

文章编号: 1674-8190(2024)03-182-09

直升机海上应急救援能力评估研究

张晓全, 柳淑亚

(中国民航大学 安全科学与工程学院, 天津 300300)

摘要: 将直升机海上应急救援过程中“事前预防—事中响应—事后恢复”3个阶段的安全问题考虑到应急救援体系中, 可有效评估直升机海上应急救援能力, 提高其应急救援效率。基于“5W1H”分析法设计研究框架, 通过文献分析、问卷调查、专家咨询等方法对直升机海上应急救援能力评估指标进行筛选, 确定出21项评价指标并构建直升机海上应急救援能力评估指标体系; 利用基于D-S证据理论的层次分析法确定指标权重, 运用模糊综合评估法构建直升机海上应急救援能力综合评估模型; 将该评估模型应用到以海上风机维护人员受伤为例的救援演练中, 得分为86.89, 判定救援能力为“较强”。结果表明: 该评价指标体系和评估模型有一定的实用性, 能够有效评估直升机海上应急救援的能力。

关键词: 直升机救援; 海上应急救援能力; 评估指标体系; 模糊综合评估模型; 应急救援演练

中图分类号: V275+.1; [X949]

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2024.03.19

Assessment study of helicopter maritime emergency rescue capability

ZHANG Xiaoquan, LIU Shuya

(School of Safety Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to effectively evaluate the maritime emergency rescue capability of helicopters and improve their emergency rescue efficiency, it is proposed that the safety issues in the three stages of "pre-prevention-in-event response-post-event recovery" in the rescue process be taken into account in the helicopter maritime emergency rescue system. Based on the "5W1H" analysis method, the research framework is designed, and the evaluation indicators of helicopter maritime emergency rescue capability are screened through literature analysis, questionnaire survey, expert consultation and other methods, and 21 evaluation indicators are determined to build the evaluation index system of helicopter maritime emergency rescue capability. The analytic hierarchy method based on D-S evidence theory is used to determine the index weight, and the fuzzy comprehensive evaluation method is used to construct a comprehensive evaluation model of helicopter maritime emergency rescue capability. The evaluation model is applied to the rescue exercise taking the injury of offshore wind turbine maintenance personnel as an example, and the score is 86.89, and the rescue ability is judged to be "strong". The results show that the evaluation index system and evaluation model have certain practicality, and can effectively evaluate the ability of helicopter emergency rescue at sea.

Key words: helicopter rescue; maritime emergency rescue capabilities; evaluation index system; fuzzy comprehensive evaluation model; emergency rescue drills

收稿日期: 2023-03-06; 修回日期: 2023-06-12

通信作者: 柳淑亚(1997—), 女, 硕士研究生。E-mail: LiuShuya921@163.com

引用格式: 张晓全, 柳淑亚. 直升机海上应急救援能力评估研究[J]. 航空工程进展, 2024, 15(3): 182-190.

ZHANG Xiaoquan, LIU Shuya. Assessment study of helicopter maritime emergency rescue capability[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2024, 15(3): 182-190. (in Chinese)

0 引言

我国海域辽阔、海岸线长,正在加速发展海洋相关业务,但同时海上作业人员、船舶等的风险也随之增加。直升机由于其便捷、机动灵活、效率高等优点,非常适用于海上救援。准确地评价直升机海上救援能力,对促进我国海上救援能力发展意义重大。

关于直升机海上应急救援,国内主要从以下两个方面进行研究:一是从救助管理框架、制度建设等方面选取影响因素;二是从救援效率、救援路径等方面选取影响因素。冯逸飞等^[1]开展对遇险人员搜索任务的现场应用研究,采用无人机建立了一个遇险人员搜索体系;李艳华等^[2]根据“人一机一环一管”在时间、距离、空间维度、层次4个层面形成了现代空中急救技术标准框架体系;陈勇刚^[3]针对我国通用航空的安全管理模式,从通用航空安全管理体系基础模块、运行模块、监督模块和改进模块出发,建立了一套适用于我国的通航安全管理体系,同时对通航安全管理体系的实施和评估步骤进行了详细论述;陈思等^[4]基于动态贝叶斯理论建立了船—岸联合的应急救援能力评估模型,该模型能够优化水上救援时的应急策略,提高应急救援能力;皮骏等^[5]针对超大城市,研究了空中应急救援网络的布置模式及如何提高救护能力的对策;喻刚等^[6]针对不同救援地点的应急救援时间需求构建基地优化模型,实现了对高风险应急点的备用覆盖,并提高了成功救援的效率;Meng B等^[7]建立基于“压力—状态—响应”的针对突发事件应急场景的网络化表达,并结合贝叶斯网络,实现对机场应急情景演变路径及演变情景发生概率的评价。

国外,有关直升机海上应急救援风险评估的研究较少,主要侧重于国家层面的风险治理、制度建设和一些先进救援技术、救援设备等的研发及应用。Hristos^[8]提出一种计算遇难船只部分无线电装置失效概率的方法,运用模糊集和层次分析法评估了无线电故障对搜救作业的危害程度;Cucinelli等^[9]利用IRGC-RGF解释和评估加拿大海上搜救风险治理缺陷,发现了一些处理风险、理解复杂系统等方面的不足之处,进而更好地弥补海上搜救方面的缺陷;Gözalan^[10]提出一种基于AI的语音识别和智能测向系统以提高救援通信效率,

通过进行一些现场实验验证了其准确性和可靠性;Brown^[11]研究的紧急无线电信标和个人定位信标可以提供遇险位置,以提高救援效率。

上述研究成果为我国直升机海上救援能力的提升打下了一定基础,但是,现有研究未能从事故应急救援的整个过程考虑,例如按事前、事中、事后3个过程或围绕事故的“预防、准备、响应、恢复”4个阶段来建立对应的评价指标体系;而且在分析相关文献时发现,现有研究中针对直升机海上应急救援能力评价指标等级划分及判断标准确定的研究不足,相应的评估体系不健全,指标缺乏明确的内容。

鉴于此,本文使用“5W1H”分析方法设计研究框架,基于案例分析、问卷调查和专家咨询从直升机海上救援“事前、事中、事后”3个方面构建直升机应急救援能力指标体系,将基于D-S证据理论的层次分析法与模糊综合评估模型相结合,对直升机海上救援能力进行评估。以救援演练为例^[12]评估某通航企业实际海上救援能力,以期为提升我国直升机海上应急救援的响应能力提供参考。

1 基于“5W1H”分析框架对直升机海上救援能力评估研究设计

1.1 分析框架

5W1H分析框架侧重从原因(Why)、内容(What)、地点(Where)、时间(When)、主体(Who)、怎么做(How)这6个方面对某一现象或问题进行深入探究^[13]。鉴于直升机海上应急救援能力评价过程与内容、时间和主体等要素密切相关,本文利用“5W1H”理论框架对问题分解的突出优点,从目的、内容、情境、主体、阶段、策略6方面对直升机海上应急救援能力开展研究。

评估目的:评估救援队伍的海上救援能力,目的是通过救援演练找出不足,在后续的发展建设中有针对性地将其补足,进而提升直升机海上应急救援效率。

评估内容:包括但不限于本文筛选出的评估指标。

评估情境:海上风力发电机维护人员意外受伤,情况紧急需要直升机将伤员运送到陆地医院的演练情境。

评估主体:本次直升机海上救援能力的评估共邀请 10 位相关领域的专家观摩演练全部过程并对演练环节打分。专家组成为 4 名直升机领域专家、2 名救援指挥人员、2 名机组成员和 2 名医护人员。

评估阶段:救援过程中涉及的一些关键时刻,例如应急响应速度、人员搜索准确度、应急处置、事后总结经验、机上救治伤员等阶段。

评估策略:评估人员观察记录整个演练过程,根据评分准则对评价指标打分,利用基于 D-S 证据理论的层次分析法计算指标权重,并结合模糊综合评价法判定此次救援演练的等级。以此为标准评估救援机构的海上救援能力,根据评估结果提出改进建议。

1.2 构建评价指标体系

1) 直升机海上救援能力概念

依据邓伟等^[14]和张文字等^[15]关于机场应急保

障功能的概念与施工作业中安全事故应急能力,将直升机海上应急救援能力定义为:由救援单位在事前进行救护和建设过程中的救助预备工作,事中进行快速响应、人与设施的安全保护,在事后开展善后处理和恢复完善等作业,将应急救援的工作对水上遇险人员、船舶的直接伤害与经济损失减少到最低的能力。

2) 评估指标提取与体系建立

在查阅大量相关研究成果^[1-11,16]和咨询应急演练过程中的有关专家,根据对直升机海上应急救援能力概念的界定,结合直升机海上应急救援任务实际工作内容以及现有研究的欠缺与不足,构建直升机海上应急救援能力评估指标体系,并将评价指标划分为事前预防准备能力、事中救援处理能力、事后恢复总结能力 3 个二级指标和 21 个三级指标,如图 1 所示。

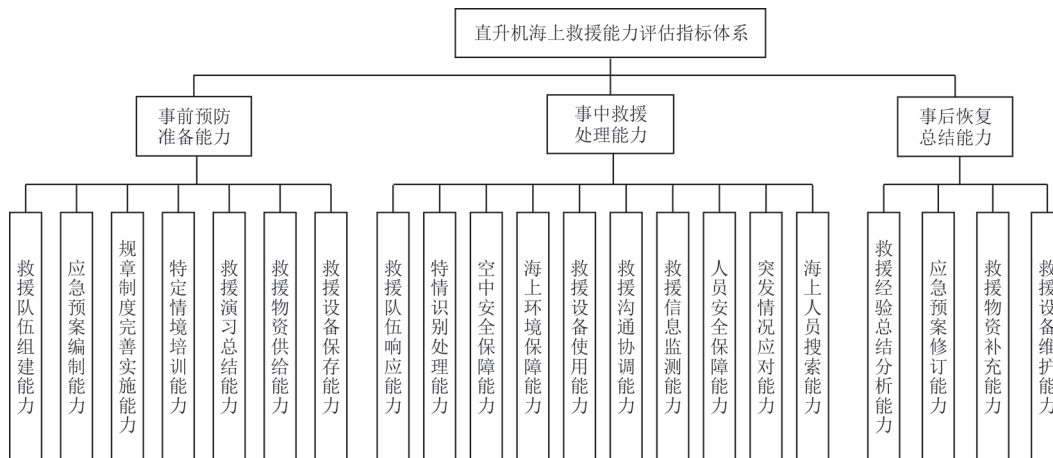


图 1 直升机海上应急救援能力评估指标体系

Fig. 1 Helicopter maritime rescue capability evaluation index system

专家积极系数:本文发放两轮指标体系打分表,共发送 10 份问卷,回收率为 100%。

专家权威系数:计算结果如表 1 所示,表中,“判断依据”和“熟悉程度”是两个主观因素,“判断依据”的取值依据是“影响程度大—中等影响—小影响”,对应的数值是“1.0—0.8—0.6”;“熟悉程度”的取值依据是“非常不熟悉—不熟悉—一般—熟悉—非常熟悉”,对应的数值是“0.1—0.3—0.5—0.7—0.9”。这些数值由填写问卷的专家自行填写。满足 $C_i \geq 0.7$,显示专家权威性高。

表 1 专家权威系数
Table 1 Expert authority coefficient

调查次数	判断依据	熟悉程度	权威系数
第一轮	0.86	0.88	0.87
第二轮	0.86	0.80	0.83

肯德尔系数检验结果如表 2 所示,肯德尔系数为 $0.863 > 0.5$,说明专家意见较为集中,指标体系可信;显著性水平低,表明指标的独立程度较高。

表2 Kendall协调系数检验
Table 2 Kendall coefficient test

调查次数	协调系数	显著性 p	变异系数
第一轮	0.863	0.000	0.088
第二轮	0.843	0.000	0.087

专家意见协调程度:变异系数为0.088(如表2所示)。整体来看,指标波动程度较小,即该指标体系的一致性程度较好。

3) 指标解释说明

事前预防准备能力是保证应急救援能够顺利进行的关键先决条件,限于篇幅,本文对救援队伍组建能力、救援物资供给能力和规章制度完善实施能力作解释说明。

① 救援队伍组建能力

通过咨询某专业直升机应急救援队得知:救援直升机的飞行员和医护人员被称为应急救援最重要的一道屏障,是保证海上应急救援顺利进行的基础。由于经常要进入复杂的山区、海上着火的钻井平台等特殊环境,对于救援直升机飞行员的要求也高于普通直升机飞行员,同时出任务的包括1名医生、1名护士。因此在组建救援队伍时,要考虑救援队员和医护人员必须具备过硬的专业知识、技能、身体素质和心理素质等一些基本条件,另外飞行员要有5 000 h以上的飞行经验,医生和护士则需要完成训练尤其是在高空对伤员的救助抢救能力,自身也必须克服恐高及晕机等身体的不良反应。

② 救援物资供给能力

专业合格的救援直升机救援物资设备配置可以形成一个小型的空中ICU,用以救治受伤人员,救援物资主要包括机舱配置和个人装备,机舱配置包括:转运用的监护仪、呼吸机、输液泵、心影仪、真空担架、置物箱(用于护士配药)、氧气瓶等,外部还配有一个可实现273 kg吊用的多功能吊用绞车;个人装备包括:救援吊带、救生衣及其吊带、潜水服、水上头盔等个人防护装备。这些物资的配备是否完善直接影响了救援人员自身的安全以及能否对被救人员进行有效医治。

③ 规章制度完善实施能力

应急救援队伍应当制定年度规章制度更新计划,并根据应急救援任务有重点地组织队员开展应急知识、救援技能、装备使用、技战术运用教育培训,以提高应急救援人员的应急处置能力。应

急救援制度的完整程度、是否简洁高效直接影响着救援效率,因此应急救援队伍应当建立下列规章制度:值班值守制度,应急响应制度,应急救援教育、培训、演练制度,应急救援物资、装备、器材管理制度,应急救援个人防护用品配备和管理制度,应急演练、应急救援效果评估制度,其他保障应急救援的规章制度等。

2 直升机海上应急救援能力评估方法

2.1 基于D-S证据理论的层次分析法确定权重

准确的评估指标是评估模型准确性、可靠性的前提。本文共筛选3个二级指标、21个三级指标,并计算各项指标的权重;使用基于D-S证据理论的层次分析法,将专家的经验 and 数学理论结合起来,使最终计算的权重结果消除专家的主观影响,详细步骤见文献[17-18]。-2~2判断矩阵标度如表3所示。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & 0 & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (a_{ik} - a_{jk}) \quad (2)$$

$$A^* = e^B \quad (3)$$

表3 -2~2判断矩阵标度
Table 3 -2~2 judgment matrix scale

标度	含义
-2	元素 j 比元素 i 极端或强烈重要
-1	元素 j 比元素 i 明显或稍微重要
0	元素 i 与元素 j 同等重要
1	元素 i 比元素 j 明显或稍微重要
2	元素 i 比元素 j 极端或强烈重要

此次救援演练评估通过发放评分问卷和访谈的方式邀请10名专家按照指标间的重要程度对指标体系各层级指标的重要性进行评判。计算结果如表4~表5所示。

表4 二级指标权重
Table 4 Secondary metric weight

二级指标	权重
事前预防准备能力	0.224 7
事中救援处理能力	0.665 2
事后恢复总结能力	0.090 0

表 5 三级指标权重
Table 5 Three-level metric weight

三级指标	权重
救援队伍组建能力	0.345 8
应急预案编制能力	0.071 8
规章制度完善实施能力	0.054 0
特定情境培训能力	0.234 6
救援演习总结能力	0.129 8
救援物资供给能力	0.101 6
救援设备保存能力	0.062 3
救援队伍响应能力	0.087 0
特情识别处理能力	0.026 7
空中安全保障能力	0.079 5
海上环境保障能力	0.065 1
救援设备使用能力	0.079 5
救援沟通协调能力	0.035 7
救援信息监测能力	0.041 1
人员安全保障能力	0.248 5
突发情况应对能力	0.121 0
海上人员搜索能力	0.216 0
救援经验总结分析能力	0.619 2
应急预案修订能力	0.138 2
救援物资补充能力	0.065 3
救援设备维护能力	0.177 4

2.2 模糊综合评估模型建立

本文采用模糊综合评估法建立相应的综合评估指标因素集^[19]。总因素集为 U , 其评估因子由 3 个二级指标和 21 个三级指标组成。

1) 建立综合评估指标集 U

建立评估指标集由各项评估指标组成。

$$\begin{cases} U = \{A, B, C\} \\ A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7\} \\ B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}\} \\ C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\} \end{cases} \quad (4)$$

2) 建立综合评估的评估集

依据救援的实际状况, 确定 5 个等级, 即强、较

强、一般、较弱、弱。为了将上述定性的评估集量化处理, 将评估集 Z 量化等级分别赋值 100, 90, 80, 70, 60, 得到量化评估集: $Z = \{100, 90, 80, 70, 60\}$ 。

$$\begin{aligned} Z &= \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5\} = \\ &\{\text{强, 较强, 一般, 较弱, 弱}\} = \{100, 90, 80, 70, 60\} \end{aligned} \quad (5)$$

3) 计算各项指标相对于评估集的隶属度, 建立模糊关系矩阵 R_i , 以此确定 n 个指标对 m 个评语的隶属度。

$$R_i = [r_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: r_{ij} 为第 i 个评估指标对第 j 个评语的隶属度。

4) 确定系统总得分

结合 AHP 得出各因素的权重值 w_{ij} , 对指标进行综合评估, 计算模糊关系评估向量 Q_i 。

$$\begin{aligned} Q_i &= w_i \cdot R = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im_i}) = \\ &\begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1k} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{im,1} & r_{im,2} & \cdots & r_{im,k} \end{bmatrix} = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ik}) \end{aligned} \quad (7)$$

$$i = (1, 2, \dots, m)$$

逐级向上计算, 构建评估模型, 计算模糊评估矩阵 Q 和对应分数 P :

$$\begin{cases} Q = w \cdot R \\ P = Q \cdot Z \end{cases} \quad (8)$$

3 案例分析

以直升机海上应急救援演练为例评估其救援能力。直升机海上应急救援指标评估有较强的模糊性和主观性, 模糊评估法可以利用模糊数学中的隶属度理论实现定性评估向定量评估的转变, 在处理定性的、信息不完善的问题上有优越性。因此, 本文采用模糊综合评估法^[20]对直升机海上应急救援进行定量分析。

3.1 直升机海上应急救援演练情境

演练情境: 模拟事故发生地位于某地区近海

海域,距离海岸约 18 km,海底高程-7~-14 m。模拟情境为海上某风机维护人员头部意外受伤流血较多自行处置但效果不佳,急需转到陆地医院救治,情况紧急拨打求救电话请求直升机救援。

演练阶段:指挥部接到救助电话,通过已简化的判断程序判定该情况符合直升机应急救援的条件,立即将点位信息和遇险者受伤情况传达给此时正在值班的应急救援小组。救援小组根据遇险地水文和人员受伤情况清点救援装备和适应症药物并复核无误后,迅速登上救援直升机前往救援地点。根据点位信息对目标海域迅速展开搜索,由于遇险水域的气候复杂多变,加上突发的大风和浓雾,对搜救工作造成很大的影响。指挥部随即调整搜救方案和直升机阵位并迅速同步给救援小组,扩大搜索辐射区域,机上人员和指挥人员默契配合最终看到救助对象。救援直升机进入作业点,机长将直升机停在遇险人员上方 25 m 的位置,此时救生员被告知周围无障碍物,符合安全出舱的条件,救生员与机长、副驾驶救生员安全协调后,确保救生员安全的情况下对遇险者开展救助。下放救生员并查看遇险者受伤情况,通过转运担架吊运到直升机上,由医生、护士检查遇险者伤势实施救助,紧接着将受伤人员送到陆上并转移至已在等待的救护车送往就近医院治疗。

演练结束:核验救援设备并及时维护检修放到仓库里的特定位置,对于使用的药品登记并补充,同时将机舱清洁消毒。参与救援的人员总结自己这部分演习表现的优势与不足以及与其他人员的配合默契程度,相关部门针对此次救援演练行动作总结汇报并编辑成册对文档资料存档保存,为后续更新关于海上应急救援预案里不足做参考。

3.2 模糊综合评估模型应用

1) 评估矩阵建立

根据评估矩阵,构建直升机应急救援能力三级指标评估矩阵,如表 6 所示。

表 6 三级指标模糊隶属度评估
Table 6 Evaluation of fuzzy membership of three-level indicators

二级指标	三级指标	隶属度				
		强	较强	一般	较弱	弱
事前预防准备能力	救援队伍组建能力	0.07	0.46	0.33	0.14	0.00
	应急预案编制能力	0.03	0.44	0.37	0.10	0.06
	规章制度完善实施能力	0.15	0.35	0.45	0.05	0.00
	特定情境培训能力	0.20	0.44	0.18	0.12	0.06
	救援演习总结能力	0.17	0.43	0.24	0.16	0.00
	救援物资供给能力	0.16	0.56	0.16	0.12	0.00
事中救援处置能力	救援设备保存能力	0.04	0.45	0.25	0.20	0.06
	救援队伍响应能力	0.20	0.65	0.10	0.05	0.00
	特情识别处理能力	0.12	0.23	0.50	0.07	0.08
	空中安全保障能力	0.15	0.45	0.28	0.12	0.00
	海上环境保障能力	0.11	0.52	0.20	0.17	0.00
	救援设备使用能力	0.22	0.50	0.15	0.13	0.00
	救援沟通协调能力	0.18	0.50	0.18	0.12	0.02
	救援信息监测能力	0.11	0.40	0.20	0.18	0.11
	人员安全保障能力	0.26	0.60	0.10	0.04	0.00
	突发情况应对能力	0.22	0.42	0.24	0.12	0.00
事后恢复总结能力	海上人员搜索能力	0.14	0.46	0.28	0.12	0.00
	救援经验总结分析能力	0.08	0.65	0.12	0.08	0.07
	应急预案修订能力	0.06	0.68	0.13	0.11	0.02
	救援物资补充能力	0.12	0.72	0.10	0.05	0.01
	救援设备维护能力	0.10	0.76	0.16	0.08	0.00

2) 三级评估矩阵结果计算

由评估矩阵(表6)并参考式(7)计算“事前预防准备能力”的评估指标隶属度的评估等级 Q_1 为

$$Q_1 = w_1 \cdot R_1 = \begin{bmatrix} 0.3458 \\ 0.0718 \\ 0.0540 \\ 0.2346 \\ 0.1298 \\ 0.1016 \\ 0.0623 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0.07 & 0.46 & 0.33 & 0.14 & 0 \\ 0.03 & 0.44 & 0.37 & 0.10 & 0.06 \\ 0.15 & 0.35 & 0.45 & 0.05 & 0 \\ 0.20 & 0.44 & 0.18 & 0.12 & 0.06 \\ 0.17 & 0.43 & 0.24 & 0.16 & 0 \\ 0.16 & 0.56 & 0.16 & 0.12 & 0.06 \\ 0.04 & 0.45 & 0.25 & 0.20 & 0 \end{bmatrix} = [0.1222, 0.4535, 0.2702, 0.1319, 0.0221]$$

归一化特征向量为

$$Q_1 = [0.1222, 0.4535, 0.2702, 0.1319, 0.0221]$$

同理可求得 Q_2, Q_3 的评估向量为

$$Q_2 = [0.1896, 0.5056, 0.1983, 0.0992, 0.0074]$$

$$Q_3 = [0.0834, 0.6783, 0.1272, 0.0822, 0.0468]$$

从 Q_1, Q_2, Q_3 评估向量结果看二级指标的能力为“较强”的隶属度较高,总的来说10名专家对此次海上应急救援演练的认可程度较好。

3) 准则层模糊综合评估

将各三级指标评估向量进行整合,计算最终模糊评估矩阵:

$$Q = w \cdot R = [0.1630, 0.5070, 0.2089, 0.1054, 0.0145]$$

4) 综合评估结果定量分析

上述分析可计算出模糊评语集的最终评估结果及一级评估结果的综合评估结果,将评估从定性分析转为定量分析,再由定量分析的结果推出定性分析的结论。为了使结果更具有直观性,对评估结论做出量化处理。根据评语集 $Z = \{100, 90, 80, 70, 60\}$,计算一级指标评估值。

$$P = Q \times Z = \begin{bmatrix} 0.1630 \\ 0.5070 \\ 0.2089 \\ 0.1054 \\ 0.0145 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 100 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \\ 60 \end{bmatrix} = 86.89$$

根据最大隶属度原则,各级指标评估等级均达到良好,演练评估分数总分为86.89分,判定救援能力为“较强”。说明本次直升机海上应急救援演练效果达到演练目标,经全体专家认定此次应急救援演练满足救援要求。

3.3 直升机应急救援能力分析

1) 以某海域电力风机维护人员受伤为例开展救援演练,评估救援能力。结果显示:评价指标中救援设备保存能力、特情识别处理能力和救援物资补充能力的权重较小,说明通航企业对救援设备的防护意识较低,缺乏对于特殊情况的救援培训工作,救援物资后续补给工作不到位;救援队伍组建能力、人员安全保障能力、救援经验总结分析能力的权重较大,说明直升机救援能力提升中要注意参与救援人员的组建、保障海上遇险和救援人员的安全、从历史救援实践中积累总结经验以保障救援任务顺利完成。

2) 在应急救援演习中,指挥员对形势进行了准确的预判和分析,救援队伍快速响应。应急救援水平要求:人员搜索方面,在人员定位和人员救护方面应着重培养。综合考虑,本次演习物资装备配置全面到位,突发状况处理对策合理。救护队伍的设备和基本医护装备可以适应直升机水上紧急救护服务的需要,参加救护队员都具有相应的海洋紧急救护技术知识和实践经验,紧急救护程序简洁有效。

3) 救援队伍的应急响应准确高效,救援力量集合迅速,救援设备正确无遗漏,人员的自我保护及通讯设备完好;救援技术可靠、设备先进、使用娴熟,信息记录完整;救援队伍成员岗位职责明确、准确搜索到被困人员所在的位置;医护、机组和指挥部门人员之间协作默契。

4) 演练过程中也发现了一些问题,例如医护人员因为直升机颠簸引起眩晕导致状态不好影响治疗效果;机舱内部缺乏设备固定配件,造成设备使用时稳定性较差;由于机舱内部无专门储存药品的空间,医护人员可随身携带但数量种类也有限,不能满足复杂救治的需求;对救援演练出现的问题发现不完全且没有提出改进措施,可以建立专业的团队来监测演习方案的改善。

4 结论

1) 基于D-S证据理论的层次分析法和模糊综合评估方法,结合不同专业背景的专家意见,得到

直升机海上应急救援能力评估指标的重要度和救援能力等级,使评估结果更有说服力。

2) 海上应急救援演练评估研究按照“事前准备—事中响应—事后恢复”应急救援全过程顺利完成,验证了评价指标体系和评估模型的实用性、有效性且评估结果以数值呈现可以直观地看出直升机海上应急救援的不足,以便救援机构对关键风险因素采取有效的应对措施以提高救援效率。

3) 计算得到直升机海上应急救援能力等级为“较强”级别,分析救援演练过程中的安全相关问题并提出有针对性的救援能力提升策略,对海上应急救援体系的建立,提升直升机海上应急救援响应能力有一定指导意义。

参考文献

- [1] 冯逸飞,刘旭,戴志鑫.基于无人机的海上遇险人员搜救系统设计[J].医疗卫生装备,2019,40(7):11-14.
FENG Yifei, LIU Xu, DAI Zhixin. Design of search and rescue system for maritime distressed persons based on unmanned aerial vehicles[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2019, 40(7): 11-14. (in Chinese)
- [2] 李艳华,李冉.我国航空应急救援标准体系构建研究[J].中国安全科学学报,2019,29(8):178-184.
LI Yanhua, LI Ran. Construction of China aviation emergency rescue standard system[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(8): 178-184. (in Chinese)
- [3] 陈勇刚.我国通用航空安全管理体系建设研究[J].中国安全生产科学技术,2012,8(6):216-220.
CHEN Yonggang. Study on safety management system of general aviation in China[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(6): 216-220. (in Chinese)
- [4] 陈思,魏晓阳,吴青.基于动态贝叶斯的水上交通应急能力评估模型[J].统计与决策,2018,34(2):57-60.
CHEN Si, WEI Xiaoyang, WU Qing. Water traffic emergency capability assessment model based on dynamic Bayesian networks[J]. Statistics & Decision, 2018, 34(2): 57-60. (in Chinese)
- [5] 皮骏,吉亚铭,齐福强.超大城市航空应急救援场点布局优化[J].安全与环境工程,2020,27(6):140-146.
PI Jun, JI Yaming, QI Fuqiang. Optimization of site layout of aviation emergency rescue of megacities[J]. Safety and Environmental Engineering, 2020, 27(6): 140-146. (in Chinese)
- [6] 喻刚,赵秋红,郝蒙浩.考虑时间满意度的海上应急救援航空基地选址方法[J].数学的实践与认识,2020,50(23):82-92.
YU Gang, ZHAO QiuHong, XI Menghao. Site selection method of marine emergency rescue aviation base considering time satisfaction[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2020, 50(23): 82-92. (in Chinese)
- [7] MENG B, LU N, GUO X Y. Scenario analysis of emergency in civil aviation airports based on the pressure-state-response model and bayesian network[J]. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2020, 13(5): 143-149.
- [8] HRISTOS K. The severity of shipboard communication failures in maritime emergencies: a risk management approach [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2018, 28: 1-9.
- [9] CUCINELLI J, GOERLANDT F, PELOT R. Exploring risk governance deficits of maritime search and rescue in Canada[J]. Marine Policy, 2023, 149: 1-13.
- [10] GÖZALAN A. Assisting maritime search and rescue (SAR) personnel with AI-based speech recognition and smart direction finding [J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2020, 8(10): 818-827.
- [11] BROWN R. Maritime search and rescue in Canada and the use of emergency radio beacons[J]. Marine Policy, 2023, 147: 112-121.
- [12] 阮方,申超,程远.基于AHP分析的核应急救援演练评估模型[J].核技术,2022,45(1):89-98.
RUAN Fang, SHEN Chao, CHENG Yuan. Evaluation model of nuclear emergency rescue drill based on AHP weight analysis[J]. Nuclear Techniques, 2022, 45(1): 89-98. (in Chinese)
- [13] 侯甜甜,曹海军.中国城市网格化管理研究回顾与前瞻——基于“六何”分析框架的探讨[J].城市问题,2022,24(7):94-103.
HOU Tiantian, CAO Haijun. Retrospect and prospect of urban grid management researches in China: based on the analysis framework of “5W1H”[J]. Urban Problems, 2022, 24(7): 94-103. (in Chinese)
- [14] 邓伟,夏正洪.高原机场应急保障能力评价方法[J].中国安全科学学报,2020,30(6):172-177.
DENG Wei, XIA Zhenghong. Evaluation method for plateau airports' emergency support capacity [J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(6): 172-177. (in Chinese)
- [15] 张文宇,张建设,苑东亮.基于测量—云模型的施工企业安全事故应急能力综合评价[J].安全与环境工程,2021,28(5):51-57,64.
ZHANG Wenyu, ZHANG Jianshe, YUAN Dongliang. Comprehensive evaluation of safety accident emergency capability for construction enterprises based on measurement-cloud model [J]. Safety and Environmental Engineering, 2021, 28(5): 51-57,64. (in Chinese)
- [16] 成连华,周瑞雪,严瑾.煤矿应急救援能力成熟度评估模型构建及应用[J].中国安全科学学报,2021,31(7):180-186.

- CHENG Lianhua, ZHOU Ruixue, YAN Jin. Construction and application of maturity evaluation model of coal mine emergency rescue ability[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(7): 180-186. (in Chinese)
- [17] 徐泽水. 层次分析新标度法[J]. 系统工程理论与实践, 1998(10): 75-78.
- XU Zeshui. A new scale method in analytic hierarchy process [J]. System Engineering-Theory & Practice, 1998(10): 75-78. (in Chinese)
- [18] 黄炜, 孟慧莹. 面向公共卫生事件的大数据治理能力评估与应急管理策略研究[J]. 现代情报, 2021, 41(10): 119-129.
- HUANG Wei, MENG Huiying. Research on evaluation index system of big data governance capability and emergency management strategy for public health emergency[J]. Journal of Modern Information, 2021, 41(10): 119-129. (in Chinese)
- [19] 李峰, 孙波, 王轩, 等. 层次分析法结合熵权法评估农村屋顶光伏系统电能质量[J]. 农业工程学报, 2019, 35(11): 159-166.
- LI Feng, SUN Bo, WANG Xuan, et al. Power quality assessment for rural rooftop photovoltaic access system based on analytic hierarchy process and entropy weight method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(11): 159-166. (in Chinese)
- [20] 王悦, 刘阳, 宋文华. 基于模糊综合评价法的石化企业事故应急能力评估方法研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2021, 54(6): 75-80.
- WANG Yue, LIU Yang, SONG Wenhua. The evaluation method of petrochemical enterprise accident emergency capability based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2021, 54(6): 75-80. (in Chinese)

(编辑:马文静)

(上接第 156 页)

- [10] 沈赛男. 无铰旋翼模型结构优化设计及动力学分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- SHEN Sainan. Structural optimization design and dynamic analysis of hinge free rotor models [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014. (in Chinese)
- [11] 陈立刚, 李道春, 严德, 等. 折叠旋翼桨叶动力学建模与振动特性研究[C]// 北京力学会第二十四届学术年会. 北京: 北京力学会, 2018: 429-431.
- CHEN Ligang, LI Daochun, YAN De, et al. Dynamic modeling and vibration characteristics of folding rotor blades [C]// The 24th Academic Annual Conference of the Beijing Mechanics Society. Beijing: Beijing Mechanics Society, 2018: 429-431. (in Chinese)
- [12] 夏双满, 林长亮, 王金亮, 等. 双掠结构旋翼桨叶动力学特性研究[J]. 航空工程进展, 2022, 13(2): 32-37.
- XIA Shuangman, LIN Changliang, WANG Jinliang, et al. Research on dynamic characteristics of double sweep structure rotor blades[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(2): 32-37. (in Chinese)
- [13] 韩伟, 齐龙, 肖中云. 高速旋转铰接式旋翼的固有特性分析[J]. 机械设计与制造, 2022(6): 14-18.
- HAN Wei, QI Long, XIAO Zhongyun. Analysis of the inherent characteristics of high-speed rotating articulated rotors [J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2022(6): 14-18. (in Chinese)
- [14] 冯旭碧. 某旋翼飞行器涵道桨叶设计研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2019.
- FENG Xubi. Study on the design of ducted blade of a rotorcraft [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2019. (in Chinese)
- [15] 康健鹏. 基于 CFD/CSD 耦合的旋翼结构载荷影响分析 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
- KANG Jianpeng. Analysis of rotor structure load influence based on CFD/CSD coupling [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2020. (in Chinese)
- [16] 郝启东. 刚性旋翼结构设计研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- HAO Qidong. Research on rigid rotor structure design [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)