

doi: 10.7690/bgzd.2023.11.019

## 基于改进模糊层次分析法通信无人机机场选址

李继广<sup>1,2</sup>, 布国亮<sup>3</sup>, 董彦非<sup>1,2</sup>, 袁盼盼<sup>1,2</sup>, 樊佳乐<sup>1,2</sup>, 刘天栋<sup>1,2</sup>

(1. 西安航空学院飞行器学院, 西安 710077; 2. 西安航空学院通用航空工程技术中心, 西安 710071;  
3. 西安嘉业航空科技有限公司, 西安 710071)

**摘要:** 针对机动式辅助通信无人机机场选址评估的实际问题, 结合我国地震、暴雨暴雪、台风、洪涝等可能需求通信保障自然灾害的分布情况, 提出建立机动式辅助通信无人机机场选址评估体系。针对传统模糊层次分析法存在的问题, 采用构造多重模糊判断矩阵、准则层所权重的一致性处理、梯形分布函数归一法等改进措施加以克服。评估结果表明, 该方法具有可行性和有效性。

**关键词:** 机场选址; 评估体系; 模糊层次分析法; 多重模糊判断矩阵; 梯形分布函数归一法

**中图分类号:** U8 **文献标志码:** A

## Communication UAV Airport Site Selection Based on Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Li Jiguang<sup>1,2</sup>, Bu Guoliang<sup>3</sup>, Dong Yanfei<sup>1,2</sup>, Yuan Panpan<sup>1,2</sup>, Fan Jiale<sup>1,2</sup>, Liu Tiandong<sup>1,2</sup>

(1. School of Aircraft, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;  
2. General Aviation Engineering Technology Center, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710071, China;  
3. Xi'an JIAYE Aviation Technology Co., Ltd., Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Aiming at the practical problems of airport site selection evaluation of mobile auxiliary communication unmanned aerial vehicle (UAV), combined with the distribution of natural disasters that may require communication support such as earthquake, rainstorm, snowstorm, typhoon and flood in China, the establishment of airport site selection evaluation system of mobile auxiliary communication UAV is proposed. In view of the problems existing in the traditional fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), some improvement measures are taken to overcome them, such as constructing multiple fuzzy judgment matrices, consistency processing of weights of criterion levels, and normalization method of trapezoidal distribution function. The evaluation results show that the method is feasible and effective.

**Keywords:** airport site selection; evaluation system; fuzzy analytic hierarchy process; multiple fuzzy judgment matrix; trapezoidal distribution function normalization method

### 0 引言

我国是一个幅员辽阔、自然灾害多发的大国。在出现突发事件或不可抗拒自然因素(暴雨、暴雪、洪水、地震)等情况下, 传统的通信网络设施变得十分脆弱, 且损坏后难以快速恢复。2008年, 我国南方特大冰雪灾难致使 8.3 万个基站停止服务; 2008 年的汶川地震、2010 年的玉树地震、2012 年台风“达维”等强自然灾害都直接导致大范围的通信中断<sup>[1-2]</sup>。面对天灾和通信中断, 往往造成重大的人员伤亡和财产损失。

重大自然灾害发生的前 72 h, 被称为“黄金救援期”<sup>[3-4]</sup>。面对未知灾情, 第一时间获取灾情信息是抢险救灾的首要问题。2021 年 7 月 21 日, 河南省突遭极端强降雨导致通信中断, 应急管理部紧急调派翼龙无人机空中应急通信平台历时 4.5 h 的跨

省飞行, 于当日 18: 21 分进入米河镇通信中断区, 为受灾区域约 50 km<sup>2</sup>范围提供了长时间、连续稳定的移动信号覆盖, 对安抚灾区群众和救灾提供了有力的通信保障。这次灾区通信保障任务也使人们充分认识到了无人机空中应急通信中继的重要作用。

机动式辅助通信无人机是灾区应急通信保障最快捷、最具普遍价值的手段之一, 其本质在于构建快速响应、高效公平、保障有力的应急网络, 以确保后续救灾的准确性、及时性与经济性<sup>[5-6]</sup>。大规模突发事件的不可预测性, 使得灾前设施的布置和应急装备储备决策面临严峻考验, 如何在建设阶段提高选址的可靠性、及时性和覆盖性是当前研究的一个热点问题。

机动式辅助通信无人机机场选址属于设施选址问题的范畴, 常用的选址方法包括 P-中位、P-中心、

收稿日期: 2023-06-30; 修回日期: 2023-08-05

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2021JQ-858); 国防科技重点实验室基金(6142101200108); 陕西省自然科学基金重点项目(2022JZ-37); 陕西高等教育教学改革研究项目(21BY163); 青年科学基金(62103441)

第一作者: 李继广(1987—), 男, 河南人, 博士。

最大覆盖和集覆盖、备用覆盖、广义最大覆盖、渐进覆盖以及多级覆盖选址等理论模型<sup>[7-9]</sup>。这些方法在各自的领域范围内解决了主要问题，但是面对地质条件、覆盖性、及时性、经济性等复杂、多因素影响的机动式辅助通信无人机机场选址问题，这些方法很难满足定性和定量分析的客观需要。

模糊层次分析法具有定性分析与定量分析相结合的优点，可以将评估过程中人的主观判断数学化，将复杂的评估问题结构化，使分析结果更加可信，更加切近工程应用，是复杂现实问题中评估问题的有效方法<sup>[10-13]</sup>。面对复杂的决策、评估问题，传统的模糊层次分析法存在如下不足：1) 一级指标和二级指标间的重要程度权重关系不明确，没有具体的量化标准；2) 次级指标的评估过于定性分析，缺乏定量分析；3) 各项指标在数值上差别巨大，易导致整个评价模型体系崩溃。对于评价指标层级多、各级指标多样的评估问题来说，这些问题更加突出。

笔者针对机动式辅助通信无人机机场选址问题和传统模糊层次分析法存在的不足，建立机动式辅助通信无人机机场选址评估体系，并应用改进的模糊层次分析法进行了分析。

### 1 评估体系的建立

我国地貌幅员辽阔，地理、气象、地质等各种因素差异巨大。就可能造成通信大面积中断的因素来说，主要包括地震、洪涝、暴雨暴雪、台风等，其中台风又是洪涝、暴风、暴雪的主要诱因之一。根据多年的统计结果，这些自然灾害在我国呈现明显的差异化分布。中国位于环太平洋地震带与欧亚地震带之间，主要分布在 23 条地震带上。在我国，东海和南海沿岸的浙江、福建、广东等地区以及海南地区是我国受台风影响最严重的地区。我国的珠江流域、长江流域、淮河流域和海河流域是多洪涝区。

在建立机动式辅助通信无人机机场选址的评价体系时，主要考虑如下因素：1) 根据统计结果，对可能发生突发需求地域的覆盖能力；2) 当地地质、气象因素是否满足机场建设要求；3) 机场建设和保障的经济性因素；4) 政策因素 4 大一级指标体系。

覆盖性包括可达性和有效保障时长 2 个主要指标。可达性是指在无人机有效的飞行使用半径范围内，可以到达需要保障的区域；有效保障时长是无人机在需要保障区域能够提供保障的作业时长。有

效保障时长和无人机到达的及时性具有高度的一致性，即在无人机保障、备用状态良好的前提下，无人机到达目标保障区域所用时间主要为飞行时间。飞行时间越短，及时性越好，同时在机上能源一定的前提下，在目标区域能够提供服务的时长也就越长。此处不进行重复指标建模。

对可能发生突发需求地域的覆盖能力而言，要求机场尽量建在距离各种灾害可能发生区域较近的位置，以保证无人机在可用的航程内进行有效、快速的覆盖需要保障的区域。在确定该项指标时需要综合考虑台风、洪涝灾害、地震发生的概率和距离这些区域的距离。

机场建设要满足一定的地质条件，当地的岩性、地质灾害、断层、地形起伏、坡度、地貌都是影响机场建设选址的因素。同时，为避免气象因素对出勤的影响，备选地区应当尽可能具有少雨、弱风等气象条件。

机场建设属于大量用地的工程，因此建设成本也应是重要考虑的因素之一。当地的地价、建筑成本、运营成本、后勤保障成本等成为影响建设成本的关键因素。

政策因素也是影响机场选址的关键因素之一。当地政府对航空产业的扶持政策将在建设、运行、成本等方面带来极大便利，同时也为后勤保障、空域申报等方面提供极大便利。因此，当地的政策因素也将要作为选址的关键因素之一加以考虑。

综上所述，建立如表 1 所示的机动式辅助通信无人机机场选址的评价体系模型。

表 1 机动式辅助通信无人机机场选址的评价体系

准则层(A)	覆盖性	地质、气象因素	经济性	政策因素
指标层(B)	台风发生概率和距离	地质条件	土地价格	
	洪涝发生概率和距离	地质灾害	建筑成本	
	地震发生概率和距离	地形条件	运营成本	
	暴风暴雪发生概率和距离	气象条件	后勤保障成本	

### 2 改进模糊层次分析法

#### 2.1 运算规则定义

为下文表述方便，定义如下基本的运算表达式形式：

$$M_1 \oplus M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2); \tag{1}$$

$$M_1 \otimes M_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2); \tag{2}$$

$$\lambda \otimes M_2 = (\lambda \times l_2, \lambda \times m_2, \lambda \times u_2); \tag{3}$$

$$\lambda / M_2 = (\lambda / l_2, \lambda / m_2, \lambda / u_2)。 \tag{4}$$

式中： $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ ； $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ ； $\lambda$  为常数。

## 2.2 传统模糊层次分析法

### 2.2.1 模糊判断矩阵的构造

判断矩阵是评价体系中各指标  $A$  和  $B$  比较，不同重要程度所形成的矩阵，这里用矩阵  $B=(b_{ij})_{n \times n}$  表示。式中： $n$  为目标个数； $b_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ； $l_{ij}$  为模糊评判下界； $u_{ij}$  为模糊评判上界； $m_{ij}$  为  $l_{ij}$  和  $u_{ij}$  的中值，也是 2 个指标的相对重要程度。由于专家人为评判的主观性，这里取各要素的均值作为判断矩阵。

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \otimes (b_{ij}^{(1)} + b_{ij}^{(2)} + \dots + b_{ij}^{(N)}) \quad (5)$$

式中  $N$  为评判专家的个数。

$A$  和  $B$  的相对重要程度  $m_{ij}$  可用如下常数表示，其数值和含义如表 2 所示。

表 2 相对重要程度

标度数值	含义
1	$A$ 指标和 $B$ 指标同等重要
3	$A$ 指标比 $B$ 指标稍微重要
5	$A$ 指标比 $B$ 指标明显重要
7	$A$ 指标比 $B$ 指标强烈重要
9	$A$ 指标比 $B$ 指标具有绝对的重要性
2, 4, 6, 8	上述相邻指标的中值，重要度介于二者之间

### 2.2.2 一致性检验准则

专家在进行各指标之间的重要性判断时，应尽量保证其判断思维的一致性。为避免出现相互矛盾的情况，对构造的模糊判断矩阵进行一致性检验是十分重要的。当判断矩阵不具有完全一致性时，相应的判断矩阵特征根也会发生变化，所以通常利用判断矩阵特征根的变化来检验判断的一致性。

判断矩阵偏离一致性的指标一般为判断矩阵最大特征根以外的其他特征根的负平均值，具体表示为  $CI=(\lambda_{\max}^n)/(n-1)$ 。 $CI$  值越小，表示判断矩阵的一致性越好； $CI$  值越大，表示一致性越差； $CI=0$  时，表示判断矩阵具有完全一致性。进行判断时，需要引入判断矩阵的平均随机一致性指标，来衡量不同阶数判断矩阵是否具有满意的一致性。

实际过程中，判断矩阵的一致性指标  $CI$  与相同阶数的平均一致性指标  $RI$  之比称为随机一致性比率，记为  $CR$ ， $CR=CI/RI$ 。当  $CR<0.10$  时，可认为判断性矩阵具有满意一致性，可进行层次分析。不同指标数对应的  $RI$  值如表 3 所示。本文中形成的三角模糊判断矩阵，近似采用其中值矩阵进行一致性

检验。

表 3  $RI$  值

指标数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.38	1.41	1.46

### 2.2.3 权重系数的确定

在模糊判断矩阵中，判断范围上边界  $u$  和下边界  $l$  之间的长度表示判断的幅度范围， $u-l$  范围越长，表示判断得越不明确； $u-l$  范围越短，表示判断得越明确；当  $u-l=0$  时，表示判断是确定的。接下来将通过构造相容矩阵方法来确定各指标的权重系数。

1) 在上述判断矩阵的基础上，构建模糊评价因子矩阵  $E$ ：

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 1 - \frac{u_{12} - l_{12}}{2m_{12}} & \dots & 1 - \frac{u_{1n} - l_{1n}}{2m_{1n}} \\ 1 - \frac{u_{21} - l_{21}}{2m_{21}} & 1 & \dots & 1 - \frac{u_{2n} - l_{2n}}{2m_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 - \frac{u_{n1} - l_{n1}}{2m_{n1}} & 1 - \frac{u_{n2} - l_{n2}}{2m_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

2) 以  $Q=M \times E$  运算法则改变调整矩阵，其中  $M$  为判断矩阵所有三角模糊数的中值数  $m_{ij}$  所组成的矩阵。

$$Q = M \times E = \begin{bmatrix} 1 & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & 1 & \dots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 - \frac{u_{12} - l_{12}}{2m_{12}} & \dots & 1 - \frac{u_{1n} - l_{1n}}{2m_{1n}} \\ 1 - \frac{u_{21} - l_{21}}{2m_{21}} & 1 & \dots & 1 - \frac{u_{2n} - l_{2n}}{2m_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 - \frac{u_{n1} - l_{n1}}{2m_{n1}} & 1 - \frac{u_{n2} - l_{n2}}{2m_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

3) 将判断矩阵  $Q$  按照列变换转化为对角线为 1 的判断矩阵  $P=(p_{ij})_{n \times n}$ ，且满足  $p_{ij}=1/p_{ji}$ 。

4) 用相容矩阵分析法对矩阵  $P$  进行变换，得到相容矩阵  $R=(r_{ij})_{n \times n}$ ，变换规则为： $r_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n p_{ik} * p_{kj}}$ 。相容矩阵  $R$  满足一致性条件  $r_{ij}=r_{ik} * r_{kj}$ ，且  $r_{ii}=1$ ， $r_{ij}=1/r_{ji}$ 。

5) 计算各指标的初始权重系数  $c_i$ ，并通过归一化处理得到最终的权重系数  $\omega_i$ ，计算规则为：

$$c_i = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n r_{ik}} \quad (i=1, 2, \dots, n); \quad (8)$$

$$\omega_i = \frac{c_i}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad (i=1, 2, \dots, n)。 \quad (9)$$

### 2.3 模糊层次分析法的改进

从上文介绍可知，传统的模糊层次分析法存在如下问题：

1) 准则层指标和指标层指标间的重要程度权重关系不明确，没有具体的量化标准。该问题的存在使得指标层各项指标的重要程度难以描述。若简单赋予指标层权重的话，则会引起准则层和指标层权重的矛盾问题，不能做到准则层和指标层的相容和统一。

2) 指标层的评估过于定性分析，缺乏定量分析。该问题的存在使得评估结果只能给出该处选择相对好坏的结论，而不能给出怎样通过指标层某项指标从而达到下一步选择的过程。

3) 就各指标层的量化而言，各项指标在数值上差别巨大。如果按照指标量化数据直接计算，则可能导致整个评价模型体系崩溃。

为克服这些不足，对传统模糊层次分析法做如下改进：

#### 1) 多重模糊判断矩阵的构造。

传统的模糊层次分析法在进行评估时，仅对准则层进行模糊判断矩阵的构造，指标层或更高级别的评估指标仅作为影响准则层权重的定性分析因素加以考虑。指标层或更高级别的评估指标具体的重要程度和对整体的影响并不能反映出来。

为克服该问题，在构造准则层进行模糊判断矩阵之前，首先对指标层评估指标进行模糊判断矩阵构造，从而为更加详细地分析指标层如何影响准则层权重结果奠定基础。

#### 2) 评估权重的一致化处理。

在构建多重模糊判断矩阵之后，虽然解决了指标层的定量分析问题，但是也可能对准则层权重确定带来混乱和逻辑上不统一。为解决该问题，把准则层所确定的权重作为基准，对指标层的权重进行归一化处理，从而使得指标层权重和准则层指标的相容性问题。

#### 3) 指标在数值上差别巨大问题。

为解决该问题，采用梯形分布函数归一法进行处理。梯形分布函数归一法根据指标数值和效能是正比关系、反比关系，又可分为升半梯形分布函数归一法和降半梯形分布函数归一法。升半梯形分布函数归一法为：

$$\mu = \begin{cases} 0 & x < e_2 \\ (x - e_2)/(e_1 - e_2) & e_2 \leq x < e_1 \\ 1 & x \geq e_1 \end{cases} \quad (10)$$

降半梯形分布函数归一法为：

$$\mu = \begin{cases} 0 & x < e_1 \\ (x - e_1)/(e_2 - e_1) & e_1 \leq x < e_2 \\ 1 & x \geq e_2 \end{cases} \quad (11)$$

## 3 实例分析

通过上述评估模型，分别构建准则层和指标层的模糊判断矩阵，根据笔者所建立的评估体系，其模糊判断矩阵如下：

$$A = \begin{bmatrix} (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.50 & 2.00) & (1.50 & 2.00 & 2.50) & (1.50 & 2.00 & 2.50) \\ (0.50 & 0.75 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.25 & 1.50) & (1.00 & 1.25 & 1.50) \\ (0.40 & 0.53 & 0.67) & (0.67 & 0.83 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) \\ (0.40 & 0.53 & 0.67) & (0.67 & 0.83 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) \end{bmatrix};$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.60 & 0.70 & 0.80) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.60 & 0.70 & 0.80) \\ (1.25 & 1.46 & 1.67) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.60 & 0.70 & 0.80) & (1.00 & 1.00 & 1.00) \\ (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.25 & 1.46 & 1.67) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.25 & 1.46 & 1.67) \\ (1.25 & 1.46 & 1.67) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.60 & 0.70 & 0.80) & (1.00 & 1.00 & 1.00) \end{bmatrix};$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.90 & 1.00 & 1.10) & (1.00 & 1.20 & 1.40) & (1.00 & 1.10 & 1.20) \\ (0.90 & 1.00 & 1.10) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.90 & 1.00 & 1.10) & (1.00 & 1.20 & 1.40) \\ (0.71 & 0.86 & 1.00) & (0.90 & 1.00 & 1.10) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.10 & 1.20) \\ (0.83 & 0.92 & 1.00) & (0.71 & 0.86 & 1.00) & (0.83 & 0.92 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) \end{bmatrix};$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.50 & 2.00) & (1.50 & 2.00 & 2.50) & (1.50 & 1.75 & 2.00) \\ (0.50 & 0.75 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (1.00 & 1.25 & 1.50) & (1.00 & 1.25 & 1.50) \\ (0.40 & 0.53 & 0.67) & (0.67 & 0.83 & 1.00) & (1.00 & 1.00 & 1.00) & (0.90 & 1.00 & 1.10) \\ (0.50 & 0.58 & 0.67) & (0.67 & 0.83 & 1.00) & (0.90 & 1.00 & 1.10) & (1.00 & 1.00 & 1.00) \end{bmatrix}。$$

指标权重如表 4 所示。

表 4 指标权重

评估目标	准则层(A)	权重	指标层(B)	分项权重
机动式辅助通信无人机机场选址的评估体系	覆盖性	0.676 8	台风发生概率和距离	0.143 5
			洪涝发生概率和距离	0.161 8
			地震发生概率和距离	0.209 8
			暴风暴雪发生概率和距离	0.161 8
	地质、气象因素	0.288 8	地质条件	0.087 9
			地质灾害	0.082 3
			地形条件	0.067 8
			气象条件	0.050 8
	经济性	0.017 2	土地价格	0.011 0
			建筑成本	0.004 9
			运营成本	0.000 6
			后勤保障成本	0.000 6
政策因素	0.017 2			

对于 A(经度:107.446 289 1, 纬度:31.015 279 0)、

表 5 梯形分布函数归一法进行处理后的结果

评估目标	准则层(A)	A 地点权重	B 地点权重	C 地点权重	指标层(B)	A 地点分项权重	B 地点分项权重	C 地点分项权重
机动式辅助通信无人机机场选址的评估体系	覆盖性	0.442 7	0.317 3	0.395 2	台风发生概率和距离	0.82	0.23	0.57
					洪涝发生概率和距离	0.84	0.25	0.60
					地震发生概率和距离	0.30	0.90	0.63
					暴风暴雪发生概率、距离	0.78	0.34	0.52
	地质、气象因素	0.150 6	0.189 8	0.135 8	地质条件	0.53	0.63	0.52
					地质灾害	0.41	0.67	0.32
					地形条件	0.61	0.63	0.58
					气象条件	0.57	0.72	0.48
	经济性	0.012 6	0.006 2	0.012 1	土地价格	0.76	0.32	0.67
					建筑成本	0.65	0.43	0.76
					运营成本	0.87	0.56	0.83
					后勤保障成本	0.84	0.44	0.78
政策因素	0.012 4	0.009 3	0.013 8					

### 4 结论

笔者针对机动式辅助通信无人机机场选址评估的实际问题，结合我国地震、暴雨暴雪、台风、洪涝等需求通信保障的自然灾害的分布情况，建立机动式辅助通信无人机机场选址评估评价体系，并采用模糊层次分析法进行评估。针对传统模糊层次分析法存在的准则层指标和指标层指标间的重要程度权重关系不明确，没有具体的量化标准；指标层的评估过于定性分析，缺乏定量分析；各项指标在数

B(经度: 95.273 437 5, 纬度: 35.101 934 1)、C(经度: 117.246 093 8, 纬度: 33.284 620 0) 3 个备选地点采用梯形分布函数归一法进行处理后的结果如表 5 所示。

则 A、B、C 三地综合模糊评测结果为: [0.618 3 0.522 6 0.556 9]。从评测结果来看: A 地点靠近地震带和台风、洪涝等自然灾害区域的中间地带，对各种灾害都有较好的覆盖能力; B 地点处于主要地震带的中间位置，对地震具有较好的覆盖能力。但是，该选址对地震这种发生概率较小的灾害关注过多，从而造成了对暴雨、暴雪、台风、洪涝这种相对常见覆盖不足; C 地点处于主要台风影响区域边缘，对暴雨、暴雪、台风、洪涝等灾害具有较好的覆盖能力，但是对地震具有较好的覆盖能力不足。从覆盖性来说，A 选择更加合适，在综合考虑其他的影响因素之后，A 选择更加符合中继通信无人机的机场选址。

值上差别巨大，直接应用可能导致整个评价模型体系崩溃等问题，进行了如下改进:

- 1) 构造了多重模糊判断矩阵;
- 2) 准则层所确定的权重评估权重的一致性处理;
- 3) 采用梯形分布函数归一法解决指标在数值上差别巨大的问题。

笔者对 3 个备选机场进行了评估，验证了该评价体系的有效性和合理性。