

改进的模糊层次法在 MOS 位置确定中的应用研究

邢建春, 张荣培, 刘厚仁

(解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007)

摘 要: 机场最小起降带(MOS)位置的确定是一个受多种条件影响的综合评价问题, 可以用模糊层次分析法(FAHP)来求解. 对影响 MOS 位置确定的主要因素进行分析, 按照相互隶属关系建立了一种 MOS 位置评价体系结构, 利用改进的 FAHP(IFAHP)确定评价指标的权重. 兼顾提高权重计算精度和减少数据计算量两方面的要求, 提出了一种新的量化方法——5 分标度法用于优先判断矩阵的建立. 实例证明, IFAHP 完全适用于 MOS 位置确定中.

关键词: 最小起降带; 改进的模糊层次分析法; 5 分标度法

中图分类号: TP29

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)10-0079-05

Study on Application of Improved Fuzzy Analytical Hierarchy Process in Determining MOS' Location

XING Jian-chun, ZHANG Rong-pei, LIU Hou-ren

(Engineering Institute of Engineer Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: Determining the location of MOS is a comprehensive evaluation problem which is affected by various factors, it can be solved by Fuzzy AHP. The main factors which influence MOS's location are studied. A kind of evaluation index architecture determining MOS's location is put forward according to the affiliation between factors. IF-AHP is used to determine the evaluation index's weight. In order to improve the accuracy of weight calculation and reduce computation amount, a new quantitative method named five-mark method is proposed to establish priority matrix. Example shows that IFAHP is fully applicable in determining MOS' location.

Key words: minimum operating strip; improved fuzzy AHP; one fifth scale method

1 引言

机场作为航空兵遂行作战和反空袭任务的基本依托和平台, 是敌人所要进行重点和精确打击的目标. 在机场受到敌军袭击后, 必须在最短的时间内完成抢修工作, 恢复机场的运行能力. 机场抢修的首要目标就是由抢修部门根据机场被破坏的情况、作战机型、飞行任务要求等因素, 在被破坏的跑道区域中迅速清理出一块可供飞机进行短期飞行使用的最小起降带(Minimum Operating Strip, MOS).

MOS 位置确定的主要目标就是要确定 MOS 区域中心点的坐标, 使得 MOS 内的弹坑抢修工程量尽可能最小, 并能充分利用机场原有的各种有利

因素. 文献[1]中提到了 MOS 确定所要遵循的一般原则, 但是并没有说明在实际工作中, 如何使用各个原则来确定 MOS 的位置. 文献[2-3]中将影响 MOS 位置的主要因素归结为四个方面, 并提出利用模糊层次分析法(Fuzzy Analytical Hierarchy Process, FAHP)确定各方面因素的权重. 文献[4]中利用多目标决策模糊优选理论建立 MOS 模糊优选理论模型. 文献[2-4]中将 MOS 位置的确定看作是多目标决策问题, 与基于工程量最小的 MOS 位置确定方法相比, 这些方法对 MOS 的备选方案能做出更全面的比较和评价. 但是在利用 FAHP 确定各个因素的权重时, 往往会出现模糊一致矩阵不一致的情况出现, 反而增加了计算量.

针对上述情况,本文建立了一种 MOS 位置评价结构模型,同时利用改进的模糊层次分析法(IF-AHP)确定结构模型中评价指标的权重.兼顾提高权重计算精度和减少数据计算量两方面的要求,提出了一种新的量化方法用于优先判断矩阵的构建.最后通过一个实例,验证了该方法的有效性.

2 MOS 位置评价结构模型

在总结前人工作的基础上,参照机场道面抢修原则,建立的 MOS 位置评价结构模型如图 1 所示.

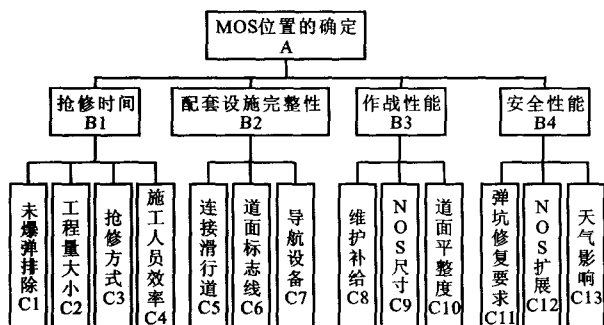


图 1 MOS 位置评价结构模型

评价结构模型分为三层,最上层为总目标,即 MOS 位置的确定;中间层为准则层,共分成 4 个准则,即抢修时间、配套设施完整性、作战性能、安全性能;最下层为指标层,共分为 13 个指标.

(1) 抢修时间

抢修时间一般是由下列工作来决定的.①修复工程量.包括 MOS 区域内的弹坑修复工程量以及与其相连接的滑行道或联络道的工程量.在确定 MOS 位置的时候要把握工程量尽量小的原则.②未爆弹的排除时间. MOS 位置的选择应尽量避免含有未爆弹的弹坑,因为未爆弹的排除时间是无法准确估计的.在无法避免的情况,还要考虑未爆弹的排除时间、引爆未爆弹对工程量的影响等.③道面抢修的方式.道面的抢修方式要受到弹坑大小的影响,根据弹坑的大小选择合适的抢修方式.④施工人员的工作效率.除此之外,抢修时间还受到一些不确定因素的影响,比如天气的影响、敌人的连续轰炸等等.

(2) 配套设施的完整性

这也是确定 MOS 位置的一项重要准则.配套设施主要包括:①要与滑行道连接.这样可以方便飞机从机库或者停机坪驶入跑道.②MOS 的位置要与原跑道中心线平行,以便可以尽量利用原来机场的一些设施,比如标识线、助航灯光、拦阻网等,从而减轻道面抢修的工作量,使 MOS 尽快投入使用.

(3) 作战性能

机场道面抢修,或者说是 MOS 的抢修,其目的就是为了使战机尽快升空作战,保持持续的战斗力. MOS 抢修完成后,如果不能保障飞机能够持续升空作战,那一切工作都是无用功.而作战性能在 MOS 中主要体现在三个方面.①道面平整度:道面抢修完成后道面一定要满足作战飞机对道面起降的要求,主要是道面平整度、粗糙度等方面的要求;②MOS 的尺寸:作战飞机的类型不同,装载的弹药重量不同,加油量不同导致所要求的 MOS 尺寸不同,所以 MOS 的尺寸要尽量准确;③维护补给:飞机起降的过程中要保证其维护补给的顺利进行.

(4) 安全性能

MOS 抢修过程中要保证能够在抢修完成后飞机能安全地起降,排除安全隐患.实质上指的是指标在选择的时候要保证一定的余量.指标 C10 比较容易理解,弹坑修复之后,道面各项参数必须符合规定,这样才能保证道面在使用过程中不出现问题.在 MOS 位置确定要遵循的原则中,MOS 两端外一定范围内尽量没有弹坑,这就是为了保证飞机在满载或者不使用减速伞的情况下仍然能安全顺利起降.在最底层的指标中体现在 MOS 的扩展上,这也就解释了指标 C12 的由来.其次是天气的影响.在遇到恶劣天气的影响下,各种设施(导航设备、助航灯光等)仍然能正常工作,指导飞机的起降.

3 MOS 位置评价指标权重的确定

如前文所述,MOS 位置确定是一个多层次、多目标的综合评价问题.根据之前建立的 MOS 位置评价结构模型,利用 IF-AHP 确定结构模型中各指标相对于总目标的重要性程度.

在说明如何确定 MOS 位置评价指标的权重之前,先介绍几个定义和定理.

定义 1 设矩阵 $F = (f_{ij})_{m \times m}$,若满足 $0 \leq f_{ij} \leq 1 (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m)$,则称 F 是模糊矩阵;若模糊矩阵满足 $f_{ij} + f_{ji} = 1 (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m)$,则称模糊矩阵 F 是模糊互补矩阵;若模糊互补矩阵 F 满足 $\forall i, j, k$ 都有 $f_{ij} = f_{jk} - f_{ik} + 0.5$,则称模糊矩阵 F 是模糊一致矩阵.

定义 2 模糊一致矩阵 F 中的元素 f_{ij} 通常表示第 i 个因素 a_i 与第 j 个因素 a_j 的相对重要性程度.若 $f_{ij} = 0.5$ 表示 a_i 与 a_j 同样重要;若 $0 \leq f_{ij} \leq 0.5$,表示 a_j 比 a_i 重要;若 $0.5 \leq f_{ij} \leq 1$,表示 a_i 比 a_j 重要.

定理 1 模糊一致矩阵 $F = (f_{ij})_{m \times m}$ 有如下的

性质:① 矩阵中 $f_{ii} = 0.5$;② F 中 i 行和 i 列的和为 m ;③ 从 F 中去掉任意行及其所对应的列后,剩下的矩阵仍然为模糊一致性矩阵;④ 满足中分传递性,即当 $\lambda \geq 0.5$,若 $f_{ij} \geq \lambda, f_{jk} \geq \lambda$,则有 $f_{ik} \geq \lambda$;当 $\lambda \leq 0.5$,若 $f_{ij} \leq \lambda, f_{jk} \leq \lambda$,则有 $f_{ik} \leq \lambda$.

定理 2 由模糊互补矩阵构造模糊一致性矩阵:如果对模糊互补矩阵按行求和,记为 $r_i = \sum_{k=1}^m f_{ik} (i = 1, 2, \dots, m)$,进行如下的数学变换 $r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2m} + 0.5$,则由此建立的矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$ 是模糊一致矩阵.

3.1 优先判断矩阵的构建

这一步必须有业内专家的参与,由专家对评价体系结构中两两元素之间的重要性进行判定.因为只有专家才能对层次结构模型中各元素的重要性有着清晰的把握.优先判断矩阵的估计对决策的质量有着重大影响.

在建立优先判断矩阵的时候,需要判断两元素之间的重要性.但现实中的很多问题,特别是那些没有统一指标而仅靠人的直接经验判断和估计的问题,需要用适当的方法导出其权重,以给出某种量化指标来判断出元素之间的重要性.现在量化指标有很多种,有 A. L. Saaty 提出的 1-9 标度法^[5]、三分标度法^[6]、模糊三角函数标度法^[7]、0.1-0.9 标度法^[8] 等等.1-9 标度法在面对一些具有模糊性的决策问题时就显得比较无力,而且判断矩阵的一致性检验比较困难;三分标度法和模糊三角函数标度法采用简化的标度来建立优先判断矩阵,然后用转换公式建立模糊一致矩阵,保证了矩阵的一致性,但是存在权重精确度比较差的问题,无法适应权值要求比较精确的场合;0.1-0.9 标度法能够满足精确度方面的要求,但是存在计算比较繁琐的问题.

基于以上原因,本文提出了使用一种新的量化方法——5 分标度法,既可以满足权重精确性的要求,又可以尽量的简化运算,达到这两方面的共赢.5 分标度法的含义如表 1 所示.

表 1 5 分标度法的含义

标度	代表含义
0	表示两元素相比较,前者相对于后者来说,前者一点也不重要
0.25	表示两元素相比较,前者相对于后者来说,前者不如后者重要
0.5	表示两元素相比较,前者与后者同等重要
0.75	表示两元素相比较,前者相对于后者来说,前者要比重要一些
1	表示两元素相比较,前者相对于后者来说,前者极其重要

依照图 2 所示,建立准则层 $B_1 \sim B_4$ 相对于总目

标 A 的优先判断矩阵 F_1 ,同样建立指标层各指标 $C_1 \sim C_{13}$ 相对于准则层中 $B_1 \sim B_4$ 的优先判断矩阵 $F_2 \sim F_5$. 其中, a_i 和 a_j 代表相互比较的指标.

$$f_{ij} = \begin{cases} 0 & a_i \text{ 一点也不重要} \\ 0.25 & a_i \text{ 不如 } a_j \text{ 重要} \\ 0.5 & a_i \text{ 与 } a_j \text{ 同等重要} \\ 0.75 & a_i \text{ 比 } a_j \text{ 重要} \\ 1 & a_j \text{ 一点也不重要} \end{cases}$$

图 2 构建优先判断矩阵示意图

3.2 计算出对应的模糊一致矩阵

这一步的工作就是利用转换公式(1)将优先判断矩阵 $F_1 \sim F_5$ 转换成模糊一致矩阵 $R_1 \sim R_5$.

$$r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2m} + 0.5,$$

$$\text{其中, } r_i = \sum_{j=1}^m f_{ij} \tag{1}$$

3.3 单层决策指标排序

根据模糊一致矩阵,计算下一层指标相对于与其相关联的上一层指标的权重,然后按照权重的大小排序.目前,这种计算排序的方法主要有三种,即方根法、按行求和归一化法,以及根据模糊一致判断矩阵的元素与权重的关系式给出的排序法.根据文献[9]中的介绍,为了提高排序的分辨率,本文采用第三种方法进行排序.该方法所用公式为

$$\omega_i = \frac{1}{m} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{m\alpha} \sum_{k=1}^m r_{ik} (i = 1, 2, \dots, m) \tag{2}$$

式中, α 为满足 $\alpha \geq \frac{m-1}{2}$ 的参数.

3.4 指标权重的最终确定

这是最后一步,即在层次单排序和层次间综合的基础上,计算出指标层的各指标相对于总目标的重要性程度,按照权重大小进行排序,就可得到各个指标对总目标的影响程度 $w_{C_1} \sim w_{C_{13}}$.

4 评价实例

根据前文建立的 MOS 位置评价结构模型,结合业务专家的意见,按照 IFAHP 的流程,建立相关优先判断矩阵如表 2~表 6 所示.

表 2 优先判断矩阵 F_1

A	B_1	B_2	B_3	B_4	行和
B_1	0.5	1.0	0.75	0.75	3.0
B_2	0	0.5	0.25	0.25	1.0
B_3	0.25	0.75	0.5	0.75	2.25
B_4	0.25	0.75	0.25	0.5	1.75

表 3 优先判断矩阵 F_2

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	行和
C_1	0.5	0	0.25	0.25	1.0
C_2	1.0	0.5	0.75	1.0	3.25
C_3	0.75	0.25	0.5	0.5	2.0
C_4	0.75	0	0.5	0.5	1.75

表 4 优先判断矩阵 F_3

B_2	C_5	C_6	C_7	行和
C_5	0.5	0.25	0.25	1.00
C_6	0.75	0.5	0.5	1.75
C_7	0.75	0.5	0.5	1.75

表 5 优先判断矩阵 F_4

B_3	C_8	C_9	C_{10}	行和
C_8	0.5	0.75	0.75	2.0
C_9	0.25	0.50	0.25	1.0
C_{10}	0.25	0.75	0.50	1.5

表 6 优先判断矩阵 F_5

B_4	C_{11}	C_{12}	C_{13}	行和
C_{11}	0.5	0.75	1.0	2.25
C_{12}	0.25	0.5	0.75	1.50
C_{13}	0	0.25	0.5	0.75

将建立优先判断矩阵按照公式 1 转换成相应的模糊一致矩阵,如表 7~表 11 所示.

表 7 模糊一致矩阵 R_1

A	B_1	B_2	B_3	B_4	行和
B_1	0.5	0.75	0.593 75	0.656 25	2.5
B_2	0.25	0.5	0.343 75	0.406 25	1.5
B_3	0.406 25	0.656 25	0.5	0.562 5	2.125
B_4	0.343 75	0.593 75	0.437 5	0.5	1.875

表 8 模糊一致矩阵 R_2

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	行和
C_1	0.5	0.218 75	0.375	0.406 25	1.5
C_2	0.781 25	0.5	0.656 25	0.687 5	2.625
C_3	0.625	0.343 75	0.5	0.531 25	2
C_4	0.593 75	0.312 5	0.468 75	0.5	1.875

表 9 模糊一致矩阵 R_3

B_2	C_5	C_6	C_7	行和
C_5	0.5	0.375	0.375	1.25
C_6	0.625	0.5	0.5	1.625
C_7	0.625	0.5	0.5	1.625

表 10 模糊一致矩阵 R_4

B_3	C_8	C_9	C_{10}	行和
C_8	0.5	0.666 7	0.583 3	1.75
C_9	0.333 3	0.5	0.416 7	1.25
C_{10}	0.416 7	0.583 3	0.5	1.5

表 11 模糊一致矩阵 R_5

B_4	C_{11}	C_{12}	C_{13}	行和
C_{11}	0.5	0.625	0.75	1.875
C_{12}	0.375	0.5	0.541 7	1.416 7
C_{13}	0.25	0.458 3	0.5	1.208 3

按照式(2),其中取 $\alpha = \frac{m-1}{2}$,对模糊一致矩阵

$R_1 \sim R_5$ 进行处理,得到如下结果:

B 层相对于 A 层的权值为

$$W_{A-B} = (w_{B_1}, w_{B_2}, w_{B_3}, w_{B_4})^T \\ = (0.333\ 3, 0.166\ 7, 0.270\ 8, 0.229\ 2)^T$$

指标 $C_1 \sim C_4$ 相对于 B_1 的权值为

$$W_{B_1-C_1 \sim C_4} = (0.166\ 7, 0.354\ 2, 0.25, \\ 0.229\ 1)^T$$

指标 $C_5 \sim C_7$ 相对于 B_2 的权值为

$$W_{B_2-C_5 \sim C_7} = (0.25, 0.375, 0.375)^T$$

指标 $C_8 \sim C_{10}$ 相对于 B_3 的权值为

$$W_{B_3-C_8 \sim C_{10}} = (0.416\ 7, 0.25, 0.333\ 3)^T$$

指标 $C_{11} \sim C_{13}$ 相对于 B_4 的权值为

$$W_{B_4-C_{11} \sim C_{13}} = (0.458\ 3, 0.25, 0.236\ 1)^T$$

经过计算,得到指标 $C_1 \sim C_{13}$ 相对于总目标 A 的权重:

$$W = (w_{C_1}, w_{C_2}, w_{C_3}, w_{C_4}, w_{C_5}, w_{C_6}, w_{C_7}, w_{C_8}, w_{C_9}, \\ w_{C_{10}}, w_{C_{11}}, w_{C_{12}}, w_{C_{13}})^T (0.055\ 6, 0.118\ 1, 0.090\ 3, \\ 0.076\ 4, 0.041\ 7, 0.062\ 5, 0.062\ 5, 0.112\ 8, \\ 0.067\ 7, 0.090\ 3, 0.105\ 0, 0.070\ 0, 0.054\ 1)^T$$

可以看出,在 MOS 位置的确定中,抢修时间占的比重最大,工程量大小相对于抢修时间来说仍然占据最大的比重.这与现实中人们的认知是一致的,所以将 IFAHP 引入到指标权重的确定中是完全可行的.

5 结束语

MOS 位置的确定是一个综合决策问题,需要对其进行综合考虑制定最优策略.本文对影响 MOS 位置的主要因素进行分析,建立了一种 MOS 位置评价结构模型.为了避免出现模糊一致矩阵不一致的情况,利用 IFAHP 来确定评价指标的权重,并提出了一种新的量化方法构建优先判断矩阵.

本文的主旨在于说明 IFAHP 应用于 MOS 位置确定的可行性,因此 MOS 位置评价体系结构有些粗糙,而且在最后评价实例中,数据选取比较简单.如何完善 MOS 的评价体系,选取复杂的数据进行验证以及如何利用指标的权重进行 MOS 位置的确定是下一步作者的研究目标.

参考文献:

- [1] 杨文山,宋显宏,王驰,等.战时机场道面抢修技术[J]. 机场工程,2004(1):1-4.
- [2] 李明锋.机场最小起降带的确定方法分析[J]. 机场工程,2002(3):7-13.

- [3] 许巍.模糊 AHP 法在机场最小起降带优选评价中的应用[J]. 航空计算技术,2002,32(3):12-14.
- [4] 许巍.机场最小起降带模糊优选理论模型[J]. 交通运输工程学报,2005,5(1):57-60.
- [5] 王家顺,王田苗,胡耀光,等.一种基于模糊层次分析法的供应商评价模型的研究[J]. 微电子学与计算机,2001,18(2):59-64.
- [6] 腾继东,项梦杰,李苏,等.改进模糊层次分析法确定地址灾害危险性评价指标权重的研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(1):22-23.
- [7] 卢震.基于模糊层次分析法的军队专业技术人才考评[J]. 北京航空航天大学学报:社会科学版,2010,23(1):68-74.
- [8] 周艳美,李伟华.改进模糊层次分析法及其对任务方案的评价[J]. 计算机工程与应用,2008,44(5):212-214.
- [9] 张吉军.模糊一致判断矩阵 3 种排序方法的比较研究[J]. 系统工程与电子技术,2003,25(11):1370-1372.

作者简介:

邢建春 男,(1964-),教授,博士生导师.研究方向为国防工程智能化、计算机测控、人工智能等.

(上接第 78 页)

参考文献:

- [1] IFPUG. ISO/IEC 20926: Software engineering - IFPUG 4.3 Unadjusted FSM Method-Counting Practices Manual [M]. 2010.
- [2] 李帆,林立新,曹亚波.软件工程项目管理——功能点分析方法与实践[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [3] Insfran E. A requirements engineering approach for object-oriented conceptual modeling[D]. Valencia: Valencia Polytechnic University, 2003.
- [4] Object Management Group - OMG. Unified Modeling Language-UML v 1.5[M]. 2003.
- [5] Abrahao S, Pastor O. Estimating the applications func-

tional size from object-oriented conceptual models [C]// Proceedings of IFPUG'01. Las Vegas, USA: IEEE, 2001.

- [6] Juan J. Cuadrado Gallego, Fernando Machado-Piriz, et al. On the conversion between IFPUG and COSMIC software functional size units: A theoretical and empirical study[J]. The Journal of Systems and Software, 2008(81):661-672.

作者简介:

文静 女,(1978-),硕士,讲师.研究方向软件方法学、软件质量保证.