

doi: 10.7690/bgzd.2018.07.016

基于性能需求视角的导弹武器作战能力评估

熊奇¹, 陈桂明¹, 张翀², 韩润繁¹, 常雷雷¹

(1. 西安高技术研究所装备管理室, 西安 710025; 2. 火箭军驻材研所军代室, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对导弹武器装备作战能力的综合评估存在的问题, 提出一种基于性能需求视角的评估方法。该方法从导弹武器作战使命出发, 利用 DoDAF 建立导弹作战目标—作战活动—子能力—性能分解流程, 得到底层性能需求指标体系, 按照性能需求的类型定义了 4 种性能需求满足度函数, 再根据需求间关系, 自底向上聚合得到顶层能力需求的满足度函数, 将其作为导弹武器作战能力评估的结果, 最后通过一个实例说明该评估方法的具体步骤及可行性。分析结果表明: 该方法可操作性强, 能够反映导弹武器作战能力的大小。

关键词: DoDAF; 性能需求; 满足度函数; 作战能力

中图分类号: TJ761 **文献标志码:** A

Operational Capability Evaluation of Missile Weapon Based on Performance Requirements

Xiong Qi¹, Chen Guiming¹, Zhang Chong², Han Runfan¹, Chang Leilei¹(1. *Equipment Management Office of High-tech Institute of Xi'an, Xi'an 710025, China;*2. *Military Representative Office of Rocket Army in Material Institute, Mianyang 621000, China*)

Abstract: Aiming at the problems existing in the comprehensive evaluation of the operational capability of the missile weapon equipment, the evaluation method based on the performance requirements is put forward. This method is based on the mission of missile weapon, using DoDAF to establish missile target-operational activity-sub ability-capacity performance decomposition process in order to get the underlying demand performance index system, and the four requirements satisfaction function of four performance is defined according to the type of performance requirements, the satisfaction function of top level capacity requirements polymerization from bottom to top is take as results of missile weapon combat capability evaluation, finally an example is given to illustrate the feasibility of the evaluation method. The analysis results show that the method is feasible and can reflect the size of missile weapon combat capability.

Keywords: DoDAF; performance requirement; satisfaction function; combat capability

0 引言

导弹武器作战能力是指导弹在规定的作战环境下遂行规定任务达到规定目标的本领, 可以通过导弹的作战性能(或功能)体现出来^[1]。导弹武器作战能力评估是导弹论证阶段中重要的环节, 是衡量导弹武器综合能力的重要依据, 其主要内容包括: 导弹战术技术性能和导弹作战使用性能^[2]。其中战术技术性能是由设计、制造等因素所决定的导弹武器的客观物理性能和功能, 如射程、弹头类型以及质量参数等; 作战使用性能是装备满足军事需求、作战使用、综合保障要求的特性和功能。可以看出: 导弹武器作战能力实际上是一种“综合性能”^[3], 由导弹内在参数与外界任务需求共同确定。

学术界对于导弹作战能力评估研究多集中于评估指标体系的构建以及各种评估算法的改进, 忽略了如何结合实际作战任务需求对导弹武器进行综合评估,

这种评估方法无法体现导弹的真实作战能力。

基于以上考虑, 笔者从一个新的视角——性能需求满足程度, 对导弹武器作战能力进行评估。首先利用美国国防部架构框架(DoDAF)^[4], 按照作战目标—作战活动—子能力—性能的顺序, 层层分解得到从使命任务出发的性能需求结构, 然后按照性能指标的不同类型, 定义性能需求满足度函数, 根据性能需求间的关系, 自底向上聚合为子能力, 得到顶层作战能力需求的满足度函数, 最后通过一个实例演示该评估方法。

1 研究框架

导弹武器要完成相应的作战目标就必须具备相应的能力集, 而支撑这些能力就必须要有相应的性能作为基础^[5], 这些性能指标通过对军事需求的支持程度影响导弹武器的作战能力。基于导弹武器这一内在联系, 确定图 1 所示的研究框架。自上而下

收稿日期: 2018-04-22; 修回日期: 2018-06-05

作者简介: 熊奇(1992—), 男, 江西人, 在读研究生, 从事国防工程与项目管理研究。

由 DoDAF 分析思路将作战目标分解为性能指标，通过性能满足度函数计算导弹武器的性能满足度，最后自下而上利用性能能力聚合思路得到导弹武器作战能力。

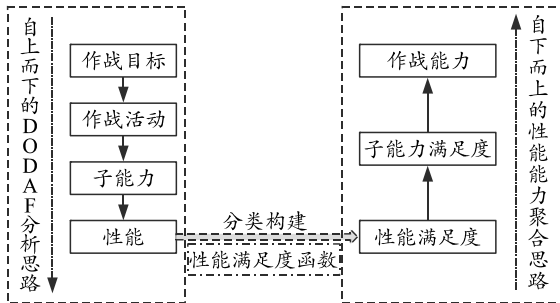


图 1 研究框架

2 性能需求满足度函数构建

武器装备性能需求满足度评估，就是评价参谋人员提出的武器装备对由需求分析人员提出的能力需求满足程度。

2.1 基于 DoDAF 作战目标到性能的分解

美军体系结构框架 DoDAF 作为武器装备需求描述的标准已经得到较为广泛的认可^[6]。DoDAF 是美国国防部于 2001 年正式颁布的用于指导美军开展武器装备需求生成的标准规范^[7]，该框架通过一系列视图产品的定义分别从不同角度描述系统体系结构的构建和发展，力图以统一的模型描述武器装备需求，是把作战需求落实到系统实现的重要手段。利用 DoDAF 体系结构分析思路对装备进行分析，将作战目标逐步分解至作战活动、子能力以及性能。由顶层至底层，由作战目标牵引出导弹武器性能需求，如图 2。

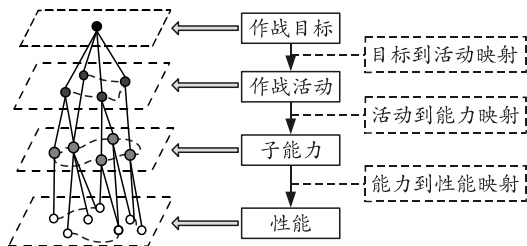


图 2 DoDAF 作战目标分解

2.2 性能需求满足度函数

通过建立性能需求满足度函数来刻画导弹性能需求满足程度。性能满足度函数本质上是将量纲和数量级均不相同的导弹武器性能指标值进行无量纲标准化过程^[8]。为充分描述性能指标对理想需求值的逼近程度，以性能需求值为基准建立分段型性能满足度函数。

根据指标取值所表示的不同含义，可将指标分为效益型指标、成本型指标、适中型指标以及布尔型指标。

1) 若 p 是效益型指标，即指标数值越大，对于评估结果越有利的指标（例如导弹毁伤能力中的打击范围），则

$$p = \begin{cases} 0 & a \leq a_{\text{low}} \\ \frac{(a - a_{\text{low}})}{(a_{\text{high}} - a_{\text{low}})} & a_{\text{low}} < a < a_{\text{high}} \\ 1 & a \geq a_{\text{high}} \end{cases} \quad (1)$$

式中： a_{high} 为性能指标理想值； a 为性能指标实际值； a_{low} 为性能指标最低值。

2) 若 p 是成本型指标，即指标数值越大，对评估结果越有害的指标（例如导弹飞行能力中的飞行准备时间），则

$$p = \begin{cases} 0 & a \geq a_{\text{low}} \\ \frac{(a_{\text{low}} - a)}{(c_{\text{low}} - c_{\text{high}})} & a_{\text{high}} < a < a_{\text{low}} \\ 1 & a \leq a_{\text{high}} \end{cases} \quad (2)$$

式中： a_{high} 为性能指标理想值； a 为性能指标实际值； a_{low} 为性能指标最低值。对于成本性能指标来说 $a_{\text{high}} < a_{\text{low}}$ ， a 越接近 a_{high} 越好。

3) 若 p 是适中型指标，即指标数值越大或越小，都会对评估结果越有害的指标（例如导弹飞行能力下的最大飞行速度），则

$$p = \begin{cases} 1 & a = a_{\text{high}} \\ 1 - \frac{|a - a_{\text{high}}|}{|c_{\text{high}} - c_{\text{low}}|} & a \neq a_{\text{high}} \end{cases} \quad (3)$$

式中： a_{high} 为性能指标理想值； a 为性能指标实际值； a_{low} 为性能指标最低值。

4) 若 p 是布尔型指标，此类性能需求的指标没有量纲，或无法量化（例如导弹制导能力下面的抗干扰性能），则

$$p = \begin{cases} 1 & a = \text{强} \\ 2/3 & a = \text{中} \\ 1/3 & a = \text{弱} \\ 0 & a = \text{无} \end{cases} \quad (4)$$

3 作战能力评估

导弹武器作战能力评估涉及到同层次指标权重的赋值问题：1) 性能指标聚合为子能力指标时各个

性能指标之间的权重关系; 2) 子能力指标聚合为作战能力时各个子能力指标之间的权重关系。指标权重与导弹武器针对的作战目标密切相关, 支撑核心使命任务完成的指标往往具有较高的权重; 因此, 采用组合赋权方法, 实现面向使命任务的客观赋权与专家打分的主观赋权有机结合^[9-10], 提高导弹武器作战能力评估指标权重分析的可信度。

3.1 性能指标权重主观赋值方法

依据领域专家构建相对于同一子能力下性能指标的两两比较矩阵, 确定性能指标主观权重, 主要步骤如下:

1) 依据导弹武器性能指标需求结构, 对性能指标 $p_k^j (k=1, 2, \dots, l)$ 相对于上层子能力 $c_j (j=1, 2, \dots, n)$ 的重要性进行两两比较, 得到权重判断矩阵 $Q_j = (q_{ij}^j)_{l \times l}$;

2) 利用方根法, 将权重判断矩阵 Q_j 的各行进行乘积并进行归一化, 得到特征向量 $W_j = [w_1^j, w_2^j, \dots, w_l^j]$, 也就是性能指标的权重;

3) 由特征向量计算最大特征根 λ_{max} , 利用 $CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n-1)}$ 进行一致性检查, 根据结果调整各性能指标权重。

3.2 子能力指标权重客观赋值方法

对作战活动建立如图 3 所示质量屋^[11]。

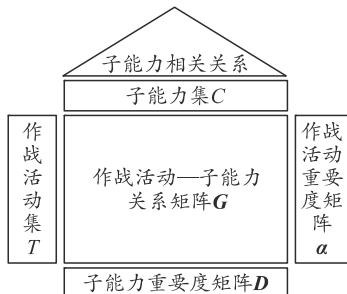


图 3 由作战活动—子能力质量屋

由图可知: 子能力与作战活动之间的映射关系是多对多关系, 即完成多项作战活动需要多项导弹武器子能力。假定作战活动集 $T = [t_1, t_2, \dots, t_m]$ 中, 各作战活动对于作战目标的重要度矩阵为 $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m]$, 子能力集为 $C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ 。子能力 $c_j (j=1, 2, \dots, n)$ 对作战活动 $t_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的重要度矩阵为 $G = (g_{ji})_{m \times n}$ 。

通过分析作战活动—子能力重要度矩阵, 计算出子能力对作战目标完成的重要度矩阵为

$$D = [d_1, d_2, \dots, d_j] = \alpha G. \quad (5)$$

对各项子能力的重要度进行归一化处理得到各项子能力的权重:

$$\beta_j = d_j / \sum_{i=1}^n d_i. \quad (6)$$

3.3 评估结果输出

导弹武器作战能力与子能力间具有构成关系, 而子能力又与性能之间具有构成关系; 因此, 在进行性能指标到子能力指标聚合以及子能力指标到作战能力聚合时采用加权求和法。

性能指标聚合为子能力指标:

$$c_j = \sum_{k=1}^l p_k^j w_k^j. \quad (7)$$

子能力指标聚合为作战能力:

$$E = \sum_{j=1}^n c_j \beta_j. \quad (8)$$

式中: p_k^j 为的性能指标; w_k^j 是其对应的权重; c_j 为子能力; β_j 为其对应权重。

4 实例分析

4.1 某型号导弹 D 性能指标需求分析

为了遏制某敌对势力海上舰队进入我国近海, 笔者利用某型导弹对舰船目标实施远程精确打击, 计算其作战能力。

通过 DoDAF 体系框架分析方法对此型号导弹进行分析, 对该型号导弹作战目标进行分解, 共 4 项作战活动, 表 1 具体解释了 4 项作战活动的源作战活动和作战活动目的。

表 1 作战活动注释

标志	源作战活动	作战活动目的
M1	导弹进入发射准备到导弹飞出大气层。	进入轨道
M2	导弹飞出大气层外, 在大气层外向目标区域飞行。	抵近目标区域
M3	导弹到达目标区域上空附近, 重返大气层, 突破敌人防御。	突破目标防御
M4	在目标进入弹头攻击范围内引爆弹头, 命中目标。	有效毁伤

分析表中 4 项作战活动, 先分析导弹武器在完成该活动时需要哪些子能力, 再根据导弹武器特点分析出支撑起这些子能力的导弹武器性能, 建立如图 4 所示的关系结构。

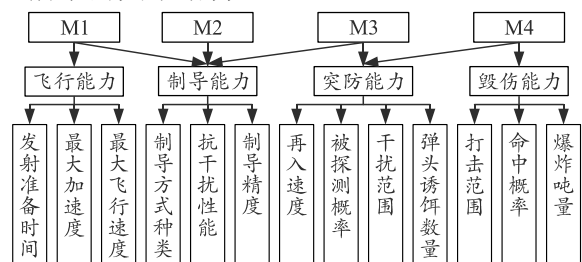


图 4 作战活动—能力映射关系

由图可知：作战目标可以被分解成 4 项作战活动，完成这 4 项作战活动需要导弹的飞行能力、制导能力、突防能力以及毁伤能力，而支撑这 4 项能力则需要发射准备时间、最大加速度等 13 个性能指标。

4.2 性能指标满足度计算

该型导弹武器从性能满足度到子能力计算的具体流程，主要分为 3 个步骤。

1) 分析性能指标类别，确定性能需求满足度函数。

分析可知，根据作战目标所确定的 13 个性能指标，按照其类型分类，其中效益型指标有最大加速度、制导方式种类以及制导精度等，成本型指标有发射准备时间、制导精度以及被探测概率，适中型指标有最大飞行速度，布尔型指标有抗干扰性能。

2) 性能指标评价值及满足度确定。

表 2 某型导弹性能指标、子能力数据计算

能力指标	性能指标	性能指标值			满足度值	权重值	子能力值
		实际值	理想值	最低值			
飞行能力	发射准备时间/min	25	10	40	0.5	0.279	0.630
	最大加速度	16g	20g	10g	0.6	0.332	
	最大速度/Ma	8	16	4	0.75	0.389	
制导能力	制导方式种类	4	6	2	0.5	0.223	0.672
	抗干扰性能	中	高	低	0.667	0.349	
	制导精度	70	30	200	0.766	0.428	
突防能力	末端速度/Ma	14	19	8	0.545	0.201	0.645
	被探测概率/%	30	10	100	0.778	0.240	
	干扰范围/km	15	20	5	0.667	0.203	
毁伤能力	弹头诱饵数量	8	12	2	0.6	0.356	0.752
	打击范围/m ²	900	500	300	1	0.201	
	命中概率/%	80	95	50	0.667	0.571	
	爆炸吨量/t	25	30	10	0.75	0.228	

4.3 某型导弹武器作战能力计算

笔者建立如图 5 所示质量屋，根据导弹作战特点以及敌方反导手段结合专家知识经验对导弹 4 个作战活动重要度以及 4 个作战活动中各子能力的重要度给出等级打分，利用数值 1, 3, 5, 7, 9 将重要度分为 5 个等级：几乎不重要、较不重要、重要、较重要、非常重要。

		飞行能力	制导能力	突防能力	毁伤能力	
作战活动		1	2	3	4	重要度
M1	1	9	7	0	0	7
M2	2	0	9	0	0	5
M3	3	0	9	9	0	9
M4	4	0	0	3	9	7
归一化重要度		0.141	0.449	0.223	0.187	

图 5 作战活动质量屋

对导弹作战对象进行分析，依据敌方武器性能，综合专家评价，依次确定导弹武器性能的理想值与最低值，再根据 1) 中各性能指标确定的分类，选择好相应的满足度函数，最后按照函数求出能力需求的性能满足度。

3) 性能聚合到能力的计算。

依据性能指标的关系，利用专家经验确定子能力指标下各性能指标重要度的判断矩阵，计算出特征向量与最大特征根并进行一致性检验，得到各性能指标权重，采用式(5)求出导弹武器各子能力的值。

根据敌方武器性能，综合专家评价，得到表 2 中性能指标值，出于保密考虑，已对相关数值进行处理，再根据性能满足度函数得到表中满足度值，利用 3.1 节提到的方法得到权重值，最后利用满足度值以及权重值代入式(7)得到表中的子能力值。

利用式(5)、式(6)，计算得到飞行能力、制导能力、突防能力以及毁伤能力对作战目标实现的重要度，分别为 0.141, 0.449, 0.223, 0.187。结合表 2 中各子能力的计算结果，利用式(8)，计算得到执行舰船打击任务的某型导弹作战能力为

$$E = 0.630 \times 0.141 + 0.672 \times 0.449 + 0.645 \times 0.223 + 0.752 \times 0.187 = 0.675。$$

该数值说明，利用该型号导弹去执行舰船打击任务时，将有 67.5% 的可能完成任务。

5 结论

笔者通过自顶向下建立导弹武器作战目标—作战活动—子能力—性能分解流程，得到导弹武器作战能力评估的性能指标需求，根据指标类型的区别构建相应的性能需求的满足度函数，自底向上通过性能指标权重主观赋值方法与子能力指标权重客观

赋值方法，建立导弹武器作战能力评估模型。该方法基于性能需求的视角建立导弹武器作战能力的完整评估框架，可操作性强。通过该方法得出的评估结果虽然反映了导弹武器作战能力的大小，但还不能得出该导弹武器对于使命任务的能力满足度，尚需做进一步研究。

参考文献：

[1] 王征, 朱冰, 余瑞星. HLA 框架构建空战导弹武器作战效能设计[J]. 现代防御技术, 2015, 43(1): 23-27.
 [2] 徐林生. 面向武器装备论证过程的多属性评价方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
 [3] 杜红梅, 柯宏发. 装备作战能力与作战效能之内涵分析[J]. 兵工自动化, 2015, 34(4): 23-27.
 [4] KOBRYN C, SIBBALD C. 1.3.1 Modeling DoDAF Compliant Architectures The Telelogic Approach for Complying with the DoD Architectural Framework[J].

(上接第 73 页)

4 结束语

笔者提出基于 LS-SVM 解决新机备件需求的预测问题，建立了某型新机备件需求预测模型，针对新机备件历史消耗数据较少的情况，较好地解决了备件需求的预测问题。仿真结果表明，LS-SVM 在新机备件需求预测方面效果良好。今后，笔者还应根据新机的特点，在影响因素的选取上作进一步完善，不断改进参数寻优的方法，完善模型，提高对不同新机备件需求预测的准确性。

参考文献：

[1] 张嘉华, 刘琪, 宋占成, 等. 军用飞机备件配置要求: HB 7384-1996[S]. 北京: 中国航空工业总公司, 1996.
 [2] 赵建忠, 徐廷学, 甄伟, 等. 基于改进支持向量机的导弹备件消耗预测[J]. 现代防御技术, 2013, 41(2): 177-182.
 [3] 梁佐堂, 祝华远, 王晓钢, 等. 基于飞机故障的特情处

置方法优化[J]. 兵工自动化, 2017, 36(5): 1-3.
 [4] VAPNIC. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York: Springer, 1995: 62-89.
 [5] Vapnic. An Overview of Statistical Learning Theory[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(5), 988-999.
 [6] SUYKENS J. Least Squares Support Vector Machines[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2002: 71-89.
 [7] SUYKENS J, BARBANTER J D, LUKAS L, et al. Weighted Least Squares Support Vector Machines: Robustness and Squares Approximation[J]. Neurocomputing, 2002, 48(1-4): 85-105.
 [8] 兰瑜洁, 钟舜聪. 基于单类支持向量机的织物瑕疵检测研究[J]. 机电工程, 2016, 33(2): 237-241.
 [9] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法-支持向量机[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 27-88.
 [10] 张恒喜, 郭基联, 朱家元, 等. 小样本多元数据分析方法及应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002: 42-96.
 Incose International Symposium, 2005, 15(1): 95-125.
 [5] 韩朝超, 黄树彩. 末端反导作战效能评估模型研究[J]. 电光与控制, 2010, 17(1): 14-17.
 [6] 魏晓童, 陈洪辉, 张萌萌. DODAF2.0 服务系统视图的提出与描述[C]//中国指挥控制大会, 2016.
 [7] 张思滨. 防空导弹武器系统作战能力影响关系分析方法[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
 [8] 李志淮, 谭贤四, 王红, 等. 基于 DoDAF 的武器装备体系指标需求生成方法[J]. 火力与指挥控制, 2013(12): 160-163.
 [9] 张迪, 郭齐胜, 李智国, 等. 基于型号性能指标的武器装备体系作战能力评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(5): 12-16.
 [10] 薛鹏. 基于 PRINCE2 的设备级武器装备项目管理研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
 [11] 赤尾, 洋二. インタビュー-赤尾洋二氏--「赤尾賞」は QFD が日本生まれのあかし[J]. Nikkei Mechanical, 1996, 21(1): 11-15.

置方法优化[J]. 兵工自动化, 2017, 36(5): 1-3.
 [4] VAPNIC. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York: Springer, 1995: 62-89.
 [5] Vapnic. An Overview of Statistical Learning Theory[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(5), 988-999.
 [6] SUYKENS J. Least Squares Support Vector Machines[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2002: 71-89.
 [7] SUYKENS J, BARBANTER J D, LUKAS L, et al. Weighted Least Squares Support Vector Machines: Robustness and Squares Approximation[J]. Neurocomputing, 2002, 48(1-4): 85-105.
 [8] 兰瑜洁, 钟舜聪. 基于单类支持向量机的织物瑕疵检测研究[J]. 机电工程, 2016, 33(2): 237-241.
 [9] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法-支持向量机[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 27-88.
 [10] 张恒喜, 郭基联, 朱家元, 等. 小样本多元数据分析方法及应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002: 42-96.