

# 基于区间粗糙数 AHP 法和 MABAC 法的邮轮居住舱室评价

姚竞争<sup>1</sup>, 马青<sup>2</sup>, 孙洪源<sup>2</sup>, 王同山<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 山东交通学院, 山东 济南 250357)

**摘要:** 为对中型邮轮居住舱室进行科学合理的评估, 本文提出一种新的混合多准则 (MCDM) 决策方法。首先从视觉, 嗅觉, 听觉, 触觉等感官舒适性角度出发, 总结出 8 个影响邮轮居住舱室舒适性的指标。然后利用区间粗糙数 AHP 法确定邮轮居住舱室舒适性指标权重, 在此基础上, 建立区间粗糙数 MABAC 法的评价模型。最后以两艘不同邮轮的同等级舱室为研究对象, 进行比较评价, 评价结果为: 舱室 2 优于舱室 1。实例证明该评价模型的科学性以及准确性, 同时也适用于邮轮其他典型舱室舒适性评价。

**关键词:** 多属性决策; 区间粗糙数; AHP; MABAC; 居住舱室

**中图分类号:** U662 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 03—0048—03

邮轮作为以休闲娱乐为主的大型海上船舶, 设计的侧重点与普通货运船舶有着本质的区别, 更加注重舱室等区域的人因学设计。因此, 对邮轮居住舱室的设计及评价研究是邮轮重要的设计部分。

邮轮居住舱室设计评价是一个多层次、多指标、多准则的复杂的决策过程。从乘客角度看, 涉及到乘客在视觉、听觉、嗅觉等所有感官体验问题, 属于复杂的多准则决策问题 (multi-criteria decision-making, MCDM)。

在舱室评价研究方法中, AHP 法是最为常用的评价方法。舱室设计评价的超过半数指标数据来自于用户主观评价, 该方法适用于用户评价数据的处理。但是该方法过分依赖于决策者的主观评判, 决策结果极易受到决策者主观因素的影响, 难以确保其准确性。

模糊集是较为常见的对于主观、不确定数据的处理方法, 在决策时可以给出决策数据附近的范围, 以模拟不确定性指标的评价机制。区间粗糙数克服了模糊集的主观缺陷, 作为解决不确定问题的一种较为理想的方法, 近年来广泛应用于工程实践中。一般情况下, 模糊集并不能独立解决决策问题, 仍需要与其他评价方法相融合, 并对相应的评价公式进行一定的改良才能满足要求。

本研究中, 将采用一种新颖的边界逼近算法—多属性边界逼近区域比较法 (MABAC) 建立评价模型。作为一种新颖的评价方法, 自 2015 年被提出后, 已被广泛应用于能源选择、质量评估等多方面。

如图 1 所示, 本评价方法通过区间粗糙数 AHP 法和 MABAC 法相结合形成邮轮居住舱室的人因学评价模型。

在准备阶段, 首先需要建立 MCDM 的评价指标体系, 本研究中的评价指标体系结合人的感官体验展开, 形成 8 个主要的感官体验指标, 基于这 8 个指标展开舱室评价研究。

第一步, 权重确立阶段。针对多级设计指标, 将每个指标重要性运用七级量表的形式 (很重要、重要、较重要、一般、较不重要、不重要、很不重要) 表示, 然后进行专家主观评价。分别对这些指标赋予 {7, 6, 5, 4, 3, 2, 1} 表示, 则每个指标的赋分可根据专家数据求加权平均数而得到。

第二步, 评价模型建立阶段。结合区间粗糙数和 MABAC 法, 建立 MCDM 评价体系。运用第一步中计算出的设计指标权重系数并基于区间粗糙数 MABAC 法进行方案的筛选与排序。

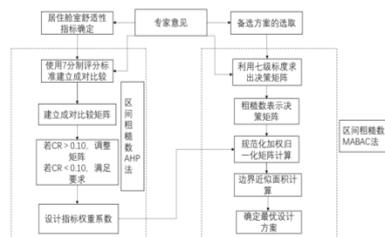


图 1 IR-AHP-MABAC 技术路线图

## 1.1 邮轮居住舱室的评价指标体系建立

邮轮的居住舱室作为乘客休息的主要场所, 需要对乘员在休憩时提供舒适、安稳的环境。这就要求居住

## 1 粗糙数 AHP 法和 MABAC 法相结合的评价方法

舱室在设计阶段从多种感官体验角度出发, 紧扣乘员的心理舒适性需求, 最终达到乘客满意的结果。

通过相关文献查找、专家讨论以及用户参与法进行评价指标的设定, 总结出邮轮舱室的舒适性影响因素主要为内部空间大小, 振动, 家具, 噪音等。为达到研究目的, 从乘客多感官体验出发, 将居住舱室的舒适性分为视觉舒适性、触觉舒适性、听觉舒适性、嗅觉舒适性四大项。创建了由准则层、指标层组成的评价体系如表 1 所示。

表 1 基于感官体验的邮轮舱室指标体系

评价层面	对应指标	指标形式
视觉舒适性 (A1)	色彩搭配 (B1)	效益型
	透光性 (B2)	效益型
	居住舱室视野 (B3)	效益型
	空间大小 (B4)	效益型
触觉舒适性 (A2)	振动 (B5)	成本性
	空气流速 (B6)	成本性
听觉舒适性 (A3)	噪音 (B7)	成本性
嗅觉舒适性 (A4)	舱室空气质量 (B8)	效益型

在表 1 中, 依据不同的感官体验总结出 8 个指标 (B1~B8)。指标形式表示该指标的属性, 由于不同指标数据趋向理想状态的方向不同, 因此指标形式包括效益型和成本型两种, 在后续邮轮居住舱室实例计算过程中, 将根据不同类型的指标采用不同的计算公式。

### 1.2 基于区间粗糙数 AHP 法的权重确立

(1) 构造判断矩阵。判断矩阵可由对应元素两两比较得出:

$$Z_e = \begin{bmatrix} 1 & z_{12}^e; z_{12}^e & \dots & z_{1n}^e; z_{1n}^e \\ z_{21}^e; z_{21}^e & 1 & \dots & z_{2n}^e; z_{2n}^e \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1}^e; z_{n1}^e & z_{n2}^e; z_{n2}^e & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n}; \quad 1 \leq i, j \leq n; 1 \leq e \leq k \quad (1)$$

(2) 权重系数的确定。专家的权重系数由一致性比例的倒数的标准化所决定。

$$W_{Ee} = \frac{1}{CR_e}; 1 \leq e \leq k \quad (2)$$

(3) 构造平均区间粗糙比较矩阵。

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & IRN(Z_{12}) & \dots & IRN(Z_{1n}) \\ IRN(Z_{21}) & 1 & \dots & IRN(Z_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ IRN(Z_{n1}) & IRN(Z_{n2}) & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (3)$$

(4) 优先级向量的计算。对矩阵 Z 的元素进行按列求和:

$$IRN(a'_j) = \sum_{i=1}^n IRN(Z_{ij}) = \left[ \left[ \sum_{i=1}^n Z_{ij}^L, \sum_{i=1}^n Z_{ij}^U \right], \left[ \sum_{i=1}^n Z_{ij}^L, \sum_{i=1}^n Z_{ij}^U \right] \right] \quad (4)$$

(5) 计算归一化矩阵权重系数 W。

$$W = \begin{bmatrix} 1 & \left[ \frac{w_{12}^L; w_{12}^U}{w_{12}^L; w_{12}^U} \right], \left[ \frac{w_{13}^L; w_{13}^U}{w_{13}^L; w_{13}^U} \right] & \dots & \left[ \frac{w_{1n}^L; w_{1n}^U}{w_{1n}^L; w_{1n}^U} \right] \\ \left[ \frac{w_{21}^L; w_{21}^U}{w_{21}^L; w_{21}^U} \right], \left[ \frac{w_{22}^L; w_{22}^U}{w_{22}^L; w_{22}^U} \right] & 1 & \dots & \left[ \frac{w_{2n}^L; w_{2n}^U}{w_{2n}^L; w_{2n}^U} \right] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left[ \frac{w_{n1}^L; w_{n1}^U}{w_{n1}^L; w_{n1}^U} \right], \left[ \frac{w_{n2}^L; w_{n2}^U}{w_{n2}^L; w_{n2}^U} \right] & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (5)$$

(6) 计算最终的区间粗糙权重系数。

$$IRN(w_j) = \left[ \left[ \sum_{i=1}^n w_{ij}^L, \sum_{i=1}^n w_{ij}^U \right], \left[ \sum_{i=1}^n w_{ij}^L, \sum_{i=1}^n w_{ij}^U \right] \right] / n \quad (6)$$

### 1.3 基于区间粗糙数 MABAC 法的评价模型建立

本文使用改进的 MABAC 法, 即区间粗糙数 MABAC 法, 具体步骤如下:

(1) 构造初始决策矩阵 X。

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} IRN(x_{11}) & IRN(x_{12}) & \dots & IRN(x_{1n}) \\ IRN(x_{21}) & IRN(x_{22}) & \dots & IRN(x_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRN(x_{m1}) & IRN(x_{m2}) & \dots & IRN(x_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix}_{m \times n} \quad (7)$$

(2) 从初始矩阵 X 对元素进行归一化处理。

$$N = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} IRN(t_{11}) & IRN(t_{12}) & \dots & IRN(t_{1n}) \\ IRN(t_{21}) & IRN(t_{22}) & \dots & IRN(t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRN(t_{m1}) & IRN(t_{m2}) & \dots & IRN(t_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix}_{m \times n} \quad (8)$$

其中归一化处理的矩阵 N 内部的元素  $IRN(t_{ij})$  false 由下列公式得到:

对于效益型指标:

$$IRN(t_{ij}) = \left[ \left[ \frac{x_{ij}^L - x_j^L}{x_j^L - x_j^L}, \frac{x_{ij}^U - x_j^U}{x_j^U - x_j^U} \right], \left[ \frac{x_{ij}^L - x_j^L}{x_j^L - x_j^L}, \frac{x_{ij}^U - x_j^U}{x_j^U - x_j^U} \right] \right] \quad (9)$$

对于成本型指标:

$$IRN(t_{ij}) = \left[ \left[ \frac{x_j^U - x_{ij}^U}{x_j^U - x_j^U}, \frac{x_j^L - x_{ij}^L}{x_j^L - x_j^L} \right], \left[ \frac{x_j^U - x_{ij}^U}{x_j^U - x_j^U}, \frac{x_j^L - x_{ij}^L}{x_j^L - x_j^L} \right] \right] \quad (10)$$

$$x_j^- = \min_j \{x_{ij}^L, x_{ij}^L\}$$

$$x_j^+ = \max_j \{x_{ij}^U, x_{ij}^U\} \quad (11)$$

(3) 计算加权矩阵元素  $V = [IRN(x_{ij})]_{m \times n}$ 。

$$V = \begin{bmatrix} \left[ \frac{v_{11}^L; v_{11}^U}{v_{11}^L; v_{11}^U} \right], \left[ \frac{v_{12}^L; v_{12}^U}{v_{12}^L; v_{12}^U} \right] & \dots & \left[ \frac{v_{1n}^L; v_{1n}^U}{v_{1n}^L; v_{1n}^U} \right] \\ \left[ \frac{v_{21}^L; v_{21}^U}{v_{21}^L; v_{21}^U} \right], \left[ \frac{v_{22}^L; v_{22}^U}{v_{22}^L; v_{22}^U} \right] & \dots & \left[ \frac{v_{2n}^L; v_{2n}^U}{v_{2n}^L; v_{2n}^U} \right] \\ \dots & \dots & \dots \\ \left[ \frac{v_{m1}^L; v_{m1}^U}{v_{m1}^L; v_{m1}^U} \right], \left[ \frac{v_{m2}^L; v_{m2}^U}{v_{m2}^L; v_{m2}^U} \right] & \dots & \left[ \frac{v_{mn}^L; v_{mn}^U}{v_{mn}^L; v_{mn}^U} \right] \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (12)$$

(4) 确定边界近似面积矩阵 (G)。

$$IRN(g_i) = \left( \prod_{j=1}^m IRN(v_{ij}) \right)^{1/m} = \left[ \left[ \prod_{j=1}^m v_{ij}^L, \prod_{j=1}^m v_{ij}^U \right], \left[ \prod_{j=1}^m v_{ij}^L, \prod_{j=1}^m v_{ij}^U \right] \right] \quad (13)$$

数值计算后, 根据这个标准, 形成了如下式的一个边界矩阵近似区域。

$$G = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ IRN(g_1) & IRN(g_2) & \dots & IRN(g_n) \end{bmatrix}_{1 \times n} \quad (14)$$

(5) 备选方案距边界近似区域距离的矩阵元素计算。

$$Q = \begin{bmatrix} IRN(v_{11}) - IRN(g_1) & IRN(v_{12}) - IRN(g_2) & \dots & IRN(v_{1n}) - IRN(g_n) \\ IRN(v_{21}) - IRN(g_1) & IRN(v_{22}) - IRN(g_2) & \dots & IRN(v_{2n}) - IRN(g_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRN(v_{m1}) - IRN(g_1) & IRN(v_{m2}) - IRN(g_2) & \dots & IRN(v_{mn}) - IRN(g_n) \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (15)$$

备选项  $A_i$  可能属于边界逼近区域矩阵  $G$ ，上逼近区域矩阵  $G^+$ ，下逼近区域矩阵  $G^-$ ，即  $A_i \in \{G \vee G^+ \vee G^-\}$ 。属于上逼近区域矩阵  $G^+$  的理想备选项为  $A^+$ ，反之为  $A^-$ ，如图 2 所示。

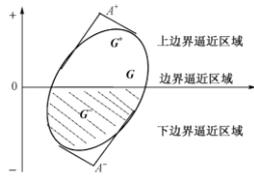


图 2 边界区域

(6) 对备选项进行排序择优。

$$IRN(S_i) = \sum_{j=1}^n IRN(q_{ij}), j=1, 2, \dots, n, i=1, 2, \dots, m \quad (16)$$

备选方案的排名可以通过区间粗糙数排名的规则进行计算，具体计算如下：

$$\mu_i = \frac{RB(S_{\mu_i})}{RB(S_{\mu_i}) + RB(S_i)}; RB(S_{\mu_i}) = S_i^U - S_i^L; RB(S_i) = S_i^U - S_i^L \quad (17)$$

$$S_i = \mu_i \cdot S_i^L + (1 - \mu_i) \cdot S_i^U \quad (18)$$

## 2 基于区间 IR-AHP-MABAC 模型的邮轮居住舱室评价

### 2.1 基于 IR-AHP 法的指标权重确立

本文以两艘不同邮轮的同等级舱室为研究对象，两个舱室分别记作舱室 1，舱室 2。邀请 4 位专家针对 8 个评价指标进行重要程度评分，将所有的指标运用七级量表的形式表示，得到四位专家 (DM1-DM4) 的比较矩阵。由区间粗糙数 AHP 公式计算最终的权重系数，如表 2 所示。

表 2 评价指标权重系数

指标	$IRN(w_i)$	排序	指标	$IRN(w_i)$	排序
B1	[[0.123,0.300],[0.123,0.328]]	2	B5	[[0.051,0.275],[0.063,0.309]]	5
B2	[[0.048,0.206],[0.049,0.224]]	4	B6	[[0.051,0.270],[0.056,0.305]]	6
B3	[[0.026,0.145],[0.033,0.184]]	7	B7	[[0.076,0.319],[0.080,0.385]]	3
B4	[[0.030,0.131],[0.036,0.173]]	8	B8	[[0.101,0.378],[0.115,0.536]]	1

### 2.2 基于 IR-MABAC 法的评价

确定标准的权重后，建立 IR-AHP-MABAC 模型，通过应用 IR-MABAC 法评估最优方案。邀请威海船厂 4 位专家，对两艘不同邮轮的同等级舱室进行评估。根据区间粗糙数 MABAC 理论，应当选取指标函数值  $S_i$  false 最大的备选方案作为最优方案。从表 3 可以看出  $S_2$  false 的值大于  $S_1$  false，可求得两个舱室之间的优劣顺序应当是：舱室 2 > 舱室 1。

表 3 基于 IR-AHP-MABAC 模型的备选方案排序

备选方案	$IRN(S_i)$	$Crisp(S_i)$	排序
舱室 1	[[[-3.785,2.494],[-2.625,3.622]]]	-0.072	2
舱室 2	[[[-3.778,2.816],[-2.612,3.990]]]	0.104	1

## 3 结论

针对邮轮居住舱室舒适性方案评估属于不确定多属性决策问题这一本质特征，依据区间粗糙数 AHP 法确定了居住舱室舒适性设计方案评估指标权重，克服了以往邮轮舱室设计方案评估过程中指标权重确定的不足。基于区间粗糙数 MABAC 法的排序原理，构建了居住舱室舒适性设计方案评估模型。实例分析的结果表明，本文所构建的邮轮居住舱室舒适性设计方案评估模型合理有效，为邮轮舱室舒适性设计方案评估提供了一种新的方法，所提出方法同样适用于解决类似的不确定多属性决策问题，是值得推广的。

### 参考文献：

- [1] 杨梅, 薛明明. 基于用户多维感官需求的家具意象评价方法探究 [J]. 包装工程, 2020, 41(08): 111-117+139.
- [2] 张文宇, 杨媛, 刘嘉等. 基于区间粗糙数的多属性决策方法及应用 [J]. 计算机应用研究, 2020, 37(10): 2990-2995+3019. DOI:10.19734/j.issn.1001-3695.2019.05.0190.
- [3] 彭定洪, 黄子航, 罗雪等. 基于情景模糊动态 MABAC 的可再生能源选择方法 [J]. 环境科学研究, 2019, 32(03): 532-538. DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2018.10.06.
- [4] PAMUČAR D, STEVIĆ Ž, ZAVADSKAS E K J A S C. Integration of interval rough AHP and interval rough MABAC methods for evaluating university web pages [J]. 2018, 67(141-63.

