

doi: 10.7690/bgzd.2020.07.013

基于灰色—层次分析的无依托机动发射作战能力评估

杨明映¹, 朱 昱¹, 杨雪松², 李文远³(1. 火箭军工程大学, 西安 710025; 2. 火箭军参谋部, 北京 100085;
3. 中国人民解放军 93442 部队, 河北 怀来 075400)

摘要: 为科学评估无依托机动发射作战能力, 分析了各能力涵盖的指标要素内容, 构建结构合理的评估指标模型。利用 AHP (analytic hierarchy process) 和灰色层次分析法, 对 2 型装备无依托机动发射作战能力进行了评估。其中, 对 AHP 的指标重要性判断取值进行规范, 在灰色层次分析中引入 5 位专家意见进行分类。通过 2 种评估方法对比, 验证了评价方法的合理性、准确性以及评价结果可靠性。通过对 2 型装备评估结果的分析, 可直观看出影响制约作战能力的关键核心要素, 为作战实践提供科学直观的参考依据。

关键词: 无依托; 机动发射; 作战能力; 指标模型; 层次分析; 灰色评估

中图分类号: TJ768 **文献标志码:** A

Evaluation of Offhand Mobile Operational Capability Based on Grey Hierarchy Analysis Method

Yang Mingying¹, Zhu Yu¹, Yang Xuesong², Li Wenyuan³

(1. Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China; 2. Staff Department of Rocket Force, Beijing 100085, China; 3. No. 93442 Unit of PLA, Huailai 075400, China)

Abstract: In order to scientifically evaluate the offhand mobile launch operational capability, this paper comprehensively analyzed the index elements of each capability, and constructed a reasonable evaluation index model. Analytic hierarchy process (AHP) and grey analytic hierarchy process were used to evaluate the offhand mobile launch operational capability of the 2 types of equipment. The judgment value of AHP index importance is standardized, and 5 expert opinions are introduced in the grey hierarchy analysis. By comparing 2 evaluation methods, the rationality, accuracy and reliability of the evaluation methods are verified. Through the analysis of the evaluation results of type 2 equipment, the key factors affecting the ability to control operations can be visually seen, providing a scientific and intuitive reference for operation.

Keywords: offhand; mobile launch; operational capability; index model; hierarchy analysis; grey evaluation

0 引言

长期以来, 用于能力评估的方法手段较多, 如早期的模糊综合评价法、幂指数法、ADC 法等。近年来, 遗传算法、神经网络算法等较智能的方法被大量应用于能力评估, 进一步拓展了评估工具手段, 特别是对不同算法的探索改进, 使能力评估的结果更加趋于理性客观和可靠^[1]。笔者根据评估对象特点, 采用 AHP 和灰色层次分析 2 种评估方法, 基于不同型号装备实施无依托随机发射作战过程大致相同, 构建同一套评估指标体系, 对不同型号装备随机发射作战能力进行评估, 并进行对比分析。同时, 笔者对层次分析法的重要性判断取值进行了规范, 对灰色层次分析引入多位专家意见, 并区分了 5 个灰类, 有效减小人为因素对评估结果的影响, 提高了评估的科学性可靠性^[2]。

1 要素分析及评估指标模型构建

1.1 无依托机动作战能力条件要求

根据作战行动过程, 将装备无依托机动作战能力的核心要素概括为 6 个方面。

1.1.1 作战反应能力

部队能对突发情况及时作出准确预判, 在出现作战端倪时, 能迅速收拢部队, 完成各项准备, 按时机动至任务地区。要做到“2 个不经”, 即不经人员装备补充、不经临战训练就可遂行任务^[3]。选取 4 个重要指标来衡量: 1) 日常管理水平; 2) 人员在位率; 3) 装备完好率; 4) 战备训练情况。

1.1.2 指挥控制能力

指挥员能够准确掌握敌我信息, 熟悉掌握指挥信息系统相关操作, 能及时组织机关部队开展各项

收稿日期: 2020-03-04; 修回日期: 2020-04-18

作者简介: 杨明映(1985—), 男, 云南人, 硕士, 从事军事指挥专业研究。E-mail: yangmy03@163.com。

作战工作。指挥机关训练有素，遇有情况能及时快速高效地运转。打破战区界限，使用指挥信息系统准确地传递情报、实时掌控态势，实现远距离抗中通、动中通，提高信息化指挥效能^[4]。选取3个重要指标来衡量：1) 指挥员能力素质；2) 指挥机构运行效率；3) 指挥通信系统可靠性。

1.1.3 远程投送能力

部队要确保自身运载装备保持良好状态，随时可紧急出动。同时，与地方空中、公路、铁路、水上等运输部门保持好联系，建立长效机制，遇有情况能直接按照预案机制让部队通过相应途径得到投送，以保证远程投送及时高效。选取3个重要指标来衡量：1) 机动速度；2) 机动范围；3) 装备性能。

1.1.4 综合保障能力

在部队搞好满足作战行动的基本保障基础上，机关立足实战需要，建立起多军种联合后勤保障体制。加强装备的日常管理维护，提高装备操作使用能力，确保装备处于良好的状态。同时，要多渠道获取情报信息，增强战场情报信息融合整理能力，使作战平台和各类人员能实时交流共享作战信息资源，以保证部队可以准确快捷的实施作战^[5]。选取3个重要指标体现：1) 装备保障能力；2) 后勤保障

能力；3) 情报信息获取处理能力。

1.1.5 战时生存能力

要求依托战场资源，构建完善的安全防护体系，并立足自身，构建融合对地、对空侦察、预警、报知系统和地面、空中打击火力于一体的综合防护体系；针对潜在来袭武器威胁，提高机动避敌打击能力^[6]。选取3个重要指标来衡量：1) 伪装防护能力；2) 反侦察能力；3) 躲避打击能力。

1.1.6 无依托随机发射能力

要实施无依托随机发射，从技术层面来看，装备需具备快速定位定向、全方位发射、低比压场坪发射、重力加速度快速测量、垂线偏差快速测量等能力，重点是缩短装备发射准备时间，提高效率；要合理选取目标，预先确定打击毁伤程度^[7]。选取3个重要指标来衡量：1) 装备准备发射速度；2) 射击精度；3) 目标毁伤效果。

1.2 能力评估指标模型构建

通过以上分析，对2种型号装备无依托随机发射机动作战能力进行评估。根据AHP评估要求，按照目标层、准则层和方案层^[8]，建立同一个评估指标体系如图1所示。

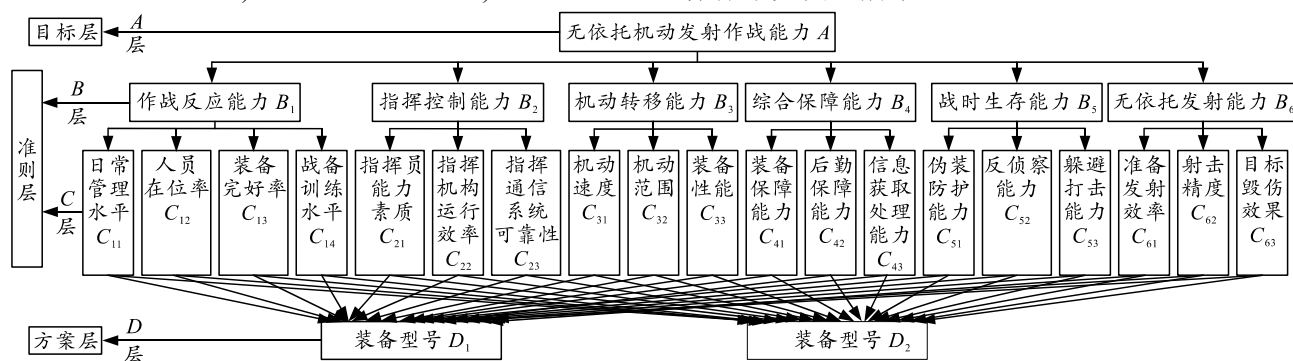


图1 无依托机动作战能力评估指标体系

2 评估方法简介

2.1 AHP方法应用介绍

如图2所示，AHP应用步骤主要有4步。具体方法过程见文献^[9]。

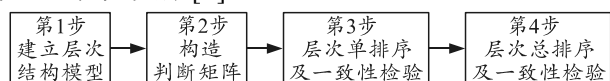


图2 AHP法评估过程

2.2 灰色层次评估方法介绍

2.2.1 引用该方法的理论依据

笔者研究的对象是部队无依托随机发射作战能

力，可以看作是一个典型的灰色系统，因为装备的相关战标确定已知，如机动速度、射击精度和发射准备时间等；但是涉及作战能力的要素较模糊且带有很大不确定性，如人员能力素质、指挥控制能力、综合保障能力、战场生存能力等内容。因此，要评估部队作战能力，使用灰色层次评估方法是一种较理想的方法。

2.2.2 思路过程

在运用AHP法得到各底层评估指标相对于评估目标的组合权重 W_{AC} 后，通过灰色评估理论，进一步计算评估目标综合所有评估指标后的综合评估

权向量 r_j , 再计算 $r_j W_n$, 即可得到评估目标最终的综合评分 L , 如下式所示。具体方法过程见文献[10]。

$$L=r_n W_n. \tag{1}$$

3 评估过程

3.1 AHP 评估过程

3.1.1 取值约定

为使判断矩阵元素取值更加规范合理, 克服随意性, 在 B 层指标元素两两对比时, 参照表 1 和 2 的取值和评判情况, 并作表 2 所示的统一取值原则约定。比如对照表 2, B_1 与 B_5 相比较, 中间间隔 3 个重要性等级跨度, 那么比值为 1/5。组织专家对

各层相对于有隶属关系的上一层元素重要性进行评判, 综合专家意见, 得到各层重要性判断。表 1 所示为 B 层元素相对于目标层 A 的重要性判断。

3.1.2 各层权重计算

1) 计算 B 层元素相对于 A 层的权重。根据表 1 及表 2, 可得判断矩阵

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/4 & 1/5 \\ 2 & 1 & 1/2 & 3 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 2 & 1 & 3 & 1/2 & 1/3 \\ 1 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/4 & 1/5 \\ 4 & 3 & 2 & 4 & 1 & 1/2 \\ 5 & 4 & 3 & 5 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

表 1 专家关于 B 对 A 重要性判断

B 层指标元素	相对重要性(等级)									计算结果 权重
	最重要 (一)	相邻中值 (二)	很重要 (三)	相邻中值 (四)	比较重要 (五)	相邻中值 (六)	稍重要 (七)	相邻中值 (八)	不重要 (九)	
作战反应 B_1					√					0.058 0
指挥控制 B_2				√						0.104 6
机动转移 B_3			√							0.155 7
综合保障 B_4					√					0.055 1
战时生存 B_5		√								0.247 2
发射打击 B_6	√									0.379 4

表 2 约定指标元素比较取值原则

比较 元素 情况 取值	重要性 相等元 素比较	相邻重要 性等级元 素比较	间隔 1 个重要 性等级跨 度的元素比较	间隔 2 个重 要性等级跨 度元素比较	间隔 3 个重 要性等级跨 度元素比较	间隔 4 个重 要性等级跨 度元素比较	间隔 5 个重 要性等级跨 度元素比较	间隔 6 个重 要性等级跨 度元素比较	间隔 7 个重 要性等级跨 度元素比较
	1	2 或 1/2	3 或 1/3	4 或 1/4	5 或 1/5	6 或 1/6	7 或 1/7	8 或 1/8	9 或 1/9

该矩阵的最大特征值为 $\lambda_{max}=6.126 3$, 其对应特征向量, 即 $B_1、B_2、B_3、B_4、B_5、B_6$ 关于作战能力的排序权重为: $W_A=(0.116 7,0.210 6,0.313 6,0.110 9,0.497 7,0.764 0)^T$, 归一化处理为 $W_A=(0.05 8,0.104 6,0.155 7,0.055 1,0.247 2,0.379 4)^T$ 。根据矩阵一致性判断方法, 计算得该矩阵的 $CR=0.02$, 因 $CR<0.1$, 可知判断矩阵 B 满足一致性条件。

2) 计算 C 层元素相对于 B 层元素的权重。

综合专家判断, C 层各元素重要性如表 3 所示。

若计算无误, 则 C 层各元素相对于目标层 A 权重值之和, 应直接满足归一化结果。

经验算: $\sum W_{AC}=0.9991$, 符合预期运算结果要求。此时, 可得到各底层评估指标相对于评估目标的重要性排序为:

$$\begin{aligned}
& C_{61} > C_{52} > C_{31} > C_{62} = C_{63} > C_{53} > C_{21} > C_{51} > \\
& C_{33} > C_{14} > C_{22} > C_{41} = C_{42} > C_{13} > C_{32} > C_{23} > \\
& C_{11} > C_{43} > C_{12} \circ
\end{aligned} \tag{3}$$

3) 计算 D 层元素相对于其隶属 C 层元素的

权重。

根据实际情况, D 层 2 个型号装备相对于 C 层的 19 项能力指标, 这里不再进行重要性判断, 而是直接将能力分为高、较高、一般、较低 4 个等级进行评判。

综合专家判断, 假设 D 层 2 型装备的指标能力情况判断结果如表 4 所示。

得到 C 层各元素所属 D 层元素的判断矩阵为:

$$\begin{aligned}
& C_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_3 = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}, \\
& C_4 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_5 = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_6 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}, \\
& C_7 = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 1/4 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_9 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, \\
& C_{10} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_{11} = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, \\
& C_{13} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_{14} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_{15} = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix},
\end{aligned}$$

$$C_{16} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, C_{17} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}, C_{18} = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}, C_{19} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}.$$

表 3 专家关于 C 层元素相对于所属 B 层元素的重要性判断

B 层所属元素	重要性判断情况	相对重要性(等级)									计算结果权重
		最重要(一)	相邻中值(二)	很重要(三)	相邻中值(四)	比较重要(五)	相邻中值(六)	稍重要(七)	相邻中值(八)	不重要(九)	
日常管理水平 C ₁₁				√							0.169 9
作战反应 人员在位率 C ₁₂						√					0.072 9
能力 B ₁ 装备完好率 C ₁₃			√								0.284 4
战备训练水平 C ₁₄	√										0.472 9
指挥控制 指挥员能力素质 C ₂₁	√										0.625 0
能力 指挥机构运行效率 C ₂₂				√							0.238 5
B ₂ 指挥通信系统可靠性 C ₂₃					√						0.136 5
机动转移 机动速度 C ₃₁	√										0.637 0
能力 机动范围 C ₃₁						√					0.104 7
B ₃ 装备性能 C ₃₃				√							0.258 3
综合保障 装备保障能力 C ₄₁	√										0.428 6
能力 后勤保障能力 C ₄₂	√										0.428 6
B ₄ 信息获取处理能力 C ₄₃				√							0.142 9
战时生存 伪装防护能力 C ₅₁				√							0.163 4
能力 反侦察能力 C ₅₂	√										0.539 6
B ₅ 躲避打击能力 C ₅₃			√								0.297 0
发射打击 准备发射效率 C ₆₁	√										0.600 0
能力 打击精度 C ₆₂				√							0.200 0
B ₆ 目标毁伤效果 C ₆₃				√							0.200 0

表 4 专家关于 D 层元素相对于所属 C 层元素的能力判断

C 层所属元素	重要性判断情况	相对重要性(等级)				计算结果权重	C 层所属元素	重要性判断情况	相对重要性(等级)				计算结果权重
		高(一)	较高(二)	一般(三)	较低(四)				高(一)	较高(二)	一般(三)	较低(四)	
日常管理水平 C ₁₁	D ₁	√				0.75	装备保障能力 C ₄₁	D ₁		√			0.75
	D ₂			√		0.25		D ₂				√	0.25
人员在位率 C ₁₂	D ₁	√				0.666 7	后勤保障能力 C ₄₂	D ₁		√			0.666 7
	D ₂		√			0.333 3		D ₂			√		0.333 3
装备完好率 C ₁₃	D ₁	√				0.75	信息获取处理能力 C ₄₃	D ₁		√			0.666 7
	D ₂			√		0.25		D ₂			√		0.333 3
战备训练水平 C ₁₄	D ₁	√				0.666 7	伪装防护能力 C ₅₁	D ₁		√			0.666 7
	D ₂		√			0.333 3		D ₂			√		0.333 3
指挥员能力素质 C ₂₁	D ₁	√				0.75	反侦察能力 C ₅₂	D ₁			√		0.333 3
	D ₂			√		0.25		D ₂		√			0.666 7
指挥机构运行效率 C ₂₂	D ₁			√		0.333 3	躲避打击能力 C ₅₃	D ₁			√		0.25
	D ₂		√			0.666 7		D ₂	√				0.75
指挥通信系统可靠性 C ₂₃	D ₁	√				0.8	准备发射效率 C ₆₁	D ₁		√			0.666 7
	D ₂				√	0.2		D ₂			√		0.333 3
机动速度 C ₃₁	D ₁			√		0.25	打击精度 C ₆₂	D ₁			√		0.333 3
	D ₂	√				0.75		D ₂		√			0.666 7
机动范围 C ₃₁	D ₁		√			0.666 7	目标毁伤效果 C ₆₃	D ₁		√			0.666 7
	D ₂	√				0.333 3		D ₂			√		0.333 3
装备性能 C ₃₃	D ₁			√		0.25							
	D ₂	√				0.75							

根据矩阵性质，以上矩阵均满足一致性条件，最终得到各矩阵对应元素的权重 W_C ，进而可得到 2 型装备 D_1 、 D_2 相对于 C 层各元素的权重为：

$$W_{CD1} = (0.75, 0.666 7, 0.75, 0.666 7, 0.75, 0.333 3, 0.8, 0.25, 0.666 7, 0.25, 0.75, 0.666 7, 0.666 7, 0.666 7, 0.333 3, 0.25, 0.666 7, 0.333 3, 0.666 7)^T.$$

$$W_{CD2} = (0.25, 0.333 3, 0.25, 0.333 3, 0.25, 0.666 7, 0.2, 0.75, 0.333 3, 0.75, 0.25, 0.333 3, 0.333 3, 0.333 3,$$

$$0.666 7, 0.75, 0.333 3, 0.666 7, 0.333 3)^T.$$

3.1.3 计算最终评估结果

对 D 层元素进行层次总排序

$$W_D = W_{AC} W_{CD}. \tag{4}$$

根据上式得：

$$W_{D1} = 0.511 4; W_{D2} = 0.487 7.$$

从评估结果来看， D_1 型号装备的无依托机动作

战能力相对较强，但两者相差不大。

3.2 灰色层次评估过程

在 3.1 中，得到了 C 层指标相对于目标层 A 的组合权重 W_{AC} 。现需计算 2 型装备综合所有评估指标后的综合评估权向量 r_{D1} 、 r_{D2} 。

3.2.1 构建 C 层元素的评估值矩阵 $D_{Jl}^{(C)}$

设有 5 位专家，即 $I=1,2,3,4,5$ ，记为 I、II、III、IV、V；2 个型号装备的作战能力为受评对象，即 $J=1,2$ ，记为 $1^0, 2^0$ ；根据图 1 可知，共有 19 个评估指标，即 $C=1,2,\dots,19$ 。规定每位专家的评分范围为 1~10 分。假定 5 位专家对 2 型装备各指标的评分结果如表 5 所示。

表 5 5 位专家对 2 型装备作战能力指标要素的评分

C 层所属元素	给定分值									
	专家 1		专家 2		专家 3		专家 4		专家 5	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
装备型号 D	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
日常管理水平 C ₁	8	6	9	7	7	8	8	7	8	8
人员在位率 C ₁₂	9	8	8	8	8	9	8	8	9	7
装备完好率 C ₁₃	8	7	9	7	7	8	9	9	8	7
战备训练水平 C ₁₄	8	8	9	9	8	8	8	7	9	8
指挥员能力素质 C ₂₁	9	7	8	8	9	8	8	8	8	7
指挥机构运行效率 C ₂₂	8	7	9	8	7	8	8	8	8	8
指挥通信系统可靠性 C ₂₃	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
机动速度 C ₃₁	7	8	8	8	7	9	8	8	9	8
机动范围 C ₃₁	8	8	9	8	9	8	8	8	9	9
装备性能 C ₃₃	9	8	8	8	8	9	8	9	9	9
装备保障能力 C ₄₁	8	7	8	8	9	8	8	8	9	7
后勤保障能力 C ₄₂	8	8	9	8	8	8	8	7	8	8
信息获取处理能力 C ₄₃	8	8	8	7	8	9	8	8	9	9
伪装防护能力 C ₅₁	9	8	9	7	8	6	7	7	8	8
反侦察能力 C ₅₂	7	8	8	8	9	8	8	8	8	8
躲避打击能力 C ₅₃	8	9	8	9	8	8	8	7	9	8
准备发射效率 C ₆₁	8	9	8	8	7	8	8	8	8	8
打击精度 C ₆₂	8	8	7	8	8	9	8	8	8	7
目标毁伤效果 C ₆₃	8	8	9	7	8	8	8	8	9	8

据表 5 得到评估指标值矩阵 $D_{Jl}^{(1)} \sim D_{Jl}^{(19)}$ ，对于评估指标 C_{11} (日常管理水平)，有：

$$D_{Jl}^{(1)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ d_{11}^{(1)} & d_{12}^{(1)} & d_{13}^{(1)} & d_{14}^{(1)} & d_{15}^{(1)} \\ d_{21}^{(1)} & d_{22}^{(1)} & d_{23}^{(1)} & d_{24}^{(1)} & d_{25}^{(1)} \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0 = \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$\begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 9 & 7 & 8 & 8 \\ 6 & 7 & 8 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(2)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 9 & 8 & 8 & 8 & 9 \\ 8 & 8 & 9 & 8 & 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(3)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 9 & 7 & 9 & 8 \\ 7 & 7 & 8 & 9 & 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(4)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 9 & 8 & 8 & 9 \\ 8 & 9 & 8 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(5)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 9 & 8 & 9 & 8 & 8 \\ 7 & 8 & 8 & 8 & 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(6)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 9 & 7 & 8 & 8 \\ 7 & 8 & 8 & 8 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(7)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(8)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 7 & 8 & 7 & 8 & 9 \\ 8 & 8 & 9 & 8 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(9)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 9 & 9 & 8 & 9 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 9 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(10)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 9 & 8 & 8 & 8 & 9 \\ 8 & 8 & 9 & 9 & 9 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(11)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 8 & 9 & 8 & 9 \\ 7 & 8 & 8 & 8 & 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(12)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 9 & 8 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 8 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(13)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 9 \\ 8 & 7 & 9 & 8 & 9 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(14)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 9 & 9 & 8 & 7 & 8 \\ 8 & 7 & 6 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(18)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 7 & 8 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 9 & 8 & 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(18)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 7 & 8 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 9 & 8 & 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(17)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 8 & 7 & 8 & 8 \\ 9 & 8 & 8 & 8 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

$$D_{Jl}^{(15)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 7 & 8 & 9 & 8 & 8 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}, D_{Jl}^{(16)} = \begin{bmatrix} I & II & III & IV & V \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 9 \\ 9 & 9 & 8 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1^0, \\ 2^0 \end{matrix}$$

3.2.2 确定评估灰类

如表 6 所示，设有 5 个灰类，即 $K=1,2,3,4,5$ ，分别为优秀、良好、较好、一般、较差 5 级。根据专家评分范围 1~10，选定每个等级对应取值范围。

表 6 5 个评估灰类等级取值范围

对应评估对象等级	优秀	良好	较好	一般	较差
等级取值范围	[9,10]	[7,9]	[5,7]	[3,5]	[0,3]

5 个评估灰类为：

如图 3 所示，第 1 类“优秀”($k=1$)，设定灰数 $\otimes 1 \in [9, \infty)$ ，白化权函数为 f_1 ；

如图 4 所示，第 2 类“良好”($k=2$)，设定灰数 $\otimes 2 \in [0, 8, 16]$ ，白化权函数为 f_2 ；

如图 5 所示，第 3 类“较好”($k=3$)，设定灰数 $\otimes 3 \in [0, 6, 12]$ ，白化权函数为 f_3 ；

如图 6 所示，第 4 类“一般”($k=4$)，设定灰数 $\otimes 4 \in [0, 4, 8]$ ，白化权函数为 f_4 ；

如图 7 所示，第 5 类“较差”($k=5$)，设定灰

数 $\otimes 5 \in [0,1,3]$ ，白化权函数为 f_5 。

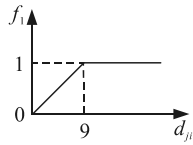


图 3 第 1 类白化权函数

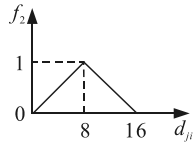


图 4 第 2 类白化权函数

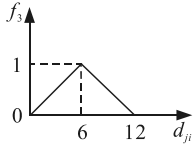


图 5 第 3 类白化权函数

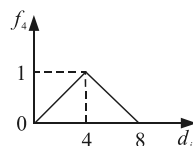


图 6 第 4 类白化权函数

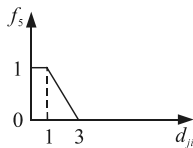


图 7 第 5 类白化权函数

3.2.3 计算灰色评估系数

对于指标 1， 1^0 属于各灰类的评估系数为：

$$K=1 \quad n_{11}^{(1)} = f_1(d_{11}^{(1)} + d_{12}^{(1)} + d_{13}^{(1)} + d_{14}^{(1)} + d_{15}^{(1)}) = f_1^{(8)} + f_1^{(9)} + f_1^{(7)} + f_1^{(8)} + f_1^{(8)} = 4.4444,$$

$$K=2 \quad n_{12}^{(1)} = f_2^{(8)} + f_2^{(9)} + f_2^{(7)} + f_2^{(8)} + f_2^{(8)} = 4.75,$$

$$K=3 \quad n_{13}^{(1)} = f_3^{(8)} + f_3^{(9)} + f_3^{(7)} + f_3^{(8)} + f_3^{(8)} = 3.3333,$$

$$K=4 \quad n_{14}^{(1)} = f_4^{(8)} + f_4^{(9)} + f_4^{(7)} + f_4^{(8)} + f_4^{(8)} = 0.25,$$

$$K=5 \quad n_{15}^{(1)} = f_5^{(8)} + f_5^{(9)} + f_5^{(7)} + f_5^{(8)} + f_5^{(8)} = 0.$$

从而 1^0 对指标 1 的总评估系数为

$$n_1^{(1)} = \sum_{i=1}^5 n_{1i}^{(1)} = n_{11}^{(1)} + n_{12}^{(1)} + n_{13}^{(1)} + n_{14}^{(1)} + n_{15}^{(1)} = 12.7777.$$

3.2.4 计算灰色评估权向量及权矩阵

由 $\{n_{1i}^{(1)}\}$ 及 $n_1^{(1)}$ ，得到 1^0 对于评估指标 1 的灰色评估权向量

$$r_1^{(1)} = (r_{11}^{(1)}, r_{12}^{(1)}, r_{13}^{(1)}, r_{14}^{(1)}, r_{15}^{(1)}) = n(n_{11}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{12}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{13}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{14}^{(1)} / n_1^{(1)}, n_{15}^{(1)} / n_1^{(1)}) = (0.3478, 0.3717, 0.2609, 0.0196, 0).$$

同理，可得 2^0 相对于评估指标 1 的灰色评估权向量 $r_2^{(1)} = (0.2963, 0.3333, 0.2963, 0.0741, 0)$ ，从而构成各受评者对于评估指标 1 的评估权矩阵

$$R^{(1)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)} & r_{12}^{(1)} & r_{13}^{(1)} & r_{14}^{(1)} & r_{15}^{(1)} \\ r_{21}^{(1)} & r_{22}^{(1)} & r_{23}^{(1)} & r_{24}^{(1)} & r_{25}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3478, 0.3717, 0.2609, 0.0196, 0 \\ 0.2963, 0.3333, 0.2963, 0.0741, 0 \end{bmatrix}.$$

同理，可得其他指标的评估权矩阵 $R^{(2)} \sim R^{(19)}$ 。

3.2.5 进行不同评估指标的评估

由 $R^{(1)}$ 可得 1^0 对于评估指标 1 的最大的灰色评估权：

$$r_1^{*(1)} = \max_i \{r_{1i}^{(1)}\} =$$

$$\max(0.3478, 0.3717, 0.2609, 0.0196, 0) = 0.3478.$$

同理，可得 2^0 对于评估指标 1 的最大灰色评估权和 2 型受评装备对于评估指标 1 的灰色评估权向量 $r^{*(1)} = (r_1^{*(1)}, r_2^{*(1)}) = (0.3478, 0.3333)$ 。

同理，可得评估指标 2~19 的灰色评估权向量 $r^{*(2)} \sim r^{*(19)}$ ，并形成评估权矩阵

$$r^* = \begin{bmatrix} r_1^{*(1)} & r_2^{*(1)} \\ r_1^{*(2)} & r_2^{*(2)} \\ r_1^{*(3)} & r_2^{*(3)} \\ r_1^{*(4)} & r_2^{*(4)} \\ r_1^{*(5)} & r_2^{*(5)} \\ r_1^{*(6)} & r_2^{*(6)} \\ r_1^{*(7)} & r_2^{*(7)} \\ r_1^{*(8)} & r_2^{*(8)} \\ r_1^{*(9)} & r_2^{*(9)} \\ r_1^{*(10)} & r_2^{*(10)} \\ r_1^{*(11)} & r_2^{*(11)} \\ r_1^{*(12)} & r_2^{*(12)} \\ r_1^{*(13)} & r_2^{*(13)} \\ r_1^{*(14)} & r_2^{*(14)} \\ r_1^{*(15)} & r_2^{*(15)} \\ r_1^{*(16)} & r_2^{*(16)} \\ r_1^{*(17)} & r_2^{*(17)} \\ r_1^{*(18)} & r_2^{*(18)} \\ r_1^{*(19)} & r_2^{*(19)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{D1} & r_{D2} \\ 0.3478 & 0.3333 \\ 0.4447 & 0.3717 \\ 0.3671 & 0.3425 \\ 0.4447 & 0.3717 \\ 0.4447 & 0.3849 \\ 0.3717 & 0.3762 \\ 0.3913 & 0.3913 \\ 0.3569 & 0.387 \\ 0.3905 & 0.387 \\ 0.4447 & 0.3905 \\ 0.4447 & 0.3849 \\ 0.387 & 0.3762 \\ 0.387 & 0.3671 \\ 0.3671 & 0.3333 \\ 0.3717 & 0.3913 \\ 0.387 & 0.3671 \\ 0.3762 & 0.387 \\ 0.3762 & 0.3717 \\ 0.4447 & 0.3762 \end{bmatrix}.$$

3.2.6 进行综合评估

2.1.2 中计算得到 2 型装备对应的 19 个评估指标相对于评估目标的组合权重 W_{AC} ，根据式(1)，可分别得到 2 型装备无依托机动作战能力评估的最终结果，即：

$$L_1 = r_{D1} W_{AC} = 0.3903; \quad L_2 = r_{D2} W_{AC} = 0.3792.$$

3.3 结果分析

3.3.1 总体结论

从 2 种评估方法得到的结果来看，评估结果具有一致性，且与专家打分判断情况相符。

说明 2 个评估方法均正确评估了 2 型装备的作

战能力,结果直观体现了装备 D_1 的作战能力强于装备 D_2 , 但二者差距并不大。

3.3.2 层次分析法指标排序结论

根据式(3), 观察相对于评估目标的权重排序在前的 9 个指标: C_{61} (准备发射效率) $> C_{52}$ (反侦察能力) $> C_{31}$ (机动速度) $> C_{51}$ (伪装防护能力) $> C_{62}$ (打击精度) $= C_{63}$ (目标毁伤效果) $> C_{53}$ (躲避打击能力) $> C_{21}$ (指挥员能力素质) $> C_{51}$ (伪装防护能力) $> C_{33}$ (装备性能)。

它们的权重之和为:

$$\sum_{i=1}^9(W_i) = (0.2262 + 0.133 + 0.099 + 0.0754 + 0.0754 + 0.0732 + 0.0655 + 0.0403 + 0.0402) = 0.8282。$$

即共占整个能力权重的 82.82%, 能集中体现装备作战能力。要改进提高部队作战能力, 需要从这 9 个方面做好相关工作。

3.3.3 评估指标的灰色评估权排序结论

从 3.2.5 的评估矩阵 r^* 中, 可得到 2 型装备对应 19 个评估指标的灰色评估权排序如表 7 所示。

表 7 受评装备对不同评估指标的排名

评估指标元素	评估对象	
	第 1 名	第 2 名
日常管理水平 C_1	1 ⁰	2 ⁰
人员在位率 C_{12}	1 ⁰	2 ⁰
装备完好率 C_{13}	1 ⁰	2 ⁰
战备训练水平 C_{14}	1 ⁰	2 ⁰
指挥员能力素质 C_{21}	1 ⁰	2 ⁰
指挥机构运行效率 C_{22}	2 ⁰	1 ⁰
指挥通信系统可靠性 C_{23}	并列	并列
机动速度 C_{31}	2 ⁰	1 ⁰
机动范围 C_{31}	1 ⁰	2 ⁰
装备性能 C_{33}	1 ⁰	2 ⁰
装备保障能力 C_{41}	1 ⁰	2 ⁰
后勤保障能力 C_{42}	1 ⁰	2 ⁰
信息获取处理能力 C_{43}	1 ⁰	2 ⁰
伪装防护能力 C_{51}	1 ⁰	2 ⁰
反侦察能力 C_{52}	2 ⁰	1 ⁰
躲避打击能力 C_{53}	1 ⁰	2 ⁰
准备发射效率 C_{61}	2 ⁰	1 ⁰
打击精度 C_{62}	1 ⁰	2 ⁰
目标毁伤效果 C_{63}	1 ⁰	2 ⁰

结合表 7 可知: 被评估对象 2⁰(装备 D_2) 只有 4 项指标排名比被评估的 1⁰(装备 D_1) 占优, 总体上装备 D_1 的作战能力要强于装备 D_2 。

在装备 D_2 占优指标数量较少的情况下, 其作战能力与装备 D_1 相差并不大, 原因在于 D_2 排在 D_1 之前的 4 项指标为: C_{61} (准备发射效率)、 C_{52} (反侦

察能力)、 C_{31} (机动速度)、 C_{22} (指挥机构运行效率), 还有 1 项指标 C_{23} (指挥通信系统可靠性) 为两型装备排序并列, 而这 5 个指标相对于评估目标而言, 共占权重为

$$W_{C_{61}} + W_{C_{52}} + W_{C_{31}} + W_{C_{22}} + W_{C_{23}} = 0.2262 + 0.133 + 0.099 + 0.025 + 0.0143 = 0.4975。$$

由此可知: 装备 D_2 因为 5 项占优指标, 占整个作战能力权重值 49.75%, 几乎为一半。故在占优指标总数较少情况下, 仍与装备 D_1 能力差距不大。

4 结束语

笔者在层次分析法中规范了重要性判断取值, 克服了人为取值随意性较大的问题, 提高了评估的客观性; 在进行灰色层次分析评估时, 综合了 5 位专家意见, 并将评估灰类划分了 5 个等级, 从条件预设上, 尽可能减少了人为因素对评估过程的影响, 最终得到了与专家意见一致的评估结果。从指标权重上, 找到了影响制约部队无依托机动作战能力的最重要指标要素, 为作战实践中有针对性地开展工作提供了科学直观的参考依据。

参考文献:

- [1] 程恺, 张宏军, 柳亚婷, 等. 作战效能及其评估方法研究综述[J]. 系统科学学报, 2014(1): 88-92.
- [2] 马亚龙, 邵秋峰, 孙明, 等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 114-121.
- [3] 鲜勇, 肖龙旭, 李刚. 组合制导弹道导弹无依托快速发射技术研究[J]. 宇航学报, 2010(8): 15-19.
- [4] 汪民乐, 杨先德. 机动导弹系统生存威胁环境分析[J]. 现代防御技术, 2014, 2(42): 1-13.
- [5] 刘耀辉, 刘小方, 张毅, 等. 某型导弹发射单元机动作战伴随保障能力评估[J]. 兵工自动化, 2018, 37(8): 73-77.
- [6] 冯复祥武, 文军, 张弓胤. 战役战术导弹部队机动作战面临的空中威胁分析[J]. 火力与指挥控制, 2015(1): 100-103.
- [7] 张滨, 郝磊. 导弹无依托作战及能力需求综述[J]. 航天导弹, 2017(4): 43-46.
- [8] 袁鹏, 陈维义, 彭英武, 等. 基于录取数据的舰炮武器系统作战训练分析评估[J]. 兵工自动化, 2019, 38(5): 44-47.
- [9] 赵红. 层次分析法在定量分析中的应用[J]. 中国公共安全(学术版), 2010(1): 134-136.
- [10] 吕艳辉, 潘成胜. 基于 AHP 的灰色评估模型及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2005(8): 80-82.