

孟凡兴,武明洋,李超,等.核应急救援队伍应急预案量化评估研究[J].世界核地质科学,2025,42(3):676-685. doi:10.3969/j.issn.1672-0636.2025.03.018

MENG Fanxing, WU Mingyang, LI Chao, et al. Study on quantitative evaluation of emergency plan of nuclear emergency rescue team[J] World Nuclear Geoscience, 2025, 42(3): 676-685 (in Chinese)

核应急救援队伍应急预案量化评估研究

孟凡兴,武明洋,李超,常腾宇,王浩然,宋振涛,王瑞军

1 核工业航测遥感中心,河北 石家庄 050002

2 中核核应急航空监测工程技术研究中心,河北 石家庄 050002

摘要 当前核应急预案量化评估研究存在系统性评估框架缺失与方法论局限,国内外尚未建立兼具科学性与可操作性的评价体系。针对核应急救援队伍应急预案评估中存在的指标离散化、评价主观性强等问题,通过多源数据融合与模型集成优化,构建面向应急预案质量的多层次量化评估体系。基于对既往应急预案量化评估实践的梳理与剖析,深度整合核应急救援队伍预案编制的专业特征与运行机制,结合其常态化运维工作的实证数据,系统解构核应急救援预案量化评估的多维要素。通过系统归纳核应急救援全周期管理中应急准备、响应机制、救援实施及效能评估等关键环节的核心评估参数,构建多层次评估体系。该量化评估模型以核应急救援队伍应急预案编制体系为核心基准,系统整合预案编制的规范性原则、结构完整性要求及内容覆盖度等核心评估维度,形成以“应急预案质量优化”为导向的层级化评估框架。模型构建采用结构化指标体系设计方法,确立包含6项一级指标(涵盖制度架构、响应流程和资源配置等关键领域)及23项二级指标(具体化操作标准)的递阶式评价系统。通过AHP建立判断矩阵完成指标权重分配,结合FCE构建隶属度函数实现定性-定量转换,最终形成具有双重验证机制(专家论证与实证检验)的评估算法,可精准量化评估核应急预案在科学性、适用性及可操作性等维度的综合效能水平。实例验证表明:该模型具有良好的适用性。评估结论可直观展现核应急预案各层级指标的状况,为后续我国各级核应急救援队伍开展应急预案量化评估工作提供重要参考。

关键词 层次分析法(AHP);模糊综合评价法(FCE);核应急救援队伍;应急预案;量化评估

中图分类号 TL99 **文献标志码** A **文章编号** 1672-0636(2025)03-0676-10

Study on quantitative evaluation of emergency plan of nuclear emergency rescue team

MENG Fanxing, WU Mingyang, LI Chao, CHANG Tengyu, WANG Haoran, SONG Zhentao, WANG Ruijun

1 Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China

2 China Nuclear Emergency Aviation Monitoring Engineering Technology Research Center, Shijiazhuang 050002, China

Abstract: The current research on quantitative assessment of nuclear emergency response plans suffers from the lack of a systematic assessment framework and methodological limitations, which are manifested in the

基金项目: 科学技术部国家重点研发计划项目(编号:2020YFC1806600)资助

收稿日期: 2025-03-03 **改回日期:** 2025-03-11

第一作者: 孟凡兴,男,1987年生,高级工程师,主要从事核与辐射事故应急,辐射环境监测等方面的工作。E-mail: mfx703@163.com

Supported by National Key Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology(No. 2020YFC1806600)

Received date: 2025-03-03 **revised date:** 2025-03-11

First author: MENG Fanxing, male, born in 1987, senior engineer, focusing on nuclear and radiation accident emergency response, radiation environmental monitoring, and related areas of work. E-mail: mfx703@163.com

fragmentation of assessment dimensions, weak relevance of the indicators, and significant subjective cognitive bias, resulting in serious constraints on the comparability and reproducibility of the results of the assessment. The current assessment situation is difficult to meet the urgent needs of nuclear emergency rescue teams for the continuous improvement of plan quality, especially the lack of effective quantitative tools for key performance indicators, such as the timeliness of plan response and the rationality of resource allocation. To address the kernel problems of discrete index system and strength the subjectivity in the evaluation of nuclear emergency rescue teams' emergency plans, this study constructs a multi-level quantitative assessment system for emergency plan quality based on the theory of complex adaptive systems, and the fusion of heterogeneous data from multiple sources and optimisation strategy of model integration. At the level of theoretical construction, this study firstly deconstructs the professional characteristics and operation mechanism in the process of nuclear emergency plan preparation. Combined with the empirical data accumulated during the regular operation and maintenance of nuclear emergency rescue teams, a three-dimensional assessment framework was innovatively proposed. The framework systematically integrates the core assessment dimensions such as normative principles, structural integrity requirements and content coverage, forming a hierarchical assessment system oriented to continuous quality improvement. In terms of methodological innovation, this study adopted the deep coupling strategy of hierarchical analysis method (AHP) and fuzzy comprehensive evaluation method (FCE) to construct a hybrid assessment model with dynamic correction function. Through the structured indicator system design method, a stepwise evaluation system containing 6 first-level indicators (system architecture, response process, resource allocation, training and rehearsal, information management, and continuous improvement) and 23 second-level indicators (e.g., completeness of command system, timeliness of emergency response, and rate of equipment configuration up to the standard, etc.) has been established. Among them, the AHP module completes the allocation of indicator weights by constructing a 1-9 scale judgement matrix, focusing on solving the problem of quantifying the structural relationship between multi-level indicators; while the FCE module applies the trapezoidal affiliation function to achieve the quantitative conversion of qualitative indicators, effectively reducing the bias of subjective judgement. The model validation process adopts a dual testing mechanism: the theoretical level is to test the structural validity of the indicator system through expert argumentation; the practical level is to select a national nuclear emergency rescue team to carry out empirical research. Example analyses show that the model can accurately identify the weak links of the preplanning system. The quantitative assessment system constructed in this study has gotten breakthroughs in three aspects: First, the establishment of a multi-dimensional evaluation framework of 'standard compliance-process rationality-performance compliance. Second, the development of a hybrid AHP-FCE algorithm; and third, the innovation of a dynamic correction mechanism, so that the model can automatically optimise the indicator structure with the changes in the emergency environment. The study provides methodological support for the construction of China's modern assessment system of nuclear emergency response capability, which has important theoretical value and practical guidance significance. Subsequent research will focus on expanding the applicability of the assessment model in the scenarios of nuclear emergency response collaboration and new reactor applications, and continue to improve the universality and accuracy of the model.

Keywords: AHP; FCE; nuclear emergency response team; contingency plans; quantitative assessment

当前,我国核电产业快速发展。根据《中国核能发展报告2024》蓝皮书的数据,到2023年末,我国共有55台核电机组处于商业运行状态,其总装机容量达5703万kW,在建核电机组

26台,总装机容量达3030万kW,在建核电机组规模全球第一^[1]。核能行业的快速进步,要求我国核应急救援队伍在建设中不断提升,以适应新形势。核应急作为核安全的最后一

道屏障,对于保障核电健康发展具有重要意义。核应急预案作为我国核应急管理体系“一案三制”的核心部分,在核应急管理中,发挥着重要作用。

核应急预案是各核应急成员单位应急管理工作的载体和依据,是各级单位、部门之间的衔接基础,在应对各种突发核事故的过程中,具有不可或缺的重要作用^[2]。核应急预案科学地界定了突发核事故的应对范围和组织体系,为快速、科学的决策提供了理论依据和实践指导^[3]。核应急预案的量化评估作为一种重要手段,能够有效检验、保持并提升各核应急成员单位的应急管理能力^[4]。

实现应急资源的合理配置以及促使救援队伍应急响应能力迅速提升,其核心在于确保量化评估具备科学性与精准性。近年来,国内外学者在应急预案评估方面取得一定进展,评估研究涉及铁路、航空、矿冶、电力等领域:如孙延浩等^[5],采用模糊层次分析法和证据推理相结合的方法研究铁路应急预案评估;崔利杰等^[6]结合物元分析法建立航空事故应急预案评估模型;马恒^[7]等综合运用层次分析法和三角白化函数法对煤矿应急预案进行评估研究;孙路军等^[8],提出基于权重自适应的电力应急预案指标评价方法。总体来看,当前学术界在应急预案体系的构建、效能验证及动态优化领域已积累大量理论成果与实践经验。然而聚焦于核能安全这一特殊场域,其应急预案评估研究仍处于探索深化阶段,直接研究文献相对较少^[9-10]。当前核应急预案量化评估研究存在系统性评估框架缺失与方法论局限,国内外尚未建立兼具科学性与可操作性的评价体系。本研究针对核应急救援队伍应急预案评估中存在的指标离散化、评价主观性强等问题,通过多源数据融合与模型集成优化,构建了面向应急预案质量的多层次量化评估体系。通过国家核应急救援航空辐射监测分队应急预案量化评估实例验证,检验了该模型的有效性。

1 评估指标体系的构建

应急预案评估是在结合应急预案的编制

原则、构成要素以及内容全面性的基础上对预案全方位、各角度充分分析,建立评估指标体系,并根据实施效果进行量化评估的过程^[11-12]。在充分考虑应急预案的合法性、针对性、科学性、完备性、可操作性、有效性和灵活性的基础上,结合可量化原则,构建用于核应急救援队伍应急预案的量化评估指标系统。

1.1 备选评估体系

基于既往应急预案量化评估经验^[13-15],以核应急救援队伍所编制的核应急预案内容为结合点,依托核应急救援队伍日常运维实践积累的经验,针对核应急预案量化评估包含的各项要素,展开系统分析。基于核应急救援队伍于应急筹备、响应行动、救援作业以及复盘总结等环节的关键评估要点,构建备选评估体系。该体系以提升核应急救援队伍应急预案质量为总体目标,涵盖 6 项评估要素与 26 项评估内容,具体详情见表 1。

1.2 确立评估指标体系

通过对核工业航测遥感中心专家开展结构化访谈,结合核应急救援队伍应急预案管理系统的运行特征,对备选指标体系进行系统梳理与多维度校验。研究过程中遵循“维度独立、要素互斥”的构建原则,对语义重复、测量维度交叉的指标进行聚类整合,最终形成具有结构效度的评估指标体系。该体系既保留了备选指标的核心要素,又通过实证依据优化了指标间的逻辑层次关系,实现了理论框架与实践需求的有效衔接。

基于访谈调研的结果,对评估要素进行调整,将“全面性”中的“配套材料齐全、附件附录完备”合并为“配套材料齐全”、“事件分类完整、预案体系全面”合并为“预案体系全面”,将评估要素“针对性”中的“应急资源、能力、措施与事件类别、风险匹配”调整为“措施匹配”、“预案体系与事件类别、组织机构匹配”调整为“预案体系匹配”,将评估要素“可操作性”中的“组织机构设置符合实际”调整为“组织机构合理”,将评估要素“可操作性”中的“任务分工职责明确”调整为“任务明确”,将评估要素“可操作性”中的“运行机制明确可行”调整为“运行

表1 核应急救援队伍应急预案质量评估备选指标体系

Table 1 An alternative index system for evaluating the quality of emergency plans for nuclear emergency rescue teams

总目标	评估要素	评估内容
核应急救援队伍应急预案质量	合法性	预案制、修订程序合法
		预案内容合法
	全面性	配套材料齐全
		框架要素全面
		事件分类完整
		预案体系全面
		运行机制、环节完整
		保障措施充分
	针对性	附件附录完备
		适用范围准确
	可操作性	应急资源、能力、措施与事件类别、风险匹配
		预案体系与事件类别、组织机构匹配
		组织机构设置符合实际
任务分工职责明确		
运行机制明确可行		
响应环节动态灵活		
分级应对和应急响应措施匹配		
衔接性	信息报告迅速、及时	
	上下级预案衔接性	
	组织机构、部门单位衔接性	
	应急力量联动性	
持续性	区域、流域联动性	
	对下级应急预案的政策指导性	
	预案评估修订持续性	
		征求意见采纳情况
		经验教训总结反馈

机制可行”,将评估要素“可操作性”中的“响应环节动态灵活”调整为“动态调整灵活”,将评估要素“可操作性”中的“分级应对和应急响应措施匹配”调整为“应急响应合理”,将评估要素“可操作性”中的“信息报告迅速、及时”调整为“信息报告及时”,将评估要素“上下级预案衔接性、对下级应急预案的政策指导性”合并为“上下级预案衔接性”。

根据上述研究结果,核应急救援队伍应急预案质量评估指标体系如图1所示。

2 量化评估模型的建立

采用AHP计算指标权重,结合FCE得出综合评分,开发核事故应急预案质量定量评价体系,为各级核应急队伍预案的评估工作提供科学依据和操作指南。该模型通过构建

多维度的评估指标体系,实现了对预案完备性、可操作性和响应效能的全方位量化分析

2.1 基于AHP的权重评估

AHP通过对复杂决策问题影响因素的全面分析,将决策思维过程转化为数学模型,以实现问题的量化解。包含以下关键操作序列:

1)首先由领域专家对B1~B6及C1~C23评价指标进行权重赋值,随后依据比例标度(表2)对各指标进行两两对比分析,构建如式(1)所示的判断矩阵。

2)然后通过幂迭代法求解各矩阵最大特征值及其对应的归一化特征向量,获取指标权重向量;之后基于检验体系,分别计算一致性指标及其比率来判定矩阵是否满足逻辑一致性要求^[16-17]。具体操作流程如公式(2)、(3)所

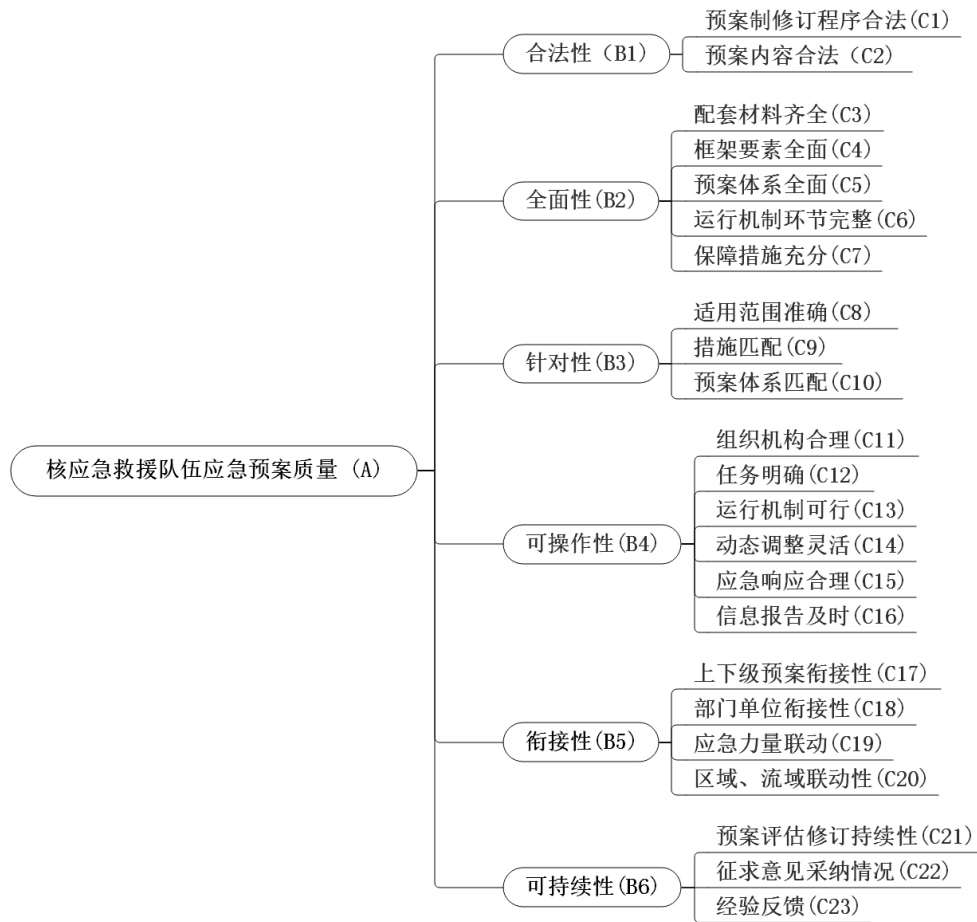


图 1 评估指标体系

Fig. 1 Quality evaluation index system

表 2 比例标度表

Table 2 Scale list

标度	定义	意义
1	同样重要	指标 i 与指标 j 重要性相同
3	稍微重要	指标 i 的重要性稍微高于指标 j
5	明显重要	指标 i 的重要性明显高于指标 j
7	强烈重要	指标 i 的重要性强烈高于指标 j
9	极端重要	指标 i 的重要性极端高于指标 j
2, 4, 6, 8	上述判断的中值	

表 3 RI (平均随机一致性指标) 取值表

Table 3 List of RI (Randomised Indicator of Average Consistency) values

阶数	RI	阶数	RI
1	0	6	1.26
2	0	7	1.36
3	0.52	8	1.41
4	0.89	9	1.46
5	1.12	10	1.49

示,该计算过程有效实现了指标权重的单层次排序计算,确保各层级权重向量满足单位约束条件。平均随机一致性指标的取值如表 3 所示。

CR 值越小,表明一致性越显著;当 CR 值小于 0.1 时,可认为 A 具有满意的一致性^[18]。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中:A—判断矩阵;a₁₂—a₁、a₂对比分析。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

式(2)~(3)中:n—判断矩阵阶数; λ_{\max} —判断矩阵的最大特征根;CI—判断矩阵的一致性指

标;RI—随机一致性指标;CR—检验系数。

3)最后通过加权合成运算推导出底层指标相对于总目标的组合权重向量。在此基础上构建组合一致性检验体系,确认检验通过后,实施全局归一化运算,最终生成具有决策意义的层次总排序向量。

由表 4 可知,一级指标 CR 值为 0.094 2,小于 0.1,表明一级指标判断矩阵符合一致性要求。一级指标的权重分别为(0.044 6, 0.120 8, 0.253 2, 0.399 7, 0.070 7, 0.111 1),其中可操作性(B4)的权重最大,是核应急救援队伍应急预案质量的关键影响因素。根据二级指标总权重的计算结果,预案体系匹配(C10)和组织机构合理(C11)的权重较高,是评估核应急救援队伍应急预案质量的重要参考因素。

表 4 评估指标体系权重计算结果

Table 4 Results of weighting of the assessment indicator system

总目标 (A层)	一级指标 (B层)	权重	一级指标一致性检验	二级指标 (C层)	二级指标一致性检验	权重	总权重					
核应急救援队伍 应急预案质量	合法性 (B1)	0.044 6	$\lambda_{\max}=6.5934$ $CI=0.118 7$ $CR=0.094 2$	预案制修订程序合法(C1)	-	0.333 3	0.014 9					
				预案内容合法 (C2)		0.666 7	0.029 7					
	全面性 (B2)	0.120 8			配套材料齐全(C3)	$\lambda_{\max}=5.018 9$ $CI=0.004 7$ $CR=0.018 8$	0.069 8	0.008 4				
					框架要素全面(C4)		0.123 3	0.014 9				
					预案体系全面(C5)		0.386 5	0.046 7				
					运行机制环节完整(C6)		0.160 8	0.019 4				
					保障措施充分(C7)		0.259 6	0.031 4				
					针对性 (B3)	0.253 2			适用范围准确(C8)	$\lambda_{\max}=3.071 0$ $CI=0.035 5$ $CR=0.026 6$	0.238 5	0.060 4
									措施匹配(C9)		0.136 5	0.034 6
	预案体系匹配(C10)		0.625 0	0.158 3								
	可操作性 (B4)	0.399 7			组织机构合理(C11)	$\lambda_{\max}=6.027 4$ $CI=0.005 5$ $CR=0.023 8$	0.373 7	0.149 4				
					任务明确(C12)		0.161 3	0.064 5				
					运行机制可行(C13)		0.1012	0.040 5				
					动态调整灵活(C14)		0.121 3	0.048 5				
					应急响应合理(C15)		0.121 3	0.048 5				
					衔接性 (B5)	0.070 7			上下级预案衔接性(C17)	$\lambda_{\max}=4.104 6$ $CI=0.034 9$ $CR=0.058 8$	0.491 4	0.034 7
									部门单位衔接性(C18)		0.116 5	0.008 2
	应急力量联动(C19)		0.243 8	0.017 2								
	可持续性 (B6)	0.111 1			区域、流域联动性(C20)		0.148 3	0.016 5				
					预案评估修订持续性(C21)	$\lambda_{\max}=3.053 6$ $CI=0.026 8$ $CR=0.051 6$	0.332 5	0.036 9				
					征求意见采纳情况(C22)		0.139 6	0.015 5				
经验反馈(C23)						0.527 8	0.058 6					

2.2 采用 FCE 构建评估模型

FCE 是依托模糊集合理论,通过隶属度函数量化多维度约束系统的评价要素,实现非线性关联影响下的综合量化评估。评估模型的构建步骤如下:

1)首先构建三级评价指标体系。将预案质量(层级 A)定义为综合评价目标集,其下属 B 层 6 个准则层指标作为主评价维度,各 B 层指标进一步分解为 C 层要素层指标,形成树状评价结构,见公式(4)~(10)。

$$A = \{B1, B2, B3, B4, B5, B6\} \quad (4)$$

$$B1 = \{C1, C2\} \quad (5)$$

$$B2 = \{C3, C4, C5, C6, C7\} \quad (6)$$

$$B3 = \{C8, C9, C10\} \quad (7)$$

$$B4 = \{C11, C12, C13, C14, C15, C16\} \quad (8)$$

$$B5 = \{C17, C18, C19, C20\} \quad (9)$$

$$B6 = \{C21, C22, C23\} \quad (10)$$

2)然后设计五维评价标度系统,通过专家共识法建立“优秀-良好-一般-合格-不合格”评估等级架构,并构建分段线性隶属函数实现语义-数值转换,具体量化规则见公式 11 及表 5 评价标准矩阵。

$$V = \{V1, V2, V3, V4, V5\} \\ \{优秀, 良好, 一般, 合格, 不合格\} \quad (11)$$

表 5 赋分标准

Table 5 Criteria for assigning points

评价级别	优秀	良好	一般	合格	不合格
分值	90.00~100	80.00~89.99	70.00~79.99	60.00~69.99	0~59.99

3)之后基于隶属度量分析构建多维隶属度表征矩阵(公式 12),该矩阵表征预案质量评估指标在五维评价空间中的隶属分布特征,通过模糊数学映射规则实现定性评价的定量转化。

$$R = (rij)_{mn} = \begin{bmatrix} r11 & r12 & \dots & r1m \\ r21 & r22 & \dots & r2m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ rn1 & rn2 & \dots & rnm \end{bmatrix} \quad (12)$$

式(12)中:rij—因素集 A 中第 i 个影响元素对评价集 V 中第 j 个元素的隶属程度,其取值范围在 0~1。

4)最后构建综合评价运算模型:首先依据公式(13)计算预案质量综合评估向量 Bi,继而通过张量积运算将评估矩阵与语义量化矩阵(公式 14)融合,最终生成系统级量化评价结果(公式 15)。该算法实现应急预案量化评估的数学表征,其多维运算过程精确映射预案质量在评价空间的量化分布。

$$B_i = W_i \cdot R = (W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{imi}) \begin{bmatrix} ri11 & ri12 & \dots & ri1k \\ ri21 & ri22 & \dots & ri2k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ rimi1 & rimi2 & \dots & rimik \end{bmatrix} \quad (13) \\ = (bi1, bi2, \dots, bik), (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$B = W \cdot R \quad (14)$$

$$F = B \cdot V \quad (15)$$

3 评估实例

研究选取国家核应急航空监测分队作为方法验证载体,其职能体系涵盖核事故快速响应航空监测、辐射烟羽迁移建模、核素光谱特征解析及数据可视化传输等核心能力模块。通过该分队预案的实证检验,完成评估模型的操作化验证,其中多源异构监测单元的动态组

网技术保障了与核应急侦察分队的任务协同优化,构建起完整的空基辐射监测体系。国家核应急救援航空辐射监测分队核应急预案包括 13 个部分,附件部分给出了现场救援展开布局图、人员能力基本要求、分队装备配备清单及分队建设达标基本要求。

组建核应急预案评估专家组(成员遴选自核工业航测遥感中心),基于预设评估架构执行模糊数学解析流程:首先依据标准化评价准则采集专家决策数据,通过隶属度量

表6 各级评估指标综合得分

Table 6 Combined scores for assessment indicators at all levels

总目标 (A层)	综合得分	一级指标 (B层)	分值	二级指标 (C层)	分值
核应急救援队伍应急预案质量	86.54	合法性 (B1)	86.52	预案制修订程序合法(C1)	89.06
				预案内容合法 (C2)	85.25
		全面性 (B2)	84.95	配套材料齐全(C3)	81.77
				框架要素全面(C4)	83.22
				预案体系全面(C5)	90.51
				运行机制环节完整(C6)	85.59
				保障措施充分(C7)	77.95
				针对性 (B3)	87.18
		措施匹配(C9)	92.88		
			预案体系匹配(C10)	84.32	
		可操作性 (B4)	87.09	组织机构合理(C11)	90.51
				任务明确(C12)	88.13
				运行机制可行(C13)	81.43
				动态调整灵活(C14)	79.74
				应急响应合理(C15)	86.69
				信息报告及时(C16)	87.62
		衔接性 (B5)	86.56	上下级预案衔接性(C17)	87.62
				部门单位衔接性(C18)	92.88
				应急力量联动(C19)	82.87
				区域、流域联动性(C20)	84.15
		可持续性 (B6)	84.86	预案评估修订持续性(C21)	86.69
				征求意见采纳情况(C22)	86.69
				经验反馈(C23)	83.22

算法生成模糊关系张量;继而运用加权合成运算推导预案综合效能向量,实现系统级量化评价。最终形成综合效能指数,完整数据架构见表5。

根据最大隶属度原则,六项一级指标均处于良好水平。核应急预案质量(A)经评估达良好水准,总评分为86.54分,这表明国家核应急救援航空辐射监测分队的核应急预案整体质量较高。从计算结果来看,在23项二级指标里,预案体系全面(C5)、适用范围准确(C8)、措施匹配(C9)、组织机构合理(C11)以及部门单位衔接性(C18)的得分相对较高,这些方面在后续应急预案修订时值得总结经验;而保障措施充分(C7)、动态调整灵活(C14)的得分相对

较低,是未来应急预案修订过程中需要着力探索提升的方向。

4 结论

1)基于核应急救援队伍应急预案的编制特征,整合编制原则、构成要素及内容全面性等核心评估维度,构建了面向核应急预案质量的多层次量化评估模型。该模型以应急预案质量为总体目标,采用分层递阶结构框架,设立6个一级评估指标和23个二级评估指标。在方法学层面,通过AHP确立指标权重体系,结合FCE建立三维评估矩阵,将定性分析与定量计算有机结合。最终通过隶属度运算与综合评价向量计算,实现了从多维度指标到整体

质量评价的系统化转换,为应急预案质量评估提供了兼具理论严谨性与实践操作性的方法论体系。

2)通过国家核应急航空监测分队预案的实证检验,验证了 AHP-FCE 集成框架的工程适用性。评估模型输出结果实现了预案指标效能的直观表征。研究形成的核应急能力评估模型,可为我国后续各级核应急救援队伍开展应急预案量化评估工作提供参考。

参考文献

- 1 谷业凯. 我国在建核电机组数量和总装机容量保持全球第一[N]. 人民日报, 2024-04-17 (3). doi: 10.28655/n.cnki.nrmrb.2024.003888.
GU Yekai. The number of nuclear power units under construction and total installed capacity in China remain the highest globally [N]. People's Daily, 2024-04-17 (3). doi: 10.28655/n.cnki.nrmrb.2024.003888 (in Chinese).
- 2 徐潇蓉. N市应急预案管理存在的问题与对策研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2021. doi: 10.27623/d.cnki.gzkyu. 2021.002512.
XU Xiaorong. Research on the problems and countermeasures of emergency plan management in N city [D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2021. doi: 10.27623/d.cnki.gzkyu. 2021.002512 (in Chinese).
- 3 张彦, 杨端节, 乔清党, 等. 辐射事故应急预案管理现状及对策研究[J]. 辐射防护, 2021, 41(3): 260-263.
ZHANG Yan, YANG Duanjie, QIAO Qingdang, et al. Research on the current situation and countermeasures of radiation accident emergency plan management [J]. Radiation Protection, 2021, 41 (3) : 260-263 (in Chinese).
- 4 张建岗, 李国强, 杨亚鹏, 等. 核与辐射应急准备分类及相应的管理要求[J]. 辐射防护, 2021, 41(6): 542-549.
ZHANG Jiangan, LI Guoqiang, YANG Yapeng, et al. Classification of nuclear and radiation emergency preparedness and corresponding management requirements [J]. Radiation Protection, 2021, 41(6) : 542-549 (in Chinese).
- 5 孙延浩, 张琦, 张芸鹏. 基于模糊层次分析法和证据推理的铁路应急预案评价研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(1): 123-129.
SUN Yanhao, ZHANG Qi, ZHANG Yunpeng. Research on the evaluation of railway emergency plans based on fuzzy hierarchical analysis and evidence-based reasoning [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(1) : 123-129 (in Chinese).
- 6 崔利杰, 曹志远, 陈浩然, 等. 基于物元分析法的航空事故应急预案评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(4): 115-119+124.
CUI Lijie, CAO Zhiyuan, CHEN Haoran, et al. Research on evaluation method of aviation accident contingency plan based on matter element analysis [J]. Fire Control & Command Control, 2020, 45(4) : 115-119+124 (in Chinese).
- 7 马恒, 王苏. 煤矿应急预案评估研究及在常村煤矿中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(4): 115-119.
MA Heng, WANG Su. Research on mine emergency plan evaluation and its application in Changcun coal mine [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44 (4) : 115-119 (in Chinese).
- 8 孙路军, 丁鹏堃, 房鑫炎, 等. 基于权重自适应的电力应急预案指标评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 27-33. doi: 10.19783/j.cnki.pspc.181173.
SUN Lujun, DING Pengkun, FANG Xinyan, et al. A weight-based adaptive evaluation method for power emergency plan indicators [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(16) : 27-33. doi: 10.19783/j.cnki.pspc.181173 (in Chinese).
- 9 彭恒明, 王铁骊. 基于犹豫模糊语言集的核电厂场内应急预案评估研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(1): 181-186.
PENG Hengming, WANG Tieli. Study on evaluation of the on-site emergency plan in nuclear power plant based on hesitant fuzzy linguistic term set [J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41 (1) : 181-186 (in Chinese).
- 10 张立国, 曲静原, 童节娟, 等. 核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台[J]. 科技导报, 2015, 33(4): 97-103.
ZHANG Liguang, QU Jingyuan, TONG Jiejuan, et al. A software platform for evaluating the capability of nuclear power plants' response to nuclear emergency [J]. Science and Technology Review, 2015, 33 (4) : 97-103 (in Chinese).
- 11 李健, 徐艺, 刘亦文. 京津冀突发事件总体应急预案量化评价[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 147-150+

157.
LI Jian, XU Yi, LIU Yiwen. Quantitative evaluation of the overall emergency response plan of Beijing-Tianjin-Hebei emergencies[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(1): 147-150+157(in Chinese).
- 12 孟凡兴,王瑞军,赵丛,等.中国核应急领域发展态势研究[J].环境科学与管理,2024,49(3):78-82+88.
MENG Fanxing, WANG Ruijun, ZHAO Cong, et al. Research on the development trends in the field of nuclear emergency in China [J]. Environmental Science and Management, 2024, 49(3): 78-82+88(in Chinese).
- 13 朱兴林,温喜梅.基于前景理论与理想解法的应急预案评估模型[J].科学技术与工程,2020,20(29):12125-12130.
ZHU Xinglin, WEN Ximei. An emergency plan evaluation model based on prospect theory and ideal solution method[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(29): 12125-12130(in Chinese).
- 14 刘春年,王敏.我国档案部门应急预案的要素提取与模型构建—基于国家层级应急预案文本的内容分析[J].档案学研究,2021(4):62-71.doi: 10.16065/j.cnki.issn1002-1620.2021.04.009.
LIU Chunnian, WANG Min. Extraction of elements and model construction of emergency plans in China's archival sector—content analysis based on national-level emergency plan texts [J]. Archives Science Study, 2021 (4) : 62-71. doi: 10.16065/j.cnki.issn1002-1620.2021.04.009(in Chinese).
- 15 张振海,李红亮,王晴雯,等.地铁应急预案知识本体建模及案例库的构建[J].城市轨道交通研究,2022,25(8):17-22.doi: 10.16037/j.1007-869x.2022.08.004.
ZHANG Zhenhai, LI Hongliang, WANG Qingwen, et al. Knowledge ontology modeling of metro emergency plans and construction of a case base [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(8): 17-22.doi: 10.16037/j.1007-869x.2022.08.004(in Chinese).
- 16 袁鑫.基于层次分析法的舰船修理标准实施评估方法研究[J].船舶标准化与质量,2022(2):6-12.
YUAN Xin. Research on the implementation assessment method of ship repair standards based on hierarchical analysis[J]. Shipbuilding Standardization & Quality, 2022(2):6-12(in Chinese).
- 17 孟凡兴,杨明,王浩然,等.核应急航空辐射监测能力量化评估模型[J].核科学与工程,2024,44(2):472-479.
MENG Fanxing, YANG Ming, WANG Haoran, et al. Quantitative evaluation model for nuclear emergency aerial radiation monitoring capability [J]. Nuclear Science and Engineering, 2024, 44(2): 472-479 (in Chinese).
- 18 孟凡兴,杨明,王浩,等.基于AHP-FCE的辐射事故应急演习评估研究[J].核技术,2022,45(11):68-77.110501 doi: 10.11889/j.0253-3219.2022.hjs.45.110501.
MENG Fanxing, YANG Ming, WANG Hao, et al. Evaluation of radiation accident emergency drill based on AHP-FCE[J].NUCLEAR TECHNIQUES, 2022, 45 (11) : 68-77.110501 doi: 10.11889/j.0253-3219.2022.hjs.45.110501(in Chinese).