

改进突变级数法的雷达装备保障性评估模型^{*}

施端阳^{1,2}, 胡冰¹, 陈嘉勋¹, 董兴阳³

(1. 空军预警学院, 湖北 武汉 430019; 2. 中国人民解放军 95174 部队, 湖北 武汉 430040;
3. 中国人民解放军 95910 部队, 甘肃 酒泉 735000)

摘要:针对雷达装备保障性的影响因素繁多,且具有层次性的问题,根据雷达装备保障性的要求,构建了雷达装备保障性评估指标体系。采用综合调整法对初始综合值进行调整,以改进突变级数法中综合评估值整体接近于1的问题,从而更直观地反映评估值的大小与等级。设计了基于改进突变级数法的雷达装备保障性评估模型,通过实例表明该方法能科学、有效地评估雷达装备的保障性等级。

关键词:突变级数法;雷达装备;保障性;评估;指标体系;归一公式

doi:10.3969/j.issn.1009-086x.2020.01.014

中图分类号:TN95;N945.1

文献标志码:A

文章编号:1009-086X(2020)-01-0089-06

Supportability Evaluation Model of Radar Equipment Based on Improved Catastrophe Progression Method

SHI Duan-yang^{1,2}, HU Bing¹, CHEN Jia-xun¹, DONG Xing-yang³

(1. Air Force Early Warning Academy, Hubei Wuhan 430019, China; 2. PLA, No. 95174 Troop, Hubei Wuhan 430040, China; 3. PLA, No. 95910 Troop, Gansu Jiuquan 735000, China)

Abstract: In view of the factors affecting the supportability of radar equipment are numerous and hierarchical, according to the requirement of radar equipment supportability, an index system of supportability evaluation of radar equipment is constructed. The comprehensive adjustment method is used to adjust the initial comprehensive value, so as to improve the problem that the overall comprehensive evaluation value in the catastrophe progression method is close to one, thus more intuitively reflect the size and level of the evaluation value. A supportability evaluation model of radar equipment based on improved catastrophe progression method is designed. The example shows that this method can evaluate the supportability level of the radar equipment scientifically and effectively.

Key words: catastrophe progression method; radar equipment; supportability; evaluation; index system; unitary formula

* 收稿日期:2019-04-18;修回日期:2019-06-27

基金项目:全军军事类研究生资助课题(DSSQ910262018005)

第一作者简介:施端阳(1992-),男,湖北枝江人。硕士生,主要从事预警装备管理与保障研究。

通信地址:430019 湖北省武汉市江岸区黄浦大街288号 E-mail:644481846@qq.com

0 引言

雷达装备保障性是指雷达装备的设计特性和计划的保障资源能满足平时战备及战时使用要求的能力^[1]。对雷达装备保障性进行准确的评估,可以衡量装备系统在研制、使用等全寿命周期中的保障性,评价计划的保障系统的使用效能,确定保障性方面存在的问题与改进措施^[2]。

目前,雷达装备保障性评估方法的研究取得了一定成果。程杨^[3]和卢雷^[4]用集对分析法建立评估模型,分别用属性层次模型和层次分析法确定指标权重,计算待评估雷达装备的保障性等级。赵耀^[5]通过咨询专家法获取指标权重,建立模糊系统评价模型,进行综合评价。彭飞^[6]和王永杰^[7]分别采用特尔斐法和专家打分法确定指标权重,采用灰色关联模型对雷达装备保障性进行评估。但无论是集对分析法、模糊综合法还是灰色关联法,这些方法在评估时都涉及到对评估指标进行赋权的问题,且均采用主观赋权法,具有较大的主观随意性。突变级数评估法利用突变理论与模糊数学相结合产生突变模糊隶属函数,由归一公式进行综合量化运算,最后求出总的隶属函数,从而对评估对象进行评估,该方法无需计算评估指标的权重,但考虑了各评估指标的相对重要性,从而减少了主观性又不失科学性、合理性,而且计算简单准确^[8]。

突变级数法应用范围广泛,但在雷达保障性评估方面尚未有人使用。因此,本文拟在雷达装备保障性定义及要求的基础上构建雷达装备保障性评估指标体系,运用综合调整法对突变级数法中综合值整体接近于 1 的问题进行改进,验证改进后的突变级数法在雷达装备保障性评估中的科学性和有效性,为研制方的产品升级和使用方的装备采购提供辅助决策依据。

1 雷达装备保障性评估指标体系的构建

根据雷达装备保障性的定义,保障性要求分为保障性综合要求、与保障性有关的设计要求和保障资源要求^[2]。因此雷达装备保障性评估指标可分为综合保障性、设计保障性和资源保障性 3 部分。

(1) 综合保障性是依据装备在预期的平时和战

时使用情况下,完成并保持规定任务的能力而提出的,体现了军方对装备保障性的总体期望,其指标主要有战备完好性、使用可用度、任务持续能力、寿命周期费用等。

(2) 设计保障性反映雷达装备自身与保障相关的特性,直接影响雷达装备的设计,是使雷达装备易于保障的重要要求,其指标主要包括可靠性、维修性、测试性、安全性、电磁兼容性等。

(3) 资源保障性是指为了在平时和战时保证装备的使用和保障能够顺利实施而规划的资源要求,其确定了保障资源的品种与数量,涉及保障人员、保障备件、保障设备、技术资料等指标。

因此,构建的雷达装备保障性评估指标体系^[9]如图 1 所示。

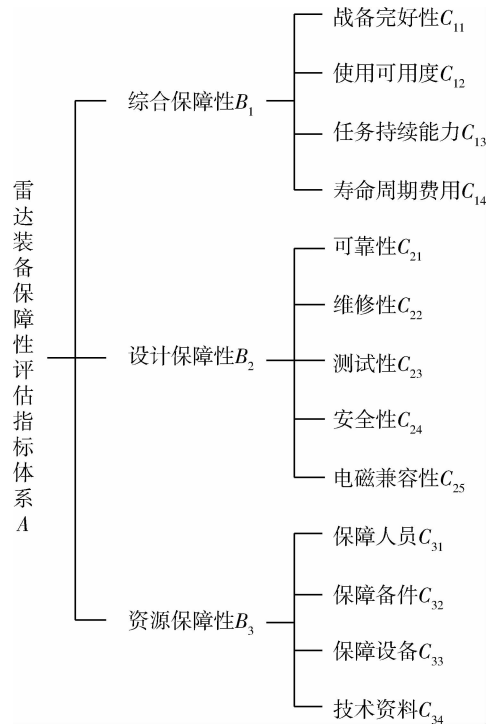


图 1 雷达装备保障性评估指标体系
Fig. 1 Index system of radar equipment supportability evaluation

2 基于改进突变级数法的雷达装备保障性评估模型

2.1 确定评估指标体系的突变系统类型

突变理论是法国数学家 Rene Thom 于 20 世纪 60 年代末提出的。在突变理论的势函数中,变量有 2 类变量,即状态变量和控制变量。控制变量的个

数决定突变类型。突变系统类型共有 7 种, 最常见的 5 种为折叠突变、尖点突变、燕尾突变、蝴蝶突变及棚屋突变^[10], 如表 1 所示。表 1 中, x 表示状态变量, a, b, c, d, e 表示控制变量。系统势函数的状态变量和控制变量是矛盾的 2 个方面^[11]。若一个指标可分解为 2 个下级指标, 则该系统视为尖点型; 若一个指标可分解为 3 个下级指标, 则该系统视为燕尾型; 若一个指标可分解为 4 个下级指标, 则该系统视为蝴蝶型; 若一个指标可分解为 5 个下级指标, 则该系统视为棚屋型, 如图 2 所示。图 2 中主要的控制变量在前, 次要的控制变量在后。

表 1 基本突变类型
Table 1 Basic mutation types

突变类型	控制变量个数	状态变量个数	势函数
折叠型	1	1	$V(x) = x^3 + ax$
尖点型	2	1	$V(x) = x^4 + ax^2 + bx$
燕尾型	3	1	$V(x) = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx$
蝴蝶型	4	1	$V(x) = x^6 + ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx$
棚屋型	5	1	$V(x) = x^7 + ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex$

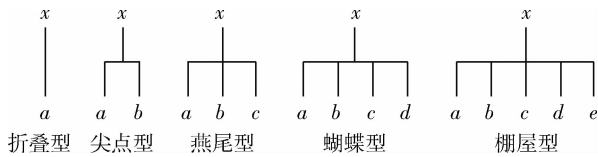


图 2 基本突变模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of basic mutation model

2.2 由分歧方程导出归一公式

根据突变理论, 突变系统的势函数 $V(x)$ 的所有临界点集合成平衡曲面。通过对 $V(x)$ 求一阶导数

即 $V'(x) = 0$ 得到临界点, 求二阶导数即 $V''(x) = 0$ 得到奇点。将 $V'(x) = 0$ 和 $V''(x) = 0$ 联立求解, 可得突变系统的分歧点集方程。分歧点集方程表明诸控制变量满足此方程时, 系统会发生突变。通过分解形式的分歧点集方程导出归一公式, 由归一公式将系统内的控制变量不同的质态化为同一质态, 即化为状态变量表示的质态^[10]。各类突变系统的分歧点集方程及归一公式^[12]如表 2 所示。在此, 归一公式实为一种多维模糊隶属函数, 其将突变理论与模糊隶属函数结合起来^[13]。

2.3 控制变量的重要性排序

突变级数法的最大特点在于它不需要确定评估指标的权重值, 只需考虑评估指标的相对重要程度。控制变量的重要性由势函数的结构决定, 以尖点型突变为例, 从其势函数 $V(x) = x^4 + ax^2 + bx$ 可看出, 系数 a 为主要影响因素, b 为次要影响因素, 所以 a 的重要性大于 b , 即 $a > b$ 。其他类型的突变系统与此类似。

2.4 利用归一公式进行综合评估

利用归一公式对某一指标的下级指标计算出的 x 的值采用“互补”与“非互补”原则^[14], 求出突变系统总的隶属函数值。互补原则是当指标体系中位于同一层的下级指标对其共同的上级指标起相互补充作用时, 中间变量 x 应取各下级指标突变级数值的平均值。非互补原则是当指标体系中位于同一层的下级指标对其共同的上级指标不起互补作用时, 中间变量 x 应取各下级指标突变级数值的最小值。经过逐层计算, 得到总的突变隶属函数值。

2.5 突变级数法的缺陷及改进

在突变级数法中, 因为归一公式具有聚焦的特点, 最终的综合评估值均比较接近于 1, 且评估值之间的差异较小。虽然这种现象在对若干评估对象的比较上不会出现问题, 仍然可以根据差异较小且接近于 1 的综合值进行排序, 反映出各评估对象

表 2 各突变类型的分歧点集方程及归一公式

Table 2 Bifurcation set equations and unitary formulas of types of mutation

突变类型	分歧点集方程	归一公式
尖点型	$a = -6x^2, b = 8x^3$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}$
燕尾型	$a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}, x_c = c^{1/4}$
蝴蝶型	$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}, x_c = c^{1/4}, x_d = d^{1/5}$
棚屋型	$a = -x^2, b = 2x^3, c = -2x^4, d = 4x^5, e = -5x^6$	$x_a = a^{1/2}, x_b = b^{1/3}, x_c = c^{1/4}, x_d = d^{1/5}, x_e = e^{1/6}$

的相对优劣。但对单个对象进行评估时,无论评估结果如何,得出的综合评估值均接近于 1,无法根据最初设定的评估标准来反映评估等级。且最差的评估对象得出的综合评估值也很高,不符合人们依据评估值的绝对大小来评价对象优劣的习惯。

针对上述缺陷,有 2 种解决途径。一是对原评估标准进行调整,得到新的评估标准,依据新标准对初始综合评估值进行评价;二是对初始综合评估值进行调整,得到调整后的评估值,根据原评估标准进行评价。

对评估标准进行调整的步骤为:首先确定雷达装备保障性评估等级标准,如综合评估值在 (0.8, 1] 区间为优秀, (0.6, 0.8] 为良好, (0.4, 0.6] 为一般, (0.2, 0.4] 为较差, [0, 0.2] 为极差。然后根据图 1 建立的评估指标体系,分别计算出将底层控制变量全部赋值为 {0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1} 时的顶层综合评估值 $t_i (i=0, 1, \dots, 5)$,并将这 6 个值作为刻画常规综合评估值(以下简称初始综合值)新的等级刻度,各保障性等级对应的区间为 (t_i, t_{i+1}) 。根据所计算的初始综合值落入的等级区间,判断待评雷达装备的保障性等级。

对初始综合评估值进行调整的步骤为:在计算出待评雷达装备保障性的初始综合值后,设初始综合值为 T ,调整综合值为 T' ,若 $t_i \leq T \leq t_{i+1}$,则 T' 为

$$T' = \left[\left(\frac{T - t_i}{t_{i+1} - t_i} \right) + i \right] \times 0.2. \quad (1)$$

根据式(1)得出调整综合值后,可依据原评估标准反映待评雷达装备的保障性等级。

上述 2 种途径的原理相同,均能够避免原突变级数法初始综合评估值得分较高,且整体接近于 1 的问题。

3 算例分析

以某型雷达装备为例,对其保障性进行评估。设雷达装备保障性评估等级划分为 I - V 5 个等级,参照文献[15]中的评分等级标准,各等级的评分标准为: I 级为优秀 (0.8, 1], II 级为良好 (0.6, 0.8], III 级为一般 (0.4, 0.6], IV 级为较差 (0.2, 0.4], V 级为极差 [0, 0.2]。根据图 1 构建的雷达装备保障性评估指标体系和基于改进突变级数法的雷达装备保障性评估模型,进行如下计算分析。

3.1 确定各层指标的突变系统类型

根据突变系统分类方法,由图 1 和图 2 可知,雷达装备保障性评估指标体系中各级指标构成 1 个燕尾突变, 2 个蝴蝶突变, 1 个棚屋突变,具体如下:

$$\text{燕尾突变: } A \rightarrow (B_1, B_2, B_3).$$

$$\text{蝴蝶突变: } B_1 \rightarrow (C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14});$$

$$B_3 \rightarrow (C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}).$$

$$\text{棚屋突变: } B_2 \rightarrow (C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}).$$

3.2 指标重要性排序

邀请雷达兵部队高工、装备研制单位保障性方面的设计专家以及装备生产厂商的专家,对各评估指标的重要性进行打分。专家打分时分别从使用、研制和生产的角度出发,以提高战斗力为基本原则,重点考虑影响战备和作战的因素。经过实地调研和咨询专家后,对收集到的某型雷达装备保障性评估指标的得分取均值,如表 3 所示。在突变级数法中,得到的初始数据需经过极差变换法归一化处理得到各指标的数值,将底层指标中的均值转化为在 [0, 1] 区间上的数据,但这里专家给出的评分数据本身就在 [0, 1] 区间上,所以无需进行初始数据的归一化处理。

表 3 评估指标打分结果

Table 3 Evaluation indexes scoring results

专家 序号	B_1				B_2					B_3			
	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}
1	0.90	0.85	0.80	0.60	0.79	0.65	0.55	0.83	0.80	0.75	0.70	0.60	0.75
2	0.80	0.85	0.70	0.52	0.80	0.70	0.60	0.85	0.78	0.72	0.76	0.55	0.76
3	0.85	0.84	0.75	0.50	0.85	0.60	0.60	0.80	0.75	0.70	0.80	0.53	0.76
4	0.70	0.80	0.85	0.55	0.70	0.65	0.50	0.90	0.85	0.75	0.75	0.50	0.80
5	0.90	0.85	0.70	0.45	0.80	0.60	0.55	0.83	0.78	0.72	0.76	0.50	0.75
6	0.90	0.84	0.75	0.50	0.80	0.65	0.50	0.80	0.70	0.70	0.75	0.53	0.70
7	0.90	0.85	0.70	0.52	0.79	0.70	0.55	0.80	0.80	0.70	0.80	0.50	0.80
求和	5.95	5.88	5.25	3.64	5.53	4.55	3.85	5.81	5.46	5.04	5.32	3.71	5.32
均值	0.85	0.84	0.75	0.52	0.79	0.65	0.55	0.83	0.78	0.72	0.76	0.53	0.76

根据表3中的各指标得分数据,以综合保障性 B_1 下属的4个指标(战备完好性 C_{11} 、使用可用度 C_{12} 、任务持续能力 C_{13} 、寿命周期费用 C_{14})为例,得分总和分别为5.95,5.88,5.25,3.64,因此,综合保障性 B_1 的下级指标重要性排序为 $C_{11} > C_{12} > C_{13} > C_{14}$ 。

同理可得, $C_{24} > C_{21} > C_{25} > C_{22} > C_{23}$, $C_{32} = C_{34} > C_{31} > C_{33}$, $B_1 > B_2 > B_3$ 。

3.3 利用归一公式进行雷达装备保障性综合评估

仍然以综合保障性 B_1 下属的4个指标 C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{14} 为例,代入蝴蝶突变模型的归一公式后得

$$x_{C_{11}} = \sqrt{0.85} = 0.922\ 0, x_{C_{12}} = \sqrt[3]{0.84} = 0.943\ 5, \\ x_{C_{13}} = \sqrt[4]{0.75} = 0.930\ 6, x_{C_{14}} = \sqrt[5]{0.52} = 0.877\ 4.$$

因为 C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{14} 可以互补,所以适用“互补”原则, $x_{B_1} = (x_{C_{11}} + x_{C_{12}} + x_{C_{13}} + x_{C_{14}})/4 = 0.918\ 4$ 。

同理可得, $x_{C_{21}} = \sqrt[3]{0.79} = 0.924\ 4$, $x_{C_{22}} = \sqrt[5]{0.65} = 0.917\ 5$, $x_{C_{23}} = \sqrt[6]{0.55} = 0.905\ 2$, $x_{C_{24}} = \sqrt{0.83} = 0.911\ 0$, $x_{C_{25}} = \sqrt[4]{0.78} = 0.939\ 8$, $x_{B_2} = (x_{C_{21}} + x_{C_{22}} + x_{C_{23}} + x_{C_{24}} + x_{C_{25}})/5 = 0.919\ 6$, $x_{C_{31}} = \sqrt[4]{0.72} = 0.921\ 2$, $x_{C_{32}} = \sqrt{0.76} = 0.871\ 8$, $x_{C_{33}} = \sqrt[5]{0.53} = 0.880\ 8$, $x_{C_{34}} = \sqrt[3]{0.76} = 0.912\ 6$, $x_{B_3} = (x_{C_{31}} + x_{C_{32}} + x_{C_{33}} + x_{C_{34}})/4 = 0.896\ 6$, $x_A = (\sqrt{x_{B_1}} + \sqrt[3]{x_{B_2}} + \sqrt[4]{x_{B_3}})/3 = 0.967\ 9$ 。

3.4 调整原评估标准及初始综合评估值

若根据原评估标准,初始综合值0.967 9落在区间(0.8,1]内,评估等级应为优秀。但由于突变级数法归一公式的聚焦性,导致得出的初始综合评估值向1聚焦,若仍按原来的评估标准来确定评估等级是不准确的。需要对原评估等级标准或初始综合评估值进行调整。

对原评估等级标准进行调整时,分别以0,0.2,0.4,0.6,0.8,1作为底层指标的均值,计算出对应的顶层综合评估值为0,0.840 7,0.904 3,0.944 9,0.975 4,1。调整前后的评估等级标准如表4所示。因此,根据新的雷达装备保障性评估等级标准,初始综合值0.967 9落在区间(0.944 9,0.975 4]内,该型雷达装备的保障性等级为良好状态。

对初始综合评估值进行调整时,根据式(1)得出调整后的综合值为0.750 8。调整综合值0.750 8落入区间(0.6,0.8],待评雷达装备的保障性等级为良好。可见2种途径最终得到的雷达装备保障性

评估结论是一致的。

表4 调整前后的评估等级标准

Table 4 Evaluation level standard before and after adjustment

保障性等级	原标准	新标准
优秀	(0.8,1]	(0.975 4,1]
良好	(0.6,0.8]	(0.944 9,0.975 4]
一般	(0.4,0.6]	(0.904 3,0.944 9]
较差	(0.2,0.4]	(0.840 7,0.904 3]
极差	[0,0.2]	[0,0.840 7]

4 结束语

本文依据雷达装备保障性定义的要求,建立了雷达装备保障性评估指标体系,对突变级数法中综合评估值集中接近于1的问题进行了改进,使得能够更加直观地反应雷达装备保障性的等级。实例表明,通过改进突变级数法的雷达装备保障性评估模型对雷达装备的保障性进行评估的方法是可行的,且该方法无需对各评估指标进行赋权,简化了评估过程,为雷达装备保障性评估提供了一种新方法。

使用该方法时需注意以下问题:①因突变理论中势函数的控制变量一般不超过5个,所以采用突变级数法进行评估时,评估指标体系中各层指标数一般也不能超过5个,在构建评估指标体系时,若存在数量超过5个的指标层,可将其中同类指标合并为一个新的指标,再将新指标向下一级分解,以达到减少同层指标数量的目的。②利用归一公式计算评估值时,各突变类型中指标的前后次序不同,开方的方根数也不同。因此,指标的排序要有充分的依据。③雷达装备保障性涉及因素众多,为了提高该方法的准确度和可信度,在评估时对专家的选择、指标打分的原则等环节需要重视。

参考文献:

- [1] 杨秉喜. 雷达综合技术保障工程[M]. 北京:中国标准出版社,2001:17.
YANG Bing-xi. Radar Integrated Technical Support Project[M]. Beijing:China Standard Press,2001:17.
- [2] 杨江平. 雷达装备保障学[M]. 北京:蓝天出版社,2014:36-58.
YANG Jiang-ping. Radar Equipment Support Science

- [M]. Beijing: Blue Sky Press, 2014; 36-58.
- [3] 程杨, 胡冰, 董伟. SPA-AHM 的雷达装备保障性评估[J]. 现代防御技术, 2018, 46(6): 115-121.
CHENG Yang, HU Bing, DONG Wei. Supportability Evaluation of Radar Equipment Based on SPA-AHM [J]. Modern Defence Technology, 2018, 46(6): 115-121.
- [4] 卢雷, 杨江平, 常春贺. 基于集对分析的雷达装备保障性评估[J]. 现代防御技术, 2013, 41(1): 142-146.
LU Lei, YANG Jiang-ping, CHANG Chun-he. Supportability Assessment of Radar Equipment Based on Set Pair Analysis [J]. Modern Defence Technology, 2013, 41(1): 142-146.
- [5] 赵耀, 翟长生, 闫世强. 新型雷达装备战斗力的模糊综合评价[J]. 空军雷达学院学报, 2009, 23(5): 324-326.
ZHAO Yao, ZHAI Chang-sheng, YAN Shi-qiang. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Battle Effectiveness of New-Type Radar Equipment [J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2009, 23(5): 324-326.
- [6] 彭飞, 杨江平, 钱建刚, 等. 雷达装备保障性评估模型[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(7): 69-72.
PENG Fei, YANG Jiang-ping, QIAN Jian-gang, et al. Research on Evaluation Model of Radar Supportability [J]. Fire Control & Command Control, 2009, 34(7): 69-72.
- [7] 王永杰. 基于模糊灰色理论的雷达装备保障性评估[J]. 现代防御技术, 2015, 43(2): 159-164.
WANG Yong-jie. Supportability Evaluation Method of Radar Based on Fuzzy Grey Theory [J]. Modern Defence Technology, 2015, 43(2): 159-164.
- [8] 马亚龙, 邵秋峰, 孙明, 等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 132.
MA Ya-long, SHAO Qiu-feng, SUN Ming, et al. Theories and Methods of Evaluation and Their Military Applications [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013: 132.
- [9] 施端阳, 胡冰, 张长聪. 基于粗糙集的雷达装备保障性评估指标约简方法[J]. 空军预警学院学报, 2019, 33(2): 107-111.
SHI Duan-yang, HU Bing, ZHANG Chang-cong. A Reduction Method for Index of Radar Equipment Supportability Evaluation Based on Rough Set [J]. Journal of Air Force Early Warning Academy, 2019, 33(2): 107-111.
- [10] 谢宗仁, 吕建伟, 林华. 基于突变级数法的舰船作战能力综合评价[J]. 中国舰船研究, 2016, 11(3): 5-10.
XIE Zong-ren, LÜ Jian-wei, LIN Hua. The Comprehensive Evaluation of Naval Vessels' Engagement Capability Based on the Catastrophe Progression Method [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2016, 11(3): 5-10.
- [11] 许秀娟. 突变级数法在城市基础设施水平空间差异评价中的应用[J]. 工程管理学报, 2018, 32(6): 81-86.
XU Xiu-juan. The Application of Catastrophe Progression Method in Assessing the Horizontal Spatial Difference of Urban Infrastructures [J]. Journal of Engineering Management, 2018, 32(6): 81-86.
- [12] 邓长涛, 严超君, 董菁. 基于突变理论的工业园区环境风险评价[J]. 陕西水利, 2018(6): 98-101.
DENG Chang-tao, YAN Chao-jun, DONG Jing. Environmental Risk Assessment of Industrial Park Area Based on Catastrophe Theory [J]. Shaanxi Water Resources, 2018(6): 98-101.
- [13] 夏国清, 栾添添, 孙明晓, 等. 基于主成分约简和突变级数的舰载机出动能力综合评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(2): 330-337.
XIA Guo-qing, LUAN Tian-tian, SUN Ming-xiao, et al. Reduction and Catastrophe Progression Evaluation Method for Sortie Generation of Carrier Aircraft [J]. Systems Engineering and Electronics, 2018, 40(2): 330-337.
- [14] 李绍飞, 陈伏龙, 余萍, 等. 平原区浅层地下水污染风险评价[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2018, 51(12): 1035-1040.
LI Shao-fei, CHEN Fu-long, YU Ping, et al. Shallow Groundwater Pollution Risk Evaluation in Plain Areas [J]. Journal of Wuhan University: Engineering ed, 2018, 51(12): 1035-1040.
- [15] 程杨, 胡冰, 董宇辉, 等. 基于 Grey-AHM 的雷达装备保障性评估[J]. 现代雷达, 2019, 41(1): 9-13.
CHENG Yang, HU Bing, DONG Yu-hui, et al. Supportability Evaluation of Radar Equipment Based on Grey-AHM [J]. Modern Radar, 2019, 41(1): 9-13.