

doi: 10.7690/bgzd.2015.06.016

## 基于可拓理论的装备参数聚合规则研究

于少波, 李新明, 刘东, 李强, 王寿彪  
(装备学院复杂电子系统仿真实验室, 北京, 101416)

**摘要:** 针对复杂装备参数计算、武器装备体系综合评估的问题, 提出基于可拓理论的装备参数聚合方法。通过分析现有指标聚合方法的特点, 提出基于可拓理论建立装备参数聚合规则的需求。结合可拓变换的原理和典型案例, 重点分析由装备个体到装备单元的聚合思路和方法, 同时给出不同层次聚合的多种聚合关系式, 并结合网络中心战思想, 以电子信息装备体系为例建立 8 种装备参数聚合规则。结果表明, 该研究可为武器装备体系作战能力评估提供一种新的思路。

**关键词:** 武器装备; 可拓理论; 参数聚合; 规则

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Research on Equipment Parameter Aggregation Rule Based on Extended Theory

Yu Shaobo, Li Xinming, Liu Dong, Li Qiang, Wang Shoubiao

(Science & Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

**Abstract:** In view of the questions of complex equipment parameter calculation and equipment system of systems evaluation, the equipment parameter aggregation methods are proposed based on extended theory. The demand of establishing equipment parameter aggregation rule based on extended theory is proposed by analysis the characteristics of the index aggregation. Combining with the principle of extended conversion and model cases, the ideas and methods of aggregation from equipment individual to equipment unit are analyzed, meanwhile, the relation formulas of different levels aggregation are founded, and there are 8 kinds of equipment parameter aggregation rules of electronic information equipment system of systems combined with the idea of network centric warfare is established. The results show that the research gives a new means for weapon and equipment system of systems combat capability evaluation.

**Keywords:** weapon and equipment; extended theory; parameter aggregation; rules

### 0 引言

现代战争条件下, 军事对抗的胜负不仅取决于某一种或某几种参战武器装备, 而且还取决于所有参战装备之间组合结构所表现的整体作战能力。结构不同, 则表现出的作战能力亦有差距<sup>[1]</sup>。20 世纪 90 年代以来发生的海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争、伊拉克战争及最近一次的俄格之战告诉我们, 以信息技术为核心的现代高技术正在有力地推动着世界新军事变革的步伐<sup>[2]</sup>。信息技术作为一条纽带将各组分联合起来, 从而使联合作战成为现代战争的主要样式。武器装备作战模式也逐渐由装备个体向单元级、系统级、体系级发展, 随之而来的便是面向武器装备系统、武器装备体系的评估、设计和优化等任务。因武器装备作战单元、系统和体系的结构不同, 组成复杂程度不同, 所以其表现出的作战能力也不同。作战能力是度量武器装备针对特定使命任务发挥能力大小的指标, 是研究武器装备的初衷。按照不同的划分标准, 可以将体系的组成结构划分为不同类别, 同时, 所关注的聚焦点不同,

聚合后呈现的作战能力也不同。现阶段, 应用较为广泛的解析法中典型的层次分析法采用的就是指标聚合<sup>[3-4]</sup>。指标聚合突出的好处就是将复杂问题分解成递阶分层的有序结构, 起到化繁为简的作用, 但也存在过分简化指标体系各层次之间的聚合关系, 指标聚合方式太过于单一, 只考虑加权的方式等不足<sup>[5]</sup>。随着科学技术的进一步发展, 体系的结构越来越复杂, 组分越来越多, 亟需在现有聚合关系的基础上, 改进和寻找适合当前需求的新方法。结合可拓理论形式化、可转换等特征, 在对装备知识形式化描述的基础上, 笔者针对现存聚合方法的不足, 将可拓理论中可拓变化与装备参数聚合相结合, 研究基于可拓理论的装备参数聚合规则, 从而为下一步装备体系作战能力评估服务。

### 1 可拓理论概述

可拓学是由中国学者蔡文于 1983 年提出的一门原创性横断学科<sup>[6]</sup>, 它以形式化模型, 探讨事物拓展的可能性和开拓创新的规律与方法, 并用于解决矛盾问题。经过 30 余年的发展, 可拓理论(可拓

收稿日期: 2015-03-02; 修回日期: 2015-04-13

基金项目: 部委级基金资助项目资助; 实验室基础研究项目资助

作者简介: 于少波(1990—), 男, 内蒙古人, 在读硕士, 从事数据可视化、装备体系评估研究。

学理论的简称)已初步确定了包括基元理论、可拓集理论和可拓逻辑在内的3大核心模块,并建立了以他们为支柱的可拓理论框架。

基元是可拓理论的逻辑细胞,是物元、事元和关系元的统称,由三元结构表示。基元把事物的质与量、动作与关系的相应特征分别统一在一个三元组中,基元的可拓性对事物开拓的可能性进行了全面分析,从不同角度比较完整地研究了事物的结构。可拓变换是可拓学中采用的变换的统称,其核心思想是把一个对象变换成另一个对象或分解为若干对象。可拓变换既包括积变换、与变换、或变换和逆变换等基本变换,也包括增加、减少、扩大和缩小等一般变换。

可拓学诞生后,从中国逐步走向了世界,海外的学术刊物、国际会议论文集陆续发表了一批研究成果。30年来,来自美国、印度、德国、罗马尼亚、委内瑞拉和日本等多国学者积极参与到可拓学的研究中来,形成了国际可拓学科学共同体<sup>[7]</sup>。截止到目前,可拓论、可拓创新方法与信息科学、工程科学、管理科学等的交叉融合,使可拓理论在很多领域得到广泛应用。引入可拓理论,进行效能评估<sup>[8]</sup>、力量评定<sup>[9]</sup>、毁伤评估<sup>[10]</sup>和模型设计<sup>[11]</sup>等已有部分成功的应用。

理论和技术的发展,最终落脚点将聚集在工程应用上,借鉴可拓理论在知识表示、数据挖掘和控制等领域的成功应用,将可拓理论中相关原理用于装备参数聚合规则的建立是文中研究的主要内容。

## 2 装备数据分析

武器装备数据(简称装备数据)作为一种可以记录、通信和识别的符号,它通过有意义的组合来表达武器装备的特征,是承载武器装备信息的载体,是对武器装备的性质、状态等描述并记载的物理符号。任何武器装备从其立项论证到研制生产,再到训练使用,直至退役报废的全寿命过程中,都会产生大量的数据。装备数据根据不同的分类标准,被划为不同类型。然而,在实践中无论哪一种分类方法都不能完全适用于所有应用场合,下面给出2种数据分类方式,如图1所示。

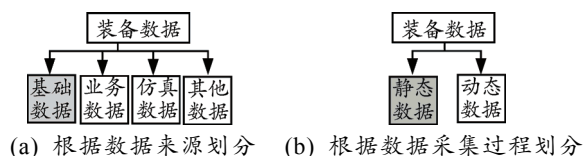


图1 装备数据的分类

如图1所示,(a)图是根据装备数据来源进行划

分,可分为基础数据、业务数据、仿真数据和其他数据;(b)图是根据装备数据采集过程划分,可分为静态数据和动态数据。

图1中深色部分,也即基础数据和静态数据是进行武器装备体系作战能力评估中主要用到的数据。其中基础数据是指装备的基础性数据资源,主要包含装备的技术参数和性能指标等。典型的基础数据包括炮弹的射程、步兵战车最大行程、潜艇的续航里程、机枪的弹夹容量、雷达的探测半径、航空母舰的吃水深度等。

静态数据是指对于特定的装备来说固定不变的数据,如对装备型号、归属的描述数据等,也包含上述基础数据中涉及到的技术参数和性能指标等数据。为了便于实现基于数据的武器装备体系作战能力评估,必须从大量的装备数据中提炼出可用于装备参数聚合的数据,在此基础上进行后续研究工作。

## 3 装备参数聚合规则

参数,字面上可理解为可供参考的数据,但有时又不完全是数据。装备参数指装备性能参数、战技指标等基础性数据资源的统称,为便于行文中的描述与表达,笔者用装备参数统一代称。通过分析武器装备体系的结构特征,笔者将武器装备体系划分为4个层次,即武器装备体系、武器装备系统、武器装备单元和武器装备个体。武器装备个体的有机结合形成武器装备作战单元;武器装备单元的有机结合形成武器装备系统;武器装备系统的有机结合形成武器装备体系,这其中是环环相扣、息息相关的。而涉及到最底层的用来衡量某武器装备个体能力的便是其基础性数据资源,即装备参数。

可拓理论中的可拓变换的概念和内容上节中已有叙述。在装备参数聚合过程中,以不同的方式聚合,得到的结果是不确定的,即可变的,这就是本文中运用可拓理论的初衷,故笔者在下文中将可拓变换的思想和内容融到具体的聚合规则的建立中,并未单独说明。文中设计的装备参数聚合规则既包括由装备个体到作战单元、由作战单元到装备系统的聚合关系,又包括由装备系统到装备体系的聚合规则,下面分别叙述。

### 3.1 聚合关系

首先以一个实例来引入对武器装备聚合关系的研究。例如,将某主战坦克看作为一个武器装备作战单元,则装载在该主战坦克上的高射机枪  $R_{gun}$  可以作为组成其的一个武器装备个体,决定  $R_{gun}$  作战能力的装备参数形式化描述如下所示:

$$R_{\text{gun}} = \begin{pmatrix} \text{某型高射机枪, 口径, 14.5 mm} \\ \text{弹夹容弹量, 80发} \\ \text{战斗射速, 600发 / min} \\ \text{有效射程, 1 000 m} \\ \dots \dots \end{pmatrix}$$

而该高射机枪  $R_{\text{gun}}$  的作战能力则由这些参数按照不同的权重进行聚合而得。

同时, 该主战坦克作为一个装备单元, 其作战能力由机动能力、防护能力和打击能力共同决定, 其形式化描述如下:

$$\begin{pmatrix} \text{某型主战坦克作战能力, 机动能力, } C_{\text{mot}} \\ \text{防护能力, } C_{\text{live}} \\ \text{打击能力, } C_{\text{fire}} \end{pmatrix}$$

而机动能力、防护能力和打击能力对应的装备参数形式化描述如下:

$$\begin{pmatrix} \text{某型主战坦克机动能力, 最大速度, } X_1 \\ \text{最大行程, } X_2 \\ \text{发动机最大输出功率, } X_3 \\ \text{从静止到最大时速时间, } X_4 \\ \text{某型主战坦克防护能力, 光电对抗装置, } X_5 \\ \text{复合装甲厚度, } X_6 \\ \text{防弹外形结构, } X_7 \\ \text{某型主战坦克杀伤能力, 125 mm滑膛炮, } X_8 \\ \text{自动装弹机, } X_9 \\ \text{12.7 mm高射机枪, } X_{10} \\ \text{7.62 mm并列机枪, } X_{11} \\ \text{火控系统, } X_{12} \end{pmatrix}.$$

通过将上述  $X_i (i=1,4,\dots,12)$  通过一定的公式加权聚合, 就能实现基于数据的作战能力的评估。

结合实例, 列举了从武器装备个体到武器装备单元聚合的基本步骤和思路, 其中涉及到装备参数归一化和无量纲化处理的内容, 已有大量的研究和成熟案例<sup>[12]</sup>, 文中不做详细探讨。下面将结合前人<sup>[1,5]</sup> 工作成果, 根据文中对装备层次的划分, 结合可拓理论对装备参数聚合关系式做系统梳理和完善。

### 3.1.1 装备个体聚合关系

针对单个装备的聚合关系, 采用如下所示的 3 种处理方法。

#### 1) “或”关系, 也即加权和。

装备下层能力以不同权重聚合到上层能力上, 从而体现出上层的整体能力, 但是下层各种能力不是不可或缺, 而是可有可无。

$$C_{\text{whole}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i C_{\text{individual}-i} \quad (1)$$

式中:  $C_{\text{whole}}$  表示聚合后装备单元的作战能力;  $C_{\text{individual}}$  表示装备个体的能力;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_i, \dots, \alpha_n$  分别表示各种单个能力在聚合成整体能力时所占的比重, 且  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ 。

#### 2) “与”关系, 也即加权积。

装备下层能力以不同权重聚合到上层能力上, 从而体现出上层的整体能力, 但下层各种能力是不可缺少的, 只要有一项没有满足, 则整体能力为零。

$$C_{\text{whole}} = \prod_{j=1}^m C_{\text{individual}-j}^{\beta_j} \quad (2)$$

式中:  $C_{\text{whole}}$  表示聚合后装备单元的作战能力;  $C_{\text{individual}}$  表示装备个体的能力;  $\beta_j (j=1, \dots, m)$  分别表示各种单个能力在聚合成整体能力时所占的比重, 且  $\sum_{j=1}^m \beta_j = 1$ 。

#### 3) “与”和“或”并存。

现实中, 随着装备结构的复杂程度增加、装备功能的多样化, 装备下层能力以不同权重聚合到上层能力上, 从而体现出上层的整体能力, 但是下层各种能力有的是不可缺少, 只要有一项没有满足则整体能力为零, 有的是可有可无。所以应将上述 2 种关系综合考虑, 其聚合关系式为

$$C_{\text{whole}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \prod_{j=1}^m C_{\text{individual}-j}^{\beta_j} \quad (3)$$

式中:  $C_{\text{whole}}$  表示聚合后装备单元的作战能力;  $C_{\text{individual}}$  表示装备个体的能力;  $\alpha_i, \beta_j (i=1, \dots, n; j=1, \dots, m)$  分别表示各能力在聚合成整体能力时所占的比重, 且  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$  和  $\sum_{j=1}^m \beta_j = 1$ 。

### 3.1.2 装备单元聚合关系

#### 1) 多个同种装备聚合。

武器装备体系的作战能力不仅与武器装备本身所具有的能力有关, 而且与武器装备的数量也有关系。然而, 不能直接将武器装备实体的作战能力指数与装备的数量简单地做乘积, 这样就涉及到装备数量与装备能力的关系, 为此, 笔者结合现实情况, 将二者关系归纳为以下 3 种, 并给出相应的聚合关系式。

#### ① “正”相关关系。

这种关系可以理解为随着装备数量的增加, 装备单元的作战能力也在扩大。现实情况下, 不同能力随着装备数量的增加, 其作战能力扩大的幅度是

不尽相同的，有的幅度大，有的幅度小，这就涉及到一个折合的问题。目前用到的主要有乘法法和幂指数法，乘法法认为装备数量与能力是线性关系；幂指数法认为装备数量与能力是 Lanchester 平方律关系。文中选择乘法法进行聚合关系式的表示如下：

$$C_{\text{whole}} = n \cdot d \cdot C_{\text{individual}} \quad (4)$$

式中： $C_{\text{whole}}$  表示  $n$  件该装备聚合后的总能力； $C_{\text{individual}}$  表示某型装备的作战能力； $d$  (取值(0,1]) 表示此型装备的折合系数； $n$  表示此型装备的数量。

② “负”相关关系。

这种关系可以理解为随着装备数量的增加，装备单元的作战能力也在缩小。现实情况下，不同能力随着装备数量的增加，其作战能力缩小的幅度是不尽相同的，有的幅度大，有的幅度小，同样涉及到一个折合的问题。最简单的如装备的通信能力、互操作能力等，为此，建立下式聚合式：

$$C_{\text{whole}} = \frac{1}{\sqrt[k]{n}} \cdot C_{\text{individual}} \quad (5)$$

式中： $C_{\text{whole}}$  表示  $n$  件该装备聚合后的总能力； $C_{\text{individual}}$  表示某型装备的作战能力； $n$  表示此型装备的数量； $k$  表示负相关程度，取值越大，表示负相关程度越低。

③ “不”相关关系。

这种关系指对于这类装备的该种能力而言，装备数量对其没有直接的影响，也即无关的。

$$C_{\text{whole}} = C_{\text{individual}} \quad (6)$$

式中： $C_{\text{whole}}$  表示  $n$  件该装备聚合后的总能力； $C_{\text{individual}}$  表示某型装备的作战能力。

2) 多种装备聚合。

在现实情况下，多个装备个体在组合成为装备单元的过程中，其各自的能力不是简单的叠加，有的能力可能扩大，有的能力可能缩小，也可能涌现出新的能力，所以就涉及到多种装备聚合的问题。假设某作战单元由多种装备个体聚合而成，这些装备都提供某能力  $C$ ，分别用  $C_i (i=1,2,\dots,n)$  表示，且  $C_{\text{whole}}$  表示聚合后的装备单元的整体能力，下面将分几种情况来讨论，并给出其聚合关系式。

① 表示  $n$  种装备合成的能力  $C_{\text{whole}}$  是由这  $n$  种装备中该种能力最大的那种装备决定的，其聚合关系式为

$$C_{\text{whole}} = \max\{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (7)$$

② 表示  $n$  种装备合成的能力  $C_{\text{whole}}$  是由这  $n$  种装备中该种能力最小的那种装备决定的，其聚合关系式为

$$C_{\text{whole}} = \min\{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (8)$$

③ 表示  $n$  种装备合成的能力  $C_{\text{whole}}$  是由这  $n$  种装备的该种能力加和后共同决定，其聚合关系式为

$$C_{\text{whole}} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (9)$$

④ 表示  $n$  种装备合成的能力  $C_{\text{whole}}$  是由这  $n$  种装备的该种能力运算后共同决定，其聚合关系式为

$$C_{\text{whole}} = \bigcup_{i=1}^n C_i \quad (10)$$

⑤ 表示  $n$  种装备合成的能力  $C_{\text{whole}}$  是由这  $n$  种装备的该种能力综合值共同决定，其聚合关系式为

$$C_{\text{whole}} = K\{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (11)$$

以上几种情况仅是一部分，现实中不仅仅只有这么几种，丰富和完善类似的聚合关系式也是今后的重要内容。

3.1.3 装备系统聚合关系

根据钱学森院士对系统的定义，武器装备系统指相互作用、相互依赖的若干武器装备结合而成的具有特定功能的有机整体。结合以上对武器装备个体、武器装备单元聚合关系的研究，定义以下符号：

$C_{\text{system}}$ ：某武器装备系统整体能力； $C_{\text{individual}}$ ：某武器装备个体底层输入能力； $F_{\text{individual}-i} (i=1,2,3)$ ：单个装备聚合关系式； $F_{\text{congener}-j} (j=1,2,3)$ ：多个同种装备聚合关系式； $F_{\text{variety}-k} (k=1,2,3,4,5)$ ：多种装备聚合关系式。

所以武器装备系统综合聚合公式为

$$C_{\text{system}} = F_{\text{variety}-k} \left( \sum_{\varepsilon=1}^n F_{\text{congener}-j} (\alpha_{\varepsilon} \prod_{\eta=1}^m F_{\text{congener}-j} (F_{\text{individual}-i} (C_{\text{individual}-\eta}^{\beta_{\eta}})^{\chi^k})^{\delta_1})^{\varphi_r})^{\phi_t} \right) \quad (12)$$

式中各权重值  $\alpha_{\varepsilon}$ ,  $\beta_{\eta}$ ,  $\chi^k$ ,  $\delta_1$ ,  $\varphi_r$ ,  $\phi_t$  各自的加权和为 1。

上述通过从个体、单元和系统 3 个层次，结合可拓变换建立了 12 个聚合关系式，其中式 (12) 仅代表装备系统聚合的综合公式，比较粗糙，在实际运算中要结合实例具体分析。

3.2 聚合规则

现代战争更多地强调体系之间的对抗，武器装备的发展越来越呈现出复杂化、体系化的特征。体系是复杂巨系统，研究武器装备体系的作战能力，从分析其结构特征着手，通过分析不同组合结构，从而可以确定影响体系作战能力的关键因素。只有客观评估装备体系作战能力，分析影响其的关键环节，才能优化体系结构，实现装备体系作战能力的倍增，为作战方案的制定提供体系能力方面的指导。

结合“网络中心战”的思想,为便于实现案例分析,简化运算步骤和运算量,笔者依据电子信息装备体系角度出发,将典型武器装备体系组成结构划分为信息感知(包括预警探测和情报侦察)、指挥控制、军事通信、火力打击和导航定位 5 大模块,在此基础上建立以下聚合规则,现将各部分分别定义其符号表示。

1) 信息感知用 IP (information-perception) 表示; 2) 指挥控制用 CC (command-control) 表示; 3) 军事通信用 MC (military-communication) 表示; 4) 火力打击用 FS (firepower-strike) 表示; 5) 导航定位用 NP (navigation-position) 表示。

同时,  $S_j (j=1,2,\dots,8)$  表示某体系;  $\{e_i\}$  表示该体系的组成结构;  $e_i$  表示该体系中的元素,其中,  $e_i$  的取值范围为 (IP, CC, MC, FS, NP)。

因武器装备体系是战争体系的一部分,是面向使命任务的,目的是打赢现代信息化战争,故默认包含信息感知 (IP)、火力打击 (FS) 部分。信息感知 IP 是探测监视敌方各目标的活动规律和动态,火力打击 FS 是对敌方进行摧毁,基于此建立如下规则:

通过信息感知发现敌方后进行火力打击,分为是否通过指挥控制中心来下达作战命令,分别建立规则 1、2。

规则 1:  $S_1 = \{IP, FS\}$ ;

规则 2:  $S_2 = \{IP, CC, FS\}$ 。

在规则 1、2 的基础上,为了增强信息传递的效率,增加军事通信模块,从而确保更高效的攻击敌方目标,建立规则 3、4。

规则 3:  $S_3 = \{IP, MC, FS\}$ ;

规则 4:  $S_4 = \{IP, MC, CC, FS\}$ 。

在规则 1、2 的基础上,为了增强火力打击的准确性,增加导航定位模块,从而确保更准确的攻击敌方目标,建立规则 5、6。

规则 5:  $S_5 = \{IP, NP, FS\}$ ;

规则 6:  $S_6 = \{IP, CC, NP, FS\}$ 。

在规则 1、2 的基础上,为了增强信息传递的效率、增强火力打击的准确性,增加军事通信和导航定位模块,从而确保更高效、准确的攻击敌方目标,建立规则 7、8。

规则 7:  $S_7 = \{IP, MC, NP, FS\}$ ;

规则 8:  $S_8 = \{IP, CC, MC, NP, FS\}$ 。

需要注意的是,规则 8 已包含了信息感知、指挥控制、导航定位、军事通信和火力打击全部模块,

是实现网络互联、信息共享和业务互操作的信息化战争发展的终极目标。

本节从武器装备体系结构入手,将其划分为 4 层结构,4 层结构也代表着武器装备体系一步步发展的阶段。将自顶向下 (top-down), 自下而上 (bottom-up) 分析思路相结合,为研究武器装备体系结构、建立参数聚合规则,最终进行武器装备体系作战能力评估提供了新的思路。

## 4 结束语

随着国防科技的发展,高技术装备与信息化装备成为未来作战的主要组成部分,战争对装备的需求也使得各种装备之间的关系更加错综复杂。笔者将可拓理论引入并在形式化描述装备数据的同时,通过分析和继承已有聚合关系,拓展和完善相应的聚合关系式。结合网络中心战思想提出了装备参数聚合规则,同时也提供了一种新的分析武器装备体系作战能力的思路。文中所示的聚合关系式和聚合规则只是其中一部分。结合典型案例,丰富和完善聚合关系式,准确建立聚合规则是课题组下一步研究的重点内容。

## 参考文献:

- [1] 赵相安, 蒋志平, 黄新生. 武器装备体系作战能力综合分析框架[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(7): 7-10.
- [2] 于大清. 联合作战全景解析[M]. 北京: 中国发展出版社, 2011: 143-148.
- [3] 吴智辉, 张多林. AHP 法评估地空导弹武器系统效能[J]. 战术导弹技术, 2003(4): 8-12.
- [4] 孙金标. 作战飞机作战能力的量化评估研究[J]. 飞行力学, 1999, 17(4): 1-5.
- [5] 罗鹏程, 付攀峰, 周金伦. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1): 72-75.
- [6] 蔡文. 可拓集合和不相容问题[J]. 科学探索, 1983(1): 1-16.
- [7] 杨春燕, 蔡文. 可拓学[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 17-18.
- [8] 曹会智, 杨建鹏, 周远进, 等. 基于可拓理论的车辆装备维修保障系统效能评估研究[J]. 军事交通学院学报, 2008, 10(2): 39-41.
- [9] 阎连新, 杨超, 单长华. 基于可拓理论的装备合同商保障力量评定模型[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(9): 39-42.
- [10] 孙江, 张海鹰, 张新春. 基于可拓集方法的导弹毁伤评估[J]. 战术导弹技术, 2012(6): 32-37.
- [11] 孙佰清, 邢爱国, 张积宾, 等. 可拓神经网络模型的设计与实现[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(7): 1156-1159.
- [12] 胡剑文. 武器装备体系能力指标的探索性分析与设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 14-17.