

doi: 10.7690/bgzdh.2015.08.007

基于 STT 与粗糙集的装甲装备使用阶段质量评价研究

刘彦¹, 陈春良¹, 石文华², 魏兆磊¹

(1. 装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072; 2. 空军空降兵学院军通系, 广西 桂林 541003)

摘要: 为实现不同作战任务影响下装甲装备使用阶段质量的评价, 在构建了装甲装备使用阶段质量评价指标体系的基础上, 运用从战略到任务方法(strategy to task technique, STT)分解了装甲装备使用阶段的任务, 建立了任务与使用阶段质量的有机联系。采用 AHP 法确定了各层任务的权重, 运用粗糙集理论进行了评价指标的属性约简和权重确定, 通过权重聚合及评价值计算实现了装甲装备使用阶段质量评价。评价结果表明: 该评价模型既符合装甲装备使用实际, 又具有较强的客观性, 为装甲装备质量改进研究奠定了基础。

关键词: 装备使用阶段; 质量评价; STT; 粗糙集理论

中图分类号: TJ811 **文献标志码:** A

Research on Evaluation of Armored Equipment Quality on Operational Phase Based on STT and Rough Set Theory

Liu Yan¹, Chen Chunliang¹, Shi Wenhua², Wei Zhaolei¹

(1. Department of Technique Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Department of Ordnance General Equipment, Air Force Airborne Academy, Guilin 541003, China)

Abstract: In order to evaluating armored equipment quality on operational phase under the influence of different battle tasks, the evaluation index system of armored equipment quality on operational phase is established. The tasks of armored equipment quality on operational phase are disassembled by strategy to task technique (STT), and the organic connection between tasks and quality on operational phase is established. The weight of each task is confirmed by AHP, indicators system is decreased by combining with rough theory as well as confirming their weights. Lastly, armored equipment quality on operational phase is evaluated by weight aggregation. The evaluation result verifies that this evaluation model is objective and correspond the reality of armed equipment operational phase, which established the foundation of improvement research of armored equipment quality.

Keywords: equipment on operational phase; quality evaluation; STT; rough set theory

0 引言

装甲装备使用阶段质量是装甲机械化部队战斗力形成的基础。装甲装备使用阶段质量评价是装甲装备使用阶段质量控制与管理的前提, 是保证和提高装甲装备使用阶段质量的关键环节, 因此, 合理地进行装甲装备质量评价是部队亟待解决的问题。

目前, 国内外对装甲装备使用阶段质量评价都进行了比较深入的研究。装甲装备使用阶段质量评价指标体系一般是以建制单位或单台装备作为研究对象, 但缺乏不同任务剖面对使用阶段质量影响的考虑, 而 STT 从战略需求着手直到作战任务层, 充分反映了装备实际使用阶段的质量需求^[1], 为分析质量问题提供了一种可行思路。相对而言评价方法比较多, 德尔菲法和专家会议法能从定性方面对质量进行评价, 但其主观性太大, 缺乏定量的评价^[2]。BP 神经网络运用多层次反馈型网络, 能够有效解决质量评价指标多、主观影响大的问题, 但其评价结果的准确性依赖于训练样本的质量。粗糙集理论能

从信息熵的角度进行属性约简和重要度计算, 可以消除冗余信息、简化计算量^[3]。

基于此, 笔者提出 STT-粗糙集的综合评价法, 对装甲装备使用阶段的任务进行 STT 分析, 将使用阶段质量与任务有机结合, 并运用粗糙集属性简约方法进行指标约简及质量评价, 这样既可以充分考虑任务对使用质量的影响, 又可以解决评价指标冗余及主观因素影响的问题, 更加符合装备实际使用阶段的质量特性, 使评价更加客观合理。

1 评价指标体系构建

GJB 20365《军事装备维修基本术语》将装备质量定义为“装备的一组固有特性满足部队作战和训练要求的程度”。装甲装备使用阶段质量是装甲装备质量的延续, 反映了装甲装备在使用过程中的使用价值和满足用户需求的程度, 具体来说是指装甲装备在使用阶段的性能、可靠性、维修性、保障性、测试性、经济性等质量特性满足部队训练和作战等不同任务剖面需求的程度。

收稿日期: 2015-04-22; 修回日期: 2015-05-20

作者简介: 刘彦(1994—), 男, 江西人, 硕士, 从事武器系统与运用研究。

装甲装备使用阶段具有使用环境复杂多变、使用人员素质差异大、任务强度变化大、维修保养状况不一等特点。根据装甲装备使用阶段的特点,装备使用阶段质量的评价指标主要可以分为:使用性能、使用可靠性、使用维修性、使用保障性、使用测试性、使用安全性、使用经济性、使用适应性。

装甲装备的使用性能反映了装甲装备在使用阶段的战斗力和完成任务的能力,主要体现在火力性能、机动性能、防护性能、指控性能。

装甲装备的使用可靠性是指装甲装备在实际的使用环境中所表现的可靠性,主要体现在使用可用度、平均故障间隔时间、储存可靠性等方面。装甲装备使用维修性主要体现在平均修复时间、小修工时、中修工时、大修工时、重要零部件更换时间等方面。装甲装备使用保障性主要体现在人力保障水平、保障设施保障率、备件供应率,保障设备保障率等方面。装甲装备使用测试性是指系统与设备能及时、准确地确定其工作状态并隔离内部故障的特性,主要体现在故障检测率、故障隔离率、虚警率、故障检测时间、故障隔离时间方面。装甲装备使用安全性关系到装备的安全以及官兵的生命安全,主要体现在装甲装备事故率上。装甲装备使用经济性反映了装备使用阶段的费用情况,体现在装备使用费用和装备维修费用方面。装甲装备使用适应性反映了装甲装备在使用阶段对环境、任务、人员的适应程度,主要体现在环境适应性和人机适应性方面。

2 基于 STT-粗糙集的综合评价方法构建

不同的作战任务需求对装甲装备使用阶段质量要求的侧重点是不同的。对于不同作战任务,可以根据任务需求评价装甲装备使用阶段质量的不同方面,比如,对于火力打击任务,更多的是考虑使用可靠性和使用维修性,对适应性和经济性等要求相对较低;对于机动突袭任务,更多的是考虑使用可靠性和使用适应性。所以,装甲装备使用阶段质量可与作战任务需求挂钩,在进行装甲装备使用阶段质量评价时,应根据不同任务需求进行装甲装备质量不同侧重点的评价。在此思想的基础上,笔者提出基于 STT-粗糙集的综合评价方法对装甲装备使用阶段进行质量评价^[4]。

2.1 基于 STT 的使用阶段质量分析思路

STT 方法是美国兰德公司提出的一种层次化作战分析框架,分析过程是从高层次军事需求着手,逐层分析直到作战任务层,最终得到装备典型任务

剖面或装备能力需求信息,其核心是根据上层需求信息分析、映射,得到下一层的属性信息^[5]。

基于 STT 方法的使用阶段质量评价的思路是:首先根据军事需求由顶层向底层逐层分解任务并确定各层任务权重,然后将质量评价指标引入底层任务层并进行评价,由底层向顶层聚合任务权重和质量评价价值,最后进行使用阶段总体质量评价。基于 STT 的质量分析流程如图 1 所示。

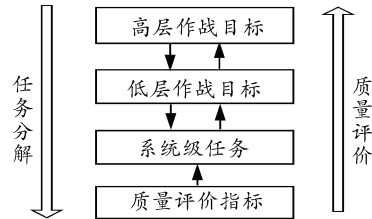


图 1 基于任务的装备质量 STT 分析流程

2.2 综合评价的方法步骤

粗糙集理论的特点是无需提供问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息便可进行数据分析,可用于去除系统冗余信息,分析知识的粗糙度、属性的重要性,生成分类或决策规则等^[6-9]。

在确定使用阶段质量 STT 分析思路的基础上,利用粗糙集属性约简原理进行评价指标约简及权重计算,其基本步骤是先建立装备使用阶段质量评价指标体系,然后运用信息熵的离散化方法对指标数据作离散化处理,并运用区分矩阵约简法进行指标约简,最后根据粗糙集指标属性重要度确定指标综合权重,并进行综合评估。具体步骤如下。

2.2.1 指标数据的离散化

给定一个样本集 S , 构建样本数据取值集合 $S_u = \{s_u | s \in S\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。其中 s_u 为 s 在连续属性 u 上的取值。

1) 对样本数据 x_i 从小到大排序, 得到新序列: x_1, x_2, \dots, x_n 。

2) 取候选分割点 T_i , 将样本集 S 划分为 2 个子集 $S_{1i} = \{s \in S | s_a \leq T_i\}$ 和 $S_{2i} = \{s \in S | s_a > T_i\}$, 逐个带入分割点 T_i , 使得划分 S 后的信息熵 $E(S, T_i)$ 最小。

其中: $T_i = (x_i + x_{i+1})/2, (i = 1, 2, \dots, n - 1)$

$$E(S, T_i) = \frac{|S_{1i}|}{|S|} E(S_{1i}) + \frac{|S_{2i}|}{|S|} E(S_{2i})$$

$$E(S_{ki}) = - \sum_{i=1}^m p_{ki} \log(p_{ki})$$

$k = 1, 2$; p_{ki} 为 x_i 在子集 S_k 中的概率, 当 $p_{ki} = 0$ 时, 取 $E(S_{ki}) = 0$ 。

3) 设定阈值 σ 和分类数 δ , 当划分后所得熵小于 δ 或达到 δ 时停止划分, 否则继续递归划分, 直到得出离散化数据分类结果。

2.2.2 指标体系的约简

在无决定属性情况下, 条件属性的约简采取区分矩阵属性约简。定义区分矩阵: $\mathbf{D} = (d_{ij})_{m \times m}$, d_{ij} 表示能区分对象 x_i 和 x_j 的评价指标集。其中:

$$d_{ij} = \{u_i \in U \mid f(x_i, a) \neq f(x_j, a)\}, d_{ji} = u_1 \vee u_2 \vee \dots \vee u_k, (d_{ij} = d_{ji})$$

条件属性约简根据区分函数:

$$f(u) = \prod_{(x_i, x_j) \in X \times X} d_{ij} \circ$$

2.2.3 指标权重确定

首先确定指标 u_i (也表征对应的属性) 对指标体系 U 的重要度 $\text{sig}_u(u_i)$, 它表示 U 中除去指标 u_i 后分辨率的提高程度。

$$\text{sig}_u(u_i) = 1 - \frac{|U|}{|U - \{u_i\}|} \quad (1)$$

其中

$$\frac{U}{\text{IND}(u_i)} = \frac{U}{u_i} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$

$$|U - \{u_i\}| = |\text{IND}(U - u_i)| \sum_{i=1}^n |X_i|^2$$

故指标 u_i 权重为

$$p_i = \frac{\text{sig}_u(u_i)}{\sum_{i=1}^m \text{sig}_u(u_i)} \quad (2)$$

2.2.4 评价值确定

运用最小二乘法处理各专家对各质量评价指标的评分, 得到相应评分值 f_{ij} , 则质量评价指标的评价值为

$$q_{ij} = p_{ij} \times f_{ij}$$

式中: f_{ij} 为处理后的专家评分值; p_{ij} 为指标权重;

q_{ij} 为质量评价指标综合评价值。

加权各指标质量评价值得到最终装甲装备使用

阶段质量评价值: $q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \circ$

3 评价应用示例

3.1 确定评价对象及因素

根据已确定的装甲装备使用阶段质量评价指标, 建立评价对象集 $A = \{\text{装甲装备使用阶段质量}\}$, 评价因素集 $U = \{\text{使用性能}(U_1), \text{使用可靠性}(U_2), \text{使用维修性}(U_3), \text{使用保障性}(U_4), \text{使用测试性}(U_5), \text{使用安全性}(U_6), \text{使用经济性}(U_7), \text{使用适应性}(U_8)\}$ 。

建立优秀、良好、一般和较差 4 个评价等级, 按百分制分别为 4 个评价等级赋值, 其中优秀 (90~100)、良好 (80~90)、一般 (70~80) 和较差 (≤ 70), 建立相应的评语集 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\text{优秀, 良好, 一般, 较差}\}$ 。

3.2 装甲装备使用阶段 STT 分析

对平原作战战役目标进行 STT 分解, 确定了进攻作战和防御作战 2 个战术目标, 进一步分解为火力打击、机动突袭、通信指控、火力反击、装甲防护和后勤保障 6 个作战任务。引入装甲装备使用阶段质量评价指标, 建立评价模型如图 2 所示。

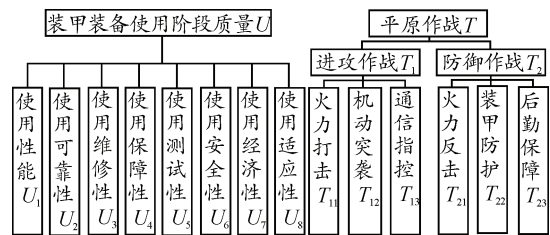


图 2 装甲装备使用阶段任务分解与质量评价

3.3 任务权重计算

邀请 8 位专家 $b_1 \sim b_8$ 对平原作战的各层任务进行权重评分, 运用 AHP 法, 判断矩阵的确定采用 1~9 的标度方法, 计算各层任务的相应权重, 并通过一致性检验, 求得各层任务的权重如表 1。

表 1 装甲装备使用阶段任务分解权重

战役目标	战术任务	权重	作战任务	权重
平原作战	进攻作战 T_1	0.568	火力打击 T_{11}	0.566
			机动突袭 T_{12}	0.325
			通信指控 T_{13}	0.109
	防御作战 T_2	0.432	火力反击 T_{21}	0.432
			装甲防护 T_{22}	0.357
			后勤保障 T_{23}	0.211

3.4 属性简约及评价值计算

根据建立的装甲装备使用阶段质量评价指标体系, 分别对一批 A 型一代坦克、B 型二代坦克和 C 型三代坦克进行分析, 选取 8 位相关领域资深专家

$X_1 \sim X_8$ 进行评分, 以“火力打击任务” T_{11} 为例, 评分如表 2 所示。

表 2 装甲装备使用阶段质量评价指标对火力打击任务影响评分

论域	型号	条件属性集								
		U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	
X_1	A	86	84	77	64	64	84	78	82	
	B	89	86	75	64	76	88	72	85	
	C	91	89	83	75	80	90	70	90	
X_2	A	88	85	84	66	55	92	79	86	
	B	90	87	84	70	80	93	78	89	
	C	93	90	80	73	88	96	83	92	
X_3	A	84	85	79	72	72	86	68	84	
	B	88	88	80	75	85	90	76	88	
	C	93	92	82	80	89	94	83	91	
X_4	A	86	88	88	58	69	88	76	86	
	B	89	90	90	83	86	90	83	90	
	C	94	93	93	88	90	94	88	95	
X_5	A	90	86	90	63	70	90	76	79	
	B	93	89	92	82	84	92	79	88	
	C	96	92	95	89	89	94	83	91	
X_6	A	92	87	83	70	64	89	78	78	
	B	95	89	88	84	78	91	80	88	
	C	97	92	90	89	88	94	85	90	
X_7	A	86	85	80	55	62	88	80	86	
	B	90	89	87	76	83	90	83	89	
	C	94	90	90	84	89	94	87	92	
X_8	A	82	76	78	59	62	92	80	90	
	B	88	85	86	79	84	94	86	93	
	C	93	89	91	88	89	96	88	97	
		C	93	89	91	88	89	96	88	97

表 3 离散化后数据

论域	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8
X_1	2	1	1	2	2	3	2	1
X_2	3	2	2	2	3	2	1	2
X_3	1	3	2	3	2	2	3	2
X_4	2	3	3	1	1	3	2	2
X_5	3	3	3	2	1	3	2	1
X_6	3	3	2	3	1	1	3	3
X_7	2	2	2	1	2	1	2	2
X_8	1	1	1	1	2	2	1	3

以 A 型坦克评分数据为例运用信息熵算法进行离散化处理, 首先将“使用性能” U_1 对“火力打击”任务的影响得分由大到小进行排序:

$$S_{11} = \{82, 84, 86, 86, 86, 88, 90, 92\}$$

分割点集为: $D = \{83, 85, 87, 89, 91\}$, 若取间隔点 $D_1 = 83$, 则离散化后的结果为 $S_{111} = \{82\}$, $S_{112} = \{84, 86, 86, 86, 88, 90, 92\}$, 信息熵为

$$E(S, D_i) = \frac{|S_{1i}|}{|S|} E(S_{1i}) + \frac{|S_{2i}|}{|S|} E(S_{2i}) = 2.1281$$

设定阈值 $\sigma = 1$, 分类数 $\delta = \log_2 8 = 3$ (取评价对象总数的对数), 当信息熵小于阈值或达到分类数时停止递归运算, 最后得到 S_{11} 离散化分类:

$$S = \{S_1, S_2, S_3\} = \{\{82, 84\} \{86, 86, 86\} \{88, 90, 92\}\}$$

将 S_1 简化为“1”, S_2 简化为“2”, S_3 简化为

“3”, 同理对其他指标进行离散化处理, 得到火力打击任务的离散化结果如表 3 所示。

由表 3 和区分矩阵的定义可以得出“火力打击 S_{11} ”的区分矩阵如表 4。

表 4 区分矩阵

U	X_1	X_2	...
X_2	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5 U_6 U_7 U_8$		
X_3	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5 U_6 U_7 U_8$	$U_1 U_2 U_4 U_5 U_7$	
X_4	$U_2 U_3 U_4 U_5 U_8$	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5 U_6 U_7$	
X_5	$U_1 U_2 U_3 U_5$	$U_2 U_3 U_5 U_6 U_7 U_8$...
X_6	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5 U_6 U_7 U_8$	$U_2 U_4 U_5 U_6 U_7 U_8$...
X_7	$U_2 U_3 U_4 U_6 U_8$	$U_1 U_4 U_5 U_6 U_7$...
X_8	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5 U_8$	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5 U_8$...

由区分矩阵可得区分函数:

$$f(S_{11}) = \prod_{(x,y) \in X \times X} d(x,y) = U_1 \vee U_2 \vee U_3 \vee U_4 \vee U_8$$

可以看出: 对于火力打击任务, “使用测试性”、“使用安全性”、“使用经济性”为冗余指标。根据约简后的指标体系 U' 及数据代入式 (1)、式 (2) 求指标的属性重要度和权重:

$$\text{sig}_u(u_1) = \text{sig}_u(u_2) = \text{sig}_u(u_4) = \frac{1}{3}$$

$$\text{sig}_u(u_3) = \text{sig}_u(u_8) = \frac{1}{5}$$

故 U_1 对“火力打击任务” T_{11} 的影响权重为

$$p_{11} = \frac{\text{sig}_u(u_1)}{\sum_{i=1}^m \text{sig}_u(u_i)} = 0.2381$$

根据表 2 数据, 运用最小二乘法求得专家对 59 坦克“使用性能” U_1 的质量评分: $f_{11} = 86.876$ 。

聚合专家对其质量状况打分得“火力打击任务” T_{11} 中“使用性能” U_1 的质量得分 $q_{11} = p_{11} \times f_{11} = 20.685$, 同理可以求得 A 型、B 型及 C 型坦克的其他质量评价指标对“火力打击任务” T_{11} 的权重及质量得分如表 5。

表 5 各质量评价指标对火力打击任务的权重及质量评价

型号	约简后指标、权重及质量						综合值
	U_i	U_1	U_2	U_3	U_4	U_8	
A	p_{11}	0.238	0.238	0.143	0.238	0.143	79.66
	q_{11}	20.69	20.13	11.77	15.09	11.99	
B	p_{11}	0.254	0.305	0.203	0.144	0.094	85.79
	q_{11}	22.92	26.82	17.31	11.03	7.71	
C	p_{11}	0.302	0.273	0.206	0.136	0.083	90.04
	q_{11}	28.35	24.81	18.28	11.32	7.28	

表6 基于 STT-粗糙集的装甲装备使用阶段质量评价

型号	权重	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	综合值
A	P_1	0.275 1	0.239 0	0.172 3	0.147 6	0.012 8	0.036 1	0	0.117 0	78.882 6
	P_2	0.205 4	0.153 0	0.193 0	0.193 0	0.021 1	0.054 0	0.042 2	0.086 5	
	P	0.245 0	0.201 8	0.181 2	0.167 2	0.016 4	0.043 8	0.018 2	0.103 8	
	q	21.253 8	17.057 1	14.926 4	10.596 3	1.061 9	3.881 8	1.399 1	8.706 2	
B	P_1	0.288 6	0.243 3	0.175 6	0.162 4	0.094 8	0	0	0.035 3	85.478 2
	P_2	0.223 1	0.166 8	0.203 5	0.203 5	0.073 2	0.023 6	0.020 9	0.085 4	
	P	0.260 3	0.210 3	0.187 7	0.180 2	0.085 5	0.010 1	0.009 0	0.056 9	
	q	23.492 1	18.480 1	16.001 4	13.807 8	7.011 2	0.919 1	0.716 6	5.049 9	
C	P_1	0.291 1	0.247 8	0.182 6	0.164 9	0.102 1	0.003 2	0	0.008 3	90.800 2
	P_2	0.233 2	0.174 6	0.210 5	0.194 3	0.100 1	0.002 1	0.002 2	0.083 0	
	P	0.266 1	0.216 2	0.194 7	0.177 6	0.101 2	0.002 7	0.001 0	0.040 6	
	q	24.980 1	20.647 2	17.133 6	14.785 2	9.171 3	0.253 8	0.083 4	3.745 6	

聚合火力打击任务对平原作战战役目标的权重及质量评价价值, 得到装甲装备使用阶段质量评价指标对各层任务的权重及其总任务下质量评价价值如表6。其中, p_i 表示相应质量指标对第 i 个战术任务的影响权重, p 为相应质量指标对平原作战总任务的权重, q 为该装备在平原作战总任务下质量评价价值。

结合 STT 任务分解和粗糙集理论得出 A 型一代坦克使用阶段质量评价价值为 78.882 6, 处于“一般”水平, B 型二代坦克使用阶段质量评价价值为 85.478 2, 处于“良好”水平, C 型三代坦克使用阶段质量评价价值为 90.800 2, 处于“优秀”水平, 符合部队装备实际。

从装备的使用测试性角度来看, A 型坦克的使用测试性评价价值较低, 反映了 A 型坦克缺乏对测试性的考虑, 不能很好地反映其质量状态, 而 B 型和 C 型坦克的使用测试性有明显改善; 从装备的使用适应性角度来看, A、B、C 型坦克的使用适应性评价价值逐渐提高, 这反映了随着装备引入先进的动力、火控、观瞄等系统或设备后使用适应性逐步提高; 从装备的使用经济性角度来看, A、B、C 型坦克的使用经济性评价价值逐渐降低, 这反映了随着装备的先进化程度的提升, 装备的使用费用和维修保障费用明显提升。还可看出: 使用性能、使用可靠性、使用维修性、使用保障性所占权重较大, 所以提高装甲装备质量应主要从这 4 个方面着手, 并在设计论证和生产的加大对装备性能、装备可靠性、装备维修性和装备保障性的考虑。

4 结束语

笔者从分析装甲装备使用阶段质量对任务影响

的角度出发, 结合 STT 法进行任务分解, 将质量评价与任务分析有机地结合在一起, 并建立了装甲装备使用阶段质量评价指标体系, 运用粗糙集理论进行了指标约简和质量评价, 对评价结果进行了贴合实际的的分析, 不仅符合装备使用实际, 而且提高了装备使用阶段质量评价的客观性。下一步的研究方向是依据装甲装备质量监控情况和装备使用阶段质量评价结果, 提高预测保障资源需求、技术手段需求的准确性, 提出装备质量管理的改进措施和方法。

参考文献:

- [1] 郭婧宜, 孙宇锋, 吴寒雪, 等. 基于 STT 与模糊 QFD 的装备质量特性分解方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(8): 1090-1095.
- [2] 曹阳, 李勇. 装备使用质量评价指标体系建立研究[J]. 国防科技, 2012, 33(4): 8-13.
- [3] Jin Ruoming, Breitbart Yuri, Muoh Chibuike. Data discretization unification[J]. Knowledge and Information Systems, 2009, 19(1): 1-29.
- [4] 李浩, 徐隆洋. 二级维修体制下装甲装备可用度评估模型研究[J]. 四川兵工学报, 2014(9): 48-49.
- [5] 李巧丽, 郭齐胜, 李亮, 等. 基于 STT/QFD 的武器装备需求分析方法研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2008, 19(4): 17-19.
- [6] 谈群, 邱涤珊, 李志猛, 等. 卫星侦察需求价值量化的改进 STT 分析方法[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(10): 59-62.
- [7] 崔凯旋, 石全, 张文宇, 等. 粗糙集理论在装备保障训练效果评估中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2012, 34(3): 129-134.
- [8] 李远远, 云俊. 基于粗糙集的指标体系优化及评价方法研究[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2010, 37(4): 411-415.
- [9] 苗夺谦, 李道国. 粗糙集理论、算法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 158-160.