文章编号:1673-3819(2023)03-0046-04

舰炮武器系统的适装性评估模型研究

张　俊[1], 谭　波[2], 常　博[1], 裴桂艳[1]
(1. 海军研究院, 北京　100161; 2. 海军工程大学, 湖北 武汉　430033)

摘　要:针对舰炮武器系统适装性评估问题,提出了一种基于层次分析法的适装性评估模型。该模型选取火炮、跟踪传感器、火控设备的适装性作为模糊变量来评估舰炮武器系统的适装性,结合三个变量的具体评估准则,基于层次分析法给出了适装性的具体计算方法。应用实例表明,该模型实现了舰炮武器系统适装性的量化评估,可操作性强,可为选型决策提供有力支撑。

关键词:舰炮武器系统; 适装性; 模糊变量; 评估
中图分类号:TJ391　　**文献标志码**:A　　**DOI**:10.3969/j.issn.1673-3819.2023.03.007

Mounting adaptability evaluation model research of shipboard gun weapon system

ZHANG Jun[1], TAN Bo[2], CHANG Bo[1], PEI Guiyan[1]
(1. Naval Research Institute, Beijing 100161; 2. Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Aiming at the problem of mounting adaptability evaluation of shipboard gun weapon system, a mounting adaptability evaluation model based on analytic hierarchy process is put forward. The mounting adaptability of guns, tracking sensors and fire control equipment are chosen as fuzzy variables to evaluate the mounting adaptability of shipboard gun weapon system in the model. And the evaluation ruler of them is given. And the calculation method of mounting adaptability based on analytic hierarchy process is put forward. The example analysis shows the model can realize the quantitative evaluation for the adaptability of shipboard gun weapon system. The model has good operability and provides a powerful support for type selection decision-making.

Key words: shipboard gun weapon system; mounting adaptability; fuzzy variables; evaluation

舰炮武器系统的适装性是武器系统选型配置的一个重要因素,主要与系统组成中各设备的数量、体积、重量、占用舱面及舱室的空间位置、电磁兼容性及火炮后坐力等因素有关。在一定约束下,如何全面考虑这些因素和定量评估舰炮武器系统的适装性是舰炮武器系统论证部门的技术难题。国内针对适装性的研究较少,目前公开的文献一般从几个方面分别分析,或从单一方面进行定量分析,没有对各因素进行量化分析建模,难以准确评估装备的适装性[1-2]。

本文从跟踪传感器、火控设备和火炮三个分系统出发,综合考虑各分系统重量、体积、环境适应性、雷达反射面积、火炮后坐力、跟踪传感器电磁兼容性、火控设备平台通用性等因素,基于层次分析法提出一套评价优选方法,针对不同舰炮武器系统的适装性进行综合评价,提出舰炮武器系统的最优适装性方案[3-4]。

1　适装性评估模型

1.1　适装性指数

适装性指数主要用于舰炮武器系统适装性好坏的定量描述。为便于定量分析,将舰炮武器系统的组成分为三部分,即跟踪传感器部分(包括雷达和光电)、火控设备和火炮。该系统的适装性可以由跟踪传感器、火控设备和火炮的适装性决定。

适装性指数的定量分析采用模糊数学的方法,首先选择模糊变量,对模糊变量赋值,并分析影响因素的重要性,确定模糊变量的权值,用加权法计算出各方案的发展潜力指数[5-6],用数学公式表示为

$$L_Z = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \lambda_3 Z_3 \tag{1}$$

其中:Z_1 为火炮适装性;Z_2 为跟踪传感器适装性;Z_3 为火控设备适装性;λ_1、λ_2、λ_3 为模糊变量权值,且 $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$。

模糊变量重要性权值按各变量重要性程度由专家打分,然后进行归一化处理,各模糊变量的重要性经打分和归一化处理后即可求出相应的权值 λ_1,λ_2,λ_3, 打分采用 10 分制[7-8],如表 1 所示。

1.1.1　火炮适装性指数

舰炮适装性的定量分析同样采用模糊数学的方法。选取重量、体积、后坐力、环境适应性、雷达反射面积和易操作使用性作为模糊变量。

$$m_u = \lambda_1 u_1 + \lambda_2 u_2 + \lambda_3 u_3 + \lambda_4 u_4 + \lambda_5 u_5 + \lambda_6 u_6 \tag{2}$$

其中:m_u 为舰炮适装性指数;u_1 为重量对船总体的影响;u_2 为体积对船总体的影响;u_3 为后坐力对船总体

收稿日期: 2022-10-27　　**修回日期**: 2022-12-22
作者简介: 张　俊(1976—),女,高级工程师,研究方向为舰炮武器系统。
谭　波(1979—),男,副教授。

的影响;u_4 为环境适应性;u_5 为雷达反射面积;u_6 为易操作使用性;λ_1、λ_2、λ_3、λ_4、λ_5、λ_6 为权重系数,$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 = 1$,求取方法同前。

u_1、u_2、u_3 赋值准则如表 2 所示。

表 1　模糊变量重要性赋值准则

Tab. 1　Evaluation ruler of fuzzy variable importance

特别重要因素	9 分
很重要因素	7 分
重要因素	5 分
比较重要因素	3 分
需要考虑因素	1 分

表 2　对船总体影响赋值准则

Tab. 2　Evaluation ruler of the effect on the overall ship

对船总体影响很小	9~10 分
对船总体影响小	8~9 分
对船总体影响较小	7~8 分
对船总体影响一般	6~7 分
对船总体影响较大	5~6 分
对船总体影响大	3~5 分
对船总体影响很大	1~3 分

u_4 赋值准则如表 3 所示。

表 3　环境适应性赋值准则

Tab. 3　Evaluation ruler of environmental suitability

海洋及舰载环境适应性很好	9~10 分
海洋及舰载环境适应性好	8~9 分
海洋及舰载环境适应性较好	7~8 分
海洋及舰载环境适应性一般	6~7 分
海洋及舰载环境适应性较差	5~6 分
海洋及舰载环境适应性差	3~5 分
海洋及舰载环境适应性很差	1~3 分

u_5 赋值准则如表 4 所示。

表 4　雷达反射面积赋值准则

Tab. 4　Evaluation ruler of radar reflection area

火炮雷达反射面积很小	9~10 分
火炮雷达反射面积小	8~9 分
火炮雷达反射面积较小	7~8 分
火炮雷达反射面积尚可	6~7 分
火炮雷达反射面积较大	5~6 分
火炮雷达反射面积大	3~5 分
火炮雷达反射面积很大	1~3 分

u_6 赋值准则如表 5 所示。

表 5　操作使用性赋值准则

Tab. 5　Evaluation ruler of operation and utilization

操作使用性特别好	9~10 分
操作使用性好	8~9 分
操作使用性较好	7~8 分
操作使用性尚可	6~7 分
操作使用性一般	5~6 分
操作使用性较差	3~5 分
操作使用性差	1~3 分

1.1.2　跟踪传感器适装性指数

对于跟踪传感器选取重量、体积、环境适应性、雷达反射面积、电磁兼容性和易操作使用性作为模糊变量,则适装性指数为

$$n_v = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \lambda_3 v_3 + \lambda_4 v_4 + \lambda_5 v_5 + \lambda_6 v_6 \quad (3)$$

其中:n_v 为跟踪传感器适装性指数;v_1 为重量对船总体影响;v_2 为体积对船总体影响;v_3 为环境适应性;v_4 为雷达反射面积对船总体影响;v_5 为电磁兼容性;v_6 为易操作使用性;λ_1、λ_2、λ_3、λ_4、λ_5、λ_6 为对应的权重系数,求取方法同前。

v_1、v_2 取值方法参见 u_1、u_2、u_3;v_3、v_4、v_6 取值方法分别参见 u_4、u_5、u_6;v_5 赋值准则如表 6 所示。

表 6　电磁兼容性赋值准则

Tab. 6　Evaluation ruler of electromagnetic compatibility

与舰面设备及弹药频段无冲突	9~10 分
与舰面设备及弹药工作频段略有冲突,技术措施能解决	7~9 分
与舰面设备及弹药工作频段有冲突,通过电磁兼容管理设备能解决	5~7 分
与舰面设备及弹药工作频段有冲突,通过电磁兼容管理设备基本能解决	3~5 分
与舰面设备及弹药工作频段有严重冲突,通过电磁兼容管理设备不能解决	1~3 分

1.1.3　火控设备适装性指数

对于火控设备,选取重量、体积、通用性和易操作使用性作为模糊变量,则火控设备适装性指数可用下式计算:

$$g_\theta = \lambda_1 \cdot \theta_1 + \lambda_2 \cdot \theta_2 + \lambda_3 \cdot \theta_3 + \lambda_4 \cdot \theta_4 \quad (4)$$

其中:g_θ 为火控设备适装性指数;θ_1 为重量对船总体影响;θ_2 为体积对船总体影响;θ_3 为设备的通用性;θ_4 为易操作使用性;λ_1、λ_2、λ_3、λ_4 为对应的权重系数,求取方法同前。

θ_1、θ_2 取值方法参见 u_1、u_2、u_3;θ_4 取值方法参见 u_6;θ_3 赋值准则如表 7 所示。

表7 通用性赋值准则

Tab. 7 Evaluation ruler of universality

能与其他武器系统火控设备通用,且切换时间短	9~10分
能与其他武器系统火控设备通用,且切换时间较长	8~9分
能与其他武器系统火控设备通用,且切换时间长	7~8分
能与舰炮武器系统其他火控设备通用,且切换时间短	6~7分
能与舰炮武器系统其他火控设备通用,且切换时间较长	5~6分
能与舰炮武器系统其他火控设备通用,且切换时间长	3~5分
不能与其他火控设备通用	1~3分

1.2 适装性指数的计算

计算出各模糊变量量值并确定各变量权重系数后,应用公式 $L_Z = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \lambda_3 Z_3$ 即可计算出该方案的适装性指数,如表8所示。

表8 适装性指数计算

Tab. 8 Value calculation of mounting adaptability

方案	方案1	方案2	……	方案 n	权值
火炮适装性 y_1	y_{11}	y_{12}	…	y_{1n}	λ_1
跟踪传感器适装性 y_2	y_{21}	y_{22}	…	y_{2n}	λ_2
火控设备适装性 y_3	y_{31}	y_{32}	…	y_{3n}	λ_3
适装性指数 $K_{yj} = \sum_{i=1}^{4} \lambda_i y_{ij}$ $j = 1,\cdots,n$	K_{y1}	K_{y_2}	…	K_{yn}	

注:K_{yj}表示方案j的适装性指数,$j=1,2,\cdots,n$。

2 模型应用

现以本文提出的模型对舰炮武器系统方案的适装性进行计算。以A、B、C、D四种舰炮武器系统为待选方案。首先对A、B、C、D四种方案的火炮适装性指数按照一定的量化准则对重量对船总体的影响、体积对船总体的影响、后坐力对船总体的影响、火炮环境适应性、雷达反射面积和易操作使用性进行赋值。

通过设置 a_1、a_2、a_3、a_4、a_5、a_6 的值,将重量分为7个档次,根据重量所在范围确定重量对船总体影响的得分。

当 $a < a_1$ 时,$u_1 = 9 \sim 10$

当 $a_1 < a < a_2$ 时,$u_1 = 8 \sim 9$

当 $a_2 < a < a_3$ 时,$u_1 = 7 \sim 8$

当 $a_3 < a < a_4$ 时,$u_1 = 6 \sim 7$

当 $a_4 < a < a_5$ 时,$u_1 = 5 \sim 6$

当 $a_5 < a < a_6$ 时,$u_1 = 3 \sim 5$

当 $a > a_6$,$u_1 = 1 \sim 3$。

方案A:火炮重量 $a_1 < a_x < a_2$ 时,$u_1 = 8$,同理可得 $u_2 = 8$,$u_3 = 8$,$u_4 = 9$,$u_5 = 8$,$u_6 = 7$;

方案B:火炮 $u_1 = 7$,$u_2 = 7$,$u_3 = 8$,$u_4 = 7$,$u_5 = 8$,$u_6 = 8$;

方案C:火炮 $u_1 = 6$,$u_2 = 7$,$u_3 = 8$,$u_4 = 7$,$u_5 = 8$,$u_6 = 9$;

方案D:火炮 $u_1 = 5$,$u_2 = 5$,$u_3 = 7$,$u_4 = 7$,$u_5 = 7$,$u_6 = 9$;

模糊变量的重要性经打分和归一化处理后即可求出相应的权值 λ_1、λ_2、λ_3、λ_4、λ_5、λ_6。具体计算方法可参考文献[3],通过计算可得重量对船总体的影响、体积对船总体的影响、后坐力对船总体的影响、火炮环境适应性、雷达反射面积对船总体影响分别对应的权重值为[0.25,0.25,0.15,0.15,0.1,0.1]。

A方案 $m_{uA} = 8 \times 0.25 + 8 \times 0.25 + 8 \times 0.15 + 9 \times 0.15 + 8 \times 0.15 + 7 \times 0.1 = 8.05$;

同理,可计算出B方案 $m_{uB} = 7.35$,C方案 $m_{uC} = 7.2$,D方案 $m_{uD} = 6.2$。

方案A跟踪传感器 $v_1 = 8$,$v_2 = 7$,$v_3 = 8$,$v_4 = 7$,$v_5 = 7$,$v_6 = 9$;

方案B跟踪传感器 $v_1 = 7$,$v_2 = 6$,$v_3 = 8$,$v_4 = 8$,$v_5 = 9$,$v_6 = 7$;

方案C跟踪传感器 $v_1 = 9$,$v_2 = 8$,$v_3 = 8$,$v_4 = 8$,$v_5 = 9$,$v_6 = 8$;

方案D跟踪传感器 $v_1 = 7$,$v_2 = 7$,$v_3 = 8$,$v_4 = 7$,$v_5 = 8$,$v_6 = 9$。

同理,可得跟踪器权重值为[0.2,0.2,0.1,0.1,0.3,0.1]。计算可得A方案 $n_{vA} = 7.5$,B方案 $n_{vB} = 7.6$,C方案 $n_{vC} = 8.5$,D方案 $n_{vD} = 7.6$。

方案A火控设备 $\theta_1 = 8$,$\theta_2 = 7$,$\theta_3 = 8$,$\theta_4 = 7$;

方案B火控设备 $\theta_1 = 7$,$\theta_2 = 6$,$\theta_3 = 7$,$\theta_4 = 8$;

方案C火控设备 $\theta_1 = 8$,$\theta_2 = 8$,$\theta_3 = 7$,$\theta_4 = 8$;

方案D火控设备 $\theta_1 = 6$,$\theta_2 = 7$,$\theta_3 = 6$,$\theta_4 = 7$。

同理可得火控设备权重值[0.25,0.25,0.3,0.2]。

计算出A方案 $g_{\theta A} = 7.55$,B方案 $g_{\theta B} = 6.95$,C方案 $g_{\theta C} = 7.5$,D方案 $g_{\theta D} = 6.45$。

因此,适装性权重值 $\lambda_1 = 0.35$,$\lambda_2 = 0.4$,$\lambda_3 = 0.25$。

由 $L_Z = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \lambda_3 Z_3$ 计算方案的适装性指数为

$L_{ZA} = 8.05 \times 0.35 + 7.5 \times 0.4 + 7.55 \times 0.25 = 7.705$。

同理计算出 $L_{ZB} = 7.35$,$L_{ZC} = 7.795$,$L_{ZD} = 6.822\,5$。

由此可得,适装性指数向量为 $\boldsymbol{K} = [7.705 \quad 7.35$

7.795　6.822 5]。可见 C 方案的适装性最好,D 方案的适装性最差。

3　结束语

武器系统的适装性是确定系统方案的重要依据。舰炮武器系统的适装性分析是舰炮武器系统论证部门的一项重要工作。舰炮武器系统选型论证过程中,需要对系统的适装性进行充分分析和论证,释放研制风险,确保舰炮武器系统有良好的适装性。

本文针对舰炮武器系统,提出了一种基于层次分析法的适装性计算模型,针对火炮选取重量、体积、后坐力、环境适应性、雷达反射面积和易操作使用性作为模糊变量;针对跟踪传感器选取重量、体积、环境适应性、雷达反射面积、电磁兼容性和易操作使用性作为模糊变量;针对火控设备选取重量、体积、通用性和易操作使用性作为模糊变量,分别给出了各模糊变量的赋值准则及火炮、跟踪传感器和火控设备适装性的计算方法,以火炮、跟踪传感器和火控设备的适装性作为模糊变量计算评估舰炮武器系统的适装性。该模型实现了舰炮武器系统适装性的量化评估,考虑因素全面,可操作性强,在舰炮武器系统适装性评估方面具有应用价值。

参考文献:

[1] 赵广涛, 李润林, 薛宜童. 舰船用雷达天线转台系统适装性结构优化设计[J]. 雷达与对抗, 2014, 34(4): 59-62.
ZHAO G T, LI R L, XUE Y T. Structural optimum design on mounting adaptability of antenna rotary platform system of shipborne radars[J]. Radar & Ecm, 2014, 34(4): 59-62.

[2] 赵广涛, 吴洪才. 舰载雷达适装性研究[J]. 雷达与对抗, 2010, 30(1): 44-46, 56.
ZHAO G T, WU H C. The mounting adaptability of shipborne radars[J]. Radar & Ecm, 2010, 30(1): 44-46, 56.

[3] 孟庆德, 徐鲁威, 张俊. 一种基于层次分析法的舰炮武器系统选型综合评价模型[J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(5): 60-62, 69.
MENG Q D, XU L W, ZHANG J. A type selection comprehensive evaluation model of shipboard Gun weapon system based on AHP[J]. Command Control & Simulation, 2013, 35(5): 60-62, 69.

[4] 孟庆德, 张俊, 魏军辉, 等. 基于 ADC 法的舰炮武器系统作战效能评估模型[J]. 火炮发射与控制学报, 2015, 36(1): 73-76, 85.
MENG Q D, ZHANG J, WEI J H, et al. Operational effectiveness evaluation model of naval Gun weapon system based on ADC[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2015, 36(1): 73-76, 85.

[5] 姚恺, 黄少罗, 王晋生, 等. 基于优化 AHP 的远火模拟训练成绩自主评定方法[J]. 现代防御技术, 2021, 49(4): 99-106.
YAO K, HUANG S L, WANG J S, et al. Self-evaluation method of long-range rocket simulation training results based on optimized AHP [J]. Modern Defence Technology, 2021, 49(4):99-106.

[6] 沈丙振, 缪建明, 李晓菲, 等. 基于改进结构方程模型的陆军武器装备体系作战能力评估模型[J]. 兵工学报, 2021, 42(11): 2503-2512.
SHEN B Z, MIAO J M, LI X F, et al. Evaluation model of land force weapon equipment system combat capability based on improved SEM[J]. Acta Armamentarii, 2021, 42(11): 2503-2512.

[7] 李彩峰, 徐锋, 张玉梅, 等. 基于模糊层次分析法的设计有利度分析模型[J]. 火力指挥与控制, 2019, 44(3): 176-180.
LI C F, XU F, ZHANG Y M, et al. Shooting favorability analysis model based on fuzzy-AHP[J]. Fire Control & Command Control, 2019, 44(3): 176-180.

[8] 于淼, 王端, 李明明. 层次分析法在新概念武器能力建设项目决策中的应用[J]. 科技创新与应用, 2021(5): 179-181.
YU M, WANG D, LI M M. Application of analytic hierarchy process in new concept weapons capacity building project decision making[J]. Technology Innovation and Application, 2021(5): 179-181.

(责任编辑:张培培)