

doi: 10.7690/bgzd.2025.11.022

基于 ANP 的某型舰载机定检能力评估方法

李文路^{1,2}, 祝华远¹, 李军亮¹

(1. 海军航空大学青岛校区学员三十二队, 山东 青岛 266041;

2. 中国人民解放军 92950 部队, 辽宁 兴城 125100)

摘要: 为解决当前部队在定检工作中存在的问题, 采用基于网络分析法(analytic network process, ANP)的定检能力评估分析方法。通过对定检工作特点的分析, 构建出定检能力评估指标结构图, 根据各因素之间的相互关系, 通过 ANP, 利用超级决策(super decisions, SD)软件确定各评估指标权重; 结合示例对定检能力进行综合评估。结果表明, 该方法能为后期及时、高效、有针对性地开展定检工作进行定检能力提高优化提供参考。

关键词: 飞机; 网络分析法; 定检能力; 评估

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Research on Evaluation Method of a Carrier-borne Aircraft's Periodic Maintenance Capability Based on ANP

Li Wenlu^{1,2}, Zhu Huayuan¹, Li Junliang¹

(1. No. 32 Team, Qingdao Campus of Naval Aviation University, Qingdao 266041, China;

2. No. 92950 Unit of PLA, Xingcheng 125100, China)

Abstract: In order to solve the problems existing in the routine inspection work of the army, this paper uses the analytic network process (ANP) to evaluate the capability of routine inspection. Based on the analysis of the characteristics of the periodic inspection work, the index structure chart of the periodic inspection capacity evaluation is constructed, and according to the relationship between the factors, the weight of each evaluation index is determined by using the super decisions (SD) software through ANP, and the periodic inspection capacity is comprehensively evaluated with examples. The results show that the method provides a reference for carrying out the periodic inspection work timely, efficiently and pertinently in the later period and improving and optimizing the periodic inspection ability.

Keywords: aircraft; network analysis method; periodic inspection capability; evaluation

0 引言

飞机的定检工作是航空兵部队的一项预防性、经常性维护工作, 其工作体量大、消耗时间长, 是航空机务保障工作的重要组成部分。定检工作的能力将直接影响到飞机的完好性以及飞行安全^[1]。随着海军的不断发展, 对舰载机的保障要求不断提高, 对定检能力进行及时有效的评估变得愈发紧迫。由于定检能力评估指标体系中的各个评估指标之间存在不同程度的依存关系, 为评估工作增加了很多难度; 因此, 找到一种科学有效的评估方法也变得非常重要和关键。

对装备进行综合评估的方法和理论非常多, 使用较多的如层次分析法^[2](analytic hierarchy process, AHP), 但是 AHP 在确定指标权重时认为同一层次的元素是相互独立的, 基于此假设得到的评估结果

并不是非常科学。在许多实际问题中, 各层次之间或同一层次内部的元素往往相互影响, 低层元素对高层元素亦有支配作用, 即存在反馈, 此时系统的结构更像是一个网络结构。网络分析法^[3-4](ANP)正是适应这种需要, 在 AHP 的基础上发展得到的, 由 Saaty^[5]提出, 此方法一经提出便得到了广泛应用。强欣虹等^[6]基于 ANP 提出了城市公共交通服务水平评估方法; 黄武超等^[7]基于 ANP 提出了航空导弹作战效能指标权重确定方法; 李玉钦^[8]基于 ANP 提出了水电工程风险分析方法; 刘佳等^[9]基于 ANP 模型提出了中国旅游产业结构优化评估方法。

基于 ANP 的定检能力评估分析能够科学地评估某次定检工作的完成情况以及哪个因素对定检工作影响更大, 要提高定检能力还要注意哪些方面, 对促进部队修理工作科学、健康、有序发展, 并方

收稿日期: 2024-10-14; 修回日期: 2024-11-21

第一作者: 李文路(1990—), 男, 山东人, 硕士。

便后期根据这些因素制定专门的计划来提高定检能力,提高部队战斗力意义重大。

1 定检能力评估指标研究

笔者根据定检工作的特点,通过咨询定检工作相关领域的专家,结合评估指标的建立原则及对装备维修保障能力的影响,建立 5 个一级评估指标和 15 个二级评估指标,保证了评估指标的合理性。笔者构建的定检能力评估指标结构如图 1 所示。

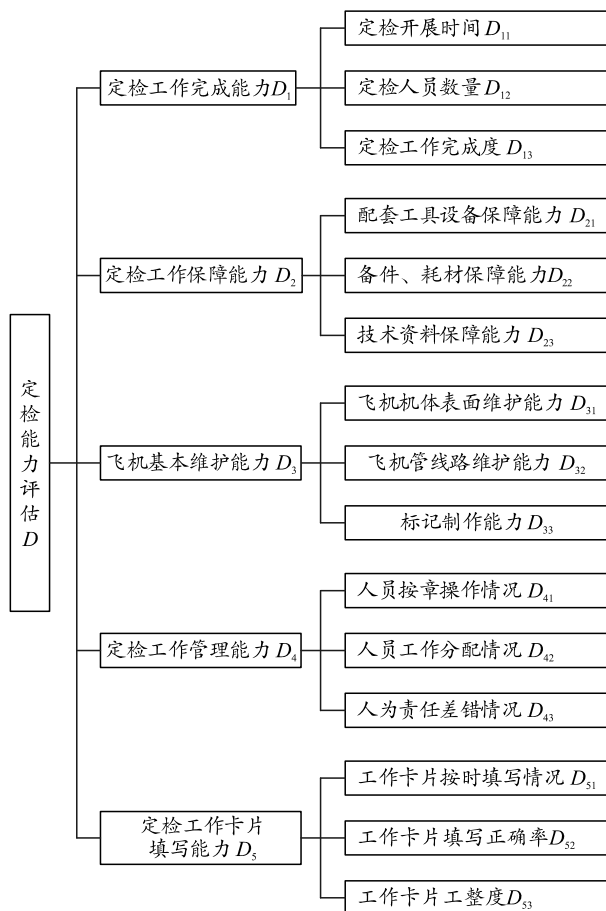


图 1 定检能力评估指标结构

1) 定检工作完成能力。该项内容主要是指完成定检工作主要内容的能力,是评估一项定检工作的核心。其中,定检工作完成度是评估该项工作的基础,工作开展时间和需要的人员数量决定了该项工作完成的质效。

2) 定检工作保障能力。一项工作的保障情况有时能够决定该项工作能否顺利开展。在定检工作中,配套设备的保障是完成该项工作的重要因素,备件保障是关键,技术资料的有效保障能为该项工作的顺利开展提供有力的技术支撑。

3) 飞机基本维护能力。在机务保障工作中,开展扎实的基本维护工作可以有效去除飞机上的腐

蚀,对保障飞机的正常飞行、延长飞机各部附件和机体的寿命起到了非常重要的作用。飞机机体表面维护能力、飞机管线路维护能力和标记制作能力是飞机基本维护的 3 个重要组成部分。

4) 定检工作管理能力。在开展某项工作时科学有效地管理,有时能够起到事半功倍的效果。在定检管理工作中,人员工作如何分配决定着工作是否有效率,人员是否按章操作会影响开展工作的安全,人为责任差错的多少部分反映了平时的教育管理。

5) 定检工作卡片填写能力。工作卡片在机务保障工作中的地位非常显著,工作卡片是所做工作的有效佐证。其中,卡片是否按时填写情况、填写正确率、填写工整度是评判工作卡片填写情况的 3 个关键因素。

在 5 个一级评估指标中,各指标相互影响、相互支配。比如定检工作管理能力将影响另外 4 个指标,同时这 4 个指标反过来又会影响到定检工作的管理。同样,在 15 个二级评估指标中,各元素之间也是相互影响的,5 个一级评估指标和 15 个二级评估指标共同构成了一个网络结构,这种网络结构适合利用 ANP 方法进行评估决策。

2 基于 ANP 方法的定检能力模型构建

ANP 方法确定指标权重主要分为 3 个步骤:1) 根据指标之间的关系建立 ANP 结构模型;2) 确定优势度准则;3) 建立 ANP 无权重超矩阵和加权超矩阵,并通过计算得到极限超矩阵,最终得到指标权重。

2.1 构建 ANP 网络结构模型

ANP 将整个系统划分为控制层和网络层 2 大部分。控制层包括问题目标及决策准则,网络层由所有受控制层支配的元素组成。控制层中所有的决策准则彼此独立且只受目标支配,控制元素中可以没有决策准则,但至少有一个目标;网络层中各元素是互相影响、互相支配的网络结构。考虑到定检能力控制层和网络层的关系,可构建定检能力评估指标 ANP 网络结构模型,如图 2 所示。

2.2 优势度原理

在 ANP 中考虑到各元素之间的关系,有直接优势度和间接优势度 2 种比较方式。直接优势度即给定一个准则,2 元素对于该准则的重要程度进行比较;间接优势度即给出一个准则,2 个元素在该准则下对第 3 个元素的影响程度进行比较。

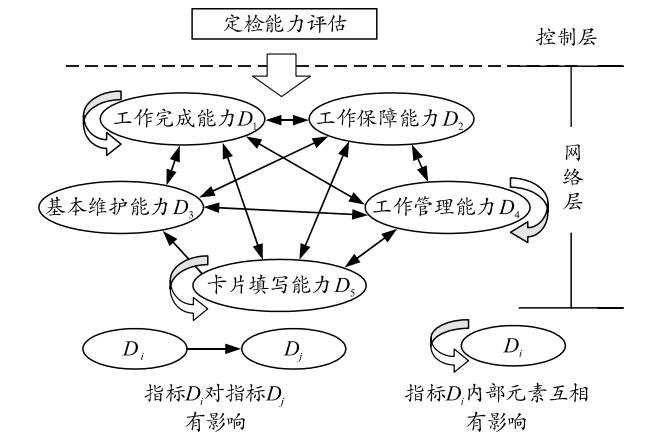


图 2 定检能力评估指标 ANP 模型

在构造比较矩阵时，ANP 通常采用 Satty 提出的 1~9 标度赋值法，如表 1 所示。

表 1 判断矩阵标度及其含义

判断尺度	定义
1	A 与 B 同样重要
3	A 比 B 稍微重要
5	A 比 B 重要
7	A 比 B 重要的多
9	A 比 B 绝对重要
2、4、6、8	介于上述 2 个相邻判断尺度之间
倒数	A 比 B 的重要性比为 1，则 B 比 A 的重要性 1/1

2.3 超矩阵和加权超矩阵构造

在定检能力的 ANP 网络结构中，控制层中有一个目标元素，网络层有元素组 $D_1, D_2, \dots, D_N$ ，其中 D_i 中有元素 $D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{in_i}$ ， $i=1, \dots, N$ 。以控制层元素为准则，以 D_j 中的元素 $D_{jk}(k=1, 2, \dots, n_j)$ 为次准则，元素组 D_i 中元素按其对 D_{jk} 的影响力大小进行间接优势度比较，即按表 1 中定义的标度进行两两因素比较判断，构造的判断矩阵如表 2 所示。

表 2 元素组 D_i 中元素对 D_{jk} 的影响力矩阵

D_{jk}	D_{i1}	D_{i2}	...	D_{in_i}	归一化特征向量
D_{i1}	1	b_{21}	b_{31}	b_{41}	$w_{i1}^{(jk)}$
D_{i2}	b_{12}	1	b_{32}	b_{42}	$w_{i2}^{(jk)}$
$\vdots$	b_{13}	b_{23}	1	b_{43}	$\vdots$
D_{in_i}	b_{14}	b_{24}	b_{34}	1	$w_{in_i}^{(jk)}$

矩阵中， b_{in_i} 表示相互间的优势度，其数值由德尔菲法^[10]获得。与 AHP 方法类似，ANP 方法也需要根据一致性指标检验判断矩阵的合理性。由特征根法得矩阵的排序向量 $(w_{i1}^{(jk)}, \dots, w_{in_i}^{(jk)})^T$ 。记 W_{ij} 为：

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & \dots & w_{i1}^{(jn_j)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & \dots & w_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{in_i}^{(j1)} & w_{in_i}^{(j2)} & \dots & w_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： W_{ij} 中的列向量就是 D_i 中的元素 $(D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{in_i})$ 对 D_j 中的元素 $(D_{j1}, D_{j2}, \dots, D_{jn_j})$ 的影响程度的排序向量。若 D_j 中的元素不受 D_i 中元素的影响，则 $W_{ij}=0$ 。这样最终可获得目标元素下的超矩阵 W 。

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

鉴于本结构模型只有“定检能力评估”这一个目标准则，因此只有一个未加权超矩阵，超矩阵中的元素 W_{ij} 都是列归一化的，即列和为 1，同时这个超矩阵是非负矩阵。

显然， W 不是归一化的，所以需要利用元素组的权重矩阵对其进行加权处理，这样就使得不同元素组中的元素对目标元素的影响具有可比性。为此以 D 为目标准则，以 D 以下各组元素对准则 $D_i (i=1, \dots, N)$ 的重要性进行比较，得到结果如表 3 所示。

表 3 D 以下各组元素对准则 D_i 的重要性比较矩阵

D_i	D_1	D_2	...	D_n	归一化特征向量
D_1					a_{1i}
D_2					a_{2i}
$\vdots$					$\vdots$
D_n					a_{ni}

其中，与 D_i 无关的元素组对应向量的分量为 0，由此得到权重矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (3)$$

对超矩阵 W 中的元素进行加权，得到 $\overline{W} = (\overline{W}_{ij})$ ，其中：

$$\overline{W}_{ij} = a_{ij}(W_{ij}) \quad i=1, \dots, N, j=1, \dots, N. \quad (4)$$

则 $\overline{W}$ 即为加权超矩阵。

2.4 极限超矩阵计算原理分析

在加权超矩阵 $\overline{W}$ 中，其元素 $\overline{w}_{ij}$ 的大小反映了元素 i 对元素 j 的优势度。为了反应元素间的相互影响关系，需要对加权超矩阵进行稳定性处理，计算其极限值。当

$$\overline{W}^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \overline{W}^t \quad (5)$$

存在且唯一时, $\bar{W}^\infty$ 仍旧是归一化的, $\bar{W}^\infty$ 的第 i 列就是目标准则下各元素对元素 i 的极限相对排序向量, 亦即各元素的权重。

3 示例应用分析

3.1 建立 ANP 超矩阵

鉴于建模计算过程复杂, 笔者将使用超级决策软件(SD)依次求得未加权超矩阵、加权超矩阵以及极限超矩阵, 进而得到各评估指标的权重。

3.1.1 无权重超矩阵计算分析

在本文中所述的定检能力评估指标体系中, 以控制层目标定检能力评估指标为准则, 以网络层元素组定检工作保障能力(D_2)中的备件、耗材保障能力(D_{22})为次准则, 考虑元素组 D_1 中的元素按其对 D_{22} 的影响力大小进行间接优势度比较, 构造的判断矩阵如表 4 所示。

同理可以分别求出以 D_{21} 和 D_{23} 为次准则, D_1 中的元素对其影响力大小的判断矩阵并得到归一化

特征向量, 得到 3 个特征向量共同构成元素组 D_1 对元素组 D_2 的关联矩阵:

$$W_{21} = \begin{bmatrix} 0.493\ 4 & 0.332\ 5 & 0.333\ 3 \\ 0.195\ 8 & 0.139\ 7 & 0.333\ 3 \\ 0.310\ 8 & 0.527\ 8 & 0.333\ 3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

表 4 D_1 元素在 D_{22} 准则下的评判矩阵

D_{22}	D_{11}	D_{12}	D_{13}	归一化特征向量
D_{11}	1	3	1/2	0.332 5
D_{12}	1/3	1	1/3	0.139 7
D_{13}	2	3	1	0.527 8

同样的方法求得其他 $W_{ij}(i=1\sim 5, j=1\sim 5)$, W_{ij} 表示元素组 D_i 中的各元素对元素组 D_j 中的各元素的影响力的关联矩阵。其中, 若 D_i 对 D_j 无影响, 则 $W_{ij}=0$, 各 W_{ij} 共同构成无权重超矩阵:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{15} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{51} & W_{52} & \cdots & W_{55} \end{bmatrix} \quad (7)$$

具体结果如表 5 所示。

表 5 未加权超矩阵

相互关系	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{51}	D_{52}	D_{53}
D_{11}	0	0.250 0	0.500 0	0.493 4	0.332 5	0.333 3	0.332 5	0.332 5	0.332 5	0.332 5	0.163 4	0.230 8	0.200 0	0.272 7	0.461 5
D_{12}	0.250 0	0	0.500 0	0.195 8	0.139 7	0.333 3	0.527 8	0.527 8	0.527 8	0.139 7	0.297 0	0.461 5	0.200 0	0.545 5	0.230 8
D_{13}	0.750 0	0.750 0	0	0.310 8	0.527 8	0.333 3	0.139 7	0.139 7	0.139 7	0.527 8	0.539 6	0.307 7	0.600 0	0.181 8	0.307 7
D_{21}	0.238 5	0.249 3	0.200 0	0	0	0	0.199 8	0.199 8	0.199 8	0.666 7	0.493 4	0.461 5	0	0	0
D_{22}	0.625 0	0.593 6	0.600 0	0	0	0	0.683 3	0.683 3	0.683 3	0	0.310 8	0.230 8	0	0	0
D_{23}	0.136 5	0.157 1	0.200 0	0	0	0	0.116 9	0.116 9	0.116 9	0.333 3	0.195 8	0.307 7	1.000 0	1.000 0	1.000 0
D_{31}	0.136 5	0.163 4	0.333 3	0.493 4	0.333 3	0	0	0	0	0	0.333 3	0.333 3	0.195 8	0	0
D_{32}	0.238 5	0.267 0	0.333 3	0.310 8	0.333 3	0	0	0	0	0	0.333 3	0.333 3	0.310 8	0	0
D_{33}	0.625 0	0.539 6	0.333 3	0.195 8	0.333 3	1.000 0	0	0	0	0	0.333 3	0.333 3	0.493 4	0	0
D_{41}	0.178 6	0.178 6	0.310 8	0.310 8	0	0.493 4	0.493 4	0.493 4	0.493 4	0	0.750 0	0.800 0	0	0	0
D_{42}	0.708 9	0.708 9	0.195 8	0.493 4	0	0.195 8	0.195 8	0.195 8	0.195 8	0.666 7	0	0.200 0	1.000 0	0	1.000 0
D_{43}	0.112 5	0.112 5	0.493 4	0.195 8	0	0.310 8	0.310 8	0.310 8	0.310 8	0.333 3	0.250 0	0	0	0	0
D_{51}	0.593 6	0.666 7	0.750 0	0	0	0.250 0	0	0	0	0	0.750 0	0.200 0	0	1.000 0	1.000 0
D_{52}	0.249 3	0.333 3	0.250 0	1.000 0	0	0.750 0	0	0	0	0	0.250 0	0.800 0	1.000 0	0	0
D_{53}	0.157 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.1.2 加权超矩阵计算分析

在计算加权超矩阵前, 需要根据第 2.3 节进行权重矩阵计算。以 D 为目标准则, 以 D 以下各组元素对准则 $D_i(i=1, \cdots, 5)$ 的重要性进行比较, 得到的比较矩阵如表 6(以 D_1 为例)所示。

表 6 D 以下元素在 D_1 准则下的比较矩阵

D_1	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	归一化特征向量
D_1	1	3	5	1/2	5	0.313 1
D_2	1/3	1	3	1/3	2	0.137 5
D_3	1/5	1/3	1	1/5	1/2	0.055 9
D_4	2	3	5	1	5	0.414 6
D_5	1/5	1/2	2	1/5	1	0.078 9

同理求出以 $D_2\sim D_5$ 为准则的比较矩阵, 各个归一化特征向量共同构成权重矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 0.3131 & 0.3273 & 0.1958 & 0.3048 & 0.2983 \\ 0.1375 & 0 & 0.4934 & 0.1552 & 0.0978 \\ 0.0559 & 0.1342 & 0 & 0.0560 & 0.0591 \\ 0.4146 & 0.4650 & 0.3108 & 0.4025 & 0.1839 \\ 0.0789 & 0.0736 & 0 & 0.0815 & 0.3609 \end{bmatrix} \quad (8)$$

基于权重矩阵 A , 借助 SD 软件, 对超矩阵 W 中的各元素根据式(4)进行加权就可以得到加权超矩阵 $\bar{W}$, 如表 7 所示。

3.1.3 极限超矩阵计算分析

根据式(5), 需要对加权超矩阵就行极限求解。由于求解极限超矩阵的计算量非常大, 笔者使用 SD 软件进行超矩阵的极限求解, 得到的极限超矩阵如

表 8 所示。根据极限超矩阵确定所有评估指标对目 标准则的全局权重，如表 9 所示。

表 7 加权超矩阵

相互关系	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{51}	D_{52}	D_{53}
D_{11}	0	0.078 3	0.156 6	0.161 5	0.235 8	0.109 1	0.065 1	0.065 1	0.065 1	0.117 5	0.049 8	0.070 3	0.059 7	0.107 5	0.146 3
D_{12}	0.078 3	0	0.156 6	0.064 1	0.099 0	0.109 1	0.103 4	0.103 4	0.103 4	0.049 3	0.090 5	0.140 7	0.059 7	0.214 9	0.073 2
D_{13}	0.234 9	0.234 9	0	0.101 7	0.374 3	0.109 1	0.027 3	0.027 3	0.027 3	0.186 5	0.164 5	0.093 8	0.179 0	0.071 6	0.097 5
D_{21}	0.032 8	0.034 3	0.027 5	0	0	0	0.098 6	0.098 6	0.098 6	0.120 0	0.076 6	0.071 6	0	0	0
D_{22}	0.085 9	0.081 6	0.082 5	0	0	0	0.337 2	0.337 2	0.337 2	0	0.048 2	0.035 8	0	0	0
D_{23}	0.018 8	0.021 6	0.027 5	0	0	0	0.057 7	0.057 7	0.057 7	0.060 0	0.030 4	0.047 8	0.097 8	0.129 2	0.104 0
D_{31}	0.007 6	0.009 1	0.018 6	0.066 2	0.096 9	0	0	0	0	0	0.018 7	0.018 7	0.011 6	0	0
D_{32}	0.013 3	0.016 6	0.018 6	0.041 7	0.096 9	0	0	0	0	0	0.018 7	0.018 7	0.018 4	0	0
D_{33}	0.034 9	0.030 2	0.018 6	0.026 3	0.096 9	0.134 2	0	0	0	0	0.018 7	0.018 7	0.029 2	0	0
D_{41}	0.074 0	0.074 1	0.128 9	0.144 5	0	0.229 4	0.153 4	0.153 4	0.153 4	0	0.301 9	0.322 0	0	0	0
D_{42}	0.293 9	0.293 9	0.081 2	0.229 4	0	0.091 0	0.060 9	0.060 9	0.060 9	0.311 1	0	0.080 5	0.183 9	0	0.195 5
D_{43}	0.046 6	0.046 6	0.204 5	0.091 0	0	0.144 5	0.096 6	0.096 6	0.096 6	0.155 6	0.100 6	0	0	0	0
D_{51}	0.046 8	0.052 6	0.059 2	0	0	0.018 4	0	0	0	0	0.061 1	0.016 3	0	0.476 7	0.383 5
D_{52}	0.019 7	0.026 3	0.019 7	0.073 6	0	0.055 2	0	0	0	0	0.020 4	0.065 2	0.360 9	0	0
D_{53}	0.012 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 8 极限超矩阵

相互关系	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{51}	D_{52}	D_{53}
D_{11}	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7	0.096 7
D_{12}	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7	0.093 7
D_{13}	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9	0.145 9
D_{21}	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8	0.049 8
D_{22}	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6	0.059 6
D_{23}	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9	0.037 9
D_{31}	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3	0.018 3
D_{32}	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7	0.018 7
D_{33}	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9	0.026 9
D_{41}	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8	0.130 8
D_{42}	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5	0.143 5
D_{43}	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7	0.089 7
D_{51}	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2	0.048 2
D_{52}	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2	0.039 2
D_{53}	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2	0.001 2

表 9 定检能力各评估指标权重表

D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{51}	D_{52}	D_{53}
0.096 7	0.093 7	0.145 9	0.049 8	0.059 6	0.037 9	0.018 3	0.019 7	0.026 9	0.130 8	0.143 5	0.089 7	0.048 2	0.039 2	0.001 2

3.2 结果分析

显而易见，分析表 9 可知：定检工作管理能力(D_4)和定检工作完成能力(D_1)在整个定检能力中所占的比重非常大，2 项工作占据了整个定检工作比重的 70%，由此可见 2 项工作的重要性程度；因此，要在优化工作流程、合理安排人员力量上下功夫，用更少的时间、更精简的人员力量完成尽可能多的工作，提高工作质效。

其他 3 项工作在整个定检工作中的重要作用也不容忽视。在分析的过程中也可以看出：整个定检工作在完成过程中各项工作是相互影响、相互作用的。在加强管理的同时，要注重工作完成质效、工

作保障、基本维护和卡片填写之间的耦合协调，结合定检工作实际情况，推动定检工作结构优化、内容优化，提高定检能力。

3.3 定检能力评估分析

根据本文中所述的定检工作相关情况，笔者特邀请相关领域的专家对完成情况进行打分，具体打分结果如表 10 所示。其中优秀为 9~10 分，较好为 8~9 分，一般为 6~8 分，较差为 6 分以下。

由表 7 定检能力各评估指标的权重，结合表 8 中的得分，用同一个元素相乘求和的办法，共同得出该次定检能力的总分为：8.794，评估结果为较好。

表 10 某次定检能力的打分情况

评估指标	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{51}	D_{52}	D_{53}
得分	9.0	8.0	9.8	9.0	8.5	9.6	9.5	7.0	8.5	8.5	8.0	9.5	8.5	9.0	9.0

从定检能力的结果可以看出：对完成该项工作的能力评估整体不错，人员能够积极主动完成工作，整体保障情况相对较好，卡片填写质量相对较

高，在以后的工作中可以继续保持，并希望能够做得更好。

也暴露出此次定检工作中的一些问题：是在人

员工作分配上还有很多值得商榷的地方,如何用尽可能少的人员力量完成尽可能多的工作还需要加强思考;在定检过程中,对飞机管线路的维护重视程度不够,定检过程中在飞机管线路上使用的人员和时间不够充裕。以上问题在以后的定检过程中还要注意和改进。

4 结束语

笔者在对部队定检工作研究的基础上,结合定检工作的特点,基于 ANP 方法构建了定检能力评估模型,借助 SD 软件得到各评估指标权重。通过示例可以看出该方法的可行性,且该方法操作简单,易于得到结果。在每次定检工作完成后进行评估分析,可以找到能力的不足,有助于后期进行定检能力的提高和完善,在舰机融合不断深化的背景下,更有利于提高战斗力。

在采用德尔菲法进行矩阵构造时,还存在一定的主观性,可以寻找更有效的方法使得评估结果更科学、客观。此外,评价指标的构建及指标权重的确定是一个逐步完善的过程,笔者建立的评价指标及计算出的权重仍需通过实践不断调整,以进一步完善。下一步,可针对定检工作的内容,提出优化工作流程的方法,找出提高定检能力的途径,逐步提高修理厂整体维护能力,为海军发展舰基航空力量提供更好的保障。

(上接第 106 页)

参考文献:

- [1] 石全,米双山,王广彦,等. 装备战伤理论与技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [2] 王格芳,陈国顺,王学明,等. 基于模糊综合评判的装备战场损伤等级评定方法[J]. 军械工程学院学报,2006,

参考文献:

- [1] 马登武,张勇亮,姚成柱,等. 基于蚁群算法的飞机定检原位工作流程优化[J]. 计算机技术与发展,2012,22(1): 147-151.
- [2] 雷宁,曹继平,王赛,等. 基于 AHP 和模糊综合评价法的装备维修保障效能评估[J]. 兵工自动化,2019,38(10): 76-79.
- [3] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990: 5-18.
- [4] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论与算法[J]. 系统工程理论与实践,2001(3): 44-50.
- [5] SAATY T L. Decision Making with Dependence and Feedback[M]. Pittsburgh, RWS Publication, 2001: 84-136.
- [6] 强欣虹,马晶晶. 基于 ANP-云模型的城市公共交通服务水平评价方法[J]. 交通与运输,2022,38(1): 27-32.
- [7] 黄武超,陈小银. 基于 ANP 的舰空导弹作战效能指标权重确定方法研究[J]. 舰船电子工程,2011,31(1): 27-31.
- [8] 李玉钦. 基于网络分析法(ANP)的水电工程风险分析方法研究[D]. 天津:天津大学,2007: 21-30.
- [9] 刘佳,侯佳佳,元颖. 基于 DEMATEL-ANP 模型的中国旅游产业结构优化评价研究[J]. 地理与地理信息科学,2021,37(6): 102-112.
- [10] 张庆东,蒋晓瑜. 一种基于德尔菲法和模糊综合评价的侦查装备运用效能评估方法[J]. 信息通信,2020(11): 161-163.
- [11] 李传梁. 装备的战场抢修[J]. 四川兵工学报,2008,29(4): 102-103.
- [12] 周华任,张晟,穆松,等. 综合评价方法及其军事应用[M]. 北京:清华大学出版社,2015.
- [13] 曹原,杜晓明,贾希胜. 基于 PDA 的装备战场损伤评估[J]. 兵工自动化,2006,25(1): 7-8.