云隶属度评价模型, 确定各定量评价结果隶属于评价等级的程度。通过案例分析可知: 该方法可改善评价结果过于主观、隶属度函数边界“过硬”等问题, 具有较好的实用性。

关键词: 装备保障能力; 范数灰-关联度; 云模型

中图分类号: TJ07 文献标志码: A

Equipment Support Effectiveness Evaluation Method Based on Norm Grey Cloud Model

Chen Yukun, Huang He, Zhang Yan, Liu Min

(No. 96901 Unit of PLA, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to comprehensively analyze the equipment support level and solve the problem that the weight of evaluation index is too subjective, a method for calculating the index weight of norm grey-correlation degree is proposed. The evaluation index system of equipment support capability and the normal cloud membership degree evaluation model are established to determine the degree of each quantitative evaluation result belonging to the evaluation level. The case study shows that this method can improve the evaluation results which are too subjective and the boundary of the membership function is too hard, so it has good practicability.

Keywords: equipment support capability; norm grey-correlation degree; cloud model

0 引言

对装备保障能力展开科学合理的评估, 能够检验各单位维修保障水平, 帮助决策者科学合理地配置保障资源, 进一步查找不足, 提高我军装备保障能力。当前已有较多的专家和学者对装备保障能力进行了研究, 取得了一定的成果^[1-5], 但是在实际使用中, 现有的评价模型还存在一定的不足。

以当前应用比较广泛的多属性综合评价方法为例, 主要包括层次分析法、灰色关联分析法等^[6-7]。由于权重主要取决于个人主观经验, 主观色彩浓厚, 造成评估结果缺乏客观性和参考性; 最新提出的人工神经网络等算法无需对权重赋值, 不过对样本量的需求较大, 否则无法满足模型训练要求, 但实际应用中往往难以获得充足的数据进行训练, 从而降低了评估结果的可信度^[8]。

为解决上述问题, 进一步提高装备保障能力评价的科学性和实用性, 笔者的主要研究思路如下:

1) 对影响装备保障能力的主要指标进行分析, 结合实际建立评估指标体系, 并明确各评价指标的计算方法;

2) 针对传统的评价指标权重确定方法主观意识太强, 受人为干扰较大的问题, 提出范数灰关联度的指标权重确定方法, 并建立正态云隶属度模型与指标权重结合, 从而实现对装备保障能力进行较为科学、合理的评价。

1 装备保障效能评估指标体系建立

装备保障能力是指为使装备保持和恢复自身性能所具备的维修保障、供应保障等综合能力。根据装备保障能力内涵, 遵循易评价、可量化的原则, 从保障人员情况、器材设备保障和维修保障水平 3 个角度, 建立如图 1 所示的装备保障能力评价指标体系。

1) 保障人员情况。装备保障人员的数量和技术水平在很大程度上决定了装备保障的好坏。保障人员满编率和对口率是影响装备保障能力的重要指标。同时, 参加大型演习演训, 一方面体现了保障人员的技术水平, 另一方面保障人员也能够通过大型任务提高自身能力, 在更贴近实战的环境下遂行任务, 对整体保障水平的提高具有较大的促进作用。

收稿日期: 2021-10-21; 修回日期: 2021-11-28

作者简介: 陈玉昆(1992—), 男, 安徽人, 博士, 助理研究员, 从事作战仿真、装备运用与管理研究。E-mail: heianzhihou123@126.com。

2) 器材设备保障。充足的装备维修器材和保障设备能够保证装备发生损坏时得到及时修理,使装备尽快恢复自身性能;因此,器材设备保障指标主要包括维修器材品种和数量配套率、保障设备实有数和保障设备完好率 4 方面。

3) 维修保障水平。即便在保障人员和器材设备基本相当的情况下,各单位保障能力也会存在一定区别,这主要是由于装备维修保障水平差异所造成的,其中维修机构数量、单位的年度修理量、保障任务完成率是反映装备维修保障水平的重要指标。

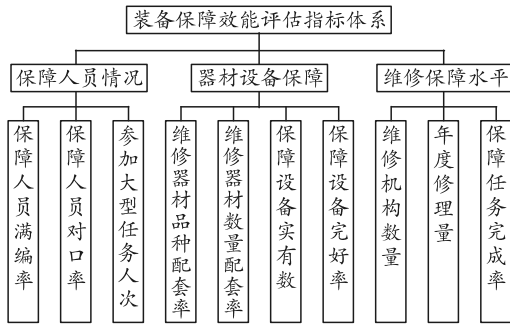


图 1 装备保障效能评估指标体系

2 装备保障效能评估模型建立

2.1 集于范数灰关联度的指标权重计算方法

深入分析指标 j 和其他指标 $k(k \neq j)$ 的关系,若 j 和其他指标之间具有较强的关联,即前者对后者产生较大影响,则表示此指标含有较多信息,反之则表示含有的信息相对较少。将其他指标 k 的指标值作为基准序列,将指标 j 的指标值作为比较序列,求解出 j 相对于 k 的灰关联度,由此明确指标 j 的群灰关联度。

首先计算第 $g(g=1,2,\dots,m)$ 个评价点上, j 对于 k 的差序列为:

$$\Delta_{jk}(g) = |z_k(g) - z_j(g)| \quad (1)$$

接着求解两级最大差 Δ_{\max} 和两级最小差 Δ_{\min} :

$$\Delta_{\max} = \max_{k(k \neq j)} \max_g |z_k(g) - z_j(g)| \quad (2)$$

$$\Delta_{\min} = \min_{k(k \neq j)} \min_g |z_k(g) - z_j(g)| \quad (3)$$

于是可求得 j 对于 k 的第 g 个灰关联系数 $r_g(j,k)$ 为:

$$r_g(j,k) = (\Delta_{\min} + \Delta_{\max} \zeta) / (\Delta_{jk}(g) + \Delta_{\max} \zeta) \quad (4)$$

式中 ζ 为分辨系数,基于信息原理将其取值为 $\zeta=0.5$ 。

根据基于均值思想的灰关联度计算方法,指标 j 对指标 k 的灰关联度可通过 $r_{jk} = \frac{1}{m} \sum_{g=1}^m r_g(j,k)$ 进行

表示,但上述方法或许会出现隐藏部分关联因素信息的问题,由此造成与实际情况相背离。为此,建立范数灰关联度的指标权重确定方法,可在不改变关联系数的情况下,对信息进行再挖掘和补充。设 $r^+ = \max_k r_g(j,k), k=1,2,\dots,n, k \neq j; g=1,2,\dots,m$ 为关联系数理想列, $r^- = \min_k r_g(j,k), k=1,2,\dots,n, k \neq j; g=1,2,\dots,m$ 为关联系数负理想列。两者分别表示距参考序列距离最近和最远的比较序列。

确定关联系数理想列和负理想列后即可确定范数,其描述的是比较序列同参考序列的距离大小。第 j 个指标关联系数序列的 2 个范数可分别定义为:

$$d_{jk}^+ = \sqrt{\sum_{g=1}^m [r_g(j,k) - r^+(g)]^2} \quad (5)$$

$$d_{jk}^- = \sqrt{\sum_{g=1}^m [r_g(j,k) - r^-(g)]^2} \quad (6)$$

式中: d_{jk}^+ 为第 j 个指标对第 k 个指标的近距; d_{jk}^- 为第 j 个指标对第 k 个指标的远距。在明确关联度的过程中,近距愈小、远距愈大,那么比较序列之间所具有的关联性就愈突出,即关联度愈高。

把 j 相对 k 的范数灰关联度视为:

$$\varepsilon_k = d_{jk}^- / (d_{jk}^+ + d_{jk}^-) \quad (7)$$

于是指标 j 的群灰关联度为:

$$\varepsilon_j = \left(\sum_{k=1, k \neq j}^n \varepsilon_k \right) / (n-1) \quad (8)$$

最后将群灰关联度进行归一化得到各指标的权重为:

$$w_j = \varepsilon_j / \sum_{j=1}^n \varepsilon_j \quad j=1,2,\dots,n \quad (9)$$

2.2 云隶属度评价模型建立

隶属度是用来表示状态评估指标属于评价等级的程度,一般需要利用隶属度函数进行求解。常规的隶属函数并未提供明确的取值方法,需依托定性推理和实验来确定,容易产生以下问题:1) 在描述概念的模糊性时,易出现突变点,使隶属函数曲线的一阶导数不连续;2) 在逼近模糊区间的过程中,隶属函数变化率逐步增高;3) 将隶属函数明确后,隶属度即成为一个唯一的数值,将模糊概念完全确定化和清晰化^[9-15]。对此,笔者创建了云隶属度函数,在原有方法的基础上进行了改进,从而更好地确定各评价指标相对于评价等级的隶属情况。

步骤 1：利用正向正态云发生器生成各评判等级的正态云标准值，设评价指标 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 对应的评判等级 $j(j=1, 2, \dots, m)$ 的上下边界值为 x_{ij}^1 和 x_{ij}^2 ，则 $Ex_{ij} = (x_{ij}^1 + x_{ij}^2)/2$ ，因边界值是一个等级变换的过渡值，其边界不清晰，所以其临近 2 个评判等级的隶属度应保持一致，即存在 $\exp[-(x_{ij}^1 - x_{ij}^2)^2 / 8(En_{ij})^2] = 0.5$ ，可解得 $En_{ij} = (x_{ij}^1 - x_{ij}^2)/2.355$ ，于是可求得超熵为 $He = \sqrt{En_{ij}^2 - (x_{ij}^1 - Ex)^2 / 2}$ ；

步骤 2：在正态隶属云中，定义横坐标为评估指标所得的评价值 x_{ij} ，纵坐标为对应于评价等级的隶属度 φ ，将各评价指标的评价结果绘制于标准正态隶属云图上，根据与云图的交点数确定该评估指标隶属于评价等级的隶属度；

步骤 3：将隶属度矩阵 $\varphi = (\varphi_{ij})$ 和因素权重 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 相乘得到评估结果向量 $B = W \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ ，其中 $b_j = \sum_{i=1}^n w_i \varphi_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$ 为评价指标隶属于评价等级的程度。

由上述评价方法可知，利用本文中方法所得评估结果是 1 维正态随机数。与传统 AHP 等评价方法相较而言，笔者提出的方法较好地体现了事件发生的随机性，涵盖了大量具有实用价值的信息，为合理决策提供了可靠参考。

3 案例分析

3.1 确定评价等级

根据参评单位实际情况，笔者将装备保障能力评价等级划分为 5 类，并对各等级的评价标准进行了确定，结果如表 1 所示。

表 1 评估等级及评价标准

评估指标	优秀	良好	一般	较差	很差
保障人员满编率	(0.9, 1]	(0.75, 0.9]	(0.55, 0.75]	(0.35, 0.55]	(0, 0.35]
保障人员对口率	(0.9, 1]	(0.75, 0.9]	(0.55, 0.75]	(0.35, 0.55]	(0, 0.35]
参加大型任务人次	(40, 50]	(30, 40]	(15, 30]	(5, 15]	(0, 5]
维修器材品种配套率	(0.7, 1]	(0.5, 0.7]	(0.25, 0.5]	(0.1, 0.25]	(0, 0.1]
维修器材数量配套率	(0.7, 1]	(0.5, 0.7]	(0.25, 0.5]	(0.1, 0.25]	(0, 0.1]
保障设备实有数	(20, 25]	(15, 20]	(8, 15]	(4, 8]	(0, 4]
保障设备完好率	(0.9, 1]	(0.75, 0.9]	(0.55, 0.75]	(0.35, 0.55]	(0, 0.35]
维修机构数量	(8, 10]	(6, 8]	(3, 6]	(1, 3]	(0, 1]
年度修理量	(260, 300]	(210, 260]	(120, 210]	(50, 120]	(0, 50]
保障任务完成率	(0.9, 1]	(0.75, 0.9]	(0.55, 0.75]	(0.35, 0.55]	(0, 0.35]

3.2 评价指标归一化及权重的确定

对 A、B、C 3 个单位的装备保障能力进行评价，各单位的评估指标值如表 2 所示。根据笔者建立的范数灰关联度指标权重计算方法，得到各指标相对

于其他 9 个指标的范数灰关联度结果，保留 3 位小数后的结果如表 3 所示。其中，各评估指标由 $X_1 \sim X_{10}$ 表示，进而可以求得各指标的群灰关联度和指标权重如表 4 所示。

表 2 各指标评估结果

评估指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
A 单位	0.77	0.61	21	0.52	0.66	17	0.71	4	179	0.68
B 单位	0.83	0.75	33	0.63	0.82	14	0.86	7	228	0.87
C 单位	0.85	0.71	29	0.69	0.73	19	0.74	6	196	0.82

表 3 各评估指标范数灰关联度

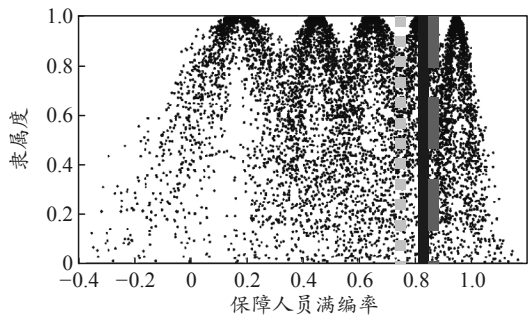
评估指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1		0.551	0.166	0.148	0.156	0.524	0.451	0.089	0.573	0.155
X_2	0.601		0.182	0.178	0.192	0.722	0.554	0.216	0.636	0.234
X_3	0.174	0.091		0.941	0.743	0.057	0.058	0.654	0.063	0.531
X_4	0.153	0.090	0.902		0.703	0.048	0.039	0.606	0.047	0.484
X_5	0.214	0.162	0.771	0.765		0.109	0.123	0.679	0.096	0.691
X_6	0.634	0.796	0.197	0.188	0.195		0.599	0.194	0.808	0.233
X_7	0.581	0.627	0.280	0.269	0.291	0.619		0.289	0.549	0.351
X_8	0.208	0.241	0.719	0.724	0.738	0.182	0.214		0.146	0.759
X_9	0.686	0.698	0.169	0.185	0.175	0.802	0.498	0.143		0.193
X_{10}	0.266	0.256	0.616	0.602	0.719	0.201	0.252	0.745	0.177	

表 4 各评估指标群灰关联度及权重

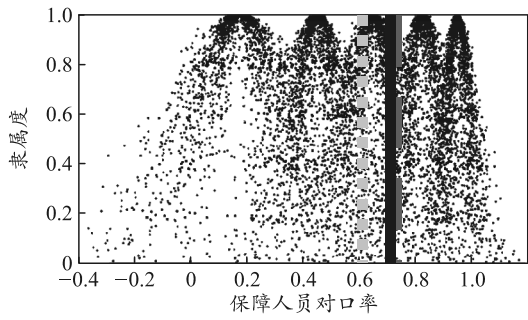
评估指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
群灰关联度	0.39	0.31	0.47	0.43	0.43	0.35	0.31	0.47	0.31	0.43
权重	0.10	0.08	0.12	0.11	0.11	0.09	0.08	0.12	0.08	0.11

3.3 评价指标隶属度的确定

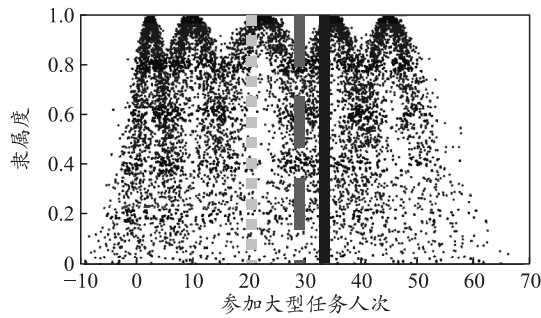
为分析各评价指标隶属于评价等级的程度，首先生成各评判等级的正态云标准值，继而得到各方案的评价指标隶属云如图 2 所示，其中浅灰点线代表 A 单位，黑实线代表 B 单位，深灰长虚线代表 C 单位。



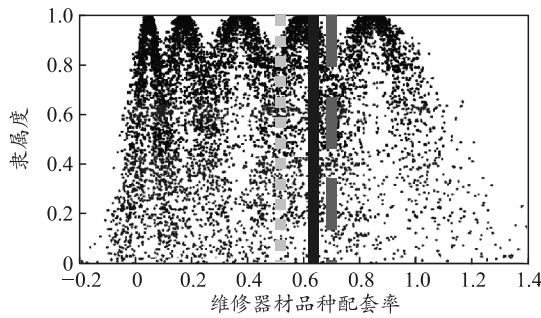
(a) X_1 指标



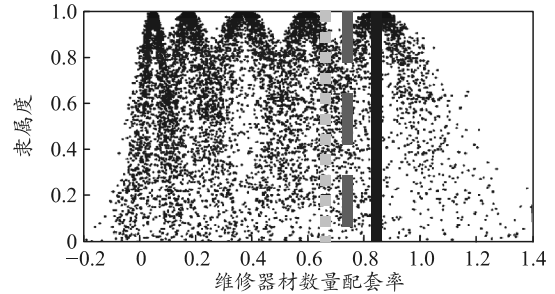
(b) X_2 指标



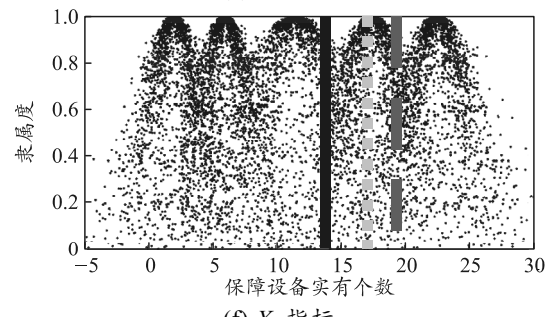
(c) X_3 指标



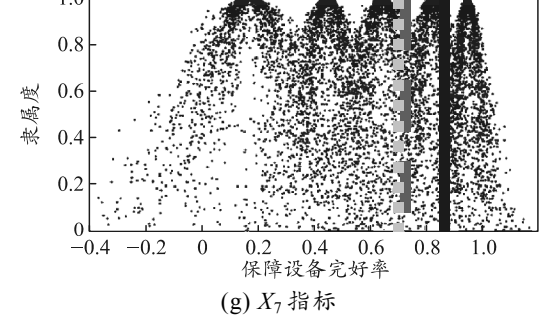
(d) X_4 指标



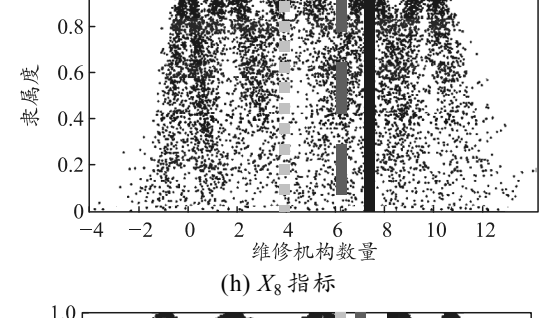
(e) X_5 指标



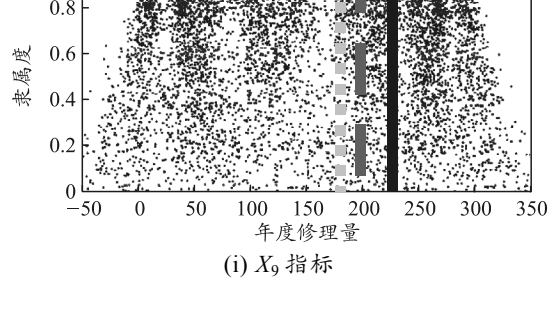
(f) X_6 指标



(g) X_7 指标



(h) X_8 指标



(i) X_9 指标

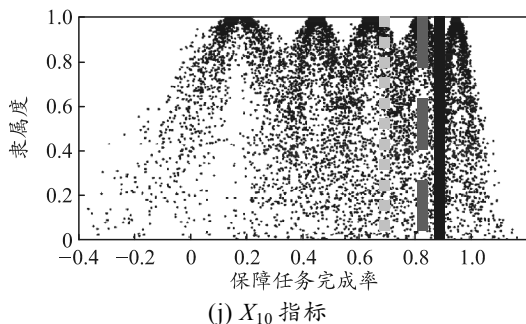


图2 各指标评价结果及标准正态云图

3.4 评价结果

将各指标评估值和具体权重值相乘，获得最终评估结果如表5所示。

表5 各单位评估等级隶属情况

评估等级	A单位	B单位	C单位
优秀	0	0.15	0.06
良好	0.12	0.63	0.49
一般	0.67	0.20	0.38
较差	0.19	0.02	0.07
很差	0.02	0	0

由评价结果可以看出，按照隶属度最大原则，A单位装备保障能力为一般，B和C单位的装备保障能力均为良好。进一步分析B和C单位的评价等级隶属度可以看出，B单位隶属于良好等级的隶属度高于C单位，且C单位偏向于一般等级的隶属度达到了0.38，高于B单位的0.20；因此，B单位的装备保障能力要强于C单位。

由正态云隶属度评价模型的评价结果可知：

1) 正态云隶属度评价模型将隶属度函数软化为正态分布随机数，较好地克服了常规隶属度函数边界“过硬”这一缺陷；

2) 此模型充分考虑了等级确定的随机性和模糊性之间的关系，将隶属度曲线作为数学期望曲线，有效弥补了隶属度函数描述偏主观的不足；

3) 常规评价结果是一个具体的数值，但是基于此模型而获得的评价结果为1维正态随机数，可以给出隶属于各评价等级的概率，有效避免了错误评价的发生。

4 结论

笔者结合装备保障能力概念内涵，建立了包含3项一级指标和10项二级指标的装备保障能力评估指标体系。为解决评价指标权重确定过于主观的问题，将评价结果归一化，建立了范数灰关联度的指标权重计算方法。结合正态云理论，建立了正态云隶属度评价模型。由案例分析可知：该模型可改善

以往评价结果过于主观、隶属度函数边界“过硬”等问题，具有较好的实用性。

参考文献：

- [1] 翟楠楠, 刘晓东, 吴诗辉, 等. 基于CCA/DEA的装备维修保障绩效评价[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(12): 44-49.
- [2] 付勃, 绳慧, 杨英杰, 等. 综合集成方法在装备保障方案评价中的研究[J]. 计算机与数字工程, 2015, 43(6): 1038-1042.
- [3] 何国良, 蒲玮, 樊延平, 等. 基于效能仿真的数字化部队装备保障方案多层次评价[J]. 装甲兵工程学院学报, 2016, 30(1): 14-20.
- [4] 王申坪, 李忠海, 李忠光, 等. 基于ANFIS的装备维修保障能力生成度评估[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(2): 10-13.
- [5] 宋星, 贾红丽, 赵汝东, 等. 基于ADC和模糊综合评判法的合成旅装备保障效能评估[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(8): 126-129.
- [6] 邱玮, 张增磊, 田文祥, 等. 基于层次分析法和模糊综合评判的装备保障人员能力评估[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(4): 108-113.
- [7] 陈浩, 黄健, 龚建兴, 等. 电子对抗中武器装备体系作战能力评估研究[J]. 计算机仿真, 2018, 35(8): 25-30, 75.
- [8] 马丽丽, 王芳, 李梨榕. 基于AHP-BP人工神经网络的型号装备可靠性设计质量评价方法研究[J]. 电子质量, 2018, 6: 19-22, 25.
- [9] GUO R, XIA J, ZHANG L. Research on Multiple Attribute Evaluation Method Based on Cloud Model[C]. ICACC, 2010: 103-106.
- [10] 崔凯旋, 石全, 胡起伟, 等. 基于梯形云模型的装备保障训练效果评估研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(5): 306-310.
- [11] 陈莉, 张海侠. 基于熵权-云模型的我国绿色智慧城市评价[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(1): 136-144.
- [12] 刘崇屹, 付霖宇, 朱桂芳, 等. 基于改进AHP和云模型的质量状态定性评估[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(12): 120-126.
- [13] 李琳琳, 路云飞, 张壮, 等. 基于云模型的指挥控制系统效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(4): 815-822.
- [14] CHEN Q, YIN Y. Review of Cloud Modeling[C]. 2008 International Workshop on Education Technology and Training & 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, 2008: 238-242.
- [15] 秦映, 卢强, 黄士坦. 基于云理论和信息融合理论的系统性能评估方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(2): 181-185.