

基于AHP的模糊综合评价法在机场跑道抢修作业效能评估中的应用

李佳宝^{1,2}, 刘华丽¹, 田战龙¹, 黎 明³

¹陆军工程大学野战工程学院, 江苏 南京

²95338部队, 广东 广州

³69006部队, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年5月18日; 录用日期: 2025年6月11日; 发布日期: 2025年6月19日

摘 要

跑道抢修能力评估作为机场保障能力建设的基础性工作, 可以动态掌握作业过程中的优势与不足, 为优化作业流程、改进技术装备、提高人员素质提供重要依据。但是, 当前机场跑道抢修专业队伍建设侧重实体能力, 而效能评估体系滞后, 缺乏科学量化方法。针对这一问题, 本文构建包含5个一级指标、14个二级指标、35个三级指标的评估体系, 融合层次分析法(AHP)与模糊综合评价法, 解决指标权重分配与模糊定性指标量化难题。通过德尔菲法优化指标体系, 纳入智能化抢修、无人化作业、军民融合等实战要素, 建立多维度效能评估模型。案例分析表明, 该模型可精准识别抢修能力短板, 为优化资源配置、改进装备技术、提升人员素质提供科学决策依据, 对增强机场跑道保障能力具有重要意义。

关键词

层次分析法, 模糊综合评价, 机场抢修, 抢修作业影响因素, 评价分析

Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Based on AHP in the Efficiency Assessment of Airport Runway Emergency Repair Operations

Jiabao Li^{1,2}, Huali Liu¹, Zhanlong Tian¹, Ming Li³

¹School of Field Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

²95338, Guangzhou Guangdong

³69006, Urumqi Xinjiang

文章引用: 李佳宝, 刘华丽, 田战龙, 黎明. 基于 AHP 的模糊综合评价法在机场跑道抢修作业效能评估中的应用[J]. 建模与仿真, 2025, 14(6): 177-186. DOI: 10.12677/mos.2025.146487

Abstract

The evaluation of runway emergency repair capability, as a fundamental task in the construction of airport support capabilities, enables dynamic understanding of the advantages and disadvantages in the operation process, providing an important basis for optimizing the operation process, improving technical equipment, and enhancing personnel quality. However, the current construction of professional teams for airport runway emergency repair focuses on physical capabilities, while the effectiveness evaluation system lags behind, lacking scientific and quantitative methods. Aiming at this problem, this paper constructs an evaluation system that includes 5 first-level indicators, 14 second-level indicators, and 35 third-level indicators. By integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Fuzzy Comprehensive Evaluation Method, it solves the problems of index weight distribution and quantification of fuzzy qualitative indicators. The index system is optimized through the Delphi method, incorporating practical elements such as intelligent emergency repair, unmanned operation, and civil-military integration, and a multi-dimensional effectiveness evaluation model is established. The case analysis shows that this model can accurately identify the weaknesses of the emergency repair capability, providing a scientific decision-making basis for optimizing resource allocation, improving equipment technology, and enhancing personnel quality, which has important practical significance for enhancing the airport runway support capability.

Keywords

Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Comprehensive Evaluation, Airport Emergency Repair, Influencing Factors of Emergency Repair Operations, Evaluation and Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

机场跑道功能快速恢复能力的强弱将会直接影响机场使用的效能。而在机场跑道应急抢修能力建设里,快速恢复能力的评估是基础中的基础。通过对机场跑道抢修作业效能的评估,可以动态掌握作业过程中的优势与不足,为优化作业流程、改进技术装备、提高人员素质提供重要依据,精准高效提升机场跑道抢修能力。

2. 机场抢修效能评估研究现状

机场跑道作业效能评估是优化抢修方案和资源配置,实施动态响应和决策支持的有效手段,对提升应急响应与机场跑道抢修能力系统建设水平具有重要现实意义。但当前针对保障能力提升的研究较多,对机场跑道抢修效能分析评估的研究滞后。从评估方法来看,主要包括专家打分法、层次分析法、改进层次分析法和灰色评估法、模糊综合评价法等。

冯小勇[1]等人指出,机场道面的抢修能力评估作为战时保障能力建设一项基础性的工作,并通过对比机场道面抢修能力的影响因素进行分析评估,构建了组织指挥、抢修技术、资源准备、演习训练4个一级指标,细化三级指标,建立评估指标体系,采用层次分析法,建立模糊综合评价模型。王灿[2]针对机场航油管道抢修队伍的建设存在重实体,对能力评估没有系统研究,认真研究机场航油管道的应

急抢修能力的要素,构建了一级指标 6 个,细化出 44 个二级抢修能力指标,构建出评估指标体系,采用层次分析对各个层次的指标权重进行评估,创建出管道的应急抢修能力评估计算的模型,并提出了一套具体的评估办法。王双川[3]重点对装备的维修保障评估体系,并对多指标的综合评定、仿真方法、智能算法、解析方法等评估方法研究现状进行总结,分析存在问题,给出装备的维修保障进行效能评估应解决那些重点问题。任佳成[4]以国军标为基础,建立一个包括经济、军事以及保障等方面的装备保障的效能评估体系,以灰色-层次分析法建立起评估的模型,并结合实例评估了它的保障能力,验证科学性。刘保军[5]提出装备抢修的效能评估对抢修的力量建设和抢修的决策都有影响,他针对评估中定性的指标未考虑专家打分仅仅一个数值的局限性,提出了不确定性量化法的概念,通过不确定的数学运算解决定性指标量化问题,并使用云模型,构建装备抢修的效能评估模型,用实例验证了模型,并总结了抢修能力建设优缺点,总结了提升抢修效能办法,对提升抢修能力建设给出重要方法参考。陈旭等[6]针对大型无人机的保障效能评估研究滞后问题,建立了国军标基础上的指标体系框架,形成了三级指标体系,可以较为全面地评估大型无人机的保障效能并采用 AHP 进行权重的分配,完成效能评估。初良勇[7]等人提出基于 DS 证据理论与贝叶斯网络评估海运的供应链的风险评估,创新型采用改进 DS 证据利于和贝叶斯网络融合模型,在权重分配中创新提出 c-cow 算子,用来确定指标权重,降低了专家打分的主观不确定性,对进行评估类的方向研究提供一个确定权重相对客观方法,值得参考借鉴。

笔者从事机场跑道抢修的实践工作,通过工作经历、实地调研,以及查阅国内外对机场跑道抢修作业效能评估的研究[8][9],发现两个问题:一是全国各个方向已经组建专业的机场应急支援保障力量,不断加强机场跑道应急抢修实体队伍建设,但忽略能力评估的研究,演练考核往往采取经验式评估(如定性总结、主观评分)方式;二是当前国内外学者在抢修作业效能评估方面开展了一定的研究,但尚未形成一套完整、成熟的理论和方法体系,对该项作业效能的研究略显滞后。具体表现有几点:

① 评估指标设计不够合理。比如复合型抢修新材料、无人化抢修理念、军民融合等应用效能没有纳入评估体系,导致所建模型和实战需求脱节。

② 评语集过于简单。实际演练中,最终评定只有“不合格、合格、良好、优秀”共四级,分级太简单、粗犷,不能准确表达此次抢修任务的真实情况。

③ 对定性的指标,如指挥系统的灵活性、应急预案的完备性等主要靠专家打分,主观经验多,缺乏历史抢修案例等客观的数据作为支撑。

3. 基于智能化无人化作业模式的评价指标体系设计

3.1. 分析影响机场跑道抢修能力的主要因素

目前,机场跑道抢修模式趋向无人化、智能化、模块化,根据机场跑道抢修规律[10],以及国家对机场跑道抢修提出的能力指标要求,系统分析影响机场道面抢修能力主要因素,可总结评判跑道抢修能力的 4 项准则:一是快速修复道面保障起降必要时间;二是道面抢修的质量能否保证遂行飞行任务的程度(比如满足飞行 5000 次);三是道面抢修消耗资源的程度大小;四是完成抢修任务的安全底数。由这四个评判标准,对道面抢修流程分析,可总结得出一个高效完整机场道面抢修系统由组织体系、运行机理、抢修保障、外围因素等组成。

3.2. 构建评估指标体系初步框架

根据上述因素分析,通过政策文件和查阅资料,将影响跑道抢修的能力归结成人员能力、装备物资、技术水平、指挥控制、外围因素这 5 个方面。围绕这 5 方面要素,拟定初步的跑道抢修能力评估体系,拟选出影响跑道抢修能力的评估指标。

3.3. 基于 Delphi 法的指标筛选与优化

采用德尔菲法对拟选的抢修作业效能的评估指标作出进一步修改。具体过程：

(1) 修改评估指标。① 选取专家团体。选择专家时主要考虑在机场的安全保卫方面的建树，或着长期从事跑道应急抢修工作对抢修的过程、内容和存在问题足够的熟悉，因此从南部某沿海机场和某抢修大队抽取精通安保专业知识、跑道抢修经验丰富的 25 人专家小组。② 设计咨询问卷。专家咨询问卷主要采用李克特五级量表，邀请专家结合工作实际和经验对机场跑道抢修能力评估指标进行修改，结合修改的指标设计问卷，再一次邀请专家对评估指标进行打分，并提出针对性修改意见。③ 确定指标体系。结合专家咨询问卷的打分结果，归纳总结最终的机场跑道抢修评估指标体系。

- (2) 分析第一轮专家咨询问卷。
- (3) 分析第二轮专家咨询问卷。
- (4) 分析第三轮的专家咨询问卷。
- (5) 确定评估指标。

3.4. 确定评估指标并建立指标体系

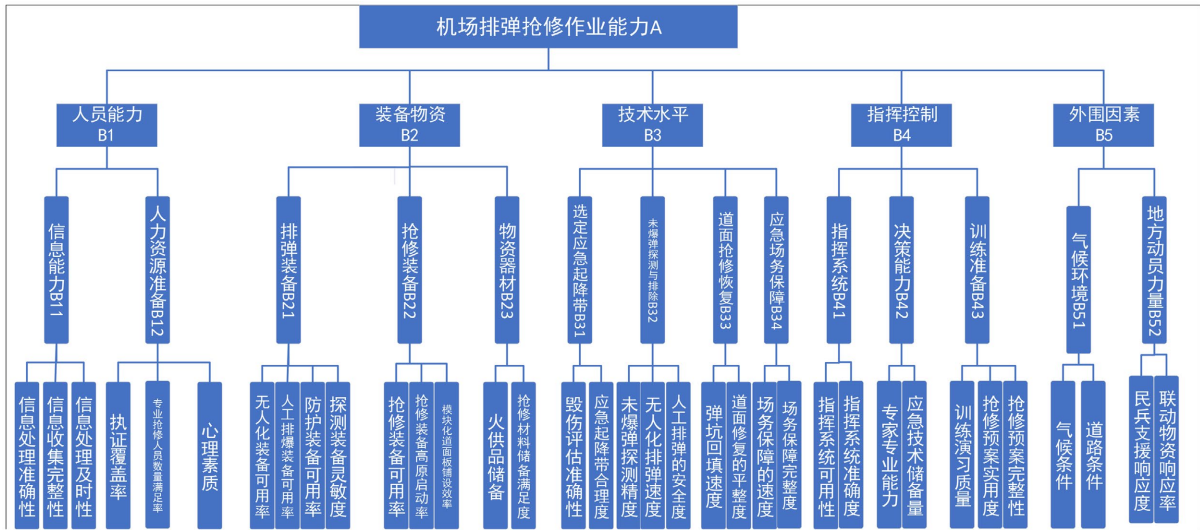


Figure 1. Indicators of influencing factors for the evaluation of bomb disposal and emergency repair operations on airport runways
图 1. 机场跑道抢修作业评估影响因素指标

根据评判机场跑道抢修能力的 4 项准则[11]，可将抢修能力影响因素优化为人员能力、装备性能、指挥管理、技术水平、外围因素 5 项影响因素。围绕 5 个影响因素，拟制机场道面抢修能力的评估指标体系，见图 1，该体系包含 5 个一级指标，14 个二级指标，35 个三级指标。

4. 确定基于层次分析法的模糊综合评价模型[12]

模糊综合评价就是在模糊数学的基础上，将模糊关系合成的原理应用其中，实现不容易定量、边界不清晰因素的定量化，再进行综合评价的方法。对机场跑道抢修作业效能的部分影响因素评定时，就存在边界不清晰、不易定量的问题，因此，可采用此模型进行效能评估。

4.1. 确定指标权重的方法流程

本文将采取层次分析法来确定机场跑道抢修作业能力的指标权重，方法流程如图 2 所示。

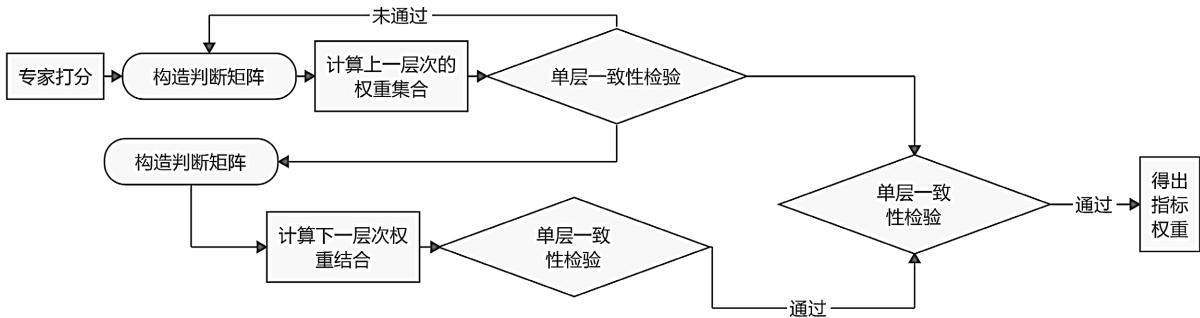


Figure 2. Flowchart for determining the weights of emergency repair capacity indicators
图 2. 跑道抢修能力指标权重计算流程图

采用层次分析法确定指标的权重核心是建立判断矩阵和确定矩阵元素，主要有选择专家组成员与专家评分两项步骤。判断矩阵指的是层次结构模型里，本层级的元素针对上一层级某元素而言相对重要性比较。假设某层级指标是 $E = [e_1, e_2, \dots, e_n]$ ，通过两两比较 e_i 和 e_j 重要性，其重要性用 $(b_{ij} = \frac{e_i}{e_j})$ 来表达，它的比较值由 1~9 度的 AHP 比较率标度表确定。

专家组成员打分时，为了减少主观因素和专家个人认知能力水平的影响，采用德尔菲法进行优化修正。本文的指标体系判断矩阵，如表 1 所示。由机场的专家和工兵大队专家，以及抢修实际作业手根据岗位情况得出。

Table 1. Judgment matrix A for airport bomb disposal and emergency repair operations
表 1. 机场抢修作业判断矩阵 A

判断矩阵 A	人员能力	装备性能	指挥控制	技术水平	外围因素
人员能力	1	3	1/3	1/3	3
装备性能	1/3	1	1/3	1/4	2
指挥控制	3	3	1	1/3	3
技术水平	3	4	3	1	3
外围因素	1/3	1/2	1/3	1/3	1

4.2. 计算指标权重

以准则层 B_i (人员能力、装备性能、指挥控制、技术水平、外围因素)为例，详细介绍确定指标权重的过程。

① 构造判断矩阵

构造 e_i 和 e_j 的两两比较矩阵，根据专家打分的结果，整理出判断矩阵。

② 判断矩阵 A 的一致性检验和指标权重计算。

1. 求出 A 的最大特征根 $\lambda_{\max}$ (1)

2. 计算一致性指标 $C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ (2)

3. 查找平均随一致性指标 R.I.

平均一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

$$4. \text{ 计算一致性比例 } C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (3)$$

如果 $C.R. < 0.1$ ，则通过一致性检验，否则未通过。

首先，求出 A 的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 对应特征向量 W_i 。

其次，对特征向量 W_i 的每一个分量作标准化处理构造权重向量 W_0 ，使其分量求和等于 1，重复此过程，直到完成所有的判断矩阵的一致性检验和权重计算。

具体操作方法：使用方根法计算最大特征向量和对应特征向量。

$$W_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n B_{ij}} \quad \text{其中, } i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

例如， $W_1 = \sqrt[5]{B_1B_1 \times \dots \times B_1B_5} = 1$ ，同理计算出其他特征向量。

对特征向量 W_i 的每一个分量作标准化处理构造权重向量 W_0

$$W_0 = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^n W_{ij}}, \quad \text{其中, } i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

例如， $W_1 = \frac{W_1}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5} = 0.1635$ ，同理计算出其余权重向量。

加权值向量

$$\begin{aligned} \lambda_i &= \begin{bmatrix} 1 & 3 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & 2 \\ 3 & 3 & 1 & \frac{1}{3} & 3 \\ 3 & 4 & 3 & 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} * [1, 0.5598, 1.5518, 2.5527, 0.4508] \\ &= [6.000, 5.2701, 4.6452, 5.4059, 5.3953] \end{aligned}$$

故，由加权值向量及特征向量可得出最大特征根 $\lambda_{\max} = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_n}{n}$ ， $n = 1, 2, \dots, 5$ 。

根据公式计算 $C.R. = \frac{C.I}{R.I} = 0.0766 < 0.1$ ，一致性检验通过。

所以权重分别是：[0.1635, 0.0915, 0.2538, 0.4174, 0.0737]。

可参考上述的计算过程，计算得出各个层级指标的权重，进行一致性检验。

4.3. 进行多层次模糊综合评价

模糊综合评价是以模糊数学为基础，考虑多种因素的影响，为达成某种目标对某一事情做出综合决策办法。在对机场跑道抢修作业能力评估时候，往往采取邀请机场抢修领域专家和业务管理部分成员组成评价组，对各个指标开展评价。针对某些能够量化的指标，采取现实能力和理想能力的比值作为评分

依据,但对于大部分指标,量化的可能性小,属于模糊的概念,只能通过直观组织等级的划分。故,本文计划采用模糊矩阵合成算法进行评价。

4.3.1. 建立因素集

根据前面构建的机场跑道抢修能力指标体系,令第一层因素集 $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\}$, 第二层因素集 $B_i = \{B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{ij}\}$, 其中: $i = 1, 2, 3, 4$, $j = 1, 2, \dots, n$; n 为第 B_i 集评价因素的个数。

第三层因素集 $B_{ijk} = \{B_{ij1}, B_{ij2}, \dots, B_{ijk}\}$ 其中, $k = 1, 2, \dots, m$, m 为第 B_{ij} 个子集评价因素的个数。

4.3.2. 确立权重集

前面已经采用层次分析法计算了各指标权重,构建指标权重集合。

4.3.3. 确立评语集

评语集就是对评价结果等级的集合,本文通过作业实际取 5 个评估等级,分别为: $U = \{\text{强, 较强, 一般, 较弱, 弱}\}$, 即: $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ 。

依据作业经验确定机场跑道抢修能力评估指标的评分标准。

可将评语集采用百分制表示: $\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\} = \{95, 82.5, 67.5, 45, 15\}$ 。

4.3.4. 构建隶属度矩阵 R 及计算隶属度

隶属度是进行模糊综合评价中最基本和最重要的概念。隶属度指的是多个评价主体对某评价对象在某评价指标做出某种评定的可能性大小。本文采用等级评价法来确定隶属度数值,即

$$R_{ij} = \frac{\text{评定第 } j \text{ 个等级人数}}{\text{评委的总数}}$$

建立起隶属度矩阵 $R_i = \begin{bmatrix} R_{i1} & \cdots & R_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{m1} & \cdots & R_{mn} \end{bmatrix}$ (6)

4.3.5. 计算综合隶属度向量, 计算综合评定值

确定因素集的权重向量 W_F 、评语集权重向量 W_E , 评语集的得分向量 W'_E 。综合评定结果 S

$$\text{综合评定结果 } S = W_F \circ R = (s_1 s_2 \cdots s_n) \quad (7)$$

$$\text{综合评定值 } u = W'_E \cdot S^T \quad (8)$$

公式中的“ $\circ$ ”表示模糊算子,即不同条件表示不同逻辑运算。因 $M(\cdot, \oplus)$ 的模型能够均衡兼顾不同大小的权重,体现其整体特性,故使用 $M(\cdot, \oplus)$ 算子实现模糊综合评判的计算,再采用加权平均的判决法得到评判的结果。运用公式(7)可计算出最底层指标综合评判权重向量,照次法上推,可最终得出机场跑道抢修能力的评定结果。

5. 某海一线机场跑道抢修能力评估分析对比

运用以上评估方案,采取三级模糊综合评估的模型对某海一线机场跑道抢修能力进行综合验证评估。

① 调查影响抢修能力因素。通过查阅资料、问卷调查、实地勘察、实验测试等方法对各个因素调查,取得相关的指标值,并模糊化处理各评估指标。

② 根据隶属度矩阵确定各指标隶属程度,可以计算出底层的单因素判断矩阵 R_i ,使用 $M(\cdot, \oplus)$ 算子模型,计算求出底层的评估结果向量。

本文以准则层 B_i 为例，假设共有 25 名专家组成员对某沿海机场跑道抢修能力评估，评分结果如表 2。

Table 2. Statistical table of the evaluation of the emergency repair capacity of the runway of a certain airport
表 2. 某机场跑道抢修能力评价统计表

内容结果等级	强	较强	一般	弱	较弱
人员能力	9	14	2	0	0
装备性能	3	14	7	1	0
指挥控制	5	15	5	0	0
技术水平	1	10	11	3	0
外围因素	2	11	12	0	0

构建隶属度矩阵 R

依据“大数定律”，多个专家对某机场跑道抢修能力在“人员能力”指标上，做好“较强”的评定可能性为 $14/25 = 0.56$ ，以此计算出其余指标的隶属度，根据公式(1)~(5)，计算出判断矩阵的指标权重，并通过一致性检验，如表 3 所示；生成机场抢修指数权重热力图，如图 3 所示。

Table 3. Calculation table of the weights of evaluation indicators for airport emergency repair operations
表 3. 某机场抢修作业评估指标权重计算表

判断矩阵 A	人员能力 (B_1)	装备性能 (B_2)	指挥 控制(B_3)	技术 水平 (B_4)	外围 因素(B_5)	W_i	W_0	λ_i	$\lambda_{\max}$	C.R.
人员能力(B_1)	1	3	1/3	1/3	3	1	0.1635	6.000		
装备性能(B_2)	1/3	1	1/3	1/4	2	0.5598	0.0915	5.2701		
指挥控制(B_3)	3	3	1	1/3	3	1.5518	0.2538	4.6452	5.3433	0.0766
技术水平(B_4)	3	4	3	1	3	2.5527	0.4174	5.4059		
外围因素(B_5)	1/3	1/2	1/3	1/3	1	0.4508	0.0737	5.3953		

指标权重环状图 人员 能力 (B_1) 装备 性能 (B_2) $\triangleleft$ 1/3 $\triangleright$

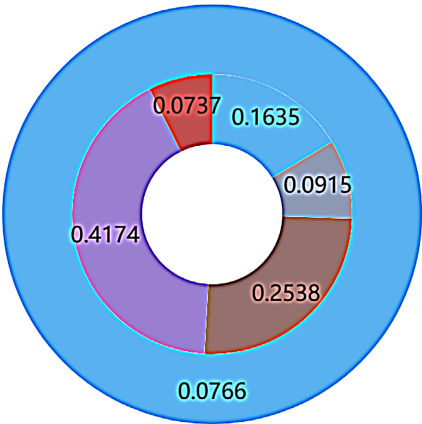


Figure 3. Ring chart of airport emergency repair index weights
图 3. 机场抢修指数权重环状图

确定因素集的权重向量 W_F 、评语集权重向量 W_E ，评语集的得分向量 W'_E ，前面根据层次分析法已经得到

$$W_F = \{0.1635, 0.0915, 0.2538, 0.4174, 0.0737\}.$$

$$W_E = \{95, 82.5, 67.5, 45, 15\},$$

$$W'_E = \{0.31, 0.27, 0.22, 0.15, 0.49\}$$

③ 使用加权平均的方法，实现评估结果向量的单值化。按此方法，逐级计算得到该机场跑道抢修能力的综合评估结果向量和综合评分，结果见表 4；生成机场跑道抢修能力综合评估结果面积图，如图 4。

Table 4. Comprehensive evaluation results of the airport runway emergency repair capacity

表 4. 机场跑道抢修能力的综合评估结果

评价级别	分值范围	平均数值	人员能力	装备性能	指挥控制	技术水平	外围因素	评估结果
强	[90, 100)	95	0.36	0.12	0.20	0.04	0.08	0.1432
较强	[75, 90)	82.5	0.56	0.56	0.60	0.40	0.44	0.4945
一般	[60, 75)	67.5	0.08	0.28	0.20	0.44	0.48	0.3085
弱	[30, 60)	45	0.00	0.04	0.00	0.12	0.00	0.0537
较弱	[0, 30)	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
综合评分			85.8	78.3	82	71.9	76.3	77.64

折线图

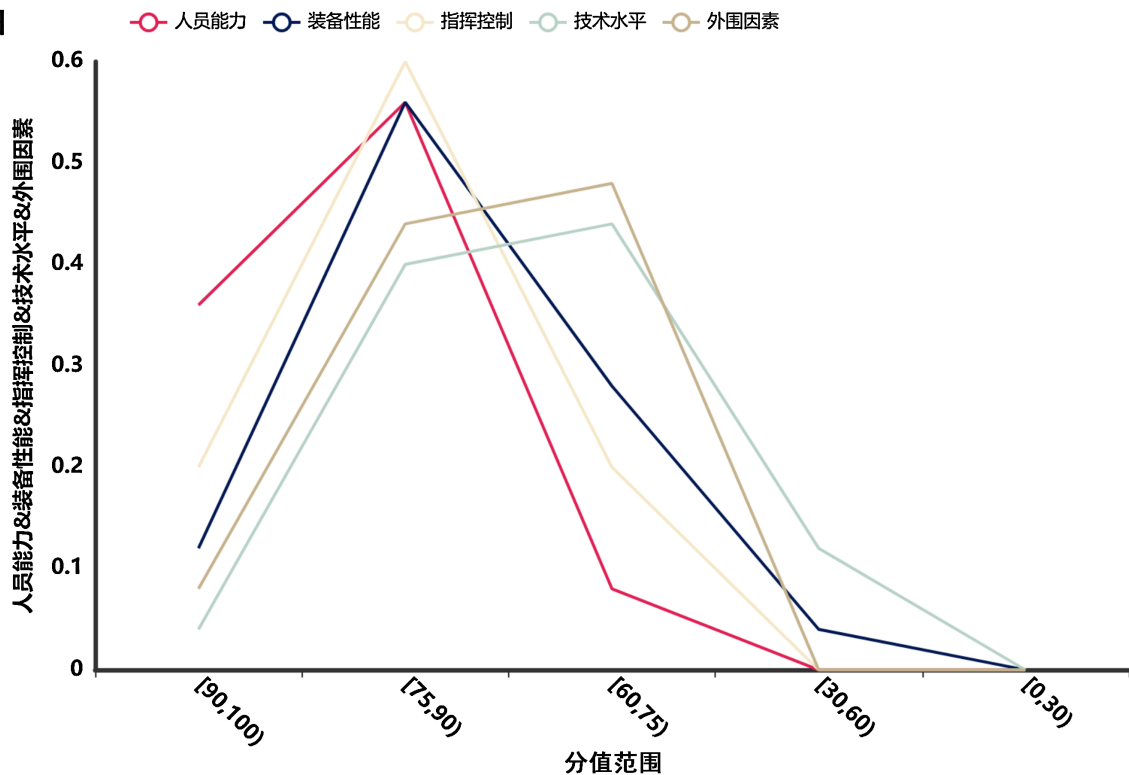


Figure 4. Line chart of comprehensive evaluation results of airport runway emergency repair capacity

图 4. 机场跑道抢修能力综合评估结果折线图

通过最终的模糊综合评价结果,得出该机场跑道抢修能力等级为“较强”。再结合二级和三级指标的综合评价结果,分析可得出该机场跑道抢修能力中的人员能力(评分 85.8)和指挥控制(评分 82)比较强,而在技术水平(71.9)需要进一步提高。对比机场跑道抢修能力的综合评估结果面积图(如图 4),评定结果与趋势一致。

在 2024 年四个季度的机场跑道抢修任务考核中,依据“综合评定以出现频次最高的等级为准”的考核规则,考核组对该机场跑道抢修能力的评定结果为 3 次“良好”、1 次“优秀”,最终综合评定等级为“良好”。经与基于层次分析法和模糊综合评价构建的评估模型输出结果对比发现,模型评估结论同样落位于“良好”等级区间。这一结果表明,该评估模型不仅能够准确反映实际抢修作业的复杂影响因素,且在评定结论上与人工考核高度契合,有效验证了模型的合理性与可靠性,为机场跑道抢修能力的科学评估提供了有力支撑。

6. 结论

本文通过针对机场跑道抢修能力的要素,结合机场跑道抢修作业趋向智能化无人化作业的实际情况,对机场跑道抢修作业影响因素进一步优化与更新,构建包含 5 个一级指标,14 个二级指标,35 个三级指标的机场跑道抢修能力分析评估的指标体系,运用层次分析法评估各层次指标所占的权重,创建了机场应急跑道抢修能力分析评估的模糊综合评价计算模型,为机场抢修作业能力评估分析提供一套科学操作性强的办法,为保障机场跑道保障性能提供理论支撑。

参考文献

- [1] 冯小勇,汪宏涛,李胜波,等. 机场跑道抢修能力评估研究[J]. 后勤工程学院学报, 2009, 25(1): 7-10, 29.
- [2] 王灿,周庆忠,张焘. 机场输油管道应急抢修能力分析评估[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(10): 120-124.
- [3] 王双川,胡起伟,李锋,等. 装备维修保障效能评估研究综述[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(10): 2271-2278.
- [4] 任佳成,徐常凯,陈博. 基于灰色-层次分析法的装备保障效能评估[J]. 舰船电子对抗, 2018, 41(5): 31-34.
- [5] 刘保军,李成,卿华,等. 基于不确定性量化的装备抢修效能云模型评估[J]. 现代防御技术, 2021, 49(5): 65-70, 103.
- [6] 陈旭,李岳,张书锋. 大型无人机系统保障效能评估指标体系研究[J]. 战术导弹技术, 2024(1): 48-56, 74.
- [7] 初良勇,王梦瑶,陈秀乾. 基于改进 DS 证据理论和贝叶斯网络的海运供应链风险评估[J]. 供应链管理, 2024, 5(2): 82-96.
- [8] 常刚,葛同民,罗雷,等. 加强军用机场战略投送保障能力建设研究[J]. 军事交通学院学报, 2012, 14(3): 1-3.
- [9] 杨夫礼,于润清,王朝辉. 军用机场目标重要性分析模型[J]. 防护工程, 2021, 43(3): 36-45.
- [10] Edenhofer, R. and Lucka, K. (2007) Low Temperature Oxidation of Diesel—Air Mixtures at Atmospheric Pressure. *Proceedings of the Combustion Institute*, **31**, 2947-2954. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2006.07.078>
- [11] 全国人大常委会办公厅. 中华人民共和国国防动员法[J]. 华北民兵, 2010(4): 5.
- [12] 马晨光,何鸣. 基于层次分析法的模糊综合评价在军事硕士培养质量评价体系中的应用[J]. 价值工程, 2018, 37(7): 201-204.