

# 控制与决策

Control and Decision

## 面向使命任务的武器装备体系能力规划方法

乔浩, 战仁军, 林原

引用本文:

乔浩, 战仁军, 林原. 面向使命任务的武器装备体系能力规划方法[J]. *控制与决策*, 2020, 35(8): 2042–2048.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1411>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 基于突发事件的任务计划动态调整模型及算法

Dynamic task plan adjustment model and algorithm based on battlefield emergencies

*控制与决策*. 2020, 35(5): 1052–1062 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1096>

### 关节锁定空间机械臂负载操作能力评估与轨迹规划

Load carrying capacity evaluation and task trajectory planning of space manipulator with the locked joint

*控制与决策*. 2020, 35(1): 243–249 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0563>

### 基于入侵杂草蝙蝠双子群优化的装备保障编组协同任务规划

Cooperative task scheduling for equipment support groups using invasive weed bat dual-subpopulation optimization algorithm

*控制与决策*. 2019, 34(7): 1375–1384 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1729>

### 装备精确保障任务规划建模与混沌蝙蝠算法求解

Task scheduling modeling and chaotic bat algorithm solving method of equipment efficient support

*控制与决策*. 2018, 33(9): 1625–1630 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0546>

### 基于前景理论的区间直觉模糊双向投影决策方法

Bidirectional projection method with interval-valued intuitionistic fuzzy information based on prospect theory

*控制与决策*. 2016, 31(6): 1143–1147 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0590>

# 面向使命任务的武器装备体系能力规划方法

乔浩<sup>1,2</sup>, 战仁军<sup>1†</sup>, 林原<sup>1</sup>

(1. 武警工程大学 装备管理与保障学院, 西安 710086; 2. 武警内蒙古自治区总队, 呼和浩特 010010)

**摘要:** 武器装备体系 (weapon system of systems, WSoS) 能力规划是武器装备体系研究的重要内容. 履行使命任务时, 可出动的兵力以及携行可支撑能力的武器装备数量是有限的, 对此, 提出一种基于效能价值的武器装备体系能力规划方法. 统筹考虑作战中各项任务能力需求, 结合支撑不同能力的武器装备与相应装备数量之间的关系, 快速给出不同规模部队的的能力规划方案. 以使命任务为牵引, 分析能力需求, 建立归一化作战能力效能模型; 基于前景理论 (prospect theory), 给出考虑风险因素的作战能力效能价值函数; 以装备单位数量为约束变量, 构建基于效能价值的体系能力规划模型, 对其求解可得出使体系效能价值最大的武器装备能力规划方案. 最后, 以武警部队担负的反恐处突作战任务为例, 验证所提出方法的可行性和有效性.

**关键词:** 武器装备体系; 面向使命任务; 能力规划; 前景理论; 能力需求; 效能价值

中图分类号: E917; TP311

文献标志码: A

## Mission oriented capability planning method for weapon system of systems

QIAO Hao<sup>1,2</sup>, ZHAN Ren-jun<sup>1†</sup>, LIN Yuan<sup>1</sup>

(1. College of Equipment Management and Support, Armed Police Force Engineering University, Xi'an 710086, China; 2. Armed Police Force Inner Mongolia Corps, Hohhot 010010, China)

**Abstract:** Capability planning of weapon system of systems (WSoS) is an important part of the WSoS research area. The number of troops that can be dispatched and the ability to carry weapons are limited in mission fulfillment. Therefore, a capability planning method based on the effectiveness value of WSoS is proposed. Using the method, the capacity planning solutions for troops of different sizes can be quickly found by considering the capability requirement of various tasks in combat, and the relationship between the weapon equipment supporting different capabilities and their number. Focusing on the missions and analysing their capability requirement, a normalized combat capability effectiveness model is established firstly. Then, based on prospect theory, the effectiveness function of combat capability considering risk factors is proposed. Furthermore, the WSoS capability planning model based on effectiveness value are built under the constrain of risks and number of weapon units, the capability planning solution can be obtained with the maximum effectiveness value of WSoS. Finally, armed police force's anti-terrorism mission is analyzed as a example to verify the effectiveness and feasibility of the proposed method.

**Keywords:** weapon system of systems (WSoS); mission oriented; capability planning; prospect theory; capability requirement; effectiveness value

## 0 引言

武器装备体系是指在一定的战略指导、作战指挥和保障条件下, 为完成一定作战使命, 而由功能上相互联系、相互作用的各种武器装备系统组成的更高层次的系统<sup>[1]</sup>. 研究武器装备体系主要有基于威胁 (threat-based)、基于威慑 (deterrence-based)、基于场景 (scenario-based)、基于能力 (capability-based)<sup>[2]</sup>等方法. 目前, 基于能力的方法逐渐取代了其他几种方法, 已成为指导武器装备体系建设的主要方法<sup>[3]</sup>. 能力是在指定需求 (条件和性能标准) 下, 通过不同手段和使

用方式的组合来实施一组关键任务, 达到预期目标或结果的持续本领<sup>[4-5]</sup>. 基于能力的规划 (capability based planning, CBP) 是在面向使命任务分析能力需求的基础上, 综合多种因素进行多维规划, 获取武器装备体系能力规划方案, 避免处理需求时因侧重分析某一特定约束或者风险条件而带来的局限性.

目前, 基于能力的武器装备体系规划方法研究主要集中于多属性权衡空间探索方法 (multi-attribute tradespace exploration, MATE)<sup>[6-7]</sup>、多学科优化设计方法 (multidisciplinary design optimization, MDO)<sup>[8-9]</sup>、数

收稿日期: 2018-10-19; 修回日期: 2019-02-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61502534, 71401178, 71401179); 装备军内科研项目 (WJ20182A030051).

†通讯作者. E-mail: zrwenzhang007@163.com.

学规划方法<sup>[10-18]</sup>等,其中,数学规划方法在处理大规模的体系优化问题时求解速度较快,适合于实时性要求高的场合,在武器装备体系规划中得到了广泛应用.文献[11]将能力规划问题建立为一个考虑进度、成本和风险的多目标优化问题模型;文献[12]将规划时间和规划成本作为优化目标,建立了武器装备体系能力规划的多目标优化模型;文献[13]针对武器装备体系组合规划问题中存在多类相互冲突的高维多目标问题,提出了一种三阶段的集成优化决策方法;文献[14]在考虑风险的情况下,以费用为优化变量,建立了基于期望效能的能力规划模型.上述研究均以装备发展规划为目标,未考虑装备数量问题.文献[15-16]建立了从军事能力到系统项目的双层规划模型,并提出三维概率选择矩阵算法提高求解效率,研究最佳项目选择和最优能力方案,但同样未考虑装备数量问题.文献[17]构建了技术与体系能力关系模型,研究采取不同技术发展策略实现对体系能力的规划.文献[18]建立了以费用为约束条件,考虑能力饱和、非饱和情况的装备体系能力模型,用于计算满足能力需求的系统最佳数量,但其能力需求未考虑任务牵引因素,体系能力随装备数量变化趋势简单且单一,难以描述多样化能力与种类繁多的装备之间的关系.

履行使命任务时,需要考虑如何针对任务需求统筹出动的兵力以及携行武器装备的能力等因素,结合支撑不同能力的武器装备与相应装备数量之间的关系,快速规划出大规模装备体系的能力方案.因此,本文以使命任务需求为牵引,以装备单位数量为优化变量,兼顾风险因素,建立面向使命任务的装备体系效

能价值模型,实现对武器装备体系能力的规划.

## 1 面向使命任务的武器装备体系能力需求分析

武器装备体系能力需求分析是针对所面临的作战场景和作战使命,将使命任务分解为一系列作战任务,而后通过能力需求分析过程获得完成各项作战任务的能力需求.

1) 使命任务需求分析.使命任务需求分析是在多样化的作战背景下分析实现作战目标的核心作战任务组成及其要求,提出与装备相关的作战任务需求.首先采用基于 IDEF0 活动分解的方法<sup>[19-20]</sup>分析核心使命任务,自顶向下逐层分解作战任务,分解的最小粒度为装备单元,便于由作战任务提出装备能力需求;然后确定作战任务之间的关系及作战节点,明确作战节点的具体作战行动,依据作战任务的层次性和关联性,对作战任务进行分类与集成,形成作战任务和作战行动清单,并提出完成指标.

2) 进行作战能力需求分析.作战能力需求分析是对作战任务与作战能力进行关联分析,根据任务要求提出装备作战能力指标需求方案.首先,结合专家知识、作战规律以及历史数据构建能力库,作为使命任务需求到能力需求分析的知识库;然后,确定映射规则,建立作战“任务清单-能力库”之间的映射关系,得到各层次作战任务及作战行动的能力需求指标;最后,利用层次分析法、网络层次分析法、主客观组合赋权法等方法,获取作战任务重要度和作战能力重要度参数.

整个分析框架如图1所示.

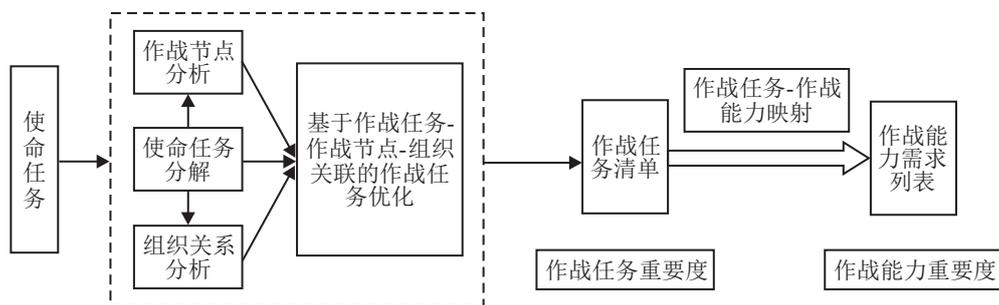


图1 面向使命任务的武器装备体系能力需求分析框架

## 2 效能模型及效能价值

### 2.1 作战能力的效能模型

武器装备体系结构组成从高到低通常可以分为体系级、系统级、平台级和单元级,因此,作战能力指标的聚合涉及同层次之间以及不同层次之间的聚合.能力与能力之间的关系可以概括为泛化关系、聚合关

系和组合关系,其中泛化关系和聚合关系在许多能力分析中得到了应用,其体系能力模型为

$$y = \sum_j w_j C_j. \tag{1}$$

其中:  $C_j$  为第  $j$  个能力,  $w_j$  为第  $j$  个能力所占权重.在能力需求分析中,往往使用能力的绝对数值.直接使

用模型(1)会受到能力值取值范围的影响,因此本文对其进行修正,给出能力归一化的效能模型

$$e = \sum_j w_j \frac{C_j - C_j^l}{C_j^u - C_j^l}, \quad (2)$$

其中  $C_j^l$  和  $C_j^u$  分别为满足第  $j$  个作战能力需求的最低值和最高值,从而避免了不同能力取值范围差异对效能的影响。

## 2.2 效能的价值函数

决策者通常希望支持使命任务的装备体系效能值越大越好,但受限于约束条件,当体系效能值最大时,不是所有作战任务的规划效能值都能达到期望值.文献[21]提出了面向能力重要度的权重模型、基于 minmax 的鲁棒决策模型、方差最小模型等多种评估能力的效能函数,用来解决存在约束时的效能评价决策问题.前景理论<sup>[22]</sup>提出利用价值函数评价最终数据与“参照点”数据的相对变化.价值函数定义为

$$V(x) = \begin{cases} (x - x_0)^\alpha, & x - x_0 \geq 0; \\ -\lambda(x_0 - x)^\beta, & x - x_0 < 0. \end{cases} \quad (3)$$

其中:  $0 < \alpha \leq 1$ ,  $0 < \beta \leq 1$  是风险厌恶系数,一般而言  $\alpha \leq \beta$ ;  $\lambda > 1$  为损失厌恶系数,是期末财富;  $x_0$  为目标参照点,可以是决策者根据当前的实际数据在一定的限制和预期条件下试图获取的某个希望水平.从函数的图形上看,价值函数整体呈现 S 型,在  $x - x_0 \geq 0$  的正半段(“收益”段)上凸,负半段(“损失”段)下凹,向两端发展时,曲线斜率呈递减趋势,且损失段的变化率大于收益段的变化率,对风险更为敏感.利用该函数作为效能的价值评价函数,可以更好地兼顾风险性,更加符合实际<sup>[14]</sup>.因此,本文利用价值函数进行效能评估,效能价值表示为

$$V_i(e_i) = \begin{cases} (e_i - e_i^0)^\alpha, & e_i \geq e_i^0; \\ -\lambda(e_i^0 - e_i)^\beta, & e_i < e_i^0. \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $e_i$  为第  $i$  个任务的实际效能值,  $e_i^0$  为期望效能值.对于不同的作战任务,效能价值函数里的可调参数  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\lambda$  根据实际情况确定.使命任务由一系列作战任务构成,因此,使命任务的效能价值取决于各个作战任务的效能价值及其在使命任务中的重要度.本文假设各个任务之间是并联关系,则使命任务的体系效能价值可以表示为对各作战任务的效能价值加权求和,即

$$Vs(e) = \mathbf{a}^T \mathbf{V}(e) = \sum_{i=1}^M a_i V_i(e_i). \quad (5)$$

其中:  $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_M)^T$  为作战任务效能向量;  $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_M)^T$  为作战任务的权重向量,  $a_i$  为

第  $i$  个任务在整个使命任务中所占的权重,且  $\sum_i a_i = 1$ ;  $\mathbf{V}(e) = (V_1(e_1), V_2(e_2), \dots, V_M(e_M))^T$  为作战任务效能价值向量.由各作战任务的规划效能值构成的期望效能向量  $\mathbf{e}^0 = (e_1^0, e_2^0, \dots, e_M^0)^T$  是分析效能的关键参数,应通过专家对作战使命、目标特性、作战环境、技术水平、系统结构等各方面分析,综合给出期望效能值。

## 3 基于效能价值的的能力规划模型

履行使命任务时,需要考虑如何发挥生产装备的最大效能,此时费用和时间不是主要制约因素,而可出动的兵力、携行可支撑能力的武器装备数量是有限的.一般在编配装备时,是以建制单位(如班、排、连)进行规划的,因此,以建制单位的装备数量(简称装备单位数量)为约束变量,在装备总数量一定时,优化能力方案,使武器装备体系效能价值最大化成为面向使命任务的体系能力规划的根本问题.因此,可将基于效能价值的武器装备体系能力规划问题描述为:以使命任务需求为牵引,在满足装备单位数量、风险等约束的基础上,以期望效能价值为参考点,提出武器装备体系能力规划方案,使体系总效能价值最大化,以更好地履行使命任务。

武器装备单位数量对能力的推动与经费对能力的作用相类似,其函数图形均为 S 形单调递增曲线.但是二者也存在明显差异,当装备数量为零时,其支持的能力也为零,故采用 Chi 方累积分布函数作为能力与装备单位数量的模型,其函数形式为

$$C_i(n_i) = U_i \int_0^{sc_i n_i} \frac{t^{(v-2)/2} e^{-t/2}}{2^{v/2} \Gamma(v/2)} dt. \quad (6)$$

其中:  $U_i$  为上限因子,表示遂行使命任务时能力  $C_i$  的最大可能取值;  $sc_i$  为增速因子;  $v$  为自由度.  $sc_i$  可以调节  $C_i$  随  $n_i$  变化曲线的陡峭程度,  $v$  控制  $C_i$  随  $n_i$  变化的总体趋势.通过调整  $sc_i$  和  $v$ ,可以灵活描述各种能力与装备单位数量之间的关系。

装备单位数量  $n_i$  随能力  $C_i$  变化的曲线更方便表达约束关系,由于式(6)为单调函数,可以表示为

$$n_i = \frac{1}{sc_i} F^{-1} \left( \frac{C_i}{U_i} \middle| v \right) = \left\{ \frac{1}{sc_i} x : F(x|v) = \frac{C_i}{U_i} \right\}, \quad (7)$$

其中

$$F(x|v) = \int_0^x \frac{t^{(v-2)/2} e^{-t/2}}{2^{v/2} \Gamma(v/2)} dt.$$

效能价值最大化与装备单位数量受限是一对相互制约的矛盾,能力规划就是在兼顾风险的基础上,

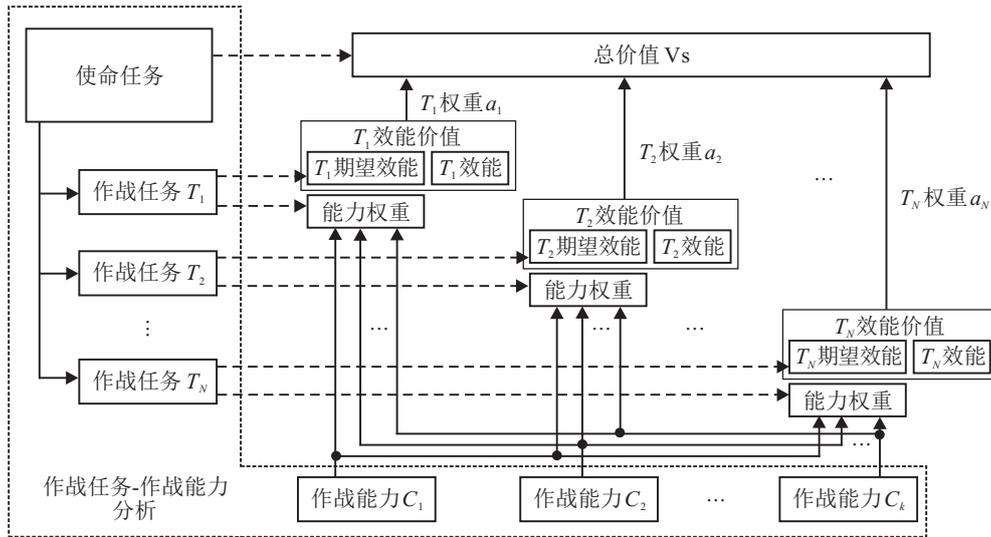


图2 面向使命任务的武器装备体系能力规划过程

在武器装备单位数量一定的约束条件下构建一组能力值,以使命任务的期望效能为目标,使完成使命任务的总效能价值函数值最大.整个规划过程如图2所示.

根据图1中作战任务-作战能力需求生成方法,构造出作战能力需求列表

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_n)^T \in R^n. \quad (8)$$

其中:  $C_j$  为能力需求列表中的第  $j$  个能力值;  $j = 1, 2, \dots, n$ . 能力值  $C_j$  受当前武器装备的先进程度和装备数量制约,具有一定的取值范围,尤其是具有上限. 设  $C_j$  的取值范围为  $0 \leq C_j \leq C_j^u = U_j$ , 则作战能力需求列表满足  $0 \leq C \leq C_u$ , 其中  $C_u = (C_1^u, C_2^u, \dots, C_n^u)^T = (U_1, U_2, \dots, U_n)^T$ . 能力规划的最终结果就是给出一组使总效能价值最大、满足取值条件的  $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)^T$  的具体实现值. 由式(2)给出的作战任务的效能模型函数,构建  $M$  个作战任务的效能,即

$$e_i(C) = \sum w_{ij} \frac{C_j}{C_j^u}, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (9)$$

其中  $w_{ij}$  为在第  $i$  个作战任务中第  $j$  个能力所占的权重.

在得到作战任务的效能值后,以任务的期望效能作为参考点,由式(4)计算得到作战任务的效能价值  $V_i(e_i(C))$ . 将使命任务中各作战任务的效能价值加权组合,得到使命任务的总效能价值为

$$Vs(e) = \sum_{i=1}^M a_i V_i(e_i(C)). \quad (10)$$

当可使用武器装备单位数量为  $NU$  时,基于效能价值的武器装备体系能力规划表示为

$$\begin{aligned} \max Vs(e) &= \max_C \sum_{i=1}^m a_i V_i(e_i(C)); \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{i=1}^n n_i(C_i) = NU, \\ &0 \leq C \leq C_u. \end{aligned} \quad (11)$$

对上式求解即可得到在武器装备单位数量有限条件下的体系能力规划结果,从而实现面向使命任务、基于效能价值的体系能力规划.

式(11)所示模型是一个高维、有约束条件的非线性整数规划问题,随着解空间维数的增大,求解复杂度呈指数级增长. 该类问题的求解主要有传统基于微积分的方法(如梯度下降法、牛顿法)和启发式搜索方法. 传统方法对模型有较多的制约,相对而言,启发式搜索方法(如遗传方法、蚁群算法)更适合该求解规划问题.

#### 4 反恐处突作战任务体系能力规划

武警部队在反恐处突作战中,主要作战任务可以划分为<sup>[23]</sup>合围封控任务( $T_1$ )、疏出阻入任务( $T_2$ )、平暴任务( $T_3$ )、解救人质任务( $T_4$ )、捕歼任务( $T_5$ )和救援任务( $T_6$ ).

反恐处突作战任务装备体系能力主要包括<sup>[20]</sup>侦察能力( $C_1$ )、拒止能力( $C_2$ )、驱离能力( $C_3$ )、打击能力( $C_4$ )、歼灭能力( $C_5$ )、宣传能力( $C_6$ )、机动能力( $C_7$ )和救护能力( $C_8$ )等.

完成各项任务需要发展的能力如表1所示. 其中  $T_1$  所在行与  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_6$  所在列交点处均标注符号  $D$ , 表示为完成合围封控任务( $T_1$ ),需要发展侦察能力( $C_1$ )、拒止能力( $C_2$ )和宣传能力( $C_6$ ). 其他任务表示与此相同.

表1 作战任务与支持能力

作战任务	作战能力							
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
T <sub>1</sub>	D	D				D		
T <sub>2</sub>			D	D	D	D		
T <sub>3</sub>	D		D	D	D	D		
T <sub>4</sub>	D			D	D	D		
T <sub>5</sub>	D			D	D			
T <sub>6</sub>	D					D	D	D

规划步骤1: 确定效能价值函数的待定参数.

根据指标体系的结构特征,可采用不同的任务效能综合方法. 递阶层次型作战能力指标体系,通常采用加权和或加权积的方法,由底层作战能力满足度聚合得到上层(或顶层)作战效能<sup>[24]</sup>;网络型作战能力指标体系,由于存在部分能力既处于支配地位又处于被支配的地位,主要采用ANP法<sup>[25]</sup>计算不同领域的作战效能取值. 针对文献[20]中方法生成的递阶层次型反恐处突作战能力需求,可采用层次分析法建立各任务效能评估模型. 这里以疏出阻入任务为例,根据专家评定各规划能力在该任务中的重要性可以列出判断矩阵如表2所示,其参数量为4.

表2 疏出阻入任务中各种能力的判断矩阵

T <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
C <sub>3</sub>	1	1/2	1	2
C <sub>4</sub>	1	1	2	2
C <sub>5</sub>	1/2	1/2	1	2
C <sub>6</sub>	1	1/2	1	1

对表2构造的判断矩阵进行特征值分解,得到特征值和特征向量,其中最大特征值为 $\lambda_{\max} = 4.1819$ ,与最大特征值对应的特征向量为

$$\mathbf{u}_{\max} = (-0.48, -0.66, -0.42, -0.39)^T.$$

一致性指标CI为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} = 0.0606,$$

其中 $N = 4$ 为判断矩阵维数. 此时平均随机一致性指标 $RI = 0.90$ ,则一致性比率 $CR = CI/RI = 0.067 < 0.1$ ,通过一致性检验. 对特征向量 $\mathbf{u}_{\max}$ 进行归一化处理,即可得到该作战任务下各能力的权重向量为

$$\mathbf{w}_2 = (w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2N}) = (0, 0, 0.2462, 0.3385, 0.2167, 0.1986, 0, 0, 0)^T.$$

同理,可求得各个作战任务下的能力权重向量为

$$\mathbf{w}_1 = (0.2108, 0.5033, 0.2859, 0, 0, 0, 0, 0)^T,$$

$$\mathbf{w}_3 =$$

$$(0.1477, 0, 0.0525, 0.3541, 0.2569, 0.1888, 0, 0)^T,$$

$$\mathbf{w}_4 = (0.2079, 0, 0.0923, 0, 0.2971, 0.4027, 0, 0)^T,$$

$$\mathbf{w}_5 = (0.2068, 0, 0, 0, 0.2980, 0.4952, 0, 0)^T,$$

$$\mathbf{w}_6 = (0.0945, 0, 0.1190, 0, 0, 0, 0.4964, 0.2901)^T.$$

参考武警部队相关作战案例,并利用层次分析法构造如下数据:

$$\mathbf{a} = (0.12, 0.14, 0.21, 0.15, 0.33, 0.05)^T,$$

$$\mathbf{e}^0 = (0.67, 0.61, 0.62, 0.66, 0.68, 0.52)^T,$$

$$\mathbf{v} = (2, 18, 3, 3, 3, 3, 3, 3)^T,$$

$$sc = (50, 120, 22, 32, 66, 54, 16, 40)^T,$$

$$\mathbf{U} = (8, 12, 15, 15, 6, 4, 8, 3)^T,$$

$$C_u = \mathbf{U}.$$

其中:上限因子为武警部队反恐处突典型战例中相应能力需求的最大值,增速因子和自由度根据武器装备单位数量与所支撑各能力之间关系曲线拟合得到.

效能评估函数的参数设置为 $\alpha = \beta = 0.88$ ,  $\lambda = 2.25$ .

规划步骤2: 非线性方程求解.

差分进化算法是一种随机、并行、全局搜索的优化算法,也是基于群体的启发式搜索算法,具有较强的全局收敛能力和鲁棒性,受控参数少,易于工程应用. 本文采用差分进化算法进行模型求解,当然也可以采用其他求解方法.

针对有约束求解问题,通过引入惩罚函数将有约束的优化问题转化为无约束的优化问题. 因此,差分进化过程中适应度函数定义为

$$f_t(n) = \left( NU - \sum_{i=1}^n n_i(C_i) \right)^2 - Vs(\mathbf{e}). \quad (12)$$

种群规模一般取维数的4到10倍,本文中,能力向量的维数为8,种群规模取40;兼顾种群多样性和收敛速度,经多种不同数值的实验结果对比,缩放因子取0.5,交叉因子取0.3. 采用二项式交叉和DE/rand/1变异策略,在每一步的变异和交叉后,判断实验向量中的元素是否越界,如果有越界,则按照初始化种群的方法重新产生该实验向量.

首先根据能力上限 $C_u$ ,将0到上限 $C_u$ 之间均匀分布产生40个浮点矢量编码的能力矢量作为种群个体,然后迭代进行交叉、变异、选择操作,直至得到最优解.

图3和图4分别给出了武器装备单位数NU分别为30、50、100、150下的计算结果. 图3中的 $V_1$ 表示任务 $T_1$ 的效能价值,其他类推.

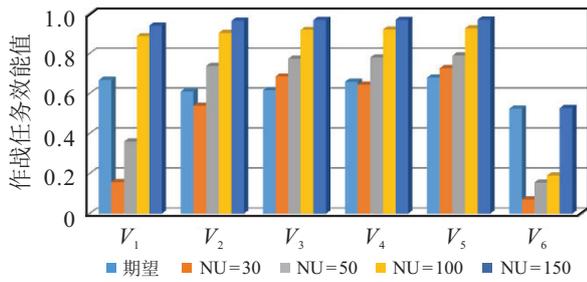


图3 作战任务效能值随装备单位数量变化趋势

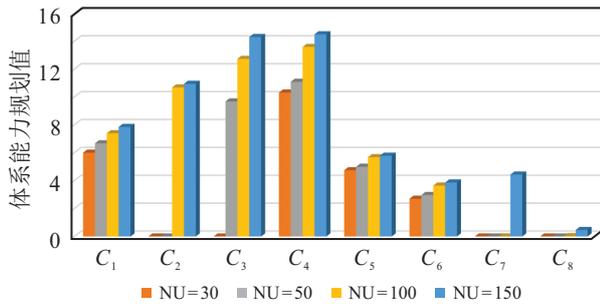


图4 体系能力规划值随装备单位数量变化趋势

从图3中可以看出:  $T_3$  和  $T_5$  的效能价值一直保持大于期望值,表明任务的权重较大,需要优先保障和考虑;而  $V_6$  直到装备单位数量非常大时才得到与期望值接近的效能价值,说明权重较低,只有在条件非常宽裕时才会得到相应规划。

从图4实验结果可以看出,作战任务效能和能力规划值随装备单位数量呈正向变化,但是不同的能力随单位数量变化趋势有较大的不同:  $C_1$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  和  $C_6$  随装备单位数量变化比较平缓,在单位数量较小时,仍然有较高的规划能力值;  $C_7$  和  $C_8$  优先级较低,只有当单位数量非常大(150)时才开始有相应的规划值,显然这两种能力在使命任务中权重较低;而  $C_2$  和  $C_3$  介于前面两种能力之间,当单位数量约束条件允许时便开始具有规划值。

在反恐处突作战中,平暴任务( $T_3$ )和捕歼任务( $T_5$ )是两项核心任务,关系到整个作战行动的成败;侦察能力( $C_1$ )、驱离能力( $C_3$ )、打击能力( $C_4$ )、歼灭能力( $C_5$ )和宣传能力( $C_6$ )是保障完成任务、有效歼灭暴恐分子、避免伤及无辜的重要能力。不同的能力随支撑其能力的装备单位数量之间的变化趋势不同:  $C_1$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  和  $C_6$  能力值随着装备单位数量增加而逐步增加;拒止能力( $C_2$ )属于防御性的能力,只有大量装备支撑时才能形成有效防御,其装备单位数量与能力规划值有类似突变的情形;  $C_3$  介于前面两种情况之间。仿真结果符合实际情况。

### 5 结论

本文针对履行使命任务时的武器装备体系能力组合规划问题进行了研究,将支撑作战任务的能力值

进行聚合,构造出作战任务的效能,以效能相对于期望效能的价值作为评价指标,考虑风险因素,以武器系统单位数量为约束,通过最大化使命任务的效能价值实现了对体系能力的规划。利用所提出方法对武警部队担负的反恐处突使命任务所需能力进行了规划,规划分析结果符合部队作战的实际情况,验证了本文所提出的规划方法的合理性和有效性。采用该方法能够统筹考虑作战中各项任务能力需求,结合武器装备单位数量对能力的支撑情况及总体携行能力约束,避免了能力短板风险,快速给出能力规划方案。

### 参考文献(References)

- [1] 赵青松, 谭伟生, 李孟军. 武器装备体系能力空间描述研究[J]. 国防科技大学学报, 2009, 31(1): 135-140. (Zhao Q S, Tan W S, Li M J. Research on description of weapon equipment system of systems capability spaces[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2009, 31(1): 135-140.)
- [2] Paul K D. Handbook on long term defense planning[R]. Paris: NATO Research and Technology Organization, 2003.
- [3] McQuay W K. Collaborative environments for capability-based planning[C]. Enabling Technologies for Simulation Science IX. Orlando: International Society for Optics and Photonics, 2005, 5805: 318-327.
- [4] Davis P K, Shaver R D, Beck J. Portfolio-analysis methods for assessing capability options[M]. Santa Monica: RAND Corporation, 2008: 102-117.
- [5] Ge B, Hipel K W, Fang L, et al. An interactive portfolio decision analysis approach for system-of-systems architecting using the graph model for conflict resolution[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics: Systems, 2014, 44(10): 1328-1346.
- [6] Ross A M. Multi-attribute tradespace exploration with concurrent design as a value-centric framework for space system architecture and design[D]. Cambridge: Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- [7] Chattopadhyay D. A method for tradespace exploration of systems of systems[D]. Cambridge: Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [8] Wolf R A. Multiobjective collaborative optimization of systems of systems[R]. Cambridge: Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [9] 叶国青, 姜江, 陈森, 等. 武器装备体系设计问题求解框架与优化方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(11): 2256-2263. (Ye G Q, Jiang J, Chen S, et al. Design optimization of weapon system of systems based on collaborative multidisciplinary decision-making[J].

- Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(11): 2256-2263.)
- [10] Luman R R. Upgrading complex systems of systems: A CAIV methodology for warfare area requirements allocation[J]. Military Operations Research, 2000, 5(2): 53-75.
- [11] Bui L T, Michaelbarlow, Abbass H A. A multi-objective risk-based framework for mission capability planning[J]. New Mathematics & Natural Computation, 2009, 5(2): 459-485.
- [12] 熊健, 赵青松, 葛冰峰, 等. 基于多目标优化模型的武器装备体系能力规划[J]. 国防科技大学学报, 2011, 33(3): 140-144.  
(Xiong J, Zhao Q S, Ge B F, et al. Weapon equipment system-of-systems capability planning based on multi-objective optimization model[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2011, 33(3): 140-144.)
- [13] 周宇, 姜江, 赵青松, 等. 武器装备体系组合规划的高维多目标优化决策[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(11): 2944-2954.  
(Zhou Y, Jiang J, Zhao Q S, et al. Many-objective optimization and decision-making for portfolio planning of armament system of systems[J]. System Engineering—Theory & Practice. 2014, 34(11): 2944-2954.)
- [14] 辜磊, 王书宁, 赵峰. 基于期望效能的武器装备体系能力规划模型[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(2): 329-334.  
(Gu L, Wang S N, Zhao F. Weapon system of systems capability planning model based on expected effectiveness[J]. Systems Engineering and Electronics, 2017, 39(2): 329-334.)
- [15] 岑凯辉, 谭跃进, 杨克巍, 等. 军事能力到装备系统的双层规划模型及其求解算法[J]. 国防科技大学学报, 2007, 29(5): 128-131.  
(Ceng K H, Tan Y J, Yang K W, et al. Military capability-to-system bilevel programming model and its solution algorithm[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2007, 29(5): 128-131.)
- [16] 杨克巍, 赵青松, 鲁延京, 等. 基于能力规划的三维概率选择矩阵优化算法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(6): 1220-1224.  
(Yang K W, Zhao Q S, Lu Y J, et al. 3-dimension matrix choice optimal algorithm for planning based on capability[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(6): 1220-1224.)
- [17] Kuikka V, Nikkarila J P, Suojanen M. A technology forecasting method for capabilities of a system of systems[C]. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Portland: IEEE, 2015: 2139-2150.
- [18] Kuikka V. Number of system units optimizing the capability requirements through multiple system capabilities[J]. Journal of Applied Operational Research, 2016, 8(1): 26-41.
- [19] DoD. Department of defense architecture framework version 2.02[EB/OL]. [http://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/DODAF/DoDAF\\_v2-02\\_web.pdf](http://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/DODAF/DoDAF_v2-02_web.pdf), 2009.
- [20] 乔浩, 战仁军, 张涛. 面向反恐任务的装备作战能力需求生成[J]. 装甲兵工程学院学报, 2018, 32(2): 13-18.  
(Qiao H, Zhan R J, Zhang T. Requirement generation of equipment combat capability for anti-terrorism task[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2018, 32(2): 13-18.)
- [21] 周宇. 基于能力的武器装备组合规划问题与方法[D]. 长沙: 国防科学技术大学信息系统与管理学院, 2013.  
(Zhou Y. The problems and approaches for capabilities-based armaments portfolio planning[D]. Changsha: College of Information System and Management, National University of Defense Technology, 2013.)
- [22] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk[J]. Econometrica, 1979, 47(2): 263-291.
- [23] 陈毅雨, 刘硕, 钟斌. 基于IDEF0的反恐装备作战任务需求分析[J]. 装甲兵工程学院学报, 2016, 30(6): 100-106.  
(Chen Y Y, Liu S, Zhong B. Requirement analysis of anti-terrorism equipment operational task based on IDEF0[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2016, 30(6): 100-106.)
- [24] 程贲, 谭跃进, 黄魏, 等. 基于能力需求视角的武器装备体系评估[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(2): 320-323.  
(Cheng B, Tan Y J, Huang W, et al. Weapon system-of-systems evaluation based on capability requirement perspective[J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(2): 320-323.)
- [25] Cil I, Turkan Y S. An ANP-based assessment model for lean enterprise transformation[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 64(5/8): 1113-1130.

### 作者简介

乔浩(1975—), 男, 工程师, 博士生, 从事军事装备发展、装备保障的研究, E-mail: 15326076565@189.cn;

战仁军(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 从事装备发展、装备管理、非致命武器等研究, E-mail: zrwenzhang007@163.com;

林原(1988—), 女, 讲师, 博士生, 从事装备保障、装备采购的研究, E-mail: 814041619@qq.com.

(责任编辑: 李君玲)